

109-112-1431
MOTC-IOT-108-PBB002

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

著者：黃笙珖、鍾志成、賴勇成、林誌銘、吳明軒、胡仲瑋、
陳桂豪、徐任宏、梁正賢、張舜淵、劉昭榮、王劭暉

交通部運輸研究所

中華民國 109 年 7 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

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 / 黃笙玟等著. -- 初版. -- 臺
北市 : 交通部運研所, 民 109.07
面 ; 公分
ISBN 978-986-531-163-6(平裝)

1. 鐵路管理 2. 運輸系統

557

109008931

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

著者：黃笙玟、鍾志成、賴勇成、林誌銘、吳明軒、胡仲瑋、陳桂豪、
徐任宏、梁正賢、張舜淵、劉昭榮、王劭暉

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 (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 109 年 7 月

印刷者：長達印刷有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 70 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定價：370 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸資訊組 • 電話：(02)2349-6789

國家書店松江門市：104472 臺北市中山區松江路 209 號 • 電話：(02)2518-0207

五南文化廣場：400002 臺中市區中山路 6 號 • 電話：(04)2226-0330

GPN：1010900881

ISBN：978-986-531-163-6 (平裝)

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

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

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：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			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-531-163-6(平裝)	政府出版品統一編號 1010900881	運輸研究所出版品編號 109-112-1431	計畫編號 108-PBB002
本所主辦單位：運輸計畫組 主管：張舜淵 計畫主持人：張舜淵 研究人員：劉昭榮、王劭暉 聯絡電話：(02)23496806 傳真號碼：(02)25450428	合作研究單位：財團法人中興工程顧問社 計畫主持人：黃笙玟 研究人員：鍾志成、賴勇成、林誌銘、 吳明軒、胡仲璋、陳桂豪、 徐任宏、梁正賢 地址：臺北市南京東路 5 段 171 號 聯絡電話：(02)87919198 ext. 426 傳真號碼：(02)87912198	研究期間 自 108 年 3 月 至 108 年 12 月	
關鍵詞：輕軌運輸系統、軌道容量分析、解析模式			
<p>摘要：</p> <p>為因應國內各種鐵道系統建設需要，本所進行了一系列軌道容量研究計畫，目前已完成傳統區域鐵統及都會捷運系統的軌道容量分析模式與軟體，另有鑑於政府前瞻基礎建設計畫將於各都會區規劃推動輕軌系統，因此辦理輕軌運輸系統容量分析暨應用研究，以掌握系統的供需能量，並在最經濟的條件下提供符合預期服務品質的運能。</p> <p>在今（108）年度的研究中，建構了A、B型路權輕軌之軌道容量分析解析模式，並對淡海輕軌綠山線、高雄輕軌，以及德國卡爾斯魯爾城鐵之輕軌系統進行案例驗證分析，其成果可供後續輕軌系統計畫於規劃、興建及營運各階段之決策參考應用，並使國內軌道容量分析技術更加完備。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
109 年 7 月	314	370	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: Light Rail Transit Capacity Analysis and Applications Study (1/2) - Capacity Model Development for A-Type and B-Type Right-of-Way			
ISBN(OR ISSN) ISBN 978-986-531-163-6(pbk.)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010900881	IOT SERIAL NUMBER 109-112-1431	PROJECT NUMBER 108-PBB002
DIVISION: Planning Division DIVISION CHIEF: Shuen-Yuan Chang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Shuen-Yuan Chang PROJECT STAFF: Jau-Rong Liu, Shao-Wei Wang PHONE: 886-2-23496806 FAX: 886-2-25450428			PROJECT PERIOD FROM March 2019 TO December 2019
RESEARCH AGENCY: Sinotech Engineering Consultants, Inc. PRINCIPAL INVESTIGATOR: Sheng-Hsuan Huang PROJECT STAFF: Jyh-Cherng Jong, Yung-Cheng Lai, Chin-Ming Lin, Ming-Hsuan Wu, Chung-Wei Hu, Guei-Hao Chen, Ren-Hong Xu, Zheng-Xian Liang ADDRESS: 171 Nanking E. RD. SEC. 5, Taipei, Taiwan, R.O.C. PHONE: 886-2-87919198 ext. 426 FAX: 886-2-87912198			
KEY WORDS: Light Rail Transit System, Rail Capacity Analysis, Analytical Model			
ABSTRACT: <p>In order to meet the needs of different railway system construction project in Taiwan, the Institute of Transportation has carried out a series of research projects on rail capacity. At present, the rail capacity analytic models and software for both conventional railway and metropolitan rapid transit system have been completed. And, in view of the Government Forward-Looking Infrastructure Project to plan and promote light rail transit system in all metropolitan area, therefore, conducted the light rail transit system capacity analysis and application research to grasp the supply and demand energy of the system, and to provide the transportation capacity in compliance with the expected service quality under the most economical conditions.</p> <p>In this year's research (2019), rail capacity analytical model for A-Type and B-Type right-of-way has been developed, and carried out case verification analysis on actual light rail transit operation, including the Green Mountain Line of Danhai Light Rail, Kaohsiung Light Rail, and Stadtbahn Karlsruhe Light Rail Transit System in Germany. The results can be used as the reference for decision-making within each stage of planning, construction, and operation in subsequent light rail transit projects and makes Taiwan's rail capacity analysis technology more complete.</p>			
DATE OF PUBLICATION July 2020	NUMBER OF PAGES 314	PRICE 370	
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目 錄

	頁 次
目 錄.....	III
圖 目 錄.....	VII
表 目 錄.....	XI
第一章 緒論.....	1 - 1
1.1 研究緣起.....	1 - 1
1.2 全程計畫概要.....	1 - 2
1.3 研究對象與範圍.....	1 - 3
1.4 計畫目的.....	1 - 4
1.5 工作項目與內容.....	1 - 4
1.6 執行流程.....	1 - 5
第二章 文獻回顧.....	2 - 1
2.1 輕軌運輸系統之定義.....	2 - 1
2.1.1 國外定義.....	2 - 1
2.1.2 國內定義.....	2 - 4
2.2 輕軌運輸系統之特性.....	2 - 10
2.2.1 路權型式.....	2 - 10
2.2.2 車輛特性.....	2 - 12
2.2.3 供電系統.....	2 - 13
2.2.4 行車控制與號誌系統.....	2 - 16
2.2.5 優先號誌策略.....	2 - 18
2.3 國內輕軌運輸系統發展現況.....	2 - 21
2.3.1 高雄輕軌.....	2 - 21
2.3.2 淡海輕軌.....	2 - 26
2.3.3 其他輕軌計畫推動情形.....	2 - 30
2.4 輕軌運輸系統容量相關研究.....	2 - 42

2.4.1	公車捷運系統或專用道.....	2 - 42
2.4.2	輕軌運輸系統.....	2 - 49
2.5	小結.....	2 - 53
第三章	輕軌運輸系統容量分析模式概觀.....	3 - 1
3.1	基本概念.....	3 - 1
3.1.1	運轉條件.....	3 - 1
3.1.2	時間單位.....	3 - 3
3.1.3	空間參考點.....	3 - 3
3.1.4	客體單位.....	3 - 6
3.2	假設條件.....	3 - 6
3.3	整體架構與分析程序.....	3 - 7
3.4	應用情境.....	3 - 12
第四章	A 型路權安全時距之計算.....	4 - 1
4.1	中間站安全時距計算公式.....	4 - 1
4.2	末端站安全時距計算公式.....	4 - 3
4.2.1	站前折返—站內停靠同一股道.....	4 - 4
4.2.2	站前折返—站內停靠不同股道.....	4 - 9
4.2.3	站後折返—站後停靠同一尾軌.....	4 - 13
4.2.4	站後折返—站後停靠不同尾軌.....	4 - 17
4.3	單線區間安全時距計算公式.....	4 - 20
4.4	安全時距計算公式彙整.....	4 - 23
第五章	B 型路權平均安全時距之計算.....	5 - 1
5.1	獨立路口平均安全時距計算方式.....	5 - 2
5.2	受路口影響之中間站平均安全時距計算方式.....	5 - 6
5.2.1	近端設站.....	5 - 6
5.2.2	遠端設站.....	5 - 8
5.3	受路口影響之末端站平均安全時距計算方式.....	5 - 11
5.3.1	使用相同股道折返.....	5 - 12
5.3.2	使用不同股道折返.....	5 - 17
5.4	平均安全時距計算方式彙整.....	5 - 20

5.5	優先號誌的影響.....	5 - 22
5.5.1	延長綠燈.....	5 - 22
5.5.2	縮短紅燈.....	5 - 23
5.5.3	插入綠燈.....	5 - 24
第六章	案例分析.....	6 - 1
6.1	淡海輕軌案例.....	6 - 1
6.1.1	參數說明.....	6 - 2
6.1.2	分析結果.....	6 - 5
6.1.3	敏感度分析.....	6 - 7
6.1.4	單線運轉情境分析.....	6 - 16
6.2	高雄輕軌案例.....	6 - 17
6.2.1	參數說明.....	6 - 19
6.2.2	分析結果.....	6 - 23
6.2.3	敏感度分析.....	6 - 26
6.3	德國卡爾斯魯爾城鐵案例.....	6 - 30
6.3.1	參數說明.....	6 - 31
6.3.2	分析結果.....	6 - 33
6.3.3	敏感度分析.....	6 - 35
第七章	結論與建議.....	7 - 1
7.1	結論.....	7 - 1
7.2	後續研究建議.....	7 - 2
	參考文獻.....	R - 1
	附錄 A 數學符號彙整表.....	A - 1
	附錄 B 淡海輕軌紅樹林站容量分析過程.....	B - 1
	附錄 C 淡海輕軌紅樹林站之列車長度參數敏感度分析過程	C - 1
	附錄 D 歷次工作會議紀錄.....	D - 1
	附錄 E 期中學者專家座談會記錄.....	E - 1
	附錄 F 期中審查意見處理情形及簡報.....	F - 1
	附錄 G 期末學者專家座談會記錄.....	G - 1

附錄 H 期末審查意見處理情形及簡報.....	H - 1
-------------------------	-------

圖 目 錄

	頁 次
圖 1-1 全程計畫概要示意圖	1 - 2
圖 1-2 鐵道容量的研究範圍	1 - 4
圖 1-3 研究流程圖	1 - 6
圖 2-1 A 型路權示意圖	2 - 10
圖 2-2 B 型路權示意圖	2 - 11
圖 2-3 C 型路權示意圖	2 - 11
圖 2-4 電磁軌道煞車設備示意圖	2 - 13
圖 2-5 APS 供電系統運作邏輯	2 - 14
圖 2-6 Tramwave 供電剖面圖	2 - 15
圖 2-7 Primove 供電系統運作邏輯	2 - 16
圖 2-8 不調整路口號誌下的輕軌列車運行時空圖	2 - 19
圖 2-9 延長綠燈策略下的的輕軌列車運行時空圖	2 - 19
圖 2-10 縮短紅燈策略下的的輕軌列車運行時空圖	2 - 20
圖 2-11 插入綠燈策略下的的輕軌列車運行時空圖	2 - 21
圖 2-12 高雄輕軌建設路網示意圖	2 - 22
圖 2-13 高雄輕軌列車	2 - 24
圖 2-14 高雄輕軌號誌整合架構示意圖	2 - 25
圖 2-15 凱旋四路、一心一路、瑞隆路口號誌時相（修改前） ...	2 - 25
圖 2-16 凱旋四路、一心一路、瑞隆路口號誌時相（修改後） ...	2 - 26
圖 2-17 淡海輕軌建設路網示意圖	2 - 27
圖 2-18 淡海輕軌列車（行武者號）	2 - 29
圖 2-19 淡海輕軌號誌系統架構圖	2 - 30
圖 2-20 基隆南港輕軌建設股道配置圖	2 - 31
圖 2-21 安坑輕軌建設路網示意圖	2 - 32
圖 2-22 深坑輕軌建設路網示意圖	2 - 33
圖 2-23 八里輕軌（淡海輕軌延伸八里線）建設路網示意圖	2 - 34

圖 2-24	五股泰山輕軌建設路網示意圖	2 - 35
圖 2-25	泰山板橋輕軌建設路網示意圖	2 - 35
圖 2-26	社子輕軌建設路網示意圖	2 - 36
圖 2-27	桃園捷運棕線建設路網示意圖	2 - 37
圖 2-28	大新竹輕軌建設路網示意圖	2 - 38
圖 2-29	大臺中軌道建設路網示意圖	2 - 39
圖 2-30	高雄輕軌旗津線建設路網示意圖	2 - 40
圖 2-31	公車系統容量分析流程	2 - 43
圖 2-32	不同因素下之車站標準化容量與失效率	2 - 47
圖 2-33	輕軌容量分析架構	2 - 51
圖 2-34	號誌週期分類	2 - 52
圖 3-1	輕軌於 A 型路權中間站的正常營運條件	3 - 2
圖 3-2	輕軌於 B 型路權近端設站的正常營運條件	3 - 2
圖 3-3	輕軌於 B 型路權遠端設站的正常營運條件	3 - 2
圖 3-4	路線容量示意圖	3 - 3
圖 3-5	列車進出車站的過程	3 - 4
圖 3-6	列車利用末端站前之橫渡線折返的過程	3 - 5
圖 3-7	列車利用末端站後之橫渡線折返的過程	3 - 5
圖 3-8	列車通過路口的過程	3 - 6
圖 3-9	輕軌容量分析模式整體架構	3 - 8
圖 3-10	安全時距種類	3 - 9
圖 3-11	輕軌容量分析與公路端之關聯	3 - 12
圖 4-1	中間站之安全時距	4 - 2
圖 4-2	站前折返之安全時距—站內停靠同一股道	4 - 5
圖 4-3	站前折返之安全時距—站內停靠不同股道	4 - 10
圖 4-4	站後折返之安全時距—停靠同一尾軌	4 - 14
圖 4-5	站後折返之安全時距—停靠不同尾軌	4 - 18
圖 4-6	單線區間之安全時距	4 - 21
圖 4-7	反向列車交會所需時間	4 - 22
圖 5-1	路口號誌影響列車運行型態示意圖	5 - 1

圖 5-2	計算路口號誌週期個數與列車數.....	5 - 2
圖 5-3	獨立路口之平均安全時距示意圖.....	5 - 3
圖 5-4	先行車從靜止啟動通過路口至續行車通過路口的時間間隔	5 - 4
圖 5-5	兩列車連續通過路口的時間間隔.....	5 - 6
圖 5-6	受路口影響之中間站.....	5 - 6
圖 5-7	近端設站之平均安全時距示意圖.....	5 - 7
圖 5-8	遠端設站之平均安全時距示意圖.....	5 - 9
圖 5-9	列車從靜止啟動通過路直到完全停妥於車站的運行時間	5 - 10
圖 5-10	受路口影響之末端站.....	5 - 11
圖 5-11	使用相同股道折返之平均安全時距示意圖一.....	5 - 13
圖 5-12	使用相同股道折返之平均安全時距示意圖二.....	5 - 13
圖 5-13	使用相同股道折返之平均安全時距示意圖三.....	5 - 14
圖 5-14	使用相同股道折返之平均安全時距示意圖四.....	5 - 15
圖 5-15	使用不同股道折返之平均安全時距示意圖一.....	5 - 18
圖 5-16	使用不同股道折返之平均安全時距示意圖二.....	5 - 18
圖 5-17	使用不同股道折返之平均安全時距示意圖三.....	5 - 19
圖 5-18	使用不同股道折返之平均安全時距示意圖四.....	5 - 20
圖 5-19	一般路口號誌的時相.....	5 - 22
圖 5-20	延長綠燈策略下的時相.....	5 - 23
圖 5-21	縮短紅燈策略下的時相.....	5 - 24
圖 5-22	插入綠燈策略下的時相.....	5 - 25
圖 6-1	淡海輕軌案例之範圍與軌道配置圖.....	6 - 1
圖 6-2	紅樹林站之容量影響因素比較圖.....	6 - 9
圖 6-3	列車長度對紅樹林站容量之影響.....	6 - 9
圖 6-4	啟動加速度對紅樹林站容量之影響.....	6 - 10
圖 6-5	加速度有效因子對紅樹林站容量之影響.....	6 - 10
圖 6-6	煞車減速度對紅樹林站容量之影響.....	6 - 11
圖 6-7	減速度有效因子對紅樹林站容量之影響.....	6 - 12
圖 6-8	離站後巡航速度對紅樹林站容量之影響.....	6 - 12

圖 6-9 進站前巡航速度對紅樹林站容量之影響	6 - 13
圖 6-10 停站時間對紅樹林站容量之影響	6 - 13
圖 6-11 列車於車站停車處至橫渡線之距離對紅樹林站容量之影響	6 - 14
圖 6-12 橫渡線區範圍對紅樹林站容量之影響	6 - 14
圖 6-13 列車從設定路徑點至橫渡線之距離對紅樹林站容量之影響	6 - 15
圖 6-14 斜進道岔限速對紅樹林站容量之影響	6 - 15
圖 6-15 運轉寬裕時間係數對紅樹林站容量之影響	6 - 16
圖 6-16 折返方式對紅樹林站容量之影響	6 - 16
圖 6-17 高雄輕軌案例之範圍與軌道配置圖	6 - 18
圖 6-18 籬仔內站之容量影響因素比較圖	6 - 27
圖 6-19 輕軌紅燈時相時間對籬仔內站容量之影響	6 - 28
圖 6-20 輕軌綠燈時相時間對籬仔內站容量之影響	6 - 29
圖 6-21 運轉寬裕時間係數對籬仔內站容量之影響	6 - 29
圖 6-22 折返方式對籬仔內站容量之影響	6 - 30
圖 6-23 德國卡爾斯魯爾城鐵案例之範圍	6 - 30
圖 6-24 卡爾斯魯爾城鐵 GT8-100D/2S-M 列車	6 - 32
圖 6-25 Weinweg 站下行方向之容量影響因素比較圖	6 - 36
圖 6-26 Weinweg 站上行方向之容量影響因素比較圖	6 - 36
圖 6-27 輕軌紅燈時相時間對 Weinweg 站下行方向容量之影響	6 - 36
圖 6-28 輕軌紅燈時相時間對 Weinweg 站上行方向容量之影響	6 - 37
圖 6-29 輕軌綠燈時相時間對 Weinweg 站下行方向容量之影響	6 - 37
圖 6-30 輕軌綠燈時相時間對 Weinweg 站上行方向容量之影響	6 - 38
圖 6-31 運轉寬裕時間係數對 Weinweg 站下行方向容量之影響	6 - 38
圖 6-32 運轉寬裕時間係數對 Weinweg 站上行方向容量之影響	6 - 39

表 目 錄

	頁 次
表 2.1 國內外輕軌運輸系統定義整理.....	2 - 8
表 2.2 美國輕軌運輸系統路口專用號誌範例.....	2 - 18
表 2.3 高雄輕軌運輸系統路口專用號誌範例.....	2 - 18
表 2.4 我國輕軌運輸系統發展及推動現況.....	2 - 41
表 2.5 各種運轉時隔之情境.....	2 - 51
表 2.6 優先號誌邏輯分類.....	2 - 52
表 4.1 A 型路權安全時距計算公式.....	4 - 24
表 5.1 m 和 n 滿足條件彙整表.....	5 - 21
表 6.1 淡海輕軌案例之空間參考點.....	6 - 2
表 6.2 淡海輕軌列車參數表.....	6 - 3
表 6.3 淡海輕軌案例之中間站參數表.....	6 - 3
表 6.4 淡海輕軌案例之紅樹林站參數表.....	6 - 4
表 6.5 淡海輕軌案例之崁頂站參數表.....	6 - 4
表 6.6 淡海輕軌之路口與號誌參數表.....	6 - 5
表 6.7 淡海輕軌案例容量分析結果（往崁頂方向）.....	6 - 6
表 6.8 淡海輕軌案例容量分析結果（往紅樹林方向）.....	6 - 7
表 6.9 各項參數變化對紅樹林站容量之影響.....	6 - 8
表 6.10 淡海輕軌案例之站間運轉時間參數表.....	6 - 17
表 6.11 高雄輕軌案例之空間參考點.....	6 - 18
表 6.12 高雄輕軌列車參數表.....	6 - 19
表 6.13 高雄輕軌案例之車站參數表.....	6 - 20
表 6.14 高雄輕軌之籬仔內站參數表.....	6 - 20
表 6.15 高雄輕軌之哈瑪星站參數表.....	6 - 21
表 6.16 高雄輕軌之路口與號誌參數表（無優先號誌）.....	6 - 22
表 6.17 高雄輕軌之號誌參數表（有優先號誌）.....	6 - 22
表 6.18 高雄輕軌案例容量分析結果—無優先號誌（下行方向）.....	6 - 23

表 6.19	高雄輕軌案例容量分析結果－無優先號誌（上行方向）	6 - 24
表 6.20	高雄輕軌案例容量分析結果－有優先號誌（下行方向）	6 - 25
表 6.21	高雄輕軌案例容量分析結果－有優先號誌（上行方向）	6 - 26
表 6.22	各項參數變化對籬仔內站容量之影響	6 - 27
表 6.23	卡爾斯魯爾城鐵案例之空間參考點	6 - 31
表 6.24	GT8-100D/2S-M 列車參數表	6 - 32
表 6.25	卡爾斯魯爾城鐵案例之車站參數表	6 - 33
表 6.26	卡爾斯魯爾城鐵案例之路口與號誌參數表	6 - 33
表 6.27	卡爾斯魯爾城鐵案例容量分析結果（下行方向）	6 - 34
表 6.28	卡爾斯魯爾城鐵案例容量分析結果（上行方向）	6 - 34
表 6.29	各項參數對 Weinweg 站下行方向容量之影響	6 - 35
表 6.30	各項參數對 Weinweg 站上行方向容量之影響	6 - 35

第一章 緒論

1.1 研究緣起

國內過往之交通建設投資主要以公路系統為主，但囿於土地資源有限，故推動高效率、低污染，較安全以及環境衝擊小之鐵道系統，具有相對優勢及必要性。近年來政府致力規劃推動各都會區捷運系統、高速鐵路系統、臺鐵系統改善工程（鐵路立體化、臺鐵捷運化、東部鐵路改善…）及地區輕軌建設等各項鐵道系統建設，期能達到整體運輸系統之均衡發展。然由於鐵道系統建設成本甚鉅，為避免系統之規模過度設計造成浪費，或者設計不足導致無法滿足運輸需求，無論規劃、興建或營運階段皆需仔細檢視其系統供給容量，例如臺北捷運文湖線，因為沒有以容量為基礎進行整體設計，所以月臺雖然可容納六節車廂，但受限於機電系統目前僅能以四節車廂營運；又例如桃園機場捷運線，由於系統設備商在設計時沒有進行容量的分析與驗證，導致系統完成後無法達到預期的班距。此外在「大眾捷運系統建設及周邊土地開發計畫申請與審查作業要點」中，辦理都市發展規劃、可行性研究和綜合規劃等作業程序時，皆需考量鐵道系統之容量與特性。有鑑於此，本所遂於近十餘年來賡續辦理鐵道系統容量之系列研究計畫。

過去本所鐵道容量系列研究已發展傳統區域鐵路（臺鐵系統）及都會捷運系統的鐵道容量分析模式與軟體，並就該兩系統之容量研究編訂臺灣鐵道容量手冊，然為利完備鐵道容量完整系列研究成果，爰應儘速接續辦理其餘鐵道系統之容量分析研究。經盤點檢視後，本所目前尚未針對「高鐵及機場捷運系統」與「輕軌運輸系統」等兩部分進行鐵道容量分析研究，惟經衡酌前者之容量尚充裕，相對較無容量

不足待提升之急迫性，爰先就「輕軌運輸系統」辦理容量分析之系列研究。

另鑑於政府前瞻基礎建設計畫將於各都會區規劃推動輕軌系統，且部分計畫已陸續完工通車，例如高雄臨港輕軌及淡海輕軌，為利後續規劃推動之輕軌系統皆能有效掌握其供給容量，及時提供後續輕軌系統計畫於規劃、興建及營運各階段之決策參考應用，因此辦理輕軌系統容量分析研究。

1.2 全程計畫概要

「輕軌系統容量分析暨應用研究」為兩年期之研究計畫，全程計畫概要如圖 1-1，第一年度除了文獻回顧，研究重點在於建構 A、B 型路權輕軌之容量分析模式以及案例分析，而第二年度的研究重點，預計要進一步發展 A、B 型路權連續路段之輕軌容量及可靠度分析模式，此外尚需擴充編訂鐵道容量手冊及辦理教育訓練等研究推廣工作。今年度為「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」，亦即此計畫的第一年度。

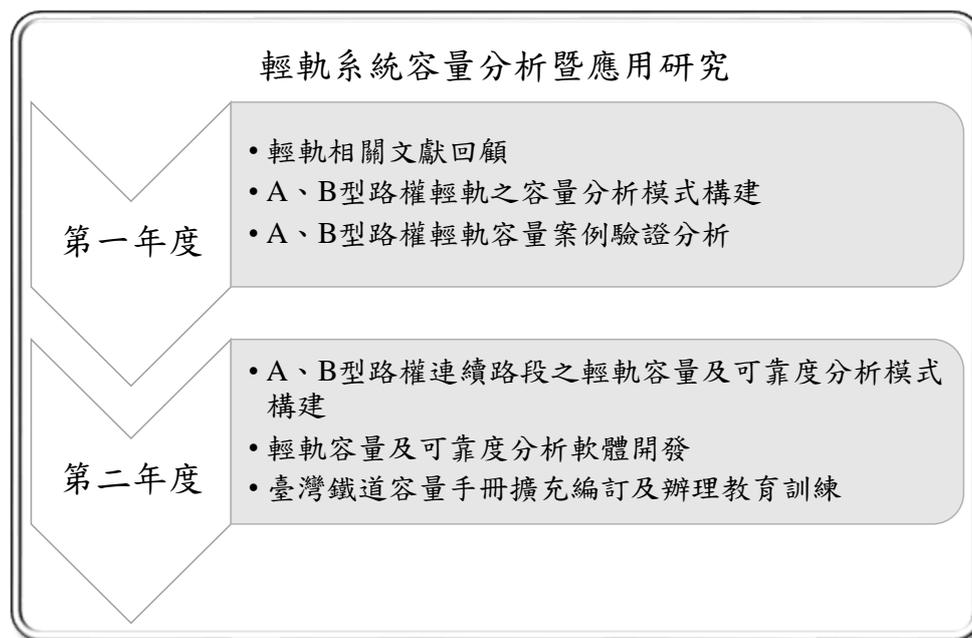


圖 1-1 全程計畫概要示意圖

1.3 研究對象與範圍

本計畫的研究對象為輕軌運輸系統（Light Rail Transit，LRT），根據交通部輕軌系統建設及車輛技術標準規範^[5]，輕軌系統係指有人駕駛、使用導引、電力驅動之客運運輸系統，其車輛具軸重較輕、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，可因地制宜，同一路線可單獨或混合採用專用路權、隔離路權、共用路權。目前國內除了有高雄輕軌與淡海輕軌已經通車營運，尚有許多輕軌建設計畫正在推動，有關輕軌運輸系統定義的相關文獻以及國內輕軌發展的介紹請詳見第二章。

至於在研究範圍方面，一般而言，鐵道容量分析著重在軌道行車系統的部分，主要是討論以列車為客體單位的容量分析，通常不直接考慮聯外運輸系統、站房、月臺的影響。因此，本計畫將「鐵道容量」的研究範圍界定在「軌道行車系統」，如圖 1-2 所示，也就是僅根據鐵道運輸系統的路線條件、交通條件，和運轉條件來探討「軌道行車設備的最大輸送能力」。此外，輕軌系統可採用各種路權型式（詳見 2.2.1 節），而本研究界定在探討 A 型和 B 型路權的輕軌容量。

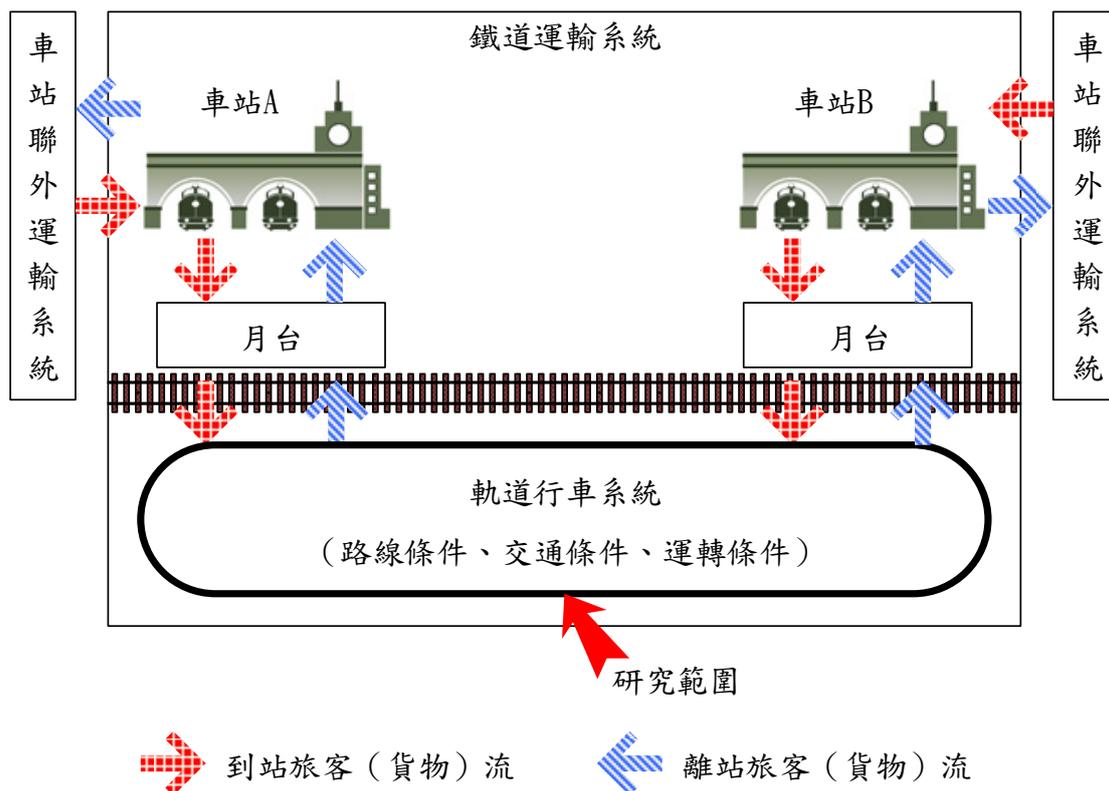


圖 1-2 鐵道容量的研究範圍

1.4 計畫目的

本(108)年度計畫之目的在於完備國內的鐵道容量分析技術，藉由發展輕軌運輸系統的鐵道容量分析模式，做為鐵道容量系列研究之輕軌運輸系統部分的重要依據。

1.5 工作項目與內容

今(108)年度的研究工作項目為：

1. 輕軌相關文獻回顧

不同輕軌系統技術型式有不同的路線容量，藉由蒐集回顧國內外輕軌系統之技術特性及其容量分析研究資料，了解輕軌系統技術之發展趨勢以及容量分析方法。

2. A、B 型路權輕軌之容量分析模式構建

- (1) 研析影響輕軌系統鐵道容量之因素，包含路線條件、交通條件和控制條件等，並比較其與都會捷運容量分析模式之異同。
- (2) 針對輕軌運輸系統的特性，並考量各項影響鐵道容量的因素，構建 A 型路權輕軌之容量分析模式。
- (3) 考量輕軌列車受號誌化路口影響以及優先號誌等因素，構建 B 型路權輕軌之容量分析模式。

3. 輕軌容量案例驗證分析

選擇適合之實際營運輕軌案例(國內外 A、B 型路權至少各一項)，應用本研究發展之分析模式，分析 A、B 型路權輕軌在不同路線條件、交通條件及控制條件下之供給容量，並釐清各條件因素對容量之影響程度。

4. 其他工作項目

- (1) 辦理兩次學者專家座談會。
- (2) 將研究成果投稿於運輸計劃季刊、國內外期刊或學術研討會。
- (3) 針對計畫重要成果或執行過程，製作可供展示之海報或影片電子檔。

1.6 執行流程

依據今(108)年度的主要工作項目，研究流程規劃如圖 1-3 所示，首先蒐集並回顧相關文獻，在掌握輕軌運輸特性與容量影響因素後，即展開輕軌容量模式的構建。同時，亦進行營運輕軌系統資料的蒐集與實際調查，以作為後續案例驗證分析使用，並根據分析結果回饋修正所發展的輕軌容量模式，最後提出本研究的結論與建議。

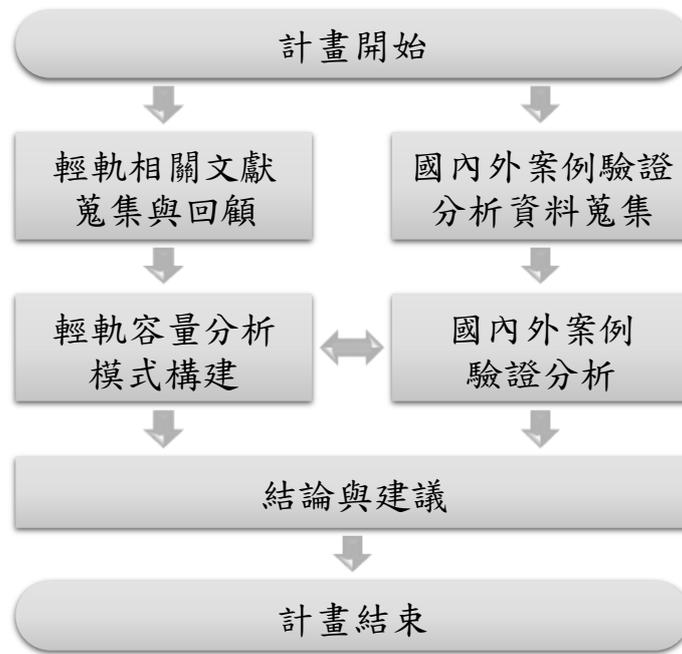


圖 1-3 研究流程圖

第二章 文獻回顧

2.1 輕軌運輸系統之定義

西元 1881 年，世界上第一條電力軌道車輛在德國 Lichterfelde 營運，從此路面電車（Trolley、Streetcar、Tram、Tramway）開始出現在道路上。惟第一次世界大戰後因內燃機、汽車等技術進步而逐漸沒落。1960-1970 年代因能源危機之故，路面電車重新以「輕軌運輸系統（Light Rail）」這個名詞出現於世人面前，企圖藉由更好的基礎設施以提高公共運輸使用率。因此，最早的輕軌其實是路面電車的升級^[16]。然因路面電車之彈性較高且升級幅度可不一致，因此國內外對於輕軌運輸系統的定義大多較為寬鬆。以下摘錄國內外學者、政府單位和研究機構對於輕軌運輸系統所做的定義。

2.1.1 國外定義

1. 德國政府

1960 年代，許多西德城市有感於大眾捷運系統昂貴，遂選擇逐步升級既有路面電車（Tramway）輕軌系統路網，而非逕行興建大眾捷運系統。系統升級方式包含部分區段立體化等，其最終目的可能為現狀或重置後更新為大眾捷運系統。無論如何該系統均被稱作是「Stadtbahn（德文之輕軌）」^[16]。惟 1980 年代以後「輕軌一詞」也被用在部分城市的路面電車上。根據「德國輕軌建造及營運條例（Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen, BOStrab）」，茲節錄輕軌系統之部分要求如下：

- (1) 路面運行系統或獨立運行系統（第 1 項第 2 款）。
- (2) 為鐵路車輛，可多車組營運。每一車組包含數個不可分割的車廂單元（第 1 項第 8 款）。

- (3) 軌道形式可為路面（即嵌入式軌道）、半分隔或完全分隔（第 16 項第 4 款至第 7 款）。
- (4) 具有電源供應系統、電車線系統（選擇性）、集電弓、集電軌（選擇性）等以提供動力（第 24 項、25 項、39 項）。
- (5) 車輛地板、踏板與月臺高度須能使乘客順暢上下車（第 34 項第 4 款）。
- (6) 同時使用鐵路號誌（主號誌機、從屬號誌機等）及路面目視駕駛專用號誌（第 49 項）。

2. 美國都市大眾運輸局（今聯邦大眾運輸局前身）

1970 年代，美國發現輕軌有諸多優點，遂開始於美國各城市推廣輕軌系統。其中在該局回顧報告中，針對輕軌車輛及輕軌系統分別有以下定義^[71]：

- (1) 輕軌車輛介於有軌電車（Streetcar）與大眾捷運列車之間。相同車輛可同時行駛於有軌電車軌道（路面上，無隔離路權）及輕軌系統軌道（部分隔離）上，亦即輕軌車輛與有軌電車之界線並不分明、甚至有所重疊。
- (2) 輕軌系統為都會區運輸系統，具有較高優先權，但並非一定是立體分隔、專用路權。該系統使用電力驅動之鐵路車輛，可以以單一車廂或短列車營運。該系統提供的旅客載運量範圍很廣，且具有較適中的成本。

3. 美國運輸研究委員會（Transportation Research Board, TRB）

該委員會於 1974 年創立輕軌運輸委員會（Light Rail Transit Committee）；1975 年，該學會在美國都市大眾運輸局的建議及贊助之下舉辦國際輕軌研討會，熱烈討論路面電車至輕軌的復興、營運表現等。其中賓州及新澤西州港務局交通公司在會議中針對輕軌提出以下定義^[67]：「輕軌是一種都會區電化鐵路系統，大部分為分隔路權但

非絕對，其速度、容量、整體表現較大眾捷運系統差，但仍較混合路權、行駛於路面的各種運具佳。」

1989年，輕軌運輸委員會將輕軌定義為^[52]：「一種都會區電化鐵路運輸系統。可以以單一車廂或短列車行駛於地面、地下或高架之專用路權，或偶爾行駛於街道上。其車輛設計可允許以低月臺在軌道平面上上下乘客，或高月臺在車輛底板平面上上下乘客。」

1996年，美國運輸研究委員會發布之鐵道運輸容量分析報告^[68]及輕軌運輸系統與都市街道融合分析報告^[56]則進一步將輕軌定義為：「輕軌運輸系統源自於有軌電車之改良，具多樣化之營運方式，包括地下、路面、高架或與路面交通混合營運，可由單一車廂或多節車廂編組之列車提供服務，並以架空電力驅動、避免第三軌之可能危害。由於系統具備相當之彈性，因此成本較為低廉。」

4. 美國公共運輸協會 (American Public Transportation Association, APTA)

美國公共運輸協會會定期發布公共運輸的統計資料，是故需針對各項名詞深入定義，其中輕軌 (Light Rail) 定義為^[74]：「一種公共運輸運具 (又稱為 Streetcar、Tramway、Trolley)、客用之鐵路車輛，通常為單一車廂或短編成 (2~3 車廂) 之列車，大多行駛於分隔路權之軌道上。車輛為電力驅動且具有集電弓或集電桿，沿線有電車線提供電力。車輛由車上的司機員所操控。」

5. 英國輕軌運輸協會 (Light Rail Transit Association, LRTA)

英國輕軌運輸協會長期關注世界各地輕軌、路面電車、捷運的推展，期望能達到更好的大眾運輸環境。該協會副主席將輕軌定義為^[75]：「輕軌大多行駛於分隔路權之軌道上，旅客在車站而非路旁上下車，且營運速度較高。惟輕軌與路面電車並無明確界線，路面電車可逐步升級成為輕軌系統。」

6. 英國鐵公路辦公室 (Office of Rail and Road, ORR)

英國鐵公路辦公室針對輕軌 (Light Rail) 均給予明確定義，其中輕軌定義為^[76]：「輕軌為都市之鐵道運輸系統，使用電力驅動之軌道車輛，在專用路權之平面、高架或隧道，也偶爾行駛於街道上。該系統操作係完全由號誌控制，可配備列車自動防護系統 (Automatic Train Protection, ATP)。輕軌系統與傳統重軌相比，有營運法規較寬鬆、設備較輕、速度較低等特點。」

7. 國際公共運輸聯盟 (Union Internationale des Transports Publics, UITP)

該組織對輕軌發布以下定義^[69]：「輕軌是以鐵路為骨幹的運輸系統，包含現代化的路面電車 (Tramway)、獨立路權的快捷公共運輸系統 (Rapid Transit System) 等多種階段，路權可為高架、平面或地面等形式。每一個階段都可以是最終階段，但仍保留進化到下一個更高階段的可能性。」

8. 美國賓州大學 Vukan R. Vuchic 教授

1981 年，Vukan R. Vuchic 將輕軌運輸系統定義為^[73]：「輕軌運輸為一種半快捷大眾運輸 (Semirapid Transit) 系統，多使用 B 型路權，有時在不同的路網路段會採用 A 型或 C 型路權，舉凡具獨立路權 (僅平面分隔) 之街道、立體分隔之隧道或高架橋等均可為輕軌運輸系統，因此該系統的表現與路權形式、分隔程度、位置有很大的關係。輕軌運輸系統具備以電力驅動的軌道車輛，每列車以一至四車廂的組合運轉。具有相當寬廣的服務水準與績效特性區間。」

2.1.2 國內定義

1. 張有恆教授

張有恆教授在其著作中提出輕軌系統定義為^[28]：「輕軌運輸系統乃是由電力推展的鐵路車輛，以單節或列車來營運，是具有各種路權型式下營運之「半大眾捷運系統 (Semi-rapid Transit)」，其運量介

於每小時 6,000 人到 20,000 人之間。主要針對中型都市或具發展潛力的運輸走廊地帶而設計，以適當的速率和費用提供中等容量的運輸服務。由於其所使用的路權可視情況採用部分在地下、部分在地上或高架，因此每公里造價較其他鐵路運具低，且其具有發展潛力和擴充彈性（可逐漸提升為捷運系統）。」

2. 臺北市政府捷運工程局

臺北市捷運工程局對輕軌系統定義為^[47]：「輕軌捷運系統係應用鋼軌鋼輪式傳統鐵路車輛，但車廂容量較小，聯掛輛數較少，每小時單方向運量約在二萬人次內。」

3. 本所

民國 87 年「台灣地區引進輕軌運輸系統技術型式選擇之研究」^[9]一案言明「輕軌運輸」有狹義及廣義的定義：前者專指單一技術形式，包含街走式專用路權（B 型路權）、無閘門收費系統、使用電車線供電等；後者則將輕軌視為一個運輸系統族群，在定義上較為寬鬆。該案討論的對象為廣義的輕軌運輸系統，即：「使用鋼軌鋼輪，以傳輸電力為動力之被動導軌都會區公共運輸系統。」

民國 95 年「輕軌與公車捷運系統納管之研析」^[16]一案考量輕軌運輸系統在「工程技術」、「路線容量」和「都市形象」等方面的革新，針對輕軌做出以定義：

- (1) 它是一種「軌道支撐式」的都市公共運輸系統，亦是一種目前和都市大眾最為親近，且象徵環保、先進的鐵道系統。
- (2) 具因地制宜之彈性，能在較小的轉彎半徑，較緩的坡度上及街道上行駛；亦可透過特殊設計來突破現有道路條件的限制。在必要情況下（如跨越鐵路），亦可採立體化隔離之設計。
- (3) 以架空饋線供應電力而運轉為主，亦可採用其他形式如柴電動力或第三軌供電。

- (4) 是一種簡單的系統，通常裝配著無閘門之收費系統，簡單的車站和一人駕駛的電聯車。
- (5) 使用現代化高運量的車輛，載重較重軌系統為輕，通常採 1~4 節的車廂型式在街道上行駛。
- (6) 主要行駛於街道，採專有路權型式進行佈設，必要時於路口採用優先號誌通行；在郊區時以隔離型態高速行駛。

民國 106 年「都市軌道運輸系統型式發展之研究」^[13]一案，亦針對輕軌系統提出狹義及廣義的定義，兩者定義如下：

- (1) 狹義：輕軌係由路面電車改為單一化路權（B 型路權）而來，並且發展出 A 型專有路權的輕軌捷運系統（Light Rail Rapid Transit, LRRT），輕軌系統大多為五~七節車以關節連結器串聯，長度以 32m~45m 為標準尺寸，載客量 200~300 人左右，每小時單方向之運能約在 2,000 至 20,000 人次。
- (2) 廣義：輕軌系統路權有 B 型路權（沿行車方向以緣石、柵欄及高度差等方式與地面交通隔離，但在交叉路口仍與橫向的人車平交混合通行）及 C 型路權（與一般車輛混合共用路面）為主，由司機員操作駕駛。可由膠輪或鋼軌鋼輪支撐，並使用電動馬達做為推進，供電一般多採架空線。

4. 交通部輕軌系統建設及車輛技術標準規範

交通部於民國 100 年，依大眾捷運法第 24 條之二規定制定輕軌系統建設及車輛技術標準規範，並於 107 年頒布第二次修訂版。該規範針對輕軌定義如下：

- (1) 輕軌系統係指有人駕駛、使用導引、電力驅動之客運運輸系統，可因地制宜。
- (2) 同一路線可單獨或混合採用專用路權、隔離路權、共用路權（有關共用路權之規定，視大眾捷運法第三條修正狀況調整之）。

- (3) 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。

表 2.1 綜整以上專家、學者、組織及政府定義，說明輕軌運輸系統在路權型式、車輛特性、供電系統、行車控制與號誌系統之定義。考量定義的範圍應能廣泛地應用在我國未來輕軌運輸系統，爰以交通部輕軌系統建設及車輛技術標準規範定義的輕軌運輸系統做為本研究計畫之定義。

表 2.1 國內外輕軌運輸系統定義整理

文獻	路權型式	車輛特性	供電系統	行車控制與相關設備
德國政府	● A、B、C	● 鐵路車輛（鋼軌鋼輪） ● 低地板或車輛踏板設計 ● 可多車組營運，每車組不可再分割	● 僅針對架空線系統擬定規範	● 有鐵路號誌及公路目視駕駛專用號誌
美國都市大眾運輸局	● A、B、C	● 鐵路車輛（鋼軌鋼輪） ● 車組可為單節或多節	● 未說明	● 未說明
美國運輸學會	● A、B、C	● 鐵路車輛（鋼軌鋼輪） ● 車組可為單節或多節 ● 低地板或車輛踏板設計	● 架空線系統	● 未說明
美國公共運輸協會	● 大多 A、B	● 鐵路車輛（鋼軌鋼輪） ● 車組可為單節或多節	● 架空線系統，使用集電弓或集電桿	● 由司機員手動駕駛
英國輕軌運輸協會	● 大多 A、B	● 鐵路車輛（鋼軌鋼輪）	● 未說明	● 未說明
英國鐵路辦公室	● A、B、C	● 鐵路車輛（鋼軌鋼輪） ● 車輛（軸重）較輕	● 未說明	● 有號誌系統，甚至有 ATP
國際公共運輸聯盟	● A、B、C	● 鐵路車輛（鋼軌鋼輪）	● 未說明	● 未說明
美國賓州大學 Vukan R. Vuchic	● A、B、C （大多 B）	● 鐵路車輛（鋼軌鋼輪） ● 車組可為單節或多節	● 未說明	● 未說明

表 2.1 國內外輕軌運輸系統定義整理 (續)

文獻	路權型式	車輛特性	供電系統	行車控制與相關設備
我國張有恆	● A、B、C	● 鐵路車輛 (鋼軌鋼輪)	● 未說明	● 未說明
我國臺北市政府捷運 工程局	● 未說明	● 鐵路車輛 (鋼軌鋼輪) ● 車廂容量、聯掛節數少	● 未說明	● 未說明
我國運輸研究所 (廣義)	● A、B、C	● 未強調鋼軌鋼輪 ● 軸重較輕、車輛界限較小	● 多使用架空線	● 由司機員手動駕駛
我國運輸研究所 (狹義)	● B	● 鐵路車輛 (鋼軌鋼輪) ● 5~7 節車廂，總長 32~55m	● 架空線系統	● 由司機員手動駕駛
我國交通部輕軌系統 建設及車輛技術標準 規範	● A、B、C	● 未強調鋼軌鋼輪 ● 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	● 架空線、第三軌或地 面供電系統	● 由司機員手動駕駛

資料來源：本研究整理

2.2 輕軌運輸系統之特性

以下參考交通部輕軌系統建設及車輛技術標準規範，就路權型式、車輛特性、供電系統、以及行車控制與號誌系統等觀點，討論輕軌運輸系統之特性。

2.2.1 路權型式

交通部輕軌系統建設及車輛技術標準規範中，將輕軌運輸系統根據其使用軌道的狀況以及與其他交通工具隔離的程度，分為 A、B、C 三種路權型式^[5]：

1. 專用路權（A 型路權）

輕軌系統行駛之全線路段皆為專用用地，與平面道路交通完全隔離，如圖 2-1。

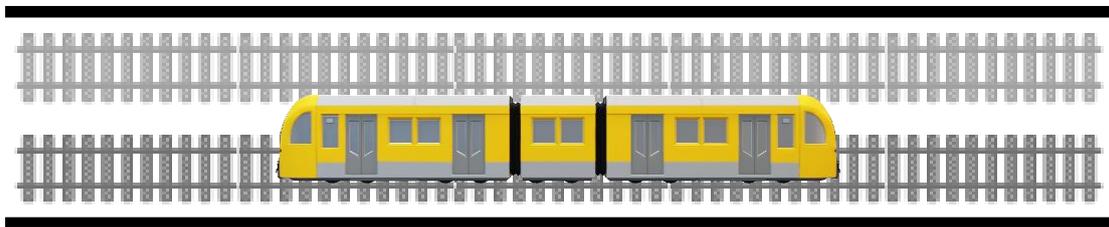


圖 2-1 A 型路權示意圖

2. 隔離路權（B 型路權）

輕軌系統於一般路段設有隔離設施，僅與平面道路相交處設有平面交叉路口，其路口號誌可視情況採輕軌系統優先通行號誌，如圖 2-2。

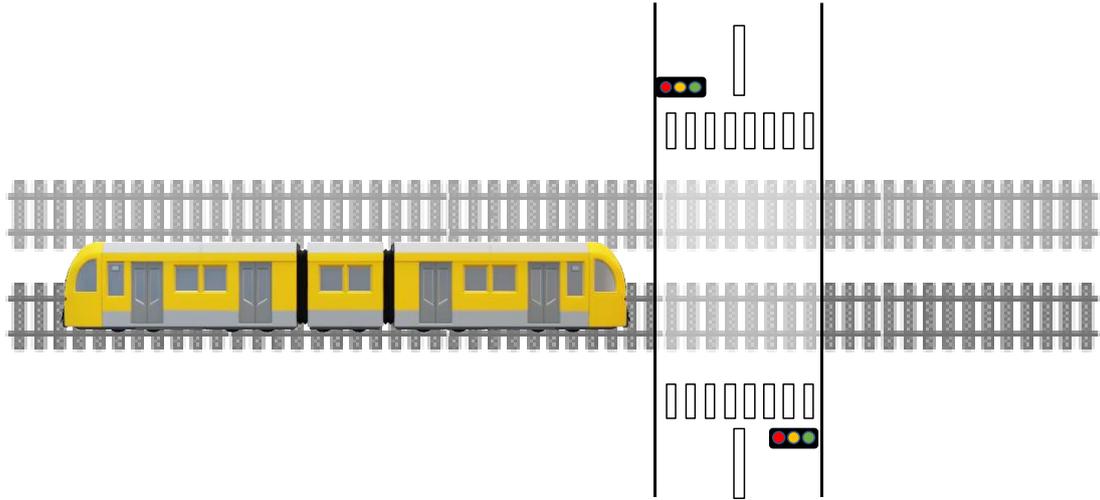


圖 2-2 B 型路權示意圖

3. 共用路權（C 型路權）

輕軌系統列車與道路車輛可共用行駛之路徑，但以輕軌系統行駛優先，如圖 2-3。

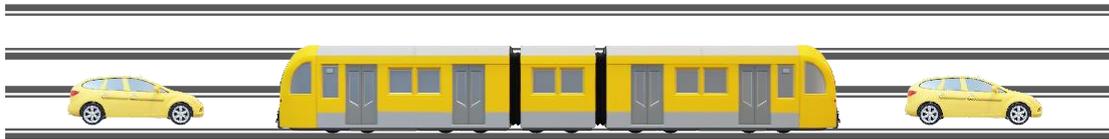


圖 2-3 C 型路權示意圖

A 型路權的輕軌系統，由於列車有完全的路線使用權，容量比較高；而 B 型路權的輕軌系統，列車經過平面交叉道路時，因路口之路權必須與橫向車流共用，影響到列車通過路口的使用權而降低容量；至於 C 型路權的輕軌系統，因車道所有路權皆開放與其他運具共用，對列車運轉的干擾最大，容量更低。

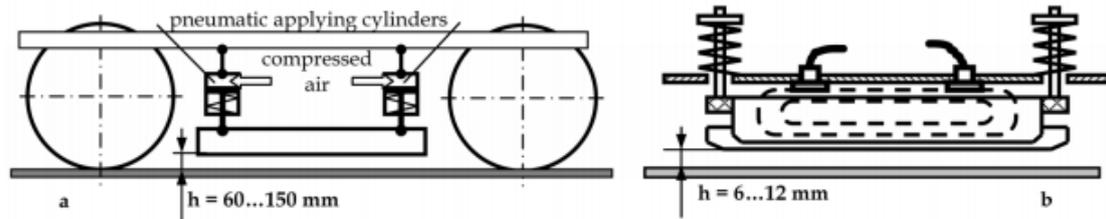
2.2.2 車輛特性

列車的運轉速度與加減速性能會影響兩連續列車通過路線上同一點的時間間隔，而長寬尺寸決定一列車所能提供的乘位數，這些因素皆會影響路線容量以及設計容量。

為滿足輕軌路線之營運需求，交通部輕軌系統建設及車輛技術標準規範中明列列車設計須滿足之規範，以下摘錄其中較重要者^[5]：

1. 以能通過 25 公尺之最小水平曲率半徑為原則。
2. 車輛寬度以 2.40 公尺至 2.65 公尺為原則，車輛高度（集電弓降弓狀態）以小於 3.8 公尺為原則。
3. 車廂地板距天花板淨高於站立區不得少於 2 公尺，座位區不得少於 1.70 公尺；低地板車廂之低地板部分面積比例不得小於 70%，低地板距鋼軌頂面之高度不得大於 400 公厘，車門入口處應採用低地板。
4. 推進系統應至少可滿足路線坡度 6% 之推進需求。
5. 列車兩側應設乘客上下門，雙扇車門淨寬應為 1,300 公厘以上，單扇車門淨寬應為 800 公厘以上。
6. 車輛應配置既獨立且可相互協調配合之電力煞車及摩擦煞車系統，以提供車輛於正常營運狀態下所需之煞車力。但應有緊急煞車機制以提供緊急煞車時所需之煞車力；煞車系統之設計應假設電力煞車失效時，摩擦煞車仍能自動全額提供煞車功能。

其中針對前述之「緊急煞車」機制，國內鐵道系統，包含高雄輕軌、淡海輕軌，以及龐巴迪公司 (Bombardier)、亞斯通公司 (Alstom) 等知名國外輕軌車輛廠，多透過「電磁軌道煞車 (Magnetic Track Brakes)」達成此要求^[53,60]。電磁軌道煞車係在轉向架上、軌道正上方設置電磁鐵，當通電啟動時電磁鐵便會與軌道產生電磁吸力，透過兩者間的摩擦力達成快速煞停的效果，其設備如圖 2-4 所示。



資料來源：[53]

圖 2-4 電磁軌道煞車設備示意圖

2.2.3 供電系統

列車運行可能因供電方式而有不同行為，例如採用車載超級電容需較長的停站時間充電，且要避免在路線上將電力用罄，在容量的計算上應注意這些影響。

交通部輕軌系統建設及車輛技術標準規範有規定供電系統設計原則，摘要如下^[5]：

1. 輕軌系統之供電應簡單輕巧，並以引自鄰近市電配電網路受電之方式設計為原則。
2. 牽引配電系統可以採用架空線供電系統、第三軌供電系統或地面供電軌系統；牽引供電電壓以 750VDC (500VDC~900VDC) 或 1500VDC (1,000VDC~1,800VDC) 為原則。

在實務上，雖各國多數輕軌系統採用架空線供電系統，惟近年已發展出其他無架空線的供電技術，茲說明如下：

1. 車載電池

將路線分段，部分路段有架空線，部分則無；當列車行駛於架空線路段時持續對列車車載電池充電，電池可供列車於無架空線路段運轉^[49]。國內淡海輕軌即為使用車載電池之實例，惟該系統僅有一處路口無架空線。

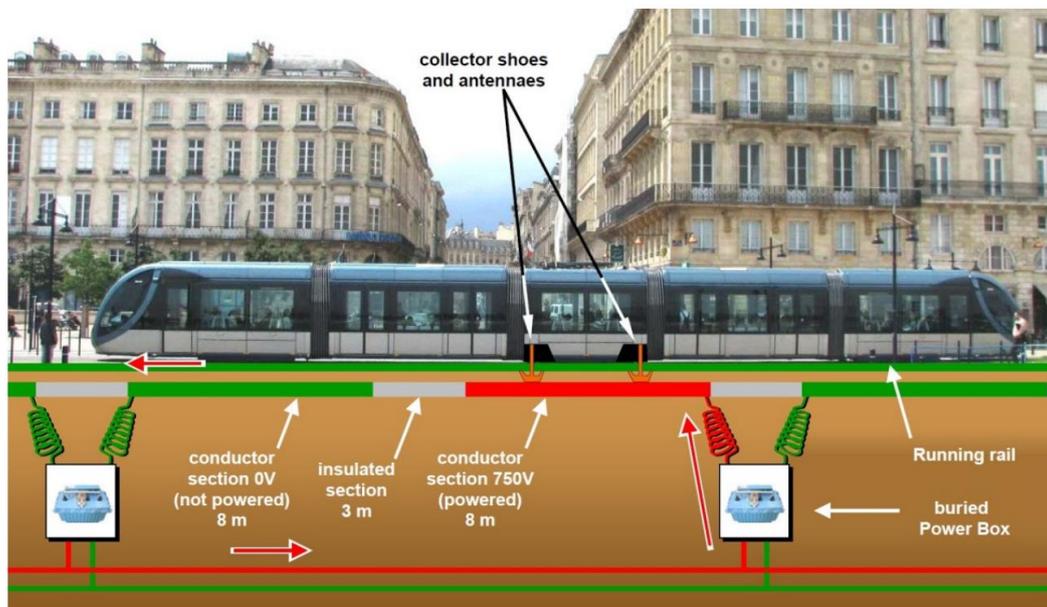
2. 車載超級電容

在列車上設置高能量、高功率密度、可快速充放電之超級電容，並於車站設置架空線。當列車停站時，集電弓可升起並快速對超級電容充電；站間則不設架空線，僅以超級電容儲存之電能運轉^[49]。國內高雄輕軌即為使用超級電容之實例。

3. 嵌埋第三軌

多為車輛製造商的專利技術^[49,66]，包含：

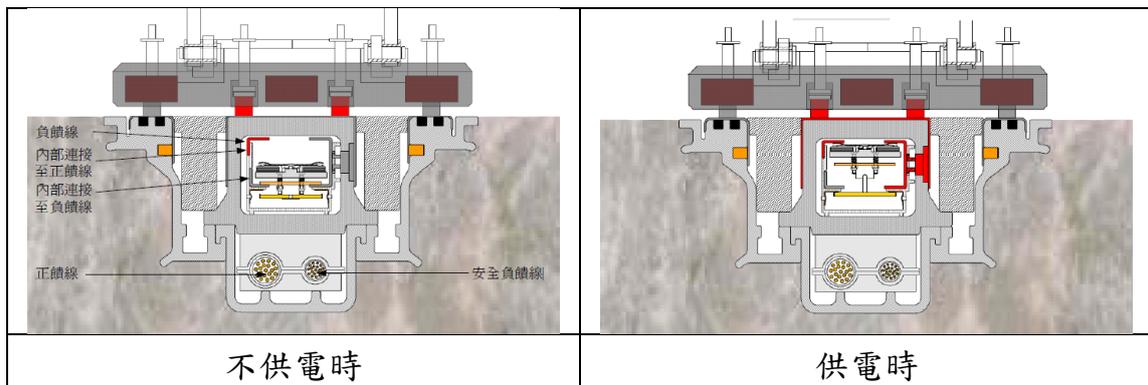
- (1) **Alternate Power Supply** 是亞斯通公司(Alstom)的專利技術，此技術係於兩條鐵軌中央布設供電軌，而列車透過車底下的集電靴接觸供電軌汲取電力，此外列車上配備了緊急備用電池，避免當供電系統故障讓列車完全失去動力。供電軌採用導電段(Conductor Section)與絕緣段(Insulated Section)交錯設置，且路軌下方設有偵測迴路(Loop)偵測列車，僅有當列車的集電靴接觸導電段時才會送電，以確保行人不會觸電，整體運作邏輯如圖 2-5 所示。



資料來源：[49]

圖 2-5 APS 供電系統運作邏輯

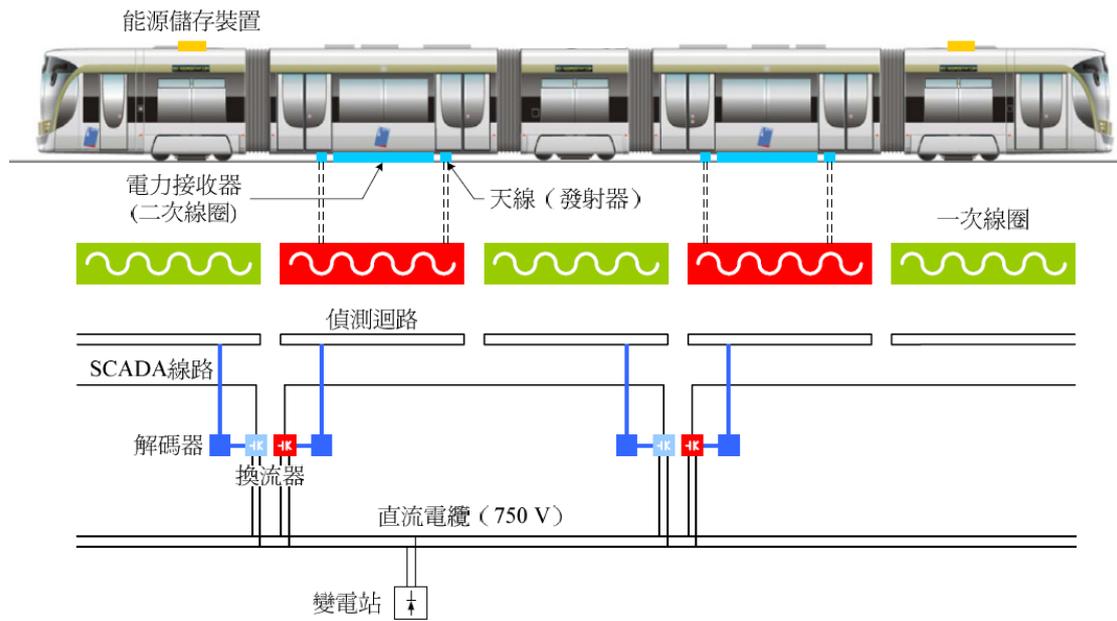
- (2) Tramwave 為日立軌道 STS 公司 (Hitachi Rail STS, 原為 Ansaldo STS) 所研發的技術, Tramwave 於軌床中間設置供電設備箱涵, 而列車底盤下的集電靴內有永久磁鐵, 當列車經過箱涵時, 會將箱涵內負責提供電力的彈性版吸起, 電力會傳至箱涵表面的金屬板, 再透過集電靴傳導至列車上。當列車通過後, 箱涵內的彈性版失去磁力作用, 受到本身重力影響而落至箱涵下方, 此時箱涵表面的金屬板便不再傳導電力, 可確保行人安全 (參考圖 2-6)。



資料來源：[49]

圖 2-6 Tramwave 供電剖面圖

- (3) Primove 是龐巴迪公司 (Bombardier) 所發展的技術, 此技術於軌床下設置感應線圈 (Induction Loop), 於車體下設置電磁線圈 (Electromagnetic Coil), 並於車上設置能源儲存裝置, 當列車通過時, 軌床下的感應線圈會產生磁場 (Magnetic Field), 而車體的電磁線圈會將磁場轉成電能供牽引馬達使用。此技術不僅無架空線, 亦無實體接觸之供電介面, 整體運作邏輯如圖 2-7 所示。



資料來源：[49]

圖 2-7 Primove 供電系統運作邏輯

2.2.4 行車控制與號誌系統

為使列車能安全行駛於軌道上，鐵道運輸系統通常是透過行車制度以及號誌系統的設計來控制列車的行止，是影響容量最關鍵的因素之一。

交通部輕軌系統建設及車輛技術標準規範中，針對號誌及行車控制系統之規範條文摘錄如下^[5]。另有關優先號誌之策略則參考 2.2.5 節說明。

1. 輕軌號誌系統須提供所有行駛於路網之列車能夠安全運轉，並能提昇營運效率。一般以駕駛員目視操控駕駛之行車監控系統為原則。
2. 輕軌號誌系統應能提供路徑設定、列車識別功能。
3. 隔離路權（B 型路權）及共用路權（C 型路權）路段能與道路交通號誌聯鎖；專用路權（A 型路權）路段能配合速限之要求。
4. 能接受遠距監控。

5. 軌道轉轍器應與輕軌號誌系統聯鎖。
6. 交叉口應能提供優先號誌功能。
7. 交叉口應設置警告燈號、警告音響、列車接近偵測裝置及相關電路設施等，以預先淨空路口。
8. 交叉口鄰近交通號誌控制器必要時得以連鎖模式操作。

綜整以上規範，本研究補充說明如下：

1. 考量輕軌行車控制與號誌系統仍需具備路徑設定、速限、連鎖等要求，故仍可裝設列車自動防護系統（ATP）、列車自動控制系統（Automatic Train Control, ATC）等，使行駛於路網之列車得以安全運轉，並提高平均運行速率及準點率。
2. 輕軌系統採用專用號誌，設計不同於一般公路交通號誌，可避免駕駛人混淆，惟各國輕軌號誌設計有所相異，說明如下：
 - (1) 美國輕軌（表 2.2）一般建議採三燈號號誌，直桿、三角與橫桿三個燈號分別代表通行、準備停止及停止；也可採用兩燈號號誌，並以直桿（通行）燈閃爍代表準備停止；直桿（通行）燈號可順逆時針旋轉 45 度以表示不同進路。
 - (2) 我國淡海輕軌使用美國之兩燈號號誌，以直桿、橫桿及直桿燈閃爍代表通行、停止及準備停止；直桿（通行）燈號可順逆時針旋轉 45 度以表示不同進路。
 - (3) 我國高雄輕軌（表 2.3）採用特殊的三燈號號誌，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。
3. 輕軌專用號誌可與其他平面交叉路口交通號誌連鎖、啟動優先號誌功能，讓輕軌系統車輛優先通過而不致受到其他交通流之干擾。

4. 上述優先號誌、連鎖模式等功能，需有列車位置資訊方可達成，故道旁需裝設計軸器（Axle Counter）、RFID 被動式標籤等設備以蒐集列車行駛位置等資訊。控制器可藉此預估到達路口的時間點，再根據列車到達當時之路口交通號誌開放情形，由預設的號誌控制邏輯中，選定適當的號誌控制策略，必要時會調整公路交通時相、透過專用號誌使輕軌優先通行。

表 2.2 美國輕軌運輸系統路口專用號誌範例

三燈號號誌		兩燈號號誌	
停止		停止	
準備停止		準備停止	「直桿」閃爍
通行		通行	

資料來源：[56]與本研究整理

表 2.3 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	確認號誌 (送出優先號誌需求)	準備通行 (優先號誌)	通行	準備停止

資料來源：[50]與本研究整理

2.2.5 優先號誌策略

當輕軌列車通過與公路交叉之路口時，若碰到輕軌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 2-8，在沒有採取任何優先號誌策略的情況下，會使列車經常受路口號誌影響造成額外的停等時間，不僅增加總體旅行時間，也降低了鐵道容量。因此當輕軌路線與公路有設置平面交叉路口時（即 B 型路權），該路口的號誌控制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，盡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進而提升容量。

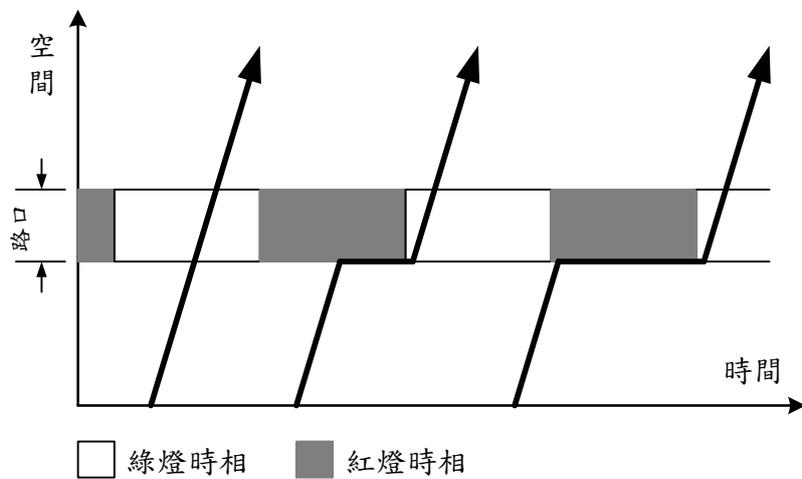


圖 2-8 不調整路口號誌下的輕軌列車運行時空圖

過去文獻中對於優先號誌策略可概分為三種^[57,61,72]，說明如下：

1. 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，如圖 2-9 所示，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。此策略應用時機在綠燈即將結束時^[72]，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。

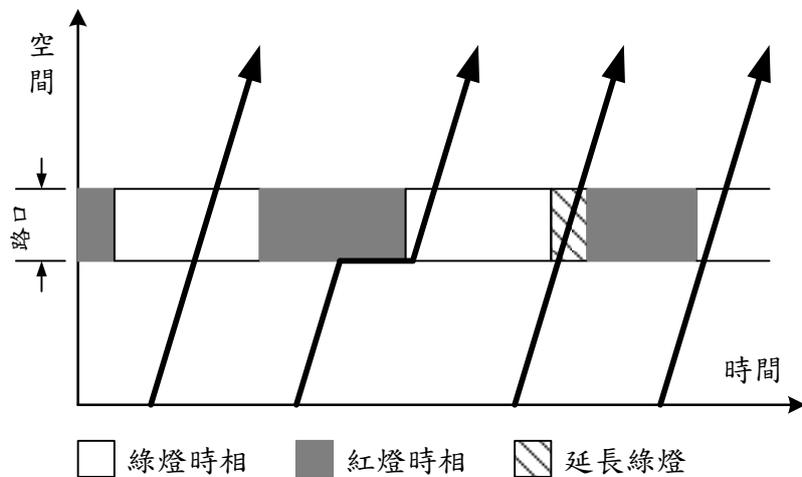


圖 2-9 延長綠燈策略下的的輕軌列車運行時空圖

2. 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，如圖 2-10 所示，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。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。

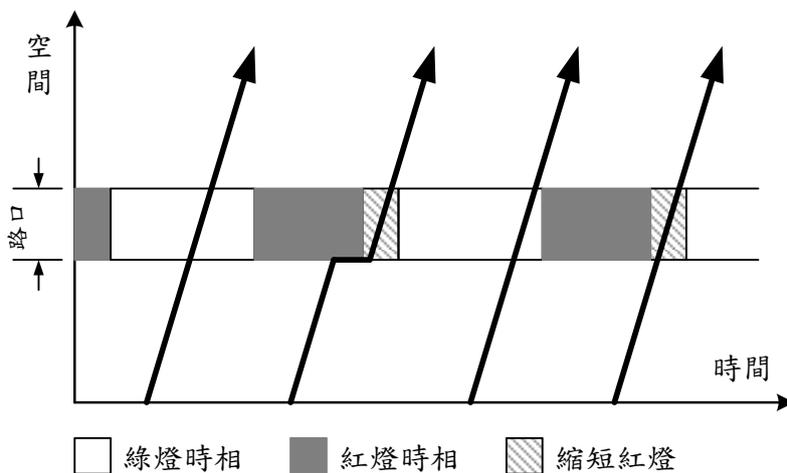


圖 2-10 縮短紅燈策略下的的輕軌列車運行時空圖

3. 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 2-11。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^[72]。

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^[50]。

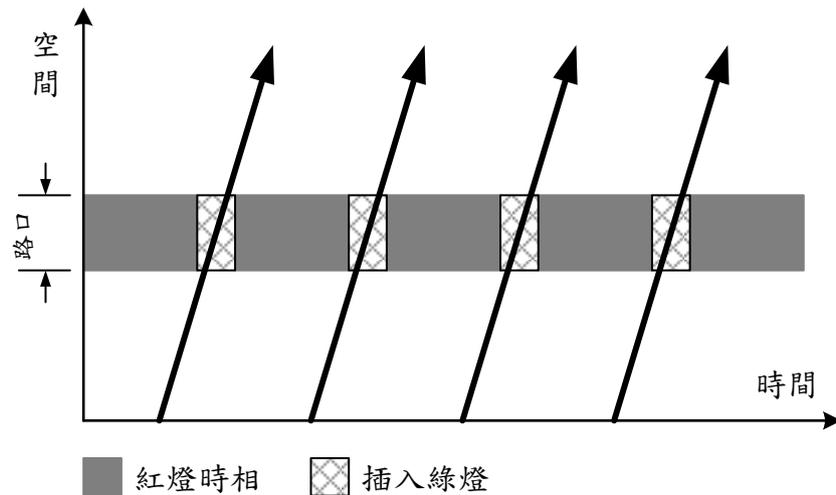


圖 2-11 插入綠燈策略下的的輕軌列車運行時空圖

2.3 國內輕軌運輸系統發展現況

2.3.1 高雄輕軌

高雄輕軌為臺灣第一條完工營運的輕軌運輸系統，該系統於 2012 年奉行政院核定，並已於 2017 年完成第一階段通車。茲將高雄輕軌依路線概況、車輛概況、行車控制等項目說明如下。

2.3.1.1 路線概況

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。

1. 第一階段

如圖 2-12 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。



資料來源：高雄市捷運局(https://mtbu.kcg.gov.tw/cht/project_LRT_circle_contents.php)

圖 2-12 高雄輕軌建設路網示意圖

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)，全線皆為平面 B 型路權(軌道與車道隔離)，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^[27]，目前營運時間為上午 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）。

2. 第二階段

如圖 2-12 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—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）。

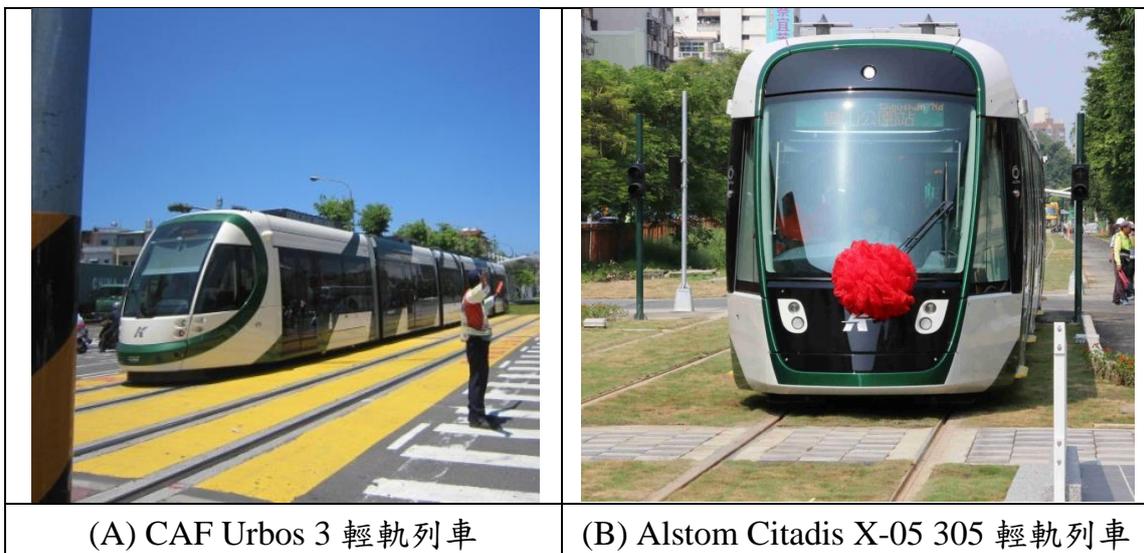
第二階段工程已於 2017 年開工，截至 2019 年 7 月止，C15-C18、C32-C37 仍持續施工中，其中 C15-C17 更已完成部分通訊設備、號誌設備等之安裝，可供列車上線測試；美術館路-大順路段則因路線較具爭議，目前停工、討論分析中，預計 2019 年下半年度將提出詳細報告據以做為後續決策參考^[27]。

2.3.1.2 車輛概況

第一階段輕軌列車由西班牙 CAF 製造（圖 2-13(A)），共有 9 列刻正營運中。在乘客體驗方面，該列車採用 100% 低地底盤的設計，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^[24]。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^[24]。

至於第二階段列車由法國 Alstom 製造（圖 2-13(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。惟第一、第二階段的系統仍在整合當中。

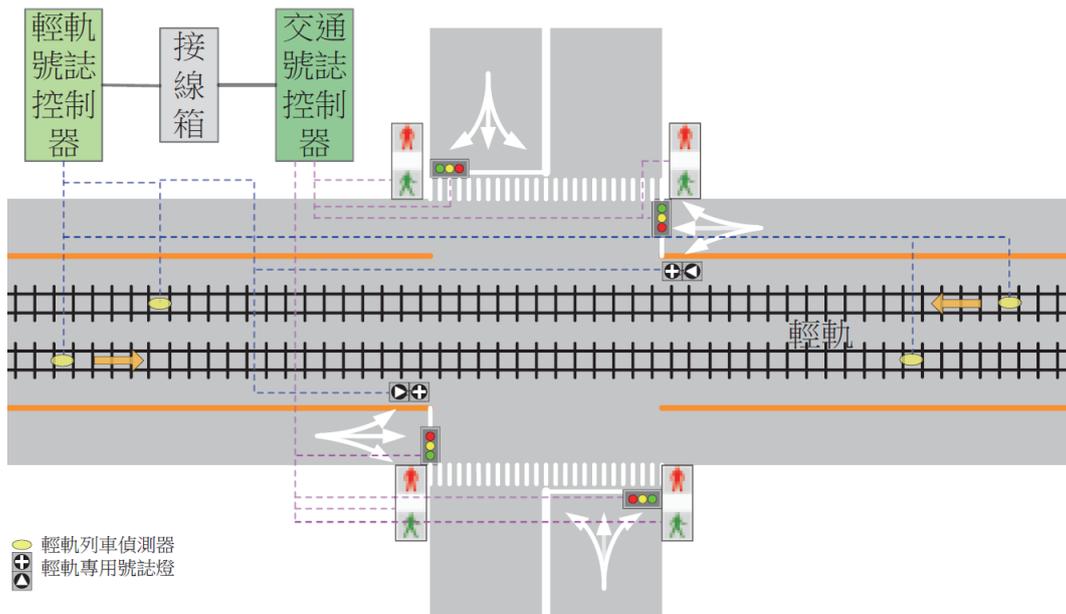


資料來源：高雄市政府、高雄環狀輕軌捷運建設（第一階段）統包工程網站

圖 2-13 高雄輕軌列車

2.3.1.3 行車控制

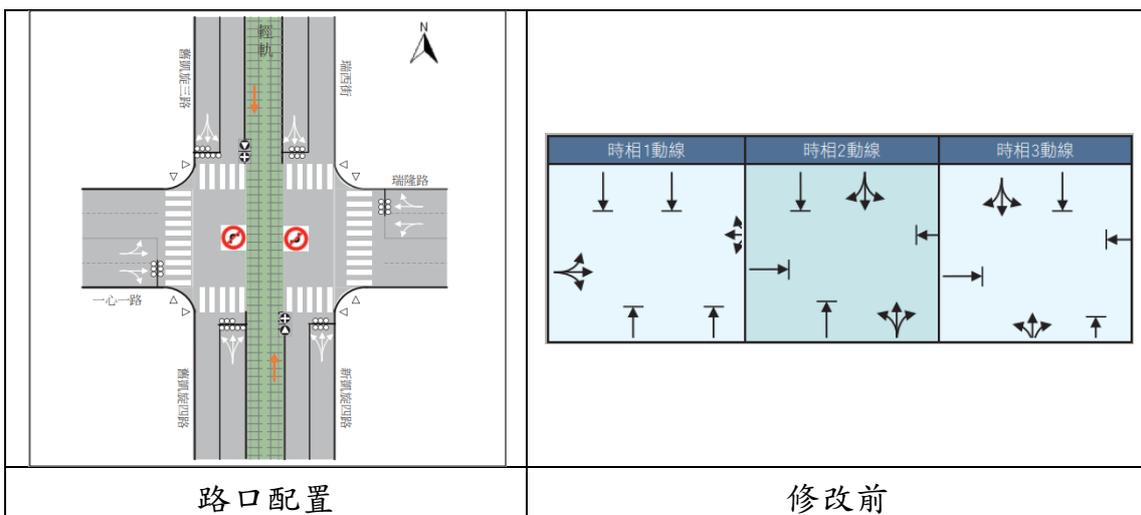
由於輕軌列車行駛於一般道路容易與公路車輛交會，是故一般輕軌系統均以人工目視為主要之行車控制方式，再輔以運行控制系統及道旁控制系統之設備，亦設置行控中心，以監控整體系統之運作^[26]。高雄輕軌的輕軌號誌與公路交通號誌分別由各自的號誌控制器管控，並以控制器連結的方式達成交換訊息、互相監視功能^[50]，具體成果如圖 2-14 所示。



資料來源：[50]

圖 2-14 高雄輕軌號誌整合架構示意圖

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^[50]。以圖 2-15 為例，配合輕軌修改後的時相如圖 2-16 所示，若列車在時相 1 到達，且時相 1 已完成最短綠燈時間，則可採縮短紅燈策略，提早進入時相 2；而若在時相 2 結束時到達，則可採用延長綠燈策略；若列車在時相 3 或 4 到達，則可採用插入輕軌時相策略，在該時相完成最短綠燈後插入一個時相 2。



資料來源：[50]

圖 2-15 凱旋四路、一心一路、瑞隆路口號誌時相（修改前）

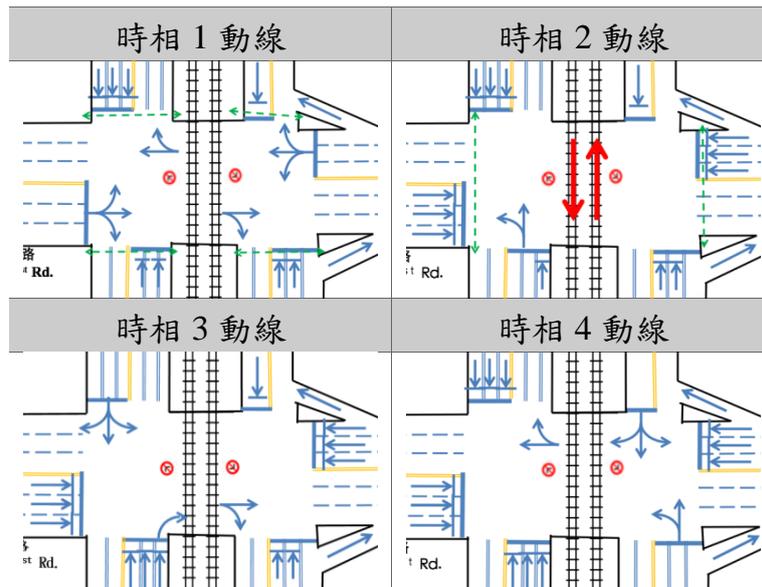


圖 2-16 凱旋四路、一心一路、瑞隆路口號誌時相（修改後）

2.3.2 淡海輕軌

淡海輕軌為北臺灣第一條完工營運的輕軌運輸系統，該系統於 2013 年奉行政院核定，並於 2018 年 12 第一期路網中的綠山線通車。茲將淡海輕軌依路線概況、車輛概況、行車控制等項目說明如下。

2.3.2.1 路線概況

在新北市政府捷運工程局的定義，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^[41]。為求說明清晰，以下將根據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 台北海洋大學站）、第二期路網（V21-V25，尚未命名）簡述概況。

1. 第一期-綠山線

如圖 2-17 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^[41]。



資料來源：新北市捷運局，<https://www.dorts.ntpc.gov.tw/home.jsp?id=af4f5c98e2488b5d>

圖 2-17 淡海輕軌建設路網示意圖

此階段全長約 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；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。第一期-綠山線工程已於 2018 年 12 月 23 日啟用通車^[41]，於 2019 年 2 月起營運時間調整為上午 6 時至下午 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^[30,31]；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。

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。

2. 第一期-藍海線

如圖 2-17 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^[41]。

此路段全長約 2.2 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^[35]，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-藍海線工程預期可於 2020 年底完工^[41]。

3. 第二期

如圖 2-17 所示，淡海輕軌第二期工程為前述藍海線未完成部分：從中山路（臺 2 乙線）與中正路（淡水老街）之交會點 V21 車站開始，向西分別經由（臺 2 乙線）與中正路（淡水老街）採單軌布設並各設一站，平面於中正路與文化路交會後併為雙軌，並沿臺 2 乙線往西布設至漁人碼頭^[41]。

此路段全長約 4.44 公里，規劃均為平面段、B 型路權（軌道與車道隔離）；此路段共設 6 個平面車站（V21、V22L、V22R、V23、V24、V25），均為 1435mm 標準軌、架空線方式供電；以複線為主，除中正路-文化路口以東採單線單向布設。第二期工程目前仍在設計階段^[35]。

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。

2.3.2.2 車輛概況

第一期輕軌列車（圖 2-18）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 2019 年 6 月已有 9 列投入營運中^[30,31]。在乘客體驗方面，該列車亦採用 100% 低地底盤的設計，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 RFID 被動式標籤的讀取進行集電弓的升降^[34]。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）及電磁軌道煞車以對應 B 型路權路段的複雜行車環境^[30]。



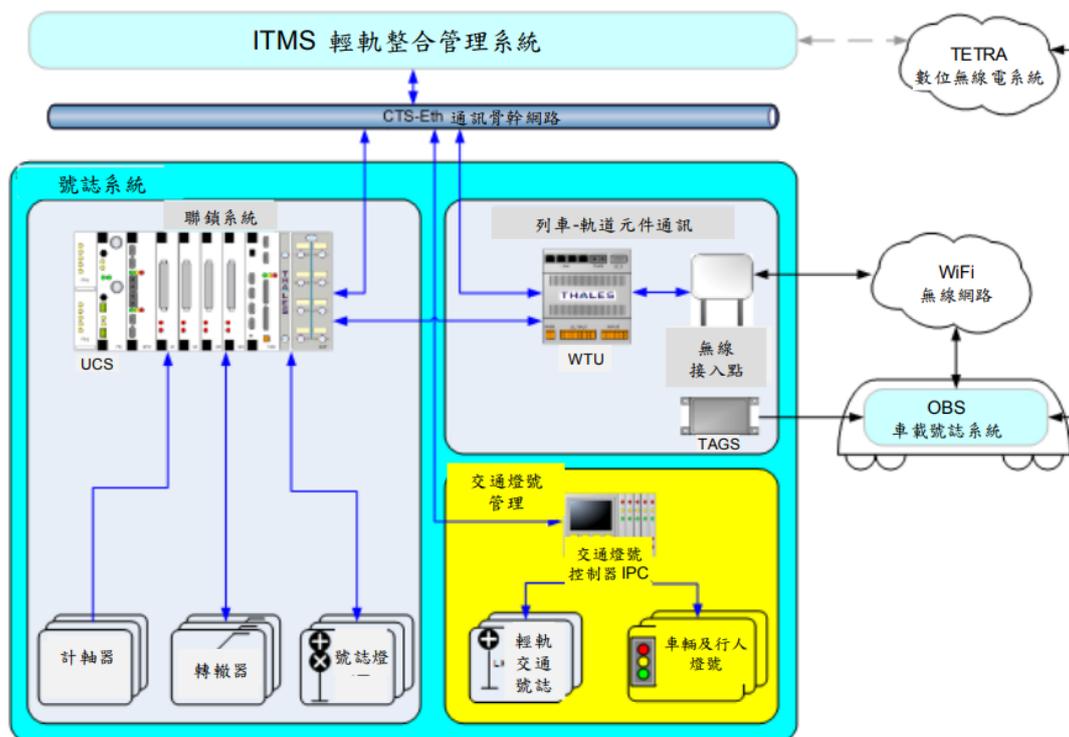
圖 2-18 淡海輕軌列車（行武者號）

2.3.2.3 行車控制

淡海輕軌第一期雖有 A 型路權路段，但仍與高雄輕軌相同，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^[40]，系統架構如圖 2-19 所示。

為偵測列車位置，淡海輕軌在軌道安裝計軸器以及 RFID 被動式標籤；前者將軌道切分為數個區塊，並計算通過「區塊起點處」及通過「區塊終點處」的輪軸數量以得知區塊是否為列車所占用、掌握列車位置^[33]；後者則是在輕軌列車上設置 RFID 標籤讀取器，當列車行駛過埋在路面上的被動式標籤時，兩者相互感應便可回傳位置相關資訊至標籤讀取器，提供輕軌列車進行速度及位置之修正^[33]。

此外淡海輕軌平均速度雖遠較鐵路系統為低，然為追求營運安全亦加裝列車自動防護系統（ATP）並取得 IV&V 獨立機構驗證報告，可輔助執行列車限速，於過彎或進站時提供更多保障^[32]。



資料來源：[40]

圖 2-19 淡海輕軌號誌系統架構圖

2.3.3 其他輕軌計畫推動情形

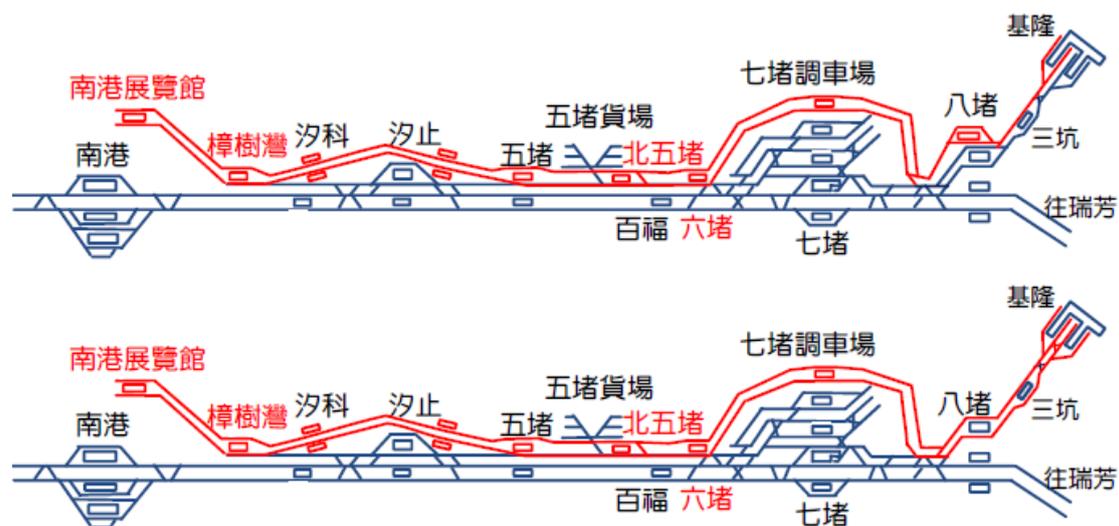
近年來臺灣各縣市亦有不少輕軌運輸系統規劃案在進行，囿於經費的限制，這些輕軌運輸系統多處於規劃階段。以下參考交通部鐵道

局、各縣市交通局、捷運工程局等相關局處的資料，將目前持續推動中的輕軌計畫以北、中、南三區作一簡單的介紹。

2.3.3.1 北臺灣

1. 基隆南港輕軌（基隆南港間通勤軌道）

基隆南港輕軌可行性評估報告於 2019 年 1 月獲國家發展委員會原則同意採四軌方案且於 2019 年 7 月啟動綜合規劃招標，若順利可望在 1 年半到 2 年內完成綜合規劃和環境影響評估^[1]。該路線起點為 BL23/BR24 南港展覽館站、終點為基隆車站。五堵站以東在臺鐵現況第三軌旁或利用第三軌用地，建置成新的兩股軌道，而五堵站以南至樟樹灣，則以既有道路作為設置高架雙軌之空間，樟樹灣至南港展覽館則回到臺鐵早期（南港鐵路地下化前）路線廊帶。全線長約 19.1 公里，如圖 2-20 所示。共設有 12 座車站（新增樟樹灣、北五堵及六堵 3 站），工程建設經費約為 103.2 億元，計畫執行期程約為 9 年^[18]。須注意此系統之營運車輛要能符合臺鐵 1067mm 窄軌、25kV 供電系統（或支援雙電壓供電）的條件，且具有輕量及較好之加減速性能^[18]。



註：八堵至基隆間可選擇以單線營運（上圖）或以雙軌營運（下圖）

資料來源：[18]

圖 2-20 基隆南港輕軌建設股道配置圖

2. 安坑輕軌

安坑輕軌綜合規劃報告於 2015 年獲行政院核定後即進入工程階段。該路線起點為環狀線十四張站、終點為安坑山區，如圖 2-21 所示，長約 7.5 公里，採部分高架、部分平面方式興建。共設有 9 座車站（4 平面車站、5 高架車站及 1 維修機廠），系統型式為輕軌系統，計畫經費約為 166.32 億元，預定完工年期為 2021 年 12 月。完工通車後安坑地區轉乘捷運環狀線，至臺北市通勤時間約可減少 15 至 20 分鐘。亦提高新店安坑地區之大眾運輸可及性及運輸效益^[39]。



資料來源：[39]

圖 2-21 安坑輕軌建設路網示意圖

3. 深坑輕軌

截至 2019 年 7 月止，深坑輕軌可行性研究報告已第七次提報交通部審議。該路線起自 BR01 動物園站、沿景美溪河谷興建、止於國道五號石碇服務區旁，如圖 2-22 所示，長約 8 公里，採部分高架、部分平面方式興建。共設有 7 座車站（4 平面車站、3 高架車站及 1 維修

機廠)，系統型式為輕軌系統，計畫經費預估為 122 億元（2016 年）[4]。



資料來源：[42]

圖 2-22 深坑輕軌建設路網示意圖

4. 八里輕軌

為整合淡海輕軌列車營運模式，此案於 2014 年納入「淡海輕軌運輸系統計畫基本設計及第 1 期專案管理顧問委託技術服務案」之服務工作項目及工作內容，截至 2019 年 7 月止，可行性研究報告已三次提報交通部審議，並已於同年 5 月由交通部鐵道局辦理現地勘查。該路線起自淡海輕軌 V26 站、與淡江大橋共構跨越淡水河，後沿博物館路、沿商港三路、商港一路至臺 64 線附近止，如圖 2-23 所示，長約 5.6 公里，除跨河段（1.3 公里）外均採平面方式興建。共設有 7 座平面車站，系統型式為輕軌系統，計畫經費預估為 68.8 億元（2018 年）[37]。



資料來源：[37]

圖 2-23 八里輕軌（淡海輕軌延伸八里線）建設路網示意圖

5. 五股泰山輕軌

截至 2019 年 7 月止，五股泰山輕軌可行性研究報告已六次提報交通部審議。該路線起自環狀線（北環段）Y22 站、途經 O54 蘆洲站、成蘆大橋，續沿新五路三段、新五路二段南行並跨越國道一號五股交流道，後進入泰山地區並止於輔仁大學醫院附近之機場捷運線 A5a 站（預留但尚未設置），如圖 2-24 所示，長約 11.48 公里，採部分高架、部分平面方式興建。共設有 14 座車站（3 平面車站、11 高架車站及 1 維修機廠），系統型式為輕軌系統，計畫經費約為 214 億元（2016 年）^[19,38]。另外此案亦有延伸中和計畫，又名泰山板橋輕軌，最早見於 2019 年新北市提出之捷運建設願景圖（圖 2-25），目前尚在可行性研究階段。



資料來源：[38]

圖 2-24 五股泰山輕軌建設路網示意圖



資料來源：[36]

圖 2-25 泰山板橋輕軌建設路網示意圖

6. 社子輕軌

該輕軌路網規畫最早出自臺北市捷運工程局 2002 年 6 月完成之「社子/士林/北投區域輕軌路網先期規劃」報告。該系統包含東西線及南北線，前者全長 7.5 公里，設 11 座車站與一座主機廠，並且可轉乘 R17 芝山站；後者全長 9.1 公里，設 10 座車站及一座次機廠，並且

龍站銜接，如圖 2-27 所示。全線長約 11.5 公里，採部分高架、部分平面方式興建，後續將於綜合規劃研擬市區地下化的可行性。共設有 8 座車站，系統型式為輕軌系統，計畫經費預估為 195.58 億元（2016 年）[23]。



資料來源：[23]

圖 2-27 桃園捷運棕線建設路網示意圖

8. 新竹環狀輕軌

新竹輕軌運輸系統最早始於 1997 年的「新竹都會區大眾捷運系統規劃」，後續路網有多處修正，並於 2016 年完成「新竹地區輕軌系統建設及周邊土地開發計畫可行性研究」。以下將說明 2016 年說明規畫成果。該路線起自東大路二段與武陵西四路交會口、沿東大路經過新竹市區、跨越臺鐵後持續往東到清華大學、交通大學、新竹科學園區週遭至及六家線新莊車站，接著轉上北方跨越頭前溪進入竹北市，最後止於竹北車站附近，如圖 2-28(A)所示，長約 21.7 公里，採部分高架、部分平面方式興建。共設有 24 座平面車站、3 座高架車站與一座機廠，系統型式為輕軌系統，計畫經費預估為 288.2 億元（2016 年）[44]。

2018年，此案亦獲前瞻計畫補助委請顧問公司進行大新竹輕軌計畫案可行性研究評估，刻正持續評估中。然根據市長施政報告，新竹輕軌可能規劃改為環狀路線，如圖 2-28(B)所示^[43]。



(A)2016年新竹地區輕軌系統建設及周邊土地開發計畫可行性研究



(B)新竹市議會第九屆第五次定期會林智堅市長施政報告

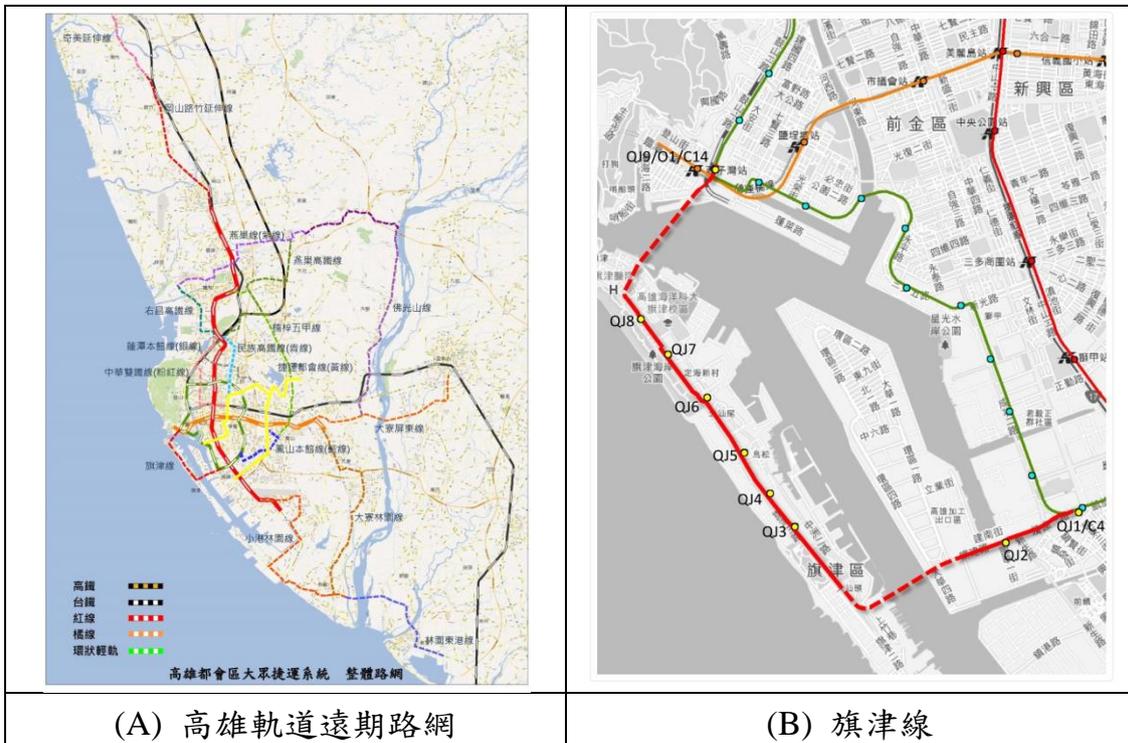
資料來源：[43,44]

圖 2-28 大新竹輕軌建設路網示意圖

2.3.3.3 南臺灣

1. 高雄輕軌旗津線

2011 年高雄縣市合併後考量社經發展變化，市政府重新研擬高雄都會區大眾捷運系統之整體發展路網，如圖 2-30(A)所示。目前遠期路網大多數路線仍在規畫研議中，僅旗津線已於 2018 年 12 月評選廠商並委託進行旗津線畫可行性研究案。該路線東起於 C4 凱旋中華站，西行行經凱旋四路、擴建路、（第二過港隧道）、旗津二路、旗津三路後，轉地下型式轉經廟前路，新闢過港隧道型式穿越高雄港區，至新濱碼頭北側出土止於 O1 西子灣站/C14 哈瑪星站，如圖 2-30(B)所示。全線長約 7.39 公里，預計設置 9 座車站，系統型式為輕軌系統^[25]。



資料來源：[25]

圖 2-30 高雄輕軌旗津線建設路網示意圖

2. 東港輕軌（東港觀光鐵道）

配合國家發展委員會「海洋經濟發展構想」，鐵道局研議以鐵道系統串聯東港、大鵬灣、小琉球，使東港線有重生的機會。東港輕軌可行性研究報告已陳報交通部核備，交通部並於 2018 年底函報行政院

表示該可行性研究案已由鐵道局先行結案，視未來情勢及經濟發展狀況，再予適時啟動。該路線原規劃使用臺 17 線、國 3 橋下道路及大鵬灣環灣道路路廊，新闢路線從林邊車站至東港，長約 9.0 公里，以平面路堤為主，跨河段採橋梁或箱涵。共設有 6 座車站(均為平面車站)，系統型式為輕軌系統。

綜整本節說明，表 2.4 列出我國輕軌運輸系統發展及推動現況，我國目前僅新北淡海及高雄輕軌已部分通車啟用；規劃中的系統則以新北市為最大宗，其次為高雄及臺中。

表 2.4 我國輕軌運輸系統發展及推動現況

階段 計畫	可行性 研究	綜合 規劃	設 計	施 工	營 運	說明
淡海輕軌 -綠山線					V	已於 107 年 12 月 23 日啟用通車
淡海輕軌 -藍海線一期				V		刻正施工中，預計 109 年底完工
淡海輕軌 -藍海線二期			V			刻正辦理基本設計中
八里輕軌	V					108 年 6 月第三次提報交通部審議
基隆南港輕軌		V				已於 108 年 7 月啟動綜合規劃招標
安坑輕軌				V		刻正施工中，預計 110 年底完工
深坑輕軌	V					108 年 3 月第七次提報交通部審議
五股泰山輕軌	V					108 年 5 月六次提報交通部審議
泰山板橋輕軌	V					刻正啟動可行性研究
社子輕軌	配合社子島開發方案，重新檢討中					無

表 2.4 我國輕軌運輸系統發展及推動現況（續）

計畫	階段	可行性研究	綜合規劃	設計	施工	營運	說明
桃園捷運棕線			V				刻正辦理綜合規劃工作事宜
新竹輕軌		V					刻正辦理可行性研究
雙港輕軌		V					刻正辦理可行性研究
大平霧輕軌		V					刻正辦理可行性研究
高雄輕軌-第一階段						V	已於106年9月全線完工通車
高雄輕軌-第二階段					V		C15-C18、C32-C37 持續施工中，C19-C31 則停工檢討中
輕軌旗津線		V					刻正辦理可行性研究
東港輕軌		V					鐵道局先行結案，視未來情勢及經濟發展狀況，再予適時啟動

註：截至 108 年 7 月止

資料來源：本研究整理

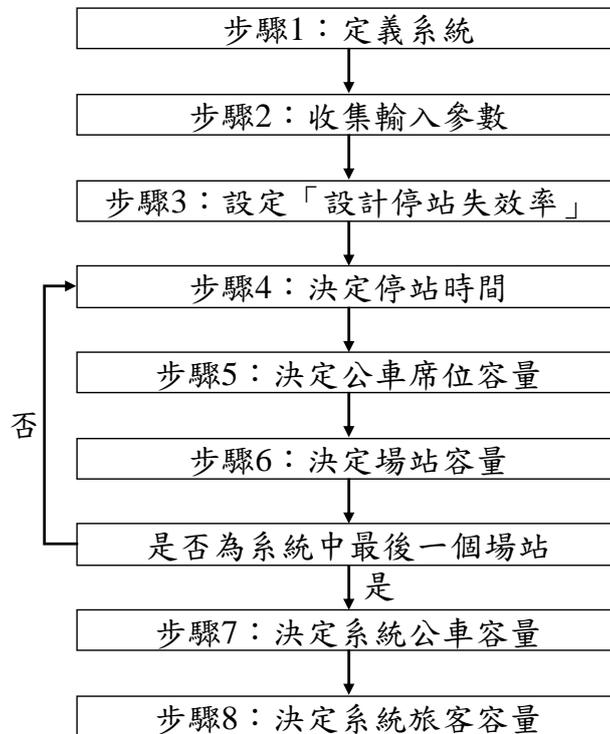
2.4 輕軌運輸系統容量相關研究

為探討輕軌容量之議題，以下將回顧輕軌運輸系統容量相關研究。另外考量公車捷運系統（Bus Rapid Transit, BRT）、公車專用道等運輸系統特性與 B 型路權輕軌相近，故一併蒐集、回顧相關文獻。

2.4.1 公車捷運系統或專用道

1. 美國大眾運輸系統容量及服務品質手冊（Transit Capacity and Quality of Service Manual, TCQSM）^[59]將大眾運輸系統容量定義為：「在某一特定等級的運轉可靠度之下，單位時間內通過路線上某一點的最大客體數」，且考量了公車服務型態（社區巴士、通勤巴士、公車捷運系統）、停站型態（站站停、跳蛙、直達）、

路權型式等變化提出一套公車系統容量分析流程，如圖 2-31 所示。
 以下節錄步驟 5、步驟 6 之公式並簡要說明。



資料來源：[63]

圖 2-31 公車系統容量分析流程

(1) 決定公車席位容量

公車席位 (Loading Area) 容量代表在僅有一個公車席位時，不考慮公路飽和度、進出公車席位時延滯等影響，僅考慮公路號誌影響與設計停站失效率之容量。其公式可表示如下：

$$B_l = \frac{3600(g/C)}{t_c + t_d(g/C) + t_{om}} = \frac{3600(g/C)}{t_c + t_d(g/C) + Zc_v t_d} \quad (2.1)$$

其中：

B_l ：公車席位容量 (輛/小時)

g/C ：綠燈時比，為有效綠燈 (g) 與號誌週期 (C) 之比值

t_c ：清道時間（秒），包含前車啟動至後車停靠時間、重新進入車道延滯

t_{om} ：操作餘裕（秒），須考量停站時間變異、可接受停站失效率以及停站時間，故定義 $t_{om}=Z*c_v*t_d$ ，參數定義說明如後

Z ：依據「設計停站失效率」決定之標準化數值

c_v ：停站時間變異係數

t_d ：平均停站時間（秒）

(2) 決定場站容量

公車場站容量為單一場站的實用容量。除考慮前述之公路號誌影響與設計停站失效率以外，也將場站大小（公車席位數量）、場站位置（路口前、中、後，可使用車道數等）、公路飽和度（公路交通量、公路容量）納入考量。其公式可表示如下：

$$B_s = N_{el} B_l f_{tb} = N_{el} \left(1 - f_l \left(\frac{v_{cl}}{c_{cl}}\right)\right) \frac{3600(g/C)}{t_c + t_d(g/C) + Z c_v t_d} \quad (2.2)$$

其中：

B_s ：場站公車容量（輛/小時）

N_{el} ：場站內有效公車席位數量（個）

f_{tb} ：交通與場站位置因子

f_l ：場站位置因子，考量設站位置（近端設站、遠端設站及路段中設站）、場站可使用車道數（單一公車道不可追越、單一公車道但可使用臨近車道追越、兩線公車專用道）

v_{cl} ：路口緣側車道交通量（輛/小時）

c_{cl} ：路口緣側車道容量（輛/小時）

可發現在單一公車席位的場站，其公車場站容量 (B_s) 因額外納入其他交通影響因素，故均會小於公車席位容量 (B_l)；僅有在公車專用道且禁止轉向 ($f_i=0$) 時兩者才會相等。

2. Widanapathirana 等人^[77]發現公車捷運系統的場站壅塞成因可能包含：車輛進出公車席位的彼此干擾、公車停等使後方車輛無法進入場站等，與無號誌路口的衝突行為相似，故透過微觀模擬方式探詢上述因素之影響，並提供做為場站容量解析模式之調整參考。公車捷運系統場站的潛在容量公式如下：

$$B_{abs|p} = \frac{3600}{(t_d + t_c)} N_{la} f_{bbi} \quad (2.3)$$

其中：

$B_{abs|p}$ ：公車皆停靠場站的場站潛在容量（輛/小時）

t_c ：清道時間（秒）

t_d ：平均停站時間（秒）

N_{la} ：場站內公車席位數量（個）

f_{bbi} ：容量折減因子，與公車間干擾有關。

3. Fernández^[54]則建構微觀模擬模式，將公車場站分為旅客、出口、公車等三大模組，各模組考量因素如下：
 - (1) 乘客模擬模組：搭乘路線、上下車時間等
 - (2) 出口模擬模組：停靠區有無人員管制、出口有無號誌控制、車道距離為何、前方有無停靠公車阻擋等
 - (3) 公車模擬模組：公車路線、到達時間、出發時間、剩餘容量等

而後該模式可計算出車站容量，其中單一公車席位場站公式如下：

$$Q_b = (3600N_b) / \left(\sum_{i=1}^{N_b} t_c + PST_i + t_{ei} \right) \quad (2.4)$$

其中：

Q_b ：單一公車席位場站之公車容量（輛/小時）

N_b ：模擬公車數（輛/小時）

t_c ：清道時間（秒）

PST_i ：公車 i 之旅客服務時間（秒）

t_{ei} ：場站出口狀況致使之額外延滯（秒）

4. Gu 等人^[55]則根據排隊理論，定義平均到達率 λ 與最大服務率 μ 之比值為標準化容量，並深入探討在給定的停站失敗率 FR 之下，到達分布、公車席位數量等因素對標準化容量的影響，亦即分析系統之營運可靠度。此研究以曲線擬合過去研究數據，得到公式如下所示，並可繪成圖 2-32，說明如後。

$$\lambda/\mu = FR \frac{C_s}{1.58 + 0.63C_s} \quad (2.5)$$

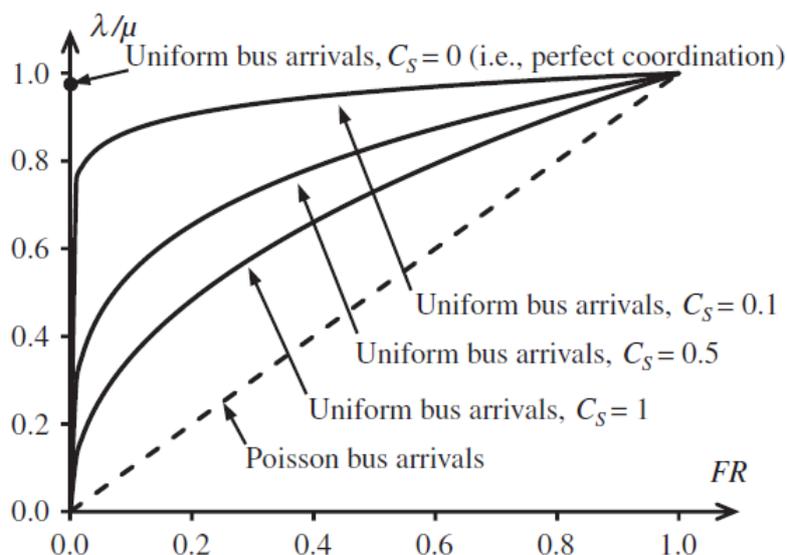
其中：

λ ：到達率，美國公路容量手冊定義為「車輛抵達車道特定點或均勻區段的統計分布平均值」

μ ：服務率，美國公路容量手冊定義為「在一般情況下，可期待車輛通過車道特定點或均勻區段的最大流率」

FR ：停站失敗率，美國公路容量手冊定義為「公車到站時發現所有公車席位均使用中的機率」

C_s ：公車服務時間的變異係數，此服務時間與上下車人數、公車門型態、收費方式等因素有關



資料來源：[55]

圖 2-32 不同因素下之車站標準化容量與失效率

- (1) 當公車為均勻抵達時，停站失敗率 FR 介於 0、1 之間時，標準化容量 λ/μ 會隨著公車服務時間變異係數 C_s 減少而遞增。
- (2) 公車服務時間無變異時 ($C_s=0$) 為公車抵達與服務時間的完美平衡狀態，此時服務水準失效率 FR 為 0。

然而本研究以探討服務水準為主，並未探討最大服務率 μ ，即 TCQSM 定義之運輸系統容量。

5. Hidalgo 等人^[58]發現過去研究多認為公車捷運系統之單方向運量不超過 20,000 人/時，但波哥大公車捷運系統已透過多公車席位、超車道、站外刷卡、雙或多節公車等方式，將單方向運量提升至 43,000 人/時。故該研究發展新公式探討高容量公車捷運路廊之容量，公式如下：

$$C_a = \sum_{i=1}^{N_{sp}} \frac{3600X_i C_p}{t_{sb}(1 - D_i) + t_c} \quad (2.6)$$

其中：

C_a ：車站的公車捷運系統旅客容量（人/小時）

C_p ：公車最大旅客載運量（人/輛）

X_i ：可接受路線飽和度，與基礎設施及營運策略有關

N_{sp} ：車站公車席位數（個）

t_{sb} ：旅客上下車時間（秒），與上下車旅客數、車上旅客數、車站旅客數有關

t_c ：清道時間（秒）

D_i ：公車不停靠公車席位 i 的機率

6. 臺灣公路容量手冊^[7]針對公車專用道定義了兩種容量：

(1) 公車站容量

以下列條件為前提，讓乘客上下車之後離開車站之最大流率，其計算公式為式(2.7)。

- 有不斷的公車等著進站
- 公車進站及離站不受下游號誌控制之影響
- 公車進站及離站時不受車站下游停等車之阻礙

$$Q_0 = \frac{3600\beta_0}{a + bT} \quad (2.7)$$

其中：

Q_0 ：公車站容量（輛/小時）

β_0 ：車長及站臺使用方式調整係數

a ：根據能同時靠站之公車數 N 而變的係數，其估計方式為

$$a = 3.792 + 2.809e^{\frac{N-1}{1.730}}$$

b ：根據能同時靠站之公車數 N 而變的係數，其估計方式為

$$b = 0.325 + 0.652e^{\frac{N-1}{1.407}}$$

T ：平均停靠站時間（秒）

(2) 停止線車道容量

當不斷有車等待著進入下游路口時，在一小時內能利用綠燈及燈號轉換時段疏解（進入路口）之最大流率，計算方式為

$$Q_s = (N_G + N_y) \frac{3600}{C} \quad (2.8)$$

其中：

Q_s ：無公車站作業影響時專用道之容量（輛/小時/車道）

N_G ：能在綠燈時段疏解之公車數（輛）

N_y ：在燈號轉換時段能疏解之公車數（輛）

C ：號誌週期長度（秒）

當公車專用道上沒有公車站時，其容量等於停止線車道容量；有公車站時，容量則同時受到公車站容量及停止線車道容量之限制。

2.4.2 輕軌運輸系統

鐵道系統容量之定義為：「在某一特定的運轉條件之下，單位時間內通過路線上某一點的最大客體數」，其一般計算公式為^[8]：

$$C_l = \frac{T}{h_{min}} \quad (2.9)$$

式中 C_l 為容量、 T 為時間週期、 h_{min} 為最小時間間隔，其中對於輕軌系統 h_{min} 的計算，目前最普遍的為 Transit Capacity Quality and Service Manual (TCQSM) 所提出的模式，公式如下^[59]：

$$h_{os} = \max \left\{ \frac{t_c + (g/C)t_d + Z_a c_v t_d}{(g/C)}, 2C_{max} \right\} \quad (2.10)$$

其中： h_{os} = 最小路口運轉時隔（秒）

g = 有效綠燈時間（秒）

C = 號誌週期時間（秒）

C_{max} = 輕軌路線沿線路口之最長號誌週期時間（秒）

t_d = 平均停站時間（秒）

t_c = 清站時間（秒）

Z_a = 列車不會排隊之機率下所對應的標準偏差

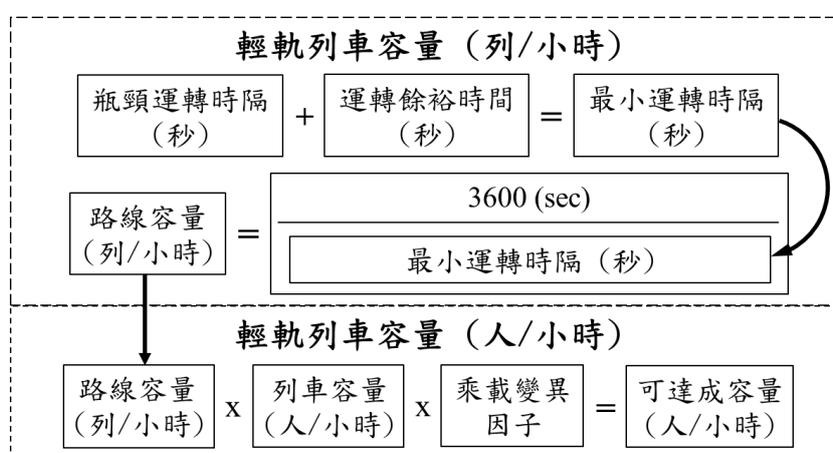
c_v = 停站變異係數

式(2.10)上半部之公式係以清站時間 (t_c)、停站時間 (t_d) 以及停站時間變異量 ($Z_a c_v t_d$) 作為計算時隔的基本項目，再以輕軌可通行之有效綠燈時長除以週期時長的綠燈時比 (g/C) 進行修正，以表現輕軌列車通過與公路交叉路口時，可能受路口號誌影響而產生停等的運行狀況。至於式(2.10)下半部，主要是因為輕軌列車在抵達路口時可能遇到公路左轉車隊，或在站內受旅客因素耗費過多停站時間的影響，便會於路口停等更久，若輕軌列車因此無法於第一號誌週期通過，而必須停等至第二週期才通過時，為了保持安全運轉時隔，在保守的考量下，以最長路口號誌週期的 2 倍作為輕軌列車通過路口的時隔下限。

由上述可知 TCQSM 的模式過於保守，因為即便列車無法於第一號誌週期通過，在第二週期切換成綠燈時便可通過，不須再停等至一整個號誌週期結束，因此明顯低估了路口的可通過列車容量。此外，綠燈時比的修正方式雖可評估實際輕軌可通過路口的機率，但無法有效反映優先號誌對輕軌容量之影響。

在輕軌與公路交叉路口之號誌控制方面，通常會搭配號誌優先策略來讓輕軌列車能夠順利通過路口，以減少額外的停等時間進而提升容量。去年李明華^[20]考量了輕軌系統特性以及優先號誌的影響，針對 A 型路權及 B 型路權的輕軌系統，以解析方法發展容量分析模式，其

架構與國內都會捷運系統之容量分析架構^[8]相似，如圖 2-33，兩者最主要的差異在於運轉時隔的計算。



資料來源：[20]和本研究整理

圖 2-33 輕軌容量分析架構

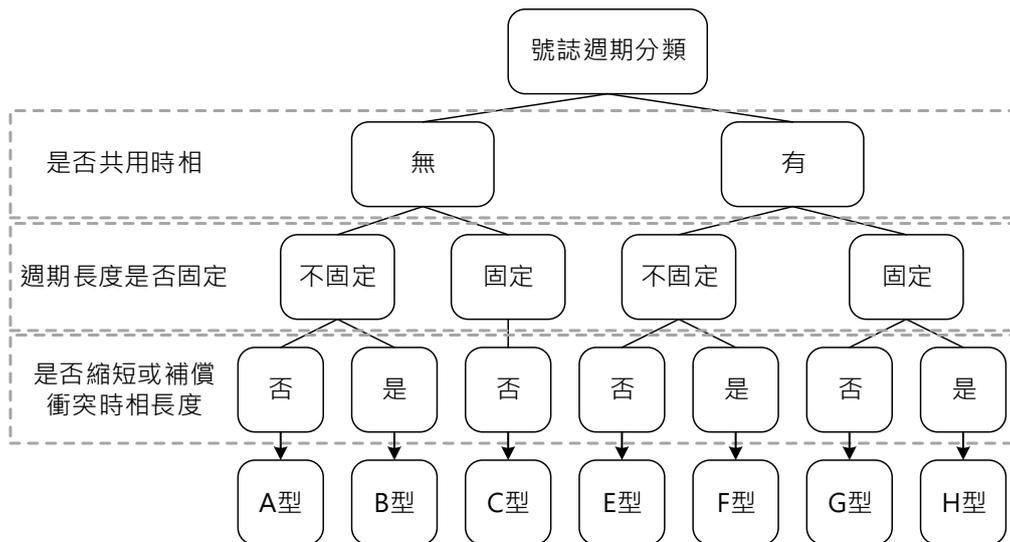
李明華共提出了八種型式的輕軌運轉時隔公式，如表 2.5，可分為 A 型路權及 B 型路權，其中在 A 型路權方面，包含中間站與折返站兩種空間參考點，折返站又分為站前或站後折返，以及使用同一股道或交替使用不同股道等情境，在 B 型路權方面，則有獨立路口、受路口影響之中間站與折返站等情境。

表 2.5 各種運轉時隔之情境

運轉時隔型式	路權	空間參考點	折返方式	使用軌道
第一型	A 型	中間站		
第二型		折返站	站前折返	相同股道
第三型				不同股道
第四型			站後折返	相同尾軌
第五型				不同尾軌
第六型	B 型	受路口影響之中間站		
第七型		獨立路口		
第八型		受路口影響之折返站	站前折返	相同股道

資料來源：[20]和本研究整理

此外，李明華亦探討了優先號誌對輕軌容量之影響，首先依照號誌週期的時制條件將其分為7類，如圖 2-34，接著根據每一類型所能搭配的優先策略，總結出 31 種優先號誌邏輯，如表 2.6，最後針對每種優先號誌邏輯推導出其號誌時相參數公式，其結果能套入表 2.5 的第六~八型的時隔公式中，進而計算出在不同優先號誌邏輯設定下的輕軌容量。



註：「共用時相」為輕軌可以通過路口的時相，通常採用與輕軌平行且無衝突之車流方向為綠燈的時相。

資料來源：[20]和本研究整理

圖 2-34 號誌週期分類

表 2.6 優先號誌邏輯分類

號誌週期類型 優先策略	A	B	C	E	F	G	H
GE	/	/	/	V	V	V	V
RT	/	/	/	V	V	V	V
GI	V	V	V	V	V	V	V
GE+GI	/	/	/	V	V	V	V
RT+GI	/	/	/	V	V	V	V
GE+RT	/	/	/	V	V	V	V
GE+RT+GI	/	/	/	V	V	V	V

註：GE 為長綠燈策略、RT 為縮短紅燈策略、GI 為插入綠燈策略

資料來源：[20]和本研究整理

除上述文獻以解析法分析輕軌系統容量以外，也有部分文獻採用了模擬方法，然而這些研究主要著重在探討輕軌路口設置型式^[3]或是優先號誌對公路端服務水準的影響^[21,22,29]，並非在評估輕軌系統本身的運能，此外大多透過商業軟體（如 VISSIM）進行模擬，對於本研究欲發展容量分析模式來說，參考價值有限。

從以上文獻可發現，由於輕軌運輸系統的設置比傳統鐵路與都會捷運更具彈性，加上不同路權型態與優先號誌，因此難以僅用簡單幾條公式來求取其容量值；李明華的研究雖然幾乎考量了各種優先號誌邏輯的情境，但在受路口影響的運轉時隔公式中，缺少對遠端設站以及站後折返的探討；此外，在運轉時隔公式的推導上仍較為保守，例如在中間站運轉時隔的計算上，先行列車須離開車站超過一個安全距離時，才讓續行列車進站，但實際上輕軌列車運行與公車相似，前車離站後，後車會緊跟著進站；而模擬方式雖可探討多種情況，惟在模式建立上較為費時，較難應用在可行性研究等前期階段分析。

2.5 小結

目前國內正積極發展輕軌運輸系統，為了能在最經濟的條件下提供符合預期品質的運輸服務，無論在規劃、設計或營運階段，輕軌運輸系統的容量分析皆是一項重要的課題。然而，輕軌運輸系統與傳統區域鐵路和都會捷運系統的特性不同，無法直接使用本所發展的容量分析模式來評估運能，因此有必要專為輕軌系統發展容量分析模式。

過去容量分析相關文獻中，專門針對輕軌系統容量的研究較少，因此本研究額外回顧了與輕軌營運方式相近的公車捷運系統或專用道，其容量文獻著重在中間車站容量之計算，大多採用解析方法，主要考量停站時間和清道時間等因素，整體來說與鐵道容量的一般公式相似。不過輕軌和公車畢竟不同，計算輕軌容量時不可能直接採用公車的清道時間，此外，由於列車在末端站需要透過橫渡線進行折返，末端站容量之計算亦是重要課題之一，但公車卻完全沒有此問題，以

上種種說明了公車系統之容量研究成果無法直接套用於輕軌容量計算上。

而在為數不多的輕軌系統容量分析相關文獻裡，大致有解析和模擬兩種方法來分析容量。根據本所過去研究經驗^[11,12,14,15]，解析方法適用於計算單一空間參考點之容量，而模擬方法則適用於分析整條路線之容量，而今年度研究要發展 A、B 型路權輕軌系統於各空間參考點之容量分析模式，故採用解析方法來建構模式。

過去無論是 TCQSM^[59]或是李明華^[20]之研究，其計算容量時皆較為保守，本研究將考量更符合輕軌實際運轉的情況來發展容量模式，另外，因為輕軌系統在建置上有因地制宜的彈性，本研究亦會針對不同條件來推導計算式，包含李明華研究所缺少的遠端設站情境。

第三章 輕軌運輸系統容量分析模式概觀

本研究最主要的工作項目為構建 A、B 型路權輕軌系統之容量分析模式，其內容說明如下。

3.1 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，其定義為「在某一特定的運轉條件之下，單位時間內通過路線上某一點的最大客體數」^[8]，由此可知在建構輕軌容量分析模式時，必須先界定運轉條件、時間單位、空間參考點，以及客體單位等四項基本要素。

3.1.1 運轉條件

本模式所計算的容量為實用容量 (Practical Capacity)，亦即系統在正常營運條件下所能提供的運能^[62]。所謂的正常營運條件，在過去本所的容量系列研究中，無論是傳統暨區域鐵路或都會捷運系統皆是指列車確保在號誌顯示綠燈下運行，同時考量運轉寬裕時間，以反映各種隨機效應，如號誌顯示、轉轍器的操作、停車時間以及列車運轉過程^[12,15]。然而輕軌運輸系統並沒有閉塞號誌系統，列車僅由駕駛員手動/目視駕駛控制 (Manual/Visual Driver Control) 來保持與前車的安全距離，且在 B 型路權的路線上，可能還須於輕軌與公路交叉路口處停等紅燈，因此在計算輕軌的實用容量時，正常營運條件應為：「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」。

為了達到上述營運條件，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，而跟著停等於先行列車之後。若以列車運行時空圖來說明此情況，A 型路權如圖 3-1 所示，續行列車在先

行列車離開車站後才到達車站；而 B 型路權如圖 3-2 和圖 3-3，當列車運行停等路口紅燈時，其續行列車不得跟得太近而必須跟著排隊。

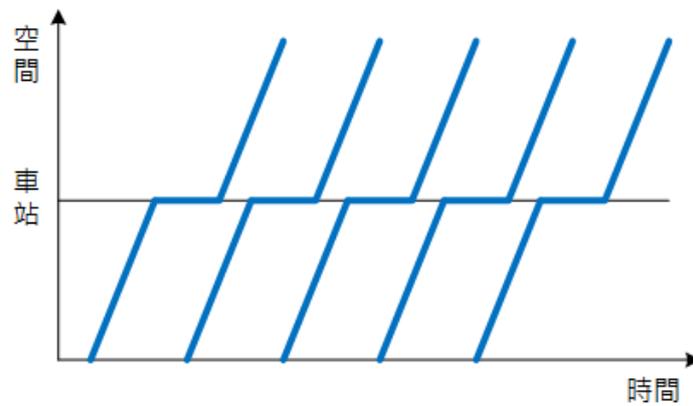


圖 3-1 輕軌於 A 型路權中間站的正常營運條件

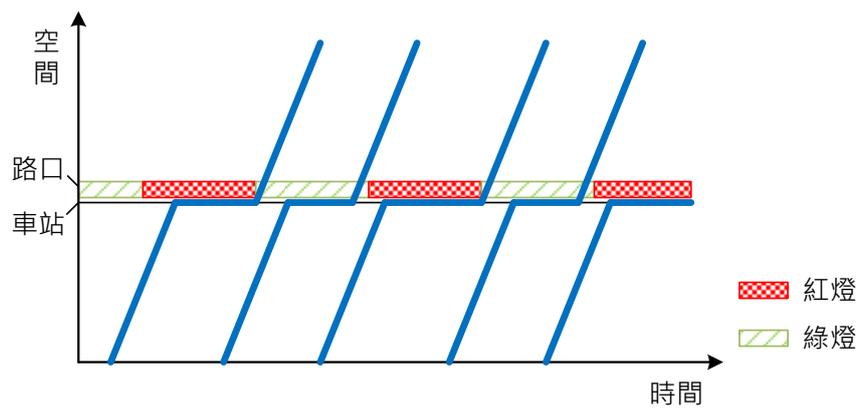


圖 3-2 輕軌於 B 型路權近端設站的正常營運條件

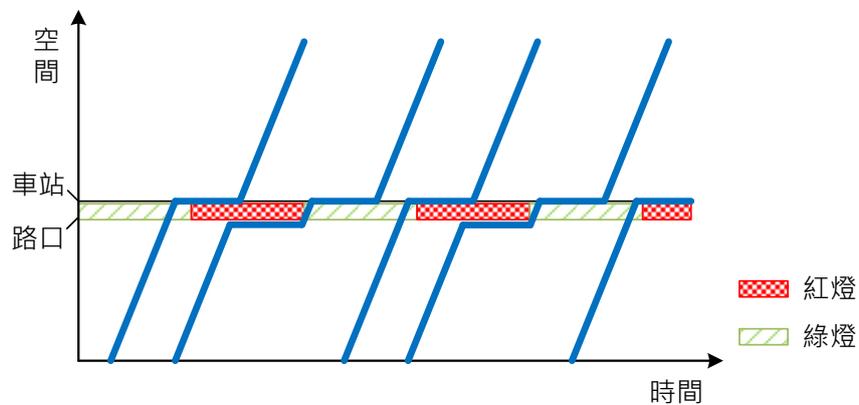


圖 3-3 輕軌於 B 型路權遠端設站的正常營運條件

3.1.2 時間單位

與傳統鐵路相比，輕軌運輸系統旅客的旅行時間較短，通常不超過 1 小時，故本模式在探討輕軌運輸系統的容量時，採用「小時」作為時間單位，以反映每小時的輸送能力。

3.1.3 空間參考點

由於輕軌列車均通過路線上每一個空間參考點，因此計算輕軌系統的路線容量，必須先計算路線上每一空間參考點之容量，而其中最瓶頸之處決定了整條路線的容量。此種概念可以用輸水管來比喻，如果將鐵路路線想像成一條輸水管的話，以圖 3-4 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，也就是整條路線的容量。

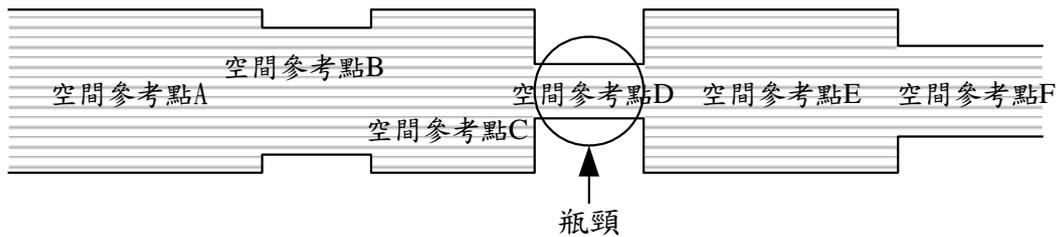


圖 3-4 路線容量示意圖

本模式所考量的空間參考點為潛在容量瓶頸處，包含中間站、末端站、單線區間、獨立路口，以及中間站、末端站附近有路口影響的複合情況。至於銜接點（或分歧站）雖然也是潛在容量瓶頸處，但輕軌的銜接點通常也是路口處，基本上路口號誌便會設計不同的時相讓不同方向的輕軌通行，若要針對銜接點特定方向進行輕軌容量分析，其分析方式便如同獨立路口或是受路口影響的中間站，因此銜接點在本模式中會根據其是否有設站，而歸類為獨立路口或是受路口影響的中間站之空間參考點。

在列車進出中間車站的過程中，如圖 3-5 所示，當先行列車在車站停靠時，續行列車無法進入車站，必須等到先行列車完成停站程序

離開車站後，才能逐漸接近車站，因此最繁忙的車站（停車時間最長的車站）通常會是容量的瓶頸。

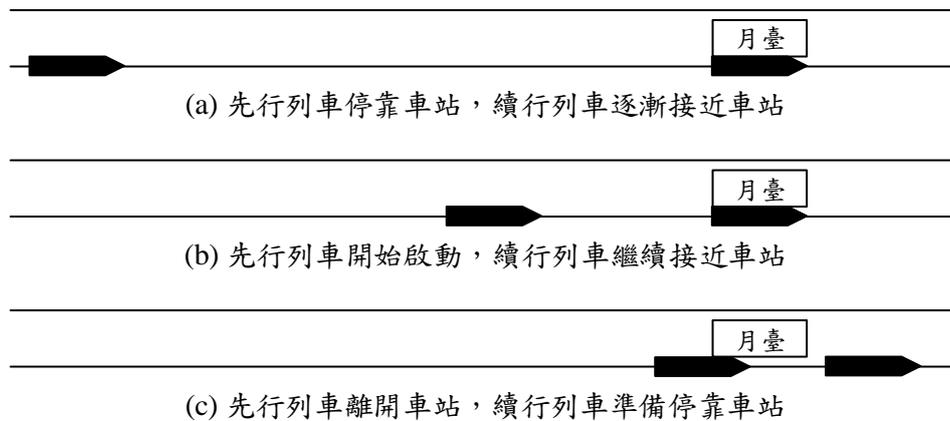


圖 3-5 列車進出車站的過程

末端站是輕軌運輸系統中另一個潛在的容量瓶頸，當列車運行至末端站後進行折返時，根據車站月臺與軌道的配置，一般有兩種常見的折返方式。一種是島式月臺搭配站前橫渡線，其折返過程如圖 3-6 所示，第一列車駛入末端站下方的月臺面後，第二列車必須經橫渡線駛入上方的月臺面，接著待第一列車經橫渡線離開車站後，第三列車才能進入末端站，而第四列車也必須等第二列車離開車站後才能進入車站，之後圖 3-6(c)、(d)、(e)、(f)等步驟則不斷的重複進行。另一種末端站配置是側式月臺搭配站後橫渡線及尾軌，其折返過程如圖 3-7，大致與站前折返的情形類似。由於列車進出末端站的速度較低，若橫渡線距離車站太遠，則可能因列車折返時間過長，讓末端站成為路線的瓶頸。

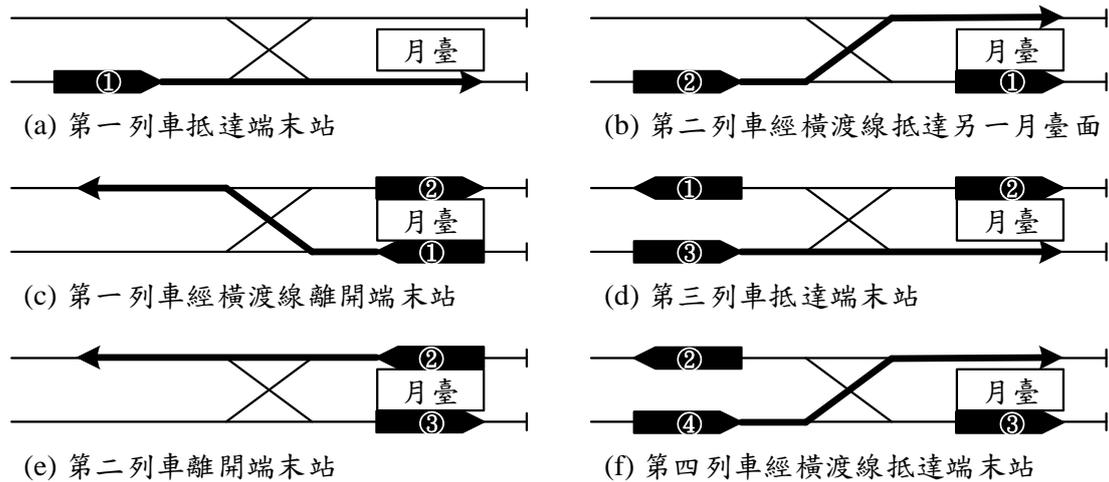


圖 3-6 列車利用末端站前之橫渡線折返的過程

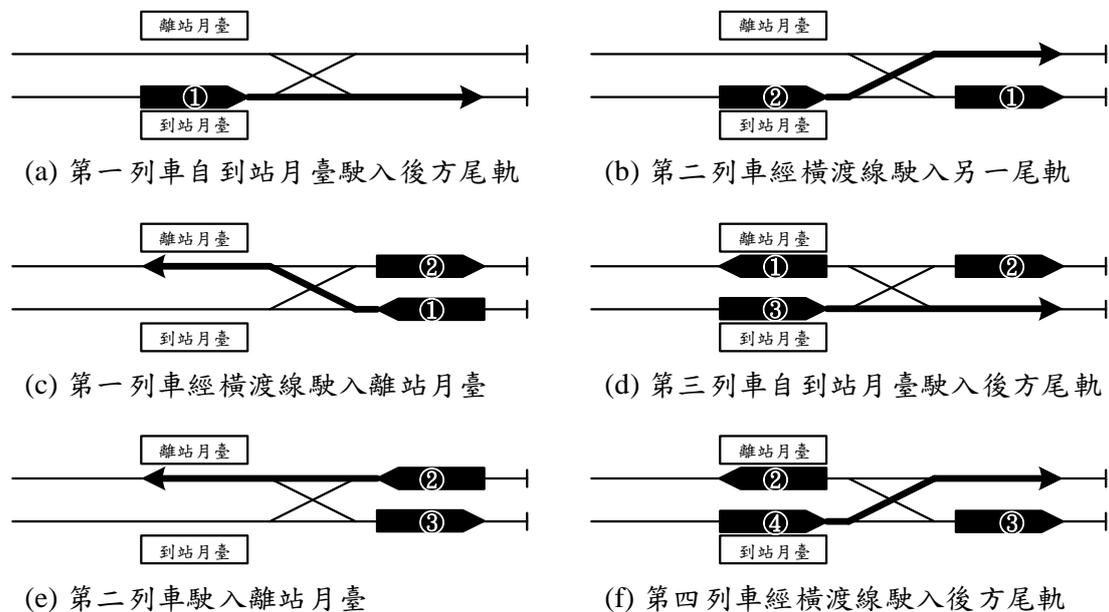


圖 3-7 列車利用末端站後之橫渡線折返的過程

在 B 型路權的輕軌運輸系統中，輕軌路線與公路交叉路口處也是潛在的容量瓶頸之一，根據本研究計算容量的運轉條件(詳見 3.1.1 節)，列車通過路口的過程如圖 3-8 所示，當先行列車於路口停等紅燈時，續行列車必須與先行列車保持足夠距離，使得續行列車可不受影響地持續運行接近路口，倘若路口的紅燈時間太長，將會使得兩列車必須相隔更大的距離，而可能成為容量瓶頸。此外，當路口離中間站、端

末站太近時，會造成列車進出車站時更不順暢，也是潛在的容量瓶頸處。

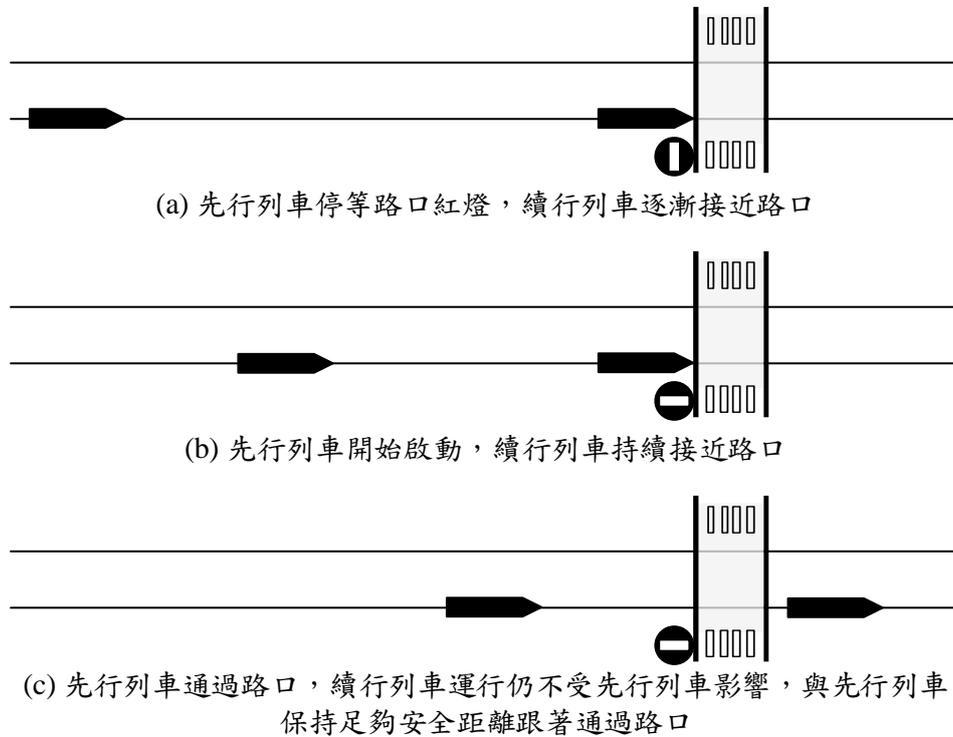


圖 3-8 列車通過路口的過程

3.1.4 客體單位

容量分析的客體單位指的是輸送的對象，端看研究目的及運輸內容為客運或貨運而定，輕軌運輸系統著重於發車頻率以及載客量，因此本模式以「列車」和「旅客」為計算輕軌容量的客體單位，即每小時能通過空間參考點的列車數和能輸運的旅客數。

3.2 假設條件

本模式係根據輕軌運輸系統之特性所發展，主要的假設條件如下：

1. 每個空間參考點之容量計算僅考慮其範圍內之因素的影響，不考慮該空間參考點以外之因素，以及不同空間參考點之間的交互關係。
2. 車站於上、下行方向各別僅有一股軌道。
3. 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。
4. 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。
5. 在同一輕軌路線上營運的列車，其性能完全相同或性能相近，列車的加減速、運轉速度沒有差異。
6. 列車採用站站皆停的營運模式，沒有追越待避的行為。
7. 模式中對於安全時距的計算，係根據列車運轉時空圖搭配速度距離曲線圖，假設列車以等加減速運動運行來推導其公式。

3.3 整體架構與分析程序

圖 3-9 為本模式的整體架構，依客體單位的不同可分為以「列車」為客體單位和以「旅客」為客體單位兩個部分，前者所計算出的結果為路線容量，後者則有設計容量和可達成容量。

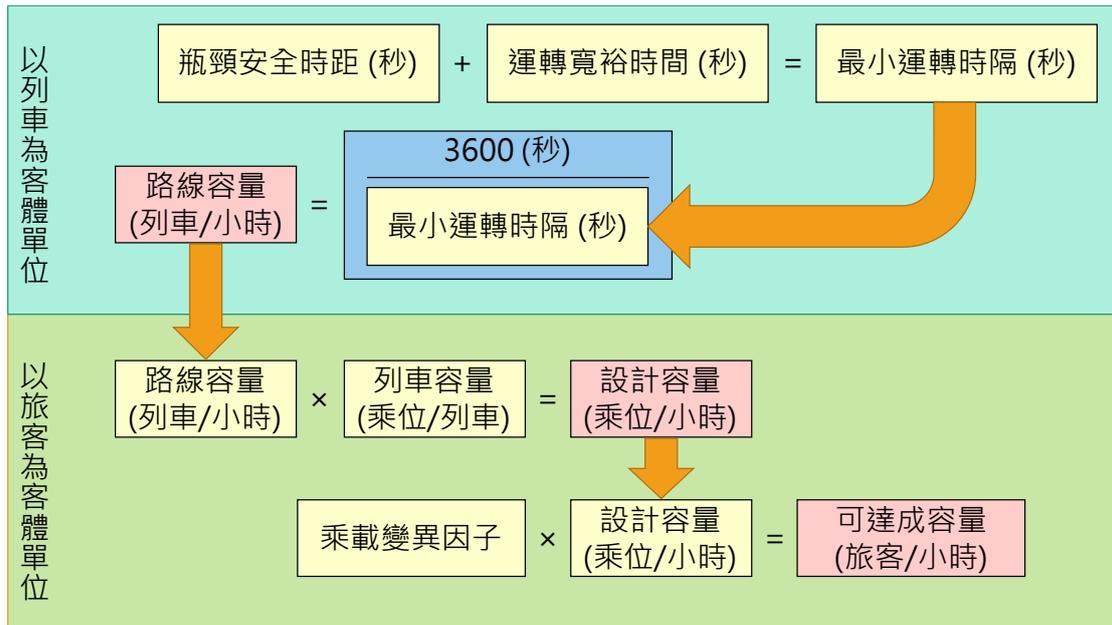


圖 3-9 輕軌容量分析模式整體架構

輕軌容量的分析程序係依圖 3-9 之架構逐一計算各項元素，先計算以「列車」為客體單位的部分，再計算以「旅客」為客體單位的部分，其步驟說明如下。

1. 步驟一：計算潛在容量瓶頸處之安全時距

輕軌系統的路線瓶頸可能發生在停站時間最長的車站，或橫渡線布設位置不佳的末端站，或是受路口號誌影響的地方，需視個案而定。由於分析時通常無法確知系統容量瓶頸處，因此通常須對每個空間參考點根據其型式來計算安全時距。

本模式針對 A 型路權所考量的空間參考點型式包含中間站和末端站，末端站根據其橫渡線配置的位置，可分為站前折返和站後折返兩種折返方式，而每種折返方式可能只使用相同股道來折返，也能交替使用不同股道來折返，因此末端站的安全時距有四種。在 B 型路權方面，則考量了沒有設置車站的獨立路口、受路口影響之中間站和末端站，其中中間站可分為近端設站和遠端設站兩種，而末端站也分為

使用相同股道或交替使用不同股道來折返兩種。上述各種安全時距種類如圖 3-10，其計算方式詳見第四章和第五章。

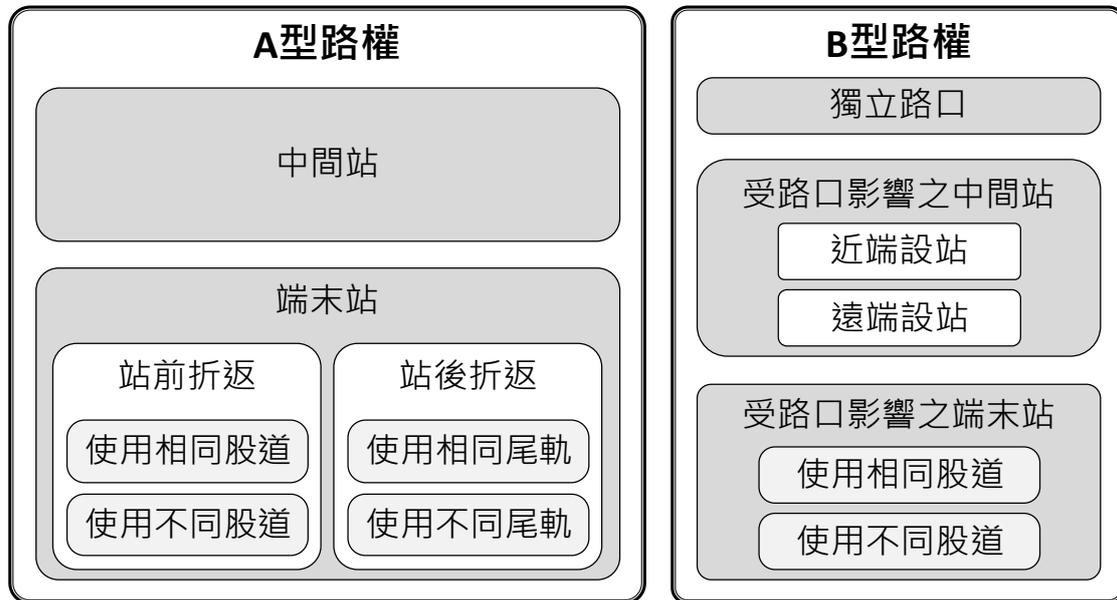


圖 3-10 安全時距種類

2. 步驟二：找出瓶頸安全時距

瓶頸安全時距由路線上所有空間參考點之安全時距的最大者所決定。

3. 步驟三：計算運轉寬裕時間

考量列車在實際運轉的過程有許多隨機程序（Stochastic Process），不可能百分之百精準地依預定的計畫來運作，因此運轉計畫中會加入寬裕時間，文獻中將之分為站間運轉時間寬裕、停站時間寬裕以及兩列車間的寬裕^[64]，以備列車因故延誤時有趕點的空間。由於本模式在計算瓶頸安全時距時已將停站時間納入考量，故運轉寬裕時間包含了停站時間寬裕和兩列車間安全時距的寬裕。

在運轉寬裕時間的計算上，理論上要涵蓋大部分的運轉情形，由於隨機程序的緣故，當安全時距愈大時，其產生的變異也愈大，因此本研究認為運轉寬裕時間應與瓶頸安全時距呈一定的比例，亦即

$$t_m = \beta T_s \quad (3.1)$$

式中： t_m =運轉寬裕時間（秒）

β =運轉寬裕時間係數

T_s =瓶頸安全時距（秒）

有關運轉寬裕係數之設定，根據臺灣鐵道容量手冊建議傳統鐵路採用 0.3、都會捷運系統採用 0.2^[8]，考量到輕軌運行環境較多變數，初步建議運轉寬裕係數以較保守的 0.3 作為預設值。

4. 步驟四：計算最小運轉時隔

由瓶頸安全時距和運轉寬裕時間計算最小運轉時隔，如下式

$$h = T_s + t_m = (1 + \beta)T_s \quad (3.2)$$

式中： h =最小運轉時隔（秒）

5. 步驟五：計算路線容量

將 1 小時（3600 秒）除以最小運轉時隔即為路線容量，如下式

$$C_l = \frac{3600}{h} = \frac{3600}{(1 + \beta)T_s} \quad (3.3)$$

式中： C_l =路線容量（列車/小時）

6. 步驟六：計算設計容量

設計容量又稱最大供給量，根據每小時所能通過的最大列車數與列車容量相乘即為設計容量

$$C_o = C_l c_t \quad (3.4)$$

式中： C_o =設計容量（乘位/小時）

C_t =列車容量（乘位/列車）

7. 步驟七：計算可達成容量

實際營運時，旅客到達車站的時間不會均勻分布，且不會完全平均分配在每列車上，因此實際所能達成的容量不會和設計容量相等，所以考量列車間乘載變異因子來計算可達成容量，即

$$C_u = \rho_d C_o \quad (3.5)$$

式中： C_u =可達成容量（旅客/小時）

ρ_d =列車間乘載變異因子，建議值為 0.75^[59]

有關 ρ_d 的設定，可考慮以下幾種方式：

- (1) 使用預設值：根據 TCQSM 的建議^[59]，輕軌的 ρ_d 以 0.75 為預設值。
- (2) 分析同一列車內不同車廂間的差異：透過調查取得同一列車內各車廂的實際載客數 P_{c_i} ，利用式(3.6)計算各車廂平均旅客數佔最擁擠車廂旅客數的比率，用此數值估算 ρ_d 。

$$\rho_d \cong \frac{\sum_{i=1}^{n_v} P_{c_i}}{n_v \times \max(P_{c_i})} \quad (3.6)$$

式中： P_{c_i} =同列車第 i 車廂的實際乘載旅客數

n_v =整列車車廂的編組總數

- (3) 分析不同列車間乘載量的差異：設法取得尖峰時間內某一連續四個 15 分鐘各列車的實際載客量，利用式(3.7)計算此旅客容量與其中四倍之 15 分鐘最高旅運量之比值，用此數值估算 ρ_d 。

$$\rho_d = \frac{P_h}{4P_{15}} \quad (3.7)$$

式中： P_h =尖峰小時旅客流量（旅客/小時）

P_{15} =尖峰小時內最大 15 分鐘旅客流量（旅客/15 分鐘）

3.4 應用情境

由於 B 型路權的輕軌與公路於交叉路口處為共用路權，必須透過路口號誌時制來分配輕軌系統和公路交通各自使用路權的時間，因此本模式以路口號誌時制作為輕軌與公路端之介面。在實務應用上，本模式可根據既定之號誌時制計畫來掌握輕軌容量，亦可反過來，根據期望的輕軌容量提供號誌時制計畫之建議，讓公路端能藉此分析在該號誌時制下，是否能符合服務水準的要求，如圖 3-11 所示，甚至兩種應用方式可反覆操作，以協調決定一個輕軌與公路雙方都能接受的時制計畫。

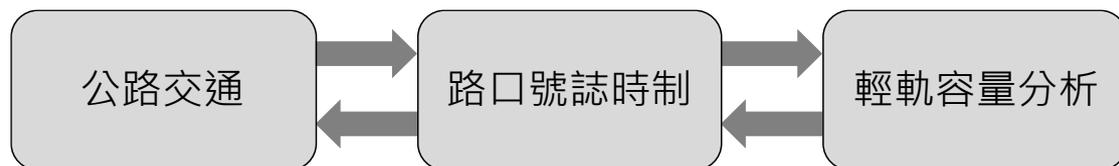


圖 3-11 輕軌容量分析與公路端之關聯

鐵道容量分析的應用情境不外乎是規劃、設計和營運階段三種，以下分別說明輕軌容量模式於此三種情境下的應用方式。

1. 規劃階段

在輕軌運輸系統的規劃階段，如可行性研究、綜合規劃等作業程序，必須根據規畫範圍內的運輸需求和預期的服務水準，粗估輕軌系統應具備的條件，此時要能掌握輕軌系統之容量與特性才能提出建議方案。此階段由於缺乏系統的細部資料，且尚未進行路口號誌時制設計，本模式在應用上可參考其他類似系統來設定相關參數進行分析，例如不同款式的輕軌列車加減速性能差異不大。至於路口號誌資料，可參考該路口時制計畫現況或當地一般道路的號誌時制，甚至可根據

交通量結果透過本所之號誌時制計畫標準作業程序^[10]建立時制計畫，作為本模式的參數來評估容量。

2. 設計階段

當輕軌運輸系統進入基本設計、細部設計等設計階段，已經有了比較精確的資料，如車輛性能、路線幾何、車站月臺軌道配置等，此時本模式可用來檢核這些設計參數是否能讓系統達到預期的運能，或者評估設計參數的改變對輕軌容量的影響。此外，一般地方政府都擔心輕軌的優先號誌會對市區道路交通造成相當大的衝擊，而本模式便可用來探討盡量不影響現行汽機車與行人的前提下，也就是僅小幅調整現行時制計畫，輕軌能夠提供多少運能。

3. 營運階段

像淡海和高雄輕軌這樣已經在營運的輕軌系統，可根據既有系統的設施與條件，透過本模式評估其容量並了解服務績效，例如計算目前系統運能的使用情況，判斷是否還可增加班次頻率。若運能使用已達容量上限，亦可利用本模式找出容量瓶頸處並研擬改善策略，例如第 6.1 節之案例。

第四章 A 型路權安全時距之計算

安全時距是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，與空間參考點的型式有關。過去傳統鐵路和都會捷運系統的時距計算公式係基於有閉塞制度下所推導而得，但輕軌系統並沒有閉塞區間的概念，因此本模式以駕駛員目視手動駕駛列車來保持列車間距為原則，進而推導安全時距計算公式。在 A 型路權的輕軌系統中，瓶頸可能發生在最繁忙的中間站、末端站和單線區間，其中末端站又分為四種不同折返方式，本章將分別介紹這些空間參考點的安全時距計算公式。

4.1 中間站安全時距計算公式

由於輕軌列車靠司機員目視駕駛，沒有號誌系統的輔助來分隔列車，若要續行列車在不受先行列車影響的前提下進出車站，則當先行列車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 4-1 所示，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。

中間站的安全時距是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，可由下式計算而得：

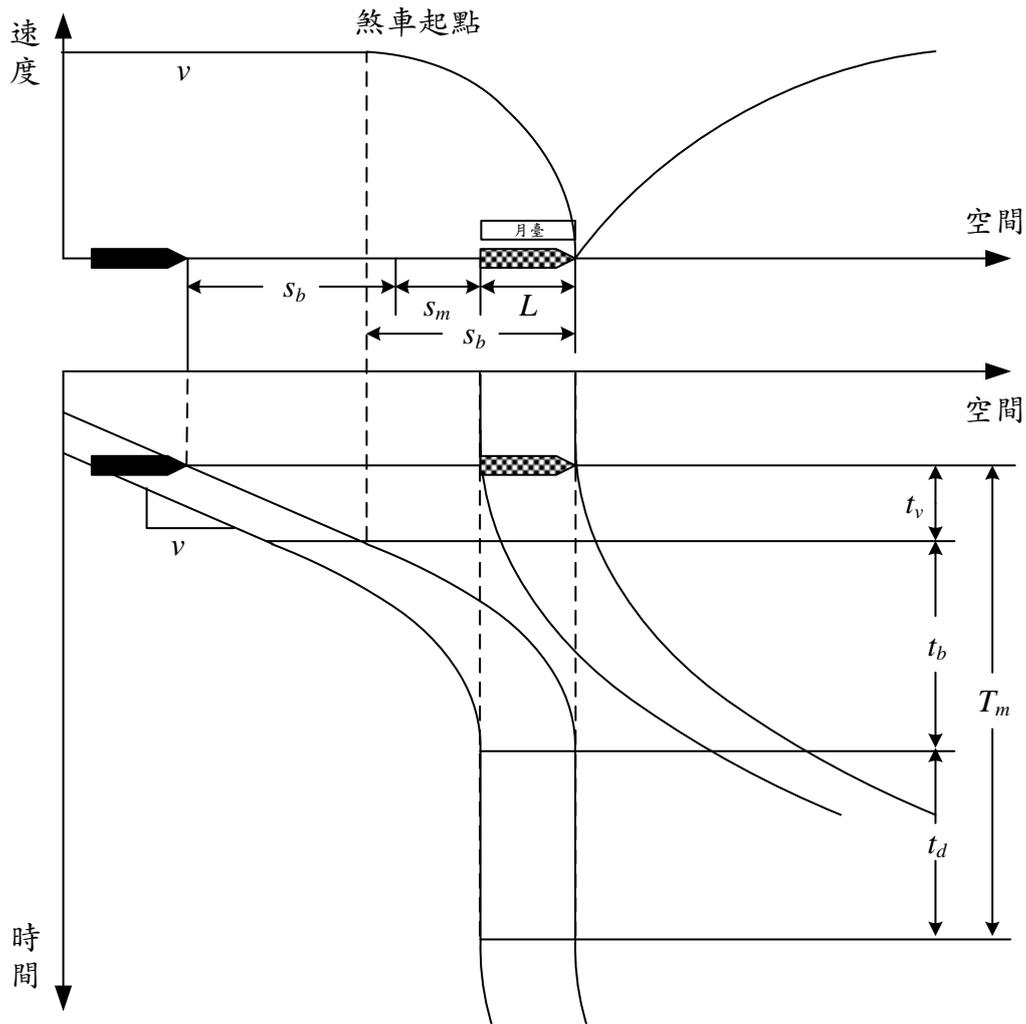
$$T_m = t_v + t_b + t_d \quad (4.1)$$

式中： T_m =中間站的安全時距（秒）

t_v =列車以巡航速度運轉的運行時間（秒）

t_b =列車從巡航速度煞車到靜止的運行時間（秒）

t_d =列車的停站時間（秒）



註：此示意圖中，兩個 s_b 皆是指列車從巡航速度煞車到靜止所運行的距離，但 s_b 並非一定大於 $s_m + L$ ，端看巡航速度與列車性能而定，

圖 4-1 中間站之安全時距

列車以巡航速度運轉的時間之計算方式如式(4.2)，式中的巡航速度為不計離站加速及進站減速階段之平均速度，一般而言，列車的巡航速度通常為最大容許速度的 70%~90%，某些系統受制於設備還可能更低，此外，在鐵道容量手冊^[8]中還提供了三種巡航速度的計算方式：(1)已營運的系統可採用實際營運的資料，(2)尚未營運的系統可利用列車性能模擬器 (Train Performance Simulator) 來計算，(3)利用解析方法計算。

$$t_v = \frac{s_b + s_m + L - s_b}{v_i} = \frac{s_m + L}{v_i} \quad (4.2)$$

式中： s_b =列車從巡航速度煞車到靜止所運行的距離（公尺）

s_m =寬裕距離（公尺）

L =列車車身長度（公尺）

v_i =列車進站前的巡航速度（公尺/秒）

一般而言，在計算煞車距離時，會假設即使煞車系統僅部份有效的情況下（過去文獻建議為 75%的效率^[68]），仍不會撞及先行列車，因此在計算列車從巡航速度煞車到靜止的時間時，會將減速率乘上有效因子以反映此情況，公式如下：

$$t_b = \frac{v_i}{K_b b} \quad (4.3)$$

式中： K_b =列車減速率有效因子

b =列車減速率（公尺/秒²）

將式(4.2)和(4.3)代入式(4.1)中可求得列車在中間站的安全時距為

$$T_m = \frac{s_m + L}{v_i} + \frac{v_i}{K_b b} + t_d \quad (4.4)$$

4.2 端末站安全時距計算公式

輕軌列車在端末站的安全時距與橫渡線的配置方式有關，配置方式可分為配置在車站前方以及配置在後方兩種，此外，列車在端末站折返時，可能只使用一股道來折返，也可能交替使用兩股道來折返。由於有多種變化，以下將根據橫渡線的配置以及使用軌道的方式，分別說明不同情境之下的安全時距計算公式。

4.2.1 站前折返—站內停靠同一股道

當橫渡線設置在末端站前方，且列車在站內停靠同一股道時，則續行列車不受先行列車影響下進站的必要條件，是先行列車已經離開車站並通過橫渡線區。以圖 4-2 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。

以同一股道進行站前折返的安全時距是從先行列車離開末端站，直到續行列車離開末端站所經歷的時間，計算方式如式(4.5)，其中停站時間與中間站有所不同，中間站的停站時間主要受上下旅客數量、車門數量和寬度影響；而末端站主要受司機員從一端駕駛艙走向另一端駕駛艙的步行時間影響，根據目前淡海輕軌和高雄輕軌的情況，末端站的停站時間約為 100~120 秒。

$$T_{t,F1} = t_{t \rightarrow m} + t_{m \rightarrow t} + t_d \quad (4.5)$$

式中： $T_{t,F1}$ =列車在末端站以同一股道進行站前折返的安全時距（秒）

$t_{t \rightarrow m}$ =列車從末端站離開直到車尾完全通過橫渡線區的運行時間（秒）

$t_{m \rightarrow t}$ =列車從設定橫渡線路徑的位置行駛至完全停止在末端站的運行時間（秒）

t_d =列車在末端站折返的停靠時間（秒）

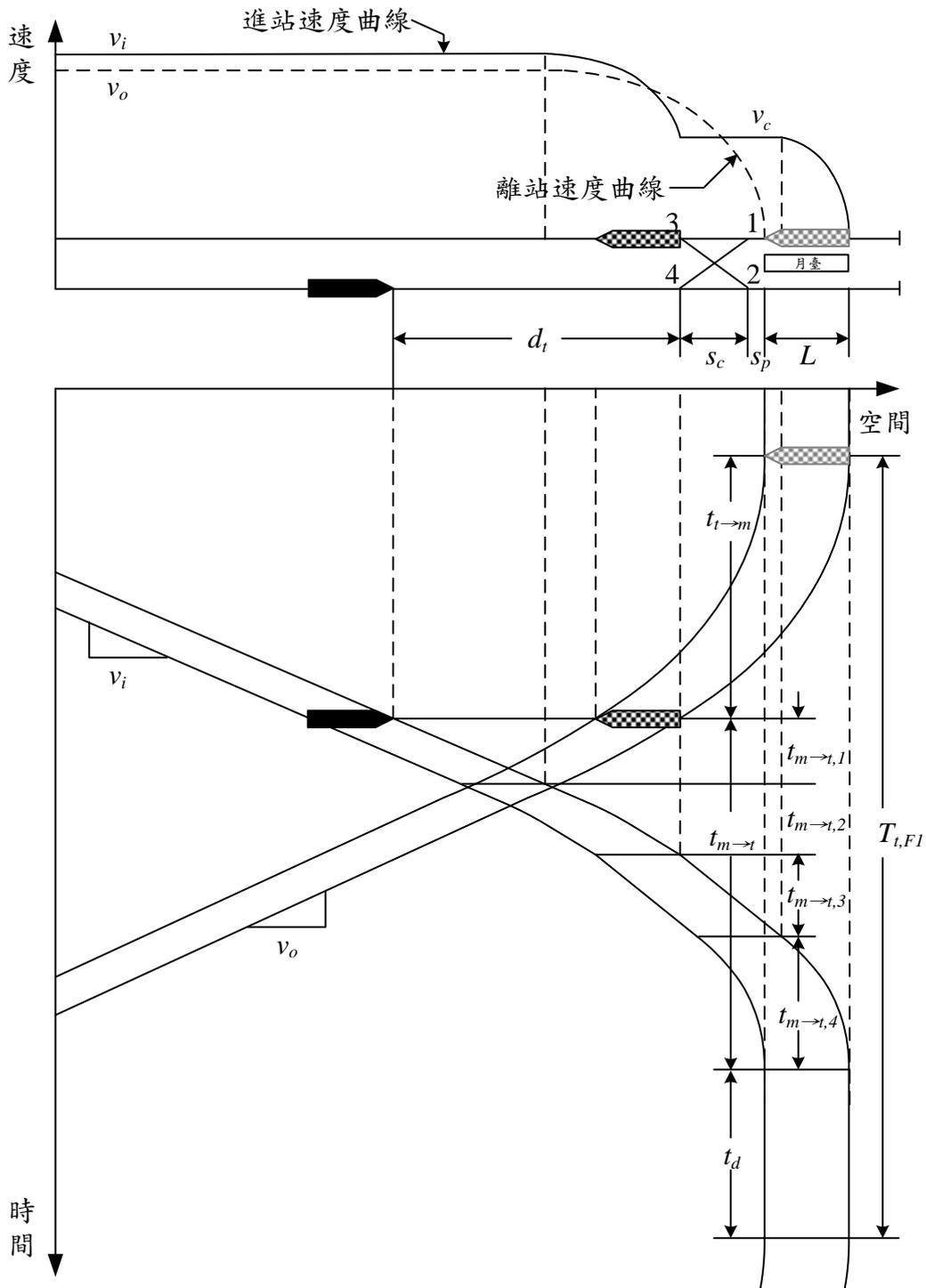


圖 4-2 站前折返之安全時距－站內停靠同一股道

當先行列車從末端站離開直到車尾通過橫渡線區時，其速度可能已經加速至巡航速度，但也可能尚處於加速階段，須視橫渡線區的位置、範圍和列車加速性能而定。列車從靜止加速至巡航速度所需行駛

的距離為 $v_0^2/2K_a a$ ，而列車從末端站離開直到車尾通過橫渡線區所行駛的距離為 $s_p + s_c + L$ ，若 $s_p + s_c + L \geq v_0^2/2K_a a$ ，表示列車通過橫渡線區前，就已達到巡航速度；若 $s_p + s_c + L < v_0^2/2K_a a$ ，則表示列車通過橫渡線區前，還在持續加速中，因此 $t_{t \rightarrow m}$ 的計算方式分為兩種情況，分別說明如下：

$$1. \quad s_p + s_c + L \geq v_0^2/2K_a a$$

先行列車車尾通過橫渡線區前已加速至巡航速度，因此 $t_{t \rightarrow m}$ 包含加速運轉時間和等速運轉時間，計算方式為

$$t_{t \rightarrow m} = \frac{v_0}{K_a a} + \frac{s_p + s_c + L - \frac{v_0^2}{2K_a a}}{v_0} = \frac{v_0}{2K_a a} + \frac{s_p + s_c + L}{v_0} \quad (4.6)$$

式中： v_0 =列車離站後的巡航速度（公尺/秒）

K_a =列車加速率有效因子

a =列車加速率（公尺/秒²）

s_p =列車於車站停車處至橫渡線之距離（公尺）

s_c =橫渡線區範圍（公尺）

$$2. \quad s_p + s_c + L < v_0^2/2K_a a$$

先行列車從靜止加速到車尾通過橫渡線區皆處於加速階段，計算方式為

$$t_{t \rightarrow m} = \sqrt{\frac{2(s_p + s_c + L)}{K_a a}} \quad (4.7)$$

續行列車從設定橫渡線路徑的位置，經橫渡線行駛進入末端站的過程中，共會經歷以巡航速度等速運轉、從巡航速度減速至道岔限速、以道岔限速等速運轉，和從道岔限速煞車至停止等四個階段，公式為

$$t_{m \rightarrow t} = t_{m \rightarrow t,1} + t_{m \rightarrow t,2} + t_{m \rightarrow t,3} + t_{m \rightarrow t,4} \quad (4.8)$$

式中： $t_{m \rightarrow t,1}$ =列車從設定橫渡線路徑的位置，以巡航速度等速接近橫渡線區的運行時間（秒）

$t_{m \rightarrow t,2}$ =列車從巡航速度減速至道岔限速的運行時間（秒）

$t_{m \rightarrow t,3}$ =列車從橫渡線區以道岔限速等速接近末端站的運行時間（秒）

$t_{m \rightarrow t,4}$ =列車從道岔限速煞車到靜止的運行時間（秒）

因為列車從巡航速度減速至道岔限速所行駛的距離為 $v_i^2 - v_c^2 / 2K_b b$ ，所以續行列車從設定橫渡線路徑的位置，以巡航速度等速接近橫渡線區的運行時間為

$$t_{m \rightarrow t,1} = \frac{d_t - \frac{v_i^2 - v_c^2}{2K_b b}}{v_i} = \frac{d_t}{v_i} - \frac{v_i}{2K_b b} + \frac{v_c^2}{2K_b b v_i} \quad (4.9)$$

式中： 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）

v_i =列車進站前的巡航速度（公尺/秒）

v_c =道岔限速（公尺/秒）

而從巡航速度減速至道岔限速所需的時間為

$$t_{m \rightarrow t,2} = \frac{v_i - v_c}{K_b b} \quad (4.10)$$

此時續行列車已來到橫渡線區，從橫渡線區以道岔限速等速運轉直到要開始減速停站前所經歷的時間為

$$t_{m \rightarrow t,3} = \frac{s_c + s_p + L - \frac{v_c^2}{2K_b b}}{v_c} = \frac{s_c + s_p + L}{v_c} - \frac{v_c}{2K_b b} \quad (4.11)$$

最後列車從道岔限速煞車到靜止的運行時間為

$$t_{m \rightarrow t,4} = \frac{v_c}{K_b b} \quad (4.12)$$

將式(4.9)~(4.12)代入式(4.8)中，可求得列車從設定橫渡線路徑的位置行駛至完全停止在末端站的運行時間為

$$t_{m \rightarrow t} = \frac{d_t}{v_i} + \frac{v_i}{2K_b b} + \frac{s_c + s_p + L}{v_c} + \frac{v_c}{2K_b b} \left(\frac{v_c}{v_i} - 1 \right) \quad (4.13)$$

再將式(4.6)、(4.7)和(4.13)代入式(4.5)中，便可求得列車以同一股道進行站前折返的安全時距為：

$$1. \quad s_p + s_c + L \geq v_o^2 / 2K_a a$$

$$T_{t,F1} = \frac{v_o}{2K_a a} + \frac{s_p + s_c + L}{v_o} + \frac{d_t}{v_i} + \frac{v_i}{2K_b b} + \frac{s_c + s_p + L}{v_c} + \frac{v_c}{2K_b b} \left(\frac{v_c}{v_i} - 1 \right) + t_d \quad (4.14)$$

$$2. \quad s_p + s_c + L < v_o^2 / 2K_a a$$

$$T_{t,F1} = \sqrt{\frac{2(s_p + s_c + L)}{K_a a}} + \frac{d_t}{v_i} + \frac{v_i}{2K_b b} + \frac{s_c + s_p + L}{v_c} + \frac{v_c}{2K_b b} \left(\frac{v_c}{v_i} - 1 \right) + t_d \quad (4.15)$$

值得注意的是，若續行列車設定橫渡線路徑的位置是在前一車站（例如高雄輕軌從凱旋瑞田站開往籬仔內站時，列車於凱旋瑞田站就必須完成橫渡線路徑設定），此時 $t_{m \rightarrow t}$ 便是列車從前一車站至末端站的運行時間，則式(4.14)和(4.15)會變為：

$$1. \quad s_p + s_c + L \geq v_o^2 / 2K_a a$$

$$T_{t,F1} = \frac{v_o}{2K_a a} + \frac{s_p + s_c + L}{v_o} + t_t + t_d \quad (4.16)$$

式中： t_t =列車從前一車站至末端站的運行時間（秒）

$$2. \quad s_p + s_c + L < v_o^2 / 2K_a a$$

$$T_{t,F1} = \sqrt{\frac{2(s_p + s_c + L)}{K_a a}} + t_r + t_d \quad (4.17)$$

4.2.2 站前折返—站內停靠不同股道

當橫渡線設置在末端站前方，且列車在站內停靠不同股道時，亦即列車可交替使用月臺面，例如圖 4-3 中，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。

從上述過程中可知，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。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，作為列車在末端站交替使用不同股道折返的安全時距，其計算式為

$$T_{t,F2} = t_i + t_{t \rightarrow m} + t_{m \rightarrow t} - t_{b,s} \quad (4.18)$$

式中： $T_{t,F2}$ =列車在末端站以不同股道進行站前折返的安全時距（秒）

t_i =轉轍器運作時間（秒）

$t_{t \rightarrow m}$ =列車從末端站經由橫渡線離開直到車尾完全通過橫渡線區的運行時間（秒）

$t_{m \rightarrow t}$ = 列車從設定橫渡線路徑的位置行駛至完全停止在末端站的
 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）

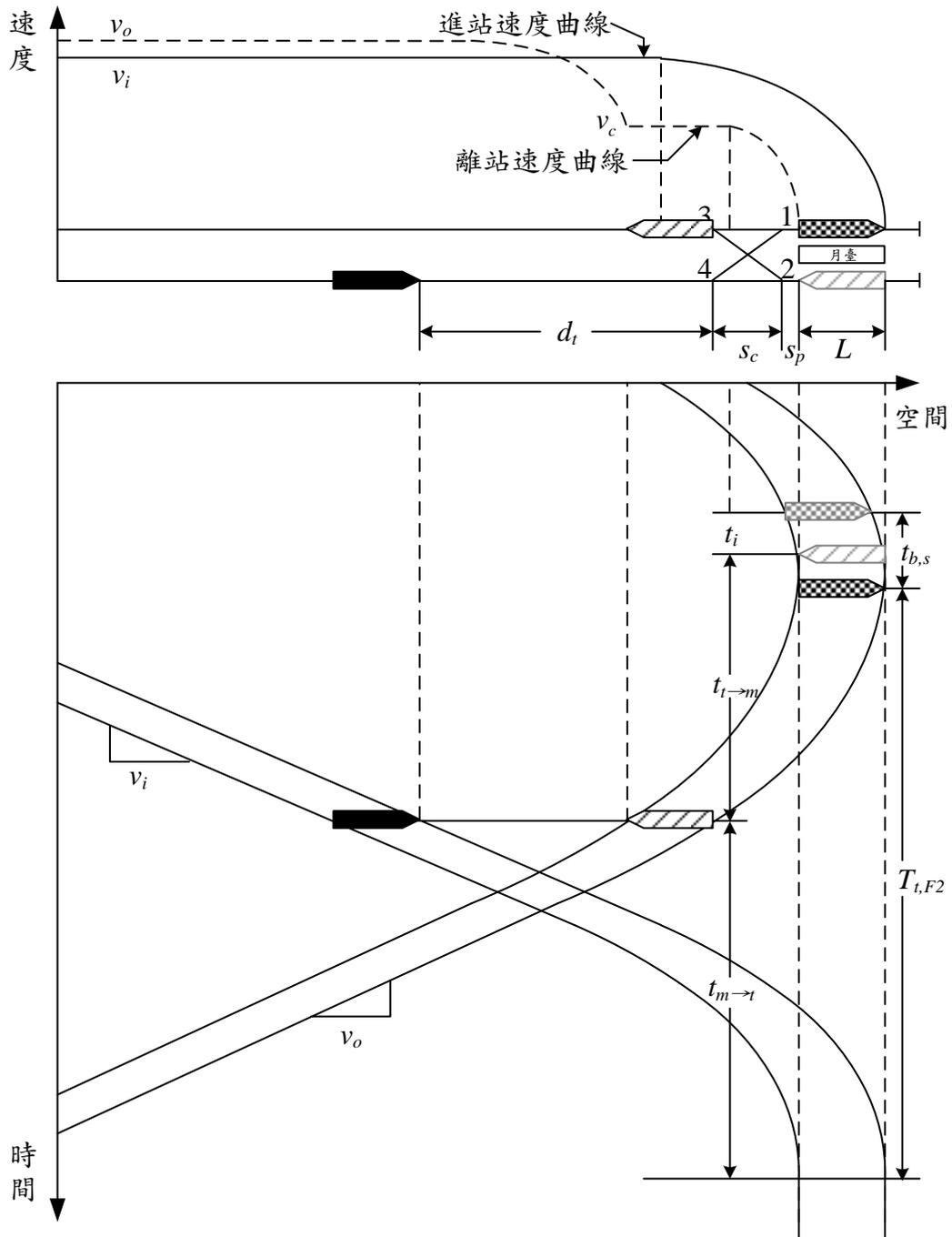


圖 4-3 站前折返之安全時距—站內停靠不同股道

由於列車從靜止開始加速直到車尾離開橫渡線區的運行距離，通常會大於列車從靜止加速至橫渡線道岔限速的運行距離，因此 $t_{t \rightarrow m}$ 包括從靜止加速至道岔限速，以及以道岔限速等速運轉等兩階段，亦即

$$t_{t \rightarrow m} = \frac{v_c}{K_a a} + \frac{s_p + s_c + L - \frac{v_c^2}{2K_a a}}{v_c} = \frac{v_c}{2K_a a} + \frac{s_p + s_c + L}{v_c} \quad (4.19)$$

至於第三列車從設定橫渡線路徑的位置行駛至完全停止在端末站的運行時間，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

一般來說，列車直行經過橫渡線區時，不會像斜進一樣有道岔限速，此時 $t_{m \rightarrow t}$ 的計算僅包含以巡航速度等速運轉，以及從巡航速度煞車至停止等兩階段

$$\begin{aligned} t_{m \rightarrow t} &= \frac{d_t + s_c + s_p + L - \frac{v_i^2}{2K_b b}}{v_i} + \frac{v_i}{K_b b} \\ &= \frac{d_t + s_c + s_p + L}{v_i} + \frac{v_i}{2K_b b} \end{aligned} \quad (4.20)$$

2. 有直行橫渡線區的限速

若列車直行橫渡線區有速度限制時，則 $t_{m \rightarrow t}$ 包含以巡航速度等速運轉、從巡航速度減速至道岔限速、以道岔限速等速運轉，和從道岔限速煞車至停止等四個階段，計算過程類似式(4.13)，公式如下

$$t_{m \rightarrow t} = \frac{d_t}{v_i} + \frac{v_i}{2K_b b} + \frac{s_c + s_p + L}{v_{cs}} + \frac{v_{cs}}{2K_b b} \left(\frac{v_{cs}}{v_i} - 1 \right) \quad (4.21)$$

式中： v_{cs} =列車直行橫渡線區的限度（公尺/秒）

而第二列車車尾通過橫渡線至列車完全停妥的運行距離，等於列車於車站停車處至橫渡線之距離，過程中列車均處於減速階段，因此

$$t_{b,s} = \sqrt{\frac{2s_p}{K_b b}} \quad (4.22)$$

將式(4.19)~(4.22)代入式(4.18)，可求得列車以不同股道進行站前折返的安全時距為：

1. 沒有直行橫渡線區的限速

$$T_{t,F2} = t_i + \frac{v_c}{2K_a a} + \frac{s_p + s_c + L}{v_c} + \frac{d_t + s_c + s_p + L}{v_i} + \frac{v_i}{2K_b b} - \sqrt{\frac{2s_p}{K_b b}} \quad (4.23)$$

2. 有直行橫渡線區的限速

$$T_{t,F2} = t_i + \frac{v_c}{2K_a a} + \frac{s_p + s_c + L}{v_c} + \frac{d_t}{v_i} + \frac{v_i}{2K_b b} + \frac{s_c + s_p + L}{v_{cs}} + \frac{v_{cs}}{2K_b b} \left(\frac{v_{cs}}{v_i} - 1 \right) - \sqrt{\frac{2s_p}{K_b b}} \quad (4.24)$$

值得注意的是，如同 4.2.1 節所述，若列車設定橫渡線路徑的位置是在前一車站，此時 $t_{m \rightarrow t}$ 便是列車從前一車站至末端站的運行時間，此運行時間通常已考量了列車直行橫渡線區是否有速度限制的影響，故此情況下的安全時距為

$$T_{t,F2} = t_i + \frac{v_c}{2K_a a} + \frac{s_p + s_c + L}{v_c} + t_t - \sqrt{\frac{2s_p}{K_b b}} \quad (4.25)$$

4.2.3 站後折返—站後停靠同一尾軌

當末端站後方設有橫渡線及尾軌時，列車可透過尾軌進行折返調度，此時討論列車折返的安全時距時，所考量的空間參考點實為橫渡線後方的尾軌，而末端站本身則可視為中間站，其安全時距可以 4.1 節的方式來計算。

若列車使用同一尾軌進行站後折返，則續行列車不受先行列車影響下進入尾軌的必要條件，是先行列車已經離開尾軌並通過橫渡線區。以圖 4-4 為例，若一開始有一列車停靠在下方尾軌且橫渡線鎖定在 2→3 路徑，接著該列車從靜止加速離開尾軌往離站月臺駛去，當其車尾通過橫渡線區後，橫渡線便可重新設定在 4→2 路徑，然後停靠在到站月臺的列車即可開始駛往尾軌，此情形能讓兩列車在符合正常營運條件下，達到最小的運轉時間間隔。

以同一尾軌進行站後折返的安全時距是從先行列車離開尾軌，直到續行列車離開尾軌所經歷的時間，計算方式如下：

$$T_{t,R1} = t_{e \rightarrow t} + t_i + t_{t \rightarrow e} + t_d \quad (4.26)$$

式中： $T_{t,R1}$ =列車在末端站以同一尾軌進行站後折返的安全時距（秒）

$t_{e \rightarrow t}$ =列車從尾軌經由橫渡線開往末端站的離站月臺，直到車尾完全通過橫渡線區的運行時間（秒）

$t_{t \rightarrow e}$ =列車從末端站的到站月臺進入尾軌，直到完全停止在尾軌的運行時間（秒）

t_d =列車在尾軌折返的停靠時間（秒）

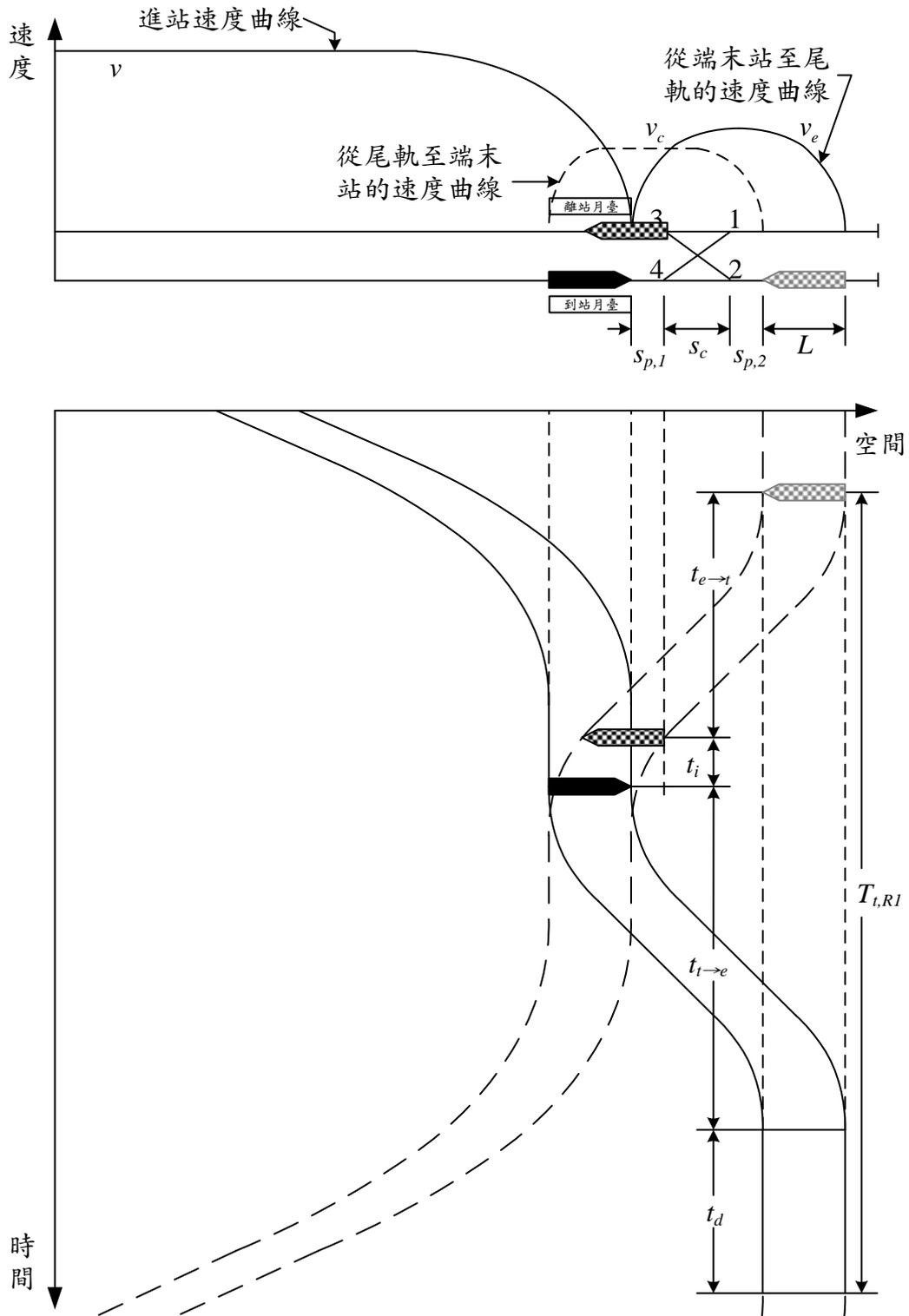


圖 4-4 站後折返之安全時距－停靠同一尾軌

列車從尾軌經由橫渡線開往末端車站的離站月台，直到車尾完全通過橫渡線區的過程裡，可分為加速至道岔限速、以道岔限速等速運轉，以及煞車減速等三個階段，其經歷的時間為

$$\begin{aligned}
 t_{e \rightarrow t} &= \frac{v_c}{K_a a} + \frac{s_{p,2} + s_c + s_{p,1} + L - \frac{v_c^2}{2K_a a} - \frac{v_c^2}{2K_b b}}{v_c} + \frac{v_c}{K_b b} \\
 &\quad - \sqrt{\frac{2s_{p,1}}{K_b b}} \quad (4.27) \\
 &= \frac{s_{p,2} + s_c + s_{p,1} + L}{v_c} + \frac{v_c}{2K_a a} + \frac{v_c}{2K_b b} - \sqrt{\frac{2s_{p,1}}{K_b b}}
 \end{aligned}$$

式中： $s_{p,1}$ =車站月臺至橫渡線之距離（公尺）

$s_{p,2}$ =橫渡線至尾軌列車停車處之距離（公尺）

當先行列車車尾通過橫渡線區後，再經過一段轉轍器運作時間，停靠在到站月臺的續行列車即可進入尾軌，由於尾軌通常距離末端車站很近，故其運轉過程只有加速及減速運轉兩個部分，如式(4.28)，經整理後可得到式(4.29)，來求取列車開往尾軌所能達到的最高運轉速度。

$$s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L = \frac{v_e^2}{2K_a a} + \frac{v_e^2}{2K_b b} \quad (4.28)$$

$$v_e = \sqrt{\frac{2K_a K_b a b (s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{K_a a + K_b b}} \quad (4.29)$$

式中： v_e =列車往尾軌的最高運轉速度（公尺/秒）

不過若列車直行橫渡線區有速度限制時，列車進入尾軌的過程中可能無法加速達到 v_e ，因此列車從末端站的到站月臺行駛至尾軌的運行時間，須分為兩種情況來計算：

1. $v_e < v_{cs}$

列車從末端站的到站月臺行駛至尾軌過程中，可加速到最高運轉速度，不受其他速限影響，此時 $t_{t \rightarrow e}$ 的計算方式為

$$\begin{aligned}
 t_{t \rightarrow e} &= \frac{v_e}{K_a a} + \frac{v_e}{K_b b} \\
 &= \sqrt{\frac{2K_b b(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{K_a a(K_a a + K_b b)}} \\
 &\quad + \sqrt{\frac{2K_a a(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{K_b b(K_a a + K_b b)}}
 \end{aligned} \tag{4.30}$$

2. $v_e \geq v_{cs}$

列車從末端站的到站月臺行駛至尾軌過程中，僅能加速至直行橫渡線區的限速，因此共會經歷從停止加速至限速、以限速等速運轉，和從限速煞車至停止等三個階段，亦即

$$\begin{aligned}
 t_{e \rightarrow t} &= \frac{v_{cs}}{K_a a} + \frac{s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L - \frac{v_{cs}^2}{2K_a a} - \frac{v_{cs}^2}{2K_b b}}{v_{cs}} + \frac{v_{cs}}{K_b b} \\
 &= \frac{s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L}{v_{cs}} + \frac{v_{cs}}{2K_a a} + \frac{v_{cs}}{2K_b b}
 \end{aligned} \tag{4.31}$$

將式(4.27)、(4.30)和(4.31)代入式(4.26)中，便可求得列車以同一尾軌進行站後折返的安全時距為：

1. $v_e < v_{cs}$

$$\begin{aligned}
 T_{t,R1} = & \frac{s_{p,2} + s_c + s_{p,1} + L}{v_c} + \frac{v_c}{2K_a a} + \frac{v_c}{2K_b b} - \sqrt{\frac{2s_{p,1}}{K_b b}} + t_i \\
 & + \sqrt{\frac{2K_b b(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{K_a a(K_a a + K_b b)}} \\
 & + \sqrt{\frac{2K_a a(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{K_b b(K_a a + K_b b)}} + t_d
 \end{aligned} \tag{4.32}$$

2. $v_e \geq v_{cs}$

$$\begin{aligned}
 T_{t,R1} = & \frac{s_{p,2} + s_c + s_{p,1} + L}{v_c} + \frac{v_c}{2K_a a} + \frac{v_c}{2K_b b} - \sqrt{\frac{2s_{p,1}}{K_b b}} + t_i \\
 & + \frac{s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L}{v_{cs}} + \frac{v_{cs}}{2K_a a} + \frac{v_{cs}}{2K_b b} + t_d
 \end{aligned} \tag{4.33}$$

4.2.4 站後折返—站後停靠不同尾軌

若列車使用不同尾軌進行站後折返，例如圖 4-5 中，假設已有一列車停靠在下方尾軌，此時橫渡線鎖定在 4→1 路徑，讓第二列車可從末端站的到站月臺經橫渡線駛入另一股尾軌，當第二列車車尾通過橫渡線區後，橫渡線將重新設定為 2→3 路徑，讓原先停靠在下方尾軌的第一列車能駛入末端站的離站月臺。一旦第一列車車尾通過橫渡線區後，橫渡線再設定為 4→2 路徑，則第三列車即可進入尾軌。

安全時距的計算係以列車在尾軌的時間為基準，以第三列車與第二列車到達尾軌的時間間隔，作為列車在末端站交替使用不同尾軌折返的安全時距，因此計算上需要減去第二列車車尾經過橫渡線至完全停妥於尾軌的運行時間，從圖 4-5 可知其計算式如下

$$T_{t,R2} = t_{e \rightarrow t} + 2t_i + t_{t \rightarrow e} - t_{b,s} \tag{4.34}$$

式中： $T_{t,R2}$ =列車在末端站以不同尾軌進行站後折返的安全時距（秒）

$t_{b,s}$ =第二列車車尾經過橫渡線至列車完全停妥於尾軌的運行時間（秒）

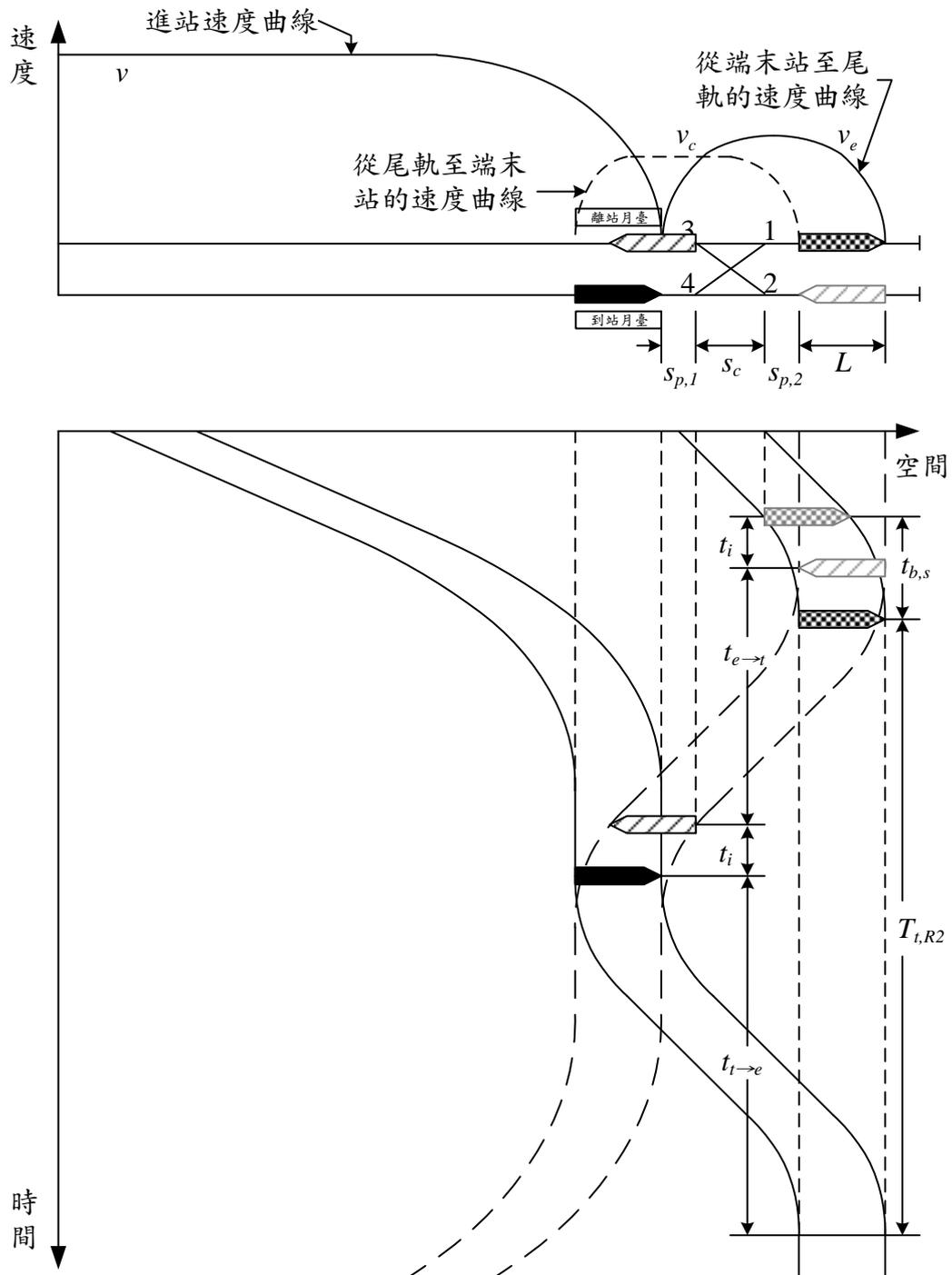


圖 4-5 站後折返之安全時距－停靠不同尾軌

式(4.34)中的 $t_{e \rightarrow t}$ 和 $t_{t \rightarrow e}$ 已於 4.2.3 節討論過，而第二列車車尾通過橫渡線至完全停妥於尾軌的行駛距離，為橫渡線至尾軌停車區的距離 $s_{p,2}$ ，因此

$$t_{b,s} = \sqrt{\frac{2s_{p,2}}{K_b b}} \quad (4.35)$$

將式(4.27)、(4.30)、(4.31)和(4.35)代入式(4.34)中，便可求得列車以同一尾軌進行站後折返的安全時距為：

1. $v_e < v_{cs}$

$$\begin{aligned} T_{t,R2} = & \frac{s_{p,2} + s_c + s_{p,1} + L}{v_c} + \frac{v_c}{2K_a a} + \frac{v_c}{2K_b b} - \sqrt{\frac{2s_{p,1}}{K_b b}} + 2t_i \\ & + \sqrt{\frac{2K_b b(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{K_a a(K_a a + K_b b)}} \\ & + \sqrt{\frac{2K_a a(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{K_b b(K_a a + K_b b)}} - \sqrt{\frac{2s_{p,2}}{K_b b}} \end{aligned} \quad (4.36)$$

2. $v_e \geq v_{cs}$

$$\begin{aligned} T_{t,R2} = & \frac{s_{p,2} + s_c + s_{p,1} + L}{v_c} + \frac{v_c}{2K_a a} + \frac{v_c}{2K_b b} - \sqrt{\frac{2s_{p,1}}{K_b b}} + 2t_i \\ & + \frac{s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L}{v_{cs}} + \frac{v_{cs}}{2K_a a} + \frac{v_{cs}}{2K_b b} - \sqrt{\frac{2s_{p,2}}{K_b b}} \end{aligned} \quad (4.37)$$

4.3 單線區間安全時距計算公式

單線區間中僅有一股軌道供雙向通行，同時兩端車站內至少必須有兩軌道才能辦理列車交會。當先行列車從一端車站行駛至另一端車站後，對向列車方能離站，而同向的續行列車必須等到對向列車到站後才能出發，如圖 4-6 所示。

單線區間的安全時距是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，期間包含先行列車和對向列車於單線區間內的運行時間，以及兩次列車交會所需的時間，其計算公式如下：

$$T_x = t_o + t_{o'} + 2t_{s,M} \quad (4.38)$$

式中： T_x =列車在單線區間的安全時距（秒）

t_o =列車於單線區間內的順向運行時間（秒）

$t_{o'}$ =列車於單線區間內的反向運行時間（秒）

$t_{s,M}$ =列車交會所需最短時間（秒）

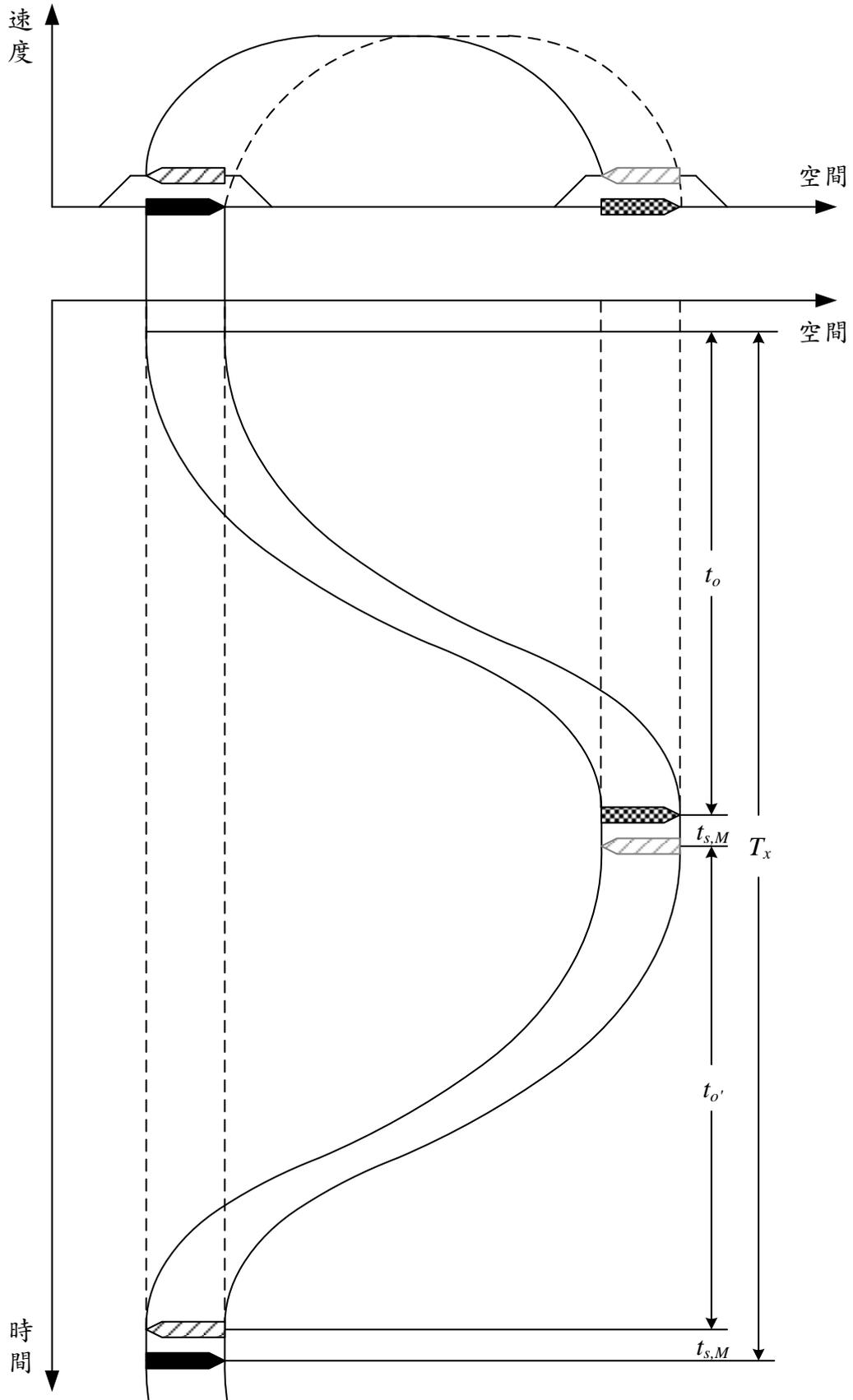


圖 4-6 單線區間之安全時距

其中列車交會所需最短時間為先行列車到站後，直到續行列車可以離站的時間，如圖 4-7 所示，續行列車可離開車站的必要條件是先行列車的車尾通過 P 點的道岔位置，而轉轍器已完成扳轉，然後待續行列車的司機員確認後即可出發，列車交會所需最短時間為

$$t_{s,M} = t_i + t_r - t_p = t_i + t_r - \sqrt{\frac{2s_e}{K_b b}} \quad (4.39)$$

式中： t_i =轉轍器運作時間（秒）

t_r =司機員確認出發的反應時間（秒）

t_p =列車車尾通過 P 點後至列車完全停止在車站的運行時間(秒)

s_e =列車停車後車尾與道岔的距離（公尺）

將式(4.39)代入式(4.38)中，便可求得單線區間的安全時距為：

$$T_x = t_o + t_{o'} + 2t_i + 2t_r - \sqrt{\frac{8s_e}{K_b b}} \quad (4.40)$$

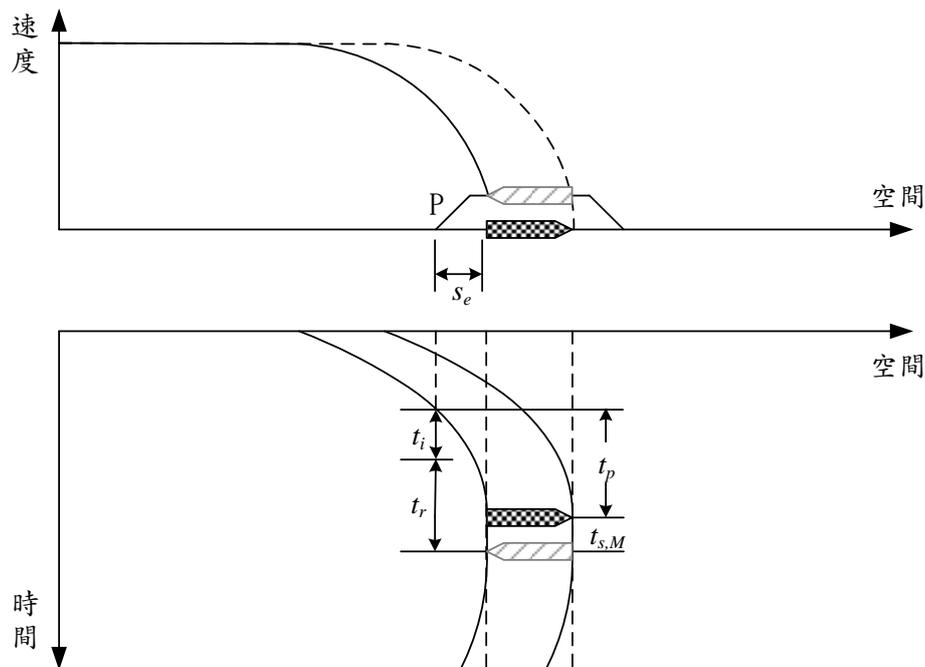


圖 4-7 反向列車交會所需時間

4.4 安全時距計算公式彙整

本章所推導的安全時距計算公式彙整如表 4.1，以利讀者查閱參考。

表 4.1 A 型路權安全時距計算公式

空間參考點	折返方式	使用股道	其他條件	安全時距公式
中間站	—	同一股道	—	$T_m = \frac{s_m + L}{v_i} + \frac{v_i}{K_b b} + t_d$
單線區間	—	—	—	$T_x = t_o + t_{o'} + 2t_i + 2t_r - \sqrt{\frac{8s_e}{K_b b}}$
端末站	站前折返	同一股道	$s_p + s_c + L \geq v_o^2 / 2K_a a$	$T_{t,F1} = \frac{v_o}{2K_a a} + \frac{s_p + s_c + L}{v_o} + t_r + t_d$
			$s_p + s_c + L < v_o^2 / 2K_a a$	$T_{t,F1} = \sqrt{\frac{2(s_p + s_c + L)}{K_a a}} + t_r + t_d$
		不同股道	沒有直行橫渡線區的限速	$T_{t,F2} = t_i + \frac{v_c}{2K_a a} + \frac{s_p + s_c + L}{v_c} + \frac{d_t + s_c + s_p + L}{v_i} + \frac{v_i}{2K_b b} - \sqrt{\frac{2s_p}{K_b b}}$
			有直行橫渡線區的限速	$T_{t,F2} = t_i + \frac{v_c}{2K_a a} + \frac{s_p + s_c + L}{v_c} + \frac{d_t}{v_i} + \frac{v_i}{2K_b b} + \frac{s_c + s_p + L}{v_{cs}} + \frac{v_{cs}}{2K_b b} \left(\frac{v_{cs}}{v_i} - 1 \right) - \sqrt{\frac{2s_p}{K_b b}}$

安全時距公式			
空間參考點	折返方式	使用股道	其他條件
端末站		同一尾軌	$T_{t,R1} = \frac{S_{p,2} + S_c + S_{p,1} + L}{v_c} + \frac{v_c}{2K_a a} + \frac{v_c}{2K_b b} - \sqrt{\frac{2S_{p,1}}{K_b b} + t_i}$ $+ \sqrt{\frac{2K_b b(S_{p,1} + S_c + S_{p,2} + L)}{K_a a(K_a a + K_b b)} + \sqrt{\frac{2K_a a(S_{p,1} + S_c + S_{p,2} + L)}{K_b b(K_a a + K_b b)}} + t_d}$
			$T_{t,R1} = \frac{S_{p,2} + S_c + S_{p,1} + L}{v_c} + \frac{v_c}{2K_a a} + \frac{v_c}{2K_b b} - \sqrt{\frac{2S_{p,1}}{K_b b} + t_i}$ $+ \frac{S_{p,1} + S_c + S_{p,2} + L}{v_{cs}} + \frac{v_{cs}}{2K_a a} + \frac{v_{cs}}{2K_b b} + t_d$
	站後折返	不同尾軌	$T_{t,R2} = \frac{S_{p,2} + S_c + S_{p,1} + L}{v_c} + \frac{v_c}{2K_a a} + \frac{v_c}{2K_b b} - \sqrt{\frac{2S_{p,1}}{K_b b} + 2t_i}$ $+ \sqrt{\frac{2K_b b(S_{p,1} + S_c + S_{p,2} + L)}{K_a a(K_a a + K_b b)} + \sqrt{\frac{2K_a a(S_{p,1} + S_c + S_{p,2} + L)}{K_b b(K_a a + K_b b)}} - \sqrt{\frac{2S_{p,2}}{K_b b}}}$
			$T_{t,R2} = \frac{S_{p,2} + S_c + S_{p,1} + L}{v_c} + \frac{v_c}{2K_a a} + \frac{v_c}{2K_b b} - \sqrt{\frac{2S_{p,1}}{K_b b} + 2t_i}$ $+ \frac{S_{p,1} + S_c + S_{p,2} + L}{v_{cs}} + \frac{v_{cs}}{2K_a a} + \frac{v_{cs}}{2K_b b} - \sqrt{\frac{2S_{p,2}}{K_b b}}$

第五章 B 型路權平均安全時距之計算

在 B 型路權的輕軌系統中，瓶頸可能發生在路口、受路口影響之中間站和末端站等處。由於在一個路口號誌週期內，只有部分的時間能讓輕軌通行，當列車碰到紅燈而必須在路口停等時，不僅增加了與前車間距，其後續列車也必須保持更大的間距以避免列車一列列緊接著停等，因此 B 型路權的路線無法像 A 型路權一樣，讓列車都能保持相同的時間間隔來運轉，在安全時距的計算上，僅能求取平均值。

在滿足正常營運條件又要考慮路口號誌的影響下，可發現列車運轉會反覆出現固定的運行型態，如圖 5-1 所示，列車於路口處停等紅燈，直到號誌轉為綠燈後才可啟動通過路口，而其後續各列車的運行型態會在又有列車停等紅燈時重複。

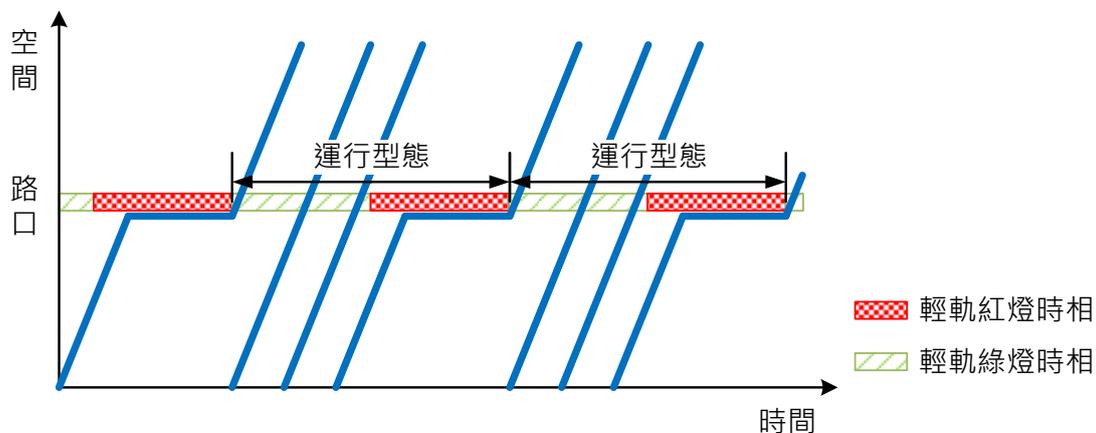


圖 5-1 路口號誌影響列車運行型態示意圖

根據上述特性，可從一列剛停等完的列車開始計算通行列車的數量，同時也計算路口號誌週期的個數，直到再有列車受到號誌影響而停車為止，如圖 5-2 所示，若此期間內共歷經 m 個路口號誌週期，並有 n 列車通過，則平均安全時距可由下式來計算，其中 m 和 n 依空間參

考點有不同的計算方式，而輕軌綠燈時相時間 G 和紅燈時相時間 R 會受到優先號誌的影響，以下各節將分別說明之。

$$\bar{T}_s = \frac{m(G + R)}{n} \quad (5.1)$$

式中： \bar{T}_s =平均安全時距（秒）

m =運行型態內所經歷的路口號誌週期數

n =運行型態內所經過的列車數

G =輕軌綠燈時相時間（秒）

R =輕軌紅燈時相時間（秒）

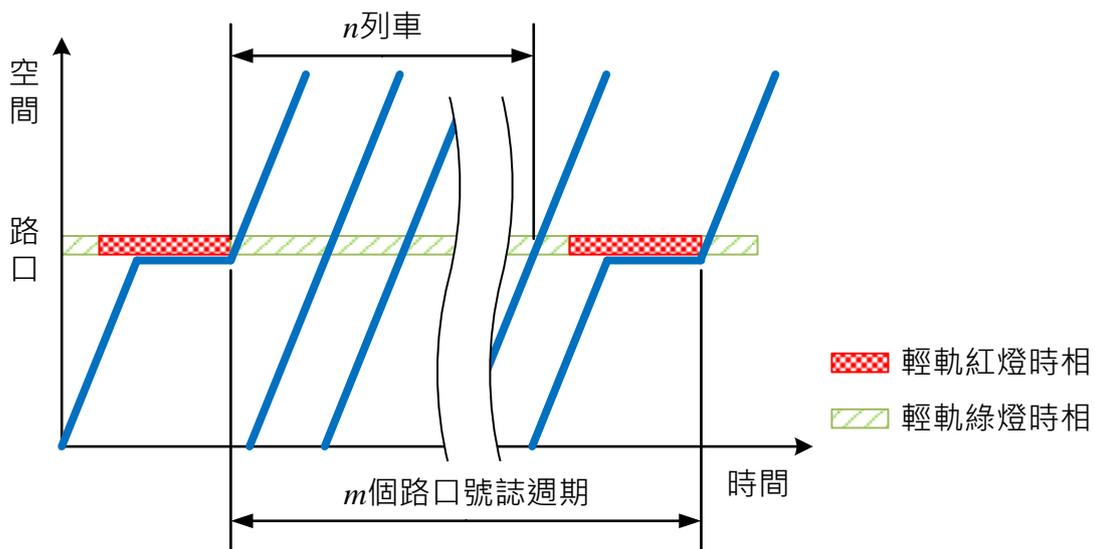


圖 5-2 計算路口號誌週期個數與列車數

5.1 獨立路口平均安全時距計算方式

獨立路口為路口前後皆沒有設置車站的路口，當輕軌列車到達獨立路口時，如果遇到輕軌綠燈時相，則可直接通過；但如果遇到紅燈時相，則必須停等至號誌轉為綠燈時相後才可通過路口。

當一列車停等完紅燈通過路口後，由於列車之間要保持一定的時間間隔，若不考慮路口號誌的影響，則後續第 n 列車通過路口的時間可由式(5.2)計算之；若考慮路口號誌的影響，則當 m 和 n 為滿足式(5.3)的最小正整數時，表示第 n 列車會在第 m 個號誌週期碰到紅燈，如圖 5-3 所示，接著便會反覆出現相同的運行型態，此時將 m 和 n 代入式(5.1)即可計算獨立路口之平均安全時距。

$$t_{DP} + (n - 1)t_{PP} \tag{5.2}$$

$$m(G + R) - R \leq t_{DP} + (n - 1)t_{PP} < m(G + R) \tag{5.3}$$

式中： t_{DP} =先行列車從靜止啟動通過路口至續行列車到達路口所須保持的最小時間間隔（秒）

t_{PP} =兩列車連續通過路口所須保持的最小時間間隔（秒）

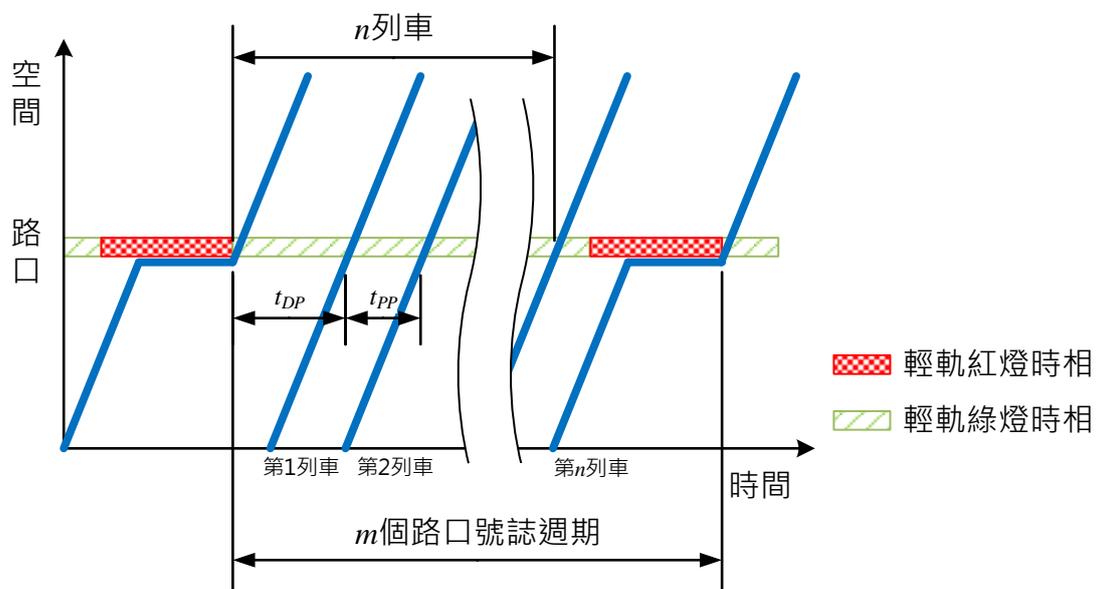


圖 5-3 獨立路口之平均安全時距示意圖

此外，針對式(5.2)中的 t_{DP} 和 t_{PP} ，可根據列車運轉基本規則，以續行列車不受先行列車影響運行為前提下推導其計算式。在號誌轉為綠燈後，先行列車從靜止啟動通過路口，當先行列車加速至巡航速度時，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，此時兩列車能在符合正常營運條件下達到最小時間間隔。

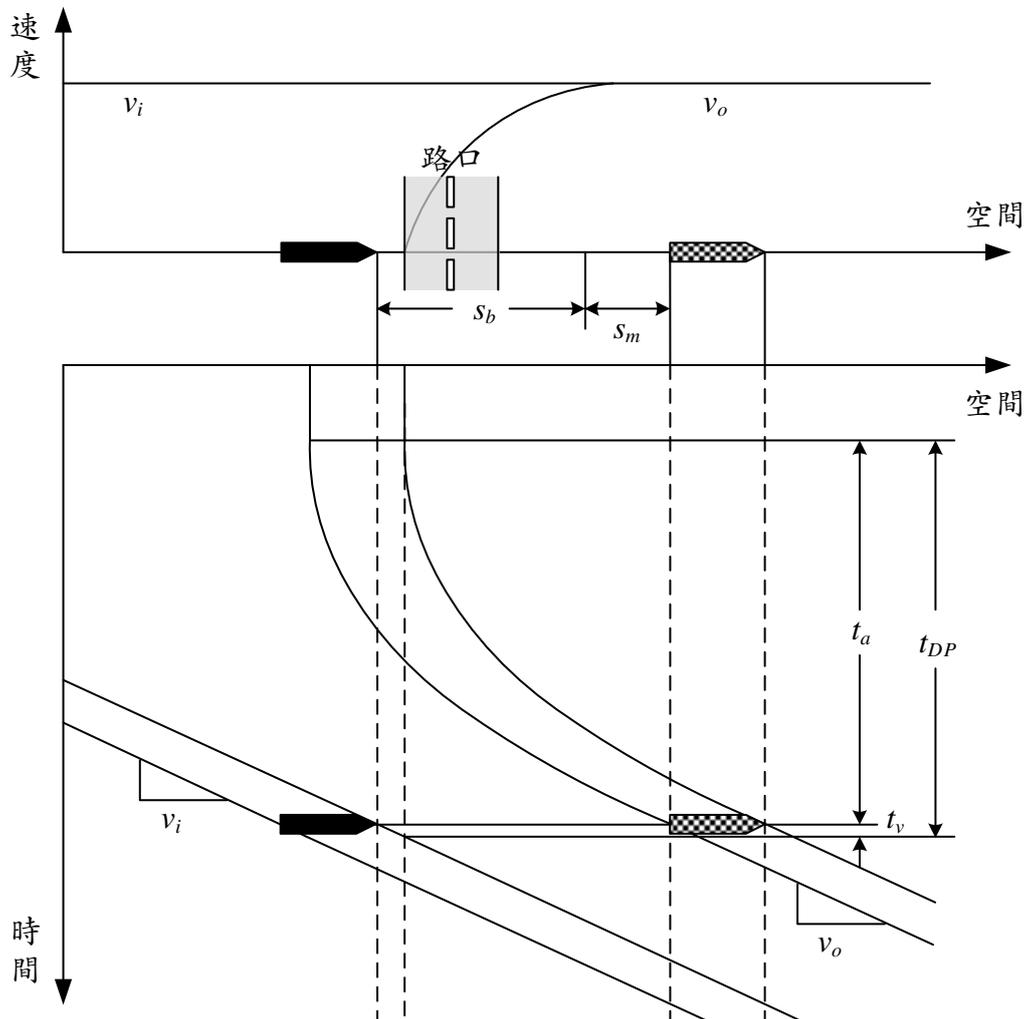


圖 5-4 先行車從靜止啟動通過路口至續行車通過路口的時間間隔

上述先行列車通過路口至續行列車通過路口所經歷的時間，包含先行列車從靜止加速至巡航速度的運行時間，以及續行列車以巡航速度運行至路口的運行時間，其計算式為

$$\begin{aligned}
 t_{DP} &= t_a + t_v = \frac{v_o}{K_a a} + \frac{s_b + s_m + L - \frac{v_o^2}{2K_a a}}{v_i} \\
 &= \frac{v_o}{K_a a} + \frac{s_m + L}{v_i} + \frac{v_i}{2K_b b} - \frac{v_o^2}{2K_a a v_i}
 \end{aligned} \tag{5.4}$$

式中： t_a =列車從靜止加速至巡航速度的運行時間（秒）

t_v =列車以巡航速度運轉的運行時間（秒）

v_o =列車通過路口後的巡航速度（公尺/秒）

K_a =列車加速率有效因子

a =列車加速率（公尺/秒²）

s_b =列車從巡航速度煞車到靜止所運行的距離（公尺）

s_m =寬裕距離（公尺）

L =列車車身長度（公尺）

v_i =列車通過路口前的巡航速度（公尺/秒）

K_b =列車減速率有效因子

b =列車減速率（公尺/秒²）

若號誌持續為綠燈，列車可連續通過路口，當先行列車通過路口時，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 5-5 所示，此時兩列車能在符合正常營運條件下，以最小時間間隔通過路口。

在先行列車通過路口後，續行列車以巡航速度運轉通過路口，此兩列車連續通過路口的時間間隔為

$$t_{PP} = \frac{s_b + s_m + L}{v_i} = \frac{v_i}{2K_b b} + \frac{s_m + L}{v_i} \quad (5.5)$$

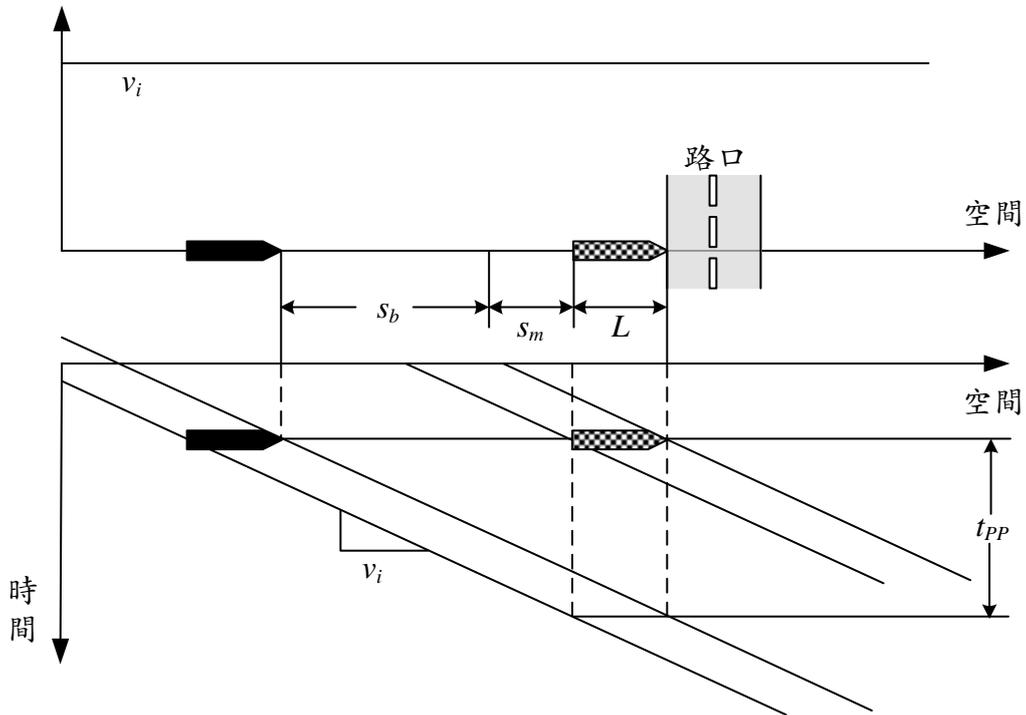


圖 5-5 兩列車連續通過路口的時間間隔

5.2 受路口影響之中間站平均安全時距計算方式

受路口影響之中間站為車站前後有設置路口，可分為近端設站和遠端設站兩種，如圖 5-6 所示，以下分別說明兩者的平均安全時距計算方式。

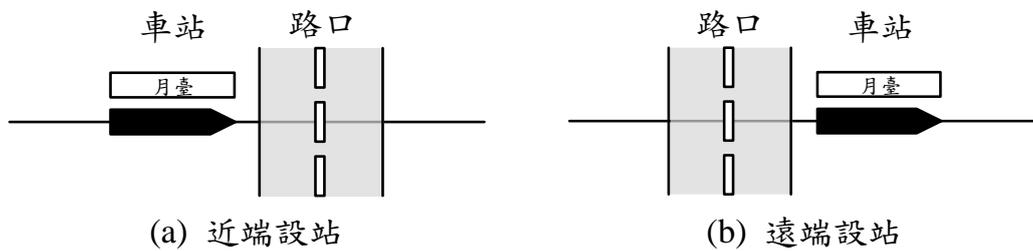


圖 5-6 受路口影響之中間站

5.2.1 近端設站

當輕軌列車到達近端設站的車站時，因為路口位於車站後方，列車進站時不會受到路口號誌影響，但列車離站時如果遇到紅燈時相，

則必須於車站內停等至號誌轉為綠燈時相後才可駛離車站。當一列車駛離車站後，續行列車方可進入車站，然後再經過一段停站時間便可離站，若不考慮號誌的影響，則後續第 n 列車離開車站的時間可由式(5.6)計算之；若考慮路口號誌的影響，則當 m 和 n 為滿足式(5.7)的最小正整數時，表示第 n 列車會在第 m 個號誌週期碰到紅燈，如圖 5-7 所示，接著便會反覆出現相同的運行型態，此時可根據式(5.1)計算近端設站之平均安全時距。

$$n(t_{DA} + t_d) \tag{5.6}$$

$$m(G + R) - R \leq n(t_{DA} + t_d) < m(G + R) \tag{5.7}$$

式中： t_{DA} =先行列車離開車站至續行列車到達車站所須保持的最小時間間隔（秒）

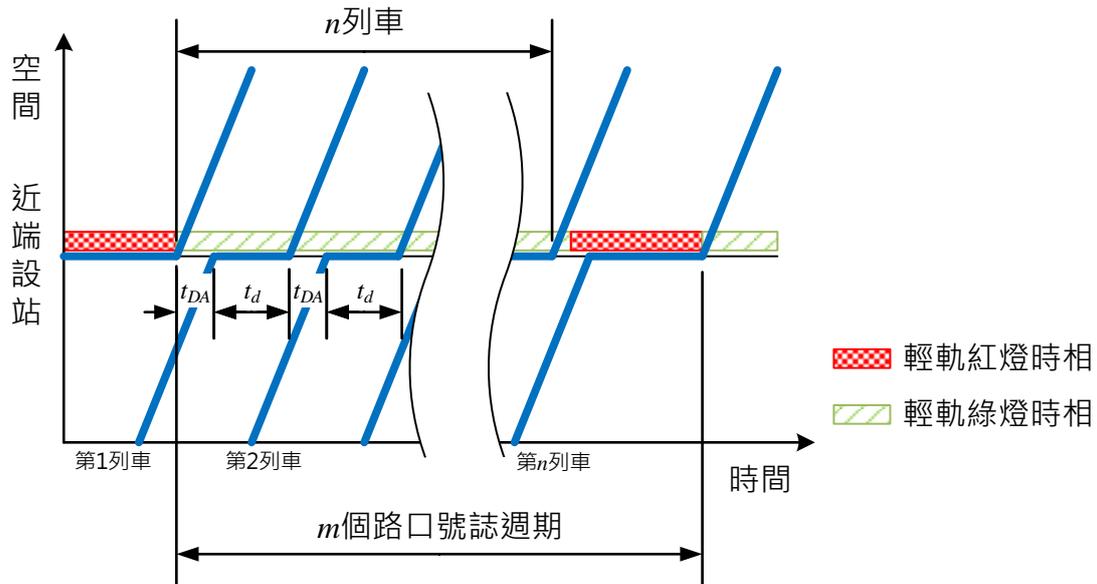


圖 5-7 近端設站之平均安全時距示意圖

參考第 4.1 節的公式推導過程，可知式(5.6)中的 t_{DA} 之計算式為

$$t_{DA} = t_v + t_b = \frac{s_m + L}{v_i} + \frac{v_i}{K_b b} \tag{5.8}$$

5.2.2 遠端設站

當輕軌列車到達遠端設站的車站時，車站前的路口號誌會影響列車進站，如果為輕軌綠燈時相，列車可直接進站；但如果遇到紅燈時相，則必須停等至號誌轉為綠燈時相後方可進站，待列車於車站內經過一段停站時間後便可離站，不會受再受到號誌影響。

當列車保持最小時間間隔進出車站時，先行列車離站的時間點會決定續行列車進站是否會碰到紅燈。從一列車於路口停等完紅燈開始，第 n 列車離開車站的時間可由式(5.9)計算之，倘若先行列車離站時，路口號誌為紅燈，甚至距離紅燈時相還有 t_{DA} 的時間，則續行列車便可先行駛至路口停等紅燈，待號誌轉為綠燈時相後再進站，因此當 m 和 n 為滿足式(5.10)的最小正整數時，表示第 n 列車離站後，下一列車會在第 m 個號誌週期碰到紅燈，如圖 5-8 所示，接著便會反覆出現相同的運行型態，此時透過式(5.1)即可計算遠端設站之平均安全時距。

$$t_R + t_d + (n - 1)(t_{DA} + t_d) \quad (5.9)$$

$$\begin{aligned} m(G + R) - R - t_{DA} &\leq t_R + t_d + (n - 1)(t_{DA} + t_d) \\ &< m(G + R) \end{aligned} \quad (5.10)$$

式中： t_R =列車從靜止啟動通過路口進入車站，直到完全停妥於車站的運行時間（秒）

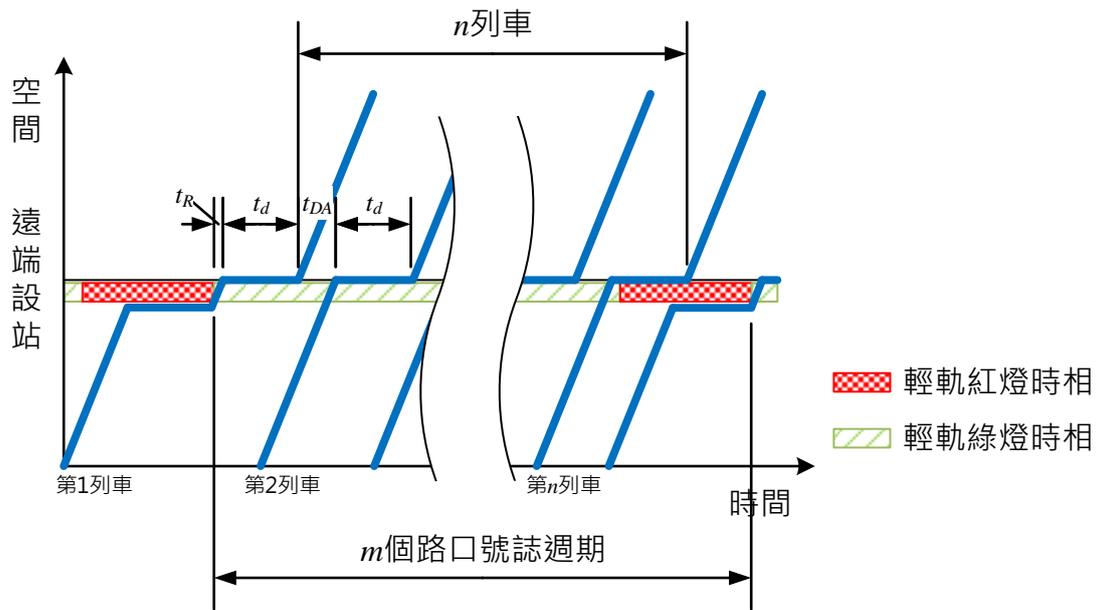


圖 5-8 遠端設站之平均安全時距示意圖

從列車於路口停等完紅燈起步進入車站開始，直到停妥於車站為止的運轉過程中，如圖 5-9 所示，若列車僅經歷加速及減速運轉兩個部分，如式(5.11)，經整理後可得到式(5.12)，來求取列車所能達到的最高運轉速度。

$$s_{int} + s_{si} + L = \frac{v_m^2}{2K_a a} + \frac{v_m^2}{2K_b b} \quad (5.11)$$

$$v_m = \sqrt{\frac{2K_a K_b a b (s_{int} + s_{si} + L)}{K_a a + K_b b}} \quad (5.12)$$

式中： s_{int} =路口寬度（公尺）

s_{si} =路口至車站停車處之距離（公尺）

v_m =列車從路口行駛至車站的最高運轉速度（公尺/秒）

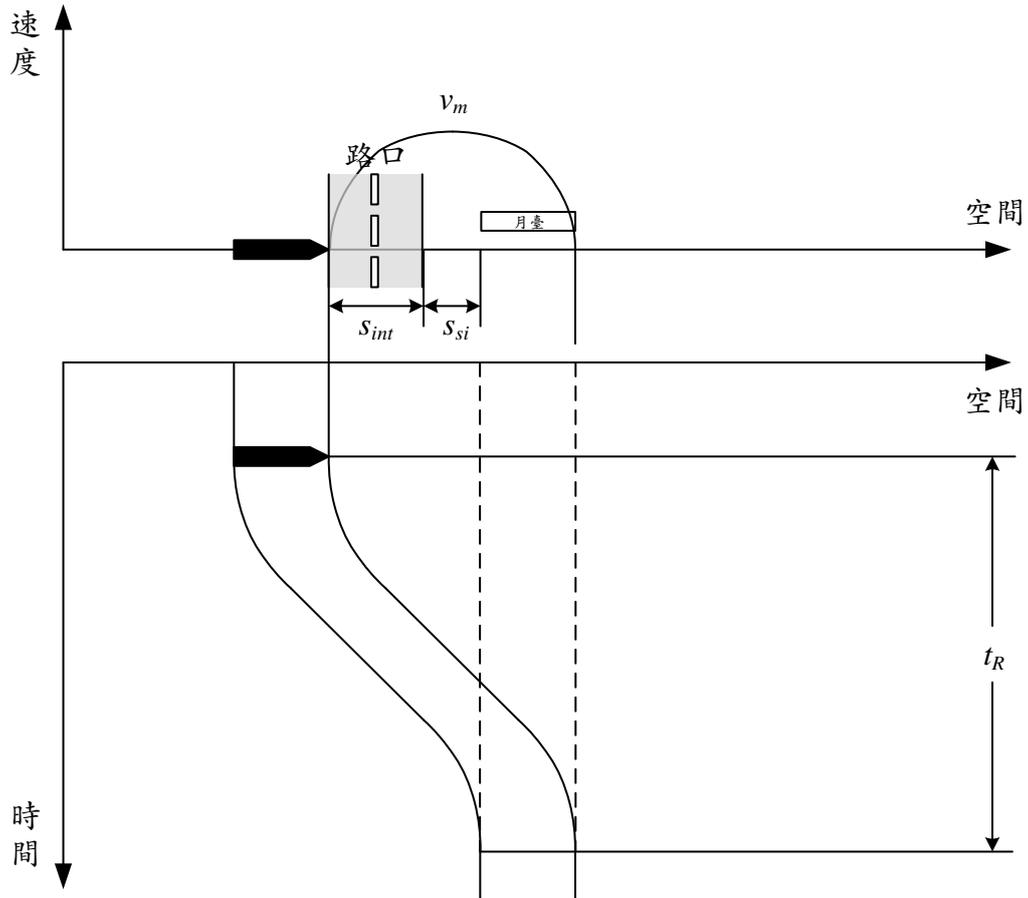


圖 5-9 列車從靜止啟動通過路直到完全停妥於車站的運行時間

但受到路線限速 v_l 的影響，上述列車運轉過程中的速度可能無法到達 v_m ，因此列車從靜止啟動通過路口直到完全停妥於車站的運行時間，須分為兩種情況來計算：

1. $v_m < v_l$

列車從靜止啟動通過路直到停妥於車站的過程中，可加速到最高運轉速度，此時 t_R 的計算公式為

$$\begin{aligned}
 t_R &= \frac{v_m}{K_a a} + \frac{v_m}{K_b b} \\
 &= \sqrt{\frac{2K_b b(s_{int} + s_{si} + L)}{K_a a(K_a a + K_b b)}} + \sqrt{\frac{2K_a a(s_{int} + s_{si} + L)}{K_b b(K_a a + K_b b)}} \quad (5.13)
 \end{aligned}$$

2. $v_m \geq v_l$

列車從靜止啟動通過路直到停妥於車站的過程中，僅能加速至路線限速，因此共會經歷從停止加速至限速、以限速等速運轉，和從限速煞車至停止等三個階段，亦即

$$\begin{aligned}
 t_R &= \frac{v_l}{K_a a} + \frac{S_{int} + S_{si} + L - \frac{v_l^2}{2K_a a} - \frac{v_l^2}{2K_b b}}{v_{cl}} + \frac{v_l}{K_b b} \\
 &= \frac{S_{int} + S_{si} + L}{v_l} + \frac{v_l}{2K_a a} + \frac{v_l}{2K_b b}
 \end{aligned} \tag{5.14}$$

式中： v_l =路線限速（公尺/秒）

5.3 受路口影響之末端站平均安全時距計算方式

受路口影響之末端站為橫渡線與列車折返處之間有設置路口，如圖 5-10 所示，無論是站前折返還是站後折返，要計算在運行型態內共有多少號誌週期數 m 和通過列車數 n 時，其演算邏輯是相同的，差別僅在於演算過程中所考量的運行時間等數值的計算公式不同。而列車在末端站折返時，可能只使用同一股道來折返，也可能交替使用不同股道來折返，以下分別說明其平均安全時距計算方式。

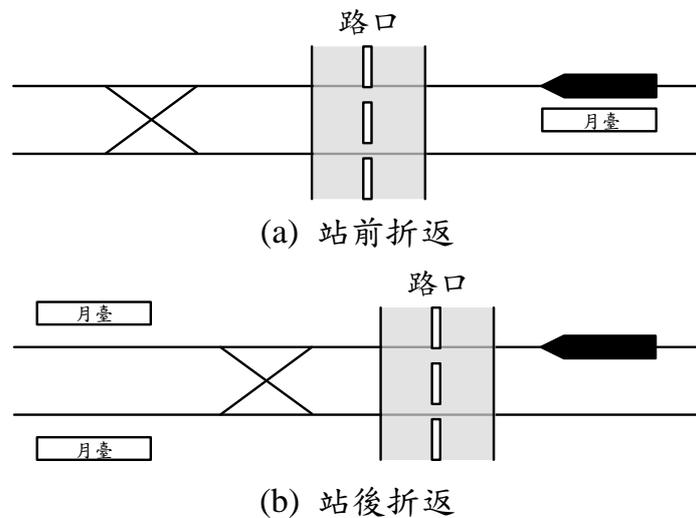


圖 5-10 受路口影響之末端站

5.3.1 使用相同股道折返

當列車於末端站進行折返時，從通過橫渡線行駛至折返處時，或者從折返處行駛至橫渡線時，皆有可能碰到紅燈，因此出現重複運行型態的情況有兩種可能：1. 列車於路口停等完紅燈進入折返處後，直到又有列車進入折返處時碰到紅燈；2. 列車於折返處停等完紅燈離開後，直到又有列車離開折返處時碰到紅燈，其中平均安全時距較大者會決定該空間參考點的平均安全時距，以下分別說明之。

1. 列車於路口停等完紅燈進入折返處後，直到又有列車進入折返處時碰到紅燈

當列車停等完紅燈進入折返處後，其後續第 n 列車到達折返處的時間可由式(5.15)計算而得，而受到路口號誌的影響，當 m 和 n 為滿足式(5.16)的最小正整數時，表示第 n 列車會在第 m 個號誌週期碰到紅燈，如圖 5-11 所示，接著便會反覆出現相同的運行型態，此時可根據式(5.1)計算平均安全時距。

$$t_A + (n - 1)(t_d + t_{t \rightarrow c} + t_{c \rightarrow t}) \quad (5.15)$$

$$m(G + R) - R \leq t_A + (n - 1)(t_d + t_{t \rightarrow c} + t_{c \rightarrow t}) < m(G + R) \quad (5.16)$$

式中： t_A =從列車停等完紅燈進入折返處，完成折返離開後，直到下一列車進入折返處的同一股道所經歷的時間（秒）

$t_{t \rightarrow c}$ =列車從折返處離開直到車尾完全通過橫渡線區的運行時間（秒）

$t_{c \rightarrow t}$ =列車從設定橫渡線路徑的位置行駛至完全停止在折返處的運行時間（秒）

式(5.15)中的 t_A 之計算，需視列車停等完紅燈進入折返處後，完成折返離開時是否會碰到紅燈而定。若沒有碰到紅燈，如圖 5-11，則

$$t_A = t_R + t_d + t_{t \rightarrow c} + t_{c \rightarrow t} \quad (5.17)$$

若是碰到紅燈，如圖 5-12，則

$$t_A = G + R + t_{t \rightarrow c} + t_{c \rightarrow t} \quad (5.18)$$

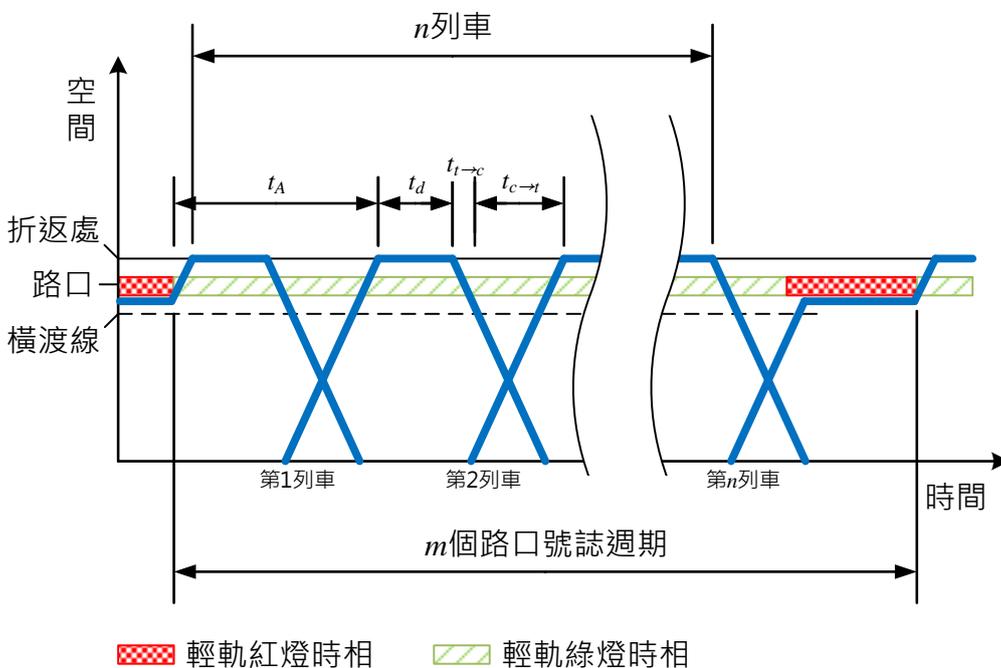


圖 5-11 使用相同股道折返之平均安全時距示意圖一

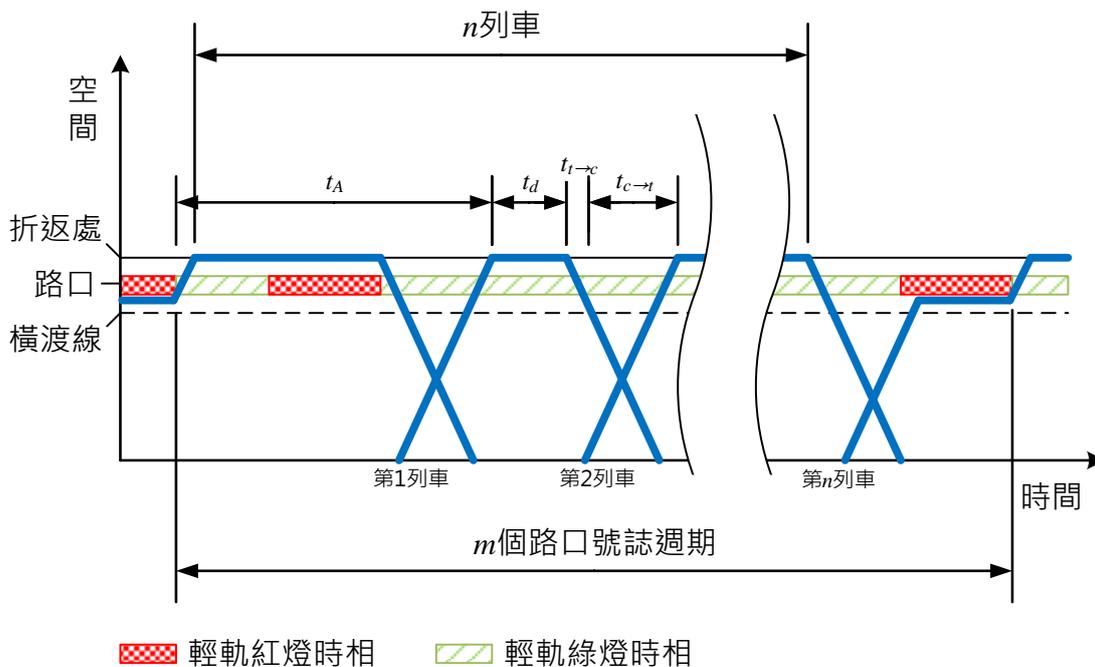


圖 5-12 使用相同股道折返之平均安全時距示意圖二

2. 列車於折返處停等完紅燈離開後，直到又有列車離開折返處時碰到紅燈

當列車停等完紅燈離開折返處後，其後續第 n 列車離開折返處的時間可由式(5.19)計算而得，而受到路口號誌的影響，當 m 和 n 為滿足式(5.20)的最小正整數時，表示第 n 列車會在第 m 個號誌週期碰到紅燈，如圖 5-13 所示，接著便會反覆出現相同的運行型態，然後可透過式(5.1)計算平均安全時距。

$$t_B + (n - 1)(t_{t \rightarrow c} + t_{c \rightarrow t} + t_d) \quad (5.19)$$

$$m(G + R) - R \leq t_B + (n - 1)(t_{t \rightarrow c} + t_{c \rightarrow t} + t_d) < m(G + R) \quad (5.20)$$

式中： t_B =從列車停等完紅燈離開折返處，直到下一列車進入同一股道完成折返準備離開所經歷的時間（秒）

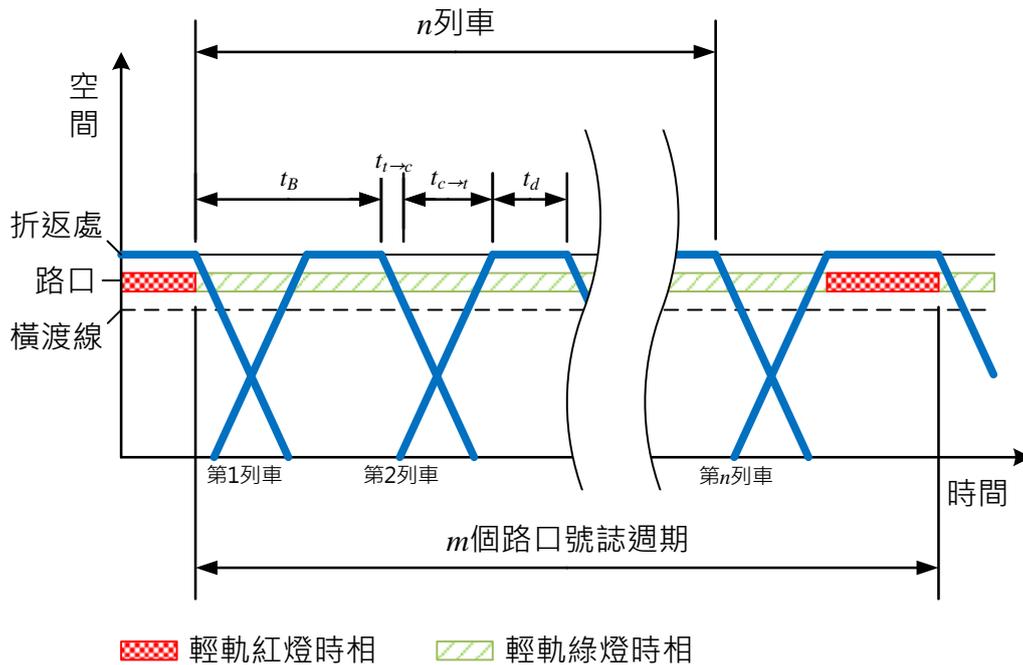


圖 5-13 使用相同股道折返之平均安全時距示意圖三

式(5.19)中的 t_B 之計算，需視列車停等完紅燈離開折返處後，下一列車進入折返處時是否會碰到紅燈而定。若沒有碰到紅燈，如圖 5-13，則

$$t_B = t_{t \rightarrow c} + t_{c \rightarrow t} + t_d \quad (5.21)$$

若是碰到紅燈，如圖 5-14，則

$$t_B = G + R + t_R + t_d \quad (5.22)$$

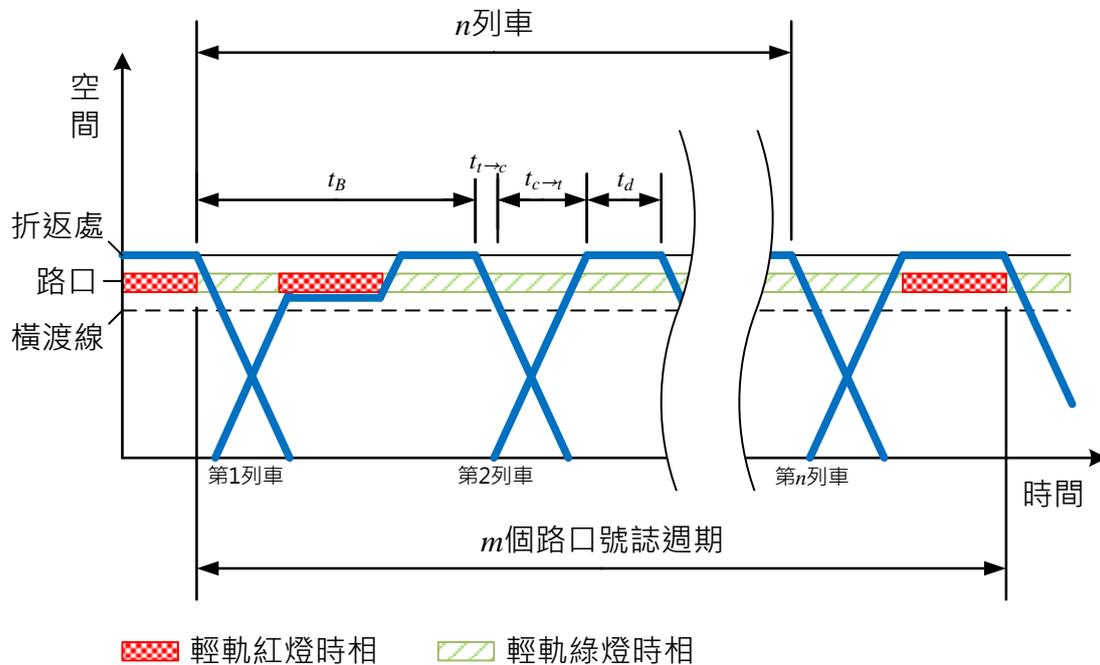


圖 5-14 使用相同股道折返之平均安全時距示意圖四

根據上述兩種情況，可以計算得到兩個平均安全時距，最後再取其較大者作為使用相同股道折返的平均安全時距。

有關上述 $t_{t \rightarrow c}$ 的計算公式，若是站前折返，則可參考式(4.6)和(4.7)的推導過程，如果列車車尾通過橫渡線區前已加速至巡航速度，則

$$t_{t \rightarrow c} = \frac{v_o}{2K_a a} + \frac{s_p + s_c + L}{v_o} \quad (5.23)$$

如果列車車尾通過橫渡線區前持續處於加速階段，則

$$t_{t \rightarrow c} = \sqrt{\frac{2(s_p + s_c + L)}{K_a a}} \quad (5.24)$$

若是站後折返，根據參考式(4.27)的推導過程，可得

$$t_{t \rightarrow c} = \frac{s_{p,2} + s_c + s_{p,1} + L}{v_c} + \frac{v_c}{2K_a a} + \frac{v_c}{2K_b b} - \sqrt{\frac{2s_{p,1}}{K_b b}} \quad (5.25)$$

至於 $t_{c \rightarrow t}$ 的計算公式，站前折返的情況可參考式(4.13)的推導過程，便可得到

$$t_{c \rightarrow t} = \frac{d_t}{v_i} + \frac{v_i}{2K_b b} + \frac{s_c + s_p + L}{v_c} + \frac{v_c}{2K_b b} \left(\frac{v_c}{v_i} - 1 \right) \quad (5.26)$$

而站後折返的情況，則可參考式(4.30)和(4.31)，如果列車從端末站的月臺行駛至尾軌過程中，可加速到最高運轉速度，則

$$t_{c \rightarrow t} = \sqrt{\frac{2K_b b(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{K_a a(K_a a + K_b b)}} + \sqrt{\frac{2K_a a(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{K_b b(K_a a + K_b b)}} \quad (5.27)$$

如果僅能加速至橫渡線區的限速，則

$$t_{c \rightarrow t} = \frac{s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L}{v_{cs}} + \frac{v_{cs}}{2K_a a} + \frac{v_{cs}}{2K_b b} \quad (5.28)$$

5.3.2 使用不同股道折返

當列車於末端站交替使用不同股道進行折返時，和使用同一股道的情形一樣，有兩種可能的運行型態：

1. 列車停等完紅燈進入折返處後，直到又有列車進入折返處時碰到紅燈

當列車停等完紅燈進入折返處後，若後續第 1 列車到達折返處時又碰到紅燈，則平均安全時距即為一個號誌週期的長度；若後續第 1 列車到達時沒有碰到紅燈，則後續第 2 列以後之列車到達折返處的時間，須視最初進入折返處的列車離開時是否會碰到紅燈而定，如圖 5-15 和圖 5-16 所示，因此其計算式如式(5.29)。而受到路口號誌的影響，當 m 和 n 為滿足式(5.30)的最小正整數時（其中 $n \geq 2$ ），表示第 n 列車會在第 m 個號誌週期碰到紅燈，接著便會反覆出現相同的運行型態，此時可根據式(5.1)計算平均安全時距。

$$t_A + (n - 2)(-t_{b,s} + t_i + t_{t \rightarrow c} + t_{c \rightarrow t}) \quad (5.29)$$

$$\begin{aligned} m(G + R) - R &\leq t_A + (n - 2)(-t_{b,s} + t_i + t_{t \rightarrow c} + t_{c \rightarrow t}) \\ &< m(G + R) \end{aligned} \quad (5.30)$$

式中： $t_{b,s}$ =列車車尾經過橫渡線至列車完全停妥的運行時間（秒）

t_i =轉轍器運作時間（秒）

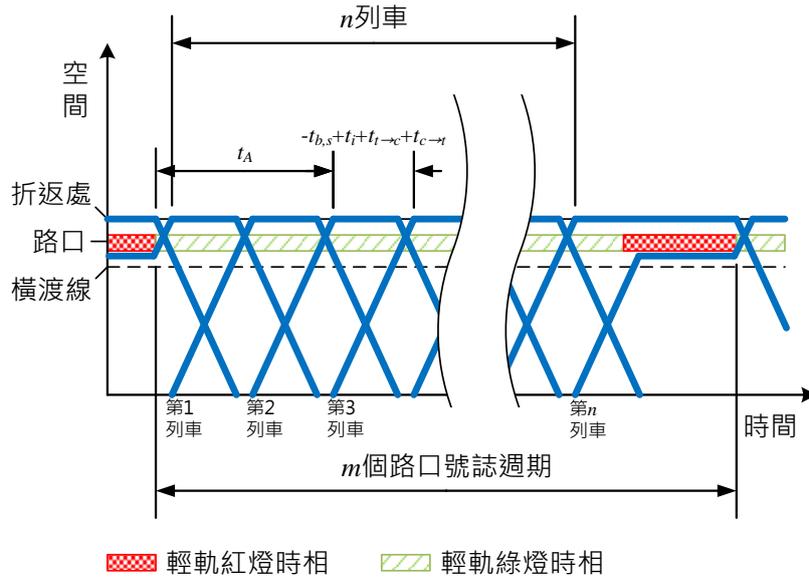


圖 5-15 使用不同股道折返之平均安全時距示意圖一

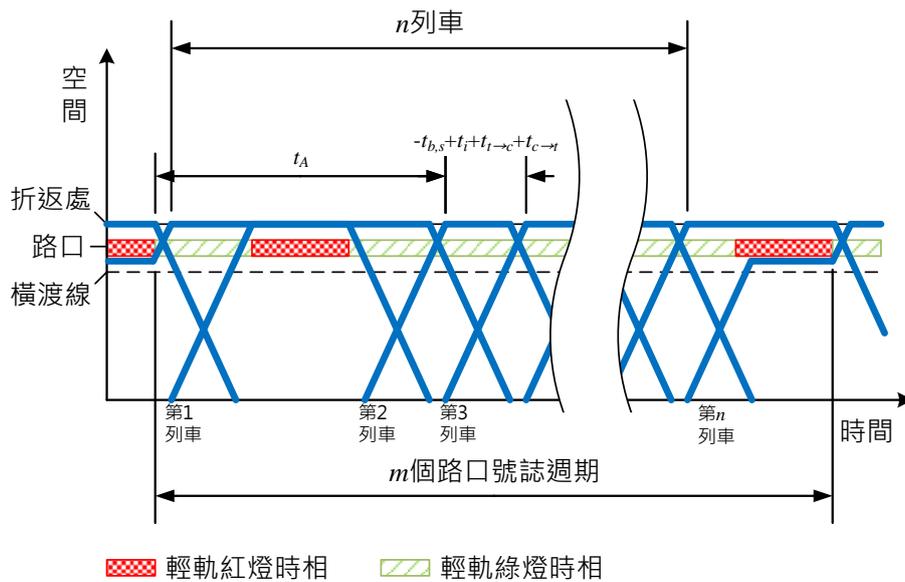


圖 5-16 使用不同股道折返之平均安全時距示意圖二

2. 列車停等完紅燈離開折返處後，直到又有列車離開折返處時碰到紅燈

當列車停等完紅燈離開折返處後，若後續第 1 列車離開折返處時又碰到紅燈，則平均安全時距即為一個號誌週期的長度；若後續第 1 列車離開時沒有碰到紅燈，則後續第 2 列以後之列車離開折返處的時

間，須視第 2 列車到達時是否會碰到紅燈而定，如圖 5-17 和圖 5-18 所示，因此其計算式如式(5.33)。而受到路口號誌的影響，當 m 和 n 為滿足式(5.34)的最小正整數時（其中 $n \geq 2$ ），表示第 n 列車會在第 m 個號誌週期碰到紅燈，接著便會反覆出現相同的運行型態，此時可根據式(5.1)計算平均安全時距。

$$t_B + (n - 2)(t_{t \rightarrow c} + t_{c \rightarrow t} - t_{b,s} + t_i) \quad (5.31)$$

$$\begin{aligned} m(G + R) - R &\leq t_B + (n - 2)(t_{t \rightarrow c} + t_{c \rightarrow t} - t_{b,s} + t_i) \\ &< m(G + R) \end{aligned} \quad (5.32)$$

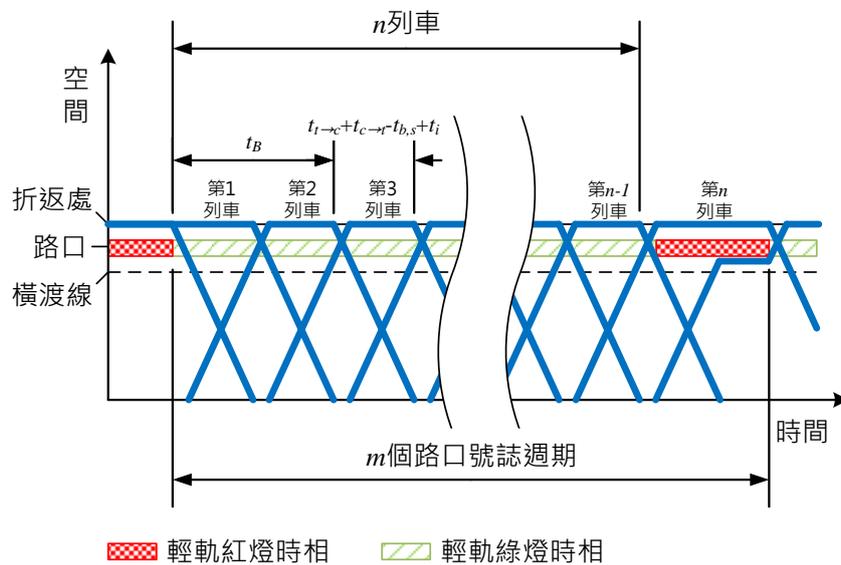


圖 5-17 使用不同股道折返之平均安全時距示意圖三

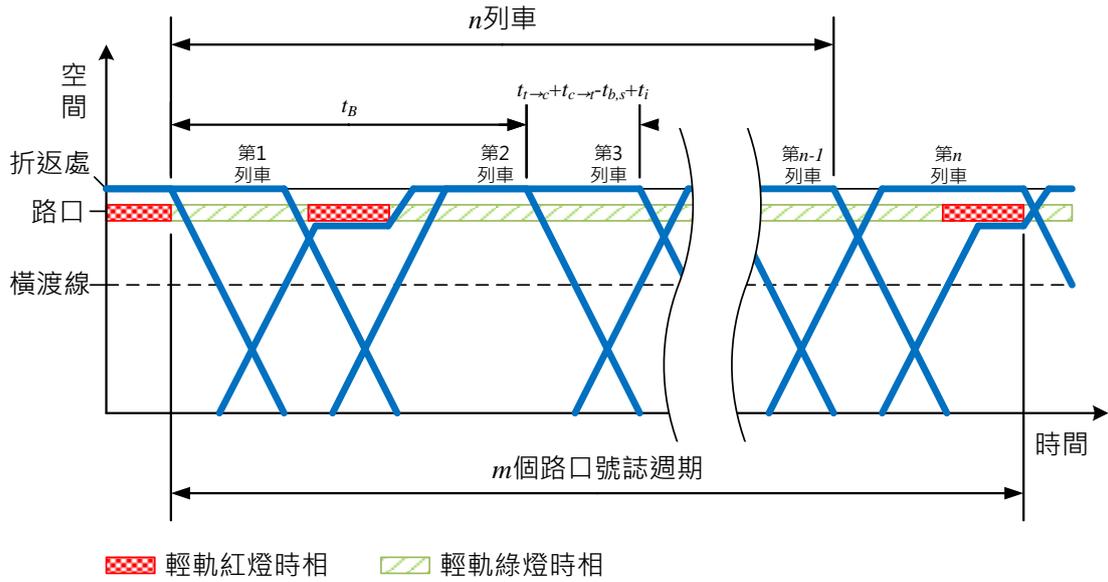


圖 5-18 使用不同股道折返之平均安全時距示意圖四

依照上述兩種情況所計算出的平均安全時距，最後再取較大者作為使用不同股道折返的平均安全時距。

5.4 平均安全時距計算方式彙整

在計算上述各種空間參考點的平均安全時距時，運行型態內所經歷的路口號誌週期數 m ，以及所經過的列車數 n 所需滿足的條件，彙整如表 5.1 以利讀者查閱參考。

表 5.1 m 和 n 滿足條件彙整表

空間參考點	使用股道	運行型態	m 和 n 的滿足條件
獨立路口	相同股道	—	$m(G + R) - R \leq t_{DP} + (n - 1)t_{PP} < m(G + R)$
進端設站	相同股道	—	$m(G + R) - R \leq n(t_{DA} + t_d) < m(G + R)$
遠端設站	相同股道	—	$m(G + R) - R - t_{DA} \leq t_R + t_d + (n - 1)(t_{DA} + t_d) < m(G + R)$
端末站	相同股道	列車進入端末站時碰到紅燈	$m(G + R) - R \leq t_A + (n - 1)(t_d + t_{t \rightarrow c} + t_{c \rightarrow t}) < m(G + R)$
		列車離開端末站時碰到紅燈	$m(G + R) - R \leq t_B + (n - 1)(t_{t \rightarrow c} + t_{c \rightarrow t} + t_d) < m(G + R)$
	不同股道	列車進入端末站時碰到紅燈	$m(G + R) - R \leq t_A + (n - 2)(-t_{b,s} + t_i + t_{t \rightarrow c} + t_{c \rightarrow t}) < m(G + R)$
		列車離開端末站時碰到紅燈	$m(G + R) - R \leq t_B + (n - 2)(t_{t \rightarrow c} + t_{c \rightarrow t} - t_{b,s} + t_i) < m(G + R)$

5.5 優先號誌的影響

輕軌系統常見的優先號誌策略有延長綠燈、縮短紅燈和插入綠燈，詳見 2.2.5 節，其運作機制會使得每個號誌週期的輕軌綠燈時相長度不同，而本研究所採用的解析方法，難以考量這個不確定因素，因此本模式考量優先號誌最多可提供多少輕軌綠燈時間，來計算平均安全時距，最後求取容量，以下分別針對延長綠燈、縮短紅燈和插入綠燈等三種策略說明之。

5.5.1 延長綠燈

一般路口號誌會有多種時相以滿足不同的交通需求，但對於分析輕軌容量來說，只需要考慮輕軌可通行的綠燈時相和不可通行的紅燈時相即可，如圖 5-19，在沒有採用任何優先號誌策略的情況下，輕軌綠燈時相時間 G 和紅燈時相時間 R 分別為

$$G = p_g \quad (5.33)$$

$$R = \sum_{j=1}^k p_j \quad (5.34)$$

式中： p_g =輕軌綠燈時相之秒數

k =輕軌紅燈時相之數量

p_j =第 j 個輕軌紅燈時相之秒數

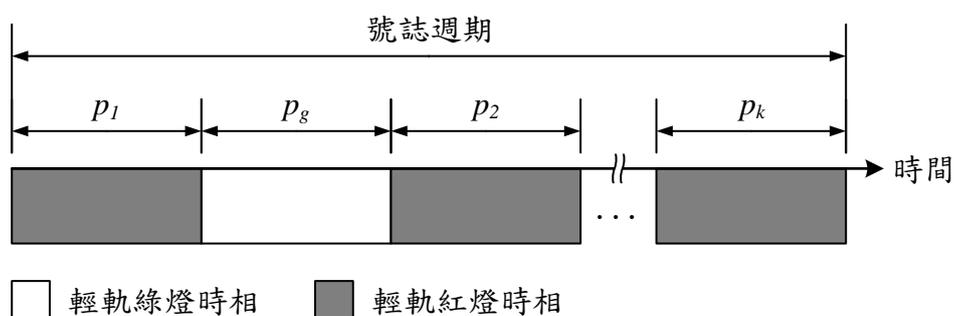


圖 5-19 一般路口號誌的時相

若採用延長綠燈策略，輕軌綠燈時相的時間可延長至該時相的最長秒數，如圖 5-20，此時輕軌綠燈時相時間 G 可由式(5.35)計算之，而輕軌紅燈時相時間 R 的計算則如式(5.34)不變。

$$G = p_{g,max} \quad (5.35)$$

式中： $p_{g,max}$ =輕軌綠燈時相之最長秒數

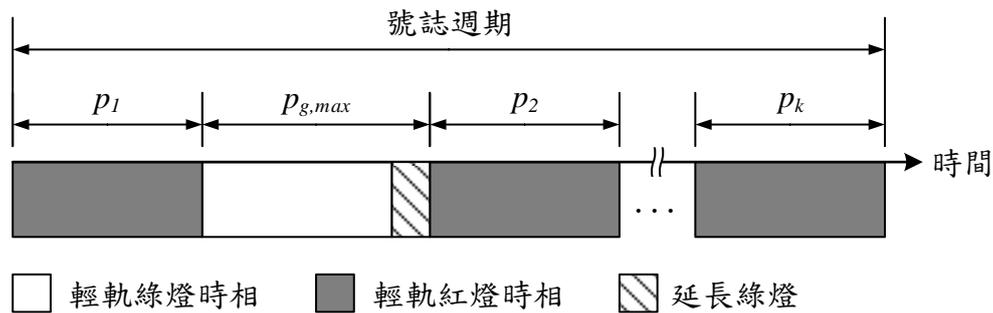


圖 5-20 延長綠燈策略下的時相

然後根據空間參考點的種類，將考慮延長綠燈策略後的 G 和 R 套用至第 5.1 到 5.3 節所述之方法，便可計算出在延長綠燈下的運行型態內，共有多少號誌週期數 m 和通過列車數 n ，最後可透過式(5.1)計算平均安全時距。

5.5.2 縮短紅燈

在採用縮短紅燈的策略下，輕軌綠燈時相的前一個紅燈時相之時間會被縮短，而所縮短的時間則成為輕軌可通過的時間，如圖 5-21，因此輕軌綠燈時相時間 G 和紅燈時相時間 R 分別為

$$G = p_g + p_r - p_{r,min} \quad (5.36)$$

$$R = \sum_{j=1}^k p_j - p_r + p_{r,min} \quad (5.37)$$

式中： p_r =輕軌綠燈時相的前一個紅燈時相之秒數

$p_{r,min}$ =輕軌綠燈時相的前一個紅燈時相之最短秒數

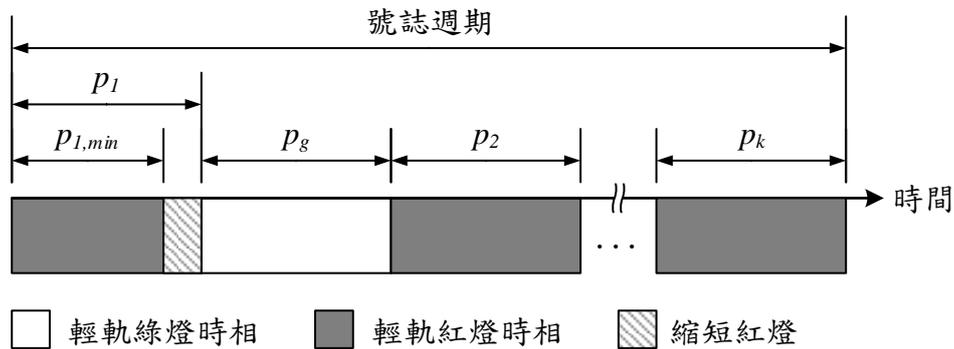


圖 5-21 縮短紅燈策略下的時相

接著根據空間參考點的種類，將上述G和R套用至第 5.1 到 5.3 節提出的方法中，便可計算出在縮短紅燈下的運行型態內，共有多少號誌週期數 m 和通過列車數 n ，最後可透過式(5.1)計算平均安全時距。

5.5.3 插入綠燈

當號誌週期中沒有輕軌綠燈時相時，一般會採用插入綠燈的方式來讓輕軌列車通過路口，如圖 5-22，通常所插入的綠燈時相長度會足夠讓一列車通過，因此根據一個號誌週期內可插入多少綠燈時相，便能計算出可通過的列車數，再搭配原先號誌週期秒數加上所有插入綠燈時相的總秒數，最後可得到插入綠燈策略的平均安全時距為

$$\bar{T} = \frac{\sum_{j=1}^k p_j + n_i g_i}{n_i} \quad (5.38)$$

式中： n_i =插入綠燈時相的數量

g_i =插入綠燈時相的秒數

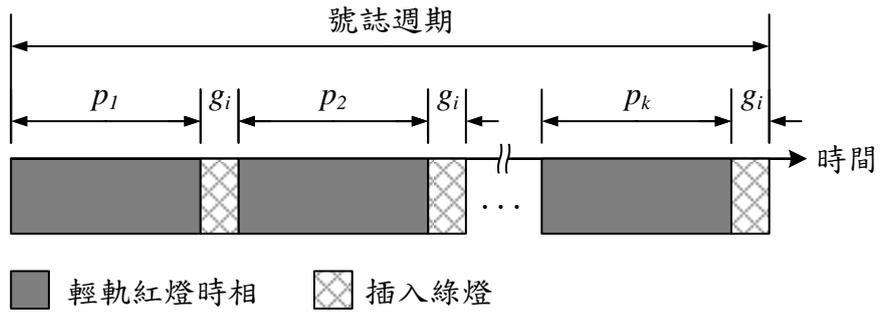


圖 5-22 插入綠燈策略下的時相

第六章 案例分析

在案例分析工作方面，國內案例以淡海輕軌和高雄輕軌分別作為 A 型和 B 型路權輕軌容量分析的對象，至於國外案例則以德國卡爾斯魯爾城鐵（Karlsruhe Stadtbahn）為對象，除了分析其容量，也透過敏感度分析了解各項因素對容量的影響程度。

6.1 淡海輕軌案例

本案例以淡海輕軌綠山線為對象，該路線包含 A 型和 B 型兩種路權，A 型路權為高架段，其範圍從紅樹林站至淡水行政中心站；B 型路權為平面段，從濱海義山站至崁頂站，各車站之軌道配置圖如圖 6-1，空間參考點種類說明如表 6.1，有關淡海輕軌的其他介紹詳見 2.3.2 節。

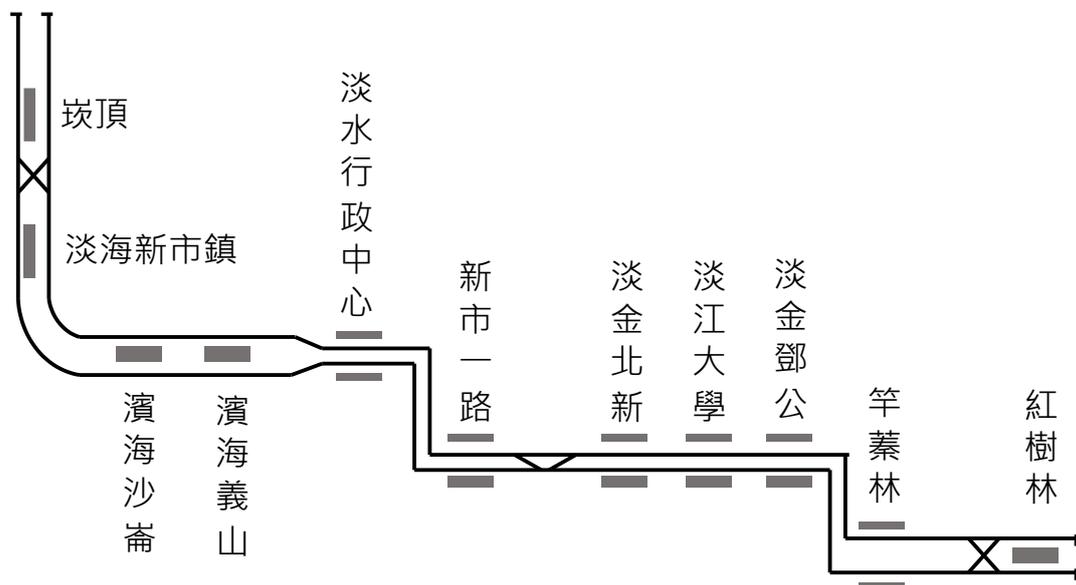


圖 6-1 淡海輕軌案例之範圍與軌道配置圖

表 6.1 淡海輕軌案例之空間參考點

名稱	類型	
	下行（往炭頂）	上行（往紅樹林）
紅樹林站	末端站－使用相同股道站前折返	
竿蓁林站	中間站	
淡金鄧公站	中間站	
淡江大學站	中間站	
淡金北新站	中間站	
新市一路站	中間站	
淡水行政中心站	中間站	
濱海路-濱海路 306 巷路口	路口	
濱海義山站	遠端設站	近端設站
濱海路-濱海路 202 巷路口	路口	
濱海沙崙站	近端設站	遠端設站
沙崙路-新市二路路口	路口	
淡海新市鎮站	近端設站	遠端設站
沙崙路-新市五路路口	路口	
炭頂站	末端站－使用相同股道站前折返	

資料來源：本研究整理

6.1.1 參數說明

根據高雄捷運公司以及台灣智能運輸公司所提供的資料，本案例分析所需之列車相關參數整理如表 6.2，列車車身長為 34.45 公尺，加減速度皆為 1.1 公尺/秒²，加減速有效因子假設為 0.75，全列車的總乘位數共 265 個。

表 6.2 淡海輕軌列車參數表

參數名稱	數值
列車長度	34.45 公尺
啟動加速度	1.1 公尺/秒 ²
加速度有效因子	0.75
煞車減速度	1.1 公尺/秒 ²
減速度有效因子	0.75
座位數	62
立位數	203 (註)

註：以每平方公尺站立 5 人來計算

資料來源：本研究整理

另外由表 6.1 得知，淡海輕軌綠山線包含 9 座中間站與 2 座端末折返站。由於在進行分析時，中間站與端末折返站須考量的因素不同，因此分別整理中間站與端末站之參數如表 6.3～表 6.5，其中站前巡航速度為實際搭乘量測而得的數值。

表 6.3 淡海輕軌案例之中間站參數表

車站編號	車站名稱	往紅樹林方向		往炭頂方向	
		進站前 巡航速度 (公里/小時)	停站時間 (秒)	進站前 巡航速度 (公里/小時)	停站時間 (秒)
V02	竿蓁林	50	35	40	35
V03	淡金鄧公	40	35	40	35
V04	淡江大學	55	35	35	35
V05	淡金北新	30	35	40	35
V06	新市一路	50	35	30	35
V07	淡水行政中心	30	35	25	35
V08	濱海義山	30	35	30	35
V09	濱海沙崙	15	35	30	35
V10	淡海新市鎮	25	35	25	35

資料來源：本研究整理

表 6.4 淡海輕軌案例之紅樹林站參數表

參數名稱	設定
列車離站後的巡航速度	15 公里/小時 (註)
列車進站前的巡航速度	20 公里/小時
停站時間	120 秒
列車於車站停車處至橫渡線之距離	50 公尺
橫渡線區範圍	65.531 公尺
列車從設定路徑點至橫渡線之距離	303 公尺
直進道岔限速 (剪式橫渡線)	15 公里/小時
斜進道岔限速 (剪式橫渡線)	10 公里/小時
折返方式	站前折返—站內停靠相同股道

註：列車於淡海輕軌紅樹林站離站時，其巡航速度受限於站前橫渡線直進方向的速限
資料來源：本研究整理

表 6.5 淡海輕軌案例之崁頂站參數表

參數名稱	設定
列車離站後的巡航速度	10 公里/小時 (註)
列車進站前的巡航速度	25 公里/小時
停站時間	120 秒
列車於車站停車處至橫渡線之距離	25.5935 公尺
橫渡線區範圍	69.93 公尺
列車從設定路徑點至橫渡線之距離	230 公尺
直進道岔限速 (剪式橫渡線)	15 公里/小時
斜進道岔限速 (剪式橫渡線)	10 公里/小時
折返方式	站前折返—站內停靠相同股道

註：列車於淡海輕軌崁頂站離站時，其巡航速度受限於站前橫渡線斜進方向的速限
資料來源：本研究整理

而 B 型路權的的路口與號誌參數如表 6.6，目前淡海輕軌並沒有使用優先號誌，另外值得注意的是，崁頂站雖處於 B 型路權的平面段路線上，但因其折返過程不受路口號誌影響，故本案例將其歸類為 A 型路權來計算容量。

表 6.6 淡海輕軌之路口與號誌參數表

路口或車站名稱	路口寬度 (公尺)	路口至車站 停車處之距離 (公尺)	輕軌紅燈 時相時間 (秒)	輕軌綠燈 時相時間 (秒)
濱海路-濱海路 306 巷路口	27	—	50	40
濱海路-義山路口 (濱海義山站)	49	16.756	58	32
濱海路-濱海路 202 巷路口	28	—	50	40
濱海路-沙崙路口 (濱海沙崙站)	92	20.775	130	50
沙崙路-新市二路口	76	—	50	40
沙崙路-新市三路口 (淡海新市鎮站)	50	22.775	50	40
沙崙路-新市五路口	54	—	55	35

資料來源：本研究調查與整理

最後在運轉寬裕時間係數方面，目前本研究尚未深入探討，但根據臺灣鐵道容量手冊建議傳統鐵路採用 0.3、都會捷運系統採用 0.2^[8]，由於輕軌運行環境較多變數，故本案例將運轉寬裕係數初步設定為較保守的 0.3。至於乘載變異因子，根據 TCQSM 的建議採用 0.75^[59]。

6.1.2 分析結果

將上述參數代入本研究所發展的容量分析模式後，可求得淡海輕軌紅樹林至淡水行政中心站之容量，結果整理於表 6.7 和表 6.8。容量最低處位於紅樹林站，其運轉時隔為 350.45 秒，而目前淡海輕軌最短班距為 6 分鐘（360 秒），顯示本模式所得結果尚為合理。

表 6.7 淡海輕軌案例容量分析結果（往炭頂方向）

空間參考點	運轉時隔 (秒)	路線容量 (列車/小時)	設計容量 (乘位/小時)	可達成容量 (旅客/小時)
紅樹林	350.45	10.27	2722	2042
竿蓁林	71.42	50.41	13358	10019
淡金鄧公	71.42	50.41	13358	10019
淡江大學	69.26	51.98	13775	10331
淡金北新	71.42	50.41	13358	10019
新市一路	67.29	53.50	14178	10633
淡水行政中心	65.63	54.86	14537	10902
濱海路-濱海路 306 巷路口	39.00	92.31	24462	18346
濱海義山站	117.00	30.77	8154	6115
濱海路-濱海路 202 巷路口	39.00	92.31	24462	18346
濱海沙崙站	234.00	15.38	4077	3058
沙崙路-新市二 路路口	39.00	92.31	24462	18346
淡海新市鎮站	117.00	30.77	8154	6115
沙崙路-新市五 路路口	39.00	92.31	24462	18346
炭頂站	306.78	11.73	3110	2332

表 6.8 淡海輕軌案例容量分析結果（往紅樹林方向）

空間參考點	運轉時隔 (秒)	路線容量 (列車/小時)	設計容量 (乘位/小時)	可達成容量 (旅客/小時)
炭頂站	306.78	11.73	3110	2332
沙崙路-新市五 路路口	39.00	92.31	24462	18346
淡海新市鎮站	117.00	30.77	8154	6115
沙崙路-新市二 路路口	39.00	92.31	24462	18346
濱海沙崙站	234.00	15.38	4077	3058
濱海路-濱海路 202 巷路口	39.00	92.31	24462	18346
濱海義山站	117.00	30.77	8154	6115
濱海路-濱海路 306 巷路口	39.00	92.31	24462	18346
淡水行政中心	67.29	53.50	14178	10633
新市一路	76.08	47.32	12539	9404
淡金北新	67.29	53.50	14178	10633
淡江大學	78.52	45.85	12149	9112
淡金鄧公	71.42	50.41	13358	10019
竿蓁林	76.08	47.32	12539	9404
紅樹林	350.45	10.27	2722	2042

6.1.3 敏感度分析

本研究對紅樹林站的各項參數做進一步的敏感度分析，以±20%的變動來計算各項參數對容量的影響程度，此外亦分析了在不同折返方式下的容量，結果彙整如表 6.9，並以經濟學中的彈性（Elasticity）觀念，比較各影響因素對容量的影響，如圖 6-2 所示，圖中 ε 之計算如式

(6.1)，表示自變數由原值變動±20%時，應變數變動的比率。經比較後發現，折返方式對容量的影響最大，其次是停站時間，相關分析結果說明如下。

$$\varepsilon = \frac{\Delta y / y}{\Delta x / x} \quad (6.1)$$

式中： ε =彈性

x =自變數原值

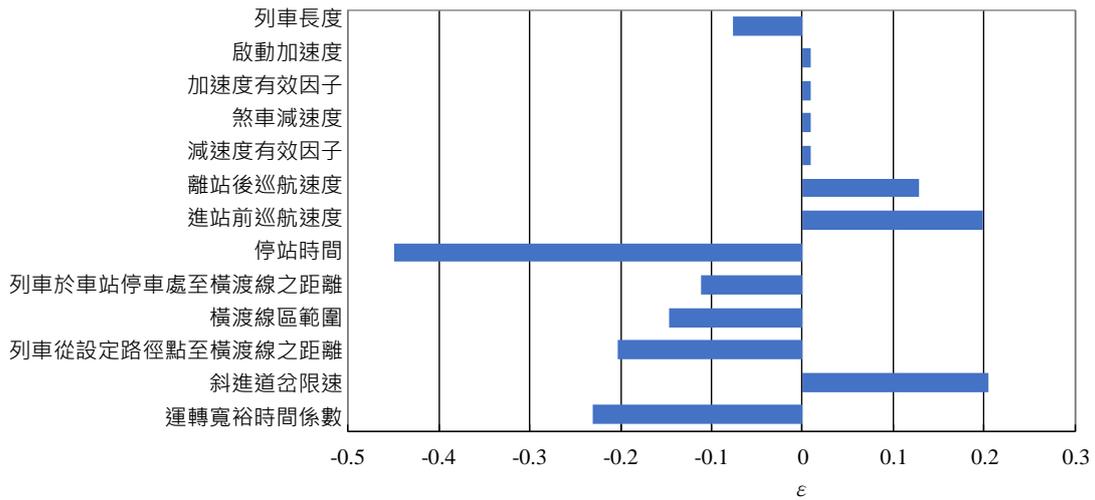
Δx =自變數變動量

y =應變數原值

Δy =應變數變動量

表 6.9 各項參數變化對紅樹林站容量之影響

參數項目	對容量之影響
列車長度	負相關
啟動加速度	正相關
加速度有效因子	正相關
煞車減速度	正相關
減速度有效因子	正相關
離站後巡航速度	正相關
進站前巡航速度	正相關
停站時間	負相關
列車於車站停車處至橫渡線之距離	負相關
橫渡線區範圍	負相關
列車從設定路徑點至橫渡線之距離	負相關
斜進道岔限速	正相關
運轉寬裕時間係數	負相關
折返方式	交替使用不同股道容量較高



註：折返方式對容量的影響最大，但因為非數值參數，所以無法於此圖中進行比較。

圖 6-2 紅樹林站之容量影響因素比較圖

1. 列車長度

列車長度影響列車通過橫渡線區的時間，列車長度愈長則需要花更多的時間才能讓整列車完全通過橫渡線區，因此運轉時隔愈大、容量愈低。列車長度對容量的影響如圖 6-3，顯示列車長度與容量呈現負相關，其關係近似線性（但並非線性），亦即列車長度愈長則容量愈小。

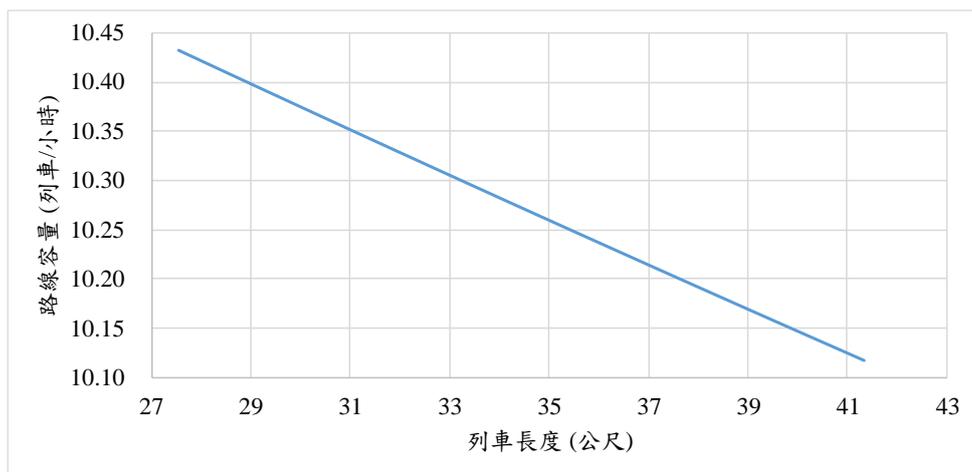


圖 6-3 列車長度對紅樹林站容量之影響

2. 啟動加速度

啟動加速度影響列車從車站加速離開所花費的時間，列車的加速性能愈好，則可以愈快離開車站讓續行列車進站，因此運轉時隔愈小、容量愈大，啟動加速度對容量的影響如圖 6-4，呈現非線性正相關。

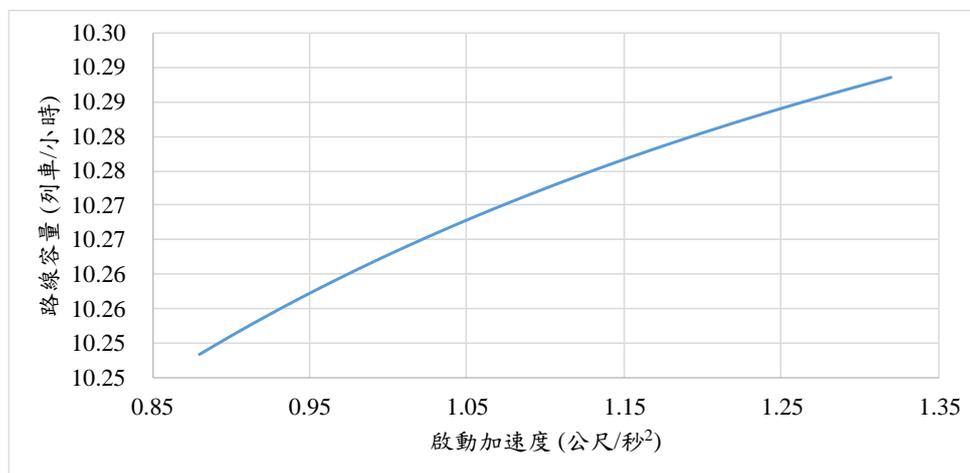


圖 6-4 啟動加速度對紅樹林站容量之影響

3. 加速度有效因子

加速度有效因子表示列車加速性能所發揮的程度，和啟動加速度同樣都是影響列車離站所花費的時間，加速度有效因子對容量的影響如圖 6-5，呈現非線性正相關。

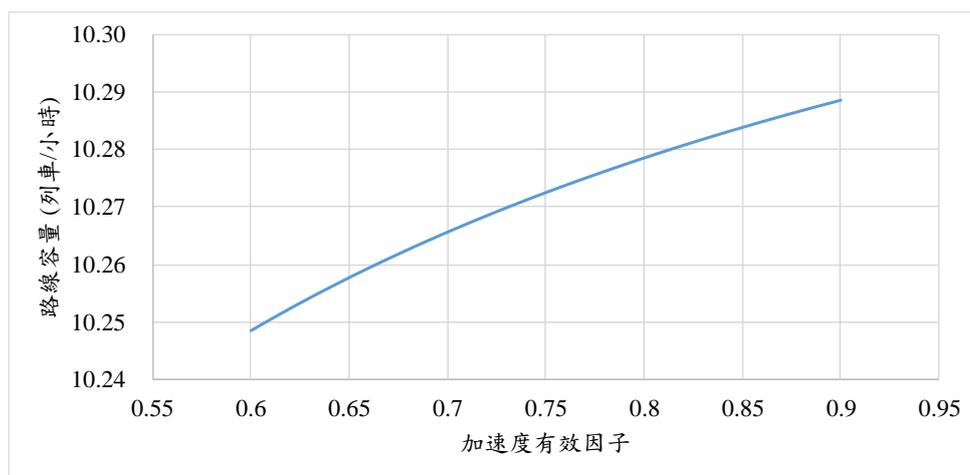


圖 6-5 加速度有效因子對紅樹林站容量之影響

4. 煞車減速度

煞車減速度影響列車進站減速至停妥所花費的時間，列車的減速性能愈好，則花費在煞車的時間可以愈少，因此運轉時隔愈小、容量愈大，煞車減速度對容量的影響如圖 6-6，呈現非線性正相關。值得注意的是，比較圖 6-4 和圖 6-6 會發現兩者幾乎相同，但此情況僅是參數數值的巧合，並非啟動加速度和煞車減速度兩者對容量有相同的影響。

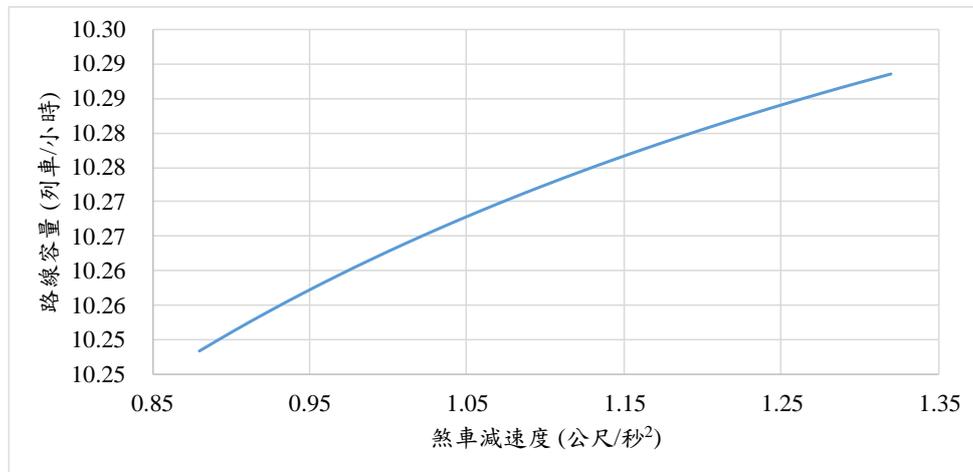


圖 6-6 煞車減速度對紅樹林站容量之影響

5. 減速度有效因子

減速度有效因子之於煞車減速度，就如同加速度有效因子之於啟動加速度，表示列車減速性能所發揮的程度，對容量的影響如圖 6-7，呈現非線性正相關。同樣地，圖 6-5 和圖 6-7 相同僅因為參數數值的巧合，並非加速度有效因子和減速度有效因子兩者對容量具有相同的影響。

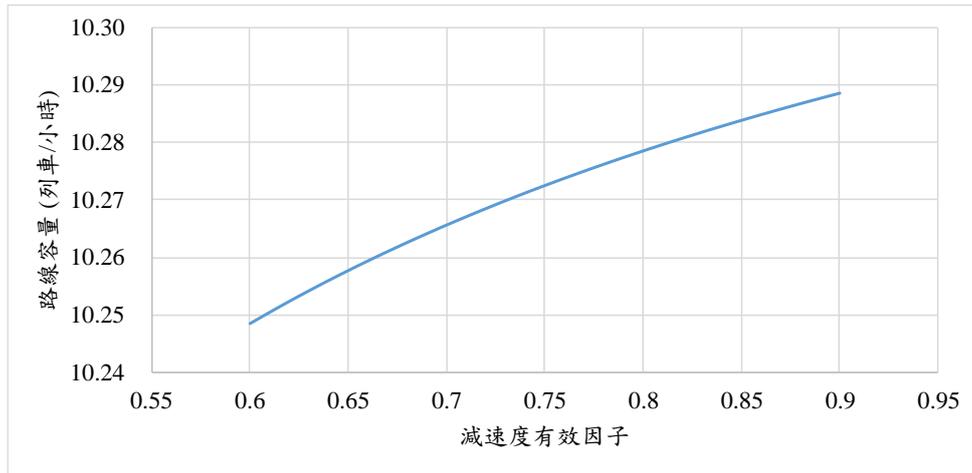


圖 6-7 減速度有效因子對紅樹林站容量之影響

6. 離站後巡航速度

先行列車離站後的巡航速度愈高，便可愈快離開車站讓續行列車進站，對容量的影響為非線性正相關，如圖 6-8 所示。

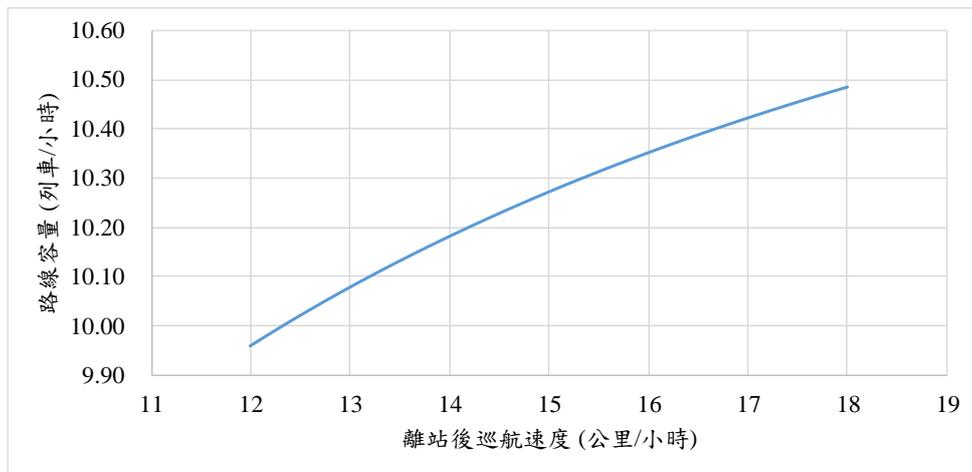


圖 6-8 離站後巡航速度對紅樹林站容量之影響

7. 進站前巡航速度

列車進站前的巡航速度愈高，則可以愈快接近車站，但也因此需要較長的煞車時間，運行時間的縮短與煞車時間的增加兩者對運轉時隔有相反的效益，但在速度不高的情況下，前者對運轉時隔的效益較高，因此進站前巡航速度對容量的影響如圖 6-9，呈現非線性正相關。

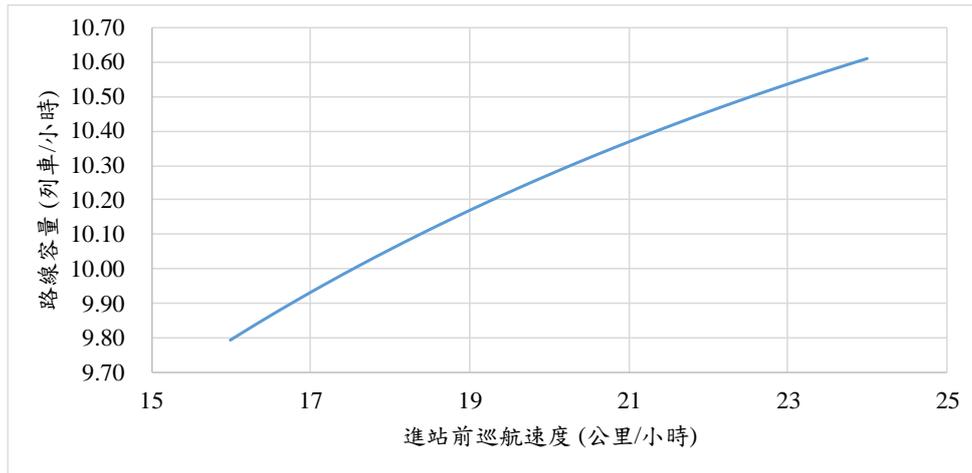


圖 6-9 進站前巡航速度對紅樹林站容量之影響

8. 停站時間

採用同一股道進行折返時，續行列車必須等先行列車離開車站後才能進入車站，因此列車於末端站的停站時間直接影響運轉時隔的大小，停站時間與容量的關係如圖 6-10，兩者呈非線性負相關。

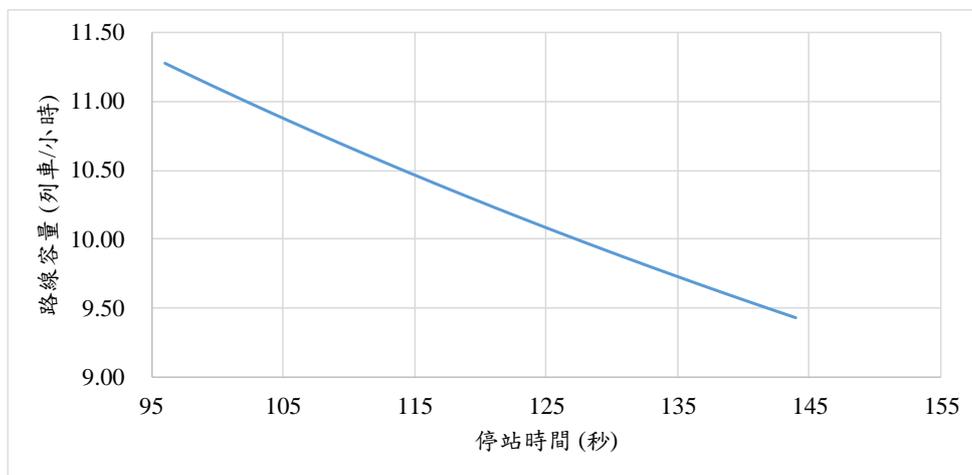


圖 6-10 停站時間對紅樹林站容量之影響

9. 列車於車站停車處至橫渡線之距離

列車於車站停車處至橫渡線之距離同時影響著列車離站和進站所需的時間，與容量的關係為非線性負相關，如圖 6-11 所示。

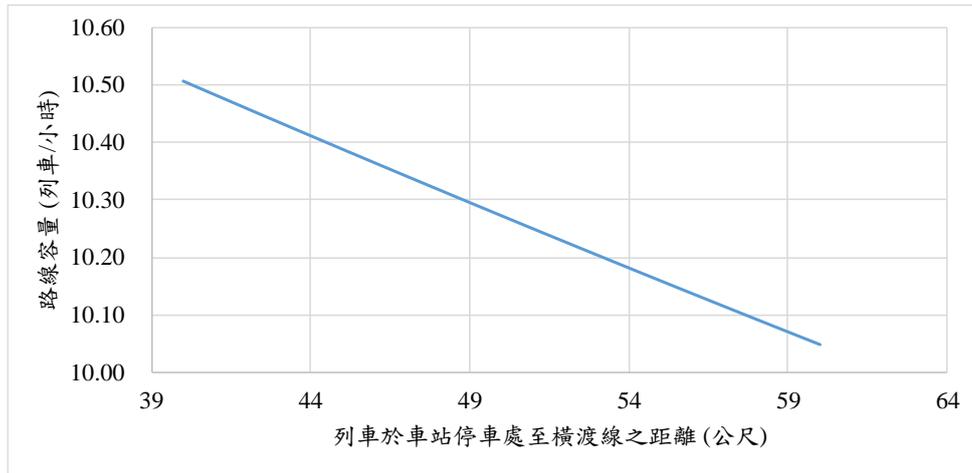


圖 6-11 列車於車站停車處至橫渡線之距離對紅樹林站容量之影響

10. 橫渡線區範圍

列車行經橫渡線區時，車速不得超過道岔速限，當橫渡線區的範圍愈大，則使得列車進離站所需的時間也愈長，讓運轉時隔變長、容量下降，橫渡線區範圍與容量為非線性負相關，如圖 6-12 所示。

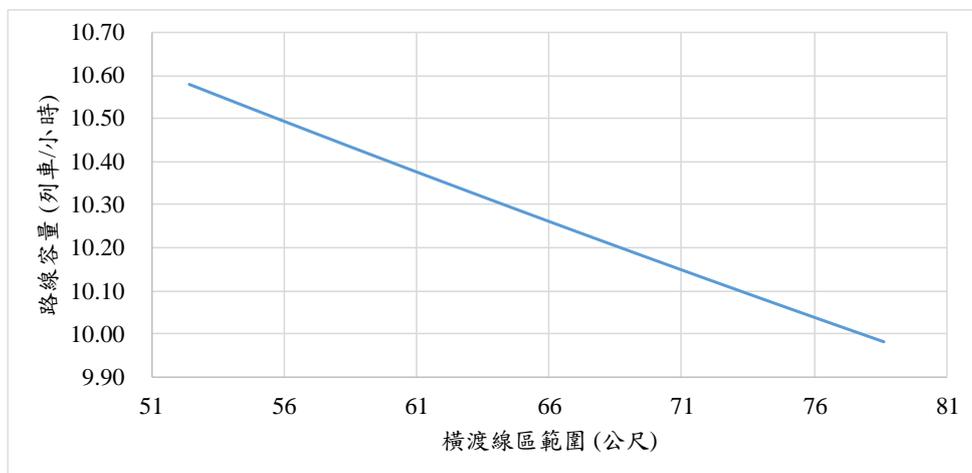


圖 6-12 橫渡線區範圍對紅樹林站容量之影響

11. 列車從設定路徑點至橫渡線之距離

若列車從設定路徑點至橫渡線之距離愈遠，意味著續行列車需要愈長的時間行駛至末端站，故與容量為非線性負相關，如圖 6-13 所示。

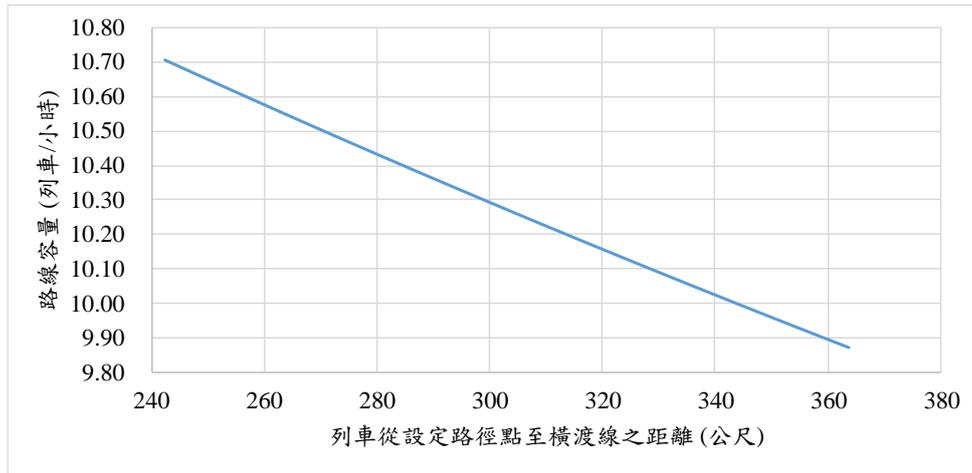


圖 6-13 列車從設定路徑點至橫渡線之距離對紅樹林站容量之影響

12. 斜進道岔限速

當道岔限速愈低，列車通過橫渡線的時間也就愈長，導致運轉時隔愈長、容量愈低，道岔限速與容量為非線性正相關，如圖 6-14 所示。

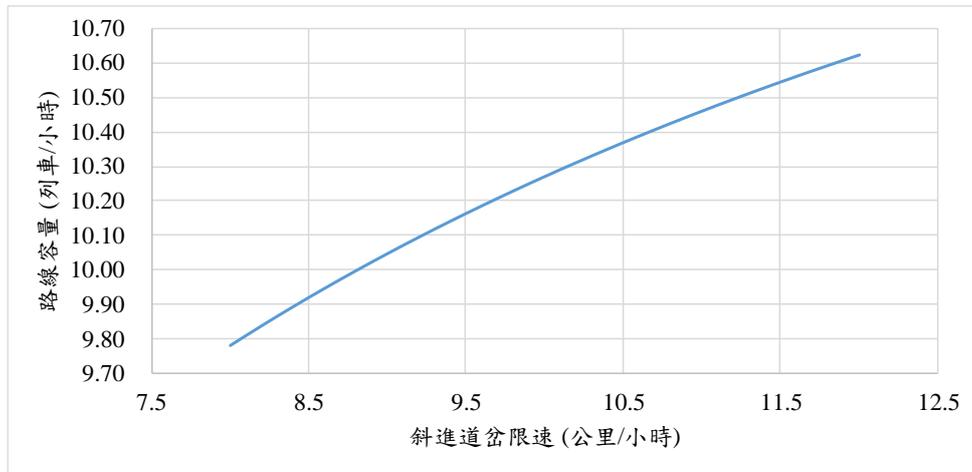


圖 6-14 斜進道岔限速對紅樹林站容量之影響

13. 運轉寬裕時間係數

模式中的運轉寬裕時間係由運轉寬裕時間係數決定，其數值愈大，表示所採用之運轉寬裕時間愈大，運轉時隔亦愈大，因此容量愈小，如圖 6-15 所示，運轉寬裕時間係數與容量呈現非線性負相關。

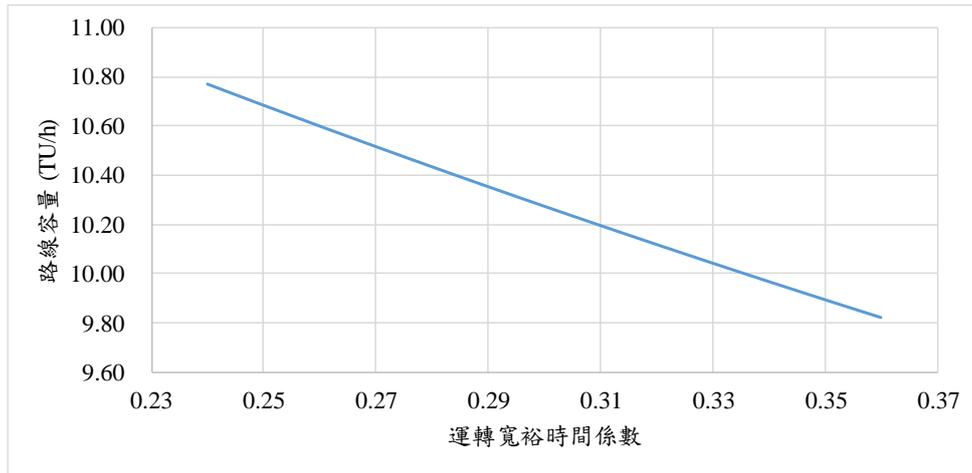


圖 6-15 運轉寬裕時間係數對紅樹林站容量之影響

14. 折返方式

目前紅樹林站僅使用同一股道進行折返作業，若充分使用其站內軌道，交替使用不同股道進行折返，則容量可大為提升，如圖 6-16 所示。

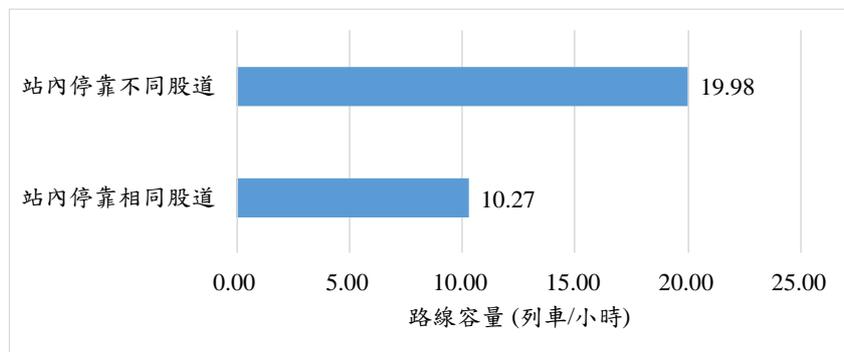


圖 6-16 折返方式對紅樹林站容量之影響

6.1.4 單線運轉情境分析

由於國內沒有單線運轉之輕軌系統，本研究以淡海輕軌因故必須降級運轉的情境為例，分析紅樹林站至新市一路站採單線雙向運轉下的容量。

在參數設定方面，除了 6.1.1 節所介紹之參數外，根據實際搭乘量測而得的站間運轉時間如表 6.10，搭配各站之停站時間(參閱表 6.3)，可求得列車於單線運轉區間內的運行時間分別為 690 秒（往紅樹林方向）與 674 秒（往崁頂方向），並假設列車交會需 10 秒。

表 6.10 海輕軌案例之站間運轉時間參數表

區間	往紅樹林方向運轉時間 (分：秒)	往崁頂方向運轉時間 (分：秒)
紅樹林—竿蓁林	02：37	02：09
竿蓁林—淡金鄧公	01：32	01：32
淡金鄧公—淡江大學	01：48	01：39
淡江大學—淡金北新	01：06	01：12
淡金北新—新市一路	02：07	02：22

資料來源：本研究整理

透過本模式中的公式(4.38)，可算得紅樹林站至新市一路站之安全時距為 1384 秒，考量運轉寬裕後可獲得運轉時隔為 1799.2 秒，路線容量為每小時每方向 2 列車，設計容量為每小時每方向 530 個乘位，可達成容量為每小時每方向 398 位旅客。和 6.1.2 節之結果相比，單線運轉的容量明顯下降許多，以本例來說，若紅樹林站至新市一路站採單線雙向運轉，容量約下降 80.53%。

6.2 高雄輕軌案例

本案例的範圍為高雄輕軌籬仔內站至哈瑪星站，全線為 B 行路權路線，各站之軌道配置圖如圖 6-17，車站與路口等空間參考點種類說明如表 6.11，有關高雄輕軌的其他介紹詳見 2.3.1 節。

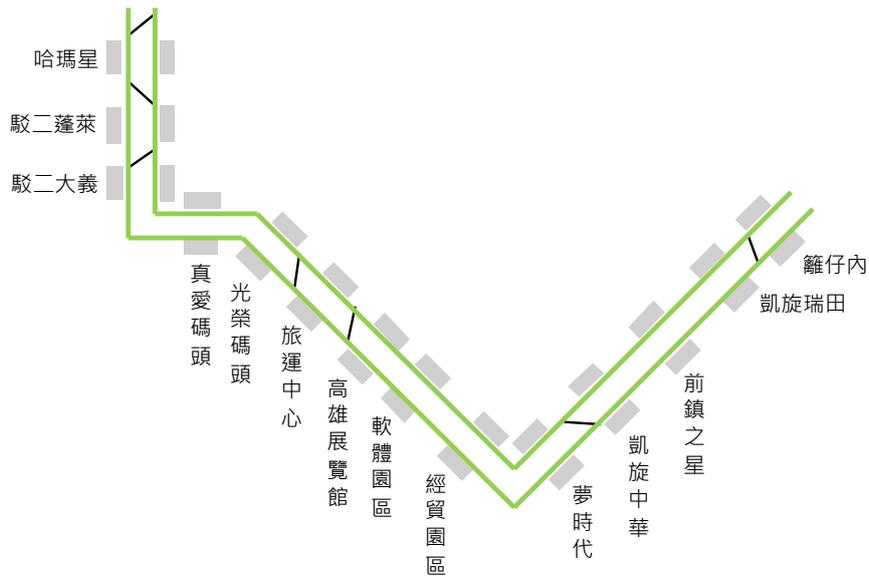


圖 6-17 高雄輕軌案例之範圍與軌道配置圖

表 6.11 高雄輕軌案例之空間參考點

名稱	類型	
	下行 (往哈瑪星方向)	上行 (往籬仔內方向)
籬仔內	受路口影響之末端站—使用相同股道站前折返	
凱旋瑞田	中間站	
前鎮之星	遠端設站	近端設站
凱旋中華	遠端設站	近端設站
前鎮街	獨立路口	
成功二路	獨立路口	
夢時代	近端設站	遠端設站
經貿園區	近端設站	遠端設站
軟體園區	遠端設站	近端設站
高雄展覽館	遠端設站	近端設站
旅運中心	近端設站	遠端設站
永平路	獨立路口	
苓安路	獨立路口	
光榮碼頭	中間站	
真愛碼頭	中間站	
駁二大義	遠端設站	近端設站
駁二蓬萊	近端設站	遠端設站
蓬萊路	獨立路口	
哈瑪星	末端站—使用相同股道站後折返	

6.2.1 參數說明

根據高雄捷運公司以及台灣智能運輸公司所提供的資料，本案例分析所需之列車相關參數整理如表 6.12，列車車身長為 34.166 公尺，加減速度皆為 1.3 公尺/秒²，加減速有效因子假設為 0.75，全列車的總乘位數共 250 個。

表 6.12 高雄輕軌列車參數表

參數名稱	數值
列車長度	34.166 公尺
啟動加速度	1.3 公尺/秒 ²
加速度有效因子	0.75
煞車減速度	1.3 公尺/秒 ²
減速度有效因子	0.75
座位數	64
立位數	186 (註)

註：以每平方公尺站立 5 人來計算

資料來源：本研究整理

本案例共有 12 座中間站和 2 座端末站，由於容量分析時中間站與端末站所考量的因素不同，同時兩端末站也因折返方式相異而有不同的參數，因此分別整理中間站與兩端末站之參數如表 6.13～表 6.15。

表 6.13 高雄輕軌案例之車站參數表

車站名稱	往哈瑪星方向		往籬仔內方向	
	進站前 巡航速度 (公里/小時)	停站時間 (秒)	進站前 巡航速度 (公里/小時)	停站時間 (秒)
凱旋瑞田	30	35	40	35
前鎮之星	30	35	40	35
凱旋中華	20	35	25	35
夢時代	30	35	40	35
經貿園區	35	35	30	35
軟體園區	25	35	30	35
高雄展覽館	15	35	20	35
旅運中心	40	35	30	35
光榮碼頭	50	35	25	35
真愛碼頭	35	35	25	35
駁二大義	30	35	25	35
駁二蓬萊	30	35	15	35

資料來源：本研究整理

表 6.14 高雄輕軌之籬仔內站參數表

參數名稱	設定
列車離站後的巡航速度	15 公里/小時 (註)
停站時間	100 秒
列車於車站停車處至橫渡線之距離	194.5 公尺
橫渡線區範圍	30 公尺
列車從前一站至末端站的運行時間	80 秒
折返方式	站前折返—站內停靠同一股道

註：列車於高雄輕軌籬仔內站離站時，其巡航速度受限於站前橫渡線直行方向的速限

資料來源：本研究整理

表 6.15 高雄輕軌之哈瑪星站參數表

參數名稱	設定
直行道岔限速	15 公里/小時
斜進道岔限速	10 公里/小時
尾軌停留時間	60 秒
列車於車站停車處至橫渡線之距離	17.6 公尺
橫渡線區範圍	38.4 公尺
橫渡線至尾軌列車停車處之距離	243.1 公尺
折返方式	站後折返—站後停靠同一尾軌

資料來源：本研究整理

而針對 B 型路權的路口與號誌參數如表 6.16 和表 6.17，其中籬仔內、前鎮之星、凱旋中華、前鎮街，和成功二路等處的號誌有輕軌綠燈時相，因此採用了延長綠燈和縮短紅燈的優先號誌策略，而其餘則採用插入綠燈的策略。另外值得注意的是，駁二大義站的路口號誌是採用閃光搭配輕軌觸動，其行為較像傳統鐵路之平交道，所以在本案例將駁二大義站當作 A 型路權之中間站來分析容量，此外對於沒有受路口影響的凱旋瑞田、光榮碼頭、真愛碼頭和哈瑪星等站，也是用 A 型路權的輕軌容量分析模式來計算容量。最後有關運轉寬裕時間係數和乘載變異因子的設定上，則和淡海輕軌案例一樣分別採用 0.3 和 0.75。

表 6.16 高雄輕軌之路口與號誌參數表（無優先號誌）

路口或車站 名稱	路口寬度 (公尺)	路口至車站 停車處之距離 (公尺)	輕軌紅燈 時相時間 (秒)	輕軌綠燈 時相時間 (秒)
籬仔內	61.1	83	118	32
前鎮之星	106.5	38.3	111	39
凱旋中華	30.1	15	110	40
前鎮街	58.9	—	106	44
成功二路	100	—	101	19
夢時代	30	30	150	0
經貿園區	30	60	150	0
軟體園區	30	15	150	0
高雄展覽館	15	57.2	120	0
旅運中心	25	25	120	0
永平路	20	—	120	0
苓安路	25	—	120	0
駁二大義	18	25	閃光+輕軌觸動	
駁二蓬萊	15	30.2	150	0
蓬萊路	15	—	120	0

資料來源：本研究調查與整理

表 6.17 高雄輕軌之號誌參數表（有優先號誌）

路口或車站名稱	輕軌紅燈 時相時間(秒)	輕軌綠燈 時相時間(秒)	可插入綠燈 時相數
籬仔內	83	67	0
前鎮之星	96	54	0
凱旋中華	75	75	0
前鎮街	76	74	0
成功二路	76	44	0
夢時代	150	0	3
經貿園區	150	0	3
軟體園區	150	0	3
高雄展覽館	120	0	3
旅運中心	120	0	2
永平路	120	0	2
苓安路	120	0	2
駁二大義	閃光+輕軌觸動		
駁二蓬萊	150	0	2
蓬萊路	120	0	2

6.2.2 分析結果

在沒有優先號誌的情況下，容量分析的結果如表 6.18 和表 6.19，其中夢時代至苓安路，以及駁二蓬萊至蓬萊路等處，若沒有採用插入綠燈的優先號誌策略，便沒有輕軌綠燈時相可供列車通過，因此無法計算其容量。

表 6.18 高雄輕軌案例容量分析結果－無優先號誌（下行方向）

空間參考點	運轉時隔 (秒)	路線容量 (列車/小時)	設計容量 (乘位/小時)	可達成容量 (旅客/小時)
籬仔內	390	9.23	2308	1731
凱旋瑞田	64.72	55.63	13906	10430
前鎮之星	195	18.46	4615	3462
凱旋中華	195	18.46	4615	3462
前鎮街	48.75	73.85	18462	13846
成功二路	78.00	46.15	11538	8654
夢時代	-	-	-	-
經貿園區	-	-	-	-
軟體園區	-	-	-	-
高雄展覽館	-	-	-	-
旅運中心	-	-	-	-
永平路	-	-	-	-
苓安路	-	-	-	-
光榮碼頭	71.85	50.11	12527	9395
真愛碼頭	66.27	54.32	13580	10185
駁二大義	64.72	55.63	13906	10430
駁二蓬萊	-	-	-	-
蓬萊路	-	-	-	-
哈瑪星	340.7	10.57	2642	1981

表 6.19 高雄輕軌案例容量分析結果－無優先號誌（上行方向）

空間參考點	運轉時隔 (秒)	路線容量 (列車/小時)	設計容量 (乘位/小時)	可達成容量 (旅客/小時)
哈瑪星	340.7	10.57	2642	1981
蓬萊路	-	-	-	-
駁二蓬萊	-	-	-	-
駁二大義	63.47	56.72	14180	10635
真愛碼頭	63.47	56.72	14180	10635
光榮碼頭	63.47	56.72	14180	10635
苓安路	-	-	-	-
永平路	-	-	-	-
旅運中心	-	-	-	-
高雄展覽館	-	-	-	-
軟體園區	-	-	-	-
經貿園區	-	-	-	-
夢時代	-	-	-	-
成功二路	156.00	23.08	5769	4327
前鎮街	27.86	129.23	32308	24231
凱旋中華	195	18.46	4615	3462
前鎮之星	195	18.46	4615	3462
凱旋瑞田	68.02	52.93	13232	9924
籬仔內	390	9.23	2308	1731

而在有優先號誌的情況下，容量分析的結果如表 6.20 和表 6.21，除了籬仔內站（端末站）和下行方向的前鎮之星星站（遠端設站）之外，其餘設有優先號誌的地方，容量都有顯著提升。而無論上下行，容量最低處皆位於籬仔內站，可視為高雄輕軌可提供的運能上限，其運轉時隔為 390 秒，以目前高雄輕軌最短班距為 15 分鐘（900 秒）來看，尚有餘裕可供未來增加班次密度。

值得注意的是，根據先驗知識認為前鎮街和成功二路的容量明顯過高，其主要原因在於本研究發展容量分析模式時，僅考量單一空間參考點的影響因素，沒有考量路線上下游的交互影響，因此模式本身就會有高估容量的情況，再加上前鎮街和成功二路皆為獨立路口且有輕軌綠燈時相，列車可於綠燈時一列列接續通過、不需停站，因而導致計算出相當高的容量值。實際上輕軌列車均從路線起點行駛至終點，路線上的容量瓶頸處決定了整個系統的運能，即便中途有較高的容量，也無法提供更多運能。

表 6.20 高雄輕軌案例容量分析結果－有優先號誌（下行方向）

空間參考點	運轉時隔 (秒)	路線容量 (列車/小時)	設計容量 (乘位/小時)	可達成容量 (旅客/小時)
籬仔內	390	9.23	2308	1731
凱旋瑞田	64.72	55.63	13906	10430
前鎮之星	195	18.46	4615	3462
凱旋中華	97.5	36.92	9231	6923
前鎮街 (註)	24.38	147.69	36923	27692
成功二路 (註)	31.20	115.38	28846	21635
夢時代	65	55.38	13846	10385
經貿園區	65	55.38	13846	10385
軟體園區	65	55.38	13846	10385
高雄展覽館	65	55.38	13846	10385
旅運中心	78	46.15	11538	8654
永平路	78	46.15	11538	8654
苓安路	78	46.15	11538	8654
光榮碼頭	68.14	52.83	13208	9906
真愛碼頭	71.85	50.11	12527	9395
駁二大義	66.27	54.32	13580	10185
駁二蓬萊	64.72	55.63	13906	10430
蓬萊路	78	46.15	11538	8654
哈瑪星	340.7	10.57	2642	1981

註：此處為獨立路口且有輕軌綠燈時相，進行容量分析時，由於列車可於綠燈時相內一列接著一列接續通過、不需停站，因而導致計算出相當高的容量值，但實際上輕軌受限於容量瓶頸處，不可能提供如該處所計算出的運能。

表 6.21 高雄輕軌案例容量分析結果－有優先號誌（上行方向）

空間參考點	運轉時隔 (秒)	路線容量 (列車/小時)	設計容量 (乘位/小時)	可達成容量 (旅客/小時)
哈瑪星	340.7	10.57	2642	1981
蓬萊路	78	46.15	11538	8654
駁二蓬萊	78	46.15	11538	8654
駁二大義	63.47	56.72	14180	10635
真愛碼頭	63.47	56.72	14180	10635
光榮碼頭	63.47	56.72	14180	10635
苓安路	78	46.15	11538	8654
永平路	78	46.15	11538	8654
旅運中心	78	46.15	11538	8654
高雄展覽館	65	55.38	13846	10385
軟體園區	65	55.38	13846	10385
經貿園區	65	55.38	13846	10385
夢時代	65	55.38	13846	10385
成功二路 (註)	52.00	69.23	17308	12981
前鎮街 (註)	17.73	203.08	50769	38077
凱旋中華	97.5	36.92	9231	6923
前鎮之星	97.5	36.92	9231	6923
凱旋瑞田	68.02	52.93	13232	9924
籬仔內	390	9.23	2308	1731

註：此處為獨立路口且有輕軌綠燈時相，進行容量分析時，由於列車可於綠燈時相內一列接著一列接續通過、不需停站，因而導致計算出相當高的容量值，但實際上輕軌受限於容量瓶頸處，不可能提供如該處所計算出的運能。

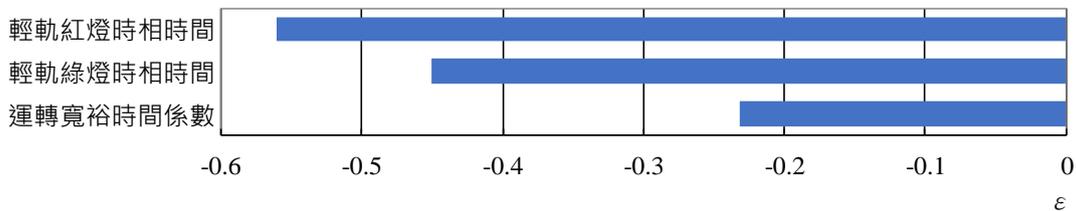
6.2.3 敏感度分析

本案例進一步針對容量瓶頸處－籬仔內站進行容量分析，以±20%的變動來計算各項參數對容量的影響程度，此外亦分析了在不同折返方式下的容量，結果彙整如表 6.22，可注意到大部分參數即便變動±20%，都無法對容量造成影響，主要原因是這些參數變化無法改變號誌週期長度，也無法改變號誌週期內所能通過的列車數。

表 6.22 各項參數變化對籬仔內站容量之影響

參數項目	對容量之影響
列車長度	尚未造成影響
啟動加速度	尚未造成影響
加速度有效因子	尚未造成影響
煞車減速度	尚未造成影響
減速度有效因子	尚未造成影響
離站後巡航速度	尚未造成影響
停站時間	尚未造成影響
列車於車站停車處至橫渡線之距離	尚未造成影響
橫渡線區範圍	尚未造成影響
列車從前一站至末端站的運行時間	尚未造成影響
路口寬度	尚未造成影響
路口至車站停車處之距離	尚未造成影響
輕軌紅燈時相時間	負相關
輕軌綠燈時相時間	負相關
運轉寬裕時間係數	負相關
折返方式	交替使用不同股道容量較高

在所有對容量有影響的參數中，以彈性觀念比較對容量的影響程度，結果如圖 6-18，經比較後發現折返方式對容量的影響最大，其次是輕軌紅燈和綠燈時相的時間，顯示籬仔內站的容量主要受到路口號誌的影響，相關分析結果說明如下：



註：折返方式對容量的影響最大，但因為非數值參數，所以無法於此圖中進行比較。

圖 6-18 籬仔內站之容量影響因素比較圖

1. 輕軌紅燈時相時間

當輕軌紅燈時相時間愈長，意謂著輕軌更可能在路口停等紅燈，同時也讓號誌週期變得愈長，故輕軌紅燈時相時間與容量為非線性負相關，如圖 6-19 所示。

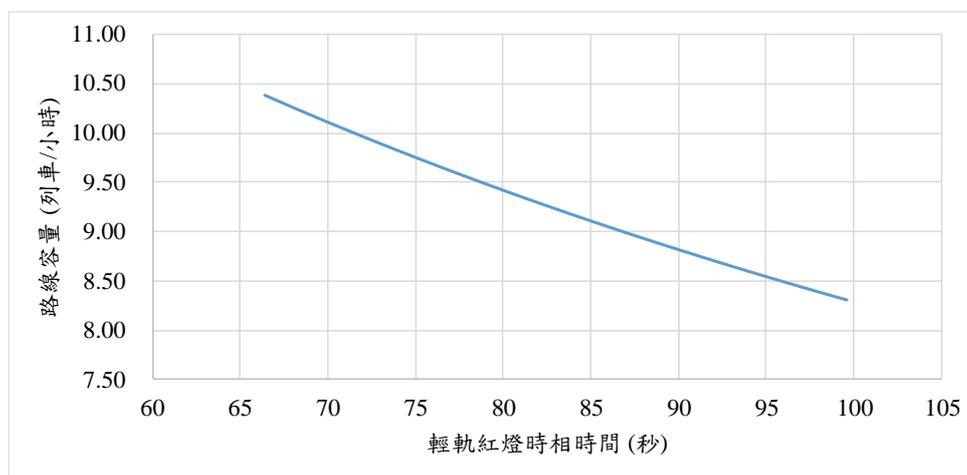


圖 6-19 輕軌紅燈時相時間對籬仔內站容量之影響

2. 輕軌綠燈時相時間

雖說當輕軌綠燈時相時間愈長，應該會讓輕軌比較能夠順利通過路口，而不用停等紅燈，然而在本案例 $\pm 20\%$ 的變化範圍中，輕軌綠燈時相時間還不足以讓輕軌多通過一列車，同時還導致號誌週期變長，因此圖 6-20 呈現綠燈秒數愈長容量愈低的現象，倘若輕軌綠燈時相時間能增加到讓輕軌多通過一列車，此時容量便會有躍升的情況，相關案例可參考 6.3.3 節。

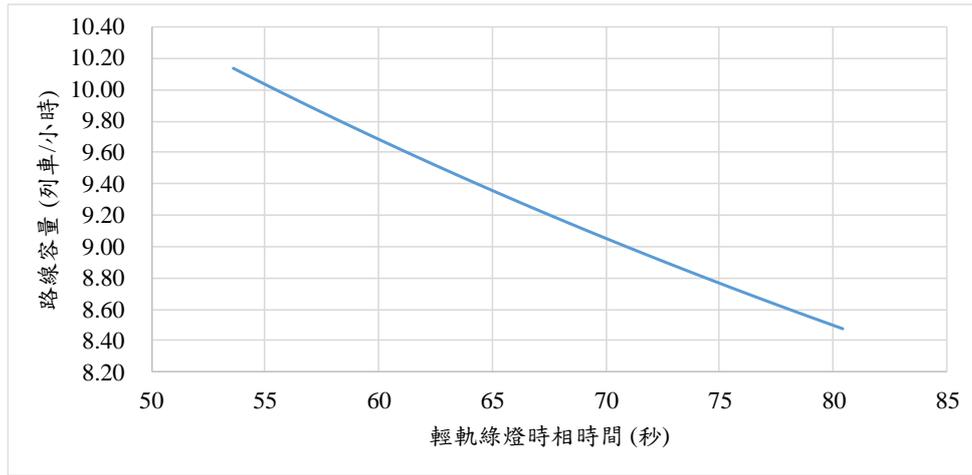


圖 6-20 輕軌綠燈時相時間對籬仔內站容量之影響

3. 運轉寬裕時間係數

模式中以運轉寬裕時間係數決定運轉寬裕時間大小，其數值愈大表示運轉寬裕時間愈大，與容量呈現非線性負相關，如圖 6-21 所示。

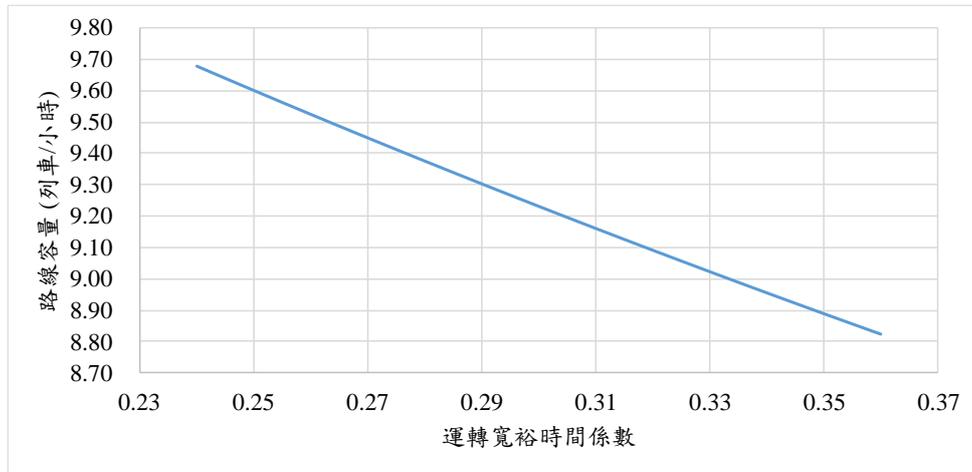


圖 6-21 運轉寬裕時間係數對籬仔內站容量之影響

4. 折返方式

目前籬仔內站的站前橫渡線僅能讓輕軌使用同一股道進行折返，倘若其橫渡線配置能讓輕軌交替使用不同股道進行折返，則容量可大為提升，如圖 6-22 所示。

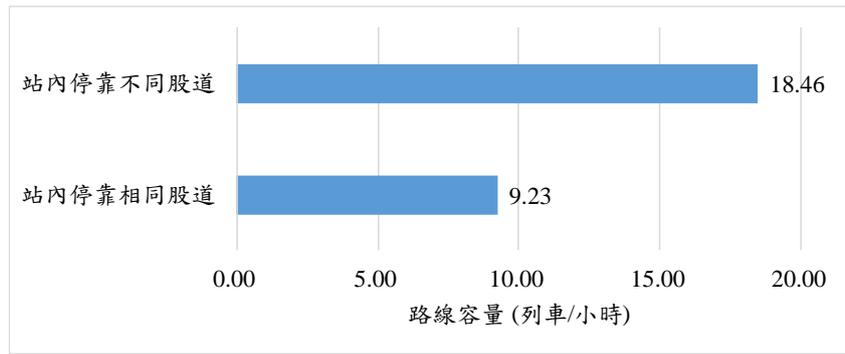


圖 6-22 折返方式對籬仔內站容量之影響

6.3 德國卡爾斯魯爾城鐵案例

本研究以德國卡爾斯魯爾城鐵的 Karlsruhe-Durlach Bahnhof 至 Grötzingen 作為國外案例，卡爾斯魯爾城鐵自 1992 年開始營運，是連接德國卡爾斯魯爾及周邊地區的輕軌系統，其中 Gottesauer Platz 至 Grötzingen 有 S4 和 S5 兩條路線營運，如圖 6-23，是列車密度較高的地方，且該路線恰好包含 A 和 B 型兩種路權，適合作為本研究之案例。

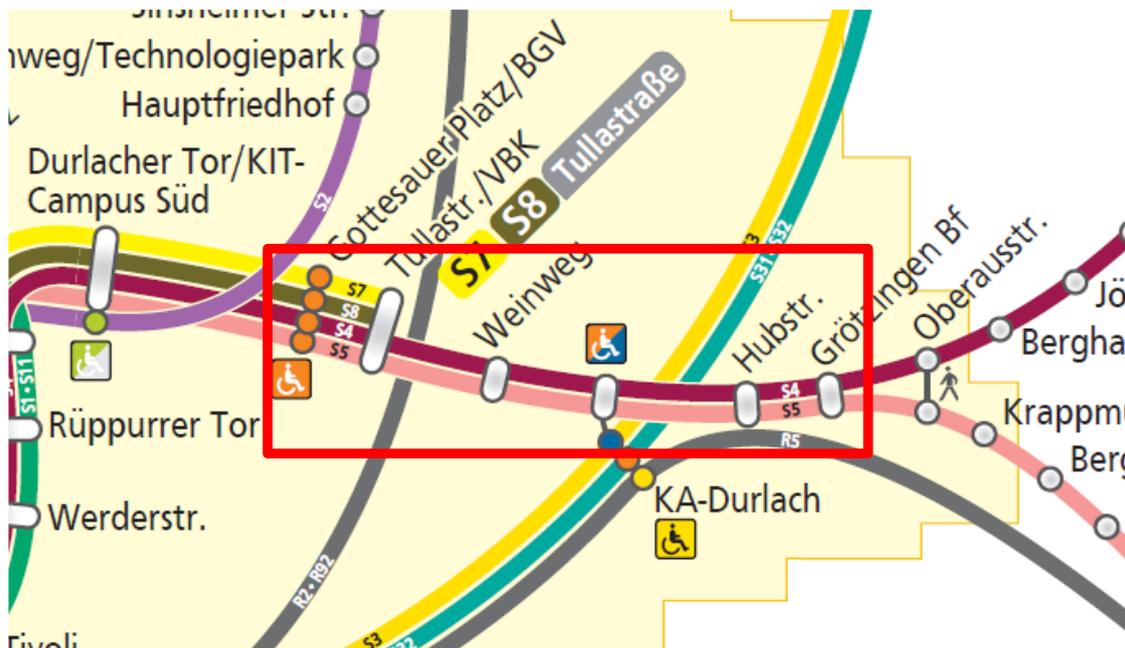


圖 6-23 德國卡爾斯魯爾城鐵案例之範圍

根據本研究所蒐集到的資料，在 Gottesauer Platz 至 Grötzingen 區間內共包含 Gottesauer Platz、Tullastraße、Weinweg、Karlsruhe-Durlach Bahnhof、Durlach Hubstraße 與 Grötzingen 等六座車站，各站軌道配置皆為兩岸壁式月臺兩股道，空間參考點之類型整理如表 6.23。

表 6.23 卡爾斯魯爾城鐵案例之空間參考點

名稱	類型	
	下行 往 Grötzingen 方向	上行 往 Gottesauer Platz 方向
Gottesauer Platz	遠端設站	近端設站
Tullastraße	遠端設站	近端設站
Weinweg	近端設站	遠端設站
Karlsruhe-Durlach Bahnhof	中間站	
Durlach Hubstraße	中間站	
Grötzingen	中間站	

資料來源：本研究整理

6.3.1 參數說明

在本案例的分析範圍內共有三款輕軌列車營運，其中屬 GT8-100D/2S-M（圖 6-24）數量最多，因此作為容量分析所使用的車款，其相關參數整理如表 6.24，列車車身長為 36.57 公尺，加速度為 1 公尺/秒²，減速度為 1.3 公尺/秒²，加減速有效因子皆為 0.75，全列車的總乘位數共 223 個。



圖 6-24 卡爾斯魯爾城鐵 GT8-100D/2S-M 列車

表 6.24 GT8-100D/2S-M 列車參數表

參數名稱	數值
列車長度	36.57 公尺
啟動加速度	1.0 公尺/秒 ²
加速度有效因子	0.75
煞車減速度	1.3 公尺/秒 ²
減速度有效因子	0.75
座位數	100
立位數	123 (註)

註：以每平方公尺站立 4 人來計算

資料來源：本研究整理

本次分析的六座車站皆為中間站，因此無須考慮端末站折返問題，其相關參數整理如表 6.25，而針對 B 型路權的路口與號誌參數如表 6.26。至於運轉寬裕時間係數和乘載變異因子的設定上，則和國內案例一樣分別採用 0.3 和 0.75。

表 6.25 卡爾斯魯爾城鐵案例之車站參數表

車站名稱	下行		上行	
	進站前 巡航速度 (公里/小時)	停站 時間 (秒)	進站前 巡航速度 (公里/小時)	停站 時間 (秒)
Gottesauer Platz	30	20	45	20
Tullastraße	30	20	40	30
Weinweg	65	20	65	20
Karlsruhe-Durlach Bahnhof	40	40	40	40
Durlach Hubstraße	40	15	60	15
Grötzingen	60	20	55	30

資料來源：本研究調查與整理

表 6.26 卡爾斯魯爾城鐵案例之路口與號誌參數表

路口所在之車站 名稱	路口寬度 (公尺)	路口至車站 停車處之距離 (公尺)	輕軌紅燈 時相時間 (秒)	輕軌綠燈 時相時間 (秒)
Gottesauer Platz	46.6	59	47	25
Tullastraße	52.8	130	53	39
Weinweg	39.1	11.8	55	38

註：輕軌紅燈和綠燈時相已考慮優先號誌的影響

資料來源：本研究調查與整理

6.3.2 分析結果

將上述參數代入輕軌容量分析模式後，可求得 Gottesauer Platz 至 Grötzingen 之容量，如表 6.27 和表 6.28 所示。在此區間中，Durlach Hubstraße 於上下行方向的巡航速度不同，Grötzingen 則是停站時間不同，所以其運轉時隔有所差異，此外可發現 B 型路權的 Gottesauer Platz、

Tullastraße 和 Weinweg，設站方式都是一邊近端、另一邊遠端，但容量皆相同，可見設站方式對輕軌容量的影響不大。無論上下行方向，此區間的容量最低處皆位於 Weinweg 站，其運轉時隔為 120.90 秒，路線容量為平均每小時 29.78 列車，設計容量為每小時 6640 個乘位，可達成容量為每小時 4980 位旅客。

表 6.27 卡爾斯魯爾城鐵案例容量分析結果（下行方向）

空間參考點	運轉時隔 (秒)	路線容量 (列車/小時)	設計容量 (乘位/小時)	可達成容量 (旅客/小時)
Gottesauer Platz	93.60	38.46	8577	6433
Tullastraße	119.60	30.10	6712	5034
Weinweg	120.90	29.78	6640	4980
Karlsruhe-Durlach Bahnhof	74.80	48.13	10733	8050
Durlach Hubstraße	42.30	85.11	18980	14235
Grötzingen	48.80	73.77	16452	12339

表 6.28 卡爾斯魯爾城鐵案例容量分析結果（上行方向）

空間參考點	運轉時隔 (秒)	路線容量 (列車/小時)	設計容量 (乘位/小時)	可達成容量 (旅客/小時)
Grötzingen	67.57	53.27	11880	8910
Durlach Hubstraße	50.13	71.81	16014	12011
Karlsruhe-Durlach Bahnhof	74.80	48.13	10733	8050
Weinweg	120.90	29.78	6640	4980
Tullastraße	119.60	30.10	6712	5034
Gottesauer Platz	93.60	38.46	8577	6433

6.3.3 敏感度分析

針對 Weinweg 站上下行方向之容量，本研究以±20%的變動對各項參數進行敏感度分析，其結果彙整如表 6.29，可注意到各項參數即便變動±20%，大多都尚未對容量造成影響。

表 6.29 各項參數對 Weinweg 站下行方向容量之影響

參數項目	對容量之影響
列車長度	尚未造成影響
煞車減速度	尚未造成影響
減速度有效因子	尚未造成影響
進站前巡航速度	尚未造成影響
停站時間	尚未造成影響
輕軌紅燈時相時間	負相關
輕軌綠燈時相時間	正相關
運轉寬裕時間係數	負相關

表 6.30 各項參數對 Weinweg 站上行方向容量之影響

參數項目	對容量之影響
列車長度	尚未造成影響
煞車減速度	尚未造成影響
減速度有效因子	尚未造成影響
進站前巡航速度	尚未造成影響
停站時間	尚未造成影響
路口寬度	尚未造成影響
路口至車站停車處之距離	尚未造成影響
輕軌紅燈時相時間	負相關
輕軌綠燈時相時間	負相關
運轉寬裕時間係數	負相關

在所有對容量有影響的參數中，以彈性觀念比較對容量的影響程度，結果如圖 6-25 和圖 6-26，經比較後發現下行方向對容量影響最大的因素是輕軌綠燈時相時間，上行方向則是輕軌紅燈時相時間，顯示 Weinweg 站的容量主要受到路口號誌的影響，相關分析結果說明如下：

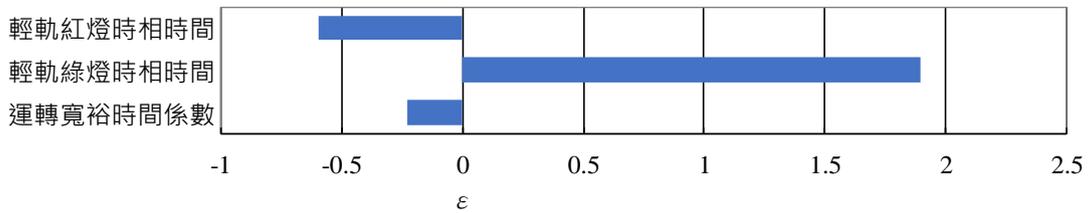


圖 6-25 Weinweg 站下行方向之容量影響因素比較圖

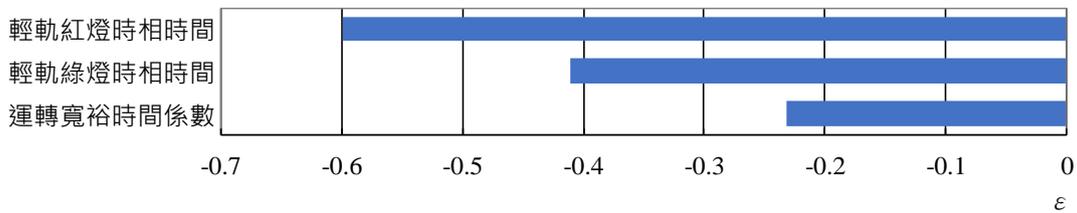


圖 6-26 Weinweg 站上行方向之容量影響因素比較圖

1. 輕軌紅燈時相時間

如高雄輕軌的敏感度分析結果一樣，Weinweg 站的容量和輕軌紅燈時相時間呈現非線性負相關，如圖 6-27 和圖 6-28 所示。

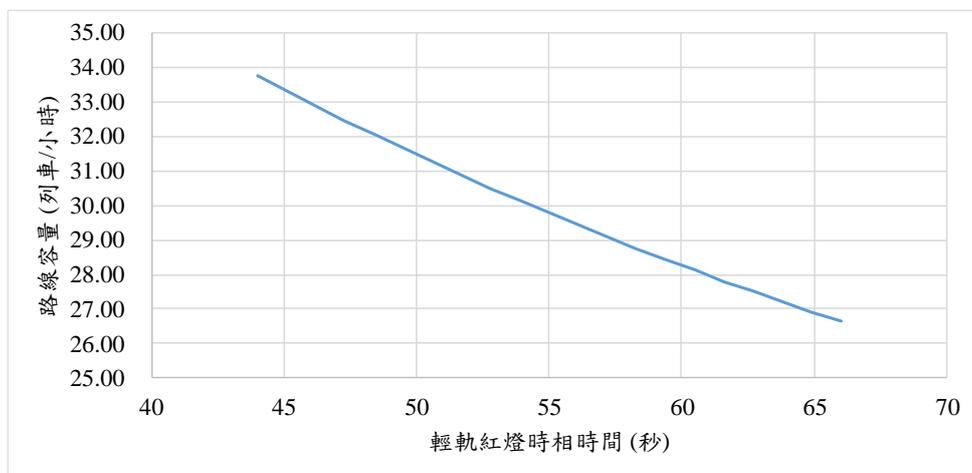


圖 6-27 輕軌紅燈時相時間對 Weinweg 站下行方向容量之影響

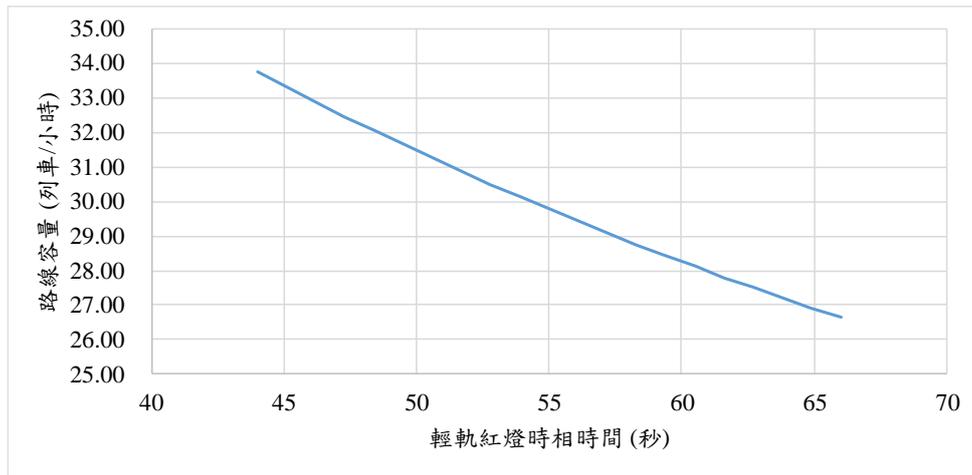


圖 6-28 輕軌紅燈時相時間對 Weinweg 站上行方向容量之影響

2. 輕軌綠燈時相時間

隨著輕軌綠燈時相時間愈長，號誌週期也變得愈長，若輕軌綠燈時相時間增長的幅度還不足以讓輕軌多通過一列車，則容量會因為號誌週期變長而降低，不過本案例與高雄輕軌案例最大的不同在於，當 Weinweg 站下行方向的輕軌綠燈時相增長到約 46 秒時，就足以讓輕軌多通過一列車，因此可看到容量躍升的現象，如圖 6-29 所示。而上行方向由於是遠端設站，即便輕軌綠燈時相增加 20% 也還無法多通過一列車，因此沒有容量躍升現象，如圖 6-30，顯示近端設站比較容易透過優先號誌策略或調整輕軌綠燈時相時間來提升容量。

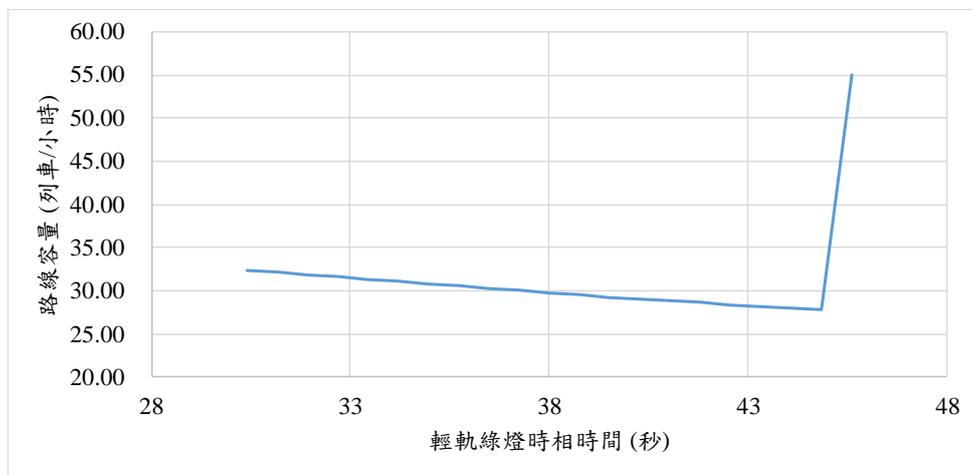


圖 6-29 輕軌綠燈時相時間對 Weinweg 站下行方向容量之影響

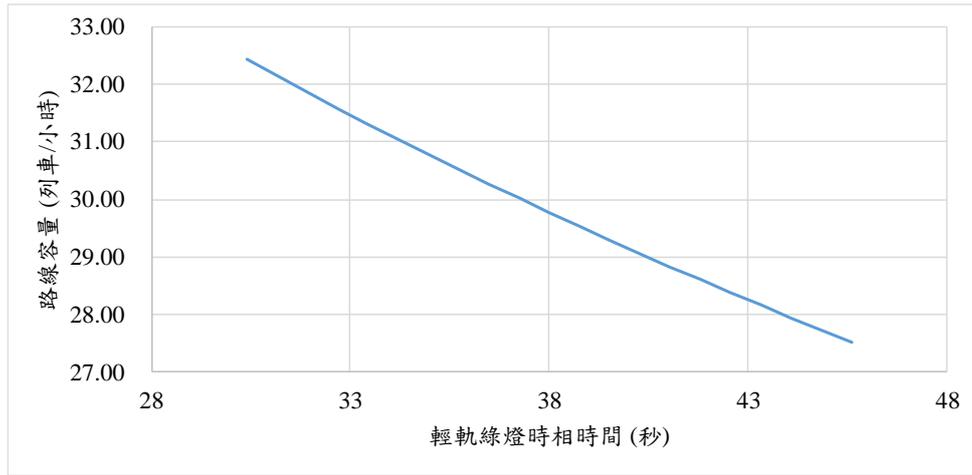


圖 6-30 輕軌綠燈時相時間對 Weinweg 站上行方向容量之影響

3. 運轉寬裕時間係數

模式中以運轉寬裕時間係數決定運轉寬裕時間大小，其數值愈大表示運轉寬裕時間愈大，故無論上下行方向，皆會與容量呈現非線性負相關，如圖 6-31 和圖 6-32 所示。

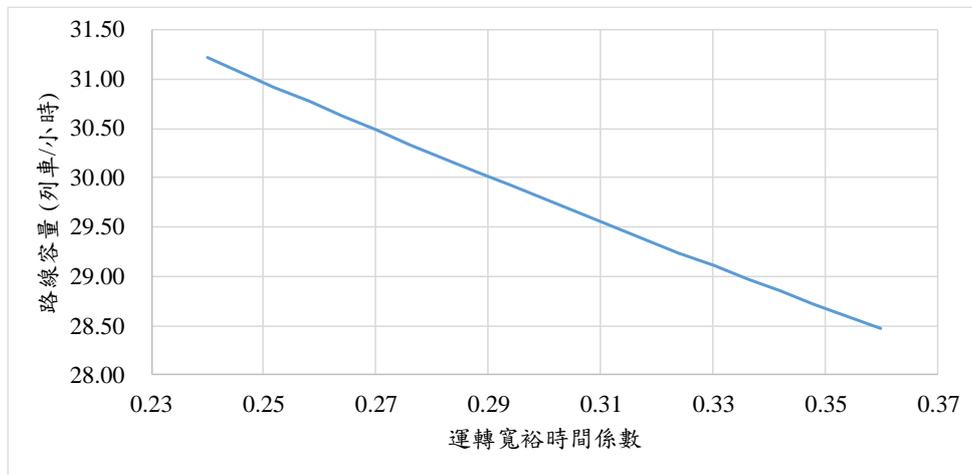


圖 6-31 運轉寬裕時間係數對 Weinweg 站下行方向容量之影響

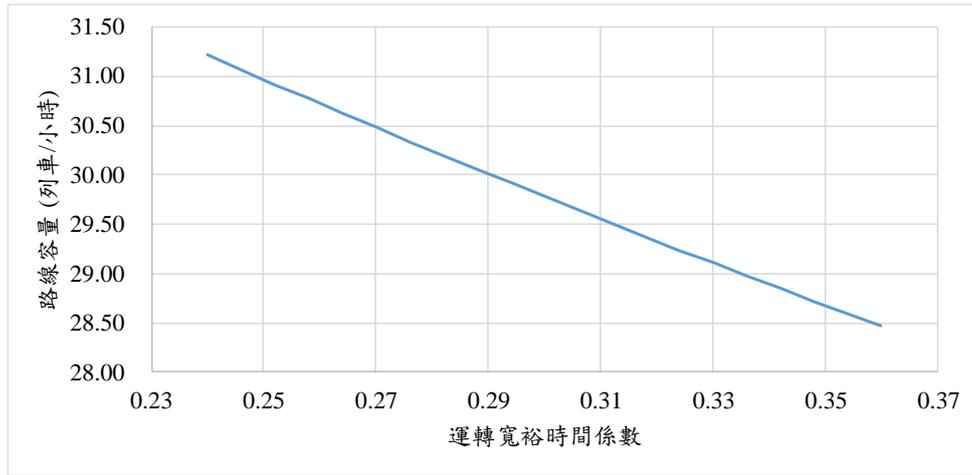


圖 6-32 運轉寬裕時間係數對 Weinweg 站上行方向容量之影響

第七章 結論與建議

本研究針對 A 型和 B 型路權的輕軌系統發展容量分析模式，並進行多項案例分析，最後得到以下結論與建議。

7.1 結論

1. 本研究以解析方法發展輕軌容量分析模式，在 A 型路權方面，比過去研究考量了更符合實際的輕軌運轉行為，例如輕軌列車行駛至末端站時，並非都透過軌道上的 TAG 感應觸動橫渡線路徑的設定，也有可能在前一站離站前就必須先完成設定。在 B 型路權方面，以創新方法計算出運行型態中所含有的號誌週期數和通過列車數，進而求得平均號誌時距，比起過去文獻採用綠燈時比來估算容量，本方法更能反映出路口號誌時制的影響。
2. 在針對淡海輕軌 A 型路權路線的案例中，容量瓶頸位於紅樹林站，其運轉時隔約為 350 秒，和目前淡海輕軌最短營運班距 6 分鐘（360 秒）相比，顯示若要再縮短班距，必須要有所作為。而透過敏感度分析可進一步得知，若只要小幅縮短班距，例如縮短至 5 分鐘內，可嘗試減少列車在紅樹林站的停靠時間；若要將班距大幅縮短，例如縮短至 3 分鐘，則列車在紅樹林站勢必要交替使用不同股道來進行折返才可達成。
3. 在高雄輕軌的案例中，可發現優先號誌策略對容量有正面的影響，尤其是在沒有輕軌綠燈時相的地方，若不使用插入綠燈的優先號誌策略，則輕軌無法通行。其次則是受路口影響之中間站，如前鎮之星站下行方向、凱旋中華站上行及下行方向，都因為優先號誌的關係，讓輕軌可以在一個號誌週期內多通過一列車，進而提升容量。不過優先號誌策略在末端站的效益有限，例如在籬仔內站，不論有無優先號誌，本案例所算出的容量值都相同。

4. 由於國外輕軌的資料蒐集不易，因此國外案例僅分析一小段路線，但本研究仍特地挑選涵蓋 A、B 型路權的路線，根據其分析結果可知 A 型路權的輕軌容量普遍優於 B 型路權的輕軌容量，與先驗知識相符。
5. 綜整國內外案例的容量分析與敏感度分析的結果，可了解到：
 - (1) 無論是 A 型路權還是 B 型路權的輕軌系統，使用相同股道折返的末端站比中間站更容易成為容量瓶頸。
 - (2) 路口號誌是影響 B 型路權輕軌容量的主要因素。
 - (3) 在沒有固定號誌週期的情況下增加輕軌綠燈時相時間，輕軌容量會因為號誌週期增長而降低，除非輕軌綠燈時相時間增加的幅度足夠讓輕軌在綠燈時相內多通過一列車，此時容量會大幅提升。
 - (4) 若妥善地設計號誌時制，則近端設站和遠端設站對輕軌容量的影響不大，不過近端設站比較容易透過優先號誌策略或調整輕軌綠燈時相時間來提升容量，此外就營運速度和旅客上下車方便性等觀點來看，近端設站還是優於遠端設站。
 - (5) 根據各案例的分析結果，可歸納出受路口影響之中間站大約每個號誌週期通過 1~2 列車，而受路口影響之末端站，若使用相同股道進行折返，約每兩個號誌週期才能通過一列車；若使用不同股道，則大約每個號誌週期可通過一列車。在輕軌系統規劃之初，缺乏容量分析參數的情況下，可做為概估容量的參考依據。

7.2 後續研究建議

1. 本研究所發展的輕軌容量模式中，在安全時距的計算上有一定複雜度，若要計算多個案例甚至是敏感度分析，計算量將會相當龐

大，此外過程中亦有許多參數資料需要維護管理，因此建議後續應開發相關的電腦程式，以提高本模式之分析效率與實用性。

2. 依照臺灣鐵道容量手冊的架構，本研究針對輕軌運輸系統的容量相關研究成果，可做為編訂該手冊「輕軌運輸系統篇」的重要依據，讓國內的鐵道容量分析技術更加完備。
3. 今(108)年度的研究僅針對單一空間參考點發展輕軌容量分析模式，而沒有考慮上下游的交互影響，尤其是輕軌的路線通常佈設於都市的主幹道上，因此各路口號誌連鎖的影響便顯得更為重要，建議明(109)年度的研究工作，應優先針對連續路口的輕軌容量來發展分析模式，以利未來探討號誌連鎖或輕軌列車續進等提升路線容量的可能性作法。
4. 本研究所發展 A 型和 B 型路權的輕軌系統發展容量分析模式為解析模式，可根據各種優先號誌策略所能提供的最大輕軌綠燈時間，來計算輕軌容量，未來若要進一步考量優先號誌運作的細節對容量的影響，例如實際上輕軌列車通過路口時，只有在必要時才會觸動優先號誌機制，而路口號誌又同時須滿足橫交道路的最短綠燈時間以及最長紅燈時間等限制，則需改用模擬方法來發展模式。
5. 有鑑於本計畫之研究時程有限，目前模式中採用的運轉時間寬裕係數和乘載變異因子的設定值皆參考自相關文獻，後續研究可進一步探討適用於輕軌系統之設定值，尤其是運轉時間寬裕係數，由於 A 型路權的運行環境變數較少，其寬裕係數可能與 B 型路權不同。此外，站間運轉時間是影響單線區間以及連續區段容量的重要因素之一，未來亦可發展其估算方式，以利在輕軌規劃階段進行容量分析時使用。
6. 雖然目前國內尚無 C 型路權輕軌系統之營運實績（淡海輕軌藍海線第二期可能為 C 型路權，但目前尚未核定），但在政府致力推動輕軌運輸系統發展之際，建議未來應建立 C 型路權的輕軌容量

分析模式，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 C 型路權的輕軌容量。

7. 目前國內輕軌系統因班次不密，故尚未有容量瓶頸問題，惟未來若輕軌容量不足時，其與道路交通服務水準究應如何整體考量處理，建議可於後續計畫中研究分析。

參考文獻

1. 中央社，「基隆輕軌可行性通過 汐止部分地區高架化」，網址：
<https://www.cna.com.tw/news/firstnews/201901110181.aspx>。
2. 日本國土交通省，「LRT 等利用促進に向けて-ICT を活用した利用促進施策と支援制度について」，2010 年。
3. 王信傑，**輕軌路口設置型式準則之研究**，國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文，民國 95 年。
4. 立法院第 9 屆第 1 會期第 18 次會議議案關係文書，網址：
https://lci.ly.gov.tw/LyLCEW/agenda1/02/pdf/09/01/18/LCEWA01_090118_00149.pdf。
5. 交通部，**交通技術標準規範捷運類車輛設計部：輕軌系統建設及車輛技術標準規範**，民國 107 年 1 月。
6. 交通部高速鐵路工程局，**淡海輕軌運輸系統淡海輕軌運輸系統綜合規劃（核定本）**，2013 年。
7. 交通部運輸研究所，**2011 年臺灣公路容量手冊**，民國 100 年 10 月。
8. 交通部運輸研究所，**2013 年臺灣鐵道容量手冊**，民國 102 年 6 月。
9. 交通部運輸研究所，**台灣地區引進輕軌運輸系統技術型式選擇之研究**，民國 87 年。
10. 交通部運輸研究所，**交通號誌時制重整計畫（I）－標準作業程序建立**，民國 96 年 4 月。
11. 交通部運輸研究所，**軌道系統容量與可靠度分析研究（1/3）**，民國 100 年 6 月。

12. 交通部運輸研究所，軌道容量研究－臺鐵系統容量模式之建構分析（一），民國 94 年 3 月。
13. 交通部運輸研究所，都市軌道運輸系統型式發展之研究，民國 106 年。
14. 交通部運輸研究所，單線連續區段軌道容量模式分析暨整體容量軟體改版研究（1/2），民國 104 年 9 月。
15. 交通部運輸研究所，運輸系統容量分析暨應用研究－軌道系統（3/4），民國 98 年 6 月。
16. 交通部運輸研究所，輕軌與公車捷運系統納管之研析，民國 96 年。
17. 交通部鐵道局，「東港觀光鐵道計畫規劃作業」，網址：
<https://www.rb.gov.tw/showpage.php?lmenuid=3&smenuid=166&tmenuid=202&pagetype=0>。
18. 交通部鐵道局，「基隆南港間通勤軌道建設計畫」可行性研究報告，2018 年。
19. 自由時報，「〈台北都會〉五泰輕軌送審 增設車站提升運量」，網址：
<http://news.ltn.com.tw/news/local/paper/980398>。
20. 李明華，A 型路權及 B 型路權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 107 年。
21. 邱榮梧，輕軌運輸系統與獨立號誌化路口容量之研究，國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文，民國 95 年。
22. 紀尚詮，輕軌優先號誌與平面路權對路網服務容量影響之研究，國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文，民國 103 年。
23. 桃園市政府捷運工程局，捷運棕線，網址：
<http://dorts.tycg.gov.tw/home.jsp?id=39&parentpath=0,3>。

24. 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。
25. 高雄市政府捷運工程局，長期路網規畫，網址：
https://mtbu.kcg.gov.tw/cht/project_long_map.php?content=plan。
26. 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。
27. 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。
28. 張有恆，**都市公共運輸**，華泰出版社，民國 85 年。
29. 陳諭嫻，**整合輕軌電車優先號誌時制之模擬研究**，國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文，民國 102 年。
30. 新北大眾捷運公司，網址：<http://www.ntmetro.com.tw/>。
31. 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。
32. 新北市政府，「市政新聞-淡海輕軌取得交通部營運許可 行車安全無虞」，網址：
https://www.ntpc.gov.tw/ch/home.jsp?id=28&parentpath=0,6,27&mc_customize=news_view.jsp&dataserno=201812220008。
33. 新北市政府三環六線進度公開專頁，OPEN！3 環 3 線，「輕軌司機的秘密武器！計軸器與被動式標籤！」，網址：
https://open33.ntpc.gov.tw/dateview_inside?dateid=419。

34. 新北市政府三環六線進度公開專頁，OPEN！3 環 6 線，「TAG 非彼 TAG！列車的被動式標籤是什麼？」，網址：
https://open33.ntpc.gov.tw/dateview_inside?dateid=410。
35. 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>。
36. 新北市政府三環六線進度公開專頁，OPEN！3 環 6 線，「新北市捷運建設願景圖」，網址：
<https://open33.ntpc.gov.tw/attach/%E6%96%B0%E5%8C%97%E5%B8%82%E6%94%BF%E5%BA%9C%E9%A1%98%E6%99%AF%E5%9C%9620190308.pdf>。
37. 新北市政府捷運工程局，八里輕軌，網址：
<https://www.dorts.ntpc.gov.tw/home.jsp?id=16&parentpath=0,3,128>。
38. 新北市政府捷運工程局，五股、泰山輕軌，網址：
<https://www.dorts.ntpc.gov.tw/home.jsp?id=17&parentpath=0,3,128>。
39. 新北市政府捷運工程局，安坑輕軌路線，網址：
<https://www.dorts.ntpc.gov.tw/home.jsp?id=12&parentpath=0,3,127>。
40. 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。
41. 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>。

42. 新北市政府捷運工程局，深坑輕軌，網址：
<https://www.dorts.ntpc.gov.tw/home.jsp?id=61&parentpath=0,3,128,15>。
43. 新竹市政府，新竹市議會第九屆第五次定期會林智堅市長施政報告，2017年。
44. 新竹市政府，新竹地區輕軌系統建設及周邊土地開發計畫可行性研究，2016年。
45. 臺中市政府交通局，台中捷運藍線、橘線規劃進度專案報告，2017年。
46. 臺北市政府捷運工程局，社子線，網址：
<https://www.dorts.gov.taipei/cp.aspx?n=86DCF15951578F50>。
47. 臺北市政府捷運工程局，捷運常用辭彙，民國80年。
48. 臺灣車輛，「淡海輕軌規格表」，網址：
<http://www.trsc.com.tw/train/tran-58ad2b69be798#spec>。
49. 鍾志成，「輕軌無架空線供電技術之發展」，*中興工程季刊*，第122期，2014年1月，頁3-13。
50. 簡聖民、江照雄、李妍彘、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。
51. CAF, KAOHSIUNG TRAM, URL:
<https://www.caf.net/en/productos-servicios/proyectos/proyecto-detalle.php?p=263>
52. Colin O'Connor and Peter Shaw, **Bridge Loads: An International Perspective**, 2002.
53. Cruceanu, C., "Train braking", *Reliability and Safety in Railway*, X. Perpinya, ed., *InTech, Rijeka, Croatia*, pp. 29-74, 2012.

54. Fernández, R., “Modelling Public Transport Stops by Microscopic Simulation”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 18(6), pp. 856-868, 2010.
55. Gu, W., Li, Y., Cassidy, M. J., & Griswold, J. B., “On the Capacity of Isolated, Curbside Bus Stops”, *Transportation Research Part B: Methodological*, 45(4), pp. 714-723, 2011.
56. 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.
57. Harriet R Smith, Hemily, Brendon, & Ivanovic, Miomir., **Transit Signal Priority (TSP): A planning and implementation handbook**, 2005.
58. Hidalgo, D., Lleras, G., & Hernández, E., “Methodology for Calculating Passenger Capacity in Bus Rapid Transit Systems: Application to the TransMilenio System in Bogotá, Colombia”, *Research in Transportation Economics*, 39(1), pp. 139-142, 2013.
59. Kittelson & Associates, Inc., **Transit Capacity and Quality of Service Manual 3rd Edition (TCRP Report 165)**, Transportation Research Board, National Research Council, U.S.A., 2013.
60. Knorr-Bremse , Magnetic Track Brakes – Light Rail Vehicles, 2018.
61. Koonce, P., **Traffic Signal Timing Manual (No. FHWA-HOP-08-024)**, Federal Roadway Administration, U.S.A., 2008.
62. Krueger, H., “Parametric Modeling in Rail Capacity Planning”, *Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference*, pp. 1194-1200, 1999.

63. Molecki, A., & Gaska, D., “Calculations of Tramway Track Capacity in the Wide Area Networks”, *Transport*, 27(4), pp. 428-433, 2012.
64. Schittenhelm, B. H., "Planning with timetable supplements in railway timetables," *Proceedings from the Annual Transport Conference at Aalborg University*, 2011.
65. Swanson, J. D., “Light Rail Without Wires - A Dream Come True”, *Transportation Research Circular E-C058: 9th National Light Rail Transit Conference*, 2004.
66. SYSTRA, **Feasibility of Alternative Power Supply System for the LUAS BXD**, 2012.
67. Transportation Research Board, **Special Report 161 - Light Rail Transit**, 1975.
68. Transportation Research Board, **TCRP Report 13 - Rail Transit Capacity**, 1996.
69. UITP, Focus: A UITP Position Paper-“Light Rail for Liveable Cities”, 2001.
70. UITP, “Interaction of Buses and Signals at Road Crossings”, Final Report, 2009.
71. Urban Mass Transportation Administration, **Light Rail Transit: State of the Art Review**, Final Report, 1976.
72. Urbanik, T., Tanaka, A., Lozner, B., Lindstrom, E., Lee, K., Quayle, S., & Sunkari, S., **Signal Timing Manual**, Transportation Research Board., 2015.
73. Vukan R. Vuchic, **Urban Public Transportation - Systems and Technology**, 1981.

74. Website of American Public Transportation Association, from <https://www.apta.com/>.
75. Website of Light Rail Transit Association, from <http://www.lrta.org/>.
76. Website of Office of Rail and Road in the UK, from <https://orr.gov.uk/>.
77. Widanapathirana, R., Bunker, J. M., & Bhaskar, A., “Modelling the BRT Station Capacity and Queuing for All Stopping Busway Operation”, *Public Transport*, 7(1), pp. 21-38. 2015.

附錄 A 數學符號彙整表

變數	說明	單位
a	列車加速率	公尺/秒 ²
b	列車減速率	公尺/秒 ²
C_l	路線容量	列車/小時
C_o	設計容量	乘位/小時
C_u	可達成容量	旅客/小時
c_t	列車容量	乘位/列車
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	輕軌綠燈時相時間	秒
h	最小運轉時隔	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
m	運行型態內所經歷的路口號誌週期數	—
n	運行型態內所經過的列車數	—
n_v	整列車車廂的編組總數	—
P_{15}	尖峰小時內最大 15 分鐘旅客流量	旅客/15 分鐘
P_{c_i}	同列車第 i 車廂的實際乘載旅客數	—
P_h	尖峰小時旅客流量	旅客/小時
R	輕軌紅燈時相時間	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_e	列車停車後車尾與道岔的距離	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
$S_{p,1}$	車站月臺至橫渡線之距離	公尺
$S_{p,2}$	橫渡線至尾軌列車停車處之距離	公尺
S_{si}	路口至車站停車處之距離	公尺
T_m	A 型路權中間站的安全時距	秒
T_s	瓶頸安全時距	秒

變數	說明	單位
\bar{T}_S	B 型路權的平均安全時距	秒
$T_{t,F1}$	列車在 A 型路權末端站以同一股道進行站前折返的安全時距	秒
$T_{t,F2}$	列車在 A 型路權末端站以不同股道進行站前折返的安全時距	秒
$T_{t,R1}$	列車在 A 型路權末端站以同一尾軌進行站後折返的安全時距	秒
$T_{t,R2}$	列車在 A 型路權末端站以不同尾軌進行站後折返的安全時距	秒
T_x	列車在單線區間的安全時距	秒
t_A	從列車停等完紅燈進入折返處，完成折返離開後，直到下一列車進入折返處的同股道所經歷的時間	秒
t_a	列車從靜止加速至巡航速度的運行時間	秒
t_B	從列車停等完紅燈離開折返處，直到下一列車進入同股道完成折返準備離開所經歷的時間	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
$t_{c \rightarrow t}$	列車從設定橫渡線路徑的位置行駛至完全停止在折返處的運行時間	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最小時間間隔	秒
t_{DP}	先行列車從靜止啟動通過路口至續行列車到達路口所須保持的最小時間間隔	秒
t_d	列車於中間站、末端站或尾軌的停靠時間	秒
$t_{e \rightarrow t}$	列車從尾軌經由橫渡線開往末端站的離站月臺，直到車尾完全通過橫渡線區的運行時間	秒
t_i	轉轍器運作時間	秒
t_m	運轉寬裕時間	秒
$t_{m \rightarrow t}$	列車從設定橫渡線路徑的位置行駛至完全停止在末端站的運行時間	秒
$t_{m \rightarrow t,1}$	列車從設定橫渡線路徑的位置，以巡航速度等速接近橫渡線區的運行時間	秒

變數	說明	單位
$t_{m \rightarrow t,2}$	列車從巡航速度減速至道岔限速的運行時間	秒
$t_{m \rightarrow t,3}$	列車從橫渡線區以道岔限速等速接近末端站的運行時間	秒
$t_{m \rightarrow t,4}$	列車從道岔限速煞車到靜止的運行時間	秒
t_o	列車於單線區間內的順向運行時間	秒
$t_{o'}$	列車於單線區間內反向運行時間	秒
t_p	列車車尾通過 P 點後至列車完全停止在車站的運行時間	秒
t_{PP}	兩列車連續通過路口所須保持的最小時間間隔	秒
t_R	列車從靜止啟動通過路口進入車站，直到完全停妥於車站的運行時間	秒
t_r	司機員確認出發的反應時間	秒
$t_{S,M}$	列車交會所需最短時間	秒
t_t	列車從前一車站至末端站的運行時間	秒
$t_{t \rightarrow c}$	列車從折返處離開直到車尾完全通過橫渡線區的運行時間	秒
$t_{t \rightarrow e}$	列車從末端站的到站月臺進入尾軌，直到完全停止在尾軌的運行時間	秒
$t_{t \rightarrow m}$	列車從末端站離開直到車尾完全通過橫渡線區的運行時間	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_e	列車往尾軌的最高運轉速度	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
β	運轉寬裕時間係數	—
ρ_d	列車間乘載變異因子	—

附錄 B 淡海輕軌紅樹林站容量分析過程

為了讓讀者更清楚如何應用本研究所發展的模式來分析輕軌容量，以下以淡海輕軌紅樹林站為例，說明其容量分析過程。

根據第 3.3 節所述之步驟，首先步驟一要計算潛在容量瓶頸處之安全時距，在 6.1 節的淡海輕軌案例中，潛在容量瓶頸處如表 6.1 所示，每處的安全時距計算流程大同小異，故此例僅說明紅樹林站安全時距之計算過程供讀者參考。

依照圖 3-10 之分類，紅樹林站屬於 A 型路權末端站，採站前折返且使用相同股道，因此可以在 4.2.1 節中找到相對應之安全時距計算公式。接著便是蒐集計算所需之各項參數，下表為從 6.1.1 節中彙整出計算紅樹林站安全時距的參數。

變數符號	說明	數值
a	列車加速率	1.1 公尺/秒 ²
b	列車減速率	1.1 公尺/秒 ²
c_t	列車容量	265 乘位/列車
d_t	列車從設定橫渡線路徑的位置至橫渡線區之距離	303 公尺
K_a	列車加速率有效因子	0.75
K_b	列車減速率有效因子	0.75
L	列車車身長度	34.45 公尺
s_c	橫渡線區範圍	65.531 公尺
s_p	列車於車站停車處至橫渡線之距離	50 公尺
t_d	停站時間	120 秒
v_c	道岔限速	10 公里/小時=2.78 公尺/秒
v_i	列車進站前的巡航速度	20 公里/小時=5.56 公尺/秒
v_o	列車離站後的巡航速度	15 公里/小時=4.17 公尺/秒
β	運轉寬裕時間係數	0.3
ρ_d	列車間乘載變異因子	0.75

由於列車從末端站離開直到車尾通過橫渡線區時，其速度可能已經加速至巡航速度，或者尚處於加速階段，兩者的安全時距計算公式不同，因此必須先計算 $s_p + s_c + L$ 是否大於 $v_o^2/2K_a a$ ，來決定要用哪個公式。本例中， $s_p + s_c + L = 50 + 65.531 + 35.45 = 150.981$ ， $v_o^2/2K_a a = 4.17^2/(2 \times 0.75 \times 1.1) = 10.52$ ，因此採用式 4.14 來計算安全時距，細節如下

$$\begin{aligned}
 T_{t,F1} &= \frac{v_o}{2K_a a} + \frac{s_p + s_c + L}{v_o} + \frac{d_t}{v_i} + \frac{v_i}{2K_b b} + \frac{s_c + s_p + L}{v_c} \\
 &\quad + \frac{v_c}{2K_b b} \left(\frac{v_c}{v_i} - 1 \right) + t_d \\
 &= \frac{4.17}{2 \times 0.75 \times 1.1} + \frac{50 + 65.531 + 35.45}{4.17} + \frac{303}{5.56} + \frac{5.56}{2 \times 0.75 \times 1.1} \\
 &\quad + \frac{50 + 65.531 + 35.45}{2.78} + \frac{2.78}{2 \times 0.75 \times 1.1} \left(\frac{2.78}{5.56} - 1 \right) \\
 &\quad + 120 \\
 &= 269.58
 \end{aligned}$$

接著進入步驟二找出瓶頸安全時距，即從路線上所有空間參考點中，找出安全時距最大者，在 6.1 節的淡海輕軌案例中，紅樹林站的安全時距即為該路線中最大者。

繼續下一步驟計算運轉寬裕時間，計算方式為 $t_m = \beta T_s = 0.3 \times 269.58 = 80.874$ 。然後步驟四，最小運轉時隔之計算為 $h = T_s + t_m = 269.58 + 80.874 = 350.454$ 。最後步驟五計算路線容量， $C_l = 3600/350.454 = 10.27$ 。

完成路線容量計算後，接下來便是要計算以「旅客」為客體單位的部分，步驟六為計算設計容量， $C_o = C_l c_t = 10.27 \times 265 = 2722$ ，步驟七為計算可達成容量， $C_u = \rho_d C_o = 0.75 \times 2722 = 2042$ ，如此便完成了紅樹林站的容量分析。

附錄 C 淡海輕軌紅樹林站之列車長度參數

敏感度分析過程

敏感度分析之目的在探討單一參數改變對輸出結果之影響程度，為了讓讀者了解本研究如何進行敏感度分析，以下以淡海輕軌紅樹林站的列車長度參數為例，說明其敏感度分析的過程。

在 6.1.3 節中欲探討當參數有 $\pm 20\%$ 的變動時，容量的變化影響情況為何，因此首先計算列車長度在 $\pm 20\%$ 變動下的數值，如下

列車長度 (公尺)	變動比率	變動後之數值 (公尺)
34.45	-20%	27.56
34.45	-18%	28.249
34.45	-16%	28.938
34.45	-14%	29.627
34.45	-12%	30.316
34.45	-10%	31.005
34.45	-8%	31.694
34.45	-6%	32.383
34.45	-4%	33.072
34.45	-2%	33.761
34.45	0%	34.45
34.45	+2%	35.139
34.45	+4%	35.828
34.45	+6%	36.517
34.45	+8%	37.206
34.45	+10%	37.895
34.45	+12%	38.584
34.45	+14%	39.273
34.45	+16%	39.962
34.45	+18%	40.651
34.45	+20%	41.34

接著將上述每個變動後之列車長度，按照附錄 B 之過程計算出路線容量：

1. 變動-20%， $L = 27.56$

$s_p + s_c + L = 50 + 65.531 + 27.56 = 143.091$ ，大於 $v_o^2/2K_a a = 4.17^2/(2 \times 0.75 \times 1.1) = 10.52$ ，故採用式 4.14 來計算安全時距

$$\begin{aligned} T_{t,F1} &= \frac{4.17}{2 \times 0.75 \times 1.1} + \frac{50 + 65.531 + 27.56}{4.17} + \frac{303}{5.56} + \frac{5.56}{2 \times 0.75 \times 1.1} \\ &\quad + \frac{50 + 65.531 + 27.56}{2.78} + \frac{2.78}{2 \times 0.75 \times 1.1} \left(\frac{2.78}{5.56} - 1 \right) \\ &\quad + 120 \\ &= 265.45 \end{aligned}$$

最後以式 3.3 來計算路線容量

$$C_l = \frac{3600}{(1 + 0.3) \times 265.45} = 10.43$$

2. 變動-18%， $L = 28.249$

$s_p + s_c + L = 50 + 65.531 + 28.249 = 143.78$ ，大於 $v_o^2/2K_a a = 4.17^2/(2 \times 0.75 \times 1.1) = 10.52$ ，故採用式 4.14 來計算安全時距

$$\begin{aligned} T_{t,F1} &= \frac{4.17}{2 \times 0.75 \times 1.1} + \frac{50 + 65.531 + 28.249}{4.17} + \frac{303}{5.56} \\ &\quad + \frac{5.56}{2 \times 0.75 \times 1.1} + \frac{50 + 65.531 + 28.249}{2.78} \\ &\quad + \frac{2.78}{2 \times 0.75 \times 1.1} \left(\frac{2.78}{5.56} - 1 \right) + 120 \\ &= 265.86 \end{aligned}$$

最後以式 3.3 來計算路線容量

$$C_l = \frac{3600}{(1 + 0.3) \times 265.86} = 10.42$$

3. 變動-16% , $L = 28.938$

$s_p + s_c + L = 50 + 65.531 + 28.938 = 144.469$, 大於 $v_o^2/2K_a a = 4.17^2/(2 \times 0.75 \times 1.1) = 10.52$, 故採用式 4.14 來計算安全時距

$$\begin{aligned} T_{t,F1} &= \frac{4.17}{2 \times 0.75 \times 1.1} + \frac{50 + 65.531 + 28.938}{4.17} + \frac{303}{5.56} \\ &\quad + \frac{5.56}{2 \times 0.75 \times 1.1} + \frac{50 + 65.531 + 28.938}{2.78} \\ &\quad + \frac{2.78}{2 \times 0.75 \times 1.1} \left(\frac{2.78}{5.56} - 1 \right) + 120 \\ &= 266.27 \end{aligned}$$

最後以式 3.3 來計算路線容量

$$C_l = \frac{3600}{(1 + 0.3) \times 266.27} = 10.40$$

4. 變動-14% , $L = 29.627$

$s_p + s_c + L = 50 + 65.531 + 29.627 = 145.158$, 大於 $v_o^2/2K_a a = 4.17^2/(2 \times 0.75 \times 1.1) = 10.52$, 故採用式 4.14 來計算安全時距

$$\begin{aligned} T_{t,F1} &= \frac{4.17}{2 \times 0.75 \times 1.1} + \frac{50 + 65.531 + 29.627}{4.17} + \frac{303}{5.56} \\ &\quad + \frac{5.56}{2 \times 0.75 \times 1.1} + \frac{50 + 65.531 + 29.627}{2.78} \\ &\quad + \frac{2.78}{2 \times 0.75 \times 1.1} \left(\frac{2.78}{5.56} - 1 \right) + 120 \\ &= 266.69 \end{aligned}$$

最後以式 3.3 來計算路線容量

$$C_l = \frac{3600}{(1 + 0.3) \times 266.69} = 10.38$$

5. 變動-12% , $L = 30.316$

$s_p + s_c + L = 50 + 65.531 + 30.316 = 145.847$, 大於 $v_o^2/2K_a a = 4.17^2/(2 \times 0.75 \times 1.1) = 10.52$, 故採用式 4.14 來計算安全時距

$$\begin{aligned} T_{t,F1} &= \frac{4.17}{2 \times 0.75 \times 1.1} + \frac{50 + 65.531 + 30.316}{4.17} + \frac{303}{5.56} \\ &\quad + \frac{5.56}{2 \times 0.75 \times 1.1} + \frac{50 + 65.531 + 30.316}{2.78} \\ &\quad + \frac{2.78}{2 \times 0.75 \times 1.1} \left(\frac{2.78}{5.56} - 1 \right) + 120 \\ &= 267.10 \end{aligned}$$

最後以式 3.3 來計算路線容量

$$C_l = \frac{3600}{(1 + 0.3) \times 267.10} = 10.37$$

6. 變動-10% , $L = 31.005$

$s_p + s_c + L = 50 + 65.531 + 31.005 = 146.536$, 大於 $v_o^2/2K_a a = 4.17^2/(2 \times 0.75 \times 1.1) = 10.52$, 故採用式 4.14 來計算安全時距

$$\begin{aligned} T_{t,F1} &= \frac{4.17}{2 \times 0.75 \times 1.1} + \frac{50 + 65.531 + 31.005}{4.17} + \frac{303}{5.56} \\ &\quad + \frac{5.56}{2 \times 0.75 \times 1.1} + \frac{50 + 65.531 + 31.005}{2.78} \\ &\quad + \frac{2.78}{2 \times 0.75 \times 1.1} \left(\frac{2.78}{5.56} - 1 \right) + 120 \\ &= 267.51 \end{aligned}$$

最後以式 3.3 來計算路線容量

$$C_l = \frac{3600}{(1 + 0.3) \times 267.51} = 10.35$$

7. 變動-8% , $L = 31.694$

$s_p + s_c + L = 50 + 65.531 + 31.694 = 147.225$, 大於 $v_o^2/2K_a a = 4.17^2/(2 \times 0.75 \times 1.1) = 10.52$, 故採用式 4.14 來計算安全時距

$$\begin{aligned} T_{t,F1} &= \frac{4.17}{2 \times 0.75 \times 1.1} + \frac{50 + 65.531 + 31.694}{4.17} + \frac{303}{5.56} \\ &\quad + \frac{5.56}{2 \times 0.75 \times 1.1} + \frac{50 + 65.531 + 31.694}{2.78} \\ &\quad + \frac{2.78}{2 \times 0.75 \times 1.1} \left(\frac{2.78}{5.56} - 1 \right) + 120 \\ &= 267.93 \end{aligned}$$

最後以式 3.3 來計算路線容量

$$C_l = \frac{3600}{(1 + 0.3) \times 267.93} = 10.34$$

8. 變動-6% , $L = 32.383$

$s_p + s_c + L = 50 + 65.531 + 32.383 = 147.914$, 大於 $v_o^2/2K_a a = 4.17^2/(2 \times 0.75 \times 1.1) = 10.52$, 故採用式 4.14 來計算安全時距

$$\begin{aligned} T_{t,F1} &= \frac{4.17}{2 \times 0.75 \times 1.1} + \frac{50 + 65.531 + 32.383}{4.17} + \frac{303}{5.56} \\ &\quad + \frac{5.56}{2 \times 0.75 \times 1.1} + \frac{50 + 65.531 + 32.383}{2.78} \\ &\quad + \frac{2.78}{2 \times 0.75 \times 1.1} \left(\frac{2.78}{5.56} - 1 \right) + 120 \\ &= 268.34 \end{aligned}$$

最後以式 3.3 來計算路線容量

$$C_l = \frac{3600}{(1 + 0.3) \times 268.34} = 10.32$$

9. 變動-4% , $L = 33.072$

$s_p + s_c + L = 50 + 65.531 + 33.072 = 148.603$, 大於 $v_o^2/2K_a a = 4.17^2/(2 \times 0.75 \times 1.1) = 10.52$, 故採用式 4.14 來計算安全時距

$$\begin{aligned} T_{t,F1} &= \frac{4.17}{2 \times 0.75 \times 1.1} + \frac{50 + 65.531 + 33.072}{4.17} + \frac{303}{5.56} \\ &\quad + \frac{5.56}{2 \times 0.75 \times 1.1} + \frac{50 + 65.531 + 33.072}{2.78} \\ &\quad + \frac{2.78}{2 \times 0.75 \times 1.1} \left(\frac{2.78}{5.56} - 1 \right) + 120 \\ &= 268.75 \end{aligned}$$

最後以式 3.3 來計算路線容量

$$C_l = \frac{3600}{(1 + 0.3) \times 268.75} = 10.30$$

10. 變動-2% , $L = 33.761$

$s_p + s_c + L = 50 + 65.531 + 33.761 = 149.292$, 大於 $v_o^2/2K_a a = 4.17^2/(2 \times 0.75 \times 1.1) = 10.52$, 故採用式 4.14 來計算安全時距

$$\begin{aligned} T_{t,F1} &= \frac{4.17}{2 \times 0.75 \times 1.1} + \frac{50 + 65.531 + 33.761}{4.17} + \frac{303}{5.56} \\ &\quad + \frac{5.56}{2 \times 0.75 \times 1.1} + \frac{50 + 65.531 + 33.761}{2.78} \\ &\quad + \frac{2.78}{2 \times 0.75 \times 1.1} \left(\frac{2.78}{5.56} - 1 \right) + 120 \\ &= 269.17 \end{aligned}$$

最後以式 3.3 來計算路線容量

$$C_l = \frac{3600}{(1 + 0.3) \times 269.17} = 10.29$$

11. 變動+2% , $L = 35.139$

$s_p + s_c + L = 50 + 65.531 + 35.139 = 150.67$, 大於 $v_o^2/2K_a a = 4.17^2/(2 \times 0.75 \times 1.1) = 10.52$, 故採用式 4.14 來計算安全時距

$$\begin{aligned} T_{t,F1} &= \frac{4.17}{2 \times 0.75 \times 1.1} + \frac{50 + 65.531 + 35.139}{4.17} + \frac{303}{5.56} \\ &\quad + \frac{5.56}{2 \times 0.75 \times 1.1} + \frac{50 + 65.531 + 35.139}{2.78} \\ &\quad + \frac{2.78}{2 \times 0.75 \times 1.1} \left(\frac{2.78}{5.56} - 1 \right) + 120 \\ &= 269.99 \end{aligned}$$

最後以式 3.3 來計算路線容量

$$C_l = \frac{3600}{(1 + 0.3) \times 269.99} = 10.26$$

12. 變動+4% , $L = 35.828$

$s_p + s_c + L = 50 + 65.531 + 35.828 = 151.359$, 大於 $v_o^2/2K_a a = 4.17^2/(2 \times 0.75 \times 1.1) = 10.52$, 故採用式 4.14 來計算安全時距

$$\begin{aligned} T_{t,F1} &= \frac{4.17}{2 \times 0.75 \times 1.1} + \frac{50 + 65.531 + 35.828}{4.17} + \frac{303}{5.56} \\ &\quad + \frac{5.56}{2 \times 0.75 \times 1.1} + \frac{50 + 65.531 + 35.828}{2.78} \\ &\quad + \frac{2.78}{2 \times 0.75 \times 1.1} \left(\frac{2.78}{5.56} - 1 \right) + 120 \\ &= 270.41 \end{aligned}$$

最後以式 3.3 來計算路線容量

$$C_l = \frac{3600}{(1 + 0.3) \times 270.41} = 10.24$$

13. 變動+6% , $L = 36.517$

$s_p + s_c + L = 50 + 65.531 + 36.517 = 152.048$, 大於 $v_o^2/2K_a a = 4.17^2/(2 \times 0.75 \times 1.1) = 10.52$, 故採用式 4.14 來計算安全時距

$$\begin{aligned} T_{t,F1} &= \frac{4.17}{2 \times 0.75 \times 1.1} + \frac{50 + 65.531 + 36.517}{4.17} + \frac{303}{5.56} \\ &\quad + \frac{5.56}{2 \times 0.75 \times 1.1} + \frac{50 + 65.531 + 36.517}{2.78} \\ &\quad + \frac{2.78}{2 \times 0.75 \times 1.1} \left(\frac{2.78}{5.56} - 1 \right) + 120 \\ &= 270.82 \end{aligned}$$

最後以式 3.3 來計算路線容量

$$C_l = \frac{3600}{(1 + 0.3) \times 270.82} = 10.23$$

14. 變動+8% , $L = 37.206$

$s_p + s_c + L = 50 + 65.531 + 37.206 = 152.737$, 大於 $v_o^2/2K_a a = 4.17^2/(2 \times 0.75 \times 1.1) = 10.52$, 故採用式 4.14 來計算安全時距

$$\begin{aligned} T_{t,F1} &= \frac{4.17}{2 \times 0.75 \times 1.1} + \frac{50 + 65.531 + 37.206}{4.17} + \frac{303}{5.56} \\ &\quad + \frac{5.56}{2 \times 0.75 \times 1.1} + \frac{50 + 65.531 + 37.206}{2.78} \\ &\quad + \frac{2.78}{2 \times 0.75 \times 1.1} \left(\frac{2.78}{5.56} - 1 \right) + 120 \\ &= 271.23 \end{aligned}$$

最後以式 3.3 來計算路線容量

$$C_l = \frac{3600}{(1 + 0.3) \times 270.82} = 10.21$$

15. 變動+10% , $L = 37.895$

$s_p + s_c + L = 50 + 65.531 + 37.895 = 153.426$, 大於 $v_o^2/2K_a a = 4.17^2/(2 \times 0.75 \times 1.1) = 10.52$, 故採用式 4.14 來計算安全時距

$$\begin{aligned} T_{t,F1} &= \frac{4.17}{2 \times 0.75 \times 1.1} + \frac{50 + 65.531 + 37.895}{4.17} + \frac{303}{5.56} \\ &\quad + \frac{5.56}{2 \times 0.75 \times 1.1} + \frac{50 + 65.531 + 37.895}{2.78} \\ &\quad + \frac{2.78}{2 \times 0.75 \times 1.1} \left(\frac{2.78}{5.56} - 1 \right) + 120 \\ &= 271.65 \end{aligned}$$

最後以式 3.3 來計算路線容量

$$C_l = \frac{3600}{(1 + 0.3) \times 271.65} = 10.19$$

16. 變動+12% , $L = 38.584$

$s_p + s_c + L = 50 + 65.531 + 38.584 = 154.115$, 大於 $v_o^2/2K_a a = 4.17^2/(2 \times 0.75 \times 1.1) = 10.52$, 故採用式 4.14 來計算安全時距

$$\begin{aligned} T_{t,F1} &= \frac{4.17}{2 \times 0.75 \times 1.1} + \frac{50 + 65.531 + 38.584}{4.17} + \frac{303}{5.56} \\ &\quad + \frac{5.56}{2 \times 0.75 \times 1.1} + \frac{50 + 65.531 + 38.584}{2.78} \\ &\quad + \frac{2.78}{2 \times 0.75 \times 1.1} \left(\frac{2.78}{5.56} - 1 \right) + 120 \\ &= 272.06 \end{aligned}$$

最後以式 3.3 來計算路線容量

$$C_l = \frac{3600}{(1 + 0.3) \times 272.06} = 10.18$$

17. 變動+14% , $L = 39.273$

$s_p + s_c + L = 50 + 65.531 + 39.273 = 154.804$, 大於 $v_o^2/2K_a a = 4.17^2/(2 \times 0.75 \times 1.1) = 10.52$, 故採用式 4.14 來計算安全時距

$$\begin{aligned} T_{t,F1} &= \frac{4.17}{2 \times 0.75 \times 1.1} + \frac{50 + 65.531 + 39.273}{4.17} + \frac{303}{5.56} \\ &\quad + \frac{5.56}{2 \times 0.75 \times 1.1} + \frac{50 + 65.531 + 39.273}{2.78} \\ &\quad + \frac{2.78}{2 \times 0.75 \times 1.1} \left(\frac{2.78}{5.56} - 1 \right) + 120 \\ &= 272.47 \end{aligned}$$

最後以式 3.3 來計算路線容量

$$C_l = \frac{3600}{(1 + 0.3) \times 272.47} = 10.16$$

18. 變動+16% , $L = 39.962$

$s_p + s_c + L = 50 + 65.531 + 39.962 = 155.493$, 大於 $v_o^2/2K_a a = 4.17^2/(2 \times 0.75 \times 1.1) = 10.52$, 故採用式 4.14 來計算安全時距

$$\begin{aligned} T_{t,F1} &= \frac{4.17}{2 \times 0.75 \times 1.1} + \frac{50 + 65.531 + 39.962}{4.17} + \frac{303}{5.56} \\ &\quad + \frac{5.56}{2 \times 0.75 \times 1.1} + \frac{50 + 65.531 + 39.962}{2.78} \\ &\quad + \frac{2.78}{2 \times 0.75 \times 1.1} \left(\frac{2.78}{5.56} - 1 \right) + 120 \\ &= 272.89 \end{aligned}$$

最後以式 3.3 來計算路線容量

$$C_l = \frac{3600}{(1 + 0.3) \times 272.89} = 10.15$$

19. 變動+18% , $L = 40.651$

$s_p + s_c + L = 50 + 65.531 + 40.651 = 156.182$, 大於 $v_o^2/2K_a a = 4.17^2/(2 \times 0.75 \times 1.1) = 10.52$, 故採用式 4.14 來計算安全時距

$$\begin{aligned} T_{t,F1} &= \frac{4.17}{2 \times 0.75 \times 1.1} + \frac{50 + 65.531 + 40.651}{4.17} + \frac{303}{5.56} \\ &\quad + \frac{5.56}{2 \times 0.75 \times 1.1} + \frac{50 + 65.531 + 40.651}{2.78} \\ &\quad + \frac{2.78}{2 \times 0.75 \times 1.1} \left(\frac{2.78}{5.56} - 1 \right) + 120 \\ &= 273.30 \end{aligned}$$

最後以式 3.3 來計算路線容量

$$C_l = \frac{3600}{(1 + 0.3) \times 273.30} = 10.13$$

20. 變動+20% , $L = 41.34$

$s_p + s_c + L = 50 + 65.531 + 41.34 = 156.871$, 大於 $v_o^2/2K_a a = 4.17^2/(2 \times 0.75 \times 1.1) = 10.52$, 故採用式 4.14 來計算安全時距

$$\begin{aligned} T_{t,F1} &= \frac{4.17}{2 \times 0.75 \times 1.1} + \frac{50 + 65.531 + 41.34}{4.17} + \frac{303}{5.56} + \frac{5.56}{2 \times 0.75 \times 1.1} \\ &\quad + \frac{50 + 65.531 + 41.34}{2.78} + \frac{2.78}{2 \times 0.75 \times 1.1} \left(\frac{2.78}{5.56} - 1 \right) \\ &\quad + 120 \\ &= 273.71 \end{aligned}$$

最後以式 3.3 來計算路線容量

$$C_l = \frac{3600}{(1 + 0.3) \times 273.71} = 10.12$$

彙整上述各個計算結果如下表，接著以「列車長度」為 X 軸，「路線容量」為 Y 軸，便可在直角坐標系中繪出圖 6-3。

列車長度 (公尺)	路線容量 (列車/小時)
27.56	10.43
28.249	10.42
28.938	10.40
29.627	10.38
30.316	10.37
31.005	10.35
31.694	10.34
32.383	10.32
33.072	10.30
33.761	10.29
34.45	10.27
35.139	10.26
35.828	10.24
36.517	10.23
37.206	10.21
37.895	10.19
38.584	10.18
39.273	10.16
39.962	10.15
40.651	10.13
41.34	10.12

至於彈性 ε 之計算，即是將原列車長度和路線容量，以及變化+20%和-20%的列車長度和其所算得之路線容量，代入公式 6.1 中計算

$$\varepsilon = \frac{\Delta y/y}{\Delta x/x} = \frac{(10.12 - 10.43)/10.27}{(41.34 - 27.56)/34.45} = -0.08$$

附錄 D 歷次工作會議紀錄

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

第一次工作會議紀錄

- 一、 時間：108 年 4 月 22 日(星期一)下午 02 時 00 分
- 二、 地點：交通部運輸研究所七樓運輸經營管理科技實驗室
- 三、 主持人：楊副組長幼文 紀錄：黃笙玳
- 四、 主席致詞：(略)
- 五、 簡報：(略)
- 六、 會議要點紀錄：
 1. 研究成果投稿亦可考慮「海峽兩岸都市交通學術研討會」。
 2. 輕軌運輸系統定義的參考文獻要註明年代。
 3. 建議將運研所出版之「都市軌道運輸系統型式發展之研究」
納入文獻回顧中。
 4. 路權型式建議加上圖例輔助說明。
 5. 對於國內輕軌計畫之推動情況，建議最後彙整說明各項計畫
的執行階段，例如是可行性研究、綜合規劃或已核定等，並
且註明資料最後更新時間。

6. 在報告章節架構方面，建議第三章「輕軌運輸系統容量分析模式構建」之內容可再細分為數個章節。
7. 有關計畫成果展示海報的製作，在期中審查後的工作會議中再提出構想。
8. 建議安排淡海輕軌參訪行程，以實地認識輕軌運輸系統。

七、散會

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

第二次工作會議紀錄

- 一、 時間：108年5月22日(星期三)上午09時30分
- 二、 地點：交通部運輸研究所七樓運輸規劃科技研究室
- 三、 主持人：楊副組長幼文 紀錄：黃笙琰
- 四、 主席致詞：(略)
- 五、 簡報：(略)
- 六、 會議要點紀錄：
 1. 由於輕軌常態運轉時不會採用單線運轉，因此本研究以複線運轉為前提來發展輕軌容量分析模式。
 2. 建議投影片中的每段列車運轉動畫僅顯示列車當下的情況，並且加上橫渡線進路鎖定的情況，此外公式推導過程應與列車運轉動畫相互搭配呈現，讓聽眾能更容易了解每段公式所代表的意義。
 3. 有關論文投稿工作，預計先將部分成果投稿運輸年會，將來有更豐富的成果再考慮投稿運輸計畫季刊。
 4. 第一次專家學者座談會將會報告本研究現階段之成果，並蒐集專家學者的建議作為後續研究方向的參考，參與人員建議

為鄭永祥教授、李治綱教授、施文雄博士和陳信雄協理，預計於6月24~28日挑選其中一天的上午或下午舉辦，會後將盡快調查可出席情況以商定確切時間。

5. 將容量推廣網站未來發展方向列為座談會的議題之一。
6. 國內軌道容量研究的整體架構係於十多年前的研究案所規劃，如今該架構是否要重新檢討調整，建議列為明年度研究案的工作項目之一。

七、散會

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

第三次工作會議紀錄

- 一、 時間：108 年 9 月 27 日(星期五)下午 02 時 00 分
- 二、 地點：交通部運輸研究所七樓運輸規劃科技研究室
- 三、 主持人：劉研究員昭榮 紀錄：黃笙琰
- 四、 主席致詞：(略)
- 五、 簡報：(略)
- 六、 會議要點紀錄：

1. 有關輕軌行車安全疑慮問題之回覆：

- (1) 輕軌車輛於 A 型路權之路段，如何確保其行車安全不會有追撞事故？

回覆：輕軌列車沒有裝設 ATP，純粹採用司機員目視行駛列車，不過在淡水高架路段，有加裝限制速度的功能。此外，為了確保行車安全，輕軌列車也會加裝電磁軌道煞車，減速度可達 2.7 m/s^2 。

- (2) 當系統有延誤時，後車如何確保安全車距及煞車距離，是否有控制系統或機制？

回覆：輕軌沒有防止追撞的保護機制，如上題，前後車的距離

靠司機員目視駕駛來保持，由於輕軌車速不高，且煞車性能較強，故可在視距內煞停。

(3) 輕軌列車之駕駛座是否有行車安全相關行控系統設備，或警示燈號系統，以確保行車安全，另駕駛員及行控中心之是如何連動處理行車安全問題？

回覆：輕軌列車駕駛室的訊號跟行控中心沒有連動，駕駛室僅有本身列車相關的告警訊號。如果遇設備故障，司機員需以無線電與行控中心連繫，行控中心再依故排程序提醒司機員處理。

2. 有關單線雙向運轉之輕軌容量分析議題，雖然目前國內的輕軌系統皆沒有採用單線雙向運轉，但國外有極少數的案例，因此根據單線雙向運轉的情境推導其安全時距的計算公式，後續便可按照容量分析的架構計算出容量。
3. B 型路權輕軌容量分析模式中，有許多參數係透過 A 型路權的安全時距公式計算而得，建議後續應加強說明兩者之間的關聯。
4. 優先號誌可分為絕對優先和相對優先兩種，而輕軌列車僅有相對優先通過權，只有在必要時才會觸動優先號誌機制，但同時又須滿足橫交道路的最短綠燈時間以及最長紅燈時間等

限制，由於解析模式不易考慮這些細節，故本模式係根據各種優先號誌策略最多可提供多少輕軌通行時間，來計算考量優先號誌影響下的 B 型路權輕軌容量。

5. 今年度的研究著重於單一空間參考點的容量分析，若要探討多個路口號誌的交互影響，則是屬於明年度欲發展的連續區段模式，目前的構想是根據各個路口號誌的時制與時差等設定，以模擬方法來分析輕軌容量。
6. 由於明年度的研究工作項目較多，建議研究團隊儘早規劃明年度各項工作的範圍及時程。
7. 第二次學者專家座談會預計於 10 月 14~25 日挑選其中一天的上午或下午舉辦，會後將盡快調查可出席情況以商定確切時間。

七、散會

附錄 E 期中學者專家座談會會議紀錄

「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」

期中學者專家座談會議紀錄

一、時間：108 年 6 月 24 日(星期一)上午 9 時 30 分

二、地點：交通部運輸研究所 10 樓會議室

三、主持人：黃副所長新薰  紀錄：黃筌玟

四、出(列)席單位及人員：

南台科技大學行銷與流通管理系李教授治綱 

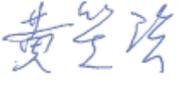
成功大學土木工程學系李教授宇欣 
高雄市政府交通局鄭局長永祥 

高雄市政府捷運工程局施總工程司嫩嫩 

交通部鐵道局工程管理組施副組長文雄 

臺灣高鐵公司陳協理信雄 

新北市政府捷運工程局鄭副總工程司智銘 

財團法人中興工程顧問社    

本所運計組   

五、主席致詞：(略)

六、簡報：(略)

七、出席人員發言要點：

(一) 高雄市政府交通局鄭局長永祥

1. 未來探討 B、C 型路權容量模式時，須考量平面交叉路口受到公路車流的影響。顧問團隊欲納入哪些考慮因素（如列車停站的位置、列車與號誌的距離等），以及欲分析的項目為何？

中興社回覆：B 型路權主要考慮因素為路口號誌，路口號誌不僅會影響中間站容量，也會影響折返站容量，此外，路口與車站的相對位置也是影響因素之一。上述所提因素皆會納入模式，且不排除以模擬方法來輔助公式的推導。至於 C 型路權不是研究計畫範疇內，故沒有進行相關研析。

2. 案例分析中淡海輕軌所用車輛的加減速率皆為 1.1 m/s^2 ，而德國卡爾斯魯爾城鐵所用車輛的加速率為 0.6 m/s^2 而減速率為 1.6 m/s^2 ，請問造成此差異過大的原因。

中興社回覆：會再對上述數值做確認。另外，目前國內交通部鐵道局已制定輕軌採購規範與指引，因此相關車輛規格參數將會被限定。

3. 投影片 (p.16) 中整體架構裡的「運轉寬裕時間」以及「承載變異因子」是如何去給定，請顧問團隊做一說明？

中興社回覆：目前以計算出的運轉時隔之 30% 為運轉寬裕時間，
承載變異因子則採用 TCQSM 之建議值 0.75。

4. 後續如以高雄輕軌作為案例分析，有關列車組數的分析結果將
會對高雄市政府捷運局有實質的幫助。

中興社回覆：後續預計以高雄輕軌作為 B 型路權輕軌容量分析的
對象，相關成果待運研所出版後皆可供各界參考。

(二) 國立成功大學土木工程學系李教授宇欣

1. 容量分析中的「站前折返」與「站後折返」用詞是否應改正為
「站前轉線」與「站後轉線」

中興社回覆：過往研究仍以「站前折返」與「站後折返」此兩用
詞為主，未來於報告中會加註說明其對應的列車行為以避免誤
解，例如「站前折返」即為列車於站前經過橫渡線往對向股道駛
去。

2. 若沒有考慮運轉寬裕時間，則會高估所計算的軌道容量。臺鐵
所使用的運轉寬裕時間約 5% 至 8%，略為過低。

中興社回覆：運轉寬裕可以分為 run time reserve 與 headway
supplement 兩種，前者為運轉時間的寬裕，實務上會根據整個軌
道系統的穩定性而定；而後者為運轉時隔的餘裕值，才是本研究
所指的運轉寬裕。

3. 對於實務運轉來說，僅用單一股道作容量分析有稍嫌不足之虞，建議顧問團隊應考量兩股道或混合使用對於容量所造成的影響。

中興社回覆：雖然簡報中的案例僅呈現使用單一股道的容量分析結果，但是目前容量模式的計算皆有分別考量使用單一股道或使用兩股道之情境，並於淡海輕軌紅樹林站的分析中，增加使用兩股道的容量分析結果，以供參考。

4. 若將鐵路容量交流平臺交付官方單位（如運研所）進行管理，則資安議題需要更加重視。此外，負責維運平臺的人除了主辦專業人力外，也應包含資訊相關人員。

中興社回覆：除了相關成本的考量之外，若由運研所負責平臺的維運，還須面臨回應民眾發言之簽准程序過於耗時的問題，而官方的立場也會左右回應內容的方向，皆須考慮。

(三) 交通部鐵道局工程管理組施副組長文雄

1. 容量模式的計算是否有將號誌（如禁左）的限制納入考慮？

中興社回覆：目前 B 型路權的容量模式會將號誌狀況納入考量，在整個號誌週期中，公路車流會有各種時相（包含禁左時相），而對輕軌容量模式來說，不會區分進禁左或不禁左的時相，而是考慮輕軌列車於運行方向上是否能夠通過路口。

2. 基隆輕軌目前處於規劃階段，預期面臨的問題為由於基隆區間的運量較高，加上營運班次有所限制，因此可能得以兩組列車連掛的營運方式來滿足需求。倘若未來營運時，於基隆火車站無法順利進行輕軌列車摘掛作業，則直接進入基隆市區的連掛輕軌列車對於優先號誌的閉塞長度勢必會所影響。

中興社回覆：由於德國部分地區街廓較短，考量輕軌列車通過路口時間不宜過長，因此規範輕軌列車長度不得超過 75 公尺。針對基隆地區而言，以單一系列車配合高密度班距的營運方式，會比兩列列車連掛配合低密度班距的營運方式適當。此外，也可減少對於公路上其他車流的衝擊。

3. 營運時，若單軌與雙軌混合營運使用（如福井電鐵），則對於容量分析來說會有所影響。建議顧問團隊須對此軌道運用情況有所考量。

中興社回覆：國內目前的輕軌系統都以雙軌營運為主，然不排除未來的營運規劃會有單雙軌混用情況發生。若今年度的研究案時程有餘，則會對此情況進行容量模式的研析與開發。

4. 建議顧問團隊將過往容量相關文獻與此研究案成果做一比較，以凸顯此研究案所提容量模式之優勢。

中興社回覆：由於過往文獻通常包含 B 型路權的容量分析，而目

前本案期中階段成果僅有 A 型路權的容量分析模式，因此待本案發展 B 型路權容量模式之後，再於報告中比較過往文獻與本案成果。

(四) 臺灣高鐵公司陳協理信雄

1. 交通部運研所適合提供單向的確切專業資訊。而就資訊交流平臺而言，可將社群網站的粉絲專業操作形式考慮進去，透過粉絲專業管理員與民眾的互動，得以降低官方色彩。

中興社回覆：地方運輸中心的官方色彩比起交通部運研所來說較不濃烈，也許更適合與民眾回應互動。

2. 建議顧問團隊將 C 型路權的容量模式一併納入開發，以利輕軌產業於臺灣各縣市的推動。

中興社回覆：C 型路權目前不在這兩年度的研究計畫範疇內，會建議納入未來研究建議之中。

3. 由於一個輕軌系統可能於不同路段使用不同型態的路權，因此建議顧問團隊於容量模式發展階段便將連續區間的彈性納入考量。

中興社回覆：明年度的研究計畫預計會有此工作項目，此外，於現階況的模式建構過程中，已保留對於連續區間功能擴充的彈性。

4. 對於計算容量公式來說，會有近端與遠端方向之考量。建議顧問團隊將遠端方向一併納入案例分析。

中興社回覆：目前在 B 型路權容量模式建構的過程中，已考量近端與遠端方向之區別，未來案例分析中則會針對車站的特性，揀選對應模式進行容量分析即可。

5. 如何驗證容量分析結果的合理性？

中興社回覆：目前的容量公式完全依據運轉理論進行推倒。然而，實務運作上會考量運轉寬裕，其數值的大小對於軌道系統的容量影響甚大，因此目前傾向依據經驗與模式推估結果給予建議值。

6. 建議顧問團隊針對容量模式中人工給定的係數或因子進行敏感度分析並給予判斷原則，以利使用者評估其對容量的影響。

中興社回覆：會於報告中提供相關係數或因子的敏感度分析。

(五) 交通部運輸研究所運輸計畫組書面意見

1. 本案目前列舉 TCQSM(美國大眾運輸容量與服務水準手冊)、臺灣公路容量手冊、李明華碩士論文之輕軌容量相關研究內容，惟並未綜合比較說明其目前之階段成果、及未能解決之問題為何？建議後續於期中報告中能列表呈現，俾利凸顯本研究之價值。

中興社回覆：將於期中報告中說明。

2. 相關研究文獻之數學方程式及符號之意涵未具體說明，不易判斷其對本案後續研究內容之助益。

中興社回覆：簡報資料為求簡潔，僅透過口頭說明，將來於期中報告內會說明數學方程式符號意涵。

3. 簡報 P.17 之 A 型路權瓶頸安全時距種類分為中間站、折返站二類，其中折返站再分為「站前折返」、「站後折返」二種方式，惟為免混淆，建議該二種折返方式應再義區分為「使用同一股道折返」、「使用不同股道折返」等二種折返方式進行操作，建議定義清楚。

中興社回覆：在報告中將會說明清楚。

4. 簡報 P.37 僅介紹「站後折返一站後停靠同一尾軌」之案例，缺漏「站後折返一站後停靠不同尾軌」之案例，建議補充。

中興社回覆：P.37 即為「站後折返一站後停靠不同尾軌」，簡報中為誤植文字，將修正之。

5. 簡報 P.18 中間站安全時距計算式，其中 t_v 為列車進站等速運行時間，但為何 S_b 安全煞車距離卻超過「煞車起點」？且 S_b 既超過「煞車起點」列車即非以等速(巡航速度)運行，請檢核正確性。

中興社回覆：將會再檢視其正確性。

6. t_v 之分子算式是否合理？且最後化簡為 S_m+L 應為「列車煞車距離」，其意涵應為「列車煞車時間」而非「列車等速運行時間」，請檢核。

中興社回覆：將會再檢視其正確性。

7. 簡報 P.43 之淡海輕軌案例，建議可增加各站之股道配置圖。

中興社回覆：將在期中報告中補充其股道配置圖。

8. 簡報 P.45 由分析結果顯示，明顯「紅樹林站」為「折返站」將會 Dominate 整條路線之瓶頸容量，惟仍請補充該路線之可能最大營運班次資料，以利檢核比較容量分析結果之合理性。

中興社回覆：將在期中報告中補充說明淡海輕軌目前的最大營運班次。

9. 目前淡海輕軌路線係為 A、B 型路權混合運行，故顯示之分析結果應非純粹 A 型之結果（已有路口號誌影響成分存在），建議應於報告中敘明。

中興社回覆：現階段之分析結果為淡海輕軌 A 型路權部分的容量，將於報告中敘明。

10. 簡報 P.49 之德國案例，僅呈現「中間站」之容量分析結果，建議儘量補充有「折返站」之整段路線容量分析結果，以呈現

其案例參考價值。

中興社回覆：因為德國案例的端末折返站為 C 型路權，不在本研究計畫的範疇內，故沒有進行案例分析。

11. 依據簡報 P.51~53 之分析結果顯示，二種方式各有其優劣。綜

合考量目前鐵道容量之模式軟體使用特性，及本系列容量研究成果至少包括傳統暨區域鐵路(臺鐵系統)、都會捷運、輕軌系統、高鐵及機場捷運系統之開發成果，若欲歸由單一鐵道實務主管機關維管確有難度，爰建議依據所長指示目前可暫整合於本所官網內，以類似「鐵道容量研究暨應用」之專區提供使用者下載軟體及手冊資料使用，後續是否另設網站再視發展狀況而定。

中興社回覆：根據本次會議討論結果，認為若另設網站需要考量額外營運成本以及資安問題，且官方角色較無法及時與使用者僅行回應與交流，因此建議將目前容量系列研究成果整合於運研所官網內，提供單向的確切專業資訊發布。

八、散會

附錄 F 期中審查意見處理情形及簡報

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
南台科技大學行銷與流通管理系李教授治綱	首先肯定研究團隊之研究成果，符合預期工作項目之要求內容。	感謝審查委員之肯定。	--
	P1-1 第 2 行有關 1.1 節研究緣起之內容，建議增加推動軌道系統考量之一項理由是「安全」，例如：個人風險較低。	遵照辦理，增加「安全」相關理由。	已於期末報告中回應處理
	P1-1 第 6-10 行內容，建議可參考「大眾捷運系統建設及周邊土地開發計畫申請與審查作業要點」，補充說明本計畫後續可應用之 3 個時機：(1) 都市發展計畫、綜合運輸規劃（含公共運輸發展計畫及大眾捷運系統整體路網評估計畫）作業程序中，係如何考量軌道系統對容量與特性分析之需要。(2) 可行性研究(如參考文獻 18)作業中係如何納入對容量與特性分析之需要。(3) 綜合規劃(如參考文獻 9)作業中係如何納入對容量與特性分析之需要。	遵照辦理。	已於期末報告中回應處理
	P2-11 第 4-6 行有關第 2.2.2 節輕軌車輛緊急剎車機制內容之說明不清楚，建議可再補充。	遵照辦理，補充於 2.2.2 節。	已於期末報告中回應處理
	P2-16 第 9-10 行有關第 2.2.2 節輕軌系統專用號誌之說明不清楚，另參照 P2-15 之 2.2.4 節第 2 點、P2-23 頁之圖 2-13，為何 P3-1 之 3.1.1 節述及「…輕軌運輸系統沒有號誌系統…」，建議可再補充說明。	遵照辦理，於 2.2.4 節補充說明輕軌專用號誌型式與意義。第 3.1.1 節所述之號誌系統為閉塞號誌系統，將於報告中補充說明。	已於期末報告中回應說明
	P2-10 有關第 2.2 節輕軌運輸系統之特性分別陳述於 2.2.1 至 2.2.5 各節中，惟其與容量之關係相關分析，建議應補充說明。	遵照辦理，於 2.2.1 至 2.2.5 各節中說明各因素對容量之影響。	已於期末報告中回應說明

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
南台科技大學 行銷與 流通管 理系李 教授治 綱	P2-39 有關第 2.4 節輕軌運輸系統容量相關研究之文獻回顧，請加強說明並修改錯誤之處。例如，P2-40 之「操作餘裕」變數未於公式中使用，是否為誤植？建議釐清。	操作餘裕 $t_{om}=Z*c_v*t_d$ ，將於報告中補充說明。	已於期末報告中回應說明
	P3-1 之 3.1 節有提及運轉寬裕時間相關之陳述與使用，建請補充說明運轉寬裕時間可反應那些隨機效應。	遵照辦理，補充於 3.1.1 節。	已於期末報告中回應說明
	P3-2 之 3.1 節圖 3-2 與圖 3-3 之車站與路口號誌之時空圖關係標示不清楚，建議調整。	遵照辦理。	已於期末報告中處理
	P3-3 之 3.1 節潛在容量瓶頸處之說明，建議應與實例分析有對照呼應。	遵照辦理，但因期中階段之進度為 A 型路權輕軌容量，尚未探討路口處之容量，因此僅補充中間站和折返站與案例分析之對照呼應。	已於期末報告中回應處理
	P3-9 第 3.3 節之公式(3-1)與相關文字說明，為何趕點時間會以瓶頸安全時距之寬裕處理？建議補充說明。	實務上為了維持一定準點率，時刻表中會加入寬裕時間，文獻中指出寬裕時間有三種，包含站間運轉時間寬裕、停站時間寬裕以及運轉時隔寬裕，而公式(3-1)所計算的即是運轉時隔的寬裕，將於報告第 3.3 節中補充說明。	已於期末報告中回應說明
P3-11 第 3.4 節之圖 3-11，是否有進站號誌機？司機員是否依據進站號誌機行車？如果有進站號誌機且司機員依據進站號誌機行車，則圖 3-11 之時空關係圖需要更改。	輕軌運輸系統沒有進站號誌機，主要靠司機員目視手動控制列車，而圖 3-11 係依此原則繪製，不需更改。	已於期末報告中回應處理	

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
高雄市政府 交通局鄭 局長永 祥	有關 A 型輕軌與都會捷運系統之容量分析有何差別，考慮的要素有何不同？建議本研究應予定義說明清楚。	輕軌系統沒有閉塞區間的概念，而都會捷運系統容量模式是基於有閉塞制度下發展出來的，相關說明補說明於 3.4 節。	已於期末 報告中回 應說明
	簡報 P11 有關輕軌容量分析之整體架構中，無論是瓶頸安全時距、運轉寬裕時間、乘載變異因子等，因都具有不確定性，皆影響容量分析結果甚鉅，未來若要應用在 B、C 型路權輕軌容量分析皆要很小心，故有關其中各項因子數據建議應予定義清楚，例如其中之寬裕係數採用 0.3、乘載變異因子採用 0.75，建議皆應說明其應用時機。	目前寬裕係數和乘載變異因子的設定值皆參考自相關文獻，但礙於本計畫之研究時程有限，有待後續研究對適用於輕軌之設定值做進一步探討。	同意承辦 單位之處 理情形
	有關 1996 年 TCRP Report 17 與 2013 年版 TCQSM 之 TCRP Report 165 中之輕軌容量公式有何差別，另美國的公式與本計畫之 2 個案例應用有何差異，建議可補充說明。	經檢視發現 TCRP Report 17 並沒有提到輕軌容量公式，若是跟上一版的 TCQSM (TCRP Report 100) 相比，兩者之輕軌容量公式沒有差別。另由於 TCQSM 的公式係應用於 B 型路權之輕軌，故不適用於期中報告之案例，將考慮應用於期末的案例分析中。	同意承辦 單位之處 理情形

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
高雄市 政府交 通局鄭 局長永 祥	文獻中有提到輕軌時相插入於路口號誌週期當中，但本計畫僅考慮紅燈與綠燈之時相問題，並未考慮黃燈及全紅時相應如何處理，另路口道路交叉型式等問題，是否有相關文獻研究可供參考，建議可再補充。	本研究將號誌週期中輕軌可通過時間稱為綠燈時間，而其餘時間（含黃燈及全紅）則統一稱為紅燈時間，藉此探討在路口號誌影響下，輕軌列車通過路口的平均時距，進而求得容量，在期末報告針對B型路權容量模式中將會詳細說明。另外有關輕軌路口設置型式相關論文補充於2.4.2節。	已於期末報告中回應說明
	有關德國及淡海輕軌案例之輕軌列車加減速度之參數有明顯差異，是否合理？建議報告應予說明。	考量輕軌列車加減速度不應有明顯差異，因此德國輕軌之減速度改採1公尺/秒 ² ，並調整後續相關分析結果。	已於期末報告中回應說明
	有關輕軌容量之分析，究係採解析模式或模擬模式較適合，建議報告中可補充分析說明。	解析模式適用於計算單一空間參考點之容量，而模擬模式則適用於分析整條路線之容量，相關內容補充於2.5節。	已於期末報告中回應說明
	有關報告第四章案例分析之敏感度分析結果，建議可彙整較有用之資訊提供參考。	遵照辦理，於4.1.3和4.2.3節中加入相關分析結果之彙整表。	已於期末報告中回應說明
高雄市 政府捷 運工程 局施總 工程司 嫩嫩	P2-22 之 2.3.1.2 節“至於第二階段…，總共購置 15 列”請修正為“至於第二階段…，總共購置 11 列”。	遵照辦理。	已配合修正

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
	參照 P2-23 圖 2-13 高雄輕軌專用號誌示意圖、P2-28 圖 2-17 淡海輕軌號誌系統架構，爰 P3-1 之 3.1.1 節有關“然而輕軌運輸系統沒有號誌系統…”相關論述是否合理，建請補充說明。	第 3.1.1 節所述之號誌系統為閉塞號誌系統，並非指 P2-23 和 P2-28 所述之號誌，將於報告中調整相關名詞與論述。	已於期末報告中回應說明
	P3-3 有關 3.1.2 節“對於輕軌運輸系統而言，通常旅客的旅行時間較短且尖離峰特性明顯”之相關論述與實務不同，建請補充說明。(另見 P3-8 步驟一，輕軌系統的路線瓶頸可能發生在停站時間最長的車站)。	此論述為相對於傳統鐵路的長途旅客而言，將於報告中調整相關論述。	已於期末報告中回應說明
高雄市 政府捷 運工程 局施總 工程司	P3-6 之 3.1.3 節圖 3-8 (c) “…，續行列車運行仍不受影響先行列車影響”，本圖所要表達之意涵，建請補充說明。	遵照辦理，補充說明為「續行列車運行仍不受先行列車影響，與先行列車保持足夠安全距離跟著通過路口」	同意承辦單位之處 理情形
嫩嫩	P3-8 3.3 節步驟一，“目前本模式針對 A 型路權…分為站前折返使用相同股道、站前折返使用不同股道…”，建議可補充其考量邏輯。	遵照辦理，於 3.3 節中補充相關內容。	已於期末 報告中回 應說明
	P3-9 3.3 節步驟三，“…本研究認為當安全時距愈大時，其產生的變異也愈大”之相關論述意涵，建請補充說明。(另見 P3-10、3.4 節安全時距是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)。	列車在實際運轉的過程中有許多隨機程序，因此理論上當安全時距愈大，變異也愈大，將於 3.3 節中補充說明。	已於期末 報告中回 應說明
	P3-9 之 3.3 節有關 Cl =路線容量 (TU/h)，其中 TU 之定義請敘明。P3-10 Co 、 Ct 之 sps 請定義。	遵照辦理，將直接以中文名稱表示之。	已配合修 正

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
高雄市政府捷運工程局施總工程師 嫩嫩	P4-2 表 4.2 座位數 62、立位數 203，與 P4-15 表 4.8 座位數 100、立位數 123 有明顯差異，經查輕軌容量之計算原則涉及每平方公尺之站立數，例如高雄輕軌第一階段輕軌列車容量係以列車座位滿座外加立位 7 人/ m ² 之密度為原則，本計畫是否考量與立位密度之關係，建議補充說明。	遵照辦理，補充說明立位數的計算時所採用的每平方公尺之站立數。	已於期末報告中回應說明
	P5-1 後續 B 型路權容量之分析，建議注意號誌化路口數量及乘客上下車時間對模式之影響分析。另如可能，請再評估全線無架空線且在車站升弓/降弓對容量之影響。	後續研究將會考量審查委員之建議。	已於期末報告中配合處理
交通部鐵道局工程管理組施副組長 文雄	本計畫之研究目的是輕軌容量分析，目前正可因應交通部(鐵道局)積極推動輕軌系統之政策方向，但未來國內最主要之輕軌系統佈設型態應該還是 B 型路權，故有關 B 型路權輕軌於號誌化路口之容量分析(例如運轉寬裕考量)將可能為最主要之研究重點。	下半年將會發展 B 型路權輕軌容量分析模式。	已於期末報告中配合處理
	有關輕軌系統容量常受路線延伸、分岔站設計型態所影響，故實務上可能就需要有輕軌系統專用號誌之設置。	輕軌系統確實有設置專用號誌，相關內容說明於 2.4 節。	已於期末報告中回應說明
	日本之輕軌系統一般採目視行駛，其中之分岔站及折返站確實是容量之瓶頸點，為有效解決容量瓶頸問題，實務上常有直通運轉及月臺股道快慢車追越待避設計之做法(例如福井電鐵系統)。	目前國內輕軌尚未有快慢車追越待避之設計，因此若要提高容量，可能只能從停站時間、折返方式、時制調整或優先號誌等方面著手。	同意承辦單位之處 理情形

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
交通部 鐵道局 工程管 理組施 副組長 文雄	本報告淡海輕軌案例，紅樹林站係採站前同股道折返計算其容量，故每小時容量僅有 10 列次，建議後續可考慮採用站前不同股道折返方式，應即可有效提升系統容量。另建議可整體檢視系統之路線 區段之街廓長度、路口號誌時制、配線方式是否為導致瓶頸之原因，再考慮是否以調整運轉寬裕係數加以因應。	採用不同股道折返方式確實能有效提升容量，相關分析結果說明於 4.1.3 節中。另外，淡海輕軌整體路線包含 B 型路權路段，其路口寬路、號誌時制確實可能是瓶頸處，但本研究期中階段之進度為 A 型路權輕軌容量，故沒有包含 B 型路權的部分，期末階段則會以高雄輕軌為例探討 B 型路權之輕軌容量。	已於期末報告中回應處理
	有關 B 型路權輕軌之容量分析應是本研究之最主要重心，惟目前報告仍未呈現相關內容，建議規劃單位可先提出 B 型路權輕軌容量之分析方向及歸納影響容量之關鍵因素供討論，俾利後續研究進度如期完成。	其實本團隊正在積極發展 B 型路權輕軌容量模式，但期中階段還沒有階段性成果可呈現於報告中，預計相關成果將會於期末階段完成。	已於期末報告中處理呈現
台灣高 鐵公司 陳協理 信雄	P1-1 第 2 段有關高鐵及機捷系統之容量分析建議不予納入研究範圍，因其與是否為民營無關，建議刪除調整相關文字論述。	遵照辦理。	已配合修正
	P1-3 有關圖 1-2 中的箭頭不清楚，建議修正。	遵照辦理。	已配合修正
	P2-10 有關 B 型輕軌之路權不一定會有優先通行號誌機制，建議調整修訂相關論述。	遵照辦理。	已於期末報告中回應處理
	建議後續可 Review 國外公車及 LRT 號誌優先通行控制策略之相關文獻，以利釐清其使用時機。	遵照辦理，將根據文獻於 2.2.5 節說明各優先號誌策略之使用時機。	已於期末報告中回應處理

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
台灣高 鐵公司 陳協理 信雄	建議後續可針對 LRT 號誌優先通行控制邏輯進行分類及討論其適用時機，必要時可邀請地方政府之道路交通控制業管單位進行討論釐清。	本研究將會根據文獻說明優先號誌分類與適用時機，至於是否邀請地方政府之道路交通控制業管單位進行討論，後續將與運研所商討決定。	已於期末報告中回應處理
高雄市 政府交 通局 (書面 意見)	報告書 P1-2, 本案輕軌系統容量分析暨應用研究全程計畫如圖文說明, 建議未來相關研究計畫可將 C 型路權對道路容量分析納入研究。	遵照辦理, 於期末報告中, 會將 C 型路權之輕軌容量列為後續研究建議項目之一。	已於期末報告中建議
	報告書 P3-1、P3-2, 運轉條件請將優先號誌策略(延長綠燈策略、縮短紅燈策略、插入綠燈策略)納入評估。	本研究期中階段之進度為 A 型路權輕軌容量, 下半年才會探討 B 型路權, 屆時會將優先號誌策略納入評估。	已於期末報告中回應處理
	報告書 P3-8、P3-9、P3-10, 在 3.3 節整體架構與分析程序中, 分析程序各步驟建議依據圖 3-9 所示輕軌容量分析模式整體架構, 將列車容量、乘載變異因子相關內容納入步驟說明中。	列車容量與乘載變異因子為本模式之輸入參數, 已於步驟六與步驟七中用來計算設計容量和可達成容量。	已於期末報告中回應說明
本所運 計組 (書面 意見)	P2-23 圖 2-14 有關凱旋四路、一心一路、瑞隆路口, 針對延長路燈時間、縮短紅燈時間、插入輕軌時相等優先號誌策略, 其圖中修改後之各號誌時相複雜, 建議可補充說明其主要運轉邏輯。	遵照辦理, 補充說明主要運轉邏輯。	已於期末報告中回應處理
	P2-27 請補充淡海輕軌 ITMS 行車控制系統之英文全名。	輕軌整合管理系統(ITMS)的全名為 Integrated Tramway Management System, 將於文中補充說明。	已於期末報告中回應說明

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
本所運 計組 (書面 意見)	P2-40 公式(2.1)中並無「 t_{om} ：操作餘裕」係數，請檢核是否刪除或補充。另公式(2.2)中之「 B_l ：公車席位容量」是否大於「 B_s ：場站公車容量」，並請補充說明二者之定義。	$t_{om}=Z*c_v*t_d$ ，將於報告中補充說明；公車席位容量(B_l)與場站公車容量(B_s)的差異在於有效公車席位數量($N_{cl} \geq 1$)、交通調整因子($f_{tb} \leq 1$)，兩者並無絕對大小關係，將於公式之下補充說明。	已於期末報告中回應說明
	P2-42 請補充第 4 項文獻之服務水準失效率 FR 及 C_s 之定義，及其關係式。	遵照辦理。將於第 4 項內容中補充說明。	已於期末報告中回應說明
	P2-44 公式(2.6)中之係數 a、b 及參數 N，請補充說明其定義。	遵照辦理。	已於期末報告中回應說明
	P2-48 請說明圖 2-32 中之「是否共用時相」是否係指 LRT 與路口之時相共用？另 LRT 之容量雖可獨立計算，但 LRT 號誌與路口號誌運作有密切關係，二者如何之運轉邏輯如何釐清，建議可補充說明。	圖 2-32 中之「共用時相」係指路口與 LRT 共用之時相，通常採用與輕軌平行且無衝突之車流方向為綠燈的時相。LRT 號誌與路口號誌兩者的關係為，當路口號誌為「共用時相」時，對 LRT 來說便是列車可以通過路口的時相，而其他時相列車不能通過路口，將圖 2-33 之註解中補充說明。	已於期末報告中補充說明
	P2-50 除已摘述李明華研究之未盡完整之處，建議再補充說明本計畫是否已針對李明華及其他相關研究未完整部分應如何解決。	遵照辦理，將補充於第 2.5 節。	已於期末報告中補充說明

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
	P2-51 小結部分請補充所蒐集呈現之公車捷運或專用道之容量相關文獻研究，是否有那些成果是可應用於本計畫之 LRT 容量研究。	公車捷運或專用道之容量計算公式與軌道容量之一般公式相似，但輕軌受限於軌道上運行，與公車不同，因此沒有可直接應用於本計畫之成果，將說明於 2.5 節。	已於期末報告中補充說明
本所運 計組 (書面 意見)	P3-4 有關末端站之折返方式，目前係針對島式月臺搭配站前橫渡線、側式月臺搭配站後橫渡線及尾軌等 2 種型式分析說明，惟仍請於報告中說明為何無島式月臺搭配站後橫渡線及尾軌、側式月臺搭配站前橫渡線等 2 種佈設型式之考量原因。	文中只是說明一般常見的月臺與橫渡線配置狀況，並非完全沒例外，例如台北捷運文湖線的南港展覽館站便是島式月臺搭配站後橫渡線，但無論是何種月臺，主要是折返方式在影響容量。	同意承辦單位之說明
	P3-11 有關中間站安全時距計算式，其中 t_v 為續行列車進站等速運行時間，但為何 S_b -列車從巡航速度煞車到靜止所運行的距離卻超過「煞車起點」？且圖 3-11 中之 2 個 S_b 是否相同，而 S_b 既超過「煞車起點」列車即非以等速(巡航速度)運行，請檢核正確性。	圖 3-11 中 2 個 S_b 等長，左方 S_b 表示續行列車與先行列車所保持的距離，而右方 S_b 表示續行列車從巡航速度煞車到靜止所運行的距離，並沒有超過「煞車起點」，因此圖 3-11 沒有問題。	同意承辦單位之說明
	P3-12 公式(3.7)中 t_v 之分子算式是否合理？且最後化簡為 S_m+L 應為「列車煞車距離」，其意涵應為「列車煞車時間」而非「列車等速運行時間」，請檢核。	經檢核，公式(3.7)的分子中，續行列車進站總共運行了 s_b+s_m+L ，過程中 s_b 為列車煞車距離，故 s_m+L 確實為等速運轉的距離。	同意承辦單位之說明
	P4-3 請補充表 4.4 中「斜進道岔」之技術型式內容。	遵照辦理。	已於期末報告中補充說明

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
本所運 計組 (書面 意見)	P4-13 建議增加一實際計算操作範 例，俾利使用者參考。	由於計算細節過程相當繁 雜，不適合於報告中詳 述，此外，預計明年度會 開發軟體，以利使用者應 用本模式來進行容量分 析。	同意承辦 單位之處 理情形
	P4-16表 4.10 下行方向第 1 站、表 4.11 上行方向第 1 及第 3 站之「運轉時隔」 明顯較高，導致成為容量瓶頸，但上 下行方向之容量瓶頸型態明顯不 同，建議可略補充其可能原因。	可能原因為停站時間導致 容量瓶頸，補充於第 4.2.2 節。	已於期末 報告中回 應說明
	P2-23 有關凱旋四路、一心一路、瑞 隆路口之號誌時相與動線配置似與 現況不符，請檢視其是否正確。	遵照辦理，現況已修正如 圖 2-15。	已配合修 正
	有關報告中提及「交通部運輸研究 所」之用語時，請統一以「本所」呈 現。	遵照辦理。	已配合修 正
	P2-32 第 1 行五股泰山輕軌之車站數 應為 14 座。	依審查意見修正之。	已配合修 正
	P3-1 有關 3.1.1 運轉條件之第 5 行「… 輕軌運輸系統沒有號誌系統…」之內 容，建議修正為「…輕軌運輸系統沒 有行車控制專屬號誌系統…」。	第 3.1.1 節所述之號誌系 統為閉塞號誌系統，並非 指 P2-23 和 P2-28 所述之 號誌，將於報告中調整相 關名詞與論述。	已於期末 報告中回 應說明
	P3-6 圖 3-8 之(c)標題，建議刪除第 1 個「影響」字。	遵照辦理。	已配合修 正
	有關報告中蒐集之文獻宜聚焦在與 輕軌容量相關之文獻內容，並請規劃 單位參酌各與會委員意見以較有系 統方式彙整呈現，俾利後續參考。	在文獻蒐集的過程中，發 現輕軌容量相關文獻不 多，本研究已盡力回顧， 並且也依委員意見補充內 容。	已於期末 報告中回 應處理

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
主席結 論	有關基隆輕軌系統是否存在過軌問題，相關技術型式是否有容量瓶頸相關問題需進一步探討，請納入後續分析。另本研究是否需考慮單線雙向運轉之輕軌容量分析議題，請於後續工作會議中提出討論。	由於基隆輕軌系統尚未定案，缺乏相關資料做進一步分析探討，後續還是會以高雄輕軌作為B型路權容量的案例分析對象。另有單線雙向運轉之輕軌容量分析議題，將於後續工作會議中提出討論。	已於期末 報告中回 應處理
	為利本研究成果之推廣應用，後續報告內容請加強案例應用分析、情境設定、操作步驟等相關內容之呈現。	遵照辦理。	已於期末 報告中回 應處理
	有關報告內容相關用詞，請以本所角度撰寫，並於後續工作會議提交修正版期中報告，以縮短報告校稿印製出版時程。	遵照辦理。	已於期末 報告中回 應處理
	有關與會委員及各單位所提意見，請合作團隊審慎檢討納入報告修正並列表回應處理情形，送交主辦單位審閱同意後，作為後續研提期末報告之依據。	遵照辦理。	已於期末 報告中回 應處理
	本次期中報告審查通過，請依契約續辦相關作業。	遵照辦理，並感謝諸位審查委員之肯定。	--



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 期中審查簡報

簡報人：黃筌玕 研究員

 財團法人中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.
中華民國一〇八年八月一日

簡報大綱



計畫背景概述



重要文獻回顧



A型路權輕軌容量分析模式



案例分析



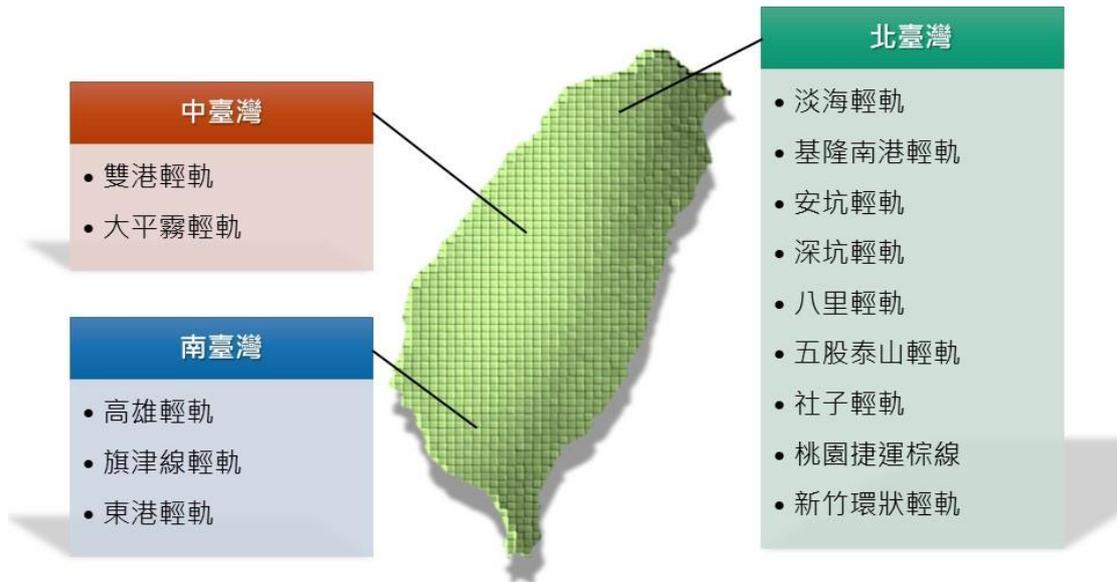
後續研究方向

計畫背景概述



研究緣起

- 國內各都會區積極推動輕軌運輸系統



研究緣起

- 國內軌道容量研究的發展

傳統暨區域鐵路系統

都會捷運系統

輕軌運輸系統

研究目的

發展輕軌系統容量分析技術，以利輕軌計畫於規劃、設計及營運各階段之決策參考應用

全程計畫概要

輕軌系統容量分析暨應用研究

第一年度

- 輕軌相關文獻回顧
- A、B型路權輕軌之容量分析模式構建
- A、B型路權輕軌容量案例驗證分析

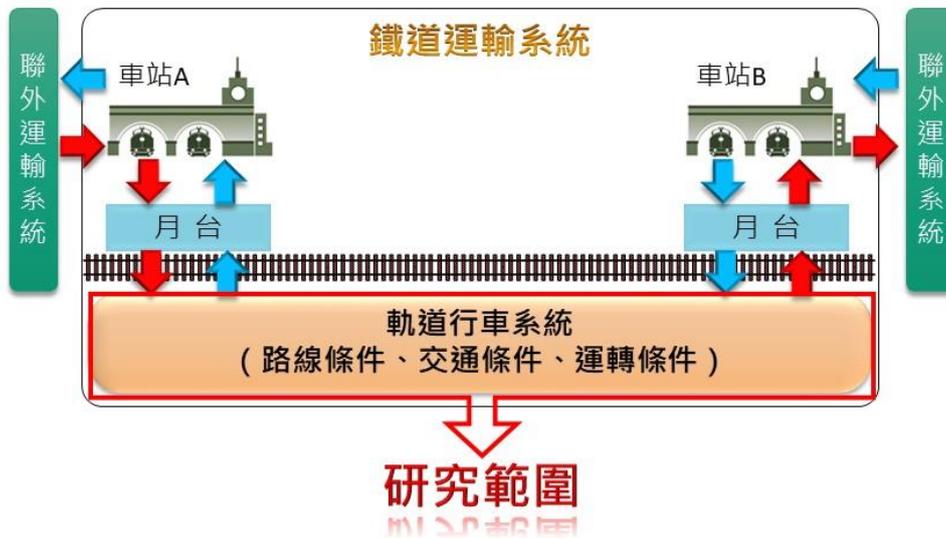
第二年度

- A、B型路權連續路段之輕軌容量及可靠度分析模式構建
- 輕軌容量及可靠度分析軟體開發
- 臺灣鐵道容量手冊擴充編訂及辦理教育訓練

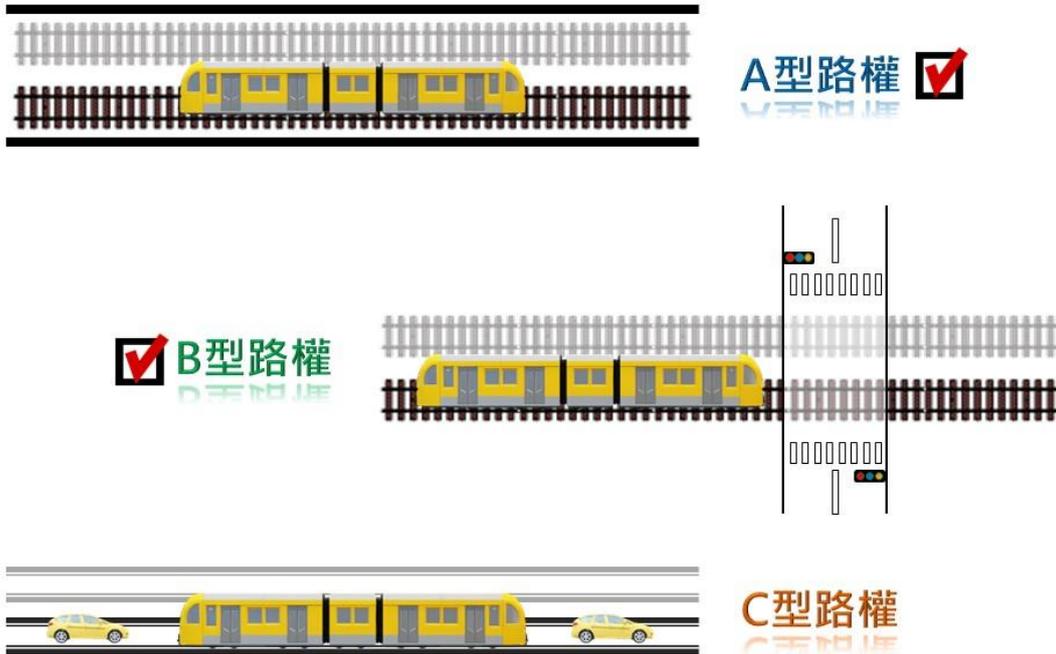
研究對象



研究範圍



研究範圍



研究流程



重要文獻回顧



與輕軌系統相關之容量研究

公車專用道



輕軌運輸系統



公車專用道容量相關研究

• 臺灣公路容量手冊 - 公車專用道路段容量

• 公車站容量

$$Q_0 = \frac{3600\beta_0}{a + bT} = \text{公車站容量 (輛/小時)}$$

β_0 = 車長及站臺使用方式調整係數

a, b = 隨能同時靠站之公車數而變的係數

T = 平均停靠站時間 (秒)

• 停止線車道容量

$$Q_s = (N_G + N_y) \frac{3600}{C} = \text{無公車站作業影響時專用道之容量 (輛/小時/車道)}$$

N_G = 在綠燈時段能紓解之公車數 (輛)

N_y = 在燈號轉換時段能紓解之公車數 (輛)

C = 號誌週期長度 (秒)

公車專用道容量相關研究

• TCQSM - Bus Transit

$$B_s = N_{el} \left(1 - f_l \frac{v_{cl}}{C_{cl}} \right) \frac{3600(g/C)}{t_c + t_d(g/C) + Zc_v t_d}$$

B_s = 場站公車容量 (輛/小時)

N_{el} = 場站內有效公車席位數量 (個)

f_l = 場站位置因子，考量設站位置 (近端、遠端及路段中)、公車可使用車道數

v_{cl} = 路口緣側車道 (curb lane) 交通量 (輛/小時)

C_{cl} = 路口緣側車道容量 (輛/小時)

g = 有效綠燈時長 (秒)

C = 號誌週期時長 (秒)

t_c = 清道時間 (秒)

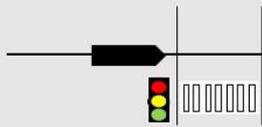
t_d = 平均停站時間 (秒)

Z = 依據「設計停站失效率」決定之標準化數值

c_v = 停站時間變異係數

輕軌運輸系統容量相關研究

• TCQSM - Light Rail Transit



$$h_{os} = \max \left\{ \frac{t_c + (g/C)t_d + Z_a c_v t_d}{(g/C)} \right. \\ \left. \frac{2C_{max}}{2C_{max}} \right\}$$

h_{os} = 最小路口運轉時隔 (秒)

g = 有效綠燈時長 (秒)

C = 號誌週期時長 (秒)

C_{max} = 輕軌路線沿線路口之最長號誌週期時長 (秒)

t_d = 停站時間 (秒)

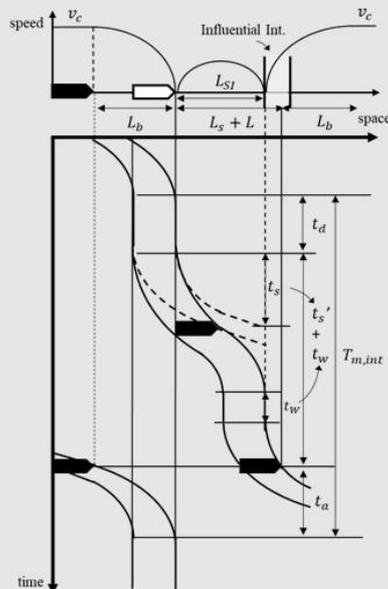
t_c = 清站時間 (秒)

Z_a = 列車不會排隊之機率下所對應的標準偏差

c_v = 停站變異係數

輕軌運輸系統容量相關研究

• 李明華碩士論文



$$T_{m,int} = t_s' + t_a + t_d$$

$$t_s' = \sqrt{\frac{2L_{SI}(a^+ + a^-)}{a^+ a^-}} + \sqrt{\frac{2(L_S + L - L_{SI})}{a^+}} + t_w$$

t_a = 後車進站時間 (秒)

t_d = 停站時間 (秒)

L_{SI} = 路口至月台的距離 (公尺)

L_S = 運轉安全間距 (公尺)

L = 列車長度 (公尺)

a^+ = 列車加速度 (公尺/秒²)

a^- = 列車減速度 (公尺/秒²)

t_w = 列車於路口的停等時間 (秒)

輕軌相關容量分析模式檢討

類型	文獻	檢討
公車 專用道	TCQSM	<ul style="list-style-type: none"> • 僅考慮中間車站 • 沒有列車折返行為 • 沒有考量優先號誌
	臺灣公路 容量手冊	<ul style="list-style-type: none"> • 個別獨立計算車站與路口之容量 • 沒有列車折返行為 • 沒有考量優先號誌
輕軌運輸 系統	TCQSM	<ul style="list-style-type: none"> • 以兩倍路口號誌週期為時隔下限過於保守 • 沒有考量優先號誌
	李明華 碩士論文	<ul style="list-style-type: none"> • 運轉時隔公式的推導上較為保守 • 缺少遠端設站情形

A型路權輕軌 容量分析模式



一般軌道容量之定義

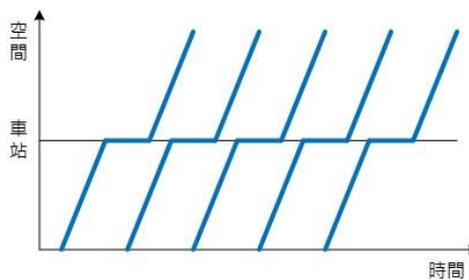
- 在某一特定的**運轉條件**之下，**單位時間**內通過路線上**某一點**的**最大客體數**

運轉條件

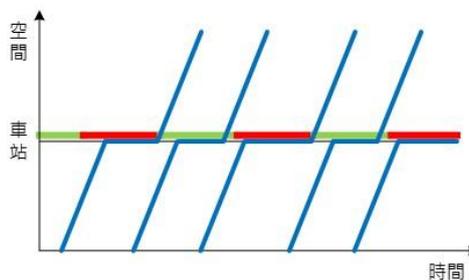
- 續行列車不受先行列車影響運行，但要考量路口號誌影響
- 亦即續行列車會與先行列車保持足夠的距離，即使先行列車停車（停站辦客或停等路口紅燈），也不會導致續行列車為了避免撞上先行列車，而必需跟著停車

A、B型路權輕軌容量之定義

- A型路權

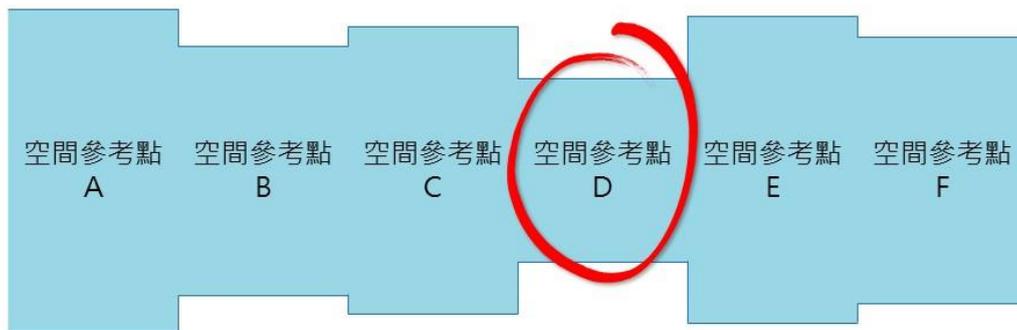


- B型路權



基本概念

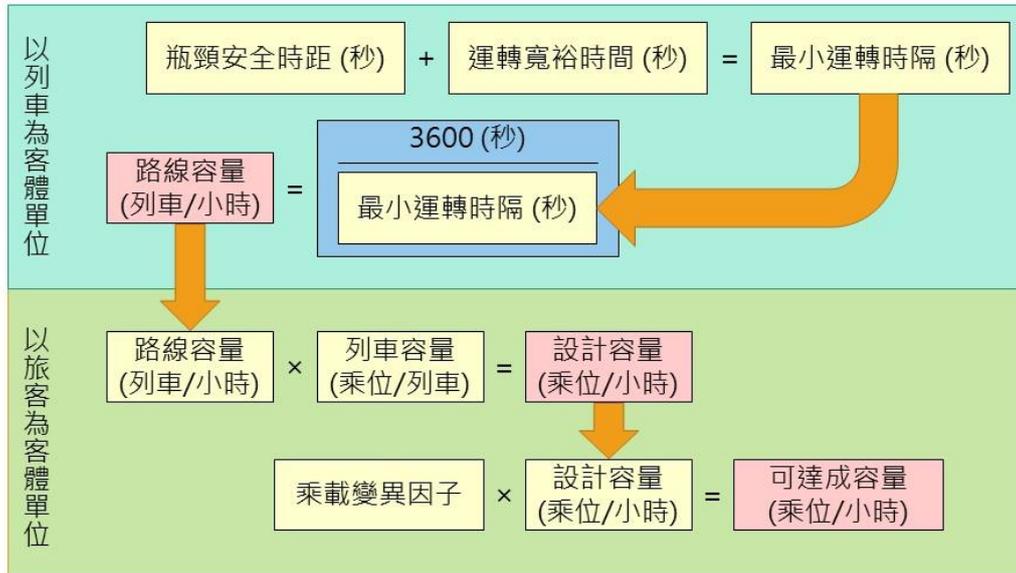
- 計算每個空間參考點之容量
- 容量最低處決定整條路線之容量



假設條件

- 每個空間參考點之容量計算僅考慮其範圍內之因素的影響
- 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
- 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
- B型路權之路線僅有縱向專有路權，列車運行至公路交叉路口處會受到路口號誌影響
- 採用性能完全相同或性能相近的列車來營運，沒有速度差異
- 列車採用站站皆停的營運模式，沒有跳蛙或追越待避的行為

整體架構



瓶頸安全時距種類



安全時距計算公式

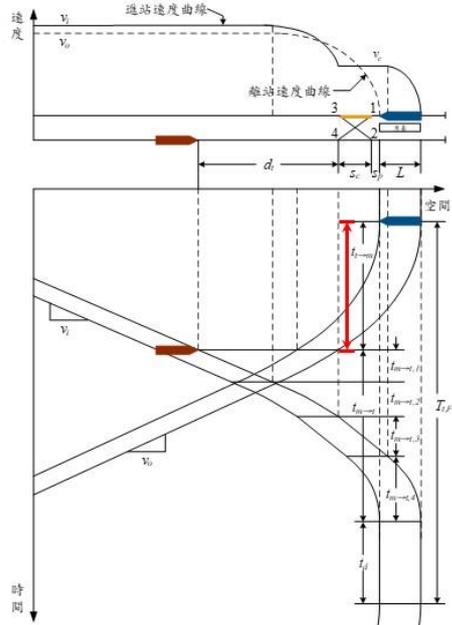
空間參考點	折返方式	使用股道	其他條件	安全時距公式
中間站	--	同一股道	--	$T_m = \frac{s_m + L}{v_i} + \frac{v_i}{K_b b} + t_d$
折返站	站前折返	同一股道	通過橫渡線區前已加速至巡航速度	$T_{t,F1} = \frac{v_o}{2K_a a} + \frac{s_p + s_c + L}{v_o} + \frac{d_t}{v_i} + \frac{v_i}{2K_b b} + \frac{s_c + s_p + L}{v_c} + \frac{v_c}{2K_b b} \left(\frac{v_c}{v_i} - 1 \right) + t_d$
			通過橫渡線區處於加速階段	$T_{t,F1} = \sqrt{\frac{2(s_p + s_c + L)}{K_a a}} + \frac{d_t}{v_i} + \frac{v_i}{2K_b b} + \frac{s_c + s_p + L}{v_c} + \frac{v_c}{2K_b b} \left(\frac{v_c}{v_i} - 1 \right) + t_d$
		不同股道	沒有直行橫渡線區的限速	$T_{t,F2} = t_i + \frac{v_c}{2K_a a} + \frac{s_p + s_c + L}{v_c} + \frac{d_t + s_c + s_p + L}{v_i} + \frac{v_i}{2K_b b} - \sqrt{\frac{2s_p}{K_b b}}$
			有直行橫渡線區的限速	$T_{t,F2} = t_i + \frac{v_c}{2K_a a} + \frac{s_p + s_c + L}{v_c} + \frac{d_t}{v_i} + \frac{v_i}{2K_b b} + \frac{s_c + s_p + L}{v_{cs}} + \frac{v_{cs}}{2K_b b} \left(\frac{v_{cs}}{v_i} - 1 \right) - \sqrt{\frac{2s_p}{K_b b}}$

安全時距計算公式

空間參考點	折返方式	使用股道	其他條件	安全時距公式
折返站	站後折返	同一股道	受直行橫渡線區限速影響	$T_{t,R1} = \frac{v_c}{2K_a a} + \frac{v_c}{2K_b b} + \frac{s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L}{v_c} - \sqrt{\frac{2s_{p,1}}{K_b b}} + t_i + \sqrt{\frac{2K_b b(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{K_a a(K_a a + K_a b)}} + \sqrt{\frac{2K_b b(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{K_a b(K_a a + K_a b)}} + t_d$
			不受直行橫渡線區限速影響	$T_{t,R1} = \frac{v_c}{2K_a a} + \frac{v_c}{2K_b b} + \frac{s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L}{v_c} - \sqrt{\frac{2s_{p,1}}{K_b b}} + t_i + \frac{s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L}{v_{cs}} + \frac{v_{cs}}{2K_a a} + \frac{v_{cs}}{2K_b b} + t_d$
		不同股道	受直行橫渡線區限速影響	$T_{t,R2} = \frac{v_c}{2K_a a} + \frac{v_c}{2K_b b} + \frac{s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L}{v_c} - \sqrt{\frac{2s_{p,1}}{K_b b}} - \sqrt{\frac{2s_{p,2}}{K_b b}} + 2t_i + \sqrt{\frac{2K_b b(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{K_a a(K_a a + K_a b)}} + \sqrt{\frac{2K_b b(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{K_a b(K_a a + K_a b)}}$
			不受直行橫渡線區限速影響	$T_{t,R2} = \frac{v_c}{2K_a a} + \frac{v_c}{2K_b b} + \frac{s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L}{v_c} - \sqrt{\frac{2s_{p,1}}{K_b b}} + 2t_i + \frac{s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L}{v_{cs}} + \frac{v_{cs}}{2K_a a} + \frac{v_{cs}}{2K_b b} - \sqrt{\frac{2s_{p,2}}{K_b b}}$

安全時距計算公式推導

• 以「站前折返 - 站內停靠同一股道」為例



$$T_{t,F1} = t_{t \rightarrow m} + t_{m \rightarrow t} + t_d$$

$$\text{if } s_p + s_c \geq \frac{v_o^2}{2K_a a}$$

$$t_{t \rightarrow m} = \frac{v_o}{K_a a} + \frac{s_p + s_c + L - \frac{v_o^2}{2K_a a}}{v_o}$$

$$= \frac{v_o}{2K_a a} + \frac{s_p + s_c + L}{v_o}$$

$t_{t \rightarrow m}$: 列車啟動離站至通過橫渡線區的運行時間 (s)

s_p : 列車於車站停車處至橫渡線之距離 (m)

s_c : 橫渡線區範圍 (m)

v_o : 列車離站後的巡航速度 (m/s)

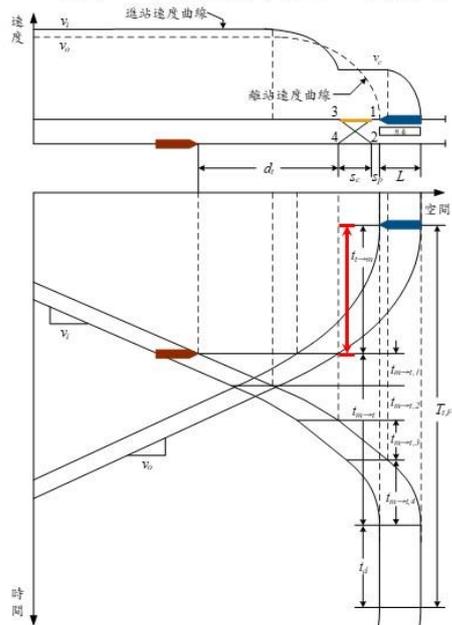
K_a : 列車加速率有效因子

a : 列車加速率 (m/s²)

L : 列車長度 (m)

安全時距計算公式推導

• 以「站前折返 - 站內停靠同一股道」為例



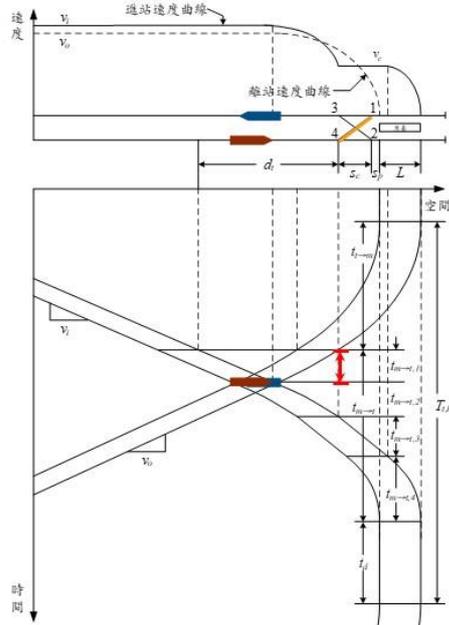
$$T_{t,F1} = t_{t \rightarrow m} + t_{m \rightarrow t} + t_d$$

$$\text{if } s_p + s_c < \frac{v_o^2}{2K_a a}$$

$$t_{t \rightarrow m} = \sqrt{\frac{2(s_p + s_c + L)}{K_a a}}$$

安全時距計算公式推導

• 以「站前折返 - 站內停靠同一股道」為例



$$T_{t,F1} = t_{t \rightarrow m} + t_{m \rightarrow t} + t_d$$

$$t_{m \rightarrow t} = t_{m \rightarrow t,1} + t_{m \rightarrow t,2} + t_{m \rightarrow t,3} + t_{m \rightarrow t,4}$$

$$t_{m \rightarrow t,1} = \frac{d_t - \frac{v_i^2 - v_c^2}{2K_b b}}{v_i} = \frac{d_t}{v_i} - \frac{v_i}{2K_b b} + \frac{v_c^2}{2K_b b v_i}$$

$t_{m \rightarrow t}$: 列車設定進路處至停靠車站的運行時間 (s)

$t_{m \rightarrow t,1}$: 列車以巡航速度等速運行時間 (s)

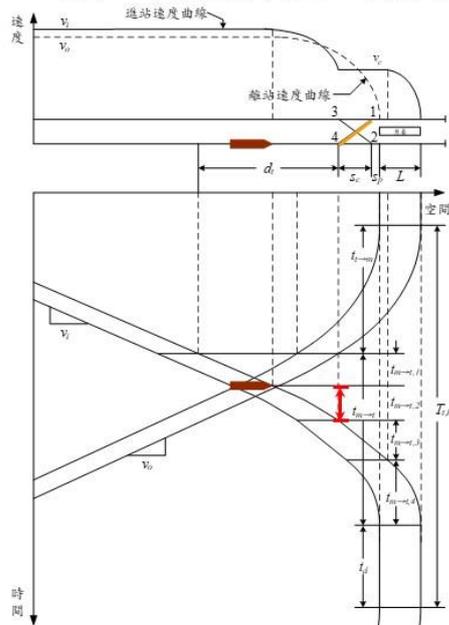
d_t : 列車設定進路處與橫渡線之距離 (m)

v_i : 列車進站前的巡航速度 (m/s)

v_c : 道岔限速 (m/s)

安全時距計算公式推導

• 以「站前折返 - 站內停靠同一股道」為例



$$T_{t,F1} = t_{t \rightarrow m} + t_{m \rightarrow t} + t_d$$

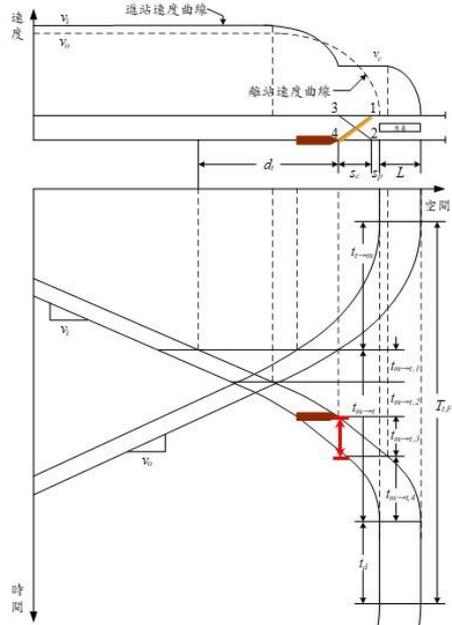
$$t_{m \rightarrow t} = t_{m \rightarrow t,1} + t_{m \rightarrow t,2} + t_{m \rightarrow t,3} + t_{m \rightarrow t,4}$$

$$t_{m \rightarrow t,2} = \frac{v_i - v_c}{K_b b}$$

$t_{m \rightarrow t,2}$: 列車從巡航速度減速至道岔限速的運行時間 (s)

安全時距計算公式推導

• 以「站前折返 - 站內停靠同一股道」為例



$$T_{t,F1} = t_{t \rightarrow m} + t_{m \rightarrow t} + t_d$$

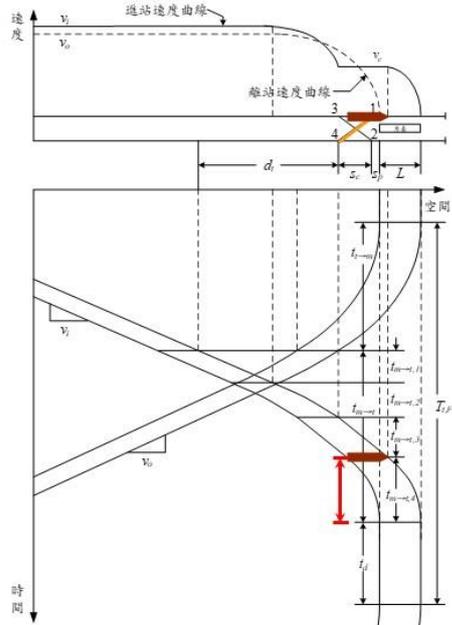
$$t_{m \rightarrow t} = t_{m \rightarrow t,1} + t_{m \rightarrow t,2} + t_{m \rightarrow t,3} + t_{m \rightarrow t,4}$$

$$t_{m \rightarrow t,3} = \frac{s_c + s_p + L - \frac{v_c^2}{2K_b b}}{v_c} - \frac{v_c}{2K_b b}$$

$t_{m \rightarrow t,3}$: 列車以道岔限速等速運行時間 (s)

安全時距計算公式推導

• 以「站前折返 - 站內停靠同一股道」為例



$$T_{t,F1} = t_{t \rightarrow m} + t_{m \rightarrow t} + t_d$$

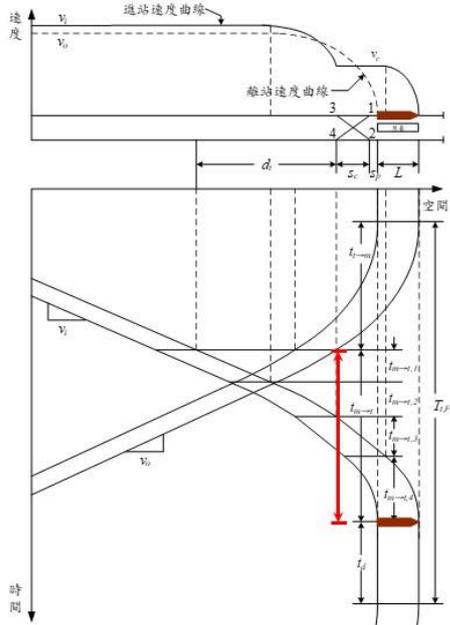
$$t_{m \rightarrow t} = t_{m \rightarrow t,1} + t_{m \rightarrow t,2} + t_{m \rightarrow t,3} + t_{m \rightarrow t,4}$$

$$t_{m \rightarrow t,4} = \frac{v_c}{K_b b}$$

$t_{m \rightarrow t,4}$: 列車從道岔限速煞車到停妥的運行時間 (s)

安全時距計算公式推導

• 以「站前折返 - 站內停靠同一股道」為例



$$T_{t,F1} = t_{t \rightarrow m} + t_{m \rightarrow t} + t_d$$

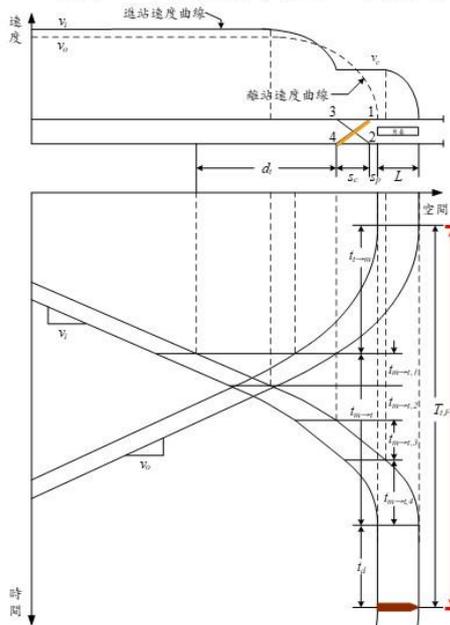
$$t_{m \rightarrow t} = t_{m \rightarrow t,1} + t_{m \rightarrow t,2} + t_{m \rightarrow t,3} + t_{m \rightarrow t,4}$$

$$= \frac{d_t}{v_i} - \frac{v_i}{2K_b b} + \frac{v_c^2}{2K_b b v_i} + \frac{v_i - v_c}{K_b b} + \frac{s_c + s_p + L}{v_c} - \frac{v_c}{2K_b b} + \frac{v_c}{K_b b}$$

$$= \frac{d_t}{v_i} + \frac{v_i}{2K_b b} + \frac{s_c + s_p + L}{v_c} + \frac{v_c}{2K_b b} \left(\frac{v_c}{v_i} - 1 \right)$$

安全時距計算公式推導

• 以「站前折返 - 站內停靠同一股道」為例



$$T_{t,F1} = t_{t \rightarrow m} + t_{m \rightarrow t} + t_d$$

$$\text{if } s_p + s_c \geq \frac{v_o^2}{2K_a a}$$

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

$$\text{if } s_p + s_c < \frac{v_o^2}{2K_a a}$$

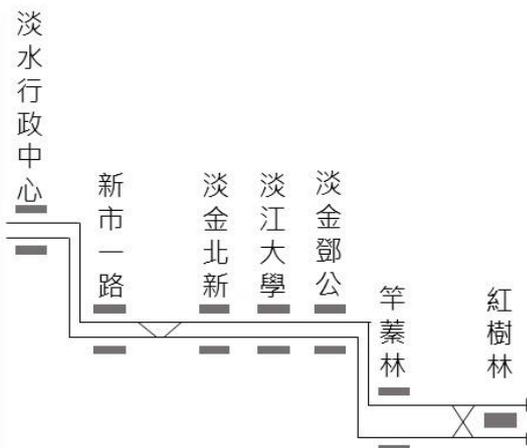
$$= \sqrt{\frac{2(s_p + s_c + L)}{K_a a}} + \frac{d_t}{v_i} + \frac{v_i}{2K_b b} + \frac{s_c + s_p + L}{v_c} + \frac{v_c}{2K_b b} \left(\frac{v_c}{v_i} - 1 \right) + t_d$$

案例分析



國內案例

- 容量分析
 - 分析對象：淡海輕軌紅樹林站 - 淡水行政中心站



國內案例

- 容量分析
 - 分析結果 - 往崁頂方向

空間參考點	運轉時隔 (s)	路線容量 (TU/h)	設計容量 (p/h)	可達成容量 (p/h)
紅樹林	350.45	10.27	2722	2042
竿蓁林	67.91	53.01	14047	10535
淡金鄧公	67.91	53.01	14047	10535
淡江大學	66.19	54.39	14413	10809
淡金北新	67.91	53.01	14047	10535
新市一路	64.66	55.67	14754	11065
淡水行政中心	63.44	56.75	15038	11279

國內案例

- 容量分析
 - 分析結果 - 往紅樹林方向

空間參考點	運轉時隔 (s)	路線容量 (TU/h)	設計容量 (p/h)	可達成容量 (p/h)
淡水行政中心	64.66	55.67	14754	11065
新市一路	71.70	50.21	13305	9978
淡金北新	64.66	55.67	14754	11065
淡江大學	73.71	48.84	12943	9707
淡金鄧公	67.91	53.01	14047	10535
竿蓁林	71.70	50.21	13305	9978
紅樹林	350.45	10.27	2722	2042

國內案例

- 敏感度分析

- 分析對象：紅樹林站
- 分析內容：針對以下參數變動 $\pm 20\%$ （第14項除外）

1. 列車長度	8. 停站時間
2. 啟動加速度	9. 列車於車站停車處至橫渡線之距離
3. 加速度有效因子	10. 橫渡線區範圍
4. 煞車減速度	11. 列車從設定路徑點至橫渡線之距離
5. 減速度有效因子	12. 斜進道岔限速
6. 離站後巡航速度	13. 運轉寬裕時間係數
7. 進站前巡航速度	14. 折返方式

國內案例

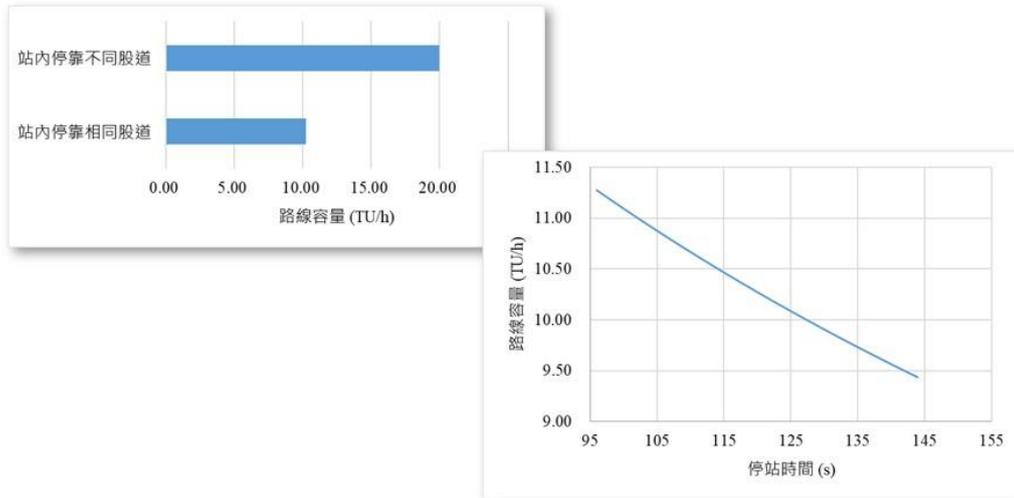
- 敏感度分析

- 分析結果

1. 列車長度	負相關	8. 停站時間	負相關
2. 啟動加速度	正相關	9. 列車於車站停車處至橫渡線之距離	負相關
3. 加速度有效因子	正相關	10. 橫渡線區範圍	負相關
4. 煞車減速度	正相關	11. 列車從設定路徑點至橫渡線之距離	負相關
5. 減速度有效因子	正相關	12. 斜進道岔限速	正相關
6. 離站後巡航速度	正相關	13. 運轉寬裕時間係數	負相關
7. 進站前巡航速度	正相關	14. 折返方式	--

國內案例

- 敏感度分析
 - 分析結果
 - 折返方式對容量的影響最大，其次是停站時間



國外案例

- 容量分析
 - 分析對象：德國卡爾斯魯爾城鐵 (Karlsruhe Stadtbahn)



車站名稱	類型
Karlsruhe-Durlach Bahnhof	中間站 - 兩岸壁式月臺
Durlach Hubstraße	中間站 - 兩岸壁式月臺
Grötzingen	中間站 - 兩岸壁式月臺

國外案例

- 容量分析
 - 分析結果 - 下行方向

空間參考點	運轉時隔 (s)	路線容量 (TU/h)	設計容量 (p/h)	可達成容量 (p/h)
Karlsruhe-Durlach	73.81	48.77	10876	8157
Durlach Hubstraße	36.42	98.85	22044	16533
Grötzingen	42.92	83.88	18706	14029

- 分析結果 - 上行方向

空間參考點	運轉時隔 (s)	路線容量 (TU/h)	設計容量 (p/h)	可達成容量 (p/h)
Grötzingen	60.81	59.20	13202	9901
Durlach Hubstraße	41.31	87.14	19433	14575
Karlsruhe-Durlach	68.92	52.24	11649	8737

國外案例

- 敏感度分析
 - 分析對象：Karlsruhe-Durlach 下行方向
 - 分析內容：針對以下參數變動 ±20%

1. 列車長度

2. 煞車減速度

3. 減速度有效因子

4. 進站前巡航速度

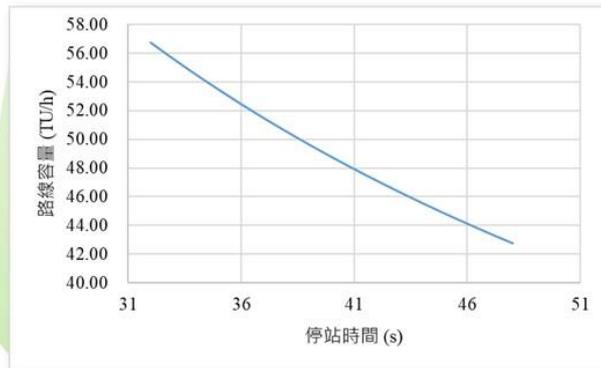
5. 停站時間

6. 運轉寬裕時間係數

國外案例

- 敏感度分析
 - 分析結果
 - 停站時間的變化對容量的影響最大

1. 列車長度	負相關
2. 煞車減速度	正相關
3. 減速度有效因子	正相關
4. 進站前巡航速度	負相關
5. 停站時間	負相關
6. 運轉寬裕時間係數	負相關



後續研究方向



後續研究方向

輕軌容量分析模式構建

- B型路權輕軌容量
- 考量路口號誌的影響

輕軌容量案例分析

- 國內 - 高雄捷運
- 國外 - 卡爾斯魯爾城鐵



簡報結束 誠摯感謝



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

附錄 G 期末學者專家座談會會議紀錄

「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」

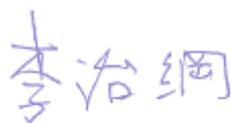
期末學者專家座談會議紀錄

一、時間：108 年 10 月 22 日(星期二)下午 2 時 00 分

二、地點：交通部運輸研究所 10 樓會議室

三、主持人：黃副所長新薰  紀錄：黃笙琄

四、出席單位及人員：

南台科技大學行銷與流通管理系李教授治綱 

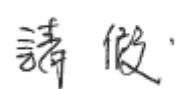
成功大學土木工程學系李教授宇欣 

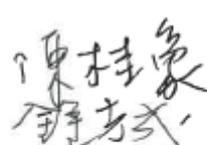
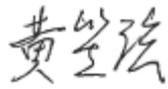
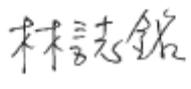
高雄市政府交通局鄭局長永祥 

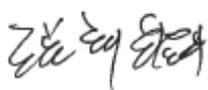
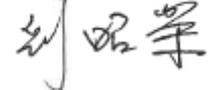
高雄市政府捷運工程局施總工程司熾熾 

交通部鐵道局工程管理組施副組長文雄 

臺灣高鐵公司陳協理信雄 

新北市政府捷運工程局鄭副總工程司智銘 

財團法人中興工程顧問社   

本所運計組   

五、主席致詞：(略)

六、簡報：(略)

七、出席人員發言要點：

(一) 南台科技大學行銷與流通管理系李教授治綱

1. 有關本容量模式之應用時機建議應先釐清，因其對未來的教育訓練與實務發展很重要，而且軌道系統於設計興建階段是容量分析之重要應用時機點，可以系統的觀點來規劃並評估軌道容量。

中興社回覆：將在期末報告內補充說明容量模式應用的時機。

2. 有關本研究計畫案發展的容量推導解析公式，建議應針對相關假設條件說明清楚，例如投影片中的列車時空圖所假設引用之牛頓運動定律，應配合公式列出說明。

中興社回覆：簡報資料為求簡潔，僅透過口頭說明，將來於期末報告內會說明模式的假設條件。

3. 有關公式中的運轉寬裕時間參數值係如何取得或推估建議，應於報告中說明清楚，另針對該參數數值於不同情境或系統時之差異性，亦應敘明。例如：列車停站之寬裕時間參數，應用於捷運系統與臺鐵系統時便不盡相同，故若運轉寬裕時間能明確反映隨機因子種類，將對模式後續應用有所幫助。

中興社回覆：目前寬裕時間是將所計算出的時距乘上一寬裕係數，其中寬裕係數已考量整體的隨機因素，包含了停站的寬裕、

時隔的寬裕等，於期末報告內會補充說明。

(二) 國立成功大學土木工程學系李教授宇欣

1. 目前研究計畫成果除已發展輕軌系統容量之計算公式，後續亦將針對號誌化路口於既有汽機車與行人車流狀況下，應用本輕軌容量模式評估如何調整號誌時制計畫以降低對輕軌容量之影響。

中興社回覆：本模式除了可以探討如何調整時制計畫來降低對輕軌容量的影響，亦可用來探討若完全不調整時制計畫，也就是說盡量不影響現行汽機車與行人的前提下，輕軌能夠提供多少運能。

2. 就一般輕軌系統的班距而言，若於一個綠燈時相內得以通過兩班輕軌，其意謂綠燈時相長度將高達 3~4 分鐘，因此絕大部分的輕軌系統都以一個綠燈時相內通過一班輕軌為原則，惟本研究之容量分析似在探討一個綠燈時相內最多能通過多少列車，但此情況實務上鮮少發生，故建議再考量分析邏輯。

中興社回覆：模式的發展必須考量到泛用性，若號誌週期較短時，也可能兩個週期才通過一列車，因此最後本研究計劃案歸納出以 m 個號誌週期數會通過 n 輛列車數來計算平均號誌時距。

3. 鑑於各路口皆為獨立路口，而根據容量公式之推導過程，若沒有寬裕時間的調整將會造成各路口輕軌班距不均勻的現象。此外，路口與路口間的號誌連鎖型態與車輛的行進速度有密切關係，故在汽車與輕軌行進速度不一致的情況下，如何處理各路口號誌連鎖對輕軌容量的影響，建議可列入後續研究課題。

中興社回覆：明年度的研究計畫預計針對連續區間的容量計算進行研析，屆時各路口的號誌時制、時差、續進等設定會做為模式的輸入，可較全面地分析整條路線的容量。

(三) 高雄市政府交通局鄭局長永祥

1. 目前在探討輕軌容量時，計算範圍皆以單一路口為主，因此在案例分析上會發現特定路口的通過容量有高估現象，建議後續分析輕軌容量應將連續路段各路口之互動影響納入分析，以貼近實務上路口號誌續進設計的作法。此外，建議後續亦應針對上游車流對於輕軌通過路口之干擾議題納入研析。

中興社回覆：本研究計畫有兩個年度，今年度著重於單一空間參考點的容量分析，對於上下游影響因素的考量，預計為明年度的研究內容。

2. 投影片 (p.10) 提到列車加減速率的有效因子，建議報告中應妥予說明。

中興社回覆：實務上，列車在營運時其加減速的曲線並非貼近設計速度上的曲線，因此需給予折減因子，其數值通常落介於 0.75 至 0.8 之間。

3. 在探討輕軌容量時，建議除應考慮營運路線末端站之運轉對容量影響，亦需將列車進出機廠對軌道容量的影響納入分析考慮。

中興社回覆：計算容量時通常只考慮正線上的容量，因此沒有將機廠之影響考慮進去。

4. 投影片 (p.43) 提及的列車之啟動加速率參數 (1.3 m/s^2) 與煞車加速率參數 (1.3 m/s^2) 是否正確，建議再檢核。

中興社回覆：已向高雄捷運確認過數值之正確性。

5. 有關幾何因素 (如正交與斜交) 對路口容量所造成的影響是否會列入考慮，建議應敘明。

中興社回覆：本模式並沒有直接考慮路口幾何因素，但路口幾何因素可能影響著號誌時制、列車運轉速限等，這些都是模式的參數，因此算是間接考量了幾何因素。

(四) 高雄市政府捷運工程局施總工嫩嫩 (含書面意見)

1. 簡報投影片 (p.44~p.47) 中 TU 係指 Tram Unit or Trams? 如係指 Trams，則投影片所呈現的容量分析結果恐過於樂觀；如

在無優先號誌與推導公式所需假設不明確的情況下，凱旋-瑞田路口每小時可達 57 輛列車，易造成誤解，故建議應針對數個路口之連續路段輕軌容量探討分析，而非只針對單一路口進行容量計算。

中興社回覆：TU 係指 Trams。另外由於本年度僅發展單一空間參考點的容量分析模式，沒有考量路線上下游的交互影響，因此分析結果較為樂觀，將會於期末報告中說明清楚，至於同時考量多個路口的容量分析，則為明年度的研究工作。

2. 目前針對容量分析似乎僅考慮號誌週期數與列車數，是否有考慮時相與時制、列車班距及乘客上下車的速度？請補充說明。

中興社回覆：本模式有根據時相與時制來判斷輕軌到達路口時是否會碰到紅燈，至於乘客上下車的速度則是透過停站時間參數的設定來反映其影響。

3. 簡報投影片 (p.3) 中，示意圖係屬近端設站？建議釐清。

中興社回覆：該示意圖為近端設站。

4. 簡報投影片 (p.14) 中， v_m 為何採列車從路口行駛至車站的最高運轉速度？此恐將造成安全時距不足之虞，建議釐清。

中興社回覆：為了安全上的考量，當 v_m 超過路線速限時，本模式在計算上僅會讓列車加速至路線速限，接著以該速限作等速

運轉，最後再減速停站。

5. 簡報投影片 (p.16) 中，公式內 t_v 係為等號右方那一項之表示內容，請說明。

中興社回覆： t_v 為右方的 $(S_m + L) / v_i$ 。

6. 簡報投影片 (p.16) 中， t_b 為列車從巡航速度煞車到靜止的運行時間，從圖示為何是 $(S_m + L) / v_i$ ？為何不採 S_b / v_i ？建議釐清。

中興社回覆：本模式假設列車從巡航速度煞車到靜止的運行過程為等減速運動，因此其時間的計算公式為 $v_i / K_b b$ 。

7. 簡報投影片 (p.16) 中，請說明圖內 2 個 S_b 之表示意義及數值是否相同？請補充說明。

中興社回覆：兩者的意義及數值均相同，一個在說明續行列車與先行列車所保持的距離，另一個在說明續行列車在煞車過程中的運行距離。

8. 簡報投影片 (p.28) 中， v_e 採列車往尾軌的最高運轉速度恐有安全時距不足之虞，為何採最高運轉速度？請說明。

中興社回覆：為了安全上的考量，當 v_e 超過道岔速限時，本模式在計算上僅會讓列車加速至道岔速限，接著以該速限作等速運轉，最後再減速停至尾軌。

(五) 交通部鐵道局工程管理組施副組長文雄

1. 高雄輕軌系統的容量瓶頸控制點位於末端折返點，雖然僅改善中間站容量對整體容量無法有效提升，然可藉由本研究瞭解哪些因素與限制條件可納入規劃設計階段進行考量。此外，建議後續報告中應針對可能改善容量的方法說明清楚。

中興社回覆：目前高雄輕軌之末端站為單股道折返，因此瓶頸便位於末端站；但若以雙股道折返來進行容量分析，則可能容量瓶頸便會移至中間站。因此本研究發展了諸多不同空間參考點之應用公式，以期於容量分析上更臻完備。

2. 實務上，軌道路線上的分歧站經常影響系統容量，如何避免分歧站成為容量瓶頸，並在增加輕軌容量的同時減少對平面道路交通的衝擊，從中取得平衡，應為後續重要研究課題。

中興社回覆：基本上，在計算路線分歧站的容量時，是以輕軌於路口行進之特定方向所佔號誌週期長度來切割，將會於期末報告說明。

3. 德國案例中所分析的路口皆為中間站，實質意義不大，建議應將其他參考點（如路線中的分歧點）納入分析。

中興社回覆：國外案例的資料來源是由目前正在德國念書的博士研究生進行現場調查，由於時間及資源有限，因此僅能針對

列車密度較高且恰好有 A 和 B 型路權的路線，蒐集相關資料來進行案例分析。

(六) 台灣高鐵公司陳協理信雄

1. 投影片 (p.44、p.46) 中的容量分析結果，於無優先號誌的情境下部分容量顯示為 0，其係代表沒有計算抑或有計算但容量為 0，建議應說明。

中興社回覆：部分路口在沒有優先號誌的情形下，並無法提供輕軌列車通過的綠燈時相，因此當下的輕軌路線容量即為 0。

在期末報告中將會把「0」換成「-」，並予以說明，以減少誤解。

2. 有關本研究計畫案所提及「獨立路口」、「路線容量」之定義，建議應說明清楚。

中興社回覆：獨立路口為路口前後皆沒有設置車站的路口，路線容量為每小時能通過空間參考點的列車數，將於期末報告中說明請楚。

3. 建議後續可分析探討如何提升折返站容量及有無優先號誌對於容量的影響。

中興社回覆：本研究將會透過敏感度分析來探討如何提升折返站的容量。

4. 在現有都市環境中，考量輕軌系統布設所需路權寬度，其營運

路線通常布設於都市主幹道，因此路口號誌的連鎖則顯得重要，建議後續可針對主幹道號誌有無連鎖之情境納入分析。

中興社回覆：今年度的容量模式僅針對單一空間參考點進行分析，故對於幹道上號誌連鎖之情境，還有待明年度發展連續區間的容量分析模式後再進行探討。

(七) 交通部運輸研究所運輸計畫組張組長舜淵

1. 在系統規劃階段常因無路口號誌資料，以致無法進行容量分析，故如何於規劃階段評估整體軌道容量，將是一重要課題。

中興社回覆：雖然在輕軌系統規劃階段還不會進行路口號誌時制設計，但至少要有現況的時制計畫，或參考當地一般道路的號誌時制，可作為本模式的參數來評估容量。

2. 建議應針對容量模式中的相關假設及應用時機妥予敘明，以利後續實務應用。

中興社回覆：簡報資料為求簡潔，僅透過口頭說明，將來於期末報告內會說明公式推導所需假設條件。

(八) 主席結論

1. 有關與會各委員所提意見，請合作團隊審慎檢討分析，並納入期末報告中呈現研究成果。

八、散會

附錄 H 期末審查意見處理情形及簡報

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
南台科技大學 行銷與 流通管 理系李 教授治 綱	本計畫之研究分析內容嚴謹與詳細，成果豐富。	感謝審查委員之肯定。	--
	有關國內高雄與淡水輕軌系統之案例分析，已可反映模式實務應用之價值。	感謝審查委員之肯定。	--
	P1-1 研究緣起及第七章結論內容部分，建議可再強調路線容量分析之重要性，以凸顯國內軌道建設過度投資或設計不足之實例(例如：文湖線、桃園機場捷運線等)，並強調系統整合管理之重要性，以導正我國軌道計畫之規劃設計作業。	依審查意見於 1.1 節舉例說明。	已於定案 報告中修 正
	P1-3 有關輕軌系統的定義，建議直接闡明，毋須於第二章再作介紹。另有關於本頁「…，如圖 1-2 所示，也就是探討『軌道行車設備的最大輸送能力』，而非整個軌道運輸系統的容量…」等相關內容，易生混淆，建議調整。	將於 1.3 節說明輕軌系統之定義，但第二章仍保留輕軌相關定義回顧與國內輕軌發展介紹。另外，也依審查意見調整字句內容，以避免產生混淆。	已於定案 報告中修 正
	P3-9 有關 A、B 型輕軌之運轉寬裕時間是否皆要設定一樣，應可列為後續探討議題。	依審查意見，將此議題列入 7.2 節後續研究建議中。	已於定案 報告中修 正
	P4-2 有關每一站之「列車進站前的巡航速度(v_i)」於實例中皆不同，其影響因素為何？該如何定義及應用？後續皆宜釐清。	列車的巡航速度為不計離站加速及進站減速階段之平均速度，受到列車性能與路線之影響，其計算方式於容量手冊中有詳細說明，此外亦可以最大容許速度的 70%~90%估算之，將於 4.1 節中補充說明。	已於定案 報告中修 正暨說明

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
南台科技大學 行銷與 流通管 理系李 教授治 綱	P4-5 列車折返與停站時間是影響容量最關鍵因素，亦即模式之「列車在末端站折返的停靠時間(t_d)」變數，建議本研究應確實釐清。	列車於末端站的停靠時間確實與中間站所有不同，將於 4.2.1 節中補充說明之。	已於定案報告中修正說明
	P4-19 有關單線區間安全時距之計算是依據參考區間而定，必須先計算單線區間內的運轉時間，建議可補充說明係如何估算。	本研究著重於容量之計算，尚未探討運轉時間之估算，將列於後續研究建議之中。	已於定案報告中修正說明
	P6-3 有關淡海輕軌各站之站前巡航速度皆不同，建議可補充說明在不同階段之站前巡航速度係如何估算決定。	該案例的站前巡航速度為實際搭乘量測而得，將依審查意見補充說明之。	已於定案報告中修正說明
	P6-12 淡海輕軌案例容量分析實證結果顯示，紅樹林車站若以同一股道折返，則其容量僅剩 1/2，爰在基本設計作業時可藉敏感性分析瞭解其差異影響。另敏感性分析若只看正、負相關結果，似難說明其敏感程度，建議可依敏感程度結果訂定彈性指標供參。	將引述經濟學中的彈性 (Elasticity) 觀念，比較各影響因素對容量的影響程度，相關結果補充於 6.1.3、6.2.3 和 6.3.3 節中。	已於定案報告中修正
高雄市 政府交 通局鄭 局長永 祥(書 面意 見)	有關運轉寬裕時間的設定與說明是否應更清楚?請補充說明。	遵照辦理，補充說明於第 3.3 節。	已於定案報告中修正
	有關承載變異因子如何設定?建議應補充說明。	遵照辦理，補充說明於第 3.3 節。	已於定案報告中修正
	本計畫之研究目的為:發展輕軌系統容量分析技術，以利輕軌計畫於規劃、設計及營運各階段之決策參考應用。建議可否請詳細說明本計畫之成果如何應用於規劃、設計及營運各階段之決策。	遵照辦理，補充說明於第 3.4 節。	已於定案報告中修正說明

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
高雄市政府 交通局鄭 局長永 祥(書 面意 見)	建議 B 型路權中有關近端設站、遠端設站之不同交錯方式是否也能在模式中被考量。	今年度係針對單一空間參考點發展容量分析模式，其中 B 型路權有包含近端設站和遠端設站兩種情況，至於路線中兩種車站交錯設置的情況，有待後續發展連續區段容量分析模式時再行考量。	同意承辦單位之說明
	簡報 25 頁為何不同方向的輕軌綠燈時相時間一個為正相關、一個為負相關，請說明其差異理由。	其原因在於下行方向是近端設站，而上行方向是遠端設站，因此有不同的分析結果，於報告 6.3.3 節中補充說明。	已於定案報告中修正說明
	結論中提到：輕軌綠燈時相時間增加的幅度必須足夠才會對容量提升有幫助，請問其幅度應為多少才有幫助？其根本的原因為何？	列車雖然可在綠燈期間連續通過路口，但列車間必須保持一定安全時距，因此勢必最後會有一列車無法在綠燈結束前通過路口，倘若綠燈增加的幅度仍然不夠讓最後這列車通過，則無法提升容量，唯有將綠燈時間增加到足以讓最後這列車通過，才會對容量提升有幫助。	同意承辦單位之說明
	結論中提到：適當地採用優先號誌策略對容量有正面的影響，何謂適當的優先號誌策略，建議應補充說明。	所謂適當地採用優先號誌策略，例如在在沒有輕軌綠燈時相的地方，應採用插入綠燈的優先號誌策略，否則輕軌無法通行，補充說明於 7.1 節。	已於定案報告中修正說明
高雄市政府捷 運工程 局施總 工程司 嫩嫩	本研究已完成第 1 年期(108 年)工作項目，所提出之具體周延成果可與高雄輕軌實務案例相契合。	感謝審查委員之肯定。	--

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
高雄市 政府捷 運工程 局施總 工程司 嫩嫩	就國內淡海輕軌及高雄輕軌案例所進行之敏感度分析，其結果應可供地方輕軌及交通主管機關作為提升運能及研議號誌時誌計畫之參考依循。	感謝審查委員之肯定。	--
	為提高本研究模式之實用性，建議後續應開發相關的電腦程式。	依審查意見，將此建議列入7.2節後續研究建議中。	已於定案報告中修正說明
	輕軌運行須考量優先號誌運作，建議應朝採用模擬模式方向進行。	依審查意見，將此建議列入7.2節後續研究建議中。	已於定案報告中修正說明
	本研究後續若朝C型路權容量發展，建議與供電系統能力相結合，才能充分反映其真實容量。	供電系統能力比較屬於是系統技術面和工程面的問題，而有關未來是否要辦理C型輕軌容量及研究計畫，目前尚未定論，將於下年度計畫之學者專家座談會中再提出討論。	同意承辦單位之說明
交通部 鐵道局 營運監 理組施 副組長 文雄	本研究所建構之整體分析模式，確實可運用於國內外案例並證實其實用性。	感謝審查委員之肯定。	--
	為利同時兼顧道路與輕軌系統之服務水準，建議後續應加強本研究之容量分析工具運用在新推動輕軌系統計畫之容量檢視，另透過優先號誌雖可增加輕軌列車綠燈時相使容量大幅提升，但卻降低道路車流之時相，建議報告中宜有說明如何抉擇處理上述問題。	預計明年度研究將會開發分析軟體並辦理教育訓練，以加強本研究之容量分析工具運用。另有輕軌容量與道路車流之取捨問題，本模式以號誌時制作為雙方溝通的橋樑，在號誌時制符合公路服務水準的要求下，本模式可分析輕軌的運能；另一方面，本模式也可依期望的輕軌容量提供號誌時制計畫之建議，讓公路探討是否符合服務水準的要求，相關應用補充說明於3.4節。	已於定案報告中修正說明

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
交通部 鐵道局 營運監 理組施 副組長 文雄	本研究於德國案例中雖有整條輕軌路線之容量案例分析，但其中 Grötzingen 車站為分歧站之佈設，鑑於國內未來基隆輕軌系統將會有平面交叉之分歧站佈設，為利後續輕軌計畫推動參考，故有關輕軌系統各種分歧站、折返站之運行方式及各種參數敏感度對其整體路線容量之影響程度，建議應有更進一步之分析說明。	有關折返站之運行方式及各種參數敏感度對容量之影響程度已於 6.1.3 節進行分析說明。至於分歧站，由於分歧站位於路口處，而路口處通常會設置號誌，並且以不同時相讓不同方向的輕軌通過，此時容量主要受到路口號誌時制的影響所決定，其容量分析方式便會如同受路口影響的中間站一樣，將補充說明於 3.1.3 節。	已於定案 報告中修 正說明
	有關德國案例中輕軌紅燈、綠燈時相時間對 Weinweg 車站之容量降低影響特別明顯，且於下行方向的輕軌綠燈時相增長到約 46 秒時，因足以讓輕軌多通過一列車而有容量躍升的現象，相較於國內輕軌案例實屬特殊，建議宜加強說明。	遵照辦理，於 6.3.3 節加強說明之。	已於定案 報告中修 正說明
台灣高 速鐵路 股份有 限公司 陳協理 信雄	本報告書內容已符合計畫書之工作項目需求，值得肯定。。	感謝審查委員之肯定。	--
	P1-3 建議修改圖 1-2 之箭頭樣式，與 PPT 簡報相同即可。	由於報告以黑白印刷，因此需以不同樣式辨別兩種箭頭的差異。	已於定案 報告中修 正
	P2-9 表 2.1 之「行車控制與號誌系統」建議改為「行車控制及保安設施」，以與表中內容相符。	經檢視，該欄提及之設備包含號誌系統和保安設施，故欄名改為「行車控制及相關設備」	已於定案 報告中修 正
	P2-31 有關圖 2-20 所示 2 張股道配置圖之路線方案名稱，建議依據共用或獨立系統分別於圖中標示清楚。	此兩張配置圖為八堵至基隆可採用單線或雙線營運，於該圖註解中補充說明。	已於定案 報告中補 充說明
	建議在案例分析增加有關運轉寬裕時間係數之敏感度分析。	遵照辦理。	已於定案 報告中修 正補充

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
台灣高速鐵路	有關德國卡爾斯魯爾城鐵案例，敏感度分析中輕軌綠燈時相時間參數對Weinweg車站上、下行容量之影響呈現相反關係，其原因是否為上、下行最小班距不同所致，建議報告中應分析說明。	該分析於上、下行呈現不同結果，主要原因在於下行方向是近端設站，而上行方向是遠端設站，於報告 6.3.3 節中補充說明。	已於定案報告中修正說明
股份有限公司 陳協理 信雄	P7-2 有關結論 5-(4)中提及近端設站和遠短設站對輕軌容量的影響不大之相關結論，但後又論述近端設站比較容易透過優先號誌策略或調整輕軌綠燈時相時間來提升容量，惟報告前面章節似未針對上述議題進行分析，建議應再補充相關分析論述。	有關近端設站和遠短設站對輕軌容量的影響不大，相關論述補充說明於 6.3.2 節。有關近端設站比較容易透過優先號誌策略或調整輕軌綠燈時相時間來提升容量，相關論述補充說明於 6.3.3 節。	已於定案報告中修正說明
高雄市政府 交通局 (書面 意見)	本市輕軌二階路線可共用路口設計，除採綠燈延長、紅燈截短外，另於站內規劃設置預告號誌，於路口可通行時間開始再通知列車出發，建議後續可針對號誌對路線容量之影響議題，列入討論。	本研究已將路口號誌對路線容量之影響納入考慮。	已於定案報告中納入分析
本所運 計組張 組長舜 淵	目前所提輕軌系統容量之分析基本上與道路交通量無太大關聯，輕軌容量主要取決於紅燈、綠燈時間之設定，惟在規劃階段尚未進行路口號誌之設計，必須依交通量預測結果進行號誌時制之規劃，故建議本研究於規劃階段必須有與道路交通量及號誌時相設定關聯之不同分析模式，以利後續輕軌容量分析。	在規劃階段，本模式所需之號誌時制相關資料可參考原路口時制計畫現況，或參考當地一般道路的號誌時制，若要交通量預測結果進行號誌時制之規劃，運研所過去亦有研究提出號誌時制計畫標準作業程序，可根據交通量制定時制計畫，將於 3.4 節補充相關文獻與說明。	已於定案報告中修正說明
	為因應未來可能之單線雙向輕軌運轉型態，有關其容量分析模式應如何處理，建議可及早因應。	有關單線雙向營運之輕軌容量分析，其安全時距之計算公式詳見 4.3 節。	已於定案報告中修正說明

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
本所運 計組張 組長舜 淵	案例分析之目的不是在找出容量結果，而是要提供各種運轉型態下之容量分析技術，故建議報告中應有相關之分析操作說明。	有關容量分析之操作流程已經說明於 3.3 節，而相關計算公式則說明於第 4、5 章，若針對每個案例逐一說明每個空間參考點之計算過程，將篇幅將相當繁多，但有鑑於各個空間參考點之計算步驟皆大同小異，僅以淡海輕軌紅樹林站為例，於附錄中補充說明其分析過程。	已於定案報告中補充說明
	有關案例分析結果部分，建議應補充後續應用及改善策略之相關內容，以利使用者參考。	有關案例之後續應用及改善策略等相關內容，說明於第七章中。	已於定案報告中補充說明
	有關報告中之敏感度分析內容，並非只呈現分析結果，建議應補充分析操作細節，以利使用者參考。	敏感度分析的計算相當繁複，計算量也相當龐大，僅以淡海輕軌紅樹林站的列車長度參數為例，於附錄中補充說明其分析操作細節。	已於定案報告中補充說明
	有關歷次專家學者會議所提之意見，建議應補充回應內容。	兩次專家學者會議之意見回覆補充於附錄中。	已於定案報告中回覆說明
本所運 計組 (書面 意見)	P2-26 圖 2-16 之時相 1 與時相 2 之動線似乎是完全一樣，是否有誤，請檢核修正。	該圖有誤，已修正。	已於定案報告中修正
	P2-46 式(2.5)中並無 C_p 、 X_i 、 N_{sp} 等項，請檢核是否刪除或補充說明。	依審查意見刪除之。	已於定案報告中修正
	P3-4 有關圖 3-6、圖 3-7 中之各列車，建議於圖示中加入編號，俾利瞭解各列車運行之順序。	遵照辦理。	已於定案報告中修正
	P3-2 紅燈、綠燈之圖示錯置，請修正。	已修正。	已於定案報告中修正

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
	P4-2 有關 S_b =列車從巡航速度煞車到靜止所運行的距離，是否一定要大於 (S_m+L) ？抑或 $S_b=S_m+L$ ？另圖 4-1 中左邊之 S_b 與右邊之 S_b 是否一定相等，建議報告中應就其定義敘明。	依審查意見，於圖 4-1 中增加註解說明。	已於定案報告中補充說明
本所運 計組 (書面 意見)	P4-18 有關式(4.34)為何要減掉 $t_{b,s}$ ，此係為第幾部列車重複之時間，建議補充說明。	該項為第二列車車尾經過橫渡線至停妥於尾軌的運行時間，依審查意見，於 4.2.4 節補充說明之。	已於定案報告中補充說明
	P4-19 有關(4.38)中之 $t_{s,M}$ 是如何計算，建議補充說明。另有關單線雙向運轉之輕軌容量分析議題，雖然目前國內的輕軌系統皆沒有採用單線雙向運轉，但國外有極少數的案例，因此建議仍盡可能根據單線雙向運轉的情境推導其安全時距的計算公式，按照容量分析的架構計算出容量，俾利後續參採。	遵照辦理，於 4.3 節中補充相關計算公式。	已於定案報告中補充說明
	P5-3 有關 t_{DP} 之定義：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最小時間間隔(秒)，建議修正為…啟動「到達」路口…，較為適宜。	依審查意見修正之。	已於定案報告中補充說明
	P5-4 式(5.4)內容錯置，請修正。	已修正。	已於定案報告中修正
	P5-11 有關 5.3 節內容，建議應先分為「站前折返」與「站後折返」二小節，各小節再分別探討「使用相同股道折返」與「使用不同股道折返」二種情境，再分別探討列車通過橫渡線是否已加速至巡航速度情境，如此結構式呈現本節之內容較完整。	由於「站前折返」和「站後折返」的演算邏輯相同，若分為兩節，則內容將會重複，因此建議維持現行章節架構。	同意承辦單位之說明

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
本所運 計組 (書面 意見)	P5-12 有關 5.3.1 節「使用相同股道折返」之兩種運行型態，其運算屬性邏輯與計算結果有何差異，建議補充說明。	列車進出末端站時皆有可能碰到紅燈，因此運行型態有兩種可能：(1)列車進入末端站時碰到紅燈，(2)列車離開末端站時碰到紅燈，兩者計算結果會受到路線條件、交通條件，和運轉條件的不同而異，取較大者作為該空間參考點的平均安全時距，補充說明於 5.3.1 節。	已於定案報告中補充說明
	建議第 3~5 章各章最後一頁皆可彙整該章各種情境策略模式之運算式，以利查閱參考。	第 3 章並沒有不同情境之運算式，而第 4、5 章的各種運算式分別彙整於 4.4 節和 5.4 節。	已於定案報告中修正
	因本報告之容量運算式甚多，建議可於附錄中增加所有變數及參數之清單及其定義說明，以利參閱。	遵照辦理。	已於定案報告中補充說明
	P6-1 之 6.1 節僅分析淡海輕軌系統 V01~V07 站之 A 型路權容量，未分析已通車之 V08~V11 站之 B 型路權容量，建議報告中補充說明，以利比較。	遵照辦理，補充淡海輕軌 V08~V11 站之容量分析。	已於定案報告中修正補充
	有關淡海輕軌及高雄輕軌系統之案例，其末端站皆為「站前折返」，為利比較其路線容量之改善策略，是否可於敏感度分析內容中多一種「站後折返方式」之案例分析，請考量。	站前折返和站後折返所需的參數差異甚多，且目前並無站後折返所需的各項參數，若以假設值進行分析亦失去比較意義，因此還有待未來出現站後折返的實際案例後，再來進行分析比較。	同意承辦單位之說明
	P6-11 道岔限速與容量應為非線性「正」相關，而非「負」相關，請修正。	已修正。	已於定案報告中修正

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
本所運 計組 (書面 意見)	P6-12 圖 6-14 及 P6-22 圖 6-18 之兩種折返方式之路線容量，建議標示出明確容量數字，俾利參考比較。	遵照辦理。	已於定案 報告中修 正
	P6-18 有無優先號誌似乎對大部分車站之路線容量值影響不大，建議應分析其原因。	大多設有優先號誌的地方，都有因優先號誌而提升容量，補充說明於 6.2.2 節。	已於定案 報告中補 充說明
	P6-20 相較於 A 型路權淡海輕軌之各個參數變動都會對容量造成影響，6.2.3 節 B 型路權高雄輕軌之敏感度分析，大部分參數之變動都無法對容量造成影響，建議分析其原因。	主要原因是這些參數變化無法改變號誌週期長度，也無法改變號誌週期內所能通過的列車數，於報告 6.2.3 節中補充說明。	已於定案 報告中補 充說明
	P6-22 經由本節之分析，除了所提輕軌紅燈及綠燈時相時間、折返方式外，是否可提出有效提升路線容量的方法，例如：號誌連鎖或輕軌列車續進之可能性作法，或藉由案例敏感度分析歸納找出影響輕軌路線容量之最關鍵參數？	6.2.3 節已經將所有模式中考量的因素都進行敏感度分析，結果顯示折返方式是影響容量最關鍵的參數，其次是路口號誌時制。至於號誌連鎖或輕軌列車續進等，牽涉連續區段之容量分析，將列入 7.2 節後續研究建議中。	已於定案 報告中補 充說明
	P6-26 表 6.24 之 Weinweg、Durlach Hubstraße、Grötzingen 等 3 站於上、下行之「運轉時隔」差異甚多，應分析其可能原因。	Weinweg 於上、下行之運轉時隔並無差異，至於其餘兩站，Durlach Hubstraße 可能因為巡航速度不同；而 Grötzingen 則為停站時間不同，因此上、下行之運轉時隔有差異，於報告 6.3.2 節中補充說明。	已於定案 報告中補 充說明
	P6-29 德國案例於下行方向，綠燈時相時間與容量呈現正相關，上行方向則持續呈現非線性負相關，建議應分析其原因。	下行與上行方向呈現不同結果，主要原因在於下行方向是近端設站，而上行方向是遠端設站，於報告中補充說明。	已於定案 報告中補 充說明

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
本所運 計組 (書面 意見)	P7-3 有關後續研究建議第 4 點，鑑於優先號誌可分為絕對優先和相對優先兩種，而輕軌列車僅有相對優先通過權，只有在必要時才會觸動優先號誌機制，但同時又須滿足橫交道路的最短綠燈時間以及最長紅燈時間等限制，由於解析模式不易考慮這些細節，故本模式係如何根據各種優先號誌策略來提供輕軌足夠通行時間，以計算優先號誌影響下的 B 型路權輕軌容量至為關鍵，建議可於報告中補充詳述。	遵照辦理。	已於定案 報告中補 充說明
	P7-3 第 6 點第 1 行文字，建議修正為「…國內尚無 C 型路權輕軌系統之營運實績，…」。	依審查意見修正之。	已於定案 報告中修 正補充
主席結 論	目前國內輕軌系統因班次不密，故尚未有容量瓶頸問題，惟未來若輕軌容量不足時，其與道路交通服務水準究應如何整體考量處理，建議可納入明(109)年度計畫中研究分析。	遵照辦理，補充於 7.2 節後續研究建議中。	已於定案 報告中修 正補充
	有關 C 型輕軌容量及研究計畫是否需辦理之議題，可於明(109)年度計畫之學者專家座談會中再提出討論。	遵照辦理。	後續納入 辦理
	有關單線雙向輕軌系統之容量議題，請規劃單位考量設計分析案例並補充分析內容，以利後續國內推動之參採。	由於國內沒有單線運轉之輕軌系統，本研究將以淡海輕軌降級運轉為例，於 6.1.4 節補充相關分析。	已於定案 報告中補 充分析
	本期末報告審查原則通過，本會議各與會學者專家及代表所提意見，請研究團隊充分考量納入報告修正及列表回應，並於 12 月 18 日前提送期末報告修正定稿，俾利辦理後續驗收事宜。	遵照辦理，並感謝諸位審查委員之肯定。	已依時限 辦理完成 相關作業



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 期末審查簡報

簡報人：黃筌玳 研究員

 財團法人中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.
中華民國一〇八年十二月二日

簡報大綱

計畫背景概述

A、B型路權輕軌容量分析模式

案例分析

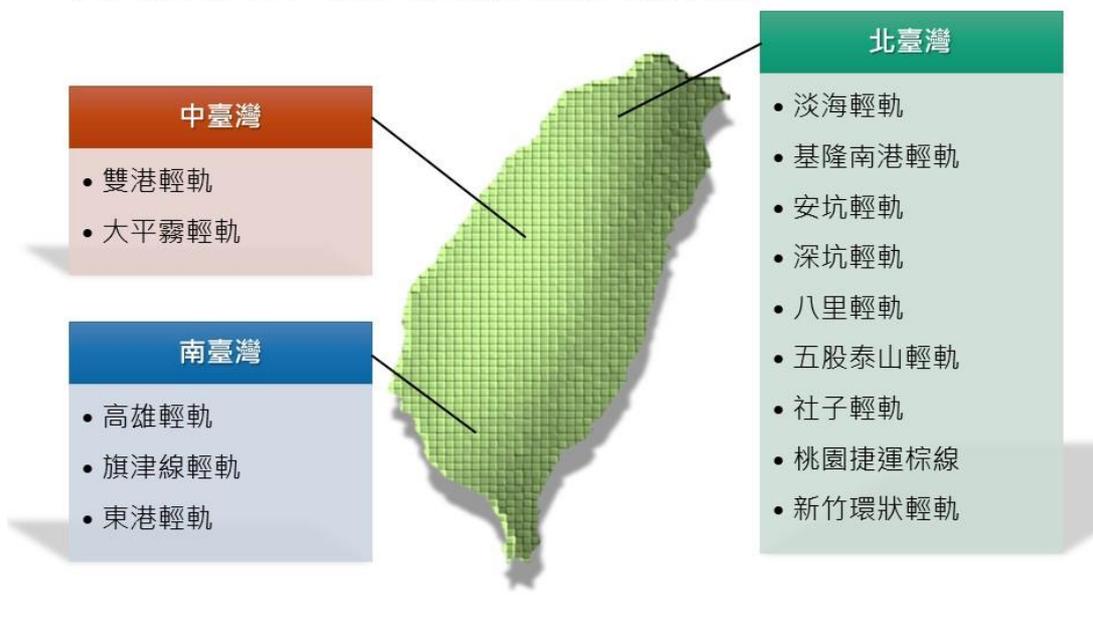
結論與建議

計畫背景概述



研究緣起

- 國內各都會區積極推動輕軌運輸系統



研究緣起

- 國內軌道容量研究的發展

傳統暨區域鐵路系統

都會捷運系統

輕軌運輸系統

研究目的

發展輕軌系統容量分析技術，以利輕軌計畫於規劃、設計及營運各階段之決策參考應用

全程計畫概要

輕軌系統容量分析暨應用研究

第一年度

- 輕軌相關文獻回顧
- A、B型路權輕軌之容量分析模式構建
- A、B型路權輕軌容量案例驗證分析

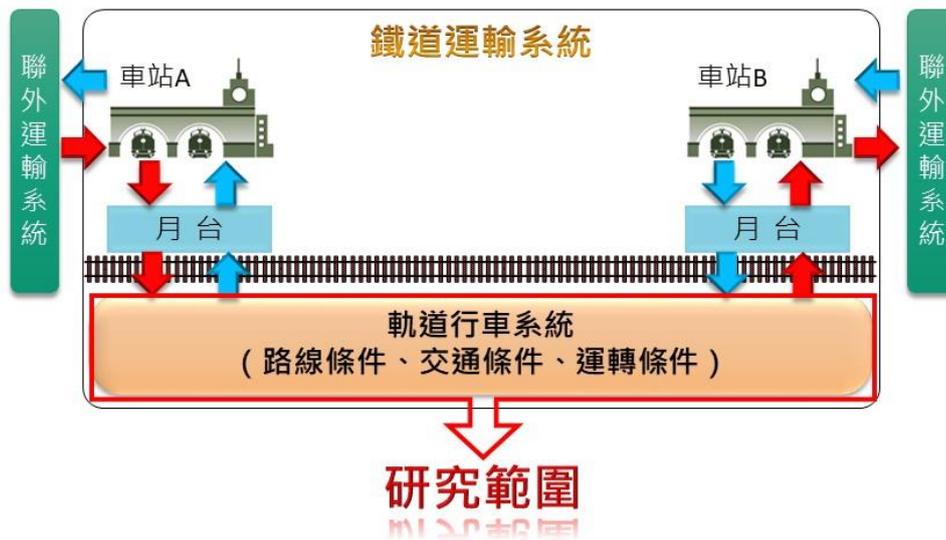
第二年度

- A、B型路權連續路段之輕軌容量及可靠度分析模式構建
- 輕軌容量及可靠度分析軟體開發
- 臺灣鐵道容量手冊擴充編訂及辦理教育訓練

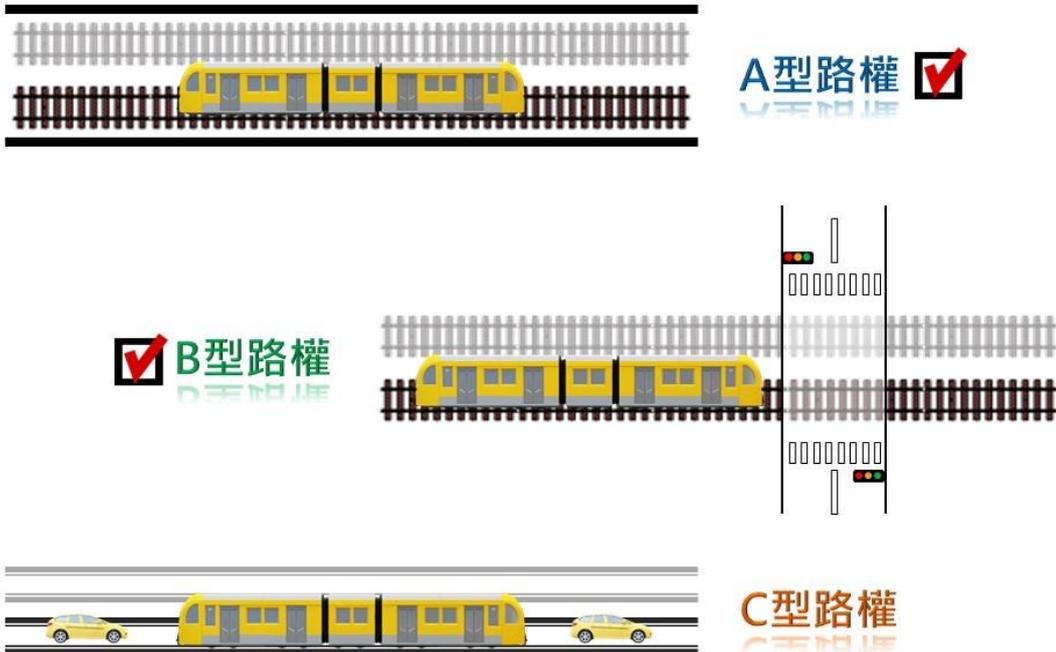
研究對象



研究範圍



研究範圍



研究流程



A、B型路權 輕軌容量分析模式



一般軌道容量之定義

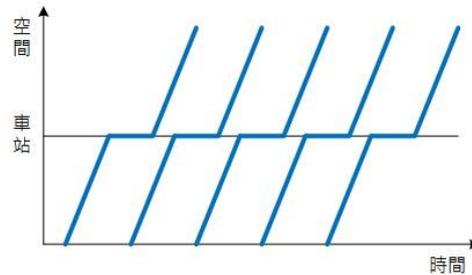
- 在某一特定的**運轉條件**之下，**單位時間**內通過路線上**某一點**的**最大客體數**

運轉條件

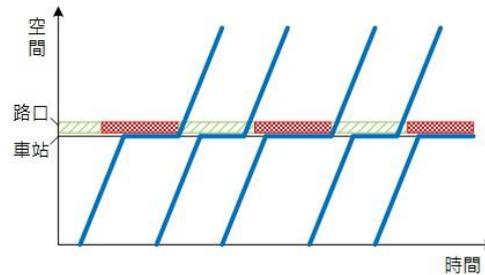
- 續行列車不受先行列車影響運行，但要考量路口號誌影響
- 亦即續行列車會與先行列車保持足夠的距離，即使先行列車停車（停站辦客或停等路口紅燈），也不會導致續行列車為了避免撞上先行列車，而必需跟著停車

A、B型路權輕軌容量之定義

- A型路權

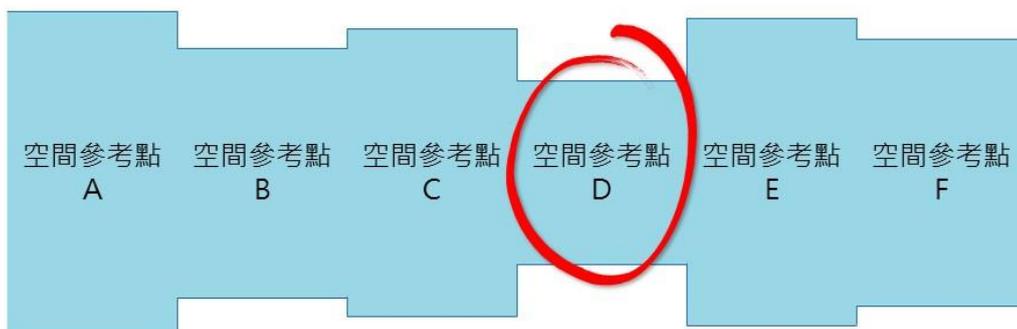


- B型路權



基本概念

- 計算每個空間參考點之容量
- 容量最低處決定整條路線之容量



假設條件

每個空間參考點之容量計算僅考慮其範圍內之因素的影響

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

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

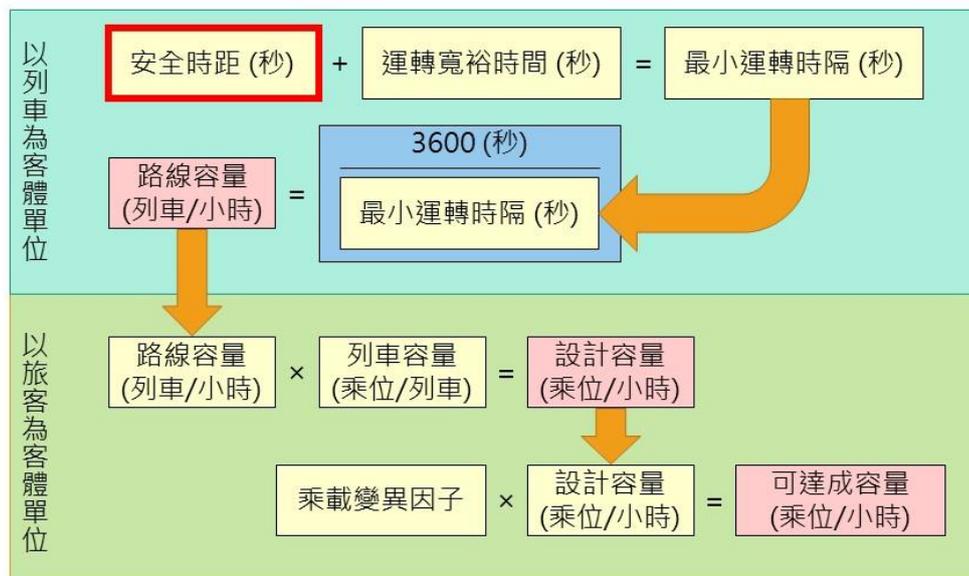
B型路權之路線僅有縱向專有路權，列車運行至公路交叉路口處會受到路口號誌影響

採用性能完全相同或性能相近的列車來營運，沒有速度差異

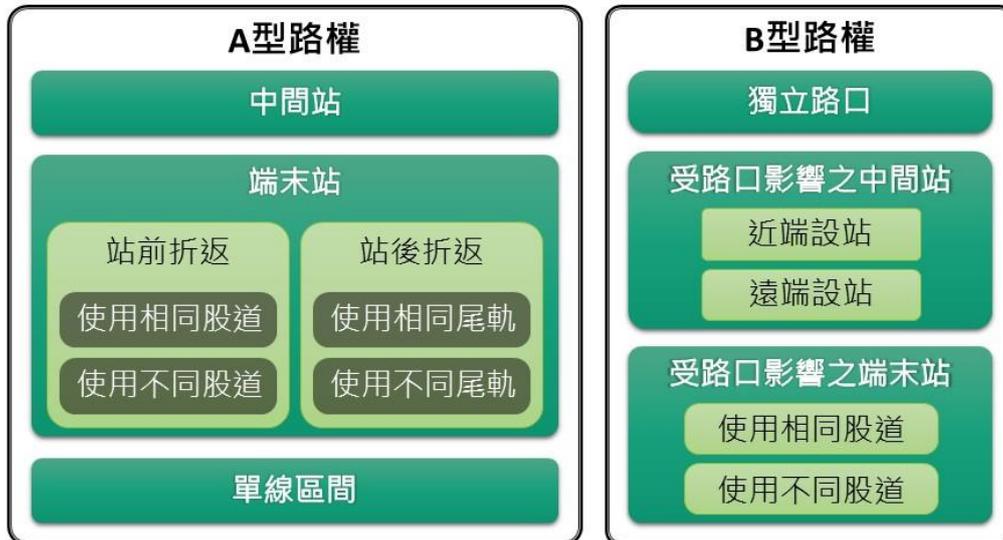
列車採用站站皆停的營運模式，沒有跳蛙或追越待避的行為

假設列車以等加減速運動運行來進行模式推導

整體架構



安全時距種類



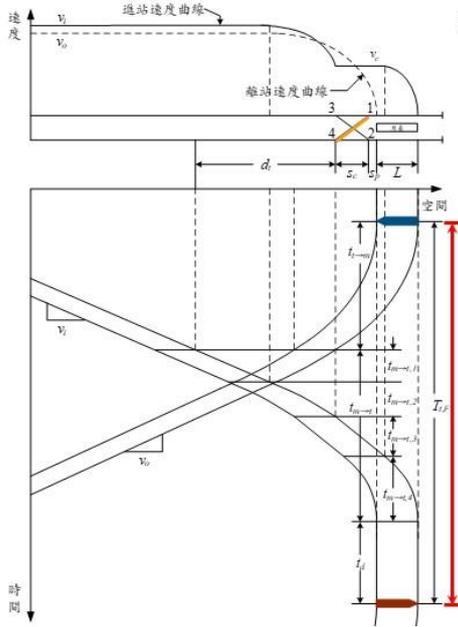
A型路權安全時距計算公式推導

- 推導方法



A型路權安全時距計算公式推導

• 以「站前折返 - 站內停靠同一股道」為例



$$T_{t,F1} = t_{t \rightarrow m} + t_{m \rightarrow t} + t_d$$

$$\begin{aligned} \text{if } s_p + s_c + L &\geq \frac{v_o^2}{2K_a a} \\ &= \frac{v_o}{2K_a a} + \frac{s_p + s_c + L}{v_o} + \frac{d_t}{v_i} + \frac{v_i}{2K_b b} \\ &\quad + \frac{s_c + s_p + L}{v_c} + \frac{v_c}{2K_b b} \left(\frac{v_c}{v_i} - 1 \right) + t_d \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{if } s_p + s_c + L &< \frac{v_o^2}{2K_a a} \\ &= \sqrt{\frac{2(s_p + s_c + L)}{K_a a}} + \frac{d_t}{v_i} + \frac{v_i}{2K_b b} + \frac{s_c + s_p + L}{v_c} \\ &\quad + \frac{v_c}{2K_b b} \left(\frac{v_c}{v_i} - 1 \right) + t_d \end{aligned}$$

A型路權安全時距計算公式彙整

空間參考點	折返方式	使用股道	其他條件	安全時距公式
中間站	--	同一股道	--	$T_m = \frac{s_m + L}{v_i} + \frac{v_i}{K_b b} + t_d$
單線區間	--	--	--	$T_x = t_r + t_{r'} + 2t_{s,M}$
端末站	站前折返	同一股道	通過橫渡線區前已加速至巡航速度	$T_{t,F1} = \frac{v_o}{2K_a a} + \frac{s_p + s_c + L}{v_o} + \frac{d_t}{v_i} + \frac{v_i}{2K_b b} + \frac{s_c + s_p + L}{v_c} + \frac{v_c}{2K_b b} \left(\frac{v_c}{v_i} - 1 \right) + t_d$
			通過橫渡線區處於加速階段	$T_{t,F1} = \sqrt{\frac{2(s_p + s_c + L)}{K_a a}} + \frac{d_t}{v_i} + \frac{v_i}{2K_b b} + \frac{s_c + s_p + L}{v_c} + \frac{v_c}{2K_b b} \left(\frac{v_c}{v_i} - 1 \right) + t_d$
		不同股道	沒有直行橫渡線區的限速	$T_{t,F2} = t_i + \frac{v_c}{2K_a a} + \frac{s_p + s_c + L}{v_c} + \frac{d_t + s_c + s_p + L}{v_i} + \frac{v_i}{2K_b b} - \sqrt{\frac{2s_p}{K_b b}}$
			有直行橫渡線區的限速	$T_{t,F2} = t_i + \frac{v_c}{2K_a a} + \frac{s_p + s_c + L}{v_c} + \frac{d_t}{v_i} + \frac{v_i}{2K_b b} + \frac{s_c + s_p + L}{v_{cs}} + \frac{v_{cs}}{2K_b b} \left(\frac{v_{cs}}{v_i} - 1 \right) - \sqrt{\frac{2s_p}{K_b b}}$

A型路權安全時距計算公式彙整

空間參考點	折返方式	使用股道	其他條件	安全時距公式
末端站	站後折返	同一股道	受直行橫渡線區限速影響	$T_{t,R1} = \frac{v_c}{2K_a a} + \frac{v_c}{2K_b b} + \frac{s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L}{v_c} - \sqrt{\frac{2s_{p,1}}{K_b b}} + t_i$ $+ \sqrt{\frac{2K_b b(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{K_a a(K_a a + K_a b)}} + \sqrt{\frac{2K_b b(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{K_a b(K_a a + K_a b)}} + t_d$
			不受直行橫渡線區限速影響	$T_{t,R1} = \frac{v_c}{2K_a a} + \frac{v_c}{2K_b b} + \frac{s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L}{v_c} - \sqrt{\frac{2s_{p,1}}{K_b b}}$ $+ t_i + \frac{s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L}{v_{cs}} + \frac{v_{cs}}{2K_a a} + \frac{v_{cs}}{2K_b b} + t_d$
		不同股道	受直行橫渡線區限速影響	$T_{t,R2} = \frac{v_c}{2K_a a} + \frac{v_c}{2K_b b} + \frac{s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L}{v_c} - \sqrt{\frac{2s_{p,1}}{K_b b}} - \sqrt{\frac{2s_{p,2}}{K_b b}}$ $+ 2t_i + \sqrt{\frac{2K_b b(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{K_a a(K_a a + K_a b)}} + \sqrt{\frac{2K_b b(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{K_a b(K_a a + K_a b)}}$
			不受直行橫渡線區限速影響	$T_{t,R2} = \frac{v_c}{2K_a a} + \frac{v_c}{2K_b b} + \frac{s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L}{v_c} - \sqrt{\frac{2s_{p,1}}{K_b b}}$ $+ 2t_i + \frac{s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L}{v_{cs}} + \frac{v_{cs}}{2K_a a} + \frac{v_{cs}}{2K_b b} - \sqrt{\frac{2s_{p,2}}{K_b b}}$

B型路權平均安全時距計算方式

根據路口號誌時制計算輕軌可通行時間

無優先號誌

有優先號誌



根據空間參考點型式計算平均安全時距

獨立路口

遠端設站

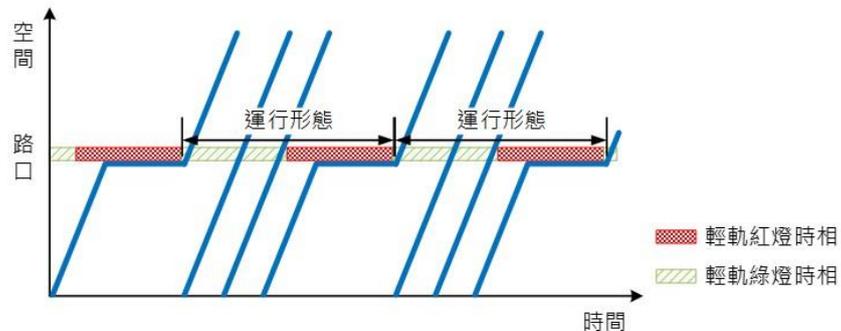
近端設站

末端站同股折返

末端站不同股折返

B型路權平均安全時距計算方式

- 在路口號誌的影響下，列車運轉會重覆出現固定的運行型態

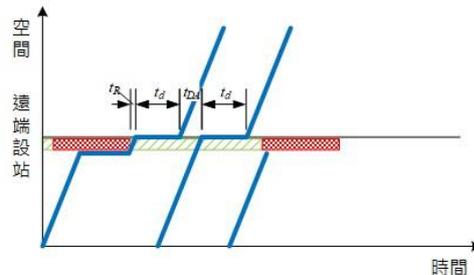
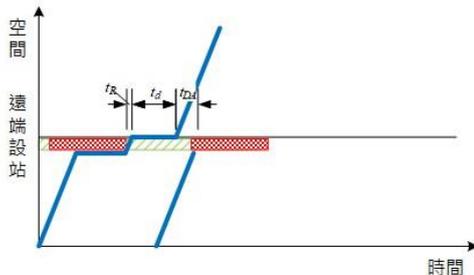


- 計算運行型態內的路口號誌週期數 m 和通過列車數 n
- 根據號誌週期數與列車數，求取平均安全時距 \bar{T}

依空間參考點的不同， m 、 n 須滿足不同條件

B型路權平均安全時距計算方式

- 以遠端設站為例



$$G \leq t_{DA} + t_d + t_R < (G + R)$$

$$\bar{T} = G + R$$

$$G - t_{DA} \leq t_R + t_d + t_{DA} + t_d < (G + R)$$

$$\bar{T} = \frac{(G+R)}{2}$$

t_R = 列車停等紅燈後行駛至車站的時間 (s)

t_d = 停站時間 (s)

t_{DA} = 先行車離開車站至續行車到達車站所須保持的時距 (s)

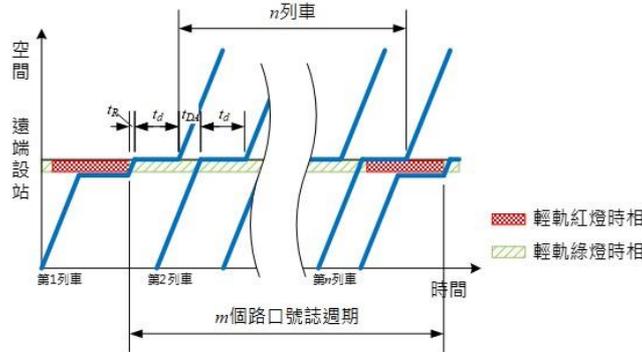
G = 輕軌綠燈時相時間 (s)

R = 輕軌紅燈時相時間 (s)

\bar{T} = 平均安全時距 (s)

B型路權平均安全時距計算方式

- 以遠端設站為例



$$m(G + R) - R - t_{DA} \leq t_R + t_d + (n - 1)(t_{DA} + t_d) < m(G + R)$$

m = 運行型態內所經歷的路口號誌週期數

n = 運行型態內所經過的列車數

m, n 為滿足上述不等式的最小正整數

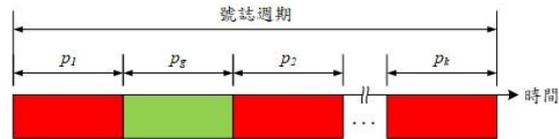
$$\text{平均安全時距 } \bar{T} = \frac{m(G+R)}{n}$$

B型路權平均安全時距計算方式

空間參考點	使用股道	運行型態	m 和 n 的滿足條件
獨立路口	同一股道	--	$m(G + R) - R \leq t_{DP} + (n - 1)t_{PP} < m(G + R)$
近端設站	同一股道	--	$m(G + R) - R \leq n(t_{DA} + t_d) < m(G + R)$
遠端設站	同一股道	--	$m(G + R) - R - t_{DA} \leq t_R + t_d + (n - 1)(t_{DA} + t_d) < m(G + R)$
端末站	同一股道	進站	$m(G + R) - R \leq t_R + t_d + t_{t \rightarrow c} + t_{c \rightarrow t} + (n - 1)(t_d + t_{t \rightarrow c} + t_{c \rightarrow t}) < m(G + R)$
		進站	$m(G + R) - R \leq G + R + t_{t \rightarrow c} + t_{c \rightarrow t} + (n - 1)(t_d + t_{t \rightarrow c} + t_{c \rightarrow t}) < m(G + R)$
		離站	$m(G + R) - R \leq t_{t \rightarrow c} + t_{c \rightarrow t} + t_d + (n - 1)(t_{t \rightarrow c} + t_{c \rightarrow t} + t_d) < m(G + R)$
		離站	$m(G + R) - R \leq G + R + t_R + t_d + (n - 1)(t_{t \rightarrow c} + t_{c \rightarrow t} + t_d) < m(G + R)$
	不同股道	進站	$m(G + R) - R \leq t_R + t_d + t_{t \rightarrow c} + t_{c \rightarrow t} + (n - 2)(-t_{b,s} + t_i + t_{t \rightarrow c} + t_{c \rightarrow t}) < m(G + R)$
		進站	$m(G + R) - R \leq G + R + t_{t \rightarrow c} + t_{c \rightarrow t} + (n - 2)(-t_{b,s} + t_i + t_{t \rightarrow c} + t_{c \rightarrow t}) < m(G + R)$
	離站	$m(G + R) - R \leq t_{t \rightarrow c} + t_{c \rightarrow t} + t_d + (n - 2)(t_{t \rightarrow c} + t_{c \rightarrow t} - t_{b,s} + t_i) < m(G + R)$	
	離站	$m(G + R) - R \leq G + R + t_R + t_d + (n - 2)(t_{t \rightarrow c} + t_{c \rightarrow t} - t_{b,s} + t_i) < m(G + R)$	

B型路權平均安全時距計算方式

- 路口號誌的影響
 - 無優先號誌



$$G = p_g$$

$$R = \sum_{j=1}^k p_j$$

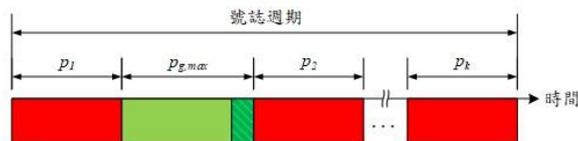
p_g = 輕軌綠燈時相之秒數

k = 輕軌紅燈時相之數量

p_j = 第 j 個輕軌紅燈時相之秒數

B型路權平均安全時距計算方式

- 路口號誌的影響
 - 有優先號誌 - 評估最多可提供多少輕軌列車通行
 - 延長綠燈



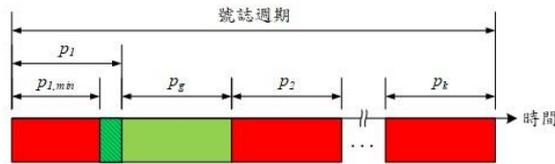
$$G = p_{g,max}$$

$$R = \sum_{j=1}^k p_j$$

$p_{g,max}$ = 輕軌綠燈時相之最長秒數

B型路權平均安全時距計算方式

- 路口號誌的影響
 - 有優先號誌 - 評估最多可提供多少輕軌列車通行
 - 縮短紅燈



$$G = p_g + p_r - p_{r,min}$$

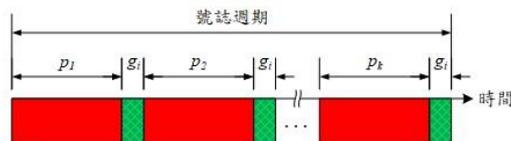
$$R = \sum_{j=1}^k p_j - p_r + p_{r,min}$$

p_r = 輕軌綠燈時相的前一個紅燈時相之秒數

$p_{r,min}$ = 輕軌綠燈時相的前一個紅燈時相之最短秒數

B型路權平均安全時距計算方式

- 路口號誌的影響
 - 有優先號誌 - 評估最多可提供多少輕軌列車通行
 - 插入綠燈



$$\bar{T} = \frac{\sum_{j=1}^k p_j + n_i g_i}{n_i}$$

n_i = 插入綠燈時相的數量

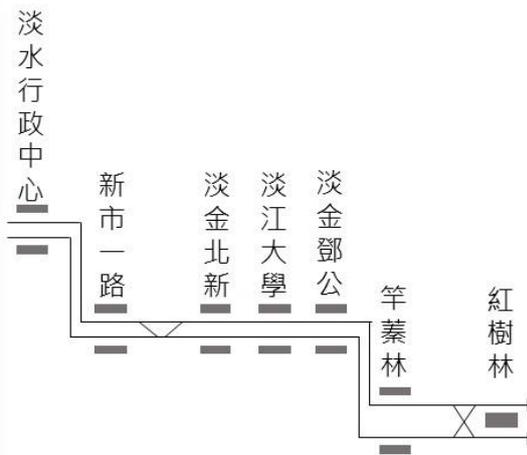
g_i = 插入綠燈時相的秒數

案例分析



淡海輕軌案例

- 容量分析
 - 分析範圍：紅樹林站 - 淡水行政中心站



淡海輕軌案例

- 容量分析
 - 分析結果：往崁頂方向

空間參考點	運轉時隔 (秒)	路線容量 (列車/小時)	設計容量 (乘位/小時)	可達成容量 (旅客/小時)
紅樹林	<u>350.45</u>	<u>10.27</u>	<u>2722</u>	<u>2042</u>
竿蓁林	71.42	50.41	13358	10019
淡金鄧公	71.42	50.41	13358	10019
淡江大學	69.26	51.98	13775	10331
淡金北新	71.42	50.41	13358	10019
新市一路	67.29	53.50	14178	10633
淡水行政中心	65.63	54.86	14537	10902

淡海輕軌案例

- 容量分析
 - 分析結果：往紅樹林方向

空間參考點	運轉時隔 (秒)	路線容量 (列車/小時)	設計容量 (乘位/小時)	可達成容量 (旅客/小時)
淡水行政中心	67.29	53.50	14178	10633
新市一路	76.08	47.32	12539	9404
淡金北新	67.29	53.50	14178	10633
淡江大學	78.52	45.85	12149	9112
淡金鄧公	71.42	50.41	13358	10019
竿蓁林	76.08	47.32	12539	9404
紅樹林	<u>350.45</u>	<u>10.27</u>	<u>2722</u>	<u>2042</u>

淡海輕軌案例

• 敏感度分析

- 分析對象：紅樹林站
- 分析內容：針對以下參數變動±20%（第14項除外）

1. 列車長度	8. 停站時間
2. 啟動加速度	9. 列車於車站停車處至橫渡線之距離
3. 加速度有效因子	10. 橫渡線區範圍
4. 煞車減速度	11. 列車從設定路徑點至橫渡線之距離
5. 減速度有效因子	12. 斜進道岔限速
6. 離站後巡航速度	13. 折返方式
7. 進站前巡航速度	

淡海輕軌案例

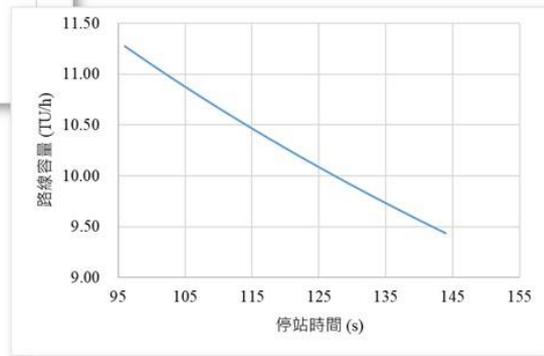
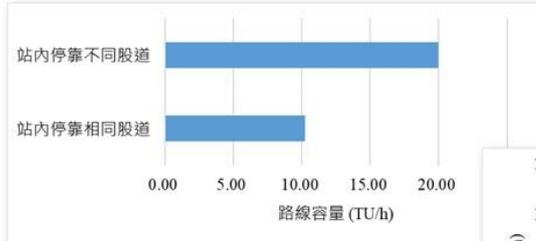
• 敏感度分析

- 分析結果

1. 列車長度	負相關	8. 停站時間	負相關
2. 啟動加速度	正相關	9. 列車於車站停車處至橫渡線之距離	負相關
3. 加速度有效因子	正相關	10. 橫渡線區範圍	負相關
4. 煞車減速度	正相關	11. 列車從設定路徑點至橫渡線之距離	負相關
5. 減速度有效因子	正相關	12. 斜進道岔限速	正相關
6. 離站後巡航速度	正相關	13. 折返方式	--
7. 進站前巡航速度	正相關		

淡海輕軌案例

- 敏感度分析
 - 分析結果
 - 折返方式對容量的影響最大，其次是停站時間



高雄輕軌案例

- 容量分析
 - 分析範圍：籬仔內站 - 哈瑪星站



高雄輕軌案例

• 容量分析

- 分析結果：往哈瑪星方向 - 無優先號誌

空間參考點	運轉時隔 (s)	路線容量 (TU/h)	設計容量 (p/h)	可達成容量 (p/h)
籬仔內	390	9.23	2308	1731
凱旋瑞田	64.72	55.63	13906	10430
前鎮之星	195	18.46	4615	3462
凱旋中華	195	18.46	4615	3462
前鎮街	48.75	73.85	18462	13846
成功二路	78.00	46.15	11538	8654
夢時代	-	-	-	-
經貿園區	-	-	-	-
軟體園區	-	-	-	-
高雄展覽館	-	-	-	-
旅運中心	-	-	-	-
永平路	-	-	-	-
苓安路	-	-	-	-
光榮碼頭	71.85	50.11	12527	9395
真愛碼頭	66.27	54.32	13580	10185
駁二大義	64.72	55.63	13906	10430
駁二蓬萊	-	-	-	-
蓬萊路	-	-	-	-
哈瑪星	340.7	10.57	2642	1981

高雄輕軌案例

• 容量分析

- 分析結果：往哈瑪星方向 - 有優先號誌

空間參考點	運轉時隔 (s)	路線容量 (TU/h)	設計容量 (p/h)	可達成容量 (p/h)
籬仔內	390	9.23	2308	1731
凱旋瑞田	64.72	55.63	13906	10430
前鎮之星	195	18.46	4615	3462
凱旋中華	97.5	36.92	9231	6923
前鎮街*	24.38	147.69	36923	27692
成功二路*	31.20	115.38	28846	21635
夢時代	65	55.38	13846	10385
經貿園區	65	55.38	13846	10385
軟體園區	65	55.38	13846	10385
高雄展覽館	65	55.38	13846	10385
旅運中心	78	46.15	11538	8654
永平路	78	46.15	11538	8654
苓安路	78	46.15	11538	8654
光榮碼頭	68.14	52.83	13208	9906
真愛碼頭	71.85	50.11	12527	9395
駁二大義	66.27	54.32	13580	10185
駁二蓬萊	64.72	55.63	13906	10430
蓬萊路	78	46.15	11538	8654
哈瑪星	340.7	10.57	2642	1981

高雄輕軌案例

• 容量分析

- 分析結果：往籬仔內方向 - 無優先號誌

空間參考點	運轉時隔 (s)	路線容量 (TU/h)	設計容量 (p/h)	可達成容量 (p/h)
哈瑪星	340.7	10.57	2642	1981
蓬萊路	-	-	-	-
駁二蓬萊	-	-	-	-
駁二大義	63.47	56.72	14180	10635
真愛碼頭	63.47	56.72	14180	10635
光榮碼頭	63.47	56.72	14180	10635
苓安路	-	-	-	-
永平路	-	-	-	-
旅運中心	-	-	-	-
高雄展覽館	-	-	-	-
軟體園區	-	-	-	-
經貿園區	-	-	-	-
夢時代	-	-	-	-
成功二路	156.00	23.08	5769	4327
前鎮街	27.86	129.23	32308	24231
凱旋中華	195	18.46	4615	3462
前鎮之星	195	18.46	4615	3462
凱旋瑞田	68.02	52.93	13232	9924
籬仔內	390	9.23	2308	1731

高雄輕軌案例

• 容量分析

- 分析結果：往籬仔內方向 - 有優先號誌

空間參考點	運轉時隔 (s)	路線容量 (TU/h)	設計容量 (p/h)	可達成容量 (p/h)
哈瑪星	340.7	10.57	2642	1981
蓬萊路	78	46.15	11538	8654
駁二蓬萊	78	46.15	11538	8654
駁二大義	63.47	56.72	14180	10635
真愛碼頭	63.47	56.72	14180	10635
光榮碼頭	63.47	56.72	14180	10635
苓安路	78	46.15	11538	8654
永平路	78	46.15	11538	8654
旅運中心	78	46.15	11538	8654
高雄展覽館	65	55.38	13846	10385
軟體園區	65	55.38	13846	10385
經貿園區	65	55.38	13846	10385
夢時代	65	55.38	13846	10385
成功二路*	52.00	69.23	17308	12981
前鎮街*	17.73	203.08	50769	38077
凱旋中華	97.5	36.92	9231	6923
前鎮之星	97.5	36.92	9231	6923
凱旋瑞田	68.02	52.93	13232	9924
籬仔內	390	9.23	2308	1731

高雄輕軌案例

• 敏感度分析

- 分析對象：籬仔內站
- 分析內容：針對以下參數變動 $\pm 20\%$ （第15項除外）

1. 列車長度	9. 列車於車站停車處至橫渡線之距離
2. 啟動加速度	10. 列車從前一站至末端站的運行時間
3. 加速度有效因子	11. 路口寬度
4. 煞車減速度	12. 路口至車站停車處之距離
5. 減速度有效因子	13. 輕軌紅燈時相時間
6. 離站後巡航速度	14. 輕軌綠燈時相時間
7. 停站時間	15. 折返方式
8. 橫渡線區範圍	

高雄輕軌案例

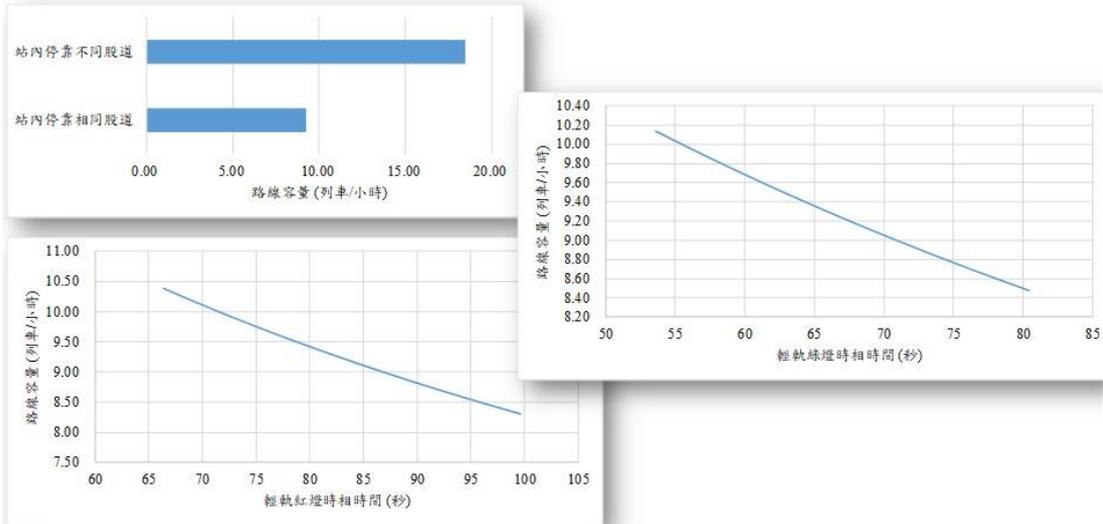
• 敏感度分析

- 分析結果

1. 列車長度	尚未影響	9. 列車於車站停車處至橫渡線之距離	尚未影響
2. 啟動加速度	尚未影響	10. 列車從前一站至末端站的運行時間	尚未影響
3. 加速度有效因子	尚未影響	11. 路口寬度	尚未影響
4. 煞車減速度	尚未影響	12. 路口至車站停車處之距離	尚未影響
5. 減速度有效因子	尚未影響	13. 輕軌紅燈時相時間	負相關
6. 離站後巡航速度	尚未影響	14. 輕軌綠燈時相時間	負相關
7. 停站時間	尚未影響	15. 折返方式	--
8. 橫渡線區範圍	尚未影響		

高雄輕軌案例

- 敏感度分析
 - 分析結果
 - 折返方式對容量的影響最大，其次輕軌紅燈和綠燈時相的時間



德國卡爾斯魯爾城鐵案例

- 容量分析
 - 分析範圍：Gottesauer Platz至Grötzingen



德國卡爾斯魯爾城鐵案例

- 容量分析
 - 分析結果 - 往Grötzingen方向

空間參考點	運轉時隔 (秒)	路線容量 (列車/小時)	設計容量 (乘位/小時)	可達成容量 (旅客/小時)
Gottesauer Platz	93.60	38.46	8577	6433
Tullastraße	119.60	30.10	6712	5034
Weinweg	120.90	29.78	6640	4980
Karlsruhe-Durlach	74.80	48.13	10733	8050
Durlach Hubstraße	42.30	85.11	18980	14235
Grötzingen	48.80	73.77	16452	12339

德國卡爾斯魯爾城鐵案例

- 容量分析
 - 分析結果 - 往Gottesauer Platz方向

空間參考點	運轉時隔 (秒)	路線容量 (列車/小時)	設計容量 (乘位/小時)	可達成容量 (旅客/小時)
Grötzingen	60.81	59.20	13202	9901
Durlach Hubstraße	41.31	87.14	19433	14575
Karlsruhe-Durlach	68.92	52.24	11649	8737
Weinweg	120.90	29.78	6640	4980
Tullastraße	119.60	30.10	6712	5034
Gottesauer Platz	93.60	38.46	8577	6433

德國卡爾斯魯爾城鐵案例

- 敏感度分析

- 分析對象：Weinweg
- 分析內容：針對以下參數變動 $\pm 20\%$

1. 列車長度

2. 煞車減速度

3. 減速度有效因子

4. 進站前巡航速度

5. 停站時間

6. 輕軌紅燈時相時間

7. 輕軌綠燈時相時間

德國卡爾斯魯爾城鐵案例

- 敏感度分析

- 分析結果

- 往Grötzingen方向

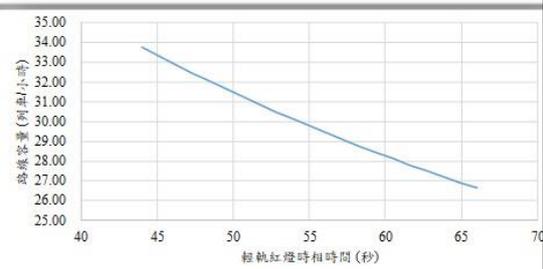
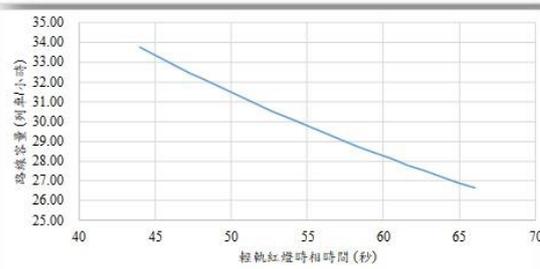
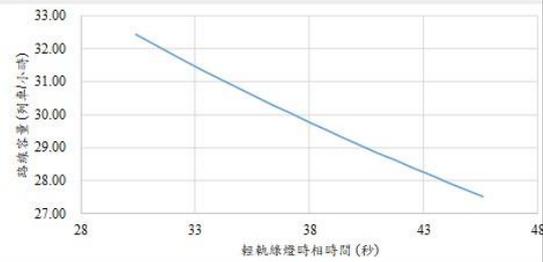
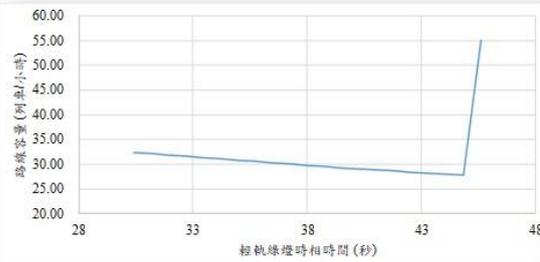
1. 列車長度	尚未影響
2. 煞車減速度	尚未影響
3. 減速度有效因子	尚未影響
4. 進站前巡航速度	尚未影響
5. 停站時間	尚未影響
6. 輕軌紅燈時相時間	負相關
7. 輕軌綠燈時相時間	正相關

- 往Gottesauer Platz方向

1. 列車長度	尚未影響
2. 煞車減速度	尚未影響
3. 減速度有效因子	尚未影響
4. 進站前巡航速度	尚未影響
5. 停站時間	尚未影響
6. 輕軌紅燈時相時間	負相關
7. 輕軌綠燈時相時間	負相關

德國卡爾斯魯魯爾城鐵案例

- 敏感度分析
 - 分析結果
- 往Grötzingen方向
- 往Gottesauer Platz方向



結論與建議



結論

考量輕軌運轉行為發展A、B型路權輕軌容量分析模式，且更能反映出路口號誌時制的影響

A型路權的輕軌容量普遍優於B型路權

路口號誌是影響B型路權輕軌容量的主要因素

近/遠端設站因素對容量的影響較低，不過就營運速度和旅客上下車方便性等觀點來看，近端設站還是優於遠端設站

結論

適當地採用優先號誌策略對容量有正面的影響，不過在末端站的效益有限

輕軌綠燈時相時間增加的幅度必須足夠才會對容量提升有幫助

相同股道折返的末端站比中間站更容易成為容量瓶頸

概估容量之參考

- 受路口影響之中間站，約每個號誌週期可通過1~2列車
- 受路口影響之末端站，採同股道折返，約每兩個號誌週期可通過1列車
- 受路口影響之末端站，採不同股道折返，約每個號誌週期可通過1列車

後續研究建議

- 開發輕軌容量分析軟體
- 編訂容量手冊之「輕軌運輸系統篇」
- 針對連續路口發展輕軌容量分析模式
- 考量優先號誌運作的細節求取輕軌容量
- 寬裕係數和乘載變異因子的設定值之探討
- 建立C型路權的輕軌容量分析模式



交通部運輸研究所
Institute of Transportation, MOTC



簡報結束 誠摯感謝

 財團法人中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

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

