

110-083-1438  
MOTC-IOT-109-PBB002

# 輕軌系統容量分析暨應用研究(2/2)- A、B 型路權容量及可靠度分析



交通部運輸研究所

中華民國 110 年 7 月



110-083-1438  
MOTC-IOT-109-PBB002

# 輕軌系統容量分析暨應用研究(2/2)- A、B 型路權容量及可靠度分析

著者：黃笙玆、鍾志成、賴勇成、林誌銘、吳明軒、胡仲瑋、  
陳桂豪、徐任宏、楊進成、張舜淵、劉昭榮、楊國楨

交通部運輸研究所

中華民國 110 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. (2/2) : A、B 型路權容量  
及可靠度分析/黃笙玟, 鍾志成, 賴勇成, 林誌銘, 吳明  
軒, 胡仲瑋, 陳桂豪, 徐任宏, 楊進成, 張舜淵, 劉昭榮,  
楊國楨著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運輸研究所, 民  
110.07

面 ; 公分

ISBN 978-986-531-317-3(平裝)

1.鐵路管理 2.運輸系統

557

110011059

輕軌系統容量分析暨應用研究(2/2)-A、B 型路權容量及可靠度分析

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、楊進成、張舜淵、劉昭榮、楊國楨

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 110 年 7 月

印 刷 者：全凱數位資訊有限公司

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：280 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：1011000973

ISBN：ISBN 978-986-531-317-3 (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(2/2)-A、B 型路權容量及可靠度分析			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-531-317-3 (平裝)	政府出版品統一編號 1011000973	運輸研究所出版品編號 110-083-1438	計畫編號 109-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、楊國楨 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、胡仲瑋、陳桂豪、 徐任宏、楊進成 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109年3月  至109年12月
關鍵詞：輕軌運輸系統、軌道容量分析、列車延滯分析			
<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，目前已完成傳統暨區域鐵統及都會捷運系統的軌道容量分析模式與軟體，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，因此辦理輕軌系統容量分析暨應用研究。</p> <p>在109年度的研究中，建構了A、B型路權連續路段之輕軌容量及可靠度分析模式，並開發相關分析軟體，此外，透過案例分析發現：路線容量由路線上的瓶頸處決定，且路口號誌週期對連續路段容量有決定性的影響，而路口號誌時差雖不會影響路線容量，但會影響旅行時間。</p> <p>最後，本研究辦理教育訓練來達到推廣容量研究成果的目的，並將相關成果編訂成「臺灣鐵道容量手冊－輕軌運輸系統篇（A、B型路權）」，供產、官、學、研進行軌道容量分析、教學，與軌道建設決策的工具。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
110年7月	269	280	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**

<b>TITLE:</b> Light Rail Transit System Capacity Analysis and Applications Study (2/2) - Capacity and Reliability Analysis for Type A and B Right-of-Way			
<b>ISBN(OR ISSN)</b> ISBN 978-986-531-317-3 (pbk.)	<b>GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER</b> 1011000973	<b>IOT SERIAL NUMBER</b> 110-083-1438	<b>PROJECT NUMBER</b> 109-PBB002
<b>DIVISION:</b> Planning Division <b>DIVISION CHIEF:</b> Shuen-Yuan Chang <b>PRINCIPAL INVESTIGATOR:</b> Shuen-Yuan Chang <b>PROJECT STAFF:</b> Jau-Rong Liu, Kuo-Chen Yang <b>PHONE:</b> 886-2-23496806 <b>FAX:</b> 886-2-25450428			<b>PROJECT PERIOD</b> FROM March 2020 TO December 2020
<b>RESEARCH AGENCY:</b> Sinotech Engineering Consultants, Inc. <b>PRINCIPAL INVESTIGATOR:</b> Sheng-Hsuan Huang <b>PROJECT STAFF:</b> Jyh-Cheng Jong, Yung-Cheng Lai, Chin-Ming Lin, Ming-Hsuan Wu, Chung-Wei Hu, Guei-Hao Chen, Ren-Hong Xu, Andy Yang <b>ADDRESS:</b> 171 Nanking E. RD. SEC. 5, Taipei, Taiwan, R.O.C. <b>PHONE:</b> 886-2-87919198 ext. 426 <b>FAX:</b> 886-2-87912198			
<b>KEY WORDS:</b> Light Rail Transit System, Rail Capacity Analysis, Train Delay Analysis			
<b>ABSTRACT:</b> <p>To meet the needs of different types of railway system construction in Taiwan, the IOT has carried out a series of research projects on rail capacity, and has completed a rail capacity analysis model and software for both traditional regional railways and metro rapid transit systems. However, following the government's vision, light rail transit systems will be planned and promoted in some metropolitan areas in the Forward-Looking Infrastructure Development Program. Thus, capacity analysis and application research for light rail transit systems will be conducted.</p> <p>This year's research has constructed a rail capacity and reliability analysis model for continuous sections of Type A and B right-of-way, and developed software to evaluate rail capacity and reliability. According to the case study results, this study has found that rail capacity is determined by the bottlenecks of a route, and the maximum intersection signal cycle is the main factor which affects rail capacity of continuous sections. In addition, signal offset will not affect rail capacity, but it will affect travel time.</p> <p>Finally, this research carried out education and training to promote these rail capacity research results. Moreover, the results have been compiled into the "Taiwan Rail Capacity Manual - Light Rail Transit Systems (Type A and B Right-of-Way)", which can be used for capacity analysis, education, and decision-making support for railway projects by industry, government, academia, and research institutes.</p>			
<b>DATE OF PUBLICATION</b> July 2021	<b>NUMBER OF PAGES</b> 269	<b>PRICE</b> 280	
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.....	XIII
<b>第一章 緒論.....</b>	<b>1 - 1</b>
1.1 研究緣起.....	1 - 1
1.2 全程計畫概要.....	1 - 2
1.3 研究範圍與對象.....	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 - 6
<b>第二章 重要文獻回顧.....</b>	<b>2 - 1</b>
2.1 單一空間參考點輕軌容量分析模式.....	2 - 1
2.2 軌道容量分析軟體.....	2 - 7
2.2.1 傳統暨區域鐵路系統軌道容量分析軟體.....	2 - 7
2.2.2 都會捷運系統容量分析軟體.....	2 - 13
2.3 鐵道容量手冊.....	2 - 17
2.4 小結.....	2 - 20
<b>第三章 單一空間參考點容量模式修正.....</b>	<b>3 - 1</b>
3.1 司機員與煞車系統反應時間之考量.....	3 - 1
3.2 運轉寬裕之考量.....	3 - 5
<b>第四章 連續路段輕軌容量分析模式.....</b>	<b>4 - 1</b>
4.1 模式架構.....	4 - 1
4.2 基本概念.....	4 - 2
4.3 假設條件.....	4 - 4
4.4 整體流程.....	4 - 5

4.4.1	檢核機制 .....	4 - 6
4.4.2	所需延後時間之計算 .....	4 - 7
4.4.3	關鍵事件和其延後時間之計算 .....	4 - 12
4.4.4	優先號誌之考量 .....	4 - 19
4.4.5	路線容量評估 .....	4 - 22
4.5	演算範例展示 .....	4 - 23
<b>第五章</b>	<b>連續路段列車平均延滯分析模式 .....</b>	<b>5 - 1</b>
5.1	等候理論與列車延滯 .....	5 - 1
5.2	模式基本概念與假設條件 .....	5 - 3
5.3	模式整體流程 .....	5 - 4
5.3.1	計算基準旅行時間 .....	5 - 5
5.3.2	依指數分配產生列車進入系統的時間 .....	5 - 7
5.3.3	計算平均延滯時間 .....	5 - 8
<b>第六章</b>	<b>案例分析 .....</b>	<b>6 - 1</b>
6.1	加減速度有效因子校估 .....	6 - 1
6.2	淡海輕軌案例 .....	6 - 2
6.2.1	案例說明 .....	6 - 2
6.2.2	單一空間參考點容量模式調整前後比較 .....	6 - 7
6.2.3	連續路段容量分析結果 .....	6 - 9
6.2.4	連續路段列車平均延滯分析結果 .....	6 - 13
6.3	高雄輕軌案例 .....	6 - 16
6.3.1	參數說明 .....	6 - 16
6.3.2	單一空間參考點容量模式調整前後比較 .....	6 - 23
6.3.3	連續路段容量分析結果 .....	6 - 26
6.3.4	連續路段列車平均延滯分析結果 .....	6 - 29
<b>第七章</b>	<b>輕軌運輸系統容量分析軟體 .....</b>	<b>7 - 1</b>
7.1	功能需求 .....	7 - 1
7.2	系統規劃 .....	7 - 3
7.2.1	輕軌運輸系統容量分析軟體架構 .....	7 - 3
7.2.2	軟體開發方式 .....	7 - 6

7.3	使用者介面設計 .....	7 - 7
7.3.1	主畫面設計 .....	7 - 7
7.3.2	空間參考點參數設定介面 .....	7 - 11
7.3.3	路段參數編輯介面 .....	7 - 15
7.3.4	執行分析介面 .....	7 - 17
7.3.5	偏好設定介面 .....	7 - 19
<b>第八章</b>	<b>研究成果推廣 .....</b>	<b>8 - 1</b>
8.1	教育訓練與成果說明會辦理情形 .....	8 - 1
8.1.1	場次安排 .....	8 - 1
8.1.2	課程規劃 .....	8 - 3
8.1.3	參與情形 .....	8 - 4
8.1.4	軟體回饋改善 .....	8 - 5
8.2	鐵道容量手冊擴充編訂 .....	8 - 9
<b>第九章</b>	<b>結論與建議 .....</b>	<b>9 - 1</b>
9.1	結論 .....	9 - 1
9.2	後續研究建議 .....	9 - 2
	<b>參考文獻 .....</b>	<b>R - 1</b>
	<b>附錄 A 數學符號彙整表 .....</b>	<b>A - 1</b>
	<b>附錄 B 歷次工作會議紀錄 .....</b>	<b>B - 1</b>
	<b>附錄 C 第一次學者專家座談會紀錄 .....</b>	<b>C - 1</b>
	<b>附錄 D 期中審查意見處理情形及簡報 .....</b>	<b>D - 1</b>
	<b>附錄 E 第二次學者專家座談會紀錄 .....</b>	<b>E - 1</b>
	<b>附錄 F 期末審查意見處理情形及簡報 .....</b>	<b>F - 1</b>

# 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 - 3
圖 1-3 研究流程圖.....	1 - 7
圖 2-1 輕軌容量分析模式整體架構.....	2 - 1
圖 2-2 安全時距種類.....	2 - 2
圖 2-3 傳統暨區域鐵路系統軌道容量分析軟體主畫面.....	2 - 8
圖 2-4 傳統暨區域鐵路系統軌道容量分析軟體之功能架構.....	2 - 9
圖 2-5 傳統區域鐵路容量分析軟體之專案管理功能相關介面.....	2 - 9
圖 2-6 傳統區域鐵路容量分析軟體之參數編輯功能相關介面....	2 - 10
圖 2-7 傳統區域鐵路容量分析軟體之專案精靈相關介面.....	2 - 11
圖 2-8 傳統區域鐵路容量分析軟體之分析功能相關介面.....	2 - 12
圖 2-9 傳統區域鐵路容量分析軟體之操作模式切換畫面.....	2 - 12
圖 2-10 傳統區域鐵路容量分析軟體之檢核設定畫面.....	2 - 13
圖 2-11 都會捷運系統容量分析軟體主畫面.....	2 - 14
圖 2-12 都會捷運系統容量分析軟體之功能架構.....	2 - 15
圖 2-13 都會捷運系統容量分析軟體之檔案管理功能相關介面....	2 - 15
圖 2-14 都會捷運系統容量分析軟體之空間參考點參數設定介面 .....	2 - 16
圖 2-15 都會捷運系統容量分析軟體之分析計算功能相關介面....	2 - 16
圖 2-16 都會捷運系統容量分析軟體之偏好設定介面.....	2 - 17
圖 2-17 臺灣鐵道容量手冊整體架構.....	2 - 18
圖 3-1 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 .....	3 - 2
圖 3-2 兩列車連續通過路口的時間間隔.....	3 - 4
圖 3-3 先行車離開車站至續行車到達車站的時間間隔.....	3 - 5
圖 4-1 單一空間參考點與連續區段輕軌容量模式整合架構圖.....	4 - 2

圖 4-2	連續路段輕軌容量分析模式之演算概念.....	4 - 3
圖 4-3	進入事件與離開事件示意圖.....	4 - 3
圖 4-4	連續路段輕軌容量分析模式模擬流程圖.....	4 - 6
圖 4-5	計算中間站進入事件所需延後時間示意圖.....	4 - 8
圖 4-6	計算中間站離開事件所需延後時間示意圖.....	4 - 8
圖 4-7	計算橫交路口進入事件所需延後時間示意圖.....	4 - 9
圖 4-8	計算橫交路口離開事件所需延後時間示意圖.....	4 - 10
圖 4-9	計算近端設站進入事件所需延後時間示意圖.....	4 - 10
圖 4-10	計算近端設站離開事件所需延後時間示意圖.....	4 - 11
圖 4-11	計算遠端設站進入事件所需延後時間示意圖.....	4 - 12
圖 4-12	關鍵事件示意圖.....	4 - 13
圖 4-13	沒有行經橫交路口的情況.....	4 - 14
圖 4-14	行經一個橫交路口並停等紅燈的情況.....	4 - 15
圖 4-15	行經一個橫交路口且綠燈通過的情況.....	4 - 16
圖 4-16	行經兩個橫交路口的情況.....	4 - 17
圖 4-17	行經三個橫交路口的情況.....	4 - 18
圖 4-18	延長綠燈策略的執行邏輯.....	4 - 20
圖 4-19	縮短紅燈策略的執行邏輯.....	4 - 21
圖 4-20	插入綠燈策略的執行邏輯.....	4 - 22
圖 4-21	評估容量所使用的時間範圍示意圖.....	4 - 23
圖 4-22	演算範例.....	4 - 23
圖 4-23	演算範例展示 1.....	4 - 24
圖 4-24	演算範例展示 2.....	4 - 24
圖 4-25	演算範例展示 3.....	4 - 25
圖 4-26	演算範例展示 4.....	4 - 25
圖 4-27	演算範例展示 5.....	4 - 26
圖 4-28	演算範例展示 6.....	4 - 26
圖 4-29	演算範例展示 7.....	4 - 27
圖 4-30	演算範例展示 8.....	4 - 27
圖 4-31	演算範例展示 9.....	4 - 28

圖 4-32 演算範例展示 10.....	4 - 28
圖 4-33 演算範例展示 11.....	4 - 29
圖 4-34 演算範例展示 12.....	4 - 29
圖 4-35 演算範例展示 13.....	4 - 30
圖 4-36 演算範例展示 14.....	4 - 30
圖 4-37 演算範例展示 15.....	4 - 31
圖 4-38 演算範例展示 16.....	4 - 31
圖 4-39 演算範例展示 17.....	4 - 32
圖 4-40 演算範例展示 18.....	4 - 32
圖 4-41 演算範例展示 19.....	4 - 33
圖 4-42 演算範例展示 20.....	4 - 33
圖 5-1 等候系統示意圖.....	5 - 1
圖 5-2 列車延滯時間圖.....	5 - 2
圖 5-3 列車排班延滯.....	5 - 3
圖 5-4 連續路段輕軌列車平均延滯分析模式之演算概念.....	5 - 4
圖 5-5 連續路段輕軌列車平均延滯分析模式模擬流程圖.....	5 - 5
圖 5-6 旅行時間示意圖 1.....	5 - 6
圖 5-7 旅行時間示意圖 2.....	5 - 6
圖 5-8 計算列車延滯時間示意圖.....	5 - 8
圖 6-1 列車實際加減速度變化過程示意圖.....	6 - 1
圖 6-2 計算平均加減速度示意圖.....	6 - 2
圖 6-3 淡海輕軌案例之範圍與軌道配置圖.....	6 - 3
圖 6-4 濱海沙崙站號誌週期對連續路段運轉時隔之影響.....	6 - 11
圖 6-5 路口號誌時差對運轉時隔與旅行時間之影響（往炭頂） .....	6 - 12
圖 6-6 路口號誌時差對運轉時隔與旅行時間之影響（往紅樹林） .....	6 - 12
圖 6-7 連續路段列車平均延滯分析結果（往炭頂）.....	6 - 13
圖 6-8 連續路段列車平均延滯分析結果（往紅樹林）.....	6 - 14
圖 6-9 輸入流量與輸出流量之關係（往炭頂）.....	6 - 15

圖 6-10 輸入流量與輸出流量之關係 (往紅樹林)	6 - 15
圖 6-11 高雄輕軌案例之範圍與軌道配置圖	6 - 16
圖 6-12 前鎮之星站號誌週期對連續路段運轉時隔之影響	6 - 27
圖 6-13 路口號誌時差對運轉時隔與旅行時間之影響 (往哈瑪星)	6 - 28
圖 6-14 路口號誌時差對運轉時隔與旅行時間之影響 (往籬仔內)	6 - 28
圖 6-15 連續路段列車平均延滯分析結果 (往哈瑪星)	6 - 29
圖 6-16 連續路段列車平均延滯分析結果 (往籬仔內)	6 - 30
圖 6-17 輸入流量與輸出流量之關係 (往哈瑪星)	6 - 30
圖 6-18 輸入流量與輸出流量之關係 (往籬仔內)	6 - 31
圖 7-1 容量分析輸入參數架構圖	7 - 1
圖 7-2 輕軌容量分析軟體架構圖	7 - 3
圖 7-3 輕軌容量分析軟體主畫面	7 - 8
圖 7-4 路線參數設定介面設計	7 - 9
圖 7-5 號誌參數設定介面設計	7 - 10
圖 7-6 基準點說明圖	7 - 10
圖 7-7 空間參考點參數設定視窗介面配置規劃	7 - 11
圖 7-8 路段參數編輯按鈕於主畫面中的呈現	7 - 15
圖 7-9 偏好設定中的路段參數分頁	7 - 16
圖 7-10 設定路段距離介面	7 - 17
圖 7-11 單一參考點容量分析介面 (彙整表)	7 - 18
圖 7-12 單一參考點容量分析介面 (路線容量圖)	7 - 18
圖 7-13 連續路段容量與列車平均延滯分析介面	7 - 19
圖 7-14 偏好設定介面	7 - 20
圖 8-1 北區教育訓練暨成果說明會	8 - 2
圖 8-2 中區教育訓練	8 - 2
圖 8-3 南區教育訓練	8 - 3
圖 8-4 各場次參與人數分布情況	8 - 4
圖 8-5 參與對象分布情況	8 - 5

圖 8-6	彙整表排序功能說明.....	8 - 6
圖 8-7	原先的容量分析結果圖表.....	8 - 7
圖 8-8	於 X 軸新增數值單位.....	8 - 7
圖 8-9	原先軟體之設定路段距離介面.....	8 - 8
圖 8-10	修改後之設定路段距離介面.....	8 - 8

# 表 目 錄

	頁 次
表 1.1 路權型式.....	1 - 4
表 2.1 A 型路權輕軌安全時距計算公式.....	2 - 3
表 2.2 $m$ 和 $n$ 滿足條件彙整表.....	2 - 5
表 2.3 傳統區域鐵路容量分析軟體在不同操作模式下之差異....	2 - 13
表 2.4 鐵道容量分析模式分類表.....	2 - 18
表 2.5 臺灣鐵道容量手冊各篇章節大綱.....	2 - 19
表 3.1 修正後的 $m$ 和 $n$ 滿足條件彙整表.....	3 - 7
表 4.1 事件類型與檢核項目對照表.....	4 - 7
表 6.1 淡海輕軌案例之空間參考點.....	6 - 3
表 6.2 淡海輕軌案例之各空間參考點之間距.....	6 - 4
表 6.3 淡海輕軌案例之紅樹林站參數.....	6 - 4
表 6.4 淡海輕軌案例之崁頂站參數.....	6 - 5
表 6.5 淡海輕軌案例之中間站參數.....	6 - 5
表 6.6 淡海輕軌之路口與號誌參數.....	6 - 6
表 6.7 淡海輕軌列車參數.....	6 - 7
表 6.8 單一空間參考點容量模式調整前後比較（往崁頂）.....	6 - 8
表 6.9 單一空間參考點容量模式調整前後比較（往紅樹林）.....	6 - 9
表 6.10 淡海輕軌案例之連續路段容量分析結果（不含端末站） .....	6 - 10
表 6.11 濱海沙崙站各項參數對連續路段容量之影響.....	6 - 10
表 6.12 高雄輕軌案例之空間參考點.....	6 - 17
表 6.13 高雄輕軌案例之各空間參考點之間距.....	6 - 18
表 6.14 高雄輕軌案例之車站參數.....	6 - 19
表 6.15 高雄輕軌之籬仔內站參數.....	6 - 19
表 6.16 高雄輕軌之哈瑪星站參數.....	6 - 20
表 6.17 高雄輕軌之路口與號誌參數（無優先號誌）.....	6 - 21

表 6.18	高雄輕軌之號誌參數（有優先號誌） .....	6 - 22
表 6.19	高雄輕軌列車參數.....	6 - 23
表 6.20	單一空間參考點容量模式調整前後比較（往哈瑪星） ....	6 - 24
表 6.21	單一空間參考點容量模式調整前後比較（往籬仔內） ....	6 - 25
表 6.22	高雄輕軌案例之連續路段容量分析結果（不含端末站） .....	6 - 26
表 6.23	前鎮之星站各項參數對連續路段容量之影響.....	6 - 27
表 7.1	輕軌容量分析軟體功能需求列表.....	7 - 2
表 7.2	輕軌容量分析軟體輸入參數表.....	7 - 4
表 7.3	空間參考點類型架構表.....	7 - 5
表 7.4	號誌優先策略架構.....	7 - 6
表 7.5	空間參考點圖示表.....	7 - 9
表 7.6	各空間類型設定參數介面.....	7 - 12
表 7.7	空間參考點細節類型與可編輯欄位的連動示意圖 .....	7 - 14
表 8.1	教育訓練與成果說明會之辦理日期與地點.....	8 - 1
表 8.2	教育訓練課程安排.....	8 - 4

# 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。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廣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，而政府前瞻基礎建設計畫將於各都會區規劃推動輕軌運輸系統，且部分計畫已陸續完工通車（例如高雄環狀輕軌及淡海輕軌），為利後續推動之輕軌運輸系統皆能有效掌握其供給容量，及時提供後續相關計畫於規劃、興建及營運各階段之決策參考應用，因此先就「輕軌運輸系統」辦理容量分析之系列研究。

此外，對應於供給面之鐵道系統路線供給容量，反映於需求面乘客感受部分即為運輸服務品質，而其中之運輸系統可靠度(Reliability)即是影響運輸服務品質最重要的因素之一，茲為能對釐清列車運轉延滯之原因及關鍵影響因素，以有效提升營運可靠度及掌握輕軌運輸系統容量，爰本系列研究亦需探討輕軌運輸系統可靠度之課題。

## 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，第一年度的研究重點在於建構 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，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構建與軟體開發，此外還要編訂鐵道容量手冊及辦理教育訓練等研究推廣工作。本年度為「輕軌系統容量分析暨應用研究(2/2)－A、B 型路權容量及可靠度分析」，亦即此計畫的第二年度(民國 109 年)。

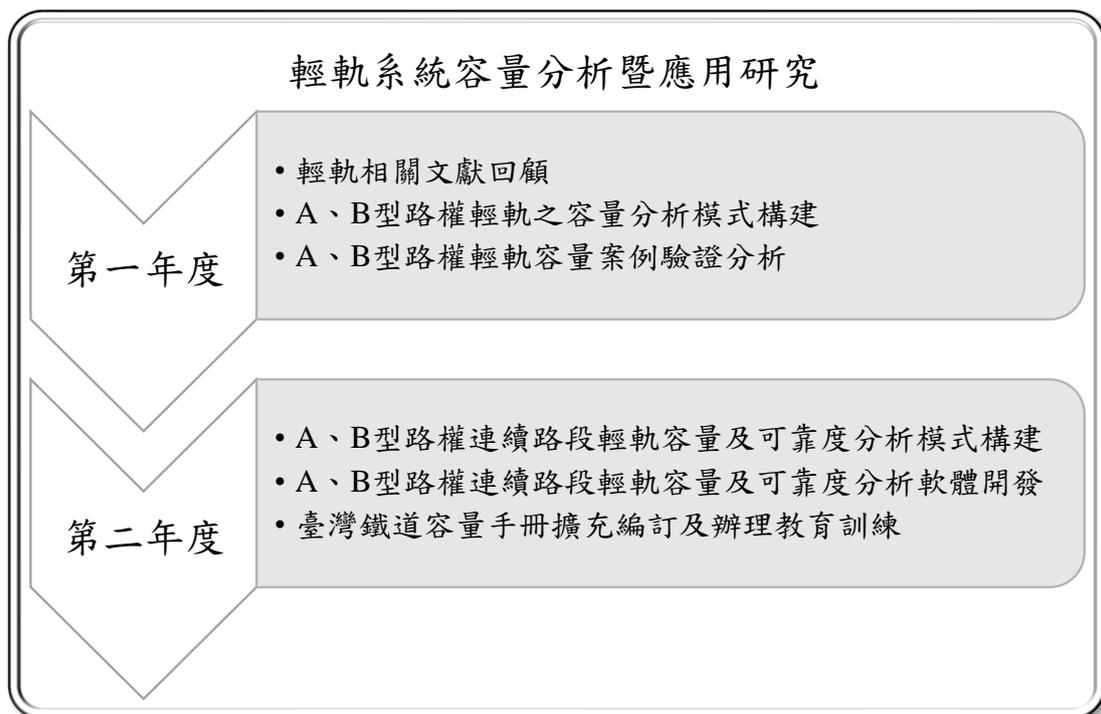
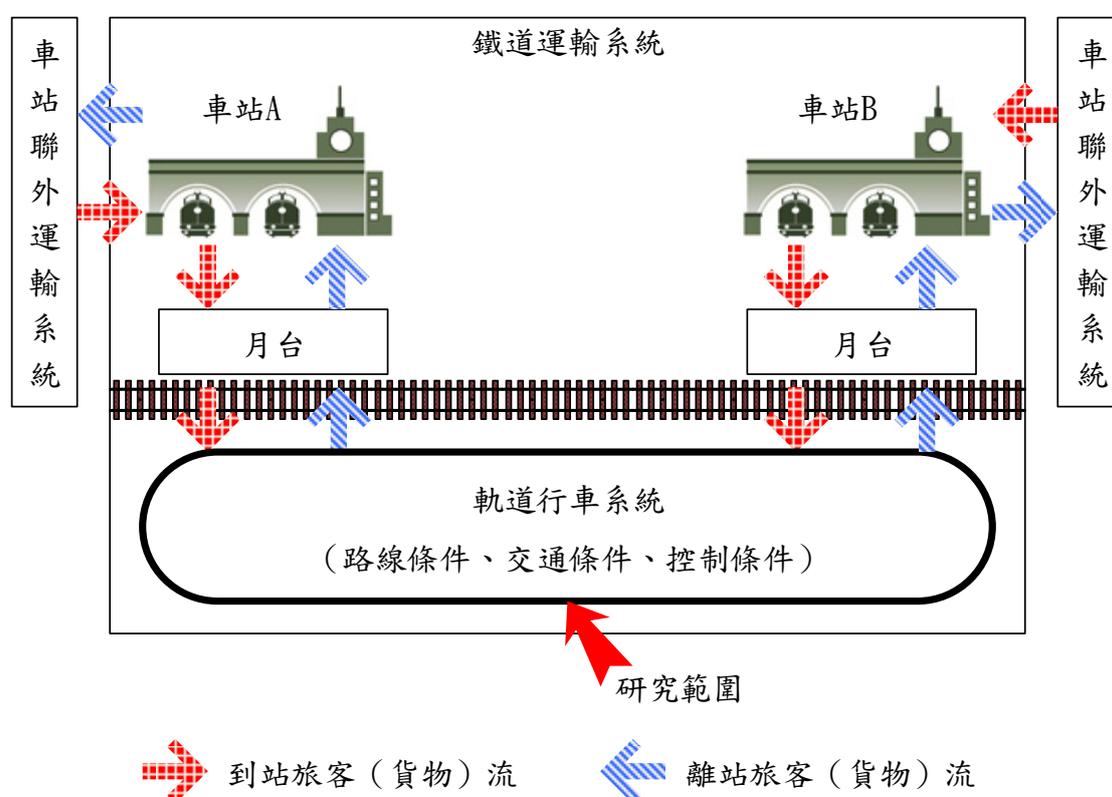


圖 1-1 全程計畫概要示意圖

### 1.3 研究範圍與對象

在本計畫的研究範圍方面，一般而言，鐵道容量分析著重在鐵道行車系統的部分，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「鐵道行車系統」，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，和控制條件來探討「鐵道行車設備的最大輸送能力」。



此外值得注意的是，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<sup>[1]</sup>，如表 1.1 所示，而本計畫所要研究探討的為 A 型和 B 型路權的輕軌容量。

表 1.1 路權型式

路權型式	說明
專用路權 (A 型路權)	輕軌運輸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。
隔離路權 (B 型路權)	輕軌運輸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，其路口號誌可視需要採輕軌列車優先通行號誌。
共用路權 (C 型路權)	輕軌列車與道路車輛可共用行駛之路徑，但以輕軌列車優先行駛。

本計畫的研究對象為輕軌運輸系統 (Light Rail Transit, LRT)，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。根據交通部輕軌系統建設及車輛技術標準規範<sup>[1]</sup>，在路線條件方面，輕軌以雙線雙向建造為原則，站內月臺可為島式、側式或混合配置，市區站距宜介於 500~800 公尺，路權型式可單獨或混合採用專用路權、隔離路權、共用路權。在交通條件方面，輕軌車輛具軸重較輕、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，停站時間以 25 秒為原則。在控制條件方面，輕軌列車為駕駛員目視操控駕駛，沒有閉塞號誌系統，於平面道路交叉路口處設置號誌並能提供優先號誌功能。

## 1.4 計畫目的

本計畫的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之連續路段鐵道容量及可靠度分析模式，作為鐵道容量系列研究之輕軌運輸系統部分的重要依據，此外透過手冊編訂與教育訓練持續進行推廣作業。

## 1.5 工作項目與內容

今年度的研究工作內容如下：

## 1. A、B 型路權連續路段輕軌容量及可靠度分析模式構建

- (1) 因應實務輕軌運輸系統常採用 A、B 型交互混合之路權型式布設之需求，需構建混合路權連續路段之輕軌容量分析模式，以利後續實務應用。
- (2) 為能有效釐清列車運行延滯與輕軌容量之交互關係，有效掌握提升列車營運可靠度與服務品質對容量之影響，並確實估算可利用容量，必須構建輕軌運輸系統可靠度分析模式。

## 2. A、B 型路權連續路段輕軌容量及可靠度分析軟體開發

依據構建完成之 A、B 型路權連續路段輕軌容量及可靠度分析模式，考量模式運作分析邏輯開發分析軟體，以利後續輕軌容量分析使用及推廣。主要工作項目包括：

- (1) 檢討適用容量分析模式及可靠度列車延滯分析模式之軟體特性、軟體需求、系統分析設計及操作說明，軟體並需結合使用範例，以滿足實務分析需求。
- (2) 容量分析與可靠度分析功能需整合於一套軟體之中，使輕軌容量分析軟體更為周延完整。

## 3. 臺灣鐵道容量手冊擴充編訂及辦理教育訓練

依據前述各項研究成果，彙整成鐵道容量手冊之「輕軌運輸系統篇」，並擴充編訂「臺灣鐵道容量手冊」，主要工作項目包括：

- (1) 彙整本系列研究完成之「連續路段輕軌容量分析模式」及「連續路段輕軌列車可靠度分析模擬模式」，編訂鐵道容量手冊之「輕軌運輸系統篇」內容。
- (2) 本年度辦理教育訓練至少 3 場，並配合教育訓練彙整各界對模式及軟體之意見，參酌修訂完成臺灣鐵道容量手冊之輕軌運輸系統篇內容。

## 4. 其他工作項目

- (1) 辦理 2 次學者專家座談會。

- (2) 將研究成果投稿運輸計劃季刊、國內外期刊或學術研討會。
- (3) 辦理教育訓練前應先辦理鐵道容量手冊「輕軌運輸系統篇」修訂版暨輕軌容量成果說明會。
- (4) 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

依據今年度的主要工作項目，研究流程如圖 1-3 所示，共可分為三個階段，首先是模式建構階段，此階段延續去年研究成果，建立連續路段輕軌容量分析模式和可靠度分析模式。接著進入軟體開發階段，依照一般軟體開發流程，進行軟體需求分析、系統分析設計、程式開發，以及整合測試驗證等程序。在模式和軟體完成後，便進入推廣作業階段，先規劃設計課程並舉辦教育訓練，再彙整輕軌容量研究成果以及教育訓練的回饋意見，編訂臺灣鐵道容量手冊「輕軌運輸系統篇（A、B 型路權）」，最後提出本研究的結論與建議。

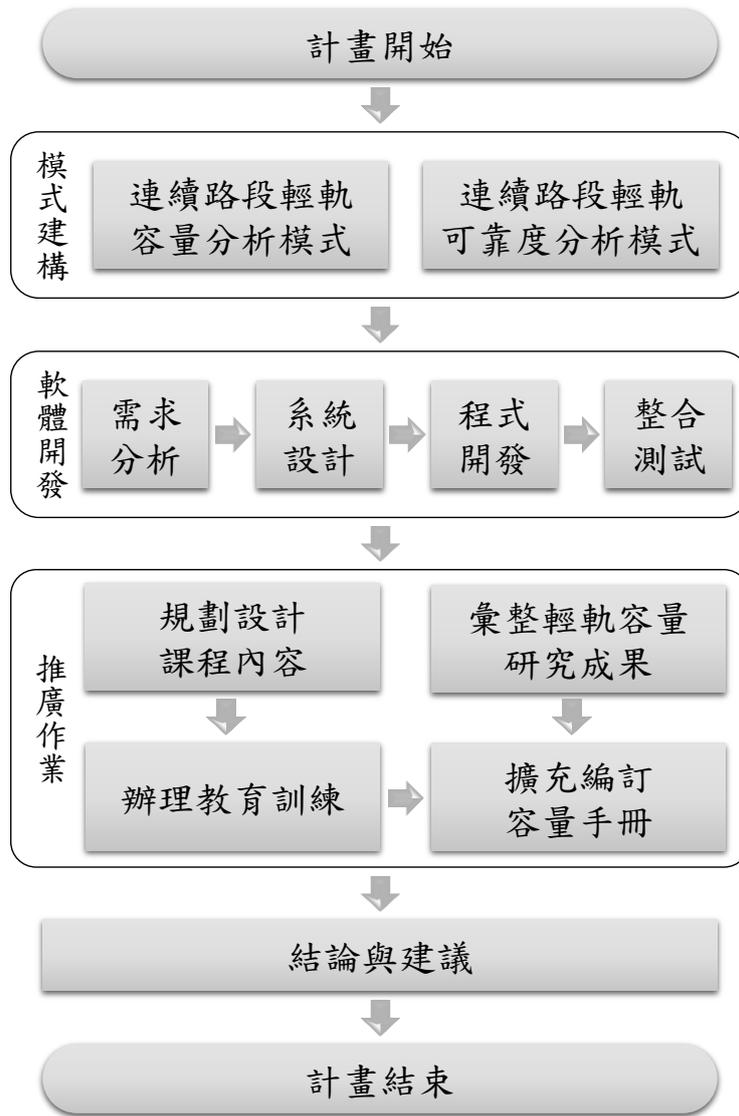


圖 1-3 研究流程圖

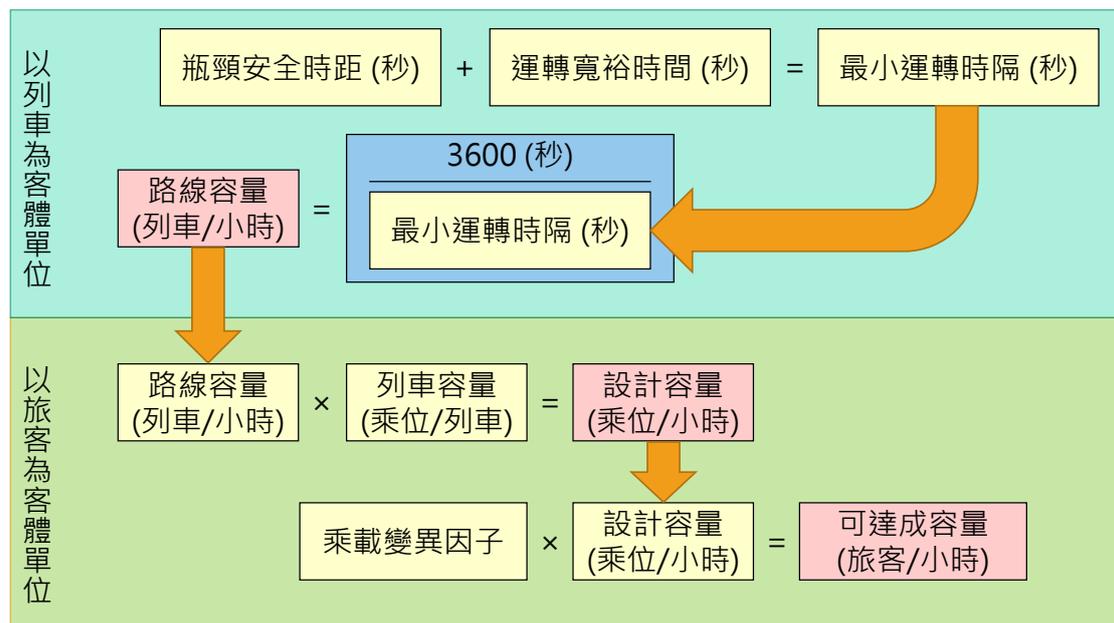


## 第二章 重要文獻回顧

### 2.1 單一空間參考點輕軌容量分析模式

在前期研究中，了解到輕軌運輸系統容量分析相關文獻相當有限，且都有待改善之處，因此發展了 A、B 型路權輕軌容量分析模式<sup>[14]</sup>，讓國內在積極發展輕軌運輸系統的同時，能夠有一套評估運能的方法，以確保系統能在最經濟的條件下提供符合預期品質的運輸服務。

圖 2-1 為該模式的整體架構，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，其分析程序說明如下。



資料來源：[14]

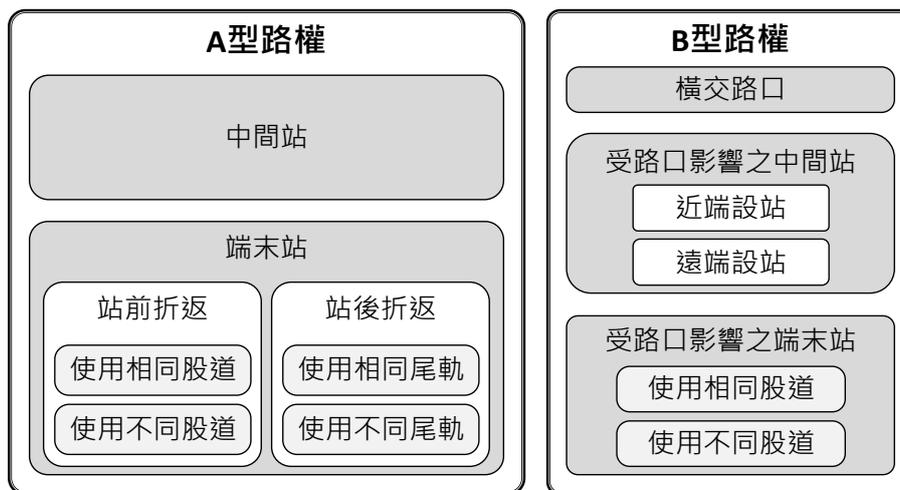
圖 2-1 輕軌容量分析模式整體架構

1. 步驟一：計算潛在容量瓶頸處之安全時距

輕軌運輸系統的路線瓶頸可能發生在停站時間最長的車站，或橫渡線佈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，因此須對每個空間參考點（Critical Point）根據其型式來計算安全時距。

模式中在 A 型路權所考量的空間參考點型式包含中間站、末端站和單線區間，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橫交路口、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 2-2，其中 A 型路權的安全時距計算公式如表 2.1，而 B 型路權的安全時距計算，需先根據表 2.2 計算出一個運行型態中，共歷經  $m$  個路口號誌週期，並有  $n$  列車通過，然後透過下式計算之，相關數學符號說明彙整於附錄 A。

$$\bar{T}_s = \frac{m(G + R)}{n} \quad (2.1)$$



資料來源：[14]

圖 2-2 安全時距種類

表 2.1 A 型路權輕軌安全時距計算公式

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	—	$T_{s,m} = \frac{s_m + L}{v_i} + \frac{v_i}{K_b b} + t_d$
單線區間	—	—	—	$T_{s,x} = t_o + t_{or} + 2t_i + 2t_c - \sqrt{\frac{8s_e}{K_b b}}$
端末站	—	同一股道	$s_p + s_c + L \geq v_o^2 / 2K_a a$	$T_{t,f1} = \frac{v_o}{2K_a a} + \frac{s_p + s_c + L}{v_o} + \frac{d_t}{v_i} + \frac{v_i}{2K_b b} + \frac{s_c + s_p + L}{v_c} + \frac{v_c}{2K_b b} \left( \frac{v_c}{v_i} - 1 \right) + t_d$
		同一股道	$s_p + s_c + L < v_o^2 / 2K_a a$	$T_{t,f1} = \sqrt{\frac{2(s_p + s_c + L)}{K_a a} + \frac{d_t}{v_i} + \frac{v_i}{2K_b b} + \frac{s_c + s_p + L}{v_c} + \frac{v_c}{2K_b b} \left( \frac{v_c}{v_i} - 1 \right) + t_d}$
	站前折返	不同股道	有直行橫渡線區的限速	$T_{t,f2} = t_i + \frac{v_c}{2K_a a} + \frac{s_p + s_c + L}{v_c} + \frac{d_t}{v_i} + \frac{v_i}{2K_b b} + \frac{s_c + s_p + L}{v_{cs}} + \frac{v_{cs}}{2K_b b} \left( \frac{v_{cs}}{v_i} - 1 \right) - \sqrt{\frac{2s_p}{K_b b}}$
			無直行橫渡線區的限速	$T_{t,f2} = t_i + \frac{v_c}{2K_a a} + \frac{s_p + s_c + L}{v_c} + \frac{d_t + s_c + s_p + L}{v_i} + \frac{v_i}{2K_b b} - \sqrt{\frac{2s_p}{K_b b}}$

空間參考點	折返方式	使用股道	其他條件	安全時距公式
		同一尾軌	$v_e < v_{cs}$	$T_{t,r1} = \frac{s_{p,2} + s_c + s_{p,1} + L}{v_c} + \frac{v_c}{2K_a a} + \frac{v_c}{2K_b b} - \sqrt{\frac{2s_{p,1}}{K_b b} + t_i}$ $+ \sqrt{\frac{2K_b b(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{K_a a(K_a a + K_b b)} + \frac{2K_a a(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{K_b b(K_a a + K_b b)}} + t_d$
			$v_e \geq v_{cs}$	$T_{t,r1} = \frac{s_{p,2} + s_c + s_{p,1} + L}{v_c} + \frac{v_c}{2K_a a} + \frac{v_c}{2K_b b} - \sqrt{\frac{2s_{p,1}}{K_b b} + t_i}$ $+ \frac{s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L}{v_{cs}} + \frac{v_{cs}}{2K_a a} + \frac{v_{cs}}{2K_b b} + t_d$
端末站	站後折返		$v_e < v_{cs}$	$T_{t,r2} = \frac{s_{p,2} + s_c + s_{p,1} + L}{v_c} + \frac{v_c}{2K_a a} + \frac{v_c}{2K_b b} - \sqrt{\frac{2s_{p,1}}{K_b b} + 2t_i}$ $+ \sqrt{\frac{2K_b b(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{K_a a(K_a a + K_b b)} + \frac{2K_a a(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{K_b b(K_a a + K_b b)}} - \sqrt{\frac{2s_{p,2}}{K_b b}}$
		不同尾軌	$v_e \geq v_{cs}$	$T_{t,r2} = \frac{s_{p,2} + s_c + s_{p,1} + L}{v_c} + \frac{v_c}{2K_a a} + \frac{v_c}{2K_b b} - \sqrt{\frac{2s_{p,1}}{K_b b} + 2t_i}$ $+ \frac{s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L}{v_{cs}} + \frac{v_{cs}}{2K_a a} + \frac{v_{cs}}{2K_b b} - \sqrt{\frac{2s_{p,2}}{K_b b}}$

資料來源：[14]

表 2.2  $m$  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
橫交路口	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	$m(G + R) - R \leq t_B + (n - 2)(t_{t \rightarrow c} + t_{c \rightarrow t} - t_{b,s} + t_i) < m(G + R)$

資料來源：[14]

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

當安全時距愈大時，其產生的變異也愈大，運轉寬裕時間與瓶頸安全時距呈一定的比例，亦即

$$t_m = \beta T_s \quad (2.2)$$

式中： $t_m$ =運轉寬裕時間 (s)

$\beta$ =運轉寬裕時間係數

$T_s$ =瓶頸安全時距 (s)

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<sup>[2]</sup>，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

$$h = T_s + t_m = (1 + \beta)T_s \quad (2.3)$$

式中： $h$ =最小運轉時隔 (s)

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

$$C_l = \frac{3600}{h} = \frac{3600}{(1 + \beta)T_s} \quad (2.4)$$

式中： $C_l$ =路線容量 (train/h)

## 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

$$C_o = C_l c_t \quad (2.5)$$

式中： $C_o$ =設計容量 (sps/h)

$c_t$ =列車容量 (sps/train)

## 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

式中： $C_u$ =可達成容量 (prs/h)

$\rho_d$ =列車間乘載變異因子，建議值為 0.75<sup>[18]</sup>

## 2.2 軌道容量分析軟體

目前國內自行研發的軌道容量分析軟體有「傳統暨區域鐵路系統軌道容量分析軟體」和「都會捷運系統容量分析軟體」兩款，以下分別介紹之。

### 2.2.1 傳統暨區域鐵路系統軌道容量分析軟體

民國 96 年，本所針對臺鐵系統開發了「傳統暨區域鐵路系統軌道容量分析軟體」<sup>[12]</sup>，最初此軟體的演算核心僅有單一區段軌道容量分析模式，而在後續的容量系列研究中，則進一步發展了連續區段軌道容量分析模式<sup>[3,7]</sup>，並將之整合至其中<sup>[4,5,6]</sup>，最後於民國 106 年進行整體的升級改版，開發了新版「傳統暨區域鐵路系統軌道容量分析軟體」<sup>[8,9]</sup>。

軟體的主畫面如圖 2-3 所示，上方的功能面板提供專案管理、參數編輯與分析等各項軟體功能，而下方的參數檢視區則可讓使用者掌握目前專案的各項參數資料。其中各項軟體功能共可分為四類，其架構如圖 2-4 所示，以下分別說明之。

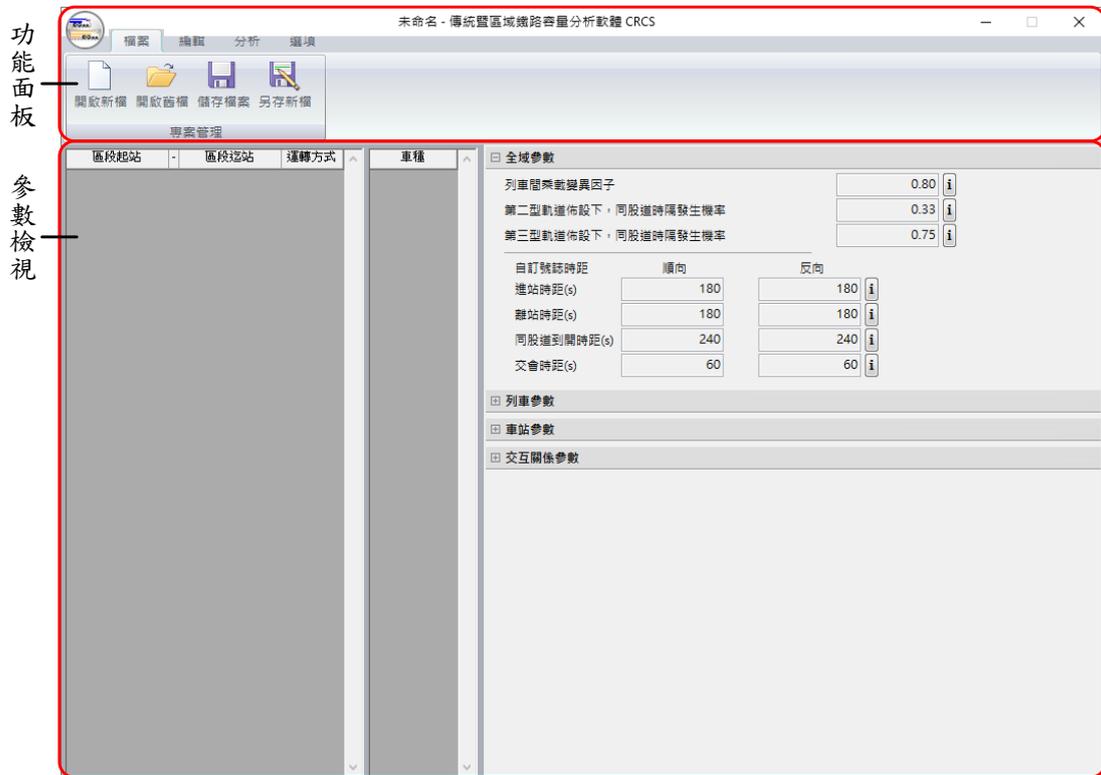


圖 2-3 傳統暨區域鐵路系統軌道容量分析軟體主畫面

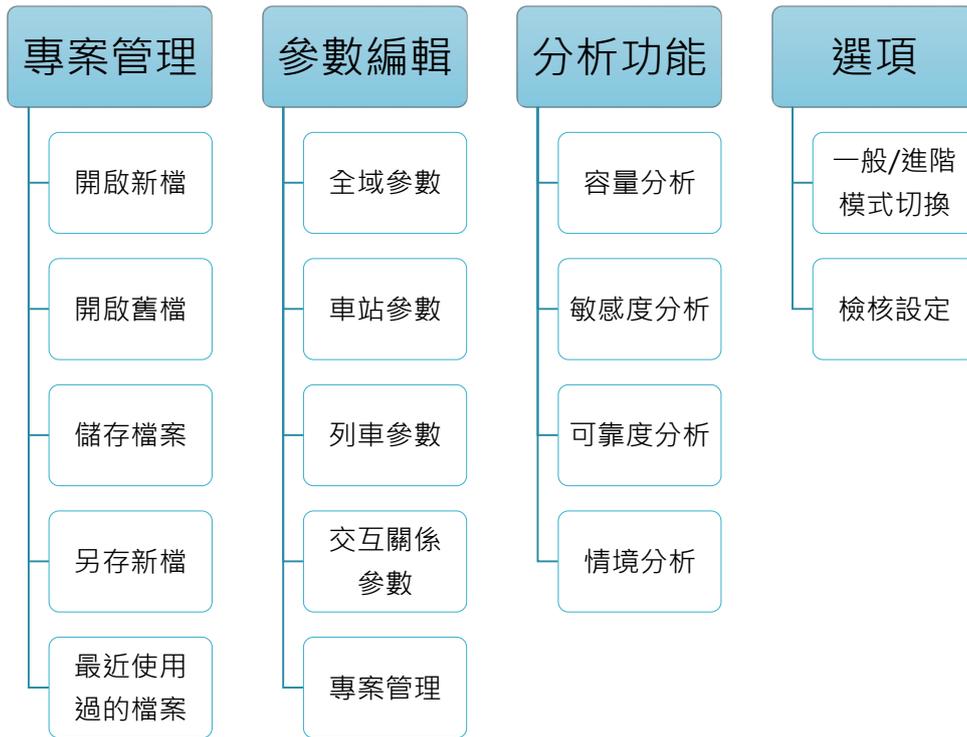


圖 2-4 傳統暨區域鐵路系統軌道容量分析軟體之功能架構

### 1. 專案管理

如圖 2-5 所示，軟體在此提供了使用者新增、開啟、儲存和另存專案檔等功能，此外亦臚列了最近使用過的專案檔清單，以方便使用者能快速找到所需的檔案。

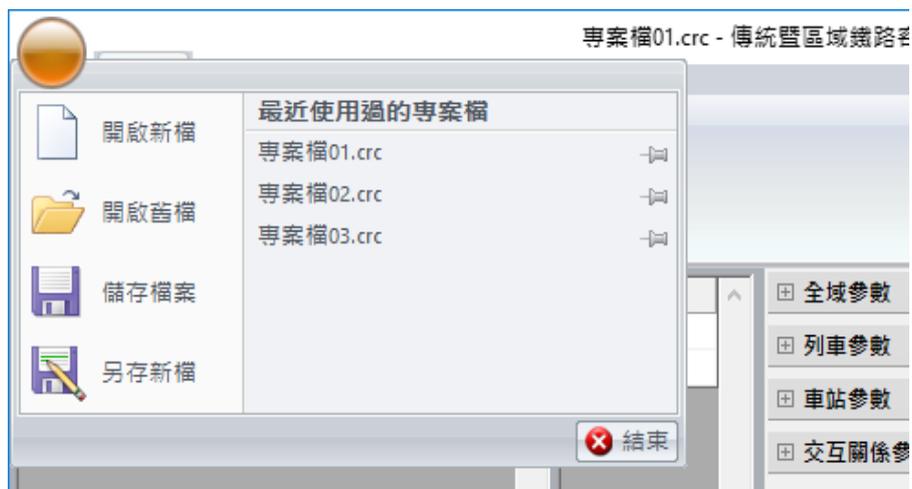


圖 2-5 傳統區域鐵路容量分析軟體之專案管理功能相關介面

## 2. 參數編輯

容量分析軟體的參數有全域參數、車站參數、列車參數與交互關係參數等四種，其中全域參數顧名思義表示該參數的數值不隨列車、車站、區間而變，而其他三種參數則依列車、車站或區間不同而須逐一設定，相關使用者介面如圖 2-6。

此外，為了改善參數設定的便利性，軟體還提供了專案精靈（Wizard）功能，其介面如圖 2-7 所示，能引導使用者依循制式步驟完成匯入臺鐵參數資料、新增車站，以及新建路線等工作，大幅降低入門門檻。

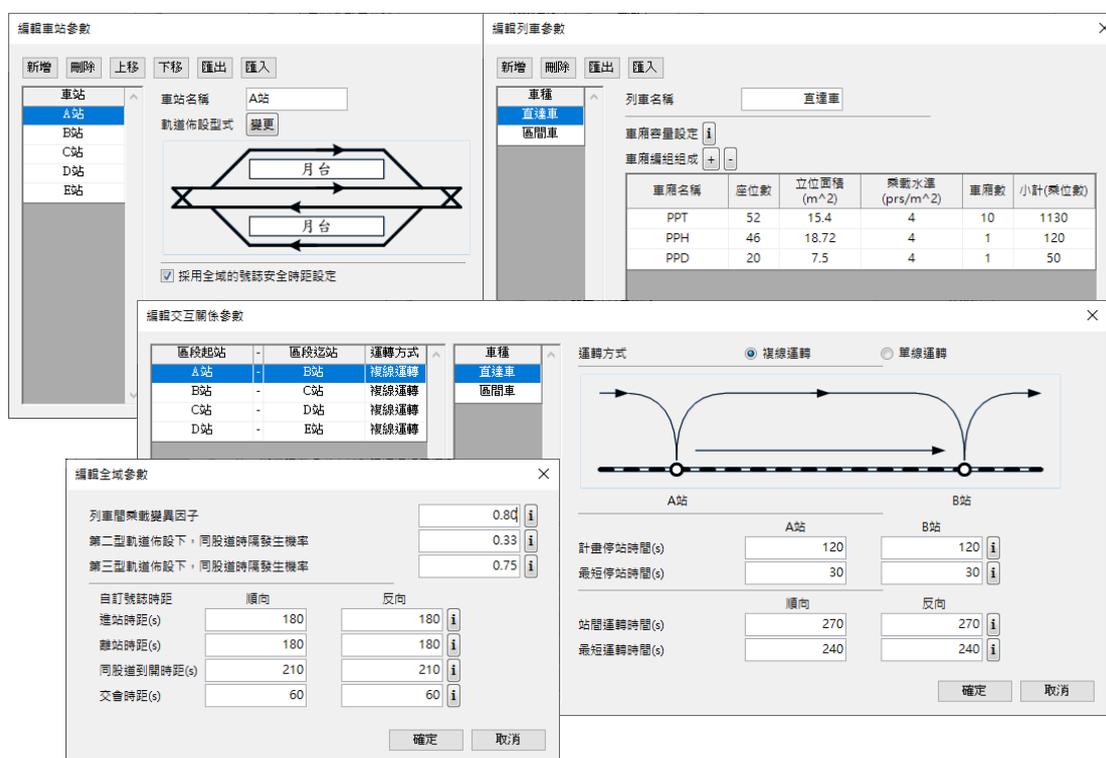


圖 2-6 傳統區域鐵路容量分析軟體之參數編輯功能相關介面

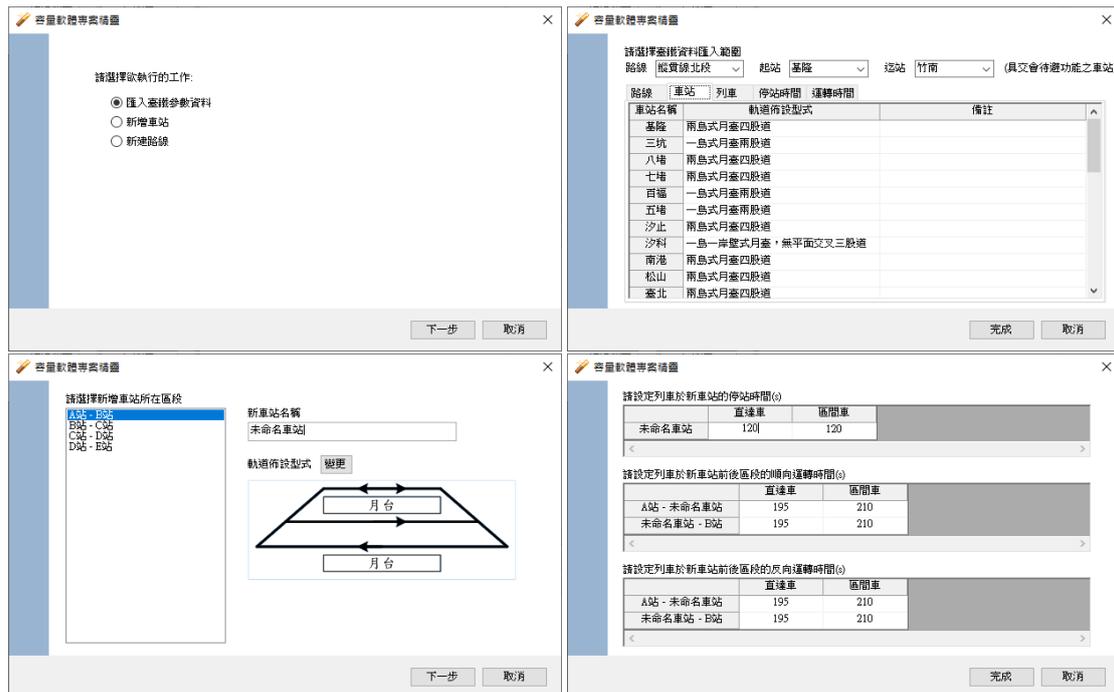


圖 2-7 傳統區域鐵路容量分析軟體之專案精靈相關介面

### 3. 分析功能

分析功能包含了容量分析、敏感度分析、可靠度分析和情境分析，其中容量分析用來評估專案中各連續區段與各單一區段之軌道容量；敏感度分析用於探討某一參數的變化對軌道容量之影響；可靠度分析則是在探討不同的列車流量所導致的平均延滯時間；情境分析可讓使用者針對某一區段設定多種情境進行容量分析並比較，相關使用者介面設計如圖 2-8 所示。

各項分析的結果會依據其特性以彙整表、直方圖或折線圖等不同型式來呈現，並可輸出文字或圖像。若是儲存成檔案，可支援逗號分隔值 (Comma-Separated Values, CSV)、富文字格式 (Rich Text Format, RTF)、點陣圖 (Bitmap, BMP) 和 Windows 系統標準向量圖 (Windows Meta File, WMF) 等格式；若是複製至剪貼簿，則文字採用 CSV 格式；圖像採用 BMP 格式。

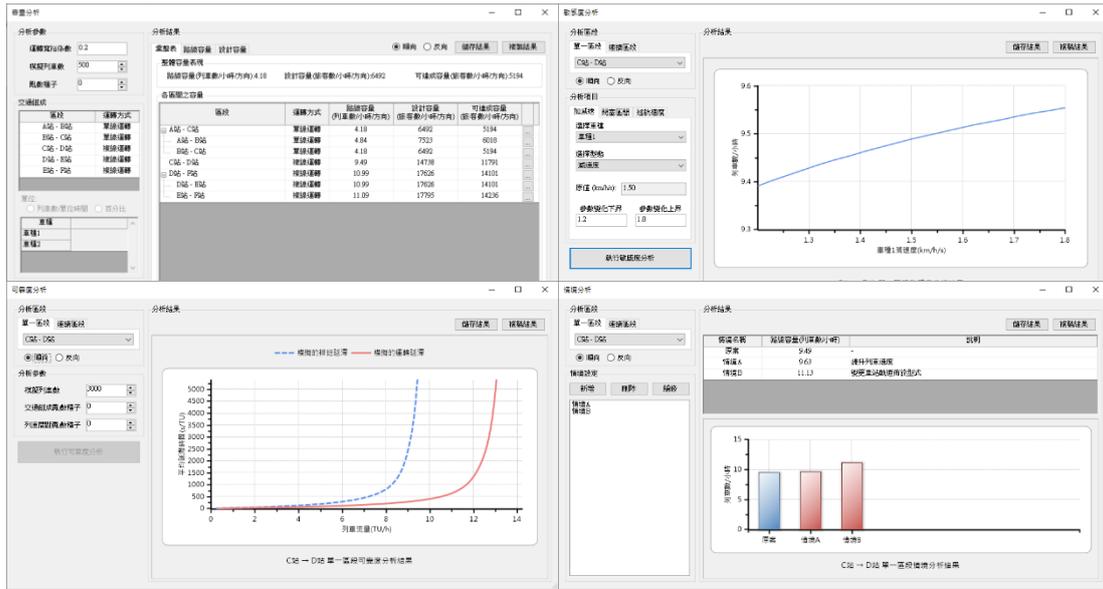


圖 2-8 傳統區域鐵路容量分析軟體之分析功能相關介面

#### 4. 選項

在選項中，使用者於圖 2-9 中勾選或取消勾選「進階模式」，來進行切換一般或進階操作模式，兩模式的差異在於所需的參數多寡以及可執行的分析功能，如表 2.3 所示。一般模式不需輸入計算號誌安全時距的細節參數，改為直接設定號誌安全時距，但也因此不能進行敏感度分析和情境分析；進階模式則是根據細節參數來計算號誌安全時距，因此不需再設定之，所有的分析功能皆可執行。



圖 2-9 傳統區域鐵路容量分析軟體之操作模式切換畫面

表 2.3 傳統區域鐵路容量分析軟體在不同操作模式下之差異

項目	一般模式	進階模式
細節參數	不需設定	需設定
號誌安全時距	需設定	不需設定
專案精靈	有	無
容量分析	可分析	可分析
敏感度分析	不可分析	可分析
可靠度分析	可分析	可分析
情境分析	不可分析	可分析

另外，為了使軟體在應用上更具彈性，使用者可透過如圖 2-10 之畫面自訂參數的預設值以及合理範圍，同時亦提供「恢復原廠設定」的按鈕，必要時可復原成軟體初始的設定。



圖 2-10 傳統區域鐵路容量分析軟體之檢核設定畫面

### 2.2.2 都會捷運系統容量分析軟體

本所於民國 99 年開發了「都會捷運系統容量分析軟體」<sup>[13]</sup>，其中含有「路線容量分析」和「營運規劃分析」兩個模組，而「路線容量

分析」模組便是以民國 98 年所發展的都會捷運系統容量分析模式<sup>[12]</sup>為其演算核心。

軟體的主畫面如圖 2-11 所示，除了一般應用程式所含有的標題列、功能表、工具列與狀態列等基本元件外，還以三個區域呈現容量分析所需的三類參數，分別為全域參數、列車參數和空間參考點參數。各項軟體功能共可分為四類，其架構如圖 2-12 所示，以下分別說明之。

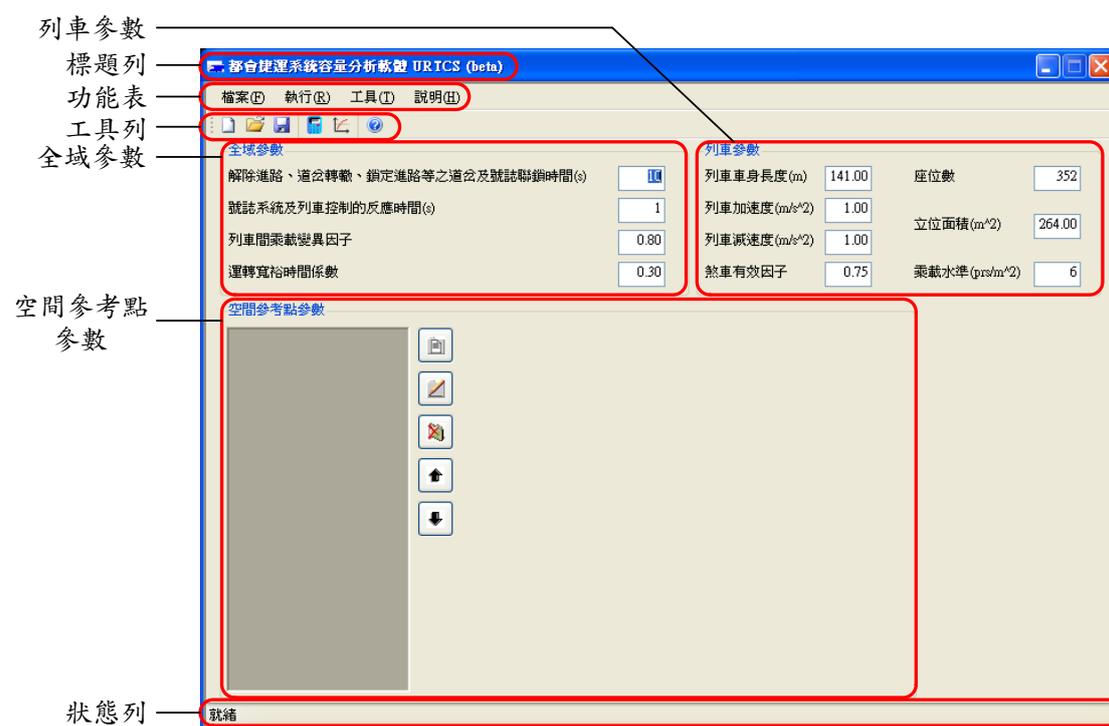


圖 2-11 都會捷運系統容量分析軟體主畫面

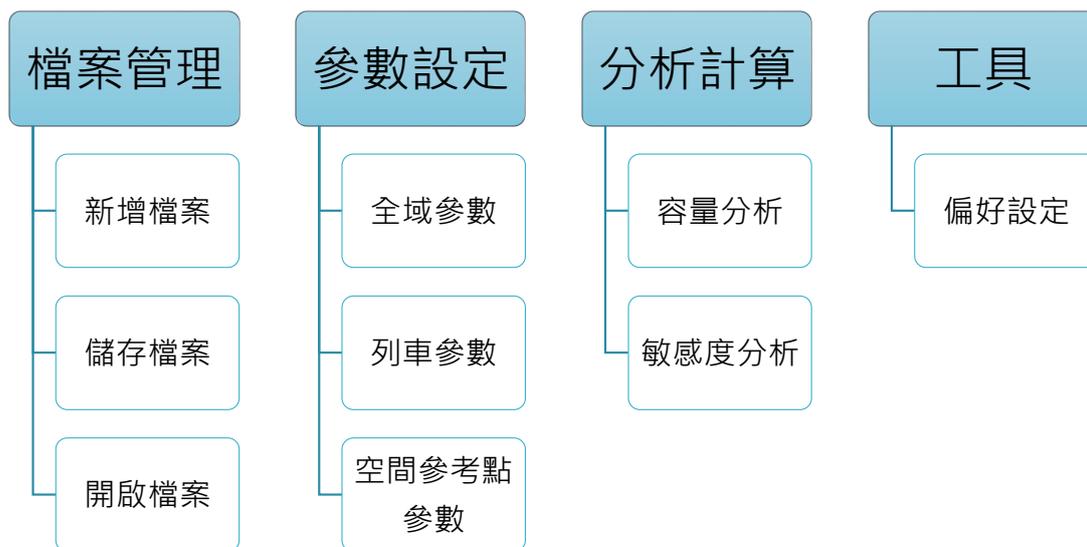


圖 2-12 都會捷運系統容量分析軟體之功能架構

## 1. 檔案管理

軟體透過對話盒，如圖 2-13 所示，提供使用者新增、開啟、儲存檔案等功能。



圖 2-13 都會捷運系統容量分析軟體之檔案管理功能相關介面

## 2. 參數設定

在都會捷運系統容量分析軟體中，全域參數和列車參數可直接在主畫面中設定，而空間參考點參數則會另外開啟視窗，如圖 2-14 所示。

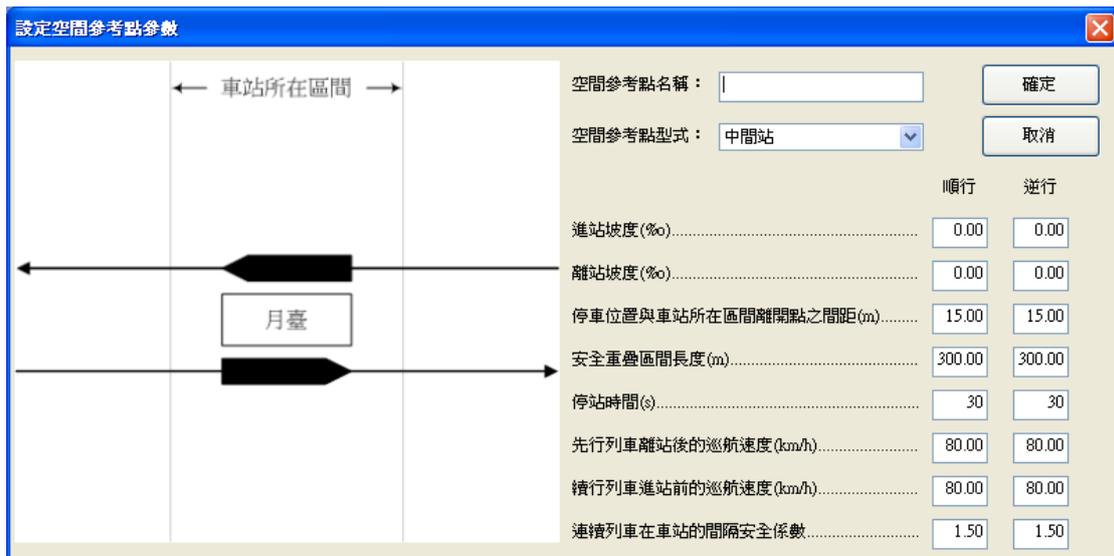


圖 2-14 都會捷運系統容量分析軟體之空間參考點參數設定介面

### 3. 分析計算

分析計算功能包含了容量分析和敏感度分析，相關使用者介面設計如圖 2-15 所示，各項分析的結果會依據其特性以彙整表、直方圖或折線圖等不同型式來呈現，並可輸出文字或圖像。若是儲存成檔案，可支援逗號分隔純文字檔、點陣圖和 Windows 系統標準向量圖等格式；若是複製至剪貼簿，則文字採用 CSV 格式；圖像採用 BMP 格式。



圖 2-15 都會捷運系統容量分析軟體之分析計算功能相關介面

### 4. 工具

軟體中的各項參數皆有預設值和合理範圍檢查，此外使用者亦可自訂之，其設定畫面如圖 2-16 所示。

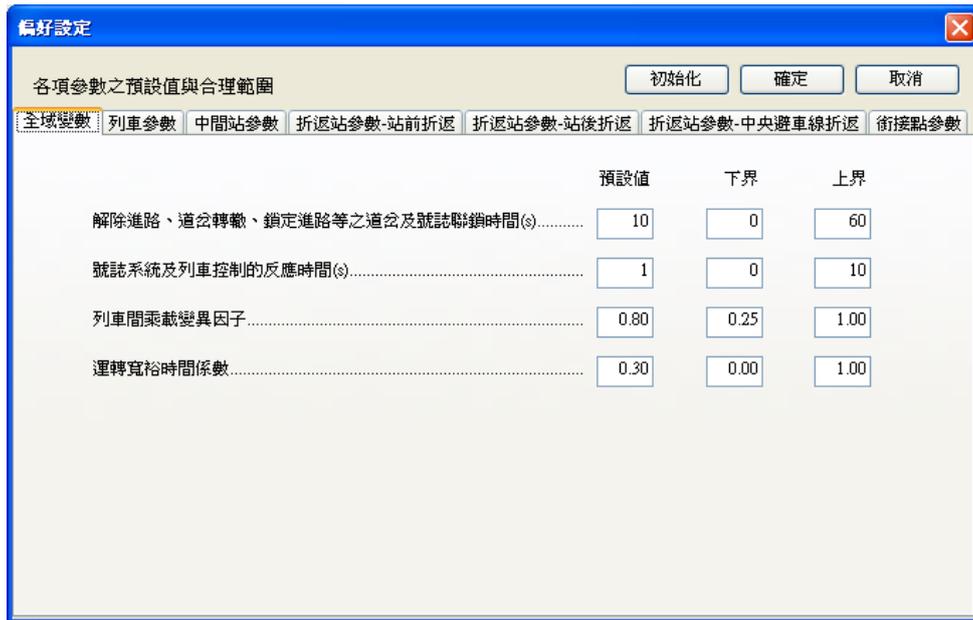


圖 2-16 都會捷運系統容量分析軟體之偏好設定介面

## 2.3 鐵道容量手冊

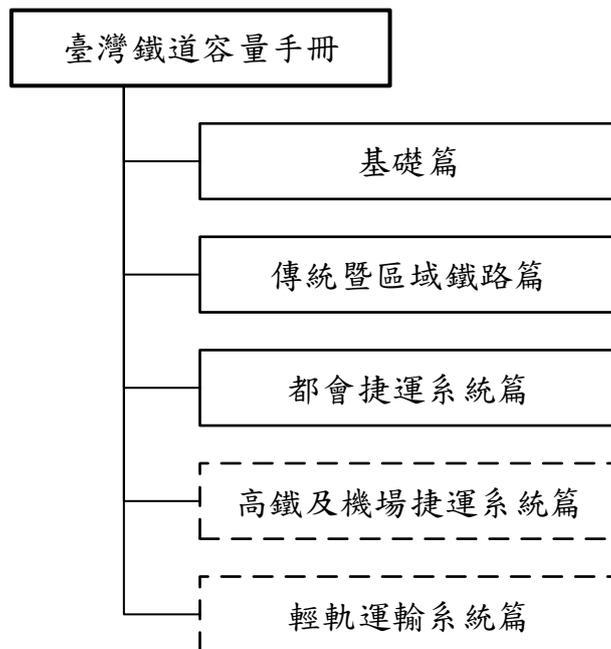
臺灣鐵道容量手冊<sup>[2]</sup>之內容包含軌道容量分析相關課題的基本定義與概念，以及軌道容量分析的程序和方法，並提供相關分析範例，以利相關人員在規劃、設計及營運階段進行分析參考使用。

由於軌道容量的計算是一個相當複雜的問題，解決方式還需視鐵道系統特性而定，因此該手冊將軌道容量分析所通用的基本知識編為「基礎篇」，而根據路線條件、交通條件與控制條件的不同，將鐵道系統分為四類，詳見表 2.4，不同的鐵道系統必須採用不同的容量分析模式，故各自以獨立篇章作進階的說明，其整體架構如圖 2-17。

表 2.4 鐵道容量分析模式分類表

系統特性		系統分類			
		(第一類) 傳統暨區域 鐵路系統	(第二類) 都會捷運 系統	(第三類) 高鐵及機場 捷運系統	(第四類) 輕軌運輸 系統
路線條件	車站有副正線	√	—	√	—
	具有專用路權	√	√	√	—
交通條件	有錯會車行為	√	—	√	—
	停站型態一致	—	√	—	√
控制條件	號誌控制系統	三位式路側 號誌	車載號誌	車載號誌	—
	自動列車控制	—	√	√	—
系統案例		臺灣鐵路	臺北捷運 高雄捷運	臺灣高鐵 桃園機場聯 外捷運	高雄環狀輕 軌 淡海輕軌

資料來源：[2]



資料來源：[2]與本計畫整理

圖 2-17 臺灣鐵道容量手冊整體架構

在歷經多次編訂後<sup>[5,9,11,13]</sup>，目前鐵道容量手冊已完成了「基礎篇」、「傳統暨區域鐵路系統篇」和「都會捷運系統篇」等三個篇章，其章節大綱整理於表 2.5，至於其他篇章則有待後續研究陸續補齊。

表 2.5 臺灣鐵道容量手冊各篇章節大綱

篇章	章節大綱
基礎篇	第一章 緒論 第二章 軌道容量的基本概念 第三章 軌道容量的影響因素 第四章 列車控制與號誌系統 第五章 服務品質的基本概念 第六章 軌道容量分析的應用 第七章 軌道容量分析方法概論 第八章 參考文獻
傳統暨區域鐵路系統篇	第一章 緒論 第二章 單區段路線容量分析模式 第三章 連續區段路線容量分析模式 第四章 旅客容量分析模式 第五章 容量整體分析程序 第六章 列車服務可靠度分析 第七章 容量分析軟體 第八章 分析範例 第九章 參考文獻
都會捷運系統篇	第一章 緒論 第二章 路線容量分析模式 第三章 旅客容量分析模式 第四章 容量整體分析程序 第五章 軌道容量分析程式 第六章 分析範例 第七章 參考文獻

資料來源：[2]與本計畫整理

## 2.4 小結

前期研究所發展的輕軌容量分析方法，並不考慮所分析的空間參考點之外的干擾，意味著假設只要時距足夠，列車便能一列接著一列的運轉，但列車的運行是隨時間空間不斷的進行，實際運轉時難以在每一個空間參考點都保持假設的理想狀態，例如：兩列車通過前一路口時已保持足夠安全時距，但到了下一路口時，先行列車可能停等紅燈，導致續行列車與先行列車間的安全時距不足。有鑑於此，本計畫將考量路線上下游之間的交互影響，發展 A、B 型路權連續路段輕軌容量和可靠度分析方法。

此外，前期研究的輕軌容量分析在安全時距的計算上有一定複雜度，若要計算多個案例，計算量將會相當龐大，更遑論還要分析連續路段的輕軌容量與可靠度。參考傳統暨區域鐵路系統和都會捷運系統的容量分析研究，輕軌運輸系統也同樣需要開發相關分析軟體，以提高分析效率與實用性，同時也有助於管理與維護分析所需的眾多參數資料。

最後，鐵道容量手冊自出版以來一直缺乏「高鐵及機場捷運系統篇」和「輕軌運輸系統篇」，如今本所已開始進行輕軌運輸系統之容量相關研究，因此今年度手冊編訂工作之重點在於新增「輕軌運輸系統篇」相關內容。

## 第三章 單一空間參考點容量模式修正

經過進一步探討之後，本計畫發現前期研究所發展的單一空間參考點容量分析模式仍有改善之處，說明如下。

### 3.1 司機員與煞車系統反應時間之考量

在原先的單一空間參考點容量分析模式中，續行列車在不受先行列車影響運行的情況下，兩列車所保持的最短安全距離為一個安全煞車距離加上寬裕距離。理論上寬裕距離應與列車速度、司機員及煞車系統的反應時間有關，因此將最短安全距離改以式(3.1)來計算，共包含兩個部分，第一個部分是司機員反應到採取煞車行為的距離，以及採取煞車行為後直到煞車系統開始作用的距離（兩者合併稱為列車空走距離）；第二個部分是列車從巡航速度煞車到靜止所運行的距離，此調整不僅讓模式更能反映輕軌運輸系統的特性，也較為合理。

$$s_s = t_r v_i + \frac{v_i^2}{2K_b b} \quad (3.1)$$

式中： $s_s$ =最短安全距離

$t_r$ =司機員與煞車系統反應時間 (s)

$v_i$ =列車到達空間參考點前的巡航速度 (m/s)

$K_b$ =列車減速率有效因子

$b$ =列車減速率 (m/s<sup>2</sup>)

在原本的模式中共有三處需要做上述調整，以下分別說明之。

1. 先行列車從靜止啟動通過路口至續行列車通過路口所須保持的最小時間間隔

先行列車於路口停等紅燈直到號誌轉為綠燈後，便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最短安全距離的位置，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 3-1 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。

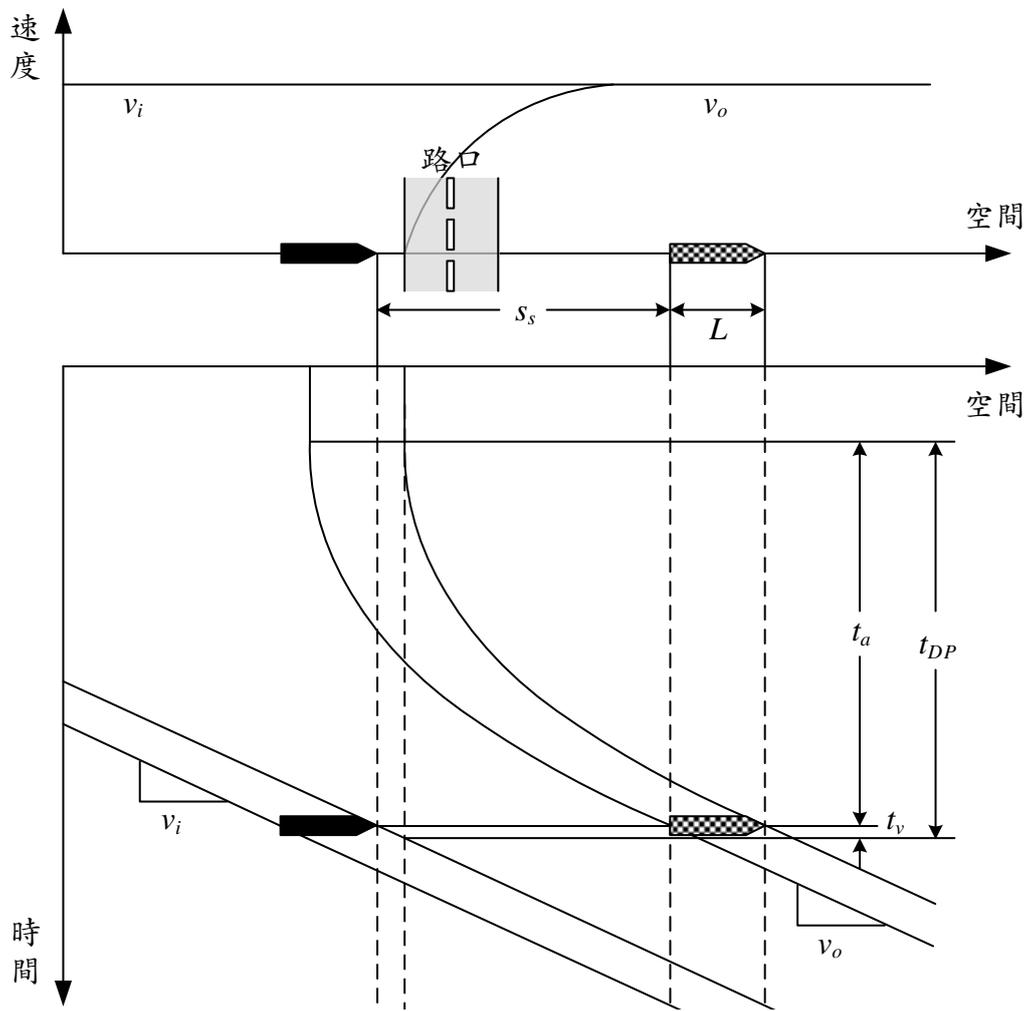


圖 3-1 先行車從靜止啟動通過路口至續行列車通過路口的時間間隔

而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

$$\begin{aligned}
t_{DP} &= t_a + t_v = \frac{v_o}{K_a a} + \frac{s_s + L - \frac{v_o^2}{2K_a a}}{v_i} \\
&= \frac{v_o}{K_a a} + \frac{t_r v_i + \frac{v_i^2}{2K_b b} + L - \frac{v_o^2}{2K_a a}}{v_i} \\
&= \frac{v_o}{K_a a} + t_r + \frac{v_i}{2K_b b} + \frac{L}{v_i} - \frac{v_o^2}{2K_a a v_i}
\end{aligned} \tag{3.2}$$

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 (s)

$t_a$ =列車從靜止加速至巡航速度的運行時間 (s)

$t_v$ =列車以巡航速度運轉的運行時間 (s)

$v_o$ =列車通過路口後的巡航速度 (m/s)

$K_a$ =列車加速率有效因子

$a$ =列車加速率 (m/s<sup>2</sup>)

$L$ =列車車身長度 (m)

## 2. 兩列車連續通過路口所須保持的最小時間間隔

若路口號誌的綠燈可讓列車連續通過，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最短安全距離的位置，如圖 3-2 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

$$t_{PP} = \frac{s_s + L}{v_i} = \frac{t_r v_i + \frac{v_i^2}{2K_b b} + L}{v_i} = t_r + \frac{v_i}{2K_b b} + \frac{L}{v_i} \tag{3.3}$$

式中： $t_{PP}$ =兩列車連續通過路口所須保持的最小時間間隔 (s)

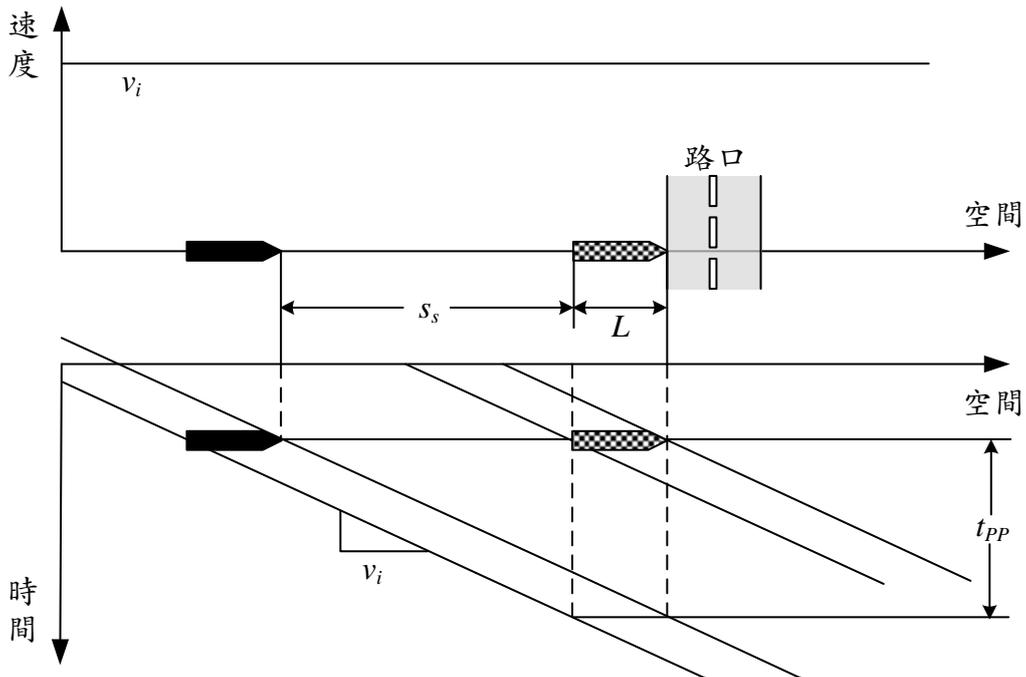


圖 3-2 兩列車連續通過路口的時間間隔

3. 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

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最短安全距離的位置，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 3-3 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。

從先行列車離開車站，直到續行列車到達車站所經歷的時間，可由下式計算而得

$$\begin{aligned}
 t_{DA} = t_v + t_b &= \frac{s_s + L - s_b}{v_i} + \frac{v_i}{K_b b} \\
 &= \frac{t_r v_i + \frac{v_i^2}{2K_b b} + L - \frac{v_i^2}{2K_b b}}{v_i} + \frac{v_i}{K_b b} = t_r + \frac{L}{v_i} + \frac{v_i}{K_b b}
 \end{aligned} \tag{3.4}$$

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 (s)

$t_b$ =列車從巡航速度煞車到靜止的運行時間 (s)

$s_b$ =列車從巡航速度煞車到靜止所運行的距離 (m)

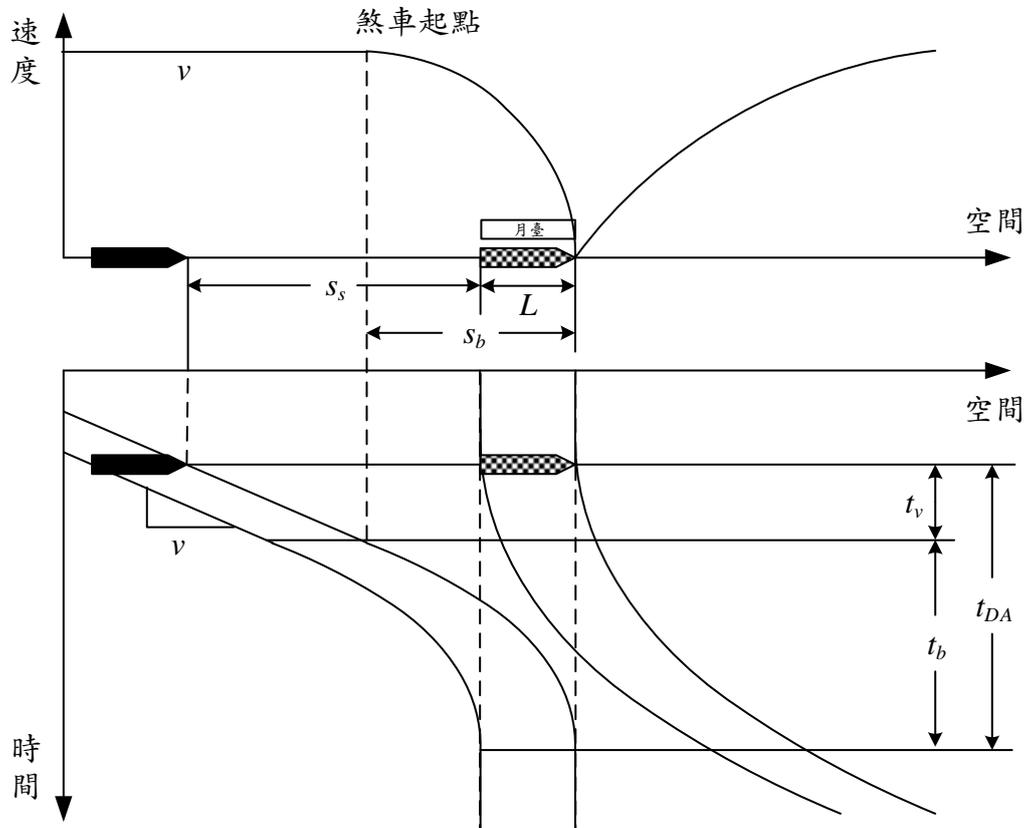


圖 3-3 先行車離開車站至續行車到達車站的時間間隔

### 3.2 運轉寬裕之考量

由於列車在實際運轉的過程中有許多隨機程序 (Stochastic Process)，不可能百分之百地依預定的計畫來運作，因此在計算容量時會加入寬裕時間，以涵蓋大部分的運轉情形，其中運轉寬裕時間包含了停站時間和兩列車間安全時距的寬裕。

在原本 B 型路權的容量分析方法中，係根據在一個會反覆出現的運行型態中，計算共歷經幾個號誌週期內並可通過多少列車，透過公式(2.1)求得平均安全時距，此時平均安全時距已含有號誌週期因素，若再將平均安全時距乘上運轉寬裕時間係數來獲得運轉寬裕時間，如

公式(2.2)，則意味著此作法隱含了在計算寬裕時間時，將路口號誌週期時間也納入計算，但由於路口號誌為給定的輸入資料，並無隨機效應，結果可能造成過度高估運轉寬裕時間。

有鑒於此，將表 2.2 之判斷條件改為如表 3.1 所示，亦即在計算出運行型態中的號誌週期數  $m$  與通過列車數  $n$  時，就考慮了停站時間和兩列車間安全時距的寬裕，如此便可在考量運轉寬裕時間的情況下，求得路口號誌週期數  $m$  以及通過列車數  $n$ ，然後透過下式計算平均運轉時隔。

$$\bar{h} = \frac{m(G + R)}{n} \quad (3.5)$$

表 3.1 修正後的  $m$  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
橫交路口	相同股道	—	$m(G + R) - R \leq (1 + \beta) \cdot [t_{DP} + (n - 1)t_{PP}] < m(G + R)$
近端設站	相同股道	—	$m(G + R) - R \leq (1 + \beta) \cdot [n(t_{DA} + t_d)] < m(G + R)$
遠端設站	相同股道	—	$m(G + R) - R - t_{DA} \leq (1 + \beta) \cdot [t_R + t_d + (n - 1)(t_{DA} + t_d)] < m(G + R)$
端末站折返處	相同股道	列車進入時碰到紅燈	$m(G + R) - R \leq t_A + (1 + \beta)(n - 1)(t_d + t_{t \rightarrow c} + t_{c \rightarrow t}) < m(G + R)$
		列車離開時碰到紅燈	$m(G + R) - R \leq t_B + (1 + \beta)(n - 1)(t_{t \rightarrow c} + t_{c \rightarrow t} + t_d) < m(G + R)$
	不同股道	列車進入時碰到紅燈	$m(G + R) - R \leq t_A + (1 + \beta)(n - 2)(-t_{b,s} + t_i + t_{t \rightarrow c} + t_{c \rightarrow t}) < m(G + R)$
		列車離開時碰到紅燈	$m(G + R) - R \leq t_B + (1 + \beta)(n - 2)(t_{t \rightarrow c} + t_{c \rightarrow t} - t_{b,s} + t_i) < m(G + R)$

註：相關數學符號說明請參見附錄 A



## 第四章 連續路段輕軌容量分析模式

前期研究發展之 A、B 型路權輕軌容量分析模式僅考慮單一空間參考點，應用於整條路線的容量計算時，係逐一計算每個空間參考點之容量，並將容量值最小處視為瓶頸，而該容量值代表整條路線之容量。此方法隱含在計算每一空間參考點時，皆認為其他空間參考點可充分配合，讓該空間參考點能達到最大容量的列車運行需求，但實際上列車運行在時空上均屬連續的移動變化，故路線上、下游彼此會相互影響，因此本期研究進一步發展連續路段的輕軌容量分析模式。本章從模式的架構與基本概念開始，逐一介紹模式中各項操作流程的細節，並於最後以一範例展示模式運作的過程。

### 4.1 模式架構

本計畫係延續前期研究之成果繼續發展連續區段容量分析模式，模式的輸入有些和單一空間參考點輕軌容量模式相同，如路口號誌參數、停站時間等；有些則是單一空間參考點輕軌容量模式的輸出，如安全時距，故兩模式可整合如圖 4-1 所示。在此架構下，不僅能充分運用過去研究成果，未來在應用時，一旦調整了各項輸入參數，兩模式之分析結果均能反應該調整對容量之影響。

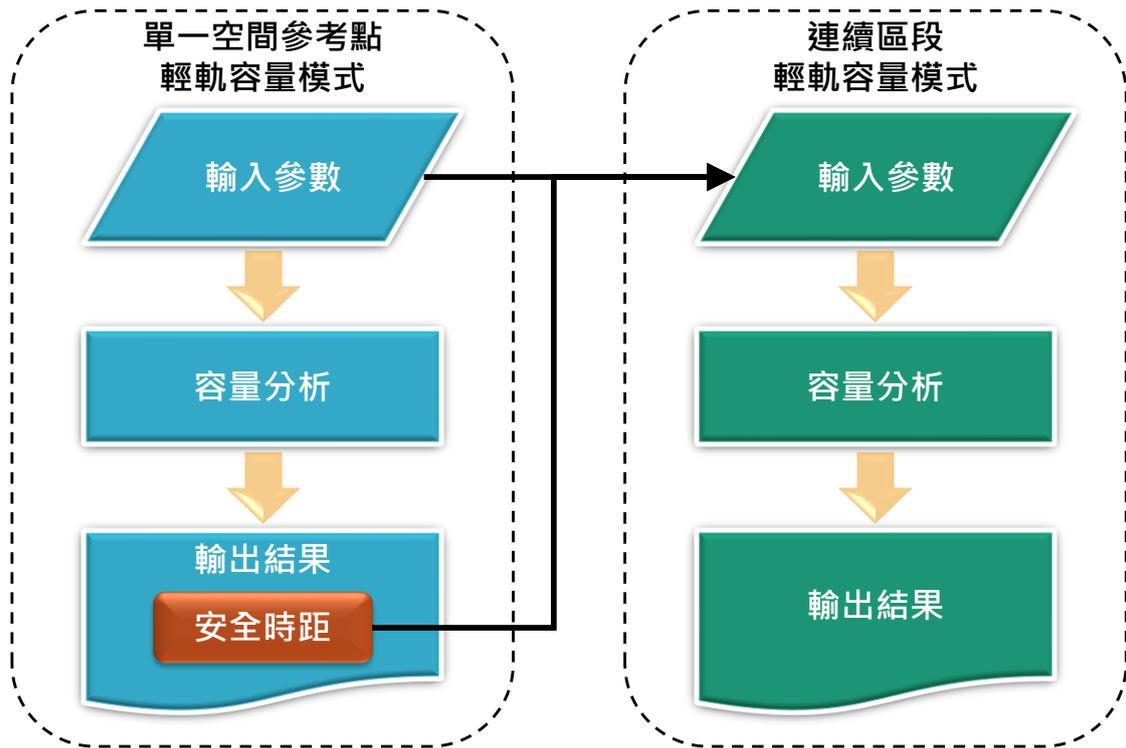


圖 4-1 單一空間參考點與連續區段輕軌容量模式整合架構圖

## 4.2 基本概念

容量可視為最大頻率或最大流率，也就是每單位時間最多可通過多少列車，因此本模式演算的基本概念如圖 4-2 所示，在輕軌路線的起點不斷地密集發送列車，透過模擬方法將列車依運轉基本規則推進至路線終點，最後觀察列車到達終點的流量來評估此連續路段之容量。

本計畫採用了離散事件導向 (Discrete Event-Oriented Simulation) 的系統模擬方法來模擬列車從起點運行到終點的運轉過程。模式中共有兩種事件：進入事件與離開事件，分別代表列車進入和離開某一空間參考點，如圖 4-3 所示，一列車從路線起點至終點，可由一連串進入事件與離開事件交錯組成，每一事件皆包含其所屬的列車、發生時間與空間參考點等資訊。

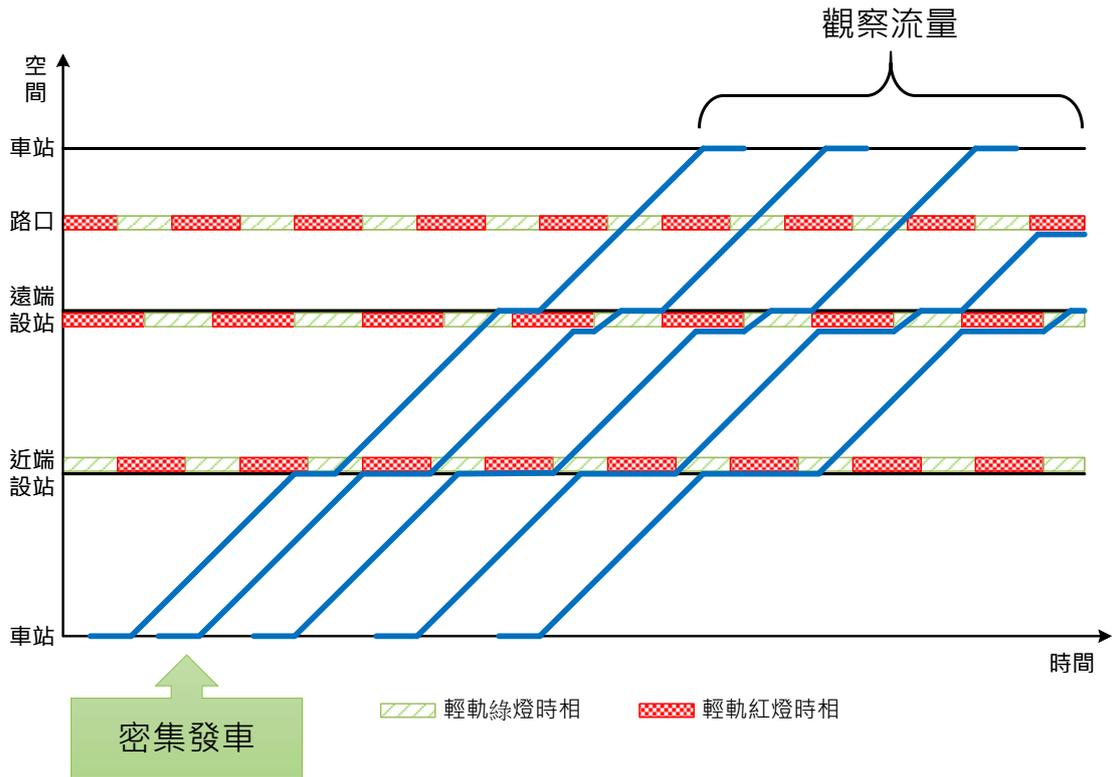


圖 4-2 連續路段輕軌容量分析模式之演算概念

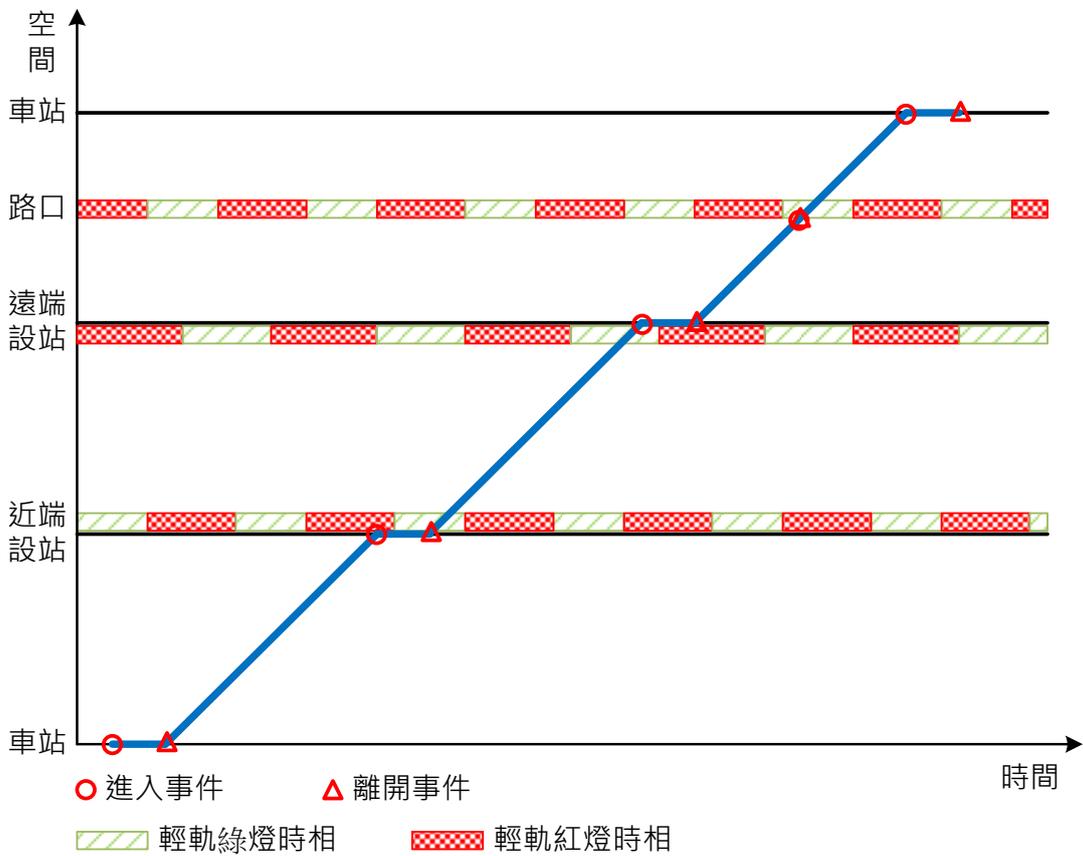


圖 4-3 進入事件與離開事件示意圖

### 4.3 假設條件

本模式在模擬的過程中，列車須遵循著運轉基本規則運行，包括(1)先續行列車要保持足夠的安全時距；(2)列車在站間運行時不能追越前車；(3)列車行經橫交路口時需根據號誌的指示通過。

此外，本模式之目的在求取「實用容量 (Practical Capacity)」，實用容量為正常營運條件下，單位時間內通過路線上某一點的最大客體數<sup>[2]</sup>。在有閉塞號誌的鐵道系統中，正常營運條件係列車在閉塞號誌常綠下運轉，然而輕軌運輸系統並沒有閉塞號誌，因此根據列車在號誌常綠下運轉所代表的意義，定義輕軌運輸系統的正常營運條件為列車運行不會受到其先行列車之影響。依照此定義，模式進行模擬時不能任意更動列車的運轉時間，亦即列車運行不會受到先行列車影響而改變行駛速率，同時續行列車不會緊接在先行列車後面停等紅燈。

而為了便於模式的發展與操作，本模式在應用上有以下假設條件：

1. 連續路段可為 A、B 型交互混合之路權型式，其範圍包含路線中所有空間參考點，如中間站、橫交路口以及受路口影響之中間站，但不含兩端末折返站，以便讓模式能著重於探討連續路口號誌對輕軌容量之影響。
2. 整個連續路段均採複線運轉，每次僅針對其中一個方向之路線進行模擬。且每一列車皆從路線的始發站出發，經過中間所有的空間參考點最後到達終點站，而不考慮列車以中間的任何車站作為起迄點。此假設與目前國內輕軌運輸系統的營運方式相同，即便未來在運輸需求較高的區間開行區間車，也只是代表開行區間車的部分容量利用率較高。若是分歧路線，則可從分歧點將路線切分成數個連續路段，分別進行容量分析。
3. 有關 B 型路權之橫交路口的車流影響，在模式中均轉換成路口號誌的影響反映之。目前國內實務狀況，路口號誌採用定時號誌控制 (Pretimed Signal Control)，若有採用優先號誌，則會維持其號

誌週期不變，避免影響號誌續進的設計。模式中僅將輕軌列車可通行的時相視為輕軌綠燈，其餘時相、黃燈和全紅時間，皆視為列車不可通行的輕軌紅燈。

4. 由於本模式的安全時距來自於單一空間參考點輕軌容量分析模式的計算結果，因此承襲單一空間參考點模式的假設，包含：
  - (1) 車站於上、下行方向各別僅有一股軌道，每股軌道僅供一列車停靠。
  - (2) A 型路權之路線與外界完全立體分隔，列車運行不受其他公路交通的影響。
  - (3) B 型路權之路線僅有縱向專有路權，當列車運行至公路交叉路口處時會受到路口號誌影響。
  - (4) 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。
  - (5) 列車採用站站皆停的營運模式，沒有追越待避的行為。
  - (6) 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。

#### 4.4 整體流程

圖 4-4 為本模式的模擬流程，整體來說，本模式是逐列車進行模擬，當一列車所有事件的時間都決定後，再加入下一列車，直到所有列車都模擬完成，便能根據列車到達終點站的時間來評估容量。

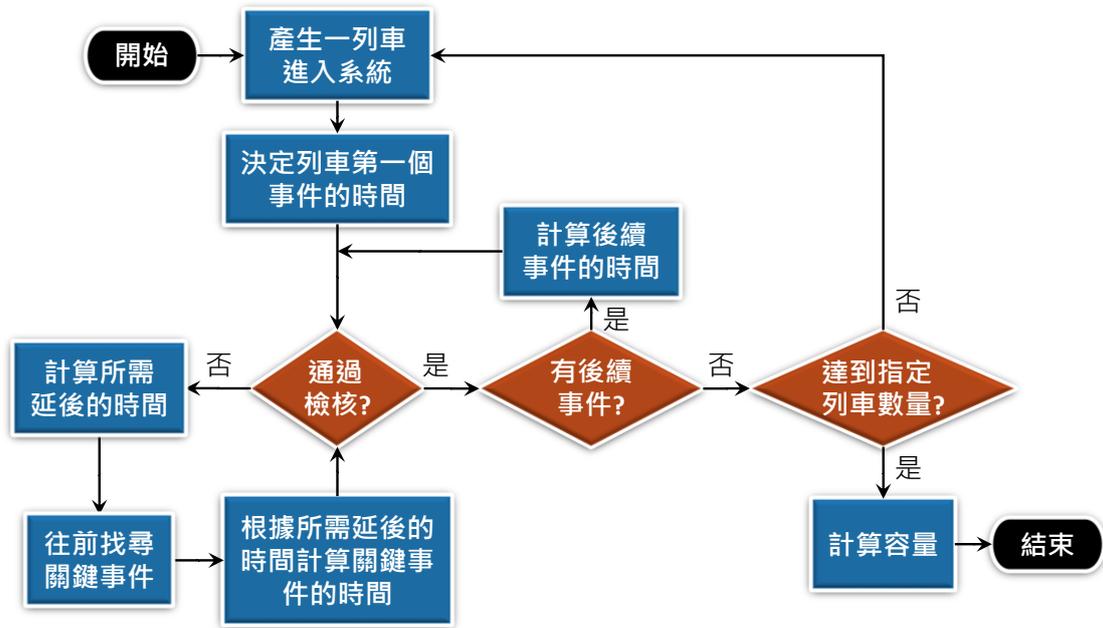


圖 4-4 連續路段輕軌容量分析模式模擬流程圖

在決定事件時間的過程中，必須檢核是否符合列車運轉基本規則等條件，若沒通過檢核，則將該事件的發生時間往後延，此外，若該事件為進入事件，由於不能任意調整列車的行駛速率，因此還需要往前找尋關鍵事件，一併調整其時間。

對於整個過程中的檢核機制、所需延後時間之計算、關鍵事件和其延後時間之計算、優先號誌之考量，以及路線容量評估等流程，則分別詳細說明如下。

#### 4.4.1 檢核機制

檢核的目的為確保在模擬的過程中，各列車之間能保持足夠的安全時距、列車行經橫交路口時能根據號誌的指示通過，以及列車不會緊接在前車後面停等紅燈等規則。而根據空間參考點型式和事件類型的不同，所需檢核的項目亦有所不同，如表 4.1 所示，若檢核不通過，則該事件的發生時間必須往後延。

表 4.1 事件類型與檢核項目對照表

空間參考點型式	事件類型	檢核項目
中間站	進入事件	• 與先行列車是否保持足夠的安全時距
	離開事件	• 停站時間是否足夠
橫交路口	進入事件	• 與先行列車是否保持足夠的安全時距
	離開事件	• 路口號誌是否為綠燈
近端設站	進入事件	• 與先行列車是否保持足夠的安全時距
	離開事件	• 停站時間是否足夠 • 路口號誌是否為綠燈
遠端設站	進入事件	• 是否緊接在先行列車後面停等紅燈 • 與先行列車是否保持足夠的安全時距
	離開事件	• 停站時間是否足夠

#### 4.4.2 所需延後時間之計算

當事件沒通檢核時，其所需延後的時間量端看空間參考點型式和事件類型而定，同時也必須考量運轉寬裕時間係數 $\beta$ 來計算運轉寬裕時間，以涵蓋大部分的運轉情形，其計算方式分別說明如下：

##### 1. 中間站

列車進入中間站時，若和先行列車的安全時距不足，如圖 4-5 所示，則該進入事件的發生時間必須延後才能通過檢核，而所需延後的時間量計算方式為

$$t_{e,c} = t_{D,i-1} + (1 + \beta) \cdot t_{DA} - t_{E,i} \quad (4.1)$$

式中： $t_{e,c}$ =通過檢核至少需延後的時間 (s)

$t_{D,i-1}$ =第  $i-1$  列車離開空間參考點的時間 (s)

$\beta$ =運轉寬裕時間係數

$t_{DA}$ =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 (s)

$t_{E,i}$ =第  $i$  列車進入空間參考點的時間 (s)

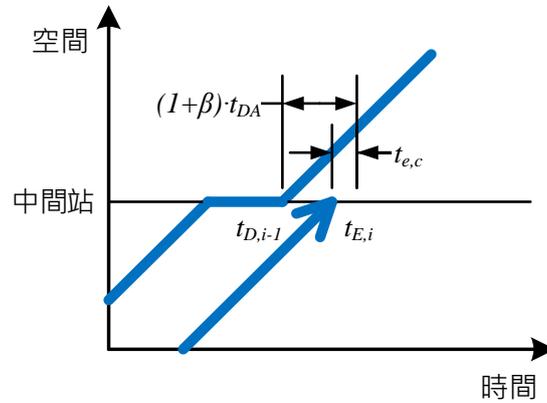


圖 4-5 計算中間站進入事件所需延後時間示意圖

列車離開中間站時，若停站時間不足，如圖 4-6 所示，為了通過檢核，則該離開事件的發生時間至少需延後的時間量計算如下

$$t_{e,c} = t_{E,i} + (1 + \beta) \cdot t_d - t_{D,i} \quad (4.2)$$

式中： $t_d$ =列車的停站時間 (s)

$t_{D,i}$ =第  $i$  列車離開空間參考點的時間 (s)

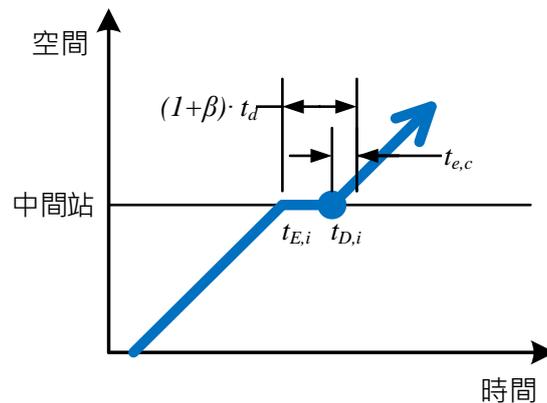


圖 4-6 計算中間站離開事件所需延後時間示意圖

## 2. 橫交路口

列車進入橫交路口時，若和先行列車的安全時距不足，如圖 4-7 所示，則該進入事件的發生時間必須延後才能通過檢核，而所需延後的時間量計算方式，會依照先行列車是否有停等紅燈而有不同：

(1) 先行列車有停等紅燈

$$t_{e,c} = t_{D,i-1} + (1 + \beta) \cdot t_{DP} - t_{E,i} \quad (4.3)$$

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 (s)

(2) 先行列車無停等紅燈，直接通過路口

$$t_{e,c} = t_{D,i-1} + (1 + \beta) \cdot t_{PP} - t_{E,i} \quad (4.4)$$

式中： $t_{PP}$ =兩列車連續通過路口所須保持的最小時間間隔 (s)

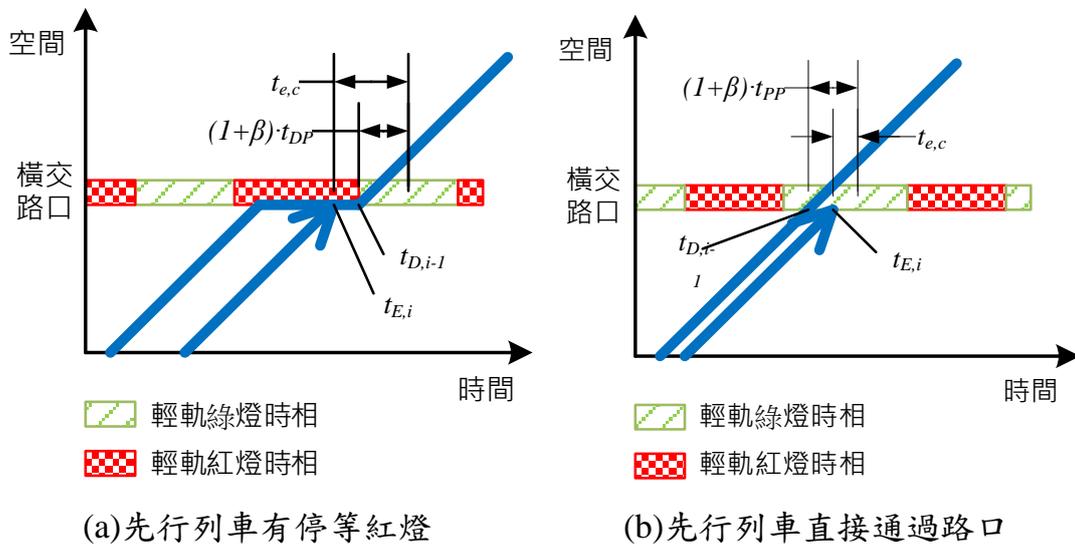


圖 4-7 計算橫交路口進入事件所需延後時間示意圖

若列車行經橫交路口時，路口號誌為紅燈，如圖 4-8 所示，則列車必須等到號誌轉為綠燈時才可通過路口，因此該離開事件的發生時間至少需延後的時間為

$$t_{e,c} = r_w \quad (4.5)$$

式中： $r_w$ =列車到達路口時，剩餘的紅燈時間 (s)

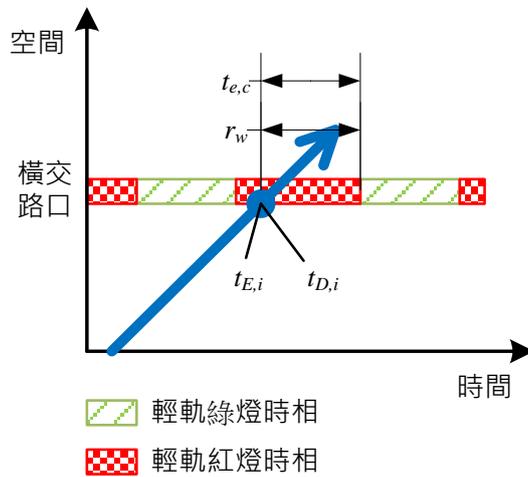


圖 4-8 計算橫交路口離開事件所需延後時間示意圖

### 3. 近端設站

列車進入近端設站的車站時，若和先行列車的安全時距不足，如圖 4-9 所示，則該進入事件的發生時間必須延後才能通過檢核，而所需延後的時間量計算方式如公式(4.1)。

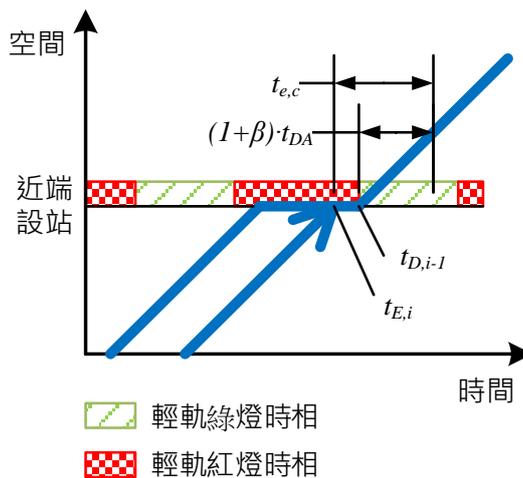


圖 4-9 計算近端設站進入事件所需延後時間示意圖

若列車離開近端設站的車站時，路口號誌為紅燈，則列車必須等到號誌轉為綠燈時才可離開，而且停站時間也必須足夠，如圖 4-10 所示，為了通過檢核，則該離開事件至少需延後時間量為

$$t_{e,c} = t_{E,i} + \max(r_w, (1 + \beta) \cdot t_d) - t_{D,i} \quad (4.6)$$

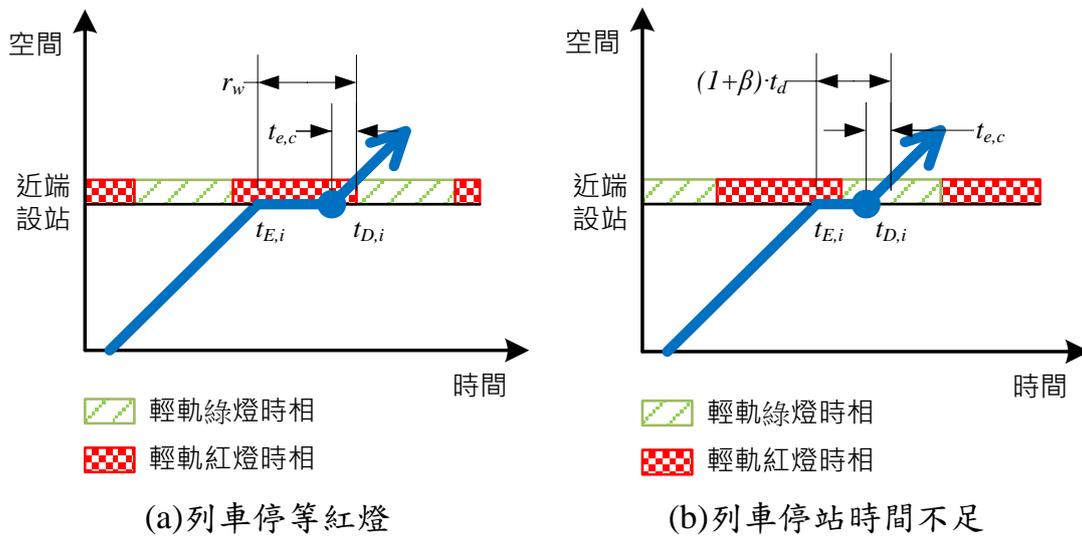


圖 4-10 計算近端設站離開事件所需延後時間示意圖

#### 4. 遠端設站

列車進入遠端設站的車站時，為了通過檢核，會根據先行列車離開時路口號誌是否為紅燈，如圖 4-11 所示，來計算進入事件所需延後的時間量：

##### (1) 先行列車離開時路口號誌為紅燈

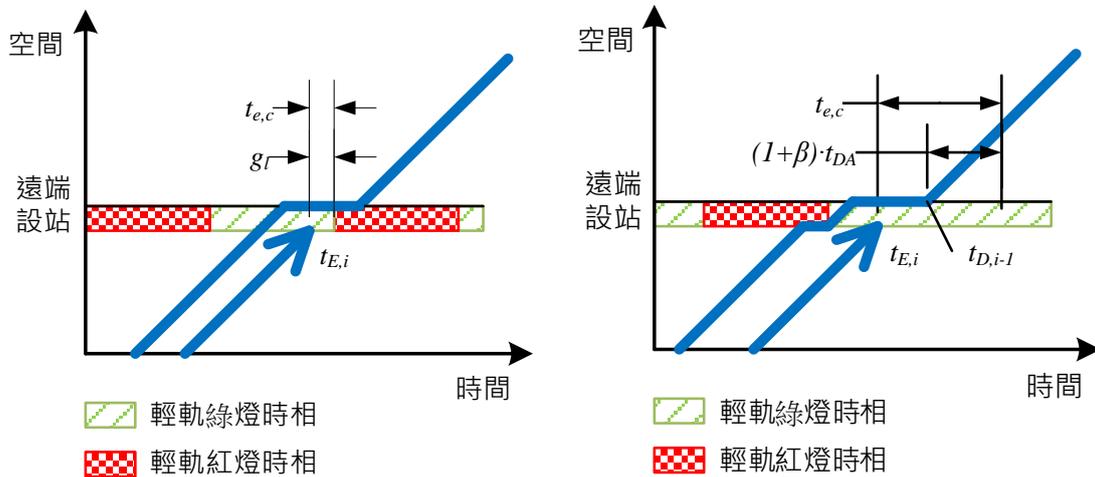
當先行列車離開時路口號誌為紅燈，表示續行列車不會緊接在先行列車後面停等紅燈，因此所需延後時間的計算如下式，讓續行列車於路口停等紅燈後再進站。

$$t_{e,c} = g_l \quad (4.7)$$

式中： $g_l$ =列車到達路口時，剩餘的綠燈時間 (s)

(2) 先行列車離開時路口號誌為綠燈

當先行列車離開時路口號誌為綠燈，表示續行列車進站必須和先行列車保持足夠的安全時距，故所需延後時間的計算如公式(4.1)。



(a)先行列車離開時號誌為紅燈 (b)先行列車離開時號誌為綠燈

圖 4-11 計算遠端設站進入事件所需延後時間示意圖

列車離開遠端設站的車站時，由於沒有路口號誌的影響，情況便和中間站相同，若停站時間不足，則該離開事件的發生時間至少需延後的時間計算如公式(4.2)。

#### 4.4.3 關鍵事件和其延後時間之計算

當進入事件沒通過檢核，而必須延後其發生時間，為了不改變列車的行駛速率，同時不讓列車在橫交路口處發生除了等紅燈之外的非必要停等，模式會往前搜尋一關鍵事件，也就是前一個車站（包含中間站、近端和遠端設站）的離開事件，如圖 4-12 所示，調整其時間讓列車最終在原來的事件檢核處能通過檢核。

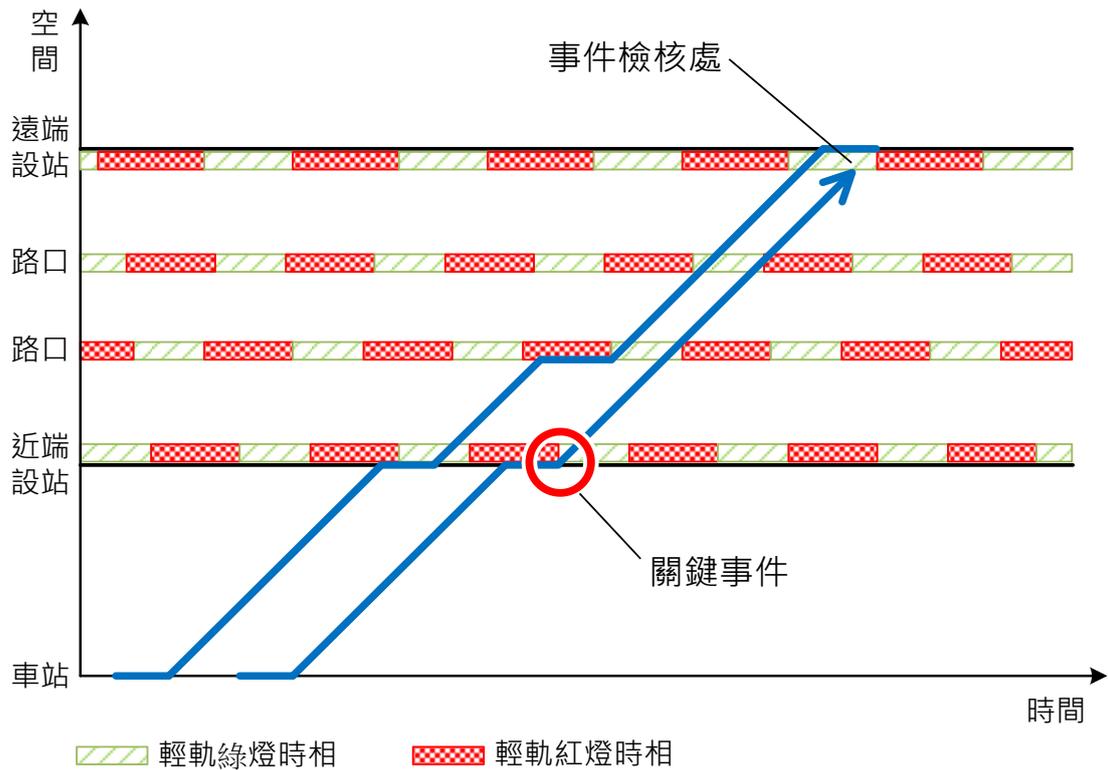


圖 4-12 關鍵事件示意圖

當事件檢核處與關鍵事件之間沒有任何橫交路口時，如圖 4-13 所示，此時關鍵事件所需延後的時間與通過檢核所需延後的時間相同，如下式。但若列車於中途有行經橫交路口，則關鍵事件所需延後的時間便可能與通過檢核所需延後的時間不同。

$$t_{e,0} = t_{e,c} \quad (4.8)$$

式中： $t_{e,0}$  = 關鍵事件所需延後的時間 (s)

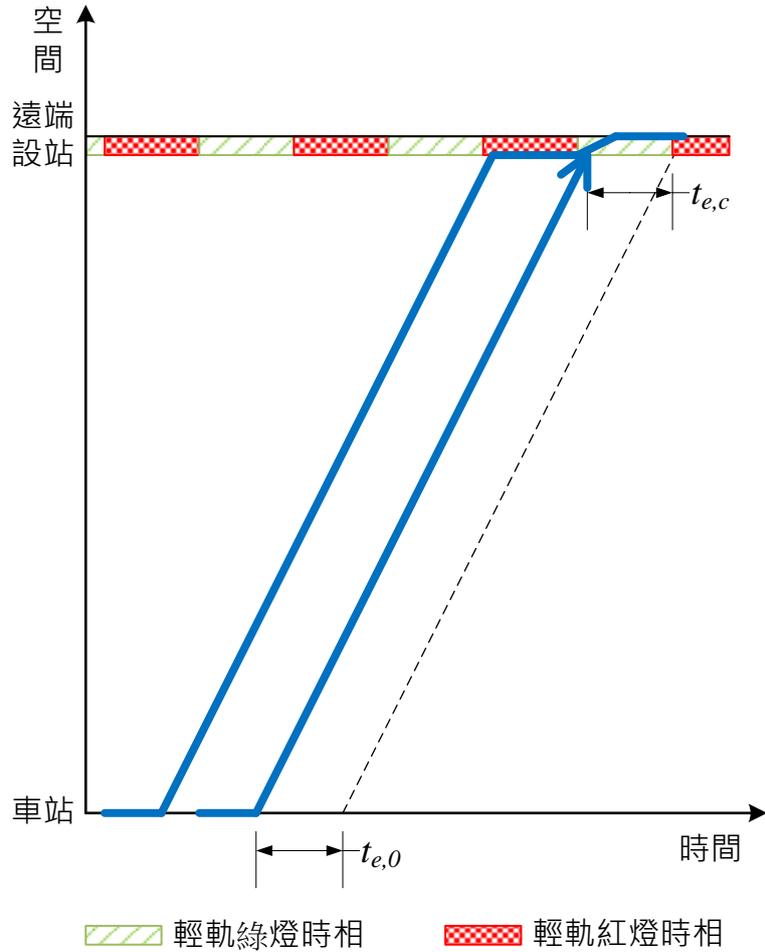


圖 4-13 沒有行經橫交路口的情况

當事件檢核處與關鍵事件之間有一個橫交路口時，則可能有以下兩種情況：

1. 列車行經橫交路口時有停等紅燈

如圖 4-14 所示，由於列車的行駛速率不變，為了通過檢核，列車通過路口的時間也必須延後  $t_{e,c}$ ，如公式(4.9)。又因為列車於路口處停等紅燈，所以關鍵事件所需延後的時間還要再考量列車停等紅燈的時間，如公式(4.10)，才能讓列車最終能通過檢核。

$$t_e = t_{e,c} \quad (4.9)$$

$$t_{e,0} = t_e + r_w \quad (4.10)$$

式中： $t_e$ =列車於橫交路口處至少需延後的時間 (s)

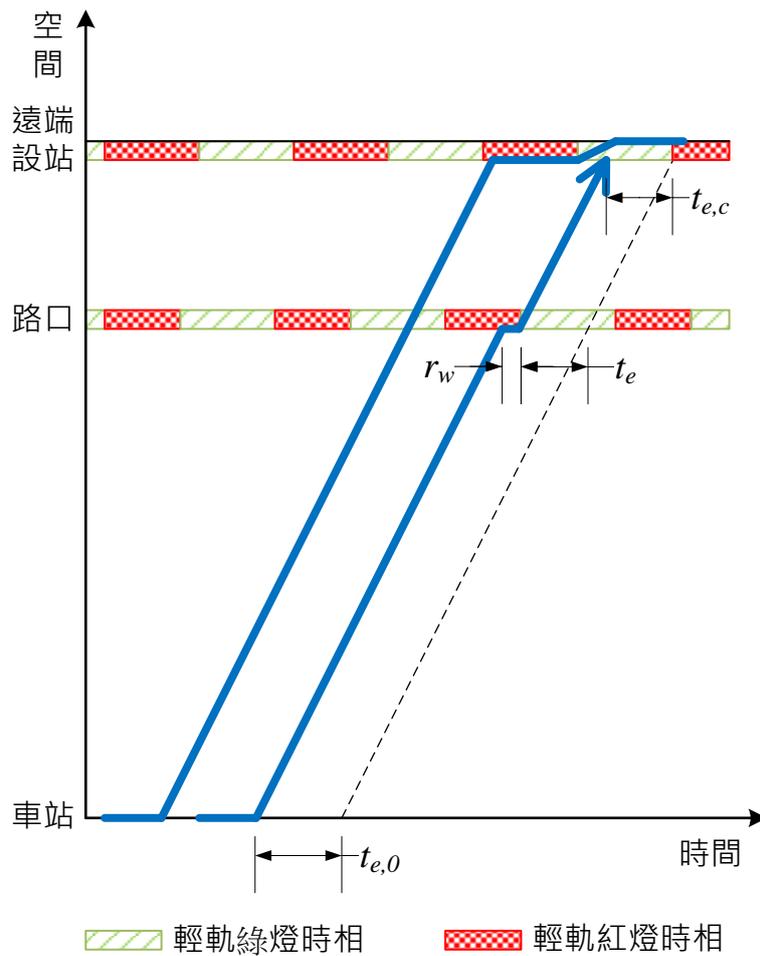


圖 4-14 行經一個橫交路口並停等紅燈的情況

2. 列車行經橫交路口時為綠燈通過

如圖 4-15 所示，為了通過檢核，理論上列車於橫交路口處的時間也必須延後  $t_{e,c}$ ，但若延後  $t_{e,c}$  後會讓列車於路口處停等紅燈，則列車於橫交路口處僅需延後剩餘綠燈時間  $g_l$  即可，如公式(4.11)，而關鍵事件所需延後的時間計算如公式(4.12)。

$$t_e = \min(t_{e,c}, g_l) \quad (4.11)$$

$$t_{e,0} = t_e \quad (4.12)$$

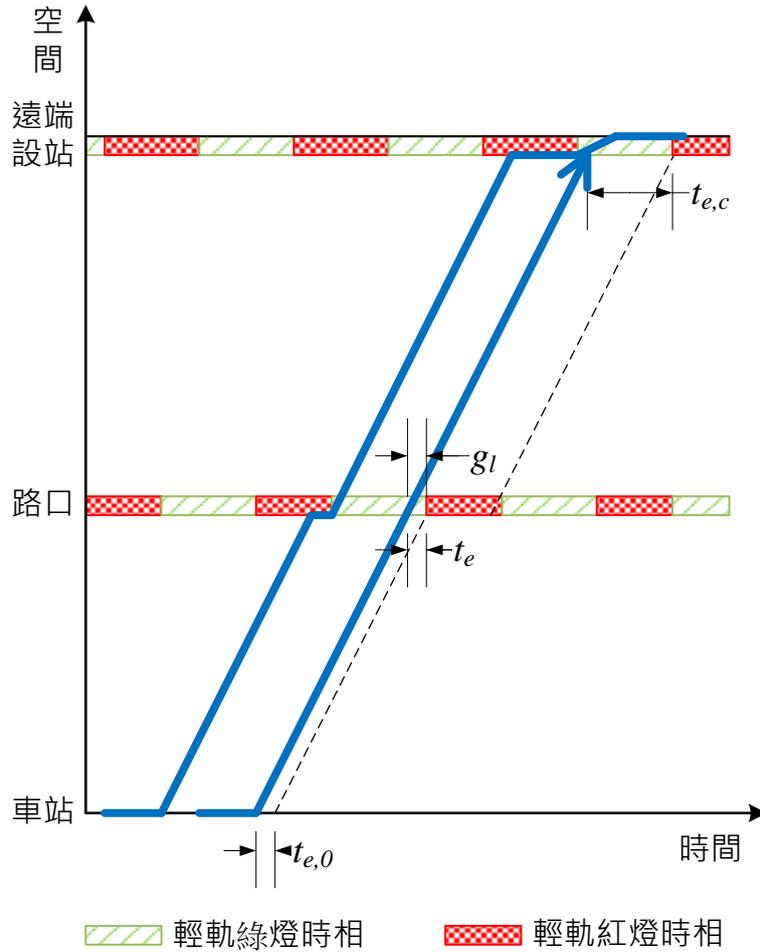


圖 4-15 行經一個橫交路口且綠燈通過的情況

隨著事件檢核處與關鍵事件之間的橫交路口數量增加，情況將會變得複雜。以圖 4-16 兩個橫交路口為例，列車於路口 2 至少需延後的时间如公式(4.13)，而列車於路口 1 至少需延後的时间，要考量列車於路口 2 停等紅燈的时间，以及路口 1 的剩餘綠燈时间，因此其計算方式如公式(4.14)，最後關鍵事件所需延後时间的計算如公式(4.15)。

$$t_{e,2} = t_{e,c} \quad (4.13)$$

$$t_{e,1} = \min(t_{e,2} + r_{w,2}, g_{l,1}) \quad (4.14)$$

$$t_{e,0} = t_{e,1} \quad (4.15)$$

式中： $t_{e,2}$ =列車於第 2 個橫交路口處至少需延後的时间 (s)

$t_{e,1}$ =列車於第 1 個橫交路口處至少需延後的时间 (s)

$r_{w,2}$ =列車到達第 2 個橫交路口時，剩餘的紅燈時間 (s)

$g_{l,1}$ =列車到達第 1 個橫交路口時，剩餘的綠燈時間 (s)

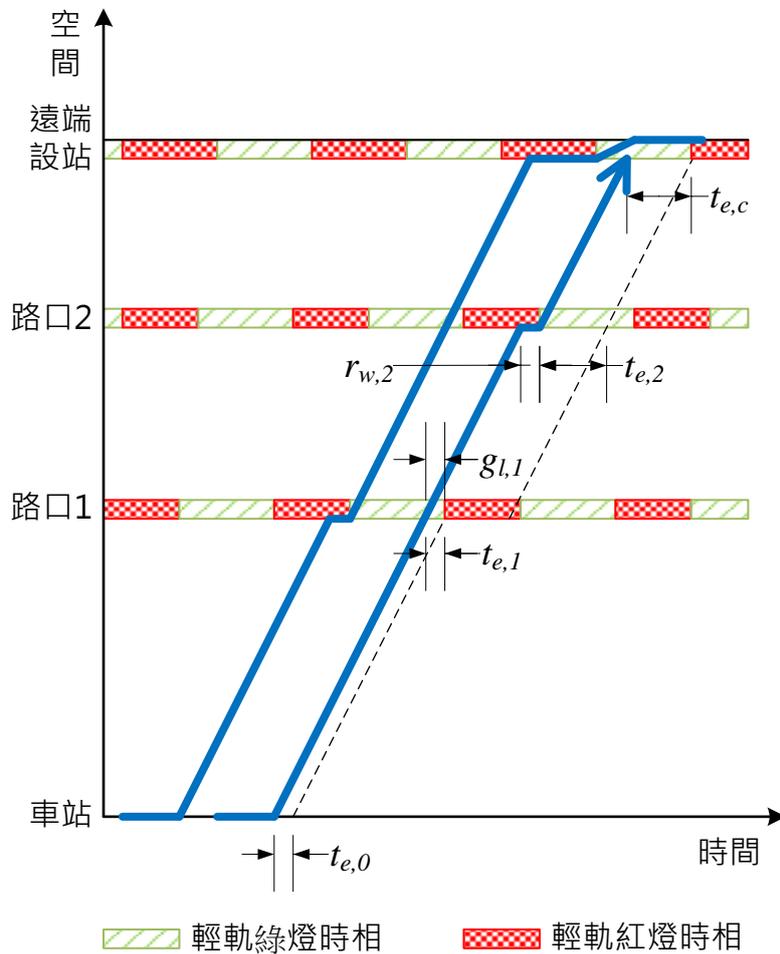


圖 4-16 行經兩個橫交路口的情况

再以圖 4-17 三個橫交路口為例，列車於路口 3 至少需延後的時間如公式(4.16)，而列車於路口 2 至少需延後的時間，要考量列車於路口 3 停等紅燈的時間，以及路口 2 的剩餘綠燈時間，因此其計算方式如公式(4.17)；接著列車於路口 1 至少需延後的時間，要考量列車於路口 2 停等紅燈的時間（此例中為 0），以及路口 1 的剩餘綠燈時間，所以其計算方式如公式(4.18)。最後關鍵事件所需延後時間的計算，要考量列車於路口 1 停等紅燈的時間，故計算方式如公式(4.19)。

$$t_{e,3} = t_{e,c} \quad (4.16)$$

$$t_{e,2} = \min(t_{e,3} + r_{w,3}, g_{l,2}) \quad (4.17)$$

$$t_{e,1} = \min(t_{e,2} + r_{w,2}, g_{l,1}) \quad (4.18)$$

$$t_{e,0} = t_{e,1} + r_{w,1} \quad (4.19)$$

式中： $t_{e,3}$ =列車於第3個橫交路口處至少需延後的時間（s）

$r_{w,3}$ =列車到達第3個橫交路口時，剩餘的紅燈時間（s）

$g_{l,2}$ =列車到達第2個橫交路口時，剩餘的綠燈時間（s）

$r_{w,1}$ =列車到達第1個橫交路口時，剩餘的紅燈時間（s）

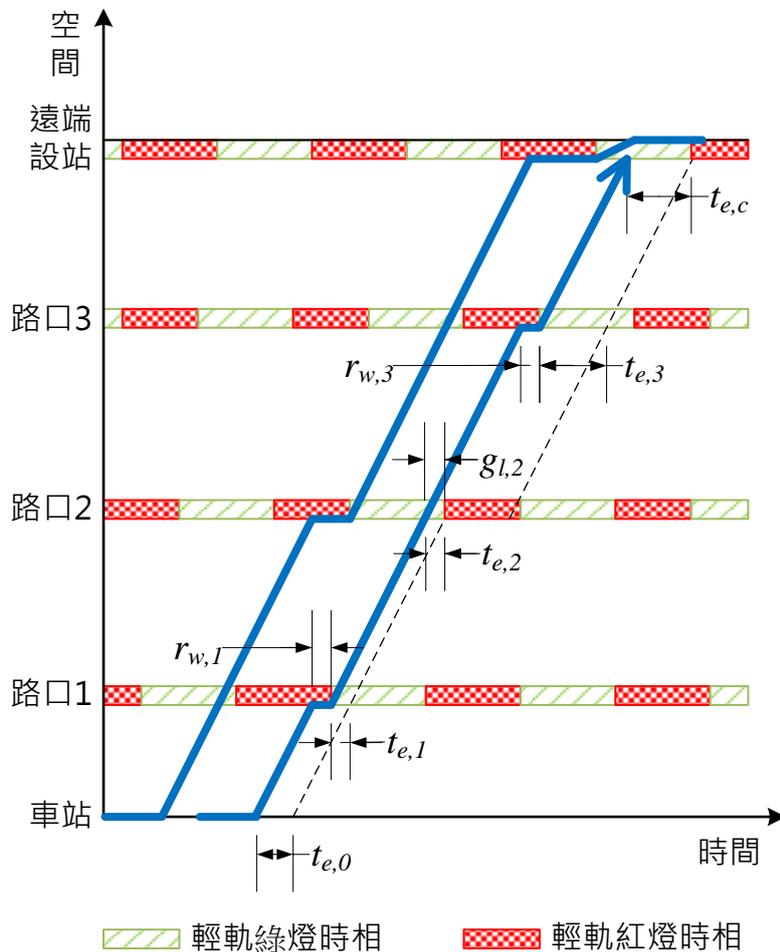


圖 4-17 行經三個橫交路口的情况

歸納上述過程，從事件檢核處所需延後的時間，到計算出關鍵事件所需延後的時間之一般式為

$$t_{e,i} = \min(t_{e,i+1} + r_{w,i+1}, g_{l,i}) \quad i \in \{0,1,2, \dots, c\} \quad (4.20)$$

式中： $t_{e,i}$ =列車於第*i*個橫交路口處至少需延後的時間 (s)

$r_{w,i}$ =列車到達第*i*個橫交路口時，剩餘的紅燈時間 (s)

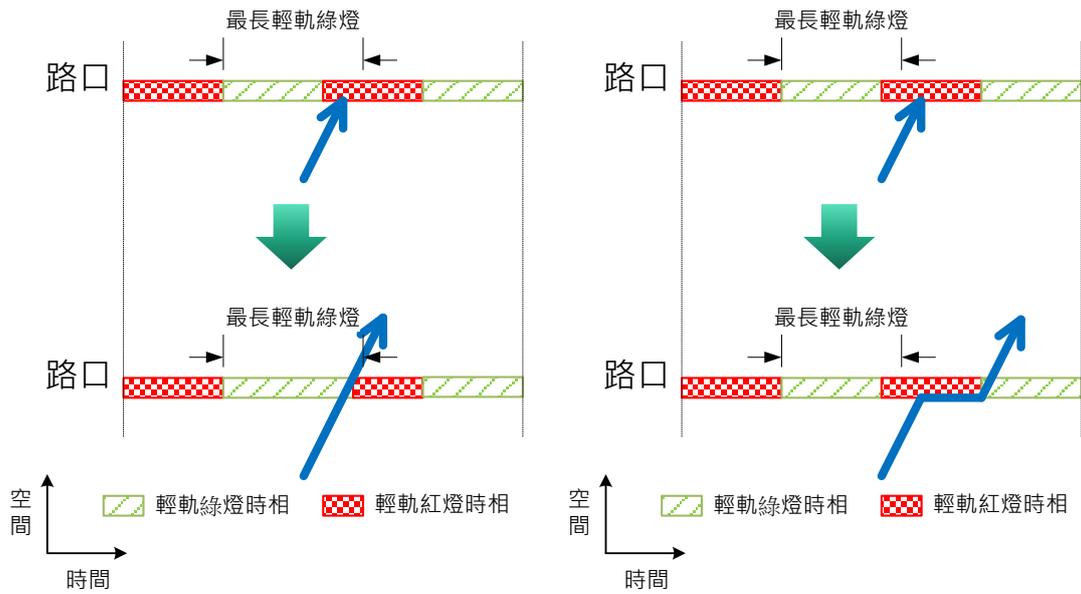
$g_{l,i}$ =列車到達第*i*個橫交路口時，剩餘的綠燈時間 (s)

#### 4.4.4 優先號誌之考量

當輕軌路線與公路有設置平面交叉路口時，通常會設置優先號誌來讓列車在抵達路口時能順利通過，過去文獻對於優先號誌策略可概分為延長綠燈、縮短紅燈和插入綠燈<sup>[16,19,21]</sup>，在本模式中亦會考量這些策略來進行模擬。此外，由於公路交通號誌通常有續進或連鎖的設計，因此模式中執行優先號誌策略時，會以不改變原號誌週期長度為原則，並且只有在無輕軌綠燈時相的情況下，才會採取插入綠燈策略；而有輕軌綠燈時相時，會採取延長綠燈和縮短紅燈策略，以下分別說明個策略的執行邏輯。

##### 1. 延長綠燈策略

當列車靠近路口，而所剩綠燈秒數不夠讓列車完全通過路口時，延長綠燈策略係透過增加綠燈時相秒數，讓綠燈比原定時間還晚結束，使列車能順利通過路口，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。故在模式中，僅有在滿足最長綠燈的情況下才會執行延長綠燈，讓列車能通過路口，如圖 4-18(a)；若列車於最長綠燈時間後才到達路口，則不會執行延長綠燈，讓列車停等紅燈，如圖 4-18(b)。

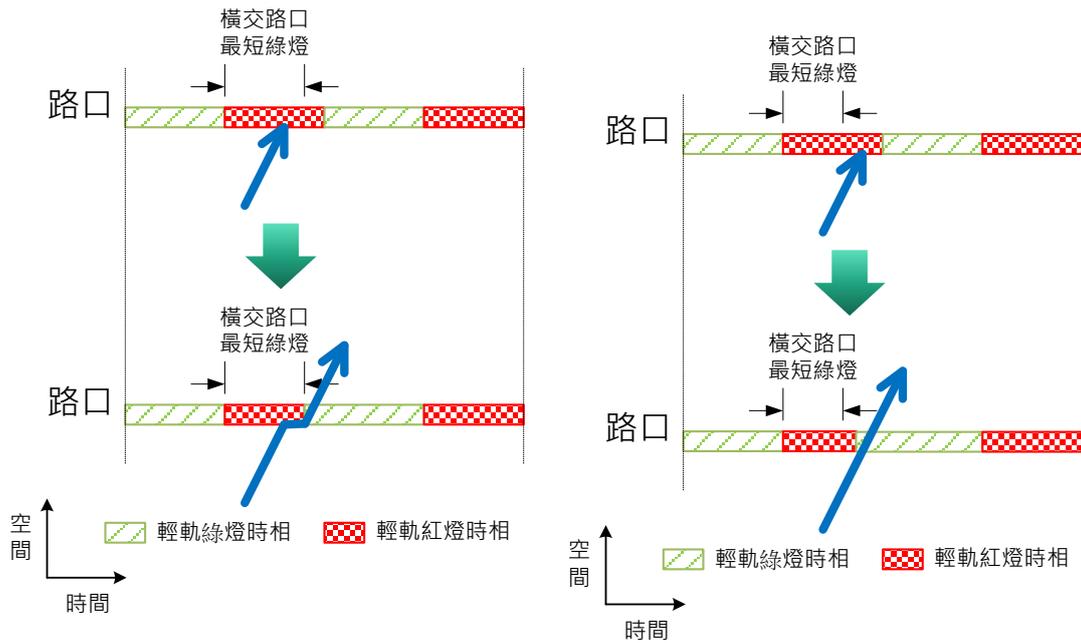


(a)列車於最長綠燈時間內到達路口 (b)列車於最長綠燈時間後到達路口

圖 4-18 延長綠燈策略的執行邏輯

## 2. 縮短紅燈策略

當列車於輕軌紅燈時相內靠近路口，且下個時相即為輕軌綠燈時相時，縮短紅燈策略係將時相提早轉為綠燈，讓列車剛好可以通過路口，但有橫交路口最短綠燈時間之限制，避免對橫交道路的交通造成過大的衝擊。故在模式中，若列車於橫交路口的最短綠燈時間內到達路口，僅會將紅燈縮短至橫交路口最短綠燈時間，如圖 4-19(a)，雖然列車仍須停等紅燈，但停等時間會比沒有優先號誌的情況還短；若列車於橫交路口的最短綠燈時間後到達路口，則會將紅燈縮短至剛好讓列車能順利通過路口，如圖 4-19(b)。

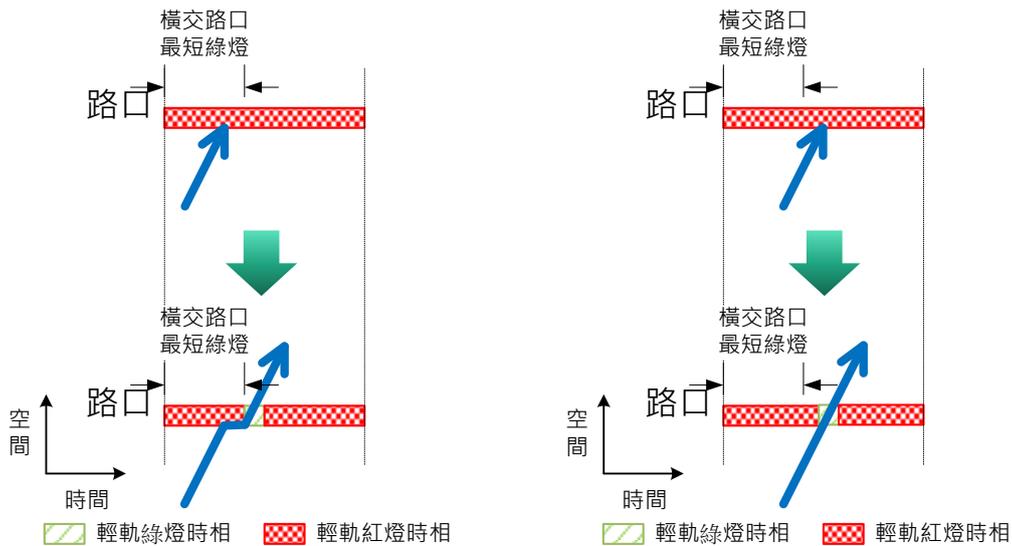


(a)列車於橫交路口最短綠燈內到達 (b)列車於橫交路口最短綠燈後到達

圖 4-19 縮短紅燈策略的執行邏輯

### 3. 插入綠燈策略

當列車靠近路口時，插入綠燈策略會在滿足橫交路口最短綠燈時間的前提下，透過插入一段輕軌綠燈時相來讓列車通過路口。倘若列車於橫交路口的最短綠燈時間內到達路口，如圖 4-20(a)所示，模式會在滿足橫交路口最短綠燈後，插入輕軌綠燈時相，此時列車於路口處仍須停等紅燈，但停等時間會比沒有優先號誌的情況還短；若列車於橫交路口的最短綠燈時間後到達路口，如圖 4-20(b)所示，則模式會根據列車到達路口的時間，插入輕軌綠燈時相來讓列車能順利通過路口。值得注意的是，此策略有限制在一個號誌週期內能插入綠燈時相的總數量，以免被無限制地插入綠燈。



(a) 列車於橫交路口最短綠燈內到達 (b) 列車於橫交路口最短綠燈後到達

圖 4-20 插入綠燈策略的執行邏輯

#### 4.4.5 路線容量評估

完成模擬後，須扣除系統暖機階段以及結束之前的時段，僅取中間模擬時間範圍內之狀況，如圖 4-21 所示，以下列公式計算路線容量。

$$\bar{h} = \frac{t_D(N) - t_D(1)}{N - 1} \quad (4.21)$$

$$C_l = \frac{3600}{\bar{h}} \quad (4.22)$$

式中： $\bar{h}$ =平均運轉時隔 (s)

$t_D(N)$ =扣除系統暖機與結束前的模擬時間範圍內，最後一列車於路線終點離開的時間 (s)

$t_D(1)$ =扣除系統暖機與結束前的模擬時間範圍內，第一列車於路線終點離開的時間 (s)

$N$ =扣除系統暖機與結束前的模擬時間範圍內，從路線終點離開的列車數

$C_l$ =路線容量 (train/h)

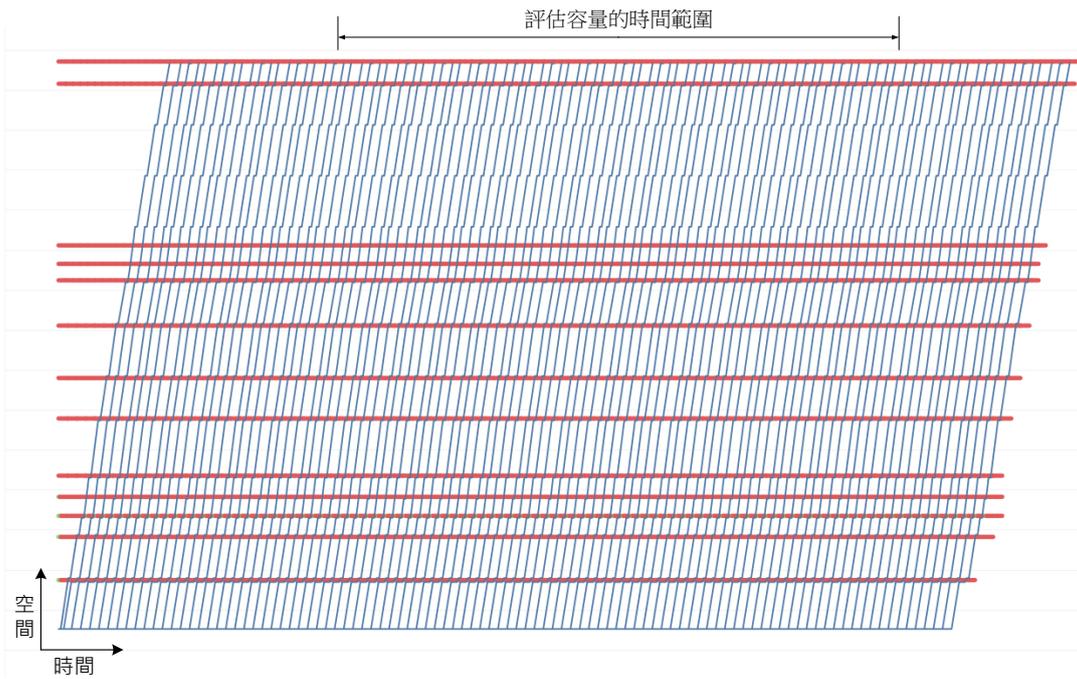


圖 4-21 評估容量所使用的時間範圍示意圖

## 4.5 演算範例展示

為使讀者能更清楚本模式的運作方式，本節以圖 4-22 之範例展示本模式之模擬流程，路線上共有四座車站和三個路口，其中 A 站和 D 站為中間站，B 站為近端設站，C 站為遠端設站，路口 3 則為沒有設置車站的橫交路口。

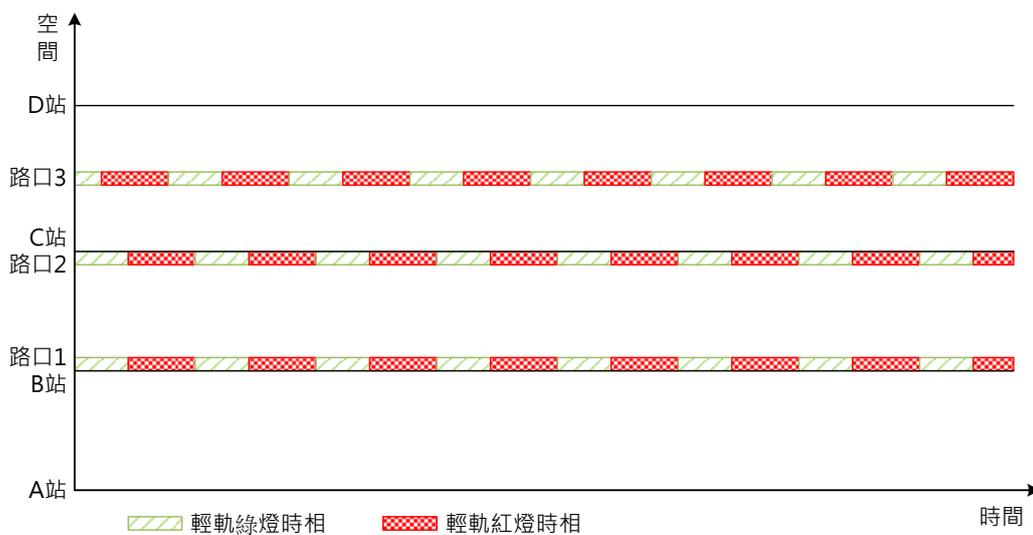


圖 4-22 演算範例

首先產生第一列車進入系統，從 A 站出發後，由於目前系統中沒有其他列車影響，因此可順利進入 B 站，如圖 4-23 所示。在經過一段停站時間後，第一列車即將離開 B 站，此時 B 站後方路口號誌恰好為綠燈，因此可順利離開 B 站，如圖 4-24 所示。

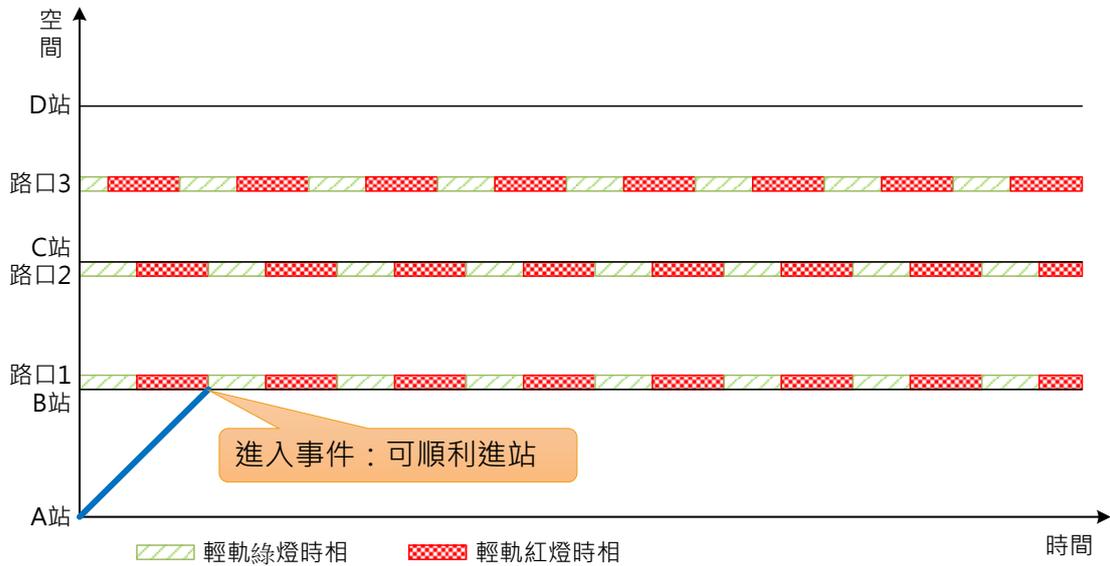


圖 4-23 演算範例展示 1

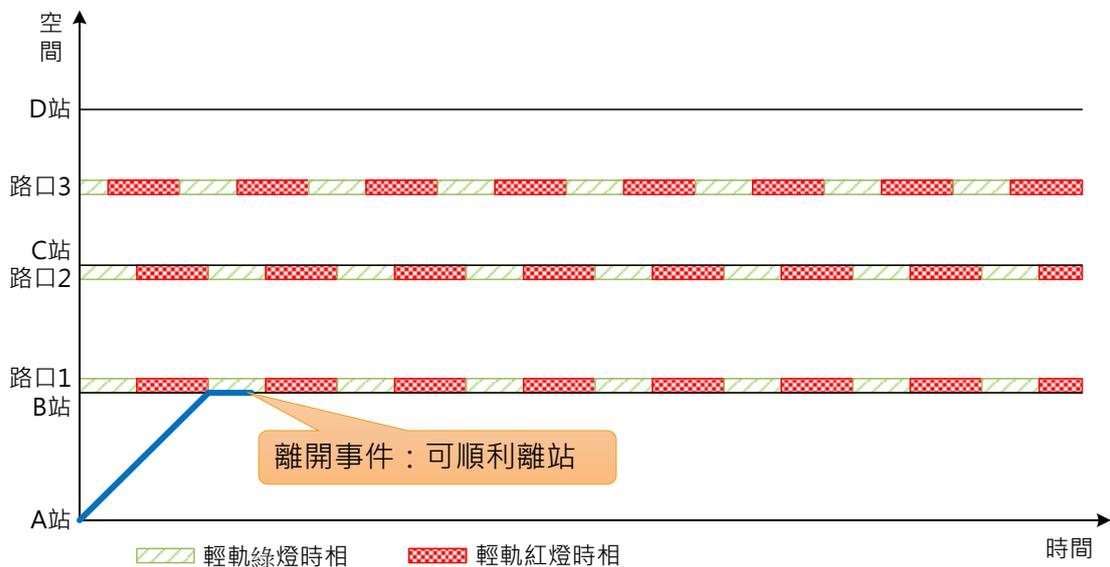


圖 4-24 演算範例展示 2

然後列車來到 C 站，此時前方路口號誌也剛好為綠燈，列車可順利進入 C 站，如圖 4-25 所示。同樣經過一段停站時間後，由於沒有路口號誌影響，列車可順利離開 C 站，如圖 4-26 所示。

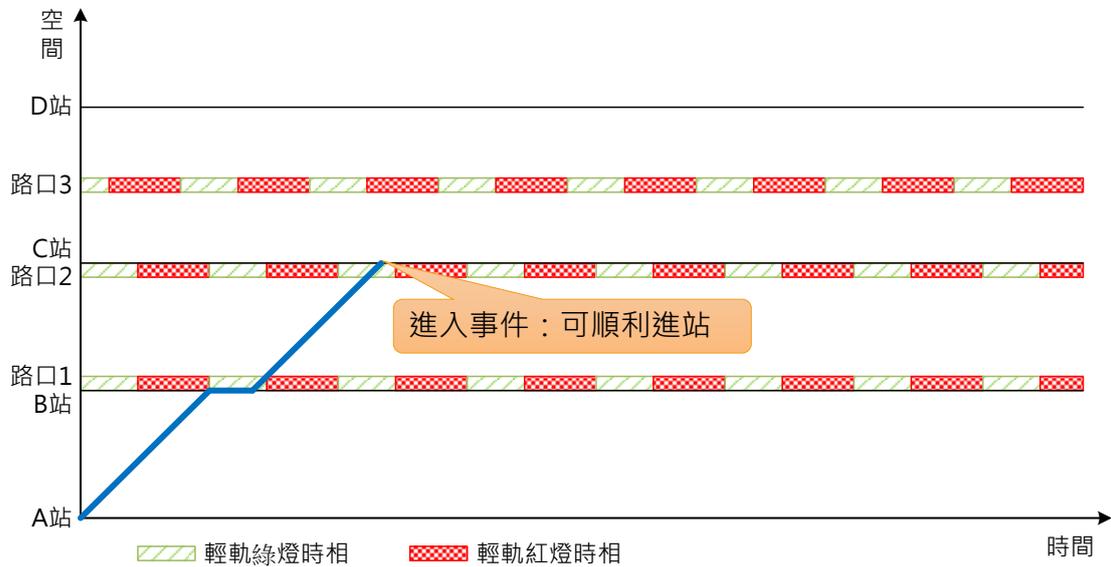


圖 4-25 演算範例展示 3

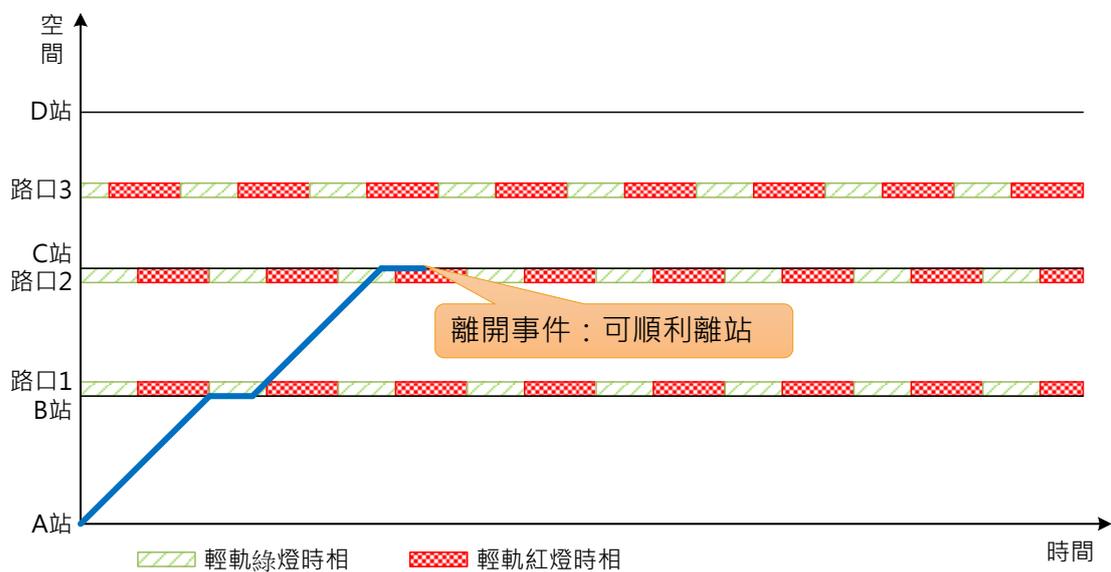


圖 4-26 演算範例展示 4

接著列車運行至路口 3，雖然此時路口號誌為紅燈，列車無法直接通過，但可於路口處停等紅燈，如圖 4-27 所示，直到號誌轉為綠燈後，列車才可通過路口 3，如圖 4-28 所示。

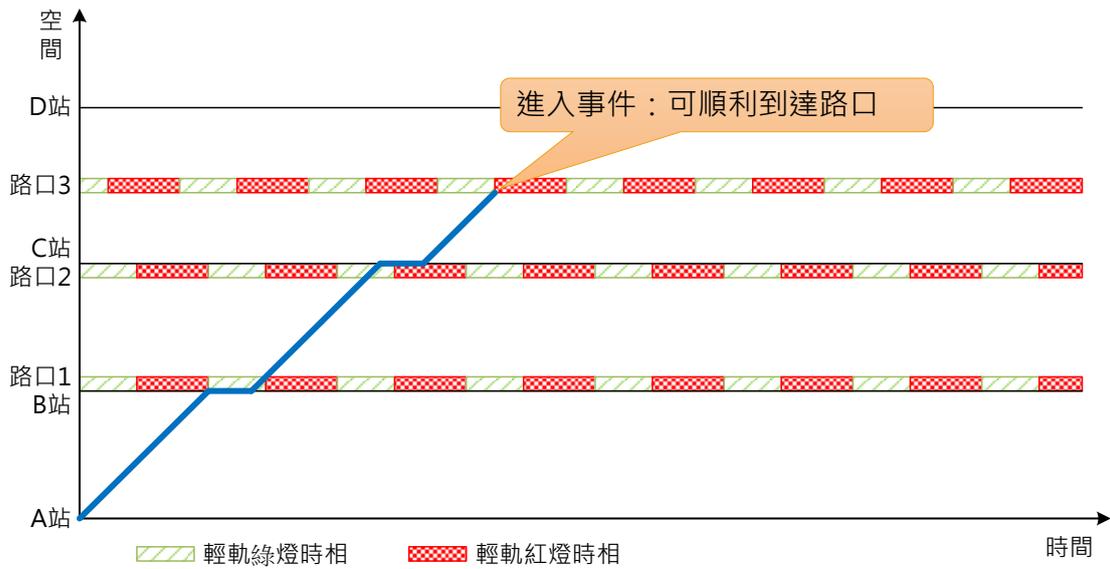


圖 4-27 演算範例展示 5

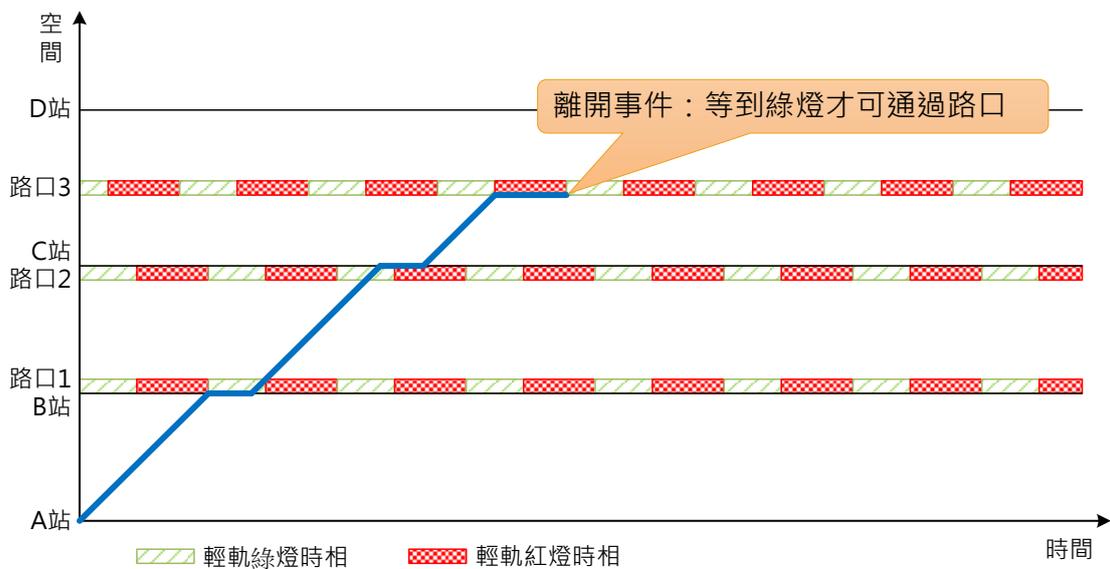


圖 4-28 演算範例展示 6

最後列車行駛至 D 站，該站為不受路口影響之中間站，且在列車到達時，站內並沒有其他列車，因此可順利進站，並在經過一段停站時間後即可離站，如圖 4-29 和圖 4-30 所示，如此便完成第一列車的模擬。

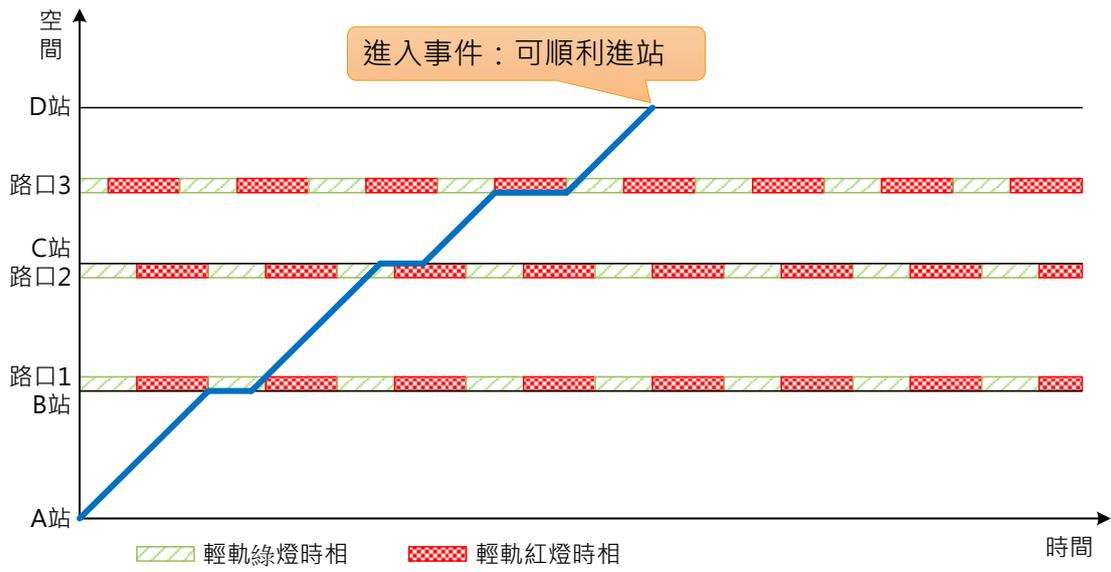


圖 4-29 演算範例展示 7

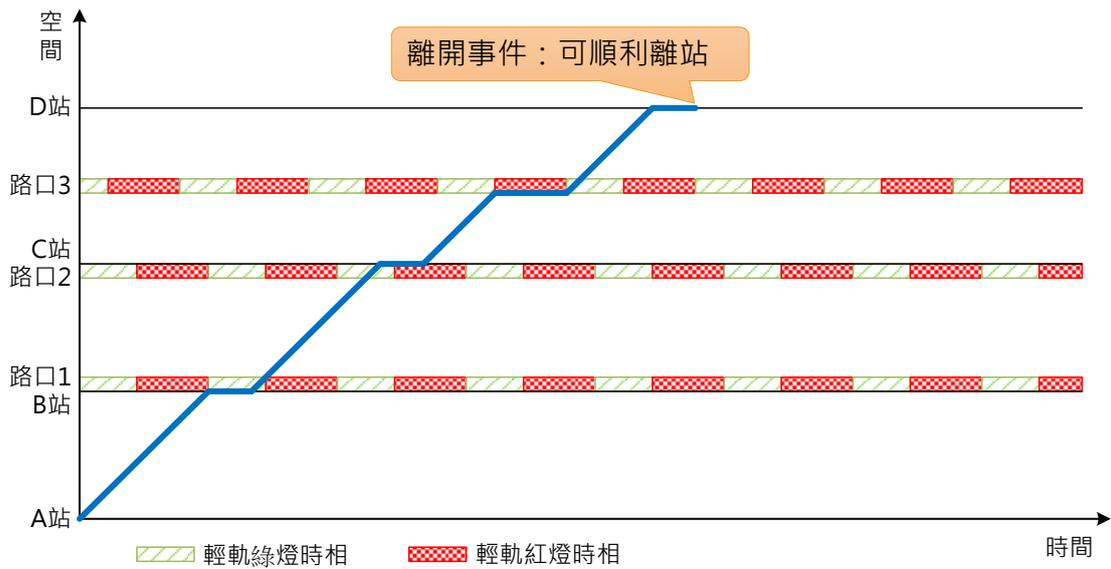


圖 4-30 演算範例展示 8

再來產生第二列車進入系統，與第一列車保持足夠的安全時距後從 A 站出發，但在進入 B 站時發現安全時距不足，如圖 4-31 所示，故無法通過檢核。

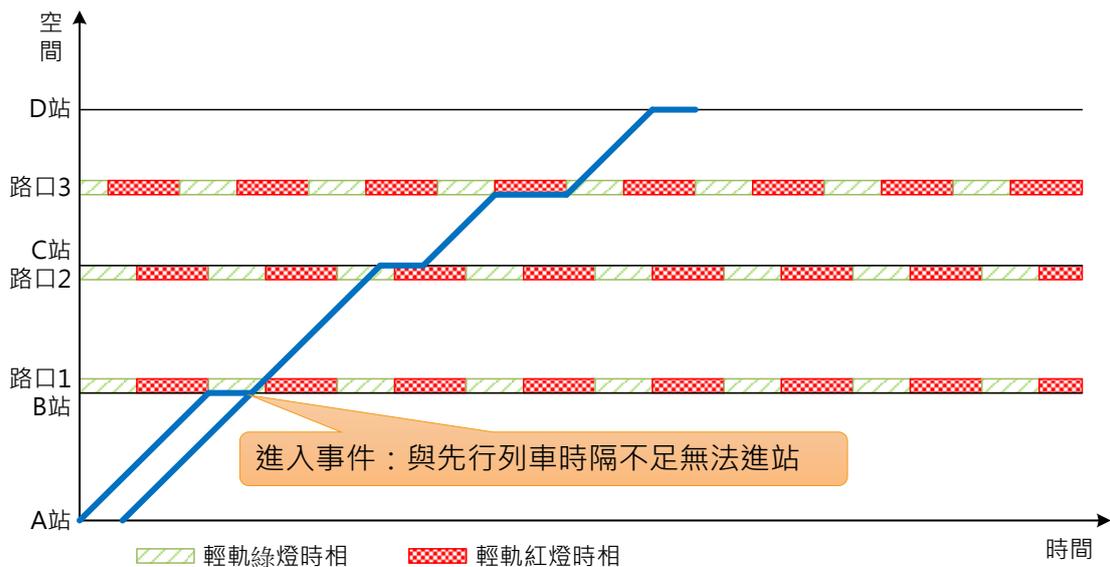


圖 4-31 演算範例展示 9

當進入事件無法通過檢核時，必須往前找尋前一停靠站（A 站）延後其離開事件的時間，如圖 4-32 所示，如此列車便能順利進入 B 站。在經過一段停站時間後，第二列車即將離開 B 站，此時 B 站後方路口號誌為紅燈，所以列車要繼續在車站內待到號誌轉為綠燈才可離開 B 站，如圖 4-33 所示。

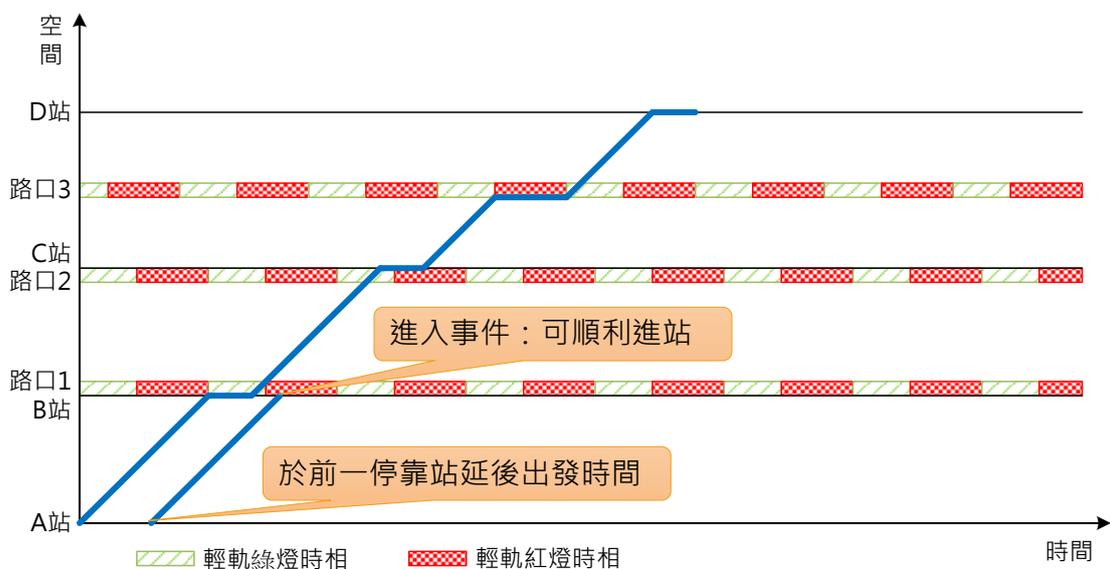


圖 4-32 演算範例展示 10

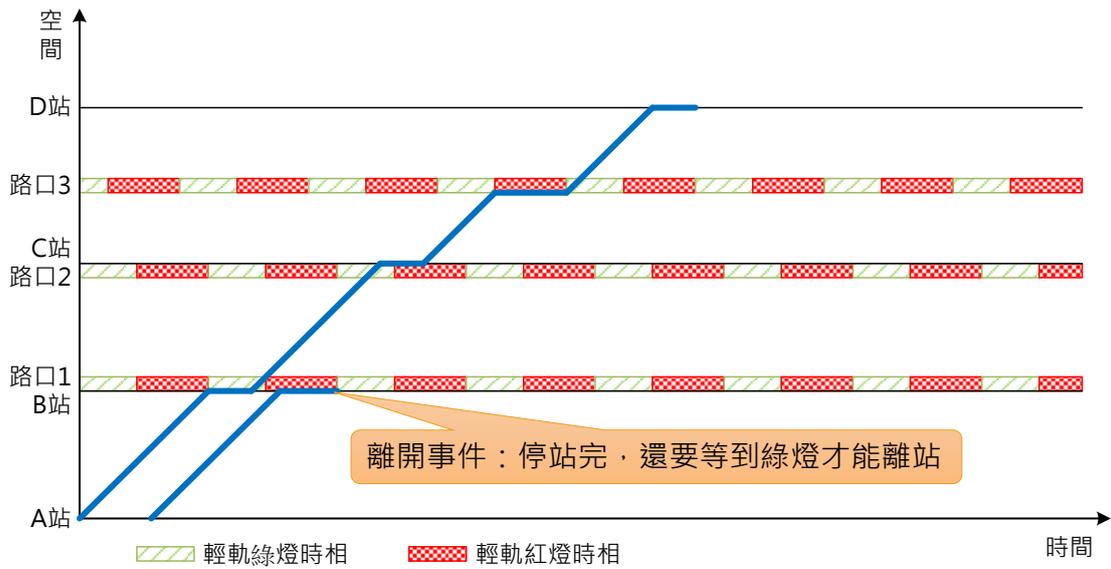


圖 4-33 演算範例展示 11

然後第二列車來到 C 站，此時前方路口號誌為紅燈，由於不會緊接著第一列車停等紅燈，因此第二列車可於路口處停等，待號誌轉為綠燈後進入 C 站，如圖 4-34 所示。而經過一段停站時間後，由於沒有路口號誌影響，第二列車列車便可順利離開 C 站，如圖 4-35 所示。

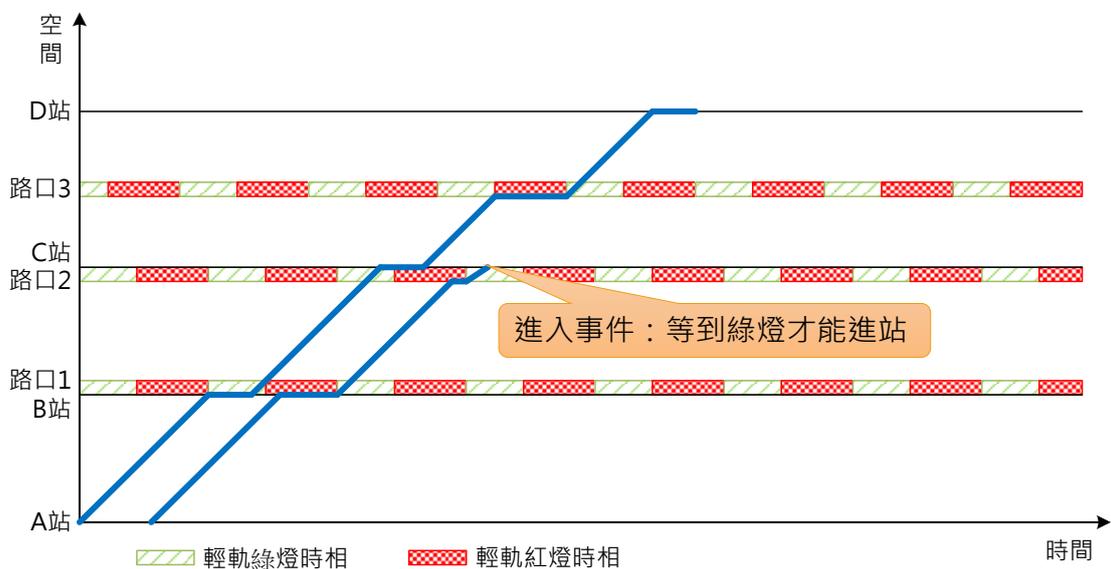


圖 4-34 演算範例展示 12

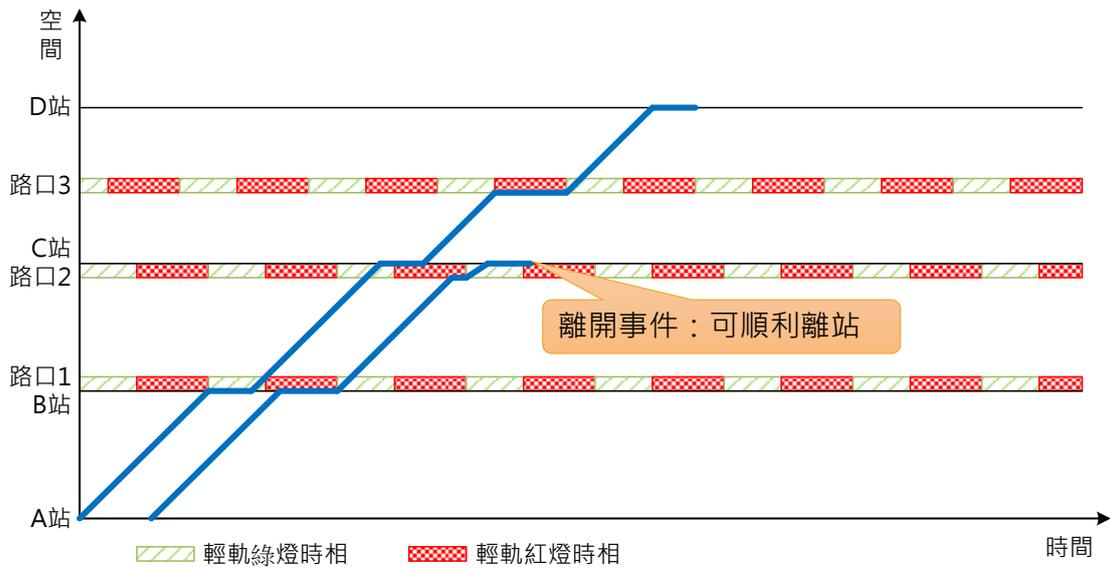


圖 4-35 演算範例展示 13

接著第二列車運行至路口 3，此時路口號誌為綠燈，且與第一列車有保持足夠安全時距，故直接順利通過路口 3，如圖 4-36 所示。不過當第二列車繼續行駛至 D 站，發現與第一列車安全時距不足，如圖 4-37 所示，無法通過檢核，故須往前找尋前一停靠站（C 站）延後其離開事件的時間，如圖 4-38 所示。

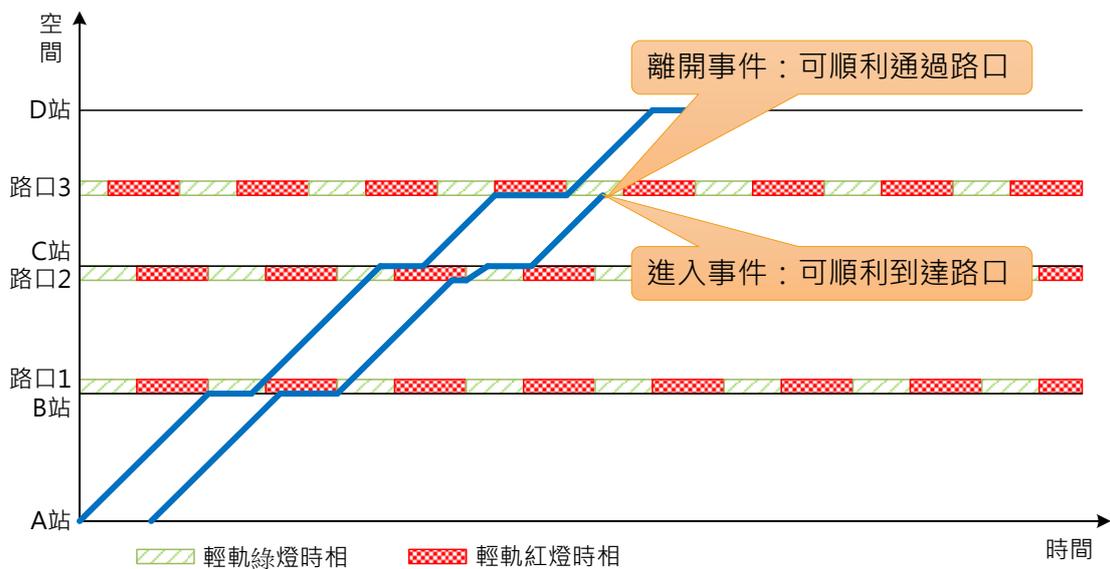


圖 4-36 演算範例展示 14

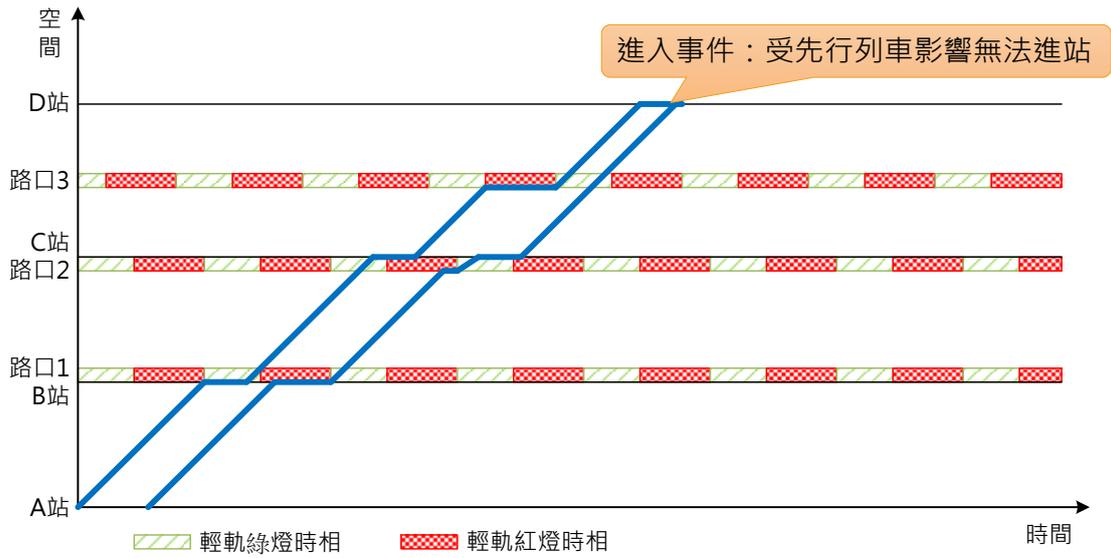


圖 4-37 演算範例展示 15

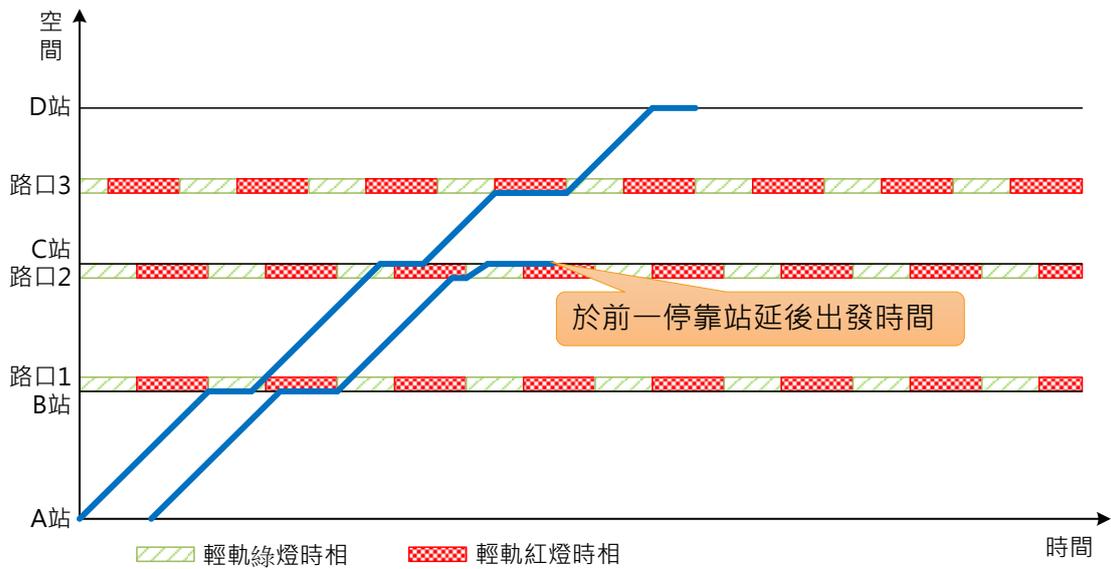


圖 4-38 演算範例展示 16

第二列車從 C 站延後出發並運行至路口 3 時，雖然路口號誌為紅燈，但因為不會緊接著第一列車停等紅燈，因此第二列車可於路口處停等，如圖 4-39 所示，待號誌轉為綠燈後通過路口 3，如圖 4-40 所示。

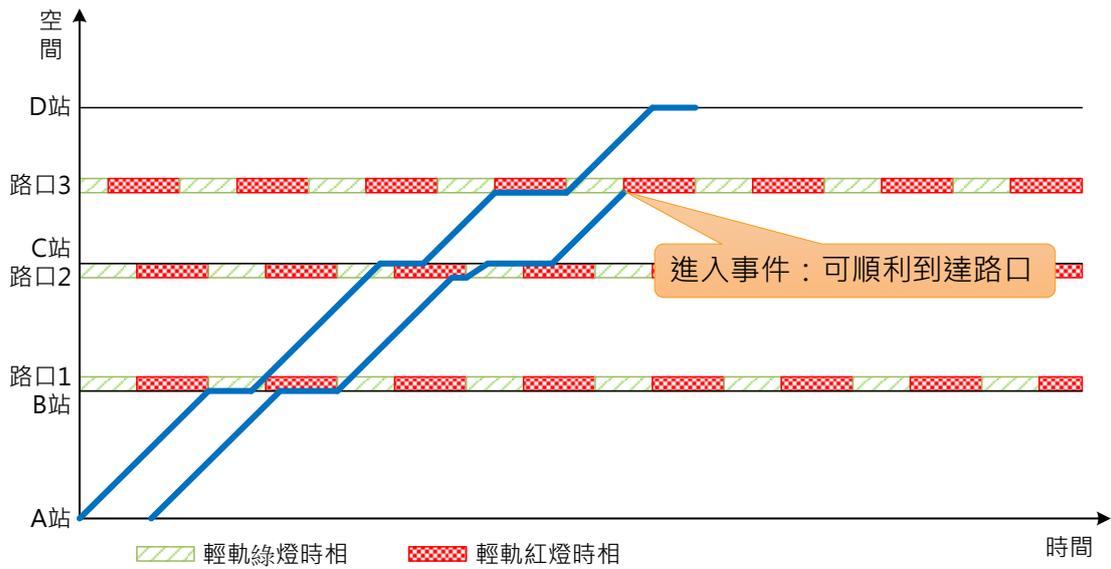


圖 4-39 演算範例展示 17

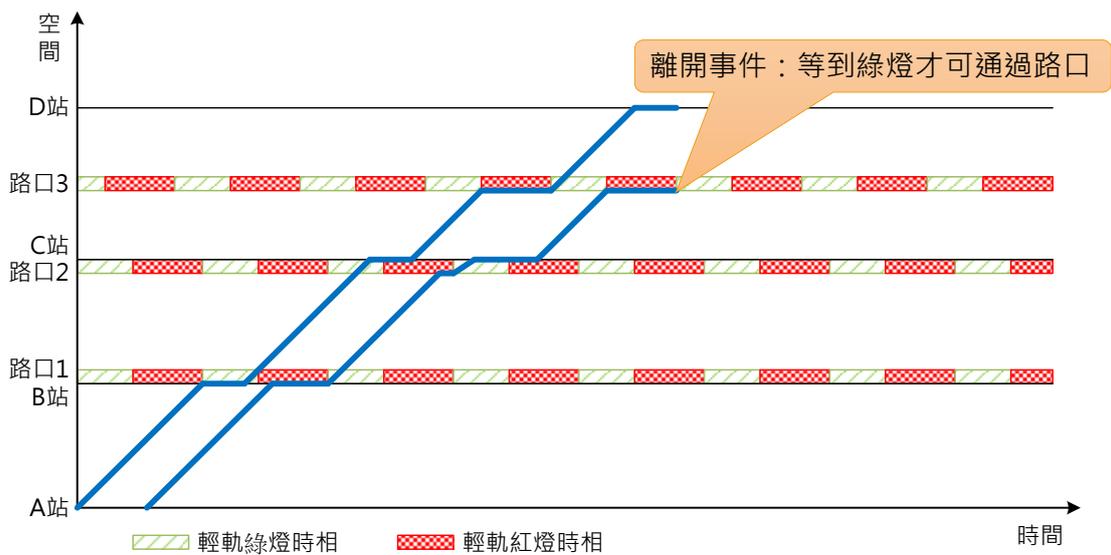


圖 4-40 演算範例展示 18

最後第二列車到達 D 站時，與第一列車已有足夠的安全時距，如圖 4-41 所示，便可順利進站，並在經過一段停站時間後即可離站完成第二列車的模擬。第三列車也是類似過程，模擬完成後結果如圖 4-42 所示，以此類推後續列車的模擬過程，直到所有列車都模擬完後，便可評估路線容量。

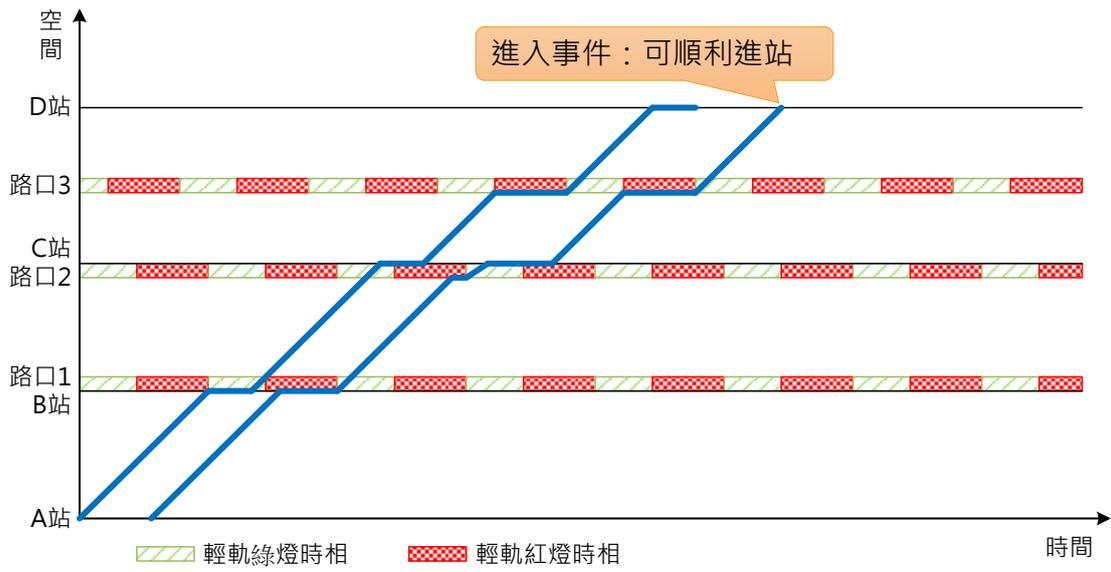


圖 4-41 演算範例展示 19

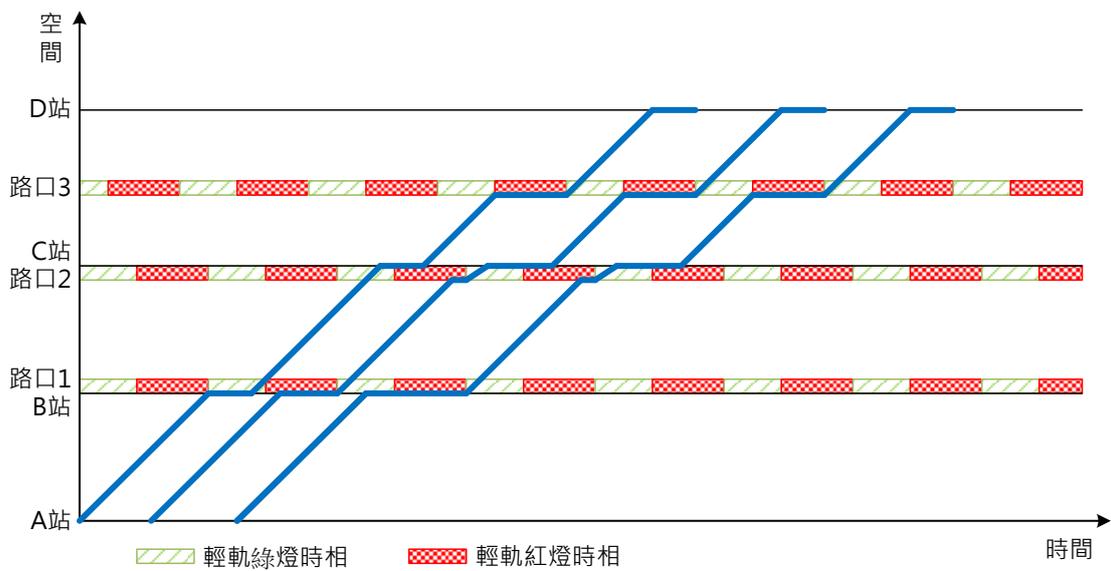


圖 4-42 演算範例展示 20

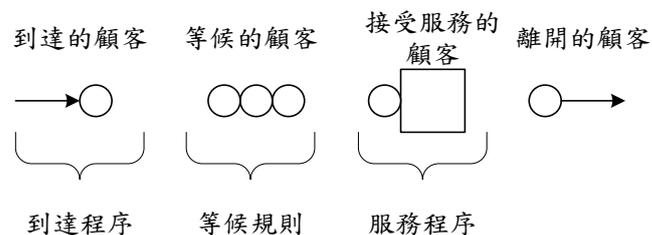


## 第五章 連續路段列車平均延滯分析模式

本計畫所探討的連續路段可靠度為在一期望列車流量下進行排班作業時，列車相互干擾所產生的平均延滯時間，故以等候理論（Queuing Theory）為基礎發展模式，此外為了避免與實際營運時所稱的可靠度混淆，將可靠度分析模式改名為列車平均延滯分析模式。本章先介紹等候理論與列車延滯，再說明模式的基本概念、假設與運作流程。

### 5.1 等候理論與列車延滯

列車於軌道上運行的原理與等候理論相當類似，在等候系統（Queuing System）中，包括了顧客（Customer）以及服務者（Server）等實體，而描述等候系統的特性則包括顧客的到達程序（Arrival Process）、等候規則（Queuing Discipline），以及服務者的服務程序（Service Process）<sup>[20]</sup>，顧客依到達程序抵達系統，並依照等候規則等候服務者的服務，在服務過程中依服務程序接受服務，完成服務後離開系統，如圖 5-1 所示。



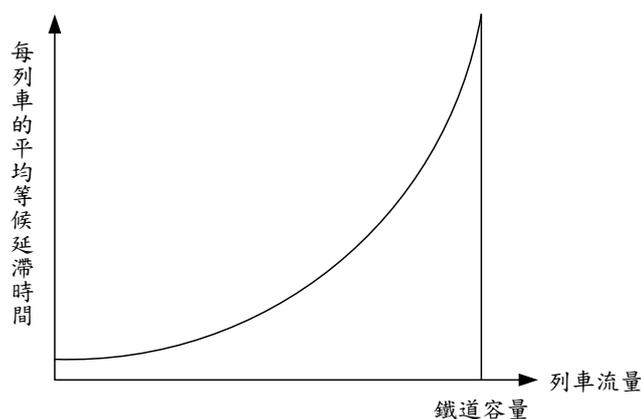
資料來源：[2]

圖 5-1 等候系統示意圖

若將列車視為顧客，而鐵道設施等資源當作是服務者，則列車在鐵道設施上運行的過程，就像是等候系統中顧客服務者的服務一樣。以列車停靠車站為例子說明，當列車抵達車站時，必須有空餘的軌道

與月臺方能進站，如果車站內的軌道與月臺已被其他列車佔用，後續列車必須在站外，甚至前一個車站等候。而列車在停站後，開啟車門讓旅客上下列車，再關閉車門完成停站作業離開車站，這段時間則為列車接受服務的時間。

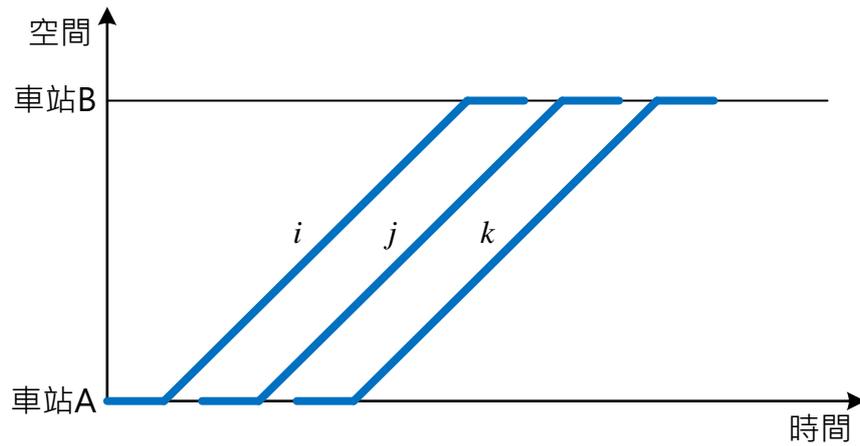
根據等候理論，當顧客的抵達率逐漸增加時，每一顧客的平均等候時間也會增加，而當抵達率趨近於服務者的服務率時，平均等候時間會趨近於無窮大。對應到鐵道運輸系統，顧客的抵達率可視為「列車流量」，而鐵道設施的服務率可視為「鐵道容量」，當列車流量趨近於鐵道容量時，列車的延滯時間亦會趨近於無窮大，兩者的關係曲線如圖 5-2 所示，列車流量在接近鐵道容量時，延滯時間會有大幅陡升的現象。



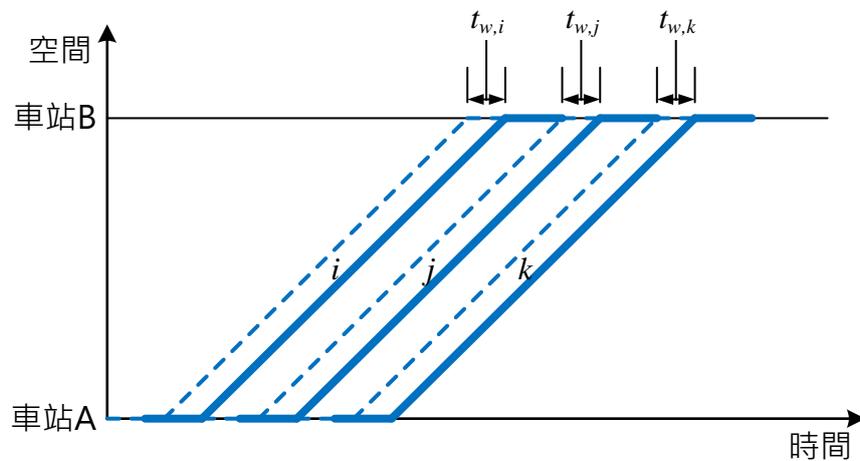
資料來源：[2]

圖 5-2 列車延滯時間圖

本計畫的容量分析模式係用來求取實用容量，也就是列車排班作業所能安排的最大列車數<sup>[2]</sup>，在排班作業中列車可能互相影響而造成延滯，此延滯稱為排班延滯，亦是本模式所要探討的對象。在排班作業時，會依照基準運轉時間來安排列車到達各車站的時間，即便列車因故需延後也不能任意改變運轉時間，而其他列車若受到影響也必須跟著延後，同樣要保持運轉時間不變，以圖 5-3(a)為例，當列車 *i* 延後在車站 A 的出發時間時，列車 *i* 在車站 B 的到達時間也一併延後，而後面受影響的列車 *j* 和列車 *k*，則是出發時間與到達時間都要延後，如圖 5-3(b)所示。



(a) 計畫中的列車運行圖



(b) *i* 列車無法依預定計畫運行時，重新排班後的列車運行圖

圖 5-3 列車排班延滯

## 5.2 模式基本概念與假設條件

為了探討列車流量與平均延滯時間的關係，本模式演算的基本概念如圖 5-4 所示，根據期望的列車流量在輕軌路線的起點發送列車，透過模擬方法將列車依運轉基本規則推進至路線終點，過程中列車可能會受到其他列車影響而增加旅行時間，最後觀察列車到達終點的延誤情形。藉由指定不同的列車流量，透過本模式求得平均延滯時間，便能獲得列車流量與平均延滯時間的關係。

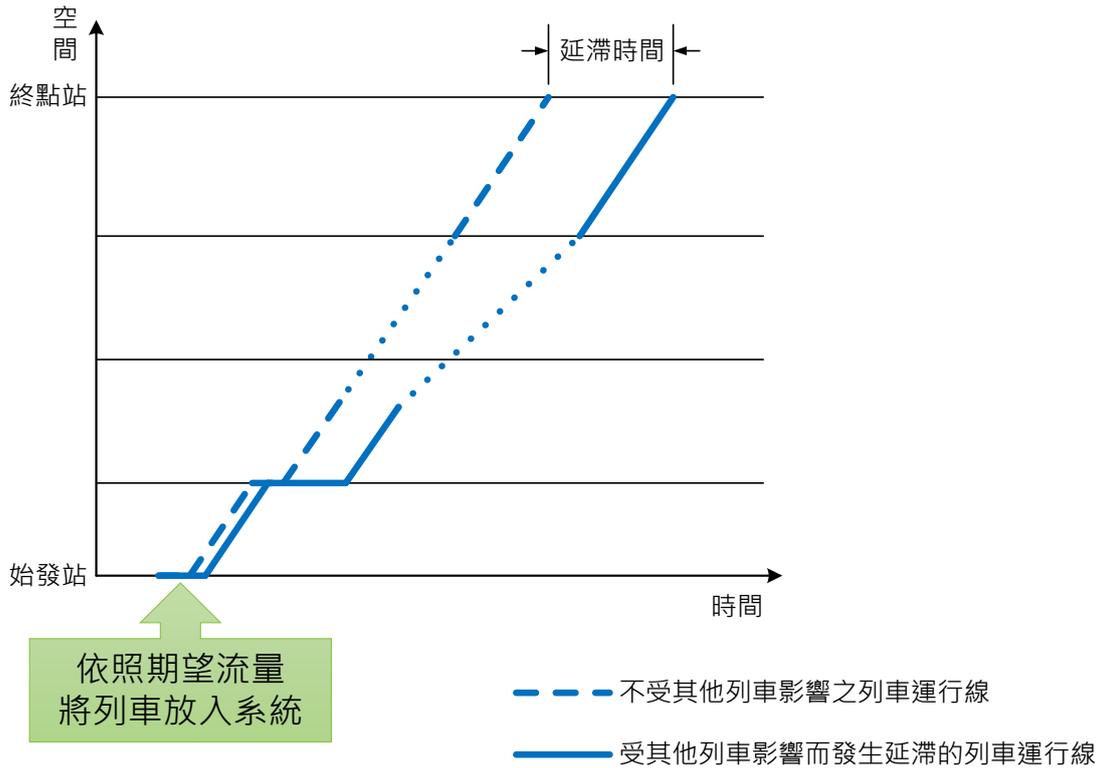


圖 5-4 連續路段輕軌列車平均延滯分析模式之演算概念

模式採用的模擬方法為離散事件導向模擬，和連續路段容量分析模式一樣（詳見第 4.2 節），共有進入事件與離開事件兩種事件，分別代表列車進入和離開某一空間參考點，透過一連串的到達事件與離開事件的推演，可描述一列車從路線起點運行至終點的過程。

至於模式的假設條件，除了如 4.3 節所述之外，假設列車進入路線起點的事件為獨立事件，在過去文獻中，對於沒有班表而僅知列車密度的情況下，會將列車發車間距視為獨立事件且呈指數分布<sup>[17]</sup>，故本計畫採取同樣做法。

### 5.3 模式整體流程

本模式的模擬流程如圖 5-5，首先計算列車從連續路段起點運行至終點的旅行時間，作為後續計算列車延滯時間的基準。接著根據指數分配產生發車間距，來決定列車進入系統的時間。當所有列車模擬

到達路線終點後，便能計算各列車的延滯時間，最後統計平均延滯時間。

整個過程中，在調整列車於各空間參考點的進入與離開時間時，由於是探討排班延滯，要保持運轉時間不變，等於是不能任意調整列車的行駛速率，因此與連續路段容量分析模式中，調整事件發生時間的處理流程相同（詳見 4.4 節），本章不再贅述。而計算基準旅行時間、依指數分配決定列車進入系統的時間，以及計算平均延滯時間等流程，則分別詳細說明如下。

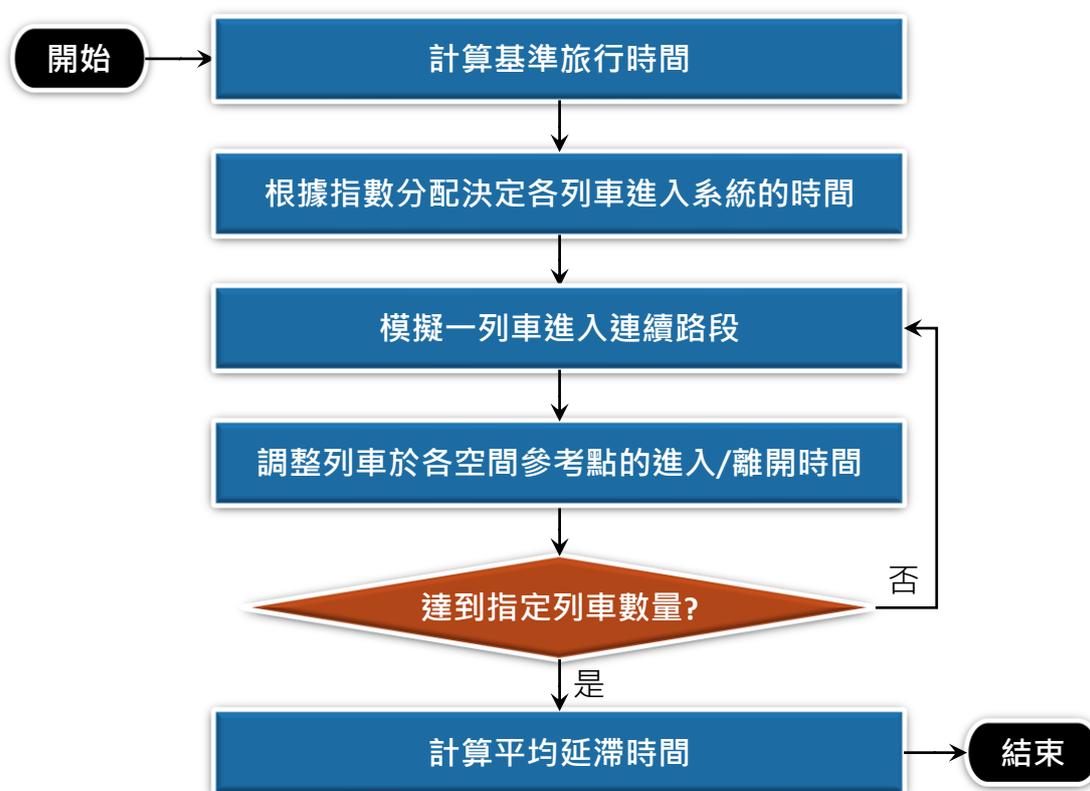


圖 5-5 連續路段輕軌列車平均延滯分析模式模擬流程圖

### 5.3.1 計算基準旅行時間

為了探討列車受其他列車影響的延滯情形，首先須了解只有一列車在系統中而沒有其他列車影響下的運轉情況。即便只有一列車，當列車行經路口時仍然須根據號誌指示通過，在不同的時間點進入系統，

遭遇紅燈的情況可能不同，因此其旅行時間也會不同，如圖 5-6 和圖 5-7 所示，即使只差幾秒鐘，總旅行時間可能會有很大的差異。

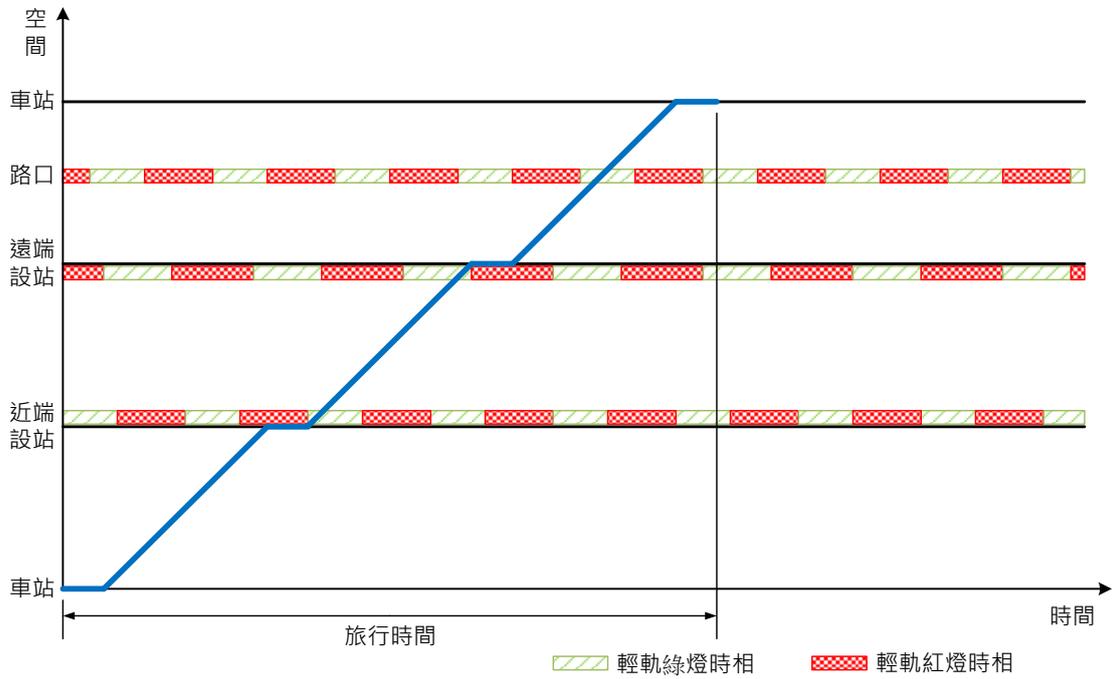


圖 5-6 旅行時間示意圖 1

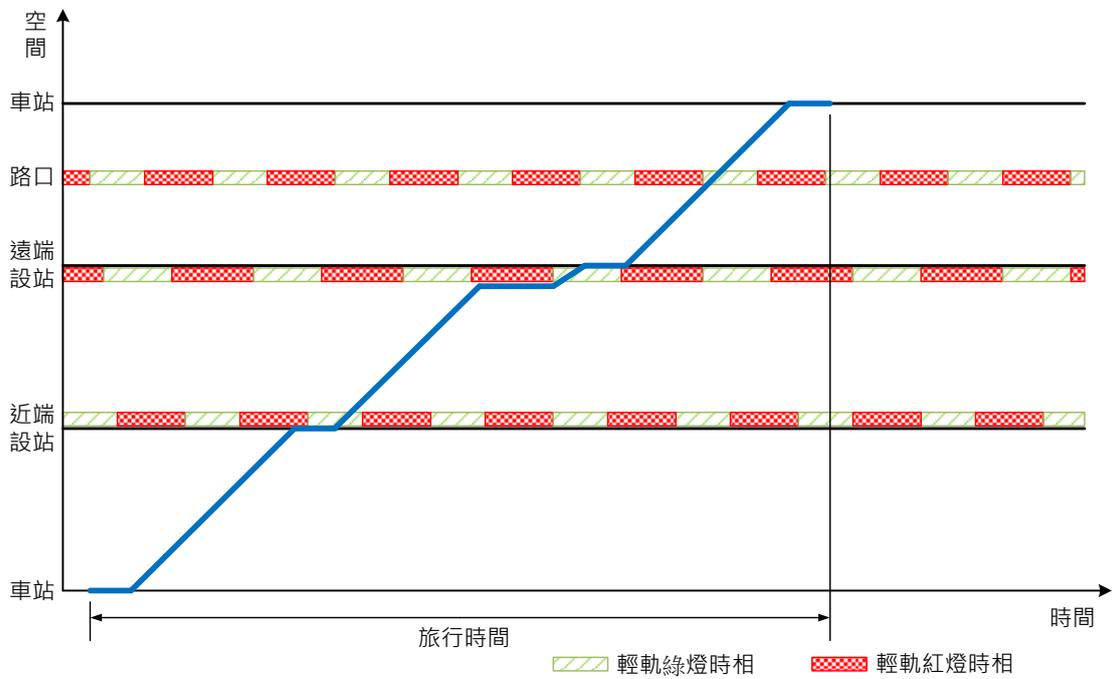


圖 5-7 旅行時間示意圖 2

有鑑於此，本模式一開始先在最大號誌週期的時間範圍內，隨機決定列車進入系統的時間點，模擬僅有一列車在系統內運行的情況並計算其旅行時間，重複進行上述步驟後，會獲得數個旅行時間，然後取最短的作為基準旅行時間，供後續計算列車延滯時間的參考。

### 5.3.2 依指數分配產生列車進入系統的時間

在期望列車流量 $f_e$ 下，列車進入系統的時間（也就是到達路線起點的時間）間距 $t_x$ 之累積分布函數（Cumulative Distribution Function）為：

$$F(t_x) = 1 - e^{-f_e t_x} \quad (5.1)$$

式中： $t_x$ =列車於路線起點距離前一列車進入時間的時間間距（s）

$f_e$ =期望的列車流量

透過電腦進行模擬運算時，需將式(5.1)透過逆轉換（Inverse Transform）得到式(5.2)，然後利用電腦產生 0~1 均勻分配的隨機亂數 $U$ ，便可獲得符合指數分配的時間間距。

$$t_x = \frac{-1}{f_e} \ln(1 - U) \quad (5.2)$$

式中： $U$ =在 0~1 之間呈均勻分配的隨機亂數

而第 $i$ 列車進入路線起點的時間為

$$t_{E,i} = t_{E,i-1} + t_{x,i} \quad (5.3)$$

式中： $t_{E,i}$ =第 $i$ 列車進入路線起點的時間（s）

$t_{x,i}$ =第 $i$ 列車距離第 $i-1$ 列車的時間間距（s）

### 5.3.3 計算平均延滯時間

當一列車模擬至路線終點後，從其預計進入路線起點的時間點起算，直到列車離開路線終點，所經歷的時間為列車的總旅行時間，將總旅行時間與 5.3.1 節所計算的基準旅行時間相比，便能求得該列車的延滯時間，如圖 5-8 所示。

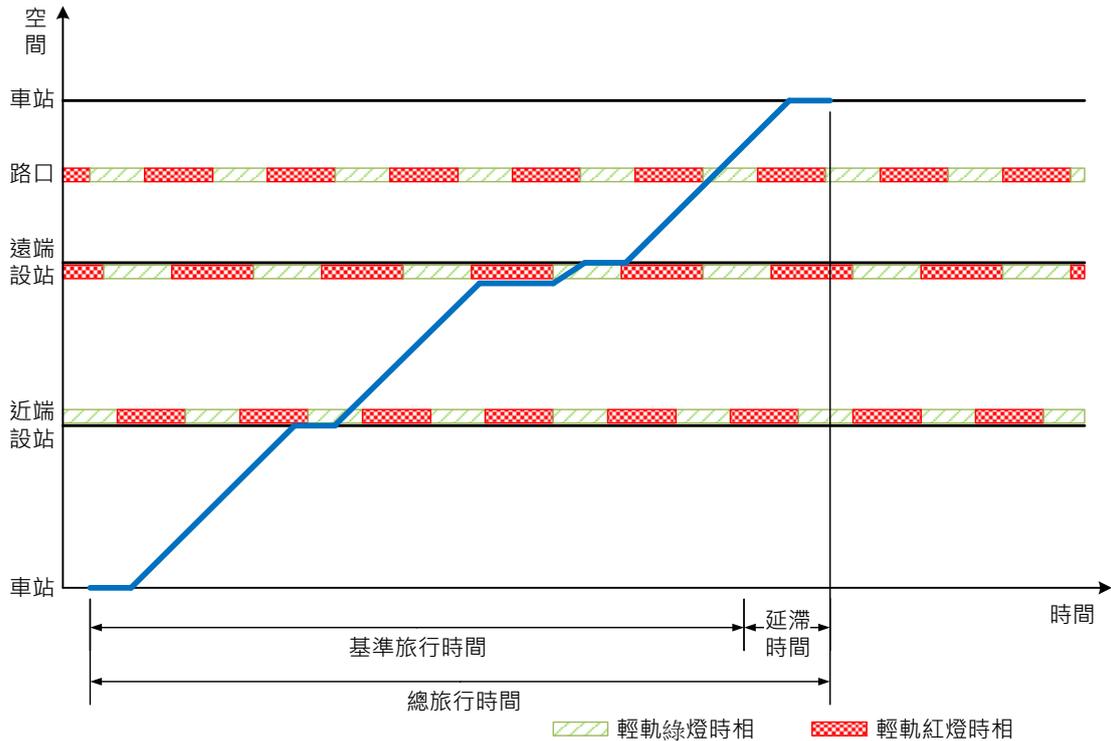


圖 5-8 計算列車延滯時間示意圖

當所有列車都模擬完之後，須扣除系統暖機階段以及結束之前的時段，僅取中間模擬時間範圍內之列車來計算平均延滯時間，公式為

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^N d_i}{N} \quad (5.4)$$

式中： $\bar{d}$ =平均延滯時間 (s)

$d_i$ =時間範圍內第  $i$  列車的延滯時間 (s)

$N$ =時間範圍內從路線終點離開的列車數

## 第六章 案例分析

在案例分析工作方面，本計畫首先以輕軌列車運行資料校估加減速有效因子，接著以淡海輕軌和高雄輕軌為對象，根據高雄捷運公司以及台灣智能運輸公司所提供的資料，包含列車性能、車站軌道布置、路線里程、停站時間、路口位置寬度，以及路口號誌時制等資料，進行連續路段容量分析與列車平均延滯分析，此外本計畫於第三章對單一空間參考點容量模式進行了調整，因此也透過案例分析比較模式調整前後的差異，結果分別說明如下。

### 6.1 加減速度有效因子校估

在真實世界中，列車的運行受到牽引力、行駛阻力、機械制動力、電動制動力等多重因素的影響，因此不屬於等加速度運動，實際上從靜止開始啟動加速，以及從行駛中開始減速至停止的速度變化過程如圖 6-1 所示。

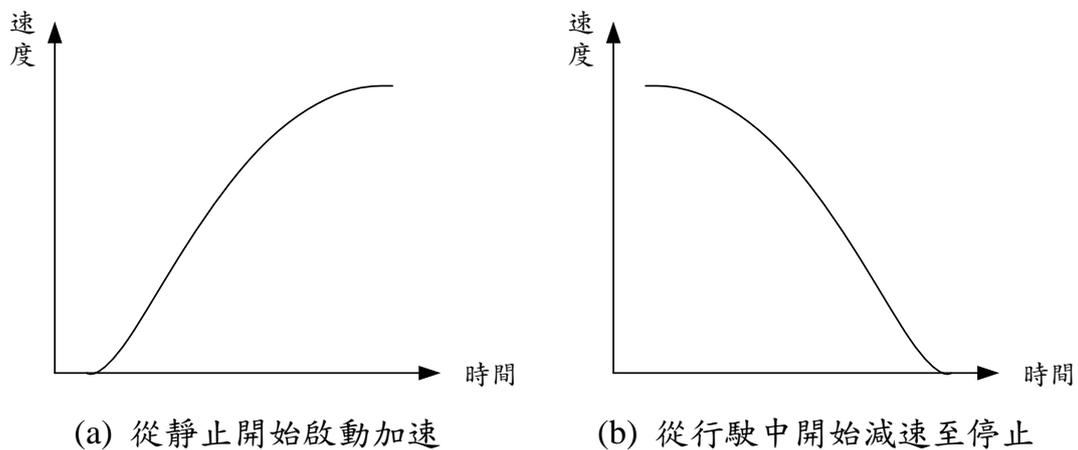


圖 6-1 列車實際加減速度變化過程示意圖

然而，為了便於模式的發展與操作應用，本計畫在模式中假設列車以等加減速運動運行，並採用相關公式來建立模式，所以模式中加入了加減速度有效因子，讓模式的計算結果能與接近真實系統的情況。

有關加減速度有效因子的校估，可根據列車於離站後或進站前持續加速或減速所經歷的時間以及速度變化，計算出其平均加速度或減速度，如圖 6-2 所示，最後將平均加速度或減速度除以列車性能的啟動加速度與煞車減速度，便能求得加減速度有效因子。

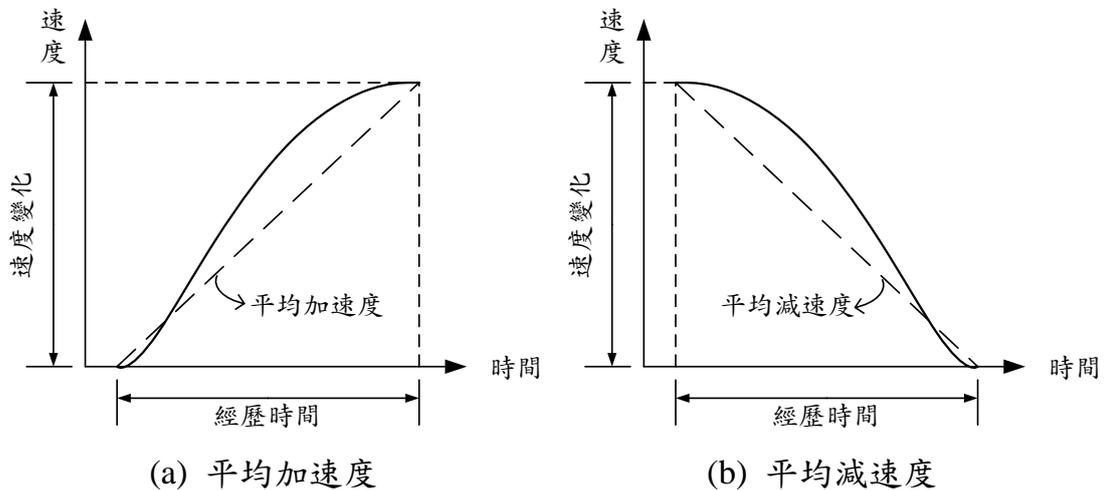


圖 6-2 計算平均加減速度示意圖

按照上述的校估方式，本計畫從高雄輕軌實測數據中，獲得列車離站時的平均加速度約為  $0.596 \text{ m/s}^2$ ，進站時的平均減速度約為  $0.475 \text{ m/s}^2$ ，而高雄輕軌列車的啟動加速度和煞車減速度皆為  $1.3 \text{ m/s}^2$ ，因此可計算出加速度有效因子約為 0.459，減速度有效因子約為 0.365，該數值和國外文獻相比偏低，據了解是為了旅客搭乘安全性，而在加減速和急衝度上有所限制，因此造成結果較低。

## 6.2 淡海輕軌案例

### 6.2.1 案例說明

淡海輕軌案例的分析範圍為綠山線，全線軌道配置如圖 6-3，該路線包含從紅樹林站至淡水行政中心站的 A 型路權高架段，以及從濱海義山站至炭頂站的 B 型路權平面段。

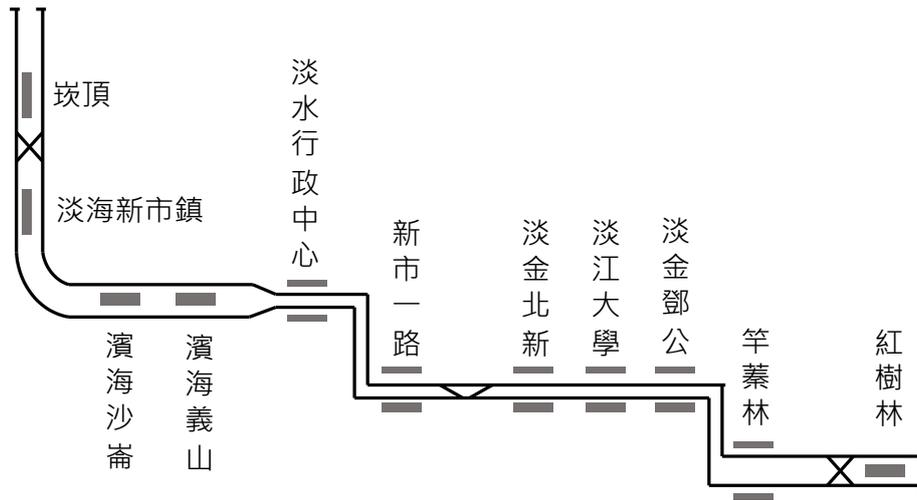


圖 6-3 淡海輕軌案例之範圍與軌道配置圖

淡海輕軌綠山線包含 9 座中間站與 2 座端末折返站，各空間參考點型式說明如表 6.1，其之間的距離如表 6.2，兩端末站與各中間站之參數分別整理如表 6.3~表 6.5，其中巡航速度為實際搭乘量測而得的數值。

表 6.1 淡海輕軌案例之空間參考點

名稱	類型	
	往崁頂方向	往紅樹林方向
紅樹林站	端末站—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	橫交路口	
濱海沙崙站	近端設站	遠端設站
沙崙路-新市二路路口	橫交路口	
淡海新市鎮站	近端設站	遠端設站
沙崙路-新市五路路口	橫交路口	
崁頂站	端末站—使用相同股道站前折返	

表 6.2 淡海輕軌案例之各空間參考點之間距

空間參考點	往炭頂方向	往紅樹林方向
	與下一空間參考點之距離 (m)	與上一空間參考點之距離 (m)
紅樹林站	840.81	—
竿蓁林站	929.69	840.06
淡金鄧公站	980.57	928.72
淡江大學站	579.13	979.05
淡金北新站	506.97	577.33
新市一路站	852.08	506.97
淡水行政中心站	370.00	848.63
濱海路-濱海路 306 巷路口	346.98	397.00
濱海義山站	265.00	320.05
濱海路-濱海路 202 巷路口	315.50	293.00
濱海沙崙站	424.00	287.50
沙崙路-新市二路路口	221.93	500.00
淡海新市鎮站	298.00	165.67
沙崙路-新市五路路口	327.06	352.00
炭頂站	—	274.13

表 6.3 淡海輕軌案例之紅樹林站參數

參數名稱	設定
列車離站後的巡航速度	15 km/h (註)
列車進站前的巡航速度	20 km/h
停站時間	120 s
列車於車站停車處至橫渡線之距離	50 m
橫渡線區範圍	65.531 m
列車從設定路徑點至橫渡線之距離	303 m
直進道岔限速 (剪式橫渡線)	15 km/h
斜進道岔限速 (剪式橫渡線)	10 km/h
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

表 6.4 淡海輕軌案例之崁頂站參數

參數名稱	設定
列車離站後的巡航速度	10 km/h (註)
列車進站前的巡航速度	25 km/h
停站時間	120 s
列車於車站停車處至橫渡線之距離	25.5935 m
橫渡線區範圍	69.93 m
列車從設定路徑點至橫渡線之距離	230 m
直進道岔限速 (剪式橫渡線)	15 km/h
斜進道岔限速 (剪式橫渡線)	10 km/h
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

表 6.5 淡海輕軌案例之中間站參數

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

表 6.6 為 B 型路權的路口與號誌參數，目前淡海輕軌並沒有使用優先號誌，另外值得注意的是，炭頂站雖處於 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

路口或車站名稱	路口寬度 (m)	路口至車站停車處之距離 (m)	號誌週期 (s)	輕軌綠燈時相時間 (s)	路口號誌時差 (s)
濱海路-濱海路 306 巷路口	27	—	90	40	45
濱海路-義山路口 (濱海義山站)	49	16.756	90	32	0
濱海路-濱海路 202 巷路口	28	—	90	40	0
濱海路-沙崙路口 (濱海沙崙站)	92	20.775	180	50	125
沙崙路-新市二路口	76	—	90	35	35
沙崙路-新市三路口 (淡海新市鎮站)	50	22.775	90	40	30
沙崙路-新市五路口	54	—	90	35	60

淡海輕軌的列車相關參數整理如表 6.7，列車車身長為 34.45 公尺，加減速度皆為 1.1 公尺/秒<sup>2</sup>，加減速有效因子採用 6.1 節的計算結果，全列車的總乘位數共 265 個，乘載變異因子則根據 TCQSM 的建議採用 0.75<sup>[18]</sup>，在司機員與煞車系統反應時間方面，一般認為駕駛人的反應時間可在 1 秒以內，電氣軔機的反應時間約 1.5 秒<sup>[15]</sup>，兩者相加為 2.5 秒，本案例採用進整的 3 秒。最後在運轉寬裕時間係數方面，由於目前尚未有研究深入探討，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<sup>[2]</sup>，考量輕軌運行環境較多變數，本案例將運轉寬裕係數設定為較保守的 0.3。

表 6.7 淡海輕軌列車參數

參數名稱	數值
列車長度	34.45 m
平均速率	17 km/h
啟動加速度	1.1 m/s <sup>2</sup>
加速度有效因子	0.459
煞車減速度	1.1 m/s <sup>2</sup>
減速度有效因子	0.365
座位數	62
立位數	203 (註)
乘載變異因子	0.75
司機員與煞車系統反應時間	3 s

註：以每平方公尺站立 5 人來計算

### 6.2.2 單一空間參考點容量模式調整前後比較

將上述參數分別代入前期研究所發展的單一空間參考點容量分析模式，以及本計畫調整後的模式（詳見第三章）之中，可求得模式調整前後之容量，結果整理如表 6.8 和表 6.9。其中在 B 型路權的部分差異較大，主要原因為其運轉寬裕的計算方式改變，詳見 3.2 節。不過整體看來，容量最低處仍位於紅樹林站，其運轉時隔為 356 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 6.8 單一空間參考點容量模式調整前後比較（往崁頂）

空間參考點	調整前		調整後	
	運轉時隔 (s)	路線容量 (train/h)	運轉時隔 (s)	路線容量 (train/h)
紅樹林	356.00	10.11	356.00	10.11
竿蓁林	94.50	38.09	89.41	40.27
淡金鄧公	94.50	38.09	89.41	40.27
淡江大學	89.46	40.24	85.49	42.11
淡金北新	94.50	38.09	89.41	40.27
新市一路	84.60	42.55	81.76	44.03
淡水行政中心	80.06	44.97	78.33	45.96
濱海路-濱海路 306 巷路口	58.50	61.54	45.00	80.00
濱海義山站	117.00	30.77	90.00	40.00
濱海路-濱海路 202 巷路口	58.50	61.54	45.00	80.00
濱海沙崙站	234.00	15.38	180.00	20.00
沙崙路-新市二 路路口	58.50	61.54	45.00	80.00
淡海新市鎮站	117.00	30.77	90.00	40.00
沙崙路-新市五 路路口	58.50	61.54	45.00	80.00
崁頂站	312.56	11.52	312.56	11.52

表 6.9 單一空間參考點容量模式調整前後比較（往紅樹林）

空間參考點	調整前		調整後	
	運轉時隔 (s)	路線容量 (train/h)	運轉時隔 (s)	路線容量 (train/h)
炭頂站	312.56	11.52	312.56	11.52
沙崙路-新市五 路路口	58.50	61.54	45.00	80.00
淡海新市鎮站	117.00	30.77	90.00	40.00
沙崙路-新市二 路路口	58.50	61.54	45.00	80.00
濱海沙崙站	234.00	15.38	180.00	20.00
濱海路-濱海路 202 巷路口	58.50	61.54	45.00	80.00
濱海義山站	117.00	30.77	90.00	40.00
濱海路-濱海路 306 巷路口	58.50	61.54	45.00	80.00
淡水行政中心	84.60	42.55	81.76	44.03
新市一路	104.94	34.31	97.59	36.89
淡金北新	84.60	42.55	81.76	44.03
淡江大學	110.27	32.65	101.80	35.36
淡金鄧公	94.50	38.09	89.41	40.27
竿蓁林	104.94	34.31	97.59	36.89
紅樹林	356.00	10.11	356.00	10.11

### 6.2.3 連續路段容量分析結果

透過本計畫發展之連續路段容量分析模式，分析淡海輕軌綠山線之中間連續路段的容量，亦即不含兩端末站，結果如表 6.10。無論是往炭頂還是往紅樹林，兩方向的運轉時隔皆為 180 秒，路線容量為每

小時 20 列車。和單一空間參考點容量模式相比，除了兩端末站之外，中間路線之容量瓶頸位於濱海沙崙站，其容量值恰好與連續路段容量分析模式的結果相同。

表 6.10 淡海輕軌案例之連續路段容量分析結果（不含端末站）

方向		往崁頂	往紅樹林
連續路段 容量模式	運轉時隔(s)	180.0	180.0
	路線容量(train/h)	20.0	20.0
單一空間 參考點 容量模式	瓶頸處	濱海沙崙站	濱海沙崙站
	運轉時隔(s)	180.0	180.0
	路線容量(train/h)	20.0	20.0

若將濱海沙崙站的各項參數進行敏感度分析，以±20%的變動來計算各項參數對淡海輕軌連續路段容量的影響程度，結果顯示僅號誌週期造成影響，如表 6.11 所示。此外，從圖 6-4 可看出淡海輕軌連續路段的運轉時隔與濱海沙崙站的號誌週期呈現一致性的變化，顯示號誌週期對連續路段容量有決定性的影響。

表 6.11 濱海沙崙站各項參數對連續路段容量之影響

參數項目	對容量之影響	
	往崁頂	往紅樹林
列車長度	未造成影響	未造成影響
啟動加速度	未造成影響	未造成影響
加速度有效因子	未造成影響	未造成影響
煞車減速度	未造成影響	未造成影響
減速度有效因子	未造成影響	未造成影響
司機員與煞車系統反應時間	未造成影響	未造成影響
號誌週期	負相關	負相關
輕軌綠燈時相時間	未造成影響	未造成影響
路口號誌時差	未造成影響	未造成影響
進站前巡航速度	未造成影響	未造成影響
停站時間	未造成影響	未造成影響
路口至車站停車處之距離	未造成影響	未造成影響
路口寬度	未造成影響	未造成影響

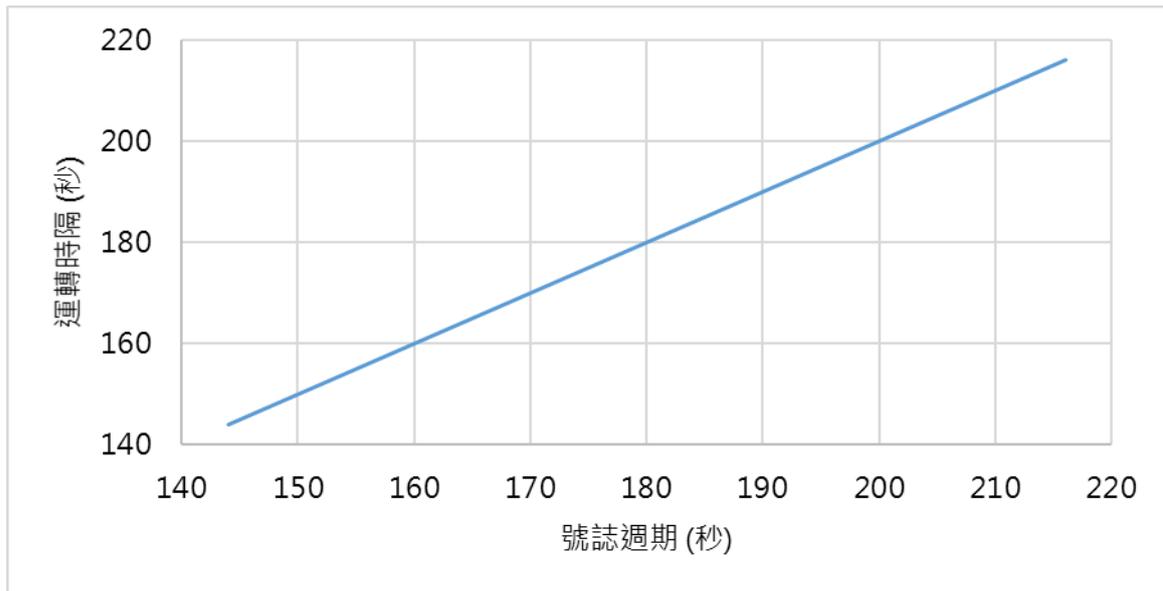


圖 6-4 濱海沙崙站號誌週期對連續路段運轉時隔之影響

由於路口號誌時差可能會影響輕軌的運行，故本計畫進一步以介於±180 之間的均勻分布 (Uniform Distribution) 之亂數，設定各路口號誌時差來探討其影響，結果如圖 6-5 和圖 6-6 所示，可發現在不同的時差設定下，皆不影響運轉時隔，也就是不影響容量，但對旅行時間確有明顯的影響。在路口號誌的時相設計上，為了減少車輛停等次數與停等時間，會調整上下游各路口號誌時差來產生最大綠燈帶寬，此效益同樣會發生在輕軌運輸系統，讓輕軌減少停等次數與停等時間，進而減少旅行時間，若時差設定得不好，則會讓輕軌列車經常遭遇紅燈，而導致旅行時間增加。

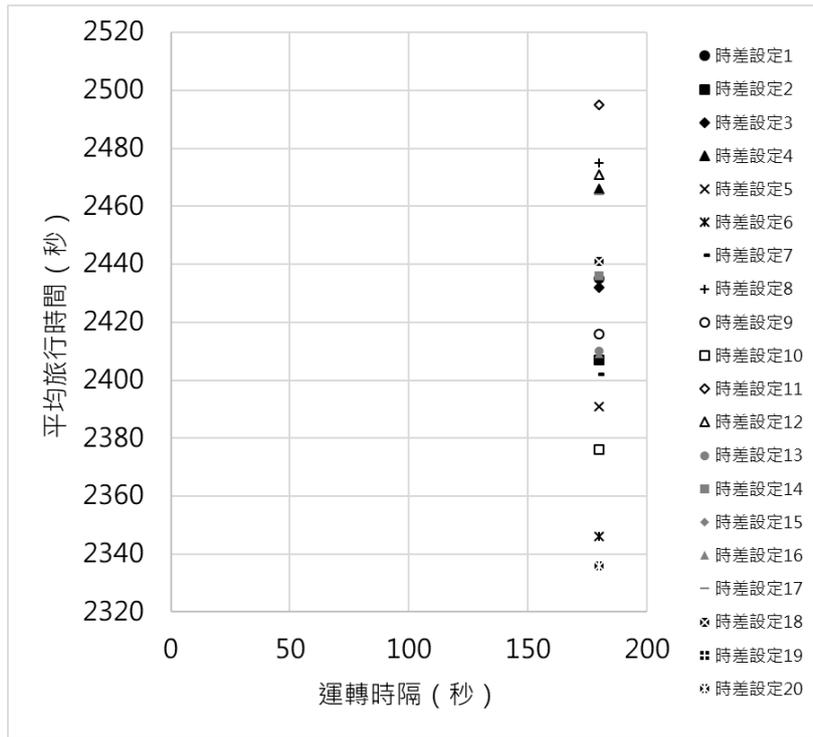


圖 6-5 路口號誌時差對運轉時隔與旅行時間之影響（往崁頂）

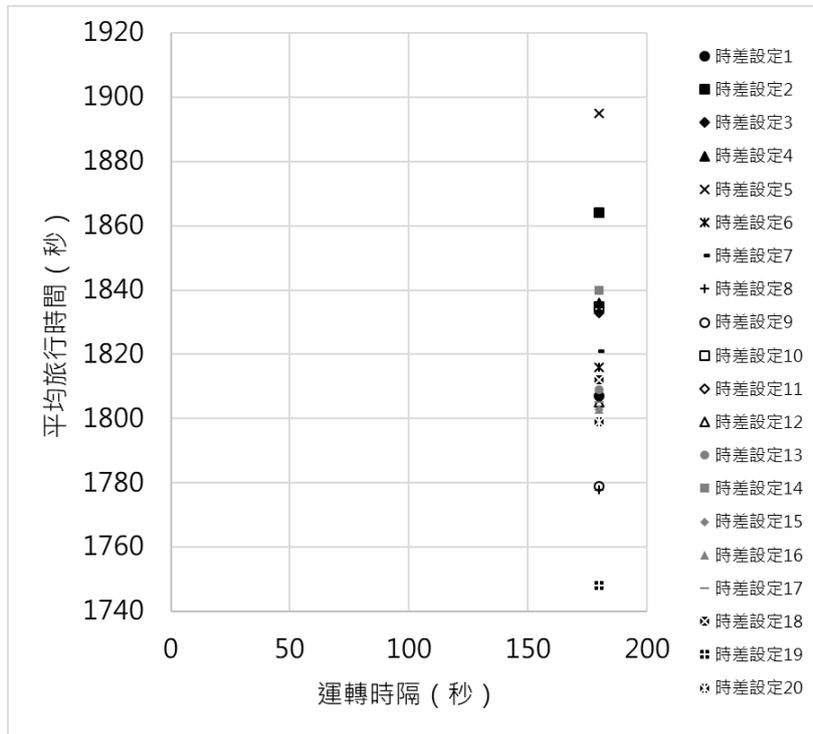


圖 6-6 路口號誌時差對運轉時隔與旅行時間之影響（往紅樹林）

## 6.2.4 連續路段列車平均延滯分析結果

最後以本計畫發展之連續路段列車平均延滯分析模式，分析淡海輕軌綠山線之中間連續路段的列車平均延滯，結果如圖 6-7 和圖 6-8 所示。無論是往炭頂還是往紅樹林方向，隨著列車流量的增加，其平均延滯時間皆是呈現非線性成長的趨勢，當列車流量接近每小時 20 列車時，也就是接近容量上限時，平均延滯時間開始陡升，與等候理論所闡述的現象相符。

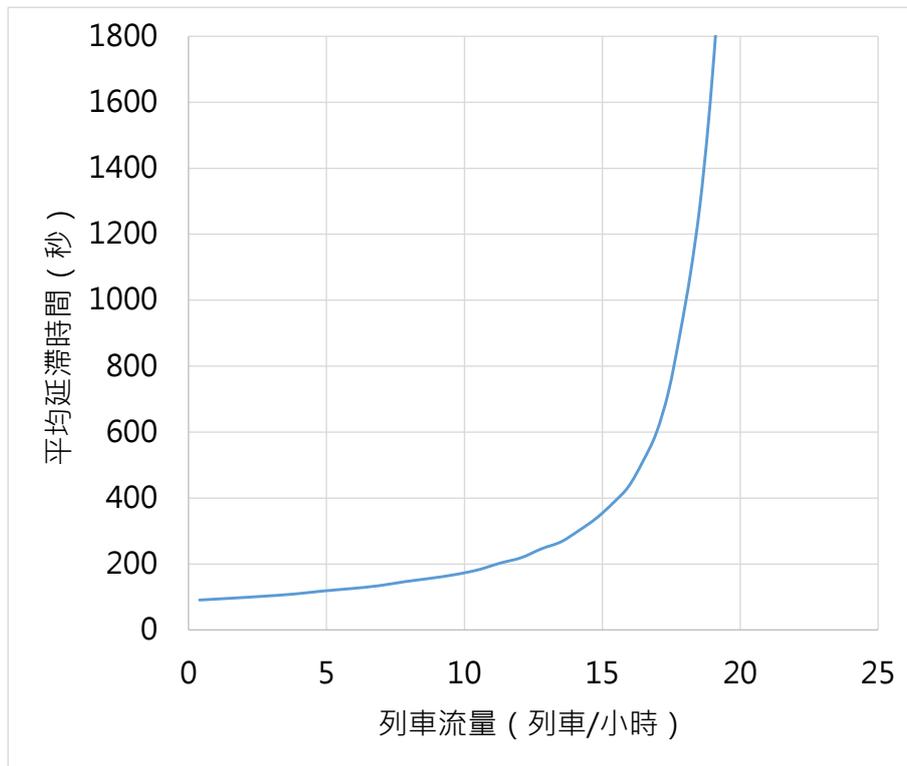


圖 6-7 連續路段列車平均延滯分析結果（往炭頂）

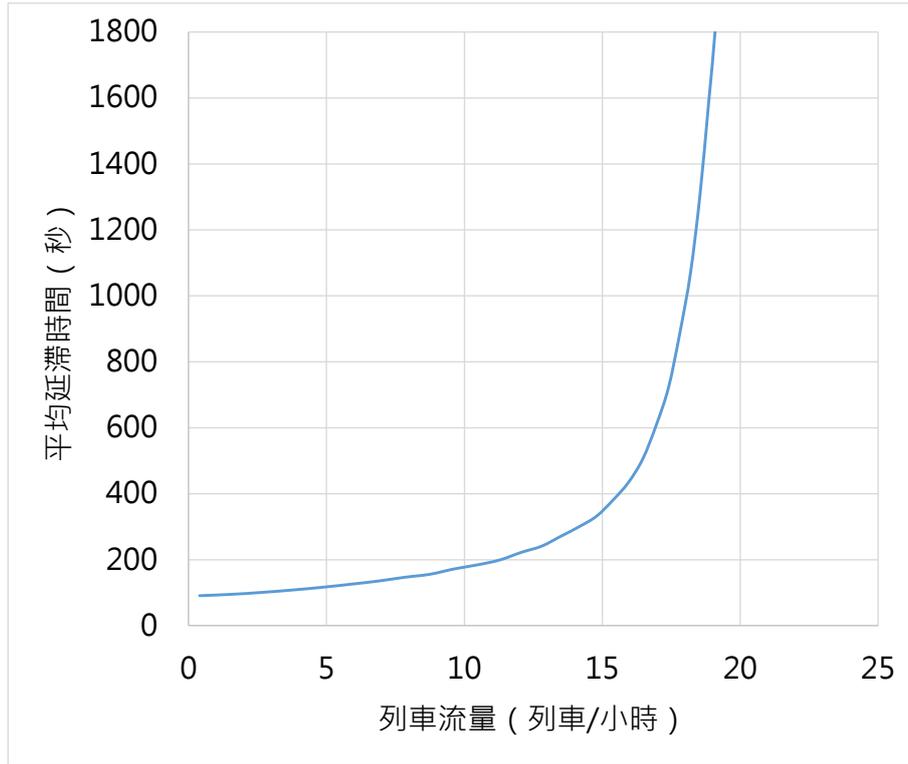


圖 6-8 連續路段列車平均延滯分析結果（往紅樹林）

若進一步探討在連續路段起點之輸入流量與終點輸出流量之關係，結果如圖 6-9 和圖 6-10 所示，隨著輸入流量增加，輸出流量也跟著增加，兩者呈正比關係，但當輸入流量超過每小時 20 列車後，受限於路線容量，輸出流量維持在每小時 20 列車。

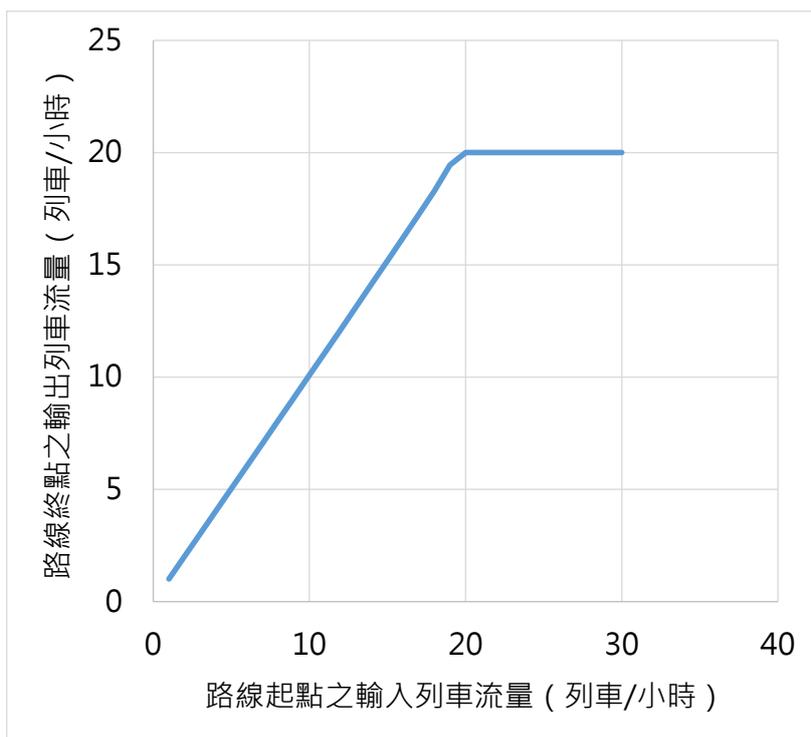


圖 6-9 輸入流量與輸出流量之關係 (往埃頂)

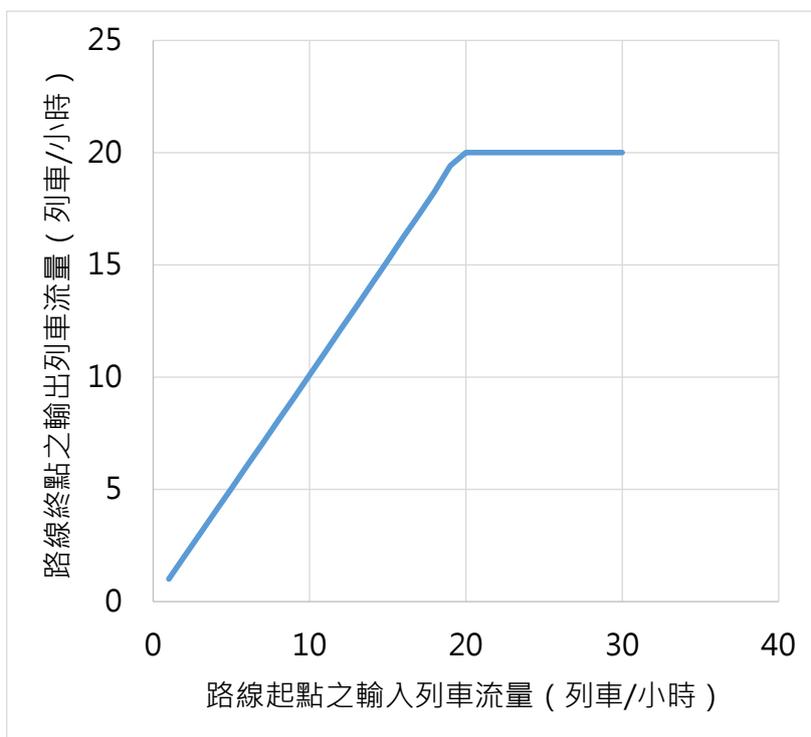


圖 6-10 輸入流量與輸出流量之關係 (往紅樹林)

## 6.3 高雄輕軌案例

### 6.3.1 參數說明

高雄輕軌案例的分析範圍為籬仔內站至哈瑪星站，全線軌道配置如圖 6-11，共計有 12 座中間站和 2 座端末站，各空間參考點型式說明如表 6.12，其之間的距離如表 6.13，兩端末站與各中間站之參數分別整理如表 6.14~表 6.16。

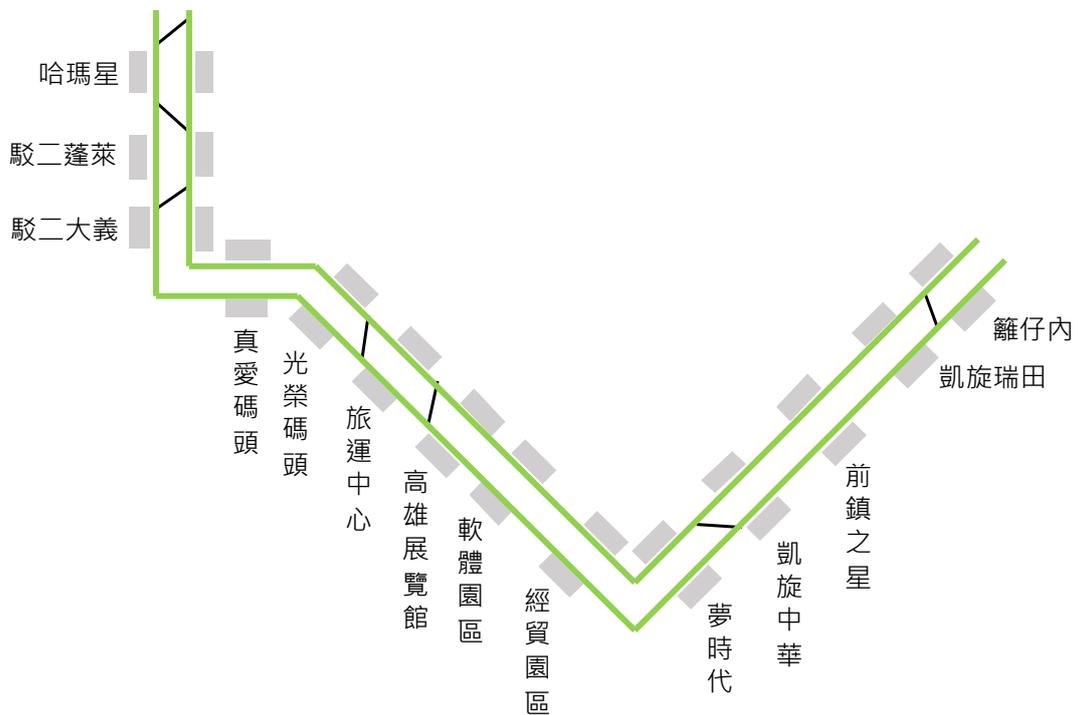


圖 6-11 高雄輕軌案例之範圍與軌道配置圖

表 6.12 高雄輕軌案例之空間參考點

名稱	類型	
	往哈瑪星方向	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	橫交路口	
成功二路	橫交路口	
夢時代	近端設站	遠端設站
台肥	橫交路口	
經貿園區	近端設站	遠端設站
忠勤路	橫交路口	
軟體園區	遠端設站	近端設站
新光停車場	橫交路口	
林森四路	橫交路口	
高雄展覽館	遠端設站	近端設站
旅運中心出入口	橫交路口	
旅運中心	近端設站	遠端設站
永平路	橫交路口	
苓安路	橫交路口	
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	橫交路口	
消防隊	橫交路口	
哈瑪星	末端站—使用相同股道站後折返	

表 6.13 高雄輕軌案例之各空間參考點之間距

空間參考點	往哈瑪星方向	往籬仔內方向
	與下一空間參考點 之距離 (公尺)	與上一空間參考點 之距離 (公尺)
籬仔內	765.87	—
凱旋瑞田	636.17	767.39
前鎮之星	540.10	636.85
凱旋中華	269.77	540.92
前鎮街	194.00	300.94
成功二路	251.69	370.00
夢時代	251.31	49.86
台肥	463.36	314.14
經貿園區	333.64	400.53
忠勤路	231.21	365.47
軟體園區	50.79	190.38
新光停車場	167.00	99.62
林森四路	428.18	252.00
高雄展覽館	233.32	296.77
旅運中心出入口	282.31	345.23
旅運中心	157.19	173.16
永平路	153.00	203.84
苓安路	383.90	154.00
光榮碼頭	638.30	341.56
真愛碼頭	635.40	630.46
駁二大義	489.32	637.92
駁二蓬萊	172.08	489.32
蓬萊路	118.00	222.74
消防隊	304.62	109.00
哈瑪星	—	270.82

表 6.14 高雄輕軌案例之車站參數

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

表 6.15 高雄輕軌之籬仔內站參數

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

表 6.16 高雄輕軌之哈瑪星站參數

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

而針對 B 型路權的路口與號誌參數如表 6.17 和表 6.18，其中籬仔內、前鎮之星、凱旋中華、前鎮街、成功二路、林森四路和駁二蓬萊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，在模式中也是當作 A 型路權。

表 6.17 高雄輕軌之路口與號誌參數（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)	號誌週期 (秒)	輕軌綠燈 時相時間 (秒)	路口號誌時差 (秒)
籬仔內	61.1	83.0	150	32	-30
前鎮之星	106.5	38.3	150	37	0
凱旋中華	30.1	15.0	150	38	-15
前鎮街	58.9	—	150	44	-9
成功二路	100.0	—	150	26	-10
夢時代	30.0	30.0	120	0	0
台肥	71.0	—	120	0	0
經貿園區	30.0	60.0	120	0	0
忠勤路	40.0	—	120	0	0
軟體園區	30.0	15.0	120	0	0
新光停車場	48.0	—	120	0	0
林森四路	133.0	—	120	34	0
高雄展覽館	15.0	57.2	120	0	0
旅運中心出入口	113.5	—	120	0	0
旅運中心	25.0	25.0	120	0	0
永平路	20.0	—	120	0	0
苓安路	25.0	—	120	0	0
駁二大義	18.0	25.0	閃光+輕軌觸動		
駁二蓬萊	15.0	30.2	120	34	0
蓬萊路	15.0	—	100	0	0
消防隊	46.0	—	100	0	0

表 6.18 高雄輕軌之號誌參數（有優先號誌）

路口或車站名稱	最大輕軌綠燈 時相時間(秒)	橫交路口最短 綠燈時間(秒)	可插入綠燈 時相數
籬仔內	61	89	0
前鎮之星	69	81	0
凱旋中華	67	83	0
前鎮街	70	80	0
成功二路	74	76	0
夢時代	0	36	3
台肥	0	31	3
經貿園區	0	42	3
忠勤路	0	31	3
軟體園區	0	41	3
新光停車場	0	32	3
林森四路	88	32	0
高雄展覽館	0	41	3
旅運中心出入口	0	56	2
旅運中心	0	35	2
永平路	0	35	2
苓安路	0	30	2
駁二大義	閃光+輕軌觸動		
駁二蓬萊	74	46	0
蓬萊路	0	46	2
消防隊	0	35	2

高雄輕軌的列車相關參數整理如表 6.19，列車車身長為 34.166 公尺，加減速度皆為 1.3 公尺/秒<sup>2</sup>，加減速有效因子採用 6.1 節的計算結果，全列車的總乘位數共 250 個，其餘參數則參考淡海輕軌案例的設定，乘載變異因子為 0.75，司機員與煞車系統反應時間為 3 秒，運轉寬裕時間係數為 0.3。

表 6.19 高雄輕軌列車參數

參數名稱	數值
列車長度	34.166 公尺
平均速率	17 公里/小時
啟動加速度	1.3 公尺/秒 <sup>2</sup>
加速度有效因子	0.459
煞車減速度	1.3 公尺/秒 <sup>2</sup>
減速度有效因子	0.365
座位數	64
立位數	186 (註)
乘載變異因子	0.75
司機員與煞車系統反應時間	3 秒

註：以每平方公尺站立 5 人來計算

### 6.3.2 單一空間參考點容量模式調整前後比較

將上述參數分別代入前期研究所發展的單一空間參考點容量模式，以及本計畫調整後的模式（詳見第三章）之中，可求得模式調整前後之容量，結果整理如表 6.20 和表 6.21。雖然模式調整前後的分析結果有明顯差異，但整條路線之容量最低處仍位於籬仔內站，其運轉時隔為 450 秒，以目前高雄輕軌最短班距為 15 分鐘（900 秒）來看，尚有餘裕可增加班次密度，例如於今年春節期間，高雄輕軌曾將最短班距縮短至 10 分鐘左右，以因應大量旅運需求。

表 6.20 單一空間參考點容量模式調整前後比較（往哈瑪星）

空間參考點	調整前		調整後	
	運轉時隔 (秒)	路線容量 (列車/小時)	運轉時隔 (秒)	路線容量 (列車/小時)
籬仔內	390.00	9.23	450.00	8.00
凱旋瑞田	79.37	45.36	77.56	46.42
前鎮之星	195.00	18.46	150.00	24.00
凱旋中華	195.00	18.46	150.00	24.00
前鎮街	65.00	55.38	50.00	72.00
成功二路	48.75	73.85	50.00	72.00
夢時代	52.00	69.23	40.00	90.00
台肥	52.00	69.23	40.00	90.00
經貿園區	52.00	69.23	40.00	90.00
忠勤路	52.00	69.23	40.00	90.00
軟體園區	52.00	69.23	40.00	90.00
新光停車場	52.00	69.23	40.00	90.00
林森四路	31.20	115.38	30.00	120.00
高雄展覽館	52.00	69.23	40.00	90.00
旅運中心出入口	78.00	46.15	60.00	60.00
旅運中心	78.00	46.15	60.00	60.00
永平路	78.00	46.15	60.00	60.00
苓安路	78.00	46.15	60.00	60.00
光榮碼頭	96.26	37.40	90.65	39.71
真愛碼頭	83.36	43.18	80.60	44.66
駁二大義	79.37	45.36	77.56	46.42
駁二蓬萊	83.20	43.27	120.00	30.00
蓬萊路	78.00	46.15	50.00	72.00
消防隊	65.00	55.38	50.00	72.00
哈瑪星	345.13	10.43	345.13	10.43

表 6.21 單一空間參考點容量模式調整前後比較（往籬仔內）

空間參考點	調整前		調整後	
	運轉時隔 (秒)	路線容量 (列車/小時)	運轉時隔 (秒)	路線容量 (列車/小時)
哈瑪星	345.13	10.43	345.13	10.43
消防隊	65.00	55.38	50.00	72.00
蓬萊路	78.00	46.15	50.00	72.00
駁二蓬萊	156.00	23.08	120.00	30.00
駁二大義	75.68	47.57	74.82	48.11
真愛碼頭	75.68	47.57	74.82	48.11
光榮碼頭	75.68	47.57	74.82	48.11
苓安路	78.00	46.15	60.00	60.00
永平路	78.00	46.15	60.00	60.00
旅運中心	78.00	46.15	60.00	60.00
旅運中心出入口	78.00	46.15	60.00	60.00
高雄展覽館	52.00	69.23	40.00	90.00
林森四路	26.00	138.46	24.00	150.00
新光停車場	52.00	69.23	40.00	90.00
軟體園區	52.00	69.23	40.00	90.00
忠勤路	52.00	69.23	40.00	90.00
經貿園區	52.00	69.23	40.00	90.00
台肥	52.00	69.23	40.00	90.00
夢時代	52.00	69.23	40.00	90.00
成功二路	48.75	73.85	37.50	96.00
前鎮街	48.75	73.85	50.00	72.00
凱旋中華	97.50	36.92	150.00	24.00
前鎮之星	97.50	36.92	150.00	24.00
凱旋瑞田	87.55	41.12	83.84	42.94
籬仔內	390.00	9.23	450.00	8.00

### 6.3.3 連續路段容量分析結果

透過本計畫發展之連續路段容量分析模式，分析高雄輕軌之中間連續路段的容量，亦即不含兩端末站，結果如表 6.22。無論是往哈瑪星還是往籬仔內，兩方向的運轉時隔皆為 150 秒，路線容量為每小時 24 列車。和單一空間參考點容量模式相比，除了兩端末站之外，中間路線之容量瓶頸位於前鎮之車站，其容量值恰好與連續路段容量分析模式的結果相同。

表 6.22 高雄輕軌案例之連續路段容量分析結果（不含端末站）

方向		往哈瑪星	往籬仔內
連續路段 容量模式	運轉時隔(秒)	150.0	150.0
	路線容量(列車/小時)	24.0	24.0
單一空間 參考點 容量模式	瓶頸處	前鎮之星	前鎮之星
	運轉時隔(秒)	150.0	150.0
	路線容量(列車/小時)	24.0	24.0

若將前鎮之車站的各項參數進行敏感度分析，以±20%的變動來計算各項參數對高雄輕軌連續路段容量的影響程度，結果如表 6.23 所示，與淡海輕軌案例相同，僅號誌週期對容量造成影響。不過，圖 6-12 呈現出與淡海輕軌案例不完全相同的結果，當前鎮之車站的號誌週期增加時，運轉時隔也隨著增加；但號誌週期減少時，運轉時隔則維持不變，主要原因在於，即便前鎮之車站的號誌週期減少，但還有其他路口號誌的週期為 150 秒，因此運轉時隔仍為 150 秒，亦即路線上的最大號誌週期會決定連續路段之容量。

表 6.23 前鎮之車站各項參數對連續路段容量之影響

參數項目	對容量之影響	
	往炭頂	往紅樹林
列車長度	未造成影響	未造成影響
啟動加速度	未造成影響	未造成影響
加速度有效因子	未造成影響	未造成影響
煞車減速度	未造成影響	未造成影響
減速度有效因子	未造成影響	未造成影響
司機員與煞車系統反應時間	未造成影響	未造成影響
號誌週期	負相關	負相關
輕軌綠燈時相時間	未造成影響	未造成影響
路口號誌時差	未造成影響	未造成影響
進站前巡航速度	未造成影響	未造成影響
停站時間	未造成影響	未造成影響
路口至車站停車處之距離	未造成影響	未造成影響
路口寬度	未造成影響	未造成影響

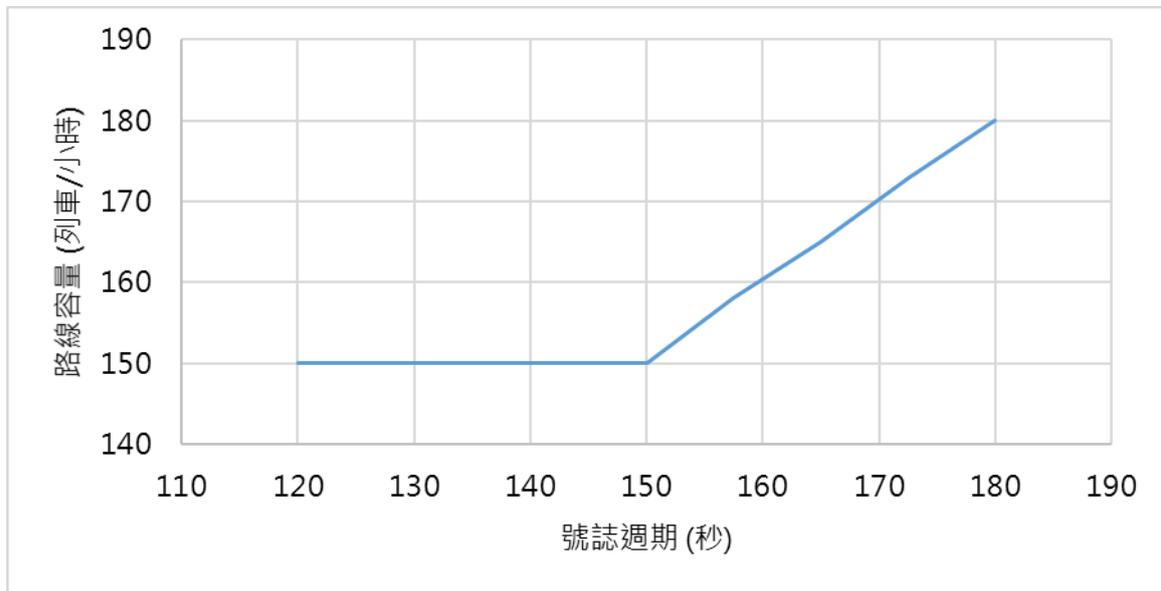


圖 6-12 前鎮之車站號誌週期對連續路段運轉時隔之影響

本計畫進一步以介於±150 之間的均勻分布之亂數，設定路口號誌時差來探討其影響，結果如圖 6-13 和圖 6-14 所示，和淡海輕軌案例

的情況相同，在不同的時差設定下，皆不影響容量，但會影響旅行時間。

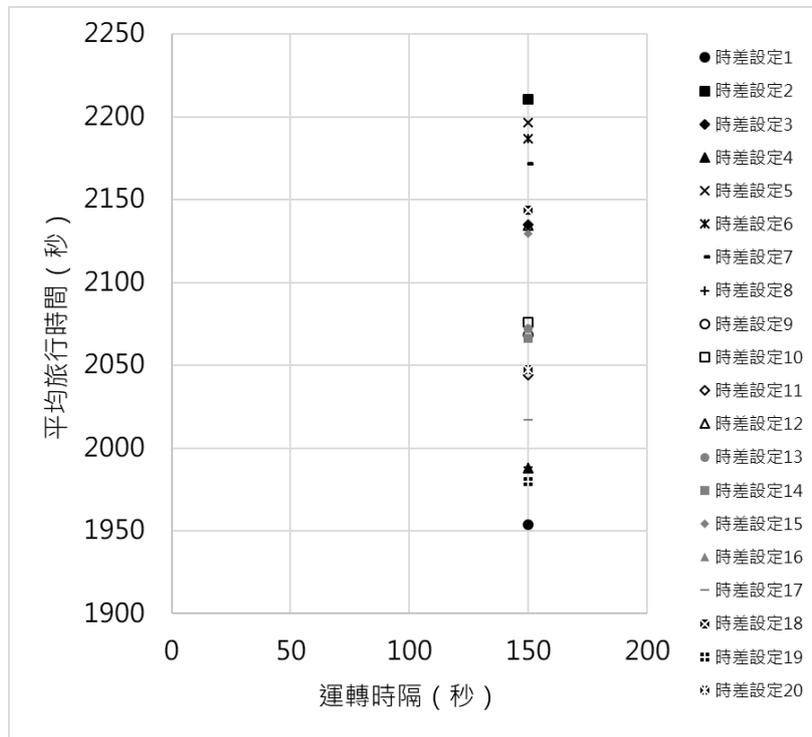


圖 6-13 路口號誌時差對運轉時隔與旅行時間之影響（往哈瑪星）

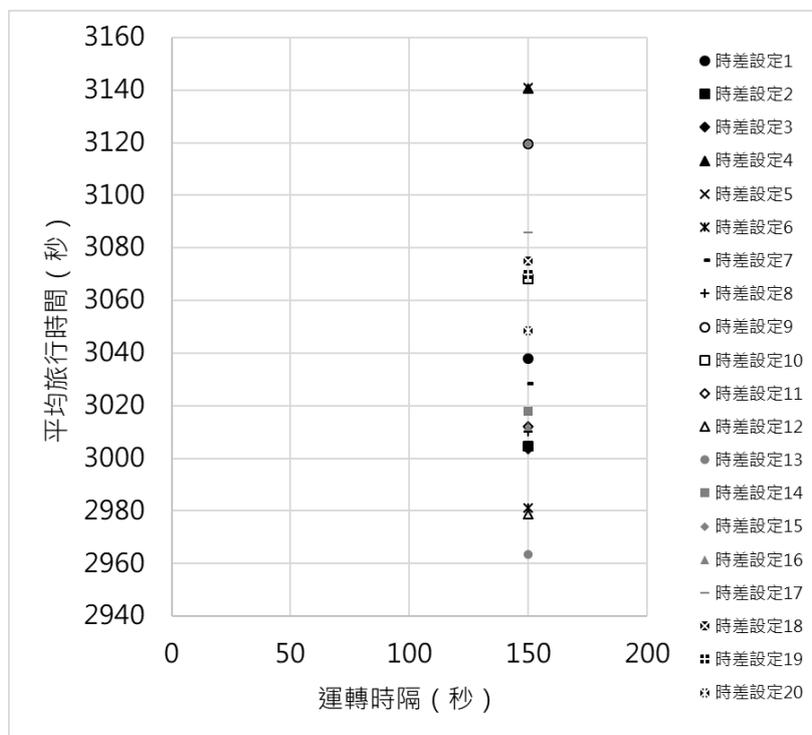


圖 6-14 路口號誌時差對運轉時隔與旅行時間之影響（往籬仔內）

### 6.3.4 連續路段列車平均延滯分析結果

最後以本計畫發展之連續路段列車平均延滯分析模式，分析高雄輕軌之中間連續路段的列車平均延滯，結果如圖 6-15 和圖 6-16 所示。兩方向平均延滯時間皆是隨著列車流量的增加呈現非線性成長，當列車流量接近容量上限時（每小時 24 列車），平均延滯時間開始陡升，與等候理論所闡述的現象相符。

若進一步探討在連續路段起點之輸入流量與終點輸出流量之關係，結果如圖 6-17 和圖 6-18 所示，輸入流量與輸出流量兩者呈正比關係，但當輸入流量增加到每小時 24 列車後，受限於路線容量，輸出流量便維持在每小時 24 列車。

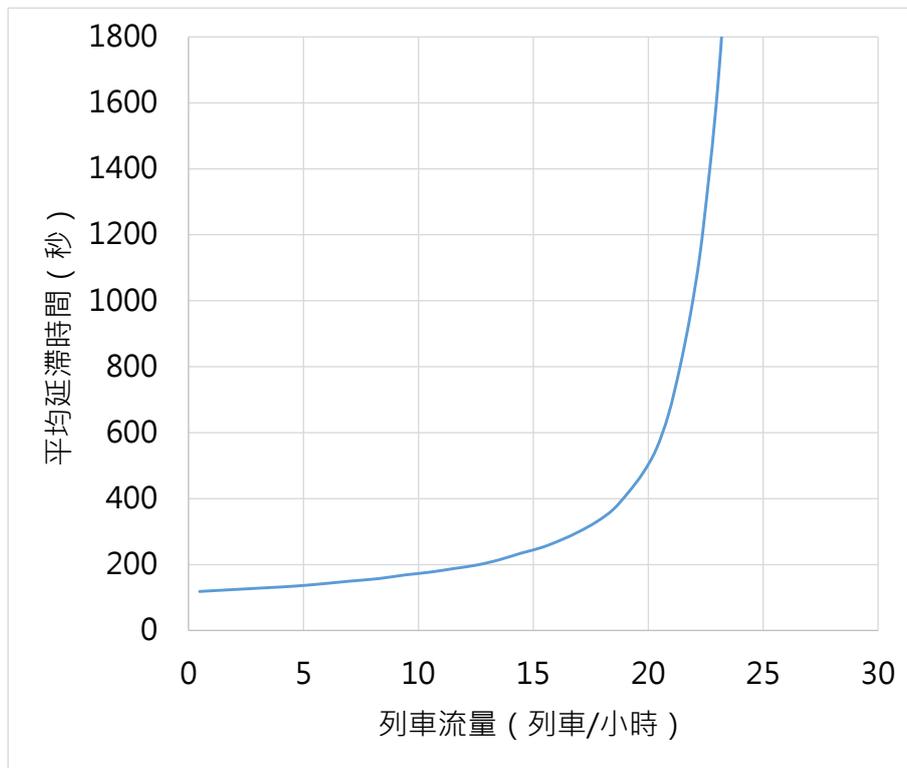


圖 6-15 連續路段列車平均延滯分析結果（往哈瑪星）

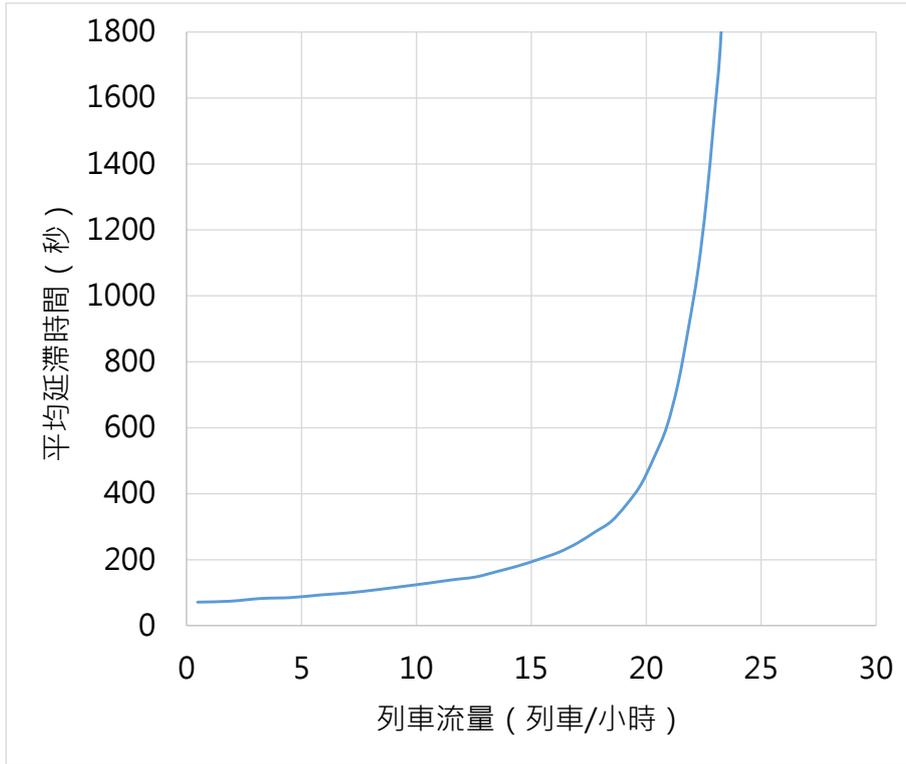


圖 6-16 連續路段列車平均延滯分析結果 (往籬仔內)

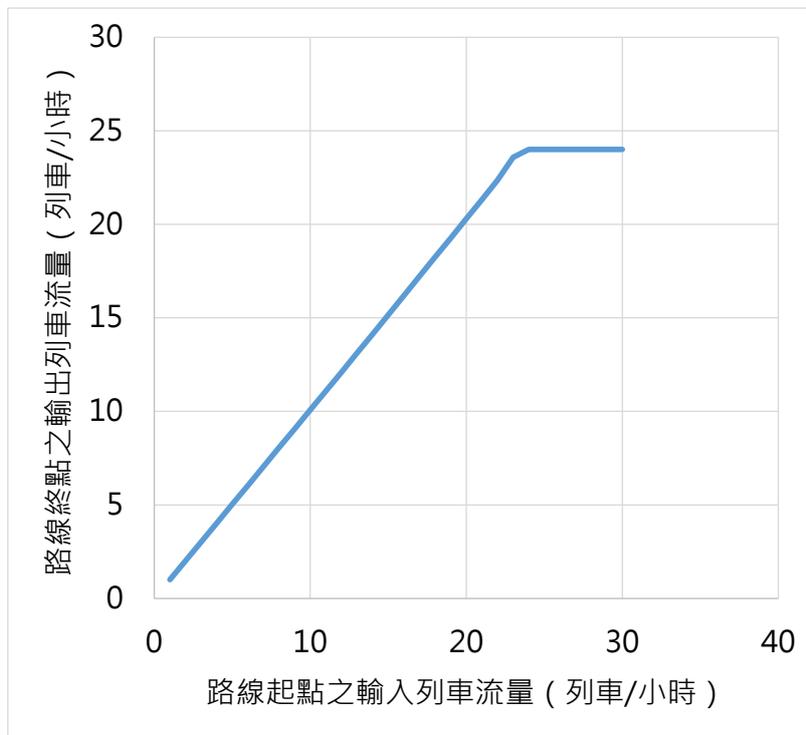


圖 6-17 輸入流量與輸出流量之關係 (往哈瑪星)

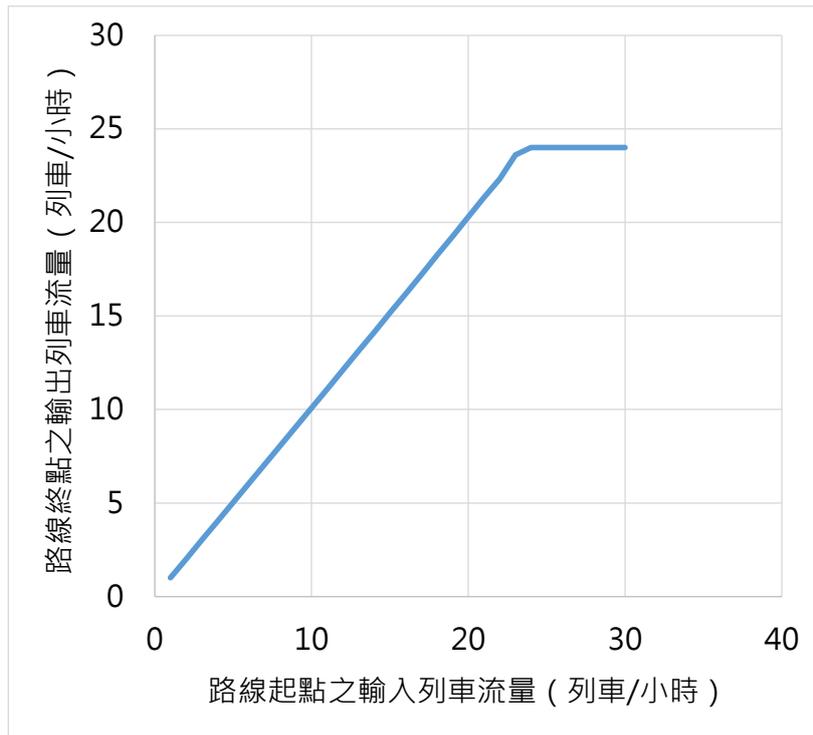


圖 6-18 輸入流量與輸出流量之關係 (往籬仔內)



# 第七章 輕軌運輸系統容量分析軟體

## 7.1 功能需求

### 1. 容量分析與計算

單一參考點容量與連續路段容量分析為本軟體最基本的功能。軟體介面也須提供分析結果的展示，除了以表格展示結果數據外，圖表也能幫助使用者了解分析結果。另外，連續路段容量也須進行列車平均延滯分析。

### 2. 參數輸入與管理

進行輕軌運輸系統容量分析前，必須建立各個重要空間參考點，因此軟體必須滿足列車、空間參考點與路口號誌等參數輸入的功能。輸入參數架構整理如圖 7-1。

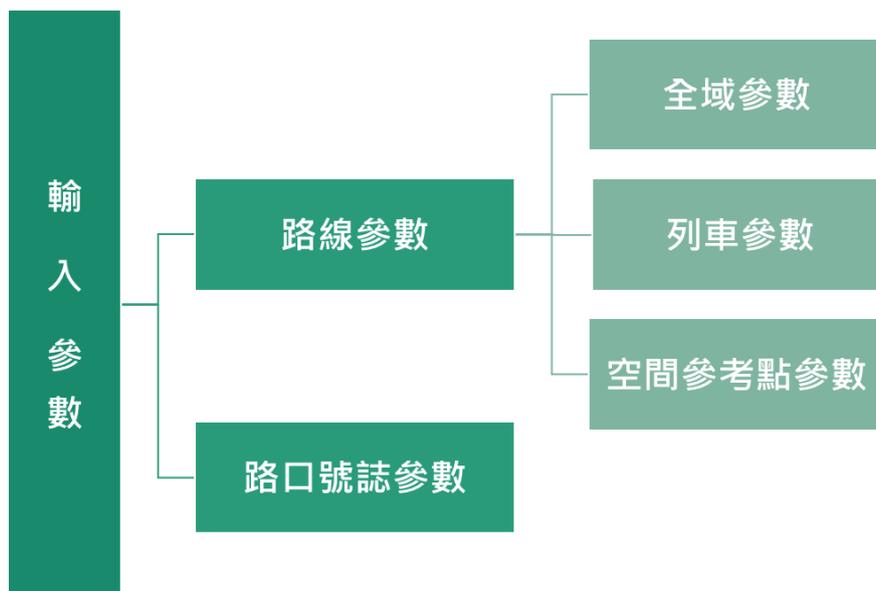


圖 7-1 容量分析輸入參數架構圖

另外，為了避免每次分析前重複輸入，若軟體具備空間參考點資訊儲存的功能，就能在進行分析時讀入空間參考點資訊，同時保存每次編輯後增減的資訊。除此之外，考量本軟體未來可能改版，現階段儲存的檔案也需相容於升級後的軟體。

### 3. 分析結果輸出

若能輸出本軟體分析結果，便能輕鬆的引用相關數據、圖表至各報表、簡報中；而輸出的形式是否易讀、方便運用，也是進行軟體開發時須注意的地方。

### 4. 自訂偏好設定

不同的輕軌運輸系統，會因所處環境而有不同的限制，若軟體提供自訂偏好設定的功能，使用者便能夠依環境限制設定各個參數的上界、下界與預設值，提高分析過程的效率。

根據上述說明，輕軌容量分析軟體所需與目前完成開發的功能統整如表 7.1。

表 7.1 輕軌容量分析軟體功能需求列表

類別	功能說明
容量分析與計算	單一參考點容量分析
	連續路段容量分析
	連續路段容量列車平均延滯分析
	圖表展示分析結果
參數輸入與管理	各項參數的檢視與編輯
	空間參考點的新增與刪除
	路口號誌參數的設定
	以專案檔儲存參數設定
分析結果輸出	儲存文字檔
	儲存圖檔
	輸出至剪貼簿
自訂偏好設定	自訂參數預設值與合理範圍
	以專案檔儲存偏好設定

## 7.2 系統規劃

### 7.2.1 輕軌運輸系統容量分析軟體架構

輕軌容量分析軟體架構如圖 7-2 所示，以下針對各項功能進行說明：



圖 7-2 輕軌容量分析軟體架構圖

#### 1. 檔案管理

透過檔案管理功能，使用者能儲存輕軌運輸系統的各项參數與自訂的偏好設定，並且能在軟體內開啟先前儲存的檔案。

#### 2. 參數編輯

本軟體將提供輸入各項參數的介面，詳細參數列表如表 7.2。除了參數以外，也能對空間參考點類型以及號誌優先策略進行設定。為了使用者設定的簡便性，空間參考點類型分為「中間站」、「中間站—受路口影響」、「末端站—站前折返」、「末端站—站後折返」與「橫交路口」等五大類，各類型之說明彙整如表 7.3，號誌優先策略也先區分「是否採用優先策略」後，再進行策略別的探討，如表 7.4 所示。

表 7.2 輕軌容量分析軟體輸入參數表

類別	名稱	單位	備註
全域參數	列車間乘載變異因子	—	數值越小，代表乘位的利用情形越不均勻，即變異越大
	運轉寬裕時間係數	—	
	司機員與煞車系統反應時間	秒	
	連續路段容量模擬列車數	—	
	列車平均延滯分析亂數種子	—	
列車參數	列車車身長度	公尺	
	列車加速率	公尺/秒 <sup>2</sup>	
	列車減速率	公尺/秒 <sup>2</sup>	
	加速度有效因子	—	
	煞車有效因子	—	
	座位數	—	
	立位數	—	
	平均行駛速度	公里/小時	
空間參考點參數	橫渡線區的長度	公尺	
	列車於車站內停車位置至橫渡線區的距離	公尺	
	列車從設定橫渡線路徑的位置至橫渡線區之距離	公尺	
	橫渡線區至尾軌列車停車區的距離	公尺	
	路口至車站停車處之距離	公尺	
	路口至尾軌列車停車區之距離	公尺	
	路口寬度	公尺	
	進站前巡航速度	公里/小時	
	離站後巡航速度	公里/小時	
	直行道岔限速	公里/小時	
	路口限速	公里/小時	
	斜進道岔限速	公里/小時	

類別	名稱	單位	備註
	列車停站時間	秒	
	轉轍器運作時間	秒	
	列車從設定橫渡線路徑的位置至末端站的運行時間	秒	選擇性
路段參數	路段距離	公尺	擇一設定
	旅行時間	秒	
路口號誌參數	輕軌綠燈時相時間	秒	
	號誌週期長度	秒	
	時差	秒	
	最長輕軌綠燈時相時間	秒	
	橫交路口最短綠燈時間	秒	
	可插入輕軌綠燈時相數	—	當輕軌綠燈時相時間為 0 才能設定
	插入輕軌綠燈時相時間	秒	當輕軌綠燈時相時間為 0 才能設定

表 7.3 空間參考點類型架構表

主要類型	說明
中間站	不受路口影響之中間站
中間站—受路口影響	受路口號誌影響的中間站，包括近端設站與遠端設站
末端站—站前折返	以站前之橫渡線進行折返之末端站，包括： <ul style="list-style-type: none"> <li>● 受路口影響、交替使用不同股道折返</li> <li>● 受路口影響、使用相同股道折返</li> <li>● 不受路口影響、交替使用不同股道折返</li> <li>● 不受路口影響、使用相同股道折返</li> </ul>
末端站—站後折返	以站後之橫渡線進行折返之末端站，包括： <ul style="list-style-type: none"> <li>● 受路口影響、交替使用不同股道折返</li> <li>● 受路口影響、使用相同股道折返</li> <li>● 不受路口影響、交替使用不同股道折返</li> <li>● 不受路口影響、使用相同股道折返</li> </ul>
橫交路口	輕軌路線與公路交叉路口

表 7.4 號誌優先策略架構

是否採用優先策略	策略	備註
是	延長綠燈	延長綠燈與縮短紅燈 可同時採用
	縮短紅燈	
	插入綠燈	當輕軌綠燈時相時間 為 0 才能採用
否	—	—

### 3. 執行分析

本軟體提供單一空間參考點與連續路段的容量分析，其中連續路段中，使用者可以依據設定的亂數種子進行列車平均延滯分析。

### 4. 工具選項

工具選項中具備偏好設定功能，使用者能設定參數的預設值，並根據系統特性設定參數合理範圍。在進行參數編輯時，也會依據偏好設定的參數合理範圍，對參數進行檢核。

## 7.2.2 軟體開發方式

### 1. 開發工具

本研究採用 Microsoft Visual Studio (VS) 來進行輕軌容量分析軟體開發工作。VS 係微軟公司 (Microsoft) 的開發工具套件產品，基本上是個完整的開發工具集，包括了整個軟體生命週期中大部分所需要的工具，例如統一塑模語言 (Unified Modeling Language, UML)、程式碼版本管控、整合式開發環境 (Integrated Development Environment, IDE) 等，讓開發人員僅用 VS 即可完成撰寫程式碼、編譯程式、測試、除錯和部署等多項工作，此外開發一套軟體，通常會包含許多程式原始碼檔、表頭檔、圖檔和資源檔等多種檔案，而 VS 內含的「方案總管」，可以方便地組織管理這些檔案，使開發人員能將心思專注於開發工作，提升工作效率。

## 2. 程式語言

輕軌容量分析軟體程式的程式語言則採用 C#，並搭配 .NET Framework 類別庫。C# 語言是微軟公司於 2000 年推出的高階物件導向程式語言，由 C 和 C++ 語言衍生而來，繼承了其強大的效能，但複雜度卻簡化了許多，且支援強型別 (Strongly type) 檢查、陣列維度檢查、未初始化的變數參照檢測、記憶體自動釋放、平行處理等，以降低軟體開發過程產生 Bug 的機率，是相當簡單並容易學習的程式語言，有助於加速程式撰寫速度，並減少未來維護程式碼的負擔。而 .NET Framework 類別庫則提供了包括字串管理、資料收集、資料庫連接和檔案存取等物件，讓程式設計人員不需要再撰寫大量的程式碼來處理常見的低階程式設計作業，以提高軟體開發效率。

## 7.3 使用者介面設計

### 7.3.1 主畫面設計

開啟輕軌容量分析軟體後，首先看到的主畫面如圖 7-3 所示。標題列將說明當前專案檔的名稱；功能列表包含檔案管理、執行容量分析與偏好設定等；工具列則是將常用的功能以圖示按鈕的方式呈現捷徑。另外，由於參數是進行分析的必備資訊，因此將介面規劃在軟體開啟後首先出現的主畫面中，並以分頁方式分別顯示「路線參數」與「路口號誌」設定介面。



圖 7-3 輕軌容量分析軟體主畫面

在路線參數設定頁面中可以對全域參數、列車參數進行設定外，也能在右邊的區塊中新增與刪除空間參考點。新增空間參考點後主畫面呈現如圖 7-4，能夠清楚檢視空間參考點的名稱、類型以及路網示意圖，其中空間參考點類型包含中間站、末端站一站前折返、末端站一站後折返與橫交路口。若欲對空間參考點進行參數編輯，點選「空間參數」欄下的圖示即可進入編輯畫面（於 7.3.2 節中說明）。點選選項欄下的「...」按鈕，則可執行插入與刪除空間參考點動作。除此之外，主畫面路線參數中，空間參數的图片按鈕會隨著細節類型而更改，表 7.5 以下行為例，整理各個細節類型的圖片。

空間參考點參數

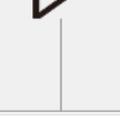
空間名稱	空間類型	空間參數		選項
		下行	上行	
A站	末端站-站前折返			...
B站	中間站			...
C路口	橫交路口			...
D站	中間站-受路口影響			...
E站	末端站-站後折返			...

圖 7-4 路線參數設定介面設計

表 7.5 空間參考點圖示表

主要類型	細節類型	圖示
中間站	—	
中間站 —受路口影響	近端設站	
	遠端設站	
末端站—站前折返	交替使用不同股道折返	
	使用相同股道折返	
末端站—站後折返	交替使用不同股道折返	
	使用相同股道折返	
橫交路口	—	

在新增受路口影響的空間參考點後，於主畫面點選「路口號誌設定」分頁，以路網形式檢視所有號誌設定如圖 7-5，包含基準點、號誌週期、時差與優先號誌策略等，也可以進行修改、編輯。基準點代表計算時差的基準路口號誌，程式介面中以空間參考點代表該號誌。以圖 7-6 為例，最上方的路口號誌為基準點，而各個號誌時差便是其號誌週期結束的時間點，與基準點號誌周期結束時間點的最小時間差距。

基準	名稱	號誌週期	時差	輕動 綠燈時間	優先號誌	最長 綠燈時間	最短橫交 綠燈時間	插入 綠燈數量	插入 綠燈時間
	A站								
	B站								
○	C路口	90	45	40	<input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 延長綠燈 <input type="checkbox"/> 縮短紅燈 <input type="checkbox"/> 插入綠燈	0	0	0	0
●	D站	90	0	50	<input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 延長綠燈 <input type="checkbox"/> 縮短紅燈 <input type="checkbox"/> 插入綠燈	50	40	3	5
○	E站	180	-25	50	<input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 延長綠燈 <input type="checkbox"/> 縮短紅燈 <input type="checkbox"/> 插入綠燈	0	0	0	0

圖 7-5 號誌參數設定介面設計

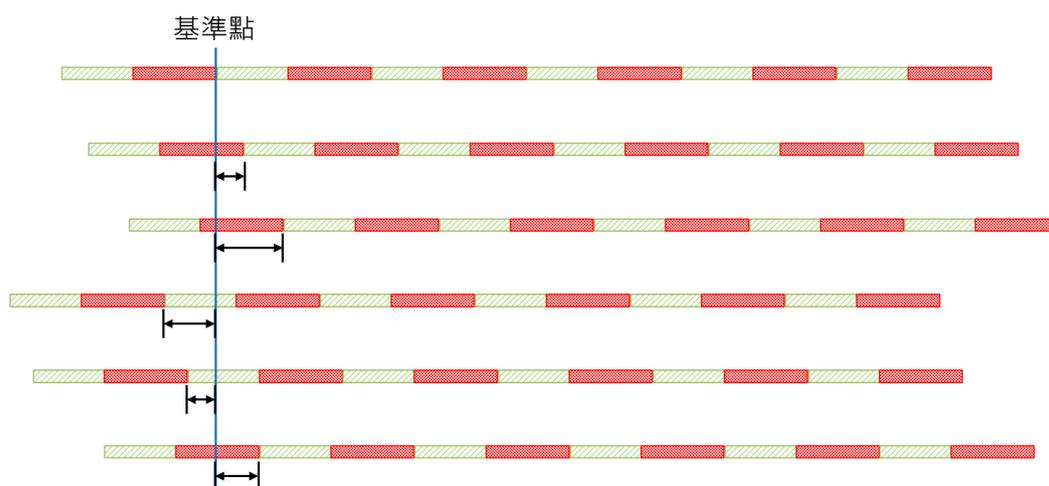


圖 7-6 基準點說明圖

### 7.3.2 空間參考點參數設定介面

空間參考點參數設定介面配置規劃如圖 7-7，除了空間參考點參數外，亦能於此介面輸入路口號誌參數，另外此視窗也會自動帶入於主畫面中輸入的空間參考點名稱與選取的主要類型。根據圖 7-7 的介面架構，各類型空間參考點的編輯參數介面如表 7.6 所示，編輯介面中除了能針對所需參數進行設定、編輯之外，也必須選取空間參考點細節類型與優先號誌策略。表 7.7 以「中間站－受路口影響」為例，選取不同的空間參考點細節類型，可以發現隨著選取的細節類型不同，可編輯的參數欄位也會隨著變化。選取不同的優先號誌策略，也有類似的連動。

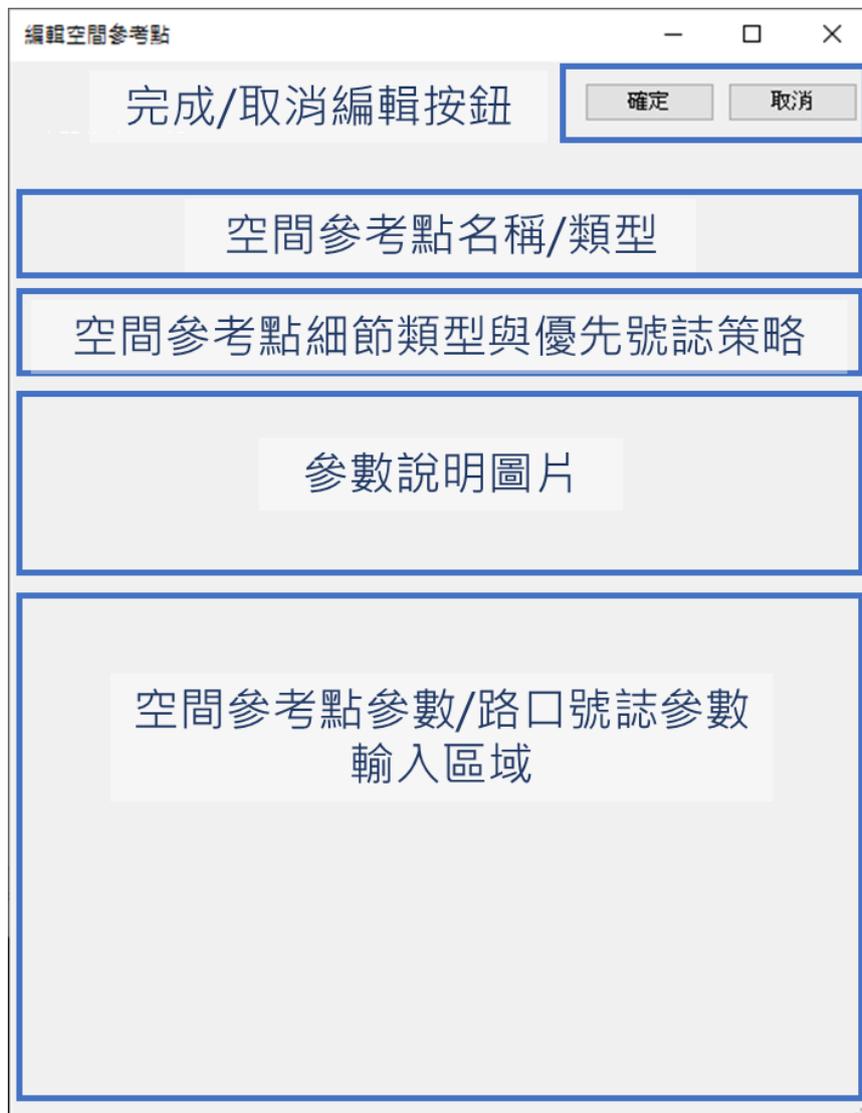
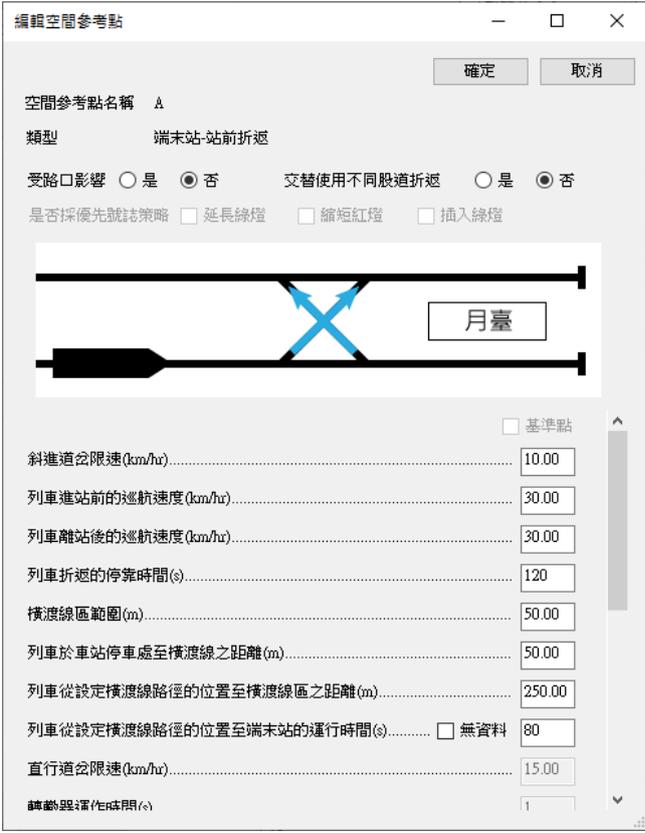


圖 7-7 空間參考點參數設定視窗介面配置規劃

表 7.6 各空間類型設定參數介面

空間類型	設定參數介面圖
中間站	<p>編輯空間參考點</p> <p>空間參考點名稱 A</p> <p>類型 中間站</p> <p>月臺</p> <p>列車進站前的巡航速度(km/hr)..... 80.00</p> <p>列車停靠時間(s)..... 35</p>
中間站— 受路口影響	<p>編輯空間參考點</p> <p>空間參考點名稱 A</p> <p>類型 中間站-受路口影響</p> <p><input checked="" type="radio"/> 近端設站 <input type="radio"/> 遠端設站</p> <p><input type="checkbox"/> 是否採優先號誌策略 <input type="checkbox"/> 延長綠燈 <input type="checkbox"/> 縮短紅燈 <input type="checkbox"/> 插入綠燈</p> <p>月臺</p> <p><input type="checkbox"/> 基準點</p> <p>列車進站前的巡航速度(km/hr)..... 30.00</p> <p>列車停靠時間(s)..... 35</p> <p>輕軌綠燈時相時間(s)..... 35</p> <p>號誌週期長度(s)..... 90</p> <p>時差(s)..... 0</p> <p>路口至車站停車處之距離(m)..... 50.00</p> <p>路口限速(km/hr)..... 20.00</p> <p>路口寬度(m)..... 30.00</p> <p>最長綠燈時間(s)..... 50</p> <p>路口至車站停車處之距離(m)..... 40</p>

空間類型	設定參數介面圖
<p>末端站— 站前折返</p>	 <p>The screenshot shows the '編輯空間參考點' (Edit Space Reference Point) dialog box. The title is '編輯空間參考點'. It has '確定' (OK) and '取消' (Cancel) buttons. The '空間參考點名稱' (Space Reference Point Name) is 'A'. The '類型' (Type) is '末端站-站前折返' (End Station - Station Front Turnback). There are radio buttons for '受路口影響' (Affected by intersection) set to '否' (No), and '交替使用不同股道折返' (Alternate track turnback) set to '否' (No). There are checkboxes for '是否採優先號誌策略' (Whether to adopt priority signal strategy), '延長綠燈' (Extend green light), '縮短紅燈' (Shorten red light), and '插入綠燈' (Insert green light). A diagram shows a platform labeled '月臺' with a blue 'X' indicating the turnback point. Below the diagram is a list of parameters with input fields:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>斜進道岔限速(km/hr): 10.00</li> <li>列車進站前的巡航速度(km/hr): 30.00</li> <li>列車離站後的巡航速度(km/hr): 30.00</li> <li>列車折返的停靠時間(s): 120</li> <li>橫渡線區範圍(m): 50.00</li> <li>列車於車站停車處至橫渡線之距離(m): 50.00</li> <li>列車從設定橫渡線路徑的位置至橫渡線區之距離(m): 250.00</li> <li>列車從設定橫渡線路徑的位置至末端站的運行時間(s): <input type="checkbox"/> 無資料 80</li> <li>直行道岔限速(km/hr): 15.00</li> <li>轉轍器運作時間(s): 1</li> </ul>
<p>末端站— 站後折返</p>	 <p>The screenshot shows the '編輯空間參考點' (Edit Space Reference Point) dialog box. The title is '編輯空間參考點'. It has '確定' (OK) and '取消' (Cancel) buttons. The '空間參考點名稱' (Space Reference Point Name) is 'A'. The '類型' (Type) is '末端站-站後折返' (End Station - Station Back Turnback). There are radio buttons for '受路口影響' (Affected by intersection) set to '否' (No), and '交替使用不同股道折返' (Alternate track turnback) set to '否' (No). There are checkboxes for '是否採優先號誌策略' (Whether to adopt priority signal strategy), '延長綠燈' (Extend green light), '縮短紅燈' (Shorten red light), and '插入綠燈' (Insert green light). A diagram shows two platforms labeled '離站月臺' (Departure platform) and '到站月臺' (Arrival platform) with a blue 'X' indicating the turnback point. Below the diagram is a list of parameters with input fields:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>斜進道岔限速(km/hr): 10.00</li> <li>直行道岔限速(km/hr): 15.00</li> <li>轉轍器運作時間(s): 1</li> <li>橫渡線區範圍(m): 50.00</li> <li>列車於車站內停車位置至橫渡線區的距離(m): 50.00</li> <li>橫渡線至尾軌列車停車處之距離(m): 50.00</li> <li>列車於尾軌的停靠時間(s): 120</li> <li>輕軌綠燈時相時間(s): 35</li> <li>號誌週期長度(s): 90</li> <li>時差(s): 0</li> </ul>

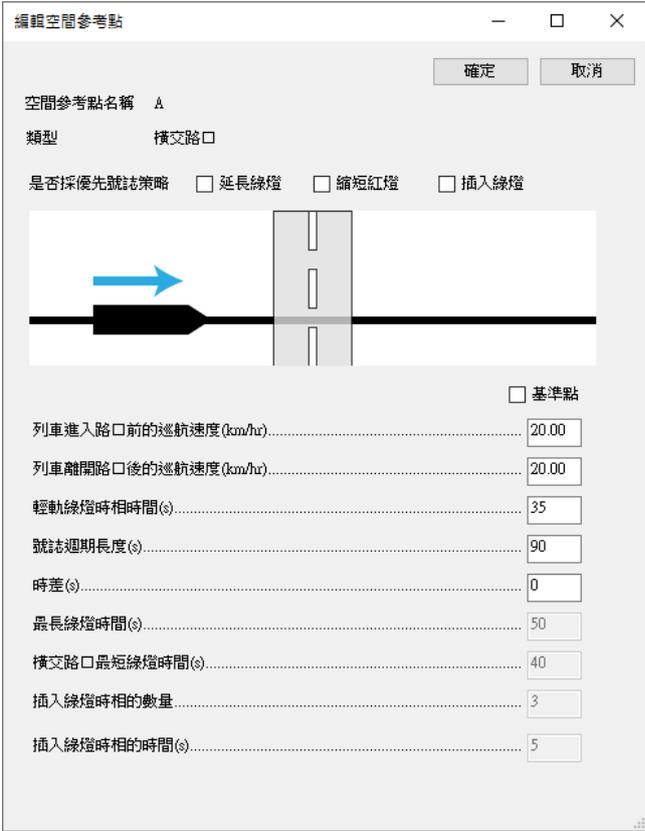
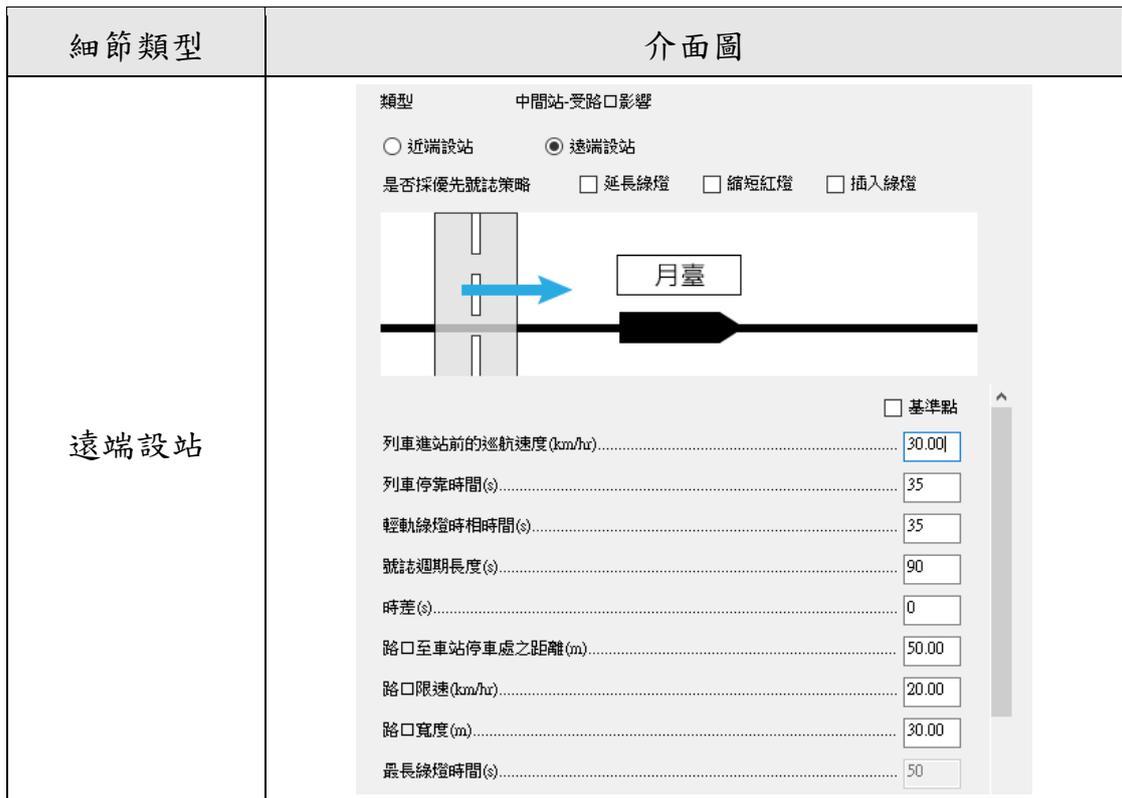
空間類型	設定參數介面圖
橫交路口	 <p>編輯空間參考點</p> <p>空間參考點名稱 A</p> <p>類型 橫交路口</p> <p>是否採優先號誌策略 <input type="checkbox"/> 延長綠燈 <input type="checkbox"/> 縮短紅燈 <input type="checkbox"/> 插入綠燈</p> <p> <input type="checkbox"/> 基準點      列車進入路口前的巡航速度(km/hr)..... 20.00      列車離開路口後的巡航速度(km/hr)..... 20.00      輕軌綠燈時相時間(s)..... 35      號誌週期長度(s)..... 90      時差(s)..... 0      最長綠燈時間(s)..... 50      橫交路口最短綠燈時間(s)..... 40      插入綠燈時相的數量..... 3      插入綠燈時相的時間(s)..... 5   </p>

表 7.7 空間參考點細節類型與可編輯欄位的連動示意圖

細節類型	介面圖
近端設站	 <p>類型 中間站:受路口影響</p> <p><input checked="" type="radio"/> 近端設站 <input type="radio"/> 遠端設站</p> <p>是否採優先號誌策略 <input type="checkbox"/> 延長綠燈 <input type="checkbox"/> 縮短紅燈 <input type="checkbox"/> 插入綠燈</p> <p> <input type="checkbox"/> 基準點      列車進站前的巡航速度(km/hr)..... 30.00      列車停靠時間(s)..... 35      輕軌綠燈時相時間(s)..... 35      號誌週期長度(s)..... 90      時差(s)..... 0      路口至車站停車處之距離(m)..... 50.00      路口限速(km/hr)..... 20.00      路口寬度(m)..... 30.00      最長綠燈時間(s)..... 50   </p>



### 7.3.3 路段參數編輯介面

新增兩個以上空間參考點後，主畫面的【空間參考點參數】介面會出現兩點之間的灰色連結如圖 7-8 所示，使用者可點選該按鈕進行路段參數的編輯。

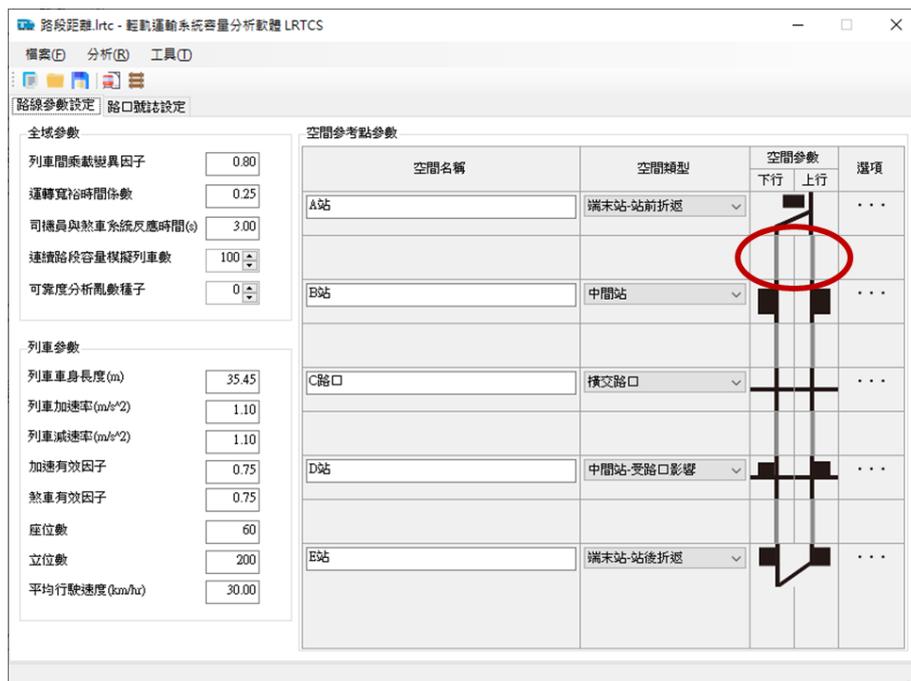


圖 7-8 路段參數編輯按鈕於主畫面中的呈現

路段參數可選擇填入路段的距離，或是行經該路段的旅行時間。軟體預設輸入之參數為路段距離，若要將路段參數改為旅行時間，至【偏好設定】中選取【路段參數】分頁如圖 7-9 所示，設定【輸入參數】為【旅行時間】即可。

	下界	預設值	上界
路段距離(m).....	10.00	250.00	5000.00
旅行時間(s).....	10	120	300
輸入參數.....	<input checked="" type="radio"/> 路段距離 <input type="radio"/> 旅行時間		

圖 7-9 偏好設定中的路段參數分頁

點選按鈕後，將跳出視窗如圖 7-10 所示，根據點選的連結帶入前後空間參考點，並於文字框內輸入兩空間參考點之間的距離或旅行時間。完成設定後，主畫面的灰色連結會改為黑色，提醒使用者已完成設定。



圖 7-10 設定路段距離介面

#### 7.3.4 執行分析介面

以下分別說明單一空間參考點分析介面與連續路段容量與列車平均延滯分析介面。

##### 1. 單一空間參考點容量分析介面

單一空間參考點容量分析介面中，以三個分頁呈現彙整表（圖 7-11）、路線容量圖（圖 7-12）與設計容量圖。點選分頁右上角的下行、上行按鈕，便可切換展示上、下行分析結果。點選儲存與複製按鈕，便會儲存或複製當前畫面展示的圖表內容，其中儲存功能預設將彙整表存為 txt 或 csv 檔，圖表則存為 bmp 或 wmf 檔。



圖 7-11 單一參考點容量分析介面（彙整表）

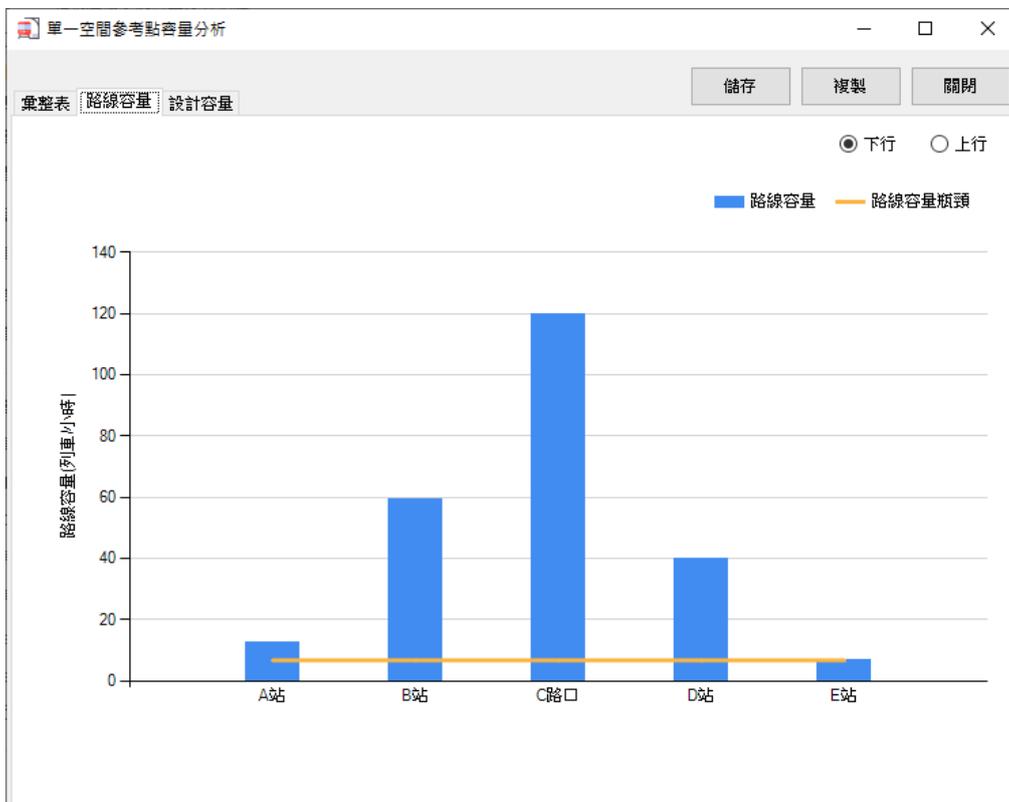


圖 7-12 單一參考點容量分析介面（路線容量圖）

## 2. 連續路段容量與列車平均延滯分析介面

此介面上半部呈現路線容量表，下半部則為列車平均延滯分析結果圖，點選圖表右上角的下行、上行按鈕，便可切換展示上、下行列車平均延滯分析結果(如圖 7-13)。路線容量表與列車平均延滯分析結果圖表的右上方皆有儲存與複製按鈕，點選便會儲存或複製內容。

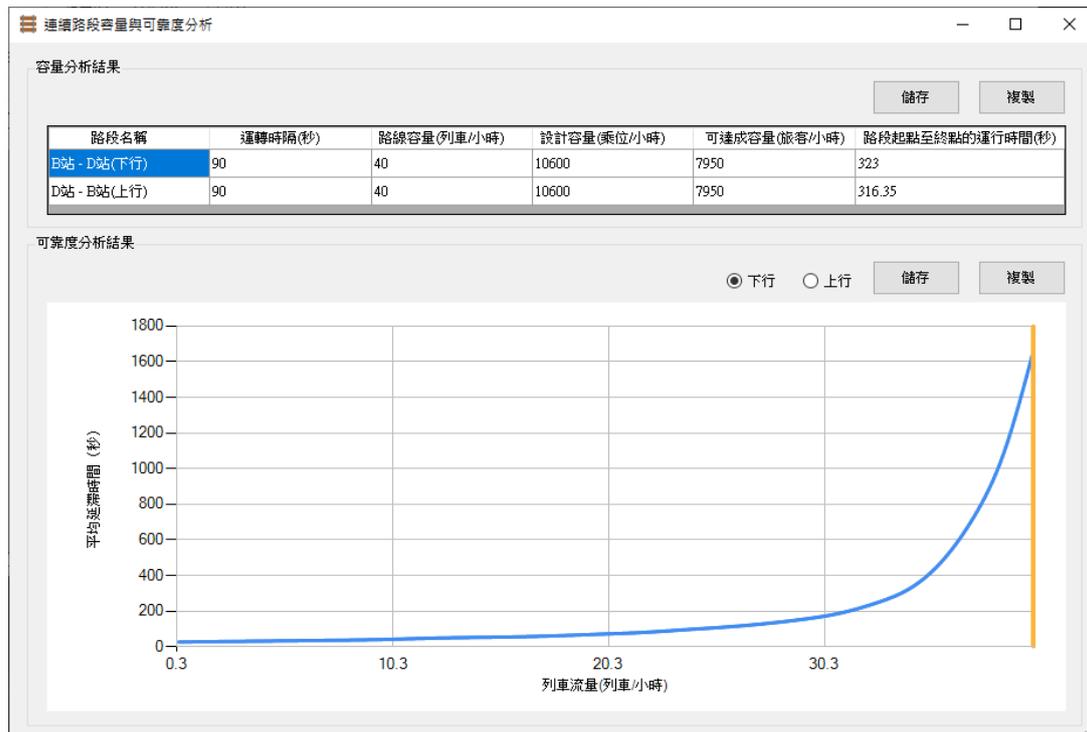


圖 7-13 連續路段容量與列車平均延滯分析介面

### 7.3.5 偏好設定介面

輕軌容量分析軟體提供自訂參數預設值與合理範圍的功能，介面配置規劃如圖 7-14。此介面以不同分頁分類各式參數，並會依據參數的型別（整數或浮點數）驗證輸入的數值，以及檢視預設值是否介於上、下界之間。完成變更的按鈕設置在畫面的右上角，另外可透過點選「初始化」按鈕，將各參數的預設值、合理範圍等設定回復至軟體的初始設定。

⚙️ 偏好設定 ✕

全域參數	列車參數		路段參數
中間站參數	末端站參數-站前折返	末端站參數-站後折返	橫交路口參數
	下界	預設值	上界
列車進站前的巡航速度(km/hr).....	<input type="text" value="10.00"/>	<input type="text" value="30.00"/>	<input type="text" value="60.00"/>
列車停靠時間(s).....	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="35"/>	<input type="text" value="60"/>
輕軌綠燈時相時間(s).....	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="35"/>	<input type="text" value="120"/>
號誌週期長度(s).....	<input type="text" value="30"/>	<input type="text" value="90"/>	<input type="text" value="300"/>
路口至車站停車處之距離(m).....	<input type="text" value="5.00"/>	<input type="text" value="50.00"/>	<input type="text" value="500.00"/>
路口限速(km/hr).....	<input type="text" value="10.00"/>	<input type="text" value="20.00"/>	<input type="text" value="60.00"/>
路口寬度(m).....	<input type="text" value="10.00"/>	<input type="text" value="30.00"/>	<input type="text" value="300.00"/>
最長綠燈時間(s).....	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="50"/>	<input type="text" value="120"/>
橫交路口最短綠燈(s).....	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="40"/>	<input type="text" value="120"/>
插入綠燈時相的數量.....	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="10"/>
插入綠燈時相的時間(s).....	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="35"/>	<input type="text" value="60"/>

圖 7-14 偏好設定介面

## 第八章 研究成果推廣

本計畫除了模式發展與軟體開發之外，尚有辦理教育訓練、成果發表會，以及編訂臺灣鐵道容量手冊等研究成果的推廣工作，相關成果整理如下。

### 8.1 教育訓練與成果說明會辦理情形

以下就教育訓練與成果說明會的場次安排、課程規劃、參與情形、意見回饋，以及軟體改善等方面說明教育訓練的辦理情況。

#### 8.1.1 場次安排

今年度（109 年）除了在北部辦理教育訓練暨成果說明會之外，亦於中南部各辦理一場教育訓練，相關的辦理日期與地點整理如表 8.2，實況照片如圖 8-1～圖 8-3。

表 8.1 教育訓練與成果說明會之辦理日期與地點

場次	日期	地點
北區教育訓練暨成果說明會	民國 109 年 09 月 29 日（二）	新北市政府捷運工程局
中區教育訓練	民國 109 年 10 月 15 日（四）	臺中市政府交通局
南區教育訓練	民國 109 年 09 月 24 日（四）	高雄市政府捷運工程局



圖 8-1 北區教育訓練暨成果說明會



圖 8-2 中區教育訓練



圖 8-3 南區教育訓練

### 8.1.2 課程規劃

「輕軌運輸系統容量分析概論暨分析軟體應用」教育訓練為半天之課程，包含兩堂各 90 分鐘的課程以及 30 分鐘的綜合討論，課程的時程安排如表 8.2，其內容大綱如下。

#### 1. 鐵道容量分析概論

授課內容包含鐵道容量分析的基本概念、相關術語、影響因素、分析架構與應用範圍等。

#### 2. 輕軌容量分析軟體操作與應用

介紹容量分析軟體的特色和操作環境，透過軟體分析以實務狀況所設計之案例，配合實際上機操作，進行各項功能操作程序的教學，藉以熟悉軟體的操作與應用。

表 8.2 教育訓練課程安排

時間	內容	時數
13:00~13:20	報到	20 分鐘
13:20~13:30	主辦單位致詞	10 分鐘
13:30~15:00	鐵道容量分析概論	90 分鐘
15:00~15:10	休息時間	10 分鐘
15:10~16:40	輕軌容量分析軟體操作與應用	90 分鐘
16:40~17:10	綜合討論	30 分鐘

### 8.1.3 參與情形

本計畫各場次教育訓練與成果說明會的參與人數共計 37 人，其中最多為北區教育訓練暨成果說明會，共有 19 人，各場次參與人數分布如圖 8-4。此參與情形誠屬不踴躍，可能由於在捷運（輕軌）建設計畫之申請審議機制中，並未強制要求評估報告必須呈現容量分析之內容，因而不受重視。

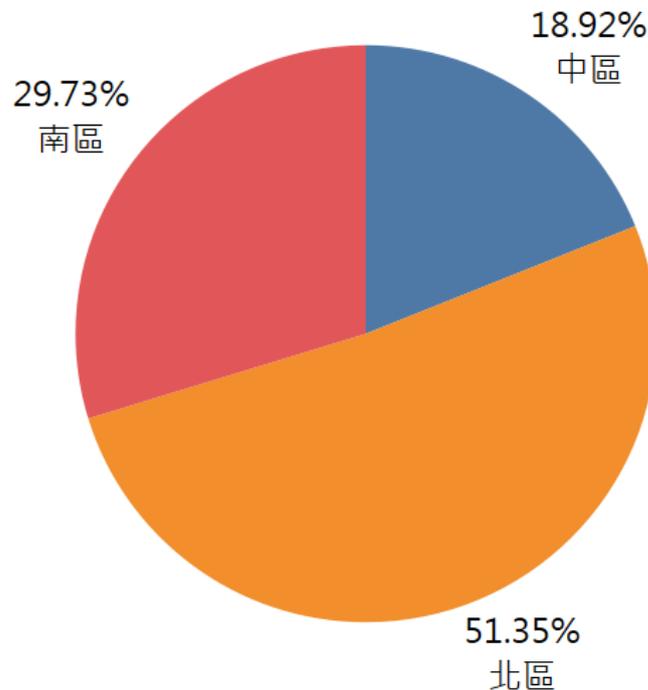


圖 8-4 各場次參與人數分布情況

若以對象的分布情況來看，如圖 8-5，政府機關和顧問公司為大宗，而受限於目前國內僅一家輕軌營運機構，因此參與人數有限，此外，大專院校參與人數不多，可能是因為教育訓練場地位於政府機關而非學校所導致。

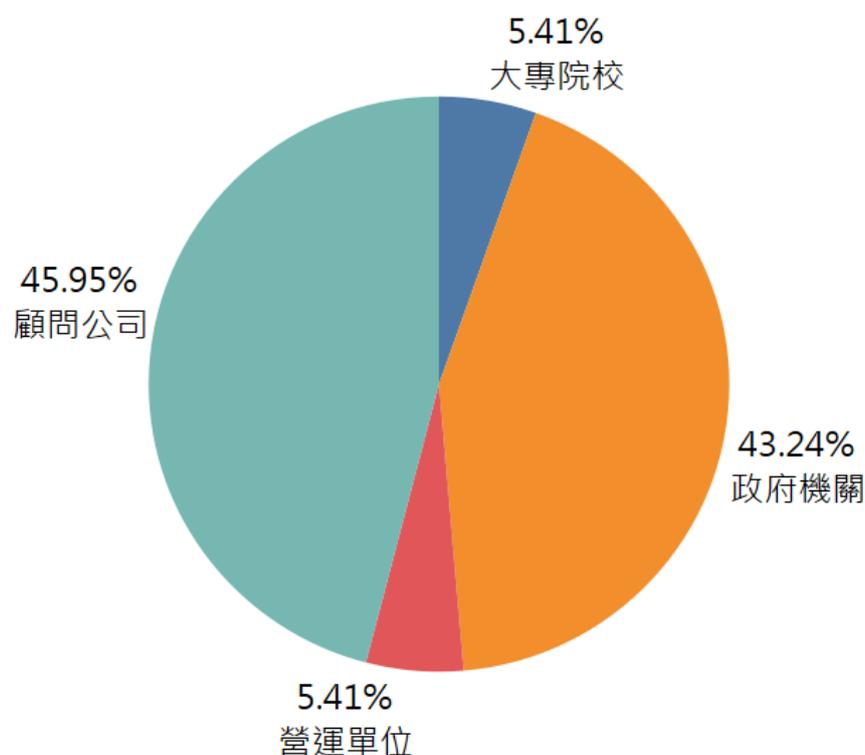


圖 8-5 參與對象分布情況

#### 8.1.4 軟體回饋改善

今年度（109 年）三場教育訓練蒐集許多使用者的回饋意見，其中有關於容量軟體的改善建議綜整如下：

1. 建議在分析結果彙整表中，能依照運轉時隔、路線容量等欄位之數值大小進行排序。
2. 在路線容量圖表中，座標軸應加入單位，例如：路線容量之單位為列車/小時。
3. 在設定路段距離時，建議輔助圖中加入箭頭指出方向。

4. 除了設定路段的距離，建議可設定各路段的運行時間或速率，以反映大轉彎速率較慢的情況。

針對上述軟體改善回饋建議，本計畫改善的說明如下。

1. 精進分析結果彙整表排序功能

無論是在單一空間參考點或是連續路段的容量分析結果，輕軌容量軟體皆會提供一份彙整表說明運轉時隔、路線容量等數值。原本預設的排序設定是依照字串進行排序，此種排序與一般依照數值大小遞增、遞減排序並不相同。考量數值排序在尋找瓶頸點時有相當大的幫助，因此精進排序功能，讓使用者可以針對任何欄位進行遞增或遞減排序。圖 8-6 說明在單一空間參考點分析彙整表中，以運轉時隔進行遞減排序。若依照空間參考點或路段欄位進行排序，則是以站序進行排序。

空間參考點	運轉時隔(秒)	路線容量(列車數/小時)	設計容量(乘位/小時)	可達成容量(旅客數/小時)
紅樹林	350.45	10.27	2722	2042
坎頂站	327.05	11.01	2917	2188
濱海沙崙	180	20	5300	3975
淡海新市鎮	90	40	10600	7950
濱海義山	90	40	10600	7950
淡金北新	70.94	50.75	13448	10086
淡金鄧公	70.94	50.75	13448	10086
竿葉林	70.94	50.75	13448	10086
淡江大學	69.33	51.93	13761	10321
新市一路	67.91	53.01	14049	10537
淡水行政中心	66.79	53.9	14283	10712
沙崙路-新市五路口	45	80	21200	15900
沙崙路-新市二路路口	45	80	21200	15900
濱海路-濱海路202巷路口	30	120	31800	23850

圖 8-6 彙整表排序功能說明

## 2. 圖表座標軸新增數值的單位

原本在容量分析結果中提供的圖表，在座標軸中並無明確標註該數值的單位，如圖 8-7 所示，可能造成使用者的混淆，因此在各圖表中的數值座標軸皆標明了單位，如圖 8-8 所示，列車平均延滯分析結果圖表的 Y 軸為平均延滯時間，單位為秒；X 軸為列車流量，單位為列車/小時。

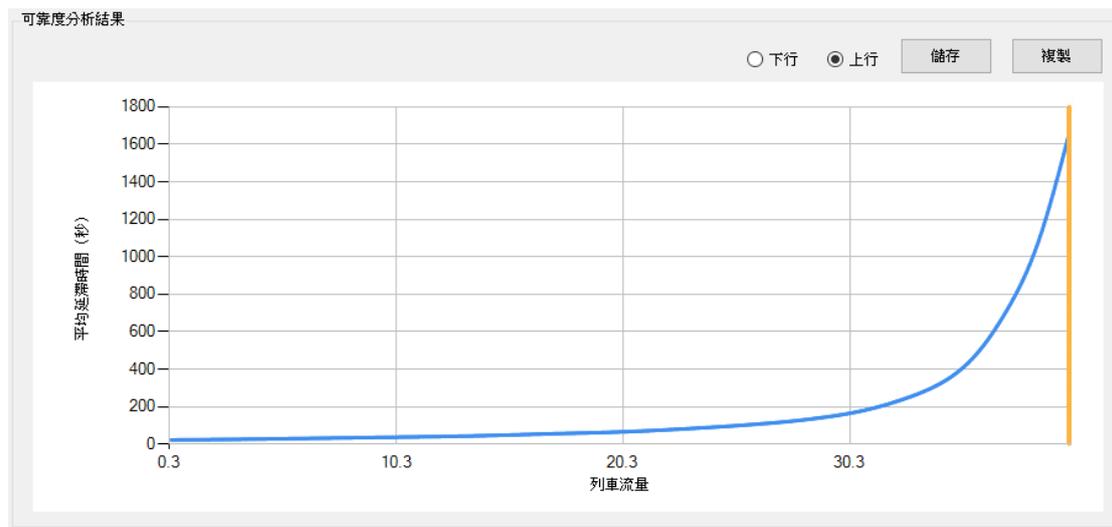


圖 8-7 原先的容量分析結果圖表

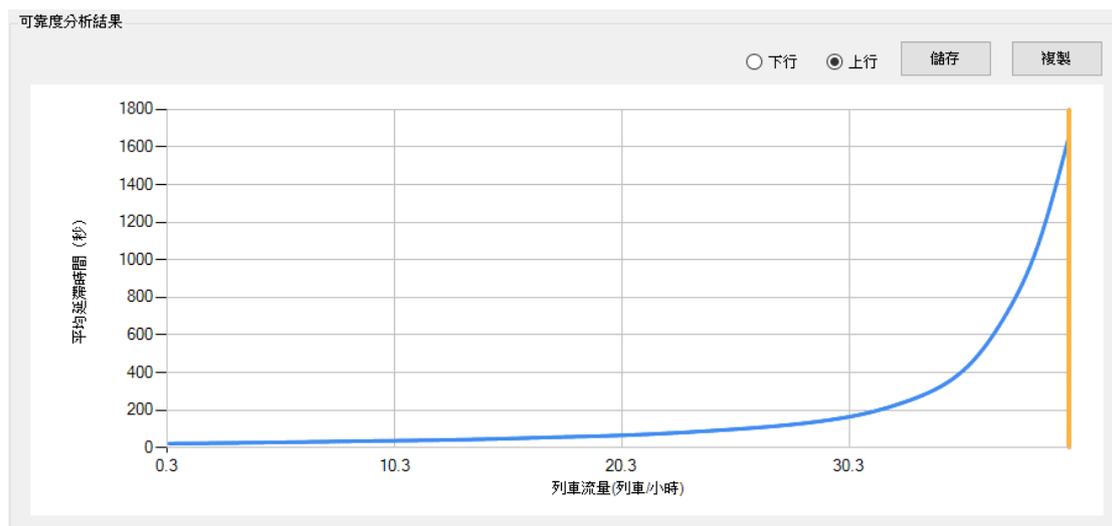


圖 8-8 於 X 軸新增數值單位

### 3. 改善路段距離設定介面

原先輕軌容量軟體中設定路段距離的介面如圖 8-9 所示，介面中僅以文字說明空間參考點的前後關係，且路段距離無法反映大轉彎速率較慢的情況。經修改後之介面如圖 8-10，除了以箭頭標註目前設定路段的列車行駛方向，也將空間名稱移至空間參考點圖式的上方或下方，讓使用者更清楚應輸入之數值為何。除此之外，軟體也提供了輸入路段旅行時間的功能，若要將路段參數改為旅行時間，至【偏好設定】中選取【路段參數】分頁，設定【輸入參數】為【旅行時間】即可。



圖 8-9 原先軟體之設定路段距離介面



圖 8-10 修改後之設定路段距離介面

## 8.2 鐵道容量手冊擴充編訂

於民國 109 年出版的最新臺灣鐵道容量手冊<sup>[2]</sup>中，共有「基礎篇」、「傳統暨區域鐵路系統篇」和「都會捷運系統篇」等三個篇章，而本次擴充編定工作的內容，則是彙整本系列研究對於輕軌運輸系統容量分析的相關研究成果，新增「輕軌運輸系統篇（A、B 型路權）」，其章節架構如下：

### 第一章 緒論

- 1.1 高雄輕軌運輸系統簡介
- 1.2 淡海輕軌運輸系統簡介
- 1.3 輕軌運輸系統的特性
- 1.4 輕軌專用號誌與優先號誌策略

### 第二章 單一空間參考點路線容量分析模式

- 2.1 基本概念與模式假設
- 2.2 A 型路權安全時距的計算
- 2.3 運轉寬裕時間的決定
- 2.4 A 型路權最小運轉時隔的計算
- 2.5 B 型路權平均運轉時隔的計算
- 2.6 路線容量的計算

### 第三章 連續路段路線容量分析模式

- 3.1 基本概念
- 3.2 假設條件
- 3.3 整體模擬流程
- 3.4 演算範例展示

### 第四章 旅客容量分析模式

#### 4.1 列車容量的計算

#### 4.2 設計容量的計算

#### 4.3 可達成容量的計算

### 第五章 容量整體分析程序

#### 5.1 容量分析架構與步驟

#### 5.2 容量分析的應用情境

### 第六章 連續路段列車平均延滯分析模式

#### 6.1 基本概念與假設條件

#### 6.2 模式整體流程

### 第七章 容量分析軟體使用手冊

#### 7.1 軟體簡介

#### 7.2 操作說明

### 第八章 分析範例

### 參考文獻

### 附錄 A 數學符號彙整表

上述章節內容涵蓋了單一空間參考點輕軌容量分析模式、連續路段輕軌容量分析模式與列車平均延滯分析模式，並介紹以該模式為核心所開發的軟體，最後提供數個範例，可作為讀者在實際應用上的參考，詳細內容請參見「臺灣鐵道容量手冊－輕軌運輸系統篇（A、B型路權）」。

## 第九章 結論與建議

本計畫針對 A 型和 B 型路權的輕軌運輸系統發展連續路段容量分析與列車平均延滯分析模式，並進行多項案例分析，同時開發了輕軌容量分析軟體以及辦理相關的教育訓練，最後編訂臺灣鐵道容量手冊－輕軌運輸系統篇。從整個過程中，本計畫獲得以下結論與後續研究建議。

### 9.1 結論

1. 本計畫以系統模擬方法建立了連續路段容量分析與列車平均延滯分析模式，和過去單一空間參考點的輕軌容量分析模式相比，本模式多考量了路口號誌時差、優先號誌運作細節，以及上/下游空間參考點的交互影響等因素，提供更貼近實務的分析結果。
2. 除了發展模式，本計畫對單一空間參考點的輕軌容量分析模式深入探討後，將其作了以下改善：
  - (1) 將司機員及煞車系統的反應時間納入安全時距的計算中，讓模式更能合理反映輕軌運輸系統的特性。
  - (2) 調整 B 型路權的平均運轉時隔公式，避免將路口號誌週期納入寬裕時間的計算，造成過度高估運轉寬裕時間。調整後所獲得的容量分析結果，雖然和原先模式計算出的容量值有異，但瓶頸處仍不變，淡海輕軌的容量瓶頸位於紅樹林站，運轉時隔為 356 秒，約每小時 10 列車；高雄輕軌的容量瓶頸位於籬仔內站，運轉時隔為 450 秒，約每小時 8 列車。
3. 根據淡海輕軌和高雄輕軌案例分析的結果可歸納出以下結論
  - (1) 連續路段路線容量由路線上瓶頸處決定。

- (2) 路口號誌週期對連續路段容量有決定性的影響，列車的運轉時隔等於路線上最長的路口號誌週期時間，亦即每個最長號誌週期可通過一列車。
  - (3) 路口號誌時差並不會影響路線容量，但會影響旅行時間。
  - (4) 連續路段輕軌列車平均延滯分析之結果與先驗知識相符，隨著列車流量增加，平均延滯時間呈非線性成長，且當列車流量接近容量上限時，平均延滯時間會趨近無窮大。此外，受限於路線容量，當路線起點的輸入列車流量超過容量上限後，路線終點的輸出列車流量僅能維持在路線容量的水準。
4. 從輕軌列車的實際運行資料中，本計畫校估了模式中加減速度有效因子的數值，分別約為 0.459 和 0.365，若有類似系統欲於規劃階段評估容量卻缺少相關參數，建議可採用 0.5 和 0.4 進行分析，但若是以營運系統，建議根據第 6.1 節介紹之方式來獲得相關數值。
  5. 本計畫開發出輕軌容量分析工具軟體，並根據教育訓練所蒐集的使用回饋意見加以改善，具高度運算效率，且圖形化之路網介面便於使用者操作與使用，對未來在執行容量分析的工作上將有所幫助。
  6. 彙整此兩年之研究成果，於臺灣鐵道容量手冊中新增「輕軌運輸系統篇(A、B 型路權)」，讓國內的鐵道容量分析技術更加完備。

## 9.2 後續研究建議

輕軌運輸系統的複雜性不亞於傳統鐵路與都會捷運，在有限的時程、經費與資源下，本計畫無法納入輕軌容量全部的課題，後續有待精進之處說明如下：

1. 未來國內將面臨 C 型路權的輕軌運輸系統之引進，鑑於教育訓練過程各界人士之反映及本計畫委員於歷次會議皆提及 C 型路權輕

軌容量研究辦理之必要性及迫切性，而 C 型路權輕軌容量之分析相較於 A、B 型路權容量問題更錯綜複雜、所需蒐集之參數資料亦更龐雜，在政府致力推動輕軌運輸系統發展之際，建議應儘速預留足夠時間與經費，及早辦理 C 型路權輕軌容量研究計畫，以利相關單位在進行輕軌運輸系統規劃設計時，不會受限於容量分析技術，而無法評估其容量。

2. 有關 C 型路權容量的研究課題，由於路線是供輕軌與道路車輛共用行駛，因此在容量定義上便與 A、B 型路權的輕軌容量不同，值得深入探討。此外除了要考量輕軌之中間車站、末端站、路口處、折返處，與分歧點等不同空間參考點之外，同時也要考量公路端的車道數、匯出匯入車流之影響，還有輕軌和道路車輛跟車的交互關係，由於影響因素眾多，要建立完整的分析模式並非一蹴可及，建議後續研究可適度簡化，先考慮最重要的因素來建構模式，再循序漸進讓模式能更加精進完備。
3. 今年辦理 3 場輕軌容量教育訓練，但參加情況並不踴躍，而過去容量系列研究亦有相似情況，為了提升鐵道容量模式及軟體後續的推廣應用之成效，建議應建立相關審議機制，例如：偕同路政司與鐵道局，研議在「鐵路立體化建設及周邊土地開發計畫申請與審查作業要點」與「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，要求計畫規劃分析、申請及審議單位必須參考鐵道容量手冊進行容量分析。
4. 由於研究時程有限，本計畫僅以輕軌列車實際運行資料，校估出適用於國內輕軌容量計算的加減速有效因子設定值，但仍有許多參數尚有討論的空間，例如運轉寬裕時間、乘載變異因子等，因此未來應深入的進行本土化路線容量計算參數之研究，以建立適用於臺灣地區的容量計算參數。

此外本計畫在教育訓練和座談會中，亦有不少學者專家對未來鐵道容量研究提出建議，綜整說明如下：

1. 容量研究成果的推廣宜著重於容量分析在規劃、設計，以及營運等階段的應用，建議未來在編訂鐵道或捷運系統的可行性分析或綜合規劃參考手冊時，應把容量課題納入其中。
2. 雖然鐵道容量系列研究已對臺鐵系統進行多年研究，但仍有部分課題有待深入探討，包含針對折返站和分歧站的容量研究，以及考慮貨運的路線容量分析等。
3. 目前臺鐵號誌系統之功能在歐洲列車控制系統（European Train Control System， ETCS）之架構下，屬於 ETCS Level 1，未來臺鐵規劃將升級成 ETCS Level 2，屆時過去本所以三位式號誌系統為基礎的傳統暨區域鐵路系統容量分析模式便不適用於評估其容量，因此建議後續針對號誌系統升級課題來建立容量模式，甚至應掌握鐵路號誌系統發展趨勢，進一步發展更泛用之模式，以利未來有更廣泛的應用範圍。
4. 無論是傳統暨區域鐵路、都會捷運系統，以及輕軌運輸系統的容量分析軟體，都是以當時最新資訊技術進行開發，但科技進步日新月異，如今有些已經屬於過時技術，例如：都會捷運容量分析軟體的作業系統版本要求為微軟 Windows NT/2000/XP/Vista，而這些作業系統目前連微軟公司都已經終止支援與維護了。此外，在使用者介面設計上也不斷地有所突破與創新，例如：今年度所開發之輕軌容量分析軟體，能在介面上直接看到路網，而非只是車站或路線清單。因此，軟體工具也需要與時俱進，建議後續要有相關的軟體維護與更新工作，才能讓軟體符合當今的技術以及使用者的習慣。

## 參考文獻

1. 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。
2. 交通部運輸研究所，2019 年臺灣鐵道容量手冊，民國 109 年 1 月。
3. 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。
4. 交通部運輸研究所，軌道系統容量與可靠度分析研究（2/3），民國 101 年 4 月。
5. 交通部運輸研究所，軌道系統容量與可靠度分析研究（3/3），民國 102 年 6 月。
6. 交通部運輸研究所，單線連續區段軌道容量模式分析（2/2），民國 106 年 4 月。
7. 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。
8. 交通部運輸研究所，傳統暨區域鐵路系統容量分析軟體之升級改版與推廣作業（1/2），民國 107 年 7 月。
9. 交通部運輸研究所，傳統暨區域鐵路系統容量分析軟體之升級改版與推廣作業（2/2），民國 108 年 10 月。
10. 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（1/4），民國 96 年 4 月。
11. 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（2/4），民國 97 年 5 月。
12. 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。

13. 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 (4/4)**，民國 99 年 5 月。
14. 交通部運輸研究所，**輕軌系統容量分析暨應用研究 (1/2) -A、B 型路權容量模式構建**，民國 109 年 7 月。
15. 施能郁，**運轉理論**，鐵路文化工作委員會，民國 88 年 10 月。
16. Harriet R Smith, Hemily, Brendon, & Ivanovic, Miomir., **Transit Signal Priority (TSP): A planning and implementation handbook**, 2005.
17. Huisman, T. and Boucherie, R. J., “Running Times on Railway Sections with Heterogeneous Train Traffic,” *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 35, No. 3, 2001, pp. 271-292.
18. 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.
19. Koonce, P., **Traffic Signal Timing Manual (No. FHWA-HOP-08-024)**, Federal Roadway Administration, U.S.A., 2008.
20. Law, A. M. and Kelton, W. D., **Simulation Modeling & Analysis 2nd Edition**, McGraw-Hill International, New York, 1991.
21. Urbanik, T., Tanaka, A., Lozner, B., Lindstrom, E., Lee, K., Quayle, S., & Sunkari, S., **Signal Timing Manual**, Transportation Research Board., 2015.

## 附錄 A 數學符號彙整表

變數	說明	單位
$A_v$	一列車可供旅客站立之面積	m <sup>2</sup> /train
$a$	列車加速率	m/s <sup>2</sup>
$b$	列車減速率	m/s <sup>2</sup>
$C_l$	路線容量	train/h
$C_o$	設計容量	sps/h
$C_u$	可達成容量	prs/h
$c_t$	列車容量	sps/train
$d_i$	扣除系統暖機與結束前的模擬時間範圍內，第 <i>i</i> 列車的延滯時間	s
$d_t$	列車從設定橫渡線路徑的位置至橫渡線區之距離	m
$\bar{d}$	平均延滯時間	s
$f_e$	期望的列車流量	
$G$	輕軌綠燈時相時間	s
$g_l$	列車到達路口時，剩餘的綠燈時間	s
$g_{l,i}$	列車到達第 <i>i</i> 個橫交路口時，剩餘的綠燈時間	s
$h$	最小運轉時隔	s
$\bar{h}$	平均運轉時隔	s
$K_a$	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	m
$m$	運行型態內所經歷的路口號誌週期數	—
$m_s$	乘載水準，即立位密度	sps/m <sup>2</sup>
$N$	扣除系統暖機與結束前的模擬時間範圍內，從路線終點離開的列車數	—
$n$	運行型態內所經過的列車數	—
$n_s$	列車的座位數	sps/train
$n_v$	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	prs/15min
$P_{c_i}$	同列車第 <i>i</i> 車廂的實際乘載旅客數	—
$P_h$	尖峰小時旅客流量	prs/h

變數	說明	單位
$R$	輕軌紅燈時相時間	s
$r_w$	列車到達路口時，剩餘的紅燈時間	s
$r_{w,i}$	列車到達第 <i>i</i> 個橫交路口時，剩餘的紅燈時間	s
$S_b$	列車從巡航速度煞車到靜止所運行的距離	m
$S_c$	橫渡線區範圍	m
$S_e$	列車停車後車尾與道岔的距離	m
$S_{int}$	路口寬度	m
$S_m$	寬裕距離	m
$S_p$	列車於車站停車處至橫渡線之距離	m
$S_{p,1}$	車站月臺至橫渡線之距離	m
$S_{p,2}$	橫渡線至尾軌列車停車處之距離	m
$S_s$	最短安全距離	m
$S_{si}$	路口至車站停車處之距離	m
$T_{s,m}$	A 型路權中間站的安全時距	s
$T_s$	安全時距	s
$\bar{T}_s$	平均安全時距	s
$T_{s,f1}$	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	s
$T_{s,f2}$	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	s
$T_{s,r1}$	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	s
$T_{s,r2}$	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	s
$T_{s,x}$	列車在單線區間的安全時距	s
$t_A$	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	s
$t_a$	列車從靜止加速至巡航速度的運行時間	s
$t_B$	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	s
$t_b$	列車從巡航速度煞車到靜止的運行時間	s
$t_{b,s}$	列車車尾經過橫渡線至列車完全停妥的運行時間	s

變數	說明	單位
	(不含寬裕時間)	
$t'_{b,s}$	列車車尾經過橫渡線至列車完全停妥的運行時間 (含寬裕時間)	S
$t_c$	司機員確認出發的反應時間	S
$t_{c \rightarrow t}$	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(不含寬裕時間)	S
$t'_{c \rightarrow t}$	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(含寬裕時間)	S
$t_D(1)$	扣除系統暖機與結束前的模擬時間範圍內,第一列車於路線終點離開的時間	S
$t_D(N)$	扣除系統暖機與結束前的模擬時間範圍內,最後一列車於路線終點離開的時間	S
$t_{DA}$	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(不含寬裕時間)	S
$t'_{DA}$	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(含寬裕時間)	S
$t_{DP}$	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(不含寬裕時間)	S
$t'_{DP}$	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(含寬裕時間)	S
$t_{D,i}$	第 <i>i</i> 列車離開空間參考點的時間	S
$t_d$	列車於中間站、末端站或尾軌的停靠時間(不含寬裕時間)	S
$t'_d$	列車於中間站、末端站或尾軌的停靠時間(含寬裕時間)	S
$t_{E,i}$	第 <i>i</i> 列車進入空間參考點的時間	S
$t_e$	列車於橫交路口處至少需延後的時間	S
$t_{e,0}$	關鍵事件所需延後的時間	S
$t_{e,i}$	列車於第 <i>i</i> 個橫交路口處至少需延後的時間	S
$t_{e,c}$	通過檢核至少需延後的時間	S
$t_{e \rightarrow t}$	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	S
$t_i$	路徑設定時間(不含寬裕時間)	S

變數	說明	單位
$t'_i$	路徑設定時間 (含寬裕時間)	S
$t_l$	路徑解除時間 (不含寬裕時間)	S
$t'_l$	路徑解除時間 (含寬裕時間)	S
$t_m$	運轉寬裕時間	S
$t_{m \rightarrow t}$	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	S
$t_{m \rightarrow t,1}$	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	S
$t_{m \rightarrow t,2}$	列車從巡航速度減速至道岔限速的運行時間	S
$t_{m \rightarrow t,3}$	列車從橫渡線區以道岔限速等速接近末端站的運 行時間	S
$t_{m \rightarrow t,4}$	列車從道岔限速煞車到靜止的運行時間	S
$t_o$	列車於單線區間內的順向運行時間	S
$t_{o'}$	列車於單線區間內反向運行時間	S
$t_p$	列車車尾通過 P 點後至列車完全停止在車站的運 行時間	S
$t_{PP}$	兩列車連續通過路口所須保持的最小時間間隔 (不 含寬裕時間)	S
$t'_{PP}$	兩列車連續通過路口所須保持的最小時間間隔 (含 寬裕時間)	S
$t_R$	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 (不含寬裕時間)	S
$t'_R$	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 (含寬裕時間)	S
$t_r$	司機員與煞車系統反應時間	S
$t_x$	列車交會所需最短時間	S
$t_x$	列車於路線起點距離前一列車進入時間的時間間 距	S
$t_{x,i}$	第 $i$ 列車距離第 $i - 1$ 列車的 時間間距	S
$t_t$	列車從前一車站至末端站的運行時間	S
$t_{t \rightarrow c}$	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 (不含寬裕時間)	S
$t'_{t \rightarrow c}$	列車從折返處離開直到車尾完全通過橫渡線區的	S

變數	說明	單位
	運行時間 (含寬裕時間)	
$t_{t \rightarrow e}$	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	s
$t_{t \rightarrow m}$	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	s
$t_v$	列車以巡航速度運轉的運行時間	s
$U$	在 0~1 之間呈均勻分配的隨機亂數	—
$v_c$	道岔限速	m/s
$v_{cs}$	列車直行橫渡線區的限度	m/s
$v_e$	列車往尾軌的最高運轉速度	m/s
$v_i$	列車進站或通過路口前的巡航速度	m/s
$v_l$	路線限速	m/s
$v_m$	列車從路口行駛至車站的最高運轉速度	m/s
$v_o$	列車離站或通過路口後的巡航速度	m/s
$\beta$	運轉寬裕時間係數	—
$\rho_d$	乘載變異因子	—



# 附錄 B 歷次工作會議紀錄

## 輕軌系統容量分析暨應用研究(2-2)-

### A、B 型路權容量及可靠度分析

#### 第一次工作會議紀錄

一、開會事由：工作會議

二、開會時間：2020/04/13 PM 02：30

三、開會地點：交通部運輸研究所七樓運輸經營管理科技實驗室

四、主持人：張組長舜淵

紀錄：胡仲瑋

五、主席致詞：(略)

六、簡報內容：(略)

七、會議要點記錄：

1. 在連續路段容量分析的範例說明中，建議要有兩班列車在相同路段內的案例，並且使用較符合實際情況的號誌時相，避免讀者誤解與混淆。
2. 建議在報告書中詳細說明可靠度分析平均延滯時間等指標的定義，並研議是否增加延滯時間的標準差（變異）作為指標。
3. 建議在未來工作會議簡報中，加入甘特圖說明工作進度。
4. 輕軌容量成果說明會的辦理方式將考慮與教育訓練整併合辦，或是聯合公路容量手冊發表會一同辦理，有待運研所內部討論後再

決議。

5. 若疫情未緩和，本計畫的教育訓練考量以線上直播辦理，並且同步錄影，供無法即時收看的學員觀看。

八、散會

輕軌系統容量分析暨應用研究(2-2)-  
A、B 型路權容量及可靠度分析  
第二次工作會議紀錄

一、開會事由：工作會議

二、開會時間：2020/05/13 AM 09：00

三、開會地點：運研所 7F 會議室

四、主持人：張舜淵組長

紀錄：胡仲瑋

五、主席致詞：(略)

六、簡報內容：(略)

七、會議要點記錄：

1. 建議在報告中，清楚說明排除衝突至少所需延長的時間之計算方式(可能隨著空間參考點型態不同有所差異)，並以適當之比例繪製時空圖。
2. 對於各種排除衝突所需延長的時間之計算方式，建議都分別搭配示意圖說明。
3. 未來報告中在呈現可靠度分析模式的演算時，最後要標示列車的  
平均旅行時間，以及說明列車延滯時間的計算。
4. 盡量站在使用者的觀點來設計輕軌容量分析軟體介面，相關建議  
如下：  
  - (1) 調整介面字型大小。

(2) 新增空間參考點時，直接讓使用者選擇要新增車站或是路口。

(3) 提高軟體內專有名詞的友善性，避免使用者操作軟體時還需查閱容量手冊才能了解其意義。

5. 將現階段的容量軟體提供給運研所同仁使用，並提供回饋意見。
6. 建議在每次工作會議開始時，摘要說明上次工作會議的重點與決議事項。
7. 第一次學者專家座談會預定於 6 月中舉辦，內容除了研究進度說明外，建議要提出討論議題，另外也建議嘗試邀請工程顧問公司相關專家與會。
8. 建議在 10 月底完成容量手冊初稿，並加入相關案例說明，以利後續辦理成果發表會。

八、散會

輕軌系統容量分析暨應用研究(2-2)-  
A、B 型路權容量及可靠度分析  
第三次工作會議紀錄

一、開會事由：工作會議

二、開會時間：2020/09/25 AM 09：30

三、開會地點：運研所 7F 會議室

四、主持人：楊幼文副組長

紀錄：胡仲瑋

五、出席成員：團隊成員

六、主席致詞：(略)

七、簡報內容：(略)

八、會議要點記錄：

1. 為能廣納各界意見並達到推廣效果，將選擇報名人數最多的教育訓練北區場次，一併辦理研究成果說明會。
2. 預定於 10 月下旬辦理第二次學者專家座談會。
3. 本次容量手冊編訂工作為新增輕軌運輸系統篇，並在篇名中標註為 A、B 型路權，期末提送報告時，將研究報告與輕軌運輸系統篇分冊提送
4. 有關鐵道容量手冊—輕軌運輸系統篇中的分析範例，擬以假名稱命名路線與車站，避免未來與輕軌系統之實際營運情形混淆。



# 附錄 C 第一次學者專家座談會議紀錄

## 輕軌系統容量分析暨應用研究 (2/2) -A、B 型路權容量及可靠度分析 第一次學者專家座談會議紀錄

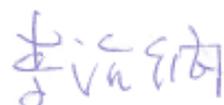
一、時間：109 年 6 月 18 日(四) 下午 2 時 00 分

二、地點：運輸研究大樓 2 樓觀光局旅遊服務中心會議室

三、主持人：黃副所長新薰（張舜淵組長代）

紀錄：胡仲瑋

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 

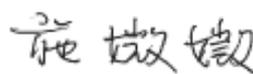
成功大學土木工程學系李教授宇欣



成功大學交通管理科學系鄭教授永祥



高雄市政府捷運工程局施總工程司熾熾



交通部鐵道局營運監理組施副組長文雄

請假

臺灣高鐵公司陳協理信雄



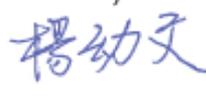
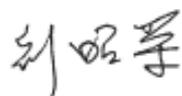
新北市政府捷運工程局鄭副總工程司智銘

請假

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：

單位/姓名	意見	中興社回應
南台科技大學行銷與流通管理系李教授治綱	「空間參考點」建議改採該領域慣用的名稱。	「空間參考點」係 critical point 的中文翻譯，代表觀測容量的位置，可能是車站、路段、路口、折返站或銜接點等，過去容量系列研究認為此翻譯比較能讓讀者了解其意義，故本研究仍沿用之。
	簡報 P9 說明離散事件模擬方法，僅考量「進入」與「離開」兩事件是否周延？	「進入」與「離開」事件會發生在各個重要空間點，利用事件發生的空間及時間資訊，便能往前追溯至關鍵事件發生的地點以調整發車時間。未來將於報告內，說明模式中的事件所包含的各項資訊。
	由於可能會影響後續分析，建議補充道路號誌時制的假設。	模式中的道路號誌皆假設為定時號誌控制 (pretimed signal control)，若有採用優先號誌，則會維持其號誌週期不變，避免影響號誌續進的設計，將會補充相關假設於期中報告中。
	安全時距的計算應反映輕軌系統的駕駛特性，目前的計算是否有將之納入考量？或是在輕軌系統駕駛規章改變時，安全時距的計算結果是否隨之改變？	目前安全時距的計算有反映其特性，但若未來規章改變的程度過大，則可能連安全時距的計算方式都必須隨之調整。

單位/姓名	意見	中興社回應
南台科技大學行銷與流通管理系李教授治綱	進行模擬時，後發列車可能與先行列車衝突時會延後發車，然而真實的駕駛運轉行為應該是放慢速度跟車，甚至直接停在站外，而不是延後發車。調整模擬中後發列車的行駛速度(時空線的斜率)或許比現行的模擬機制簡單，也更貼近實際情形。	由於本模式是用來分析鐵路系統的實用容量，而非最大容量，所以模擬過程不能更改列車的行駛速度。鐵路系統的實用容量指的是在列車互不干擾的前提下，所能發出的最大班次數，而實際運行時，當列車靠得太近，可能會放慢速度跟車，甚至直接停車，此情況的容量會大於實用容量，也因為如此，當列車發生延誤時，才有餘裕能讓班表復原。
	建議連續路段可靠度分析可進一步探討當列車流量為容量時，列車延滯的情況有多嚴重，是否與旅行時間成一定比例。	後續將嘗試探討是否有類似規則存在。
	由於「獨立路口」在道路交通中有其他意涵，建議改採「橫交路口」較為合適。	遵照辦理。
成功大學土木工程學系李教授宇欣	對輕軌系統而言，有很大的機會瓶頸點都會發生在末端折返站。若此為真，進行輕軌系統容量分析的目的為何？	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 以高雄輕軌和淡海輕軌案例來說，折返站的確是瓶頸點，但若條件改變，瓶頸點也可能會發生在中間車站，例如當列車於末端站交替使用兩股道折返時，中間車站便有可能成為瓶頸點。</li> <li>2. 容量分析之目的在於掌握運能，並進一步找出瓶頸加以改善，本研究案於去(108)年即針對各種潛在容量瓶頸處，發展單一參考點的容量分析模式，而今(109)年度更考慮了路線上下游之影響，發展連續路段容量模式，目的在於提供可以客觀評估軌道容量的分析工具。</li> </ol>

單位/姓名	意見	中興社回應
成功大學 土木工程 學系李教 授宇欣	本研究採用離散事件模擬方法進行分析，簡報 P11 中也做了「列車運行除了在 B 型路權之路口處會受到號誌影響，其餘路段不受公路交通影響」之假設。在此假設下，確實適合採離散事件模擬，然而對輕軌系統而言，不受公路交通影響之假設是否不合適？	公路交通的影響，在本研究中係以路口號誌的影響反映之，因此仍有考量。未來若要探討 C 型路權之容量，則公路其他車輛運行的影響將會是重要因素。
	請說明簡報 P13 中「不緊接在先行列車後面停等紅燈」假設之目的。此假設是否對分析目的有幫助？分析而得的容量代表的意義，是否與進行輕軌容量分析的目的相符？	本研究所要分析的是連續路段輕軌系統的實用容量。所謂實用容量，是在列車互不干擾的前提下所能發出的最大班次數，因此不僅是「不緊接在先行列車後面停等紅燈」的假設，而且續行列車還必須與先行列車保持一定距離，才能避免運行受到影響，而產生非必要的減速與停車。
	號誌時相固定不變之下，時差 (offset) 對容量分析結果是否有影響？若有影響，軟體是否能針對此參數進行設定？	1. 號誌的平移對於容量分析結果並無影響，但會影響列車的從起站至終點站的運轉時間。 2. 未來在容量軟體中，會提供讓使用者輸入號誌與 offset 之介面。
	模擬中延後列車出發，是否會忽略掉原有的延滯時間？如此一來，簡報 P30 提到的「次要延滯」是否也因此消失？	模式中的延滯計算是將列車到達終點的時間減去預計的出發時間後，再和期望的旅行時間相減，因此即便列車延後出發，也不會忽略掉原有的延滯時間。

單位/姓名	意見	中興社回應
成功大學 交通管理 科學系鄭 教授永祥	目前成果皆以軌道系統的角度出發，建議補充從都市運輸系統管理角度，觀察輕軌系統對於現有號誌系統與橫交道路的影響。	據了解，交通局其實比較不希望輕軌系統影響公路交通，因此本研究是反過來探討受到公路端交通影響下的輕軌運能，模式中以路口號誌作為輸入參數，故應用上可評估各種號誌時制下的輕軌容量。 設置輕軌系統後，若路口號誌時制計畫沒有改變，其實對橫交道路沒有影響；若時制計畫必須調整，則可用新的時制計畫進行公路端的相關分析，例如公路容量分析，來分析對橫交道路的影響。
	號誌設計的時候，通常由幾個路口組成一個群組，在分析輸入號誌參數時，號誌周期的設定是否能涵蓋轉向車流對輕軌績效的影響？	1. 號誌時誌的群組，或是不採用優先號誌等，分析時皆可透過軟體提供之介面進行設定。 2. 本模式係將公路號誌換成輕軌運行方向的紅綠燈來計算容量，因此若有轉向車流，即視為輕軌紅燈時段。
	未來是否僅以延滯時間來評估輕軌系統的可靠度？	是，僅探討因排班所導致的延滯。
	請在報告中補充使用指數分配指派列車的原因、設定，以及指數分配的說明。	遵照辦理，未來將於報告中補充相關論述。
	團隊針對淡海輕軌及高雄輕軌所推估的路線容量結果看法為何？理論結果與實際上發車班距的差異，是由什麼原因所造成的？	車隊規模確實是控制實際路線容量的因素之一，若車隊規模能滿足理論值的需求，應能達成路線容量。
高雄市政府捷運工程局施總工程司嫩嫩	關於研究進度說明，輕軌容量分析軟體開發於8月中完成，但鐵道容量手冊編訂於11月中完成，則於10月中辦理教育訓練，9月中辦理成果說明會，時程安排是否適宜？請說明。	先前與運研所工作會議討論後，研究進度調整為：於8月中完成軟體開發，9~10月辦理教育訓練，10月底完成鐵道容量手冊初稿，後續才辦理成果說明會。

單位/姓名	意見	中興社回應
高雄市政府捷運工程局施總工程師司嫩 嫩	簡報 P18、19 中，行經獨立路口之情況一、情況二，所要表述的是否僅為路口距遠端設站之距離？如是，則距離遠近之影響為何，如距離幾公尺到幾公尺（是否設定不同範圍）之影響？經參考後續內容，似係以時間來表達路口之情境。	情況一與情況二之差異在於列車到達路口時是否有遭遇紅燈，情況一為列車停等紅燈；情況二為列車綠燈通過，將於報告中說明清楚。
	簡報 P30 之軌道容量應為一定值，惟圖示平均延滯時間愈長，軌道容量愈大？請說明。	簡報 P30 中的圖，橫軸為列車流量，縱軸為平均延滯時間，隨著列車流量的增加，列車間相互影響的機率也隨之增加，進一步導致的延滯時間上升，而圖示中的平均延滯時間，是模擬多次列車所得的延滯時間之平均值，根據等候理論，此平均延滯時間在達到軌道容量時會趨近於無限大。
	各列車進入系統的時間為何根據指數分配產生？請說明。	可靠度分析要探討列車流量與平均延滯的關係，其中列車流量為平均值，因此模式中不能採用固定的列車間距，而是採用變動的列車間距。若要讓這些變動的列車間距之平均值為期望的列車流量，此時這些間距會符合指數分配，故本研究以指數分配產生各列車進入系統的時間。
	從案例分析初步結果，不論是淡海輕軌或高雄輕軌，連續路段容量分析結果與單一空間參考點容量瓶頸之運轉時隔及路線容量一致或近乎一致，但高雄輕軌往籬仔內單一空間參考點容量瓶頸之運轉時隔及路線容量卻差異極大，其一致或差異大之原因請說明。	在高雄輕軌往籬仔內的案例中，若僅看單一空間參考點之容量，不考慮路線上下游之影響，容量瓶頸處在每個號誌週期內可通過兩列車，而連續路段容量分析發現，雖然瓶頸處在每個號誌週期內可通過兩列車，但受到上下游的影響，最多只能通過一列車，因此容量有所差異。

單位/姓名	意見	中興社回應
高雄市政府捷運工程局施總工程師司嫩	演算流程中「達到指定列車數量」，其意義為何？	因為模擬模式不可能模擬無限的列車，因此須設定一指定列車數量，來讓模式停止模擬。此數值未來在容量軟體中，將由使用者自行設定。
	可靠度分析提到：當列車流量接近容量時，列車平均延滯時間會趨向無窮大。在本研究其顯示之意義為何？請說明。	本研究計算此結果，是為了驗證模式符合等候理論，而此延滯是指排班時因列車與前車距離太近，為了拉大距離延後發車所造成的延滯。
	請說明列車延滯時間之計算所要討論之內容。	本研究所要探討的列車延滯時間為「列車彼此之間跟車過近」所產生的排班延滯。
	所檢附資料，P4 研究進度甘特圖使用鐵道，餘使用軌道一詞。	將統一為鐵道。
	簡報 P37 中，以連續路段往淡水行政中心方向來看，運轉時隔 71.5 秒，幾乎已達專用路權捷運之設計班距，已需採自動控制（按高雄捷運紅、橘線功能規範，號誌與電聯車採 2 min 為設計班距。高雄輕軌系統實際在系統整合測試，9 列車全上場，C1~C14 全長 8.7Km，班距 7.5 min）。	簡報 P37 之分析結果僅為淡海輕軌 A 型路權的部分，且不含紅樹林站，受限於 B 型路權的部分，如簡報 P41，實際上運轉時隔會遠超過 71.5 秒。
臺灣高鐵公司陳協理信雄	模擬模式中，第一列車投入的時間會影響後續模擬情形。這樣的情況下，模擬需要操作幾次來取得平均延滯時間才算收斂？	1. 目前模擬 100 列車後，取中間 60 列車的延滯時間進行平均。 2. 依據經驗，模擬 10 列次後延滯時間就會收斂。
	簡報 p31 中說明平均延滯時間、列車流量與軌道容量之關係，其中軌道容量是指哪種容量？請說明。	其中的軌道容量指的是實用容量，未來於期中報告中將會說明清楚。
	容量分析軟體中，號誌參數的輸入介面是否有保留優先號誌的設定？	在容量分析軟體中新增空間參考點時，便可以設定優先號誌策略。
	優先號誌中的插入綠燈策略，應該有碰到紅燈才需要插入綠燈，建議再對圖示進行修正。	遵照辦理。

單位/姓名	意見	中興社回應
臺灣高鐵公司陳協理信雄	可靠度模擬結果的最後列車流量和流量期望值的差異為何？建議透過案例分析進行檢視。	過去在執行臺鐵容量與可靠度分析研究時，曾私下探討類似議題，發現當期望流量低時，最後列車流量與期望流量兩者大約呈正比關係，但期望流量到了容量上限後，無論期望的列車流量如何提升，模擬結果的最後列車流量會維持在容量上限。
	實際上路口寬度皆有所差異，路口寬度是否對容量有影響？以及是否有將之納入分析參數？	路口寬度確實對容量有所影響，且已納入模式分析，同時也是容量軟體中使用者輸入的參數。
	建議在報告內說明主要延滯與次要延滯的計算方式，以及「平均延滯時間」包含的延滯種類。	主要延滯為列車因故障影響運行所導致的延滯，例如列車故障；而次要延滯則是列車受到其他延滯列車的影響所導致的延滯，而本研究的可靠度模式所要探討的為後者，未來報告中會對相關名詞定義清楚。
本所運計組(書面意見)	簡報 P14 有關 $t_{D,i-1}$ 與 $t_{E,i}$ 建議應標示於橫軸(時間軸)，俾利了解。	遵照辦理。
	簡報 P20、P21 縱軸(空間軸)之各路口，建議可標示順序(例如：路口 1、路口 2、路口 3...)，俾利對應關鍵事件所需延後時間之計算公式推導。	遵照辦理。
	簡報 P22 有關計算排除衝突至少所需延長的時間過程中是否需考慮紅燈時相長度，亦即例如於路口 2，是否有可能紅燈太短，造成安全時距 $t_{e,c}$ 不夠 35 秒之情形。	在計算排除衝突所需延長時間的過程中，僅考慮列車行經路口停等紅燈的時間，而不會考慮整個紅燈時相長度。若紅燈太短，導致列車即便停等紅燈後仍無法排除衝突，則會再啟動一次計算排除衝突所需延長時間的機制。
	有關 $t_{e,c}$ :排除衝突至少所需延長的時間於各種情境是如何算出，及其一般式係如何推導出來，建議可補充說明。	遵照辦理，將於期中報告內補充說明。

單位/姓名	意見	中興社回應
本所運計組(書面意見)	簡報 P43 有關往籬仔內方向之連續路段容量與單一空間參考點容量瓶頸之分析結果為何不同，請補充說明。	因為單一空間參考點的容量分析並不考慮路線上下游之影響，所以求得的容量較高；而連續路段容量分析考慮路線上下游之影響後，可發現整條路線之容量會比只考慮單一空間參考點時還低。
	有關臺灣鐵道容量手冊中 railway 與 rail 之中英文名詞用法，建議仍沿用已出版之臺灣鐵道容量手冊，採用「鐵道 railway」。	遵照辦理。

## 八、座談會討論議題結論

### (一) 列車延滯時間之計算

後續研究將嘗試以下方法：首先模擬僅一列車於隨機的時間點進入系統的情況，計算其總旅行時間，進行多次模擬後，取最短的總旅行時間作為基準。接著進行可靠度模擬分析，將每列車的總旅行時間減去上述之最短的總旅行時間，來計算列車的延滯時間。

### (二) 容量軟體之中英文名稱

輕軌容量系統分析軟體縮寫改為 LRTCS，至於傳統暨區域鐵路系統容量分析軟體以及都會捷運系統容量分析軟體之中英文名稱，待未來軟體有進行改版再行討論。

### (三) 臺灣鐵道容量手冊之中英文名詞

沿用已出版之臺灣鐵道容量手冊，採用「鐵道 railway」。

## 九、散會



## 附錄 D 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
高雄市 政府捷 運工程 局施總 工程司 嫩嫩	P2-6 數學符號置於表 2.3 之準則為何？P3-1 式中， $S_s$ =最短安全距離，但表 2.3 彙整表未納入；又 P3-1 式中 $v_i$ =列車到達空間參考點前的巡航速度，與 P2-8 不一致；P4-7 $t_d$ 、 $\beta$ 等未列於表 2.3，建請全面檢核。	目前表 2.3 僅整理第二章所提公式之數學符號，期末報告將會依審查意見統一所有數學符號，並整理於附錄之中。	已於期末報告中回應處理
	P3-1 $t_r$ =司機員與煞車系統反應時間，預設為 3 秒，請說明此預設值的參考或依據。	有關司機員與煞車系統反應時間之設定，改於案例分析一節中說明之。	已於期末報告中回應處理
	P4-4 本研究模式目的在於求取「實用容量」，也就是「時刻表容量」，而非「最大容量」，研究成果值供各地方規劃、推動輕軌，掌握排班時刻表需求，符合運研所合作研究計畫第 2 類之研究主題與重點一、計畫背景與目的(一)4、施政關聯性、配合性及前後連貫的整體性。另「4.3 假設條件」經檢視均符合現行營運中高雄環狀輕軌 C1~C14 營運模式。	感謝審查委員之肯定。	--
	P5-1 第 1 段第 2 行，“在等候系統 (Queuing System) 中”重複，請刪除其中一句。	遵照辦理。	已於期末報告中回應處理
	P5-2 第 2 段，兩者的關係曲線如圖 5-3 所示，圖 5-3 誤植，應為圖 5-2，請修正。	遵照辦理。	已於期末報告中回應處理
	P7-2 表 7.1 輕軌容量分析軟體功能需求列表，功能說明欄內「以專案檔儲存參數設定」，期中階段是否完成「X」，是否將於期末階段完成，建議補充說明。	相關功能已於 8 月底完成，期末報告中也會補充說明專案儲存功能。	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
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。	--
	P1-3 有關本研究之研究範圍僅揭示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「鐵道行車設備的最大輸送能力」，並無述及「車輛條件」，且「運轉條件」亦未能充分代表列車的所有控制狀況，建議應再釐清研究範圍之論述。另 P1-4 有關本研究之研究對象建議亦應配合報告內容一併釐清敘明。	根據臺灣鐵道容量手冊基礎篇，「車輛條件」歸類在「交通條件」中，而「運轉條件」為誤植，將修正為「控制條件」，並依路線條件、交通條件和控制條件來敘明研究對象。	同意承辦單位之處 理情形
	P2-1 之圖 2-1 與簡報 P12 之列車運行圖，關於行車輸送條件若只看最小運轉時隔(Headway)，是否可合理描述容量之研究對象，建議應補充說明。	在 A 型路權中，輕軌容量可只看最小運轉時隔，但在 B 型路權中，受到路口號誌影響，使得輕軌容量必須要看平均運轉時隔，將在期末報告中補充說明。	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
南台科技大學行銷與流通管理系李教授治綱	<p>P3-1(3.1)式係反映所有列車之最短安全時距，但其係如何落實到描述輕軌的系統特性及前後列車之安全時距上？其可否保證輕軌列車之駕駛人是保持安全時距？另為免受質疑，不宜建議 <math>t_r</math> 預設值 3 秒，且相關內容亦應於容量分析中釐清說明。另因最小間距(容量的倒數)與 <math>v_i</math> 具有函數關係，故建議進行容量分析應可針對二者進行敏感度分析並可列為教案。而(3.1)式應是等加速運動公式，但實際列車運動應不完全是等加速運動，爰建議可蒐集高雄輕軌的時空圖案例做測試驗證，並適度就公式的假設補充說明。</p>	<p>由於輕軌系統沒有任何閉塞號誌系統，因此確實沒有辦法確保前後列車保持安全時距，但在計算容量時，仍期望列車能保持互不影響的間距。</p> <p>有關 <math>t_r</math> 參數，依評審建議不設定預設值，並於案例分析中說明該參數之設定參考依據。</p> <p>對於最小間距與 <math>v_i</math> 之敏感度分析，已於去年的研究中探討過，由於 B 型路權輕軌之容量主要受到路口號誌影響，<math>v_i</math> 之變化無法對最小間距造成影響。</p> <p>最後(3.1)式係針對去年模式進行修正後的結果，其中有關等加速運動之假設已說明於去年報告之中。</p>	<p>同意承辦單位之處 理情形</p>
	<p>P4-4 有關「實用容量」、「最大容量」等專有名詞，建議搭配 P5-2 之「時刻表容量」補充其定義說明。</p>	<p>報告中所使用之「實用容量」、「最大容量」和「時刻表容量」等專有名詞，皆來自鐵道容量手冊，統一將其定義說明於第四章中，並補上引用文獻。</p>	<p>已於期末 報告中回 應處理</p>
	<p>進行容量模擬分析必須檢視列車的衝擊波(Shock Wave)，並在 Steady State 才可得到最小間距結果，相關之概念建議應可列入報告中補充論述。</p>	<p>本研究係採用離散事件模擬，並非連續時間模擬，且一旦列車發生衝突，便會往前搜尋關鍵事件來調整列車離開時間，因此模擬過程中不會產生衝擊波，但模擬一段時間後，系統仍會達到 Steady State 的狀態，以求得平均運轉時隔。</p>	<p>同意承辦 單位之處 理情形</p>

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	<p>P5-5 於可靠度分析模式之步驟需先計算不受干擾的「基準旅行時間」，但因輕軌列車會通過橫交號誌化路口，到達路口時將會有各種不同運行型態，應以那一種運行時間作為基準？另列車通過號誌化路口時是否有加速通過或煞車停等紅燈之進退兩難情況，故如何充分反映駕駛人的行為，建議應考量。</p>	<p>有關基準旅行時間之決定係根據 6 月 18 日學者專家座談會的討論結果，模擬僅一列車於隨機的時點進入系統的情況，計算其總旅行時間，進行多次模擬後，取最短的總旅行時間作為基準。另外，實務上輕軌司機員在列車通過路口前的「煞車決定點(D 點)」標誌時，便要根據輕軌專用的燈號決定通過還是煞車，因此輕軌不會和汽車駕駛一樣有兩難情況。</p>	<p>同意承辦單位之處 理情形</p>
行銷與 流通管 理系李 教授治 綱	<p>本研究之模擬模式係依據指數分配決定各列車進入系統型態，但因鐵路列車是以時刻表控制營運的行車系統，故若以指數分配隨機發車是否會造成模式構建問題？且營運過程會面臨各種隨機狀況，本研究應如何處理各項隨機問題，建議應補充說明。</p>	<p>本研究所要探討的課題是在一期望列車流量下進行排班作業時，列車相互干擾所產生的平均延滯時間，故以指數分配來決定各列車何時進入系統較為合適。</p> <p>另外有關營運的各種隨機狀況，本研究是在模式中加計運轉寬裕時間，來涵蓋大部分的運轉隨機情況，補充說明於 4.4 節。</p>	<p>已於期末 報告中回 應處理</p>
	<p>進行容量分析必須檢視容量、營運速度、Delay，建議後續之實證分析應就重要因素對容量進行敏感度分析，另建議針對道路號誌設計之 green speed 及 offset 對輕軌容量影響進行敏感度分析，將會有利於後續應用。</p>	<p>後續將嘗試探討各項重要因素對容量的敏感度分析，並於期末報告中說明。</p>	<p>已於期末 報告中回 應處理</p>

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
成功大 學土木 工程學 系李教 授宇欣	本研究係假設列車之開出是定速，惟是否與真實狀況相符，鑑於其會對研究結果產生重大影響，建議應針對其假設之優缺點妥予補充相關說明。	雖然列車實際運行時，須根據當下狀況改變行駛速率，但進行容量分析時，的在求取列車排班作業所能安排的最大列車數，而排班作業時並不會任意更動列車的運轉時間，亦即不會任意調整其行駛速率，因此本模式之假設符合實務狀況。	同意承辦單位之處 理情形
	CH5 建議可補充說明可靠度之定義，因其關鍵仍在於隨機因素，但本研究之隨機僅在於發車部分，與一般預期到站時間為隨機之可靠度不同，建議應補充說明。另有關優先號誌的問題，其是否需將雙向之輕軌列車一起考慮，應補充說明。	可靠度模式中係以指數分配隨機決定列車進入系統的時間，即列車於路線第一站的到站時間，補充說明於 5.3.2 節。此外，本模式僅針對一個方向進行分析，沒有同時考慮雙向列車，補充說明於 4.3 節。	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
成功大學土木工程學系李教授宇欣	本研究第五章之分析將與等候理論連結，但其與傳統等候理論之定義及基本假設皆不太一樣，建議應謹慎處理。	等候理論是描述顧客或被服務者進入並使用某一系統之排隊情形的數學理論，應用非常廣泛。基本上，列車運轉相當於列車使用軌道及停靠車站的排隊過程，因此可視為廣義的等候系統。在等候理論中，著名的 Little' s Law 說明若系統存在穩定狀態，則隨著到達率逐漸趨近於服務率（相當於路線容量），平均等候時間將趨近於無窮大。Joern Paul 所著的「Railway Operation and Control」指出，當列車流量趨近於路線容量時，列車的延滯將急遽增加而趨近於無窮大，而根據本研究的模擬結果，也顯示出相同的平均等候時間曲線。	同意承辦單位之處 理情形
	有關鐵路排班作業時常使用 non-steady state 與 steady state 之技術處理尖峰之排班，但於分析班表容量時是否適合一起考慮上述技術，建議考量。	本研究計算的時刻表容量是根據排點的規則，求解單位時間內所能安排的最大列車數，亦即為尖峰穩定狀態下的最大車流量，故不會讓尖峰時間過飽和而讓離峰時間來進行運轉整理。	同意承辦單位之處 理情形
	有關本研究開發之軟體，建議考慮提供使用者做不同情境比較的功能。	待後續完成軟體之檔案管理相關功能後，使用者便可建立不同情境之專案來進行分析並比較結果。	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
成功大學交通管理科學系鄭教授永祥	LRT 與其他系統最大之不同在於必須處理橫向交通號誌之影響，故本研究是否可處理輕軌列車續進數個路口之問題，但因同時會對橫向交通產生影響，故如何兼顧輕軌容量與道路服務水準，建議本研究可探討說明。	本模式可以處理輕軌列車連續行經數個路口之問題，亦開發相關軟體協助分析輕軌容量。若要兼顧輕軌容量與道路服務水準，本研究建議以路口號誌時制作為輕軌與公路端之介面，協調出兩者皆能接受的時制設計，將於期末報告中補充說明。	已於期末報告中回應處理
	有關優先號誌策略有縮短紅燈、延長綠燈與插入綠燈，其中延長綠燈與插入綠燈二者有何差別，建議補充說明。	延長綠燈與插入綠燈二者的差別在於使用時機，當路口號誌沒有設計給輕軌通過的時相時，便無法使用延長綠燈策略，只能採取插入綠燈策略，補充說明於 4.4.4 節。	已於期末報告中回應處理
	號誌路口是否考慮行人號誌、黃燈、全紅時間，其參數係如何設定，是否對輕軌容量產生影響，建議可補充說明。	除了輕軌可通過的綠燈之外，其他對輕軌列車來說都算紅燈，補充說明於 4.3 節。	已於期末報告中回應處理
	有關本研究之寬裕係數為何設定為 0.3，建議應補充說明。	有關寬裕係數的設定，本研究沒有深入探討，僅根據臺灣鐵道容量手冊之建議，採用較為保守的數值，將在案例的參數設定中補充說明。	已於期末報告中回應處理
交通部鐵道局營運管理組施副組長文雄	有關實務之輕軌系統常有 C 型路權、折返站、分歧站等各種布設型態，其亦會對整體輕軌系統之容量產生不同之影響，建議未來應有系統性之研究考量。	遵照評審意見，將相關議題列於期末報告的後續研究建議之中。	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
交通部 鐵道局 營運監 理組施 副組長 文雄	有關基隆 LRT 計畫完成後是否能達到原來臺鐵的速度及密集班次效率，再加上出基隆車站之市區輕軌只有一軌可布設，且後續路段又分出 2 條路線，故整體基隆輕軌之營運效率堪慮，後續應針對其容量瓶頸問題妥予分析處理，才能符合民眾的需求。	據了解，目前基隆輕軌規劃從南港展覽館至基隆後，會再延伸至旅運智慧大樓，其中基隆-旅運智慧大樓間為單線運轉，此處可利用去年度發展的單線區間輕軌容量模式，來探討容量瓶頸問題。	同意承辦單位之處 理情形
	本研究後續之教育訓練，建議應可加入各種實務問題案例解決之分析，尤其各種參數之敏感度分析，以符合各界對於輕軌布設之需求。	遵照辦理。	已於期末 報告中回 應處理
	有關 C 型路權輕軌之研究，建議應儘早因應辦理。	遵照評審意見，期末報告會將 C 型路權輕軌容量研究列於後續研究建議中。	已於期末 報告中回 應處理
高雄市 政府交 通局 (書面 意見)	報告書第五章連續路段可靠度分析模式，請於章節前言補充說明「連續路段可靠度」定義，以利了解其與「等候理論與列車延滯」關聯性。	遵照辦理。	已於期末 報告中回 應處理
	提供高雄輕軌目前(第一階段)及未來(第二階段)輕軌運作邏輯內容，俾利後續進行容量分析時，可依邏輯內容檢視相關條件及參數等設定。	若後續高雄市政府交通局可提供高雄輕軌第二階段輕軌運作邏輯內容以及相關參數資料，且研究時程足夠的前提下，本研究可進行相關容量分析。	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 (書面 意見)	<p>有關第一階段輕軌，從 C1 站至 C14 站間，沿線與輕軌有相交路口之號誌邏輯係採用紅燈截斷、綠燈延長及插入輕軌時相方式運作，當輕軌列車抵達共用時相前後採紅燈截斷、綠燈延長優先策略，無設計共用時相情況下採插入時相策略；另一階輕軌未設置降級運轉策略，當 IPC 故障無法執行優先策略時，輕軌列車當下需停等於路段中無法通過路口，惟義交於現場指揮方可通過。另依目前實際運作狀況，其優先策略可減少輕軌列車停等時間有效提升載運量並降低列車耗電量，惟執行輕軌插入時相時，路段連鎖易遭受破壞造成用路人多次停等；另由於輕軌優先策略關係影響下，當員警於路口手動控燈結束後往往易造成無法執行優先策略。</p>	<p>本模式正如審查意見所述的方式來考量優先號誌策略的運作。至於在插入時相策略方面，模式中有考量橫交路口最短綠燈、一個號誌週期內可插入的數量，以及不變更號誌週期時間長度，盡量不要因優先號誌而破壞原有號誌連鎖或續進的機制。</p>	<p>同意承辦單位之處 理情形</p>
	<p>另有關第二階段輕軌(目前尚未通車營運)，從 C14 站至 C32 站間，未來該段沿線皆設有輕軌共用時相，運作邏輯採用紅燈截斷、綠燈延長方式運作，當輕軌列車抵達共用時相前後採紅燈截斷、綠燈延長優先策略；另為避免列車因輕軌設備故障而無法運作，遂二階輕軌設置降級運轉策略，當輕軌設備故障無法執行優先策略時，輕軌列車可藉由降級運轉透過控制器輸出輕軌燈號通過路口，降低停駛於路段之風險。</p>	<p>本研究有考量紅燈截斷、綠燈延長等優先號誌策略，但容量分析是在評估系統於正常營運條件下所能提供的運能，因此不考量降級運轉的情況。</p>	<p>同意承辦單位之處 理情形</p>

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)	緒論：P1-1 有關研究緣起部分，其中述及「…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。」，相關內容與當時之實際狀況不符，建議調整，以免造成主辦單位之困擾。	遵照辦理，將於後續報告中刪除相關內容，避免帶給主辦單位困擾。	已於期末報告中回應處理
	P3-4 有關式(3.4)等號右邊第 1 項 $t_v$ ，應其是以巡航速度運轉的時間，與其應為啟動加速之定義似有不符，請檢核其合理性。	經檢視，式(3.4)中 $t_v$ 確實為以巡航速度運轉的時間，並無啟動加速之定義。	已於期末報告中回應處理
	P3-5 最後 1 行述及公式(2.2)，其作法是隱含將路口號誌週期時間納入寬裕時間的計算，惟其是如何計算認定，建議應於報告中補充說明。	公式(2.1)顯示公式(2.2)中的 $T_s$ 含有號誌週期時間，亦即計算寬裕時間時也將號誌週期時間納入計算，將於報告中補充說明。	已於期末報告中回應處理
	P4-2 本研究採用離散事件導向的系統模擬方法來模擬列車從起點運行到終點的運轉過程，模式中包括兩種事件：進入事件與離開事件，惟係考量哪種事件模擬列車，建議應統一。	列車從路線起點至終點，是由一連串進入事件與離開事件交錯組成，因此模擬時，兩種事件皆須考量。	已於期末報告中回應處理
	P4-9 圖 4-8 中之列車運行路徑應於遇到橫交路口之紅燈需停等 $t_w$ 後再離站，且 $t_{D,i}$ 是否應為 $t_{E,i}$ ，請重新檢核其正確性。	圖 4-8 中， $t_{D,i}$ 和 $t_{E,i}$ 為同一點，將於圖中補充之。	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
本所運 計組 (書面 意見)	P4-10 有關「4.遠端設站」小節內容，是否應著重在遠端設站之「進入事件」，亦即圖 4-11 是否應對照表 4.1 之檢核項目，檢視先行與續行列車是否停等紅燈，故圖 4-11 應為針對進入路口是否遇紅燈之 2 種情況進行分析，再分析續行列車需延後多少時間，請考量。另圖 4-11(b)之先行列車係為遠端設站之停站，其停車時間似過長，請檢核。	經研析，只需根據先行列車離開車站時的狀況，便可判定續行列車需延後多少時間才能通過檢核，因此，不再檢視先行與續行列車是否停等紅燈。至於圖 4-11(b)，將依審查意見調整為合適的停車時間。	已於期末 報告中回 應處理
	P6-3 有關表 6.2 中部分空間參考點之上、下行間距差異很大(如：沙崙路-新市五路路口與崁頂站)，請補充說明。	空間參考點之間距係根據列車停等位置來計算，而列車必須於進入路口前停等紅燈，因此上、下行會有差異，以沙崙路-新市五路路口與崁頂站為例，從沙崙路-新市五路路口往崁頂站時，列車從路口前的停等紅燈處出發，要通過路口後才會到達車站；而從崁頂站往沙崙路-新市五路路口時，列車從車站出發，在通過路口前就會先到達停等紅燈處，此情況下，上、下行的空間參考點間距相差約一個路口寬。	同意承辦 單位之處 理情形
	P6-6 有關「6.1.2 單一空間參考點容量模式調整前後比較」內容，述及其中在 B 型路權的部分差異較大，主要原因係為其運轉寬裕的計算方式改變，建議補充相關改變之內容為何。	相關改變內容說明於 3.2 節。	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
本所運 計組 (書面 意見)	P6-9、P6-23 圖 6-2 建議補充說明時差之設定方式，及不同時差對運轉時隔及平均旅行時間影響之意涵，且建議將「時差」改為「路口號誌時差」，以免混淆。另建議敘明亂數產生的方式與上下限範圍。	遵照辦理。	已於期末報告中回應處理
	P6-19 表 6.17 有關高雄輕軌號誌參數之「可插入綠燈時相數」，是否有如 P4-18 所述之插入綠燈策略，有針對一個號誌週期內能插入綠燈時相的總數量限制。另有關表中插入綠燈時相數超過 1 個的意涵為何？建議可於報告中補充說明。	表 6.17 之「可插入綠燈時相數」即為 P4-18 所述，用來限制一個號誌週期內能插入綠燈時相的總數量。若表中插入綠燈時相數超過 1 個，表示該號誌在一個週期內可插入超過 1 個輕軌綠燈時相，但兩個輕軌綠燈時相之間，仍要保持足夠的橫交路口最短綠燈。	已於期末報告中回應處理
	P7-2 表 7.1 有關「參數輸入與管理」及「自訂偏好設定」之專案檔儲存是否於期末階段完成，建議於報告中補充說明。	相關功能已於 8 月底完成，期末報告中也會補充說明專案儲存功能。	已於期末報告中回應處理
	P7-9 圖 7-5 中「基準點」之意涵為何，建議於報告中補充說明。	已於 7.3.1 節中補充基準點的說明。	已於期末報告中回應處理
	P7-15 圖 7-12 中之連續路段容量為 15.35 列車/小時，與可靠度分析之容量值約為 24 列車/小時不一致，建議檢核修正或說明。	圖 7-12 誤植為介面開發過程中的畫面截圖，已修正為正確的圖片。	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
	P7-21 第 1 點為何利用 7.4.1 節中的方法，點選空間參考點按鈕進行編輯，無法全盤檢視路網中的所有號誌？建議於報告中補充說明。	軟體提供兩種進行號誌設定的方式： 1. 點選空間參考點按鈕後，設定該空間參考點之號誌設定 2. 於主畫面「路口號誌設定」分頁中進行設定 相關說明已補充於修訂報告中。	已於期末報告中回應處理
	有關本計畫後續之教育訓練預計辦理 3 場，建議北、中、南三區可分別選定新北市、臺中市、高雄市政府辦理，至於辦理地點請再協調各市政府相關局處規劃辦理事宜。	遵照辦理。	已於期末報告中回應處理
主席結 論	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，做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(2/2) -A、B型路權容量及可靠度分析

### 期中審查簡報

簡報人：黃笙玳 研究員

## 簡報大綱



計畫背景概述



連續路段輕軌容量分析模式



連續路段輕軌可靠度分析模式



案例分析



輕軌容量分析軟體



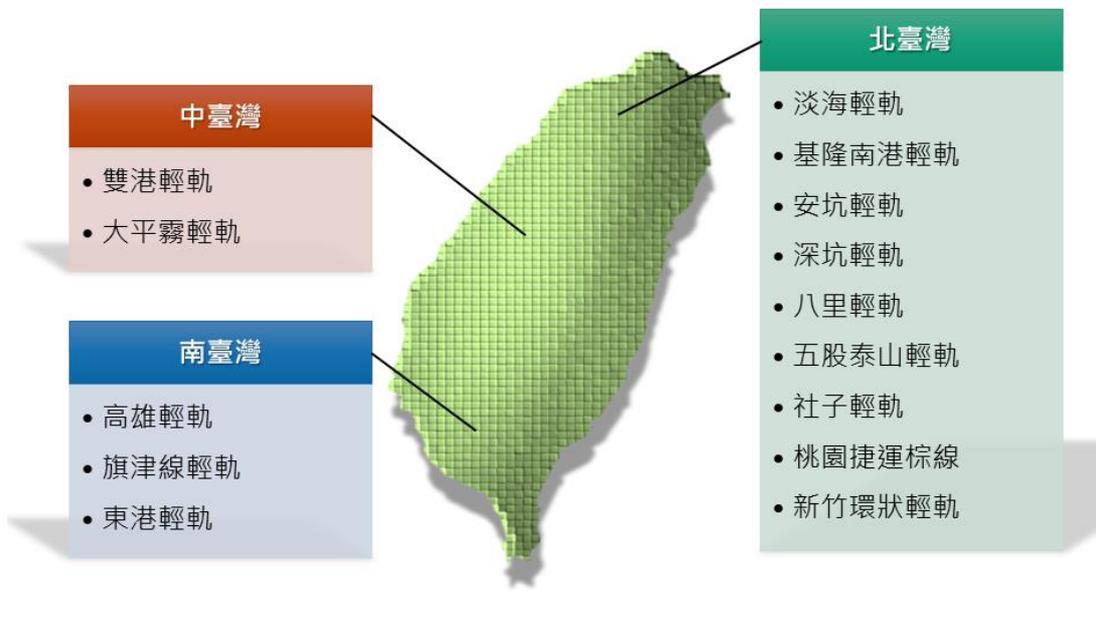
後續研究方向

# 計畫背景概述



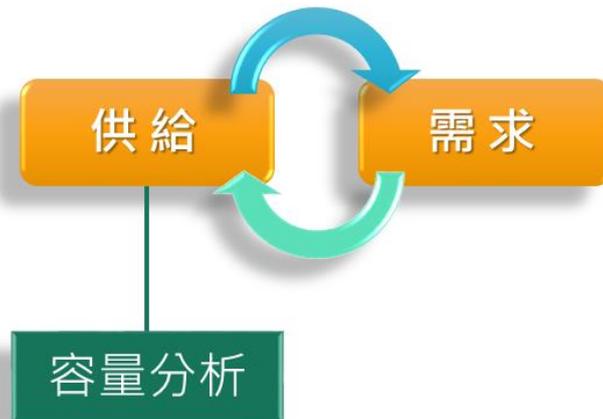
## 研究緣起

- 國內致力推動輕軌運輸系統



## 研究緣起

- 交通建設無論在規劃、興建或營運階段皆須掌握系統供需情況



## 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

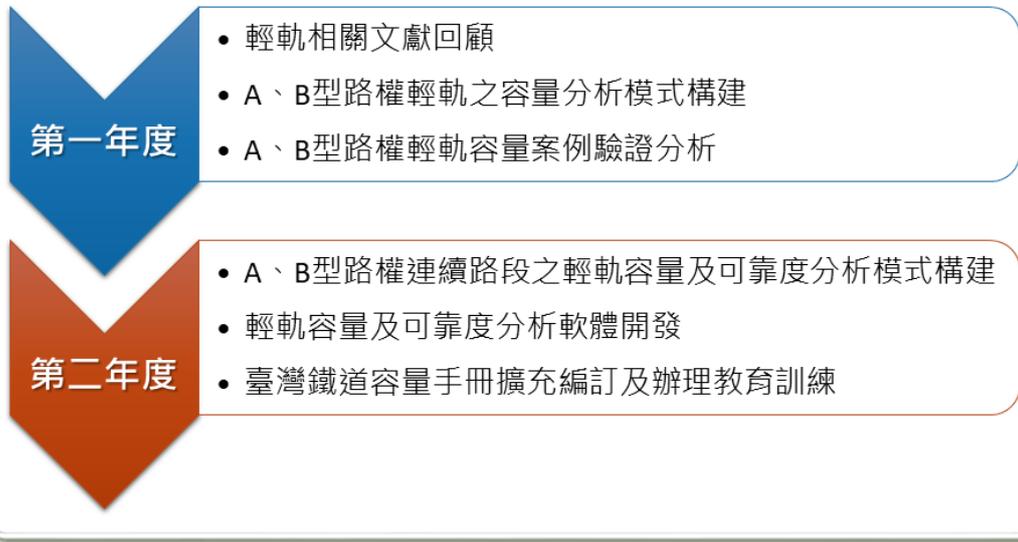
輕軌運輸系統

### 研究目的

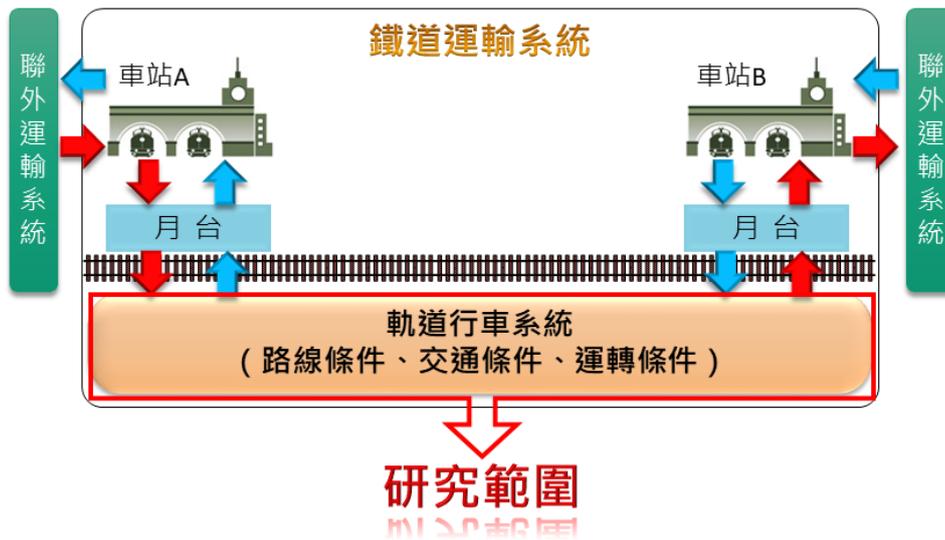
- 完備國內的鐵道容量分析技術
- 持續推廣容量研究成果

# 全程計畫概要

## 輕軌系統容量分析暨應用研究



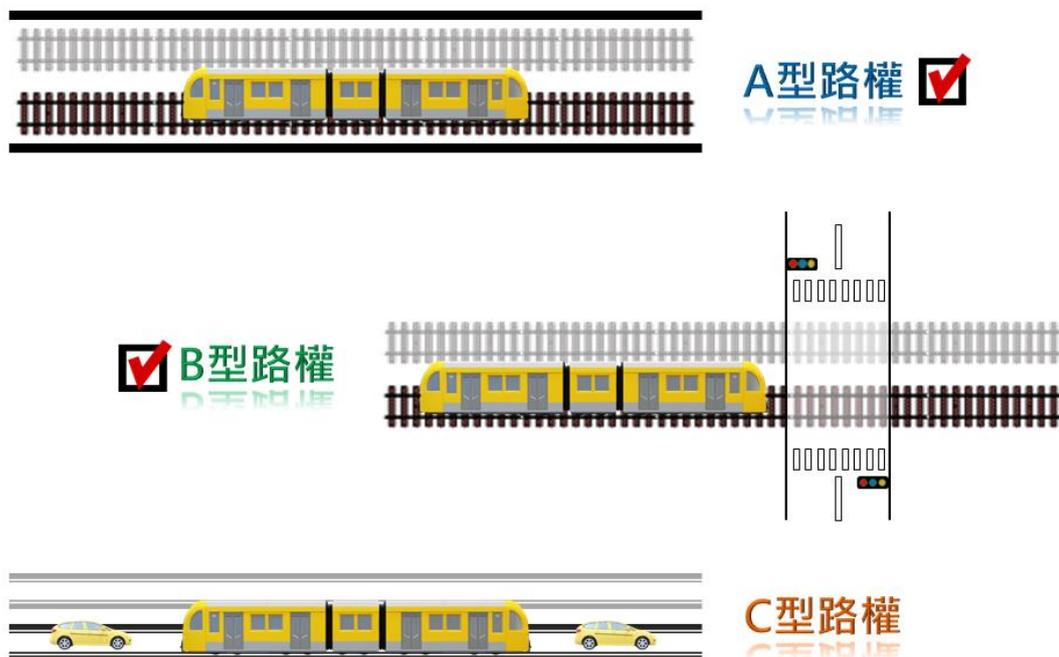
# 研究範圍



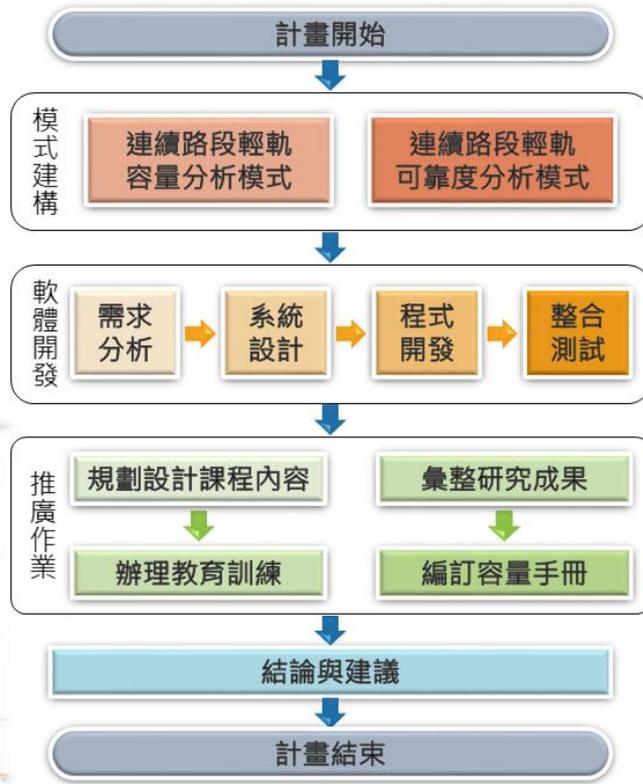
# 研究對象



# 研究範圍



# 研究流程



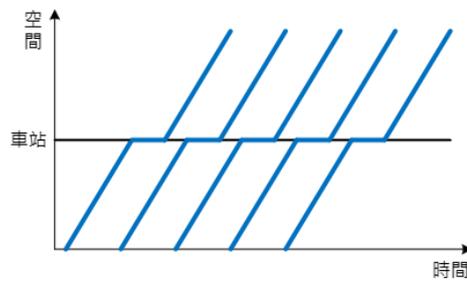
## 連續路段輕軌容量分析模式



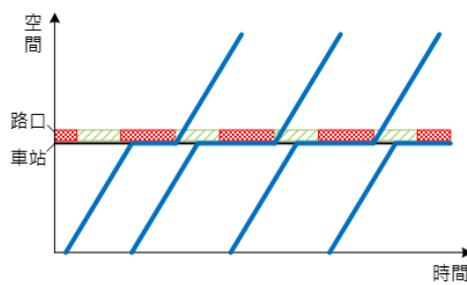
## A、B型路權輕軌容量之定義

- 單一空間參考點

- A型路權



- B型路權

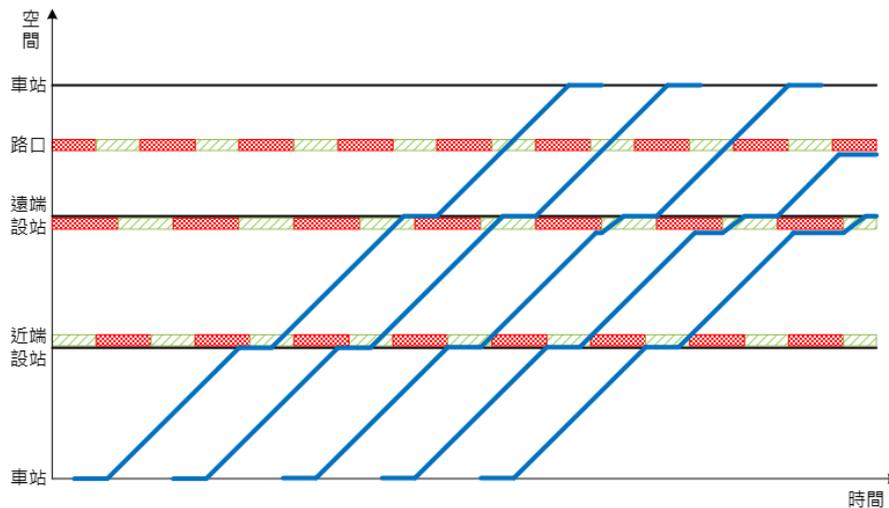


12

## A、B型路權輕軌容量之定義

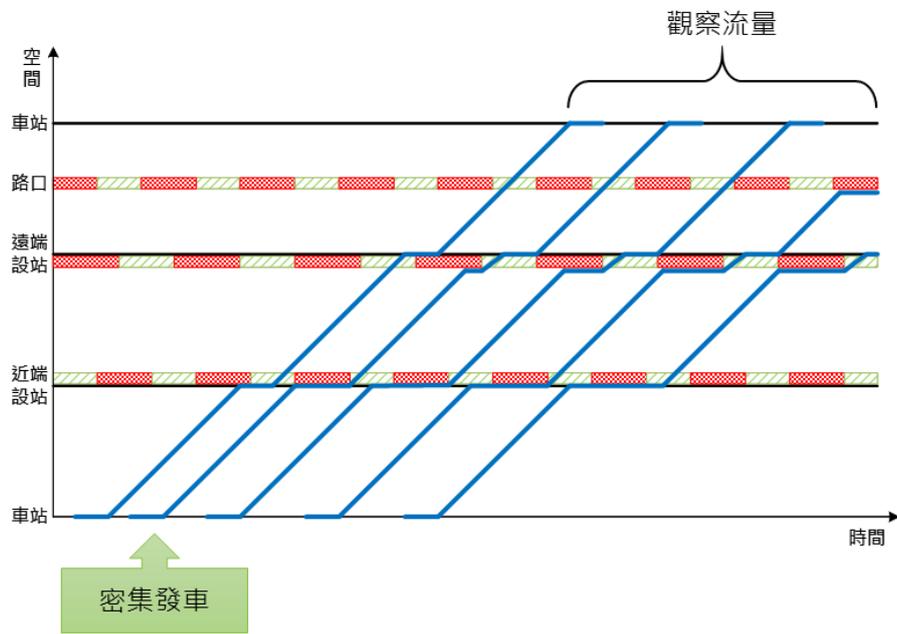
- 連續路段

- 列車運行不受先行列車影響



13

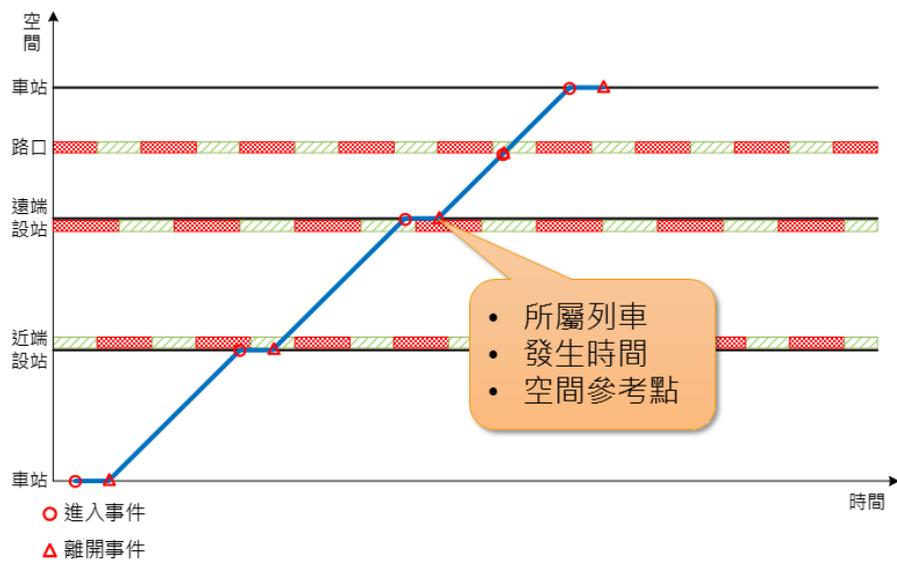
# 基本概念



14

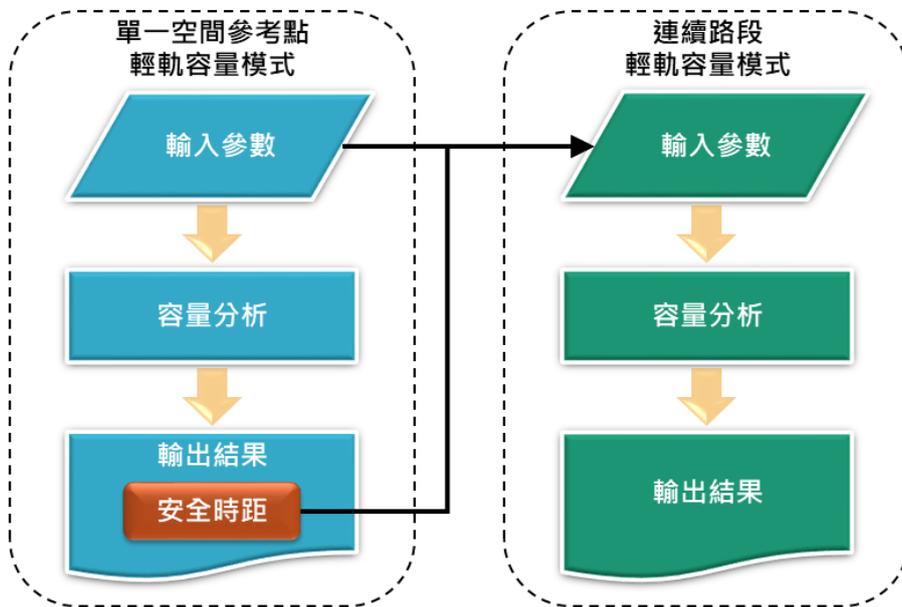
# 基本概念

- 採用離散事件模擬方法



15

## 整體架構



16

## 前提假設

遵守單一空間參考點容量模式的假設

連續路段範圍為不含兩端折返站之中間的所有空間參考點

列車均行經整個連續路段，採複線運轉

以路口號誌反映B型路權橫交路口的交通影響

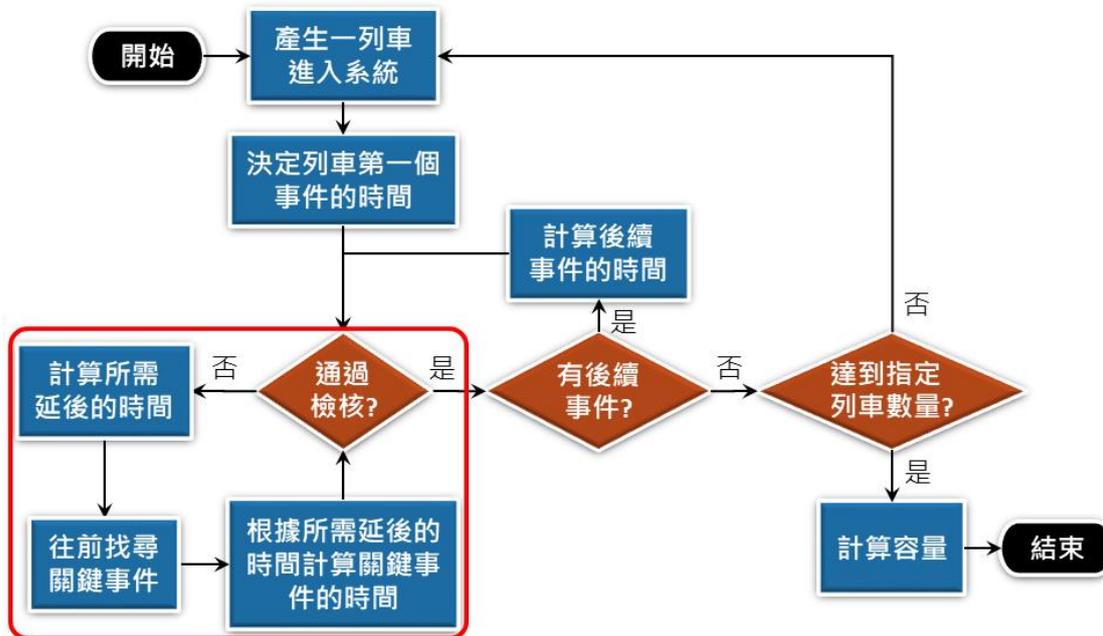
車站於上下行方向各僅有一股軌道，每股軌道僅供一列車停靠

列車採用每站皆停的營運模式，沒有追越待避的行為

使用性能完全相同或相近之列車

17

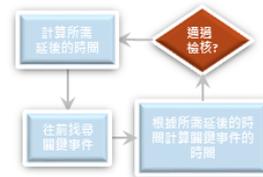
# 演算流程



18

# 檢核內容

- 停站時間是否足夠
- 路口號誌為綠燈時才可通過
- 不緊接在先行列車後面停等紅燈
- 與先行列車保持足夠的安全時距

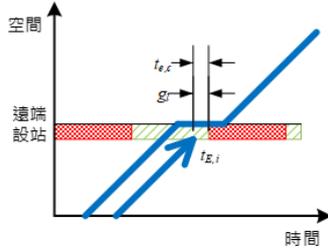
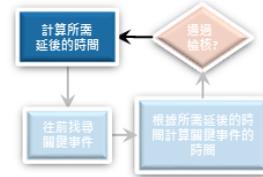


空間參考點型式	事件類型	檢核項目
中間站	進入事件	• 與先行列車是否保持足夠的安全時距
	離開事件	• 停站時間是否足夠
橫交路口	進入事件	• 與先行列車是否保持足夠的安全時距
	離開事件	• 路口號誌是否為綠燈
近端設站	進入事件	• 與先行列車是否保持足夠的安全時距
	離開事件	• 停站時間是否足夠 • 路口號誌是否為綠燈
遠端設站	進入事件	• 是否緊接在先行列車後面停等紅燈 • 與先行列車是否保持足夠的安全時距
	離開事件	• 停站時間是否足夠

19

# 計算所需延後時間

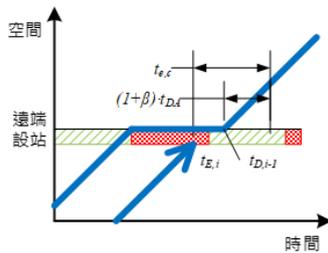
- 依空間參考點型式不同而異
  - 以遠端設站為例
    - 進入事件



$$t_{e,c} = g_l$$

$t_{e,c}$  : 通過檢核至少需延後的時間

$g_l$  : 列車到達路口時，剩餘的綠燈時間



$$t_{e,c} = t_{D,i-1} + (1 + \beta)t_{DA} - t_{E,i}$$

$t_{D,i-1}$  : 第*i*-1列車離開空間參考點的時間

$\beta$  : 運轉寬裕時間係數

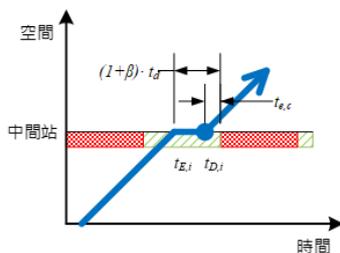
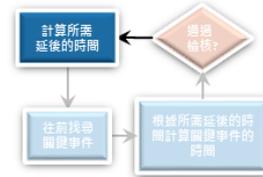
$t_{DA}$  : 先行列車離開車站至續行列車到達車站所須保持的最小時間間隔

$t_{E,i}$  : 第*i*列車進入空間參考點的時間

20

# 計算所需延後時間

- 依空間參考點型式不同而異
  - 以遠端設站為例
    - 離開事件



$$t_{e,c} = t_{E,i} + (1 + \beta)t_d - t_{D,i}$$

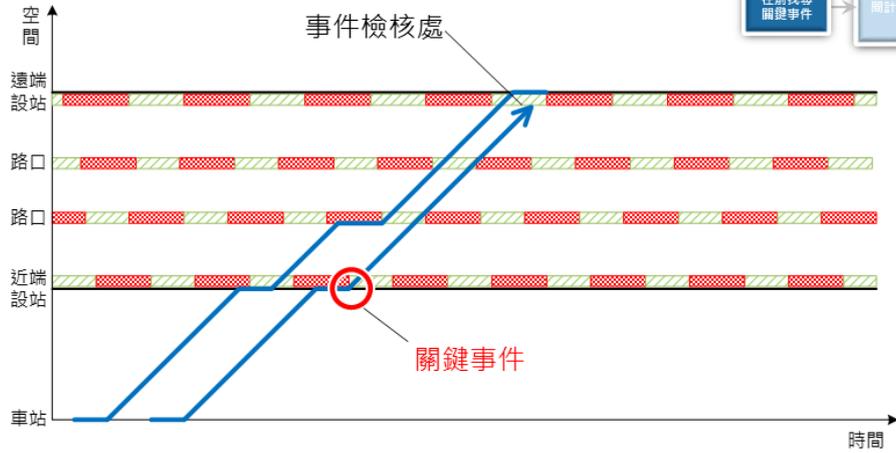
$t_d$  : 列車的停站時間

$t_{D,i}$  : 第*i*列車離開空間參考點的時間

21

# 找尋關鍵事件

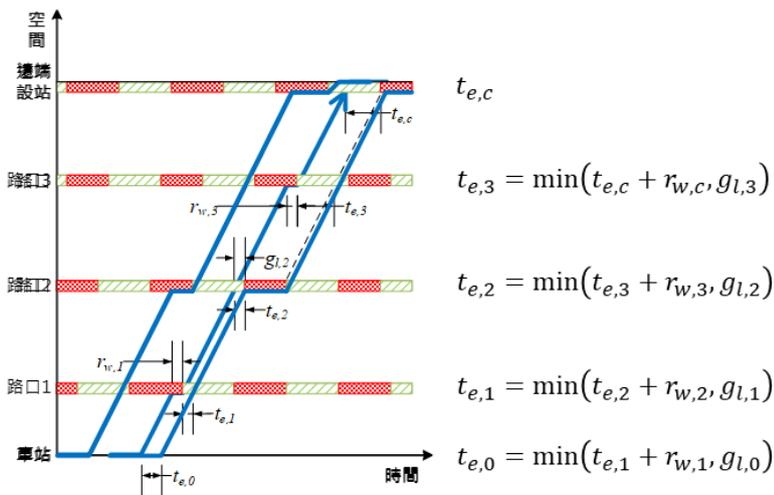
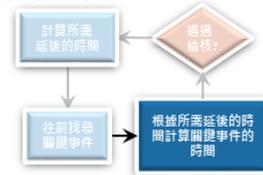
- 關鍵事件：前一個離開車站的事件



22

# 計算關鍵事件的所需延後時間

- 一般式  $t_{e,i} = \min(t_{e,i+1} + r_{w,i+1}, g_{l,i}) \quad i \in \{0,1,2, \dots, c\}$
- 從事件檢核處疊代計算求取關鍵事件的延後時間



$$t_{e,c}$$

$$t_{e,3} = \min(t_{e,c} + r_{w,c}, g_{l,3})$$

$$t_{e,2} = \min(t_{e,3} + r_{w,3}, g_{l,2})$$

$$t_{e,1} = \min(t_{e,2} + r_{w,2}, g_{l,1})$$

$$t_{e,0} = \min(t_{e,1} + r_{w,1}, g_{l,0})$$

23

# 考量優先號誌

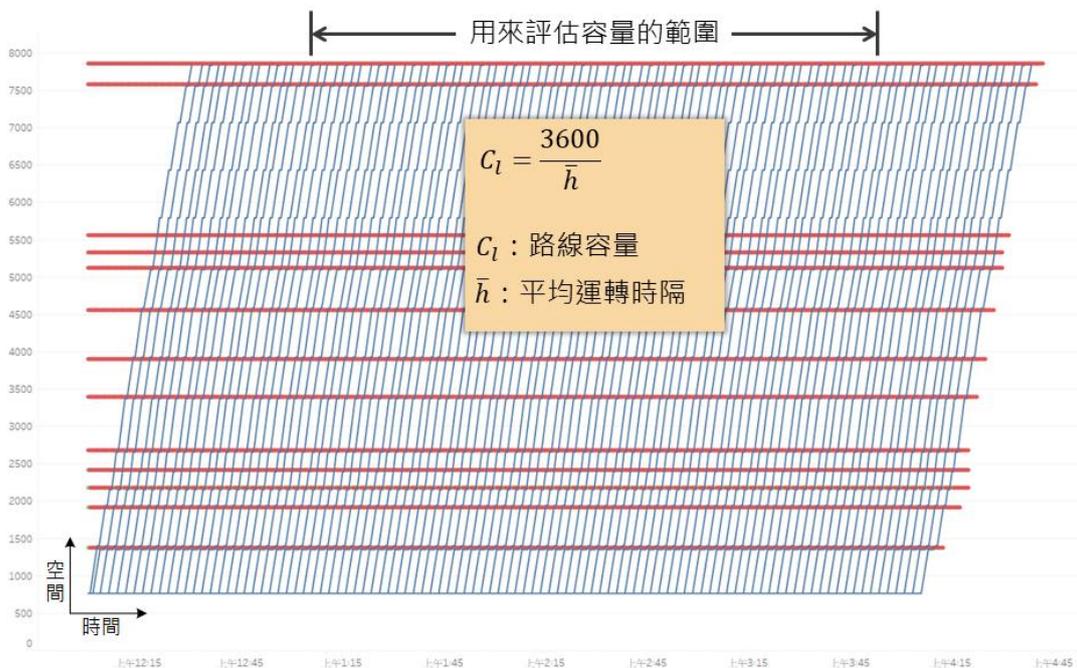
不改變原號誌週期長度 ( 符合文獻和實務作法 )

啟用優先號誌需符合以下限制

優先號誌策略	限制條件
延長綠燈	<ul style="list-style-type: none"><li>• 最長輕軌綠燈時間</li></ul>
縮短紅燈	<ul style="list-style-type: none"><li>• 橫交路口最短綠燈時間</li></ul>
插入綠燈	<ul style="list-style-type: none"><li>• 橫交路口最短綠燈時間</li><li>• 一個號誌週期內可插入的數量</li></ul>

24

# 評估路線容量



25

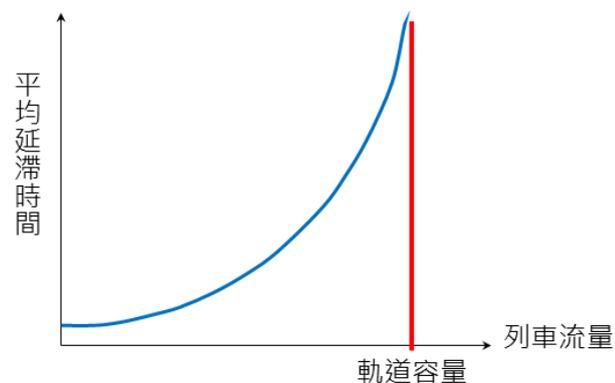
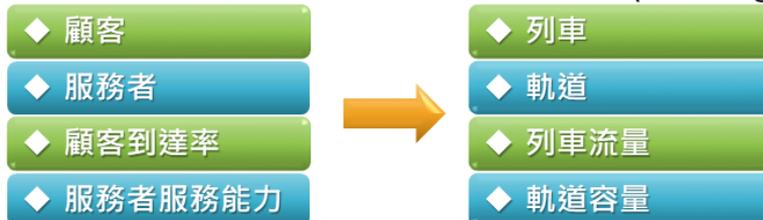
# 連續路段輕軌可靠度分析模式



26

## 容量與列車平均延滯之關係

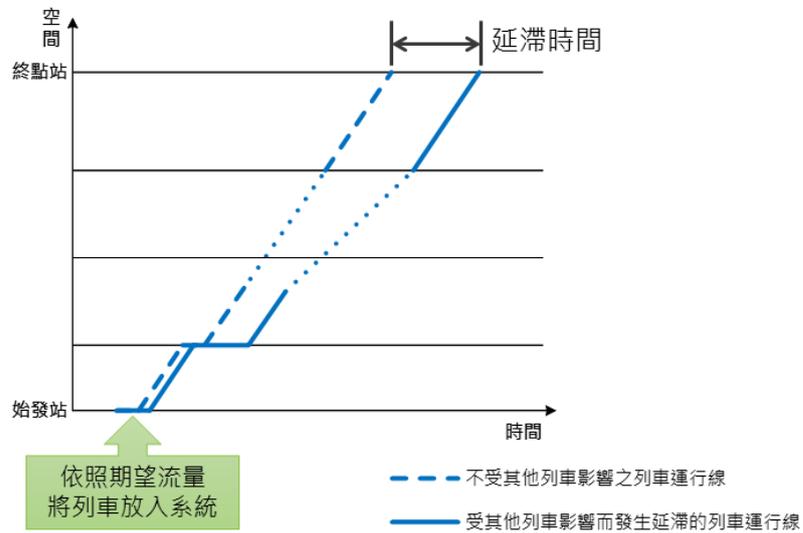
- 列車於軌道上運行的原理類似等候理論(Queuing Theory)



27

## 基本概念

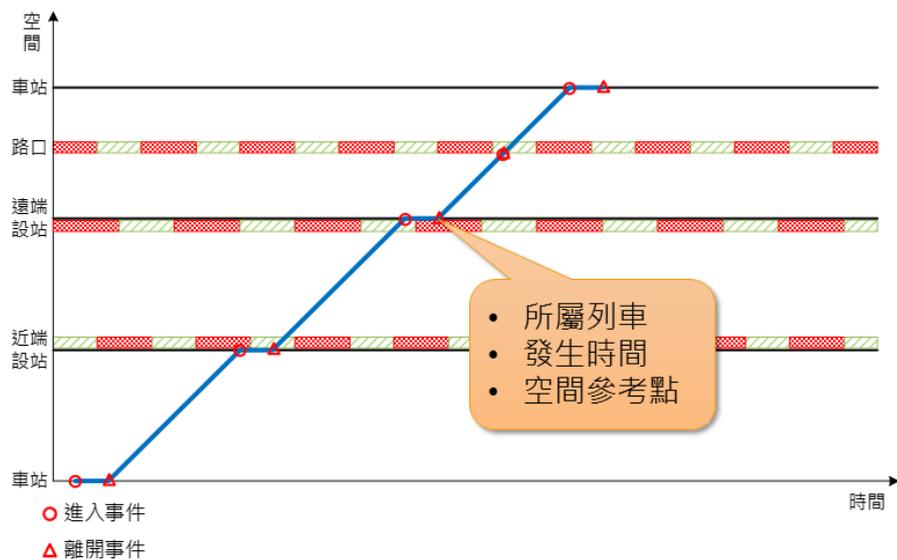
- 在期望流量下，分析列車受其他列車影響產生的延滯



28

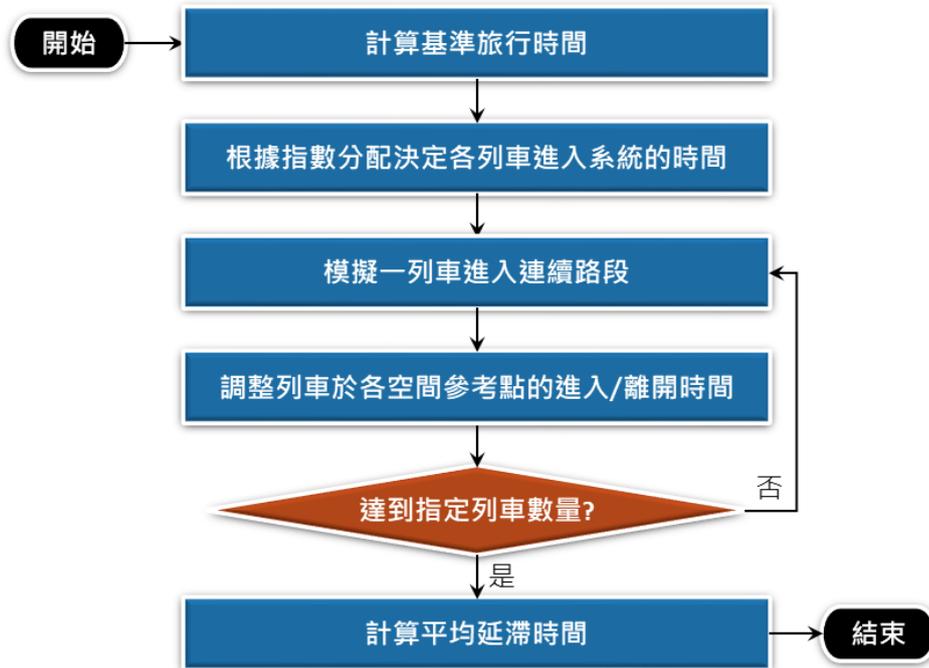
## 基本概念

- 採用離散事件模擬方法



29

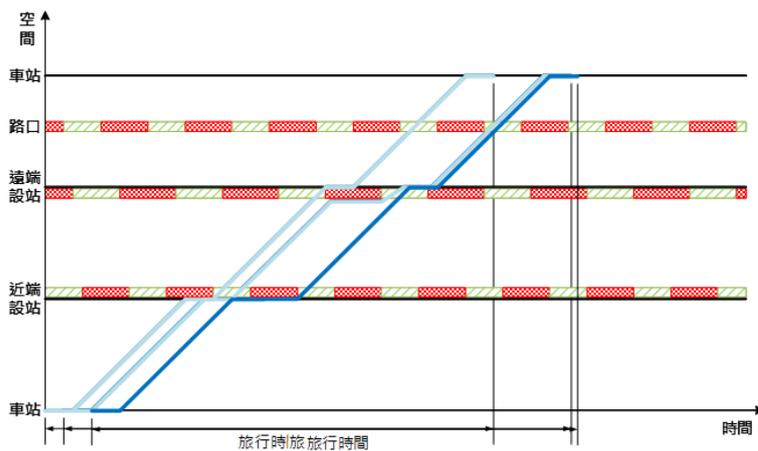
# 演算流程



30

# 計算基準旅行時間

- 以最大號誌週期為範圍，隨機產生一列車進入系統
- 計算沒有其他列車干擾，但考慮停等紅燈的旅行時間



➔ 計算最小旅行時間

31

# 決定列車進入系統的時間

- 列車進入系統的時間間距成指數分布

$$t_x \sim \text{Exponential}(f_e)$$

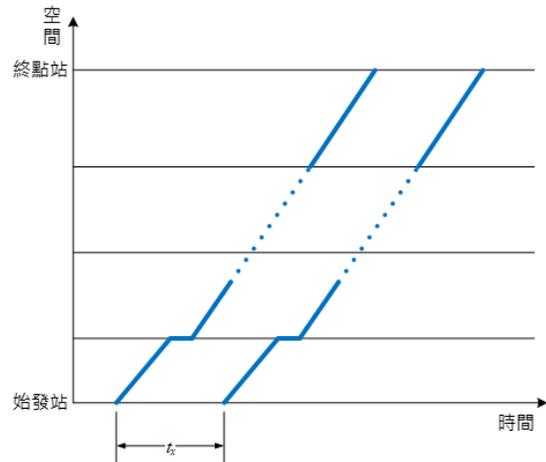
$t_x$  : 列車進入系統的時間間距

$f_e$  : 期望的列車流量

累積分布函數  $F(t_x) = 1 - e^{-f_e t_x}$

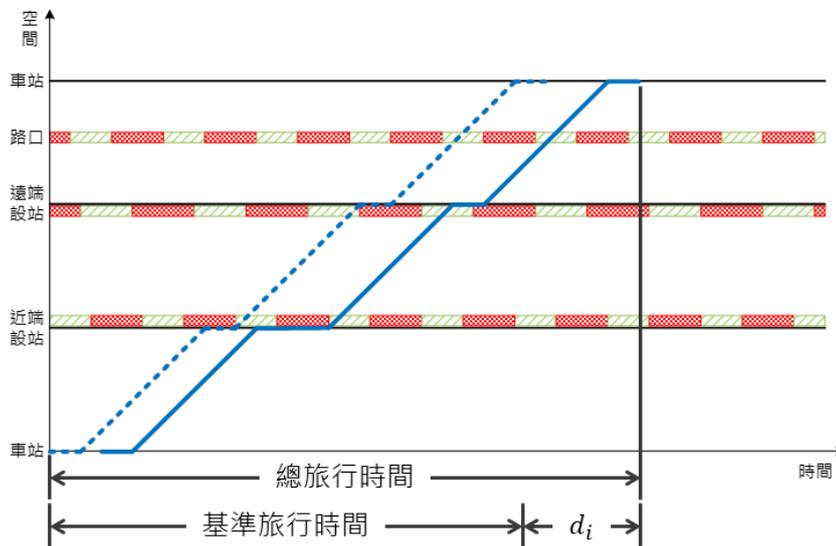
$$t_x = \frac{-1}{f_e} \ln(1 - U)$$

$U$  : 在  $0 \sim 1$  間呈均勻分配的隨機亂數



32

# 計算平均延滯時間



$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^N d_i}{N}$$

$\bar{d}$  : 平均延滯時間  
 $d_i$  : 時間範圍內第  $i$  列車的延滯時間  
 $N$  : 時間範圍內到達路線終點的列車數

33

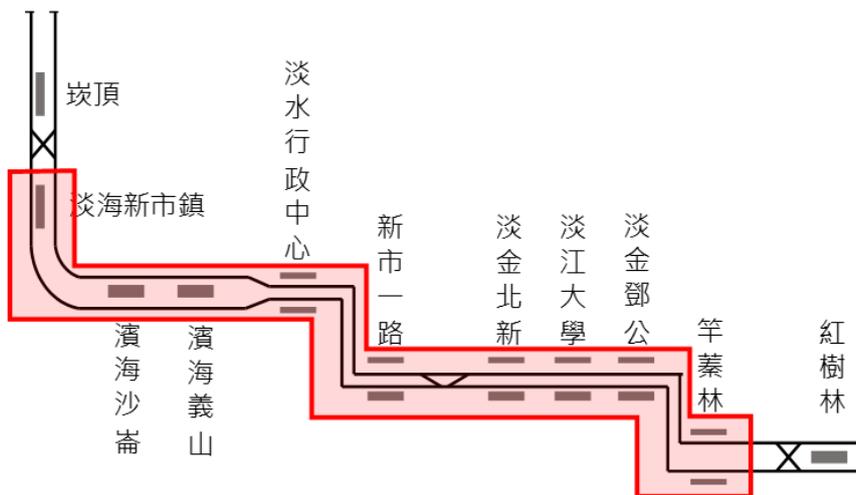
# 案例分析



34

## 淡海輕軌案例

### • 分析範圍



35

# 淡海輕軌案例



36

# 淡海輕軌案例

- 容量分析
  - 連續路段容量分析結果

方向	運轉時隔 ( 秒 )	路線容量 ( 列車/小時 )
往炭頂	180.0	20.0
往紅樹林	180.0	20.0

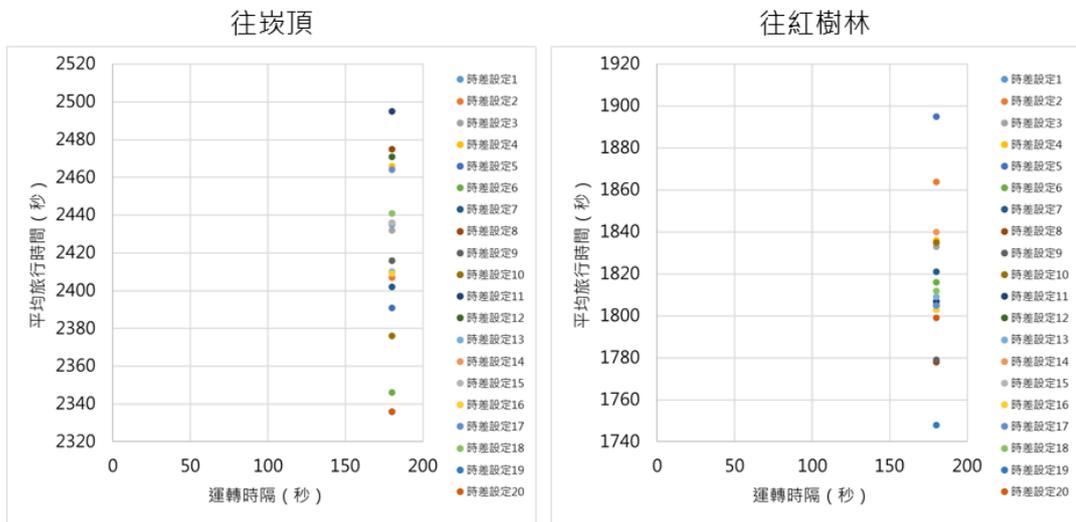
- 單一空間參考點之容量瓶頸

方向	瓶頸處	運轉時隔 ( 秒 )	路線容量 ( 列車/小時 )
往炭頂	濱海沙崙站	180.0	20.0
往紅樹林	濱海沙崙站	180.0	20.0

37

# 淡海輕軌案例

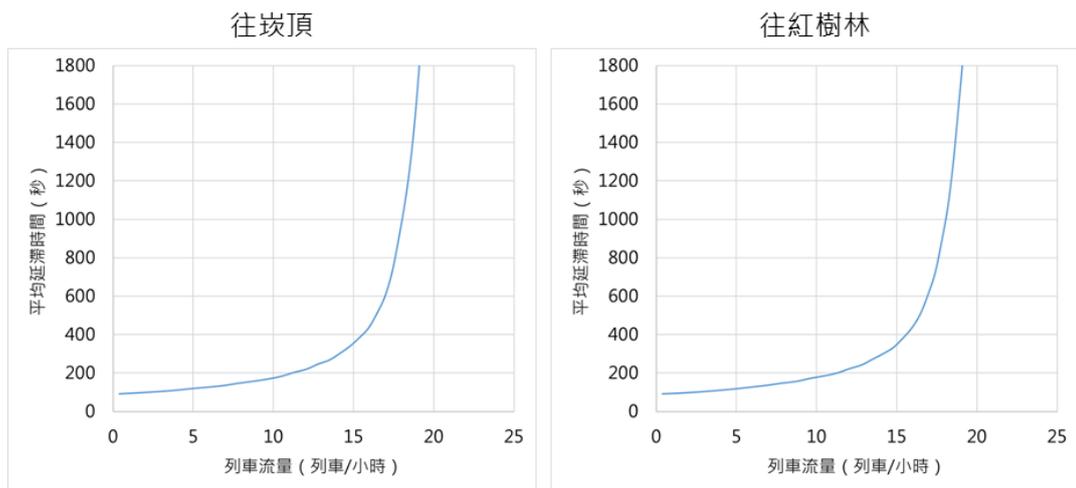
- 容量分析
  - 時差對運轉時隔與旅行時間之影響



38

# 淡海輕軌案例

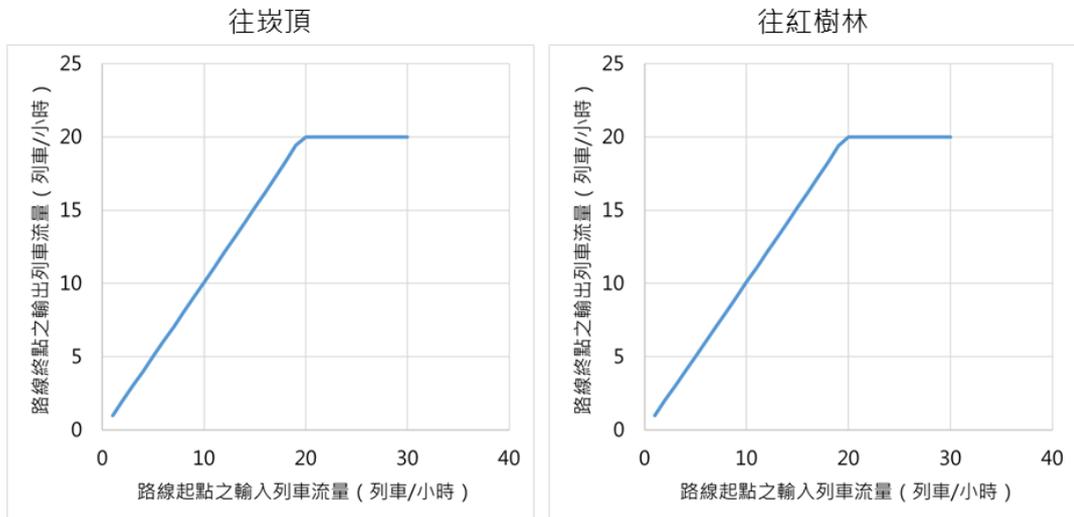
- 可靠度分析
  - 分析結果



39

# 淡海輕軌案例

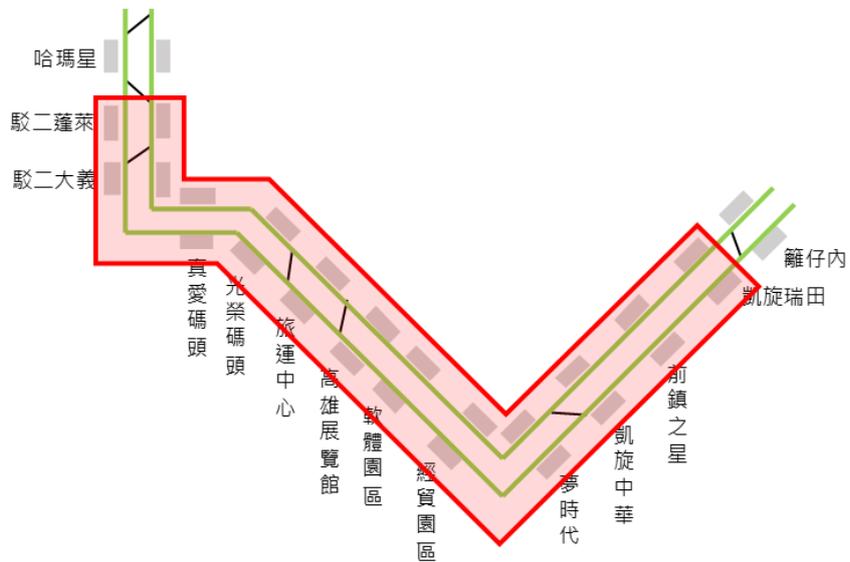
- 可靠度分析
  - 輸入流量與輸出流量之關係



40

# 高雄輕軌案例

- 分析範圍



41

# 高雄輕軌案例

- 容量分析

- 連續路段容量分析結果

方向	運轉時隔 ( 秒 )	路線容量 ( 列車/小時 )
往哈瑪星	150.0	24.0
往籬仔內	150.0	24.0

- 單一空間參考點之容量瓶頸

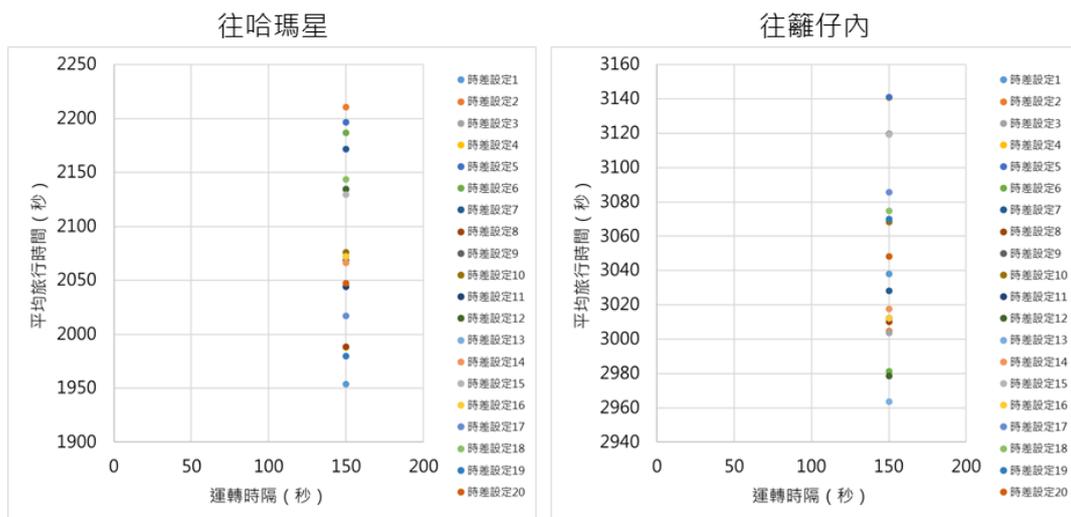
方向	瓶頸處	運轉時隔 ( 秒 )	路線容量 ( 列車/小時 )
往哈瑪星	前鎮之星站	150.0	24.0
往籬仔內	前鎮之星站	75.0	48.0

42

# 高雄輕軌案例

- 容量分析

- 時差對運轉時隔與旅行時間之影響

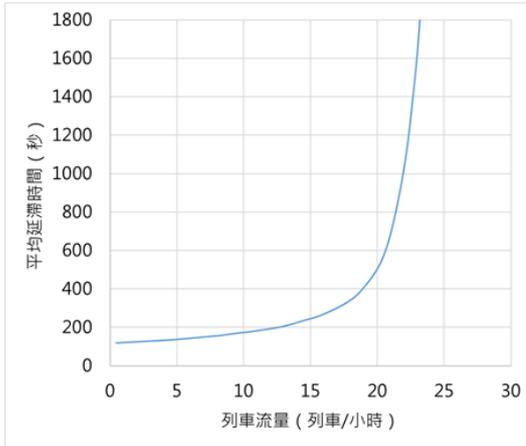


43

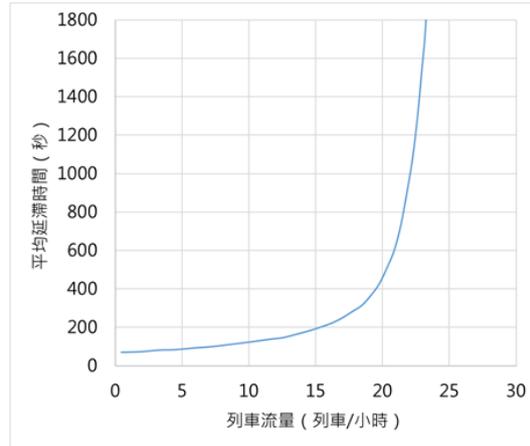
# 高雄輕軌案例

- 可靠度分析
  - 分析結果

往哈瑪星



往籬仔內

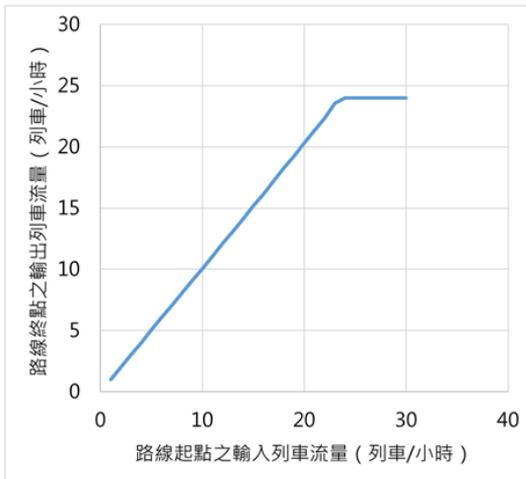


44

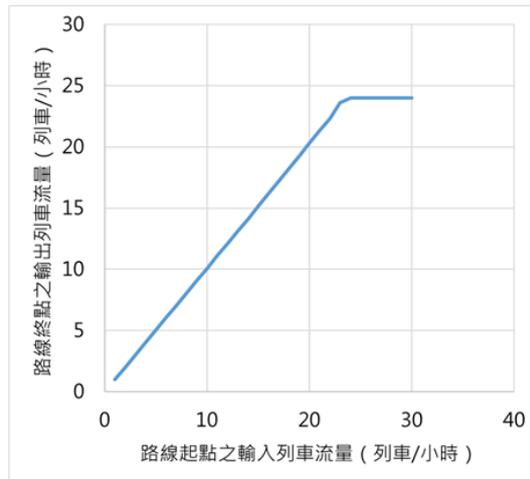
# 高雄輕軌案例

- 可靠度分析
  - 輸入流量與輸出流量之關係

往哈瑪星



往籬仔內



45

# 小結

## 容量分析

- 模式可反映路線上下游交互關係對容量之影響
- 可用最大號誌週期通過一列車來概估容量
- 路口號誌的時差不會影響路線容量，但會影響旅行時間

## 可靠度分析

- 模式的分析結果與先驗知識相符
- 受限於路線容量，列車於終點的輸出流量最高就是維持在路線容量的水準

46

## 輕軌容量分析軟體



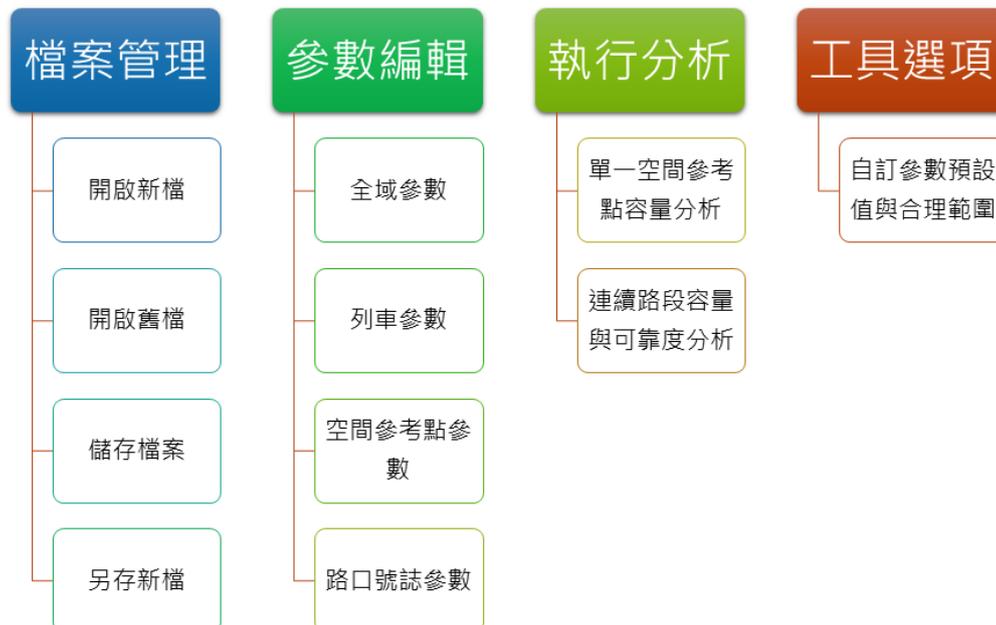
47

# 軟體功能需求

類別	功能說明	期中階段是否完成
容量分析與計算	單一參考點容量分析	○
	連續路段容量分析	○
	連續路段容量可靠度分析	○
	圖表展示分析結果	○
參數輸入與管理	各項參數的檢視與編輯	○
	空間參考點的新增與刪除	○
	路口號誌參數的設定	○
	以專案檔儲存參數設定	×
分析結果輸出	儲存文字檔	○
	儲存圖檔	○
	輸出至剪貼簿	○
自訂偏好設定	自訂參數預設值與合理範圍	○
	以專案檔儲存偏好設定	×

48

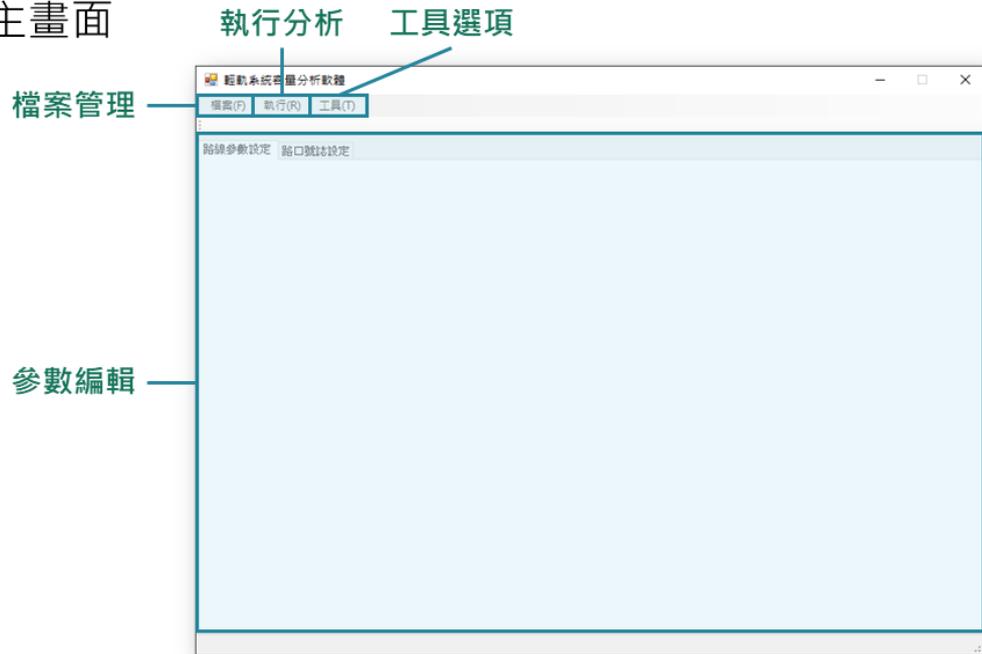
# 功能架構



49

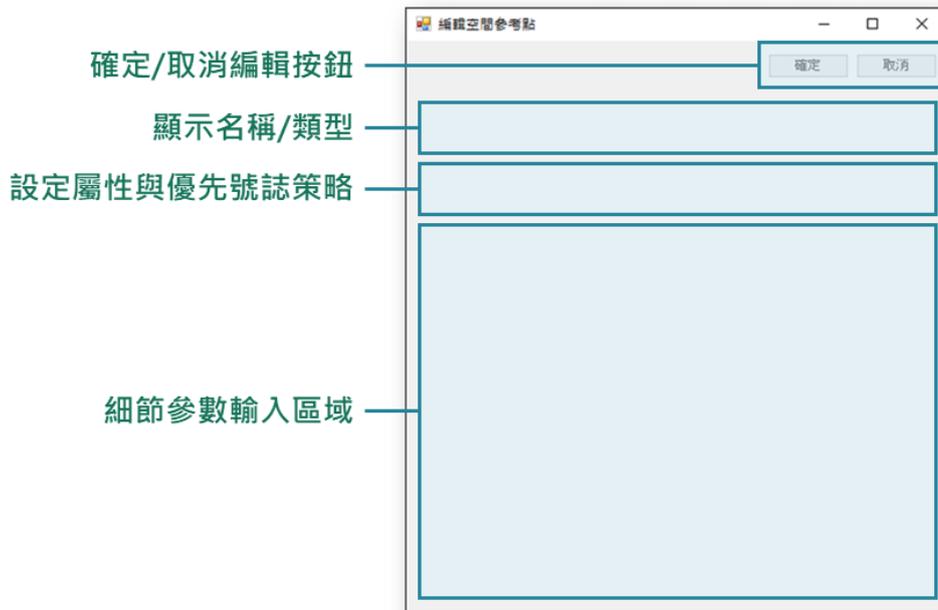
# 使用者介面設計

- 主畫面



# 使用者介面設計

- 空間參考點參數設定

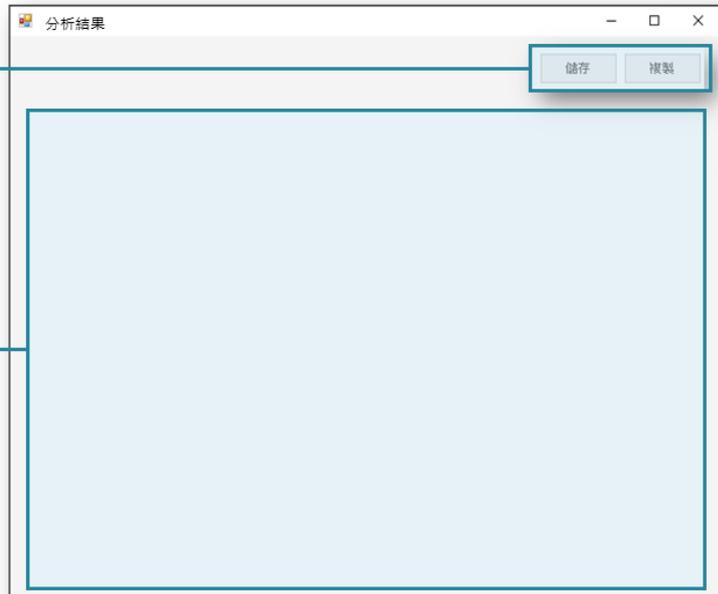


# 使用者介面設計

- 分析結果

儲存/複製結果按鈕

結果展示區



54

# 使用者介面設計

- 偏好設定

初始化/確定變更按鈕

偏好設定區



55

# 操作展示

輕軌運輸系統容量分析軟體

Light Rail Transit Capacity Software, LRTCS



54

## 後續研究方向



55

## 研究進度甘特圖



56

## 辦理教育訓練

- 對象：顧問公司、大專院校、地方政府以及營運單位
- 時間：9月中～10月中
- 場次：共3場（北、中、南區）
- 時數：每場3.5小時

項目	時數	合計時數
輕軌容量分析基礎知識	1.5小時	3.5小時
輕軌容量分析軟體操作	0.5小時	
範例演練	1.0小時	
綜合討論	0.5小時	

57

# 編訂臺灣鐵道容量手冊

## 臺灣鐵道容量手冊

基礎篇

傳統暨區域鐵路篇

都會捷運系統篇

輕軌運輸系統篇

高鐵及機場捷運系統篇

輕軌運輸系統之特性

分析方法基本概念及假設條件

A、B型路權單一空間參考點容量分析模式

A、B型路權連續區段容量分析模式

輕軌容量分析整體架構與程序

A、B型路權連續區段可靠度分析模式

輕軌運輸系統容量分析軟體

分析範例

58



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(2/2) -A、B型路權容量及可靠度分析



## 附錄 E 第二次學者專家座談會議紀錄

### 輕軌系統容量分析暨應用研究 (2/2) -A、B 型路權容量及可靠度分析 第二次學者專家座談會議紀錄

一、時間：109 年 10 月 27 日(週二) 下午 2 時 00 分

二、地點：本所 7 樓運輸規劃科技研究室

三、主持人：黃副所長新薰 (張舜淵組長代)

紀錄：胡仲瑋

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

李治綱

成功大學土木工程學系李教授宇欣

李宇欣

成功大學交通管理科學系鄭教授永祥

鄭永祥

高雄市政府捷運工程局施專門委員嫩嫩

請假

交通部鐵道局營運監理組施副組長文雄

施文雄

臺灣高鐵公司陳協理信雄

陳信雄

新北市政府捷運工程局鄭總工程司智銘

請假

財團法人中興工程顧問社

黃宇法 楊國成 楊國成  
鍾芳文

本所運計組

劉昭榮 王加璋

五、主席致詞：(略)

六、簡報：(略)

七、出席人員發言要點：

單位/姓名	意見	中興社回應
<p>南台科技大學行銷與流通管理系李教授治綱</p>	<p>應用宣導與容量分析的概念相反，宜強調容量分析對參與研討者其規劃-設計-營運工作之幫助。以捷運規劃階段而言，路網規劃-可行性分析-綜合規劃時，都會探討系統發車班距的課題；此功能性要求，由容量分析過程中，可以反映對線路條件(如站內接發車股道數、接發車線路長度等)的要求，對車輛條件(如加減速度與巡航速度有關之牽引力與制動力等)的要求，對行車控制條件(如號誌安全時距等)的要求等。(以上條件依照鐵路產業的習慣分為線路(permanent way/fixed installations)-車輛(rolling stock)-控制(command, control and signaling)，與手冊上之分類不同。) 運研所已經完成捷運路網規劃之參考手冊；可行性分析與綜合規劃的參考手冊，是制定發包簽約中要求事項之基礎，稍有失誤影響系統整個生命週期，亦非常重要。</p>	<p>在期末報告中，將會建議未來若有編訂鐵道或捷運系統的可行性分析或綜合規劃參考手冊，應把容量課題納入其中。</p>
	<p>實證研究時，輸入參數依據實務資料之校估，也是等加速運動模式之應用時之重要課題等。研究團隊、鍾博士等，發展TrainSim 列車運行模擬軟體，深知：列車牽引力、行駛阻力、機械制動力、電動制動力等，都是速度的函數，列車速度變動時，上述力量改變，加減速度隨之改變。亦即，列車運行不是等加速運動。因此，應用等加速運動公式建立模式時，必須校估輸入參數，期望模式可以近似真實系統之運動軌跡。在高雄輕軌與淡水輕軌的實證分析時，將建議如何校估：加速度、減速度、巡航速度等輸入參數。這工作也可提供適合國內使用之實用參數，在規劃與設計時使用。</p>	<p>模式中針對加、減速度參數都有乘上一有效因子，此因子便是要让模式可以近似真實系統，惟目前僅引用文獻中的數值，而非根據國內輕軌系統實際運行資料所獲得，後續將向高捷公司索取行車紀錄相關資料，嘗試計算出適用於國內輕軌的數值。</p>

單位/姓名	意見	中興社回應
南台科技大學行銷與流通管理系李教授治綱	請務必再三確認模式之合理性。例如，A 型路權中間站同一股道安全時距公式，推導方式與手冊中以往類似情境下公式略有差異。又如，A 型路權末端站站前折返同一股道之安全時距公式，進路設定時間與路徑紓解時間是否需要考量。	輕軌 A 型路權中間站之安全時距公式，與容量手冊中其他系統在類似情境下的公式略有差異，主要是因為輕軌沒有閉塞號誌系統所造成。另外，有關末端站的安全時距公式，由於進站列車行經設置於軌道上之 TAG 後，系統才會設定進路，而 TAG 設置的位置已考量進路設定所需時間，因此該公式是將進路設定時間包含在列車進站的過程中，至於路徑紓解時間會在公式中補充考量之。
成功大學土木工程學系李教授宇欣	若要把容量分析納入法規，自己的立場要站得住腳。尤其在系統中各個模組分析後得到的結果，是否組合起來就是系統的運行情況？此問題若牽涉到國家建設的發展，仍需要更多的探討與驗證，且勢必要有一個正確的回答。	過去國內鐵道建設缺乏容量分析，以致於建設完成後容量不如預期，因此建議容量分析應納入審議機制中。 根據容量研究文獻中，皆是將路線分成若干個單元，分別進行分析後，再根據容量瓶頸處決定整條路線之容量，而過去運研所的容量研究中，無論是傳統鐵路的單一區段容量到連續區段容量，或者輕軌的單一空間參考點容量到連續路段容量，也都支持容量瓶頸處決定整條路線之容量的論點。 本研究主要應用於可行性分析和綜合規劃階段，透過容量分析模式獲得初步結果，至於到了設計施工階段，應由承包商以其設計工具進行更精確的分析，以驗證其設計符合需求。

單位/姓名	意見	中興社回應
成功大學土木工程學系 李教授宇欣	台灣高鐵的運轉非常詳細，容量計算可能會與列車在股道上的轉換有關，並非單一場站能夠決定的。這樣的情況下，系統整合該如何處理？	根據 Joern Pachl 的 Railway Operation and Control 一書，鐵道容量研究通常將路網分為站場、路段和連鎖區分別進行分析，因此建議先從站場或路段容量開始進行研究，後續再探討系統整體情況。
成功大學交通管理科學系 鄭教授永祥	進行容量分析就是對整個系統的評估，使最後實務上的落差不那麼大。為了讓各位了解容量的重要性，針對實務單位，建議要讓人員了解到容量能在相關的議題上給予何種幫助，以及軟體如何輔助容量的計算；學校課程規劃也應將此議題納入，使學生了解到容量的重要性。	在今年度教育訓練的課程設計上，便安排了 7 個實務案例讓參與者了解容量分析的相關議題，以及如何使用軟體進行分析。但由於場地位於地方政府，沒有學生參與今年度的教育訓練，也許未來可嘗試與大學的教學或建教課程合作。
	關於軌道容量研究方向的建議： 1. 輕軌系統 C 型路權：高雄輕軌即將面臨此議題。 2. 高鐵容量分析：無論是北宜段或是南延都是重要議題。然而目前臺鐵傳統鐵路的容量分析成果，是否能套用於高鐵？若可行，需要更深入的探討；若不可行，則列出不適用的原因並進行後續研究。 3. 臺鐵貨運容量分析：臺鐵未來可能要面臨是否要提供貨運服務的問題，若不保留臺鐵貨運能量，相關需求便會移轉到公路，導致更大的外部成本。	感謝委員建議，相關內容將彙整於期末報告的後續研究建議之中。
交通部鐵道局營運監理組 施副組長文雄	若要推廣容量軟體，建議在軟體內開發介面元件，以利使用者快速建立路網。	今年所開發之輕軌容量軟體，已能在介面上直接看到路網，而非只是車站或路線清單，有助於使用者建立路網。未來在容量軟體開發上，也將會持續致力於相關功能的研發。

單位/姓名	意見	中興社回應
交通部鐵道局營運監理組施副組長 文雄	建議針對不同型態的使用者開發基礎版、進階版與高級版軟體，以因應各式需求；其中首先建議加強基礎版軟體，在軌道建設不同的議題、方案產生時，方能透過軟體快速地找出大致的解答。	今年開發的輕軌容量軟體屬於加強功能的基礎版，未來可視國內實務需求情況或容量系列研究的方向，再來考慮開發進階版或高級版。
	若要向營運單位推廣容量軟體，建議以實際案例進行 case study，說明案例中要考慮哪些點，並從中找出容量計算的需求，包含軟體能不能幫上忙？限制是什麼？在教育訓練的回饋中，便能了解營運單位的需求，再作為後續研究的重點方向。	今年度的教育訓練課程有包含實際案例的 case study，課程中有說明考慮的因素，以及如何使用軟體來進行分析，此外，有蒐集回饋意見作為後續研究的方向。
	鐵路容量手冊目前並沒有如同公路容量手冊一樣納入審查規範，但鐵路如果也應該如此要求，那就往這方面努力。	與會的學者專家幾乎都認為鐵路容量應納入審查規範，因此未來將朝此方向努力。
台灣高鐵公司陳協理信雄	把容量分析工具與手冊的使用者所需的前提要件、先備知識等定義清楚；另外建議可以對使用者進行深入訪談，了解他們的需求以及他們建議改善的地方。包含設定專案時，建議提供引導式的設定。	目前容量手冊中，基礎篇之內容便是受眾需要具備的知識，至於深入訪談需求與建議，將會列入後續研究可努力的方向。
	關於審議機制，建議運研所與交通部溝通、建議是否要成立研究案「鐵道建設計畫審議機制之研究」，探討鐵道建設的可行性規劃與綜合研究的審議中須涵蓋的部分，並將容量分析一併納入。	將依委員意見列入後續研究建議之中。
	建議鐵路容量手冊中，案例的站名使用原名稱，並在手冊內標明資料可能仍有爭議，以取代假命名方式。	實務案例中，對於目前已營運之系統，將依委員意見使用原名稱，若是新建或規劃中之場站，則以編號代稱。

單位/姓名	意見	中興社回應
台灣高鐵公司陳協理信雄	簡報第 15 頁，請說明淡海輕軌分歧中，如何考量濱海沙崙站平面交叉的影響？	濱海沙崙站之路口處雖有平面交叉，但由於往炭頂和往漁人碼頭方向分屬於不同的號誌時相，因此只要考慮路口號誌的時相設定，便能處理平面交叉的影響，例如：在分析往炭頂之容量時，便將往漁人碼頭的時相視為紅燈；而分析往漁人碼頭之容量時，便將往炭頂的時相視為紅燈。
	<p>未來研究方向建議如下：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 輕軌系統 C 型路權：除了討論鐵道容量，建議也同時討論公路容量。</li> <li>2. 高鐵容量分析：南延案中會對左營基地造成發車與股道運用的影響；延伸宜蘭案則會對南港站、汐止基地及台北站月台產生影響；高鐵的多種停站模式如何影響容量。</li> <li>3. 軟體工具需要與時俱進，建議後續要有相關的軟體維護與更新工作</li> </ol>	感謝委員建議，相關內容將彙整於期末報告的後續研究建議之中。
高雄市政府捷運工程局施專門委員嫩嫩(書面意見)	新增功能，連續路段容量分析結果增加運行時間，復查係增加路段起點至終點的運行時間(秒)，惟路段起點至終點的運行時間差異應在一定範圍內，則新增此功能之意涵為何？請說明。	根據案例分析發現連續路段的容量主要由路線上最長的號誌週期來決定，而其他如輕軌綠燈時間、時差和優先號誌等因素，主要是影響運行時間，因此在分析結果呈現該數值，以利使用者找出運行時間較佳之設定。
	教育訓練北、中、南區總計 37 人，建請中、長期可要求地方政府如提出輕軌建設，應以本研究發展之軟體予以驗證，以落實本研究計畫並使地方政府重視交通部及運研所提出之研究結果。	同意委員看法，將建議在鐵道建設的審議機制中，納入容量分析相關作業。
	未來鐵道容量研究方向有關高速鐵路系統除路線容量、站場容量外，是否增列延伸路線之邊際效益分析及探討，請考量。	有關延伸路線之邊際效益分析及探討，似乎已經超出容量研究範圍，但仍會列入期末報告的後續研究建議之中，供各界參考。

單位/姓名	意見	中興社回應
本所運計組 (書面意見)	簡報 P3、P4 有關本計畫自期中報告審查會議至本月份之辦理事項及進度皆符合契約要求，工作內容亦符合 9 月份工作會議之重點與決議事項。	敬悉。
	有關輕軌系統容量分析模式及軟體之後續推廣應用成效問題，建議仍應具體落實於「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」之規定制度內，以確實要求計畫規劃分析、申請及審議單位引用本所開發之輕軌容量模式軟體進行容量分析。	在後續推廣應用工作上，中興社能提供教育訓練相關協助。
	簡報 P26、P27 有關本計畫「未來鐵道容量研究方向」部分，鑑於各界人士及本計畫委員於歷次會議皆提及 C 型路權輕軌容量研究辦理之必要性及迫切性，且鑑於 C 型路權輕軌容量之分析相較於 A、B 型路權容量問題更錯綜複雜、所需蒐集之參數資料亦更龐雜，爰基於本系列研究之完備性，建議仍應儘速預留足夠時間與經費，及早辦理 C 型路權輕軌容量研究計畫。	相關建議將彙整於期末報告的後續研究建議之中。

## 八、座談會討論議題結論

- (一)請運計組洽路政司與鐵道局，研議將本所發行之鐵道容量手冊納入「鐵路立體化建設及周邊土地開發計畫申請與審查作業要點」與「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」之可行性。
- (二)請研究團隊依各位委員意見檢討及補充相關分析。

## 九、散會



## 附錄 F 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	研究報告之內容深度嚴謹程度完整層次都很好，特予肯定。	感謝審查委員之肯定。	--
	<p>本期報告之 2-3 頁表 2-1 中之第一項公式(與前期報告 P4-3 之式(4-4)相同，列車在中間站的安全時距為 <math>\frac{s_m+L}{v_i} + \frac{v_i}{K_b b} + t_d</math>，而本期報告與新容量手冊 P2-11 式(2.6)列車在中間站的安全時距不同，煞車時間已做部分修正。然而為回應上述問題，以下請釐清的<b>不是</b>煞車時間，而是前後列車的關係。上述公式推導的圖形如下圖所示，請觀察紅色標線時間點之兩列車間距。相同之時間 <math>t_v</math> 下，很明顯後車速度高行駛距離長，前車啟動行駛距離短。所以，紅色標線時間點，兩列車間距小於「煞車距離+安全邊際」，不符合「行進中的列車保持與前行列車，絕對煞車間距之要求」，爰請參閱容量手冊基礎篇之 P4-4 絕對煞車距離的列車分隔原理。</p>	本研究在推導中間站安全時距的計算公式時，考量輕軌列車運行與公車相似，因此採用了相對煞車距離，但誠如委員所述，鐵道系統應採絕對煞車距離的列車分隔原理。	同意承辦單位之說明
	換一種說法看前述公式，前後列車在中間站的安全時距=後車之接近時間+後車之煞車時間+後車之停站時間。當前車在衝突區域內，前後兩列車的安全時距只有後車的影響，跟前車之運行無關，並不合理。爰建議應考慮將後車接近時間更正為前車啟動行駛「安全邊際+列車長度」的時間。	遵照委員意見，重新推導中間站安全時距的計算公式，並將相關內容更新於容量手冊第 2.2.1 節之中。	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
	在有號誌系統情況下，列車依據號誌顯示的行車命令行車；依據號誌系統可以正確建立安全時距的解析公式，若沒有號誌系統情況下，司機員必須按照目視的行車狀況，依據規章所訂定之跟車或行車規則駕駛。爰請探討前述公式係符合跟車規則所發展，並能確實反映實務列車間的關係。	有關司機員必須按照目視的行車狀況駕駛之行為，模式中已考慮司機員與煞車系統反應時間來反映之。	已於定案報告中修正
	站前折返之安全時距，如手冊之 P2-12 式(2.7)，已經考慮路徑解除時間，但在圖 2-12 中沒有顯示。其他類似的公式亦然。此外，末端站橫渡線之閉塞號誌或聯鎖機制，缺乏說明。	已於手冊中的相關圖示內補充顯示路徑解除時間，並說明末端站橫渡線之聯鎖機制。	已於定案報告中修正
南台科技大學行銷與流通管理系李教授治綱	營運階段之應用：例如前述之「列車在中間站的安全時距」由三項因素構成，實務上並無「列車在中間站的安全時距」觀察值；惟營運系統有該三項組成因素之觀察值。因此，實務上是直接採用觀察值還是採用公式去計算估計值？前者似乎較為直接，建議說明相關觀察資料在實務上的取得方式，有何應用上的課題。	在營運階段可透過列車行車紀錄來取得觀察值，但要注意列車必須符合計算容量的條件來運轉，如此所獲得的觀察值才適用於容量計算上。	同意承辦單位之說明
	上述探討是：點估計，依據公式有 50% 機會容易高估容量，因此可以考慮區間估計的課題。點估計是平均數的概念，區間估計包含變異數的概念，例如前述之「列車在中間站的安全時距」由三項因素構成，利用實務觀察資料的分配，檢查三個因素之平均數與標準差。通常會是常態分配，若以平均數估計值+2 倍標準差，高估容量之機率會減少至 2.5%，故寬裕是一直可以探討的實務課題。	運轉寬裕確實是值得探討的課題，委員的建議是可行方式之一，未來進行本土化參數校估研究時可作為參考。	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	<p>規劃與設計階段之應用：例如前述之「列車在中間站的安全時距」由三項因素構成；規劃與設計階段沒有各項因素的觀察值，需要利用公式估算各項因素之數值，再加總得到「列車在中間站的安全時距」之估計值。類似系統之營運觀察值之校估公式參數，可以發揮作用。</p>	<p>同意委員看法，完成相關參數校估後，便能供類似系統評估容量時使用。</p>	<p>同意承辦單位之說明</p>
	<p>軟體的發展宜充分反映各種應用需求的彈性，例如：管理者可能想知道各不同參考點的容量值，而非只想知道瓶頸。故建議應全面了解以分配來設計份量與工作的人力。</p>	<p>(1) 本軟體在分析結果的呈現上，除了有容量瓶頸，亦透過彙整表和直方圖的方式顯示各空間參考點之容量，以符合不同使用者之需求。</p> <p>(2) 本軟體的功能設計應足以讓分析者解決及處理實務上面臨的課題。</p>	<p>已於定案報告中修正暨說明</p>
	<p>有關容量手冊之圖 2-13、圖 7-18 有編輯問題，請更正。</p>	<p>已將圖 2-13、圖 7-18 更正為正確之圖片。</p>	<p>已於定案報告修正</p>
<p>成功大學土木工程學系李教授宇欣</p>	<p>P4-2「時刻表容量」一詞出自鐵道容量手冊，建議於本報告中加註出處。鐵道容量手冊 P2-12 之定義為「列車排班作業所能安排的最大列車數」、輕軌容量手冊對「時刻表容量」之定義於期末報告書則說明需要列車不受其先行列車之影響，建議應予以明確統一定義。</p>	<p>本研究所計算的容量為「實用容量」，其定義為「正常營運條件下，單位時間通過路線上某一點的最大客體數」，而所謂正常營運條件，在有閉塞號誌系統的軌道系統中，為列車在號誌常綠下運轉，但輕軌沒有閉塞號誌系統，不過以相同的原則反映在輕軌中，就是列車運行不會受到其先行列車之影響，因此本研究採用這樣的定義，補充說明於報告 4.3 節中。</p>	<p>已於定案報告中修正暨說明</p>

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
成功大學土木工程學系李教授宇欣	<p>P4-4 在考慮列車排班作業中列車可能互相影響，以及號誌化路口之狀況下，將整個路段合併模擬，與分割成數個連續路段分別進行容量分析，所得之容量是否相同？亦即，若將含有15座車站之路段分割成為4站、5站、及6站之三段分別進行模擬，所得之容量是否會與不分割而整體模擬得到相同之容量？若分割與否影響容量分析結果，則路線有分歧時，由分歧點將路線切分成數個連續路段分別進行容量分析，是否將影響結果可信度？</p>	<p>將路段分割後進行模擬所得的容量值是否相同，端看切分的方式為何。因為整條路線之容量受限於瓶頸處，若分割的路段包含瓶頸處，則容量會與整條路線之容量相同。分割與否影響容量分析結果，並不影響結果可信度，反而更能掌握瓶頸所在，並了解是否有路段的運能被浪費。</p>	<p>同意承辦單位之說明</p>
	<p>P4-4 容量分析僅考慮單一方向之列車。於優先號誌存在時，是否會產生分析誤差？以延長綠燈之策略為例，若僅考慮單一方向行車，則延長綠燈之規則較為單純。但對向之列車亦影響綠燈延長與否時，狀況就較複雜。</p>	<p>本研究並無考慮雙向列車同時影響優先號誌的情況，但透過分析可知最大號誌週期長度才是影響容量的主因，此外，無論優先號誌是否受到對向列車影響，為了避免時制大亂，路口號誌都有補償機制來維持週期的穩定性，因此無論優先號誌是否受到對向列車影響，只會影響運行效率，而不會影響容量。</p>	<p>同意承辦單位之說明</p>

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
成功大學土木工程學系李教授宇欣	P5-1 列車排班作業中列車可能互相影響而造成延滯，為可靠度分析模式所要探討之對象。這種列車間之互相影響，與等候理論之三項立要特性：到達程序、等候規則、及服務程序，其間之對應關係如何，宜予釐清。	本研究以等候理論為基礎，探討在期望列車流量下，因列車相互干擾所產生的平均延滯時間，其到達程序為列車進入分析範圍的程序，呈指數分布；而等候規則為列車運行的過程中，等候使用月台及軌道的規則，採先到先服務；至於服務程序為列車使用月台及軌道的占用時間，本研究採確定性服務。	同意承辦單位之說明
	P5-1 有關可靠度分析，先天即必須考慮隨機性。本章所提出之分析方法中，唯一具有隨機性者為列車於始發站依指數分配之時間間距發車。實務上之輕軌系統，列車於其始發站發車是否係依調度人員之指示，而非隨機發車，應予釐清。至於列車運行途中所可能發生之隨機擾動，例如乘客上下車所需時間、司機員手動駕駛時運行時間之隨機性、晚點發生時所可能採取之趕點行為等，是否應納入可靠度分析，請考量。	該章並非在探討列車實際營運時因故造成的延誤，而是在探討期望列車流量下，列車相互干擾所產生的平均延滯時間，因此在一定的期望列車流量下，列車進入系統的時間才是主要的隨機性。	同意承辦單位之說明
	P7-1 建議應確保軟體可輸出模擬結果之運行圖以及模擬所得之時刻表。	軟體的功能為探討路線之容量，而非列車排班。此外，本研究求得的是期望容量，並非特定的時刻表。	同意承辦單位之說明
成功大學交通管理科學系鄭教授永祥(書面意見)	P3-6，有關 3.2 運轉寬裕的考量，其中式(3.5)運轉寬裕時間的說明，建議可再清楚詳細補充說明。	有關式(3.5)中的運轉寬裕時間，在計算其 $m$ 、 $n$ 的數值時即納入考量，補充說明於報告中，相關公式整理於表 3.1。	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
成功大 學交通 管理科 學系鄭 教授永 祥(書 面意 見)	P6-1 第六章案例分析,有關高雄捷運公司及台灣智能運輸公司所提供的資料內容請再更清楚說明。	高雄捷運公司及台灣智能運輸公司所提供的資料包含列車性能、車站軌道布置、路線里程、停站時間、路口位置寬度,以及路口號誌時制等資料,補充說明於報告中。	已於定案報告中修正暨說明
	P7-4 輕軌容量分析輸入參數,其中有關列車間乘載變異因子在不同情境下係如何考量,建議應予以清楚說明。	乘載變異因子在反映旅客乘載不均勻的情況,其數值愈大,表示乘載變異愈小,旅客分布愈均勻,補充說明於表 7.2。	已於定案報告中修正暨說明
	P9-3 之「9.2 後續研究建議」,建議可以提出未來 C 型路權輕軌容量研究分析之重要課題,俾利後續辦理參考。	依審查意見補充說明相關重要課題。	已於定案報告中修正暨說明
	P9-3 之「9.2 後續研究建議」,建議可以針對號誌系統升級對鐵路容量的影響提出未來研究之重要方向與課題,俾利後續辦理參考。	依審查意見補充說明相關重要課題。	已於定案報告中修正暨說明
高雄市 政府捷 運工程 局施總 工程師 嫩嫩	P4-4 期末報告在連續路段輕軌容量分析模式之假設條件更為明確,有助模式之應用。	感謝審查委員之肯定。	--
	P4-7 報告內述及「當事件沒通過審核時,其所需延後的時間端看空間參考點型式和事件類型而定,同時也採用按比例計算的方式來加計運轉寬裕時間,以涵蓋大部分的運轉情形」,請說明此處所稱比例計算的方式。	此處所稱比例計算的方式,係以運轉寬裕係數 $\beta$ 來計算運轉寬裕時間,於報告中調整相關敘述。	已於定案報告中修正暨說明
	P4-20 式中: $tD(N)$ =扣除系統暖機與結束前的模擬時間範圍內,最後一列車於路線終點離開的時間(s)、 $N$ =扣除系統暖機與結束前的模擬時間範圍內,時間範圍內從路線終點離開的列車數,建議二式後段之「時間範圍內」刪除。	依審查意見修改。	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
高雄市 政府捷 運工程 局施專 門委員 嫩嫩	P6-8 表 6.8 紅樹林調整後路線容量有誤，請修正。	依審查意見修正之。	已於定案 報告修正
	P6-10 研究就參數進行敏感度分析，顯示號誌週期對連續路段容量有決定性影響，可提供各級政府未來推動輕軌之關於時差設定之參考。	感謝審查委員之肯定。	--
	P7-9 表 7.5 第一列中間站是否係指位於路段、不受路口影響之站；P7-12 表 7.6 第一列中間站，同上。按臺灣鐵道容量手冊-輕軌運輸系統篇(A、B 型路權) P2-4 有定義中間站、受路口影響之中間站和末端站，惟期末報告初稿無定義，建議補充。	已依容量手冊輕軌篇之定義，重新整理並補充空間參考點分類及說明於定案報告 P7-4 與表 7.3 中。	已於定案 報告中修 正暨說明
	P7-11 第六行，表 7.7 以「中間站-受路口影響」，請修正。	已修正於定案報告 P7-11。	已於定案 報告修正
	有關報告名稱建議一致。 (1) 本研究計畫名稱「輕軌系統容量分析暨應用研究」，復查鐵道容量手冊中「傳統暨區域鐵路篇」、「都會捷運系統篇」，本研究報告名稱係採「臺灣鐵道容量手冊-輕軌運輸系統篇」或「臺灣鐵道容量手冊-輕軌系統篇」，建議應一致，請卓參。 (2) 承上述，有關報告內容採用名詞則請配合一致。	經研議後，本研究決定統一採用「輕軌運輸系統」一詞，惟本研究計畫之名稱已無法修改，僅能維持不變。	同意承辦 單位之說 明
「臺灣鐵道容量手冊-輕軌運輸系統篇(A、B 型路權)」報告 1.2.1 節，P1-7 有關「...第一期—藍海線工程預期可於 2020 年底完工」之辦理進度內容，因該工程已完工，請修正相關內容。	依審查意見修正之。	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
高雄市政府捷運工程局施專門委員 嫩嫩	有關「臺灣鐵道容量手冊-輕軌運輸系統篇(A、B型路權)」報告第八章案例分析內容，參考實務並分不同情境進行分析，就結果初步討論，值得參考。	感謝審查委員之肯定。	--
交通部 鐵道局 營運監 理組施 副組長 文雄	本計畫期末報告內容已針對歷次工作會議及期中審查會議之意見回應並納入報告，符合業主需求。	感謝審查委員之肯定。	--
	P9-3之「9.2後續研究建議」，後續研究方向應補充本研究範圍無法納入或歷年研究不足卻非常重要之內容說明，再導出後續研究建議。	依審查意見調整9.2節之內容。	已於定案報告中修正暨說明
	有關「臺灣鐵道容量手冊-輕軌運輸系統篇(A、B型路權)」報告第八章案例分析內容，P8-22~P8-27案例五雖已將分歧站納入分析，但仍未深入探討實務上最可能遇到的問題，鑑於實務面很多議題仍需後續研究進行分析，建議本報告可用已經執行或研究過的案例補充說明分歧站、末端站及折返站等如何影響容量，以及透過配線或運轉調整的實務做法，以利使用者可以與實務結合。	依審查意見，在案例五的結果討論中加強實務面的討論。	已於定案報告中修正暨說明
	本研究教育訓練雖已納入實務面案例，惟針對尚未進行研究之C型路權輕軌系統容量及分歧站、折返站之暫行處理方式，仍應提出建議說明，並將此暫行做法納入後續研究進一步處理，並建議增加幾種改善方式及其效果檢視之說明。	針對分歧站若是如淡海輕軌濱海沙崙站，不同方向分別屬於不同時相，則可依手冊的案例五來進行分析；至於折返站目前已有相關模式評估其容量，並於手冊案例三中探討容量改善方式與效果；而C型路權容量還有待未來研究。	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
臺灣高 鐵公司 陳協理 信雄	報告書內有使用「月台」與「月臺」，軟體內則多使用「月台」，建議一致化。	已將定稿報告、容量手冊輕軌篇與軟體之相關用字統一為「月臺」。	已於定案報告中修正暨說明
	P2-19 有關表 2.5 中之不同軌道系統章節名詞建議一致化，例如捷運系統篇的「第五章 軌道容量分析程式」建議修改為「第五章 容量分析軟體」。	依審查意見修改。	已於定案報告中修正暨說明
	P4-6 有關圖 4-4 中之「計算後續事件的時間」，左側路徑應改為向左箭頭，請修正。	依審查意見修改。	已於定案報告中修正暨說明
	P5-7 有關式(5.1)，依據國家教育研究院之雙語詞彙，「Inverse Transform」於電子計算機領域之中文名稱應為「逆轉換」，請卓參修正。	依審查意見修改。	已於定案報告中修正暨說明
	P6-11 倒數第四行的內容「…各路口號誌時差來產生產生最大綠燈…」應為誤植，請修正。	依審查意見修改。	已於定案報告中修正暨說明
	P6-12 及 P6-28 皆顯示既然已經證明路口號誌時差不影響運轉時隔，卻會影響旅行時間，爰建議可以進一步探討路口時差設定原則。	路口時差設定不僅會影響輕軌旅行時間，同時也影響道路交通，因此若要制定原則，建議在後續研究中一併考量進行探討。	已於定案報告中修正暨說明
	P6-22 本章節假設高雄輕軌的加減速有效因子為 0.75，但與 P6-2 所述依實測數據算得之加速度有效因子 0.459 及減速度有效因子 0.365 不同，後續如何應用，建議應再檢討說明。	「加減速有效因子為 0.75」一句為誤植，已修正為實測數據計算獲得的結果。	已於定案報告中修正暨說明
	P7-9 建議空間參考點圖示可以箭頭標明行車方向，或者註明為下行或上行，俾利使用者操作瞭解。	軟體主畫面中已標示下行與上行(如定案報告圖 7-4)，而在路段參數編輯視窗中也已箭頭標明行車方向(如定案報告圖 7-10)。	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
臺灣高 鐵公司 陳協理 信雄	P7-18 圖 7-12 的直方圖是否應為「路段容量」？如果是，則建議 X 軸標示採類似「A 站→B 站」，以利使用者辨識為那個路段之容量。	單一參考點容量分析圖呈現各個空間參考點的容量，而非 2 個空間參考點間的路段容量。	已於定案 報告中修 正暨說明
新北市 政府捷 運工程 局鄭總 工程師 智銘	本研究係以 A、B 型路權進行模式的研究，惟輕軌尚有 C 型路權型式，如已核定建設淡海輕軌第二期路線即是，故建議後續就 C 型路權容量，可加以延伸研究。	依審查意見將 C 型路權輕軌容量列入後續研究建議之中。	已於定案 報告中修 正暨說明
	本案模式與開發系統設計是否有考量有無優先號誌的參數規劃，惟以淡海輕軌現行營運檢討，捷運公司認為減少行駛時間，增加平行運具競爭性，對於吸引民眾搭乘有顯著影響，因此，目前也與本府交通局研議絕對優先號誌引進之可行性，爰建議可就絕對優先號誌分析如何透過以參數或修改模型達到目的，後續可納入研究。	本研究所發展之模式與軟體皆有考量優先號誌相關參數的影響，此外，對於研議絕對優先號誌引進之可行性，可採用本研究發展的 A 型路權輕軌容量分析模式來進行分析。	同意承辦 單位之說 明
	淡海輕軌於藍海二期依核定計畫上下行有行經不同道路環境之不同路徑路廊，故如何在模式或參數加以反映處理？	本模式即是上下行路線分別進行分析，因此針對上下行不同路徑的情況，可各別設定參數來評估容量。	同意承辦 單位之說 明
	承上，藍海二期目前經與地方民意溝通朝改沿河岸路線方案修正計畫中，在該方案受限於河川治理線與既有商家建築與渡船碼頭故路廊寬度受限，未來恐有單線雙向運轉評估之可能，爰建議應將單線雙向運轉之模式建立議題納入後續研究。	在去年的研究中，有建立單線區間的容量分析模式，可評估單線雙向運轉之容量。	同意承辦 單位之說 明
	淡海輕軌藍海一期已營運通車，有關容量手冊部份描述內容，請更新。	依審查意見更新其內容。	已於定案 報告修正

單位/姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位審查意見
	淡海二期路線目前朝向沿河岸方案且已提出修正計畫刻正審議中，有關容量手冊部份描述內容，請更新。	依審查意見更新其內容。	已於定案報告中修正暨說明
臺北市	本研究所用「可靠度」名稱與系統保證之「可靠度」名詞定義似有不同，建議說明。	本研究所探討的可靠度為在期望列車流量下，列車相互干擾所產生的平均延滯時間。為了避免混淆，本研究將「可靠度分析模式」改名為「列車平均延滯分析模式」，說明於報告第五章。	已於定案報告中修正暨說明
捷運工程局	P4-3 如圖 4-2 所示，始發站之發車時間非採固定間隔，班距有長有短，與實際營運情形不符，請說明。	該圖僅在說明模式的演算概念，並非在說明實際營運情形，列車於始發站密集發車後，為了不受前車的影響而必須調整其間距，因此班距有長有短。	同意承辦單位之說明
	P4-3~P4-31 報告中相關圖示，並無車站、路口、紅綠燈時相等圖例，建議補列。	依審查意見補充圖例。	已於定案報告中修正暨說明
新北市政府交通局 (書面意見)	P4-17 淡海輕軌系統現況為配合輕軌順利通行號誌化路口，號誌週期採 90 秒運作，行車與輕軌列車分配時相秒數應足夠，惟行人通行時間難以兼顧，建議本案應對路口行人使用需求及衝擊一併考量納入分析探討。另期末報告中亦未提供「現況號誌時制運作模式」與使用「優先號誌」差異分析，及使用「優先號誌」對路口號誌週期連貫衝擊與行車安全評估，請再補充說明。	本研究之範圍在輕軌容量評估，路口行人使用需求及衝擊已超出本案之範疇。 有關是否使用「優先號誌」之差異分析，在容量手冊中有相關範例（詳見手冊第八章），但仍是針對輕軌路線容量進行分析，行車安全評估已超出本案之研究範圍。	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
新北市 政府交 通局 (書面 意見)	本案報告僅對「優先號誌」分析，建議應對現況路口時相狀態進行策略分析，並探討實際運用情況。另請補充插入時相對路口運行之衝擊及安全性分析。	報告中的案例即是根據現況進行分析所獲得的結果，經敏感度分析結果顯示，路線上的最大號誌週期才是影響輕軌容量的主因，若最大號誌週期長度不變，時相的長短對輕軌容量不會構成影響。至於插入時相對路口運行之衝擊及安全性分析，已超出本案之研究範圍。	同意承辦 單位之說 明
桃園市 政府捷 運工程 局	本案是否有將「銜接點」空間參考點納入輕軌容量分析軟體，例如在淡海輕軌有位於T字路口的三角交叉點，其狀況該如何於軟體內進行設定及計算？	欲分析分歧路線之容量，必須從分歧處將路線分段，再透過軟體進行分析。詳細流程請參考容量手冊輕軌篇第八章之案例五。	已於定案 報告中修 正暨說明
	本模擬軟體是否可適用於環狀路線？	欲分析環狀路線，可選擇其中一空間參考點作為起點，再以直線路線之作法進行分析。	同意承辦 單位之說 明
	在本研究軟體中是否可能考量兩種以上不同性能之輕軌列車在共同路段運行時之容量分析計算？	基本上同一路線會採用性能相近之車輛，因此軟體中僅能設定一種輕軌列車的性參數。若是系統中的不同路線採用不同車輛，則可透過不同專案檔各別進行設定來分析容量。	同意承辦 單位之說 明
	本模擬軟體是否可適用於含區間車之路線？	本模擬軟體可用於含區間車之路線，分析時仍是以整條路線進行分析，區間營運的範圍僅是容量利用率較高，但值得注意的是，區間折返處可能會是瓶頸所在，需另外進行分析。	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
桃園市政府捷運工程局	若路線有區間車在中途折返之規劃，於該區間車端點站該設定為哪一種空間參考點以進行容量計算？	目前本案對輕軌系統規劃之空間參考點類型並無中途折返站，但可假定為端末折返站進行容量保守評估。	同意承辦單位之說明
	全域參數(容量軟體手冊 7.2.3 節)中各項因子數值之設定是否有建議參考值，在何種情況下該如何調整因子數值之大小？	軟體中的預設值即為該參數之建議參考值，每項參數數值大小的調整情況不同，統一補充說明於手冊表 7.1。	已於定案報告中修正暨說明
	軌道號誌控制與列車性能(如加減速)也會影響軌道容量，請問本分析軟體是否可以反應分析不同號誌控制對軌道容量之影響？	軟體中可以對列車性能與各項號誌參數進行設定，同時也可設定不同的優先號誌策略。	同意承辦單位之說明
	案例中淡海輕軌之運轉時隔為 356 秒，而目前淡海輕軌最短班距為 6 分鐘，未來是否可如規劃報告需求達到尖峰班距 4.3 分鐘。	根據去年的研究顯示，若紅樹林站採用兩股道交替折返，則最短班距可縮短將近一半，便能達到尖峰班距 4.3 分鐘的需求。	同意承辦單位之說明
	目前容量分析結果，是否可反應回饋地方政府交通管理單位，做為平面輕軌行經路口號誌控制策略優化之參考。	本研究之成果歡迎各界參考應用。	同意承辦單位之說明
	本容量軟體的適用時間點，路線計畫在可研或規劃階段，若無法做太詳細之參變數(如全域或列車參數)設定，應如何使用本軟體？	除了參考本軟體之預設數值外，亦可參考交通部的輕軌系統建設及車輛技術標準規範來進行設定。	同意承辦單位之說明
	本案是否有回饋機制，以利未來在本案結束後，使用單位可提出建議來 fine tune 和精進本模擬軟體？	若有任何軟體相關之精進建議，皆可與運研所及本團隊聯繫。	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
高雄市政府 交通局 (書面 意見)	<p>輕軌系統容量分析暨應用研究(2/2)-A、B型路權容量及可靠度分析：</p> <p>(1) P4-5 有關單一空間參考模式之假設…(1)車站於上、下行方向各別僅有一股軌道，每股軌道僅供一列車停靠。查目前高雄輕軌二階段優化方案中，輕軌於美術館段最窄路段採單線雙向通行。建議將上、下行方向僅有一股軌道之因素納入考量，以因應未來實際運作。</p> <p>(2) P7-9 有關路段參數設定，中間站均以路口同側站區月台二側設置，查目前高雄輕軌二階段優化方案中，原島式月台因輕軌路權瘦身改採側式月台，其同站之上下行均採近端設站，有關該路段參數設定內容，建議將上述月台設置狀況納入，以符未來分析之需。</p>	<p>(1) 該假設僅說明車站內必須有上、下行各一股軌道，但站間可以是雙線或單線。本案在去年有建立單線區間的容量分析模式，可評估單線雙向運轉之容量，惟車站內必須要有兩股道，才能讓列車交會。</p> <p>(2) 軟體中能夠讓使用者彈性地分別設定上下行的車站型式，因此可分析上下行均採近端設站的狀況。</p>	同意承辦單位之說明
	<p>臺灣鐵道容量手冊-輕軌運輸系統篇(A、B型路權)：</p> <p>(1) 有關高雄市輕軌第二階段，本府陳市長109年11月10日召開輕軌復工記者會，正式對外宣示：加速輕軌推動讓「輕軌成圓，邁步向前」…，相關進度請更新。</p> <p>(2) P2-8 有關模式的假設條件…2. 車站於上、下行方向各別僅有一股軌道，每股軌道僅供一列車停靠。查目前高雄輕軌二階段優化方案中，輕軌於美術館段最窄路段採單線雙向通行。建議將上、下行方向僅有一股軌道之因素納入考量，以因應未來實際運作。</p>	<p>(1) 依審查意見更新其內容。</p> <p>(2) 該假設僅說明車站內必須有上、下行各一股軌道，但站間可以是雙線或單線。本案在去年有建立單線區間的容量分析模式，可評估單線雙向運轉之容量，惟車站內必須要有兩股道，才能讓列車交會。</p>	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
高雄市 政府交 通局	以高雄輕軌一階段經驗為例(無懸垂設計列車)，輕軌絕對優先號誌對平面路口支道交通影響甚鉅，更會破壞幹道號誌連鎖功能，就大都會區而言，不適合採用絕對優先或相對優先策略，都會區號誌應採有條件優先策略為宜，即就特定路口條件(交通量、路型幾何..)，給予適當之優先秒數，如延綠、截紅的秒數限縮及插入時相之限制等。	同意委員看法，因此在模式中，對於延長綠燈、縮短紅燈都有秒數限制，而插入時相有數量的限制，此外，即便啟動優先號誌也不影響號誌週期長度，要避免對平面交通、號誌連鎖功能造成太大的影響。	同意承辦單位之說明
(書面 意見)	B 型路權雖可有效阻隔外車交織風險(與 C 型相較)，惟增加之行向即需增加多行向號誌之交通管制，往往造成其它車流嚴重之回堵情況，應依路口型式、車道配置及流量等交通因子，著手讓輕軌路口管制措施標準及法規化，如禁止左轉、車道配置、號誌桿位及時相編輯等等，讓未來須建置縣市單位有所依循。	本研究之範圍著重在輕軌容量評估，無法探討路口號誌對公路車流之影響，不過輕軌路口管制措施的標準化及法規化確實是個重要的議題，將列入後續研究建議之中。	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)	<p>P6-1 有關 6.1 節「加減速度有效因子校估」，係由原期中報告 6.1.2 節「單一空間參考點容量模式調整前後比較」內容，基於其中在 B 型路權的部分差異較大，主要原因係為其運轉寬裕的計算方式改變而調整，惟其理論基礎仍在於「運轉寬裕之考量」，亦即報告 3.2 節「…在原本 B 型路權的容量分析方法中，係根據在一個會反覆出現的運行型態中，計算共歷經幾個號誌週期內並可通過多少列車，透過公式(2.1)求得平均安全時距，此時平均安全時距已含有號誌週期因素，若再將平均安全時距乘上運轉寬裕時間係數來獲得運轉寬裕時間…」之相關論述，為利讀者瞭解分析理論基礎，建議於報告「第六章案例分析」首段文字即應加強補述相關內容。</p>	<p>原期中報告 6.1.2 節為期末報告 6.2.2 節，依審查意見，於第六章首段加強說明與報告 3.2 節之關聯。</p>	<p>已於定案報告中修正暨說明</p>
	<p>P6-2 本研究依據高雄輕軌之實測數據，估算出高雄輕軌列車加速度有效因子約為 0.459、減速度有效因子約為 0.365，上述所推估之參數是否與國內外輕軌實務系統案例接近？是否可作為後續加速度有效因子、減速度有效因子之參數依據，建議報告中可略加補充分析說明。</p>	<p>和國外文獻相比，本研究校估出的加減速度有效因子皆偏低，據了解高雄輕軌為了旅客搭乘安全性，在加減速和急衝度上有所限制，因此造成數據較低，於報告 6.1 節中補充說明。</p>	<p>已於定案報告中修正暨說明</p>

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)	P8-4 有關 8.1.3 節參與情形，述及本計畫教育訓練之參與人數 3 場次共計 37 人，誠屬不踴躍，爰建議本節可補充參與教育訓練不夠踴躍之可能主要原因，係因捷運(輕軌)建設計畫之申請審議機制並未強制要求評估報告必須呈現捷運(輕軌)系統之容量分析內容，藉此強化後續「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」必須儘速修訂之必要性。	遵照辦理。	已於定案報告中修正暨說明
	P8-9 缺漏了 109 年出版之臺灣鐵道容量手冊參考文獻編號，請修正。	遵照辦理。	已於定案報告中修正暨說明
	P9-2 有關後續研究建議第 1 項辦理 C 型路權輕軌容量研究部分，鑑於教育訓練過程各界人士之反映及本計畫委員於歷次會議皆提及 C 型路權輕軌容量研究辦理之必要性及迫切性，且 C 型路權輕軌容量之分析相較於 A、B 型路權容量問題更錯綜複雜、所需蒐集之參數資料亦更龐雜，爰基於本系列研究之完備性，建議應於報告中強調儘速預留足夠時間與經費，及早辦理 C 型路權輕軌容量研究計畫，以應所需。	遵照辦理。	已於定案報告中修正暨說明
	P9-4 後續研究建議第 7 項內容「…建議後續要有相關的軟體維護與更新工作，」，內容並未完整，建議調整。	遵照辦理。	已於定案報告中修正暨說明
主席結 論	本次期末會議之簡報資料稍簡略，請中興顧問社團隊準備完整簡報資料，俾利本所後續參採並納入定稿報告。	遵照辦理，後續以電子檔型式交付完整簡報資料。	已依時限辦理完成相關作業

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
	有關本研究所述及之公式、假設條件及情境等內容，請於報告中清楚說明，俾利讀者充分瞭解其意涵，及使用者易於操作使用模式軟體。	遵照辦理，根據委員們的審查意見調整報告內容，讓讀者能清楚瞭解其意涵。	已於定案報告中修正暨說明
主席結 論	有關本研究所編訂手冊之分析案例內容，應從使用者與營運者之角度充分思考設計，才能符合其真正需求。另目前模式案例較無法處理之分歧站、折返站及單線雙向運轉相關容量議題，請於報告補充說明因應變通做法，以提高本研究之應用價值。	遵照辦理，其中折返站及單線雙向運轉之輕軌容量，手冊第二章內有相關分析模式，而分歧站的分析方式則於手冊第八章的案例五中介紹。	已於定案報告中修正暨說明
	基於報告完整性考量，有關後續研究建議之議題部分，請針對本系列輕軌容量研究分析不足或需加強部分進行彙整分析，以做為後續研究議題方向之建議，請規劃團隊協助盤點檢視後於報告中呈現，俾為周延。	遵照辦理。	已於定案報告中修正暨說明
	有關本研究報告書之各項專業用語應保持一致性，包括前期報告、手冊及軌道實務界之專業用語等，請研究團隊進行盤點。	遵照辦理。	已於定案報告中修正暨說明
	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21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。	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(2/2) -A、B型路權容量及可靠度分析

### 期末審查簡報

簡報人：黃筌珙 研究員

財團法人中興工程顧問社  
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.  
中華民國一〇九年十二月七日

## 簡報大綱



計畫背景概述



加減速度有效因子校估



連續路段容量敏感度分析



教育訓練辦理情形



鐵道容量手冊編訂



結論與建議

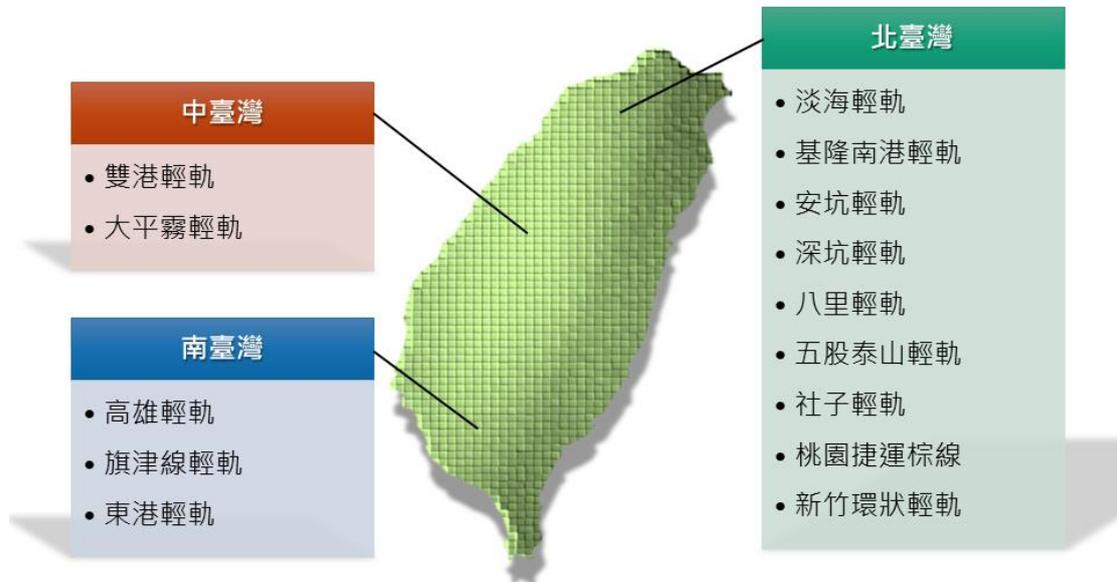
# 計畫背景概述



2

## 研究緣起

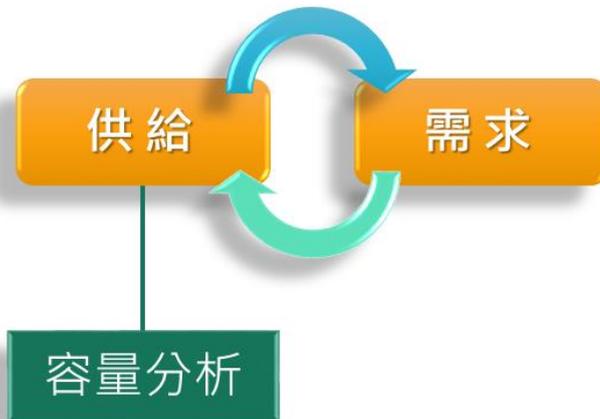
- 國內致力推動輕軌運輸系統



3

## 研究緣起

- 交通建設無論在規劃、興建或營運階段皆須掌握系統供需情況



4

## 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

- 完備國內的鐵道容量分析技術
- 持續推廣容量研究成果

5

# 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

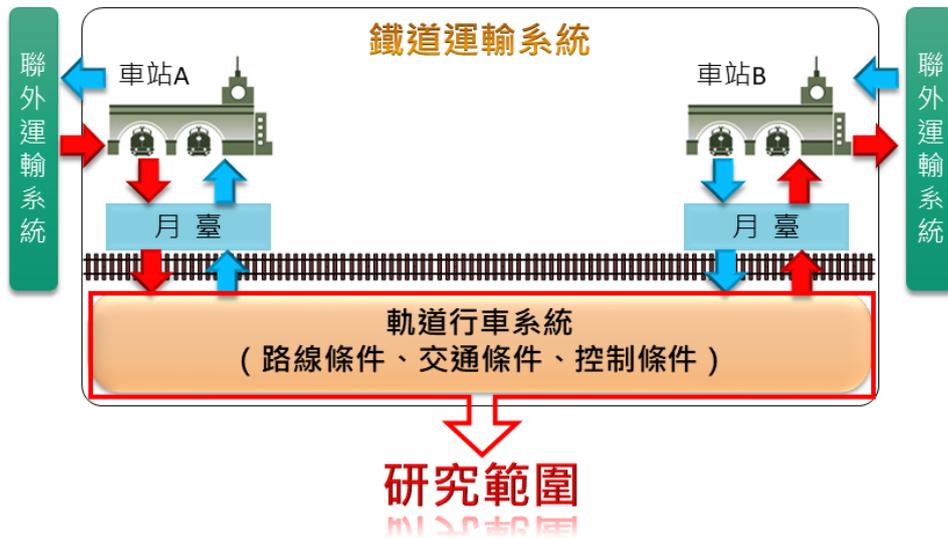
6

# 研究對象



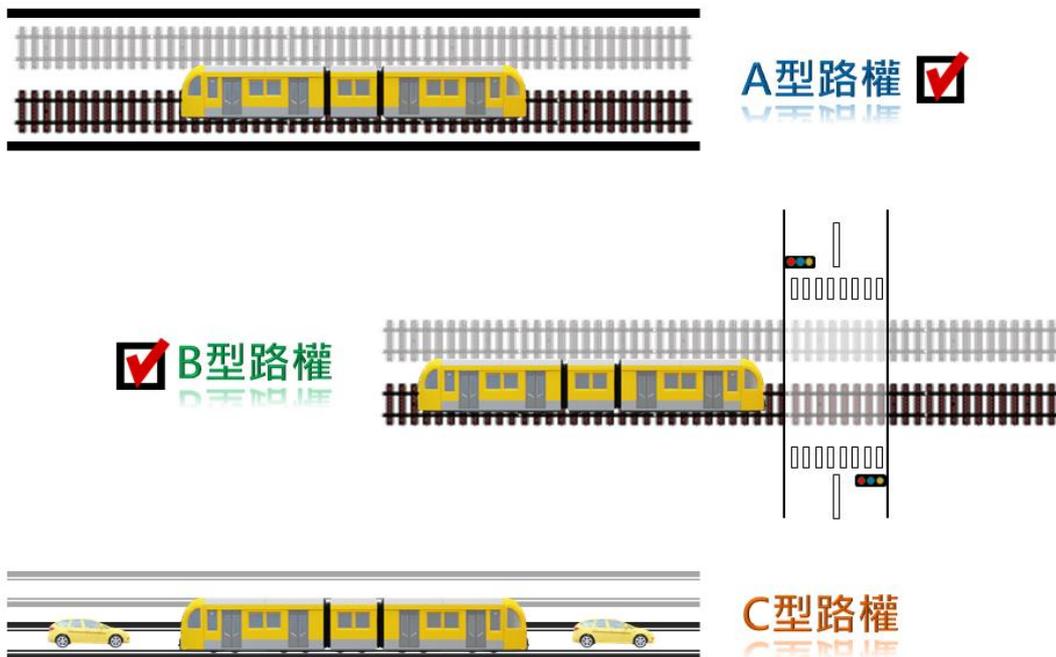
7

# 研究範圍



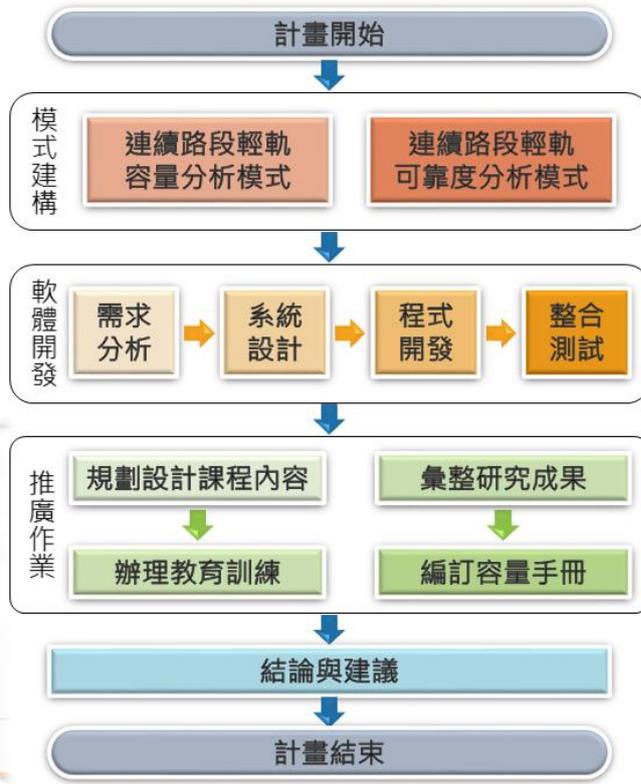
8

# 研究範圍



9

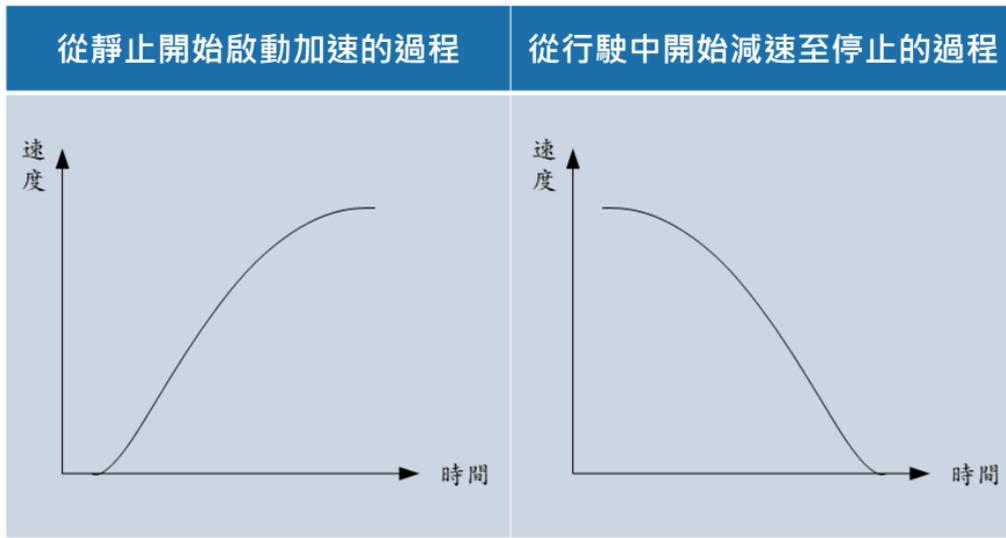
# 研究流程



# 加減速度有效因子校估

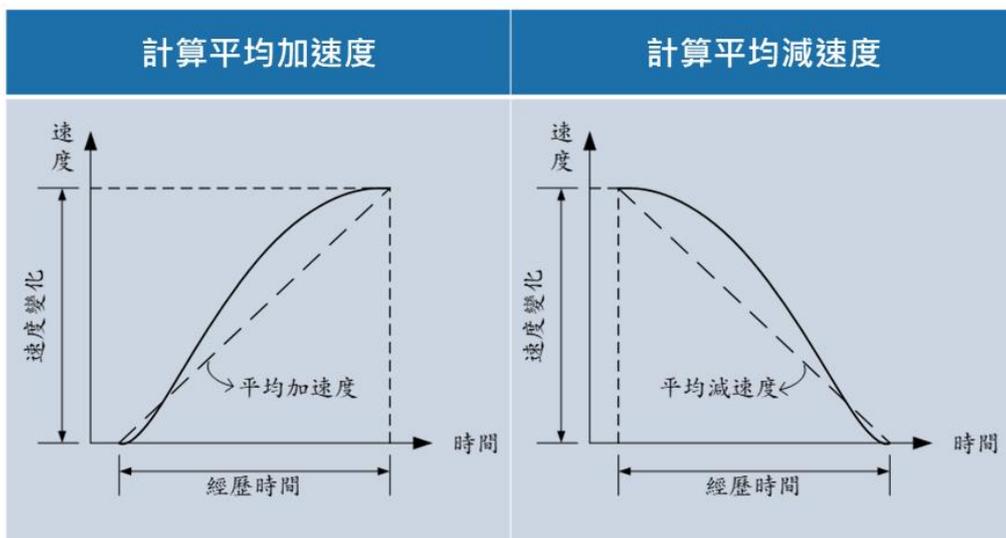


# 列車實際加減速情形



12

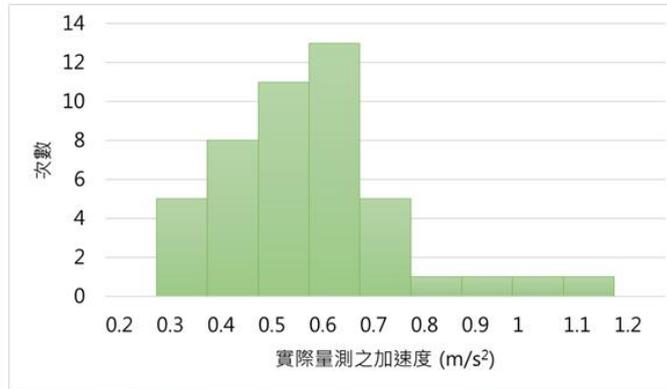
# 校估方法



13

# 校估結果

## • 加速度

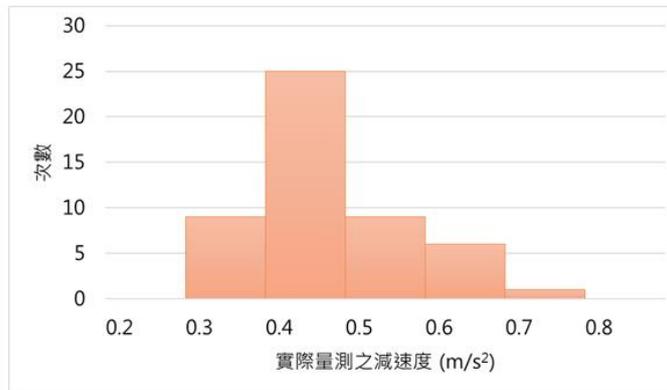


列車性能規格之加速度 ①		1.3 m/s <sup>2</sup>
實際量測之加速度	最大值	1.187 m/s <sup>2</sup>
	平均值 ②	0.596 m/s <sup>2</sup>
	最小值	0.347 m/s <sup>2</sup>
加速度有效因子 ②/①		0.459

14

# 校估結果

## • 減速度



列車性能規格之減速度 ①		1.3 m/s <sup>2</sup>
實際量測之減速度	最大值	0.738 m/s <sup>2</sup>
	平均值 ②	0.475 m/s <sup>2</sup>
	最小值	0.311 m/s <sup>2</sup>
減速度有效因子 ②/①		0.365

15

# 連續路段容量敏感度分析



16

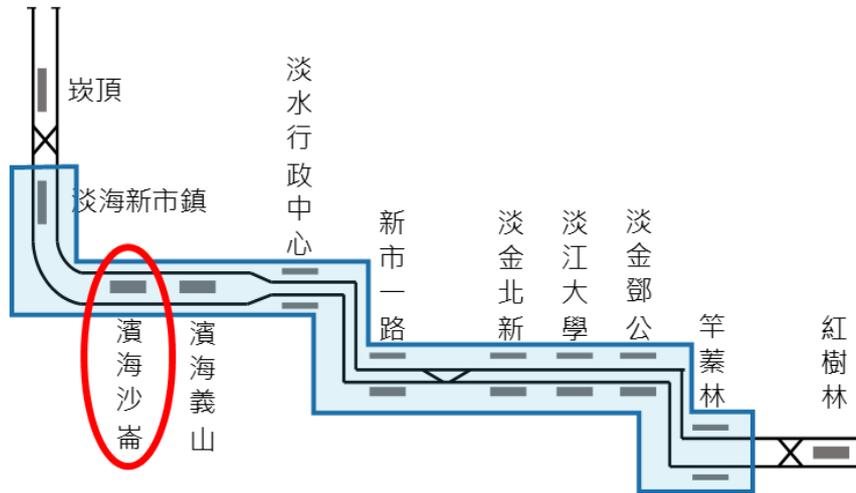
## 分析過程



17

# 淡海輕軌案例

## • 分析範圍



18

# 淡海輕軌案例

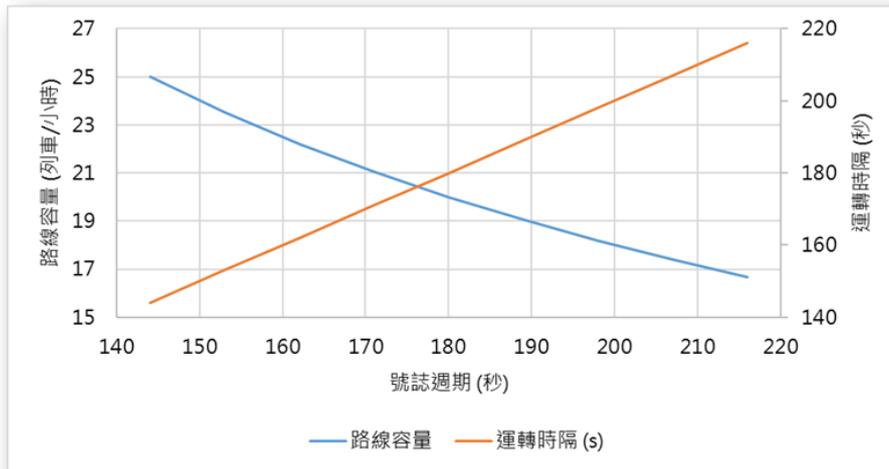
## • 敏感度分析結果

1. 列車長度	尚未影響	8. 輕軌綠燈時相時間	尚未影響
2. 啟動加速度	尚未影響	9. 路口號誌時差	尚未影響
3. 加速度有效因子	尚未影響	10. 進站前巡航速度	尚未影響
4. 煞車減速度	尚未影響	11. 停站時間	尚未影響
5. 減速度有效因子	尚未影響	12. 路口至車站停車處之距離	尚未影響
6. 司機員與煞車系統反應時間	尚未影響	13. 路口寬度	尚未影響
7. 路口號誌週期時間	負相關		

19

# 淡海輕軌案例

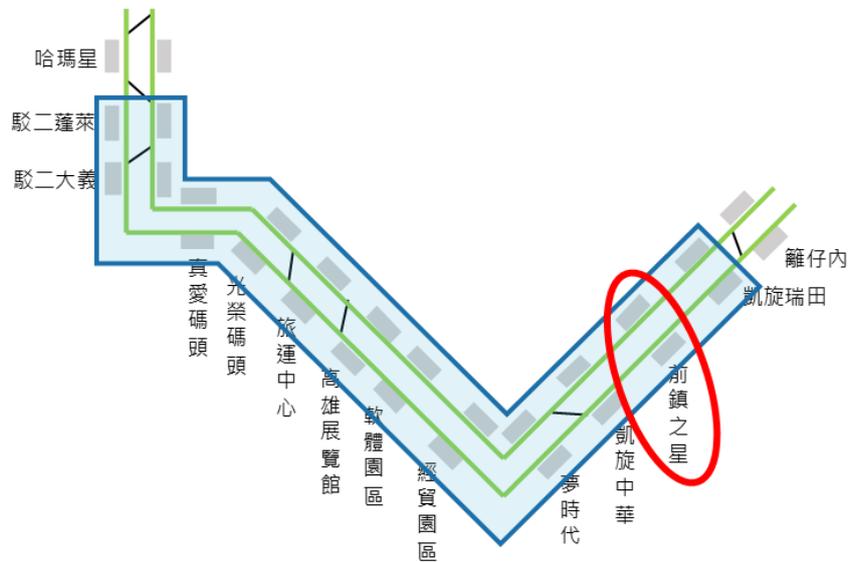
- 路口號誌週期時間對容量與運轉時隔之影響



20

# 高雄輕軌案例

- 分析範圍



21

# 高雄輕軌案例

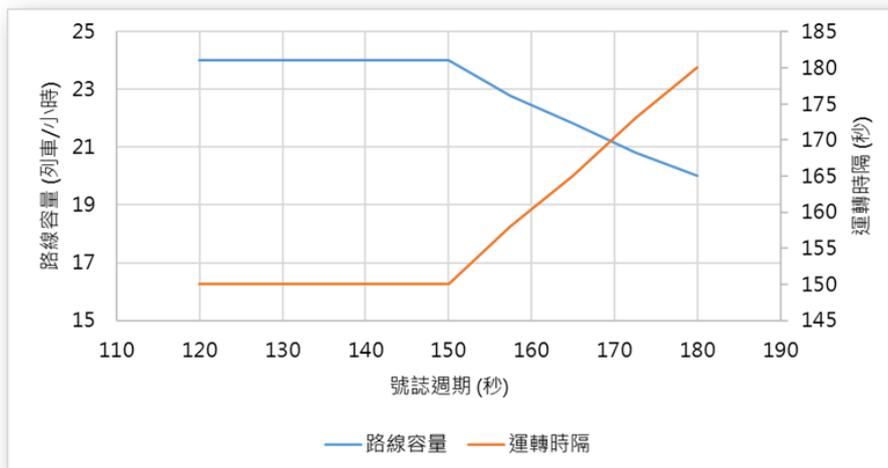
## • 敏感度分析結果

1. 列車長度	尚未影響	8. 輕軌綠燈時相時間	尚未影響
2. 啟動加速度	尚未影響	9. 路口號誌時差	尚未影響
3. 加速度有效因子	尚未影響	10. 進站前巡航速度	尚未影響
4. 煞車減速度	尚未影響	11. 停站時間	尚未影響
5. 減速度有效因子	尚未影響	12. 路口至車站停車處之距離	尚未影響
6. 司機員與煞車系統反應時間	尚未影響	13. 路口寬度	尚未影響
7. 路口號誌週期時間	負相關		

22

# 高雄輕軌案例

## • 路口號誌週期時間對容量與運轉時隔之影響



23

# 教育訓練辦理



24

## 場次安排

場次	日期	地點
北區教育訓練暨成果說明會	民國109年09月29日 (二)	新北市捷運工程局
中區教育訓練	民國109年10月15日 (四)	臺中市政府交通局
南區教育訓練	民國109年09月24日 (四)	高雄市政府捷運工程局



09/24



09/29



10/15

25

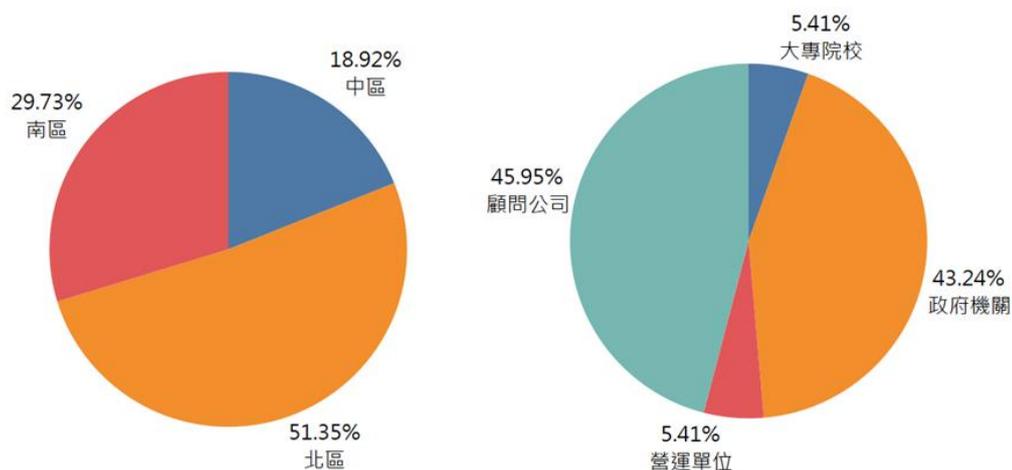
## 課程規劃

時間	內容	時數
13:00~13:20	報到	20分鐘
13:20~13:30	主辦單位致詞	10分鐘
13:30~15:00	鐵道容量分析概論	90分鐘
15:00~15:10	休息時間	10分鐘
15:10~16:40	輕軌容量分析軟體操作與應用	90分鐘
16:40~17:10	綜合討論	30分鐘

26

## 參與情形

- 出席人數共計37人



27

# 軟體回饋改善

- 精進分析結果彙整表排序功能

單一空間參考點容量分析

彙整表 路線容量 設計容量

系統瓶頸容量  下行  上行

發生地點: 紅樹林  
設計班距(秒): 350.45 路線容量(列車數/小時): 10.27 設計容量(乘客數/小時): 2722 可達成容量(乘客數/小時): 2042

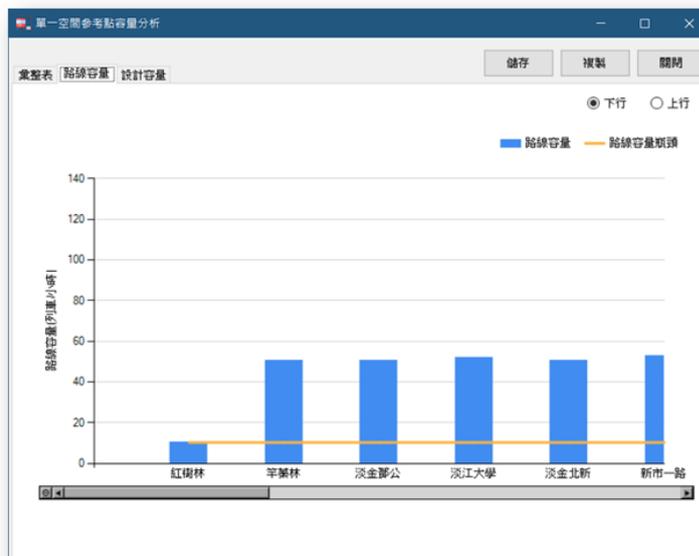
各空間參考點之容量

空間參考點	運轉時間(秒)	路線容量(列車/小時)	設計容量(乘客/小時)	可達成容量(乘客/小時)
紅樹林	350.45	10.27	2722	2042
板頂站	327.05	11.01	2917	2188
濱海沙崙	180.00	20.00	5300	3975
淡海新市鎮	90.00	40.00	10600	7950
濱海泰山	90.00	40.00	10600	7950
淡金北新	70.94	50.75	13448	10086
淡金辦公	70.94	50.75	13448	10086
芋菓林	70.94	50.75	13448	10086
淡江大學	69.33	51.93	13761	10321
新市一路	67.91	53.01	14049	10537
淡水行政中心	66.79	53.90	14283	10712
沙崙路-新市五路口	45.00	80.00	21200	15900
沙崙路-新市二路口	45.00	80.00	21200	15900
濱海路-濱海路202巷路口	30.00	120.00	31800	23850

28

# 軟體回饋改善

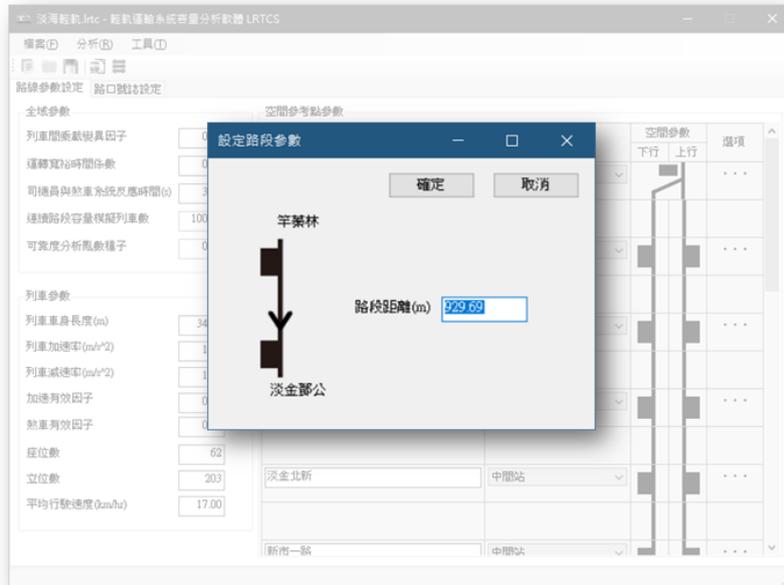
- 圖表座標軸新增數值的單位



29

# 軟體回饋改善

- 改善路段參數設定介面



30

# 軟體回饋改善

- 改善路段參數設定介面



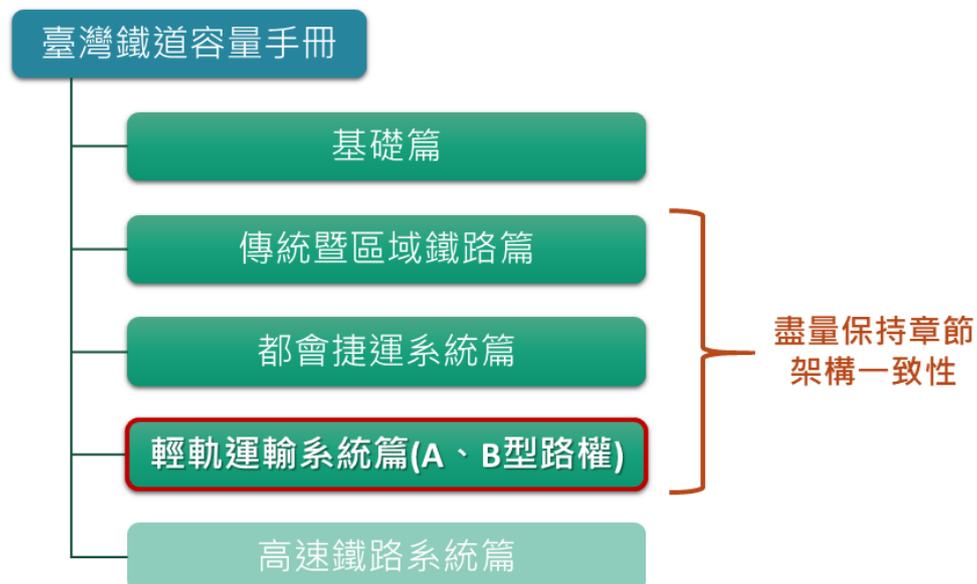
31

# 鐵道容量手冊編訂



32

## 鐵道容量手冊整體架構



33

# 輕軌運輸系統篇各章內容簡介

## 第一章 緒論

- 高雄與淡海輕軌運輸系統簡介
- 輕軌運輸系統的特性
- 輕軌專用號誌與優先號誌策略

## 第二章 單一空間參考點路線容量分析模式

- 模式假設
- 安全時距的計算
- 運轉寬裕時間的決定
- A型路權最小運轉時隔的計算
- B型路權平均運轉時隔的計算
- 路線容量的計算

34

# 輕軌運輸系統篇各章內容簡介

## 第三章 連續路段路線容量分析模式

- 基本概念
- 假設條件
- 整體模擬流程
  - 檢核機制
  - 所需延後時間的計算
  - 關鍵事件和其延後時間的計算
  - 優先號誌之考量
- 演算範例展示

35

# 輕軌運輸系統篇各章內容簡介

## 第四章 旅客容量分析模式

- 列車容量的計算
- 設計容量的計算
- 可達成容量的計算

## 第五章 容量整體分析程序

- 容量分析架構與步驟
- 容量分析的應用情境
  - 規劃、設計和營運階段
  - 輕軌與公路端之協調

36

# 輕軌運輸系統篇各章內容簡介

## 第六章 連續路段可靠度分析模式

- 基本概念
- 假設條件
- 整體模擬流程
  - 基準旅行時間的計算
  - 決定列車進入系統的時間
  - 平均延滯時間的計算

## 第七章 容量分析軟體使用手冊

- 軟體簡介
- 操作說明

37

# 輕軌運輸系統篇各章內容簡介

## 第八章 分析範例

- 案例一：檢核新規劃的輕軌系統是否可滿足營運需求
- 案例二：分析既有輕軌系統之運能與容量瓶頸
- 案例三：研擬提升容量改善方案並分析其效益
- 案例四：探討影響連續路段容量的關鍵因素
- 案例五：分析分歧路線之容量
- 案例六：探討優先號誌的影響
- 案例七：分析延伸路線之容量

## 參考文獻

## 附錄A 數學符號彙整表

38

## 結論與建議



39

## 結論

建立了連續路段容量分析與可靠度分析模式，可考量了路口號誌時差、優先號誌運作細節，以及上/下游空間參考點的交互影響等因素

單一空間參考點輕軌容量分析模式改善

- 考量司機員及煞車系統的反應時間
- 避免將路口號誌週期納入寬裕時間的計算

根據輕軌列車的實際運行資料校估加減速度有效因子的數值，分別約為0.459和0.365，建議可採用0.5和0.4

40

## 結論

根據案例分析結果可歸納出

- 連續路段路線容量由路線上瓶頸處決定
- 最長路口號誌週期對連續路段容量有決定性的影響
- 路口號誌時差主要影響旅行時間

輕軌容量分析軟體具圖形化之路網介面，便於使用者操作與使用，並於教育訓練蒐集回饋意見加以改善，有利於未來的推廣與應用

於臺灣鐵道容量手冊中新增「輕軌運輸系統篇（A、B型路權）」，讓國內的鐵道容量分析技術更加完備

41

## 後續研究建議

在政府致力推動輕軌運輸系統發展之際，建議應及早辦理C型路權輕軌容量研究計畫

未來應把鐵道容量課題納入鐵道系統的可行性分析或綜合規劃作業之中，並建立相關審議機制

有鑑於國內開始有臺灣高鐵北延或南延之議題，建議進行高速鐵路系統的路線容量、站場容量相關研究

深入探討臺鐵系統折返站、分歧站、貨運路線，以及號誌系統升級的容量分析議題

輕軌的運轉寬裕、乘載變異因子等參數尚有討論的空間，未來應進行本土化參數研究，建立適用於國內的容量計算參數

軟體工具要與時俱進才能符合當今的技術以及使用者的習慣，建議後續要有相關的軟體維護與更新工作

42

## 履約項目檢核

	履約要求	完成內容
✓	A、B型路權連續路段輕軌容量及可靠度分析模式構建	以模擬方法發展相關模式，相關內容詳見期末報告第四、五章
✓	輕軌容量分析軟體開發	相關內容詳見期末報告第七章，將於結案時交付原始程式碼
✓	編訂鐵道容量手冊之「輕軌運輸系統篇」	編訂「輕軌運輸系統篇（A、B型路權）」
✓	辦理教育訓練與成果發表會	已於9/24、9/29和10/15辦理完成，相關內容詳見期末報告第8.1節
✓	辦理學者專家座談會	已於6/18和10/27辦理完成
✓	研究成果投稿	於12/4在運輸學會109年學術論文研討會發表
✓	成果展示海報	將於結案前以數位檔案形式交付

43



簡報結束 誠摯感謝





ISBN 978-986-531-317-3



9 789865 313173

GPN : 1011000973

定價 280 元