

110-092-1441  
MOTC-IOT-109-PBA032

# C 型路權輕軌系統之規劃設計 暨交通安全課題分析



交通部運輸研究所

中華民國 110 年 8 月



110-092-1441  
MOTC-IOT-109-PBA032

# C 型路權輕軌系統之規劃設計 暨交通安全課題分析

著者：劉昭榮

交通部運輸研究所

中華民國 110 年 8 月

C 型路權輕軌系統之規劃設計暨交通安全課題分析

著 者：劉昭榮

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：105004 臺北市松山區敦化北路 240 號

網 址：[www.iot.gov.tw](http://www.iot.gov.tw) (中文版 > 數位典藏 > 本所出版品)

電 話：(02)2349-6789

出版年月：中華民國 110 年 8 月

印 刷 者：全凱數位資訊有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 5 冊

定 價：非賣品

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

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。

## 交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：C 型路權輕軌系統之規劃設計暨交通安全課題分析			
國際標準書號（或叢刊號）	政府出版品統一編號	運輸研究所出版品編號 110-092-1441	計畫編號 109-PBA032
本所主辦單位：運輸計畫組 主管：張舜淵 研究人員：劉昭榮 聯絡電話：(02)23496806 傳真號碼：(02)25450428			研究期間  自 109年3月  至 109年12月
關鍵詞：C 型路權輕軌系統、交通安全、容量  摘要：  為因應政府前瞻基礎建設計畫將於各都會區規劃推動輕軌運輸系統，國內需要針對輕軌系統之運能及交通安全等課題進行評估，在規劃階段能確保未來系統可在最經濟的條件下提供符合預期品質的運輸服務，在營運階段可協助營運單位掌握其系統運能使用狀況。另為有效掌握規劃推動輕軌系統之關鍵技術，交通部亦於107年1月頒布新修訂之「輕軌系統建設及車輛技術標準規範」。			
有鑑於此，本研究著重在C型路權平面輕軌系統與其他平面人車動線交織所衍生之交通安全問題探討，及平面輕軌系統(尤其C型輕軌系統)之容量問題，後續仍需就相關議題再深入研究，始能有效釐清暨解決各項相關問題。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
110 年 8 月	96	非賣品	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。
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: Planning and Design of Light Rail Transit of C-Type Right-of-Way and Traffic Safety Analysis			
ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER	PROJECT NUMBER
		110-092-1441	109-PBA032
DIVISION: Planning Division DIVISION CHIEF: Shuen-Yuan Chang PROJECT STAFF: Jau-Rong Liu PHONE: 886-2-23496806 FAX: 886-2-25450428			PROJECT PERIOD
			FROM March 2020 TO December 2020
KEY WORDS: Light Rail Transit of C-Type Right-of-Way, Traffic Safety Analysis, Capacity			
<b>ABSTRACT:</b>  <p>In response to the planning and advancing the Light Rail Transit in all metropolitan areas in the Forward-Looking Infrastructure Development Program by Taiwan government in recent years, the Country needs to evaluate the transportation capacity and traffic safety of the Light Rail Transit to ensure that the future system can provide expected transportation services under the most economical condition in the planning stage, and can assist the Operating Agencies to control the utilization conditions of the Light Rail Transit transportation capacity in the operating stage. In addition, in order to effectively grasp the key technologies for planning and advancing the Light Rail Transit, the Ministry of Transportation and Communications also promulgated the updated "Standard Specification for Light Rail Transit Construction and Rolling Stock" in January, 2018.</p> <p>For this reason, this research emphasizes on exploring issues of traffic safety arising from the interweaving of the plane surface Light Rail Transit of C-Type Right-of-Way and the traffic flow of other plane surface pedestrians and vehicles, as well as the capacity issues of the plane surface Light Rail Transit (especially the C-Type Light Rail Transit), and in the follow-up, it is still necessary to perform in-depth research on the related issues, in order to effectively clarify and solve all types of related issues.</p>			
DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE	
August 2021	96	Not for Sale	
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

# 目 錄

目 錄.....	III
圖 目 錄.....	IV
表 目 錄.....	VI
第一章 緒論.....	1
1.2 研究範圍與對象.....	2
1.3 研究內容及流程.....	2
第二章 輕軌運輸系統文獻回顧.....	5
2.1 高雄輕軌運輸系統簡介.....	5
2.2 淡海輕軌運輸系統簡介.....	9
2.3 輕軌運輸系統之特性.....	15
2.4 輕軌專用號誌與優先號誌策略.....	16
第三章 影響 C 型路權輕軌系統規劃設計之因素分析.....	21
3.1 輕軌系統之定義與適用範圍.....	21
3.2 輕軌系統之規劃.....	24
3.3 輕軌系統之功能.....	28
第四章 輕軌平面交通安全規劃.....	37
4.1 平面輕軌道路安全規劃.....	37
4.2 車站行人穿越規劃.....	43
4.3 平面輕軌安全配套措施.....	47
4.4 C 型路權施工期間與營運交通安全策略.....	48
第五章 影響平面輕軌容量之因素分析.....	51
5.1 A、B 型路權輕軌容量之分析方法及應用.....	51
5.2 C 型路權輕軌容量之分析方法及應用.....	68
第六章 結論與建議.....	81
參考文獻.....	85
附錄 安全時距公式之數學符號.....	87

# 圖目錄

圖 1-1 研究流程圖 .....	4
圖 2-1 高雄輕軌建設路網示意圖 .....	6
圖 2-2 高雄輕軌列車 .....	8
圖 2-3 高雄輕軌號誌整合架構示意圖 .....	9
圖 2-4 淡海輕軌第一期綠山線路網圖 .....	10
圖 2-5 淡海輕軌第一期藍海線路網圖 .....	12
圖 2-6 淡海輕軌第二期藍海線路網圖 .....	12
圖 2-7 淡海輕軌列車（行武者號） .....	13
圖 2-8 淡海輕軌號誌系統架構圖 .....	14
圖 2-9 不調整路口號誌下的輕軌列車運行時空圖 .....	17
圖 2-10 延長綠燈策略下的輕軌列車運行時空圖 .....	18
圖 2-11 縮短紅燈策略下的輕軌列車運行時空圖 .....	18
圖 2-12 插入綠燈策略下的輕軌列車運行時空圖 .....	19
圖 3-1 基本路網型式示意圖 .....	25
圖 3-2 一般雙軌路線折返線示意圖 .....	25
圖 3-3 輕軌系統車道寬度 .....	29
圖 3-4 月臺高差與軌道高差案例 .....	34
圖 3-5 輕軌方向號誌與行人穿越觸控號誌案例 .....	34
圖 3-6 Z 字型穿越道案例 .....	35
圖 4-1 平面輕軌於路段之布設示意圖 .....	39
圖 4-2 平面輕軌於路段之布設示意圖 .....	42
圖 4-3 行人安全設施分類 .....	43
圖 4-4 地面車站行人穿越規劃範例 .....	45
圖 4-5 高架車站行人穿越規劃範例 .....	46
圖 4-6 輕軌平面路權交通衝擊暨因應對策 .....	47
圖 4-7 老街 C 型路權施工前、後道路斷面 .....	49
圖 5-1 路線容量示意圖 .....	52
圖 5-2 輕軌正常營運條件示意圖 .....	53
圖 5-3 中間站軌道配置示意圖 .....	54
圖 5-4 中間站之安全時距 .....	55
圖 5-5 折返站軌道配置示意圖 .....	55

圖 5-6 使用同一股道折返的安全時距.....	56
圖 5-7 使用不同股道折返的安全時距.....	58
圖 5-8 路口號誌影響列車運行型態示意圖.....	59
圖 5-9 計算路口號誌週期個數與列車數.....	60
圖 5-10 先行列車從靜止啟動通過路口至續行列車通過路口所須保持的時距.....	61
圖 5-11 兩列車連續通過路口所須保持的時距.....	62
圖 5-12 先行車離開車站至續行車到達車站所須保持的時距.....	63
圖 5-13 列車停等紅燈後行駛至車站所經歷的時間.....	64
圖 5-14 淡海輕軌第一期綠山線路網圖.....	66
圖 5-15 潛在瓶頸三種類型車站型態.....	70
圖 5-16 C 型輕軌於中間車站容量時隔之時空運行圖.....	71
圖 5-17 C 型輕軌於號誌化路口車站容量時隔之時空運行圖.....	72
圖 5-18 界定系統各狀態下時隔.....	73
圖 5-19 長、短綠燈每週期可通過輕軌數之狀態.....	74
圖 5-20 各狀態下通過號誌化路口之小客車數臨界值 $M_n$ 之推導.....	75
圖 5-21 步驟三至五之期望時隔計算.....	75
圖 5-22 淡海輕軌二期路網之容量案例分析結果.....	76
圖 5-23 第一型車站(中間站)情境分析結果.....	77
圖 5-24 第二型車站於號誌週期長、短綠燈時比之情境分析結果.....	78
圖 5-25 第三型車站於號誌週期長、短綠燈時比之情境分析結果.....	78
圖 5-26 第二型與第三型車站容量比較分析.....	79

# 表 目 錄

表 2.1 淡海輕軌運輸系統路口專用號誌範例 .....	16
表 2.2 高雄輕軌運輸系統路口專用號誌範例 .....	17
表 3.1 軌道系統之車輛尺寸比較表 .....	22
表 3.2 輕軌系統應用範圍 .....	23
表 3.3 輕軌系統之設計數據 .....	23
表 3.4 輕軌運輸系統車道布設型式之優缺點比較 .....	30
表 3.5 14 種輕軌路口設站型式(1/3).....	31
表 3.5 14 種輕軌路口設站型式(2/3).....	32
表 3.5 14 種輕軌路口設站型式(3/3).....	33
表 4.1 淡水老街 C 型路權營運交通安全策略.....	50
表 5.1 滿足條件彙整表 .....	60
表 5.2 案例分析範圍 .....	67
表 5.3 淡海輕軌綠山線容量分析結果 .....	68

# 第一章 緒論

## 1.1 研究緣起與目的

鐵道系統建設成本甚鉅，無論規劃、設計或營運階段均需以容量分析結果為基礎，若過度設計會造成浪費，設計不足則易發生延滯。輕軌系統最大的特色雖然是「因地制宜」，但若採用常見之 B、C 型路權輕軌布設於都市道路時，其對系統容量的折減特別明顯，其中又以 C 型輕軌折減最鉅，故於規劃設計階段欲引進 B、C 型輕軌系統時，就必須審慎考量容量折減與規劃設計及安全之相關課題。至有關 B、C 型路權輕軌系統之容量問題，對整體鐵道容量分析之泛用架構，一般皆以供給面做為主要的考慮範疇，依據過去本所「運輸系統容量分析暨應用研究—軌道系統」之系列研究結果顯示，影響鐵道容量的因素可歸納成路線、交通及控制等三大類條件，故其容量問題可從上述三大條件著手分析，應能有效釐清錯綜複雜的容量問題。

另有鑑於立法院李昆澤等數位委員於 108 年 11 月的第 9 屆第 8 會期交通委員會第 5 次全體委員會議提案—「目前高雄輕軌、淡海輕軌均已正式營運，運研所應以相關營運數據進行更細緻分析，了解輕軌實際營運之效益；淡海輕軌二期路網中淡水老街段，依主辦機關新北市之規劃，將採 C 型路權，即人車混合路權，應為全國首例，運研所亦應就此種路權模式之規劃運用，進行相關研究供政府機關決策參考。」，為有效回應上述提案，本研究除蒐集相關相關文獻及營運數據進行分析，並呈現輕軌實際營運之效益外，亦就 C 型路權輕軌之規劃設計、布設道路安全相關準則方面進行分析。

108-109 年度本所分別辦理「輕軌系統容量分析暨應用研究(1/2)—A、B 型路權容量模式構建」及「輕軌系統容量分析暨應用研究(2/2)—A、B 型路權容量及可靠度分析」二項 A、B 型路權輕軌容量研究，已就其關鍵之容量相關議題進行深入分析研究，惟有鑑於輕軌容量系列研究之完整性及上述立委關切未來國內引進 C 型路權輕軌系統之相關問題，爰於本研究一併回應 C 型路權輕軌之通案性容量問題以做

為後續推動參考。

## 1.2 研究範圍與對象

本計畫之研究範圍與對象主要鎖定 C 型路權輕軌系統之規劃設計暨交通安全相關課題，並以本所 108-109 年度「輕軌系統容量分析暨應用研究(1/2)-A、B 型路權容量模式構建」、「輕軌系統容量分析暨應用研究(2/2)-A、B 型路權容量及可靠度分析」研究成果，及國內輕軌系統規劃設計規範、可行性研究及綜合規劃報告為參考基礎進行相關課題研析，惟因輕軌系統實務上布設常以混合路權方式配置，為利研究成果亦能反映輕軌技術型式(即包括 A、B、C 三種路權)實務狀況，以應後續國內各都會區「因地制宜」規劃劃布設之需，爰本研究之範圍與對象除主要鎖定在 C 型路權輕軌系統，但亦會就其餘路權輕軌之容量及設置評估準則等課題廣泛進行研析。

## 1.3 研究內容及流程

輕軌系統之布設本具有極大之彈性，各路段可採用不同路權型式之輕軌，由於 C 型路權輕軌系統可與公路車流(甚至人流)共用道路空間，將使該路段因同時提供公路及輕軌車輛行駛，使得車流特性變得異常複雜。故本研究從 C 型路權輕軌容量之角度著眼，探討影響 C 型路權輕軌規劃設計及交通安全之關鍵因素，初步鎖定下列 2 項議題：(1)釐清 C 型路權輕軌系統之關鍵規劃設計準則；(2) C 型路權輕軌系統建置之關鍵交通安全課題因應處理。至於本研究之研究流程如圖 1-1 所示，主要研究內容臚列如下：

### 一、C 型路權輕軌設置之相關文獻回顧

藉由回顧國內外輕軌系統特性、規劃設計準則、交通安全及路線容量等相關報告及手冊資料，釐清各項議題之關鍵影響因素，俾利後續國內推動輕軌系統之參考依據。

## 二、影響 C 型路權輕軌系統規劃設計之因素分析

國內目前已有高雄環狀輕軌系統與淡海輕軌系統正式營運，由於輕軌系統具有因地制宜之特性，故國內引進時須特別考量旅客使用習慣、氣候、交通、都市發展及景觀等特性，並就各項規劃設計因素詳細考量。有鑑於交通部於 100 年 12 月已頒布「輕軌系統建設及車輛技術標準規範」，並於 107 年 1 月頒布新修訂版本，該規範已參考國內外各輕軌系統研究，及輕軌系統規劃設計規範手冊，彙整輕軌系統規劃設計需遵循之各要項，爰本研究就其中「輕軌系統規劃」及「輕軌系統功能」等相關規範內容，彙整做為本研究 C 型平面輕軌系統推動需依循之規劃設計要素。

## 三、影響 C 型路權輕軌系統建置之相關交通安全課題分析

有關輕軌系統之平面交通安全規劃，主要鎖定 C 型路權輕軌系統布設於平面，與道路車流運行及人行徒步區之安全問題探討，經蒐集國內輕軌系統建置安全及淡海輕軌綜合規劃報告相關資料，就相關之平面輕軌道路安全規劃、平面輕軌行人安全規劃、平面輕軌安全配套措施、及國內案例示範等面向進行分析說明。

## 四、影響 C 型路權輕軌容量之因素分析

鑑於本所於 108-109 年度已分別完成「輕軌系統容量分析暨應用研究(1/2)-A、B 型路權容量模式構建」及「輕軌系統容量分析暨應用研究(2/2)-A、B 型路權容量及可靠度分析」研究案，其與平面 B、C 型路權輕軌系統之容量有相當之關聯性，爰除摘述 B 型路權輕軌容量之重要成果，亦蒐集 C 型路權輕軌容量之相關研究成果，以分析影響平面 B、C 型路權輕軌容量之關鍵因素，俾做為後續推動之參考。

## 五、結論與建議

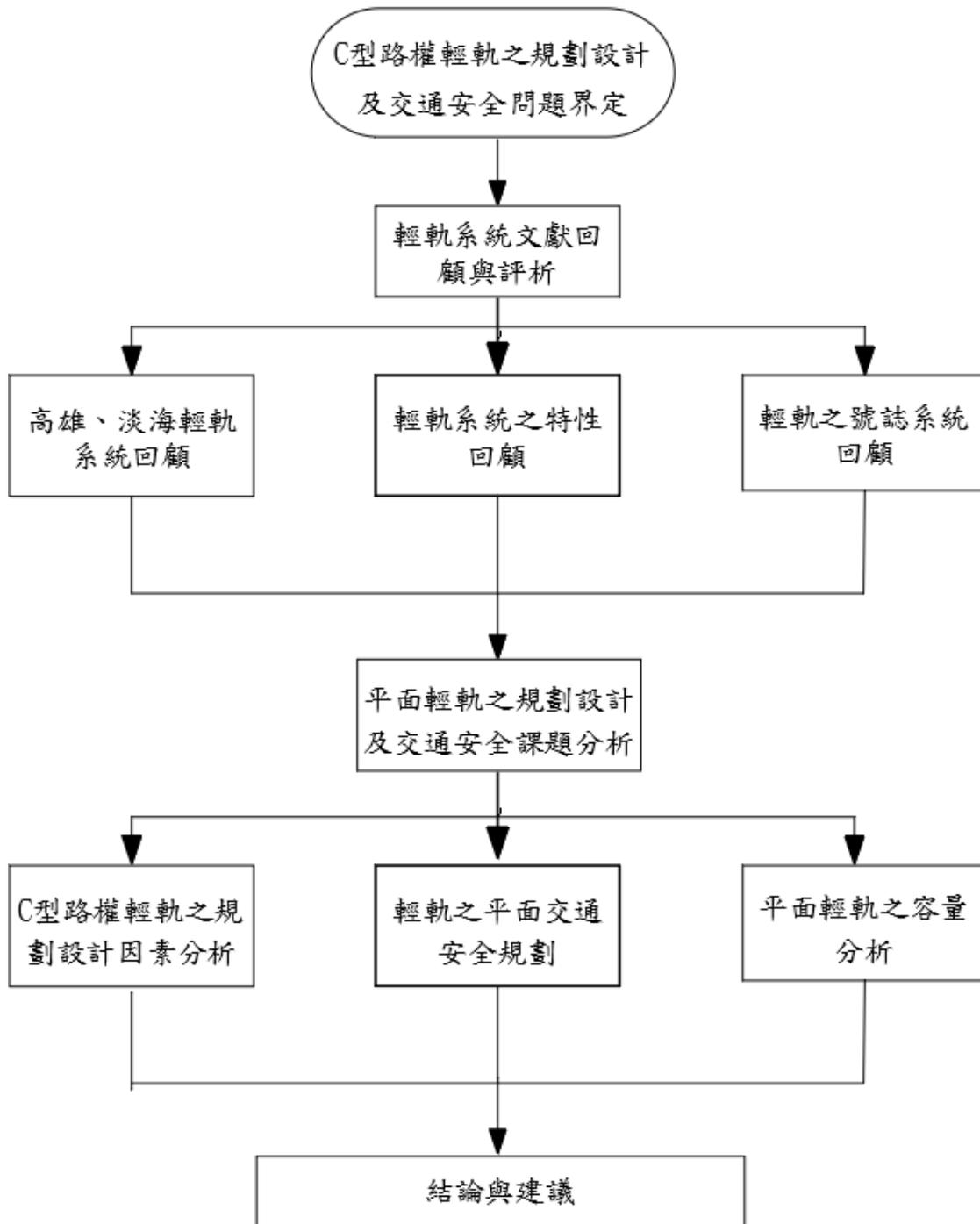


圖 1-1 研究流程圖

## 第二章 輕軌運輸系統文獻回顧

輕軌運輸系統係指有人駕駛、使用導引、電力驅動之客運鐵道運輸系統，其路線之路權型式包含專用路權（A 型路權）、隔離路權（B 型路權）和共用路權（C 型路權），與傳統鐵路或都會捷運系統相比，輕軌列車的軸重較輕、車輛界限較小，轉彎能力、爬坡能力和制動能力皆較高，因此建置上更具有因地制宜之彈性。

國內最早的輕軌運輸系統是於 2017 年通車的高雄環狀輕軌，接著淡海輕軌於 2018 年通車，而安坑輕軌也預計於 2021 年底完工，此外，尚有不少輕軌運輸系統規劃案在進行。以下概略介紹目前國內已營運的輕軌運輸系統，並從鐵道容量分析的觀點來說明其系統特性。

### 2.1 高雄輕軌運輸系統簡介

#### 一、路線概要

高雄環狀輕軌共分為二階段施工，以下將分別就第一階段（C1 籬仔內站—C14 哈瑪星站）、第二階段（C15 壽山公園站—C37 輕軌機廠站）簡述概況。

##### （一）第一階段。

如圖 2-1 所示，高雄環狀輕軌第一階段從 C1 籬仔內站順時針開始，依序沿著凱旋三路、凱旋四路、成功二路、海邊路、蓬萊路、臨海新路，最後進入位於 C14 哈瑪星站。

此階段全長 8.7 公里，共設 14 個車站、一個機廠（輕軌前鎮機廠）；全線除愛河段採高架 A 型路權外，其餘採平面 B 型路權；採用 1435mm 標準軌、複線、無架空線配置，且均為沿用或鄰近過去高雄第一臨港線路廊。工程已於 2017 年 9 月 26 日全線啟用通車<sup>[1]</sup>，以 2020 年為例，營運時間為上午 7 時至下午 10 時，全日班距均為 15 分鐘並視情況調度調整。

第一階段與高雄捷運有兩個轉乘站：捷運 O1 西子灣站（輕軌 C14 哈瑪星站）及捷運 R6 凱旋站（輕軌 C3 前鎮之星站）。



資料來源：高雄市政府捷運工程局([https://mtbu.kcg.gov.tw/cht/project\\_LRT\\_circle.php](https://mtbu.kcg.gov.tw/cht/project_LRT_circle.php))

圖 2-1 高雄輕軌建設路網示意圖

(一) 第二階段。

如圖 2-1 所示，高雄環狀輕軌第二階段從 C14 哈瑪星站開始，沿著高雄第一臨港線路廊進入臺鐵縱貫線廊帶，而後於臺鐵美術館站北端向東彎入美術館路，並沿美術館路、大順一路至大順三路，最後回到凱旋二路上（過去高雄第一臨港線路廊）並接回 C1 籬仔內站。

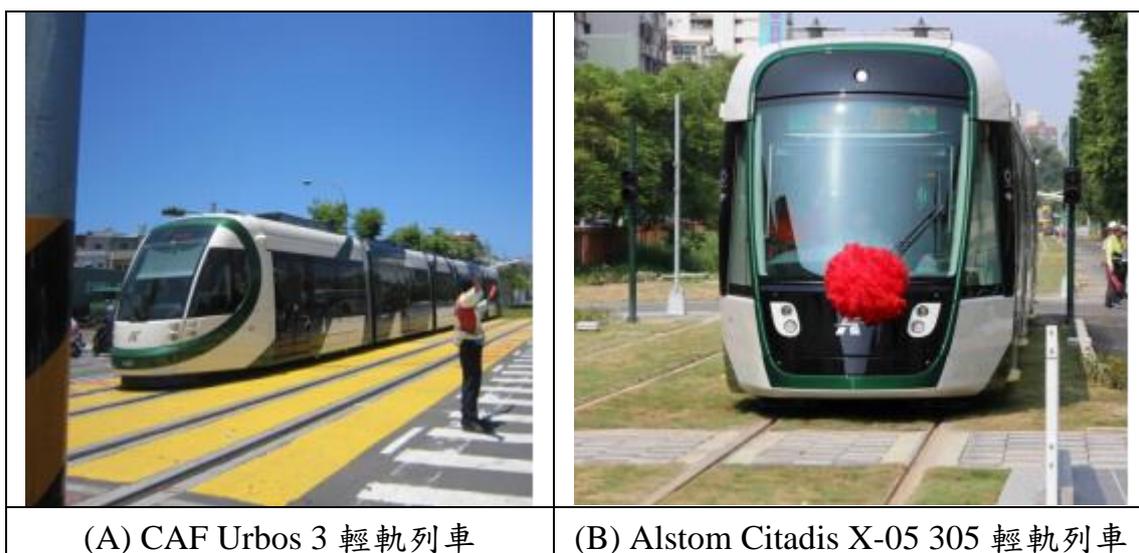
此階段全長 13.4 公里，採用 1435mm 標準軌、複線、無架空線配置。規劃設置 23 站、全線平面 B 型路權。第二階段將與臺鐵及高雄捷運產生四個轉乘站：捷運 R13 凹子底站(輕軌 C24 愛河之星站)、臺鐵科工館站(輕軌 C30 科工館站)、臺鐵鼓山站(輕軌 C18 鼓山站)、臺鐵美術館站(輕軌 C20 臺鐵美術館站)。

第二階段工程已於 2017 年開工，目前高雄環狀輕軌第二階段大南環(C32 凱旋公園站~C1 籬子內站及 C14 哈瑪星站~C17 鼓山區公所站)已於 2021 年 1 月 12 日通車營運，美術館路及大順路段，因原工法不可行，自 109 年 9 月 10~13 日辦理里民說明會，並取得在地意見回饋，經過跨局處、專業顧問公司及統包商團隊，積極召開研商會議，並提出 9 項優化調整方案及 2 項行政配套措施，市長並於 109 年 11 月 10 日宣示民眾期待二年半之輕軌正式復工，以回應廣大市民對便捷交通的期待，讓輕軌成圓邁步向前。第二階段原定 108 年 12 月底通車，現已提修正計畫辦理展延。

## 二、車輛系統

第一階段輕軌列車由西班牙 CAF 製造(圖 2-2 (A))，共有 9 列車正營運中。在乘客體驗方面，該列車採用 100% 低底盤的設計，可與低月臺搭配建構無障礙的人行空間。在供電系統方面，該列車動力來源為超級電容及輔助電池，可對應全線無架空線的供電系統：正常情形下輕軌列車可於停靠車站期間，升起集電弓將超級電容充飽電力，並以此供應行駛至下一站所需之動力；若遇有不可預期之塞車、事故等情事，系統預測超級電容的使用量無法運作至下一站時會啟動備援輔助電池並降級運轉至下一個車站<sup>[2]</sup>。在煞車系統方面，此列車除配備一般鐵路列車的再生煞車(電力煞車)及油壓機械式煞車(摩擦煞車)外，更於動力轉向架上配備電磁軌道煞車以對應 B 型路權的複雜行車環境<sup>[2]</sup>。

至於第二階段列車由法國 Alstom 製造(圖 2-2 (B))，總共購置 11 列，目前已有數列投入線上測試。由於招標規格已參照第一階段列車形式設計，且 Alstom 亦有使用超級電容供電的技術，故技術資料相距不大。



資料來源：高雄市政府、高雄環狀輕軌捷運建設（第一階段）統包工程網站

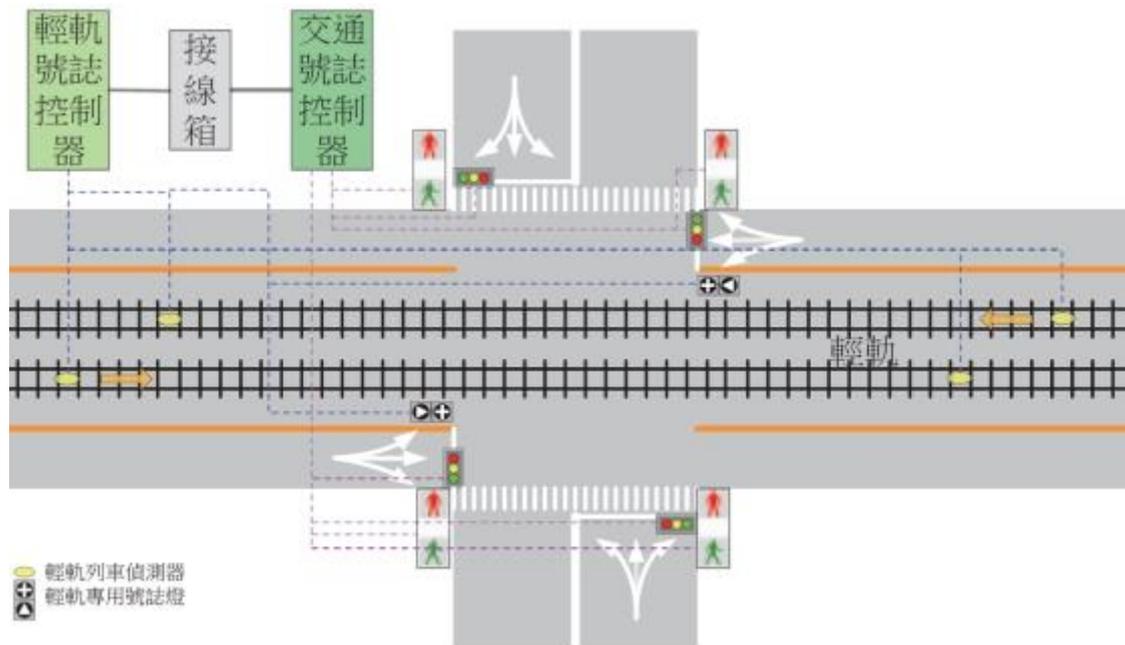
圖 2-2 高雄輕軌列車

### 三、行車控制

由於輕軌列車行駛於一般道路容易與公路車輛交會，是故一般輕軌系統均以人工目視為主要之行車控制方式，再輔以運行控制系統及道旁控制系統之設備，亦設置行控中心，以監控整體系統之運作<sup>[3]</sup>。高雄輕軌的號誌與公路交通號誌分別由各自的號誌控制器管控，並以控制器連結的方式達成交換訊息、互相監視功能，具體成果如圖 2-3 所示。此外，為確保用路安全及交通順暢，高雄市政府捷運工程局亦於路口引入優先號誌策略，包含：延長綠燈時間、縮短紅燈時間、插入輕軌時相等<sup>[4]</sup>。

### 四、營運概況

高雄輕軌自 2015 年 10 月 16 日籬仔內站至凱旋中華站開始試營運，於 2017 年 9 月 26 日完成第一階段通車，並於 2017 年 11 月 1 日起開始收費，高雄輕軌截止 2020 年底累計搭乘人數達 1,262 萬人次，2020 年日平均運量為 6,348 人次，每小時供給運能可達 2,000 人/時，乘載率服務水準尚佳。



資料來源：[4]

圖 2-3 高雄輕軌號誌整合架構示意圖

## 2.2 淡海輕軌運輸系統簡介

### 一、路線概要

淡海輕軌綠山線為 V01 紅樹林站—V11 崁頂站，而藍海線則為 V21—V11 崁頂站，兩者在沙崙路上為共線<sup>[5]</sup>。茲就工程次序與路線定義，分別就第一期綠山線（V01 紅樹林站—V11 崁頂站）、第一期藍海線（V26 淡水漁人碼頭站—V28 臺北海洋大學站）、第二期路網（V21—V25，尚未命名）簡述概況。

#### （一）第一期—綠山線

如圖 2-4 所示，淡海輕軌第一期綠山線從 V01 紅樹林站開始，沿中正東路北行，轉至淡金路（臺 2 線）續往北，再轉淡海新市鎮之濱海路往西，至沙崙路轉往北至淡海新市鎮第一期第一開發區之北緣、V11 崁頂站止<sup>[5]</sup>。

此階段全長約 7.3 公里，其中高架路段(A 型路權)約 5.1 公里、平面(B 型路權)約 2.2 公里；共設 7 個高架車站（V01—V07）、4 個平

面車站（V08、V09、V10、V11）及一個機廠（輕軌沙崙機廠）；路線均為 1435mm 標準軌、複線；一般以架空線方式供電，僅於濱海路、沙崙路路口不設架空線：當輕軌列車在經過此一無架空線路口時會以車載電池供電。



資料來源：[5]

圖 2-4 淡海輕軌第一期綠山線路網圖

本路線已於 2018 年 12 月 24 日啟用通車<sup>[5]</sup>，於 2019 年 2 月起營運時間調整為上午 6 時至凌晨 12 時；平時班距為 15 分鐘，尖峰時間班距調整至 10~12 分鐘一班<sup>[6,7]</sup>；2019 年 7 月起平日晨峰更將最小班距縮短至 6 分鐘、中午 12:30 至 4:30 的觀光旅次需求高峰亦將縮短至

12 分鐘。在第一期－藍海線工程後，採紅樹林－崁頂和紅樹林－漁人碼頭兩種營運模式交替運行，平日晨峰班距約 5~7 分鐘，假日班距約 7~8 分鐘。

第一期－綠山線與臺北捷運僅有一個轉乘站：捷運 R27 紅樹林站（輕軌 V01 紅樹林站），旅客可在此轉乘淡水信義線前往臺北市區。

## （二）第一期－藍海線

如圖 2-5 所示，淡海輕軌第一期藍海線從 V09 濱海沙崙站開始，沿濱海路續往西，後轉向南並跨越公司田溪出海口，以高架方式跨越清法戰爭滬尾古戰場城岸遺跡後沿淡海路、觀海路續往南至 V26 漁人碼頭站止<sup>[5]</sup>。

此路段全長約 2.21 公里，僅有公司田溪橋－清法戰爭滬尾古戰場城岸遺跡段為高架，長約 0.5 公里<sup>[8]</sup>，其餘平面段均為 B 型路權（軌道與車道隔離）；此路段共設 3 個平面車站（V26、V27、V28），且路線均為 1435mm 標準軌、複線，均以架空線方式供電。

第一期－藍海線工程已於 2020 年 11 月 15 日啟用通車<sup>[15]</sup>，與第一期－綠山線一同營運，採紅樹林－崁頂和紅樹林－漁人碼頭兩種營運模式交替運行，平日晨峰班距約 5~7 分鐘，假日班距約 7~8 分鐘。

## （三）第二期－藍海線

如圖 2-6 所示，淡海輕軌第二期工程為前述藍海線未完成部分：路線起於捷運淡水站後方廣場，沿金色水岸環河道路續行至觀潮廣場，彎入中正路銜接回原路線，沿臺 2 乙線續行至淡水漁人碼頭，銜接一期路網<sup>[5]</sup>。

此路段全長約 3.3 公里，規劃為平面段、B 與 C 型路權同時採用，此路段共設 6 個平面車站（V21'、V22'、V23、V24、V25、V26'），均為 1435mm 標準軌、複線、架空線方式供電，第二期－藍海線工程目前仍在設計階段<sup>[8]</sup>。

待完工後，第二期路網與臺北捷運將有一個轉乘站：捷運 R28

淡水站站（輕軌 V21），旅客可在此轉乘淡水信義線前往臺北市區。



資料來源：[5]

圖 2-5 淡海輕軌第一期藍海線路網圖



資料來源：[5]

圖 2-6 淡海輕軌第二期藍海線路網圖

## 二、車輛系統

第一期輕軌列車（圖 2-7）由臺灣車輛與德國福依特公司（Voith Engineering Services）跨國合作設計、製造並測試，也是第一款推動國車國造的輕軌列車，預計生產 15 列，截至 2020 年 7 月已有 10 列投入營運中<sup>[10,11]</sup>。在乘客體驗方面，該列車亦採用 100% 低底盤的設計，可與低月臺搭配建構無障礙的人行空間。在供電系統方面，該列車動力來源為架空線方式供電，僅於無架空線路口時會以車載電池供電：當列車在經過無架空線區域前，透過被動式標籤的讀取進行集電弓的升降<sup>[12]</sup>。在煞車系統方面，此列車與高雄輕軌列車相同，亦配備再生煞車（電力煞車）、油壓機械式煞車（摩擦煞車）及電磁軌道煞車以因應 B 型路權路段的複雜行車環境<sup>[9]</sup>。



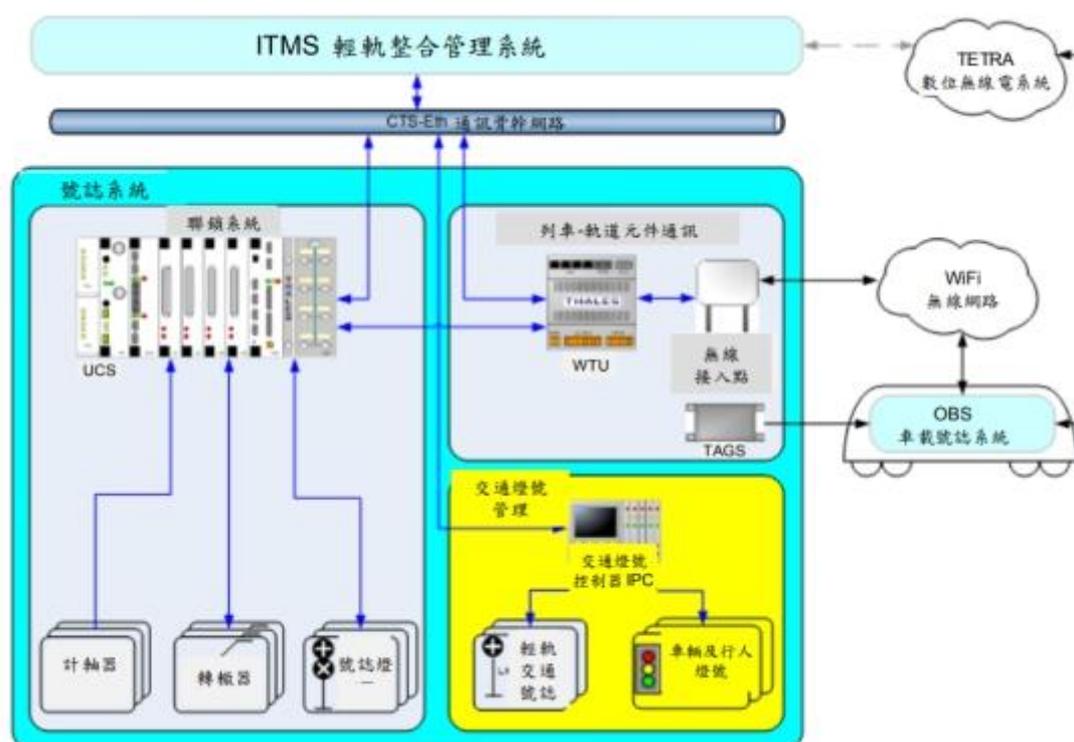
圖 2-7 淡海輕軌列車（行武者號）

## 三、行車控制

淡海輕軌以人工目視為主要之行車控制方式，再輔以運行控制系統及道旁控制系統之設備，亦設置行控中心，以監視整體系統之運作。淡海輕軌採用輕軌號誌與公路交通號誌各自由號誌控制器管控，並以輕軌整合管理系統（Integrated Tramway Management System，ITMS）整合號誌監控系統、列車及司機員派遣系統以及車載通訊管理系統，據以達成交換訊息、優先號誌等功能<sup>[10]</sup>，系統架構如圖 2-8 所示。

為偵測輕軌列車位置，淡海輕軌藉由正線軌道上之計軸器及 Tag（被動式標籤元件）設備，回傳行控中心 ITMS 系統，以提供控制員

準確掌握列車行駛位置。計軸器設備係於列車通過時，計算列車輪軸數量，以確認該區域是否為列車占據，進而確認列車地點；而軌道之上 Tag 設備，則由輕軌列車上行經後，由車載之 Tag Reader（標籤讀取器元件），讀取相關資訊（包含列車位置、速度等），由車載系統回傳資訊至行控中心 ITMS 系統，提供控制員掌握列車位置。



資料來源：[14]

圖 2-8 淡海輕軌號誌系統架構圖

#### 四、營運概況

在營運概況方面，淡海輕軌第一期綠山線於 2018 年 12 月 23 日通車，初期屬免費搭乘，自 2019 年 2 月起正式收費，截至 2020 年底累計搭乘人數達 661 萬人次，2020 年平均日運量約 9,500 人次，每小時供給運能可達 2,120 人/時，乘載率服務水準尚佳。

在系統可靠度方面，截至 2019 年 12 月底淡海輕軌每發生 1 件延誤 5 分鐘以上之平均行駛里程為 4 萬車公里。在服務指標方面，淡海輕軌的準點率為 99.88%、發車率為 99.95%、加減速變化率為 96.18%、

平均承載率為 0.77 人/m<sup>2</sup>、犯罪率為 0.21 件/百萬車公里。

## 2.3 輕軌運輸系統之特性

根據交通部輕軌系統建設及車輛技術標準規範<sup>[11]</sup>以及國內輕軌系統之現況，以容量計算的觀點來看，輕軌運輸系統的路線、交通及控制條件具有下列特性：

### 一、路線條件

- (一)輕軌系統以雙線雙向建造為原則，一般均採用複線運轉，即每一股道都有特定的運轉方向，同時列車以靠右側的軌道行駛為慣例，以便與城市地面交通之車行方向吻合。
- (二)車站內通常上下行僅有一股軌道，無副正線的配置，月臺可為島式、側式或混合配置。
- (三)在路線兩端點站，或者提供列車折返之區間站，設置專供列車折返調度之路線，如站前折返之橫渡線，或站後折返之橫渡線與尾軌。
- (四)市區站距宜介於 500~800 m，而郊區、低開發密度區或特殊情況下得適當調整。
- (五)輕軌的路權型式可單獨或混合採用 A 型路權、B 型路權和 C 型路權。

### 二、交通條件

- (一)目前國內輕軌運輸系統的最高營運速度為 50 km/h，在非專用路權路段之速度限制則依相關道路交通管理法令之規定。
- (二)輕軌列車的加速率限值為 1.3 m/s<sup>2</sup>，而正常行駛最大減速率限值介於 0.8~1.5 m/s<sup>2</sup>，緊急煞車減速率最低限值為 2.7 m/s<sup>2</sup>。
- (三)在同一路線上係採用完全相同或性能相近的電聯車來營運，車廂內大多以站位為主，座位較少，列車車廂間具有車間走道 (Gangway)。
- (四)服務型態單純，採用每站皆停的營運模式，沒有列車追越待避的

行為。

(五) 停站時間以 25 秒為原則，但可根據上下車人數予以調整。

(六) 月臺與車廂地板或車門踏板之高度一致，且月臺邊緣和車門邊緣或車門踏板之間隔以小於 15 cm 為原則。

### 三、控制條件

(一) 輕軌列車以司機員目視操控駕駛。

(二) 沒有閉塞號誌系統，但有用來顯示路徑設定的號誌。

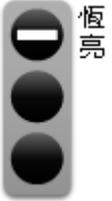
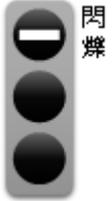
(三) 在隔離路權及共用路權路段，有設置能與道路交通號誌連鎖的號誌，並且可與相關交通主管機關協調採用輕軌優先號誌設計。

## 2.4 輕軌專用號誌與優先號誌策略

當輕軌列車行經 B 型路權之交叉路口時，必須和一般道路車輛一樣遵守紅綠燈的指示通過，雖然在公路端已經於路口設置紅綠燈，但輕軌運輸系統仍設有專用的號誌，其燈號變化與路口紅綠燈連鎖運作，但設計不同於一般公路交通號誌，可避免駕駛人混淆，以方便輕軌司機員判斷並遵行，惟各輕軌系統的號誌設計有所相異，說明如下：

淡海輕軌使用美國之二位式號誌<sup>[12]</sup>，如表 2.1 所示，以直桿、橫桿及直桿燈閃爍代表通行、停止及準備停止，此外，直桿（通行）燈號可順逆時針旋轉 45 度以表示不同進路。

表 2.1 淡海輕軌運輸系統路口專用號誌範例

燈號	 恆亮	 閃爍	 恆亮	 閃爍
意義	險阻停車	即將通行	通過進行	即將停車

高雄輕軌採用特殊的三位式號誌<sup>[4]</sup>，如表 2.2 所示，將前述之直桿（通行）、橫桿（停止）集合到同一燈號中，並賦與三角燈號優先號誌之涵義。

表 2.2 高雄輕軌運輸系統路口專用號誌範例

燈號	 恆亮	 恆亮 閃爍	 恆亮 恆亮	 恆亮	 閃爍
意義	停止號誌	確認號誌 (優先號誌需求已送出)	預告號誌 (即將轉換為通行號誌)	通行號誌	即將轉為停止號誌

當輕軌列車於交叉之路口碰到不能通行的紅燈時相時，則必須停車直到號誌轉為輕軌可通行的綠燈時相才能再繼續起步運轉，如圖 2-9 所示。若列車經常受路口號誌影響造成額外的停等時間，將會增加總體旅行時間，因此通常會實施優先號誌，一旦有輕軌列車接近路口便會根據優先號誌策略來調整時相，儘量讓列車在抵達路口時可順利通過，以減少列車的停等時間。

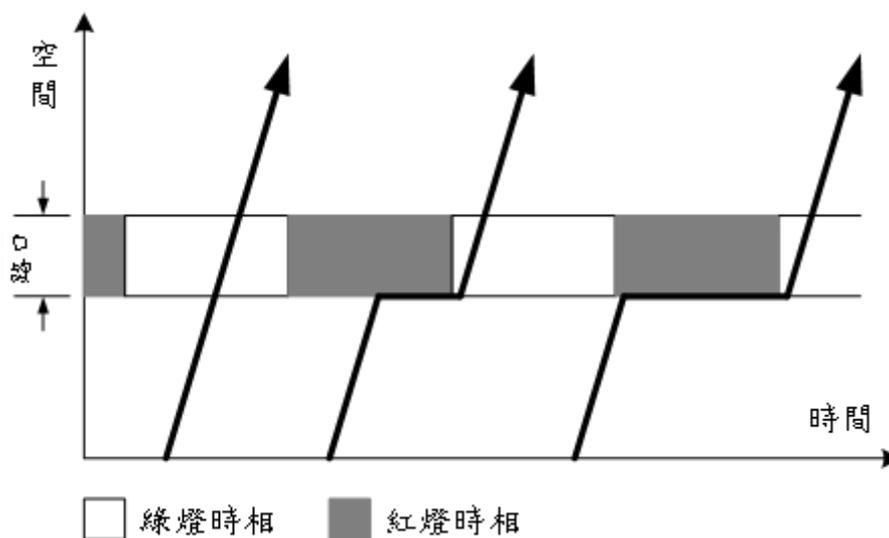


圖 2-9 不調整路口號誌下的輕軌列車運行時空圖

過去文獻中對於優先號誌策略可概分為三種<sup>[13,14,15]</sup>，說明如下：

### 一、延長綠燈策略

延長綠燈是優先號誌常用的策略，透過增加秒數讓綠燈比原定時間還晚結束，但有最長綠燈時間的限制，以免綠燈時間被無限延長影響橫交道路的交通，如圖 2-10 所示。此策略應用時機在綠燈即將結

束時，若有輕軌列車靠近路口，而所剩綠燈秒數不夠讓列車完全通過路口，透過延長綠燈策略可讓列車不用停等一整個紅燈時相<sup>[25]</sup>。

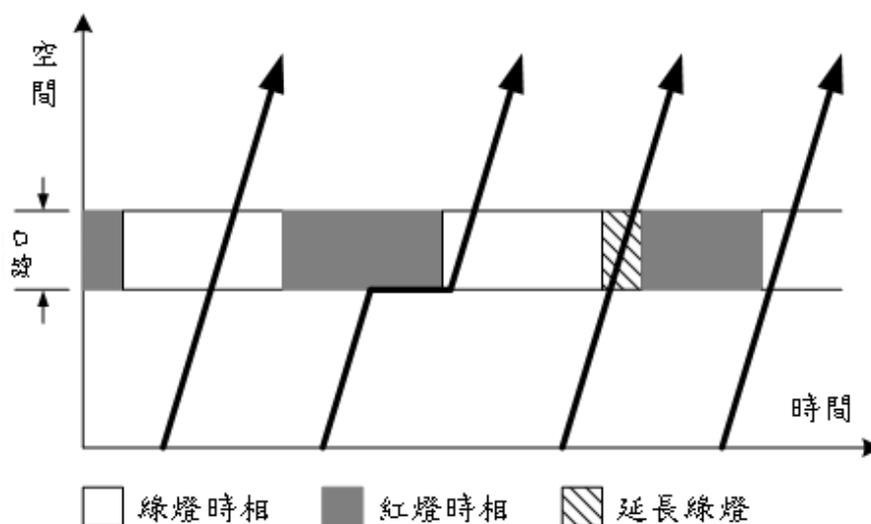


圖 2-10 延長綠燈策略下的輕軌列車運行時空圖

## 二、縮短紅燈策略

此策略透過縮短紅燈的秒數，讓號誌能夠更早轉為綠燈時相，但有最短紅燈時間之限制，避免對橫交道路的交通造成過大的衝擊，如圖 2-11 所示。其應用時機在當輕軌列車靠近路口時，且下個時相即為輕軌列車的綠燈時相，此策略能提早將時相轉為綠燈，讓列車剛好可以通過路口，或者減少停等的時間。

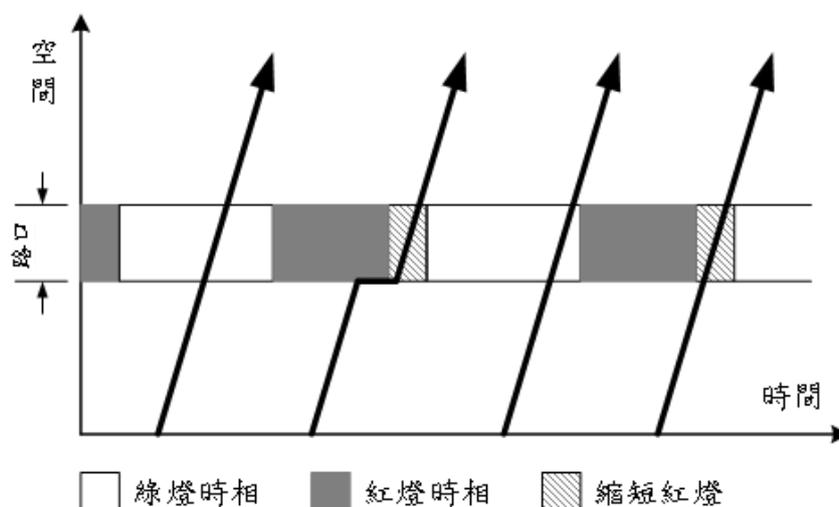


圖 2-11 縮短紅燈策略下的輕軌列車運行時空圖

### 三、插入綠燈策略

此策略會在滿足最短紅燈時間的前提下，透過插入一段輕軌綠燈時相來讓列車通過路口，如圖 2-12。此策略通常應用於當路口號誌沒有週期性的輕軌綠燈時相，只有在偵測到輕軌列車靠近路口時才會啟動<sup>[15]</sup>。

各種優先號誌策略適用性不同且可混合搭配，基本上延長綠燈或縮短紅燈策略對車流影響較輕微，適用於車流量大的路口，而多時相路口較適合採用插入綠燈策略<sup>[4]</sup>。

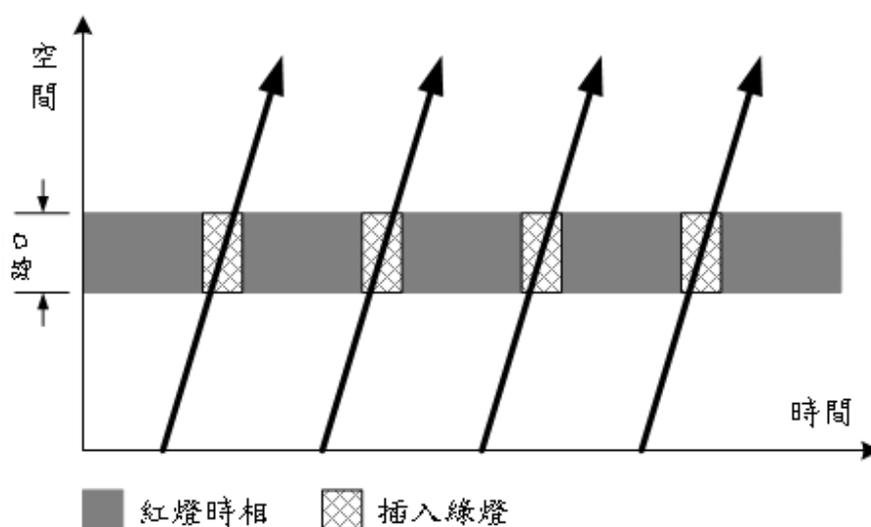


圖 2-12 插入綠燈策略下的輕軌列車運行時空圖



# 第三章 影響 C 型路權輕軌系統規劃設計之因素分析

輕軌運輸系統於國外已行之有年，而目前國內亦已有高雄環狀輕軌系統與淡海輕軌系統正式營運；由於輕軌運輸系統具有因地制宜之特性，故引進先進國家之標準前，須特別考量國內旅客使用習慣、氣候、交通、天災狀況、都市發展及景觀等在地化特性，所涉層面甚廣，必須就各項規劃設計因素詳細考量。

有鑑於交通部於 100 年 12 月頒布「輕軌系統建設及車輛技術標準規範」，並於 107 年 1 月頒布新修訂版本，該規範參考國內外各相關輕軌系統研究，及輕軌系統規劃設計規範手冊，已彙整輕軌系統規劃設計需遵循之各要項，應是目前國內最完備之文件。爰本研究就該規範「輕軌系統規劃」之運輸需求、系統服務水準、營運規劃，「輕軌系統功能」之固定設施、旅客服務、平面道路交通界面、車輛、軌道、供電、號誌等相關規範內容，彙整做為平面輕軌系統推動需依循之規劃設計要素。

## 3.1 輕軌系統之定義與適用範圍

### 一、輕軌系統之定義

綜整國內外各界對於輕軌系統之定義，交通部頒布之「輕軌系統建設及車輛技術標準規範」定義輕軌系統：「有人駕駛、使用導引、電力驅動之客運運輸系統，可因地制宜，同一路線可單獨或混合採用專用路權(A 型路權)、隔離路權(B 型路權)、共用路權(C 型路權)；且相較於高運量或中運量鋼軌鋼輪捷運，輕軌系統之車輛具軸重較輕、車輛界限較小、轉彎能力較強、爬坡能力較強、制動能力較高之特性。」。

### 二、輕軌系統之適用範圍

輕軌系統因具有彈性且可因地制宜，故同一路線可單獨或混合採

用專用路權、隔離路權、共用路權布設。而一般輕軌系統車輛軸重 $\leq 10$ 噸，小於捷運車輛(如臺北捷運高運量電聯車之 16.2 噸)及區域鐵路車輛(如臺鐵通勤電聯車之 18.0 噸)。表 3.1 為目前國內外主要軌道系統之車輛尺寸比較，表 3.2 及表 3.3 為輕軌系統應用範圍及設計數據。

表 3.1 軌道系統之車輛尺寸比較表

捷運系統	車廂長(M)	列車長(M)	車寬(M)	車高(M)
台北捷運(高運量鋼輪鋼軌-6節)	23.50	141.00	3.20	3.60
台北捷運(文湖線-膠輪-4節)	13.78	55.12	2.56	3.53
台北捷運(環狀線鋼輪鋼軌-4節)	17.20	68.80	2.65	3.70
高雄捷運(紅橋線鋼輪鋼軌-3節)	21.50	64.50	3.10	3.70
機場捷運(鋼輪鋼軌-普通4節，直達5節)	20.00	80.00	3.00	3.65
區域鐵路	車廂長(M)	列車長(M)	車寬(M)	車高(M)
台鐵電聯車(EMU)		81.00	2.90	4.20
輕軌系統	車廂長(M)	列車長(M)	車寬(M)	車高(M)
瑞典斯德哥爾摩輕軌		29.7	2.65	3.55
德國 Saarbrücken 輕軌		37.1	2.65	3.80
德國 科隆輕軌		29.0	2.65	3.54
英國 Blackpool 輕軌		32.2	2.65	3.91
法國 波爾多 (Bordeaux) 輕軌 Lines A,B		46.0	2.40	3.50
法國 波爾多 (Bordeaux) 輕軌 Line C		32.0	2.40	3.50
法國里昂(Lyon)輕軌		32.0	2.40	3.30
淡海輕軌系統	5模組銜接	34.4	2.65	3.75
高雄臨港輕軌系統(第一期 CAF Urbos 3)		34.16	2.65	3.6
高雄臨港輕軌系統(第二期 Citadis 305)		33.4	2.65	3.6

資料來源：[11]

表 3.2 輕軌系統應用範圍

			主要特性			
			Level I	Level II	Level III	Level IV
應用範圍	都市與旅運需求分類	規模	小型城市	中型城市	大型城市	大都會
		服務區人口	20萬~50萬	50萬~100萬	100萬~200萬	200萬~500萬
		交通廊道之人口密度(人/km <sup>2</sup> )	2,000	3,000	5,000	8,000
		15km長廊道公共運輸需求(乘客/天)	30,000	60,000	100,000	>160,000
		從feeder traffic之其他額外需求(乘客/天)	5,000	15,000	25,000	>40,000
	系統標準	最少每天運輸績效(延人公里/km)	2,000	5,000	10,000	>15,000

資料來源：[11]

表 3.3 輕軌系統之設計數據

			主要特性			
			Level I	Level II	Level III	Level IV
設計數據	軌道	路權型態	20% 共用 80% 隔離	80% 隔離 20% 專用	20% 隔離 80% 專用	100% 專用
		縱面線形	地面	5% 隧道/ 高架	20% 隧道/ 高架	>50% 隧道/ 高架
	候車站	平均候車站間距(m)	500	600	750	1,000
		月台長度(m)	40	60	90	120
		月台高度	低	低及/或 高	高	高
	車輛	車箱/車輛	單向/雙向行駛	雙向行駛	雙向行駛	雙向行駛
		長度(m)	40	40/30	30	30
		寬度(m)	≤2.40	2.40/2.65	2.65	2.65
		入口/出口	低地板	摺疊/無 階梯	無階梯	無階梯
		乘客容量/車輛	250	250	250	250
	營運	最大車數/電聯車	1	2	3	4
		最小班距(秒)	90	90	90	90
		最大運量(人/小時/方向)	10,000	20,000	30,000	40,000
		電聯車保護保安裝置	無、人工控 制	部份區間 有	大部份有	全部有
		道旁控制路口號誌	大部份	全部	優先通行	與列車保 護整合
		營運速率(km/h)	20	25	30	35

資料來源：[11]

## 3.2 輕軌系統之規劃

輕軌系統之規劃首要考量的是運輸需求，其主要呈現在系統之運量、路線及站距，其考量要素分述如下。

### 一、運量

- 輕軌系統規劃時，應辦理運輸需求分析及預測，推估起始年、中間年及目標年之運量。
- 運量需求為輕軌系統型式評估及營收分析指標之項目。一般情形，輕軌系統規劃目標年之尖峰小時單向站間最大運量(ppdph)宜大於 2,500。
- 輕軌之建設並非全然著重於解決交通運輸問題，有些為發展觀光、為塑造地區特色，雖然預測運量不高，亦不能抹煞其建設輕軌之機會，當運量需求較高時，則應進一步綜合考量採取何種型式之軌道運輸系統，保留給興建單位較大之選擇彈性。
- 輕軌通常一列車為 1~4 節車廂連接，一般現代街車每小時單向運量可達 3,000~20,000 人次，若為現代輕軌捷運為單向每小時則可達 5,000~50,000 人次。

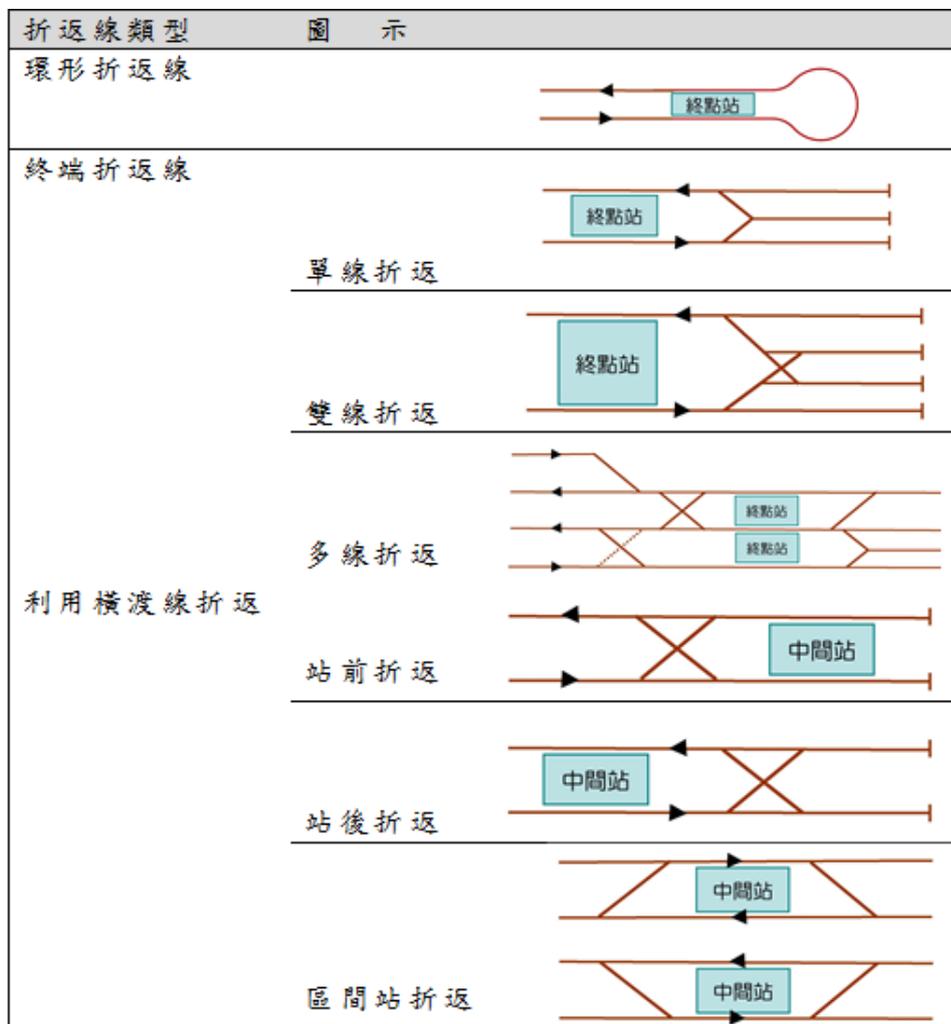
### 二、路線

- 輕軌路線宜考量整體路網架構及營運模式，配合現有道路及都市發展狀況，進行路線之規劃設計。路線規劃並應著重與相關運具之接駁功能，以提昇運輸效益。
- 城市軌道交通規劃可分為路網規劃及路線規劃兩部份，路網規劃著重於都市發展之協調關係，路線規劃則關注於路線走向之變化及沿線土地發展與地面交通之協調。
- 一般而言，三條以上路線便可構成路網，隨著人文、地理及環境之不同，可形成變化多樣之軌道系統路網，最常見及最基本之路網有網格式、無環放射式及有環放射式三種，如圖 3-1 所示，至於路線中較複雜之折返線，常見之類型如圖 3-2 所示。



資料來源：[11]

圖 3-1 基本路網型式示意圖



資料來源：[11]

圖 3-2 一般雙軌路線折返線示意圖

### 三、站距

- 輕軌系統站距之規劃，以 500 公尺至 800 公尺為原則，但鄉區、低密度開發區或特殊狀況下得適當調整。
- 站距設定係考量旅客步行可及性、民眾搭乘意願、營運績效及系統特性，一般而言站距可依市區、郊區、低開發密度區等不同區域特性而作調整，市區站距宜在 500 公尺至 800 公尺範圍。鄉區、低開發密度區、特殊區域特性（開發特性、地理特性）及經濟效益考量，其站距得適當調整。

輕軌系統之規劃其次要考量的是系統服務水準，其主要呈現在系統之班距、乘坐舒適度，其考量要素茲分述如下。

#### 一、班距

- 班距由運量需求、列車設計載客量及機電系統等決定之。
- 輕軌系統之班距以不大於 15 分鐘為原則，尖峰時段及非尖峰時段應有不同班距之規劃。
- 列車班距(Headway)為系統服務水準之重要指標，班距過長，將導致旅客等車時間過長並造成車廂擁擠；班距過於密集，則易形成系統能量之浪費。
- 尖峰班距以尖峰小時單向最大站間運量分攤於可用營運列車車隊之載客量所計算出之列車時間差距，至於非尖峰班距則多界定於具有尖峰服務能量之 50~80%，以每位乘客均有座位為期望值。
- 法國輕軌運輸發車頻率於尖峰時段為 3~5 分鐘一班，離峰時段為 7~10 分鐘一班，聖德田市輕軌最小發車間距為 90 秒。

#### 二、乘坐舒適度

- 列車性能設計及操作應能夠提供穩定的乘坐舒適度。
- 影響旅客舒適度的主要因素包括：每人平均占用面積、旅行時間、候車站環境、運行平穩度和客運服務水準。不同目的旅客，對於旅行舒適度的需求有所不同，為提供更人性化的服務及高標

準的軟硬體環境，舒適度的改善將使旅客更加舒適愉快，也將進一步增強輕軌運輸的市場競爭力。

輕軌系統之規劃另一考量重點是營運規劃，其主要需考量系統之路線營運型式、營運模式及車輛容量，其考量要素茲分述如下。

### 一、路線營運型式

- 營運路線以雙線雙向建造為原則，但視需要可採單線雙向。
- 軌道路線之營運型式主要以軌道股數做為區分，考量路線容量、現有地形地貌、平面道路交通運輸狀況等因素，經營運需求評估結果，決定軌道股數。
- 輕軌運輸路線除正線(貫穿所有候車站、區間供列車正常運行之線路。通常採上下分駛，並靠右行駛)外，因應營運調度需求，通常均需要設置折返線，做為迴車或調頭調度之用途，可採用包括橫渡線、環狀迴轉線、中央避車線等方式。

### 二、營運模式

- 停站時間：係指列車靠站讓旅客上下車所需之時間，車門開啟至車門完全關閉為止之時間；停站時間與上下旅客多寡、車門數量和寬度有關，應設有足夠上下車門空間，使旅客順暢移動。一般以 25 秒為原則，但可依上下車人數而酌予調整。
- 行駛方向：雙線雙向之輕軌系統應考慮非專用路權之行車安全，應以「靠右行駛」設計為原則。為確保未來路網不同路線與不同系統之間運轉的連續性，降低使用者的困擾與發生危險的機率，同時與地面交通之行車方向一致，新建雙向之輕軌系統優先考量採取目前國際現代軌道運輸趨勢採行之「靠右行駛」之原則。
- 列車組成：列車得以各種方式組成以滿足運量需求。在非專用路權時列車長度應考量避免妨礙其它交通之運作。列車車廂間必須具有旅客通道。列車組成應能符合運量、月臺長度、路線容量及路線走廊環境、列車單/雙向行駛、車輛模組化及供電能力等需求。

### 三、車輛容量

- 旅客平均重量假設為 60 公斤/人。
- 營運規劃時，以列車座位滿座外加立位 5 人/m<sup>2</sup> 之密度做為列車運轉計畫及車輛採購數量之依據，特殊情況可另予考量。
- 車輛設計時，以列車座位滿座外加立位 7 人/m<sup>2</sup> 之密度為基準，以維護電聯車使用壽命。

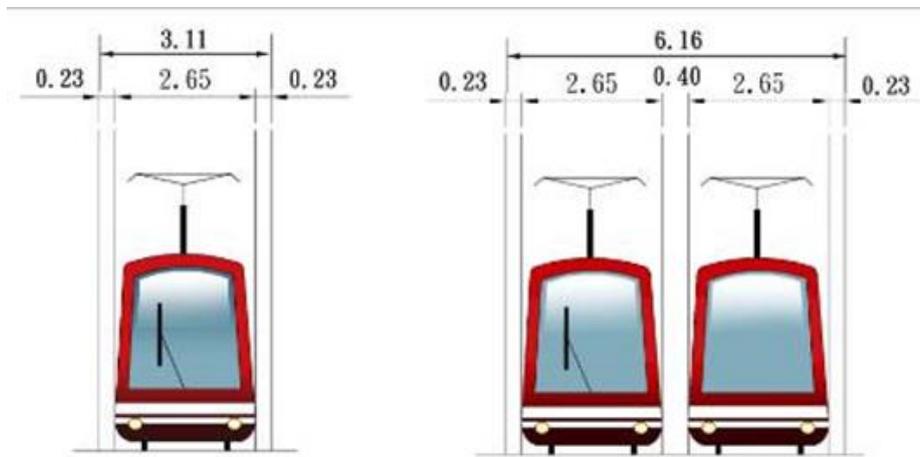
### 3.3 輕軌系統之功能

輕軌系統之功能部分包括固定設施、旅客服務、平面道路交通界面、車輛、軌道、供電、號誌等相關規範內容，內容龐雜，本研究僅就目前國內輕軌規劃作業最常觸及之固定設施輕軌系統車道中的「車道寬度」、「車道配置」，及平面道路交通界面中之「共用、隔離路權之隔離設施」、「行人穿越型式」，就其考量要素分述如下。

#### 一、車道寬度

- 輕軌系統車道寬度宜考量與道路的車道寬度配合，平面路段車道單向車道寬度宜採 3.5 公尺，雙向車道寬度宜採 7.0 公尺。車道寬度之計算應考慮電力桿、隔離設施、安全淨空及線形等因素。
- 輕軌運輸系統布設之車道寬度，主要需先計算車輛界線(車輛靜態與動態包絡線)、安全淨空所需之空間，再加計電力桿及隔離設施之需求空間，並儘可能以單軌 1 個車道、雙軌 2 個車道寬可容納為原則。
- 一般國際常用之輕軌運輸車輛寬度為 2.65 公尺、2.4 公尺及 2.2 公尺，其中以 2.65 公尺與 2.4 公尺最為常見。
- 以輕軌車輛寬度 2.65 公尺而言，未考量電力桿及隔離設施時，單軌寬度需求為 3.11 公尺，雙軌寬度為 6.16 公尺，如圖 3-3 所示。國內一般公(道)路車道寬度為 3.5 公尺，考量保留適當餘裕及必要設施設置空間，建議輕軌系統單向平面車道寬為 3.5 公尺，雙軌寬度為 7.0 公尺，以適應國內一般車道寬下，仍可利用現有平

面道路車道施作輕軌運輸系統。



資料來源：[11]

圖 3-3 輕軌系統車道寬度

## 二、車道配置

- 輕軌系統與平面車道共用時，應依平面道路寬度及區域人文及交通特性進行分析，輕軌系統車道基本配置分為布設於平面道路中央及非布設於平面道路中央等兩大類，為降低平面道路交通之影響，優先考量布設於平面道路中央。
- 車道配置之主要因素包括：輕軌及道路車道寬度、人行道寬度及設施寬度等，站區宜併同採用之月臺型式進行車道配置。
- 輕軌運輸系統依照設置於快慢車道相對位置之不同，可再細分為布設於道路中央、布設於快慢車道間、布設於路側(兩側)及布設於路側(單側)等四種，其優缺點比較如表 3.4 所示。
- 若再依設站型式及位置(如側式月臺、島式月臺、遠端設站及近端設站等)之不同情況之組合，共歸類為 14 種路口設站之配置型式，如表 3.5 所示。

表 3.4 輕軌運輸系統車道布設型式之優缺點比較

佈設型式	優點	缺點
佈設於道路中央	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 有利於車輛路邊臨時停車、上下車及貨物裝卸。</li> <li>• 不影響巷道車輛出入及右轉車流。</li> <li>• 路口與一般路段車流碰撞點較少，車流動線問題較易處理。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 對左轉車流之干擾較大，須配合採取特殊之處理措施。</li> <li>• 乘客須穿越車道，安全及便利性較差。</li> </ul>
佈設於快慢車道間	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 有利於車輛路邊臨時停車、上下車及貨物裝卸。</li> <li>• 可將快慢車道分隔島設計為輕軌候車站，減少道路使用面積。</li> <li>• 對慢車道之車輛影響較小。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 對快車道之車輛影響較大。</li> <li>• 乘客須穿越慢車道，安全及便利性較差。</li> </ul>
佈設於路側(兩側)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 可利用人行道做為乘客上下車處，對乘客較為便利且安全。</li> <li>• 站台可設置於人行道，不必佔用道路。</li> <li>• 符合民眾使用道路之習慣。</li> <li>• 可減少路邊違規停車。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 嚴重影響道路之左右轉車流及橫交道路之出入。</li> <li>• 影響車輛路邊臨時停車、上下車及貨物裝卸。</li> <li>• 對行駛於路側之機車及自行車之安全影響較大。</li> </ul>
佈設於路側(單側)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 站台可設置於人行道，不必佔用道路。</li> <li>• 可減少設置輕軌側之路邊違規停車。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 同佈設於路側(兩側)之情形。</li> <li>• 軌道車道與道路車道將形成相反方向，安全顧慮較多。</li> <li>• 有一方向旅客須穿越慢車道，安全及便利性較差。</li> </ul>

資料來源：[11]

表 3.5 14 種輕軌路口設站型式(1/3)

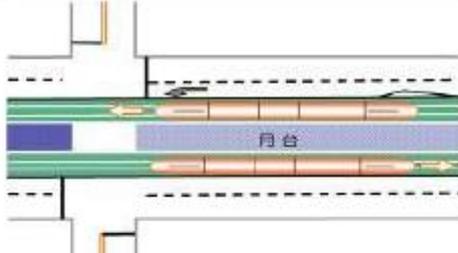
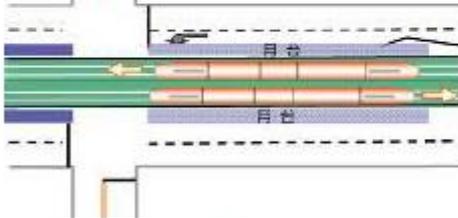
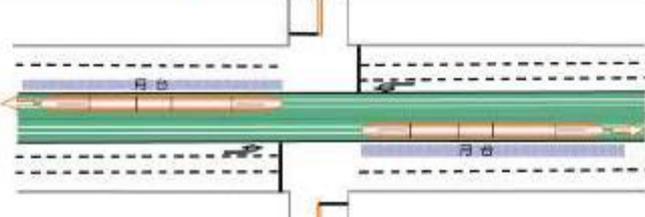
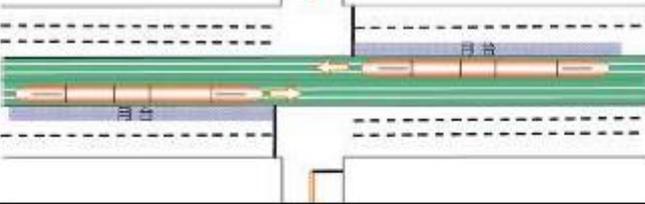
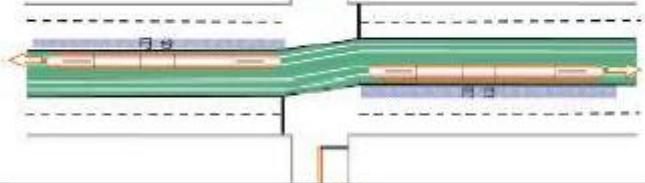
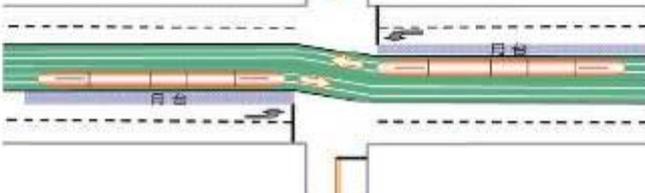
候車站型式	車道配置
車道佈設位置：中央佈設	
中央島式	
中央側式	
遠端設站	
近端設站	
最小路權遠端設站	
最小路權近端設站	

表 3.5 14 種輕軌路口設站型式(2/3)

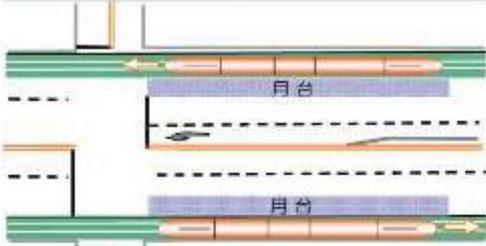
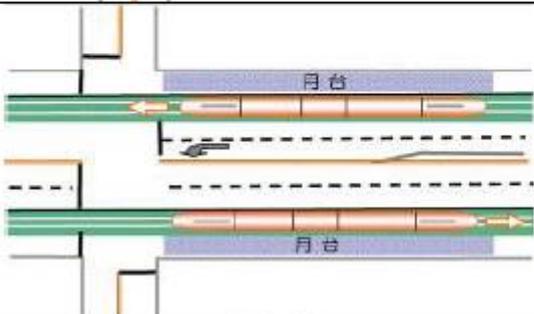
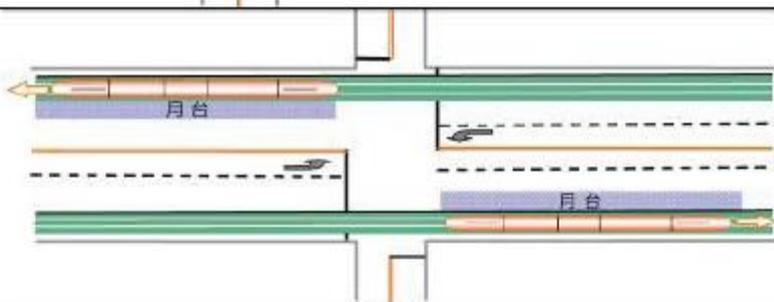
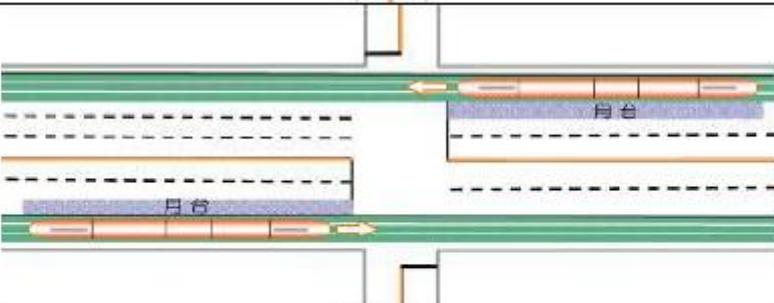
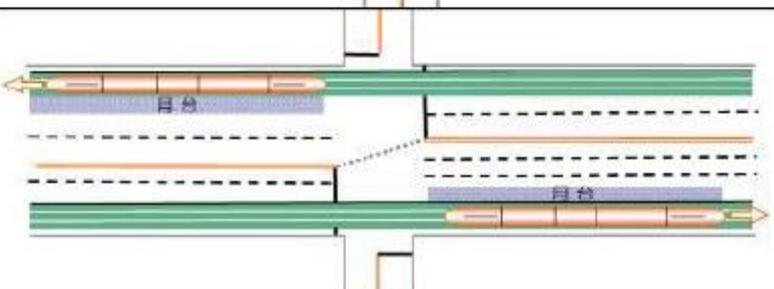
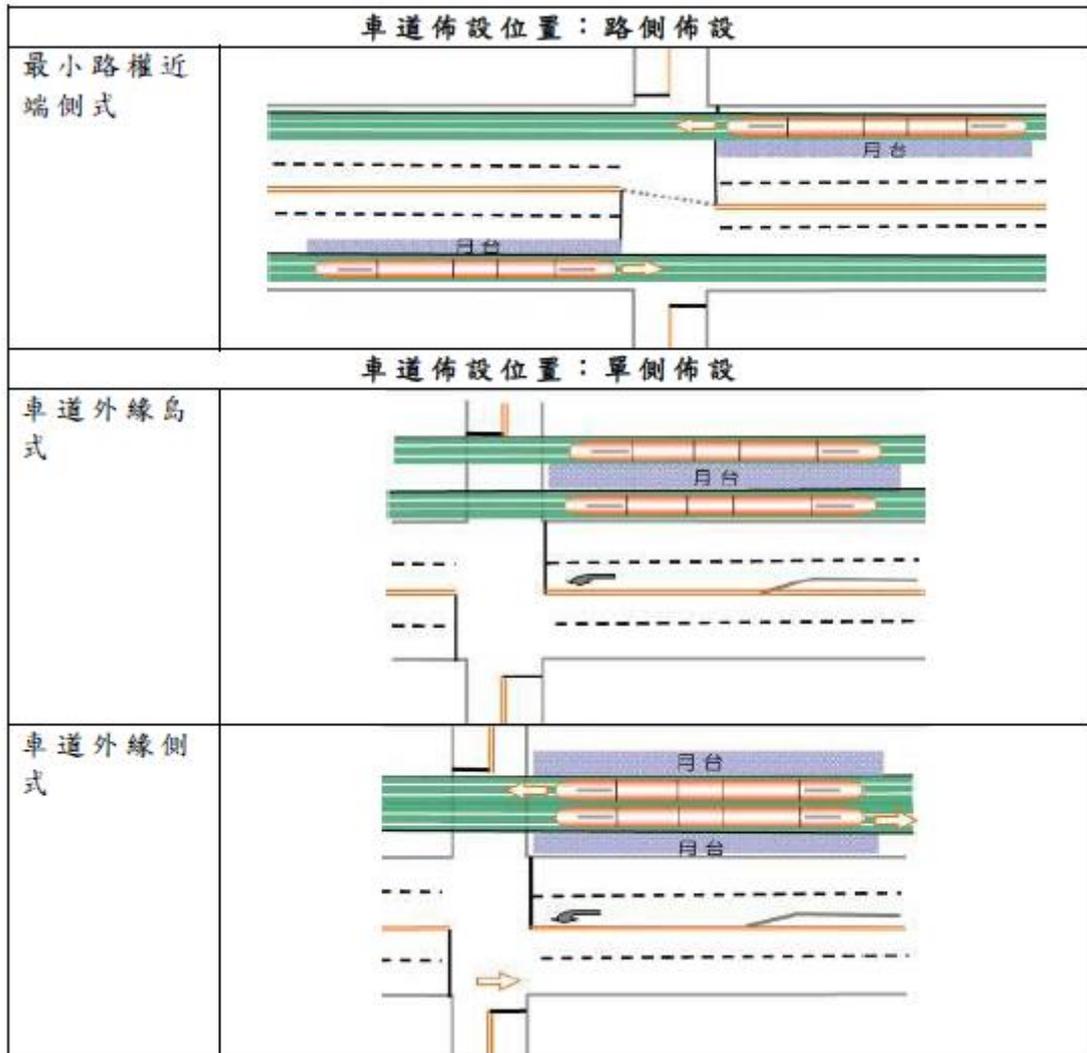
候車站型式	車道配置
車道佈設位置：路側佈設	
路側近車道側	
路側近人行道側	
遠端側式	
近端側式	
最小路權遠端側式	

表 3.5 14 種輕軌路口設站型式(3/3)



資料來源：[11]

### 三、共用、隔離路權之隔離設施

- 共用路權(C 型路權)除應遵守「道路交通標誌標線號誌設置規則」相關規定辦理外，應以明顯標線、鋪面或顏色區分輕軌系統與一般道路範圍，相關案例如圖 3-4。
- 隔離路權(B 型路權)應考量區域、人文及交通特性，採用合宜之阻絕式隔離措施，如緣石、圍籬、植樹、護欄等型式。



資料來源：[11]

圖 3-4 月臺高差與軌道高差案例

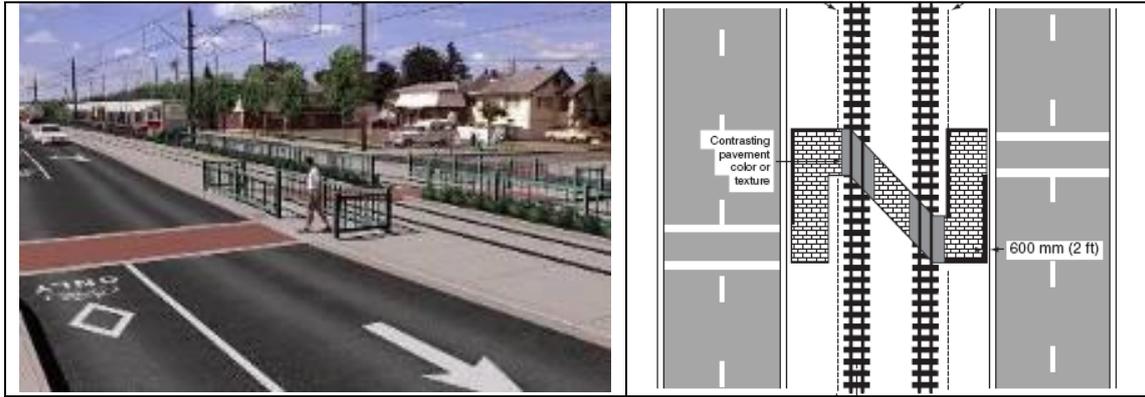
#### 四、行人穿越型式

- 輕軌系統之操作在共用路權之行人穿越區域、隔離路權之交叉口及候車站行人穿越道，應有適當措施能容許行人平面穿越。共用路權之行人穿越區域，輕軌建設及車輛應有緩衝設計及安全警示措施，如圖 3-5 所示。
- 平面交叉口之行人穿越道與一般道路穿越道型式相同為原則，並應配合「道路交通標誌標線號誌設置規則」等相關規定設置安全設施。
- 非交叉口之行人穿越道得設置具阻隔功能如自動遮斷器、旋轉柵門設施或採 Z 字形穿越道，並設置行人專用號誌及相關警告標誌，如圖 3-6 所示。



資料來源：[11]

圖 3-5 輕軌方向號誌與行人穿越觸控號誌案例



資料來源：[11]

圖 3-6 Z 字型穿越道案例



## 第四章 輕軌平面交通安全規劃

有關輕軌系統之平面交通安全規劃，主要鎖定 C 型路權輕軌系統布設於平面之道路車流運行及人行徒步區之安全問題探討，本章即就相關之平面輕軌道路安全規劃、平面輕軌行人安全規劃、平面輕軌安全配套措施等面向，茲以國內淡海輕軌系統<sup>[17]</sup>為案例分析說明如下。

### 4.1 平面輕軌道路安全規劃

平面輕軌之道路安全問題依其位處道路之位置，可分為路段、路口及行人之安全問題，茲分述如下。

#### 一、平面輕軌於路段之安全分析

(一)隔離設施：對 B 型路權輕軌之安全而言，其隔離設施布設之主要目的，係為減少其與一般車流衝突之對策，做法以增加隔離設施之強度（如加高緣石、使用柵欄、以植栽隔離）為主，另可配合使用鋪面、高差、標線等同時配合，清楚標示軌道路權與一般車輛路權範圍之明顯差異，並增加標誌使一般道路車輛駕駛人不會侵入。此外也可增加輕軌車輛上之示警，以警告違規侵入路權之車輛。至於 C 型路權並無明顯之隔離設施，而係著重在增加軌道路權之明顯性，如鋪面、標線等，另亦需增加輕軌車輛上之示警，以通知行人列車已靠近，並設置相關標誌提醒行人此為輕軌行經路段。

(二)隔離設施對行駛速度之影響：輕軌列車之加減速能力不若一般車輛，一旦遇到突發狀況所需之煞停距離會較長，而在 B 型路權之輕軌車輛行駛路段中，因不預期會有車輛闖入其行駛路權而速率會較快，若有緊急情況常會反應不及，但在 C 型路權則考慮其為與一般車輛或行人共用路權，隨時有突發狀況，因此車速都降低至可安全反應事件而煞停之速率。綜上，B 型路權之隔離設施、

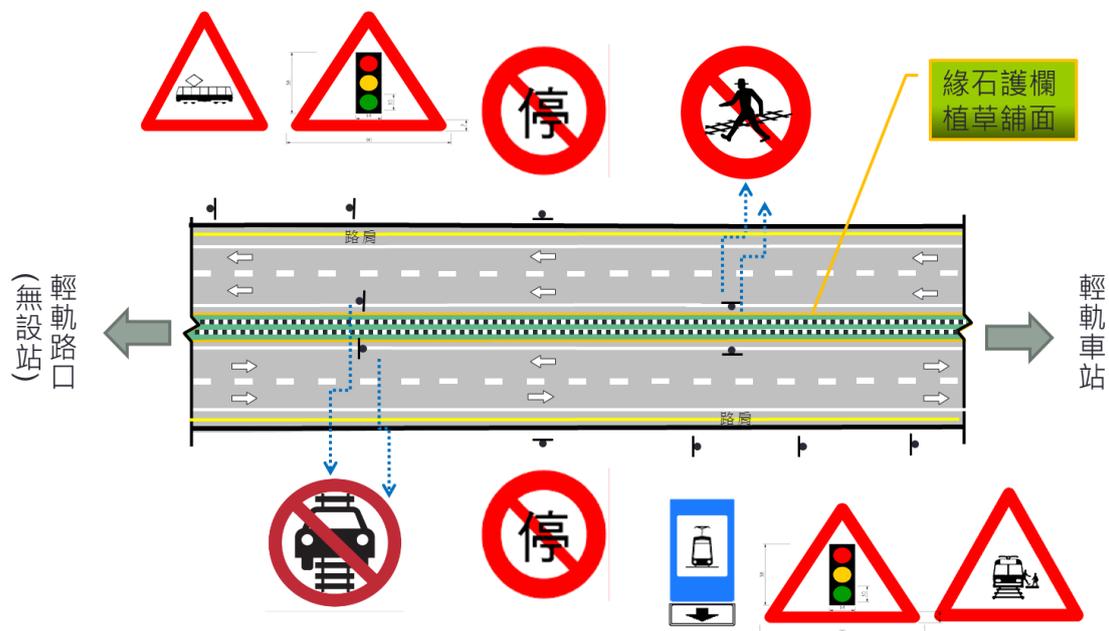
C 型路權之區別設計，係為保障交通安全的主要措施。

(三)路權之區(分)隔設施：路權區隔設施包括標線，含路面標線與標記、高差、鋪面等，此類設施無法阻止車輛闖入，只能做為區隔輕軌路權與一般路權之用，常用於 C 型路權之輔助設施。至於路權隔離設施則包括柵欄、緣石、植栽等，此類設施大抵上可以有效阻止車輛闖入，但不能阻擋蓄意或重大意外而闖入之情形，是為 B 型路權主要使用之隔離設施。至於輕軌在路段中的主要分隔設施說明如下：

- 1.柵欄分隔：於路段使用柵欄分隔輕軌路權可有效阻隔一般車輛及行人穿越或闖入，但設置時需注意柵欄之高度不可高於駕駛者與行人之視線，同時應儘量以鏤空方式設計，以免妨礙用路人觀察路況，影響安全。
- 2.公路路側護欄分隔：交通部頒定之交通工程手冊第八章所規定之路側護欄，亦可做為輕軌路權之隔離設施。其優點為透過交通工程手冊之規定，已有標準規格與設置方式，且易於施做。
- 3.綠美化圍籬分隔：輕軌系統沿線可透過綠美化方式，以植生圍籬做為隔離輕軌路權之設施。若與輕軌沿線之公園綠地或住宅區整合，可有效改善當地景觀。
- 4.交通島分隔：使用交通島進行輕軌路權分隔亦為一可行之方案，交通島之設置可有效避免平面道路車流闖入輕軌路權，同時又不會阻礙駕駛人的視線，然交通島分隔之主要缺點，是無法有效阻隔行人穿越道路之行為。
- 5.標線分隔：輕軌路權與一般道路之車道間可以標線分隔。標線分隔之方式易為道路使用者所接受，且所需之成本、劃設時間與所佔用之道路空間亦最小。但由於標線之設置並無法對用路人造成明顯之阻隔，因此駕駛者或用路人容易誤入或故意闖入輕軌路權，造成交通衝突的發生，所以採用標線分隔應慎重考慮。

(四)平面輕軌於路段之布設範例

平面輕軌路權路段布設範例示意如圖 4-1 所示，輕軌車道可用各種不同型式之鋪面與一般車道區隔，或以標線、標字方式予以區隔，如圖例是以植草鋪面與一般道路區隔；實體隔離設施利用緣石護欄與一般車道隔離，另可考慮增設「禁止行人穿越輕軌軌道」標誌，若在 C 型路權上可劃設「動態包絡線」。路段中若有開口處（非路口、可為緊急使用，或是未設車站之路口），需增設「輕軌專用道」、「禁止一般車輛跨越」及「注意號誌」等標誌；外側車道及人行道外緣處考慮設置相關標誌或畫設標線，取消路邊停車，並視需要設置人行道與車道間隔離設施，避免行人穿越，於近輕軌路口設置「輕軌車站」、「注意號誌」及「注意輕軌車站旅客」等標誌。



註：本圖僅為布設範例，無規範性質，實際布設需依現地狀況個案調整。

資料來源：[17]

圖 4-1 平面輕軌於路段之布設示意圖

## 二、平面輕軌於路口之安全分析

由於平面路口是輕軌與平交道路車流所共用之路權部分，可透過下列四種方式做為減輕車流衝突之改善策略，茲分述如下。

(一)「強調輕軌路權」：利用鋪面、標線等方式於路口劃設出輕軌會

行經的範圍，提醒用路人注意輕軌車輛、避免於該範圍逗留，同時也應於近路口之路段設置標誌，提醒用路人注意前面路口有輕軌行駛。

- (二)「加強號誌設計」：於號誌設計時應將各個衝突車流予以區隔，以避免不同車流之動線交織。另為增加路口之容量、提高路口之效率，可考慮將路口各方向車流分開處理，惟其運作複雜，仍需充分考量各車種用路人的理解性，並將路口之行人動線一併納入考慮。
- (三)「轉向管制」：大部分的輕軌與一般車流衝突點都發生在車輛轉向位置，若考慮將路口實施轉向管制（禁止左轉或右轉），可有效避免衝突點的產生，惟需同時考量提供替代道路。
- (四)「號誌管制方式」：在交岔路口車流管制方面，輕軌與平面道路之交岔口常以號誌進行管制，依管制方式可分為平交道管制、優先號誌管制、一般號誌管制及無號誌管制等方式。輕軌與平面道路之交岔路口管制方式之選擇，受到安全、系統營運績效與道路系統受衝擊程度等因素影響，平交道管制及優先號誌管制給予輕軌在通過交岔路口時擁有獨立時相，相對較為安全，但透過號誌的連鎖、柵欄的阻隔在輕軌通過時會造成鄰近路口車流的明顯延滯。因此，應盡可能降低輕軌通過對平交道路之交通衝擊，規劃設計沿線交岔路口之管制方式時，可盡量選擇在道路交通量較低且道路幾何條件較為複雜的狀況下，才考慮採用平交道或優先號誌管制，以減少由於輕軌運輸系統的引入對平面道路服務績效的衝擊。
- (五)平面輕軌於路之布設範例

平面輕軌路口布設範例示意如圖 4-2 所示：軌道路權處利用不同之「鋪面」材質、顏色等與其他車道區別，並劃設「動態包絡線」等輔助標線；人行穿越道處增設「當心行人」、「當心輕軌」等標誌與標線，並設置「行人專用號誌」，必要時可設置各種閘門；一般車道部分，設置注意輕軌等標誌、設置清楚標示各轉向允許時相之號誌，

允許左轉之路口必須獨立設置左轉專用車道及時相、停止線同時配合退縮以避免車輛至路口停等左轉，也避免車輛於路口迴轉；不允許左轉之路口則應設置相關標誌、標線以提醒該處禁止左轉。

### 三、平面輕軌對於行人之安全分析

行人在輕軌系統引進後，安全之改善方向如下：

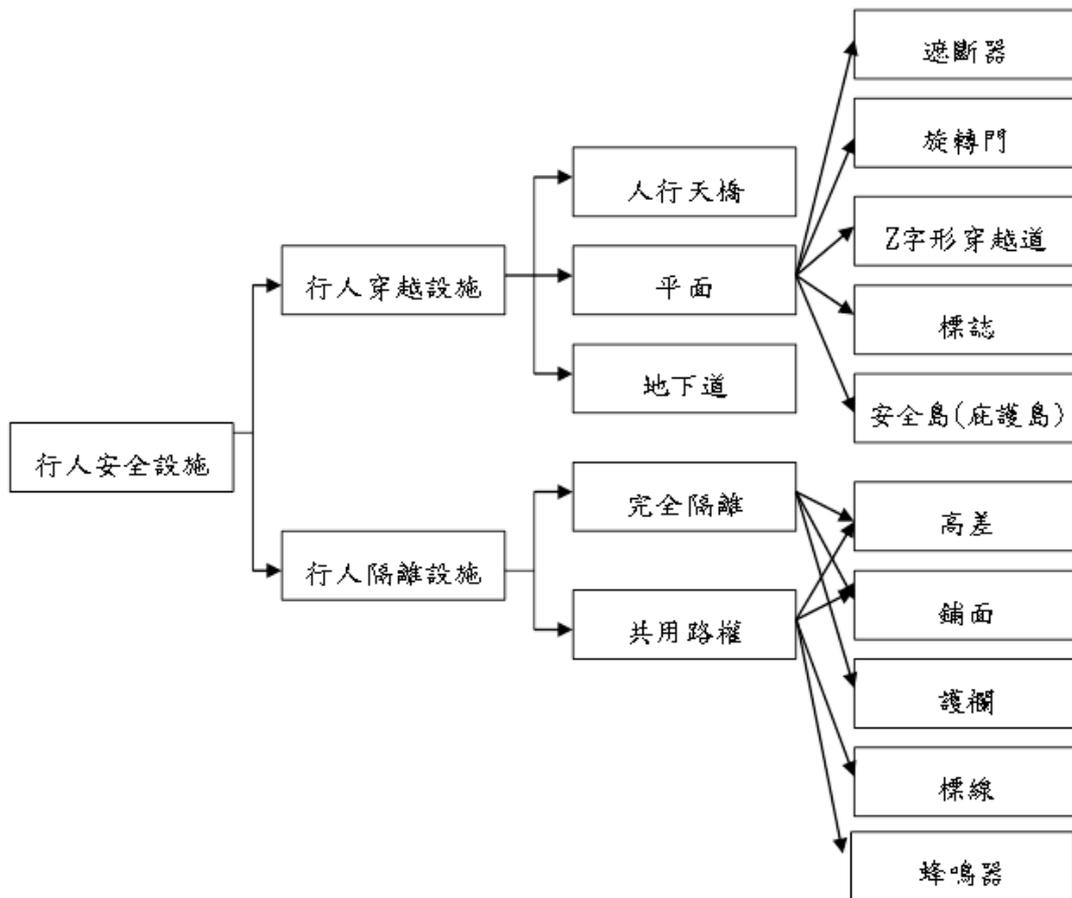
- (一) 將輕軌系統與行人動線完全隔離：就人行區域與輕軌的行進範圍完全區隔，使用無法輕易跨越的設施系統，可以有效降低疏忽與違規的發生。
- (二) 在輕軌車輛未接近時仍共用路權，但輕軌接近該區域時則提醒行人讓出軌道路權。此方法仍保留輕軌系統與行人共同使用的權利，但必須加強該區域的警示系統，以確定在輕軌系統到達前可清空該區域。
- (三) 設置立體穿越設施：可完全消除行人與輕軌系統車輛間的衝突點，惟經費較高，需審慎評量。
- (四) 與人行道整合引導行人動線：將穿越性的行人流加以整合，如此易於規劃其範圍與流動時間，減少行人疏忽與違規機會。
- (五) 增設警示系統：針對行人可能的疏忽行為強化人行穿越區域的警示系統。

此外，在 C 型路權上，輕軌電車安全警示設施及速限則是安全極為重要的考慮要素，說明如下。而改善措施依照行人衝突的類型，可分為穿越與平行兩種，分類如圖 4-3。

- (六) 輕軌電車接近時的警示系統：電車在白天駛入徒步區時通常會鳴警示鈴聲來告知行人電車已靠近，在部分都市的徒步區附近，更設置有電車靠近的閃爍標誌，提醒行人電車的更新動態，使軌道區的行人能儘速離開，讓軌道淨空以利電車行進。



(七) 輕軌電車速限：電車在徒步區內的行駛速率通常不會超過 30km/hr，主要是因為考量到徒步區內的行人常會在軌道上行走或穿越，故在此區段內必須放慢車速，以維護行人及電車自身安全。由於國外的電車系統主要依賴駕駛員的經驗和技術，做為判斷與前車距離及操控列車速度，故其車間距常可縮短。



資料來源：[16]

圖 4-3 行人安全設施分類

## 4.2 車站行人穿越規劃

通常輕軌系統為達輕量化設計理念，車站皆不設置立體化之穿越設施(如穿堂層)，行人採直接跨越軌道之方式進入車站或進出不同方向之月臺，為減少因行人穿越所可能造成之事故，謹針對地面及高架

的不同車站型式進行分析說明。

## 一、地面車站行人穿越分析

地面車站的設置位置以在路口為原則，以路口號誌之方式管制行人穿越一般車道及軌道，車站規劃如圖 4-4 所示，說明如下：

- (一)側式月臺的車站布設：旅客需要穿越一般道路及軌道，因此在路側之每個側式月臺兩側的人行穿越道部分都要設置人行號誌，通常共約需設置 6 座，並配合設置注意輕軌方向(兩向)的動態標誌，以提醒行人注意列車來向；在非人行穿越道的位置必須設置人行阻隔柵欄，包括月臺與道路側、兩軌軌道中央。
- (二)島式月臺的車站布設：旅客需要穿越一般道路進入車站，因此在路側及月臺兩側的人行穿越道部分都要設置人行號誌，共約需設置 4 座，並配合設置注意輕軌方向(單向)的動態標誌，以提醒行人注意列車來向；在非人行穿越道的位置必須設置人行阻隔柵欄，包括月臺與道路側。

## 二、高架車站行人穿越分析

高架車站的出入設置以在路段一側為原則，會有旅客需要穿越軌道的需求，車站規劃如圖 4-5 所示，由於在高架車站只在單側設置出入口，且不設立體穿堂層，行人若欲至對向月臺及未設出入口側的月臺都須穿越軌道，為確保行人之通行秩序及安全，規劃於月臺端點之一側設置人行穿越道、其他區域在非人行穿越道的位置必須設置人行阻隔柵欄；在人行穿越道兩端皆應設置人行號誌，初期也建議設置簡易軟性的遮斷器，以免有旅客違規闖越。

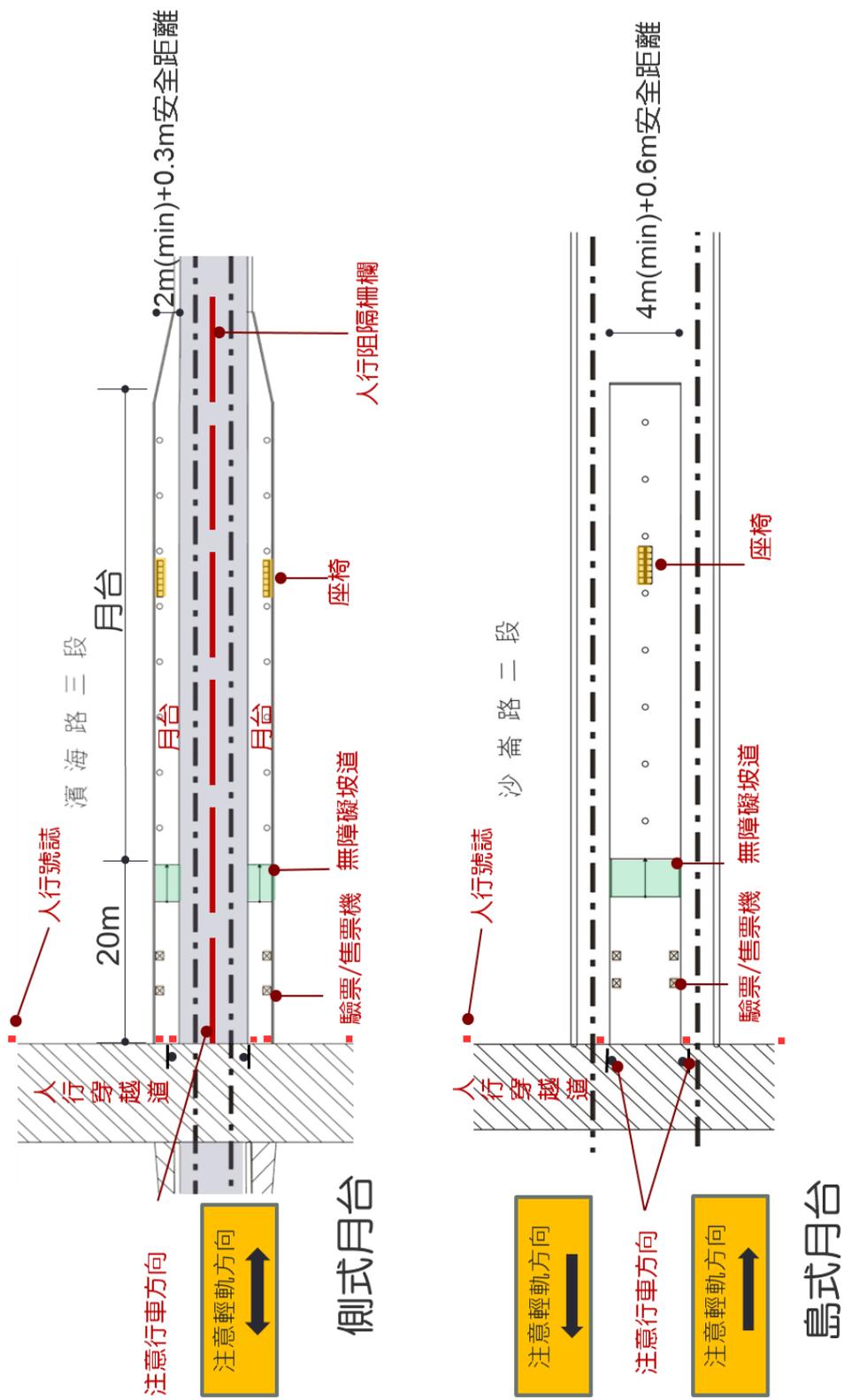
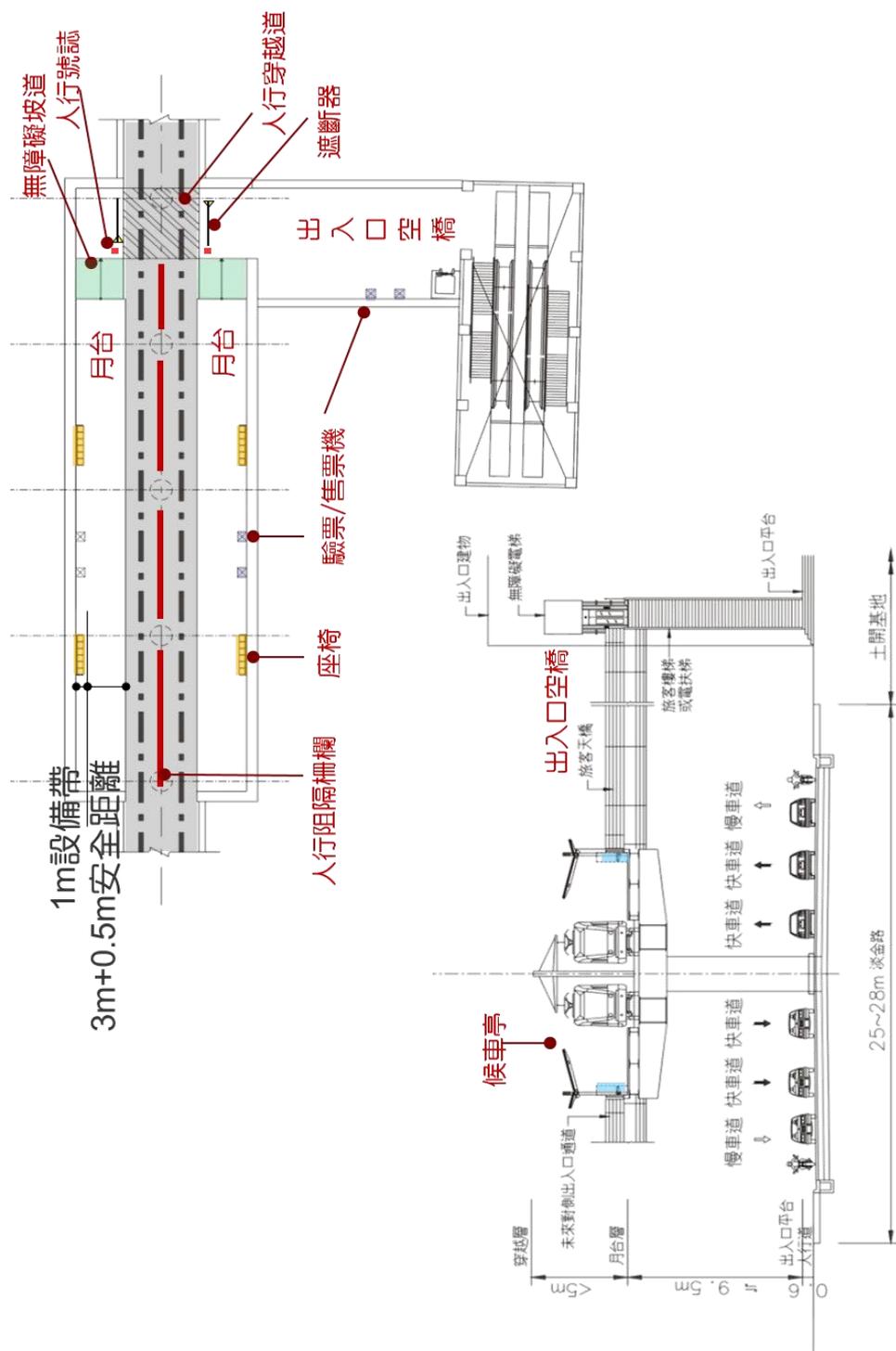


圖 4-4 地面車站行人穿越規劃範例

資料來源：[17]



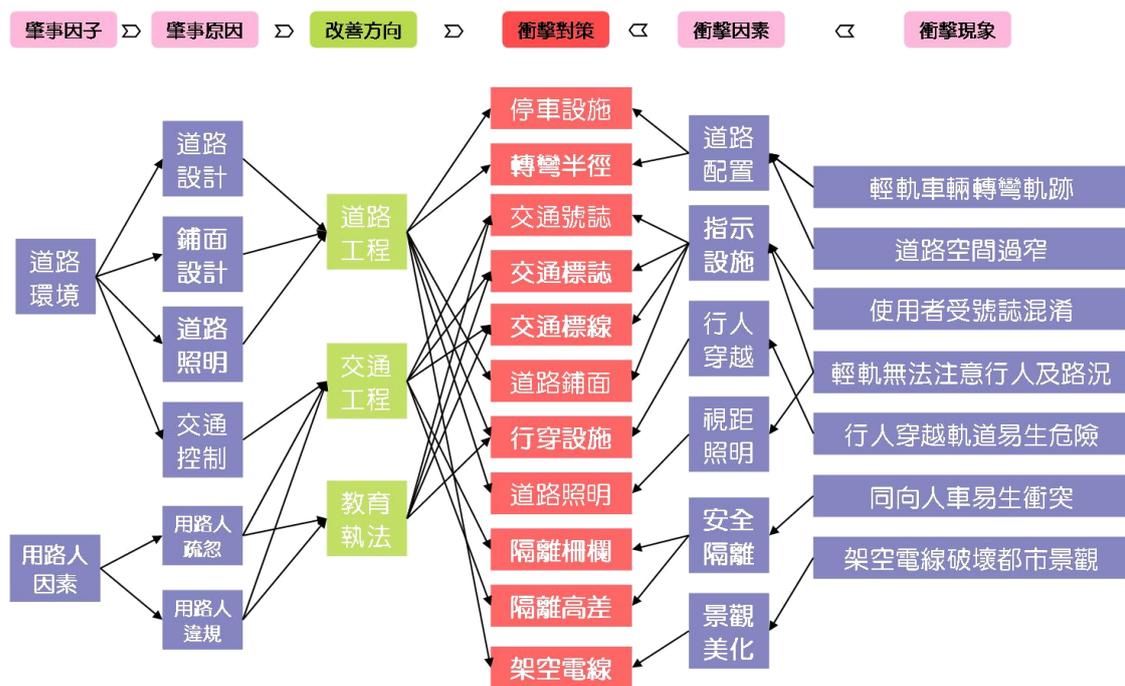
資料來源：[17]

圖 4-5 高架車站行人穿越規劃範例

## 4.3 平面輕軌安全配套措施

### 一、交通管理措施規劃原則

輕軌運輸系統在許多國家已運行多年且肇事率相當低，相較於一般車輛屬較安全之運具，臺灣地區目前僅有淡海輕軌及高雄環狀輕軌系統引進正式營運，對於民眾而言仍較為陌生，加上臺灣特殊之交通環境（機車數量多、民眾守法態度差異大），輕軌勢必會對現有之交通環境產生影響，因此必須採取適當之因應對策。為因應平面輕軌系統之引進，國內相關研究已針對可能之肇事因子檢討其原因，再由不同的改善方向建議衝擊對策，或直接由衝擊對象了解其衝擊因素研擬其減輕對策，如圖 4-6 所示。



資料來源：[17]

圖 4-6 輕軌平面路權交通衝擊暨因應對策

### 二、交通管理配套措施

由於輕軌運輸系統對於民眾而言屬於一種新型的大眾運輸系統，其營運方式與捷運及公車系統有所不同；就現階段一般民眾對輕

軌運輸系統認知的不足，對未來輕軌運輸系統的引進營運勢必會造成安全的顧慮及執法上的困難；故為有效因應，除了於規劃設計及興建階段利用工程手法避免可能發生的意外外，人為的因素則需要同時配合教育及宣導，加強大眾對輕軌運輸系統的明確認知，同時能守法並遵守交通安全，並配合執法才能真正降低交通事故發生的機會，至於相關交通管理配套措施可以：評估(Evaluation)、工程(Engineering)、教育(Education)、執法(Enforcement)、鼓勵(Encouragement)等 5E 的方法來推動。

#### 4.4 C 型路權施工期間與營運交通安全策略

有鑑於淡海輕軌系統之藍海線於淡水老街路段將以 C 型路權布設，故謹參考「淡海輕軌運輸系統綜合規劃(核定本)」之規劃內容，針對淡水老街 C 型路權施工期間與營運交通安全策略進行說明。

##### 一、施工期間

為減輕老街於輕軌施工階段交通衝擊，採取以下措施：(一)避免道路封閉區間過長，採分段施工；(二)採預鑄工法，縮短工期與減少施工範圍，降低施工對民眾之影響；(三)老街機車停車供給轉移至周邊機車停車場(淡水區公所陸續完成機車停車場有中山市場機車停車場、中正觀光市場機車停車場之興建、目前興建的還有文化自行車暨機車停車場)；(四)規劃替代動線；(五)維持人行道通行。

老街 C 型路權路段將採分段施工，施工前、後道路斷面如圖 4-7 所示。

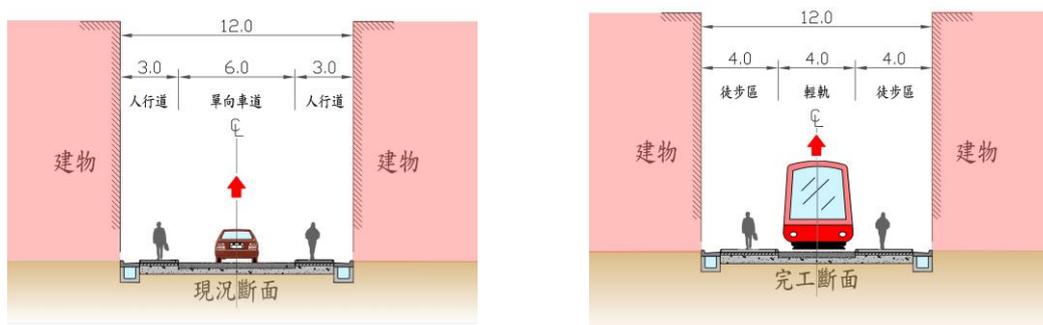


圖 4-7 老街 C 型路權施工前、後道路斷面

另於輕軌設施施工，於開挖道路施工期間，工區應設置足夠之安全設施，並配合相關管制措施，以保護用路人及施工人員之安全。實施原則如下：

- (一) 設置適當工區漸變段及相關安全警示設施，以標誌指引車輛於施工區域減速慢行，並隨時配合交通疏導計畫。
- (二) 於適當路段標示改道路線，加強維護相關之標誌及燈示，在可能瓶頸路段尖峰時段，加派交通人員協助維持秩序。
- (三) 協調警察單位重點維護施工路段之行車秩序。
- (四) 人行穿越量高的路口及路段，留設臨時人行通道，並加設護欄或圍籬與車道區隔，以保護行人安全。

## 二、營運交通安全策略

淡水老街 C 型路權營運交通安全策略實施對象分為道路設施、輕軌列車、行人三類，相關策略與說明彙整如下表 4.1。

表 4.1 淡水老街 C 型路權營運交通安全策略

對象	項目	策略與說明
道路設施	道路設計	<ul style="list-style-type: none"> <li>應考慮減少道路及軌道面上之平縱面線型之死角，盡可能加大可視距離。</li> </ul>
	鋪面設計	<ul style="list-style-type: none"> <li>應考慮在軌道行駛包絡線及其範圍外，利用不同鋪面材質、顏色、高差等方式區隔，提醒用路人輕軌行車空間。</li> </ul>
	標誌標線	<ul style="list-style-type: none"> <li>道路標線可考慮加繪提示輕軌列車軌道區域之標示及設置行人徒步區標示牌、輕軌速限標示牌等，提醒輕軌列車減速慢行。</li> </ul>
	道路照明	<ul style="list-style-type: none"> <li>道路照明應保持在夜間有良好之可視距離及亮度。</li> <li>考慮在路面上、列車行駛包絡線上設置嵌地式燈具，明確標示列車影響之範圍，並配合適當燈具自動控制系統，於列車靠近時主動啟動。</li> </ul>
輕軌列車	列車速率	<ul style="list-style-type: none"> <li>一般在 C 型路權上行駛之列車時速將不得高於 30 公里/小時，並以 20 公里/小時及以下速率行駛為原則，保持在隨時可以即時煞停的安全車速，以避免事故的發生或降低事故的傷害。</li> </ul>
	列車設計	<ul style="list-style-type: none"> <li>列車設計應考量減少駕駛員之視線死角並加強安全設計(如防捲入設施等)。</li> <li>列車警示聲響及燈光設施應為必須之配備，用以提醒行人、車輛列車之靠近。</li> </ul>
	列車駕駛訓練	<ul style="list-style-type: none"> <li>輕軌駕駛於訓練養成過程中，應培養於 C 型路權行駛時應注意之事項、行駛過程之標準程序(如注意前後及兩側軌道及包絡線區域清空狀況、鳴笛及燈光操作、行駛速率限制及緊急事故處理方式等)。</li> </ul>
行人	教育宣導	<ul style="list-style-type: none"> <li>利用學校及社會教育方式，加強及提升對於輕軌系統的了解及交通安全的遵守，教育策略包括：                             <ul style="list-style-type: none"> <li>加強學校教育，加強學生之輕軌安全之觀念。</li> <li>以透過宣導活動、發放宣導手冊及電視電臺網路社群等多媒體方式，提升民眾對於輕軌之了解。</li> <li>於汽、機車考照制度中加入對於輕軌車輛及其標誌標線之認識；並開設道路安全講習，強調對違規駕駛人之再教育，未來引進輕軌系統。</li> <li>對於外來遊客/民眾的教育部分，應於主要進出車站置放多國語言之安全宣傳資料、不定時廣播或利用各種媒體之管道宣導輕軌運輸系統之觀念及安全規範。</li> </ul> </li> </ul>
	執法勸導	<ul style="list-style-type: none"> <li>行人的違規主要有於列車到達前強行穿越軌道或逗留與軌道區域內，其他則有占用軌道區域從事非行人行為(如攤販)而導致衝突，執法策略包括：                             <ul style="list-style-type: none"> <li>輕軌引進時，可考慮設置輕軌專屬警察機關，以維用路及軌道安全。</li> <li>輕軌經過的平面路口、路段，必須加強警力，並引進先進執法設備，協助執法。</li> <li>執法初期以宣導代替裁罰以使民眾習慣，但於嚴重違規或宣導期過後應加強執法、加重罰則，以維用路人之安全。</li> </ul> </li> </ul>

## 第五章 影響平面輕軌容量之因素分析

為因應政府前瞻基礎建設計畫將於各都會區規劃推動輕軌運輸系統，國內需要一套評估輕軌系統運能的方法，在規劃階段能確保未來系統可在最經濟的條件下提供符合預期品質的運輸服務，在營運階段可協助營運單位掌握其系統運能使用狀況。本所於 108-109 年度已分別完成「輕軌系統容量分析暨應用研究(1/2)-A、B 型路權容量模式構建」<sup>[18]</sup>及「輕軌系統容量分析暨應用研究(2/2)-A、B 型路權容量及可靠度分析」<sup>[19]</sup>研究案，因此，本章除就前述本所二年度研究案摘述 A、B 型路權輕軌容量之重要成果，亦將另蒐集 C 型路權輕軌容量之相關研究，以分析釐清影響平面 B、C 型路權輕軌容量之因素，俾做為後續推動之參考。

### 5.1 A、B 型路權輕軌容量之分析方法及應用

本節首先說明 A、B 型路權輕軌容量分析模式的假設條件和基本概念，再依序介紹安全時距與運轉寬裕時間的計算，最後提出輕軌系統路線容量的整體分析程序。

#### 一、假設條件

本模式係根據國內輕軌運輸系統之特性所發展，然而輕軌系統具有因地制宜的彈性，上述研究難以完全涵蓋，因此有以下假設條件：(1)僅考慮 A 型和 B 型路權；(2)A 型路權之路線與外界完全立體分隔，列車運行不受其他公路交通的影響；(3)B 型路權之路線僅有縱向專有路權，當列車運行至公路交叉路口處時會受到路口號誌影響；(4)路線及車站於上、下行方向各別僅有一股軌道，採用複線運轉；(5)採用性能完全相同或相近的列車來營運，列車的加減速、運轉速度沒有差異；(6)列車皆採用每站皆停的營運模式，沒有追越待避的行為；(7)列車由駕駛員手動/目視駕駛控制（Manual/Visual Driver Control），沒有閉塞號誌系統。

## 二、基本概念

容量為評估鐵道系統運輸能力最常使用且最具代表性的指標，其一般計算式如下，即每小時通過某一空間參考點的列車數。

$$C = \frac{3600}{h} \quad (1)$$

式中：

- $C$ ：路線容量（列車/小時）
- $h$ ：最小運轉時隔（秒）

由於輕軌列車均通過路線上每一個空間參考點，因此在計算路線上每一空間參考點之容量後，其中最瓶頸處便決定了整條路線的容量。此種概念可以用輸水管來比喻，若將鐵路路線想像成一條輸水管的話，以圖 5-1 為例，「空間參考點 D」為最瓶頸的地方，決定了整條水管的流量，也就是整條路線之容量。

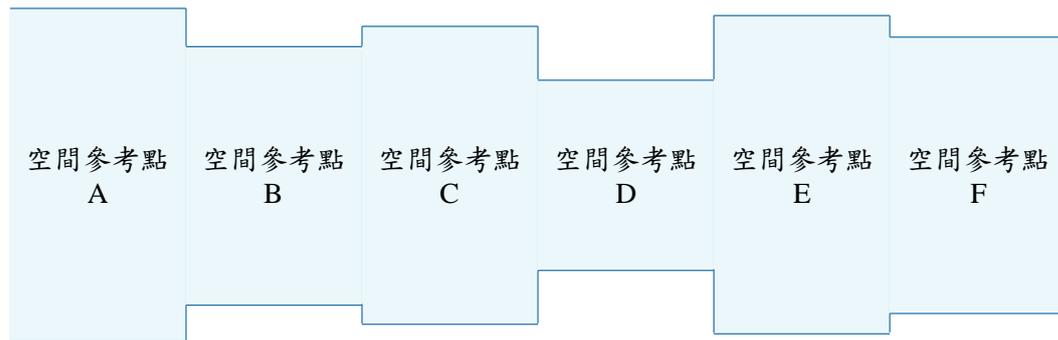


圖 5-1 路線容量示意圖

在公式(1)中，最小運轉時隔可分為安全時距和運轉寬裕時間兩個部分，如下式，其中安全時距的計算上須滿足特定的運轉條件，同時也受到空間參考點類型的影響。

$$h = T_s + t_m \quad (2)$$

式中：

- $T_s$ ：安全時距（秒）
- $t_m$ ：運轉寬裕時間（秒）

在運轉條件方面，由於容量分析主要在計算鐵道系統的實用容量（Practical Capacity），係指系統在正常營運條件下所能提供的運能，

因此計算安全時距所要滿足的特定運轉條件即為系統正常營運的狀態。然而，輕軌系統不像傳統鐵路和捷運系統有閉塞制度，故本模式在計算輕軌的實用容量時，將正常營運條件界定為：「列車在不受其先行列車的影響下運行，且要考量路口號誌影響及運轉寬裕」。

在此運轉條件下，表示續行列車必須與先行列車保持足夠的距離，即便先行列車停靠車站載客或停等路口紅燈，也不會導致續行列車為了避免撞上先行列車，而必須減速甚至停等於先行列車之後。若以列車運行時空圖來說明此情況，圖 5-2 (a) 為 A 型路權的例子，續行列車必須在先行列車離開車站後才能進入車站；圖 5-2 (b) 則以 B 型路權近端設站為例，當先行列車因路口紅燈而在車站內停等更長時間時，續行列車也必須延後到達車站，不得跟在先行列車後面排隊進站。

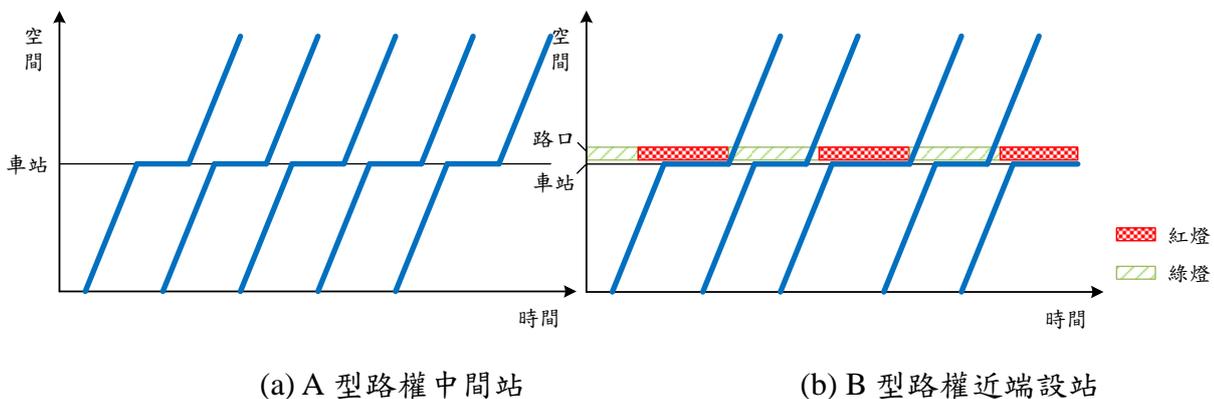


圖 5-2 輕軌正常營運條件示意圖

至於在空間參考點方面，主要考量潛在的容量瓶頸處，包含 A 型路權的中間站、折返站，以及 B 型路權的路口、近端和遠端設站等類型。有關各種空間參考點之安全時距與運轉寬裕時間的計算，將說明於後續小節。

### 三、安全時距的計算

安全時距係指在正常營運條件下，兩連續列車運行時所需保持的最小時間間隔，與空間參考點的類型有關。在 A 型路權的輕軌系統中，可根據列車運轉規則來計算最小安全時距；在 B 型路權中，則需額外考量路口號誌的影響來計算平均安全時距，下面就 A 型路權和 B 型路權的安全時距計算做進一步說明。

### (一) A 型路權的安全時距

在 A 型路權的輕軌系統中，瓶頸可能發生在中間站和折返站，其中折返站又分為使用同股道折返和交替使用不同股道折返兩種，其安全時距計算方式如下。

#### 1. 中間站

輕軌系統中間車站在單一方向通常只有一股軌道，如圖 5-3，續行列車必須在先行列車已經離開月臺後才能進入車站。



圖 5-3 中間站軌道配置示意圖

由於輕軌並沒有閉塞號誌系統的輔助來分隔列車，僅靠司機員目視駕駛的情況下，若要續行列車在不受先行列車影響的前提下進出車站，則先行列車在開始啟動離開車站時，續行列車須恰好運行到與先行列車保持一個安全煞車距離加上寬裕距離的位置，如此續行列車才不會與先行列車距離太近而被迫煞車，如圖 5-4 所示，此時兩列車方能在符合正常營運條件下，達到最小的運轉時間間隔。而中間站的安全時距即為從先行列車離開車站，直到續行列車離開車站所經歷的時間，其計算公式為

$$T_m = t_v + t_b + t_d = \frac{s_m + L}{v_i} + \frac{v_i}{K_b b} + t_d \quad (3)$$

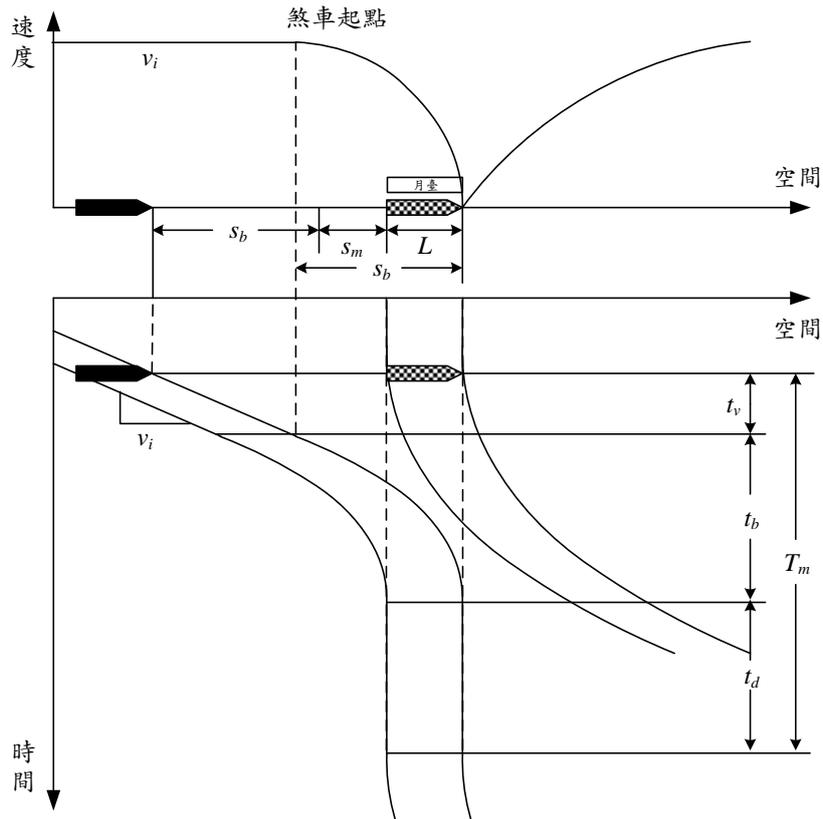


圖 5-4 中間站之安全時距

## 2. 折返站

本模式所探討的折返站軌道配置如圖 5-5，列車能使用同一股道來折返，或交替使用兩股道來折返。

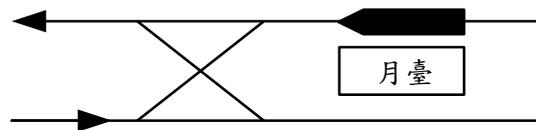


圖 5-5 折返站軌道配置示意圖

當列車使用同一股道進行折返時，續行列車可以進站的必要條件是先行列車已經離開車站、通過橫渡線區，並且重設橫渡線路徑之後，方能進入車站。以圖 5-6 為例，假設列車在末端站僅使用月臺上方的軌道折返，亦即橫渡線 2-3 不使用，僅使用 1-4 的橫渡線。若一開始有一列車停靠在月臺上方之軌道且橫渡線鎖定在 1→3 路徑，接著列車從靜止加速離開車站，當其車尾通過橫渡線區後，續行列車恰

好運行至能重新設定橫渡線路徑的位置，此時兩列車能在符合正常營運條件下，達到最小的運轉時間間隔。而列車以同一股道進行折返的安全時距是從先行列車離開折返站，直到續行列車離開折返站所經歷的時間，其安全時距的計算公式又根據先行列車車尾通過橫渡線區時，是否已經加速至巡航速度而分為兩種情況：

(1) 先行列車在車尾通過橫渡線區之前已加速至巡航速度

$$T_{t,F1} = \frac{v_o}{2K_a a} + \frac{s_p + s_c + L}{v_o} + \frac{d_t}{v_i} + \frac{v_i}{2K_b b} + \frac{s_c + s_p + L}{v_c} + \frac{v_c}{2K_b b} \left( \frac{v_c}{v_i} - 1 \right) + t_d \quad (4)$$

(2) 先行列車車尾通過橫渡線區時都還未加速至巡航速度

$$T_{t,F1} = \sqrt{\frac{2(s_p + s_c + L)}{K_a a}} + \frac{d_t}{v_i} + \frac{v_i}{2K_b b} + \frac{s_c + s_p + L}{v_c} + \frac{v_c}{2K_b b} \left( \frac{v_c}{v_i} - 1 \right) + t_d \quad (5)$$

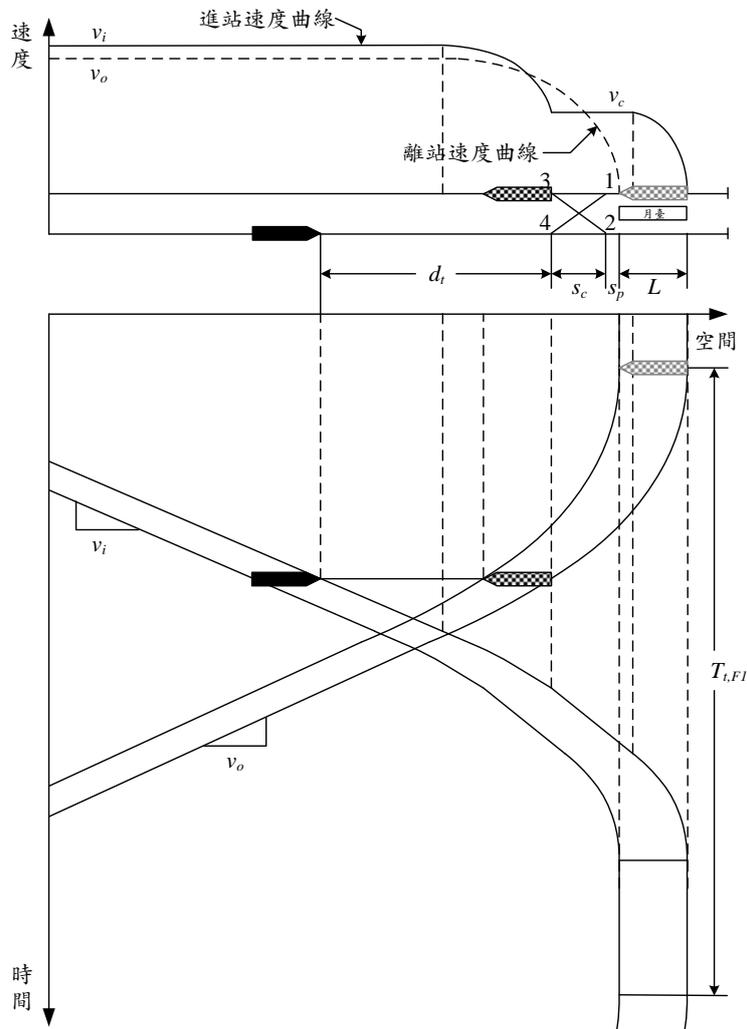


圖 5-6 使用同一股道折返的安全時距

當列車使用兩不同股道進行折返時，以圖5-7 為例，假設已有一列車停靠在月臺下方的軌道，當第二列車抵達時，可將橫渡線鎖定在4→1 的路徑讓列車進站。在第二列車車尾通過橫渡線區後，橫渡線將重新設定在 2→3 的路徑，讓原先停靠在月臺下方軌道的第一列車離開車站。當第一列車車尾通過橫渡線區後，第三列車即可重新橫渡線路徑進入車站。上述過程中，第三列車進入車站的時間受到第一列車離站時間的影響，而第一列車的離站時間又與第二列車通過橫渡線的時間有關，而安全時距的計算係以列車在末端站的時間為基準，以第三列車與第二列車到達末端站的時間間隔，做為列車在折返站交替使用不同股道折返的安全時距，其計算式會根據列車直行橫渡線區是否有速度限制，而分為兩種情況：

(1) 沒有直行橫渡線區的限速

$$T_{t,F2} = t_i + \frac{v_c}{2K_a a} + \frac{s_p + s_c + L}{v_c} + \frac{d_t + s_c + s_p + L}{v_i} + \frac{v_i}{2K_b b} - \sqrt{\frac{2s_p}{K_b b}} \quad (6)$$

(2) 有直行橫渡線區的限速

$$T_{t,F2} = t_i + \frac{v_c}{2K_a a} + \frac{s_p + s_c + L}{v_c} + \frac{d_t}{v_i} + \frac{v_i}{2K_b b} + \frac{s_c + s_p + L}{v_{cs}} + \frac{v_{cs}}{2K_b b} \left( \frac{v_{cs}}{v_i} - 1 \right) - \sqrt{\frac{2s_p}{K_b b}} \quad (7)$$

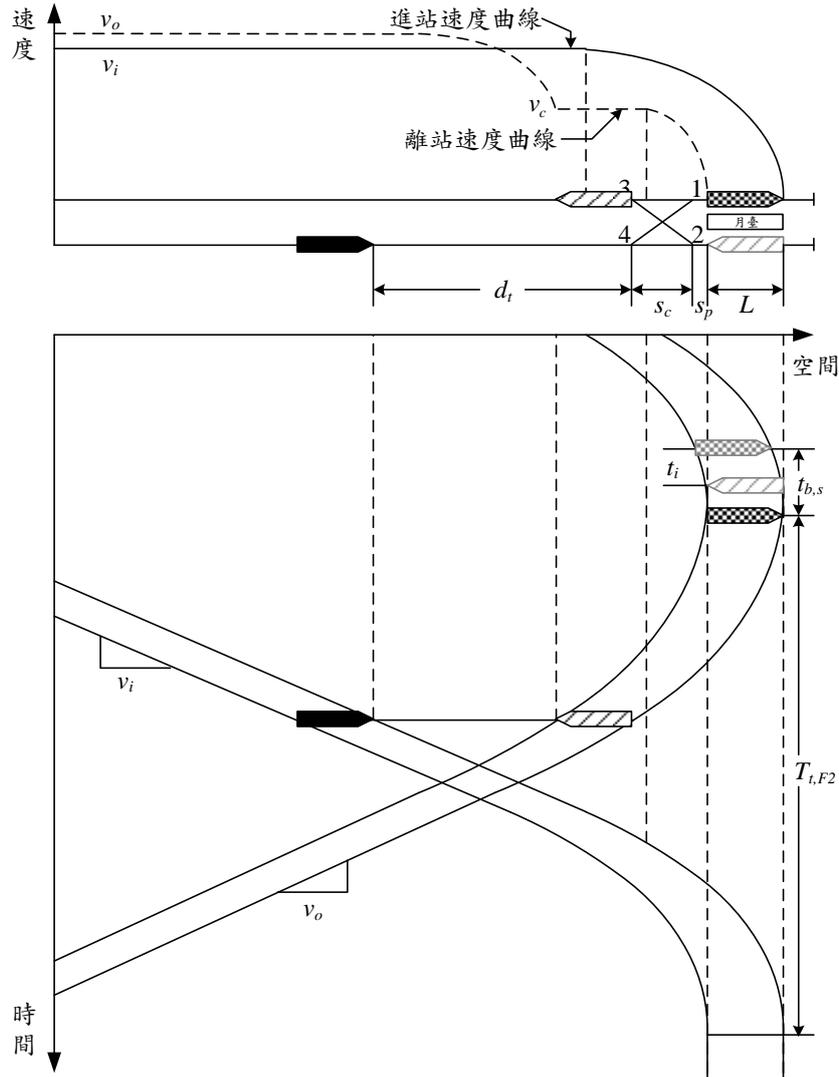


圖 5-7 使用不同股道折返的安全時距

## (二) B 型路權的安全時距

在 B 型路權裡，容量瓶頸可能發生處為路口、近端設站和遠端設站。在滿足正常營運條件下，加上路口號誌的影響，列車運轉會反覆出現固定的運行型態，如圖5-8 所示，無論在路口、近端設站或遠端設站，經觀察都可以發現：「從一列停等紅燈的列車開始，後續各列車的運行形態會在當列車再碰到紅燈時重複。」

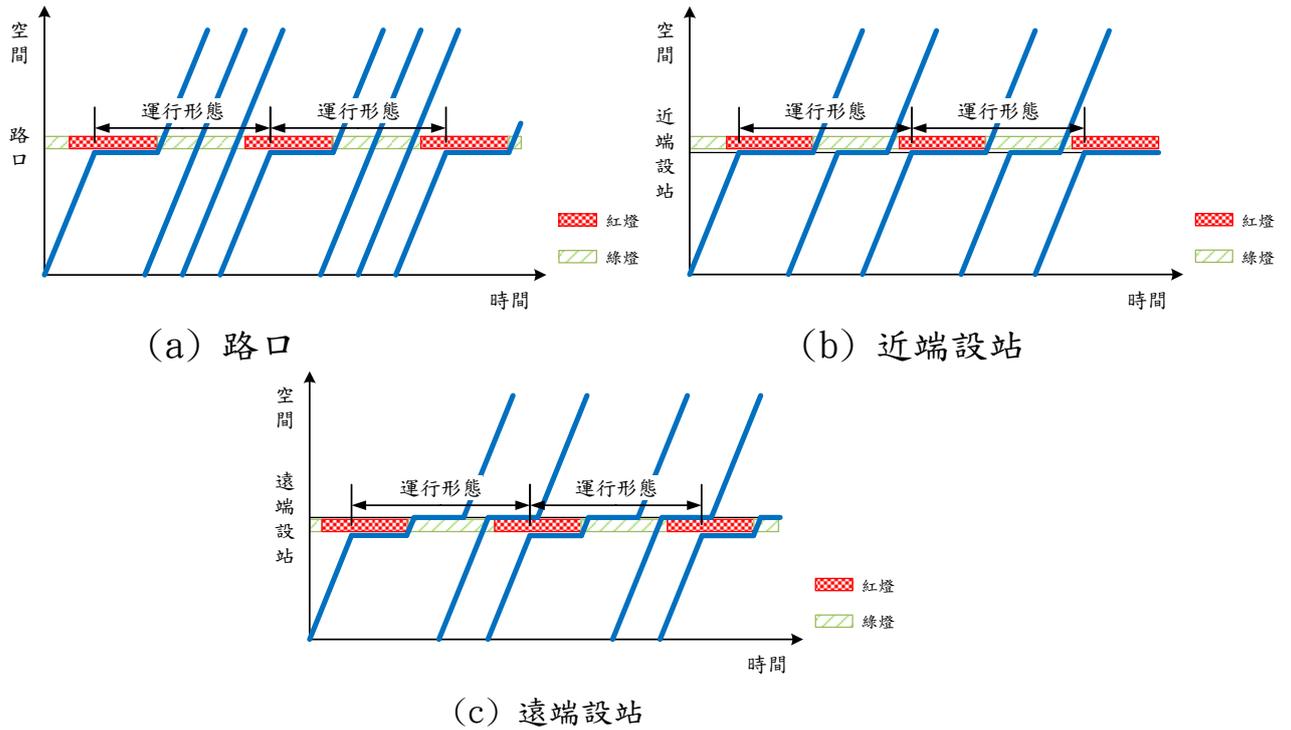


圖 5-8 路口號誌影響列車運行型態示意圖

根據上述特性，可從一列車停等紅燈開始計算路口號誌週期的個數與續行列車的數量，直到再有列車停等紅燈為止，若此期間內共歷經  $m$  個路口號誌週期，並有  $n$  列車通過，如圖 5-9 所示，則平均安全時距可由下式來計算，其中  $m$ 、 $n$  則依空間參考點須滿足不同的條件，如表 5.1 所示， $m$ 、 $n$  為滿足條件的最小正整數。此外，遠端設站有個例外情況，當  $t_d + t_{DA}$  可以被  $G + R$  整除時，即  $(t_d + t_{DA}) \bmod (G + R) = 0$ ，且  $t_{RA} < G$ ，則平均安全時距為  $\bar{T}_s = t_{DA} + t_d$ 。

$$\bar{T}_s = \frac{m(G + R)}{n} \quad (8)$$

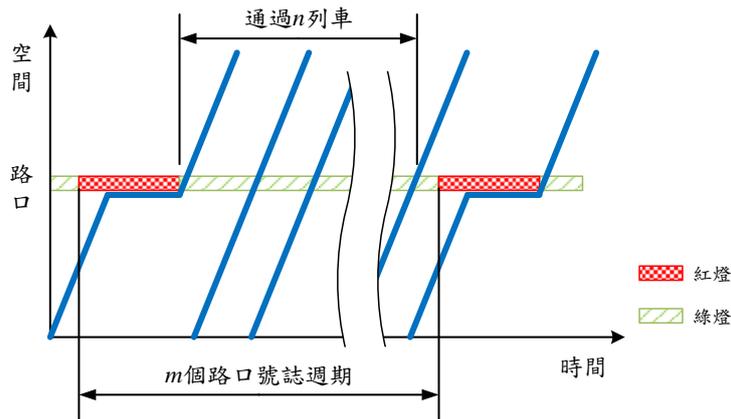


圖 5-9 計算路口號誌週期個數與列車數

表 5.1 滿足條件彙整表

空間參考點	$m$ 和 $n$ 的滿足條件
路口	$m(G + R) - R \leq t_{DP} + (n - 1)t_{PP} < m(G + R)$
近端設站	$m(G + R) - R \leq n(t_{DA} + t_d) < m(G + R)$
遠端設站	$m(G + R) - R - t_{DA} \leq t_{RA} + t_d + (n - 1)(t_{DA} + t_d) < m(G + R)$

而針對 $t_{DP}$ 、 $t_{PP}$ 、 $t_{DA}$ 和 $t_{RA}$ 等變數的計算方式，分別說明如下：

1. 先行列車從靜止啟動通過路口至續行列車通過路口所須保持時距

先行列車在路口處因路口號誌而停車，當號誌由紅燈轉為綠燈時，先行列車便從靜止開始啟動，而續行列車持續以巡航速度前進，此時由於先行列車處於加速階段，續行列車會逐漸接近先行列車，而當先行列車加速達到巡航速度時，兩列車仍要保持安全煞車距離加上寬裕距離，如圖 5-10 所示。根據此情況，可推導出先行車從靜止啟動通過路口至續行車通過路口所須的時間為

$$t_{DP} = \frac{v_o}{K_a a} + \frac{s_b + s_m + L - \frac{v_o^2}{2K_a a}}{v_i} = \frac{v_o}{K_a a} + \frac{s_m + L}{v_i} + \frac{v_i}{2K_b b} - \frac{v_o^2}{2K_a a v_i} \quad (9)$$

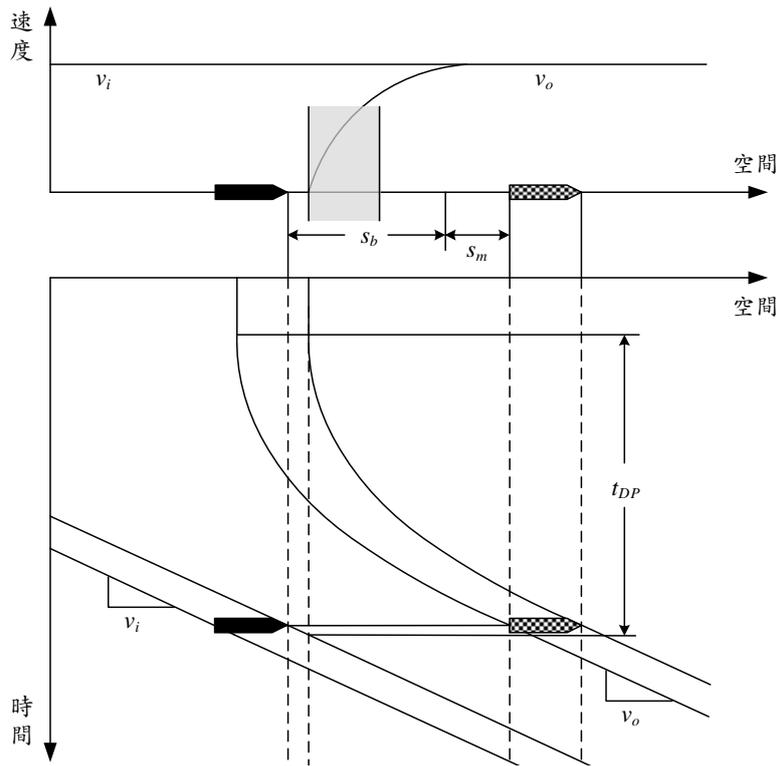


圖 5-10 先行列車從靜止啟動通過路口至續行列車通過路口所須保持的時距

## 2. 兩列車連續通過路口所須保持的時距

當路口號誌為綠燈時，連續兩列車通過路口需保持安全煞車距離加上寬裕距離，如圖 5-11 所示，因此當先行列車通過路口後直到續行列車再通過路口所需經歷的時間，便是兩列車連續通過路口所須保持的時距，其計算公式為

$$t_{PP} = \frac{s_b + s_m + L}{v_i} = \frac{v_i}{2K_b b} + \frac{s_m + L}{v_i} \quad (10)$$

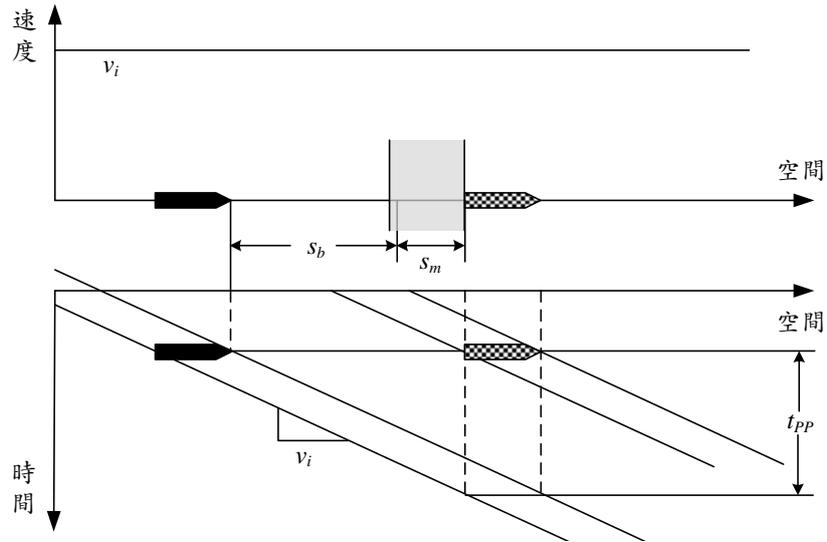


圖 5-11 兩列車連續通過路口所須保持的時距

### 3. 先行列車離開車站至續行列車到達車站所須保持的時距

當車站設在路口近端，列車會於車站內停等至路口號誌轉為綠燈後，才會開始啟動離開車站，此時若續行列車恰好運行到與先行列車保持一個安全煞車距離加上寬裕距離的位置，如圖 5-12 所示，續行列車便不會受到先行列車影響被迫煞車，而能在符合正常營運條件下進入車站。和圖 5-4 相比，從先行列車離開車站至續行列車到達車站所經歷的時間，其實就是 A 型路權中間站的安全時距減去停站時間，計算公式如下：

$$t_{DA} = t_v + t_b = \frac{s_m + L}{v} + \frac{v}{K_b b} \quad (11)$$

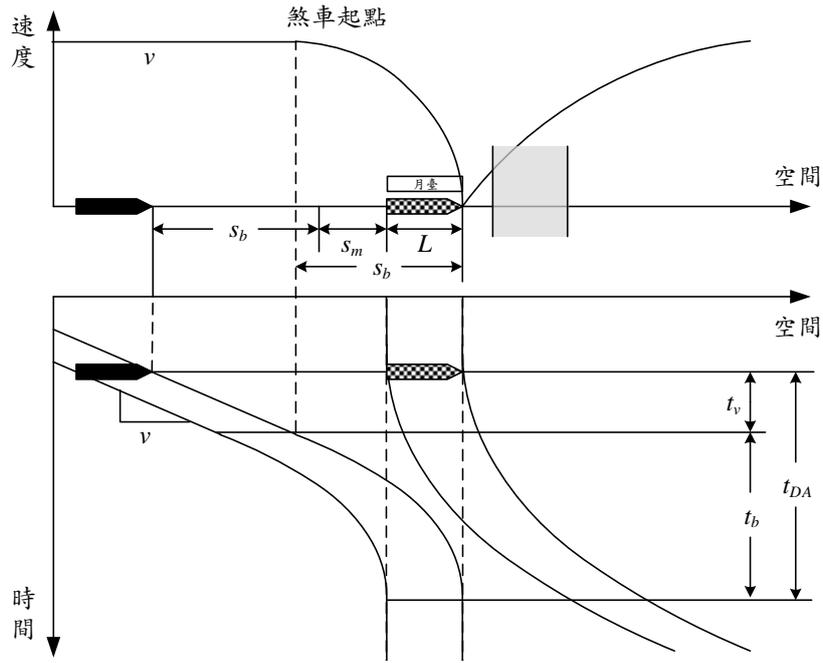


圖 5-12 先行車離開車站至續行車到達車站所須保持的時距

#### 4. 列車停等紅燈後行駛至車站所經歷的時間

當車站設在路口遠端，列車可於路口停等直到號誌轉為綠燈後，再啟動進入車站，如圖 5-13 所示，若路口寬度不大，且離車站不遠，則運轉過程只有加速和減速運轉兩部分，否則可能會受到路線限速的影響，因此列車停等紅燈後行駛至車站所經歷的時間，其計算方式有下列兩種情況

(1) 不受路線限速影響

$$t_{RA} = \frac{v_m}{K_a a} + \frac{v_m}{K_b b} = \sqrt{\frac{2K_b b(s_{int} + s_{si} + L)}{K_a a(K_a a + K_b b)}} + \sqrt{\frac{2K_a a(s_{int} + s_{si} + L)}{K_b b(K_a a + K_b b)}} \quad (12)$$

(2) 受路線限速影響

$$t_{RA} = \frac{v_l}{K_a a} + \frac{s_{int} + s_{si} + L - \frac{v_l^2}{2K_a a} - \frac{v_l^2}{2K_b b}}{v_l} + \frac{v_l}{K_b b} = \frac{s_{int} + s_{si} + L}{v_l} + \frac{v_l}{2K_a a} + \frac{v_l}{2K_b b} \quad (13)$$

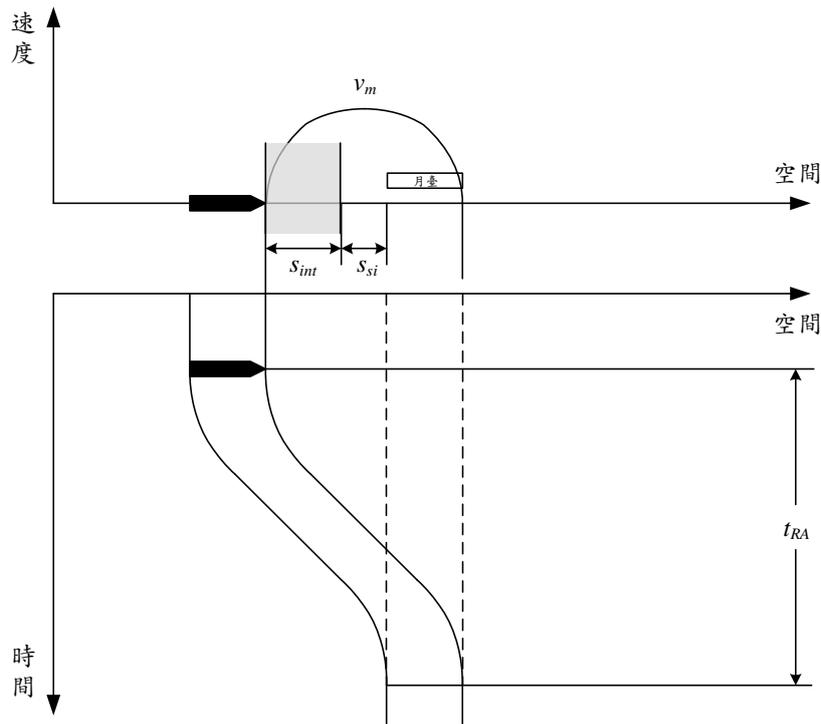


圖 5-13 列車停等紅燈後行駛至車站所經歷的時間

#### 四、運轉寬裕時間的計算

由於列車在實際運轉的過程中含有許多隨機程序（Stochastic Process），通常不可能百分之百精準地依預定的計畫來運作，因此列車的運轉時隔必須加計運轉寬裕時間，以備列車因故延誤時有趕點的空間。

運轉寬裕時間的設定關係到營運計畫的彈性調整與營運準點的服務水準，是一體兩面的問題，當寬裕時間愈少，所計算出的容量愈高，單位時間內能提供較多的班次，但可能造成列車的準點率低；反之，寬裕時間愈多，容量愈小，雖然能提供的班次較少，但列車服務愈可靠。

本研究認為當安全時距愈大時，其產生的變異也愈大，因此運轉寬裕時間應與安全時距呈一定的比例，亦即

$$t_m = \beta T_s \quad (14)$$

式中：

$\beta$ ：運轉寬裕時間係數

## 五、整體分析程序

綜整輕軌運輸系統容量分析的計算程序，各項步驟說明如下：

### 1. 步驟一：找出潛在容量瓶頸處

輕軌系統的路線瓶頸可能發生在最繁忙的車站，或橫渡線布設位置不佳的折返站，或是紅燈時間太長的路口，需視個案而定。當無法確知路線的瓶頸點時，可先找出所有可能的瓶頸點逐一計算其路線容量，其中最小者則為整條路線之瓶頸，其容量值代表整條路線的容量。

### 2. 步驟二：計算安全時距

根據空間參考點的形式，從前節中選擇相對應的公式計算安全時距。

### 3. 步驟三：計算運轉寬裕時間

把步驟二計算而得的安全時距，透過公式(14)來計算運轉寬裕時間。

### 4. 步驟四：計算最小運轉時隔

將上述計算所得之安全時距和運轉寬裕時間，以公式(2)來計算最小運轉時隔。

### 5. 步驟五：計算路線容量

以 1 小時(3600 秒)除以最小運轉時隔即為路線容量，如公式(1)。

## 六、B 型路權輕軌容量案例分析

本研究以國內淡海輕軌綠山線為案例，分析其目前容量表現情形，並透過敏感度分析作進一步探討。

### (一)分析對象

淡海輕軌為北臺灣第一條完工營運的輕軌運輸系統，其路網如圖 5-14 所示，從紅樹林站開始，沿中正東路北行，轉至淡金路（台 2 線）續往北，再轉淡海新市鎮之濱海路往西，至沙崙路轉往北至淡海新市鎮第一期第一開發區之北緣、崁頂站止。全線均為 1435mm 標準

軌，採複線運轉，一般以架空線方式供電，僅於濱海路、沙崙路路口以車載電池供電。



資料來源：新北市政府捷運工程局（2019）

圖 5-14 淡海輕軌第一期綠山線路網圖

綠山線全長約 7.3 公里，其中高架路段約 5.1 公里、平面約 2.2 公里，高架段為 A 型路權而平面段則為 B 型路權。沿線共設紅樹林、竿蓁林、淡金鄧公、淡江大學、淡金北新、新市一路，和淡水行政中心等七座高架車站，以及濱海義山、濱海沙崙、淡海新市鎮，和崁頂等四座平面車站，並有七處路口，其中三處設有車站，有關路權型式與車站型式整理如表 5.2。

表 5.2 案例分析範圍

名稱	路權型式	空間參考點類型	
		往炭頂	往紅樹林
紅樹林站	A 型	折返站—使用一股道進行折返	
竿蓁林站	A 型	中間站	中間站
淡金鄧公站	A 型	中間站	中間站
淡江大學站	A 型	中間站	中間站
淡金北新站	A 型	中間站	中間站
新市一路站	A 型	中間站	中間站
淡水行政中心站	A 型	中間站	中間站
濱海路-濱海路 306 巷路口	B 型	路口	路口
濱海義山站	B 型	遠端設站	近端設站
濱海路-濱海路 202 巷路口	B 型	路口	路口
濱海沙崙站	B 型	近端設站	遠端設站
沙崙路-新市二路路口	B 型	路口	路口
淡海新市鎮站	B 型	近端設站	遠端設站
沙崙路-新市五路路口	B 型	路口	路口
炭頂站	A 型*	折返站—使用一股道進行折返	

註：炭頂站雖處於 B 型路權的平面段，但因其折返過程不受路口號誌影響，在本研究中將其歸類為 A 型路權來計算容量。

淡海輕軌綠山線自 2018 年 12 月 23 日通車後，平時班距為 15 分鐘，尖峰時間班距調整至 10~12 分鐘一班，2019 年 7 月起平日晨峰更將最小班距縮短至 6 分鐘、中午 12:30 至 4:30 的觀光旅次需求高峰班距則縮短至 12 分鐘。隨著路網完整、旅次增加，未來營運班距可能還有縮短的必要，故藉此案例來了解綠山線的運能供給狀況。

## (二) 容量分析結果

透過輕軌系統容量分析模式計算後，得到結果如表 5.3，無論是往炭頂或者往紅樹林方向上，容量最低處皆發生在紅樹林站，其路線容量為平均每小時 10.27 列車，運轉時隔為 350.45 秒。而目前淡海輕軌最短班距為 6 分鐘（360 秒），顯示未來若要進一步縮短班距必須有所做為。此外，炭頂站以及往紅樹林站方向的濱海沙崙站也是潛在的容量瓶頸處，值得注意。

表 5.3 淡海輕軌綠山線容量分析結果

空間參考點	往炭頂		往紅樹林	
	運轉時隔 (秒)	路線容量 (列車/小時)	運轉時隔 (秒)	路線容量 (列車/小時)
<b>紅樹林站</b>	<b>350.45</b>	<b>10.27</b>	<b>350.45</b>	<b>10.27</b>
竿蓁林站	67.91	53.01	71.70	50.21
淡金鄧公站	67.91	53.01	67.91	53.01
淡江大學站	66.19	54.39	73.71	48.84
淡金北新站	67.91	53.01	64.66	55.67
新市一路站	64.66	55.67	71.70	50.21
淡水行政中心站	63.44	56.75	64.66	55.67
濱海路-濱海路 306 巷路口	29.25	123.08	29.25	123.08
濱海義山站	117.00	30.77	117.00	30.77
濱海路-濱海路 202 巷路口	29.25	123.08	29.25	123.08
濱海沙崙站	117.00	30.77	234.00	15.38
沙崙路-新市二路路口	29.25	123.08	29.25	123.08
淡海新市鎮站	117.00	30.77	117.00	30.77
沙崙路-新市五路路口	29.25	123.08	29.25	123.08
炭頂站	306.78	11.73	306.78	11.73

## 5.2 C 型路權輕軌容量之分析方法及應用

有關 C 型路權輕軌容量分析之相關文獻，少有以「容量」角度切入，目前國內外僅有國立臺灣大學土木工程學研究所交通工程組陳敬恆君之碩士論文—考量 C 型路權路段之輕軌容量模式研發<sup>[20]</sup>，係純粹以 C 型路權輕軌容量分析為主題所進行之研究，故本節將以陳君之研究說明其分析方法及應用。本節首先說明 C 型路權輕軌容量的特性與研究目標、影響 C 型路權輕軌容量的因素，接下則依序介紹容量分析模式及時隔計算方法論，最後則提出案例分析及比較結果。

### 一、C 型路權輕軌容量的特性與研究目標

輕軌運輸系統具有相當大的彈性，不同路段可採取不同路權型式，其中 C 型路權輕軌通常可和公路車流共享道路空間，彈性最大。

但由於輕軌以 C 型路權布設，必須同時考慮公路與輕軌之車輛特性，故其交通車流亦更為複雜。國內目前雖僅有規劃中的高雄輕軌二期、淡海輕軌二期將包含 C 型路權路段之輕軌系統，但在歐美國家 C 型路權輕軌系統布設之案例甚為普遍，故應及早掌握其容量分析方法，以應後續推動之需要。

輕軌容量之定義為：在特定運轉條件下、單位時間內可通過路線上特定點的最大輕軌列數，故該研究之目標在於建立 C 型路權輕軌的解析容量模式，考量之理論基礎在於：(1)路口號誌的影響；(2)紓解公路車流和輕軌列車的互動。

## 二、影響 C 型路權輕軌容量的因素

為利 C 型路權輕軌容量分析模式之構建，該研究主要考慮之影響 C 型路權輕軌容量的因素及相關內容計有：(1)道路環境因素：包括車站／路口幾何布設、車道特性；(2)交通與控制條件因素：包括路口號誌時制、輕軌停站時間、公路交通流量；(3)車輛運動特性因素：包括車隊紓解特性、輕軌加減速運動。

## 三、C 型路權輕軌容量分析模式及時隔計算方法論

該研究之目的即是計算在不同路線條件、交通條件及控制條件下 C 型路權輕軌系統之最小運轉時隔(Headway)，進而計算出其容量(列次/小時)。其容量分析模式係考量整條路線可能 3 個瓶頸點之容量，分別為：中間車站、號誌化路口車站、折返點。由文獻得知，輕軌路線容量瓶頸通常落在 C 型路段內的車站，故該研究即根據號誌路口、車站相對位置定義出三種類型車站(如圖 5-15 所示)：中間車站、號誌化路口近端車站(列車可同時停站、停等號誌)、號誌化路口遠端車站(可能停車兩次，一次停站一次停等號誌)，此外該研究模式亦先假設輕軌行駛單一車道，且該車道能行駛輕軌及小客車。

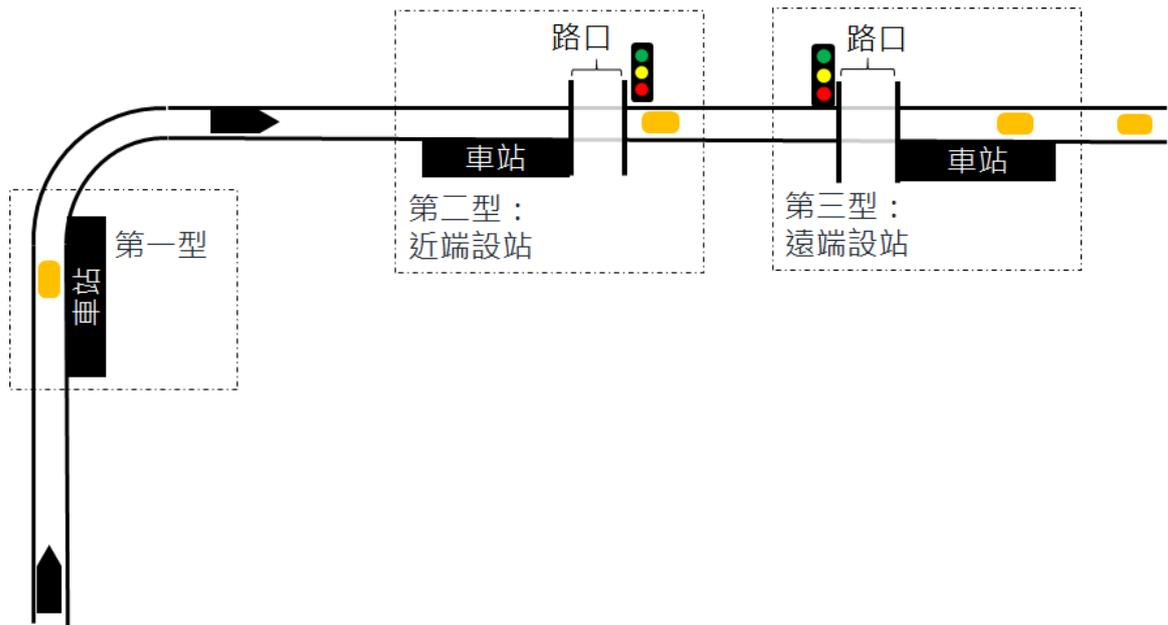


圖 5-15 潛在瓶頸三種類型車站型態

### (一) 容量模式輸入參數

#### 1. 道路環境

三種類型車站之車站和號誌路口關係，即距離、坡度等各項路線條件參數資料。

#### 2. 交通與控制條件

包括號誌化路口時制週期、輕軌停站時間、公路交通流量等參數資料。

#### 3. 車輛運動特性

包括車隊啟動損失時間、飽和紓解車距時隔  $S$ (秒)等參數資料。因該研究所定義之 C 型路權輕軌系統，係假設輕軌行駛於單一車道，該車道僅允許小客車行駛，故上述之車隊啟動損失時間包括：C 型輕軌車道上跟隨輕軌列車之小客車車隊紓解啟動損失時間  $t_{tc}$ (秒)、C 型輕軌車道上路口號誌轉綠燈之小客車車隊紓解啟動損失時間  $t_{rc}$ (秒)等 2 類。

## (二) 考量 3 種類型容量瓶頸分析模型

1. 中間車站：採用最小時隔公式分析容量。
2. 號誌化路口：分為近端車站及遠端車站 2 種，再依路口輕軌綠燈時相分為長綠燈與短綠燈 2 種，分析方法採用期望時隔分析流程。
3. 折返點：分為站前折返／單股、站前折返／雙股、站後折返／單股、站後折返／雙股等 4 種，採用最小時隔公式分析容量。

## (三) 中間車站時隔公式

中間車站輕軌系統之運轉時隔，其主要條件是通過中間車站之到達小客車流量＝通過小客車流量，即達到容量之上限，其容量時隔之時空運行圖如圖 5-16 所示，最小運轉時隔之計算如公式(15)所示。其中跟隨輕軌列車之小客車車隊紓解啟動損失時間  $t_{tc}$ (秒)，該研究係以案例現場調查資料結合車流模擬軟體 VISSIM 模擬校估而得。

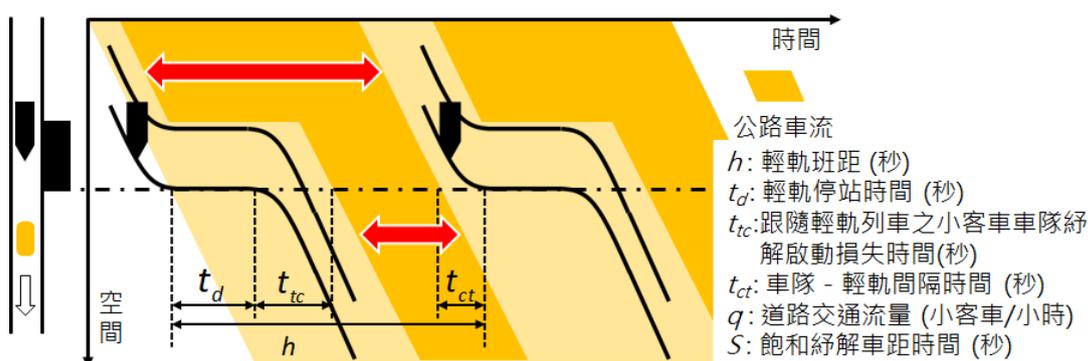


圖 5-16 C 型輕軌於中間車站容量時隔之時空運行圖

$$\begin{aligned}
 \text{到達小客車} &= q \times \frac{h}{3600} \\
 \text{通行小客車} &= \frac{h - t_d - t_{tc} - t_{ct}}{S} \\
 \frac{h - t_d - t_{tc} - t_{ct}}{S} &= q \times \frac{h_{\min}}{3600} \\
 h_{\min} &= \frac{3600 \cdot (t_{tc} + t_d + t_{ct})}{3600 - S \cdot q}
 \end{aligned} \tag{15}$$

## (四) 號誌化路口車站之容量時隔分析流程

號誌化路口車站之容量時隔之分析流程共分為 5 個步驟：(1)界

定系統「狀態」、各狀態時隔；(2)計算各狀態可通行小客車數臨界值；(3)計算小客車抵達機率分布；(4)計算各狀態機率；(5)計算期望時隔＝各狀態機率×各狀態時隔。至於號誌化路口車站之「狀態」概念，即為當車站受到號誌化路口影響，致車輛無法隨時進出車站，必須以「狀態」描述列車通過號誌化路口情形，則可依列車通過號誌化路口所需之週期數區分狀態，通過號誌化路口車站其容量時隔之時空運行圖及期望運轉時隔之計算則如圖 5-17 所示。

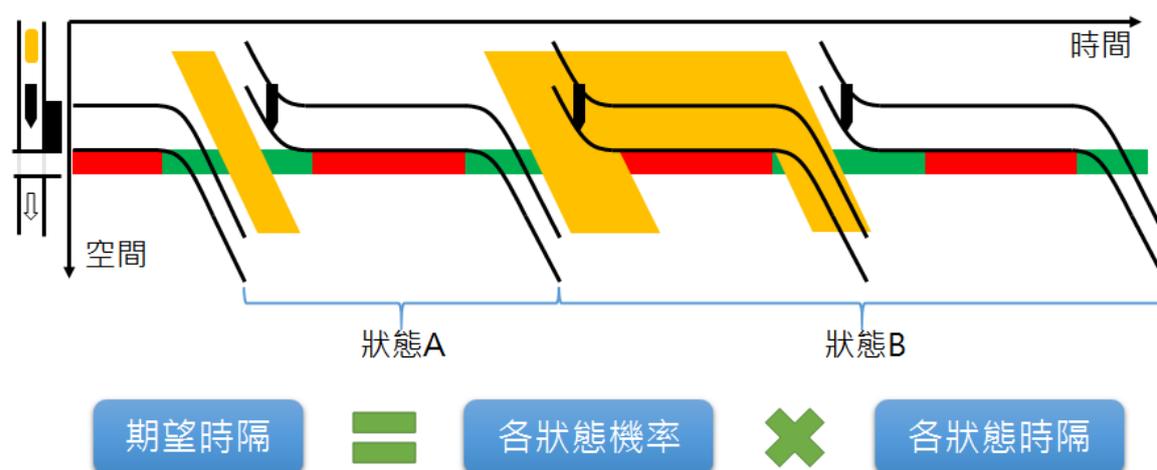


圖 5-17 C 型輕軌於號誌化路口車站容量時隔之時空運行圖

#### (五)號誌化路口車站之容量時隔分析步驟

1. 步驟一：界定系統各狀態下時隔及長、短綠燈每週期可通過輕軌數

首先仍需依循：計算期望時隔＝各狀態機率×各狀態時隔之公式，分別計算小客車抵達機率分布及機率，並界定出各狀態時隔，如圖 5-18 所示，及界定在無公路車流時每週期可通過輕軌數之狀態如圖 5-19。

有鑑於輕軌列車必須於路口號誌的綠燈時相才可通過號誌化路口車站，且考量輕軌列車之進站時間( $t_a$ )、停站時間( $t_d$ )及先行輕軌列車離站之號誌清除時間( $t_c$ , Clearing Time)等所需時間，依實務經驗號誌化路口之綠燈時相通常僅允許通過 1-2 列輕軌列車，故有關號誌化路口車站容量時隔則需依「短綠燈」及「長綠燈」二種狀態加以定義如下。

- (1)短綠燈狀態：1 個週期(綠燈時相)只能通過 1 列次輕軌，或  $\geq 2$  個週期才能過 1 列次輕軌，故短綠燈狀態時隔之計數單位為 1 週期，其狀態之定義為：需要  $n$  個週期才能使 1 列輕軌列車通過車站。例如：狀態  $n=1$  即代表 1 個週期通過 1 列次，時隔=1 週期/列次，若狀態  $n=2$  即代表 2 個週期通過 1 列次，時隔=2 週期/列次，餘類推。
- (2)長綠燈狀態：因允許 1 個週期(綠燈時相)最多能通過 2 列次輕軌，即長綠燈狀態之時隔計數單位為  $1/2$  週期，故狀態之定義為：需要  $n/2$  個週期才能使 2 列輕軌列車通過車站。例如：狀態  $n=2$  即代表  $2/2$  個週期通過 2 列次，時隔= $1/2$  週期/列次(亦即  $2/4$  週期/列次)，若狀態  $n=3$  即代表  $3/2$  個週期通過 2 列次，時隔= $3/4$  週期/列次，餘類推。

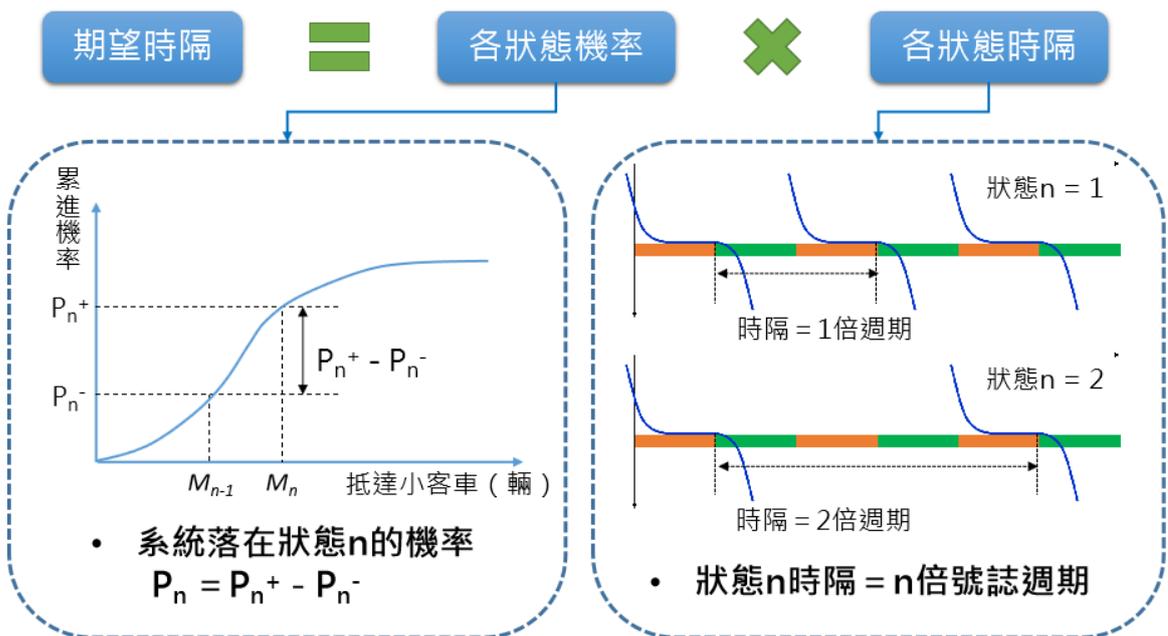


圖 5-18 界定系統各狀態下時隔

無公路車流時每週期可通過輕軌數

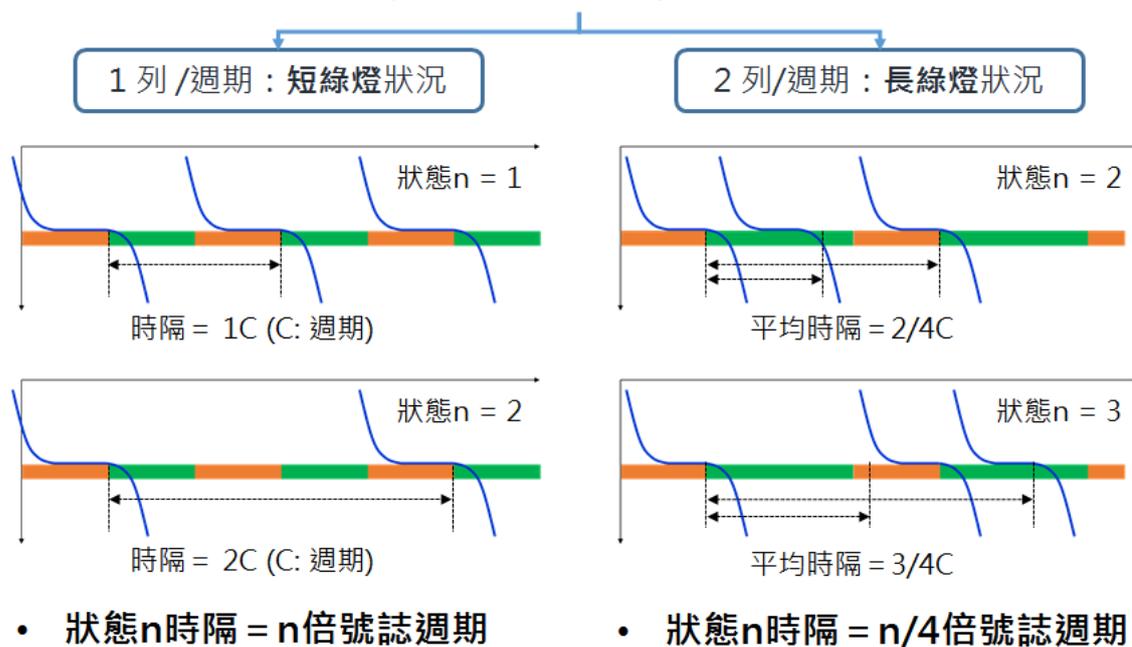
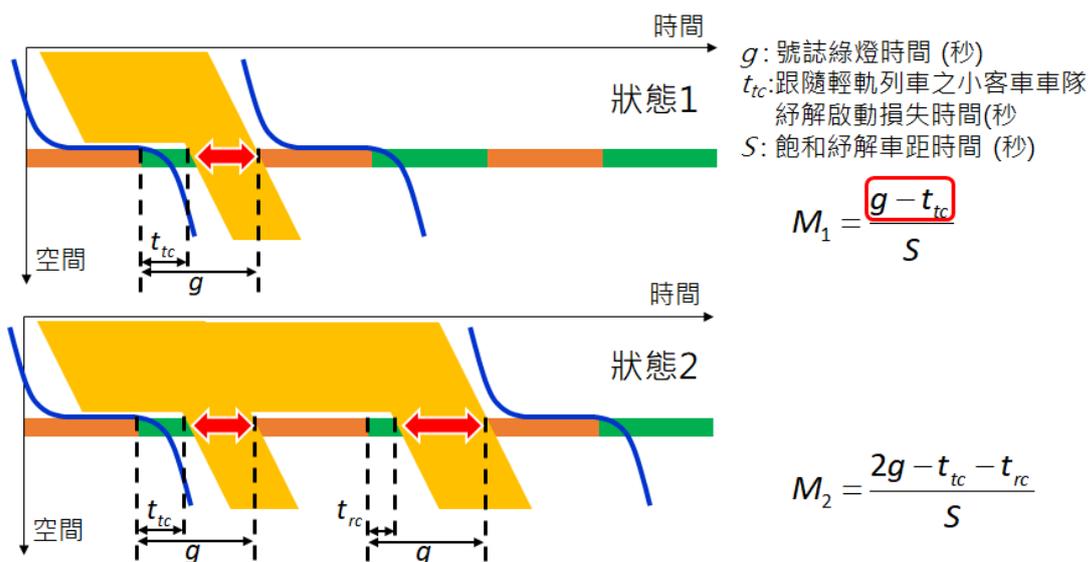
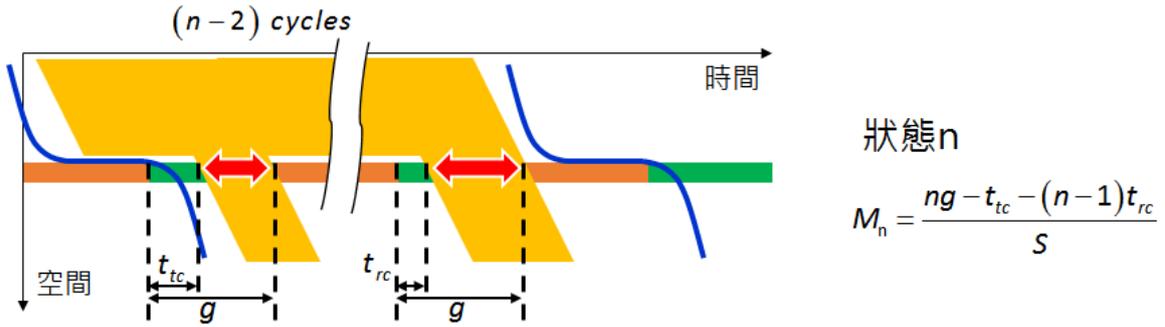


圖 5-19 長、短綠燈每週期可通過輕軌數之狀態

2. 步驟二：各狀態通過號誌化路口之小客車數臨界值推導

若以第二型（近端設站）為例，並在號誌紅燈時間  $r$  (秒) 主控紓解 ( $r > t_d + t_{tc}$ ) 之條件下，其於各狀態下通過號誌化路口之小客車數臨界值  $M_n$  之推導如圖 5-20 所示。





$$\begin{cases} M_n = 0 & n = 0 \\ M_n = \frac{ng - t_{tc} - (n-1)t_{rc}}{S}, & n > 0, r > t_d + t_{ct} \end{cases}$$

圖 5-20 各狀態下通過號誌化路口之小客車數臨界值  $M_n$  之推導

### 3. 步驟三至五：完成期望時隔計算

後續再依循步驟三至五：(3)計算小客車抵達機率分布；(4)計算各狀態機率；(5)計算期望時隔 = 各狀態機率 × 各狀態時隔，即可完成期望時隔計算，如圖 5-21 所示。

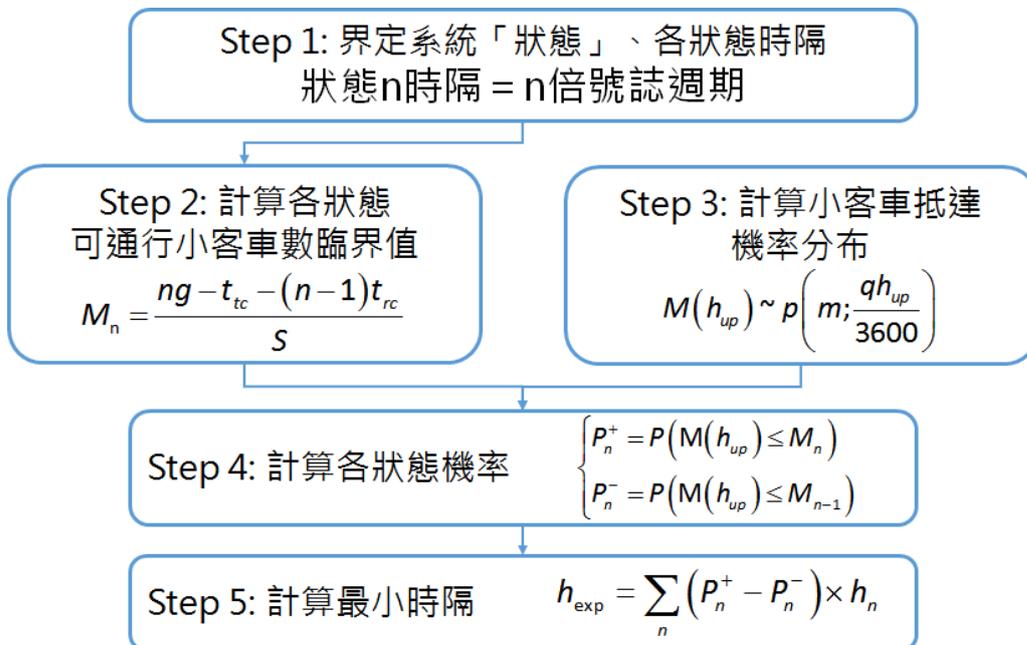


圖 5-21 步驟三至五之期望時隔計算

## (六) 案例分析

該研究最後參照淡海輕軌綜合報告之路網進行設定，並以淡海輕軌二期路網進行模式之驗證，並以長短綠燈時間下容量隨車流量變化、車站型式對容量之影響、路口號誌週期長短對容量之影響等不同狀況進行情境分析，其分析結果分述如下。

### 1. 以淡海輕軌二期路網之案例分析

以淡海輕軌二期路網之各項實際規劃參數資料代入該研究之解析模式，並與 VISSIM 軟體之模擬結果進行比較，分析範圍包括二期網之 B1、B2R、B6 等潛在瓶頸車站，其結果如圖 5-22 所示。



圖 5-22 淡海輕軌二期路網之容量案例分析結果

### 2. 依不同公路車流量、號誌時制及車站型式進行情境分析

其中以第一型車站(中間站)進行車流量 400、800、1200 輛/小時之三種情境分析；第二型(近端設站)、第三型(遠端設站)測試不同車流量和號誌時制組合共 24 種情境，包括：(1) 60、120、180、240 秒之號誌周期；(2) 佔號誌週期之綠燈時比 1/3(短綠燈)、2/3(長綠燈)；(3) 通過路口之小客車流量 400、800、1200 輛/小時。

### (1)第一型車站(中間站)情境分析結果

依通過小客車流量 400、800、1200 輛/小時之三種情境進行分析，結果如圖 5-23 所示，顯示容量將隨通過小客車流量呈線性變化，亦即因第一型車站無受號誌影響，容量相對高，一般不會造成路線瓶頸。

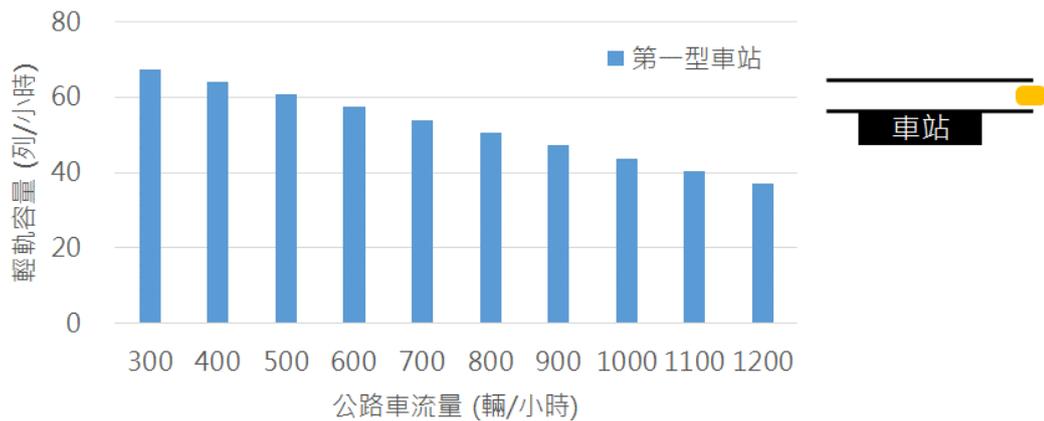


圖 5-23 第一型車站(中間站)情境分析結果

### (2)第二型車站(近端設站)、第三型車站(遠端設站)情境分析結果

依佔號誌週期綠燈時比  $1/3$ (短綠燈)、 $2/3$ (長綠燈)之二種情境進行分析，第二型車站之分析結果如圖 5-24 所示，顯示短綠燈之容量將隨通過小客車流量呈線性遞減變化，長綠燈之容量亦大致隨通過小客車流量呈線性遞減變化，但若 1 周期可通過 2 列輕軌，則其容量相對較高。至於第三型車站之分析結果如圖 5-25 所示，其趨勢及容量值亦大致與第二型車站類似接近，顯示在其他條件相同之狀況下，近端設站與遠端設站對 C 型輕軌之容量值無明顯之影響。

### (3)第二型車站與第三型車站之比較結果

若以  $2/3$ (長綠燈)號誌週期綠燈時比  $g/C = 120/180$  為例，針對第二型與第三型車站於不同通過路口小客車流量之情境容量進行比較分析，結果如圖 5-26 所示，可發現當有號誌影響時，

容量集中在特定區間，且第二型車站之容量值總是較高或和第三型接近無明顯差別。

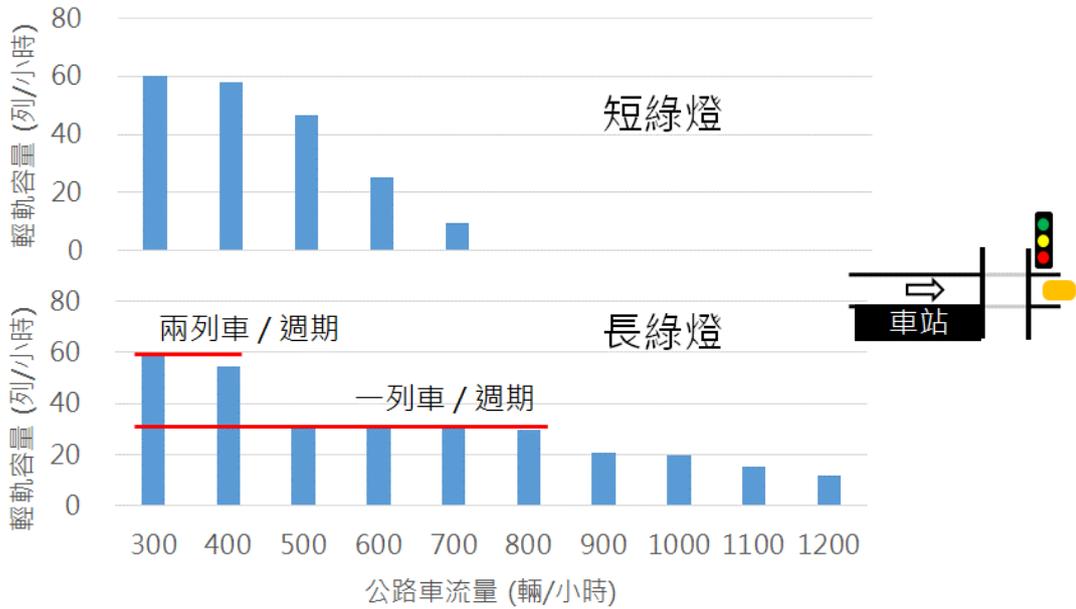


圖 5-24 第二型車站於號誌週期長、短綠燈時比之情境分析結果

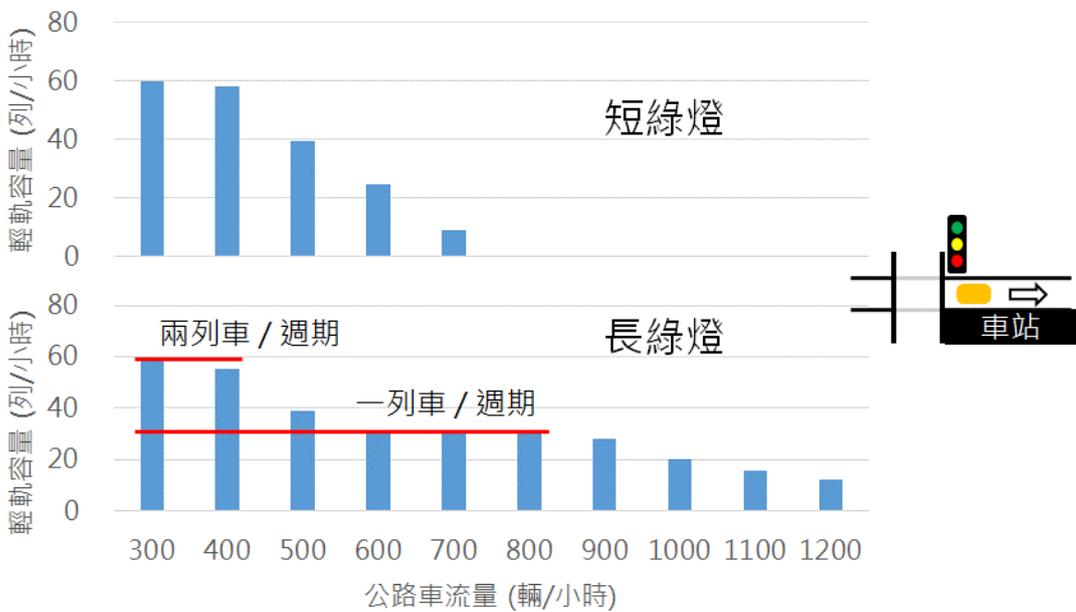


圖 5-25 第三型車站於號誌週期長、短綠燈時比之情境分析結果

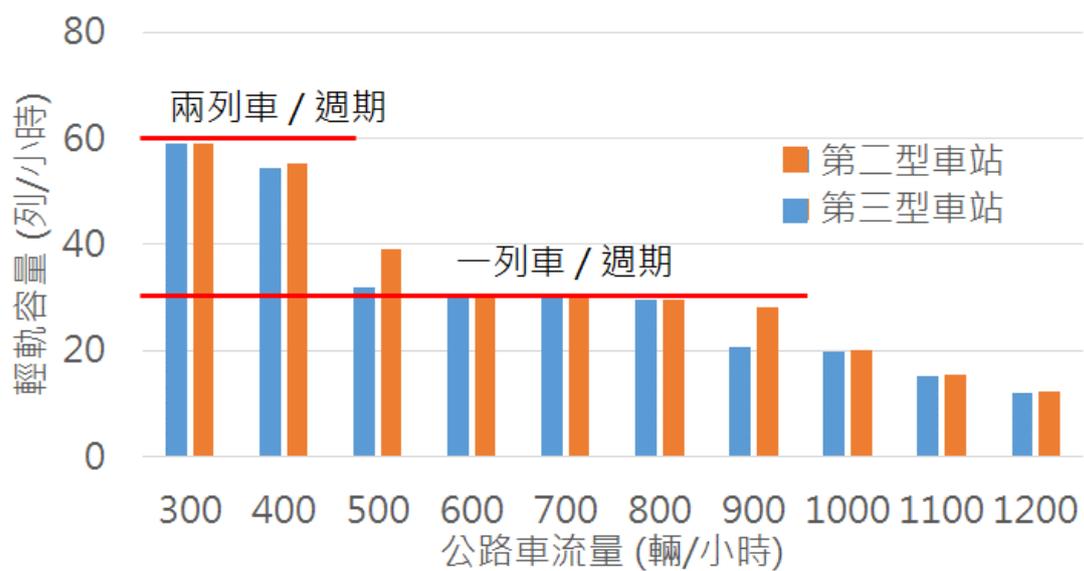


圖 5-26 第二型與第三型車站容量比較分析



## 第六章 結論與建議

國內提出推動輕軌系統之倡議已逾 20 載，高雄環狀輕軌系統及淡海輕軌系統目前已正式營運，經過各地方推動輕軌系統計畫所辦理之可行性及綜合規劃研究，在輕軌系統特性及規劃設計方面，已蒐集並累積許多重要之資料與經驗，應可有效掌握關鍵技術，但對於 B、C 型路權之平面輕軌系統與其他平面人車動線交織所衍生之交通安全問題，及平面輕軌系統(尤其 C 型輕軌系統)之容量問題，後續仍需就相關議題再深入研究，始能有效釐清各相關問題。

經本研究之分析，茲就平面輕軌系統之規劃設計、交通安全規劃及容量等面向所獲得之結論與後續研究建議，摘述如下。

### 一、平面輕軌系統規劃設計

- 交通部於 100 年 12 月頒布「輕軌系統建設及車輛技術標準規範」，並於 107 年 1 月頒布修訂版本，該規範參考國內外各相關輕軌系統研究，及輕軌系統規劃設計規範手冊，以彙整輕軌系統規劃設計需遵循之各項規範準則，是目前國內最完備可供各界推動輕軌系統參考依循之文件。
- 本研究就該規範中有關「輕軌系統規劃」之運輸需求、系統服務水準、營運規劃，「輕軌系統功能」之固定設施、旅客服務、平面道路交通界面、車輛、軌道、供電、號誌等相關規範內容，進行彙整以做為平面輕軌系統推動需依循之規劃設計要素。

### 二、平面輕軌系統交通安全規劃

- 路段之軌道路權隔離設施：為避免一般車輛誤闖入軌道路權、減少環境景觀衝擊及考量路權寬度，建議採用「緣石」型式之隔離設施，緣石高度建議應以可阻擋車輛闖入為準，並配合劃設標線。
- 路段中行人穿越設施：於路口間距不長之路段，為避免輕軌於路段中車速較快，行人逕行橫越道路未注意輕軌來向，建議於路段中禁止提供行人穿越功能，意即不設置行人穿越設施，並於路段中點或行人有可能違規穿越處設置「禁止行人穿越輕軌軌道」標

誌。

- 路口號誌系統：為避免過分影響一般車輛之通行，建議輕軌可使用「相對優先」型式之優先號誌，提高輕軌與一般車輛之行車效率及路口安全。
- 轉向管制：建議於路口禁止左轉，並配合設置相關標誌、標線及調整號誌燈頭。若開放車輛於路口左轉，需配合設置「獨立」之左轉專用車道、設置左轉專用號誌燈頭及時相，左轉車道絕不可設置待轉線，並將左轉車道停止線向遠離路口方向後退，避免左彎車輛與輕軌產生衝突。
- 機車管制：機車一律行駛於慢車道，於路口一律限制遵行「兩段式左轉」，左轉待轉區設置需遠離軌道路權，避免機車誤闖輕軌行駛範圍。
- 行人穿越設施：採取設置路口行穿線之方式，設置行人號誌，路口過寬需設置安全島（庇護島），動態之行人專用號誌，提醒並確保行人穿越安全。

### 三、B、C 型輕軌系統容量

- 本所 108-109 年度已完成「輕軌系統容量分析暨應用研究(1/2)-A、B 型路權容量模式構建」及「輕軌系統容量分析暨應用研究(2/2)-A、B 型路權容量及可靠度分析」，對於 A、B 型輕軌容量之影響因素與分析技術已能充分掌握。
- A、B 型輕軌容量之瓶頸主要仍在於中間之分歧站或末端之折返站(如淡海輕軌之紅樹林站)，另路口號誌週期對連續路段容量有決定性影響，運轉時隔等於最長路口號誌週期時間，亦即每個最長號誌週期可通過一列車。
- 臺大土研所陳敬恆君所構建的 C 型輕軌容量解析模式已可初步分析 C 型輕軌容量問題，相較於模擬分析方法，解析模式套用更簡單、迅速。該模式係考量輕軌列車與小客車共用車道、路口號誌影響、紓解公路車流和輕軌列車的互動之 C 型輕軌容量解析模式，雖可初步處理 C 型輕軌於規劃階段之布設車站、設計輕軌周

邊路口號誌時制、營運階段擬定最適運轉計畫等相關問題，但因實務上 C 型輕軌系統布設常需面對優先號誌、與其他各種運具(大客車、機車…等)共用車道、變換車道、幹道續進、行人動線等複雜之車流互動問題，其周延容量模式應非解析模式所能處理，故有關模擬模式及軟體之構建開發，應是後續需深入研析之議題。

- C 型路權輕軌容量之分析相較於 A、B 型路權容量問題更錯綜複雜、所需蒐集之參數資料亦更龐雜，建議應儘速預留足夠時間與經費，及早辦理整體性 C 型路權輕軌容量研究計畫，以利相關單位在進行輕軌運輸系統規劃設計時，不會受限於容量分析技術，而無法評估其容量。



## 參考文獻

1. 高雄市政府捷運工程局，環狀輕軌，網址：  
[https://mtbu.kcg.gov.tw/cht/project\\_LRT\\_circle.php](https://mtbu.kcg.gov.tw/cht/project_LRT_circle.php)。
2. 高華聰、林建華、簡聖民，「高雄環狀輕軌捷運（第一階段）車輛概述」，土木水利會刊，第 45 卷 1 期，2018 年。
3. 高雄市政府捷運工程局，高雄都會區輕軌運輸系統-高雄環狀輕軌捷運建設修正計畫書（定稿本），2012 年。
4. 簡聖民、江照雄、李妍彥、張哲端，「輕軌號誌系統及道路交通號誌整合探討」，中華技術期刊，第 113 期，民國 106 年 1 月，頁 124-135。
5. 新北市政府捷運工程局，淡海輕軌路線說明，網址：  
<https://www.dorts.ntpc.gov.tw/home.jsp?id=34&parentpath=0,3,127,11>。
6. 新北大眾捷運公司，網址：<http://www.ntmetro.com.tw/>。
7. 新北市政府，「市政新聞-迎接新成員 淡海輕軌第 8 列車加入營運行列」，網址：  
[https://www.ntpc.gov.tw/ch/home.jsp?id=28&parentpath=0,6,27&mc\\_customize=news\\_view.jsp&dataserno=201901160014&t=null&mserno=201309100001](https://www.ntpc.gov.tw/ch/home.jsp?id=28&parentpath=0,6,27&mc_customize=news_view.jsp&dataserno=201901160014&t=null&mserno=201309100001)。
8. 新北市政府三環六線進度公開專頁，OPEN! 3 環 6 線，「三環三線 串連北北桃 共同生活圈」，網址：  
<https://open33.ntpc.gov.tw/about>。
9. 新北大眾捷運公司，網址：<http://www.ntmetro.com.tw/>。
10. 新北市政府捷運工程局，淡海輕軌海外設備（輕軌號誌系統）廠測計畫出國報告，2016 年。
11. 交通部，輕軌系統建設及車輛技術標準規範，民國 107 年 1 月。
12. Hans W. K., Jose I. F., Douglas M. M., Herbert S. L., Ted Chira-Chavala, David R. R., Integration of Light Rail Transit into City

Streets (TCRP Report 17), Transportation Research Board, National Research Council, U.S.A.. 1996.

13. Harriet R Smith, Hemily, Brendon, & Ivanovic, Miomir., Transit Signal Priority (TSP): A planning and implementation handbook, 2005.
14. Koonce, P., Traffic Signal Timing Manual (No. FHWA-HOP-08-024), Federal Roadway Administration, U.S.A., 2008.
15. Urbanik, T., Tanaka, A., Lozner, B., Lindstrom, E., Lee, K., Quayle, S., & Sunkari, S., Signal Timing Manual, Transportation Research Board., 2015.
16. 交通部運輸研究所，輕軌與公車捷運系統納管之研析(II)，民國 96 年 11 月。
17. 交通部高速鐵路工程局，淡海輕軌運輸系統綜合規劃(核定本)，民國 102 年 3 月。
18. 交通部運輸研究所，輕軌系統容量分析暨應用研究(1/2)-A、B 型路權容量模式構建，民國 109 年 7 月。
19. 交通部運輸研究所，輕軌系統容量分析暨應用研究(2/2)-A、B 型路權容量及可靠度分析(期末報告)，民國 109 年 12 月。
20. 陳敬恆，考量 C 型路權路段之輕軌容量模式研發，國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文，民國 108 年 8 月。

## 附錄 安全時距公式之數學符號

變數	說明	單位
$a$	列車加速率	公尺/秒 <sup>2</sup>
$b$	列車減速率	公尺/秒 <sup>2</sup>
$d_t$	列車從設定橫渡線路徑的位置至橫渡線區之距離	公尺
$G$	路口號誌的輕軌綠燈時長	秒
$K_a$	列車加速率有效因子	—
$K_b$	列車減速率有效因子	—
$L$	列車車身長度	公尺
$R$	路口號誌的輕軌紅燈時長	秒
$s_b$	列車從巡航速度煞車到靜止所運行的距離	公尺
$s_c$	橫渡線區範圍	公尺
$s_{int}$	路口寬度	公尺
$s_m$	寬裕距離	公尺
$s_p$	列車於車站停車處至橫渡線之距離	公尺
$s_{si}$	路口至車站月臺之距離	公尺
$T_m$	A 型路權中間站的安全時距	秒
$\bar{T}_s$	B 型路權的平均安全時距	秒
$T_{t,F1}$	A 型路權使用同一股道折返的安全時距	秒
$T_{t,F2}$	A 型路權使用不同股道折返的安全時距	秒
$t_b$	列車從巡航速度煞車到靜止的運行時間	秒
$t_{b,s}$	列車車尾經過橫渡線至列車完全停妥的運行時間	秒
$t_{DA}$	先行列車離開車站至續行列車到達車站所須保持的時距	秒
$t_{DP}$	先行列車從靜止啟動通過路口至續行列車通過路口保持的時距	秒
$t_d$	停站時間	秒
$t_i$	轉轍器運作時間	秒
$t_{PP}$	兩列車連續通過路口所須保持的時距	秒
$t_{RA}$	列車停等紅燈後行駛至車站的時間	秒
$t_v$	列車以巡航速度接近中間站的運行時間	秒
$v_c$	道岔限速	公尺/秒
$v_{cs}$	列車直行橫渡線區的限度	公尺/秒
$v_i$	列車於車站或路口前的巡航速度	公尺/秒
$v_l$	路線限速	公尺/秒
$v_m$	列車從路口行駛至車站的最高運轉速度	公尺/秒
$v_o$	列車於車站或路口後的巡航速度	公尺/秒

