

101-6-3389
MOTC-IOT-99-SDB004

符合節能目標之道路設施安全 標準評估與應用



交通部運輸研究所
中華民國 101 年 2 月

101-6-3389
MOTC-IOT-99-SDB004

符合節能目標之道路設施安全 標準評估與應用

著者：林志勳、李麗玲、李宏俊、李芷毓、朱明孜、
鄭弘珮、吳侑倫、陳一昌、孔垂昌

交通部運輸研究所
中華民國 101 年 2 月

ISBN

ISBN 條碼

GPN：

定價 400 元

國家圖書館出版品預行編目（CIP）資料

符合節能目標之道路設施安全標準評估與應用/
林志勳等著. - 初版. - 臺北市：交通部
運研所，民 101.02
面；公分
ISBN 978-986-03-1672-8(平裝)

1. 都市交通 2. 交通管理 3. 電腦軟體

557.8029

101001561

符合節能目標之道路設施安全標準評估與應用

著者：林志勳、李麗玲、李宏俊、李芷毓、朱明孜、鄭弘珮、吳侑倫、
陳一昌、孔垂昌

出版機關：交通部運輸研究所

地址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網址：www.iot.gov.tw (中文版>圖書服務>本所出版品)

電話：(02)23496789

出版年月：中華民國 101 年 2 月

印刷者：福島實業有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 160 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定價：400 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸資訊組・電話：(02)23496880

國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號・電話：(02)25180207

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號・電話：(04)22260330

GPN：1010100248 ISBN：978-986-03-1672-8 (平裝)

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求交通部運輸研究所
書面授權。

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

符合節能目標之道路設施安全標準評估與應用			
國際標準書號(或叢刊號) ISBN 978-986-03-1672-8(平裝)	政府出版品統一編號 1010100248	運輸研究所出版品編號 101-6-3389	計畫編號 99-SDB004
本所主辦單位：運輸安全組 主管：陳一昌 計畫主持人：陳一昌 研究人員：孔垂昌 聯絡電話：(02) 2349-6858 傳真號碼：(02) 2545-0429	合作研究單位：工業技術研究院 計畫主持人：林志勳 研究人員：李麗玲、李宏俊、李芷毓、朱明孜、鄭弘珮、吳侑倫 地址：新竹縣竹東鎮中興路4段195號 聯絡電話：(03) 5912587	研究期間 自 99 年 3 月 至 99 年 12 月	
關鍵詞：節能；經濟效益；人因工程			
摘要： <p>本計畫主要在探討，新型耗能道路交通設施在節能、技術及社會與經濟效益的優越性，與既有的設施相較之優缺點，並比對我國既有規範及國際上的規範；接著考量未來技術趨勢、人因工程的觀點，檢視現行規範是否需適度修訂。在兼顧安全及節能的目標之下，便於新技術的引進及推廣。</p> <p>新型耗能交通設施置換既有產品經濟分析，得出在達成道路照明規範要求的前提下，以生命週期成本考量，8 米道路 LED 路燈置換水銀燈是短期可投入領域。8 米道路 LED 路燈置換高壓鈉燈、12 米道路 LED 路燈置換水銀燈、LED 路燈置換隧道燈及高速公路 LED 指示標誌是中期可以投入方向。</p> <p>對於國內現行交通工程手冊法規內容修正建議，本研究提出幾個方向，包含納入輝度標準、建立動態量測方法、訂定 LED 標誌牌規範、增加用電密度與燈具光分佈形式，並加入行人專用道照明水準等。未來研究建議則希望持續朝人因工程方向進行研究，訂定適合國內道路環境與人種特性的交通安全評估標準。</p>			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
101 年 2 月	576	400	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
機密等級： <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-start;"> <div> <input type="checkbox"/> 密 <input type="checkbox"/> 機密 <input type="checkbox"/> 極機密 <input type="checkbox"/> 絕對機密 (解密條件：<input type="checkbox"/> 年 <input type="checkbox"/> 月 <input type="checkbox"/> 日解密，<input type="checkbox"/> 公布後解密，<input type="checkbox"/> 附件抽存後解密， <input type="checkbox"/> 工作完成或會議終了時解密，<input type="checkbox"/> 另行檢討後辦理解密) </div> <div> <input checked="" type="checkbox"/> 普通 </div> </div>			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS

TITLE: The applications and assessment of the energy-saving road facilities safety standards			
ISBN(OR ISSN) ISBN 978-986-03-1672-8(pbk.)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010100248	IOT SERIAL NUMBER 101-6-3389	PROJECT NUMBER 99-SDB004
DIVISION: Safety Division DIVISION DIRECTOR: Chen, Isaac I. C PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chen, Isaac I. C PROJECT STAFF: Kai-kuo Chang; Chui-Chang Kung PHONE: 886-2-2349-6858 FAX: 886-2-2545-0429			PROJECT PERIOD FROM March 2010 TO December 2010
RESEARCH AGENCY: Industrial Technology Research Institute PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chih-Hsun Lin PROJECT STAFF: Li-Ling Lee, Hung-Chun Li, Chih-Yin Lee, Ming-Tzu Chu, Hong-Pei Cheng, You-Lun Wu ADDRESS: 195, Sec. 4, Chung Hsing Rd., Chutung, Hsinchu, Taiwan, R.O.C. PHONE: (03) 591-2587			
KEY WORDS: energy-efficient; economic effectiveness analysis; human factor engineering			
ABSTRACT: <p>This project is mainly focused on the comparison between the novel-type traffic facilities and the existing ones in terms of energy-efficiency, technological and social-beneficial perspectives. Meanwhile, the relevant standards/regulations from Taiwan and some global nations are studied and compared. Finally, future technological trends and human factor engineering analysis are taken into account to examine whether appropriate amendments are necessary for the current standards/regulations in Taiwan. With the aim to assure road user safety and energy-efficient purposes, it will facilitate the novel-type traffic facilities to be introduced and promoted.</p> <p>Economic effectiveness analysis for novel-type traffic facility replacement is undertaken by adopting Net Present Value (NPV) and Payback Period approaches. The results are listed below: Firstly, with an 8-meter pole height, LED streetlight replacement over mercury street lamp is feasible in the short term. Secondly, with an 8-meter pole height, LED streetlight replacement over HPS, or with a 12-meter pole height, LED streetlight replacement over mercury street lamp, or LED roadway signs replacement on the highway, or LED light source replacement for tunnel is feasible in the mid-term.</p> <p>Based on the results of this study, some recommendations are proposed for the current "Manual for Traffic Engineering Regulations of Taiwan", including: (1) bringing in luminance criteria; (2) building up a Dynamic Measurement Method; (3) establishing standards/regulations for "LED roadway signs"; (4) adding in the concept of Unit Power Density (UPD) and light distribution classification for full cutoff luminaires; (5) setting up lighting criteria for pedestrian crossing. Finally, the area of human factor engineering is suggested for further study in order to set up appropriate traffic safety assessment criteria from the roadway geometry and racial difference perspectives.</p>			
DATE OF PUBLICATION February 2012	NUMBER OF PAGES 576	PRICE 400	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目 錄

第一章	前言	1
1.1	研究背景	1
1.1.1	本計畫之目的與重要性	1
1.2	研究範圍與對象	2
1.2.1	研究範圍	2
1.3	研究流程與工作項目	3
1.3.1	研究流程	3
1.3.2	工作項目	4
1.4	研究方法	5
1.4.1	研究方法	5
1.4.2	預計可能遭遇之困難及解決途徑	7
1.4.3	重要儀器之配合使用情形	7
1.5	預期研究成果	9
1.5.1	對交通建設貢獻	9
1.5.2	對於學術理論系統之建立貢獻	9
第二章	新型耗能道路交通設施	11
2.1	定義新型耗能道路交通設施	11
2.1.1	交通設施定義、種類與應用	11
2.1.2	新型耗能道路交通設施	15
2.2	新型耗能道路交通設施介紹	18
2.2.1	道路照明/隧道照明	18
2.2.2	交通標誌/標誌照明	22
2.2.3	交通安全防護設施	26
第三章	交通設施法規/規範比較研究	27
3.1	名詞解釋	27
3.2	各國交通設施法規/規範概述	29
3.3	道路照明/隧道照明	36
3.3.1	各國法規規範之訂定	36
3.3.2	法規內容比較分析	37
3.4	交通標誌/標誌照明	70
3.4.1	各國法規規範之訂定	70
3.4.2	法規內容差異分析	71

3.5	交通安全防護設施.....	78
3.5.1	各國法規規範之訂定.....	78
3.5.2	法規內容差異分析.....	79
3.6	各國道路交通設施規範修訂沿革.....	85
3.6.1	美國 IESNA	85
3.6.2	日本道路照明規範.....	97
3.6.3	歐洲 CIE	106
3.6.4	各國道路照明規範發展趨勢	115
第四章	新型耗能道路交通設施經濟效益分析	117
4.1	名詞解釋.....	117
4.2	新型耗能設施發展現況	118
4.2.1	日本	118
4.2.2	美國	134
4.2.3	歐洲	175
4.2.4	中國	180
4.2.5	我國	184
4.3	新型耗能道路交通設施與既有設施優缺點分析	192
4.3.1	LED 路燈	192
4.3.2	陶瓷複金屬路燈	200
4.3.3	LED 指示標誌.....	202
4.3.4	LED 路面標記.....	210
4.3.5	智慧型 LED 路燈.....	210
4.3.6	紫外光標誌照明	212
4.4	我國經濟效益分析模型之建立.....	215
4.4.1	經濟效益分析方法.....	215
4.4.2	經濟效益分析模型說明	219
4.4.3	經濟效益評估模型計算範例	222
4.4.4	小結	255
第五章	新型道路交通設施人因工程研究.....	259
5.1	名詞解釋.....	259
5.2	從人因工程看道路交通安全	260
5.2.1	人因工程的重要性.....	260
5.2.2	視覺、反應時間為主要探討議題.....	260
5.3	視覺.....	262

5.3.1	視覺基礎	262
5.3.2	小結	269
5.4	中間視覺與道路照明	271
5.4.1	中間視覺範圍內光源輝度	271
5.4.2	中間視覺範圍內彩色視覺	277
5.4.3	小結	277
5.5	反應時間	279
5.5.1	反應時間之組成	279
5.5.2	反應時間與道路照明環境變數之關係	280
5.5.3	小結	286
5.6	眩光	288
5.7	人因工程於新型道路耗能設施之應用	291
5.7.1	道路照明	291
5.7.2	隧道照明	294
5.7.3	標誌照明	295
5.7.4	安全防護設施	296
5.7.5	小結	297
5.8	交通設施節能與安全分析架構	298
5.8.1	新型耗能設施導入評估流程	298
5.8.2	新型耗能設施節能與安全分析架構	302
5.8.3	小結	302
第六章	新型道路交通設施規範修正建議	303
6.1	道路照明規範修正建議-道路照明	303
6.2	道路照明規範修正建議-交通標誌/標誌照明	308
6.3	道路照明規範修正建議-交通安全防護設施	310
第七章	結論與建議	311
7.1	結論	311
7.2	建議	314
參考文獻	315
一、英文文獻	315
二、中文文獻	318
附 錄	323
附錄 1	專家座談會簽到表與會議紀錄	A-1
附錄 2	期中報告初稿審查會議紀錄	B-1

附錄 3	期中報告初稿審查意見答覆表	C-1
附錄 4	期末審查簡報	D-1
附錄 5	期末報告初稿審查會議紀錄	E-1
附錄 6	期末報告初稿審查意見答覆表	F-1
附錄 7	期末報告二稿審查意見答覆表	G-1
附錄 8	各國法規對照表	H-1
附錄 9	美國交通設施問卷調查結果	I-1
附錄 10	台中市路燈示範案例調查問卷	J-1
附錄 11	台中市豐原大道 LED 標誌牌調查問卷	K-1
附錄 12	台灣電力公司電價表	L-1
附錄 13	詢問國外研究機構往來信件內容	M-1
附錄 14	道路照明現場動態測量方法	N-1
附錄 15	LED 道路標示牌採購技術規範	O-1
附錄 16	寒地 LED 道路照明產品技術規範	P-1

圖目錄

圖 1-1	本研究研究流程	4
圖 2-1	新型耗能道路交通設施分類	17
圖 2-2	LED 路燈	19
圖 2-3	各種不同結構之複金屬燈	20
圖 2-4	智慧型 LED 指示標誌	22
圖 2-5	國道 10 號左營橋下平面路段 LED 指示標誌	23
圖 2-6	紫外光指示標誌	24
圖 2-7	自發光與 LED 道路交通標誌	25
圖 2-8	LED 路面標記	26
圖 3-1	等價光幕輝度之概念圖	47
圖 3-2	照明設施之排列方式	50
圖 3-3	基本燈具配置方式	52
圖 3-4	曲線道路之單邊配置方式	52
圖 3-5	T 字路口燈具配置例	53
圖 3-6	車道寬度相同之十字路口燈具配置例	53
圖 3-7	照明設施設置於中央帶之十字路口燈具配置例	53
圖 3-8	Y 字路口燈具配置例	54
圖 3-9	路燈最低安裝高度	54
圖 3-10	照明燈具佈置方式	55
圖 3-11	道路標準燈具排列方式	56
圖 3-12	單向隧道長度與輝度關係曲線	59
圖 3-13	中國隧道照明各照明段輝度與長度	65
圖 3-14	CIE 各種長度隧道照明要求	67
圖 3-15	小目標可見度計算過程架構圖	92
圖 3-16	IESNA 燈具分類系統光分佈區類別圖示	94
圖 3-17	IESNA 燈具光分佈 BUG 評定系統解析圖(眩光評定)	95
圖 3-18	IESNA 燈具光分佈 BUG 評定系統解析圖(光侵擾評定)	95
圖 3-19	IESNA 燈具光分佈 BUG 評定系統解析圖(天空輝光評定)	95
圖 4-1	大阪府道路照明 LED 化示範事業 LED 路燈設置例	120
圖 4-2	東京都調布市 LED 路燈實驗設置	123
圖 4-3	大阪府於吹田市出口町和高槻市南平台設置的 LED 路燈	124
圖 4-4	德島縣獨立型太陽能式 LED 內部照明道路標誌示意圖	125

圖 4-5	LED 光源之行人穿越道標誌	126
圖 4-6	LED 光源之內照式道路標誌	126
圖 4-7	自發光內照式道路標誌	127
圖 4-8	LED 光源之內照式道路標誌	127
圖 4-9	自發光內照式道路標誌	128
圖 4-10	LED 指示標誌	128
圖 4-11	太陽能電池式自發光 LED 內照式標誌	129
圖 4-12	使用 LED 之自發光貓眼	129
圖 4-13	使用 LED 之自發光緣石貓眼	130
圖 4-14	使用 LED 之自發光區劃線貓眼	130
圖 4-15	使用 LED 之自發光緣石貓眼	130
圖 4-16	LED 自發光式區劃線貓眼	131
圖 4-17	LED 自發光式區劃線貓眼	131
圖 4-18	使用 LED 之自發光視線誘導標誌	131
圖 4-19	使用 LED 之自發光視線誘導標記	132
圖 4-20	使用 LED 之自發光障礙物標誌燈	132
圖 4-21	蓄光式道路標誌	133
圖 4-22	蓄光式道路區劃線	133
圖 4-23	密西西比河大橋 LED 路燈設置	135
圖 4-24	San Francisco LED 路燈專案設置示意圖	137
圖 4-25	Portland LED 路燈專案示意圖	140
圖 4-26	Oakland 第二階段 LED 路燈專案示意圖	142
圖 4-27	紐約市荷蘭隧道示意圖	159
圖 4-28	太陽能 LED 警告標誌	161
圖 4-29	太陽能 LED 行人穿越警告標誌	162
圖 4-30	LED 指示標誌(邊緣發光式)	162
圖 4-31	LED 路名標誌(邊緣發光式)	163
圖 4-32	IPM 安裝於學校地帶(Edmond, Oklahoma)	167
圖 4-33	IPM 安裝於公路、鐵路交會地帶(Paramount, California)	168
圖 4-34	IPM 安裝於橫向轉彎地帶(Fort Lauderdale, Florida)	168
圖 4-35	IPM 安裝於橫向轉彎地帶(Mount Pleasant, Texas)	169
圖 4-36	IPM 安裝於橫向轉彎地帶(Texarkana, Texas)	169
圖 4-37	IPM 安裝於多條轉彎車道地帶(Springfield, Illinois)	170
圖 4-38	IPM 安裝於車輛匯合地帶(Wayne Township, New Jersey)	170

圖 4-39	IPM 安裝於隧道內(Route 63, Honolulu, Hawaii)	171
圖 4-40	IPM 安裝於隧道內(Santa Monica, California).....	171
圖 4-41	IPM 安裝於交叉路口停止線(Jefferson Street,Texas).....	172
圖 4-42	IPM 安裝於交叉路口停止線(West Gray Street,Houston)	172
圖 4-43	IPM 安裝於禁止左轉車道(Houston,Texas)	173
圖 4-44	IPM 安裝於車輛/卡車檢查區	173
圖 4-45	IPM 安裝於環境敏感區(SH A1A Boca Raton, Florida).....	174
圖 4-46	芬蘭首先導入 LED 路燈	176
圖 4-47	德國 LED 路燈示範案例	176
圖 4-48	義大利 MolfettaLED 路燈示範案例	177
圖 4-49	法國巴黎路燈示範案例	177
圖 4-50	廣東東莞石排鎮 LED 道路照明改造工程	180
圖 4-51	閩浦大橋上的 LED 路燈	181
圖 4-52	上海長江隧橋上的 LED 隧道燈	182
圖 4-53	京珠高速首條 LED 隧道—廣韶段旦架哨隧道.....	183
圖 4-54	六安至武漢高速公路新開嶺和旺竹園 2 號隧道	183
圖 4-55	我國 LED 路燈累積裝置量	185
圖 4-56	經濟部能源局 LED 路燈示範地點	186
圖 4-57	台中 LED 路燈示範區(展光光電).....	187
圖 4-58	我國 LED 指示標誌試辦計畫	188
圖 4-59	忠孝東路、基隆路口 LED 指示標誌安裝實景	189
圖 4-60	桃園中正國際機場一、二期航站周圍車道安裝實景	190
圖 4-61	新竹市道路安裝實景(世瑩公司)	190
圖 4-62	LED 路燈燈具失效原因統計	194
圖 4-63	台中市 LED 路燈示範案之眩光表現	195
圖 4-64	台中市 LED 路燈示範案之亮度(輝度)表現	195
圖 4-65	台中市 LED 路燈示範案對鄰近地區整體景觀的影響程度	196
圖 4-66	台中市 LED 路燈示範案用路人對舊路燈與 LED 路燈喜好程度	196
圖 4-67	台中市 LED 路燈示範案駕駛者對道路環境可辨性	197
圖 4-68	台中市 LED 路燈示範案用路人對道路環境可辨性	197
圖 4-69	台中市 LED 路燈示範案影子(陰影)產生程度	198
圖 4-70	台中市 LED 路燈示範案受訪者滿意度	198
圖 4-71	陶瓷複金屬燈與高壓鈉燈照明效果比較	201
圖 4-72	陶瓷複金屬燈與高壓鈉燈照明效果比較	201

圖 4-73	LED 指示標誌.....	202
圖 4-74	台 72 線 LED 指示標誌.....	203
圖 4-75	傳統指示標誌資訊所顯現的輝度值	203
圖 4-76	LED 指示標誌資訊所顯現的輝度值.....	204
圖 4-77	LED 指示標誌資訊所顯現的輝度值.....	204
圖 4-78	豐原大道 LED 指示標誌示範案駕駛人之訊息清晰度	205
圖 4-79	豐原大道 LED 指示標誌示範案之眩光表現	205
圖 4-80	豐原大道 LED 指示標誌示範案之亮度表現	206
圖 4-81	豐原大道 LED 指示標誌用路人效益.....	206
圖 4-82	豐原大道 LED 指示標誌示範案之美觀程度	207
圖 4-83	豐原大道 LED 指示標誌示範案之喜好程度	207
圖 4-84	豐原大道 LED 指示標誌示範案之支持意見	208
圖 4-85	淨現值計算公式.....	221
圖 4-86	台中市 LED 路燈專案單盞 LED 路燈與水銀路燈累計成本變化	227
圖 4-87	台中市 LED 隧道燈與高壓鈉隧道燈累計成本變化.....	246
圖 4-88	豐原市 LED 指示標誌累計成本變化.....	253
圖 5-1	桿狀細胞(Rod)與錐狀細胞(Cone)在視網膜上的排列組合方式，及分佈的密度曲線。	263
圖 5-2	錐狀細胞和桿狀細胞在眼睛視網膜上的密度分佈 ^[7]	264
圖 5-3	人類眼睛對不同波長的相對靈敏度	264
圖 5-4	各種光環境下人眼的視覺狀態	265
圖 5-5	明視覺與暗視覺的相對光視效率圖	267
圖 5-6	普爾金耶現象.....	267
圖 5-7	不同波長對視網膜中感應藍光部分之分光效果度	269
圖 5-8	各國道路照明標準規定值.....	271
圖 5-9	不同 S/P 值光源照明使人眼感受到明亮度	272
圖 5-10	LRC 採用視覺功能法研究中間視覺場景	275
圖 5-11	Hurden 等人用於進行搜尋時間實驗的顯示螢幕和實驗裝置	275
圖 5-12	歐盟 MOVE 項目中所涉及的研究機構和研究設備	277
圖 5-13	不同色溫 CFL 反應時間與背景亮度的關係圖	281
圖 5-14	3 種光源下反應時間與背景亮度關係	283
圖 5-15	3 種光源下反應時間與亮度對比關係	284
圖 5-16	3 種光源下反應時間與偏心角關係	285
圖 5-17	與視軸夾角眩光源在角膜上照度與視網膜所觀察輝度示意圖	289

圖 5-18	Stiles-Holladay 失能眩光公式之 L_{eq} 與 E_{glare} 之間的轉換關係	290
圖 5-19	現今日常生活中常見之用燈的視覺效率與演色性比	292
圖 5-20	金屬鹵素燈(MH)與高壓鈉燈(HPS)在 3 種環境輝度分別為 10 cd/m^2 、 0.1 cd/m^2 、 0.001 cd/m^2 下，與顏色命名準確性的關係	292
圖 5-21	金屬鹵素燈與高壓鈉燈在 3 種環境輝度分別為 10 cd/m^2 (明視覺)、 0.1 cd/m^2 (中間視覺)及 0.001 cd/m^2 (暗視覺)下的發光效率。	293
圖 5-22	雪山隧道倒數里程辨識牌	294
圖 5-23	特殊人工造景搭配燈光效果的秦嶺終南山公路隧道	295
圖 5-24	交通安全評估架構	302

表目錄

表 1-1	本計畫採用之測試儀器	7
表 2-1	交通工程設施種類	11
表 2-2	美國交通安全服務協會之交通工程安全設施分類	13
表 2-3	日本道路交通設施	13
表 2-4	日本道路交通安全設施	14
表 2-5	交通工程設施分類	14
表 2-6	美國新型交通工程設施的分類	16
表 2-7	LED 指示標誌與傳統照明指示標誌比較表	24
表 3-1	日本交通安全設施設計之相關規範	30
表 3-2	MUTCD 2009 內容主要項目	31
表 3-3	中國交通安全設施主要法規	31
表 3-4	歐洲交通安全設施主要法規	32
表 3-5	各國交通安全設施主要法規/規範整理	33
表 3-6	各國新型耗能道路交通設施產品標準整理	35
表 3-7	國內公路照度基準值	38
表 3-8	日本道路標準平均輝度規定	39
表 3-9	IESNA 道路照明平均輝度值(cd/m^2)及均勻度	40
表 3-10	IESNA 道路照明平均照度值(Lux)及均勻度	41
表 3-11	不同道路類別照明水準規定	42
表 3-12	CIE 不同道路照明等級相關規定	43
表 3-13	各國道路照明照度規定	44
表 3-14	各國道路照明輝度規定	45
表 3-15	相對門檻增量值	46
表 3-16	公路路燈高度與桿距標準表	51
表 3-17	基本照明路面之平均輝度	58
表 3-18	隧道內平均輝度與平均照度換算係數	58
表 3-19	隧道進口端洞外連接道路晝間路面輝度參考值	60
表 3-20	短隧道晝間照明方式參考表	61
表 3-21	基本照明之平均路面輝度	62
表 3-22	入口部照明(野外輝度 $3,300\text{cd/m}^2$ 時)	63
表 3-23	白天隧道進口區之路面輝度建議值	64
表 3-24	白天隧道內部區之輝度建議值	64

表 3-25	中間段輝度規範值	66
表 3-26	路面輝度總均勻度與縱向均勻度規範值	66
表 3-27	入口段輝度折減係數 k 值	66
表 3-28	隧道照明平均輝度規範	68
表 3-29	隧道照明交通車流量速度大小定義方式	68
表 3-30	IESNA 標誌照明之外部照明照度建議值	74
表 3-31	IESNA 標誌照明之內部照明輝度建議值	74
表 3-32	標誌照明需求規定	75
表 3-33	MUTCD(2009)中和 IPM 相關應用較有關聯性的規範章節	83
表 3-34	緣石與警告線可視距離規定	84
表 3-35	IESNA 道路照明設計發展沿革	86
表 3-36	不同寬度道路的照明用電密度折算值	88
表 3-37	IESNA 道路照明平均輝度值(cd/m^2)及均勻度規範	89
表 3-38	IESNA 道路照明平均照度值(Lux)及均勻度規範	90
表 3-39	IESNA RP-8-00 Roadway Lighting 小目標可見度建議值	91
表 3-40	日本道路照明規範發展過程	97
表 3-41	2007 年「道路照明設施設置規範」修訂之研究參考依據	99
表 3-42	「性能規定」與「規格規定」之定義及特徵	101
表 3-43	2007 年日本「道路照明設施設置規範」道路局部照明修訂	102
表 3-44	2007 年日本「道路照明設施設置規範」隧道照明修訂要點	103
表 3-45	2007 年日本「道路照明設施設置規範」性能指標	105
表 3-46	CIE 與道路照明相關規範	107
表 3-47	CIE115-2010 修訂要點	107
表 3-48	CIE115-1995 照明等級 M 值規範內容	109
表 3-49	CIE 不同道路狀況適合之照明等級	109
表 3-50	CIE115-2010 照明等級 M 值規範內容	110
表 3-51	M 照明等級參數選項與權重值	111
表 3-52	C 照明等級參數選項與權重值	112
表 3-53	衝突區域照明等級	112
表 3-54	P 照明等級參數選項與權重值	113
表 4-1	阪神高速道路道路照明設備維修省力化及節能化共同研究項目	119
表 4-2	北海道導入單盞 LED 照明之節能試算結果	122
表 4-3	北海道全面導入 LED 照明之節能試算結果	122
表 4-4	東京都 AKIRUNO 市水銀燈與 LED 燈效益標準比較	124

表 4-5	I-35W 密西西比河示範計畫各類路燈購置總成本	135
表 4-6	I-35W 密西西比河示範計畫電力成本分析表	136
表 4-7	250W HPS 路燈維修費用發生項目	136
表 4-8	San Francisco LED 路燈專案各類路燈購置成本	138
表 4-9	San Francisco LED 路燈專案電力成本分析	138
表 4-10	San Francisco LED 路燈專案維修成本	139
表 4-11	San Francisco LED 路燈專案維修成本分析	139
表 4-12	Portland LED 路燈專案各類燈購置成本	141
表 4-13	Portland LED 路燈專案電力成本估算	141
表 4-14	Oakland 第二階段 LED 路燈專案各類路燈購置成本	142
表 4-15	Oakland 第二階段 LED 路燈專案 HPS 和 LED 路燈的用電度數	142
表 4-16	Oakland 第二階段 LED 路燈專案 HPS 路燈每月電費	143
表 4-17	Oakland 第二階段 LED 路燈專案 LED 路燈電費	143
表 4-18	Oakland 第二階段 LED 路燈專案 HPS 路燈維修成本	143
表 4-19	Oakland 第三階段 LED 路燈專案各類路燈購置成本	144
表 4-20	Oakland 第三階段 LED 路燈專案各類路燈用電度數情形	144
表 4-21	Oakland 第三階段 LED 路燈專案各類路燈電費支出情形	144
表 4-22	Palo Alto LED 路燈專案各類路燈購置成本	145
表 4-23	Palo Alto LED 路燈專案各路燈的用電度數和電費支出	145
表 4-24	Palo Alto LED 路燈專案各類路燈維修成本	146
表 4-25	美國 DOE LED 路燈示範安裝基本資料	147
表 4-26	美國 DOE LED 路燈示範安裝經濟效益比較	154
表 4-27	美國路燈設置比例	157
表 4-28	美國 LED 路燈推動情況	158
表 4-29	俄亥俄州短隧道 LED 隧道燈專案	159
表 4-30	標誌升級所創造效益	160
表 4-31	美國各州道路標誌裝置成本	161
表 4-32	美國主動式路面標記裝置效果	164
表 4-33	歐洲各國 LED 標誌應用情形	178
表 4-34	中國 LED 道路照明產品技術規範	181
表 4-35	我國工業區 LED 路燈設置情形	187
表 4-36	我國其他地區 LED 指示標誌設置地點	189
表 4-37	LED 路燈與其他路燈的實測比較結果	193
表 4-38	LED 路燈與傳統路燈優劣比較	199

表 4-39	陶瓷複金屬燈與高壓鈉燈比較	202
表 4-40	LED 指示標誌與傳統指示標誌比較	209
表 4-41	日本紫外光標誌照明示範條件	212
表 4-42	紫外光照明標示與投光式標誌照明比較	214
表 4-43	經濟效益分析方法用範疇	216
表 4-44	主要經濟效益文獻	217
表 4-45	本研究經濟效益分析變數說明	220
表 4-46	本研究經濟效益分析模型	222
表 4-47	台中市 LED 路燈設置情況與規範	223
表 4-48	台中市 LED 路燈專案經濟效益分析結果	224
表 4-49	台中市 LED 路燈專案投資週期總成本-單盞	226
表 4-50	台中市 LED 路燈專案敏感度分析	228
表 4-51	8 米道路 LED 路燈置換水銀燈情境說明	229
表 4-52	8 米道路 LED 路燈置換水銀燈情境經濟分析	230
表 4-53	12 米 LED 路燈置換水銀燈情境說明	231
表 4-54	12 米道路 LED 路燈置換水銀燈情境經濟分析	232
表 4-55	國道 2 號高速公路 LED 路燈設置情況與規範	233
表 4-56	高公局 LED 路燈專案經濟效益分析結果	234
表 4-57	高公局 LED 路燈專案投資週期總成本	236
表 4-58	8 米道路 LED 路燈置換高壓鈉燈情境說明	238
表 4-59	8 米道路 LED 路燈置換高壓鈉燈情境經濟分析	239
表 4-60	12 米道路 LED 路燈置換高壓鈉燈情境說明	240
表 4-61	12 米道路 LED 路燈置換高壓鈉燈情境經濟分析	241
表 4-62	台中市忠明南路地下道 LED 隧道燈設置條件	242
表 4-63	台中市 LED 隧道燈專案經濟效益分析結果	243
表 4-64	台中市 LED 隧道燈專案投資週期總成本	245
表 4-65	台中市忠明南路 LED 隧道燈專案敏感度分析	246
表 4-66	台中市忠明南路地下道 LED 隧道燈設置情境說明	247
表 4-67	台中市忠明南路地下道 LED 隧道燈設置情境經濟分析	248
表 4-68	光源組合式 LED 指示標誌輝度規範	249
表 4-69	台中縣豐原大道 LED 指示標誌設置條件	249
表 4-70	豐原大道 LED 指示標誌專案經濟效益分析結果	250
表 4-71	台中豐原大道 LED 指示標誌專案投資週期總成本	252
表 4-72	台中縣豐原大道 LED 指示標誌專案敏感度分析	253

表 4-73	LED 指示標誌置換高壓鈉燈外部照明標誌情境說明	254
表 4-74	LED 指示標誌置換高壓鈉燈外部照明標誌情境經濟分析	255
表 4-75	新型耗能交通設施各種情境下投資回收期間	257
表 5-1	光環境照度值與人眼視力值分佈	265
表 5-2	明視覺、中間視覺與暗視覺的效應	266
表 5-3	各種 100lx 光源對視網膜中感應藍光部分其傷害的有效放射照度	269
表 5-4	不同光源的 S/P 比值	272
表 5-5	不同 S/P 數值光源明視覺亮度轉換為中間視覺亮度對照表	274
表 5-6	事故與反應時間關係	280
表 5-7	實驗環境參數設置	281
表 5-8	實驗環境參數設置	282
表 5-9	HPS 與 MH 在不同背景亮度下的反應時間	282
表 5-10	實驗環境參數設置	283
表 5-11	測試者在 3 種不同色溫光源下反應時間平均值	286
表 5-12	安全性標準評估內容	300
表 6-1	我國交通工程手冊道路照明平均輝度值及均勻度(建議值)	303
表 6-2	我國交通工程手冊道路照明用電密度(建議)	305
表 6-3	我國交通工程手冊道路燈具光度分佈形式(建議)	306
表 6-4	美國 IESNA 燈具光度分佈形式	307
表 6-5	光源組合式 LED 指示標誌輝度規範	309

第一章 前言

1.1 研究背景

1.1.1 本計畫之目的與重要性

科技的發展日新月異，社會環境隨之變遷，道路交通系統亦然，隨科技的進步，在人、車、路方面皆有顯著的變化與影響。為提昇道路交通的安全、順暢與效率，道路設施需不斷地檢討更新，以因應道路使用的多樣化、與未來可能的發展。

氣候變遷是當前全球面臨最嚴重的挑戰之一，全球各國也都體認到政府及民間應合作，共同建構一個有效率的全球低碳經濟體。我國已將節能減碳作為國家重要的政策之一，政府各部門也共同努力以達成目標。由於運輸部門是僅次於工業部門的最大排放部門，大部分國家運輸部門佔比超過 20%，美國最高為 28%，歐盟(EU-15)平均為 21%，我國約佔 15%，因此運輸部門之下的運具、場站、道路設施等為最值得優先推動節能措施。

由於道路設施需提供一定的服務水準及功能，以利用路人順暢及安全地使用道路。因此在進行節能的同時，仍必須考量安全的需求。以道路的照明設施為例，設計需考量照度、亮度、誘導性等，若照度、亮度、誘導性不足，用路人不易辨識道路環境，進而會發生危險；若亮度過高，則會產生眩光現象，也會造成用路人的干擾，同時也不符合環保及造成能源浪費。

在道路設施執行節能的設計理念下，首要考量的就是道路設施必須維持一定的服務水準及功能，以達到足夠安全標準。安全標準的訂定，除了與國際各國的現行標準接軌外，也可以從人因工程的角度切入，考量人的因素，設計符合用路人可以接受的、容易辨識道路設施資訊的、以及不會產生干擾的合宜標準。

而道路設施必須根據上述的標準，應用較為便利、穩定及節約能源的方式，以達成安全舒適的服務水準。目前已有許多以節能為目標的新型設施，例如 LED 應用在照明、號誌與標誌上，在使用及節省能源下皆有一定的成效，而未來也可能有應用更新的技術以達到更好的績效。但在廣泛的使用這些新技術前，必須審慎的評估，包括瞭解這些技術的功能、穩定性，也需要對成本及效益部分做比較深入的分析，以生命週期的觀點：不僅只是短期變動成本的比較，也必須包括長期固定成本、不可量化的社會、環保成本等加以評估，才能選擇較好的道路設施，達到兼顧安全、節能的政策目標。

1.2 研究範圍與對象

1.2.1 研究範圍

1. 空間範圍

本計畫之研究範圍包含臺灣本島、金門、澎湖及馬祖等地區之新型耗能道路交通設施。

2. 探討範圍

本計畫主要在探討，新型耗能道路交通設施在節能、技術及社會效益的優越性，與既有的設施相較優缺點，並比對我國既有規範及國際上的規範，是否可以達到一定的服務品質。接著考量未來技術趨勢、人因工程的觀點，檢視現行規範是否需適度修訂。在兼顧安全及節能的目標之下，便於新技術的引進及推廣。

3. 研究對象

隨著科技的進步，交通設施日新月異發展，除了傳統的交通標誌標線號誌外，為改善舊有交通設施存在的問題，提升用路人的安全與便利，開始有了先進技術之新型設施的導入。

在各類新型交通設施中，本研究主要聚焦於較具節能特性之道路交通設施。因此，本研究將先透過市場調查、專利與文獻分析，定義新型耗能交通設施作為研究對象。

1.3 研究流程與工作項目

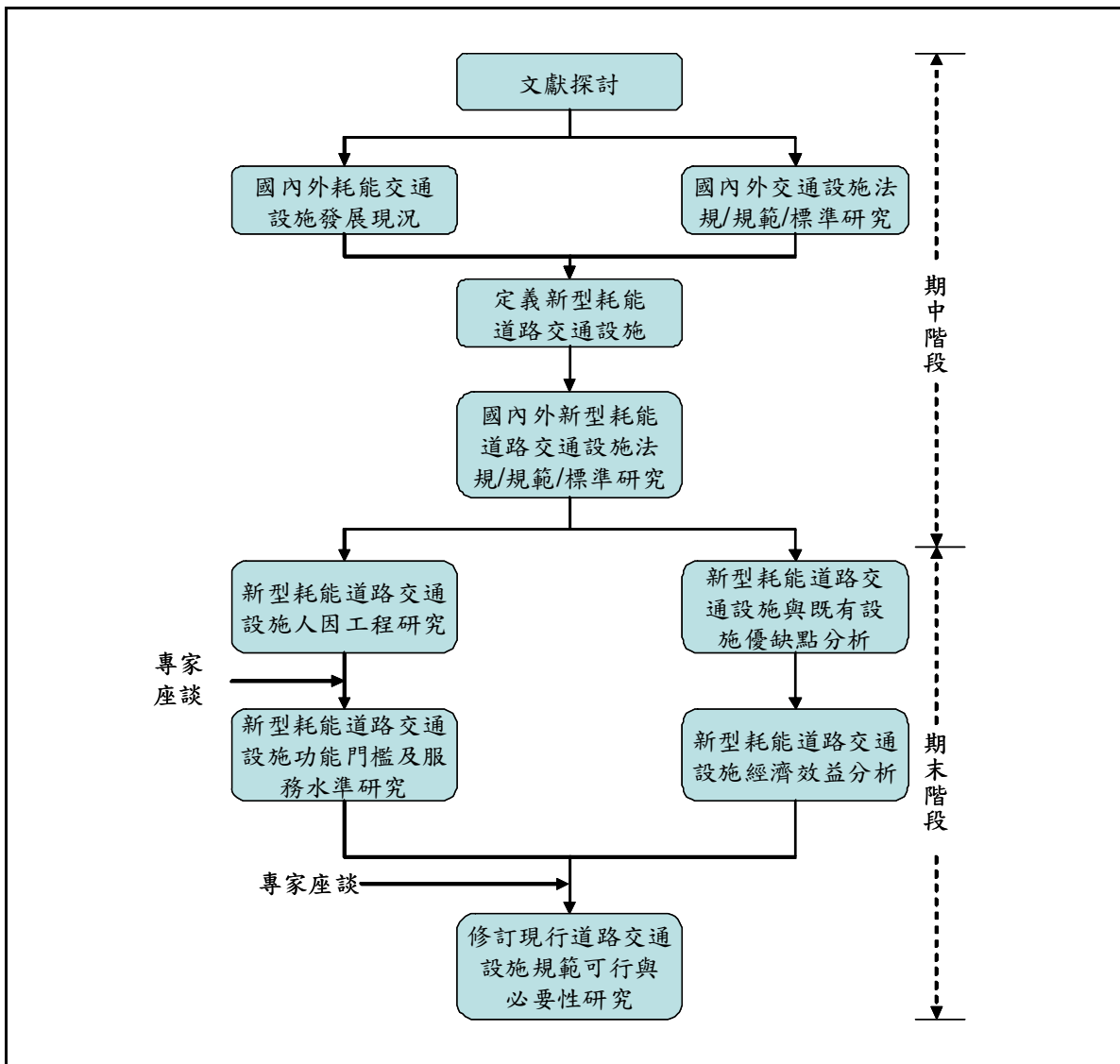
1.3.1 研究流程

本計畫係先透過回顧國內外文獻，了解既有道路交通設施需達到的功能及服務水準，並定義出新型耗能道路交通設施型態。

然後分別進行新型耗能交通設施與既有設施之優缺點比較分析、經濟效益分析與安全性評估。在上述研究流程中，本研究將以文獻分析為主要研究方法，但為驗證相關文獻真實性，本研究依需求進行設施實測。

此外，本研究聘請交通安全及道路照明工程方面專家學者為顧問協助指導研究，從交通工程、人因工程的角度進行研究，使新型耗能交通設施的評估更臻完善。

在完成新型耗能道路交通設施之人因工程及交通安全研究後，本研究進行專家座談會，研討新型耗能道路交通設施功能門檻及服務水準需求。並在完成新型耗能交通設施經濟效益分析後，續舉辦專家座談會，研討因應新型耗能道路交通設施使用，修訂現行道路交通設施規範可行性、必要性與相關建議，以符合未來使用需求，研究流程如圖 1-1。



資料來源：本研究整理(2010)

圖 1-1 本研究研究流程

1.3.2 工作項目

本研究之工作內容與項目包括：

1. 定義新型耗能道路交通設施型態
2. 新型耗能道路交通設施之經濟效益分析
3. 國內外新型耗能交通設施標準制訂現況及趨勢分析
4. 新型耗能道路交通設施與既有設施比較研究
5. 新型耗能道路交通設施之安全研究
6. 因應新型耗能道路交通設施使用，修訂現行道路交通設施規範可行與必要性研究

1.4 研究方法

1.4.1 研究方法

1. 文獻收集

針對新型耗能道路交通設施有關之文獻、調查研究報告、期刊報導及歷年之政府及其他調查統計資料等，進行歸納比較及整合分析，以獲得新型耗能交通設施之相關產品優缺點、成本效益分析結論、實地測試時的評估方法與變數資料。

2. 專家訪談

訪問國內目前有使用新型耗能道路交通設施的單位與相關利害關係人，如公路總局、各縣市交通局、警察局等實際設置或交通設施管理單位，討論內容包括使用新型耗能道路交通設施的情況、故障率、用路人反應、能源消耗與未來持續裝置建議等。聘請交通安全及道路照明工程方面之專家學者協助指導研究，從交通工程、人因工程的角度進行研究，使新型耗能交通設施的評估更臻完善。

3. 經濟效益評估

本計畫新型耗能交通設施之成本效益經濟模型，除針對經濟效益做評估外，也將探討不同新型耗能設施在社會效益部分，透過節省耗電量可減少之二氧化碳排放量呈現。

經濟效益部分，採用初始成本＋電力成本＋維護成本＋廢棄處理成本四個項目做計算。細部內容說明如下：

- 初始成本：節能設施產品的通路售價(或採標案價格)
- 電力成本：「按公用路燈包燈適用電價表」電價 50%計收。傳統路燈：100W 以下，每燈每月 87.6 元。超出 100W，每超出 100W 每燈每月加 70.8 元。LED 路燈：每瓦每月 0.68 元。
- 維護成本：維修成本的計算分為材料更換成本、人工更換成本以及車具成本三項。可區分為正常使用情況以及不正常損壞發生兩種情況。
 - 正常使用：透過產品壽命計算在使用年限內需替換的次數，乘上維護成本即為照明燈具正常使用情況下的維修替換成本。
 - 不正常損壞：需考量燈具在保固期內以及保固期外損壞時所必須付出的維護成本，與前者相加方為使用期間內的總維護成本。

- 廢棄處理成本：耗能交通設施廢棄後，為了降低對環境的危害，所必須負擔的處理成本，以及將廢除照明燈具進行廢棄處理所需之回收清除處理費用。

社會效益部分，依照台灣電力公司所提供之 97 年度我國 CO₂ 電力排放係數，每使用 1 度電即產生 0.636 公斤之二氧化碳來做計算。

4. 進行設施實測

本計畫為了解新型耗能設施裝設成果，進行現場實測，並採用問卷調查方式進行設施安裝後一般民眾接受程度與滿意度調查。問卷內容包含新型耗能設施裝設後影響，以及對於未來新型耗能設施導入意願調查，以了解目前新興光源產品功能不足之處，與導入後可能產生的正面負面影響。

為有效估算設施耗能及成本數值，本計畫將依需要進行設施實測，驗證設施技術文件的內容。若要進行設施實測，將針對相對高耗能與技術文件資料有高度變異性之新型耗能道路交通設施進行以下項目測試：

- 光學參數：包含配光曲線、色溫、演色性、光輸出、輝度、發光效率等特性。
- 機構參數：重量、外觀尺寸、防塵防水等特性。
- 電性參數：輸入電壓、輸入電流、電壓變動率、輸入功率、功率因數、諧波失真等特性。

本計畫定義之新型耗能道路交通設施種類相當繁多，為了在短時間內完整的瞭解與分析其在節能經濟效益與安全性的評估，本研究將先透過文獻蒐集、專家訪談獲得全面性的資料。

由於文獻資料中，各國測試報告恐有疏漏，且有因地制宜的問題，為了有效估算設施耗能及成本數值，並驗證設施技術文件的內容，本研究將針對高耗能、高變異性之新型耗能道路交通設施進行實測，透過測量節能交通設施的光學特性、電氣特性以及機械特性，藉此瞭解並且檢視目前產品規範的正確性，進一步討論現行規範是否需要加以修訂，或者作為未來制定新的標準草案的技術參考。此外，獲得上述的測量資料，可以更精確地評估交通設施的經濟、節能效益，比較國內、外產品的優劣性，並且瞭解產品發展趨勢。

1.4.2 預計可能遭遇之困難及解決途徑

本計畫預定進行道路設施產品的測量分析，然而本計畫研究的產品多屬於 LED 相關產品，而 LED 在外型、光學特性以及電氣特性都和傳統光源有極大不同。因此計畫執行時，可能面臨尚未有正式公告的檢測規範來量測 LED 相關交通設施。針對這個困難點，本計畫將彙集國內、外類似產品的技術規範、標案規格，邀集國內專家學者，針對本計畫的需求擬定出適當的測試規範，此規範亦可作為未來新設道路設施的標準草案。

本計畫在進行經濟效益分析過程中，由於新型耗能交通設施使用尚不普遍，多數屬於示範案例，裝置數量相對少，以致於各種成本及收益變數值差異甚大。且在既有燈具採購價格與維護成本，也會因各地道路養護單位採購數量、規格、方式及品質而有極大差異，難有一致且共通標準，而造成無法獲得全面且一致經濟分析結果。

以目前新型耗能設施應用現況，與各地方道路養護單位採購條件分歧，本研究要獲得共通且一致經濟分析結果實屬困難，且由美國 DOE LED 路燈測試計畫之經濟分析結果差異極大經驗來看，本研究所遭遇的困難國內外皆同。為了克服此一問題，本研究將分析國內具代表性個案(設置數量、示範時間長)之經濟分析，來提升本研究經濟分析結果信度。

1.4.3 重要儀器之配合使用情形

本計畫進行產品性能測試時，採用之測試儀器如下表：

表 1-1 本計畫採用之測試儀器

儀器名稱	規 格	使用目的	量測結果與貢獻
光譜分析儀	Q8381A	量測 LED 路燈產品以及高壓鈉燈、水銀燈、複金屬燈色溫、光譜。	量測 LED 路燈、高壓鈉燈、水銀燈，獲得各種路燈色溫，用於研究 LED 路燈與其他路燈優缺點分析，如表 4-37、表 4-38。
直流電源供應及量測器	KEITHLEY 2430	提供光譜分析儀一穩定的工作電壓，用於研究不同 LED 產品的經濟效益評估。	搭配光譜分析儀，量測 LED 路燈、高壓鈉燈、水銀燈，獲得各種路燈色溫，用於研究 LED 路燈與其他路燈優缺點分析，如表 4-37。
標準燈電源供應器	LPS-250	用於校正光譜分析儀之用。	搭配光譜分析儀，量測 LED 路燈、高壓鈉燈、水銀燈，獲得各種路燈色溫，用於研究 LED 路燈與其他路燈優缺點分析，如表 4-37。

表 1-1 本計畫採用之測試儀器(續)

儀器名稱	規 格	使用目的	量測結果與貢獻
數據記錄器	GL450	紀錄量測資料。	搭配光譜分析儀，量測 LED 路燈、高壓鈉燈、水銀燈，獲得各種路燈色溫，用於研究 LED 路燈與其他路燈優缺點分析，如表 4-37。
TEC 精密溫度控制器	LDT-5980	監控量測環境達到 CNS 規範之量測溫度。	搭配光譜分析儀，量測 LED 路燈、高壓鈉燈、水銀燈，獲得各種路燈色溫，用於研究 LED 路燈與其他路燈優缺點分析，如表 4-37。
電力分析系統	電壓/電流/功因/功率測量	量測路燈之電壓、電流、功因、功率。	搭配全光束測試系統，量測 LED 路燈、水銀燈，獲得各種路燈操作功率，用於研究 LED 路燈置換與其他路燈情境分析，如表 4-51、4-52、4-53、4-54。
高精度電路評估系統	高頻信號分析	量測 LED 路燈高頻雜訊。	搭配全光束測試系統，量測 LED 路燈、水銀燈，獲得各種路燈高頻雜訊使否符合規範，合格者方能納入探討 LED 路燈置換其他路燈情境分析，如表 4-51、4-52、4-53、4-54。
400MHz 數位示波器	波形測量	用於測量 LED 產品起動瞬間特性。	搭配光譜分析儀，量測 LED 路燈測量 LED 產品起動瞬間特性，是否符合 CNS15233 要求，合格者方能納入研究 LED 路燈與其他路燈優缺點分析，如表 4-37。
數位儲存示波器	500MHz 波形測試儲存	用於測量 LED 產品、其他路燈產品起動瞬間特性及功因、諧波。	搭配全光束測試系統，測量 LED 路燈瞬間啟動特性及功因、諧波，符合 CNS 規範者方能納入研究 LED 路燈置換其他路燈情境分析，如表 4-51、4-52、4-53、4-54。
全光束測試系統	20 萬 Lux 光通量測量	測量路燈光通量、配光曲線。	量測 LED 路燈、水銀燈配光曲線及光通量，探討 LED 路燈置換與其他路燈情境分析，如表 4-51、4-52、4-53、4-54。
電源供應器	直流 300W	提供路燈產品穩定的工作電壓	搭配全光束測試系統，量測 LED 路燈、水銀燈功率，探討 LED 路燈置換與其他路燈情境分析，如表 4-51、4-52、4-53、4-54。

資料來源：本研究整理(2010)

1.5 預期研究成果

本研究預期研究成果如下：

1. 定義新型耗能道路交通設施型態
2. 完成新型耗能道路交通設施與既有設施優缺點比較，並提出使用新型耗能道路交通設施之經濟效益分析
3. 完成新型耗能道路交通設施標準制定現況及趨勢分析
4. 蒐集美國等先進國家道路照明設計規範與道路照明測試規範，並提出修訂我國道路照明規範與道路照明測試規範之建議
5. 新型耗能道路交通設施之使用安全研究，並提出因應新型耗能道路交通設施使用之建議，修訂現行道路交通設施規範
6. 以上的工作成果對於我國交通建設及學術理論系統建立的貢獻。

1.5.1 對交通建設貢獻

1. 瞭解我國目前交通設施使用能源的現況及未來新技術的節能狀況，客觀的評定具有優勢的節能技術，應用在相關交通設施上，以達成節能的目標。
2. 建立交通設施節能及安全研究的分析架構，提出具體可行建議。
3. 建立新型耗能交通設施應有的服務水準及功能門檻，依需要研提相關規定及標準的修訂草案。
4. 瞭解現行道路照明規範與道路照明測試規範，提出具體可行之修正建議，並依需要研提相關修訂草案。
5. 建立交通設施引進新技術的效益分析，提出具有實際的量化分析數據，以利決策。

1.5.2 對於學術理論系統之建立貢獻

1. 本研究對於人因工程的安全考量項目，可以適用於未來交通設施安全的評估。
2. 提出節能道路交通設施經濟效益評估方式

第二章 新型耗能道路交通設施

2.1 定義新型耗能道路交通設施

2.1.1 交通設施定義、種類與應用

經濟發展迅速，國民所得日益提高，社會環境的繁榮使交通成為國人日常生活中最倚重的一環，而交通設施也就是確保用路人安全的重要設備。

依據 98 年交通部頒布交通技術標準規範之「交通工程手冊」，其將交通工程產品分為 8 類，分別為：標誌、標線、號誌、交通島、道路照明、交通安全防護設施、停車設施，以及道路施工之交通安全管制設施，定義與細部分類如表 2-1。

表 2-1 交通工程設施種類

種 類	定 義	分 類
標 誌	以規定之符號、圖案或簡明文字繪於一定形狀之標牌上，安裝於固定可移動之支撐物體，設置於適當之地點，用以預告或管制前方路況，促使車輛駕駛人與行人注意。	<ul style="list-style-type: none">● 依功能分類：警告標誌、禁制標誌、指示標誌、輔助標誌。● 依牌面大小分類：標準型標誌、放大型標誌、縮小型標誌、特大型標誌。● 依設置方式分類：豎立式標誌、懸掛式標誌。● 依顯示方式分類：圖案式標誌、告白式標誌。● 依顯示變動方式分類：固定標誌、可變標誌。
標 線	標線係以線條、圖形、標字或其他導向裝置劃設於路面或其他設施上，用以管制交通。具有警告、禁止與指示交通之目的	<ul style="list-style-type: none">● 依功能分類：警告標線、禁制標線、指示標線。● 依劃設方式分類：縱向標線、橫向標線、輔助標線、標字。● 依標線型態分類：標線、反光導標及危險標記、圖形、標字、點狀線。
號 誌	道路交通號誌為電力驅動之交通管制設施，裝置於交叉路口或其他必要位置，以紅、黃、綠三色燈號、聲音或圖文等訊號指示車輛、行人「行」、「止」或「注意」。可依需要配合使用車輛偵測器，經電子組裝設備控制及分配各方向道路使用權而達到促進交通安全，提高交通容量及服務水準之目標。	<ul style="list-style-type: none">● 依功用分類：行車管制號誌、行人專用號誌、特種交通號誌。<ul style="list-style-type: none">✓ 行車管制號誌依其運作方式可再細分為：定時號誌、交通感應號誌、交通調整號誌。✓ 行人專用號誌依其運作方式可再細分為：定時號誌、行人觸動號誌。

表 2-1 交通工程設施種類(續)

種 類	定 義	分 類
號 誌 (續)		<ul style="list-style-type: none"> ✓ 行人專用號誌依其運作地點可再細分為：車道管制號誌、鐵路平交道號誌、行人穿越道號誌、特種閃光號誌、盲人音響號誌、匝道儀控號誌。 ✓ 依型式分類：獨立號誌、幹道連鎖號誌、區域網路連鎖號誌。
交通島	交通島為車道間之特定區域，用以區分方向、分隔快慢車道、供行人穿越時作為臨時庇護及設置交通管制設施。其設置方式可為凸島、凹低帶、標記、緣石、標線或其他適當方式。	交通島依功能、型態，可分為：分隔島(中央分隔島、中央分隔帶、快慢車道分隔島)、槽化島、庇護島、圓環。
道路照明	係為用路人提供迅速、準確而舒服的夜間(或光線不足)視覺環境條件，以便使車流和行人的運行移動均能達到流暢和安全之要求。其設置方式可為內部式照明、行人穿越道照明、隧道照明之方式。	<ul style="list-style-type: none"> ● 傳統式照明。 ● 特殊高桿多燈式照明(高速公路交流道區域、複雜之交叉路口、寬廣路幅多車道、廣場)。 ● 標誌照明(內部照明式、外部照明式)。 ● 行人穿越道照明。 ● 隧道照明。 ● 假隧道照明。
交通安全防護設施	設置交通安全防護設施之主要目的在降低潛在事故之嚴重性 交通安全防護設施包括標誌、標線、反光導標、號誌、緣石、照明設施、護欄、防撞緩衝設施、防眩設施、防護網、告示牌、拒馬、交通錐、警告燈號、圍籬、警示帶及旗手等。交通管理者或交通工程設計者，可依環境條件及各級道路實際需要，採用各類型之防護設計	交通安全防護設施依其功能，可再細分為：路側護欄、中央護欄、碰撞緩衝設施、防眩設施、防護網。
停車設施	停車設施係指容納車輛靜止時停放之空間	依設置位置可分為：路邊停車場(公車招呼站、計程車招呼站、貨物裝卸停靠站)、路外停車場。
道路施工之交通安全管制設施	佔用道路施工設置交通安全管制設施之目的在於維護道路施工期間之交通秩序，確保交通運行及施工作業安全與順利遂行，減少用路大眾行進之困惑、猶豫、阻滯與延誤，消弭事故成因。	道路施工之交通安全管制設施包括圍籬、固定型拒馬、活動型拒馬、交通錐、預告警示箭頭標誌、活動式預鑄混凝土護欄、灌水式活動隔(護)欄、固定性施工標誌、移動性施工標誌、施工警告燈號、號誌、工程警示車、防撞拖車、臨時指揮設施及工程告示牌等。

資料來源：交通工程手冊(2004)；本研究整理(2010)

根據美國交通控制設施之標準化手冊(MUTCD：Manual on Uniform Traffic Control Device)對交通控制設施的定義^[43]，所有的標誌(signs)、號誌(signals)、標

線(markings)，以及其他設備設置在開放大眾行駛的街道，公路，行人設施，自行車道或私人道路，用於規範、警告或導引交通狀況。交通控制設施的設置目的以及其使用原則，為道路使用者在街道、公路、行人設施、自行車道或私人道路上提供道路安全和移動效率。

依據美國交通安全服務協會(American Traffic Safety Services Association，ATSSA)，刪除部分不相關之分類項目，如：軟體、交通資訊與管理等，對交通工程安全設施分類整理如表 2-2 所示。

表 2-2 美國交通安全服務協會之交通工程安全設施分類

分類英文名稱	分類中譯名稱
Flagging equipment	交通指揮設備
Guardrail and barriers	柵欄&護欄
Lighting	照明
Miscellaneous equipment & material	雜項設備與材料
Pavement marking and materials	鋪面標線與材料
Pavement marking equipment	鋪面標線設備
Roadway safety devices	道路安全設施
Signs & related materials & equipment	標誌&相關材料&設備
Traffic signals	交通號誌

資料來源：美國交通安全服務協會(2005)；本研究整理(2010)

根據日本之道路交通法，其將道路交通設施分類為道路構造、構造物和附屬物及附帶設施之三大類，詳如表 2-3。

表 2-3 日本道路交通設施

分 類	內 容
道路構造	Ex：鋪裝、步道、安全島、環境設施帶等
構造物	Ex：橋樑、天橋、地下道、隧道等
附屬物及附帶設施(含道路交通安全設施)	Ex：道路標誌、道路資訊板、隔音設施等

資料來源：道路交通法(2009)；本研究整理(2010)

其中屬於附屬物及附帶設施中之「道路交通安全設施」則定義為為確保交通安全順暢、防止交通公害為目的之設施，包括由都道府縣之公共安全委員會(警察廳)所管轄的交通號誌、道路標誌、道路標示之三大類；以及由都道府縣之道路管理者所管轄的人行道(含天橋／地下道)、道路標誌、防護柵、道路照明、視線誘導標示、道路反射鏡、分離帶(安全島等)和其他等八大類，詳如表 2-4。

表 2-4 日本道路交通安全設施

定義	為確保道路交通安全及順暢之必要設施				
管轄	都道府縣之公共安全委員會(警察廳)			都道府縣之道路管理者	
法源	道路交通法			道路法	
種類	交通號誌	(車輛用、行人用、腳踏車用、路面電車用、預告・輔助用)		地下道、天橋、人行道	
	道路標誌	表示標誌	表示地名、距離等	道路標誌	
		警戒標誌	警告前有彎路、落石等		
		規制標誌	速限、禁止停車等		
		指示標誌	單行道、前有號誌等		
		輔助標誌	禁止停車時間帶等		
	道路標示	規制標示	黃或白色記號或文字	防護柵	車輛用
		指示標示	白色記號或文字		人行腳踏車用
		區劃線 (標線)	道釘(貓眼)	道路照明	
			緣石	視線誘導標示	
			油漆線	道路反射鏡	
				分離帶	
				其他	

資料來源：道路交通法(2009)；道路法(2010)；本研究整理(2010)

綜合上述我國交通工程手冊對交通工程設施分類，並參考美國與日本分類方式，將交通工程設施整理如表 2-5。

表 2-5 交通工程設施分類

分類標準	分類項目
我國「交通工程手冊」	標誌、標線、號誌、交通島、道路照明、交通安全防護設施、停車設施，以及道路施工之交通安全管制設施
美國交通控制設施標準化手冊 (MUTCD)	標誌、標線、公路交通號制、低流量道路交通控制設施、臨時性交通控制設施、學校區域之交通控制設施、鐵路和輕軌鐵路平交道之交通控制設施、自行車之交通控制設施
美國交通安全服務協會 (ATSSA)	交通指揮設備、柵欄&護欄、照明、雜項設備與材料、鋪面標線與材料、鋪面標線設備、道路安全設施、標誌&相關材料&設備、交通號誌。
日本道路交通法	交通號誌、道路標誌、道路標示、人行道(含天橋／地下道)、道路標誌、防護柵、道路照明、視線誘導標示、道路反射鏡、分離帶(安全島等)以及其他等八大類

資料來源：本研究整理(2010)

2.1.2 新型耗能道路交通設施

隨著科技的進步，交通設施日新月異發展，除了上述傳統的交通標誌標線號誌外，為改善舊有交通設施存在的問題，提升用路人的安全與便利，開始導入先進技術的新型設施。

1. 新型交通工程設施定義

美國加州將新型交通工程設施定義為此產品具備已充分發展，可在市場上獲得，以及可將其使用於建設、維護、作業的加州運輸系統等條件。

對於新產品的評估申請，加州運輸部門將此新產品分為二類型。第一類型產品於加州運輸部門內，不曾進行評估，且不存在現今部門的產品說明內。第二類型產品超越或相當於加州運輸部門內現今的產品說明，但是需要重新評估與驗證績效。此類型產品通常為修正先前認可的產品或由新供應商供應已存在的產品。

美國奧勒崗州將新型交通工程設施分為兩類，一類為相同產品(Equal Products)，一類為新產品(New Products)。相同產品係指此產品相似於奧勒崗州運輸部門(Oregon Department of Transportation)現今已使用且具有相關說明與標準的產品。新產品係指未列入奧勒崗州運輸部門內現今產品說明。

美國交通安全服務協會(America Traffic Safety Service Association，ATSSA)對於新型交通工程設施的分類如表 2-6 所示。

表 2-6 美國新型交通工程設施的分類

分類英文名稱	分類中譯名稱
Channelizing devices	槽化設施
Flagging equipment	交通指揮設備
Guardrail and barriers	柵欄&護欄
Lighting	照明
Miscellaneous equipment & material	雜項設備與材料
Pavement marking and materials	鋪面標線與材料
Pavement marking equipment	鋪面標線設備
Personal protective equipment	個人保護設備
Roadway safety devices	道路安全設施
Signs & related materials & equipment	標誌、相關材料與設備
Software	軟體
Traffic control devices	交通控制設施
Traffic information & equipment	交通資訊與設備
Traffic information & management	交通資訊與管理
Traffic signals	交通號誌
Vehicle safety equipment	車輛安全設備

資料來源：美國交通安全服務協會(2005)

2. 我國新型耗能道路交通設施

本計畫以道路設施的研究範圍，選擇新型耗能交通設施為研究對象。因此本研究藉專利檢索、文獻探討、市場調查等次級資料研究發現，計有 LED 路燈/街燈、智慧化 LED 路燈/街燈、陶瓷複金屬路燈/街燈、LED 隧道燈、LED 指示標誌、紫外光指示標誌、LED 資訊可變標誌、自發光或 LED 道路交通標誌(含禁制標誌、警告標誌)、LED 路面標記、LED 施工警告燈號、自主供電型候車亭照明等數種新型耗能道路交通設施。

在上述數種設備中，資訊可變標誌導入市場初期即使用 LED 作為光源，截至目前為止也無明顯替代品存在，為一成熟產品。目前台灣市場中資訊可變標誌，普遍使用 LED 資訊可變標誌，如同 LED 交通號誌燈高普及率。根據市場調查公司 Strategies unlimited 資料，在資訊可變標誌(variable message sign; VMS)，以高亮度 LED 看板為最常見。其訊息的使用一般是在純文字的形式，也會使用圖形來增加吸引力。LED 資訊可變標誌被廣泛安裝無所不在，從公路指示交通方向、車

站、地鐵系統、銀行和機場均可見到其應用¹，因此本研究初步將 LED 資訊可變標誌排除研究範圍內。

本研究進一步以耗能交通設施所使用的能源及技術發展階段進行二維矩陣分析，將新型耗能交通設施區分為四大類，詳如圖 2-1。

能源使用	高	LED 路燈/街燈、陶瓷複金屬路燈/街燈、LED 指示標誌、LED 隧道燈	智慧化 LED 路燈/街燈、紫外光指示標誌
	低	LED 路面標記、自發光或 LED 道路交通標誌、LED 施工警告燈號	自主供電型候車亭照明
		商品化	實驗室/樣品
技術性			

資料來源：本研究整理(2010)

圖 2-1 新型耗能道路交通設施分類

透過使用能源高低及技術發展階段進行分析後，本研究以耗能比例較高、目前已為商品化產品主要研究對象。

台北縣於 2009 年設置自主供電型候車亭，根據中國時報 2009 年 5 月報導指出，台北縣首座太陽能公車亭，燈光用電全部來自太陽能，平均一年可省下 730 度用電，並減少 573 公斤二氧化碳排放量，但一套太陽能發電設備造價就要 45 萬，偏偏每天只能省下 6 元電費，至少得使用 200 年才能回本，經濟效益其實並不划算。

自主供電型候車亭之電源設計，主要為解決公車候車亭到站資訊顯示介面之電源供應問題(候車亭之供電施工工期由申請至開挖需耗時 4-6 個月)，因此出現以再生能源供電之複合性設計，照明僅是其次要功能，且以目前太陽能發電能力，供應到站資訊顯示系統已顯不足，並無多餘能源提供予照明系統。再加上候車亭照明多以既有的路燈作為光源，自主供電型候車亭照明需求相對低，目前各縣市在自主供電型候車亭的設置總數量相當少。

¹ 可變式訊息標誌(VMS)是高亮度 LED 標誌中最普遍的一種，可用於資訊顯示，一般多以文字呈現，或以有限的圖形顯示。顯示資訊可變以及可視性為其最大特色，可變式訊息標誌(VMS)目前在高速公路上已被廣泛裝設，另外也用於交通指示、鐵路車站、幹道系統、銀行、股票交換以及機場等地。資料來源: Strategies unlimited (2009)^[35]

由於自主供電型候車亭照明屬技術尚未成熟、客製化之概念性產品，候車照明需求也有既有路燈可以提供，因此本研究將其排除於研究項目中。

LED 施工警告燈號，用以警告車輛駕駛人前方道路施工，應減速慢行。設於夜間施工路段附近，分閃光燈號及定光燈號兩種。由於 LED 施工警告燈號為動態設置，僅於道路施工、養護或其他情況致交通受阻時使用，相對使用頻率低，也非長時間使用，加上其耗電量低，整體耗能遠較於其他 LED 路面標記、自發光或 LED 道路交通標誌等產品低，因此本研究將其排除於研究項目中。

故本研究將針對 LED 路燈/街燈、智慧化 LED 路燈/街燈、陶瓷複金屬路燈/街燈、LED 隧道燈、LED 指示標誌、紫外光指示標誌、自發光或 LED 道路標誌以及 LED 路面標記進行研究。整理歸類後可分為「道路照明/隧道照明」、「交通標誌/標誌照明」以及「交通安全防護設施」三大項，進行後續的研究。

2.2 新型耗能道路交通設施介紹

2.2.1 道路照明/隧道照明

1. LED 路燈/街燈

路燈是提供道路照明之設備。根據 CNS 10779 標準描述，道路照明之目的，在使夜間道路之行人、車輛之駕駛者能安全通行，尤其使車輛駕駛者能夠看清必要之物件(道路之形狀行進方向及周圍)，可正確視認任何障礙物，且容易預測前方之行進方向，使其處於無懼之心理狀態。實施適當之照明時，可以獲致提高交通安全、提高道路之利用效率、排除行人恐懼感、提高駕駛舒適而減少其疲勞、防止並減少犯罪等效果，亦可期待由此而生之經濟效果。

路燈光源包括高壓水銀燈泡(Mercury vapor lamps)、低壓鈉氣燈管(Low-pressure sodium)、螢光燈管及高壓鈉燈(High-pressure sodium)。近年來 LED 技術快速成長，產品特性不斷改良，發光效率、光均勻性、配光曲線等阻礙產品開發與商品化障礙，已有效解決，使得 LED 路燈能以示範計畫或廠商捐贈型態，安裝於道路上，詳如圖 2-2。



資料來源：工研院綠能所(2010)

圖 2-2 LED 路燈

與既有路燈光源比較，LED 路燈在色溫、演色性、可控制性均較既有光源技術優良。發光效率與總光通量輸出較水銀燈、螢光燈具有優勢，且隨著 LED 技術持續進步，未來有機會可超越高壓鈉燈。

目前美國地區進行路燈 LED 化汰換示範計畫的城市包括較早佈局的密西根 Ann Arbor，以及近一兩年陸續加入的北卡州 Raleigh 和加州 Los Angeles。2009 年 2 月美國復甦與再投資法案(ARRA)通過後，預計有多達 30 個左右的城市將提出對 ARRA 經費的協助，規劃路燈 LED 化汰換工程，這些城市包括加州 San Jose、賓州 Pittsburgh、威斯康辛州 Milwaukee、德州 Missouri、伊利諾州 Urbana 等，再加上 Cree 在 2007 年初推動的全球性 LED 城市專案「Cree LED City Program」推波助瀾下，預期會帶動更多城市的加入。

2. 智慧化 LED 路燈/街燈

智慧型的 LED 路燈/街燈，是指能夠依照特定的照明需求，調節光輸出的 LED 燈具。LED 可使用直流電源驅動，也可以使用脈波信號驅動(PWM)，不管是任何一種方式，都可以任意調整 LED 驅動電流，來對 LED 進行調光。

目前在加州所進行的 LED 路燈的標案中，指定 LED 路燈必須在特定時間，對 LED 進行調光控制，降低 LED 路燈的光輸出，以節省路燈耗能。台灣地區夜間時間，平均為下午 18:00 至次日清晨 6:00。在我國大部分的郊區道路、鄉間道路，18:00 至午夜 23:00 以及日清晨 4:00 至 6:00 道路上，為道路上人、車較多的時段，在這個時段路燈必須全亮，確保道路具有充足的照明。然而在 23:00 至次日清晨 4:00 時段，道路上的人、車較少，可以酌量調整降低路燈的光輸出，減少道路上的照度，達到節約路燈所消耗的能源的目的。

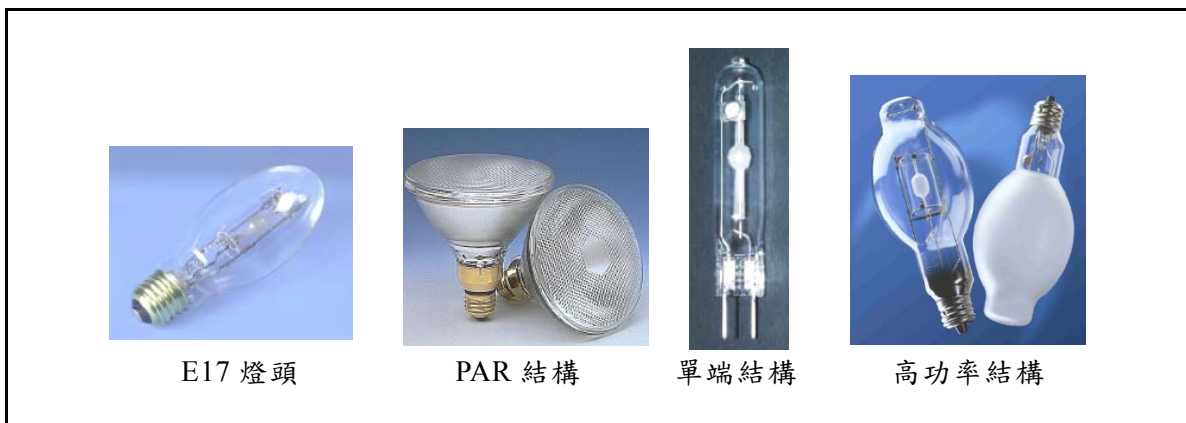
發展智慧化 LED 路燈，除了燈具本身必須具備調光能力之外，如何運用智慧化的控制系統，對大量的 LED 路燈做群體的控制，則是另外一項技術挑戰。國外有許多智慧化的 LED 控制系統，主要技術如 Philips 的 DyNet、Clipsal 的 C-Bus、Strand Lighting 的 ShowNet DMX 等。而上述系統都大都需要重新佈建控制網路，才能對路燈進行群體控制。

電力線網路稱得上是目前全球規模最大的網路，而電力線通訊(Power line communication, PLC)技術正以此作為媒介進行數據傳輸。PLC 訊號透過低頻(50/60Hz)商用電力線的高頻段傳信號，因此用戶可將現有的電力線視為一通訊網路，不用另接網路線，直接透過電力線就能接取網路訊號。相較於市面上現有的控制系統，大多需要重新佈建符合系統硬體規格的通訊線路，而 PLC 不需另外花成本佈置資料傳輸網路，即可達到資訊傳輸與存取的目的，省下了佈線成本與時間。

除了以電力線技術作為傳輸技術外，尚有 Zigbee 等數種無線技術也正在發展與應用中。

3. 陶瓷複金屬路燈/街燈

複金屬燈擁有高效率、高演色性、體積小等優點，被譽為第三次的光源革命。光源的發光效率高達 75 lm/W、演色性 80 以上，而且光色多樣高低色溫兼備，加上體積精巧容易配光設計的優勢，為目前全球市場成長率最高的光源。市面上複金屬燈的燈管功率從 20W 到 400W，燈管也因應用領域不同發展出 E17、PAR、單端、雙端以及高功率等結構，如圖 2-3 所示。小功率的 HID 燈可取代低效率的白熾燈泡，作為商用投射燈以降低功率損耗，提高商業照明利用效率；大功率的複金屬燈更可以替代中高功率的水銀燈和鈉燈，不僅提升大範圍照明的使用效率，更提高整體照明的演色性。



資料來源：工研院綠能所(2010)

圖 2-3 各種不同結構之複金屬燈

傳統複金屬燈使用石英作為放電管材質，但是石英材質抗鈉腐蝕性差，長時間點燈後放電管內金屬離子容易流失，存有光色偏移問題，且以石英材質生產放電管元件差異性大，製成的燈泡品質不易控制，導致複金屬燈光源應用於商業照明上的推動困難。現在的解決方案為採用陶瓷材料取代石英作為放電管材質，如多晶氧化鋁材料(PCA)，以陶瓷放電管製成複金屬燈有高演色性、燈管誤差小、燈管光色穩定、更高的輸出流明等優點，是複金屬燈技術重大突破。

近年來部分路燈已採用複金屬燈，而複金屬燈電子安定器也開始發展調光功能。150W 複金屬燈調光電子式安定器，應用於道路照明，具備定時光輸出調控，150W 電子式調光複金屬燈具，足以取代 300W 水銀燈，每具可節電 50%，若在深夜時段，將光輸出調降至 50%時，電力消耗僅為全亮度的 70%，利用定時控制每天可省下 30%的路燈消耗電力。

4. LED 隧道燈

隧道照明的目的與道路照明相同，是為駕駛人提供視覺資訊。但隧道兩側是封閉的，構造比較特殊，會產生隧道特有的視覺問題，例如因隧道內外亮度不同，使駕駛人產生「黑洞」與「白洞」現象，無法在洞口處辨認障礙物。為了解決上述駕駛人視覺問題，因此有隧道照明需求產生。

隧道的照明分基本照明、加強照明和增強照明三大塊。基本照明、加強照明燈具需要有應急設置，增強照明燈具是調節白天和夜間兩種時段需要的照明效果，要求採用具有調光裝置的燈具。

隧道照明燈具要求能夠在空氣品質較差、溫度比較低、光源更換困難的環境下運行，且燈具的使用需考慮道路橫斷面方向的配光控制，使路面和牆面同時達到高效率照明。50 年代開始採用的第一代光源是白熾燈，60 年代逐步採用碘鎢燈、高壓汞燈、日光燈等第二代光源，80 年代以來，採用高壓鈉燈、低壓鈉燈的第三代光源，近年來隨著 LED 技術成長，LED 隧道照明燈也開始實際裝置在隧道中。

德國 A71 高速公路的 Thüringer Schmücketunnel 為德國第一條以及歐洲最長的一條採用 LED 照明的隧道，目前已經在其中一孔隧道內開始試用 LED 照明。由於 LED 明暗度可以調控，因此無論白天還是夜晚，都可以通過調整光源的明暗度為隧道內提供合適的照明亮度。白天，隧道內照明燈具的平均耗電量為 70W，而夜晚則僅需要平均 12W 的耗電量即可提供足夠亮度的照明，與採用高強度放電燈具的照明系統相比，由於 LED 隧道燈使用瓦數相對既有燈源為低，且透過動態調整亮度，使得 LED 隧道燈可以減少 30%以上的能量消耗。

中國安徽省黃山至塔嶺和小賀至桃林的高速公路隧道，也開始導入應用 LED 隧道燈。採用 LED 照明的隧道路段總長超過 20 公里，共需 50W~200W 的 LED 隧道照明燈具近萬盞。隧道 LED 照明系統與以往的傳統照明系統相比，將改善以往燈具亮度不可調的缺點，採用先進的隧道 LED 亮度智慧無極調光控制系統。該系統可使隧道洞內的 LED 照明功率上午隨著洞外亮度的增大而漸漸增加，午後又會隨著其減小而漸漸減少，避免過度照明所產生的電能浪費現象，在滿足規範要求的前提下最大限度地節約電能。

2.2.2 交通標誌/標誌照明

1. LED 指示標誌

傳統之道路指示標誌，為了讓夜間道路使用者能清楚識別標誌內容，多數指示標誌均採用投射照明燈具照射指示標誌，使指示標誌內容清楚顯現。隨著 LED 產品技術不斷提升，近年來已有少數道路指示標誌，應用 LED 高度聚光性以及高輝度特性，將 LED 排列成指示標誌內容，以增加指示標誌的辨識度。

國內在國道及快速公路有部分路段道路路標或指示標誌使用 LED 產品，例如：97 年底於中山高速公路苗栗、三義段及苗栗縣台 72 線全線試辦智慧型 LED 指示標誌，如圖 2-4 所示。國道 10 號左營橋下平面路段，如圖 2-5 所示。以及雲林古坑路段、後龍路段等地。



資料來源：工研院綠能所(2010)

圖 2-4 智慧型 LED 指示標誌



資料來源：工研院綠能所(2010)

圖 2-5 國道 10 號左營橋下平面路段 LED 指示標誌

上述的 LED 指示標誌設置之後，根據國道高工局試辦成效報告中指出，用路民眾反應表示：LED 指示標誌可視距離與可讀距離均可增加，有助於行車安全。

傳統之標誌照明採用投射照明燈具，每個指示標誌面至少需要 2 組 75W 鈉燈或複金屬燈，每小時耗電功率為 150W。此設置案例安裝之 LED 道路指示標誌，每組耗電功率 40W 以下，以每天夜間點亮 12 小時計算，每組 LED 道路指示標誌照明每年約可省 600 度電，減碳 384 公斤。設置 16 組指示標誌後，換算結果，每年將可節省約 9,600 度電力，減碳 6,144 公斤。更重要的是 LED 道路標誌照明高亮度與均光之特性，大大提高了指示標誌之辨識性，使駕駛人能清楚辨識道路名稱及方向資訊，不僅增加行車便利性，也提升了行車安全。LED 指示標誌與傳統照明指示標誌效益比較，如表 2-7 所示。

表 2-7 LED 指示標誌與傳統照明指示標誌比較表

項 目	LED 指示標誌	傳統照明指示標誌
實地照片		
亮 度	利用 LED 光源之輝度特性，提高資訊顯示亮度高。	光源投射到指示標誌再反射，資訊顯示亮度低。
對 比	利用 LED 自身發光之特性進行資訊顯示，對比高，辨識度高。	利用牌面反光進行資訊顯示，對比低，辨識度低。
天 候	採用高亮度 LED，在陰雨濃霧時亦可有很好的指示效果。	投射燈光源再反射後穿透力低，在陰雨濃霧時效果大打折扣。
電 壓	整體系統電力供應為 12V 低壓，沒有維修觸電風險。	採高壓交流電供電，不僅維修有風險，平時亦有漏電可能。

資料來源：工研院綠能所(2010)

2. 紫外光指示標誌

一般交通標誌多採用螢光燈等之內部照明方式以及從外部照射光線之投光式照明方式。在日本則出現了採用紫外線照射之標誌系統，雖然被分類為投光式照明，但不同於以往的於標誌面使用反射板(Sheet)之可視光線反射型標誌、而是利用近紫外線照射讓標誌面本身發光之新方式，詳如圖 2-6。



資料來源：中日本高速公路股份有限公司(2010)

圖 2-6 紫外光指示標誌

紫外光指示標誌具有緩和照明之眩光、廣視角、設置容易、低成本等特性：

① 緩和照明之眩光、改善對向車道之行車安全性

以往的投光式照明因為是照射可視光線、所以必須考慮不讓對向車道之司機感到眩光而調整照射角度。而近紫外線非可視光線、所以對向車道司機就算直視照明也不會感到眩光、可改善走車安全性。也不會對因光線影響到鄰近住宅地等周邊環境。

② 擁有視角寬廣之視認性

因貼於標誌面之薄膜本身會與照射之近紫外線起反應而發光、不會因視角而有明暗差異。

③ 標誌面與照明器具之距離近、設置容易

異於以往之投光式照明方式、可在標誌面附近設置照明器具、不會因植物等遮住光線，或因起霧而引起光擴散。

④ 比內照方式低成本

比起以往之投光式照明方式、初期費用、營運費用幾乎相等。但與以往之內照方式比較的話，因標誌設備可輕量化，所以可以降低初期及營運成本。

3. 自發光或 LED 道路交通標誌

自發光式道路交通標誌，是透過白天由太陽能電池充電，夜間利用日光感測迴路將太陽能電池開關自動打開，啟動點滅迴路讓 LED 點滅，白天則反之，詳如圖 2-7。



資料來源：交通部運研所(2010)

圖 2-7 自發光與 LED 道路交通標誌

2.2.3 交通安全防護設施

1. LED 路面標記

路面標記主要用於國道、港口、高速公路、收費站、道路的車行道分界線、邊緣線的地面上及道路急轉彎、車道中間有障礙物的地面上。特別是用在道路的分岔處，及高速公路出口匝道的地面上可詳細的顯示特殊路段的路況，提高警示作用。

相較於傳統路面反光標記，LED 路面標記具有主動發光、發光亮度大、動態警示等特點。主動發光不僅可以最大程度上避免雨霧的干擾，而且可以脫離對汽車燈光的依賴，可視距離更遠，效果更好。另外 LED 路面標記在晚上以某種頻率閃爍，而人的視覺對變化更為敏感，所以其動態警示作用非常強。



資料來源：維基百科(2010)

圖 2-8 LED 路面標記

第三章 交通設施法規/規範比較研究

3.1 名詞解釋

1. 光通量 ϕ (luminous flux)：一流明係由點光源以 1 燭光均等光強度放射光線至一公尺等距離之半球表面一平方公尺面積內之輻射通量。
2. 光強度 I (luminous intensity)：某一特定方向角內所放射光的光強通量總稱。
3. 照度 E (illuminance)：被照體單位面積上所受之光通量。
4. 輝度 L (luminance)：由光源或反光面上之任一點朝觀測方向發射或反射之單位面積上之光度值。
5. 路面平均輝度 L_{av} (average luminance)：按照國際照明委員會(簡稱 CIE)有關規定在路面上預先設定的點上測得的或計算得到的各點輝度的平均值。
 $L_{av} = \Sigma Li / n$ 。
6. 路面輝度總均勻度 U_0 (L_{min}/L_{ave})：路面上最小輝度與平均輝度的比值。
7. 路面輝度縱向均勻度 U_1 (L_{min}/L_{max})：同一條車道中心線上最小輝度與最大輝度的比值。
8. 路面平均照度 E_{av} (average illuminance)：按照 CIE 有關規定在路面上預先設定的點上測得的或計算得到的各點照度的平均值。
9. 路面照度均勻度 U_e (E_{min}/E_{ave})：路面上最小照度與平均照度的比值。
10. 眩光 (glare)：由於視野中的亮度分佈或者亮度範圍的不適宜，或存在極端的對比，以致引起不舒適感覺或降低觀察目標細部能力的視覺現象。

11. 失能眩光 (Disability glare)：降低視覺物件可見度、但不一定產生不舒適感覺的有害光線。

12. 閾值增量 TI (Threshold increase)：失能眩光的度量。表示為：存在眩光源時，為了達到同樣看清物體的目的，在物體及其背景之間的亮度對比所需要增加的百分比

13. 用電密度 UPD (Unit Power Density)：單位用電密度(Unit Power Density, UPD)是評估道路照明系統用電效益的指標。其計算方式如下：

$$\text{UPD} = \frac{\text{燈具數量} \times 1.15 \times \text{每一燈具功率 W}}{(\text{燈具間距} \times \text{車道數} \times \text{車道寬度}) \longrightarrow (\text{道路區域})}$$

3.2 各國交通設施法規/規範概述

道路交通設施扮演著維繫交通安全重要之角色，無論在產品使用與設置時都必須有明確的標準，以保護道路使用者安全。以下本研究簡述各國主要交通設施規範，以及對於交通設施所要求的功能與服務水準。

1. 我國

國內現有之交通設施標準規範主要分為三大類：中國國家標準(CNS)、交通法規與公部門之相關標準規範。95 年交通部運輸研究所，所進行之「交通工程引進新型設施與手冊修訂之研究」，蒐集中國國家標準(CNS)、臺北市政府交通管制工程處、國道新建工程局、國道高速公路局之施工規範與交通工程手冊、號誌設置規則與道路交通管理處罰條例等相關規定，將各類交通設施規範予以彙集整理。

本研究以民國 93 年元月交通部頒布之交通工程手冊為主，並以第七章道路照明為主要研究內容。國內除交通工程手冊外，在交通設施標準規範尚有內政部頒布之市區道路及附屬工程設計標準。

2. 日本

日本的交通安全設施規範以日本道路法中的「道路交通法」、「道路構造令」以及「道路標識、區劃線及道路標示相關命令」為主要法源依據^[73]，以國土交通省中部道路整備局所頒布之道路設計要領為主要架構，由各縣市依當地實際狀況訂立各縣市之道路設計要領，其中包含道路交通安全設施之相關設置規範。而於道路設計要領中未規定之事項，則以表 3-1 之規範為設置依據^[74]。

表 3-1 日本交通安全設施設計之相關規範

規範	最新出版年月	出版者
1. 防護柵之設置規範與解說	2008.01	日本道路協會
2. 配合景觀之防護柵整備方針	2004.03	國土技術研究中心
3. 車輛用防護柵標準規格與解說	2004.03	日本道路協會
4. 道路標誌設置規範與解說	1987.01	日本道路協會
5. 道路標誌手冊 2004 年版	2004.09	全國道路標識・表示業協會
6. 案內標誌之標示地名相關規範(案)	2005.09	國土交通省道路局
7. 改訂路面標示設置之參考手冊	2004.07	交通工學研究會
8. 視線誘導標示設置規範與解說	1984.10	日本道路協會
9. 道路反射鏡設置方針	1980.02	日本道路協會
10. 導盲磚設置規範與解說	1985.09	日本道路協會
11. 道路照明設施設置規範與解說	2007.10	日本道路協會
12. 道路之移動順暢化整備方針	2008.02	國土技術研究中心
13. 使用地圖之道路指引標誌方針	2003.11	道路保全技術中心
14. 道路・隧道照明器材規格書		建設電氣技術協會 道路照明設施檢討會
15. 內線規定	1996	日本電氣協會
16. 電氣通訊設備工事共通規格書	2005	國土交通省
17. 電氣通訊設施設計指針(電氣篇)		建設電氣技術協會
18. 改訂路面標示設置指引	2004.07	交通工學研究會
19. 路面標示手冊	1995	全國道路標誌・標示業協會

資料來源：本研究整理(2010)

3. 美國

美國是世界上擁有廣大交通公路網的國家，因此十分重視交通基礎設施，其中道路交通安全設施和照明是兩大重點。

為減少交通事故發生，常需藉由固定式或暫時性交通設施之佈設來防止事故發生率，並提升行車安全。由於交通設施日新月異，種類繁多，因應不同道路型態有不同的設置。1935 年，美國制定首版交通控制設施之標準化手冊(MUTCD: Manual on Uniform Traffic Control Device)，係美國用以定義所有交通工程設施佈設之國家規範，隨後逐步修訂趨向完善，最新版於 2009 年完成，2009 年 12 月 16 日已於美國聯邦公報(Federal Register)公告，2010 年 1 月 15 日正式生效。各州必須在生效日後 2 年內以 MUTCD 2009 為依據，採行至各州所制定的交通控制設備標準或補充規定內(Supplement)。

MUTCD 之法源為美國法典(United State Code: USC) -- Title 23: Highways 和聯邦規則法(Code of Federal Regulations: CFR) -- Title 23: Highways，依據 USC

Title 23—Section 109(d)、402(a)和 CFR Title 23 – Part 655 規定，統整制定的統一交通管制設備手冊，由美國聯邦公路總署(FHWA)取得交通管制設備的政策制定與過程管理主導權，是所有道路類型的交通管制設備國家標準。MUTCD 2009 共有 9 個主要部分，列表如下：

表 3-2 MUTCD 2009 內容主要項目

PART 1	GENERAL	通則
PART 2	SIGNS	標誌
PART 3	MARKINGS	標線
PART 4	HIGHWAY TRAFFIC SIGNALS	公路交通號誌
PART 5	TRAFFIC CONTROL DEVICES FOR LOW-VOLUME ROADS	低流量道路交通控制設施
PART 6	TEMPORARY TRAFFIC CONTROL	臨時性交通控制設施
PART 7	TRAFFIC CONTROLS FOR SCHOOL AREAS	學校區域之交通控制設施
PART 8	TRAFFIC CONTROL FOR RAILROAD AND LIGHT RAIL TRANSIT GRADE CROSSINGS	鐵路和輕軌鐵路平交道之交通控制設施
PART 9	TRAFFIC CONTROLS FOR BICYCLE FACILITIES	自行車之交通控制設施

資料來源：本研究整理(2010)

4. 中國

中國交通安全設施規範以 CJJ37-90 城市道路設計規範涵蓋最廣，包括道路照明、交通標誌標線及緣石皆包括在內，規範適用於大、中、小城市以及大城市的衛星城等規劃區內的道路、廣場、停車場設計。

表 3-3 中國交通安全設施主要法規

分 類	法規名稱
道路照明/隧道照明	CJJ37-90 城市道路設計規範 CJJ 45-2006 城市道路照明設計標準 GB 7000.5-2005 道路和街路照明燈具性能要求 JTG T D71-2004 公路隧道交通工程設計規範 JTJ026.1-1999 公路隧道通風照明設計規範
交通標誌/標誌照明	CJJ37-90 城市道路設計規範 GB5768-1999 道路交通標誌和標線 城市道路交通標誌標線設置指南
緣石/貓眼	CJJ37-90 城市道路設計規範

資料來源：本研究整理(2010)

5. 歐洲

歐洲各國的交通安全規範，以 CIE(The International Commission on Illumination) 為主，不管是在道路照明、隧道照明、交通標誌與交通安全防護措施等皆有相關規定。而根據各國交通安全法規之訂定，本研究也蒐集其他相關法規，如英國針對交通標誌制定的 Traffic Signs Manual 以及 TSGRD(Traffic Signs Regulations and General Directions)等。

CIE 為一有關光、照明、顏色和色度空間科學領域的國際權威組織，其主要任務在於制定照明領域的基礎標準與度量方式，並制定此領域的國際標準。自 1913 年成立以來，CIE 已發展成具備技術性、科學性及文化基礎的組織，所制定的相關產業標準，常為國際標準化組織(ISO)與國際電工委員會(IEC)共同引用。

表 3-4 歐洲交通安全設施主要法規

分 類	法規名稱
道路照明/隧道照明	CIE 66-1984 Road Surfaces and Lighting CIE 79-1988: A Guide for the Design of Road Traffic Lights CIE 115-2010 Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic CIE 61-1984 Tunnel Entrance Lighting: A Survey of Fundamentals for Determining the Luminance in the Threshold Zone CIE88:2004 Guide for the lighting of Road Tunnels and Underpasses
交通標誌標線	Traffic Signs Manual 2003(UK) TSGRD(Traffic Signs Regulations and General Directions)
交通安全防護設施 (緣石/貓眼)	Traffic Signs Manual 2003(UK) TSGRD(Traffic Signs Regulations and General Directions)

資料來源：本研究整理(2010)

6. 小結

綜合以上各國在交通安全設施規範標準之訂定，將各國法規名稱整理如表 3-5 所示，法規內容分析比較說明於 3.3~3.5 節中。另各類新型耗能交通設施對應之產品標準項目，如表 3-6 所示。

表 3-5 各國交通安全設施主要法規/規範整理

新型交通設施	台 灣	日 本	美 國	中 國	歐 洲
LED 路燈/街燈 智慧化 LED 路 燈/街燈 陶瓷複金屬路 燈/街燈	<ul style="list-style-type: none"> ● 交通工程手冊 (2004)第七章道路照明 ● 市區道路及附屬工程設計標準 (2004) 第 19 章道路照明 	道路照明設施設置規範與解說(2007)	北美照明協會照明手冊第九版 (IESNA Lighting Handbook---9 th Edition)	城市道路照明設計標準 -CJJ 45-2006	CIE 66-1984 Road Surfaces and Lighting
			北美照明協會道路照明建議規範 IESNA(RP-8-00) Recommended Practice for Roadway Lighting(Reaffirmed 2005)	城市道路照明設計標準 -CJJ37- 90	CIE 79-1988: A Guide for the Design of Road Traffic Lights
				GB 7000.5-2005 道路和街路照明燈具性能要求	CIE 115-2010 Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic
LED 隧道燈	<ul style="list-style-type: none"> ● 交通工程手冊 (2004)第七章道路照明 ● 市區道路及附屬工程設計標準 (2004) 19.5 隧道照明 	道路照明設施設置規範與解說(2007) 隧道照明設計指針	北美照明協會照明手冊第九版 (IESNA Lighting Handbook---9 th Edition) ;	公路隧道設計規範 (JTJ026-90)	CIE 61-1984 Tunnel Entrance Lighting: A Survey of Fundamentals for Determining the Luminance in the Threshold Zone
			北美照明協會隧道照明建議規範：IESNA(RP-22-05) Recommended Practice for Tunnel Lighting	公路隧道通風照明設計規範(JTJ026.1-1999)	CIE88:2004 Guide for the lighting of Road Tunnels and Underpasses

表 3-5 各國交通安全設施主要法規/規範整理(續)

新型交通設施	我國	日本	美國	中國	歐洲
LED 指示標誌/ 紫外光標誌照明	交通工程手冊 (2004)第七章道路 照明	道路標誌設置 規範與解說 道路標誌手冊 (2007)	(1) 北美照明協會照明手冊第九版(IESNA Lighting Handbook---9 th Edition) (2) 北美照明協會道路標誌照明建議規 範：IESNA(RP-10-01) Recommended Practice for Roadway Sign Lighting (3) 交通標誌設施之標準化手冊第二部分-- 標誌-->章節 2A：通則-->項目 2A.18： 安裝高度	CJJ37-90 城市道路設計 規範第十五章交通設施 交通標誌 道路交通標誌和標線 GB5768-1999	Traffic Signs Manual 2003(UK) / TSGRD(Traffic Signs Regulations and General Directions)
自發光或 LED 道路標誌	道路交通標誌標線 號設置規則 (2009)/市區道路及 附屬工程設計標準 (2004)20.1 道路交 通標誌標線號設置	道路標誌設置 規範與解說 道路標誌手冊 (2007)	(1) 交通控制設施之標準化手冊第二部分-- 標誌 --> 章節 2A：通則 --> 項目 2A.07：反光與照明 (2) 交通標誌設施之標準化手冊第二部分-- 標誌 --> 章節 2A：通則 --> 項目 2A.15：加強標準標誌的醒目程度	設置指南城市道路交通 標誌標線	Traffic Signs Manual 2003(UK) / TSGRD(Traffic Signs Regulations and General Directions)
LED 路面標記	市區道路及附屬工 程設計標準(2004) 15.1 緣石	改訂 路面標 示設置之參考 手冊(2004) 視線誘導標示 設置規範與解 說(1984)	交通標誌設施之標準化手冊第三部分--標 線/標記-->章節 3B：路面和路側標線-->項 目 3B.11：突起路面標記、項目 3B.13：輔 助其他標線之突起路面標記、項目 3B.14： 替代路面標線之突起路面標記	CJJ37-90 城市道路設計 規範 第九節 第 4.9.1 條、第 4.9.2 條	Traffic Signs Manual 2003(UK) / TSGRD(Traffic Signs Regulations and General Directions)

資料來源：本研究整理(2010)

表 3-6 各國新型耗能道路交通設施產品標準整理

新型交通設施	我國	日本	美國	中國	歐洲
LED 路燈/街燈 智慧化 LED 路燈/街燈	CNS15233	尚無標準	美國能源局(DOE)尚在研擬 預計 2010 年推出標準	20079261-T-60 道路照明用 LED 燈 JT2008-06 公路 LED 照明燈具 GB7000.5-2005 道路和街路照明燈具性能要求	尚無標準
陶瓷複金屬路燈/街燈	CNS9118		尚無標準		
LED 隧道燈	尚無標準	尚無標準	尚無標準	尚無標準	尚無標準
LED 指示標誌/ 紫外光標誌照 明	尚無標準	尚無標準	MUTCD 2009 中已針對 LED 標誌產品提出相關說明		CIE R4-22 Use of LEDs in visual signaling
自發光或 LED 道路標誌	尚無標準	尚無標準	MUTCD 2009 中已針對 LED 標誌產品提出相關說明	尚無標準	尚無標準
LED 路面標記 貓眼	尚無標準	尚無標準	尚無標準	尚無標準	尚無標準

資料來源：本研究整理(2010)

3.3 道路照明/隧道照明

3.3.1 各國法規規範之訂定

1. 我國

台灣在道路照明與隧道照明的規範標準訂定，以交通工程手冊第七章道路照明為主，另外在道路工程設計規範以及市區道路及附屬工程設計標準：第 19 章道路照明皆有相關規定。隧道照明的部份，則同樣也在交通工程手冊第七章道路照明以及市區道路及附屬工程設計標準：19.5 隧道照明中有所規定。

2. 日本

在日本國土交通省中部地方整備局網站中所公開的道路設計要領「第八章道路附屬物的第六節 道路照明設施設置」中，以兩頁的篇幅說明了道路照明設施設置的適用規範範圍、設置場所、照明設計、道路交叉口之局部照明、照明之構造及材料、基礎、和配管/配線的主要設計指針。

在同設計要領「第十二章隧道」的「第十節隧道照明設施」中說明隧道照明設施之設計基準以「道路照明設施設置規範與解說」為依據，並以 4 頁篇幅說明了隧道照明設施設置的基本原則、設置計畫、光源選定、燈具選定、主體部照明、入口部照明、連接道路照明、隧道照明計算、緊急照明、配管/配線、自動調光裝置、電壓、臨時停車帶照明的主要設計指針。

3. 美國

道路照明是為提供道路使用者看清路面情況、保證行車和行走安全、減少夜間事故發生率、同時達到美化城市之目的。根據美國聯邦公路管理局(FHWA)的報告指出，夜間的交通事故發生率為日間的 5 倍，因此道路照明在夜間交通安全上扮演相當重要的角色。

美國一般道路照明最廣泛引用北美照明協會(IESNA)之標準，包含道路照明以及隧道照明，其設計準則是依據北美照明協會照明手冊第九版(IESNA Lighting Handbook 9th Edition)內的標準。^[21]

4. 中國

中國道路照明相關法規以「CJJ37-90 城市道路設計規範」、「CJJ 45-2006 城市道路照明設計標準」、「GB 7000.5-2005 道路和街路照明燈具性能要求」為主，規

範與標準中對於不同道路照明有不同的要求，包括路面亮度、照度、均勻度、眩光、燈具佈置方式、節能措施等都有詳細規定。

隧道照明部分主要依據為「JTG T D71-2004 公路隧道交通工程設計規範」與「JTJ026.1-1999 公路隧道通風照明設計規範」，不過此部分僅是設計規範，對於功能性要求並無明確要求。

5. 歐洲

歐洲道路照明與隧道照明的相關規定，以 CIE(The International Commission on Illumination)為主，道路照明的設計參考 CIE 79-1988: A Guide for the Design of Road Traffic Lights；而針對路面上交通照明的規範與需求則參考 CIE 66-1984 Road Surfaces and Lighting。

隧道照明的部份，同樣以 CIE 的規定為主要遵循依據，包含 CIE 61-1984 Tunnel Entrance Lighting: A Survey of Fundamentals for Determining the Luminance in the Threshold Zone 以及 Guide for the lighting of Road Tunnels and Underpasses(CIE88:2004)內皆有相關規範內容。

6. 小結

本研究整理各國家之道路照明/隧道照明各國法規，美國與歐洲法規相對單純，分別引用北美照明協會(IESNA)之標，以及 CIE 法規。日本則是依據國土交通省所頒布之道路設計要領為主要架構，由各縣市依當地實際狀況訂立各縣市之道路設計要領。我國則是依不同道路主管機關訂出法規，法規與標準相對比較多元。

3.3.2 法規內容比較分析

1. 道路照明

(1) 照明水準

① 我國

根據國內交通工程手冊第七章 7.2.1 設計準則規定，道路照明設施之公路照度基準值如下：

表 3-7 國內公路照度基準值

單位：lux

道路功能分類 \ 條 件		商業區		住宅區		備 註
		R	C	R	C	
高速公路		15				
一般公路	幹 道	30	20	15	10	含快速道路
	次要道路	23	15	12	7	
	輔助性道路	15	10	7	5	
	交 流 道	15	10	7	5	

註：1. 郊區如有設置照明需求，照度比照住宅區

2. 表中 R：柏油路面，C：混凝土路面

3. 由於交通工程手冊並未對「高速公路與一般公路」進行定義，本研究蒐集交通部公路總局對「高速公路、主要道路、次要道路以及交流道」與「市區道路條例」對「幹道」之定義，臚列如下：

- 「高速公路」指為幹線公路中標準最高者，係出入口完全管制，僅能賴交流道進出而為全線封閉之汽車專用公路
- 「主要道路」指縣市、鄉鎮間或都會區內之交通幹線，以服務都會區通過性之交通及地方主次要中心間之交通為主
- 「次要道路」指連接一般市鎮通往次要地方中心或次要地方中心間之連絡線。
- 「交流道」指高速公路連接其他道路，並以開道構成立體相交之部份。
- 「幹道」定義為：依交通繁忙地區與外圍重要鄉鎮市連絡之道路，並兼供穿越都市交通使用，或連絡市區內各分區之間的幹線道路。

資料來源：交通工程手冊(2004)、市區道路條例(2004)

② 日本

針對道路照明的標準輝度來看，日本將道路分為高速公路以及一般國道，分別有不同的標準輝度規定，如下表 3-8 所示。

表 3-8 日本道路標準平均輝度規定

單位:cd/m²

外部條件 道路分類		A	B	C
高速公路等		1.0	1.0	0.7
		-	0.7	0.5
一般國道等	主要幹線道路	1.0	0.7	0.5
		0.7	0.5	-
	幹道、輔助幹線道路	0.7	0.5	0.5
		0.5	-	-

註：外部條件 A：有會影響道路交通之連續光的道路沿線狀況

外部條件 B：有會影響道路交通之斷續光的道路沿線狀況

外部條件 C：幾乎沒有會影響道路交通之光線的道路沿線狀況

主要幹線道路：形成都市結構較長且交通量較高的高規格道路，路寬 22 公尺以上，4 線道以上，步道 7 公尺以上。

幹道：分擔地區交通的地區服務道路，是幹線道路的最小基本單位。路寬 15 公尺以上，2 線道，步道 6 公尺以上。

輔助幹線道路：由主要幹線和幹線道路圍成的區域內道路，為連絡地區幹線道路之道路。路寬 10~13 公尺以上，2 線道，步道 4~6 公尺以上。

資料來源：日本道路照明設施設置規範(2007)

如上表所列，平均路面輝度因應道路分類及外部條件，以表 3-8 之上段值為。但高速汽車國道等之中，高速汽車國道以外之汽車專用道可依狀況採用表 3-8 之下段值。而一般國道等，在中央地帶設有遮蔽對向車前照燈光之設備時，可採用表 3-8 之下段值。另外，有關特別重要之道路或有其他特別狀況之道路，可不限於表 3-8 之值，將平均路面輝度增加到 2cd/m²。輝度均勻度以綜合均勻度 0.4 以上為原則。

③ 美國

美國一般道路照明最廣泛引用北美照明協會(IESNA)之標準，路燈依照安裝的道路種類與區域分類加以規定，表 3-9 為 IESNA 輝度標準推薦值，表 3-10 為 IESNA 照度標準推薦值。

表 3-9 IESNA 道路照明平均輝度值(cd/m²)及均勻度

道路種類及分類		平均輝度值 (cd/m ²)	均勻度		光幕輝度比	備 註
			平均輝度/ 最小輝度	最高輝度/ 最小輝度	光幕輝度/ 平均輝度	
高速公路 A		0.6	≤3.5	≤6	≤0.3	交流道
高速公路 B		0.4	≤3.5	≤6	≤0.3	
快速 道路	商業區	1.0	≤3	≤5	≤0.3	
	混合區	0.8	≤3	≤5		
	住宅區	0.6	≤3.5	≤6		
主要 道路	商業區	1.2	≤3	≤5	≤0.3	
	混合區	0.9	≤3	≤5		
	住宅區	0.6	≤3.5	≤6		
次要 道路	商業區	0.8	≤3	≤5	≤0.4	
	混合區	0.6	≤3.5	≤6		
	住宅區	0.4	≤4	≤8		
區域 道路	商業區	0.6	≤6	≤10	≤0.4	
	混合區	0.5	≤6	≤10		
	住宅區	0.3	≤6	≤10		

註：高速公路(Freeway)A：極度複雜且高流量之道路，通常位於市中心附近，且將傍晚時刻設計為最高流量之標準。

高速公路(Freeway)B：其他需要照明設備之封閉車道。

快速道路(Expressway)：需部分封閉車道之道路，通常有主要交叉路口交匯處。

主要道路(Major)：部分道路系統作為連結主要交通地帶和進入城市的重要鄉村地帶公路。

次要道路(Collector)：作為主要道路和區域道路的連結系統，次要道路主要用於住宅區、商業區和混合區的交通流動。

區域道路(Local)：主要用於直接進入住宅區、商業區、混合區或其他毗鄰區域之道路。區域道路不含負載交通流動之任務，通常為次要道路的分支。

資料來源：IESNA(2000)

表 3-10 IESNA 道路照明平均照度值(Lux)及均勻度

道路種類及分類		平均照度值(Lux)			均勻度	備 註
		路面種類			平均照度/最小照度	
		R1	R2 及 R3	R4		
高速公路 A		6	9	8	3：1	交流道
高速公路 B		4	6	5	3：1	
快速道路	商業區	10	14	13	3：1	
	混合區	8	12	10		
	住宅區	6	9	8		
主要道路	商業區	12	17	15	3：1	
	混合區	9	13	11		
	住宅區	6	9	8		
次要道路	商業區	8	12	10	4：1	
	混合區	6	9	8		
	住宅區	4	6	5		
其他道路	商業區	6	9	8	6：1	
	混合區	5	7	6		
	住宅區	3	4	4		

註：R1：混凝土(大量散射)

R2：混合砂礫(>60%)之瀝青路面(>10mm)；含 10~15%光亮劑之瀝青路面(混合型)

R3：含黑填料之瀝青路面；經數月使用之瀝青路面(微量反射)

R4：光滑紋路之瀝青路面(大量反射)

資料來源：IESNA(2000)

④ 中國

中國在「城市道路照明設計標準」第 14.2.1 條中提到：為保證道路照明品質，達到辨認可靠和視覺舒適的基本要求，道路照明應滿足平均輝度/照度、輝度/照度均勻度和眩光限制三項指標。此外，道路照明設施還應有良好的誘導性。

另外在第 14.2.2 條中提到，道路照明標準應根據城市的規模、性質、道路分類按表 3-11 選用。中、小城市可視其道路分類降低一級使用，但路面平均照度應大於或等於 1 lux(相應輝度約為 0.1cd/m²)。

表 3-11 不同道路類別照明水準規定

道路類別	照明水平		均勻度		眩光限制
	平均輝度 $La(\text{cd/m}^2)$	平均照度 $Ea(\text{lux})$	輝度均勻度 L_{\min}/La	照度均勻度 E_{\min}/Ea	
快速路	1.5	20	0.4	0.4	嚴禁採用 非截光型燈具
主幹路	1.0	15	0.35	0.35	嚴禁採用 非截光型燈具
次幹路	0.5	8	0.35	0.35	不得採用 非截光型燈具
支 路	0.3	5	0.3	0.3	不宜採用 非截光型燈具

註：(1) 表中所列的平均照度為維持值。新安裝燈具，路面初始照度值應比表中數值高 30~50%。

(2) 表中所列照度值均為機動車車行道上的數值。三幅路、四幅路中非機動車車行道上的照度值,可採用機動車車行道照度值的 1/2。

(3) 表中平均照度值適用於瀝青路面。對於水泥混凝土路面，可降低 30%。

(4) 表中各項數值適用於乾燥路面。

(5) 通向大型公共建築(如體育場、展覽館、大型劇場等)的主要道路、市中心或商業區中心的道路、大型交通樞紐等處的照明可採用主幹路的標準。

(6) L_{\min} ——最小輝度(cd/m^2)； La ——平均輝度(cd/m^2)； E_{\min} ——最小照度(lx)； Ea ——平均照度(lx)。

(7) 快速路(express way)：城市中距離長、交通量大、為快速交通服務的道路。快速路的對向車行道之間設中間分車帶，進出口採用全控制或部分控制。

(8) 主幹路(major road)：連接城市各主要分區的幹路，採取機動車與非機動車分隔形式，如三幅路或四幅路。

(9) 次幹路(collector road)：與主幹路結合組成路網、起集散交通作用的道路。

(10) 支路(local road)：次幹路與居住區道路之間的連接道路。

資料來源：城市道路照明設計標準(2006)

⑤ 歐洲

CIE 在車行道路照明要求則針對不同道路型態訂定適合的照明等級 M1-M6，針對不同照明等級，在照明要求上有所不同，如下表 3-12 所示：

表 3-12 CIE 不同道路照明等級相關規定

照明 等級	道路表面				眩光門檻值	環境比
	乾燥地面			濕地面		
	Lav(cd/m ²) 平均輝度	U ₀ (Lmin/Lav) 路面輝度 總均勻度	U ₁ (Lmin/Lav) 路面輝度 縱向總均勻度	U ₀ (Lmin/Lav) 路面輝度 總均勻度	TI(%) 眩光門檻值	R _s 周圍照度/ 道路照度
M1	2.0	0.4	0.7	0.15	10	0.5
M2	1.5	0.4	0.7	0.15	10	0.5
M3	1.0	0.4	0.6	0.15	15	0.5
M4	0.75	0.4	0.6	0.15	15	0.5
M5	0.5	0.35	0.4	0.15	15	0.5
M6	0.3	0.35	0.4	0.15	20	0.5

資料來源：CIE115-2010 (2010)

而輝度方面的規定，根據 CIE(E-3.3.1)，輝度平均值至少為 2cd/m²(當乾路面時)。輝度均勻度則規定，自通常視覺位置看入之輝度均勻度 R 須大於 0.4(乾路面)。

茲將各國道路照明水準規定彙整整理如表 3-13：

表 3-13 各國道路照明照度規定

單位：lux

我國-交通工程手冊						美國-IESNA					中國-城市道路 照明設計標準		日 本	
道路功能分類與條件		商業區		住宅區		道路及區域分類		R1	R2/R3	R4	快速路	20	未對照度進行規範	
		R	C	R	C	高速公路 A		6	9	8	主幹路	15		
高速公路		15				高速公路 B		4	6	5	次幹路	8		
一般公路	幹道	30	20	15	10	快速道路	商業區	10	14	13	支路	5		
	次要道路	23	15	12	7		混合區	8	12	10				
	輔助性道路	15	10	7	5		住宅區	6	9	8				
	交流道	15	10	7	5		商業區	12	17	15				
我國-市區道路及附屬工程設計規範						主要道路		9 <td>13</td> <td>11</td> <th colspan="2">CIE</th>	13	11	CIE			
道路功能分類		商業區		住商混合區		住宅區		6 <td>9</td> <td>8</td> <th colspan="2">未對照度進行規範</th>	9	8	未對照度進行規範			
快速道路		15(10)		10(7)		7(5)		8	12	10				
主要道路		15(10)		10(7)		7(5)		6	9	8				
次要道路		10(7)		7(5)		6(4)		4	6	5				
服務道路		6		-		4		6	9	8				
我國-CNS10779 道路照明						區域道路		5	7	6				
同「市區道路及附屬工程設計規範」						住宅區		3	4	4				

資料來源：各國法規，本研究整理(2010)

表 3-14 各國道路照明輝度規定

單位：cd/m²

我國-交通工程手冊				美國-IESNA		中國-城市道路照明設計標準		日本				
未針對輝度進行規範				道路及區域分類	輝度值	快速路	1.5	外部條件與道路分類		A	B	C
我國-市區道路及附屬工程設計規範				高速公路 A	0.6	主幹路	1.0	高速公路等		1.0	1.0	0.7
道路功能分類	商業區	住商混合區	住宅區	高速公路 B	0.4	次幹路	0.5				-	0.7
快速道路	1.0	0.7	0.5	快速道路	商業區	支路	0.3		一般	主要幹線道路	1.0	0.7
主要道路	1.0	0.7	0.5		混合區	0.8	國道等	幹道、輔助幹線道路			0.7	0.5
次要道路	0.7	0.5	0.4		住宅區	0.6			0.7	0.5	0.5	0.5
服務道路	0.6	0.5	0.3	商業區	1.2	主要道路				CIE	0.5	-
我國-CNS10779 道路照明				混合區	0.9							
道路功能分類	商業區	住商混合區	住宅區	住宅區	0.6							
快速道路	1.0	0.7	0.5	商業區	0.8	次要道路				平均輝度(乾燥路面) Lav(cd/m²)		
主要道路	1.0	0.7	0.5	混合區	0.6					M1	2	
次要道路	0.7	0.5	0.4	住宅區	0.4					M2	1.5	
服務道路	0.6	0.5	0.3	商業區	0.6	區域道路				M3	1	
				混合區	0.5					M4	0.75	
				住宅區	0.3					M5	0.5	
						M6	0.3					

(2) 控制光度分佈

① 我國

國內交通工程手冊在控制光度部分之項目將燈具依其對眩光之影響區分為以下三種：

- 遮蔽型，係使其最大光度之涵蓋範圍與垂直線間之夾角為 $0^{\circ}\sim 65^{\circ}$ ，此型燈具主要之特性，能使光源之光束侷限於某一狹窄的垂直角範圍內，以免對駕駛人發生眩光作用，因此適用於高速公路、交通量較多的主要道路及四周甚暗的郊區公路。
- 半遮蔽型，係使其最大光度之涵蓋範圍與垂直線間之夾角為 $0^{\circ}\sim 75^{\circ}$ ，此型燈具對眩光作用之要求較遮蔽型為寬，適用於對眩光作用較為嚴格之限制及要求較亮之公路，如一般有建築物之市區街道等。
- 無遮蔽型，係使其最大光度之涵蓋範圍與垂直線間之夾角為 $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$ ，此型燈具對眩光作用並未做限制，主要能使光源所發出之光束能照射較遠距離或較大範圍，故僅適用於道路周圍較明亮之處或市區特殊道路。

② 日本

日本的「道路照明設施設置規範與解說」當中，並未針對為防止眩光之影響而訂出類似歐美等必須使用何種形式的照明燈具，然而在其 4 個性能規定的指標當中，特別在「(導致視覺機能下降之)眩光」當中規定了和眩光有關的相對門檻增量值如下：

表 3-15 相對門檻增量值

道路分類		相對門檻增量值
高速公路		10 以下
一般國道	主要幹線道路	15 以下
	幹線・輔助幹線道路	

資料來源：日本道路照明設施設置規範與解說(2007)

眩光會影響駕駛人對路上障礙物之辨認性，眩光的影響程度可以使用表 3-15 中的相對門檻增量值來評估。而「相對門檻增量值」意指「在有眩光光源存在的照明環境下，可辨認出障礙物所需的障礙物與背景路面之間的最低輝度差」，與「無眩光光源存在的照明環境下，可辨認出障礙物所需的障礙物與背景路面之間的最低輝度差」的差異程度。相對門檻增量值 TI 與道路照明之間的關係(障礙物與背景路面之間的最低輝度差)的算式如下：

$$TI = \frac{\Delta L_{\min}' - \Delta L_{\min}}{\Delta L_{\min}} \times 100 \quad (\%)$$

$\Delta L_{\min}'$ = 有眩光源時，可辨認出障礙物所需的障礙物與背景路面之間的最
低輝度差

ΔL_{\min} = 無眩光源時，可辨認出障礙物所需的障礙物與背景路面之間的最
低輝度差

在設計道路照明之際，可依下列二式計算出相對門檻增量值：

$$L_r \leq 5 \text{ cd/m}^2 \text{ の場合 } TI = 65 \cdot \frac{L_v}{L_r^{0.8}} \quad (\%)$$

$$L_r > 5 \text{ cd/m}^2 \text{ の場合 } TI = 95 \cdot \frac{L_v}{L_r^{1.05}} \quad (\%)$$

L_r = 平均路面輝度(cd/m^2)

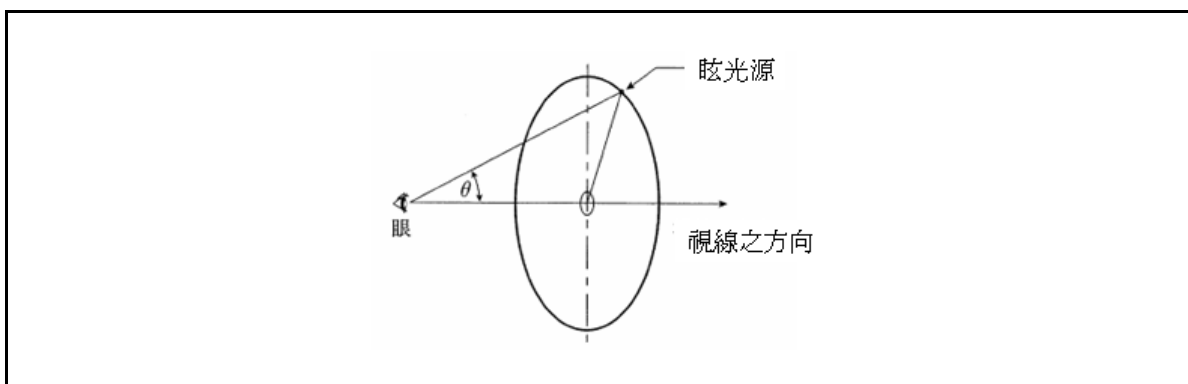
L_v = 駕駛人視野內之照明器具的等價光幕輝度(cd/m^2)

等價光幕輝度是表示眼球內光散亂的程度，其數式和概念圖如下：

$$L_v = 10 \cdot \frac{E_v}{\theta^2} \quad (\text{cd/m}^2)$$

E_v = 與視線垂直的垂直面照度(lx)

θ = 視線和眩光源形成的角



資料來源：日本道路照明設施設置規範(2007)

圖 3-1 等價光幕輝度之概念圖

若有複數眩光源存在時，則根據下式計算等價光幕輝度：

$$L_v = 10 \sum_{i=1}^n \frac{E_{vi}}{\theta_i^2} \quad (\text{cd/m}^2)$$

E_{vi} = 與視線垂直的垂直面照度(lx)

θ_i = 視線和眩光源形成的角度

i = 對象燈具數

道路照明中的眩光來源，往往來自於路燈、號誌燈、標示牌等，由上述公式可以得知，在道路照明設計時，降低路燈、號誌燈等照明設施所造成的眩光，可使 L_v 下降，換言之，減少門檻增量值(TI)，當門檻增量值越小，對障礙物的辨認性就越高，換言之，可更加提升道路照明的安全性。因此，進行道路照明設計時，必須讓道路照明符合表 3-15 的門檻增量值，以提升用路人之道路安全。

③ 美國

美國 IESNA 對於控制光度分佈之規定，由於垂直光線角度的增加，不適或失能之眩光感也隨之增加。為了辨別路燈造成的眩光影響，IESNA 將路燈依其對眩光的控制分為以下四種：

- 全遮蔽型(FullCutoff)燈具在 1,000 流明光量下，與燈桿呈 90 度角以上(即水平線以上)之餘光量為 0 流明；80 度角以上之餘光量要小於 100 流明，燈桿四周各方向皆須滿足此要求。
- 遮蔽型(Cutoff)：係燈具在 1,000 流明光量下，與燈桿呈 90 度角以上(即水平線以上)之餘光量要小於 25 流明；80 度角以上之餘光量要小於 100 流明，燈桿四周各方向皆須滿足此要求。
- 半遮蔽型(Semicutoff)：係燈具在 1,000 流明光量下，與燈桿呈 90 度角以上(即水平線以上)之餘光量要小於 50 流明；80 度角以上之餘光量要小於 200 流明，燈桿四周各方向皆須滿足此要求。
- 無遮蔽型(Noncutoff)：此型燈具對眩光作用並未做限制。

④ 中國

根據中國城市道路照明設計標準中，對於不同控制光度分佈之燈具定義如下：

- 遮蔽型燈具(cut-off luminaire)

燈具的最大光強方向與燈具向下垂直軸夾角在 $0^{\circ}\sim 65^{\circ}$ 之間， 90° 角和 80° 角方向上的光強最大允許值分別為 $10\text{ cd}/1,000\text{ lm}$ 和 $30\text{ cd}/1,000\text{ lm}$ 的燈具。且不管光源光通量的大小，其在 90° 角方向上的光強最大值不得超過 $1,000\text{ cd}$ 。

- 半遮蔽型燈具(semi-cut-off luminaire)

燈具的最大光強方向與燈具向下垂直軸夾角在 $0^{\circ}\sim 75^{\circ}$ 之間， 90° 角和 80° 角方向上的光強最大允許值分別為 $50\text{ cd}/1000\text{ lm}$ 和 $100\text{ cd}/1000\text{ lm}$ 的燈具。且不管光源光通量的大小，其在 90° 角方向上的光強最大值不得超過 $1,000\text{ cd}$ 。

- 無遮蔽型燈具(non-cut-off luminaire)

燈具的最大光強方向不受限制， 90° 角方向上的光強最大值不得超過 $1,000\text{ cd}$ 的燈具。

⑤ 歐洲

CIE 將道路燈具依不同控制光度分佈分為三種型態，說明如下：

- 全遮蔽型燈具(Full cut-off luminaire)

燈具最大光強方向在 $0^{\circ}\sim 65^{\circ}$ 之間，其 90° 角和 80° 角方向上的光強最大允許值分別為 $10\text{ cd}/1,000\text{ lm}$ 和 $30\text{ cd}/1,000\text{ lm}$ 的燈具。

- 半遮蔽型燈具(semi-cut-off luminaire)

燈具最大光強方向在 $0^{\circ}\sim 75^{\circ}$ ，其 90° 和 80° 角度方向上的光強最大允許值分別為 $50\text{ cd}/1,000\text{ lm}$ 和 $100\text{ cd}/1,000\text{ lm}$ 的燈具。

- 非遮蔽型燈具(non-cut-off luminaire)

其在 90° 角方向上的光強最大值不得超過 $1,000\text{ cd}$ 的燈具。

(3) 照明設施之設置

① 我國

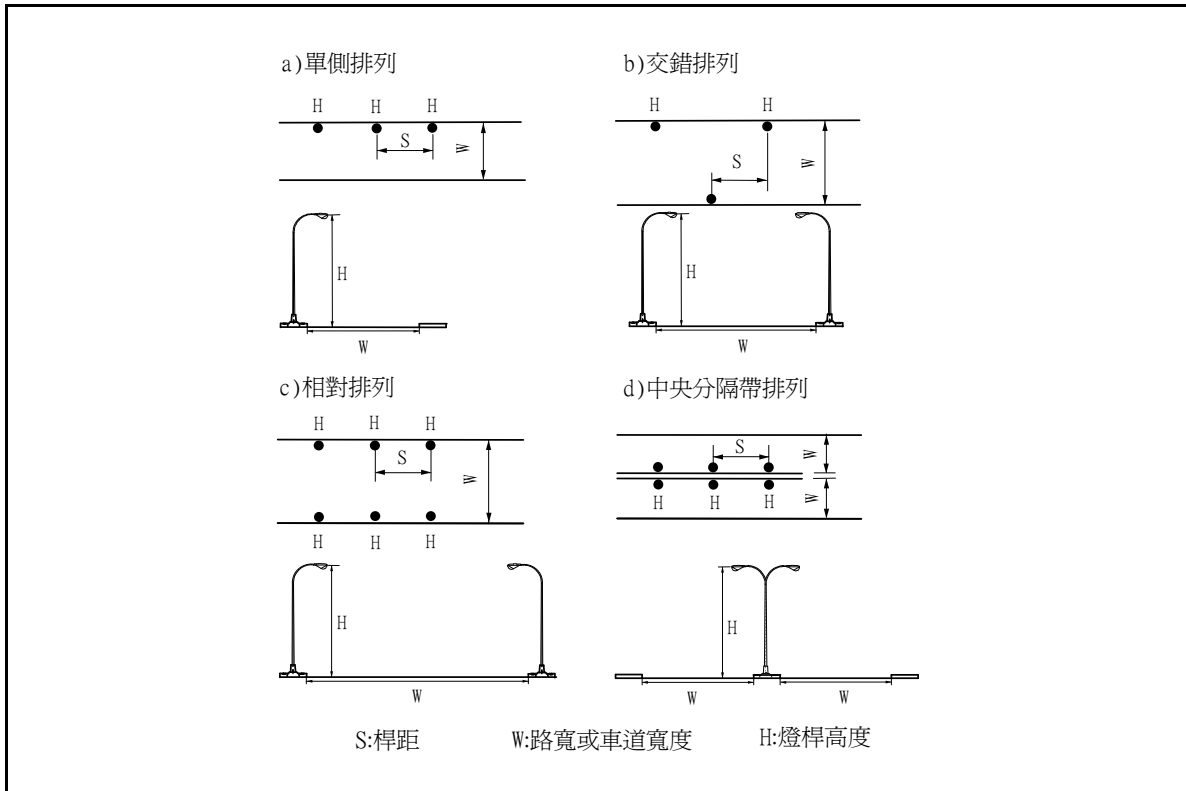
國內交通工程手冊規定如下：

(一) 照明設施之排列，如圖 3-2。

1. 排列方式計有：

- 單側排列

- 交錯排列
- 相對排列
- 中央分隔帶排列
- 特殊高桿多燈設置



資料來源：交通工程手冊(2004)

圖 3-2 照明設施之排列方式

2. 排列方式之選擇原則：

- (1) 路寬或車道寬度較窄之匝、環道，及一般巷道，得以單側排列設置之。
- (2) 高速公路主線、交流道銜接之連絡道路、一般幹線道路得以兩側交錯或相對排列方式設置。
- (3) 收費站廣場、車道較寬道路，得採用投射燈兩側交錯或相對排列方式設置之。
- (4) 如中央分隔帶寬度足夠時，得於中央分隔帶排列設置之。
- (5) 廣場、交流道、大圓環可設置高桿照明以取代區域照明。

(二) 設置高度與間隔

1. 為求照度分佈均勻，公路上燈桿高度與桿距之設計準則如表 3-16，但若基於節約能源之考慮，桿距得放寬 10%。

表 3-16 公路路燈高度與桿距標準表

燈具 燈桿排列	遮 蔽 型		半 遮 蔽 型		無 遮 蔽 型	
	高度(H)	間隔(S)	高度(H)	間隔(S)	高度(H)	間隔(S)
單側排列	$H \geq W$	$S \leq 3H$	$H \geq 1.2W$	$S \leq 3.5H$	$H \geq 1.2W$	$S \leq 4H$
交錯排列	$H \geq 0.7W$	$S \leq 3H$	$H \geq 0.8W$	$S \leq 3.5H$	$H \geq 0.8W$	$S \leq 4H$
相對排列	$H \geq 0.5W$	$S \leq 3H$	$H \geq 0.6W$	$S \leq 3.5H$	$H \geq 0.6W$	$S \leq 4H$
中央排列	$H \geq W$	$S \leq 3H$	$H \geq 1.2W$	$S \leq 3.5H$	$H \geq 1.2W$	$S \leq 4H$

資料來源：交通工程手冊(2004)

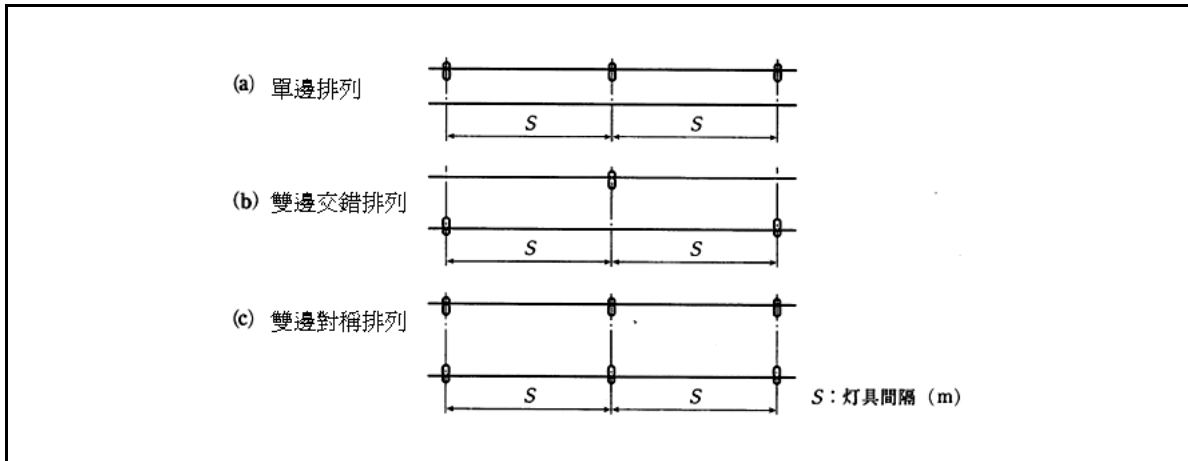
2. 一般公路及無行車場所之燈桿高度得降低 10%。至於燈桿間隔，一般公路上得增大 20%，無行車場所得增大 50%。
3. 燈具之間隔及高度應妥為選定，俾使路面照明明暗均勻度不低於交通工程手冊中表 7.2.2 之規定，若不能符合設計標準，則需以燈具等照度曲線圖或電腦照度計算資料檢核，以確認符合表 7.2.2 之規定。
4. 使用燈桿之照明燈具，距路面之高度除另有註明者外，高速公路或郊區主要幹道，以不低於 10 公尺為原則，市區道路應不低於 8 公尺。可行車之巷弄內應不低於 4 公尺。
5. 彎曲路段和斜坡路段應依需要縮短設置間距。

(三)設置位置

1. 設於橋上者，應裝設於特設之路燈混凝土基礎上。交叉路口地區，得設於交通島上。
2. 設於路邊或人行道上者，應考慮行人之通行。

② 日本

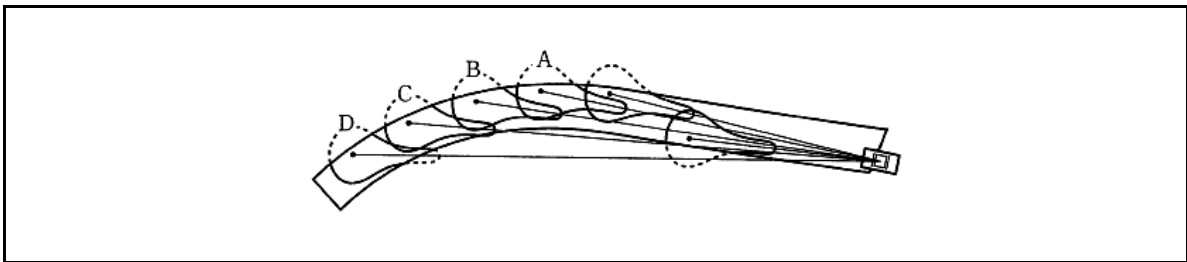
日本「道路照明設施設置規範與解說」中，在連續照明方面規定原則上使用燈桿式照明方式，但可根據道路及交通狀況選擇其他方式。在燈具排列配置上，規定如下圖所示的三種基本方式，可視道路狀況自由組合此三種方式以達到最適當的燈具配置方式。在道路中央配置燈具之場合，可視為是兩組方向相反的單邊排列配置。



資料來源：日本道路照明設施設置規範(2007)

圖 3-3 基本燈具配置方式

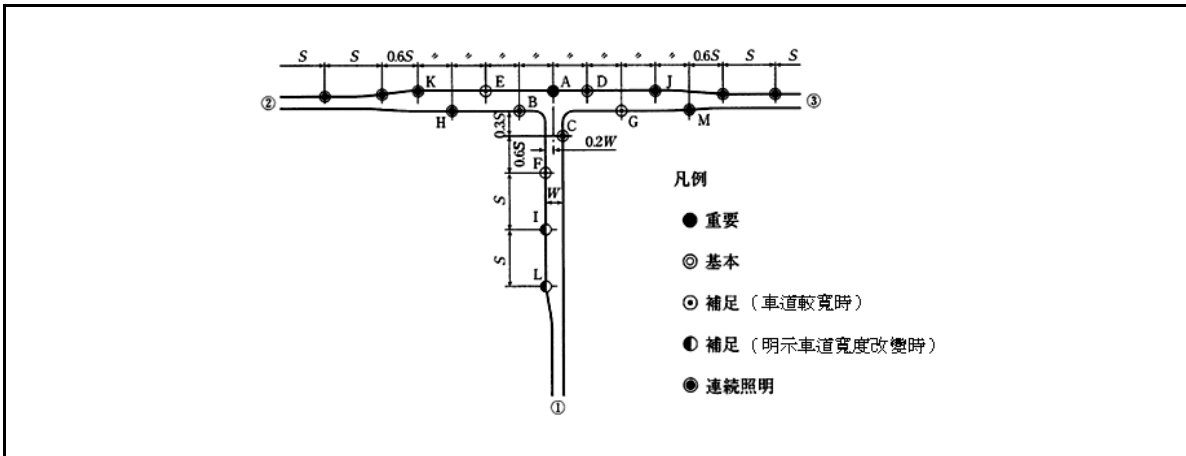
另外也根據誘導性與曲線道路之燈具的輝度分布特性，建議在道路曲線半徑 1,000 公尺以下的曲線道路部份最好採取如下圖的曲線道路外緣單邊排列的配置方式。



資料來源：日本道路照明設施設置規範(2007)

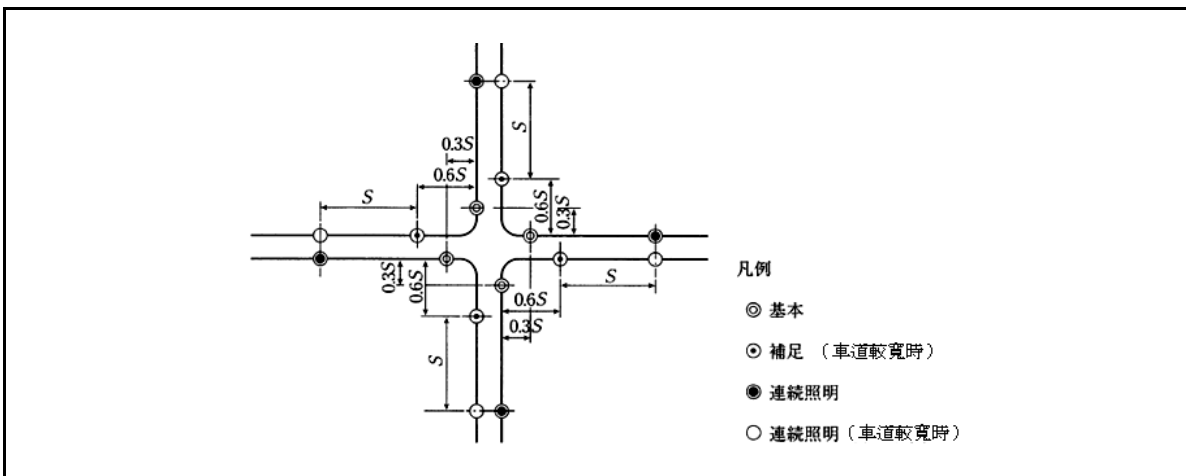
圖 3-4 曲線道路之單邊配置方式

而在局部照明部份則提示了 T 字、十字、Y 字路口的照明配置例，並標示出所配置之照明燈具的種類及其重要性如下：



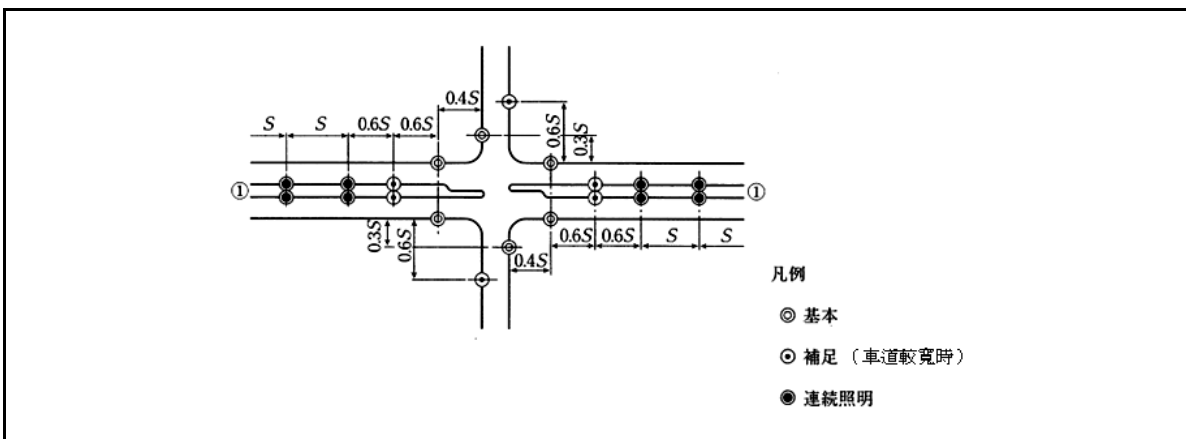
資料來源：日本道路照明設施設置規範(2007)

圖 3-5 T 字路口燈具配置例



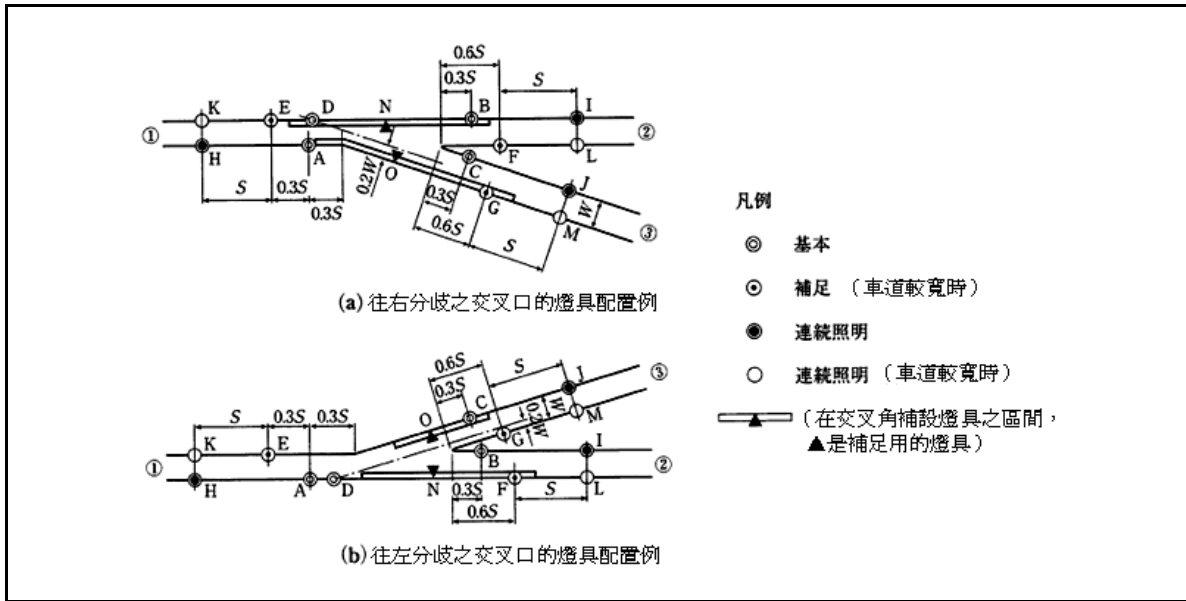
資料來源：日本道路照明設施設置規範(2007)

圖 3-6 車道寬度相同之十字路口燈具配置例



資料來源：日本道路照明設施設置規範(2007)

圖 3-7 照明設施設置於中央帶之十字路口燈具配置例

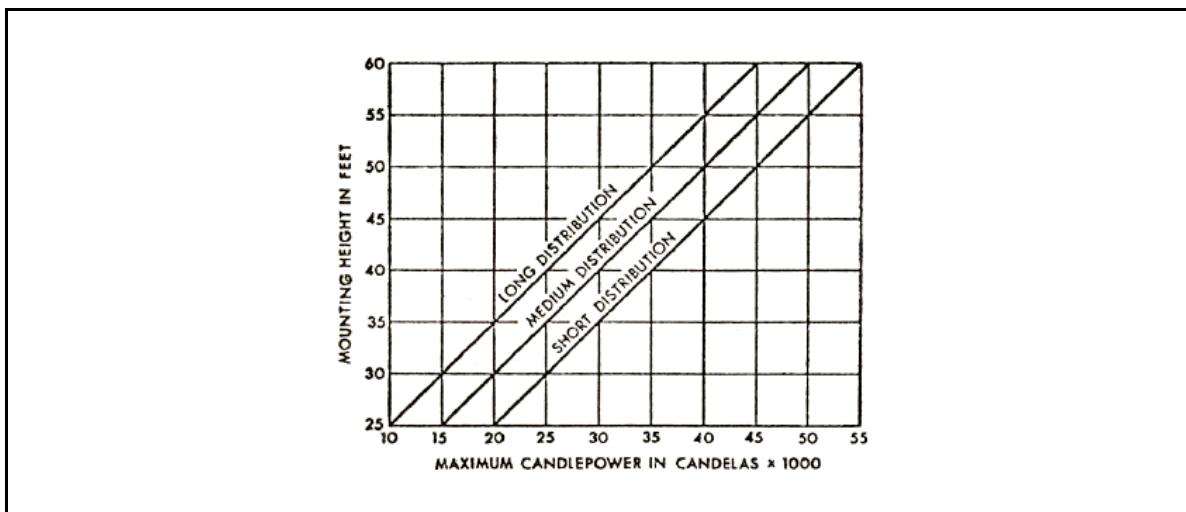


資料來源：日本道路照明設施設置規範(2007)

圖 3-8 Y 字路口燈具配置例

③ 美國

美國 IESNA 則規定，路燈安裝高度目前在美國公路上常用 12 公尺(或更高)之燈具，交流道則採較密集式之組合。安裝高度之決定要桿距、橫向距離及燈具型式、光度分佈合併考慮。意即足夠之均勻度、輝度、照度是選擇安裝高度的前提要件。圖 3-9 為 IESNA 提供之一般狀況下的最低安裝高度(基於實際計算及光幕輝度計算得知)。



資料來源：IESNA(2000)

圖 3-9 路燈最低安裝高度

④ 中國

中國城市道路照明設計標準-CJJ 45-2006 規定如下：

5.1.1 道路照明設計應根據道路和場所的特點及照明要求，選擇常規照明方式或高杆照明方式。

5.1.2 常規照明燈具的佈置可分為單側佈置、雙側交錯佈置、雙側對稱佈置、中心對稱佈置和橫向懸索佈置五種基本方式，如圖 3-10。採用常規照明方式時，應根據道路橫斷面形式、寬度及照明要求進行選擇。

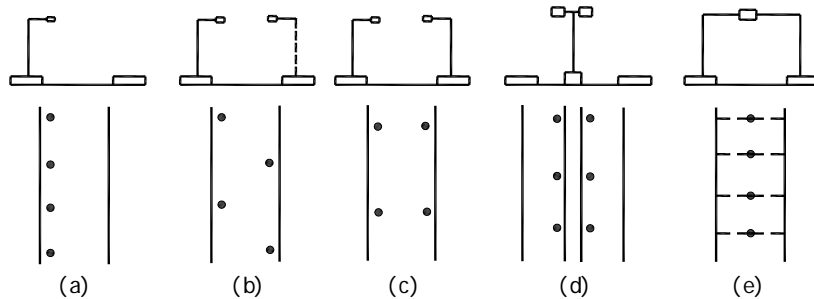


圖 5.1.2 常規照明燈具佈置的五種基本方式

(a) 單側佈置；(b) 雙側交錯佈置；(c) 雙側對稱佈置；(d) 中心對稱佈置；(e) 橫向懸索佈置

- 1 燈具的懸挑長度不宜超過安裝高度的 $1/4$ ，燈具的仰角不宜超過 15° ；
- 2 燈具的佈置方式、安裝高度和間距可按表 5.1.2 經計算後確定。

表 5.1.2 燈具的配光類型、佈置方式與燈具的安裝高度、間距的關係

配光類型	截 光 型		半 截 光 型		非 截 光 型	
	安裝高度 H(m)	間距 S(m)	安裝高度 H(m)	間距 S(m)	安裝高度 H(m)	間距 S(m)
單側佈置	$H \geq W_{\text{eff}}$	$S \leq 3H$	$H \geq 1.2W_{\text{eff}}$	$S \leq 3.5H$	$H \geq 1.4W_{\text{eff}}$	$S \leq 4H$
雙側交錯佈置	$H \geq 0.7W_{\text{eff}}$	$S \leq 3H$	$H \geq 0.8W_{\text{eff}}$	$S \leq 3.5H$	$H \geq 0.9W_{\text{eff}}$	$S \leq 4H$
雙側對稱佈置	$H \geq 0.5W_{\text{eff}}$	$S \leq 3H$	$H \geq 0.6W_{\text{eff}}$	$S \leq 3.5H$	$H \geq 0.7W_{\text{eff}}$	$S \leq 4H$

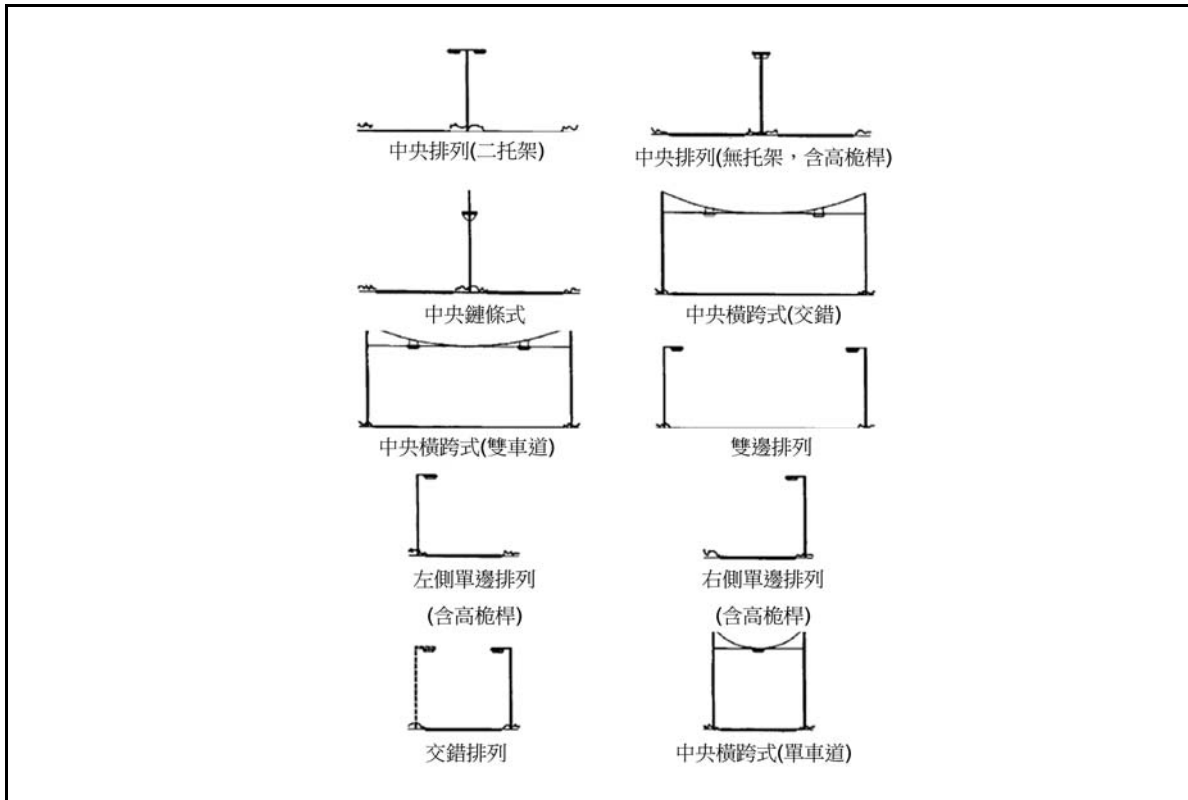
注: W_{eff} 為路面有效寬度(m)。

資料來源：城市道路照明設計標準(2006)

圖 3-10 照明燈具佈置方式

⑤ 歐洲

CIE23-1973 在照明設施之設置相關規定在 4.4.2 中提到燈具之安排，其中 4.4.2.1 為橫向燈具，4.4.2.2 為縱向鏈條懸掛。燈具排列方式如圖 3-11 所示。相關設置規定內容如下：



資料來源：CIE132-1999 (1999)

圖 3-11 道路標準燈具排列方式

• 4.4.2.1 橫向燈具(與前進方向成 90°)

橫向燈具之燈高約 18 公尺，確實高度則依車道寬而定。對每一單向車道而言，它通常由一側來照明，如以下分類：

(A) 單列雙臂，於中央分隔島

(B) 二列雙臂，於外側胸牆

(C) (a)與(b)混合或(a)項 x2(當多車道，且總寬大於 $1/2$ 燈高時)

• 4.4.2.1.1 中央分隔島

這是最經濟之作法，優點在它只須開挖一道且只需一排燈柱。安全島可寬至 6 公尺。另一方面，其缺點則為需極長之前伸臂(當島寬較大時)且維修車輛得占住一車道。

• 4.4.2.1.2 路緣

此作法較為昂貴，此乃因需二組管道及二列燈柱，但它具有維護時不須占車道之優點，故常使用於市區內。另外，此方式是針對較寬道路之最佳方式。(此時，前伸臂需極長，以免中央分隔島之亮度不夠。

- 4.4.2.1.3 中央分隔及路緣共用

此作法當然是最為昂貴的，但除非應用高桿照明，否則這是唯一能提供極寬道路良好照明之選擇。

- 4.4.2.1.4 懸吊於橫跨線上

橫跨線所支撐之燈具可於橫向之車道上方，依所需設置燈具，此為花費頗大之方式。另外，外觀上也較不雅。另一個缺點是，當發生事故而須更換橫跨線時，雙邊車道恐皆得封閉。

- 4.4.2.2 縱向鏈條懸吊

- 4.4.2.2.1 中央分隔島上方

於中央分隔島之各支柱間，裝設一條縱向之鏈條以懸吊一串與道路平行之燈具。桿距約 50~80 公尺，燈高約 10~15 公尺之間，燈距則約為燈高之 1~2 倍。本方式有極佳之道路導引之功能。當燈泡光度夠、橫向分佈夠寬、且路面有較佳之散射性時，其辨識功能不錯。但其路面之平均輝度會比 4.2.1 之方式為低。

- 4.4.2.2.2 雙鏈條系統

此方式基本上與前段說明類似，常應用於二列皆由中央分隔島區隔之雙向車道中。其能提供極佳之道路導引，其外形與其他狀況與單鏈相似。

- 4.4.2.3 胸牆照明

當道路二側有連續高於路面約 1 公尺之物體(如牆...)時，於其上裝設燈源能有極佳之道路導引。它只適合雙車道，且遇小丘及彎道時，要留意防止眩光。

2. 隧道照明

隧道照明從各國規範來看，在長隧道與短隧道的定義略有不同，如下所述：

(1) 我國

① 隧道照明

一、長短隧道區分

以照明觀念區分長短隧道時與其長度無關。應依隧道之斷面、坡度、線型在正常交通狀況下加以區分，其原則如下：

(一)由隧道進口處無法看到出口區之光源時視為長隧道。

(二)由隧道進口處可看到出口區之光源時視為短隧道。

二、長隧道之照明區分

依路面之輝度區分為基本照明、加強照明、夜間照明、緊急照明及連接道路照明等。

各項照明路面所需之輝度如下：

(一)基本照明

基本照明為隧道無日光時所需之照明，亦即內部區照明，其路面之平均輝度，隨設計速率以表 3-17 所列數值為其標準。平均輝度與平均照度之換算係數參考表 3-18 或實際進行實驗。表 3-17 即為隧道內透視率在每 100 公尺約 50%以上時，而列示一般隧道內路面所需之平均輝度。當交通量較少，透視率高時，得減低路面之平均輝度。亦即當一條隧道之平均每日交通量未達 10,000 輛時，其基本照明路面之平均輝度可降低至表 3-17 值之 1/2。於夜間，也依同樣的觀點可降低路面之平均輝度。但是此時其路面之平均輝度仍不得低於 0.7cd/m^2 。

表 3-17 基本照明路面之平均輝度

設計速率(km/hr)	平均輝度(cd/m^2)
100	9.0
80	4.5
60	2.3
40 以下	1.5

註：野外輝度： $4,000\text{cd/m}^2$

資料來源：交通工程手冊(2004)

表 3-18 隧道內平均輝度與平均照度換算係數

路面材料	換算係數 平均照度/平均輝度
水泥路面	13
柏油路面	18

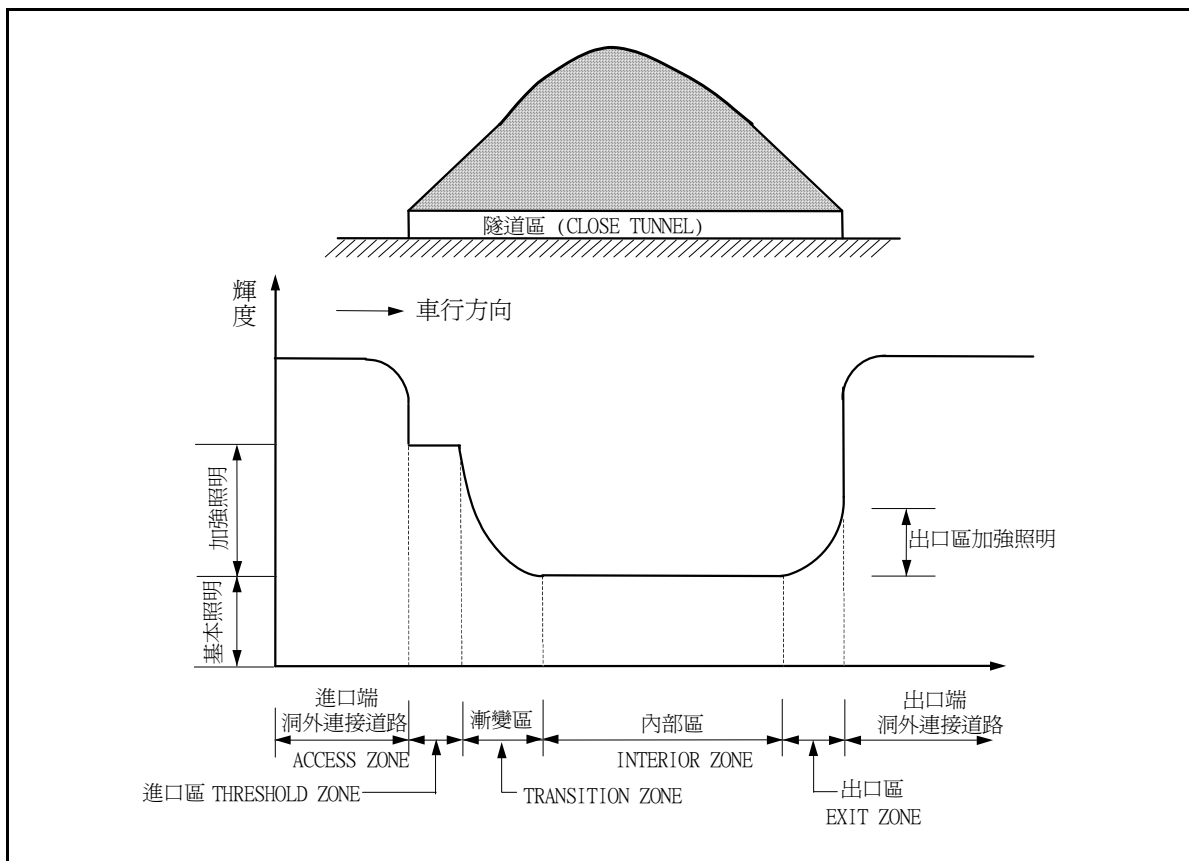
註：平均輝度單位： cd/m^2 平均照度單位：lux

資料來源：交通工程手冊(2004)

(二)加強照明

1. 在晝間光亮之環境進入昏暗之隧道，人的眼睛無法即時適應黑洞效應，在隧道進口區應加強照明，再逐漸降低路面輝度至隧道內部之基本照明，供駕駛人眼睛能逐漸適應，以辨認路況或作應變處理。

2. 單向行車隧道出口區，駕駛人由隧道內低亮度駛至隧道外之高亮度環境亦宜有適當的加強照明，使駕駛者適應環境。
3. 單向行車隧道出口區之加強照明一般為內部區基本照明之 5 倍，加強照明之長度依車速、線形等情況決定，一般出口區長度為出口端前 60 公尺。
4. 單向行車隧道入口區分為進口區、漸變區，詳如圖 3-12。在晝間隧道外之輝度與周圍環境有密切之關係，可於實地測得或參考表 3-18。
 - 進口區輝度：隧道外輝度之 5%~10%，設置長度不應少於安全停車視距。
 - 漸變區輝度：依進口區輝度以不大於 3:1 之比例逐漸降至基本區之照明，長度依車速如圖 3-12 所示輝度值與時間曲線。



資料來源：交通工程手冊(2004)

圖 3-12 單向隧道長度與輝度關係曲線

表 3-19 隧道進口端洞外連接道路晝間路面輝度參考值

設 定 條 件	輝度 (cd/m ²)
1. 天空或海面等高輝度部分，佔全視野 50%以上之面積者。 2. 隧道口附近地形開闊，其隧道口方位為向南者。 3. 其他如地形上，隧道口附近可獲得高輝度者。	6,000
1. 天空或海面等高輝度部分，佔全視野 25%以上之面積者。 2. 隧道口附近尚稱開闊，其隧道口自正南偏 25 度以上之東南向及西南向者。 3. 一般之山地及市街地區之隧道者。	4,000
1. 天空或海面等高輝度部分，進入視野內量有限者。 2. 隧道口附近地形不開闊，如兩邊為山或森林茂盛等，視野不甚良好者。 3. 市區內，隧道口受高樓建築圍繞之隧道者。 4. 因地形上，光線受阻蔽，無法直射隧道口之隧道者。	3,000

資料來源：交通工程手冊(2004)

5. 單向行車隧道入口進口界區之輝度值除了用電力照明外，尚可用其他方式控制陽光直接射入洞口附近，如以遮陽隔板阻擋部分陽光之直接射入方式。

6. 雙向隧道兩端之加強照明，輝度值和單向隧道入口區相同。

(三)夜間照明

夜間照明之輝度為至少應與進口端連接道路照明相當。

(四)緊急照明

為避免電源中斷時，隧道內所有燈光突然完全熄滅，造成駕駛者失去控制行車方向而發生意外，宜設緊急照明。緊急照明為基本照明之 1/4 以上。除需發電機供給全額緊急照明外，尚需設置不斷電電源設備供給全額緊急照明，不斷電電源設備容量至少維持 15 分鐘供電。

(五)連接道路照明

在夜間時，隧道外進、出口端之連接道路須予照明，其平均輝度值應為 1cd/m² 以上，所須照明長度應大於隧道限制行車速率 5 秒之長度或依連接道路之周圍環境、線形等情況決定。

② 短隧道照明

一般短隧道在晝間無需照明，但如須設置晝間照明則參考表 3-20。

表 3-20 短隧道晝間照明方式參考表

隧 道 長 度		參考照明方式
無彎曲和非混合車道	有彎曲或有混合車道	
<50 公尺	<25 公尺	無需照明
50~80 公尺	25~40 公尺	隧道內需照明處之輝度應大於洞口外輝度之 10%
80~100 公尺	40~100 公尺	隧道內全部採均一之照明基準
>100 公尺	>100 公尺	長隧道照明

資料來源：交通工程手冊(2004)

國內除了交通工程手冊對於隧道照明有進行專節討論外，隧道機電工程設計時可以依據的規範尚包括：交通部國道新建工程局所公佈之「隧道機電工程施工技術規範」以及「國道公路照明設計準則」，供隧道照明設計時做一參考與依循。

(2) 日本

根據日本道路照明設施設置規範第五章的隧道照明設計，其相關規定如下：

① 隧道照明之構成

隧道照明之構成如下所示。

- 一、基本照明
- 二、入口部照明
- 三、出口部照明
- 四、特殊構造部之照明
- 五、停電時照明
- 六、接續道路之照明

② 基本照明

基本照明之性能指標為平均路面輝度、輝度均勻度、不適眩光、誘導性。

一、平均路面輝度

隧道內之平均路面輝度因應設計速度，以表 3-21 值為標準。

表 3-21 基本照明之平均路面輝度

設計速度(km/h)	平均路面輝度(cd/m ²)
100	9
80	4.5
70	3.2
60	2.3
50	1.9
40 以下	1.5

資料來源：道路照明設施設置規範(2007)

而因應交通量、隧道之延長，平均路面輝度可採用比表 3-21 所示數值還低的值，唯此時亦不得低於 0.7 cd/m²。

二、輝度均勻度

輝度均勻度以綜合均勻度 0.4 以上為原則。

三、不適眩光

不適眩光以相對門檻增量值 15%以下為原則。

四、誘導性

決定燈具之高度、排列、間隔等以獲得適當的誘導性。

③ 入口部・出口部照明

一、入口部照明之設置

全長 50m 以上之隧道原則上須在由邊界處、過度處以及緩和處所構成的入口部設置照明。

入口處之照明設計須考慮隧道的設計速度、野外輝度、接續道路及隧道入口部之線形。

二、入口部照明各部之路面輝度與長度

入口部照明各部之路面輝度及長度，若野外輝度為 3,300cd/m² 時，因應設計速度，以表 3-22 為標準。而路面輝度因應交通量、照明方式或連續隧道之坑口間距，可採用低於表 3-22 之數值。

表 3-22 入口部照明(野外輝度 3,300cd/m²時)

設計速度 (km/h)	路面輝度(cd/m ²)			長度(m)		
	L ₁	L ₂	L ₃	l ₁	l ₂	l ₃
100	95	47	9.0	55	135	340
80	83	46	4.5	40	150	290
70	70	40	3.2	30	140	250
60	58	35	2.3	25	130	220
50	41	26	1.9	20	105	175
40	29	20	1.5	15	85	130

資料來源：道路照明設施設置規範(2007)

三、入口部照明之燈具配置

入口部照明之燈具配置以基本照明為準。

四、出口部照明

出口部最好考慮設計速度、隧道總長、出口附近之野外輝度後依需要設置照明設施。

(3) 美國

根據 IESNA 照明手冊第九版，依照隧道之長度及安全停車視距(Safety Stopping Sight Distance：SSSD)之大小，隧道可分為以下二類：

- 短隧道：即總長(入口至出口)等於或小於停車視距者(駕駛人發現車道中有障礙物，自反應、煞車至完全停止車輛所需之距離)
- 長隧道：即總長(入口至出口)大於停車視距者

對短隧道而言(總長<SSSD)，如配合上平坦及筆直之鄰接及洞口道路時，是不需要有額外之白天照明。此乃因靠著較亮之出口當背景，前方物體之輪廓極易顯現；反之，對彎曲而看不到對面出口之隧道則需額外照明，長隧道即需數個不同之照明區。

隧道照明主要分為進口區、內部區、漸進區。

- 進口區：隧道進口區需有相當高之輝度，以令眼球適應其內之所需。表 3-23 為白天此區所需之輝度值。至於晚間，因早已適應洞外之昏暗，故不論隧道之何區(進口區、內部區、漸變區)都只須符合 2.5cd/m² 之最小值要求即可。由於進口區日夜之照明需求差異大，故有需要用開關或迴路來自動切換，以滿足不同之需求。

表 3-23 白天隧道進口區之路面輝度建議值

隧道 特性	車 速		車 流 量 (AADT)			
	公里	英哩	<25000	25000~89999	90000~150000	>150000
	/小時	/小時	cd/m ²			
坡度較小之高山 隧道(易積雪)、 外圍建物極少之 河底隧道、東西 向隧道	≥81	≥50	210	250	290	330
	61~80	38~49	180	250	260	300
	≤60	≤37	140	185	230	270
坡度大而不宜積 雪之高山隧道、 入口外圍有中度 輝度者	≥81	≥50	145	175	205	235
	61~80	38~49	130	160	190	220
	≤60	≤37	105	140	170	200
入口週遭為封閉 型、昏暗表面之 建物、外部輝度 經過人為改變、 南北向隧道	≥81	≥50	80	100	115	130
	61~80	38~49	70	90	105	120
	≤60	≤37	60	80	95	110

資料來源：IESNA(2000)

內部區：因眼睛已適應之故，此區之白天照明可減低些。此區輝度之建議值為至少 5cd/m²，且均勻度不可大於 3：1(平均：最小)。表 3-24 為白天隧道內部區之輝度建議值。

表 3-24 白天隧道內部區之輝度建議值

單位：cd/m²

車速	車 流 量		
	低 <2400AADT	中 >2400AADT <2400AADT	高 >2400AADT
100 公里/小時	6	8	10
80 公里/小時	4	6	8
60 公里/小時	3	4	6

AADT(Annual Average Daily Traffic)：每日平均車流量

資料來源：IESNA(2000)

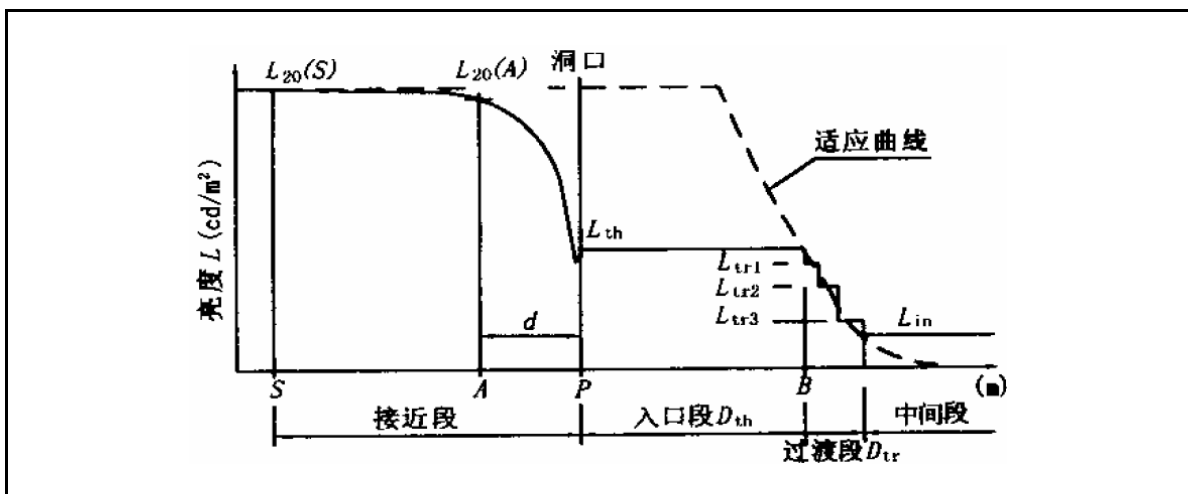
漸變區：此區之輝度非固定，由進口區交界處遞減至內部區交界處，其長度為一個安全停車視距，可用以下幾種方式運作：遞增之桿距、燈具內燈泡數之遞

減、降低燈泡之瓦數或上述方法之組合。此區所劃分之各相同輝度之區塊數目必須為偶數。首先，區塊必須皆等長，其次，緊鄰進口區之第一區塊之輝度不能低於進口區之 25% 以下；且每一區塊之輝度不能低於前區塊之 33% 以下。最後，緊鄰內部區之最後區塊輝度不能大於內部區之二倍以上。

(4) 中國

中國隧道照明規範在公路隧道通風照明設計規範(JTJ026.1-1999)中第四章照明中有相關規定，說明如下：

規範中首先提到，長度大於 100 公尺的隧道應設置照明。且隧道照明設計所採用的計算行車速度不宜大於 100km/hr，如大於 100km/hr 應做特殊設計。各照明段輝度與長度，如下圖 3-13 所示。



資料來源：公路隧道通風照明設計規範(1999)

圖 3-13 中國隧道照明各照明段輝度與長度

路面左右兩側牆面的 2m 高範圍內的平均輝度，應不低於路面平均輝度。而平均輝度與平均照度間的換算關係一般可按瀝青路面 15-22 lx/cdm²，水泥混凝土路面 10-13 lx/cdm² 取值。

中間段輝度規範如下表所示：

表 3-25 中間段輝度規範值

計算行車速度 (km/h)	中間段輝度(cd/m ²)	
	雙車道單向交通 N>2400 輛/h	雙車道單向交通 N≤700 輛/h
	雙車道雙向交通 N>1300 輛/h	雙車道雙向交通 N≤360 輛/h
100	9.0	4
80	4.5	2
60	2.5	1.5
40	1.5	1.5

資料來源：公路隧道通風照明設計規範(1999)

而關於路面輝度總均勻度(U_0)與輝度縱向均勻度(U_1)，規範內容如下表 3-26 所示。

表 3-26 路面輝度總均勻度與縱向均勻度規範值

設計交通輛 N(輛/h)		路面輝度總均勻度 U_0	路面輝度縱向均勻度 U_1
雙車道單向交通	雙車道雙向交通		
≥2400	≥1300	0.4	0.6~0.7
≤700	≤360	0.3	0.5

資料來源：公路隧道通風照明設計規範(1999)

入口段輝度照明值，計算方式為 $L_{th}=k \cdot L_{20}(S)$ 。其中， L_{th} 為入口段輝度(cd/m²)， k 指入口段輝度折減係數，而 L_{20} 為洞外輝度(cd/m²)。入口段輝度折減係數 k 值可參考以下表 3-27 取得數值。

表 3-27 入口段輝度折減係數 k 值

設計交通輛(輛/hr)		k 值			
		計算行車速度(km/h)			
雙車道單向交通	雙車道雙向交通	100	80	60	40
≥2400	≥1300	0.045	0.035	0.022	0.012
≤700	≤360	0.035	0.025	0.015	0.01

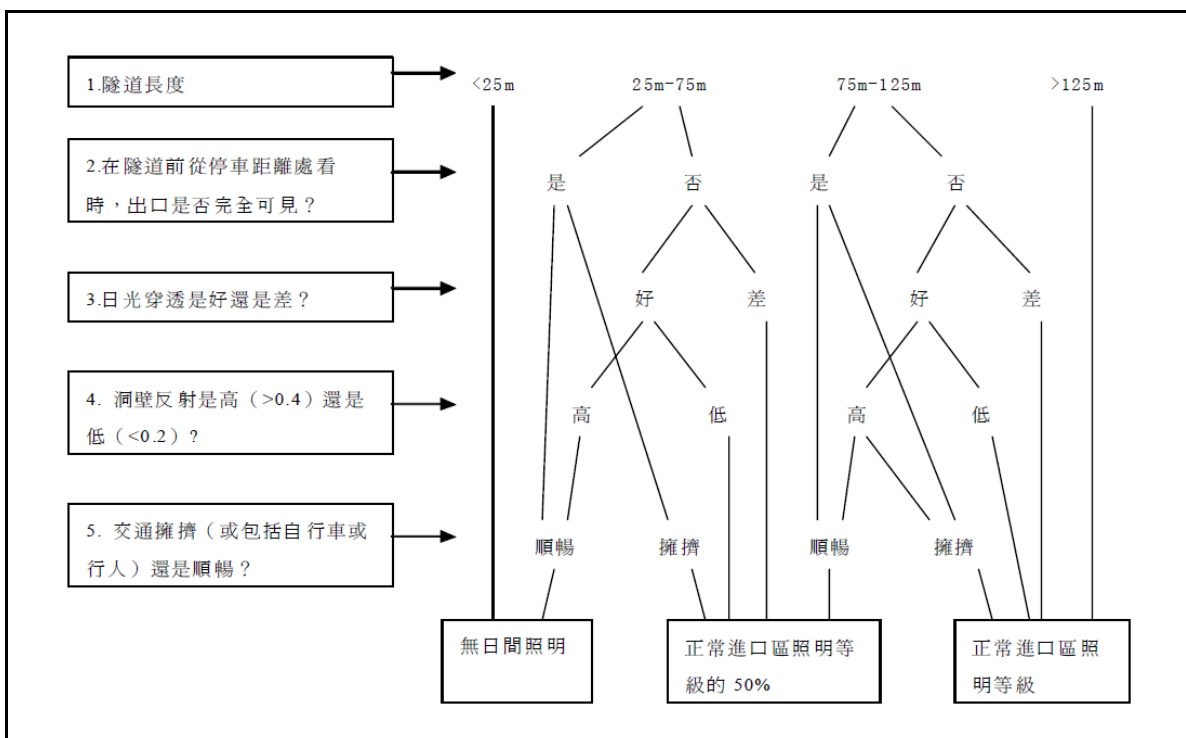
資料來源：公路隧道通風照明設計規範(1999)

(5) 歐洲

歐洲在隧道照明的規範，列於 CIE88:2004 Guide for the lighting of Road Tunnels and Underpasses。隧道為高出地面之覆蓋物，照明之要求隨著駕駛能看穿

隧道之程度而有異，看穿之能力不只與其長度有關，亦取決於其他因素(如寬、高、傾斜度等)。隧道通常可分為長隧道與短隧道兩種，雖然其定義與其長度有關，但對於那無法看到對面出口區之隧道而言，常被稱為光學長隧道，而以長隧道之照明方式處理(不論其實際長短)。反之，則稱為光學短隧道。故依照明之需求來分類，隧道可分為以下三種：(1)地理長隧道。(2)光學長隧道。(3)短隧道。

針對各種長度之隧道照明要求如圖 3-14 所示，對 75m 長之隧道而言，日昇前 1 小時及日落後 1 小時內，須達到長隧道內部區照明標準，夜晚則只需要達到夜間照明標準。故 CIE 以地理、可視度、日光穿透度、洞壁反射性、交通狀況綜合考量，作為隧道照明要求之依據。



資料來源：CIE88:2004 (2004)

圖 3-14 CIE 各種長度隧道照明要求

長隧道照明規範內容如下：

表 3-28 隧道照明平均輝度規範

單位：cd/m²

停車距離(m)	長隧道(Long Tunnels) 交通車流輛(車輛/時/線道)		更長隧道(Very Long Tunnels) 交通車流輛(車輛/時/線道)	
	低	高	低	高
160m	6	10	2.5	4.5
60m	3	6	1	2

資料來源：CIE88:2004 (2004)

其中定義交通車流量速度大小方式，如下表所示：

表 3-29 隧道照明交通車流量速度大小定義方式

單位：單一車道每小時車流量

交通車流量	單向交通	雙向交通
高	> 1500	> 400
低	< 500	< 100

資料來源：CIE88:2004 (2004)

3. 小結

(1) 道路照明

茲將各國道路照明規範整理如附件 1。從各國道路路面之照明水準、控制光度分佈與照明設施三者來比較各國規範差異。首先在道路路面之照明品質，我國交通工程手冊以照度來衡量照明品質，而歐洲及日本均以輝度作為衡量照明品質的依據。美國則同時使用輝度與照度兩項指標。

國內交通工程手冊之照度值與美國 IESNA 照度規範，歷經多年均未修改。早年我國經濟環境不佳，道路照明為主要夜間照明之來源，為了確保交通安全以及用路人的安全，對於道路照明照度要求較高，相對美國則無此層面考量，因此我國道路照明照度要求較高。

在控制光度設計上，我國法規主要參考美國 IESNA 規範，早期 IESNA 對於道路照明燈具分為遮蔽型、半遮蔽型與無遮蔽型三種，我國沿用至今。而美國 IESNA 及 CIE 規範在降低眩光考量下，均朝向設置全遮式燈具，歐洲 CIE 分為全遮蔽型、半遮蔽型與無遮蔽型三種，美國則有全遮蔽型、遮蔽型、半遮蔽型與無遮蔽型四種，至於各種分類燈具內容定義，則極為相似。

各國對於燈具設置方式有不同的相關規定，基本上是根據各國道路條件來決定燈具排列方向，CIE 為一國際通用的標準，標準的適用範圍要夠寬廣，因此，

CIE 規範中的中央鏈條式與中央橫跨式二種，皆是國內交通工程手冊中未特別規定的部份。

至於在燈桿設置高度與間隔的衡量，我國以燈具型式與燈桿排列方式來決定，實務上比較容易操作，但為了確保道路照明品質，在法規中也設定但書，則需以燈具等照度曲線圖或電腦照度計算資料檢核，以確認符合交通工程手冊表 7.2.2 之規定。

至於美國 IESNA，為了確保道路照明品質，對於燈桿設置高度與間隔的衡量相對謹慎，美國 IESNA 要求燈桿安裝高度之決定要桿距、橫向距離及燈具型式、光度分佈合併考慮，意即足夠之均勻度、輝度、照度是選擇安裝高度的前提要件，並定義出最低安裝高度。

(2) 隧道照明

從各國隧道照明相關規範可以發現，我國由於隧道數量少，地理與氣候條件複雜度低，因此對於隧道照明定義相對簡單，僅定義出長隧道與短隧道兩種。且在長短隧道上的定義比較簡單，由隧道進口處無法看到出口區之光源時視為長隧道。由隧道進口處可看到出口區之光源時視為短隧道。

美國與歐洲在隧道長度、光氣候(光明亮變化)、地理條件與位置季節變化等因素，相對我國來的複雜與多元，因此對於隧道照明的要求相對也比較嚴謹。IESNA 規範在隧道分類上也是長隧道與短隧道兩種，但其是以隧道總長(入口至出口)大於或小於停車視距(駕駛人發現車道中有障礙物，自反應、煞車至完全停止車輛所需之距離)加以區分。歐洲以地理、可視度、日光穿透度、洞壁反射性、交通狀況綜合考量，將隧道形態分為(1)地理長隧道。(2)光學長隧道。(3)短隧道。

至於對於隧道照明品質要求，如前所述歐洲隧道照明環境多元且複雜，因此以地理、可視度、日光穿透度、洞壁反射性、交通狀況綜合考量，作為隧道照明品質要求之依據，考量最為周全。

美國 IESNA 規範則以隧道特性與車速，來規範隧道照明品質要求。而我國與日本均以交通流量、車速與隧道形態來規範隧道照明要求。基本上各國均以平均輝度做為隧道照明品質主要規範項目，我國為了方便道路管理單位設置及管理，訂有隧道內平均輝度與平均照度換算係數。

3.4 交通標誌/標誌照明

3.4.1 各國法規規範之訂定

1. 我國

標誌、標線、號誌之設置目的，在於提供車輛駕駛人及行人有關道路路況之警告、禁制、指示等資訊，以便利行旅及促進交通安全。國內於交通標誌的相關規範，訂定於「道路交通標誌標線號誌設置規則」以及「市區道路及附屬工程設計標準」20.1 道路交通標誌標線號誌設置。本研究以標誌照明為主要研究內容，相關規範則以交通工程手冊中的內容為主。

2. 日本

道路設計要領「第八章道路附屬物之第二節道路標誌設置」中，說明道路標誌設置之規範以「道路標誌設置規範與解說」為依據，並以 7 頁的篇幅說明了道路標誌的設置體系、道路標誌的機能與分類、標誌標示方法之選定、道路標誌的設置計畫等主要設計指針。而有關標誌照明則於「道路標誌設置規範與解說」中的「第三章道路標誌的設置計畫 第一節設置基本 第六小節反射材料等」章節中提到標誌使用照明時之照明方式有外部照明與內部照明兩中方式，並於「第四章道路標誌之設計施工」中說明採用標誌照明時之規範與留意事項。

3. 美國

美國 MUTCD 依照功能對標誌的分類包括禁制、警告和指示標誌，任何透過文字、符號、和/或箭頭對道路使用者傳達的具體資訊。統一化的設計應包含形狀，顏色，尺寸，圖示，外框，照明或反光等項目。MUTCD Section 2A.07 Retroreflectivity and Illumination 中規定任何禁制、警告、指示標誌，以及障礙物體標示(object markers)應該(shall be)具反光性或照明顯示。

4. 中國

交通標誌標線規範則包括「CJJ37-90 城市道路設計規範」、「GB5768-1999 道路交通標誌和標線」、「城市道路交通標誌標線設置指南」等，CJJ37-90 城市道路設計規範僅針對設置及眩光等問題做大範圍規範。而 GB5768-1999 道路交通標誌和標線進一步規範交通標誌的反光材料的種類和性能，以及對照明種類更清楚的規範。城市道路交通標誌標線設置指南中針對標誌設置的角度、標誌的反光與照

明有詳細規範。

5. 歐洲

歐洲在交通標誌與標誌照明的規範，在英國提出的 Traffic Signs Manual 以及英國交通標誌規則管理與一般指令(TSGRD, Traffic Signs Regulations and General Directions)皆有相關規定。TSGRD 分成六個部分，分別是前言、一般性準備、警告、禁制與指示標誌、道路標線、燈光號誌與警告號誌以及其他交通標誌。

6. 小結

標誌、標線、號誌之設置目的，在於提供車輛駕駛人及行人有關道路路況之警告、禁制、指示等資訊，以便利行旅及促進交通安全，為了確保交通標誌/標誌照明設置符合其功能，各國均定義出法規與管理規範。

3.4.2 法規內容差異分析

1. 標誌照明

(1) 我國

根據「道路交通標誌標線號誌設置規則」3.1.2 基本要求中提及交通標誌重要性包含以下幾點：

1. 需要性：標誌係提供車輛駕駛人及行人必要的路況資料，以利行旅及行車安全。
2. 醒目性：標誌應在其背景襯托下顯示尖銳對照，使車輛駕駛人在其規定行車速度下及時辨識，以便有足夠時間採取適當的反應措施。
3. 易讀性：標誌之符號、圖案或文字應力求簡潔與一目瞭然，使車輛駕駛人在規定行車速度下，易於及時辨識。
4. 權威性：標誌具有法令權威，約束車輛駕駛人及行人遵照標誌指示決定行止。
5. 公認性：標誌之體形、符號、圖案、字體、顏色等應統一標準化，符合法令規定。
6. 一致性：標誌之設置位置、高度、反光性、文字說明等均宜一致。

而在 3.2 規劃設計中，在照明與反光部分提到：

1. 高速公路懸掛式標誌除高速公路指引標誌外均應附設照明設備。
2. 照明設備一律使用白色燈光，安裝於指示標誌之內部或上方或其他適當之位置。
3. 標誌除另有規定外，均應具反光性能。
4. 標誌所使用各種反光材料，不得影響標誌圖案之形狀及顏色。

國內交通工程手冊中，針對交通標誌的照明也有相關規定，7.2.5 小節將標誌照明分為內部照明式與外部照明式，如下所述：

① 內部照明式

如收費站車道指示標誌及隧道逃生指示標誌等，牌面以透明壓克力材料製作，燈具裝置於內部。本類照明之設計，得視牌面之大小及形狀而定，其設計原則如下：

- a. 光色應近似日光。
- b. 使用高功率型安定器。
- c. 夜間照明時，其能見距離不得小於 150 公尺。
- d. 結構設計除為檢查或換裝燈具外，應為不易打開之製品，且須達到 IP54 級標準以上之防水、防塵功能要求。
- e. 應能承受瞬間風速 60 公尺/秒之風壓。
- f. 應能耐壓及抗周圍溫度等之變化。

② 外部照明式

懸掛式標誌一般於標誌板前下方設置燈具，向指示標誌面照射，其照明方向應以最強光對指示標誌面，其燈具間隔應視牌面大小作適當調整，並不得遮蔽標誌文字。本類照明之設計原則如下：

- a. 標誌、牌面之照度應均勻，其最大與最小照度之比值應低於 6。
- b. 夜間照明時，其能見距離不得小於 150 公尺。
- c. 平均照度一般在 300~500 lux，色澤須良好，使標誌文字清晰，光色近似日光。
- d. 光線不得對駕駛人產生眩光，燈具應設置屏蔽以減少燈光照射到路上。
- e. 標誌面不得產生閃爍現象致影響標誌文字之辨認。
- f. 應採用易維護且壽命長之燈具。
- g. 如指示標誌面較高時，可由指示標誌前上、下方均設置燈具以達均勻度要求。

(2) 日本

照明裝置：照明裝置在視認性上必須有適當的照度和耐久性和容易維持管理。

① 內部照明方式

一般燈具依標誌板之大小、形狀等採用 10W~40W 之一般照明用直管型及圓管型螢光燈泡(JIS C7601)。安定器和燈座各自規定為 JIS C8108、JIS C8324。管理上可依需要使用自動開關裝置。設計時應留意事項如下：

- (a) 夜間照明時須有從前方約 150m 開始可視認之表面照度。

(b)燈具及安定器相之構造須以經防鏽處理之金屬板等製作，且防塵防水，容易修理、清理。

(c)構造及安裝時須耐風速 50m/sec。

(d)各部份之電氣特性須良好能確實作動，且耐久性佳。

② 外部照明方式

光源一般採用 500lx 以上之螢光燈。設計時須留意下列事項：

(a)夜間亮燈時須能從前方約 150m 開始可視認。

(b)亮燈狀態下板面照度不可有極端的照度不均現象。均勻度(最大照度／最小照度)必須在 4 以下。

(c)燈具須設置在從駕駛人看過去，光源不會映照在標誌板面上的位置。

(d)燈器發出之光線不可讓路上駕駛人感到刺眼。

(e)燈具支架及治具類須以經防鏽處理之鋼管、鋼板等堅固製作，特別是支臂之構造須為能耐風壓及車輛經過之震動。

(f)各部份之電氣特性須良好能確實動作，且耐久性佳。

(3) 美國

設計良好的道路標誌照明(Illumination of Roadway Signs)可以幫助駕駛快速準確的辨識和明白標誌的訊息，有助於提高安全，大幅降低駕駛者緊急煞車或突然降低速度的可能性(IESNA 2001)。根據 IESNA 照明手冊第九版，在(1)車流增加；(2)路況複雜；(3)天候惡劣機率大；(4)環境輝度大之四種狀況下，標誌照明之好壞更為重要。

道路標誌照明有三種形式，包括外部照明式、內部照明式及光源組合式(訊息是由光源自身外形顯示)。以下將依照 IESNA 照明手冊第九版的規範，針對各發光形式的標誌照明進行照度建議值的列表說明。

外部照明式：此種照明之各照度建議值如表 3-30。“最大/最小”均勻度不可大於 6：1，且愈低之比值標誌之辨識度愈高。

表 3-30 IESNA 標誌照明之外部照明照度建議值

	標誌照度(Sign Illuminance)		標誌輝度 (Sign Luminance)*
Ambient Light Level (環境輝度)**	lux	footcandles	cd/m ²
低輝度	100~200	10~20	22~44
中輝度	200~400	20~40	44~89
高輝度	400~800	40~80	89~178

註：*Based on maintained reflectance of 70% for white sign letters

**環境輝度，即提供標誌背景之周圍輝度稱之，可分為以下三種：

- 高輝度：有極高照明之街燈及廣告燈。
- 中輝度：較無商業活動之道路、有燈之道路及交流道。
- 低輝度：無路燈之鄉間道路或低照明之區域。

資料來源：IESNA(2000)

內部照明式：其照度建議值如表 3-31，數值是針對白色半透明材料製成之標誌(含框文字)而設計。但若是彩色標誌，則應調高其光源輝度以確保其與背景之對比度。“最大/最小”輝度比不可大於 6：1，且相鄰之二 0.3 米×0.3 米區域，不可有超過 20%之輝度差，而標誌與背景之平均輝度比不能大於 10：1。

表 3-31 IESNA 標誌照明之內部照明輝度建議值

	Ambient Light Level(環境輝度)		
	低	中	高
Candelas per square meter (cd/m ² ,每平方公尺燭光)	240	520	1000
Candelas per square foot (cd/ft ² ,每平方英尺燭光)	24	52	100

資料來源：IESNA(2000)

光源組合式：是由一組可選擇性明暗之交叉排列光源組合，其照度要求與內部照明式相同。

(4) 中國

中國在交通標誌的相關法規包含道路交通標誌和標線 GB5768-1999 以及城市道路交通標誌標線設置指南，說明如下：

交通標誌的照明：

① 內部照明標誌

標誌板內裝照明裝置，採用半透明材料製作標誌面板，有單面顯示和兩面顯示兩種。內部照明標誌可根據標誌板的大小，承受的風力進行結構設計。確保標誌面照度均勻，在夜間具有 150m 的視認距離。燈箱結構合理，金屬構件經防腐處理，防雨防塵，電器元件耐久可靠，檢修方便。

② 外部照明標誌

外部光源照亮標誌面的方式。

外部照明標誌的光源應進行專門設計。照明燈具及其陰影不能影響標誌認讀。外部光源在標誌面上的照度不得有明顯不均勻，均勻度(最大照度/最小照度)須在 4 以下，確保在夜間具有 150m 的視認距離。外部照明光源不能使道路駕駛造成眩目。

(5) 歐洲

在 Traffic Signs Manual 中針對交通標誌提到標誌照明的的重要性與相關規定如下。

1.26 為了使用路人以正常速度行前時能夠接收到正確有效率的訊息，標誌的設置必須符合一固定距離，內容必須清晰易懂，且配合良好的照明與反射的設計。

1.79 交通標誌的照明與反射皆必須符合規定，必須能夠在視線較暗的場域確保合理的可視性，倘若只有部分角度受到反射，則必須採用直接照射的方式照明

1.80 反光標誌的照明必須符合全面反射，應參考 Traffic Signs Regulations and General Directions 2002 第 18-第 21 條之規定

而參考英國標準(British Standard)對於標誌照明需求的規定，內容如下表 3-32 所示：

表 3-32 標誌照明需求規定

標誌照明型式	背景輝度等級		
	低	中	高
外部照明式	未有建議值	9-53 cd/m ²	35-123 cd/m ²
內部照明式	未有建議值	40-150 cd/m ²	150-300 cd/m ²

資料來源：British Standard(2010)

(6) 小結

國內交通工程手冊、日本、中國於標誌照明分為內部式與外部式，中國的規

定中也分為內部照明標誌以及外部照明標誌，而美國 IESNA 則另外定義光源組合式。IESNA 將光源組合式定義為由一組可選擇性明暗之交叉排列光源組合，其照度要求與內部照明式相同。

無論內部與外部照明，我國以夜間能見距離不得小於 150 公尺為主要績效指標，另外部照明僅針對照度進行規範要求，與日本相同。IESNA 與美國 CIE 規範中，以環境輝度定義出不同照明規範(包括照度與輝度)要求，我國則無此類要求。

2. 反光材料

(1) 我國

國內交通工程手冊在材料部分規定於 3.1.4 材料，內容如下：

指示標誌可以鋁板、擠型鋁、玻璃纖維或其他堅固耐用之適當材料製作，牌面應採用反光性能之材料或亦可採用發光、透光材料輔助之，以下所列材料僅供參考，公路主管單位得視實際情形酌予調整。

另外，根據交通部與內政部公佈之道路交通標誌標線號誌設置規則，標誌、標線、號誌，其反光材料顏色標準須依經濟部標準檢驗局中華民國國家標準 CNS4345 之規定。CNS4345 係針對反光片與反光膠帶進行規定，適用於道路交通安全及其他設施所使用之反光片(或稱反光紙)及反光膠帶。在性能部份，對於晝光色、反射性能、光澤度、耐候性、離型紙之剝離性、接著性、收縮性、可撓性等項目皆有所規定。

(2) 日本

日本在「道路標誌設置規範與解說」中 4-1 節材料則提到，

① 標示板及支柱

標示板之基板及支柱使用之材料須有充分之強度和優良耐久性，容易維持管理，其材質及形狀必須與附近狀況調和。

1) 標示板之基板材料有下述種類，須使用能發揮其各自特性之材料。

a)鋁合金板 b)鋼板 c)普通鋼板 d)合板(耐水膠合板) e)其他

2) 支柱材料

a)鋼柱 i)鋼管 ii)型鋼 b)鋁合金柱

② 反射材料

反射材料必須為在視認上擁有適當反射性能、有耐久性、容易維持管理之材料。

(3) 中國

根據中國「道路交通標誌和標線 GB5768-1999」中針對標誌反光材料的規定如下：

反光材料的種類及性能：用於標誌面的反光材料按其結構的不同可以分為透鏡埋入型、密封膠囊型、微稜鏡型等品種。其反光原理為：射向標誌面的光線應沿入射光線的反方向反回光源。由於標誌位置和車輛行駛條件的不同，用於標誌面的反光材料應具有優良的廣角性和逆反射性能。在不同入射角(汽車前照燈光線與標誌表面法線之間的夾角)、不同觀測角(汽車前照燈光線與標誌反射回駕駛者眼睛的光線間的夾角)的條件下，用於標誌面的反光膜的逆反射係數值應符合 JT/T 279 的規定。

(4) 小結

將反光材料部分做一小結，國內以鋁鈹、擠型鋁、玻璃纖維或其他堅固耐用之適當材料裝作，牌面應採用反光性能之材料或亦可採用發光、透光材料輔助。各國對反光材料之使用皆有相關規定。中國針對反光材料的種類及性能規定較為詳盡，在不同入射角以及不同觀測角的條件下，對於用於標誌面反光膜的逆反射係數值皆有相關規定。美國與歐洲對於標誌材料僅規定須為可反光材料，未針對反射係數有所規定。

3. 小結

從上述交通標誌\標誌照明法規規範內容差異分析可得，各國於交通標誌的規範中，國內交通工程手冊在道路標誌照明的部份分為內部式與外部式，中國及 CIE 規範也分為內部式與外部式兩種。而美國 IESNA 規範，為了新型照明標誌的導入，除了內部式與外部式標誌照明外，另訂有光源組合式道路標誌照明，並將其定義為為由一組可選擇性明暗之交叉排列光源組合，其照度要求與內部照明式相同。

各國對於各類標誌照明要求，基本上均已達成夜間能見距離 150 公尺為主要績效指標，包括我國、日本、美國與中國均有類似的規定。

針對外部照明部分，各國對於照度要求有所差異，英國與美國 IESNA 在眩光考量下，會針對不同環境輝度訂出照度與輝度之要求。我國與日本雖然在規範上要求，標誌之光線不得對駕駛人產生眩光或刺眼，但並未訂有詳細規範存在，主要是因對道路條件所導致結果(我國與日本地小人稠，道路環境輝度變化性相對歐洲與美國為低)。

3.5 交通安全防護設施

3.5.1 各國法規規範之訂定

1. 我國

本研究探討之道路安全防護措施，指的是路面反光標線及路面標記設施，如一般常見的緣石、貓眼等。適切的路面反光標線及路面標記設施能提供駕駛人連貫性之引導及警示系統，以增進交通島之功能。與交通島相關之標線，包括路面及緣石標線、危險標記、反光導標及路面標記等。相關規範標準規定於國內交通工程手冊的第六章交通島內的 6.3.3 標線之章節中。

2. 日本

中央整備局之道路設計要領中並無明確說明「道路安全防護設施」的章節，然本研究欲探討之新型耗能道路交通安全設施所包含的「貓眼」及其他誘導標示則被歸納在「第八章道路附屬物」中第 4 節的「視線誘導標示」以及第 5 節的「區劃線」內。其主要規範之依據為「視線誘導標示設置規範與解說」。

3. 美國

在 MUTCD 2009 規範中，反光或內部發光之突起路面標記歸類於標線部份，標線在提供道路使用者交通引導和訊息上扮演重要的功能。在某些情況下，標線用以輔助其他交通控制設備，在一些交通設備無法取得的情況下，標線是單獨使用，用以有效地傳達禁制、警告、指示之交通訊息。標線的可視性會因雪、碎屑、水或相鄰之物件影響，本研究探討的反光或內部發光之突起路面標記的耐久性也會受材料特性、交通量、天氣，和位置等因素影響。

MUTCD Section 3B.11 Raised Pavement Markers – General 中規定，突起路面標記之顏色不論在日間或夜間條件下，應與路面標線的顏色一致，作為方位引導和輔助或替代既有標線功能，可以選擇安裝緊鄰於道路中央分隔緣石/交通島 (raised medians/curbs of islands) 末端路面或中央分隔緣石/交通島上方。

而針對目前開始有部分交通設施採用 LED，MUTCD 2009 也提出了部分與 LED 新興光源應用相關的內容。在 2A.07 中提到，可採用 LED 做為標誌或標誌邊緣部分來提高可視度；另外也提出 LED 閃爍次數之規定，當 LED 應用於路面標記且有閃爍發生時，其閃爍頻率應高於每分鐘 50 次，並低於每分鐘 60 次。

4. 中國

緣石/貓眼及施工防護兩部分則可分別在「CJJ37-90 城市道路設計規範」、
「GB14887-2003 道路交通信號燈」看出大約的規範情形。

5. 歐洲

歐洲在道路安全防護措施，其路面反光標線及路面標記設施之相關規定，在英國提出的 Traffic Signs Manual 以及英國交通標誌規則管理與一般指令(TSGRD, Traffic Signs Regulations and General Directions)皆有相關規定。

6. 小結

本研究所欲探討之交通安全防護設施，以地面反光標記及路面標記為主。美國 IESNA 與歐洲 CIE 在道路照明法規中並沒有特別針對交通安全防護設施進行規定，而是另外規範於以道路標誌為主的規範標準中。而我國、日本與中國則在道路照明規範中即有相關規定。

3.5.2 法規內容差異分析

1. 我國

根據國內市區道路及附屬工程設計標準中，第 15.1 緣石之小節內容中將緣石定義如下：

- (1) 緣石係指道路中凸起區域(公共設施帶、人行道、交通島)之邊緣設施物，其功能包含排水控制、路面邊緣指示、縮減路權用地、道路美觀、人行道邊緣指示、降低維護需求等。
- (2) 緣石依高度及緣石面傾斜度分為可跨式及屏障式。
- (3) 市區道路設置緣石時如有行人庇護需求，應採用屏障式緣石，高度採 20 公分以下為宜。
- (4) 服務道路如考量緊急狀況時供救災車輛使用，得採用可跨式緣石。

交通工程手冊中，緣石相關規定則列於 6.3.3 標線一節中，說明如下：

適切的路面反光標線及路面標記設施能提供駕駛人連貫性之引導及警示系統，以增進交通島之功能。與交通島相關之標線，包括路面及緣石標線、危險標記、反光導標及路面標記等。其應用如下：

- 一、交通島鼻端之三角地帶，亦可配合設置隆起之粗糙路面或裝設標鈕，或漆繪白色或黃色之反光標線，明顯地表示出行駛路線與交通島之輪廓。

- 二、交通島外圍之緣石或路面標線，必須為白色或黃色反光材料，以顯示其行駛路線與分隔帶。
- 三、使用危險標記在交通島之鼻端，以顯示隆起之緣石，即使該處已設有標誌，亦須設置。
- 四、佈設反光導標或路面標記可使交通島之輪廓及車輛行駛路線在夜間能為駕駛人辨認。

2. 日本

在岐阜縣的「道路設計要領」^[59]中，針對貓眼的設置區間相關規定如 11.5.6 反射式及發光式貓眼一節中所規定：

(1) 設置區間

夜間、雨天時等特別需要視線誘導之區間等須設置反射式及發光式貓眼。或者為補充油漆標示線之性能，而設置於下記區間

- ① 無中央帶之 4 車線以上道路，設置於車道中央線，以進行視線誘導，同時設置於必須特別讓駕駛人認清雙向車道分隔線之區間。
- ② 豪雨或濃霧時會遮蔽視界之處，或有連續小半徑之曲線等，必須提高外側線視線誘導效果之區間。
- ③ 有必要做視線誘導，但設置幅員不足等難以設置反射式視線誘導裝置之區間。

(2) 設置方法

① 設置場所

設置場所為道路左側路側、右側路側或車道中央部。

(3) 設置間隔

- ① 設置間隔因應平面曲線半徑，以所示之值為標準。但最大間隔為 4m。

3. 美國

在 MUTCD 2009 規範中，反光或內部發光之突起路面標記歸類於標線部份，標線在提供道路使用者交通引導和訊息上扮演重要的功能。在某些情況下，標線用以輔助其他交通控制設備，在一些交通設備無法取得的情況下，標誌是單獨使用，用以有效地傳達禁制、警告、指示之交通訊息。標線的可視性會因雪、碎屑、水或相鄰之物件影響，本研究探討的反光或內部發光之突起路面標記的耐久性也會受材料特性、交通量、天氣，和位置等因素影響。

MUTCD Section 3B.11 Raised Pavement Markers – General 中規定，突起路面標記之顏色不論在日間或夜間條件下，應與路面標線的顏色一致，作為方位引導和輔助或替代既有標線功能，可以選擇安裝緊鄰於道路中央分隔緣石/交通島 (raised medians/curbs of islands) 末端路面或中央分隔緣石/交通島上方。

根據 MUTCD Section 3B.13 Raised Pavement Markers Supplementing Other Markings，當反光或內部發光之突起路面標記用於輔助道路縱向標記時，應注意橫向定位(Lateral Positioning) 和縱向間距(Longitudinal Spacing)，說明如下：

(1) 橫向定位(Lateral Positioning)

若是輔助路面雙標線(double line markings)，突起路面標記安裝位置可與雙標線呈橫向一致或兩側成對安裝。

若是輔助路面寬標線(wide line markings：比一般標線 4~6 inches 至少寬 2 倍)，突起路面標記安裝位置可與寬標線呈橫向一致成對安裝。

(2) 縱向間距(Longitudinal Spacing)

若是輔助路面實線標線，則突起路面標記的安裝間距以不超過 N^* [N 等於一段長度 10-foot 之虛線標線(broken line)加上一段長度 30-foot 之間隙(gap)]為限，除非是輔助槽化線(channelizing lines)或是路邊標線(edge line markings)，安裝間距以不超過 $N/2$ 為限。

若是輔助路面虛線標線，則突起路面標記的安裝間距以不超過 $3N$ 為限，但若是路面虛線標線用於調撥車道，則安裝間距以不超過 N 為限。

若是輔助平面交叉路口的縱向延伸線，則每一短距線(short line segment：2-foot 長度 + 2-foot 間隙)應安裝突起路面標記。

近年來美國各類的主動式路面標記(IPM：In-Pavement Marker)系統正逐漸興起，提供道路使用者更多元的設計樣式和功能特性，作為警告、指示、規範，或提供照明之作用

關於 IPM 之使用標準和準則，美國 MUTCD 內並無明確規定，可依循之部分大多聚焦於行人穿越道(斑馬線)之應用。MUTCD(2009)和 IPM 相關之定義出現在 CHAPTER 4N：IN-ROADWAY LIGHTS 章節，“In-Roadway Lights 是一種安裝於地面道路之特殊類型公路交通信號，用以警告道路使用者正在接近一個不易看出的路況條件，可能需要放慢和/或停下來。”

Section 4N.01 Application of In-Roadway Lights 規定 In-Roadway Lights 的設置高度不得超過路面 3/4 英寸以上；使用時應以閃爍模式，不需以持續模式發亮。

Section 4N.02 In-Roadway Warning Lights at Crosswalks 更明確列出了所謂 IPM 在行人穿越道(斑馬線)之設置和操作方式：

1. 應安裝在行人穿越道(斑馬線)側邊之車道線，並延伸其長度。
2. 在行人啟用觸動控制(pedestrian actuation)時開始運作，並在預設時間後停止。
3. 啟動時應顯示閃爍的黃燈，每分鐘閃光頻率 50~60 次。
4. 應安裝在行人穿越道(斑馬線)側邊算起 10 feet 距離之車道線。
5. 若用於單線單向道路，最少應安裝 2 個 In-Roadway Warning Lights 於一側的行人穿越道(斑馬線)之車道線。若用於雙線道路，最少應安裝 3 個 In-Roadway Warning Lights 於兩側的行人穿越道(斑馬線)之車道線。若用於超過雙線之道路，最少每線道路應安裝 1 個 In-Roadway Warning Lights 於兩側的行人穿越道(斑馬線)之車道線。

其他參考準則還包括 In-Roadway Warning Lights 在運作時間上，應提供足夠時間從行人離開路肩或緣石後以 3.5 feet/秒行走速率通過車道或至中央交通島等候。若是使用輪椅者、或是速率低於 3.5 feet/秒之行人，則應考慮 In-Roadway Warning Lights 運作時間之足夠性。

雖然 MUTCD(2009)對 IPM 在其他交通場合的應用並無明確規範，但仍提供了一些相關的方向，或許可在未來進行增列或修改，對於 IPM 的多元應用有更明確的遵循規則。下表大致列出 MUTCD(2009)中和 IPM 之相關應用較有關聯性的規範章節。

表 3-33 MUTCD(2009)中和 IPM 相關應用較有關聯性的規範章節

功能	交通使用場合	MUTCD(2009)中和 IPM 相關應用較有關聯性的規範章節
警告	學校地帶	* 7B.11 School Speed Limit Assembly * 7C.02 Crosswalk Markings
	施工地帶	* 6D.03 Worker Safety Consideration
	公路、鐵路交會地帶	* 8B.08 Turn Restrictions During Preemption * 8B.27 Pavement Markings * 8B.28 Stop and Yield Lines
	橫向轉彎地帶	* 3F.02 Delineator(交通導標)Design * 3F.03 Delineator Application * 5E.03 Edge Line Markings
	惡劣天候地帶	None
指示	多條轉彎車道地帶	* 3F.02 Delineator(交通導標)Design * 3F.03 Delineator Application
	車輛匯合地帶	* 3F.02 Delineator(交通導標)Design * 3F.03 Delineator Application
	隧道	* 3F.02 Delineator(交通導標)Design * 3F.03 Delineator Application
禁制	交叉路口停止線	* 8B.28 Stop and Yield Lines
	禁止左轉	* 8B.08 Turn Restrictions During Preemption
照明	車輛/卡車檢查區	None
	環境敏感區	None

資料來源：Transportation Research Board(2008)

4. 中國

中國於「CJJ37-90 城市道路設計規範」中相關規定如下：

第 4.9.1 條 緣石宜高出路面邊緣 10~20mm。隧道內線形彎曲路段或陡峻路段等處，可高出 25~40cm，並應有足夠的埋置深度，以保證穩定。緣石寬度宜為 10~15cm

第 4.9.2 條 緣石宜採用立式，出入口宜採用斜式或平式，有路肩時採用平式。人行道及人行橫道寬度範圍內緣石宜做成斜式或平式，便於兒童車、輪椅及殘疾人通行。在分隔帶端頭或交叉口的半徑處，緣石宜做成曲線形。

緣石材料可採用堅硬石質或水泥混凝土。水泥混凝土抗壓強度不宜低於 30MPa。

5. 歐洲

與緣石/貓眼等交通安全防護設施相關的規定，可以在英國 Traffic Sign Manual 第五章 Road Marking 中第 6 小節 Road Studs 看到。

地面標記一般是利用車輛頭燈反射照明產生提醒警示之效果，使道路駕駛可以於駕駛座中直接透過反光看到地面之特殊標記。於車流量較大或是無路燈設置之路段較常被應用。

而在地面緣石/地面反光標記以及警告線的可視距離規定內容，如下表 3-34 所示：

表 3-34 緣石與警告線可視距離規定

85%車輛車速 (公尺/小時)	最小可視距離 (Desirable minimum visibility distance, 公尺)	警告線可視距離 (公尺)
< 30	75	115
31~40	95	160
41~50	120	195
51~60	150	240
> 60	175	275

資料來源：Traffic Sign Manual(2008)

6. 小結

綜上各國法規規範整理所述，適切的路面反光標線及路面標記設施能提供駕駛人連貫性之引導及警示系統，以增進交通島之功能。基本上各國均會針對標線、緣石等交通安全防護設施之設置目的與方式(包括設置區域、設置方法、設置間隔)訂出規範，而規範主要依據各國之道路條件、氣候、車流量而改變。

IPM 為近年來興起之道路防護系統，目前各國並無明確規範，僅有美國 MUTCD(2009)已提供了一些相關規範，主要原因在於美國在 IPM 設置獲致良好成果，為了推動其使用，因此訂出基本規範。

3.6 各國道路交通設施規範修訂沿革

隨著時空背景的改變與產品技術的不斷進步，過去的交通安全法規與規範恐有不符合現今交通道路安全條件之疑慮。針對此一變化，美國 IESNA、日本道路交通安全設施規範以及歐洲 CIE 規範在近幾年來皆有所修訂，各國透過長時間研究以及廣集專家學者的學術研討會，討論道路交通設施規範有無需要修訂之處，並提出新一版本規範以求符合現今所需。

3.6.1 美國 IESNA

1. IESNA 照明手冊與規範文件簡介

IESNA 出版的各類規範文件中，主要分類為建議規範/美國國家標準協會標準 (RP-Recommended Practices/ANSI Standards)、設計指南(DG-Design Guides)、技術備忘錄 (TM-Technical Memorandums)、照明量測與計算指南 (LM-Lighting Measurement Testing and Calculation Guides)、照明能源管理(LEM-Lighting Energy Management)與照明手冊。照明手冊雖被奉為照明設計時的主要參考圭臬，但大部分的內容源於各類規範文件，因此各規範文件的出版或修訂，牽動著照明手冊內容的制定與發展方向。

表 3-35 IESNA 道路照明設計發展沿革

時間點	道路照明設計發展	標準依據		備 註
		照明手冊	規範文件	
1983 年前	照 度			
1983 年開始	提出輝度設計		IESNA-RP-8-83 Roadway Lighting	1993 年納入 IESNA 第 8 版照明手冊
1987 年	提出單位用電密度(Unit Power Density: UPD)設計		LEM-6-1987	尚未納入照明手冊
1993 年	將輝度納入照明手冊中	IESNA 第 8 版照明手冊		
2000 年	1. 小目標可見度(Small Target Visibility: STV) 2. 照明品質議題(例：人因需求)開始受到重視 3. 控制燈具光分佈由 3 種分類(cutoff、semi-cutoff、non-cutoff)增為 4 種(full-cutoff、cutoff、semi-cutoff、non-cutoff)	2. IESNA 第 9 版照明手冊	將小目標可見度納入 IESNA RP-8-00 Roadway Lighting	STV 尚未納入照明手冊
2007 年	控制燈具光分佈之新型分類系統(Luminaire Classification System：LCS)		IESNA TM-15-07	用以取代舊型的 4 種“cutoff”控制燈具光分佈分類系統
2011 年				第 10 版照明手冊預計出爐

資料來源：本研究整理(2010)

2. IESNA 道路照明設計發展過程

回顧 IESNA 在道路照明設計規範發展過程，共歷經了數個階段^[18]，產生了以照度、輝度和小目標可見度的三種設計方式，詳如表 3-35。

(1) 1983 年之前

根據 2000 年 IESNA RP-8-00 Roadway Lighting(建議規範)說明，1983 年以前，道路照明以照度(illumance)為設計基準，以路面的入射光(incident light on pavement)為衡量標準，照明設計只考慮到照明系統本身，照明均勻度僅含括平均照度(Eave)對最小照度(Emin)之均質比，對最大照度並無限制。

(2) 1983 年納入輝度設計考量

自 1983 年起，IESNA 首次將輝度設計之概念納入 IESNA-RP-8-83 Roadway Lighting 建議規範中，加入了面向著駕駛的路面反射光(light reflected form pavement towards driver)為設計因素，此方式同時考量了照明系統和道路條件，照明均勻度除平均照度(Eave)對最小照度(Emin)之均質比外，亦含括平均輝度(Lavg)對最小輝度(Lmin)以及最大輝度(Lmax)對最小輝度(Lmin)之均質比。由於最大光幕輝度比本就是輝度設計方式的必需計算要件，因此在 1983 年 IESNA-RP-8-83 首次規範化時即採用至今，並於 1993 年納入第 8 版照明手冊中。

(3) 1987 年納入用電密度考量

單位用電密度(Unit Power Density, UPD)是評估道路照明系統用電效益的指標，IESNA 已在 1987 年出版 UPD 規範文件“LEM-6-1987 Guidelines for Unit Power Density for new Roadway Lighting Installations”，討論單位用電密度。該規範文件將單位用電密度定義為：^{[13][19]}

$$\text{UPD} = \frac{\text{燈具數量} \times 1.15 \times \text{每一燈具功率 W}}{(\text{燈具間距} \times \text{車道數} \times \text{車道寬度}) \longrightarrow (\text{道路區域})}$$

1. 佈燈方式：在道路兩側交錯(staggered)設置燈具
2. 調整係數 1.15(依照 IESNA publication LEM-6-1987：Guidelines for Unit Power Density for new Roadway Lighting Installations)
3. (單位：Watts / square foot 或 Watts / square meter)

下表為 IESNA LEM-6-1987“Guidelines for Unit Power Density for new Roadway Lighting Installations”規範文件內針對不同寬度道路的照明用電密度折算值。

表 3-36 不同寬度道路的照明用電密度折算值

道路寬度 (m)	車道數	照明用電密度折算值					
		100lx	30lx	20lx	15lx	10lx	8lx
24~30	> 6	3.8	0.95	0.63	—	—	—
22	6	3.61	1.08	0.72	—	—	—
16~20	4~5	4.1	1.23	0.83	0.61	0.41	—
14	4	4.50	1.35	0.90	0.68	0.45	—
10~12	3~4	5.67	—	—	0.85	0.56	0.45
8	2	6.36	—	—	—	0.63	0.50

資料來源：IESNA(1987)

雖然 IESNA 針對路燈之照明用電節能概念早在 1987 年就出版相關規範文件 (LEM-6-1987)，但至今仍停留在規範文件階段，尚未納入照明手冊內。

本研究針對未納入照明手冊原因進行探詢，與美國研究 UPD 的專家 Mr. Keith 進行討論。Mr. Keith 提出幾點看法如下：

- ① UPD 研究內容並非套用在單一燈具(individual luminaires)，而是針對燈具系統 (lighting systems)。
- ② 舊有的 UPD 評估規範目前尚未針對新的 IESNA 燈具分類系統 (IESNA TM-15-07 Luminaire Classifications System for Outdoor Luminaires) 提出相關之討論或評估工作。
- ③ 在 Mr. Keith 研究中採用的是 1990 年代左右之路燈類型，其功率和目前日新月異的低功率光源技術相比，面臨到挑戰和質疑，但不變的是：使用功率較佳的燈具對於電力耗用 (energy use) 的降低基本上是無庸置疑的。根據 Mr. Keith 的研究結果顯示，複金屬燈 (Metal Halide) 的 UPD 表現比高壓鈉燈 (HPS) 差。
- ④ 由於研究結果對高壓鈉燈較有利，對複金屬燈產業可能造成威脅，因此節能規範在顧及整體產業發展下，在法規的訂定上仍較為保守。

雖然美國 IESNA 對於道路照明單位用電密度 (UPD) 考量較嚴謹，然在經過 27 年的產品變革、市場變化、全球對環保的支持態勢下，相信 IESNA 關注相關規範發展的態度會愈趨正面積極。近幾年全球對氣候變遷議題的重視，道路照明 UPD 的概念開始受到關注，但尚處起步階段，目前得知的相關規範僅有加拿大安大略省交通部 (Ontario Ministry of Transportation) 在 2009 年著手規劃道路照明單

位用電密度規範的制定，以及中國已出爐的《城市道路照明設計標準》--CJJ45-2006(自 2007 年 7 月 1 日起實施)。2011 年 IESNA 第 10 版照明手冊即將出版，相關道路照明規範文件也可能同步推出，UPD 議題勢必將成為焦點之一，也許是概念性的說明，也許有正式規範的公佈，也有可能仍在討論規劃中，不論 2011 年 IESNA 是否針對 UPD 議題有任何動作，但追求節能效率的趨勢將會是未來道路照明設計的重要考量方向。

(4) 1993 年公布第八版照明手冊

1993 年 IESNA 公佈第八版照明手冊，將 1983 年公佈之 IESNA-RP-8-83 Roadway Lighting 中有關道路照明輝度部分納入手冊中，使得照度與輝度設計方式並存於道路照明設計中，如表 3-37 與 3-38。

表 3-37 IESNA 道路照明平均輝度值(cd/m^2)及均勻度規範

道路種類		平均輝度值 (cd/m^2)	均勻度		光幕輝度比
			平均輝度/ 最小輝度	最大輝度/ 最小輝度	最大光幕輝度/ 平均輝度
高速公路 A		0.6	≤ 3.5	≤ 6	≤ 0.3
高速公路 B		0.4	≤ 3.5	≤ 6	≤ 0.3
快速 道路	商業區	1.0	≤ 3	≤ 5	≤ 0.3
	混合區	0.8	≤ 3	≤ 5	
	住宅區	0.6	≤ 3.5	≤ 6	
主要 道路	商業區	1.2	≤ 3	≤ 5	≤ 0.3
	混合區	0.9	≤ 3	≤ 5	
	住宅區	0.6	≤ 3.5	≤ 6	
次要 道路	商業區	0.8	≤ 3	≤ 5	≤ 0.4
	混合區	0.6	≤ 3.5	≤ 6	
	住宅區	0.4	≤ 4	≤ 8	
其他 道路	商業區	0.6	≤ 6	≤ 10	≤ 0.4
	混合區	0.5	≤ 6	≤ 10	
	住宅區	0.3	≤ 6	≤ 10	

註：高速公路 A：極度複雜且高流量之道路，通常位於市中心附近，且將傍晚時刻設計為最高流量之標準。

高速公路 B：其他需要照明設備之封閉車道。

資料來源：IESNA(1983)

表 3-38 IESNA 道路照明平均照度值(Lux)及均勻度規範

道路種類		平均照度值(Lux)			均勻度
		路面種類			平均照度/ 最小照度
		R1	R2 及 R3	R4	
高速公路 A		6	9	8	3 : 1
高速公路 B		4	6	5	3 : 1
快速道路	商業區	10	14	13	3 : 1
	混合區	8	12	10	
	住宅區	6	9	8	
主要道路	商業區	12	17	15	3 : 1
	混合區	9	13	11	
	住宅區	6	9	8	
次要道路	商業區	8	12	10	4 : 1
	混合區	6	9	8	
	住宅區	4	6	5	
其他道路	商業區	6	9	8	6 : 1
	混合區	5	7	6	
	住宅區	3	4	4	

註：R1：混凝土(大量散射)

R2：混合砂礫(>60%)之瀝青路面(>10mm)；含 10~15%光亮劑之瀝青路面(混合型)

R3：含黑填料之瀝青路面；經數月使用之瀝青路面(微量反射)

R4：光滑紋路之瀝青路面(大量反射)

資料來源：IESNA(1983)

(5) 2000 年納入小目標可見度設計考量，另公佈第九版照明手冊

2000 年 IESNA 提出小目標可見度道路照明建議設計規範“IESNA-RP-8-00 Roadway Lighting”。

小目標可見度(Small Target Visibility, STV)，以路面上目標物的可見度(Visibility of objects on pavement)和對比度(contrast ratio)為設計基準，是輝度的延伸設計，考量駕駛和行人之安全性為用意。IESNA-RP-8-00 規範中對於小目標可見度要求如下：^[20]

表 3-39 IESNA RP-8-00 Roadway Lighting 小目標可見度建議值

道路種類	人車衝突區 (pedestrian conflict area)	STV	輝度		
		可見度水平之 加權平均值 (weighting average VL)	平均輝度(cd/m ²) 道路寬度 <7.3 公尺	平均輝度(cd/m ²) 道路寬度 ≥7.3 公尺	最大輝度/ 最小輝度 之均勻度
高速公路 A		3.2	0.5	0.4	6.0
高速公路 B		2.6	0.4	0.3	6.0
快速道路		3.8	0.5	0.4	6.0
主要道路	高	4.9	1.0	0.8	6.0
	中	4.0	0.8	0.7	6.0
	低	3.2	0.6	0.6	6.0
次要道路	高	3.8	0.6	0.5	6.0
	中	3.2	0.5	0.4	6.0
	低	2.7	0.4	0.4	6.0
其他道路	高	2.7	0.5	0.4	10.0
	中	2.2	0.4	0.3	10.0
	低	1.6	0.3	0.3	10.0

註：1. 測量對象為一正常視力之 60 歲駕駛人，小目標視覺目標物範圍 18×18 公分，0.5 目標物光反射度，0.2 秒視覺時間

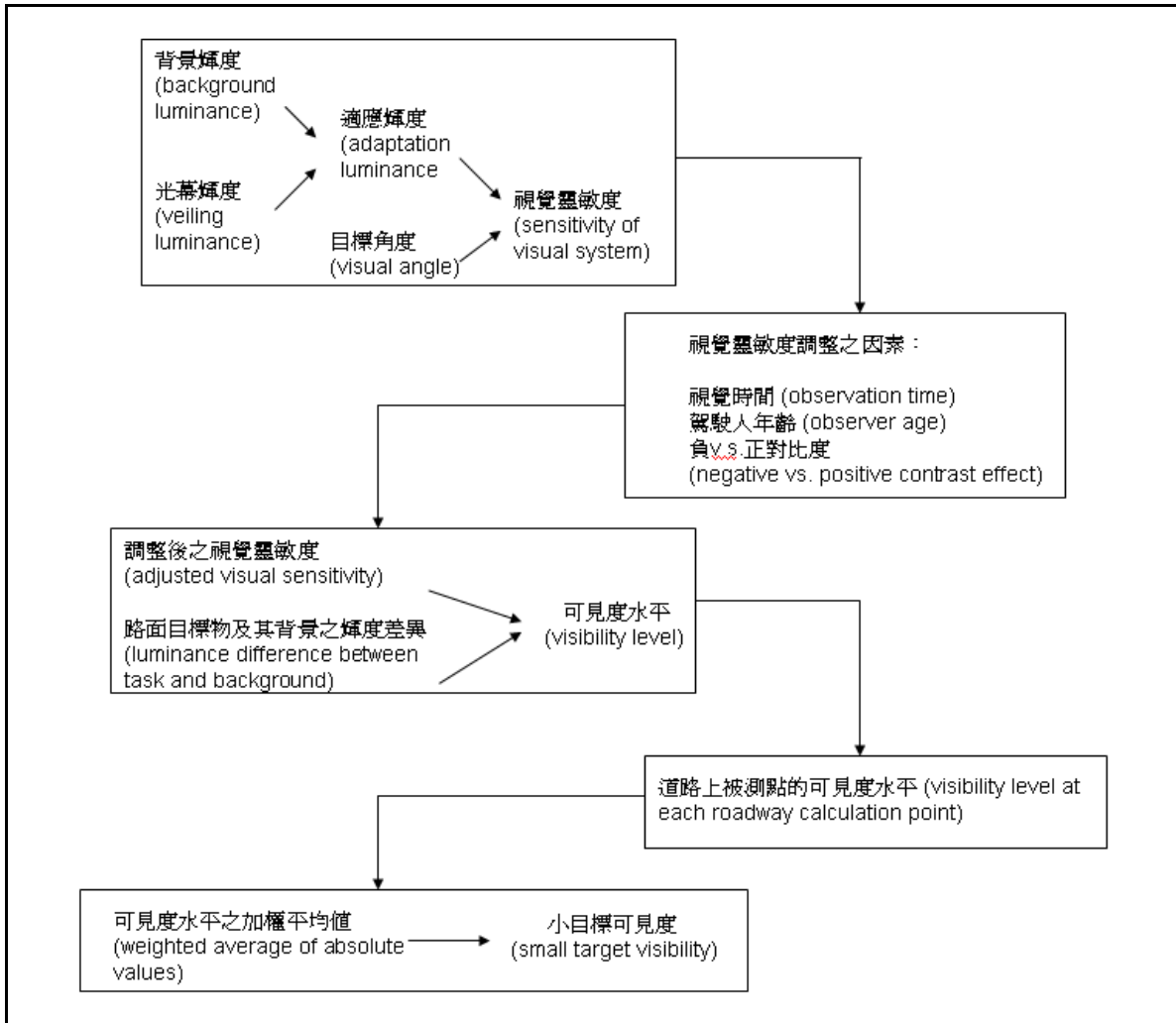
2. 可見度採用可見度水準表示，也就是目標物輝度與其背景輝度之差，與視覺能分辨目標物的最低輝度與其背景輝度之差的比值。

3. 本表之道路包括有中央分隔護欄(median barrier)之雙向道或單行道。

資料來源：IESNA(2000)

對比度為影響小目標可見度高低的重要因素，若對比度不足，路面上目標物的可見度就會降低。除對比度外，其他考量因素還包括駕駛人之年齡(driver age)、視覺時間(viewing time)、路面反射度(pavement reflectance)和燈具產生之眩光(glare from the luminaire)等，若小目標可見度值愈大，則路面上目標物之可見度愈高。

2000 年 Ian Lewin, Ph.D(President of IESNA)於英國倫敦照明工程師學會年度工作會議上所發表的論文“Aspects of Recent American Research in Lighting Technology”中提及小目標可見度計算方式之過程架構，如圖 3-15 所示：^[17]



資料來源：Ian Lewin(2000)

圖 3-15 小目標可見度計算過程架構圖

雖然小目標可見度已列入繼照度和輝度的第三種考量到安全的道路設計方式，但計算模式複雜，需研究的課題仍多，例如：小目標可見度和事故發生率間之關聯性並不明確，這可能是交通事故的影響並不單純歸因於可見度，還包括其他種種因素，此論點(建立 STV 和安全性之間關聯的困難度高)在 2010 年芬蘭 Alto University 科學與技術學院電子系照明組的論文中“Development and Enhancement of Road Lighting Principles”也同樣被提出，基於此原因，2006 年 8 月 IESNA 道路照明委員會通過一項議案，將重新研議修改小目標可見度道路照明設計方式。^[3]

第八版和第九版照明手冊在道路照明之照度和輝度值相關規範要求並沒有改變。但在第九版照明手冊中，有關控制燈具光分佈之分類中新增了“full-cutoff”項目，為考量到除眩光之外、另一個非常嚴謹的上射光(uplight)控制分類項目。

IESNA 完整的 4 種控制燈具光分佈分類標準分述如下：

- 遮蔽型(Cutoff)：係燈具在每 1000 流明光量下，與燈桿呈 90 度以上(即水平線以上)之餘光量要小於 25(2.5%)流明；80 度角以上之餘光量要小於 100(10%)流明，燈桿四周各方向皆須滿足此要求。
- 半遮蔽型(Semicutoff)：係燈具在每 1000 流明光量下，與燈桿呈 90 度角以上(即水平線以上)之餘光量要小於 50(5%)流明；80 度角以上之餘光量要小於 200(20%)流明，燈桿四周各方向皆須滿足此要求。
- 無遮蔽型(Noncutoff)：此型燈具對眩光作用並未做限制。^[113]
- 全遮蔽型(Fullcutoff)：此為第九版照明手冊之新增項目，係燈具在每 1,000 流明光量下，與燈桿呈 90 度角以上(即水平線以上)之餘光量為 0 流明；80 度角以上之餘光量要小於 100(10%)流明，燈桿四周各方向皆須滿足此要求。

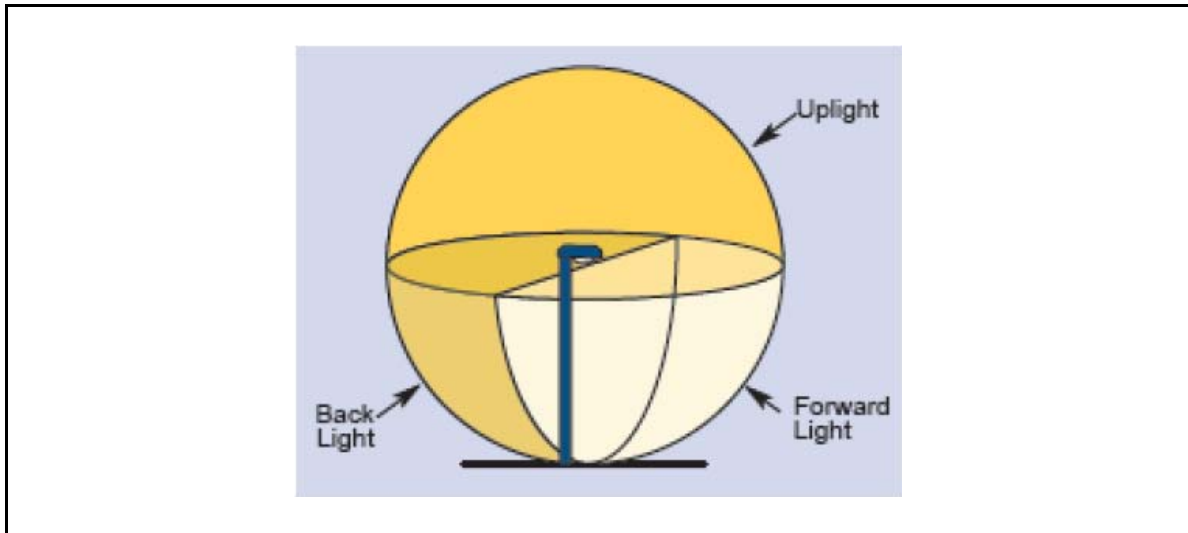
(6) 2007 年公佈控制燈具光分佈之新型分類系統

IESNA 沿用多年，用以控制燈具亮光造成之眩光的 4 種“cutoff”燈具光分佈分類方式(full-cutoff, cutoff, semi-cutoff, non-cutoff)，從 2007 年開始，由新的燈具分類系統(Luminaire Classification System：LCS)採用之 BUG Rating(Backlight, Uplight, Glare)評定標準取代，並發行技術規範文件(IESNA TM-15-07 Luminaire Classifications System for Outdoor Luminaires)。但此一規範文件尚未納入照明手冊內。

相較舊的 cutoff 分類系統，BUG Rating 更具全面性，燈具垂直光分佈角度設定更細，但並未定義各角度的光量(流明)限制，而是提供了一套將燈具的光輸出(光量)做標準化分類之方式，可用於比較各燈具間的光分佈情形，並用以評估除眩光外的其他光害層面。

燈具大廠 Acuity Brands 於 2007 年探討了舊有“cutoff”燈具分類系統在設計上未臻完善之問題。認為“cutoff”燈具分類系統僅規範 80 和 90 度的高角度垂直光分佈限制，對於照明產生的光害(如：天空輝光和光侵擾)影響缺乏整體性的考量評估^[4]。前任 IESNA Roadway Lighting Committee 領導主管 Paul Lutkevich 也曾建議，舊有 4 種“cutoff”燈具光分佈分類應可再改進，針對光侵擾(light trespass)、天空輝光(sky glow)和眩光(glare)問題制定更新的分類^[25]。

新的 LCS 分類將燈具之球體周圍(sphere surrounding)分為 Front Lighting Zone(前方照明區)、Back lighting Zone(後方照明區)和 Upper Lighting Zone(上方照明區)三個區域，如圖 3-16。BUG Rating 依燈具產生之 Backlight(後照光)、Uplight(上照光)和 Glare(眩光)光量進行光害和眩光之評定分類。^[22]



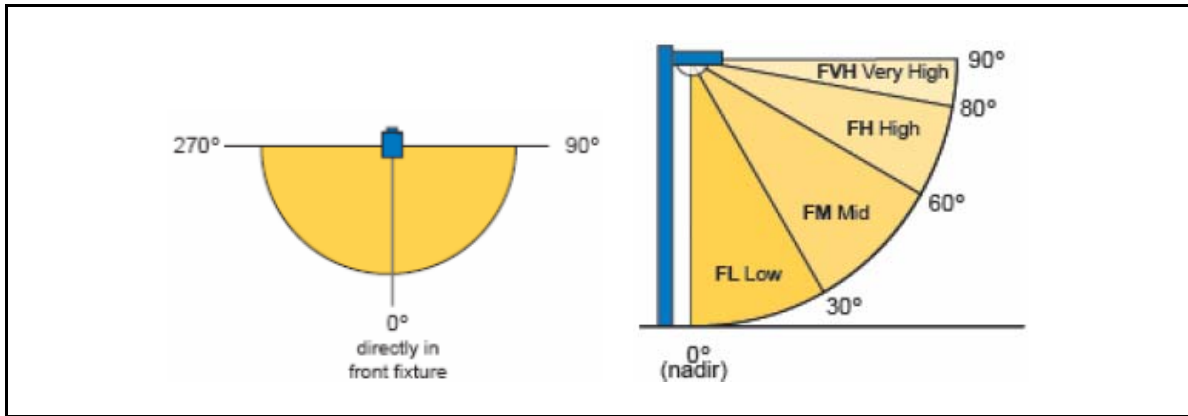
資料來源：IESNA(2007)

圖 3-16 IESNA 燈具分類系統光分佈區類別圖示

後照光(Backlight)是對鄰近地點造成光侵擾(light trespass)之原因，在後方照明區依照光量分佈對光侵擾的影響程度，細分為低強度後照光 BL(backlight low)、中強度後照光 BM(backlight medium)、高強度後照光 BH(backlight high)和超高強度後照光 BVH(backlight very high)區域。

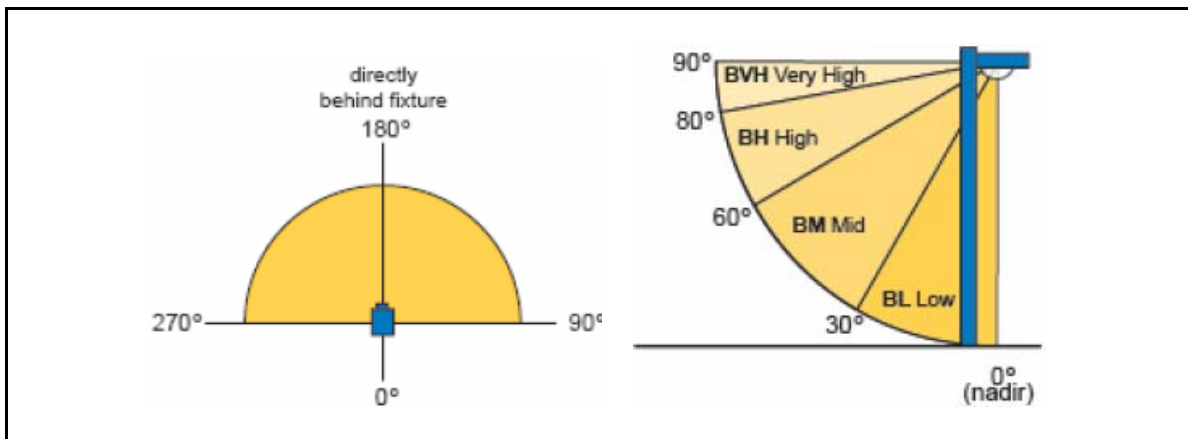
上照光(Uplight)是造成人造天空輝光(sky glow)的原因，在上方照明區依照光量分佈對天空輝光的影響程度，細分為低位上照光 UL(lower uplight)和高位上照光 UH(upper uplight)區域，其中 UH 不僅產生天空輝光，更是造成照明能源的最大浪費。

眩光(Glare)是造成視覺不舒適或視能降低的原因，在前方照明區依照光量分佈對眩光的影響程度，細分為低強度前照光 FL(Forward Low)、中強度前照光 FM(Forward Medium)、高強度前照光 FH(Forward High)和超高強度前照光 FVH(Forward Very High)。圖 3-17、3-18 與 3-19 提供 3 個照明區域的量測範圍，以及依照 BUG Rating 評定標準所建立的分類方式。



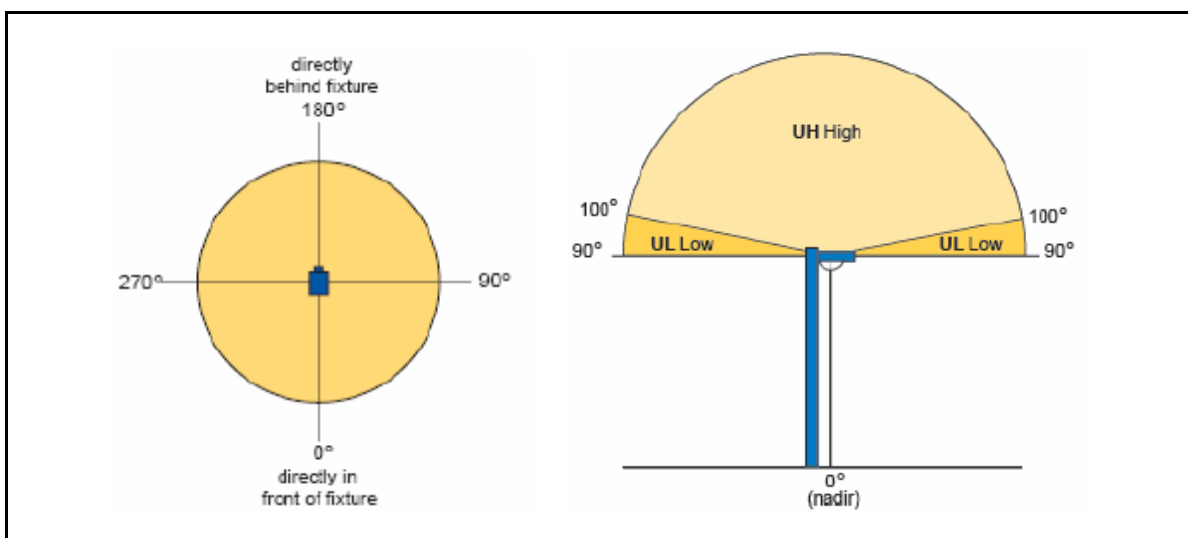
資料來源：IESNA(2007)

圖 3-17 IESNA 燈具光分佈 BUG 評定系統解析圖(眩光評定)



資料來源：IESNA(2007)

圖 3-18 IESNA 燈具光分佈 BUG 評定系統解析圖(光侵擾評定)



資料來源：IESNA(2007)

圖 3-19 IESNA 燈具光分佈 BUG 評定系統解析圖(天空輝光評定)

IESNA 雖未定義燈具在各角度的光量(流明)限制，卻提供每個角度區的光量計算方式，進而得知各角度區光量對燈具總光量所佔之百分比(zonal lumens/total lamp lumens = %)，可用於比較各燈具間的光分佈情形，作為選擇最適燈具之參考。區域光量之計算方式如下所示：^[23]

$$2\pi (\cos \theta_L - \cos \theta_H) * \Phi_{avg L,H}$$

θ_L ：該角度區的下限流明值(the lower bound of the zone calculated)

θ_H ：該角度區的上限流明值(the upper bound of the zone calculated)

$\Phi_{avg L,H}$ ：界於 θ_L 和 θ_H 之角度的平均流明值(Is the average candela value of the angles located between θ_L and θ_H)

當各角度區之光量算出後，即可得知其佔燈具總光量之百分比。舉例來說，當兩燈具的總光量相同時，若相較之下造成高眩光之 FVH 區(Forward Very High)佔總光量百分比愈大，則燈具之適用性可能需進一步斟酌。

3. 小結

綜觀 IESNA 在道路照明設計規範之發展過程，歸納為以下四個方向：

(1) 1993 年後道路照明照度相關要求規範，並無改變

本計畫歷史文獻回顧比較 1993 年第 8 版照明手冊與 2000 年第 9 版道路照明手冊，兩份文件對於道路照明照度規範並無改變。

(2) 道路照明設計規範要求由照度、輝度引伸至最小目標可見度

綜觀 IESNA 在道路照明設計規範之發展過程，考量層面已從燈具照度充足之單一標準延伸至包括道路條件和人眼適應影響的輝度設計，以及交通安全性相關的最小可見度分析方式。不過小目標可見度計算模式複雜，與道路照明品質直接關連性尚未獲得普遍性認同，仍待後續研究與修正。

(3) 重視眩光

在照明造成之光害議題對於環境產生的負面干擾與影響在國際間逐漸受到重視之際，IESNA 也因應此需求趨勢設計出控制燈具光分佈之新型分類系統，藉以評估除眩光之外的其他光害(天空輝光、光侵擾)影響評定方式，對燈具之適用性提供更臻完善的參考指標。

(4) 道路品質為道路照明設計下一階段重點

在照明的量化設計達到一定之發展程度後，質化的照明設計議題也逐漸受到關注，下一階段的照明品質發展走向也初步納入第九版照明手冊的討論範圍，例如人因需求議題(human needs)。

3.6.2 日本道路照明規範

1. 日本道路照明規範

日本的「道路照明設施設置規範」於1967年由建設省發出通告，之後於1981年修訂。為了讓此規範能適當被運用，於同年由日本道路協會發行「道路照明設施規範與解說」。然修訂之後經過二十多年，期間因光源之高效率化、照明器具之光學性能改善、CAD之導入使得照明設計手法升級等照明技術之進步，也提高了對採用新照明方式之需求，再加上對通用設計(universal design)之社會需求漸高，因此也出現了對步道照明規範的要求，此外從節能及降低成本的社會需求而言，原規範也有修正之必要。在此背景下，國土交通省於2007年9月修訂了「道路照明設施設置規範」。

2. 日本道路照明規範發展過程

日本道路照明規範發展過程整理如表3-40

表 3-40 日本道路照明規範發展過程

時間點	道路照明設計發展	標準依據
1967 年	道路照明的亮度水準規定為「基準照度」	1967 年版「道路照明設施設置規範」
1981 年	道路照明的亮度水準規定為「基準輝度」	1981 年版「道路照明設施設置規範與解說」
2007 年	道路照明規範由「規格規定」修訂為「性能規定」 增訂道路局部照明規範 修訂隧道照明規範 修訂道路連續照明規範	2007 年版「道路照明設施設置規範與解說」

資料來源：本研究整理(2010)

(1) 1967 年

日本之道路照明規範始於 1963 年 JIS Z9111 中規定之「道路照明基準」，以及其他 JIS 相關規格中規定的「道路照明器具」和「行人穿越道照明規範」等。「道路照明設施設置規範」乃國土交通省(舊建設省)參照 1965 年的 CIE 相關標準於 1967 年制定、頒佈通達令後實施。當時之規範將道路連續照明(道路連續照明為道路兩個交叉口間之連續性道路照明)的亮度水準規定為「基準照度」(每單位面積入射光束之照度)^[94]。

(2) 1981 年

1981 年 3 月進行「道路照明設施設置規範」第一次修訂。此次修訂將前述道路連續照明的亮度水準規定為「基準輝度」(從發光面發出之一定方向之光度除以射到該方向之正射影面積之值)，並且為了讓修訂後之道路照明規範能被適當地運用，以及說明規範修訂之主旨與規範基準之內容，同年由「日本道路協會」發行了「道路照明設施設置規範與解說」，成為日本道路照明設施設置之際的主要依據。

(3) 2007 年

1981 年制訂之「道路照明設施設置規範與解說」實施歷經 20 餘年，期間有鑑於光源性能改善與高效率化、照明器具光學性能提高、配光控制技術進步、通用設計意識抬頭、節能減碳省成本之需求、採用新照明方式需求增高等種種因素，在必須修訂基準以彈性因應日後技術之進步的體認下，於 2006 年由日本道路協會之交通工學委員會於旗下設置了照明設施分科會、隧道照明分科會等單位，進行修訂原案之檢討工作^[112]，另外也由國土交通省轄下之「國土技術政策總和研究所」之道路研究部道路空間高度化研究室執行名稱為「因應多樣化道路利用者之交通環境調查」的研究計畫，主要目的為蒐集基準修訂之際所需之資料依據，此研究計畫除了參考其他既有之相關研究外，也進行了如表 3-41 所列之一系列的相關研究^[76]。

表 3-41 2007 年「道路照明設施設置規範」修訂之研究參考依據

	研究課題	研究期間	研究單位	研究概要
主研究	因應多樣的道路利用者之交通環境調查	2004 2008	國土建設省國土技術政策總合研究所道路研究部道路空間高度化研究室	研究蒐集現行道路照明設施設置規範改訂之際所需之資料
細項研究	有關道路照明之事故削減效果之分析	2006	同上	利用事故削減效果指標進行道路照明設置前後之各類事故發生狀況之比較分析。
	有關於道路照明中導入性能規定之檢討結果 面對從規格規定移轉到性能規定	2006	同上	整理規格規定與性能規定之定義，並比較兩者間之優缺點。
	道路照明規範之性能規定化之檢討	2006	同上	調查日本國內外有關道路照明之規格與基準，檢討國際整合之同時，調查既有研究，掌握安全性、視認性、舒適性，對性能規定化之際所需之道路照明之要求性能進行檢討。檢討對象為連續照明、交差口照明、人行穿越道照明、無障礙步道照明。
	道路照明技術之現狀調查	2006	同上	調查連續照明、道路交叉口照明之設施概要、照明方式、特徵等。
	有關道路交叉口照明之事故削減效果之檢討	2006	同上	以交通事故發生個所為對象實施 Macro 分析，檢討交叉口平均照度與平均照度均勻度和事故削減效果之關係。
	有關道路交叉口照明的照明要件之研究	2005	同上	彙整各國各區域之交叉口照明之照度基準及既有研究，決定實驗之照明條件，實施駕駛人在不同條件下對行人的視認性之評估實驗。
	交通安全設施的技術基準變遷與最近的話題	2005	同上	介紹交通安全設施中之防護柵、照明設施、道路標誌的技術基準之變遷與最近的話題。
	有關道路交叉口照明的事故削減效果之調查	2005	星和電機／同上	透過分析事故 Data 調查交叉口照明之平均路面照度及照明與事故削減效果之關係。
	有關道路交叉口照明之照明要件研究 必要照度與照明設置位置	2005	同上／星和電機	彙整各國各區域之交叉口照明之照度基準及既有研究，決定實驗之照明條件，實施駕駛人對行人的視認性之評估實驗。

表 3-41 2007 年「道路照明設施設置規範」修訂之研究參考依據(續)

	研究課題	研究期間	研究單位	研究概要
細項研究	有關行人用照明之必要照度及其區分之研究	2004	同上	從確保夜間行人安全之觀點進行行人用照明之相關研究，結果提供制定行人用照明基準之依據
	不同道路照明光源對汽車駕駛之視覺環境的影響	2004	同上	於國總研的實驗道路之照明實驗設施中，讓被驗駕駛人在各光源、各階段之平均路面輝度下於實驗區間以時速 60 公里駕駛後，針對位於步道的行人之視認性、駕駛時之安心感、舒適性等回答問卷。
其他參考研究	利用道路照明達到有效的夜間事故削減之對策的檢討	2000	同上	
	因應無障礙環境之行人用照明	2002	同上	介紹因應無障礙環境之照明設施所需之要件、照明設計之想法及設置計畫、照明器具之選定方法等，以及相關研究實驗成果。
	有關行人用照明的必要照度之檢討	2001	同上／星和電機	透過文獻調查與對道路管理者之訪查結果設定行人用照明之要件與必要照度，透過視認性實驗確認其妥當性。
	道路照明與汽車前照燈融合時之視認性考察	1998	舊建設省土木研究所	以「僅道路照明」「道路照明與前照燈融合」2 種類的照明狀況及觀測位置「75m(相當於時速 60 公里之視距)」「40m(相當於時速 40 公里之視距)」2 種類組合成 4 種型態，進行各型態之光學測量與視認性評估。
	有關行人用照明所產生的亮度與安心感之考察	1998	舊建設省土木研究所	透過預備調查找出夜間行人之安心感的構成要因後，利用現場印象評估以及光學量測找出安心感構成要因與光環境之關係。
	行人穿越道照明方式對行人之視認性的影響	1997	舊建設省土木研究所／舊建設省北路地方建設局	調查不同照明方式(輪廓視認、逆輪廓視認)對視認性之影響，實施基礎實驗以求出視認所需之亮度。
	有關道路照明的舒適性評估	1996	舊建設省土木研究所	對舊設置基準所定之設置高度(10m)與設置間隔之關係，進行光學測量與車線軸均勻度和舒適性之評估。同時進行提高設置高度對路面輝度變化以及舒適性影響之實驗。

註：道路照明設施設置規範與解說中記載之參考文獻

國土建設省國土技術政策總合研究所道路研究部道路空間高度化研究室之其他相關研究文獻

資料來源：本研究整理(2010)

2007 年日本「道路照明設施設置規範」修訂的最大特徵為將道路連續照明、局部照明(交叉口照明、步道照明)與隧道照明從原先的「規格規定」修訂為「性能規定」。所謂的「規格規定」是指具體規定燈具之設置高度、設置間隔等具體規格，而「性能規定」是指規定道路照明之平均路面輝度、輝度均勻度、眩光、誘導性等性能。茲將「規格規定」與「性能規定」之定義與特徵彙整於表 3-42^[90]。

表 3-42 「性能規定」與「規格規定」之定義及特徵

			性能規定	規格規定
定 義			為確保能滿足安全、舒適等要件，規定必要之性能及履行此性能之方式等大原則。以平均路面輝度、輝度均勻度、眩光、誘導性作為性能之指標。	詳細規定對象物之形狀、尺寸等規格以及應滿足之特定數值、特定的實驗方法等。
特徵	設計自由度		◎ 大	● 小
	對社會大眾的說明性		◎ 容易瞭解	● 不易瞭解
	新技術之導入		◎ 導入容易	● 導入困難
	妥當性之確認	難易度	● 困難	◎ 容易
		審查者的知識程度	● 必須擁有性能評估的專業知識(核對檢查結果可能因評估者的知識程度而異)	◎ 不需要特別的專業知識(任何人進行評估都可獲得同樣的核對檢查結果)
		確認方法	● 每次確認方法不同，有可能需要個別的量測機器和設施、軟體等	◎ 可用固定的方法簡單的做確認
	經濟性	設計時	◎ 選擇自由度增加，可降低成本	● 在降低成本上有限度
		審查時	● 必須做詳細審查，可能會增加成本	◎ 因判斷基準明確，故不須審查

註：◎ = 優點 ● = 缺點

資料來源：本研究整理(2010)

2007 年修訂前之舊規範中僅有道路連續照明與隧道照明之輝度規定，對於局部照明中的道路交叉口照明與行人用照明並無相關照度規定，因此在前述「因應多樣化道路利用者之交通環境調查」研究計畫下之研究對象主要以道路交叉口照明與行人用照明為主，目的為確認此二種照明之所需照度，將研究數值引進新基準中。

新基準在道路局部照明的部份有三個修訂要點，分別為(1)重新檢視這些照明的設置場所、(2)增加道路交叉口照明亮度之推薦值、(3)增加步道照明之規定值。

局部照明新規範主要增加了「交叉口」與「行人用照明」之規定項目，根據國土技術政策總合研究所實施的交叉口照明要件相關研究^[114]，指出若要確保在道路交叉口駕駛人可清楚看到行人，則平均照度不可低於 10 lx，另外在國土技術政策總合研究所實施的事故頻發交叉口之資料解析研究，以及土木研究所實施的交叉口照明事前事後研究中^[49]，得到交叉口內照度在 30 lx 以上的話，可減少交叉口內事故發生率之結論。而根據 CIE 建議，將複雜的道路分流和合流處的照明區分設為 6 階段，規定其必要照度在 7.5~50 lx 的範圍內，而照度均勻度在所有階段中均採用 0.4 之值(為規定之下限值)。

行人用照明方面，根據既往研究得出的照度基準大致在 5~20 lx 之間，如國土技術政策總合研究所實施的視認性評估實驗結果指出^[111]，人行道上之行人要能看清迎面而來的對向行人的顏面；或是車道上駕駛人要能看清穿越行人穿越道的行人的話，路面的水平面照度必須在 5 lx 以上，照度均勻度要在 0.2 以上。

表 3-43 2007 年日本「道路照明設施設置規範」道路局部照明修訂

1. 重新檢視設置場所，新增：
行人容易橫越馬路的路段
步道
道路休息站等
2. 追加道路交叉口照明亮度之推薦值
• 平均路面照度 20lx 左右；照度均勻度 0.4 左右
3. 追加步道照明
• 因應通用設計之抬頭以及維護行人舒適安全之移動，新追加步道照明。
• 平均路面照度 5 lx 以上；照度均勻度 0.2 以上

資料來源：本研究整理(2010)

2007 年隧道照明規範，刪除了 1981 年改訂的舊基準中的「隧道照明目的」、「光源之選定」、「燈具之選定」之項目，增加三個修訂要點，分別為 1. 追加新的照明方式、2. 重新檢視入口部照明之所需路面輝度的設定方法、3. 追加特殊構造部之照明方法^[91]，相關修訂請參考表 3-44。

表 3-44 2007 年日本「道路照明設施設置規範」隧道照明修訂要點

隧道照明	
1. 追加新的照明方式	
<ul style="list-style-type: none"> 追加隧道出入口之非對稱照明方式：Counter Beam 照明方式 Probeam 照明方式 	<p>(a) 以往的對稱照明方式</p> <p>(b) Counter Beam照明方式</p> <p>(c) Pro beam照明方式</p> <p>非對稱照明方式</p>
2. 重新檢視入口部照明之所需路面輝度的設定方法	
<ul style="list-style-type: none"> 舊基準：隧道口前 150m 開始往隧道口望去時“全視野”的「野外輝度」$4,000 \text{ cd/m}^2$ 為基本，因應野外輝度設定 3 階段的路面輝度。 新基準：隧道口前 150m 開始往隧道口望去時“視角 20 度之視野”的「野外輝度」$3,300 \text{ cd/m}^2$ 為基本，因應野外輝度值，依比例設定路面輝度。 	
<p>駕駛者之視點 隧道入口</p> <p>150m</p> <p>H=1.5m</p> <p>10°</p> <p>野外輝度之範圍</p>	
3. 追加特殊構造部之照明方法	
<p>新增：</p> <ul style="list-style-type: none"> 車道匯流及分流處 緊急停車區帶 步道部 避難通路 	

資料來源：本研究整理(2010)

至於在隧道基本照明方面，舊基準中規定了「平均路面輝度」、「輝度均勻度」、「燈具間隔」之數值，新基準中則規定了「平均路面輝度」、「輝度均勻度」、「影響視覺機能降低之眩光」之性能指標，因為廢止數值改採性能指標之規定，使得新技術和新照明方式得以被彈性應用^[69]，詳如表 3-44

在道路連續照明部份的修訂，乃根據 JIS Z9111、CIE 規範、英國、美國之規格為參考做比較與檢討。

比較 2007 年與 1981 年版本之差異，結果發現在輝度的基準值上並無太大差異^[88]。在道路照明輝度指標，維持原有性能指標之「平均路面輝度」，新增了「輝度均勻度」、「眩光」、「誘導性」三項性能指標^[65]。

根據上述研究結果所作修訂後之各類道路照明之基準值彙整於表 3-45 中。

表 3-45 2007 年日本「道路照明設施設置規範」性能指標

		性能指標																																															
		平均路面輝度		輝度均勻度	(導致視覺機能下降之)眩光	誘導性																																											
連續照明		<table><tr><th colspan="2">外部條件</th><th>A</th><th>B</th><th>C</th></tr><tr><th colspan="2">道路分類</th><td>1</td><td>1</td><td>0.7</td></tr><tr><td colspan="2">高速公路等</td><td>-</td><td>0.7</td><td>0.5</td></tr><tr><td rowspan="4">一般國道等</td><td>主要幹線道路</td><td>1</td><td>0.7</td><td>0.5</td></tr><tr><td>幹道、輔助幹線道路</td><td>0.7</td><td>0.5</td><td>-</td></tr><tr><td>幹道、輔助幹線道路</td><td>0.7</td><td>0.5</td><td>0.5</td></tr><tr><td>線道路</td><td>0.5</td><td>-</td><td>-</td></tr></table> <p>外部條件A=有會影響道路交通之連續光的道路沿線狀況 外部條件B=有會影響道路交通之斷續光的道路沿線狀況 外部條件C=幾乎沒有會影響道路交通之光線的沿線狀況</p>			外部條件		A	B	C	道路分類		1	1	0.7	高速公路等		-	0.7	0.5	一般國道等	主要幹線道路	1	0.7	0.5	幹道、輔助幹線道路	0.7	0.5	-	幹道、輔助幹線道路	0.7	0.5	0.5	線道路	0.5	-	-	總合均勻度 0.4以上	<table><tr><th colspan="2">道路分類</th><th>相對門檻值增加</th></tr><tr><td colspan="2">高速汽車國道等</td><td>10%以下</td></tr><tr><td rowspan="2">一般國道等</td><td>主要幹線道路</td><td rowspan="2">15%以下</td></tr><tr><td>幹線、輔助幹線道路</td></tr></table>	道路分類		相對門檻值增加	高速汽車國道等		10%以下	一般國道等	主要幹線道路	15%以下	幹線、輔助幹線道路	以獲得適當的誘導性為前提，決定燈具之高度、排列、間隔等。
	外部條件		A	B	C																																												
	道路分類		1	1	0.7																																												
	高速公路等		-	0.7	0.5																																												
一般國道等	主要幹線道路	1	0.7	0.5																																													
	幹道、輔助幹線道路	0.7	0.5	-																																													
	幹道、輔助幹線道路	0.7	0.5	0.5																																													
	線道路	0.5	-	-																																													
道路分類		相對門檻值增加																																															
高速汽車國道等		10%以下																																															
一般國道等	主要幹線道路	15%以下																																															
	幹線、輔助幹線道路																																																
隧道照明	<table><tr><th>設計速度 (km/h)</th><th>平均路面輝度 (cd/m²)</th></tr><tr><td>100</td><td>9</td></tr><tr><td>80</td><td>4.5</td></tr><tr><td>70</td><td>3.2</td></tr><tr><td>60</td><td>2.3</td></tr><tr><td>50</td><td>1.9</td></tr><tr><td>40以下</td><td>1.5</td></tr></table>	設計速度 (km/h)	平均路面輝度 (cd/m²)	100	9	80	4.5	70	3.2	60	2.3	50	1.9	40以下	1.5	總合均勻度 0.4以上	相對門檻值增加15%以下為原則	以獲得適當的誘導性為前提，決定燈具之高度、排列、間隔等。																															
設計速度 (km/h)	平均路面輝度 (cd/m²)																																																
100	9																																																
80	4.5																																																
70	3.2																																																
60	2.3																																																
50	1.9																																																
40以下	1.5																																																
局部照明	交叉口照明	<table><tr><th>道路分類</th><th>周圍環境</th><th>交叉口內 平均照度 (lx)</th></tr><tr><td rowspan="2">主要幹線道路</td><td>有來自店鋪設施等之外部光</td><td>30</td></tr><tr><td>無外部光之暗處</td><td>15</td></tr><tr><td rowspan="2">幹線、輔助幹線道路</td><td>有來自店鋪設施等之外部光</td><td>20</td></tr><tr><td>無外部光之暗處</td><td>15</td></tr></table>	道路分類	周圍環境	交叉口內 平均照度 (lx)	主要幹線道路	有來自店鋪設施等之外部光	30	無外部光之暗處	15	幹線、輔助幹線道路	有來自店鋪設施等之外部光	20	無外部光之暗處	15	照度均勻度 0.4以上	—	—																															
	道路分類	周圍環境	交叉口內 平均照度 (lx)																																														
主要幹線道路	有來自店鋪設施等之外部光	30																																															
	無外部光之暗處	15																																															
幹線、輔助幹線道路	有來自店鋪設施等之外部光	20																																															
	無外部光之暗處	15																																															
	行人用照明	<table><tr><th>周邊環境</th><th>水平面 照度(lx)</th></tr><tr><td>商業區</td><td>10</td></tr><tr><td>住宅區 工業區</td><td>5</td></tr></table>	周邊環境	水平面 照度(lx)	商業區	10	住宅區 工業區	5	照度均勻度 ≥ 0.2	—	—																																						
周邊環境	水平面 照度(lx)																																																
商業區	10																																																
住宅區 工業區	5																																																

資料來源：本研究整理(2010)

3. 小結

綜觀日本道路照明設計規範之發展過程，歸納為以下兩大方向：

(1) 以「性能規定」為核心，修訂相關規範

道路照明技術發展日新月異，為了避免道路照明規範成為新技術或新設備使用時的阻礙，日本道路照明設施設置規範將「規格規定」修訂成「性能規定」，可以說是新設置基準的最大特徵。

(2) 增訂「局部照明」規範

2007 年前日本道路照明設施設置規範，主要針對道路連續照明和隧道照明的亮度做出規範，而無針對局部照明中的道路交叉口照明和行人用照明所定的規範。但在無障礙設計觀念逐漸被重視，以及增加行人行走於道路上的舒適性和安全性的考量之下，增訂了道路交叉口和行人用照明的設置基準。

3.6.3 歐洲 CIE

1. CIE 簡介

歐洲各國的交通安全規範，以 CIE(The International Commission on Illumination) 為主，不管是在道路照明、隧道照明、交通標誌與交通安全防護措施等，皆有相關規定。

CIE 為一有關光、照明、顏色和色度空間科學領域的國際權威組織，其主要任務在於制訂照明領域的基礎標準與度量方式，並制訂此領域的國際標準。自 1913 年成立以來，CIE 已發展成具備技術性、科學性及文化基礎的組織，所制訂的相關產業標準，常為國際標準化組織(ISO)與國際電工委員會(IEC)共同引用。

2. CIE 發展過程

從 CIE 的相關法規發展來看，與道路照明相關法規包含 CIE115-1995、CIE79-1988 以及 CIE66-1984 等，CIE79-1988 以及 CIE66-1984 從制定至今已長達 20 多年之久，目前尚未有較新一版本的修定，值得注意的是 CIE115-1995，內容主要與汽車及行人交通道路照明建議有關，針對此一規範，CIE 在 2010 年提出最新版本 CIE115-2010。以下針對 CIE115-1995 與最新版本 CIE115-2010 兩者差異做一比較說明，瞭解不同時間點下，CIE 認為交通道路安全照明的設計應有何修正的建議方向。

表 3-46 CIE 與道路照明相關規範

主要內容	CIE 相關規範	最新修訂版本
車輛與行人 道路照明建議	CIE 115-1995 Recommendations for the Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic	CIE 115:2010 Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic
道路交通照明 燈具設計指南	CIE 79-1988: A Guide for the Design of Road Traffic Lights	無新修訂版本
道路路面與照明	CIE 66-1984 Road Surfaces and Lighting	無新修訂版本

資料來源：本研究整理(2010)

以 CIE115-2010 最新版本來看，前次 CIE 法規為 CIE115-1995，歷時 15 年後修訂新版法規。考量能源耗用與環境保護的觀點、光源以及燈具的技術不斷進步，以及電子式安定器的導入應用，探討更多在不同環境參數變化下，如交通量的多寡、氣候環境條件的優劣，訂定更多元化且符合不同情境使用的交通法規規範。

從 CIE115-2010 的章節內容規劃來看，與 1995 年版本不同之處主要包含以下幾點：

表 3-47 CIE115-2010 修訂要點

道路照明
1. 行人道路照明
<ul style="list-style-type: none"> 除原本的行人照明需求等級說明外，增加了低速交通道路區域的相關規定。
2. 氣候條件
<ul style="list-style-type: none"> 其中提到濕度較高的道路環境，對於照明需求與乾燥地面會有所差異。 氣候條件為下雪狀態時，道路照明的等級應提高
3. 一般道路照明等級 M 值
<ul style="list-style-type: none"> 照明等級原為 M1-M5，2010 年版本新增 M6。 在 L_{av}、U_0、U_1、f_{T1}、R_S 等項目的訂定上，M5、M6 與 1995 年版的規定有所差異 M3 在眩光門檻值(TI)的規定上，從 10 增加為 15。 照明等級定義更為精細，設定了不同參數值，針對各項參數進行評比後，乘上權重值，再代入公式計算：$M \text{ 值} = 6 - V_{ws}$。

表 3-47 CIE115-2010 修訂要點(續)

道路照明
4. 衝突區域照明等級-C 值
<ul style="list-style-type: none"> • 照明等級定義更為精細，設定了不同參數值，針對各項參數進行評比後，乘上權重值，再代入公式計算：$C \text{ 值} = 6 - V_{ws}$。 • 針對閾值作計算，區分為高/中等車速以及低/極低車速兩種
5. 行人照明等級-P 值
<ul style="list-style-type: none"> • 照明等級定義更為精細，設定了不同參數值，針對各項參數進行評比後，乘上權重值，再代入公式計算：$P \text{ 值} = 6 - V_{ws}$。
6. 景觀與環境
<ul style="list-style-type: none"> • 提到能源耗用的概念，針對干擾光(obtrusive light)也有特別說明。
7. 可視性與中間視覺
<ul style="list-style-type: none"> • 進行周邊視覺的必要性與效益之研究，納入中間視覺概念於道路照明。

資料來源：本研究整理(2010)

(1) 氣候條件

1995 年版已有提到道路照明應該考量不同氣候條件下的差異，而在 2010 年版本中可以發現，其中提到濕度較高的道路環境，對於照明需求與乾燥地面會有所差異，散射光較多的情況下使得原有光源提供的照明一致性降低，也會形成更多的眩光。為求負面影響的降低，在濕度較高地面環境，CIE47-1979 有針對 U_0 做更細部的計算。若氣候條件為下雪狀態時，道路照明的等級應提高，道路照明的需求需提高 4-5 倍，可採用調光功能的設置。

(2) 照明等級-M 值

在照明等級的定義上，CIE115-1995 訂定了 M1-M5 五個等級，而 CIE115-2010 新增了 M6，在 L_{av} (路面平均輝度)、 U_0 (路面輝度總均勻度)、 U_1 (路面輝度縱向均勻度)、 f_{TI} (眩光門檻值)、 R_s (環境係數)等項目的訂定上，只有 M5、M6 與 1995 年版的規定有所差異，M3 在眩光門檻值(TI)的規定上，則從 10 增加為 15。另外，2010 年版的照明等級規定表，針對 U_0 (輝度均勻度/最小值)增加了一欄濕道路路面的數值規定。詳細內容如下表所示。

表 3-48 CIE115-1995 照明等級 M 值規範內容

LIGHTING CLASS	EXTENT OF APPLICATION				
	All Roads	All Roads	All Roads	Roads with few or no Intersections	Roads with Footways not lit to Classes P1 to P4 in Clause 9.4
	\bar{L} (cd.m ⁻²) Minimum Maintained Clause 6.1	U_o Minimum Clause 6.2	TI (%) Maximum Initial Clause 6.3	U_i Minimum Clause 6.4	SR Minimum Clause 6.5
M1	2,0	0,4	10	0,7	0,5
M2	1,5	0,4	10	0,7	0,5
M3	1,0	0,4	10	0,5	0,5
M4	0,75	0,4	15	NR	NR
M5	0,5	0,4	15	NR	NR

資料來源：CIE115-1995(1995)

CIE115-1995 在車行道路照明要求則針對不同道路型態訂定適合的照明等級，不同道路狀況適合的照明等級如表 3-49 所示：

表 3-49 CIE 不同道路狀況適合之照明等級

道路狀況	照明等級
快速道路(獨立車速、出入管控、無十字路) 車流量及道路複雜度：高 中 低	M1 M2 M3
雙車道之快速行駛道路 交控設施及車輛專用狀況：不佳 交控設施及車輛專用狀況：良好	M1 M2
重要之市區道路、放射道路、社區聯絡道路 交控設施及車輛專用狀況：不佳 交控設施及車輛專用狀況：良好	M2 M3
不重要之聯絡道、區域內道路、住宅區出入道路 交控設施及車輛專用狀況：不佳 交控設施及車輛專用狀況：良好	M4 M5

資料來源：CIE115-1995(1995)

表 3-50 CIE115-2010 照明等級 M 值規範內容

Lighting Class	Road surface				Threshold increment	Surround ratio
	Dry			Wet		
	Lav in cd-m ²	U ₀	U ₁	U ₀	F _{TI} in %	Rs
M1	2.0	0.4	0.7	0.15	10	0.5
M2	1.5	0.4	0.7	0.15	10	0.5
M3	1.0	0.4	0.6	0.15	15	0.5
M4	0.75	0.4	0.6	0.15	15	0.5
M5	0.5	0.35	0.4	0.15	15	0.5
M6	0.3	0.35	0.4	0.15	20	0.5

資料來源：CIE115-2010 (2010)

在照明等級的定義上，CIE115-2010 的定義更為精細，其設定了不同參數值，包含速度、交通流量、交通構成、分隔車道有無、交叉口密度、停放車輛、周圍環境照度以及視覺指示/交通控管等八項，針對各項進行評比後，乘上權重值，再代入公式計算：M 值=6-Vw 值。各項參數權重值計算，見下表 3-51 所示。

不同於 CIE115-1995 針對照明等級 M1-M5 詳列出適合的道路狀況，CIE115-2010 並沒有列出 M1-M6 適合的道路狀況。而權重值中各個項目的定義，目前在 CIE115-2010 條文中並沒有詳細列出，參考歐洲標準委員會(CEN)於 1997 年 9 月提出的文件 FNL 11/FGSV 3.9 Nr 02-98，在照明等級的選擇則有針對速度以及交通流量做出定義。

在速度的部份，以大於 60km/h 為「高」、大於 30km/h 且小於等於 60km/h 為「中等」、大於 5km/h 且小於等於 30km/h 則為「低」，步行速度為「很低」。交通流量則分為：小於 4,000 輛、4,000~7,000 輛、7,000~15,000 輛、15,000~25,000 輛以及大於 25,000 輛五種等級。由於 FNL 11/FGSV 3.9 Nr 02-98 此份文件制定時間為 1997 年，年代較為久遠，並不一定適用於解釋 2010 年版本的 CIE115-2010，然目前由於 CIE 尚未針對 2010 年最新版本中的等級作詳細定義與說明，故於此列出僅提供作為參考用。

表 3-51 M 照明等級參數選項與權重值

參數	選項	權重值 V_w	選擇之權重值 V_w
速度	很高	1	
	高	0.5	
	中等	0	
交通流量	很高	1	
	高	0.5	
	中等	0	
	低	-0.5	
	很低	-1	
交通構成	與高比例的其他非車輛道路混合	2	
	混合	1	
	只有車輛	0	
分隔車道有無	無	1	
	有	0	
交叉口密度	高	1	
	中等	0	
停放車輛	有	0.5	
	無	0	
周圍環境照度	高	1	
	中等	0	
	低	-1	
視覺指示/交通控管	不佳	0.5	
	中等或良好	0	
		權重值之總和	V_w 值

資料來源：CIE115-2010(2010)

(3) 衝突區域照明等級-C 值

衝突區域指的是車輛流量交叉與車道改變處，如減少車道數或是分隔車道的寬度降低時，當車輛軌跡之間彼此之間有交點與交集的部分，形成一衝突區域。衝突區域的照明等級 C 值與照明等級 M 值計算方式類似，CIE 設定不同參數值，包含速度、交通流量、交通構成、分隔車道有無、周圍環境照度以及視覺指示/交通控管等 6 項，針對各項進行評比後，乘上權重值，再代入公式計算： $C \text{ 值} = 6 - V_w \text{ 值}$ 。各項參數權重值計算，見下表 3-52 所示。

表 3-52 C 照明等級參數選項與權重值

參數	選項	權重值 V_w	選擇之權重值 V_w
速度	很高	3	
	高	2	
	中等	1	
	低	0	
交通流量	很高	1	
	高	0.5	
	中等	0	
	低	-0.5	
	很低	-1	
交通構成	與高比例的其他非車輛道路混合	2	
	混合	1	
	只有車輛	0	
分隔車道有無	無	1	
	有	0	
周圍環境照度	高	1	
	中等	0	
	低	-1	
視覺指示/交通控管	不佳	0.5	
	中等或良好	0	
		權重值之總和	V_w 值

資料來源：CIE115-2010(2010)

除了 1995 年版的規定外，針對衝突區域照明等級，C 值尚有針對閾值作計算，區分為高/中等車速以及低/極低車速兩種。如下表 3-53 所示。

表 3-53 衝突區域照明等級

照明等級	道路表面值 平均照度(lux)	照度均勻度(U_0)	閾 值 $f_{TI}(\%)$	
			高/中等車速	低/極低車速
C0	50	0.4	10	15
C1	30	0.4	10	15
C2	20	0.4	10	15
C3	15	0.4	15	20
C4	10	0.4	15	20
C5	7.5	0.4	15	25

資料來源：CIE115-2010(2010)

(4) 行人照明等級-P 值

行人照明等級 P 值的計算方式與 M 值、C 值類似，CIE 設定不同參數值，包

含速度、交通流量、交通構成、車輛停放、周圍環境照度以及臉部辨識性共 6 項，針對各項進行評比後，乘上權重值，再代入公式計算：P 值=6-V_w 值。各項參數權重值計算，見下表 3-54 所示。

表 3-54 P 照明等級參數選項與權重值

參數	選項	權重值 V_w	選擇之權重值 V_w
速度	低	1	
	很低	0	
交通流量	很高	1	
	高	0.5	
	中等	0	
	低	-0.5	
	很低	-1	
交通組成	行人、腳踏車與汽車	2	
	行人與汽車	1	
	行人與腳踏車	1	
	只有行人	0	
	只有腳踏車	0	
車輛停放	有	0.5	
	無	0	
周圍環境照度	高	1	
	中等	0	
	低	-1	
臉部辨識性	必須	特別要求	
	非必須	無特別要求	
		權重值之總和	V_w 值

資料來源：CIE115-2010(2010)

(5) 景觀與環境

由於環保節能意識抬頭，以及人類對於生活水準的需求提高，CIE 在 CIE115-2010 第 10 章中也特別提到能源耗用的概念，另外針對干擾光(obtrusive

light)也有特別說明。干擾光(obtrusive light)是指當光源形成困擾、不舒服或是影響視線時之光線，詳細參數值與計算方式參考 CIE150:2003。

(6) 可視性與中間視覺

根據 TC 4-36 道路照明可視性設計之技術文件中提到三種方法：1.平面物體以及曲面物體的視覺(VL)等級；2.平面物體的最小可視目標物(STV)；平面物體於道路表面的啟示性(RP, Revealing Power)概念。周邊視覺的概念可實際應用在道路照明，特別是用於夜間照明與道路安全，提升周邊視覺的必要性與效益目前仍為正在進行的研究議題，而歐盟的 MOVE 研究團隊針對中間視覺也正在進行研究，明視覺與中間視覺在道路照明的等級上確有不同，此項目可參考 CIE TC1-58 之技術文件。

3. 小結

從 CIE115-1995 與 CIE115-2010 的修訂可以看到，修訂內容主要可分為以下幾點：

(1) 重視環保節能概念

重視能源耗用減少的必要性，並重視因照明所帶來對生物以及整體環境可能有的負面影響。

(2) 照明等級定義更為精細

在不同照明等級的定義上，CIE 改用更為精細的方式決定不同等級判定，不管是道路照明、衝突區域照明與行人道照明，M 值、C 值與 P 值皆需考量多個項目後進行計算，包含速度、交通流量、交通構成、分隔車道有無、交叉口密度、車輛停放、周圍環境照度以及臉部辨識性等，將使得其定義更加清楚與明確。

(3) 周邊視覺與中間視覺納入考量

提出周邊視覺的概念可實際應用在道路照明，特別是用於夜間照明與道路安全，提升周邊視覺的必要性與益處目前仍為正在進行的研究議題。另外提出中間視覺概念，未有明確規範內容，歐盟 MOVE 研究團隊進行研究中。

3.6.4 各國道路照明規範發展趨勢

從美國 IESNA、日本道路設施設置規範以及歐洲 CIE 規範來看，針對道路環境條件改變以及道路照明燈具產品技術進展，持續進行法規規範的重新審視與修訂是有其必要性的。綜觀各國道路照明設計規範之發展，歸納為以下數點趨勢：

1. 尋求更佳道路照明設計方式，以提高道路照明安全性與節能

道路照明影響用路人安全重要因素，各國均不斷思考與提出更佳道路照明設計方式。美國 IESNA 在道路照明設計規範，由燈具照度充足之單一標準延伸至包括道路條件和人眼適應影響的輝度設計，以及交通安全性相關的最小可見度分析方式。日本新增訂了「輝度均勻度」、「眩光」、「誘導性」三項性能指標。歐洲 CIE 則透過更細部的計算方式定義不同道路照明等級，以提供更佳道路照明。

由於道路照明為道路交通設施最主要耗能來源，因此道路照明節能設計，也成為除了安全性外另一個重要考量。IESNA 已在 1987 年便以單位用電密度(UPD)作為評估道路照明系統用電效益的指標，並出版相關規範文件。雖然該指標至今仍停留在規範文件階段，尚未納入照明手冊內，但根據 UPD 規範研究專家 David M. Keith 表示，加拿大已將 UPD 列為道路照明設計準則。除此之外，中國大陸也有相關規範，顯示道路照明節能也是未來重要趨勢。

2. 重視眩光與光害抑制

道路照明眩光與光害會產生道路照明負面效益，特別隨著道路設置量成長，以及道路周邊廣告照明普及與生態環境的保育考量，道路照明法規對於兩者防制有更多關注。IESNA 因應此趨勢，從增加燈具光分佈分類方式，到提出控制燈具光分佈之新型分類系統，藉以評估除眩光之外的其他光害(天空輝光、光侵擾)影響評定方式，對燈具之適用性提供更臻完善的參考指標。

另外歐洲與美國對於標誌照明規範，為了減少眩光，以環境輝度來定義標誌照明之品質要求。

3. 人因工程逐漸受到各國的重視

人因工程的概念已經逐漸受到各國的重視，各國道路照明規範的制定開始從人的觀點與感受、人眼視覺上的反應為思考點，如 IESNA 重視質化的照明品質，強調照明能夠帶給人的不使是單純的亮度，而更應考量人類情感上的訴求。日本道路設施設置規範從人的角度出發，進行不同道路環境下駕駛與行人在不同情境

與不同應變情況的反應與視覺反應；CIE 則開始納入周邊視覺與中間視覺的概念，雖未有明確規範數據內容，但已成為積極進行的未來研究議題。

道路交通設施法規規範最重要的是保障駕駛與行人用路上的安全性，提供用路人使用道路的舒適性以及便利性，隨著外在環境條件的改變，不斷納入新的觀念與想法將有助於制定更符合使用者需求、更能保障其人身安全的相關規範。道路交通設施法規規範雖然不宜作經常性的變動，對於修訂的內容與條文規定也應特別小心謹慎評估，但因應時代潮流與各國目前已完成的修訂內容，以及未來可能持續進行的修正趨勢，皆可以供國內交通工程手冊在未來的修訂與制定上做一參考。

第四章 新型耗能道路交通設施經濟效益分析

4.1 名詞解釋

1. 主動式路面標記 IPM (In-Pavement Marker)：可透過持續發光和閃爍發光兩種模式運作，不同的閃爍頻率可預示交通危險的程度(例：霧區)。
2. 高壓鈉燈 HPS (High Pressure Sodium Lamps)：為一種高強度氣體放電燈，利用高壓鈉蒸氣放電而發光。
3. 發光二極體 LED (Light Emitting Diode)：由半導體材料所製成之發光元件，元件具有兩個電極端子，在端子間施加電壓，通入極小的電流，經由電子電洞之結合可將剩餘能量，以光的形式激發釋出，而不同的材料會發出不同的波長，也就會看到不同顏色的光。

4.2 新型耗能設施發展現況

4.2.1 日本

1. 應用現況

自 2009 年起，日本地方政府以及國道營運單位正在進行與 LED 路燈生產廠商合作的實證實驗計畫如下：

(1) 西日本高速道路(股)於 2009 年 12 月 1 日~12 月 21 日期間招募 LED 道路照明廠商共同實施「道路照明設備之 LED 光源適用實驗」計畫^[97]，此實驗計畫目的為確認製造商所開發之 LED 道路照明燈具的光源可靠度和有效性，在西日本高速道路(股)的設定條件下，在選定的場址進行 LED 道路照明燈具的耐久性和視認性的確認實驗。實驗中欲確認的性能包括：

- 基本性能：平均輝度、均齊度、輸入電壓、消費電力、燈泡色溫度等
- 耐久性能：耐電壓、耐震動、耐溫、耐電源(ON/OFF)等
- 其他：安全性、維修保養性能等必要的性能

實驗期間為契約簽訂後一年，然而在該公司網站上，除了募集計畫廠商的訊息外，尚無此計畫的進一步消息。

(2) 阪神高速道路(股)於 2009 年 5 月 22 日~6 月 22 日期間招募廠商進行「道路照明設備之維修省力化及節能化之共同研究」^[61](實施期間為 2009 年~2011 年)，研究概要如下：

① 研究目的

道路照明為確保夜間行車安全舒適之不可或缺設備，現行道路照明設備採用高、低壓鈉氣燈、螢光燈等，然考慮燈泡更換及維護作業之經濟性與安全性，並顧及省能環保之需求，有必要對於新光源之採用、安定器之規格及配電方式進行檢討。近年因 LED 照明之實用化，希望能藉由研究開發機構或製造業者具備的新技術，融合阪神高速道路道路照明維修管理之知識，以期早日完成適合阪神高速道路道路條件的道路照明設備。

② 研究目標

➤ 維修省力化：

- 目標為不需要進行交通管制即能進行燈泡交換以及玻璃罩清潔等定期保養維修
- 燈泡、安定器等零件偶發故障時，不需因採取緊急障礙應變而進行交通管制

➤ 節能性能：

- 道路照明設備所需之每公里消耗電力低於現行阪神高速道路之標準照明方式

③ 道路照明設備維修省力化及節能化共同研究項目如表 4-1

表 4-1 阪神高速道路道路照明設備維修省力化及節能化共同研究項目

研究項目	研究細目(案)
1. 燈泡之長壽命化相關研究	長壽命發光元件之適用檢討
	利用改善調光控制方式之長壽命化檢討
2. 照明器具可靠度改善相關研究	因安定器冗長化所需之 Back up 方法檢討
	因配電線冗長化之可靠度改善檢討
	透過直流送電方式與蓄電池之組合做停電時電力補給之檢討
3. 照明器具節能化之相關研究	高效率發光元件之適用檢討
	高效率安定器之適用檢討
	照明率改善之相關檢討
	考慮到光束維持率初期照度補正控制方式之檢討
	考慮時間帶別交通量調光控制方式之檢討
	有關防止玻璃罩髒污之檢討
	考慮玻璃罩髒污影響之初期照度補正控制方式檢討

資料來源：大阪府阪神高速道路股份有限公司(2009)

<http://www.hanshin-exp.co.jp/company/kigyuu/topics/090522setumeisyo.pdf>

(3) 大阪府為了促進 LED 道路照明燈技術開發以及支援中小創投企業的通路拓展，於 2009 年創設「大阪府 LED 道路照明技術評估制度」。同時於同年 7~8 月招募府內之中小企業參加「活用創投新技術大阪府道路照明 LED 化之示範事業」^[55]，其中有四家廠商產品(因幡電機製作所、EIWAT、東芝 Litech、MARUWA 照明)通過評估認定、兩家(因幡電機製作所、EIWAT)LED 道路照明產品入選參加大阪府之 LED 道路示範事業。

以下為此示範事業去年開始到 2010 年 3 月為止的 LED 道路照明設置狀況：

■創投新技術活用大阪府道照明燈 LED 化示範事業場所

路線名	場 所	設置数
一般國道 423 号	豐中市寺内町 2 丁目~吹田市春日 1 丁目(綠地公園車站周邊) 吹田市江之木町(江坂車站周邊)	66 盞
一般國道 479 号	守口市豐秀町 1 丁目~梅園町(國道 1 号~京阪電鐵周邊)	32 盞
一般國道 308 号	東大阪市荒本北(東大阪市役所周邊)	33 盞

資料來源：大阪府(2009)<http://www.pref.osaka.jp/dorokankyo/led/bosyuu.html>

■配合新建道路工事設置 LED 路燈之場所

路線名	場 所	設置数
主要地方道大阪中央環狀線	攝津市鳥飼和道~守口市大庭町 2 丁目(鳥飼大橋)	38 盞
主要地方道大阪中央環狀線	門真市 HIE 島(HIE 島交叉口)	29 盞
都市計畫道路豐中岸部線	吹田市春日 4 丁目~吹田市千里山竹園 2 丁目	41 盞

資料來源：大阪府(2009)<http://www.pref.osaka.jp/dorokankyo/led/bosyuu.html>

■配合車站正面的綠化美化活動計畫設置 LED 路燈之場所

路線名	場 所	設置数
主要地方道美原太子線	富田林市喜志町 3 丁目(近鐵喜志車站周邊)	7 盞

資料來源：大阪府(2009)<http://www.pref.osaka.jp/dorokankyo/led/bosyuu.html>



資料來源：大阪府(2009)<http://www.pref.osaka.jp/dorokankyo/led/bosyuu.html>

圖 4-1 大阪府道路照明 LED 化示範事業 LED 路燈設置例

根據今年 2 月 25 日的日本新聞報導，大阪府都市整備部將於公共施設加速導入 LED 照明燈^[68]。從 2010 年度開始，道路照明燈之新設及更新工程原則上全部實施 LED 化。上述 2009 年度創設之「大阪府 LED 道路照明技術評價制度」也於今年五月進行第 2 次募集作業。而府營公園的服部綠地等 4 處公園也將進行 236 盞路燈 LED 化。

「大阪府 LED 道路照明技術評價制度」針對尚未有 JIS 規格的 LED 道路照明，採用大阪府獨自的技術來做評估以認定品質，也提供大阪府認定商品之資訊以圖擴大民間之需要。

2009 年底第 1 次認定了 4 種產品展開示範事業。2010 年度開始道路照明燈之新設「原則上進行 LED 化」之方針。但因只有燈柱高度 10M 級的路燈認定，所以 12M 級的新設無法使用該制度。第 2 次「大阪府 LED 道路照明技術評價制度」的募集於 2010 年 5 月實施。大阪府管理的道路照明燈約有 2 萬 3,000 盞，未來將全部更新為 LED。

另一方面，府營公園的照明燈 LED 化事業之 2010 年度預算案總計有 1 億 3,235 萬日圓。服部綠地(豐中市服部綠地 1-1)、寢屋川公園(寢屋川市寢屋川公園 1707)、住吉公園(大阪市住之江區濱口東 1-11)、久寶寺綠地(八尾市西久寶寺 323)等 4 處公園內將更新 236 盞為 LED 路燈。服部綠地也會在 2010 年度的追加預算中編制 LED 路燈經費。預定在 2009~2010 年度更新 142 盞 LED 路燈。

(4) 北海道預定於 2010~2011 年實施「積雪寒冷地 LED 照明之現場實驗」^[75]，其中有導入 LED 照明之節能試算結果資料，該節能計算之方法如下：

① 以北海道內之國道全部為高壓鈉燈，其餘道路為 20%水銀燈、80%高壓鈉燈為前提計算

② 消費電力算法：

水銀燈：根據電氣供應條款

高壓鈉燈：根據道路及隧道照明機材規格書

LED 燈：根據各廠商規格之平均值

③ 間點燈時間為年間平均夜間時數×365 日÷4,000 小時

計算結果如表 4-2 及表 4-3 所示。

表 4-2 北海道導入單盞 LED 照明之節能試算結果

項 目		水銀燈	高壓鈉燈	白色 LED
每盞燈	年間 CO ₂ 排放量	1034 kg-CO ₂	837 kg-CO ₂	327 kg-CO ₂
	年間電費	25,600 日元	17,500 日元	10,400 日元

資料來源：北海道(2010)<http://www.hkd.mlit.go.jp/kyokutyuu/h22/0119/01.pdf>

表 4-3 北海道全面導入 LED 照明之節能試算結果

項 目			水銀+高壓鈉	白色 LED
全北海道	開發局管理 道路照明	年間 CO ₂ 排放量	25 千噸 CO ₂	13 千噸 CO ₂
		年間電費	686 百萬日元	408 百萬日元
	北海道管理 道路照明	年間 CO ₂ 排放量	24 千噸 CO ₂	11 千噸 CO ₂
		年間電費	646 百萬日元	357 百萬日元
	合 計	年間 CO ₂ 排放量	49 千噸 CO ₂	24 千噸 CO ₂ ▲51%
		年間電費	1,332 百萬日元	765 百萬日元 ▲43%

資料來源：北海道(2010) <http://www.hkd.mlit.go.jp/kyokutyuu/h22/0119/01.pdf>

(5) 德島縣於 2010 年 1 月募集縣內中小企業參加「LED 道路及隧道照明燈具之有效性與可靠性實證實驗」^[56]，此實驗與上述大阪府的計畫類似，都是先透過對應徵企業的 LED 道路照明產品做評估，於示範性實驗計畫中採用通過認證的產品。被採用之 LED 路燈將於德島市、鳴門市、阿南市、吉野川市、三好市、那賀町等縣道上設置 1~3 盞以及設置在小鳴門隧道(總長 140m、寬 7.4m、既有燈具數 36 盞)。德島縣因有 LED 製造最大廠的日亞化學工業總公司位於同縣的阿南市，所以正在推動藉由 LED 群聚的「LED Valley 構想」政策，而此示範事業也是推動此構想活動的一環。

(6) 札幌市於 2009 年 9 月~2010 年 3 月期間實施「LED 路燈導入實驗計畫」^[57]，此計畫目的為透過監測及住民問卷調查來掌握 LED 道路照明亮度及視野範圍，並測定路面照度、防犯效果以及檢視冬季期間之維持管理問題。此計畫提出的參考資料指出將 1 盞 80W 的水銀燈換成亮度相同之 33WLED 燈的話，年間 CO₂ 削減量可達 118 公斤(減少 63%)，年間電費可節省 2,808 日元(減少 48%)，燈泡更換次數可降低到 1/3 以下(水銀燈 3 年更換 1 次，LED 燈 10 年更換 1 次)。

- (7) 京都市於 2009 年 10 月募集「街路燈 LED 化推動示範商店街」^[62]，此活動是京都市為了在商業活動上配合國家地球暖化政策，希望推動將一般水銀路燈改換成 LED 燈，以期減少電力使用，降低 CO₂ 的排放量，而委託京都商店街振興組合連合會所進行的實證實驗，將選定 3 個商店街做為實驗對象，LED 路燈設置為 20 盞，但會依商店街實際狀況做調整，實驗中也將對商店街會員及購物者進行 LED 燈的意識調查。
- (8) 東京都調布市於 2009 年 7 月實施 LED 路燈實驗設置^[64]，此實驗之目的為從防止地球暖化的觀點，透過設置 LED 路燈以期減少 CO₂ 排放量，因此實驗性地在小島町二丁目的街道上設置 32W 和 16W 各一盞的路燈，如圖 4-2。今後將驗證其視認性和照度分布等數據，以作為日後正式導入 LED 路燈之依據。



資料來源：東京都調布市(2009)

http://www.city.chofu.tokyo.jp/www/contents/1246952277624/index_p.html

圖 4-2 東京都調布市 LED 路燈實驗設置

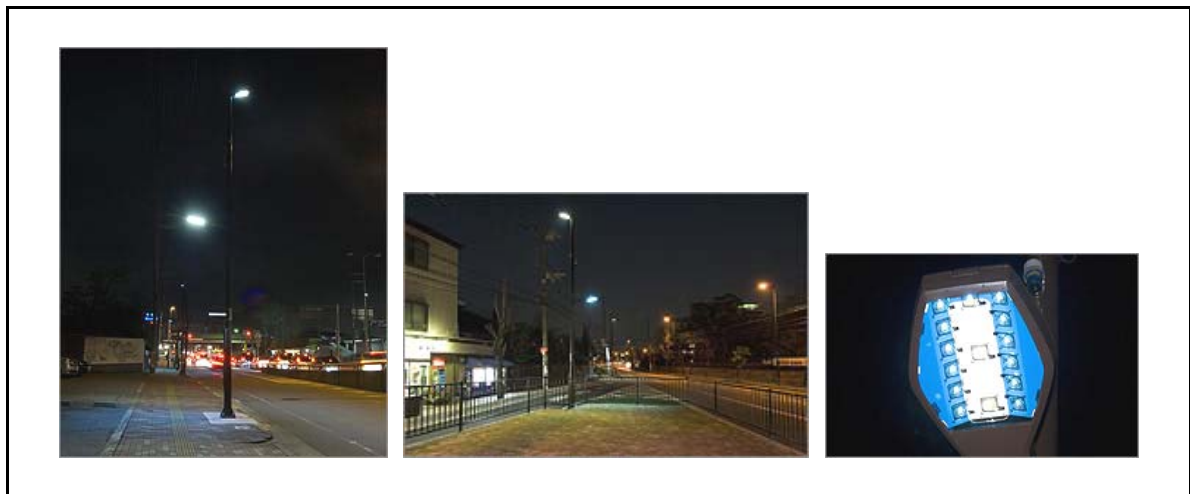
- (9) 東京都 AKIRUNO 市於 2009.11~2010.04 實施 LED 道路燈與水銀燈比較實驗「銀河」計畫^[53]，其中列出之比較結果如下：

表 4-4 東京都 AKIRUNO 市水銀燈與 LED 燈效益標準比較

水銀燈 435W	LED 燈 99W
■ 消耗電力 水銀燈：6,351 kwh/年	LED 燈：1,445 kwh/年 削減率：77%
■ 電費 水銀燈：107,967 日元/年	LED 燈：24,565 日元/年 削減率：77%
■ CO ₂ 排放量 水銀燈：2.4 噸/年	LED 燈：0.5 噸/年 削減率 79%

資料來源：東京都 AKIRUNO 市(2009)http://www.win-tel.jp/pdf/source2009111701_01.pdf

(10) 大阪府於 2007 年 3 月在地球暖化防止對策之一的「大阪府 LED 照明機器開發促進計畫策定事業」之架構下，於大阪高槻京都線(吹田市出口町)和萩谷五百往線(高槻市南平台)，以驗證實驗為目的，設置了 LED 路燈和步道燈^[70]。LED 路燈使用白色燈泡，LED 步道燈部份使用裝有藍色濾光片的燈泡，順便進行犯罪抑制(鎮靜效果)等心理效果的驗證實驗。採用的 LED 路燈比一般路路燈約可節省 30% 的能源及削減 30% 的 CO₂，約 10 年不必維修，因此可降低維修成本。共裝設有 LED 路燈 30 盞，LED 步道照燈 20 盞，詳如圖 4-3。



資料來源：大阪府(2007)http://www.led.or.jp/case/data/content/ext_012.htm

圖 4-3 大阪府於吹田市出口町和高槻市南平台設置的 LED 路燈

(11) 埼玉市大宮區率先設置了日本第一批具有讓心情安定效果的「藍色 LED 路燈」^[51]。據資料指出該區內近年來因腳踏車及汽車內物品失竊道路犯案件數增加，埼玉市為了驗證藍色 LED 路燈的犯罪抑制效果，先在大宮區設置藍色 LED 路燈，若確認有防犯效果，將擴大設置區域。

在道路標誌與標誌照明的發展狀況方面，德島縣於 2010 年 3 月 26 日公佈實施「獨立型太陽能式 LED 內部照明道路標誌之實證示範計畫」^[79]。

此計畫為德島縣產官學共同參加的以檢討活用鋰離子電池應用產品開發的可能性為目的之「次世代能源活用促進研究會」之一環，透過三洋電機及 ATOM 公司的全面協助，以「獨立型太陽能式 LED 內部照明道路標誌」之方式設置縣廳的標誌板，以進行實證示範研究。太陽能電池和附 LED 照明的複合式道路標誌標誌裝置，此乃日本全國首先採取的方式。以下簡介此標誌之設備概要：

1. 規格

(1) LED 內部照明道路標誌 1 座

※表示內容：德島縣廳

※LED 模組 65 個(日亞化學工業製 LED)、重量 135kg、消費電力(平均)約 34W、尺寸 1,980×780(mm)

※點燈時間：日落開始 3~4 小時左右

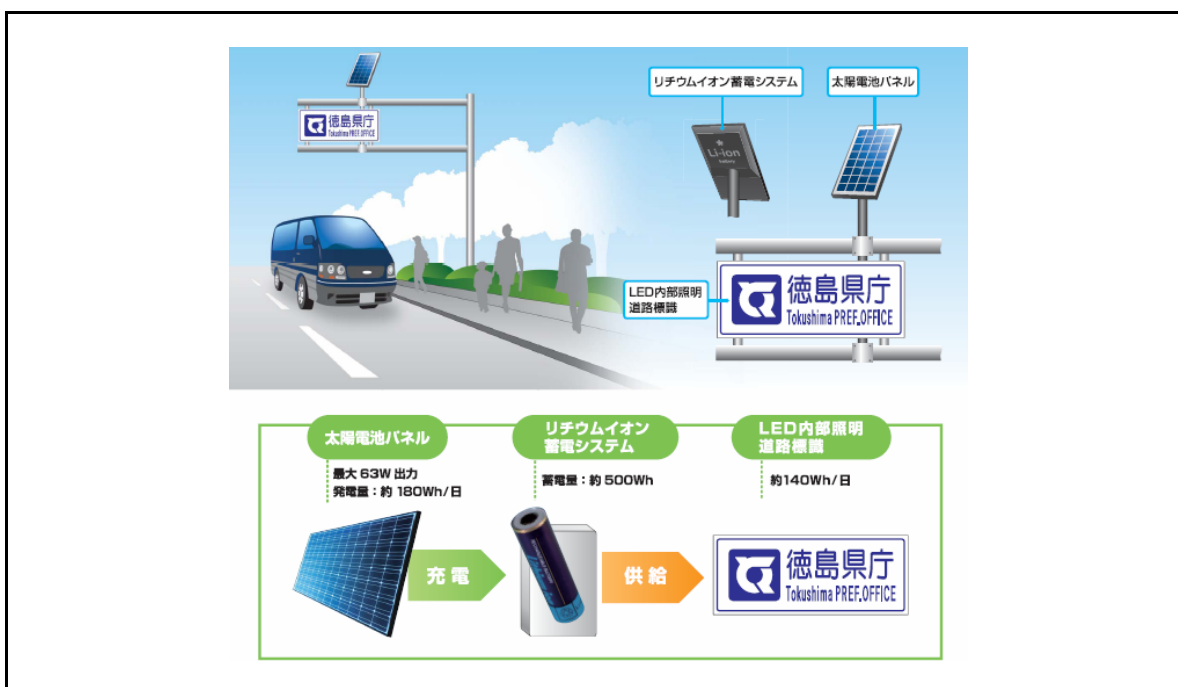
(2) 電力源

※太陽能電池：最大輸出(公稱)63W、尺寸 938×496(mm)

※鋰離子電池：蓄電量約 500wh

2. 設置場所：縣廳大樓北側道路邊緣(客用停車場入口附近)

3. 運作開始：2010 年 3 月 23 日



資料來源：德島縣(2010)<http://www.pref.tokushima.jp/docs/2010032400134/>

圖 4-4 德島縣獨立型太陽能式 LED 內部照明道路標誌示意圖

另外，在 2010 年 1 月 6 日的「日刊警察新聞」中提到栃木縣警在 2006 年度開始到 2009 年度之 4 年計畫的「道路交叉口與彎道交通事故防止對策」^[72]中，集中整備以 LED 自發光式之暫停標誌等反射式道路標誌。結果與整備前相比，交通事故約減少 30%、死亡數約減少 70%，確認獲得顯著的事故防止效果。栃木縣警據此結果，在 2010 年度以後也將持續針對未設置場所，展開高輝度道路標誌之設置計畫。

從道路標誌與標誌照明相關製造與裝設廠商的資料中獲得一些設置案例如下：

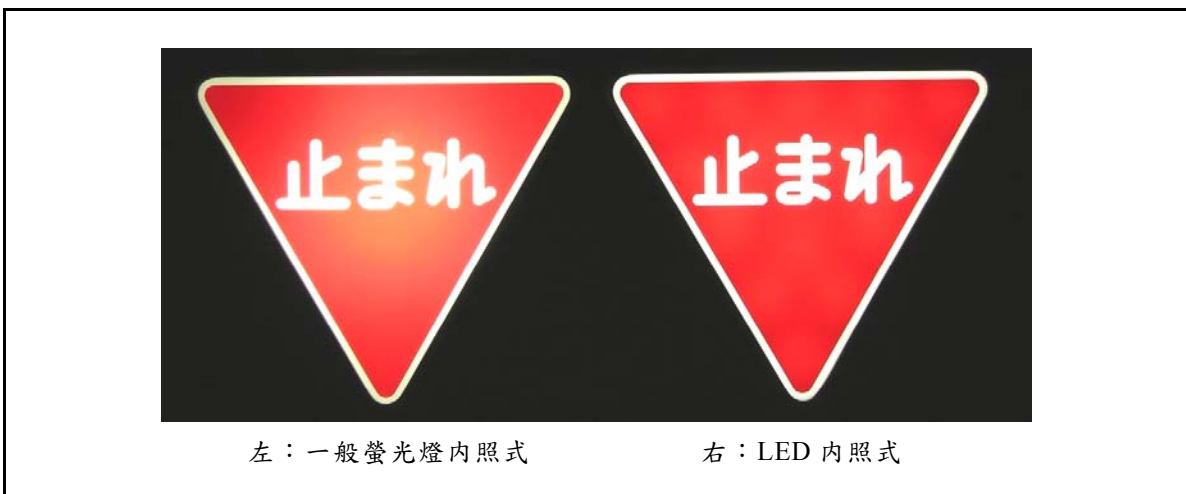
■LED 光源之行人穿越道標誌^[66]



資料來源：信號器材(2010) <http://www.shingokizai.co.jp/road/sign-link1.htm#sing13>

圖 4-5 LED 光源之行人穿越道標誌

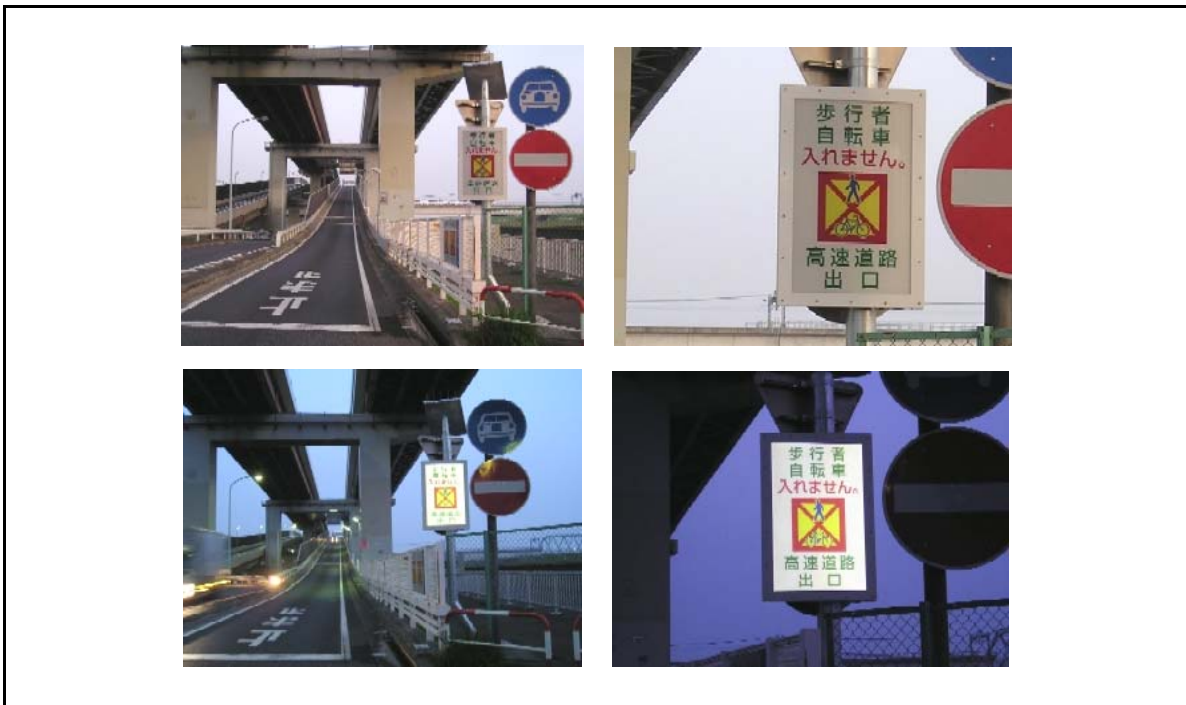
■LED 光源之內照式道路標誌^[66]



資料來源：信號器材(2010) <http://www.shingokizai.co.jp/road/sign-link1.htm#sing13>

圖 4-6 LED 光源之內照式道路標誌

■自發光內照式道路標誌(電源為太陽能發電系統之獨立電源，不須配線工事)^[66]



資料來源：信號器材(2010) <http://www.shingokizai.co.jp/road/sign-link1.htm#sing13>

圖 4-7 自發光內照式道路標誌

■LED 光源之內照式道路標誌^[78]



資料來源：信號器材(2010) <http://www.shingokizai.co.jp/road/sign-link1.htm#sing13>

圖 4-8 LED 光源之內照式道路標誌

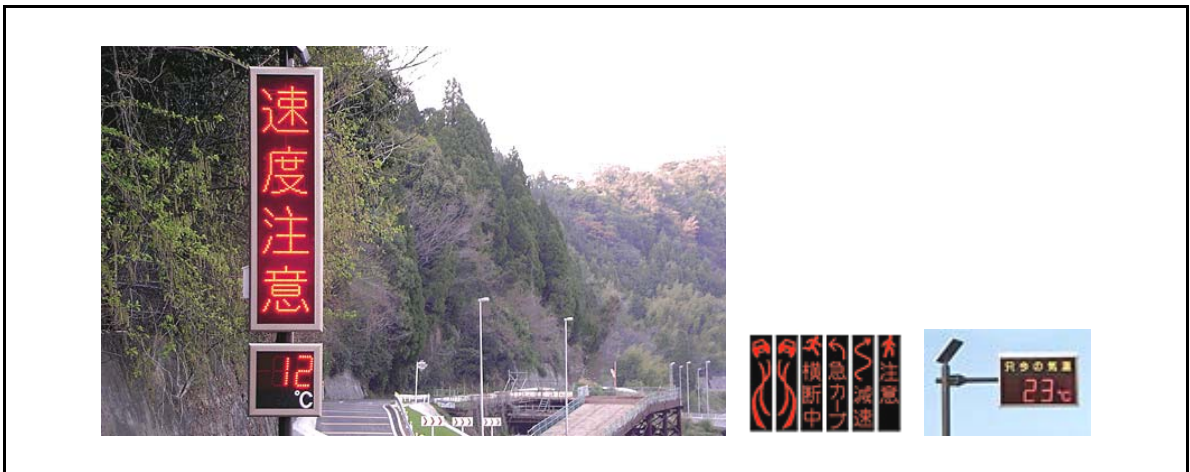
■自發光內照式道路標誌^[63]



資料來源：東亞製作所(2010) <http://toa-ss.co.jp/syuhin/oogata1.htm>

圖 4-9 自發光內照式道路標誌

■LED 指示標誌^[80]



資料來源：積水樹脂(2010) http://www.sjc.gr.jp/traffic/product/led_electric_light.html

圖 4-10 LED 指示標誌

■太陽電池式自發光 LED 內照式標誌^[86]

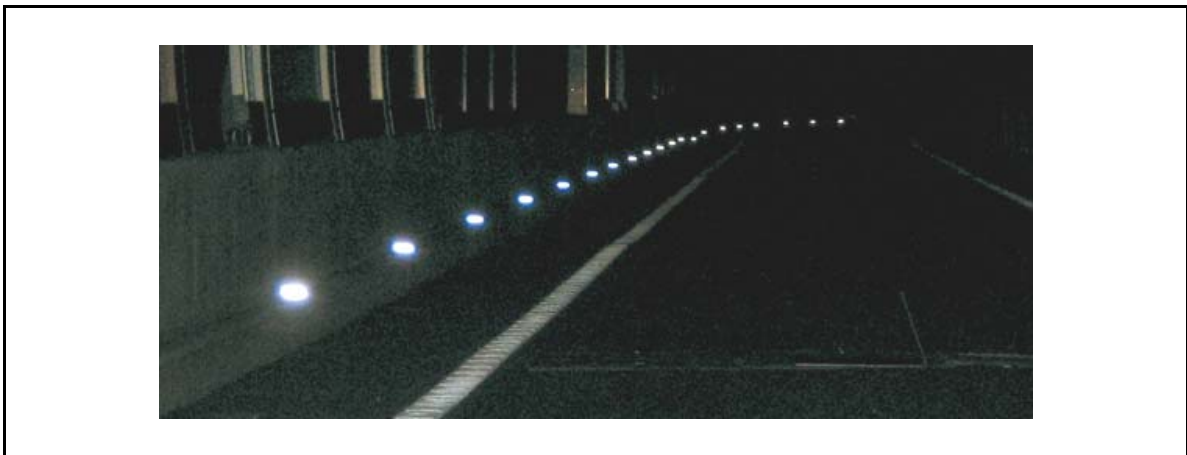


資料來源：積水樹脂(2010) http://www.sjc.gr.jp/traffic/product/traffic_sign05.html

圖 4-11 太陽能電池式自發光 LED 內照式標誌

有關新型耗能交通安全防護設施在此將範圍集中在「視線誘導標記」和「貓眼」上做資料收集。目前日本在使用 LED 於「視線誘導標記」和「貓眼」的設置現況尚未有由官方主導之示範案例，而由日本當地廠商實際導入之案例說明如下：

■使用 LED 之自發光貓眼^[81]



資料來源：積水樹脂(2010) http://www.sjc.gr.jp/traffic/product/luminescence_road.html

圖 4-12 使用 LED 之自發光貓眼

■使用 LED 之自發光緣石貓眼^[82]



資料來源：積水樹脂(2010) http://www.sjc.gr.jp/traffic/product/luminescence_curb.html

圖 4-13 使用 LED 之自發光緣石貓眼

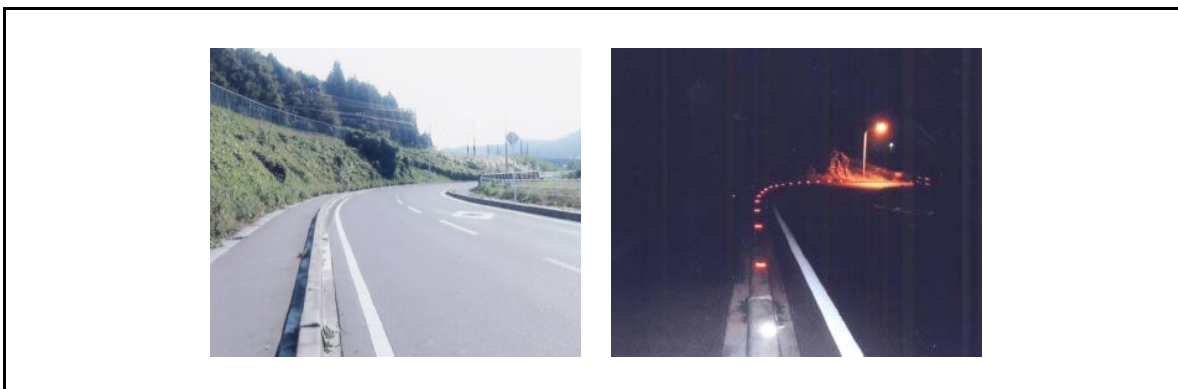
■使用 LED 之自發光區劃線貓眼^[82]



資料來源：東海道路(2010) <http://www.maruyama-g.co.jp/tokai/anzen/anzen.htm>

圖 4-14 使用 LED 之自發光區劃線貓眼

■使用 LED 之自發光緣石貓眼^[82]



資料來源：東海道路(2010) <http://www.maruyama-g.co.jp/tokai/anzen/anzen.htm>

圖 4-15 使用 LED 之自發光緣石貓眼

■LED 自發光式區劃線貓眼^[54]



資料來源：吾妻商會(2010) <http://www.azuma-syokai.co.jp/safety/led/008/led-008.htm#d>

圖 4-16 LED 自發光式區劃線貓眼

■LED 自發光式區劃線貓眼^[58]



資料來源：岐阜縣中小企業團體中央會(2010)

<http://www.chuokai-gifu.or.jp/grs/hyoushiki/shisen.html>

圖 4-17 LED 自發光式區劃線貓眼

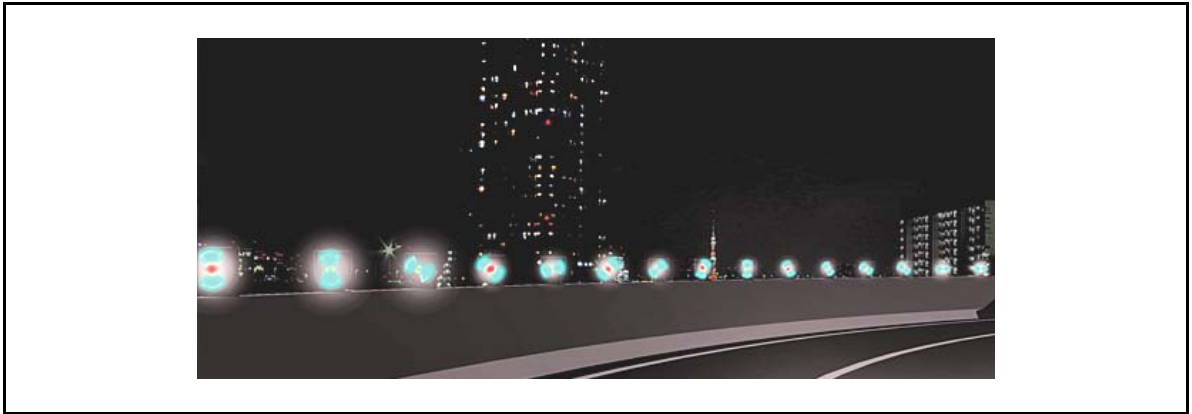
■使用 LED 之自發光視線誘導標誌^[60]



資料來源：積水樹脂(2010) http://www.sjc.gr.jp/traffic/product/luminescence_linear.html

圖 4-18 使用 LED 之自發光視線誘導標誌

■使用 LED 之自發光視線誘導標記^[83]



資料來源：積水樹脂(2010) http://www.sjc.gr.jp/traffic/product/luminescence_gaze.html

圖 4-19 使用 LED 之自發光視線誘導標記

■使用 LED 之自發光障礙物標誌燈^[84]



資料來源：積水樹脂(2010)

http://www.sjc.gr.jp/traffic/product/luminescence_obstacle.html

圖 4-20 使用 LED 之自發光障礙物標誌燈

最後，在資料蒐集過程中發現有下列在日本被歸類於道路交通安全設施之道路標誌線的材料，雖非屬於本計畫中欲探討之新型節能道路安全設施，然其應用紫外線照射技術，而於 2007 年 3 月中日本中央高速公路的駒根交流道和駒岳服務區 2 處所採用的紫外線照射道路標誌系統中也是採用此技術原理。

上述道路標誌及圖 4-21 所示之道路標誌與道路區劃線材料中使用蓄光顏料，蓄光顏料是指吸收太陽光或螢光燈的光(紫外線)之後將之儲存，並可在黑暗處自然發光之顏料。屬無機質素材所以不會劣化，顏料本身擁有可半永久性的重複吸收紫外光、發光之性質。

在屋外使用蓄光顏料之產品時，白天儲存太陽光，在天黑後夜間、暗處可長時間自然發出高輝度的光，所以在暗處需確保視認性之場所或施設中可發揮效果。

■蓄光式道路標誌^[52]



資料來源：南部商會(2010) <http://www.night-bright.com/modules/section/index.php?id=12>

圖 4-21 蓄光式道路標誌

■蓄光式道路區劃線^[67]



資料來源：ARISE CORPORATE(2010) http://www.arise-corp.jp/product/index_line.html

圖 4-22 蓄光式道路區劃線

2. 小結

根據上述資料得知日本在推動防止地球暖化政策中，削減暖化氣體 CO₂ 是最重要的目標，而透過將公共照明全面改用 LED 做法不僅可以節省用電，也對削減 CO₂ 有很大的貢獻，然因 LED 路燈技術尚處於成長階段，在照度、輝度、視認性上尚無確切的經驗數據可供參考，LED 道路照明本身也尚未有標準規格，價格也尚未普及化，因此在全面引進之前，必須先有實驗性的設置地區以供建立參考數據，這也正是最近這一兩年日本才開始由各公家部門開始實施區域性的 LED 路燈實證實驗的原因。

4.2.2 美國

1. 應用現況

氣候變遷是目前全球面臨最重大的挑戰之一，如何建構一個有效率的全球低碳經濟體已成為各國政府戮力投入的議題。美國在運輸部門的能源使用僅次於工業部門，約佔 28%，因此推動運輸部門下之交通工具、道路設施等的節能措施是當前必需規劃、未來勢在必行的綠色新政方向。

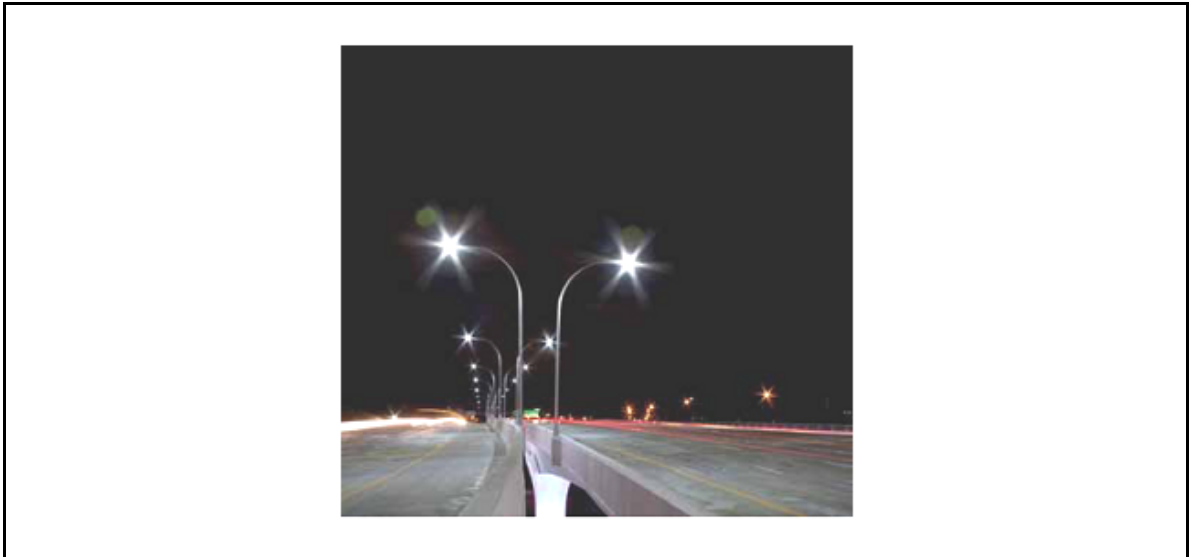
本研究界定的新型耗能交通設施包括道路照明/隧道照明、交通標誌/標誌照明、道路安全防護設施，在美國相關設置收集整理如下：

由美國官方 DOE 主導的 Solid-State Lighting GATEWAY Demonstration Program，是一項固態照明產品(例：LED 路燈)於一般室內和室外照明應用的示範性計畫，並進行實地成效評估，目前已完成 9 項示範性計畫，大多聚焦於室外照明(包括道路、停車場、走道等)，主要以目前道路照明廣泛使用的高壓鈉燈(HPS)和 LED 路燈作分析比較。以下將針對 5 項 LED 道路照明示範性計畫的結果做說明。^[14]

(1) LED Roadway Lighting: I-35W Bridge

示範地點：

I-35W 密西西比河大橋，是一條位於明尼蘇達州 35 號州際公路西線的高速公路大橋(I-35W Bridge, Minneapolis, Minnesota)，2007 年 8 月發生坍塌意外，後來整建後開放。全長 1215 英尺長，由兩條不同方向的主要橋面構成，各有 5 條車道，每條車道 12 英尺寬，加上內部路肩 14 英尺，外部路肩 13 英尺，一條橋面總寬度 87 英尺。根據明尼蘇達州運輸部 Roadway Lighting Manual，I-35W Bridge 歸類於“Interstate and Other Freeways/Commercial”(州際公路和其他高速公路/商業區)，R1 路面種類(混凝土，大量散射)。評估結果於 2009/8 出爐。



資料來源：DOE Demonstration Assessment of LED Roadway Lighting：I-35W Bridge(2009/08)

圖 4-23 密西西比河大橋 LED 路燈設置

安裝的路燈類型為 Type V 光分佈(設置於路側或區域邊緣，呈現橢圓形光分佈範圍，為燈具高度 2.75 倍以上，通常應用在寬廣之道路)的 10-LED array(共 200 顆 LED，光通量 16,500 lumens)和 Type III 光分佈(設置於路側或區域邊緣，呈現橢圓形光分佈範圍，為燈具高度之 1.75 至 2.75 倍，通常應用在一般寬度之道路)的 12-LED array(共 240 顆 LED，光通量 19,000 lumens)，依照橋的幾何設計原理，分別安裝於兩條橋面靠近末端的路段。為和 LED 路燈作比較，採用 Type III 光分佈 250 HPS 作為比較基準，但未實際安裝。

經濟效益分析項目包括 HPS 和 LED 路燈的初始購置成本、電費成本及日後維修成本的比較，詳如表 4-5 與表 4-6。

表 4-5 I-35W 密西西比河示範計畫各類路燈購置總成本

路燈產品	單 價	安裝數量	路燈總成本
250W HPS Corba Head	\$440	20	\$8,800
LED 10-bar Type V	\$2,250	16	\$36,000
LED 12-bar Type III	\$2,500	4	\$10,000

資料來源：DOE Demonstration Assessment of LED Roadway Lighting: I-35W Bridge(2009/08)

每盞 LED 路燈比 250W HPS 路燈初始購置成本高出\$1,810~\$2,060 不等。各路燈的用電度數和電費支出以一年使用 4,380 小時、每度電費\$0.0674 計算。

表 4-6 I-35W 密西西比河示範計畫電力成本分析表

	年使用 時數	路燈 功率(W)	20 盞 總功率 (kW)	年用 電度數 (kWh)	節能 百分比	年度電費	電費節省 金額
250W HPS	4,380	291	5.81	25,465		\$1,716.34	
LED (10-bar Type V + 12-bar Type III)	4,380	244 (10-bar、16 盞) 289 (12-bar、4 盞)	5.06	22,163	13%	\$1,493.79	-\$222.55

資料來源：DOE Demonstration Assessment of LED Roadway Lighting：I-35W Bridge(2009/08)

同樣安裝 20 盞，LED 路燈比 250W HPS 路燈的節能 13%，電費年省金額 \$222.55，因功率類似，節能幅度並不明顯。

由於明尼蘇達州運輸部是以單一契約包含所有維修項目，因此在路燈維修成本的精確程度上有實際困難，但透過表 4-7 列示的 250W HPS 路燈維修時可能發生之費用項目，大致可估算出一個參考數值。至於 LED 路燈，由於缺乏使用壽命期間(~15 年)維修費用的實際發生數據，因此暫先假設使用壽命期間不會發生維修費用，作為和 250W HPS 路燈之比較基準，得出每年維修成本可省下 \$27.5 之參考值。

表 4-7 250W HPS 路燈維修費用發生項目

每小時可換路燈數量(盞)	4.00
換 20 盞 HPS 路燈所需總時數	5.00
桶裝車(bucket truck)每小時成本	\$50.00
拖車(trailing vehicle)每小時成本	\$25.00
所需工人數	4.00
每小時工資/人	\$50.00
車具和工人往返時間(小時)	2.00
每盞路燈維護/更換材料	\$41.00
每盞路燈使用設備(如：車具)成本	\$18.75
每盞路燈人力成本	\$50.00
車具和工人往返總成本	\$550.00
每盞路燈維修/更換總成本	\$137.5(41+18.75+50+550÷20)
路燈維修/更換週期	5
每年維修成本	\$27.50(137.5÷5)

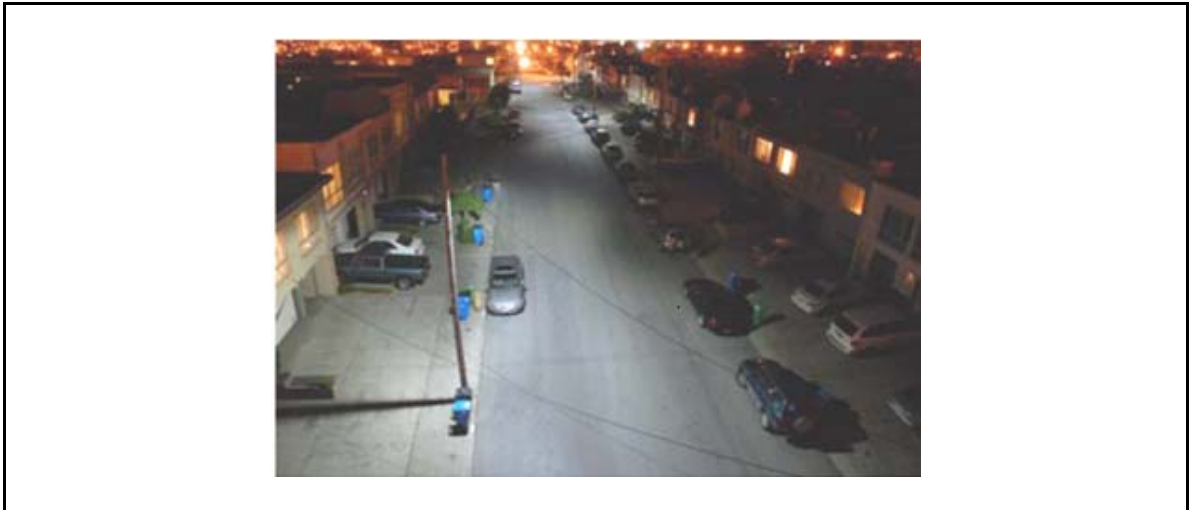
資料來源：DOE Demonstration Assessment of LED Roadway Lighting：I-35W Bridge(2009/08)

(2) LED Street Lighting: City of San Francisco

示範地點：

位於加州舊金山市的 Sunset District，介於 Taraval Street 和 Santiago Street 之間的 38th、41st、42nd、44th Avenue 四條街道。評估結果於 2008/12 出爐。

舊型路燈為 HPS Type II(設置於路側或區域邊緣，呈現長、窄的橢圓形光分佈範圍，為燈具高度之 1.0 至 1.75 倍，通常應用在較窄之道路)dropped-lens(水滴型)，後來換為全遮蔽型(full cut-off)100W Type II HPS cobrahead 路燈，本次則是選擇 4 家廠商提供的 LED 路燈作為示範性安裝。4 條街道從頭到尾共安裝 5 盞 LED 路燈，街道的一側安裝 3 盞 LED 路燈，桿距分別為 150 和 200 英尺，桿高 24'~34'(英尺)不等，街道的另一側則安裝另外 2 盞 LED 路燈，詳如圖 4-24。



資料來源：DOE Demonstration Assessment of LED Street Lighting：City of San Francisco, California
(2008/12，圖為 41th Avenue)

圖 4-24 San Francisco LED 路燈專案設置示意圖

經濟效益分析項目包括 HPS 和 LED 路燈的初始購置成本、電費成本及日後維修成本的比較。

每盞 LED 路燈比 100W HPS 路燈初始購置成本高出 \$200~\$600 不等，詳如表 4-8。

表 4-8 San Francisco LED 路燈專案各類路燈購置成本

路燈產品	單 價
100W HPS Corba Head	\$107
LED A(58W)	\$400
LED B(62W)	\$675
LED C(41W)	\$310
LED D(69W)	\$725

資料來源：DOE Demonstration Assessment of LED Street Lighting：City of San Francisco, California(2008/12)

表 4-9 為 100W HPS 和 4 種 LED 路燈電費比較。

表 4-9 San Francisco LED 路燈專案電力成本分析

100W HPS 路燈				
每月固定電費(1)		\$4.992/ 盞		
每年電費(2)		\$59.06/ 盞		
LED 路燈	A	B	C	D
功率(W)	58.66	62.22	41.25	69.21
用電度數(kWh)(3)	240.51	255.10	169.13	283.76
每度電費(\$/ kWh)	0.12	0.12	0.12	0.12
每年電費(\$/年)	28.86	30.61	20.30	34.05
年省電費(\$/盞)	30.2	28.45	38.77	25.01

註：1. 依照 PG&E LS-2 2008 電費結構，100W HPS 每月電費固定為\$4.922/盞。

2. 4.922×12 個月。

3. 每盞 LED 路燈功率 \times 每年使用 4,100 小時=總用電度數。

4. 依照 PG&E LS-2 2008 電費結構，HPS 電費每度\$0.12。

5. $\$0.12 \times$ 用電度數=每年電費。

資料來源：DOE Demonstration Assessment of LED Street Lighting：City of San Francisco, California(2008/12)

4 種 LED 路燈的電力節能成效明顯，從 40%~65%不等，平均值超過 50%以上。維修成本方面，依照 PG&E 之維修成本資料，HPS 路燈集體維修成本(Group)和單一路燈損壞(Burn Out)更換成本估算表列於 4-10。

表 4-10 San Francisco LED 路燈專案維修成本

	維修類別	
	集體維修	單一路燈損壞維修
每盞維修成本(\$)	51.57	245.42
每年維修機率(%/年)	8.2	8.16
每盞每年維修成本	4.23	20.03
每年產生有害物質成本\$0.18		
每盞每年維修成本：\$24.44		

資料來源：DOE Demonstration Assessment of LED Street Lighting：City of San Francisco, California(2008/12)

每年維修更換成本為\$4.23+\$20.03=\$24.26，加上每盞 HPS 路燈每年產生有害物質處理成本\$0.18，每年 HPS 維修成本估計為\$24.44。LED 路燈維修成本經估算結果如表 4-11：

表 4-11 San Francisco LED 路燈專案維修成本分析

假設條件				
每年使用小時數	4,100 小時/年			
緊急維修人工成本	\$223			
固定維修成本	\$25			
固定維修週期	5 年			
	LED A	LED B	LED C	LED D
保固和維修機率				
使用壽命(小時)	65,600	65,600	65,600	65,600
使用壽命(年)	16	16	16	16
保固期(年)	5	2	5	7
保固期外故障機率(%)	6.99	8.81	6.99	5.75
保固期內故障機率(%)	3.24	1.31	3.24	4.5
維修成本計算細項				
路燈成本(\$/盞)	400	675	310	725
保固期外故障年維修成本(\$/盞)	2.72	4.94	2.33	3.41
保固期內故障年維修成本(\$/盞)	0.45	0.18	0.45	0.63
年故障總成本(\$/年)	3.17	5.13	2.78	4.04
年固定維修成本(\$/年)	5	5	5	5
年維修總成本(\$/年)	8.17	10.13	7.78	9.04
和 HPS 路燈比較省下之年維修成本(\$/年)	16.27	14.31	16.66	15.4

資料來源：DOE Demonstration Assessment of LED Street Lighting：City of San Francisco, California(2008/12)

以 LED A 為例，每年維修成本計算方式為：

1. 保固期外路燈故障更換成本 $= (\$223 \text{ 人工成本} + \$400 \text{ 路燈成本}) \times \text{保固期外故障率 } 6.99\% \div \text{路燈壽命}(16 \text{ 年}) = 2.72$
 2. 保固期內路燈故障更換成本 $= \$223 \times \text{保固期內故障率 } 3.24\% \div \text{路燈壽命}(16 \text{ 年}) = 0.45$
 3. 固定維修年成本 $= 25 \times (1 \div 5 \text{ 年週期}) = 5$
- $(1) + (2) + (3) = 8.17$

維修成本經估算後，節省幅度平均達 60% 以上。

(3) LED Street Lighting : Lija Loop, Portland, Oregon

示範地點：

奧瑞岡州波特蘭市 Lija Loop 街道，類似圓環型，約 30 戶住家。第一次安裝在 2008 年 10 月，路燈桿高 30 英尺，桿距在 125~150 英尺間，如圖 4-25。評估結果於 2009/11 出爐。



資料來源：DOE Demonstration Assessment of LED Street Lighting : Lija Loop, Portland, Oregon(2009/11)

圖 4-25 Portland LED 路燈專案示意圖

波特蘭市原本採用 100W Type III、HPS Corba Head(全遮蔽型)路燈，120W 磁力調整型安定器，示範安裝採用 Type III LED 路燈。

經濟效益分析項目包括 HPS 和 LED 路燈的初始購置成本、電費成本及日後維修成本的比較。購置成本比較如表 4-12。

表 4-12 Portland LED 路燈專案各類燈購置成本

路燈產品	單 價
100W HPS Corba Head	\$107
53W LED	\$449

資料來源：DOE Demonstration Assessment of LED Street Lighting：Lija Loop, Portland, Oregon(2009/11)

每盞 LED 路燈比 100W HPS 路燈初始購置成本高出\$350 左右，但 LED 路燈之節能成效明顯達 55%，如表 4-13。

表 4-13 Portland LED 路燈專案電力成本估算

	安裝數量	功率 (W)	總功率 (W)	年使用 時數	年用電度數 (kWh)	節能 百分比
HPS	8	120	960	4,380	4,205	
LED	8	53	426	4,380	1,866	55%

資料來源：DOE Demonstration Assessment of LED Street Lighting：Lija Loop, Portland, Oregon(2009/11)

(4) LED Street Lighting：City of Oakland, California(第二階段)

示範地點：加州奧克蘭市

第一階段在奧克蘭市的室外公共停車場進行 LED 燈具的初試安裝，藉以評估 LED 燈具是否有任何負面的安全性影響，因沒有顯著的疑慮，進一步進展至第二階段的 LED 路燈示範性安裝測試，此階段在 Sextus 和 Tunis 街道上共安裝 15 盞 78W LED 路燈，在 Sextus 路東側裝設全新的 121W HPS 路燈，西側裝設 LED 路燈；Tunis 路上全部裝設 LED 路燈，而鄰近的 Cairo 路上全部裝設新的 121W HPS 路燈。所有燈具皆裝設在高於路面 28.5 英尺處，桿距為 110、120 或 160 英尺，如圖 4-26。評估結果於 2008/1 出爐。



資料來源：DOE Demonstration Assessment of LED Street Lighting：City of Oakland, California
(2008/01，左為 HPS 路燈、右為 LED 路燈)

圖 4-26 Oakland 第二階段 LED 路燈專案示意圖

經濟效益分析項目包括 HPS 和 LED 路燈的初始購置成本、電費成本(如表 4-14~4-17)及日後維修成本的比較。

表 4-14 Oakland 第二階段 LED 路燈專案各類路燈購置成本

路燈產品	單 價
121W HPS	\$346
LED	\$833

資料來源：DOE Demonstration Assessment of LED Street Lighting：City of Oakland, California(2008/01)

表 4-15 Oakland 第二階段 LED 路燈專案 HPS 和 LED 路燈的用電度數

路燈種類	功率(W)	年使用時數	年用電度數(kWh)	年省用電度數(kWh)
HPS	121	4100	496	
LED	77.7	4100	319	-178

資料來源：DOE Demonstration Assessment of LED Street Lighting：City of Oakland, California(2008/01)

依照 PG&E LS-2 2007 電費結構，100W HPS 每月電費固定為\$5.329/盞。

表 4-16 Oakland 第二階段 LED 路燈專案 HPS 路燈每月電費

100W HPS 路燈	
每月固定電費(1)	\$5.329/盞
每年電費(2)	\$63.95/盞

資料來源：DOE Demonstration Assessment of LED Street Lighting：City of Oakland, California(2008/01)

依照 PG&E LS-2 2007 電費結構，非定型化契約電費收費標準包括固定費用和實際用電費用。

表 4-17 Oakland 第二階段 LED 路燈專案 LED 路燈電費

LED 路燈	
功率(W)	77.7
用電度數(年，kWh)	318.57
每度電費(\$/kWh)	0.1253
每盞路燈固定費用(\$/盞)	0.1904
年度電費(\$/年)	42.21

資料來源：DOE Demonstration Assessment of LED Street Lighting：City of Oakland, California(2008/01)

每盞 LED 路燈在電費支出上每年比 HPS 路燈減少 \$21.74。

在維修成本部份，由於 LED 路燈缺乏使用壽命期間維修費用的實際發生數據，因此暫先假設使用壽命期間不會發生維修費用作為和 HPS 路燈之比較基準，HPS 之維修方式分為一次性集體和單點維修更換程序，費用列示如表 4-18。

表 4-18 Oakland 第二階段 LED 路燈專案 HPS 路燈維修成本

	HPS 維修類別	
	集體維修程序	單一路燈損壞維修程序
維修週期	6 年	30,000 小時(約 7 年)
每小時人工成本	\$100	\$100
每小時車具成本	\$13.1	\$13.1
每盞每年維修成本	\$10.97	\$20.4

資料來源：DOE Demonstration Assessment of LED Street Lighting：City of Oakland, California(2008/01)

(5) LED Street Lighting：City of Oakland, California(第三階段)

示範地點和第二階段相同，位於加州奧克蘭市

此階段延續第二階段的研究，做法是將第二階段安裝的 4 盞 78W LED 路燈換裝成 58W LED 路燈，其他條件不變，評估結果於 2008/11 出爐。經濟效益分析項目包括 HPS 和 LED 路燈的初始購置成本、電費成本及日後維修成本的比較。

表 4-19 Oakland 第三階段 LED 路燈專案各類路燈購置成本

路燈產品	單 價
121W HPS	\$346
78W LED	\$833
58W LED	\$605

資料來源：DOE Demonstration Assessment of LED Street Lighting Phase III：City of Oakland, California(2008/11)

每盞 LED 路燈比 121W HPS 路燈初始購置成本高出 \$250~\$500 左右，如表 4-19。

表 4-20 Oakland 第三階段 LED 路燈專案各類路燈用電度數情形

路燈種類	功率(W)	年使用時數	年用電度數(kWh)	年省用電度數(kWh)
HPS	121	4100	496	
LED(第二階段)	77.7	4100	319	-178
LED(第三階段)	58.3	4100	239	-257

資料來源：DOE Demonstration Assessment of LED Street Lighting Phase III：City of Oakland, California(2008/11)

表 4-21 Oakland 第三階段 LED 路燈專案各類路燈電費支出情形

路燈種類	每年電費	年省電費
HPS	\$63.95	
LED(第二階段)	\$42.21	-\$21.74
LED(第三階段)	\$32.22	-\$31.73

資料來源：DOE Demonstration Assessment of LED Street Lighting Phase III：City of Oakland, California(2008/11)

不論是第二階段或第三階段 LED 路燈示範專案，LED 路燈節能幅度平均達 35~55%，電費支出也相對分別減少 US\$21.74 和 US\$31.73，如表 4-20 和 4-21。

維修成本部份，由於 LED 路燈缺乏使用壽命期間維修費用的實際發生數據，因此暫先假設使用壽命期間不會發生維修費用作為和 HPS 路燈之比較基準。HPS 路燈的維修費用經過第二階段的計算分別為集體維修程序 \$10.97 和單點維修更換程序 \$20.4。

(6) LED Street Lighting : City of Palo Alto, California

示範地點：加州帕洛阿爾托市

加州 Palo Alto 市政府在 2007 年 12 月開始實施氣候保護計劃(Climate Protection Plan : CPP)，以 2020 年為時間點基準，設定溫室氣體(GHG)排放量比 2005 年減少 15%、或 CO₂ 減排 119,140 公噸為目標，其中一項行動方案就是評估 LED 路燈安裝的節能減碳效益。Palo Alto 地區目前共計有 6,300 盞 HPS 路燈，若全數換裝 LED 路燈，電力消耗預估每年減少 1.6GWh，溫室氣體約減排 650 公噸。2008 年 9 月，LED 路燈示範安裝團隊成立，決定以 7 盞 LED 路燈和 3 盞感應路燈(induction streetlight)與現有 70W HPS 路燈進行測試比較，並和太平洋西北國家實驗室(PNNL)接洽參與 DOE 固態照明示範安裝計畫事宜，地點位於 Palo Alto 市內 2 條住宅區街道(Colorado Avenue 和 Amarillo Avenue)。評估結果於 2010/6 出爐。

經濟效益分析項目包括 HPS 和 LED 路燈的初始購置成本、電費成本及日後維修成本的比較。

表 4-22 Palo Alto LED 路燈專案各類路燈購置成本

路燈產品	單價
70W HPS	\$78
20 LED(42W)	\$350
30 LED(54W)	\$420
Induction(90W)	\$459

資料來源：DOE Demonstration Assessment of LED Street Lighting : City of Palo Alto (2010/6)

42W 和 54W LED 路燈比 70W HPS 路燈初始購置成本約高出\$270~\$350 不等，90W 感應路燈價格再略提高，和 70W HPS 路燈價差約 US\$380，如表 4-22。

表 4-23 Palo Alto LED 路燈專案各路燈的用電度數和電費支出

	年使用 時數	路燈功率 (W)	年用電度數 (kWh/盞)	年度電費/盞	電費節省金額/盞
70W HPS	4100	96	398	\$31.82	-
20 LED	4100	42(3 盞)	172	\$13.78	-\$18.04
30 LED		54(4 盞)	230	\$18.37	-\$13.45
Induction	4100	90(3 盞)	369	\$29.52	-\$2.3

註：以一年使用 4,100 小時、每度電費\$0.08 計算

資料來源：DOE Demonstration Assessment of LED Street Lighting : City of Palo Alto (2010/6)

LED 路燈比 HPS 路燈電費節省程度達 40~55%以上，感應路燈則不明顯，如表 4-23。

三類型路燈之維修成本比較表 4-24。維修成本經估算後，LED 路燈和感應路燈比 HPS 路燈省下約 40%以上之幅度

表 4-24 Palo Alto LED 路燈專案各類路燈維修成本

	維修材料本/年	維修成本/年	燈泡回收處理成本 (lamp recycling cost)	維修成本加總/年
70W HPS	\$10.84	\$55.56	\$0.4	\$66.8
20 LED	\$0.61	\$38.9	\$0	\$39.51
30 LED	\$0.61	\$38.9	\$0	\$39.51
Induction	\$0.61	\$38.9	\$0	\$39.51

資料來源：DOE Demonstration Assessment of LED Street Lighting：City of Palo Alto (2010/6)

維修成本經估算後，LED 路燈和感應路燈比 HPS 路燈省下約 40%以上之幅度。

綜合以上 DOE 官方公佈之 LED 路燈示範性計畫的結果，彙整之安裝基本資料及經濟效益比較一覽如表 4-25 和 4-26。

表 4-25 美國 DOE LED 路燈示範安裝基本資料

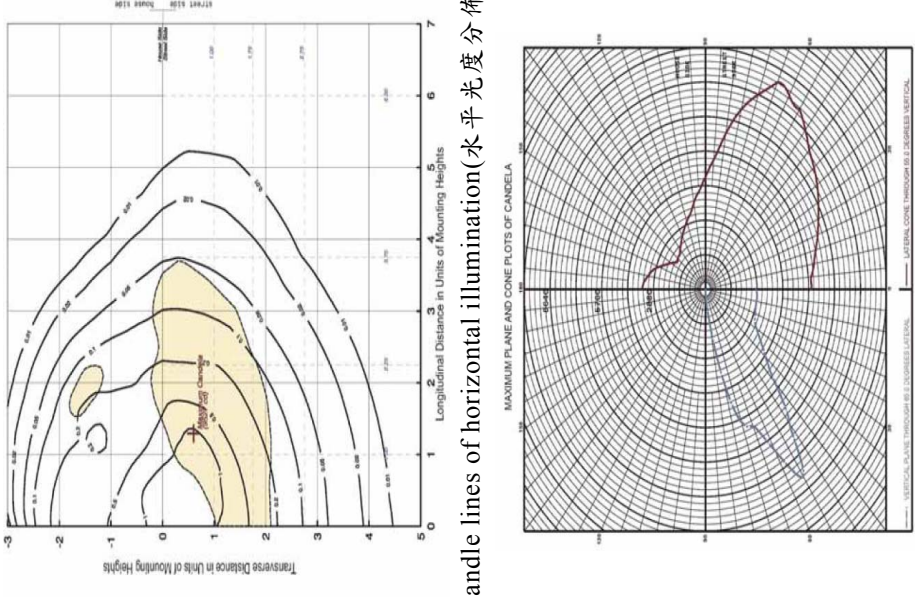
示範地點	設置時間	安裝盞數	供應商	LED 路燈瓦數	設置條件(桿高)	設置條件(桿距)	LED 路燈光形分佈
明尼蘇達州 I-35W 密西 西比河大橋	2008 年 9 月	4	Ruud Lighting 子公司 BetaLED	289W	40 feet	根據明尼蘇達州 運輸部 Roadway Lighting Manual， 桿高 40 feet，路 燈安裝間距視所 需照度和車道數 決定，通常為 240~250 feet	<p>LED 路燈光形分佈</p> <p>Semi Cut-off 半遮蔽型</p>  <p>Footcandle lines of horizontal illumination(水平光度分佈曲線)</p> <p>Maximum plane and cone plots of candela(最大平面和錐形光度圖)</p>

表 4-25 美國 DOE LED 路燈示範安裝基本資料(續)

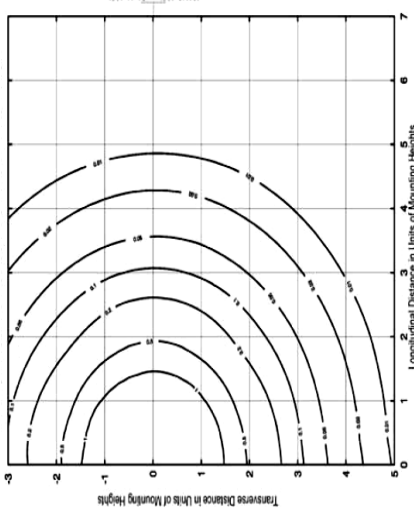
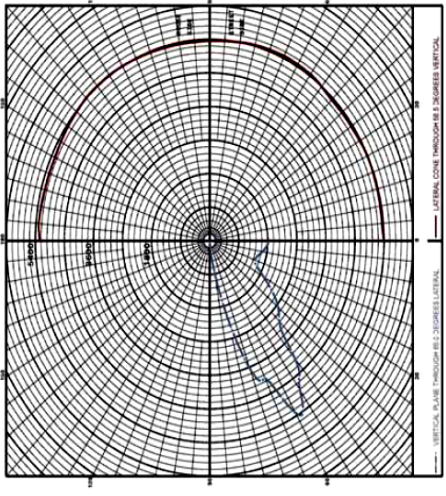
示範地點	設置時間	安裝盞數	供應商	LED 路燈瓦數	設置條件(桿高)	設置條件(桿距)	LED 路燈光形分佈
同上	2008 年 9 月	16	Ruud Lighting 子公司 BetaLED	244W	30 feet	N/A	<p>LED 路燈光形分佈</p> <p>Cut-off 遮蔽型</p>  <p>Footcandle lines of horizontal illumination(水平光度分佈曲線)</p>  <p>Maximum plane and cone plots of candela(最大平面和錐形光度圖)</p>

表 4-25 美國 DOE LED 路燈示範安裝基本資料(續)

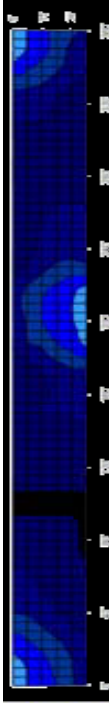
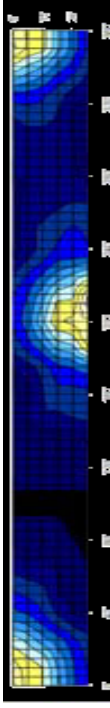
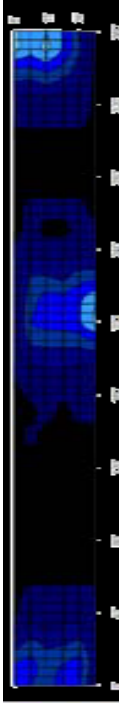
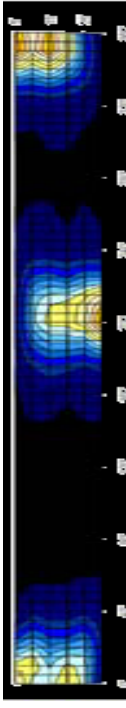
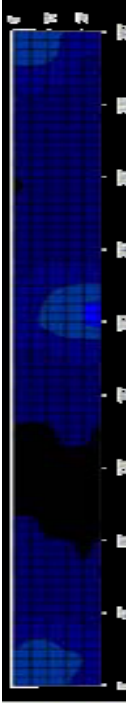
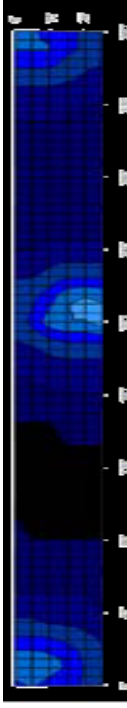
示範地點	設置時間	安裝盞數	供應商	LED 路燈瓦數	設置條件(桿高)	設置條件(桿距)	LED 路燈光形分佈
加州舊金山市	N/A	5	BetaLED	58 W	24 ~34 feet	150 、 200 feet	 Beta LED Photopic(明視覺)Surface Plot, 41st Ave  Beta LED Scotopic(暗視覺)Surface Plot, 41st Ave
							 Cyclone LED Photopic Surface Plot, 38th Ave  Cyclone LED Scotopic Surface Plot, 38th Ave
同上	N/A	5	Leotek	41 W	同上	同上	 Leotek LED Photopic Surface Plot, 42nd Ave  Leotek LED Scotopic Surface Plot, 42 Ave

表 4-25 美國 DOE LED 路燈示範安裝基本資料(續)

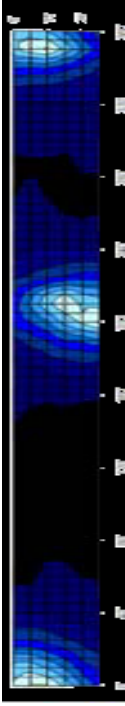
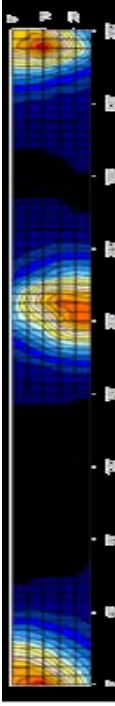
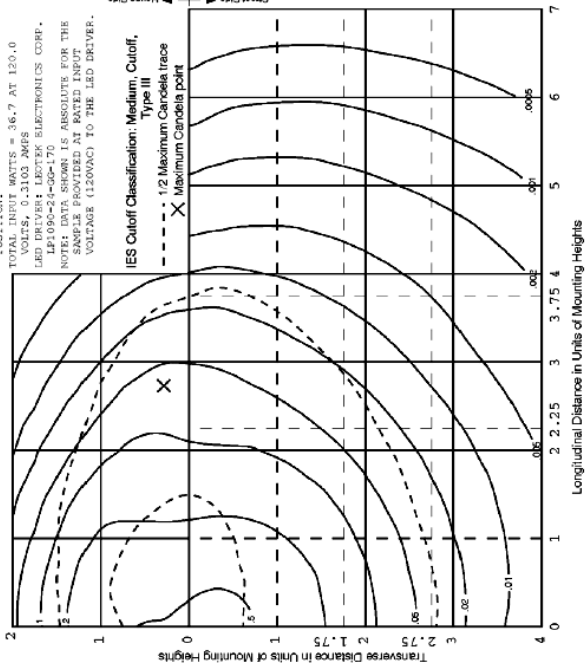
示範地點	設置時間	安裝盞數	供應商	LED 路燈瓦數	設置條件(桿高)	設置條件(桿距)	LED 路燈光形分佈
同上	N/A	5	Relume	69 W	同上	同上	 <p>Relume LED Photopic Surface Plot, 44th Ave</p>  <p>Relume LED Scotopic Surface Plot, 44th Ave</p>
奧瑞岡州 波特蘭市	2008 年 10 月	8	Leotek	53W	30 feet	125~150 feet	 <p>Footcandle lines of horizontal illumination(水平光度分佈曲線)</p>

表 4-25 美國 DOE LED 路燈示範安裝基本資料(續)

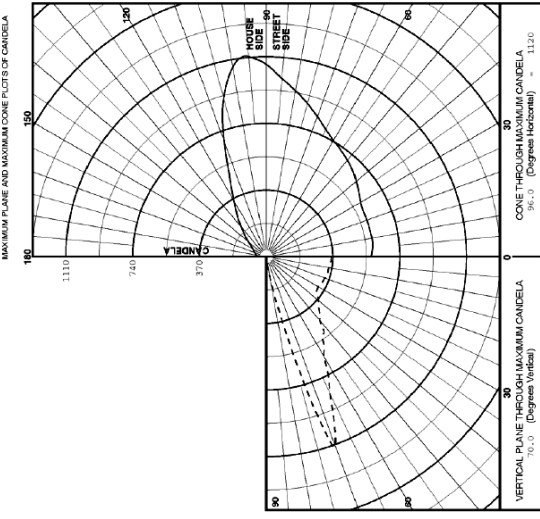
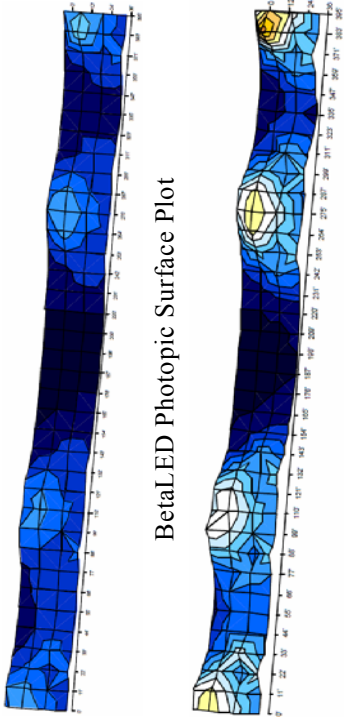
示範地點	設置時間	安裝盞數	供應商	LED 路燈瓦數	設置條件(桿高)	設置條件(桿距)	LED 路燈光形分佈
							
Maximum plane and cone plots of candela(最大平面和錐形光度圖)							
加州 奧克蘭市 (分兩階段)	(1)2007 年 10 月 (測量時間)	15	BetaLED	78W	28.5 feet	110、120 或 160 feet	

表 4-25 美國 DOE LED 路燈示範安裝基本資料(續)

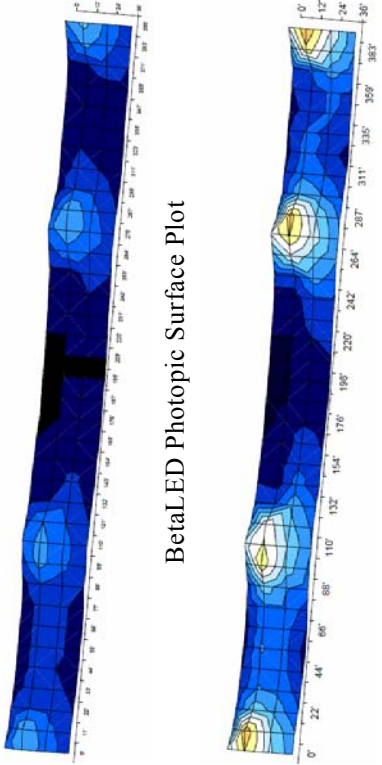
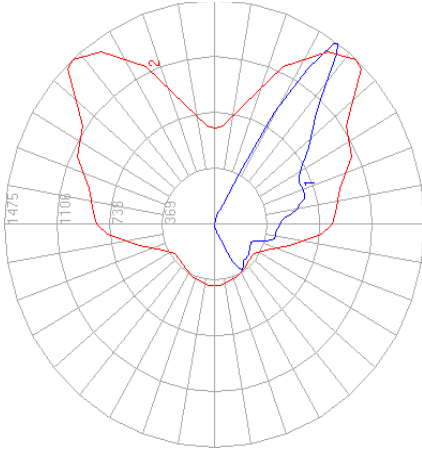
示範地點	設置時間	安裝盞數	供應商	LED 路燈瓦數	設置條件(桿高)	設置條件(桿距)	LED 路燈光形分佈
同上	(2)2008 年 9 月底至 10 月初 (測量時間)	4	BetaLED	58W	同上	同上	 <p>BetaLED Photopic Surface Plot</p> <p>BetaLED Scotopic Surface Plot</p>
加州帕洛阿爾托市	2009 年 6 月底至 7 月初	3	BetaLED	42W	N/A	125~150 feet	 <p>BetaLED vertical and horizontal distribution of the luminaire (燈具縱向和橫向光分佈曲線)</p>

表 4-25 美國 DOE LED 路燈示範安裝基本資料(續)

示範地點	設置時間	安裝盞數	供應商	LED 路燈瓦數	設置條件(桿高)	設置條件(桿距)	LED 路燈光形分佈
同上	同上	4	BetaLED	54W	N/A	同上	<p>BetaLED vertical and horizontal distribution of the luminaire (燈具縱向和橫向光分佈曲線)</p>
同上	同上	3	Deco Lighting	90W 感應路燈 (induction streetlight) 而非 LED 路燈	N/A	同上	<p>Deco Lighting vertical and horizontal distribution of the induction luminaire(燈具縱向和橫向光分佈曲線)</p>

資料來源：本研究整理(2010)

表 4-26 美國 DOE LED 路燈示範安裝經濟效益比較

基本資料						效益比較				
示範地點	路燈類型	購置成本 (\$/盞)	用電度數 (kWh/年)	電費 (\$/年)	維修費用 (\$/年)	購置成本	用電幅度(%/年)	電費(\$/年)	維修費用 (\$/年)	CO ₂ 減排量
明尼蘇達州 I-35W 密西西比河大橋	250W HPS	440	1275(1)	86	27.5	功率類似，LED 比 HPS 路燈(實際功率 291W)價格貴 5 倍左右(\$1800~2000)	功率類似的 LED 和 HPS 相比，用電度數節省幅度並不明顯	功率類似的 LED 和 HPS 相比，電費節省金額並不明顯	--	2300KG， 降幅 13%
	244W LED	2250	1069(1)	72	0		省 16%	省\$14	省\$27.5	
	289W LED	2500	1266(1)	85	0		省 0.7%	省\$1	省\$27.5	
加州舊金山市	100W HPS	107	566(2)	59.06	24.44	LED 功率為 HPS 路燈(實際功率 138W)的 30%~50%，價格比 HPS 貴 3~6.5 倍左右(\$200~600)	LED 功率為 HPS 路燈的 30%~50%，用電度數節省幅度達 40%~65%	LED 功率為 HPS 路燈的 30%~50%，電費節省金額達\$25~\$40	--	1578KG， 降幅 58%
	58W LED	400	240(2)	28.86	8.17		省 58%	省\$30	省\$16	
	62W LED	675	255(2)	30.61	10.13		省 55%	省\$29	省\$14	
	41W LED	310	169(2)	20.30	7.78		省 70%	省\$39	省\$17	
	69W LED	725	283(2)	34.05	9.04		省 50%	省\$25	省\$15	
奧瑞岡州波特蘭市	120W HPS	107	526(1)	45.6	32.4	LED 功率為 HPS 路燈的 45%，價格比 HPS 貴 4 倍左右(\$350)	LED 功率為 HPS 路燈的 45%，用電度數節省幅度達 55%以上	LED 功率為 HPS 路燈的 45%，電費節省金額達\$25	--	1584KG， 降幅 56%
	53W LED	449	232(1)	20.52	N/A		省 56%	省\$25	N/A	

表 4-26 美國 DOE LED 路燈示範安裝經濟效益比較(續)

基本資料						效益比較				
示範地點	路燈類型	購置成本 (\$/盞)	用電度數 (kWh/年)	電費 (\$/年)	維修費 (\$/年)	購置成本	用電幅度(%/年)	電費(\$/年)	維修費用 (\$/年)	CO ₂ 減排量
加州 奧克蘭市	121W HPS	346	496(2)	63.95	10.97 (集體)	LED 功率為 HPS 路燈的 50%~65%，價格比 HPS 貴 2 倍以上 (\$250~500)	LED 功率為 HPS 路燈的 50%~65%，用電度數節省幅度達 35%~55%	LED 功率為 HPS 路燈的 50%~65%，電費節省金額達\$20~\$35	--	883KG， 降幅 39%
	78W LED	833	319(2)	42.21	20.4 (單點)		省 36%	省 \$22	省 \$10.97	
	58W LED	605	239(2)	32.22	0		省 52%	省 \$32	省 \$20.4	
	70W HPS	78	398(2)	31.82	66.8		LED 功率為 HPS 路燈的 40%~55%，電費節省金額達 \$13~\$18；感應路燈因功率和 HPS 路燈相近，電費節省金額並不明顯	--	324KG， 降幅 49%	
加州 帕洛阿爾托市	42W LED	350	172(2)	13.78	39.51	LED 功率為 HPS 路燈(實際功率 96W)的 40%~55%，價格比 HPS 貴 3~4.5 倍以上 (\$270~350)	LED 功率為 HPS 路燈的 40%~55%，用電度數節省幅度達 40%~55%以上	LED 功率為 HPS 路燈的 40%~55%，電費節省金額達 \$13~\$18；感應路燈因功率和 HPS 路燈相近，電費節省金額並不明顯		省 \$27.29
	54W LED	420	230(2)	18.37	39.51					省 \$27.29
	90W 感應路燈 (induction)	459	369(2)	29.52	39.51				省 \$27.29	--

註：(1)4,380 小時/年(2)4,100 小時/年

資料來源：本研究整理(2010)

(7) LED 路燈安裝問卷調查結果

① 明尼蘇達州 I-35W 密西西比河大橋

2008 年 11 月透過明尼蘇達州交通部 e-mail 寄出 3384 份問卷，共有 671 份回覆，回收率約 20%。回覆結果大多樂觀正面，有 78.2%受訪者建議在其他道路使用和 I-35W 橋上同款的 LED 路燈。

② 加州舊金山市

以電訪調查當地居民意見之方式進行，共有 46 位居民接受調查，67%的居民(31 位)注意到 LED 路燈的設置。其他問卷內容並未公佈。

③ 奧瑞岡州波特蘭市

2008 年 12 月初以郵寄方式對當地居民進行問卷，回收 11 份(36%)。回覆結果大多樂觀正面，但也有一項認為光度過暗的負面意見，原因可能是高色溫(5210K)導致光色偏藍。

④ 加州奧克蘭市

2008 年 11 月底至 12 月中以電訪調查當地居民意見之方式進行，共接觸 16 位居住在 LED 路燈安裝區，和 4 位 LED 路燈安裝區附近之居民。(共 20 位)。受訪者對新舊路燈喜好的結果呈現，一半以上(14 位)表示對安裝 LED 路燈喜好之意願，其中更有高達 12 位居民表達強烈喜好之感。

受訪者對 LED 路燈在提升社區整體觀感、夜間安全、夜間可視性三項指標的調查結果。結果顯示居民非常贊同(約 70~80%)LED 路燈有提升社區整體觀感、夜間安全、夜間可視性的效果，僅約 20~30%居民認為沒有明顯改變，至於回覆“完全沒有提升效果”者為零。

⑤ 加州帕洛阿爾托市

共寄出 200 份 LED 路燈設置通知和問卷給當地居民，整理後發現大部分居民偏好 30-LED 路燈(6000K±500K、CRI = 70、3712 lumens)，20-LED 路燈(6000K±500K、CRI = 70、2474 lumens)和 HPS 路燈偏好程度差距不大，感應路燈(induction streetlight)排名最後。LED 路燈勝出原因為可視性增加，但也有負面回應，包括眩光過強和過冷刺眼“too cold & harsh”的光色。

美國目前已有一些城市採取新型照明技術更換老舊路燈的方式，以達省電和降低碳排放為目標。根據 2010 年匹茲堡大學永續創新中心統計數據資料顯示，在

美國地區採用 LED 路燈的比例還不到 1%，不同類型路燈的安裝比例和安裝數量細節如下表 4-27 所示(含室外區域照明燈)：^[27]

表 4-27 美國路燈設置比例

照明技術	安裝比例(%)
LED 燈	<1%
白熾燈(Incandescent)	2
石英鹵素燈(Halogen Quartz)	8
螢光燈(Fluorescent)	6
水銀燈(Mercury Vapor)	13
複金屬燈(Metal Halide)	29
高壓鈉燈(HPS)	42
總 數	100

資料來源：Mascaro Center for Sustainable Innovation, University of Pittsburgh(2010)

美國平均每度電(kWh)排放 0.718 kg 的 CO₂，估計全美共有 1.31 億盞路燈和戶外區域照明燈，其中路燈約 3,479 萬盞，1.31 億盞的戶外照明平均每天使用 12 小時，每年用電高達 178.3TWh，相當於排放 1.28 億公斤的 CO₂，不過路燈歸屬市政資產，區域照明燈較偏向私人管轄，因此單就路燈來計算，用電量每年約 11.84 TWh，相當於排放 3,300 萬公斤的 CO₂。在節能減碳成為綠色新政的趨勢下，LED 路燈的推廣除 DOE 的示範計畫外，其他進行路燈 LED 化汰換示範計畫的城市還包括較早佈局的密西根 Ann Arbor，近一兩年陸續加入的北卡州 Raleigh，加州 Los Angeles。2009 年 2 月美國復甦與再投資法案(ARRA)通過後，預計有多達 30 個左右的城市將提出對 ARRA 經費的申請協助，規劃路燈 LED 化工程，這些城市包括加州 San Jose、賓州 Pittsburgh、威斯康辛州 Milwaukee、德州 Missouri、伊利諾州 Urbana 等，再加上 Cree 在 2007 年初推動的全球性 LED 城市專案“Cree LED City Program”推波助瀾下，預期會帶動更多城市的加入。表 4-28 摘要 4 個 LED 路燈規劃較明確的城市。

表 4-28 美國 LED 路燈推動情況

	路燈改造計畫	時 間	預期效益摘要
美國	密西根州 Ann Arbor 市政府之 LED 路燈安裝工程計畫	2005 開始進行戶外公共照明評估，2006 年於市府大樓進行安裝測試，2007/10 開始大量導入 LED 路燈安裝工程	<ul style="list-style-type: none"> ➢ LED 路燈安裝工程計畫目的為降低路燈使用期間之成本(維修、電力等)及 CO₂ 排放量。 ➢ 2007 年 Ann Arbor 市區發展局提供 US\$630,000 之工程經費，汰換超過 1,000 盞舊型 120W 高壓鈉燈和複金屬鹵素燈為 50~80W 不等的 LED 路燈，預計年省 US\$100,000 路燈使用成本及減少 267 噸的 CO₂ 排放量。若全市安裝 LED 路燈，預計每年可減少 2,200 噸的 CO₂ 排放量。
美國	加州 San Jose 市節能 LED 路燈安裝計畫	2009/6 開始	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 2008 年共花費 US\$350 萬的路燈使用成本，佔平均城市年度業務預算的 40%。 ➢ 2009/6 初期先汰換 115 盞舊型鈉燈 ➢ 汰換目的期望達成路燈耗能減量 40%。 ➢ 目標 2022 年更換全市 62,000 盞現有舊型路燈為 LED 路燈。
美國	阿拉斯加州 Anchorage 市 LED 路燈設置條例	2008/8 Anchorage 議會通過 LED 路燈設置條例(LED Streetlight Ordinance)	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 第一階段汰換 16,000 盞高壓鈉燈為 LED 路燈。 ➢ 預計 US\$220 萬的前期投入成本於 7 年內回收，每年可省下的路燈使用成本約 \$360,000。 ➢ 總用電量不到現有高壓鈉燈的 50%。
美國	賓州 Pittsburgh 市 LED 路燈安裝提案	2009/2 由市議員 William Peduto 提案	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 每年路燈電費開支約 US\$320 萬，維修費用 US\$100 萬。 ➢ 以汰換全市 40,000 盞 230W 高壓鈉燈為 93W LED 路燈為目標。 ➢ 預計年省 600kWh 耗電量，約 US\$140 萬的電費和維修費用。

資料來源：本研究整理(2010)

隨著現代化交通運輸建設的發展，隧道已成為連貫道路網脈的重要設施。根據美國聯邦高速公路管理局(FHWA)2001 年的一項資料顯示，全美在 35 個州約有 400 處長度不同的公路隧道，以及 1055 公里(655 英里)的過境隧道(transit tunnels)。^[45]

隧道屬於高耗能運輸建設，不論是白天或夜晚都需要照明設備的運轉，以確保行車的安全性和舒適性，因此如何提升照明的節能效益、降低交通部門在能源使用的比例是重點努力方向。

在進行美國地區隧道照明於經濟效益評估的資料蒐集時，因相關文獻或報告的獲取有其困難度，僅發現兩篇分別為美國俄亥俄州的短隧道：Waterville tunnel 照明投資回收初步分析^[30]、從紐澤西進入曼哈頓南端必經的荷蘭隧道(Holland Tunnel)報導的約略性數字^[26]，作為概念性的參考。

俄亥俄州短隧道：Waterville tunnel 將於 2012 年對外開放，總長 335(ft)英呎，隧道照明將以 LED 燈取代傳統 HPS 燈，可供數據目前僅包括夜間時段的隧道內照明，如表 4-29 所列：

表 4-29 俄亥俄州短隧道 LED 隧道燈專案

隧道燈種類	每盞購買預算	輸入功率	平均壽命 (小時)	每年使用時數	每年電費	年維修成本
HPS	\$300	310W	12,000	4,380	\$3,288	\$362
LED	\$1,190	109W	50,000		\$1,156	--

資料來源：“Ohio Vehicular Tunnel”，LD+A Magazine (2010)

測試結果發現夜間在隧道內採用 LED 燈比 HPS 燈每天省下 53 度(kWh)用電，更換和清洗(相當於維修)每盞燈的費用約\$45，俄亥俄州運輸部指出，HPS 燈的更換維修時程設定在 3~5 年，這段期間尚不到 LED 燈使用壽命的一半，因此維修費發生率微乎其微。

荷蘭隧道是一條位於美國紐約州紐約市的隧道，穿越哈德遜河(Hudson River)，連接紐約市的曼哈頓與紐澤西州的澤西市，總長度 8,558 英呎。美國紐約與紐澤西州港務局(Port Authority of New York and New Jersey)在 2007 年 10 月決議將轄區內荷蘭隧道改裝省能 LED 照明，更新舊有 4,200 盞螢光燈具後，1,736 盞新型 LED 設備將更有效並省能地達到照明效果，使用年限長達 15 年(現為 1.4 年)，每年將省下 34 萬美元電費和維修費用，碳排放量預估減少 300 萬磅(pounds)。



資料來源：tunnelintelligence(2007)

圖 4-27 紐約市荷蘭隧道示意圖

根據美國聯邦公路管理局(FHWA)的報告指出，夜間交通事故發生率為日間的 5 倍，更突顯了指引道路安全駕駛的交通標誌在夜間可視清晰度的重要性。美國加州門多西諾縣(Mendocino County)和愛荷華州秀克氏市(Sioux City)就曾在幾年前提撥經費進行交通標誌升級，事故率明顯減少，省下的事故處理成本最高 6 年達兩千多萬美元。^[1]

表 4-30 標誌升級所創造效益

城 市	標誌升級經費	省下之交通事故處理成本
加州門多西諾縣 (Mendocino County)	\$79,300	(6 年) \$12,500,000~\$23,700,000
愛荷華州秀克氏市 (Sioux City)	\$145,000	(3 年) \$4,920,000

資料來源：Public Works Online News(2009/01)

FHWA 在 2008 年也完成了標誌的最低反光性能標準(參考 MUTCD Section 2A.08)，要求各州交通管理當局應評估當地道路標誌，在 4 年內針對不符規定的標誌提出更換計畫，警告和禁制標誌需在 7 年內更換，指示和道路名稱標誌需在 10 年內更換，因此除了以最低反光性能作為更換標準外，其他增加標誌夜間可視性的新型技術也開始受到關注，例如節能減碳的 LED 標誌。

值得注意的是，在 2009 年 2 月美國復甦與再投資法案(ARRA)簽署通過後，高達\$7,870 億的金額有近\$500 億用於公路、隧道、橋樑和鐵路等基礎設施投資，其中公共運輸的新設備項目(new equipment for public transportation projects)經費佔\$69 億。各州在道路標誌的設置成本估算上差異頗大，依數字的可獲取性大致整理如表 4-31。^{[16][34][39][40]}

表 4-31 美國各州道路標誌裝置成本

州 名	標誌設置成本
喬治亞州	\$1,500+\$100 安裝成本
北 卡 州	\$2,500
密西根州	\$400~\$500
伊利諾州	\$300+\$700 安裝成本
科羅拉多州	\$750~\$1,200(包括人工安裝費)
紐 約 州	最大尺寸\$6,000~\$8,300 小尺寸\$3,600~\$4,800 最小尺寸\$1,600~2,100
賓 州	\$2,100
紐澤西州	\$3,000
新罕布什爾州	\$400
加 州	高速公路\$990~\$1,350 一般公路\$550~\$990

資料來源：Atlanta Journal-Constitution；St. Petersburg Times；Washington Times；The Dallas Morning News(2009)

2009 年 FHWA 針對 LED 警告標誌在提升交通的安全性發表了一項概略性的書面資料(Embedded LEDs in Signs)^[44]，當中包括兩份分別由德州交通運輸研究所(TTI)和維吉尼亞州交通研究委員(VTRC)所進行的 LED STOP 標誌與交通安全關聯之研究，前者發現(1)沒有完全停止的車輛降低 28.9%；(2)通過交叉路口沒有明顯減速的車輛降低 52.9%。後者發現(1)平均車速在 1.9~3.4 miles/hour 的車輛有明顯的減速動作，顯示 LED STOP 標誌對駕駛的行為確實有提醒作用；(2)減速的比例在夜間比日間高。



資料來源：FHWA, Embedded LEDs in Signs (2009)

圖 4-28 太陽能 LED 警告標誌



資料來源：FHWA, Embedded LEDs in Signs (2009)

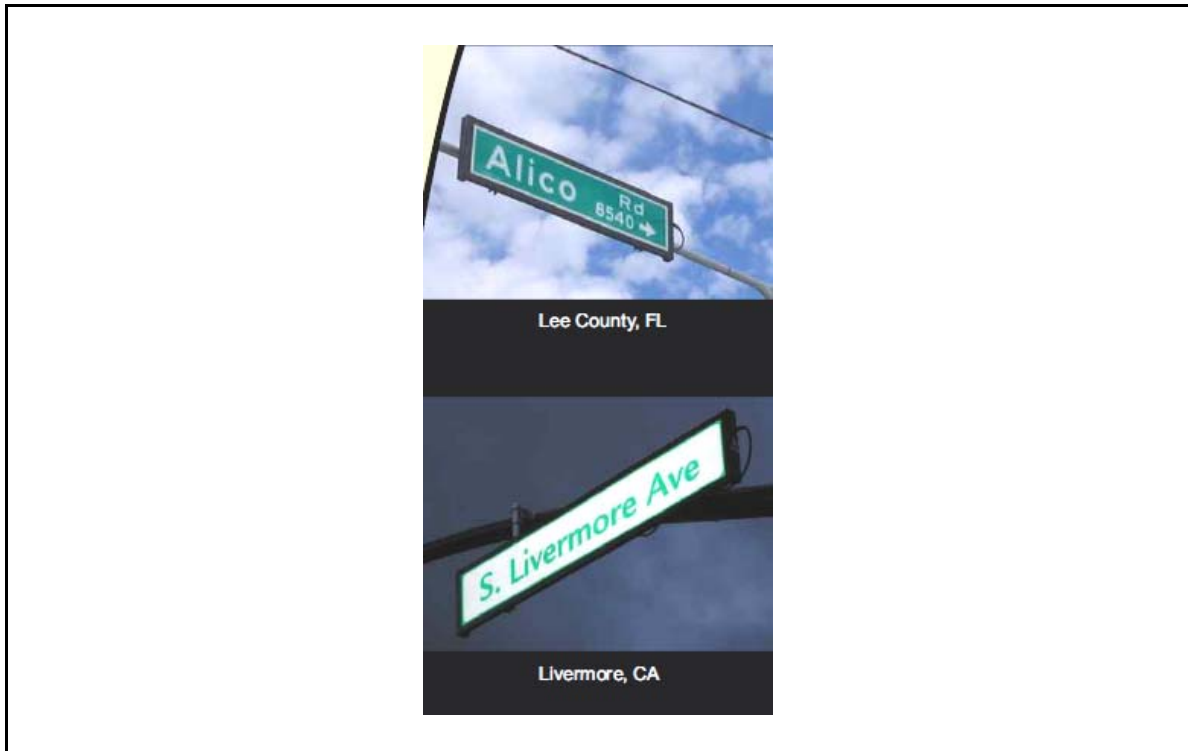
圖 4-29 太陽能 LED 行人穿越警告標誌

在美國已打入 12 州(包括密蘇里州、加州、科羅拉多州、德州等)LED 道路標誌照明的加拿大 LED 領導級公司 Carmanah,其 LED 內部邊緣發光標誌(例:Model R409 Edge-Lit LED Street-Name Sign、Model R450 Edge-Lit LED Traffic Sign)截至 2005 年全球已安裝的總數超過 50,000 個單位。LED 具備節能和使用壽命長的優勢，在交通設施的應用接受度高。另外由於生育率逐年降低，美國預計在未來 15 年 65 歲以上的老年人口比例將從現在的 13%攀升到 20%，這意味著提升標誌照明的必要性，且駕駛年過 20 歲之後，每 13 年在夜間駕駛視覺清晰度的照明需求量呈現 2 倍增加。



資料來源：Carmanah (2010)

圖 4-30 LED 指示標誌(邊緣發光式)



資料來源：Carmanah (2010)

圖 4-31 LED 路名標誌(邊緣發光式)

根據由美國運輸研究委員會 2008 年出爐的一項研究名為“Applications of Illuminated, Active In-Pavement Marker Systems”的國家協助公路研究計劃 (National Cooperative Highway Research Program, NCHRP, SYNTHESIS 380)^[6]結果顯示，各類的主動式路面標記(IPM：In-Pavement Marker)系統正逐漸興起，提供道路使用者更多元的設計樣式和功能特性，作為警告、指示、規範，或提供照明之作用。這項研究以問卷方式調查，865 份遍及 50 州，回收率 7.2%(62 份)，問卷內容包含各州的使用經驗，例如：系統和設施的特點、維護要求，系統成本和效益測量等，如表 4-32 摘要經濟效益和安裝效果之相關部分。

表 4-32 美國主動式路面標記裝置效果

功能	交通使用場合	安裝地點	基本資料&成本比較	安裝效果
警告	學校地帶	Orvis Risner Elementary School; Edmond, Oklahoma	2000 年安裝於學校外道路雙黃線的中央，整體系統成本 US\$38,000	* 超速行駛發生率從安裝前的 30%降低到安裝後的 19% * 對師長和駕駛人所做的問卷顯示：95%有注意到 IPM，93%認為 IPM 確實可增加警覺性，89%認為可提升學校區的交通安全
	施工地帶	Kansas, Nebraska, Iowa, Missouri	1999 年安裝	* 夜間超速行駛發生率從安裝前的 29%降低到安裝後的 22% * 夜間行車速度會降低 6 mph
	公路、鐵路交會地帶	Paramount Boulevard at Rosecrans Avenue; Paramount, California	整體系統採用 85 個紅色 LED，成本 US\$55,000~US\$60,000	N/A
	橫向轉彎地帶	* Interstate 95 at State Road 84; Fort Lauderdale, Florida * I-126 at Greystone Boulevard; Columbia, South Carolina * FM127; Mount Pleasant, Texas * US 59 at Loop 151 Flyover; Texarkana, Texas	* 由 2 顆 LED 組成的太陽能標記，輔助箭頭誘導標誌，單價 US\$55，共安裝 13 組 (South Carolina) * 2006 年安裝，輔助箭頭誘導標誌之標記系統，總價 US\$15,000(Texas) * 安裝於斜坡道路右側邊緣水泥護欄，整體系統成本 US\$56,000(Texas)	當雷達偵測器偵測到車速超過建議速度時(35 mph)，前方箭頭誘導標誌上之 IPM 會自動點亮，提供駕駛安全警告 (Texas)
	惡劣天候地帶	* I-526, Cooper River Bridge; Charleston, South Carolina * Various Locations; Virginia	* 1992 年安裝於濃霧區 (South Carolina) * 1976 年安裝於濃霧區 (Virginia)	維吉尼亞洲實施區內 19 個月內交通事故由 40 件降為 31 件；1997 年進行系統更新，19 個月內交通事故由 60 件降為 54 件 (Virginia)

表 4-32 美國主動式路面標記裝置效果(續)

功能	交通使用場合	安裝地點	基本資料&成本比較	安裝效果
指示	多條轉彎車道地帶	* SH00 at Arch Road, Single-Point Urban Interchange; Stockton, California * Wabash Avenue at Veterans Parkway; Springfield, Illinois	* 白光 LED 貓眼安裝於交叉路口 2 線左道，整體系統成本 US\$75,000，年維修費用約\$15,000(California) * 2004 年安裝白光 LED 貓眼於交叉路口，整體系統成本(包括故障時的其他通控制設施支援費用)US\$120,000(Illinois))	N/A
	車輛匯合地帶	Route 46; Totoda Burrow, Wayne Township, New Jersey		2006 年安裝，紐澤西運輸部認為效果良好，建議安裝於濃霧區或需要道路劃分之區域，但考量成本高且尚無預算而作罷
	隧道	* McClure Tunnel; Santa Monica, California * Wilson Tunnel, Route 63(Likeli Highway); Honolulu, Hawaii * Tunnel #1, SR20 between Newhalem and Diablo; Washington	* 2003 年安裝於隧道內中央分隔島，整體系統成本 US\$60,000~US\$70,000(California) * 2006 年安裝，白光 LED 貓眼安裝於隧道內雙白線中間，整體系統成本 US\$70,000(Hawaii) * 2005 年安裝黃光 LED 貓眼於隧道內 2 線車道中間，整體系統成本 US\$100,000，每年維修費用約 US\$1,000(Washington)	N/A

表 4-32 美國主動式路面標記裝置效果(續)

功能	交通使用場合	安裝地點	基本資料&成本比較	安裝效果
禁制	交叉路口停止線	* 2 nd Street at Adams Street; Coquille, Oregon * West Alabama Street at the Galleria; Houston, Texas * Various Locations along METRORail Line; Houston, Texas	* 2006 年安裝，整體系統成本 US\$40,000，維修費用包含在廠商之保固範圍內 (Oregon) * 共安裝 5 個琥珀色和 5 個紅色 LED，整體系統成本 US\$45,000(包含 US\$30,000 材料費和 US\$15,000 安裝費)(Texas)	* 遵守交通信號之行人增加 17%，擴大實施後增至 19%(Texas) * 不遵守交通信號之摩托車騎士減少 23%，擴大實施後減少 25%(Texas) * 闖紅燈比率下降 50%，擴大實施後下降幅度高達 77%(Texas) * 超越路口停止線之車輛數降低 6%，擴大實施後降低 26%(Texas)
		Various Locations along METRORail Line; Houston, Texas	N/A	2006 年 4 月針對 103 位行駛過 Houston 路段的駕駛者調查發現：有 82%受訪者了解安裝 IPM 之用意在禁止左轉；50%受訪者認為安裝 IPM 之意在傳達火車即將靠近；18%完全不了解
	車輛/卡車檢查區	Vandenberg Air Force Base; Santa Barbara County, California	N/A	N/A
照明	環境敏感區	SR A1A, Boca Raton, Florida	2001 年於海龜孵化區外公路示範安裝，整體系統成本 US\$500,000	佛羅里達大學針對此計畫進行 2 項有效性研究，高達 99%的幼龜在破殼而出後順利回到大海中，因人為光源干擾降低。另外大多數道路使用者也相當認同此照明方案，不過年長族群的接受度較低。交通事故的發生(碰撞等)並沒有變化

資料來源：Transportation Research Board(2008)；本研究整理(2010)

IPM 系統的成本區間從 US\$5,000~US\$100,000 不等，中間差異的影響因素包括道路長度、應用設計、使用數量、特定功能要求、電源啟動種類(如：太陽能)、路面條件、安裝前的周圍環境修補動作和交通管制要求等，一般來說，執行單位認為 IPM 系統並不是替代傳統交通控制設備的低成本方案，但會建議使用於一些關鍵地點。

維修部分方面，依照使用鹵素燈的經驗，以 IPM 系統內部產生凝結水滴和燈絲損壞為常見原因，若擴及所有類型的 IPM 系統應用，則以光源故障為最頻繁，故障的普遍因素歸咎於外在環境影響(如：水、灰塵、碎屑等)或交通相關的外力作用，尤其是位於道路上的 IPM 系統，經過車輛輪胎的壓力，特別是重型車輛，是造成光源故障的問題來源，頻繁的光源故障若未包含在廠商保固項目內，維修和更換費用勢必昂貴，估計一年維修費 US\$15,000，IPM 系統商的變通方法即採用地面埋入式、並以鋁或不銹鋼外殼覆蓋於上，不過 US\$15,000 的維修費用水準並不適用於安裝在護欄或插桿的 IPM 系統。

IPM 最早期(1978 年)的應用源自於機場跑道，之後在行人穿越道(斑馬線)興起應用，作為加強警告之設施。直到最近，IPM 的應用更加擴大，提供強化交通管理之警告、指示、規範功能或提供照明之作用，交通使用場合範圍擴及學校地帶、施工地帶、公路鐵路交會地帶、橫向轉彎地帶、惡劣天候地帶、多條轉彎車道地帶、車輛匯合地帶、隧道、交叉路口停止線、禁止左轉、車輛/卡車檢查區、環境敏感區(例：海龜孵化區)等，詳如圖 4-32 至圖 4-45。



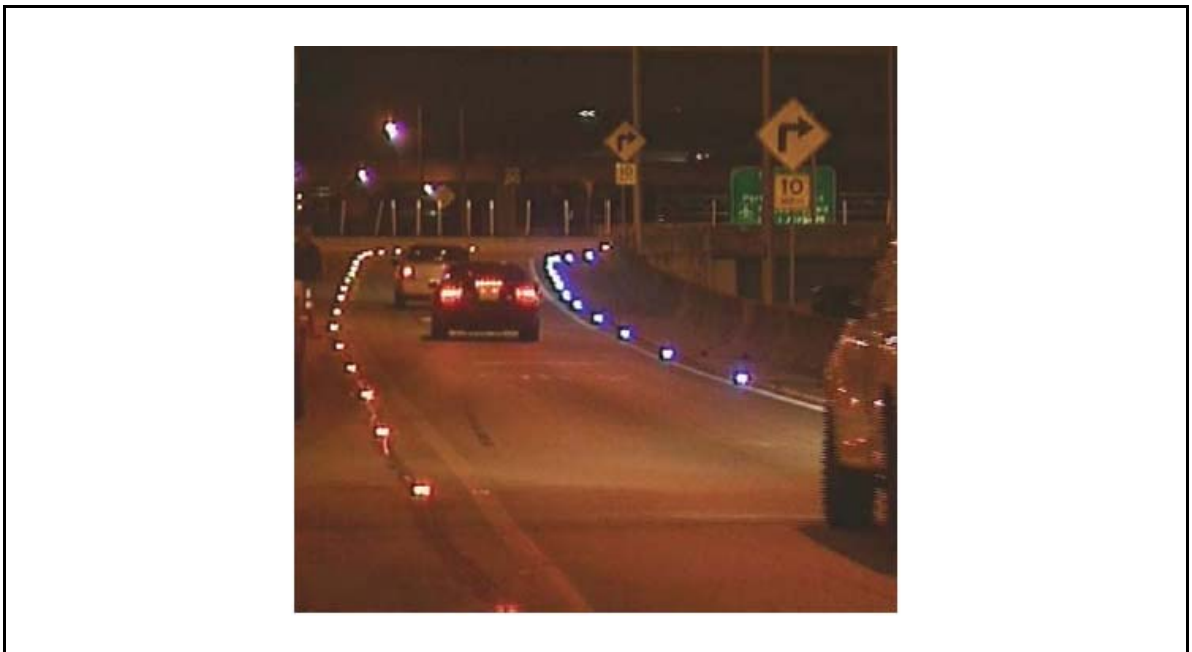
資料來源：Transportation Research Board(2008)

圖 4-32 IPM 安裝於學校地帶(Edmond, Oklahoma)



資料來源：Transportation Research Board(2008)

圖 4-33 IPM 安裝於公路、鐵路交會地帶(Paramount, California)



資料來源：Transportation Research Board(2008)

圖 4-34 IPM 安裝於橫向轉彎地帶(Fort Lauderdale, Florida)



資料來源：Transportation Research Board(2008)

圖 4-35 IPM 安裝於橫向轉彎地帶(Mount Pleasant, Texas)



資料來源：Transportation Research Board(2008)

圖 4-36 IPM 安裝於橫向轉彎地帶(Texarkana, Texas)



資料來源：Transportation Research Board(2008)

圖 4-37 IPM 安裝於多條轉彎車道地帶(Springfield, Illinois)



資料來源：Transportation Research Board(2008)

圖 4-38 IPM 安裝於車輛匯合地帶(Wayne Township, New Jersey)



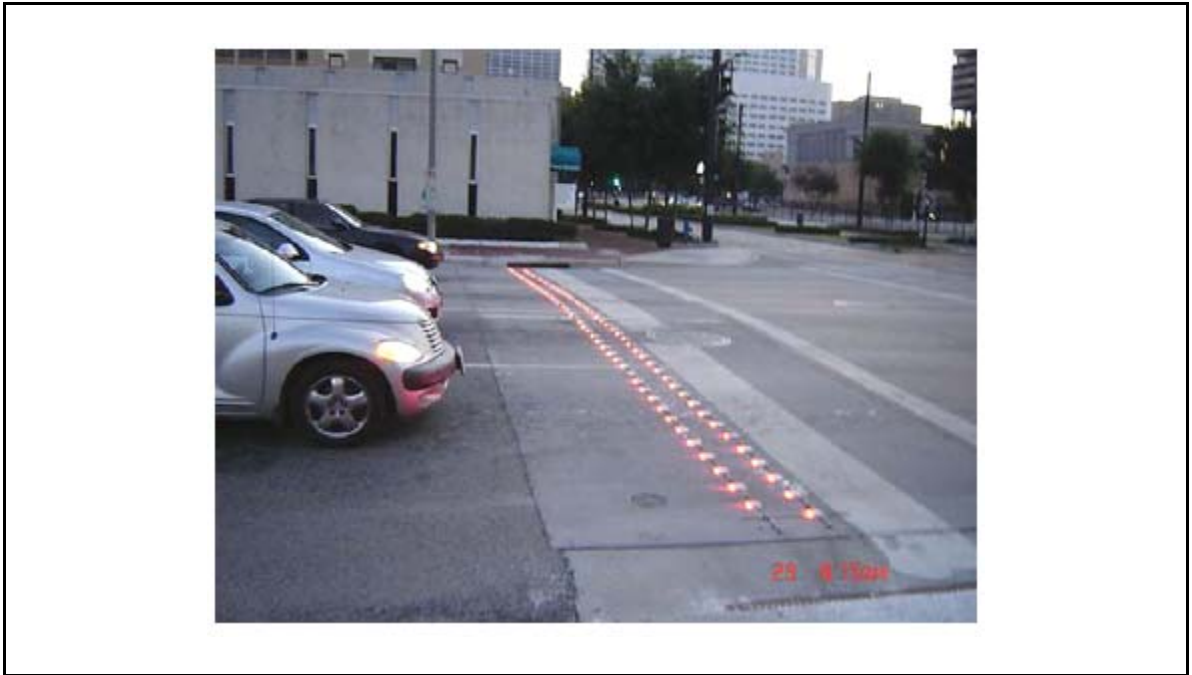
資料來源：Transportation Research Board(2008)

圖 4-39 IPM 安裝於隧道內(Route 63, Honolulu, Hawaii)



資料來源：Transportation Research Board(2008)

圖 4-40 IPM 安裝於隧道內(Santa Monica, California)



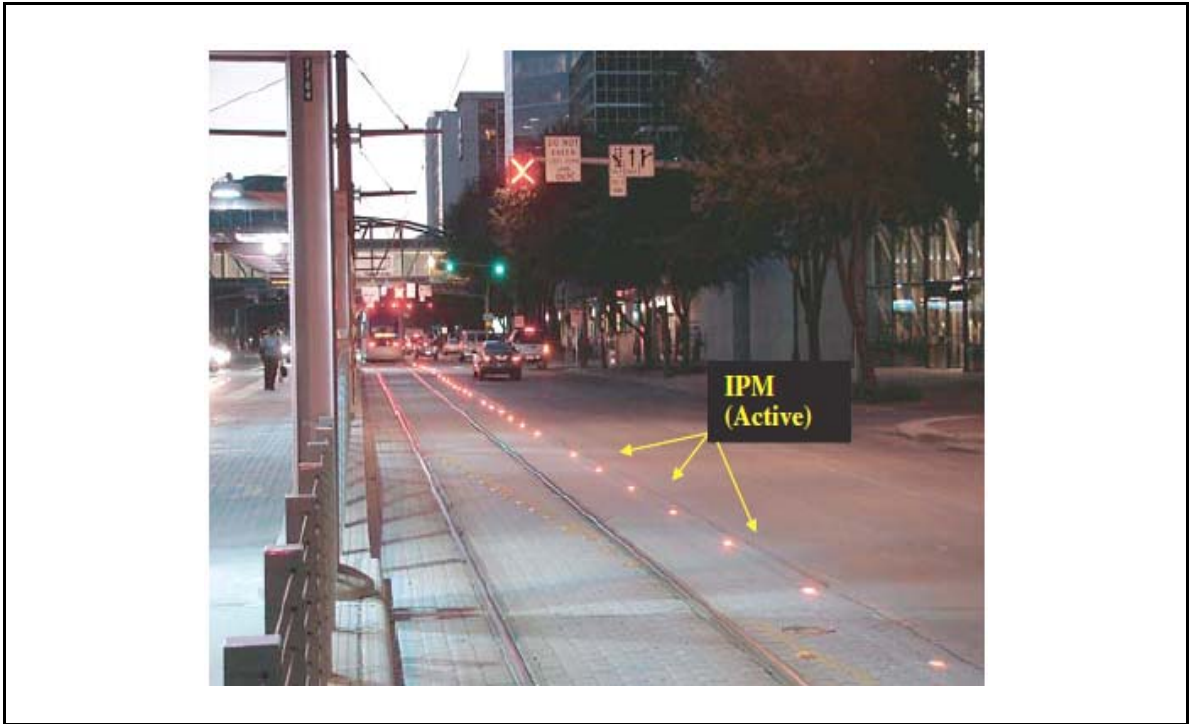
資料來源：Transportation Research Board(2008)

圖 4-41 IPM 安裝於交叉路口停止線(Jefferson Street,Texas)



資料來源：Transportation Research Board(2008)

圖 4-42 IPM 安裝於交叉路口停止線(West Gray Street,Houston)



資料來源：Transportation Research Board(2008)

圖 4-43 IPM 安裝於禁止左轉車道(Houston,Texas)



資料來源：Transportation Research Board(2008)

圖 4-44 IPM 安裝於車輛/卡車檢查區



資料來源：Transportation Research Board(2008)

圖 4-45 IPM 安裝於環境敏感區(SH A1A Boca Raton, Florida)

2. 小結

由 DOE LED 路燈示範照明計畫之結果發現，LED 路燈要達到路燈的節能效果，首先和用電度數高低息息相關即是路燈的功率，在相同的性能表現下，LED 路燈功率(58W~78W)比 HPS 路燈(100~150W)平均少 50%時，用電度數就可減少 50%左右。

此外，LED 路燈由於使用壽命長，維修發生機率顯然屈指可數，因此在 5 項 DOE LED 路燈示範照明計畫中，就有 2 項假設 LED 路燈在使用壽命內不會產生維修費用，相較於 HPS 路燈在第 5 年開始就進入維修更換期，LED 通常使用壽命超過 50,000 小時，以每年使用 4380 小時計算，5 年僅佔使用壽命約一半的時間，維修發生機率極低，一盞可年省約\$20 的維修費，再次套用在美國賓州匹茲堡 40,000 盞老舊路燈的更換計畫，年省維修費就高達\$80 萬。

較高的初始購置成本可能是 LED 路燈在採用唯一令人卻步的門檻，功率類似的 LED 路燈比 HPS 路燈價格貴 5 倍左右(\$1,800~2,000)；LED 路燈功率為 HPS 路燈的 50%，價格約貴 2~6.5 倍(\$250~\$600)，若大量購買，金額著實龐大。因此現階段美國各州仍需透過政府在財務上的協助，以小規模的循序漸進方式進行更換或示範工程。

而從數個示範計畫後續所做的的使用者意見調查發現，多數用路人對 LED 路燈均抱持正面態度，主要的負面意見為高色溫導致之光度過暗，以及眩光過強與高色溫導致刺眼。

另外各類的主動式路面標記系統，在美國正逐漸興起，提供道路使用者更多元的設計樣式和功能特性，作為警告、指示、規範，或提供照明之作用。

主動式路面標記系統在設置成本與後續維修成本雖然較傳統標線來的昂貴，不過其確能提升道路交通安全性，目前在美國設置愈加普遍。

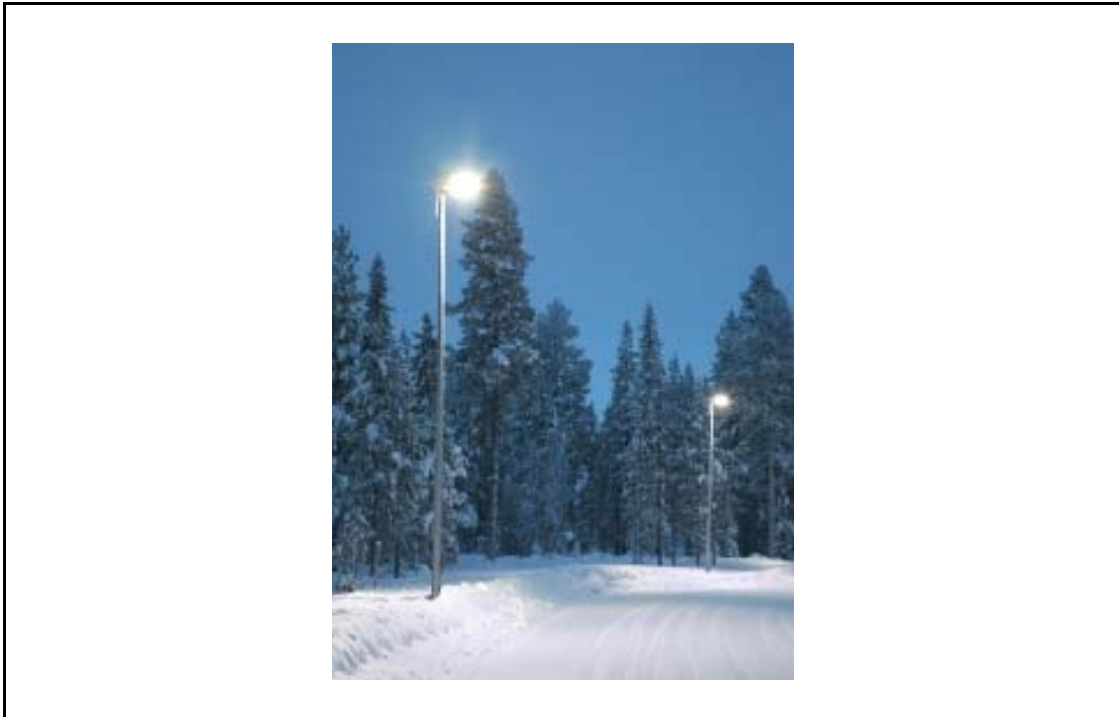
4.2.3 歐洲

1. 應用現況

在節能減碳風氣漸興的背景下，歐洲各國政府也紛紛導入 LED 路燈，期望藉由新型耗能交通設施的導入真正達到節約使用能源之效。廠商的積極推動與配合也是新型耗能交通設施導入成功的重要關鍵。如芬蘭導入 LED 路燈，採用 OSRAM 的 Golden DRAGON，設置 60 盞 LED 路燈，即使在零下 35 度的氣候環境，對於 LED 路燈的使用上仍未有任何操作上失效的故障發生。

(1) 芬蘭

芬蘭導入之 LED 路燈耗能只有 41W，計算節省下來的電費使汰換 LED 路燈時所需花費的額外成本，可以在 4.5 年時回收費用。而色溫為 5,600K 的 LED 路燈，用路人感覺舒適且自然，減輕光害之產生並收節能減碳之效，使得歐洲各國開始重視採用新型耗能交通設施的可能性。



資料來源：OSRAM(2009)

圖 4-46 芬蘭首先導入 LED 路燈

(2) 德國

德國於柏林與漢堡之間的 A24 高速公路上裝設 LED 路燈，此示範案例為單邊裝設新型 LED 路燈，另一邊則保持原有的傳統路燈，希望進行裝設前後的比較分析。由於裝設後反應良好，預期未來至少有 1/3 以上的傳統路燈可進行汰換之動作。



資料來源：Lumenova(2010)

圖 4-47 德國 LED 路燈示範案例

(3) 義大利，Molfetta



資料來源：BBE(2010)

圖 4-48 義大利 MolfettaLED 路燈示範案例

(4) 法國巴黎



資料來源：BBE(2010)

圖 4-49 法國巴黎路燈示範案例

除了路燈之外，LED 在歐洲各國也已經被運用來做交通標誌或是標誌照明，如在德國、奧地利、匈牙利以及斯洛維尼亞等國，目前多為示範性計畫，小規模採用 LED 做為新型交通設施之光源，整理如下表 4-33 所示：

表 4-33 歐洲各國 LED 標誌應用情形

奧地利 B1 Tunnel Henndorf		
裝設時間	2009/05	
設置標誌種類	VMS(隧道用)/DRIP	
數量	VMS*4 個；DRIP*4 個	
標誌說明(m)	紅色/白色；2.1×1.2	
匈牙利 Motorway M0 M6		
裝設時間	2009/02	
設置標誌種類	VMS/DRIP	
數量	VMS*31 個；DRIP*6 個	
標誌說明(m)	1.15×1.75 / 5.6×1.8	
德國 Horizont 高速公路		
裝設時間	2008	
設置標誌種類	可移動式 VMS 標誌	
數量	70 個	
標誌說明(m)	0.96×0.96 / 1.20×1.60 / 0.80×0.80	
德國 B.A.S, Germany Motorway		
裝設時間	2008	
設置標誌種類	VMS	
數量	50 個+10 個	
標誌說明(m)	3×1 / 0.80×0.80	
斯洛維尼亞 - Motorway, Tunnel Šentvid		
裝設時間	2008/10	
設置標誌種類	VMS(用於隧道)	
數量	46 個+24 個	
標誌說明(m)	0.65×0.65, 1.05×1.05	

表 4-33 歐洲各國 LED 標誌應用情形(續)

奧地利- S16 Tunnel Langen		
裝設時間	2008/10	
設置標誌種類	VMS 標誌(隧道用)	
數量	10 個	
標誌說明(m)	紅色、白色 φ 0.48，圓形	
奧地利- B140 Tunnel Grünburg		
裝設時間	2008/01	
設置標誌種類	DRIP 標誌	
數量	2 個	
標誌說明(m)	紅色、白色 3.1×1.1	
匈牙利- Balaton Bridge		
裝設時間	2007/07	
設置標誌種類	VMS / DRIP	
數量	VMS×41 個/ DRIP 2 個	
標誌說明(m)	1.15×1.75 7.9×2	
斯洛維尼亞- Slovenian Motorway		
裝設時間	2007/01	
設置標誌種類	VMS 標誌	
數量	18 個	
標誌說明(m)	1.6×0.8 1.6×1.2	

資料來源：LEA；本研究整理(2010)

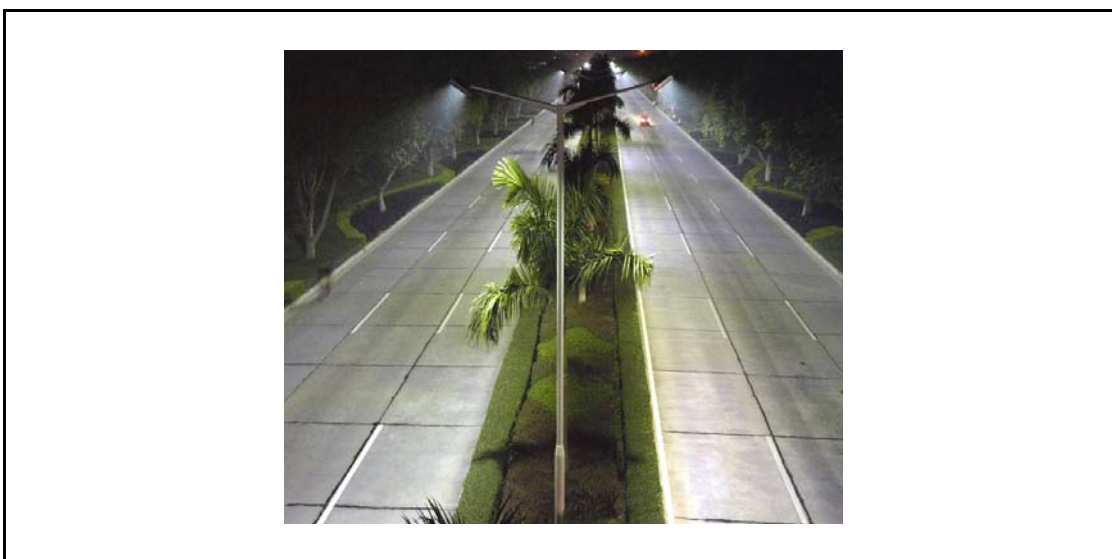
2. 小結

歐洲對於 LED 路燈的應用目前僅在於推廣與示範階段，相關的案例相當有限，多數僅為小規模應用。

4.2.4 中國

1. 應用現況

中國由於政府大力支持，使得 LED 照明工程逐漸受到重視，更於 2009 年提出「十城萬盞」計畫，重點支持道路照明、隧道照明、地鐵車廂及月臺、地下停車場、加油站照明、室內照明等產品的示範應用。其中以 LED 路燈最受關注，部分地方政府也積極更換 LED 路燈以達節能之目的。



資料來源：中國半導體照明協會(2010)

圖 4-50 廣東東莞石排鎮 LED 道路照明改造工程

另外，中國為了推動半導體試點示範工程在 2009 年 11 月 1 日開始實施的 LB/T 002-2009「LED 道路照明產品技術規範」，此技術規範主要針對半導體照明試點示範工程的道路照明，規定了 LED 道路照明產品的技術要求，其中包括產品的規格分類、初始光通量、初始光效和光通維持率等基本光學性能指標，電氣安全要求及無線電騷擾特性等，詳如表 4-34。

表 4-34 中國 LED 道路照明產品技術規範

項 目	內 容
規格-依額定光通量	分為 3000 lm、5400 lm、9000 lm、14000 lm
初始光通量	初始光通量應不低於額定光通量的 90%，不高於額定光通量的 120%。
初始光效(lm/W)	額定色溫 CCT(K)≤3300，初始光效應不低於 65。 3300<額定色溫 CCT(K)≤6500，初始光效應不低於 70。
光通維持率	3,000 小時的光通維持率應不低於 96%
初始相關色溫	無嚴格要求，但要在廠商宣稱的±5%以內
初始演色性 Ra	Ra 值應≥65。同一批次的產品演色性指數應保持一致，偏差不大於±2，3,000 小時內演色指數變化波動範圍不大於±3。
配光曲線	不做嚴格要求，但須符合 CJJ45-2006 第 2.0.11 條對於半截光型燈具要求。
功率因素	不低於 0.9

資料來源：中國國家半導體照明工程研發及產業聯盟(2010)

上海在 8.9 公里長的長江隧橋隧道中首次採用了中國國內生產的 LED 照明燈具，使用了每盞 92 瓦共 5,800 多盞的 LED 隧道燈;在黃浦江上閘浦大橋的主橋段採用了 LED 道路路燈，使用了每盞 160 瓦共 164 盞 LED 路燈。這些隧道和大橋上 LED 照明燈具的應用，有效地推動了上海市 LED 路燈照明技術的發展。



資料來源：A Lighting (2010)

圖 4-51 閘浦大橋上的 LED 路燈



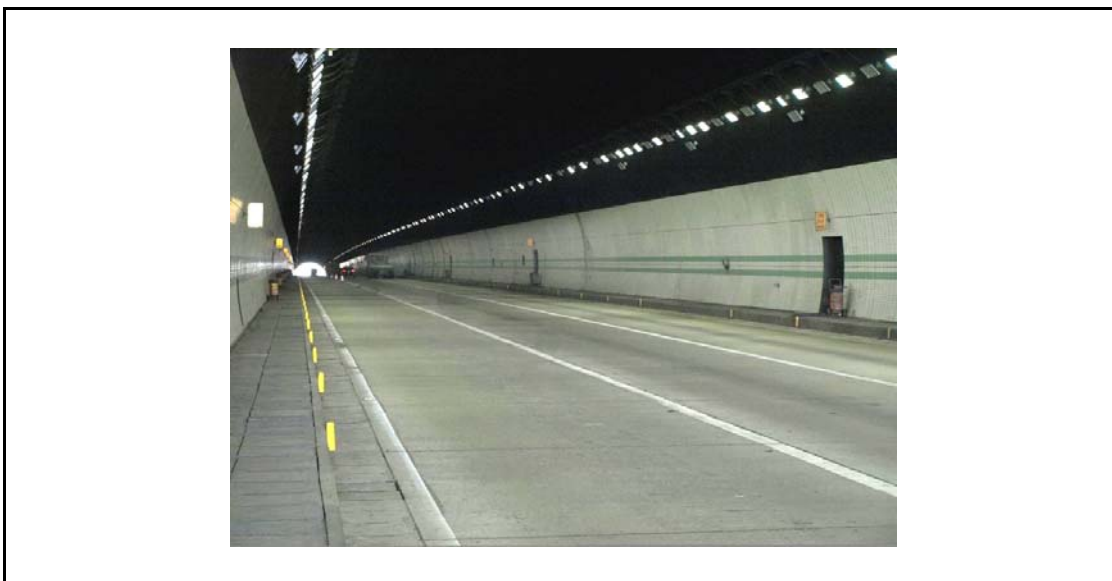
資料來源：Alighting (2010)

圖 4-52 上海長江隧橋上的 LED 隧道燈

另外，2010 年南昌市計畫增添 1 萬盞半導體照明路燈。從有關會議上獲悉，南昌市今年將進一步在城市道路、隧道、車站、體育場館及廣場等公共場所開展半導體照明節能路燈的規模化示範應用，努力讓 10,000 盞節能燈在今年全部“上崗”，從而推動“十城萬盞”工程建設取得新成效。

2009 年，南昌市啟動了陽明路、紫陽大道、贛江中大道和八一大橋的 LED 路燈改造，全年共安裝半導體照明路燈 939 盞。與此同時，經開區廬山南大道部分路段及西湖區撫生路北段等地也相繼安裝或更換了 LED 路燈。市路燈管理處負責人表示，截至目前南昌市已有 LED 路燈 1,500 餘盞。

在隧道照明部分，中國是世界上隧道最多的國家，2007 年隧道數量 4,673 座，隧道長度 255.55 萬延米，隧道照明燈具需要 160 萬盞，年用電量約 30 億度，根據中國半導體照明協會副秘書長阮軍提到，2009 年包括重慶、貴州、陝西、江西、浙江、雲南、安徽、上海、廣東、福建等 10 餘個省市，約 12 座、30 餘公里，1.1 萬盞的 LED 隧道燈的應用。



資料來源：中國半導體照明協會(2010)

圖 4-53 京珠高速首條 LED 隧道—廣韶段旦架哨隧道

華中地區新建高速公路是中國東西交通動脈上海至無為幹線上的一條南北支線，其中六安至武漢高速公路新開嶺和旺竹園 2 號隧道採用 LED 隧道照明，兩條隧道全長 4.7 公里(2.9 英哩)的照明專案由西安立明與安徽省環宇公路建設開發有限責任公司聯合完成，相比傳統光源，節約 60%的能耗和相關燈具成本。主採用 Philips Lumileds 公司推出的 LUXEON Rebel LED 設計開發出了專案使用的 3,900 多盞燈具。



資料來源：Alighting(2010)

圖 4-54 六安至武漢高速公路新開嶺和旺竹園 2 號隧道

2. 小結

中國自 2007 年由政府計畫推動 LED 路燈的設置，更於 2009 年提出「十城萬盞」計畫，重點支持道路照明、隧道照明、地鐵車廂及月臺、地下停車場、加油站照明、室內照明等產品的示範應用，2010 年也完成 LED 路燈產品標準。由於中國道路建設持續進行，中國將成為未來 LED 路燈重要市場。另外，中國是世界上隧道最多的國家，2007 年隧道數量 4,673 座，隧道長度 255.55 萬延米，隧道照明燈具需要 160 萬盞，年用電量約 30 億度。目前中國正積極進行 LED 隧道燈的替換，包括包括重慶、貴州、陝西、江西、浙江、雲南、安徽、上海、廣東、福建等 10 餘個省市，均積極在此領域發展。

4.2.5 我國

1. 道路照明

根據工研院 IEK 統計，我國 2009 年路燈總數量約 180 萬盞，總耗電量達 17.3 億度。不過由於道路建設已日趨完整，因此未來路燈市場規模將有限，僅呈現微幅成長情形，估計 2010 年我國路燈市場規模約 181 萬盞左右。

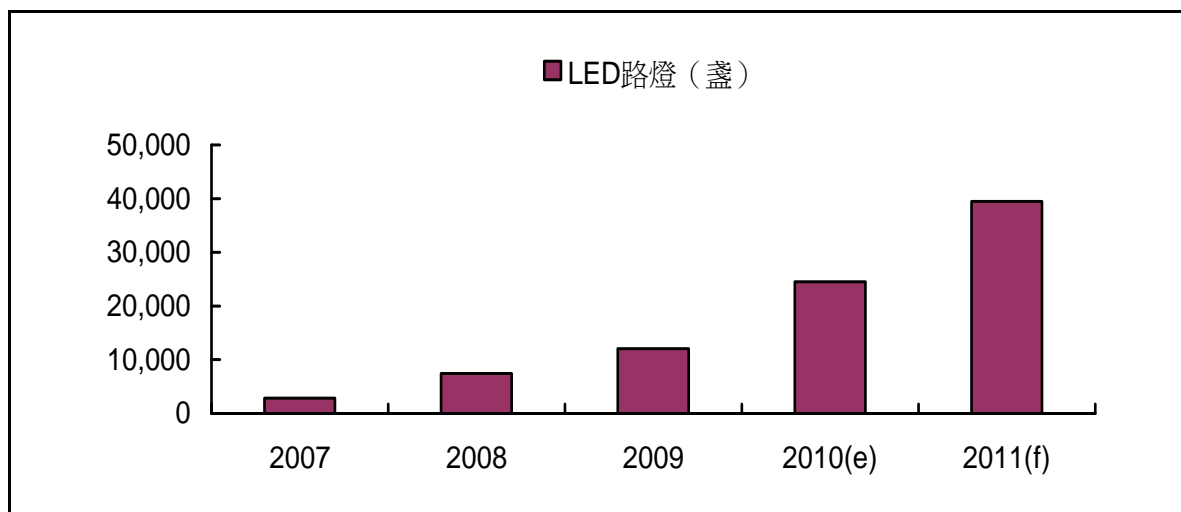
2009 年國內路燈使用光源仍以水銀燈為主，市場佔有率達 52% 左右，水銀燈發光效率與總流明輸出均較鈉燈差，且有低溫啟動不易與汞污染的問題，不過由於產品單價低，因此廣泛使用在路燈中，但其效率差及耗能一直被詬病，逐步被鈉燈以及 LED 燈所取代，因此預估 2010 年水銀燈市場佔有率將下滑至 49% 左右。

高壓鈉燈發光效率達 110 lm/W，總發光流明達 25,000 流明左右。優越的光輸出，再加上產品單價合理，因此逐漸取代水銀燈成為路燈最普遍使用的光源，2009 年市場佔有率約 35% 左右，預估 2010 年將成長至 38% 左右。

LED 路燈具有環保、節能與省電的優勢，過去數年小區域試驗計畫也證明 LED 路燈的可行性。另外，過去被詬病經濟效益偏低問題，也因近年來 LED 路燈單價下滑，LED 路燈投資回收年限也快速縮短，使得近年來逐漸被採用，不過由於 LED 路燈相對其他傳統光源路燈單價仍偏高，因此 2009 年市場佔有率不到 1%，2010 年由於能源局相關經費補助設置，預估市場佔有率將提高至 1.3%。

國內 LED 路燈裝置大約於 2007 年開始小量試點，因此 2007 年國內 LED 路燈累積裝置量僅 2 千多盞，規模不大。直至 2008 年下半年由於政府振興經濟，推出擴大內需方案，其中以台中市替換 7,698 盞 8 米以下水銀路燈(200W)，總經費約 1.5 億元為最大標案，裝設期間為 2009 年 6 月至 2010 年 5 月。2009 年在經濟部能源局補助下，全台 47 個鄉鎮申請補助換裝 5,300 盞 LED 路燈，也於 2010 年陸續裝置完成，另外在加上工業局等補助推廣，因此預估 2010 年國內 LED 路燈

累積裝置量將達 24,500 盞。2011 年在能源局 1 億多經費補助更換高效率路燈，再加上工業局與國科會補助推廣之下，預估 2011 年 LED 路燈累計裝置量將達 39,500 盞，詳如圖 4-55。

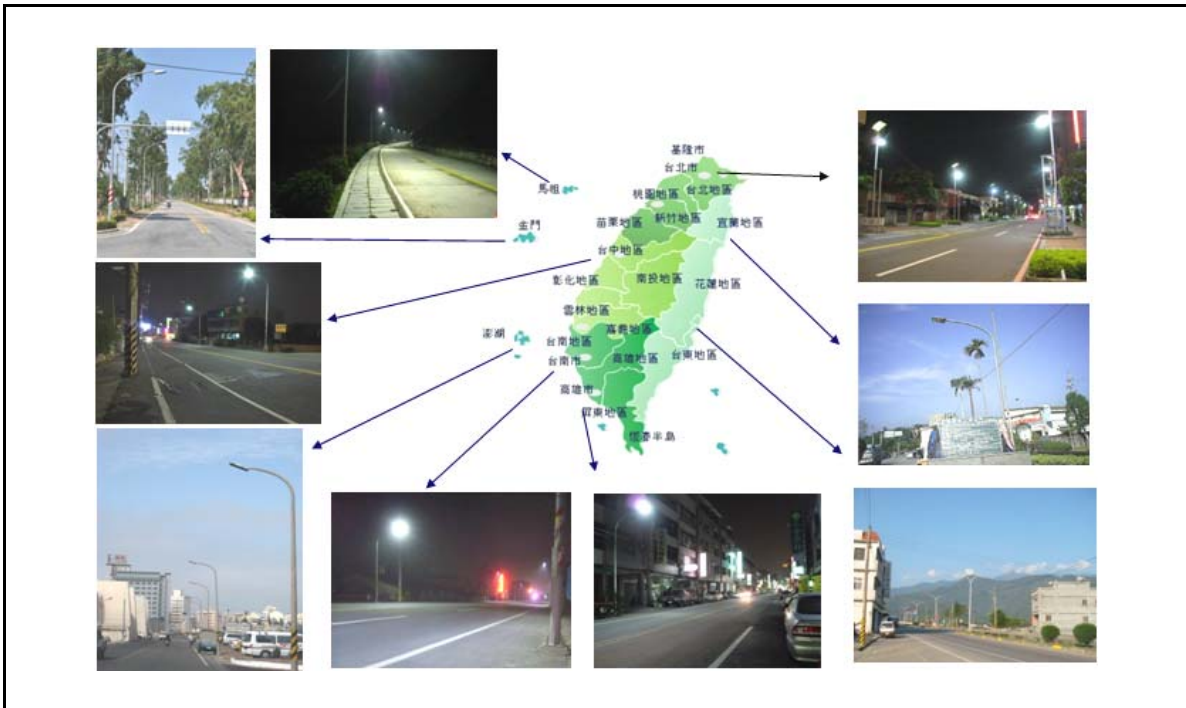


資料來源：工研院 IEK(2010)

圖 4-55 我國 LED 路燈累積裝置量

自 2009 年起，有地方政府以及國道營運單位正在進行與 LED 路燈生產廠商合作的實證實驗計畫如下：

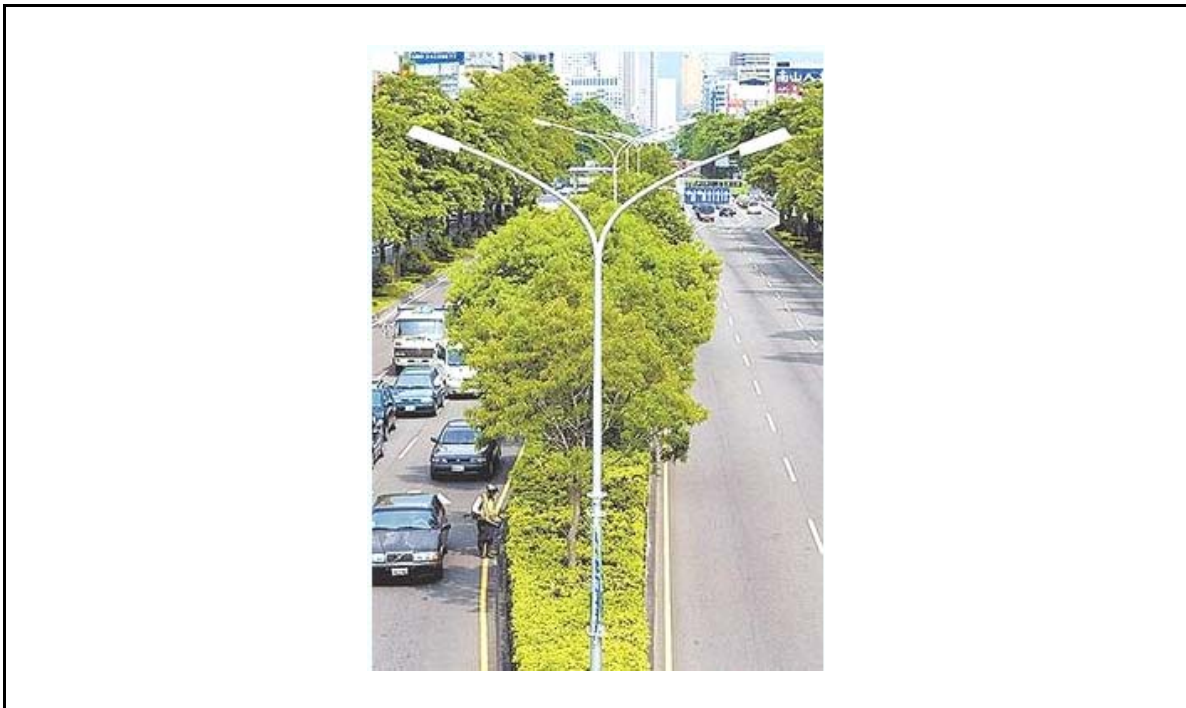
經濟部為推動全台路燈 LED 化，已編列 1.3 億元，在全台共 47 處鄉、鎮、市，試辦 5,000 多盞傳統 200W 水銀路燈換裝 100WLED 路燈計畫，預期可節電約 50%，目前設置數量達 5,353 盞，詳如圖 4-56。



資料來源：工研院綠能所(2010)

圖 4-56 經濟部能源局 LED 路燈示範地點

另外在 97 年度政府擴大內需執行工程中，台中市 LED 路燈裝設數量約 7,809 盞，台中縣豐原市約 633 盞。以台中市朝富路到文心路段間的中港路機車道為例，市府相關單位增設 LED 路燈示範區，97 年 9 月底已完工，共設 113 盞 100W LED 燈，每盞每年將可節省 365 度電力。該路段原未設置路燈，許多機車騎士經過時感覺亮度不足，增設 LED 路燈後不但可增光，對機車行車安全也有加分效果。



資料來源：展光光電(2010)

圖 4-57 台中 LED 路燈示範區(展光光電)

在台中縣豐原市的部分，裝設的 LED 路燈分為 100W 和 150W 兩種，除達到節能環保效益外，對夜間行車安全也提供了一定程度的助益。其他於 98 年度在北、中、南工業區約裝設 1,417 盞 LED 路燈，詳如表 4-35。

表 4-35 我國工業區 LED 路燈設置情形

設置地點	盞 數
台北五股工業區 70 盞	70
桃園大園工業區 80 盞	80
桃園平鎮工業區	74
桃園幼獅工業區	116
新竹工業區	274
苗栗頭份工業區	133
彰化福興工業區	145
雲林豐田工業區	85
台南新營工業區	213
高雄臨海工業區	87
高雄大發工業區	136
宜蘭龍德工業區	4
總 計	1,417

資料來源：工研院綠能所(2010)

2. LED 指示標誌

國內 LED 指示標誌之應用已在多個縣市以試辦計畫方式進行，如國內在國道及快速公路有部分路段道路路名標誌或指示標誌，如 97 年底於中山高速公路苗栗、三義段及苗栗縣台 72 線全線試辦智慧型 LED 指示標誌、國道 10 號左營橋下平面路段，以及雲林古坑路段、後龍路段等地。而在台北市忠孝東路、基隆路口，目前有兩面 LED 指示標誌用來標明路名與地名方向，另外在中山北路、民族東路，也有兩面禁制標誌，用來標明機車兩段式左轉及禁止左轉標誌。

採用 LED 指示標誌，將可以使得駕駛人在夜裡增長提高辨讀標誌的距離，提高可視與可讀距離。

然而，對於 LED 指示標誌，國內民眾反應不一。部分民眾認為，改採用 LED 指示標誌提高夜間可視性，使標誌內容文字辨識起來更為清晰；也有部分民眾認為 LED 指示標誌亮度過高，產生眩光時反而提高行車風險。目前國內仍陸續進行小規模試辦計畫，未來需要持續觀察。



資料來源：中正大學；聯合報(2010)

圖 4-58 我國 LED 指示標誌試辦計畫

台北市於 2009 年在位於忠孝東路、基隆路口處試辦安裝了兩面大型的 LED 指示標誌，不過由於使用太陽能電池，價格動輒 10~20 萬元，未來將會考慮用在安全、管制、禁止需求較大的地點，例如逆向公車專用道上設置。



資料來源：工研院綠能所(2010)

圖 4-59 忠孝東路、基隆路口 LED 指示標誌安裝實景

我國其他地區 LED 指示標誌的設置地點整理如表 4-36。

表 4-36 我國其他地區 LED 指示標誌設置地點

設置地點
國道一號苗栗路段、三義路段、林口路段、龜山路段、斗六路段
國道二號竹園路段、大園路段
國道三號竹南路段、後龍路段、古坑路段
國道十號鼎金系統交流道
台 61 線西濱快速道路中區路段
台 88 線
台中市中港路
台中縣豐原市豐原大道

資料來源：工研院綠能所(2010)

為提升夜間駕駛之安全，同時減少電力消耗，LED 路面警示標記(貓眼)之應用逐漸興起，甚至結合太陽能技術，開發可自行供電的太陽能 LED 貓眼，除警示效果佳，採用 LED 光源還可提供美化城市的效果。

例如新竹市政府在 95 年度採用了 4 千多個太陽能 LED 貓眼，以提升用路人安全。此外，在桃園中正國際機場一、二期航站周圍道路的車道上所安裝的太陽能 LED 貓眼，由於發光亮度及夜間漂亮的視覺效果，儼然成為一個新的台灣景點。



資料來源：世瑩公司(2010)

圖 4-60 桃園中正國際機場一、二期航站周圍車道安裝實景



資料來源：世瑩公司(2010)

圖 4-61 新竹市道路安裝實景(世瑩公司)

3. 小結

我國自 2008 年開始投入 LED 路燈設置，LED 路燈具有環保、節能與省電的優勢得到展現，過去數年小區域試驗計畫也證明 LED 路燈的可行性，估計 2010 年整體 LED 路燈累計設置量已達 24,500 盞。

除了裝置量成長外，我國也領先全球公布全球第一份 LED 路燈產品標準 CNS15233，在在顯示我國在 LED 路燈快速發展。馬英九總統更於 2010 年 5 月宣示，2011 年起全台 130 萬盞傳統路燈將展開 LED 替換作業，未來政府部門採用 LED 照明，要設法擴大國內綠能市場，讓我國綠能產業迎頭趕上日本、德國等先進國家。除了 LED 路燈設置領先全球外，目前我國也積極投入 LED 指示標誌建置，目前在高速公路與部分快速道路上，均有相關產品建置。不過目前對於 LED 指示標誌，國內民眾反應不一，目前國內仍陸續進行小規模試辦計畫中。

4.3 新型耗能道路交通設施與既有設施優缺點分析

4.3.1 LED 路燈

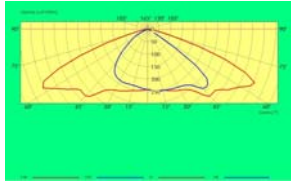
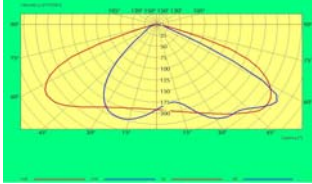
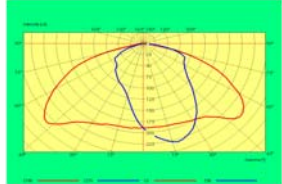
路燈是提供道路照明之設備。根據 CNS 10779 標準描述，道路照明之目的，在使夜間道路之行人、車輛之駕駛者能安全通行，尤其使車輛駕駛者能夠看清必要之物件(道路之形狀行進方向及周圍)，可正確視認任何障礙物，且容易預測前方之行進方向，使其處於無懼之心理狀態。實施適當之照明時，可以獲致提高交通安全、提高道路之利用效率、排除行人恐懼感、提高駕駛舒適而減少其疲勞、防止並減少犯罪等效果，亦可期待此而生之經濟效果。

路燈光源包括高壓水銀燈泡(Mercury vapor lamps)、低壓鈉氣燈管(Low-pressure sodium)、螢光燈管及高壓鈉燈(High-pressure sodium)。依據 98 年度經濟部能源局所進行的全國路燈調查資料顯示，全台共有約計 157 萬盞路燈。其中水銀燈仍佔 81 萬盞，但是水銀路燈之燈具效率低於 40 Lm/W，且演色性指數不佳，僅 60。然現有道路照明燈具產品，如 LED 路燈、複金屬路燈，燈具效率可達 80~90 Lm/W 以上，演色性指數達 75 以上。故擬經濟部已開始著手研擬專案計畫，補助各地方政府以高效能道路照明產品汰換水銀路燈。

1. LED 路燈產品現況分析

LED 路燈目前屬於發展中的產品，然而在節能減碳的議題下，LED 路燈技術發展迅速，目前 LED 路燈產品在效率已達 90 Lm/W 以上，燈具配光光型上也可符合 CNS 或者 IESNA 所規範的光型。表 4-37 為 LED 路燈與其他路燈的實測比較結果。由表 4-37 中的資料分析，LED 路燈在性能、光效上，確可替代傳統水銀路燈。

表 4-37 LED 路燈與其他路燈的實測比較結果

	LED 路燈 樣品 A (90W)	LED 路燈 樣品 B (100W)	水銀燈(200W)
配 光			
燈具功率(W)	89.2	101.1	228.7
燈具光通量(lm)	8,536	9,576	7,830
燈具效率(lm/W)	95.7	94.7	34.2
模擬道路條件	燈高 8M 路寬 8M 間距 24M		
平均照度	40	37	38
Min/Ave	0.84	0.75	0.73
Min/Max	0.72	0.55	0.60
模擬道路條件	燈高 8M 路寬 8M 間距 36M		
平均照度	30	28	28
Min/Ave	0.78	0.66	0.69
Min/Max	0.59	0.43	0.52
色溫(K)	8,260	8,010	~4,000
演色性	76.6	76	~40

資料來源：本研究整理(2010)

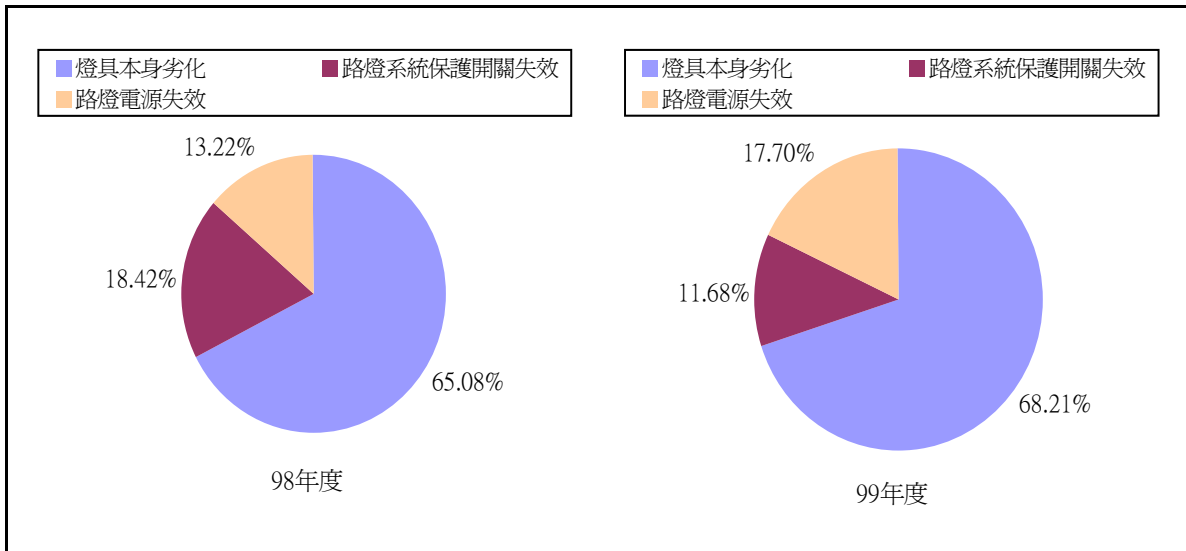
此外，本研究團隊在研究期間，也針對目前國內已經設置 LED 路燈案例，進行可靠度資料蒐集。

(1) 台中 LED 路燈示範案

台中市執行 97 年度擴大內需工程，裝設約 7698 盞 LED 路燈，設置至今已達 2 年以上，期間台中市政府養護科長期蒐集 LED 路燈資料分析。依據台中市養護科資料，98 年度 LED 路燈損壞總數為 851 盞，佔總數量 11.05%。燈具失效的原因，以燈具本身劣化因素居多，達 65.08%，其次是路燈系統保護開關失效，達 18.42%，再其次是路燈電源失效，達 13.22%。此外，所有失效燈具的時間分佈，以 8/9 月失效數量佔大多數，達 407 盞。

99 年度資料統計至今，共 582 盞失效，佔總數 7.56%。燈具失效的原因，以燈具本身劣化因素居多，達 68.21%，其次是路燈電源失效，達 17.70%，再其次

是路燈系統保護開關失效，達 11.68%。此外，所有失效燈具的時間分佈，以 8/9 月失效數量佔大多數，98 年度 8/9 月失效數量達 407 盞，佔所有失效盞數之 47.82%；99 年度 8/9 月失效數量達 408 盞，佔目前所有失效盞數之 70.10%。以 98、99 年度 LED 燈具失效分佈，推測其失效原因，應是氣候因素(夏季氣溫高)，燈具內部零件劣化所造成，詳如圖 4-62。



資料來源：本研究整理(2010)

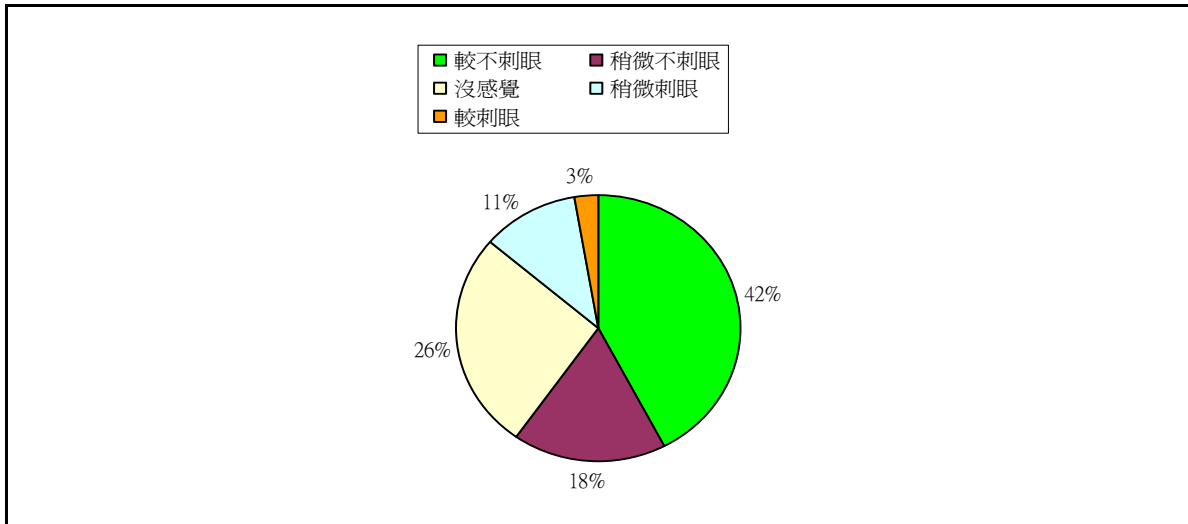
圖 4-62 LED 路燈燈具失效原因統計

(2) 能源局：LED 路燈示範案

經濟部能源局在 98 年度推動 LED 路燈示範工程，於 99 年度起，各處示範案陸續完工，總計安裝總數為 5252 盞。能源局也在 99 年 8 月，進行第一次的示範案失效統計，統計至 8 月底，總失效數為 118 盞，失效率為 2.2%。

針對 97 年台中市配合政府加強地方建設擴大內需案，工研院綠能所於 98 年經訪查台中市及豐原市用路人對 LED 路燈接受度及反應，問卷調查結果如下(共 432 份有效問卷)：

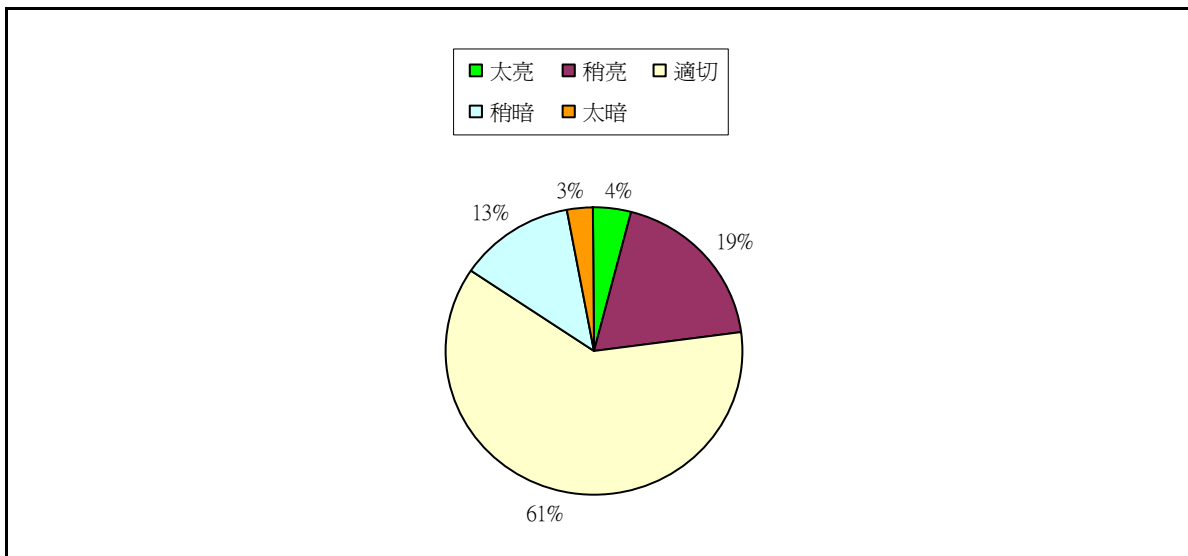
- ① 調查用路人感受 LED 路燈之眩光表現：73%受訪者察覺更換 LED 新路燈；42%受訪者認為較舊的路燈不刺眼，認為稍微不刺眼受訪者占 19%，詳如圖 4-63。



資料來源：本研究整理(2010)

圖 4-63 台中市 LED 路燈示範案之眩光表現

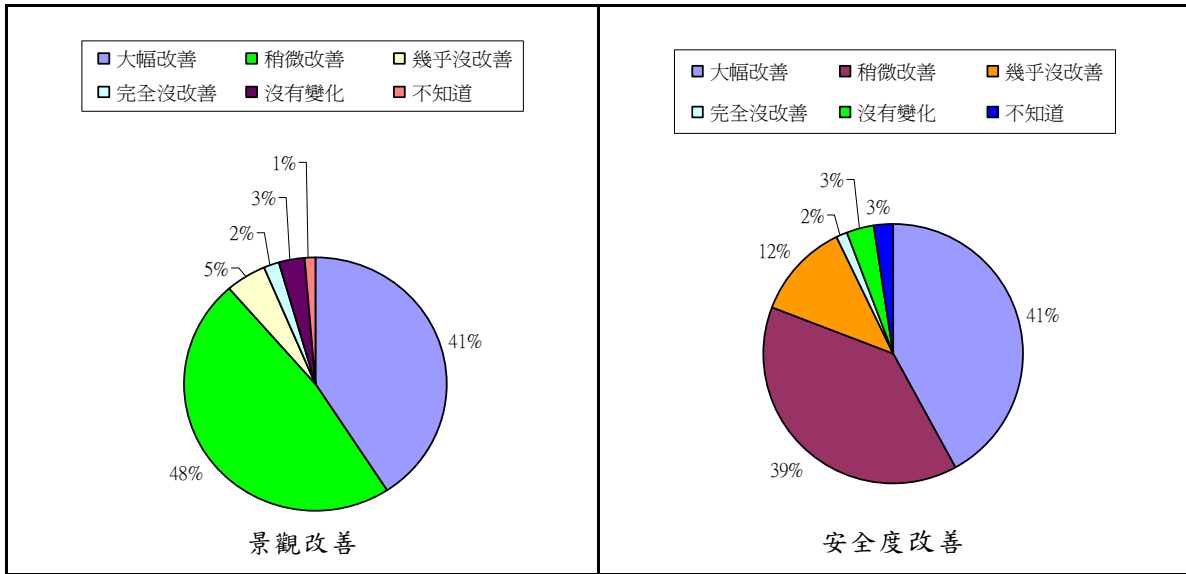
② 調查用路人感受 LED 路燈之亮度(輝度)表現：61%受訪者認為亮度適切；22%受訪者認為「太亮」或「稍亮」，詳如圖 4-64



資料來源：本研究整理(2010)

圖 4-64 台中市 LED 路燈示範案之亮度(輝度)表現

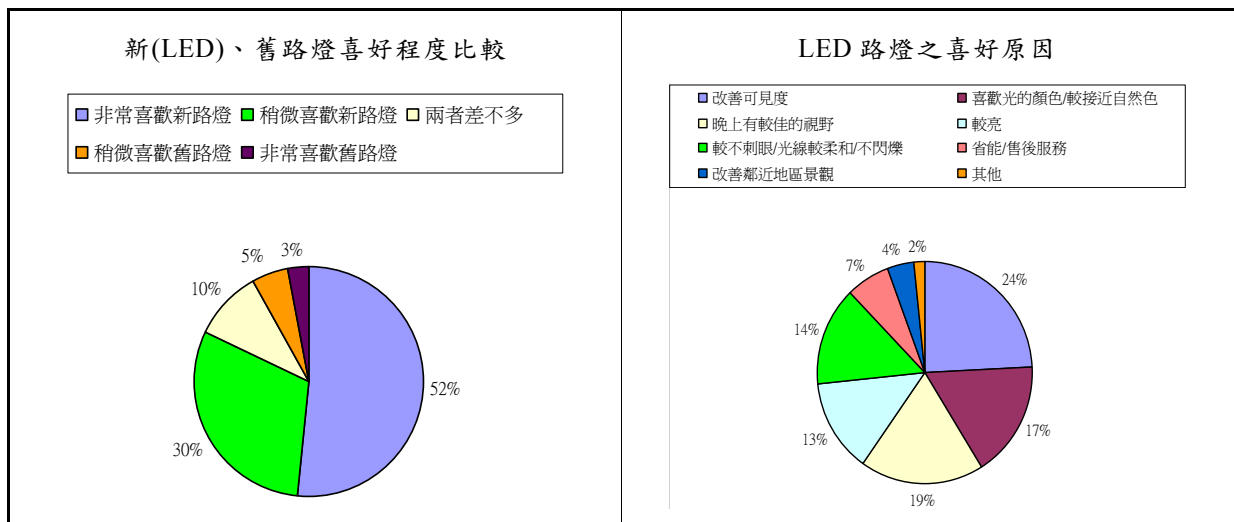
③ 調查用路人感受 LED 路燈對鄰近地區整體景觀的影響程度：89%受訪者認為 LED 路燈「大幅改善」與「稍微改善」鄰近地區整體景觀；81%受訪者認為改善鄰近地區夜間安全性；83%受訪者認為改善鄰近地區能見度或亮度，詳如圖 4-65



資料來源：本研究整理(2010)

圖 4-65 台中市 LED 路燈示範案對鄰近地區整體景觀的影響程度

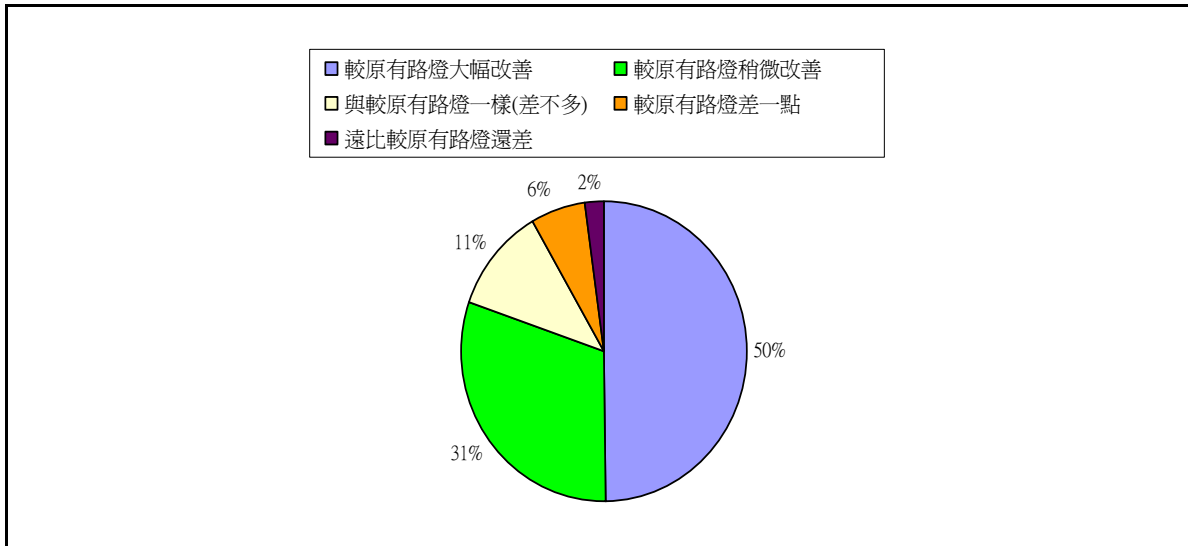
- ④ 調查用路人對舊路燈與 LED 路燈喜好程度：受訪者中比較喜歡新路燈的原因：「改善可見度」占 24%，19%受訪者認為「晚上有較佳的視野」；而喜歡舊路燈的受訪者認為「舊有路燈較亮」的比重有近 40%左右，且「舊有路燈可見度較佳」比重占 24%，詳如圖 4-66



資料來源：本研究整理(2010)

圖 4-66 台中市 LED 路燈示範案用路人對舊路燈與 LED 路燈喜好程度

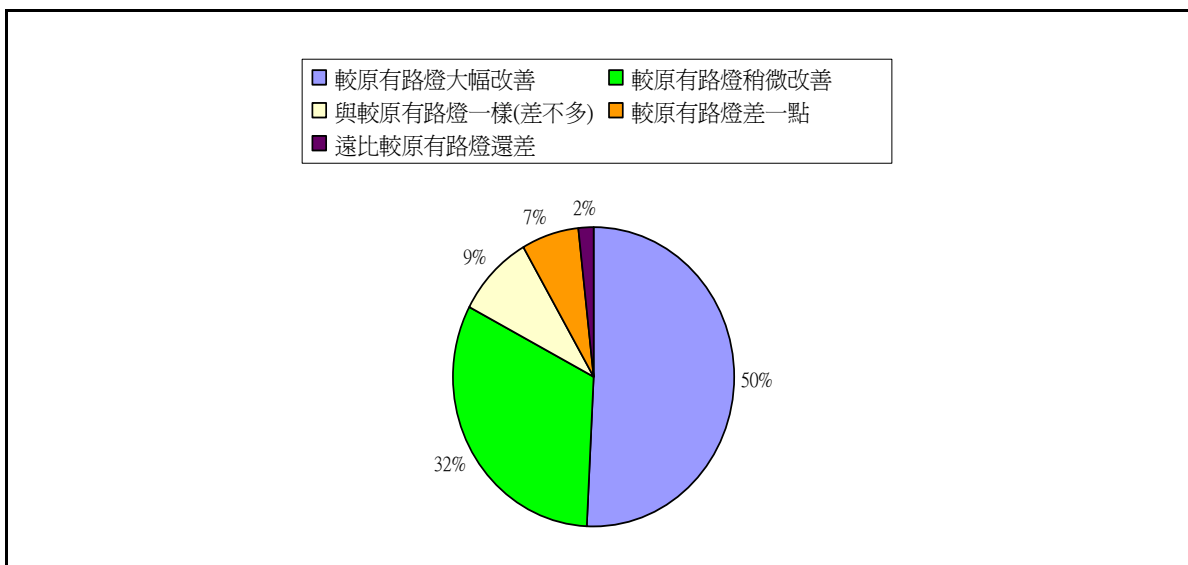
- ⑤ 50%駕駛者認為較原有路燈更能清楚看見對向來車或路邊行人；31%駕駛者認為稍有改善；8%駕駛者認為較原有路燈差，詳如圖 4-67。



資料來源：本研究整理(2010)

圖 4-67 台中市 LED 路燈示範案駕駛者對道路環境可辨性

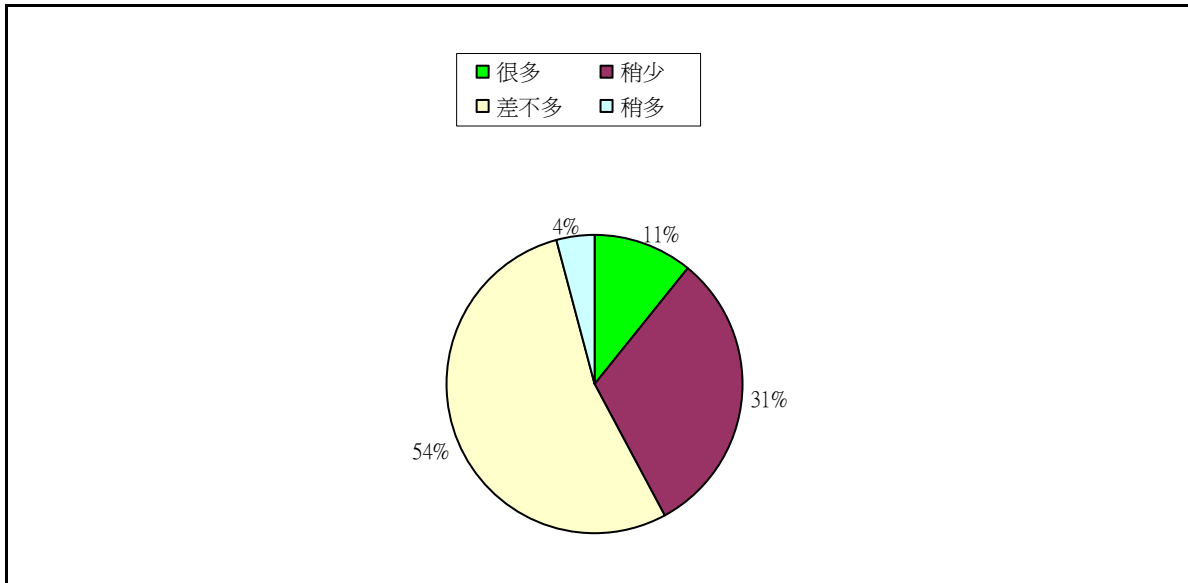
◎ 51%行人認為較原有路燈更能清楚看見對向來車或路邊行人；32%行人認為稍有改善；8%行人認為較原有路燈差，詳如圖 4-68。



資料來源：本研究整理(2010)

圖 4-68 台中市 LED 路燈示範案用路人對道路環境可辨性

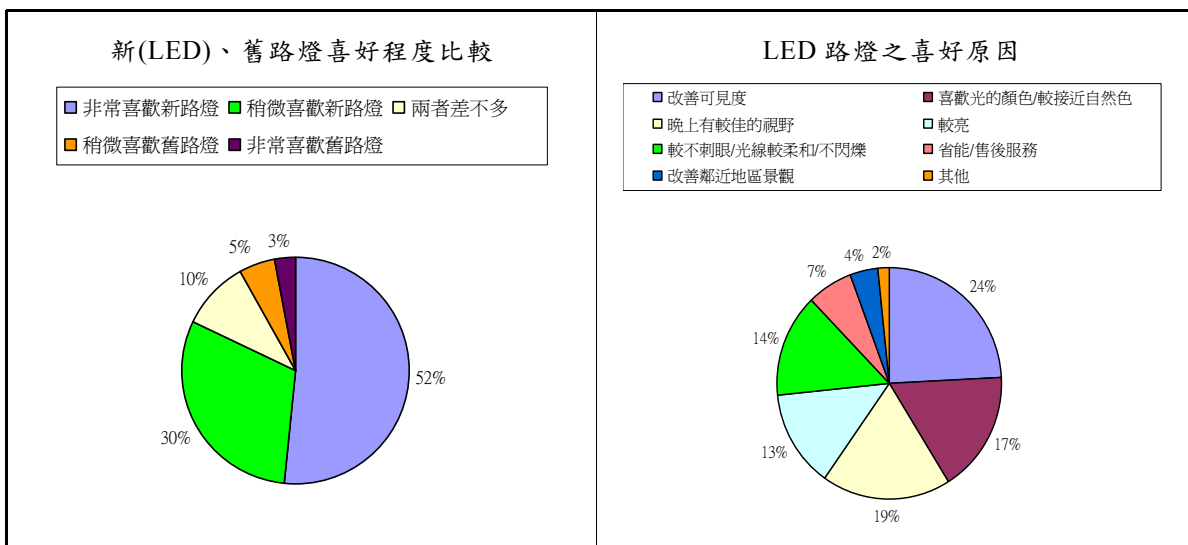
◎ 54%受訪者認為 LED 路燈所產生的影子程度與舊路燈差不多；31%受訪者認為新路燈產生的影子較舊路燈稍少；15%受訪者認為新路燈所產生的影子「稍多」甚至「很多」，詳如圖 4-69。



資料來源：本研究整理(2010)

圖 4-69 台中市 LED 路燈示範案影子(陰影)產生程度

⑧ 整體來說，82%受訪者「非常喜歡」及「稍微喜歡」LED 路燈，詳如圖 4-70。



資料來源：本研究整理(2010)

圖 4-70 台中市 LED 路燈示範案受訪者滿意度

2. 小結

由本研究對各家廠商所提出 LED 路燈產品特性現況測試，以及 2009 年台中市 LED 路燈設置成果與用路人滿意度調查，2010 年能源局 LED 示範案設置成果與失效分析，比較出 LED 路燈與傳統路燈間優劣比較，如表 4-38。

表 4-38 LED 路燈與傳統路燈優劣比較(1)

項 目		LED 路燈	水銀燈
節能特性	優點	● 整體燈具效率達 75lm/W，優於傳統水銀燈，節能潛力達 60%以上。	
	缺點		● 水銀燈效率低，壽命短
道路照明效果	優點	● 照度充足，光分布均勻，而且演色性優(CRI 70~80)，增加路面物體辨識度。 ● 色溫可調(2700K~6500K)	● 泛光照明光源，容易應用於大範圍照明。
	缺點	● 燈具光學需進行精密設計，否則容易出現路面照度分佈不均的光斑。	● 燈具光學需進行精密設計，否則易造成路面照度分佈不均。
眩光特性	優點	● 無	● 與 LED 路燈比較，眩光相對較低。
	缺點	● LED 光源光強度高，藍色光譜成分高，容易造成不舒適之眩光。	● 非全遮式的路燈，容易對人眼產生不舒適之眩光。
維護性	優點	● 壽命長，產品宣稱可達 30,000 小時以上，減少維護成本。	● 具標準產品，容易更換維護。
	缺點	● 缺乏標準化產品，LED 路燈需發展模組化規格，否則將造成使用者後續維護的困擾。	● 目前水銀燈產品品質良莠不齊，每 0.5~1 年需更換一次，增加維護成本。

資料來源：本研究整理(2010)

表 4-38 LED 路燈與傳統路燈優劣比較(2)

項 目		LED 路燈	鈉燈
節能特性	優點	● 整體燈具效率達 75lm/W，優於傳統水銀燈，節能潛力達 60%以上。	● 整體光輸出量高，發光效率佳
	缺點	● 整體光輸出量低於鈉燈	● 壽命約 24,000hr，較 LED 路燈低
道路照明效果	優點	● 照度充足，光分布均勻，而且演色性優(CRI 70~80)於鈉燈，增加路面物體辨識度。 ● 色溫可調(2700K~6500K)	● 泛光照明光源，容易應用於大範圍照明。 ● 色溫 2,500K，穿透性高
	缺點	● 燈具光學需進行精密設計，否則容易出現路面照度分佈不均的光斑。	● 鈉燈演色性低(CRI<50) ● 燈具光學需進行精密設計，否則易造成路面照度分佈不均。
眩光特性	優點	● 無	● 與 LED 路燈比較，眩光相對較低。
	缺點	● 光源光強度高，藍色光譜成分高，容易造成不舒適之眩光。	● 非全遮式的路燈，容易對人眼產生不舒適之眩光。
維護性	優點	● 壽命長，產品宣稱可達 30,000 小時以上，減少維護成本。	● 具標準產品，容易更換維護。
	缺點	● 缺乏標準化產品，LED 路燈需發展模組化規格，否則將造成使用者後續維護的困擾。	● 目前鈉燈產品品質良莠不齊，每 3~4 年需更換一次，增加維護成本。

資料來源：本研究整理(2010)

4.3.2 陶瓷複金屬路燈

1. 陶瓷複金屬燈產品現況分析

複金屬燈是高壓水銀燈改良性光源，經歷 50 年由石英管演進至陶瓷管，大幅提昇演色性、發光效率與光穩定性。而低功率、小型與輕量化，則符合燈具發展潮流。根據奇異電器的資料顯示，目前陶瓷複金屬燈放電管腔體最新接合技術是採用澆鑄成型法，商品化發光效率可達 100 lm/W、演色性 80 以上，壽命 10,000 小時，功率範圍 20~400W。

澳洲維多利亞永續能源局於 2004 年提出並補助永續公共照明計畫“2004 Sustainable Public Lighting Initiative”^[24]，示範性的複金屬路燈設置案例整理如下：

- (1) 阿得萊德市為南澳洲首府(City of Adelaide)，澳洲第四大城市，於 1998 年 1 月正式加入 ICLEI 的『城市氣候保護運動』(Cities for Climate Protection Program: CCP)，2007 年將市區內所有路燈換裝為複金屬燈，原因在於比傳統水銀燈節能和基於安全考量。
- (2) 2005 年位於澳洲南威爾斯的澳大利亞能源公司和澳洲馬力維市推動“Street Lighting Improvement Program”，在 Enmore Road Newtown 將 17 盞 250W 水銀燈換裝為 250W 複金屬燈，直到 2006 年都未有任何故障傳出。
- (3) 2004~2005 年間，位於維多利亞省菲利浦港灣區的 Acland Street 實施“節能道路照明設計”，將 25 盞複金屬燈內的安定器改用電子式技術，同時安裝感測系統，便於偵測路燈故障情形。
- (4) 2004~2005 年間，位於維多利亞省的 City of Whitehorse 內 Brentford 廣場，將 9 盞 150W 複金屬燈改為電子式安定器，並加裝太陽能電池。
- (5) 2004~2005 年間，位於維多利亞省的 Bellevue Hill 住宅區內，安裝 14 盞 55W 感應式複金屬燈(metal halide induction lamps)。

紐西蘭納皮爾市(Napier City)^[36]於 2009 年開始，將市內水銀路燈更換為 35W 陶瓷複金屬燈，目標是將全市約 6000 盞的水銀路燈更換完成。在美國和歐洲相繼淘汰水銀路燈的動作下，紐西蘭政府也順應趨勢進行汰換作業。安裝陶瓷複金屬燈後的整體亮度提高，且比水銀路燈節能 1/2~1/3。

2. 小結

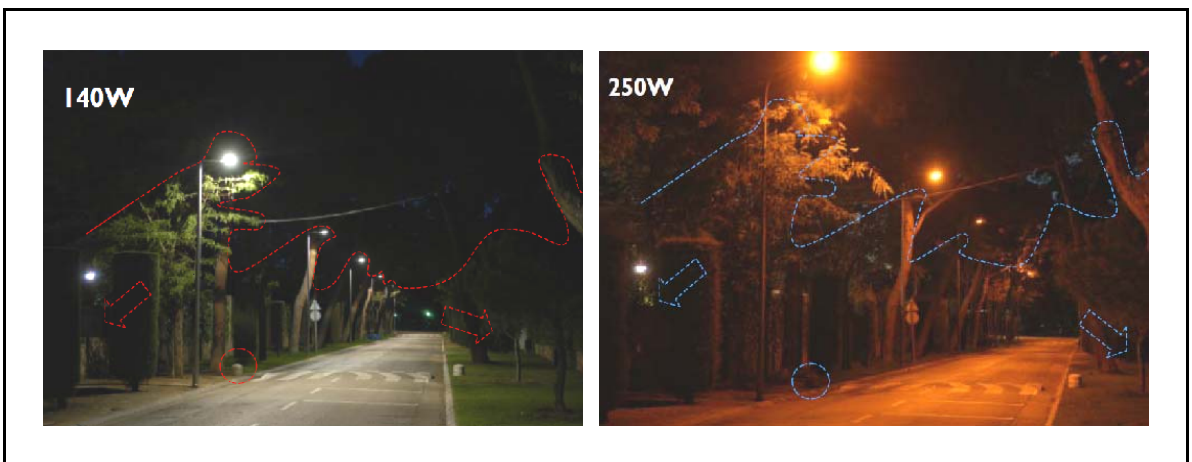
針對陶瓷複金屬燈與高壓鈉燈優點比較，陶瓷複金屬燈道路照明品質較佳為其主要優點，詳如圖 4-71 與圖 4-72。



註：圖形前半部為陶瓷複金屬燈，後半部為高壓鈉燈(紅色方框)

資料來源：堤維西(2010)

圖 4-71 陶瓷複金屬燈與高壓鈉燈照明效果比較



資料來源：Philips(2010)

圖 4-72 陶瓷複金屬燈與高壓鈉燈照明效果比較

整體而言，陶瓷複金屬燈與高壓鈉燈產品優缺點分析比較如表 4-39。

表 4-39 陶瓷複金屬燈與高壓鈉燈比較

	140W 陶瓷複金屬燈	250W 高壓鈉燈
道路視亮度	基本一致	基本一致
道路明暗度	均勻	更均勻
顏色辨識	顏色能真實的被還原	鈉燈照明下顏色不可辨識，藍色和黑色完全無法分辨
安全感	更佳	一般
可辨識距離	更佳	一般
節能	節能 56%	耗能 250W

資料來源：Philips(2010)

4.3.3 LED 指示標誌

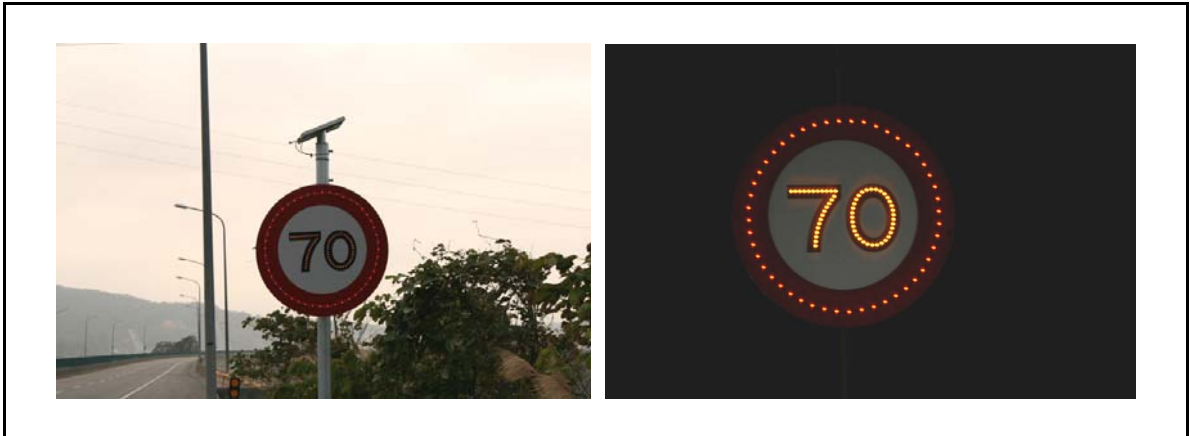
1. LED 指示標誌產品現況分析

傳統道路交通標誌，為了讓夜間道路更加使用者能清楚識別標誌內容，採用投射照明燈具照射標誌，使標誌內容清楚顯現。隨著 LED 產品技術不斷提升，我國分別在國道(如國道 1 號、2 號、3 號、以及 10 號)、快速道路(如台 61 線、台 88 線)以及部分市區道路(如中港路、豐原大道)等地，應用 LED 高度聚光性以及高輝度特性，將 LED 排列成標誌內容，或者利用 LED 作為背光光源組成背透光式 LED 指示標誌，以增加標誌的辨識度，如圖 4-73 與圖 4-74 所示。



資料來源：工研院綠能所(2010)

圖 4-73 LED 指示標誌



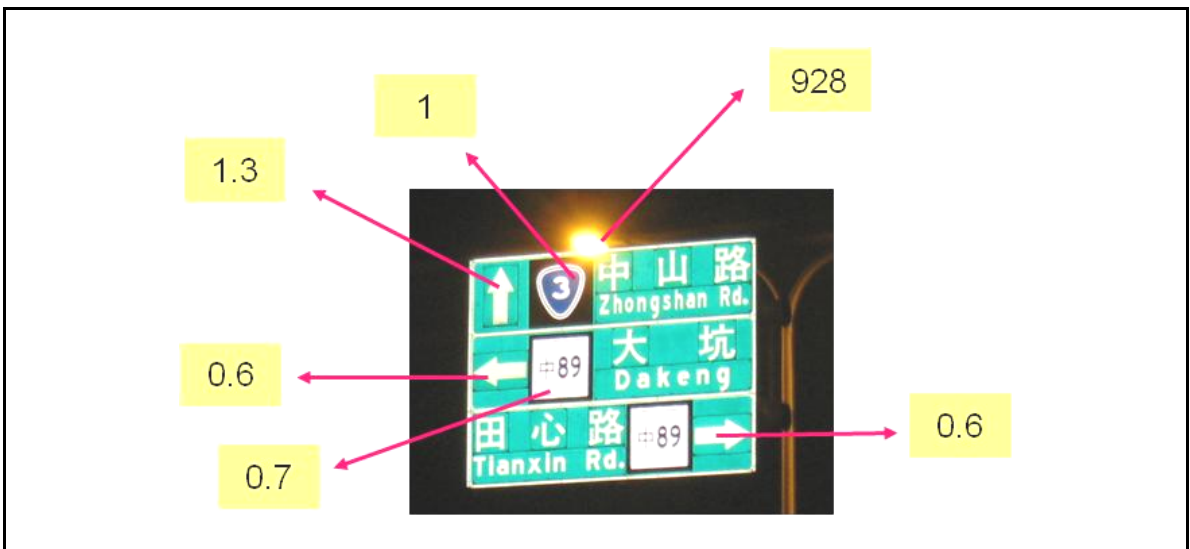
資料來源：工研院綠能所(2010)

圖 4-74 台 72 線 LED 指示標誌

2010 年 9 月 7 日，本研究團隊前往豐原市豐原大道進行 LED 指示標誌實測作業。實測內容包含 1.傳統指示標誌與 LED 指示標誌輝度值。以及 2.對道路駕駛人進行 LED 指示標誌使用情形問卷調查。

(1) 傳統指示標誌與 LED 指示標誌輝度值測試

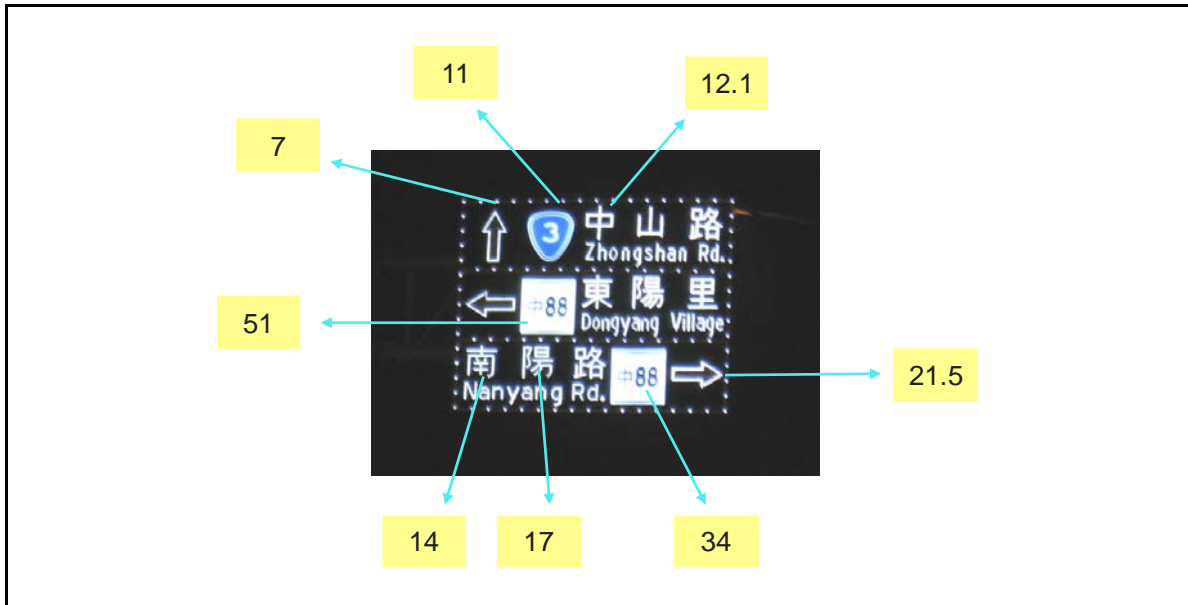
圖 4-75 是傳統指示標誌，在高壓鈉燈照射情況下，標誌資訊所顯現的輝度值，依據實測的結果，傳統指示標誌內容輝度約在 $0.6\sim 1\text{ cd/m}^2$ 左右，為大約可辨識的輝度值。



資料來源：本研究整理(2010)

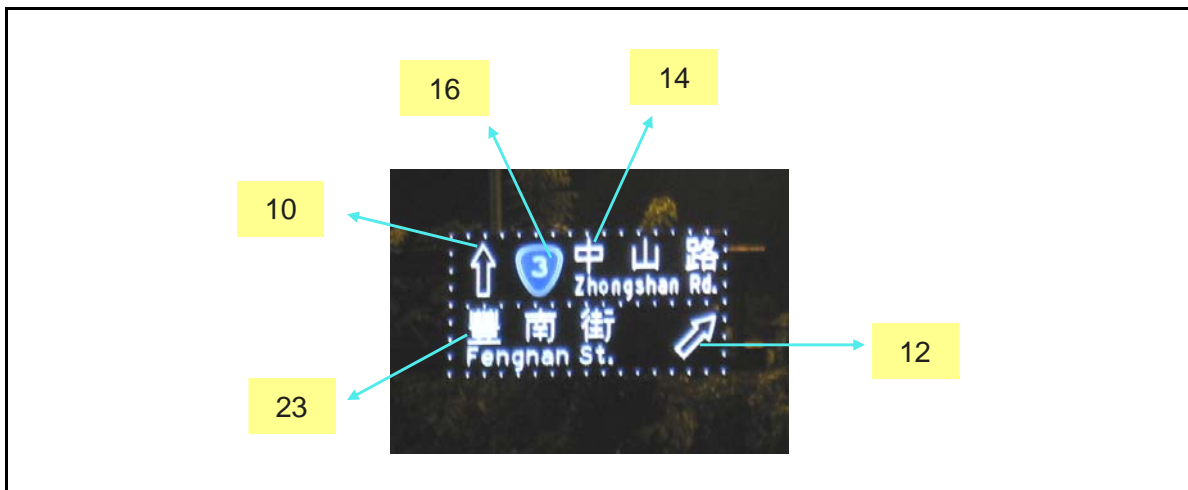
圖 4-75 傳統指示標誌資訊所顯現的輝度值

圖 4-76 是 LED 指示標誌，在正常點亮的情況下，標誌資訊所顯現的輝度值，依據實測的結果，非 LED 指示標誌內容輝度約在 7~30cd/m² 左右，屬於清晰可辨識的輝度值，且訊息圖案內的 LED 顆數越多，輝度值越大，而且背透光式的 LED 指示標誌，其整體輝度值都在 10 cd/m² 以上。



資料來源：本研究整理(2010)

圖 4-76 LED 指示標誌資訊所顯現的輝度值



資料來源：本研究整理(2010)

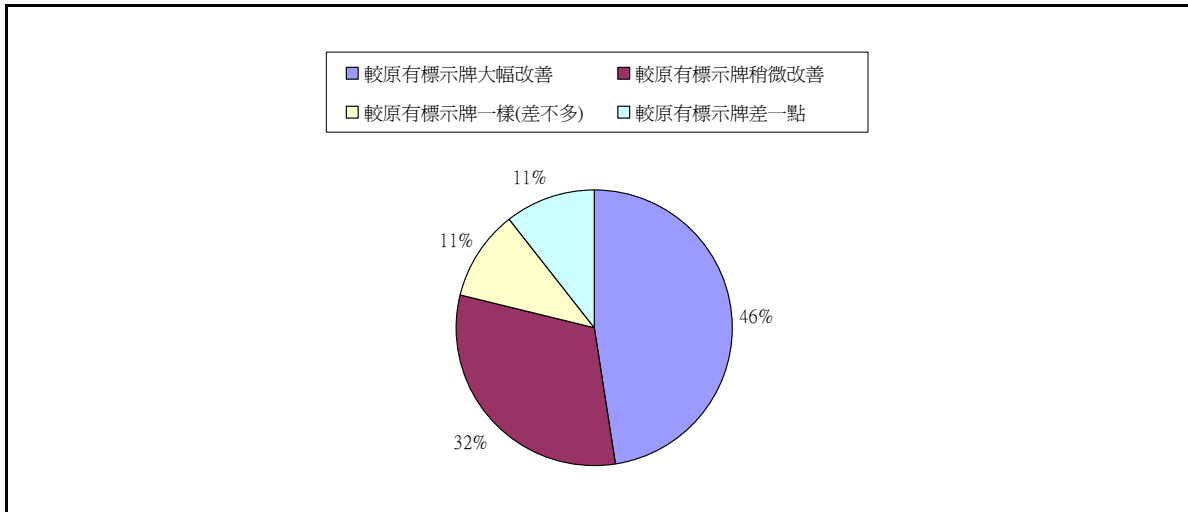
圖 4-77 LED 指示標誌資訊所顯現的輝度值

(2) LED 指示標誌用路人問卷調查

為進一步評估 LED 指示標誌，對駕駛人、用路人的影響，本計畫設計如附件

LED 指示標誌用路人意見調查，並且調查行經豐原大道的駕駛人，對 LED 指示標誌的觀感。

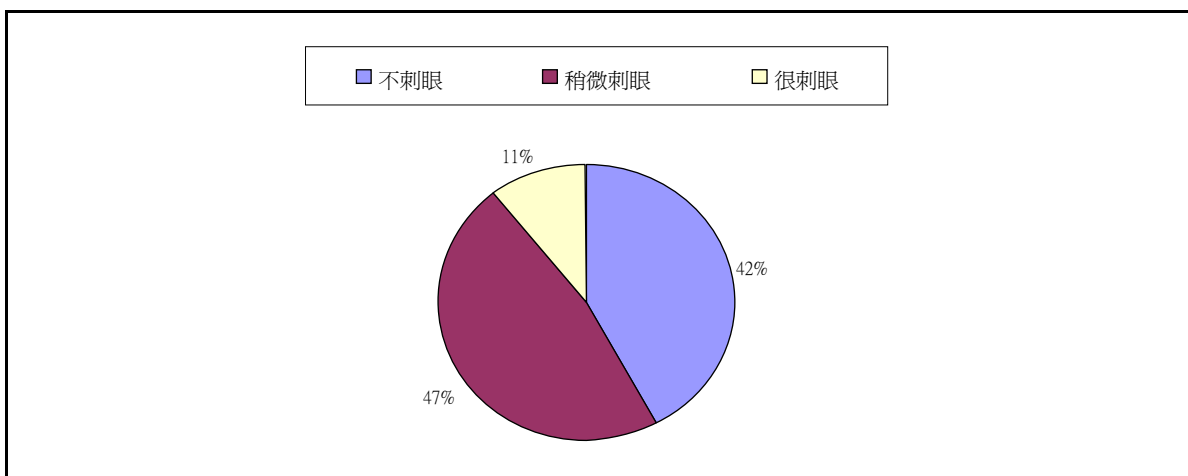
調查協助駕駛人清楚看見標誌上的訊息方面，46%的駕駛人，認為 LED 指示標誌具大幅改善功效；32%的駕駛人，認為具稍微改善功效；11%的駕駛人，認為沒有改善功效；11%的駕駛人，認為 LED 指示標誌比原來的傳統指示標誌差，詳如圖 4-78。



資料來源：本研究整理(2010)

圖 4-78 豐原大道 LED 指示標誌示範案駕駛人之訊息清晰度

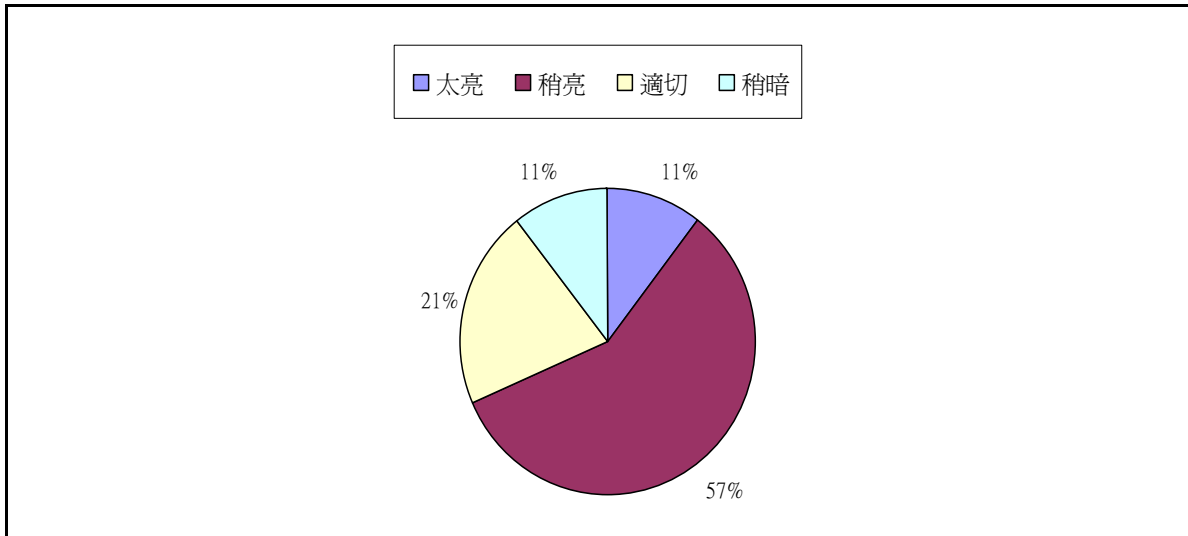
調查在 LED 指示標誌的眩光表現部分，42%的用路人認為 LED 指示標誌不刺眼；47%的用路人認為稍微刺眼；11%的用路人認為很刺眼詳如圖 4-79。



資料來源：本研究整理(2010)

圖 4-79 豐原大道 LED 指示標誌示範案之眩光表現

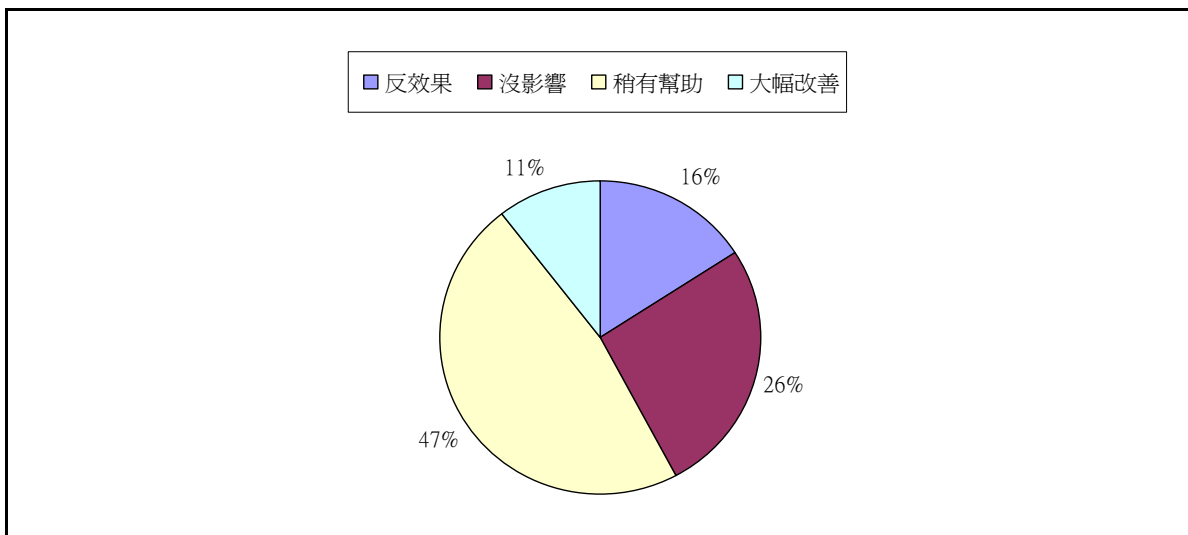
調查在 LED 指示標誌的亮度表現方面，有 11%的用路人認為 LED 指示標誌太亮；57%的用路人認為稍亮；21%的用路人認為亮度適中；11%的用路人認為稍暗詳如圖 4-80。



資料來源：本研究整理(2010)

圖 4-80 豐原大道 LED 指示標誌示範案之亮度表現

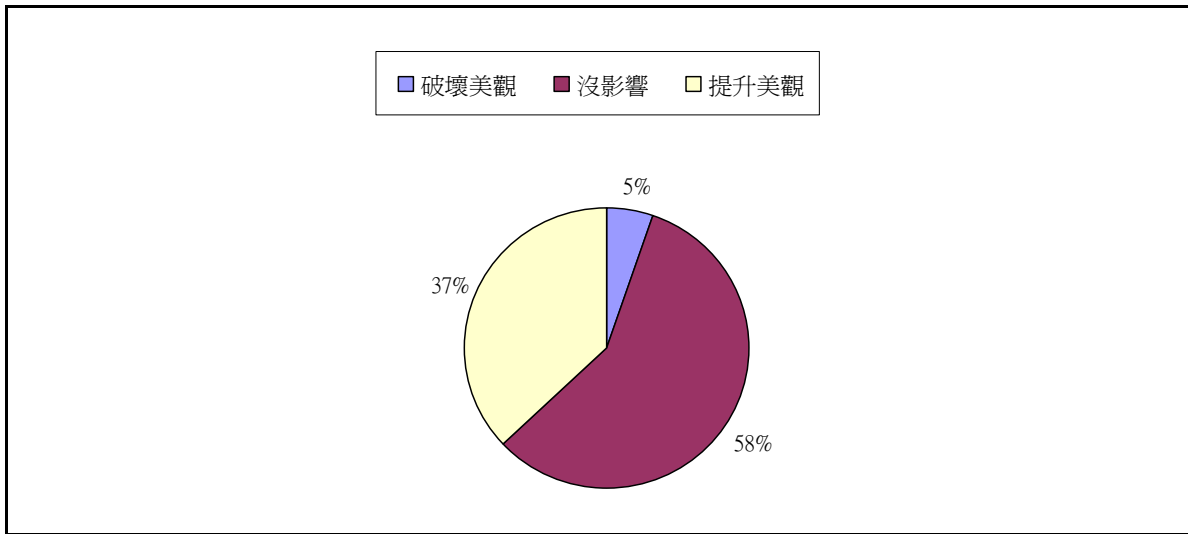
調查用路人對 LED 指示標誌改善道路安全效能方面，11%用路人認為 LED 指示標誌可大幅改善道路安全；47%認為稍微可改善道路安全；26%認為沒有影響；16%認為有反效果。詳如圖 4-81。



資料來源：本研究整理(2010)

圖 4-81 豐原大道 LED 指示標誌用路人效益

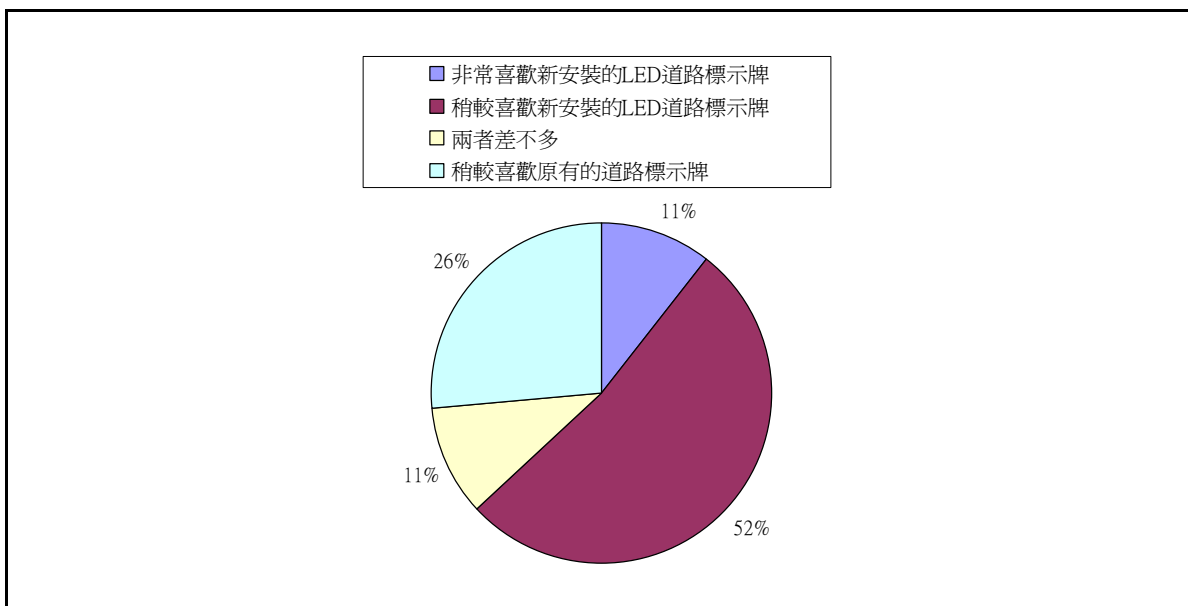
調查 LED 指示標誌對鄰近地區整體景觀的影響程度方面，37%認為可提升鄰近地區美觀程度；58%認為沒有影響；5%認為會破壞美觀。詳如圖 4-82。



資料來源：本研究整理(2010)

圖 4-82 豐原大道 LED 指示標誌示範案之美觀程度

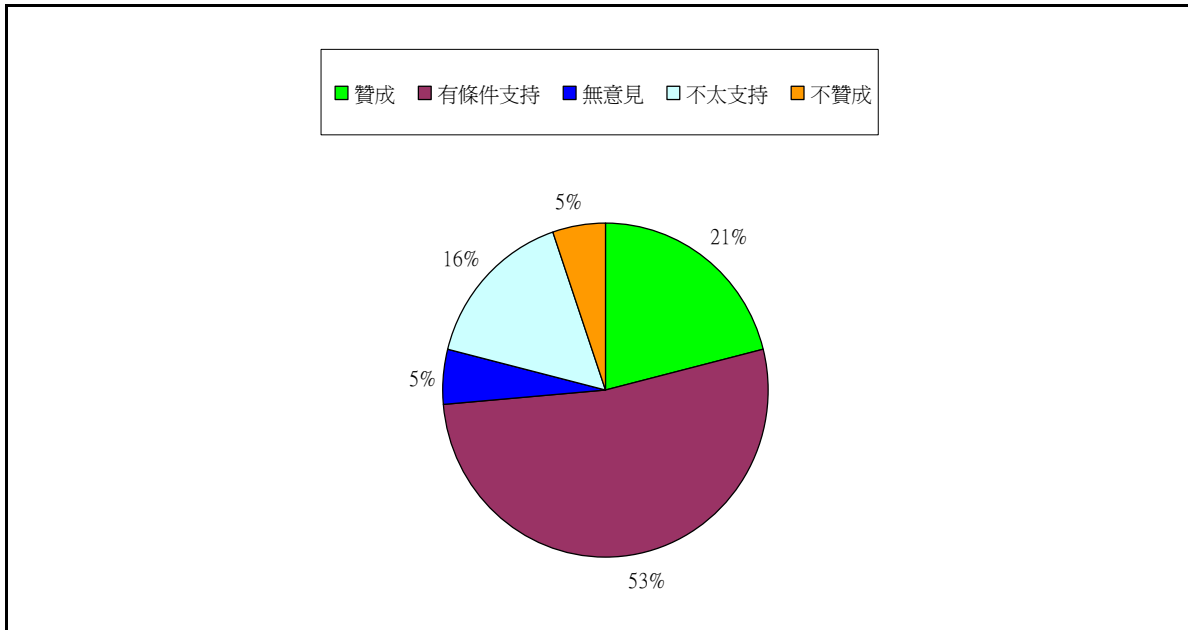
調查用路人對非 LED 指示標誌與 LED 指示標誌之喜好程度方面，11%非常喜歡 LED 指示標誌；52%稍微喜歡 LED 指示標誌；11%認為傳統指示標誌以及 LED 指示標誌差不多；26%稍微喜歡原有之標誌。詳如圖 4-83。



資料來源：本研究整理(2010)

圖 4-83 豐原大道 LED 指示標誌示範案之喜好程度

調查支持或贊成將所有主要幹道之道路交通標誌改裝成 LED 指示標誌方面，21%贊成；53%是有條件支持；5%無意見；16%不太支持；5%則是不贊成。詳如圖 4-84。



資料來源：本研究整理(2010)

圖 4-84 豐原大道 LED 指示標誌示範案之支持意見

2. 小結

由上述道路實測資料、問卷調查資料，以及研究團對針對 LED 指示標誌與傳統道路標誌之產品技術，整理兩種標誌優劣比較如下表 4-40。

表 4-40 LED 指示標誌與傳統指示標誌比較

項 目		LED 指示標誌	傳統指示標誌
實地照片			
標誌對 用路者目 光提示功 能	優點	駕駛在遠處、或者背景有高強度光源(如路燈)時，LED 指示標誌因自體會發亮，能夠提示用路人標誌位置，而不會錯失閱讀標誌訊息的時機。	無
	缺點	當背透光 LED 指示標誌以及光源組合式 LED 指示標誌並排時，因背透光式標誌發光面積大，駕駛者目光會被背透光式標誌吸引，而錯過光源組合式標誌的訊息內容。	傳統指示標誌仰賴投光燈、或路燈作照明，當標誌附近無路燈、或者背景光有高強度光源時，容易錯過標誌閱讀時機。
訊息內容 辨識能力	優點	LED 指示標誌輝度較高，字體顏色清晰可見。若標誌字體輝度適當，較容易為人眼所辨識。此外，在相同的背景光輝度光源下，LED 指示標誌自體發光特性，比傳統指示標誌容易辨識訊息內容。	標誌訊息與底色反差一致，若輔助以適當照明，可輕易辨識訊息內容。
	缺點	當光源組合式 LED 指示標誌中的 LED 排列太過密集，或者 LED 組成的字體筆畫繁複，容易因 LED 光源輝度太高，使人眼看到的標誌訊息，成為一個大的亮點，而無法辨別標誌內容。	標誌背景光若有高輝度光源，會導致人眼無法清楚辨識標誌訊息。
標誌 維護特性	優點	無	傳統標誌使用之投射燈光源或安定器大多為標準品，採購、維護容易。此外，傳統標誌可使用強力水柱清洗。
	缺點	LED 指示標誌無標準品可採購，標誌故障時，往往需整面更換，而 LED 指示標誌多屬訂產品，增加維護成本。而且標誌無法使用強力水柱清洗，亦增加清潔成本。	無
標誌節 電特性	優點	使用 LED 指示標誌，替代傳統使用投光燈照明的標誌，約可節約 70% 以上的標誌照明用電。	無
	缺點	無	使用複金屬投射燈進行照明，較為耗費能源。

資料來源：本研究整理(2010)

4.3.4 LED 路面標記

LED 路面標記基本上屬於 IPM 產品之一，根據由美國運輸研究委員會“Applications of Illuminated, Active In-Pavement Marker Systems”的國家協助公路研究計劃(National Cooperative Highway Research Program. NCHRP，SYNTHESIS 380)研究結果顯示，IPM 相較於傳統標線與標記對於交通安全提升是有正面助益，詳如表 4-32 所示。

一般來說，IPM 系統包括光源、鏡片、保護外殼、電源和系統控制器，白熾燈/鹵素燈和 LED 在 IPM 系統普遍被使用，雷射和電致發光技術也視為使用對象，然而，每種光源都各有應用上的侷限性。近年來 LED 由於在顏色上的靈活性、發光強度高、低耗能、使用壽命長等優勢，再加上產品單價逐年降低，已漸成為 IPM 系統的新興寵兒。

4.3.5 智慧型 LED 路燈

1. 智慧型 LED 路燈產品現況分析

智慧型 LED 路燈是將 LED 路燈與照明控制結合，形成智慧化光源。照明控制的主要功能包括點滅控制、調光控制、配合偵測元件自動調控、時程設定、晝光調節、流明衰減調節及電力需量控制等。照明控制方法，因工作場所之不同而有所差異，大體上常用的控制方式有採用手控開關及調光器、時序控制器 (Timer)、晝光感知器或附亮度檢知器、熱感知器開關、附加感知器之自主控制型燈具等方法。

我國智慧型 LED 路燈基本上仍屬於示範案方式進行，進行的案例相當有限，僅有三重市三個停車場照明系統及金門智慧型 LED 路燈設置案例。

(1) 三重市停車場照明系統案例

三重市於中山立體停車場、三重市圖書館停車場、三重市玫瑰停車場三地建置智慧型 LED 路燈。該案例示範規模達 500 盞，將 LED 照明節能效率由目前 50~55% 提升至 76.5%。該示範案例使用技術有：

- 可定址感測與控制網路佈建與管理平台技術：LED 照明感測與控制網路平台，可應用於 LED 路燈照明應用，具備時間校正(TimeSync)功能、雙向事件處理機制(Event Process)、線上狀態即時更新機制(Presence Service)與混合式可定址感知網路。
- LED 路燈監控系統技術：完成 LED 路燈照明設計，具備互動視窗介面功能與硬

體介面，LED 路燈設備定址與數據收送功能，設備可定址與數據雙向收發，LED 路燈照明資料庫(路燈之位址、調光比例、失效與感測器資料庫)。

- LED 數位感控技術：結合數位電控，達到提高電源效率的目標；具溫度感測功能，可延長燈具壽命；結合照度感測功能，提高照明節能效益；具有燈具狀態自動偵測與回報功能。

該產品具有以下數點特點：

- 照明管理智慧化，解決目前人員巡查道路照明的故障回報作業方式，以智慧化的方式感測照明設備電器信號特性，自動判斷燈具是否異常(例如：光衰、閃爍、散熱問題)，即時通知系統管理者，連線回報故障路燈、街燈編號與型號，加快修復時效。
- 照明系統網路化，運用電力線網路通訊，實現照明系統網路化，以既有電力線傳輸照明控制命令與燈具狀態信息，避免傳統網路線的施工配置問題。
- 照明環境舒適化，運用無線感測網路偵測光環境變化與人車活動狀態，即時調控照明設備發光率，以符合使用者的照度需求，提高照明品質。

(2) 金門智慧型 LED 設置案例

金門於金門環島東路四段底，環島東路五段起(溪邊村西側 T 字路口經下湖、西埔、西村至料羅圓環)至料羅圓環止，長度約 3,200 公尺，寬度約 8 公尺鋪設柏油路面，進行 100 盞 LED 路燈設置。為凸顯 LED 照明系統之其他綜合效益，金門於設置路段增設「LED 路燈智慧型遠端監控系統」，預期透過自動化、集中化的資訊蒐集及分析管理，適時提供路燈損壞及異常通報並建立相關資料，提昇路燈管理效率，並結合中央氣象局每年日出日沒時間表，於夜間適時點滅以達節能減碳之目的。該示範案系統特點如下述：

- 依中央氣象局年度日出日沒表自動啟動，並針對金門地區民眾夜間生活形態夏季(每年 5~10 月)於夜間(11 時至翌日 4 時計 5 小時)，冬季(每年 11 月~翌年 4 月於夜間 10 時至翌日 5 時計 7 小時)調光照度比照住宅區，讓節能效益更明顯。
- 可設定調節照明時段，減低電能損耗。
- 電纜電力監管，監測照明狀態，提供記錄資料，統計照明設備使用情況。
- 漏電時自動切斷電源，避免人員觸電傷害。
- 電纜監控，提供防盜功能。
- 系統提供簡訊功能，即時通報故障狀況。
- 增設濃霧偵測器，使系統能於起霧時即時啟動，提高用路人行車安全。

2. 小結

綜合金門市及三重市智慧型 LED 路燈設置案例，智慧型 LED 路燈相較於傳統光源，除有 LED 既有之產品優劣勢外，智慧型 LED 路燈更具有：

- (1) 更節能：可設定不同照度及調節照明時段，電纜電力監控，監測 LED 路燈工作狀態。
- (2) 更智慧：可增設濃霧偵測器、漏電時自動切斷電源，避免人員觸電傷害、系統提供簡訊功能，即時通報故障狀況等智慧化功能。

雖然智慧型 LED 路燈具有上述優點，但系統可靠度穩定性尚不足，且成本更高，回收期間更長。

4.3.6 紫外光標誌照明

1. 紫外光標誌照明產品現況分析

高速公路之標誌照明方式若使用遠方透光式，是從遠方照射光線於貼在標誌面上反射膜之外部照明。然紫外光標誌照明是照射紫外光線於貼在標誌面上之反射膜。

目前紫外光標誌照明仍屬於試驗性質產品，日本 2007 年於高速公路中央道路段之駒根 IC 和駒岳 SA 二處設置紫外線照明道路標誌，進行半年的驗證，相關驗證條件如表 4-41。

表 4-41 日本紫外光標誌照明示範條件

	駒岳 SA(上行)入口分流部	駒根 IC(下行)出口分流部
道路構造	切土部・鄰接地為田地、雜木	盛土部・通風良好
區間交通量	30411 台/日(2006 年平均)	31632 台/日(2006 年平均)
大型車混入率	38.3%	37.2%
設置年度	2007 年 3 月	2007 年 3 月
清掃之有無	僅清掃照明器具前面	無

資料來源：NEXCO 中日本名古屋分公司飯田保全服務中心(2007)

根據 NEXCO 公司表示紫外光標誌照明產品特色有：

- (1) 有利對向車道駕駛，光線不會外洩、不刺眼，可改善行車安全
- (2) 可用於光害對策，有利於鄰近住宅區和一般道路光線不會外洩到周邊，可改善行車環境和周邊環境

- (3) 標誌面與照明器具間之距離短，容易設置：照明器具設置於標誌面附近，可降低因樹木或起霧時之光擴散
- (4) 比內照式成本低，初期成本、營運成本與以往的投光式照明方式大約相等，但比內照方式低
- (5) 確保資訊提供機能：以往的投光式照明只有一盞燈，燈泡故障時，標誌會全面變暗，本照明方式有複數燈泡照射，一個燈泡故障時只會部份看不清楚，但仍可確保最低限度之標誌面輝度

2007 年 3 月開始進行測試，測試後發現標誌板面輝度降低約 55%，而造成輝度降低原因為：

- (1) 照明器具內面器具內部(反射鏡、前面玻璃內面)有白濁現象，乃起因於照明器具使用之封裝材等之矽膠所含之「聚矽氧烷(siloxane)」因受紫外線及熱而汽化後附著於玻璃內面形成白濁現象，此現象會遮蔽燈具放射之紫外線量，造成標誌面板輝度下降。
- (2) 燈泡光束降低之影響，燈泡之光束隨使用時間而下降，根據照明製造商之報告指出高壓水銀燈之機能下降速度比金屬鹵化物燈快 10%。
- (3) 標誌板面髒污之影響



經完整測試後，該研究認為(1)紫外光標誌照明器具尚有改善之餘地。(2)若能長期維持設置當初之機能的話，本照明方式乃有用性極高之方式。(3)今後預定將照明器具使用之矽膠封裝材與電線換成高耐候性之氟素橡膠系材料，構造上須使用矽膠之部位則追加不鏽鋼產品，改良成紫外線不會照射到矽膠的構造，如此一來將可抑制聚矽氧烷之產生。

2. 小結

表 4-42 紫外光照明標示與投光式標誌照明比較，紫外光照明標誌有利對向車道駕駛光線，不會外洩、不刺眼，可改善行車安全性；可用於光害對策，有利於鄰近住宅區和一般道路；光線不會外洩到周邊，可改善行車環境和周邊環境；標誌面與照明器具間之距離短，容易設置；照明器具設置於標誌面附近，可降低因樹木或起霧時之光擴散等優點。

不過紫外光標誌照明耗能遠較傳統標誌照明高為其最大缺點，另外產品耐候性也是有待改善的缺點。

表 4-42 紫外光照明標示與投光式標誌照明比較

	紫外線照射型 (遠方)照明	既有之投光式 (遠方)照明
設置圖例		
燈泡種類	高壓水銀燈泡	金屬鹵化物燈
燈泡壽命	12,000 小時 (3.2 年)	6,000 小時 (1.6 年)
燈泡電力	525W (175W×3 燈泡)	250W (1 燈泡)

資料來源：本研究整理(2010)

4.4 我國經濟效益分析模型之建立

4.4.1 經濟效益分析方法

本研究之目的為評估國內導入新型耗能道路交通設施之經濟效益，屬於公共工程建設之經濟成本效益評估範疇。據此，本研究首先就國際公共工程建設成本效益相關論文進行研析，得到以下結論：

- 成本效益分析已成為公共工程建設領域極為普遍的決策工具。
- 成本效益分析之實際計算方法，可因委託人特定目的與特殊關注(包括非經濟因素)，以及是否須就不同投資年限或投資額之方案進行比較等因素，進行分析方法的選用、搭配與調整。
- 公共工程建設領域之國際期刊論文中最常使用的成本效益分析方法為淨現值法(Net Present Value, NPV)與還本期法(Payback Period)。

為了解各種計算方法之間在適用性與適用範疇之細部差異，藉此挑選並調整為最切合本研究之計算方法，以下將先簡要介紹國際公共工程建設領域最常使用的 4 項計算方法，經過適用範疇與限制之比較後，進一步透過主要國際期刊以及各國政府公共工程建設案評估中的佐證，作為設計新型耗能道路交通設施經濟效益分析之基礎。

1. 經濟效益評估方法

成本效益分析是一項普遍的決策工具，多用於投資或政策等重大決策之事前評估。通過計算一項工程建設是否具有淨效益，而決定是否投入或選擇該項建設方案。

該項方法最早由美國財政部長 Albert Gallatin 於 1808 年要求水資源計畫應進行成本效益分析；直至 1940 年代，成本效益分析仍多用於水力相關計畫之評估；1950 年代以後，成本效益分析不但擴展至其他領域之投資評估，也廣為各國運用，更成為各國政府就預算或公共投資方案，進行事前評估的主要方法。

在各項成本效益分析的計算方法中，公部門最常採用的 4 種方法如下：

■ 淨現值法(Net Present Value, NPV)

淨現值係指一個投資項目的全部現金流入的折現值和全部現金流出的折現值之間的差額。如果 $NPV > 0$ ，說明該投資的現金流入現值大於現金流出現值，其結果可以增加淨利。

■ 益本比法(Benefit/Cost Ratio, B/C Ratio)

所有效益現值總和除以成本現值總和之比例。 B/C = 其決策準則為若益本比大於 1，表示此計畫的整體效益大於整體成本，值得投資。

■ 內部報酬率法(Internal Rte of Return, IRR)

找出資產潛在的報酬率，其原理是利用內部報酬率折現，投資的淨現值恰好等於零。內部報酬率法(IRR)指使某一方案之預期現金流入量現值等於該方案之預期現金流出量現值。當內部報酬率等於(大於)必要報酬率時，方案才會接受。

■ 還本期法(Payback Period)

回收期初投資成本所需時間，即損益兩平所需時間。用於計劃初始，只有一次現金流出時最有意義。

各項成本效益分析方法適用範疇概述表 4-43

表 4-43 經濟效益分析方法用範疇

分析方法	適用範疇與限制
淨現值法	淨現值計算因考慮到貨幣的時間價值，較易進行不同方案之間的比較；但也因此難以評估投資年度與投資額不同的方案。另一項難題是折現率的確立。
益本比法	益本比法也同時考量貨幣的時間價值，故同樣有選擇適當折現率之問題。另外，因重視效益與成本間的相對比率，忽略效益成本的絕對差額，可能選出益本比高但淨現值低的方案。
內部報酬率法	內部報酬率計算可克服須選擇適當折現率之困難；同時也將貨幣的時間價值、生命週期內的所有效益納入計算中。 其缺點則包括運算時需電腦軟體輔助、忽略資金社會成本、未計算到的鉅額費用支出可能造成原評估建議錯誤等。
還本期法	還本期計算可搭配上上述各項方法同時進行，即可明確得知損益平衡之時間點。

資料來源：本研究整理(2010)

根據以上適用範疇與限制之分析，初步將決策風險較大的內部報酬率法排除，並在淨現值與益本比法之間進行選擇，搭配還本期計算等數據共同提供決策時的參考依據。由於本研究之目的是評估導入新型耗能道路交通設施後，在其生命週期內所有成本加總後，是否較延用既有道路交通設施更具經濟效益。在計算過程中，無須就投資年度與投資額不同的各項方案間進行比較，加上益本比法重視的是效益與成本之間相對比值，將忽略初始成本較高但未來淨效益更高的方案。因此，根據本研究目的與需求，將選用淨現值法為主要分析方法並搭配還本期作為參考值，藉以突顯出政府投資新型耗能道路交通設施後將能獲得的經濟效益。

2. 經濟效益評估文獻回顧

承上所述，淨現值及還本期法的搭配將是本研究進行經濟效益分析之基礎，為釐清以上兩種評估方法的實際運用情境、計算時應考量變項以及評估結果是否合乎本研究之特定需求。以下將收集運用淨現值法與還本期法進行公共工程建設評估及 LED 道路照明之文獻進行研析，詳如表 4-44。

表 4-44 主要經濟效益文獻

分析方法	期刊名
淨現值法	<ul style="list-style-type: none">• W.T. Wiskerke, V. Dornburg, C.D.K. Rubanza, R.E. Malimbwi, A.P.C. Faaij, 2009. Cost/ benefit analysis of biomass energy supply options for rural smallholders in the semi-arid eastern part of Shinyanga Region in Tanzania. Renewable and Sustainable Energy Reviews 14(2010) 148–165.• David Kennedy, 2007. New nuclear power generation in the UK: Cost benefit analysis. Energy Policy 35(2007) 3701–3716.• P.Bhusal, A.Zahnd, M.Eloholma & L.Halonen, 2007. Energy-efficient innovative lighting and energy supply solutions in developing countries. International Review of Electrical Engineering, v2, 665-670.
還本期法	<ul style="list-style-type: none">• Pacific Gas and Electric Company, 2008. Demonstration Assessment of Light Emitting Diode Street Lighting.• M.S. Wu, H.H. Huang, B.J. Huang, C.W. Tang, C.W. Cheng, 2009. Economic feasibility of solar-powered led roadway lighting. International Review of Electrical Engineering, v2, 665-670.• G.O. Schlege, F.W. Burkholder, S.A. Klein, W.A. Beckman, B.D. Wood, J.D. Muhs, 2003. Analysis of a full spectrum hybrid lighting system. Solar Energy 76(2004) 359–368.
直接計算生命週期內發生之各項成本	<ul style="list-style-type: none">• Robert Krueger, Rick Brown, 2009. Setting Priorities for Improving Boston City Street Lights. Environment Department City of Boston• Mihaela Alexa, Horatiu Soim, Vichentie Maniov, 2009. Cost Benefit Analysis for Road Infrastructure Projects. Traffic A Basic Element. Studia Universitatis "Vasile Goldiș" Arad Seria Științe Economice, issue: 11/2009, 320330.• Helias A. Udo de Haes, Reinout Heijungs, 2007. Life-cycle assessment for energy analysis and management. Institute of Environmental Sciences.

資料來源：本研究整理(2010)

針對淨現值法的研究文獻，包括 David Kennedy(2007)對核電廠興建與否的成本效益評估以及 W.T. Wiskerke 等人(2009)為在三種小型生質能源發電系統之間進行選擇所使用的淨現值法，以及 P. Bhusal 等人(2007)對 2 項發電系統為供應偏遠地區照明需求所進行的經濟效益評估。

上述文獻的共通作法均是設法計算出各項情境或方案在生命週期內的總利益與總成本現值；需進行假設的項目包括生命週期年限、折現率的選擇、各種能源價格未來的變化、未來能源供需概況等。譬如 David Kennedy(2007)先設定各項興建替代能源發電廠的不同情境，就新建核電廠、陸域型風力、離岸風力、CCS 技術搭配下的火力發電以及海洋能源等不同情境進行比較，計算變項包括前置成本、初始成本、建設成本、建設時間、負載量、營運生命週期、營運成本、廢棄成本、電廠退役成本、資本支出等 10 項。P. Bhusal 等人(2007)除淨現值之計算外，另外也計算出還本期提供決策者參考。

淨現值法使用，最大的難題是折現率的選定，在 W.T. Wiskerke 等人(2009)文中以坦尚尼亞銀行自 2004 年 12 月至 2007 年 4 月公告利率之平均值 16.4%計算，原因是坦尚尼亞銀行貼現率之波動極大，僅上述期間的貼現率變動幅度即從 21.4%驟降至 6.5%。David Kennedy(2007)文中的貼現率計算則以英國財政部公告的貼現率為準，未來 30 年間利率以 3.5%計算、第 31 年至第 75 年間則以 3%計算。從上述文獻中，可知貼現率是一般淨現值法運用時，普遍使用之折現率。

另外，各項具不確定性的社會或環境風險以及潛在促進就業效益等因素也應適當進行考量。譬如 David Kennedy(2007)將核電廠興建之潛在風險換算成量化成本計算在新建核電廠的方案總成本現值中；W.T. Wiskerke 等人(2009)則將刺激就業所創造之效益分別計入三種不同方案中。

針對還本期法的研究文獻，包括 M.S. Wu 等人(2009)對太陽能 LED 應用於路燈上的經濟效益評估、G.O. Schlege 等人(2003)就混合照明(Hybrid lighting)技術之可行性與經濟效益進行之評估，以及 Pacific Gas and Electric Company(2008)就 LED 路燈節能效益所進行的評估。

3 篇文獻均透過評估每年平均節省成本的方式，回推出還本期；具體作法以 M.S. Wu 等人(2009)的文章為例，該論文先計算出 LED 與太陽能 LED 兩種燈具相較於傳統路燈，在整體生命週期中可節省的總支出，包括省下的電費、建置成本、維修成本、省下的汰換成本等，計算出兩種燈具每年可節省的平均成本；再計算兩種燈具投資額與年均節省成本間的比值，即投資兩種不同方案分別需要的還本期。文末，也另外評估兩種方案可創造之外部效益，即減碳量。

綜上所述，不論淨現值法或還本期法在實際運用時，均需要審慎考慮所有生命週期內衍生的各項有形及無形成本，以確保總成本的計算能更貼近未來實際支出，避免因評估變項的缺漏，影響最終評估方案的選擇。有形成本多半需考量初始成本、維護與維修成本、廢棄成本、能源成本、通膨率、產品生命週期等；無形成本則多考量減碳量、建設所需時間、社會風險、其他外部效益等。

就實際運算作法而言，較普遍且可明確顯示政府投資價值的計算方法，可直接計算各方案生命週期內的總利益現值與總成本現值，將兩者相減即可得到淨現值。另外，還本期計算則可將各方案投資額與年均節省成本相除，即可得知其還本期，作為政府投資成本回收年限之參考。

4.4.2 經濟效益分析模型說明

參考各國 LED 路燈街燈示範案例以及蒐集文獻中採用之經濟效益評估方式，其已經充分考量到初始成本、電力使用成本及維護成本，並從整體生命週期的角度，去考量其經濟效益。因此，本計畫新型耗能交通設施之成本效益經濟模型，將採用初始成本＋電力成本＋維護成本＋廢棄處理成本四個項目做計算，詳細說明如表 4-45。

表 4-45 本研究經濟效益分析變數說明

產品生命週期	項目	定義	計算方式	數據資料來源
生產	初始成本	節能設施產品的通路售價 採標案價格	包含燈具本身，電源，開關等零組件。	節能設施產品製造廠商提供之售價 依該政府工程決標金額計算單位價格
	電力成本	節能設施單位時間內耗用電能之電力費用	傳統路燈：100W 以下，每燈每月 87.6 元。超出 100W，每超出 100W 每燈每月加 70.8 元 LED 路燈：每瓦每月 0.68 元。需考量功率因數	台灣電力公司
使用	維護成本	耗材更換成本：節能設施損壞時，更換部分零組件或整組產品所需花費之耗材費用	正常使用：透過產品壽命計算在使用年限內需替換的次數，乘上維護成本即為照明燈具正常使用情況下的維修替換成本	各縣市政府養護單位
		人工更換成本：當節能設施產品損壞時，所需人工進行更換之更換成本	不正常損壞：需考量燈具在保固期內以及保固期外損壞時所必須付出的維護成本，與前者相加方為使用期間內的總維護成本	各縣市政府養護單位
		車具成本：當節能設施產品損壞時，進行更換時所需車具協助交通之運輸成本	單次維修所需付花費之來回車具費用，除以單次可維修之總產品數量	各縣市政府養護單位
		節能交通設施廢棄後，為了降低對環境的危害，所必須負擔的處理成本	單次維修所需付花費之來回車具費用，除以單次可維修之總產品數量	各縣市政府養護單位
廢棄	廢棄處理成本	參考 HID 燈回收清除處理費率，32.48 元/公斤	參考 HID 燈回收清除處理費率，32.48 元/公斤	環保署

資料來源：本研究整理(2010)

在經濟效益評估分析，本研究參考各國經濟效益評估文獻，採取淨現值法與還本期法共用模式。

淨現值法主要是加入貨幣的時間價值作為考量，將投資方案中每個產品之生命週期每一年度所發生的成本或利益，轉換為現值以比較，由於新型交通設施之初始成本、每年電費以及維護成本發生在不同時間點，直接進行比較並不合理，為使得比較有同一基準且較合理，採用淨現值法進行比較，淨現值法的計算公式如圖 4-85。

$$P = F \times \frac{1}{(1+i)^y}$$

P : 投資方案總現值成本

F : 投資週期內年成本獲收益

y : 年度

i : 折現率(參考中央銀行於99年6月25日公布之重貼現率1.375%)

資料來源：本研究整理(2010)

圖 4-85 淨現值計算公式

另外在回收年限分析上，本研究採取還本期法，計算新型設備每年可節省支出，然後計算新型設備增加投資額與每年節省成本間的比值，即投資兩種不同方案分別需要的還本期

除了上述分析經濟效益外，本研究比較各投資方案之二氧化碳產生量，以減碳量作為新型交通設施之外部效益。整體經濟效益分析模式如表 4-46。

表 4-46 本研究經濟效益分析模型

	方案 1	方案 2
A.投資方案		
1.投資週期(年)		
2.初始成本(元/盞)		
3.設置數量(盞)		
4.總投資額(元)		
B.電力成本		
1.燈具功耗(W/盞)		
2.每年使用時間(小時)		
3.耗電量(KWh/年)		
4.投資週期內每年電力成本(台幣/年)		
5.投資週期內每年電力成本節省(台幣/年)		
C.維護費用		
1.維修頻率(年/次)		
2.單次維護成本(台幣/次)		
3.投資週期內每年維修成本(台幣/年)		
4.投資週期內每年維護成本節省(台幣/年)		
D.廢棄處理成本		
1.廢棄頻率(年/次)		
2.單次廢棄成本(台幣/次)		
3.投資週期內每年廢棄成本(台幣/年)		
4.投資週期內每年廢棄成本節省(台幣/年)		
E.經濟效益比較		
1.方案總成本(台幣/投資週期)		
2.回收時間(年)		
3.其他利益二氧化碳減量(kg/年)		

註：1.方案總成本係計算各方案於各投資週期內所產生之費用轉換為現值，與方案期初投資之合計值

2.回收時間為(新型交通設施新增投資額/每年節省費用)

3.每年節省費用為：B4+C4+D4

資料來源：本研究整理(2010)

4.4.3 經濟效益評估模型計算範例

本研究採用國內已有的設置案例，分別針對路燈、隧道燈、標誌進行經濟效益分析。其中路燈部份，以「台中市 LED 路燈省電節能計畫工程」為範例一，採用 100W LED 路燈替換傳統的 200W 水銀燈路燈，裝設於 10 米以下道路；另外以 140W LED 路燈替換 400W 高壓鈉燈路燈為範例二。隧道燈則以台中市政府忠明

南路 LED 隧道燈置換高壓鈉隧道燈數據作一假設計算，標誌部分則以豐原大道上 16 面 LED 指示標誌做案例說明與比較分析。

1. LED 路燈汰換水銀燈路燈

由於地球暖化、節能減碳等環保議題，世界各國皆展開新型耗能設施之導入，其中以 LED 路燈示範案之推動最為積極。

2009 年台中市率先導入大規模 LED 路燈裝設案例，總設置盞數高達 7698 盞，為全球少見較具規模之大型 LED 路燈導入案例，該計畫相關設置條件如表 4-47。

表 4-47 台中市 LED 路燈設置情況與規範

設置條件		說 明
設置方法	設置方法	100W LED 路燈 1:1 取代 200W 水銀燈路燈，鐵燈桿不做更換，只置換光源
	設置數量	置換 7,698 盞
	投資金額	新台幣 78,466,787 元
LED 路燈規格	產品標準	無
	燈具特性	燈具系統總發光效率每瓦至少 45 流明以上，其中燈具共可發出至少 4,500 流明以上；且光衰量自驗收合格日起 1 年不得大於 10%，自驗收合格日起 3 年不得大於 20%等照明燈具規範
	保固期間	3 年
道路條件	路 寬	10 米含以下道路
	燈桿燈高	6~8 米
	燈桿間距	40 米以上
	燈桿設置	單排單邊排列
	路面照度	符合市區道路及附屬工程設計規範 15lux

資料來源：本研究整理(2010)

本計畫測試期間自 2009 年 6 月始，截至目前為止裝設時間達一年，故透過台中市 LED 路燈省電節能計畫這一年來的裝設經驗，可了解 LED 路燈實際裝設、燈具損壞率、維護情形以及當地民眾觀感等。

透過對於台中市 LED 路燈省電節能計畫工程裝設情形了解，以及詢問此計畫工程之相關承辦人員後，套用本研究之經濟效益評估模型，此評估模型之前提假設為，預設路燈使用周期為 10 年(因應燈桿壽命)，LED 路燈保固期為 3 年，計算 10 年間兩種不同燈具所需相關成本與整體經濟效益分析，如表 4-48 所示。

表 4-48 台中市 LED 路燈專案經濟效益分析結果

	水銀燈路燈	LED路燈
A. 投資方案		
投資週期	10	10
初始成本(元/盞)	2,000	10,193
設置數量	7,698.0	7,698.0
總投資額(元)	15,396,000	78,465,714
B. 電力成本		
燈具功耗(W/盞)	200	100
每年使用時間(小時)	4,000	4,000
耗電量(kWh/年)	800	400
投資週期內單盞路燈每年電力成本(台幣/年)	1,375.2	453.3
投資週期內每年電力成本(台幣/年)	10,586,290	3,489,503
投資週期內每年電力成本節省(台幣/年)		7,096,786
C. 維護費用		
光源維修頻率(次/十年)	2.5	12%
開關維修頻率(次/十年)	5.0	3.5
電源維修頻率(次/十年)	5.0	3.5
光源更換材料成本(台幣/次)	100	10,193
開關更換材料成本(台幣/次)	500	500
電源更換材料成本(台幣/次)	800	2,000
單次維護人工及交通成本(台幣/次)	1,000	1,000
投資週期內單盞路燈維修成本總計(台幣)	19,250	17,093
投資週期內路燈維修成本總計(台幣)	148,186,500	131,583,146
投資週期內每年維修成本(台幣/年)	14,818,650	13,158,315
投資週期內每年維護成本節省(台幣/年)		1,660,335
D. 廢棄處理成本		
光源廢棄頻率(年/次)	4.0	na
投資週期內光源廢棄總量(kg)	962	na
光源廢棄處理成本(元/kg)	32	na
每年光源廢棄成本(台幣/年)	3,079	na
每年光源廢棄成本節省(台幣/年)		3,079
E. 經濟效益比較		
方案總成本(台幣/投資週期)	253,344,186	231,927,728
回收時間(年)		7.2
其他利益二氧化碳減量(噸/年)		1,958

資料來源：本研究整理(2010)

(1) 細項計算說明與結果分析

① 初始成本

以「台中市 LED 路燈省電節能計畫工程」此一實際案例做計算，採用 100W LED 路燈置換傳統的 200W 水銀燈路燈，每一盞燈具的在初始成本的差異為 $10,193 - 2,000 = 8,193$ 元，總投資成本差異為 63,069,714 元。

② 電力成本

電力成本採用按“公用路燈包燈適用電價表”電價 50%計收。傳統路燈：100W 以下，每盞每月 87.6 元。超出 100W，每超出 100W 每盞每月加 70.8 元。LED 路

燈：每瓦每月 0.68 元。

故根據電價表計算後得到，傳統 200W 水銀燈路燈每月電費為 $(87.6+70.8*2)*50\%=229.2*0.5=114.6$ ，每年電費為 1,375.2 元。100W LED 路燈每月電費計算方式，考量功率因數需除以 0.9，故每月電費為 $(100/0.9)*0.68*50\%=37.7777$ ，每年電費為 453.33 元，平均每年可省下電費為 921.9 元。

③ 維護費用

傳統水銀燈路燈的部分，以台中市過去水銀燈路燈正常使用情況下光源置換的維護經驗做估計，且假設每次出工/出車僅維修一盞燈的一個項目的條件下，單盞路燈之維護費用為：平均單顆水銀燈的人力與車具成本分攤後約為 1,100 元，考量水銀燈光源壽命後，10 年的使用期間約需更換 2.5 次，光源的 10 年期間維護費用共為 2,750 元。另外，路燈開關與電源的使用壽命約為 2 年，同樣考量耗材成本、人工成本與車具費用後，可以得到開關與電源的 10 年期間維護費用總共各為 7,500 元以及 9,000 元。合計之後可以得到 200W 水銀燈路燈 10 間的總維護成本為 19,250 元，平均每年維護成本為 1,925 元。

單盞 100W LED 路燈的部分，由於此次示範案廠商提供之 LED 路燈保固期為 3 年，故在 10 年的使用期間，前 3 年不論是光源、開關與電源，任何損壞之耗材費用以及人力車具維護成本，皆由廠商負擔。後 7 年可能發生的維護成本，以使用壽命為 2 年的開關跟電源做維護費用的計算，7 年內平均需換 3.5 次，10 年期間維護費用總共各為 5,250 元與 10,500 元。

光源的部分，由於台中市此一案例目前實際執行期間只有一年，尚未發生保固期外光源損壞情形，雖然廠商提出之產品壽命為 100,000 小時，在計算時參考目前裝置一年間實際發生之損壞率 6%，保守估計 10 年內光源損壞機率为 12%，且須將整組燈具作一置換，故光源的維護費用為 1,343 元。將保固期內無費用發生以及保固期外開關、電源、光源損壞的情況皆考量進去後，合計可以得到 10 年間的總維護成本為 17,093 元，平均每年維護成本為 1,709.3 元。

④ 廢棄處理成本

廢棄物處理部分，台中市投資案原使用水銀燈，依照行政院環保署規範，水銀燈廢棄處理成本為每公斤 32 元。本計畫共更換 7,698 盞水銀燈，估計在 10 年投資週期內，水銀燈置換數量達 19,245 顆，以每顆水銀燈重量約 50 克，估計總處理成本為新台幣 30,792 元，平均每年廢棄成本為 3,079 元。

⑤ 經濟效益分析

單盞 LED 路燈與水銀燈於 10 年投資週期內，初始成本及每年費用，及將相關費用轉換為現值，詳如表 4-49 所示，在十年投資週期內，LED 路燈成本低於水銀燈。

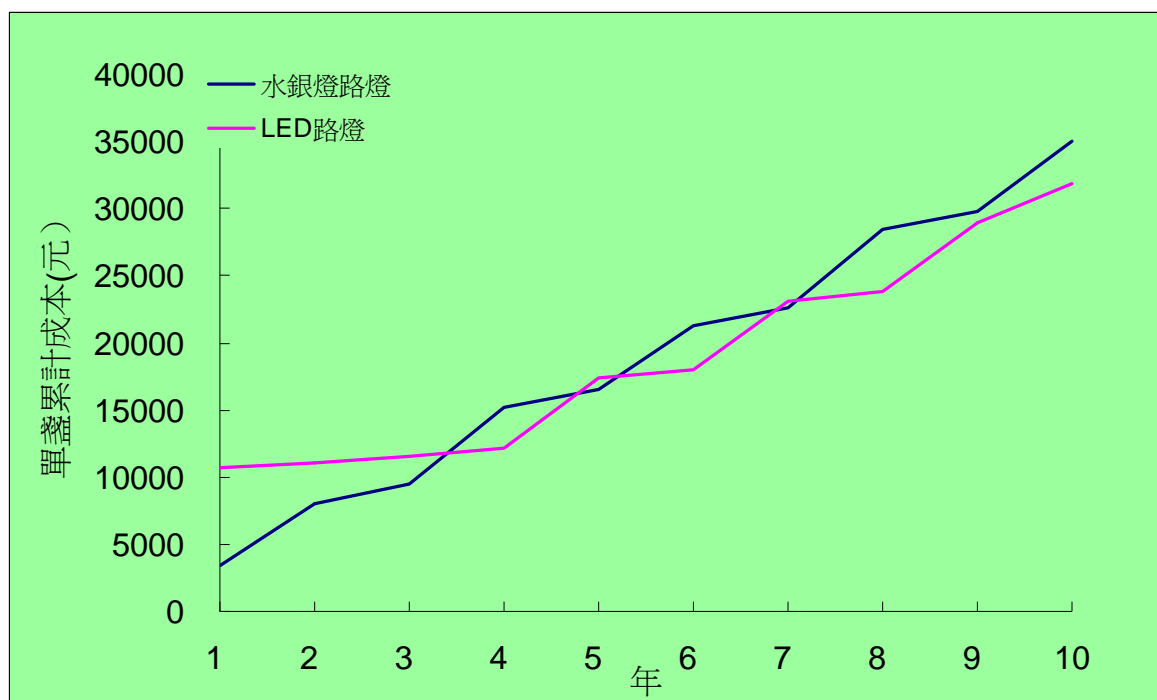
表 4-49 台中市 LED 路燈專案投資週期總成本-單盞

200W水銀燈路燈					
年度	初始成本	電力	維護	總成本	折現
1	2000.0	1375.2	0.0	3375.2	3375.2
2		1375.2	3300.0	4675.2	4611.8
3		1375.2	0.0	1375.2	1338.1
4		1375.2	4401.6	5776.8	5544.9
5		1375.2	0.0	1375.2	1302.1
6		1375.2	3300.0	4675.2	4366.6
7		1375.2	0.0	1375.2	1267.0
8		1375.2	4401.6	5776.8	5250.1
9		1375.2	0.0	1375.2	1232.9
10		1375.2	3850.8	5226.0	4621.6
合計					32910.4
100WLED路燈					
年度	初始成本	電力	維護	總成本	折現
1	10193.0	453.3	0.0	10646.3	10646.3
2		453.3	0.0	453.3	447.2
3		453.3	0.0	453.3	441.1
4		453.3	191.9	645.2	619.3
5		453.3	4691.9	5145.2	4871.7
6		453.3	191.9	645.2	602.6
7		453.3	4691.9	5145.2	4740.5
8		453.3	191.9	645.2	586.4
9		453.3	4691.9	5145.2	4612.7
10		453.3	2441.9	2895.2	2560.4
合計					30128.3

資料來源：本研究整理(2010)

以台中市投資專案回收時間分析，採取 LED 路燈相對於傳統水銀燈增加投資額達 21,416,459 元，每年節省費用(電力成本、維修成本及廢棄物處理成本)為 8,760,201 元，計算出回收年限為 7.2 年。

分析 LED 路燈與水銀路燈在投資週期內累計成本，詳如圖 4-86。由於 LED 路燈設置要求 3 年保固期，以致於其在投資第四年累計成本低於水銀路燈，但第五年後相關維護成本產生，LED 路燈累計成本回升高於水銀燈，一直到第八年後，LED 路燈累計成本持續低於水銀燈。顯示出 LED 路燈後續維修成本，將影響到回收期間。



資料來源：本研究整理(2010)

圖 4-86 台中市 LED 路燈專案單盞 LED 路燈與水銀路燈累計成本變化

社會效益(以 7,698 盞計)部分，依照台灣電力公司所提供之 97 年度我國 CO₂ 電力排放係數，每使用 1 度電即產生 0.636 公斤之二氧化碳來做計算，本示範案例中，採用 LED 路燈耗電量降為 100 瓦，7,698 盞路燈在汰換成 LED 路燈後，平均每小時可節省 769.8 千瓦(換算為每小時可節省 769.8 度)。以每年使用 4,000 小時作計算，每年將可節省 3,079,200 度電力使用，採用上述 CO₂ 電力排放係數進行計算，每年可減少 1,958 噸的二氧化碳排放量。

本案例中，LED 路燈價格係採用 2009 年實際標案決標金額價格作計算，考量 LED 技術持續進步、價格持續下跌的趨勢，如將案例中 LED 路燈價格調降 20% 與 40%，其他項目變數不變的條件下，當 LED 路燈價格下降 40% 達 6,166 元，LED 路燈回收期可大幅降低至 3.5 年

表 4-50 台中市 LED 路燈專案敏感度分析

LED 指示標誌單價(元)	回收時間(年)
10,193	7.2
8,154	5.3
6,166	3.5

資料來源：本研究整理(2010)

(2) 情境分析

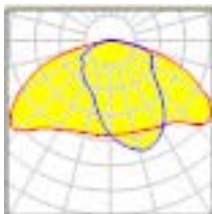
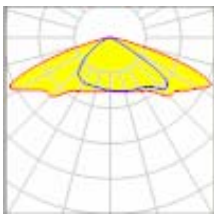
從台中市 LED 路燈示範案例獲知 LED 路燈置換水銀燈相關成本與維修成本變數資料，由於台中市案例唯一大型採購案，相關成本資料與目前台灣銀行共同採購契約價格有很大差異，另外 LED 維修成本與設置道路條件也是影響後續經濟分析重要變數，因此本研究以 LED 路燈產品價格、LED 維護率、既有水銀燈具燈具特性、道路設置條件作為情境變數，進行模擬分析。

由於道路條件不同，LED 置換水銀燈的情境也有所差異，因此本研究將分別分析，8 米道路 LED 路燈置換水銀燈以及 12 米道路 LED 路燈置換水銀燈之經濟效益。

① 8 米道路 LED 路燈置換水銀燈

表 4-51 為 8 米道路 LED 路燈置換水銀燈情境變數說明。

表 4-51 8 米道路 LED 路燈置換水銀燈情境說明

			Case1	Case 2	Case3	Case4	Case 5
	光源	230W 水銀燈	90W LED 燈	90W LED 燈	90W LED 燈	90W LED 燈	90W LED 燈
燈具 條件	效率(lm/W)	34	95	95	95	95	95
	燈具單價	2000	25,900 ^{註(1)}	25900 ^{註(1)}	9180 ^{註(2)}	9180 ^{註(2)}	7344 ^{註(3)}
	保固期間	na	3	3	3	5	5
	保固期後 LED 光源維護率	na	24%	12%	12%	12%	12%
	其他	廢棄處理成本、電源維修頻率與成本、開關維修頻率與成本、單次維護人工及交通成本與台中市示範計畫相同					
道路 條件	路面寬度	8M					
	照度設定	15~20 lux					
	最小照度/平均 照度設定	>0.3					
模擬平均照度(lx)		平均：17		平均：18			
模擬最大照度(lx)		最大：30		最大：27			
模擬最小照度(lx)		最小：10		最小：11			
模擬燈桿設置條件		桿高：8 米 桿距：24 米 單排單邊排列					
1 公里設置路燈 總盞數		42		42			
燈具配光							

註(1)2010 年台銀共同採購契約 LED 路燈等級 1 初始發光效率 $\geq 75\text{lm/W}$ ，功耗 ≤ 107 ，決標價格新台幣 25,900

註(2)以台中市採購單價新台幣 102 元/W，90W LED 路燈價格 9,180 元

註(3)為 Case 3 價格 80%，廠商詢價預估 2011 年可能單價下跌幅度預測

資料來源：本研究整理(2010)

8 米道路 LED 路燈置換水銀燈情境之經濟效益分析結果如表 4-52。從上述經濟分析中得知，8 米道路 LED 路燈置換水銀燈在 10 年的投資週期內，Case1 與 Case2 的情境下，LED 路燈總成本均較水銀燈為高。在 Case3、Case4、Case5 的情境下，LED 路燈總成本均較水銀燈為低，在 Case5，3.6 年內 LED 路燈投資即可回收。

表 4-52 8 米道路 LED 路燈置換水銀燈情境經濟分析

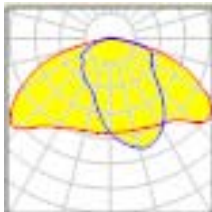
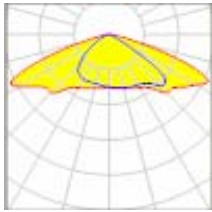
	水銀燈路燈	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5
A.投資方案						
投資週期	10	10	10	10	10	10
初始成本(元/盞)	2,000	25,900	25,900	9,180	9,180	7,344
設置數量	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0
總投資額(元)	84,000	1,087,800	1,087,800	385,560	385,560	308,448
B.電力成本						
燈具功耗(W/盞)	230	90	90	90	90	90
每年使用時間(小時)	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
耗電量(KWh/年)	920	360	360	360	360	360
投資週期內單盞路燈每年電力成本(台幣/年)	1,375.2	408.0	408.0	408.0	408.0	408.0
投資週期內每年電力成本(台幣/年)	57,758	17,136	17,136	17,136	17,136	17,136
投資週期內每年電力成本節省(台幣/年)		40,622	40,622	40,622	40,622	40,622
維護費用						
光源維修頻(次/10年)	2.5	24%	12%	12%	12%	12%
開關維修頻率(次/10年)	5.0	3.5	3.5	3.5	3.0	3.0
電源維修頻率(次/10年)	5.0	3.5	3.5	3.5	3.0	3.0
光源更換材料成本(台幣/次)	100	25,900	25,900	9,180	9,180	7,344
開關更換材料成本(台幣/次)	500	500	500	500	500	500
電源更換材料成本(台幣/次)	800	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
單次維護人工及交通成本(台幣/次)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
投資週期內單盞路燈維修成本總計(台幣)	19,250	22,206	18,978	16,972	14,722	14,501
投資週期內路燈維修成本總計(台幣)	808,500	932,652	797,076	712,807	618,307	609,054
投資週期內每年維修成本(台幣/年)	80,850	93,265	79,708	71,281	61,831	60,905
投資週期內每年維護成本節省(台幣/年)		12,415	1,142	9,569	19,019	19,945
廢棄處理成本						
光源廢棄頻率(次/10年)	2.5	na	na	na	na	na
投資週期內光源廢棄總量(kg)	5.3	na	na	na	na	na
光源廢棄處理成本(元/kg)	32	na	na	na	na	na
每年光源廢棄成本(台幣/年)	16.8	-	-	-	-	-
每年光源廢棄成本節省(台幣/年)		16.8	16.8	16.8	16.8	16.8
經濟效益比較						
方案總成本(台幣/投資週期)	1,436,141	2,166,221	2,032,339	1,246,883	1,054,452	968,327
回收時間(年)		35.6	24.0	6.0	5.1	3.7
其他利益二氧化碳減量(噸/年)		15.0	15.0	15.0	15.0	15.0

資料來源：本研究整理(2010)

(2) 12 米道路 LED 路燈置換水銀燈

表 4-53 為 12 米道路 LED 路燈置換水銀燈情境變數說明。

表 4-53 12 米 LED 路燈置換水銀燈情境說明

			Case1	Case2	Case3	Case4	Case5
	光源	460W 水銀燈	188W LED 燈 (註 1)	188W LED 燈 (註 1)	188W LED 燈 (註 2)	188W LED 燈 (註 2)	188W LED 燈 (註 3)
燈具條件	效率(lm/W)	34	95	95	95	95	95
	燈具單價	2000	44000	44000	19176	19176	15340
	保固期間	na	3	3	3	5	5
	保固期後 LED 光源維護率	na	24%	12%	12%	12%	12%
	其他	廢棄處理成本、電源維修頻率與成本、開關維修頻率與成本、單次維護人工及交通成本與台中市示範計畫相同					
道路條件	路面寬度	12M					
	照度設定	30~40lux					
	最小照度/平均 照度設定	>0.3					
模擬平均照度(lx)		平均：38	平均：42				
模擬最大照度(lx)		最大：47	最大：48				
模擬最小照度(lx)		最小：32	最小：34				
模擬燈桿設置條件		桿高：10 米 桿距：30 米 雙排交錯排列					
1 公里設置路燈 總盞數		66	66				
燈具配光							

註(1)2010 年台銀共同採購契約 LED 路燈等級 1 並無相同類似產品價格，經廠商詢價，平均價格約為新台幣 44,000 元

註(2)以台中市採購單價新台幣 102 元/W，188W LED 路燈價格 19,176 元

註(3)為 Case 2 價格 80%，廠商詢價預估 2011 年可能單價下跌幅度預測

資料來源：本研究整理(2010)

12 米 LED 路燈置換水銀燈情境經濟效益分析結果如表 4-54。從上述經濟分析中得知，12 米道路 LED 路燈置換水銀燈在 10 年的投資週期內，Case1、Case2、Case3、Case4 情境下，LED 路燈總成本高於水銀燈，無法回收。在 Case5 情境下，LED 路燈總成本低於水銀燈為低，但回收期高達 7.6 年。

表 4-54 12 米道路 LED 路燈置換水銀燈情境經濟分析

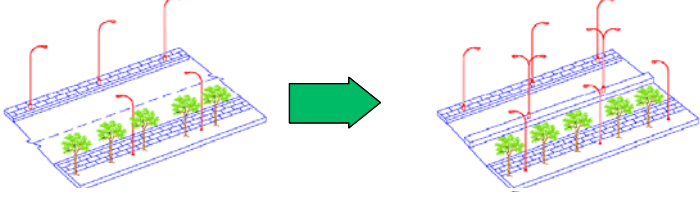
	水銀路燈	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5
A.投資方案						
投資週期	10	10	10	10	10	10
初始成本(元/盞)	2,000	40,000	40,000	19,176	19,176	15,340
設置數量	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0
總投資額(元)	132,000	2,640,000	2,640,000	1,265,616	1,265,616	1,012,440
B.電力成本						
燈具功耗(W/盞)	460	188	188	188	188	188
每年使用時間(小時)	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
耗電量(KWh/年)	1,840	752	752	752	752	752
投資週期內單盞路燈每年電力成本(台幣/年)	2,224.8	852.3	852.3	852.3	852.3	852.3
投資週期內每年電力成本(台幣/年)	146,837	56,250	56,250	56,250	56,250	56,250
投資週期內每年電力成本節省(台幣/年)		90,587	90,587	90,587	90,587	90,587
維護費用						
光源維修頻(次/10年)	2.5	24%	12%	12%	12%	12%
開關維修頻(次/10年)	5.0	3.5	3.5	3.5	3.0	3.0
電源維修頻(次/10年)	5.0	3.5	3.5	3.5	3.0	3.0
光源更換材料成本(台幣/次)	100	40,000	40,000	19,176	19,176	15,340
開關更換材料成本(台幣/次)	500	500	500	500	500	500
電源更換材料成本(台幣/次)	800	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
單次維護人工及交通成本(台幣/次)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
投資週期內單盞路燈維修成本總計(台幣)	19,250	25,590	20,670	18,171	15,921	15,461
投資週期內路燈維修成本總計(台幣)	1,270,500	1,688,940	1,364,220	1,199,294	1,050,794	1,020,413
投資週期內每年維修成本(台幣/年)	127,050	168,894	136,422	119,929	105,079	102,041
投資週期內每年維護成本節省(台幣/年)		- 41,844	32,472	7,121	21,971	25,009
廢棄處理成本						
光源廢棄頻(次/10年)	2.5	na	na	na	na	na
投資週期內光源廢棄總量(kg)	8.3	na	na	na	na	na
光源廢棄處理成本(元/kg)	32	na	na	na	na	na
每年光源廢棄成本(台幣/年)	26.4	-	-	-	-	-
每年光源廢棄成本節省(台幣/年)		26.4	26.4	26.4	26.4	26.4
經濟效益比較						
方案總成本(台幣/投資週期)	2,322,476	4,226,880	4,022,821	2,544,796	2,351,680	2,079,675
回收時間(年)		51.4	20.4	11.6	10.1	7.6
其他利益二氧化碳減量(噸/年)		44.7	44.7	44.7	44.7	44.7

資料來源：本研究整理(2010)

2. LED 路燈置換高壓鈉燈路燈

本研究以國道 2 號高速公路部分路段為比較分析案例，該示範案以 140W LED 路燈汰換 400W 的高壓鈉燈路燈。以國道 2 號 H21A 主線為例，該路段里程數為 1.67 公里，以原本之 400 W 高壓鈉燈路燈設置來看，燈桿高度 12 米，兩燈間距 56 米，採用路面兩側交錯配置之安裝方式，需求數量為 60 盞。若改為 140W LED 路燈，燈桿高度 10 米，兩燈間距 30 米，採用路面兩側及中央分隔島交錯配置之安裝方式，需求數量則為 225 盞。預設路燈使用周期為 10 年(因應燈桿壽命)，LED 路燈保固期為 3 年，相關設置情況與規範如表 4-55。

表 4-55 國道 2 號高速公路 LED 路燈設置情況與規範

設置條件		說明
設置方法	設置方法	140W LED 路燈汰換 400W 高壓鈉燈路燈
	設置數量	新設 225 盞 LED 路燈
	投資金額	新台幣 8,122,500 元
LED 路燈規格	產品標準	無
	燈具特性	無
	保固期間	3 年
道路條件	路 寬	35.2 米
	燈桿燈高	10 米
	燈桿間距	30 米以上
	燈桿設置	
	路面照度	交通工程手冊之公路照度基準 15 lux 均勻度 1/3

資料來源：本研究整理(2010)

計算 10 年間兩種不同燈具所需相關成本與整體經濟效益分析，如表 4-56 所示。

表 4-56 高公局 LED 路燈專案經濟效益分析結果

	400W 高壓鈉燈	140WLED 路燈
A. 投資方案		
投資週期	10	10
初始成本(元/盞)	7,400	36,100
設置數量	60	225
總投資額(元)	444,000	8,122,500
B. 電力成本		
燈具功耗(W/盞)	400	140
每年使用時間(小時)	4,000	4,000
耗電量(KWh/年)	1,600	560
投資週期內單盞路燈每年電力成本(台幣/年)	2,225	635
投資週期內每年電力成本(台幣/年)	133,488	142,801
投資週期內每年電力成本節省(台幣/年)	-	9,313
維護費用		
光源維修頻率(次/10年)	2.5	12%
開關維修頻率(次/10年)	5.0	3.5
電源維修頻率(次/10年)	5.0	3.5
光源更換材料成本(台幣/次)	340	36,100
開關更換材料成本(台幣/次)	500	500
電源更換材料成本(台幣/次)	800	2,000
單次維護人工及交通成本(台幣/次)	1,000	1,000
投資週期內單盞路燈維修成本總計(台幣)	19,850	20,202
投資週期內路燈維修成本總計(台幣)	1,191,000	4,545,450
投資週期內每年維修成本(台幣/年)	119,100	454,545
投資週期內每年維護成本節省(台幣/年)	-	335,445
廢棄處理成本		
光源廢棄頻率(年/次)	na	na
投資週期內光源廢棄總量(kg)	na	na
光源廢棄處理成本(元/kg)	na	na
每年光源廢棄成本(台幣/年)	na	na
每年光源廢棄成本節省(台幣/年)	na	na
經濟效益比較		
方案總成本(台幣/投資週期)	2,811,424	13,636,600
回收時間(年)		無
其他利益二氧化碳減量(噸/年)		無

資料來源：本研究整理(2010)

(1) 細項計算說明與結果分析

① 初始成本

以國道 2 號高速公路此一案例做計算，採用 140WLED 路燈置換 400W 高壓鈉氣燈路燈，每一盞燈具的在初始成本的差異為 $36,100 - 7,400 = 28,700$ 元。然而本案例採用 225 盞 140WLED 路燈置換 60 盞 400W 高壓鈉氣燈路燈，整體初始成本差異則為 $(36,100 \times 225) - (7,400 \times 60) = 8,122,500 - 444,000 = 7,678,500$ 元。

② 電力成本

電力成本採用按“公用路燈包燈適用電價表”電價 50%計收。傳統路燈：100W 以下，每燈每月 87.6 元。超出 100W，每超出 100W 每燈每月加 70.8 元。LED 路燈：每瓦每月 0.68 元。故計算後得到，400W 高壓鈉氣燈路燈每年電費為 $370.8 \times 6 = 2,224.8$ 元，140WLED 路燈每年電費為 $105.8 \times 6 = 634.8$ 元，平均每年每盞路燈可省下電費為 1,590 元。然而本案例採用 225 盞 140WLED 路燈置換 60 盞 400W 高壓鈉氣燈路燈，故整體電力費用計算後得到，60 盞 400W 高壓鈉氣燈每年電力成本為 133,488 元，而 225 盞 140WLED 路燈每年電力成本為 142,803 元，在電費上並沒有節省，反而增加 9,313 元。

③ 維護費用

路燈維護的部分，以前述台中市與高公局所提供相關維護經驗做成本變數估計。單盞高壓鈉燈的人力與車具成本分攤後約為 1,000 元，考量高壓鈉燈光源壽命後，10 年的使用期間約需更換 2.5 次，光源的 10 年期間維護費用共為 3,350 元。另外，路燈開關與電源的使用壽命約為 2 年，同樣考量耗材成本、人工成本與車具費用後，可以得到開關與電源的 10 年期間維護費用總共各為 7,500 元以及 9,000 元。合計之後可以得到 400W 高壓鈉路燈 10 間的總維護成本為 19,850 元，平均每年維護成本為 1,985 元。

單盞 140W LED 路燈的部分，由於此次示範案廠商提供之 LED 路燈保固期為 3 年，故在 10 年的使用期間，前 3 年不論是光源、開關與電源，任何損壞之耗材費用以及人力車具維護成本，皆由廠商負擔。後 7 年可能發生的維護成本，以使用壽命為 2 年的開關與電源做維護費用的計算，7 年內平均需換 3.5 次，10 年期間維護費用總共各為 5,250 元與 10,500 元。

光源的部分，參考台中市 LED 路燈損壞機率，保守估計 10 年內光源損壞機率為 12%，且須將整組燈具作一置換，故光源的維護費用為 4,452 元。將保固期內無費用發生以及保固期外開關、電源、光源損壞的情況皆考量進去後，合計可以得到單盞 LED 路燈 10 年間的總維護成本為 20,202 元，平均每年維護成本為 2,020 元。

④ 廢棄處理成本

本案例採用 LED 路燈汰換高壓鈉氣燈，無論 LED 路燈與高壓鈉燈在廢棄物處理成本上並未因含有毒物質而需額外付費，故費用為 0。

⑤ 設置效益

為滿足同一路段照度與均勻度之考量，須以 225 盞 140WLED 路燈取代 60 盞

400W 高壓鈉氣燈，不論是初始成本、電力成本與維護費用，在費用上皆高出許多。另外，從耗用電力總瓦數來看，225 盞 LED 路燈耗用之瓦數仍高出高壓鈉氣燈許多，設置效益不佳，10 年總成本達 13,611,715 元，遠高於 60 盞高壓鈉氣燈 2,811,424 元，詳如表 4-57。

回收期分析上，由於 LED 路燈在投資成本與每年使用成本上均高於高壓鈉燈，因此在 10 年投資週期內無法回收。也由於整體耗電量較高，因此亦無外部減碳效益。

表 4-57 高公局 LED 路燈專案投資週期總成本

400W高壓鈉燈	初始成本	電力成本	維護成本	總成本	折現
1	444,000	133,488	-	577,488	577,488
2		133,488	198,000	331,488	326,992
3		133,488	-	133,488	129,891
4		133,488	278,400	411,888	395,354
5		133,488	-	133,488	126,392
6		133,488	198,000	331,488	309,609
7		133,488	-	133,488	122,986
8		133,488	278,400	411,888	374,337
9		133,488	-	133,488	119,673
10		133,488	238,200	371,688	328,701
合計					2,811,424
140W LED	初始成本	電力成本	維護成本	總成本	折現
1	8,122,500	142,801		8,265,301	8,265,301
2	-	142,801		142,801	140,864
3	-	142,801		142,801	138,953
4	-	142,801	143,100	285,901	274,424
5	-	142,801	1,155,600	1,298,401	1,229,378
6	-	142,801	143,100	285,901	267,031
7	-	142,801	1,155,600	1,298,401	1,196,254
8	-	142,801	143,100	285,901	259,836
9	-	142,801	1,155,600	1,298,401	1,164,024
10	-	142,801	649,350	792,151	700,535
合計					13,636,600

資料來源：本研究整理(2010)

本案例中，LED 路燈價格係採用 2009 年價格作為依據，經濟分析結果也顯現 LED 路燈置換高壓鈉燈不具有經濟效益。由於 LED 路燈光輸出量相對高壓鈉燈低，設置數量遠高於高壓鈉燈，當 LED 路燈售價下降至現有價格 10 分之 1，在 10 年產品生命週期仍無法回收。

(2) 情境分析

本研究以國道 2 號高速公路部分路段 LED 置換高壓鈉燈示範案例，由於該計

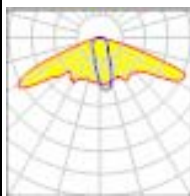
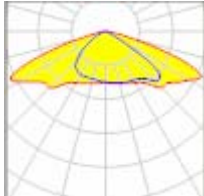
畫為 2009 年執行，LED 技術成長與價格變化快速，因此本研究以 LED 路燈產品價格、維護率、既有高壓鈉燈燈具特性、道路設置條件作為情境變數，進行模擬分析。

由於道路條件不同，LED 置換高壓鈉燈的情境也有所差異，因此本研究將分別分析，8 米道路 LED 路燈置換高壓鈉燈以及 12 米道路 LED 路燈置換高壓鈉燈之經濟效益。另外 LED 路燈整體光輸出流明量，相對高壓鈉燈為低，在 12 米道路 LED 路燈無法 1:1 置換高壓鈉燈，必須進行道路燈桿重新配置與土木工程的投资，由於道路土木工程設置成本差異極大，難以精確的估算，因此本研究在經濟效益分析時，忽略此部分成本。

(3) 8 米道路 LED 路燈置換高壓鈉燈

表 4-58 為 8 米道路 LED 路燈置換高壓鈉燈情境變數說明。

表 4-58 8 米道路 LED 路燈置換高壓鈉燈情境說明

			Case1	Case2	Case3	Case4	Case5
	光源	80W 高壓鈉燈	90W LED 燈	90W LED 燈	90W LED 燈	90W LED 燈	90W LED 燈
燈具條件	效率(lm/W)	91	95	95	95	95	95
	燈具單價	5500(1)	25,900 <small>註(2)</small>	25,900 <small>註(2)</small>	9180 <small>註(3)</small>	9180 <small>註(3)</small>	7344 <small>註(4)</small>
	保固期間	na	3	3	3	5	5
	保固期後 LED 光源維護率	na	24%	12%	12%	12%	12%
	其他	廢棄處理成本、電源維修頻率與成本、開關維修頻率與成本、單次維護人工及交通成本與台中市示範計畫相同					
道路條件	路面寬度	8M					
	照度設定	15~20 lux					
	最小照度/平均照度設定	>0.3					
模擬平均照度(lx)		平均：20	平均：18				
模擬最大照度(lx)		最大：38	最大：27				
模擬最小照度(lx)		最小：8.9	最小：11				
模擬燈桿設置條件		桿高：8 米 桿距：24 米 單排單邊排列					
1 公里設置路燈總盞數		42	42				
燈具配光							

註(1)市場詢價平均值為新台幣 5,500 元

註(2)2010 年台銀共同採購契約 LED 路燈等級 1 初始發光效率 $\geq 75\text{lm/W}$ ，功耗 ≤ 107 ，決標價格新台幣 25,900

註(3)以台中市採購單價新台幣 102 元/W，90W LED 路燈價格 9,180 元

註(4)為 Case 3 價格 80%，廠商詢價預估 2011 年可能單價下跌幅度預測

資料來源：本研究整理(2010)

8 米道路 LED 路燈置換高壓鈉燈情境經濟效益分析結果如表 4-59。從上述經濟分析中得知，8 米道路 LED 路燈置換高壓鈉燈在 10 年的投資週期內，Case1、Case2 情境下，LED 路燈總成本高於高壓鈉燈。在 Case1 情境下，LED 路燈維護

成本高於電費節省所創造的經濟效益，以致於無法回收。在 Case2 情境下，由於 LED 路燈單價高以致無法回收，Case3、Case4、Case5 情境下，LED 路燈總成本低於高壓鈉燈，特別在 Case5 情境下，LED 路燈價格與高壓鈉燈價格相近，2.8 年內 LED 路燈投資即可回收。

表 4-59 8 米道路 LED 路燈置換高壓鈉燈情境經濟分析

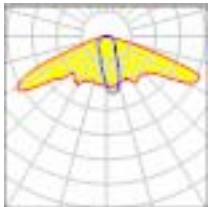
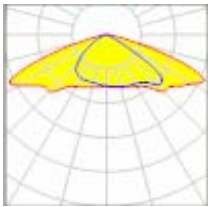
	高壓鈉燈	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5
A.投資方案						
投資週期	10	10	10	10	10	10
初始成本(元/盞)	5,500	25,900	25,900	9,180	9,180	7,344
設置數量	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0
總投資額(元)	231,000	1,087,800	1,087,800	385,560	385,560	308,448
B.電力成本						
燈具功耗(W/盞)	80	90	90	90	90	90
每年使用時間(小時)	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
耗電量(KWh/年)	320	360	360	360	360	360
投資週期內單盞路燈每年電力成本(台幣/年)	525.6	408.0	408.0	408.0	408.0	408.0
投資週期內每年電力成本(台幣/年)	22,075	17,136	17,136	17,136	17,136	17,136
投資週期內每年電力成本節省(台幣/年)		4,939	4,939	4,939	4,939	4,939
維護費用						
光源維修頻率(次/10年)	2.5	24%	12%	12%	12%	12%
開關維修頻率(次/10年)	5.0	3.5	3.5	3.5	3.0	3.0
電源維修頻率(次/10年)	5.0	3.5	3.5	3.5	3.0	3.0
光源更換材料成本(台幣/次)	340	25,900	25,900	9,180	9,180	7,344
開關更換材料成本(台幣/次)	500	500	500	500	500	500
電源更換材料成本(台幣/次)	800	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
單次維護人工及交通成本(台幣/次)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
投資週期內單盞路燈維修成本總計(台幣)	19,850	22,206	18,978	16,972	14,722	14,501
投資週期內路燈維修成本總計(台幣)	833,700	932,652	797,076	712,807	618,307	609,054
投資週期內每年維修成本(台幣/年)	83,370	93,265	79,708	71,281	61,831	60,905
投資週期內每年維護成本節省(台幣/年)		- 9,895	13,558	12,089	21,539	22,465
廢棄處理成本						
光源廢棄頻率(次/10年)	na	na	na	na	na	na
投資週期內光源廢棄總量(kg)	na	na	na	na	na	na
光源廢棄處理成本(元/kg)	na	na	na	na	na	na
每年光源廢棄成本(台幣/年)	-	-	-	-	-	-
每年光源廢棄成本節省(台幣/年)		-	-	-	-	-
經濟效益比較						
方案總成本(台幣/投資週期)	1,216,553	2,105,078	1,980,121	1,200,213	1,020,610	935,087
回收時間(年)		- 172.9	46.3	9.1	5.8	2.8
其他利益二氧化碳減量(噸/年)		- 1.07	- 1.07	- 1.07	- 1.07	9.62

資料來源：本研究整理(2010)

(4) 12 米道路 LED 路燈置換高壓鈉燈

表 4-60 為 12 米道路 LED 路燈置換高壓鈉燈情境變數說明。

表 4-60 12 米道路 LED 路燈置換高壓鈉燈情境說明

			Case1	Case2	Case3	Case4	Case5
	光源	290W 高壓鈉燈	188W LED 燈	188W LED 燈	188W LED 燈	188W LED 燈	188W LED 燈
燈具條件	效率(lm/W)	91	95	95	95	95	95
	燈具單價	5500	44,000 燈 (註 1)	44,000 燈 (註 1)	19,176 燈 (註 2)	19,176 燈 (註 2)	15,340 燈 (註 3)
	保固期間	na	3	3	3	5	5
	保固期後 LED 光源維護率	na	24%	12%	12%	12%	12%
	其他	廢棄處理成本、電源維修頻率與成本、開關維修頻率與成本、單次維護人工及交通成本與台中市示範計畫相同					
道路條件	路面寬度	12M					
	照度設定	30~40lux					
	最小照度/平均照度設定	>0.3					
模擬平均照度(lx)		平均：38	平均：42				
模擬最大照度(lx)		最大：47	最大：48				
模擬最小照度(lx)		最小：32	最小：34				
模擬燈桿設置條件		桿高：10 米 桿距：30 米 單排單邊排列	桿高：10 米 桿距：30 米 雙排交錯排列				
1 公里設置路燈總盞數		34	66				
燈具配光							

註(1)2010 年台銀共同採購契約 LED 路燈等級 1 並無相同類似產品價格，經廠商詢價，平均價格約為新台幣 44,000 元

註(2)以台中市採購單價新台幣 102 元/W，188W LED 路燈價格 19,176 元

註(3)為 Case 3 價格 80%，廠商詢價預估 2011 年可能單價下跌幅度預測

資料來源：本研究整理(2010)

12 米道路 LED 路燈置換高壓鈉燈情境經濟效益分析結果如表 4-61。從上述經濟分析中得知，12 米道路 LED 路燈置換高壓鈉燈在 10 年的投資週期內，無論在何種情境之下，LED 路燈總成本高於高壓鈉燈。且在 12 米的道路條件下，LED

路燈設置數量為高壓鈉燈 195%，以致於整體耗電量高於高壓鈉燈，再加上維修成本也較高，以致於無論在何種情境下，LED 路燈投資均無法回收。

表 4-61 12 米道路 LED 路燈置換高壓鈉燈情境經濟分析

	高壓鈉燈	Case1	Case2	Case3	case4	Case5
A.投資方案						
投資週期	10	10	10	10	10	10
初始成本(元/盞)	5,500	40,000	40,000	19,176	19,176	15,340
設置數量	34.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0
總投資額(元)	187,000	2,640,000	2,640,000	1,265,616	1,265,616	1,012,440
B.電力成本						
燈具功耗(W/盞)	290	188	188	188	188	188
每年使用時間(小時)	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
耗電量(KWh/年)	1,160	752	752	752	752	752
投資週期內單盞路燈每年電力成本(台幣/年)	1,375.2	852.3	852.3	852.3	852.3	852.3
投資週期內每年電力成本(台幣/年)	46,757	56,250	56,250	56,250	56,250	56,250
投資週期內每年電力成本節省(台幣/年)	-	9,493	9,493	9,493	9,493	9,493
維護費用						
光源維修頻率(次/10年)	2.5	24%	12%	12%	12%	12%
開關維修頻率(次/10年)	5.0	3.5	3.5	3.5	3.0	3.0
電源維修頻率(次/10年)	5.0	3.5	3.5	3.5	3.0	3.0
光源更換材料成本(台幣/次)	100	40,000	40,000	19,176	19,176	15,340
開關更換材料成本(台幣/次)	500	500	500	500	500	500
電源更換材料成本(台幣/次)	800	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
單次維護人工及交通成本(台幣/次)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
投資週期內單盞路燈維修成本總計(台幣)	19,250	25,590	20,670	18,171	15,921	15,461
投資週期內路燈維修成本總計(台幣)	654,500	1,688,940	1,364,220	1,199,294	1,050,794	1,020,413
投資週期內每年維修成本(台幣/年)	65,450	168,894	136,422	119,929	105,079	102,041
投資週期內每年維護成本節省(台幣/年)	-	103,444	32,472	54,479	39,629	36,591
廢棄處理成本						
光源廢棄頻率(次/10年)	na	na	na	na	na	na
投資週期內光源廢棄總量(kg)	na	na	na	na	na	na
光源廢棄處理成本(元/kg)	na	na	na	na	na	na
每年光源廢棄成本(台幣/年)	-	-	-	-	-	-
每年光源廢棄成本節省(台幣/年)	-	-	-	-	-	-
經濟效益比較						
方案總成本(台幣/投資週期)	1,237,953	4,720,381	4,421,096	2,894,704	2,611,468	2,330,675
回收時間(年)	-	na	na	na	na	na
其他利益二氧化碳減量(噸/年)	-	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5

資料來源：本研究整理(2010)

3. LED 隧道燈汰換高壓鈉燈隧道燈

目前隧道基本照明燈具的主流仍是水銀燈具，價格便宜為水銀燈具在隧道照明被普遍使用的主要因素；但其壽命短、發光效率差和耗電為其被人詬病之處，故目前許多隧道已改用鈉燈做照明使用。

本研究採用之隧道燈範例係參考台中市預計執行案例。台中市忠明南路地下道由於原有之隧道燈亮度過亮，耗費過高電費，故計畫以 500 盞 100W LED 隧道燈取代既有 400 盞 150W 鈉燈及 200 盞 250W 鈉燈隧道燈，隧道燈燈具間距由 6 米改為 9 米，燈具採用後照式設計，不得產生眩光，刺眼之情形，而照明設計則須符合市區道路及附屬工程設計規範，該計畫相關設置條件如表 4-62。

表 4-62 台中市忠明南路地下道 LED 隧道燈設置條件

設置條件		說 明
設置方法	設置方法	500 盞 100W LED 路燈取代 600 盞高壓鈉燈(其中包含 400 盞 150W 高壓鈉燈，200 盞 250W 高壓鈉燈)，置換光源
	設置數量	500 盞 100W LED 路燈取代 600 盞高壓鈉燈
	投資金額	以台中市 LED 路燈標案價格 100W 新台幣 10,193 元
LED 路燈規格	產品標準	無
	燈具特性	不得有嚴重眩光情形(目測方式) 防塵係數 IP 66~67 燈具系統總發光效率每瓦至少 45 流明以上，其中燈具共可發出至少 4,500 流明以上。 光衰量自驗收合格日起 1 年不得大於 10%，自驗收合格日起 3 年不得大於 20%等照明燈具規範
	保固期間	3 年
道路條件	路寬	10 米三車道
	燈桿燈高	6 米
	燈桿間距	間距由 6 米改為 9 米
	燈桿設置	雙邊排列(規劃在中間路段減盞)
	路面照度	須符合市區道路及附屬工程設計規範

資料來源：本研究整理(2010)

計算 10 年間兩種不同燈具所需相關成本與整體經濟效益分析，如表 4-63 所示。

表 4-63 台中市 LED 隧道燈專案經濟效益分析結果

	高壓鈉燈(600 盞)	LED路燈(500 盞)
A. 投資方案		
投資週期	10	10
初始成本(元/盞)	6,000	10,193
設置數量	600	500
總投資額(元)	3,600,000	5,096,500
B. 電力成本		
燈具功耗(W/盞)	183	100
每年使用時間(小時)	8,700	8,700
耗電量(KWh/年)	1,595	870
投資週期內單盞隧道燈每年電力成本(台幣/年)	1,200.0	453.3
投資週期內每年電力成本(台幣/年)	720,000	226,665
投資週期內每年電力成本節省(台幣/年)		493,335
維護費用		
光源維修頻(次/十年)	2.5	12%
開關維修頻率(次/十年)	5.0	3.5
電源維修頻率(次/十年)	5.0	3.5
光源更換材料成本(台幣/次)	100	10,193
開關更換材料成本(台幣/次)	500	500
電源更換材料成本(台幣/次)	800	2,000
單次維護人工及交通成本(台幣/次)	1,000	1,000
投資週期內單盞隧道燈維修成本總計(台幣)	19,250	17,093
投資週期內隧道燈維修成本總計(台幣)	11,550,000	8,546,580
投資週期內每年維修成本(台幣/年)	1,155,000	854,658
投資週期內每年維護成本節省(台幣/年)		300,342
廢棄處理成本		
光源廢棄頻率(年/次)	na	na
投資週期內光源廢棄總量(kg)	na	na
光源廢棄處理成本(元/kg)	na	na
每年光源廢棄成本(台幣/年)	na	na
每年光源廢棄成本節省(台幣/年)		na
經濟效益比較		
方案總成本(台幣/投資週期)	22,227,258	15,821,103
回收時間(年)		1.9
其他利益二氧化碳減量(噸/年)		325

資料來源：本研究整理(2010)

(1) 細項計算說明與結果分析

① 初始成本

本案例採用台中市政府養護處提供之數據資料，採用 100W LED 隧道燈置換 250W 及 150W 高壓鈉燈隧道燈，100W LED 隧道燈價格係以 LED 路燈專案標案單價新台幣 10,193 元估計，每一盞燈具的在初始成本的差異為 $10,193 - 6,000 = 4,193$ 元。

② 電力成本

電力成本採用按“公用路燈包燈適用電價表”電價 50%計收。傳統路燈：100W 以下，每燈每月 87.6 元。超出 100W，每超出 100W 每燈每月加 70.8 元。LED 路燈：每瓦每月 0.68 元。故計算後得到，250W 鈉燈隧道燈每年電費為 1,375.2 元，150W 高壓鈉燈為 950.4 元，100W LED 路燈每年電費為 453.33 元，由於本專案分別使用 150W 及 250W 高壓鈉燈，經平均後每盞每年電力成本為 1,200 元，從總盞數耗費電力成本做比較，平均每年可省下總電費為 493,335 元。

③ 維護費用

本專案雖使用 150W 及 250W 兩種燈具，但經訪談 Osram 等燈具供應商後，其表示兩種燈具相關維護成本與替換時間並無差異，因此將其合併一起考量。

單盞高壓鈉隧道燈路燈之維護費用為：平均單顆高壓鈉燈的人力與車具成本分攤後約為 1,000 元，考量高壓鈉燈光源壽命後，10 年的使用期間約需更換 2.5 次，光源的 10 年期間維護費用共為 2,750 元。另外，路燈開關與電源的使用壽命約為 2 年，同樣考量耗材成本、人工成本與車具費用後，可以得到開關與電源的 10 年期間維護費用總共各為 7,500 元以及 9,000 元。合計之後可以得到高壓鈉燈隧道燈 10 年間的總維護成本為 19,250 元，平均每年維護成本為 1,925 元。

單盞 100W 隧道燈的部分，沿用台中市 LED 路燈示範案的相關成本資料，LED 隧道燈保固期為 3 年，故在 10 年的使用期間，前 3 年不論是光源、開關與電源，任何損壞之耗材費用以及人力車具維護成本，皆由廠商負擔。後 7 年可能發生的維護成本，以使用壽命為 2 年的開關跟電源做維護費用的計算，7 年內平均需換 3.5 次，10 年期間維護費用總共各為 5,250 元與 10,500 元。

光源的部分，保守估計 10 年內光源損壞機率為 12%，且須將整組燈具作一置換，故光源的維護費用為 1,343 元。將保固期內無費用發生以及保固期外開關、電源、光源損壞的情況皆考量進去後，合計可以得到 10 年間的總維護成本為 17,093 元，平均每年維護成本為 1709 元。

④ 廢棄處理成本

本案例採用 LED 隧道燈汰換鈉燈隧道燈，在廢棄物處理成本上並未因含有毒物質而需額外付費，故費用為 0。

⑤ 設置效益

LED 隧道燈與高壓鈉隧道燈於 10 年投資週期內，初始成本及每年費用，及將相關費用轉換為現值，詳如表所示。由表中資料之成本與費用資料，台中市 LED

隧道燈取代高壓鈉隧道燈，在 10 年投資週期內，成本較原有設置高壓鈉隧道燈為低，詳如表 4-64。

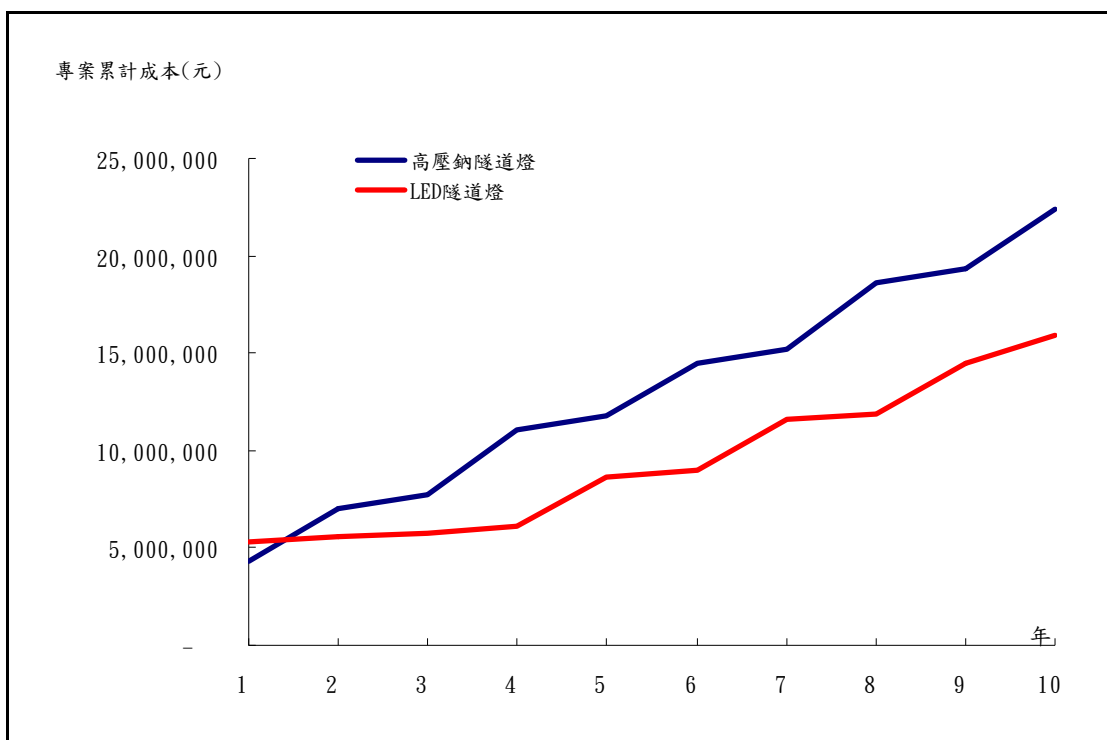
表 4-64 台中市 LED 隧道燈專案投資週期總成本

250W鈉燈隧道燈					
年度	初始成本	電力	維護	總成本	折現
1	3,600,000	720,000	-	4,320,000	4,320,000
2		720,000	1,980,000	2,700,000	2,696,293
3		720,000	-	720,000	718,024
4		720,000	2,640,960	3,360,960	3,347,134
5		720,000	-	720,000	716,054
6		720,000	1,980,000	2,700,000	2,681,514
7		720,000	-	720,000	714,088
8		720,000	2,640,960	3,360,960	3,328,788
9		720,000	-	720,000	712,129
10		720,000	2,310,480	3,030,480	2,993,234
合計					22,227,258
100WLED隧道燈					
年度	初始成本	電力	維護	總成本	折現
1	5,096,500	226,665	-	5,323,165	5,323,165
2		226,665	-	226,665	226,354
3		226,665	-	226,665	226,043
4		226,665	95,950	322,615	321,288
5		226,665	2,345,950	2,572,615	2,558,514
6		226,665	95,950	322,615	320,406
7		226,665	2,345,950	2,572,615	2,551,493
8		226,665	95,950	322,615	319,527
9		226,665	2,345,950	2,572,615	2,544,491
10		226,665	1,220,950	1,447,615	1,429,823
合計					15,821,103

資料來源：本研究整理(2010)

以台中市投資專案回收時間分析，採取 LED 路燈相對於傳統水銀燈增加投資額達 1,496,500 元，每年節省費用(電力成本、維修成本及廢棄物處理成本)為 793,677 元，計算出回收年限為 1.9 年。

分析 LED 隧道燈與高壓鈉隧道燈在投資週期內累計成本，詳如圖 4-87。



資料來源：本研究整理(2010)

圖 4-87 台中市 LED 隧道燈與高壓鈉隧道燈累計成本變化

社會效益部分，依照台灣電力公司所提供之 97 年度我國 CO₂ 電力排放係數，每使用 1 度電即產生 0.636 公斤之二氧化碳來做計算，本示範案例中，以每年使用 8,700 小時(隧道燈 24 小時均需點亮)，及上述 CO₂ 電力排放係數進行計算，每年可減少 325 噸的二氧化碳排放量。

本專案採用台中市 LED 路燈標案價格，進行經濟效益分析，由於 LED 路燈價格相當具有競爭力，因此計畫出來的回收時間相當短，但考量本專案採購數量遠低於，LED 路燈採購數量，因此若將 LED 隧道燈的價格分別提升 10%與 20%，在其他項目變數不變條件下，LED 路燈回收期將提升至 3 年左右，如表 4-65。

表 4-65 台中市忠明南路 LED 隧道燈專案敏感度分析

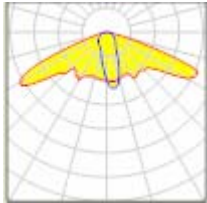
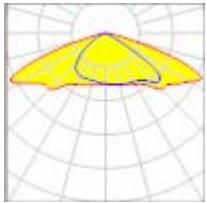
LED 隧道燈單價(元)	回收時間(年)
10,193	1.9
11,212	2.5
12,232	3.2

資料來源：本研究整理(2010)

(2) 情境分析

台中市隧道燈更換專案，由於既有道路照明品質過高，以致於置換 LED 隧道燈後經濟效益相當高。但由於在不同的基礎下進行比較，導致經濟效益分析結果失真。為解決此一問題，本研究針對台中市隧道燈的設置環境進行研究模擬，分析在既有環境條件下，以滿足隧道照明規範為前提，高壓鈉隧道燈與 LED 隧道燈所需設置數量與燈具瓦數，然後再進行經濟分析。

表 4-66 台中市忠明南路地下道 LED 隧道燈設置情境說明

設置條件		Case 2	
設置方法	設置方法	500 盞 90W LED 路燈取代 500 盞 75W 高壓鈉燈。	
	設置數量	500 盞 90W LED 路燈取代 500 盞 75W 高壓鈉燈。	
	投資金額	以台中市 LED 路燈標案價格 100W 新台幣 10,193 元	
LED 路燈規格	產品標準	無	
	燈具特性	<ul style="list-style-type: none"> ■ 不得有嚴重眩光情形(目測方式) ■ 防塵係數 IP 66~67 ■ 燈具系統總發光效率每瓦至少 45 流明以上，其中燈具共可發出至少 4,500 流明以上。 ■ 光衰量自驗收合格日起 1 年不得大於 10%，自驗收合格日起 3 年不得大於 20%等照明燈具規範 	
	保固期間	3 年	
	道路條件	路寬 10 米三車道 燈桿燈高 6 米 燈桿間距 隧道燈間距為 9 米 燈桿設置 雙邊排列 路面照度 須符合市區道路及附屬工程設計規範（內政部市區道路及附屬工程設計規範第十九章，速限 80km 隧道，亮度需達 4.5 cd/m ² ，輝度與照度換算係數為 16），照度設定為 72 lux 以上，100 lux 以下。	
照度模擬		更換前	更換後
	平均(lx)	98	90
	最大(lx)	125	98
	最小(lx)	79	78
	最小/平均	0.797	0.874
	燈具配光		

資料來源：本研究整理(2010)

表 4-67 為台中市忠明南路地下道 LED 隧道燈設置情境經濟分析之結果，從上述經濟分析中得知，在既有隧道燈進行減量後，並將 LED 隧道燈與高壓鈉燈進行情境模擬比較後發現，由於高壓鈉燈的高光輸出與低成本，使用 LED 隧道燈置換高壓鈉燈不具有成本效益，在十年投資週期內無法回收。

表 4-67 台中市忠明南路地下道 LED 隧道燈設置情境經濟分析

	情境分析	
	高壓鈉燈(500 盞)	LED路燈(500 盞)
A. 投資方案		
投資週期	10	10
初始成本(元/盞)	6,000	10,193
設置數量	500	500
總投資額(元)	3,000,000	5,096,500
B. 電力成本		
燈具功耗(W/盞)	75	90
每年使用時間(小時)	8,700	8,700
耗電量(KWh/年)	653	783
投資週期內單盞隧道燈每年電力成本(台幣/年)	525.6	408.0
投資週期內每年電力成本(台幣/年)	262,800	204,000
投資週期內每年電力成本節省(台幣/年)		58,800
維護費用		
光源維修頻率(次/十年)	2.5	12%
開關維修頻率(次/十年)	5.0	3.5
電源維修頻率(次/十年)	5.0	3.5
光源更換材料成本(台幣/次)	100	10,193
開關更換材料成本(台幣/次)	500	500
電源更換材料成本(台幣/次)	800	2,000
單次維護人工及交通成本(台幣/次)	1,000	1,000
投資週期內單盞隧道燈維修成本總計(台幣)	19,250	17,093
投資週期內隧道燈維修成本總計(台幣)	9,625,000	8,546,580
投資週期內每年維修成本(台幣/年)	962,500	854,658
投資週期內每年維護成本節省(台幣/年)		107,842
廢棄處理成本		
光源廢棄頻率(年/次)	na	na
投資週期內光源廢棄總量(kg)	na	na
光源廢棄處理成本(元/kg)	na	na
每年光源廢棄成本(台幣/年)	na	na
每年光源廢棄成本節省(台幣/年)		na
經濟效益比較		
方案總成本(台幣/投資週期)	15,169,490	15,595,849
回收時間(年)		12.6
其他利益二氧化碳減量(噸/年)	-	41

資料來源：本研究整理(2010)

4. LED 指示標誌置換複金屬燈指示標誌

標誌用以預告或管制前方路況，促使車輛駕駛人與行人注意、遵守之交通管制設施。而標誌照明在交通工程設施種類中列屬於「道路照明」，分為內部照明式與外部照明式兩種。本研究以豐原大道上 LED 指示標誌專案為例，進行經濟效益評估分析。

本案例設置條件，以 15W LED 指示標誌取代 500W 複金屬燈指示。共 16 面。桿高無限制，標誌尺寸為 550CM×350CM。LED 指示標誌，同一牌面內色溫差異不得大於 500K，而 LED 光源組成指示標誌，參考輝度如表 4-68 所示，整體設置條件如表 4-69。

表 4-68 光源組合式 LED 指示標誌輝度規範

單位：cd/m²

	機械軸上		水平角 10°		水平角 20°		水平角 30°	
	市區道路	高速公路或快速道路	市區道路	高速公路或快速道路	市區道路	高速公路或快速道路	市區道路	高速公路或快速道路
機械軸上	1,000~2000	600~1,200	405~810	243~486	10~20	6~12	--	--
俯角 5°	500~1,000	300~600	203~406	122~244	85~170	51~102	68~136	41~82
俯角 10°	125~250	75~150	83~166	50~100	63~126	38~76	45~90	27~54
俯角 20°	15~30	9~18	15~30	9~18	10~20	6~12	10~20	6~12

資料來源：工研院綠能所(2010)

表 4-69 台中縣豐原大道 LED 指示標誌設置條件

設置條件		說明
設置方法	設置方法	在原設置標示牌上裝設附著式 LED 指示標誌
	設置數量	置換 16 面道路指示標誌
	投資金額	新台幣 2,400,000 元
LED 標示牌規格	產品標準	無
	產品特性	標誌牌面 240cmx180 cm，需符合 IP65 等級，且標誌使用之 LED 光束角>60 度，整面標誌消耗功率<15W
	保固期間	2 年

資料來源：本研究整理(2010)

豐原大道上 LED 指示標誌專案，經濟效益評估分析結果如表 4-70。

表 4-70 豐原大道 LED 指示標誌專案經濟效益分析結果

	500W 複金屬燈指示標誌	LED指示標誌
投資方案		
投資週期	10	10
初始成本(元/盞)	30,000	150,000
設置數量	16.0	16.0
總投資額(元)	480,000	2,400,000
電力成本		
燈具功耗(W/盞)	500	15
每年使用時間(小時)	4,000	4,000
耗電量(KWh/年)	2,000	60
投資週期內單盞燈具每年電力成本(台幣/盞)	5,913.0	177.0
投資週期內每年電力成本(台幣/年)	94,608	2,832
投資週期內每年電力成本節省(台幣/年)		91,776
維護費用		
光源維修頻(次)	2.5	2.0
開關維修頻率(次)	5.0	4.0
電源維修頻率(年/次)	5.0	4.0
光源更換材料成本(次)	10,000	3,000
開關更換材料成本(台幣/次)	500	500
電源更換材料成本(台幣/次)	700	2,000
單次維護人工及交通成本(台幣/次)	20,000	20,000
投資週期內單盞燈具維修成本總計(台幣)	281,000	216,000
投資週期內燈具維修成本總計(台幣)	4,496,000	3,456,000
投資週期內每年維修成本(台幣/年)	449,600	345,600
投資週期內每年維護成本節省(台幣/年)		104,000
廢棄處理成本		
光源廢棄頻率(年/次)	na	na
投資週期內光源廢棄總量(kg)	na	na
光源廢棄處理成本(元/kg)	na	na
每年光源廢棄成本(台幣/年)	na	na
每年光源廢棄成本節省(台幣/年)		na
經濟效益比較		
方案總成本(台幣/投資週期)	4,441,560	4,413,240
回收時間(年)		9.81
其他利益二氧化碳減量(噸/年)		19

資料來源：本研究整理(2010)

(1) 細項計算說明與結果分析

① 初始成本

以台中市豐原大道此一實際案例做計算，採用 15W LED 指示標誌置換 500W 複金屬燈指示標誌，每一面標誌在初始成本的差異為 150,000-30,000=120,000 元。就整體專案來看，16 面指示標誌的總差異成本為 1,920,000 元。

② 電力成本

電力成本採用台灣電力公司公佈之計價方式計算，15W LED 指示標誌每年電費為 177 元，而 500W 複金屬燈指示標誌則需要 5,913 元，每年節省電費高達 5,736 元。

③ 維護費用

1,000W 複金屬燈指示標誌的部分，以過去正常使用情況下光源置換的維護經驗做估計，平均單顆光源的人力與車具成本分攤後約為 20,000 元，考量光源壽命後，10 年的使用期間約需更換 2.5 次，光源的 10 年期間維護費用共為 75,000 元。另外，開關與電源的使用壽命約為 2 年，同樣考量耗材成本、人工成本與車具費用後，可以得到開關與電源的 10 年期間維護費用總共各為 102,500 元以及 103,500 元。合計之後可以得到 500W 複金屬燈指示標誌 10 年間的總維護成本為 281,000 元。

LED 指示標誌的部分，由於此次示範案廠商提供之 LED 路燈保固期為 2 年，故在 10 年的使用期間，前 2 年不論是光源、開關與電源，任何損壞之耗材費用以及人力車具維護成本，皆由廠商負擔。後 8 年可能發生的維護成本，以使用壽命為 2 年的開關跟電源做維護費用的計算，8 年內平均需換 4 次，10 年期間維護費用總共各為 82,000 元與 88,000 元。光源的部分，使用壽命為 4 年，8 年內平均需換 2 次，10 年期間維護費用總共各為 46,000 元。

將保固期內無費用發生以及保固期外開關、電源、光源損壞的情況皆考量進去後，合計可以得到 10 年間的總維護成本為 216,000 元。

④ 廢棄處理成本

廢棄處理成本的部分，由於兩種節能設施產品皆未含有有毒物質，廢氣處理成本為 0。

⑤ 設置效益

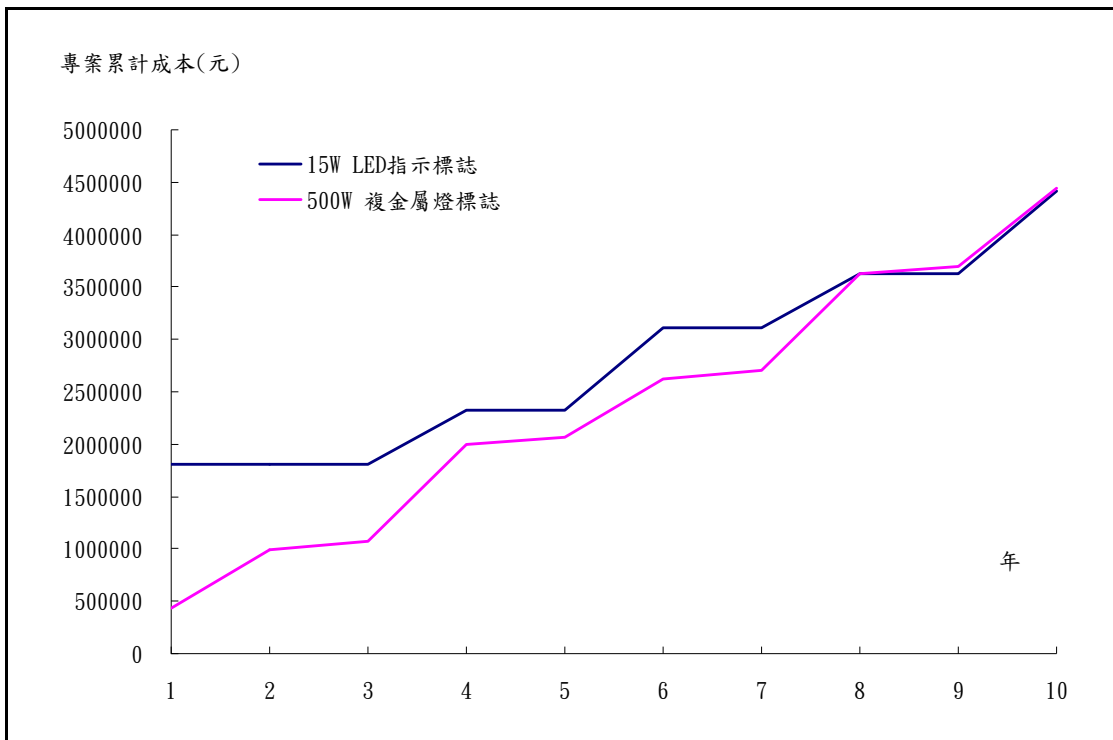
LED 指示標誌與複金屬燈指示標誌於 10 年投資週期內，初始成本及每年費用，及將相關費用轉換為現值，詳如表 4-71 所示。由表中資料之成本與費用資料，在 10 年的投資週期內，LED 指示標誌總成本低於高壓鈉燈總成本。

表 4-71 台中豐原大道 LED 指示標誌專案投資週期總成本

年度	初始成本	電力	維護	總成本	折現
1	360,000	70,956	-	430,956	430,956
2		70,956	494,400	565,356	564,580
3		70,956	-	70,956	70,761
4		70,956	854,400	925,356	921,549
5		70,956	-	70,956	70,567
6		70,956	494,400	565,356	561,485
7		70,956	-	70,956	70,373
8		70,956	854,400	925,356	916,498
9		70,956	-	70,956	70,180
10		70,956	674,400	745,356	736,195
合計					4,413,146
15WLED標示牌					
年度	初始成本	電力	維護	總成本	折現
1	1,800,000	2,124	-	1,802,124	1,802,124
2		2,124	-	2,124	2,121
3		2,124	-	2,124	2,118
4		2,124	510,000	512,124	510,017
5		2,124	-	2,124	2,112
6		2,124	786,000	788,124	782,728
7		2,124	-	2,124	2,107
8		2,124	510,000	512,124	507,222
9		2,124	-	2,124	2,101
10		2,124	786,000	788,124	778,438
合計					4,391,088

資料來源：本研究整理(2010)

以豐原市投資專案回收時間分析，採取 LED 指示標誌相對於傳統與複金屬燈誌牌增加投資額達 1,920,000 元，每年節省費用(電力成本、維修成本及廢棄物處理成本)為 195,776 元，計算出回收年限為 9.8 年，專案累計成本變化如圖 4-88。



資料來源：本研究整理(2010)

圖 4-88 豐原市 LED 指示標誌累計成本變化

社會效益部份，依照台灣電力公司所提供之 97 年度我國 CO₂ 電力排放係數，每使用 1 度電即產生 0.636 公斤之二氧化碳來做計算，本示範案例中，採用 LED 指示標誌每單面耗電量減少 485 瓦，16 面耗電量總共減少 7,760 瓦，以每年使用 4,000 小時作計算，每年將可節省 31,040 度電力使用，採用上述 CO₂ 電力排放係數進行計算，每年可減少 19.7 噸的二氧化碳排放量。

考量 LED 技術持續進步、價格持續下跌的趨勢，如將案例中 LED 指示標誌價格調降 20% 及 40%，其他項目變數不變的條件下，當 LED 指示標誌價格下降 40% 達 90,000 元，LED 路燈回收期可大幅降低至 4.5 年，如表 4-72。

表 4-72 台中縣豐原大道 LED 指示標誌專案敏感度分析

LED 指示標誌單價(元)	回收時間(年)
150,000	9.8
120,000	7.4
90,000	4.9

資料來源：本研究整理(2010)

(2) 情境分析

指示標誌牌主要應用情境在於應用場域不同所造成指示牌尺寸的差異，而不同的指示牌尺寸，在指示牌的成本、外部光源使用功率數也有所差異，目前中大型指示標誌主要以省道與高速公路為應用場域，因此本研究以高速公路及省道所使用之不同指示牌尺寸，進行情境分析，主要情境變數為指示標誌應用尺寸、產品單價、外部光源使用功率數，相關情境變數說明如表 4-73 所示。

表 4-73 LED 指示標誌置換高壓鈉燈外部照明標誌情境說明

設置條件		說 明			
		Case 1		Case 2	
		LED 指示標誌	指示標誌	LED 指示標誌	指示標誌
設置方法	設置地點	快速道路		高速公路	
	設置方法	在原設置標示牌上裝設附著式 LED 指示標誌	500W 高壓鈉燈外部照明	在原設置標示牌上裝設附著式 LED 指示標誌	1000W 高壓鈉燈外部照明
	設置數量	置換 1 面道路指示標誌	置換 1 面道路指示標誌	置換 1 面道路指示標誌	置換 1 面道路指示標誌
	單價	150,000 ^{註(1)}	30000	200,000	60000 ^{註(1)}
LED 標示牌規格	產品標準	無	無	無	無
	產品特性	標誌牌面 240cm×180cm，需符合 IP65 等級，且標誌使用之 LED 光束角>60 度，整面標誌消耗功率 15W	反光式標誌，使用 2 盞 250W 高壓鈉燈為外部照明	標誌牌面 550cm×350cm，需符合 IP65 等級，且標誌使用之 LED 光束角>60 度，整面標誌消耗功率 20W	反光式標誌，使用 4 盞 250W 高壓鈉燈為外部照明
	保固期間	3 年		3	
	維修成本	維修材料成本與維修人工及車具成本採用台中縣豐原大道專案之成本			

註：(1)市場詢價平均值

資料來源：本研究整理(2010)

LED 指示標誌置換高壓鈉燈外部照明標誌情境經濟分析如表 4-74 所示。LED 指示標誌應用在高速公路時，由於既有指示標誌耗能高，以致於在經濟效益評估上，相對應用於快速道路具有經濟效益，回收時間由 9.3 年降低至 7.5 年。

表 4-74 LED 指示標誌置換高壓鈉燈外部照明標誌情境經濟分析

	500W 複金屬燈指示標誌	LED指示標誌	1000W 複金屬燈指示標誌	LED指示標誌
投資方案				
投資週期	10	10	10	10
初始成本(元/盞)	30,000	150,000	60,000	200,000
設置數量	1.0	1.0	1.0	1.0
總投資額(元)	30,000	150,000	60,000	200,000
電力成本				
燈具功耗(W/盞)	500	15	1,000	20
每年使用時間(小時)	4,000	4,000	4,000	4,000
耗電量(KWh/年)	2,000	60	4,000	80
投資週期內單盞燈具每年電力成本(台幣/年)	5,913.0	177.0	11,862.0	236.0
投資週期內每年電力成本(台幣/年)	5,913	177	11,862	236
投資週期內每年電力成本節省(台幣/年)		5,736		11,626
維護費用				
光源維修頻率(次/十年)	2.5	1.8	2.5	1.8
開關維修頻率(次/十年)	5.0	4.0	5.0	4.0
電源維修頻率(次/十年)	5.0	4.0	5.0	4.0
光源更換材料成本(次)	10,000	3,000	10,000	3,000
開關更換材料成本(台幣/次)	500	500	500	500
電源更換材料成本(台幣/次)	700	2,000	700	2,000
單次維護人工及交通成本(台幣/次)	20,000	20,000	20,000	20,000
投資週期內單盞燈具維修成本總計(台幣)	281,000	210,250	281,000	210,250
投資週期內燈具維修成本總計(台幣)	281,000	210,250	281,000	210,250
投資週期內每年維修成本(台幣/年)	28,100	21,025	28,100	21,025
投資週期內每年維護成本節省(台幣/年)		7,075		7,075
廢棄處理成本				
光源廢棄頻率(年/次)	na	na	na	na
投資週期內光源廢棄總量(kg)	na	na	na	na
光源廢棄處理成本(元/kg)	na	na	na	na
每年光源廢棄成本(台幣/年)	na	na	na	na
每年光源廢棄成本節省(台幣/年)		na	na	na
經濟效益比較				
方案總成本(台幣/投資週期)	370,130	339,020	456,886	337,402
回收時間(年)		9.37		7.49
其他利益二氧化碳減量(噸/年)		1.2		2.4

資料來源：本研究整理(2010)

4.4.4 小結

在蒐集各國文獻以及經濟效益評估案例後，本研究提出經濟效益評估方式，並以國內示範案例進行比較分析，探討路燈、隧道燈與指示標誌三種節能設施在採用 LED 新興光源作汰換時，其整體產品生命週期中可能產生之所有成本為何，從量化與質化角度探討成本效益與社會效益。

1. 以淨現值法及回收期法評估新型道路設施經濟效益

新型道路設施之初始成本、每年電費以及維護成本發生在不同時間點，直接進行比較並不合理，為使得比較有同一基準且較合理，採用淨現值法進行比較在經濟效益評估分析。另外採取還本期法評估新型道路設施回收期間。

2. 除置換高壓鈉路燈外，新型 LED 道路照明燈具多數均符合經濟效益

從上述四個案例中可以看到，除了 LED 路燈汰換高壓鈉燈外，在 10 年投資期內，新型 LED 道路照明燈具總成本均低於傳統燈具，顯示若使用新型 LED 道路照明燈具置換傳統燈具，均具有經濟效益。

高壓鈉燈路燈由於總光輸出量大，再加上產品單價便宜，無廢棄成本，LED 路燈在電力支出與維修支出均高於高壓鈉燈路燈，再加上高額期初成本難達損益兩平。以高公局於高速公路上的案例分析，由於汰換條件限制下，LED 需求盞數高達 225 盞，致使其總體成本過高，並不適合作為汰換案例之考量，即使納入 LED 產品價格下降之敏感度分析，仍無法達損益兩平。因此 LED 路燈目前尚不具與高壓鈉燈路燈競爭條件，除非 LED 路燈在光輸出表現大幅成長以及價格有大幅降低情形，目前仍不適合以 LED 路燈直接替換。

3. LED 路燈高額維修成本，對於回收期限有負面影響

一般對於新型 LED 道路照明產品認知為產品壽命長，以致於維修成本低，但從實際案例中發現，新型 LED 道路照明產品壽命並不如想像中的長，以致於無法藉低維修成本而攤平期初高額投資。

由於國內外推動 LED 路燈時間尚短，台中市 LED 路燈專案已是相對具規模且運行時間長之專案，該專案尚保固期間，對於後續維修成本仍無法清楚的估算，但以目前的維修資料，損壞率已達 6~7%。以研究以此資料推估保固其後的為損壞率為 12%，進行台中市專案的經濟效益，發現由於 LED 路燈設置要求 3 年保固期，其在投資第四年累計成本低於水銀路燈，但第五年後相關維護成本產生，LED 路燈累計成本回升高於水銀燈，一直到第八年後，LED 路燈累計成本持續低於水銀燈。可見 LED 路燈維護成本對投資回收的影響。

囿於 LED 路燈發展時間尚短，目前無法完整且詳實估計 LED 路燈實際的壽命與維護率，但從既有的示範案例及經濟效益分析結果，若 LED 路燈維護率不佳，將對 LED 路燈設置效益有極大負面衝擊。未來，各級政府再導入 LED 路燈時，必須特別注意到潛在高額維修成本，方能達到預期節能減碳效果。

4. 8 米以下 LED 路燈置換水銀燈是短期內最具發展空間產品

表 4-75 為各類新型耗能交通設施各種情境下投資回收期間，從表中資料顯示，以 2010 年台銀共同採購契約之 LED 路燈單價為基準的悲觀情境，在 8 米與 12 米道路中 LED 路燈置換既有光源(水銀燈/高壓鈉燈)，在 10 年投資週期內均無法回收，若能將產品單價大幅度下滑至台中市 LED 路燈專案單價，在 6 年左右即可回收。也就是說若 LED 路燈設置量可以達到萬盞左右規模，降低採購成本，LED

路燈於 8 米以下道路取代水銀燈是具有經濟效益，若能進一步降低單價與提高保固時間至 5 年，LED 路燈經濟效益更明顯。同樣的，在相同條件下，LED 路燈置換高壓鈉燈也具有顯著經濟效益。

由於高壓鈉燈的高光效與高光通量輸出，因此使用 LED 隧道燈取代高壓鈉燈是不具有經濟效益，除非 LED 隧道燈價格下跌 20%。不過 LED 隧道燈具有高演色性與控光特性，進行既有隧道燈改良，則可創造出更佳效益。不過隧道燈設置場域部分均在山區，有霧氣的問題。目前低色溫高發光效率之 LED 隧道燈產品尚不成熟，因此建議待該產品開發完成後，再思考全面置換的問題。

表 4-75 新型耗能交通設施各種情境下投資回收期間

置換條件	情 境				
	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5
8 米道路，LED 置換水銀燈	10 年投資週期 無法回收	10 年投資週期 無法回收	6 年	5.1 年	3.7 年
12 米道路，LED 置換水銀燈	10 年投資週期 無法回收	10 年投資週期 無法回收	10 年投資週期 無法回收	10 年投資週期 無法回收	7.6 年
8 米道路，LED 置換高壓鈉燈	10 年投資週期 無法回收	10 年投資週期 無法回收	9.1 年	5.8 年	2.8 年
12 米道路，LED 置換高壓鈉燈	10 年投資週期 無法回收	10 年投資週期 無法回收	10 年投資週期 無法回收	10 年投資週期 無法回收	10 年投資週期 無法回收
LED 隧道燈取代 高壓鈉隧道燈	5.4 年	10 年投資週期 無法回收			
LED 指示標誌	9.3 年 (快速道路)	7.4 年 (高速公路)			

資料來源：本研究整理(2010)

綜合以上的分析，8 米道路 LED 路燈取代水銀燈及是短期內馬上可以投入。12 米道路 LED 路燈置換水銀燈、8 米道路 LED 路燈置換高壓鈉燈、高速公路指示標誌是中期可以投入方向。

第五章 新型道路交通設施人因工程研究

5.1 名詞解釋

1. 桿狀細胞(Rod)：桿狀細胞感應波長從 400nm 到 610nm，為暗視覺(Scotopic vision)之表現，細胞分佈則避開中央窩，負責感測周遭視野的光線。
2. 錐狀細胞(Cone)：錐狀細胞為色彩感光細胞，感應波長 450nm 到 675nm 的光，並且對波長 555nm 的光有最高的敏感度，分佈多集中於視覺中央窩。
3. 明視覺(photopic vision)：當適應亮度大於大約 $3\sim 10\text{ cd/m}^2$ 時，錐狀細胞最活躍，這時的視覺狀態我們稱之為明視覺。
4. 暗視覺(scotopic vision)：在小於 $0.01\sim 0.003\text{ cd/m}^2$ 的適應亮度下，僅有桿狀細胞活躍，我們稱其為暗視覺。
5. 中間視覺(mesopic vision)：環境亮度介於明視覺與暗視覺兩者之間時，則稱為中間視覺，這時錐狀細胞和柱狀細胞同時會作用，
6. 演色性 CRI (color rendering index)：照明光學上以待測光源照射有色彩的物體時，其色彩與太陽光下所看見之色彩相同程度，即稱為光源之演色性，演色性越高，表示色彩越逼真。
7. 色溫(color temperature)：光學上將一個能夠完全吸收入射能之標準黑體加熱，溫度升高時，本體顏色將隨之變化，若光源顏色與黑體在某一絕對溫度所輻射出的光色相同時，即以當時的溫度稱為光源之色溫度，並以絕對溫度 K(Kelvin) 表示。
8. 光譜光效函數 $v(\lambda)$ ：人眼對各別波長的敏感度，可說明對不同波長相關亮度的反應
9. 光譜光視效率比(spectral luminous efficiency)：在特定光度條件下，引起光強度感覺相等的、波長為 λ_m 和 λ 的兩個輻射的輻通量之比， λ_m 選在最大比值為 1 處。
10. S/P 比值：代表一個光源在暗視覺和明視覺下產生的光通量之間的差異。
11. 感知反應時間(Perception Reaction Time, PRT)：由視覺、聽覺、感識至開始採取反應行動，或接受由交通或公路狀況發生突變的刺激，所經歷的短暫時間，亦稱為「反應時間」。

5.2 從人因工程看道路交通安全

5.2.1 人因工程的重要性

道路照明的基本目的是在夜間為駕駛人以及行人創造一個良好的光環境，使人們在夜間能夠迅速、準確和舒適的看見物體，達到保障車輛和行人安全、提高效率、方便人民生活、減少交通事故、降低犯罪率和美化城市的作用。

交通事故發生之要因包含人的因素、車輛狀況、道路狀況與環境因素。人的因素指駕駛人或行人之身體條件與危險認知或迴避之判斷等心理條件因素；車輛狀況指構造裝置附屬品及載重相關事項；道路狀況則是指線形、路面、號誌、道路標示及防護設施等廣泛之道路相關設施；環境因素則包含天候、明暗等自然條件，以及車輛交通量、車種、行人交通量等交通狀況。

如何針對道路照明做出最佳化設計，持續針對道路照明設計基準與規範進行檢討，定期評估適用於我國的道路照明設計規範，選擇符合經濟效益之燈具與光源，乃是極有必要的研究課題。尤其在重新配合人類視覺需求的角度和道路屬性的不同，來重新檢討光源的發光效率及道路照明的最適光源，更有其必要性。

因此瞭解光的刺激是怎樣經由人眼傳遞到大腦皮層視區，這是按人體工程學原理進行照明設計的前提，當然道路照明設計也不例外。從光對人眼刺激來看，可把人眼視覺階段分為光從外界射入人眼，接著是視網膜上感官細胞產生響應，最後是光刺激通過視神經傳輸到大腦皮層視區三個過程，其中每一個過程均對人眼的光感覺大小產生決定性影響^[115]。

為了營造出一個安全的道路駕駛環境，以及瞭解人因工程在道路照明設計應用上的重要性，本研究針對現階段有關於人因工程的學術理論研究，以及在道路照明與標誌照明應用上的相關實驗加以彙整，期能對人因工程有更深入的瞭解，並做為未來道路照明相關規範制定時的一項參考依據。

5.2.2 視覺、反應時間為主要探討議題

從人因工程來看道路交通安全，可以從幾個主要方向進行探討，包含視覺、以及不同條件下對於駕駛人行車辨識與反應時間的影響，如背景亮度、對比度以及色溫高低等。

影響道路交通安全最甚的即為視覺的部份，人眼對光的適應特性，在周圍環境出現明顯明暗變化時，視覺狀態會隨之變化，分別處於明視覺、暗視覺與中間視覺三種不同狀態^[110]。目前一般道路照明量測以及法規規範標準多以明視覺為主

要設計前提。然而，透過人類視覺處於不同狀態的情況下，對於明暗、顏色以及空間的接收程度均會產生變化，以夜晚的環境條件來看，汽車駕駛人夜晚在道路上行駛時應處於中間視覺狀態，與目前一般制定法規規範標準的背景條件並不相同，這也使得中間視覺成為廣受到大家討論的議題。

反應時間則是探討人因工程時的另一個重點，在夜間駕駛過程中，反應時間對保障道路交通安全有重要的實際意義。反應時間快就意味著視覺效率高和交通事故的減少。因此，探討照明光源對反應時間的影響，以及在背景亮度、對比度以及色溫高低等不同條件下，駕駛發現前方路面上障礙物反應時間的長短，將有助於瞭解不同光源光色及其光效的能效差異，也有助於在夜間照明環境下，選擇對於道路駕駛而言最適合且最安全的道路交通照明設施。

本章以中間視覺、反應時間為研究主軸，蒐集各國文獻以及相關實驗研究結果，從人因工程的角度探討如何提升道路交通安全，瞭解不同照明條件下人眼需求的差異，藉以選擇最合適的光源並塑造最安全的道路駕駛環境。

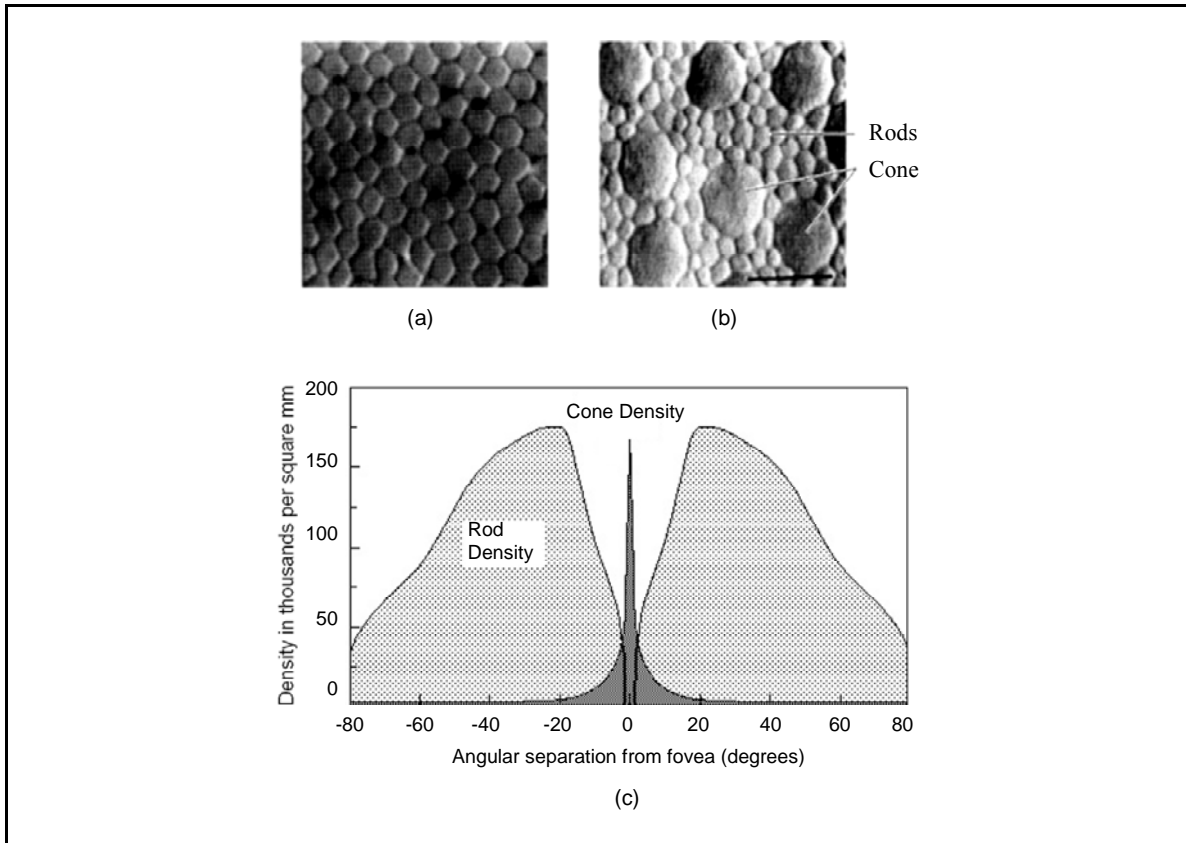
5.3 視覺

視覺是人類在接收外界訊息時使用最多的一種感覺類型，尤其在交通道路安全上，視覺更是與外界關係最為密切的感覺。從視覺基礎來看，人眼會因環境亮度不同而產生明視覺、暗視覺與中間視覺三種不同狀態。由於道路照明屬於中間視覺的範疇，本節先從探討人眼視覺基礎始，以瞭解明視覺、暗視覺與中間視覺的差異。

5.3.1 視覺基礎

視網膜上有兩種感光細胞，桿狀細胞(Rod，如圖 5-1(a)所示，數量約 120 百萬個)與錐狀細胞(Cone，如圖 5-1(b)所示，數量約有 7 百萬個)^[48]。其中錐狀細胞為色彩感光細胞，感應波長 450nm 到 675nm 的光，並且對波長 555nm 的光有最高的敏感度，分佈多集中於視覺中央窩，如圖 5-1(c)所示。在白天時刻，高亮度的室外環境會激化此細胞，使人眼啟動明視覺(Photopic vision)。然而在極暗的環境下，則換桿狀細胞會被活化，此細胞感應波長從 400nm 到 610nm，為暗視覺(Scotopic vision)之表現，細胞分佈則避開中央窩，負責感測周遭視野的光線。

而介於白天極亮與夜晚極暗之間的環境裡，則是中間視覺(Mesopic vision)，其環境的背景輝度尚未有明確的定義，CIE 也未有明確的值來規範，但一般照明上通用的中間視覺表現環境輝度約為 0.01 cd/m^2 到 3 cd/m^2 ，此時錐狀和桿狀細胞皆提供權重的活化機制。^{[100][103]}



資料來源：E. Hecht, Optics, 2nd ed., Addison-Wesley, Massachusetts (1987).

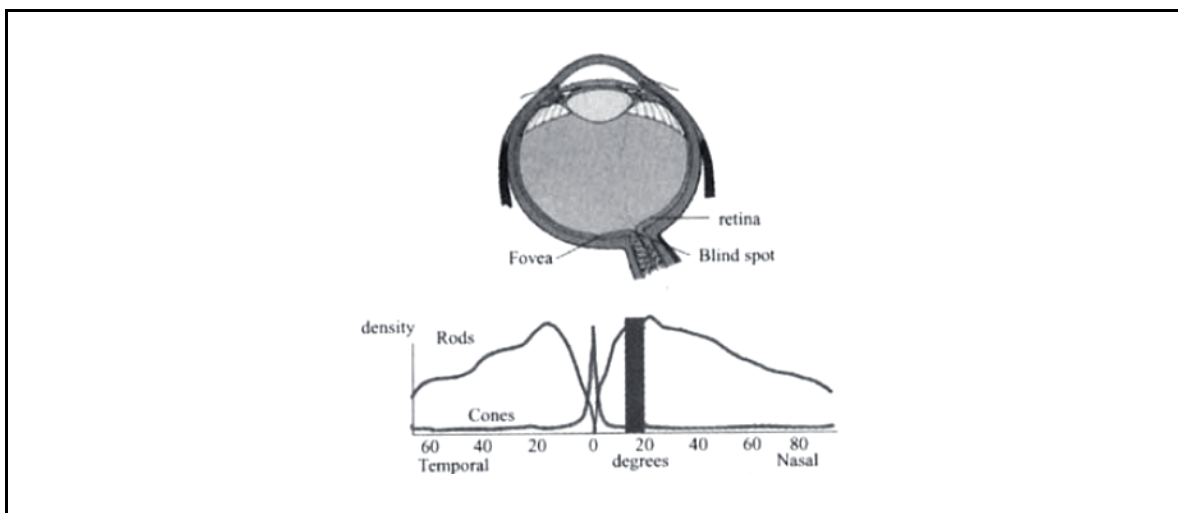
圖 5-1 桿狀細胞(Rod)與錐狀細胞(Cone)在視網膜上的排列組合方式，及分佈的密度曲線。

1. 明視覺

錐狀細胞是一種感光細胞，有紅、綠和藍三種，因此能分辨顏色，它們集中在眼睛視網膜中心區域的黃斑處(圖 5-2 所示)，緊靠在視線方向上的小面積的清晰的像就成在視網膜上的黃斑處，此稱為“中心”視覺或“線上”(on-line)視覺。

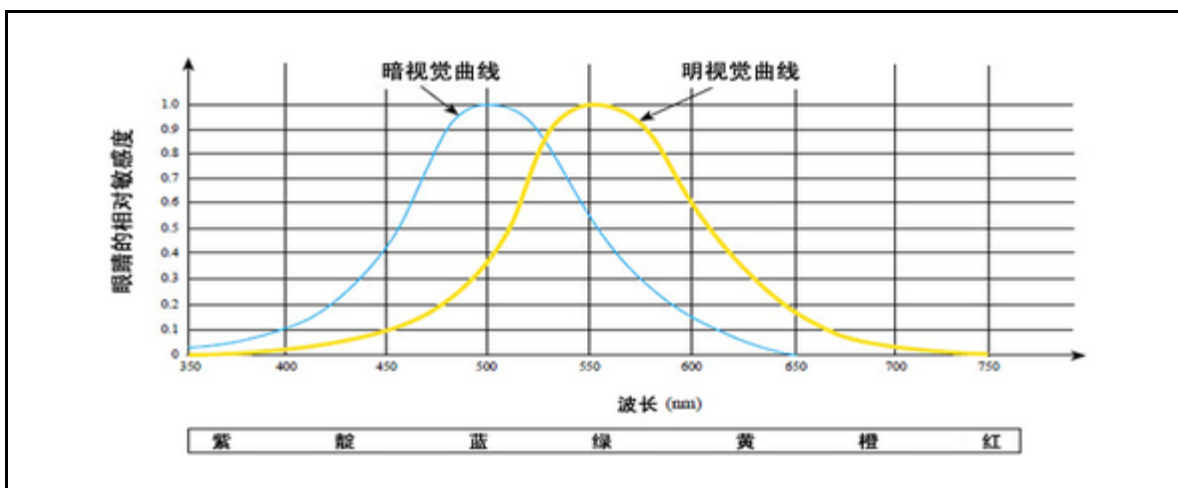
“適應亮度”是指目標所處的大尺度背景的平均亮度，非路面的平均亮度，明亮的路燈、汽車前照燈、發光的信號標誌以及路面的反射光，會增加適應亮度，使其高於路面的平均亮度，讓真實的視覺更趨向於明視覺的情況。

當適應亮度大於約 $3 \sim 10 \text{ cd/m}^2$ 時，錐狀細胞最活躍，這時的視覺狀態我們稱之為明視覺，光譜靈敏度用 $v(\lambda)$ 來表示，其最大值在 555nm 附近(圖 5-3 所示)。通常，進行所有的照明測量(光通量，光強度，照度和亮度等)時都是採用明視覺的光譜光效函數 $v(\lambda)$ 。



資料來源：照明工程學報(2009)

圖 5-2 錐狀細胞和桿狀細胞在眼睛視網膜上的密度分佈^[7]



資料來源：照明工程學報(2009)

圖 5-3 人類眼睛對不同波長的相對靈敏度

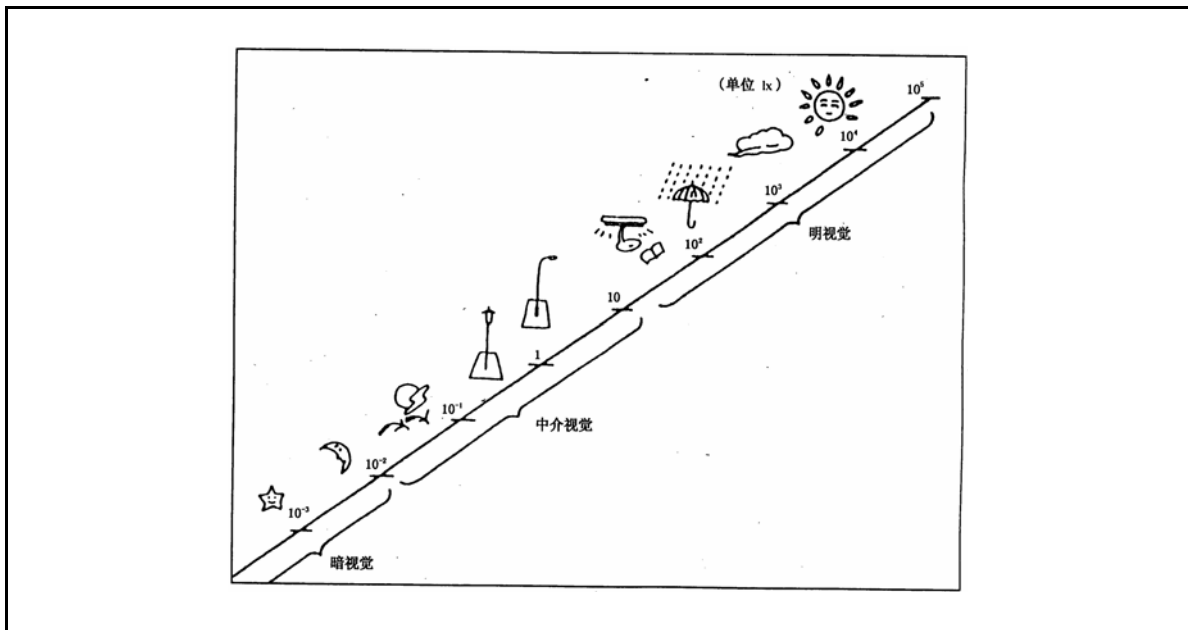
2. 暗視覺

桿狀細胞是靈敏度高的感光細胞，桿狀細胞不能分辨色彩，由於許多桿狀細胞相互連接在一起，因而所成的像不是很清晰。在眼睛視網膜中心區域的黃斑處沒有桿狀細胞，桿狀細胞的密度從黃斑處向外逐漸增加，到偏離視線約 15° 處達到最大，因此稱為“周邊”視覺或“線外”(off-line)視覺。

在小於 $0.01 \sim 0.003 \text{ cd/m}^2$ 的適應亮度下，僅有桿狀細胞活躍，我們稱其為暗視覺，光譜靈敏度由 $v'(\lambda)$ 來表示，其最大值大約在 505 nm (圖 5-3 所示)，相對於 $v(\lambda)$ 曲線， $v'(\lambda)$ 曲線明顯地移向光譜的藍端(圖 5-3 所示)。

3. 中間視覺

如果亮度介於明視覺與暗視覺所對應之亮度水準之間(即亮度在 $0.03\sim3.4\text{ cd/m}^2$)，則桿狀細胞和錐狀細胞同時工作，此視覺狀態稱為「介視覺」或「中間視覺」，汽車駕駛人夜晚在道路上行駛時就是處於這一視覺狀態，圖 5-4 說明在各種光環境下人眼的視覺狀態。



資料來源：照明手冊(2006)

圖 5-4 各種光環境下人眼的視覺狀態

綜合圖 5-4 光環境示意圖可推得人眼視力值之分佈，可參考表 5-1 用路人在光環境 10^{-3} Lux 下人眼視力會衰減到 0.1，所以在道路照明環境下應避免出現暗視覺現象產生，而一般道路照明的照度恰好介於 $10^{-3}\sim10\text{ Lux}$ 之間，是屬於中間視覺的應用，而人眼視力值也可達到基本的 1.0 以上。室內照明則是屬於明視覺上的應用，考慮到室內反射指數的關係及用途上的不同，所以基本照度值均比道路照明來的高。

表 5-1 光環境照度值與人眼視力值分佈

光環境 照度值單位(Lux)	暗視覺 10^{-3} Lux 以下	中間視覺 $10^{-3}\sim10\text{ Lux}$	明視覺 $10\sim10^5\text{ Lux}$
人眼視力值	0.1	0.35~1.6	1.6~2.5

資料來源：蕭弘清(2009)

因此，人眼在不同光環境條件下產生不同視覺狀態，有明視覺、中間視覺與暗視覺之分。除了人眼內部感光細胞特性的不同之外，人眼最大光視效應對應的波長、對於視覺敏感度特性、對色彩的判斷、光適應條件以及背景亮度等皆有所差異，明視覺、中間視覺與暗視覺的不同效應，列於表 5-2。

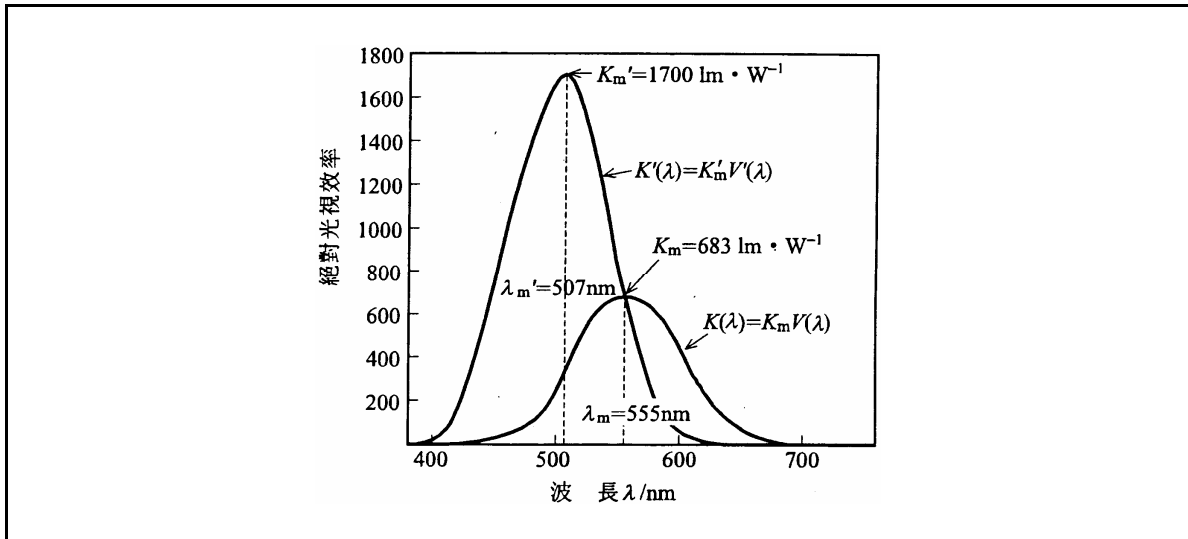
表 5-2 明視覺、中間視覺與暗視覺的效應

視覺環境	暗視覺	中間視覺	明視覺
環境條件(cd/m ²)	0.034~3.4×10 ⁻⁶	0.034~3.4	3.4~10 ⁶
最大光視效應	波長 507nm 光視效應最好	介於明、暗光視效應之間	波長 555nm 光視效應最好
視覺敏感度特性	視敏感差	視敏度減弱	視敏度好
對色彩的判斷	無彩色只有亮暗	辨別顏色的能力減弱	彩色視覺
適應	暗適應	過渡期	亮適應
背景亮度(cd/m ²)	0.005~0.01	0.01~2	2 以上
感光細胞特性	主要集中在視網膜周邊，不存在於中心窩	桿狀與錐狀細胞同時作用	半數集中在視網膜中心窩，周邊數量減少

資料來源：蕭弘清(2009)

從視覺基礎介紹可以瞭解，人眼視覺在不同光環境照度下，會產生明視覺、暗視覺與中間視覺三種不同的視覺狀態。而人眼亮度知覺條件在不同視覺狀態下的差異，將產生不同的光視效率。

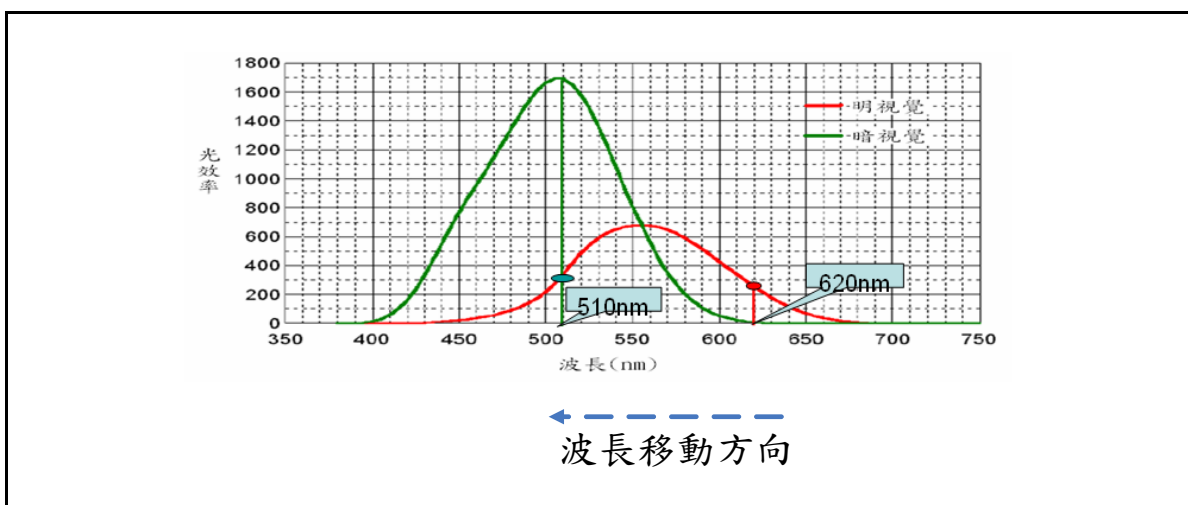
光視效率與最大光視效率的相對值被稱為光譜光視效率比(spectral luminous efficiency)。CIE 以亮度知覺條件下確定了明視覺與暗視覺光譜光視效率比的標準，標準光視效率比在波長 555 nm 處的峰值，由光度定義的運算可求出最大光視效率。CIE 規定波長 555 nm(頻率 540 THz)時明視覺曲線 $V(\lambda)$ 的光視效率最大，此時該單色光的光視效率定義為 683 lm/W；而暗視覺曲線 $V'(\lambda)$ 的最大光視效率比出現在波長 507 nm 處的峰值上，其光視效率為 1,700 lm/W，圖 5-5 為明、暗視覺絕對光視效率圖。以圖 5-5 所示，暗視覺在不同適應水準上的光視效率，皆比明視覺光視效率的值來的高。^[103-106]



資料來源：照明手冊(2006)

圖 5-5 明視覺與暗視覺的相對光視效率圖

如圖 5-5 所示；人眼中央窩的察覺和邊緣部分的察覺變得一樣容易，並隨著適應亮度下降，使邊緣部分的察覺變得更為容易，使顏色感覺逐漸減弱，同時會使不同顏色的相對明亮程度發生變化，人眼最敏感的波長由明視覺 555 nm 逐漸變化到暗視覺時 507 nm，此時與明視覺時光譜光視效率函數相比，整個光譜光視效率函數曲線向短波方向推移，長波端能見的波長範圍縮小，短波端的能見範圍略有擴大。光亮的地方，在相同照度，人眼會覺得黃色光比藍色光更明亮，但在黑暗情況下，在相同照度，人眼會覺得藍色光比黃色光更明亮，此即普爾金耶現象。如圖 5-6 所示，此現象容易發生在道路及隧道照明上。[109]



資料來源：陳佳瓏(2006)

圖 5-6 普爾金耶現象

2006 年 M. Eloholma 等人發表的研究用了三種強弱輝度來做為背景光，分別為 0.01、0.1 與 1 cd/m^2 ，顯示了視覺能力會隨著輝度的下降而隨之減弱，且對比度方面短波長(如藍光目標物)較具優勢，而反應時間上也明顯顯示出人眼對長波長光源的反應時間比短波長光源要來得長，進一步驗證普爾金耶現象影響。

4. 視覺安全

光源對生體之影響有藍色光對網膜之傷害等，對於眼球、網膜、甚至是皮膚的生理影響。與此相對的，光源對健康的影響則有則有覺醒程度、生理時鐘、抑制褪黑激素分泌等。

針對道路照明的視覺安全的影響，由於一般民眾暴露於道路照明光線下的時間短，因此本研究對道路照明視覺安全的研究，著重在 LED 路燈對生物及人體(以下簡稱生物體)安全性的影響。

LED 微小光源特性，其對於視網膜的影響、容許曝光量、長時間暴露對生物體的影響、對生理時鐘的影響等，都是 LED 被指出的特有的問題。

目前 LED 對於生物體的安全性的問題，雖有 TS C0038、IEC62741:2006、CIES009:2002 等幾個安全準則在規範，但是仍有測定方法和光的非視覺性生理作用之評估等課題存在。

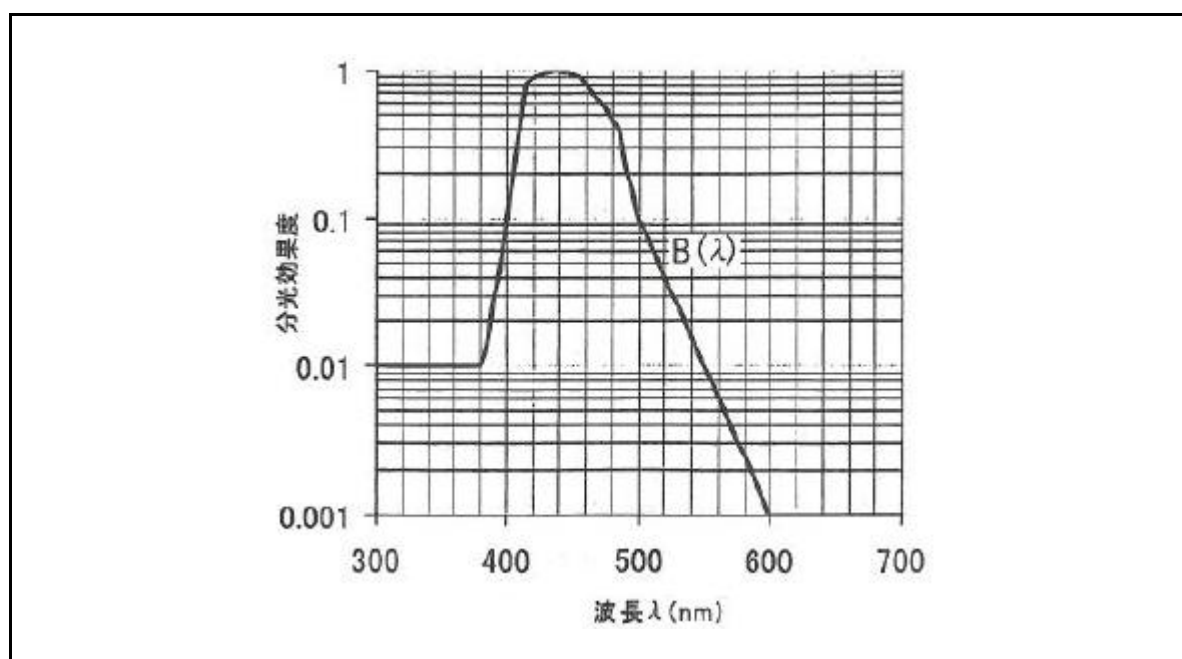
根據日本照明學會針對照明用 LED 光源之生物體安全基準研究，LED 對生物體之曝光界限以對皮膚和角膜的放射照度、或是外觀上的放射輝度，及其累積照時間來規定。然而在實際照明環境下，燈具和生體的位置關係很少是長時間固定的，因此在實際的照明空間上必須因應個別的狀況。TS C0038 中也將 LED 和其他光源並列，規定其安全性。

在實際照明環境中必須注意 LED 特有的特性。特別是藍色 LED 有著在藍色光對網膜傷害作用光譜附近的分光特性，所以危險性比較高，藍色光因為比較難以感到眩光，所以也比較難以察覺其危險。表 3 是各種光源之每 100lx 的藍色光對網膜傷害之有效放射照度，從表中的有效放射照度差異得知，在相同的照度下，藍光 LED 對視網膜的傷害是水銀燈 23 倍。

表 5-3 各種 100lx 光源對視網膜中感應藍光部分其傷害的有效放射照度

光 源	有效放射照度($\text{Wm}^{-2}/100 \text{ lx}$)
藍光 LED	1.6591
白光 LED 4482K	0.0544
白光 LED 6194K	0.0882
汽車車用金屬鹵素燈	0.0586
水銀燈	0.0725
白熾燈 3000K	0.0341

資料來源：日本照明學會(2009)



資料來源：日本照明學會(2009)

圖 5-7 不同波長對視網膜中感應藍光部分之分光效果度

5.3.2 小結

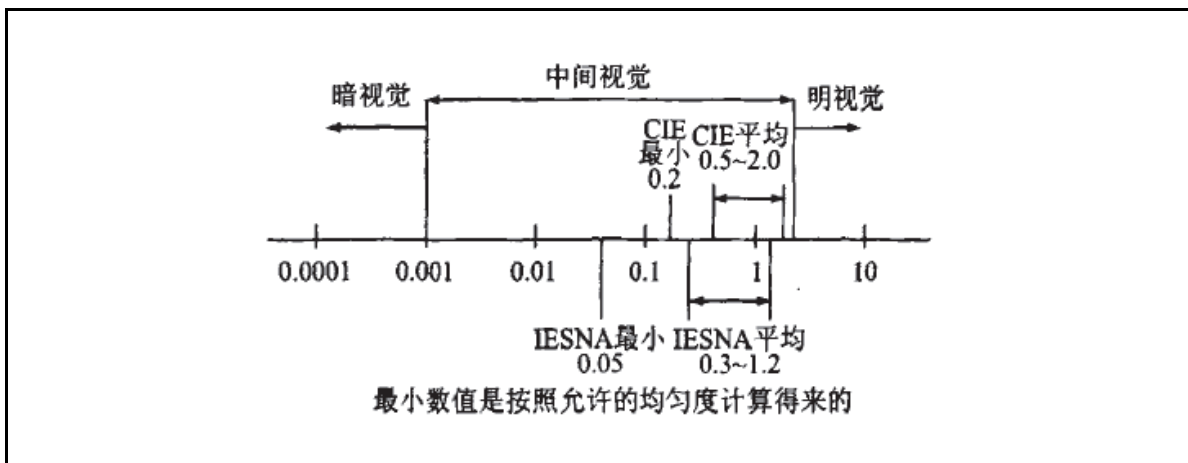
視覺為人因工程中最為主要的探討議題。人眼對光的適應特性，在周圍環境出現明顯明暗變化時，視覺狀態會隨之變化，一般道路照明環境下，大致上視覺響應區都是落在中間視覺。目前在道路照明的規範多以明視覺為訂定基礎，在夜間周圍光環境產生變化時，其實並不符合人體視覺之狀態，故須探討中間視覺下，適合道路照明視覺水準之訂定，以及中間視覺相關計算模型，本研究蒐集各國文獻與相關實驗研究後，將針對中間視覺於道路照明之應用列於下節內容做一探討。

另外對於光源生理安全性問題，LED 路燈藍色光比重高，有利於其在中間視覺人眼實際感受到的輝度，但衍生出對於視網膜的負面影響，特別是 LED 是點光源，而且是從一個 LED 可獲得的光量比螢光燈少，因此作為 LED 路燈使用時時，要構成白光 LED 照明同常必須配置數個使用由複數個 LED 構成的模組，以獲得所要的照度。然而就算白光 LED 照明燈具的模組使用多數的單位，基本上還是各個 LED 的集合體，個別的 LED 對生物體之影響相同，所以因構成的模組的數量對生物體的影響也會 N 倍化。雖然現在尚無因白光 LED 照明燈具引起的生物體影響事例報告，但今後隨著 LED 照明之普及，有必要持續檢討其影響。

5.4 中間視覺與道路照明

隨著我國經濟生活水準不斷提高，全國各地的城市夜間景觀照明、道路照明等不斷發展，各種照明水準往往趨向於中間視覺範圍。由於人類感覺器官的特點，所以在中間視覺時，明暗、顏色、空間和響應感覺等特性發生變化。

當環境亮度不同時，人眼將產生不同的光譜光視效率/效能曲線，在 $0.001\text{cd/m}^2 \sim 3\text{cd/m}^2$ 之間^[110]，產生從明視覺到暗視覺的移動。而道路照明亮度即是屬於此範疇之間，從各國道路照明標準所規範的路面照度可以看到，如圖 5-8 所示，道路照明輝度規範圍處於中間視覺中偏明亮的位置。



資料來源：照明工程學報(2009)

圖 5-8 各國道路照明標準規定值

目前照明指標測量以及照明設計與計算都是基於明視覺光譜光視效率，而道路照明一般屬於中間視覺的範疇，故道路照明在視覺功效與明視覺、暗視覺的視覺功效有很多不同點，對明暗、顏色、空間和響應感覺的特性皆有所差異變化。因此，目前道路照明測量以及設計與計算方法與道路照明的實際情況並不符合。為使道路照明設計更符合人眼需求，開始對中間視覺在道路照明上的應用進行研究。

5.4.1 中間視覺範圍內光源輝度

根據不同光源在明暗視覺的情況下其有效程度，可採用 S/P 比值。S/P 比值代表一個光源在暗視覺和明視覺下產生的光通量之間的差異，光源的 S/P 比值越

高，在中間視覺設計中的光效就越高。表 5-4 列出了道路照明常用的幾種光源的典型的 S/P 值^[107]。

表 5-4 不同光源的 S/P 比值

光 源	S/P 比值
黃白高壓鈉燈	0.65
暖白金屬鹵化物燈	1.25
暖白 LED	1.35
冷白金屬鹵化物燈	1.8
藍色豐富的白色 LED	2.15

資料來源：照明工程學報(2009)

IESNA 於 2006 年提出「中間視覺範圍內視覺功能影響報告」，報告中提出，在考慮中間視覺範圍內光譜光視效率變化之後，不同 S/P 比值的光源產生的實際視覺亮度，與光源的 S/P 值有關。對於相同的路面照度而言，光源的 S/P 值越高，則實際視覺亮度會越高。

從圖 5-9 可以看到，當明視覺高達 1cd/m^2 時，即中間視覺最亮端，各種光源照明下得到的亮度都相同，沒有差別。然在道路照明亮度範圍內，即中間視覺的部份，不同光源的光譜能夠產生不同作用，人眼將感受到不同的亮度，S/P 比值越高光源，人眼感受到的亮度愈高。對於 S/P 值僅有 0.5 的光源而言，當路面照度為 0.1cd/m^2 時，人眼所感受到的實際亮度僅有 0.06cd/m^2 ；但是對 S/P 值為 2.0 的光源而言，人眼所感受到的實際亮度可達 0.16cd/m^2 。

S/P 比值 (相當不同光源)	明视觉亮度 (cd/m^2)		
	0.1	0.3	1.0
0.5	0.06	0.25	1.00
1.0	0.10	0.30	1.00
1.5	0.13	0.34	1.00
2.0	0.16	0.36	1.00

資料來源：照明工程學報(2009)

圖 5-9 不同 S/P 值光源照明使人眼感受到明亮度

1998 年 Mark S. Rea 等人使用高壓鈉燈(HPS)與金屬鹵素燈(MH)在考慮暗視覺、中間視覺與明視覺不同之情況下，以實際實驗來比較它們之間的流明輸出效

率與演色性，HPS 不管在何種輝度環境下，給人眼對顏色的判斷性終究低於 MH，而在 0.1 cd/m^2 到 10 cd/m^2 範圍內，HPS 則會逐漸超越 MH 帶給人眼實際感受的亮度。

由於不同 S/P 值光源，於中間視覺環境下，人眼視覺會感受到不同照明水準。因此帶起人眼視覺系統中間視覺研究，已瞭解中間視覺狀態下，不同 S/P 值光源對道路照明的影響有多大，以期達到人眼視看的真實效果。

為加強中間視覺對道路交通照明的影響研究，並取得一定的研究數據，1983 年國際照明委員會(CIE)增設了中間視覺光度學委員會，制定了光譜光視效率函數的實驗條件，中國、美國、加拿大、日本、德國、英國等開展了光譜光視效率函數的測定工作，採用異色視亮度匹配法對中間視覺的進行研究結果建議，在不同人眼適應亮度水準條件下，中間視覺的光譜光視效率函數的曲線形狀各異，而應該採用不同的運算式來進行描述。

目前應用中間視覺光度學模型在道路照明應用上大致有三種方法，分述如下：

1. LRC 模型^[100]

1996 年，美國 Rensselaer 大學照明研究中心(LRC)的 He Y 和 Rea M 等人使用了反應時間參數對光源在中間視覺狀態下的光效進行評估。在他們實驗中所使用的光源是高壓鈉燈(HPS)和金屬鹵素燈(MH)作為背景合目標的光譜，並在反應時間的基礎評估上對兩種光源的響應特性建立一個中間視覺光度學模型如式子 (1)、(2)所示。

$$V_m(\lambda) = K_1(L) \left[x(L)V_{10}(\lambda) + (1-x(L))V'(\lambda) \right] \quad (1)$$

$$x(L) = 1 - [R(L) - 1] / [0.775R(L) - 0.345] \quad (2)$$

其中：

$V_m(\lambda)$ 指的是光度學函數，為中間視覺的一計算基礎。 $x(L)$ 是根據背景輝度的不同來判斷，數值介於 0 與 1 之間； $K_1(L)$ 則為確保 $V_m(\lambda)$ 在輝度 L 的最大值等同於(1.0)； $R(L)$ 是一個介於 MH 和 HPS 的光譜能量分佈常數。

通過計算，就能得到在不同 S/P 數值的光源照明下產生的不同的明視覺亮度換算成對應的在中間視覺亮度段中的值^[100]，詳如表 5-5

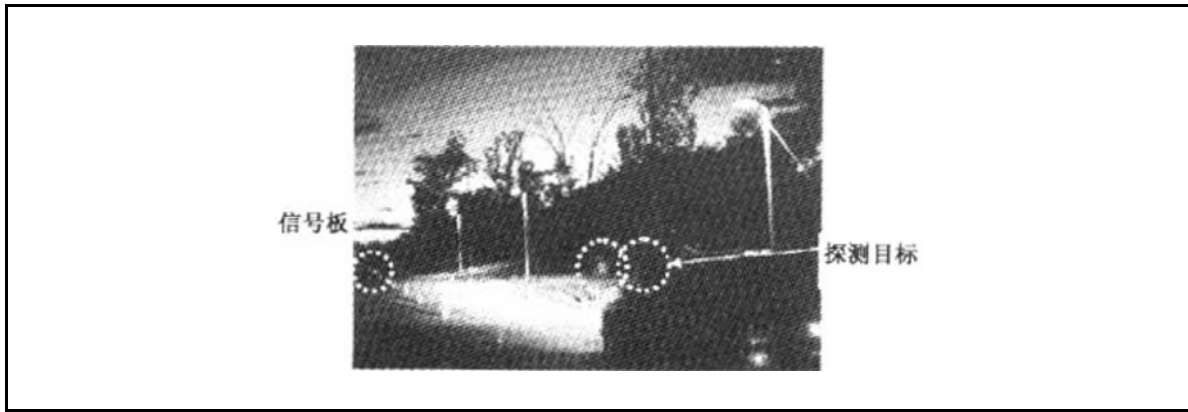
表 5-5 不同 S/P 數值光源明視覺亮度轉換為中間視覺亮度對照表

S/P	明視覺下的亮度 (cd/m ²)						
	0.01	0.03	0.1	0.3	1	3	10
0.25	0.0025	0.0075	0.0640	0.2331	0.8735	2.8108	9.9095
0.35	0.0035	0.0133	0.0698	0.2430	0.8914	2.8372	9.9220
0.45	0.0045	0.0172	0.0751	0.2525	0.9090	2.8632	9.9344
0.55	0.0055	0.0201	0.0801	0.2616	0.9262	2.8888	9.9466
0.65	0.0065	0.0226	0.0848	0.2706	0.9431	2.9141	9.9587
0.75	0.0075	0.0249	0.0894	0.2792	0.9597	2.9391	9.9706
0.85	0.0085	0.0270	0.0937	0.2877	0.9760	2.9637	9.9825
0.95	0.0095	0.0290	0.0979	0.2959	0.9921	2.9880	9.9942
1.05	0.0105	0.0309	0.1020	0.3040	1.0079	3.0120	10.0058
1.15	0.0114	0.0328	0.1060	0.3119	1.0234	3.0356	10.0173
1.25	0.0122	0.0345	0.1099	0.3197	1.0387	3.0690	10.0286
1.35	0.0130	0.0362	0.1136	0.3273	1.0538	3.0822	10.0399
1.45	0.0138	0.0378	0.1173	0.3348	1.0686	3.1050	10.0510
1.55	0.0146	0.0394	0.1209	0.3421	1.0833	3.1276	10.0621
1.65	0.0153	0.0410	0.1245	0.3493	1.0978	3.1499	10.0730
1.75	0.0160	0.0425	0.1280	0.3565	1.1121	3.1720	10.0838
1.85	0.0167	0.0440	0.1314	0.3635	1.1262	3.1939	10.0945
1.95	0.0174	0.0455	0.1348	0.3704	1.1401	3.2155	10.1051
2.05	0.0180	0.0469	0.1381	0.3772	1.1539	3.2368	10.1156
2.15	0.0187	0.0483	0.1413	0.3840	1.1675	3.2580	10.1260
2.25	0.0193	0.0497	0.1445	0.3906	1.1810	3.2789	10.1363
2.35	0.0199	0.0511	0.1477	0.3972	1.1943	3.2997	10.1466
2.45	0.0205	0.0524	0.1509	0.4037	1.2075	3.3202	10.1567
2.55	0.0211	0.0538	0.1539	0.4101	1.2205	3.3405	10.1667
2.65	0.0217	0.0551	0.1570	0.4165	1.2334	3.3606	10.1766
2.75	0.0233	0.0564	0.1600	0.4228	1.2462	3.3806	10.1865

資料來源：照明工程學報(2009)

透過查表所得折算係數結合不同光源的發光效率就能最終得到不同光源間的節能比較。舉例而言，高壓鈉燈 S/P 值為 0.65，金屬鹵素燈 S/P 值為 1.25 在道路照明最低的亮度水準 0.3cd/m² 下，高壓鈉燈和金屬鹵素燈的折算係數分別是 0.2706 和 0.3197，也就是說人眼實際感受輝度，高壓鈉燈降低 10% $((0.2706-0.3)/0.3)$ ，而金屬鹵素燈則提升 7% $((0.3197-0.3)/0.3)$ 。

此外，LRC 的研究者對於夜間照明條件下的駕駛環境又更進一步的模擬，並引入了 S/P 值，研究不同的 S/P 值在不同照度或亮度水準下、人眼對不同照明光環境下的反應速度，圖 5-10 為 LRC 利用視覺功能法進行研究的場景之一。



資料來源：照明工程學報(2006)

圖 5-10 LRC 採用視覺功能法研究中間視覺場景

2. Hurden 模型^[100]

Hurden 等人，他們在 1999 年和 2002 年的研究中，使用了一個系列具有不同亮度對比度的色彩或無顏色目標去測量人眼探測目標的功能；並在此基礎上獲得了響應的中間視覺狀態下的模型。如式子(3)所示：

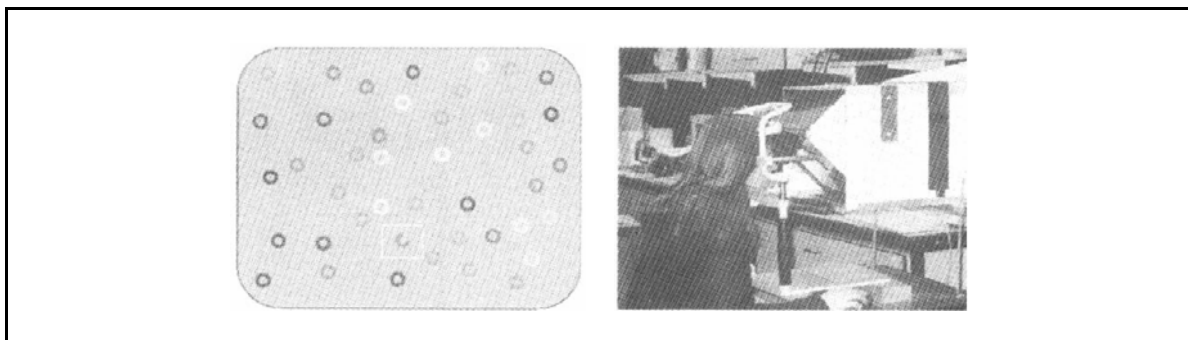
$$ST = T + (t_0 - T)^{-kC} \quad (3)$$

其中：

ST(Search Time)為人眼對無顏色目標的搜尋時間

C 為目標對比度

如圖 5-11 所示，為 Hurden 等人用於進行搜尋時間實驗的顯示螢幕和實驗裝置。



資料來源：照明工程學報(2006)

圖 5-11 Hurden 等人用於進行搜尋時間實驗的顯示螢幕和實驗裝置

3. 歐盟 MOVE 模型^[100]

MOVE 項目全名為 Mesopic Optimization of Visual Efficiency，是歐盟五國合作的一個項目。參加單位有芬蘭赫爾辛基技術大學(HUT)、英國城市大學(CU)、英國國家物理實驗室(NPL)、荷蘭 TNO 人體功效學習研究所(TNO)、德國達姆施塔特技術大學(TUD)、匈牙利 Veszprem 大學(UV)。MOVE 項目的目的是在 $0.01 \sim 10 \text{ cd/m}^2$ 的亮度範圍內建立相對光譜靈敏度函數，在這一亮度範圍內是最迫切需要制定中間視覺光度學標準的。

人類的光譜靈敏度、照明條件和視覺刺激之間存在的關係，以及互相作用，需要以人眼為目標探測器進行大量的實驗工作。以前的研究經驗表示，使用不同的視覺作業獲得的光譜響應曲線各不相同。因此，MOVE 研究聯盟決定在各個研究所裡使用不同的研究手段和視覺參數，最後將結果匯整分析，獲得可視度函數的最終表達形式。圖 5-12 為歐盟 MOVE 項目的 5 個實驗室通過相同的實驗參數和不同的實驗方法和設備展開實驗。

通過對個別實驗(反應時間、對比閾值等)的結果分別進行建模，MOVE 項目獲得一個非彩色線性模型，如式子(4)。

$$M(x)V_{mes}(\lambda) = xV(\lambda) + (1-x)V'(\lambda) \quad (4)$$

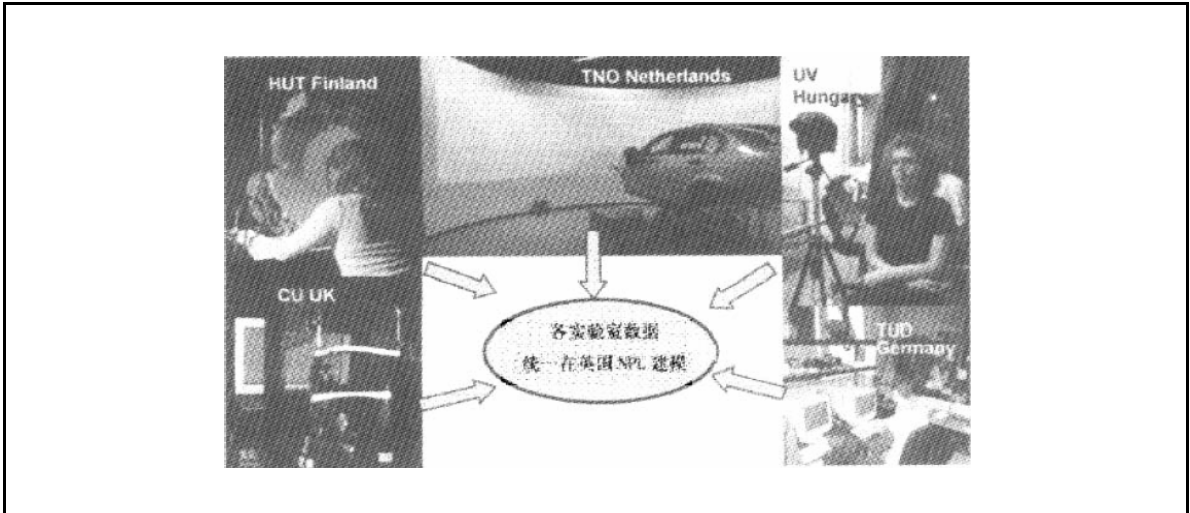
其中：

$V_{mes}(\lambda)$ 為表示在給定條件下的相對光譜視覺效率函數。

$M(x)$ 為歸一因數。

另外，對於具有顏色目標，MOVE 推得一個彩色模型，即在特定的背景亮度下，除了引入 $V(\lambda)$ 和 $V'(\lambda)$ 作為參數，還引入 $L(\lambda)$ 、 $M(\lambda)$ 和 $S(\lambda)$ 函數，如式子(5)所示：

$$V_{mes}(\lambda) = a_1V(\lambda) + a_2V'(\lambda) + a_3[L(\lambda) - a_4M(\lambda)] + a_5S(\lambda) \quad (5)$$



資料來源：照明工程學報(2006)

圖 5-12 歐盟 MOVE 項目中所涉及的研究機構和研究設備

5.4.2 中間視覺範圍內彩色視覺

在中間視覺的情況下能產生彩色視覺的錐狀細胞還能部分地被啟動，因而可以認為在道路照明中色彩分辨能力對視覺功能還有供獻。根據上海復旦大學周太明研究，採用顯色指數大於 50 的白光比用顯色指數只有 25 的高壓鈉燈更容易識別人的面孔。特別強調的是，造成如此差異的為演色性而非色溫。藍光豐富的白光和暖白光都有這樣的優點。英國的標準 BS5489 規定當採用顯色指數大於 60 的光源時，道路照明的平均照度可以降低。

5.4.3 小結

從道路照明的亮度來看，其範圍應屬於中間視覺亮度段的較亮區段。因此目前關於中間視覺的研究正積極的被探討中，也由於中間視覺是一個較新的概念，目前尚未將其實際考量於現行法規規範標準中。

目前各國都已投入中間視覺研究，期望訂出明確且一致光譜視覺效率函數，但實際上還是存有明顯的差異。Andrew Stockman 等人歸納出制定光譜視覺效率函數的困難為：

1. 視網膜上不只有一種感光器，如 Rod 與 Cone 細胞。
2. 兩種感光細胞之間的交互作用。
3. Rod 細胞會有曝光飽和現象，而在此區域內 Rod 細胞貢獻給中間視覺的流明效率則會失去原有的線性關係，但這個非線性的關係函數很難被量測出來。
4. 桿狀和錐狀細胞在視網膜上有不同的空間分佈，所以中介視覺視效函數與視覺

受到刺激的空間位置和大小有關。

5. 桿狀和錐狀細胞在視網膜上有不同的空間對比敏感度，亦即明視覺與暗視覺的空間對比敏感度有明顯不同的空間頻率，因此，中間視覺視效函數值與受視覺刺激部分的訊號空間頻率有關。
6. Rod 與 Cone 細胞之間存在感光時間的差異，Rod 細胞的視覺區域一般都比 Cone 區域來得遲緩，由於延遲的關係，在閃爍光波長 500 nm 與同樣環境輝度下，Rod 與 Cone 在閃爍之頻率 7.5Hz 時兩者會有破壞性干涉的疊加，叫做自我相消 (Self-cancellation)，同理，在頻率 15Hz 時則是疊加出建設性干涉。

從目前的一些研究成果分析，雖然結果不同但方向趨同，即在中間視覺亮度段的最亮端時得到的值與明視覺下的比較接近，亮度最低端的差距較多，並可透過對應表格或曲線可以查到對應值。但若要直接以使用光源 S/P 值，作為在道路照明中選擇光源依據，仍應謹慎。

主要原因，在於(1)光譜視覺效率函數尚未有全球一致性的標準，貿然使用恐造成爭議。(2)光源 S/P 值僅是表達了光源在中間視覺亮度範圍兩端(明視覺和暗視覺)產生的光度的特性比較，不能用於中間視覺亮度段內任一亮度下光源產生的光度與明視覺下產生比較^[103]。

中間視覺範圍內，接近暗視覺區域不同 S/P 值所導致人眼將感受到不同的亮度差異比較顯著。因此對於中間視覺在道路照明應用，應由中間視覺範圍內，接近暗視覺區域先導入，也就是在低亮度/輝度規範要求道路，以及道路速限低區域。並建議使用 S/P 值>1 光源。

5.5 反應時間

5.5.1 反應時間之組成

公路車輛駕駛者感知反應時間(Perception Reaction Time, PRT) 係由視覺、聽覺、感識至開始採取反應行動，或接受由交通或公路狀況發生突變的刺激，所經歷的短暫時間，亦稱為「反應時間」。Painis 等(1999)描述視覺的反應時間為「刺激作用的開始與觀察者在被告之盡可能快速地反應的情形下所作出的反應之間的時間間隔」，一般估計反應時間的差異可能在 0.5~3.5 秒之間^[33]。

理想狀況下，反應時間依序由下列四個時間分段組成^[33]：

1. 感識時間(perception time)：使用視覺、聽覺或觸覺來體察和確定外界事物或環境謂之感識，完全感識所需的時間即為感識時間。駕駛者感識所需的時間隨駕駛者的經驗、情緒、身體狀況及環境複雜狀況而異。
2. 運用智慧或辨明時間(intellection time)：運用智慧所需的時間，即感識階段所發現事物對其本身的重要性或威脅性，運用個人智慧加以瞭解及比較，以決定所應採取的對應行動。
3. 激發情緒或判斷時間(emotion or judgment time)：情緒為人類與事物接觸後，在精神上及身體上所產生的一種強烈而複雜的反應，這是由感識作用及神經系統的自動反射而突然發生的，所以情緒乃人類採取某種因應行為的強力決定因素。憂鬱及憤怒均會影響到駕駛者的行為。情緒與個人態度有關，而態度主要由教育及經驗所組成。
4. 執行意志或行動反應時間(volition or reaction time)：執行意志係實現意願，駕駛者對交通事件的體認，經由情緒與態度的折衝，而後所採取符合本身利益的必要行動所需的時間，即為執行意志時間。

在駕駛過程中反應時間愈快，意味者視覺效果提高，並與交通安全有關。如下表 5-6 所示，反應時間越短的情況下，駕駛對於緊急事故應變的時間與能力將能有效降低事故的發生以及損害危險的嚴重性。

表 5-6 事故與反應時間關係

事故次數	0~1	2~3	4~7	8~9	10~12	13~17
反應時間(s)	0.57	0.7	0.72	0.86	0.86	0.89

資料來源：李百川·汽車駕駛人適宜性檢測與評價(2003)

因此，為了保證交通安全，駕駛人發現前方路面上障礙物的反應時間的長短是至關重要的。在造成夜間駕駛人反應時間長的客觀原因中，道路照明是相當重要的因數，因為它為駕駛人夜間行車提供視看環境以獲取必要的視覺資訊，即為人眼的視覺反應提供光刺激。

道路照明的目的就是為駕駛人員和行人提供安全、迅速與舒適的視看環境，但是首先，迅速性與舒適性都要建立在足夠安全的基礎上，因此道路照明首先應保證其產生的視覺功效—反應時間能夠滿足要求。從反應時間與交通事故的關係可以判斷，將「反應時間」作為評價道路照明光源及其光效的參數，是非常重要的，而且是必要的。

不同的道路交通狀況、車輛設備、駕駛者特性下，駕駛者之感知反應時間均會有所不同，近年來新型交通耗能設施技術之發展，許多新興光源使用對駕駛者因應不同狀況下之感知反應時間變化，更是具有相當的影響。本節探討不同影響因素對駕駛反應時間之影響，包含照明環境背景亮度、對比度以及色溫，藉此瞭解何種光源以及光環境下，駕駛反應時間最短且能爭取更多的時間立即反應，降低交通事故危險的發生。

5.5.2 反應時間與道路照明環境變數之關係

中國重慶大學崔璐璐等人針對隧道照明安全與光源光色研究，分析了反應時間實驗的實驗原理，通過模擬夜間的隧道照明環境，測定人眼在中間視覺範圍內，不同實驗條件下觀測不同彩色視標的反應時間，其實驗中提出了 4 個在道路照明條件下影響夜間駕駛視覺功效的變數作為實驗參數，實驗採取分別對光源光譜、背景亮度、視標對比度、視標偏心角 4 個參數進行控制的方法，即固定其他 3 個參數，研究第 4 個參數的變化對於反應時間的影響，相關實驗變數如表 5-7。

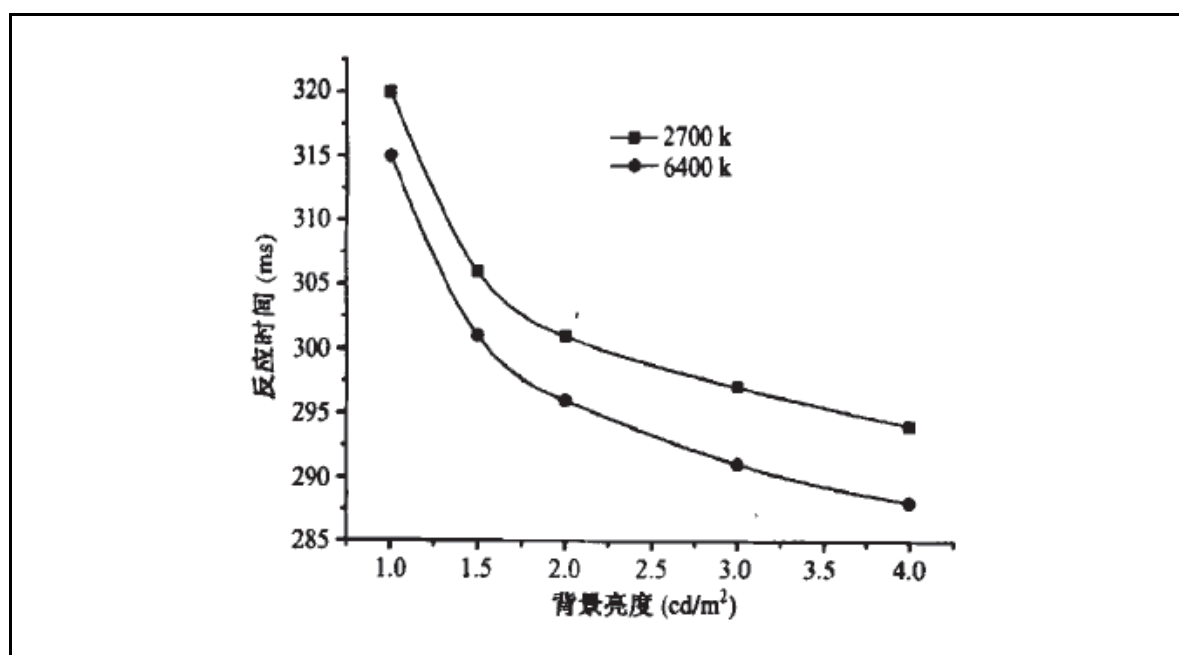
表 5-7 實驗環境參數設置

背景亮度 $L_b(\text{cd/m}^2)$	視標對比度 C	視標偏心角	兩種光源
1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.5	$C=0.5$, $C=0.2$	$\theta=0^\circ, \theta=10^\circ$, $\theta=20^\circ$	2,700K 緊湊型螢光燈 6,400K 緊湊型螢光燈

資料來源：照明工程學報(2008)

在隧道照明條件下，對予不同背景亮度($1\text{cd/m}^2 \sim 4\text{cd/m}^2$)、不同亮度對比($C=0.2$ 、 $C=0.5$)、不同視標偏心角($\theta=0^\circ$ 、 $\theta=10^\circ$ 、 $\theta=20^\circ$)而言，6,400K 緊湊型螢光燈的反應時間比 2,700K 緊湊型螢光燈的反應時間小，詳如圖 5-13。並且反應時間有下述的變化規律：

1. 隨著背景亮度增大，反應時間變小，即反應速度變快。
2. 隨著亮度對比增大，反應時間也是變小，即反應速度變快。
3. 隨著視標偏心角變大，不管是何種亮度對比，反應時間一般會變大，即發現目標的反應速度變慢。



資料來源：照明工程學報(2008)

圖 5-13 不同色溫 CFL 反應時間與背景亮度的關係圖

在實驗過程中，當目標光斑分別出現紅、黃、藍、綠四種顏色時，反應時間與背景亮度的關係仍然是存在的。隨著背景亮度的增大，反應時間隨之變短。並且，在同樣的背景亮度下，色溫為 6,400K 的緊湊型螢光燈比色溫為 2,700K 的反應時間短。兩種色溫時，對不同顏色光斑的反應時間差也有不同的規律。其中藍

色光斑時，反應時間差較大，而出現黃色和綠色光斑時，反應時間差較小。這說明在真實不同白光色溫隧道照明環境中，若以反應時間為依據，6,400K 的緊湊型螢光燈比 2,700K 的緊湊型螢光燈照明效果好，尤其當目標物顏色富含短波時照明效果差別更明顯。

大陸學者劉茵嬰^[27]，以反應時間研究道路照明光源的相對光效，該反應時間實驗旨在通過模擬夜間駕駛條件下的視覺環境，測量人眼在道路照明條件下觀測視標的反應時間，來獲得反應時間與各種道路照明因數(實驗參數)之間的變化關係。該研究使用目前道路照明應用最普遍的兩種光源 250W 高壓鈉燈(HPS)和 250 W 金屬鹵素燈(MH)提供背景亮度，並可以任意調節其亮度至中間視覺範圍(0.001~3cd/m²)，模擬夜間道路照明水準，相關實驗變數如表 5-8。

表 5-8 實驗環境參數設置

背景亮度 L_b (cd/m ²)	視標對比度 C	視標偏心角	兩種光源
0.001, 0.0032, 0.01, 0.032, 0.1, 0.32, 1, 3.2	C=0.5, C=0.4, C=0.3	$\theta=0^\circ, \theta=10^\circ$, $\theta=10^\circ\sim70^\circ$	高壓鈉燈(HPS) 金鹵燈(MH)

資料來源：燈與照明(2007)

藉由實驗得出 HPS 與 MH 在不同背景亮度下的反應時間見表 5-9。

表 5-9 HPS 與 MH 在不同背景亮度下的反應時間

背景亮度對數值	-3	-2.5	-2	-1.5	-1	-0.5	0	0.5
背景亮度(cd/m ²)	0.001	0.0032	0.01	0.032	0.1	0.32	1	3.2
高壓鈉燈(HPS)	668.17	610.61	549.81	471.71	415.20	376.85	355.82	344.12
金鹵燈(MH)	476.25	470.82	434.69	381.53	355.59	333.21	318.62	308.57
比值(HPS/MH)	1.40	1.30	1.26	1.23	1.17	1.13	1.12	1.12

資料來源：燈與照明(2007)

從表 5-9 可知，在中間視覺範圍內，隨著背景亮度減小，MH 燈和 HPS 燈的反應時間都在增加，並且在任何一種背景亮度下 MH 燈的反應時間均小於 HPS 燈。當背景亮度大於 1cd/m² 時，HPS 燈相對於 MH 燈的反應時間的比值趨於穩定，當背景亮度小於 1 cd/m² 時，隨著背景亮度水準的降低，兩者反應時間的比值在不斷擴大，當背景亮度為 0.001cd/m²，隨著背景亮度水準的降低，兩種光源的反應時間都會增加，但是高壓鈉燈的反應時間增加的幅度要大得多。說明進入中間視覺以後，在高壓鈉燈照明下目標不易被識別，其產生的視覺功效明顯降低了。

藉由上述研究成果，劉茵嬰認為，在道路照明水準範圍，金屬鹵素燈的光效

比高壓鈉燈高；而且道路照明水準越低，金屬鹵素燈相比高壓鈉燈的光效越高。因此，從節能的角度出發，金屬鹵素燈比高壓鈉燈更有效，而如前面所述，反應時間對於夜間駕駛的安全性是至關重要的，因此從安全的角度出發，金屬鹵素物燈也比高壓鈉燈更有效。

陳仲林等人^[27]，針對隧道照明中反應時間研究，其以 30W LED、400W HPS 及 250W MH 燈進行、反應時間與不同背景亮度、不同偏心角與不同光源之關係研究，相關實驗變數如表 5-10。

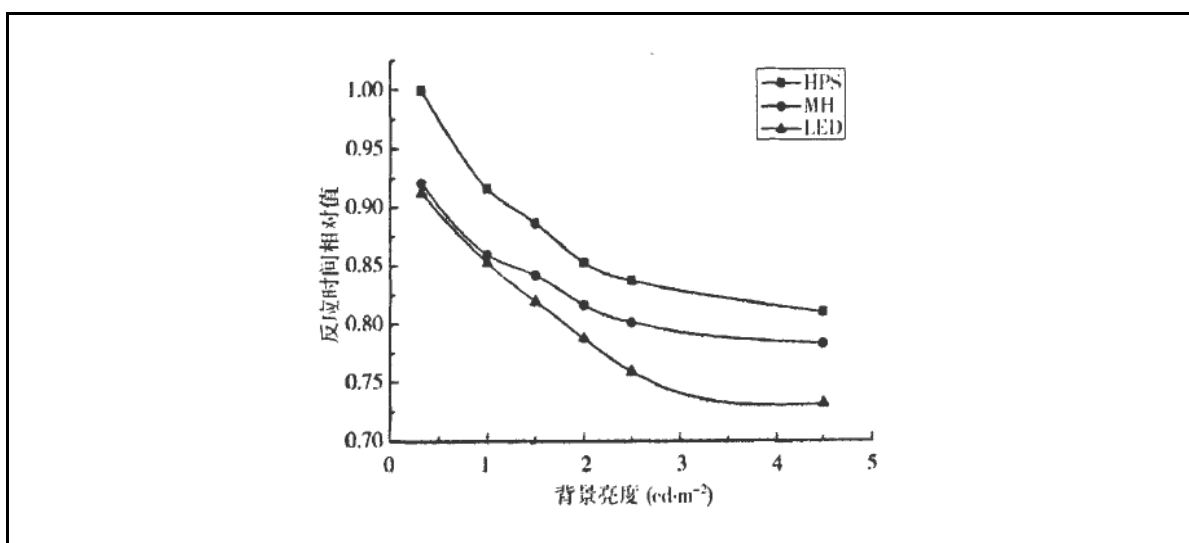
表 5-10 實驗環境參數設置

背景亮度 $L_b(\text{cd}/\text{m}^2)$	視標對比度 C	視標偏心角	兩種光源
0.32, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 4.5	$C=0.5, C=0.2$	$\theta=0^\circ, \theta=10^\circ, \theta=20^\circ$	30W LED 400W 高壓鈉燈(HPS) 250 金屬鹵素燈(MH)

資料來源：燈與照明(2008)

被測試人員是 20 名青年人。他們具有正常的色覺和矯正視力。眼睛一直注視正前方的十字標記，不能轉動眼睛對準目標，在每一次實驗中，目標物出現後如果受測者無反應，目標物在持續出現 2 s 消失。在每種亮度條件開始前有 1min 的適應時間，其研究成果如下：

首先在三種光源反應時間上，從圖 5-14 可以看出：光源 HPS 相對於 MH 和 LED，反應時間都比較長；在 3 種光源中，在 LED 下的反應時間最短。其次是 MH。這說明，若以反應時間作為指標，LED 的照明效果最好。

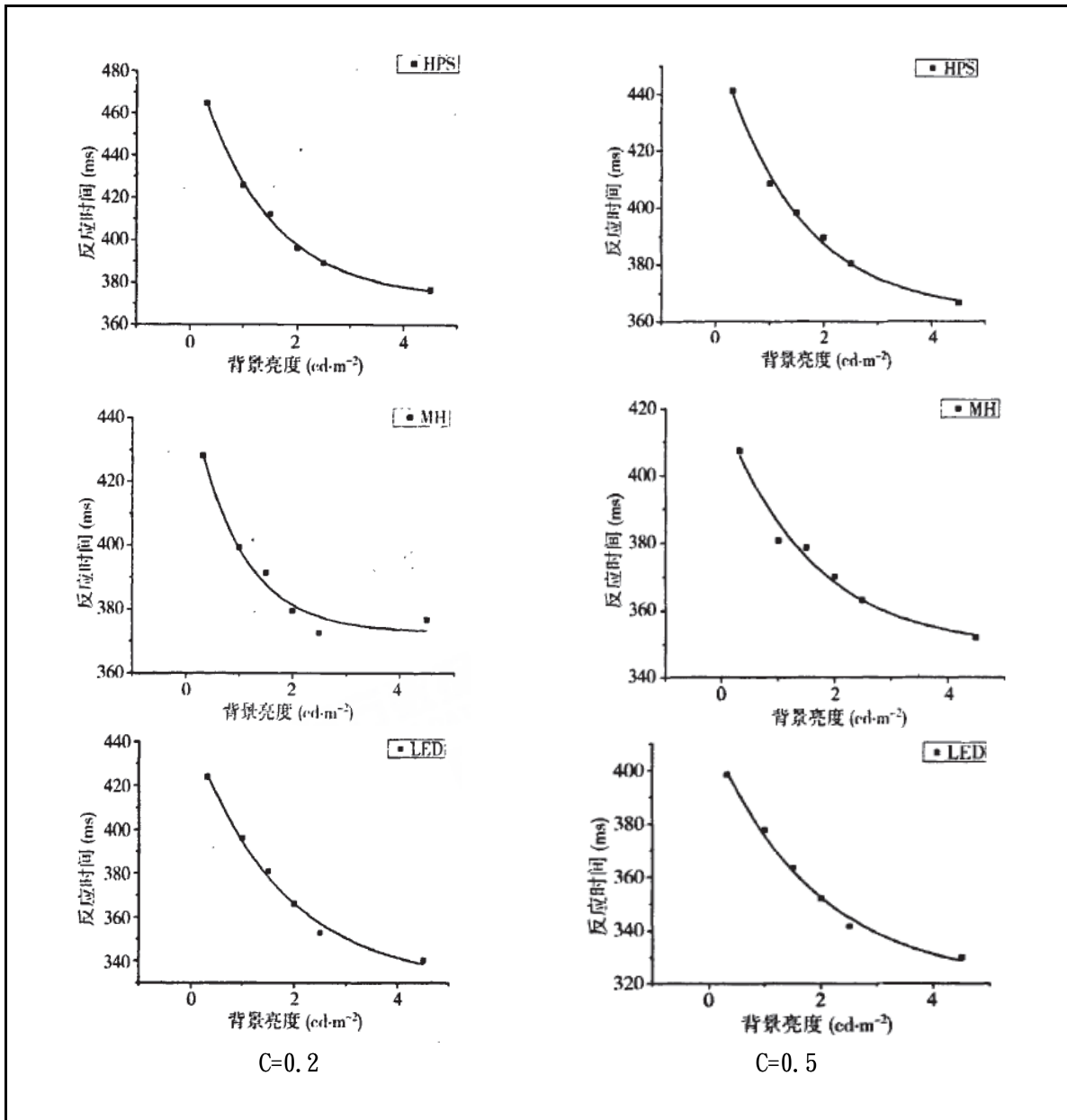


資料來源：燈與照明(2008)

圖 5-14 3 種光源下反應時間與背景亮度關係

除了不同光源，反應時間有差異外，該研究實驗結果發現，在隧道照明條件下，對於不同背景亮度($0.32\text{cd/m}^2 \sim 4.5\text{cd/m}^2$)、不同亮度對比($C=0.2, C=0.5$)、不同視標偏心角($\theta=0^\circ, \theta=10^\circ, \theta=20^\circ$)而言。對於被測試的 3 種光源反應時間變化為：

- (1) 隨著背景亮度增大，反應時間變短，即反應速度變快，詳如圖 5-14。
- (2) 隨著亮度對比增大，反應時間也是變短。即反應速度變快，詳如圖 5-15。



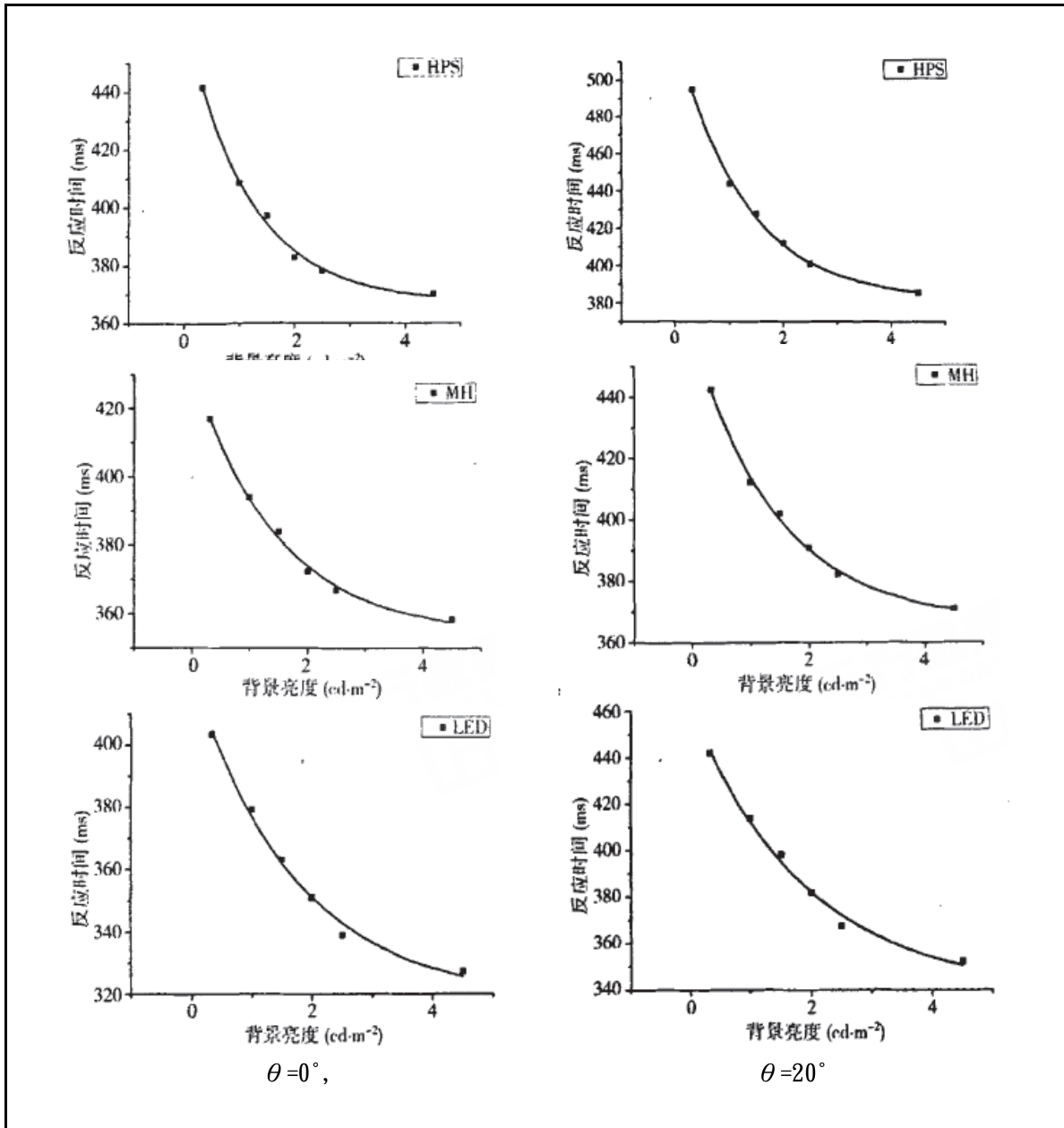
資料來源：燈與照明(2008)

圖 5-15 3 種光源下反應時間與亮度對比關係

3 種光源中，在 LED 下的反應時間最短，其次是 MH。這說明，無論視標對比度 C 為 0.2 還是 0.5，若以反應時間作為指標，都是 LED 的照明效果最好，其

次是 MH，而 HPS 的照明效果沒有明顯差別，比 LED 和 MH 都要差一些。

(3) 獲得了隨著視標偏心角變大，不管是何種亮度對比，反應時間一般會變長，即發現目標的反應速度變慢，詳如圖 5-16。



資料來源：燈與照明(2008)

圖 5-16 3 種光源下反應時間與偏心角關係

通過對 3 種光源在視標偏心角 θ 為 0° 、 10° 、 20° 的反應時間的比較分析，可以發現在中間視覺條件下，視覺目標處於周邊視覺時，LED 和 MH 照明產生的視覺功效要比 HPS 高。而周邊視覺對於夜間駕駛的安全是非常重要的。

(4) 反應時間與光源色溫具有相關關係，當色溫為 400K~5,000K 時應時間一般比較短。

反應時間實驗中被測光源的色溫分別是 HPS 是 2000 K，MH 是 4000 K，LED 是 6000 K，從以上實驗結果可以看出色溫較低的 HPS 反應時間最長。其次是 MH，反應時間最短是 LED。反應時間實驗結果似乎表示了反應時間與光源色溫大小是有關的資訊。為了深入研究反應時間與光源色溫的關係，現取同一個廠生產的不同色溫的同種無極螢光燈(EDL)作為研究物件，實驗在 5 個不同的背景亮度($L_b=0.32$ 、 1.0 、 1.5 、 2.0 、 3.2 cd/m^2)、兩個不同的亮度對比($C=0.2$ 、 0.5)和 3 個不同的視標偏心角(θ 為 0° 、 10° 、 20°)的條件下分別進行，得到了測試者在色溫分別為 4000 K、5000 K、6500 K 的 EDL 下的反應時間見表 5-9。

表 5-11 測試者在 3 種不同色溫光源下反應時間平均值

單位：秒

光 源 \ 輝度(cd/m^2)	0.32	1	1.5	2	3.2
EDL(4000K)	403.4	402.8	389.3	376.7	357.4
EDL(5000K)	428	401.7	388.9	377.0	358.9
EDL(6500K)	443.8	415.1	401.7	389.2	368.3

資料來源：燈與照明(2008)

若以反應時間作為評價指標。色溫為 4000 K 和 5000 K 的 EDL 的照明效果較好，而色溫為 6500 K 的 EDL 的照明效果較差，雖然有此規律存在，但三者之間的差別並不明顯。

由道路照明反應時間模擬實驗確定，隨著背景亮度增大、亮度對比增大和視標偏心角變小，反應時間變短，即反應速度變快。反應時間與光源色溫是有關的，研究的無極螢光燈下反應時間與光源色溫結果表明。人眼對於照明光源的色溫約為 4000 K~5000 K 的反應時間最短；色溫太高，被測試者認為太刺眼，反而使反應是時間變長。

5.5.3 小結

道路照明的目的就是為駕駛人員和行人提供安全、迅速與舒適的視看環境，但是首先，迅速性與舒適性都要建立在足夠安全的基礎上，因此道路照明首先應保證其產生的視覺功效-反應時間能夠滿足要求。從反應時間與交通事故的關係可以判斷，將「反應時間」作為評價道路照明光源及其光效的參數，是非常重要的，

而且是必要的。從反應時間相關研究中可以發現，對於道路照明與反應時間長短之影響，可以從輝度、背景亮度、對比度、偏心角、色溫等相關變數來探討。基本上的結論為：

1. 隨著背景亮度增大，反應時間變短，即反應速度變快；
2. 隨著亮度對比增大，反應時間也是變短。即反應速度變快；
3. 隨著視標偏心角變大，不管是何種亮度對比，反應時間一般會變長，即發現目標的反應速度變慢；
4. 反應時間與光源色溫具有相關關係，當色溫為 4000K~5000K 時應時間一般比較短

運用上述研究成果，可以獲致以下小結：

1. 在道路照明環境中，以提升反應道路為目的，使用色溫高之燈具效果優於低色溫；然而，因過高色溫低照度下，心理效益呈現陰冷，因此燈具色溫 4000~5000K 生心理效果均佳。
2. 演色性佳之道路燈具可呈現良好色彩環境，利於辨識，提升駕駛安全及城市美化。
3. 隧道照明使用白光 LED 照明反應時間短、調光容易，兩端出入口部份可依戶外照明條件設計照度，降低黑洞效應發生汽車追撞事故。
4. LED 燈具可調色溫，具備協調隧道裡外光色差距反應時間不統一，造成視覺調適性不良導致交通事故問題

5.6 眩光

所謂眩光簡單的來說就是會干擾到人眼看到目標物的非必要雜訊光。眩光依其對視覺所造成的影響可分類如下^[93]：

1. 失能眩光(Disability Glare)

由於眼內介質對光的散射而使得視網膜上之影像對比度的損耗，因此在其他視野上的入射光會造成中央窩上的視覺明晰度降低。

2. 適應型眩光(Adaptation Glare)

從暗房走出到明亮的室外情況下，所導致有一段時間無法適應較為光亮的環境，此時明亮環境裡的光源使眼睛失去正常的視覺，稱之為適應型眩光。

3. 不舒適眩光(Discomfort Glare)

視野中出現讓人感覺到不舒服的光源，稱之為不舒適眩光。

道路照明等，由於著重安全因素，所以比較為考量會降低駕駛者對目標影像對比度的失能眩光。主要原因有二，第一失能眩光損害眼睛視看物體的能力，直接影響到駕駛員覺察障礙物的能力，即降低視覺對象的可見度，影響行車安全。

第二，並不是產生不舒適的感覺，它才是失能眩光，它才有危害。也就是說，一條道路不是看上去讓人感到耀眼奪目才有眩光問題。很可能人視覺還沒有不適的感覺，失能眩光已經產生了嚴重的危害，引起視功能下降。其原理為，在沒有眩光源時，直接視場中的物體圖像聚焦在視網膜上，視感覺由物體亮度確定，有眩光時，眩光光線發生散射形成光幕，疊加在視網膜上，此光幕的影響等同亮度稱為等效光幕亮度。它不是太大時，不一定會對人眼產生什麼不適的感覺，但它卻降低了原來物體圖像的視感覺，減小了物體與環境在人眼中的對比度，降低了人的視覺反應速度，從而產生危害。

其中失能眩光可由光學散射現象來解釋，不舒適眩光則是與人類心理認知有關^[33]，一般室內照明的評估會考慮兩者的效應，如英國照明學會於 1961 年所提出的眩光指數法(British IES Glare Index System, 簡稱 BGI)、美國照明學會於 1966 年所發表的視覺舒適機率法(Visual Comfort Probability Method, 簡稱 VCP)、歐洲輝度曲線法(Glare limiting curve system, LC)與 1995 年 CIE 的統一眩光級數(Unified Glare Rating, 簡稱 UGR)，皆是失能與不舒適眩光的結合。

CIE 提出道路照明有關眩光的規範，其中眩光限制這欄中分成兩個指數來限制路燈的眩光是否會威脅到駕駛者的安全，眩光指數 G 的演算法為

$$G = 13.84 - 3.31 \log I_{80} + 1.3 \log(I_{80} / I_{88})^{0.5} - 0.08 \log(I_{80} / I_{88}) , \quad (6)$$

$$+ 1.29 \log F + 0.97 \log L_{av} + 4.41 \log h' - 1.46 \log p + C$$

其中 I_{80} 為相對燈源垂直法線之夾角 80 度時平行車行進方向所偵測到的光強度(單位為 CD)， I_{80} / I_{88} 為兩種相對燈源垂直法線之夾角時其光強度比值， F 為與光源法線夾 76 度角時水準方向看到的光源面積， h' 為觀測者和燈源的垂直高度差， p 值為路上每 1,000 公尺的路燈盞數，而 C 則是燈泡總類而定，其中低壓鈉燈值為 0.4，高壓鈉燈為 0.1，而水銀燈為 -0.1。

門檻增量值(TI .)其算式則為

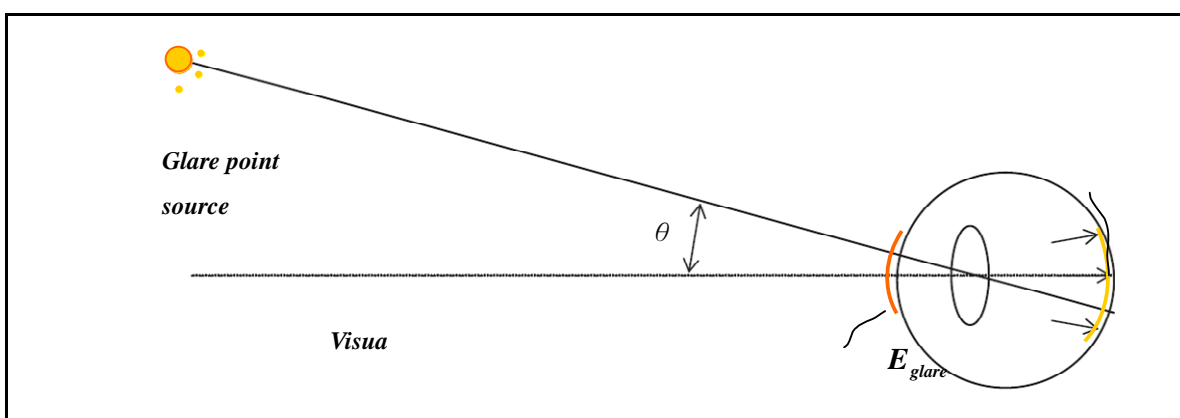
$$\text{If } 0.05cd / m^2 \leq L_{av} \leq 5cd/m^2$$

$$TI = 65 \times L_v / L_{av}^{0.8} , \quad (7)$$

$$\text{If } L_{av} \geq 5cd/m^2$$

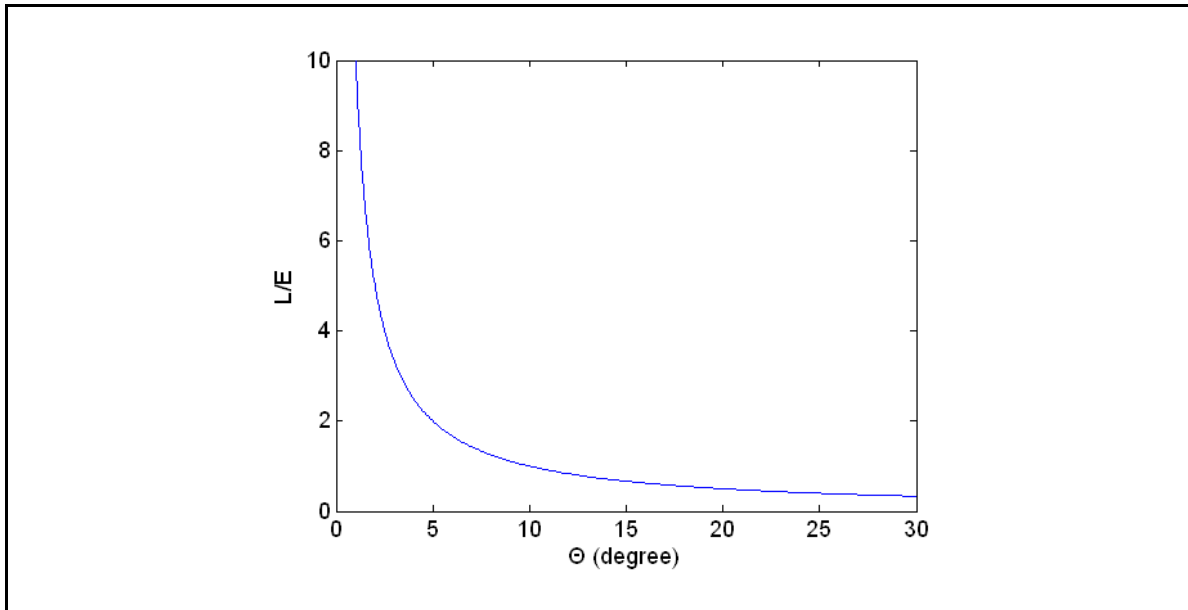
$$TI = 95 \times L_v / L_{av}^{1.05} , \quad (8)$$

其中 L_{av} 為環境平均輝度，而 L_v 為光幕輝度，計算式為 $L_v = \sum_{i=1}^n 10E_{vi} / \theta_i^2$ ，又其中 E_v 為角膜上之照度， θ 為光源到眼睛的連線與視軸的夾角，可以參照圖 5-17。光幕輝度 L_v 整體來說，即為眼內光學散射與眼底漫射所造成的失能眩光，而其關係式說明了光幕輝度與眼睛角膜上的照度成正比，而與光源視軸夾角的平方反比，圖 5-18 即為其曲線圖。



資料來源：江重致(2009)

圖 5-17 與視軸夾角眩光源在角膜上照度與視網膜所觀察輝度示意圖



資料來源：W. S. Stiles(1939)

圖 5-18 Stiles-Holladay 失能眩光公式之 L_{eq} 與 E_{glare} 之間的轉換關係

隨著我國城市建設的快速發展和人民生活水準的不斷提高，城市道路照明事業也走上了快速發展的軌道。一段時間以來，讓城市亮起來成為各級政府的工作之一，伴隨著城市道路照明水準的普遍提高，一些地區為提升城市形象，一味的追求越亮越好，忽視了城市道路照明其作用是為車輛駕駛人員以及行人創造良好的視覺環境，保障交通安全，應以照明的功能性為主的基本準則。另一方面，照明工程設計還停留在以電氣設計為主的階段，忽略了照明的品質，對城市道路光環境的營造缺乏認識。眩光限制指標是獨立於照明亮度、照度、功率密度等照明水準指標，衡量照明品質的一個重要評價指標。長期以來，我國道路照明設計對眩光限制指標的控制一直停留在燈具光分佈類型的控制上，為了對城市照明設計中眩光限制指標進行量化控制，建議應對眩光限制指標採用閾值增量指標進行控制，這也是與國際 CIE 標準相統一的，但我國目前道路照明設計多數還停留在對燈具光分佈類型的定性說明上，很少有計算資料。

透過燈具的全遮蔽、半遮蔽與無遮蔽三種類型來限制眩光，其實質就是以燈具最大光強角的控制來定性的控制眩光，這可以在一定程度上控制燈具在駕駛視角範圍內產生的眩光光強不是最大，但不能定量的控制眩光，也未考慮燈高、燈距、燈具仰角、路幅等現場實際參數對眩光的影響，實踐運用雖然十分簡單，但控制效果卻不理想。建議應透過定量計算來準確分析眩光的影響程度，以數據資料指標來限制眩光方能有效控制眩光危害，提高照明品質，保障交通安全。

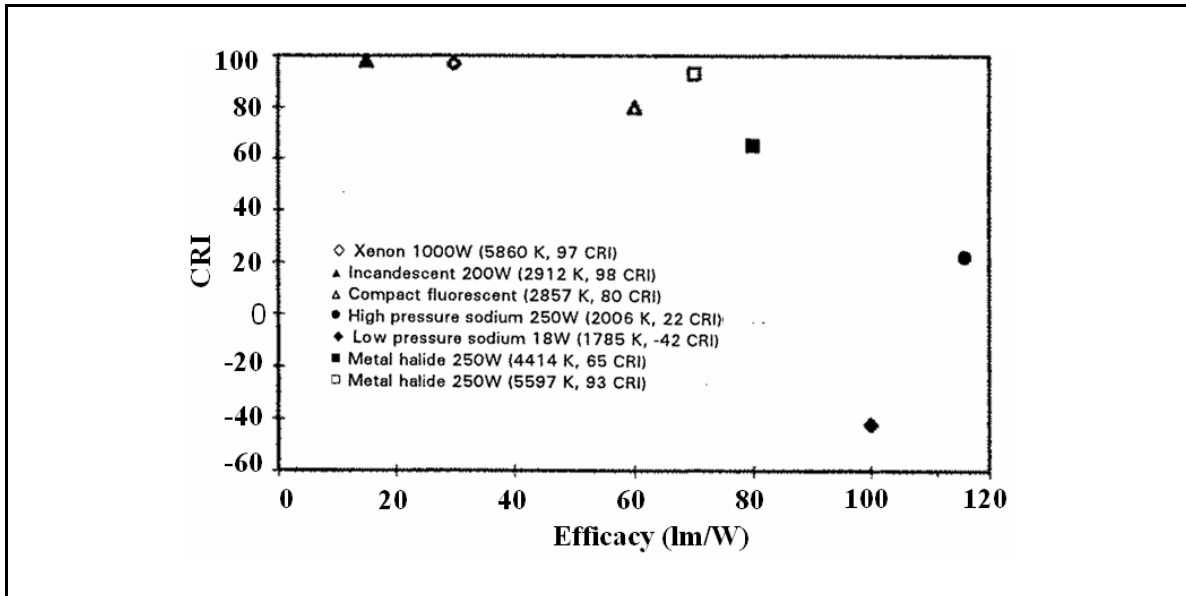
5.7 人因工程於新型道路耗能設施之應用

人因工程應用於道路照明之安全議題，已成為各國目前積極研究的研究議題。除探討視覺相關的明視覺、暗視覺與中間視覺，研究機構也針對不同道路使用環境，運用各種照明光源以及設定不同環境參數進行實驗研究。從人因角度探討不同照明光源特性，藉以瞭解在不同環境參數條件下，對於駕駛以及用路人而言，在視覺上、反應時間以及處理緊急情況的應變能力是否可能受到影響。以下探討人因工程概念於新型道路耗能設施上的實際應用。

5.7.1 道路照明

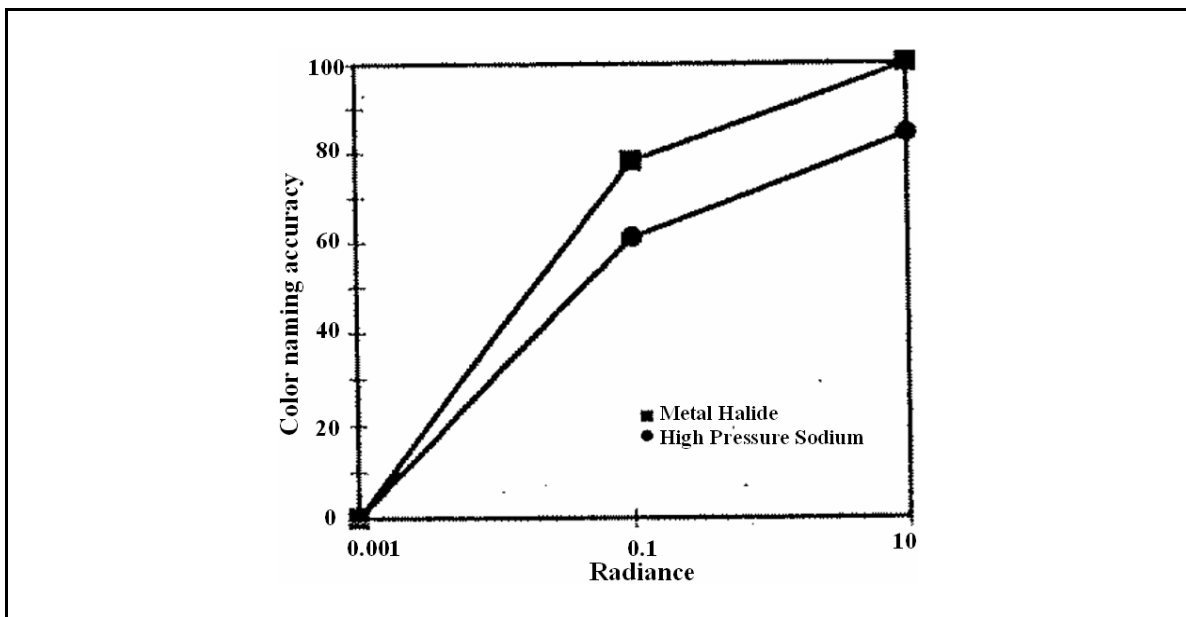
參考 Illuminating Engineering Society of North America(IESNA)建議道路照明標準，其所規範的背景輝度為 0.3 到 1.2 cd/m^2 ，此範圍值即在中間視覺表現之內，其他照明環境的規定與建議亦差不多在此範圍內，所以在考慮道路照明之效率或是其他視覺表現上，中間視覺會是必要考量。在道路照明建議的照度範圍值內約 1 cd/m^2 的情況下，經由 P. Arumi 等人實驗^[7]可知視力會出現明顯下降的情形，約從 $\geq 6/6$ 變成約 6/9(i.e., 6/9 指受檢者在 6 公尺可看清楚視標，而正常眼在 9 公尺就能看出，6/6 即為一般常說之 20/20)；若將亮度進一步降低到約 0.03 cd/m^2 時，則會因為瞳孔過於放大導致離軸光造成更大的球面像差，而進入夜近視的狀態。在中間視覺下之道路照明的對比度需求上，Mara C. Puell 等人在 2007 年提出的實驗結果，說明年老的人相對年輕族群來講擁有較高的對比度閾值，也就是說目標物與背景的對比必須較高、才能辨識目標物，且視野中若出現眩光時，兩者對比度敏感度皆會下降^[8]。

而在道路照明上，首先就燈具效率來看，參考現今日常生活中常見之用燈，如圖 5-19 所示。其中低高壓鈉燈(Low and High Pressure Sodium，以下簡稱 LPS 與 HPS)由於較高流明功率輸出而常用於戶外照明，儘管演色性相對較差。金屬鹵素燈(Metal Halide，以下簡稱 MH)廣泛地使用於商業與工業用途，則是因為演色性與流明效率都有兼顧到。1998 年 Mark S. Rea 等人^[9]使用 HPS 與 MH 在考慮暗視覺、中間視覺與明視覺不同之情況下，以實際實驗來比較它們之間的流明輸出效率與演色性，如圖 5-20 與圖 5-21 所示，HPS 不管在何種輝度環境下，給人眼對顏色的判斷性終究低於 MH，而在 0.1 cd/m^2 到 10 cd/m^2 範圍內，HPS 則會逐漸超越 MH 帶給人眼實際感受的亮度。



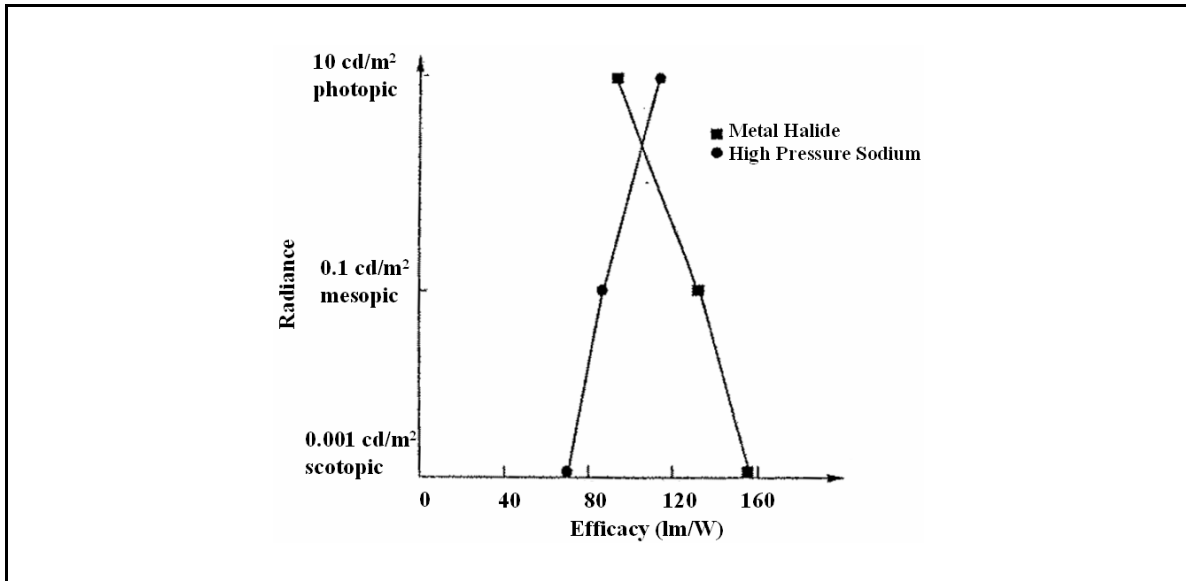
資料來源：The 8th International Symposium on the Science and Technology of Light Sources.(1998)

圖 5-19 現今日常生活中常見之用燈的視覺效率與演色性比



資料來源：The 8th International Symposium on the Science and Technology of Light Sources.(1998)

圖 5-20 金屬鹵素燈(MH)與高壓鈉燈(HPS)在 3 種環境輝度分別為 10 cd/m^2 、 0.1 cd/m^2 、 0.001 cd/m^2 下，與顏色命名準確性的關係



資料來源：The 8th International Symposium on the Science and Technology of Light Sources.(1998)

圖 5-21 金屬鹵素燈與高壓鈉燈在 3 種環境輝度分別為 10 cd/m^2 (明視覺)、 0.1 cd/m^2 (中間視覺)及 0.001 cd/m^2 (暗視覺)下的發光效率。

在燈具光源的比較上，甚至還有人拿螢光燈(或稱日光燈管，以下稱為 Fluorescent)來與 HPS 做比較，Akashi 等人^[10]在這兩者比較中提出了 Fluorescent 可以提供較無眩光、演色性較佳的照明環境，然而發光亮度受溫度影響而不穩定，且效率不如 HPS 則是 Fluorescent 很大的缺點。

上述研究無非是希望能夠為街道照明或是戶外照明等作建議，然而在夜間應用的燈光設計上，路燈的發光效率與演色性並不是設計燈光唯一的標準，實際考量還牽涉到其他因數，如燈泡壽命、維修和成本也是很重要的路燈規格考慮因素。在 2009 年 1 月，ASSIST(Alliance for Solid-state Illumination Systems and Technologies)發表了一篇探討戶外照明的設置建議及對人們的影響^[11]，並歸類出幾個可供參考的要點。第一點，由於視覺從亮處移動到暗處會暫時出現無法及時適應等情況，因此室外光線建議提供照度均勻一致性、以及在亮處及暗處間提供充分的視覺適應環境；第二點是關於夜間的亮度也會影響人們的安全感及放置在室外私人財產的安全度，所以路燈會間接影響人們的心理層面；第三點，相關的物體及背景之間的相對照明度也是室外光線設計的考量因數；第四點則是關於眩光的防範。

在探討 0.3 到 1.2 cd/m^2 此照明環境範圍值所帶來的中間視覺之後，外在環境恐怕也是未來所最必須注意的重點事項之一。在相關道路照明的建議上，Aleksanteri Ekrias 等人在 2007 年所發表的文章擁有考慮天氣狀況之因素，例如濃霧、高反射率的潮濕地面等情況下，為了維持周遭有符合法規的輝度，可能需要架設一套智慧型的光敏器，來偵測環境光強並調整道路照明燈具的功率^[12]。

5.7.2 隧道照明

由於隧道照明需 24 小時運轉，且處於封閉空間，散熱較不易，屬於高溫運作之照明環境。隧道本身為一半封閉空間，不同於一般開放式路段，駕駛人於進入隧道後，會因對密閉空間產生不安感、壓迫感及亮度轉暗等不適性，因此行車安全更顯重要。一般依隧道長度可簡要劃分為長隧道及短隧道，然而長隧道與短隧道之劃分並無絕對長度標準，例如日本將長度 3 公里以上之隧道認定為長隧道，歐洲則是長度 4 公里以上之隧道定義為長隧道。就國內長隧道而言，以雪山隧道全長 12.9 公里最具代表性。

當車輛行駛於隧道路段，應儘量避免閃爍(Flicker)及眩光(Glare)效應造成駕駛者眼睛之疲累，以致影響長隧道之行車安全。根據交通部運輸研究所「人因工程與長隧道照明之關係研究與測試」指出，駕駛人在進入隧道後眼睛調適的時間，需要歷經約 7 秒的時間才能適應，以辨認路況及作應變處理；有將近 40% 駕駛人受到隧道內光線變化的影響，視力有 0.1 的視力變化，15% 的視力變化為以 0.2 以上，有將近 45% 駕駛人視力沒有變化。

以雪山隧道為例，為舒緩用路人長時間行駛於封閉空間內單調枯燥的情緒，減輕用路人之焦慮及壓迫感，並增進用路人行駛長隧道之時空辨識及趣味性，於距隧道出口起約每隔 1 公里處右側壁設置倒數里程辨識牌，其對面側壁則設置圖案以舒解眼睛疲勞。



資料來源：我國交通部道路交通安全督導委員會(2010)

圖 5-22 雪山隧道倒數里程辨識牌

再者以中國穿越秦嶺全長 18.02 公里的秦嶺終南山公路隧道為例，於 2007 年 1 月 20 日通車，在長隧道中行駛難免會產生視覺疲勞，為了減輕特長隧道的行車

單調，緩解駕駛員的視覺疲勞，施工設計特意在每隔約 5 公里左右，佈置人工植物景緻，搭配特殊燈光效果。



資料來源：新華社(2010)

圖 5-23 特殊人工造景搭配燈光效果的秦嶺終南山公路隧道

另外根據北京牧月科技有限公司設計總監在隧道照明設計思路論述中表示，較短隧道一般基本不會引起視覺疲勞，較長隧道則需考慮之，可以透過改變照明設計方法舒緩。例如：透過燈具營造亮度及色彩的變化降低視覺疲勞，或是在隧道內部建立區域景觀，運用合理照明方式，模擬自然環境減少視覺疲勞程度。

5.7.3 標誌照明

1. 影響標誌辨識的可能原因

標誌的設立，是為了讓駕駛可以清楚明瞭標誌所傳達之內容。標誌應具有醒目、易識與公認性等特性，目前標誌設置的問題中，有設置高度不當、明視與反應距離不足等缺失。而在標誌辨識上，圖像與文字型態的差異、標誌內容複雜度皆會影響辨識性。

標誌功能不彰可能產生之負面影響，包含：標誌看不到、標誌看不清、標誌看不懂以及看懂來不及等。而造成這些負面影響的可能因素，除人為因素、旅次因素、交通環境、光環境等外在條件下，與標誌本身的內容以及設置也密切相關。

標誌本身的顏色、形狀、內容(文字、圖像、數字)、反光度以及大小，以及標誌設置的地點、高度、面向駕駛方向的角度等都會影響駕駛對標誌的辨識能力。本節主要探討道路光環境以及標誌本身光線的條件，對於駕駛在標誌辨識能力的影響。

2. 照明方式的不同所帶來的辨識程度差異

在道路交通標誌設計上，不管是自發光型(燈箱、LED 顯示等)或是被動反射光型(傳統塗料看板)，其訊號光頻譜都必須兼顧到日間、傍晚與夜間的環境對比與視覺響應。

在白天時刻，由於交通標誌或各種看板之類的訊息產生器，其週遭的環境輝度很高，因此自發光型之交通標誌必須要發射強力的光強以克服日光輝度，而反射式型的交通標誌可以利用到白天充足且夠強的光線，而不需要自行發光；在夜間時刻，則情況相反，在低輝度的照明環境下，自發光型標誌則可以輕易的與環境輝度造成強烈的對比，此時反射型式標誌，若沒有多添加一光源來照明則會失去對比而造成指示不清。上述反射型標誌中，在添加一光源來做輔助照明的情況下，由於光源非直接使用，而是間接的反射看板塗料的反射頻譜，所以效率較為低落。

在考慮日間與夜間的情況來選擇訊號產生形式後，接著要引入人眼對光頻率響應的因數。白天時，人眼對波長 555nm 左右的色光響應最高，換句話說即是對綠光最為敏感，因此道路交通標誌欲顯示出的文字或圖形等訊號可能以光頻譜之中心波長為 555nm 左右輸出為佳，其看板背景為不干擾訊號或增加與文字或圖像訊號之對比度的顏色為佳，如黑色或是對抗色，如紅色。同理，隨著傍晚的環境輝度漸低而進入中間視覺，視覺響應函數的主波長也會漸漸隨之移動(響應主波長 555nm 往 507nm 移動)，若文字或圖案等訊號其主波長也跟著移動，則可以得到最佳效率，到了夜間視覺最靈敏波長則是移動到 507nm。

5.7.4 安全防護設施

根據由美國運輸研究委員會 2008 年出爐的一項研究名稱為 “Applications of Illuminated, Active In-Pavement Marker Systems” 的國家協助公路研究計劃 (National Cooperative Highway Research Program. NCHRP, SYNTHESIS 380) 內提及，主動式路面標記(IPM : In-Pavement Marker)可透過持續發光和閃爍發光兩種模式運作，不同的閃爍頻率可預示交通危險的程度(例：霧區)。此外，順著道路狀態裝設的 IPM 系統可提醒駕駛人減速或維持適當的車速，或在路口轉彎時提供方向上的指引。IPM 系統在增加能見度上比傳統路面突起反光標記(RRPM：

Raised Retroreflective Pavement Marker)具有潛力，特別是在橫向轉彎地帶(horizontal curves)，RRPM 必須透過汽車頭燈的亮光才能發揮反光作用，因此橫向轉彎輪廓無法一次完全呈現。

當 IPM 系統以閃爍模式運作時，頻率必須每秒低於 5 次或每秒超過 30 次。閃爍頻率不應在每秒 5~30 次之間，因為可能會造成某些個人的誘發性癲癇發作(epileptic seizures)。

關於 IPM 之使用標準和準則，美國 MUTCD 內並無明確規定，可依循之部分大多聚焦於行人穿越道(斑馬線)之應用。MUTCD(2009) 和 IPM 相關之定義出現在 CHAPTER 4N: IN-ROADWAY LIGHTS 章節，”In-Roadway Lights 是一種安裝於地面道路之特殊類型公路交通信號，用以警告道路使用者正在接近一個不易看出的路況條件，可能需要放慢和/或停下來。”

Section 4N.01 Application of In-Roadway Lights 規定 In-Roadway Lights 的設置高度不得超過路面 3/4 英寸以上，另在 Section 4N.02 In-Roadway Warning Lights at Crosswalks 更明確列出了所謂 IPM 在行人穿越道(斑馬線)之設置和操作方式，當中包括了啟動時應顯示閃爍的黃燈，每分鐘閃爍頻率 50~60 次(閃爍頻率不應在每秒 5~30 次之間，因為可能會造成某些個人的誘發性癲癇發作)。

5.7.5 小結

一般道路照明環境下，大致上視覺響應區都是落在中間視覺，因此在燈源的選擇上會考慮對人眼響應較高的頻譜。然而由於現今常用光源如 HPS(高壓鈉燈)等等在使用上為一固定頻譜，隨著環境亮度變化下，中間視覺曲線亦會隨之改變，很難去宣稱哪種光源總是可以有最好效率的表現，因此智慧型色彩調變燈源的發展應極具應用潛力。而效率也不一定是道路照明最重要的考量點，其他如影響視力、演色性、駕駛者心理性、燈具價格、維修成本等等因素也都需要被考量。

交通標誌上，其傳達的文字或圖像訊息，一般會希望以當時環境下眼睛的響應峰值波長作為選擇，而其看板上背景的選擇則會是一個很大的疑問，除了看板背景與文字或圖像的亮度對比以外，顏色對比(即色彩對抗性)也是一大因素，至於這之間權重畫分，會是未來新科學要討論的問題之一。

5.8 交通設施節能與安全分析架構

追求安全與節能是目前各國政府在交通安全設施導入上的主要目標。本研究針對新型耗能設施進行探討，從現有的道路交通設施法規與規範，了解駕駛與用路人在道路交通安全上的需求，後從人因工程的角度從視覺、反應時間與眩光議題進行研究，了解新型耗能設施與既有設施的優缺點，針對新型耗能設施進行安全性評估；後從經濟效益的角度分析不同應用場域、不同新型耗能設施之導入，其能夠帶來的經濟效益與社會效益為何，全面性的評估目前現有之交通設施有無汰換的必要性與急迫性，並了解新型耗能設施未來導入的時程與可行性。

本研究除了從各國道路交通法規規範、人因工程探討以及經濟效益分析三方面進行評估外，並參考各國新型耗能設施導入與評估案例，期望建立一個交通設施節能與安全分析架構，供未來我國政府在新型耗能設施導入上評估作一參考。

5.8.1 新型耗能設施導入評估流程

1. 選擇新型耗能設施

在新型光源發光效率與技術不斷進步的發展下，傳統道路交通設施效率與壽命短維護不易的負面影響，使得較具節能且發光效率較佳、產品品質與壽命較長的新型耗能設施成為下一世代的道路交通設施的新選擇。

就整個導入評估流程來看，了解新型光源發展的現況與其在道路交通安全上的可應用性，就產品規格與技術作深入了解是有其必要性的。除了參考各國已有的小規模示範案例外，持續追蹤新型光源的最新發展，以及新型耗能設施在各國的使用情形，將有助於開發更多可能的選擇，供後續進行全面性的評估。

2. 小規模示範計畫導入

確立新型耗能設施之可能採用光源後，政府可採行小規模的示範案例導入。本研究參考各國新型耗能設施的推廣與設置示範案例，各國政府普遍採用小規模示範案做循序漸進的導入。而以不同區域城市做為新型耗能設施導入的選擇時，會考量幾個因素，包含當地是否有政府政策的支持、該地環境條件是否合適以及是否有廠商願意共同合作等，是選擇導入新型耗能設施示範案例的選擇要素。

在小規模數量的新型耗能設施設置完成後，必須進行持續追蹤與實際測量，以及設置當地民眾的滿意度問卷調查，藉以了解該新型耗能設施在產品功能、可靠性、品質穩定性、以及設置後面臨不同氣候與環境條件下可能產生的負面效應與問題。滿意度問卷調查則是希望透過對當地民眾進行問卷調查後，了解當地民

眾、駕駛與用路人對於該款新型耗能設施的觀感與滿意度，除了宣傳與推廣提升民眾對於新型耗能交通設施的了解外，也可以透過問卷調查的結果調整未來導入時所必須特別考量之處，避免大量民眾反彈導至新型耗能設施的導入失敗。

3. 安全性評估

安全性評估及是從人因工程的角度，包含視覺、不同條件下對於駕駛人行車辨識與反應時間的影響，如背景亮度、對比度以及色溫高低，另外須考量使用時是否會產生眩光的議題。

評估的方式可從實驗研究的進行以及在小規模示範導入後，以當地民眾或用路人為調查對象進行問卷詢問，了解該新型耗能設施設置上可能產生的問題，並透過特定測量儀器的量測，進行定量的數據蒐集。

將新型耗能設施導入後的實際定量量測與定性研究綜合彙整後，評估該產品目前存在問題為何，與當地環境條件的配合程度，對當地民眾與用路人的影響等，進行再次的評估，以供未來產品設計與新型耗能設施導入時可作一修正與調整。

將安全性評估標準內容說明如下，並列點如表 5-12 所示：

(1) 用路人

問卷或電訪：了解民眾整體觀感、夜間安全與夜間可視性，是否能夠增加警覺性。亮度表現、是否提升道路安全效能、提高夜間可視性、訊息內容辨識能力。

(2) 整體環境

透過實際量測了解在設置該新型號能設施的情況下，道路路面照明水準須符合現行法規規範標準之內容，在照度與輝度上滿足用路人的需求，以及背景亮度、亮度對比度、視標偏心角以及光源色溫等條件是否可以縮短反應時間，使駕駛即時反應。

長時間觀察追蹤設置後是否使不遵守交通信號騎士減少、降低闖紅燈比率並減少交通事故發生次數。

(3) 新型耗能設施產品本身

光源色溫、產品可靠度、節電特性、穩定性以及維護特性、次數與維護成本。

表 5-12 安全性標準評估內容

評估對象	用路人	整體環境	新型耗能設施
評估方式	<ul style="list-style-type: none"> ■ 問卷調查 ■ 電訪 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 實際量測 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 產品規格 ■ 實際設置與量測
評估項目	<ul style="list-style-type: none"> ■ 整體觀感 ■ 夜間安全 ■ 夜間可視性 ■ 增加警覺性 ■ 訊息內容辨識能力 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 道路照明水準 <ul style="list-style-type: none"> ● 亮度 ● 輝度 ● 背景亮度 ● 亮度對比度 ● 視標偏心角 ● 是否產生眩光 ■ 交通事故防治 <ul style="list-style-type: none"> ● 減少不遵守交通信號騎士 ● 降低闖紅燈比率 ● 減少交通事故發生次數 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 光源色溫 ■ 產品可靠度 ■ 節電特性 ■ 維護特性、次數 ■ 維護成本。

資料來源：本研究整理(2010)

4. 道路交通法規規範檢視

道路交通法規規範的評估分為兩部份，一個是針對現行交通道路法規規範進行研究，檢視在新型光源的性能與技術不斷發展下，是否有需要做修改與調整之處。觀察各國在道路交通法規修定的發展沿革中可以看到，隨著技術與時空背景的不同，進行法規規範標準的修定與調整是有其必要性的，然而除了參考各國修定的大方向之外，更重要的是訂定一套符合本國環境條件與人文背景的規範，方可使其適用性達到最大。

另外，除了對現有的法規規範標準作檢視外，針對新型耗能設施的設置，必須有相對應的新型法規規範標準加以配合，才能使新型耗能設施導入時，供政府、相關單位以及廠商有所遵循。如針對新型 LED 光源訂定新的產品標準、在現行法規中加入若採用 LED 為光源時所需特別注意的地方與限制等。標準的訂定雖然困難，卻有其必要性與急迫性，故在新型耗能設施的導入流程中，扮演不可或缺的角色。

5. 經濟效益分析

在對新型耗能設施進行規格性能了解以及安全性評估後，經濟效益的評估分析，有助於政府作為是否應導入該新型耗能設施，以及導入時程規劃的一個參考依據。新型耗能交通設施之成本效益經濟模型，可採用初始成本＋電力成本＋維護成本＋廢棄處理成本四個項目做計算，透過本研究的經濟效益分析模型，可先從不同設置方法、新型光源規格與道路條件為基礎，分析各項成本後計算新型耗能設施與傳統設施累積成本，並評估該新型耗能設施的回收期長短，以及二氧化碳減量所帶來的社會效益。

由於新型耗能設施的性能與發光效率仍不斷的發展與進步中，經濟效益分析除了以本研究的模型進行評估外，也可以透過不同變數如產品單價、產品規格特性與維護率變化進行調整，分析不同情境下新型耗能設施導入的回收期間長短之變化，供未來政府導入時程規劃時作一參考。

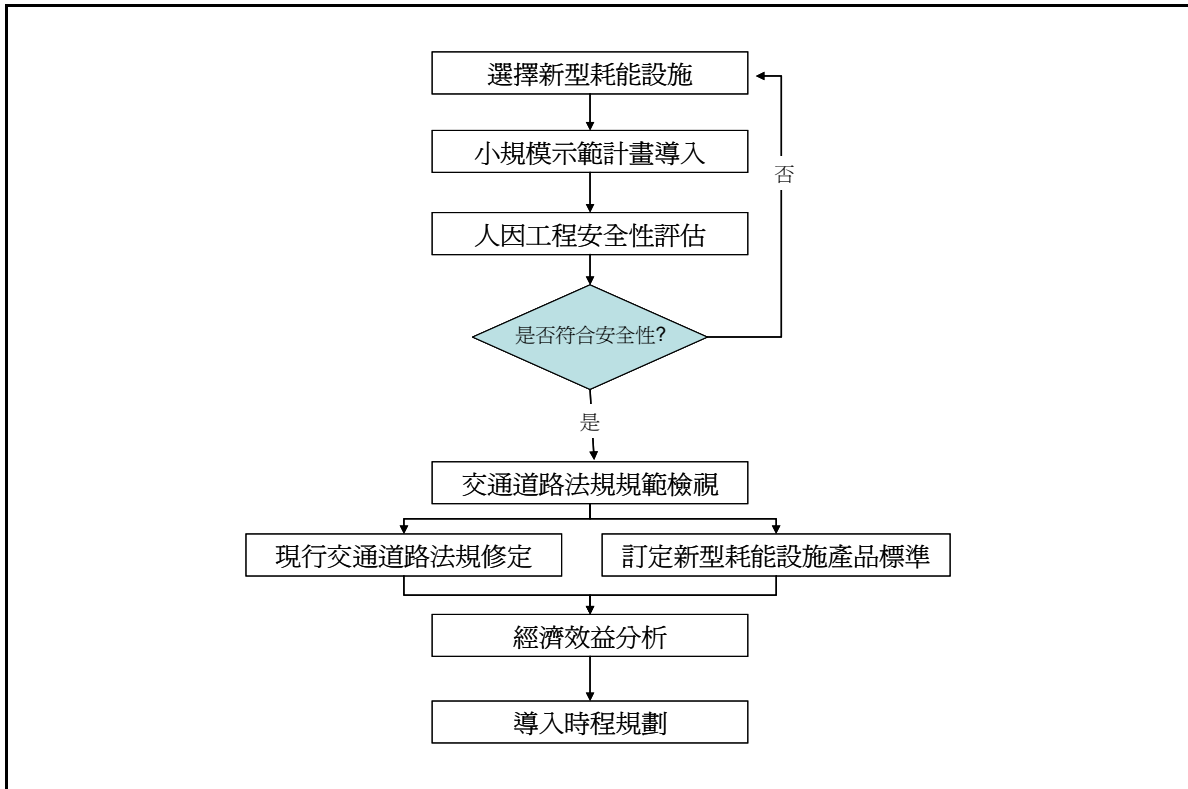
6. 建立導入時程規劃

在進行小規模示範計畫導入，從人因工程角度評估安全性、檢視現行法規規範標準以及經濟效益評估分析後，將各項條件分析結果彙整後，可擬定新型耗能設施導入時程規劃表，並納入未來可能之不同情境條件變化，評估不同新型耗能設施導入的可行性與適切性。

此一導入時程規劃也必須納入道路交通安全法規規範標準的修訂時程，作為規範內容修正調整的時程規劃參考，力求在最適合的時間點上導入較佳的新型耗能設施，除了使政府順利推廣新型耗能設施，達節能環保與安全性提昇之效外，也讓廠商隨著政府的政策推廣積極進行產品優化設計，帶動相關之整體產業成長，並讓所有道路使用民眾、用路人以及駕駛等，都能享受一個更安全、更便利、更節能環保的道路環境。

5.8.2 新型耗能設施節能與安全分析架構

彙整上述新型耗能設施評估流程後，將新型耗能設施節能與安全分析架構列式如下圖 5-24。



資料來源：本研究整理(2010)

圖 5-24 交通安全評估架構

5.8.3 小結

採用新型耗能設施是未來的發展趨勢，且已成為各國政府未來在道路交通安全設計上所會做的政策擬定考量之一。就目前各國導入比例以及各國政府較為保守的態度可以看到，新型耗能設施的採用，仍需要透過大量的實驗數據與示範案例，了解其在道路環境使用上可能產生的正面效益與帶來的負面影響。

透過本研究的交通安全評估架構，從人因工程探討、各國道路交通法規規範以及經濟效益分析三方面進行評估外，並參考各國新型耗能設施導入與評估案例，並規劃新型耗能設施的導入時程規劃，可供未來我國政府在新型耗能設施導入與評估上作一參考。

第六章 新型道路交通設施規範修正建議

從各國道路交通設施規範的內容比較分析、各國交通設施規範法規修訂沿革來看，國內交通工程手冊訂定內容確有修訂的必要性，以下分別從道路照明、交通標誌/標誌照明及交通安全防護設施等三部分提供修訂建議。

6.1 道路照明規範修正建議-道路照明

1. 建議納入「輝度標準」

在路上行駛時，駕駛者實際上在視野內直接感受道路面的反射為輝度而非照度。交通工程手冊道路照明準則僅規範平均照度，而美國 IESNA、CIE 及日本道路協會與國內營建署皆有輝度之要求。分析美國 IESNA、CIE 及日本道路協會道路照明法規制定的演變歷程，各國均由照度規範要求，逐步演進至輝度規範要求，顯示訂立道路照明輝度規範符合國際潮流趨勢。

綜合上述國際趨勢，建議交通工程手冊中道路照明規範中納入輝度值要求，本研究參考國外相關法規後，提出表 6-1 之輝度值之規範內容。

表 6-1 我國交通工程手冊道路照明平均輝度值及均勻度(建議值)

道路種類及分類		平均輝度值 (cd/m ²)	均勻度	
			平均輝度 (最小輝度/平均輝度)	縱向均勻度 (最小輝度/縱向平均輝度)
高速公路		0.4	0.3	0.7
一般公路	幹道	0.9	0.3	0.7
	次要道路	0.6	0.3	0.6
	輔助性道路	0.6	0.3	0.6
	交流道	0.5	0.2	0.6

資料來源：本研究整理(2010)

2. 建議制定道路照明輝度「動態量測方法」

在路上行駛時，駕駛者實際上在視野內直接感受道路面的反射為輝度而非照度。然而輝度會因為地面材質、反射係數不同有所差異，對於不同大氣濕度環境下，或是路面上有水時，輝度範圍也會有所改變。因此在道路照明設計與驗收上採用輝度困難度較高。特別在驗收時，必須對交通進行管制，容易造成道路用路

人抱怨，以致於量測相當不易。

任何規範制定若無法執行，再完美的規範都是無效，針對道路照明輝度量測，本研究建議可採用道路照明輝度之動態量測方法。

「動態量測方法」的目的是為了模仿人眼在駕駛狀態下觀察路面，採用車載儀器模仿汽車行駛路徑對道路照明進行現場動態測量，可以不必封鎖道路，具有較強的可操作性。本方法適用於 LED 道路照明的現場測量，也可作為 LED 隧道照明現場測量的參考方法。

本研究團隊參考 CIE 相關規範，並與經濟部能源局 99 年度 LED 道路指示標誌示範計畫合作，共同制定出道路照明輝度之「動態量測方法」，以作為交通工程手冊制定道路照明輝度量測方法之參考：

本方法引用標準包含：

- CIE 140-2000 Road Lighting Calculations
- CIE136-2000 Guide to the lighting of urban areas
- CIE/IEC 的照明術語《Lighting Vocabulary》
- CIE 技術報告 No.115(1995) Recommendations for the Lighting of Road for motor pedestrian traffic
- IESNA RP33.99《室外環境照明推薦標準》

動態車載測量系統說明如下，詳細量測內容、方式與步驟等請參閱附錄(十三)。

3. 建議增訂道路照明用電密度標準

照明區域內之照明用電量 $Q[W]$ 除以照明區域面積 $A[m^2]$ ，即得單位面積照明用電密度 $UPD=Q/A[W/m^2]$ ，簡稱 UPD。此評估方法可瞭解此一照明區域之照明用電量是否合理。

本研究所進行專家座談會時，國道高速公路局委員提及，公路養護單位一直都希望使用高效率燈具，希望用電密度將來能納入規範。其表示在交通工程手冊有提到夜間照明可以交錯減半，但未明文規定在夜間交通量減半時，應如何進行設計，建議應在交通工程手冊中，說明如何進行設計，以提供養護單位在實際設計時做一參考。

2007 年日本「道路照明設施設置規範」修訂最大改變在於將規格規定轉變為性能規定，因此本研究建議針對道路照明節能議題，不僅考量交錯減半議題，更進一步制定道路照明「用電密度」規範。

道路照明用電密度，係避免設計道路照明數量時，因設計過當造成不必要之能源消耗而規定，期能在符合照度值需求之同時，又能達到節能減碳之目的。

參考國外相關法規後，本研究建議之道路照明用電密度規範如表 6-2 所示。

表 6-2 我國交通工程手冊道路照明用電密度(建議)

道路寬度(m)	車道數	照明用電密度折算值(W/m ²)				
		30lx	20lx	15lx	10lx	8lx
24~30	> 6	0.95	0.63	—	—	—
22	6	1.08	0.72	—	—	—
16~20	4~5	1.23	0.83	0.61	0.41	—
14	4	1.35	0.90	0.68	0.45	—
10~12	3~4	—	—	0.85	0.56	0.45
8	2	—	—	—	0.63	0.50

資料來源：本研究整理(2010)

雖然美國 IESNA 對於道路照明單位用電密度 (UPD) 考量較嚴謹，然在經過 27 年的產品變革、市場變化、全球對環保的支持態勢下，相信 IESNA 關注相關規範發展的態度會愈趨正面積極。近幾年全球對氣候變遷議題的重視，道路照明 UPD 的概念開始受到關注，但尚處起步階段，目前得知的相關規範僅有加拿大安大略省交通部 (Ontario Ministry of Transportation) 在 2009 年著手規劃道路照明單位用電密度規範的制定，以及中國已出爐的《城市道路照明設計標準》--CJJ45-2006 (自 2007 年 7 月 1 日起實施)。2011 年 IESNA 第 10 版照明手冊即將出版，相關道路照明規範文件也可能同步推出，UPD 議題勢必將成為焦點之一，也許是概念性的說明，也許有正式規範的公佈，也有可能仍在討論規劃中，不論 2011 年 IESNA 是否針對 UPD 議題有任何動作，但追求節能效率的趨勢將會是未來道路照明設計的重要考量方向，提供我國交通單位參酌。

4. 修訂「燈具光分佈形式」

眩光簡單的來說就是會干擾到人眼看到目標物的非必要雜訊光。不良道路照明設計，將使路燈產生失能眩光，而損害眼睛視看物體的能力，直接影響到駕駛員覺察障礙物的能力，即降低視覺對象的可見度，影響行車安全。

為了降低眩光，各國均透過對道路照明燈具型式規範來限制眩光，其實質就是以燈具最大光強角的控制來定性的控制眩光。包括 IESNA 將路燈依其對眩光的控制分為以下四種：全遮蔽型、遮蔽型、半遮蔽型、無遮蔽型。雖然透過道路照明燈具型式，已在一定程度上控制燈具在司機的視角範圍內產生的眩光光強不是

最大，但不能定量的控制眩光，也沒有考慮燈高、燈距、燈具仰角、路幅等現場實際參數對眩光的影響，但卻是實務應用上相對簡單的方法，比較容易執行。

國內交通工程手冊以燈具之遮蔽形式、排列方式及路寬來分類，並將光度分佈分為三種形式，為遮蔽型、半遮蔽型、無遮蔽型。由於垂直光線角度的增加，不適或失能之眩光感也會隨之增加。為了進一步達到控制眩光的目的，本研究建議國內交通工程手冊增訂全遮蔽型燈具型式。

參考國外相關法規後，本研究建議之道路照明燈具型式如表 6-3 所示。

表 6-3 我國交通工程手冊道路燈具光度分佈形式(建議)

光分佈形式	規範內容
全遮蔽型	燈具在 1,000 流明光量下，與燈桿呈 90 度角以上(即水平線以上)之餘光量為 0 流明；80 度角以上之餘光量要小於 100 流明，燈桿四周各方向皆須滿足此要求。
遮蔽型	燈具在 1,000 流明光量下，與燈桿呈 90 度角以上(即水平線以上)之餘光量要小於 25 流明；80 度角以上之餘光量要小於 100 流明，燈桿四周各方向皆須滿足此要求。
半遮蔽型	係燈具在 1,000 流明光量下，與燈桿呈 90 度角以上(即水平線以上)之餘光量要小於 50 流明；80 度角以上之餘光量要小於 200 流明，燈桿四周各方向皆須滿足此要求。
無遮蔽型	此型燈具對眩光作用並未做限制。

資料來源：本研究整理(2010)

5. 增訂「行人專用道照明水準」

為確保夜間行人安全，日本國土交通省轄下之「國土技術政策總和研究所」之道路研究部道路空間高度化研究室，於 2004 年進行「有關行人用照明之必要照度及其區分之研究」，研究結果提供制定行人用照明基準之依據。

行人用照明方面，根據既往研究得出的照度基準大致在 5~20 lx 之間，日本國土技術政策總合研究所實施的視認性評估實驗結果指出，人行道上之行人要能看清迎面而來的對向行人的顏面；或是車道上駕駛人要能看清穿越行人穿越道的行人的話，路面的水平面照度必須在 5 lx 以上，照度均勻度要在 0.2 以上。

交通工程手冊照明準則已對行人穿越道規定作照度需求，然而對人行道卻較少著墨。建議可參考日本訂定之行人用照明照度基準，配合國內道路環境條件後，訂定符合國內行人專用道之照明水準。建議參考值如下表 6-4：

表 6-4 美國 IESNA 燈具光度分佈形式

道路週邊環境	平均照度值 (lux)	照度均勻 (最小照度/平均照度)
商業區	10	≥ 0.2
住宅區	5	≥ 0.2

資料來源：本研究整理(2010)

6.2 道路照明規範修正建議-交通標誌/標誌照明

1. 建議訂定「LED 指示標誌規範」

有鑒於新型光源導入交通設施已成趨勢，卻因標準規範未明，使得政府公共工程與製造廠商無共同標準可供遵循。本研究提供透過經濟部能源局 99 年度 LED 道路指示標誌示範計畫之合作所訂定之 LED 道路指示標誌技術規範作為參考。詳細內容請參閱附錄(十四)。

此規範之適用範圍為主要、次要或服務幹道之既設道路指示標誌，並以新版「道路交通標誌標線號誌設置規則」第九十五條之地名標誌；第九十六條之地名方向指示標誌；第九十七條之地名里程標誌；第九十八條之方向里程標誌；第九十九條之路名標誌為對象。引用之標準如下：

- CNS 4345-反光片及反光膠帶 (Retroreflective sheeting and tape)
- CNS 14115-電氣照明與類似設備之射頻擾動限制值與量測方法(Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of electrical lighting and similar equipment)
- CNS 14335-燈具安全通則 (General requirements and tests for luminaires)
- CNS 14546-發光二極體交通號誌燈燈面及燈箱 (LED traffic signal lanterns and lamp housing)
- CNS 15233-發光二極體道路照明燈具 (Fixtures of roadway lighting with light emitting diode lamps)
- CNS 14676-5- 電磁相容 - 測試與量測技術 - 第 5 部：突波 (Electromagnetic compatibility - Testing and measurement techniques - Part 5 : Surge immunity test)

規範中規定 LED 道路指示標誌須為”附著式”產品，附著式可分為「光源組合式」及「內部照明式」二種。LED 道路指示標誌內容與預定覆蓋之指示標誌內容、字體大小須一致，且 LED 指示標誌厚度須小於 3 公分。指示標誌施工單位，需提供由具結構技師證照之結構技師出具之「LED 指示標誌安裝後，指示標誌可承受 17 級風，且無鬆脫、落下、倒塌疑慮」證明文件。

規範中將照明水準中有關輝度之部份規定為考量人因影響(背景光及車速)，依郊區道路、市區道路、高速與快速道路分級建議光強度與輝度適用值。同一面指示標誌之白光 LED，其色溫均勻差異須小於 500K(正向量測)。

(1) 光源組合式 LED 指示標誌

以 LED 光源組成訊息內容之指示標誌，輝度規範如下表 6-5。

表 6-5 光源組合式 LED 指示標誌輝度規範

單位：cd/m²

	機械軸上		水平角 10°		水平角 20°		水平角 30°	
	市區道路	高速公路或快速道路	市區道路	高速公路或快速道路	市區道路	高速公路或快速道路	市區道路	高速公路或快速道路
機械軸上	1,000~2000	600~1,200	405~810	243~486	10~20	6~12	--	--
俯角 5°	500~1,000	300~600	203~406	122~244	85~170	51~102	68~136	41~82
俯角 10°	125~250	75~150	83~166	50~100	63~126	38~76	45~90	27~54
俯角 20°	15~30	9~18	15~30	9~18	10~20	6~12	10~20	6~12

資料來源：工研院綠能所(2010)

(2) 內部照明式 LED 指示標誌

在指示標誌內部置入白光 LED 光源，色溫範圍為 4,500K~6,000K，以背透光方式表現訊息內容。指示標誌之訊息，除了黑色訊息外，其餘訊息輝度須在 500 cd/m² 以上，1,200 cd/m² 以下。

6.3 道路照明規範修正建議-交通安全防護設施

1. 增訂交通安全防護設施產品之「閃光頻率標準」

本研究探討之道路安全防護措施，指的是路面反光標線及路面標記設施，如一般常見的緣石、貓眼等。在這方面各國並無太多詳細規範，例如我國的交通工程手冊中對於緣石、反光導標及標記等僅規定概略之形式、設置位置及顏色；美國則除了設置位置之外，尚針對反光或自發光之突起路面標記提示應注意橫向定位和縱向間距之注意事項，並提到若應用 LED 於路面標記且有閃爍發生時，其閃爍頻率應為每分鐘 50~60 次；日本則針對反光式或自發光式貓眼規定設置位置及應依道路平面曲線半徑決定設置間隔，並須依其所設置之位置決定其顏色。歐洲則是英國的 Traffic Sign Manual 中，僅規定地面緣石/地面反光標記以及警告線的可視距離，中國則是在「CJJ37-90 城市道路設計規範」中僅規定緣石之位置、大小、形狀、材質。

有鑑於今後採用閃爍式 LED 做為標誌或標誌邊緣部分來提高可視度的方式或是自發光式貓眼將更為普遍，建議可參考美國應用 LED 於路面標記且有閃爍發生時，其閃爍頻率應為每分鐘 50~60 次之規定，以及日本的自發光貓眼依設置位置規定顏色之做法，制定符合我國道路現況之 LED 式交通安全防護設施之規範。

第七章 結論與建議

科技的發展日新月異，社會環境隨之變遷，道路交通系統亦然，隨科技的進步，在人、車、路方面皆有顯著的變化與影響。為提昇道路交通的安全、順暢與效率，道路設施需不斷地檢討更新，以因應道路使用的多樣化、與未來可能的發展。

在道路設施執行節能的設計理念下，首要考量的就是道路設施必須維持一定的服務水準及功能，以達到足夠安全標準。安全標準的訂定，除了與國際各國的現行標準接軌外，也可以從人因工程的角度切入，考量人的因素，設計符合路人可以接受的、容易辨識道路設施資訊的、以及不會產生干擾的合宜標準。

近年來有許多以節能為目標的新型設施，例如 LED 應用在照明、號誌與標誌上，在使用及節省能源下皆有一定的成效，而未來也可能有應用更新的技術以達到更好的績效。但在廣泛的使用這些新技術前，必須審慎的評估，包括瞭解這些技術的功能、穩定性，也需要對成本及效益部分做比較深入的分析。

本計畫主要在探討，新型耗能道路交通設施在節能、技術及社會效益的優越性，與既有的設施相較優缺點，並比對我國既有規範及國際上的規範，是否可以達到一定的服務品質。接著考量未來技術趨勢、人因工程的觀點，檢視現行規範是否需適度修訂。在兼顧安全及節能的目標之下，便於新技術的引進及推廣。

本計畫透過文獻分析、專家意見、設施實測與經濟性分析，針對新型耗能交通設施之定義、需達到的功能及服務水準、與既有設施的優缺點、經濟性、相關道路照明規範發展趨勢獲致結論與建議如下。

7.1 結論

1. 此本研究藉專利檢索、文獻探討、市場調查等次級資料整理，配合新型耗能交通設施耗能高低與商品化程度，定義出 LED 路燈/街燈、智慧化 LED 路燈/街燈、陶瓷複金屬路燈/街燈、LED 隧道燈、LED 指示標誌、紫外光指示標誌、自發光或 LED 道路標誌、LED 路面標記等數種新型號能交通設施，並整理歸類後可分為「道路照明/隧道照明」、「交通標誌/標誌照明」以及「交通安全防護設施」三大類產品。
2. 符合既有交通設施法規(如交通工程手冊)規範，是新型耗能交通設施使用與產品功能的基本要件。且明確產品標準，可降低道路養護單位對新型耗能交通設施使用障礙，不過目前僅有我國針對 LED 路燈訂立 CNS-15233 產品標準，陶瓷複金

屬燈訂立 CNS-9118，以及美國 MUTCD 2009 版中，針對 LED 標誌產品提出基本應用規範，其他新型耗能交通設施並無產品標準

3. 普遍而言，新型耗能交通設施最大缺點在於產品單價過高，而產品功能較既有設施佳為其優點。例如 LED 路燈耗能低與壽命長為相對水銀燈最大優勢；LED 指示標誌、LED 路面標記可見度高為相對既有指示標誌與標記最大優勢
4. 以現值法及還本期法，考量生命週期所有成本(包括投資成本、電力成本、維護成本、廢棄物處理成本)，進行新型耗能交通設施置換既有產品經濟分析，得出以下幾點結論：
 - (1) 在 8 米以下道路，LED 路燈置換水銀路燈在 10 年投資週期中，LED 路燈總成本低於水銀路燈。
 - (2) LED 路燈置換高壓鈉燈，在 10 年投資週期中，LED 路燈總成本高於高壓鈉燈。
 - (3) LED 路燈潛在高額維修成本，對於回收期限有負面影響。
 - (4) 在達成道路照明規範要求的前提下，以生命週期成本考量，8 米道路 LED 路燈置換水銀燈是短期可投入領域。8 米道路 LED 路燈置換高壓鈉燈、12 米道路 LED 路燈置換水銀燈、LED 路燈置換隧道燈及高速公路 LED 指示標誌是中期可以投入方向。
5. 彙整美國 IESNA、日本道路設施設置規範以及 CIE 規範歷年演進，歸納出各國道路照明規範發展趨勢為
 - (1) 尋求更佳道路照明設計方式，以提高道路照明安全性與節能。
 - (2) 重視眩光與光害抑制。
 - (3) 人因工程逐漸受到各國的重視。
6. 橫向分析比較各國道路交通設施規範的內容異同，及縱向分析各國交通設施規範法規修訂沿革，配合各國交通設施規範制定趨勢，本研究針對交通工程手冊提出數點修改建議：
 - (1) 制訂道路照明輝度標準，以及道路照明輝度「動態量測方法」。
 - (2) 增訂道路照明用電密度標準。
 - (3) 修訂燈具光分佈形式規範，增訂全遮蔽型燈具型式。
 - (4) 增訂「行人專用道照明水準」規範。
 - (5) 訂定「LED 指示標誌」技術規範。
 - (6) 增訂交通安全防護設施產品之「閃光頻率」標準。
7. 以人因工程角度分析新型耗能交通設施路安全，照明視覺與反應時間為重要因素。
8. 在駕駛過程中反應時間與交通安全有關。反應時間與道路照明環境變數有以下

數點關係：(1)隨著背景亮度增大，反應時間變短，即反應速度變快。(2)隨著亮度對比增大，反應時間也是變短。即反應速度變快。(3)隨著視標偏心角變大，不管是何種亮度對比，反應時間一般會變長，即發現目標的反應速度變慢。(4)反應時間與光源色溫具有相關，當色溫為 4000K~5000K 時應時間一般比較短。

7.2 建議

1. 本研究針對交通工程手冊提出增訂道路照明用電密度標準之建議。在節能減碳的趨勢下，目前加拿大與中國已經將道路照明用電密度納入道路照明規範考量，然而在美國 IESNA 卻未有正式的定論。本研究建議後續可針對道路照明用電密度標準之議題進行實驗與研究，在了解我國本土道路環境與條件的前提下，制定符合我國需求的道路照明用電密度標準。
2. 目前各國都已投入道路照明中間視覺研究，期望訂出明確且一致光譜視覺效率函數，但實際上還是存有明顯的差異，尚未有一致的標準，建議後續可持續觀測標準及規範制訂動向，以動態修訂我國道路相關標準與規範。
3. 由於國內目前投入於照明視覺人因相關研究較少，建議後續可針對中間視覺於道路照明的影響於國內進行實驗與研究，更深入了解中間視覺於國內道路交通安全上之應用。
4. 針對目前道路照明普遍使用之亮度範圍進行中間視覺特徵參數研究衡量，定義出光譜光視效曲線訂定道路照明品質測量方法。
5. 為求交通道路設施使用上安全性，確保 LED 路燈之產品可靠度，並提升整體經濟效益，建議將產品保固期限從三年延長至五年。

參考文獻

一、英文文獻

1. 3M offers grants to update traffic signs, Public Works Online, 2009/1
2. A. Ekrias, M. Eloholma, and L. Halonen, "Analysis of road lighting quantity and quality in varying weather conditions," LEUKOS, The Journal of the Illuminating Engineering Society of North America, volume 4, number 2, 89-98 (2007).
3. Aalto University, School of Science and Technology Department of Electronics, Lighting Unit, "Development and enhancement of road lighting principles", Finland, June 2010
4. Acuity Brands Lighting, Luminaire Classification System for Outdoor Luminaires IESNA TM-15-07, 2007
5. Alliance for Solid-State Illumination Systems and Technologies (ASSIST), Outdoor Lighting: A Short Guide to Applications, Objectives and Considerations, ASSIST recommends, Volume 6, Issue 1 (2009).
6. Applications of Illuminated, Active, In-Pavement Marker Systems, NCHRP Synthesis 380, Transportation Research Board, 2008
7. CIE Technical Report , "A Guide for the Design of Road Traffic Lights : CIE 79, International Commission on Illumination, 1988.
8. CIE Technical Report , "Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic": CIE 115, International Commission on Illumination, 1995.
9. CIE Technical Report , "Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic": CIE 115, International Commission on Illumination, 2010.
10. CIE Technical Report , "Road Surfaces and Lighting", Publication : CIE 66, International Commission on Illumination, 1984.
11. CIE Technical Report , "Tunnel Entrance Lighting: A Survey of Fundamentals for Determining the Luminance in the Threshold Zone, : CIE 61, International Commission on Illumination, 1984.
12. CIE Technical Report, "Guide for the Lighting of Road Tunnels and Underpasses," Publication : CIE 88, International Commission on Illumination, pp.1~35, 2004.
13. David M. Keith , "Learning from Roadway Lighting Research", October 2002

14. Department of Energy, Solid-State Lighting GATEWAY Demonstration Program
15. E. Hecht, Optics, 2nd ed., Addison-Wesley, Massachusetts (1987).
16. GDOT to pay for road signs from federal stimulus funds at \$1,500 per sign, Atlanta Journal-Constitution
17. Ian Lewin, Ph.D., Lighting Sciences Inc., “Aspects of Recent American Research in Lighting Technology”, Paper to the 2000 Annual Conference of the Institution of Lighting Engineers, United Kingdom
18. IESNA Roadway Lighting , Vancouver, December 2005
19. IESNA, “LEM-6-1987 Guidelines for Unit Power Density for new Roadway Lighting Installations”, 1987
20. IESNA, RP-8-00 Roadway Lighting, 2000
21. IESNA, The IESNA Lighting Handbook, Reference & Application, 9th Edition, 2000
22. IESNA, TM-15-07 Luminaire Classifications System for Outdoor Luminaires, 2007
23. Info: Definitions of IESNA Luminaire Classification System (LCS) and BUG Ratings, AGi32 Knowledgebase
24. International Council for Local Environmental Initiative, ICLEI, <http://www.iclei.org/index.php?id=6666>
25. J. Kelly Beatty and Rachel Thessin , “Bright Lights, Big Problems”, Sky and Telescope, Vol. 104, Issue 6, 2002
26. LEDs lights to span the Hudson River, Ledsmagazine, 2007/9
27. Life Cycle Assessment of Streetlight Technologies, Mascaro Center for Sustainable Innovation, University of Pittsburgh, 2009/7
28. M. C. Puell, C. Palomo, C. Sanchez-Ramos, and C. Villena, “Mesopic contrast sensitivity in the presence or absence of glare in a large driver population,” Graefe’s Arch Clin Exp Ophthalmol 242, 755-761 (2004).
29. M. S. Rea, “Lighting and seeing: The different between night and day,” in Proceedings of the 8th International Symposium on the Science and Technology of Light Sources (LS-8), G. Babucke ed., 120-129, Greiswald, Germany (1998).
30. Ohio Vehicular Tunnel, LD+A Magazine, IESNA, 2009
31. P. Arumi, K. Chauhan, and W. N. Charman, “Accommodation and acuity under nightdriving illumination levels,” Ophthal. Physiol. Opt. 17, 291-299 (1997).
32. Purkinje J, Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinnesorgane I, Ch.

- 11 and 12, Reiner, Berlin, 1823.
33. Robert Dewar and Paul Olson, "Human Factor in Traffic Safety," second edition, Lawyers and Judges Publishing Company, Inc., 2007.
 34. Senate Wastes Millions of Stimulus Road Signs, Washington Times, 2009/9
 35. Strategies unlimited, "High-Brightness LED Market Review and Forecast 2009", 2009.
 36. Street Lighting Replacement Project, NAPIER CITY COUNCIL, New Zealand, 2009
 37. T. J. Berg, "On the relation between glare and straylight," *Documenta Ophthalmologica* 78, 177-81 (1991).
 38. T. M. Aslam, David Haider and I. J. Murray, "Principles of disability glare measurement: an ophthalmological perspective," *Acta Ophthalmologica Scandinavica* 85, 354-360 (2007).
 39. Texas opts not to spend stimulus funds on road signs, The Dallas Morning News, 2009/7
 40. The Obama administration has spent millions of taxpayer dollars for roadside signs to tout the economic stimulus, St. Petersburg Times, 2009/7
 41. Traffic Signs Manual 2003(UK)
 42. TSGRD(Traffic Signs Regulations and General Directions),2009
 43. United States Department of Transportation - Federal Highway Administration , Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways, 2009 Edition
 44. United States Department of Transportation - Federal Highway Administration, "Embedded LEDs in Signs", 2009/5
 45. US Department of Transportation, FHWA, "A Light at the End of the Tunnel", 2001
 46. W. S. Stiles, Discussion on disability glare at the 1939 CIE meeting in Scheveningen, Band I, 183-201 (1939).
 47. Y. Akashi, P. Morante, M. S. Rea, "An energy efficient street lighting demonstration based upon the unified system of photometry," *Street Lighting Demonstration* (2005).

二、中文文獻

1. Wout van Bommel、周太明、林燕丹 譯，「光源的光譜與低照明水平—中間視覺的基礎」，照明工程學報，第 20 卷第 4 期，2009 年。
2. 大谷寬（2000）。「利用道路照明有效減少夜間交通事故對策之檢討」，照明學會第 33 回全國大會論文集，2000，民 99 年 7 月 28 日，取自：
<http://www.nilim.go.jp/lab/gdg/research/ronbun999/92.pdf>
3. 日本 ARISE CORPORATE 股份有限公司。民 99 年 6 月 7 日，取自：
http://www.arise-corp.jp/product/index_line.html
4. 日本 ATSUMI 電器股份有限公司 ALPA.net 防犯 navi 最新防犯新聞（2009）。「埼玉縣第一盞期待可防犯之「藍色 LED 路燈」（6/11）」，民 99 年 6 月 4 日，取自：http://www.alpa-net.jp/news/2009/06/post_643.php
5. 日本 NICHIHATSU 工業。民 99 年 6 月 7 日，取自：
<http://www.nichihatsu.co.jp/?p=72>
6. 日本 WINTeL 股份有限公司（2009）。「環境都市 Akiru 野市，首都圈第一盞 LED 路燈，實證實驗開始」，民 99 年 6 月 7 日，取自：
http://www.win-tel.jp/pdf/source2009111701_01.pdf
7. 日本丸山集團。民 99 年 6 月 4 日，取自：
<http://www.maruyama-g.co.jp/tokai/anzen/anzen.htm>
8. 日本大阪府。民 99 年 6 月 7 日，取自：
<http://www.pref.osaka.jp/dorokankyo/led/bosyuu.html>
9. 日本日經 BP 社（2009）。「德島縣招募 LED 路燈・隧道燈之實證業者（12/15）」，民 99 年 6 月 4 日，取自：
<http://kenplatz.nikkeibp.co.jp/article/const/news/20091214/537731/>
10. 日本札幌市。民 99 年 6 月 7 日，取自：
<http://www.city.sapporo.jp/kensetsu/doroi/ji/download/PDF/ledyoko.pdf>
11. 日本吾妻商會股份有限公司。民 99 年 6 月 7 日，取自：
<http://www.azuma-syokai.co.jp/safty/led/008/led-008.htm#d>
12. 日本岐阜縣「道路設計要領」（2007）。民 99 年 6 月 15 日，取
http://www.pref.gifu.lg.jp/kendo/michi-kawa-sabo/doro/gbridge/d_spc.data/DS001012.pdf
13. 日本岐阜縣中小企業團體中央會。民 99 年 6 月 7 日，取自：
<http://www.chuokai-gifu.or.jp/grs/hyoushiki/shisen.html>

14. 日本阪神高速道路股份有限公司。民 99 年 6 月 7 日，取自：
<http://www.hanshin-exp.co.jp/company/kigyotopics/090522setumeisyo.pdf>
15. 日本京都商店連盟 京都商店街振興組合連合會。民 99 年 6 月 4 日，取自：
http://www.syouden.or.jp/UserFiles/File/21_10_05LED-syoutengai.doc?11780040024636ea22103d2=aeae18b0b981215e66633244098c88e8
16. 日本東亞製作所股份有限公司。民 99 年 6 月 4 日，取自：
<http://toa-ss.co.jp/syuhin/oogata1.htm>
17. 日本東京都調布市。民 99 年 6 月 7 日，取自：
http://www.city.chofu.tokyo.jp/www/contents/1246952277624/index_p.html
18. 日本社團法人建設電氣技術協會（2009）。「基礎講座 道路照明基準之修訂概要建設電氣技術」，164，民 99 年 7 月 30 日，取自：
http://www.kendenkyo.or.jp/pdf/technology/164_basic.pdf
19. 日本信號器材股份有限公司。民 99 年 6 月 4 日，取自：
<http://www.shingokizai.co.jp/road/sign-link1.htm#sing13>
20. 日本南部商會股份有限公司。民 99 年 6 月 7 日，取自：
<http://www.night-bright.com/modules/section/index.php?id=12>
21. 日本建設新聞社（2010）。「大阪府加速導入 LED 照明（2/25）」，民 99 年 6 月 4 日，取自：<http://www.kentsu.co.jp/osaka/news/p01268.html>
22. 日本建設電氣技術協會（2009）。「基礎講座 隧道照明基準之修訂概要」建設電氣技術，164，2009，民 99 年 7 月 30 日，取自：
http://www.kendenkyo.or.jp/pdf/technology/164_basic2.pdf
23. 日本特定非營利法人 LED 照明推進協議會。「LED 道路照明燈導入事例集」，民 99 年 6 月 7 日，取自：http://www.led.or.jp/case/data/content/ext_012.htm
24. 日本特定非營利法人 LED 照明推進協議會。「隧道燈採用事例」民 99 年 6 月 7 日，取自：
http://www.led.or.jp/publication/handbook/d_0430_dorokotsubunya.htm
25. 日本特定非營利法人 Police Channel 日刊警察新聞（2010）。「栃木県警集中整備 LED 自發光式道路標識（1/26）」，民 99 年 6 月 7 日，取自：
<http://www.police-ch.jp/news/2010/01/005886.php>
26. 日本國土交通省。民 99 年 6 月 7 日，取自：
<http://www.mlit.go.jp/road/sign/kijyun/taikei01.html>
27. 日本國土交通省中部地方整備局。民 99 年 6 月 7 日，取自：
<http://www.cbr.mlit.go.jp/road/sekkeiouryou/index.htm>
28. 日本國土交通省北海道開發局。民 99 年 6 月 7 日，取自：

- <http://www.hkd.mlit.go.jp/kyokutyuu/h22/0119/01.pdf>
29. 日本國土交通省國土技術政策總合研究所（2007）。政策措施反映一覽表，民 99 年 7 月 27 日，取自：<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/hanei/hanei-h19.pdf>
 30. 日本國土技術政策總合研究所（2004～2008），「道路空間高度化研究室研究成果資料集」，民 99 年 7 月 27 日，取自：
<http://www.nilim.go.jp/lab/gdg/research/002.htm>
 31. 日本經濟新聞（2010）。「透過 LED 提高道路標誌的可視性（3/7）」，民 99 年 6 月 7 日，取自：
<http://wild-boar-blog.cocolog-nifty.com/blog/2010/03/led-e646.html>
 32. 日本德島縣（2010）。「獨立型太陽能式 LED 內部照明道路標誌之實證示範之實施」，民 99 年 6 月 4 日，取自：
<http://www.pref.tokushima.jp/docs/2010032400134/>
 33. 日本積水樹脂股份有限公司。民 99 年 6 月 7 日，取自：
http://www.sjc.gr.jp/traffic/product/led_electric_light.html
 34. 日本積水樹脂股份有限公司。民 99 年 6 月 7 日，取自：
http://www.sjc.gr.jp/traffic/product/luminescence_road.html
 35. 日本積水樹脂股份有限公司。民 99 年 6 月 7 日，取自：
http://www.sjc.gr.jp/traffic/product/luminescence_curb.html
 36. 日本積水樹脂股份有限公司。民 99 年 6 月 7 日，取自：
http://www.sjc.gr.jp/traffic/product/luminescence_linear.html
 37. 日本積水樹脂股份有限公司。民 99 年 6 月 7 日，取自：
http://www.sjc.gr.jp/traffic/product/luminescence_gaze.html
 38. 日本積水樹脂股份有限公司。民 99 年 6 月 7 日，取自：
http://www.sjc.gr.jp/traffic/product/luminescence_obstacle.html
 39. 日本積水樹脂股份有限公司。民 99 年 6 月 7 日，取自：
http://www.sjc.gr.jp/traffic/product/traffic_sign05.html
 40. 日本贊光電器產業股份有限公司。「採用事例」，民 99 年 6 月 4 日，取自：
<http://www.sankodenki.jp/39.html>
 41. 犬飼昇 等（2006）。「道路照明基準之性能規定化之檢討」，照明學會第 39 回全國大會論文集，2006，民 99 年 7 月 27 日，取自：
<http://www.nilim.go.jp/lab/gdg/research/ronbun/226.pdf>
 42. 王文麟，「交通工程學」理論與實用，2003 年。
 43. 古川一茂 等（2007）。「有關於道路照明中導入性能規定之檢討結果 ～從規格規定移轉到性能規定～」，建設電氣技術技術集，2007，民 99 年 7 月

- 27 日，取自：<http://www.nilim.go.jp/lab/gdg/research/ronbun/238.pdf>
44. 石村利明 等（2008）。「道路照明設施設置基準同解說之改訂」，土木技術資料，50-9，民 99 年 7 月 27 日，取自：
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0555pdf/ks0555.pdf>
45. 交通部，智慧型 LED 指示標誌試辦成效報告，交通部台灣區國道高速公路局，2010 年。
46. 江重致，人眼眼球模型與視覺表現之模擬分析研究，國立中央大學光電所碩士論文，2009 年。
47. 池原圭一 等（2005）。「交通安全設施的技術基準變遷與最近的話題」，木技術資料，47-7，民 99 年 7 月 27 日，取自：
<http://www.nilim.go.jp/lab/gdg/research/ronbun/207.pdf>
48. 艾嘉銘等，探索高速公路指示標誌閱讀與反應之影響因素，中華民國運輸學會，2006 年。
49. 艾嘉銘等，檢視閱讀高速公路指示標誌之影響因素，道路交通安全與執法研討會，2006 年。
50. 西日本高速道路股份有限公司。
<http://corp.w-nexco.co.jp/procurement/order/others/technology/led/>
51. 吳健生、周健捷、蔡政泓、郭富森、王進輝，公路隧道安全設施準則研訂，台北：交通部台灣區國道新建工程局，第 1~2 頁，1998。
52. 李農、楊燕譯，照明手冊 2nd，全華科技圖書股份有限公司，台北，第 20~41 頁，2006。
53. 林燕丹、陳大華、邵紅，「基于視覺功能法的中間視覺光度學模型及其在道路照明中的應用」，照明工程學報，第 17 卷第 3 期，2006 年。
54. 河合隆 等（2005）。「有關道路交差口照明的事故削減效果之調查」，照明學會第 38 回全國論文集，2005，民 99 年 7 月 27 日，取自：
<http://www.nilim.go.jp/lab/gdg/research/ronbun/205.pdf>
55. 張晟鵬，「中間視覺條件下道路照明淺析」，燈與照明，第 28 卷第 1 期，第 9-11 頁，2004 年。
56. 陳仲林、林勇、熊心志、何正軍，「中間視覺時顏色光等效亮度研究」，照明工程學報，第 15 卷第 2 期，2004 年。
57. 陳仲林、胡英奎、張晟鵬、劉英嬰、黃彥，「用反應時間法研究光視效能最大值」，照明工程學報，第 17 卷第 4 期，2006 年。
58. 陳仲林、胡英奎、劉英嬰、張晟鵬、黃彥，「道路照明光源的發光效率計算」，燈與照明，第 30 卷第 4 期，第 1-2+12 頁，2006 年。

59. 陳仲林、張青文、胡英奎、劉英嬰，「道路照明中反應時間研究」，燈與照明，第 32 卷第 1 期，第 11-18+39 頁，2008 年。
60. 陳仲林、陽春宇、何正軍，「道路照明設計中光源光效率研究」，中國照明電器，第 1 期，第 1-4 頁，2004 年。
61. 陳仲林、楊春宇、何正軍，「光譜光視效能最大值研究」，照明工程學報，第 14 卷第 3 期，2003 年。
62. 陳佳瓏，「視覺於照明之應用」，碩士論文，國立台灣科技大學，台北，2006 年。
63. 章海驄，道路照明水準下的人眼中間視覺，照明工程學報，2009 年
64. 森望 等（2004）。「有關行人用照明之必要照度及其區分之研究」，日本國土技術政策總合研究所資料，157，2004，民 99 年 7 月 27 日，取自：
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0157pdf/ks0157.pdf>
65. 道路照明設施設置基準與解說 2007 年版，日本：日本道路協會
66. 道路照明標準 IES 與 CIE 引用設計之差異，樓仁華，中華技術雜誌，民國 90 年。
67. 簗島治 等（2005）。「有關道路交差口照明之照明要件研究」，照明學會第 38 回全國大會論文集，2005，民 99 年 7 月 27 日，取自：
<http://www.nilim.go.jp/lab/gdg/research/ronbun/206.pdf>
68. 蕭弘清，「道路照明節能措施研議報告期中報告」，台灣世曦工程顧問有限公司，2009 年。

附 錄

附錄 1	專家座談會簽到表與會議紀錄	A-1
附錄 2	期中報告初稿審查會議紀錄	B-1
附錄 3	期中報告初稿審查意見答覆表	C-1
附錄 4	期末審查簡報	D-1
附錄 5	期末報告初稿審查會議紀錄	E-1
附錄 6	期末報告初稿審查意見答覆表	F-1
附錄 7	期末報告二稿審查意見答覆表	G-1
附錄 8	各國法規對照表	H-1
附錄 9	美國交通設施問卷調查結果	I-1
附錄 10	台中市路燈示範案例調查問卷	J-1
附錄 11	台中市豐原大道 LED 標誌牌調查問卷	K-1
附錄 12	台灣電力公司電價表	L-1
附錄 13	詢問國外研究機構往來信件內容	M-1
附錄 14	道路照明現場動態測量方法	N-1
附錄 15	LED 道路標示牌採購技術規範	O-1
附錄 16	寒地 LED 道路照明產品技術規範	P-1

附錄 1

專家座談會簽到表與會議紀錄



工業技術研究院

Industrial Technology
Research Institute

符合節能目標之道路設施安全標準評估與應用專家座談會

時間：2010/06/10 14:00~17:00

地點：工研院中興院區 51 館 2C 訓練教室

※專家名單依姓氏筆劃排序

單 位	與 會 人 員	簽 到 處
交通部公路總局西濱北區臨時工程處	李忠璋 處長	
台中市政府建設處養護科	林銘淞 技士	林銘淞
中華大學運輸科技與物流管理學系	張建彥 助理教授	張建彥
光林電子	黃夢華 總經理	黃夢華
中興工程顧問股份有限公司	劉火炎 經理	劉火炎
台達電子	蘇文杰 經理	蘇文杰
交通部運輸研究所	孔垂昌 副研究員	孔垂昌
工研院能環所	李麗玲 副組長	李麗玲
工研院產經中心	林志勳 組長	林志勳
工研院產經中心	黃孟嬌 助理研究員	黃孟嬌
工研院產經中心	李芷甯 副研究員	李芷甯



會議名稱		「符合節能目標之道路設施安全標準評估與應用」專家座談會	
時間	99.06.10 1400-1700	地點	工研院中興院區 51 館 2C 訓練教室
主持人		工研院產經中心 林志勳組長	
出席人員	與談人：		
	台中市政府建設處養護科 林銘淞技士、中興工程 劉火炎經理、中華大學運輸科技與物流管理學系 張建彥助理教授、光林電子 黃夢華總經理、光林電子 羅偉中主任工程師、台達電子 蘇文杰經理、交通部運輸研究所 孔垂昌副研究員、工研院能環所 李麗玲副組長、工研院產經中心 林志勳組長		
會議記錄			
<p>一、 引言與研究計畫簡述</p> <p>二、 討論議題說明</p> <p>(一) 針對目前的新型節能設施，在實際的導入與推廣上是否曾遭遇瓶頸與困難之處？</p> <p>(二) 為了對新型節能設施做審慎考量，以及進行長期使用下經濟效益與成本的評估，對於新型節能設施的經濟效益評估方式，能否請您提供您的建議與看法？</p> <p>(三) 在強調環境保護與節能減碳的風氣下，導入新型節能設施已是未來必然的趨勢，對於未來在政府推廣以及廠商投入兩方面，您認為的關鍵成功要素為何？</p> <p>三、 進行議題討論</p> <p>■ 工研院產經中心 林志勳組長</p> <p>1. 針對前面的簡短說明以及以台中市路燈示範案做的經濟效益評估模式，請各位專家提供一些想法，對於此計算模式有沒有建議與問題修要修正的地方。</p> <p>2. 本研究案以台中市為例，路燈報修的情況會以有民眾報修時，必須馬上派人前往處理，因此必須考量單次人力維修以及出車的費用，若皆採單次費用估算可能較高，不論是光源、開關、電源接計算單次維修費用，但考量現實情況可能會有差異，故要跟所有專家討論找出最合適的評估方式。</p> <p>■ 台中市政府建設處養護科 林銘淞技士</p> <p>1. 認為此經濟效益評估模型基本假設需要修正，以 100WLED 路燈跟 200W 水銀燈路燈相互比較是否洽當需重新評估。而產品的壽命應該要調整為幾年才合理，從台中市過去案例統計，一年</p>			

- 汰換掉 1/4，水銀燈光源壽命大約為四年。台灣是熱帶地區國家，點燈時間一年不到四千小時，水銀燈泡壽命理論上來說應該為 10000 到 12000 小時，故建議水銀燈改為 10 年更換 2.5 次。
2. 根據台中路燈長期替換與維護之經驗，一年約換掉 1/4 水銀燈路燈，估計水銀燈路燈光源壽命為 4 年；而一年開關與電源損壞率約 5%，可能是由於雷擊或其他原因，靠近山區損壞率高，靠近市區損壞率低。LED 路燈電源開關的損壞機率也一樣，約為 5%，而 LED 路燈壽命估計為 50000 小時。
 3. 維修費用：人工費用每單位人力一天工資 2000 元，加上出車費用一天共需要 8000-10000 元，平均可以換 8-10 個燈泡。
 4. 台中養護科維護績效佳，4 小時(PM06:00~PM10:00)修復率達 55%(燈泡壞了，可直接替換)，18 小時(當日 PM10:00~隔日 PM06:00)修復率 80%以上(通常是開關壞掉，晚上無法替換)，第三天修復率則為 97-98%(漏電、電路問題)。
 5. 針對 09 年路燈工程案路燈進行量測，發現有路燈照度反而較裝設初期高出 8%照度。
 6. 100W、12000lux 的 LED 路燈不適用於大型馬路，目前只能用在 6 米以下之道路。
 7. 期望對於新型 LED 路燈訂定新標準，應有新採購法採用合理標，目前已有 CNS 標準，建議工研院與廠商提出燈具規格之建議，使得標廠商提供之燈具品質更加完善，而非目前低價搶標，反而造成劣幣驅逐良幣情形。
 8. 民眾反映 LED 路燈不夠亮，此為民眾使用習慣與長期觀感所致，由於 LED 具指向性，燈具周圍不同於過去傳統路燈的投射光束，易形成路燈於高空過暗的感覺。
 9. 目前新型 LED 路燈裝設，燈桿位置與傳統路燈位置相同，假設考量 LED 路燈特性而縮短路燈之間跨距，反而需要更多盞路燈，對 LED 而言裝設費用更高。
 10. 在 2009 年台中率先成為全球第一個大型 LED 路燈示範案例後，建議可以直接向台中市胡市長提議，朝著更大規模的 LED 社區示範案努力，使台灣成為全球 LED 路燈大規模社區導入設置典範，有機會與全球分享成功經驗並登上國際舞台。
 11. 建議工研院「LED 路燈產業聯盟」拜訪台中市政府建設處與相關單位，提供 LED 路燈的專業經驗與資訊，增加互相交流的機會，使未來地方政府在 LED 路燈的推動上能夠更加完善。

■ 光林電子 黃夢華總經理

1. 目前 LED 路燈技術進步快速，150W 或 200W 的路燈廠商皆有力量產，台中示範案時間點為 2 年前，當時 LED 路燈技術尚未成熟。以目前標準未定，需經過工研院 3000 小時的測試，約 5.5 個月的時程點來看，100WLED 路燈約是兩年前的產品，當時技術與現在已有一段落差。
2. 光林電子目前在中國揚州已在 6 線道快速道路裝設 150WLED 路燈。
3. 認為 LED 路燈發展重點在於讓政府、民眾有正面觀感，讓業者、使用者產生信心。

4. 中國路燈要求新裝設之 LED 路燈須符合標準，然而傳統的路燈卻不符合規定且亮度偏低，故新裝設的路燈會讓民眾覺得過亮，另外則是反應在中國部分地區霧大的氣候條件下，LED 透光性不佳，表現不好。
5. 民眾對於 LED 路燈的喜好與感受會隨不同地區環境有所差異，如中國地區討厭白色，認為是不吉利的顏色，日本則非常喜愛帶點藍色的白色。傳統路燈為泛光型，故燈具周圍皆會亮，但 LED 路燈則以路面照明為主，短期內要改變民眾習慣較為困難。
6. 認為就台灣廠商的生產能力，一個月要生產 1000 盞並不困難，台灣路燈標案現況是沒有廠商知道自己是否能夠得標，所以不敢大量生產，廠商不願意承擔造成大量存貨的風險。
7. 針對 LED 路燈推廣提出幾點建議：(1)國家應有明確政策；(2)財政部須有足夠經費，負責審核並核定適合之廠商；(3)產業要有標準；(4)如何申請，項目細節有哪些，補助金額比例為何皆應該訂定清楚。
8. 建議採用規格標，如同淘汰賽，可排除品質低劣不合適的廠商，隨著 LED 技術不斷進步，每年也應有所調整，重要的是要給廠商舞台去發揮。
9. 國內路燈廠商技術不斷進步，對於 LED 路燈的了解與認知也更加成熟，目前追求的技術目標為總光通量的表現，而這需要機、光、電的整合。
10. 中國大陸的設置經驗，計程車司機認為 LED 路燈很亮很好，人行道加裝 LED 路燈後也頗受行人好評。對當地官員來說，其實價格不是最重要的關鍵，反而是新型節能設施導入後是否可能對交通安全有任何負面的影響，例如 LED 眩光過度刺眼，或是容易起大霧的地區。

■ 台達電子 蘇文杰經理

1. 大家可以共同對消費者宣導，LED 特性為指向性光源，我們是把光用在合適的地方，引導民眾習慣新型光源 LED 用在燈具上的差異。
2. LED 路燈為了替代水銀燈、鈉燈，用在道路上情況與室內照明不同，散熱是目前較難解決的問題，故 LED 路燈 power supply 要採用一般傳統式仍有困難。
3. 目前路燈的電源系統皆朝向極小化邁進，主流為路燈燈具內建而非裝設於整組燈具下方，另外可能根據地區區公所要求，為求維護便利部分路燈仍將電源裝置於燈具下方。
4. 能源局今年在各縣市有 500 萬的示範案計畫，各縣市標案方法皆不同，資格標價格標都有，如果有 2-3 億的路燈案，可以統一舉辦統一採購，共同訂定標準，各家廠商限制一個數量上限，維持整體的路燈品質。今年已有最新路燈標案開標結果，以流明值來計分等級計價格，從開標結果來看，較往年合理許多。

■ 工研院能環所 李麗玲副組長

1. 燈具是否該採用 LED 替代式光源直接做替換而不是整組燈具重新設計，由於散熱技術不夠，目前無法直接設計 LED 替代式光源做傳統路燈的直接更換。
2. 觀摩歐洲國家可以看到的是，LED 燈具的進展從過去傳統式燈具，走向現在已經成為一種革命性思維，不再強調制式燈具的形式，反而希望藉由 LED 的特性設計出更創新的照明燈具。

■ 中興工程 劉火炎經理

1. 目前內部承接的案子，如鐵公局也開始要求新設置的燈具應改為 LED 路燈，而非選擇高壓鈉燈。
2. 建議本研究經濟效益評估模型，應有清楚的基礎假設前提，如在何種照明環境條件下，平均亮度、均勻度、配光曲線以及明暗比等。目前路燈採用高壓鈉燈已相當普遍，建議 LED 路燈的比較對象納入高壓鈉燈。
3. LED 路燈在使用上仍需考量輝度、TI 值、光害的限制，超過 8 米高且離住戶太近的 LED 路燈恐影響附近居民感受，可考慮加裝遮光板。
4. 由於 LED 路燈目前沒有確定標準，對於重視安全性的交通部而言，採用 LED 路燈意願並不高。

■ 中華大學運輸科技與物流管理學系 張建彥助理教授

1. 本研究主題為「符合節能目標之道路設施安全標準評估與應用」交通部重視的在於 LED 新型節能交通設施導入的安全性問題，而非僅限於量化的經濟成本費用的變化。
2. 認為經濟效益評估的模型應考量清楚評估的”對象”為何？是以政府為出發點考量，還是民眾以及廠商？
3. 經濟效益評估模型應有一套基礎假設(baseline)，先有標準以後再做評估。
4. 目前的估算方式未考量利率折現率，建議除了量化經濟效益的評估，也加上民眾或用路者的感受做質化的評估。
5. 此經濟效益評估模型以路燈為範例，後續延伸到標誌照明時，需要再修正部份內容。
6. MUTCD 2009 首先推出 LED 交通節能設施的相關法規，可參考之。國內目前在這一方面未有任何新的規範。



符合節能目標之道路設施安全標準評估與應用專家座談會

時間：2010/07/26 10:00~12:00

地點：運研所 10 樓會議室(台北市敦化北路 240 號)

※專家名單依姓氏筆劃排序

單 位	與 會 人 員	簽 到 處
照明學會	宋平生 教授	宋平生
國道高速公路局	林俊貴 工程師	林俊貴
中央大學光學科學與工程學系	孫慶成 教授	孫慶成
台中市政府建設處養護科	張添嘉 技士	
台灣飛利浦	陳清水 特助	
台北市政府公園路燈工程管理處	陳耀東 先生	陳耀東
台灣世曦工程顧問電機部	黃勁淳 正工程師	黃勁淳
國道高速公路局	楊淑娟 小姐	
台灣科技大學電機工程系	蕭弘清 助理教授	蕭弘清
中華大學運輸科技與物流管理學系	蘇昭銘 副教授	蘇昭銘
台中市政府建設處養護科		
國道高速公路局		



符合節能目標之道路設施安全標準評估與應用專家座談會

時間：2010/07/26 10:00~12:00

地點：運研所 10 樓會議室(台北市敦化北路 240 號)

※專家名單依姓氏筆劃排序

單 位	與 會 人 員	簽 到 處
交通部運輸研究所	陳一昌 組長	陳一昌
交通部運輸研究所	孔垂昌 副研究員	孔垂昌
交通部運輸研究所	黃明正 研究員	黃明正
交通部運輸研究所		
交通部運輸研究所	綜援組 陳國岳	陳國岳
工研院綠能所	李麗玲 副組長	李麗玲
工研院產經中心	林志勳 組長	林志勳
工研院產經中心	李芷甌 副研究員	李芷甌
		李名修

【「符合節能目標之道路設施安全標準評估與應用」07/26 專家座談會】

日期：99 年 7 月 26 日 PM 10:00-12:00

地點：交通部運輸研究所 5 樓會議室

出席人員：

主席：交通部運輸研究所陳一昌組長

與會專家：台北市政府公園路燈工程管理處陳耀東先生、國道高速公路局林俊貴工程師、照明學會宋平生教授、中華大學運輸科技與物流管理學系蘇昭銘副教授、台灣科技大學電機工程系蕭弘清助理教授、中央大學光學科學與工程學系孫慶成教授、台灣世曦工程顧問電機部黃勁淳正工程師。

運研所：孔垂昌副研究員、黃明正研究員、綜技組陳國岳研究員

工研院：林志勳組長、李麗玲副組長、李宏俊研究員、李芷氤副研究員

討論事項：

1 蘇昭銘副教授

- 1.1 建議針對研究範圍應再做清楚定義。
- 1.2 本研究以安全為前提，另外希望符合節能目標，此兩者間應為正向或是反向關係？目前國內在安全的規範標準會不會太高,是否可能因為標準過高造成用電量的增加？
- 1.3 MUTCD 提到為增加交通標誌之醒目性，可採用 LED 為新光源，但是否反而增加耗能，值得再做考量。
- 1.4 用電密度考量符合研究課題，是否可能定義為由上限值改為建議值，以減少資源的浪費。

2 蕭弘清助理教授

- 2.1 研究團隊蒐集相當豐富的文獻，建議之未來方向是正確的。
- 2.2 過去在道路照明皆強調車用駕駛使用的角度，未考量行人感受，建議應該把路燈還給行人。同意研究團隊提出將人行道與自行車道加入未來建議討論。
- 2.3 過去很多路燈設計最後被樟樹蓋住，應檢討都市照明，可將高路燈改為低路燈。
- 2.4 照度輝度之建議：一般都用照度切入、並以輝度為驗收的標準，許多人會將此兩項誤解。然而輝度會因為地面材質、反射係數不同有所差異。對於不同大氣濕度環境下，或是路面上有水時，輝度範圍也會有所改變。
- 2.5 照度高低與用電密度相關，無形中刺激各單位使用高效率燈具。在均

勻度提高之條件下，照度可以隨之降低，但如何找出照度與均勻度折衷之標準，目前國外尚未有定論。

- 2.6 近幾年來學術單位針對演色性提高，照度可降低，辨識度與視覺理論皆有所討論。
- 2.7 標誌問題: LED 為自發光光源，是否可從發光特色將標誌進行分類，可分為內透光、自發光與光纖等。
- 2.8 贊成研究團隊提出之法規建議修正方向，未來也應該將光污染考量進來。
- 2.9 交流道附近沒有路燈，是否依靠車燈即足夠?而高速公路上如果標線能夠標示清楚，再加上車燈投射後，其實路燈照明的需求就可以降低。

3 宋平生教授

- 3.1 關於 LPD 用電密度議題，目前在國外很少加以規範，美國室內照明、室外景觀照明也很少用。IESNA 是否有 LPD 的規定，需再做確認。
- 3.2 LPD 定為 1.25，可訂定 range 條件把均勻度、照度、LPD 列為驗收規範。LPD 未來可能會從室內走到室外。
- 3.3 演色性與照度關係的研究是很好的提議。
- 3.4 LED 與光纖比較，採用光纖維修上較容易，有發生過 LED 照明案例，維護預算為 100 萬，但最後實際上花了三百萬。
- 3.5 建議未來應將高效率納入討論。

4 孫慶成教授

- 4.1 照度與輝度的訂定會因為各國氣候環境、地面材質不同有所差異。台灣路面基本上都是柏油路面，使用照度即可，在設計與驗收上採用輝度困難度較高。
- 4.2 應了解台灣路面目前平均反射率以及反射角度，設定之規定則可以提供亞熱帶國家參考。照度計算方式：輝度再除以之 15 (照度為 15 則輝度為 1nits)。假設國內路面反射率相當，則不需要輝度，但照度值建議降低。
- 4.3 認為高速公路再車道是有車燈供照明，是否還需要路燈，高速公路兩側有物體出現的機率較低，反而是在交流道較為需要。另外在夜間是否應設計可調光設計，以符合節能訴求。建議交通部委託學術界、工研院進行研究。
- 4.4 LED 標誌眩光過大，建議交通部委託學術界、工研院進行研究。不贊成光纖導入照明。
- 4.5 建議台灣採用最有利標，不因為低價搶標，廠商提供的 LED 可靠度才會愈來愈好。
- 4.6 蕭教授有提到人行道與自行車道，認為這才是最重要的，應有完整規範。

5 林俊貴工程師

- 5.1 養護單位一值都希望使用高效率燈具，希望用電密度將來能納入規定。夜間的交通量減半，高公局去年就嘗試再夜間降低照明用量，但受到媒體反對。事實上在交通工程手冊有提到夜間照明可以交錯減

- 半，且 CIE 有這樣的規定，未來是否可能明文規定在夜間交通量減半時，並說明如何進行設計，可提供養護單位在實際設計時做一參考。
- 5.2 節能部分：在節能前提下，一定還是要維持住應有的照明水準。
 - 5.3 新光源產品使用在道路照明是否可能有缺失，是需要特別注意之處。
 - 5.4 高壓鈉燈穿透性很強、演色性高，但穿透性是否會降低，而陶瓷複金屬燈會招惹蚊蟲。建議使用新產品除了考量節能，也應考量其他問題，等產品較為穩定再進行規範。
 - 5.5 曾發生案例為長官反應隧道照明不足，後經查明原因為當初隧道照明設計為混凝土，但後來已改為柏油路面，故同一個燈具在混凝土環境下輝度為 7.66cd/m^2 ，但改為柏油路面則只剩 4.033cd/m^2
 - 5.6 國外輝度計算適用於國外道路環境，但不一定適合國內使用。如國人坐在車內的高度不同，反射角度也不同，建議請學術單位進行研究。

6 公園路燈管理處陳耀東先生

- 6.1 台北市路燈皆為單位自行設計，目前已突破二十萬盞，故台北路燈發展史幾乎等於台灣路燈發展史。台北市公園路燈管理處已成立四十年，數量佔比例最大的是巷道，佔了 50% 以上。
- 6.2 國內在路燈設計上，其實在巷道內設計只跟“選舉”有關，大部分由民意代表與里長決定。
- 6.3 曾有學者在民國八十年於照明學會發表一篇文章，提出路燈是道路輔助照明，道路照明應以車燈為主，沒有路燈也不會造成生命安全之危險。
- 6.4 台灣法規沒有提到明暗比之規定，而實際上台北市只有一個地方完全符合國家標準。路段為仁愛路一到三段，此設計並在民國 82 年得到照明學會最佳照明獎。
- 6.5 如果要求降低高度與降低明暗比，則需要增加路燈盞數。
- 6.6 路燈驗收應採用輝度作為驗收標準，此項規定在過去都只是用來參考，目前在驗收上其實有窒礙難行之處。
- 6.7 認為 LED 路燈目前窒礙難行的地方還很多，對公部門而言成本代表一切，在初始成本過高的情況下推動上仍有困難。成本跟效率都需要考慮，LED 前期不太需要維修，但是後期維護成本很高。
- 6.8 路燈調光問題：六年前香港在討論此課題，但在灣仔公園發生晚上 12 點之後的性侵案件後，從此只淪為紙上談兵，畢竟安全性才是最重要的首要考量。
- 6.9 建議國內應採最有利標，2009 年 LED 第一條示範道路，預算為一千多萬，最後標案價只有 200 萬，低價搶標最後淪為惡性循環，造成民眾觀感差。
- 6.10 照度與輝度測試，國內實際測試過的只有在民國 81 年，測過凱達格蘭大道上的趨度與輝度。

7 世曦工程黃勁淳正工程師

- 7.1 日本針對照度與均勻度，花了 30 年時間進行研究，以國外做 BASE 外還需考慮駕車習慣才能夠訂出適合台灣的標準。
- 7.2 針對台灣部分提出：標誌牌採“光源組合式”，如果夜間沒有進行調光輝

度會太高，會形成過度刺眼並造成光害。

- 7.3 美國有要求標誌照明光源組合式與內部照明式其照度需相同，國內目前沒有特定研究與規範。
- 7.4 部分車流量較低的情況下，主要道路變成次級道路時可降低一級的要求，建議另闢專案進行研究。

8 交通部綜技司

- 8.1 Led 目前效率很難跟高壓鈉燈相比，日亞化實驗室雖然已有高達 249lm/w，但產品何時會在市面上推出未有定論。2010 年年初 LED 發光效率已提升至為 208lm/w，路燈如以八成換算大約為 160 lm/w。
- 8.2 LED 路燈目前從台灣廠商商品成熟度來看是可以的，但後續更換與維護的問題仍需要考量。
- 8.3 應從 LED 波長、色溫、演色性等特性看其適合哪些道路，從法蘭克福照明展來看，如果用在六米高，LED 路燈配光比 HPS 好，且應用在商業區是很好的。
- 8.4 台灣有穿透率部分的問題，LED 低色溫與高色溫之間的效率差兩成，如加州有霧區問題，起霧時光應該要變顏色，一旦起霧需要變成低色溫較為恰當。

9 林組長：

- 9.1 感謝大家的參與與意見的提供，對後續研究相當有幫助。
- 9.2 對於 LED 抱持樂觀的態度也是需要大家共同關注的，也需要大家共同協助，更了解使用者的條件與需求，使 LED 的導入更加順利。



符合節能目標之道路設施安全標準評估與應用專家座談會

時間：2010/08/19 10:00~12:00

地點：交通部觀光局旅遊服務中心會議室 (台北市敦化北路 240 號 2 樓)

※專家名單依姓氏筆劃排序

單 位	與 會 人 員	簽 到 處
交通大學運輸科技與管理學系	吳宗修 副教授	吳宗修
中華大學運輸科技與物流管理學系	張建彥 助理教授	張建彥
前工研院綠能與環境研究所	潘耀徽 顧問	潘耀徽
台灣飛利浦	蔡於暉 經理	蔡於暉
台灣科技大學電機工程系	蕭弘清 助理教授	蕭弘清
臺灣海洋大學河海工程學系	蕭再安 副教授	蕭再安



符合節能目標之道路設施安全標準評估與應用專家座談會

時間：2010/08/19 10:00~12:00

地點：交通部觀光局旅遊服務中心會議室 (台北市敦化北路 240 號 2 樓)

單 位	與 會 人 員	簽 到 處
交通部運輸研究所	陳一昌 組長	張開國代
交通部運輸研究所	孔垂昌 副研究員	孔垂昌
交通部運輸研究所		賴靜慧
交通部運輸研究所		黃明也
交通部運輸研究所		
工研院產經中心	林志勳 組長	林志勳
工研院綠能所	李宏俊 研究員	
工研院產經中心	李芷氫 副研究員	李芷氫

【「符合節能目標之道路設施安全標準評估與應用」08/19 專家座談會】

日期：99 年 8 月 19 日 PM 10:00-12:00

地點：交通部觀光局旅遊服務中心 2 樓會議室

出席人員：

主席：交通部運輸研究所張開國副組長

與會專家：交通大學運輸科技與管理學系吳宗修副教授、海洋大學河海工程學系
蕭再安副教授、台灣科技大學電機工程系蕭弘清助理教授、中華大學
運輸科技與物流管理學系張建彥副教授、前工研院綠能與環境研究所
潘耀徽顧問、台灣飛利浦蔡於暉經理

運研所：孔垂昌副研究員、黃明正研究員、賴靜慧研究員

工研院：林志勳組長、李宏俊研究員、李芷氤副研究員

1 吳宗修副教授

- 1.1 理論上淨現值法計算是合適的，今日提供之簡報在國外案例部份資料較少，加州的 replacement 未列在圖示上，請研究單位補充。
- 1.2 經濟分析的困難在於，裡面的 item 很難清楚的界定。
- 1.3 一般在分析過程中，衍伸的 CO₂ 常碰到的爭議在於，會不會有重複計算的可能性。
- 1.4 隧道燈案例計算的部分，數量上是否合理需要再作考量(500 vs 600)。

2 張健彥副教授

- 2.1 簡報中前面提到的美國案例跟後面的實際計算中間仍有 GAP。IESNA 的分析方式與成本項目的各細項間，導到後來採用淨現值法的公式做計算，這三塊之間還是漏了一些東西，須對其連結多做補強。
- 2.2 目前案例的部分只針對台中做分析，台中市否只是一個 show case，如果是要發展到以後全台各地都可以使用的經濟效益評估方式，建議前面這段的方法論必須要再加強。
- 2.3 建議：經濟效益評估的架構先畫出來，並詳述每個步驟以及蒐集資料的流程。每個流程應帶入不同公式做計算，包含有形與無形的經濟效益，以及每個項目如何蒐集資料、如何量化。每細項的單位計算方式應有單位成本，如每流明每小時的量化成本。
- 2.4 經濟效益計算方法用淨現值是可以的，目前看不到效益項目，建議先把所有理論上的參數與單位界定出來，後面再提出案例。
- 2.5 建議各個案例的 baseline 要先界定，了解整體環境的照明水準是不是一樣的，目前是以符合規範為前提，但假設是在規範以上，那是不是照明水準越好的情況下，反而造成費用越高。而假設條件須有一致性
- 2.6 一般貼現率會做一個敏感度的分析，在 life cycle 要怎麼做比較，需要仔細說明。

- 2.7 保固期的部分，目前 LED 都有保固期，但水銀燈路燈是否也有保固期的考量，如果要做同一基準之比較，燈具其他部分也會有保固期。損壞率與保固期，兩種燈具的比較基準應要一致。
- 2.8 分析結果有提到回收年限的部分，建議此辭彙應再作定義。
- 2.9 效益面的部分需要再加強說明，目前蒐集很多國外的 LED 案例，如果單純做台中市案例，要再多做其他案例比較。
- 2.10 參數的界定，並不單指數值，如頁 50 左邊欄位是參數，建議後續可以加入這些參數做計算。
- 2.11 回收年限多付出的額外成本，可以參考文獻 7。

3 潘耀徽顧問

- 3.1 近代的照明觀念，飛利浦有提到照明設計基本上應考量效能與舒適度，以及 5E，包含人體工學、能源節約、經濟、生態保護及美學。
- 3.2 當案例中做一對一的汰換，效能前後是否一致，是否符合要求？
- 3.3 所有的分析與情境的假設有關係，這種分析方法大方向是一樣的，但細項的部分建議可以再更細緻一些。
- 3.4 國內的 case 應到不同都會區做抽樣調查，一般會抽樣 30 個案例再來推估整體。都會區的原來照明環境有可能本來就不符合需求。
- 3.5 經濟面之外，有考量到 CO₂ 的考量，如果要探討環保問題，要看是從需求端還是使用者的角度做分析。如果考量 supply side，從環保的 impact 來看，其實從整體產品生產周期都可以考量，須從上下游以及整個生產流程去看，但這是一個不容易做且相當複雜的研究題目。
- 3.6 道路輝度與照度，是在什麼條件下進行測量，都要符合原有之標準。
- 3.7 維修問題，點更換與群組更換，群組更換較為省錢，且效益較高。
- 3.8 飛利浦提到中間視覺問題，目前全世界許多研究機構與大學都在進行研究。研究團隊可以去蒐尋更多相關資訊。

4 飛利浦蔡於暎經理

- 4.1 案例之間的比較基準為何須做考量，在換裝前後進行比較，如果沒有換燈桿可能不符合照明環境標準。
- 4.2 如台北市決定三年內不再裝換 LED，是由於斑馬效益形成明暗比太嚴重，反而對道路照明環境有負面影響。
- 4.3 簡報中提到美國案例部分，回收年限差異過大，須解釋原因。而 LED 廢棄物處理成本未做詳細說明。
- 4.4 隧道燈案例的替換原則，為六米改為九米，認為數據有待商榷，LED 可能無法 cover 到那麼遠。此替換條件下隧道內的照度及輝度是否符合，還是需用總流明做一計算。
- 4.5 台灣電費太便宜，包燈制又可以打五折，連國內台電員工都認為電費很便宜，此會影響回收年限。
- 4.6 道路照明是否應回歸到人的本質，中間視覺部分如果用白光只要 0.5 的輝度，(鈉燈則要 2 的輝度)。故這樣對 LED 更有優勢，因為耗電更少。
- 4.7 目前只有英國把中間視覺訂定於法規中。

5 蕭弘清助理教授

- 5.1 針對光衰的問題，光源的實測溫度與環境溫度、最佳溫度不同，如果剛好在最佳溫度，光表現反而更好。
- 5.2 關於光學效果的評估研究很多，而經濟效益的評估，會因為每家公司提供的細項成本不同，最後在數據的評估上會有差異。若為廠商主導之研究，應避免廠商只拿報告去自吹自擂，故由中立研究機構做此研究是有意義的。
- 5.3 P16 的 LED 電費規定應該還要做評估，並不合理。
- 5.4 認為任何一個專案，如果回收時間要超過五年，其不確定性會太高。如果超過五年，經濟替代價值就不高。
- 5.5 照明效果是否能納入討論，新光源對行車安全是有幫助的。而照明環境條件是否會因為改採 LED 有所改變？
- 5.6 LED 路燈作五年內的效益評估，由於照明品質沒有公定的計算公式，研究成果容易受到質疑。可以先建立一個評估模式，評估模式有其必要性，但是細節較難進行。
- 5.7 案例中如果只換燈頭未調整燈桿距離，認為不會是成功的案例。LED 路燈的替換應該要全面重新汰換，要將所有效益全部量化實有其困難性。

6 蕭再安副教授

- 6.1 本研究為交通部運輸研究所委託，在從事經濟效益評估時，是站在使用者的角度還是公部門政府的角度，
- 6.2 政府在做經濟效益評估時有其政策目標，如從扶植 LED 產業的角度做思考。當政府扮演角色不同時，評估方式也會不同。
- 6.3 如果是使用者的角色，就單純用財務的評估。找出共通基準，相同效能，確定假設，並用標案價來計算，此為使用者角度。
- 6.4 假如用經濟效益分析來看，應考量內外部成本跟效益，並非只是很狹隘的經濟兩個字，導入 LED 後還可以考量社會效益 本案提到 CO₂ 減少除了 CO₂ 之外，還有很多空氣污染的減少。如果從這樣的角度出發，標案價格不一定能反映全部成本。政府會不會有補貼動作，電費是用 50% 補貼，反映的不是真正發電成本。故角度不同，使用的評估方式也會不同。
- 6.5 應將內部外部影響貨幣化，不管是哪一種方式評估都可以進行。但假如是真正在談經濟效益分析，CO₂ 在國際上有參考價格，但地區上的污染物則很難進行評價。
- 6.6 德國 BASF 提出永續發展觀念，就既有的產品思考如何去改善它。Performance 可能是原來的 90%，但能夠從環境、經濟、社會去評估新產品在社會經濟環境面有什麼助益。
- 6.7 認為除了談到經濟效益之外，也應該談到對於交通安全的幫助。對於道路的照明有沒有幫助，同樣條件之下，正面或負面也需要釐清。
- 6.8 參考文獻回顧 2，有提到光害減少的部分。有些東西要量化很難，貨幣化更難。
- 6.9 如果站在貼現率，可以採用央行利率。但如果站在經濟效益分析的角度來看，用同樣的貼現率來計算，評估準則應盡量周延，但衡量時應

多做交代。將有助於政府推動時，提出正面的支持論點。

7 林志勳組長

- 7.1 光衰: 台中市實際測量的結果，光衰反而增加的原因，應該不符合物理原則。可能原因，量測錯了。或者是廠商自己更換，目前廠商也沒辦法解釋這個現象。
- 7.2 台中市案例，隧道燈為何從 6 米換為 9 米，忠明南路下隧道，因為太亮所以從 500 盞替換原本的 600 盞，還須考量隧道內不同部分之需求。
- 7.3 張老師的建議我們會去進行，但比較難的會是在參數的制定，換水銀燈的成本，光在台中市案例就有兩種說法，維修光源的計算方式就有所不同。每個地方的參數界定是非常困難的。
- 7.4 美國的計算方式，包含一個是敏感性分析，或是一次換十盞後維護成本平均分攤。後續會把評估的流程與參數界定清楚。
- 7.5 Baseline 目前設定為符合道路照明規範，未來各地政府的設置方式也會以此為基礎。台中市多以節能這個意涵去說服民眾，問卷調查七成以上皆表示滿意。
- 7.6 貼現率目前採用央行利率 後續會加入敏感性分析
- 7.7 回收年限將會重新定義。
- 7.8 廢棄物處理成本:目前水銀燈有額外費用
- 7.9 照明品質的評估真的很難進行，外部效益難以清楚衡量。後續會在 Led 路燈與傳統路燈的差異進行比較。提出 Led 路燈的質化效益。
- 7.10 由於太多環境因素變數太大，故目前沒有將安全效益量化考量進來。
- 7.11 本次總計劃也有討論蔡經理提到的分析，針對輝度、人因工程進行研究，目前包括中國也有一些研究在進行。

8 主席:

- 8.1 電價的訂定是不是已經考量 CO₂。國內電費結構非常複雜 難以計算出其他的效益。
- 8.2 關於保固期，認為廠商已經把保固期算入原本的效益。
- 8.3 此研究案從政府角度來看，把節能減碳視為未來的重要目標。照明用具裡面，找出能夠節能減碳且能符合道路照明需求。務實的來談，道路使用單位，工程或縣市政府會很單純的考量財務面，以成本低、維護少為主要訴求。但對於未來的社會效益影響層面，並不會去做考量。而這反而是交通部運研所應該重視的地方。
- 8.4 如果單純替縣市政府考量，可以只從經濟效益考量，但政府角度來看，應該加入更多考量的因素。
- 8.5 從文獻的蒐集得到相關資訊，如光害的減少，對於國內農作物的影響。是否有效益損失，如何計算，也應該要放入研究案做一計算。



符合節能目標之道路設施安全標準評估與應用專家座談會

時間：2010/09/24 10:00~12:00

地點：交通部運輸研究所 10F 會議室 (台北市松山區敦化北路 240 號 10 樓)

※專家名單依姓氏筆劃排序

單 位	與 會 人 員	簽 到 處
交通大學運輸科技與管理學系	吳宗修 副教授	吳宗修
國道高速公路局	林俊貴 工程師	林俊貴
中華大學運輸科技與物流管理學系	張建彥 副教授	張建彥
台中市政府建設處養護科	張添嘉 技士	張添嘉
台灣大學土木工程學系	許添本 副教授	
台北市政府公園路燈工程管理處	陳耀東 先生	陳耀東
中央大學光學科學與工程學系	楊宗勳 助理教授	楊宗勳
國道高速公路局	楊淑娟 小姐	
中興工程顧問股份有限公司	劉火炎 經理	
台灣飛利浦	蔡於暉 經理	
台灣科技大學電機工程系	蕭弘清 助理教授	蕭弘清



符合節能目標之道路設施安全標準評估與應用專家座談會

時間：2010/09/24 10:00~12:00

地點：交通部運輸研究所 10F 會議室 (台北市松山區敦化北路 240 號 10 樓)

單 位	與 會 人 員	簽 到 處
交通部運輸研究所	陳一昌 組長	陳一昌
交通部運輸研究所	張開國 副組長	
交通部運輸研究所	孔垂昌 副研究員	孔垂昌
交通部運輸研究所		
交通部運輸研究所		
交通部運輸研究所		
工研院產經中心	林志勳 組長	林志勳
工研院綠能所	李麗玲 副組長	李麗玲
工研院綠能所	李宏俊 研究員	李宏俊
工研院產經中心	李芷嵐 副研究員	李芷嵐

【「符合節能目標之道路設施安全標準評估與應用」09/24 專家座談會】

日期：99 年 9 月 24 日 PM 10:00-12:00

地點：交通部觀光局旅遊服務中心 10 樓會議室

出席人員：

主席：交通部運輸研究所陳一昌組長

與會專家：交通大學運輸科技與管理學系吳宗修副教授、台灣科技大學電機工程系蕭弘清助理教授、中華大學運輸科技與物流管理學系張建彥副教授、中央大學光學科學與工程學系楊宗勳助理教授、台北市政府公園路燈工程管理處陳耀東先生、台中市政府建設處養護科張添嘉技士、國道高速公路局林俊貴工程師

運研所：孔垂昌副研究員

工研院：林志勳組長、李麗玲副組長、李宏俊研究員、李芷氤副研究員

1 台北市政府公園路燈工程管理處陳耀東先生

- 1.1 眩光議題，過去是採用燈具遮蔽角的選擇或是加遮光罩，讓光源不要正面直射到用路人。LED 經常容易產生眩光，曾在大陸看到一案例，周邊道路路燈採用 LED 為光源，但以 12 個不同方向燈泡設置而成，故光線較為均勻。
- 1.2 高速公路東西向道路，由於會有面向太陽的問題，自然光光線遠大於標誌，造成路上標誌不易看見。湖南有一案例，面板採用一傾斜角度，大約 15 度左右，可達遮蔽太陽光之效。
- 1.3 台北市政府是台電大客戶，每年一億多元電費。然而路燈採用包燈制，一盞路燈每月電費其實不高。LED 燈瓦特數低，台電新增 LED 包燈制，每瓦每個月 0.68，還可以打五折，因為在電費便宜此一前提下，大家比較容易忽略調光議題。
- 1.4 台電尖離峰用電量為 7:3，但發電機啟動到運轉超過十小時，並不會因為尖離峰用電差異而停止運轉，應考量離峰時大量電流失之問題。
- 1.5 路燈色溫問題，從 200W 水銀燈換成 150W 鈉光燈色溫會有所差異，東方人對於冷光接受度較高，此為視覺感受問題。

2 台中市政府建設處張添嘉技士

- 2.1 台中市 97 年換了 7698 盞路燈，設置當時有考量避免眩光設計，故後來沒有太多眩光問題。近期有試裝案例，雖然亮度夠均勻度好，但眩光嚴重，使用上仍有問題，故還需要請廠商重新修正。

3 國道高速公路局林俊貴工程師

- 3.1 本次討論主題雖然是中間視覺，但目前實務上仍以明視覺為主。大陸 2007 年公布的道路照明相關法規仍以演色性為主，未討論中間視覺。目前如果要以中間視覺做檢測，使用單位認為幾乎是不可行的，無法做一驗證。
- 3.2 標誌牌未規定限制的眩光值，目前只界定平均照度。
- 3.3 目前在交流道之間不設路燈，只有特殊路段才設路燈。橫向照明是否會影響縱向均勻度，安裝位置與使用均勻度皆應納入考量。

4 交通大學運輸科技與管理學系吳宗修副教授

- 4.1 從交通安全來看，針對 27 頁 31 頁請研究團隊再做說明。
- 4.2 在能源節約條件下看安全議題，這些可以節能的燈源燈具，是否可以滿足安全上的需求？建議在進行人因工程研究後，應找出新型節能設施如何滿足安全性需求的連結。
- 4.3 眩光議題，東西向道路如新竹光復路，在 11、12 月經過都會有眩光現象。最大來源是太陽本身有方位角跟仰角，美國已開發出可以明確顯示不同時間點太陽位置的軟體，交大正在研究如何與交通安全結合。太陽光線產生之問題較難克服，單純透過照明設計不易解決。
- 4.4 照明燈具不能裝太高，但又有照明需求時，容易產生眩光，最常發生的是車燈產生之眩光。

5 中央大學光學科學與工程學系楊宗勳助理教授

- 5.1 中央大學已針對人因工程主題進行研究，並建立光學眼球模型，可模擬眩光對眼球的影響。LED 雖然會產生眩光問題，但 LED 光源體積小，光型分佈其實是可以修正的，如果擔心眩光可將燈具拉高，目前已有的一些資料與數據可進行比對與調整。
- 5.2 中間視覺部分，CIE 已提出訂定此規範的想法，2010 年或 2011 年將會制定草案。但照度輝度目前都採用明視覺計算數值，如果要改用中間視覺，整個數值要重新計算，程序會較為繁複。
- 5.3 將產品色溫調高後藍光成分變多，使人眼瞳孔張開，藍光對眼睛其實有生物傷害，目前仍在蒐集資料進行研究中。

6 中華大學運輸科技與物流管理學系張建彥副教授

- 6.1 建議在交通安全上的考量，能夠將議題回歸到與安全有所連結。不同的視覺影響需要多少反應時間，需要再進一步要去討論，而此反應時間是否會對安全產生影響，會涉及到何種狀況，也需要再做研究。
- 6.2 法規中安全距離訂定，即是考量在正常跟車情況下，人類感知反應時間長短來訂定。

- 6.3 許多道路設施設計與感知反應時間相關。如紅綠燈，一般參考值為一秒。建議再進一步去討論，一般道路交通設施與規範有關的有哪些參數值?很多交通幾何設計大約為 2.5 秒，此與駕駛預期心理相關。再去討論反應時間是否可以節省 0.1 秒。透過工程方法改善眩光問題，影響程度將會降低。
- 6.4 駕駛駕車時的行為模式包含序列處理(譬如在跟車時，需要因應前車狀況)與平行處理過程(對於周邊狀況、標誌的反應)。人因工程裡比較在乎序列處理。平行處理的過程雖會考慮，太過於注意反而影響序列處理的處理時間。
- 6.5 在何種情況下會影響序列處理過程，建議可以再多著墨。生理、心理與習慣也會相關。如遇到太陽光時，駕駛會因為本身之習慣調整行為，所以不會馬上立即產生危險。生理因素則有 90%以上為視覺主導。可以去思考若回歸到 LED，視覺的注意力在不同條件下，會有哪些影響?
- 6.6 高速公路上很多 LED 標誌，在明亮環境下很亮，但在夜晚有過度刺眼的感覺。建議可能在一天 24 小時不要都是同一照度，避免產生不適。
- 6.7 安全上應考量有沒有“注意”的效果，建議加強“視覺注意力”
- 6.8 建議簡報針對視覺做更系統化的整理。了解光線對視覺的敏感性與衰退影響程度為何。
- 6.9 27 頁內容，在交通工程上做這個部分會重視的是長隧道。此部分對安全的影響程度在哪裡應再做思考。

7 台灣科技大學電機工程系蕭弘清助理教授

- 7.1 從今日座談會可看到國內在視覺理論研究有邁出一大步。全世界已針對此議題進行研究，但台灣過去較少涉入，認為這是一個好的開始。
- 7.2 豐原標誌牌內容字體是用 LED 點出，某些標示牌設置位置不當，被路樹擋到，此為根本必須解決的問題。
- 7.3 龍潭往台北方向，中和隧道與大溪隧道都有逆光行車的問題，使得所有標誌字體不易辨識，導致駕駛產生行駛路線錯誤的風險。
- 7.4 國外在標誌牌設置上會強調對比、傾斜角度，使其更容易辨認。目前採用遮光角，使字體辨識較不受陽光影響。
- 7.5 中間視覺在節能議題下有其必要性，歐洲已進行五年研究。路燈在都會地區與郊區，確實可以做到前半夜與下半夜的調光差異，至少可以有 15-20%的節能空間，而這個時段就是採用中間視覺。
- 7.6 在中間視覺前提下影響最大的為演色性跟色溫。但 LED 初期做不出低色溫，故很多路燈為高色溫，建議亮度應該要能夠調整亮度並降低色溫。亮度調整值如何落實為具體建議，為研究團隊要再努力的地方。
- 7.7 由於亞洲人皮膚較黃，如果再用低色溫照射，亞洲人膚色會更黑。故國外廠商銷售至亞洲地區的照明產品，一般色溫均偏高。

- 7.8 由於人的視網膜在 5-12 歲間仍為緩步成長階段，認為 LED 未來若要進入國小教室，對國小學童而言並不適合。且目前是採用藍光轉白光，剛好是對人眼傷害較大的範圍。
- 7.9 車頭燈採用白光，造成眩光嚴重。歐洲車頭燈多採 5000K 以下，但在國內覺得炫又有賣點，所以反而採用高色溫燈具。考量產業發展，未有人提出負面意見，建議交通部未來可以持續研究並提出建議。
- 7.10 建議研究團隊將大量文獻濃縮為具體建議。
- 8 工業技術研究院綠能所李宏俊研究員
- 8.1 眩光會造成失能眩光，色溫越高會被認為太刺眼，需要時間恢復，所以反應時間會增加。
- 8.2 今日簡報為整體趨勢的說明，之後研究團隊會針對定量內容再做研究。
- 8.3 研究團隊已進行豐原標誌之調查，調查結果顯示，LED 標誌牌有一些改善，使駕駛從遠處就可以感受到標誌牌的存在。但標誌牌內部如果對 LED 沒有特別設計，字筆劃很多時，如“龜”山的“龜”字不易辨識。
- 8.4 台中案例，發現自發光與背透光標誌牌會混用，有些標誌牌主動發光，由於整面發光標誌會先吸引駕駛目光，反而使其忽略 LED 組合成的禁制標誌。另外發現有些標誌牌裝在路燈後十公尺，車輛內部所有人完全看不到標誌上的訊息。調查結果將在報告中提出並做一討論。
- 9 工業技術研究院產經中心林志勳組長
- 9.1 目前中間視覺仍在研究中，但要訂定具體建議較有困難，可能要等國際上有明確研究，才能提出具體建議。較能較了解中間視覺對道路照明的影響。
- 10 工業技術研究院綠能所李麗玲副組長
- 10.1 中國已有復旦大學的研究，暖白光光源 SP 值高，但可能因為太白產生眩光。大家希望透過中間視覺降低照度需求，但可能會產生另外的議題，需要再做考量。
- 10.2 目前在歐洲的 LED 路燈，沒有超過 5000K 的，而從本研究蒐集的文獻也可以看到，5000k 對人類視覺來說較為舒適。
- 10.3 OSRAM 車頭燈在歐洲其實色溫並沒有太高，高色溫產品多只銷售到亞洲。然而從視覺來看對人眼有害，此可以成為一個新研究議題。
- 10.4 高架道路上是否可能用光帶處理，此部分尚不是本次研究範圍，但認為對台灣會有幫助。針對新設備、新材料對整個道路照明會產生哪些影響，如果台灣長時間對此議題有所研究，也希望這樣的研究有機會隨著節能產品的發展延續。

11 主席

- 11.1 3M 推出新型標誌，單靠車燈光源照射即可辨識，另外日本有提出紫外光標誌資料，建議補充資料到本次研究報告中。
- 11.2 本研究有提到中間視覺與中介視覺，建議字彙須統一。
- 11.3 如果用中間視覺，所有數值需重新計算，研究團隊的建議為何？
- 11.4 一般對於反應時間長短是否已有規定？如在不同道路、不同速限條件下，有沒有特別訂出反應時間的規定？
- 11.5 如果色溫過高會造成眩光，目前國內車燈色溫在藍白光都超過 6000K，是否應該要禁止生產或是有所規範？
- 11.6 高速公路上 LED 照明標誌牌對駕駛安全性可能產生疑慮。假設每一面都是 LED 標誌，大家反而沒看到最重要的標誌。大家為了彰顯產品，LED 標誌會越做越亮，但如果全面改裝，則會有問題產生。
- 11.7 感謝實務界與學界的經驗，今日座談會主題還是以交通安全為主，並不脫離研究主軸。建議研究團隊應在研究報告內提醒後續需要注意事項，供國內產官學界做一參考。
- 11.8 感謝各位專家蒞臨參加，宣布會議結束，散會。

附錄 2

期中報告初稿審查會議紀錄

「MOTC-IOT-99-SDB004 符合節能目標之道路設施安全標準評估與應用」期中報告審查會議紀錄

一、時間：99年7月9日(星期五)上午10時整

二、地點：本所5樓會議室

三、主持人：

張國恩 代

紀錄：孔紹

四、出席委員及單位：

單 位 及 委 員	出 席 簽 名	職 稱
楊宗璟委員	楊宗璟	
蘇金勝委員	蘇金勝	
張榮森委員	(請假)	
李忠璋委員	(請假)	
劉火炎委員	劉火炎	
臺北市政府	(請假)	
臺北縣政府	張峻豪	工務局
臺中市政府	(請假)	
行政院國家科學委員會	(請假)	
經濟部工業局	(請假)	
經濟部技術處	林青巖	
內政部營建署	(請假)	
交通部路政司	邱其石	

單 位 及 委 員	出 席 簽 名	職 稱
交通部公路總局	(請假)	
交通部台灣區國道高速公路局	楊淑娟 林啟英	
台灣世曦工程顧問股份有限公司	王紹堯 黃力群	
中鼎工程股份有限公司	鄭芝人	
林同棧工程顧問股份有限公司	(請假)	
本所綜合技術組	(請假)	
本所運輸安全組	孔垂智 黃明色 洪寬忠	

財團法人工業技術研究院

林石彰
李正富 柯士凱

五、主席致詞：(略)

六、簡報：(略)

七、綜合討論：

【楊宗璟委員】

1. 後續工作計畫之說明尚待補充，例如人因工程、安全、耗能測試、效益評估方法等。
2. 有關安全研究與人因工程方面較少著墨，有何具體作法應明確提出。
3. 經濟效益評估應加入 CO2 減量與安全評估，應如何蒐集資料、如何分析計算，應妥為闡述。P157 的事故處理成本之節省金額計算方式評估作法並不足取，因為交通事故的次數減少，影響變數成因眾多，不完全為單項新型交通設施設置所致。
4. 文獻探討內容目前缺乏人因工程、減碳效益相關文獻，後續應詳盡補充。
5. 全份報告的部分內容不易閱讀，錯字、翻譯問題等請再確認，例如 P16、19 的英文，P94、95 的日文。
6. 文中提及很多國外案例，應補充國內本土新型交通設施案例作為參考。
7. 參考文獻的內容與翻譯應統一，引用格式需做修正，應補上參考文獻。

【蘇金勝委員】

1. 依計畫需求，需了解目前交通設施使用能源的現況及未來新技術的節能狀況，因此宜就目前交通設施耗能情形有所描述分析。例如政府補助辦理標誌、LED 路燈試辦計畫之相關基本資料應納入報告內。
2. 耗能設施採用省能器具宜分類及個別比較省能情形及其他優缺點，原非耗能設施改採耗能設施亦宜說明其效益。
3. p24 PLC 與智慧化 LED 路燈之關係宜進一步整體說明，zeeeebee 或 zigbee 請釐清。
4. 隧道調光白天與晚上不同，採用 LED 亦可利用其特性採線狀照明。
5. 道路照明係以輝度或照度為基準，請探討並建議。
6. 照度(輝度)對比均勻度及眩光是否納入訂定標準，請研析。
7. LED 燈具均由多點光源組成，在維護及安全考量下，應否定義期故障率之容許度(交通號誌燈、標示牌、照明)。

【劉火炎委員】

1. p10 表 1-1，應補列照度計及輝度計等儀器。
2. p53 表 3-14，目前照明計算分析大都採用電腦計算，除依 CNS 標準規定之照度、輝度及均勻度要求外，亦應提供眩光及光害之限制。因此表 3-14 僅供參考。
3. p57 隧道照明目前國內大都以國工局頒布為主，另亦有 CNS 之規定，但附提之內容似乎沒有反應。

4. p58 照度輝度轉換，水泥路面為 $10(Q_0=0.1)$ ，柏油路面應為 $14(Q_0=0.07)$ 。
5. p66 目前國內隧道大都參考歐洲 CIE 之規定，但描述過於簡略，應可再詳細補充。
6. p101 可加強型斑馬線照明之規定。
7. p109 圖 4-19，“隧橋”應改為“隧道”。
8. p138 LED 15 年維護費用為 0 不合理，如電源供應器僅保固 3 年。
9. p140 以後，表 4-13 以後基本需求為何，如各燈具流明數、安裝數量，及安裝後量測結果(照度)。
10. p156 圖 4-49，有關隧道長度、燈間佈置資料、輝度要求等是否應予補充。
11. p170 比較應含高壓鈉氣燈具
12. 建議儘速推動 LED 燈源標準接頭
13. 本土國內照明應多參考之，如工業局、高公局等現有營運狀況之調查。

【李忠璋委員(書面意見)】

1. 從報告中看到目前各國在使用 LED 燈多數都以實驗或試驗的方式進行，其原因建議研究單位能進一步瞭解分析。
2. 陶瓷複金屬燈是否有國外實際應用的範例。
3. 在經濟效益分析案例中僅就高壓鈉氣燈與 LED 燈作比較，建議能將第一章所介紹的各類型燈具都作一比較分析。
4. 能源局對 LED 路燈之推廣目前僅主要放在 8 公尺以下的道路，雖然有助於治安，但因此類型道路行車速度較低對增加夜間交通安全的助益有侷限，現有 CNS 15233 的規範內容對 8 公尺以上路設置路燈是否有需要再調整或加強的地方，建議研究單位能予以探討。

【張榮森委員(書面意見)】

1. 本期中報告內容豐富，但對眩光之定義及規定之討論(如 P8(四)中光學參數中缺眩光參數)著墨較少，請參考 IES 及 CIE 相關規定。

【經濟部技術處】

1. 建議同時將路邊自我發光式廣告看板、投射式光源廣告看板與高速公路 T-BAR 廣告看板等一併納入，以評估對用路人視線的影響。
2. 針對特殊氣候條件，建議可另行訂定一套規範，例如針對高山寒冷氣候、海邊易鏽蝕與隧道內高溫等場所。
3. 長隧道照明如雪山隧道，建議可考量長時間無變化之照明燈光對用路人精神注意力集中的影響，以降低肇事率。
4. LED 道路設施應考慮日後維護更新問題，建議可朝向模組化設計，以避免需整組更換造成維護成本增加。
5. 針對貓眼石設施，目前已有結合太陽能與 LED 的產品安裝於道路上，但是大多設置為閃爍燈光，彼此間因不同步閃爍，反而易對駕駛人造成影響，建

議可考量研發同步閃爍技術。

6. p24 中，Zeebee 一詞應更正為 Zigbee。
7. p103 中，圖 4-11 的敘述方法，芬蘭是否為全球最先導入 LED 路燈的國家需澄清。
8. p119 中，圖 4-30 中道路標誌的亮度感覺還比後方的路燈亮，是否會對駕駛人造成影響需評估。

【交通部路政司】

1. 考量 LED 燈具製造廠商商品差異，經濟效益評估探討宜納入該變數分析，以推估合理回收年期。
2. 有關以目前燈桿間距、高度及相關照度規範值之條件下，對於推動路燈全面替換為 LED 路燈之最適時點或條件，建議可納入報告做為後續本部決策參考。

【交通部台灣區國道高速公路局】

標誌標線部分：

1. 所述「新型耗能」道路交通設施，宜先定義。（「節能」除減少能源使用外，另不使用亦應屬之）
2. LED 於標誌之相關應用，有標誌之 LED 照明燈（內照式、外照式）、LED 標誌牌面（LED 採附著式、鑽孔式或其他方式設置於標誌牌面上），各類型之名稱及定義宜明確，以免前後不一致之情形。（如 P27-29 所述應為 LED 標誌，而非標誌之 LED 照明等）
3. 所述「LED 動態資訊系統」，請改以通用名稱「資訊可變標誌」。另後續章節並未針對此進行探討，請釐清是否納入研究範疇。
4. P21「LED 地面反光標誌」修改為「LED 路面標記」。
5. P29「紫外光標誌照明」是否即為「標誌 LED 照明燈」，請釐清。
6. 有關第二章第二節新型設施之介紹，似乎目前試辦之產品有部份未納入探討，如本局中區有試辦一處標誌 LED 照明燈。
7. 第三章「交通設施法規/規範比較研究」，
 - (1) 交通部頒「交通工程手冊」、CNS 建議亦納入法規探討。
 - (2) P40「LED 標誌照明/紫外光標誌照明」之台灣部分法規敘述有誤。（設置規則僅就標誌、標線、號誌進行規範，並未就照明進行規範）
 - (3) 針對目前 LED 應用於照明、標誌等，建議除就法規、規格、檢驗等面向逐一探討，亦應探討其所顯現之功能（或效果）是否符合現行法規規定。（如就 LED 標誌而言，LED 標誌設置可援引之規定，LED 標誌之 LED 色度、光強度（輝度）、可靠度、設置間距，LED 標誌所呈現標誌底色、圖案及文字之底色是否與規定相符等等）
 - (4) 報告中相關國家對於 LED 應用於照明、標誌等之規範，建議翻譯為中文並摘述列為附冊，以作為未來相關單位推動之參考。
 - (5) 國外對於 LED 設施之規定，部分僅為原則之敘述，部分則有詳細之規範，

建議應精確敘述，以免造成誤解。

- (6) 第三節「交通標誌/標誌照明」，除探討既有設施之國內外法規規定及差異外，亦應針對國外之LED應用於標誌之相關規定、規格、檢驗等進行探討。
- (7) 第二章所述「交通安全防護設施」係僅探討路面標記，惟第四節「交通安全防護設施」所探討範圍與第二章有所差異，請釐清本研究案研究範圍。
8. 第四章「新型耗能道路交通設施經濟效益分析」
 - (1) 大部分標誌均係利用車燈反射，並無照明，標記亦係利用車燈反射，且目前LED標誌之LED多採附著式或鑽孔式，仍須有反光片、鋁板等之既有設施，於成本效益分析時，應將前述納入考量。
 - (2) 相關設施除設置外，維護亦同等重要，以LED標誌而言，一般標誌與裝設LED標誌之清洗方式、所需時間、成本等亦應納入探討。
 - (3) 部分設施故障時（如一般標誌反光片、照明；LED標誌之LED），對於標誌應呈現之文字、圖案之影響（如維護機制、辨識及安全影響等），亦應納入探討。
 - (4) 第二章第二節「新型耗能道路交通設施介紹」、第四章第一節「各國新型耗能設施發展現況」兩小節雷同，建議調整。
 - (5) P112之LED標誌，依第二章所述，應非屬本研究範疇，且目前標誌均已逐步改為LED，且CNS對於規格、檢驗等亦有相關之規定。
 - (6) 「三、交通安全防護設施」，P132-133上半頁，應為標誌部分，另LED可變資訊板應非屬交通安全防護設施。
 - (7) 「第二節 經濟效益分析案例探討/二、標誌照明」
 - A. 敘述內容為標誌，非標誌照明，與標題不符。
 - B. 僅有新設施之設置成本概述，無與既有設施進行比較分析，請補充。另國內試辦案例應可作為成本、效益分析之案例。
9. 因LED標誌係由多種設施（如鋁板、反光片、LED、電線等）組合而成，並以現場組裝為主，目前並無相關規範可依循，建議本案可否嘗試擬定該類設施之規格、檢驗方式等。如無法細訂，可否就未來如欲訂定該類設施之規格及檢驗方式，應考慮或注意事項等研提意見。
10. LED標誌相較於既有標誌，較具顯著性，惟如標誌均採該方式設置，其顯著性將降低，建議本案可否就LED標誌之特殊性質，針對未來推廣設置原則或標誌類型研提建議。

道路照明部分

1. P：8（四）進行設施實測之項目，應含產品穩定性，請增加壽命參數。
2. P：11 第五節預期成果第4修訂我國道路照明規範與道路照明測試規範，不宜僅蒐集各國道路照明設計規範與道路測試規範，應考量本國人駕駛者習性與人因工程，確實了解原設計之原意後，基於何理由修訂。
3. P：11 大功率的複金屬燈可以替代中高功率的水銀燈和鈉燈？並不代表節能，目前同樣的功率鈉燈與複金屬燈，鈉燈比複金屬燈（光源效率高）節能。

4. P：25 水銀燈光源效率低、不環保，目前已漸漸被淘汰，一個所謂節能之產品（複金屬燈或 LED 燈）不宜與很差的光源作比較。
5. P：26 第 3 段應是溫度高。
6. P：39 綜合整理性表 3-5，新型交通設施，交通工程手冊第七章道路照明並無，此編排方式，恐讓讀者以為現行法規已有納入。
7. P：44 交通工程手冊除了訂定平均照度外、均勻度亦有規定。所列各國平均輝度及均勻度之值，請補充觀測者之條件。
8. P：49 中國 IESNA 是否為誤值？
9. P：107 上海市電力公司內部基本達成意見 2008 世博園區不宜推廣使用 LED 路燈，技術上更不能達到基本的照度需求，長江橋及閩東大橋採用 LED 燈，有效地推動了 LED 燈照明技術發展，請問是那些技術及資料來源。
10. P：111 節約 60%的能耗有何具體數據，並請說明資料來源？
11. P：138、P：139、P：141、P：142、P：145、P：148、P：150、P：151 兩燈具比較節能（用電度與電費支出比較）應是同道路要求之同照明水準下，兩瓦特數之燈具作比較，250 高壓鈉氣 20 盞，LED 路燈是否設置 20 盞也能達到應有之照明水準，宜請先查明再比較。
12. P：138 根據製造商提供 LED 路燈資訊，燈具 15 年不用維修，所以假設 LED 路燈使用 15 年其維護費為 0，是否適當？
13. P：152 「要達到路燈的節能效果，首先和用電度數高低息息相關即是路燈功率，LED 的優勢之最即在此」--，是否誤值請查明。
14. P：156 表 4-32 使用壽命是指經濟壽命或平均壽命，150W 高壓鈉氣燈泡平均壽命 24000 小時，表列 10000 小時代表何種壽命？LED 使用壽命 50000 小時是否為 LED 封裝後在工作溫度($T_j=65^{\circ}\text{C}$)光衰至全光束之 70%的壽命(不是指 LED 裝在燈具內的壽命)，不同條件相比，是否可行，請考量。

【內政部營建署】

1. 道路上之交通工程相關設施眾多，本案雖以「節能」為目標，仍應讓交通工程設施充分發揮「警示」及「安全」之目的，除利用「台中市 LED 路燈省電節能計畫工程」進行經濟效益分析外，亦請考量各項交通工程設施同時使用時之交互影響(如路燈之照度是否會影響其他警告標誌或指示牌之辨識度)

【交通部公路總局(書面意見)】

1. P22 第 4 行，提及道路照明根據 CNS10799 標準描述，應改為 CNS10779。
2. P52 第 2 行形式→型式

3. P55 第 12 行，縱項之戀條→鏈條
4. P66 第 21 行，營運→營運
5. P67 頁第 3 行，100km/k→100km/h
6. P102 第 11 行，節能減炭→減碳
7. P114 第 3 行與第 7 行，P118 與 P119 圖列，有關「獨立型太陽能式 LED 內部照明道路標誌」於後文部份改用標識，差異用詞建議統一使用標誌為宜。
8. P153 頁第 9 行，11.84TW→11.84TWh

【台灣世曦工程顧問股份有限公司】

1. LED 標示牌的部份，內部照明與外部照明，標示牌的 LED 輝度是否會因為背景有所不同。
2. 希望期末報告能夠納入交通安全標準、標誌牌以及貓眼的相關規定，在道路照明較為缺乏的地區，期望能夠加入建議。何種情況下能夠設置哪些設施，供廠商未來作一建議。

【中鼎工程股份有限公司】

1. 中文翻譯應一致，如 p16 表 2-5, p19 表 2-6。
2. 引用各國法規/標準順序應一致
3. 加註數據單位及中英文，p44 表 3-7，單位:勒克斯(Lux)；p49 表 3-12 加註單位。

【本所運安組】

1. P18：表 2-5 分類標準，中文全名及英文簡寫皆應列示。
2. P21：工作計畫書共列舉 11 項新型耗能道路交通設施，此處刪除自主供電候車亭與 LED 防護燈，應請交代其不具研究價值的實質理由，相關研究或試辦報告結果，或其產品目前發展瓶頸等，以利各位委員決定是否可以刪除。
3. P27：(一)LED 標誌照明，應改為 LED 標誌。
4. P39：表 3-5 LED 路燈在台灣的規範應該不止交通工程手冊第 7 章，還有市區道路及附屬設施設計規範，與 CNS10779。
5. P44：照明水準的比較分析中，表 3-7 與表 3-8 的照度基準值與平均輝度值的定義與使用單位均不同，如何比較該二規範的規定差異性。且國內照度基準質與 IESNA 的平均照度值規定相差甚大，是何原因，另國內有相關研究探討亦請納入報告中分析。
6. P50：應有小結，列表比較，交代單位換算比較，或以該快速公路為例比較各國規範規定之高低，最後做出建議。
7. P51：有關光度分佈僅列出台美的區分標準，另應比較其優缺點及背後的規定意義。
8. P67：最末” …CIE 以地理、可視度、日光穿透度…” ，但在前文中僅餘 4. 歐洲 稍微敘述長短隧道的區分，是否應加強說明 CIE 在照明的規定內容。

9. 在本研究範疇內，針對道路照明、標誌照明、安全防護設施等皆進行各國規範的差異分析，應請研究單位將差異分析結果彙製成表，將各國相同規定列出，不同規定也列表比較，增加可讀性。
10. 第 3 章的各國規範回顧時，除整理分析相關條文外，更應該探究該規範規定的緣由及背景，以作為本研究的重要參考。
11. P87：路燈類型 TYPE V 光分佈與 TYPE III 光分佈各有何意義應說明。
12. P95：從 2010 年度開始，道路照明燈之新設更新工程原則上全部實施 LED 化。請補充該政府機關決策的依據及其評估的過程，可作為我國決策的重要參考。
13. P100：日本試裝藍色 LED 路燈以驗證抑制犯罪效果，可否取得其 2009 年進行的統計資料。
14. P106：第 4 章第 1 節的分析中僅表列中國的 LED 產品規範，是否僅中國是第一個有產品規範的國家，是否會發展為國際共通的規範。
15. P107：文字內容係摘路自網站或報導，應經過消化整理後再行論述。
16. P139：表 4-12 的表格標題誤植。
17. P151：表 4-28 美國的示範計畫效益比較應有年平均成本或 10 年總成本的比較分析為佳。
18. P153：截至 2007 年為止…，現已 2010 年，有無更新資料。
19. 表 4-29 匹茲堡大學的創新發展中心未列出 LED 產品，是何原因。
20. P155：表 4-31 資料來源位列出年月份，且每年使用時數為何空白。
21. P170：台中市的試辦計劃僅裝設於 6 米以下道路，其原因為何，應於報告中列述。

八、主席結論：

- 1 參考文獻應依格式完整列出。
- 2 有關國內正在進行或已完成的相關試辦計畫，應納入報告。
- 3 有關安全評估的考量有多種不同的方法，還請研究團隊廣為蒐集相關文獻。
- 4 新型光源有無導致新問題的產生，請研究團隊加以探討。
- 5 各出席單位提供之寶貴意見，請研究團隊仔細研究評估，納入後續研究修正之重要參考依據，並分項列表回應。
- 6 本次期中報告(初稿)審查原則通過

九、散會時間：12 點 30 分

附錄 3

期中報告初稿審查意見答覆表

交通部運輸研究所合作研究計畫(具委託性質)

☒期中 ☐期末報告審查意見處理情形表

編號：MOTC-IOT-98-SEB010

計畫名稱：「符合節能目標之道路設施安全標準評估與應用」

執行單位：財團法人工業技術研究院

參與審查人員及其所提之意見		合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
主席	1 參考文獻應依格式完整列出。	1 已納入修訂。	同意辦理。
	2 有關國內正在進行或已完成的相關試辦計畫，應納入報告。	2 補充國內相關試辦計畫內容於 4.1.5 節，頁 138。	同意辦理。
	3 有關安全評估的考量有多種不同的方法，還請研究團隊廣為蒐集相關文獻。	3 與國內交通安全相關學者進行專家座談會討論，並蒐集相關文獻整理於第 5 章。	同意辦理。並請確實深入蒐集相關文獻，納入期末報告中呈現。
	4 新型光源有無導致新問題的產生，請研究團隊加以探討。	4 新型光源與舊有光源之比較，列於 4.2 節頁 146。	同意辦理。並請確實深入蒐集相關文獻，納入期末報告中呈現。
	5 各出席單位提供之寶貴意見，請研究團隊仔細研究評估，納入後續研究修正之重要參考依據，並分項列表回應。	5 謝謝所有委員指導，期末報告已修正內容並求研究深度廣度之完整性。	悉。
	6 本次期中報告(初稿)審查原則通過	6 謝謝所有委員指導，期末報告已修正內容並求研究深度廣度之完整性。	悉。
楊宗璟 委員	1. 後續工作計畫之說明尚待補充，例如人因工程、安全、耗能測試、效益評估方法等。	1. 人因工程、安全部分將以文獻蒐集方式進行，列於第 5 章，並進行國內設施實測，測試結果列於 4.2 節，頁 146。	同意辦理。並請確實深入蒐集相關文獻，納入期末報告中呈現。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
2. 有關安全研究與人因工程方面較少著墨，有何具體作法應明確提出。	2. 人因工程、安全部分將以文獻蒐集方式進行，列於第5章	同意辦理。
3. 經濟效益評估應加入CO ₂ 減量與安全評估，應如何蒐集資料、如何分析計算，應妥為闡述。P157的事故處理成本之節省金額計算方式評估作法並不足取，因為交通事故的次數減少，影響變數成因眾多，不完全為單項新型交通設施設置所致。	3. 已將CO ₂ 減量成果補充入經濟效益評估，並列於4.3節。本研究安全性評估採用人因工程觀點進行文獻蒐集，並列於第5章。	同意辦理。
4. 文獻探討內容目前缺乏人因工程、減碳效益相關文獻，後續應詳盡補充。	4. 已補充人因工程文獻於第5章，減碳效益則列於4.3節。	同意辦理。
5. 全份報告的部分內容不易閱讀，錯字、翻譯問題等請再確認，例如P16、19的英文，P94、95的日文。	5. 已針對翻譯內文與引用格式進行修正，並補上參考文獻。	同意辦理。
6. 文中提及很多國外案例，應補充國內本土新型交通設施案例作為參考。	6. 已補充國內本土新型交通設施案例於4.1與4.2節。	同意辦理。
7. 參考文獻的內容與翻譯應統一，引用格式需做修正，應補上參考文獻。	7. 已針對翻譯內文與引用格式進行統一與修正，並補上參考文獻。	同意辦理。
蘇金勝 委員 1. 依計畫需求，需了解目前交通設施使用能源的現況及未來新技術的節能狀況，因此宜就目前交通設施耗能情形有所描述分析。例如政府補助辦理標誌、LED路燈試辦計畫之相關基本資料應納入報告內。	1. 探討交通設施耗能情形以及能源使用狀況於4.3節，並補充政府補助及試辦計畫等研究內容於4.1節與4.2節。	同意辦理。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
2. 耗能設施採用省能器具宜分類及個別比較省能情形及其他優缺點，原非耗能設施改採耗能設施亦宜說明其效益。	2. 交通耗能設施優缺點比較已列於 4.2 節。	同意辦理。
3. p24 PLC 與智慧化 LED 路燈之關係宜進一步整體說明，zeebee 或 zigbee 請釐清。	3. 已將 zeebee 修正為 zigbee。	同意辦理。
4. 隧道調光白天與晚上不同，採用 LED 亦可利用其特性採線狀照明。	4. 謝謝委員指導。	—
5. 道路照明係以輝度或照度為基準，請探討並建議。	5. 國際道路照明基準輝度及照度均有，一般車道採輝度，住宅區道路或人行道以照度為基準，本計畫建議納入輝度考量，相關內容列於 6.2.1 節，頁 264。	同意辦理。
6. 照度(輝度)對比均勻度及眩光是否納入訂定標準，請研析。	6. 國內道路照明之均勻度及燈具眩光兩項已制定規範供參考，可做為未來研究建議方向，相關內容列於 6.2.1 節。	同意辦理。
7. LED 燈具均由多點光源組成，在維護及安全考量下，應否定義期故障率之容許度(交通號誌燈、標示牌、照明)。	7. CNS 標準已針對 LED 燈具特性，進行等同故障率之容許度測試，如 LED 交通號誌燈任一 LED 失效之故障檢測。	同意辦理。
劉火炎 委員	1. p10 表 1-1，應補列照度計及輝度計等儀器。	1. 表 1-1 為「本計畫預定採用之測試儀器」，照度計與輝度計屬既有之設備，不須購買。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
2. p53 表 3-14, 目前照明計算分析大都採用電腦計算, 除依 CNS 標準規定之照度、輝度及均勻度要求外, 亦應提供眩光及光害之限制。因此表 3-14 僅供參考。	2. 針對眩光及光害之限制, 列於第 5 章進行討論。	同意辦理。
3. p57 隧道照明目前國內大都以國工局頒布為主, 另亦有 CNS 之規定, 但附提之內容似乎沒有反應。	3. 已補充隧道法規規範內容於研究報告中 3.2 節, 頁 43。	同意辦理。
4. p58 照度輝度轉換, 水泥路面為 10($Q_0=0.1$), 柏油路面應為 14($Q_0=0.07$)。	4. 已納入修訂。	悉。
5. p66 目前國內隧道大都參考歐洲 CIE 之規定, 但描述過於簡略, 應可再詳細補充。	5. 已補充隧道照明內容於 3.2 節。	同意辦理。
6. p101 可加強型斑馬線照明之規定。	6. 本研究以道路(高速公路、幹道、隧道)照明為主, 未探討斑馬線照明。	同意辦理。
7. p109 圖 4-19, ”隧橋”應改為”隧道”。	7. 已修正。	悉。
8. p138 LED 15 年維護費用為 0 不合理, 如電源供應器僅保固 3 年。	8. 已納入修訂。	15 年維護費用為 0, 應敘述該文獻如此假設的理由。
9. p140 以後, 表 4-13 以後基本需求為何, 如各燈具流明數、安裝數量, 及安裝後量測結果(照度)。	9. 已補充基本需求之內容。	同意辦理。
10. p156 圖 4-49, 有關隧道長度、燈間佈置資料、輝度要求等是否應予補充。	10. p156 隧道照明範例內容未完整呈現, 已補充內文。	同意辦理。

參與審查人員及其所提之意見		合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
	11. p170 比較應含高壓鈉氣燈具	11. 同意委員意見，由於台中實際示範案例為水銀燈之汰換，已納入高公局示範案，針對高壓鈉氣燈具進行比較分析於 4.3.3 節，頁 169。	同意辦理。
	12. 建議儘速推動 LED 燈源標準接頭	12. 敬表同意，本研究將轉達委員之建議予相關單位。	悉。可納入結論與建議的建議事項。
	13. 本土國內照明應多參考之，如工業局、高公局等現有營運狀況之調查。	13. 已補充國內設置完成之示範案例於 4.1 與 4.2 節。	同意辦理。
李忠璋 委員(書 面意見)	1. 從報告中看到目前各國在使用 LED 燈多數都以實驗或試驗的方式進行，其原因建議研究單位能進一步瞭解分析。	1. LED 燈具技術持續進步，導入使用之正負面效益未明，故各國多採用實驗與示範方式，以深入了解汰換傳統燈具之實際效益及問題。	同意辦理。
	2. 陶瓷複金屬燈是否有國外實際應用的範例。	2. 補充複金屬路燈案例於 4.2.2 節，頁 148。	同意辦理。
	3. 在經濟效益分析案例中僅就高壓鈉氣燈與 LED 燈作比較，建議能將第一章所介紹的各類型燈具都作一比較分析。	3. 考量部分燈具使用比例仍低，有資料取得之困難，故僅針對 LED 路燈、LED 隧道燈與 LED 標示牌進行研究。	同意辦理。

參與審查人員及其所提之意見		合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
	4. 能源局對LED路燈之推廣目前僅主要放在8公尺以下的道路，雖然有助於治安，但因此類型道路行車速度較低對增加夜間交通安全的助益有侷限，現有CNS15233的規範內容對8公尺以上路設置路燈是否有需要再調整或加強的地方，建議研究單位能予以探討。	4. 已納入研究，並告知相關單位進行CNS15233內容修正與討論。	同意辦理。
張榮森 委員(書 面意見)	1. 本期中報告內容豐富，但對眩光之定義及規定之討論(如P8(四)中光學參數中缺眩光參數)著墨較少，請參考IES及CIE相關規定。	1. 已參考IES及CIE相關規定，進行研究內容之補充於第六章。	同意辦理。
經濟部 技術處	1. 建議同時將路邊自我發光式廣告看板、投射式光源廣告看板與高速公路T-BAR廣告看板等一併納入，以評估對用路人視線的影響。	1. 考量研究時程與經費限制，針對高速公路不同型式之看板對用路人視線影響恐無法在計畫執行期間內進行。建議可納入未來研究案進行探討。	廣告看板非屬道路設施，非屬本研究範圍。
	2. 針對特殊氣候條件，建議可另行訂定一套規範，例如針對高山寒冷氣候、海邊易鏽蝕與隧道內高溫等場所。	2. 特殊氣候條件之實驗研究，可參考附錄(九)寒地LED道路照明產品技術規範	針對特殊氣候條件，可能無法另行訂定一套規範，但針對低溫、易腐蝕與隧道高溫等場所對道路設施的影響，仍應蒐集相關資料加以研析。
	3. 長隧道照明如雪山隧道，建議可考量長時間無變化之照明燈光對用路人精神注意力集中的影響，以降低肇事率。	3. 隧道相關研究文獻，補充於5.4.2節作一討論。	請蒐集相關文獻納入研析。

參與審查人員及其所提之意見		合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
	4. LED 道路設施應考慮日後維護更新問題，建議可朝向模組化設計，以避免需整組更換造成維護成本增加。	4. LED 道路設施模組化設計之建議，將納入研究建議內容，供國內廠商做一參考。	悉。可納入結論與建議的建議事項。
	5. 針對貓眼石設施，目前已有結合太陽能與 LED 的產品安裝於道路上，但是大多設置為閃爍燈光，彼此間因不同步閃爍，反而易對駕駛人造成影響，建議可考量研發同步閃爍技術。	5. 由於新型耗能設施「技術研發」非本研究內容範疇，此建議將提供國內廠商參考。	請針對閃爍同步與否及閃爍頻率對安全的影響進行文獻蒐集。
	6. p24 中，Zeebee 一詞應更正為 Zigbee。	6. 已納入修訂。	同意辦理。
	7. p103 中，圖 4-11 的敘述方法，芬蘭是否為全球最先導入 LED 路燈的國家需澄清。	7. 已進行文句刪除修正	同意辦理。
	8. p119 中，圖 4-30 中道路標誌的亮度感覺還比後方的路燈亮，是否會對駕駛人造成影響需評估。	8. 新型 LED 道路標誌目前多在試用階段，已針對其對駕駛人之影響進行文獻蒐集，列於第五章。	同意辦理。
交通部 路政司	1. 考量 LED 燈具製造廠商商品差異，經濟效益評估探討宜納入該變數分析，以推估合理回收年期。	1. 已納入修訂於 4.3 節。	悉。
	2. 有關以目前燈桿間距、高度及相關照度規範值之條件下，對於推動路燈全面替換為 LED 路燈之最適時點或條件，建議可納入報告做為後續本部決策參考。	2. 現階段各家 LED 路燈廠商之產品特性有明顯差異，加上產品技術成熟程度難預測，故將持續觀察 LED 路燈之發展動態。	對於 LED 路燈替換的時機、範圍、條件等應於期末報告中加以論述。
交通部 台灣區 國道高 速公路	1. 所述「新型耗能」道路交通設施，宜先定義。（「節能」除減少能源使用外，另不使用亦應屬之）	1. 已對「新型耗能」道路交通設施建立更清楚完整的定義。	同意辦理。

參與審查人員及其所提之意見		合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
局-標誌 標線部 份	2. LED 於標誌之相關應用，有標誌之 LED 照明燈（內照式、外照式）、LED 標誌牌面（LED 採附著式、鑽孔式或其他方式設置於標誌牌面上），各類型之名稱及定義宜明確，以免前後不一致之情形。（如 P27-29 所述應為 LED 標誌，而非標誌之 LED 照明等）	2. 已納入修訂，並進行前後文修正與統一。	同意辦理。
	3. 所述「LED 動態資訊系統」，請改以通用名稱「資訊可變標誌」。另後續章節並未針對此進行探討，請釐清是否納入研究範疇。	3. 「資訊可變標誌」因產品成熟，已普遍裝置，不符合「新型」定義，故不納入研究範疇。	「資訊可變標誌」，非屬節能道路設施，且因設置目的之不同，亦無傳統設施可與之比較，因此同意不納入本研究範疇。
	4. P21「LED 地面反光標誌」修改為「LED 路面標記」。	4. 已納入修訂。	悉。
	5. P29「紫外光標誌照明」是否即為「標誌 LED 照明燈」，請釐清。	5. 「紫外光標誌照明」非「標誌 LED 照明燈」，其發光原理並不相同。	悉。
	6. 有關第二章第二節新型設施之介紹，似乎目前試辦之產品有部份未納入探討，如本局中區有試辦一處標誌 LED 照明燈。	6. 補充國內新型設施試辦案例於 4.1.5 節中進行討論。	同意辦理。
	7. 第三章「交通設施法規/規範比較研究」： (1) 交通部頒「交通工程手冊」、CNS 建議亦納入法規探討。	7. 第三章「交通設施法規/規範比較研究」： (1) 已納入修訂於第三章。	同意辦理。
	(2) P40「LED 標誌照明/紫外光標誌照明」之台灣部分法規敘述有誤。（設置規則僅就標誌、標線、號誌進行規範，並未就照明進行規範）	(2) 目前已針對法規/規範/標準進行比較分析，LED 功能與效果是否符合規定，於第六章提出建議修正之方向。	同意辦理。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
(3) 針對目前 LED 應用於照明、標誌等，建議除就法規、規格、檢驗等面向逐一探討，亦應探討其所顯現之功能（或效果）是否符合現行法規規定。（如就 LED 標誌而言，LED 標誌設置可援引之規定，LED 標誌之 LED 色度、光強度（輝度）、可靠度、設置間距，LED 標誌所呈現標誌底色、圖案及文字之底色是否與規定相符等等）	(3) 已納入修訂，於第六章提出建議修正之方向。	同意辦理。
(4) 報告中相關國家對於 LED 應用於照明、標誌等之規範，建議翻譯為中文並摘述列為附	(4) 已納入修訂。	同意辦理。
(5) 國外對於 LED 設施之規定，部分僅為原則之敘述，部分則有詳細之規範，建議應精確敘述，以免造成誤解。	(5) 國外 LED 應用於標誌之相關規定、規格、檢驗較少，已補充相關內容至第三章。	同意辦理。
(6) 第三節「交通標誌/標誌照明」，除探討既有設施之國內外法規規定及差異外，亦應針對國外之 LED 應用於標誌之相關規定、規格、檢驗等進行探討。	(6) 已納入修訂，並補充相關內容至第三章。	悉。
(7) 第二章所述「交通安全防護設施」係僅探討路面標記，惟第四節「交通安全防護設施」所探討範圍與第二章有所差異，請釐清本研究案研究範圍。	(7) 已納入修訂並做內容調整於 3.4 節。	悉。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
<p>8. 第四章「新型耗能道路交通設施經濟效益分析」</p> <p>(1) 大部分標誌均係利用車燈反射，並無照明，標記亦係利用車燈反射，且目前 LED 標誌之 LED 多採附著式或鑽孔式，仍須有反光片、鋁板等之既有設施，於成本效益分析時，應將前述納入考量。</p> <p>(2) 相關設施除設置外，維護亦同等重要，以 LED 標誌而言，一般標誌與裝設 LED 標誌之清洗方式、所需時間、成本等亦應納入探討。</p> <p>(3) 部分設施故障時（如一般標誌反光片、照明；LED 標誌之 LED），對於標誌應呈現之文字、圖案之影響（如維護機制、辨識及安全影響等），亦應納入探討。</p> <p>(4) 第二章第二節「新型耗能道路交通設施介紹」、第四章第一節「各國新型耗能設施發展現況」兩小節雷同，建議調整。</p>	<p>8. 第四章「新型耗能道路交通設施經濟效益分析」</p> <p>(1) 納入成本效益分析考量，列於 4.3.3 節。</p>	<p>同意辦理。</p>
	<p>(2) 已納入標誌清洗費用於經濟效益評估模型，列於 4.3.3 節。</p>	<p>同意辦理。</p>
	<p>(3) LED 標誌故障率、維護機制、辨識及安全影響等，納入第五章研究內容。</p>	<p>同意辦理。</p>
	<p>(4) 已納入修訂。</p>	<p>悉。</p>
交通部 台灣區 國道高 速公路 局-道路 照明	<p>1. P：8 （四）進行設施實測之項目，應含產品穩定性，請增加壽命參數。</p>	<p>1. 已納入修訂。</p>
	<p>2. P：11 第五節預期成果第 4 修訂我國道路照明規範與道路照明測試規範，不宜僅蒐集各國道路照明設計規範與道路測試規範，應考量本國人駕駛者習性與人因工程，確實了解原設計之原意後，基於何理由修訂。</p>	<p>2. 已納入研究內容於第五章，唯考量本國人駕駛者習性與人因工程部分，建議後續持續進行實驗研究。</p>

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
3. P: 11 大功率的複金屬燈可以替代中高功率的水銀燈和鈉燈？並不代表節能，目前同樣的功率鈉燈與複金屬燈，鈉燈比複金屬燈（光源效率高）節能。	3. 敬表同意，進行燈具選擇與汰換研究時，已考量不同燈具汰換之適切性。	同意辦理。
4. P: 25 水銀燈光源效率低、不環保，目前已漸漸被淘汰，一個所謂節能之產品（複金屬燈或 LED 燈）不宜與很差的光源作比較。	4. 傳統光源多為水銀燈，但由於水銀燈漸漸被淘汰，納入高壓鈉燈進行研究，並列於 4.3.3 節。	同意辦理。
5. P: 26 第 3 段應是溫度高。	5. 已納入修訂。	悉。
6. P: 39 綜合整理性表 3-5，新式交通設施，交通工程手冊第七章道路照明並無，此編排方式，恐讓讀者以為現行法規已有納入。	6. 已修正編排方式避免誤導讀者	同意辦理。
7. P: 44 交通工程手冊除了訂定平均照度外、均勻度亦有規定。所列各國不均度及均勻度之值，請補充觀測者之條件。	7. 已納入修訂。	悉。
8. P: 49 中國 IESNA 是否為誤值？	8. 此處為誤植，已修正。	悉。
9. P: 107 上海市電力公司內部基本達成意見 2008 世博園區不宜推廣使用 LED 路燈，技術上更不能達到基本的照度需求，長江橋及閩東大橋採用 LED 燈，有效地推動了 LED 燈照明技術發展，請問是那些技術，資料來源。	9. 已納入修訂。考量網路資料數據可能有誤，已將部分內容做刪除處理。	悉。
10. P: 111 節約 60% 的能耗有何具體數據，並請說明資料來源？	10. 已納入修訂。	悉。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
11. P:138、P:139、P:141、P:142、P:145、P:148、P:150、P:151 兩燈具比較節能（用電度與電費支出比較）應是同道路要求之同照明水準下，兩瓦特數之燈具作比較，250 高壓鈉氣 20 盞，LED 路燈是否設置 20 盞也能達到應有之照明水準，宜請先查明再比較。	11. 補充考量整體道路照明水準後，為汰換原有燈具所需之新型耗能燈具，進行比較分析於 4.3.3 節。	同意辦理。
12. P:138 根據製商提供 LED 路燈資訊，燈具 15 年不用維修，所以假設 LED 路燈使用 15 其維護費為 0，是否適當？	12. 此為美國示範案例，本處為文獻直接引用。	15 年維護費用為 0，應敘述該文獻如此假設的理由。
13. P:152 「要達到路燈的節能效果，首先和用電度數高低息息相關即是路燈功率，LED 的優勢之最即在此」--，是否誤值請查明。	13. 已納入修訂。	悉。
14. P:156 表 4-32 使用壽命是指經濟壽命或平均壽命，150W 高壓鈉氣燈泡平均壽命 24000 小時，表列 10000 小時代表何種壽命？ LED 使用壽命 50000 小時是否為 LED 封裝後在工作溫度（ $T_j=65^{\circ}\text{C}$ ）光衰至全光束之 70% 的壽命（不是指 LED 裝在燈具內的壽命），不同條件相比，是否可行，請考量。	14. 已納入修訂。	悉。

參與審查人員及其所提之意見		合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
內政部 營建署	1. 道路上之交通工程相關設施眾多，本案雖以「節能」為目標，仍應讓交通工程設施充分發揮「警示」及「安全」之目的，除利用「台中市 LED 路燈省電節能計畫工程」進行經濟效益分析外，亦請考量各項交通工程設施同時使用時之交互影響(如路燈之照度是否會影響其他警告標誌或指示牌之辨識度)	1. 敬表同意，已納入研究內容於 4.2 節。	同意辦理。
交通部 公路總局(書面意見)	1. P22 第 4 行，提及道路照明根據 CNS10799 標準描述，應改為 CNS10779。	1. 已納入修訂	悉。
	2. P52 第 2 行形式→型式	2. 此處為誤植文字，已修正。	悉。
	3. P55 第 12 行，縱項之鏈條→鏈條	3. 此處為誤植文字，已修正。	悉。
	4. P66 第 21 行，營運→營運	4. 此處為誤植文字，已修正。	悉。
	5. P67 頁第 3 行，100km/k→100km/h	5. 此處為誤植文字，已修正。	悉。
	6. P102 第 11 行，節能減炭→減碳	6. 此處為誤植文字，已修正。	悉。
	7. P114 第 3 行與第 7 行，P118 與 P119 圖列，有關「獨立型太陽能式 LED 內部照明道路標誌」於後文部份改用標識，差異用詞建議統一使用標誌為宜。	7. 已納入修訂，文字內容已統一進行修正。	悉。
	8. P153 頁第 9 行，11.84TW→11.84TWh	8. 此處為誤植文字，已修正。	悉。

參與審查人員及其所提之意見		合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
台灣世曦工程顧問股份有限公司	1. LED 標示牌的部份，內部照明與外部照明，標示牌的 LED 輝度是否會因為背景有所不同。	1. 目前LED標誌牌照明要求為 150 米之可視距離，並未因背景光有所差異。建議標準單位依不同背景擬定輝度規範。	同意辦理。
	2. 希望期末報告能夠納入交通安全標準、標誌牌以及貓眼的相關規定，在道路照明較為缺乏的地區，期望能夠加入建議。何種情況下能夠設置哪些設施，供廠商未來作一建議。	2. 考量研究時程限制，相關規定難以納入後續研究內容，但建議可做為未來研究案之研究主題。	與本案研究議題較無相關，請納入參考。
中鼎工程股份有限公司	1. 中文翻譯應一致，如 p16 表 2-5, p19 表 2-6。	1. 已納入修訂	悉。
	2. 引用各國法規/標準順序應一致	2. 已修正內容使其一致	悉。
	3. 加註數據單位及中英文，p44 表 3-7，單位:勒克斯(Lux)；p49 表 3-12 加註單位。	3. 已納入修訂	悉。
本所運安組	1. P18：表 2-5 分類標準，中文全名及英文簡寫皆應列示。	1. 已納入修訂	悉。
	2. P21：工作計畫書共列舉 11 項新型耗能道路交通設施，此處刪除自主供電候車亭與 LED 防護燈，應請交代其不具研究價值的實質理由，相關研究或試辦報告結果，或其產品目前發展瓶頸等，以利各位委員決定是否可以刪除。	2. 將探討刪除自主供電候車亭與LED防護燈原因，補充於 2.1.2 節。	同意辦理。
	3. P27：(一)LED 標誌照明，應改為 LED 標誌。	3. 已納入修訂	悉。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
4. P39：表 3-5 LED 路燈在台灣 的規範應該不止交通工程手冊第 7 章，還有市區道路及附屬設施設計規範，與 CNS10779。	4. 本案以交通工程手冊之內容為主要研究內容，部分章節已納入市區道路及附屬設施設計規範做一比較。	同意辦理。
5. P44：照明水準的比較分析中，表 3-7 與表 3-8 的照度基準值與平均輝度值的定義與使用單位均不同，如何比較該二規範的規定差異性。且國內照度基準質與 IESNA 的平均照度值規定相差甚大，是何原因，另國內有相關研究探討亦請納入報告中分析。	5. 進行不同國家規範標準單位值的統一，列於表 3-13。	同意辦理。後續請蒐集各國規範標準之訂定背景，相關研究內容等，已進行背景差異分析。
6. P50：應有小結，列表比較，交代單位換算比較，或以該快速公路為例比較各國規範規定之高低，最後做出建議。	6. 補充「小結」於各段內容，單位換算比較已納入修訂。	同意辦理。小節應明確指出差異內容，差異背景分析結果，並做出國內訂定相關規定之建議。
7. P51：有關光度分佈僅列出台美的區分標準，另應比較其優缺點及背後的規定意義。	7. 補充光度分佈相關內容之研究於 6.2.3 節。	同意辦理。
8. P67：最末” …CIE 以地理、可視度、日光穿透度…” ，但在前文中僅餘 4. 歐洲 稍微敘述長短隧道的區分，是否應加強說明 CIE 在照明的規定內容。	8. 補充長短隧道區分方式，以及 CIE 隧道照明之相關規定內容於 3.2 節。	同意辦理。
9. 在本研究範疇內，針對道路照明、標誌照明、安全防護設施等皆進行各國規範的差異分析，應請研究單位將差異分析結果彙製成表，將各國相同規定列出，不同規定也列表比較，增加可讀性。	9. 後續將研究內容製表呈現，並置於附錄中，以利讀者閱讀。	同意辦理。

參與審查人員及其所提之意見		合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
	10. 第 3 章的各國規範回顧時，除整理分析相關條文外，更應該探究該規範規定的緣由及背景，以作為本研究的重要參考。	10. 各國法規沿革與修訂緣由，已補充於 6.1 節。	同意辦理。
	11. P87：路燈類型 TYPE V 光分佈與 TYPE III 光分佈各有何意義應說明。	11. 已納入修訂，將補充說明。	同意辦理。
	12. P95：從 2010 年度開始，道路照明燈之新設更新工程原則上全部實施 LED 化。請補充該政府機關決策的依據及其評估的過程，可作為我國決策的重要參考。	12. 已納入修訂，補充說明於第七章結論部分。	同意辦理。
	13. P100：日本試裝藍色 LED 路燈以驗證抑制犯罪效果，可否取得其 2009 年進行的統計資料。	13. 已去信詢問日本相關單位，回覆信件列於附錄中供參考。	同意辦理。
	14. P106：第 4 章第 1 節的分析中僅表列中國的 LED 產品規範，是否僅中國是第一個有產品規範的國家，是否會發展為國際共通的規範。	14. 中國非第一個有產品規範之國家，將持續觀察國際 LED 產品標準發展。	悉。
	15. P107：文字內容係摘路自網站或報導，應經過消化整理後再行論述。	15. 已納入修訂於各章節。	同意辦理。
	16. P139：表 4-12 的表格標題誤植。	16. 已納入修訂。	悉。
	17. P151：表 4-28 美國的示範計畫效益比較應有年平均成本或 10 年總成本的比較分析為佳。	17. 已納入修訂。	悉。
	18. P153：截至 2007 年為止…，現已 2010 年，有無更新資料。	18. 將補充最新資料以做說明。	同意辦理。

參與審查人員及其所提之意見		合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
	19. 表 4-29 匹茲堡大學的創新發展中心未列出 LED 產品，是何原因。	19. 根據 2010 最新資料顯示，全美 1.3 億盞路燈中，LED 所佔比例小於 1%，將修正表 4-29 內容。	同意辦理。
	20. P155：表 4-31 資料來源未列出年月份，且每年使用時數為何空白。	20. 已納入修訂。	同意辦理。
	21. P170：台中市的試辦計劃僅裝設於 6 米以下道路，其原因為何，應於報告中列述。	21. 已納入修訂。	同意辦理。

附錄 4

期末審查簡報

符合節能目標之道路設施安全標準評估與應用

期末審查

報告人 工業技術研究院 林志勳

民國99年11月2日



工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute

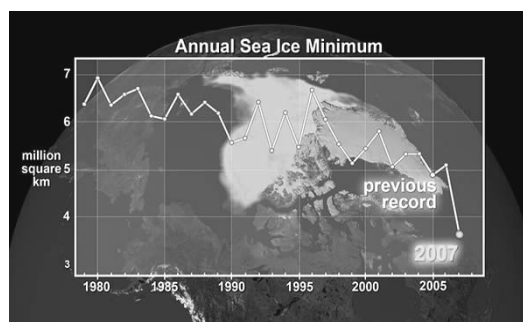
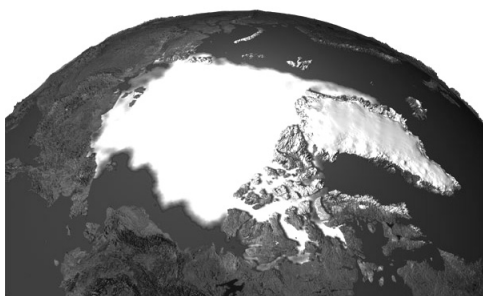
Copyright 2010
All Rights Reserved.

報告大綱

- 計畫簡介
 - 計畫背景
 - 研究內容與方法
 - 研究流程
- 研究成果
 - 新型耗能道路交通設施研究
 - 新型耗能道路交通設施經濟效益分析
 - 新型耗能道路交通設施人因工程研究
 - 建議

計畫背景

- 氣候變遷是當前全球面臨最嚴重的挑戰之一，全球體認到政府及民間應合作，共同建構有效的全球低碳經濟體。運輸部門是僅次於工業部門最大排放部門，因此運輸部門之下的運具、場站、道路設施等最值得優先推動節能措施。
- 目前已有許多以節能為目標的新型設施，而使用這些新技術前，必須審慎評估，包括瞭解技術功能、穩定性，對成本及效益部分做深入分析，以產品生命週期的觀點，進行經濟效益分析，並從各國法規與人因工程的角度選擇較合適的新型道路設施，達到兼顧安全、節能的政策目標。

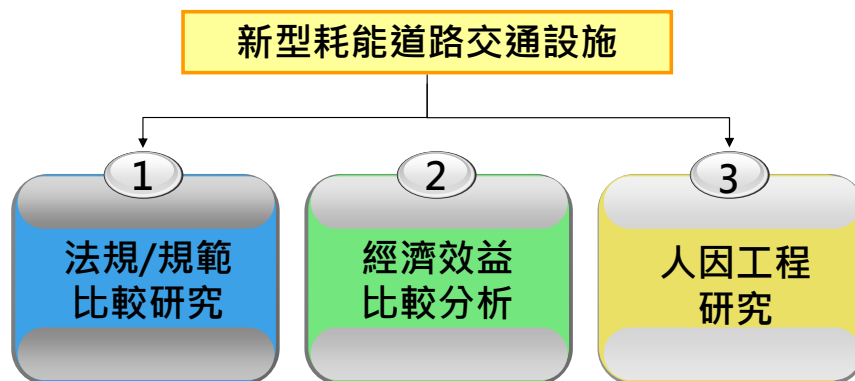


ITRI Copyright 2010

3

研究內容

- 定義新型耗能道路交通設施
- 各國交通設施法規/規範比較研究
- 新型耗能道路交通設施之經濟效益分析
- 新型耗能道路交通設施人因工程研究
- 新型耗能道路設施安全標準可行性研究



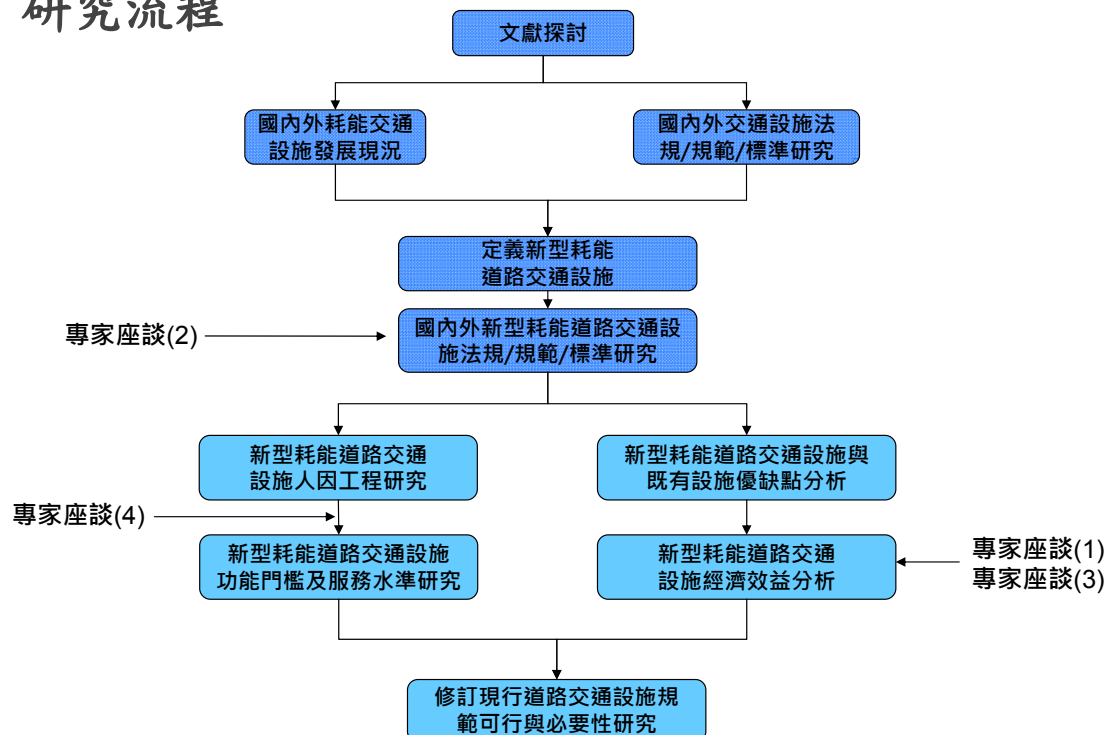
ITRI Copyright 2010

4

研究方法

- 文獻收集
 - 由過去文獻等相關報告進行歸納比較及整合分析，以獲得新型耗能交通設施之相關產品優缺點
- 專家訪談
 - 訪問國內目前使用新型耗能道路交通設施的單位與相關利害關係人
- 經濟效益評估
 - 採用初始成本+電力成本+維護成本+廢棄處理成本項目做計算
- 依需求進行設施實測與滿意度問卷調查
 - 測試項目包括光學參數、機構參數、電性參數，並透過問卷進行新型道路設施道路駕駛與行人滿意度調查

研究流程



新型耗能道路交通設施

新型耗能道路交通設施型態



LED路燈/街燈



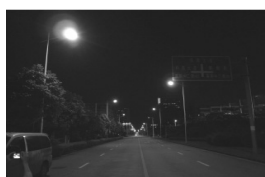
陶瓷複金屬路燈/街燈



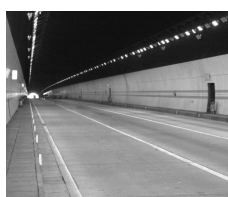
LED指示標誌



自發光或LED道路標誌



智慧化LED路燈/街燈



LED隧道燈



紫外光指示標誌



LED 路面標記

道路交通設施規範研究

- 新型耗能道路交通設施標準制定狀況與趨勢
- 各國交通設施法規/規範比較研究
- 修訂現行道路交通設施規範建議

各國新型耗能道路交通設施產品標準整理

新型交通設施	台 灣	日 本	美 國	中 國	歐 洲
LED路燈/ 街燈	CNS15233	尚無標準	美國能源局(DOE)尚在研擬, 預計2010年推出標準	<ul style="list-style-type: none"> • 20079261-T-60道路照明用LED燈 • JT2008-06公路LED照明燈具 • GB7000.5-2005道路和街路照明燈具性能要求 	尚無標準
智慧化LED路燈/街燈					
陶瓷複金屬路燈/街燈	CNS9118		尚無標準		
LED隧道燈	尚無標準	尚無標準	尚無標準	尚無標準	尚無標準
LED照明標誌/ 紫外光照明標誌	尚無標準	尚無標準	MUTCD 2009中已針對LED標誌產品提出相關說明	尚無標準	CIE R4-22 Use of LEDs in visual signaling
自發光或LED道路標誌	尚無標準	尚無標準	MUTCD 2009中已針對LED標誌產品提出相關說明		尚無標準
LED 路面標記	尚無標準	尚無標準	尚無標準	尚無標準	尚無標準

各國交通安全設施主要法規/規範整理 (1/2)

新型交通設施	台灣	日本	美國	中國	歐洲
LED路燈/街燈	交通工程手冊第七章道路照明	日本道路照明設施設置基準	北美照明協會照明手冊第九版 (IESNA Lighting Handbook---9 th Edition)	•城市道路照明設計標準-CJJ 45-2006	•CIE 79-1988: A Guide for the Design of Road Traffic Lights
智慧化LED路燈/街燈	道路工程設計規範		北美照明協會道路照明建議措施IESNA (RP-8-00) Recommended Practice for Roadway Lighting (Reaffirmed 2005)	•城市道路照明設計標準-CJJ37- 90	•CIE 48-1980: Light Signals for Road Traffic Control
陶瓷複金屬路燈/街燈	市區道路及附屬工程設計標準第19章道路照明			•GB 7000.5-2005道路和街路照明燈具性能要求	•CIE 66-1984 Road Surfaces and Lighting
LED隧道燈	交通工程手冊第七章道路照明	日本道路照明設施設置基準隧道照明設計指針	北美照明協會照明手冊第九版 (IESNA Lighting Handbook---9 th Edition)	•公路隧道設計規範 (JTJ026-90)	•CIE 61-1984 Tunnel Entrance Lighting: A Survey of Fundamentals for Determining the Luminance in the Threshold Zone
	市區道路及附屬工程設計標準 19.5 隧道照明		北美照明協會隧道照明建議措施：IESNA (RP-22-05) Recommended Practice for Tunnel Lighting	•公路隧道通風照明設計規範(JTJ026.1-1999)	•CIE88- :2004 Guide for the lighting of Road Tunnels and Underpasses

各國交通安全設施主要法規/規範整理 (2/2)

新 型 交 通 設 施	台 灣	日 本	美 國	中 國	歐 洲
LED照明標誌/紫外光照明標誌	道路交通標誌標線號誌設置規則-第133條	道路標誌設置基準・同解説道路標誌手冊	(1)北美照明協會照明手冊第九版 (IESNA Lighting Handbook---9 th Edition) (2)北美照明協會道路標誌照明建議措施：IESNA (RP-10-01) Recommended Practice for Roadway Sigh Lighting (3)交通標誌設施之標準化手冊第二部分-標誌-->章節2A：通則-->項目2A.18：安裝高度	CJJ37-90城市道路設計規範第十五章交通設施 交通標誌 道路交通標誌和標線 GB5768-1999 城市道路交通標誌標線設置指南	Traffic Signs Manual 2003 (UK) / TSGRD (Traffic Signs Regulations and General Directions)
自發光或LED道路標誌	道路交通標誌標線號誌設置規則/市區道路及附屬工程設計標準 20.1道路交通標誌標線號誌設置	道路標誌設置基準・同解説道路標誌手冊	(1)交通標誌設施之標準化手冊第二部分-標誌-->章節2A：通則 -->項目2A.07：反光與照明 (2)交通標誌設施之標準化手冊第二部分-標誌-->章節2A：通則 -->項目2A.15：加強標準標誌的醒目程度		Traffic Signs Manual 2003 (UK) / TSGRD (Traffic Signs Regulations and General Directions)
LED 路面標記	市區道路及附屬工程設計標準 15.1緣石	改訂 路面標示設置之參考手冊 視線誘導標示設置基準・同解説	交通標誌設施之標準化手冊第三部分--標線/標記-->章節3B：路面和路側標線-->項目3B.11：突起路面標記、項目3B.13：輔助其他標線之突起路面標記、項目3B.14：替代路面標線之突起路面標記	CJJ37-90城市道路設計規範第九節第4.9.1條、第4.9.2條	Traffic Signs Manual 2003 (UK) / TSGRD (Traffic Signs Regulations and General Directions)

國內外交通設施法規/規範/標準比較研究

分項	新型交通設施	比較項目
道路照明	LED路燈/街燈 智慧化LED路燈/街燈 陶瓷複金屬路燈/街燈	•道路路面之照明水準 —照度、輝度、均勻度 •控制光度分佈 •照明設施之設置
隧道照明	LED隧道燈	•長短隧道之區分 •照明區分
標誌照明/ 標誌	LED指示標誌 紫外光照明標誌 自發光LED道路標誌	•標誌照明 •標誌材料
交通安全 防護設施	LED 路面標記	照明、標誌、標線之相關功能需求與規定

各國道路照明規範比較

- 照度
 - 歐洲CIE在照度方面沒有建議基準值，國內交通工程手冊之公路照度值則較美國IESNA高出許多，與中國相比也較高。
- 輝度
 - 國內交通工程手冊未針對輝度值做一規定
 - 各國輝度平均值定義不一，基本上CIE要求高於美國IESNA
- 光度分佈
 - IESNA對於燈具分為全遮型、遮蔽型、半遮蔽型、無遮蔽型，國內交通安全手冊僅有遮蔽型、半遮蔽型、無遮蔽型三類
 - IESNA以燈具之光度分佈形式來做桿距與燈高之關係，國內交通工程手冊則以燈具之遮蔽形式、排列方式及路寬來分類。
- 照明設施設置
 - 就燈具排列方式而言，CIE中的中央鏈條式與中央橫跨式二種，皆是國內交通工程手冊中未特別規定的部份。

各國隧道照明規範比較

- 長短隧道區分
 - 各國區分方式略有不同，台灣以可否看到出口之光源來判定長短隧道，IESNA以交通視距來區分，CIE則以照明需求來分類(地理長隧道、光學長隧道、短隧道)
- 照明區分
 - 隧道照明要求照明水準，各國基本上以輝度定義之，我國及中國均訂有輝度與照度換算係數
 - 國內交通工程手冊依路面輝度區分為基本照明、加強照明、夜間照明、緊急照明及連接道路照明，與日本相同。IESNA則分進口區、內部區與漸變區，與CIE規定相同。
 - 各國針對不同需求規定之照明輝度略有不同。基本上CIE要求較為嚴格，考量因素也較多
 - CIE 以地理、可視度、日光穿透度、洞壁反射性、交通狀況綜合考量，作為隧道照明要求之依據

各國標誌照明隧道照明規範比較

- 標誌照明
 - 國內交通工程手冊、日本、中國於標誌照明分為內部式與外部式，中國的規定中也分為內部照明標誌以及外部照明標誌，而美國IESNA則另外定義光源組合式
 - IESNA將光源組合式定義為由一組可選擇性明暗之交叉排列光源組合，其照度要求與內部照明式相同
 - 無論內部與外部照明，我國以夜間能見距離不得小於150公尺為主要績效指標，另外部照明僅針對照度進行規範要求，與日本相同。
 - IESNA與美國CIE規範中，以環境輝度定義出不同照明規範(包括照度與輝度)要求，我國則無此類要求
- 標誌材料
 - 國內以鋁鈹、擠型鋁、玻璃纖維或其他堅固耐用之適當材料裝作，牌面應採用反光性能之材料或亦可採用發光、透光材料輔助。各國對反光材料之使用皆有相關規定。
 - 中國針對反光材料的種類及性能規定較為詳盡，在不同入射角以及不同觀測角的條件下，對於用於標誌面反光膜的逆反射系數值皆有相關規定。

各國交通安全防護設施規範比較

- 設置條件
 - 各國均會針對標線、緣石等交通安全防護設施之設置目的與方式(包括設置區域、設置方法、設置間隔)
- 美國MUTCD(2009)針對主動式路面標記(IPM) 規範定義相關規範
 - Section 4N.01 Application of In-Roadway Lights 規定In-Roadway Lights 設置高度不得超過路面 3/4 英寸以上；使用時應以閃爍模式，不需以持續模式發亮
 - Section 4N.02 In-Roadway Warning Lights at Crosswalks 更明確列出了所謂IPM 在行人穿越道(斑馬線)之設置和操作方式：
 - 應安裝在行人穿越道(斑馬線)側邊之車道線，並延伸其長度
 - 在行人啟用觸動控制(pedestrian actuation)時開始運作，並在預設時間後停止
 - 啟動時應顯示閃爍的黃燈，每分鐘閃光頻率50-60 次
 - 應安裝在行人穿越道(斑馬線)側邊算起10 feet 距離之車道線
 - 若用於單線單向道路，最少應安裝2 個In-Roadway Warning Lights 於一側的行人穿越道(斑馬線)之車道線。若用於雙線道路，最少應安裝3 個In-RoadwayWarning Lights 於兩側的行人穿越道(斑馬線)之車道線。若用於超過雙線之道路，最少每線道路應安裝1 個In-Roadway Warning Lights 於兩側的行人穿越道(斑馬線)之車道線。
 - In-Roadway Warning Lights 在運作時間上，應提供足夠時間從行人離開路肩或緣石後以 3.5 feet/秒行走速率通過車道或至中央交通島等候。若是使用輪椅者、或是速率低於3.5 feet/秒之行人，則應考慮In-RoadwayWarning Lights 運作時間之足夠性。

國內外交通設施法規/規範/標準比較-小結

- 我國交通工程手冊之照度規範值相較於美國、日本、歐洲規範來的高。
- 各國均對道路照明輝度訂出相關規範，但我國交通工程手冊尚未訂立
- 我國在標誌照明規範相對簡單，歐洲與美國以環境輝度定義出不同照明規範(包括照度與輝度)要求
 - 美國IESNA定義光源組合式標誌照明
- 主動式路面標記(IPM)美國率先訂立出相關規範

美國IESNA道路照明設計規範修訂沿革

時間點	道路照明設計發展	標準依據		備 註
		照明手冊	規範文件	
1983年前	照度			
1983年	提出輝度設計		IESNA-RP-8-83 Roadway Lighting	1993年納入IESNA第8版照明手冊
1987年	提出單位用電密度(Unit Power Density: UPD)設計		LEM-6-1987	尚未納入照明手冊
1993年	將輝度納入照明手冊中	IESNA第8版照明手冊		
2000年	1. 小目標可見度(Small Target Visibility: STV) 2. 照明品質議題(例：人因需求)開始受到重視 3. 控制燈具光分佈由3種分類(cutoff、semi-cutoff、non-cutoff)增為4種(full-cutoff、cutoff、semi-cutoff、non-cutoff)	IESNA第9版照明手冊	將小目標可見度納入IESNA RP-8-00 Roadway Lighting	STV尚未納入照明手冊
2007年	控制燈具光分佈之新型分類系統(Luminaire Classification System: LCS)		IESNA TM-15-07	用以取代舊型的4種“cutoff”控制燈具光分佈分類系統
2011年				第10版照明手冊預計出爐

ITRI Copyright 2010

19

IESNA道路照明設計規範發展趨勢

- 1993年後道路照明照度相關要求規範，並無改變
 - 比較1993年第8版照明手冊與2000年第9版道路照明手冊，兩份文件對於道路照明照度規範並無改變。
- 道路照明設計規範要求由照度、輝度引伸至最小目標可見度
 - 綜觀IESNA在道路照明設計規範之發展過程，考量層面已從燈具照度充足之單一標準，延伸至包括道路條件和人眼適應影響的輝度設計，以及交通安全性相關的最小可見度分析方式
 - 不過小目標可見度計算模式複雜，與道路照明品質直接關連性尚未獲得普遍性認同，仍待後續研究與修正。
- 重視眩光
 - IESNA也因應光害議題，設計出控制燈具光分佈之新型分類系統，藉以評估除眩光之外的其他光害(天空輝光、光侵擾)影響評定方式，對燈具之適用性提供更臻完善的參考指標。
- 道路品質為道路照明設計下一階段重點
 - 在照明的量化設計達到一定之發展程度後，質化的照明設計議題也逐漸受到關注，下一階段的照明品質發展走向也初步納入第九版照明手冊的討論範圍，例如人因需求議題(human needs)。

ITRI Copyright 2010

20

日本道路照明規範修訂沿革

時間點	道路照明設計發展	標準依據
1967年	道路照明的輝度水準規定為「基準照度」	1967年版「道路照明設施設置規範」
1981年	道路照明的輝度水準規定為「基準輝度」	1981年版「道路照明設施設置規範與解說」
2007年	<ul style="list-style-type: none"> •道路照明規範由「規格規定」修訂為「性能規定」 •增訂道路局部照明規範 •修訂隧道照明規範 •修訂道路連續照明規範 	2007年版「道路照明設施設置規範與解說」

註：道路連續照明為道路兩個交叉口間之連續性道路照明

ITRI Copyright 2010

21

日本道路照明設計規範發展趨勢-1/3

- 以「性能規定」為核心，修訂相關規範
 - 以平均路面輝度、輝度均勻度、眩光、誘導性作為性能之指標
- 增訂輝度相關規範
 - 比較2007年與1981年版本之差異，結果發現在照度的基準值上並無太大差異。在道路照明輝度指標，維持原有性能指標之「平均路面輝度」，新增了「輝度均勻度」、「眩光」、「誘導性」三項性能指標
- 增訂「局部照明」規範
 - 2007年前日本道路照明設施設置規範，較1981版本修改與增訂：
 - 道路連續照明和隧道照明的輝度做出規範，
 - 修改道路局部照明中規範，(1)增加行人容易橫越馬路的路段、步道、道路休息站設置場所。(2)追加道路交叉口照明輝度之推薦值(3)追加步道照明輝度之推薦值

ITRI Copyright 2010

22

日本道路照明設計規範發展趨勢-2/3

2007年日本「道路照明設施設置規範」性能指標

		性能指標																																				
		平均路面亮度		亮度均勻度	(導致視覺機能下降之)眩光	誘導性																																
連續照明	<table><tr><th colspan="4">外部條件</th></tr><tr><th>道路分類</th><th>A</th><th>B</th><th>C</th></tr><tr><td>高速公路等</td><td>1</td><td>1</td><td>0.7</td></tr><tr><td rowspan="3">一般國道等</td><td>主要幹線道路</td><td>-</td><td>0.7</td><td>0.5</td></tr><tr><td>幹道、補助幹線道路</td><td>0.7</td><td>0.5</td><td>-</td></tr><tr><td>幹道、補助幹線道路</td><td>0.5</td><td>-</td><td>-</td></tr></table> <p>外部條件A = 有會影響道路交通之通視光的道路沿線狀況 外部條件B = 有會影響道路交通之通視光的道路沿線狀況 外部條件C = 幾乎沒有會影響道路交通之光線的沿線沿線狀況</p>	外部條件				道路分類	A	B	C	高速公路等	1	1	0.7	一般國道等	主要幹線道路	-	0.7	0.5	幹道、補助幹線道路	0.7	0.5	-	幹道、補助幹線道路	0.5	-	-	總平均均勻度 0.4以上	<table><tr><th>道路分類</th><th>相對門檻值增加</th></tr><tr><td>高速公路等</td><td>10%以下</td></tr><tr><td rowspan="3">一般國道等</td><td>主要幹線道路</td><td rowspan="3">15%以下</td></tr><tr><td>幹道、補助幹線道路</td></tr><tr><td>幹道、補助幹線道路</td></tr></table>	道路分類	相對門檻值增加	高速公路等	10%以下	一般國道等	主要幹線道路	15%以下	幹道、補助幹線道路	幹道、補助幹線道路	以獲得適當的誘導性為前提，決定燈具之高度、排列、間隔等。
	外部條件																																					
道路分類	A	B	C																																			
高速公路等	1	1	0.7																																			
一般國道等	主要幹線道路	-	0.7	0.5																																		
	幹道、補助幹線道路	0.7	0.5	-																																		
	幹道、補助幹線道路	0.5	-	-																																		
道路分類	相對門檻值增加																																					
高速公路等	10%以下																																					
一般國道等	主要幹線道路	15%以下																																				
	幹道、補助幹線道路																																					
	幹道、補助幹線道路																																					
隧道照明	<table><tr><th>設計速度 (km/h)</th><th>平均路面亮度 (cd/m²)</th></tr><tr><td>100</td><td>9</td></tr><tr><td>80</td><td>4.5</td></tr><tr><td>70</td><td>3.2</td></tr><tr><td>60</td><td>2.3</td></tr><tr><td>50</td><td>1.9</td></tr><tr><td>40以下</td><td>1.5</td></tr></table>	設計速度 (km/h)	平均路面亮度 (cd/m²)	100	9	80	4.5	70	3.2	60	2.3	50	1.9	40以下	1.5	總平均均勻度 0.4以上	相對門檻值增加15%以下為原則	以獲得適當的誘導性為前提，決定燈具之高度、排列、間隔等。																				
設計速度 (km/h)	平均路面亮度 (cd/m²)																																					
100	9																																					
80	4.5																																					
70	3.2																																					
60	2.3																																					
50	1.9																																					
40以下	1.5																																					
交叉口照明	<table><tr><th>道路分類</th><th>周圍環境</th><th>交叉口內平均照度 (lx)</th></tr><tr><td rowspan="2">主要幹線道路</td><td>有來自店舖設施等之外部光線</td><td>30</td></tr><tr><td>無外部光線之暗處</td><td>15</td></tr><tr><td rowspan="2">幹道、補助幹線道路</td><td>有來自店舖設施等之外部光線</td><td>20</td></tr><tr><td>無外部光線之暗處</td><td>15</td></tr></table>	道路分類	周圍環境	交叉口內平均照度 (lx)	主要幹線道路	有來自店舖設施等之外部光線	30	無外部光線之暗處	15	幹道、補助幹線道路	有來自店舖設施等之外部光線	20	無外部光線之暗處	15	照度均勻度 0.4以上	—	—																					
道路分類	周圍環境	交叉口內平均照度 (lx)																																				
主要幹線道路	有來自店舖設施等之外部光線	30																																				
	無外部光線之暗處	15																																				
幹道、補助幹線道路	有來自店舖設施等之外部光線	20																																				
	無外部光線之暗處	15																																				
行人用照明	<table><tr><th>周邊環境</th><th>水平面照度 (lx)</th></tr><tr><td>商業區</td><td>10</td></tr><tr><td>住宅區</td><td rowspan="2">5</td></tr><tr><td>工業區</td></tr></table>	周邊環境	水平面照度 (lx)	商業區	10	住宅區	5	工業區	照度均勻度 ≥ 0.2	—	—																											
周邊環境	水平面照度 (lx)																																					
商業區	10																																					
住宅區	5																																					
工業區																																						

ITRI Copyright 2010

23

日本道路照明設計規範發展趨勢-3/3

<p>隧道照明</p> <p>1. 追加新的照明方式</p> <ul style="list-style-type: none"> 追加隧道出入口之非對稱照明方式：Counter Beam 照明方式 Problem 照明方式 	
<p>2. 重新檢視入口部照明之所需路面輝度的設定方法</p> <ul style="list-style-type: none"> 舊基準：隧道口前150m開始往隧道口望去時「全視野」的「野外輝度」4,000cd/m²為基本，因應野外輝度設定3階段的路面輝度。 新基準：隧道口前150m開始往隧道口望去時「視角20度之視野」的「野外輝度」3,300cd/m²為基本，因應野外輝度值，依比例設定路面輝度。 	
<p>3. 追加特殊構造部之照明方法</p> <p>新增：</p> <ul style="list-style-type: none"> 車道匯流及分流處 緊急停車區帶 步道部 避難通路 	

ITRI Copyright 2010

24

歐洲CIE道路照明規範修訂沿革

主要內容	CIE相關規範	最新修訂版本
車輛與行人 道路照明建議	CIE 115-1995 Recommendations for the Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic	CIE 115:2010 Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic
道路交通照明 燈具設計指南	CIE 79-1988: A Guide for the Design of Road Traffic Lights	無新修訂版本
道路路面與照明	CIE 66-1984 Road Surfaces and Lighting	無新修訂版本

歐洲CIE道路照明設計規範發展趨勢

CIE 115:2010 Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic修訂方向
<p>行人道路照明</p> <ul style="list-style-type: none"> 除原本的行人照明需求等級說明外，增加了低速交通道路區域的相關規定。
<p>氣候條件</p> <ul style="list-style-type: none"> 其中提到濕度較高的道路環境，對於照明需求與乾燥地面會有所差異。 氣候條件為下雪狀態時，道路照明的等級應提高
<p>一般道路照明等級M值</p> <ul style="list-style-type: none"> 照明等級原為M1-M5，2010年版本新增M6。 在L_{av}、U_0、U_1、f_{T1}、R_s等項目的訂定上，M5、M6與1995年版的規定有所差異 M3在眩光門檻值(TI)的規定上，從10增加為15。 照明等級定義更為精細，設定了不同參數值，針對各項參數進行評比後，乘上權重值，再代入公式計算：$M值=6-Vws$。
重新定義衝突區域照明等級(C值)與行人照明等級(P值)衡量方式
<p>景觀與環境</p> <ul style="list-style-type: none"> 提到能源耗用的概念，針對干擾光(obtrusive light)也有特別說明。
<p>可視性與中間視覺</p> <ul style="list-style-type: none"> 進行周邊視覺的必要性與益處之研究，納入中間視覺概念於道路照明，進行中間視覺衡量分析。

歐洲道路照明設計規範發展趨勢

- 重視環保節能概念
 - 重視能源耗用減少的必要性，並重視因照明所帶來對生物以及整體環境可能有的負面影響。
- 照明等級定義更為精細
 - 在不同照明等級的定義上，CIE改用更為精細的方式決定不同等級判定，不管是道路照明、衝突區域照明與行人道照明，M值、C值與P值皆需考量多個項目後進行計算，包含速度、交通流量、交通構成、分隔車道有無、交叉口密度、車輛停放、周圍環境照度以及臉部辨識性等，將使得其定義更加清楚與明確。
- 周邊視覺與中間視覺納入考量
 - 提出周邊視覺的概念可實際應用在道路照明，特別是用於夜間照明與道路安全，提升周邊視覺的必要性與益處目前仍為正在進行的研究議題。另外提出中間視覺概念，未有明確規範內容，歐盟MOVE研究團隊進行研究中。

各國道路照明發展規範發展趨勢-小結

- 尋求更佳道路照明設計方式，以提高道路照明安全性與節能
 - 各國未針對道路照明之照度規範進行修改
 - 美國IESNA在道路照明設計規範，由燈具照度→輝度設計→最小可見度分析方式
 - 日本新增訂了「輝度均勻度」、「眩光」、「誘導性」三項性能指標
 - 歐洲CIE則透過更細部的計算方式定義不同道路照明等級，以提供更佳道路照明
- 重視眩光與光害抑制
 - IESNA提出控制燈具光分佈之新型分類系統，藉以評估除眩光之外的其他光害
- 人因工程逐漸受到各國的重視
 - IESNA重視質化的照明品質
 - 日本道路設施設置基準從人的角度出發，進行不同道路環境下駕駛與行人在不同情境與不同應變情況的反應與視覺反應
 - CIE則開始納入周邊視覺與中間視覺的概念，雖未有明確規範數據內容，但已成為積極進行的未來研究議題。

新型耗能道路交通設施經濟效益分析

- 新型耗能道路交通設施發展現況
- 新型耗能道路交通設施優缺點比較
- 新型耗能道路交通設施經濟效益分析模型建構
- 新型耗能道路交通設施經濟效益分析

日本新型耗能道路交通設施發展現況-1/2

- 道路照明
 - 日本對於LED路燈設置目前僅以實驗型示範計畫為主

實施地點	實施時間	實驗計畫名稱
西日本高速道路	2009年12月1日~12月21日	「道路照明設備之LED光源適用實驗」計畫
阪神高速道路	2009年5月22日~6月22日	「道路照明設備之維修省力化及節能化之共同研究」
大阪府	2009年7月~8月	「活用創投新技術之大阪府道路照明LED化之示範事業」
北海道	2010~2011年	「積雪寒冷地LED照明之現場實驗」
德島縣	2010年1月	「LED道路及隧道照明燈具之有效性與可靠性之實證實驗」
札幌市	2009年9月~2010年3月	「LED路燈導入實證實驗計畫」
京都市	2009年10月	「街路燈LED化推動示範商店街」
東京都調布	2009年7月	LED路燈的實驗設置
東京都AKIRUNO	於2009.11~2010.04	LED道路燈與水銀燈之Model比較實驗「銀河」計畫
埼玉市大宮區	2009年	「藍色LED路燈」犯罪防制效果

日本新型耗能道路交通設施發展現況-2/2

• 道路標誌／標誌照明

- 德島縣「獨立型太陽能式LED內部照明道路標誌之實證示範計畫」
- 中日本高速公路「紫外線照射型遠方標誌照明設備之適用性與現場驗證」



• 道路安全防範設施

- 「視線誘導標記」和「貓眼」



ITRI Copyright 2010

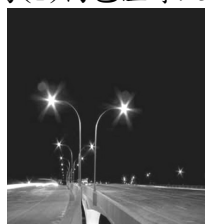
31

美國新型耗能道路交通設施發展現況-1/2

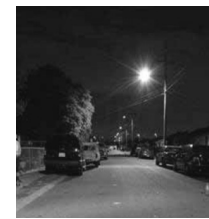
• 道路照明

- 美國DOE在多城市進行小範圍示範計畫
 - 購置成本是影響經濟效益的關鍵因素
 - 用路人對LED路燈多表認同，負面意見為(1)高色溫導致光度過暗(2)眩光過強與高色溫導致冷刺眼
- 部分城市準備大範圍導入LED路燈

	路燈改造計畫	時間	預期效益與量
美國	密西根州 Ann Arbor 市政府之 LED 路燈安裝工程計畫	2005 開始進行戶外公共照明評估, 2006 年於市府大樓進行安裝測試, 2007/10 開始大量導入 LED 路燈安裝工程	<ul style="list-style-type: none"> ➢ LED 路燈安裝工程計畫目的為降低路燈使用期間之成本(維修、電力等)及 CO₂ 排放量。 ➢ 2007 年 Ann Arbor 市區發展局提供 US\$630,000 之工程經費, 汰換超過 1,000 盞舊型 120W 高壓鈉燈和複金屬鹵素燈為 50-80W 不等的 LED 路燈, 預計年省 US\$100,000 路燈使用成本及減少 267 噸的 CO₂ 排放量, 若全市安裝 LED 路燈, 預計每年可減少 2,200 噸的 CO₂ 排放量。
美國	加州 San Jose 市節能 LED 路燈安裝計畫	2009/6 開始	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 2008 年共花費 US\$350 萬的路燈使用成本, 佔平均城市年度業務預算的 40%。 ➢ 2009/6 初期先汰換 115 盞舊型鈉燈 ➢ 汰換目的期望達成路燈耗電量減量 40%。 ➢ 目標 2022 年更換全市 62,000 盞現有舊型路燈為 LED 路燈。
美國	阿拉斯加州 Anchorage 市 LED 路燈設置條例 (LED Streetlight Ordinance)	2008/8 Anchorage 議會通過 LED 路燈設置條例 (LED Streetlight Ordinance)	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 第一階段汰換 16,000 盞高壓鈉燈為 LED 路燈。 ➢ 預計 US\$220 萬的前期投入成本於 7 年內回收, 每年可省下的路燈使用成本約 \$360,000。 ➢ 總用電量不到現有高壓鈉燈的 50%。
美國	賓州 Pittsburgh 市 LED 路燈安裝提案	2009/2 由市議員 William Peduto 提案	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 每年路燈電費開支約 US\$320 萬, 維修費用 US\$100 萬。 ➢ 以汰換全市 40,000 盞 230W 高壓鈉燈為 93W LED 路燈為目標。 ➢ 預計年省 600kWh 耗電量, 約 US\$140 萬的電費和維修費用。



I-35W 密西西比河大橋 加州舊金山市 Sunset District



奧瑞岡州波特蘭市 Li ja Loop 街道

加州奧克蘭市 Sextus 和 Tunis 街道

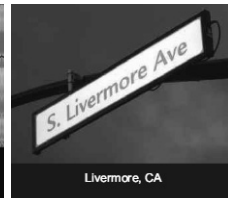
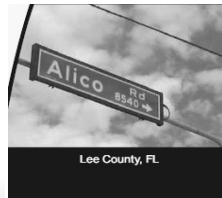
ITRI Copyright 2010

32

美國新型耗能道路交通設施發展現況-2/2

• 道路標誌／標誌照明

- LED具備節能和使用壽命長的優勢，在交通設施的應用接受度高，最實際的例子就是LED交通號誌 (traffic signals) 在美國的一個交叉路口即可年省\$1,000的電費和維修費。



• 道路安全防範設施

- 主動式路面標記(IPM)系統包括光源、鏡片、保護外殼、電源和系統控制器，白熾燈/鹵素燈和LED在主動式路面標記(IPM)系統普遍被使用，雷射和電致發光技術也視為使用對象。LED由於在顏色上的靈活性、發光強度、低耗能、使用壽命長等優勢，已漸成為IPM系統的新興寵兒。



ITRI Copyright 2010

33

歐洲新型耗能道路交通設施發展現況-1/2

• 道路照明

- 芬蘭導入LED路燈，採用OSRAM的Golden DRAGON，設置60盞LED路燈，即使在零下35度的氣候環境，對於LED路燈的使用上仍未有任何操作上失效的故障發生。
- 德國於柏林與漢堡之間的A24高速公路上裝設LED路燈，此示範案例為單邊裝設新型LED路燈，另一邊則保持原有的傳統路燈，希望進行裝設前後的比較分析。



ITRI Copyright 2010

34

歐洲新型耗能道路交通設施發展現況-2/2

• 道路標誌／標誌照明／道路安全防護設施

- 除了路燈之外，LED在歐洲各國也已經被運用來做交通標誌照明或道路安全防護設施，如在德國、奧地利、匈牙利以及斯洛維尼亞等國，目前多為示範性計畫，小規模採用LED做為新型交通設施之光源。

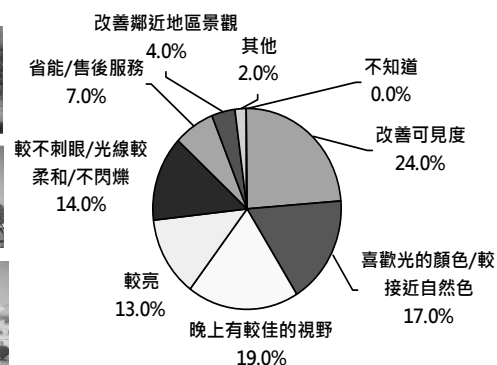


ITRI Copyright 2010

35

台灣新型耗能道路交通設施發展現況-1/2

- 2009年台灣路燈總耗電量為17.3億度
- 2010年台灣LED路燈累計設置量達25400盞，包括能源局示範計畫、工業局工業區示範計畫、其各地方政府小型試辦計畫
- 根據台中市及豐原市路燈接受度調查結果顯示，432份有效問卷中，22%受訪者認為「太亮」或「稍亮」，15%認為新路燈所產生的影子有「稍多」甚至「很多」的情形。

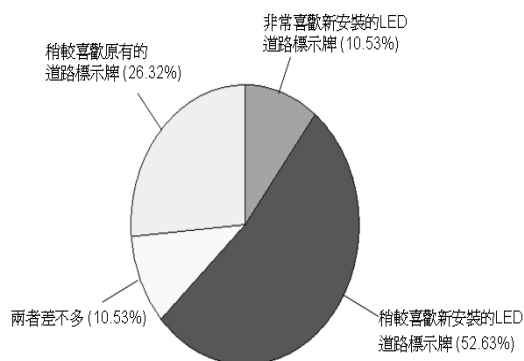


ITRI Copyright 2010

36

台灣新型耗能道路交通設施發展現況-2/2

- LED指示標誌示範計畫
 - 國道一號苗栗路段、三義路段、林口路段、龜山路段、斗六路段。
 - 國道二號竹圍路段、大園路段。國道三號竹南路段、後龍路段、古坑路段。
 - 國道十號鼎金系統交流道。台61線西濱快速道路中區路段。
 - 台88線、台中市港中港路、台中縣豐原市豐原大道。
- 根據台中市豐原大道LED指示標誌接受度調查結果顯示：48%左右的受訪者認為LED指示標誌稍微刺眼，感覺很刺眼者占10%左右。58%受訪者認為LED指示標誌稍亮，22%認為輝度適切，感覺「太亮」或「稍暗」者約占20%左右



LED路燈與傳統路燈比較-(1/2)

項 目		LED路燈	水銀燈
節能特性	優點	•整體燈具效率達75lm/W，優於傳統水銀燈，節能潛力達60%以上。	
	缺點		•水銀燈效率低，壽命短
道路照明效果	優點	•照度充足，光分布均勻，而且演色性優(CRI 70~80)，增加路面物體辨識度。 •色溫可調(2700K~6500K)	•泛光照明光源，容易應用於大範圍照明。
	缺點	•燈具光學需進行精密設計，否則容易出現路面照度分佈不均的光斑。	•燈具光學需進行精密設計，否則容易出現路面照度分佈不均的光斑。
眩光特性	優點	•無	•與LED路燈比較，眩光相對較低。
	缺點	•LED光源光強度高，藍色光譜成分高，容易造成不舒適之眩光。	•非全遮式的路燈，容易對人眼產生不舒適之眩光。
維護性	優點	•壽命長，產品宣稱可達30,000小時以上，減少維護成本。	•具標準產品，容易更換維護。
	缺點	•缺乏標準化產品，LED路燈需發展模組化規格，否則將造成使用者後續維護的困擾。	•目前水銀燈產品品質良莠不齊，每0.5~1年需更換一次，增加維護成本。

LED路燈與傳統路燈比較-(2/2)

項 目		LED路燈	鈉燈
節能特性	優點	•整體燈具效率達75lm/W，優於傳統水銀燈，節能潛力達60%以上。	•整體光輸出量高，發光效率佳
	缺點	•整體光輸出量低於鈉燈	•壽命約24000hr，較LED路燈低
道路照明效果	優點	•照度充足，光分布均勻，而且演色性優(CRI 70~80)於鈉燈，增加路面物體辨識度。 •色溫可調(2700K~6500K)	•泛光照明光源，容易應用於大範圍照明。 •色溫2500K，穿透性高
	缺點	•燈具光學需進行精密設計，否則容易出現路面照度分佈不均的光斑。	•鈉燈演色性低(CRI<50) •燈具光學需進行精密設計，否則容易出現路面照度分佈不均的光斑。
眩光特性	優點	•無	•與LED路燈比較，眩光相對較低。
	缺點	•光源光強度，藍色光譜成分高，容易造成不舒適之眩光。	•非全遮式的路燈，容易對人眼產生不舒適之眩光。
維護性	優點	•壽命長，產品宣稱可達30,000小時以上，減少維護成本。	•具標準產品，容易更換維護。
	缺點	•缺乏標準化產品，LED路燈需發展模組化規格，否則將造成使用者後續維護的困擾。	•目前鈉燈產品品質良莠不齊，每0.5~1年需更換一次，增加維護成本。

智慧型LED路燈與LED路燈比較

- 智慧型LED路燈除具有LED路燈優點外，創造特色為：
 - － 更更節能：可設定不同照度及調節照明時段，電纜電力監控，監測LED路燈工作狀態
 - － 更智慧：增設濃霧偵測器、漏電時自動切斷電源，避免人員觸電傷害、系統提供簡訊功能，即時通報故障狀況等智慧化功能
- 智慧型LED路燈存有問題
 - － 系統可靠度
 - － 成本更高，回收期間更長

陶瓷複金屬燈與高壓鈉燈比較

	140W 陶瓷複金屬燈	250W 高壓鈉燈
道路視亮度	基本一致	基本一致
道路明暗度	均勻	更均勻
周圍環境辨識	對道路周邊環境及綠色植被的表現效果令人滿意 	不佳 
顏色辨識	顏色便能真實的被還原	鈉燈照明下顏色不可辨識，藍色和黑色完全無法分辨
安全感	更佳	一般
可辨識距離	更佳	一般
節能	節能 56%	耗能 250W

紫外光道路指示標誌與傳統標誌照明比較

- 紫外線照射標誌系統之特徵
 - 有利對向車道駕駛光線，不會外洩、不刺眼，可改善行車安全性
 - 可用於光害對策，有利於鄰近住宅區和一般道路：光線不會外洩到周邊，可改善行車環境和周邊環境
 - 標誌面與照明器具間之距離短，容易設置：照明器具設置於標誌面附近，可降低因樹木或起霧時之光擴散
 - 比內照式成本低

	紫外線照射型 (遠方) 照明	既有之投光式 (遠方) 照明
設置圖例		
燈泡種類	高壓水銀燈泡	金屬鹵化物燈
燈泡壽命	12000小時 (3.2年)	6000小時 (1.6年)
燈泡電力	525W (175W×3燈泡)	250W (1燈泡)

LED指示標誌與傳統指示標誌比較

項 目		LED指示標誌	傳統指示標誌
標誌對用路者目光提示功能	優點	駕駛在遠處、或者背景有高強度光源(如路燈)時，LED指示標誌因自體會發亮，能夠提示用路人標誌位置，而不會錯失閱讀標誌訊息的時機。	無
	缺點	當背透光LED指示標誌以及光源組合式LED指示標誌並排時，因背透光式標誌發光面積大，駕駛者目光會被背透光式標誌吸引，而錯過光源組合式標誌的訊息內容。	傳統指示標誌仰賴投光燈、或路燈作照明，當標誌附近無路燈、或者背景光有高強度光源時，容易錯過標誌閱讀時機。
訊息內容辨識能力	優點	LED指示標誌輝度較高，字體顏色清晰可見。若標誌字體輝度適當，較容易為人眼所辨識。此外，在相同的背景光輝度光源下，LED指示標誌自體發光特性，比傳統指示標誌容易辨識訊息內容。	標誌訊息與底色反差一致，若輔助以適當照明，可輕易辨識訊息內容。
	缺點	當光源組合式LED指示標誌中的LED排列太過密集，或者LED組成的字體筆畫繁複，容易因LED光源輝度太高，使人眼看到的標誌訊息，成為一個大的亮點，而無法辨別標誌內容。	標誌背景光若有高輝度光源，會導致人眼無法清楚辨識標誌訊息。
標誌節電特性	優點	使用LED指示標誌，替代傳統使用投光燈照明的標誌，約可節約70%以上的標誌照明用電。無	無
	缺點	無	使用複金屬投射燈進行照明，較為耗費能源。
標誌維護特性	優點	無	傳統標誌使用之投射燈光源或安定器大多為標準品，採購、維護容易。此外，傳統標誌可使用強力水柱清洗。
	缺點	LED指示標誌無標準品可採購，標誌故障時，往往需整面更換，而LED指示標誌多屬訂產品，增加維護成本。而且標誌無法使用強力水柱清洗，亦增加清潔成本。	無

LED路面標記與傳統標記/標線比較

- LED路面標記屬主動式路面標記(In-Pavement Marker；IPM)，相較傳統標記/標線具有：
 - － 提高駕駛警覺
 - － 提升車輛禮讓程度
 - － 降低車輛行駛速度
 - － 降低車輛與行人衝突
 - － 減少行人等候時間
- LED路面標記缺點
 - － 成本相對高
 - － 可靠性相對低
 - － 相對耗能

新型道路交通設施優缺點比較-小結

- LED路燈取代水銀燈具有絕對優勢。取代鈉燈尚有整體光輸出量低、效率相對低之問題。
- LED路燈眩光為潛在問題，另外LED路燈色溫與演色性優勢，尚未充分顯現
- 智慧型LED路燈除具有LED路燈優點外，尚具有更節能與更智慧的特點，但產品單價更高，系統可靠度問題尚待解決
- 陶瓷複金屬路燈相對傳統鈉燈具有節能及道路照明品質佳優點，但成本偏高
- LED指示標誌在可見與可辨性均較傳統標誌照明(內部與外部式)，但成本偏高，眩光為潛在問題
- LED路面標記(主動式路面標記)對於提升道路安全有顯著效果，但耗能、可靠度與價格為其缺點

經濟效益分析方法比較

分析方法	定 義	適用範疇與限制
淨現值法	淨現值係指一個投資項目的全部現金流入的折現值和全部現金流出的折現值之間的差額。如果NPV>0，說明該投資的現金流入現值大於現金流出現值，其結果可以增加淨利。	淨現值計算因考慮到貨幣的時間價值，較易進行不同方案之間的比較；但也因此難以評估投資年度與投資額不同的方案。另一項難題是折現率的確立。
益本比法	所有效益現值總和除以成本現值總和之比例。B/C=其決策準則為若益本比大於1，表示此計畫的整體效益大於整體成本，值得投資。	益本比法也同時考量貨幣的時間價值，故同樣有選擇適當折現率之問題。另外，因重視效益與成本間的相對比率，忽略效益成本的絕對差額，可能選出益本比高但淨現值低的方案。
內部報酬率法	找出資產潛在的報酬率，其原理是利用內部報酬率折現，投資的淨現值恰好等於零。內部報酬率法(IRR)指使某一方案之預期現金流入量現值等於該方案之預期現金流出量現值。當內部報酬率等於(大於)必要報酬率時，方案才會接受。	內部報酬率計算可克服須選擇適當折現率之困難；同時也將貨幣的時間價值、生命週期內的所有效益納入計算中。 其缺點則包括運算時需電腦軟體輔助、忽略資金社會成本、未計算到的鉅額費用支出可能造成原評估建議錯誤等。
還本期法	回收期初投資成本所需時間，即損益兩平所需時間。用於計劃初始，只有一次現金流出時最有意義。	還本期計算可搭配上上述各項方法同時進行，即可明確得知損益平衡之時間點。

公共工程建設經濟成本效益評估－文獻探討

文獻	方法
IESNA-Lighting Economics	現值法
The uses of cost-benefit analysis in public transportation decision-making in France. Transport Policy 16, 200-212.	重點在解釋成本效益分析運用於公共決策中的實際作法；包含非量化變項之計算原則
Setting Priorities for Improving Boston City Street Lights. Environment Department City of Boston	直接加總各項成本，比較年均節省成本；未考量折現率
Energy-efficient innovative lighting and energy supply solutions in developing countries. International Review of Electrical Engineering, v2, 665-670.	先計算生命週期內各項成本總合；再計算還本期
Demonstration Assessment of Light Emitting Diode Street Lighting.	先計算年均節省成本；再計算還本期
Economic feasibility of solar-powered led roadway lighting. International Review of Electrical Engineering,	先計算生命週期內各項成本總合；再計算還本期與減碳量
Cost Benefit Analysis for Road Infrastructure Projects. Traffic- A Basic Element.studia Universitatis "Vasile Goldis" Arad -Seria Științe Economice, issue: 1-1/2009, 320-330.	提到投資成本加總亦為常見的成本效益分析方法，內文亦運用此法
Analysis of a full spectrum hybrid lighting system. Solar Energy 76 (2004) 359-368.	先計算年均可節省金額；再計算個方案之損益平衡點，進行比較
Cost/ benefit analysis of biomass energy supply options for rural smallholders in the semi-arid eastern part of Shinyanga Region in Tanzania. Renewable and Sustainable Energy Reviews 14 (2010) 148-165.	淨現值法
New nuclear power generation in the UK: Cost benefit analysis. Energy Policy 35 (2007) 3701-3716.	淨現值法
Life-cycle assessment for energy analysis and management. Institute of Environmental Sciences.	生命週期評估

ITRI Copyright 2010

47

IESNA-照明經濟效益分析模型

A. Initial Costs

1. Lighting system—initial installed costs, all parts and labor:
2. Total power used by lighting system (kW):
3. Air-conditioning tons required to dissipate heat from lighting (kW / 3.516):
4. First cost of air-conditioning tons in line A3 @ \$ _____ / ton:
5. Reduction in first cost of heating equipment:
6. Utility rebates:
7. Other first costs engendered by the presence of the lighting systems:
8. Subtotal mechanical and electrical installed cost:
9. Initial taxes:
10. Total costs:
11. Installed cost per square meter (memo):
12. Watts of lighting per square meter (memo):
13. Residual (salvage) value at end of economic life:

B. Annual Power and Maintenance Costs

1. Luminaire energy (operating hours × kW × \$ / kWh):
2. Air-conditioning energy (operating hours × tons × kW / ton × \$ / kWh):
3. Air-conditioning maintenance (tons × \$ / ton):
4. Reduction in heating cost:
5. Reduced heating maintenance (MBtu × \$ / MBtu):
6. Other annual costs engendered by the lighting system:
7. Cost of lamps annually (see notes):
8. Cost of ballast replacement (see notes):
9. Luminaire washing cost (number of luminaires × cost per luminaire):
10. Annual insurance cost:
11. Annual property tax cost:
12. Subtotal, annual power and maintenance (with income tax):
13. Income tax effect of depreciation:

C. Comparisons

1. Present worth: $A_{10} + P(A_{13}) + P(B_{12} + B_{13})$
2. Annual cost: $A(A_{10}) + A(A_{13}) + B_{12} + B_{13}$

IESNA加入空調能源節省以及碳排放量減少作為考量。

$$P = F \times \frac{1}{(1+i)^y}$$

where

P = present worth, or the equivalent value at present (dollars).

F = future worth, or the amount in the future (dollars).

y = number of years.

i = opportunity or interest rate as a decimal fraction (5% equals 0.05).

ITRI Copyright 2010

48

本研究經濟效益分析模型

- 本研究參考各國經濟效益評估文獻，採取淨現值法與還本期法共用模式。
- 投資方案總成本使用現值法計算

$$P = F \times \frac{1}{(1+i)^y}$$

P：投資方案總現值成本
F：投資週期內年成本或收益
y：年度
i：折現率參考中央銀行於99年6月25日公佈之重貼現率1.375%做計算

- 回收年限分析上，本研究採取還本期法

回收年限=期初投資成本差額/（投資週期內電力成本節省+投資週期內維護成本成本節省+投資週期內廢棄成本節省）

	方案1	方案2
A.投資方案		
1.投資週期(年)		
2.初始成本(元/盞)		
3.設置數量(盞)		
4.總投資額(元)		
B.電力成本		
1.燈具功耗(W/盞)		
2.每年使用時間(小時)		
3.耗電量(KWh/年)		
4.投資週期內每年電力成本(台幣/年)		
5.投資週期內每年電力成本節省(台幣/年)		
C.維護費用		
1.維修頻率(年/次)		
2.單次維護成本(台幣/次)		
3.投資週期內每年維護成本(台幣/年)		
4.投資週期內每年維護成本節省(台幣/年)		
D.廢棄處理成本		
1.廢棄頻率(年/次)		
2.單次廢棄成本(台幣/次)		
3.投資週期內每年廢棄成本(台幣/年)		
4.投資週期內每年廢棄成本節省(台幣/年)		
E.經濟效益比較		
1.方案總成本(台幣/投資週期)		
2.回收時間(年)		
3.其他利益二氧化碳減量(kg/年)		

- 本研究以減碳量作為新型交通設施之外部效益。

經濟效益分析案例

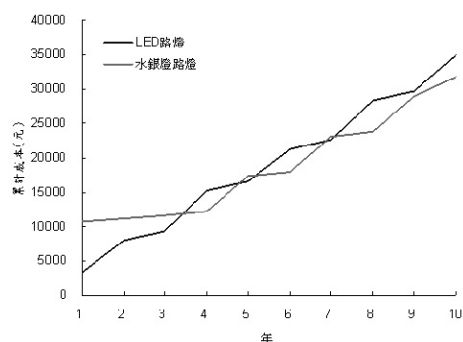
- LED路燈替換水銀燈路燈
 - 台中市LED路燈汰換水銀燈
 - 金門智慧型LED路燈替換水銀燈
- LED路燈替換高壓鈉燈路燈
 - 國道2號H21A主線
- LED隧道燈替換高壓鈉燈隧道燈
 - 台中市忠明南路地下道
- LED指示標誌替換複金屬燈指示標誌
 - 豐原大道LED指示標誌

台中市LED路燈省電節能計畫工程(1/3)

設置條件		說 明
設置方法	設置方法	100W LED 路燈 1:1 取代 200W 水銀燈路燈，鐵燈桿不做更換，只置換光源
	設置數量	置換 7698 盞
	投資金額	新台幣 78,466,787 元
LED 路燈規格	產品標準	無
	燈具特性	燈具系統總發光效率每瓦至少 45 流明以上，其中燈具共可發出至少 4,500 流明以上；且光衰量自驗收合格日起 1 年不得大於 10%，自驗收合格日起 3 年不得大於 20%等照明燈具規範
	保固期間	3 年
道路條件	路 寬	10 米含以下道路
	燈桿燈高	6~8 米
	燈桿間距	40 米以上
	燈桿設置	單排單邊排列
	路面照度	符合市區道路及附屬工程設計規範 15lux

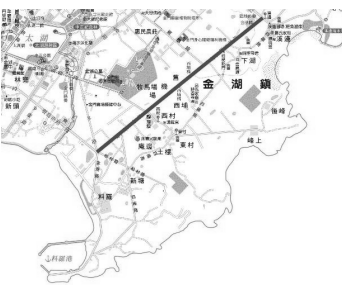
台中市LED路燈省電節能計畫工程(2/3)

	水銀燈路燈	LED路燈
A. 投資方案		
投資週期	10	10
初始成本(元/盞)	2,000	10,193
設置數量	7,698.0	7,698.0
總投資額(元)	15,396,000	78,466,714
B. 電力成本		
燈具功耗(W/盞)	200	100
每年使用時間(小時)	4,000	4,000
耗電量(KWh/年)	800	400
投資週期內單盞路燈每年電力成本(台幣/年)	1,375.2	453.3
投資週期內每年電力成本(台幣/年)	10,586,290	3,489,503
投資週期內每年電力成本節省(台幣/年)		7,096,786
維護費用		
光源維修頻率(次/十年)	2.5	12%
開關維修頻率(次/十年)	5.0	3.5
電源維修頻率(次/十年)	5.0	3.5
光源更換材料成本(台幣/次)	100	10,193
開關更換材料成本(台幣/次)	500	500
電源更換材料成本(台幣/次)	800	2,000
單次維護人工及交通成本(台幣/次)	1,000	1,000
投資週期內單盞路燈維修成本總計(台幣)	19,250	17,093
投資週期內路燈維修成本總計(台幣)	148,186,500	131,583,146
投資週期內每年維修成本(台幣/年)	14,818,650	13,158,315
投資週期內每年維修成本節省(台幣/年)		1,660,335
廢棄處理成本		
光源廢棄頻率(年/次)	4.0	na
投資週期內光源廢棄總量(kg)	962	na
光源廢棄處理成本(元/kg)	32	na
每年光源廢棄成本(台幣/年)	3,079	na
每年光源廢棄成本節省(台幣/年)		3,079
經濟效益比較		
方案總成本(台幣/投資週期)	253,179,635	231,777,086
回收時間(年)		7.2
其他利益二氧化碳減量(噸/年)		1,958



LED 指示標誌單價(元)	回收時間(年)
10193	7.2
8154	5.3
6166	3.5

金門環島東路五段LED路燈節能示範系統(1/2)

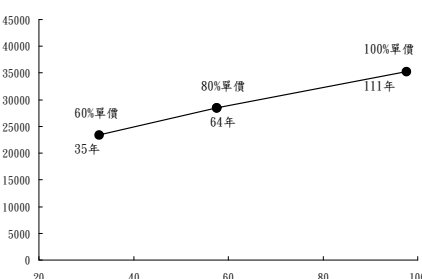
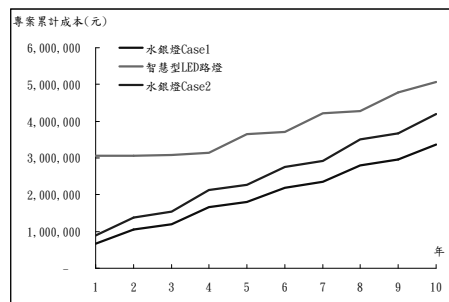
<p>案例說明</p>	<p>•Case1示範案以100盞LED路燈替換原有69盞400W水銀燈燈具外，併案辦理將老舊管線、路燈燈桿基礎座、開關箱基礎座及開關箱一併汰換更新，並加設智慧型遠端監控模組，本案設置改善路段由環島東路四段底，環島東路五段起至料羅圓環止，長度約3,200公尺，寬度約8公尺鋪設柏油路面，原設燈桿燈具為50M，依據交通工程手冊第七章道路照明規定設置本案燈桿距離為32M及使用道路照度規定值</p> <p>•Case 2 由於既有道路照明水準不足，故修改為100盞水銀燈作為替換標的物</p>																			
<p>LED燈具要求</p>	<p>•採取台銀共同採購，每盞燈具必須符合CNS15233規範，每盞單價30,500元</p> <p>•本案LED燈具及智控系統均採保固3年，期間燈具故障及系統維護均由承包商負責修復</p>																			
<p>裝置成果</p>	<p>•99.10設置完成</p> <p>•結合中央氣象局每年日出日沒時間表，於夜間適時點滅以達節能減碳之目的</p> <p>•因應多霧特性，增設濃霧偵測器，使道路照明系統能於霧季時即時啟動，提高用路人行車安全</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>項目 \ 燈具型式</th><th>150W LED配合智慧監控系統</th><th>既有傳統水銀燈400W</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>每小時耗電量</td><td>0.33A (70瓦)</td><td>1.2A (440瓦)</td></tr> <tr> <td>照度範圍 左-右</td><td>長條型</td><td>泛光型</td></tr> <tr> <td>燈柱正下方照度</td><td>23.68 lux</td><td>11.2 lux</td></tr> <tr> <td>燈柱正前方6米處照度</td><td>16.52 lux</td><td>13.1 lux</td></tr> <tr> <td>燈柱正前方8米處照度</td><td>11.18 lux</td><td>1.7 lux</td></tr> </tbody> </table>	項目 \ 燈具型式	150W LED配合智慧監控系統	既有傳統水銀燈400W	每小時耗電量	0.33A (70瓦)	1.2A (440瓦)	照度範圍 左-右	長條型	泛光型	燈柱正下方照度	23.68 lux	11.2 lux	燈柱正前方6米處照度	16.52 lux	13.1 lux	燈柱正前方8米處照度	11.18 lux	1.7 lux
項目 \ 燈具型式	150W LED配合智慧監控系統	既有傳統水銀燈400W																		
每小時耗電量	0.33A (70瓦)	1.2A (440瓦)																		
照度範圍 左-右	長條型	泛光型																		
燈柱正下方照度	23.68 lux	11.2 lux																		
燈柱正前方6米處照度	16.52 lux	13.1 lux																		
燈柱正前方8米處照度	11.18 lux	1.7 lux																		

ITRI Copyright 2010

53

金門環島東路五段LED路燈節能示範系統(2/2)

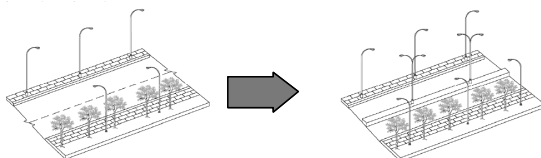
	水銀燈69盞	水銀燈100盞	智慧型LED路燈-Case1	智慧型LED路燈-Case2
A.投資方案				
投資週期	10	10	10	10
初始成本(元/盞)	7,400	7,400	30,500	30,500
設置數量	69.0	100.0	100.0	100.0
總投資額(元)	510,600	740,000	3,050,000	3,050,000
B.電力成本				
燈具功耗(W/盞)	400	400	150	150
每年使用時間(小時)	4,380	4,380	4,380	4,380
耗電量(KWh/年)	1,752	1,752	307	307
投資週期內單盞燈具每年電力成本(台幣/年)	2,224.8	2,224.8	680.0	680.0
投資週期內每年電力成本(台幣/年)	153,511	222,480	68,000	68,000
投資週期內每年電力成本節省(台幣/年)			85,511	154,480
維護費用				
光源維修頻率(次)	2.5	3	12%	12%
開關維修頻率(次)	5	5	3.5	3.5
電源維修頻率(次)	5	5	3.5	3.5
光源更換材料成本(次)	100	100	30,500	30,500
開關更換材料成本(台幣/次)	500	500	500	500
電源更換材料成本(台幣/次)	800	800	2,000	2,000
通訊成本(台幣/年)			300	300
單次維護人工及交通成本(台幣/次)	1,000	1,000	1,000	1,000
投資週期內單盞燈具維修成本總計(台幣)	19,250	19,250	19,530	19,530
投資週期內燈具維修成本總計(台幣)	1,328,250	1,925,000	1,953,000	1,953,000
投資週期內每年維修成本(台幣/年)	132,825	192,500	195,600	195,600
投資週期內每年維護成本節省(台幣/年)			-62,775	-3,100
廢棄處理成本				
光源廢棄頻率(年/次)	4	4	na	na
投資週期內光源廢棄總量(kg)	14	20	na	na
光源廢棄處理成本(元/kg)	32	32	na	na
每年光源廢棄成本(台幣/年)	44	64	na	na
每年光源廢棄成本節省(台幣/年)			44	64
經濟效益比較				
方案總成本(台幣/投資週期)	3,195,074	3,981,463	4,908,293	15.3
回收時間(年)			111.5	64
其他利益-二氧化碳減量(噸/年)			56	



ITRI Copyright 2010

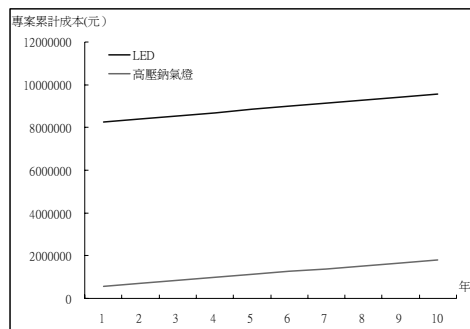
54

國道2號LED路燈替換高壓鈉燈專案(1/2)

設置條件		說明
設置方法	設置方法	140W LED 路燈汰換 400W 高壓鈉燈路燈
	設置數量	新設 225 盞 LED 路燈
	投資金額	新台幣 8,122,500 元
LED 路燈規格	產品標準	無
	燈具特性	無
	保固期間	3 年
道路條件	路 寬	35.2 米
	燈桿燈高	10 米
	燈桿間距	30 米以上
	燈桿設置	
	路面照度	交通工程手冊之公路照度基準 15 lux 均勻度 1/3

國道2號LED路燈替換高壓鈉燈專案(2/2)

	400W高壓鈉燈	140WLED路燈
A. 投資方案		
投資週期	10	10
初始成本(元/盞)	7,400	36,100
設置數量	60	225
總投資額(元)	444,000	8,122,500
B. 電力成本		
燈具功耗(W/盞)	400	140
每年使用時間(小時)	4,000	4,000
耗電量(kWh/年)	1,600	560
投資週期內單盞路燈每年電力成本(台幣/年)	2,225	635
投資週期內每年電力成本(台幣/年)	133,488	142,801
投資週期內每年電力成本節省(台幣/年)	-	9,313
維護費用		
光源維修頻率(次/10年)	2.5	12%
開關維修頻率(次/10年)	5.0	3.5
電源維修頻率(次/10年)	5.0	3.5
光源更換材料成本(台幣/次)	340	36,100
開關更換材料成本(台幣/次)	500	500
電源更換材料成本(台幣/次)	800	2,000
單次維護人工及交通成本(台幣/次)	1,000	1,000
投資週期內單盞路燈維修成本總計(台幣)	19,850	20,202
投資週期內路燈維修成本總計(台幣)	1,191,000	4,545,450
投資週期內每年維修成本(台幣/年)	119,100	454,545
投資週期內每年維護成本節省(台幣/年)	-	335,445
廢棄處理成本		
光源廢棄頻率(年/次)	na	na
投資週期內光源廢棄總量(kg)	na	na
光源廢棄處理成本(元/kg)	na	na
每年光源廢棄成本(台幣/年)	na	na
每年光源廢棄成本節省(台幣/年)	na	na
經濟效益比較		
方案總成本(台幣/投資週期)	2,811,424	13,636,600
回收時間(年)		無
其他利益(二氧化碳減量(噸/年))		無



台中市忠明南路LED隧道燈替換評估案(1/3)

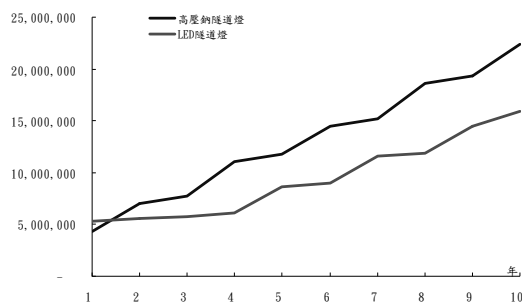
設置條件		說 明
設置方法	設置方法	500 盞 100W LED 路燈取代 600 盞高壓鈉燈(其中包含 400 盞 150W 高壓鈉燈, 200 盞 250W 高壓鈉燈), 置換光源
	設置數量	500 盞 100W LED 路燈取代 600 盞高壓鈉燈
	投資金額	以台中市 LED 路燈標案價格 100W 新台幣 10,193 元
LED 路燈規格	產品標準	無
	燈具特性	不得有嚴重眩光情形(目測方式) 防塵係數 IP 66~67 燈具系統總發光效率每瓦至少 45 流明以上, 其中燈具共可發出至少 4,500 流明以上。 光衰量自驗收合格日起 1 年不得大於 10%, 自驗收合格日起 3 年不得大於 20%等照明燈具規範
	保固期間	3 年
道路條件	路寬	10 米三車道
	燈桿燈高	6 米
	燈桿間距	間距由 6 米改為 9 米
	燈桿設置	雙邊排列(規劃在中間路段減盞)
	路面照度	須符合市區道路及附屬工程設計規範

台中市忠明南路LED隧道燈替換評估案(2/3)

	高壓鈉燈(600盞)	LED路燈(500盞)
A. 投資方案		
投資週期	10	10
初始成本(元/盞)	6,000	10,193
設置數量	600	500
總投資額(元)	3,600,000	5,096,500
B. 電力成本		
燈具功耗(W/盞)	183	100
每年使用時間(小時)	8,700	8,700
耗電量(KWh/年)	1,595	870
投資週期內單盞隧道燈每年電力成本(台幣/年)	1,200.0	453.3
投資週期內每年電力成本(台幣/年)	720,000	226,665
投資週期內每年電力成本節省(台幣/年)		493,335
維護費用		
光源維修頻率(次/十年)	2.5	12%
開關維修頻率(次/十年)	5.0	3.5
電源維修頻率(次/十年)	5.0	3.5
光源更換材料成本(台幣/次)	100	10,193
開關更換材料成本(台幣/次)	500	500
電源更換材料成本(台幣/次)	800	2,000
單次維護人工及交通成本(台幣/次)	1,000	1,000
投資週期內單盞隧道燈維修成本總計(台幣)	19,250	17,093
投資週期內隧道燈維修成本總計(台幣)	11,550,000	8,546,580
投資週期內每年維修成本(台幣/年)	1,155,000	854,658
投資週期內每年維護成本節省(台幣/年)		300,342
廢棄處理成本		
光源廢棄頻率(年/次)	na	na
投資週期內光源廢棄總量(kg)	na	na
光源廢棄處理成本(元/kg)	na	na
每年光源廢棄成本(台幣/年)	na	na
每年光源廢棄成本節省(台幣/年)		na
經濟效益比較		
方案總成本(台幣/投資週期)	22,227,258	15,821,103
回收時間(年)		1.9
其他利益二氧化碳減量(噸/年)		325

台中市忠明南路LED隧道燈替換評估案(3/3)

專案累計成本(元)



LED 指示標誌單價(元)	回收時間(年)
10,193	1.9
11,212	2.5
12,232	3.2

LED指示標誌汰換複金屬燈指示標誌(1/2)

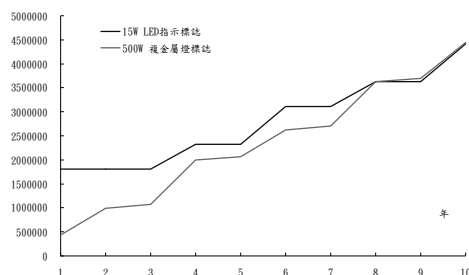
設置條件		說明
設置方法	設置方法	在原設置標示牌上裝設附著式 LED 指示標誌
	設置數量	置換 16 面道路指示標誌
	投資金額	新台幣 2,400,000 元
LED 標示牌規格	產品標準	無
	產品特性	標誌牌面 240cmx180 cm, 需符合 IP65 等級, 且標誌使用之 LED 光束角>60 度, 整面標誌消耗功率<15W
	保固期間	2 年

裝置成果	<ul style="list-style-type: none"> LED 指示標誌內容輝度約在7~30cd/m² 左右, 遠高於非LED 指示標誌內容輝度約在0.6~1cd/m² 左右 99.9月進行駕駛人滿意度調查 <ul style="list-style-type: none"> -75%民眾認為LED指示標誌大幅改善對於指示標誌上訊息認知 -21%民眾贊成將所有主要幹道之道路指示標誌改裝成LED 道路標誌
------	---

LED指示標誌汰換複金屬燈指示標誌(2/2)

	500W 複金屬燈指示標誌	LED指示標誌
投資方案		
投資週期	10	10
初始成本(元/盞)	30,000	150,000
設置數量	16.0	16.0
總投資額(元)	480,000	2,400,000
電力成本		
燈具功耗(W/盞)	500	15
每年使用時間(小時)	4,000	4,000
耗電量(KWh/年)	2,000	60
投資週期內單盞燈具每年電力成本(台幣/盞)	5,913.0	177.0
投資週期內每年電力成本(台幣/年)	94,608	2,832
投資週期內每年電力成本節省(台幣/年)		91,776
維護費用		
光源維修頻(次)	2.5	2.0
開關維修頻率(次)	5.0	4.0
電源維修頻率(年/次)	5.0	4.0
光源更換材料成本(次)	10,000	3,000
開關更換材料成本(台幣/次)	500	500
電源更換材料成本(台幣/次)	700	2,000
單次維護人工及交通成本(台幣/次)	20,000	20,000
投資週期內單盞燈具維修成本總計(台幣)	281,000	216,000
投資週期內燈具維修成本總計(台幣)	4,496,000	3,456,000
投資週期內每年維修成本(台幣/年)	449,600	345,600
投資週期內每年維護成本節省(台幣/年)		104,000
廢棄處理成本		
光源廢棄頻率(年/次)	na	na
投資週期內光源廢棄總量(kg)	na	na
光源廢棄處理成本(元/kg)	na	na
每年光源廢棄成本(台幣/年)	na	na
每年光源廢棄成本節省(台幣/年)		na
經濟效益比較		
方案總成本(台幣/投資週期)	4,441,560	4,413,240
回收時間(年)		9.81
其他利益(二氧化碳減量(噸/年))		19

專案累計成本(元)



LED 指示標誌單價(元)	回收時間(年)
150,000	9.8
120,000	7.4
90,000	4.9

小結

- 以淨現值法及回收期法評估新型道路設施經濟效益
- 除置換高壓鈉路燈外，新型LED道路照明燈具多數均符合經濟效益
- LED路燈高額維修成本，對於回收期限有負面影響
- 8米以下LED路燈置換水銀燈是短期內最具發展空間產品
- 8米道路LED路燈取代水銀燈及是短期內馬上可以投入。12米道路LED路燈置換水銀燈、8米道路LED路燈置換高壓鈉燈、及高速公路指示標誌是中期可以投入方向。

建議

- 建議於LED路燈採購規範中，將產品保固時間由3年提升至5年，以確保產品可靠度
- LED路燈產品效率持續提升，建議與時俱進修改CNS15233產品規範之燈具效率要求

新型耗能道路交通設施人因工程研究

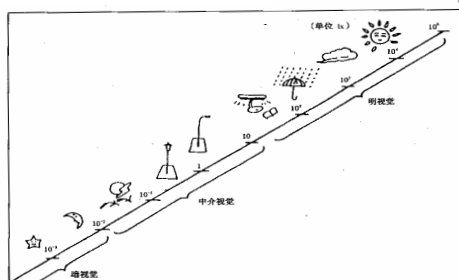
- 中間視覺與道路照明
- 道路照明光源與反應時間研究
- IPM閃爍頻率研究

中間視覺與道路照明研究-1

• 中間視覺定義

－ 人眼對光的適應特性，在周圍環境出現明顯明暗變化時，視覺狀態會隨之變化。

- 在明亮的環境下（輝度達到 3.4 cd/m^2 以上），主要由敏感度低的錐狀細胞參與人眼視覺工作，錐狀細胞能分辨物體的細節、色彩的感覺，這種視覺狀態叫「錐體視覺」或稱「明視覺」及「亮視覺」。
- 在昏暗的環境下（輝度在 0.03 cd/m^2 ），主要敏感度高的桿狀細胞參與視覺工作，而使人眼瞳孔放大以適應昏暗的環境，在暗視覺條件下桿狀細胞能看到物體的大致形狀，但是無法分辨物體細節及顏色，在此昏暗的環境下看到的物體大致上呈現藍灰色，這種視覺狀態叫「桿體現象」，或稱「暗視覺」。
- 如果輝度介於明視覺與暗視覺所對應之輝度水平之間（即輝度在 $0.03\sim 3.4 \text{ cd/m}^2$ ），則桿狀細胞和錐狀細胞同時工作，此視覺狀態稱為「介視覺」或「中間視覺」，汽車駕駛人夜晚在道路上行駛時就是處於這一視覺狀態。



資料來源:李農、楊燕譯，照明手冊2nd，全華科技圖書股份有限公司，台北，第20~41頁，2006。

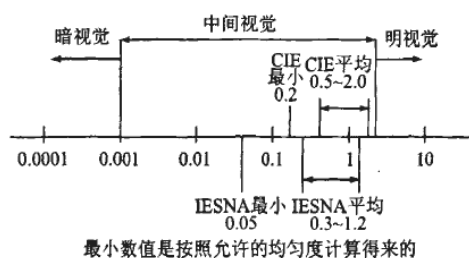
中間視覺與道路照明研究-2

• 明視覺、中間視覺與暗視覺的效應

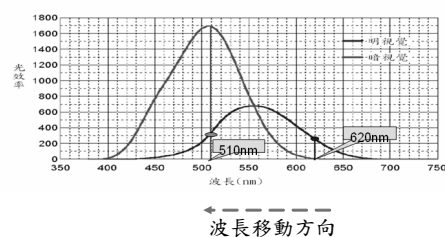
視覺環境	暗視覺	中間視覺	明視覺
環境條件(cd/m^2)	$0.034\sim 3.4\times 10^{-6}$	$0.034\sim 3.4$	$3.4\sim 10^6$
最大光視效應	波長507nm光視效應最好	介於明、暗光視效應之間	波長555nm光視效應最好
視覺敏感度特性	視敏感差	視敏度減弱	視敏度好
對色彩的判斷	無彩色紙有亮暗	辨別顏色的能力減弱	彩色視覺
適應	暗適應	過渡期	亮適應
背景輝度(cd/m^2)	$0.005\sim 0.01$	$0.01\sim 2$	2以上
感光細胞特性	主要集中在視網膜周邊，不存在於中心窩	桿狀與錐狀細胞同時作用	半數集中在視網膜中心窩，周邊數量減少

中間視覺與道路照明研究-3

- 隨著我國經濟生活水準不斷提高，全國各地的城市夜間景觀照明、道路照明、等不斷發展，各種照明水平往往趨向於中間視覺偏亮的位置
- 人眼最敏感的波長由明視覺555 nm逐漸變化到暗視覺時507nm，產生了普爾金耶現象（Purkinje phenomena）。此現象容易發生在道路及隧道照明上
 - 光亮的地方，在相同照度，人眼會覺得黃色光比藍色光更明亮，但在黑暗情況下，在相同照度，人眼會覺得藍色光比黃色光更明亮，此即普爾金耶現象



資料來源:道路照明水平下的人眼中間視覺, 章海聰, 照明工程學報, 2009年



資料來源: 姚佩玉、林燕丹、邵紅、陳大華, 「中間視覺淺析」, 中國照明電器, 第9期, 第8-10頁, 2002年。

中間視覺與道路照明研究-4

- S/P值為暗視覺下光通量與明視覺下光通量之比值

光源	S/P比值
黃白高壓鈉燈	0.65
暖白金屬鹵化物燈	1.25
暖白LED	1.35
冷白金屬鹵化物燈	1.8
偏藍色白光LED	2.15

資料來源: Wout van Bommel、周太明、林燕丹 譯, 「光源的光譜與低照明水平—中間視覺的基礎」, 照明工程學報, 第20卷第4期, 2009年。

- 在中間視覺的範圍內，不同S/P比值愈高光源，人眼覺得更明亮

不同S/P值的光源照明，人眼感受到明輝度

S/P 比值 (相当不同光源)	明视觉亮度 (cd/m ²)		
	0.1	0.3	1.0
0.5	0.06	0.25	1.00
1.0	0.10	0.30	1.00
1.5	0.13	0.34	1.00
2.0	0.16	0.36	1.00

資料來源:道路照明水平下的人眼中間視覺, 章海聰, 照明工程學報, 2009年

中間視覺與道路照明研究-5

- 根據美國LRC研究報告，人眼將光源調整至中間視覺區，則維持相同之視覺功能，白光LED較高壓鈉燈可降低30%功率
- 中間視覺計算模型目前有美國LRC、歐盟MOVE模型及Hurden模型發展中，各種模型間不同光源因光譜不同所引起照明結果輝度變化規則趨同
 - 大致規律為白色光源($SP>1$)，隨眼睛適應輝度降低而輝度提升，黃色光源($SP<1$)，隨眼睛適應輝度降低而輝度下降



資料來源:LRC, 2009,

ITRI Copyright 2010

69

中間視覺與道路照明研究-6

- 不同S/P數值的光源於中間視覺輝度下產生輝度轉換表

S/P	明視度下的亮度 (cd/m ²)						
	0.01	0.03	0.1	0.3	1	3	10
0.25	0.0025	0.0075	0.0640	0.2331	0.8735	2.8108	9.9095
0.35	0.0035	0.0133	0.0698	0.2430	0.8914	2.8372	9.9220
0.45	0.0045	0.0172	0.0751	0.2525	0.9090	2.8632	9.9344
0.55	0.0055	0.0201	0.0801	0.2616	0.9262	2.8888	9.9466
0.65	0.0065	0.0226	0.0848	0.2706	0.9431	2.9141	9.9587
0.75	0.0075	0.0249	0.0894	0.2792	0.9597	2.9391	9.9706
0.85	0.0085	0.0270	0.0937	0.2877	0.9760	2.9637	9.9825
0.95	0.0095	0.0290	0.0979	0.2959	0.9921	2.9880	9.9942
1.05	0.0105	0.0309	0.1020	0.3040	1.0079	3.0120	10.0058
1.15	0.0114	0.0328	0.1060	0.3119	1.0234	3.0356	10.0173
1.25	0.0122	0.0345	0.1099	0.3197	1.0387	3.0600	10.0286
1.35	0.0130	0.0362	0.1136	0.3273	1.0538	3.0822	10.0399
1.45	0.0138	0.0378	0.1173	0.3348	1.0686	3.1050	10.0510
1.55	0.0146	0.0394	0.1209	0.3421	1.0833	3.1276	10.0621
1.65	0.0153	0.0410	0.1245	0.3493	1.0978	3.1499	10.0730
1.75	0.0160	0.0425	0.1280	0.3565	1.1121	3.1720	10.0838
1.85	0.0167	0.0440	0.1314	0.3635	1.1262	3.1939	10.0945
1.95	0.0174	0.0455	0.1348	0.3704	1.1401	3.2155	10.1051
2.05	0.0180	0.0469	0.1381	0.3772	1.1539	3.2368	10.1156
2.15	0.0187	0.0483	0.1413	0.3840	1.1675	3.2580	10.1260
2.25	0.0193	0.0497	0.1445	0.3906	1.1810	3.2789	10.1363
2.35	0.0199	0.0511	0.1477	0.3972	1.1943	3.2997	10.1466
2.45	0.0205	0.0524	0.1509	0.4037	1.2075	3.3202	10.1567
2.55	0.0211	0.0538	0.1539	0.4101	1.2205	3.3405	10.1667
2.65	0.0217	0.0551	0.1570	0.4165	1.2334	3.3606	10.1766
2.75	0.0233	0.0564	0.1600	0.4228	1.2462	3.3806	10.1865

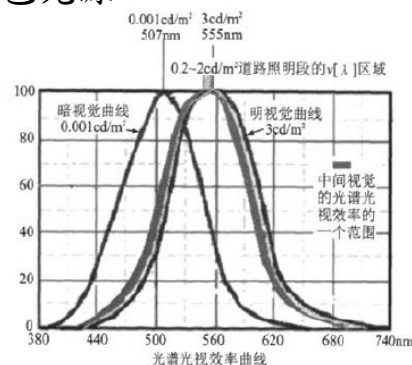
資料來源:道路照明水平下的人眼中間視覺, 章海聰, 照明工程學報, 2009年

ITRI Copyright 2010

70

中間視覺與道路照明研究小結

- 應用中間視覺，在得到同樣視覺效果前提下，可以降低道路照明輝度/照度，創造出節能效果觀念，目前僅較適用於：
 - 低輝度/輝度規範要求道路
 - 道路速限低，車速低區域
- 針對上述路段建議使用S/P>1白色光源



S/P不是所有中間視覺輝度數值下的輝度折算係數，它只是表示光源在某些特定條件(0.001cd/m²)下的特徵參數

資料來源:道路照明水平下的人眼中間視覺, 章海聰, 照明工程學報, 2009年

ITRI Copyright 2010

71

道路照明光源與反應時間研究-1

- 在駕駛過程中反應時間愈快，意味者視覺效果提高，並與交通安全有關

事故與反應時間關係

事故次數	0~1	2~3	4~7	8~9	10~12	13~17
反應時間(s)	0.57	0.7	0.72	0.86	0.86	0.89

資料來源：李百川，汽車駕駛人適宜性檢測與評價(2003)

- 相關研究成果
 - 隨著背景輝度增大，反應時間變短，即反應速度變快；
 - 隨著輝度對比增大，反應時間也是變短。即反應速度變快；
 - 隨著視標偏心角變大，不管是何種輝度對比，反應時間一般會變長，即發現目標的反應速度變慢；
 - 反應時間與光源色溫具有相關關係，當色溫為400K~5000K時應時間一般比較短

ITRI Copyright 2010

72

道路照明光源與反應時間研究-2

高壓鈉燈與金屬鹵素燈反應時間比較

背景亮度對數值	-3	-2.5	-2	-1.5	-1	-0.5	0	0.5
背景亮度 cd/m^2	0.001	0.0032	0.01	0.032	0.1	0.32	1	3.2
高壓鈉燈 (HPS)	668.17	610.61	549.81	471.71	415.20	376.85	355.82	344.12
金屬鹵素燈 (MH)	476.25	470.82	434.69	381.53	355.59	333.21	318.62	308.57
比值 (HPS/MH)	1.40	1.30	1.26	1.23	1.17	1.13	1.12	1.12

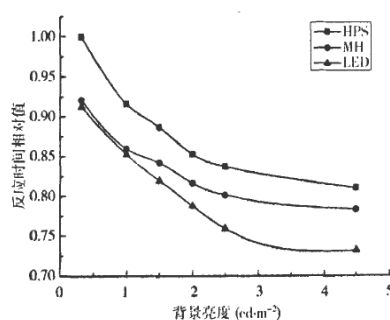
註：高壓鈉燈色溫2000K與金屬鹵素燈4000K

資料來源：用反應時間研究道路照明光源的相對光效，劉英嬰，燈與照明，2007.3

不同色溫光源下反應時間平均值

$L_A (\text{cd/m}^2)$	0.32	1.0	1.5	2.0	3.2
光源					
EDL(4000K)	430.4	402.8	389.3	376.7	357.4
EDL(5000K)	428.0	401.7	388.9	377.0	358.9
EDL(6500K)	443.8	415.1	401.7	389.2	368.3

不同色溫光源下反應時間平均值

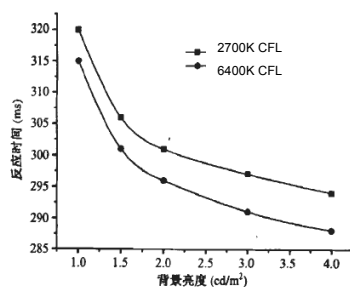


資料來源：道路照明中反應時間研究，陳仲林等，燈與照明2008

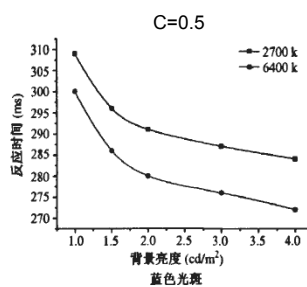
ITRI Copyright 2010

73

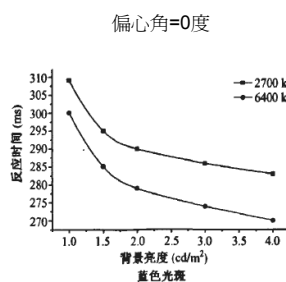
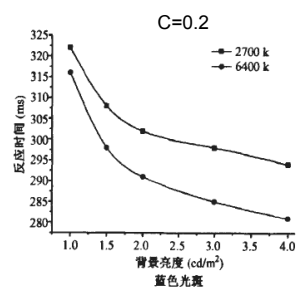
道路照明光源與反應時間研究-3



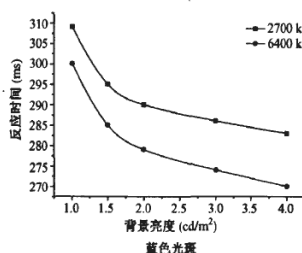
反應時間與背景輝度



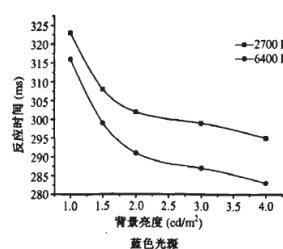
反應時間與輝度對比



偏心率=10度



偏心率=20度



反應時間與偏心率角度

資料來源：隧道照明安全與光源光色研究，崔璐璐等，照明工程學報2009.6

ITRI Copyright 2010

74

道路照明光源與反應時間研究-小結

- 在道路照明環境中，以提升反應道路為目的，使用色溫高之燈具效果優於低色溫；然而，因過高色溫低照度下，心理效益呈現陰冷，因此燈具色溫4000~5000K生心理效果均佳。
- 演色性佳之道路燈具可呈現良好色彩環境，利於辨識，提升駕駛安全及城市美化。
- 隧道照明使用白光LED照明反應時間短、調光容易，兩端出入口部份可依戶外照明條件設計照度，降低黑洞效應發生汽車追撞事故。
- LED燈具可調色溫，具備協調隧道裡外光色差距反應時間不統一，造成視覺調適性不良導致交通事故問題

IPM與道路安全-1

- 美國運輸研究委員會-Applications of Illuminated, Active In-Pavement Marker Systems
 - 主動式路面標記(IPM)系統在增加能見度上比傳統路面突起反光標記(RRPM: Raised Retroreflective Pavement Marker)具有潛力，特別是在橫向轉彎地帶(horizontal curves)
 - RRPM必須透過汽車頭燈的亮光才能發揮反光作用，因此橫向轉彎輪廓無法一次完全呈現
 - 啟動時應顯示閃爍的黃燈，每分鐘閃爍頻率為50次~60次

IPM與道路安全-2

- IPM 於行人穿越道(斑馬線)之應用，具有提高道路安全的效果

測量指標	研究者	結論
提高駕駛警覺度	* Hung et al.(1999) * Malek(2001) * Boyce and Van Derlotske(2002)	* 觸動控制發光模式(activated flashing)優於連續發光模式 * 在夜間比懸掛型警示燈(overhead beacon)有效果
提升車輛禮讓程度	* Whitlock and Weinburger(1998) * Huang et al.(1999)	在惡劣天候條件下特別有效果
降低車輛行駛速度	* Huang et al.(1999) * Boyce and Van Derlotske(2002) * Prevedouros(2000)	* 高速度駕駛者會減速，速度降幅 1.6% * 平均速度駕駛者會減速，速度降幅 2% * 依據第 85 百分位速率(85th Percentile Speed)原則，駕駛者會減速，速度降幅 2.3%
降低車輛和行人間的衝突	* Huang et al.(1999) * Boyce and Van Derlotske(2002)	在行人準備通過時降低車流量
減少行人等候時間	* Prevedouros(2000)	等候時間減少 50.5%(26.7 秒降至 13.2 秒)

資料來源：Transportation Research Board(2008)

IPM與道路安全-小結

- 從美國經驗分析，IPM系統可提高道路安全性
- 閃爍頻率研究，獲得美國MUTCD(2009)採用，將IPM在行人穿越道的設置與操作方式，每分鐘閃爍頻率定為50~60次

我國新型道路交通設施法規修改建議方向

我國新型道路交通設施法規修改建議方向-1/6

- 建議1：我國交通工程手冊納入輝度標準
 - 平均輝度、路面輝度總均勻度、路面輝度縱向均勻度

道路種類及分類		平均輝度值 (cd/m ²)	均勻度	
			平均輝度 (最小輝度/平均輝度)	縱向均勻度 (最小輝度/縱向平均輝度)
高速公路		0.4	0.3	0.7
一般公路	幹道	0.9	0.3	0.7
	次要道路	0.6	0.3	0.6
	輔助性道路	0.6	0.3	0.6
	交流道	0.5	0.2	0.6

我國新型道路交通設施法規修改建議方向-2/6

- 建議2：建立道路照明輝度動態量測方法
 - 道路照明輝度量測困難，使得國內相關道路主管單位難以實際採用操作
 - 本研究提出動態車載量測方法，採用車載儀器模仿汽車行駛路徑對道路照明進行現場動態測量，可以不必封鎖道路，具有較強的可操作性。
 - LED道路照明現場動態測量方法，詳見附錄十三

我國新型道路交通設施法規修改建議方向-3/6

- 建議3：建議增訂道路照明用電密度標準
 - 照明區域內之照明用電量 $Q[W]$ 除以照明區域面積 $A[m^2]$ ，即得單位面積照明用電密度 $UPD=Q/A[W/m^2]$ ，簡稱UPD。此評估方法可瞭解此一照明區域之照明用電量是否合理

道路寬度(m)	車道數	照明用電密度折算值(W/m^2)				
		30lx	20lx	15lx	10lx	8lx
24~30	> 6	0.95	0.63	—	—	—
22	6	1.08	0.72	—	—	—
16~20	4~5	1.23	0.83	0.61	0.41	—
14	4	1.35	0.90	0.68	0.45	—
10~12	3~4	—	—	0.85	0.56	0.45
8	2	—	—	—	0.63	0.50

我國新型道路交通設施法規修改建議方向-4/6

• 建議4：修訂「燈具光分佈形式」

- 眩光簡單的來說就是會干擾到人眼看到目標物的非必要雜訊光。不良道路照明設計，將使路燈產生失能眩光，而損害眼睛視看物體的能力，直接影響到駕駛員覺察障礙物的能力，即降低視覺對象的可見度，影響行車安全

光分佈形式	規範內容
全遮蔽型	燈具在 1,000 流明光量下，與燈桿呈 90 度角以上(即水平線以上)之餘光量為 0 流明；80 度角以上之餘光量要小於 100 流明，燈桿四周各方向皆須滿足此要求。
遮蔽型	燈具在 1,000 流明光量下，與燈桿呈 90 度角以上(即水平線以上)之餘光量要小於 25 流明；80 度角以上之餘光量要小於 100 流明，燈桿四周各方向皆須滿足此要求。
半遮蔽型	係燈具在 1,000 流明光量下，與燈桿呈 90 度角以上(即水平線以上)之餘光量要小於 50 流明；80 度角以上之餘光量要小於 200 流明，燈桿四周各方向皆須滿足此要求。
無遮蔽型	此型燈具對眩光作用並未做限制。

我國新型道路交通設施法規修改建議方向-5/6

• 建議5：增訂行人專用道照明水準

- 交通工程手冊照明準則已對行人穿越道規定作照度需求
- 提高行人用路安全性

道路週邊環境	平均照度值 (lux)	照度均勻 (最小照度/平均照度)
商業區	10	≥ 0.2
住宅區	5	≥ 0.2

我國新型道路交通設施法規修改建議方向-6/6

- **建議6：建議訂定「LED指示標誌規範」**
 - 缺乏產品規範常使得新型道路設施導入成效不彰，產品穩定度與可靠度皆受到質疑。
 - 訂定LED指示標誌規範，提供國內廠商與政府機關推動汰換政策時採購參考。
 - LED 道路標示牌技術規範，詳見附錄十四
- **建議7：針對我國交通安全防護設施產品，訂立閃光頻率標準**
 - 建議參考MUTCD(2009)規範，每分鐘閃爍頻率50~60次

結論

- 符合既有交通設施法規(如交通工程手冊)規範，是新型耗能交通設施使用與產品功能的基本要件。目前僅有我國針對LED路燈訂立CNS-15233產品標準，陶瓷複金屬燈訂立CNS-9118，以及美國MUTCD 2009版中，針對LED標誌產品提出基本應用規範，其他新型耗能交通設施並無產品標準
- 新能耗能交通設施最大缺點在於產品單價過高，而產品功能較既有設施佳為其優點。

結論(1/3)

- 以現值法及還本期法，考量生命週期所有成本(包括投資成本、電力成本、維護成本、廢棄物處理成本)，進行新型耗能交通設施置換既有產品經濟分析，得出以下幾點結論：
 - 在10米以下道路，LED路燈置換水銀路燈在10年投資週期中，LED路燈總成本低於水銀路燈。
 - LED路燈置換高壓鈉燈，在10年投資週期中，LED路燈總成本低於水銀路燈。
 - LED路燈潛在高額維修成本，對於回收期限有負面影響。
 - 針對過度照明道路或場域(如8米道路設置高壓鈉燈)，利用LED路燈進行道路照明重新規劃與設置，可創造出顯著經濟效益。
 - 在達成道路照明規範要求的前提下，以生命週期成本考量，8米道路LED路燈置換水銀燈是短期可投入領域。8米道路LED路燈置換高壓鈉燈、12米道路LED路燈置換水銀燈、高速公路LED指示標誌是中期可以投入方向。

結論(2/3)

- 各國道路照明規範發展趨勢為：
 - 尋求更佳道路照明設計方式，以提高道路照明安全性與節能。
 - 重視眩光與光害抑制。
 - 人因工程逐漸受到各國的重視。
- 針對交通工程手冊提出數點修改建議：
 - 制訂道路照明輝度標準，以及道路照明輝度「動態量測方法」。
 - 增訂道路照明用電密度標準。
 - 修訂燈具光分佈形式規範，增訂全遮蔽型燈具型式。
 - 增訂「行人專用道照明水準」規範。
 - 訂定「LED指示標誌」技術規範。
 - 增訂交通安全防護設施產品之「閃光頻率」標準。
- 以人因工程角度分析新型耗能交通設施路安全，照明視覺與反應時間為重要因素。

結論(3/3)

- 在駕駛過程中反應時間與交通安全有關。反應時間與道路照明環境變數有以下數點關係：
 - 隨著背景輝度增大，反應時間變短，即反應速度變快。
 - 隨著輝度對比增大，反應時間也是變短。即反應速度變快
 - 隨著視標偏心角變大，不管是何種輝度對比，反應時間一般會變長，即發現目標的反應速度變慢。
 - 反應時間與光源色溫具有相關，當色溫為400K~5000K時應時間一般比較短。

建議

- 目前各國都已投入道路照明中間視覺研究，期望訂出明確且一致光譜視覺效率函數，但實際上還是存有明顯的差異，尚未有一致的標準，建議後續可持續觀測標準及規範制訂動向，以動態修訂我國道路相關標準與規範。
- 針對目前道路照明普遍使用之輝度範圍進行中間視覺特徵參數研究衡量，定義出光譜光視效曲線訂定道路照明品質測量方法。



附錄-各國道路路面之照明水準比較 - 照度

單位LUX

台灣-交通工程手冊						美國-IESNA				中國-城市道路照明設計標準		日本
道路功能分類與條件		商業區		住宅區		道路及區域分類		R1	R2/R3	R4	快速路	20
		R	C	R	C	高速公路A		6	9	8	主幹路	15
高速公路		15				高速公路B		4	6	5	次幹路	8
一般公路	幹道	30	20	15	10	快速道路	商業區	10	14	13	支路	5
	次要道路	23	15	12	7		混合區	8	12	10	未對照度進行規範	
	輔助性道路	15	10	7	5		住宅區	6	9	8		
	交流道	15	10	7	5	商業區	12	17	15			
台灣-市區道路及附屬工程設計規範						主要道路	混合區	9	13	11	CIE	
道路功能分類		商業區		住商混合區			住宅區	住宅區	6	9		8
快速道路		15(10)		10(7)		7(5)	次要道路	商業區	8	12	10	未對照度進行規範
主要道路		15(10)		10(7)		7(5)		混合區	6	9	8	
次要道路		10(7)		7(5)		6(4)		住宅區	4	6	6	
服務道路		6		-		4	商業區	6	9	8		
台灣-CNS10779 道路照明						區域道路	混合區	5	7	6		
同「市區道路及附屬工程設計規範」							住宅區	3	4	4		

R：柏油路面，C：混凝土路面

R1：混凝土(大量散射)

R2：混合砂礫(>60%)之瀝青路面(>10mm)；含10~15%光亮劑之瀝青路面(混合型)

R3：含黑填料之瀝青路面；經數月使用之瀝青路面(微量反射)

R4：光滑紋路之瀝青路面(大量反射)

附錄-各國道路路面之照明水準比較 - 照度均勻度

最小照度：平均照度

台灣-交通工程手冊		美國-IESNA		中國-城市道路照明設計標準		日本	CIE
高速公路	1:3	高速公路	1:3	快速路	1 : 2.5	未對照度進行規範	未對照度進行規範
一般公路	1: 4	快速道路	1:3	主幹路	1 : 2.857		
台灣-市區道路及附屬工程設計規範		主要道路	1:3	次幹路	1 : 2.857		
快速道路	1:3	次要道路	1:4	支路	1 : 3.33		
其他市區道路	1: 4	區域道路	1:6				
台灣-CNS10779 道路照明							
快速道路	1 : 2.5						
主要道路	1 : 2.5						
次要道路	1 : 2.5						
服務道路	1 : 2.5						

ITRI Copyright 2010

93

附錄-各國道路路面之照明水準 - 輝度

單位cd/m²

台灣-交通工程手冊				美國-IESNA			中國-城市道路照明設計標準		日本																
未針對輝度進行規範				道路及區域分類		輝度值	快速路	1.5	外部條件與道路分類		A	B	C												
台灣-市區道路及附屬工程設計規範				高速公路A		0.6	主幹路	1.0	高速公路等		1.0	1.0	0.7												
道路功能分類		商業區	住商混合區	住宅區	高速公路B		0.4	次幹路	0.5	-		0.7	0.5												
快速道路	1.0	0.7	0.5	快速道路	商業區	1.0	支路	0.3	一般國道等	主要幹線道路	1.0	0.7	0.5												
主要道路	1.0	0.7	0.5		混合區	0.8	0.7	0.5			-														
次要道路	0.7	0.5	0.4		住宅區	0.6		0.7		0.5	0.5														
服務道路	0.6	0.5	0.3	主要道路	商業區	1.2	幹道、輔助幹線道路			0.5	-	-													
台灣-CNS10779 道路照明					混合區	0.9	CIE		CIE在車行道路照明要求則針對不同道路型態訂定適合的照明等級， <table><tr><td>照明等級</td><td>平均輝度(乾線路面) Lav(cd/m²)</td></tr><tr><td>M1</td><td>2</td></tr><tr><td>M2</td><td>1.5</td></tr><tr><td>M3</td><td>1</td></tr><tr><td>M4</td><td>0.75</td></tr><tr><td>M5</td><td>0.5</td></tr><tr><td>M6</td><td>0.3</td></tr></table>			照明等級	平均輝度(乾線路面) Lav(cd/m²)	M1	2	M2	1.5	M3	1	M4	0.75	M5	0.5	M6	0.3
照明等級	平均輝度(乾線路面) Lav(cd/m²)																								
M1	2																								
M2	1.5																								
M3	1																								
M4	0.75																								
M5	0.5																								
M6	0.3																								
道路功能分類		商業區	住商混合區	住宅區	住宅區	0.6																			
快速道路	1.0	0.7	0.5	次要道路	商業區	0.8																			
主要道路	1.0	0.7	0.5		混合區	0.6																			
次要道路	0.7	0.5	0.4		住宅區	0.4																			
服務道路	0.6	0.5	0.3	區域道路	商業區	0.6																			
					混合區	0.5																			
					住宅區	0.3																			

ITRI Copyright 2010

94

附錄-各國道路路面之照明水準 - 輝度均勻度

最小輝度/平均輝度

台灣-交通工程手冊			美國-IESNA				中國-城市道路 照明設計標準		日本
未針對輝度進行規範			道路及區域分類		平均輝度 /最低輝 度	最小√平均(換 算)	快速路	0.4	輝度均勻度以綜合均 勻度0.4以上為原則。
台灣-市區道路及附屬工程設計規範			高速公路A		3.5	0.2857	主幹路	0.35	CIE
未針對輝度均勻度進行規範			高速公路B		3.5	0.2857	次幹路	0.35	濕路面M1-M6 0.15 乾路面M1-M2 0.4 M5-M6 0.35
台灣-CNS10779 道路照明			快速道路	商業區	3	0.33	支路	0.3	
道路功能分類	路面輝度總均 勻度	路面輝度縱向均 勻度		混合區	3	0.33			
快速道路	0.4	0.7		住宅區	3.5	0.2857			
主要道路	0.4	0.7	主要道路	商業區	3	0.33			
次要道路	0.4	0.5		混合區	3	0.33			
服務道路	0.4	0.5		住宅區	3.5	0.2857			
			次要道路	商業區	3	0.33			
				混合區	3.5	0.2857			
				住宅區	4	0.25			
			區域道路	商業區	6	0.167			
				混合區	6	≤0.167			
				住宅區	6	0.167			

附錄-名詞解釋-1/3

- 光通量 φ : luminous flux
 - 從輻射通量 φ_v 導出的量，該量是根據輻射對CIE標準光度觀測者的作用來評價的
- 光強度 I_v ;
 - 某一特定方向角內所放射光的光強通量總稱。
- 輝度 L_v ;
 - 由光源或反光面上之任一點朝觀測方向發射或反射之單位面積上之光度值。
- 照度 E ; E_v : illuminance
 - 投射到包含該點的面元上的光通量 $d\varphi_v$ 除以該面元面積 dA 。單位： $1lx=1m \cdot m^{-2}$
- 路面平均輝度：（ L_{av} ）
 - 按照國際照明委員會(簡稱CIE)有關規定在路面上預先設定的點上測得的或計算得到的各點亮度的平均值。 $L_{av} = \sum L_i / n$
- 路面亮度總均勻度（ U_o ）：
 - 路面上最小亮度與平均亮度的比值
- 路面亮度縱向均勻度（ U_L ）：
 - 同一條車道中心線上最小亮度與最大亮度的比值路面平均照度（ E_{av} ）：
 - 按照CIE有關規定在路面上預先設定的點上測得的或計算得到的各點照度的平均值
- 路面照度均勻度（ U_e ）：
 - 路面上最小照度與平均照度的比值

附錄-名詞解釋-2/3

- 失能眩光：
 - － 降低視覺物件可見度、但不一定產生不舒適感覺的有害光線
- 閾值增量 (TI)：
 - － 失能眩光的度量。表示為：存在眩光源時，為了達到同樣看清物體的目的，在物體及其背景之間的亮度對比所需要增加的百分比
- 不舒適眩光 (G)：
 - － 影響駕駛員視覺舒適度、但不一定產生降低視覺物件可見度的有害光線；可用眩光控制等級 (G) 來衡量
- 環境比 (SR)：
 - － 車行道外邊5m寬區域內的平均水準照度與相鄰的5m寬車行道上平均水準照度之比
- 路面平均輝度 (照度) 維持率：
 - － 即路面平均輝度 (照度) 維持值。它是在計入光源計畫更換時光通量的衰減以及燈具因污染造成效率下降等因素 (即光損耗係數) 後設計計算時所採用的平均輝度 (照度) 值
- 眩光：glare
 - － 由於視野中的輝度分佈或者輝度範圍的不適宜，或存在極端的對比，以致引起不舒適感覺或降低觀察目標細部能力的視覺現象
- 色溫 Tc：colour temperature
 - － 普朗克輻射體輻射的色品與給定色刺激的色品相同時普朗克輻射體的溫度，即為該色刺激的顏色溫度。單位：K

附錄-名詞解釋-3/3

- 演色性、一般演色指數 Ra：
 - colour rendering index
 - － 表示光源演色性高低的數值。它為在光源照射下的物體顏色與參照光源照射下物體顏色相符程度的度量。CIE規定絕對黑體輻射體為參照光源，將其演色指數定為100；CIE還規定了8個顏色樣品作為比照樣品，用此樣品測試獲得的演色指數均值稱為一般演色指數 (Ra)

附錄 5

期末報告初稿審查會議紀錄

「MOTC-IOT-99-SDB004 符合節能目標之道路設施安全標準評估與應用」期末報告審查會議紀錄

一、時間：99年11月2日(星期二)下午2時30分

二、地點：本所五樓會議室

三、主持人：陳嘉

紀錄：孫智

四、出席委員及單位：

單 位 及 委 員	出 席 簽 名	職 稱
楊宗璠委員	楊宗璠	
蘇金勝委員	(請假)	
張榮森委員	張榮森	教授
李忠璋委員	(請假)	
劉火炎委員	劉火炎	
臺北市政府公園路燈管理處	徐群	
臺北縣政府	(請假)	
臺中市政府建設處	張添嘉	碩士
行政院國家科學委員會	(請假)	
經濟部工業局	(請假)	
經濟部技術處	曾誠凱 黃曉聰 ^{TPD}	研究員
內政部營建署	張琬琰	
交通部路政司	(請假)	

單 位 及 委 員	出 席 簽 名	職 稱
交通部公路總局	(請假)	
交通部台灣區國道高速公路局	徐福慶 蔡維德 林俊貴	
台灣世曦工程顧問股份有限公司	吳益忠	
中鼎工程股份有限公司	郭廣啟	
本所綜合技術組	(請假)	
本所運輸安全組	孔垂昌	
	林若郵	
財團法人工業技術研究院	李正凱	

五、主席致詞：(略)

六、簡報：(略)

七、綜合討論：

【楊宗璟委員】

1. 請參考反應時間的參考書籍(已提供中文目錄予主辦單位)。
2. 請參考可看可讀有關的文獻(已提供予主辦單位)。
3. 與夜間安全有關的反應時間，例如因為可看、可讀或照明所造成危險情境的辨識或反應延後的問題，可加以考慮。
4. LED 的後期維護成本較高，是否影響回收年度，可進行敏感度分析。
5. 簡報中 P74，報告書中 P78、P110、P119~121、P142、P153~154、P219 起，P273。九月份的座談會台中市張先生提到眩光嚴重等，可以綜合整理，轉成安全標準之評估內容，並建置成交通安全的分析架構，應可提高本報告的應用效果。
6. 簡報第 88 頁的安全事前事後評估方法，仍須考慮交通安全逐年改善的程度，以及除了 LED 燈外在裝設地點的其他努力。(含宣導安全、取締違規、其他工程改善。)

【張榮森委員】

1. 附錄「LED 道路照明現場動態量測方法」中，建議列入雨天、霧天之量測。因多數車輛意外事故多在此種天氣產生，尤其是台灣常見之雨天霧天之條件。
2. 鈉燈黃光穿透性很強，LED 則不足，建議需考量進去。
3. 報告第 271 頁第四行第 13 字，”再”應改為”在”。

【劉火炎委員】

1. P19 頁，德國 A71 高速公路案例，採用 LED 隧道燈可減少 30%能源消耗之基準何在。
2. P31 頁，國工局頒布之公路與隧道照明設計準則未納入說明。
3. P36 頁，”中國 IESNA”，IESNA 為北美照明協會縮寫，請澄清。
4. P170 頁，”高工局”請修正為”高公局”。
5. P171 頁，LED 電源之維修應將其納入。
6. P175 頁，以 500 盞 100W LED 取代 600 盞 HPS 燈之基準何在。
7. 綜合建議：以 LED 燈取代傳統燈具，應有相關之基準佐證，如在一樣照度下或輝度下所分析出來之結果。
8. 道路照明之照度或輝度之量測方式，可以建議明列。
9. 簡報資料 P38 頁，高壓鈉氣燈 2400 小時是否有誤？
10. 簡報 P56 頁 …1:1 置換高壓鈉燈…，應不可能 1:1 置換，但也不至於 1:2。中興工程做過評估，如果是跟高壓鈉燈比較，兩者耗電量會差不多。

【臺北市政府公園路燈管理處】

1. LED 路燈替代水銀燈、高壓鈉光燈，公園處現階段仍為試辦評估階段。
2. 本處現已完成裝設 LED 路燈 333 盞。2010 年預計替換公園內 500 盞為 LED 路燈。
3. 原設置路燈燈桿桿距長度並不固定，部份桿距較長，更換 LED 路燈後易產生暗帶缺點。

【台中市政府建設處】

1. 報告中提到的台中市裝設案例，原為 7698 盞，現已增加至 9067 盞
2. 而忠明南路隧道燈案例，原定捐贈單位目前尚未進行捐贈，未有實際裝設情形。
3. 台中市 LED 路燈案例裝設時間約為 1.5 年，其 LED 路燈耐候性較差，且亦受雷擊導致損

壞，供各單位作參考。另隧道燈防塵係數應該要更高，維護係數應該要更好才敷使用。

【經濟部技術處】

1. 有關智慧型 LED 路燈部分，依本處在三重市試辦的經驗，可能使用電力線傳輸會比無線傳輸更為穩定。
2. 有關成本與效益的部分，應有更為細膩的描述，另在初期成本方面，也許可以透過大規模採購降低初始成本。
3. 目前有推動智慧交管部分之交通照明管制，是否有提供相關設備經驗供參考。

【內政部營建署】

1. 簡報 P10，標準並非專門針對 LED 訂定，僅為設置標準說明。故以此撰寫方式會易誤導讀者，建議修正。
2. CNS 標準部分，CNS15233 係針對燈具或道路照明訂定，請釐清。
3. 經濟效益部分
 - (1) 設置數量：報告 P165、P170，在維持照度之前提下，新型路燈盞數數量是否需要加倍？
 - (2) 投資成本：僅針對燈具本身，還是包含相關之全套設備。
 - (3) 廢棄物處理成本，LED 廢棄物處理無需成本，是否不須要費用或是未取得相關資料。另 CO₂ 減量是否應納入？

【交通部台灣區國道高速公路局工務組】

1. P148 表 4-38
 - (1) 以目前使用情況 LED 光源效率高於水銀燈但低於鈉氣燈，故傳統路燈不宜將不同類型光源放在一起。
 - (2) 維護性項目欄，每 0.5-1 年須更換一次，惟鈉氣燈平均壽命為 24000 小時(經濟壽命 12000 小時)，宜請再檢核。
2. 4.2.2 陶瓷複金屬燈與傳統路燈優缺點比較
 - (1) 一般稱傳統路燈為單點光源，陶瓷複金屬燈亦為單點光源，傳統路燈是否直接以高壓鈉氣表示較宜。
 - (2) 圖 4-67 與表 4-39 並無詳細比較節能項目，請補充。
3. 報告內文：P173 頁，目前隧道基本照明主流燈具為水銀燈。以及 P185 頁 LED 價格下降 40%，在替代水銀燈產品回收期限達 3.5 年顯示 LED 隧道燈是短期內最具發展之產品。建議：本局各隧道基本照明一直都採高壓鈉燈或日光燈，並無使用水銀燈；隧道燈除考量光源外，色偏、溫度、光穿透性亦是主要考量因素，請審慎評估。
4. P270 頁，交通工程手冊主要目的在於訂定高速公路、快速公路與一般公路等有交通工程設施規劃、設計之基本原則。人行道照明設計準則是否屬公路交通工程設施，需納入考量。
5. 簡報 41 頁，節能特性傳統路燈光源壽命(鈉燈約 24000hr，誤植為 2400hr)
6. 簡報 44 頁，中間視覺仍在研究階段，簡報稱陶瓷複金屬路燈相對高壓鈉氣燈節能，請說明。
7. 簡報 88 頁，建議於道路照明燈具採購規範，在高車速道路環境中(如高速公路)優先使用色溫高之燈具…，但在簡報第 77 頁，使用色溫高之燈具會因過高色溫低照度下，心理效益呈現陰冷，因此燈具色溫 4000-5000K 生心理效果均佳，是否宜統一，請檢核。
8. 簡報 84 頁「道路照明輝度動態量測」，請查是否應為「照度動態量測」。

【交通部台灣區國道高速公路局交管組】

1. P19 頁、P150 頁「快速道路」應為「快速公路」。「國道 10 號左營路段」應為「國道 10 號左營橋下平面路段」。「後龍路」應為「後龍路段」
2. P23 頁高速公路目前並未使用 LED 路面標記，本頁第 2 行內容建議修正。
3. P59 頁台灣 CNS4345 對反光材料有明確規範，未見引用。
4. P142 頁有關 LED 標誌可視距離與傳統標誌之差異，資料來源為何？
5. P151 頁輝度單位部分誤植為 cd.m²，倒數第 3 行應改為「LED 標誌」。
6. P152、P153 部分內容誤植為 LE 標誌。
7. P180 末列經濟效益比較，方案總成本數值較總投資額為低？
8. 期中意見 8(1)(2)回應於 4.3.3，惟內容有欠缺或不完整。

【台灣世曦工程顧問股份有限公司】

1. 請教簡報 55 頁與 57 頁，國道 2 號專案，光源維修次數為 2 次以及 12%。不同計算方式原因為何？
2. 在多霧路段，LED 路燈對於路面照明是否會比較弱？

中鼎工程股份有限公司

設計顧問單位可接受研究單位期末報告的法規修訂建議。

【交通部公路總局(書面意見)】

1. P15 頁倒數第四行，道路照明根據 CNS 10799 標準，應改為 CNS 10779。
2. P42 頁倒數第七行，縱向之鏈條，應改為鏈條。
3. 第四章經濟效益分析，建議評估 LED 路燈未模組化衍生後續維護問題納入。
4. P232 頁，倒數第五行，看版應改為看板。

【本所運安組】

1. 目錄：目錄太過簡略，僅列出到第 2 層，應至少列出至第 3 層，若有第 4 層之子分項亦應列出。
2. 建議在各章節的第 1 節插入”名詞解釋”專節，詳予說明各章中無法”望文生義”的專有名詞或單位。
3. P7：1.4.3 文中與表 1-1 所述”預定採用”的測試儀器，現已進入期末審查的完成階段，應改為”本案採用之測試儀器”，並應有所增刪。
4. P10：表 2-1 的道路照明的分類中，假隧道照明為何？
5. P14：第 2 段文中引用市場調查公司的調查結果，該調查結果是否應簡要呈現。
6. P15：
 - (1) 圖 2-1，LED 標誌牌與 LED 道路標誌，看不出有何區別，是否應更正為 LED 指示標誌、地名標誌、地名標誌與 LED 標誌，請再討論定案，後續章節中相關文字亦請一併更正。
 - (2) 第 1 段文字：自主供電型候車亭…較不普遍。應說明其較不普遍的原因及其依據，甚至目前不適合推廣的理由及立論依據等
 - (3) 第 1 段文字：LED 防護燈的定義須加以說明，另其不納入探討的理由說明不清，請予加強。
7. P20：地 2 段文字，”本計劃安裝之 LED 道路標誌牌…””，本計劃應未安裝 LED 指示標誌，請釐清並予更正。
8. P33：表 3-8，IESNA 的道路分類：高速公路、快速道路、主要道路、次要道路、其他道路等名詞定義，是否與我國所使用的道路分類相同，如有不同需加以說明。另 P35 表 3-11 的日本道路分類亦同，以免讀者產生混淆。

9. P35：表 3-10 照明等級似有勿植之處。另各種照明等級分別應用在何種道路分類上並未說明，應請補充。
10. P27~38：表列數值之單位未交代。
11. P38：各國照明水準規定介紹完後，應將各國的異同之處，及其原因做一小結。
12. P39：(2)並未對歐日等國的控制光分部內容做說明。
13. P53：最末段文字，CIE 的綜合考量，並未見於 P50 有關歐洲規範的規定說明中，請予補充。
14. P142~143：相關文字請依 6.(1)項意見更正。
15. P146：表 4-37，模擬道路條件的 2 列內容均相同，是否誤植，請檢視。
16. P147：
 - (1) 第 1 段文字，可否將文字說明的統計資料加以圖表化，以利閱讀。
 - (2) 2.LED 路燈問卷調查分析，問卷調查的基本資料，例如樣本數、回收率、受調查對象等，在問卷調查分析中應予說明的各項基本資料應予說明。另調查結果亦應與圖表化。
17. P148：有關陶瓷複金屬路燈資料僅取自 Philips 公司，資料來源太過單一，應多加蒐集其他資料，例如本所先前提提供的泓宇科技等。
18. P150~151：相關文字請依 6.(1)項意見更正。
19. P151：最末段文字，7~30cd.m²，是否誤植。
20. P152~153：(2)LED 道路標誌牌用路人問卷調查，請依第 15.(2)意見修正。另標誌牌文字亦請依意見 6.(1)修正。
21. P162：圖 4-73，在文字敘述中並未提及，該圖放在這裡有何用意。另分析模式不具一般科技論文的”模式”形式，即目標函數、限制式等，是否應加強文獻蒐集予以完善之。
22. P163：有關各經濟效益評估模型計算範例，針對 LED 路燈汰換水銀路燈、LED 路燈汰換高壓鈉路燈、LED 路燈汰換高壓鈉隧道燈等 3 種情境分析經濟效益分析成果，做成對此 3 種情境的經濟效益分析小結。太過簡化與草率，上述 3 種情境應至少再細分多種子情境加以分析，例如：相同照度水準且達規範要求下換燈不換桿予以更新、相同均勻度水準且達規範要求下換燈不換桿予以更新、相同照度水準且達規範要求下重新佈設更新、相同均勻度水準且達規範要求下重新佈設更新…等，以求完整，並使分析結果的小節具備基本的可靠度以為政策建議的參考。
23. P172：未有成本變化圖與敏感度分析。
24. P173：原有隧道已過亮的情形下，更換較少的 LED 隧道燈，此經濟效益分析的比較基準點不同，比較分析結果應無參考價值。故應依意見第 21 點建議改善。
25. P188：方程式中所出現的各項代號應予說明，且各代號應在前後文中有一致性，不要有大小寫或上下標的錯誤出現。
26. P190：表 5-1 列出數種光源的 S/P 比值，此表代表了什麼意義並未說明，且表格列式的目的亦不明確。
27. P192：普爾金耶現象所代表的意義與效果應予說明。
28. P193：公式上的錯誤同意見第 24 點，另表 5-3”無彩色「紙」有亮暗”應為誤植。
29. P194：
 - (1) 公式上的錯誤同意見第 24 點。
 - (2) 式(4)下的文字說明太過草率，無法得知其與式(5)的關係，請加以說明。
 - (3) 式(3)(4)(5)的推導是為說明何項概念，即其與前後段的關係不明顯。
 - (4) 最末段文字，說明太草率，讀者無法理解其理論與邏輯。
30. P195：公式上的錯誤同意見第 24 點。
31. P206：專有名詞應予統一，例如 Rod 與桿狀細胞。
32. P234：第 5 章整體而言太缺乏系統性與連慣性，像是多篇文獻的胡亂堆疊，相互間看不出關係，更缺乏整體的鋪陳，造成讀者不易理解。且看不出與本研究間的關連性，既未

承接其他章節的論述，亦未對各章節內容有提出證明與支援。最後也看不出本章所要表達的目的或結論。

33. P234：人因工程的論述並未提及第4次專家學者座談會中，與會學者所提，有關藍光對生物眼睛的傷害，以及LED係由藍光轉白光對人眼傷害的議題。
34. P238：第2段文字，有關照明節能概念為何IESNA迄今尚未納入其照明手冊內，請研究團隊了解其原因，以為後續規範建議之參考。
35. P248~249：表6-7之表頭遺漏文字。
36. P250：表6-8最後，資料來源：工研院IEK匯整，與前文出先之”本研究彙整”是否有差異，類似文字若無差異應予統一。
37. P256：最末段文字，Lav、U0、U1、fT1、Rs等參數應予說明。
38. P257：最末段文字，M值=6-Vws在CIE的表格規範M1~M6的使用方法上，應詳加說明，以免讀者無法明瞭其意。
39. P258：表6-17，表中選項的區分參數及其上下限為何，例如交通流量”很高”是指單位時間通過車輛數超過某一數值，還是有其他區分方式。
40. P262：文中X XXXX請予更正。
41. P266：3.訂定LED標誌牌規範，請依意見第6(1)點檢討更正。
42. P267：最末段文字，國內可參考IESNA於1987年出版之UDP規範文件…，1987年出版是否為最新版，請研究團隊再與確認。另本章中所提及可參考之文件，是否接與納入本報告書附錄內。
43. P273：第1段文字，對於道路照明來說…仍須努力的地方。此段文字內容所述應為本研究計畫內應完成項目，而非可做為後續研究之建議，請研究團隊補予完成。
44. P272~274：有關7.2建議，請研究團隊針對道路照明、標誌照明與人因工程等3議題，分別條列本研究已完成項目及其成果，與未來建議研究項目，以條列方式列示使結論與建議更為具體化。
45. 期中審查意見處理情形表：各委員與各單位意見，應清楚交代改進內容頁碼，以利檢視。
46. 期中審查意見處理情形表P14：本所運安組意見1，表2-5並未修正。
47. 期中審查意見處理情形表P14：本所運安組意見2，2.1.2節內容補充不夠完整，並未交代相關試辦或研究成果，或發展瓶頸之詳細分析。
48. 期中審查意見處理情形表P15：本所運安組意見9，期末報告中為何有”後續將…”字眼，且未見差異分析支說明與表格，另差異分析應就差異的原因，沿革做清楚交代。
49. 期中審查意見處理情形表P16：本所運安組意見11，請交代補充說明位置。
50. 期中審查意見處理情形表P16：本所運安組意見12，第七章結論未見補充。
51. 期中審查意見處理情形表P16：本所運安組意見16~18，請交代納入修定位置。
52. 期中審查意見處理情形表P17：本所運安組意見20~21，請交代納入修定位置。
53. 簡報P50~60：各評估案請統一條列其各項參數，例如路寬、燈桿高度、燈桿間距、照度、輝度、均勻度等。
54. 簡報P64：導入時程請再研議。

八、主席結論：

1. 各出席單位提供之寶貴意見，請研究團隊詳予檢討並納入修正，並做成審查意見答覆表，逐項列表回應。
2. 本次期末報告(初稿)審查結果：今日審查簡報內容尚稱完整，惟期末報告初稿內有甚多仍需修正之處，例如：
 - (1)各小節之小結內容應有研究團隊自己的看法。
 - (2)整本報告的前後文名詞應予統一。
 - (3)標示牌的名稱有其法規定位的專有名詞，應予釐清。

(4)經濟效益評估的內容中，提及本研究運用了 2 種評估方法，但詳細檢視後僅發現只有一種。

(5)文中引用的問卷資料來源應予述明。

(6)楊委員提及的安全標準之評估內容，與建置交通安全的分析架構，應請研究團隊詳予補充。

請合作研究團隊於本次「期末報告審查會議」結束後 2 周內（即 11 月 16 日以前），完成期末報告的修正，並提送期末報告二稿，經委員同意授權本所進行續審，審查通過後，本期末報告即為通過並完成程序。

九、散會時間：17 點 00 分

附錄 6

期末報告初稿審查意見答覆表

交通部運輸研究所合作研究計畫(具委託性質)

□期中 ☒ 期末報告審查意見處理情形表

編號：MOTC-IOT-98-SEB010

計畫名稱：「符合節能目標之道路設施安全標準評估與應用」

執行單位：財團法人工業技術研究院

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
主席	1. 各出席單位提供之寶貴意見，請研究團隊詳予檢討並納入修正，並做成審查意見答覆表，逐項列表回應。	謝謝所有委員指導，期末報告已修正內容
	<p>2. 本次期末報告(初稿)審查結果：今日審查簡報內容尚稱完整，惟期末報告初稿內有甚多仍需修正之處，例如：</p> <p>(1) 各小節之小結內容應有研究團隊自己的看法。</p> <p>(2) 整本報告的前後文名詞應予統一。</p> <p>(3) 標示牌的名稱有其法規定位的專有名詞，應予釐清。</p> <p>(4) 經濟效益評估的內容中，提及本研究運用了2種評估方法，但詳細檢視後僅發現只有一種。</p> <p>(5) 文中引用的問卷資料來源應予述明。</p> <p>(6) 楊委員提及的安全標準之評估內容，與建置交通安全的分析架構，應請研究團隊詳予補充。</p> <p>請合作研究團隊於本次「期末報告審查會議」結束後2周內(即11月16日以前)，完成期末報告的修正，並提送期末報告二稿，經委員同意授權本所進行續審，審查通過後，本期末報告即為通過並完成程序。</p>	<p>(1) 已補充小結於各小節內容中。</p> <p>(2) 已統一前後文名詞</p> <p>(3) 標示牌已改為“指示標誌”</p> <p>(4) 已補充說明於第219頁</p> <p>(5) 已補充說明於第193、203頁</p> <p>(6) 已補充安全性評估內容與交通安全分析架構於5.7節第299、301頁。</p> <p>研究團隊於11月16日將提供期末報告二稿送貴所續審。</p> <p>(1) 同意辦理。另因各章節及段落均有各自小結，建議應提示是何者的小節，例如P76”(4)小結”與”3. 小結”，易生混淆。餘類似情形請一併檢視改正。</p> <p>(2) 同意辦理。惟除名詞統一外，各圖表亦應統一，例如表格內有引用規範時應加註版本年代，圖表資料來源亦同。</p> <p>(3) 同意辦理</p> <p>(4) 同意辦理</p> <p>(5) 同意辦理</p> <p>(6) 同意辦理</p> <p>同意辦理</p>
楊宗璟委員	1. 請參考反應時間的參考書籍(已提供中文目錄予主辦單位)。	1. 已參考 Human Factor in Traffic Safety 請列示以參考修正的章節位置頁碼

參與審查人員及其所提之意見		合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
	2. 請參考可看可讀有關的文獻（已提供予主辦單位）。	2. 已參考楊老師提供文獻，並補充影響標誌辨識內容於第 5.7.3 節第 294 頁	同意辦理
	3. 與夜間安全有關的反應時間，例如因為可看、可讀或照明所造成危險情境的辨識或反應延後的問題，可加以考慮。	3. 反應時間相關內容已補充於第 5.5 節第 276 頁	同意辦理
	4. LED 的後期維護成本較高，是否影響回收年度，可進行敏感度分析。	4. 經濟效益分析已納入敏感度分析於 4.3 節	同意辦理
	5. 簡報中 P74，報告書中 P78、P110、P119~121、P142、P153~154、P219 起，P273。九月份的座談會台中市張先生提到眩光嚴重等，可以綜合整理，轉成安全標準之評估內容，並建置成交通安全的分析架構，應可提高本報告的應用效果。	5. 已補充安全標準評估內容與交通安全分析架構於 5.7 節。	同意辦理
	6. 簡報第 88 頁的安全事前事後評估方法，仍須考慮交通安全逐年改善的程度，以及除了 LED 燈外在裝設地點的其他努力。（含宣導安全、取締違規、其他工程改善。）	6. 謝謝評審委員意見提供，已修正期末審查簡報第 88 頁內容。	悉
	6. 簡報第 88 頁的安全事前事後評估方法，仍須考慮交通安全逐年改善的程度，以及除了 LED 燈外在裝設地點的其他努力。（含宣導安全、取締違規、其他工程改善。）	6. 謝謝評審委員意見提供，已修正期末審查簡報第 88 頁內容。	悉
劉火炎 委員	1. P19 頁，德國 A71 高速公路案例，採用 LED 隧道燈可減少 30% 能源消耗之基準何在。	1. 由於 LED 隧道燈使用瓦數相對既有燈源為低，且透過動態調整亮度，使得 LED 隧道燈可以減少 30% 以上的能量消耗。	同意辦理
	2. P31 頁，國工局頒布之公路與隧道照明設計準則未納入說明。	2. 已補充國工局頒布之公路與隧道照明設計準則法規說明於第 60 頁	同意辦理

參與審查人員及其所提之意見		合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
	3. P36 頁, "中國 IESNA", IESNA 為北美照明協會縮寫, 請澄清。	3. 此處為文字誤值, 已修正	同意辦理
	4. P170 頁, "高工局" 請修正為 "高公局"。	4. 此處為文字誤值, 已修正	P232、P233、P234 尚請全面檢視並更正
	5. P171 頁, LED 電源之維修應將其納入。	5. 已將 LED 電源維修納入, 修正於第 222、232 頁	處理情形請補充說明
	6. P175 頁, 以 500 盞 100W LED 取代 600 盞 HPS 燈之基準何在。	1. 由於台中市政府養護處評估原有燈具數量過亮, 故採 500 盞做替換。	處理情形答非所問, 請予更正
	7. 綜合建議: 以 LED 燈取代傳統燈具, 應有相關之基準佐證, 如在一樣照度下或輝度下所分析出來之結果。	2. 本研究補充燈具汰換模擬條件, 建立相同之比較基準, 修正內容於 4.3 節。	同意辦理
	8. 道路照明之照度或輝度之量測方式, 可以建議明列。	3. 謝謝委員的建議, 量測方式可參考附錄十三。	1. 「動態量測方法」是否包含照度與輝度的量測。 2. 其中的光度、亮度等名詞應與報告本文統一 3. 名詞解釋中 "亮度" 的說明不清, 且僅英文補述, 請予改善。
	9. 簡報資料 P38 頁, 高壓鈉氣燈 2400 小時是否有誤?	9. 此處為文字誤值, 已修正	同意辦理
張榮森 委員 (書面 意見)	10. 簡報 P56 頁 ...1:1 置換高壓鈉燈..., 應不可能 1:1 置換, 但也不至於 1:2。中興工程做過評估, 如果是跟高壓鈉燈比較, 兩者耗電量會差不多。	4. 本研究補充燈具汰換模擬條件, 建立相同之比較基準, 修正內容於 4.3 節。	同意辦理
	1. 附錄「LED 道路照明現場動態量測方法」中, 建議列入雨天、霧天之量測。因多數車輛意外事故多在此種天氣產生, 尤其是台灣常見之雨天霧天之條件。	1. 附錄十三為「LED 道路照明現場動態量測方法」草案, 此草案以一般條件下測試項目、測量方法及測量條件為主, 故未針對環境特殊氣候作特別限制與說明。	悉

參與審查人員及其所提之意見		合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
	2. 鈉燈黃光穿透性很強，LED 則不足，建議需考量進去。	2. 謝謝委員的建議。已做道路照明水準模擬比較於 4.3 節。	悉
	3. 報告第 271 頁第四行第 13 字，”再”應改為”在”。	3. 此處為文字誤值，已修正	悉
臺北市 政府公 園路燈 管理處	1. LED 路燈替代水銀燈、高壓鈉光燈，公園處現階段仍為試辦評估階段。	1. 謝謝委員指導。	悉
	2. 本處現已完成裝設 LED 路燈 333 盞。2010 年預計替換公園內 500 盞為 LED 路燈。	2. 謝謝委員指導。	悉
	3. 原設置路燈燈桿桿距長度並不固定，部份桿距較長，更換 LED 路燈後易產生暗帶缺點。	3. 謝謝委員指導。LED 路燈裝置後產生問題已納入研究報告中討論。	悉
台中市 政府建 設處	1. 報告中提到的台中市裝設案例，原為 7698 盞，現已增加至 9067 盞	1. 謝謝委員指導。考量數據資料整體性與一致性，保留原始數據 7698 盞。	悉
	2. 而忠明南路隧道燈案例，原定捐贈單位目前尚未進行捐贈，未有實際裝設情形。	2. 謝謝委員指導。	悉
	3. 台中市 LED 路燈案例裝設時間約為 1.5 年，其 LED 路燈耐候性較差，且亦受雷擊導致損壞，供各單位作參考。另隧道燈防塵係數應該要更高，維護係數應該要更好才敷使用。	2. 謝謝委員提供的建議。	悉
經濟部 技術處	1. 有關智慧型 LED 路燈部分，依本處在三重市試辦的經驗，可能使用電力線傳輸會比無線傳輸更為穩定。	1. 謝謝委員提供的建議。	悉

參與審查人員及其所提之意見		合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
	2. 有關成本與效益的部分，應有更為細膩的描述，另在初期成本方面，也許可以透過大規模採購降低初始成本。	2. 謝謝委員提供的建議。 4.3 節已做部份內文的修正。	悉
	3. 目前有推動智慧交管部分之交通照明管制，是否有提供相關設備經驗供參考。	3. 補充討論智慧型 LED 路燈內容於 4.2.5 節。	悉
內政部 營建署	1. 簡報 P10，標準並非專門針對 LED 訂定，僅為設置標準說明。故以此撰寫方式會易誤導讀者，建議修正。	1. 謝謝委員提供的建議。已納入修正。	悉
	2. CNS 標準部分，CNS15233 係針對燈具或道路照明訂定，請釐清。	2. CNS15233 為針對 LED 燈具訂定之標準。	悉
	3. 經濟效益部分 (1) 設置數量：報告 P165、P170，在維持照度之前提下，新型路燈盞數數量是否需要加倍？ (2) 投資成本：僅針對燈具本身，還是包含相關之全套設備。 (3) 廢棄物處理成本，LED 廢棄物處理無需成本，是否不須要費用或是未取得相關資料。另 CO ₂ 減量是否應納入？	(1) 新型路燈盞數數量是否需要加倍須考量整體設置環境條件，會依案例條件有所不同。 (2) 僅針對燈具本身。適用於僅汰換燈具之案例。故其他設備費用視為相等。 (3) 目前尚無 LED 廢棄物處理成本資料。已納入 CO ₂ 減量效益。	悉

參與審查人員及其所提之意見		合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
交通部 台灣區 國道高 速公路 局工務 組	1. P148 表 4-38 (1) 以目前使用情況 LED 光源效率高於水銀燈但低於鈉氣燈，故傳統路燈不宜將不同類型光源放在一起。 (2) 維護性項目欄，每 0.5-1 年須更換一次，惟鈉氣燈平均壽命為 24000 小時(經濟壽命 12000 小時)，宜請再檢核。	1. (1)已納入修定分為兩表格比較。 (2)已修正於表 4-38。	(1) 請依意見將鈉燈與水銀燈分開比較，另簡報之相關內容亦請一併修正 (2) 請進一步檢核更正
	2. 4.2.2 陶瓷複金屬燈與傳統路燈優缺點比較 (1) 一般稱傳統路燈為單點光源，陶瓷複金屬燈亦為單點光源，傳統路燈是否直接以高壓鈉氣表示較宜。 (2) 圖 4-67 與表 4-39 並無詳細比較節能項目，請補充。	2. (1)已納入修定 (2)已補充於表 4-39。	(1) 請進一步檢核修訂 (2) 請進一步檢核補充
	3. 報告內文：P173 頁，目前隧道基本照明主流燈具為水銀燈。以及 P185 頁 LED 價格下降 40%，在替代水銀燈產品回收期限達 3.5 年顯示 LED 隧道燈是短期內最具發展之產品。建議：本局各隧道基本照明一直都採高壓鈉燈或日光燈，並無使用水銀燈；隧道燈除考量光源外，色偏、溫度、光穿透性亦是主要考量因素，請審慎評估。	3. 謝謝委員的建議。除高工局外，仍有隧道採用水銀燈。汰換案例中仍有作評估比較。	悉
	4. P270 頁，交通工程手冊主要目的在於訂定高速公路、快速公路與一般公路等有交通工程設施規劃、設計之基本原則。人行道照明設計準則是否屬公路交通工程設施，需納入考量。	4. 謝謝委員的建議，將與委辦單位詢問過後決定是否須做調整。	在一般公路之道路範圍內，仍有設置人行道的需求，例如公路總局轄管之省道在進入人口較稠密地區時，即須設置人行道。因此建議仍保留相關內容。
	5. 簡報 41 頁，節能特性傳統路燈光源壽命(鈉燈約 24000hr，誤植為 2400hr)	5. 此為文字誤值，已修正。	同意辦理

參與審查人員及其所提之意見		合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
	6. 簡報 44 頁，中間視覺仍在研究階段，簡報稱陶瓷複金屬路燈相對高壓鈉氣燈節能，請說明。	6. 謝謝委員的建議。	悉
	7. 簡報 88 頁，建議於道路照明燈具採購規範，在高車速道路環境中(如高速公路)優先使用色溫高之燈具…，但在簡報第 77 頁，使用色溫高之燈具會因過高色溫低照度下，心理效益呈現陰冷，因此燈具色溫 4000-5000K 生心理效果均佳，是否宜統一，請檢核。	7. 謝謝委員的建議，將統一兩邊內容。	請列明修正頁碼
	8. 簡報 84 頁「道路照明輝度動態量測」，請查是否應為「照度動態量測」。	8. 此測量方法為輝度量測。	悉
交通部 台灣區 國道高 速公路 局交管 組	1. P19 頁、P150 頁「快速道路」應為「快速公路」、「國道 10 號左營路段」應為「國道 10 號左營橋下平面路段」、「後龍路」應為「後龍路段」	1. 已納入修訂。	同意辦理
	2. P23 頁高速公路目前並未使用 LED 路面標記，本頁第 2 行內容建議修正。	2. 已納入修訂。	同意辦理
	3. P59 頁台灣 CNS4345 對反光材料有明確規範，未見引用。	3. 已納入修訂。補充內容於 3.4.2 節	同意辦理
	4. P142 頁有關 LED 標誌可視距離與傳統標誌之差異，資料來源為何？	4. 已納入修訂。	請列明修正頁碼
	5. P151 頁輝度單位部分誤植為 cd.m2，倒數第 3 行應改為「LED 標誌」。	5. 此為文字誤值，已修正。	同意辦理
	6. P152、P153 部分內容誤植為 LE 標誌。	6. 此處為文字誤值，已修正	同意辦理
	7. P180 末列經濟效益比較，方案總成本數值較總投資額為低？	7. 此為文字誤值，已修正。	同意辦理
	8. 期中意見 8(1)(2)回應於 4.3.3，惟內容有欠缺或不完整。	8. 已納入修訂。	同意辦理

參與審查人員及其所提之意見		合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
台灣世 曦工程 顧問股 份有限 公司	1. 請教簡報 55 頁與 57 頁，國道 2 號專案，光源維修次數為 2 次以及 12%。不同計算方式原因為何？	1. 此為根據實際案例發生損壞次數做評估。	悉
	2. 在多霧路段，LED 路燈對於路面照明是否會比較弱？	2. 謝謝委員的建議，天候條件確實會影響 LED 路燈照明效果。	悉
中鼎工 程股份 有限公 司	1. 設計顧問單位可接受研究單位期末報告的法規修訂建議。	1. 謝謝委員的建議	悉
交通部 公路總 局(書 面意 見)	1. P15 頁倒數第四行，道路照明根據 CNS 10799 標準，應改為 CNS 10779。	1. 此為文字誤值，已修正。	同意辦理
	2. P42 頁倒數第七行，縱向之鏈條，應改為鏈條。	2. 此處為文字誤值，已修正	同意辦理
	3. 第四章經濟效益分析，建議評估 LED 路燈未模組化衍生後續維護問題納入。	3. 謝謝委員的建議	悉
	4. P232 頁，倒數第五行，看版應改為看板。	4. 此處為文字誤值，已修正	同意辦理
本所運 安組	1. 目錄：目錄太過簡略，僅列出到第 2 層，應至少列出至第 3 層，若有第 4 層之子分項亦應列出。	1. 已納入修訂。	同意辦理。 (1)另各項附錄亦應列示標題與頁碼。 (2)各小節中的子項目請依 1.、(1)、①等方式編碼，無須加粗放大字體，以免與小節標題混淆
	2. 建議在各章節的第 1 節插入”名詞解釋”專節，詳予說明各章中無法”望文生義”的專有名詞或單位。	2. 已納入修訂。	同意辦理。另各章名詞解釋應有固定格式分別列述，以達一致性之要求。
	3. P7：1.4.3 文中與表 1-1 所述”預定採用”的測試儀器，現已進入期末審查的完成階段，應改為”本案採用之測試儀器”，並應有所增刪。	3. 已納入修訂。並刪去部分儀器。	同意辦理。建議各儀器設備在本研究中之用途與功效應加以敘述。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
4. P10：表 2-1 的道路照明的分類中，假隧道照明為何？	4. 假隧道照明係應用在假隧道內的照明形式，尚需考量日光照入假隧道的晝光率分佈、光色、光方向與炫光等問題。	同意辦理
5. P14：第 2 段文中引用市場調查公司的調查結果，該調查結果是否應簡要呈現。	5. 已納入修訂。	同意辦理
6. P15： (1) 圖 2-1，LED 標誌牌與 LED 道路標誌，看不出有何區別，是否應更正為 LED 指示標誌、地名標誌、地名標誌與 LED 標誌，請再討論定案，後續章節中相關文字亦請一併更正。 (2) 第 1 段文字：自主供電型候車亭…較不普遍。應說明其較不普遍的原因及其依據，甚至目前不適合推廣的理由及立論依據等 (3) 第 1 段文字：LED 防護燈的定義須加以說明，另其不納入探討的理由說明不清，請予加強。	(1) 已納入修訂。更正為指示標誌。 (2) 已納入修訂。並補充原因。 (3) 已納入修訂。並補充原因。	(1) 同意辦理 (2) 同意辦理 (3) 同意辦理 (4) P15：下方附註 1，應說明資料來源或列出參考文獻編號，必要時請翻譯為中文
新增意見		P32：表 3-5、3-6，建議移至 3.3 節較妥
7. P20：第 2 段文字，”本計劃安裝之 LED 道路標誌牌…””，本計劃應未安裝 LED 指示標誌，請釐清並予更正。	7. 已納入修訂。	同意辦理
8. P33：表 3-8，IESNA 的道路分類：高速公路、快速道路、主要道路、次要道路、其他道路等名詞定義，是否與我國所使用的道路分類相同，如有不同需加以說明。另 P35 表 3-11 的日本道路分類亦同，以免讀者產生混淆。	8. 已補充說明於表 3-8 中。	同意辦理
9. P35：表 3-10 照明等級似有勿植之處。另各種照明等級分別應用在何種道路分類上並未說明，應請補充。	9. 已納入修訂。	請進一步檢核更正

參與審查人員及其所提之意見		合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
	10. P27~38：表列數值之單位未交代。	10. 已納入修訂。	同意辦理
	11. P38：各國照明水準規定介紹完後，應將各國的異同之處，及其原因做一小結。	11. 已納入修訂。補充各節小結。	同意辦理
	12. P39：(2)並未對歐日等國的控制光分部內容做說明。	12. 已納入修訂。補充歐日等國控制光分佈。	P45： (1)…意指相對於在無眩光之下，可辨認對象物及其背景路面之間的輝度差，若眩光存在時其輝度差之增加值，因此門檻增量值越小，對障礙物的辨認性就越高”…。該段文字難以令讀者理解門檻增量值與眩光的關係，請加以修正。 (2)表 3-15：資料來源是否為各國法規，還是日本法規
	13. P53：最末段文字，CIE 的綜合考量，並未見於 P50 有關歐洲規範的規定說明中，請予補充。	13. 已納入修訂。	同意辦理
	新增意見		P115：名詞解釋請加列 HPS 與 LED
	14. P142~143：相關文字請依 6.(1)項意見更正。	14. 已納入修訂。	(1)同意辦理 (2)P187 漏列標題"2. LED 指示標誌"
	15. P146：表 4-37，模擬道路條件的 2 列內容均相同，是否誤植，請檢視。	15. 此處為誤值，已修正。	同意辦理
	16. P147： (1)第 1 段文字，可否將文字說明的統計資料加以圖表化，以利閱讀。 (2)2. LED 路燈問卷調查分析，問卷調查的基本資料，例如樣本數、回收率、受調查對象等，在問卷調查分析中應予說明的各項基本資料應予說明。另調查結果亦應與圖表化。	(1)已將內容圖表化處理 (2)已將內容圖表化處理	(1)同意辦理 (2)同意辦理

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
17. P148：有關陶瓷複金屬路燈資料僅取自 Philips 公司，資料來源太過單一，應多加蒐集其他資料，例如本所先前提提供的泓宇科技等。	17. 已補充其他廠商提供之資料。	同意辦理
18. P150~151：相關文字請依 6.(1)項意見更正。	18. 已納入修訂。	同意辦理
19. P151：最末段文字，7~30cd.m2，是否誤植。	19. 此處為文字誤植，已修正	同意辦理
20. P152~153：(2)LED 道路標誌牌用路人問卷調查，請依第 15.(2)意見修正。另標誌牌文字亦請依意見 6.(1)修正。	20. 已納入修訂。	同意辦理
21. P162：圖 4-73，在文字敘述中並未提及，該圖放在這裡有何用意。另分析模式不具一般科技論文的”模式”形式，即目標函數、限制式等，是否應加強文獻蒐集予以完善之。	21. 已納入修訂，調整模型內容。	同意辦理
22. P163：有關各經濟效益評估模型計算範例，針對 LED 路燈汰換水銀路燈、LED 路燈汰換高壓鈉路燈、LED 路燈汰換高壓鈉隧道燈等 3 種情境分析經濟效益分析成果，做成對此 3 種情境的經濟效益分析小結。太過簡化與草率，上述 3 種情境應至少再細分多種子情境加以分析，例如：相同照度水準且達規範要求下換燈不換桿予以更新、相同均勻度水準且達規範要求下換燈不換桿予以更新、相同照度水準且達規範要求下重新佈設更新、相同均勻度水準且達規範要求下重新佈設更新…等，以求完整，並使分析結果的小節具備基本的可靠度以為政策建議的參考。	22. 已根據審查意見調整評估方式，修正內容於 4.3 節。	(1)路燈部份之情境分析已相當多元，惟建議表 4-51、表 4-53 與表 4-58 的 case4 的燈具單價應與 case3 相同，否則燈具單價降低又延長保固年限並不符合一般商業邏輯，且僅延長保固年限的情境分析可幫助政府部門瞭解在採購時的保固年限訂定對回收年期的關係 (2)表 4-66 隧道燈設置情形說明亦請盧列模擬平均照度、最大照度與最小照度
23. P172：未有成本變化圖與敏感度分析。	23. 已納入修訂。	同意辦理

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
24. P173：原有隧道已過亮的情形下，更換較少的LED隧道燈，此經濟效益分析的比較基準點不同，比較分析結果應無參考價值。故應依意見第21點建議改善。	24. 已納入修訂。	同意辦理
新增意見		(1)P254第2段文字，...除非LED路燈在光輸出與價格有大幅成本。請補足語意 P255第1段文字，...在10年投資周即內均無法，...。請補足語意 (2)表4-5，置換條件中出現兩次"8m道路，LED置換高壓鈉燈"
25. P188：方程式中所出現的各項代號應予說明，且各代號應在前後文中有一致性，不要有大小寫或上下標的錯誤出現。	25. 已納入修訂。補充名詞解釋。	5.4.1節所列方程式中參數敘述仍不完整，請繼續補充。
26. P190：表5-1列出數種光源的S/P比值，此表代表了什麼意義並未說明，且表格列式的目的亦不明確。	26. 補充名詞解釋於5.1節。	同意辦理
27. P192：普爾金耶現象所代表的意義與效果應予說明。	27. 已補充說明於5.3節。	同意辦理
28. P193：公式上的錯誤同意見第24點，另表5-3"無彩色「紙」有亮暗"應為誤植。	28. 此處為文字誤植，已修正	請進一步檢核修正
29. P194： (1)公式上的錯誤同意見第24點。 (2)式(4)下的文字說明太過草率，無法得知其與式(5)的關係，請加以說明。 (3)式(3)(4)(5)的推導是為說明何項概念，即其與前後段的關係不明顯。 (4)最末段文字，說明太草率，讀者無法理解其理論與邏輯。	(1)已補充說明於5.3節。 (2)(3)(4)已補充部分內容，並刪去與本研究較無相關之文字。	悉
30. P195：公式上的錯誤同意見第24點。	30. 已補充部分內容，並刪去與本研究較無相關之文字。	悉

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
31. P206：專有名詞應予統一，例如 Rod 與桿狀細胞。	31. 已納入修訂。	悉
32. P234：第 5 章整體而言太缺乏系統性與連慣性，像是多篇文獻的胡亂堆疊，相互間看不出關係，更缺乏整體的鋪陳，造成讀者不易理解。且看不出與本研究間的關連性，既未承接其他章節的論述，亦未對各章節內容有提出證明與支援。最後也看不出本章所要表達的目的或結論。	32. 已補充部分內容，重新擬定內文架構，並刪去與本研究較無相關之文字。	同意辦理。為內文部分仍有下列意見須改善： (1)P256 名詞解釋請加入明視覺、中間視覺、暗視覺、演色性、色溫、炫光等 (2)P263 最後一段最末行，…光視效率對於暗視覺在不同適應水準上，絕對比光視效率的值來的高。語意不明，請予更正 (3)P269 第 2 段文字，IESNA 於 2006 年提出…，全段文字語意不清，請予修正 (4)P279 第 1 段文字第 3 行，…這說明在真實的有”彩”隧道照明環境中…，請予更正
33. P234：人因工程的論述並未提及第 4 次專家學者座談會中，與會學者所提，有關藍光對生物眼睛的傷害，以及 LED 係由藍光轉白光對人眼傷害的議題。	33. 已補充內容於 5.3.1 節第 4 節。	P265： (1)”生體”一辭應改以其他較常用的詞彙替代 (2)第 2 段，…道路照明露光時間…，何謂露光時間 (3)最後一段文字，…有效放射照度俺…，請更正 (4)最後一段文字…藍光 LED 對藍色視網膜傷害…，何謂藍色視網膜
34. P238：第 2 段文字，有關照明節能概念為何 IESNA 迄今尚未納入其照明手冊內，請研究團隊了解其原因，以為後續規範建議之參考。	34. 已詢問美國 IESNA 專家並補充內文。	同意辦理。惟 P87 Mr. Keith 所提出的看法中(2)~(4)，可否更進一步說明
35. P248~249：表 6-7 之表頭遺漏文字。	35. 已納入修訂。	請進一步檢核修訂

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
36. P250:表 6-8 最後,資料來源:工研院 IEK 匯整,與前文出先之”本研究彙整”是否有差異,類似文字若無差異應予統一。	36. 已納入修訂。	同意辦理
37. P256:最末段文字,Lav、U0、U1、fT1、Rs 等參數應予說明。	37. 已納入修訂。補充名詞解釋於 6.1 節	P107 請進一步檢核修改
38. P257:最末段文字,M 值=6-Vws 在 CIE 的表格規範 M1~M6 的使用方法上,應詳加說明,以免讀者無法明瞭其意。	38. 已納入修訂。	P108 表 3-48、表 3-49 表格內容應稍加說明,以利閱讀
39. P258:表 6-17,表中選項的區分參數及其上下限為何,例如交通流量”很高”是指單位時間通過車輛數超過某一數值,還是有其他區分方式。	39. 已修正原本誤植之處。M1 到 M6 等級在 CIE115-2010 中並沒有明確的道路分類應用,內文提到應考量道路地理環境、交通條件以及時間點的不同來作應用。	悉
40. P262:文中 X XXXX 請予更正。	40. 此處為文字誤值,已修正	同意辦理
41. P266:3. 訂定 LED 標誌牌規範,請依意見第 6(1)點檢討更正。	41. 已納入修訂。	同意辦理
42. P267:最末段文字,國內可參考 IESNA 於 1987 年出版之 UDP 規範文件…,1987 年出版是否為最新版,請研究團隊再與確認。另本章中所提及可參考之文件,是否接與納入本報告書附錄內。	42. 已納入修訂。	是否確認 1987 年版為最新版
新增意見		在第五章進行大量有關照明視覺人因的各項文獻匯整後,對後序國內可繼續研究的部份,有無相關建議可以提出
43. P273:第 1 段文字,對於道路照明來說…仍須努力的地方。此段文字內容所述應為本研究計畫內應完成項目,而非可做為後續研究之建議,請研究團隊補予完成。	43. 已納入修訂。	同意辦理

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
44. P272~274：有關 7.2 建議，請研究團隊針對道路照明、標誌照明與人因工程等 3 議題，分別條列本研究已完成項目及其成果，與未來建議研究項目，以條列方式列示使結論與建議更為具體化。	44. 已納入修訂。第七章結論以列點方式呈現。	同意辦理。惟建議內容太過單薄，應就國內外照明規範與照明人因相關研究，整理國內後續可繼續發展之方向
45. 期中審查意見處理情形表：各委員與各單位意見，應清楚交代改進內容頁碼，以利檢視。	45. 已納入修訂。本次尚未將頁碼納入，後續將進行修正。	悉
46. 期中審查意見處理情形表 P14：本所運安組意見 1，表 2-5 並未修正。	46. 已納入修訂。	同意辦理
47. 期中審查意見處理情形表 P14：本所運安組意見 2，2.1.2 節內容補充不夠完整，並未交代相關試辦或研究成果，或發展瓶頸之詳細分析。	47. 已納入修訂。	同意辦理
48. 期中審查意見處理情形表 P15：本所運安組意見 9，期末報告中為何有”後續將…”字眼，且未見差異分析支說明與表格，另差異分析應就差異的原因，沿革做清楚交代。	48. 已納入修訂。	建議將附錄 4 各國法規對照表，加列”差異分析”欄，將各國規定之差異與差異原因整合在該欄中列述
49. 期中審查意見處理情形表 P16：本所運安組意見 11，請交代補充說明位置。	49. 已納入修訂於 4.2.2 節。	悉
50. 期中審查意見處理情形表 P16：本所運安組意見 12，第七章結論未見補充。	50. 已納入修訂。調整結論內容。	悉
51. 期中審查意見處理情形表 P16：本所運安組意見 16~18，請交代納入修定位置。	51. 已納入修訂，補充內容於 4.2 節。	悉
52. 期中審查意見處理情形表 P17：本所運安組意見 20~21，請交代納入修定位置。	52. 已納入修訂於 4.3 節。	悉
53. 簡報 P50~60：各評估案請統一條列其各項參數，例如路寬、燈桿高度、燈桿間距、照度、輝度、均勻度等。	53. 已納入修訂於研究報告 4.3 節。	同意辦理
54. 簡報 P64：導入時程請再研議。	54. 調整導入時程，已修改簡報內容。	同意辦理

附錄 7

期末報告二稿審查意見答覆表

交通部運輸研究所合作研究計畫(具委託性質)

☐期中 ☒期末報告二稿審查意見處理情形表

編號：MOTC-IOT-98-SEB010

計畫名稱：「符合節能目標之道路設施安全標準評估與應用」

執行單位：財團法人工業技術研究院

參與審查人員及其所提之意見		合作研究單位 (二稿)處理情形	本所計畫承辦單位審查意見	合作研究單位 (定稿)處理情形
主席	1. 各出席單位提供之寶貴意見，請研究團隊詳予檢討並納入修正，並做成審查意見答覆表，逐項列表回應。	謝謝所有委員指導，期末報告已修正內容	審查意見答覆表中各意見的修正位置頁碼，請於定稿時列明	謝謝承辦單位指導，期末報告定稿本中已列明修正位置與頁碼
	<p>2. 本次期末報告(初稿)審查結果：今日審查簡報內容尚稱完整，惟期末報告初稿內有甚多仍需修正之處，例如：</p> <p>(1) 各小節之小結內容應有研究團隊自己的看法。</p> <p>(2) 整本報告的前後文名詞應予統一。</p> <p>(3) 標示牌的名稱有其法規定位的專有名詞，應予釐清。</p> <p>(4) 經濟效益評估的內容中，提及本研究運用了2種評估方法，但詳細檢視後僅發現只有一種。</p> <p>(5) 文中引用的問卷資料來源應予註明。</p> <p>(6) 楊委員提及的安全標準之評估內容，與建置交通安全的分析架構，應請研究團隊詳予補充。</p> <p>請合作研究團隊於本次「期末報告審查會議」結束後2周內(即11月16日以前)，完成期末報告的修正，並提送期末報告二稿，經委員同意授權本所進行續審，審查通過後，本期末報告即為通過並完成程序。</p>	<p>(1) 已補充小結於各小節內容中。</p> <p>(2) 已統一前後文名詞</p> <p>(3) 標示牌已改為“指示標誌”</p> <p>(4) 已補充說明於第219頁</p> <p>(5) 已補充說明於第193、203頁</p> <p>(6) 已補充安全性評估內容與交通安全分析架構於5.7節第299、301頁。</p> <p>研究團隊於11月16日將提供期末報告二稿送貴所續審。</p>	<p>(1) 同意辦理。另因各章節及段落均有各自小結，建議應提示是何者的小節，例如 P76”(4) 小結 ”與” 3. 小結 ”，易生混淆。餘類似情形請一併檢視改正。</p> <p>(2) 同意辦理。惟除名詞統一外，各圖表亦應統一，例如表格內有引用規範時應加註版本年代，圖表資料來源亦同。</p> <p>(3) 同意辦理</p> <p>(4) 同意辦理</p> <p>(5) 同意辦理</p> <p>(6) 同意辦理</p>	<p>(1) 已於各小節中補充說明各小結撰寫之彙整來源內容。</p> <p>(2) 將名詞進行統一，並補充表格中引用規範之版本年代。</p>

參與審查人員及其所提之意見		合作研究單位 (二稿)處理情形	本所計畫承辦單位審查意見	合作研究單位 (定稿)處理情形
楊宗 環委 員	1. 請參考反應時間的參考書籍(已提供中文目錄予主辦單位)。	1. 已參考 Human Factor in Traffic Safety	請列示以參考修正的章節位置頁碼	補充”反應時間”內容於 5.5.1 節 第 278 頁。
劉火 炎委 員	1. P170 頁,”高工局”請修正為”高公局”。	4. 此處為文字誤值,已修正	P232、P233、P234 尚請全面檢視並更正	已全面檢視,並修改”高工局”為”高公局”於第 234、235、256 頁。
	2. P171 頁,LED 電源之維修應將其納入。	5. 已將 LED 電源維修納入,修正於第 222、232 頁	處理情形請補充說明	已將 LED 電源維修納入於表 4-56,LED 電源維修十年頻率為 3.5 次。修正於第 233 頁。
	3. P175 頁,以 500 盞 100W LED 取代 600 盞 HPS 燈之基準何在。	1. 由於台中市政府養護處評估原有燈具數量過亮,故採 500 盞做替換。	處理情形答非所問,請予更正	補充說明於第 240 頁,並做照度模擬於表 4-66,第 247 頁。
	4. 道路照明之照度或輝度之量測方式,可以建議明列。	2. 謝謝委員的建議,量測方式可參考附錄十三。	1. 「動態量測方法」是否包含照度與輝度的量測。 2. 其中的光度、亮度等名詞應與報告本文統一 3. 名詞解釋中”亮度”的說明不清,且僅英文補述,請予改善。	1. 「動態量測方法」包含照度與輝度的量測。 2. 已將”光度”改為”光強度”,”亮度”改為”輝度”,調整為與報告內文相同。 3. ”亮度”已改為”輝度”,並重新修正名詞解釋。 以上修正於附錄十三。
交通 部台 灣區 國道 高速 公路 局工 務組	1. P148 表 4-38 (1) 以目前使用情況 LED 光源效率高於水銀燈但低於鈉氣燈,故傳統路燈不宜將不同類型光源放在一起。 (2) 維護性項目欄,每 0.5-1 年須更換一次,惟鈉氣燈平均壽命為 24000 小時(經濟壽命 12000 小時),宜請再檢核。	1. (1)已納入修定分為兩表格比較。 (2)已修正於表 4-38。	(1) 請依意見將鈉燈與水銀燈分開比較,另簡報之相關內容亦請一併修正 (2) 請進一步檢核更正	(1) 已納入修定分為兩表格比較。修正於第 198 頁。簡報內容修正於第 38,39 頁。 (2) 修正於第 198 頁,將鈉燈壽命 24000 小時補充於表 4-38。
	1. 4.2.2 陶瓷複金屬燈與傳統路燈優缺點比較 (1) 一般稱傳統路燈為單點光源,陶瓷複金屬燈亦為單點光源,傳統路燈是否直接以高壓鈉氣表示較宜。 (2) 圖 4-67 與表 4-39 並無詳細比較節能項目,請補充。	2. (1)已納入修定 (2)已補充於表 4-39。	(1)請進一步檢核修訂 (2)請進一步檢核補充	(1)改以高壓鈉燈表示,修正於表 4-39,第 201 頁。 (2) 已補充於表 4-39,第 201 頁,節能項目高壓鈉燈耗能 250W,如採用 LED 路燈可節省 56%。

參與審查人員及其所提之意見		合作研究單位 (二稿)處理情形	本所計畫承辦單位審查意見	合作研究單位 (定稿)處理情形
交通部台灣區國道高速公路局工務組	2. P270 頁,交通工程手冊主要目的在於訂定高速公路、快速公路與一般公路等有交通工程設施規劃、設計之基本原則。人行道照明設計準則是否屬公路交通工程設施,需納入考量。	4. 謝謝委員的建議,將與委辦單位詢問過後決定是否須做調整。	在一般公路之道路範圍內,仍有設置人行道的需求,例如公路總局轄管之省道在進入人口較稠密地區時,即須設置人行道。因此建議仍保留相關內容。	謝謝承辦單位的建議,本研究將保留人行道相關內容。
	3. 簡報 88 頁,建議於道路照明燈具採購規範,在高車速道路環境中(如高速公路)優先使用色溫高之燈具...,但在簡報第 77 頁,使用色溫高之燈具會因過高色溫低照度下,心理效益呈現陰冷,因此燈具色溫 4000-5000K 生心理效果均佳,是否宜統一,請檢核。	7. 謝謝委員的建議,將統一兩邊內容。	請列明修正頁碼	已修正原始簡報內容第 88 頁,於新版本之第 85 頁;原始簡報第 77 頁內容仍保留,修正於新版本第 75 頁。
交通部台灣區國道高速公路局交管組	1. P142 頁有關 LED 標誌可視距離與傳統標誌之差異,資料來源為何?	4. 已納入修訂。	請列明修正頁碼	修正 LED 標誌可視距離與傳統標誌之差異內容於第 22 頁,資料來源為高公局智慧型 LED 指示標誌試辦成效報告。
本所運安組	1. 目錄:目錄太過簡略,僅列出到第 2 層,應至少列出至第 3 層,若有第 4 層之子分項亦應列出。	1. 已納入修訂。	同意辦理。 (1)另各項附錄亦應列示標題與頁碼。 (2)各小節中的子項目請依 1.、(1)、①等方式編碼,無須加粗放大字體,以免與小節標題混淆	(1)附錄已列示標題與頁碼於研究報告目錄中。 (2)各小節中的子項目已依 1.、(1)、①等方式編碼,無加粗,字體同內文大小。
	2. 建議在各章節的第 1 節插入”名詞解釋”專節,詳予說明各章中無法”望文生義”的專有名詞或單位。	2. 已納入修訂。	同意辦理。另各章名詞解釋應有固定格式分別列述,以達一致性之要求。	已將各章名詞解釋統一格式列述,修正於 3.1、4.1、5.1 節中。

參與審查人員及其所提之意見		合作研究單位 (二稿)處理情形	本所計畫承辦單位審查意見	合作研究單位 (定稿)處理情形
3.	P7: 1.4.3 文中與表 1-1 所述”預定採用”的測試儀器，現已進入期末審查的完成階段，應改為”本案採用之測試儀器”，並應有所增刪。	3. 已納入修訂。並刪去部分儀器。	同意辦理。建議各儀器設備在本研究中之用途與功效應加以敘述。	補充各儀器設備於本研究之用途與功效於表 1-1，修正於第 7、8 頁。
4.	P15: (1) 圖 2-1，LED 標誌牌與 LED 道路標誌，看不出有何區別，是否應更正為 LED 指示標誌、地名標誌、地名標誌與 LED 標誌，請再討論定案，後續章節中相關文字亦請一併更正。 (2) 第 1 段文字:自主供電型候車亭…較不普遍。應說明其較不普遍的原因及其依據，甚至目前不適合推廣的理由及立論依據等 (3) 第 1 段文字:LED 防護燈的定義須加以說明，另其不納入探討的理由說明不清，請予加強。	(1) 已納入修訂。更正為指示標誌。 (2) 已納入修訂。並補充原因。 (3) 已納入修訂。並補充原因。	(1) 同意辦理 (2) 同意辦理 (3) 同意辦理 (4) P15: 下方附註 1，應說明資料來源或列出參考文獻編號，必要時請翻譯為中文	(4) 補充資料來源於附註中，並將原文翻譯為中文，修正於第 16 頁。
新增意見			P32: 表 3-5、3-6，建議移至 3.3 節較妥	由於表 3-5、3-6 僅列示各國規範與標準之名稱，建議仍列於 3.2 節最後做一整理，並補充說明於第 31 頁。
7.	P35: 表 3-10 照明等級似有勿植之處。另各種照明等級分別應用在何種道路分類上並未說明，應請補充。	9. 已納入修訂。	請進一步檢核更正	已修正原表內容中誤植之處，並補充 CIE 115-1995 各種照明等級適用分類，以及補充可用來說明 CIE 115-2010 照明等級之文件內容，補充修正於第 109 頁。

參與審查人員及其所提之意見		合作研究單位 (二稿)處理情形	本所計畫承辦單位審查意見	合作研究單位 (定稿)處理情形
8.	P39：(2)並未對歐日等國的控制光分部內容做說明。	12. 已納入修訂。補充歐日等國控制光分佈。	P45： (1)…意指相對於在無眩光之下，可辨認對象物及其背景路面之間的輝度差，若眩光存在時其輝度差之增加值，因此門檻增量值越小，對障礙物的辨認性就越高”…。該段文字難以令讀者理解門檻增量值與眩光的關係，請加以修正。 (2)表 3-15：資料來源是否為各國法規，還是日本法規	(1)將該段改寫，補充修正於第 45 頁。 (2)表 3-15 資料來源為日本道路照明設施設置規範與解說，已修正於第 45 頁。
新增意見			P115：名詞解釋請加列 HPS 與 LED	已加入名詞解釋於 4.1 節，第 116 頁。
9.	P142-143：相關文字請依 6.(1)項意見更正。	14. 已納入修訂。	(1)同意辦理 (2)P187 漏列標題"2. LED 指示標誌"	(2)補充標題"2. LED 指示標誌"於第 187 頁。
10.	P163：有關各經濟效益評估模型計算範例，針對 LED 路燈汰換水銀路燈、LED 路燈汰換高壓鈉路燈、LED 路燈汰換高壓鈉隧道燈等 3 種情境分析經濟效益分析成果，做成對此 3 種情境的經濟效益分析小結。太過簡化與草率，上述 3 種情境應至少再細分多種子情境加以分析，例如：相同照度水準且達規範要求下換燈不換桿予以更新、相同均勻度水準且達規範要求下換燈不換桿予以更新、相同照度水準且達規範要求下重新佈設更新、相同均勻度水準且達規範要求下重新佈設更新…等，以求完整，並使分析結果的小節具備基本的可靠度以為政策建議的參考。	22. 已根據審查意見調整評估方式，修正內容於 4.3 節。	(1)路燈部份之情境分析已相當多元，惟建議表 4-51、表 4-53 與表 4-58 的 case4 的燈具單價應與 case3 相同，否則燈具單價降低又延長保固年限並不符合一般商業邏輯，且僅延長保固年限的情境分析可幫助政府部門瞭解在採購時的保固年限訂定對回收年期的關係 (2)表 4-66 隧道燈設置情形說明亦請虛列模擬平均照度、最大照度與最小照度	(1) 將表 4-51、表 4-53 與表 4-58 的 case4 的燈具單價改為與 case3 相同，並增列 case5。 (2)表 4-66 新增模擬平均照度、最大照度與最小照度以及燈具配光情形，修正內容於第 247 頁。

參與審查人員及其所提之意見		合作研究單位 (二稿)處理情形	本所計畫承辦單位審查意見	合作研究單位 (定稿)處理情形
	新增意見		(1)P254 第 2 段文字，...除非 LED 路燈在光輸出與價格有大幅成本。請補足語意 P255 第 1 段文字，...在 10 年投資周即內均無法，...。請補足語意 (2)表 4-75，置換條件中出現兩次"8m 道路，LED 置換高壓鈉燈"	(1)已修正文字於第 256 頁。將文句改為：「除非 LED 路燈在光輸出表現大幅成長以及價格有大幅降低情形」；以及「在 10 年投資週期內均無法回收」 (2) 表 4-75，置換條件中出現兩次"8m 道路"，已修正為"12m"。修正於第 257 頁。
11.	P188：方程式中所出現的各項代號應予說明，且各代號應在前後文中有一致性，不要有大小寫或上下標的錯誤出現。	25. 已納入修訂。補充名詞解釋。	5.4.1 節所列方程式中參數敘述仍不完整，請繼續補充。	補充 5.4.1 節內容，修正說明於第 272 頁。
12.	P193：公式上的錯誤同意見第 24 點，另表 5-3"無彩色「紙」有亮暗"應為誤植。	28. 此處為文字誤植，已修正	請進一步檢核修正	已修正為"無彩色只有亮暗"於第 265 頁。
13.	P234：第 5 章整體而言太缺乏系統性與連貫性，像是多篇文獻的胡亂堆疊，相互間看不出關係，更缺乏整體的鋪陳，造成讀者不易理解。且看不出與本研究間的關連性，既未承接其他章節的論述，亦未對各章節內容有提出證明與支援。最後也看不出本章所要表達的目的或結論。	32. 已補充部分內容，重新擬定內文架構，並刪去與本研究較無相關之文字。	同意辦理。為內文部分仍有下列意見須改善： (1)P256 名詞解釋請加入明視覺、中間視覺、暗視覺、演色性、色溫、炫光等 (2)P263 最後一段最末行，...光視效率對於暗視覺在不同適應水準上，絕對比光視效率的值來的高。語意不明，請予更正 (3)P269 第 2 段文字，IESNA 於 2006 年提出...，全段文字語意不清，請予修正 (4)P279 第 1 段文字第 3 行，...這說明在真實的有"彩"隧道照明環境中...，請予更正	(1)已補充 5.1 節名詞解釋於第 258 頁。 (2)修改文字於第 265 頁。 (3)已修正整段內容，於第 271 頁。 (4)已修正該文句，於第 281 頁。

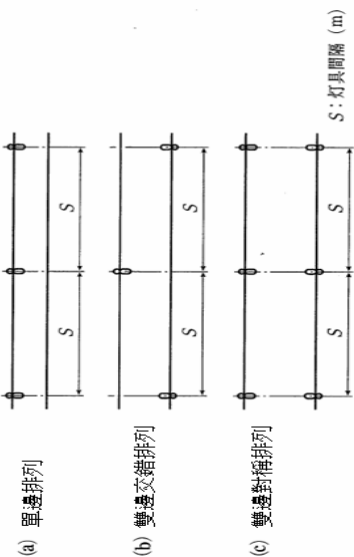
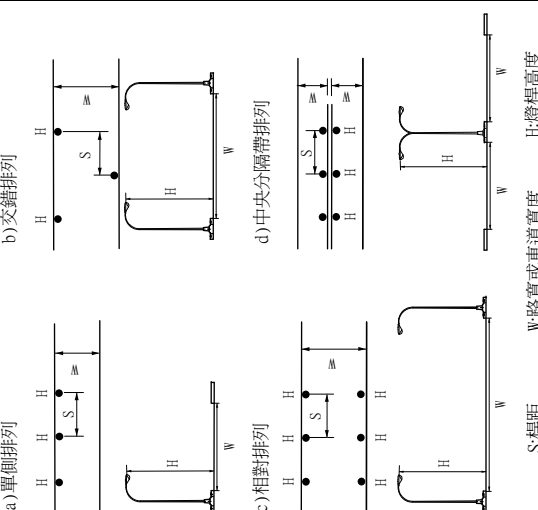
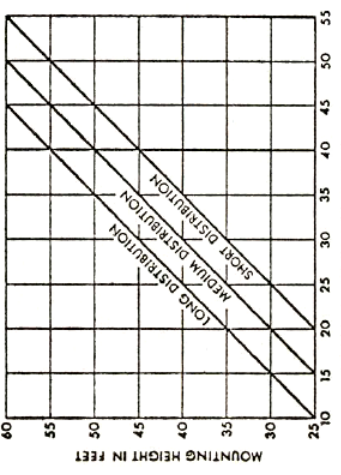
參與審查人員及其所提之意見		合作研究單位 (二稿)處理情形	本所計畫承辦單位審查意見	合作研究單位 (定稿)處理情形
14.	P234：人因工程的論述並未提及第4次專家學者座談會中，與會學者所提，有關藍光對生物眼睛的傷害，以及LED係由藍光轉白光對人眼傷害的議題。	33. 已補充內容於5.3.1節第4節。	P265： (1) ”生體”一辭應改以其他較常用的詞彙替代 (2) 第2段，…道路照明露光時間…，何謂露光時間 (3) 最後一段文字，…有效放射照度俺…，請更正 (4) 最後一段文字…藍光LED對藍色視網膜傷害…，何謂藍色視網膜	(1) 修正為生物體 (2) 修正為暴露於道路照明光線下的時間 (3) 已刪去錯字”俺” (4) 將其修正為”視網膜中感應藍光的部份” (1)~(4)項修正於第267頁。
15.	P238：第2段文字，有關照明節能概念為何IESNA迄今尚未納入其照明手冊內，請研究團隊了解其原因，以為後續規範建議之參考。	34. 已詢問美國IESNA專家並補充內文。	同意辦理。惟P87 Mr.Keith所提出的看法中(2)~(4)，可否更進一步說明	將(2)~(4)改寫，修正於第87頁。
16.	P248-249：表6-7之表頭遺漏文字。	35. 已納入修訂。	請進一步檢核修訂	修正表3-41於第98、99頁。
17.	P256：最末段文字，Lav、U0、U1、fT1、Rs等參數應予說明。	37. 已納入修訂。補充名詞解釋於6.1節	P107請進一步檢核修改	補充說明於第107頁。
18.	P257：最末段文字，M值=6-Vws在CIE的表格規範M1~M6的使用方法上，應詳加說明，以免讀者無法明瞭其意。	38. 已納入修訂。	P108表3-48、表3-49表格內容應稍加說明，以利閱讀	補充說明於第108、109頁。
19.	P267：最末段文字，國內可參考IESNA於1987年出版之UDP規範文件…，1987年出版是否為最新版，請研究團隊再與確認。另本章中所提及可參考之文件，是否接與納入本報告書附錄內。	42. 已納入修訂。	是否確認1987年版為最新版	已確認1987年版為最新版
新增意見			在第五章進行大量有關照明視覺人因的各項文獻匯整後，對後序國內可繼續研究的部份，有無相關建議可以提出	補充於建議第2點，修正於第313頁。
20.	P272-274：有關7.2建議，請研究團隊針對道路照明、標誌照明與人因工程等3議題，分別條列本研究已完成項目及其成果，與未來建議研究項目，以條列方式列示使結論與建議更為具體化。	44. 已納入修訂。第七章結論以列點方式呈現。	同意辦理。惟建議內容太過單薄，應就國內外照明規範與照明明人因相關研究，整理國內後續可繼續發展之方向	補充建議部分內容，修正於第313頁。

參與審查人員及其所提之意見		合作研究單位 (二稿)處理情形	本所計畫承辦單位審查意見	合作研究單位 (定稿)處理情形
	21. 期中審查意見處理情形表 P15：本所運安組意見 9，期末報告中為何有”後續將…”字眼，且未見差異分析支說明與表格，另差異分析應就差異的原因，沿革做清楚交代。	48. 已納入修訂。	建議將附錄 4 各國法規對照表，加列”差異分析”欄，將各國規定之差異與差異原因整合在該欄中列述	加列差異分析欄，補充於附錄八各國法規對照表。

附錄 8

各國法規對照表

國家	台灣	美國	歐洲	日本	中國																																																																																																																																																																																									
法規內容	<ul style="list-style-type: none">交通工程手冊(2004)第七章道路照明	<ul style="list-style-type: none">北美照明協會照明手冊第九版 (IESNA Lighting Handbook---9th Edition)	<ul style="list-style-type: none">CIE 66-1984 Road Surfaces and LightingCIE 79-1988: A Guide for the Design of Road Traffic LightsCIE 115-2010 Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic	<ul style="list-style-type: none">道路照明設施設置規範與解說(2007)	<ul style="list-style-type: none">城市道路照明設計標準-CJJ 45-2006城市道路照明設計標準-CJJ37- 90GB 7000.5-2005 道路和街路照明燈具性能要求																																																																																																																																																																																									
照明水準	<table><tr><th rowspan="2">道路功能分類</th><th colspan="3">條 件</th><th rowspan="2">備 註</th></tr><tr><th>R</th><th>C</th><th>R</th></tr><tr><td>高速公路</td><td colspan="3">15</td><td></td></tr><tr><td rowspan="4">一般公路</td><td>幹 道</td><td>30</td><td>20</td><td>15</td></tr><tr><td>次要道路</td><td>23</td><td>15</td><td>12</td></tr><tr><td>輔助性道路</td><td>15</td><td>10</td><td>7</td></tr><tr><td>交流道</td><td>15</td><td>10</td><td>7</td></tr></table>	道路功能分類	條 件			備 註	R	C	R	高速公路	15				一般公路	幹 道	30	20	15	次要道路	23	15	12	輔助性道路	15	10	7	交流道	15	10	7	<table><tr><th>道路種類或分類</th><th>平均照度/最小照度</th><th>照度標準</th><th>備 註</th></tr><tr><td>高速公路 A</td><td>0.6</td><td>≤3.5</td><td>≤6</td></tr><tr><td>高速公路 B</td><td>0.4</td><td>≤3.5</td><td>≤6</td></tr><tr><td>快速道路</td><td>1.0</td><td>≤3</td><td>≤5</td></tr><tr><td>混合區</td><td>0.8</td><td>≤3</td><td>≤5</td></tr><tr><td>住宅區</td><td>0.6</td><td>≤3.5</td><td>≤6</td></tr><tr><td>商業區</td><td>1.2</td><td>≤3</td><td>≤5</td></tr><tr><td>混合區</td><td>0.9</td><td>≤3</td><td>≤5</td></tr><tr><td>住宅區</td><td>0.6</td><td>≤3.5</td><td>≤6</td></tr><tr><td>商業區</td><td>0.8</td><td>≤3</td><td>≤5</td></tr><tr><td>混合區</td><td>0.6</td><td>≤3.5</td><td>≤6</td></tr><tr><td>住宅區</td><td>0.4</td><td>≤4</td><td>≤8</td></tr><tr><td>商業區</td><td>0.6</td><td>≤6</td><td>≤10</td></tr><tr><td>混合區</td><td>0.5</td><td>≤6</td><td>≤10</td></tr><tr><td>住宅區</td><td>0.3</td><td>≤6</td><td>≤10</td></tr></table> <p>註：高速公路 A：指四車道及五車道之道路，通常位於市中心附近，且附設雙側控制紅綠燈為最高照度之標準。</p> <p>高速公路 B：其他需要照明的快速道路。</p>	道路種類或分類	平均照度/最小照度	照度標準	備 註	高速公路 A	0.6	≤3.5	≤6	高速公路 B	0.4	≤3.5	≤6	快速道路	1.0	≤3	≤5	混合區	0.8	≤3	≤5	住宅區	0.6	≤3.5	≤6	商業區	1.2	≤3	≤5	混合區	0.9	≤3	≤5	住宅區	0.6	≤3.5	≤6	商業區	0.8	≤3	≤5	混合區	0.6	≤3.5	≤6	住宅區	0.4	≤4	≤8	商業區	0.6	≤6	≤10	混合區	0.5	≤6	≤10	住宅區	0.3	≤6	≤10	<table><tr><th colspan="2">外部條件</th><th colspan="2">外部條件 A：有會影響道路交通之連續性的道路沿線狀況</th><th colspan="2">外部條件 B：有會影響道路交通之斷續性的道路沿線狀況</th><th colspan="2">外部條件 C：幾乎沒有會影響道路交通之完整的道路沿線狀況</th></tr><tr><th>道路分類</th><th>照度係數</th><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th></th><th></th><th></th></tr><tr><td>高速公路等</td><td>1.5</td><td>-</td><td>0.7</td><td>0.5</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>主要幹線道路</td><td>1.0</td><td>1.0</td><td>0.7</td><td>0.5</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>幹道、輔助幹線道路</td><td>0.5</td><td>0.7</td><td>0.5</td><td>-</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>支 路</td><td>0.3</td><td>0.5</td><td>-</td><td>-</td><td></td><td></td><td></td></tr></table> <p>註：(1)表中列出的平均亮度(照度)為標準值，路面材料、新安裝燈具，路面材料亮度(照度)值應比表中數值高 30~50%。</p> <p>(2)表中所列亮度(照度)值均為機動車車行道上之數值，三輪路、四輪路中非機動車車行道上之亮度(照度)值可採用機動車車行道上亮度(照度)值的 1/2。</p> <p>(3)表中平均照度值適用於迴形路面，對於水泥泥瀝土路面，可降低 30%。</p> <p>(4)表中各種數值適用於乾濕路面。</p> <p>(5)適用於大型公共建築(如體育場、展覽館、大型劇場等)的主要道路、市中心或商業區中心的道路，大型交通運輸站處的照明可採用主幹路(照度)的 1/2。</p> <p>(6) Lmin——最小亮度(cd/m²)； La——平均亮度(cd/m²)； Emin——最小照度(lx)； Ea——平均照度(lx)。</p>	外部條件		外部條件 A：有會影響道路交通之連續性的道路沿線狀況		外部條件 B：有會影響道路交通之斷續性的道路沿線狀況		外部條件 C：幾乎沒有會影響道路交通之完整的道路沿線狀況		道路分類	照度係數	A	B	C				高速公路等	1.5	-	0.7	0.5				主要幹線道路	1.0	1.0	0.7	0.5				幹道、輔助幹線道路	0.5	0.7	0.5	-				支 路	0.3	0.5	-	-				<table><tr><th colspan="2">外部條件</th><th colspan="2">外部條件 A：有會影響道路交通之連續性的道路沿線狀況</th><th colspan="2">外部條件 B：有會影響道路交通之斷續性的道路沿線狀況</th><th colspan="2">外部條件 C：幾乎沒有會影響道路交通之完整的道路沿線狀況</th></tr><tr><th>道路分類</th><th>照度係數</th><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th></th><th></th><th></th></tr><tr><td>高速公路等</td><td>1.5</td><td>-</td><td>0.7</td><td>0.5</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>主要幹線道路</td><td>1.0</td><td>1.0</td><td>0.7</td><td>0.5</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>幹道、輔助幹線道路</td><td>0.5</td><td>0.7</td><td>0.5</td><td>-</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>支 路</td><td>0.3</td><td>0.5</td><td>-</td><td>-</td><td></td><td></td><td></td></tr></table> <p>註：(1)表中列出的平均亮度(照度)為標準值，路面材料、新安裝燈具，路面材料亮度(照度)值應比表中數值高 30~50%。</p> <p>(2)表中所列亮度(照度)值均為機動車車行道上之數值，三輪路、四輪路中非機動車車行道上之亮度(照度)值可採用機動車車行道上亮度(照度)值的 1/2。</p> <p>(3)表中平均照度值適用於迴形路面，對於水泥泥瀝土路面，可降低 30%。</p> <p>(4)表中各種數值適用於乾濕路面。</p> <p>(5)適用於大型公共建築(如體育場、展覽館、大型劇場等)的主要道路、市中心或商業區中心的道路，大型交通運輸站處的照明可採用主幹路(照度)的 1/2。</p> <p>(6) Lmin——最小亮度(cd/m²)； La——平均亮度(cd/m²)； Emin——最小照度(lx)； Ea——平均照度(lx)。</p>	外部條件		外部條件 A：有會影響道路交通之連續性的道路沿線狀況		外部條件 B：有會影響道路交通之斷續性的道路沿線狀況		外部條件 C：幾乎沒有會影響道路交通之完整的道路沿線狀況		道路分類	照度係數	A	B	C				高速公路等	1.5	-	0.7	0.5				主要幹線道路	1.0	1.0	0.7	0.5				幹道、輔助幹線道路	0.5	0.7	0.5	-				支 路	0.3	0.5	-	-			
道路功能分類	條 件			備 註																																																																																																																																																																																										
	R	C	R																																																																																																																																																																																											
高速公路	15																																																																																																																																																																																													
一般公路	幹 道	30	20	15																																																																																																																																																																																										
	次要道路	23	15	12																																																																																																																																																																																										
	輔助性道路	15	10	7																																																																																																																																																																																										
	交流道	15	10	7																																																																																																																																																																																										
道路種類或分類	平均照度/最小照度	照度標準	備 註																																																																																																																																																																																											
高速公路 A	0.6	≤3.5	≤6																																																																																																																																																																																											
高速公路 B	0.4	≤3.5	≤6																																																																																																																																																																																											
快速道路	1.0	≤3	≤5																																																																																																																																																																																											
混合區	0.8	≤3	≤5																																																																																																																																																																																											
住宅區	0.6	≤3.5	≤6																																																																																																																																																																																											
商業區	1.2	≤3	≤5																																																																																																																																																																																											
混合區	0.9	≤3	≤5																																																																																																																																																																																											
住宅區	0.6	≤3.5	≤6																																																																																																																																																																																											
商業區	0.8	≤3	≤5																																																																																																																																																																																											
混合區	0.6	≤3.5	≤6																																																																																																																																																																																											
住宅區	0.4	≤4	≤8																																																																																																																																																																																											
商業區	0.6	≤6	≤10																																																																																																																																																																																											
混合區	0.5	≤6	≤10																																																																																																																																																																																											
住宅區	0.3	≤6	≤10																																																																																																																																																																																											
外部條件		外部條件 A：有會影響道路交通之連續性的道路沿線狀況		外部條件 B：有會影響道路交通之斷續性的道路沿線狀況		外部條件 C：幾乎沒有會影響道路交通之完整的道路沿線狀況																																																																																																																																																																																								
道路分類	照度係數	A	B	C																																																																																																																																																																																										
高速公路等	1.5	-	0.7	0.5																																																																																																																																																																																										
主要幹線道路	1.0	1.0	0.7	0.5																																																																																																																																																																																										
幹道、輔助幹線道路	0.5	0.7	0.5	-																																																																																																																																																																																										
支 路	0.3	0.5	-	-																																																																																																																																																																																										
外部條件		外部條件 A：有會影響道路交通之連續性的道路沿線狀況		外部條件 B：有會影響道路交通之斷續性的道路沿線狀況		外部條件 C：幾乎沒有會影響道路交通之完整的道路沿線狀況																																																																																																																																																																																								
道路分類	照度係數	A	B	C																																																																																																																																																																																										
高速公路等	1.5	-	0.7	0.5																																																																																																																																																																																										
主要幹線道路	1.0	1.0	0.7	0.5																																																																																																																																																																																										
幹道、輔助幹線道路	0.5	0.7	0.5	-																																																																																																																																																																																										
支 路	0.3	0.5	-	-																																																																																																																																																																																										
差異分析：	我國交通工程手冊以照度來衡量照明之來源，為了確保交通安全以及用路人的安全，對於道路照明照度要求較高，相對美國則無此層面考量，因此台灣道路照明照度要求較高。	美國則同時使用輝度與照度兩項指標。國內交通工程手冊之照度值與美國 IESNA 照度規範，歷經多年均未修改。早年台灣經濟環境不佳，道路照明為主要夜間照明之來源，為了確保交通安全以及用路人的安全，對於道路照明照度要求較高，相對美國則無此層面考量，因此台灣道路照明照度要求較高。	歐洲主要參考美國 IESNA 規範，早期 IESNA 對於道路照明燈具分為遮蔽型、半遮蔽型與無遮蔽型三種，我國沿用至今。而美國 IESNA 及 CIE 規範在降低眩光考量下，均朝向設置全遮式燈具，歐洲 CIE 分為全遮蔽型、半遮蔽型與無遮蔽型三種，美國則有全遮蔽型、遮蔽型、半遮蔽型與無遮蔽型四種，至於各種分類燈具內容定義，則極為相似。	日本主要參考美國 IESNA 規範，早期 IESNA 對於道路照明燈具分為遮蔽型、半遮蔽型與無遮蔽型三種，我國沿用至今。而美國 IESNA 及 CIE 規範在降低眩光考量下，均朝向設置全遮式燈具，歐洲 CIE 分為全遮蔽型、半遮蔽型與無遮蔽型三種，美國則有全遮蔽型、遮蔽型、半遮蔽型與無遮蔽型四種，至於各種分類燈具內容定義，則極為相似。	中國主要參考美國 IESNA 規範，早期 IESNA 對於道路照明燈具分為遮蔽型、半遮蔽型與無遮蔽型三種，我國沿用至今。而美國 IESNA 及 CIE 規範在降低眩光考量下，均朝向設置全遮式燈具，歐洲 CIE 分為全遮蔽型、半遮蔽型與無遮蔽型三種，美國則有全遮蔽型、遮蔽型、半遮蔽型與無遮蔽型四種，至於各種分類燈具內容定義，則極為相似。																																																																																																																																																																																									

國家	台灣	美國	歐洲	日本	中國																				
	<p>1. 排列方式計有：</p> <ul style="list-style-type: none">• 單側排列• 交錯排列• 相對排列• 中央分隔帶排列• 特殊高桿多燈設置	<p>路燈安裝高度目前在美國公路上常用 12 公尺(或更高)之燈具，交流道則採較密集式之組合。安裝高度之決定要桿距、橫向距離及燈具型式、光度分佈合併考慮。意即，是夠之均勻度、輝度、照度是選擇安裝高度的前提要件。</p>	<p>橫向燈具(與前進方向成 90°)橫向燈具之燈高約 18 公尺，確實高度則依車道寬而定。對每一單向車道而言，它通常由一側來照明，如以下分類：</p> <p>(A) 單列雙臂，於中央分隔島</p> <p>(B) 二列雙臂，於外側胸牆</p> <p>(C) (a)與(b)混合或(a)項 x2(當多車道，且總寬大於 1/2 燈高時)</p> <p>中央分隔島上方</p> <p>於中央分隔島之各支柱間，裝設一條縱向之鏈條以懸吊一串與道路平行之燈具。桿距約 50-80 公尺，燈高約 10-15 公尺之間，燈具則為燈高之 1-2 倍。本方式有極佳之道路導引功能。當燈泡光度夠，橫向分佈夠寬，且路面有較佳之散射性時，其辨識功能不錯。但其路面之平均輝度會較低。</p> <p>雙鏈條系統</p> <p>此方式基本上與前段說明類似，常應用於二列皆由中央分隔島區隔之雙向車道中。其能提供極佳之道路導引，其外型與其他狀況與單鏈相似。</p>	 <p>(a) 單邊排列</p> <p>(b) 雙邊交錯排列</p> <p>(c) 雙邊對稱排列</p>	<p>日本「道路照明設施設置規範與解說」中，在連續照明方面規定原則上使用燈桿式照明方式，但可根據道路及交通狀況選擇其他方式。在燈具排列配置上，規定如下圖所示的三種基本方式，可視道路狀況自由組合此三種方式以達到最適當的燈具配置方式。在道路中央配置燈具之場合，可視為是兩組方向相反的單邊排列配置。</p>																				
照明設施之設置	 <p>a)單側排列</p> <p>b)交錯排列</p> <p>c)相對排列</p> <p>d)中央分隔帶排列</p> <p>S:桿距</p> <p>W:路寬或車道寬度</p> <p>H:燈桿高度</p>	 <p>60 55 50 45 40 35 30 25</p> <p>10 15 20 25 30 35 40 45 50 55</p> <p>LONG DISTRIBUTION</p> <p>MEDIUM DISTRIBUTION</p> <p>SHORT DISTRIBUTION</p> <p>MAXIMUM CANDLEPOWER IN CANDELAS x 1000</p>	<p>圖 5.1.2 常規照明燈具佈置的五種基本方式</p> <p>(a) 單側佈置；(b) 雙側交錯佈置；(c) 雙側對稱佈置；(d) 中心對稱佈置；(e) 橫向懸吊佈置</p> <p>1 燈具的懸挑長度不宜超過安裝高度的 1/4，燈具的仰角不宜超過 15°；</p> <p>2 燈具的佈置方式、安裝高度和間距可按表 5.1.2 經計算後確定。</p> <p>表 5.1.2 燈具的配光類型、佈置方式與燈具的安裝高度、間距的關係</p> <table><tr><th>配光類型</th><th>裝 光 型</th><th>半 裝 光 型</th><th>非 裝 光 型</th></tr><tr><th>佈置方式</th><th>安裝高度 H(m)</th><th>間距 S(m)</th><th>間距 S(m)</th></tr><tr><td>單側佈置</td><td>H≥1.4W_{dr}</td><td>S≤3H</td><td>H≥1.4W_{dr}</td></tr><tr><td>雙側交錯佈置</td><td>H≥0.7W_{dr}</td><td>S≤3H</td><td>H≥0.8W_{dr}</td></tr><tr><td>雙側對稱佈置</td><td>H≥0.5W_{dr}</td><td>S≤3H</td><td>H≥0.7W_{dr}</td></tr></table> <p>注：W_{dr}為路面有效寬度(m)。</p>	配光類型	裝 光 型	半 裝 光 型	非 裝 光 型	佈置方式	安裝高度 H(m)	間距 S(m)	間距 S(m)	單側佈置	H≥1.4W _{dr}	S≤3H	H≥1.4W _{dr}	雙側交錯佈置	H≥0.7W _{dr}	S≤3H	H≥0.8W _{dr}	雙側對稱佈置	H≥0.5W _{dr}	S≤3H	H≥0.7W _{dr}		
配光類型	裝 光 型	半 裝 光 型	非 裝 光 型																						
佈置方式	安裝高度 H(m)	間距 S(m)	間距 S(m)																						
單側佈置	H≥1.4W _{dr}	S≤3H	H≥1.4W _{dr}																						
雙側交錯佈置	H≥0.7W _{dr}	S≤3H	H≥0.8W _{dr}																						
雙側對稱佈置	H≥0.5W _{dr}	S≤3H	H≥0.7W _{dr}																						
法規內容	<ul style="list-style-type: none">• 交通工程手冊(2004)第七章道路照明	<ul style="list-style-type: none">• 北美照明協會照明手冊第九版 (IESNA Lighting Handbook---9th Edition)• 北美照明協會隧道照明建議規範：IESNA(RP-22-05) Recommended Practice for Tunnel Lighting	<ul style="list-style-type: none">• CIE 61-1984 Tunnel Entrance Lighting: A Survey of Fundamentals for Determining the Luminance in the Threshold Zone• CIE88:2004 Guide for the lighting of Road Tunnels and Underpasses	<ul style="list-style-type: none">• 道路照明設施設置規範與解說(2007)• 隧道照明設計指針	<ul style="list-style-type: none">• 公路隧道設計規範(TJ026-90)• 公路隧道通風照明設計規範(TJ026.1-1999)																				
隧道照明	<p>一、長短隧道區分</p> <p>以照明觀念區分長短隧道時與其長度無關。應依隧道之斷面、坡度、線型在正常交通狀況下加以區分，其原則如下：</p> <p>(一) 由隧道進口處無法看到出口區之光源時視為長隧道。</p> <p>(二) 由隧道進口處可看到出口區之光源時視為短隧道。</p>	<p>根據 IESNA Lighting Handbook 9th，依照隧道之長度及安全停車視距(Safety Stopping Sight Distance：SSSD)之大小，隧道可分為以下二類：</p> <p>一 短隧道：即總長(入口至出口)等於或小於停車視距者(駕駛人發現車道中有障礙物，自反應、煞車至完全停止車輛所需之距離)</p> <p>一 長隧道：即總長(入口至出口)大於停車視距者</p> <p>對短隧道而言(總長<SSD)，如配合上平坦及筆直之鄰接及洞口道路時，是不需要額外之白天照明。此乃因靠著較亮之出口</p>	<p>隧道通常可分為長隧道與短隧道兩種，雖然其定義與其長度有關，但對於那無法看到對面出口區之隧道而言，常被稱為光學長隧道，而以長隧道之照明方式處理(不論其實際長短)。反之，則稱為光學短隧道。故依照明之需求來分類，隧道可分為以下三種：(1)地理長隧道。(2)光學長隧道。(3)短隧道。</p>	<p>j 隧道照明之構成</p> <p>隧道照明之構成如下所示。</p> <p>一、基本照明</p> <p>二、入口部照明</p> <p>三、出口部照明</p> <p>四、特殊構造部之照明</p> <p>五、停電時照明</p> <p>六、接續道路之照明</p>	<p>長度大於 100 公尺的隧道應設置照明。且隧道照明設計所採用的計算行車速度不宜大於 100km/h，如大於 100km/h，應做特殊設計。</p>																				

	(f) 應能耐壓及抗周圍溫度等之變化。																																
		外部照明式照度建議值																															
k	外部照明式	<table><tr><td>標誌照度</td><td colspan="2">標誌照度(Sign Illuminance)</td><td>標誌輝度</td></tr><tr><td></td><td>lux</td><td>footcandles</td><td>Candelas per square meter</td></tr><tr><td>Ambient Light Level (環境輝度)**</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>低輝度</td><td>100-200</td><td>10-20</td><td>22-44</td></tr><tr><td>中輝度</td><td>200-400</td><td>20-40</td><td>44-89</td></tr><tr><td>高輝度</td><td>400-800</td><td>40-80</td><td>89-178</td></tr></table> <p>註：*Based on maintained reflectance of 70% for white sign letters</p> <p>**環境輝度：即提供標誌背景之周圍輝度稱之，可分為以下三種：</p> <ul style="list-style-type: none">● 高輝度：有顯著照明之街道及廣告燈。● 中輝度：較無常需活動之道路、有燈之道路及交流道。● 低輝度：無路燈之鄉間道路或低照明之區域。 <p>較高之環境輝度會產生之照明來源燈具標誌之辨識度。</p>					標誌照度	標誌照度(Sign Illuminance)		標誌輝度		lux	footcandles	Candelas per square meter	Ambient Light Level (環境輝度)**				低輝度	100-200	10-20	22-44	中輝度	200-400	20-40	44-89	高輝度	400-800	40-80	89-178			
	標誌照度	標誌照度(Sign Illuminance)		標誌輝度																													
		lux	footcandles	Candelas per square meter																													
	Ambient Light Level (環境輝度)**																																
	低輝度	100-200	10-20	22-44																													
中輝度	200-400	20-40	44-89																														
高輝度	400-800	40-80	89-178																														
		內部照明式之輝度建議值																															
		<table><tr><td>Ambient Light Level (環境輝度)</td><td>低</td><td>中</td><td>高</td></tr><tr><td>Candelas per square meter</td><td>240</td><td>520</td><td>1000</td></tr><tr><td>Candelas per square foot</td><td>24</td><td>52</td><td>100</td></tr></table>					Ambient Light Level (環境輝度)	低	中	高	Candelas per square meter	240	520	1000	Candelas per square foot	24	52	100															
Ambient Light Level (環境輝度)	低	中	高																														
Candelas per square meter	240	520	1000																														
Candelas per square foot	24	52	100																														
	<ul style="list-style-type: none">差異分析(1)：國內交通工程手冊、日本、中國於標誌照明分為內部式與外部式，中國的規定中也分為內部照明標誌以及外部照明標誌，而美國 IESNA 則另外定義光源組合式。IESNA 將光源組合式定義為由一組可選擇性明暗之交叉排列光源組合，其照度要求與內部照明式相同。差異分析(2)：無論內部與外部照明，我國以夜間能見距離不得小於 150 公尺為主要績效指標，另外部照明僅針對照度進行規範要求，與日本相同。IESNA 與美國 CIE 規範中，以環境輝度定義出不同照明規範(包括照度與輝度)要求，我國則無此類要求。																																
反光材料	3.1.4 材料 標誌牌可以鋁鈹、擠型鋁、玻璃纖維或其他堅固耐用之適當材料製作，牌面應採用反光性能之材料或亦可採用發光、透光材料輔助之，以下所列材料僅供參考，公路主管單位得視實際情形酌予調整。				j 標示板及支柱 標示板之基板及支柱使用之材料須有充分之強度和優良耐久性，容易維持管理，其材質及形狀必須與附近狀況調和。 【解說】 1) 標示板之基板材料有下述種類，須使用能發揮其各自特性之材料。 a) 鋁合金板 b) 鋼板 c) 普通鋼板 d) 合板(耐水膠合板) e) 其他 2) 支柱材料 a) 鋼柱 i) 鋼管 ii) 型鋼 b) 鋁合金柱 k 反射材料 反射材料必須為在視認上擁有適當反射性能、有耐久性、容易維持管理之材料。		反光材料的種類及性能：用於標誌面的反光材料按其結構的不同可以分為透鏡埋入型、密封膠囊型、微稜鏡型等品種。其反光原理為：射向標誌面的光線應沿入射光線的反方向返回光源。由於標誌位置和車輛行駛條件的不同，用於標誌面的反光材料應具有優良的廣角性和逆反射性能。在不同入射角(汽車前照燈光線與標誌表面法線之間的夾角)、不同觀測角(汽車前照燈光線與標誌反射回駕駛者眼睛的光線間的夾角)的條件下，用於標誌面的反光膜的逆反射系數值應符合 JT/T 279 的規定。																										
		<ul style="list-style-type: none">差異分析：反光材料部分，國內以鋁鈹、擠型鋁、玻璃纖維或其他堅固耐用之適當材料製作，牌面應採用反光性能詳盡，在不同入射角以及不同觀測角的條件下，對於用於標誌面反光膜的逆反射系數值皆有相關規定。美國與歐洲對於標誌材料僅規定須為可反光材料，未針對反射系數有所規定。中國針對反光材料的種類及性能規定較為																															
國家	台灣	美國	歐洲	日本	中國																												
法規	<ul style="list-style-type: none">市區道路及附屬工程設計標準(2004) 15.1 緣石	<ul style="list-style-type: none">交通標誌設施之標準化手冊第三部分--標線/標記-->章節 3B：路面和路側標線-->項目 3B.11：突起路面標記、項目 3B.13：輔助其他	<ul style="list-style-type: none">Traffic Signs Manual 2003(UK) / TSGRD(Traffic Signs Regulations and General Directions)	<ul style="list-style-type: none">改訂 路面標示設置之參考手冊(2004)視線誘導標示設置規範與解說(1984)	<ul style="list-style-type: none">CJJ37-90 城市道路設計規範第九節 4.9.1 條、第 4.9.2 條																												

	標線之突起路面標記、項目 3B.14：替代路面標線之突起路面標記	地面標記一般是利用車輛頭燈反射照明產生提醒警示之效果，使道路駕駛可以坐於駕駛座中並直接過反光看到地面之特殊標記。於車流量較大或是無路燈設置之路段較常被應用。	(1) 設置區間 j 夜間、雨天時等特別需要視線誘導之區間等須設置反射式及發光式貓眼。或者為補充油漆標示線之性能，而設置於下記區間 j 無中央帶之 4 車線以上道路，設置於車道中央線，以進行視線誘導，同時設置於必須特別讓駕駛人認清雙向車道分隔線之區間。 k 豪雨或濃霧時會遮蔽視界之處，或有連續小半徑之曲線等，必須提高外側視線誘導效果之區間。 1 有必要做視線誘導，但設置幅員不足等難以設置反射式視線誘導裝置之區間。 (2) 設置方法 j 設置場所 設置場所為道路左側路側、右側路側或車道中央部。 (3) 設置間隔 j 設置間隔因應平面曲線半徑，以所示之值為標準。但最大間隔為 4m。	中國於「CJJ37-90 城市道路設計規範」中相關規定如下： 第 4.9.1 條 緣石宜高出路面邊緣 10~20mm。隧道內線形彎曲路段或陡峻路段等處，可高出 25~40cm，並應有足夠的埋置深度，以保證穩定。緣石寬度宜為 10~15cm 第 4.9.2 條 緣石宜採用立式，出入口宜採用斜式或平式，有路肩時採用平式。人行道及人行橫道寬度範圍內緣石宜做成斜式或平式，便於兒童車、輪椅及殘疾人通行。在分隔帶端頭或交叉口的小半徑處，緣石宜做成曲線形。 緣石材料可採用堅硬石質或水泥混凝土。水泥混凝土抗壓強度不宜低於 30MPa。																		
交通安全防護設施	根據國內市區道路及附屬工程設計標準中，第 15.1 緣石之小節內容中將緣石定義如下： (1) 緣石係指道路中凸起區域(公共設施帶、人行道、交通島)之邊緣設施物，其功能包含排水控制、路面邊緣指示、縮減路權用地、道路美觀、人行道邊緣指示、降低維護需求等。 (2) 緣石依高度及緣石面傾斜度分為可跨式及屏障式。 (3) 市區道路設置緣石時如有行人庇護需求，應採用屏障式緣石，高度採 20 公分以下為宜。 (4) 服務道路如考量緊急狀況時供救災車輛使用，得採用可跨式緣石。	MUTCD Section 3B.11 Raised Pavement Markers – General 中規定，突起路面標記之顏色不論在日間或夜間條件下，應與路面標線的顏色一致，作為方位引導和輔助或替代既有標線功能，可以選擇安裝緊鄰於道路中央分隔緣石/交通島 (raised medians/curbs of islands) 末端路面或中央分隔緣石/交通島上方。																				
	交通工程手冊中，緣石相關規定則列於 6.3.3 標線一節中，說明如下： 適切的路面反光標線及路面標記設施能提供駕駛人連貫性之引導及警示系統，以增進交通島之功能。與交通島相關的標線，包括路面及緣石標線、危險標記、反光導標及路面標記等。其應用如下： 一、交通島鼻端之三角地帶，亦可配合設置隆起之粗糙路面或裝設標鈕，或漆繪白色或黃色之反光標線，明顯地表示出行駛路線與交通島之輪廓。 二、交通島外圍之緣石或路面標線，必須為白色或黃色反光材料，以顯示其行駛路線與分隔帶。 三、使用危險標記在交通島之鼻端，以顯示隆起之緣石，即使該處已設有標誌，亦須設置。 四、佈設反光導標或路面標記可使交通島之輪廓及車輛行駛路線在夜間能為駕駛人辨認。	(1) 橫向定位(Lateral Positioning) 若是輔助路面雙標線(double line markings)，突起路面標記安裝位置可與雙標線呈橫向一致或兩側成對安裝。 若是輔助路面寬標線(wide line markings：比一般標線 4~6 inches 至少寬 2 倍)，突起路面標記安裝位置可與寬標線呈橫向一致成對安裝。 (2) 縱向間距(Longitudinal Spacing) 若是輔助路面實線標線，則突起路面標記的安裝間距以不超過 N*為限，除非是輔助槽化線(channelizing lines)或是路邊標線 (edge line markings)，安裝間距以不超過 N/2*為限。 若是輔助路面虛線標線，則突起路面標記的安裝間距以不超過 3N*為限，但若是路面虛線標線用於調撥車道，則安裝間距以不超過 N*為限。	<table><thead><tr><th>85%車速車速 (mph)</th><th>最小可視距離 (Desirable minimum visibility distance)</th><th>警告線可視距離</th></tr></thead><tbody><tr><td><30</td><td>75</td><td>115</td></tr><tr><td>31-40</td><td>95</td><td>160</td></tr><tr><td>41-50</td><td>120</td><td>195</td></tr><tr><td>51-60</td><td>150</td><td>240</td></tr><tr><td>>60</td><td>175</td><td>275</td></tr></tbody></table>	85%車速車速 (mph)	最小可視距離 (Desirable minimum visibility distance)	警告線可視距離	<30	75	115	31-40	95	160	41-50	120	195	51-60	150	240	>60	175	275	緣石與警告線可視距離規定
	85%車速車速 (mph)	最小可視距離 (Desirable minimum visibility distance)	警告線可視距離																			
<30	75	115																				
31-40	95	160																				
41-50	120	195																				
51-60	150	240																				
>60	175	275																				
● 差異分析(1)：適切的路面反光標線及路面標記設施能提供駕駛人連貫性之引導及警示系統，以增進交通安全之功能。基本上各國均會針對標線、緣石等交通安全防護設施之設置目的與方式(包括設置區域、設置方法、設置間隔)訂出規範，而規範主要依據各國之道路條件、氣候、車流量而改變。 ● 差異分析(2)：IPM 為近年來興起之道路防護系統，目前各國並無明確規範，僅有美國 MUTCD(2009)已提供了一些相關規範，主要原因在於美國在 IPM 設置獲致良好成果，為了推動其使用，因此訂出基本規範。																						

附錄 9

美國交通設施問卷調查結果

美國 LED 路燈安裝問卷調查結果

① 明尼蘇達州 I-35W 密西西比河大橋

2008 年 11 月透過明尼蘇達州交通部 e-mail 寄出 3384 份問卷，共有 671 份回覆，回收率約 20%。以下為問卷整理結果呈現。

LED 路燈的照明品質對於橋面上道路和行駛標的物的可視性程度如何？

回答“有非常大的加強”佔 23.9%， “有加強”佔 53.9%。

Response	Chart	Frequency	Count
Greatly enhances		23.9%	108
Enhances		53.9%	243
Has no effect on		17.3%	78
Inhibits		4.7%	21
Greatly inhibits		0.2%	1
Not Answered			2
		Valid Responses	451
(Respondents could only choose a single response)		Total Responses	453




橋面上的 LED 路燈和其他道路路燈相比，感覺到眩光的程度如何？

回答“沒有明顯不同” 38.5%， “有些減少”佔 33.3%。

Response	Chart	Frequency	Count
Much less		21.7%	97
Somewhat less		33.3%	149
No noticeable difference in		38.5%	172
Somewhat more		5.6%	25
Much more		0.9%	4
		Valid Responses	447
(Respondents could only choose a single response)		Total Responses	447




對於橋面上 LED 路燈的照明光線感覺如何？

回答“適中”佔 64.8%， “有些暗”佔 21.7%。

Response	Chart	Frequency	Count
Too dim		2.9%	13
Somewhat dim		21.7%	96
Just right		64.8%	287
Somewhat bright		9.9%	44
Too bright		0.7%	3
Not Answered			1
		Valid Responses	443
(Respondents could only choose a single response)		Total Responses	444





對於橋面上 LED 路燈在提供駕駛安全性的評價如何？

回答“安全”佔 45.5%， “非常安全”佔 28%。











Response	Chart	Frequency	Count
Very safe		28.0%	123
Safe		45.5%	200
Neither safe nor unsafe		23.4%	103
Unsafe		3.0%	13
Very unsafe		0.2%	1
Not Answered			2
		Valid Responses	440
(Respondents could only choose a single response)		Total Responses	442

是否會建議在其他道路使用和 I-35W 橋上同款的 LED 路燈？

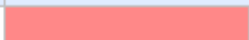

回答“會”佔 41%， “一定會”佔 37.2%。

Response	Chart	Frequency	Count
Would definitely		37.2%	164
Would		41.0%	181
May or may not		17.2%	76
Would not		3.4%	15
Would definitely not		1.1%	5
		Valid Responses	441
(Respondents could only choose a single response)		Total Responses	441

問卷回覆者的出生年份分佈從 1989 年起~1932 年以前，
年齡層從 21 歲~78 歲以上。

Response	Chart	Frequency	Count
1983 – 1989		10.7%	60
1978 – 1982		16.0%	90
1973 – 1977		11.2%	63
1968 – 1972		8.0%	45
1963 – 1967		10.3%	58
1958 – 1962		8.4%	47
1953 – 1957		9.4%	53
1948 – 1952		8.9%	50
1943 – 1947		7.3%	41
1933 – 1942		8.0%	45
1932 or earlier		1.8%	10
Not Answered			3
		Valid Responses	562
(Respondents could only choose a single response)		Total Responses	565

問卷回覆者男性佔大多數，比例 74.6%，女性 25.4%。

Response	Chart	Frequency	Count
Male		74.6%	419
Female		25.4%	143
Not Answered			3
		Valid Responses	562
(Respondents could only choose a single response)		Total Responses	565



② 加州舊金山市

以電訪調查當地居民意見之方式進行，共有 46 位居民接受調查，67%的居民(31 位)注意到 LED 路燈的設置。其他問卷內容並未公佈。

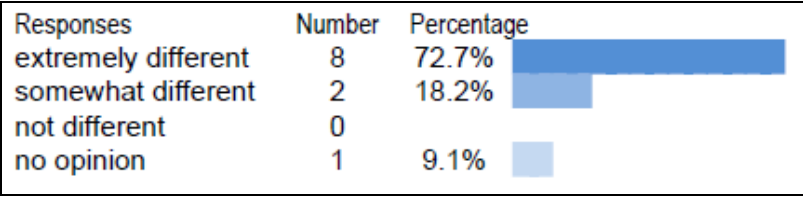
③ 奧瑞岡州波特蘭市

2008 年 12 月初以郵寄方式對當地居民進行問卷，回收 11 份(36%)。回覆結果大多樂觀正面，但也有一項認為光度過暗的負面意見，原因可能是高色溫(5210K)導致光色偏藍。

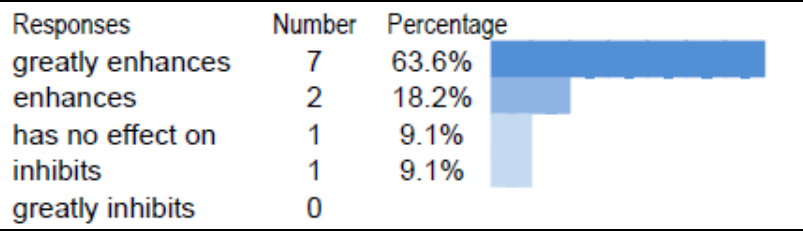
在接受到此份問卷之前，是否有注意到 Lija Loop 地區已裝置 LED 路燈？

Responses	Number	Percentage	
Yes	9	81.8%	
No	2	18.2%	

和 Gertz Road 上傳統的路燈比較，Lija Loop 地區的 LED 路燈是否有不同？



Lija Loop 地區 LED 路燈的照明品質對於道路和標的物的可視性程度如何？



Lija Loop 地區的 LED 路燈和其他道路路燈相比，感覺到眩光的程度如何？

Responses	Number	Percentage
much less	4	36.4%
somewhat less	3	27.3%
no noticeable difference in	3	27.3%
somewhat more	1	9.1%
much more	0	

Lija Loop 地區的 LED 路燈和其他道路路燈相比，路面上呈現光影/黑暗的範圍如何？

Responses	Number	Percentage
many fewer	6	54.5%
somewhat fewer	2	18.2%
no noticeable difference in	2	18.2%
somewhat more	0	
many more	1	9.1%

對於 Lija Loop 地區 LED 路燈的照明光線感覺如何？

Responses	Number	Percentage
too dim	1	9.1%
somewhat dim	1	9.1%
just right	8	72.7%
somewhat bright	1	9.1%
too bright	0	

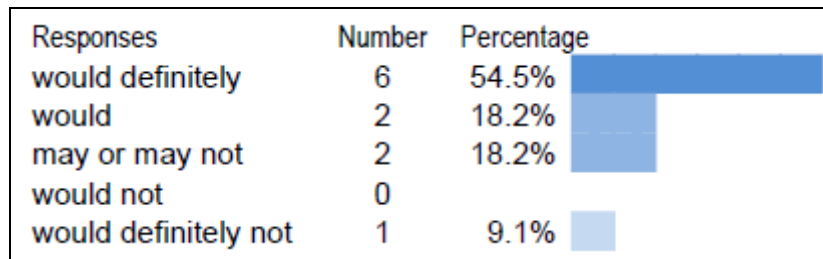
對於 Lija Loop 地區的 LED 路燈在提供駕駛安全性之評價如何？

Responses	Number	Percentage
very safe	3	23.7%
safe	6	54.5%
neither safe nor unsafe	1	9.1%
unsafe	1	9.1%
very unsafe	0	

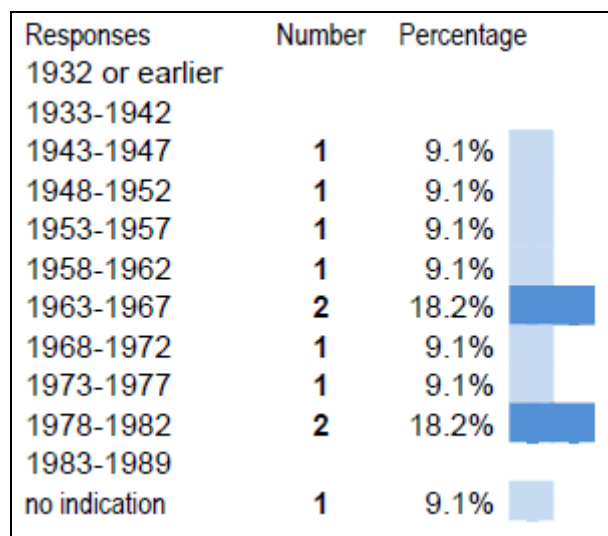
對於 Lija Loop 地區的 LED 路燈在提供行人之安全性評價如何？

Responses	Number	Percentage
very safe	2	18.2%
safe	6	54.5%
neither safe nor unsafe	1	9.1%
unsafe	1	9.1%
very unsafe	1	9.1%

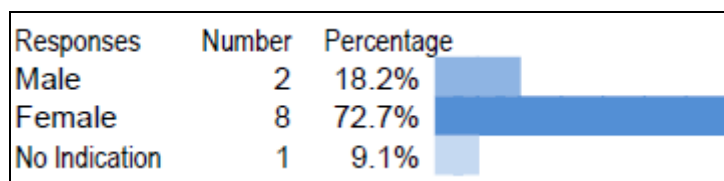
是否會建議在其他道路使用和 Lija Loop 地區同款的 LED 路燈



問卷回覆者的出生年份分佈從 1989 年起~1932 年以前，
年齡層從 21 歲~78 歲以上。



問卷回覆者女性佔大多數，比例 72.7%，男性 18.2%。



④ 加州奧克蘭市

2008 年 11 月底至 12 月中以電訪調查當地居民意見之方式進行，共接觸 16 位居住在 LED 路燈安裝區，和 4 位 LED 路燈安裝區附近之居民。(共 20 位)

下表 1 為受訪者對新舊路燈喜好的結果呈現，一半以上(14 位)表示對安裝 LED 路燈喜好之意願，其中更有高達 12 位居民表達強烈喜好之感。

表 1

Preference	Number of Respondents
Strongly Prefer New Streetlights	12
Somewhat Prefer New Streetlights	2
Total Preferring New Streetlights	14
No Expressed Preference	3
Strongly Prefer Old Streetlights	0
Somewhat Prefer Old Streetlights	3
Total Preferring Old Streetlights	3

下表 2 為受訪者對 LED 路燈在提升社區整體觀感、夜間安全、夜間可視性三項指標的調查結果。結果顯示居民非常贊同(約 70~80%)LED 路燈有提升社區整體觀感、夜間安全、夜間可視性的效果，僅約 20~30%居民認為沒有明顯改變，至於回覆“完全沒有提升效果”者為零。

表 2

Aspect of Neighborhood	# Believing that the New Streetlights have Strongly or Somewhat Improved	# Believing that the New Streetlights have Strongly or Somewhat <u>Not</u> Improved	# Believing that the New Streetlights do not have a Noticeable Impact
Overall Appearance	15	0	5
Nighttime Safety	14	0	6
Nighttime Visibility	16	0	4

⑤ 加州帕洛阿爾托市

共寄出 200 份 LED 路燈設置通知和問卷給當地居民，整理後發現大部分居民偏好 30-LED 路燈(6000K±500K、CRI = 70、3712 lumens)，20-LED 路燈(6000K±500K、CRI = 70、2474 lumens)和 HPS 路燈偏好程度差距不大，感應路燈(induction streetlight)排名最後。LED 路燈勝出原因為可視性增加，但也有負面回應，包括眩光過強和過冷刺眼“too cold & harsh”的光色。

附錄 10

台中市路燈示範案例調查問卷

LED路燈接受度調查問卷

研究單位：經濟部能源局、工研院綠能所
中華民國九十九年九月

親愛的朋友：

您好，經濟部能源局積極推動LED路燈示範計畫，為了解使用者對這項新產品的反應，我們正針對台中縣市新安裝的LED路燈進行調查，懇請您撥冗填寫本份問卷。本調查採無記名方式，您的寶貴意見將對LED路燈技術發展及未來使用有重要幫助，感謝您的幫忙！

題目	
1.請問您經過此處時有沒有注意到附近有安裝新的路燈 1-1.有 1-2.沒有(跳答第 11 題) 1-3.不知道(跳答第 11 題) (第 1 題答是者，繼續回答第 2~10 題)	
2.若您是一位駕駛，您感覺新安裝的路燈能夠協助清楚看見對向來車或路邊的行人嗎? 2-1.較原有路燈大幅改善 2-2.較原有路燈稍微改善 2-3.與較原有路燈一樣(差不多) 2-4.較原有路燈差一點 2-5.遠比較原有路燈還差	
3.若您是一位行人，您感覺新安裝的路燈能夠協助清楚看見對向來車或路邊的行人嗎? 3-1.較原有路燈大幅改善 3-2.較原有路燈稍微改善 3-3.與較原有路燈一樣(差不多) 3-4.較原有路燈差一點 3-5.遠比較原有路燈還差	
4.您感覺新安裝的路燈所產生的刺眼問題得程度如何? 4-1.較不刺眼 4-2.稍微不刺眼 4-3.沒感覺 4-4.稍微刺眼 4-5.較刺眼	
5.您感覺新安裝的路燈所散發的亮度是否適切、太亮或微暗? 5-1.太亮 5-2.稍亮 5-3.適切 5-4.稍暗 5-5.太暗	

<p>6.您感覺新安裝的路燈所產生影子的程度如何?</p> <p>6-1.很多</p> <p>6-2.稍少</p> <p>6-3.差不多</p> <p>6-4.稍多</p> <p>6-5.較多</p>	
<p>7-1.您認為新安裝路燈後的改善情形：鄰近地區整體景觀</p> <p>7-1-1.大幅改善</p> <p>7-1-2.稍微改善</p> <p>7-1-3.幾乎沒改善</p> <p>7-1-4.完全沒改善</p> <p>7-1-5.沒有變化</p> <p>7-1-6.不知道</p>	
<p>7-2.您認為新安裝路燈後的改善情形：鄰近地區夜晚安全性</p> <p>7-2-1.大幅改善</p> <p>7-2-2.稍微改善</p> <p>7-2-3.幾乎沒改善</p> <p>7-2-4.完全沒改善</p> <p>7-2-5.沒有變化</p> <p>7-2-6.不知道</p>	
<p>7-3.您認為新安裝路燈後的改善情形：鄰近地區能見度(亮度)</p> <p>7-3-1.大幅改善</p> <p>7-3-2.稍微改善</p> <p>7-3-3.幾乎沒改善</p> <p>7-3-4.完全沒改善</p> <p>7-3-5.沒有變化</p> <p>7-3-6.不知道</p>	
<p>8.考慮完上述所有問題，請問您比較喜歡新安裝的路燈，還是原來的舊路燈</p> <p>8-1.非常喜歡新路燈</p> <p>8-2.稍微喜歡新路燈</p> <p>8-3.兩者差不多</p> <p>8-4.稍微喜歡舊路燈</p> <p>8-5.非常喜歡舊路燈</p>	
<p>9.為什麼您比較喜歡新安裝的路燈?</p> <p>9-1.改善可見度</p> <p>9-2.喜歡光的顏色/較接近自然色</p> <p>9-3.晚上有較佳的視野</p> <p>9-4.較亮</p> <p>9-5.較不刺眼/光線較柔和/不閃爍</p> <p>9-6.省能/售後服務</p> <p>9-7.改善鄰近地區景觀</p> <p>9-8.其他</p> <p>9-9.不知道</p>	

10.為什麼您比較喜歡舊有的路燈? 10-1.舊有的路燈可見度較佳 10-2.舊有的路燈較亮 10-3.喜歡光的顏色/較接近自然色 10-4.晚上有較佳的視野 10-5.較亮 10-6.較不刺眼/光線較柔和/不閃爍 10-7.省能/售後服務 10-8.新安裝的路燈未見成效/耗費較多金錢 10-9.其他 10-10.不知道	
11.您有同住在家中的 18 歲以下的小孩? 11-1.有 11-2.沒有	
12.您的性別 12-1.男 12-2.女	
13.您目前的年齡是 13-1.18 歲以下 13-2.18-24 歲 13-3.25-29 歲 13-4.30-34 歲 13-5.35-39 歲 13-6.40-44 歲 13-7.45-49 歲 13-8.50-54 歲 13-9.55-59 歲 13-10.60-64 歲 13-11.65-69 歲 13-12.70-74 歲 13-13.75 歲以上 13-14.不清楚	
14.您有駕照且目前仍有在開車嗎? 14-1.有 14-2.沒有	

問卷結束，謝謝您的填寫！



附錄 11

台中市豐原大道LED標誌牌調查問卷

LED道路標示牌接受度調查問卷

研究單位：經濟部能源局、工研院綠能所
中華民國九十九年九月

親愛的朋友：

您好，經濟部能源局積極推動LED道路標示牌示範計畫，為了解使用者對這項新產品的反應，我們正針對台中縣豐原市新安裝的LED道路標示牌進行調查，懇請您撥冗填寫本份問卷。本調查採無記名方式，您的寶貴意見將對LED道路標示牌技術發展及未來使用有重要幫助，感謝您的幫忙！

1. 請問您經過此處時，有沒有注意到附近有新安裝/會發光的LED道路標示牌？
 - ☐ 有（請繼續回答第2~10題）
 - ☐ 沒有（跳答第11題）
 - ☐ 不知道（跳答第11題）
2. 若您是一位駕駛，夜間時，您感覺LED道路標示牌是否能協助清楚看見標示牌上的訊息？
 - ☐ 較原有標示牌大幅改善
 - ☐ 較原有標示牌稍微改善
 - ☐ 較原有標示牌一樣(差不多)
 - ☐ 較原有標示牌差一點
 - ☐ 較原有標示牌還差很多
3. 若您是一位行人，夜間時，您感覺LED道路標示牌是否能協助清楚看見標示牌上的訊息？
 - ☐ 較原有標示牌大幅改善
 - ☐ 較原有標示牌稍微改善
 - ☐ 較原有標示牌一樣(差不多)
 - ☐ 較原有標示牌差一點
 - ☐ 較原有標示牌還差很多
4. 您感覺LED道路標示牌所產生的刺眼(眩光)問題程度如何？
 - ☐ 不刺眼
 - ☐ 稍微刺眼
 - ☐ 很刺眼
5. 您感覺LED道路標示牌所散發的亮度是否適切、太亮或微暗？
 - ☐ 太亮
 - ☐ 稍亮
 - ☐ 適切
 - ☐ 稍暗
 - ☐ 太暗
6. 您認為LED道路標示牌對行車/用路安全的影響程度如何？
 - ☐ 反效果
 - ☐ 沒影響
 - ☐ 稍有幫助
 - ☐ 大幅改善

接 續 背 面

7. 您認為LED道路標示牌對鄰近地區整體景觀的影響程度如何？

- ☐ 破壞美觀
- ☐ 沒影響
- ☐ 提升美觀

8. 考慮以上所有問題，您比較喜歡新安裝的LED道路標示牌，還是原(舊)有的道路標示牌？

- ☐ 非常喜歡新安裝的LED道路標示牌
- ☐ 稍較喜歡新安裝的LED道路標示牌
- ☐ 兩者差不多
- ☐ 稍較喜歡原有的道路標示牌
- ☐ 非常喜歡原有的道路標示牌

(答喜歡LED道路標示牌者請繼續回答第9題；答喜歡舊有道路標示牌者請跳答第10題)

9. 為什麼您比較喜歡新安裝的LED道路標示牌？

- ☐ 改善可見清晰度
- ☐ 改善可視距離
- ☐ 較有美感
- ☐ 提升鄰近區域明亮度
- ☐ 其他_____

10. 為什麼您比較喜歡原(舊)有的道路標示牌？

- ☐ 原(舊)有道路標示牌可見清晰度較佳
- ☐ 原(舊)有道路標示牌可視距離較遠
- ☐ 無光害問題(不刺眼/不閃爍/無眩光)
- ☐ 安裝LED道路標示牌較耗費資源
- ☐ 其他_____

11. 您的性別

- ☐ 男
- ☐ 女

12. 您目前的年齡範圍

- ☐ 18歲以下
- ☐ 18-24歲
- ☐ 25-29歲
- ☐ 30-34歲
- ☐ 35-39歲
- ☐ 40-44歲
- ☐ 45-49歲
- ☐ 50-54歲
- ☐ 55-59歲
- ☐ 60-64歲
- ☐ 65-69歲
- ☐ 70歲以上

13. 您有駕照且目前仍有在開車嗎？

- ☐ 有
- ☐ 沒有

14. 您是附近的居民嗎？

- ☐ 是
- ☐ 否

15. 您經常使用或路過此裝設有LED道路標示牌的路段嗎？

- ☐ 是
- ☐ 否

16. 您支持或贊成將所有主要幹道之道路標示牌改裝成LED道路標示牌嗎？

- ☐ 贊成
- ☐ 有條件支持
- ☐ 無意見
- ☐ 不太支持
- ☐ 不贊成

問卷結束，謝謝您的填寫！



附錄 12

台灣電力公司電價表

台灣電力公司

電 價 表

(低壓供電)

中華民國 97 年 10 月 1 日起實施



一、包燈用電

分 類	容 量	單 位	單 價
電 燈	100 瓦以下	每 燈 每 月	102.30 元
	超出 100 瓦，每超出 100 瓦	每 燈 每 月	加 82.50
小 型 器 具	50 瓦以下	每 具 每 月	82.50 元
	超出 50 瓦，每超出 50 瓦	每 具 每 月	加 55.20
交通指揮燈	每一路口為 1 組	每 組 每 月	489.60 元
	每一路口最大入力數	每 瓦 每 月	1.36 元

註：1.電燈容量在 60 瓦以下者，按 100 瓦以下電價 40%計收。

2.電燈日夜供電者照上表加倍計收。

3.小型器具僅於日間或夜間供電者照上表減半計收。

4.公用路燈按附表一電價計收。

二、包力用電

容 量	單 位	單 價
1 瓩以下	每 具 每 月	89.70 元
超出 1 瓩，每超出 1 瓩	每 具 每 月	加 19.50

三、未訂有相關用電電價之其他器具臨時用電(夜間供電電價，日夜供電者加倍計收)

容 量	單 位	單 價
100 瓦以下	每 具 每 夜	5.70 元
超出 100 瓦，每超出 100 瓦	每 具 每 夜	加 5.70

四、表燈用電

(一)非時間電價

分 類			夏 月 (6月1日至9月30日)	非 夏 月 (夏月以外時間)
非營業用	110 度以下部分	每 度	2.10 元	2.10 元
	111~330 度部分	每 度	3.02	2.68
	331~500 度部分	每 度	4.05	3.27
	501~700 度部分	每 度	4.51	3.55
	701 度以上部分	每 度	5.10	3.97
營 業 用	330 度以下部分	每 度	3.76	3.02
	331~500 度部分	每 度	4.05	3.27
	501~700 度部分	每 度	4.51	3.55
	701 度以上部分	每 度	5.10	3.97

註：1.公私立各級學校用電按非營業用電第一段單價計收(公私立國中小學電價按附表三電價計收)。

2.公用路燈按附表二電價計收。

3.用戶因實施隔月抄表、收費，其計費之分段度數概加倍計算。

(二)時間電價(二段式需量契約)

分 類				夏 月 (6月1日至9月30日)	非夏月 (夏月以外時間)
基本電費	按 戶 計 收	單 相	每戶每月	129.10 元	
		三 相	每戶每月	262.50	
	經 常 契 約		每瓩每月	236.20	173.20
	非 夏 月 契 約		每瓩每月	—	173.20
流動電費	週 六 半 尖 峰 契 約		每瓩每月	47.20	34.60
	離 峰 契 約		每瓩每月	47.20	34.60
	週 一 至 週 五	尖 峰 時 間	07:30~22:30	每 度	3.22
		離 峰 時 間	00:00~07:30 22:30~24:00	每 度	1.52
	週 六	半 尖 峰 時 間	07:30~22:30	每 度	2.26
		離 峰 時 間	00:00~07:30 22:30~24:00	每 度	1.52
	週日及離峰日		全 日	每 度	1.52
				每 度	1.42

註：1.選按「時間電價」計費者，一年內不得申請改按「非時間電價」計費。

2.公私立國中小學電價按附表三電價計收。

3.契約容量之決定，參照電力用電時間電價註 3。

4.離峰日：如下表所列日期。

中華民國開國紀念日	1月 1日	勞 動 節	5月 1日
春 分	農曆 除夕~1月 5日	端 午 節	農曆 5月 5日
和 平 紀 念 日	2月 28日	中 秋 節	農曆 8月 15日
民 族 掃 墓 節	4月 4日或4月 5日	國 慶 日	10月 10日

五、電力用電

(一)非時間電價

分 類				夏 月 (6月1日至9月30日)	非夏月 (夏月以外時間)
基本電費	裝 置 契 約		每瓩每月	137.50 元	
	需量契約	經 常 契 約	每瓩每月	236.20	173.20
		非 夏 月 契 約	每瓩每月	—	173.20
流 動 電 費			每 度	2.50	2.41

註：1.需量契約用戶經常契約容量係以雙方約定之夏月用電最高需量訂定；非夏月用電需量超出經常契約容量部分應另訂非夏月契約契約容量。

2.需量契約用戶基本電費按下式計算：

(1)夏 月：夏月經常契約電價×經常契約容量。

(2)非夏月：非夏月經常契約電價×經常契約容量＋非夏月契約電價×非夏月契約容量。

3.公私立國中小學用電按附表四電價計收。

(二)時間電價（二段式）

分 類					夏 月 (6月1日至9月30日)	非 夏 月 (夏月以外時間)
基本電費	裝置契約	按 戶 計 收		每戶每月	105.00 元	
		裝 置 契 約		每瓩每月	137.50	
	需量契約	按 戶 計 收		每戶每月	262.50	
		經 常 契 約		每瓩每月	236.20	173.20
		非 夏 月 契 約		每瓩每月	—	173.20
		週六半尖峰契約		每瓩每月	47.20	34.60
		離 峰 契 約		每瓩每月	47.20	34.60
流動電費	週一至週五	尖 峰 時 間	07:30~22:30	每 度	3.22	3.13
		離 峰 時 間	00:00~07:30 22:30~24:00	每 度	1.52	1.42
	週六	半 尖 峰 時 間	07:30~22:30	每 度	2.26	2.16
		離 峰 時 間	00:00~07:30 22:30~24:00	每 度	1.52	1.42
	週日及離峰日	離 峰 時 間	全 日	每 度	1.52	1.42

註：1.選按「時間電價」計費者，一年內不得申請改按「非時間電價」計費。

2.離峰日規定，參照表燈用電時間電價註4。

3.契約容量之決定：經常契約容量係以雙方約定之夏月尖峰時間用電最高需量訂定；非夏月尖峰時間用電需量超出經常契約容量部分應另訂非夏月契約容量；週六半尖峰時間用電需量超出經常契約容量與非夏月契約容量之和部分，應另訂週六半尖峰契約容量；離峰時間用電需量超出經常契約容量、非夏月契約容量與週六半尖峰契約容量之和部分應另訂離峰契約容量。

4.基本電費按下式計算：

(1)夏 月：夏月經常契約電價×經常契約容量＋夏月週六半尖峰或離峰契約電價×[(週六半尖峰契約容量＋離峰契約容量)－(經常契約容量＋非夏月契約容量)×0.5]；惟後項計得之值為負時，則按0計算。

(2)非夏月：非夏月經常契約電價×經常契約容量＋非夏月契約電價×非夏月契約容量＋非夏月週六半尖峰或離峰契約電價×[(週六半尖峰契約容量＋離峰契約容量)－(經常契約容量＋非夏月契約容量)×0.5]；惟最後一項計得之值為負時，則按0計算。

5.公私立國中小學用電按附表四電價計收。

6.公用自來水電力用電按適用電價70%計收。

7.儲冷式空調系統冷凍機及所需附帶用電器具，其離峰時間用電之流動電費按適用電價60%計收。

8.契約容量在100KW以上未滿500KW，以三相四線式220/380伏特供應之用電，概按需量契約之「時間電價」計費。

※儲冷式空調系統冷凍機及所需附帶用電器具，其離峰時間用電之流動電費依據經濟部97年12月31日經能字第09700180480號函核定自98年1月1日起按適用電價60%（原75%）計收。

各類電價依營業稅法相關規定均內含5%營業稅，用戶電費總金額按上表核定單價計算。

依法免計營業稅用戶每月應繳總金額為電費總金額除以1.05。

(本公司網站：<http://www.taipower.com.tw/>，歡迎上網查詢)

A decorative horizontal line consisting of a series of small, solid black diamonds arranged in a repeating pattern.

L - 3

註：1.離峰日：如下表所列日期。

中	華	民	國	開	國	紀	念	日	1月 1日
春								節	農曆除夕 ~ 1月 5日
和	平	紀	念	日					2月 28日
民	族	掃	墓	節					4月 4日或4月 5日
勞		動		節					5月 1日
端		午		節					農曆 5月 5日
中		秋		節					農曆 8月 15日
國	慶			日					10月 10日

2.尖峰時間可變動時間電價之指定時間：為夏月（6月1日~9月30日）經本公司指定日期之上午10時至12時止，下午1時至5時止，每日供應6小時，視系統實際需要，於前一日下午4時前通知用戶，全年尖峰時間計30日，180小時。

3.二段式時間電價用戶：

(1)經常契約容量係以雙方約定之夏月尖峰時間用電最高需量訂定；非夏月尖峰時間用電需量超出經常契約容量部分應另訂非夏月契約容量；週六半尖峰時間用電需量超出經常契約容量與非夏月契約容量之和部分，應另訂週六半尖峰契約容量；離峰時間用電需量超出經常契約容量、非夏月契約容量與週六半尖峰契約容量之和部分應另訂離峰契約容量。

(2)基本電費按下式計算：

夏月：夏月經常契約電價×經常契約容量+夏月週六半尖峰或離峰契約電價×〔（週六半尖峰契約容量+離峰契約容量）-（經常契約容量+非夏月契約容量）×0.5〕；惟後項計得之值為負時，則按0計算。

非夏月：非夏月經常契約電價×經常契約容量+非夏月契約電價×非夏月契約容量+非夏月週六半尖峰或離峰契約電價×〔（週六半尖峰契約容量+離峰契約容量）-（經常契約容量+非夏月契約容量）×0.5〕；惟最後一項計得之值為負時，則按0計算。

4.三段式時間電價用戶：

◎尖峰時間固定之時間電價：

(1)經常契約容量係以雙方約定之尖峰時間用電最高需量訂定；半尖峰時間用電需量超出經常契約容量部分應另訂半尖峰契約容量；週六半尖峰時間用電需量超出經常契約容量與半尖峰契約容量之和部分，應另訂週六半尖峰契約容量；離峰時間用電需量超出經常契約容量、半尖峰契約容量與週六半尖峰契約容量之和部分應另訂離峰契約容量。

(2)基本電費按下式計算：

當月經常契約電價×經常契約容量+當月半尖峰契約電價×半尖峰契約容量+當月週六半尖峰或離峰契約電價×〔（週六半尖峰契約容量+離峰契約容量）-（經常契約容量+半尖峰契約容量）×0.5〕；惟最後一項計得之值為負時，則按0計算。

◎尖峰時間可變動時間電價：比照「尖峰時間固定之時間電價」供電時間之劃分訂定契約容量，並計算基本電費。

5.公用自來水用電按適用電價70%計收。

6.電化鐵路變電站用電按適用電價85%計收。

7.公私立國中小學用電按附表五電價計收。

8.儲冷式空調系統冷凍機及所需附帶用電器具，其離峰時間用電之流動電費按適用電價60%計收。

9.自備161,000伏特變電所受電者，其基本電費按特高壓供電電價給予2%折扣；自備345,000伏特變電所受電者，其基本電費按特高壓供電電價給予4.2%折扣。

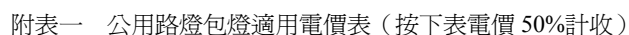
※儲冷式空調系統冷凍機及所需附帶用電器具，其離峰時間用電之流動電費依據經濟部97年12月31日經能字第09700180480號函核定自98年1月1日起按適用電價60%（原75%）計收。

各類電價依營業稅法相關規定均內含5%營業稅，用戶電費總金額按上表核定單價計算。

依法免計營業稅用戶每月應繳總金額為電費總金額除以1.05。

（本公司網站：<http://www.taipower.com.tw/>，歡迎上網查詢）

中華民國 97 年 10 月 1 日起實施



註：1.上表為夜間供電電價，日夜供電者加倍計收。

2. 傳統路燈容量在 60 瓦以下者，按 100 瓦以下電價 40%計收。

附表二 公用路燈表燈適用電價表（按下表電價 50%計收）

註：用戶因實施隔月抄表、收費，其計費之分段度數概加倍計算。

附表三 公私立國中小學表燈適用電價表

(一)非時間電價

(二)時間電價（二段式需量契約）

附表四 公私立國中小學低壓電力適用電價表

(一)非時間電價

(二)時間電價(二段式需量契約)

L - 5

附表五 公私立國中小學高壓電力適用電價表

分 類						高壓供電		特高壓供電	
						夏 月 (6月1日至 9月30日)	非夏月 (夏月以 外時間)	夏 月 (6月1日至 9月30日)	非夏月 (夏月以 外時間)
二 段 式 時間電價	基 本 電 費	經 常 契 約			每 貳 每 月	223.60元	166.90元	217.30元	160.60元
		非 夏 月 契 約			每 貳 每 月	—	166.90	—	160.60
		週 六 半 尖 峰 契 約			每 貳 每 月	44.70	33.30	43.40	32.10
		離 峰 契 約			每 貳 每 月	44.70	33.30	43.40	32.10
	流 動 電 費	週 一 至 週 五	尖 峰 時 間	07:30~22:30	每 度	2.42	2.33	2.38	2.30
			離 峰 時 間	00:00~07:30 22:30~24:00	每 度	1.05	0.97	1.02	0.94
		週 六	半 尖 峰 時 間	07:30~22:30	每 度	1.65	1.57	1.53	1.44
			離 峰 時 間	00:00~07:30 22:30~24:00	每 度	1.05	0.97	1.02	0.94
		週 日 及 離峰日	離 峰 時 間	全 日	每 度	1.05	0.97	1.02	0.94
三 段 式 時間電價	基 本 電 費	經 常 契 約			每 貳 每 月	223.60元	166.90元	217.30元	160.60元
		半 尖 峰 契 約			每 貳 每 月	166.90	166.90	160.60	160.60
		週 六 半 尖 峰 契 約			每 貳 每 月	44.70	33.30	43.40	32.10
		離 峰 契 約			每 貳 每 月	44.70	33.30	43.40	32.10
	流 動 電 費 (尖峰時間固定)	週 一 至 週 五	尖 峰 時 間	夏 月 10:00~12:00 13:00~17:00	每 度	3.58	—	3.54	—
			半 尖 峰 時 間	夏 月 07:30~10:00 12:00~13:00 17:00~22:30	每 度	2.26	—	2.24	—
				非夏月 07:30~22:30	每 度	—	2.19	—	2.16
			離 峰 時 間	00:00~07:30 22:30~24:00	每 度	0.97	0.90	0.94	0.87
		週 六	半 尖 峰 時 間	07:30~22:30	每 度	1.42	1.34	1.30	1.22
			離 峰 時 間	00:00~07:30 22:30~24:00	每 度	0.97	0.90	0.94	0.87
		週 日 及 離峰日	離 峰 時 間	全 日	每 度	0.97	0.90	0.94	0.87
	流 動 電 費 (尖峰時間可變動)	週 一 至 週 五	尖 峰 時 間	夏 月 (指定 30 天) 10:00~12:00 13:00~17:00	每 度	6.09	—	6.01	—
			半 尖 峰 時 間	夏 月 (指定 30 天) 07:30~10:00 12:00~13:00 17:00~22:30	每 度	2.26	—	2.24	—
				夏 月 (指定以外 日 期) 07:30~22:30	每 度				
				非夏月 07:30~22:30	每 度				
			離 峰 時 間	00:00~07:30 22:30~24:00	每 度	0.97	0.90	0.94	0.87
		週 六	半 尖 峰 時 間	07:30~22:30	每 度	1.42	1.34	1.30	1.22
			離 峰 時 間	00:00~07:30 22:30~24:00	每 度	0.97	0.90	0.94	0.87
		週 日 及 離峰日	離 峰 時 間	全 日	每 度	0.97	0.90	0.94	0.87

各類電價依營業稅法相關規定均內含 5%營業稅，用戶電費總金額按上表核定單價計算。

依法免計營業稅用戶每月應繳總金額為電費總金額除以 1.05。

(本公司網站：<http://www.taipower.com.tw/>，歡迎上網查詢)

附錄 13

詢問國外研究機構往來信件內容

與美國研究機構信件往來內容記錄

-----Original Message-----

From: mingtzuchu@itri.org.tw

Sent: Sep 10, 2010 11:41 AM

To: david.keith@mindspring.com

Subject: Question: Unit Power Density for Roadway Lighting

Dear Mr. Keith,

We are Industrial Technology Research Institute (ITRI) – a national research organization that serves to strengthen the technological competitiveness of Taiwan. Recently, we are conducting a project regarding LED street lighting analysis and energy-saving issue is also one of our focus area. As we reference IESNA 9th edition of Lighting Handbook and try to find the information about unit power density (UPD) for roadway lighting, we cannot find it. But when we searched for the IESNA publications, we found "IESNA LEM-6-1987 "Guidelines for Unit Power Density for new Roadway Lighting Installations" which was far long ago and has been omitted from the IESNA list. After that, we found that you are the pioneer and expert on this subject from a presentation material titled "Evaluating Roadway Lighting Systems Using Unit Power Density". You really did a lot of research and experiment works even ahead of IESNA. And it is the reason you are be honored as IESNA Fellow.

We would like to consult with you about "UPD" for roadway lighting? Since energy-saving issue is gradually awared by the government and the public, why "UPD" for roadway lighting is not included into IESNA Lighting Handbok or Recommended Practices as an accessible reference for research and design purpose? Is there any update information about IESNA LEM-6-1987 "Guidelines for Unit Power Density for new Roadway Lighting Installations" ? Will "UPD" for roadway lighting be included to IESNA 10th Lighting Handbook which will be released in 2011?

Sorry to disturb you a lot and we really would like to understand why this kind of energy-saving approach is not continuously (from 1987~now) promoted through formal guide or rules like IESNA's publications (Lighting Handbook) so that it can be a starting point to popularize?

We highly appreciate the work you have done so that we can have the ideas about this issue. And we really would like to hear about your precious points of view or recommendation. The more we do, the more the Earth can be saved.

Thanks very much!!

Sincerely Yours,

Sherry Chu

Re: Question: Unit Power Density for Roadway Lighting

寄件者: David Keith [david.keith@mindspring.com]

寄件日期: 2010 年 09 月 11 日 上午 03:01

收件者: 朱明孜

主旨: Re: Question: Unit Power Density for Roadway Lighting

Hello -

I appreciate your interest in UPD and kind words about my work.

Your statement about UPD being dropped from the IES publications is correct. The update to LEM-6-87 that I developed and delivered to the IES Roadway Lighting Committee was stalled, sidetracked and frustrated. The only current publication on UPD is - I think - from the Ministry of Transportation, Ontario - they asked for the LEM-6 update from me instead of waiting for the IES, and my understanding is that they published it themselves last year.

IES has developed some Lighting Power Density (LPD) numbers and you might find some information on LPDs.

I am travelling this week and so will keep this brief - but if you wish to discuss this further, please let me know.

David Keith

寄件者: 朱明孜

寄件日期: 2010 年 10 月 30 日 下午 10:50

收件者: David Keith

副本: 李芷毓; 林志勳

主旨: **RE: Question: Unit Power Density for Roadway Lighting**

Dear Mr. Keith,

How are you! I am Sherry from ITRI, the one who wrote to you dated Sep. 10, 2010 regarding the subject of Unit Power Density. Sorry to interrupt you once again since we would like to understand UPD a bit more. As you mentioned, UPD is a less complex, more stable approach to evaluate the energy performance of roadway lighting. Based on the equation you provided (as follows), it is not difficult to understand and easy to apply to the roadway lighting design. It is really worthwhile to be applied as a formal guideline, legislation and/or ordinance.

- $UPD =$

$\#Luminaire * (1.15 * Watts/luminaire)$

 $(LumCycle * \#Lanes * Width\ of\ each\ lane)$

- $\#Luminaire = 2$ for staggered arrangement
- 1.15 factor to match previous work in IESNA publication LEM-6-1987

However, it was found that your precious work contributing to LEM-6-87 update version seemed “stuck in the middle” in IESNA. Is it all right for us to understand the background reason why it was stalled and sidetracked since we may propose UPD concept to our transportation agency in the near future. Why lighting criteria pioneer like IESNA hesitate to apply UPD into Lighting Handbook and/or publications (e.g. Recommended Practices or Guidelines)? What is IESNA’s concern? We think UPD is a good criteria to be promoted. So learning and listening more will be one of the way for UPD criteria to be promoted and paid attention by our transportation agency.

Thanks very much for your time and kindly assistance.

Sincerely Yours,

Sherry Chu

寄件者: David Keith [david.keith@mindspring.com]

寄件日期: 2010 年 11 月 03 日 上午 12:24

收件者: 朱明孜

主旨: Re: FW: **Question: Unit Power Density for Roadway Lighting**

Hello Sherry -

The only suitable reply I can give you about the reason(s) for the response of IES to my research is to suggest you ask them.

While I have heard many different statements in response to the research, I have never heard any responses that found any significant flaw in the work, contradicted the results or overturned the findings or conclusions.

I have heard responses that criticize the work because it does not apply to individual luminaires but applies only to *lighting systems* and also that it does not propose an alternative to the (now withdrawn) IES Luminaire Classification System that was discussed in the papers and evaluated in the work. Of course I think that is OK - the scope of the work was clearly stated and it does apply only to systems, and does not make any recommendations on classifications (in fact I had intended to do a separate paper on the classifications later - but events have overtaken that plan.)

Certainly the wattage numbers used for that work in the 1990's can be challenged today - modern technology has significantly reduced the power required to produce lumens using different light sources. However I would say that even if the numbers changed, the relative performance - and therefore most of the conclusions - would still hold. Certainly I see no reason to question the findings that energy use and uplight can be reduced using high performance luminaires in optimized lighting systems - and that the application of "flat-glass"/"full-cutoff" distributions will typically increase both energy use and the contribution to uplight, compared to optimized systems using other distributions.

It is possible that the adoption of the research was resisted because the results made Metal Halide (probe-start technology) look so bad in comparison to HPS - or maybe because it confirmed that mandating "flat-glass" luminaires would *increase* energy use. Since this work was published, there has been a great increase in the legal

restrictions on luminaires, principally that any fixtures over a certain size (e.g. 1800 lumens) MUST be "flat-glass" which corresponds to "full cutoff" in (almost) every case. Clearly my research shows that lighting system requirements that include uniformity limits can (will) use more energy if the distributions are limited using flat-glass/full-cutoff - because the point mid-way between luminaires will become the limiting condition for the design.

There have also been unsubstantiated and unproven claims that one conclusion of my work - that uplight is usually increased from the use of "flat-glass luminaires" - is wrong. I think this criticism arises because my conclusion is entirely at odds with the position taken by "light pollution activists" that "flat-glass" and/or "full-cutoff" MUST reduce uplight - a position they adopt without any basis in peer-reviewed research, as far as I know. (At present this is combined with claims - lacking any peer-reviewed basis - that the direction of the uplight matters more than its color or any other characteristic - and that when "the appropriate directional factors" are applied, the results will change - something that may be true, however the proposed directional factors are not suitable for adoption, since most lighting occurs in valleys, between buildings, around trees, in canyons, etc. and not on the billiard-ball-smooth world assumed in the proposal for applying directional factors.)

My personal opinion is that the combination of "pro-flat-glass" activists certain that the results are wrong, combined with pro-Metal-Halide industry forces who wanted to squash the data on how HPS performed so much better than probe-start MH, managed to sidetrack the IES from its professed desire for energy-conservation documents. Certainly my research conclusions run counter to the interests of the "conventional" lighting industry that was then (and is still) trying to sell more luminaires and particularly new, more expensive light source technologies.

It is my understanding that the Ministry of Transportation on Ontario did adopt the guidelines based on my research - so apparently they found that the criticisms were not enough to reject the work. You might find it useful to discuss this topic with them.

David Keith

與日本研究機構信件往來内容記録

From: 藤田 修 [mailto:osamu.fujita@city.sapporo.jp]
Sent: Friday, July 09, 2010 7:55 AM
To: 鄭弘珮
Cc: 小山 潤一
Subject: RE: LED 街路灯導入実証実験事業に関するお問い合わせ

鄭様

日ごろより札幌市政にご協力をいただきありがとうございます。
お問い合わせの件ですが、結果の概要につきましては添付のとおりとなっております。
ご不明な点などございましたらお問い合わせくださいますようお願いいたします。

札幌市建設局土木部道路維持課
担当：藤田
doroiji@city.sapporo.jp
<http://www.city.sapporo.jp/kensetsu/doroiji/>

From: hpcheng@itri.org.tw [mailto:hpcheng@itri.org.tw]
Sent: Wednesday, July 07, 2010 2:06 PM
To: 札幌市 建設局 道路維持課
Subject: LED 街路灯導入実証実験事業に関するお問い合わせ

関係者 様：

今日は、突然のメールで、すみませんでした。

私は台湾工業技術研究院（ITRI）のもので、現在はエネルギー政策関連の部署に所属しており、LED の街路灯について、各国の導入状況や評価などの資料を集めているところです。

下記のウェブページで貴市の「新しい灯りでエコライフをデザイン LED 街路灯導入実証実験事業」を知り、その進捗状況や、実験結果の報告書は公開になるかなどの情報を教えていただけないかと思いますが、どうか、差し支えない範囲内のことを教えていただければ、有難いです。

宜しく願いいたします。

以上

<http://www.city.sapporo.jp/kensetsu/doroiji/download/PDF/ledyoko.pdf>

Best Regards,

鄭弘珮, Peggy Cheng
Energy Research Division
Industrial Economics & Knowledge Center., ITRI
Tel: 886-3-5912494

-----Original Message-----

From: matsumoto [mailto:matsumoto@led.or.jp]
Sent: Thursday, July 08, 2010 7:53 AM
To: 鄭弘珮
Cc: J L E D S (事務局伊藤文様)
Subject: Re: 【JLEDS: 自動返信】お問い合わせありがとうございます
〔LED10000162〕

Mr · P e g g y C h e n g
報告書のことは全く分かりません。
この事業は、大阪府で進めています。大阪府の i n f o か、HP 内での公募・
公開情報検索
されては如何でしょうか？
宜しくお願い申し上げます。

NPO 法人 L E D 照明推進協議会 (J L E D S)

事務局 松本 稔

〒105-0003 東京都港区西新橋 1-5-11 第 11 東洋海事ビル 6 階

Tel03-3592-1382 FAX03-3592-1285

E-Mail : matsumoto@led.or.jp

U R L : http://www.led.or.jp

----- Original Message -----

From: <hpcheng@itri.org.tw>
To: <info@led.or.jp>
Sent: Wednesday, July 07, 2010 3:18 PM
Subject: 【JLEDS: 自動返信】お問い合わせありがとうございます〔LED10000162〕

お問い合わせがありました。

〔お問い合わせ番号〕 LED10000162

受信内容:

〔メールアドレス〕 hpcheng@itri.org.tw

〔お問い合わせ内容〕

関係者 様：

今日は、突然のメールで、すみませんでした。

私は台湾工業技術研究院（ITRI）のもので、現在はエネルギー政策関連の部署に所属しており、LED の街路灯について、各国の導入状況や評価などの資料を集めているところです。

下記のウェブページで「大阪高槻京都線（吹田市出口町）と萩谷五百往線（高槻市南平台）に、検証実験の目的で LED 道路照明器具及び歩道照明器具が設置されました」という情報を知り、その実験結果について、報告書はあるかどうか、またどこで手に入れるかなどの情報を教えていただけないかと思いますが、どうか、差し支えない範囲内のことを教えていただければ、有難いです。宜しく願いいたします。

以上

http://www.led.or.jp/case/data/content/ext_012.htm

----- Original Message -----

From: 鄭弘珮

Sent: Wednesday, July 07, 2010 2:06 PM

To: 'douro@w2.city.chofu.tokyo.jp'

Subject: 「LED街路灯の試験設置」に関するお問い合わせ

関係者 様：

今日は、突然のメールで、すみませんでした。

私は台湾工業技術研究院（ITRI）のもので、現在はエネルギー政策関連の部署に所属しており、LED の街路灯について、各国の導入状況や評価などの資料を集めているところです。

下記のウェブページで貴市の「LED街路灯の試験設置」を知り、その進捗状況や、実験結果の報告書は公開になるかなどの情報を教えていただけないかと思いますが、どうか、差し支えない範囲内のことを教えていただければ、有難いです。

宜しく願いいたします。

以上

http://www.city.chofu.tokyo.jp/www/contents/1246952277624/index_p.html

Best Regards,

鄭弘珮, Peggy Cheng
Energy Research Division
Industrial Economics & Knowledge Center., ITRI
Tel: 886-3-5912494

----- Original Message -----

From: 鄭弘珮
Sent: Wednesday, July 07, 2010 1:06 PM
To: 'doroiji@city.sapporo.jp'
Subject: LED 街路灯導入実証実験事業に関するお問い合わせ

関係者 様：

今日は、突然のメールで、すみませんでした。

私は台湾工業技術研究院（ITRI）のもので、現在はエネルギー政策関連の部署に所属しており、LED の街路灯について、各国の導入状況や評価などの資料を集めているところです。

下記のウェブページで貴市の「新しい灯りでエコライフをデザイン LED 街路灯導入実証実験事業」を知り、その進捗状況や、実験結果の報告書は公開になるかなどの情報を教えていただけないかと思いますが、どうか、差し支えのない範囲内のことを教えていただければ、有難いです。

宜しく願いいたします。

以上

<http://www.city.sapporo.jp/kensetsu/doroiji/download/PDF/ledyoko.pdf>

Best Regards,

鄭弘珮, Peggy Cheng
Energy Research Division
Industrial Economics & Knowledge Center., ITRI
Tel: 886-3-5912494

----- Original Message -----

From: 鄭弘珮

Sent: Wednesday, July 07, 2010 11:57 AM

To: 'douroseibika@pref.tokushima.lg.jp'

Subject: LED 道路灯・トンネル灯の実証事業に関するお問い合わせ

関係者 様：

今日は、突然のメールで、すみませんでした。

私は台湾工業技術研究院（ITRI）のもので、現在はエネルギー政策関連の部署に所属しており、LED の街路灯について、各国の導入状況や評価などの資料を集めているところです。

下記のウェブページで貴県の「LED 道路灯・トンネル灯の実証事業者を募集、徳島県」を知り、その進捗状況や、実験結果の報告書は公開になるかなどの情報を教えていただけないかと思いますが、どうか、差し支えない範囲内のことを教えていただければ、有難いです。

宜しく願いいたします。

以上

<http://kenplatz.nikkeibp.co.jp/article/const/news/20091214/537731/>

Best Regards,

鄭弘珮, Peggy Cheng

Energy Research Division

Industrial Economics & Knowledge Center., ITRI

Tel: 886-3-5912494

----- Original Message -----

From: 鄭弘珮

Sent: Wednesday, July 07, 2010 11:13 AM

To: 'new_tech@w-nexco.co.jp'

Subject: 「道路照明設備における LED 光源の適用実験」に関するお問い合わせ

関係者 様：

今日は、突然のメールで、すみませんでした。

私は台湾工業技術研究院（ITRI）のもので、現在はエネルギー政策関連の部署に所属しており、LED の街路灯について、各国の導入状況や評価などの資料を集めているところです。

下記のウェブページで貴社の「道路照明設備における LED 光源の適用実験」を知り、その進捗状況や、実験結果の報告書は公開になるかなどの情報を教えていただけないかと思いますが、どうか、差し支えない範囲内のことを教え

ていただければ、有難いです。
宜しく願いいたします。
以上

<http://corp.w-nexco.co.jp/procurement/order/others/technology/led/>

Best Regards,

鄭弘珮, Peggy Cheng
Energy Research Division
Industrial Economics & Knowledge Center., ITRI
Tel: 886-3-5912494

-----Original Message-----

From: 藤田 修 [mailto:osamu.fujita@city.sapporo.jp]
Sent: Wednesday, June 16, 2010 11:48 AM
To: 鄭弘珮
Subject: RE: 資料の問い合わせ

鄭様

お問い合わせいただきありがとうございます。
返信が遅くなり大変失礼いたしました。
実証実験の結果については、6月初めに議会に対して報告をしたところですが、結果の一般公開の準備が遅れておりますので、
取り急ぎ、報告書を送付させていただきます。
専門的な調査ではございませんので、あまりご参考にはならないのではないかとと思いますが、よろしくお願いいたします。

札幌市道路維持課 藤田

-----Original Message-----

From: 鄭弘珮
Sent: Friday, June 11, 2010 3:53 PM
To: '藤田 修'

Subject: 資料の問い合わせ

藤田 様：

お忙しいところ、度々大変申し訳ございません。

下記の問い合わせの資料について、貴ホームページには見当たりませんでした
が、私が見過ごしたのでしょうか。

この実証実験の結果は私の仕事に大変参考になる資料になると思いますので、
是非、拝読させて頂きたいと思います。出来上がり次第、ご一報を頂ければと
思いますが、是非、よろしくお願いいたします。

Best Regards,

鄭弘珮, Peggy Cheng

Energy Research Division

Industrial Economics & Knowledge Center., ITRI

Tel: 886-3-5912494

-----Original Message-----

From: 藤田 修 [mailto:osamu.fujita@city.sapporo.jp]

Sent: Thursday, May 06, 2010 3:23 PM

To: 鄭弘珮

Cc: 小山 潤一; 234.佐藤 美緒

Subject: RE: 資料の問い合わせ

鄭 様

日ごろより札幌市政にご協力をいただきありがとうございます。

先日お問い合わせをいただきましたLED街路灯導入実証実験事業に
関しまして、下記のとおり回答させていただきます。

記

札幌市では、2009年9月から2010年3月まで、LED街路灯導入実証実験
事業を実施しておりました。

こちらに事業の概要が掲載されております。

<http://www.city.sapporo.jp/kensetsu/doroi/ji/download/index.html>

実証実験の結果につきましては、現在、5月中を目処に取りまとめ作業を行なっているところです。

結果がまとまりましたら、こちら道路維持課のホームページで公開する予定となっておりますので、どうぞよろしくお願いいたします。

札幌市建設局土木部道路維持課

担当：藤田

doroi@city.sapporo.jp

<http://www.city.sapporo.jp/kensetsu/doroi/>

-----Original Message-----

From: hpcheng@itri.org.tw [mailto:hpcheng@itri.org.tw]

Sent: Wednesday, May 05, 2010 12:01 PM

To: 札幌市建設局総務部総務課

Subject: 資料の問い合わせ

担当者の方へ：

突然で申し訳ありません。インターネットで下記の記事を知り、詳しい報告書や情報などがあれば、頂けないかと思いますが。

どうか、お返事をいただければ、有難く存じます。

お忙しいところすみませんでした。

以上、よろしくお願いいたします。

<http://e-kensin.net/modules/xhyperestraier/index.php?page=100&phrase=%A4%C9%A4%CE>

札幌市がLED街路灯の実証実験結果まとめる

札幌市がLED街路灯の実証実験結果まとめる 2010年04月21日(14面) 札幌市建設局は、LED街路灯の本格導入...した実証実験の結果をまとめた。明るさ、歩行しやすさなどの印象評価や、防犯の面で...

Best Regards,

鄭弘珮, Peggy Cheng

Energy Research Division
Industrial Economics & Knowledge Center., ITRI
Tel: 886-3-5912494

-----Original Message-----

From: hpcheng@itri.org.tw [<mailto:hpcheng@itri.org.tw>]
Sent: Monday, May 31, 2010 12:13 PM
To: 藤田 修
Subject: RE: 資料の問い合わせ

藤田 様：

お忙しいところ、大変申し訳ございません。
下記の問い合わせの資料について、貴ホームページには見当たりませんでした
が、
私が見過ごしたのでしょうか。
この実証実験の結果は私の仕事に大変参考になる資料になると思いますの
で、是非、拝読させて頂きたいと思います。出来上がり次第、ご一報を頂けれ
ばと思いますが、是非、よろしくお願いいたします。

Best Regards,

鄭弘珮, Peggy Cheng
Energy Research Division
Industrial Economics & Knowledge Center., ITRI
Tel: 886-3-5912494

-----Original Message-----

From: 藤田 修 [<mailto:osamu.fujita@city.sapporo.jp>]
Sent: Thursday, May 06, 2010 3:23 PM
To: 鄭弘珮
Cc: 小山 潤一; 234.佐藤 美緒
Subject: RE: 資料の問い合わせ

鄭 様

日ごろより札幌市政にご協力をいただきありがとうございます。
先日お問い合わせをいただきましたLED街路灯導入実証実験事業に

関しまして、下記のとおり回答させていただきます。

記

札幌市では、2009年9月から2010年3月まで、LED街路灯導入実証実験事業を実施しておりました。

こちらに事業の概要が掲載されております。

<http://www.city.sapporo.jp/kensetsu/doroi/ji/download/index.html>

実証実験の結果につきましては、現在、5月中を目処に取りまとめ作業を行なっているところです。

結果がまとまりましたら、こちら道路維持課のホームページで公開する予定となっておりますので、どうぞよろしくお願いいたします。

札幌市建設局土木部道路維持課

担当：藤田

doroi/ji@city.sapporo.jp

<http://www.city.sapporo.jp/kensetsu/doroi/ji/>

-----Original Message-----

From: hpcheng@itri.org.tw [<mailto:hpcheng@itri.org.tw>]

Sent: Wednesday, May 05, 2010 12:01 PM

To: 札幌市建設局総務部総務課

Subject: 資料の問い合わせ

担当者の方へ：

突然で申し訳ありません。インターネットで下記の記事を知り、詳しい報告書や情報などがあれば、頂けないかと思いますが。

どうか、お返事をいただければ、有難く存じます。

お忙しいところすみませんでした。

以上、よろしくお願いいたします。

<http://e-kensin.net/modules/xhyperestraier/index.php?page=100&phrase=%A4%C9%A4%CE>

札幌市がLED街路灯の実証実験結果まとめる

札幌市がLED街路灯の実証実験結果まとめる 2010年04月21日(14面) 札幌市建設局は、LED街路灯の本格導入...した実証実験の結果をまとめた。明るさ、歩行しやすさなどの印象評価や、防犯の面で...

Best Regards,

鄭弘珮, Peggy Cheng

Energy Research Division

Industrial Economics & Knowledge Center., ITRI

Tel: 886-3-5912494

寄件者: new_tech@w-nexco.co.jp [new_tech@w-nexco.co.jp]

寄件日期: 2010年08月06日 上午 11:06

收件者: 鄭弘珮

主旨: Re: 「道路照明設備におけるLED光源の適用実験」に関するお問い合わせ

台湾工業技術研究院 担当者様

平素よりお世話になります。

ご連絡が遅くなりまして、申し訳ありませんでした。

問合せ内容の「道路照明設備におけるLED光源の適用実験」でご応募頂いたご提案・アイディアは、守秘ということで募集させて頂いており、公開させて頂くことはできないこととなっております。

申し訳ありませんが、何卒ご理解の程宜しくお願い致します。

西日本高速道路(株)

新技術等募集係(本社・技術部内)

-----作成者: <hpcheng@itri.org.tw> -----

宛先: <new_tech@w-nexco.co.jp>

送信者: <hpcheng@itri.org.tw>

日付: 2010/07/07 12:13PM

件名: 「道路照明設備における LED 光源の適用実験」に関するお問い合わせ

関係者 様:

今日は、突然のメールで、すみませんでした。

私は台湾工業技術研究院 (ITRI) のもので、現在はエネルギー政策関連の部署に所属しており、LED の街路灯について、各国の導入状況や評価などの資料を集めているところです。

下記のウェブページで貴社の「道路照明設備における LED 光源の適用実験」を知り、その進捗状況や、実験結果の報告書は公開になるかなどをを教えていただけないかと思いますが、どうか、差し支えない範囲内のことを教えていただければ、有難いです。

宜しく願いいたします。

以上

<http://corp.w-nexco.co.jp/procurement/order/others/technology/led/>

Best Regards,

鄭弘珮 , Peggy Cheng

Energy Research Division

Industrial Economics & Knowledge Center., ITRI

Tel: 886-3-5912494

附錄 14

道路照明現場動態測量方法

LED道路照明現場動態測量方法

制定本方法的目的是為了模仿人眼在駕駛狀態下觀察路面；採用車載儀器模仿汽車行駛路徑對道路照明進行現場動態測量；可以不必封鎖道路,具有較強的可操作性。本方法適用於LED道路照明的現場測量，也可作為LED隧道照明現場測量的參考方法。

本方法引用標準包含:

- * CIE 140-2000 Road Lighting Calculations
- * CIE136-2000 Guide to the lighting of urban areas
- * CIE/IEC的照明術語《Lighting Vocabulary》
- * CIE技術報告No.115(1995) Recommendations for the Lighting of Road for motor pedestrian traffic
- * IESNA RP33.99 《室外環境照明推薦標準》

3、名詞定義

3.1 光通量 ϕ : luminous flux

一流明係由點光源以1燭光均等光強度放射光線至一公尺等距離之半球表面一平方公尺面積內之輻射通量。

3.2 光強度 I_v : luminous intensity

某一特定方向角內所放射光的光強通量總稱。

3.3 輝度 L_v : luminance

由光源或反光面上之任一點朝觀測方向發射或反射之單位面積上之光度值。

3.4 照度 E ; E_v : illuminance

被照體單位面積上所受之光通量。

3.5 路面平均輝度：(L_{av})

按照國際照明委員會(簡稱CIE)有關規定在路面上預先設定的點上測得的或計算得到的各點輝度的平均值。

$$L_{av} = \sum L_i / n$$

3.6 路面輝度總均勻度 (U_o) :

路面上最小輝度與平均輝度的比值。

3.7 路面輝度縱向均勻度 (U_L) :

同一條車道中心線上最小輝度與最大輝度的比值。

3.8 路面平均照度 (E_{av}) :

按照CIE有關規定在路面上預先設定的點上 測得的或計算得到的各點照度的平均值。

3.9 路面照度均勻度 (U_e) :

路面上最小照度與平均照度的比值。

3.10 路面平均輝度(照度)維持率:

即路面平均輝度(照度)維持值。它是在計入光源計畫更換時光通量的衰減以及燈具因污染造成效率下降等因素(即光損耗係數)後設計計算時所採用的平均輝度(照度)值。

3.11 眩光: glare

由於視野中的輝度分佈或者輝度範圍的不適宜, 或存在極端的對比, 以致引起不舒適感覺或降低觀察目標細部能力的視覺現象。

3.12 失能眩光: disability glare

降低視覺物件可見度、但不一定產生不舒適感覺的有害光線。

3.13 閾值增量 (TI) :

失能眩光的度量。表示為: 存在眩光源時, 為了達到同樣看清物體的目的, 在物體及其背景之間的輝度對比所需要增加的百分比。

3.14 不舒適眩光 (G) :

影響駕駛員視覺舒適度、但不一定產生降低視覺物件可見度的有害光線; 可用眩光控制等級 (G) 來衡量。

3.15 環境比 (SR) :

車行道外邊5m寬區域內的平均水準照度與相鄰的5m寬車行道上平均水準照度之比。

3.16 照明用電密度：(LPD)

單位路面面積上的照明總消耗功率（包含電源、電纜等的功耗）。

3.17 參考軸：

通過LED路燈發光口面中心並與發光口面垂直的軸線。

3.18 光強度中心：

LED路燈的參考軸和發光口面的垂足。

3.19 輔助軸：

參考軸與輔助軸決定了C0°/C180°平面。

3.20 第三軸：

參考軸與第三軸決定了C90°/C270°平面。

3.21 燈下點：

在LED路燈正下方的點，通常在參考軸上。

3.22 測量姿態：

LED路燈在測量時的放置姿態。

3.23 標準測量姿態：

LED路燈的發光口面保持水準且向下發光，參考軸垂直向下，且C90°平面處於路邊，C270°平面處於屋邊，C0°/C180°與道路軸向平行。

3.24 演色性、一般演色指數 Ra：color rendering index

表示光源演色性高低的數值。它為在光源照射下的物體顏色與參照光源照射下物體顏色相符程度的度量。CIE規定絕對黑體輻射體為參照光源，將其演色指數定為100；CIE還規定了8個顏色樣品作為比照樣品，用此樣品測試獲得的演色指數均值稱為一般演色指數（Ra）。

3.25 色溫 T_c ：color temperature

普朗克輻射體輻射的色品與給定色刺激的色品相同時普朗克輻射體的溫度，即為該色刺激的顏色溫度。單位：K

3.26 相對色溫 T_c ：correlated color temperature

在相同視輝度和規定的觀測條件下，普朗克輻射體輻射的知覺色與給定色刺激的知覺色最接近相似時，普朗克輻射體的溫度，即為該色刺激的相關色溫。單位：K

4.測試項目

4.1光強度測量

4.1.1 路面平均輝度 L_{av}

4.1.2 路面輝度總均勻度 U_0

4.1.3 路面輝度縱向均勻度 U_L

4.1.4 路面平均照度 E_{av}

4.1.5 路面照度均勻度 U_e

4.1.6 環境比 SR

4.2 色度測量

4.2.1 照明光源色品座標 (x,y)

4.2.2 一般顏色指數 Ra

4.2.3 相關色溫 T_c

4.3 眩光測量

4.3.1 失能眩光之閾值增量 TI

4.3.2 不舒適眩光控制等級 G

4.4 能效測量

4.4.1 照明用電密度 LPD

5.測試設備——車載道路照明現場檢測系統

5.1 快速多通道輝度測量系統

5.2 快速多通道照度測量系統

5.3 現場眩光分析儀

5.4 現場照明光譜或色座標測試系統

5.5 控制機台

5.6 移動式電腦

5.7 專用測量車

5.8 半柱面照度計

5.9 電功率計

5.10 測距儀。

6.測量方法

6.1 測量路段的選擇：

選擇在燈具的間距、高度、懸挑、仰角及光源之光色等方面具有典型性的平坦路面；在直路的縱向上，測量區域應是同一列的兩個燈具之間（圖1），其中第一個燈具在觀察者前方86m處。

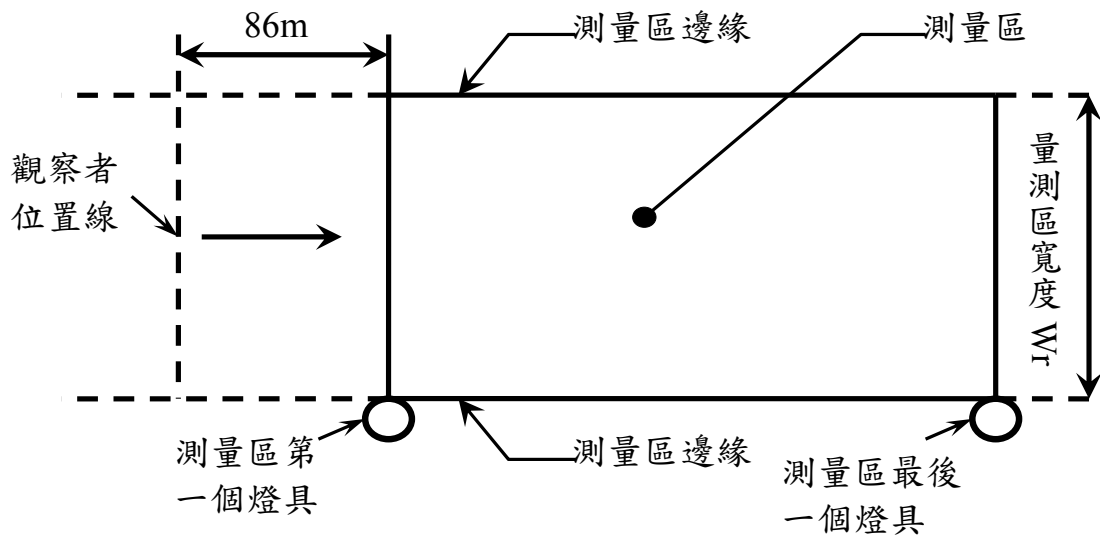


圖 1

6.2 取樣

6.2.1 輝度測量點取樣：

儀器（接收器系統）光軸距地1.5米高向下與地面成 1° 交角；縱向採用連續掃描取樣，步長視要求而異；橫向取樣分別位於各車道中心線及距中心線各1/3處。

6.2.2 照度測量點取樣（輔助測量）：

橫向取樣分別位於各車道（含人行道）中心線及距中心線各1/3處；

縱向取樣採用連續掃描記錄，步長視要求而異。

6.2.3 色度測量點取樣：

燈下點（或參考軸上取樣）

6.2.4 眩光測量點取樣：

與輝度測量取樣同時完成。

6.2.5 能效測量取樣：

測量一段LED路燈之總消耗功率，並測量它所照射的路面面積。

6.3 資料處理

6.3.1 輝度：

6.3.1.1 平均輝度的計算：

採用逐點測量時，應按式(3)計算平均輝度：

$$L_{av} = \sum_{i=1}^{i=n} L_i / n \quad (3)$$

式中： L_{av} ：平均輝度， cd/m^2

L_i ：各測點的輝度， cd/m^2

n ：測點數

6.3.1.2 輝度總均勻度的計算：

$$U_o = L_{\min} / L_{av} \quad (4)$$

式中： U_o ：輝度總均勻度

L_{\min} ：從規則分佈測點上測出的最小輝度， cd/m^2

L_{av} ：按式(3)算出的平均輝度， cd/m^2

6.3.1.3 輝度縱向均勻度：

各車道的輝度縱向均勻度應按式(5)計算

$$U_L = L'_{\min} / L'_{\max} \quad (5)$$

式中： U_L ：輝度縱向均勻度

L'_{\min} ：分別測出的每條車道的最小輝度， cd/m^2

L'_{\max} ：分別測出的每條車道的最大輝度， cd/m^2

儀器與電腦系統連接，測得資料自動存儲到電腦。計算和控制由電腦控制儀器自動完成。

路面平均輝度 L_{av} 、路面輝度總均勻度 U_L 及路面輝度縱向均勻度 U_O 由電腦給出。

注意：

在測量路面輝度和隧道照明輝度時，如果輝度計的位置始終平行於路的方向，就意味著觀察者在測量的時候始終在測量點的縱向線上。這樣的測試結果應該表明為“移動觀察者觀察的輝度均勻性”。

6.3.2 照度：

人行道上兩種形式的照度需要考慮。分別為：

水平面照度：通常是指路面，以水平面為參考；

半柱面照度：在高於路面1.5m處沿著車道縱向取樣。（此項要求未列在現有道路規範中，故僅供參考。）

測量區域選擇和布點同6.1章節。

6.3.2.1 平均照度 E_{av} 的計算：

採用照度逐點測量時，應按式(6)計算平均照度：

$$E_{av} = \sum_{i=1}^{i=n} E_i / n \quad (6)$$

式中： E_{av} ：平均照度，lx

E_i ：各測點的照度，lx

n ：測點數

6.3.2.2 照度均勻度 U_e 的計算：

$$U_e = E_{\min} / E_{av} \quad (7)$$

式中： U_e ：照度均勻度

E_{\min} ：從規則分佈測點上測出的最小照度，lx

E_{av} ：按式(6)算出的平均照度，lx

儀器與電腦系統連接，各車道中心線測得資料自動存儲到電腦。計算和控制由電腦控制儀器自動完成。

路面平均輝度、路面輝度總均勻度及路面輝度縱向均勻度由電腦給出。

6.3.2.3 環境比 SR

車行道外邊5m寬區域內的人行道之平均水準照度 E 與相鄰的5m寬車行道上平均水準照度 E 車行道之比。

各車道（含人行道）測得資料自動存儲到電腦。計算和控制由電腦控制儀器自動完成。環境比SR由電腦計算得知。

6.3.3 眩光：

6.3.3.1 失能眩光

失能眩光通過閾值增量考察

閾值增量（TI）通過如下公式計算

$$TI = \frac{k \cdot E_e}{L_{av}^{0.80} \cdot \Theta^2} (\%) \quad (8)$$

其中：

K：是隨觀察者年齡變化的常數。取K=650（相當於觀察者年齡為23歲）。如有特殊要求可以通過以下公式進行計算：

$$k = 641 \times \left[1 + \left(\frac{A}{66.4} \right)^4 \right] \quad (9)$$

A是觀察者年齡(歲)

E_e ：是指新燈具在觀察者眼瞳處垂直於視線方向的平面上產生的總照度；人眼應位於距路面1.5m高，橫向位於距車道邊緣WL/4處，縱向為測量區域前距離2.75(H - 1.5)處，其中H是安裝高度(m)。視線取垂直平面內，光軸向下與水準方向成1°方向。

L_{av} 是路面的初始平均輝度。

Θ ：是視線和產生眩光的燈具中心的角度，單位為度。

此公式在 $0.05 \text{ cd/m}^2 < L_{av} < 5 \text{ cd/m}^2$ 並且 $1.5^\circ < \Theta < 60^\circ$ 時成立。

儀器與電腦系統連接，各車道中心線測得資料自動存儲到電腦。計算和控制由電腦控制儀器自動完成。

閾值增量（TI）由電腦給出。

6.3.3.2 不舒適眩光控制等級G：

目前國內交通工程手冊之道路照明規範尚未對眩光等級提出要求，提供這項指標的現場檢測方法供選用。

不舒適眩光G通過下式計算：

$$G = 13.84 - 3.31 \log I_{80} + 1.3 (\log(I_{80}/I_{88}))^{1/2} - 0.08 \log(I_{80}/I_{88}) + 1.29 \log F + 0.971 \log L_{av} + 4.4 \log h' - 1.46 \log p + C$$

儀器與電腦系統連接，測得資料自動存儲到電腦。計算和控制由電腦控制儀器自動完成。

不舒適眩光控制等級G值由電腦給出。

6.3.4 色度測量：

取路燈正下方點，使用半球面照度接收器，用光譜輻射分析法測量LED路燈的色座標（x，y）、相關色溫 T_c 及演色指數Ra（Ra可在實驗室測量）。

6.3.5 能效測量：

用LED路燈所消耗的總功率（W）除以它所照射的路面面積（A）即為該路段的照明用電密度（LPD）。

$$LPD = W/A$$

7.測量條件

7.1 新的LED路燈測試前需先經過10天(100小時以上)之枯化點燈。

7.2 測量開始前，應將燈點亮60～90分鐘，待燈的光輸出達到穩定時，方可進行測量。

7.3 測量時需同時注意電源電壓，宜在額定電壓的±5%下進行測量。

7.4 測量時應在清潔和乾燥的路面和場地上進行，且不在月圓期間進行測量；亦可視實際需要於物天或下雨天進行測量。

7.5 應排除雜散光射入光接受器，並應防止各類人員對光接受器造成陰影和擋光。

附錄1. 動態車載測量系統

系統應同時收集所需採樣點上相應的照度和輝度資料。考慮安全性、速度和車輛陰影影響的問題，該系統應安裝在車輛頂部，安裝距離至少符合第6章中要求。系統組成如圖2。

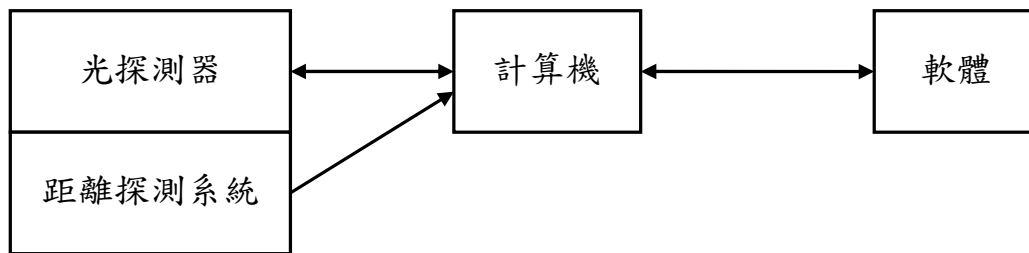


圖2 動態車載系統示意圖

1、系統的組成應有以下幾部分：

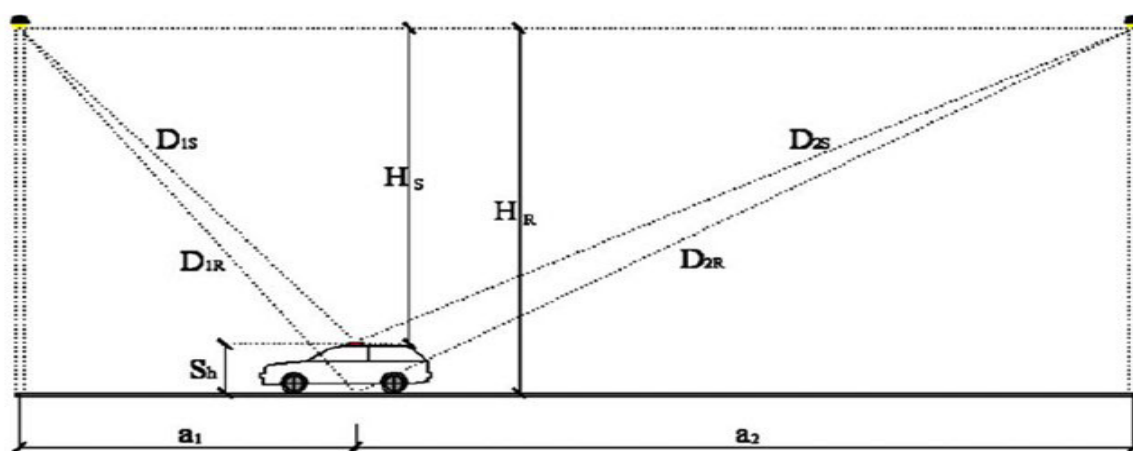
- a) 光探測器（包括輝度計、照度計）；
- b) 距離測量系統（DMI）；
- c) 筆記本電腦；
- d) 電腦和探測器（輝度計、照度計）的連接；
- e) 採集、存儲和分析資料的軟體。

2、電腦和軟體系統同時記錄光探測器和距離探測系統的資訊，具體記錄如下說明：

- a) 電腦和軟體系統記錄車輛的位置及速度資訊決定對輝度計和照度計的採樣間隔要求；
- b) 輝度計位置及光軸滿足第6章中要求，在測量區前86m處開始記錄資料，直至覆蓋整個測量區；
- c) 照度計從系統駛進測量區開始記錄資料，直至系統駛完整個測量區；則測量結束。

資料測量後期處理應參照圖3所示。針對照度計位置並未滿足6.3.2章中要求，根據照度計所處的高度已經偏離水平面，它對前後兩個燈杆之間的距離已也產生偏離，因此必須將測量值換算為路面的水準照度。如有可能，所有產生影響的燈具都應考慮在內。

圖3 動態車載測量系統



附表 1. 動態車載系統紀錄

輝度測量	測量方法(例如採用紀錄照片或逐點測量)
	減少擋風玻璃(如果存在)影響的措施
照度測量	測量方法包括汽車影響的誤差修正
照度和輝度測量	紀錄儀器座標或者紀錄測試點位置的方法
	紀錄儀器座標或測試點位置的不確定度
	測試結果的不確定性
	如何計算測試結果

參考資料:

[1] Road lighting calculations. Publication CIE 140-2000.

ISBN:3-901-906-03-7.

[2] Road lighting—Part 4: Methods of measuring lighting performance.

European standard EN 13201-3. Ref. No. EN 13201-4:2003 E

附錄 15

LED 道路標示牌採購技術規範

LED 道路標示牌技術規範

1. 適用範圍：主要、次要或服務幹道之既設道路標示牌，並以新版「道路交通標誌標線號誌設置規則」當中，第九十五條之地名標誌；第九十六條之地名方向指示標誌；第九十七條之地名里程標誌；第九十八條之方向里程標誌；第九十九條之路名標誌。
2. 引用標準：

CNS 4345	反光片及反光膠帶 (Retroreflective sheeting and tape)
CNS 14115	電氣照明與類似設備之射頻擾動限制值與量測方法 (Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of electrical lighting and similar equipment)
CNS 14335	燈具安全通則 (General requirements and tests for luminaires)
CNS 14546	發光二極體交通號誌燈燈面及燈箱 (LED traffic signal lanterns and lamp housing)
CNS 15233	發光二極體道路照明燈具 (Fixtures of roadway lighting with light emitting diode lamps)
CNS 14676-5	電磁相容 - 測試與量測技術 - 第 5 部：突波免疫力測試 (Electromagnetic compatibility - Testing and measurement techniques - Part 5 : Surge immunity test)
3. LED 道路標示牌之測試報告，須經由 TAF(財團法人全國認證基金會)認證具有電性及光性等二項認可項目之測試實驗室提供。
4. LED 道路標示牌須為”附著式”產品，附著式可分為「光源組合式」及「內部照明式」二種。
5. LED 道路標示牌內容與預定覆蓋之標示牌內容、字體大小須一致，且 LED 標示牌厚度須小於 3 公分。標示牌施工單位，需提供由具結構技師證照之結構技師，出具 LED 標示牌安裝後，標示牌可承受 17 級風，且無鬆脫、落下、倒塌疑慮之證明。
6. LED 道路標示牌經正常點亮運作後，所顯現之文字內容，須與預定覆蓋之原有標示牌內容一致。

7. LED 道路標示牌進行安裝及維修時，不可將整座或整面標示牌拆卸，須直接於牌面上安裝及更換維修所損壞或故障之元件。
8. LED 道路標示牌牌面所有顏色須明確呈現，且光源組合式標示牌表面須採用一級品反光紙(符合 CNS 4345 標準)。
9. LED 道路標示牌所採用之塑化材料，須符合 CNS14335 第 13 節之要求。
10. 乾熱：LED 道路標示牌須經過乾熱試驗才進行其他試驗。經乾熱後，所有元件均不得有裂痕或其他物理性傷害，燈面能正常點燈，且不得有任一顆 LED 燈體損壞不亮。(測試方法參考 CNS 14546 及 CNS 15233)
[試驗方法：依 CNS 14546 5.1.1 節與 CNS 15233 6.7 節，在環溫 60(±2)°C，連續操作 360 小時，於輸入端施加測試電源點燈。]
11. 絕緣電阻：LED 道路標示牌之絕緣電阻需在 30 MΩ 以上。(測試方法參考 CNS 14546)
[試驗方法：依 CNS 14546 5.1.2 節，將所有帶電部分與非帶電金屬(外殼材料為非導電材質，用導電金屬箔緊密包覆)間，以 500 Vdc 絕緣電阻計測定兩端子與非帶電間絕緣電阻。]
12. 絕緣耐電壓：LED 道路標示牌須能耐 1kVac 之電壓 1 分鐘而無異狀，允許截止電流應在 10 mA 以下。(測試方法參考 CNS 14546)
[試驗方法：依 CNS 14546 5.1.3 節，絕緣電阻試驗後，隨即進行此項試驗，於帶電部與非帶電金屬部施以頻率 60Hz 正弦波形 1kV 電壓 1 分鐘。]
13. 耐溫度：LED 道路標示牌須能在環境-15°C~70°C 下正常運作，試驗後所有元件均不得有裂痕或其他物理性傷害，燈面能正常點燈，且不得有任一顆 LED 燈體損壞不亮。(測試方法參考 CNS 14546)
[試驗方法：依 CNS 14546 5.1.4 節，在開機狀態下，從室溫上升至 70(±2)°C，停留 16 小時後，降溫至-15(±2)°C，停留 16 小時，再升至室溫，合為一循環，升降溫速度≤1°C/分鐘，連續實施兩循環。]
14. 連續開關動作：LED 道路標示牌必須在斷續通電情況下能正常動作，試驗後所有元件均不得有裂痕或其他物理性傷害，燈面能正常點燈，且不得有任一顆 LED 燈體損壞不亮。(測試方法參考 CNS 15233)
[試驗方法：依 CNS 15233 6.6 節，於輸入端子間施加額定輸入頻率之額定電壓，以點燈 30 秒、熄燈 30 秒之週期，持續進行 8000 次。]

15. 防塵防水等級：LED 道路標示牌電源須符合 IP54 以上，LED 道路標示牌牌面須符合 IPX7 以上。(測試方法參考 CNS 15233)
[試驗方法：依 CNS 15233 6.12 節，依 CNS 14335 第 9 節之規定，對 LED 道路標示牌進行試驗。]
16. 耐溫濕：LED 道路標示牌須在高溫高濕情況下正常動作，試驗後所有元件均不得有裂痕或其他物理性傷害，燈面能正常點燈，且不得有任一顆 LED 燈體損壞不亮。(測試方法參考 CNS 15233)
[試驗方法：依 CNS 15233 6.8 節，在環境溫度 $40(\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 、相對溼度 $93(\pm 2)\%$ 下，於輸入端子間施加額定輸入頻率之額定電壓進行點滅試驗，以點燈 5 分鐘、熄燈 5 分鐘之週期為 1 次循環，持續進行 160 次。]
17. 功率：LED 道路標示牌之消耗功率範圍以每平方公尺 20W 為上限。例如：一面 10 平方公尺之標示牌，牌面總消耗功率不得超過 200W($10 \times 20 = 200$)。
[試驗方法：(1)將預定安裝於「原有標示牌」之所有「附著式 LED 標示牌」，施加產品之額訂電壓。(2)統計所有「附著式於 LED 標示牌」所消耗之功率。(3)將消耗之功率除以「原有標示牌」之面積，則每平方公尺消耗功率需小於 20W。]
18. 功因：LED 道路標示牌所使用之電源供應器在正常運作時，功率因數須大於 0.9，且其功因測試值須在標示值的 95% 以上。(測試方法參考 CNS 14546)
[試驗方法：依 CNS 14546 5.1.7 節，於輸入端施加測試電源，測定其輸入功率及功率因數。]
19. 電流總諧波失真：LED 道路標示牌所使用之電源供應器，在正常運作時，總諧波失真需小於 20%。(測試方法參考 CNS 14546)
[試驗方法：依 CNS 14546 5.1.7 節，於輸入端施加測試電源，測定其電流總諧波失真。]
20. 突波保護：LED 道路標示牌(連同電源供應器)須具有電壓突波保護設計，須符合 CNS 14676-5 位準 4 以上之規範，試驗後能正常動作。(測試方法參考 CNS 15233)
[試驗方法：依 CNS 15233 6.9 節，依 CNS 14676-5 之規定，施加 1 個具有 $1.2/50\mu\text{s}$ 開路電壓波形與 $8/20\mu\text{s}$ 短路電流波形之組合波，依位準 4 之試驗電壓進行試驗，切換電壓極性重複試驗 3 次。]

21. 電磁雜訊：LED 道路標示牌須符合 CNS 14115 之規定。

[試驗方法：依 CNS 14115 規定之試驗方法進行試驗。]

22. 輝度：為考量人因影響(背景光及車速)，依郊區道路、市區道路、高速與快速道路分級建議光強度與輝度適用值。同一面標示牌之白光 LED，其色溫均勻差異須小於 500K(正向量測)。

(1) 光源組合式 LED 標示牌：以 LED 光源組成訊息內容之標示牌，輝度規範如下表（表一）。

單位：cd/m²

	機械軸上		水平角 10°		水平角 20°		水平角 30°	
	市區道路	高速公路或快速道路	市區道路	高速公路或快速道路	市區道路	高速公路或快速道路	市區道路	高速公路或快速道路
機械軸上	1000~2000	600~1200	405~810	243~486	10~20	6~12	--	--
俯角 5°	500~1000	300~600	203~406	122~244	85~170	51~102	68~136	41~82
俯角 10°	125~250	75~150	83~166	50~100	63~126	38~76	45~90	27~54
俯角 20°	15~30	9~18	15~30	9~18	10~20	6~12	10~20	6~12

[試驗方法：(1)標示牌供應商應依據表一角度需求，出具標示牌所使用之 LED 燈粒之各角度輝度值，各角度輝度值應符合表一限制。(2)將樣品安裝於樣品測試台上，調整樣品位置/方向使樣品鏡面軸心線與觀測軸線重合。(3)點亮 LED 標示牌，待其達到熱平衡（變化率 $\leq 1\%/min$ ）或 5 分鐘。(4)以輝度計量測機械軸上，單一亮點之輝度值所測得之輝度，應高於表一機械軸輝度限制之最低值，且低於表一機械軸輝度限制之最高值。]

(2) 內部照明式 LED 標示牌：在標示牌內部置入白光 LED 光源，色溫範圍為 4500K~6000K，以背透光方式表現訊息內容。標示牌訊息，除了黑色訊息外，其餘訊息輝度須在 500 cd/m² 以上，1200 cd/m² 以下。

[試驗方法：(1)將樣品安裝於樣品測試台上，調整樣品位置/方向使樣品鏡面軸

心線與觀測軸線重合。(2)點亮 LED 標示牌，待其達到熱平衡(變化率 $\leq 1\%/min$)或 5 分鐘。(3)由測試單位自每平方公尺隨機選定 7 個白色亮點，以輝度計量測亮點輝度，各亮點之輝度值所測得之輝度，應高在 500 cd/m^2 以上， 1200 cd/m^2 以下。]

附錄 16

寒地 LED 道路照明產品技術規範

LB

国家半导体照明工程研发及产业联盟推荐性技术规范

LB/T 005-2010

寒地 LED 道路照明产品技术规范 (第一版)

2010-07-20 发布

2010-08-01 实施

国家半导体照明工程研发及产业联盟 发布

目 录

前 言.....	II
1 适用范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 定义.....	1
4 规格.....	2
5 技术要求.....	2
6 试验方法.....	3
7 标志.....	5

前 言

本推荐性技术规范的全部技术内容为推荐性。制定本推荐性技术规范的目的是指导“寒地”应用环境下 LED 路灯的设计、生产和使用，规范和引导寒地 LED 道路照明技术的应用与发展。本推荐性技术规范可用于半导体照明试点示范工程。

本推荐性技术规范为暂行稿，所涉及评价项目和技术指标均是最为基本的和具备较好的考核可操作性的，暂时不追求全面性和完整性，并将随着在“寒地”环境下 LED 道路照明产品技术水平的不断提高和相应的技术标准化水平的不断提升，作进一步修正。

本推荐性技术规范由国家半导体照明工程研发及产业联盟提出。

本推荐性技术规范由国家半导体照明工程研发及产业联盟归口。

本技术规范主要起草单位：哈尔滨电子研究所、北京半导体照明科技促进中心、国家电光源质量监督检验中心（北京）、国家电光源质量监督检验中心（上海）、杭州远方光电信息有限公司、复旦大学、山西省发展和改革委员会。

本技术规范主要起草人：平立、阮军、华树明、俞安琪、潘建根、刘木清、罗颢、耿博、郝建群。

本推荐性技术规范为首次制定。

寒地 LED 道路照明产品技术规范

1 适用范围

本技术规范主要针对“寒地”应用环境的 LED 道路照明产品，规定了寒地 LED 道路照明产品的技术要求，其中包括产品的分类，初始光通量，初始光效和光通维持率等基本光学性能指标，电器和机械安全要求及无线电干扰特性等要求，试验方法和标志。

本技术规范适用于额定电压为 220V，频率 50Hz 交流供电的 LED 道路照明产品。

本技术规范不适用于直流或太阳能、风能供电的 LED 道路照明产品。

本技术规范适用于应用在北纬 40°~50°的寒地 LED 道路照明产品。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本技术规范的引用而成为本技术规范的条款。凡是注明日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本技术规范。然而，鼓励根据本技术规范达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注明日期的引用文件，其最新版本适用于本技术规范。

GB70001-2007/IEC60598-1 2003 灯具 第 1 部分：一般要求与试验

GB7000.5-2005/IEC60598-2-3 2003 道路与街路照明灯具的安全要求

GB7000.6-2008/IEC60598-2-6 1994 灯具 第 2-6 部分：特殊要求 带内置式钨丝灯变压器或转换器的灯具

GB17743-2007 电器照明和类似设备的无线电骚扰特性的限值和测量方法

GB/T 18595-2001 一般照明用设备电磁兼容抗干扰度要求

GB17625.1-2003 电磁兼容 限值 谐波电流发射限值（设备每相输入电流≤16A）

LB/T 001--2009 整体式 LED 路灯的测量方法

GB/T9468-2008 灯具分布光度测量的一般要求

CIE 102-1993 推荐的灯具光度数据输出格式(Recommended file format for electronic transfer of luminaire photometric data)

3 定义

3.1

寒地 LED 道路照明产品

应用在北纬 40°~50°地区，能够适应-40℃~+40℃温度范围运行环境的全天候室外 LED 道路照明产品。

3.2

额定值

给定工作条件下寒地 LED 道路照明产品的参数值，该值由产品生产商或责任销售商指定。

3.3

额定光通值

初始光通量的额定值，该值由产品生产商或责任销售商制定。

3.4

额定相关色温

初始相关色温的额定值，该值由产品商或责任销售商制定。

3.5

初始值

寒地 LED 道路照明产品老炼 1000 小时后，并处于稳定工作状态下测得的光电参数值。

3.6

初始光通量

寒地 LED 道路照明产品所发出的总光通量的初始值，单位流明（lm）。

3.7

初始光效

寒地 LED 道路照明产品光效的初始值，单位为流明每瓦（lm/W）。

3.8

初始显色指数

寒地 LED 道路照明产品的一般显色性指数 Ra 的初始值。

3.9

初始颜色

寒地 LED 道路照明产品的颜色特性包括色温值 CCT 和显色指数 Ra。

寒地 LED 道路照明产品的颜色的初始值，包括 CIE1976 颜色坐标（ u' ， v' ）值和相关色温值 CCT。

3.10

光通维持率

寒地 LED 道路照明产品在额定条件下持续老练一段时间后，所发出的总光通量与其初始光通量比值，用百分比表示。

4 规格**4.1 按照额定光通量分类**

寒地 LED 道路照明产品可分为：3000lm，5400lm，9000lm，14000lm 四种规格。

4.2 按照颜色分类

寒地 LED 道路照明产品可分为：暖白色（额定色温 $\leq 3300\text{K}$ ）；白色（ $3300\text{K} < \text{额定色温} \leq 5500\text{K}$ ）和冷白色（ $5500\text{K} < \text{额定色温} \leq 6500\text{K}$ ）三种规格。

5 技术要求**5.1 一般性技术要求****5.1.1 工作环境要求**

寒地 LED 道路照明产品（包括灯具和驱动控制部分）应在 $-40^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}$ 条件下正常启动和运行。

5.1.2 供电电压

寒地 LED 道路照明产品的供电：AC220V50Hz（电压范围：AC170V \sim AC260V）。

5.1.3 外观要求

寒地 LED 道路照明产品的灯具表面应具有良好的光洁度自洁性，并具有圆滑、平整的形状特征，可防止灰尘和冰雪的堆积，并产生冰凌凝结。

5.2 光电性能要求**5.2.1 初始光通量**

寒地 LED 道路照明产品的初始光通量应不低于额定光通量的 90%，不高于额定光通量的 120%。

5.2.2 初始光效要求

寒地 LED 道路照明产品的初始光效应不低于表 1 的指定值

表 1 寒地 LED 道路照明产品初始光效要求

额定色温 CCT (K)	CCT ≤ 3300	$3300 < \text{CCT} \leq 6500$
--------------	-----------------	-------------------------------

初始光效应不低于 (lm/w)	80	85
-----------------	----	----

5.2.3 光通维持率要求

寒地 LED 道路照明产品 3000 小时的光通维持率应不低于 96%。

注：光通维持率是根据有关文献从 3 万小时寿命折算而来,并略有放宽。

5.2.4 初始相关色温

寒地 LED 道路照明产品的生产商或责任销售商必须要指定产品的初始相关色温值。本技术规范定：寒地 LED 道路照明产品的初始相关色温值偏离额定色温值应在 $\pm 7\%$ 以内。

5.2.5 初始显色性要求

寒地 LED 道路照明产品的初始显色性指数 Ra 的值应 ≥ 65 。

5.2.6 功率因数

寒地 LED 道路照明产品的功率因数应不低于 0.90。

5.2.7 光度数据报告

寒地 LED 道路照明产品应提供符合 GB/T9468-2008 第 7 章规定的光度数据报告,和符合《CIE 102-1993 推荐的灯具光度数据输出格式》的光度数据。

5.3 安全要求

5.3.1 防护等级

寒地 LED 道路照明产品的防尘和防水等级至少为 IP65。

5.3.2 静态载荷

符合 GB7000.5-2005 第 6.31 条安装桅杆在（立柱）旋臂上和立杆顶部的灯或外部部件的静态载荷试验。

5.3.3 玻璃罩破损

符合 GB7000.5-2005 第 6.5 条。

5.3.4 接地规定

GB7000.6-2008 第 8.1~8.3 条执行。

当寒地 LED 道路照明产品正常工作时，被接地的金属不能成为一个电流通道的部件。

5.3.5 绝缘电阻和电气强度

符合 GB7000.1-2007 第 10.2 条。

5.3.6 泄露电流

符合 GB7000.1-2007 第 10.3 条。

寒地 LED 道路照明产品正常工作时,在电源各电极与其壳体之间可能产生的泄露电流不应超过 0.5mA 的数值。

5.3.7 外部接线和内部接线

按 GB7000.5-2005 第 10.1 条执行，且寒地 LED 道路照明产品的外部接线和内部接线不应使用聚氯乙烯绝缘材料的导线，宜使用在低温环境下仍能保持柔韧性的橡胶绝缘材料导线，以便于寒冷环境下的灯具安装和维护。

5.4 电磁兼容性能的要求

寒地 LED 道路照明产品的无线电骚扰性应符合 GB17743-2007 的要求。

寒地 LED 道路照明产品的电磁兼容抗扰度应符合 GB/18595-2001 的要求。

寒地 LED 道路照明产品产生的电源谐波电流应符合 GB17625.1-2003 的要求。

6 试验方法

6.1 工作环境要求（5.1.1）

按照以下规定执行。

6.1.1 适应性

本试验项目用来确定寒地 LED 道路照明产品标准的耐温度变化的能力和在温度变化期间的工作能力。

6.1.2 设备

可编程高低温试验箱（或多功能气候试验箱）

6.1.3 试验条件

6.1.3.1 试验前、后应检验试验样品的光学性能。

6.1.3.2 试验箱内空气应充分流通，试验样品周围的空气流速不大于 2m/s。

6.1.3.3 试验样品表面与箱壁之间的距离应大于 200mm。

6.1.4 试验方法

6.1.4.1 试验样品按照安装位置，放置在试验箱内。

6.1.4.2 试验样品应经历图 1 所示的 2 个温度变化循环试验，每个循环历时 5h。即：

试验循环：5 次；

每个循环时间：5h；

温度曲线：按图 1 规定；

温度升降变化速率：0.5℃/min~4.0℃/min；

循环开始温度：20℃；

低温：-40℃，保持时间 1h；

高温：40℃，保持时间 1h；

通电方式：在图 1 “A” 点处开始通电至 “B” 点处。

试验电压：AC220V±10%。

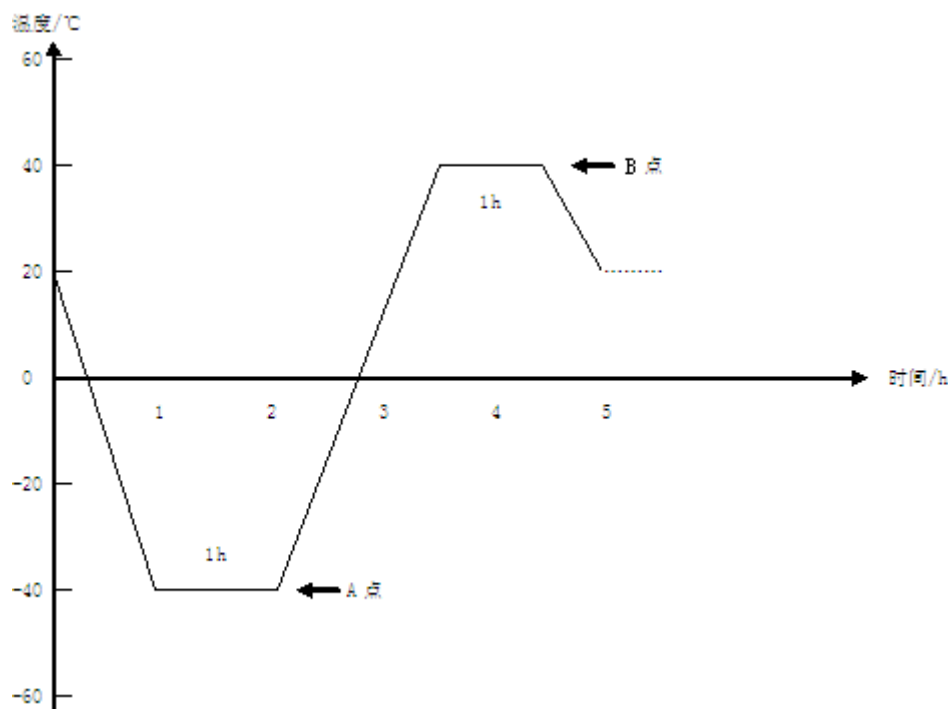


图 1 LED 道路照明产品的温度变化试验的温度—时间曲线

6.1.4.3 试验结束后，从试验箱内取出试验样品，在室温 23℃±5℃和相对湿度 20%~75%的环境条件下恢复 1h。

6.1.5 结果判定

目视检验试验样品的光学透镜或反射镜有无变形、起泡现象，光电性能应符合本技术规范要求。

6.2 光电性能要求 (5.2)

第5.2条各项要求按照LB/T001-2009规定的方法进行测量试验；

6.3 防护等级 (5.3.1)

按 GB 7000.1-2007 中 9.2 节的规定进行。

6.4 静态载荷 (5.3.2)

按照 GB7000.5-2005 第 6.31 节的规定进行。

6.5 玻璃罩破损 (5.3.3)

按照 GB7000.5-2005 第 6.5 条执行。

6.6 绝缘电阻和电气强度 (5.3.5)

按照GB7000.1-2007 第10.2条执行。

6.7 泄露电流 (5.3.6)

按照GB7000.1-2007第10.3条执行。

6.8 电磁兼容性能的要求 (5.4)



按照 GB17743-2007、GB17625.1-2003 和 GB/18595-2001 所规定的方法进行试验。

7 标志

7.1 强制性标志

寒地 LED 道路照明灯具应该清晰耐久地标有下述标志：

- a)来源标志（商标、产品生产商的名称或责任销售商的名称）；
- b)额定电源电压；适用的电源电压范围；额定功率；电源频率和电源电流；
- c)灯具的额定最大工作环境温度范围；
- e)灯具的 IP 防护等级；

f) I 类灯具接地符号  或者 II 类灯具的符号  ；

g)功率因数；

h)制造日期。

7.2 补充标志

除上述强制性标志以外，必要时还应将下述适用的内容标记在灯具上，或标在产品生产商或责任销售商的说明书中：

- i)额定光通量；
- j)额定相关色温；
- k)光效。

7.3 标志的耐久性和清晰度

标志应牢固耐久、清晰易认。

合格性采用目视和下述方法检验：用一块浸泡过水和一块浸泡过的汽油的布分别轻轻擦拭标志，各持续 15 秒，此后，标志仍应清晰明了。所用汽油应由乙烷溶剂构成，其中所含芳香剂的最大体积百分比为 0.1%，溶液溶解值为 29，初始沸点约为 65℃，干点约为 69℃，密度约为 0.68g/cm³。