

86-69-3182

# 反光路面標記與車燈可視偏角之關係



交通部運輸研究所

中華民國八十六年十一月

交通部運輸研究所出版品摘要表

出版品名稱：反光路面標記與車燈可視偏角之關係			
國際標準書號（或叢刊號）		政府出版品統一編號 009104860660	運輸研究所出版品編號 86-69-3182
主辦單位：運輸安全組 主管：林豐福 計畫主持人：林豐福 研究人員：林亨杰 電話：(02) 349-6860 傳真：(02) 545-0429		合作研究單位：人因工程學會 計畫主持人：游志雲 研究人員：李翔詣 ：張嘉玲 電話：(03) 572-0417 傳真：(03) 572-1542	研究期間 自85年09月 至86年06月
關鍵詞：反光路面標記、回歸反射、交通安全、明視距離、可視度、前置視距			
<p>摘要： 本研究的目的是在探討夜間彎曲道路下行車，二種反光標記-360°本體色強化玻璃反光路面標記與直角稜鏡型反光路面標記的可視偏角位置是否符合駕駛的需求。影響反光標記視覺績效的原因在於反光強度，而反光強度受到反光標記相對車燈光軸的偏角大小，車燈光強度分佈與反光標記反光性質效能等因素的影響。其中，以偏角的影響最重要。本研究共進行模擬道路測試與實際道路測試二階段的實驗。模擬道路為一臨時佈署的道路，是一個曲率半徑為30公尺的半圓形雙向道，實際道路測試則為一山區道路。研究結果指出360度本體色強化玻璃反光路面標記的偵測偏角至少可達36度，直角稜鏡型偵測偏角則至少可達30.39度。顯示360度本體色強化玻璃反光路面標記的可偵測偏角較傳統的直角稜鏡型反光標記為高。道路評估結果顯示，整體而言，玻璃型反光標記有較佳的視覺績效。細部來說，在半徑30公尺以下彎道或連續彎道玻璃型視覺績效高出甚多，在半徑120公尺以上的彎道與直線道以直角稜鏡型為佳，在半徑30公尺與120公尺之間路段則無明顯差異。</p>			
出版日期	頁數	工本費	本出版品取得方式
86 年 11 月	70	200	凡屬機密或限制性出版品均不對外公開。一般性出版品，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工本費價購。
管制等級： <input type="checkbox"/> 機密（ <input type="checkbox"/> 解密日期為 年 月 日， <input type="checkbox"/> 主辦單位視情況辦理解密） <input type="checkbox"/> 限閱（ <input type="checkbox"/> 解密日期為 年 月 日， <input type="checkbox"/> 主辦單位視情況辦理解限） <input checked="" type="checkbox"/> 一般			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

**MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

<b>TITLE:</b> The Study on the Relationship Between the Road Marker and the Visibility Deviation Angle Relative to the Car Head Lamp Axis			
<b>ISBN(OR ISSN)</b>	<b>UNIFORM SERIAL CODE FOR GOVERNMENT PUBLICATIONS</b> 009104860660	<b>IOT SERIAL NUMBER</b> 86-69-3182	
<b>DIVISION:</b> Transportation Safety Division <b>DIVISION CHIEF:</b> Fong-Fu Lin <b>PRINCIPAL INVESTIGATOR:</b> Fong-Fu Lin <b>PROJECT STAFF:</b> Heng-Jey Lin <b>PHONE :</b> 886-2-3496860 <b>FAX :</b> 886-2-5450429	<b>COOPERATE DIVISION:</b> Ergonomics Society of Taiwan <b>PRINCIPAL :</b> Chi-Yuang Yu <b>INVESTIGATOR:</b> Hsiang-Yi Lee <b>PROJECT STAFF:</b> Jia-ling Chang <b>PHONE :</b> 886-3-5720417 <b>FAX :</b> 886-3-5721542	<b>PROJECT PERIOD</b> <b>FROM</b> Sep., 1996 <b>TO</b> June, 1997	
<b>KEY WORDS:</b> road marker, Retroreflection, Traffic safety, visibility, visibility distance, Preview distance			
<b>ABSTRACT :</b> The objective of this study is to investigate and compare the visibility of the "360° tempered glass" and the "corner cube" retroreflective road markers. The visibility of the road marker is attributed to many factors such as the deviation angle of the road marker relative to the light axis of the lamp, the light intensity distribution of the lamp, the retroreflectivity and characteristics of the marker. Among these factors, the deviation angle is the most important. The study is mainly to investigate the maximal visible deviation angles of these two markers, and then derive the practical visibility thresholds for road markers. The study consists of a simulation experiment and a field experiment. Both require real driving condition. The results show that the minimal deviation angle of 360° tempered glass marker is 36.0° and the corner cube marker is 30.39°. The field test is in agreement with simulation experiment.			
<b>DATE OF PUBLICATION</b>  November, 1997	<b>NUMBER OF PAGES</b>  200	<b>PRICE</b>	<b>CLASSIFICATION</b> <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications			

# 目 錄

中文摘要	
英文摘要	
目錄	I
圖目錄	III
表目錄	IV
第一章 緒論	1
1.1 研究緣起	1
1.2 研究目的	5
1.3 研究方法	5
1.4 實驗流程	6
第二章 文獻回顧	8
2.1.1 人眼的偵測能力	9
2.2 回歸反射性能	20
2.2.1 回歸反射原理	20
2.2.2 回歸反射器種類與性質	23
2.2.4 反光標記檢測標準與比較	27
2.3 安全行車視距	29
第三章 研究方法	39
3.1 模擬實驗	39
3.1.1 實驗設計	39
3.1.2 受測者	40
3.1.3 實驗用車	40
3.1.4 實際佈置與程序	40
3.1.5 車燈光強度分布量測	43
3.1.6 分析方法	43
3.2 實際道路實驗	44
第四章 結果與分析	47
第五章 討論	53
第六章 結論與建議	59
參考文獻	60

附錄 A 反光標記檢測報告 .....	64
附錄 B 各種角度組合下的反光標記反射係數 .....	67
附錄 C 車燈光強度測量結果 .....	68

## 圖目錄

圖 1-1 淺截頭金字塔型反光路面標記 .....	4
圖 1-2 360 度本體色強化玻璃反光路面標記 .....	4
圖 2-1 影響明視距離因素圖 .....	9
圖 2-2 聚焦過程 摘自 Fox[24] .....	11
圖 2-3 眼睛結構圖 摘自 Fox[24] .....	11
圖 2-4 視網膜示意圖 摘自 Fox[24] .....	13
圖 2-5 視神經位置圖 摘自 Fox[24] .....	13
圖 2-6 視神經路徑圖 摘自 Fox[24] .....	14
圖 2-7 紅綠藍三種錐狀細胞吸收光譜圖 摘自 Fox[24] .....	14
圖 2-8 回歸反射圖 摘自 ASTM[9] .....	21
圖 2-9 角座標系統 摘自 CIE[20] .....	21
圖 2-10 平面量測座標圖 摘自 CIE[20] .....	22
圖 2-11 角錐反光元件 摘自 CIE[18] .....	23
圖 2-12 角錐反光元件光線行進圖 摘自 CIE[18] .....	24
圖 2-13 直角稜鏡反光標記示意圖 摘自 CIE[18] .....	24
圖 2-14 球狀透鏡回歸反射器示意圖 摘自 CIE[18] .....	25
圖 2-15(A) 360 度強化玻璃反光標記光線路徑(側視圖) .....	26
圖 2-15(B) 360 度強化玻璃反光標記光線路徑(上視圖) .....	26
圖 2-16 CNS 13763 檢測系統 摘自 CNS[7] .....	27
圖 2-17 路面摩擦係數圖 摘自 樓乃基[1] .....	31
圖 2-18 超車過程圖 摘自 樓乃基[1] .....	34
圖 2-19 彎道上前置視距與前置偏角關係圖 .....	37
圖 3-1 實驗佈置圖 .....	41
圖 3-2 實驗現場圖 .....	42
圖 3-3 實際測試現場圖 .....	44
圖 3-4 實際測試圖 .....	45
圖 4-1 實驗結果與回歸曲線 .....	48
圖 4-2 回歸反射強度係數分佈圖 .....	48
圖 4-3 右彎道上測試車的車燈照度分布圖 .....	49
圖 5-1 不同半徑右彎道上反光係數比較 .....	54
圖 5-2 不同半徑左彎道上反光係數比較 .....	54

## 表 目 錄

表 1.1 模擬道路測試實驗組合 .....	6
表 2.1 日夜間亮度分佈及人眼作用範圍表 .....	13
表 2.2 各種量測狀況下的閾值 .....	18
表 2.3 反光標記回歸反射性能標準 .....	28
表 2.4 各國直角稜鏡型反光標記檢測標準 .....	28
表 2.5 各國球狀透鏡類反光標記檢測標準 .....	29
表 2.6 各種安全視距要求 .....	31
表 2.7 前置視距研究結果 .....	36
表 2.8 八種轉彎半徑右彎道的前置視距與前置偏角。 .....	38
表 2.9 八種轉彎半徑左彎道的前置視距與前置偏角。 .....	38
表 3.1 受測者基本資料 .....	40
表 3.2 實驗車資料 .....	40
表 4.1 小客車駕駛的 95 % 偏角平均值 .....	47
表 4.2 貨車駕駛的 95 % 偏角平均值 .....	49
表 4.3 視力與偏率偏角相關係數 .....	50
表 4.4 小客車駕駛的 95 % 偏角極端值與視覺績效評估 .....	50
表 4.5 貨車駕駛的 95 % 偏角極端值與視覺績效評估 .....	50
表 4.6 偵測照度閾值 .....	51
表 4.7 兩種反光標記在右彎道上反光照度與視覺績效評估 .....	51
表 4.8 兩種反光標記在左彎道上反光照度與視覺績效評估 .....	52
表 4.9 實際道路測試結果 .....	52
表 5.1 實驗用反光標記的反射係數與檢測標準值的比較 .....	55
表 5.2 右彎道恰符合標準值之反光標記的反光照度與視覺績效預測結果 .....	55
表 5.3 左彎道恰符合標準值之反光標記的反光照度與視覺績效預測結果 .....	56
表 5.4 右彎道上小客車與 20 噸貨車的入射角與觀測角 .....	56

## 摘 要

本研究的目的是探討夜間彎曲道路下行車，二種反光標記-360°本體色強化玻璃反光路面標記與直角稜鏡型反光路面標記的視覺績效是否符合駕駛的需求。反光路面標記是利用回歸反射的原理讓光線朝車燈入射方向反射，由於光線集中於一小光錐，視覺效果特別明顯，可提供較遠的明視距離。影響反光標記明視度的原因在於反光強度，而反光強度受到反光標記相對車燈光軸的偏角大小，車燈光強度分佈與反光標記反光性質效能等因素的影響。其中，以偏角的影響最重要。因此，本研究目的在比較兩種反光標記的可視偏角大小，並評估是否合於安全視距的要求。

本研究共進行模擬道路測試與實際道路測試二階段的實驗，並依實驗結果對不同道路上的使用情形作評估。模擬道路為一臨時佈署的道路，是一個曲率半徑為30公尺的半圓形雙向道，車道寬3公尺，道路中心線上每隔一公尺擺置一顆玻璃型路面標記或直角稜鏡型路面標記，在半圓形道路的兩端沿切線方向各有一條60公尺長的駕駛引道。實驗開始，受測者駕實驗車由引道起點，以時速30公里的速率由引道駛入彎道，以車上所設紅外線雷射對正行車方向。當車子正好駛入測試點時，受測者必須立刻回答前方路面是否有信號出現。共有小客車、貨車二種車型及26名受測者參與實驗。受測者的年齡分佈於20到40歲，視力0.5-1.2，無夜盲。實際測試則選在新竹縣寶山鄉一條山區便道進行兩名受測者的實驗。

研究結果指出360度本體色強化玻璃反光路面標記的偵測偏角至少可達36度(平均39.89, 標準差=1.76度), 直角稜鏡型偵測偏角則至少可達30.39度(平均32.18, 標準差=1.21度)。顯示360度本體色強化玻璃反光路面標記的可偵測偏角較傳統的直角稜鏡型反光標記為高。實際測試結果與模擬結果趨勢一致，但數值較低。道路評估結果顯示，整體而言，玻璃型反光標記有較佳的視覺績效。細部來說，在半徑30公尺以下彎道以玻璃型視覺績效較佳，在半徑120公尺以上的彎道與直線道以直角稜鏡型為佳，在半徑30公尺與120公尺之間路段則無明顯差異。



## Abstract

The objective of this study is to investigate and compare the visual performance of the "360° tempered glass" and the "corner cube" retroreflective road markers. The retroreflective road markers reflect the incoming light from the car's head lamp back in the almost opposite direction, therefore can be seen by the driver like a series of shiny beads glowing on the dark road. The visibility of the road marker is dependent on the intensity of the reflected light, and the intensity in turn is attributed to many factors, such as the deviation angle of the road marker relative to the light axis of the lamp, the light intensity distribution of the lamp, the retroreflectivity and characteristic of the marker. Among these factors, the deviation angle is the most important. The study is mainly to investigate the maximal visible deviation angles of these two markers, and then derive the practical visibility thresholds for road markers. The thresholds are then used to assess the visual performances of two markers in other regulated road condition to evaluate superiority.

The study consists of a simulation experiment and a field experiment. The simulation set-up is a semi-circle road of 30 meter radius, at each end, there is a 60 meter straight leading road. On the center line of the road, 120 road markers are placed with 1 meter spaced apart each other. In addition, a target signal is moveable by the center line in the range of proper positions. The task of subject is to drive a car entering the circle from the leading road at 30 kph. At beginning of circle, the subject reports whether or not he/she detects the target signal. The field experiment is conducted on winding rural road. In simulation experiments, 26 subjects of normal vision were recruited. Each may drive different cars, varying from small sedan to 20 ton truck. The results showed that the minimal deviation angle of 360° tempered glass marker is 36.0° and the corner cube marker is 30.39°. And the field test's results are in agreement with the simulation results. Based on the results of the simulation condition, practical visibility threshold is derived and the assessment of the visual performance of two markers in other regulated driving condition show that tempered glass marker is superior on winding road while corner cube is superior at straight road.

# 第一章 緒論

本研究的目的是在應用人因工程的方法，來探討路面反光標記對夜間駕駛者的可視度。安全的行車必須有足夠的明視距離，方能有足夠的視覺偵測、辨識與駕駛操控。不佳的照明造成明視距離的縮短，往往加重了夜間駕駛的負荷，導致夜間駕駛肇事頻仍。爲了提昇夜間行車安全，使用反光路面標記以做為路面標線的輔助已行之有年。反光路面標記主要功用在提高路面標線的可視度，目前常用的反光路面標記主要爲 360°本體色強化玻璃反光路面標記以及雙面反光路面標記兩種。針對這兩種反光路面標記，政府等有關單位均訂定有製品標準。唯這兩種標準中與交通視覺可視度有關的反光強度是否滿足行車安全的考量則沒有很有力的學理及實驗驗證。職是之故，本研究即針對該兩類路面反光標記，以人因工程的研究來驗證不同種類的反光標記在不同路況下的明視效果，以提供路面反光標記檢測、設計之用。

## 1.1 研究緣起

路面標線設置的目的在於提供道路駕駛者警告、禁制、指示的作用[4][17][23]。最常見的路面標線爲道路分向線與分道線。車道分向線提供道路的行駛方向、曲度及是否可以超車等訊息；車道線則提供車道的增減、併入等訊息。道路分向線與分道線的目的，主要在於指引車輛駕駛者操控車輛於適當的路徑車道。沒有道路標線，駕駛的心智負荷將更形增加。研究顯示，中央分向線與分道線的設置有效的降低了車禍的發生率[12][13][38][39][40]。

路面標線能否發揮指引的作用，關鍵的因素在於標線的可視度（visibility）。標線可視度的重要性在白天與夜晚有很大的差別。在白天的駕駛活動中，標線將入射的太陽光漫射到駕駛者眼中，由於白天光線十分充足，駕駛者多可輕易的看到標線。即使標線因陳舊斑駁部份脫落而導致可視度不佳，駕駛者仍可藉由其他的視覺指引（visual cue），如行道樹、房子、廣告牌、電線桿的位置及其他車輛的相關位置來瞭解道路與車道的變化，如方向、曲度等。因此，標線的可視度在白天並非十分重要。

然而，標線夜間的可視度則非常重要[26]，不良的標線可視度

是導致車禍頻仍的主要因素之一。通常在夜間駕駛，由於環境光線十分微弱，道路標線非常黯淡不明，完全無法發揮指引道路的功能，路旁景物可見度亦非常低，導致駕駛者缺乏足夠的輔助指示可以利用。在這種情形下，車燈幾乎是提供道路標線明視的唯一工具，可是車燈的照射距離非常短，亦即提供駕駛指引的距離非常短，在可見距離較短的情形下，駕駛車子的心智負荷自然增加，導致車禍數目增加。研究顯示，在 1984 年間，美國夜間道路出事率為日間的 3.4 倍[33]。更進一步來說，夜間的里程數為日間的 1/4，車禍件數卻較日間高[16]。為了讓駕駛者掌握路況，降低行車駕駛負荷，標線的夜間可見度成為行車安全的關鍵。然而在夜晚低亮度的環境中，靠著車燈及路燈的照射，路面標線將光線漫射到各個方向，其中只有少數的光線會反射到駕駛者的眼睛。

由於路面標線亮度過低，導致駕駛者看不清楚標線，使駕駛者須費心去辨識標線，反而增加駕駛負荷。這種情形在標線使用過久，表面灰塵累積或是下雨使路面形成水膜覆蓋時更為嚴重，因為兩種情形皆導致標線反射回來的輝度更低，辨識更為困難。解決這個問題，廣設路燈，提高整個路段的照明水準固然是一個方法，然而，此將大幅提高路燈設置與維修的成本，對於低交通流量的道路如鄉間或山區的道路而言，並不符合經濟效應。反光路面標記是增加標線可視度的另一可行方法，它能夠將入射到其上的車燈光線，很有效率的沿著入射路徑，回歸反射到駕駛者的眼睛，因此大幅提高標線的明視距離。因此，在成本的考量下，利用反光路面標記來提高路面標線的可見度不失為一理想的方法。

反光路面標記（以下簡稱反光標記）是設於道路上用以代替原應有標線或輔助原有標線，以增加標線可視度。反光路面標記是利用回歸反射原理，把入射的車燈光線，沿著靠近入射方向的路徑集中反射回駕駛者的眼睛。由於回歸反射的光錐很小，因此光強度很強，非常明視耀眼，是一種很明顯的標線標記。相較於傳統路面標線，反光路面標記有下列優點：一、明視度較高，無需路燈照明，節省相關設置及維修成本。二、高凸於路面，雨天的明視機率較高。

反光標記的視覺績效是反光標記能否發揮功用的重要關鍵。

所謂視覺績效，指的是反光標記的明視距離（visibility distance）是否大於駕駛者安全視距的要求，使駕駛者在看到反光標記後，明瞭前方道路的變化，如方向、曲率、岔路等，有充分的時間決策、反應。反光標記的明視距離指的是駕駛者能成功（95% 以上機率）偵測到反光標記最遠的距離。

影響反光標記的明視距離的因素有人眼夜間偵測亮點的能力限制和反光標記的反光強度。由於反光標記是利用回歸反射的原理產生反射光，其反光效果受到入射車燈光強度與反光標記回歸反射性能的影響。入射車燈光強度則由車燈光強度分佈與反光標記相對於車燈光軸所成偏角所決定。對於裝置在道路上的反光標記而言，道路曲率越大，則前方反光標記與車燈光軸線（兩車燈中點）的偏角越大，入射光強度越低，反光強度越低，人眼偵測較不易。另一方面，不同的車型配備不同的車燈，車燈光強度分布也不同。同時，車燈位置決定決定了車燈與反光標記的垂直夾角與觀測角。一般來說，車型越大，車燈與駕駛座也越高，造成的觀測夾角也越大。在反光標記回歸反射性能方面，不同反射原理構成的反光標記，其反射係數隨入射角與觀測角的改變情形也不同。

一般的反光標記有兩種形式，傳統的淺截頭金字塔型反光標記（以下簡稱直角稜鏡型反光標記，圖 1-1）與較新發展的 360 度本體色強化玻璃反光路面標記（以下簡稱玻璃型反光標記，圖 1-2）。它們的回歸反射原理相異，故回歸反射的性能不同。直角稜鏡型反光標記是由很多的實心塑膠製三角錐排成平面陣列所組成，利用發生在角錐面的全反射產生回歸反射。受限於全反射，其有效作用區僅為以法線為主軸，有效張角約為左右各  $20^{\circ}$  的範圍，故其擺置方向必須嚴格正對來車。當行駛於彎曲道路上，車燈光軸無法對正直角稜鏡型反光標記時，標記的反光效果會受到影響導致不良的可視度。相反的，在直線路段時，由於車燈光軸正對反光標記，直角稜鏡型的反光效果因有效反射面較大而較佳。玻璃型反光標記為一體成型，但型體上包含兩部份，上半部為一曲率較小的玻璃半球，作為凸透鏡，以會聚入射光；下半部為一曲率較大的玻璃圓盤，盤面上鍍反射膜，作為反射鏡。玻璃型具環場 360 度回歸反射能力，理論上無水平作用角度的限制，較適合裝設於彎路上。



對於兩種反光路面標記，過去一直缺乏足夠的研究結果來探

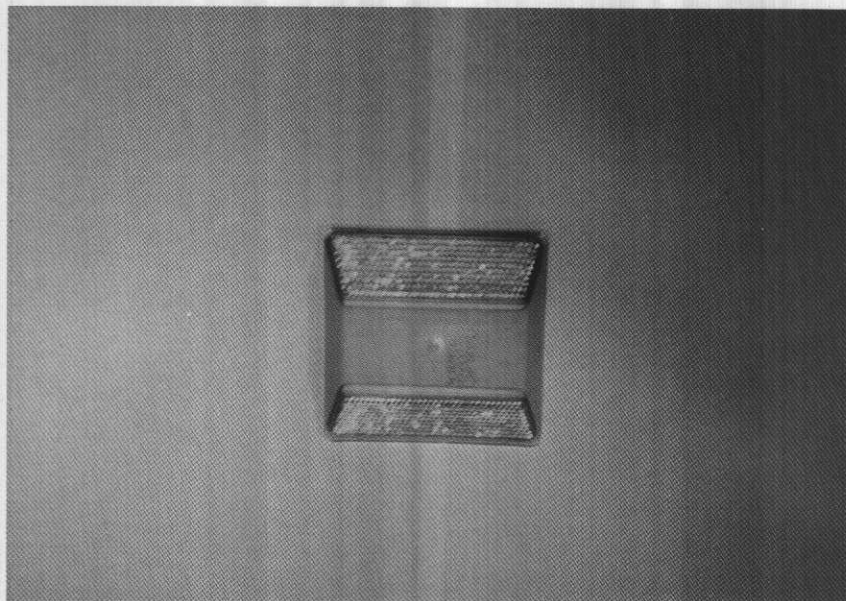


圖 1-1 淺截頭金字塔型反光路面標記



圖 1-2 360度本體色強化玻璃反光路面標記

討兩者在不同路段的適用範圍及使用效果[21]無足夠的研究來支持其回歸反射係數的檢驗要求以確保足夠的視覺績效。本研究的目的即在針對道路曲率與車型來探討兩者反光路面標記的效果及使用範圍。

## 1.2 研究目的

本研究的目的是在利用近似實景的模擬道路來探討兩種反光路面標記—玻璃型及直角稜鏡型的視覺績效，再以實際道路實況駕駛來做驗證。理論上，欲探討駕駛者的視覺績效，必須在實際道路上做實況的駕駛測試方能得到實際的結果。可是欲在一條有實際車流的路上做實驗，勿寧說是非常危險，亦會影響交通造成其它駕駛者的不便。而且欲找尋一具有代表性的實驗道路並非一件容易的事，因為道路有各種不同的等級，曲率隨地形地貌而有不規則的變化。於是乎較可行的方法是使用近乎實際的模擬道路。然而以模擬道路做實驗可能會與實際道路結果有所偏離，因之在模擬實驗之後，再進行實際道路的簡單測試，以評估實際上的偵測情形與模擬道路上結果的差異。

## 1.3 研究方法

本研究在新竹市南寮漁港的空曠停車場上繪製二條半徑為 30 公尺的左右彎道，一條向左彎，一條向右彎，在這兩條彎道擺設反光路面標記，駕駛者在彎道之前以時速 30 公里的行車速率駛入彎道，在駛入彎道的瞬間，記錄駕駛者可以明視到的最偏遠反光標記。在這 30 公尺的彎道上，最遠的反光標記所形成的偏角就是最大的明視偏角。前面提到最遠的可視反光標記取決於其反光強度，反光強度受制於入射的光照度（亦即照射到它本身的照度）與回歸反射係數的影響。回歸反射係數雖因不同的廠牌（玻璃折射率，吸光率，幾何造型）有所不同，但因為本研究主要探討兩種不同類型的反光標記的視覺績效，故只須各選用一符合 CNS 標準的合格反光標記，其他反光標記的視覺績效可利用反射係數推得。入射到反光標記的光照度因車燈的光強度分布情形以及它與車燈光軸的偏角而異。因為車燈隨廠牌、車種而有很大的變化，本實驗無法逐一加以探討，因此概略將車燈區分為兩種，一種為小客車，其車燈懸掛於離地高 60 公分處，另一為貨車，其車燈懸掛於離地高 100 公分處，這兩種車型的車燈對路面反光標記在垂直方向的入射角分別約為 1 度及 2 度（以照射到 30 公尺遠的反光標記而言）。在水平方向的入射偏角，亦即本研究主要研究的變數，在探討小客車或貨車在各種曲率半徑的彎道上，可以明視到的最大水平偏角（前面提到的 95% 可偵測偏角）是否滿足行車

安全的須求。雖然本研究只進行 30 公尺半徑彎道的實驗，但其結果足以推估到其他曲率半徑的道路。理論上本研究必須量測一系列不同曲率的彎道(例如，30 公尺，50 公尺，100 公尺，200 公尺)，然而經過審慎的推論，本研究認為只須模擬 30 公尺的彎道即可。從 30 公尺彎道的最大明視水平偏角，可以計算出其可偵測的反光閾值。經由不同的道路曲率及設計速率可以求得各種狀況下符合安全需求的最小明視水平偏角。再檢驗在這個最小明視水平偏角時，車燈是否能夠提供足夠的照度使其回歸反射光強度在偵測閾值之上。如果在閾值之上，則合於行車安全需求。

本研究的模擬實驗包含四個子實驗，而實際道路包含二組的實驗。在模擬道路方面，本研究分別探討小客車和貨車分別偵測玻璃型及直角稜鏡型反光標記的四種組合。(表 1.1)

表 1.1 模擬道路測試實驗組合

	小客車	貨車
玻璃型反光標記	21 人	5 人
直角稜鏡型反光標記	10 人	5 人

基於實際需求及時間、經費考慮，每實驗所參與的人車並不完全相同，在小客車方面共有 21 名受測者參與玻璃型偵測測試，其中 10 名再參與直角稜鏡型偵測測試。總共 31 名人次的測試者，駕駛同一部車子。在貨車的方面，有 5 名受測者分別參與玻璃型及直角稜鏡型偵測測試。這 5 名受測者分別駕駛不同的車子，由 1.75 噸到 20 噸不等。利用這個組合可求得不同的車燈與車型對反光標記視覺績效的影響。

本研究利用新竹縣寶山鄉的便道進行實際道路測試。基於經費與現實的考量，共有一男一女駕駛自用小客車參與實驗。實驗設計與模擬道路設計相同。實驗結果用來驗證模擬道路測試的結果。

#### 1.4 實驗流程

本實驗流程分為二階段六部份；第一階段進行模擬道路的測試，共有四部份的實驗。第二階段進行實際道路測試，共有兩部份的實驗。

第一階段模擬道路測試：

第一部份進行 21 名小客車駕駛偵測玻璃型反光路面標記

的測試。

第二部份進行 10 名（由 21 名受測者隨機選出）小客車駕駛偵測直角稜鏡型反光路面標記的測試。

第三部份進行五組人車的貨車駕駛偵測玻璃型反光路面標記的測試。

第四部份進行五組人車的貨車駕駛偵測直角稜鏡型反光路面標記的測試

第三階段進行實際道路測試：

第一部份進行兩組人車的小客車駕駛對玻璃型反光路面標記的道路測試

第二部份進行兩組人車的小客車駕駛對直角稜鏡型反光路面標記的道路測試



## 第二章 文獻回顧

本章將影響反光路面標記視覺績效的較重要因素概略分為明視距離 ( visible distance ) 與安全視距 ( safety distance ) 兩個主題來探討。因為所謂視覺績效就是指反光標記所提供的明視距離是否滿足駕駛安全需求的安全視距，讓駕駛者有足夠的時間偵測、決策並做出合宜的駕駛操控反應。這個命題主要目的就是比較明視距離與安全視距。因之，本章的文獻探討就依這樣的結構來推展。影響明視距離有很多的因素，諸如人眼偵測能力，回歸反射標記的反光性能，車燈的光強度分布以及反光標記與車燈所成的偏角等等；而影響安全視距的因素有前置時間（人的應變時間，車子操控的應變時間），依前置時間在各種不同道路等級，不同道路彎道上依不同速率規定，不同駕駛行為如停車，超車，操控，而有不同的前置安全視距等等，將會逐一的探討。

### 2.1 明視距離

影響明視距離的兩個因素有多層影響的關係（圖 2-1）。明視距離是駕駛人能夠明確的偵測到反光標記出現的最遠距離。影響它的直接因素是人眼的偵測能力以及反光標記的反光強度。人眼的偵測能力是人眼能夠明確的偵測到反光標記出現的最弱光度，明確偵測在人因工程學上的定義是偵測的成功機率為 95 %。反光標記的反光強度取決於入射到它本身的光強度以及它本身的回歸反射能力。

入射到反光標記的光強度指的是車燈的燈光照射到反光標記的光強度。影響入射光強度的因素是車燈的光強度分布與偏角。每個車子的車燈都有一個光照射的光強度分布，車燈的光線以一錐狀體的形狀向前方輻射，在光軸上其光度最強，一偏離光軸則光度漸次越弱，偏離越大則光度越弱。當車子行駛在直線車道上，反光標記的入射光是靠近光軸的，所以入射光較強，當車子駛入彎道時，每個反光標記都會與光軸形成一個夾角，越遠的反光標記的入射夾角越大因此入射光強度也越弱。這個夾角由於是在水平方向的，本研究將之定義為“水平偏角”，簡稱之為“偏角”。這個偏角是本研究用來探討視覺績效的主要變數。相對於水平偏角，在垂直方向的夾角為垂直偏角，由於小客車和貨車的車燈高度明顯的差別，因此照射到反光標記的垂直偏角也明顯的不同。

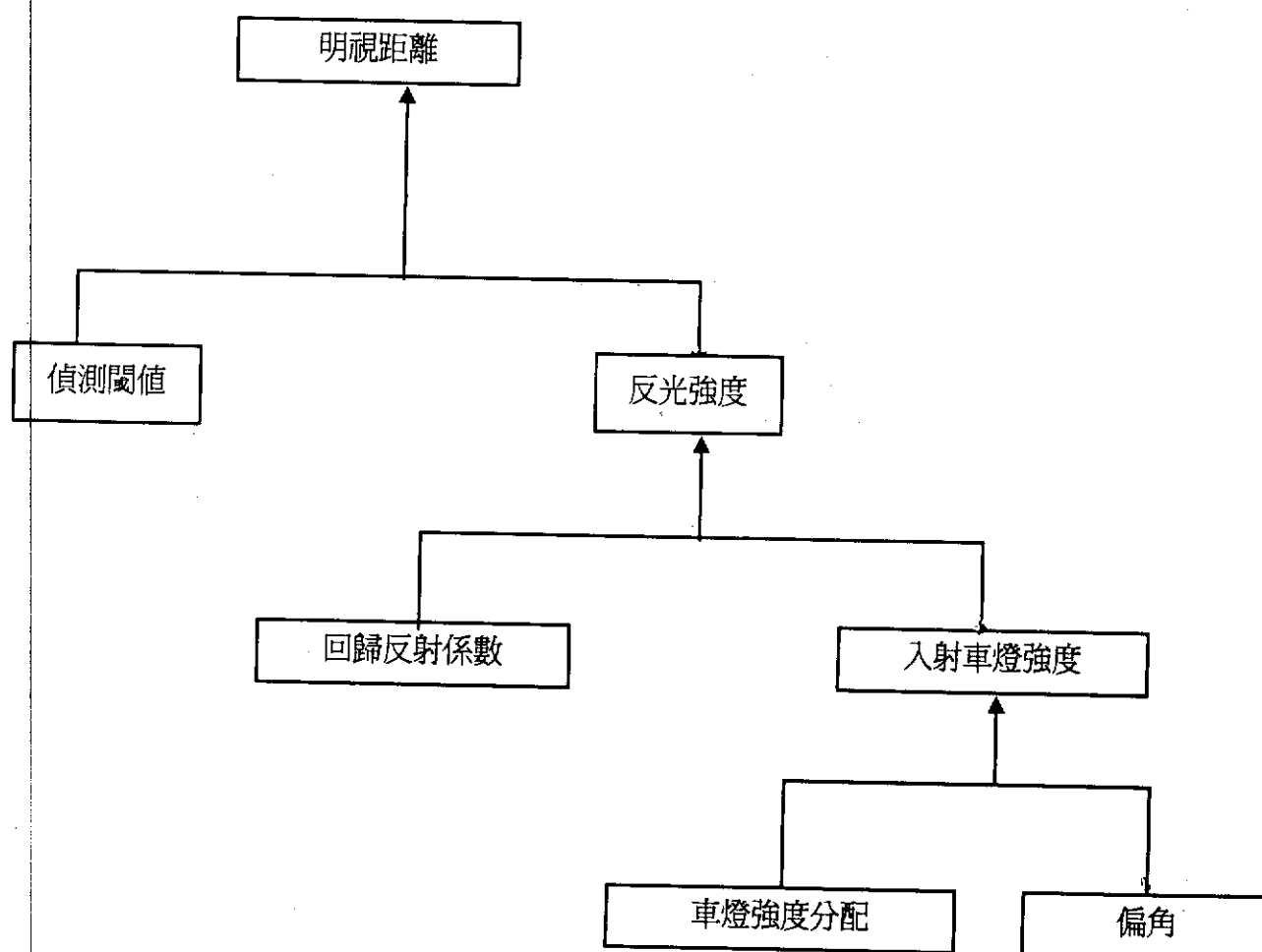


圖 2-1 影響明視距離因素圖

回歸反射能力是反光標記能夠將入射光強度沿著接近入射方向反射到駕駛者眼睛的效能，嚴格來說，真正的回歸反射效能是將光線沿著入射方向反射回照射光源的效能，但是實際上，駕駛者的眼睛都高於車燈的，因此將大部分光線反射到駕駛者眼睛才有實際的效用。

以下就影響明視距離的幾個因素：人眼的偵測能力，車燈的光強度分布，入射光偏角以及回歸反射性能逐一加以探討。

#### 2.1.1 人眼的偵測能力

人眼的偵測能力是人眼察覺一個亮點或亮面的能力，是量測人眼對光的敏感度指標，人眼之偵測能力的定義是人眼察覺背景

裡亮度變化的閾值。例如我們是否能夠偵測到黑夜天空裡的一顆星星，或者黑板上的一個白點。黑暗的天空和黑板是背景，星星和白點是背景裡的亮度變化，其最小可察覺的亮度變化稱之為閾值。

偵測能力和視銳度的概念並不相同，但一般人都容易含混在一起。視銳度是人眼能夠分辨視域中不同位置的兩點或兩條線的能力，是量測人眼空間解析度的指標。一般我們到眼科診所或眼鏡行的視力檢查就是檢驗視銳度。欲明瞭何謂偵測能力並了解它和視銳度的機制差異，本研究首先就人眼視覺機制加以探討。

### 一、偵測能力

眼睛的視覺機制可以區分為聚焦過程和神經過程。由物體發射出的光線，首先經由角膜（cornea）的折射，進入前房（anterior chamber），並由瞳孔（pupil）調節進入的光量，透過水晶體（lens）的第二次折射，再穿過玻璃體（vitreous body）將物體的像聚焦在視網膜（retina）上，完成聚焦過程（圖 2-2）。視網膜上的感光細胞將聚焦的光線轉變成發動電位（generator potential），發動電位再經過網膜上中間神經（inter-neuron）的處理產生動作電位（action potential），並經由視神經傳入頭腦，最後由側膝體（lateral geniculate body）放射至大腦枕葉（occipital lobe）的視覺皮質（visual cortex），完成神經過程。視覺皮質才是真正產生視覺的地方，視網膜只是視覺皮質的外伸感覺器。聚焦過程完全在眼睛裡進行，神經過程則一半在眼睛裡的視網膜內進行，一半在頭腦裡進行。

聚焦過程都在眼睛裡進行，首先讓我們來看看眼睛的結構（圖 2-3）。眼睛是球形的，其組織結構可以分為三層，最外層是厚實堅韌的保護膜，包圍整個眼球後面的白色部份為鞏膜（sclera），前面中間部份微凸的透明部份為角膜。中層是佈滿血管的組織，包圍後面六分之五面積的部份為脈絡膜（chroid）。脈絡膜的前緣為厚實的環狀體，稱為睫狀體（ciliary body）。睫狀體是個很結實的支撐環，由環狀的睫狀肌構成，當它們收縮，睫狀體的口徑會小幅度的縮小。由睫狀體向中間位置長出環狀的虹膜（iris）及睫狀韌帶（zozule ligament）。虹膜在前，由環狀肌肉和輻狀肌肉結合而成，中間形成瞳孔；睫狀韌帶在後，中間支撐著水晶體，睫狀韌帶是沒有彈性的，因此睫狀體的口徑大小，就會影響水晶體的厚薄和曲率。最內層是視網膜，視網膜含有錐狀及柱狀的感光細胞以及橫細胞（horizontal cell），雙極細胞（bipolar cell）和無長突細胞（amacrine cell）等中間神經細胞。

胞和連接大腦的神經節細胞（ganglion cell）。角膜（外層）和水晶體（中層）之間充滿水漾液，水漾液空間又由虹膜區隔為前房和後房。水晶體（中層）和網膜（內膜）間為膠質的玻璃體。光線的聚焦路徑必須經過角膜，前房液，水晶體和玻璃體等四種組織，因此聚焦被這些組織的表面形狀及其折射率所影響。視網膜是聚焦的接受器，也是聚焦過程和神經過程的介面。

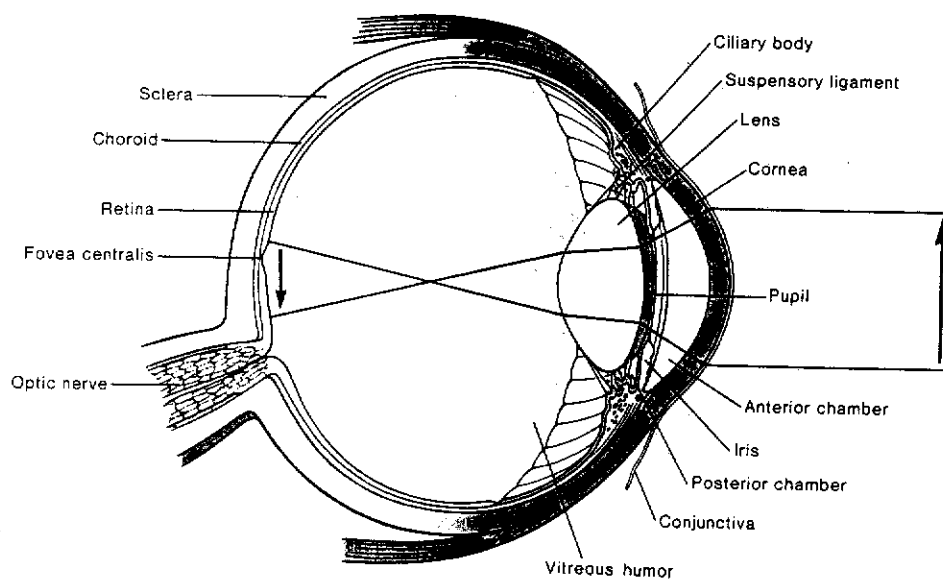


圖 2-2 聚焦過程 摘自 Fox[24]

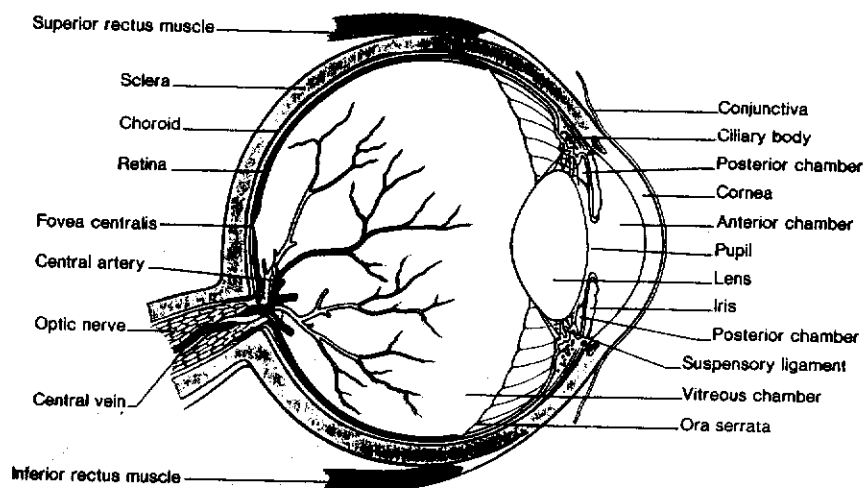


圖 2-3 眼睛結構圖 摘自 Fox[24]

神經過程起於視網膜（圖 2-4）。視網膜上的感光細胞事實上是中樞神經的外伸感覺器。錐狀細胞及柱狀細胞將光線轉化為發動電位，橫細胞、雙極細胞和無長突細胞將神經脈衝處理成編碼之神經脈衝後，經由神經節細胞，收集匯總成一條視神經（optical nerve）（圖 2-5、圖 2-6），經過眼眶骨的孔洞傳輸至左右側膝狀體，並映射至同側的視覺皮質產生視覺。

視網膜上含有兩億個神經細胞，依功能可分為三層。視網膜的面積約為  $1100 \text{ mm}^2$ ，平均厚度約  $250 \mu\text{m}$ ，體積約為  $27.5 \text{ mm}^3$ 。這麼小的面積、厚度、體積內含有大約 2 億個神經細胞用來處理視覺刺激的視覺訊息。其中 1 億 3 千萬個為感光細胞，6 千萬個中間神經細胞以及 1 百萬個神經節細胞。感光細胞中 1 億 2 千萬個為柱狀細胞，提供夜晚的明暗視覺（沒有顏色的感覺），7 百萬個錐狀細胞提供白晝的高視銳度彩色視覺。Stell[37]，將視網膜依神經訊息的傳遞先後，分為（I）感光細胞層、（II）中間神經層、（III）神經節神經層。然而就解剖而言，神經節層在最內層，而感光細胞在最外層。因此由水晶體射向視網膜的光線，必需先穿透神經節層（III），中間神經層（II），才能到達感光細胞層（I）將感光細胞感光。

#### （I）感光細胞層：柱狀細胞和錐狀細胞

**柱狀細胞：**柱狀細胞能夠在比較昏暗的照明下產生明與暗的視覺。柱狀細胞含有一種色素，稱為視紫素（rhodopsin）。當視紫素吸收了可見光之後，顏色就漸漸變白，稱之為漂白反應（bleaching reaction），漂白以後就不再具有感光能力。因為柱狀細胞只含有一種感光色素，因此只能依感光程度強弱而產生明與暗的視覺。柱狀細胞的作用範圍在  $10^{-6} \text{ cd/m}^2$  到  $10^1 \text{ cd/m}^2$ 。因為這範圍的亮度正好是夜間的亮度範圍，因此稱為夜視（表 2.1）。

**錐狀細胞：**錐狀細胞對光線的敏感度比不上柱狀細胞，可是在較強的亮度下能夠提供彩色視覺和較佳的視銳度。錐狀細胞在  $10^{-3} \text{ cd/m}^2$  以上開始作用， $10^{-2}$  到  $10^3 \text{ cd/m}^2$  之間有最佳的視銳度及彩色視覺，在  $10^8 \text{ cd/m}^2$  達到飽和上限（表 2.1），由於其作用之範圍正好是白天的照明範圍，因此稱為晝視（photopic vision）。錐狀細胞除了能夠感覺明亮以外，最大功能的是能夠感覺色彩。錐狀細胞依其所含的色素不同可以區分為三種。由於色素不同所以吸收的光譜範圍各有差異。這三種錐狀細胞依其吸收光譜的區域分別以藍色、綠色和紅色錐狀細胞稱之（圖 2-7）。我們感知的顏色是由於這三種錐狀細胞受到可見光不同程度的刺激組合而成。

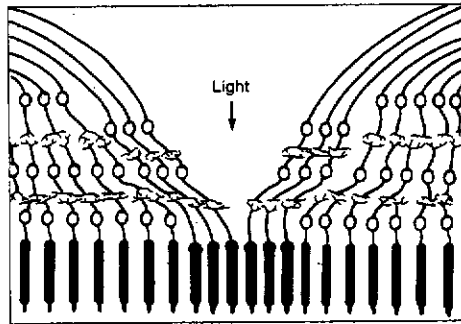


圖 2-4 視網膜示意圖 摘自 Fox[24]

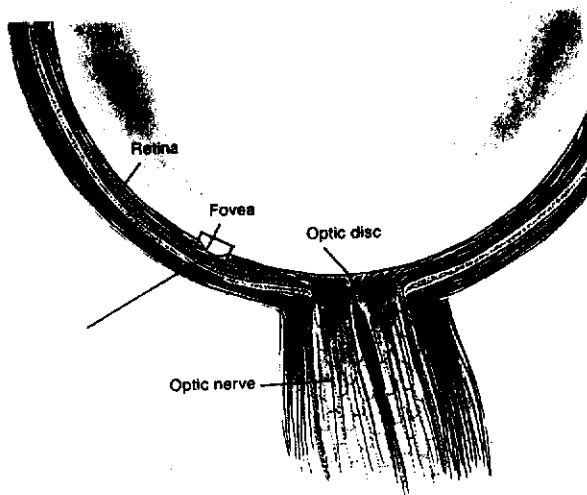


圖 2-5 視神經位置圖 摘自 Fox[24]

表 2.1 日夜間亮度分佈及人眼作用範圍表

Luminance (log cd·m <sup>-2</sup> )	-6	-4	-2	0	2	4	6	8
Luminance of white paper in		Starlight	Moonlight	Indoor lighting	Sunlight			
Visual function	Scotopic		Mesopic		Photopic			
	Absolute threshold	Cone threshold		Rod saturation begins	Best acuity			Damage possible
	No color vision Poor acuity			Good color vision Best acuity				

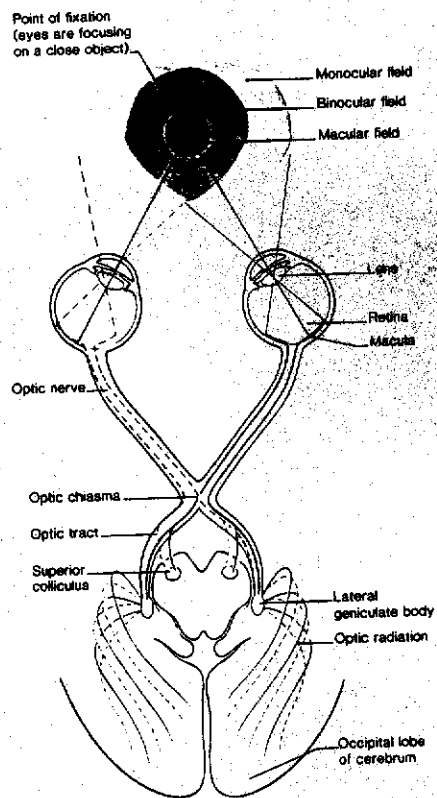


圖 2-6 視神經路徑圖 摘自 Fox[24]

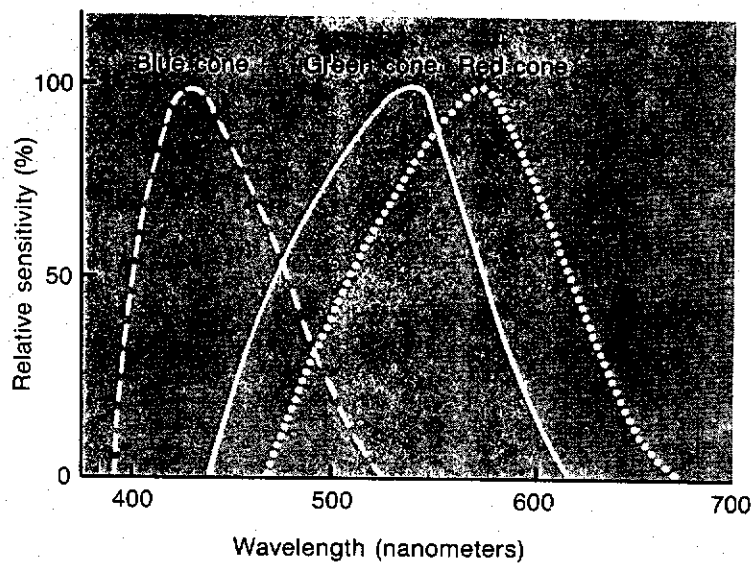


圖 2-7 紅綠藍三種錐狀細胞吸收光譜圖 摘自 Fox[24]

## ( II ) 中間神經層：雙極細胞，橫細胞及無長突細胞

中間神經層有兩極細胞主要負責神經訊息的縱向傳導，橫細胞及無長突細胞主要負責橫向訊息的匯集。感光細胞受到光的刺激，產生發動電位，發動電位在其突觸將訊息傳給兩極細胞和橫細胞。兩極細胞是縱向傳導，在接受發動電位之後產生編碼的神經脈衝，再傳導給神經節細胞。神經生理研究顯示，許多相鄰的感光細胞的訊息匯集到一個兩極細胞，形成一個接受域 (receptor field)。接受域的範圍小者約 2-5 個感光細胞，範圍大的可達千個感光細胞。由細胞連結的感光細胞種類而言，錐狀感光細胞的連結範圍較小，而柱狀細胞的範圍較大。由細胞在視網膜的位置區分，在中心凹窩附近的範圍較小。以視網膜邊緣的區域較大。

## ( III ) 神經節神經層

神經節神經層上僅有神經節細胞，數條神經節細胞匯總成一條視神經 (optical nerve)，所有視神經則合成一神經束，經過眼眶骨的孔洞傳輸至左右側膝狀體，並映射至同側的視覺皮質產生視覺。

光線由神經節神經 ( III ) 層射入，穿透中間神經層 ( II ) 最後到達感光細胞層 ( I )，感光細胞內所含的色素吸收了光線轉化為發動電位(generator potential)，受到這個發動電位的刺激中間神經引發一聯串的編碼的神經訊息，這些編碼的神經訊息最後由神經節細胞 (視神經) 傳入頭腦而產生視覺。沒有被感光細胞吸收的光線中，大部份被脈絡膜的色素吸收，只有極其少數的光線會再反射回去感光到其他的感光細胞，這個現象目的在確保較高的視銳度。夜間捕食的動物，如貓及貓頭鷹等動物的眼睛在黑暗中會反光是因為其脈絡膜幾乎像個鏡面，能夠將沒被感光細胞吸收的光線再反射回感光細胞，進行二次感光。這樣重複利用入射到感光細胞的光線，會提高感光細胞的感光強度，較強的感光強度有提高偵測能力的功效，然而卻犧牲了視銳度，因為沒有被感光細胞吸收的光線，經過反射之後，並不一定會再反射回原來的感光細胞，往往會漫設至鄰近的感光細胞，因此原先由水晶體聚集到一個感光細胞的光線卻感光了鄰近細胞，影像反而變得模糊，降低視銳度。

## 二、視銳度

視銳度 ( Visual acuity ) 是視覺影像的清晰程度，也就是分辨兩個獨立物體的能力。最重要的度量指標為最小可分辨視角



( Minimal separable visual angle, MSVA )。最小可分辨視角是眼睛能夠分辨兩個相鄰的點或線的最小視角。視角是這兩個點或線間距離對眼睛的張角。正常人的最小可分辨視角為 1.0 弧度分 (minute of arc)，相當於可以分辨 3.438 公尺遠處相隔 1mm 的兩個點或線。常用的視力指數 (如 0.5, 1.0 或 2.0) 就是最小可分辨視角的倒數。例如視力指數為 0.5 的人，其 MSVA 為 2.0 弧度分。而視力指數為 2.0 的人，其 MSVA 為 0.5 弧度分。

影響視銳度的因素為調適能力和視覺空間解析度。調適能力是眼睛依物體遠近不同改變水晶體的曲率厚薄將物體影像聚焦在視網膜的能力。假設物體為兩個相鄰的點，則這兩個點經水晶體聚焦，在視網膜上會分別形成兩個獨立清晰的影像。如果透鏡改變曲率的功能不彰或眼睛視軸太長或太短，則這兩個點的影像只能聚焦在視網膜的前面或後面，因此照射在視網膜上的影像就變得模糊，甚至重疊而不再是兩個獨立清晰的影像。這種調適不良的現象有聚焦在視網膜前的近視 (myopia)，聚焦在視網膜後的遠視 (hypermetropia)，聚焦曲率在視線方位不平的散光 (astigmatism)，以及完全無法調整水晶體曲率厚薄的老花眼 (presbyopia)。

視覺空間解析度是視網膜分辨兩個獨立影像的能力。首先我們用電腦螢幕來比喻視網膜。一個有  $256 \times 256$  像素 (pixels) 的螢幕最多只能顯示 128 條橫線或縱線，因為任何兩條感光的線之間都必需隔一條沒有感光的線。而一個同樣大小但是有  $1024 \times 1024$  像素的螢幕最多則可以顯示 512 條橫線或縱線，能夠顯示較細緻的圖形。我們說後者為高解析度的螢幕，是因為在單位面積內，後者有較多的 ( $1024 \times 1024$ ) 像素 (pixels)。同理，視覺細胞的密度，關係著視覺的空間解析能力。視網膜上，感光細胞的密度並不均勻，錐狀細胞的密度在中央凹窩處最密集，柱狀細胞則以離中心凹窩 20 度的外圍圓環處最密集。中央凹窩位於視網膜正中央，為直徑 1.5mm 的凹窩，其凹陷是由於沒有中間神經層 (II)，因此光線可以不必穿透這層，而直接入射在錐狀感光細胞上 (中心凹窩上柱狀細胞非常少)。中心凹窩的窩底 (foveola) 約有 20000 個錐狀細胞密集的排列在  $400 \mu\text{m}^2$  的面積裡，其密度約為 16 萬個 /  $\text{mm}^2$ 。這樣的密度下，感光細胞間的平均距離為  $2.5 \mu\text{m}$ ，如果要分辨兩個獨立的影像，則兩個感光的錐狀細胞其中間要隔著一個沒有感光的錐狀細胞，也就是兩個感光錐狀細胞間的距離至少要大於兩個細胞間間距  $5 \mu\text{m}$ 。正常人的最小可分辨視角的一弧度分，在視網膜上的像距恰好為  $5 \mu\text{m}$  左右，就是受到這個空間解析度的影響。

然而，感光細胞的密度並無法單獨決定視覺空間解析度，神經節細胞才是真正決定視覺空間解析度的機制。前面提過，中間神經的橫細胞，和無長突細胞具有匯集神經的現象。視網膜尚有 1 億 3 千萬個感光細胞，卻只有 120 萬個神經節細胞，平均一條神經節細胞，匯集了 105 個感光細胞。即使感光細胞可以分辨兩個獨立的影像，要是這兩個感光細胞的訊息同時匯集入一個神經節細胞，則在視覺皮質上就無法分辨兩個獨立的影像。這個匯集的比例，以錐狀細胞較低，柱狀細胞較高，匯集比例較低會有比較好的空間解析能力，反之匯集比例較高，會有較高的偵測能力（因為有較大的加成效果）。在中心凹窩，每個錐狀細胞，都以單獨的一對一方式將視覺訊息傳遞至視覺皮質，所以每條神經節細胞的匯集區域只有一個錐狀細胞的大小，因此空間解析度最高。由中心凹窩向外，神經節細胞匯集得比例逐漸提高，因此解析度逐漸降低，在閱讀時，眼睛的視線會逐字逐行的移動，就是要把物體的影像聚集在中心凹窩上，達到最大的視銳度。

### 三、亮度偵測能力

亮度偵測能力是人眼察覺背景裡亮度變化的能力。通常以亮度偵測閾值作為指標。亮度偵測閾值的定義是測試物與背景間亮度差異，其差異足以使人眼察覺差異的機率在設定的機率水準之上。這個定義裡使用機率的原因是因為由小差異至大差異的連續變化中，看出差異的機率也跟著變化，如果亮度差異太小，眼睛根本無法看見，看見的機率為零，隨著差異加大，看見的機率逐漸提升，直至 100%。習慣上取用 50% 的看見機率時的亮度差異當作偵測的閾值。因為在 50% 的偵測率附近，一點點的亮度差異變化，就會導致很敏感的偵測機率變化。然而在實用上，例如交通安全，必需確保要求接近 100% 的偵測情形下，通常選用 95% 偵測機率當作標準。

在文獻上，隨著量測條件的不同，標示亮度閾值的單位與數值也有相當的差異。影響亮度偵測閾值的條件非常多，其中比較要者為（一）背景亮度的有無與強弱，（二）目標物視角的大小。其餘還有許多量測條件，諸如目標物呈現的時間長短，目標物在視野中的方位等，也會影響測量結果。然而，就一般交通行車情形而言，其影響程度較不顯著。以下首先提出幾個在不同量測條件下的亮度量測閾值（表 2.2）。在表中，除了標示其單位及數值外，同時也分別標列較重要的量測條件，至於較不重要的量測條件則在入其它欄內，僅供參考。

表 2.2 各種量測狀況下的閾值

研究者	閾值	面積	背景亮度	其他
Blackwell[15]	$3 \times 10^{-8} \text{ cd/m}^2$	3.6'	$10^{-1} \text{ cd/m}^2$	觀看時間 6 秒
CIE[21]	$1.02 \times 10^{-6} \text{ Lux}$	小	$10^{-1} \text{ cd/m}^2$	觀看時間短
CIE[18]	$10^{-6} \text{ Lux}$	小	微弱	
Pirenne[34]	$7.5 \times 10^{-7} \text{ cd/m}^2$	4.7'	無	觀看時間 15 秒
Pirenne[34]	0.5 mile-candle	小	無	觀看時間長

mile-candle 為英制之照度單位之一

在這些閾值中，非但閾值的數值差異極大，同時也因不同的條件，分別用亮度及照度當作單位。亮度單位通常用於大面積的目標物，表示目標物每單位面積的光強度，以  $\text{cd/m}^2$  記之（或是每單位面積，每單位立體角的光通量， $\text{lm/sr/m}^2$  記之）；反之，照度通常用於點光源，是指目標物照在人眼上的照度，表示眼睛上每單位面積接受的光通量，以  $\text{lm/m}^2$  即 Lux 記之[42]。

以下就分別說明剖析這兩個量測條件對偵測閾值及其單位的影響：

#### （一）背景亮度的有無及強弱

背景亮度會影響眼睛的暗適應水準，而暗適應水準的本質就是偵測閾值的改變。眼睛的暗適應是一個人人都有的生活經驗。我們在大白天走進較暗的室內如電影院，進入的當而，眼前一片漆黑，伸手不見五指，勉強能夠看見的大概只有銀幕上的電影以及出入口的指示燈。約數分鐘後，人頭，椅子，走道，台階，牆壁漸漸明朗；在一刻鐘後，連掉落在地上的瓜子都清晰可見。

暗適應第一個生理成因是在黑暗中，感光細胞中的色素比例提高，因而能夠偵測較弱亮度的目標物。在大白天裏，整個視野亮度水準約為  $10^1\text{-}10^5 \text{ cd/m}^2$ ，感光細胞中有相當比例的色素已被漂白，其漂白的比例隨著亮度水準而增加。漂白的比例越高，則色素的比例越低，只能偵測亮度較高的目標物。當眼睛在黑暗的環境中，感光細胞不再有高亮度的光線刺激，被漂白的色素漸漸重生（regenerate），而還原回色素。當細胞中的色素比例提高，能夠偵測較低亮度的目標物。

暗適應的第二個生理成因是主宰的感光細胞由錐狀細胞轉為柱狀細胞而大幅降低偵測閾值。在大白天裡，視野平均亮度介於  $10^1\text{-}10^5 \text{ cd/m}^2$  之間，在這樣的亮度水準，柱狀細胞的色素完全被

漂白殆盡，不具有任何感光能力可言，錐狀細胞成爲主宰視覺的器官。當在黑暗中5分鐘以上，柱狀細胞中大部份色素漸漸重新還原爲色素，具有感光能力，且由於其作用亮度範圍較錐狀細胞爲低，因此能夠偵測閾值大爲降低。

## (二) 目標物的大小

目標物的大小會影響偵測閾值。一個神經節所匯集的感光細胞的範圍稱之爲接受域(receptive field)。要是目標物在視網膜上的成像面積小於接受域時，則亮度偵測閾值會提高。當目標物在視網膜的成像面積大於一個接受域時，接受域裡每一個感光細胞都能受到成像的感光並將視覺訊息匯集至同一個神經節細胞，如果加總這些視覺訊息的量恰好達到神經節細胞的閾值，則會促成神經節細胞傳輸一個動作電位(action potential)至大腦。因此偵測到的目標物要是亮度相同，而目標物在視網膜的成像面積小於一個接受域時，接受域裡每一個感光細胞仍然都受到相等程度的感光，然而由於感光細胞的數目降低了，因此神經節細胞所匯集的全部視覺訊息必然小於神經節細胞的閾值，無法產生動作電位，大腦的視覺皮質也無從偵測。在這種情形下，欲使神經節細胞達到閾值，則每個像域中的感光細胞必須接受更強光線的感光。亦即目標物的亮度必須提高才能達到偵測的閾值。

目標物的大小也會連帶的改變閾值的單位。當目標物的成像大於接受域時，目標物的亮度通常用來當作閾值的單位；反之，當目標物成像小於接受域時，通常使用目標物在眼睛上的照度當作閾值單位。就視覺的生理機制而言，人眼感覺一個目標物的明亮程度取決於這個目標物照射在一個接受域的光通量。如果一個接受域匯集的光通量增加或降低，則相對的感覺目標變亮了或變暗了；如果光通量維持定值，則目標物的明亮感受不變。當目標物的成像大於接受域的情形下，一個接受域的光通量不會因目標物的遠離或靠近而改變，因此目標的明亮感覺也不會改變。日常生活中的實例垂手可得，一張白紙的明亮感覺不會因爲我們靠近而變的亮一些，也不會因爲離的遠而變暗。

如果目標物小至變成實質點光源(effectively point source)時，只能用目標在眼睛上的照度當作偵測閾值的單位。亮度與視距無關的性質並非可以無限適用，當目標物變成實質點光源時，亮度會隨距離增加而逐漸減弱終至消失無法偵測[22]。當我們把方才的那張白紙移離身體，起初，亮度不會改變，在一個臨界點之後，亮度漸次減弱終至消失不見。這個臨界點就是目標物成像面積恰好等於接受域。在小於接受域之後，目標物就變成實質點

光源。以下是這個視覺機制的說明。當目標物在視網膜的成像面積小於接受域時，依上段的推論，目標物的遠離並不會改變成像在視網膜上的照度，亦即雖然成像的面積減少，但成像在視網膜的照度維持不變，然而因為成像的面積降低，受到感光的細胞數目降低了，因而神經節細胞所匯集的總光通量降低了；神經節細胞的光通量降低導致目標物的明亮感覺亦隨著降低。如果神經節細胞的總光通量小於其引發動作電位的閾值，則大腦無法偵測目標物的存在。由於目標物的亮度感覺隨視距的變化而改變，因此利用亮度（ $\text{cd/m}^2$ ）來當作偵測閾值的單位不復可行，因此就取用目標物照射在眼睛上的照度當作偵測閾值的單位。使用這個單位，有實際的方便性考量。因為當目標物非常遠時，例如海上的燈塔，我們很難靠近去量測其亮度，反之，量測其在眼睛上的入射照度應該比較方便。

雖然這兩個偵測閾值的單位不同，但是仍可經由物理換算互相互換。兩者可經由物理換算求得目標物在視網膜上的照度，經由視網膜上的照度，感光細胞的大小密度，以及神經節細胞接受域大小等資料，我們可以比較兩種偵測閾值的實際大小。

## 2.2 回歸反射性能

本研究將依序介紹回歸反射原理，種類，檢測標準：

### 2.2.1 回歸反射原理

回歸反射（retroreflection）是反射的一種，其特點為反射光會集中且依入射光的路徑反射回去[19]（圖 2-8）。就反射效率而言，在入射光的方向觀察，其效率遠較散射（diffuse）與鏡散（specular）為高。也就是說，當觀察者由入射光的方向觀察時，會看到大量的反射光反射回來，非常醒目。而具有這種回歸反射效果的物體或表面稱為回歸反射器（reflector）[19]。由於回歸反射具有由光源方向觀察時，亮度非常高的特點，交通標誌常由回歸反射器構成，作為夜間交通指引之用。如此，駕駛者藉著車燈照明即可看到標記或指示，以提高可視度，降低意外發生率。

由於回歸反射器的反射效果受到光線入射的角度及觀察者觀看的角度影響，因此，在比較及界定反光效果之前，需先定義座標系統(reference system)。

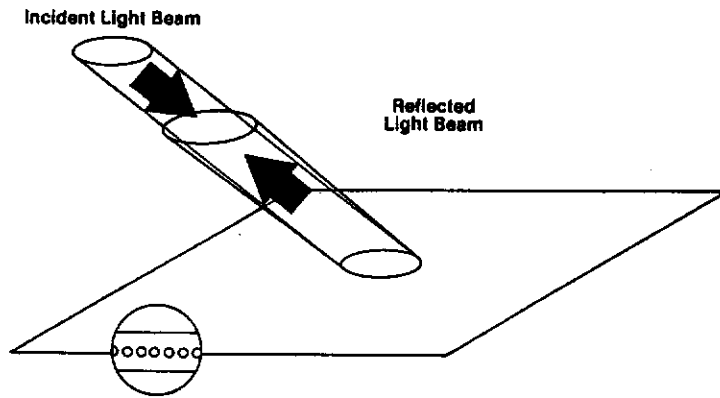


圖 2-8 回歸反射圖 摘自 ASTM[9]

一般而言，最完整的座標系統為 CIE 1982 年公佈的角座標系統（Angular reference system）[20]（圖 2-9）。就回歸反射器本身而言，共有三個偏角，其中二個偏角與光源入射的角度有關，分別形成垂直入射角度  $\beta_1$ ，與水平入射角度  $\beta_2$ 。而第三個偏角，則以反射面的法線為軸作旋轉，此角度為旋轉角度  $\epsilon$ 。觀測角只有一個，即觀察者（光學量測頭，photometer head）與光源的夾角。一般而言，在量測回歸反射係數時，會固定旋轉角度  $\epsilon$  與一個入射角，如此可形成一較簡單的系統，如圖 2-10。

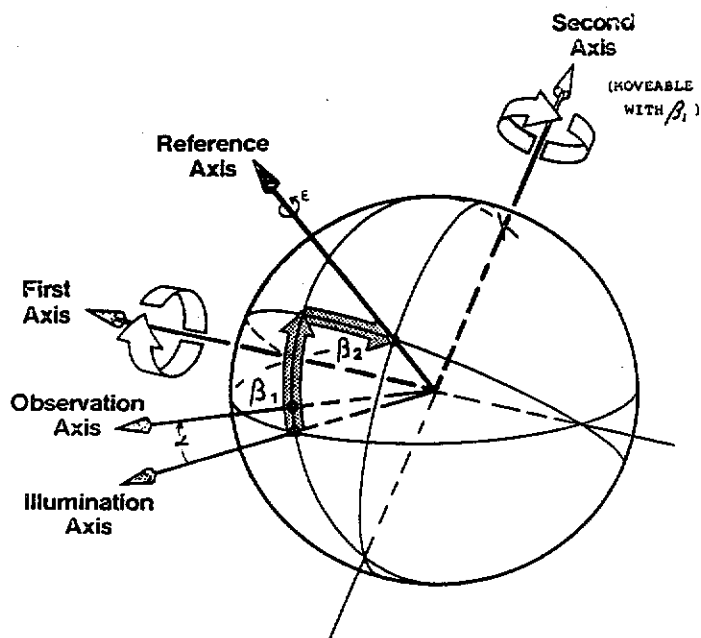


圖 2-9 角座標系統 摘自 CIE[20]

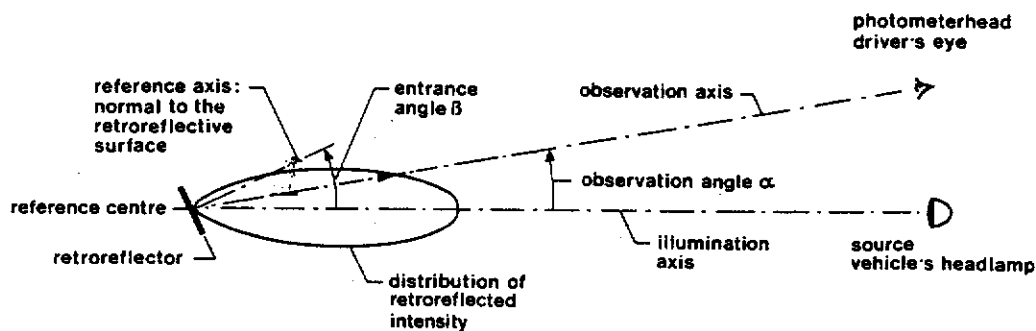


圖 2-10 平面量測座標圖 摘自 CIE[20]

常用的反射係數有三種，分別為：

1. 回歸反射強度係數

( coefficient of luminance intensity,  $R_I$  ) :

定義為反射的強度 (  $I$  ) 與垂直入射反光面照度 (  $E_{\perp}$  ) 的比值[10]，計算公式為：

$$R_I = I/E_{\perp} \quad \text{cd/lx or mcd/lx}$$

此係數最常用於路面標記的係數上，主要是將目標物視為實質點光源 ( effective point source )，故不考慮標記反光面積。

2. 回歸反射係數

( coefficient of retroreflected luminance,  $R_A$  )

$$R_A = R_I/A$$

為  $R_I$  與反光面積的比值[10]。此係數乃是將反光片視為點光源，但面積大小影響到總反光強度。主要用於汽、機車反光片或公路指標 (delineator) 的規格要求上，亦可用來反推欲達到一定的反光強度時，反光片的最小面積[10]。

3. 回歸反射輝度係數

( coefficient of retroreflected lum )， $R_L$  或  $CRL$

為反射片亮度 (  $L$  ) 與垂直入射的光照度 (  $E_{\perp}$  ) 的比值[10]。

$$R_L = L/E_{\perp}$$

此係數將反光片視為一般物體，即在視網膜中成像有一定面積，故其明亮程度以輝度表示之。通常用於標示公路反光標示（sign）或路面標線等大面积的物體[10]。

### 2.2.2 回歸反射器種類與性質

目前常用的回歸反射器有兩種，其反光原理互異，反光效能也不同，依其反光原理可分為直角稜鏡類（prismatic）與球狀透鏡類（spherical lens）兩種[18]。

#### 1. 直角稜鏡類回歸反射器

直角稜鏡類反光標記元件（element）是由三面互相垂直的反光面組成，因外觀如一角錐內部，俗稱角錐（corner cube，圖 2-11）。此回歸反射器主要是利用光線在反光面產生全反射的原理將光線返回入射的方向。其光線行經路徑如下（圖 2-12）：當光線射入至反光表面時，產生折射射向第一面反光片（a），由於入射角度甚大，產生第一次全反射，故光線反射至第二反光面（b），再產生全反射，再折射至第三面反光面（c），再產生一次全反射，將光反射回入射面，再經折射，沿入射光方向平行射回。由於其回歸反射原理主要是依靠全反射產生，一旦入射的夾角過大，則無法產生全反射，則回歸反射係數會大幅下降。近來，利用在反光面背面鍍上一層反射膜的方法，可將作用角度增加到 40 度左右。其原理在於光線射到反射面後，利用反射膜產生鏡射，使光線反射回原來的反射方向。如此，不須全反射的發生，則入射角度可大幅增大。不過，這種方法會降低回歸反射係數約 25 %。

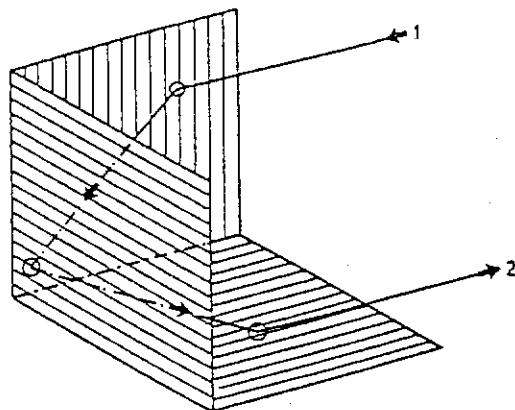


圖 2-11 角錐反光元件 摘自 CIE[18]



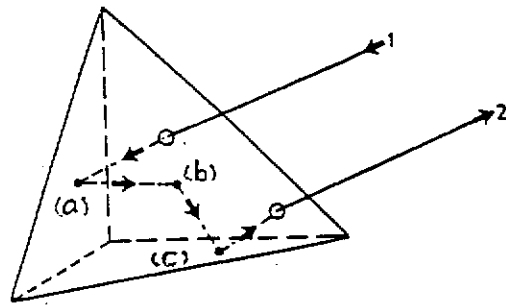


圖2-12角錐反光元件光線行進圖 摘自 CIE[18]

直角稜鏡類回歸反射器可細分為二型，差異在於角錐的大小：

- (1). 直角稜鏡型回歸反射器 (Prismatic retroreflector)，又稱角錐型回歸反射器 (corner cube retroreflector)，由邊長 2-4 公厘的角錐組成一平面陣列的反光標記 (圖 2-13)。直角稜鏡型回歸反射器常用來作為交通工程上的反光標記、反光板等道路指示設施或汽車警示標誌。傳統的反光路面標記 (直角稜鏡型) 即是直角稜鏡型回歸反射器。

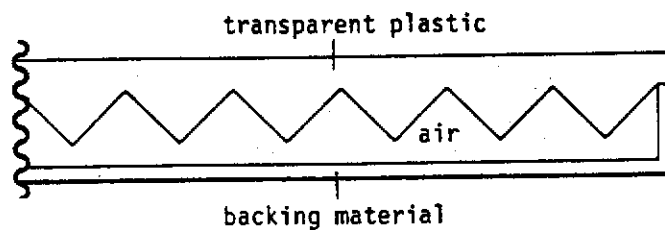


圖2-13直角稜鏡反光標記示意圖 摘自 CIE[18]

- (2). 直角稜鏡型反光片 (Prismatic retroreflecting sheeting)，又稱小角錐型反光片 (micro corner cube)，構成與性能與直角稜鏡型回歸反射器相近。差異在於構成的角錐元件較小，只有 0.4 公厘長。

## 2. 球狀透鏡類回歸反射器

球狀透鏡類回歸反射器主要是利用球狀透鏡可以將入射光聚焦的特性，在聚焦處鍍上一層反射膜，將入射光線反射回去，球狀透鏡的聚焦焦點與球狀透鏡的半徑( $r$ )，球

狀透鏡的折射率(n)有關。

$$f = n \cdot r / (2 \cdot (n - 1))$$

f：從球心處起算的焦距

n：透鏡相對於空氣的折射率

r：透鏡的半徑

以一般玻璃而言，其折射率約為 1.5，由上式得到的焦距為 1.5 倍的透鏡半徑。因此，要造成回歸反射的效果，反射面須置於鏡後 0.5r 的地方。若使用折射率較高的玻璃，如  $n=2$ ，則焦距恰落在透鏡背後，如此，只須在透鏡背面鍍上一層反射膜即可，如圖 2-14。球狀透鏡回歸反射器的特點為水平作用角度較大。

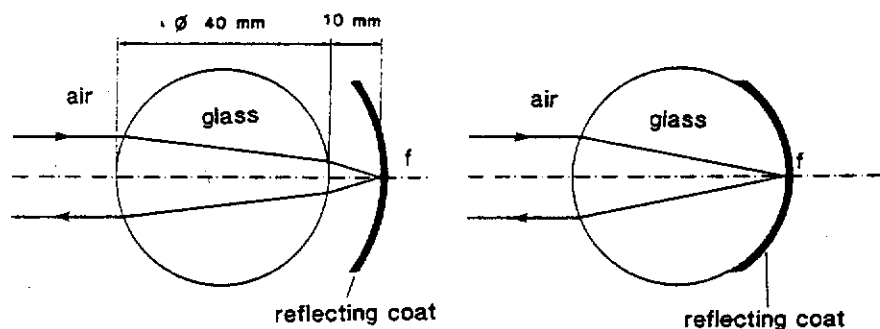


圖 2-14 球狀透鏡回歸反射器示意圖 摘自 CIE[18]

球狀透鏡反光器可分為三類型

- (1). 玻璃球型回歸反射器(國內舊稱貓眼)，以下簡稱玻璃型

玻璃型回歸反射器為一體成型，但型態上包含兩部份，上半部為一曲率較小的玻璃半球，作為凸透鏡，以會聚入射光；下半部為一曲率較大的玻璃圓盤，盤面上鍍反射膜，作為反射鏡。玻璃型回歸反射器即為目前被用為反光路面標記的 360 度本體色強化玻璃反光路面標記（圖 2-15a）。其光線進行方向與另兩型回歸反射器略有不同。玻璃型反光標記圓盤埋入路面，僅露出半球的部分，當車燈光線入射凸出於路面的上半部，經折射後會在圓盤形埋入部的盤面上反射，再由凸出部折射後沿著與原入射方向夾一極小偏角的方向回射（圖 2-15a），而被位於車燈上方的駕

駛者眼睛所偵測到。由於半球面突出於路面，光線來自 360 度均可射入半球產生回歸反射，無水平作用角度的限制（圖 2-15b）。

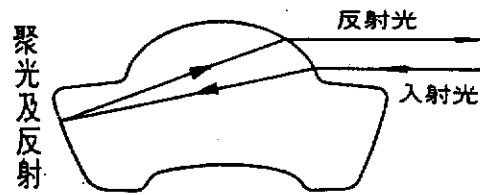


圖 2-15(a) 360度強化玻璃反光標記光線路徑(側視圖)

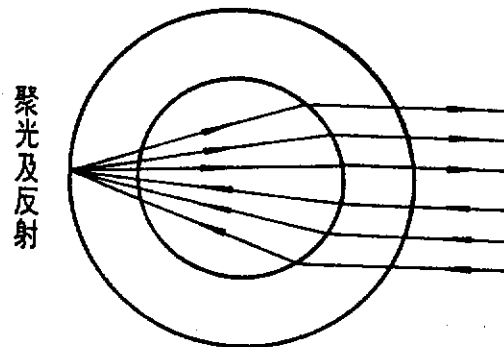


圖 2-15(b) 360度強化玻璃反光標記光線路徑(上視圖)

## (2).大玻璃珠型回歸反射器

(Cat's eye retroreflectors, or macro-sphere)

由直徑 3-10 公厘的玻璃珠組成，排成一行。

## (3).小玻璃珠型反光片

(micro-spherical retroreflecting sheeting)

反光片表面附著有微小玻璃珠，每公厘約有 180 顆。

就兩種反光標記而言，直角稜鏡型的反射面積較大，能提供較多的光強度，故在正對來車時，反光效果較玻璃型為高，但因其反射係數在 20 後急速下降，是否適用於彎道上則須進一步驗證。而玻璃型反光標記由於具 360 度水平入射角的作用範圍，設置在彎道上時，不會有因水平入射角過大而反射係數大幅降低的情形，視覺績效應較高，但在直線道路由於有效面積較直角稜鏡型小，反射光強度較弱，視覺績效可能較差。

#### 2.2.4 反光標記檢測標準與比較

國內玻璃型路面標記之回歸反射性能的檢測標準為 CNS 13762, 13763[6][7]，檢測裝置如圖 2-16。圖中，試樣中心點為玻璃型路面標記表面最大圓之圓心，入射角指的入射軸與試樣最大圓面所夾之角度，觀測角為投光器照射軸與受光器觀測軸所夾之角度。測定時，需在試樣上任選相隔約  $120^\circ$  方位之三處進行測定，取平均值。依規定，入射角採  $2^\circ$ 、 $30'$ ，對應觀測角採  $2^\circ$ 、 $24'$ ，共可計算出二組回歸反射係數  $R'$ 。測定時，首先令受光器於試片位置上放著，測定投光器之照度  $E_s$ 。其次回復成如圖 2-16 之配置，在觀測角測得受光器上之照度  $E_r$ ，依  $R' = I / (E_s \times A)$  計算出回歸反射係數，單位為  $\text{cd}/(\text{lx} \cdot \text{m}^2)$ 。其中， $I$  代表由試片朝向觀測軸方向之光度 ( $\text{cd}$ )，乃依  $I = E \times d^2$  求得，式中  $d$  代表由試片表面中心到受光器之距離； $A$  代表試片表面面積。惟式中之  $A$  乃以半球型凸出部之水平投影面積計算。

國內目前並無直角稜鏡型路面標記的回歸反射性能 CNS 檢測標準，故其一般是依交通部發行的交通工程手冊[4]中的規定，沿用採加州檢驗法。回反射性能要求列於表 2.3。

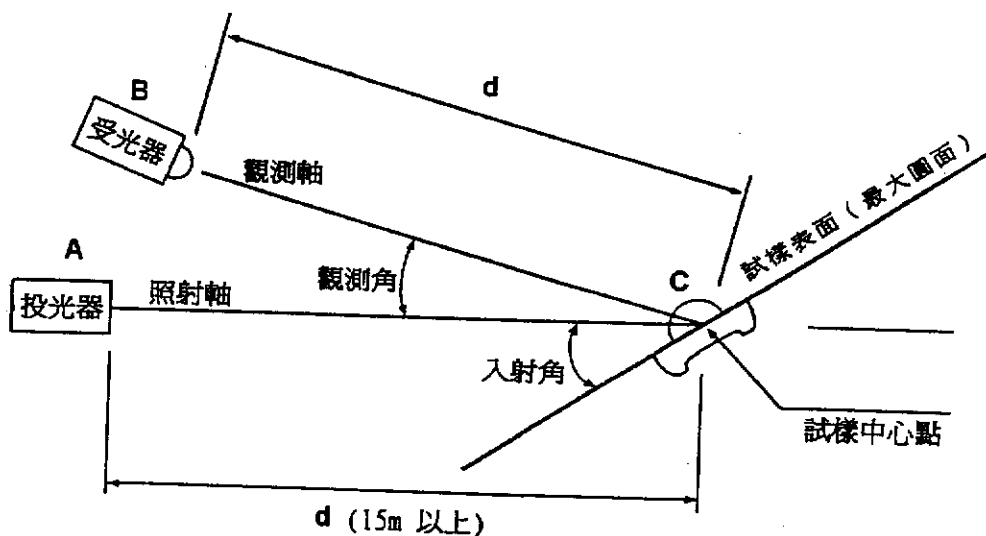


圖 2-16 CNS 13763 檢測系統 摘自 CNS[7]

反光標記檢測標準的目的在於確保反光標記的反光效果有一定的水準。影響反光標記的反光效果有二：入射角與觀測角的組合與反射係數，下面就這兩方面比較我國[6][7]，美國[11]，英國[17]，歐體[18]與南非[36]的標準，表 2.4，2.5 分別列出各國標

準。其中，國外標準並指針對玻璃型反光標記而訂定，部份國家亦包含其他球狀透鏡類反光標記。另一方面，國內並無直角稜鏡型反光標記國家標準，故以公路單位所採用之標準代替之。又國內使用之單位(分、秒、英制)及係數與國外不同，為比較方便，已經轉換。

表 2.3 反光標記回歸反射性能標準

水平入射角 (度)	反光強度比值		
	白	黃	紅
0	3.0	1.8	0.75
20	1.2	0.72	0.3

就觀測角/入射角的組合而言，英國、歐體與南非三個標準並不依反光標記的種類而有調整其觀測/入射的角度組合。這種作法是一較佳的考量，因為就使用在道路上的反光標記而言，其目的是滿足各種人車組合的需要，故須考量的入射角/觀測角的組合不須依反光標記種類而改變。惟要注意的是由於直角稜鏡型的反光效果與水平入射角有關，應加上水平偏角考量。不過，三個檢驗標準均未考量垂直入射角的要求是為不妥。而同樣的，針對直角稜鏡型反光標記的檢測標準中，我國與美國的標準亦未考量到垂直入射角的要求，建議改善。

表 2.4 各國直角稜鏡型反光標記檢測標準，單位(mcd/lx)

觀測角/水平入射角 /垂直入射角	公路工程 手冊	ASTM 4346	BS 873	EN 草案	SABS 1442
0/0/0.2	180	167	無	無	無
0/20/0.2	72	67	無	無	無
00.3/5/0	無	無	10	10	10
0.5/10/0	無	無	7.5	無	7.5
1/10/0	無	無	5	5	5
2/15/0	無	無	1	1	1

cd/ft-cd=100mcd/lx

ASTM American society of testing and materials

BS: British standard

EN: European standard

SABS: South Africa bureau of standards

表 2.5 各國球狀透鏡類反光標記檢測標準，單位(mcd/lx)

觀測角/水平入射角/ 垂直入射角	CNS 13762	BS 873	EN 草案	SABS 1442
0.5/0/0.4	31	無	無	無
0.2/5/0	無	10	10	10
0.5/10/0	無	1.5	無	1.5
1/10/0	無	5	5	5
2/15/0	無	1	1	1
2/0/2	7	無	無	無

以球狀透鏡型反光標記反光面積(A)為  $10\text{cm}^2$  計算， $R_I = A \times R_A$

ASTM American society of testing and materials

BS: British standard

CNS: Chinese National Standard

EN: European standard

SABS: South Africa bureau of standards

另一方面，對於反射係數的選擇，除我國外，各國皆採用回歸反射強度係數（ $R_I$ ）作為反光效能的指標。我國則依反光標記不同採用不同回歸反射係數，在直角稜鏡型反光標記方面採用回歸反射強度係數作為反光效能的指標，惟單位採用英制單位(cd/ft-cd)，與一般採用之公制單位不同，比較時須換算。而在玻璃型方面，則採用回歸反射係數（ $R_A$ ），定義上略有不同，比較時亦需換算。

在數值方面，由於各國觀測角/入射角的組合並非完全一致，並無法完整比較，大略來說，我國與美國數值則相近，英國、歐體、南非三個標準的數值一致，但標準數值偏低。

### 2.3 安全行車視距

安全行車視距是駕駛中能夠確保各種各種駕駛行為安全的最短可視距離。在我國公路路線設計規範中[2]，規定了停車視距，應變視距，超車視距等三項安全行車視距的要求，下面就這三種行車視距加以討論：

## 1. 停車視距 ( Stopping Sight Distance , SSD )

停車視距指的是“完全停止車輛之距離”〔2〕。也就是當駕駛者在道路上以一定的速率行駛時，突然發現危險目標物以致緊急煞車至車輛完全靜止，避免撞及目標物所需的距離。這個反應過程可分為二部份，一是駕駛者的反應，從發現目標物到踩下煞車踏板，二是車輛的機械反應，從煞車被啟動到車輛完全靜止。停車視距可分為二部份，一部份是在駕駛者反應過程中，車輛行走的距離，稱為反應距離，另一部份是煞車過程中，車輛行走的距離，稱為制動距離。

(1) 反應距離：反應距離指的是駕駛者發現目標物到踩下煞車的過程中，車輛行走的距離。在交通工程中，估計反應時間為 2.5 秒，其中 1.5 秒為駕駛者發現目標物到決定踩下煞車（制動器）的時間。而 1.0 秒則是駕駛者的腳離開油門（加速器）到踏上煞車的時間。

(2) 制動距離：，也就是一般所說得煞車距離，與車速及輪胎與地面的摩擦力有關。煞車距離可以下列的式子來說明：

$$\text{距離 ( d )} = V^2 / 254f$$

d 為制動距離（公尺）

V 為駕駛車輛的車速（公里／小時）

f 為輪胎相對於地面的摩擦係數

其中，由於輪胎胎面不一且使用程度也不一，再加上各式各樣的道路路面，因此，無法針對各種情況導出一特定摩擦係數。國外的研究〔1〕將各種速率與路面的摩擦係數歸納如圖 2-17 中，路面主要分為乾、潮濕兩種路面。而安全停車視距標準則以潮濕路面上的安全停車視距為準以作為安全的保障。

按照上面兩項公式分別算出距離在加總即得安全停車視距，見表 2.6。

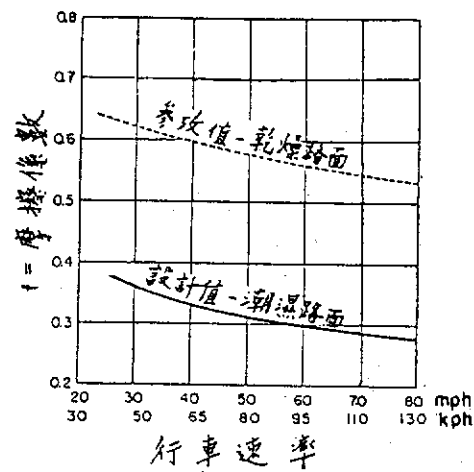


圖 2-17 路面摩擦係數圖 摘自 樓乃基[1]

表 2.6 各種安全視距要求

設計速率 (Km/hr)	停車視距 (公尺)		應變視距 (公尺)		超車視距 (公尺)	
	最小值	標準值	最小值	標準值	最小值	標準值
120	195	280	360	470	-	-
110	175	240	330	430	-	-
100	155	200	300	390	-	-
90	135	165	270	350	420	600
80	110	135	240	310	380	540
70	90	110	210	270	330	470
60	70	85	180	230	290	410
50	55	65	150	195	240	340
40	40	45	120	155	200	280
30	30	30	90	115	160	220
25	25	25	75	100	140	195

## 2. 應變視距 ( Decision Sight Distance, DSD ) :

應變視距指的是“安全變換車道、車速的視距”〔2〕。也就是說，駕駛者感知一個突發或複雜的狀況，做出必要的決策並且順利執行這個決策的距離。這種駕駛行為必須花費較長的時間，因此其距離比停車視距要長。舉例來說，駕駛者看到‘前方車道縮減’的指標時，駕駛者必須減速，注意其他車道來車，準備進入其它車道；更進一步來說，駕駛者可能只看到一個指示牌，此時駕駛者必須分心去辨認指示牌上的訊息，待清楚訊息為‘前方車道縮減’後，再決定採取何種對策。在設計下列路段時須加以考慮：交流匝道，交叉路口，車道縮減，狹橋等處。



應變視距是駕駛者在完成一連串應變動作過程中車輛行使的距離。一般而言，由於目標物不清晰，駕駛者在開始操控車輛如減速、變換車道等動作之前，必需有一連串偵測、辨識、決策等過程，一般將此過程稱為預作過程(pre-maneuver)而其後開始操控車輛的過程則稱為操作過程(maneuver)。在這兩個過程中車輛行駛的距離即為應變視距。

(1)預作過程：駕駛者辨識目標物的過程在本階段可分為二部份，一是偵測和辨認，一是決策與開始反應。根據美國[9]的研究建議，偵測與辨識目標物的時間隨著車速而變長，約在 1.5 至 3 秒之間。決策與開始反應的時間亦隨著車速而變長，約從 4.2 秒至 7 秒。也就是說，駕駛者在預作過程的反應時間大約為 5.7 ~ 10 秒的時間。

(2)操作過程：動作過程指的是駕駛者操控車輛做出反應的時間，隨著車速越快時間越短，從 4.5 秒至 4 秒。

將兩項距離加總可得應變視距。表 2.6 則是國內道路的設計標準。

### 3. 超車視距 ( Passing Sight Distance, PSD )

超車視距指的是“雙向雙車道，安全超越前車的視距”[2]。也就是說，駕駛者得以暫時使用對向車道，超越前車並回到原有車道，避免與來車對撞所需之視距。超車屬於一種較複雜的駕駛行為，駕駛者必需能夠預測對向車道來車與自己超車時的距離以避免對撞。此視距專指雙向雙車道上的超車而言，對於四車道以上的超車行為而言，由超車時並無對向來車的顧慮，其視距可小於超車視距。一般而言，超車的過程可分為三個階段：

(1)準備階段：此時，駕駛者將車駛往左邊並略微超越中心線，根據有無來車及來車的車距來決定是否可以超車。此時，車輛行駛的距離稱為準備距離  $d_1$ 。

$$d_1 = (V - m + (at_1)/2)t_1$$

$t_1$  表駕駛者將車移至中心線左邊，等待時機超越前車的時間，一般約為 3-4 秒

$v$  為超車時的速度

$m$  為兩車的速率差

a 為駕駛者車輛的平均加速度，通常以 2.2-2.4(kph/sec) 為準，屬保守原則。

(2) 超車階段：駕駛者將車駛到對向車道並開始加速，在對向車道上快速超越前車後準備回到原來車道。此時，對向來車亦相向行駛而來。這一階段包含兩種距離。一是駕駛者超車時行駛的距離，一是對向來車在這段時間行駛的距離。

① 超車距離  $d_2$

$$d_2 = V t_2$$

v：實際超車速度

$t_2$ ：實際超越動作開始到回到原來車道的時間

② 對向來車行駛距離

對向來車行駛距離指的是在超車過程中，對向來車行駛的距離，也就是來車從遠處駛到駕駛者進入原來車道時的距離。一般來說，只要來車在駕駛者駛入原來車道後再到達即可避免碰撞，因此這段距離只要等於超車距離即可。一般而言，來車駛距只要等於超車距離三分之二即可，因為在超車車輛未與前車並行前，駕駛者均可放棄超車回到原車道。

(3) 回復階段：駕駛者將車順利駛回原來車道，完成超車動作。

超車的駕駛者為避免碰撞，必需在特定間隔距離前將車輛駛回到原有車道，此距離與行車速率有關，一般設為 35-100 公尺。

上述過程可以圖 2-18 表示。將以上四項距離加總即得安全超車視距，如表 2.6 為國內超車視距標準。

上述兩種安全視距的要求，均針對特殊情形應變所需，故必須考慮反應時間，以致視距要求均甚長。對於反光標記的功用而言，其目的僅在提供駕駛者道路的方向、車道的位置等訊息，並非提供應變訊息如“前方道路封閉”，“前方道路施工”等須採取對策的訊息，因此反光標記的明視距離要求僅須以指引及指示為準，不須太長的視距，因此本研究依據相關研究提出前置視距的要求。

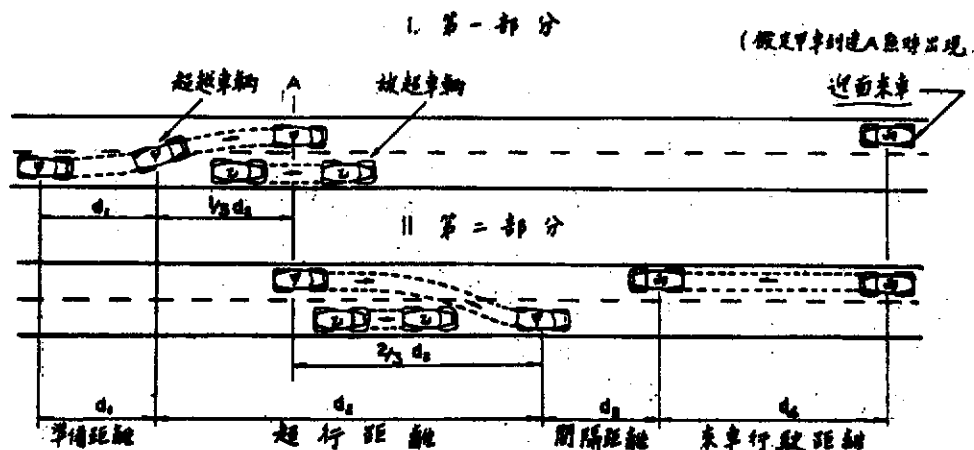


圖2-18 超車過程圖 摘自 樓乃基[1]

### 前置視距

前置視距指的是在無突發狀況下，駕駛者安全駕駛所需看到的前方路況的最短距離。駕駛行為一般視為追蹤行為(Tracking)的一種，駕駛車輛在既定的道路行駛，正如同追蹤工作中，控制目標物在既定的位置上，使位置誤差達到最少。因此，適當的前置資訊 (preview information) 有助於提高駕駛績效，減低駕駛錯誤如偏離主道，誤入對向車道等意外，維護行車安全。對於駕駛者而言，前置資訊指的是前方通路的彎向，曲率，車道改變等路況，若駕駛能提前得知前方路況，則能提早準備，減低意外的發生。

目前對於駕駛前置視距為多少，尚無定論，差異的原因主要來自研究方法的不同。在過去的研究中，主要的研究方法分為實際駕車測試與模擬器測試兩種。實際測試是由駕駛者實際駕車，實驗者控制視距或觀察視線落點的方式來進行前置視距的研究。Kondo 和 Ajimine[30]進行了直線道與彎道的前置視距的研究，在直線道上，Kondo 和 Ajimine 控制駕駛者的視距，要求駕駛者將車以感到舒適的最高速度在車道上行駛，結果得到前置時間需求為 2-3 秒。而前置視距則可由車速與前置時間導出。在彎道駕駛上的測量中，Kondo 和 Ajimine 利用攝影機記錄駕駛者的視線落點，得出前置時間為 2-4 秒。但另一方面，Gordon[25]的研究則指出，視距與車速並無關係。Gordon 利用光圈來控制駕駛者的視距，得到前置視距為 47 公尺，而與車速無關。Hoffman

與 Joubert[28]的研究指出，在控制最遠視距的實驗狀況下，車速為 20 mph 與 30 mph 時，彎道上最遠視距為 70 呎，視距與車速無關，不過，20 mph 與 30 mph 的速度變化不大，可能是造成前置視距與車速無關的原因。另一方面，Mourant 和 Rockwell[32]分析駕駛時眼睛位置的影片得到在 70-100ft/sec 時，視距必需大於 300 呎，也就是前置時間最少為 3 秒。綜合以上研究，前置視距一般多在 2-4 秒的前置時間下形成。在模擬器的研究方式上，通常使用模擬器來模擬開車狀況，並控制駕駛者的視距，由於無安全上的顧慮，故可以計算駕駛者意外發生率來作為績效指標。Wierwill，Gange 和 Knight[41]三人利用模擬器模擬公路駕駛，得到在 100ft/sec 的車速下，前置時間需求約為 3 秒。Allen[8]在 1977 年亦利用模擬器模擬彎道上的駕駛狀況，得到前置時間約為 3-4 秒的結果。

就以上研究而言，不管使用的方法為實測測試或模擬駕駛，除了 Gordon[25]的實驗結果外，其餘的研究中的前置視距均由 2-4 秒的前置時間所產生。CIE[21]與 Zwashlien 和 Schnell[43]亦贊同 Allen 3-4 秒前置時間的結果。因此，本研究採用 3 秒為駕駛前置時間的需求，而前置距離則由前置時間與車速利用前置距離等於前置時間乘以車速導出。就直線道而言，由於車燈光軸方向與道路方向相同，故前置視距落點與光軸方向亦相同，前置視距為車輛在前置時間內行走的距離，直接由時間乘上車速即可。彎道上的前置視距計算則較直線道上複雜些，在彎道上，車燈光軸方向與道路彎曲方向會行成一個偏角，因此前置視距的位置與車燈光軸亦會形成一個偏角。同時，前置視距為車輛在前置時間內車輛行進到的位置與駕駛者在前置時間初原有位置的直線距離（圖 2-19），而前置視距方向與車燈光軸的夾角則稱為前置偏角。由於在車輛彎道上的距離為曲線，故會大於前置視距，故無法直接用車輛行走的距離來代表前置視距。

以下說明如何求得彎道上的前置視距。在圖 2-19，駕駛者在 A 點即將進入彎道，而 B 點為車輛在前置時間後行駛到的位置，弧線 S 可視為車輛行駛的距離，而 O 點為轉彎中心。設車道寬 3 公尺，車輛維持在車道中心點 A'，前置視距則為線段 A'B，則 A'BO 行程一個三角形。其中

線段 BO 為轉彎半徑，線段 A'O 為線段 BO 減 1.5 公尺（右灣道）或加 1.5 公尺（左灣道）。

利用  $S=R \times \theta$  可以求出角 BOA'

再利用餘弦定理

$$(A'B)^2 = (A'O)^2 + (BO)^2 - 2 \times (A'O) \times (BO) \times \cos(\theta)$$

可求得線段 A'B

表 2.7 前置視距研究結果

作者	研究方法	道路形態	速度 (m/sec)	視距(m)	前置時間 (sec)
Gordon (1966)[25]	單眼透過小孔駕駛	彎曲道路	~6	42 與速度無明顯關係	~7
Hoffmann and Joubert (1966)[28]	限制最遠視距	極彎曲的道路	8.3	17	2
Kondo and Ajimine (1968)[30]	1. 限制最遠視距，速度依個人最舒適的極速	直線道	3.3-15	10-40 與速度成正比	2-3
	2. 使用攝影機觀察	彎道	3.3-8.3	6.6-23.3 約與速度及曲率成正比	2-4
Mourant and Rockwell (1970)[32]	視覺記錄儀	一般公路	23.3-33.3	>=100	>=3
Wierwille, Gange and Knight (1967)[41]	模擬器	模擬道路	33.3	100	3
McLean and Hoffmann (1973)[31]	限制最遠視距	彎曲道路	6 和 10	23 與速度無明顯關係	3
Allen et al., (1977) [8]	模擬器	模擬彎道	16-75	50-300	3-4

令角  $BA'O$  為  $\theta_1$ ，利用正弦定理

$$A'B/(\sin(\theta))=BO/(\sin(\theta_1))$$

可求得  $\theta_1$ ，而前置偏角為角  $BA'O(\theta_1)$  之補角，故求得前置偏角。

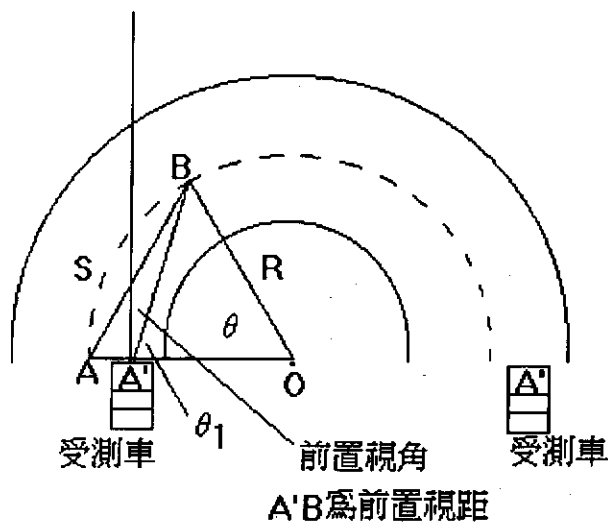


圖2-19彎道上前置視距與前置偏角關係圖

以半徑 30 公尺的右彎道為例：

根據公路路線設計規範[2]，半徑 30 公尺的右彎道其設計速率為 30 公里／小時（8.3 公尺／秒），故 3 秒前置時間行駛的距離 S 為

$$8.3 \times 3 = 24.9$$

$$S = R \times \theta$$

$$24.9 = 30 \times \theta$$

$$\theta = 47.7^\circ$$

故在 30 公尺的右彎道上，利用線段  $AO=28.5$  公尺，線段  $BO=30$  公尺， $\theta=47.7^\circ$  可求得線段  $AB$ （前置視距）為 23.72 公尺。

利用正弦定理可進一步可求得角  $BAO$ ，前置偏角即為角  $BAO$  的補角。在 30 公尺的右彎道上，前置偏角為 20.56 度。

為了評估兩種反光標記在不同曲率的道路上是否能提供駕駛者足夠的前置視距，本研究依公路路線設計規範[2]中設計速率與最小轉彎半徑對照表，求出 2-100 公尺八種曲率半徑道路上的前

置視距與前置偏角（表 2.9，2.10）來做為評估反光標記的視覺績效的基礎。

表 2.8 八種轉彎半徑右彎道的前置視距與前置偏角。

速率（公里/小時）	半徑（公尺）	前置視距（公尺）	前置偏角
25	20	19.20	25.96°
30	30	23.72	20.56°
40	50	32.26	16.58°
50	80	40.84	12.89°
60	120	49.35	10.23°
70	170	57.81	8.37°
80	230	66.23	1.02°
100	390	83.03	5.09°

表 2.9 八種轉彎半徑左彎道的前置視距與前置偏角。

速率（公里/小時）	半徑（公尺）	前置視距（公尺）	前置偏角
25	20	20.69	33.45°
30	30	24.93	27.03°
40	50	33.24	21.54°
50	80	41.61	16.92°
60	120	49.97	13.62°
70	170	58.32	11.28°
80	230	66.67	9.58°
100	390	83.35	7.15°

### 第三章 研究方法

本研究分別以模擬實驗和實際道路實驗來探討夜間彎曲道路上，反光路面標記的視覺績效。

#### 3.1 模擬實驗

模擬實驗是模擬在實際行車的狀況下，駕駛人對反光路面標記之偵測情形。實際行車情況是一個曲率半徑為 30 公尺的半圓形雙向道，車道寬 3 公尺，道路中心線依道路交通標誌標線號誌設置規則[5]分別設置玻璃型反光標記或直角稜鏡型反光標記，在半圓形道路的兩端沿切線方向各有一條 60 公尺長的駕駛引道。實驗開始，受測者駕實驗車由引道起點，以時速 30 公里的速率由引道駛入彎道，以車上所設紅外線雷射對正行車方向。當車子正好駛入測試點時，受測者必需立刻回答前方路面是否有信號出現。信號是一個單獨出現的反光標記。信號會隨機擺置於彎路中心線上，依受測者本身偵測能力做調整。當道路彎向改變時，近光燈，反光標記及駕駛者眼睛三者的相對位置會改變，使偵測效果不同。故本實驗安排右彎駕駛及左彎駕駛測試次數各半，左彎駕駛時，受測者由左邊引道進入，在左彎測試點回答問題，其餘狀況同右彎駕駛時所設計。在實驗完成後，量測實驗車的车燈強度分佈，以為分析偵測率與反光強度的關係。

##### 3.1.1 實驗設計

本研究分兩階段進行，每一階段均有小客車與貨車參與實驗以比較兩種車種對偵測率的影響。第一階段進行 360 度本體色強化玻璃反光標記（以下簡稱玻璃型反光標記）偵測實驗，第二階段進行雙面式黃色反光標記（D 型，以下簡稱直角稜鏡型反光標記）偵測實驗。實驗的自變數為反光標記偏角，共有 6 階，範圍為 3 度，每次增量為 0.5 度，依受測者本身偵測能力做調整。對每個受測者而言，每階段每個偏角必需經過 20 次測試，6 階共 120 次測試。此 120 次測試又分配於右彎駕駛及左彎駕駛，次數各半。如 60 次右彎駕駛測試完成後，再進行 60 次左彎駕駛測試，亦即每一方向每一偏角有 10 次測試，兩種彎道順序由亂數決定。為了去除回答誤中的機率，本研究在 120 次的測試中加入另 20 次的雜訊（noise），亦即沒有訊號的狀況。雜訊平均分配於每個偏角狀況下隨機出現，亦即每種彎向的測試中，會被隨機加入 10 次雜訊。每位受測者兩階段共 280 次的測試共分 4 日完成，每日進行單種反光標記單一彎向的 70 次測試。應變數為偵測率，亦



即在每一方向的每個偏角共 10 次有效測試中（去除雜訊後），受測者可以成功偵測的百分率。

### 3.1.2 受測者

受測者為 26 名有經驗的駕駛者，分別為小客車受測者 21 名，大客車受測者 5 名。21 名小客車受測者（男 16 位，女 5 位）駕駛小客車者參與第一階段玻璃型反光標記偵測實驗。再從 21 名駕駛者隨機挑選 10 名（男 7 位，女 3 位）駕駛小客車參與第二階段直角稜鏡型反光標記偵測實驗。5 名貨車受測者（全為男性）則駕駛貨車參與兩階段的實驗。26 名駕駛者的基本資料列於表 3.1。

表 3.1 受測者基本資料

	年齡		視力	
	平均	標準差	平均	標準差
21 名小客車受測者	22	1.70	0.7	0.20
10 名小客車受測者	21.8	1.93	0.67	0.19
5 名貨車受測者	36.6	4.45	0.9	0.32

### 3.1.3 實驗用車

本實驗共用了一部小客車與五部貨車。小客車由本實驗提供，為裕隆速利 1200 cc。使用一部小客車為實驗車的原因在於可減少車型不同產生的變異，提高推估人眼偵測閾值的準確度。貨車為駕駛者所有，五部貨車的基本資料列於表 3.2。

表 3.2 實驗車資料

編號	1	2	3	4	5
廠牌	三菱	三菱	五十鈴	福特	三菱
載重（噸）	8.8	20	7.9	3.75	1.75

### 3.1.4 實際佈置與程序

本實驗佈置了左、右轉向兩條彎道，在其上擺置反光標記及信號，讓受測者實際駕駛並記錄其偵測情況。實驗場地位於南寮漁港的空曠停車場，本研究在柏油路面上繪製了左彎及右彎，共兩條圓弧彎道（實驗佈置如圖 3-1）。彎道兩旁無遮蔽物，曲率半徑皆為 30m，車道寬為 3m。且在圓弧端點，沿切線方向，各

延伸一條 60m 長的直線引道，以提供受測者足夠的駕駛模擬距離。每次實驗時，在其中一條彎道上，每隔 1 公尺擺置一顆反光標記，以模擬地區雙向公路之中央分向線[2][3]。另從兩種反光標記中各選定一顆反光標記作為信號，置於彎道中央線上要求受測者偵測。為避免受測者在偵測過程中將信號與中央分道線上的反光標記混淆，在實驗中利用 7 顆相鄰擺放的反光標記（稱為指示信號）將信號與中央分道線上的反光標記區隔，也就是說，受測者沿著中央分向線看過去時，會先看到指示信號，出現在指示信號後約 1.5 公尺的反光標記才是信號。圖 3-2 為現場佈置情形。本研究將兩顆信號送車輛研究測試中心分別按 CNS 13762、CNS 13763 及公路施工標準檢測玻璃型反光標記與直角稜鏡型反光標記確定兩顆信號均為合格品（附錄 A）。另外，針對兩種反光標記量測其不同水平偏角時的回歸反射係數（附錄 B），以做為分析不同道路曲率下反光強度之用。

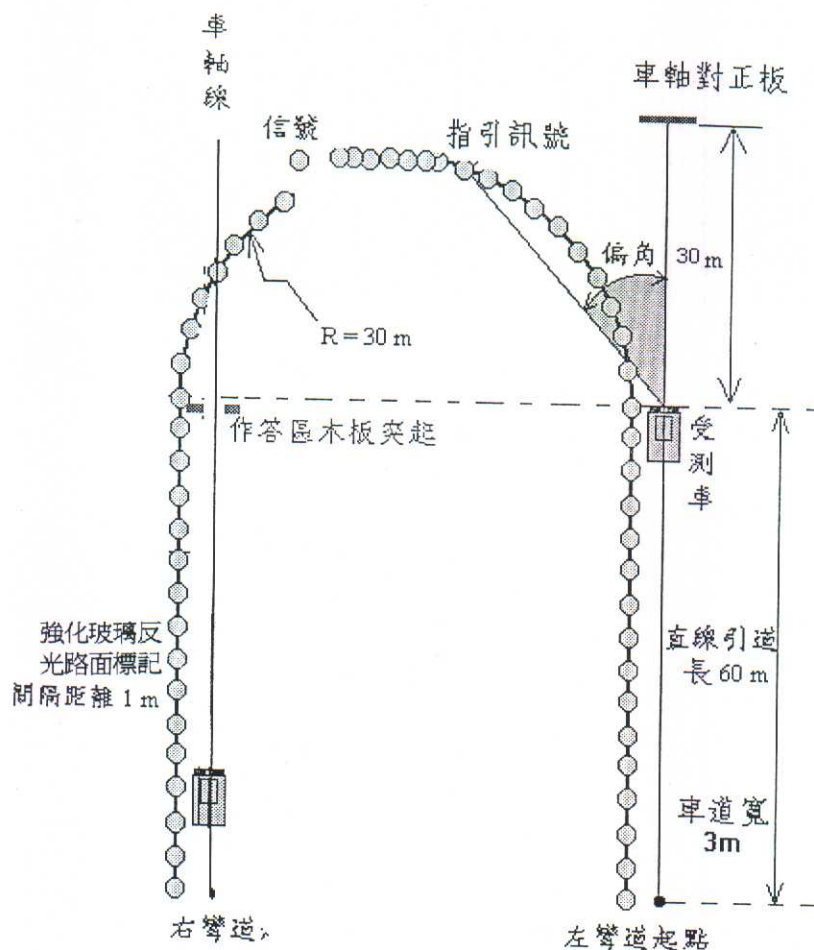


圖 3-1 實驗佈置圖

由於南寮漁港的空曠停車場為一公共場所，無法進行反光路面標記的埋設，故在每天測試前後均須進行反光路面標記的擺置與收回的動作。由於玻璃型反光標記的設置為埋入式，為避免其底部因未埋入而影響偵測結果，本研究將作為信號與指示信號的玻璃型反光標記埋入部分以平光噴漆噴黑，避免造成反射。而在直角稜鏡型反光標記方面，由於施工採黏合方式，埋入地面部分不多，以擺置的方式進行實驗應不至造成偵測上的影響。



圖 3-2 實驗現場圖

在每天測試前，本研究必須先進行反光標記擺置、架設雷射管與對正板、相關事項說明，以及前行測試。每次抵達現場後，首先須擺置反光標記，共 107 顆。

設置完畢，實驗者之一上車，陪同受測者熟悉測試路線、詢問人車資料，並說明實驗相關事項，如偵測情況、作答方式、實驗次數、休息方式等並開始進行 10 ~ 15 次的前行測試。前行測試和正式測試時的偵測狀況完全相同，其目的乃是為了預先估計受測人車可能成功偵測的範圍，以便選定受測樣本的 6 階車燈偏角。

選定後，便進行正式測試。測試時，由直線引道起點出發，以時速 30km 駛向彎道，只能使用近光燈。當行經作答位置時，受測者以無線電回答是否可看見信號。無線電為聲控方式，不需受測者動手操作，故不會影響受測者駕車。



所謂作答位置，是指車行至兩車燈中點連線疊合於圓弧彎道端點至圓心之連線時的位置。為保證每人每次測試時之作答位置不變，於車行至此前方 0.9 公尺的地面上釘有木板(0.9 公尺為一般小客車車身前緣至前輪輪心的水平距離)，厚 2 公分，當車行至此，受測者可感覺車身顛簸。若駕駛者未能壓過木板，該次測試必需重來。實驗者利用雷射光是否在對正板上與木板發出的響聲來判斷受測者是否行經作答位置。測試中受測者一切條件照平常個人公路駕駛習慣，亦即駕駛中可任意轉動頭部、聽音樂或與乘客聊天等。

實驗選擇在夜間，控制為無路燈照明，無人員進出，無下雨，背景照度約為 50-100 mlx。

### 3.1.5 車燈光強度分布量測

本研究以車燈光軸方向為零度，車燈中點為圓心，以二十公尺為半徑，在地面繪出由負五十度至正五十度的弧形，以照度計沿弧形上，由負五十度到正五十度，在 0-30 度間，每 5 度為單位移動，30~50 度之間，以 2 度為單位移動，量測照度值。在每一量測點量取垂直的光強度分佈。依車燈高低量取不同範圍的垂直的光強度分佈。以車燈中心高度為零度，一次下降一度直到不足一度為止。車燈量測結果詳見附錄 C。

### 3.1.6 分析方法

為了評估兩種反光標記的視覺績效在實際道路上是否能符合需求，本研究估計 95%可偵測偏角及人眼偵測照度閾值。接著計算出道路上前置偏角與結果比較。

首先，依偵測結果利用常態分配累進函數迴歸求出反光標記偏角對反光標記偵測率的關係[27]，並依此估計出 95%可偵測偏角，95%可偵測偏角表示受測者有 95%機率成功偵測到該偏角位置上的反光標記。配對 t 檢定(paired t test)檢驗兩種反光標記的平均偏角是否有顯著差異，以決定何者有較佳的視覺績效。

進一步分析兩種反光標記的視覺績效是否合於前置視距的要求。由於樣本數屬小樣本，第 5 百分位的樣本人約為最差值(worst case)，故直接以最差值來分析以確保反光標記的視覺績效能確實符合 95%以上的道路駕駛者的需求。由表 2.9，2.10 得知，當道路曲率半徑為 30 公尺時，設計速率為 30km/hr，相對的 3 秒前置時間所需的前置視距分別為 24.93 公尺(左彎道)與 23.72 公尺(右彎道)。依實驗佈置，此距離相對應之車燈偏角分別為 27 度(左

彎道)與 20.5 度(右彎道)。比較前置偏角和實際測得樣本中最小之 95%可偵測偏角即可知反光標記是否能提供足夠的前置視距。

為推估兩種反光標記在不同道路曲率的視覺績效，首先須由實驗結果導出人眼偵測閾值。本研究以 21 名受測者偵測玻璃型反光標記的 95%偏角位置的反射光在人眼處照度為受測者人眼照度閾值。同樣的，為確保反光標記的視覺績效能確實符合 95%以上的道路駕駛者的需求，本研究以左右彎道最大值中較大值，做為人眼偵測閾值，用以檢驗反光標記的視覺績效。

本研究依公路路線設計規範[2]中所規範的道路曲率與速限計算在 3 秒前置時間的要求下，形成的前置偏角要求。在計算兩種反光標記在實驗車的車燈光照射下，反射到人眼處的光照度。比較該照度與人眼偵測照度閾值，若反射光照度較強，則駕駛者可偵測到反光標記，也就是說，反光標記的視覺績效符合要求。反之，反射光照度較弱，則反光標記的視覺績效不符合要求。

### 3.2 實際道路實驗

本研究選定新竹縣寶山鄉竹四十三線三峰路便道作為實際道路實驗(圖 3-3)。便道曲率半徑約為 20 公尺，便道的坡度為 1/10，便道為雙向道。本研究在便道上選擇取左、右二向道作為左、右彎向的測試點(圖 3-4)。實驗進行時，以故障標誌置於南端入口，防止車輛闖入。便道並未埋設反光標記，故與模擬實驗進行時一樣，須於實驗前加以擺設。

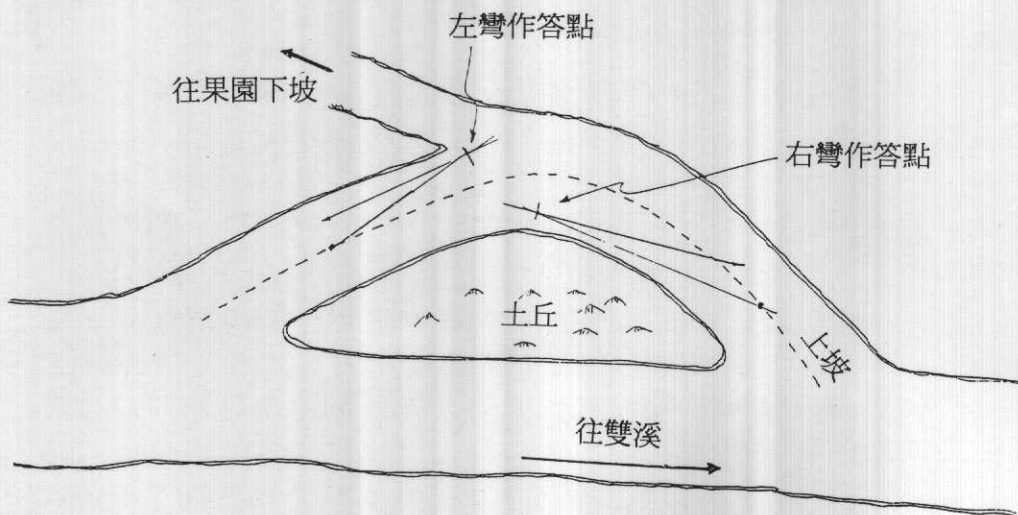


圖 3-3 實際測試現場圖



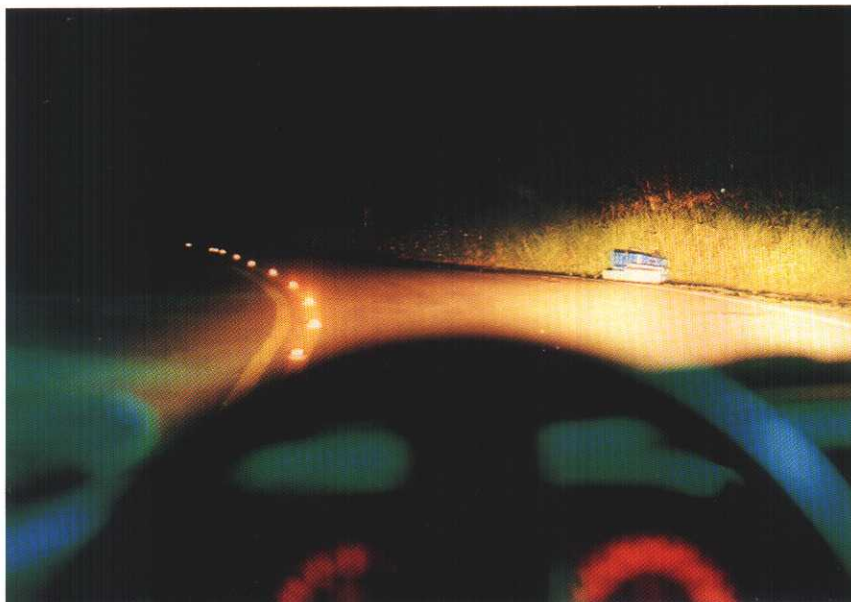


圖 3-4 實際測試圖

本研究以便道的兩個入口為起點，在距入口 20 公尺處釘上木板作為作答區，要求受測者在行經木板時偵測擺在中央分向線上的反光標記。信號的擺設與模擬實驗時雷同，以木板處的延伸處為法線向量，信號與車燈光軸連線夾角為偏角。

共有兩名（一男一女）受測者，分別駕駛自己的小客車（三陽喜美，福特嘉年華）參與實驗。實驗之分析方法與模擬實驗同。

本研究分兩階段進行，第一階段進行玻璃型反光標記偵測實驗，第二階段直角稜鏡型反光標記偵測實驗。實驗的自變數為反光標記偏角，受限於實際道路的形狀，只有 5 階，範圍約為 1 度。依受測者本身偵測能力做調整。對每個受測者而言，每階段每個偏角必需經過 10 次測試，5 階共 50 次測試。此 50 次測試又分配於右彎駕駛及左彎駕駛，次數各半。25 次右彎駕駛測試完成後，再進行 25 次左彎駕駛測試。同樣的，為了去除回答誤中的機率，本研究在 50 次的測試中加入另 10 次的雜訊，亦即沒有訊號的狀況。雜訊平均分配於每個偏角狀況下隨機出現，亦即每種彎向的測試中，會被隨機加入 5 次雜訊。每位受測者兩階段共 120 次的測試共分 4 日完成，每日進行單種反光標記單一彎向的 30 次測試。應變數為偵測能力，亦即在每一方向的每個偏角共 5 次有效測試中，受測者可以成功偵測的百分率。

實驗進行時，在左彎道方面，受測者由雙溪方向的起點出發，道路為上坡路段。行經作答點後，須橫跨切入四十三號縣道，再繞回雙溪方向的起點重新出發，受測者壓力較大。在右彎方面，

受測者由往雙溪方向的起點出發，行經作答點後，直接右轉進入四十三號線道，流程較為順暢。

由於道路現場左側有一土丘，高約 2~3 公尺，影響了視野，同時，實驗道路稍有起伏，影響車燈強度的分佈。

## 第四章 結果與分析

根據實驗結果，本研究首先估計出各受測者的 95%可偵測偏角，並進行初步資料分析與檢定，接著，推算出彎道上人眼偵測照度閾值，依此評估反光標記視覺績效是否符合需求。

首先，本研究導出各種實驗組合下的 95%可偵測偏角。根據現場實驗結果，以常態分布累積機率函數的迴歸方式導出每一位受測者的偵測率曲線利用此迴歸曲線估計 95%可偵測偏角（圖 4-1）。

表 4.1 列出 10 名小客車駕駛偵測玻璃型反光標記與直角稜鏡型反光標記的 95%可偵測偏角平均值與標準差。表 4.2 列出 5 名貨車駕駛偵測玻璃型反光標記與直角稜鏡型反光標記的 95%可偵測偏角平均值與標準差。結果顯示，小客車與貨車駕駛在偵測玻璃型路面標記時，平均偏角較大。較大的平均偏角表示具有較佳的視覺績效，亦即玻璃型反光標記具有較佳的視覺績效，可提供較佳的前視距離。配對 t 檢定(paired t test)的結果亦顯示有顯著差異(P 值<0.001)。此結果主要與兩種反光標記的回歸反射係數分布有關，圖 4-2 中顯示，直角稜鏡型反光標記的反射係數隨著水平偏角的增大而降低。在 30 度以後即小於玻璃型反射係數，且隨著偏角越大差異越大。因此，直角稜鏡型的視覺績效較玻璃型為差。

表 4.1 小客車駕駛的 95 % 偏角平均值（括弧內為標準差）

	左彎道	右彎道
玻璃型反光標記	39.89 <sup>0</sup> ( 1.76 <sup>0</sup> )	42.03 <sup>0</sup> ( 2.86 <sup>0</sup> )
直角稜鏡型反光標記	32.18 <sup>0</sup> ( 1.21 <sup>0</sup> )	33.64 <sup>0</sup> ( 1.08 <sup>0</sup> )

比較兩種車型的平均偏角發現，貨車司機對兩種反光標記的偵測偏角均較小客車為大(p=0.001)。分析原因有二：

1. 車燈強度分佈：貨車車燈在強度上的分佈較為平均，也就是說，強度隨著偏角遞減的程度較不明顯，因此，貨車車燈在小偏角的強度較小客車弱，但在大偏角的強度卻未較小客車車燈強度弱，甚至較高，導致照在反光標記的照度較高。圖 4-3 為六輛測試車車燈在右彎道偏角位置的照度比較，由圖中可以看出，小客車在 32-40 度間的照度較高，但在 42 度以後與貨車相差無幾，甚至更低。



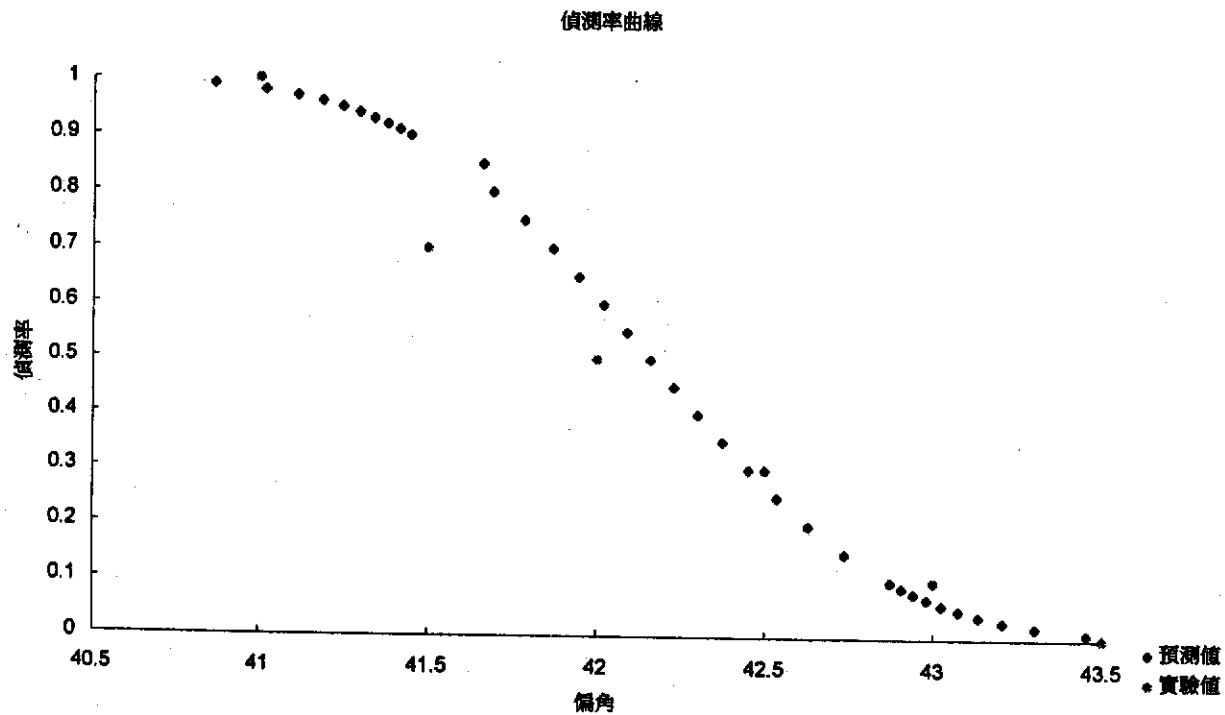


圖 4-1 實驗結果與回歸曲線

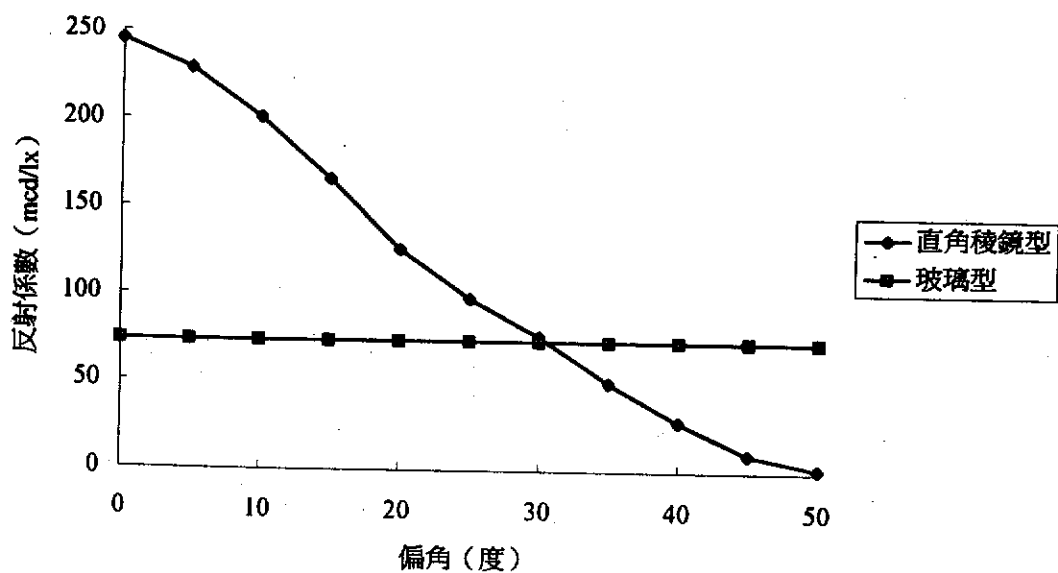


圖 4-2 回歸反射強度係數分佈圖

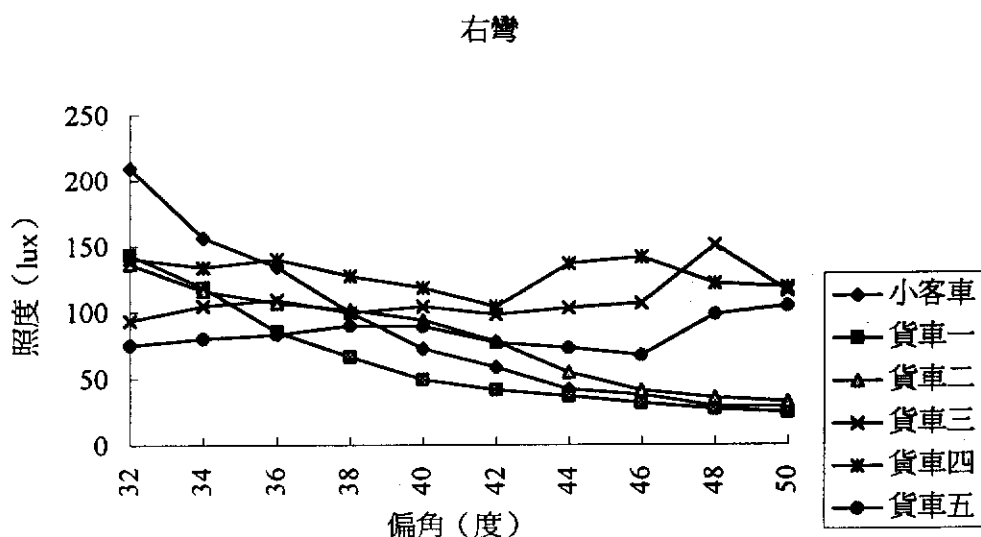


圖 4-3 右彎道上測試車的車燈照度分布圖

表 4.2 貨車駕駛的 95 % 偏角平均值 (括弧內為標準差)

	左彎道	右彎道
玻璃型路面標記	43.92° ( 6.7° )	45.53° ( 7.61° )
直角稜鏡型路面標記	35.26° ( 5.4° )	34.70° ( 7.6° )

2. 貨車司機由於長期開車為業，對於路況的反應較佳且對於反光標記等交通設施的偵測較熟悉。

在彎道的方向上，小客車駕駛在偵測二種反光標記時，右彎路段的偵測偏角顯著高於左彎路面 ( $p$  值=0.001)。推測差異來自於我國駕駛座位於左邊的緣故，由於駕駛座靠左，使得偵測右彎道上的反光標記時，有較大的視野，故較容易偵測。反之，在左彎道上時，由於左邊有一車頂柱擋住視線，不少駕駛者均採用透過左邊車窗玻璃來偵測的方式，無形中增加偵測工作的困難度，影響偵測績效。另一方面，貨車司機對於左右兩彎道的偏角並無顯著差異 ( $p$  值>0.05)。可能的解釋是，貨車司機在行車中習於將左側車窗搖下以致反光路面標記較清晰之故，同時駕駛座的視野較佳也是原因之一。當然，豐富的駕駛經驗亦可能使得偵測工作不受左邊車頂柱的影響。

另一方面，表 4.3 列出小客車駕駛視力與偏角的相關係數，結果顯示並無太大的相關。主要原因為視力指標以最小可分辨視角為基礎來計算，而最小可分辨視角與眼睛水晶體聚焦能力有關，與偵測過程中，最小偵測閾值由眼睛對光線的敏感度所決定的原理並不相同，故相關性甚低。

表 4.3 視力與偏率偏角相關係數

	玻璃型右彎	直角稜鏡右彎	玻璃型左彎	直角稜鏡左彎
視力	0.09238	0.22817	0.02236	0.22484
P 值	0.001	0.001	0.001	0.001

進一步檢驗為兩種反光標記的視覺績效是否合於前置視距的要求。本實驗的 30 公尺半徑的彎道上以時速 30 公里開車時，3 秒鐘的前置視距在左右彎道形成的偏角分別為 27 度與 20.5 度(表 2.9、2.10)。由表 4.4、4.5 可知玻璃型與直角稜鏡型的 95%偵測角度均大於前置偏角要求，顯示二者均能提供足夠的前置視距。

表 4.4 小客車駕駛的 95 % 偏角極端值與視覺績效評估

	玻璃型	直角稜鏡型	前置偏角 要求	視 覺 績 效 評 估
左彎道	33.36°	30.39°	27°	均符合
右彎道	38.71°	31.92°	20.5°	均符合

表 4.5 貨車駕駛的 95 % 偏角極端值與視覺績效評估

	玻璃型	直角稜鏡型	前置偏角 要求	視 覺 績 效 評 估
左彎道	32.16°	25.01°	27°	均符合
右彎道	32.23°	29.09°	20.5°	均符合

為推估兩種反光標記在不同道路曲率的視覺績效，首先須由實驗結果推導出人眼偵測閾值。本研究以玻璃型反光標記偵測實驗中，各受測者的 95%偵測偏角相對應的反射光照度為其人眼照度閾值。表 4.6 列出 21 名受測者在左彎與右彎的照度閾值平均值，極大值與標準差。由表中可得到，人眼閾值為  $5.58 \times 10^{-6} \text{ lux}$ ，

此數值與 CIE[21]利用 Blackwell[15]的研究結果，取背景值為夜間郊區一般路面亮度值  $10^{-1} \text{ cd/m}^2$ [35]導出的閾值  $1.02 \times 10^{-6} \text{ lux}$  皆在  $10^{-6}$  級數範圍，可謂差異不大。

表 4.6 偵測照度閾值（單位 lux）

	左彎道	右彎道
平均偵測照度閾值	2.60E-06	2.40E-06
偵測照度閾值標準差	1.11E-06	1.03E-06
最大偵測照度閾值	5.58E-06	3.72E-06

本研究評估兩種反光標記在 25-390 公尺八種轉彎半徑的左右彎道上的效果，由於貨車在模擬實驗中有較佳的視覺績效，故僅以小客車進行評估。表 4.7，表 4.8 列出評估結果。結果顯示，除了在半徑 2 公尺的左彎道上，直角稜鏡型的視覺績效無法符合須求外，在其它的路段上，兩種反光標記的視覺績效均能符合需求。其中，玻璃型反光標記的反光照度在半徑 30 公尺以下的彎道較直角稜鏡型高出約十倍（玻璃型約  $10^4 \text{ lux}$ ，直角稜鏡約  $10^5 \text{ lux}$ ），在半徑 50 公尺到 120 公尺範圍的道路上兩種反光標記反光照度差異不大，在半徑 170 公尺以上道路，直角稜鏡才有顯著的較佳效果，較玻璃型照度高約 5 倍（圖 4-4、4-5）。就整體視覺績效而言上來說，玻璃型反光標記比直角稜鏡型反光標記效果好。

表 4.7 兩種反光標記在右彎道上反光照度與視覺績效評估

半徑(m)	速率(Kph)	人眼偵測閾值 (lux)	反光標記反光照度 (lux)		視覺績效 評估結果
			玻璃型	直角稜鏡型	
20	25	5.60E-06	2.36E-04	1.62E-05	均符合
30	30	5.60E-06	1.22E-04	1.75E-05	均符合
50	40	5.60E-06	5.13E-05	2.57E-05	均符合
80	50	5.60E-06	8.23E-05	3.57E-05	均符合
120	60	5.60E-06	4.32E-05	2.37E-05	均符合
170	70	5.60E-06	2.62E-05	8.95E-05	均符合
230	80	5.60E-06	2.10E-05	4.43E-05	均符合
390	100	5.60E-06	1.00E-05	5.04E-05	均符合

表 4.9 則列出實際道路測試的結果。由於受到地形的限制，兩種反光路面標記的效果均較模擬道路的效果為低，顯見在實際使用時，兩種反光標記的視覺效果會受到實際路面的狀況如路面起伏，路旁地形，招牌等而打折扣，不過，玻璃型反光標記的效果仍較直角稜鏡型的效果為佳(P 值=0.001)。

表 4.8 兩種反光標記在左彎道上反光照度與視覺績效評估

半徑(m)	速率(Kph)	人眼偵測閾值 (lux)	反光標記反光照度 (lux)		視覺績效 評估結果
			玻璃型	直角稜鏡型	
20	25	5.60E-06	8.84E-05	4.32E-06	玻璃型可
30	30	5.60E-06	5.88E-05	6.61E-06	均符合
50	40	5.60E-06	2.77E-05	1.07E-05	均符合
80	50	5.60E-06	2.42E-05	1.18E-05	均符合
120	60	5.60E-06	2.45E-05	5.32E-05	均符合
170	70	5.60E-06	1.54E-05	4.24E-05	均符合
230	80	5.60E-06	1.21E-05	2.54E-05	均符合
390	100	5.60E-06	1.33E-05	6.30E-05	均符合

表 4.9 實際道路測試結果

	左彎道		右彎道	
	1 號	2 號	1 號	2 號
受測者編號				
玻璃型反光標記	34.93 <sup>0</sup>	34.9 <sup>0</sup>	23.24 <sup>0</sup>	23.11 <sup>0</sup>
直角稜鏡型反光標記	31.14 <sup>0</sup>	29.89 <sup>0</sup>	19.62 <sup>0</sup>	18.18 <sup>0</sup>

## 第五章 討論

本研究實驗結果，分別針對二種反光標記在不同道路曲率的適用範圍、車燈光強度對反光標記視覺績效的影響、檢測方法與檢測標準的改善與後續關於反光標記反光效果壽命的相關研究提出討論。

由結果得知，實驗用玻璃型反光標記在小彎道上的視覺績效較實驗用直角稜鏡高出許多，而在一般彎道則兩種績效差異不大，在接近直線道的大彎道（半徑大於 120 公尺）時，直角稜鏡才有較明顯的優勢。而造成到兩種反光標記視覺績效差異的主要原因，在於反光標記的反射係數分佈。

不同種類的反光標記有不同的反射係數分佈。圖 5-1, 5-2 為兩種反光標記在八種左右彎道上的回歸反射強度係數  $R_1$  的分佈圖。在圖 5-1 中，玻璃型的  $R_1$  在半徑 20, 30 公尺的彎道上較直角稜鏡型的  $R_1$  高出 10 倍多，如此，在相同的光強度下，績效差異自然在小彎道上較顯著。相反的，在 120 公尺半徑以上的彎道上，直角稜鏡型的  $R_1$  高較玻璃型的  $R_1$  約高出 2-5 倍。在半徑介於兩者之間的彎道上，兩種反光標記的反射係數差異不大。圖 5-2 亦有相同的結果。反射係數分佈的差異說明了兩種反光標記的視覺差異來源。

而造成直角稜鏡型的  $R_1$  在 25 公尺半徑彎道上較小的原因，主要在於 25 公尺的左彎道形成水平偏角已經 33 度，而由於前置視距短，形成垂直偏角大，亦導致  $R_1$  更形微弱。而玻璃型由於在水平偏角上的值固定，故  $R_1$  值較大，且在垂直偏角上的遞減較少，故效果較顯著。相反的，在近似直線的道路上，由於直角稜鏡型在水平與垂直入射角零度附近的回歸反射係數非常高，故視覺績效較玻璃型高。在中間部分由於兩種  $R_1$  值相差無幾，故無明顯差異。

另一方面，影響反光標記視覺績效的原因在於車燈光強度分佈。一般而言，車燈強度會隨著偏角增大而大幅減弱，照到反光標記的光照度亦相對變小。如此，小轉彎半徑上的反光標記易因過低的光照度而無法產生足夠的反光強度以便駕駛者偵測其存在。由小客車與貨車的實驗結果來看，貨車的在大偏角上的光強度較強是造成偵測偏角較大的原因之一。因此，適度的增加大偏角的光強度可大幅增加彎道上反光標記得視覺績效。隨著轉彎半

徑變小，設計速率亦隨之變小，導致較短的前置視距。由於同一光照度下，強度與距離成平方反比，在距離縮短的情形下，欲維持相同的照度，強度只須原來強度的平方分之一。因此，在小半徑彎道上，不須太強的車燈光強度即可使反光標記產生足夠的視覺績效產生小幅度提高光強度。因此，就現行的車燈光強度分配而言，此須小幅度提高大偏角時的光強度即可更進一步確保反光標記的視覺績效。

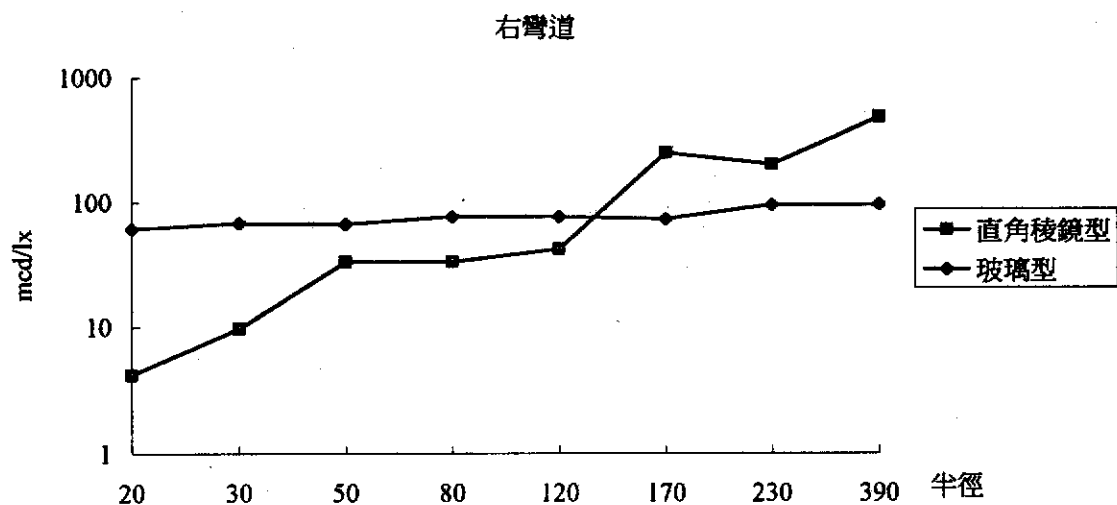


圖 5-1 不同半徑右彎道上反光係數比較

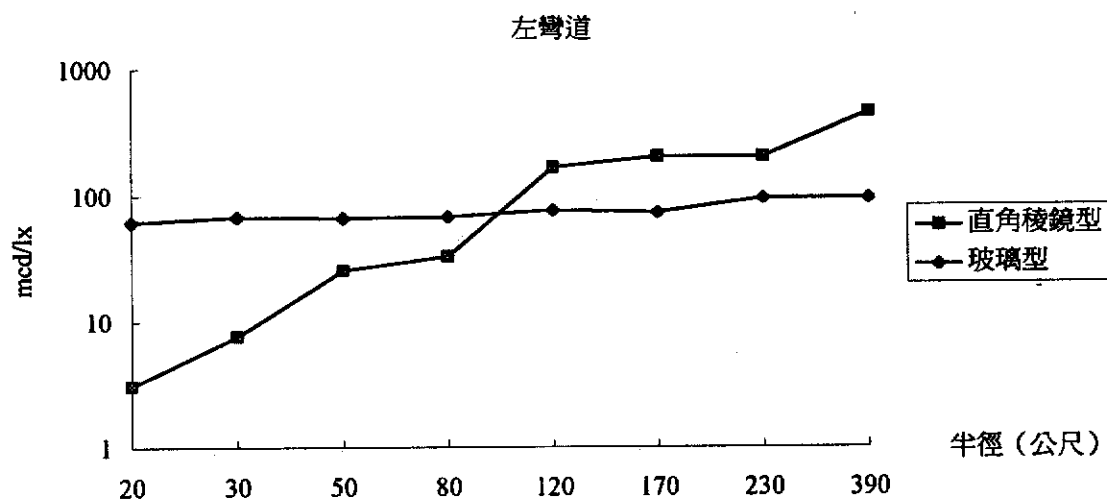


圖 5-2 不同半徑左彎道上反光係數比較

在針對檢測方法與標準的討論方面，本研究依反射係數的選擇，反射係數標準值的要求與觀測角與入射角的組合兩方面進行討論：

# 1. 反射係數標準值的要求：

本研究以二種全新的反光標記進行實驗，發現二種反光標記在大部分的路況都能符合視覺需求。然而，本研究所採用反光標記的反射係數較標準值要求高出3~4倍(表5.1)，若使用恰符合標準值的反光標記來進行測試，預測其反射照度與視覺績效結果為表5.2、表5.3。由5.2、表5.3來看，恰符合標準值的反光標記並未能符合八種彎道的視覺需求，恰符合標準值的玻璃型反光標記無法符合大半徑彎道上的視覺需求，相反的，恰符合標準值的直角稜鏡型反光標記無法符合小半徑彎道上的視覺需求。因此，建議依本研究所得之人眼照度須求及後續研究所得結果，適度提高標準值，以確保行車安全。

表 5.1 實驗用反光標記的反射係數與檢測標準值的比較

種類	入射角/觀測角	實驗用反光標記	檢測標準值	實驗用反光標記/檢測標準值
直角稜鏡型	0.2°/0°	597	180	3.3
	0.2°/20°	318	72	4.4
玻璃型	30°/24°	129.5	31.5	4.1
	20°/20°	37.5	7	5.3

(直角稜鏡型中，SI單位已經轉換)

表 5.2 右彎道恰符合標準值之反光標記的反光照度與視覺績效預測結果

半徑(m)	速率(Kph)	人眼偵測閾值 (lux)	反光道路反光照度 (lux)		視覺績效評估結果
			玻璃型	直角稜鏡型	
20	25	5.60E-06	7.86E-05	5.40E-06	玻璃型符合
30	30	5.60E-06	4.06E-05	5.83E-06	均可
50	40	5.60E-06	1.71E-05	8.90E-06	均可
80	50	5.60E-06	2.74E-05	1.19E-05	均可
120	60	5.60E-06	1.44E-05	7.90E-06	均可
170	70	5.60E-06	8.91E-06	2.98E-05	均可
230	80	5.60E-06	7.00E-06	1.44E-05	均可
390	100	5.60E-06	3.33E-06	3.68E-05	直角稜鏡型符合



表 5.3 左彎道恰符合標準值之反光標記的反光照度與視覺績效預測結果

半徑 (m)	速率(Kph)	人眼閾值 (lux)	反光道路反光照度 (lux)		視覺績效 評估結果
			依玻璃型	直角稜鏡型	
20	25	5.60E-06	2.94E-05	1.10E-06	玻璃型符合
30	30	5.60E-06	1.96E-05	2.21E-06	玻璃型符合
50	40	5.60E-06	9.21E-06	3.23E-06	玻璃型符合
80	50	5.60E-06	8.08E-06	3.93E-06	玻璃型符合
120	60	5.60E-06	8.16E-06	1.77E-05	均可
170	70	5.60E-06	5.13E-06	1.08E-05	均可
230	80	5.60E-06	7.03E-06	8.46E-06	均可
390	100	5.60E-06	4.43E-06	2.10E-05	直角稜鏡型符合

## 2. 觀測角與入射角的檢驗組合：

目前兩種反光標記檢驗方法在觀測角與入射角的選擇不盡相同，亦不完全符合實際需求，須再增加幾組觀測角與入射角的組合以符合實際需求。表 5.4 列出八種彎道中，小客車與 20 噸貨車的觀測角與入射角。由表 5.4 可以發現，在小半徑的地方，20 噸貨車得垂直入射角達到 3 度，而在水平入射角方面，20 公尺左彎道則形成 33 度的前置偏角。為將以上狀況考量進入，本研究建議修改角度組合，增加大水平偏角(如 35 度)與垂直偏角(如 2.5 度)的考慮。

表 5.4 右彎道上小客車與 20 噸貨車的入射角與觀測角(單位:度)

車輛\偏角	30		35		40		45		50	
	入射角	觀測角	入射角	觀測角	入射角	觀測角	入射角	觀測角	入射角	觀測角
小客車	1.15	1.04	1.03	0.93	0.93	0.84	0.85	0.77	0.79	0.72
20 噸貨車	2.21	2.32	1.97	2.06	1.78	1.87	1.64	1.71	1.52	1.59

除此，這兩種反光標記的要求應該一致。同時，本研究主張反光標記既是在提供視覺指引，其反光效果在不同角度組合應該一致，確保不同車型的車輛有一致的效果。

在反射係數的使用上，國外對於路面反光標記，不管玻璃型或直角稜鏡型均使用反射強度係數來表示[11][17][23][36]，最主要的原因，乃是將反光標記因面積較小均被視為點光源，因此，

只須計算總能量反射即可。反觀國內 CNS 13762 的標準中，採用回歸反射係數 ( $R_A$ ) 作為標準單位。回歸反射係數基本上為美國 ASTM 的規範中，衡量反光片 (retroreflective sheeting) 的指標。其目的為計算單位面積上的反射效果。二個係數的差異在於  $R_A$  強調反光片的面積對反光效果有影響，而  $R_l$  只重視整個反射光強度。對於反光標記而言，由於大小皆有規範，故反光標記面積差異不大，且面積均很大，建議 CNS 將檢測係數改為  $R_l$ ，一方面輕易與國外標準交流，二方面省去檢測時量測球形成面積的麻煩。在直角稜鏡型方面則較統一，國內採用的加州檢驗法亦採用  $R_l$  為檢驗係數，不過其單位採用英制，故須換算，建議 CNS 制定直角稜鏡型的標準時，考慮使用公制單位較為統一。

最後，對於實際埋設在道路上的反光標記而言，影響其視覺績效的因素，除了上述的反光係數分布與車燈光強分布外，使用壽命與氣候效應也必需列入考慮。

一般而言，使用壽命指的是反光標記的反射效果有效時間。由於路面反光標記埋設在路面上，經年累月下來，頻遭車輛輾壓與撞擊，容易磨損反射面或是完全撞壞。在直角稜鏡型的反光標記方面，其反射面可能在因車輪壓過而破裂變形，導致無法產生全反射的效果。而在玻璃型反光標記方面，車輪的碾壓最易造成球狀面透鏡表面磨損，產生不平滑的現象，導致聚焦效果大幅降低，甚至破裂而無法產生聚焦。同時，道路上的落塵量非常大，路面反光標記表面的積塵情形十分嚴重且普遍，而灰塵，主要會影響光線的入射與反射量，降低了反射效率。針對使用壽命，有必要進行進一步的研究，探討車流量與反射係數減低程度的關係，以建立一衰減因子 (depreciation factor)。衰減因子有兩個用途：一是用來提高反光標記的檢測標準，確保道路上使用的反光標記在汰舊前均能提供視覺績效。二可用來決定汰舊週期，依汰舊週期的長短與裝設成本可得出二種反光標記經濟效益的高低，決定使用時機與優劣。

天候因素指的是在如雨天、霧季、露水等不佳天候的因素對反光標記的績效的影響，其目的在確保反光標記在各種天候下，其視覺績效仍能符合需求。一般而言，雨天時雨水沖刷反光標記表面，將灰塵沖走，提高了反射效率。同時，殘留在表面的雨水使磨損而不平滑的反射面再度形成光滑面，恢復反射效果。而另一方面，雨水亦會使路面有一層薄膜，使入射光線形成鏡射效果，而非漫射回駕駛者眼中，如此，使得背景亮度較晴天時低，人眼偵測閾值下降，故明視距離變長。依據 Blaauw 和 Padmos[14]

的研究指出，在雨天中反光標記有較長的標記。然而，在雨天，由於天雨路滑，導致前置視距需要加長。因此，反光標記是否具有較佳的視覺績效仍值得進一步研究。在霧季方面，由於霧會使光線散射（scattering），大幅降低了光線到達反光標記與反射回人眼的光量，反光標記明視距離必然縮短，因此，須將反光係數標準提高幾倍以符合需求仍有待研究。

## 第六章 結論與建議

依本研究結果，提出以下結論與建議

1. 二種反光路面標記均可符合人眼視覺需求。
2. 360°本體色強化玻璃反光路面標記（玻璃型）的視覺績效較雙面反光路面標記（直角稜鏡型）為佳。
3. 細部而言，在半徑 30 公尺以下彎道以玻璃型視覺績效較佳，在半徑 120 公尺以上的彎道與直線道以直角稜鏡型為佳，在半徑 40 公尺與 120 公尺之間路段則無明顯差異。
3. 反光路面標記的反光係數要求應予酌量提高。
4. 建議進行下列後續研究以求得標準提高依據
  - (1) 車流量與路面標記反光效果衰減關係
  - (2) 灰塵累積與路面標記反光效果衰減關係
  - (3) 雨天時路面標記偵測效果
5. 建議依照後續研究結果，導出二種反光路面標記汰換週期，並考慮埋設成本，依經濟效益決定二種反光路面標記的優劣。
6. 建議修正反光係數為反射強度係數（ $\text{mcd/lx}$ ）以方便比較與檢測。

## 參考文獻

1. 樓乃基，交通工程基本，公路工程，台北市，民國64年。
2. 交通部，公路路線設計規範，民國75年12月。
3. 交通部，公路工程施工規範，民國78年8月。
4. 交通部，交通工程手冊，民國79年3月。
5. 交通部，道路交通標誌標線號誌設置規則，民國83年7月。
6. 經濟部中央標準局。360度本體色強化玻璃反光路面標記。中國國家標準 CNS，總號：13762，民國84年10月。
7. 經濟部中央標準局。360度本體色強化玻璃反光路面標記檢驗法。中國國家標準 CNS，總號：13763，民國84年10月。
8. Allen, R.W.; O'Hanlon, J.F., and McRuer, D.T. Driver's visibility requirements for roadway delineation, Vol. I: Effects of contrast and configuration on driver performance and behavior. FHWA-RD-77-165. Office of Research, FHWA, U.S. Department of Transportation, Nov. 1977.
9. ASTM, Standard guide to properties of high visibility material used to improve individual safety. F923, 1994.
10. ASTM, Standard practice for measuring photometric characteristics of retroreflector. E809, 1994.
11. ASTM, Standard specification for plowable, raised retroreflective pavement markers. D4383, 1992.
12. Bali, S.G., McGee, H.W., Taylor, J.I. State of the art on roadway delineation systems. Science Applications Inc. El Segundo California. Prepared for FHWA Washington, DC. 1976.
13. Bali, S.G., Potts, R., Fee, J.A., Taylor, J.I., Glennon, J. Cost effectiveness and road safety of alternative roadway delineation treatments for rural two - lane highway. Vol. II, FHWA, DC, 1978.
14. Blaauw, G.J. and Padmos, P. Nighttime visibility of various types of road markings study on durability including conditions of rain, fog and dew. paper 820412. Society of Automotive Engineers, Warrendale, Pa., 1982.

15. Blackwell, R.H. Contrast thresholds of the human eye, *Journal of the Optical Society of America*, vol. 37, No. 11, 1946.
16. Boyce, Human Factors in Lighting. New York: Macmillan, 1981.
17. BS, Road traffic signs and internally illuminated bollards, part 4. Specification for road studs, BS 873, 1987.
18. CIE, Guide to the properties and uses of retroreflectors at night, CIE publication No. 72, 1987.
19. CIE, International lighting vocabulary, CIE publication No. 17.4 Vienna, 1987
20. CIE, Retroreflection definition and measurement, CIE publication No. 54, Vienna, 1982
21. CIE, Visual aspect of road markings, CIE publication No. 73, 1988, Vienna
22. Davson, H., *Physiology of the eye*, 4th ed., London, Churchill livingstone, 1980.
23. EN, Road studs, part 1: initial performance specifications 5 draft. September, 1992.
24. Fox, S.I., *Human Physiology*, 3rd ed. Dubuque, Wm.C.Browm, 1990
25. Gordon, D.A., Experimental isolation of driver's visual input, *Public Roads*, 33, 1966.
26. Graham, J.R. and King, L.E., Retroreflectivity requirements for pavement markings, *Transportation Research Reocrd*, No. 1316.
27. Guilford, J.P. *Psychometric Methods*, New York: McGraw-Hill , 1935.
28. Hoffmann, E.R. And Joubert, P.N. The effect of changes in some vehicle handling variables on driver steering performance. *Human Factors*, 8, 1966.
29. Hood, D.C., Sensitivity to light, in *Handbook of perception and human performance* Vol. I (K.R. Boff, L. Kaufman and J.P. Thomas eds), John Wiley and Sons, New York, 1986.
30. Kondo, M. and Ajimine, A. Driver's sight point and dynamic of the driver-vehicle system related to it. SAE paper 680104, 1968.
31. McLean and Hoffmann, E.R., The effects of restricted preview on driver steering control and performance, *Human Factors*, Vol. 15

No 4, 1973.

32. Maurant, R.M. and Rockwell, T.H. Visual information seeking of novice drivers, 1970 International Automobile Safety Conference SAE Inc. New York, 1970.
33. National safety council, Accident Facts Chicago: Author, 1985.
34. Pirenne, M.H., (I) Absolute threshold and quantum effects, (ii) Quantum fluctuations at the absolute threshold; chapter 6 and 7 respectively, in the eye(H. Davson, ed), Vol. 2, Academic, New York, 1962.
35. Richards, O.W., Vision at levels of night road illumination. XII Changes of Acuity and contrast sensitivity with age, American journal of optometry and archives of the American academy of optometry, Vol. 43, No. 5, 1966.
36. SABS, Standard specification for road studs, SABS 1442, 1987.
37. Stell, W.K., The morphological organization of the vertebrate retina, in Handbook of sensory physiology, Vol. II/2 (M.G.F. Fuortes. eds), Chapter 3, pp111-213, Springer-Verlag, New York, 1972.
38. Triggs, T.J. Visual information and path definition: Delineation of the roadway ahead, in Information design (R. Easterby and H. Zwaga. eds), John Wiley and Sons, New York, 1984.
39. US department of Transportation, Office of highway safety. The 1983 highway safety stewardship report. FHWA. Washington, DC, 1982.
40. US department of Transportation, Office of highway safety. The 1982 highway safety stewardship report. FHWA. Washington, DC, 1981.
41. Wierwille, W.W., Gange, G.A. and Knight, J. Experimental study of human operator model closed loop analysis methods for high speed automobile driving. IEEE Transaction on Human Factors in Electronics, HFE. 8, 1967.
42. Wyszecki, G. and Stiles, W.S., Color science: concepts and methods, quantitative data and formulae, 2nd ed., John Wiley and Sons, New York, 1982.
43. Zwahlen, H.T., and Schnell, T. Visibility of new pavement

markings at night under low-beam illumination, Transportation  
research record No 1495, 1995.



## 附錄 A 反光標記檢測報告

# 檢 測 報 告

報告編號：BB-L24860234

製作日期：八十六年五月二十六日

委託客戶名稱：人因工程學會

地 址：新竹市光復路2段101號

檢測項目：強化玻璃反光路面標記/道路反光標記反射性能測試

檢測類別：非法規檢測

產品名稱：360° 本體色強化玻璃反光路面標記(25型黃色)X1  
道路反光標記(直角稜鏡；黃／黃) X 1

廠牌型號：———

本報告含附頁 2 頁共 3 頁，不得摘錄複製。

本檢測結果僅對受測產品負責。



財團法人 車輛研究測試中心

Automotive Research & Testing Center

地址：新竹縣湖口鄉信芳村成功路415號 TEL: (03)5994171 FAX: (03)5995589  
(03)5994148 (03)5900368



## 檢 測 報 告

報告編號：BB-L24860234

檢測類別：☐法規 ☒非法規

檢測項目：強化玻璃反光路面標記／道路反光標記反射性能測試

附頁頁次：1頁共2頁

### 產品識別資料

產品名稱：360° 本體色強化玻璃反光路面標記 (25型黃色) x 1  
道路反光標記 (直角稜鏡；黃／黃) x 1

### 檢測條件：

室溫下量測 ( $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ )

### 檢測標準及程序

強化玻璃反光路面標記 — 依CNS 13762, CNS 13763  
道路反光標記 — 依公路局相關施工規範

### 檢測儀器：

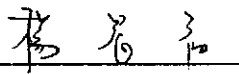
反射性能：LMT GO-H 1200 配光儀 + Retro 2000 回歸反射測試儀

### 測試結果：

如后附頁

### 測試說明：

1. 回歸反射性能測試係以一均勻之 (A) 光源照射測試件，再以光度計量取反射回去之光度。光源及光度計同置於 Retro 2000 機器內，距離試件30.48m。光度計以電腦控制升降，以改變觀測角。測試時試件水平、對稱裝置於配光儀機台上，試件反光部份中心點與配光儀之轉動中心相重疊。
2. 強化玻璃反光路面標記之量測值係任取相同 (垂直) 入射角，但在試件上為等間隔 (120度) 之三個測試值平均之。
3. 道路反光標記測試時係任選一試件面指向光源。測試時轉動配光儀以改變不同之水平入射角。
4. 強化玻璃反光路面標記半球形凸出部之垂直投影面積，係以量床量出凸出部之最大外形後，以CAD軟體自動計算得出。
5. 依送測廠商之要求，本測試報告僅列出量測結果，而不做合格與否之判斷。

  
燈光實驗室認可簽署人

報告編號：BB-L 2 4 8 6 0 2 3 4

檢測類別：☐法規 ☒非法規

檢測項目：強化玻璃反光路面標記／道路反光標記反射性能測試

附頁頁次：2 頁共 2 頁

1. 強化玻璃反光路面標記：

單位： $\text{cd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$

觀測角 (度)	入射角 (度)	黃色試樣 量測值
24'	0.5	129.5
2°	2	37.4

註：1. 標記半球形凸出部之垂直投影面積： $8.1 \text{ cm}^2$

2. 原始檔案編號：63250137.cat

2. 道路反光標記：

單位： $\text{cd}/\text{ft-cd}$

觀測角 (度)	水平入射角 (度)	量測值 黃色
0.2	0	5.97
0.2	-20	3.95
0.2	20	3.18



## 附錄 B 各種角度組合下的反光標記反射係數

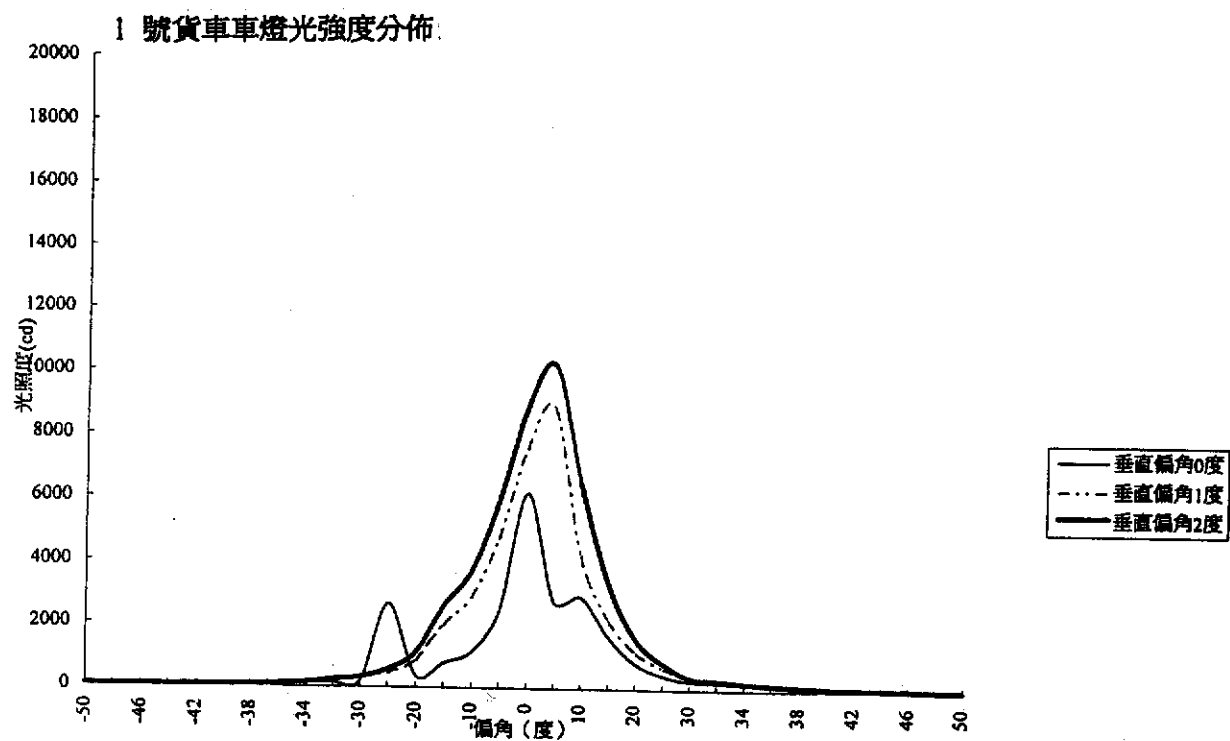
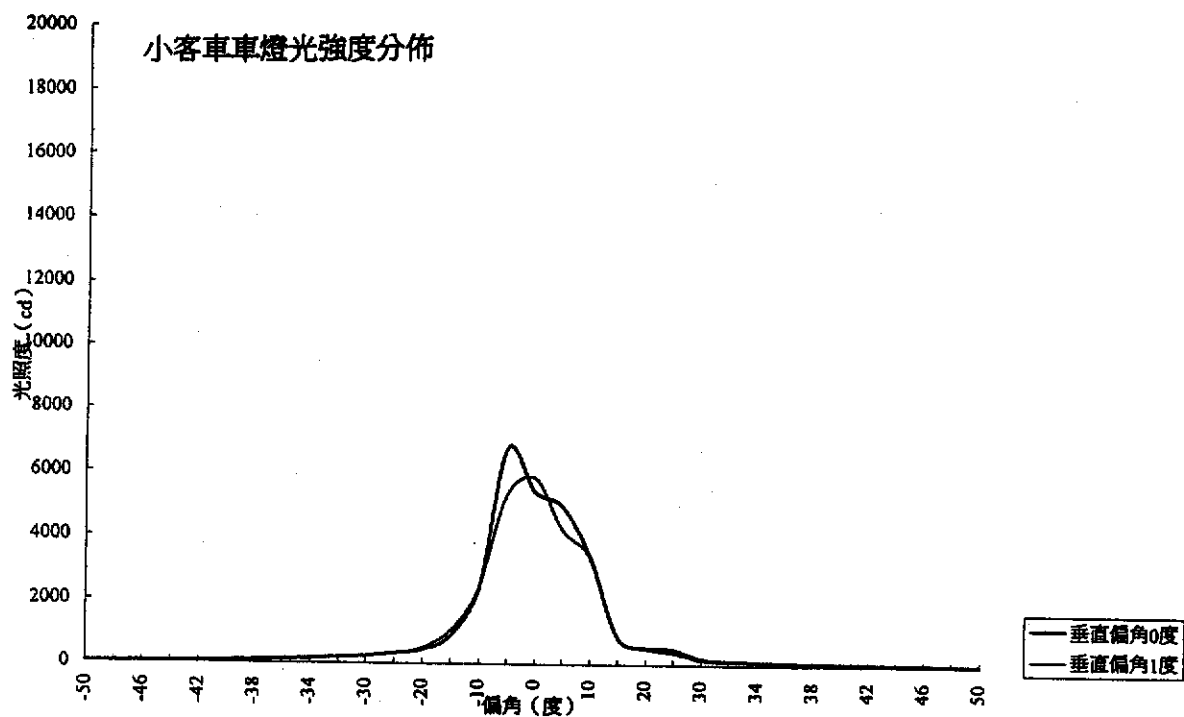
直角稜鏡型反射係數分佈(單位：mcd/lx)

	水平入射角(度)										
觀測角/垂直 入射角(度)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
0.2/0.2	493	483	450	377	283	186	109	49.3	22.2	6.2	0.9
0.5/0.5	245	229	201	166	126	98	76	50	28	10	2
1.0/1.0	56.8	49.9	41.9	33.1	25.5	19.5	14.7	10.9	7.4	4.1	1.8
1.5/1.5	20.8	18.4	14.9	12.2	9.7	7.6	5.9	4.4	3.3	2	1.5
2.0/2.0	9.8	8.8	7.4	6.4	5.1	4.2	3.4	2.7	1.9	1.4	0.6

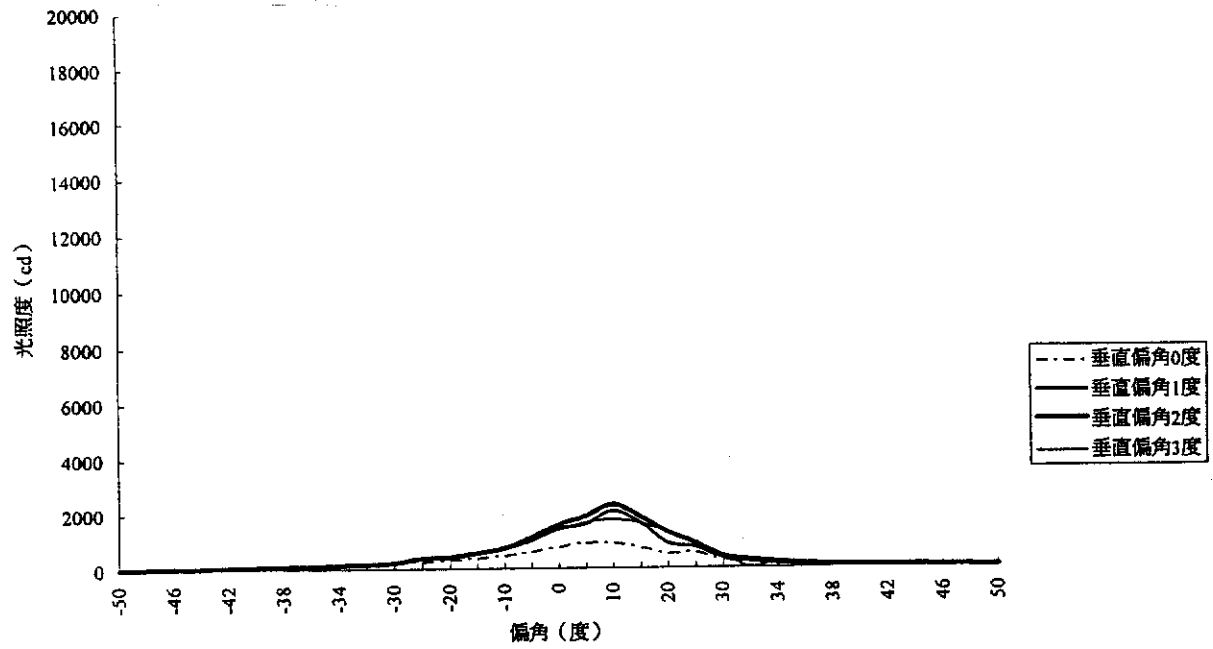
玻璃型反射係數分佈(單位：mcd/lx) 水平入射角為 0

	觀測角(度)							
垂直入射角(度)	0.25	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5	1.75	2.0
0.2	108.2	77.5	64.5	54.2	49.8	186	51.8	54.3
0.5	95.3	73.1	63.4	54.8	50.6	98	52.2	52.7
1.0	89.1	76.3	66.1	62.7	60.9	19.5	53.7	52
1.5	98.7	84.3	66.2	67.6	64.8	7.6	50.6	44.5
2.0	101.2	83.9	70.5	61.4	61.6	4.2	48.2	43.6

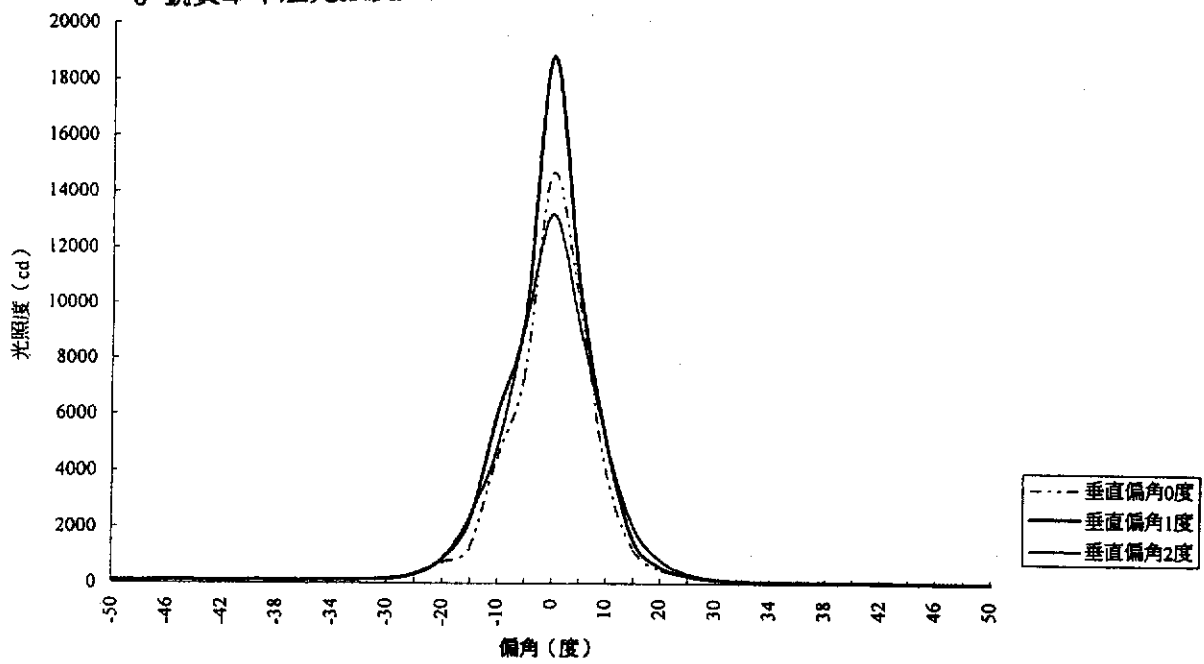
# 附錄 C 車燈光強度測量結果



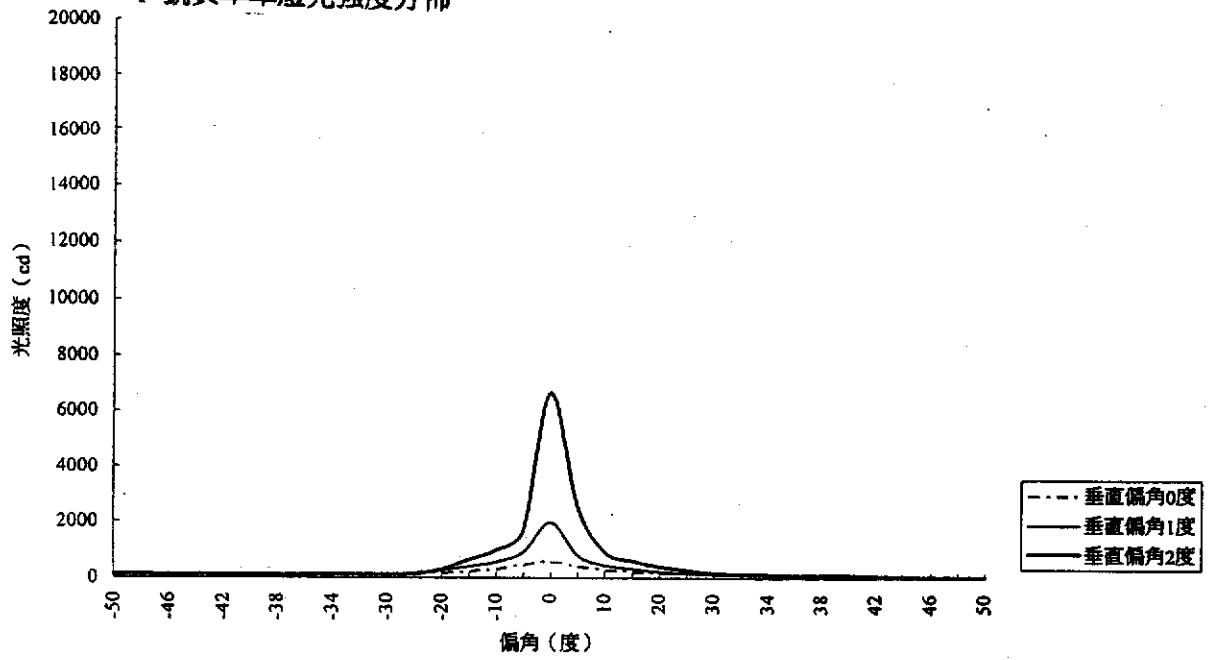
2 號貨車車燈光強度分佈



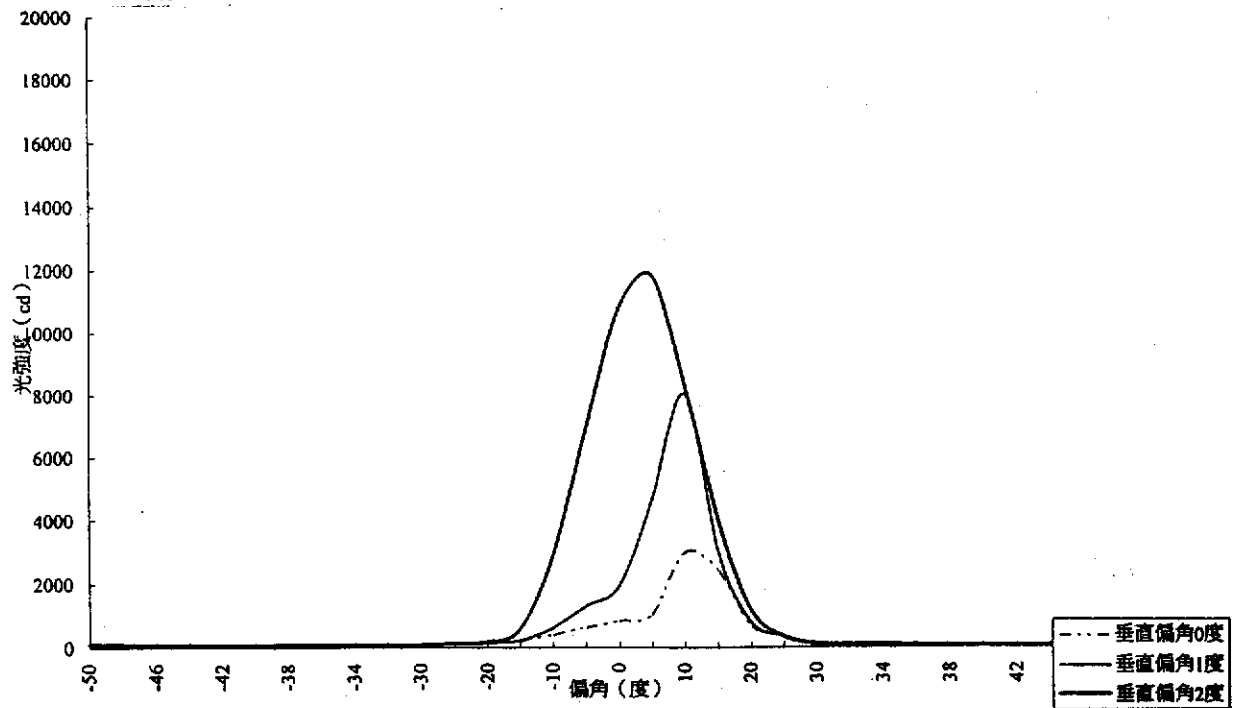
3 號貨車車燈光強度分佈



4 號貨車車燈光強度分佈



5 號貨車車燈光強度分佈



## 反光路面標記與車燈可視偏角之關係

出版者：交通部運輸研究所

地址：台北市敦化北路 240 號

電話：(02) 3496789

經銷處：交通部運輸研究所運輸資訊組

三民書局：台北市重慶南路一段 61 號

正中書局：台北市衡陽路 20 號 3 樓

五南文化廣場：台中市中山路 2 號

新進圖書廣場：彰化市光復路 177 號

青年書局：高雄市青年一路 141 號

印刷者：萬達打字印刷有限公司

地址：台北市新生南路 3 段 84-1 號 2 樓

電話：(02) 3627718

中華民國八十六年十一月初版一刷

本書印製 190 冊・每冊工本費 200 元



統一編號：

009104860660