

99-52-1270
MOTC-IOT-98-PDB004

運輸系統容量分析暨應用

研究-軌道系統(4/4)

著者：鍾志成、李治綱、賴勇成、黃笙玹、盧麗嵩、
張仕龍、張恩輔、孫千山、林蓁、林志偉、
林杜寰、李永強、林國顯、劉昭榮

交通部運輸研究所

中華民國99年5月

國家圖書館出版品預行編目資料

運輸系統容量分析暨應用研究：軌道系統. (4/
4) / 鍾志成等著. -- 初版. -- 臺北市：交
通部運研所，民99.05

面；公分

參考書目：面

ISBN 978-986-02-3575-3(平裝)

1. 鐵路管理 2. 大眾捷運系統 3. 運輸系統

557.23

99009368

運輸系統容量分析暨應用研究—軌道系統(4/4)

著者：鍾志成、李治綱、賴勇成、黃笙玟、盧麗嵩、張仕龍、張恩輔、孫千
山、林 蓁、林志偉、林杜寰、李永強、林國顯、劉昭榮

出版機關：交通部運輸研究所

地址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網址：www.iot.gov.tw (中文版>圖書服務>本所出版品)

電話：(02)23496789

出版年月：中華民國 99 年 5 月

印刷者：九茹印刷有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 120 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定價：100 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸資訊組・電話：(02)23496880

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

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

GPN：1009901432

ISBN：978-986-02-3575-3 (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：運輸系統容量分析暨應用研究－軌道系統（4/4）			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-02-3575-3(平裝)	政府出版品統一編號 1009901432	運輸研究所出版品編號 99-52-1270	計畫編號 98-PDB004
本所主辦單位：運輸計畫組 主管：林國顯 計畫主持人：林國顯 研究人員：劉昭榮 聯絡電話：(02)23496809 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：鍾志成、李治綱、賴勇成、黃笙玟 研究人員：盧麗嵩、張仕龍、張恩輔、孫千山、林蓁、林志偉、林杜寰、李永強 地址：臺北市南京東路5段171號 聯絡電話：(02)27692131 ext. 20998 傳真號碼：(02)27655010		研究期間 自 98 年 2 月 至 98 年 11 月
關鍵詞：軌道容量分析、都會捷運系統、解析模式 摘要： <p>近年來政府的交通建設政策，已從以公路為主逐漸走向以軌道為主。軌道運輸系統具有高效率、低污染以及對環境衝擊較小的特性，適於地狹人稠的台灣地區發展，然而其投資金額相當龐大，因此無論是新建或改善計畫，均需掌握其對軌道容量的影響，才能使投資發揮最大的效益。</p> <p>本年度為「運輸系統容量分析暨應用研究－軌道系統」4年計畫的最後1年，主要工作為完成都會捷運系統容量分析模式的建構和程式的開發，此外，亦編定完成軌道容量手冊中「都會軌道系統」篇的內容，最後並辦理整個計畫的成果發表與教育訓練，為全程計畫達成驗收與宣導之效果。</p>			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
99 年 5 月	272	100	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
機密等級： <input type="checkbox"/> 密 <input type="checkbox"/> 機密 <input type="checkbox"/> 極機密 <input type="checkbox"/> 絕對機密 （解密條件： <input type="checkbox"/> 年 月 日解密， <input type="checkbox"/> 公布後解密， <input type="checkbox"/> 附件抽存後解密， <input type="checkbox"/> 工作完成或會議終了時解密， <input type="checkbox"/> 另行檢討後辦理解密） <input checked="" type="checkbox"/> 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

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

TITLE: Capacity Analysis of Rail Transportation System and Its Applications(4/4)			
ISBN(OR ISSN) ISBN 978-986-02-3575-3(pbk.)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009901432	IOT SERIAL NUMBER 99-52-1270	PROJECT NUMBER 98-PDB004
DIVISION: Planning Division DIVISION CHIEF: Kuo-Shian Lin PRINCIPAL INVESTIGATOR: Kuo-Shian Lin PROJECT STAFF: Jau-Rong Liu PHONE: 886-2-23496809 FAX: 886-2-25450428			PROJECT PERIOD FROM February 2009 TO November 2009
RESEARCH AGENCY: Sinotech Engineering Consultants, Inc. PRINCIPAL INVESTIGATOR: Jyh-Cherng Jong, Chi-Kang Lee, Yung-Cheng Lai, Sheng-Hsuan Huang PROJECT STAFF: Li-Song Lu, SLoan Cheng, En-Fu Chang, Chian-Shan Suen, Jen Lin, Jyh-Wei Lin, Tu-Huan Lin, Yung-Chiang Li ADDRESS: 171 Nanking E. RD. SEC. 5, Taipei, Taiwan, R.O.C. PHONE: 886-2-27692131 ext. 20998 FAX: 886-2-27655010			
KEY WORDS: Rail Capacity Analysis, Urban Rapid Transit System, Analytical Model			
ABSTRACT: <p>In recent years, the government's transportation policy is focused on railways in place of highways, due to their high efficiency, low pollution, and lower impact on the environment. It is appropriate to promote railway systems in Taiwan due to the high population and limited land resources. Regardless of the above advantages, the construction of railway systems requires an enormous capital expenditure. Therefore, it is necessary to evaluate the impact on rail capacity for a newly-built or an improved railway project to maximize the benefit of the investment.</p> <p>This year is the last of the four-year research project "Capacity Analysis of the Rail Transportation System and Its Applications". The focus is to develop an analytical model and software for urban rapid transit systems. In addition, this study compiled the part, "Urban Rail Transit System" of the Rail Capacity Manual. Finally, the research results of the whole project were published.</p>			
DATE OF PUBLICATION May 2010	NUMBER OF PAGES 272	PRICE 100	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目 錄

	頁 次
目 錄.....	III
圖 目 錄.....	VII
表 目 錄.....	XI
第一章 緒論.....	1 - 1
1.1 研究動機.....	1 - 1
1.2 全程計畫概要.....	1 - 2
1.3 研究目的.....	1 - 3
1.4 研究內容與工作項目.....	1 - 3
1.5 研究方法與流程.....	1 - 4
第二章 研究範圍與對象.....	2 - 1
2.1 研究範圍.....	2 - 1
2.2 研究對象.....	2 - 2
2.2.1 臺北捷運系統.....	2 - 3
2.2.2 高雄捷運系統.....	2 - 10
第三章 都會捷運系統容量分析模式.....	3 - 1
3.1 基本概念.....	3 - 1
3.2 以「列車」為客體單位的容量分析模式.....	3 - 3
3.3 以「旅客」為客體單位的容量分析模式.....	3 - 5
3.4 號誌安全時距計算公式之補充.....	3 - 7
3.4.1 中間站之號誌安全時距.....	3 - 8
3.4.2 銜接點之號誌安全時距.....	3 - 10
3.4.3 使用中央避車線折返之號誌安全時距.....	3 - 12
3.5 整體分析程序.....	3 - 17
3.6 容量分析的應用方式.....	3 - 23
3.6.1 巡航速度的決定方式.....	3 - 24

3.6.2	間隔安全係數的設定	3 - 25
3.6.3	容量利用效率評估	3 - 26
3.6.4	列車服務班距規劃	3 - 28
3.6.5	設計路線容量的決定	3 - 29
3.6.6	車隊規模計算	3 - 29
第四章	都會捷運系統容量分析軟體	4 - 1
4.1	國內外相關軟體回顧	4 - 1
4.1.1	解析模式容量分析軟體	4 - 1
4.1.2	模擬模式容量分析軟體	4 - 4
4.1.3	最佳化模式容量分析軟體	4 - 10
4.1.4	其他容量分析軟體	4 - 14
4.1.5	小結	4 - 15
4.2	軟體簡介	4 - 17
4.2.1	軟體特色	4 - 17
4.2.2	軟體功能架構	4 - 18
4.2.3	執行環境需求	4 - 21
4.3	路線容量分析模組操作說明	4 - 22
4.3.1	操作環境	4 - 22
4.3.2	設定全域參數	4 - 23
4.3.3	設定列車參數	4 - 24
4.3.4	設定空間參考點參數	4 - 25
4.3.5	分析計算	4 - 32
4.3.6	輸出結果	4 - 37
4.3.7	偏好設定	4 - 42
4.4	運轉規劃分析模組操作說明	4 - 43
4.4.1	操作環境	4 - 43
4.4.2	進行新分析	4 - 43
4.4.3	開啟舊檔	4 - 50
第五章	案例分析	5 - 1
5.1	空間參考點之選定	5 - 1

5.2	臺北捷運高運量系統.....	5 - 3
5.2.1	輸入參數.....	5 - 3
5.2.2	容量分析結果.....	5 - 5
5.3	臺北捷運中運量系統.....	5 - 6
5.3.1	輸入參數.....	5 - 6
5.3.2	容量分析結果.....	5 - 7
5.4	高雄捷運系統.....	5 - 8
5.4.1	輸入參數.....	5 - 8
5.4.2	容量分析結果.....	5 - 9
第六章	研究成果推廣.....	6 - 1
6.1	編修軌道容量手冊.....	6 - 1
6.1.1	軌道容量手冊之修訂.....	6 - 2
6.1.2	「都會捷運系統篇」之編訂.....	6 - 2
6.2	辦理教育訓練與成果發表.....	6 - 4
第七章	結論與建議.....	7 - 1
7.1	結論.....	7 - 1
7.1.1	傳統暨區域鐵路系統方面.....	7 - 1
7.1.2	都會捷運系統方面.....	7 - 3
7.1.3	服務品質方面.....	7 - 4
7.1.4	研究成果推廣方面.....	7 - 4
7.2	後續研究建議.....	7 - 5
7.2.1	容量相關課題.....	7 - 5
7.2.2	服務品質相關課題.....	7 - 6
7.2.3	其他課題.....	7 - 6
	參考文獻.....	R - 1
	附錄 A 教育訓練講義.....	A - 1
	附錄 B 期中工作會議資料.....	B - 1
	附錄 C 期中工作會議紀錄.....	C - 1
	附錄 D 期中簡報資料.....	D - 1
	附錄 E 期中審查意見處理情形.....	E - 1

附錄 F 期末工作會議資料	F - 1
附錄 G 期末工作會議紀錄.....	G - 1
附錄 H 期末簡報資料.....	H - 1
附錄 I 期末審查意見處理情形	I - 1

圖 目 錄

	頁 次
圖 1-1 全程計畫概要示意圖	1 - 2
圖 1-2 研究流程圖	1 - 5
圖 2-1 軌道容量的研究範圍	2 - 2
圖 2-2 臺北都會區大眾捷運系統計畫路網圖	2 - 5
圖 2-3 臺北捷運內湖線、木柵線軌道配置圖	2 - 6
圖 2-4 臺北捷運土城、板橋、南港線軌道配置圖	2 - 6
圖 2-5 臺北捷運新店、中和線軌道配置圖	2 - 7
圖 2-6 臺北捷運淡水線軌道配置圖	2 - 7
圖 2-7 臺北捷運系統歷年平均日運量	2 - 10
圖 2-8 臺北捷運系統歷年尖峰平均班距	2 - 10
圖 2-9 高雄都會區大眾捷運系統路網圖	2 - 11
圖 2-10 高雄捷運紅橋線軌道配置圖	2 - 13
圖 2-11 高雄捷運系統歷月旅運量	2 - 14
圖 3-1 在通過安全重疊區間前先行列車已加速至巡航速度	3 - 9
圖 3-2 列車從靜止加速到通過安全重疊區間皆在加速階段	3 - 10
圖 3-3 主線列車與側線列車輪流通過銜接點	3 - 11
圖 3-4 主線列車連續通過比例為 0.5 之情況	3 - 12
圖 3-5 使用中央避車線折返之號誌安全時距	3 - 14
圖 3-6 都會捷運系統容量分析模式架構	3 - 17
圖 3-7 列車站間運轉曲線示意圖	3 - 25
圖 3-8 列車循環運用時空圖範例	3 - 30
圖 4-1 TCQSM 試算表	4 - 2
圖 4-2 RRCS 軟體介面	4 - 4
圖 4-3 FAST TRACK II 使用介面	4 - 5
圖 4-4 RAILSIM® v7 使用介面	4 - 6

圖 4-5	SIMONE 使用介面.....	4 - 7
圖 4-6	VISION 使用介面	4 - 8
圖 4-7	RAILSYS 時刻表管理介面	4 - 10
圖 4-8	CAPRES 飽和班表規劃.....	4 - 11
圖 4-9	NEMO 使用介面	4 - 15
圖 4-10	路線容量分析模組之功能架構.....	4 - 19
圖 4-11	運轉規劃分析模組之功能架構.....	4 - 21
圖 4-12	軟體操作環境.....	4 - 23
圖 4-13	全域參數設定介面	4 - 23
圖 4-14	列車參數設定介面	4 - 24
圖 4-15	空間參考點管理介面	4 - 25
圖 4-16	空間參考點管理功能按鈕.....	4 - 25
圖 4-17	空間參考點各項參數設定介面	4 - 26
圖 4-18	中間站參數設定介面	4 - 27
圖 4-19	站前折返參數設定介面	4 - 28
圖 4-20	站後折返參數設定介面	4 - 29
圖 4-21	中央避車線折返參數設定介面	4 - 29
圖 4-22	銜接點參數設定介面	4 - 30
圖 4-23	刪除空間參考點之確認對話盒.....	4 - 31
圖 4-24	變更空間參考點順序	4 - 32
圖 4-25	執行容量分析計算.....	4 - 32
圖 4-26	容量分析結果介面	4 - 33
圖 4-27	容量分析結果彙整表	4 - 33
圖 4-28	路線容量結果直方圖	4 - 34
圖 4-29	設計容量結果直方圖	4 - 35
圖 4-30	執行敏感度分析.....	4 - 35
圖 4-31	敏感度分析介面	4 - 36
圖 4-32	選擇分析對象.....	4 - 36
圖 4-33	自訂參數變化範圍	4 - 37
圖 4-34	敏感度分析結果.....	4 - 37

圖 4-35 儲存容量分析結果文字檔之對話盒	4 - 38
圖 4-36 儲存容量分析結果圖檔之對話盒	4 - 39
圖 4-37 以文字格式輸出至剪貼簿後於 MS Excel 貼上	4 - 39
圖 4-38 以圖案格式輸出至剪貼簿後在 MS Word 貼上	4 - 40
圖 4-39 儲存敏感度分析結果圖檔之對話盒	4 - 41
圖 4-40 敏感度分析結果輸出至剪貼簿後於 MS Word 貼上	4 - 41
圖 4-41 執行偏好設定	4 - 42
圖 4-42 偏好設定介面	4 - 42
圖 4-43 運轉規劃分析模組操作環境	4 - 43
圖 4-44 運轉規劃分析模組整體操作流程	4 - 44
圖 4-45 選擇計算項目	4 - 44
圖 4-46 設定列車參數	4 - 45
圖 4-47 設定預測運量	4 - 45
圖 4-48 最大營運班距計算結果	4 - 46
圖 4-49 調整最大營運班距	4 - 47
圖 4-50 設定計算車隊規模相關參數	4 - 48
圖 4-51 車隊規模計算結果	4 - 48
圖 4-52 輸出最大營運班距計算結果	4 - 49
圖 4-53 儲存運轉規劃分析檔案	4 - 50
圖 4-54 開啟運轉規劃分析檔案	4 - 51
圖 4-55 開啟舊檔對話盒	4 - 51
圖 4-56 選定欲開啟之舊檔	4 - 52
圖 5-1 橋頭站折返情況	5 - 2
圖 5-2 列車折返過程示意圖	5 - 5
圖 6-1 軌道容量手冊整體架構	6 - 1
圖 6-2 主辦單位致詞	6 - 4
圖 6-3 教育訓練情況	6 - 5

表 目 錄

	頁 次
表 2.1 臺北捷運已通車之路線	2 - 4
表 2.2 臺北捷運系統高運量車輛與中運量車輛	2 - 9
表 2.3 高雄捷運已通車之路線	2 - 12
表 2.4 高雄捷運系統車輛特性	2 - 14
表 3.1 號誌安全時距計算公式彙整表	3 - 19
表 3.2 號誌安全時距計算公式之符號意義說明表	3 - 21
表 4.1 容量分析軟體特色彙整表	4 - 16
表 4.2 全域參數之型態與單位	4 - 24
表 4.3 列車參數之型態與單位	4 - 24
表 4.4 空間參考點型式與參數設定介面彙整表	4 - 26
表 4.5 中間站參數之型態與單位	4 - 27
表 4.6 站前折返參數之型態與單位	4 - 28
表 4.7 站後折返參數之型態與單位	4 - 29
表 4.8 中央避車線折返參數之型態與單位	4 - 30
表 4.9 銜接點參數之型態與單位	4 - 30
表 5.1 各空間參考點之型式彙整表	5 - 2
表 5.2 臺北捷運高運量系統之列車參數	5 - 3
表 5.3 北捷高運量系統各空間參考點的巡航速度參數	5 - 4
表 5.4 北捷高運量系統各空間參考點的間隔安全係數參數	5 - 4
表 5.5 北捷高運量系統容量分析結果（往南港方向）	5 - 5
表 5.6 北捷高運量系統容量分析結果（往永寧方向）	5 - 6
表 5.7 臺北捷運中運量系統之列車參數	5 - 6
表 5.8 北捷中運量系統容量分析結果（往動物園方向）	5 - 7
表 5.9 北捷中運量系統容量分析結果（往南港展覽館方向）	5 - 7
表 5.10 高雄捷運系統之列車參數	5 - 8

表 5.11 高雄捷運系統各空間參考點的間隔安全係數參數	5 - 9
表 5.12 高雄捷運系統容量分析結果（往小港方向）	5 - 9
表 5.13 高雄捷運系統容量分析結果（往南岡山方向）	5 - 10
表 6.1 教育訓練課程安排	6 - 6

第一章 緒論

1.1 研究動機

交通建設是人類生活不可或缺的基礎建設，亦是帶動經濟與社會發展的重要基石。過去公路是交通建設的主流，然而公路的高度發展常常伴隨著道路擁塞、噪音、空氣污染等問題的產生。近年來由於氣候異常現象與油價飆漲，使得全球溫室效應與能源危機成為目前國際社會最關心的議題之一。在交通方面，車輛每日所消耗的大量能源與排放出大量的溫室氣體，更是被檢討的重點，除了研發更環保且節能的運具之外，鼓勵使用大眾運輸系統以減少車輛數才是治本之道。

在大眾運輸系統中，軌道運輸系統具有高效率、低污染以及對環境衝擊較小等特性，符合現今的環保意識。臺灣早在清光緒年間就開始興建軌道系統，即現在的臺灣鐵路系統，迄今已陸續興建了臺北捷運系統、臺灣高速鐵路系統以及高雄捷運系統，此外對於其他各大都市尚有軌道系統建設之規劃。近年來國內交通建設計畫的主軸也逐漸從公路轉變為軌道，軌道建設的預算核列數逐年攀升，於民國 93 年首度超越公路建設。

雖然軌道運輸系統具備高度的外部社會效益，但其投資金額十分龐大，因此不論在規劃、設計或營運階段，軌道容量皆為重要的關鍵課題，掌握系統的供需能量，才能使計畫的投資恰如其分，提供符合經濟效益的運輸服務。因此本所於民國 92 年開始，先後完成了「臺灣地區軌道系統容量研究架構暨臺北捷運系統容量分析」、「軌道容量研究—臺鐵系統容量模式之建構分析(一)」及「軌道容量研究—臺鐵系統容量模式之建構分析(二)」等研究，並從民國 95 年度起，開始推動「運輸系統容量分析暨應用研究—軌道系統」4 年期計畫，進行國

內軌道容量分析工具之開發、服務品質之研析以及軌道容量手冊之編訂。

1.2 全程計畫概要

「運輸系統容量分析暨應用研究—軌道系統」的研究對象包含傳統暨區域鐵路系統(臺鐵系統)和都會捷運系統,執行期間為民國 95-98 年,分為 4 個年度進行,依研究對象的不同可分為兩個階段,第 1 階段(民國 95-96 年)的研究對象為傳統暨區域鐵路系統(臺鐵系統);第 2 階段(民國 97-98 年)的研究對象為都會捷運系統,全程計畫概要如圖 1-1。

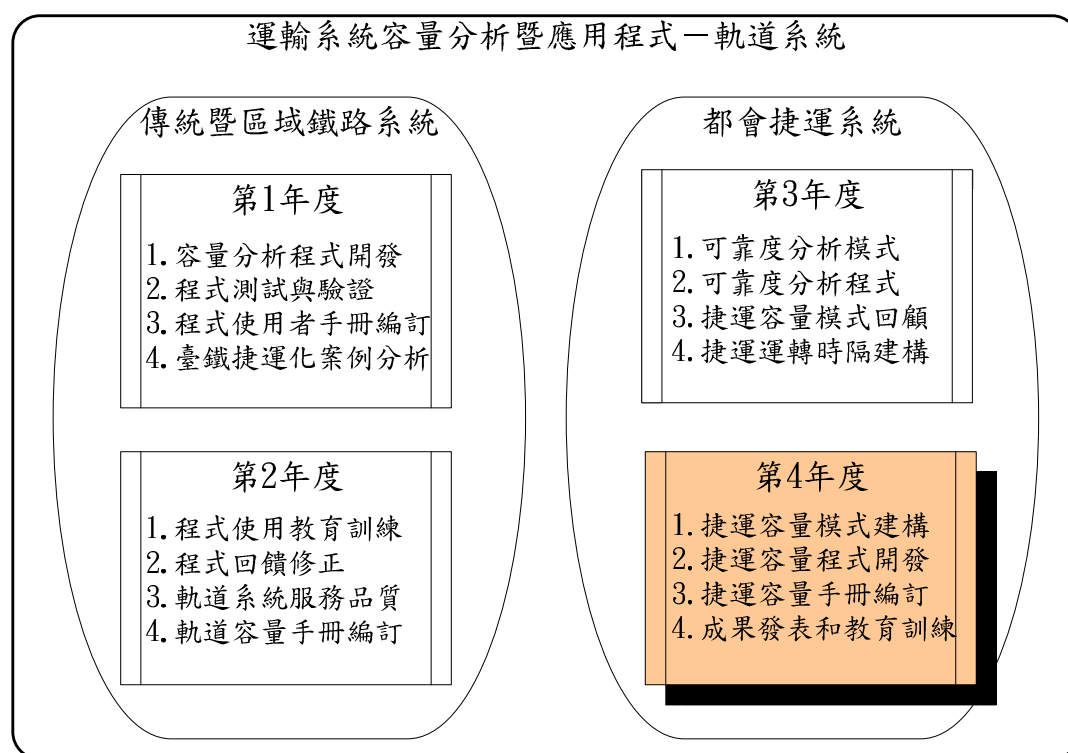


圖1-1 全程計畫概要示意圖

第 1 年度(95 年)的主要工作包括軌道容量分析程式之開發、測試和驗證,並進行臺鐵捷運化計畫之案例分析;第 2 年度(96 年)的工作則是舉辦容量分析程式教育訓練、服務品質研析以及編訂軌道容量手冊。在第 3 年度(97 年)的工作中,除了辦理都會捷運系統容量

模式的回顧與運轉時隔模式的建構外，也針對傳統暨區域鐵路可靠度分析模式及分析程式等議題作深入研究。第4年度（即本年度）則繼續完成都會捷運系統容量分析模式及程式的開發，以及軌道容量手冊之編訂工作，最後舉辦成果發表與教育訓練，為4年全程計畫達成驗收與宣導之效果。

1.3 研究目的

前期研究僅針對捷運系統中間站、折返站和銜接點，分別發展了運轉時隔的計算方式，尚須發展以列車為客體單位的容量模式，以及以旅客為客體單位的容量模式，方能使都會捷運系統容量分析模式完備。此外，由於該模式有一定的複雜性，若能提供分析人員一套簡單易用的軌道容量分析工具，則可大幅降低容量分析模式的使用門檻，並提升其分析效率。最後，在這4年的計畫中已累積不少的研究成果，為讓產官學界對於容量分析有一定程度的認識，並能儘快掌握加以運用，因此還需進一步進行推廣工作。綜合以上所述，本年度之研究目的主要有以下3點：

1. 完備都會捷運系統容量分析模式
2. 發展軟體工具，以利分析人員使用都會捷運系統容量模式進行容量分析
3. 研究成果的推廣

1.4 研究內容與工作項目

根據前述之研究目的，本研究包含下列幾項工作項目：

1. 發展以「列車」及「旅客」為客體單位之都會捷運系統容量分析模式

完整都會捷運系統容量分析模式包含：(1)運轉時隔的計算、(2)以列車為客體單位之容量模式，以及(3)以旅客為客體單位之容量模

式，在前期研究中已完成第 1 項，在本年度計畫中則繼續完成其他 2 項，此外亦針對運轉時隔分析模式進行補足。

2. 都會捷運系統容量分析視窗程式之開發

根據都會捷運系統容量分析模式的計算邏輯，依循軟體開發的程序，開發一套具圖形介面的軌道容量分析軟體，並撰寫該軟體之使用手冊。

3. 都會捷運系統容量之案例分析

以都會捷運系統容量分析程式，對國內現有捷運系統進行案例分析，包括臺北捷運系統（中/高運量系統）以及高雄捷運系統。

4. 軌道容量手冊之編訂

在前期研究中已編訂軌道容量手冊「基礎篇」和「傳統暨區域鐵路篇」的內容，彙整軌道容量的研究成果供各界使用，有助於容量分析概念的推廣。在本年度工作中，有關都會捷運系統容量分析的研究成果將編為軌道容量手冊中的「都會捷運系統篇」，另外針對先前完成的 2 個篇章進行修訂。

5. 辦理教育訓練及成果發表

在研究成果的推廣方面，除了彙整研究成果編訂成手冊外，辦理教育訓練及成果發表亦是相當有效的做法，因此以顧問公司、學校以及軌道相關營運單位為對象，安排軌道容量分析的知識和模式，以及分析程式的操作與應用等相關課程。

1.5 研究方法與流程

本年度的研究以都會捷運系統容量分析模式發展與程式開發為主軸，此外需蒐集容量分析相關資料以便進行後續的案例分折，並彙整前期與本期研究成果編訂軌道容量手冊中的相關內容，最後辦理成

果發表與教育訓練，工作研究流程如圖 1-2，各項工作重點與方法說明如下。

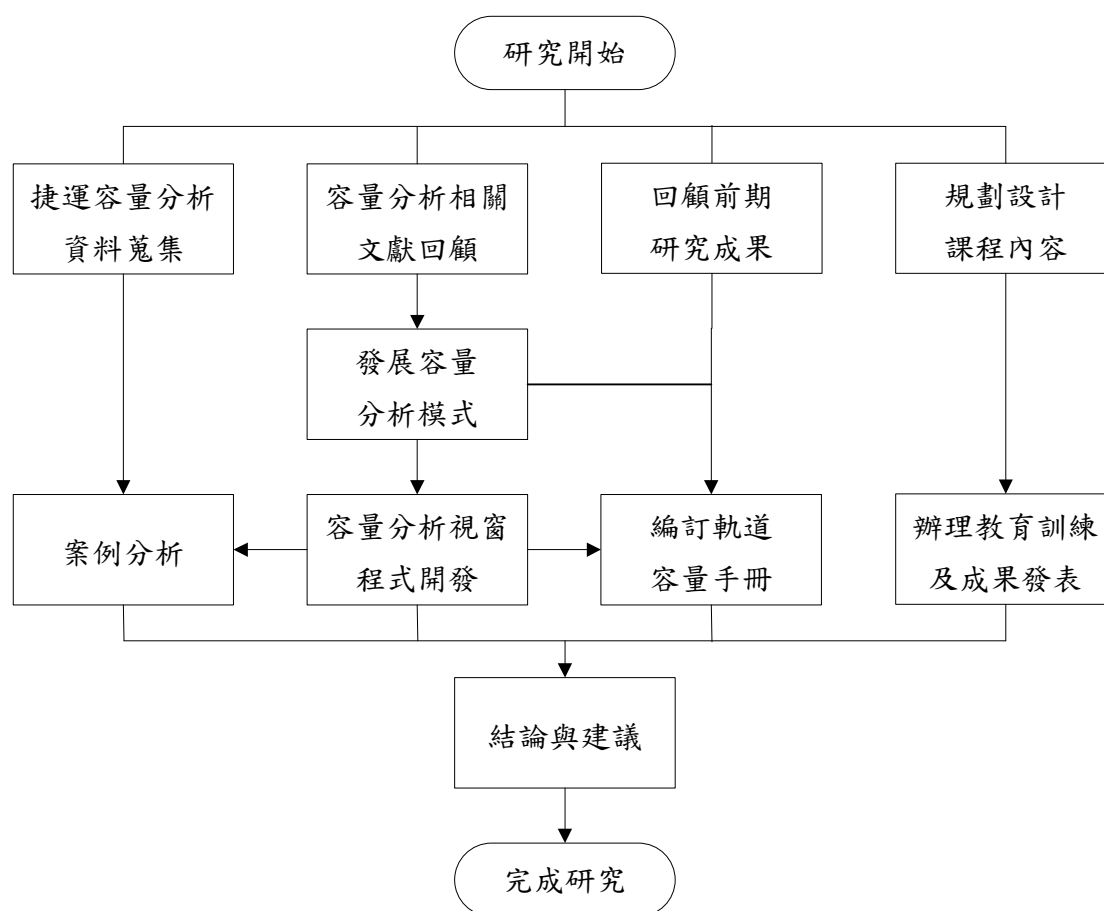


圖1-2 研究流程圖

1. 發展都會捷運系統容量分析模式

首先對前期研究所發展的運轉時隔分析模式進行檢視，對於尚未納入考慮的情況予以補足，如以中央避車線（Pocket Track）進行折返等，然後分別發展以「列車」及「旅客」為客體單位之容量分析模式，最後提出一整體分析程序。

2. 都會捷運系統容量分析視窗程式之開發

軟體開發是本年度的重要課題之一，其開發流程為：

(1) 軟體需求分析

根據本研究團隊過去執行軌道容量案例分析，及相關軟體開發的經驗，回顧比較各種容量分析軟體之優缺點，來決定軟體的規格和功能。

(2) 系統分析設計

在此程序裡，主要工作是將軟體需求分析予以整理歸類，同時以系統的觀點來描述，並深入探討物件的屬性與方法、資料結構設計與演算法，以利開發工作。

(3) 程式開發

在開發的過程中，先開發不具視窗介面的運算核心部分，以便進行測試驗證，待確定計算功能無誤後，再進行視窗程式與資料前後處理的開發工作。

(4) 測試驗證

軟體運算核心和介面的測試重點不同，運算核心著重在計算的正確性，而介面則是需測試其反饋機制是否符合預期。一般而言，測試驗證工作可以分為白箱測試與黑箱測試 2 種，兩者目的不同，各有優劣，在程式的開發過程中將由程式開發人員進行白箱測試，在視窗程式開發完成後，則由未參與開發工作的研究人員進行黑箱測試，以找出開發人員所沒注意到的盲點與錯誤。

3. 都會捷運系統容量之案例分析

本工作項目以臺北捷運和高雄捷運為對象，蒐集其閉塞區間長度、折返站型式、列車性能…等相關資料，再利用本研究所開發之「都會捷運系統容量分析視窗程式」進行案例分析，以了解目前捷運系統之軌道容量規模，作為軌道容量分析軟體之應用範例。

4. 軌道容量手冊之編訂

目前軌道容量手冊已編訂了「基礎篇」和「傳統暨區域鐵路篇」2 個篇章，本工作項目首先將對此 2 個篇章進行修訂，包含整理前期研究針對列車服務可靠度的相關研究，以及容量分析程式新增的可靠度分析功能之操作說明等。此外彙整上年度與本年度以都會捷運系統為對象的研究成果，編訂手冊中的「都會捷運系統篇」。

5. 辦理教育訓練及成果發表

在前期研究中已辦理了「傳統區域鐵路系統軌道容量分析模式暨視窗軟體」教育訓練，本年度則是辦理「都會捷運系統容量分析模式暨視窗軟體」教育訓練，教育訓練場所為中興社的電腦教室，現場備有個人電腦、投影機等設備以便教學或個人實機操作，以達到良好的教學效果，此外在本所主辦的「我國整體運輸規劃研究系列成果暨應用推廣研習會」中進行成果發表，推廣過去所有有關容量分析研究的成果。

第二章 研究範圍與對象

2.1 研究範圍

軌道運輸系統包括車站、月台、軌道行車設備等設施，及排班、營運調度等作業方式，用以提供運輸服務。旅客從旅次起點開始，透過聯外運輸系統進入軌道運輸系統，經過車站站房至月台等候列車，待列車到站後方能上車，當列車藉由軌道行車設備抵達目的地後，旅客下車至月台，然後經過車站再由聯外運輸系統接駁至旅次終點，完成整個旅次。

在上述的整個旅運過程中，各項設施配置的良窳以及營運的方式，均會影響到整個軌道運輸系統的運送能力。廣義來說，「軌道系統容量」的研究涵蓋所有影響系統整體運輸能力的元素，但一般而言，「軌道容量」分析係側重在軌道行車設備的部分，通常不直接考慮聯外運輸系統、站房、月台的影響，因此本研究對於「軌道容量」的研究範圍，係界定在「軌道行車系統」的部分，如圖 2-1所示，也就是探討「軌道行車設備的最大輸送能力」，而非整個軌道運輸系統的容量。

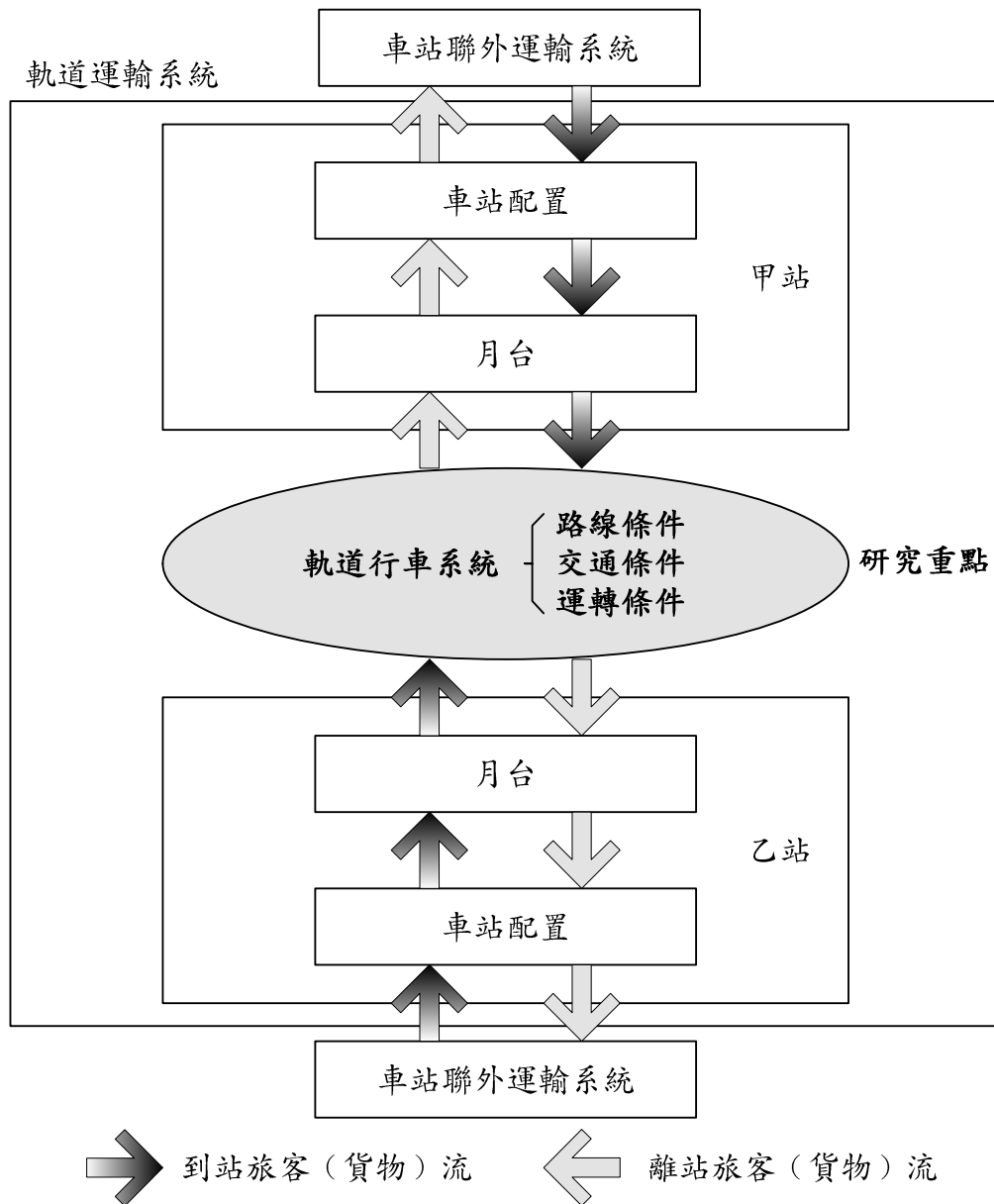


圖2-1 軌道容量的研究範圍

2.2 研究對象

本年度的研究對象為都市捷運系統，本節將介紹國內目前已經營運的捷運系統，包含營運多年的臺北捷運系統以及剛加入營運行列的高雄捷運系統。

2.2.1 臺北捷運系統

臺北都會區捷運系統目前已營運的路線包括木柵線、淡水線、中和線、小南門線、新店線、南港線、土城線、板橋線、南港線東延段及內湖線等十條路線，營運里程 92.9 公里，共計有 82 個車站（含臺北車站及忠孝復興兩個轉運站），目前營運中之路線如表 2.1 所示。由於捷運路網擴大之後對於改善道路交通有顯著的效益，因此臺北市捷運工程局仍不斷規劃新的路網（屬遠期延伸路網），最終之願景路網如圖 2-2 所示。

將臺北捷運系統之車站、路線與機廠的相對地理位置，繪製如圖 2-3～圖 2-6，從中可知臺北捷運系統路網目前的路線配置中，端末車站包括木柵線的動物園站、內湖線的南港展覽館站、淡水線的淡水站、新北投站及北投站、新店線的新店站、七張站及小碧潭站、中和線的南勢角站、南港東延段的南港站、土城線的永寧站及亞東醫院站，以及小南門線的中正紀念堂站及西門站等。除了北投站、亞東醫院站與七張站屬於貫通式端末車站外，其餘皆屬端頭式端末車站。至於各端末車站的月台佈置方面，除了北投站採混合式月台設置，動物園、七張與小碧潭採側式月台設置之外，其餘採島式月台佈設。而折返橫渡線配置上，中運量木柵線之動物園站與內湖線之南港展覽館站為站後折返，淡水站、新店站、永寧站、南港站、南勢角站均設置為站前折返。

表2.1 臺北捷運已通車之路線

	木柵線	內湖線	淡水線	中和線	小南門線
路線顏色	棕	棕	紅	橘	淺綠
路線起訖	動物園 中山國中	中山國中 南港展覽館	淡水 中正紀念堂 (含新北投線)	古亭 南勢角	西門 中正紀念堂
路線長度	10.9 km	14.8 km	23.8 km	5.4 km	1.6 km
車站數	12	12	22	4	1
運能	中運量	中運量	高運量	高運量	高運量
路權型式	高架	地下高架	高架平面 地下	地下	地下
機廠	木柵機廠	內湖機廠	北投機廠	中和機廠	—
通車時間	85.03.28	98.07.04	86.12.25	87.12.24	89.8.31
行駛時間	22 分鐘	23 分鐘	39 分鐘	10 分鐘	4 分鐘

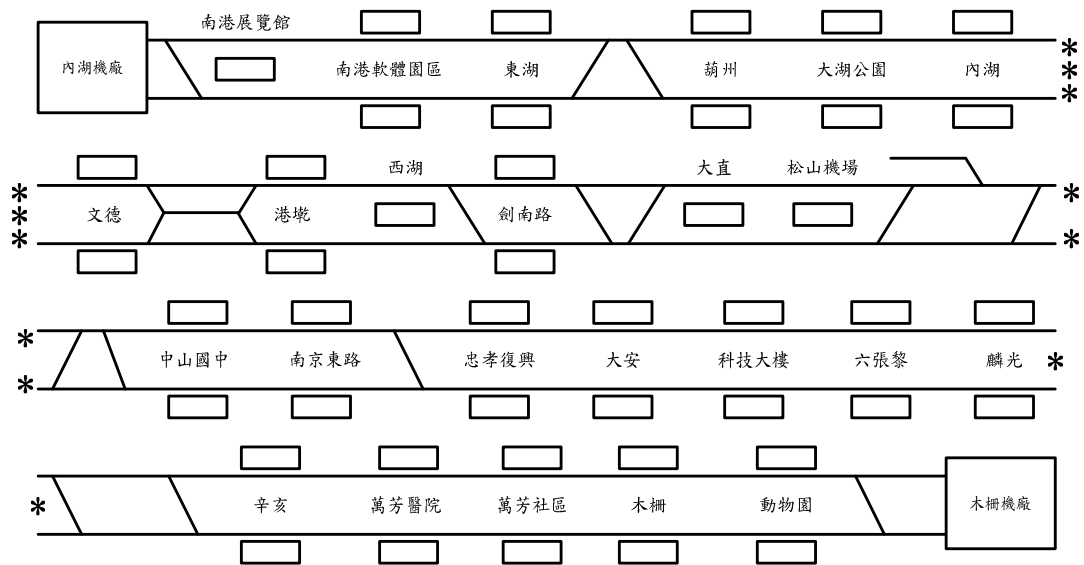
	新店線	南港線	南港東延段	板橋線	土城線
路線顏色	綠	藍	藍	藍	藍
路線起訖	中正紀念堂 新店 (含小碧潭線)	西門 昆陽	昆陽 南港	西門 府中	府中 永寧
路線長度	11.3 km	9.5 km	1.5 km	7.2 km	5.5 km
車站數	10	11	1	5	4
運能	高運量	高運量	高運量	高運量	高運量
路權型式	小碧潭支線 外其餘皆地下段	地下	地下	地下	地下
機廠	新店機廠	—	南港機廠	—	土城機廠
通車時間	88.11.11	89.12.30	97.12.25	95.05.31	95.05.31
行駛時間	17 分鐘	18 分鐘	2 分鐘	12 分鐘	9 分鐘

資料來源：^[13,14]及本研究整理



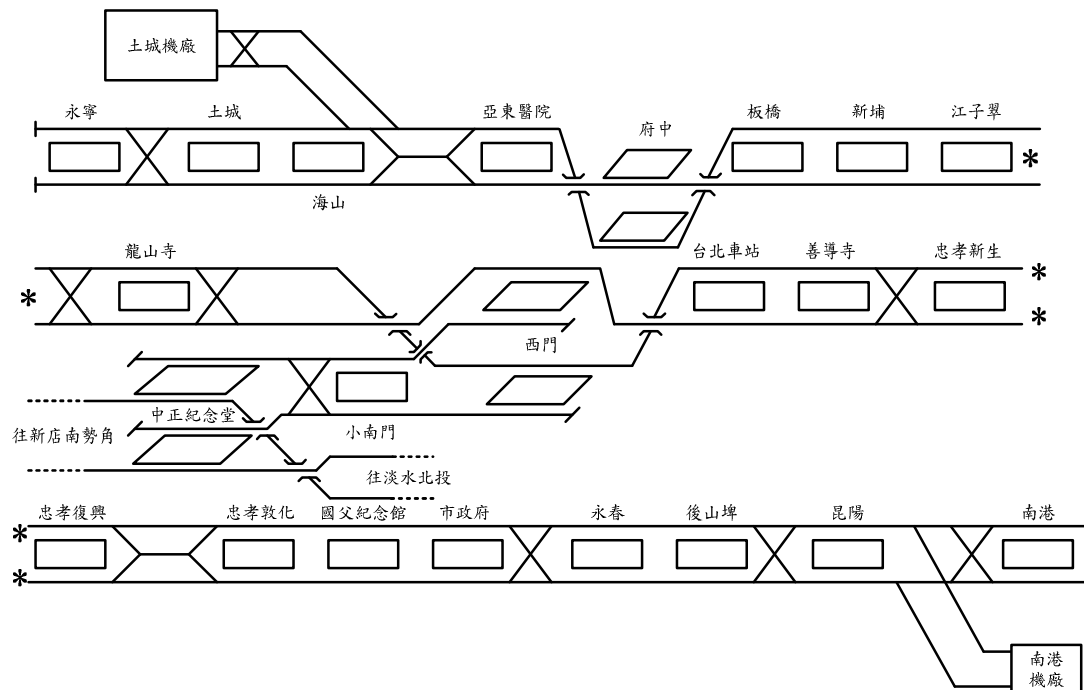
資料來源：^[14]

圖2-2 臺北都會區大眾捷運系統計畫路網圖



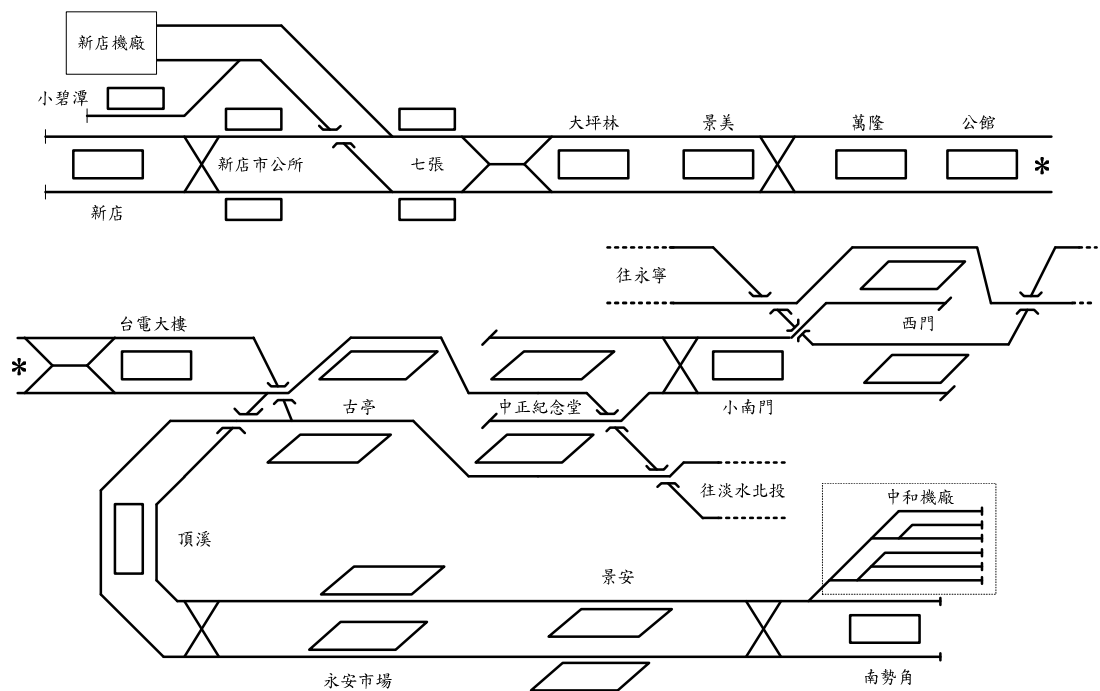
資料來源：^[1]及本研究整理

圖2-3 臺北捷運內湖線、木柵線軌道配置圖



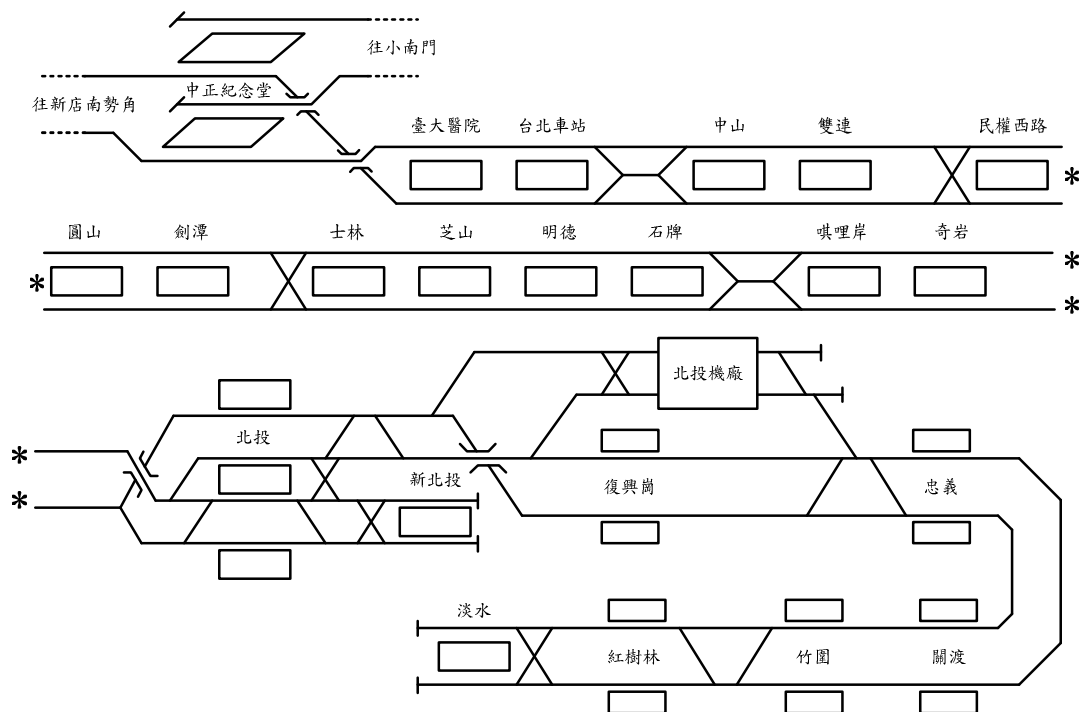
資料來源：^[1]及本研究整理

圖2-4 臺北捷運土城、板橋、南港線軌道配置圖



資料來源：[1]

圖2-5 臺北捷運新店、中和線軌道配置圖



資料來源：[1]

圖2-6 臺北捷運淡水線軌道配置圖

在車輛系統方面，目前臺北捷運淡水、新店、中和、板南線等之營運車輛主要是由日本川崎重工業（Kawasaki）與德國西門子（Siemens）所製造。每一列車是採用動力分散式的動力配置係由兩組「三車組 3-Car Unit」所組成，每一車組由二輛有動力馬達車（Motor Car）及一輛無動力拖車（Trailer Car）所組成。木柵線所使用之 VAL256 型電聯車，其車載自動控制系統（On Board Automatic Train Control, OBATC）是由法國馬特拉（MATRA）運輸國際有限公司（其運輸系統部門已被西門子交通運輸公司併購）所發展，而電聯車則是由法國捷克-阿史東（GEC-ALSTHOM）交通運輸公司（現已改名為 ALSTHOM）製造^[8]。至於內湖線，採加拿大龐巴迪公司（Bombardier Inc.）所製造的電聯車，並同步更新木柵線之自動列車控制系統，改採用龐巴迪之 CITYFLO 650 移動式閉塞區間自動列車控制，營運時以雙對車（四節車廂）方式聯結，同時在每對車之兩端設有自動聯結器，供車廂聯結調度之用。有關臺北捷運系統的車輛特性及其比較，請參閱表 2.2。

臺北捷運供電系統係由臺電公司提供雙迴路之 161kV 高壓電，經主變電站降壓為 22kV 後，再經牽引動力變電站整流成 750V 直流電力以供電聯車運行，另亦降壓為 380V/220V 交流電電力供場站設備使用，且主變電站或牽引動力變電站均採用雙變壓器組，以確保供電無虞。電聯車電力均是採第三軌供電，經由車身旁之集電靴，自軌道左或右側以下觸式第三軌取得電力供列車運行。

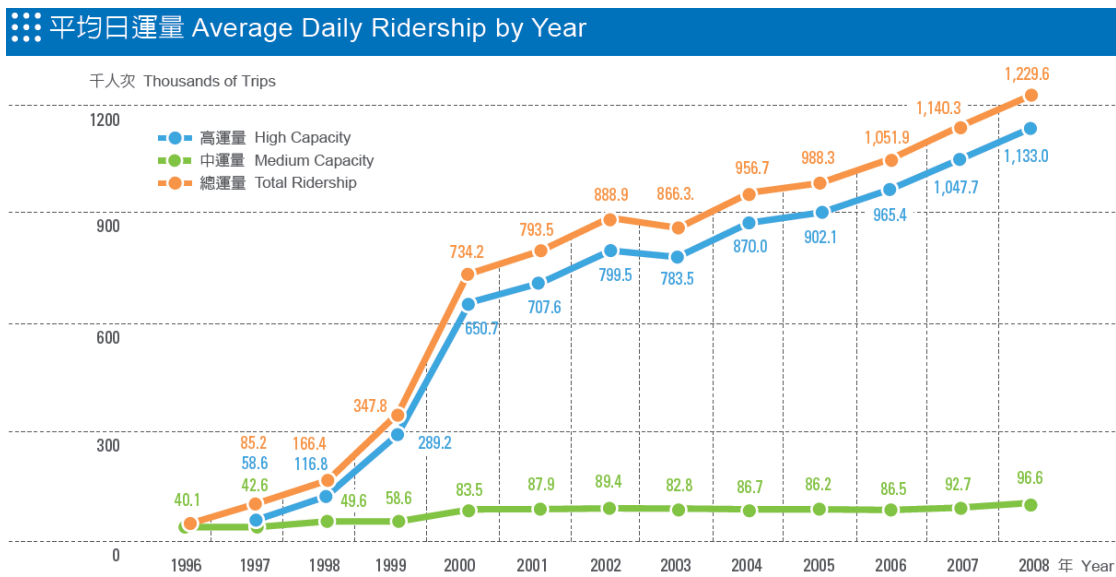
在號誌系統方面，臺北捷運高運量系統採用的是固定式閉塞號誌系統，中運量系統則採移動式閉塞號誌系統。目前列車的操控是採用自動列車控制系統（Automatic Train Control, ATC），包含自動列車保護（Automatic Train Protection, ATP）、自動列車駕駛（Automatic Train Operation, ATO），以及自動列車監督（Automatic Train Supervision, ATS）等三個子系統。其中高運量捷運系統配備速度碼（Speed Code）式的自動列車保護系統，而中運量捷運系統則是配備距離碼的列車自動保護系統（Distance-to-Go）。

表2.2 臺北捷運系統高運量車輛與中運量車輛

	高運量車輛	中運量車輛	
		木柵線	內湖線
需要駕駛員	需要	不需要	不需要
車輛進站開門	電腦自動開門	電腦自動開門	電腦自動開門
車輛進站關門	司機員手動關門	電腦自動關門	電腦自動關門
車輛行駛軌路	鋼輪鋼軌	膠輪混凝土	膠輪鋼製行駛路面
最大行駛速度	80 km/h	80 km/h	80 km/h
車廂設計容量	座位 60 人 立位 310 人	座位 24 人 立位 90 人	座位 22 人 立位 93 人
編組車廂數	6 輛車（兩組車， 每組 3 輛）	4 輛車（兩對車， 每對 2 輛）	4 輛車（兩對車， 每對 2 輛）
車廂尺寸	23.5 公尺（長度） 3.2 公尺（寬度） 3.6 公尺（高度）	13.78 公尺（長度） 2.56 公尺（寬度） 3.53 公尺（高度）	13.78 公尺（長度） 2.54 公尺（寬度） 3.53 公尺（高度）
列車總長	141 公尺	55.12 公尺	55.12 公尺
最大爬坡度	3%	6%	6%
最大加速度	1.0m/s ²	1.3m/s ²	1.0m/s ²
最大緊急煞車	1.3m/s ²	1.8m/s ²	2.35m/s ²
車門數	每車廂 8 門 左右各 4 門	每車廂 4 門 左右各 2 門	每車廂 4 門 左右各 2 門

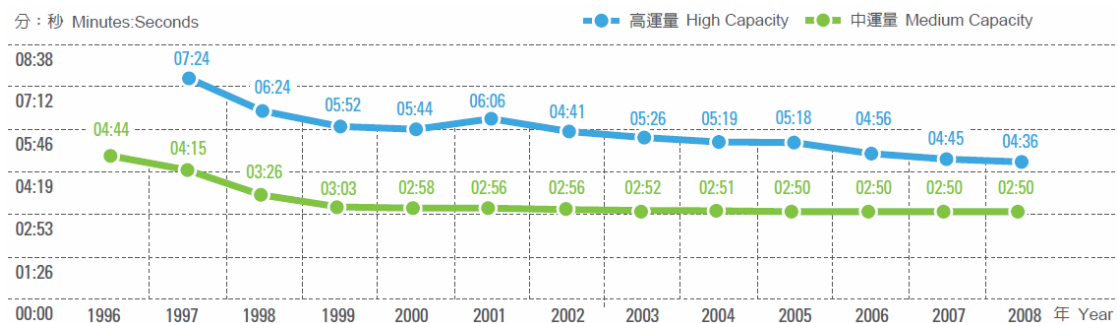
資料來源：^[13,14]及本研究整理

在營運概況方面，圖 2-7顯示臺北捷運系統的平均日運量逐年成長，至 2006 年已超過 100 萬人次/日，目前平常日每日約 120 萬人次^[13]。由於運量逐漸成長，尖峰平均班距逐年縮短，至 2007 年，高運量的尖峰平均班距已小於 4 分 50 秒，而中運量更小於 3 分鐘（詳如圖 2-8）。



資料來源：[12]

圖2-7 臺北捷運系統歷年平均日運量



資料來源：[12]

圖2-8 臺北捷運系統歷年尖峰平均班距

2.2.2 高雄捷運系統

高雄都會捷運系統共包括紅、橘、藍、棕四種路線，初期僅紅、橘兩線奉准興建，在 95 年 5 月，紅橘線所有潛盾隧道全部貫通，96 年 10 月紅線並開始全線試運轉；97 年 3 月紅線開始正式啟用，同年 9 月橘線通車，路線總長 42.7 公里，其中高架段 11 公里，地下段 34.2 公里，採傳統鋼輪鋼軌之高運量捷運系統，初期路網如圖 2-9所示，兩路線之相關數據如表 2.3。



註：紅線南岡山站暫不營運

資料來源：^[10]

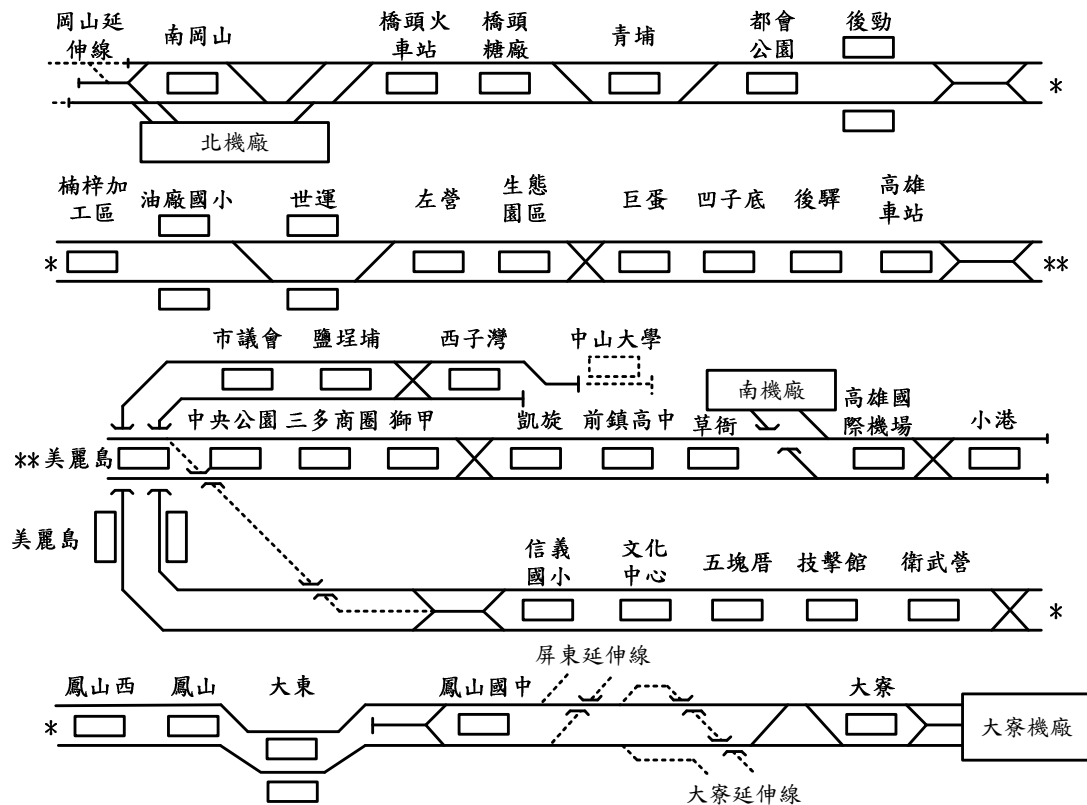
圖2-9 高雄都會區大眾捷運系統路網圖

表2.3 高雄捷運已通車之路線

	紅線	橘線
路線起訖	小港—橋頭火車站	西子灣—大寮
路線長度	28.3 km	14.4 km
車站數	23	14
運能	高運量	高運量
路權型式	平面/地下/高架	平面/地下
機廠	北機廠/南機廠	大寮機廠
通車時間	97.03.09	97.09.14

資料來源：^[10]

圖 2-10為高雄捷運系統之車站、路線與機廠配置圖，從中可知末端車站包括紅線的小港站及南岡山站，以及橘線的大寮站與西子灣站，皆屬端頭式末端車站。由於紅線目前僅營運至橋頭火車站為止，因此橋頭火車站為貫通式臨時末端車站。至於月台佈置方面，大多採島式月台佈設，僅世運站、油廠國小站、後勁及橘線美麗島站採側式月台，而大東站則為側疊式月台。在折返橫渡線配置上，小港站與西子灣站皆為站前折返，而南岡山站及大寮站前方有複式橫渡線而後方亦配置有折返線，因此可視情形選擇站前或站後折返，使列車調度更為靈活，至於紅線北側的臨時末端站（橋頭火車站），則為站後折返。



資料來源：^[1]

圖2-10 高雄捷運紅橋線軌道配置圖

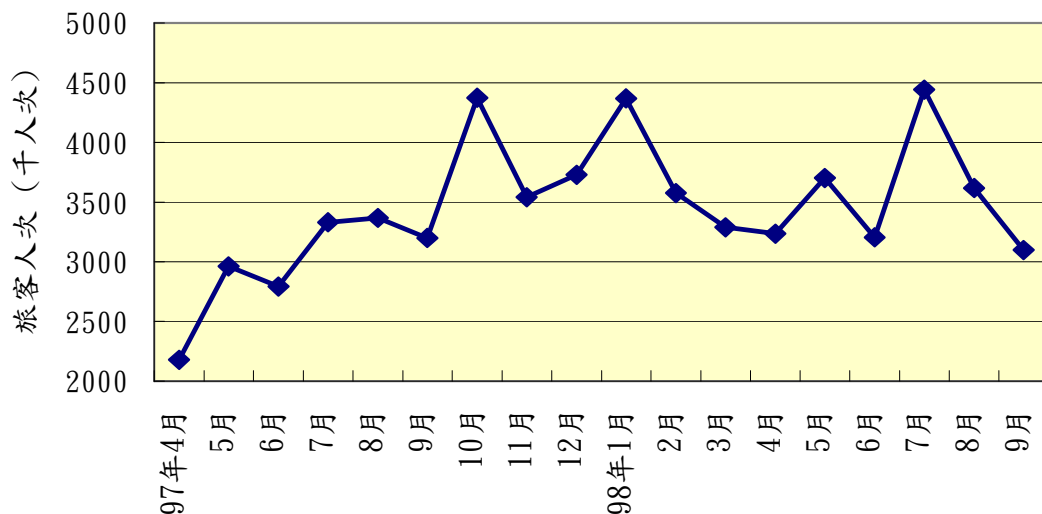
高雄捷運系統的車輛係由西門子製造，以三輛車為一編組，可採兩組六輛車編組，但目前營運模式皆採一組三輛車營運，最高速度為 80 km/h，平均速度則為 35 km/h，其列車性能類同於臺北捷運列車，相關特性請參閱表 2.4。至於供電系統及號誌系統的內容，亦類似於臺北高運量捷運系統。

在營運概況方面，圖 2-11 為 97 年 4 月至 98 年 9 月各月的旅運統計圖，若更進一步分析每日的運量變化可發現，平常日的運量約在 9 萬多人左右，而假日則高達十多萬人次，由此可知，高雄捷運的旅運量以假日休閒旅次為主，有別於一般捷運系統以通勤旅次為主的型態。

表2.4 高雄捷運系統車輛特性

	三車編組 DM-T-DM	六車編組 DM-T-D-D-T-DM
需要駕駛員	需要	
車輛進站開門	電腦自動開門	
車輛離站關門	司機員手動關門	
車輛行駛軌路	鋼輪鋼軌	
最大行駛速度	80 km/h	
列車設計容量	座位 126 人 立位 879 人	座位 252 人 立位 1758 人
車廂尺寸	21.9 公尺（長度） 3.1 公尺（寬度） 3.6 公尺（高度）	
列車總長	65.5 公尺	131 公尺
最大爬坡度	3%	3%
最大加速度	1.0m/s^2	1.0m/s^2
最大緊急煞車	1.3m/s^2	1.3m/s^2
車門數	每車廂 8 門左右各 4 門	

資料來源：^[11]



資料來源：^[10]及本研究整理

圖2-11 高雄捷運系統歷月旅運量

第三章 都會捷運系統容量分析模式

3.1 基本概念

路線容量廣義的定義為：「軌道運輸系統在某一特定的運轉條件下，單位時間內通過路線上某一點的最大客體數」，一般計算式為：

$$C = \frac{T}{h_{\min}} \quad (3.1)$$

式中 C 為容量、 T 為時間週期、 h_{\min} 為最小時間間隔，由此定義可知發展容量分析模式需先界定運轉條件、時間單位、空間參考點和客體單位等四個基本要素：

1. 運轉條件

運轉條件可分為路線條件、交通條件和控制條件三種，在路線條件方面，都會捷運系統有完全立體分隔的專用路權，絕大部分為雙線區間，且常態運轉時均採用複線運轉，車站內通常上下行僅有一股軌道，無副正線的配置，端末車站附近則會配備橫渡線供列車折返。

在交通條件方面，捷運系統通常採用完全相同或性能相近的列車來營運，且服務型態單純，通常採用每站皆停的營運模式，此外由於站距短，為了提高營運速度，捷運列車的加減速性能一般均可達 1.0 m/s^2 以上之水準。

最後有關控制條件方面，由於都會捷運系統的營運班距較短，對於列車運行安全的要求也相對較高，因此幾乎所有的都會捷運系統均會裝設自動列車防護系統（Automatic Train Protection, ATP），用以偵測列車的運行，並將號誌及速限資訊傳送給列車，若列車未按速限行駛，便會自動啟動煞車，強迫列車減速或停車。本模式假設列車在運轉過程中，彼此之間持續保持適當的安全距離，不會因為過於接近而

受到號誌的管制以致被迫減速或停車，亦即列車在自動列車防護系統不啟動的前提下進行運轉。然而每一個都會捷運系統的行車控制、號誌系統設計邏輯與佈置方式皆不相同，本模式可依據個別系統的特性，以適當的參數帶入模式來計算容量，以達到模式泛用之目的。

2. 時間單位

都會捷運系統運輸的重點在於旅客通勤，有明顯的尖離峰之分，若探討全日的路線容量則無法反應尖峰時刻的輸送能力，且都會捷運的路線較短，每列車往返可在短時間內完成，因此以「小時」作為計算容量的時間單位最為適當。

3. 空間參考點

列車的運轉時隔包括號誌安全時距、停站時間或停等時間、交會待避損失時間，以及運轉寬裕時間等幾個部分。由於都會捷運系統在常態運轉下，列車沒有交會待避的需求，僅須考量號誌安全時距、停站時間或停等時間，以及運轉寬裕時間，因此最繁忙車站（停車時間最長的車站）經常是路線容量之瓶頸所在。

除了最繁忙車站，末端車站亦可能是路線容量之瓶頸，末端車站的配置型式與折返方式影響著其容量，加上列車進出末端車站的速度較低，會導致閉塞時間的增加，因此有時號誌安全時距會比最繁忙的車站還長，而成為路線瓶頸。

另一個可能發生瓶頸的地方為路線的銜接點，在銜接點處不同運行方向的列車會產生平面交叉，進而使得號誌時距增加，若號誌配置不當或列車的密度很高時，很可能成為瓶頸所在。

在美國軌道捷運容量報告的統計中，約有 79% 的捷運路線瓶頸是發生在最繁忙的車站，另外有 15% 發生在末端車站，最後 5% 則是在銜接點^[33]，因此本模式所考量的空間參考點包含中間車站、折返站和路線的銜接點。

4. 客體單位

客體單位的選擇視研究目的及運輸內容而定，本模式進行容量分析的客體單位為「列車」和「旅客」，即每小時於空間參考點通過的列車數和輸運的旅客數。

以下將分別對以「列車」為客體單位，和以「旅客」為客體單位的容量分析模式進行介紹。

3.2 以「列車」為客體單位的容量分析模式

根據容量的定義，對於一空間參考點每小時可通過的列車數可由下式計算：

$$C_l = \frac{3600}{h} \quad (3.2)$$

式中： C_l =軌道容量 (TU/h)

h =最小運轉時隔 (設計班距) (s)

其中最小運轉時隔是指兩連續列車通過空間參考點的時間間距，是容量分析時最關鍵的要素，在一般化的情況下，是由號誌安全時距 (Signal Close-in Time)、停站時間 (Dwell Time) 或停等時間 (Waiting Time)、交會待避損失時間 (Time Lost due to Meeting or Overtaking)，及運轉寬裕時間 (Operating Margin) 等四個部份所組成，然而在都會捷運系統中，列車無須進行交會待避，因此最小運轉時隔的計算公式為：

$$h = t_s + t_m + t_d \quad (3.3)$$

式中： t_s =號誌安全時距 (s)

t_m =運轉寬裕時間 (s)

t_d =列車的停站或停等時間 (s)

不同的空間參考點，其計算號誌安全時距的方式不同，在本模式中所考量的空間參考點包含：

1. 中間站
2. 折返站，站前折返，於站內停靠同一股道
3. 折返站，站前折返，於站內停靠不同股道
4. 折返站，站後折返，於尾軌停靠同一股道
5. 折返站，站後折返，於尾軌停靠不同股道
6. 銜接點
7. 折返點，使用中央避車線折返

其中第 1~6 項的計算公式為上期研究之成果^[6]，而第 7 項係為實務上的需求，因此於本期研究中補充推導該型式的號誌安全時距計算公式，此外對中間站與銜接點的號誌安全時距計算公式進行改善，使其能更符合實際狀況，有關模式之補充與改善於 3.4 節有更詳細的說明。

雖然在路線的每一個空間參考點都有號誌安全時距，但對於整條捷運路線而言，瓶頸號誌時距將由路線上所有地點的號誌安全時距之最大者所決定，亦即

$$T_s = \max(T_m, T_t, T_j) \quad (3.4)$$

式中： T_s =系統的最小號誌安全時距（s）

T_m =最繁忙的中間車站之號誌安全時距（s）

T_t =折返車站之號誌安全時距（s）

T_j =銜接點的號誌安全時距（s）

至於運轉寬裕時間方面，如何拿捏訂定須視各營運單位之主、客觀條件而定。運轉寬裕時間愈多，計算所得的軌道容量愈小，但列車服務愈可靠；反之，運轉寬裕時間愈少，軌道容量愈高，但相對地，

列車的準點率愈低，因此運轉寬裕時間的決定是一體兩面的問題。本研究認為運轉寬裕時間不應採用固定值，因為當號誌時距愈大時，其產生的變異也愈大，依比例保留較大的運轉寬裕時間可確保時刻表的穩定度，因此運轉寬裕時間應與整條路線之最小號誌安全時距呈一定的比例，亦即

$$t_m = \beta \cdot T_s \quad (3.5)$$

式中： β =運轉寬裕時間係數

最後有關列車的停站或停等時間，在計算號誌安全時距時，其公式便已視列車使用股道的情況考慮之，所以捷運系統兩連續列車的最小運轉時隔公式為：

$$h = T_s + t_m = (1 + \beta)T_s \quad (3.6)$$

3.3 以「旅客」為客體單位的容量分析模式

有關以「旅客」為客體單位的容量包含設計容量與可達成容量，其計算順序為列車容量、設計容量，最後是可達成容量，以下依序說明之。

1. 列車容量

捷運列車的容量為每一個車廂容量的總和，但因每一個車廂並非完全獨立，因此捷運規劃或營運機構通常會直接以整列車來計算容量；另外，捷運系統以提供短程的通勤服務為主，除了座位之外，也允許旅客站立，甚至會以站位為主，因此列車容量必須包括座位及立位兩個部份，公式如下：

$$c_t = n_s + (m_s \times A_v) \quad (3.7)$$

式中： c_t =列車容量 (sps/TU)

n_s = 列車的座位數 (sps/TU)

m_s = 乘載水準，即立位密度 (sps/m²)

A_v = 一列車可供旅客站立之面積 (m²/TU)

上式中的乘載水準取決於乘客的體型以及期望的舒適程度，臺北高運量捷運系統視應用目的的不同，乘載水準從 5 prs/m²~7 prs/m² 皆有^[9]，車廂設計時係採用 7 prs/m²，月台設計時採用 6 prs/m²，而車輛採購時則採用 5 prs/m²。

2. 設計容量 (Design Capacity)

設計容量又稱為最大供給容量，為每小時所能提供的最大乘位數，因此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：

$$C_o = C_l \times c_l \quad (3.8)$$

式中： C_o = 設計容量 (sps/h)

3. 可達成容量 (Achievable Capacity)

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列車的每一車廂內，因此實際所能可達成的容量不會和設計容量相等，所以考量列車間乘載變異因子來計算可達成容量，即

$$C_u = \rho_d C_o \quad (3.9)$$

式中： C_u = 可達成容量 (prs/h)

ρ_d = 列車間乘載變異因子

有關乘載變異因子的設定有下列幾種方式：

- (1) 採用預設值：在 TCQSM 的研究中^[33]，重軌捷運 ρ_d 以 0.8 為預設值。

- (2) 分析同一列車內不同車廂間的差異：此方式係根據同列車中各車箱的實際載客數，計算各車廂平均旅客數與最擁擠車廂旅客數之比率，如式(3.10)。若各車廂容量差異很大，則採用式(3.11)來計算。

$$\rho_d \cong \frac{\sum_{i=1}^{n_v} P_{c_i}}{n_v \times \text{Max}(P_{c_i})} \quad (3.10)$$

$$\rho_d \cong \frac{\sum_{i=1}^{n_v} (\frac{P_{c_i}}{C_{v_i}})}{n_v \times \text{Max}(\frac{P_{c_i}}{C_{v_i}})} \quad (3.11)$$

式中： P_{c_i} = 同列車中第 i 車廂的實際乘載旅客數

n_v = 整列車客車車廂的編組總數

- (3) 分析不同列車間乘載量的差異：按照公式(3.12)，根據尖峰時間內某一連續 1 小時各列車的實際載客量，計算該尖峰小時中，總旅客量與最高 15 分鐘旅運量乘 4 倍之比值，進而估算 ρ_d 。

$$\rho_d \cong \frac{P_h}{4P_{15}} \quad (3.12)$$

式中： ρ_d = 列車間乘載變異因子

P_h = 尖峰小時旅客流量 (prs/h)

P_{15} = 尖峰小時內最大 15 分鐘流率 (prs/15 min)

3.4 號誌安全時距計算公式之補充

前期研究已針對各種型式的空間參考點，分別發展了號誌安全時距計算公式^[6]，然經進一步探討之後，發現仍有部分需補充與改善之處，本節將對補充與改善的細節進行說明。

3.4.1 中間站之號誌安全時距

前期研究所推導的中間站號誌安全時距計算公式為

$$T_m = t_d + t_c + t_r + t_v + t_b \quad (3.13)$$

式中： T_m =車站的號誌安全時距（s）

t_d =先行列車的停站時間（s）

t_c =先行列車開始加速直到清空車站所需的運轉時間（s）

t_r =號誌系統及列車控制的反應時間（s）

t_v =續行列車以巡航速度運轉的時間（s）

t_b =續行列車以服務減速度進站的煞車時間（s）

其中先行列車開始啟動加速直到清空車站所需的時間 t_c 計算公式為

$$t_c = \sqrt{\frac{2(s_x + s_o + L)}{a}} \quad (3.14)$$

式中： s_x =列車停車位置與車站所在區間的離開點之間距（m）

s_o =車站的安全重疊區間之長度（m）

L =列車車身長度（m）

a =列車的加速度（ m/s^2 ）

此公式隱含假設，列車從靜止加速到完全通過安全重疊區間皆在加速階段，然而實際上列車亦有可能在通過安全重疊區前就已達到巡航速度。因此令先行列車從靜止加速至巡航速度所行駛的距離為 $s_a = v_o^2 / 2a$ ，若 $s_x + s_o + L > v_o^2 / 2a$ ，表示列車通過安全重疊區間前，就已達到巡航速度；若 $s_x + s_o + L \leq v_o^2 / 2a$ ，則表示列車通過安全重疊區間時，列車尚在加速階段，考量此兩種情形下之 t_c 的計算方式分別說明如下：

1. 當 $s_x + s_o + L > v_o^2 / 2a$

先行列車在通過安全重疊區間前就已經加速至巡航速度，因此 t_c 包含加速運轉時間以及等速運轉時間，如圖 3-1，公式為

$$t_{c,1} = \frac{v_o}{a} \quad (3.15)$$

$$t_{c,2} = \frac{s_x + s_o + L - s_a}{v_o} = \frac{s_x + s_o + L}{v_o} - \frac{v_o}{2a} \quad (3.16)$$

$$t_c = t_{c,1} + t_{c,2} = \frac{v_o}{a} + \frac{s_x + s_o + L}{v_o} - \frac{v_o}{2a} = \frac{s_x + s_o + L}{v_o} + \frac{v_o}{2a} \quad (3.17)$$

式中： $t_{c,1}$ =先行列車加速運轉的時間（s）

v_o =列車離開中間站之後的巡航速度（m/s）

$t_{c,2}$ =先行列車加速至巡航速度後，以等速運轉的時間（s）

s_a =先行列車從靜止加速至巡航速度所行駛的距離（m）

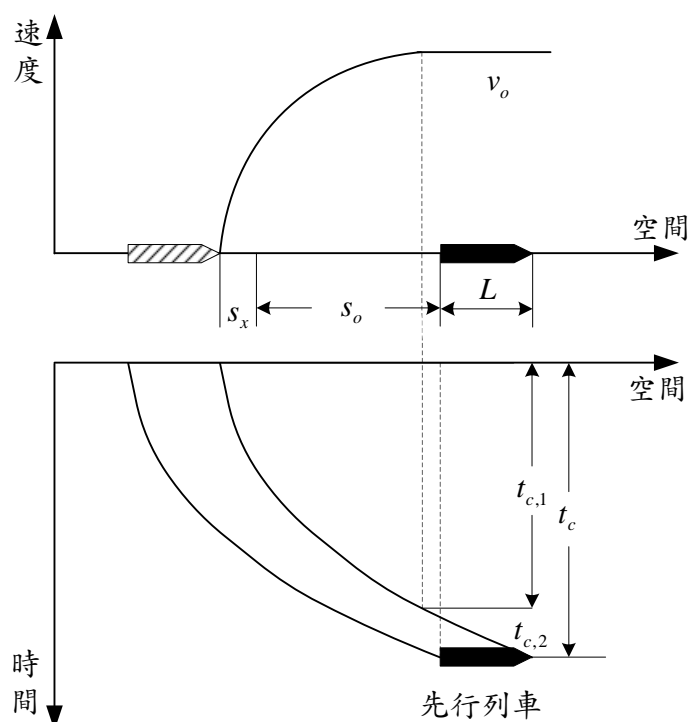


圖3-1 在通過安全重疊區間前先行列車已加速至巡航速度

2. 當 $s_x + s_o + L \leq v_o^2 / 2a$

列車從靜止加速到完全通過安全重疊區間均處於加速運轉階段，如圖 3-2 所示，計算公式為式(3.14)。

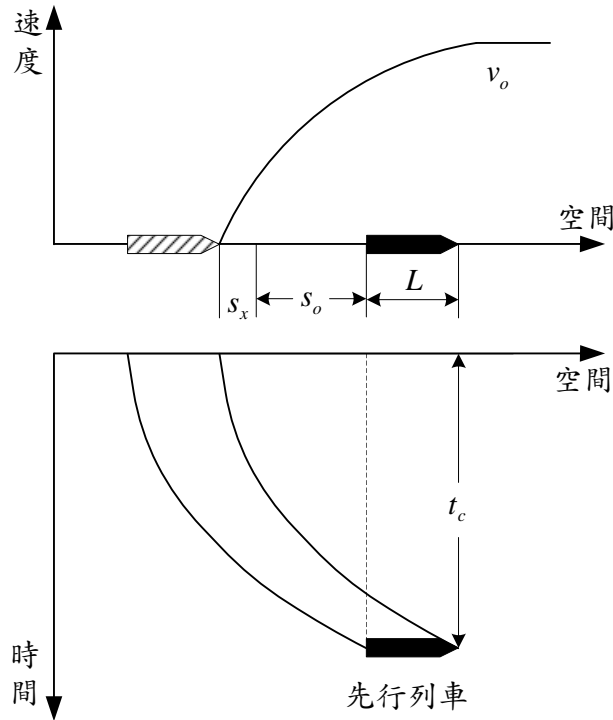


圖3-2 列車從靜止加速到通過安全重疊區間皆在加速階段

3.4.2 銜接點之號誌安全時距

在路線銜接點處如果號誌系統授權其中一條路徑的列車通過銜接點時，另一條路徑的列車則禁止通過銜接點，以確保列車的行車安全。在前期研究中，有關銜接點的號誌安全時距，是以一列主線列車通過銜接點後，恰有一列側線列車要通過銜接點，待側線列車通過後，下一列主線列車才能通過銜接點，而以上兩列主線列車通過銜接點所需的時間間距，即為銜接點的號誌安全時距。

若以此號誌安全時距來計算路線容量，則表示單位時間內，皆正好為一列主線列車與一列側線列車輪流通過銜接點，如圖 3-3 所示，但此情況鮮少發生，較常見的情況為主線列車連續通過數列之後，才有側線列車通過，因此修正銜接點的號誌安全時距的計算公式為

$$T_j = rt_{l \rightarrow j} + (1-r)(t_{n \rightarrow j} + t_{l \rightarrow j} + 2t_i) = t_{l \rightarrow j} + (1-r)(t_{n \rightarrow j} + 2t_i) \quad (3.18)$$

式中： T_j = 主線列車通過銜接點的號誌安全時距 (s)

r = 主線列車連續通過銜接點的比例

$t_{n \rightarrow j}$ = 側線列車從授權通過銜接點的最接近位置直到全列車通過平面交叉點的運轉時間 (s)

$t_{l \rightarrow j}$ = 主線列車從授權通過銜接點的最接近位置直到全列車通過平面交叉點的運轉時間 (s)

t_i = 解除進路、道岔轉轍、鎖定進路等之道岔及號誌聯鎖時間 (s)

以圖 3-3 為例，因為所有通過銜接點的主線列車之間皆有側線列車通過，完全沒有主線列車連續通過銜接點，所以主線列車連續通過銜接點的比例 r 為 0。若單位時間內，完全沒有側線列車通過銜接點，意味著所有主線列車皆連續通過銜接點，因此 r 為 1。而在圖 3-4 的例子中，在續行的兩列主線列車中，其中一列和其先行列車間有側線列車通過，而另一列則是接續其先行列車通過銜接點，所以 r 為 0.5。

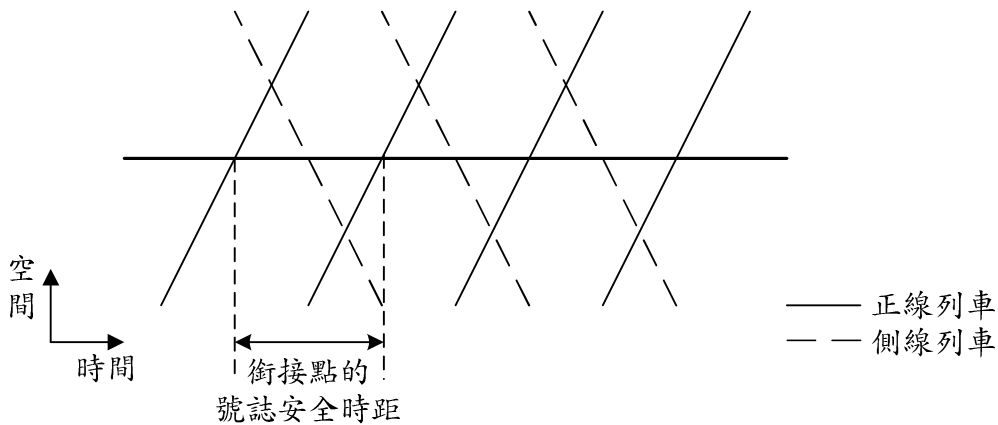


圖3-3 主線列車與側線列車輪流通過銜接點

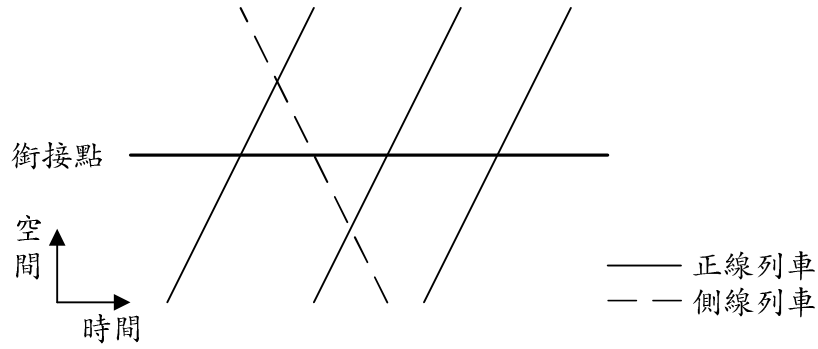


圖3-4 主線列車連續通過比例為 0.5 之情況

3.4.3 使用中央避車線折返之號誌安全時距

目前臺北捷運部分路段採區間運轉方式營運，於區間端點可能採用中央避車線（Pocket Track）進行折返，然而在前期研究中，對於捷運折返站號誌安全時距的計算尚未考慮該情況，因此在本研究中對此進行補足。

列車欲使用中央避車線折返，則續行列車可以允許進入中央避車線的必要條件是先行列車離開中央避車線並通過橫渡線區，且聯鎖區間完成路徑的重設之後，號誌系統才會授權續行列車進入中央避車線。

以圖 3-5為例，首先，假設有一列車停靠在中央避車線且橫渡線鎖定在 1→2 的路徑，當列車從靜止開始加速離開直到全列車通過 2 之後，再經過一段轉轍及號誌聯鎖的時間，將橫渡線重新設定在 3→1 的路徑，此時停靠在到站月台列車即可允許進入中央避車線。在此種情形之下，兩列車的運轉時間間隔可以達到最小，因此列車使用中央避車線折返的計算方式為：

$$T_{t,p} = t_{p \rightarrow t} + t_i + t_{t \rightarrow p} + t_d \quad (3.19)$$

式中： $T_{t,p}$ =列車在末端站使用中央避車線折返的號誌安全時距（s）

$t_{p \rightarrow t}$ =列車從中央避車線經橫渡線進入車站的離站月台，直到全列車完全通過橫渡線區的運轉時間（s）

t_i =解除進路、道岔轉轍、鎖定進路等之道岔及號誌聯鎖時間（s）

$t_{t \rightarrow p}$ = 列車從車站的到站月台進入中央避車線，直到全列車完全通過橫渡線區的運轉時間 (s)

t_d = 列車在中央避車線折返的停靠時間 (s)

列車從中央避車線經由橫渡線進入車站的離站月台，直到全列車完全通過橫渡線區過程中，包括加速至道岔限速、維持道岔限速運轉，以及煞車減速階段三個部分，如式(3.20)。

$$t_{p \rightarrow t} = t_{p \rightarrow t,1} + t_{p \rightarrow t,2} + t_{p \rightarrow t,3} \quad (3.20)$$

式中： $t_{p \rightarrow t,1}$ = 列車加速運轉時間 (s)

$t_{p \rightarrow t,2}$ = 列車維持道岔限速運轉的時間 (s)

$t_{p \rightarrow t,3}$ = 列車從道岔限速開始減速直到全列車通過橫渡線區的運轉時間 (s)

列車從靜止加速至道岔限速的運轉距離及運轉時間為

$$s_{p \rightarrow t,1} = \frac{v_c^2}{2a} \quad (3.21)$$

$$t_{p \rightarrow t,1} = \frac{v_c}{a} \quad (3.22)$$

式中： $s_{p \rightarrow t,1}$ = 列車從靜止加速至道岔限速的運轉距離 (m)

v_c = 橫渡線的道岔限速 (m/s)

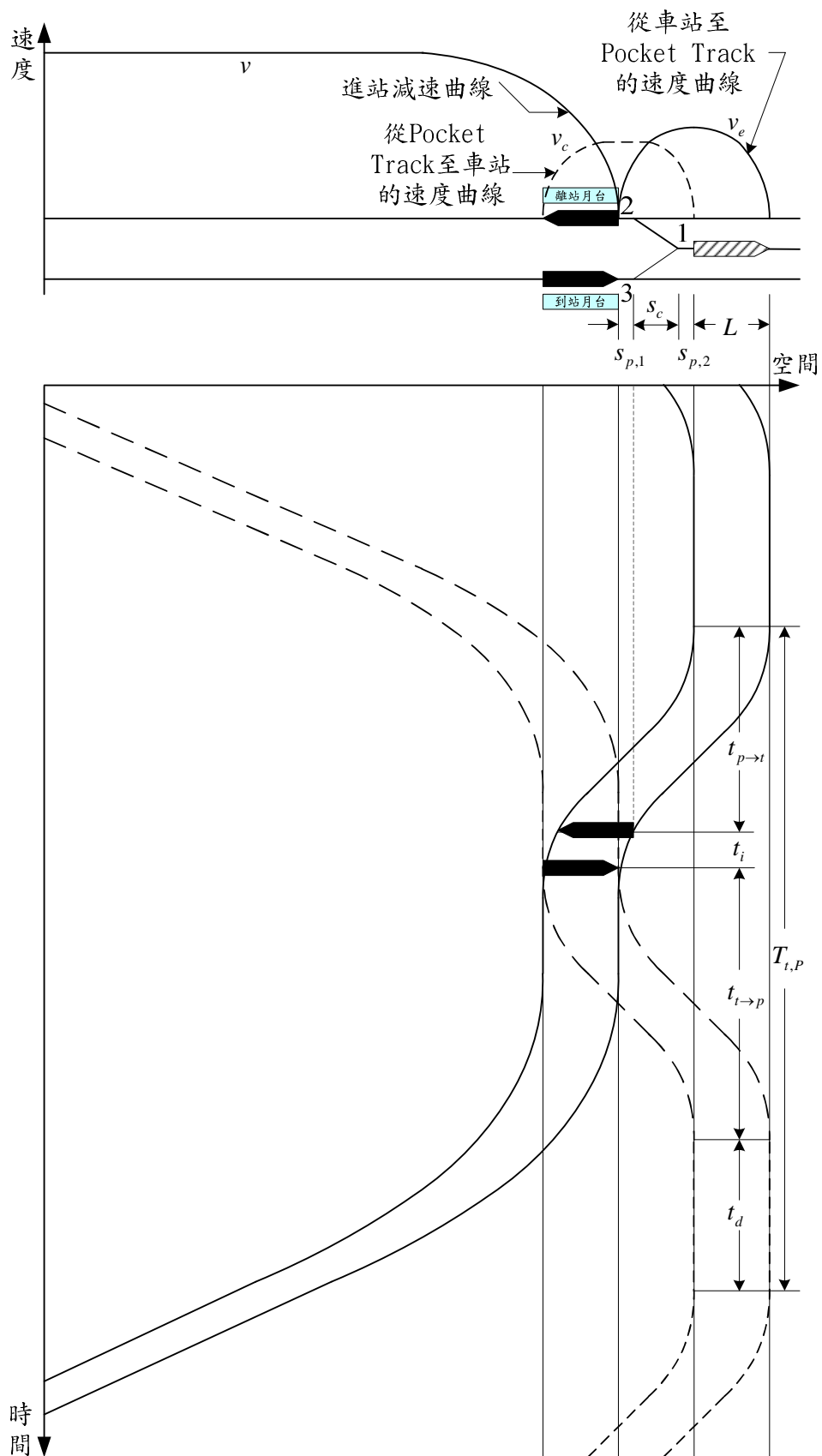


圖3-5 使用中央避車線折返之號誌安全時距

列車從道岔限速開始減速直到列車完全停妥於離站月台的運轉距離為 $v_c^2/2b$ ，因此列車以道岔限速作等速運轉的距離為

$$s_{p \rightarrow t, 2} = s_{p, 1} + s_c + s_{p, 2} + L - \left(\frac{v_c^2}{2a} + \frac{v_c^2}{2b} \right) \quad (3.23)$$

式中： $s_{p \rightarrow t, 2}$ =列車維持道岔限速運轉的距離（m）

$s_{p, 1}$ =車站月台邊緣至橫渡線的距離（m）

s_c =橫渡線區的長度（m）

$s_{p, 2}$ =橫渡線至中央避車線列車停車區的距離（m）

b =列車的服務減速度（m/s²）

則列車以道岔限速作等速運轉的時間為

$$t_{p \rightarrow t, 2} = \frac{s_{p \rightarrow t, 2}}{v_c} = \frac{s_{p, 1} + s_c + s_{p, 2} + L}{v_c} - \left(\frac{v_c}{2a} + \frac{v_c}{2b} \right) \quad (3.24)$$

列車從道岔限速開始減速直到全列車通過橫渡線區的運轉時間，為列車從道岔限速的煞停時間，減去全列車通過橫渡線區至列車煞停於離站月台的時間，數學式為

$$t_{p \rightarrow t, 3} = \frac{v_c}{b} - \sqrt{\frac{2s_{p, 1}}{b}} \quad (3.25)$$

將式(3.22)、(3.24)、(3.25)代入式(3.20)中，可得

$$t_{p \rightarrow t} = \frac{s_{p, 1} + s_c + s_{p, 2} + L}{v_c} + \frac{v_c}{2a} + \frac{v_c}{2b} - \sqrt{\frac{2s_{p, 1}}{b}} \quad (3.26)$$

先行列車通過橫渡線區後，再經過一段轉轍及號誌聯鎖時間，停留在到站月台的續行列車便可進入中央避車線進行折返。列車從車站經由橫渡線進入中央避車線，直到全列車完全通過橫渡線區過程中，一樣分為加速至道岔限速、維持道岔限速運轉，以及煞車減速等三個部分：

$$t_{t \rightarrow p} = t_{t \rightarrow p,1} + t_{t \rightarrow p,2} + t_{t \rightarrow p,3} \quad (3.27)$$

式中： $t_{t \rightarrow p,1}$ =列車加速運轉時間（s）

$t_{t \rightarrow p,2}$ =列車維持道岔限速運轉的時間（s）

$t_{t \rightarrow p,3}$ =列車從道岔限速開始減速直到全列車通過橫渡線區的運轉時間（s）

列車從靜止加速至道岔限速的運轉距離及運轉時間為

$$s_{t \rightarrow p,1} = \frac{v_c^2}{2a} \quad (3.28)$$

$$t_{t \rightarrow p,1} = \frac{v_c}{a} \quad (3.29)$$

式中： $s_{t \rightarrow p,1}$ =列車從靜止加速至道岔限速的運轉距離（m）

列車從道岔限速開始減速直到列車完全停妥於中央避車線的運轉距離為 $v_c^2/2b$ ，因此列車以道岔限速作等速運轉的距離為

$$s_{t \rightarrow p,2} = s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L - \left(\frac{v_c^2}{2a} + \frac{v_c^2}{2b} \right) \quad (3.30)$$

式中： $s_{t \rightarrow p,2}$ =列車維持道岔限速運轉的距離（m）

則列車以道岔限速作等速運轉的時間為

$$t_{t \rightarrow p,2} = \frac{s_{t \rightarrow p,2}}{v_c} = \frac{s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L}{v_c} - \left(\frac{v_c}{2a} + \frac{v_c}{2b} \right) \quad (3.31)$$

列車從道岔限速開始減速直到全列車通過橫渡線區的運轉時間，為列車從道岔限速的煞停時間，減去全列車通過橫渡線區至列車煞停於中央避車線的時間，如下式所示。

$$t_{t \rightarrow p,3} = \frac{v_c}{b} - \sqrt{\frac{2s_{p,2}}{b}} \quad (3.32)$$

將式(3.29)、(3.31)、(3.32)代入式(3.27)後，可得

$$t_{t \rightarrow p} = \frac{s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L}{v_c} + \frac{v_c}{2a} + \frac{v_c}{2b} - \sqrt{\frac{2s_{p,2}}{b}} \quad (3.33)$$

再將式(3.26)和式(3.33)代入式(3.19)，便可得到列車使用中央避車線折返的號誌安全時隔公式，經整理後如下式

$$T_{t,P} = \frac{2(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{v_c} + \frac{v_c}{2a} + \frac{v_c}{2b} + \frac{v_c}{2a} + \frac{v_c}{2b} - \sqrt{\frac{2s_{p,1}}{b}} - \sqrt{\frac{2s_{p,2}}{b}} + t_i + t_d \quad (3.34)$$

3.5 整體分析程序

綜整各項容量分析之細節，都會捷運系統容量分析模式的整體架構如圖 3-6，進行分析前尚須蒐集整理路線條件、交通條件及控制條件等相關資料，再依此架構之流程逐一計算容量分析所需的各項元素，其分析步驟說明如下。

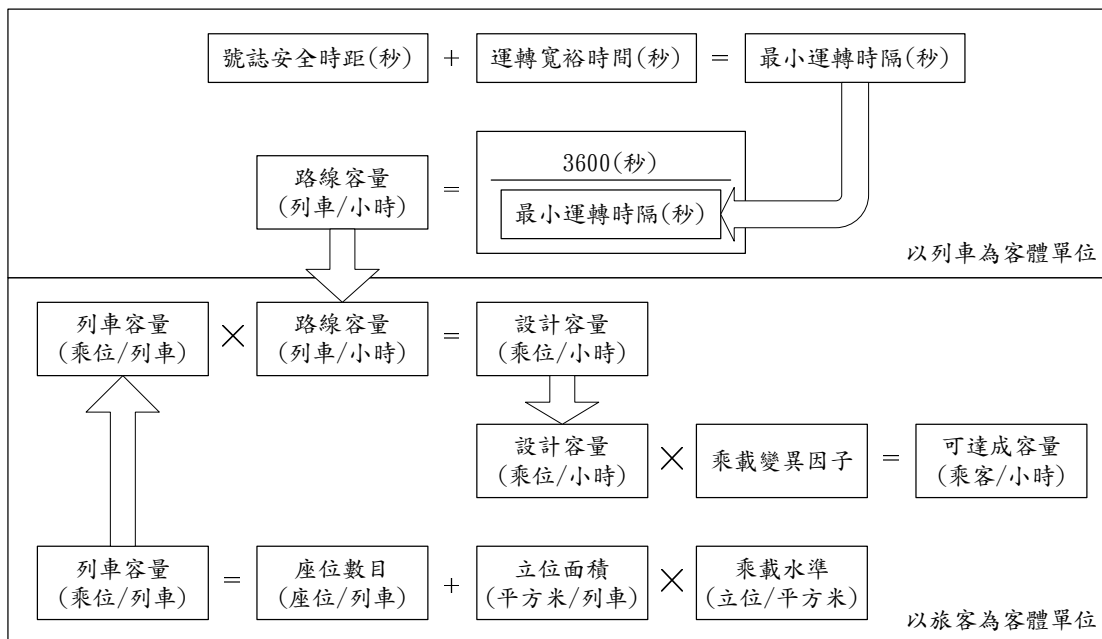


圖3-6 都會捷運系統容量分析模式架構

1. 步驟一：找出可能發生瓶頸處

捷運系統的路線瓶頸可能發生在最繁忙車站、端末車站或是銜接點，通常系統中的瓶頸是發生在停站時間最長車站，然而當橫渡線佈設位置不佳或列車密度很高時，端末車站和銜接點也可能成為瓶頸，需視個案而定，因此進行分析時，若無法確知系統的最大瓶頸，則可計算所有可能發生的瓶頸點，而其中容量最小者將為整條路線的瓶頸，其容量值代表整條路線的容量。

2. 步驟二：計算號誌安全時距

根據空間參考點的型式，從表 3.1 中選擇適當的公式來計算號誌安全時距，公式中各符號說明詳見表 3.2。

3. 步驟三：計算運轉寬裕時間

以步驟二計算而得的號誌安全時距，依下式計算運轉寬裕時間：

$$t_m = \beta \cdot T_s \quad (3.35)$$

式中： t_m = 運轉寬裕時間 (s)

β = 運轉寬裕時間係數

$T_s = \max(T_m, T_t, T_j)$ = 號誌安全時距 (s)

4. 步驟四：計算最小運轉時隔

由號誌安全時距和運轉寬裕時間計算最小運轉時隔，公式如下：

$$h = T_s + t_m = (1 + \beta)T_s \quad (3.36)$$

式中： h = 最小運轉時隔 (s)

表3.1 號誌安全時距計算公式彙整表

位置	折返方式	使用軌道	其他條件	號誌安全時距計算公式
中間站			$s_x + s_o + L > v_o^2 / 2a$	$T_m = \frac{s_x + s_o + L}{v_i} + \frac{v_o}{2a(G_o)} + \frac{v_i}{2b(G_i)} (\frac{Q_m}{K_b} - 1) + \frac{v_i}{b(G_i)} + t_d + t_r$
			$s_x + s_o + L \leq v_o^2 / 2a$	$T_m = \sqrt{\frac{2(s_x + s_o + L)}{a(G_o)}} + \frac{v_i}{2b(G_i)} (\frac{Q_m}{K_b} - 1) + \frac{v_i}{b(G_i)} + t_d + t_r$
折返站	站前折返	一股道		$T_{t,F1} = \frac{L + s_p + s_c}{v_c} + \frac{v_c}{2a(-G_f)} + \frac{v}{2b(G_f)} (\frac{Q_t}{K_b} - 1) + \frac{s_c + s_p + L}{v} + \frac{v}{b(G_f)} + t_i + t_d$
		兩股道	$T_{t,F1} \geq 2(t_d + t_{b,s} - t_i)$	$T_{t,F2} = \frac{L + s_p + s_c}{v_c} + \frac{v_c}{2a(-G_f)} + \frac{v}{2b(G_f)} (\frac{Q_t}{K_b} - 1) + \frac{s_c + s_p + L}{v} + \frac{v}{b(G_f)} + 2t_i - \sqrt{\frac{2s_p}{b(G_f)}}$
			$T_{t,F1} < 2(t_d + t_{b,s} - t_i)$	$T_{t,F2} = \frac{L + s_p + s_c}{2v_c} + \frac{v_c}{4a(-G_f)} + \frac{v}{4b(G_f)} (\frac{Q_t}{K_b} - 1) + \frac{s_c + s_p + L}{2v} + \frac{v}{2b(G_f)} + \frac{t_i + t_d}{2}$
	站後折返	一股道		$T_{t,R1} = \frac{s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L}{v_c} + \frac{v_c}{2a(-G_r)} + \frac{v_c}{2b(-G_r)} - \sqrt{\frac{2s_{p,1}}{b(-G_r)}}$ $+ \sqrt{\frac{2b(G_r)(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{a(G_r)(a(G_r) + b(G_r))}} + \sqrt{\frac{2a(G_r)(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{b(G_r)(a(G_r) + b(G_r))}} + t_i + t_d$

表 3.1 號誌安全時距計算公式（續）

位置	折返方式	使用軌道	其他條件	號誌安全時距計算公式
折返站	站後折返	兩股道	$T_{t,R1} \geq 2(t_d + t_{b,s} - t_i)$	$T_{t,R2} = \frac{s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L}{v_c} + \frac{v_c}{2a(-G_r)} + \frac{v_c}{2b(-G_r)} - \sqrt{\frac{2s_{p,1}}{b(-G_r)}}$ $+ \sqrt{\frac{2b(G_r)(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{a(G_r)(a(G_r) + b(G_r))}} + \sqrt{\frac{2a(G_r)(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{b(G_r)(a(G_r) + b(G_r))}} + 2t_i - \sqrt{\frac{2s_{p,2}}{b(G_r)}}$
			$T_{t,R1} < 2(t_d + t_{b,s} - t_i)$	$T_{t,R2} = \frac{s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L}{2v_c} + \frac{v_c}{4a(-G_r)} + \frac{v_c}{4b(-G_r)} - \sqrt{\frac{s_{p,1}}{2b(-G_r)}}$ $+ \sqrt{\frac{b(G_r)(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{2a(G_r)(a(G_r) + b(G_r))}} + \sqrt{\frac{a(G_r)(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{2b(G_r)(a(G_r) + b(G_r))}} + \left(\frac{t_i + t_d}{2}\right)$
	中央避車線折返			$T_{t,P} = \frac{2(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{v_c} + \frac{v_c}{2a(-G_p)} + \frac{v_c}{2b(-G_p)} + \frac{v_c}{2a(G_p)} + \frac{v_c}{2b(G_p)}$ $- \sqrt{\frac{2s_{p,1}}{b(-G_p)}} - \sqrt{\frac{2s_{p,2}}{b(G_p)}} + t_i + t_d$
銜接點				$T_j = \frac{Q_l v_l}{2K_b b(G_{j,l})} + \frac{s_c + L}{v_l} + (1-r) \left(\frac{(Q_n - K_b)v_n}{2K_b b(G_{j,n})} + \frac{v_c^2}{2b(G_{j,n})v_n} + \frac{v_n - v_c}{b(G_{j,n})} + \frac{L + s_c}{v_c} + 2t_i \right)$

表3.2 號誌安全時距計算公式之符號意義說明表

變數	說明	單位
a	加速度的代號	m/s^2
$a(G)$	列車在坡度 $G\%$ 的加速度	m/s^2
b	減速度的代號	m/s^2
$b(G)$	列車在坡度 $G\%$ 的減速度	m/s^2
G_f	折返站前進站的路線坡度	$\%$
G_i	中間站進站的路線坡度	$\%$
$G_{j,l}$	主線往銜接點的路線坡度	$\%$
$G_{j,n}$	側線往銜接點的路線坡度	$\%$
G_o	中間站出站的路線坡度	$\%$
G_p	從車站往中央避車線的路線坡度	$\%$
G_r	折返站站後離站的路線坡度	$\%$
K_b	減速性能折減因子	—
L	列車車身長度	m
Q_l	主線列車與銜接點的間隔安全係數	—
Q_m	連續列車在中間站的間隔安全係數	—
Q_n	側線列車與銜接點的間隔安全係數	—
Q_t	列車進入末端站前橫渡線區的間隔安全係數	—
s_c	橫渡線區的長度	m
s_o	車站的安全重疊區間之長度	m
s_p	橫渡線區至列車停車位置的距離	m
$s_{p,1}$	末端車站列車停車位置至橫渡線的距離	m
$s_{p,2}$	橫渡線至尾軌或中央避車線列車停車區的距離	m
s_x	列車停車位置與車站所在區間的離開點之間距	m
T_j	主線列車通過銜接點的號誌安全時距	s
T_m	中間站的號誌安全時距	s

表 3.2 號誌安全時距計算公式之符號意義說明表（續）

變數	說明	單位
$T_{t,F1}$	列車在末端站停靠同一股道折返（站前折返）的號誌安全時隔	s
$T_{t,F2}$	列車在末端站停靠不同股道折返（站前折返）的號誌安全時隔	s
$T_{t,P}$	列車在末端站使用中央避車線折返的號誌安全時距	s
$T_{t,R1}$	列車在末端站使用同一股尾軌折返（站後折返）的號誌安全時隔	s
$T_{t,R2}$	列車在末端站交替使用不同尾軌折返（站後折返）的號誌安全時隔	s
t_d	列車停站時間	s
t_i	解除進路、道岔轉轍、鎖定進路等之道岔及號誌聯鎖時間	s
t_r	號誌系統及列車控制的反應時間	s
v	列車的站間巡航速度	m/s
v_c	橫渡線的道岔限速	m/s
v_o	列車離開中間站之後的巡航速度	m/s
v_i	列車進入中間站之前的巡航速度	m/s
v_l	主線列車接近銜接點之前的巡航速度	m/s
v_n	側線列車接近銜接點之前的巡航速度	m/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：

$$C_l = \frac{3600}{h} = \frac{3600}{(1 + \beta)T_s} \quad (3.37)$$

式中： C_l =路線容量（TU/h）

6. 步驟六：計算列車容量

依下式計算營運列車的容量。

$$c_t = n_s + (m_s \times A_v) \quad (3.38)$$

式中： c_t =列車容量 (sps/TU)

n_s =列車的座位數 (sps/TU)

m_s =乘載水準，即立位密度 (sps/m²)

A_v =一列車可供旅客站立之面積 (m²/TU)

7. 步驟七：計算設計容量

根據列車容量與步驟六計算的路線容量，以下式計算設計容量。

$$C_o = C_l \times c_t \quad (3.39)$$

式中： C_o =設計容量 (sps/h)

8. 步驟八：計算可達成容量

考量設計容量與列車間乘載變異因子，依下式計算可達成容量。

$$C_u = \rho_d C_o \quad (3.40)$$

式中： C_u =可達成容量 (prs/h)

ρ_d =列車間乘載變異因子

3.6 容量分析的應用方式

由於本模式為一泛用架構，實際運用時，部分參數必須先經過處理後方能進行分析，因此本節中說明如何處理這些參數，另外一併說明都會捷運系統軌道容量分析及營運規劃的相關應用。

3.6.1 巡航速度的決定方式

進行軌道容量分析時，其中一個重要的輸入資料為巡航速度，一般而言，列車在兩站之間運行，通常可以達到最高營運速度，但尚須考慮列車性能、永久速限以及站間距離的影響。永久速限主要是因為路線彎道的限制，導致列車無法全速運轉，而站間距離過短或列車性能較差時，可能會導致列車在還未加速至最大營運速度之前，就必須減速進站，因此速度也不可能過高。

有關列車巡航速度的決定方式，有以下三種方式：

1. 對於已營運的系統，若有實際營運的巡航速度資料可供參考，則可以直接引用。
2. 若無實際營運的巡航速度可供參考，但有列車性能模擬器（Train Performance Simulator）時，可利用列車性能模擬器來計算。
3. 若無法使用以上兩種方式時，則可利用解析模式來分析列車的站間運轉曲線，再配合永久速限的位置以及列車的速度碼（速度碼系統）或期望煞車曲線（距離碼系統）來決定列車的巡航速度。假設 S 為站間距離， a 、 b 為列車的加減速度， v_{\max} 為列車的 maximum 營運速度，則

- (1) 若 $S \geq \frac{v_{\max}^2}{2a} + \frac{v_{\max}^2}{2b}$ ，表示列車可以加速至最大營運速度，此時

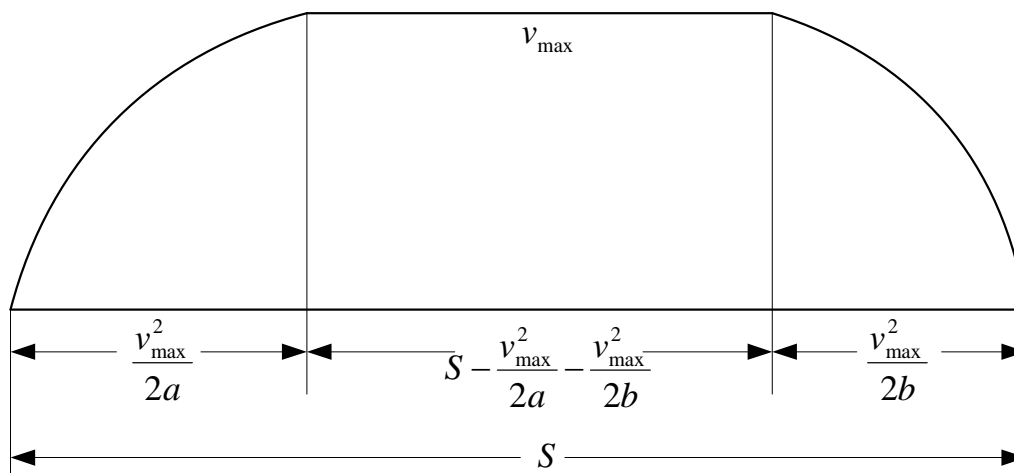
列車的站間運轉曲線如圖 3-7(a)所示，而巡航速度 v 會小於或等於最大營運速度、永久速限 v_r 以及列車的速度碼 v_s ：

$$v \leq \min(v_{\max}, v_r, v_s) \quad (3.41)$$

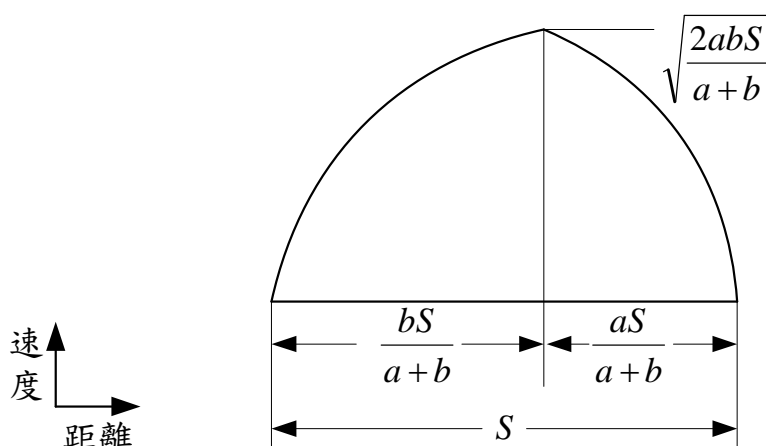
- (2) 若 $S < \frac{v_{\max}^2}{2a} + \frac{v_{\max}^2}{2b}$ ，表示列車無法加速至最大營運速度，此時

列車的站間運轉曲線如圖 3-7(b)所示，而列車的巡航速度存在下列關係：

$$v \leq \min(\sqrt{2abS/(a+b)}, v_r, v_s) \quad (3.42)$$



(a) 列車可加速至最大速度



(b) 列車無法加速至最大速度

圖3-7 列車站間運轉曲線示意圖

3.6.2 間隔安全係數的設定

列車跟車的最小安全間隔係數與號誌系統的設計有關，捷運號誌的自動列車保護系統有不同的設計方式（速度碼或距離碼），所以其對應著不同的間隔安全係數。此外，對於已營運的系統，若是採用速度碼 ATP，則每一個車站的間隔安全係數可能也不盡相同，因此若要精確計算號誌時隔，必須正確設定間隔安全係數。

對於間隔安全係數的設定方式，依條件的不同有下列兩種方式：

1. 已營運的系統

對於已營運的系統，列車的安全行車間距 D 為已知的條件，但本手冊的軌道容量分析模式並不允許直接輸入安全行車間距，主要原因是避免使用者輸入不合理的行車間距而導致危險，另外也為了統一軌道容量分析軟體的使用介面，因此必須利用安全行車間距來反算安全間隔係數，再代入模式來求解，其步驟如下：

- (1) 先根據3.6.1節的方式決定列車的巡航速度。
- (2) 根據號誌系統的設計，找出連續列車之間的最小安全間隔距離 D 。
- (3) 利用下式計算間隔安全距離 Q ：

$$Q = \frac{2K_b b D}{v^2} \quad (3.43)$$

2. 規劃中的系統

對於規劃中的系統，若已有確切的號誌設計方案，則可以利用前述方式來計算，若尚無確切的設計資訊可供參考，則可參考類似的系統來設定。對於採用速度碼的系統，間隔安全係數建議採用 1.5~2.0，而距離碼系統則可採用 1.0~1.2。

3.6.3 容量利用效率評估

容量利用效率的評估通常是針對已營運的系統，評估已使用的容量與系統容量的相對大小，用以判定系統還有多少容量擴充的餘地，以及營運的飽和程度，常用的容量利用效率指標包括路線利用率以及乘載係數。

1. 路線利用率

路線利用率為實際營運列車流量與路線容量的比值，公式為：

$$\eta = \frac{f_t}{C_l} = \frac{3600/h_t}{3600/h} = \frac{h}{h_t} = \frac{(1+\beta)T_s}{h_t} \quad (3.44)$$

式中： η = 路線利用率 (decimal)

f_t = 列車的表訂服務頻率 (TU/h)

C_l = 路線容量 (TU/h)

h_t = 列車排點的班距或實際營運班距 (s)

h = 連續列車的最小運轉時隔 (s)

路線利用率愈高，代表路線容量的使用效率愈高，但相對地也表示無太多的擴充餘地，且服務可靠度會下降；反之，路線利用率愈低，表示還有很多的剩餘容量可供利用，列車的服務可靠度較佳，但也表示捷運系統是在低度使用的狀況下營運。

根據路線利用率來判定服務的可靠度時，必須特別注意計算最小運轉時隔所採用的寬裕係數是否相同，因為在相同的營運班距下，若最小運轉時隔含有較多的寬裕時，計算出來的路線利用率會較高，若運轉寬裕係數較低時，路線利用率會較低，而事實上對於同一條捷運路線而言，在相同的列車流量或營運班距下，列車服務的可靠度也應相同，因此直接以路線利用率的大小來判定服務的可靠度恐會造成誤解，比較時必須注意計算最小運轉時隔所採用的寬裕係數是否相同。

2. 乘載係數

乘載係數 (Load Factor) 為實際乘客流量與服務容量的比值，由於列車在每一個站間載運的旅客數並不相同，因此若需綜觀整條路線的乘載係數，必須導入距離的觀念，並且以平均值的方式來表示，計算方式如下：

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum_l p_l d_l}{C_l L_n} = \frac{\sum_l p_l d_l}{(3600/h_t) c_l L_n} \quad (3.45)$$

式中： $\bar{\alpha}$ = 平均乘載係數

p_l =路段 l 的旅客量 (prs/h)

d_l =路段 l 的區間長度 (km)

C_i =表訂服務容量 (sps/h)

L_n =列車營運路線長度 (km)

h_i =列車排點的班距或實際營運班距 (s)

c_i =列車容量 (sps/TU)

3.6.4 列車服務班距規劃

規劃新的捷運系統時，必須決定列車的服務型態，並計算列車的服務班距，以作為後續營運規劃的基礎。捷運列車服務班距的規劃步驟說明如下

1. 決定乘載水準

捷運系統是以短程通勤為主，因此計算列車容量會納入立位之考量。立位密度或乘載水準會影響到列車的容量，採用較大的數值計算出來的列車容量較大，但服務品質較差；而採用較小的數值計算出來的列車容量較小，但服務品質較佳。對於國內乘客的體型以及接受水準而言，捷運系統的乘載水準可採用 6 prs/m^2 或 7 prs/m^2 。

2. 計算列車容量

考慮列車的編組數，利用式(3.7)來計算整列車容量。

3. 計算列車服務頻率

利用下式計算目標年的列車服務頻率

$$f_i = \frac{P_{\max}}{\rho_d c_i} \quad (3.46)$$

式中： P_{\max} =目標年最大乘載區間的旅客流量 (prs/h)

ρ_d =乘載變異因子

f_t = 表訂服務頻率 (TU/h)

4. 計算列車的服務班距

透過下式計算列車的服務班距。

$$h_t = \frac{3600}{f_t} = \frac{3600 \rho_d c_t}{P_{\max}} \quad (3.47)$$

3.6.5 設計路線容量的決定

在進行系統規劃設計時，由於運量預測不可能完全精確，因此設計上必須保留一些容量餘裕，以備未來擴充的餘地。假設 η 為目標年的計畫路線利用率，則設計路線容量可由下式計算而得：

$$C_l = \frac{f_t}{\eta} = \frac{P_{\max}}{\eta \rho_d c_t} \quad (3.48)$$

而目標年的設計班距則為

$$h_{l,\min} = \frac{3600}{C_l} = \frac{3600 \eta \rho_d c_t}{P_{\max}} \quad (3.49)$$

3.6.6 車隊規模計算

車隊規模的計算是捷運列車營運規劃作業中重要的工作之一，與列車的全程往返時間以及營運班距有關，全程往返時間愈長或營運班距愈短，所需的列車數愈多；反之，列車數則較少。

原則上，除了收班之外，捷運列車抵達終點站之後會原車折返繼續營運，而不會進入機廠整備，亦即線上營運列車會一直循環運用。因此設列車全程往返時間為 T_r ，則每一列車經過 T_r 的時間之後，即可重新再運用，如圖 3-8所示，故若根據運輸需求，列車的服務班距為 h_t ，則所需的營運列車數為

$$N_o = \frac{T_r}{h_t} \quad (3.50)$$

式中： N_o = 營運所需的列車數 (TU)

T_r = 列車全程往返時間 (s)

h_t = 列車服務班距 (s)

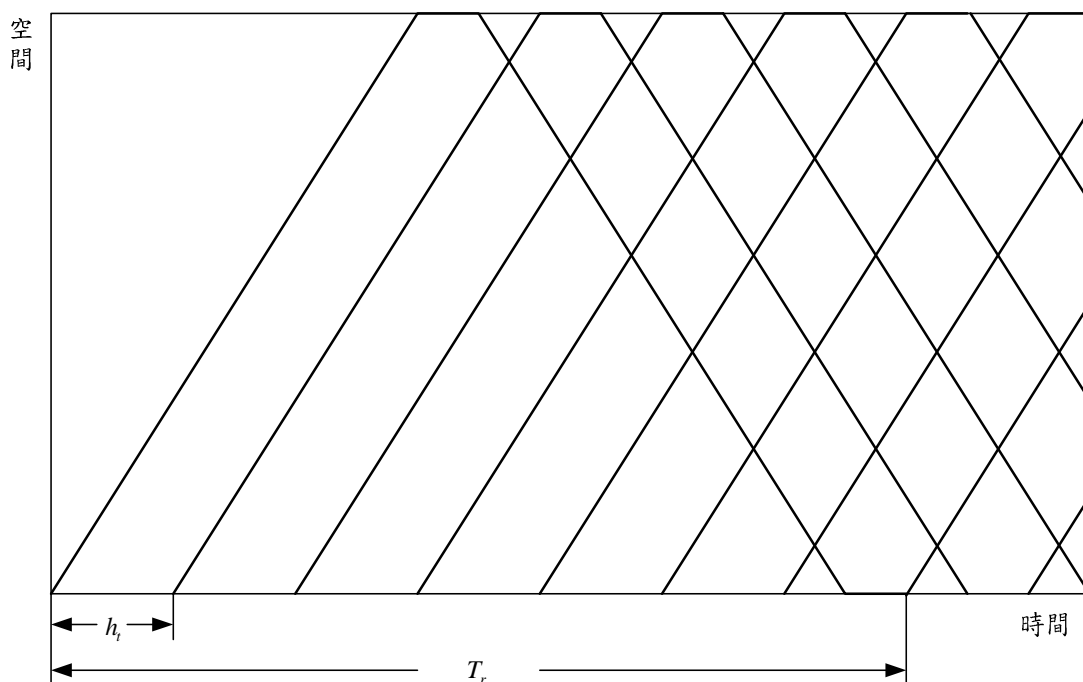


圖3-8 列車循環運用時空圖範例

式(3.50)中的列車全程往返時間包括上、下行運轉時間，以及列車在兩個端末車站的停車時間，在計劃階段，列車的運轉時間通常必須利用列車運行模擬器來計算，但亦可根據營運路線的長度以及類似系統的平均速度，利用下式來計算：

$$T_r = 7200 \frac{L_s}{\bar{V}} + t_1 + t_2 \quad (3.51)$$

式中： L_s = 列車的營運路線長度 (km)

\bar{V} = 列車的平​​均營運速度 (km/h)

t_1 =列車在一端的末端車站之折返停留時間 (s)

t_2 =列車在另一端的末端車站之折返停留時間 (s)

除了營運列車數之外，通常還必須保留一些備用車輛，以因應列車臨時故障或進廠維修時仍能維持正常營運。有關列車備用率，假設備用車輛的比例為 γ ，則備用列車數為

$$N_r = \gamma N_o \quad (3.52)$$

式中： N_r =備用列車數 (TU)

N_o =營運所需的列車數 (TU)

γ =列車備用率

營運列車與備用列車的總和，即為車隊規模 (Fleet Size)，計算如式(3.53)，所求得之列車組數可能包括小數，但列車為整數單位，因此計算結果必須無條件進整。

$$N_t = N_o + N_r = N_o + \gamma N_o = (1 + \gamma) N_o \approx \frac{N_o}{1 - \gamma} \quad (3.53)$$

第四章 都會捷運系統容量分析軟體

4.1 國內外相關軟體回顧

軌道系統無論在規劃、設計與營運階段都相當倚重容量分析工具，藉由容量分析，可於規劃階段依運量目標設計路線與場站配置；或於營運階段找出瓶頸路段設法改善提高系統容量，但因各國國情、場站設備與路網結構不盡相同，因此多年來各國均發展出不同的容量分析軟體，其中又以具備人機介面之視窗程式為目前軟體發展的主流。本節將彙整文獻資料，將各國軌道容量分析軟體依求解方式，區分為解析模式、模擬模式與最佳化模式三大類介紹（前期計畫發展之 RRCS 亦屬於解析模式之一種），此外部分軟體因未公布求解細節，在無法分類的情況下將另整併為一類來介紹。

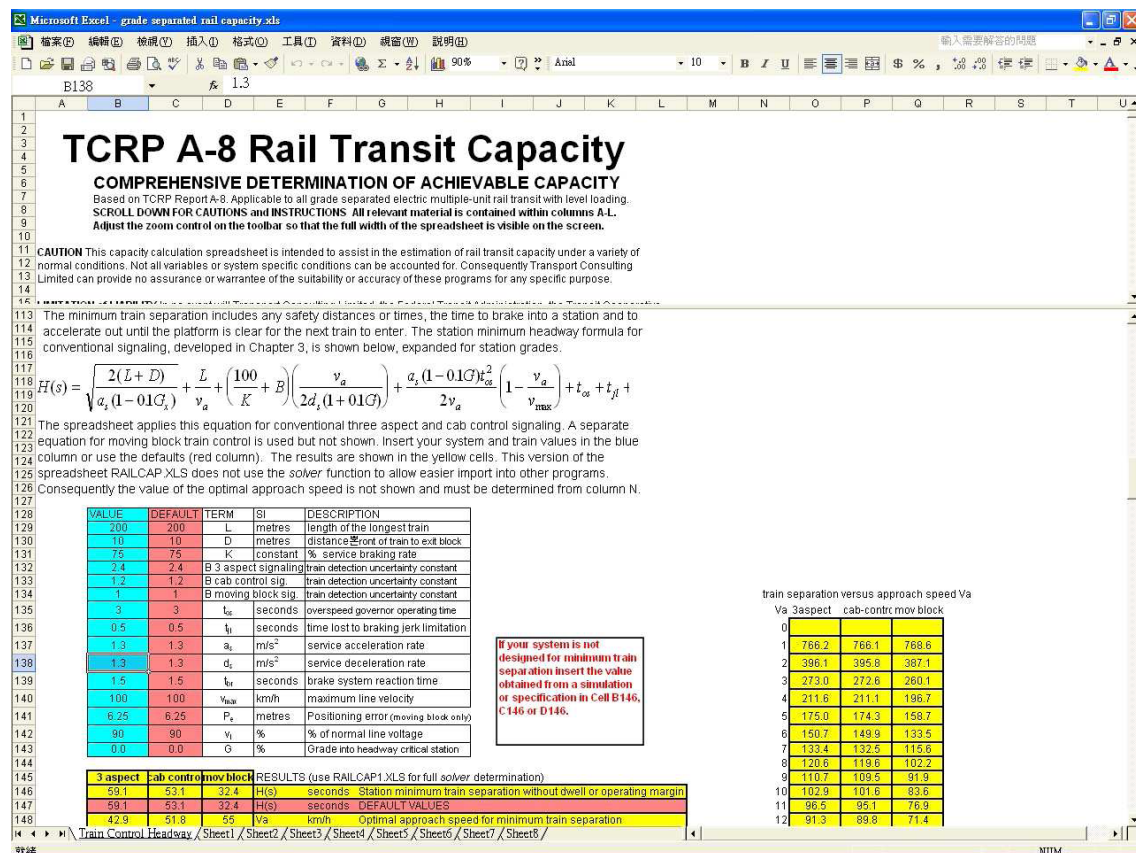
4.1.1 解析模式容量分析軟體

解析模式容量分析軟體乃單純利用理論模式，透過使用者逐一輸入各項參數設定，一步步求解軌道容量，具有高計算效率，其中以美國運輸研究委員會 (Transportation Research Board, TRB) 在 1995~2003 年間，委託 Parkinson 等人與 Kittelson & Associates, Inc. 等公司所開發的「大眾運輸容量暨服務品質手冊」(Transit Capacity and Quality of Service Manual, TCQSM) 最具代表。此外，前期研究所發展的 RRCS 亦屬於解析模式之一種，設計上較符合我國軌道容量評估需求，以下分別說明：

1. TCQSM

TCQSM 乃結合 VBA (Visual Basic for Application) 技術的 Excel™ 試算表，如圖 4-1 所示。由公車專用道、公車站、立體分隔

鐵路與單線輕軌四種系統之程式，其中僅「立體分隔鐵路」程式與本研究相關，分析步驟如下：



資料來源：[2]

圖4-1 TCQSM 試算表

- (1) 決定最瓶頸環節：TCQSM 的使用者需根據軟體提供的概略準則，自行判斷系統中最瓶頸的環節進行後續分析。
- (2) 計算最繁忙車站之號誌安全時距：TCQSM 提供號誌安全時距的計算公式，使用者透過諸如加速度、減速度等參數的輸入，可得到不同控制系統下的最小進站之號誌時距與最佳的進站速度。
- (3) 決定停站時間：TCQSM 提供停站時間的計算公式，使用者透過諸如月台旅客數等參數的輸入，可得到軟體建議的停站時間。

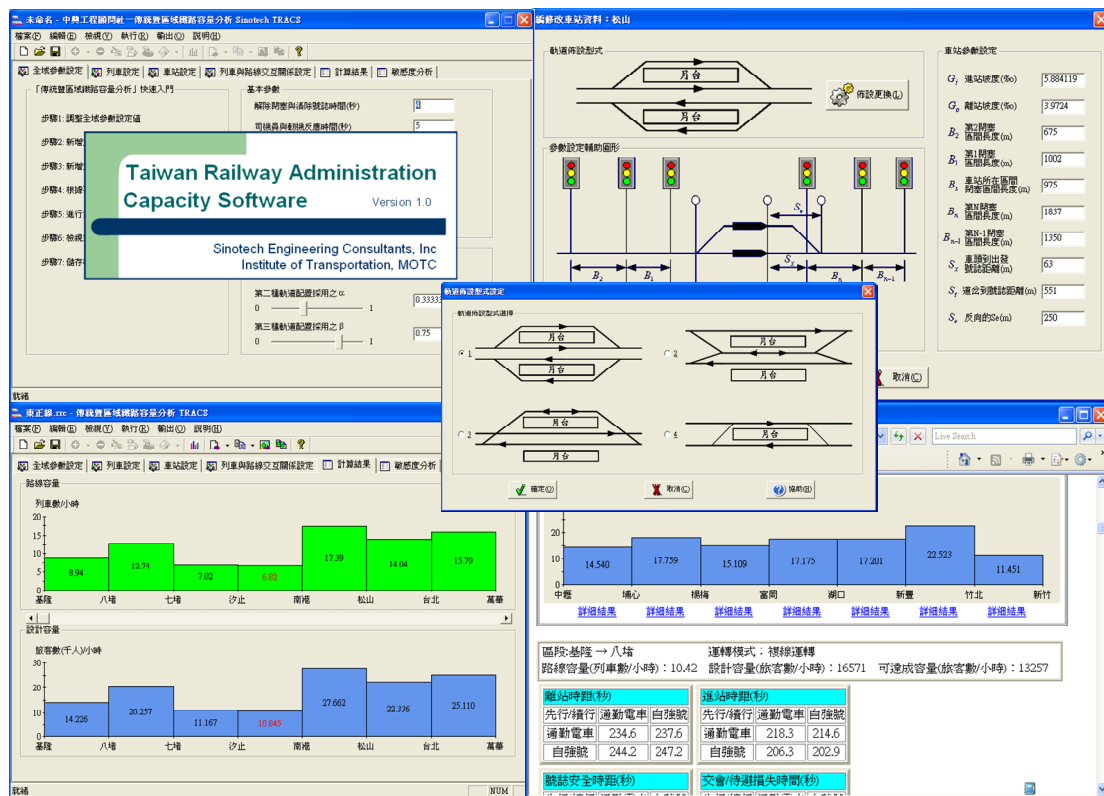
- (4) 決定運轉寬裕時間：運轉寬裕時間的多寡與系統穩定度息息相關，TCQSM 提供不同系統的運轉寬裕時間供使用者參考輸入。
- (5) 決定乘載水準：同樣透過參數的設定計算乘載水準。
- (6) 決定乘載變異因子：一般來說，TCQSM 建議重軌設定 0.8，輕軌設定 0.75，通勤電車設定 0.6，試算表中也列舉許多不同系統參數供使用者參考。
- (7) 整體運算：透過上述步驟中各項參數的設定，使用者可逐一得到運轉時隔、每小時列車數、與可達成容量之計算結果。

2. RRCS

RRCS 為運研所自行研發之軌道容量分析軟體，可進行多路段容量分析，並可對相關參數進行敏感度分析，同時考量臺鐵多車種特性，特別將車種組成差異納入分析考量，評估增加列車後對系統可靠度之影響亦是本軟體特色，使用介面如圖 4-2 所示。其分析步驟說明如下：

- (1) 設定全域參數：包括「解除閉塞與清除號誌時間」、「司機員軔機反應時間」等參數需由使用者輸入，軟體也提供預設值供使用者參考。
- (2) 設定列車資料：考量多車種組成乃 RRCS 之特色，使用者可根據不同列車長度、加減速度等列車參數進行設定。
- (3) 設定車站資料：由於不同車站的軌道佈設不盡相同，且調度時是否有平面交叉影響容量甚鉅，因此包括車站軌道與進出站號誌機位置等都需由使用者設定。
- (4) 設定列車與路線交互關係：此處主要設定站間列車運轉方式，諸如單線運轉、複線運轉或雙單線運轉等，列車運轉速度與站間運轉時隔也於此步驟一併設定。
- (5) 容量分析計算：完成以上設定後，RRCS 將計算出各站間的路線容量與設計容量，方便使用者了解系統瓶頸所在之處。

- (6) 計算結果產出：此步驟將可讓使用者觀察在不同先續行列車組合下，包括進離站時距、號誌安全時距、交會待避損失時間、交通組成比例、與運轉時隔等資訊。
- (7) 敏感度分析：使用者可調整列車加減速度、閉塞區間長度、進站前與站間的平均巡航速度等參數，觀察各區間容量變化趨勢。
- (8) 可靠度分析：為了方便了解增加列車密度對系統可靠度之影響，RRCS 可提供當列車密度逐步增加時，排班延遲與實際延遲之差距的趨勢，提供使用者決策之資訊。



資料來源：[4]

圖4-2 RRCS 軟體介面

4.1.2 模擬模式容量分析軟體

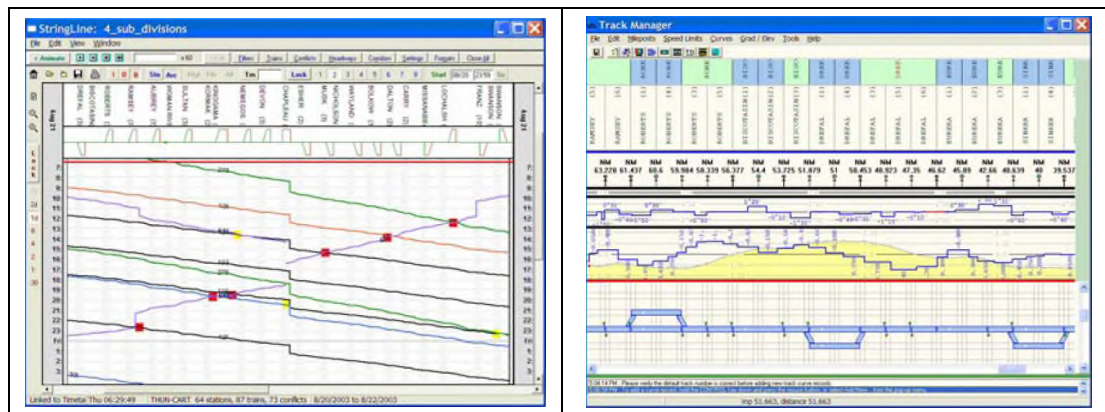
上節介紹的解析模式軟體僅依照理論模式與參數設定求解，屬於通用性較高的求解軟體，但許多較為複雜的因素則無法納入考量，因此以模擬方式求解的分析軟體因應而生，特色為具有許多附加功能，

但相對的與個別系統的依存度較高，且求解時間較長。本節將搜集到的文獻資訊整理如下：

1. FAST TRACK™ II

FAST TRACK™ II 的容量規劃與錯會車模式可用來產生最佳列車派遣計畫，且由於其演算核心原先是為了發展即時派遣系統，因此在路線規模較複雜的情況下，演算效率還是相當好，使用介面如圖 4-3 所示，主要功能說明如下：

- (1) 驗證班表可行性
- (2) 測試列車服務操作政策改變的衝擊
- (3) 計算理論與實用容量
- (4) 驗證路線合理性的研究
- (5) 規劃側線的位置，估算側線延伸或移除的衝擊
- (6) 評估列車服務計畫改變的衝擊
- (7) 評估號誌系統改變活其他影響列車運動之因子改變的影響



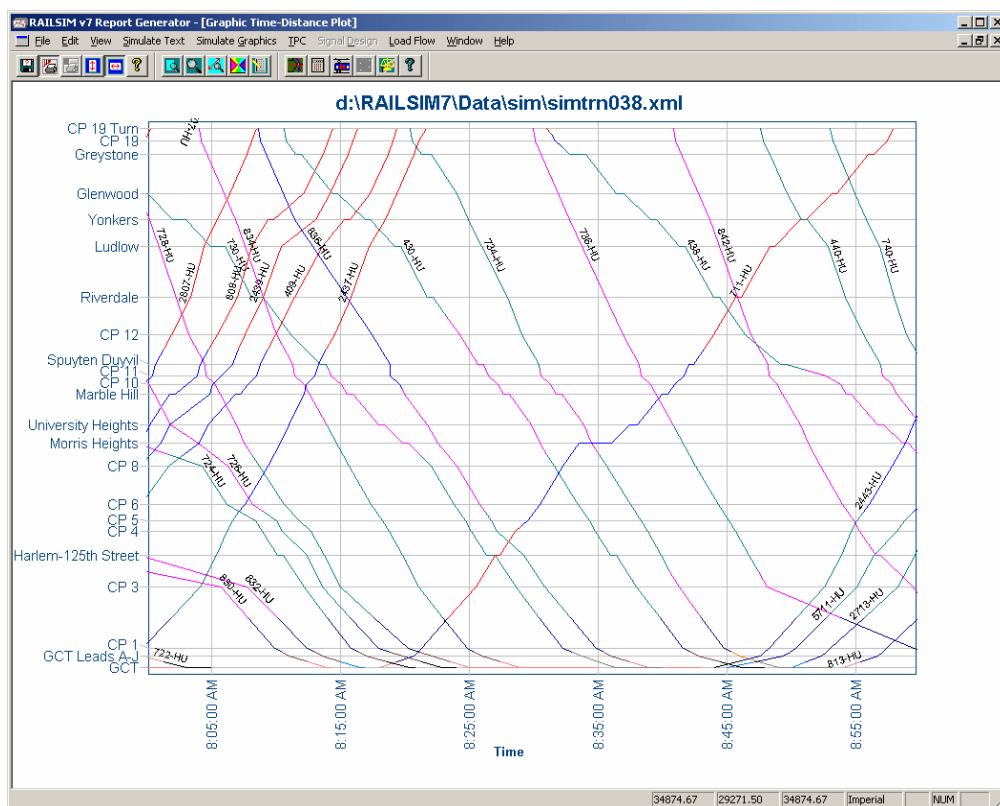
資料來源：[27]

圖4-3 FAST TRACK II 使用介面

2. RAILSIM[®] v7

RAILSIM[®] v7 由美國 SYSTRA 顧問公司所開發，使用介面如圖 4-4 所示。該軟體由許多套件組成，其中容量計算屬於 Network Simulator 套件的功能之一，加上基本套件後，各功能概述如下：

- (1) 鐵路設備投資規劃
- (2) 驗證號誌系統
- (3) 時刻表與運轉計畫規劃
- (4) 旅次分析
- (5) 路線容量分析
- (6) 列車控制模擬
- (7) 容許輸入車輛效能特性
- (8) 模擬實際運轉行為



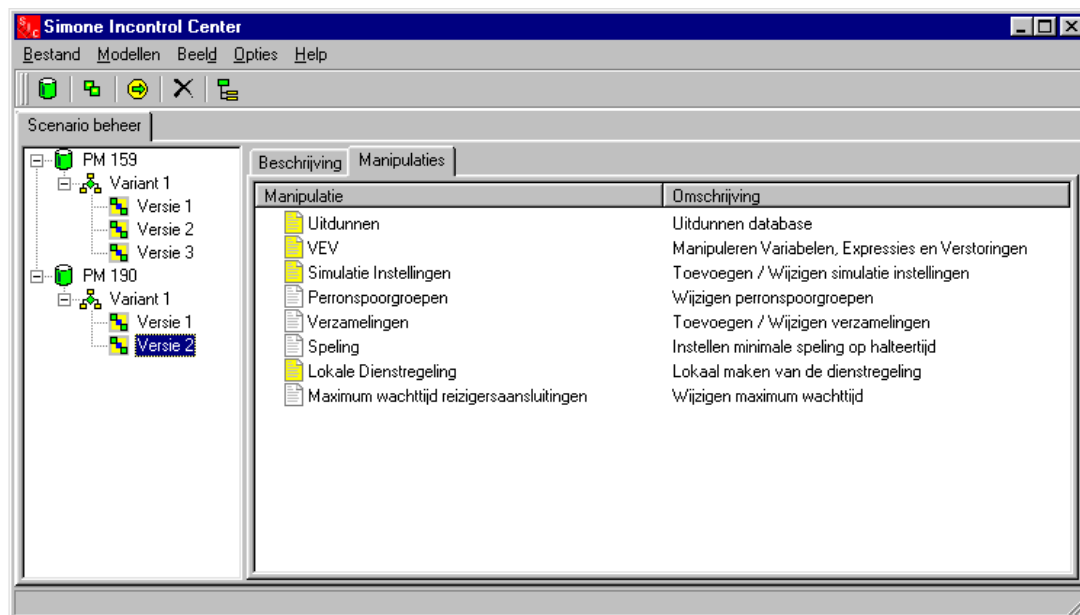
資料來源：[32]

圖4-4 RAILSIM[®] v7 使用介面

3. SIMONE

此軟體為荷蘭的 Railned 與 Incontrol Enterprise Dynamics 公司合作開發之軟體，專門針對荷蘭鐵路系統所設計，具備有直接存取荷蘭鐵路資料庫之介面，可直接擷取資料庫中路網、軌道、設施、流量需求與時刻表等資訊，直接就現況進行分析，使用介面如圖 4-5所示。SIMONE 乃利用 Arena 3.0 專業版所開發的離散事件模擬工具，具備的功能有：

- (1) 產生、模擬、分析大型軌道路網
- (2) 評估時刻表可靠度與分析延滯之產生與影響
- (3) 路網瓶頸之偵測
- (4) 量化不同軌道設施配置之延滯
- (5) 求解過程之動畫展示



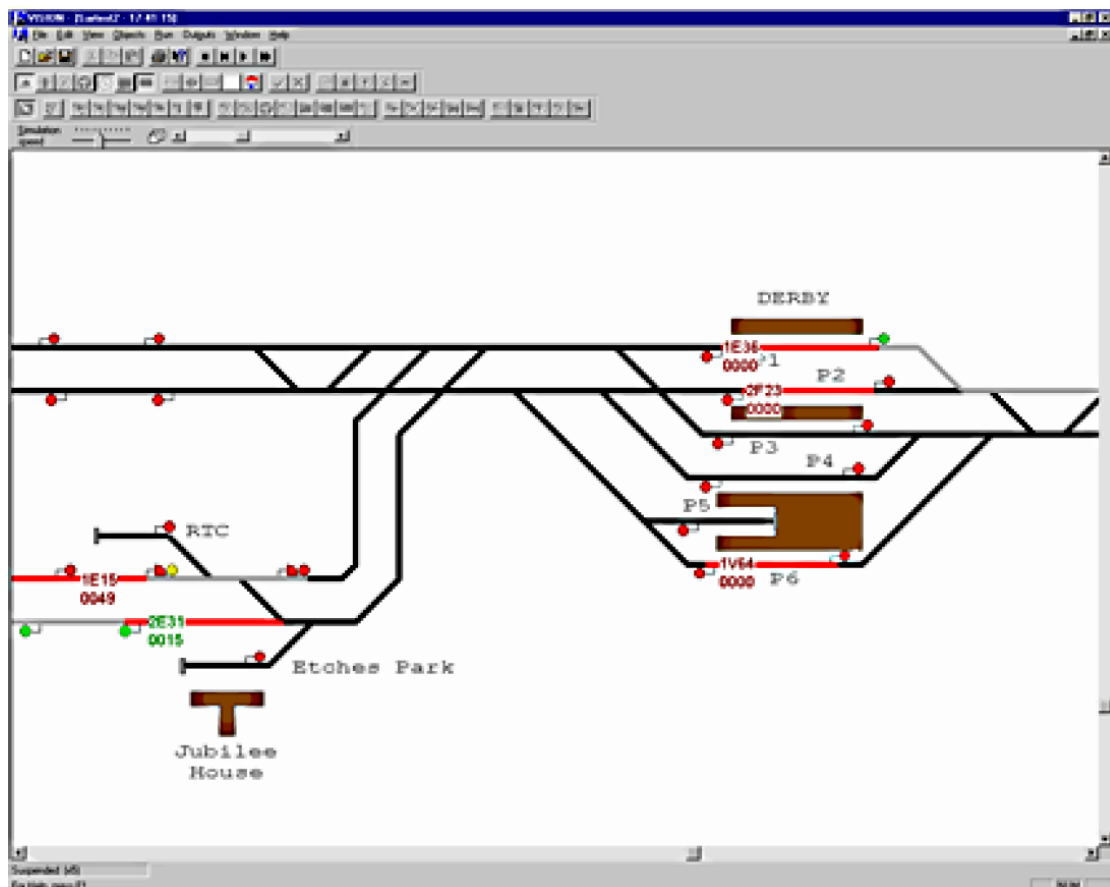
資料來源：[20]

圖4-5 SIMONE 使用介面

4. VISION

VISION 由英國的 AEA Technology Rail 公司所開發，交通部高速鐵路工程局於民國 83~84 年間亦曾引進，其特色乃可對特定的路段進

行容量分析。該軟體利用模擬的方式，顯示路線上列車、號誌與設施之間交互影響的情形，如圖 4-6所示。使用者可透過參數的設定，諸如軌道佈設、號誌機與列車位置、駕駛模式、速度、預估延滯等，觀察模擬之過程，近年來亦已發展成可計算列車運轉時隔與路線容量的軟體。



資料來源：[19]

圖4-6 VISION 使用介面

5. RAIL S2000

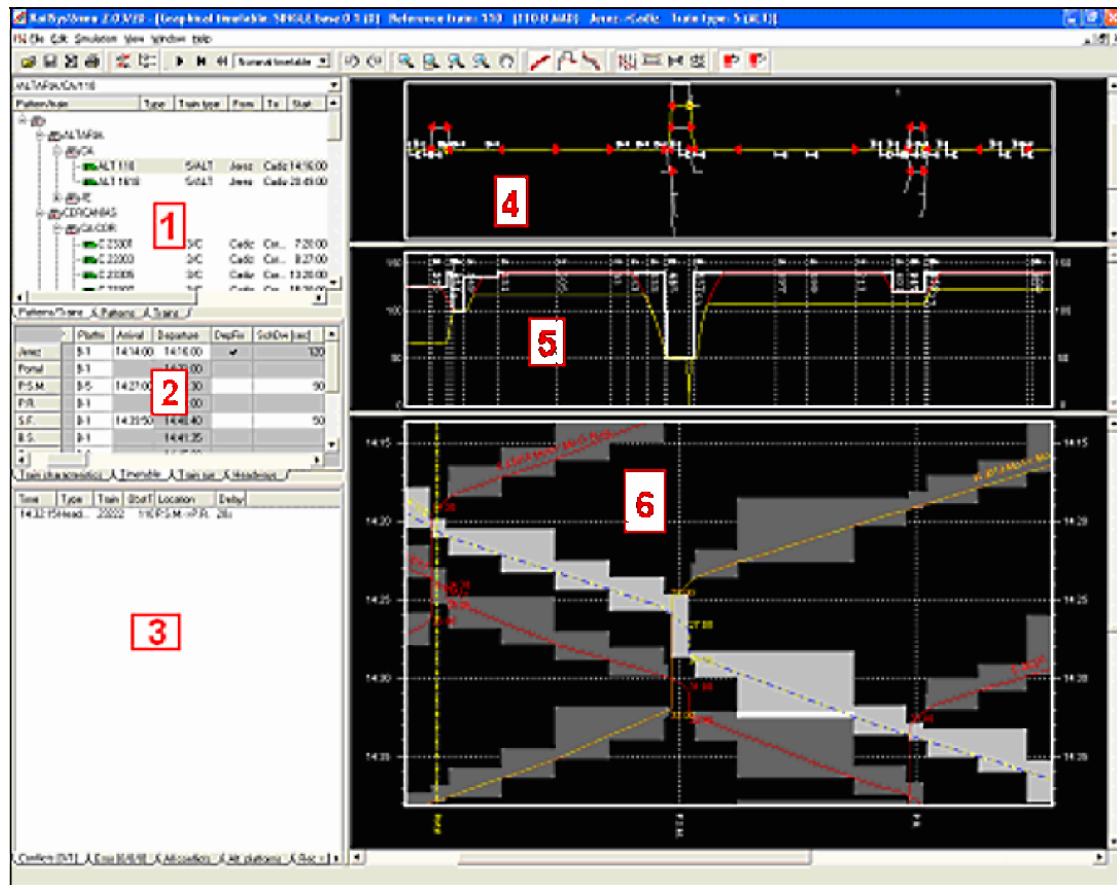
RAILS2000 採用事件模擬模式，由加拿大 CANAC 公司所發展。原先開發的目的是為了提供具體的量化指標，例如容量、速度、班表可行性等，作為鐵路資本投資與否之依據，包括調整設備車輛、運轉方式與養護計畫所帶來之影響，乃一具備客觀性與可信度之容量分析軟體，亦可處理複雜網路問題。

6. RAILSYS

RAILSYS 採用微觀模擬的方式評估軌道容量，包含四個模組說明如下：

- (1) 設施管理模組：透過此一模組，使用者可逐一建置路網中包括車站、月台、號誌、軌道等等設施，同時有關軌道的參數，諸如長度、坡度、速限等也在此一併設定。RAILSYS 的路網採節點與節線的方式建置，不僅車站可視為節點，包括號誌等設施的設置地點在模組中都視為節點，可方便使用者建置更精確的路網結構。
- (2) 時刻表管理模組：此模組可展示班表中各列車的可行路徑，主要功能在幫助使用者檢視班表的可行性，同時透過顯示介面讓使用者迅速了解變更軌道配置對列車的影響情況，目的在協助檢視班表中不合理的情況，例如列車衝突或是安全間距過短。除此之外，不同列車的參數差異也在 RAILSYS 的設定功能內，例如加減速、列車長度、發車規則等。圖 4-7 為此模組的顯示介面，圖中標示 1 的部分為列車等級與組合，2 為輸入的時刻表，3 為列車衝突情形，4 為軌道佈設，5 為路網的速度曲線，6 為運行時空圖。
- (3) 模擬管理模組：RAILSYS 提供兩種模擬方式，簡單的 nominal 模擬與複雜的 perturbed 模擬，nominal 模擬僅檢視基本列車運行狀況，perturbed 模擬則考量列車待避延滯時間，以及所造成一連串的連鎖延滯，供使用者了解列車的延誤情形。
- (4) 評估管理模組：此模組目的在評估更動設施或時刻表對績效的影響，例如對系統延滯的影響等，提供使用者決策之參考。

RAILSYS 可以評估在不同的列車停站模式下，整個系統或單一路線、甚至單一節點的績效，包括抵達或出發延滯、延誤的列車數等。



資料來源：[19]

圖4-7 RAILSYS 時刻表管理介面

4.1.3 最佳化模式容量分析軟體

本節所述之最佳化模式容量分析軟體，乃指運用線性規劃法或分支定限法等最佳化策略所進行容量評估之軟體，與前述利用解析或模擬的方式有所不同，介紹如下：

1. CARTES

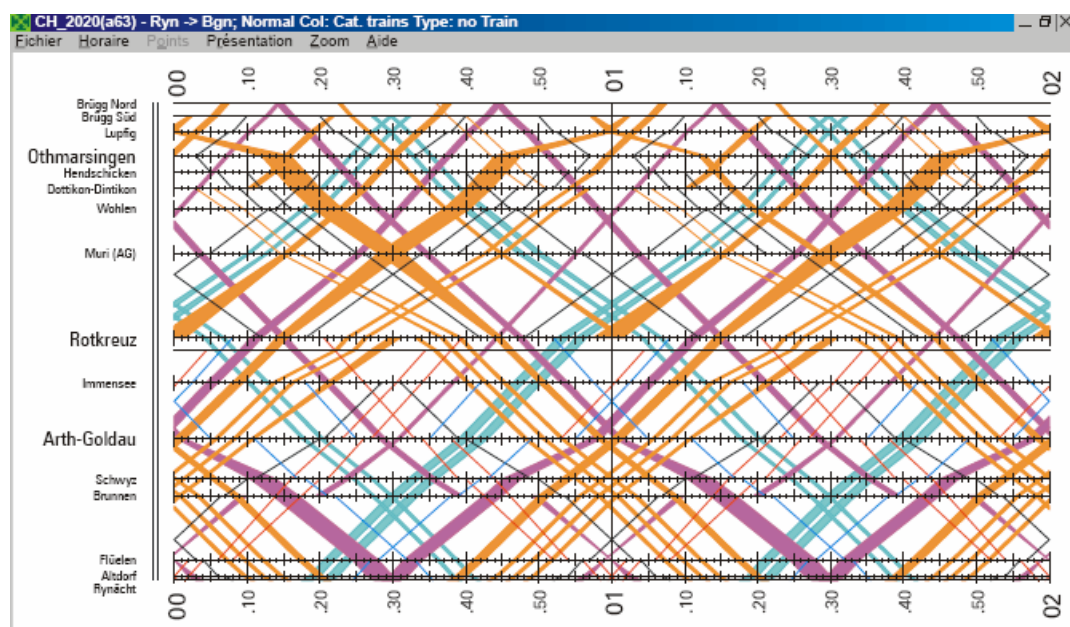
此軟體乃針對瑞士鐵路系統專門研發之軟體，該軟體主要功能包括：

- (1) 協助使用者產出基本時刻表
- (2) 利用數學規劃法產生飽和時刻表
- (3) 透過飽和時刻表評估容量

(4) 驗證班表的可行性

(5) 找出路網的瓶頸點

CAPRES 可透過基本班表設計模組在給定的列車總數下，搜尋所有符合限制（列車頻率、旅行時間、列車銜接、列車等級優先順序等）之可能組合，以協助產生基本班表；再利用班表驗證模組精確指出所違反之限制，以協助產生可行班表；最後利用基本班表飽和模組，額外增加列車候選清單使基本班表逐漸飽和，如圖 4-8所示。透過網路中額外增加列車的計算，可以評估網路之未使用容量，本模組亦可顯示最後終止飽和程序的理由，協助使用者找出造成系統瓶頸的主要原因。



資料來源：[29]

圖4-8 CAPRES 飽和班表規劃

此軟體另一特色為考量了轉轍器與橫渡線配置之影響，亦可在不同列車組成下展現分析結果，運用在複雜路網上也有不錯的成效，許多歐洲國家都陸續採用此軟體進行分析，以下介紹該軟體所需的輸入資料：

- (1) 設施資料：以節點與節線表示，其中節點又可區分為一般節點、銜接點、與複雜節點；節線部分則必須輸入起訖點資料以及最小運轉時隔等資訊。
- (2) 列車資料：CAPRES 同樣可考量不同列車種類的情況，每一種列車都可輸入各自的服務路線、運轉時間、與停站時間，同時需提供該種類列車於運轉全線上的最小與最大容許運轉時間，個別節線間的最大與最小運轉時間，每一個車站之最小與最大停站時間，以及某一車站之最早與最晚發車時間或抵達時間。

2. DEMIURGE

DEMIURGE 主要用來進行軌道容量分析的研究^[錯誤！找不到參照來源。]，它的功能包括有：

- (1) 評估路網容量
- (2) 找出瓶頸路段
- (3) 評估設備投資效益
- (4) 最佳化班表
- (5) 計算時刻表剩餘容量

使用者需採用節點節線的方式設置路網，並設定列車運行的各項限制條件讓軟體算出系統的容量。這些限制包括各種安全時隔、各節線的最小與最大運轉時間的限制等等，其中節點的限制依其為一般節點、銜接點或車站有不同複雜程度的限制設定。

DEMIURGE 之所以歸類於最佳化模式，主要因為它採用混合線性整數規劃（mixed linear integer programming），求解列車最佳的進出站時間，求解過程的限制條件包括：

- (1) 讓班表內的列車數目最大化

- (2) 最小化週期 (journey)、停等 (stopping) 與連接 (connection) 時間
- (3) 既有班表變動最小化 (盡可能)
- (4) 違反技術限制最小化 (盡可能)

3. CMS

CMS 與 4.1.2 節介紹的 VISION 同樣都是由英國的 AEA Technology Rail 公司開發^[16]，目的是有效運用現在與未來的路線容量，主要模組包括：

- (1) PTG 模組：PTG (Planning Timetable Generator) 的主要功能是以最佳化的技術自動產生符合商業與營運限制的時刻表，以改良的模擬退火法 (Simulated Annealing Algorithm) 為理論基礎。
- (2) MERIT 模組：MERIT 為分析效能及成本的策略評估工具，目的是為了測試時刻表及設施改變的效益，或者確定如何改變較為有利。
- (3) PSaP 模組：PSaP (Path Searching and Pricing) 模組的主要功能為確認剩餘容量，亦即找出時刻表中，哪裡還可以再新增額外的車次。
- (4) GIS 模組：GIS (Geographical Information Systems) 模組可計算路網中有關容量與壅塞的多種量測指標，並且將計算結果展現於地圖上。它可以分析現在或未來的時刻表與新設施的組合，也可以針對瓶頸與剩餘容量的計算結果提供強大的視覺展示效果。
- (5) SCORES 模組：SCORES 模組可以比較新時刻表與現有時時刻表，評估產製新時刻表時重要因素的改變，對於旅客吸引力會增加或是減少，藉由此一分析評估採用新時刻表的影響。

CMS 利用 Oracle 資料庫的技術，存放鐵路網路的詳細資料，包括接近 30,00 公里長的軌道資料以及接近 5,000 個銜接點、車站、會車線、及橫渡線的資料，這個資料庫包含所有鐵路網路之實體及運轉的詳細資料，使得 CMS 可以精確反應網路佈設的現況。

4.1.4 其他容量分析軟體

本節主要整理因演算法並無公布，也無法找到相關的學術論文將其分類之軟體，介紹如下：

1. RAILCAP

RAILCAP 由比利時的 Stratec 顧問公司所開發，主要用來計算特定設施條件下，不同操作情境所使用的路線容量，目的是用來找出鐵路設施的所有瓶頸。該程式對設備條件有深入的考量，包括側線、月台、橫渡線等，更可精細到每一個閉塞區間。需要輸入的資料如下：

- (1) 軌道縱面資料以及轉轍器與橫渡線的位置
- (2) 號誌封鎖轉換點的位置，如絕緣點的位置等
- (3) 號誌（包括速限）型式與位置

此軟體特色在於計算容量之最基本單元為號誌系統或軌道電路元件，諸如轉轍器位置或是速限轉換點，可深入計算路線上或車站內各軌道段的容量，不限於站間或站內容量，同時也可考量不同情境下的計算差異。值得注意的是，此一軟體僅適用於規劃階段，並無法提供實際營運時排除列車衝突的功能。

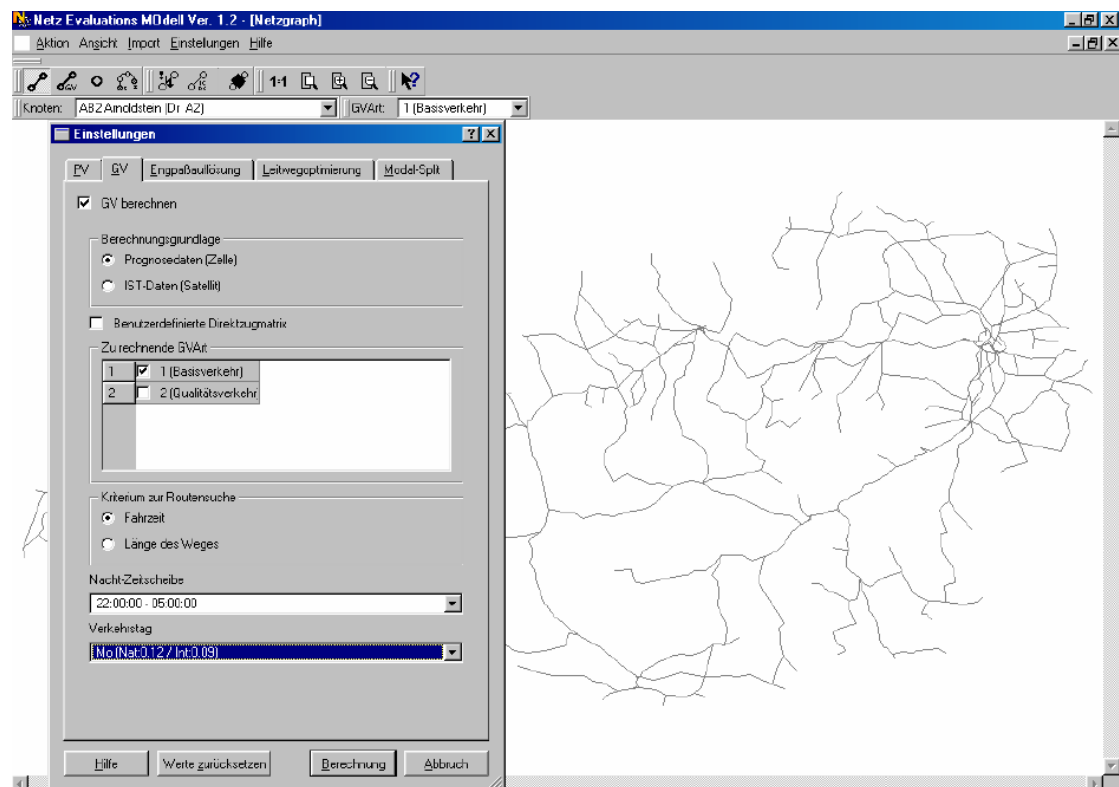
2. NEMO

NEMO 為德國 IVE 公司所發展，此軟體可透過綜合考量、評估路網設施、運轉與運輸需求之互動行為，使得設備的投資更有效率，也可以找出剩餘容量或運轉瓶頸，如圖 4-9所示，主要的應用領域包括：

- (1) 鐵路運輸網路之設施規劃

- (2) 確認並移除容量瓶頸
- (3) 運輸供給與需求之評估
- (4) 貨運鐵路之產品規劃最佳化
- (5) 不同計畫之整體經濟評估比較

NEMO 透過運輸需求指派來確認系統瓶頸，並將輸入資料與計算結果以視覺化的方式呈現，例如以不同顏色顯示路段的擁塞情況。



資料來源：[21]

圖4-9 NEMO 使用介面

4.1.5 小結

本節將解析模式、模擬模式、最佳化模式以及尚無法分類之各種容量分析軟體整理於表 4.1。

表4.1 容量分析軟體特色彙整表

軟體名稱	模式分類	軟體特色
TCQSM	解析模式	<ul style="list-style-type: none"> ● 由使用者自行判斷瓶頸路段 ● 針對單一路段之容量進行估算
RRCS	解析模式	<ul style="list-style-type: none"> ● 可調整不同參數值進行敏感度分析 ● 可驗證班表的可行性
FAST TRACK™ II	模擬模式	<ul style="list-style-type: none"> ● 評估設施或管理手段改變後造成之效益 ● 可驗證班表的可行性
RAILSIM® v7	模擬模式	<ul style="list-style-type: none"> ● 評估設施或管理手段改變後造成之效益 ● 可驗證班表的可行性
SIMONE	模擬模式	<ul style="list-style-type: none"> ● 可直接取用荷蘭鐵路資料庫 ● 評估設施或管理手段改變後造成之效益 ● 可驗證班表的可行性
VISION	模擬模式	<ul style="list-style-type: none"> ● 以模擬飽和班表方式估算容量
RAILS2000	模擬模式	<ul style="list-style-type: none"> ● 評估設施或管理手段改變後造成之效益 ● 可驗證班表的可行性
RAILSYS	模擬模式	<ul style="list-style-type: none"> ● 評估設施或管理手段改變後造成之效益 ● 可驗證班表的可行性
CAPRES	最佳化模式	<ul style="list-style-type: none"> ● 以模擬飽和班表方式估算容量 ● 以最佳化方式產生飽和班表 ● 路網構建考慮橫渡線與轉轍器
DEMIURGE	最佳化模式	<ul style="list-style-type: none"> ● 評估設施或管理手段改變後造成之效益 ● 以最佳化方式產出列車最佳進出站時間
CMS	最佳化模式	<ul style="list-style-type: none"> ● 評估設施或管理手段改變後造成之效益 ● 以最佳化方式產出時刻表
RAILCAP	無法分類	<ul style="list-style-type: none"> ● 路網構建考慮橫渡線與轉轍器
NEMO	無法分類	<ul style="list-style-type: none"> ● 評估設施或管理手段改變後造成之效益

4.2 軟體簡介

本軟體之中文名稱為「都會捷運系統容量分析軟體」，英文名稱為 Urban Railway Capacity Software，簡稱 URCS。本節介紹本軟體之特色、功能以及執行環境需求。

4.2.1 軟體特色

本軟體的主要特色說明如下：

1. 以 Microsoft Windows 為執行平台

目前國內桌上型個人電腦或筆記型個人電腦中，普遍採用 Win32 作業系統，包括了 Win NT/2000/XP/Vista 等，因此本軟體以這些系統作為執行平台。

2. 圖形化使用介面

圖形使用者介面 (Graphic User Interface, GUI) 已是應用程式之基本需求，讓使用者便於進行參數輸入與結果檢視。

3. 正體中文語系

除非中文裡無通用且貼切之翻譯詞，否則程式介面與線上說明檔均以正體中文方式呈現。

4. 預設參數

各項參數設有預設值，如此方能滿足各種不同需求，在使用者無法取得所有所需參數時，亦能進行初步的分析計算。

5. 參數合理性檢查

對於使用者所輸入的各項參數，程式均會檢查其合理性，以減少參數輸入錯誤的可能性。

6. 即時解說資訊

透過「即時資訊顯示」(Tool Tip) 提供適當的解說資訊，降低使用者翻閱手冊的機會，使得程式操作上更為流暢。

7. 考量多種空間參考點

可進行容量分析的空間參考點型式包含：中間站、折返站與銜接點等多種型式，其中折返站還考慮了橫度線配置與股道運用，此外能對多個空間參考點同時進行分析。

8. 敏感度分析

可針對重要的參數進行敏感度分析，作為未來進行容量改善計畫之參考。

9. 運轉規劃分析

本軟體除了可進行容量分析，另外提供運轉規劃模組，可進行車隊規模、營運班距和承載水準之計算。

4.2.2 軟體功能架構

本軟體共含有兩個模組，分別為「路線容量分析模組」和「運轉規劃分析模組」。

4.2.2.1 路線容量分析模組

「路線容量分析模組」的功能架構如圖 4-10，說明如下

1. 參數輸入功能：

由於都會捷運容量分析模式所考量的參數眾多，因此需提供參數輸入功能，以便使用者進行參數設定、修改、保存與讀取等工作。模式中所有的參數可分為全域參數、列車參數，以及空間參考點參數三類，而這三類參數則集中存放於同一個檔案中以便管理，因此共包含下列子功能：

- (1) 設定全域參數
- (2) 設定列車參數
- (3) 新增、刪除與編輯各種型式的空間參考點參數
- (4) 各項參數的存檔與讀取

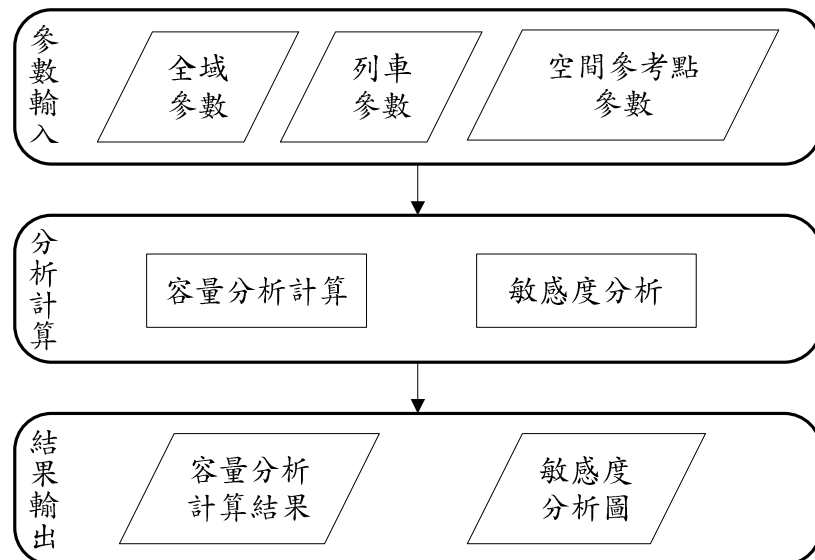


圖4-10 路線容量分析模組之功能架構

2. 分析計算功能：

在容量分析模組係以都會捷運容量分析模式為核心，根據該模式，共可提供下列幾項計算功能：

- (1) 計算設計班距
- (2) 計算路線容量
- (3) 計算設計容量
- (4) 計算可達成容量
- (5) 敏感度分析

3. 結果輸出功能：

對於容量分析之結果，除了可在程式中檢視之外，亦可複製或輸出成不同型式之檔案，以供使用者能將分析結果進一步利用於後續其他用途上，結果輸出的子功能有：

- (1) 容量分析結果圖表檢視
- (2) 將結果複製至剪貼簿
- (3) 將結果輸出為文字檔或圖檔

4.2.2.2 運轉規劃分析模組

在「運轉規劃分析模組」方面，圖 4-11 為其功能架構，各功能細節說明如下：

1. 參數輸入功能：

運轉規劃分析模組提供兩種不同的計算項目，然而不同的項目所需的參數亦有所不同，所以是在使用者選定計算項目後才進行參數輸入，因此輸入的功能較為繁雜，共可分為下列幾項子功能：

- (1) 設定區間名稱和預測運量
- (2) 輸入計算最大營運班距所需參數
- (3) 輸入計算車隊規模所需參數
- (4) 各項參數資料的存檔與讀取

2. 分析計算功能：

運轉規劃分析模組提供下列兩種計算項目：

- (1) 計算最大營運班距
- (2) 計算車隊規模

3. 結果輸出功能：

除了可在程式中直接檢視計算結果之外，亦可將之輸出成檔案，結果輸出的子功能有：

- (1) 計算結果檢視
- (2) 將結果輸出為檔案

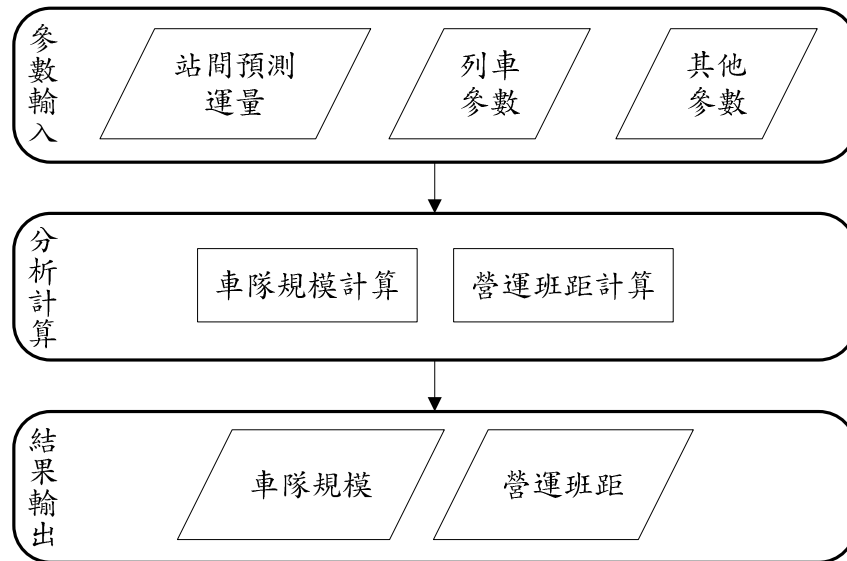


圖4-11 運轉規劃分析模組之功能架構

4.2.3 執行環境需求

為方便將來進行推廣與應用，執行軟體的環境需求不應太高，其需求如下：

1. 桌上型個人電腦或筆記型個人電腦
2. Intel Pentium 或其他 x86 架構相容處理器
3. 64MB 以上記憶體
4. 30MB 以上硬碟剩餘空間
5. 具備鍵盤、滑鼠等輸入裝置
6. 螢幕解析度至少為 1024×768 pix
7. 安裝程式之媒介可為網路、光碟機或 USB 裝置

8. Microsoft Windows NT/2000/XP/Vista 作業系統
9. .NET Framework 2.0

須注意的是，以上所列之硬體需求尚須符合所搭載作業系統的最低要求，若作業系統無法順利運作，則本軟體亦無法執行。此外，螢幕解析度並非嚴格要求，如果解析度不符合需求，僅影響軟體介面之美觀，並不會影響計算功能。

4.3 路線容量分析模組操作說明

4.3.1 操作環境

路線容量分析模組啟動後之主視窗如圖 4-12，除了一般應用程式幾乎都包含的標題列、功能表、工具列與狀態列等基本元件外，本軟體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。各元件之功能說明如下：

1. 標題列：顯示目前開啟檔案名稱以及程式名稱。
2. 功能表：掌管本程式存取檔案和分析計算等功能。
3. 工具列：以圖形化介面提供本程式存取檔案和分析計算等功能。
4. 全域參數：顯示與設定全域參數。
5. 列車參數：顯示與設定列車參數。
6. 空間參考點參數：提供空間參考點新增、刪除、編輯等功能。
7. 狀態列：顯示目前程式狀態和功能提示。

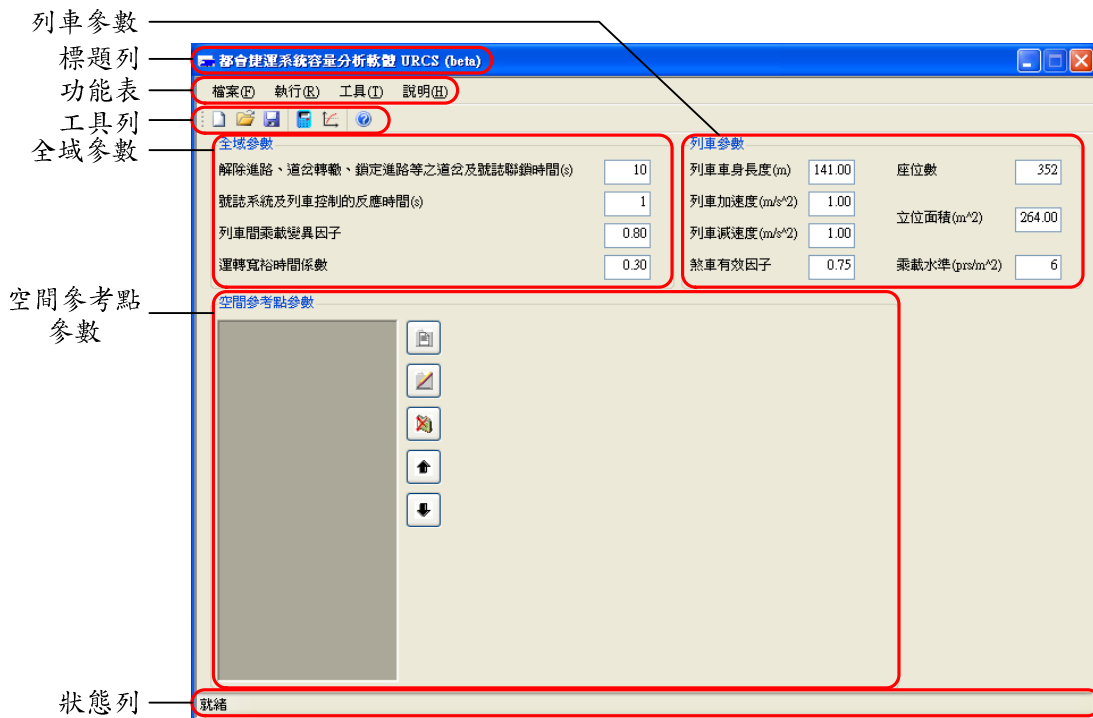


圖4-12 軟體操作環境

4.3.2 設定全域參數

全域參數的設定介面如圖 4-13，使用者可直接在此介面中設定全域參數，其中解除進路、道岔轉轍、鎖定進路等之道岔及號誌聯鎖時間，與軌道電路、號誌及轉轍器等聯鎖設備的設計有關；至於號誌系統及列車控制的反應時間，則包含解除閉塞、清除號誌、訊號傳送，以及超速控制、煞車系統的反應時間等，各參數之型態與單位如表 4.2。

全域參數	
解除進路、道岔轉轍、鎖定進路等之道岔及號誌聯鎖時間(s)	10
號誌系統及列車控制的反應時間(s)	4
列車間乘載變異因子	0.80
運轉寬裕時間係數	0.30

圖4-13 全域參數設定介面

表4.2 全域參數之型態與單位

參數名稱	型態	單位
解除進路、道岔轉轍、鎖定進路等之道岔及號誌聯鎖時間	整數	s
號誌系統及列車控制的反應時間	整數	s
列車間乘載變異因子	實數	—
運轉寬裕時間係數	實數	—

4.3.3 設定列車參數

圖 4-14為列車參數設定介面，和全域參數設定的方式相同，亦是直接在主視窗中進行設定，各參數之型態與單位如表 4.3，其中座位數和立位面積應輸入全列車各節車廂之加總。

列車參數

列車車身長(m)

141.00

座位數

352

列車加速度(m/s²)

1.00

立位面積(m²)

264.00

列車減速度(m/s²)

1.00

乘載水準(prs/m²)

6

煞車有效因子

0.75

圖4-14 列車參數設定介面

表4.3 列車參數之型態與單位

參數名稱	型態	單位
列車車身長	實數	m
列車加速度	實數	m/s ²
列車減速度	實數	m/s ²
煞車有效因子	實數	—
座位數	整數	—
立位面積	實數	m ²
乘載水準	整數	Prs/m ²

4.3.4 設定空間參考點參數

本軟體可對多個不同型式之空間參考點進行容量分析，在圖 4-15 的介面中提供各項功能供使用者管理空間參考點：

1. 空間參考點列表：逐一列出目前所有空間參考點型式與名稱
2. 功能按鈕：提供各種管理空間參考點之功能
3. 參數檢視：顯示空間參考點的各項參數設定值

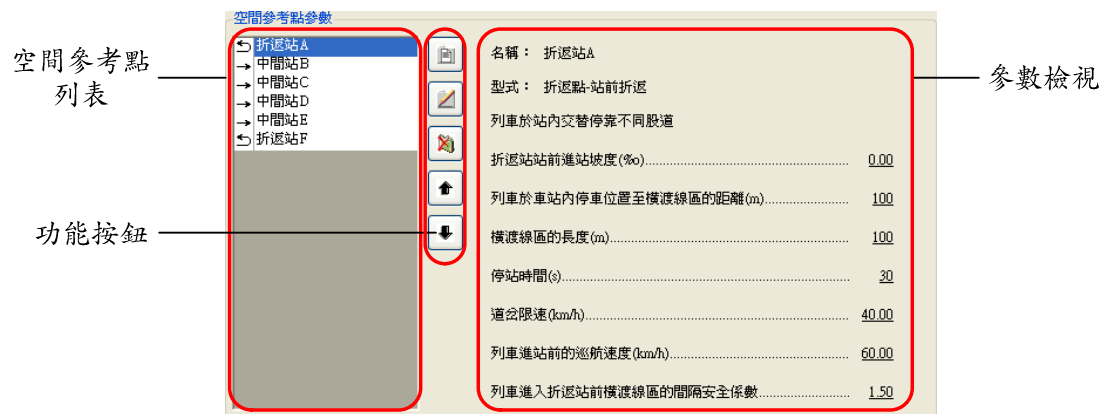


圖4-15 空間參考點管理介面

當使用者從空間參考點列表中選擇任何一個空間參考點，參數檢視區中會顯示該空間參考點之各項參數。而功能按鈕中的五個按鈕，如圖 4-16所示，分別為「新增」、「編輯」、「刪除」、「上移」和「下移」按鈕，以下逐一介紹其功能。

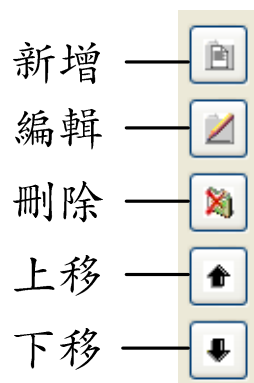



圖4-16 空間參考點管理功能按鈕

4.3.4.1 新增空間參考點

欲新增空間參考點，請按照下列步驟：

1. 按下【】按鈕，程式會出現圖 4-17之介面，右方可設定空間參考點的名稱、型式及其他各項參數，而左邊則有一輔助圖形可幫助使用者進行參數的設定。
2. 在輸入新增的空間參考點之各項參數後，按下【確定】即完成新增動作。

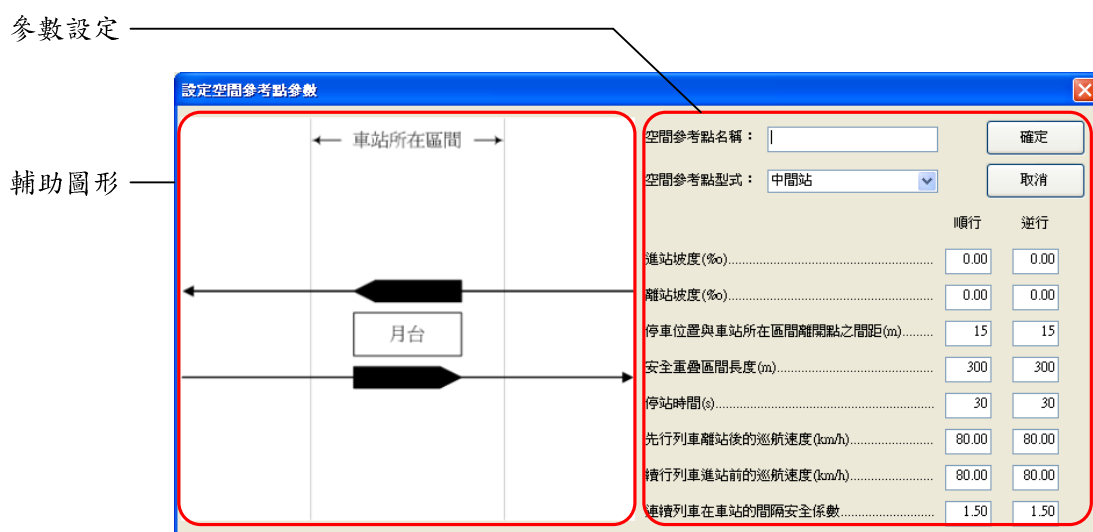


圖4-17 空間參考點各項參數設定介面

由於不同型式的空間參考點之參數迥異，因此介面亦會隨著空間參考點之型式而略有變化，其設定介面、參數之型態與單位彙整如表 4.4。

表4.4 空間參考點型式與參數設定介面彙整表

空間參考點型式	參數設定畫面	參數之型態與單位
中間站	見圖 4-18	見表 4.5
折返站—站前折返	見圖 4-19	見表 4.6
折返站—站後折返	見圖 4-20	見表 4.7
折返站—中央避車線折返	見圖 4-21	見表 4.8
銜接點	見圖 4-22	見表 4.9

設定空間參考點參數

車站所在區間

月台

空間參考點名稱:

空間參考點型式: 中間站

確定

取消

	順行	逆行
進站坡度(‰).....	0.00	0.00
離站坡度(‰).....	0.00	0.00
停車位置與車站所在區間離開點之間距(m).....	15	15
安全重疊區間長度(m).....	300	300
停站時間(s).....	30	30
先行列車離站後的巡航速度(km/h).....	80.00	80.00
續行列車進站前的巡航速度(km/h).....	80.00	80.00
連續列車在車站的間隔安全係數.....	1.50	1.50

圖4-18 中間站參數設定介面

表4.5 中間站參數之型態與單位

參數名稱	型態	單位
進站坡度	實數	‰
離站坡度	實數	‰
列車於車站內停車的位置與車站所在區間的離開點之間距	實數	m
車站的安全重疊區間長度	實數	m
停站時間	整數	s
先行列車離站後的巡航速度	實數	km/h
續行列車進站前的巡航速度	實數	km/h
連續列車在車站的間隔安全係數	實數	—

設定空間參考點參數

空間參考點名稱： 確定

空間參考點型式： 折返站-站前折返 取消

☐ 列車於站內交替停靠不同股道

折返站站前進站坡度(‰)..... 0.00

列車於車站內停車位置至橫渡線區的距離(m)..... 100

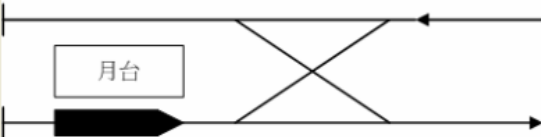
橫渡線區的長度(m)..... 100

停站時間(s)..... 30

道岔限速(km/h)..... 40.00

列車進站前的巡航速度(km/h)..... 60.00

列車進入折返站前橫渡線區的間隔安全係數..... 1.50



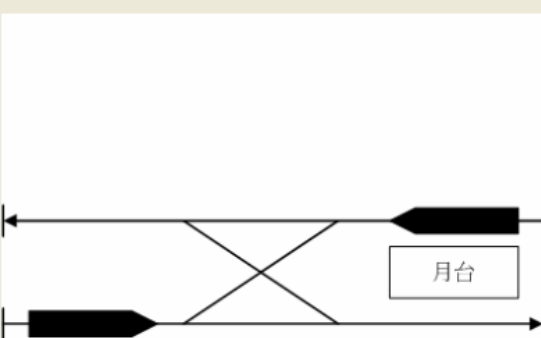
The diagram shows a station platform labeled '月台' (Platform) with a train represented by a black rectangle. Two crossing lines are shown, with arrows indicating the direction of travel. The train is positioned on the lower track, and the crossing lines intersect in the middle of the platform area.

圖4-19 站前折返參數設定介面

表4.6 站前折返參數之型態與單位

參數名稱	型態	單位
折返站站前進站坡度	實數	‰
列車於車站內停車位置至橫渡線區的距離	實數	m
橫渡線區的長度	實數	m
停站時間	整數	s
道岔限速	實數	km/h
列車進站前的巡航速度	實數	km/h
列車進入折返站前橫渡線區的間隔安全係數	實數	—

設定空間參考點參數



空間參考點名稱:

空間參考點型式: 折返站-站後折返

☐ 列車於尾軌交替停靠不同股道

折返站站後離站坡度(‰)..... 0.00

列車於車站內停車位置至橫渡線區的距離(m)..... 100

橫渡線區的長度(m)..... 100

橫渡線區至尾軌列車停車區的距離(m)..... 100

列車於尾軌的停靠時間(s)..... 30

道岔限速(km/h)..... 40.00

確定

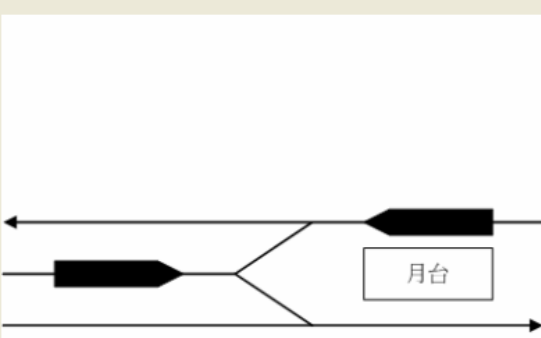
取消

圖4-20 站後折返參數設定介面

表4.7 站後折返參數之型態與單位

參數名稱	型態	單位
折返站站後離站坡度	實數	‰
列車於車站內停車位置至橫渡線區的距離	實數	m
橫渡線區的長度	實數	m
橫渡線區至尾軌列車停車區的距離	實數	m
列車於尾軌的停靠時間	整數	s
道岔限速	實數	km/h

設定空間參考點參數



空間參考點名稱:

空間參考點型式: 折返站-中央避車線折返

從車站進中央避車線的坡度(‰)..... 0.00

列車於車站內停車位置至橫渡線區的距離(m)..... 100

橫渡線區的長度(m)..... 100

橫渡線區至中央避車線列車停車區的距離(m)..... 100

列車於中央避車線折返的停靠時間(s)..... 30

道岔限速(km/h)..... 40.00

確定

取消

圖4-21 中央避車線折返參數設定介面

表4.8 中央避車線折返參數之型態與單位

參數名稱	型態	單位
從車站進中央避車線的坡度	實數	‰
列車於車站內停車位置至橫渡線區的距離	實數	m
橫渡線區的長度	實數	m
橫渡線區至中央避車線列車停車區的距離	實數	m
列車於中央避車線的停靠時間	整數	s
道岔限速	實數	km/h

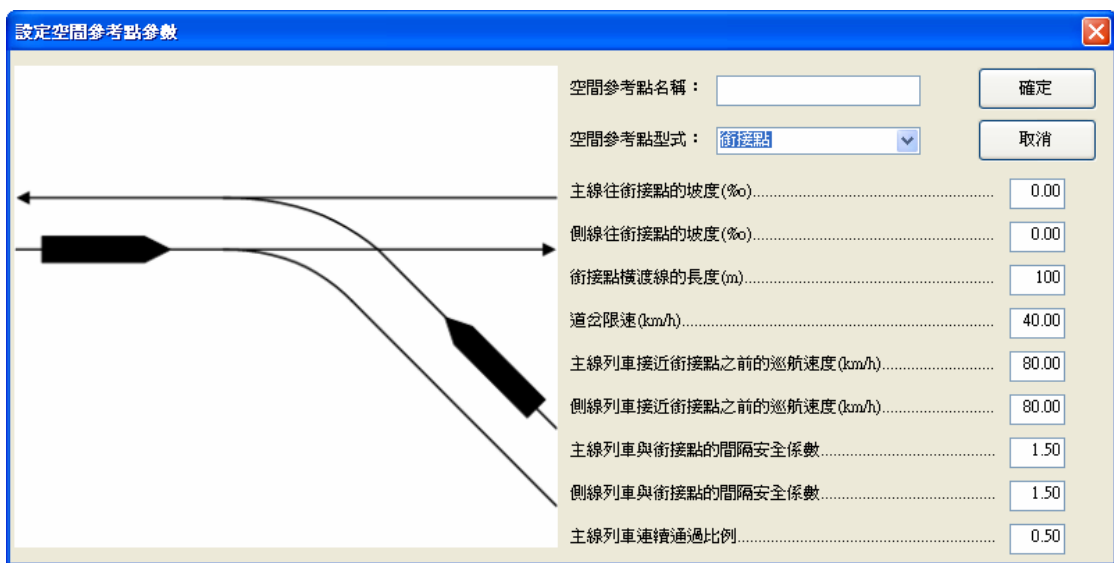



圖4-22 銜接點參數設定介面

表4.9 銜接點參數之型態與單位

參數名稱	型態	單位
主線往銜接點的坡度	實數	‰
側線往銜接點的坡度	實數	‰
銜接點橫渡線的長度	實數	m
道岔限速	實數	km/h
主線列車接近銜接點之前的巡航速度	實數	km/h
側線列車接近銜接點之前的巡航速度	實數	km/h
主線列車與銜接點的間隔安全係數	實數	—
側線列車與銜接點的間隔安全係數	實數	—
主線列車連續通過比例	實數	—


4.3.4.2 編輯空間參考點

欲編輯空間參考點之參數，請按照下列步驟：

1. 從圖 4-15的空間參考點列表中選取欲編輯的空間參考點。
2. 按下【】按鈕，程式會出現圖 4-17之介面，其內容為所選取的空間參考點之參數設定值。
3. 編輯空間參考點參數後，按下【確定】即完成編輯動作。

4.3.4.3 刪除空間參考點

欲刪除空間參考點，請按照下列步驟：

1. 從圖 4-15的空間參考點列表中選取欲刪除的空間參考點。
2. 按下【】按鈕，程式會出現圖 4-23之對話盒請使用者確認。
3. 按下【是】即完成刪除動作。

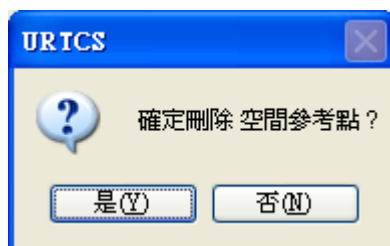


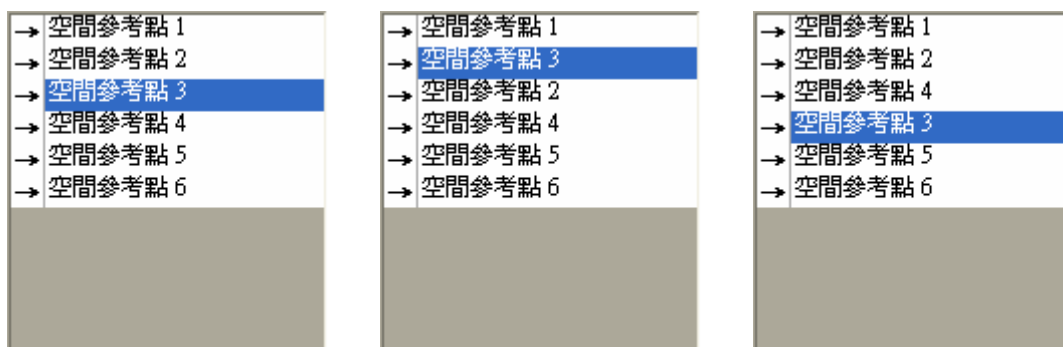


圖4-23 刪除空間參考點之確認對話盒

4.3.4.4 變更空間參考點順序

欲變更空間參考點的排列順序，請按照下列步驟：

1. 從圖 4-15的空間參考點列表中選取欲改變排列順序的空間參考點。
2. 按下【】或【】按鈕，可將該空間參考點上移或下移一個位置，如圖 4-24(b)或圖 4-24(c)。




(a) 原始排列順序 (b) 上移空間參考點 (c) 下移空間參考點

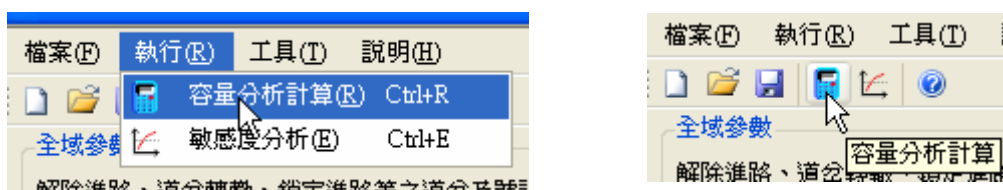
圖4-24 變更空間參考點順序

4.3.5 分析計算

在完成全域參數、列車參數和空間參考點的設定後，即可進行分析計算，本軟體提供容量分析以及敏感度分析兩種功能，以下分別介紹其操作方法。

4.3.5.1 容量分析

欲進行容量分析計算，可從功能表選擇【執行 | 容量分析計算】或直接按工具列上之【】按鈕（如圖 4-25），程式即開始進行容量分析，並在完成計算後自動顯示分析結果，如圖 4-26。



(a) 從功能表執行容量分析

(b) 從工具列執行容量分析

圖4-25 執行容量分析計算

在容量分析結果介面中，提供了幾項功能供使用者檢視分析結果：

1. 功能按鈕：提供切換順／逆行結果檢視與分析結果輸出等功能。
2. 頁面切換標籤：切換彙整表、路線容量與設計容量的檢視方式。
3. 結果檢視頁面：顯示容量分析結果。



圖4-26 容量分析結果介面

透過頁面切換標籤，使用者可選擇彙整表、路線容量，與設計容量等不同的容量分析結果檢視方式：

1. 容量分析結果彙整表

若選擇【彙整表】標籤，則結果檢視頁面如圖 4-27，上方顯示系統之路線容量瓶頸所在，下方表格則依序列出各空間參考點之名稱、設計班距、路線容量、設計容量與可達成容量。

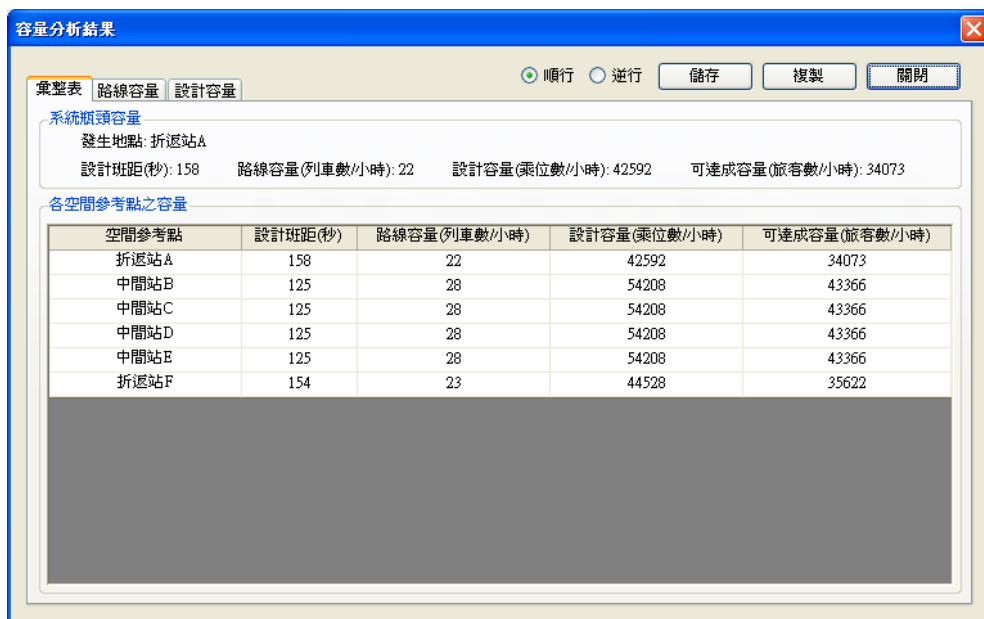


圖4-27 容量分析結果彙整表

2. 路線容量結果直方圖

選擇【路線容量】標籤，結果檢視頁面會呈現如圖 4-28之畫面，以直方圖的方式依序顯示各空間參考點的路線容量，而不同型式的空間參考點則以不同的顏色進行區分。

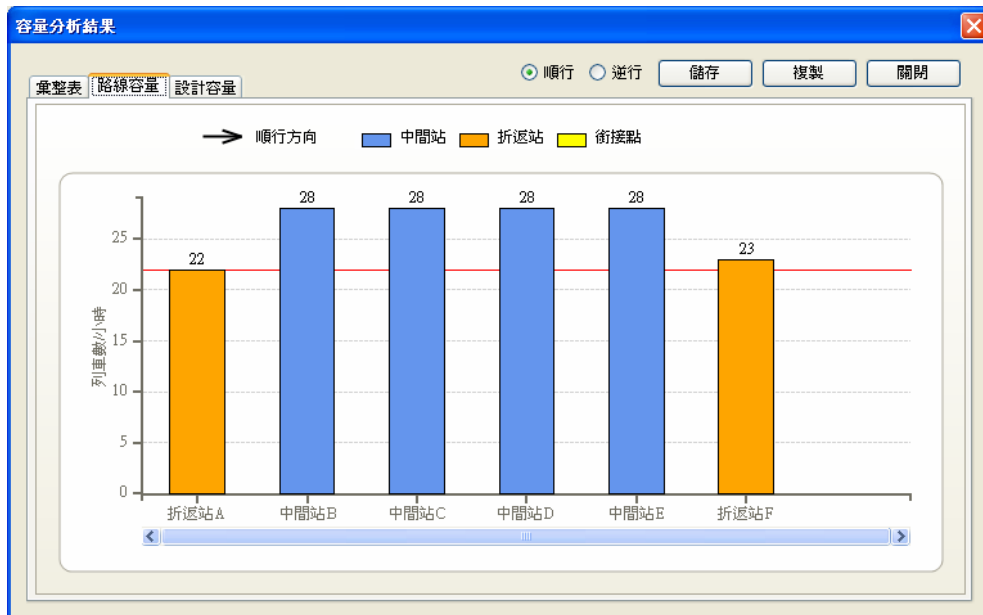


圖4-28 路線容量結果直方圖


3. 設計容量結果直方圖

選擇【設計容量】標籤，則結果檢視頁面如圖 4-29所示，以直方圖的方式依序顯示各空間參考點的設計容量，而不同型式的空間參考點則以不同的顏色進行區分。

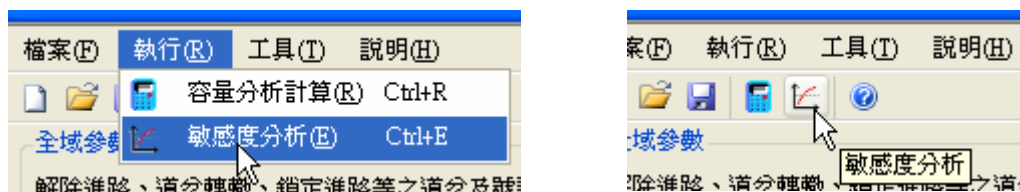


圖4-29 設計容量結果直方圖

4.3.5.2 敏感度分析

欲進行敏感度分析，可從功能表選擇【執行 | 敏感度分析】或直接按工具列上之【】按鈕（如圖 4-30），會出現圖 4-31之介面，分為下列幾個區域：

1. 功能按鈕：提供敏感度分析與分析結果輸出等功能。
2. 分析對象：供使用者挑選欲分析的空間參考點與參數。
3. 參數變化範圍：使用者可自定參數變化範圍。
4. 分析圖：以圖形顯示敏感度分析之結果。
5. 分析項目：供使用者選擇欲分析之項目。



(a) 從功能表執行敏感度分析

(b) 從工具列執行敏感度分析

圖4-30 執行敏感度分析

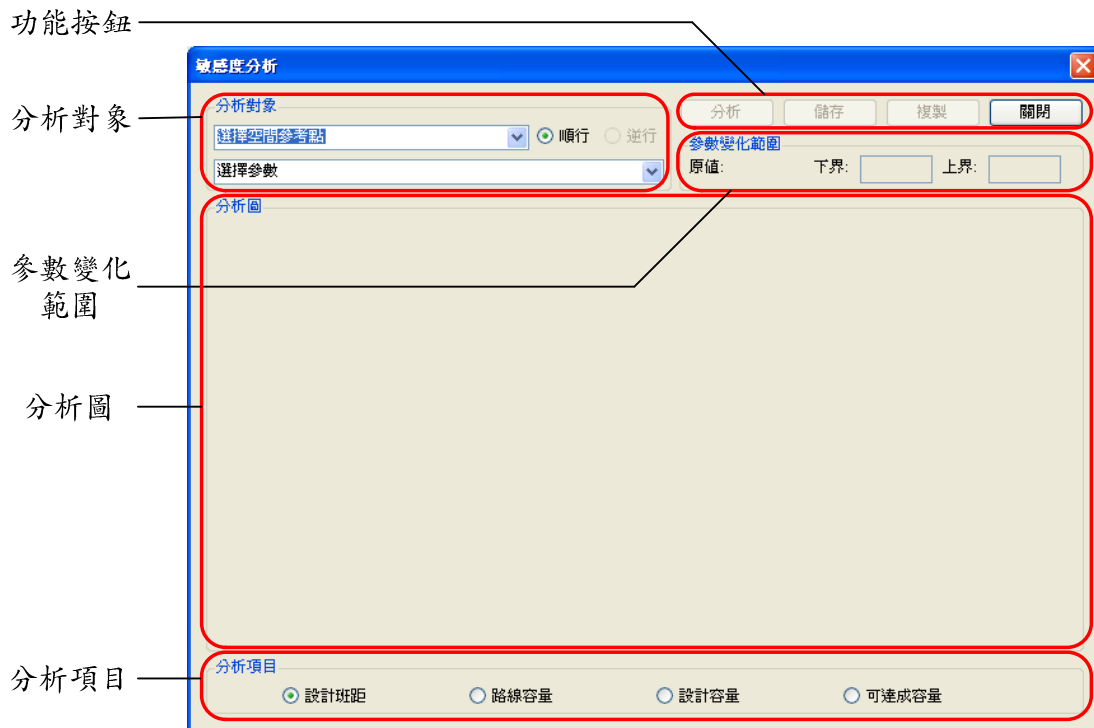
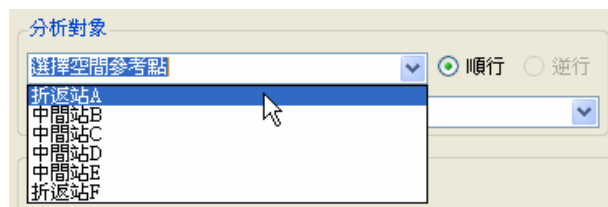


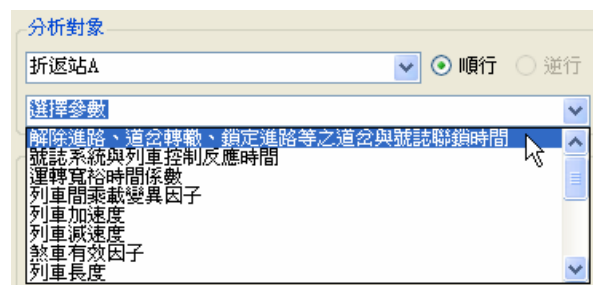
圖4-31 敏感度分析介面

進行敏感度分析的操作步驟如下：

1. 挑選欲分析之空間參考點與參數，如圖 4-32，若是中間站則還可選擇順／逆行方向。



(a) 選擇空間參考點



(b) 選擇分析參數

圖4-32 選擇分析對象

2. 設定參數變化範圍，如圖 4-33。

圖4-33 自訂參數變化範圍

3. 按下【分析】按鈕，程式便開始進行敏感度分析，當分析完成，其結果會顯示於分析圖中，如圖 4-34所示。

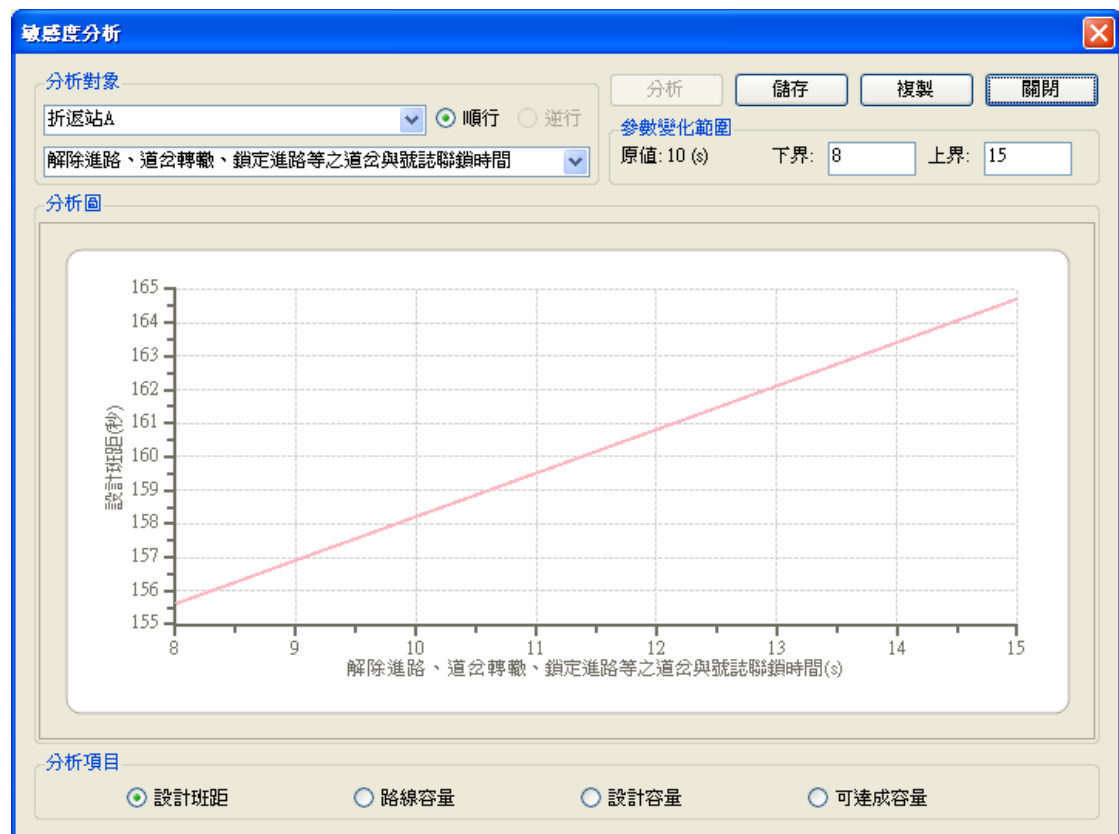


圖4-34 敏感度分析結果

4.3.6 輸出結果

為了讓所計算出的結果能夠被利用在其他用途上，本軟體提供輸出分析結果的功能，所輸出的檔案格式包含以下兩類：

1. 純文字格式：此格式可輸出到附檔名為「csv」的檔案或剪貼簿。

2. 圖案格式：此格式可輸出附檔名為「bmp」的點陣圖檔案、附檔名為「wmf」的向量圖檔案或剪貼簿。

以下將分別介紹容量分析結果和敏感度分析結果的輸出方法。

4.3.6.1 輸出容量分析結果

欲輸出容量分析結果，請按照下列步驟：

1. 從容量分析結果介面（圖 4-26）中，透過頁面切換標籤選擇輸出的內容，如【彙整表】、【路線容量】或【設計容量】。
2. 按下容量分析結果介面右上方之【儲存】按鈕，若是輸出彙整表，則會出現圖 4-35之對話盒；若是輸出路線容量或設計容量直方圖，則會出現圖 4-36之對話盒，可選擇欲輸出的圖檔類型。
3. 指定路徑與檔名後按【儲存】完成輸出工作。
4. 若要將分析結果複製到剪貼簿中，按下容量分析結果介面右上方之【複製】按鈕，便可在其他軟體中（如 Microsoft Word, Microsoft Excel, Microsoft Visio 等）進行貼上動作，將結果資料拷貝至該軟體作其他應用。圖 4-37為彙整表在 MS Excel 貼上之畫面，圖 4-38為路線容量容量直方圖在 MS Word 貼上之畫面。

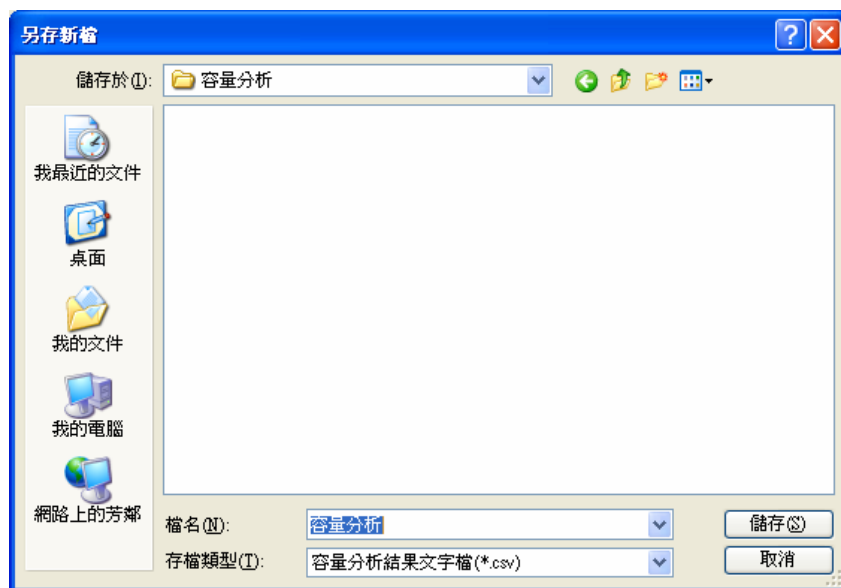


圖4-35 儲存容量分析結果文字檔之對話盒

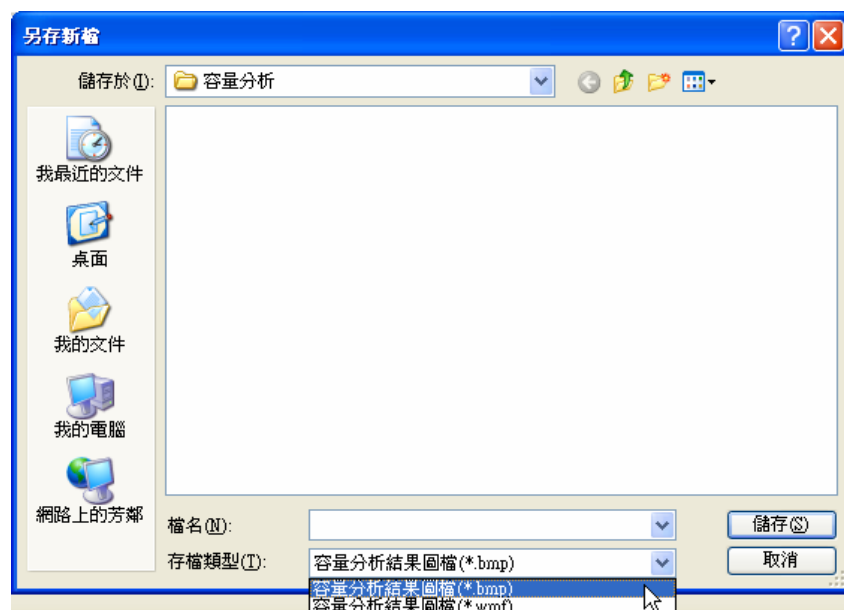


圖4-36 儲存容量分析結果圖檔之對話盒

Microsoft Excel - Book1

檔案(F) 編輯(E) 檢視(V) 插入(I) 格式(O) 工具(T) 資料(D) 視窗(W) 說明(H)

新細明體 12 B I U

A1 容量分析結果

	A	B	C	D	E	F	G
1	容量分析結果						
2	空間參考	設計班距	路線容量	設計容量	可達成容量	旅客數/小時	
3	折返站A	158	22	42592	34073		
4	中間站B	129	27	52272	41817		
5	中間站C	129	27	52272	41817		
6	中間站D	128	28	54208	43366		
7	中間站E	128	28	54208	43366		
8	折返站F	154	23	44528	35622		
9							
10							

Sheet1 / Sheet2 / Sheet3

繪圖(R) 快取圖案(U) 就緒 加總=541122 NUM

圖4-37 以文字格式輸出至剪貼簿後於 MS Excel 貼上

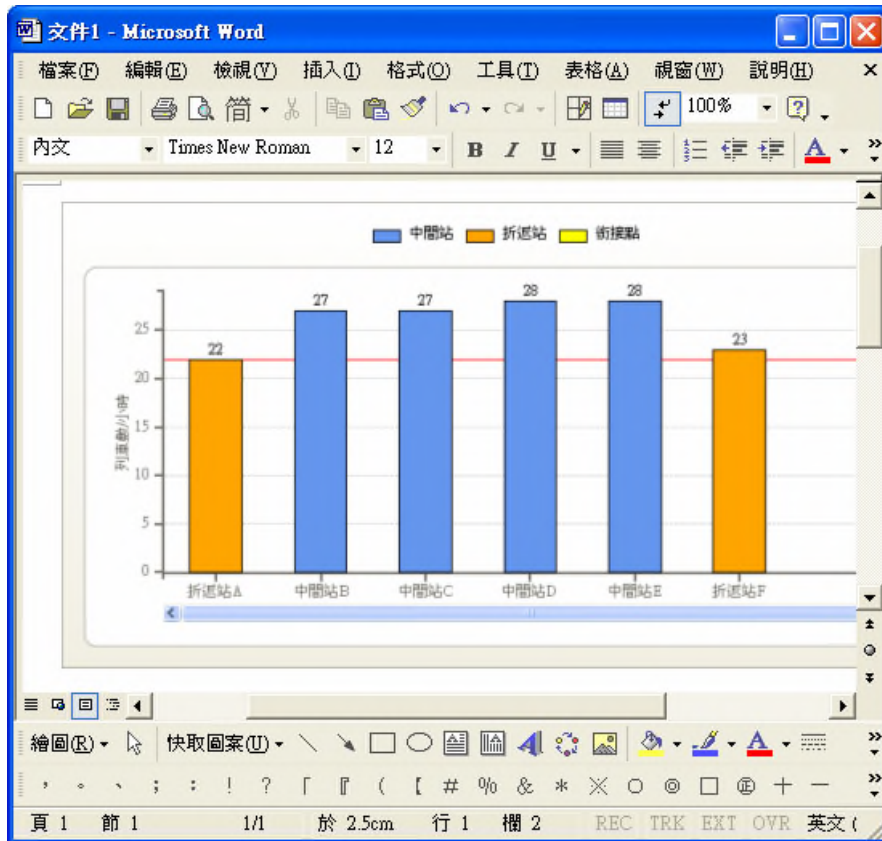


圖4-38 以圖案格式輸出至剪貼簿後在 MS Word 貼上

4.3.6.2 輸出敏感度分析結果

欲輸出敏感度分析結果，請依下列步驟：

1. 從敏感度分析介面（圖 4-31）中，按下右上方之【儲存】按鈕，會出現圖 4-39之對話盒，可選擇欲輸出的圖檔類型。
2. 指定存檔類型、路徑與檔名後按【儲存】便完成輸出工作。
3. 若要將分析結果複製到剪貼簿中，按下容量分析結果介面右上方之【複製】按鈕，便可在其他軟體中（如 Microsoft Word, Microsoft Excel, Microsoft Visio 等）進行貼上動作，將結果資料拷貝至該軟體作其他應用。圖 4-40為敏感度分析結果在 MS Word 貼上之畫面。

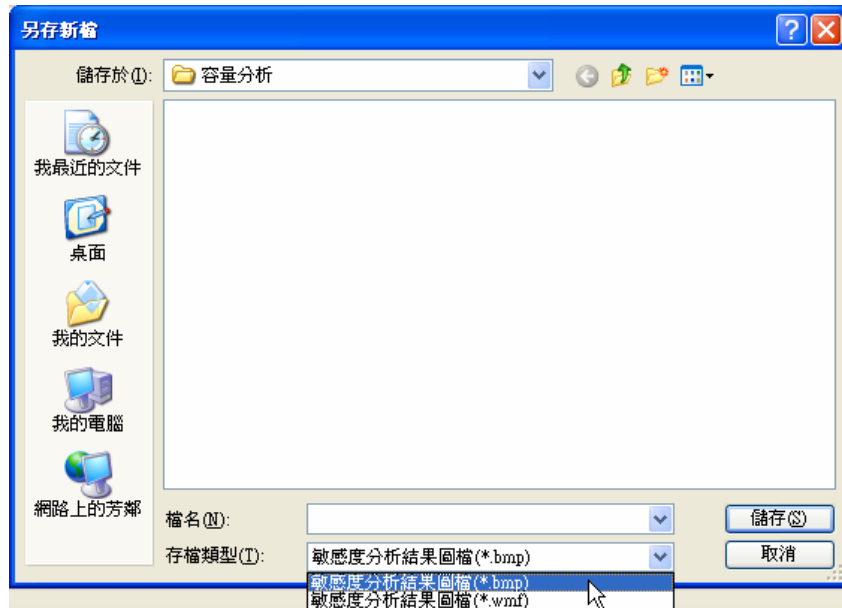


圖4-39 儲存敏感度分析結果圖檔之對話盒

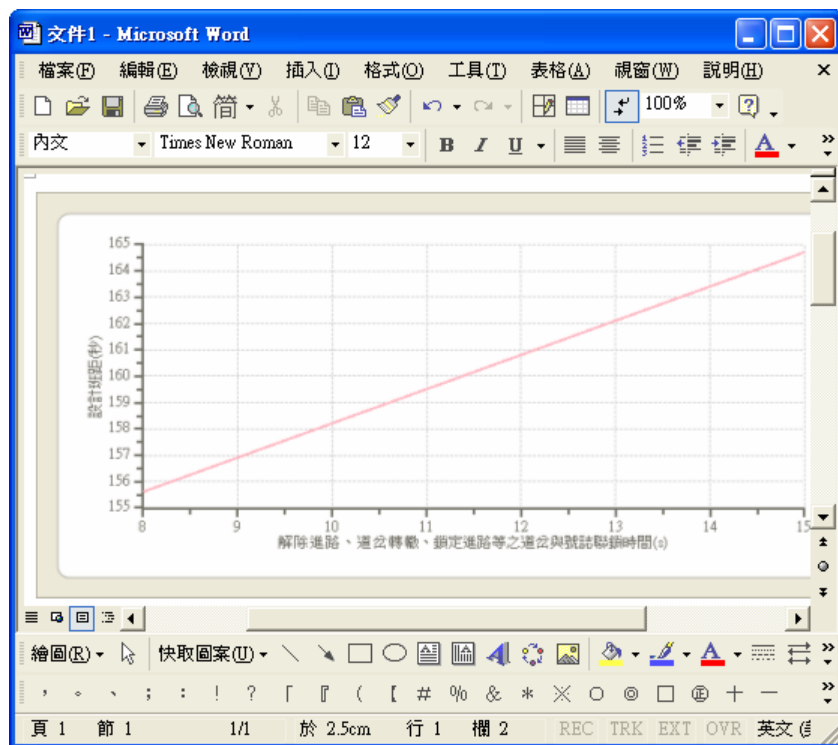


圖4-40 敏感度分析結果輸出至剪貼簿後於 MS Word 貼上

4.3.7 偏好設定

有關進行路線容量分析所需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，從功能表選擇【工具 | 偏好設定】，如圖 4-41，程式便會開啟如圖 4-42之介面，供使用者進行相關設定：

1. 功能按鈕：提供確定偏好設定與初始化偏好設定等功能。
2. 頁面切換標籤：切換各類參數。
3. 設定頁面：各類參數的預設值與合理範圍設定。

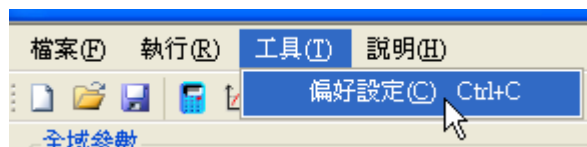


圖4-41 執行偏好設定

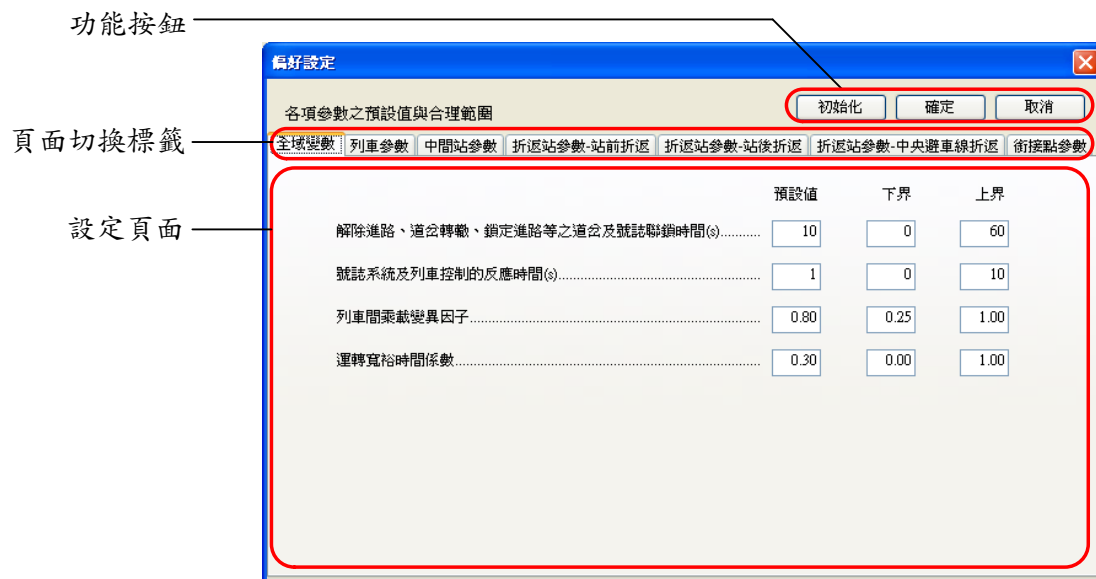


圖4-42 偏好設定介面

4.4 運轉規劃分析模組操作說明

4.4.1 操作環境

運轉規劃分析模組啟動後之主視窗如圖 4-43，本模組採用類似應用程式精靈（Wizard）的介面，引導使用者逐一完成進行運轉規劃分析的各項設定，並獲得分析結果。在此畫面中，可選擇【進行新的分析】或者【開啟舊檔】，有關兩者後續的操作則說明於後。

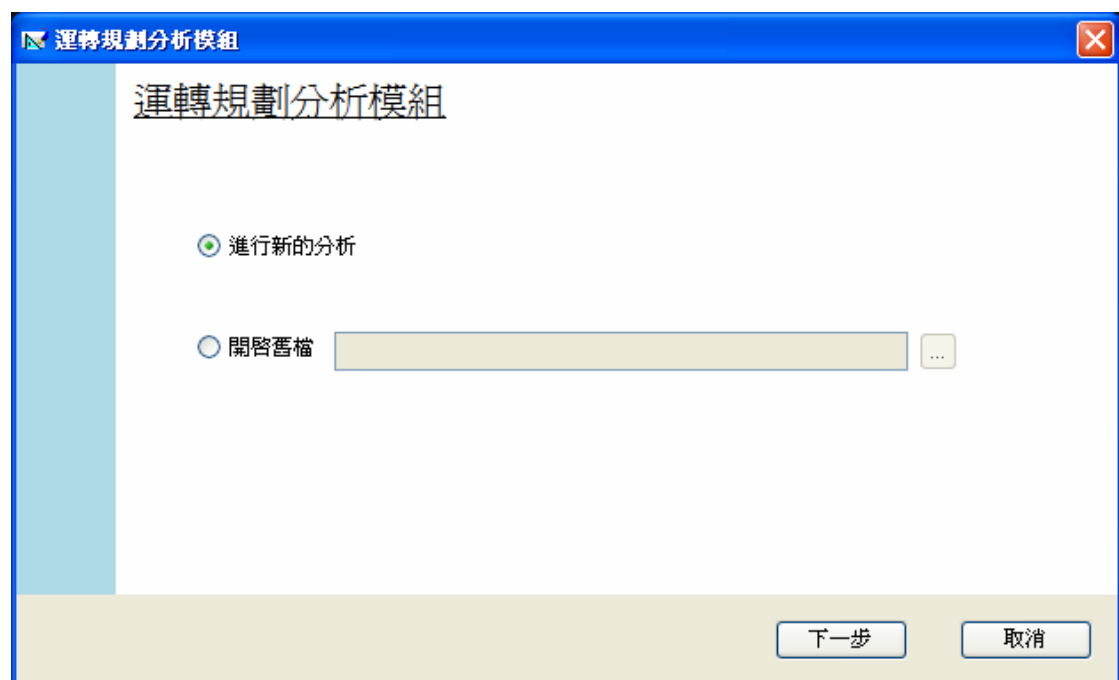


圖4-43 運轉規劃分析模組操作環境

4.4.2 進行新分析

欲進行新的運轉規劃分析，其整體操作流程如圖 4-44，從圖 4-43 畫面選擇【進行新的分析】後按【下一步】，則會進入圖 4-45之畫面，在此使用者可選擇欲進行計算最大營運班距或車隊規模，有關兩種計算操作細節以及結果輸出與存檔，詳述於後續小節。

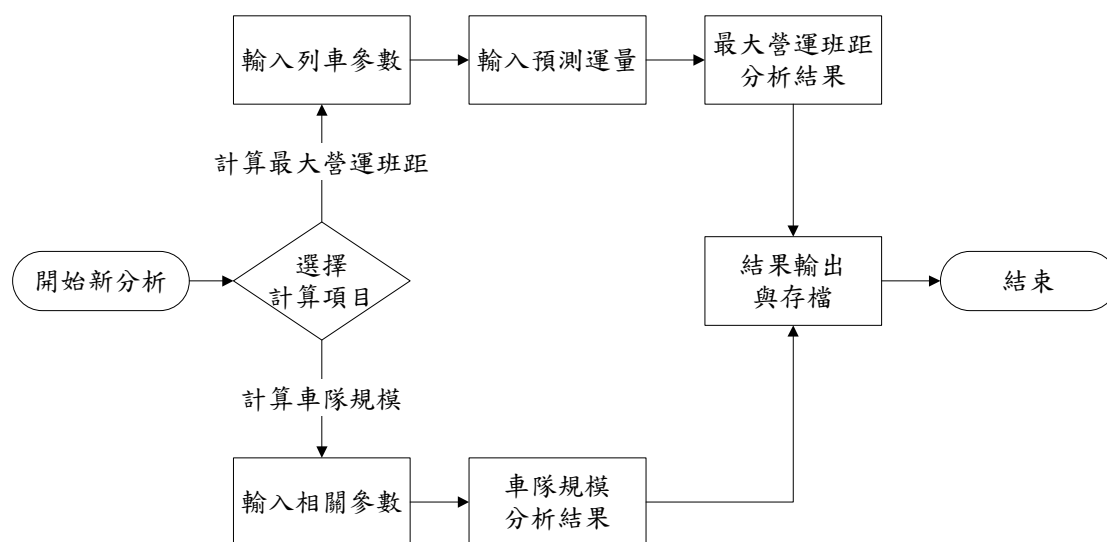


圖4-44 運轉規劃分析模組整體操作流程

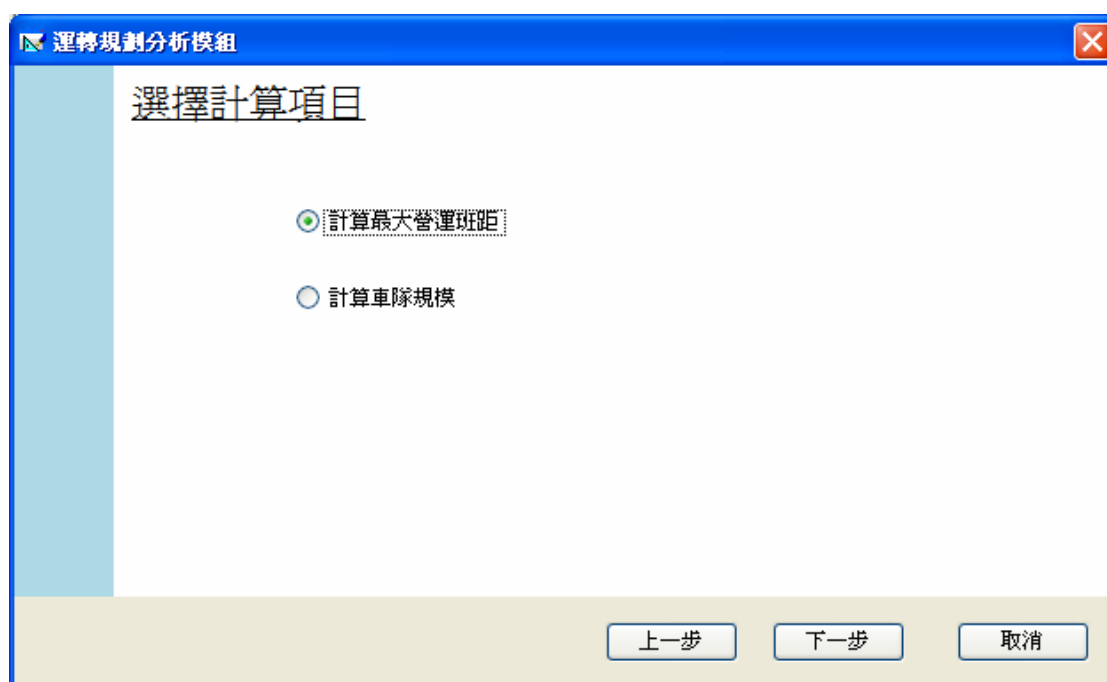


圖4-45 選擇計算項目

4.4.2.1 計算最大營運班距

欲進行最大營運班距的計算，請按照下列步驟：

1. 從圖 4-45 畫面中選擇【計算最大營運班距】，按【下一步】後，程式畫面將變為圖 4-46。

運轉規劃分析模組

計算最大營運班距

請輸入以下列車參數

每列車座位數:

每列車可站立面積: 平方公尺

乘載水準: 旅客數/平方公尺

乘載變異因子:

圖4-46 設定列車參數

- 在圖 4-46之畫面中設定各項列車參數，包含座位數、可站立面積、乘載水準和乘載變異因子，設定完後按【下一步】進入設定預測運量，如圖 4-47。

運轉規劃分析模組

計算最大營運班距

請輸入區間名稱以及預測運量

區間名稱	預測運量(旅客數/小時)

圖4-47 設定預測運量

3. 在圖 4-47 畫面中，按下【增加區間】按鈕可新增一筆區間資料，每一筆區間資料包含區間名稱和預測運量。若要刪除區間資料，則選定欲刪除之區間資料，按下【刪除區間】按鈕。設定完後按【下一步】便會得到計算結果，如圖 4-48。

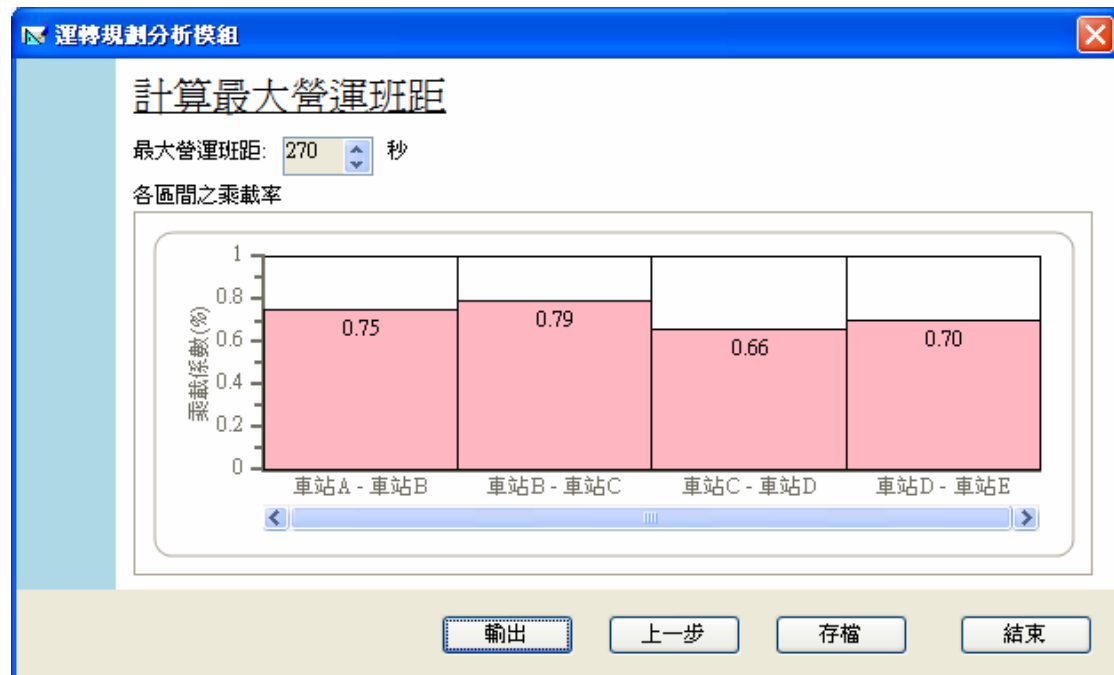


圖4-48 最大營運班距計算結果

4. 最大營運班距的計算結果包含了最大營運班距，以及各區間在該班距下的乘載率。此外亦可對營運班距進行調整，以獲得在不同班距下各區間的乘載率，如圖 4-49。

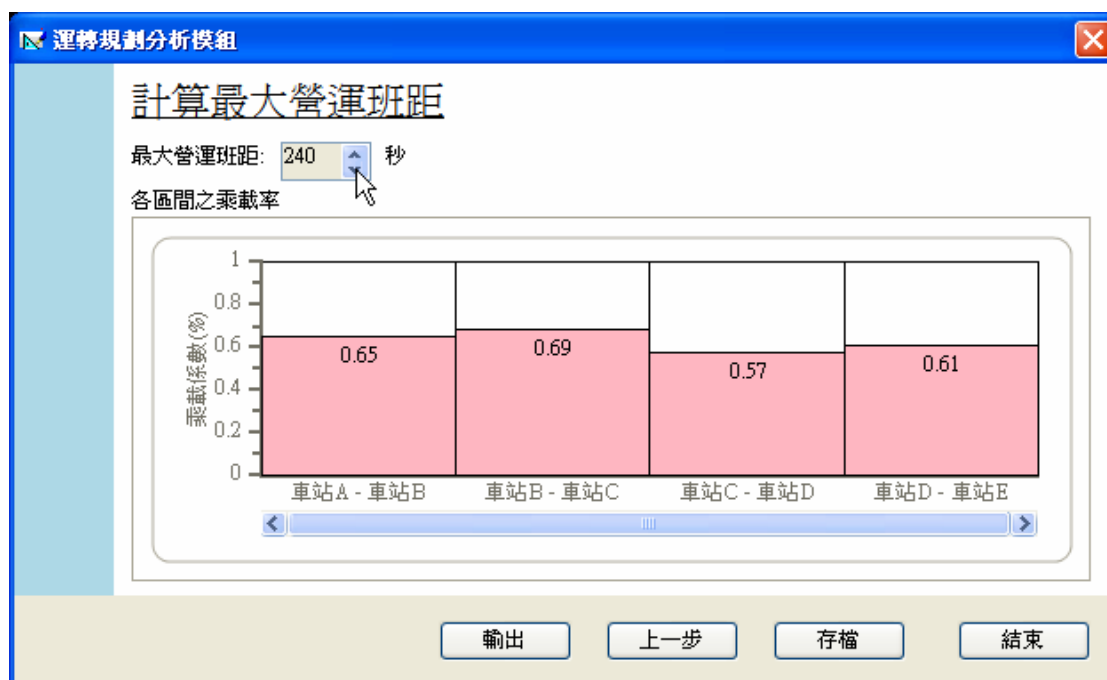


圖4-49 調整最大營運班距

4.4.2.2 計算車隊規模

欲進行車隊規模的計算，請按照下列步驟：

1. 從圖 4-45畫面中選擇【計算車隊規模】，按【下一步】後，程式畫面將變為圖 4-50。
2. 在圖 4-50的畫面中，使用者需設定運行往返時間（Run Trip Time）、營運班距以及車輛備用率等參數，輸入完成後按【下一步】，程式便會計算車隊規模，並在畫面上顯示其結果，如圖 4-51。

運轉規劃分析模組

計算車隊規模

請輸入以下參數

運行往返時間: 時 分 秒

營運班距: 秒

車輛備用率: %

圖4-50 設定計算車隊規模相關參數

運轉規劃分析模組

計算車隊規模

運行往返時間: 時 分 秒

營運班距: 秒

車輛備用率: %

營運列車數: 列

備用列車數: 列

車隊規模: 列

圖4-51 車隊規模計算結果

4.4.2.3 輸出結果與存檔

欲輸出最大營運班距或車隊規模的計算結果，可於圖 4-48和圖 4-51下方，按下【輸出】的按鈕，程式會出現如圖 4-52之對話盒，指定路徑與檔名後按下【儲存】，計算結果便輸出成純文字格式的檔案。

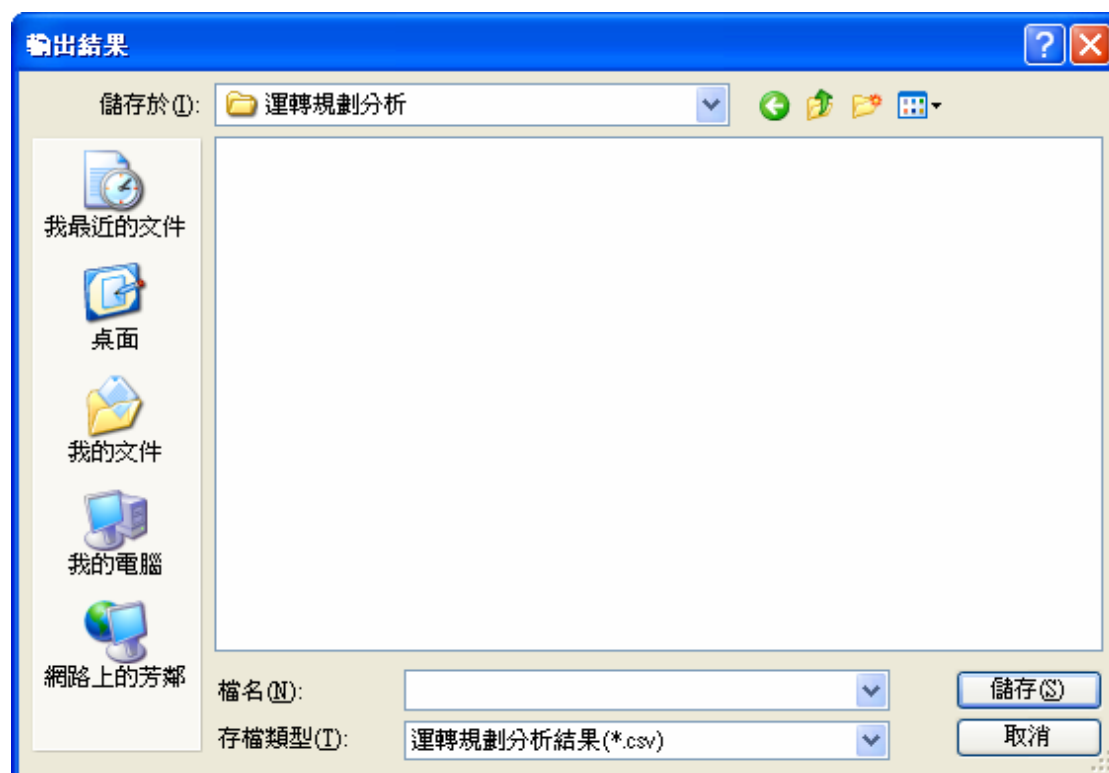


圖4-52 輸出最大營運班距計算結果

若欲儲存運輸規劃分析檔案，可於圖 4-48和圖 4-51下方，按下【存檔】的按鈕，程式會出現如圖 4-53之對話盒，指定路徑與檔名後按【儲存】便可完成存檔工作。

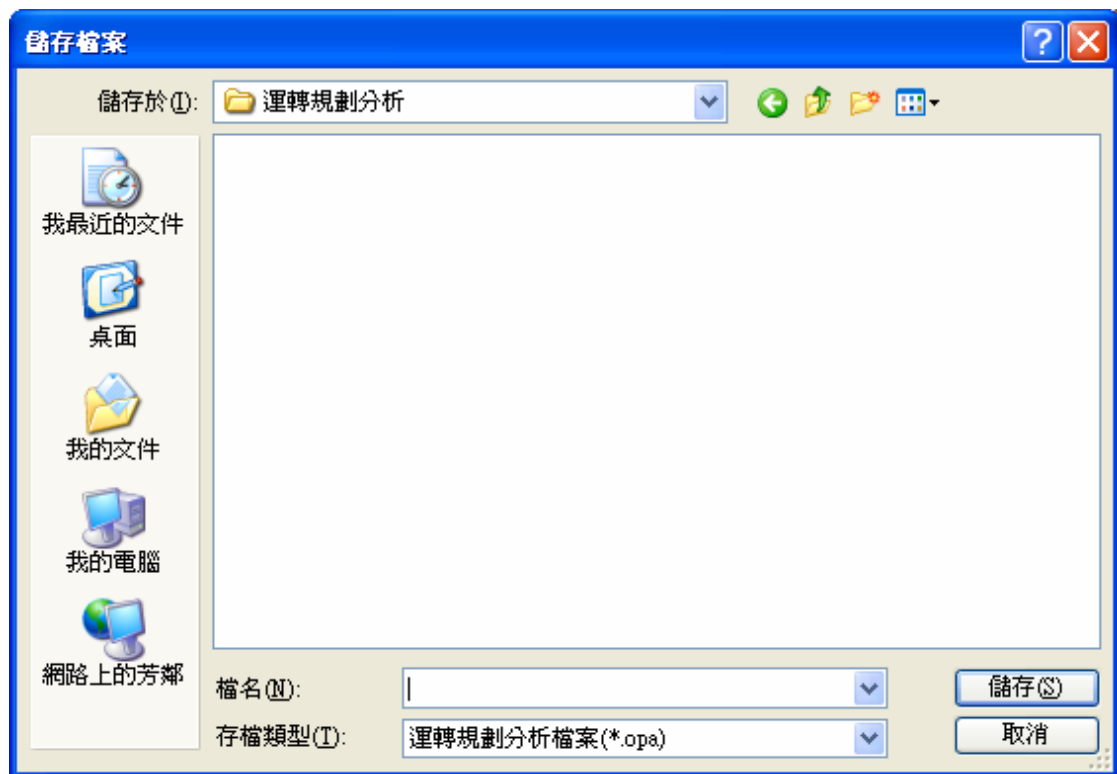


圖4-53 儲存運轉規劃分析檔案

4.4.3 開啟舊檔

運轉規劃分析模組檔案之副檔名為「opa」，欲開啟運轉規劃分析檔案，請按照下列步驟：

1. 從圖 4-43畫面選擇【開啟舊檔】。
2. 按下右方按鈕選擇檔案，如圖 4-54，程式會出現開啟舊檔對話盒，如圖 4-55。
3. 選定欲開啟之檔案的路徑與檔名，按下【開啟】後，程式便會將所選擇路徑與檔名顯示於畫面上，如圖 4-56。
4. 按【下一步】按鈕，便完成開啟舊檔動作。

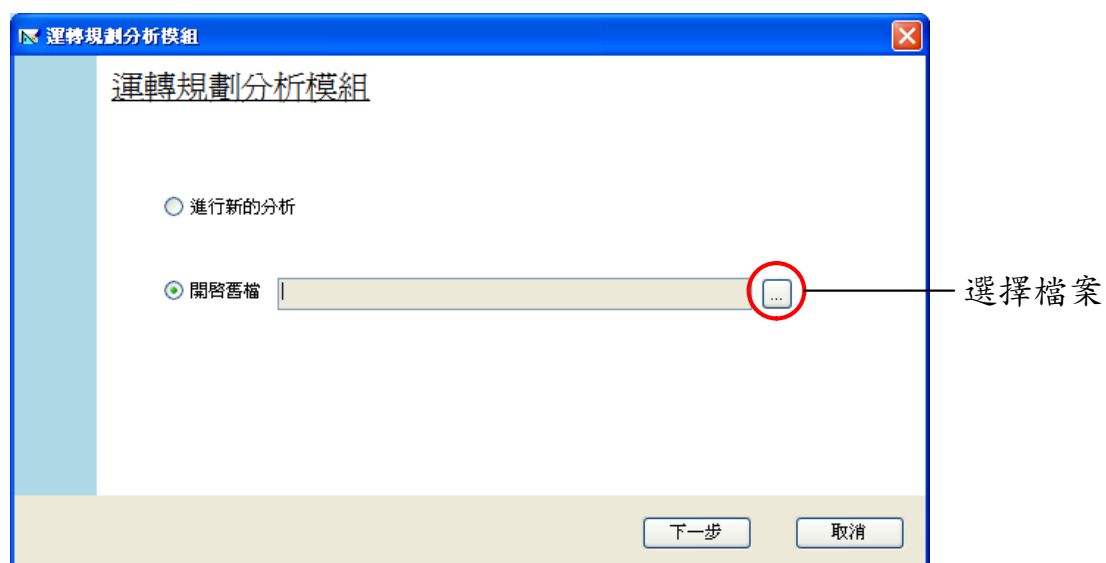


圖4-54 開啟運輸規劃分析檔案

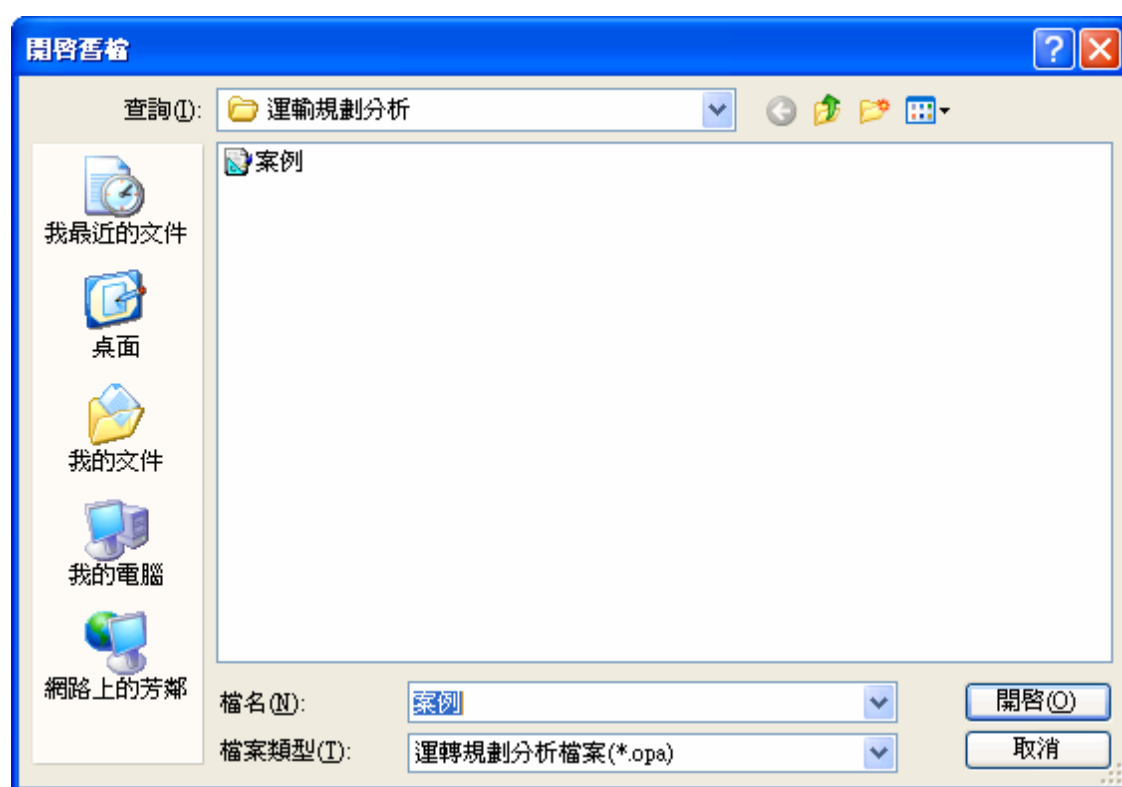


圖4-55 開啟舊檔對話盒

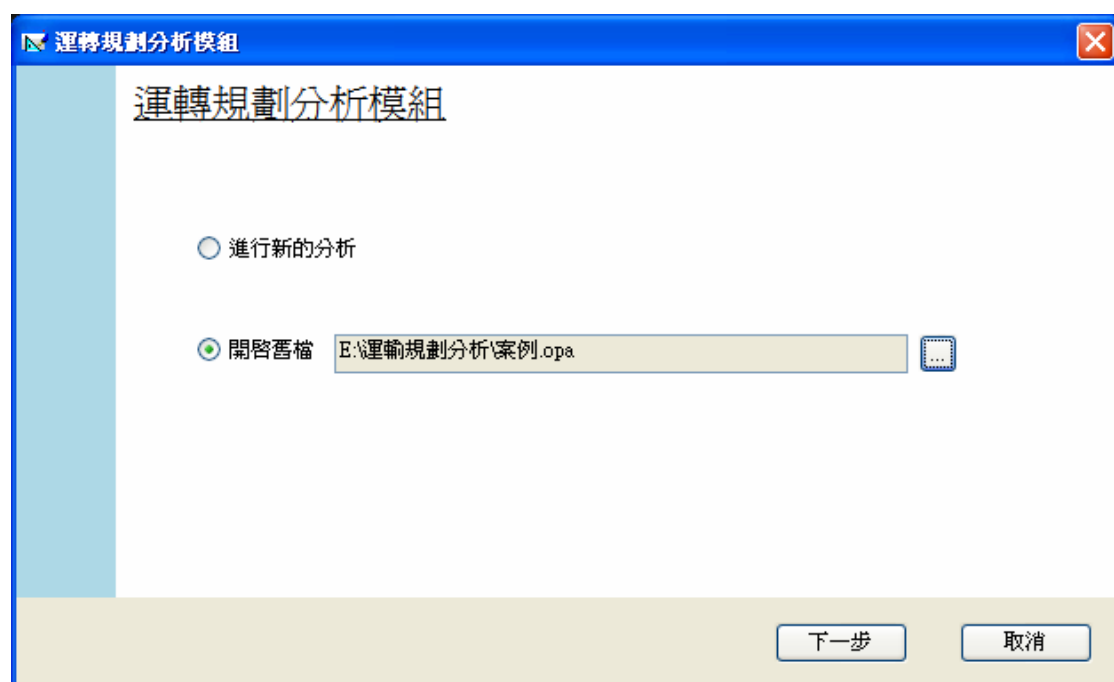


圖4-56 選定欲開啟之舊檔

第五章 案例分析

在發展了都會捷運系統容量分析模式，並開發了視窗程式之後，本研究以臺北捷運系統，包含中運量和高運量系統，以及高雄捷運系統為對象進行案例分析。

5.1 空間參考點之選定

進行容量分析首先需決定空間參考點，原則上，以最繁忙車站、轉乘站、末端站或銜接點為主要選取的對象。

在臺北捷運方面，高運量系統以板南線來進行案例分析，板南線的末端車站為永寧站和南港站，而臺北車站和忠孝復興站為其兩大轉乘站，停站時間較一般中間車站較長，因此選取此四個車站作為容量分析的空間參考點。中運量系統則是分析文湖線之軌道容量，其末端站為南港展覽館站和動物園站，轉乘站為忠孝復興站，所以以此三個車站為空間參考點。

高雄捷運方面則以紅線來進行案例分析，其轉乘車站有高雄車站、左營站和美麗島站，折返站為南岡山站和小港站，其中南岡山站是在合約簽訂後才由地方爭取增設之車站，原本在工程時程安排上認為可和紅橘兩線同時完工通車，因此僅在南岡山站配置橫渡線，但後來的議約過程並不順利，以致於目前南岡山站尚未完工而必須以橋頭站作為臨時末端站，然該站前後卻無橫渡線，導致列車需利用南岡山站前的橫渡線進行折返，該處距離橋頭站甚遠，根據模式，欲探討此情況之容量，其空間參考點之選取應如圖 5-1 所示，為站前折返。

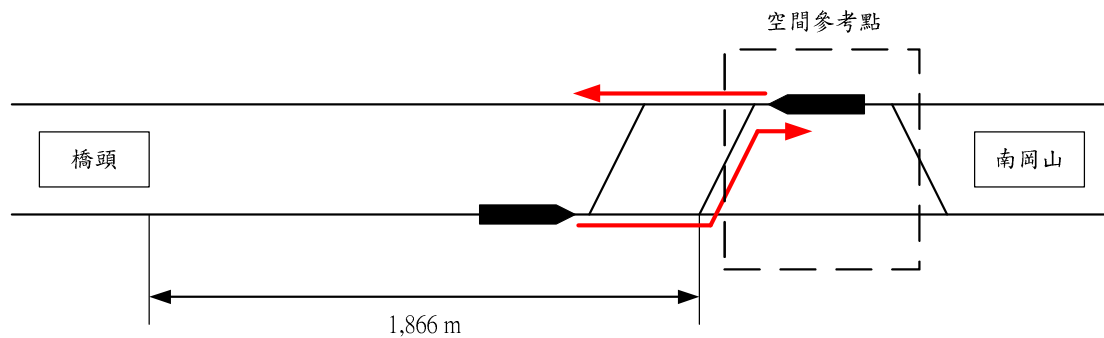


圖5-1 橋頭站折返情況

表 5.1為綜整本案例分析所選擇的空間參考點之型式，臺北捷運高運量系統的永寧站和南港站為站前折返，臺北車站和忠孝復興站為中間站；中運量系統中，南港展覽館站和動物園站為站後折返，忠孝復興站為中間站；高雄捷運系統的橋頭折返處和小港站為站前折返，高雄車站、左營站和美麗島站為中間站。

表5.1 各空間參考點之型式彙整表

對象	空間參考點名稱	空間參考點型式
臺北捷運高運量系統 (板南線)	永寧站	站前折返
	臺北車站	中間站
	忠孝復興站	中間站
	南港站	站前折返
臺北捷運中運量系統 (文湖線)	南港展覽館站	站後折返
	忠孝復興站	中間站
	動物園站	站後折返
高雄捷運系統	橋頭折返處	站前折返
	高雄車站	中間站
	左營站	中間站
	美麗島站	中間站
	小港站	站前折返

5.2 臺北捷運高運量系統

以下分別說明臺北捷運高運量系統案例分析相關的輸入參數與分析結果。

5.2.1 輸入參數

根據臺北大眾捷運股份有限公司（以下簡稱北捷公司）提供的資料，高運量系統列車的各项參數數值如表 5.2，列車為 6 車編組，車身全長為 141 m，加減速度皆為 1 m/s^2 ，煞車有效因子為 0.75，全列車的座位數共有 352 個，立位面積共有 264 m^2 ，乘載水準採用 6 prs/m^2 。

表5.2 臺北捷運高運量系統之列車參數

參數名稱	數值
列車車身長度	141 m
列車加速度	1 m/s^2
列車減速度	1 m/s^2
煞車有效因子	0.75
座位數	352
立位面積	264 m^2
乘載水準	6 prs/m^2

在巡航速度方面，由於沒有實際營運的巡航速度資料可供參考，因此採用 3.6.1 節所介紹的方法加以推估，其結果如表 5.3。而間隔安全係數則是以 3.6.2 節介紹之方式來加以設定，如表 5.4。

表5.3 北捷高運量系統各空間參考點的巡航速度參數

空間參考點名稱	參數名稱	數值 (km/h)
永寧站	於折返站進站前的巡航速度	55
臺北車站 (往南港方向)	先行列車離站後的巡航速度	65
	續行列車進站前的巡航速度	55
臺北車站 (往永寧方向)	先行列車離站後的巡航速度	55
	續行列車進站前的巡航速度	65
忠孝復興站 (往南港方向)	先行列車離站後的巡航速度	65
	續行列車進站前的巡航速度	65
忠孝復興站 (往永寧方向)	先行列車離站後的巡航速度	65
	續行列車進站前的巡航速度	55
南港站	於折返站進站前的巡航速度	65

表5.4 北捷高運量系統各空間參考點の間隔安全係數參數

空間參考點名稱	數值
永寧站	3.80
臺北車站 (往南港方向)	1.69
臺北車站 (往永寧方向)	2.07
忠孝復興站 (往南港方向)	2.99
忠孝復興站 (往永寧方向)	2.00
南港站	3.01

最後有關運轉寬裕時間係數的決定方面，從板南線的營運現況來分析，目前於尖峰時間列車班次已接近飽和，根據實際量測，列車在南港站以圖 5-2所示之過程進行折返時，列車 b 進站後到列車 c 進站所需的時間至少須 2 分 05 秒，若依此的結果反算運轉寬裕係數，其值約為 0.1 左右，因此本案例中，運轉寬裕時間係數初步採用 0.1 來計算。

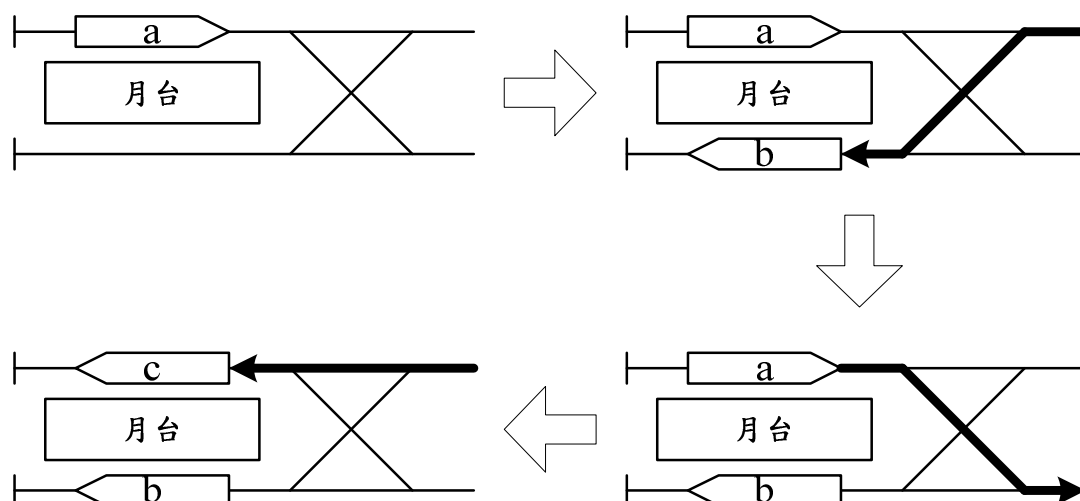


圖5-2 列車折返過程示意圖

5.2.2 容量分析結果

透過軌道容量分析軟體計算，得到結果如表 5.5和表 5.6，在永寧往南港方向上，容量瓶頸是發生在忠孝復興站，設計班距為 130 秒，路線容量為 27 TU/h，設計容量為 52272 sps/h，可達成容量為 44431 prs/h；而在南港往永寧方向，容量瓶頸是發生在永寧站，設計班距為 130 秒，路線容量為 27 TU/h，設計容量為 52272 sps/h，可達成容量為 44431 prs/h。

表5.5 北捷高運量系統容量分析結果（往南港方向）

空間參考點	設計班距 (s)	路線容量 (TU/h)	設計容量 (sps/h)	可達成容量 (prs/h)
永寧站	125	28	54208	46076
台北車站	112	32	61952	52659
忠孝復興站	130	27	52272	44431
南港站	124	28	54208	46076

表5.6 北捷高運量系統容量分析結果（往永寧方向）

空間參考點	設計班距 (s)	路線容量 (TU/h)	設計容量 (sps/h)	可達成容量 (prs/h)
南港站	124	28	54208	46076
忠孝復興站	111	32	61952	52659
台北車站	130	27	52272	44431
永寧站	125	28	54208	46076

5.3 臺北捷運中運量系統

本節說明臺北捷運中運量系統案例分析相關的輸入參數與分析結果。

5.3.1 輸入參數

臺北捷運中運量系統的列車為 4 車編組，各項參數數值如表 5.7，車身全長為 55.12 m，列車加減速度皆為 1.34 m/s^2 ，煞車有效因子為 0.75，全列車共有 80 個座位，立位面積共有 58.4 m^2 ，乘載水準採用 6 prs/m^2 。

表5.7 臺北捷運中運量系統之列車參數

參數名稱	數值
列車車身長	55.12 m
列車加速度	1.34 m/s^2
列車減速度	1.34 m/s^2
煞車有效因子	0.75
座位數	80
立位面積	58.4 m^2
乘載水準	6 prs/m^2

各空間參考點所需的巡航速度參數，直接採用北捷公司提供的中運量系統各車站列車進站速度，而中運量系統為移動閉塞制，且採用距離碼系統，因此間隔安全係數可設為 1。

在運轉寬裕時間係數的決定上，目前文湖線於尖峰時間最小的營運班距為 90 秒，以此為接近容量飽和狀態來反算運轉寬裕係數，其值約為 0.18 左右，因此初步採用 0.18 作為中運量系統的運轉寬裕係數。

5.3.2 容量分析結果

表 5.8和表 5.9是利用軌道容量分析軟體進行計算的結果，無論是往動物園方向或是往南港展覽館方向，容量瓶頸皆是發生在忠孝復興站和南港展覽館，設計班距為 90 秒，路線容量為 40 TU/h，設計容量為 17216 sps/h，可達成容量為 13772 prs/h。值得注意的是，動物園站在往動物園方向上的容量，受到列車在末端站清車時間的影響，因此容量較低；但在往南港展覽館方向上，列車無須清車時間，因此容量較高。

表5.8 北捷中運量系統容量分析結果（往動物園方向）

空間參考點	設計班距 (s)	路線容量 (TU/h)	設計容量 (sps/h)	可達成容量 (prs/h)
南港展覽館	90	40	17216	13772
忠孝復興站	90	40	17216	13772
動物園站	89	40	17216	13772

表5.9 北捷中運量系統容量分析結果（往南港展覽館方向）

空間參考點	設計班距 (s)	路線容量 (TU/h)	設計容量 (sps/h)	可達成容量 (prs/h)
動物園站	55	65	27976	22380
忠孝復興站	90	40	17216	13772
南港展覽館	90	40	17216	13772

5.4 高雄捷運系統

以下分別說明高雄捷運系統案例分析相關的輸入參數與分析結果。

5.4.1 輸入參數

根據高雄捷運股份有限公司提供的資料，目前列車採三輛車編組營運，其他各項參數數值如表 5.10，全列車長為 65.45 m，列車加減速度皆為 1 m/s^2 ，煞車有效因子為 0.75，全車共有 126 個座位，立位面積共有 126.1 m^2 ，乘載水準採用 5 prs/m^2 。

在巡航速度參數方面，因為本案例選取的空間參考點之站間距離足夠，且其永久速限皆為 80 km/h，透過 3.6.1 節介紹之方法推估巡航速度之結果，各空間參考點之巡航速度皆可達到最高營運速度 80 km/h。在間隔安全係數方面，利用 3.6.2 節之方法計算，各空間參考點的間隔安全係數參數設定如表 5.11。

有關運轉寬裕時間係數的決定，由於沒有相關的資料，而鑒於高雄捷運系統紅線為高運量系統，因此和臺北捷運高運量系統同樣採用 0.1 作為運轉寬裕時間係數。

表5.10 高雄捷運系統之列車參數

參數名稱	數值
列車車身長度	65.45 m
列車加速度	1 m/s^2
列車減速度	1 m/s^2
煞車有效因子	0.75
座位數	126
立位面積	126.1 m^2
乘載水準	5 prs/m^2

表5.11 高雄捷運系統各空間參考點的間隔安全係數參數

空間參考點名稱	數值
橋頭折返處	1.34
左營站（往小港方向）	1.00
左營站（往南岡山方向）	1.00
高雄車站（往小港方向）	1.00
高雄車站（往南岡山方向）	1.00
美麗島站（往小港方向）	1.00
美麗島站（往南岡山方向）	1.00
小港站	1.24

5.4.2 容量分析結果

高雄捷運系統的容量分析結果如表 5.12和表 5.13，橋頭折返處為往小港和往南岡山兩方向上的容量瓶頸，其設計班距為 217 秒，路線容量為 16 TU/h，設計容量為 12104 sps/h，可達成容量為 9683 prs/h。

若未來南岡山站開始營運，列車則可在南岡山站進行折返，則可改善目前橋頭折返處之容量瓶頸，利用軌道容量分析軟體計算，南岡山站的路線容量為 25 TU/h，和橋頭折返處相比，改善幅度約為 56%。

表5.12 高雄捷運系統容量分析結果（往小港方向）

空間參考點	設計班距 (s)	路線容量 (TU/h)	設計容量 (sps/h)	可達成容量 (prs/h)
橋頭折返處	217	16	12104	9683
左營站	100	36	27234	21787
高雄車站	86	41	31016	24812
美麗島站	102	35	26477	21181
小港站	112	32	24208	19366

表5.13 高雄捷運系統容量分析結果（往南岡山方向）

空間參考點	設計班距 (s)	路線容量 (TU/h)	設計容量 (sps/h)	可達成容量 (prs/h)
小港站	112	32	24208	19366
美麗島站	97	37	27990	22392
高雄車站	90	40	30260	24208
左營站	89	40	30260	24208
橋頭折返處	217	16	12104	9683

第六章 研究成果推廣

本研究的目標之一為研究成果的推廣，彙整過去對軌道容量的研究成果編訂成手冊，有助於將容量分析概念的推廣至各界使用，而在都會捷運系統軌道容量分析模式與視窗軟體方面，透過教育訓練，推廣軌道容量分析的知識以及軟體的操作運用。此外，在這4年研究計畫中已累積不少成果，因此在本所主辦的「我國整體運輸規劃研究系列成果暨應用推廣研習會」中作成果發表，以期能讓產官學界對軌道容量分析有進一步的認識。

6.1 編修軌道容量手冊

前期研究已提出軌道容量手冊的整體架構，如圖 6-1，且編定了「基礎篇」和「傳統暨區域鐵路篇」等 2 個篇章^[5]，在本研究中除了對此 2 個篇章進行修訂外，並再編訂「都會捷運系統篇」，本節僅介紹修訂部份和新編之內容大綱，手冊完整內容詳見「臺灣地區軌道容量手冊」，至於「高鐵及機場捷運系統篇」和「輕軌運輸系統篇」則有待後續研究陸續補齊。

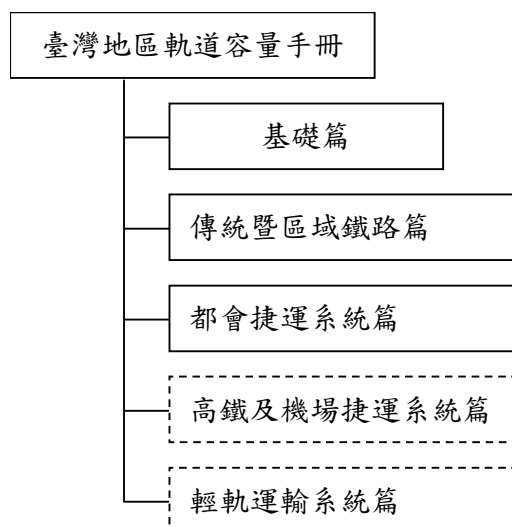


圖6-1 軌道容量手冊整體架構

6.1.1 軌道容量手冊之修訂

有關容量手冊「基礎篇」和「傳統暨區域鐵路篇」之修訂，係針對前期對列車服務可靠度的相關研究成果^[6]，將其整理納入手冊之中，修訂的部分包含：

1. 「基礎篇」中增加了對列車延滯分類的說明。
2. 「傳統暨區域鐵路篇」中增加第五章「列車服務可靠度模擬模式」，介紹前期研究針對臺鐵系統所發展的可靠度模擬模式，內容有模式架構、列車排班延滯、列車實際延滯以及整體模擬流程。
3. 前期研究亦在容量分析程式中新增可靠度模擬分析功能，因此在「傳統暨區域鐵路篇」的第六章「容量分析程式」中，增加可靠度分析功能之操作說明。

6.1.2 「都會捷運系統篇」之編訂

在「都會捷運系統篇」中，綜整過去本研究對都會捷運系統容量分析相關研究成果，包含所發展的軌道容量分析模式等進階內容，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，本篇各章節內容大綱如下：

第一章 緒論

說明此模式適用的軌道系統之特性，如專有路權、列車停站型態一致、無錯會車之行為等，此外並介紹臺北捷運系統和高雄捷運系統，最後對捷運號誌系統的運作方式及原理作深入探討。

第二章 路線容量分析模式

2.1 基本概念與模式假設

於本章一開始介紹模式的基本假設和限制條件，以免讀者誤用模式。

2.2 號誌安全時距的計算

詳細說明號誌安全時距公式的推導過程，包含中間站、折返站，以及銜接點等不同型式之空間參考點的時距計算公式。

2.3 運轉寬裕時間的估計

說明如何決定運轉寬裕時間。

2.4 最小運轉時隔的計算

說明計算最小運轉時隔的公式。

2.5 路線容量的計算

說明路線容量的計算公式。

第三章 旅客容量分析模式

3.1 旅客容量計算

依序說明列車容量、最大供給容量和最大使用容量的計算。

3.2 停站時間推估

說明如何推估中間車站和端末車站的停站時間，並提出建議值。

第四章 容量整體分析程序

4.1 容量分析架構與步驟

整理路線容量分析模式和旅客容量分析模式的所有細節，提出一個系統化的計算程序。

4.2 容量分析的應用方式

說明巡航速度、間隔安全係數等參數的設定，以及有關軌道容量分析和營運規劃的相關應用。

第五章 軌道容量分析程式

隨著都會捷運系統軌道容量分析模式的發展，也開發了以該模式為核心的程式，本章從軟體的安裝執行開始，逐步介紹該程式各項功能的操作方法。

第六章 分析範例

針對教學目的設計數個案例，並藉由分析這些案例，讓讀者能了解容量分析的功能與應用。

第七章 參考文獻

6.2 辦理教育訓練與成果發表

「都會捷運系統容量分析模式暨視窗軟體」教育訓練在民國 98 年 10 月 29 日，於財團法人中興工程顧問社 10 樓電腦教室舉辦，參加的學員來自於政府相關單位、軌道營運單位、顧問公司以及大學相關科系等，共計 45 位，相關照片如圖 6-2和圖 6-3。



圖6-2 主辦單位致詞



圖6-3 教育訓練情況

教育訓練為一天之課程，課程的時程規劃安排如表 6.1，其內容大綱為：

1. 軌道容量分析基礎知識

包含軌道容量分析的基礎、影響容量的因素分析、列車控制與號誌系統、軌道容量分析的基本架構與應用等。

2. 軌道容量分析模式

認識軌道容量分析模式，包括號誌安全時距的計算、運轉寬裕時間的決定、最小運轉時隔的計算和路線容量的計算等。

3. 軌道容量分析程式

介紹軌道容量分析程式的特色和操作環境，並配合實際上機操作，進行快速入門與各項功能操作程序的教學。

4. 教學案例演練

藉由實際操作軌道容量分析程式，來分析由根據實務狀況所設計出的案例，以熟悉程式的操作與應用。

最後在教育訓練結束前安排綜合討論時間，以探討目前鐵路系統較關注之課題，並互相分享實務上之經驗與提供程式改善之建議。詳細的課程教材可參見附錄 A。

表6.1 教育訓練課程安排

時間	內容	時數
8:30~9:00	報到	30 分鐘
9:00~9:10	主辦單位致詞	10 分鐘
9:10~10:40	軌道容量分析基礎知識	90 分鐘
10:40~10:50	休息時間	10 分鐘
10:50~12:20	軌道容量分析模式	90 分鐘
中餐與午休		
13:30~15:00	軌道容量分析程式	90 分鐘
15:00~15:10	休息時間	10 分鐘
15:10~16:40	教學案例演練	90 分鐘
16:40~16:50	綜合討論	—

除了教育訓練之外，亦於民國 98 年 12 月 15、16 日，配合本所主辦的「我國整體運輸規劃研究系列成果暨應用推廣研習會」舉辦成果發表，在場設置攤位展示研究成果與容量分析軟體，並安排專業人員進行解說。

第七章 結論與建議

本計畫分別以傳統暨區域鐵路系統和都會捷運系統為對象，進行軌道容量相關研究，在本年度的研究中，完備了都會捷運系統容量分析模式，並依此模式為核心開發電腦軟體，對臺北和高雄捷運系統進行案例分析，此外為了推廣研究成果，彙整了過去研究成果編訂軌道容量手冊，並辦理教育訓練和成果發表。綜整 4 年的研究成果，提出以下結論與建議：

7.1 結論

7.1.1 傳統暨區域鐵路系統方面

1. 本系列研究針對過去所發展的軌道容量分析模式作部分改善，使其能更符合實際狀況。包括：
 - (1) 單線運轉之路段的瓶頸號誌安全時距，除了考慮交會的號誌安全時距外，尚需考慮在臺鐵排點實務上，對於反向列車交會的狀況所保持的最小號誌時距。
 - (2) 運轉寬裕時間的考量應包含「號誌安全時距」與「交會待避損失時間」2 項較符合常理。
 - (3) 在過去的一般認知中，認為當先行列車的速度大於續行列車時，因續行列車無法追上先行列車，只要在出發車站保持安全時距，運轉過程中就不會發生列車衝突，但若抵達車站的站內軌道配置較差、站間距離過短或其他因素，可能導致在抵達車站會發生進站的號誌安全時距不足之現象，因此在計算瓶頸號誌安全時距，還是要同時考慮出發車和抵達車站的號誌安全時距。反之先行列車的速度小於續行列車時亦然。

2. 考量列車流量、車種組成、運轉時間，以及號誌時距等因素發展可靠度模擬模式，經由臺鐵實際營運資料進行驗證後，確定該模式能反映列車實際運行延滯的現象。
3. 開發符合國內地域特性的軌道容量分析軟體，可進行多路段容量分析、考量多車種組成等，並提供敏感度分析和可靠度分析功能，對未來在執行容量分析的工作上將有所幫助。
4. 本系列研究針對臺鐵系統進行數個案例分析後，得到以下結論：
 - (1) 列車車隊組成係影響軌道路線容量之一重要因素，在自強號與通勤電車之交通組成條件下，提高通勤電車的比例將有助於提升軌道容量。
 - (2) 在現有臺鐵系統之路線、車輛及運轉控制條件下，以臺鐵目前三時相閉塞號誌系統的運作方式，在不增設號誌機及交會待避功能之設施的前提下，增設通勤車站會使該區間的軌道容量降低。
 - (3) 單線運轉由於續行列車必須待先行列車進站後方能離站，就容量分析計算而言相當不利，但隨著站間距離愈短（站間運轉時間很短），此劣勢造成的影響將愈小，不過若考慮實務上列車在數個路段間的續行行為以及因為單線運轉產生的平面交叉衝突與橫渡線使用，在雙軌區間採複線運轉較為合適。
 - (4) 進行容量分析時，決定寬裕時間係數的方式很多，不同的寬裕係數所計算而得的路線容量，其可接受的路線利用率也會有所不同。透過可靠度模擬模式所得到的案例分析結果，以平均實際延滯時間 5 分鐘為標準，建議容量分析的寬裕係數值為 0.3，而排班時路線利用率最高不超過 100%，較符合一般使用上的直覺。
 - (5) 有關站間運轉時間寬裕對可靠度之影響，根據可靠度模擬模式分析的結果，發現站間運轉時間加入寬裕可降低平均實際

延滯時間，意味此舉可提升列車可靠度，但囿於續行列車不能追越前車，且要和前車保持一定距離，因此若盲目的加入寬裕，不僅多餘的寬裕無法有效運用，反而增加了列車之間的速差，造成反效果。

7.1.2 都會捷運系統方面

1. 針對國內都市捷運系統之特性，發展都會捷運系統容量分析模式，和傳統暨區域鐵路容量分析模式不同的地方是：都會捷運系統是發展泛用的分析模式，可依個別系統特性不同，使用適當的參數進行計算，此外可分析中間站、折返站和銜接點等不同種類之空間參考點的容量。
2. 以都市捷運系統容量分析模式為核心，本研究開發了容量分析軟體，可大幅提升執行容量分析工作的效率，此外因應實務上的需求，該軟體包含了營運規劃模組，提供最大營運班距和車隊規模的計算。
3. 針對國內的 2 大都會捷運系統進行案例分析，其結果為：
 - (1) 在臺北捷運高運量系統方面，以板南線為案例，永寧往南港方向的容量瓶頸發生在忠孝復興站，路線容量為每小時 27 列車；而南港往永寧方向的容量瓶頸在台北車站，路線容量為每小時 27 列車。
 - (2) 在臺北捷運中運量系統方面，往動物園方向或是往南港展覽館方向的容量瓶頸皆在忠孝復興站和南港展覽館，路線容量為每小時 40 列車。
 - (3) 在高雄捷運系統方面，橋頭折返處為往小港和往南岡山 2 方向上的容量瓶頸，路線容量為每小時 16 列車。若未來南岡山站營運後，可在南岡山站進行折返，則路線容量為每小時 25 列車，提高約 56%。

4. 有關運轉寬裕時間係數的設定上，根據實際資料反算的結果，對於捷運高運量系統建議值為 0.1，而中運量系統則建議採用 0.2。

7.1.3 服務品質方面

1. 本研究利用定價敏感計量法（Price Sensitivity Meter, PSM）之概念，應用在軌道運輸服務品質的研究上，以了解旅客所能接受的服務品質下限。
2. 透過問卷調查，發現在臺鐵的旅客中，不同年齡層和教育程度的旅客，對於服務頻率、可靠度以及旅客乘載率等方面的服務品質，其可接受的程度上有明顯不同，年紀愈輕、教育程度愈高的旅客，對服務品質的要求愈高。
3. 目前在臺北、臺中和高雄 3 大都會區的臺鐵旅客，對於服務頻率的服務水準有不同的要求，其原因可能為北部旅客所獲得的服務頻率較中南部高，因而不能接受較低的服務水準，而對中南部旅客來說，本來服務頻率就不高，所以能接受的服務水準也較低。而在可靠度方面，可能由於各地的臺鐵旅客所感受到臺鐵的準點率大致相同，因此無此差異，至於旅客乘載率，人們對擁擠的接受程度大致上也不會因地域不同而改變。
4. 本研究問卷調查之結果雖非通案，但仍具有一定的參考價值，此外需了解隨著時間的變遷，乘客對服務品質的要求會不同。

7.1.4 研究成果推廣方面

1. 確定軌道容量手冊整體之架構，並編訂其中的「基礎篇」、「傳統暨區域鐵路篇」和「都會捷運系統篇」等 3 個篇章。
2. 分別於民國 96 年 8 月 2、9 日舉辦「傳統暨區域鐵路系統容量分析模式暨視窗軟體」教育訓練，以及民國 98 年 10 月 29 日舉辦「都會捷運系統容量分析模式暨視窗軟體」教育訓練，每場次皆成功圓滿落幕，對軌道容量分析的推廣有所貢獻。

3. 於民國 98 年 12 月 15 日，配合本所主辦的「我國整體運輸規劃研究系列成果暨應用推廣研習會」，設置攤位展示歷年軌道容量分析的研究成果與軟體，並安排專業人員進行解說。

7.2 後續研究建議

7.2.1 容量相關課題

1. 傳統暨區域鐵路容量分析模式可分別對每一區間的容量進行分析，然而由於不同車種間的站間運行時間、停站計畫不同等特性，使得不同區間之間的軌道容量彼此會互相影響，為了精確地了解整條路線的容量，建議發展可同時考量多區間容量分析模式。
2. 本系列研究考慮使用的便利性與推廣的需要，因此先發展軌道容量解析模式，然針對高複雜度或需要較高精確度的容量分析問題，則必須發展高精度的模擬模式，如車站運轉時隔模擬模式、折返點運轉時隔模擬模式、銜接點運轉時隔模擬模式、列車容量估計模式、尖峰小時因素估計模式…等。
3. 在旅客較多的繁忙車站，列車通常會有較長的停站時間讓旅客有足夠的時間上下車，然而停站時間對於容量具有相當的影響程度，當停站時間增長將使軌道容量降低，因此兩者間該如何權衡，對系統整體運輸績效有何影響，值得深入研究。
4. 軌道系統尚有高鐵系統、機場捷運系統、輕軌運輸系統等，建議後續可進行相關的軌道容量分析研究，以作為軌道容量手冊中尚未編訂的「高鐵及機場捷運系統篇」，以及「輕軌運輸系統篇」等 2 個篇章內容之基礎。
5. 當路線容量不足會發生哪些現象、列車運轉異常時對容量降低程度之影響等，是實務上較感興趣之議題，可作為未來研究方向之參考。

7.2.2 服務品質相關課題

1. 有關可靠度議題在本研究計畫中，由於時間限制並未十分深入，故可將軌道容量暨列車服務可靠度及服務品質與路線容量之關聯分析等議題作為後續研究方向。
2. 影響可靠度的因素眾多，如旅客數多寡對列車站內延誤之影響、不同運轉調度策略對可靠度改善之效益…等，皆是未來可深入研究之方向。
3. 容量分析以客觀科學且有系統的方法所求得結果，然而此結果和旅客真正的感受之間的關係卻不得而知，服務品質的概念便是要了解班距、乘載水準、軌道容量等數值對旅客的意義，後續研究可深入探討服務品質與容量的關聯性，建立定量關係，以便解讀容量分析所反映出的現象，將有助於將容量分析的結果與旅客的認知感受加以整合。
4. 長期而言，軌道運輸應朝永續經營並以旅客「滿意」之目標努力，未來可探討旅客滿意的服務水準為何，此外提供高等級的服務，代表營運者在營運上需承擔更多成本與壓力，這之間該如何權衡，亦是值得研究之課題。

7.2.3 其他課題

1. 目前都會捷運容量分析軟體中，「運轉規劃分析」模組僅有「最大營運班距」與「車隊規模」等 2 項功能，建議未來可考慮增加其他規劃功能，使該模組更能符合營運規劃需求。
2. 對捷運系統而言，由於停站型態一致且無對號的特性，不似傳統鐵路或高速鐵路透過購票劃位將部份旅客作某種程度的分配，使得旅客人潮管制的困難度大幅提升，因此除了軌道容量之外，旅客時空分布亦是重要的課題，建議未來可發展相關模式及程式來進行評估，以掌握不同時段、不同情況下之旅客量，有助於研擬特殊節日活動之營運模式或人潮管制準則。

3. 在軌道運輸系統領域中，尚有許多複雜的課題無有效的處理方法，例如列車自動排點等，如今電腦運算效率已有極高的水準，且還在持續進步發展中，可藉電腦科技來對這些課題作進一步的研究。

參考文獻

1. 軌道運輸之機廠位置及端末車站佈置對列車運轉調度的影響研究，交通部高速鐵路工程局，民國 96 年 12 月。
2. 軌道容量研究－臺鐵系統容量模式之建構分析（一），交通部運輸研究所，民國 94 年 3 月。
3. 軌道容量研究－臺鐵系統容量模式之建構分析（二），交通部運輸研究所，民國 95 年 4 月。
4. 運輸系統容量分析暨應用研究－軌道系統（1/4），交通部運輸研究所，民國 96 年 4 月。
5. 運輸系統容量分析暨應用研究－軌道系統（2/4），交通部運輸研究所，民國 97 年 5 月。
6. 運輸系統容量分析暨應用研究－軌道系統（3/4）定案報告，交通部運輸研究所，民國 97 年 12 月。
7. 臺灣地區軌道系統容量研究架構暨臺北捷運系統容量分析，交通部運輸研究所，民國 93 年 6 月。
8. 林柏誠，「中運量電聯車簡介」，捷運技術，第 28 期，民國 92 年 2 月，頁 25-44。
9. 凌建勳，「列車服務計畫」，捷運技術，第 18 期，民國 87 年 2 月，頁 1-11。
10. 高雄市捷運工程局網站，網址：<http://mtbu.kcg.gov.tw/>。
11. 高雄捷運公司網站，網址：<http://www.krtco.com.tw/>。
12. 臺北大眾捷運股份有限公司，臺北捷運公司 2008 年年報，臺北大眾捷運股份有限公司，2009 年 8 月。
13. 臺北大眾捷運股份有限公司網站，網址：<http://www.trtc.com.tw/>。

14. 臺北市政府捷運工程局網站，網址：<http://www.dorts.gov.tw/>。
15. 簡聰裕，**捷運系統運轉整理之研究**，國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文，民國 89 年 7 月。
16. AEA Technology Inc.網站，網址：www.aeatechnology.com/。
17. Alle, P., “Improving Rail Transit Line Capacity Using Computer Graphics”, *Logistics and Transportation Review*, Vol. 17, No 4, University of British Columbia, Faculty of Commerce, 1981.
18. Auer, J.H., Rail-Transit People-Mover Headway Comparison, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1974.
19. Barber, F., etc., **Survey of automated Systems for Railway Management**, Technical Report DSIC-II/01/07, Department of Computer Systems and Computation, Technical University of Valencia, 2007.
20. Dick Middelkoop, Michiel Bouwman, “SIMONE: LARGE SCALE TRAIN NETWORK SIMULATIONS”, *Winter Simulation Conference*, 2001.
21. IVE 公司網站，網址：<http://www.ivembh.de/nemo/>。
22. Jacobs, M., Skinner, R., and Lerner, A.C., **Transit Project Planning Guidance: Estimation of Transit Supply Parameters**, Transportation Systems enter, US Department of Transportation, 1984.
23. Kittelson & Associates, Inc., **Transit Capacity and Quality of Service Manual 1st Edition (TCRP Web Document 6)** , Transportation Research Board, National Research Council, U.S.A., 1999.

24. Kittelson & Associates, Inc., **Transit Capacity and Quality of Service Manual 2nd Edition (TCRP Report 100)**, Transportation Research Board, National Research Council, U.S.A., 2003.
25. Klopotov, K., “Improving the Capacity of Metropolitan Railways”, UITP, 40th International Congress, Hague, 1973.
26. Koffman, D., Rhyner, G. and Trexler, R., Self-service Fare Collection on the San Diego Trolley, US Department of Transportation, 1984.
27. Kraft, W.H., and Bergen, T. F., Evaluation of Passenger Service Times for Street Transit Systems. (Transportation Research Record 505), Transportation Research Board, Washington DC, 1974.
28. Lin, T.M., and Wilson, N.H.M., Dwell Time Relationships for Light Rail Systems (Transportation Research Record 1361), Transportation Research Board, Washington DC, 1992.
29. LITEP-EPFL 網站，網址：<http://www.fasta.ch/>。
30. MultiModal 公司網站，網址：<http://www.multimodalinc.com/>。
31. Sone, Satoru, “Squeezing Capacity out of Commuter Lines”, *Developing Metros*, Railway Gazette International 1990.
32. SYSTRA 公司 RAILSIM 網站，網址：<http://railsim.com/>。
33. Tom Parkinson Transport Consulting Limited, Rail Transit Capacity (TCRP Report 13), Transportation Research Board, National Research Council, U.S.A., 1996.
34. Vuchic, V. R., Urban Transit: Operations, Planning and Economics, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2005.

附 錄

附錄 A 教育訓練講義

軌道容量分析基礎知識


簡報人：鍾志成

98/10/29

交通部運輸研究所 財團法人中興工程顧問社

課程大綱

- ▶ 壹、軌道容量分析目的及範圍
- ▶ 貳、軌道容量分析的基本概念
- ▶ 參、軌道容量的影響因素分析
- ▶ 肆、軌道列車控制與號誌系統
- ▶ 伍、軌道容量分析的基本理論
- ▶ 陸、軌道容量的基本分析架構
- ▶ 柒、軌道容量分析的應用範疇

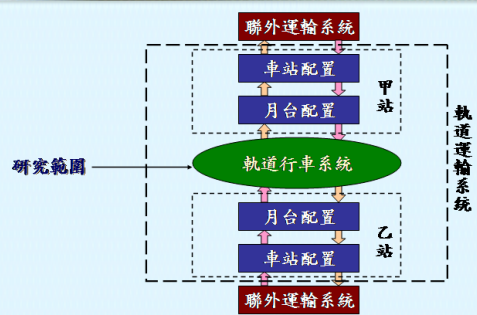


2

壹、軌道容量分析目的及範圍

- ▶ 軌道容量分析的目的
 - 評估軌道系統在某一的設備及運轉條件下的運輸能力（正向分析）
 - 研究滿足一定運輸需求所必須具備的設備數目或應採取的運轉策略（逆向分析）
 - 評估服務水準（供給與需求）
- ▶ 軌道容量分析的範圍
 - 著重在軌道行車設備的部份
 - 聯外交通、站房、月台等均視為外在變數
 - 軌道容量 ≠ 系統容量

軌道容量分析目的及範圍



3

4

貳、容量分析的基本概念

- ▶ 2.1 績效的基本測度指標
- ▶ 2.2 定義軌道容量的要素
- ▶ 2.3 軌道容量的名詞定義
- ▶ 2.4 軌道容量的使用效率
- ▶ 2.5 容量衍生的相關術語
- ▶ 2.6 容量客體單位的轉換

2.1 績效的基本測度指標

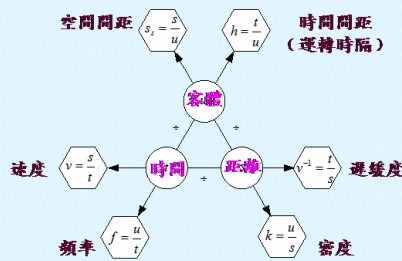
- ▶ 運輸的定義
 - 在某一段時間 t 之內，將某些客體 u 運送一段距離 s
- ▶ 運輸的基本要素
 - 時間 t — 運輸的時間
 - 客體 u — 運送的對象，可為乘客、貨物、車輛、列車或噸數
 - 距離 s — 運送的距離

5

6

2.1 績效的基本測度指標

基本績效測度指標



7

2.2 定義軌道容量的要素

軌道容量的定義（頻率的延伸概念）

- 在某一特定的運轉條件下，單位時間通過路線上某一點的最大客體單位數

$$C = f_{\max} = \frac{T}{h_{\min}}$$

C = 容量

f_{\max} = 最大服務頻率

T = 時間週期

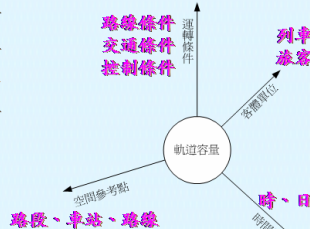
h_{\min} = 最小時間間隔

8

2.2 定義軌道容量的要素

定義軌道容量的基本要素

- 運轉條件
- 時間單位
- 空間位置
- 客體單位



9

2.2 定義軌道容量的要素

定義軌道容量的基本要素及內容

運轉條件	時間單位	空間參考點	客體單位
- 路線條件	- 時	- 路段	- 乘客
- 交通條件	- 日	- 車站	- 乘位
- 控制條件		- 折返點	- 車輛(輛)
		- 銜接點	- 列車
		- 路線	- 貨物
			- 噸數

10

2.3 軌道容量的名詞定義

以空間參考點來區分

路段容量 (Way Capacity)

- 單位時間內，通過路段上某固定點的最大客體數
- 路段容量並不考慮車站、折返點以及銜接點所產生的影響，而僅就路段本身來分析

車站容量 (Station Capacity)

- 單位時間內，通過某一車站的最大客體數

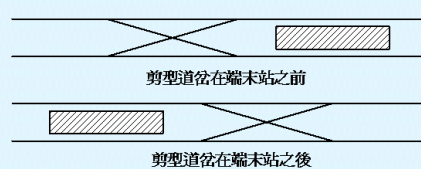
11

2.3 軌道容量的名詞定義

以空間參考點來區分

折返點容量 (Turn-back Capacity)

- 單位時間內，通過折返點的最大客體數（通常為列車數）



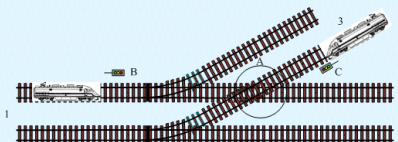
12

2.3 軌道容量的名詞定義

以空間參考點來區分

銜接點容量 (Junction Capacity)

- 單位時間內，通過銜接點的最大客體數（通常為列車數）



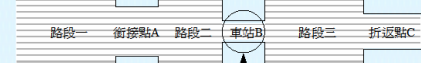
13

2.3 軌道容量的名詞定義

以空間參考點來區分

路線容量 (Line Capacity)

- 單位時間內，通過路線上任一點的最大客體數（通常為列車數）



- 複線區間—瓶頸在車站
- 單線區間—瓶頸在路段

14

2.3 軌道容量的名詞定義

以運轉條件來區分

▶ 最大容量 (Maximum Capacity)

- 代表系統的極限
- 列車運轉中途可能會遇到紅黃燈而減速 (強迫車流)

▶ 理論容量 (Theoretical Capacity)

- 理想狀況下，單位時間內通過路線上某一點的最大客體數
- 列車在號誌常綠下循序運轉 (自由車流)，不考慮任何人為及機械因素的干擾、列車的速差、車種組成、服務的可靠度等因素
- 實際上不可能達成

15

2.3 軌道容量的名詞定義

以運轉條件來區分

▶ 實用容量 (Practical Capacity)

- 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
- 反映列車運轉的隨機效應，故計算實用容量時必須考慮運轉寬裕時間 (Operation Margins)
- 又稱時刻表容量 (Timetable Capacity)

▶ 已使用容量 (Utilized Capacity)

- 實際發生的流量，反應實際的營運狀況

▶ 可利用容量 (Available Capacity)

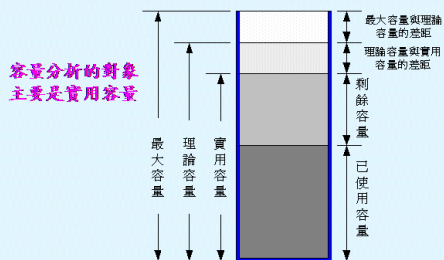
實用容量與已使用容量的差異，代表剩餘的容量

16

2.3 軌道容量的名詞定義

以運轉條件來區分

▶ 各種容量的關係



17

2.3 軌道容量的名詞定義

以乘客 (位) 為客體單位

▶ 路線最大供給容量 (設計容量)

- 單位時間內，路線上所能運送的最大乘位數，代表系統的最大供給能力
- 又稱設計容量 (Design Capacity)
- 不考慮旅客流量的分布及乘載差異情形
- 實務上不太可能達成

18

2.3 軌道容量的名詞定義

以乘客 (位) 為客體單位

▶ 路線最大使用容量 (可達成容量)

- 單位時間內，通過路線上任一點的最大乘位數，代表系統的最大使用量。
- 又稱可達成容量 (Achievable Capacity)
- 考慮旅客流量的分布以及乘載的差異
- 使用容量 ≤ 供給容量

可達成容量 = 設計容量 × 乘載變異因子

19

2.3 軌道容量的名詞定義

以乘客 (位) 為客體單位

▶ 路線表訂服務容量

- 在特定的時刻表 (Timetable) 下，單位時間內，路線上所能運送的最大乘位數
- 時刻表會反應列車交會、待避及號誌運作
- 表訂容量 ≤ 供給容量

範例：一小時最多發20班車，目前排點為15列車
每班車可載運1,000人，乘載變異因子0.8

最大供給容量：20,000人/小時

最大使用容量：16,000人/小時

表訂服務容量：15,000人/小時

20

2.4 軌道容量的使用效率

▶ 路線利用率 (表訂容量利用率)

- 實際供給量與最大供給量之比值
 - 以列車為客體單位—路線利用率
 - 以乘位為單位—表訂容量利用率
- 相等
- 利用率愈高，表示使用效率高，但相對地也表示已無太大擴充餘裕
 - 路線利用率愈高，列車準點率愈低

21

2.4 軌道容量的使用效率

▶ 乘載係數

- 實際乘客流量與表訂服務容量 (乘位數) 的比值
- 係數越高代表系統越擁擠，適於評估較短距離、以站為主的軌道系統，例如捷運系統

▶ 客座利用率

- 實際乘客流量與表訂服務容量 (座位數) 的比值
- 適於評估較長距離、以座為主的軌道系統，例如台鐵長途對號列車

乘載係數或客座利用率愈高，表示使用效率高，但相對地服務品質也愈差

22

2.5 容量衍生的相關術語

▶ 乘載變異因子

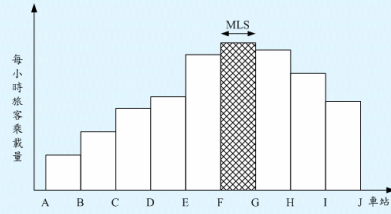
- 旅客不可能均勻到達車站，也不可能均勻分配在列車之內
- 乘載變異因子係用以反映旅客搭乘列車的時空變異情形
- 乘載變異的來源
 - 不同列車間乘載不均勻
 - 同列車不同車廂間乘載不均勻
 - 同車廂不同位置乘載不均勻

23

2.5 容量衍生的相關術語

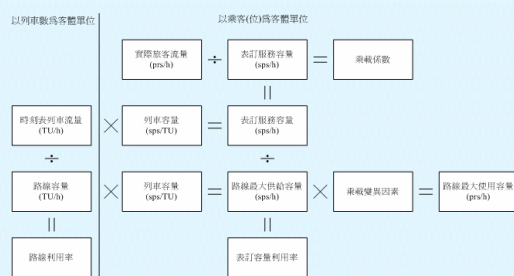
▶ 最大乘載區間(Maximum Load Section)

- 指路線上具有最大實際旅客載運量的路段



24

2.6 容量客體單位的轉換



25

參、軌道容量的影響因素分析

▶ 路線最大使用容量

$$C_u = \rho_d C_o = \rho_d f_{l,\max} n_c c_v = \rho_d \frac{T}{h_{l,\min}} n_c c_v$$

C_u = 路線最大使用容量

C_o = 路線最大供給容量

T = 計算容量的時間週期

ρ_d = 乘載變異因子

$h_{l,\min}$ = 路線最小運轉時隔

n_c = 每次列車掛載車輛數

c_v = 車廂容量

影響因素

26

參、軌道容量的影響因素分析

3.1 影響運轉時隔的因素

▶ 3.1 影響運轉時隔的因素

▶ 3.2 影響列車掛載車輛數的因素

▶ 3.3 影響車廂容量的因素

▶ 3.4 影響乘載變異因子的因素

▶ 3.5 影響列車停站時間的因素

分類	影響因素
路線條件	<ul style="list-style-type: none"> 站間軌道數目與運轉方式 站內軌道及月台佈置方式 站間距離 路線幾何條件 銜接點與折返點的配置 路線供電穩定度 路權型態 基地位置及配線
交通條件	<ul style="list-style-type: none"> 列車性能 <ul style="list-style-type: none"> — 列車牽引性能 — 煞車性能 — 最大速度 — 阻力係數 列車的組成 列車的交匯組成 列車的交匯組成 列車的交匯組成 停站時間與停站型態 車輛設計 <ul style="list-style-type: none"> — 車輛的尺寸 — 樓地板面積及高度 — 座位的比例與安排方式 — 車門大小及配置 可用列車數
控制條件	<ul style="list-style-type: none"> 列車控制方式 閉塞制度的種類 辦理閉塞的方式 閉塞站址的配置方式 閉塞區間長度 路口號誌設計

27

28

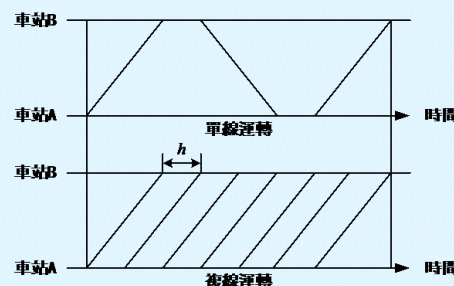
3.1 影響運轉時隔的因素

3.1.1 路線條件

站間運轉方式對運轉時隔的影響

▶ 3.1.1 路線條件

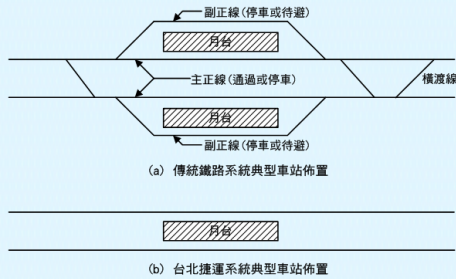
- 站間軌道數與運轉方式
- 站內軌道及月台佈置方式
- 站間距離
- 路線幾何條件
- 折返點銜接點的配置
- 路線供電條件
- 路權型態



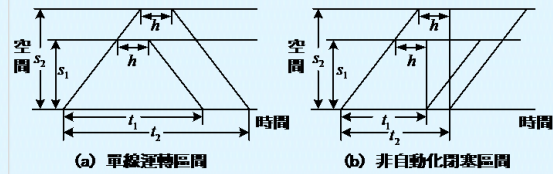
29

30

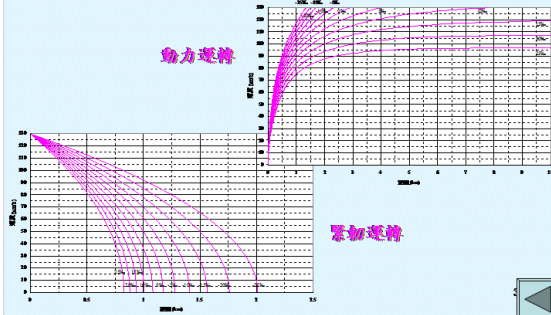
3.1.1 路線條件 車站內軌道及月台佈置



3.1.1 路線條件 站間距離對運轉時隔的影響



3.1.1 路線條件 路線幾何條件對運轉速度的影響

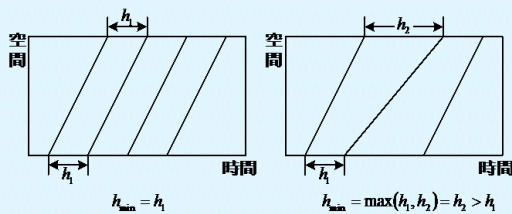


3.1 影響運轉時隔的因素

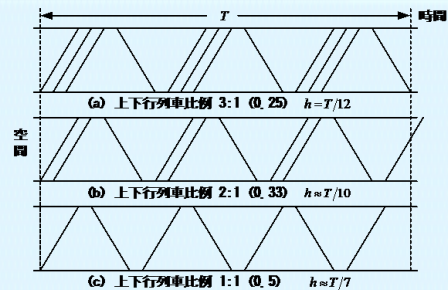
3.1.2 交通條件

- 列車設計性能 (牽引特性、煞車特性、阻力係數、列車載重、速度限制)
- 列車交通組成
- 列車的方向分布
- 停站方式與停站時間

3.1.2 交通條件 交通組成對運轉時隔的影響

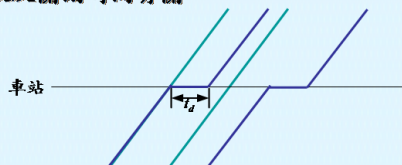


3.1.2 交通條件 方向分布對運轉時隔的影響



3.1.2 交通條件 停站時間對運轉時隔的影響

- ▶ 列車停站時間與旅客或貨物流量、車門多寡、大小、車廂地板與月台高度、車門開啟及關閉時間有關



3.1 影響列車運轉時隔的因素

3.1.3 控制條件

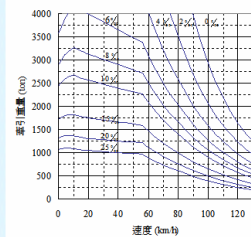
- 列車操控方式
 - 人工駕駛、號誌指示、自動列車控制
- 閉塞制度與辦理方式
 - 固定區間閉塞或移動區間閉塞
 - 人工辦理閉塞或自動閉塞
- 閉塞號誌的設置方式
 - 路側號誌或車上號誌、三時相或四時相
- 路口號誌的設計
 - 續進號誌與優先號誌

3.2 影響列車掛載車輛數的因素

- ▶ 列車性能及阻力係數
- ▶ 月台有效長及閉塞區間長度
- ▶ 可用車輛數

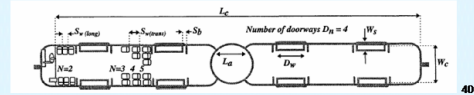
列車掛載數對容量的影響

- 掛載數愈多，列車容量愈高
- 掛載數愈多，均衡速度愈低



3.3 影響車廂容量的因素

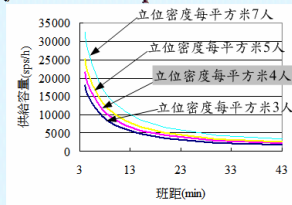
- ▶ 車廂的尺寸
- ▶ 空間運用方式—單層 vs. 雙層
- ▶ 樓地板淨面積
- ▶ 座椅配置方式—集中 vs. 分散
- ▶ 座位/站位的比例



3.3 影響車廂容量的因素

- ▶ 舒適因子(乘載水準)

- 座位約為 $0.3 \sim 0.55 \text{ m}^2/\text{seat}$
- 站位約為 $0.15 \sim 0.20 \text{ m}^2/\text{space}$

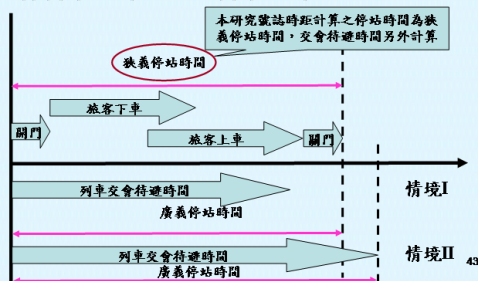


3.4 影響乘載變異因子的因素

- ▶ 旅客量—旅客量愈高，乘載變異愈小
- ▶ 班距變異—班距變異愈高，乘載變異愈高
- ▶ 車廂設計—有車間通道 vs. 無車間通道
- ▶ 車站配置—電梯、電扶梯、樓梯的位置
- ▶ 列車車門數目及大小
 - 車門愈多愈大，乘載變異愈小
- ▶ 特殊功能車廂
 - 餐車、禁用手機、殘障座位車廂

3.5 影響列車停站時間的因素

- ▶ 廣義停站時間與狹義停站時間



3.5 影響列車停站時間的因素

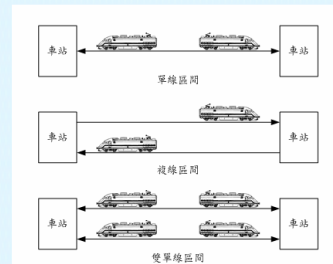
- ▶ 停站時間影響因素
 - 旅客上下車時間
 - 最小運轉時隔
 - 車門開關時間
 - 車站內可用軌道數
 - 列車轉乘因素
 - 列車折返整備作業時間
 - 列車更換機車頭或摘掛作業
- 旅客上下車人數
- 列車車門數目、寬度、開啟方式
- 車廂內部座椅配置
- 車廂地板與月台高差
- 旅客特性
- 車廂內已乘載旅客數
- 旅客性別年齡與對系統熟悉度
- 月台上候車旅客數
- 服務班距

肆、軌道列車控制與號誌系統

- ▶ 4.1 路線軌道數與運轉方式
- ▶ 4.2 列車的運轉操控方式
- ▶ 4.3 閉塞制度的基本概念
- ▶ 4.4 固定區間閉塞號誌系統
- ▶ 4.5 移動區間閉塞號誌系統

4.1 路線軌道數與運轉方式

- ▶ 單線運轉與複線運轉



4.2 列車的運轉操控方式

- ▶ **手動/目視駕駛**
 - 例如LRT
 - 安全性低
- ▶ **手動/號誌指示**
 - 例如台鐵
 - 可加裝ATS、ATW、ATP等主動式號誌控制
- ▶ **自動列車控制**
 - 含ATS、ATP、ATO



47

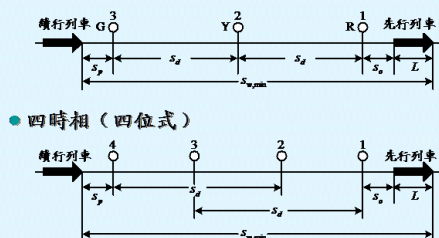
4.3 閉塞制度的基本概念

- ### ▶ 隔時法 vs. 隔地法
- 早期用隔時法，目前用隔地法
 - 隔地法係利用號誌系統來控制列車的行車間距
 - 依隔地法的概念發展出「固定閉塞區間」與「移動閉塞區間」兩種制度
 - 容量分析時，必須將空間間隔轉換為時間間隔

48

4.4 固定區間閉塞號誌系統

- 三時相（三位式）



49

4.4 固定區間閉塞號誌系統

- ### ► 固定閉塞號誌的顯示相位及意義

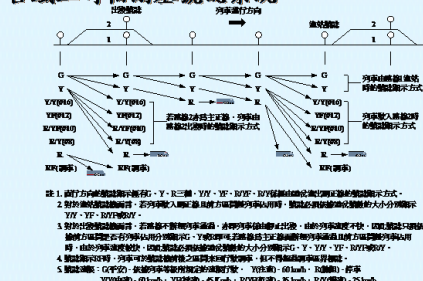
相位	閉塞區間的最短長度	全速運轉時的最小列車間隔	號誌顯示內容
二時相	$> s_b$	一個閉塞區間	平安 (G)、險阻 (R)
三時相	s_b	二個閉塞區間 或 $2s_b$	平安 (G)、注意 (Y) 險阻 (R)
四時相	$s_b/2$	三個閉塞區間 或 $3s_b/2$	平安 (G)、警戒 (YY) 注意 (Y)、險阻 (R)
五時相	$s_b/3$	四個閉塞區間 或 $4s_b/3$	平安、警戒、注意、減速、險阻
n 時相	$s_b/(n-2)$	$(n-1)$ 閉塞區間 或 $(n-1)s_b/(n-2)$	警戒 (Preiminary Caution or Advance Approach)、平安 (Clear)

附注：險阻 (Danger or Stop)、減速 (Slow)、注意 (Caution or Approach)。

附註：險阻(Danger or Stop)、減速(Slow)、注意(Caution or Approach)、
警戒(Preliminary Caution or Advance Approach)、平安(Clear)⁵

4.4 固定區間閉塞號誌系統

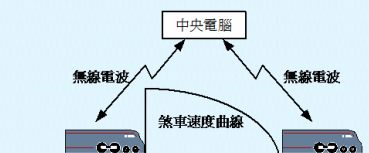
- ### ► 台鐵三時相閉塞號誌系統



51

4.5 移動區間閉塞號誌系統

- ▶ 不存在實體的閉塞區間
- ▶ 以通訊為基礎的閉塞號誌系統
- ▶ 根據前後車的位置、速度、路線條件，計算列車的煞車距離，使列車保持安全間距



52

伍、軌道容量分析的基本理論

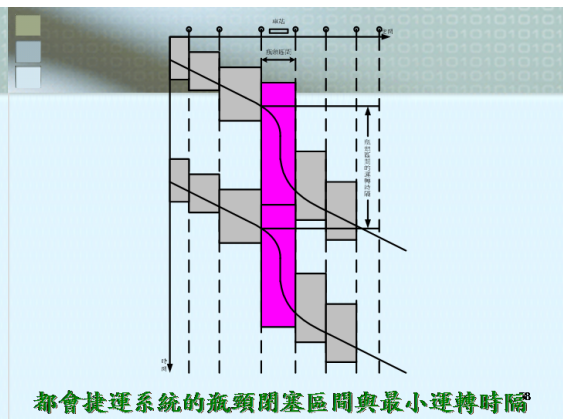
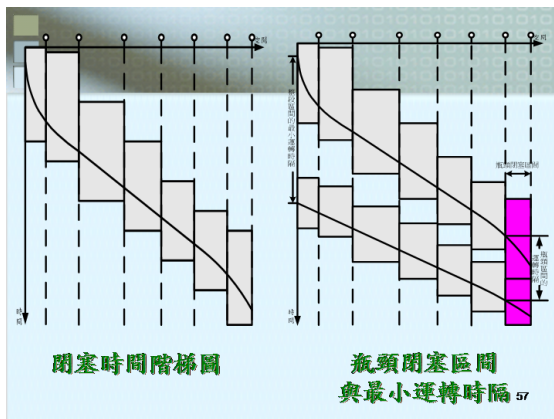
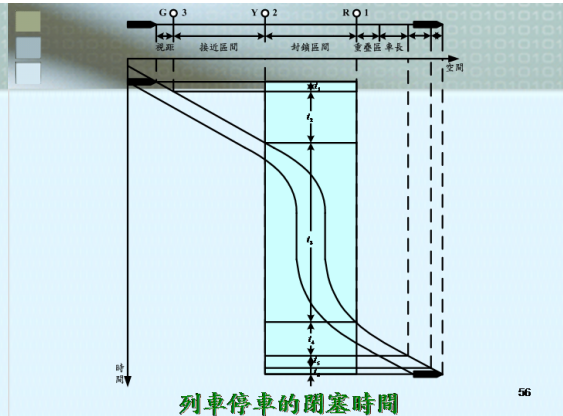
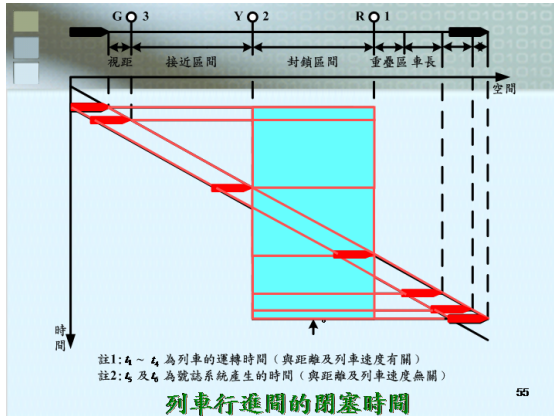
- 5.1 閉塞時間與運轉時隔
- 5.2 等候理論與列車延滯
- 5.3 容量分析的注意事項

53

5.1 閉塞時間與運轉時隔

- ▶ **閉塞時間 (Blocking Time)**
 - 淨空並封鎖**閉塞區間**，專供某一**列車**通行的時間
 - 允許某一列車通行，直到允許下一列車通行所經過的時間
- ▶ **運轉時隔 (Headway)**
 - 兩連續列車通過同地點的運轉時間間隔
 - **閉塞時間並非運轉時隔!**

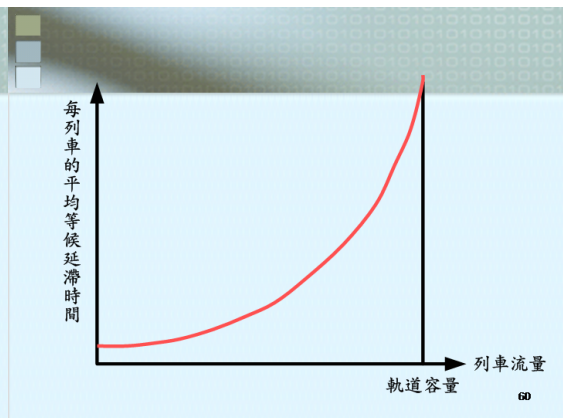
54



5.2 等候理論與列車延滯

▶ 列車延滯

- 列車在軌道上運行的原理與等候理論類似
 - 列車 → 顧客 (Customers)
 - 月台及軌道 → 伺服器 (Servers)
 - 列車調度的規則 → 等候規則 (Queuing Discipline)
- 依等候理論，到達率接近於服務率時，平均等候時間 (延滯) 會趨近於無窮大



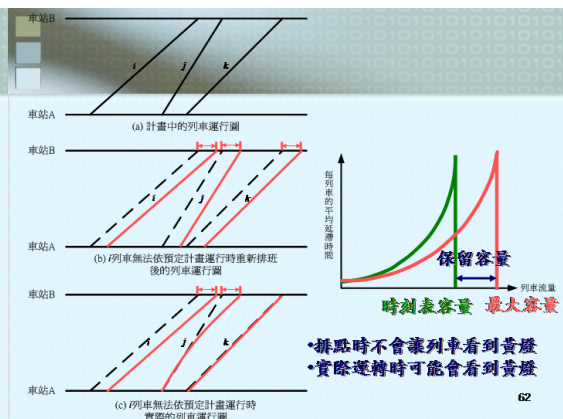
5.2 等候理論與列車延滯

▶ 列車延滯包括兩種型態

- 排點的交會待避延滯，通常發生在車站或號誌站
- 列車實際運行延滯，發生在列車運轉中途

▶ 列車延滯與軌道容量

- 排點的延滯會大於實際運行的延滯
- 考慮排點延滯所求的容量為「時刻表容量」；考慮實際運行延滯所求得的為「最大容量」，兩者之差為「保留容量」



5.3 容量分析的注意事項

- ▶ 軌道容量並非單一固定的數值，而是隨運轉條件而變
- ▶ 最大容量比較偏向理論的探討，實務上應以時刻表容量為主要研究對象
- ▶ 最大容量必須以模擬模式求解，以解析模式求解的軌道容量通常為時刻表容量
- ▶ 時刻表容量與服務水準有權衡取捨 (Trade off) 的關係

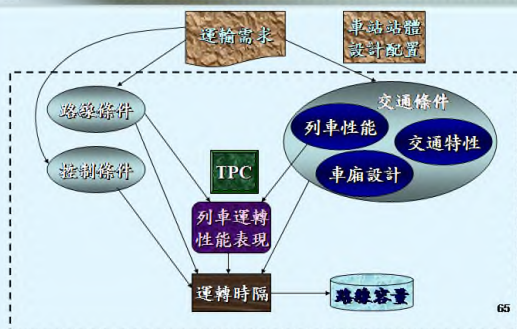
63

陸、軌道容量的基本分析架構

- ▶ 6.1 以列車為客體單位
- ▶ 6.2 以旅客為客體單位
- ▶ 6.3 運轉時隔的組成

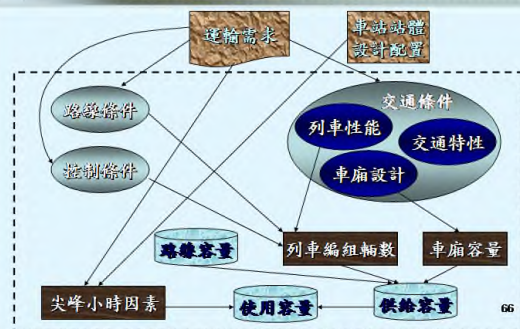
64

6.1 以列車為客體單位



65

6.2 以旅客為客體單位

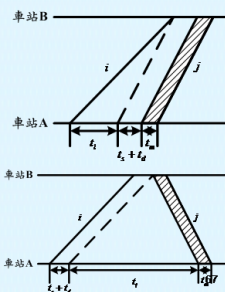


66

6.3 運轉時隔的組成

- ▶ 號誌安全時距
- ▶ 停站時間
- ▶ 交會待避損失時間
- ▶ 運轉寬裕時間

$$h = t_s + t_d + t_l + t_m$$



68

6.3 運轉時隔的組成

運轉條件		運轉時隔公式
車種組成	路線條件	
車種不一致	站內無副正線	$h = t_s + t_d + t_l + t_m$
車種不一致	站內有副正線	$h = t_s + t_l + t_m$
車種一致	站內無副正線	$h = t_s + t_d + t_m$
車種一致	站內有副正線	$h = t_s + t_m$

陸、軌道容量分析的應用範疇

- ▶ 規劃階段
 - 根據運輸需求以及預期的服務水準，概略評估軌道系統應備的設施數量或採取的運轉策略
- ▶ 設計階段
 - 依據設計參數，評估滿足服務水準的設備數量，以及評估設計參數改變對容量的影響
- ▶ 營運階段
 - 根據既有的設施與運轉條件，評估系統的服務績效，找出須改善的區段，並校估容量分析所需的參數

69

問題與討論



70

都會捷運系統 軌道容量分析模式

簡報人：鍾志成

98/10/29



交通部運輸研究所



財團法人中興工程顧問社

課程大綱

- ▶ 壹、我國的都會捷運系統
- ▶ 貳、都會捷運的系統特性
- ▶ 參、容量分析的基本概念
- ▶ 肆、行車控制與號誌系統
- ▶ 伍、捷運系統軌道容量分析架構
- ▶ 陸、捷運系統軌道容量分析步驟



2

壹、我國的都會捷運系統

▶ 台北捷運系統

- 中運量系統
- 高運量系統

▶ 高雄捷運系統

- 高運量系統

▶ 台中捷運系統

- 中運量系統



桃園機場捷運不是都會捷運系統，其營運模式比較像台鐵

3

貳、都會捷運的系統特性

▶ 路線條件

- 絕大部分的區間均為雙線區間，採用複線運轉
- 車站內通常上下行僅有一股軌道
- 端末車站附近會配備橫渡線供列車折返
 - 島式月台通常配置站前橫渡線供列車折返
 - 側式月台則通常為站後折返
- 站間距離較短，平均站距約1公里
- 採用A型路權

4

貳、都會捷運的系統特性

▶ 交通條件

- 目前國內高運量捷運系統的最高營運速度為80 km/h，台北中運量則為70 km/h
- 列車性能相近，加減速性能可達1.0 m/s²以上
- 通常採用站站皆停的營運模式
- 車廂內大多以站位為主，座位較少
- 目前除了文湖線捷運系統之外，高運量捷運系統的每節車廂之間均有聯通道（Gangway）
- 捷運列車的車廂地板與月台同高

5

貳、都會捷運的系統特性

▶ 控制條件

- 皆配備自動列車控制系統（ATC），常態運轉下採全自動駕駛
- 配備車載號誌（Cab Signal）為主
- 閉塞制度
 - 移動區間閉塞制—文湖線中運量系統
 - 固定區間閉塞制—臺北高運量及高雄捷運系統
- 配備列車自動保護系統（ATP）
 - Step Speed（臺北高運量）
 - Distance to Go（高雄捷運系統及台北中運量系統）

6

參、容量分析的基本概念

▶ 容量計算的時間單位

- 以小時為計算單位

▶ 容量計算的客體單位

- 列車
- 旅客——通常以旅客為主，用以評估運輸能力

▶ 捷運列車運轉時隔的組成

$$h = t_s + t_d + t_m$$

號誌安全時距 列車停等時間 運轉寬裕時間

7

參、容量分析的基本概念

▶ 容量計算的空間參考點

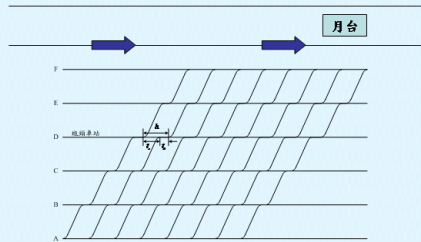
- 最繁忙的中間車站
- 端末折返車站（Terminal Station）
- 路線的銜接點（Junction）

8

參、容量分析的基本概念

▶ 容量計算的空間參考點

● 最繁忙的中間車站

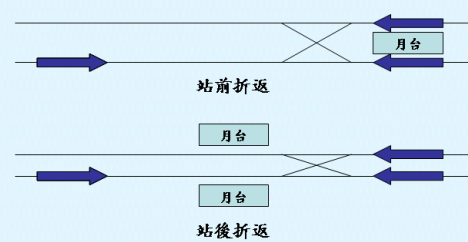


9

參、容量分析的基本概念

▶ 容量計算的空間參考點

● 端末折返車站 (Terminal Station)

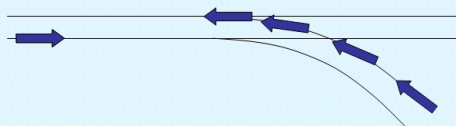


10

參、容量分析的基本概念

▶ 容量計算的空間參考點

● 路線的銜接點 (Junction)



11

肆、行車控制與號誌系統

▶ 4.1 都會捷運號誌系統簡介

▶ 4.2 固定區間閉塞配備速度碼系統

▶ 4.3 固定區間閉塞配備距離碼系統

▶ 4.4 移動區間閉塞配備距離碼系統

12

4.1 都會捷運號誌系統簡介

▶ 捷運列車位置的偵測

● 軌道電路

- 固定區間閉塞系統使用軌道電路來偵測列車位置
- 台北高運量捷運以及高雄捷運系統採用軌道電路

● 無線通訊 (CBTC)

- 移動區間閉塞系統使用無線通訊來偵測列車位置
- 台北中運量系統採用無線通訊

— 可行的技術

- ※ 全球衛星定位系統 (GPS Technology)
- ※ 根據車軸轉動次數配合Baillises來校正列車的位置

13

4.1 都會捷運號誌系統簡介

▶ 捷運系統的列車自動防護

● 速限資訊的傳遞方式

- 編碼軌道電路 (Coded Track Circuit)
- 導纜傳輸 (Conductor Cable)
- 無線通訊 (Radio Transmission)

● 列車速度的保護方式

- 速度碼系統—僅用在固定區間閉塞系統
- 距離碼系統—可用在固定區間閉塞系統或移動區間閉塞系統

14

4.1 都會捷運號誌系統簡介

▶ 閉塞制度、列車偵測、列車防護的組合

閉塞制度	位置偵測	列車防護
固定區間閉塞	軌道電路	速度碼
固定區間閉塞	軌道電路	距離碼
移動區間閉塞	無線通訊	距離碼

15

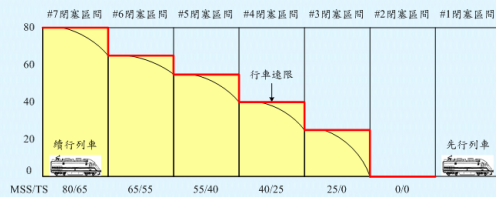
4.2 固定區間閉塞配備速度碼系統

▶ 系統特性

- 列車持續接受ATP的訊號，並根據前車的位置產生後續每一個閉塞區間的速度碼來監控後車的速度
- 每一個閉塞區間的速度限制成階梯式遞減
- 停車區間與先行列車之間通常會間隔一個安全重疊區間 (Overlap)，以確保安全
- 速度碼的資訊
 - 列車所在閉塞區間的最大安全速度 (MSS)
 - 下一個閉塞區間的目標速度 (TS)

16

4.2 固定區間閉塞配備速度碼系統



固定區間閉塞速度碼ATP的運作範例

17

4.2 固定區間閉塞配備速度碼系統

►運作方式

- 當列車的實際速度>目標速度時，車載電腦會自動啟動緊急煞車

►評論

- 以階梯式的速限監控列車的運行，列車從全速區間至重疊區間（或0速區間，0 Speed Code）的距離，遠較列車全速運轉至煞停所需的距離較長
- 重疊區間的設計會導致路線容量的降低

18

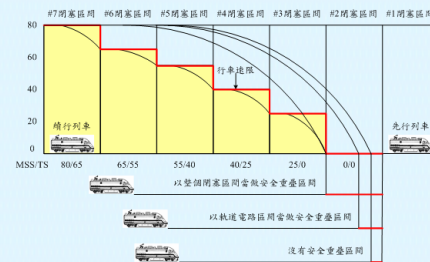
4.3 固定區間閉塞配備距離碼系統

►系統特性

- 為了改善階梯式速度碼系統中列車間距較長的缺點，以增加路線容量所發展出來的列車自動防護系統
- 列車從正常速度區間至停車區間之間的目標速度是連續遞減曲線，而非階梯式的曲線
- 為了確保行車安全，列車絕對不可冒進號誌，因此必須隨時監控列車的速度，比對預先計算好的煞車曲線，以確保列車不超速行駛
- 此種速度監控模式又稱為動態速度曲線（Dynamic Speed Profile）或距離碼系統（Distance-to-Go ATP System），為較先進的系統所採用

19

4.3 固定區間閉塞配備距離碼系統



Distance-to-Go可以消除階梯式速限控制的列車間距 20

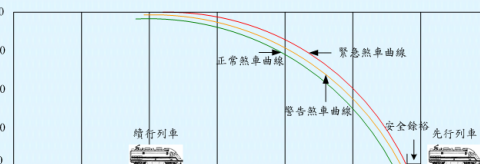
4.3 固定區間閉塞配備距離碼系統

►運作方式

- 煞車曲線通常有三條，分別為正常曲線、警告曲線及緊急曲線
 - 正常曲線—司機員看到目標速度降低之後，所應採取減速行動的煞車曲線
 - 警告曲線—依照正常服務減速度所計算出來的煞車曲線，若司機員未依指示減速，導致列車實際速度大於警告曲線的速度時，車載電腦會發出警告
 - 緊急曲線—依照緊急煞車減速度所計算出來的煞車曲線，若司機員仍未採取行動，以致列車速度超過緊急曲線的速度時，車載電腦會立即啟動緊急煞車

21

4.3 固定區間閉塞配備距離碼系統



距離碼系統的煞車監控方式

22

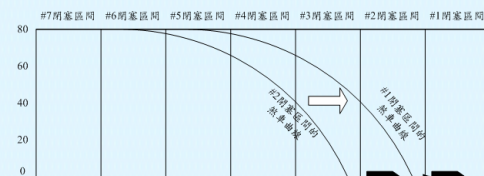
4.3 固定區間閉塞配備距離碼系統

►評論

- 距離碼系統可以縮短列車間距而提高路線容量
- 許多系統即使採用動態速度曲線控制，仍會保留安全重疊區間的設計（特別是美國），因此效果會打折扣
- 除非前方列車進入下一個閉塞區間，否則煞車曲線的監控並不會隨著前方列車的行進時而移動，若要進一步縮短列車的間距，則須採用移動區間閉塞制

23

4.3 固定區間閉塞配備距離碼系統



距離碼系統的煞車曲線是跳躍式的移動

24

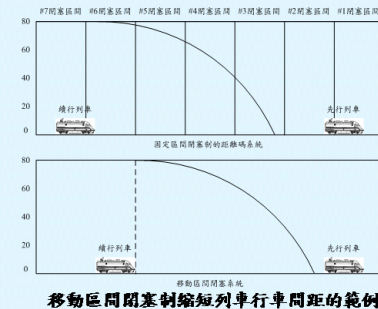
4.4 移動區間閉塞配備距離碼系統

►系統特性

- 利用無線通訊來偵測列車的位置
- 利用無線通訊來傳輸列車速限與控制的指令
- 配備距離碼的列車自動保護系統
- 不存在實體的閉塞區間，而是根據列車的位置產生虛擬的區間，並隨著列車的運行而移動
- 根據先行列車的位置、續行列車的速度、路線條件，計算續行列車的煞車距離，使其保持安全間距
- 列車煞車曲線係連續的移動而非跳躍式的移動

25

4.4 移動區間閉塞配備距離碼系統



26

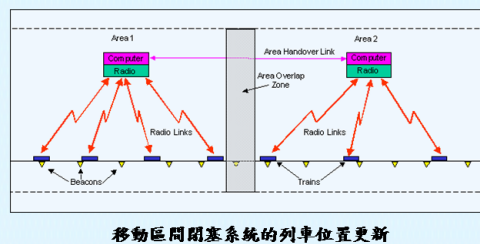
4.4 移動區間閉塞配備距離碼系統

►運作方式

- 整條路線區分為許多區域，每一個區域有個別的控制系統及控制電腦
- 列車將識別碼、位置、運行方向及速度等訊息，根據預定的時間間隔以無線通訊傳送給無線控制中心
- 無線控制中心的電腦會將先行列車的位置資訊，透過無線通訊傳送給後續列車，計算最佳的運行速度或煞車距離
- 當列車從一個區域進入另一個區域時，該區域的控制電腦會透過無線通訊聯繫另一個區域的控制電腦，同時告知列車更改通訊碼以便與第二個區域的控制電腦進行通訊
- 為了達到故障安全之要求，當通訊系統中斷或列車受干擾而無法收到訊號時，列車將緊急煞車

27

4.4 移動區間閉塞配備距離碼系統



28

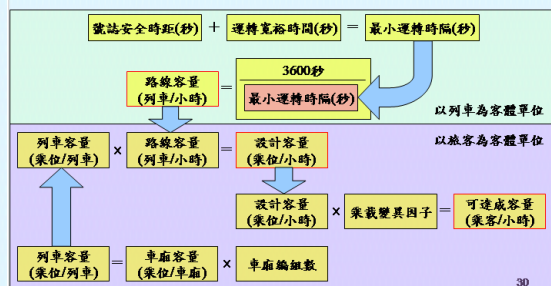
4.4 移動區間閉塞配備距離碼系統

►評論

- 相對於固定區間閉塞號誌系統，移動區間閉塞系統可縮短列車之間隔進而提升軌道容量
- 移動區間閉塞號誌系統可以減少路側的設備數量，故可降低設置及維護成本
- 路線容量主要是受限在停站時間以及終點站折返，而非在運轉中途，因此除非在停站時間短、旅客量少的情况下，移動區間閉塞制並無法帶來太多的改善
- 許多營運業者在採購規範移動區間閉塞系統時，仍要求設置固定閉塞的軌道電路以便能夠偵測斷軌並作為備援使用，則移動閉塞系統降低成本的效果將不存在

29

伍、捷運系統軌道容量分析架構



30

陸、捷運系統軌道容量分析步驟

- 6.1 找出可能的瓶頸
- 6.2 準備各項參數
- 6.3 計算號誌安全時距
- 6.4 決定運轉寬裕時間
- 6.5 計算最小運轉時隔
- 6.6 計算路線容量
- 6.7 計算車廂容量
- 6.8 計算列車容量
- 6.9 計算設計容量
- 6.10 計算可達成容量



31

6.1 找出可能的瓶頸

►最繁忙的車站

- 通常是在路線的轉乘車站，例如台北捷運的台北車站、忠孝復興站，高雄捷運的美麗島站

►末端車站

- 路線端點列車折返的車站，例如台北捷運板南線的水宰站、昆陽站，高雄捷運的大寮站

►銜接點

- 路線平面交叉的地方



32

6.2 準備各項參數

▶ 路線資料

- 橫渡線型式、位置、長度、路線坡度……

▶ 交通資料

- 列車長度、加減速性能、巡航速度、車廂座位數、立位面積、乘載水準……

▶ 控制資料

- 號誌連鎖時間、間隔安全係數、橫渡線的限制、號誌及列車控制的反應時間……



33

6.3 計算號誌安全時距

▶ 6.3.1 中間站

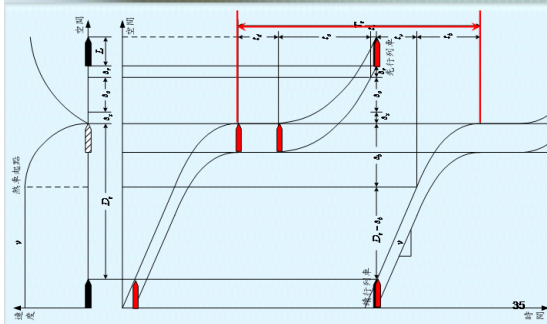
▶ 6.3.2 折返站

- 6.3.2.1 站前折返—使用同一股道
- 6.3.2.2 站前折返—使用不同股道
- 6.3.2.3 站後折返—使用同一股道
- 6.3.2.4 站後折返—使用不同股道
- 6.3.2.5 站後折返—使用中央避車線

▶ 6.3.3 銜接點

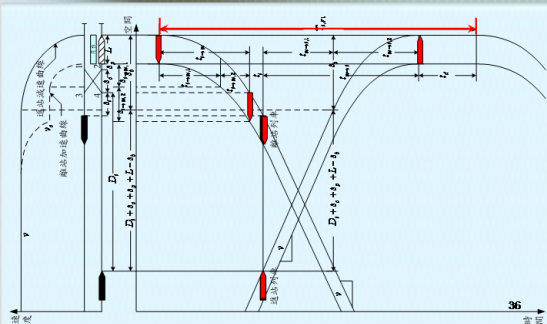
34

6.3.1 中間站



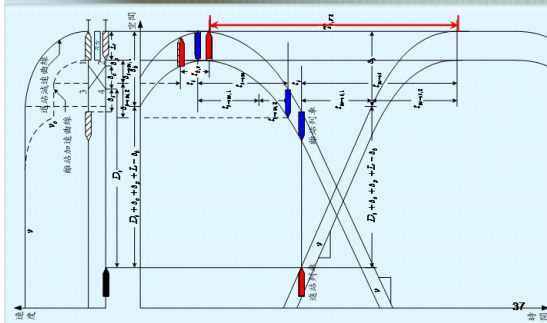
35

6.3.2.1 站前折返—使用同一股道



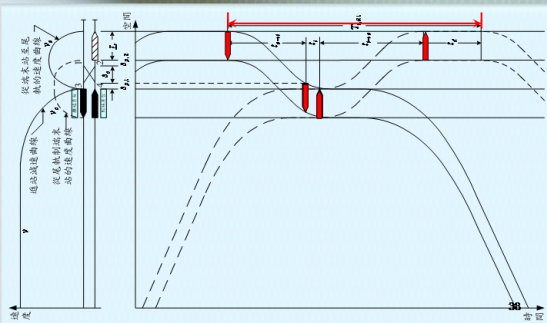
36

6.3.2.2 站前折返—使用不同股道



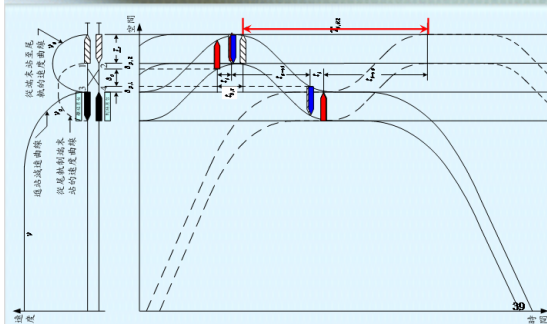
37

6.3.2.3 站後折返—使用同一股道



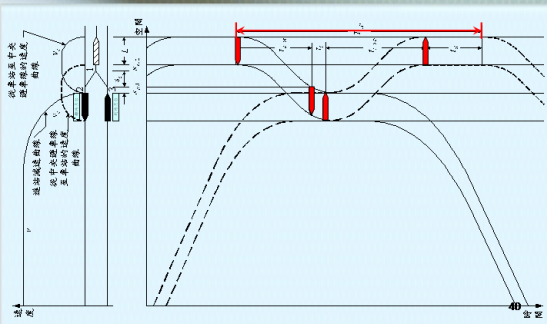
38

6.3.2.4 站後折返—使用不同股道



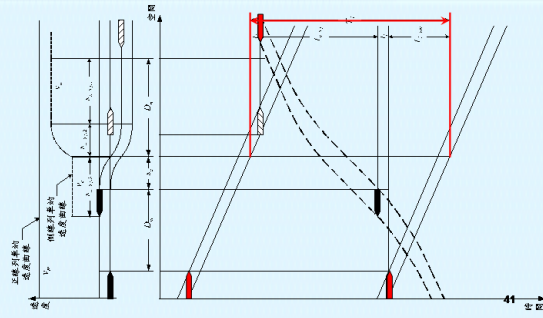
39

6.3.2.5 站後折返—使用中央避車線

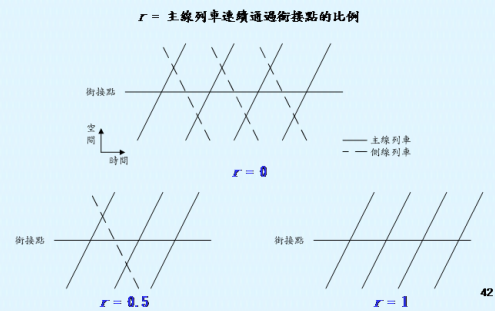


40

6.3.3 銜接點



6.3.3 銜接點



6.4 決定運轉寬裕時間

▶ 運轉寬裕時間的概念

- 號誌顯示、停車時間及列車運轉過程為隨機程序，不可能完全依原定計畫運作
- 保留運轉寬裕時間以備趕點的時間
- 計算容量所使用的運轉時隔必須能夠涵蓋大部分的情況

$$t_m = \beta \cdot t_s$$

式中： t_m = 運轉寬裕時間 (s)

β = 運轉寬裕時間係數

t_s = 號誌安全時距 (s)

43

6.5 計算最小運轉時隔

▶ 最小運轉時隔包括

- 號誌安全時距
- 運轉寬裕時間

$$h = t_s + t_m = (1 + \beta)t_s$$

式中： h = 最小運轉時隔 (s)

t_s = 號誌安全時距 (s)

t_m = 運轉寬裕時間 (s)

β = 運轉寬裕時間係數

44

6.6 計算路線容量

▶ 將1小時 (3600秒) 除以最小運轉時隔

$$C_l = \frac{3600}{h}$$

式中： C_l = 路線容量 (TU/h)

45

6.7 計算車廂容量

▶ 車廂容量包括座位和立位

$$c_v = n_s + (D_s \times A_v)$$

式中： c_v = 車廂容量 (sps/veh)

n_s = 車廂座位數 (sps/veh)

D_s = 乘載水準，即立位密度 (sps/m²)

A_v = 車廂可供旅客站立用之空間 (m²/veh)

46

6.8 計算列車容量

▶ 列車容量為所有車廂容量的總和

$$c_t = \sum_{i=1}^{n_t} c_{v_i} = \sum_{j=1}^{m_t} (c_{v_j} \times n_{v_j})$$

式中： c_t = 列車容量 (sps/TU)

n_t = 整列車客車車廂的編組總數

c_{v_i} = 列車中第 i 節客車車廂容量 (sps/veh)

m_t = 整列車客車車廂類型數

c_{v_j} = 列車中第 j 種客車型式之車廂容量 (sps/veh)

n_{v_j} = 列車中第 j 種客車車廂之編組總數

47

6.9 計算設計容量

▶ 設計容量為路線容量與列車容量的乘積

$$C_o = C_l \times c_t$$

式中： C_o = 設計容量 (sps/h)

c_t = 列車容量 (sps/TU)

48

6.10 計算可達成容量

► 可達成容量必須考慮乘載變異因子

$$C_u = \rho_d C_o$$

式中： C_u =可達成容量 (prs/h)

ρ_d =列車間乘載變異因子

49

問題與討論



50

都會捷運系統 軌道容量分析程式

簡報人：黃笙琰

98/10/29

交通部運輸研究所

財團法人中興工程顧問社

課程大綱

- ▶ 壹、軟體特色
- ▶ 貳、系統需求
- ▶ 參、安裝與移除
- ▶ 肆、路線容量分析模組
- ▶ 伍、運轉規劃分析模組



2

壹、軟體特色

- ▶ 考量多種空間參考點
- ▶ 敏感度分析
- ▶ 運轉規劃分析
- ▶ 預設參數
- ▶ 參數合理性檢查



3

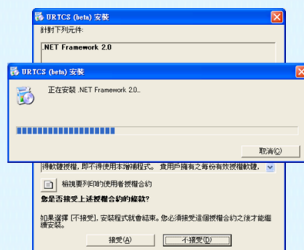
貳、系統需求

- ▶ 桌上型個人電腦或筆記型個人電腦
- ▶ Intel Pentium或其他x86架構相容處理器
- ▶ 64MB 以上記憶體
- ▶ 30MB 以上硬碟剩餘空間
- ▶ 具備鍵盤、滑鼠等輸入裝置
- ▶ 安裝程式之媒介可為網路、光碟機或USB裝置
- ▶ Microsoft Windows NT/2000/XP/Vista作業系統
- ▶ .NET Framework 2.0

4

參、安裝與移除

▶ 安裝.NET Framework 2.0

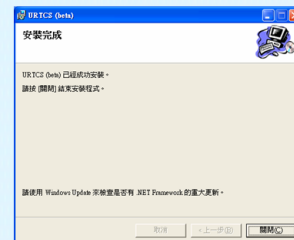


5

參、安裝與移除

▶ 安裝程序

- 執行setup
- 接受授權合約
- 輸入客戶資訊
- 選擇安裝路徑
- 確認安裝



6

參、安裝與移除

▶ 移除程序

- 執行【控制台】中的【新增/移除程式】
- 確認移除程式



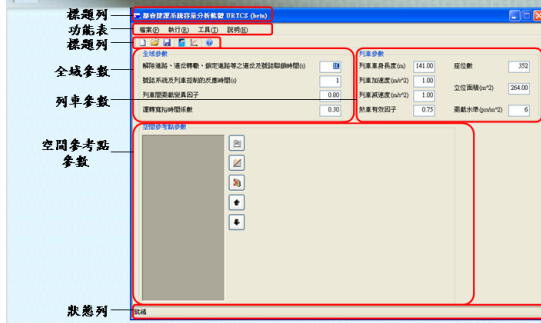
肆、路線容量分析模組

- ▶ 4.1 操作環境
- ▶ 4.2 檔案管理
- ▶ 4.3 設定全域參數
- ▶ 4.4 設定列車參數
- ▶ 4.5 設定空間參考點參數
- ▶ 4.6 分析計算
- ▶ 4.7 輸出結果
- ▶ 4.8 偏好設定



8

4.1 操作環境



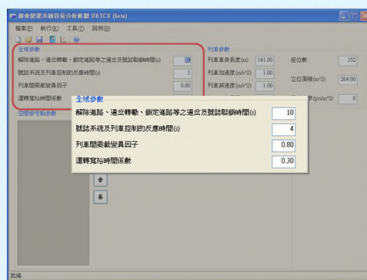
4.2 檔案管理

- ▶ 新增檔案
- ▶ 儲存檔案
- ▶ 開啟檔案



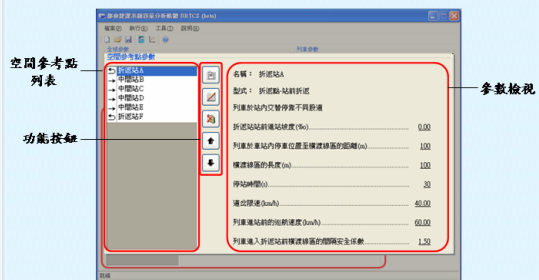
10

4.3 設定全域參數



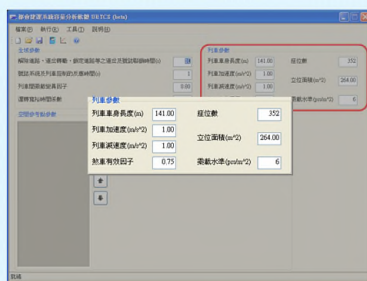
11

4.3 設定空間參考點參數



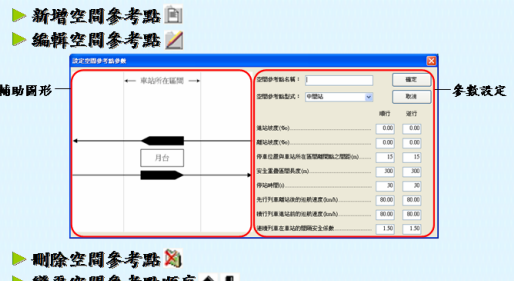
13

4.3 設定列車參數



12

4.3 設定空間參考點參數



14

實際演練

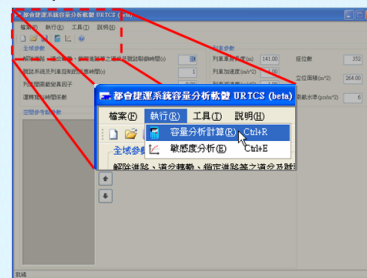
- ▶ 設定全域參數
- ▶ 設定列車參數
- ▶ 設定空間參考點參數



15

4.6 分析計算

- ▶ 容量分析



16

4.6 分析計算

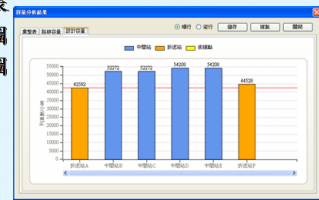
▶ 容量分析結果



4.6 分析計算

▶ 容量分析結果

- 容量分析彙整表
- 路線容量直方圖
- 設計容量直方圖



18

實際演練

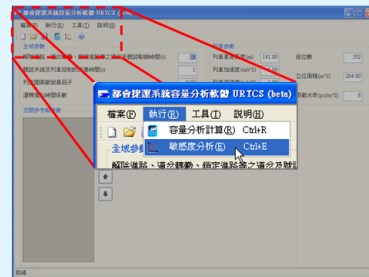
- ▶ 進行容量分析
- ▶ 檢視分析結果



19

4.6 分析計算

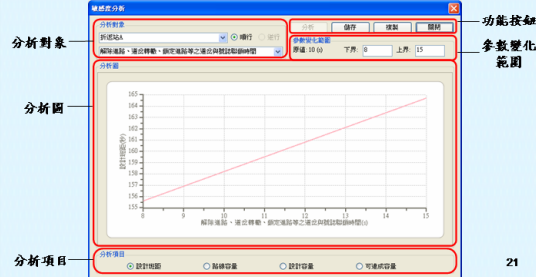
▶ 敏感度分析



20

4.6 分析計算

▶ 敏感度分析



21

實際演練

- ▶ 選擇不同分析對象和分析項目
- ▶ 設定參數變化範圍
- ▶ 進行敏感度分析
- ▶ 檢視分析結果



22

4.7 輸出結果

▶ 輸出容量分析結果

- 文字檔 (.csv)
- 圖檔 (.bmp | .wmf)
- 剪貼簿

▶ 輸出敏感度分析結果

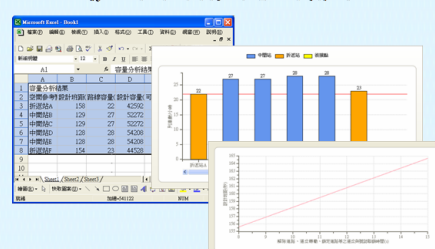
- 圖檔 (.bmp | .wmf)
- 剪貼簿



23

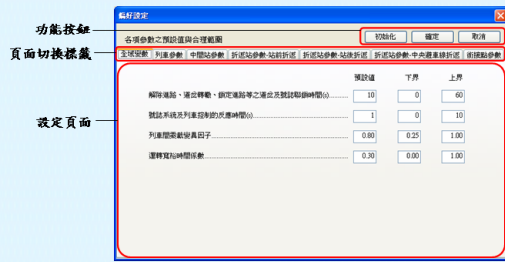
實際演練

▶ 嘗試各種檔案類型的輸出



24

4.8 偏好設定



25

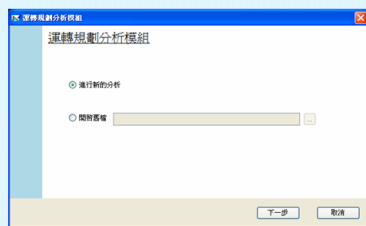
伍、運轉規劃分析模組

- ▶ 5.1 操作環境
- ▶ 5.2 進行新分析
- ▶ 5.3 開啟舊檔



26

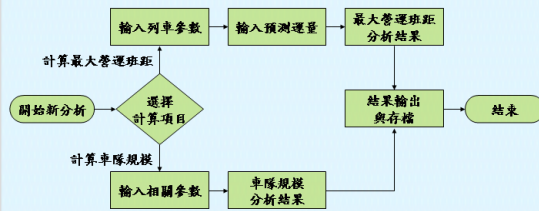
5.1 操作環境



27

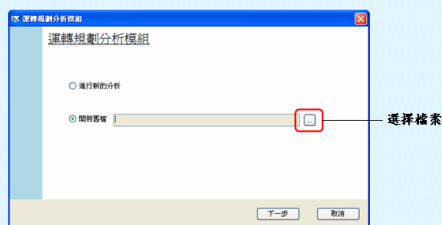
5.2 進行新分析

▶ 整體操作流程



28

5.3 開啟舊檔



29

實際演練

- ▶ 計算最大營運班距
- ▶ 計算車隊規模
- ▶ 輸出和儲存分析結果



30

問題與討論



31

教學案例演練

案例一：

1. 問題描述

一個規劃中的捷運系統，以距離碼為其行車閉塞系統，其平均閉塞區間長度為 200 m，採用的列車規格如表 1，預計於最繁忙車站的停站時間為 40 s，試問此系統之容量為何？

表 1 規劃中之捷運系統列車規格

項目	數據
列車車身長度	120 m
列車加速度	1 m/s ²
列車減速度	1 m/s ²
熱車有效因子	0.75
列車組成	每列車 6 節車廂
座位	每節車廂 40 個座位
立位面積	每節車廂 50 m ²
乘載水準	5 Pps/m ²
最高營運速度	80 km/h

1

2. 求解說明

根據列車規格資料，容量分析軟體列車參數設定如圖 1，其中座位數和立位面積為整列車之加總，因此分別為 240 個座位和 300 m²。

列車參數	
列車車身長(m)	120
座位數	240
列車加速度(m/s ²)	1.00
立位面積(m ²)	300
列車減速度(m/s ²)	1.00
熱車有效因子	0.75
乘載水準(people/m ²)	5

圖 1 列車參數之設定

由於最繁忙車站通常為系統之瓶頸，因此欲分析系統之設計班距，可以最繁忙車站作為分析的空間參考點。

依照案例之描述，尚未有進離站坡度，因此假設為 0。平均閉塞區間長度為 200 m，假設車站所在區間亦為 200 m，若列車停靠於正中央，則列車於車站內停車位置與車站所在區間離開點之距離為 40 m，如圖 2，而安全重疊區間通常為一個閉塞區間長。對於規劃中系統，列車巡迴速度可假設為最高營運速度。一般而言，距離碼系統的安全係數均在 1.0~1.2 之間，此案例採用 1.2 來做分析。有關最繁忙車站的各項參數設定資料如圖 3。

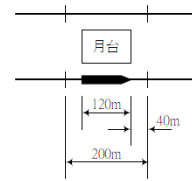


圖 2 列車於車站內停車位置與車站所在區間離開點之距離

2

空間參數名稱：	中區站	確定
空間參數類型：	中區站	取消
進站速度 (%)	0.00	0.00
離站速度 (%)	0.00	0.00
停車位置與車站所在區間離開點之距離(m)	40.00	40.00
安全重疊區間長度(m)	200.00	200.00
停站時間(s)	40	40
先行列車離站後之巡航速度(km/h)	60.00	60.00
續行列車進站時之巡航速度(km/h)	60.00	60.00
連續列車在車站的行程完全係數	1.20	1.20

圖 3 設定最繁忙車站參數

經由容量分析軟體計算後，結果如圖 4，此系統之設計班距為 126 s，路線容量為每小時 28 列車，設計容量為每小時 48,720 人，可達成容量為每小時 38,976 人。

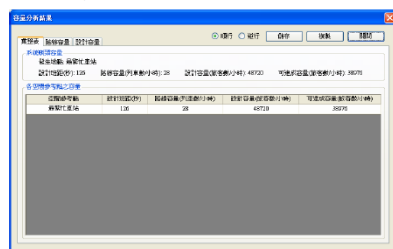


圖 4 容量分析結果

3

案例二：

1. 問題描述

欲分析一現有捷運系統折返站之容量，該系統的進倉轉轍及號誌聯鎖時間為 15 s，號誌系統及列車控制的反應時間為 1 s。營運列車的性能如表 2，其速度碼有 6 個位階，分別為 0、25、40、55、65、80 km/h。折返站的進站坡度為 0.5%，其附近的閉塞區間與進站如圖 5。列車於折返站停車位置至橫渡線區的距離為 15 m，停靠時間為 2.5 min。折返站前的進倉限速為 40 km/h。

表 2 捷運系統之列車性能

項目	數據
列車車身長度	140 m
列車加速度	1 m/s ²
列車減速度	1 m/s ²
熱車有效因子	0.75
全列車座位數	350
全列車立位面積	260 m ²
乘載水準	5 Pps/m ²

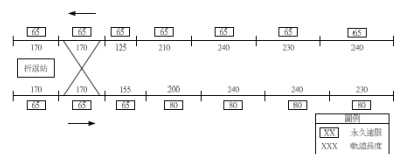


圖 5 捷運系統閉塞區間與永久速限圖

4

根據案例的描述和列車特性資料，容量分析軟體中的全域參數和列車參數設定如圖 6 和圖 7，其中由於描述中未提到列車間乘載變異因子和運轉寬裕時間係數，因此直接採用預設值。

全線發售	
解除進路、進路轉轍、變更進路等之進路及脱線等鎖時間(s)	15
號誌承認及列車發出的反應時間(s)	1
列車間兩秒後發車因子	0.80
還轉寫路時間乘數	0.30

列车身长度(m)	140	座位数	350
列车加速度(m/s^2)	1.00	立位面积(m^2)	260
列车加速度(m/s^2)	1.00		
热应力因子	0.75	采光水准(lx/m^2)	5

有關折返站之空間參考點參數設定如圖 8，在巡航速度方面，雖然列車最高營運速度可達 80 km/h，但從圖 5 可知，列車於折返站進站前所經過的各區間之速限皆為 65 km/h，所以其巡航速度僅能達到 65 km/h。

而在安全係數方面，因為在轉轍器及號誌尚未完成聯鎖設定列車
的進站路徑之前，列車不得進入聯鎖區，因此續行列車距離橫渡線至
少在一個安全熱車距離以外，在列車之巡航速度為 65 km/h 的情況
下，其最接近折返站前橫渡線區的位置如圖 9，透過下式可計算出安
全係數為 3.7。

$$Q = \frac{D_s \times 2K_s b}{v^2} = \frac{805 \times 2 \times 0.75 \times 1}{18.06^2} = 3.7 \quad (1)$$

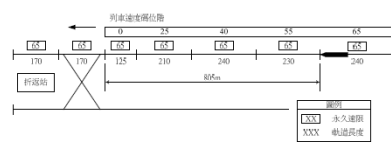
式中 Q = 安全係數

$$D_s = \text{安全煞車距離 (m)}$$
 K_s = 煞車有效因子 (decimal)

b = 列車服務減速度 (m/s^2)

 v = 列車巡航速度 (m/s)

您將在哪個位置保護：	<input type="text" value="系統磁碟"/>	<input type="button" value="確定"/>
您希望系統執行：	<input type="button" value="系統磁碟系統"/>	<input type="button" value="取消"/>
<input checked="" type="checkbox"/> 判斷磁碟內資料是否受到保護		
系統磁碟系統磁碟深度 (Mb)	500	
何處將系統內的所有位置主權保護系統的主權 (mb)	1500	
保護磁碟的長度 (mb)	17000	
掃描時間 (s)	150	
掃描速度 (Gb/s)	65.00	
判斷磁碟內的系統健康 (Gb/s)	65.00	
判斷磁碟內系統磁碟保護區內的所有安全狀態	3.70	



最後透過容量分析軟體計算，其結果如圖 10，此折返站之路線容量為每小時 20 列車，設計班距為 175 s，設計容量為每小時 33,000 人，可達成容量為每小時 26,400 人。

[illegible]

案例三：

1. 問題描述

在一現有捷運系統中，其路線如圖 11，其中 S13 為轉乘站，通常為系統之瓶頸，因此欲分析 S13 車站在南北之方向路線上的容量為何？

該系統以速度碼為其行車閉塞系統，分為 6 個位階：0、25、40、55、65、80 km/h，其列車性能如表 3。在 S13 車站的進離站坡度皆為 0，S12 至 S14 的閉塞區間與速限如圖 12。列車停站位置與車站所在區間的離開點之距離為 10 m，停站時間為 45 s。

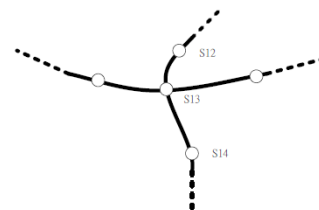


表 3 捷運系統之列車性能

項目	數據
列車車身長度	150 m
列車加速度	1 m/s ²
列車減速度	1 m/s ²
熱車有效因子	0.75
全列車座位數	350
全列車立位面積	270 m ²
乘載水準	5 Prs/m ²

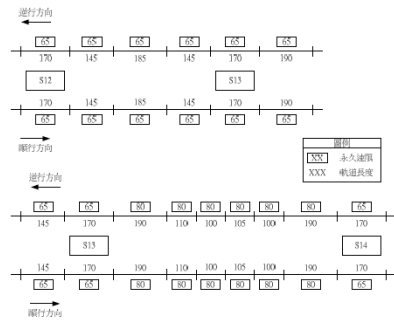


圖 12 捷運系統閉塞區間與永久速限圖

9

2. 求解說明

依照表 3 之列車特性資料設定容量分析軟體中的列車參數，如圖 13。

列車參數			
列車車身長度(m)	150.00	速度級	190
列車加速度(m/s ²)	1.00	空程減速(m/s ²)	270.00
列車減速度(m/s ²)	1.00	列車有效因子	0.75
列車座位數	350	乘載水準(pers/m ²)	5

圖 13 列車參數之設定

空間參考點參數的設定如圖 14，其中有關於巡迴速度和安全係數之計算，在順行方向，S12 至 S13 之間的永久速限為 65 km/h，但由於站距不足，列車於 S13 進站前的巡迴速度僅有 55 km/h，而在此情況下，列車最接近車站列車停靠點之位置如圖 15，透過案例二中的公式(1)可計算出安全係數為 1.32。S13 至 S14 區間之永久速限為 80 km/h，且站距夠長，因此列車於 S13 離站後的巡迴速度可達到 80 km/h。

空間參考點名稱	S13	確定
空間參考點類型	中間站	取消
進站速度(km/h)	0.00	0.00
離站速度(km/h)	0.00	0.00
停車位置與車站所在區間距離(m)	10.00	10.00
安全車身距離長度(m)	150.00	140.00
停站時間(s)	45	45
先行列車離站後的巡迴速度(km/h)	80.00	55.00
續行列車離站後的巡迴速度(km/h)	55.00	80.00
連續列車在車站的停留安全係數	1.32	1.70

圖 14 空間參考點參數之設定

10

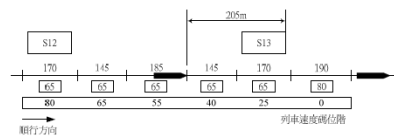


圖 15 順行方向列車最接近車站列車停靠點之位置

而逆行方向，列車於 S13 進站前的永久速限為 80 km/h，且站距夠長，因此巡迴速度可達到 80 km/h，而在此速度下，列車最接近車站列車停靠點之位置如圖 16，透過公式(1)可計算出安全係數為 1.7。列車於 S13 離站後的巡迴速度則受到站距的影響，僅有 55 km/h。

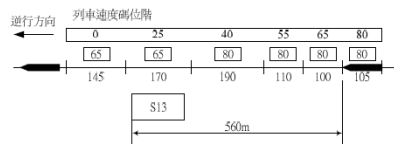


圖 16 逆行方向列車最接近車站列車停靠點之位置

最後程式計算出的結果如圖 17 和圖 18，順行方向之路線容量為每小時 29 列車，而逆行方向之路線容量為每小時 25 列車。

11

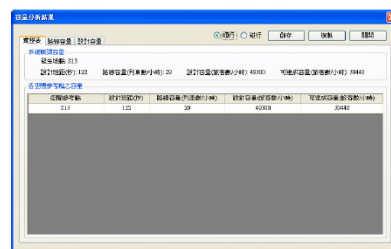


圖 17 順行方向之容量分析結果

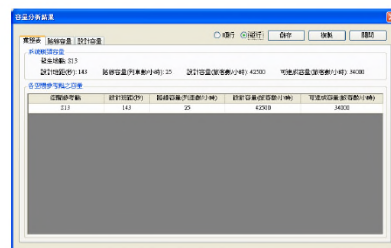


圖 18 逆行方向之容量分析結果

12

案例四：

1. 問題描述

承上題，若此捷運系統擬變更為移動閉塞區間制，且進一步提升列車加減速性能 10%，試問此改善方案對 S13 車站容量提升的效益為何？

2. 求解說明

採用移動閉塞區間可有效縮短列車的行車間距，續行列車透過熱車曲線和先行列車保持距離，此時安全係數可設為 1，由於不存在實體的閉塞區間，因此沒有安全重疊區間，所以若將系統改為移動閉塞區間制，則 S13 站的空間參考點可變更為如圖 19 所示。

空間參考點編號：	213	確定
空間參考點類型：	中車站	取消
	前行	延後
進站速度 (km/h)	0.00	0.00
離站速度 (km/h)	0.00	0.00
停車位置與車站所在區間距離 (m)	10.00	10.00
安全重疊區間長度 (m)	0.00	0.00
停站時間 (s)	40	40
先行列車離站時的加速度 (m/s ²)	0.00	55.00
續行列車進站時的減速度 (m/s ²)	55.00	80.00
連續列車在車站停留的安全係數	1.00	1.00

圖 19 設定空間參考點參數

在提升列車性能方面，若加減速性能提升 10%，則列車加速度和減速度參變更為 1.1 m/s^2 ，如圖 20。

列車參數	
列車車身長 (m)	150.00
列車加速度 (m/s ²)	1.1
列車減速度 (m/s ²)	1.1
列車有效因子	0.75
座位數	350
立位面積 (m ²)	270.00
乘客水準 (persons/m ²)	5

圖 20 設定列車參數

13

14

最後透過程式計算，順行方向之路線容量提升為每小時 34 列車，而逆行方向之路線容量則提升為每小時 31 列車，其改善效益分別為 17%和 24%。

案例五：

1. 問題描述

建造捷運系統通常分為數個階段興建營運，現有一捷運系統在 S23 車站以前之路線已經建造完成並通車營運，該路線將繼續向 S24 車站延伸，但 S24 車站以後之路線尚未完成，所以現階段列車必須在 S23 車站折返，然而在 S23 車站前後並無橫渡線供列車折返，因此列車需靠 S24 車站前方之橫渡線進行折返，如圖 21，試探討此折返點的容量為何？

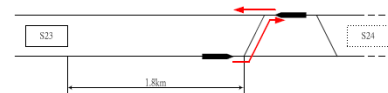


圖 21 列車以 S24 車站前方之橫渡線進行折返

15

16

2. 求解說明

雖然列車是在 S23 車站進行站後折返，但其後的橫度線距離 S23 車站有 1.8 km 之道，因此若欲分析此折返點的容量，並不適合採用 S23 車站站後折返的空間參考點型式，實際上較適合的空間參考點型式應為如圖 22 所示的站前折返，其各項參數設定如圖 23，經程式計算，該折返點之容量為每小時 14 列車。

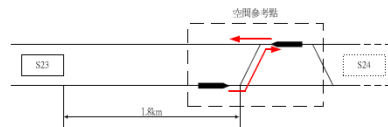


圖 22 探討容量的空間參考點

空間參考點名稱：	折返點	確定
空間參考點型式：	折返站 站前折返	取消
<input type="checkbox"/> 列車到站內設置乘客不同乘車值		
折返站前車站前段長度 (‰)	0.00	
列車於車站前停止位置至折返點距離 (m)	30.00	
橫道線區的長度 (m)	85.00	
停止時間 (s)	120	
進站速度 (km/h)	43.00	
列車進站前至折返點速度 (km/h)	80.00	
列車進入折返站前橫道線區的實際安全係數	1.00	

圖 23 空間參考點參數設定

17

案例六：

1. 問題描述

捷運系統的銜接點如圖 24，由於平面交叉的關係，側線列車進入主線時對會影響主線列車的運行，試分析其對主線容量影響。

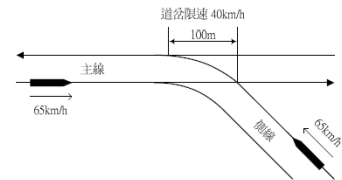


圖 24 捷運系統之銜接點

18

2. 求解說明

在容量分析軟體中新增一空間參考點，其相關設定如圖 25。

空間參考點名稱：	銜接點	確定
空間參考點型式：	銜接點	取消
主線往側線點的角度 (‰)	0.00	
側線往側線點的角度 (‰)	0.00	
銜接點橫道線區的長度 (m)	100.00	
進站速度 (km/h)	43.00	
主線列車進入銜接點之前的速度 (km/h)	65.00	
側線列車進入銜接點之前的速度 (km/h)	65.00	
主線列車與側線列車間的安全係數	1.50	
側線列車與側線列車間的安全係數	1.50	
主線列車連續通過比例	0.50	

圖 25 銜接點參數設定

透過敏感度分析功能分析該銜接點，將欲分析之參數設為「主線列車連續通過比例」，參數變化範圍為 0~1，分析項目為路線容量，其結果如圖 26。當完全沒有側線列車干擾，也就是主線列車連續通過比例為 1 時，主線的容量將近每小時可通過 90 列車；當有側線列車干擾，容量則明顯受到影響而下降，主線列車連續通過比例為 0 時，主線的容量則約為每小時 30 列車。

19

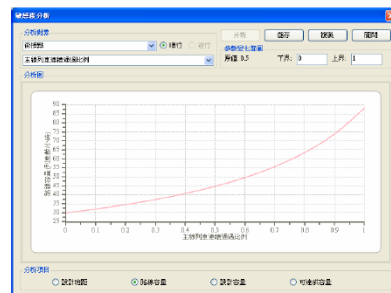


圖 26 敏感度分析結果

20

案例七：

1. 問題描述

圖 27 為某捷運系統之路線，試分析 S1 至 S14 路線上之容量瓶頭發生在何處？

表 4 捷運系統之列車性能

項目	數據
列車車身長	140 m
列車加速度	1 m/s ²
列車減速度	1 m/s ²
熱車有效因子	0.75
全列車座位數	300
全列車立位面積	250 m ²
乘載水準	6 Prs/m ²

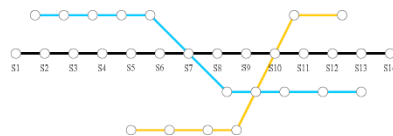


圖 27 捷運系統路線圖

21

2. 求解說明

容量瓶頭可能發生在繁忙車站、折返站或銜接點，因此在本案例中分析 S1 (折返站)、S7 (繁忙車站)、S10 (繁忙車站)，以及 S14 (折返站) 等站之容量，而不須逐一對所有車站進行分析。有關 S1、S7、S10 和 S14 的軌道配置如圖 28，S1 的空間參考點型式為站前折返，S7 和 S10 為中間站，而 S14 為站後折返，其相關參數設定如表 5~表 8。

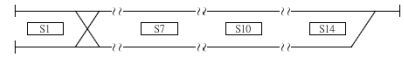


圖 28 捷運系統軌道配置圖

表 5 S1 車站之空間參考點參數

項目	數據
折返站前進站坡度	0 ‰
列車於車站內停車位置至橫渡線區的距離	20 m
橫渡線區的長度	140 m
停站時間	120 s
道岔限速	40 km/h
列車進站前的巡航速度	65 km/h
列車進入折返站前橫渡線區的間隔安全係數	1.5
列車於站內交替停靠不同股道	是

22

表 6 S7 車站之空間參考點參數

項目	數據	
	順行	逆行
進站坡度	3 ‰	4 ‰
離站坡度	-4 ‰	-3 ‰
列車於車站內停車的位置與車站所在區間的離間點之距離	15 m	15 m
車站的安全重疊區間長度	210 m	140 m
停站時間	40 s	40 s
先行列車離站後的巡航速度	55 km/h	65 km/h
續行列車進站前的巡航速度	65 km/h	55 km/h
連續列車在車站的間隔安全係數	2.1	1.7

表 7 S10 車站之空間參考點參數

項目	數據	
	順行	逆行
進站坡度	3 ‰	12 ‰
離站坡度	-12 ‰	-3 ‰
列車於車站內停車的位置與車站所在區間的離間點之距離	15 m	15 m
車站的安全重疊區間長度	190 m	150 m
停站時間	40 s	40 s
先行列車離站後的巡航速度	65 km/h	65 km/h
續行列車進站前的巡航速度	55 km/h	65 km/h
連續列車在車站的間隔安全係數	2	3

23

表 8 S14 車站之空間參考點參數

項目	數據
折返站後離站坡度	2 ‰
列車於車站內停車位置至橫渡線區的距離	20 m
橫渡線區的長度	160 m
橫渡線區至尾軌列車停車區的距離	15 m
列車於尾軌的停站時間	120 s
道岔限速	40 km/h
列車於尾軌交替停靠不同股道	否

設定好各項參數後，經程式計算的結果如圖 29，從圖可知 S14 站為瓶頸，其容量為每小時 13 列車。

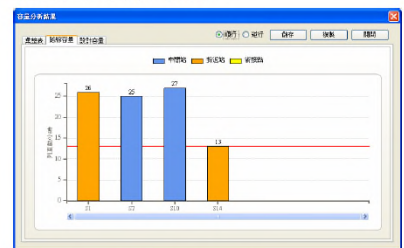


圖 29 各空間參考點之容量

24

案例八：

1. 問題描述

承上題，該捷運系統希望在尖峰時間能提供每 2.5 分鐘一班列車之運輸服務，但卻受限於 S14 站之容量，請問有何改善方案？

25

2. 求解說明

首先利用容量分析軟體的敏感度分析功能對 S14 進行分析，將欲分析之參數設為「列車於尾軌的停靠時間」，參數變化範圍設為 10~120 s，分析項目為設計班距，分析結果如圖 30。

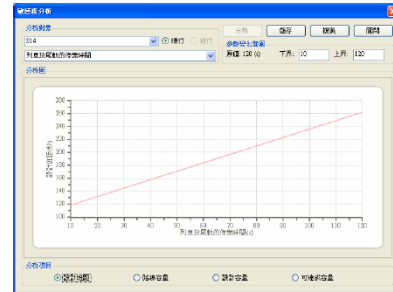


圖 30 敏感度分析結果

從敏感度分析的結果來看，若能將列車於尾軌的停靠時間縮減至 35 s 以內，則設計班距可滿足每 2.5 分鐘一班列車的需求，因此可能的改善方案之一為在尖峰時間每列車配置兩位司機員，如此列車於尾軌停靠時便不需等待司機員調頭，進而減少在尾軌的停靠時間。

此外另一改善方案為於 S14 後方再新增一股尾軌與橫渡線，如此列車於 S14 折返時便可交替使用不同尾軌，此方案對容量的改善效益可透過容量分析軟體進行評估，將 S14 車站之空間參考點參數，設定

26

列車於尾軌交替使用不同股道，如圖 31，再進行容量分析，其結果如圖 32 所示，容量提升為每小時 27 列車，有顯著的改善效益。

圖 31 設定列車於尾軌交替使用不同股道

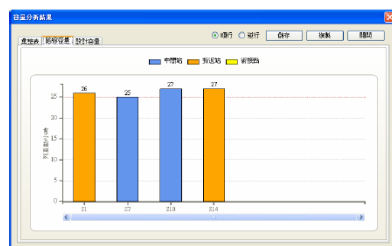


圖 32 容量分析結果

27

案例九：

3. 問題描述

某一捷運系統路線的各區間之尖峰時間預測運量如表 9，請問若採用如表 10 之規格的列車，則系統的最大營運班距為何？

表 9 各區間尖峰時間預測運量

區間名稱	預測運量（旅客數/小時）
車站 A—車站 B	29000
車站 B—車站 C	38000
車站 C—車站 D	31000
車站 D—車站 E	34000

表 10 列車容量規格

項目	數據
列車組成	每列車 6 節車廂
座位	每節車廂 40 個座位
立位面積	每節車廂 50 m ²
乘載水準	6 Pers/m ²

28

4. 求解說明

本案例可利用運轉規劃分析模組來進行計算，首先輸入列車參數，如圖 33，其中列車座位數和可站立面積為整列車之加總，因此因此分別輸入 240 個座位和 300 平方公尺。

圖 33 輸入列車參數

接著依序輸入輸入各區間之預測運量，如圖 34，輸入完成後按【下一步】按鈕，則可獲得計算結果，如圖 35，最大營運班距為 180 s，乘載率最高為 93%，位於車站 B—車站 C。

圖 34 輸入預測運量

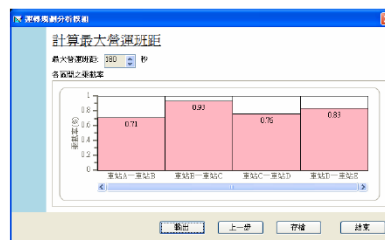


圖 35 最大營運班距計算結果

29

30

案例十：

1. 問題描述

承上題，為了提供較佳之運輸服務，最高乘載率不得超過 80%，在此情況下，營運班距應為何？若列車於該路線運行往返的時間需 1 小時，且車輛備用率為 10%，則所需的車隊規模至少為多少？

2. 求解說明

從最大營運班距的計算結果中，可調整營運班距來計算各區間之乘載率，如圖 36，當營運班距調整為 150 s 時，最高乘載率為 78%，可符合要求。

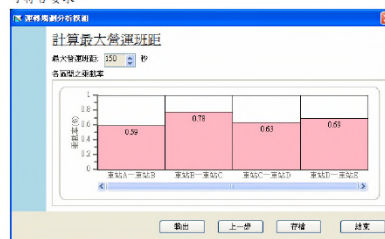
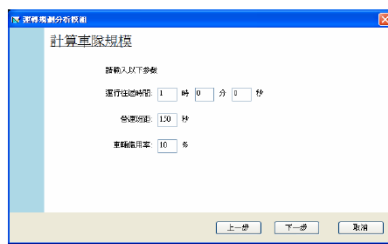


圖 36 調整營運班距

運轉規劃分析模組亦可計算車隊規模，輸入相關參數後，如圖 37，按【下一步】按鈕，則可獲得計算結果，如圖 38，營運列車數為 25 列，備用列車數為 3 列，車隊規模為 28 列車。

31

32



請輸入以下參數

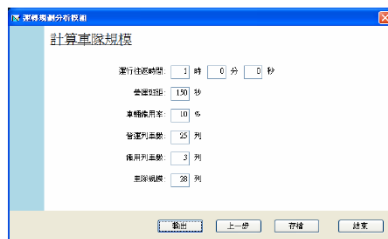
運行時間: 1 時 0 分 0 秒

營運時間: 1.00 秒

車輛使用率: 10 %

上一步 下一步 取消

圖 37 輸入計算車隊規模相關參數



運行時間: 1 時 0 分 0 秒

營運時間: 1.00 秒

車輛使用率: 10 %

營運列車數: 55 列

備用列車數: 3 列

車隊規模: 28 列

輸出 上一步 存檔 結束

圖 38 車隊規模計算結果

附錄 B 期中工作會議資料

運輸系統容量分析暨應用研究-軌道系統(4/4) (98.06.03)

1. 會議資料摘要

本會議資料包括下列課題

- (1) 目前工作進度
- (2) 未來工作計畫
- (3) 問題討論

2. 目前工作進度

以下分別說明目前本研究各項工作進度。

2.1 都會捷運系統容量分析模式

完整都會捷運系統容量分析模式包含：(1)運轉時隔的計算、(2)以列車為客體單位之容量模式，以及(3)以旅客為客體單位之容量模式，在前期研究中已完成第一項，本年度研究則繼續完成後續兩項。

路線容量廣義的定義為：「軌道運輸系統在某一特定的運轉條件下，單位時間內通過路線上某一點的最大客體數」，由此定義可知發展容量分析模式需先界定運轉條件、時間單位、空間參考點和客體單位等四個基本要素。

本模式係以正常營運條件為前提進行容量分析，時間單位為「小時」，空間參考點包含中間站、折返點和銜接點等不同型式，而客體單位則有列車和旅客兩類。模式的整體架構如圖 2.1，其各項元素之計算細節說明如後。

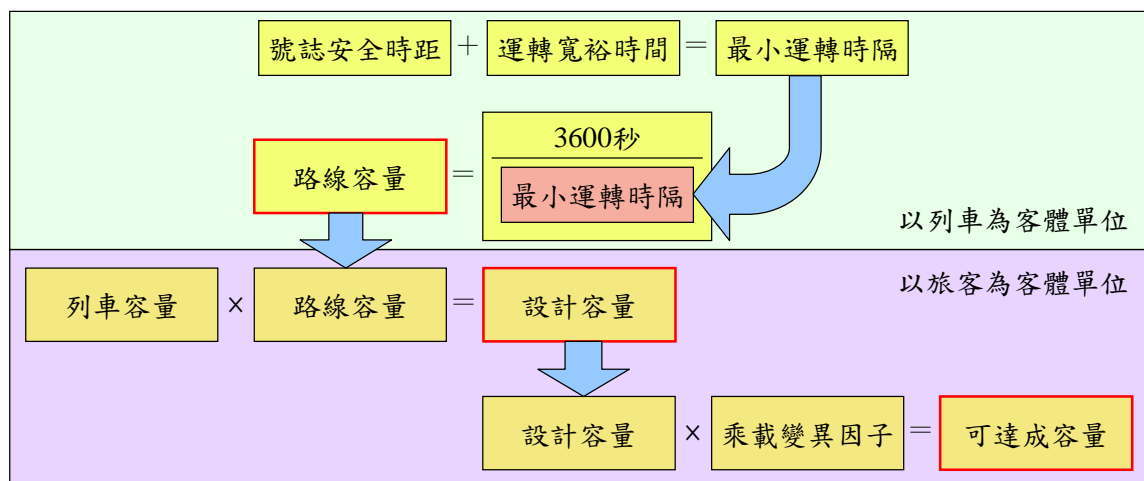


圖2.1 都會捷運系統容量分析架構

2.1.1 以「列車」為客體單位的容量分析模式

在正常營運條件下，假設列車在號誌常綠下運轉，因此最小運轉時隔的計算除了號誌安全時距，尚須包含運轉寬裕時間，即

$$h = T_s + t_m \quad (2.1)$$

式中： h =最小運轉時隔 (s)

T_s =號誌安全時距 (s)

t_m =運轉寬裕時間 (s)

號誌安全時距的計算須根據下列幾種空間參考點的型式，選用合適的計算公式。

1. 中間站
2. 折返點，站前折返，於站內停靠同一股道
3. 折返點，站前折返，於站內停靠不同股道
4. 折返點，站後折返，於尾軌停靠同一股道
5. 折返點，站後折返，於尾軌停靠不同股道
6. 折返點，使用中央避車線折返

7. 銜接點

至於運轉寬裕時間之計算公式如下，運轉寬裕時間與號誌安全時距呈一定的比例，號誌時隔愈大，所需的運轉寬裕時間愈多，而號誌時隔愈小，運轉寬裕時間則愈小。

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

式中： β =運轉寬裕時間係數

路線容量為每小時通過空間參考點的列車數量，因此其計算公式如下

$$C_l = \frac{3600}{h} \quad (2.3)$$

式中： C_l =路線容量 (TU/h)

2.1.2 以「旅客」為客體單位的容量分析模式

在計算設計容量與可達成容量前，須先計算列車容量，由於列車可能由幾種不同型式的車廂編組所組成，因此列車容量的求算為所有客車車廂容量之加總；亦可將列車車廂先分為數種型式，再分別根據其編組數相乘後進行加總，公式如下：

$$c_t = \sum_{i=1}^{n_v} c_{v_i} = \sum_{j=1}^{m_v} (c_{v_j} \times n_{v_j}) \quad (2.4)$$

式中： c_t =列車容量 (sps/TU)

n_v =整列車客車車廂的編組總數

c_{v_i} =列車中第 i 節客車車廂容量 (sps/veh)

m_v =整列車客車車廂類型數

c_{v_j} =列車中第 j 種客車型式之車廂容量 (sps/veh)

n_{v_j} =列車中第 j 種客車車廂之編組總數

在各車廂容量的計算方面，針對單一種車廂容量的計算為座位數與站位數之和，其中站位人數的計算為立位密度乘以車廂內可供站立之空間，如下式：

$$c_v = n_s + (D_s \times A_v) \quad (2.5)$$

式中： c_v =車廂容量 (sps/veh)

n_s =車廂座位數 (sps/veh)

D_s =乘載水準，即立位密度 (sps/m²)

A_v =車廂可供旅客站立用之空間 (m²/veh)

設計容量又稱為最大供給容量，為每小時所能提供的最大乘位數，因此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：

$$C_o = C_l \times c_l \quad (2.6)$$

式中： C_o =設計容量 (sps/h)

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列車的每一車廂內，因此實際所能可達成的容量不會和設計容量相等，所以考量列車間乘載變異因子來計算可達成容量，即

$$C_u = \rho_d C_o \quad (2.7)$$

式中： C_u =可達成容量 (prs/h)

ρ_d =列車間乘載變異因子

2.1.3 號誌安全時距計算公式之補充

前期研究已針對各種型式的空間參考點，分別發展了號誌安全時距計算公式，經進一步探討之後，發現仍有部分需補充與改善之處，說明如下：

2.1.3.1 使用中央避車線折返之號誌安全時距

目前臺北捷運部分路段採區間運轉方式營運，於區間端點可能採用中央避車線 (Pocket Track) 進行折返，然而在前期研究中，對於捷運折返站號誌安全時距的計算尚未考慮該情況，因此在本研究中對此進行補足。

以圖 2.2 為例，首先假設有一列車停靠在中央避車線上，且橫渡線鎖定在 1→2 的路徑，當列車從靜止開始加速離開直到車尾通過 2 之後，再經過一段轉轍及號誌聯鎖的時間，將橫渡線重新設定在 3→1 的路徑，此時停靠

在到站月台列車即可允許進入中央避車線。在此種情形之下，兩列車的運轉時間間隔可以達到最小，因此列車使用中央避車線折返的計算方式為：

$$T_{t,p} = t_{p \rightarrow t} + t_i + t_{t \rightarrow p} + t_d \quad (2.8)$$

式中： $T_{t,p}$ =列車在末端站使用中央避車線折返的號誌安全時隔（s）

$t_{p \rightarrow t}$ =列車從中央避車線經橫渡線進入車站的離站月台，直到車尾完全通過橫渡線區的運轉時間（s）

t_i =解除進路、道岔轉轍、鎖定進路等之道岔及號誌聯鎖時間（s）

$t_{t \rightarrow p}$ =列車從車站的到站月台進入中央避車線直到車尾完全通過橫渡線區的運轉時間（s）

t_d =列車在中央避車線折返的停靠時間（s）

有關式(2.8)各子項目之計算，由於過於繁雜而不在期中工作會議中進行說明，其細節將於期中報告中詳述。

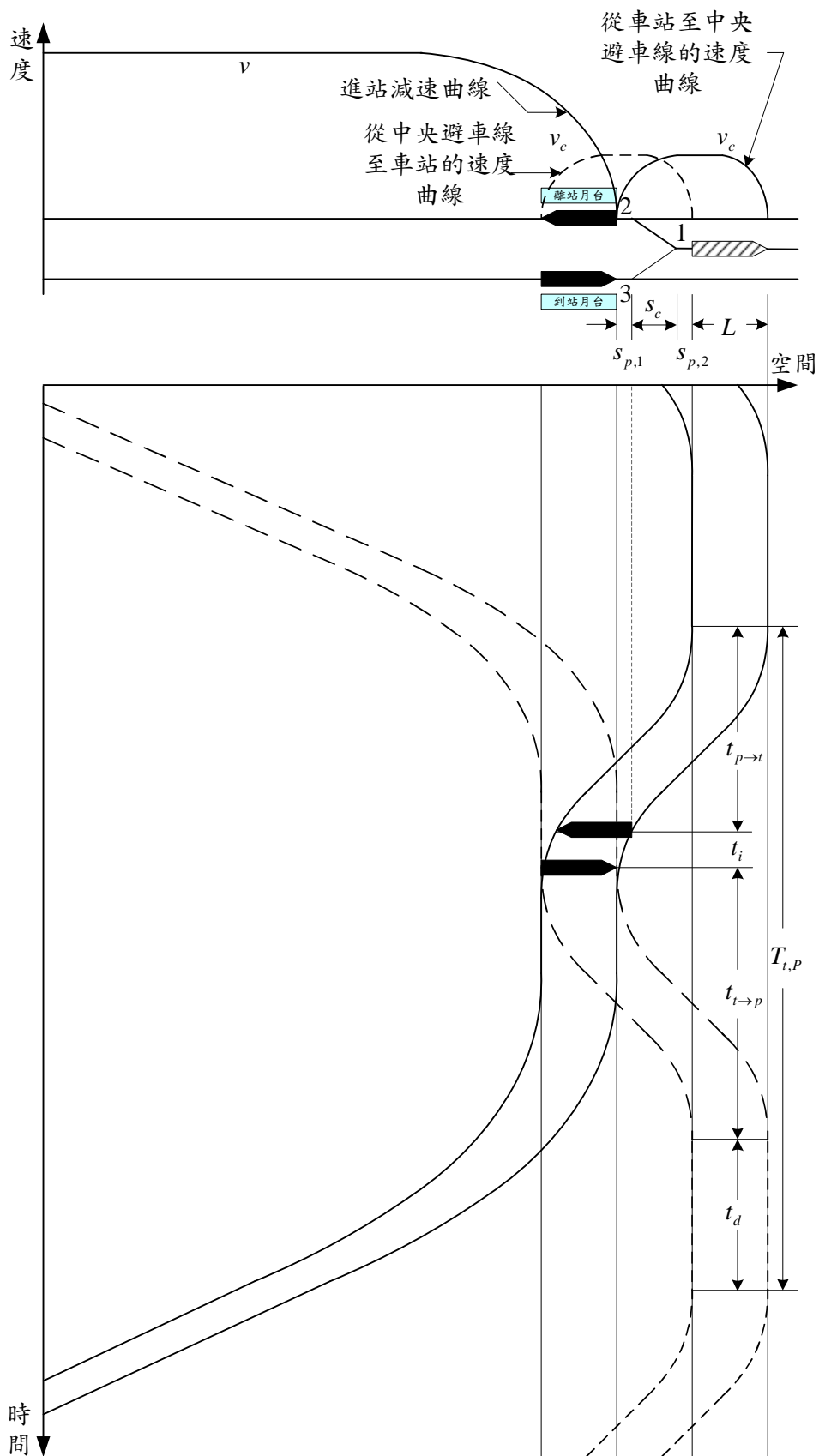


圖2.2 使用中央避車線折返之號誌安全時距

2.1.3.2 中間站的號誌安全時距

中間站號誌安全時距計算公式為

$$T_s = t_d + t_c + t_r + t_v + t_b \quad (2.9)$$

式中： T_s =車站的號誌安全時距 (s)

t_d =先行列車的停站時間 (s)

t_c =先行列車開始加速直到清空車站所需的運轉時間 (s)

t_r =號誌系統及列車控制的反應時間 (s)

t_v =續行列車以巡航速度運轉的時間 (s)

t_b =續行列車以服務減速度進站的煞車時間 (s)

其中先行列車開始啟動加速直到清空車站所需的時間 t_c ，需考量列車從靜止加速到完全通過安全重疊區間時，其速度可能已經達到巡航速度 v_i ，也可能尚在加速階段。令先行列車從靜止加速至巡航速度所行駛的距離為 $s_a = v_i^2 / 2a$ ，當 $s_x + s_o + L > v_i^2 / 2a$ ，表示列車是以巡航速度通過安全重疊區間；若 $s_x + s_o + L \leq v_i^2 / 2a$ ，則表示列車車尾通過安全重疊區間時，列車尚在加速階段。此兩種情形下之 t_c 的計算方式不同，分別說明如下：

1. 當 $s_x + s_o + L > v_i^2 / 2a$

先行列車在通過安全重疊區間前就已經加速至巡航速度，因此 t_c 包含加速運轉時間以及等速運轉時間，即

$$t_{c,1} = \frac{v_i}{a} \quad (2.10)$$

$$t_{c,2} = \frac{s_x + s_o + L - s_a}{v_i} = \frac{s_x + s_o + L}{v_i} - \frac{v_i}{2a} \quad (2.11)$$

$$t_c = t_{c,1} + t_{c,2} = \frac{v_i}{a} + \frac{s_x + s_o + L}{v_i} - \frac{v_i}{2a} = \frac{s_x + s_o + L}{v_i} + \frac{v_i}{2a} \quad (2.12)$$

式中： $t_{c,1}$ =先行列車加速運轉的時間 (s)

v_i =先行列車離站後的巡航速度 (m/s)

a =列車的加速度 (m/s^2)

$t_{c,2}$ =先行列車加速至巡航速度後，以等速運轉的時間 (s)

s_x =列車車頭停止點與車站所在區間的離開點之間距 (m)

s_o =車站的安全重疊區間之長度 (m)

L =列車車身長度 (m)

s_a =先行列車從靜止加速至巡航速度所行駛的距離 (m)

2. 當 $s_x + s_o + L \leq v_i^2 / 2a$

列車從靜止加速到完全通過安全重疊區間均處於加速運轉階段，因此其公式如下：

$$t_c = \sqrt{\frac{2(s_x + s_o + L)}{a}} \quad (2.13)$$

2.2 都會捷運系統容量分析軟體之開發

「都會捷運系統容量分析模式」考量了眾多參數，計算公式複雜，且需視不同的條件挑選計算公式，為提高容量計算效率以及降低該模式的使用門檻，因此本研究之另一項工作項目為開發「都會捷運系統容量分析軟體」。

2.2.1 軟體功能

根據前期研究開發「傳統暨區域鐵路系統容量分析軟體」之經驗，容量分析軟體之功能可概分為三大類：

1. 參數輸入功能：

由於模式所考量的參數眾多，因此需提供參數輸入功能，以便使用者進行參數設定、修改、保存與讀取等工作。本軟體將模式中所有的參數分為全域參數、列車參數，以及空間參考點參數三類，而將所有的參數集中存放於同一個檔案中以便管理，因此共包含下列子功能：

- (1) 設定全域參數
- (2) 設定列車參數
- (3) 新增、刪除與編輯各種型式的空間參考點參數
- (4) 各項參數的存檔與讀取

2. 分析計算功能：

根據捷運容量分析模式，共可計算以下幾種容量值：

- (1) 計算路線容量
- (2) 計算設計容量
- (3) 計算可達成容量

3. 結果輸出功能：

對於容量分析之結果，除了可在本軟體中檢視之外，亦可複製或輸出成不同型式之檔案，以供使用者能將分析結果進一步利用於後續其他用途上，結果輸出的子功能有：

- (1) 容量分析結果圖表檢視
- (2) 將結果複製至剪貼簿
- (3) 將結果輸出為文字檔或圖檔

2.2.2 使用者介面

2.2.2.1 整體概觀

本軟體之中文名稱為「都會捷運系統容量分析軟體」，英文名稱為 Urban Rapid Transit Capacity Software，簡稱 URTCS。軟體啟動後之主頁面如圖 2.3，除了一般應用程式幾乎都包含的功能表、工具列與狀態列等基本元件外，本軟體以三大區塊呈現容量分析所需的三類參數，其中全域參數和列車參數可直接於此頁面中進行設定修改，而空間參考點參數較為複雜，因此其介面細節將另外介紹於後。



圖2.3 都會捷運系統容量分析軟體之使用者介面

由於容量分析所需參數眾多，在使用者無法取得所有所需參數時，程式必須有內建參數的機制，如此方能滿足各種不同需求。亦能達到簡化計算的目的，此外為減少使用者輸入錯誤的可能性，程式會自動檢查參數是否合理，若使用者輸入不合理之數值，介面將呈現如圖 2.4之畫面。

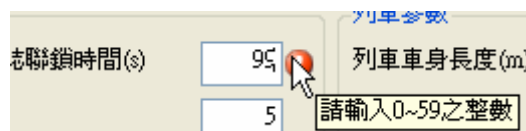


圖2.4 參數驗證畫面

2.2.2.2 空間參考點參數

本軟體可對多個不同型式之空間參考點進行容量分析，然而各空間參考點之各項細部參數皆不相同，因此使用者介面較為複雜，如圖 2.5。最左側列出所有的空間參考點，其中以圖示表示空間參考點的型式，當使用者選擇任何一個空間參考點，則最右側會顯示該空間參考點之各項細部參數。

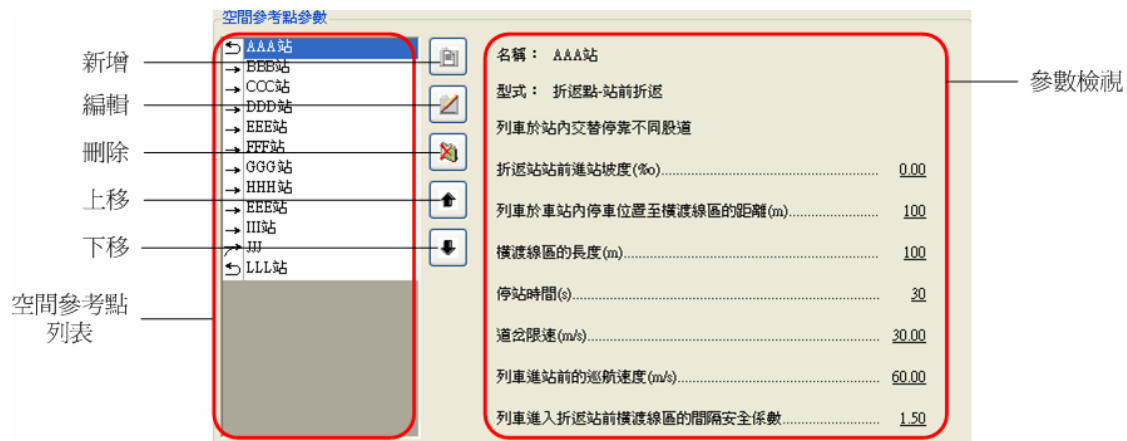


圖2.5 空間參考點管理介面

中間有五個按鈕，分別可對空間參考點進行新增、編輯、刪除、上移與下移等動作，其中上下移按鈕為方便使用者排列空間參考點列表中各項資料之順序；編輯和刪除按鈕則是針對使用者所選擇的空間參考點進行編輯和刪除；新增按鈕將可在空間參考點列表最後增加一筆新的資料。

當使用者按下新增或編輯按鈕後，程式會出現另外一個視窗供使用者設定空間參考點的各項細部參數，畫面如圖 2.6。

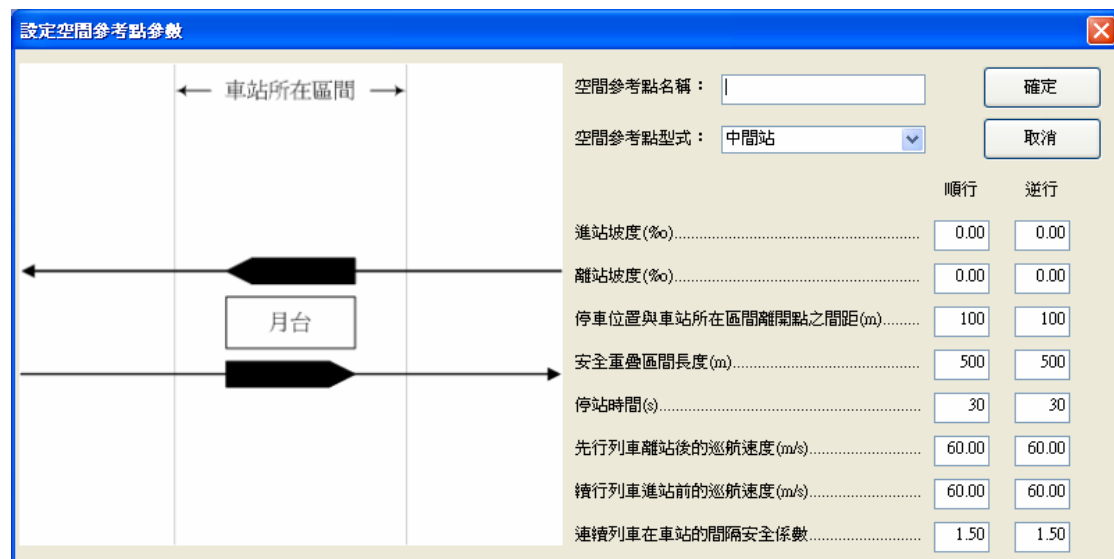


圖2.6 空間參考點各項參數設定介面

位於視窗左邊之圖示會隨著使用者選定的空間參考點型式進行變化，此外亦可輔助使用者進行參數設定，例如：原先在圖 2.6中，左方圖示為中間站，當使用者將空間參考點型式改成折返點，則該圖示會變為折返點，且當使用者設定橫渡線區長度時，該圖示亦會顯示輔助圖形，如圖 2.7所示。

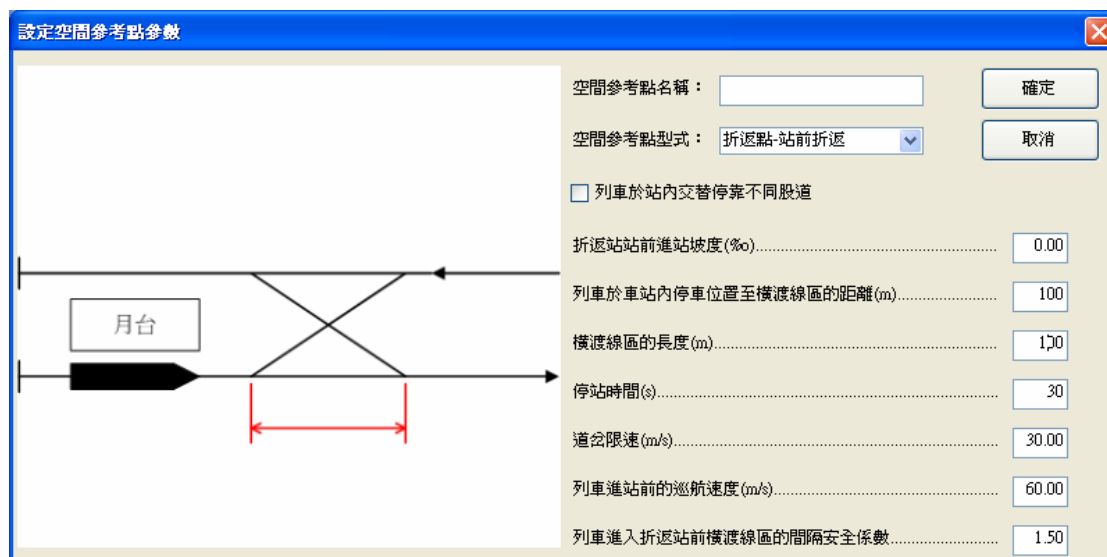


圖2.7 空間參考點參數設定之輔助圖形

2.2.2.3 執行容量分析計算

當使用者設定好所有的參數，便可進行容量分析計算，其執行方式僅需從功能表中選擇或按下工具列的按鈕即可，如圖 2.8，待程式完成計算後，會自動呈現分析結果。

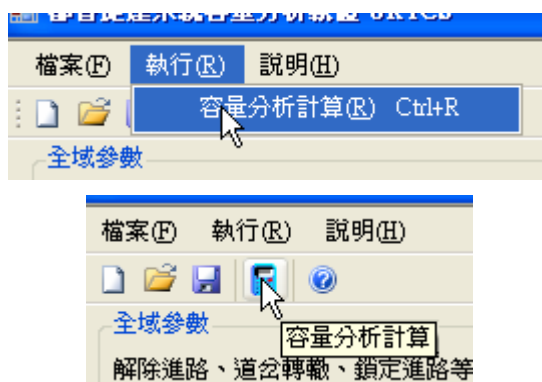


圖2.8 執行容量分析計算

2.2.2.4 結果檢視

容量分析的結果將分別以彙整表和直方圖的方式呈現，以不同的頁籤區隔之，如圖 2.9和圖 2.10所示。圖 2.9中，上方將顯示系統之路線容量瓶頸所在，下方表格則依序列出各空間參考點之名稱、路線容量、設計容量與可達成容量，其中對於中間站將分別列出順行與逆行之結果。至於在圖 2.10直方圖中，中間站之容量亦是將順行與逆行分開呈現。



圖2.9 容量分析結果彙整表

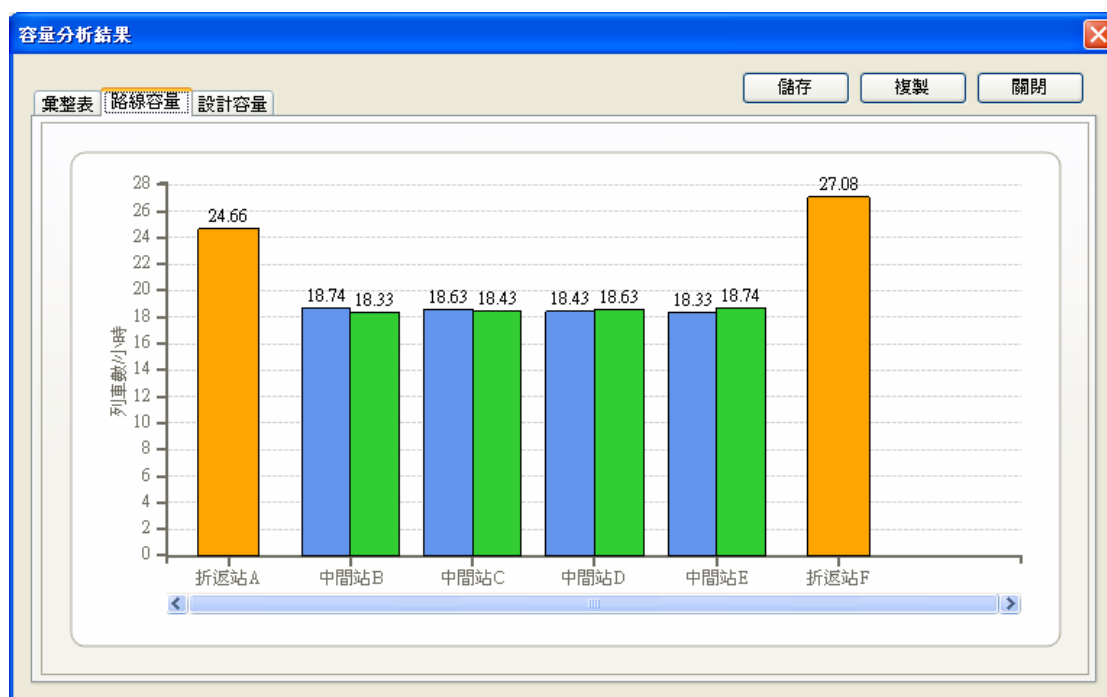


圖2.10 容量分析結果直方圖

2.2.2.5 輸出結果

本軟體提供儲存檔案以及複製至剪貼簿等兩種結果輸出方式，其執行方式為按下結果檢視視窗右上方之按鈕，如圖 2.11。

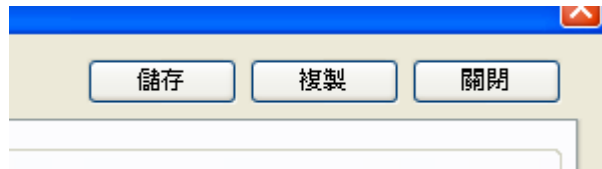


圖2.11 執行結果輸出介面

程式會根據使用者目前檢視的頁面來決定結果輸出的格式，例如在彙整表中（圖 2.9）執行輸出結果，則會以文字的格式輸出，如圖 2.12是以 MS Excel 檢視之畫面，但若是在直方圖（圖 2.10）中執行輸出，則是輸出圖檔，如圖 2.13。

	A	B	C	D	E
1	容量分析結果				
2	空間參考點	路線容量(列車數/小時)	設計容量(旅客數/小時)	可達成容量(旅客數/小時)	
3	折返站A	24.66	37308	29847	
4	中間站B(順行)	18.74	28348	22678	
5	中間站B(逆行)	18.33	27726	22181	
6	中間站C(順行)	18.63	28186	22549	
7	中間站C(逆行)	18.43	27885	22308	
8	中間站D(順行)	18.43	27885	22308	
9	中間站D(逆行)	18.63	28186	22549	
10	中間站E(順行)	18.33	27726	22181	
11	中間站E(逆行)	18.74	28348	22678	
12	折返站F	27.08	40978	32782	
13					

圖2.12 以 MS Excel 檢視容量分析結果之畫面



圖2.13 以點陣圖格式輸出之結果

2.3 案例分析資料蒐集

本研究以著手相臺北捷運和高雄捷運蒐集閉塞區間長度、橫渡線位置，與列車性能…等資料，以利後續案例分析工作之進行，目前資料蒐集的情況如表 2.1，由於資料量大，且分散於不同處室管轄，目前尚有部份資料仍在蒐集中。

表2.1 案例分析資料蒐集情況

		臺北捷運 高運量	臺北捷運 中運量	高雄捷運
1.列車資訊	● 車身長度的	✓	✓	✓
	● 列車加／減速度	✓	✓	✓
	● 座位數	✓	✓	✓
	● 乘客可站立面積	✓	✓	✓
	● 乘載水準	✓	✓	✓
2.路線資料	● 各車站之進／離站坡度	✓	×	✓
	● 列車於車站內停車的位置與車站所在區間的離開點之間距	△	註	✓
	● 各折返車站之前（後）橫渡線至列車於車站內停車位置的距離	△	✓	✓
	● 各折返車站之前（後）橫渡線區的長度	✓	✓	✓
	● 各折返車站之前（後）橫渡線的道岔限速	✓	✓	✓
	● 各折返車站之橫渡線至尾軌（或中央避車線）列車停車區的距離	△	✓	✓
	● 各閉塞號誌位置或閉塞區間長度	✓	註	✓
3.列車與路線交互關係資料	● 列車於各車站進站前的巡航速度	△	×	—
	● 列車於各車站之停站時間	✓	×	✓
	● 當列車利用尾軌進行折返，列車於尾軌的停靠時間	—	×	—
	● 當列車利用中央避車線進行折返，列車於中央避車線的停靠時間	✓	×	—
4.其他資料	● 號誌系統與列車控制反應時間	✓	×	✓
	● 解除進路、道岔轉轍、鎖定進路等之道岔及聯鎖時間	✓	×	✓
	● 自動收費系統之旅客進出車站紀錄檔	×	×	×

符號說明：✓：已完成。×：未完成。—：無資料。△：無直接資料，但可由其他資料計算而得。

註：臺北捷運中運量為 moving block

3. 未來工作計畫

未來欲進行的後續工作內容如下：

1. 完成資料蒐集
2. 進行案例分析
3. 編訂軌道容量手冊
4. 辦理成果發表與教育訓練

4. 問題討論

附錄 C 期中工作會議紀錄

「運輸系統容量分析暨應用研究—軌道系統(4/4)」 期中工作會議紀錄

一、時 間：98 年 6 月 3 日(星期下)下午 2 時整

二、地 點：交通部運輸研究所七樓運輸規劃科技研究室

三、主持人：林組長國顯、鍾志成博士

紀錄：張恩輔

四、出(列)席單位及人員：

國立交通大學交通運輸研究所黃教授承傳

請假

國立成功大學交通管理科學研究所鄭教授永祥

請假

交通部鐵工局周副局長永暉

周永暉

交通部臺鐵局鄭工程司騰清

鄭騰清

交通部鐵路改建工程局規劃組施副組長文雄

施文雄

臺灣高鐵公司陳協理信雄

請假

臺北市政府捷運工程局

楊士賢

臺北大眾捷運股份有限公司

康書媛

高雄市政府捷運工程局

邱心秋

高雄捷運股份有限公司

請假

財團法人中興工程顧問社

鍾志成

黃筆玲

張恩輔

賴顯

本所運計組

劉昭榮

五、主席致詞：(略)

六、簡報：(略)

七、出席人員發言要點：

(一) 高雄市政府捷運工程局

1. 目前高雄捷運在實務運用上，較少談到容量，比較常用的為設計班距，本軟體是否可用來檢核設計班距？

鍾志成博士答覆：在模式中，計算容量之前須先計算運轉時隔，亦是所謂的設計班距，只是目前程式沒有將該數值顯示出來，因此之後會在軟體介面上找適當的位置呈現設計班距，以方便興建單位檢核承包商或機電廠商的設計參數是否能滿足要求。

2. 容量分析僅能說明系統的容量為多少，對高雄捷運來說並不是這麼關鍵，有點不切實際，較為實用的反而是營運班距。

賴勇成博士答覆：只有在碰到容量問題的時候，才會了解其重要性。過去國內外鐵路營運單位鮮少在談容量，只要有需求就加開列車，因為離容量上限還有一段距離，但美國近年來開始重視容量問題了，研究擴充增加路線、號誌系統改變或車勤的改變對容量有何影響。

鍾志成博士答覆：既然有計算營運班距的需求，我們將試著將該功能加入程式中，而且應該可以提供更豐富的功能，除了計算營運班距，還可在一定運輸需求下設定營運班距來反算承載水

準，也許對營運調度單位有所幫助，但我們尚須花點時間思考該如何設計其介面與程式如何操作。

(二) 臺北市政府捷運工程局

1. 圖 2-12 中的路線容量，每小時的列車數應為整數，較符合一般人的認知。

鍾志成博士答覆：將無條件捨去小數部分來呈現。

(三) 交通部運輸研究所運計組林組長國顯

1. 容量分析模式的研究需要提供案例分析，才能讓人容易了解該如何應用，尤其是對於初學者。

鍾志成博士答覆：案例分析係本研究之工作項目之一，目前已在進行相關資料之蒐集，將來於期末報告中與軌道容量手冊中將會加入案例分析。

(四) 交通部鐵路改建工程局規劃組施組長文雄

1. 在算出了容量之後，通常會再藉由調整參數重新計算，以了解其對容量的影響，例如減少停站時間和增加列車空間皆可能提高容量，然停站時間影響班次數，而列車空間影響旅客數，何者的改善效益較大，則須透過容量分析來計算。因此本軟體的價值不僅在規劃階段時進行分析，而是平時碰到瓶頸問題時也可以用來分析。

鍾志成博士答覆：為方便使用者進行這樣的分析計算，本軟體將會提供敏感度分析功能，但該功能之細節、介面如何呈現、使用者如何操作尚須討論。

(五) 交通部鐵路改建工程局周副局長永暉

1. 有關圖 2-7 中的道岔限速，由於限速跟道岔號數有關，建議程式中是否直接給使用者選擇號數，而不是直接輸入數值，以避免使用者輸入錯誤。

鍾志成博士答覆：實際上直接從道岔號數來決定限速有困難，因為即使同樣號數，單開和雙開的限速就有所不同，因此該參數在輸入功能的設計上還是給使用者自行輸入數值，但是程式會做合理性檢查。

2. 建議容量分析應該區分隧道段或非隧道段，且針對隧道段應考量有無月台門。

鍾志成博士答覆：過去在隧道段中，會因通風需求而限制同一時間在該路段行駛的列車數量，但以現在新的設計並無此限制，所以路段是否為隧道段並不影響路線容量，另外有無月台門跟容量無絕對關係，其主要影響的是安全上的議題。

3. 在圖 2-13 中，是否可能在某個站發生營運中斷時，而要計算一整段的容量，本模式是否可反應，以作為實務上的參考。

鍾志成博士答覆：美國 TCQSM 計算容量僅就最繁忙車站進行分析，由於尚未進行分析知前可能不知道何處是瓶頸，所以本軟體可同時計算好幾處，並且找出系統瓶頸。如果發生營運中斷，而且其發生的原因可由模式的參數反應出來，則直接將之加入進行分析，即可反應其對容量的影響。

八、散會

附錄 D 期中簡報資料



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)

期中簡報

簡報人：黃笙琰

中華民國98年07月06日

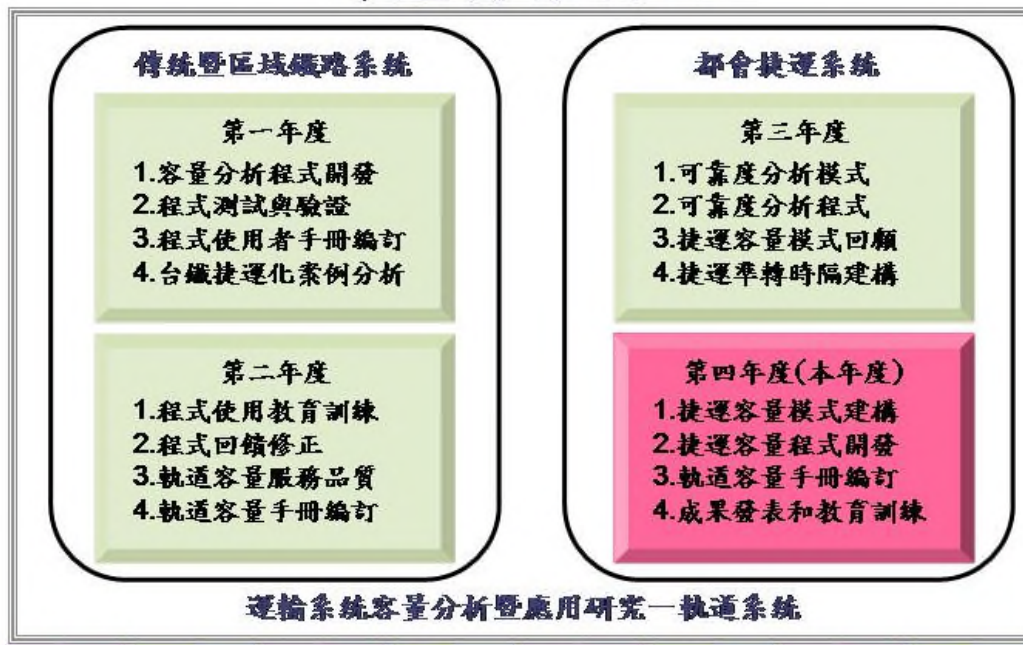


財團法人中興工程顧問社

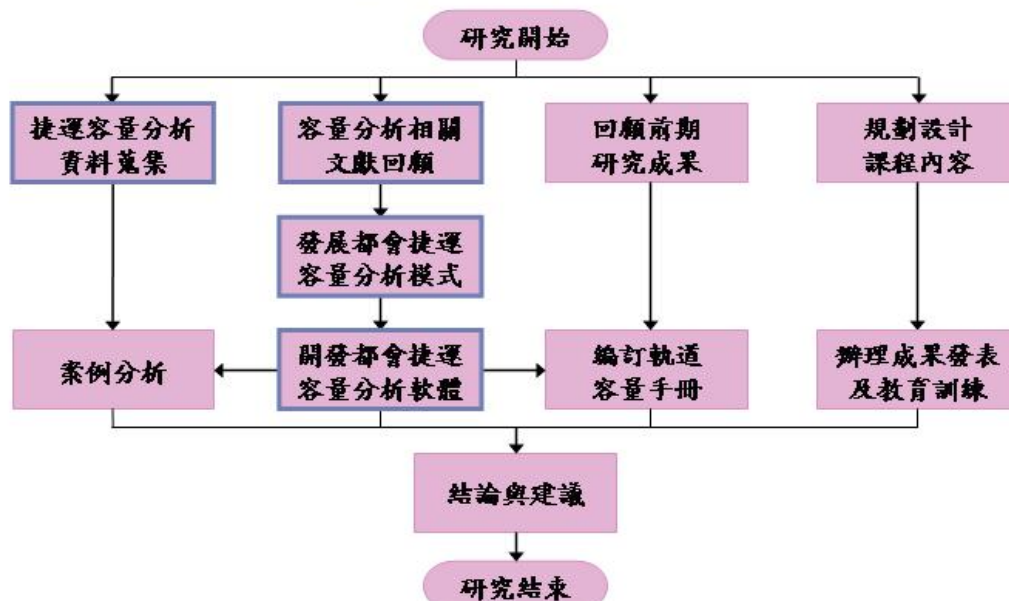
簡報大綱

- 計畫背景介紹
- 研究工作流程
- 都會捷運系統容量分析模式
- 都會捷運系統容量分析軟體
- 案例分析資料蒐集
- 後續工作計畫

計畫背景介紹



研究工作流程





都會捷運系統容量分析模式

- 運轉時隔的計算
- 以「列車」為客體單位之容量模式
- 以「旅客」為客體單位之容量模式



號誌安全時距計算公式補充

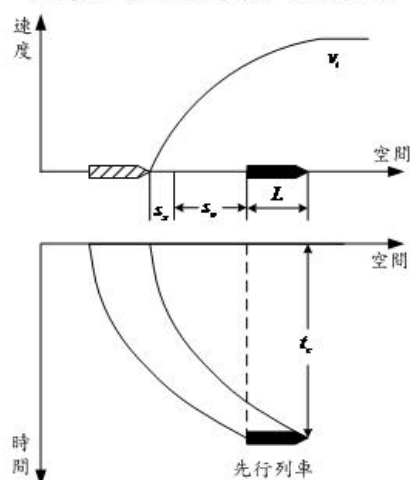
- 中間站之號誌安全時距
 - 銜接點之號誌安全時距
 - 使用中央避車線折返之號誌安全時距
- 

中間站之號誌安全時距

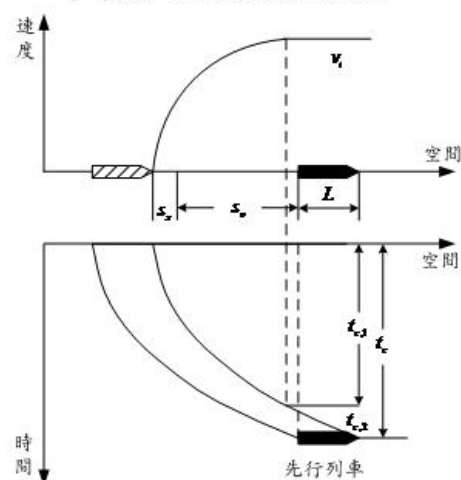


中間站之號誌安全時距

- 從靜止加速到通過安全重疊區間皆在加速階段

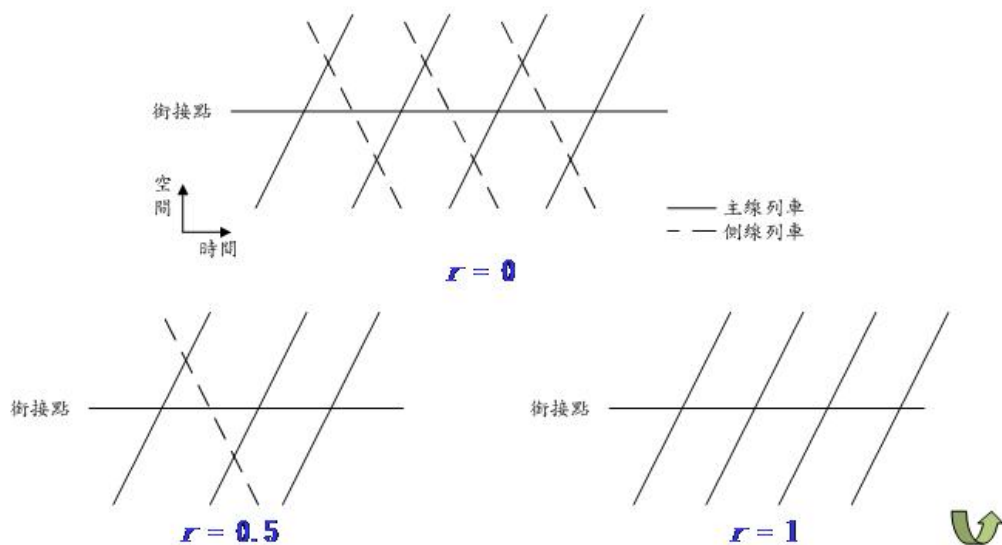


- 通過安全重疊區間前列車已加速至巡航速度

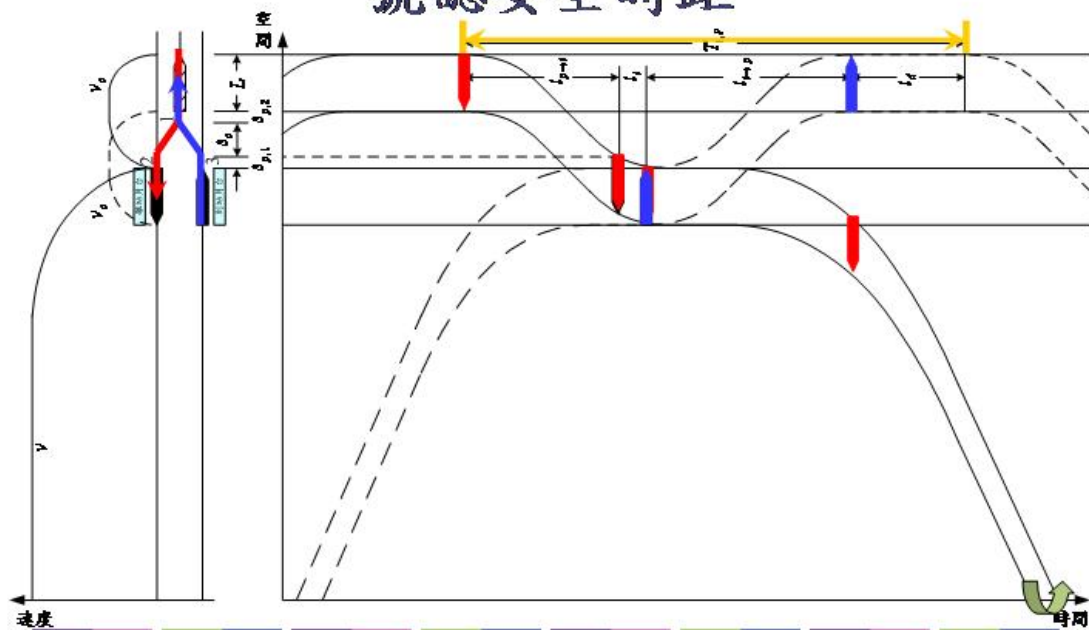


銜接點之號誌安全時距

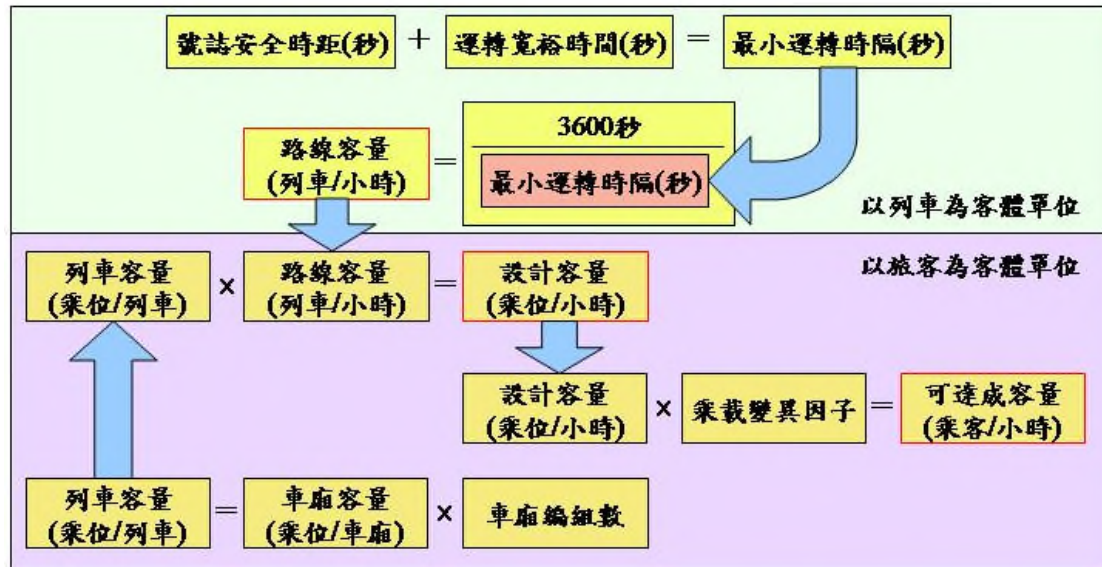
r = 主線列車連續通過銜接點的比例



使用中央避車線折返之 號誌安全時距



都會捷運系統容量分析模式



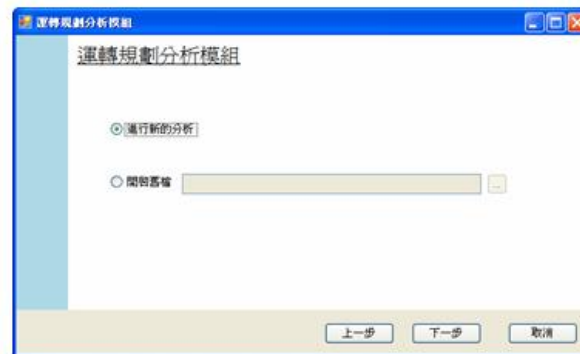
都會捷運系統容量分析軟體

● 路線容量分析模組



都會捷運系統容量分析軟體

● 運轉規劃分析模組



案例分析資料蒐集

類別	項目	優先捷運高運量	優先捷運中運量	高雄捷運
列車資訊	車身長	✓	✓	✓
	列車加/減速度	✓	✓	✓
	座位數	✓	✓	✓
	乘客可站立面積	✓	✓	✓
	乘載水準	✓	✓	✓
路線資料	各車站之進/離站坡度	✓	✓	✓
	列車於車站內停車的位置與車站所在區間的離開點之距離	△	註	✓
	各折返車站之前(後)橫渡線至列車於車站內停車位置的距離	△	✓	✓
	各折返車站之前(後)橫渡線區的長度	✓	✓	✓
	各折返車站之前(後)橫渡線的通岔限制	✓	✓	✓
	各折返車站之橫渡線至尾軌(或中央避車線)列車停車區的距離	△	✓	✓
	各側區區間長度	✓	註	✓
列車與路線交互關係資料	列車於各車站進站前的平均巡航速度	△	✓	△
	列車於各車站之停站時間	✓	✓	✓
	當列車利用尾軌進行折返，列車於尾軌的停靠時間	—	△	—
	當列車以中央避車線折返，列車於中央避車線的停靠時間	✓	—	—
其他資料	號誌系統與列車控制反應時間	✓	×	✓
	解除進路、通岔轉轍、鎖定進路等之通岔及號誌聯鎖時間	✓	×	✓
	自動收費系統之旅客進出車站紀錄檔	✓	✓	×

後續工作計畫

● 進行都會捷運系統容量案例分析

臺北捷運		高雄捷運
高運量	中運量	高雄車站
台北車站	忠孝復興站	左營站
忠孝復興站	南港展覽館站	美麗島站
永寧站	動物園站	橋頭火車站
南港站		小港站

後續工作計畫

● 編訂軌道容量手冊

- 都會軌道系統—第一型模式

● 辦理成果發表及教育訓練

項目	時數
軌道容量分析概論	2小時
傳統暨區域鐵路系統容量分析研究成果	2小時
都會捷運系統容量分析研究成果	2小時
都會捷運系統容量分析程式教育訓練	2小時

簡報完畢
敬請指教

Thank You

附錄 E 期中審查意見處理情形

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
臺北市 政府捷 運工程 局	P4-9 有關報告中視窗軟體之用語分別有方塊、區塊及視窗等表達方式，建議能檢視統一。	依評審意見辦理。	--
	P4-36 在捷運折返點車站之列車數應不會比較多，故有關報告 P4-33 及 P4-36 中直方圖之趨勢應再檢視其正確性。	該圖主要在呈現軟體介面的樣子，並非以真實資料進行分析的結果。本研究之後會以實際資料進行案例分析，便會呈現正確的結果。	已於期末報告中回應處理。
	本研究之主要目的在找出最大路線容量及瓶頸地點，惟有關如何處理解決瓶頸問題，建議後續研究中能再詳予說明。	如何處理解決瓶頸是非常值得討論的課題，但並非本研究之範疇，惟本研究的成果仍有助於評估各種改善方案對路線容量的改善效益。	同意承辦單位之回應說明。
臺北大 眾捷運 股份有 限公司	有關本研究基本資料之參數設定基礎，是否參考北、高捷運系統之參數預設值，建議補充說明。	有關軟體中參數的預設值與合理範圍尚有討論空間，希望未來可與捷運營運單位共同檢視訂定。	已於期末報告中回應處理。
	有關本研究軟體之容量結果係以直方圖呈現，建議是否考量提供不同輸出圖形供使用者方便選用。	本研究認為以直方圖呈現容量較為直覺，若有其他圖形需求，本軟體可輸出數值資料供使用者自行繪圖。	已於期末報告中回應處理。
	本研究主要係以圖形化分析軟體配合目前國內現有捷運系統，進行路線容量之實例演算分析，建議後續案例分析時，可以最繁忙近端車站做為全線捷運容量瓶頸的驗證。	本研究將會針對繁忙車站，如台北車站、忠孝復興站等，進行案例分析。	已於期末報告中回應處理。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
高雄市 政府捷 運工程 局	本研究容量分析之產出，對於實務捷運營運而言，主要有設計班距及營運班距，惟本研究軟體有許多輸入參數並非現行捷運系統常用的參數，例如本研究計算設計班距所採用之車廂座位數與立位面積，就與實務常用以4級不同乘載水準計算設計班距之作法不同，建議報告中能說明。	本軟體並非針對某特定捷運系統來設計，故輸入參數需考量泛用性與彈性，例如不同的營運單位對乘載水準分級並非有同一標準，因此以座位數與立位面積等參數來計算車廂容量較為適合。	已於期末報告中回應處理。
	巡航速度是本研究一個重要之輸入參數，惟實務上很難直接給定一巡航速度，因為它是由路線坡度及站間距離等因素所決定，故其計算與實用輸入之邏輯不同，建議規劃單位能從實用角度與實務營運單位討論各種參數輸入方式之合理性，以產出合適之設計班距。	巡航速度為列車不計開車與停站階段加減速時間的平均速度，可透過列車運行模擬計算，或是採列車最高速度的80~90%，或其他計算方法獲得，因此本軟體讓使用者直接輸入巡航速度，而營運單位可依其實際情況採用適當方式獲得該參數。	同意承辦單位之回應說明。
	本研究是以運轉規劃模組產出營運班距，惟後續應用若系統因故轉為部分路段營運，本研究開發之模式系統是否能快速因應處理並產出營運班距；另是否可同時配合產出時刻班表，建議能於報告中補充說明。	一般來說，容量分析是指在正常營運下之最大運輸能力，但本軟體可根據營運條件來設定參數，以計算在該條件下之最大運輸能力。至於產出時刻班表，並非本研究之主題。	同意承辦單位之回應說明。
高雄捷 運股份 有限公司(書 面意 見)	P2-10 第2.2.2節第一段有關高雄捷運高架段長度為11公里，請更正。另表2.3中高雄捷運已通車之路線不包含南崗山站，僅到橋頭火車站，紅線車站數為23站，請更正。	依評審意見辦理。	--
	P2-12 第2.2.2節第二段側式月台包含後勁站，敬請更正。	依評審意見辦理。	--

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
高雄捷 運股份 有限公 司(書 面意 見)	P2-12 第 2.2.2 節第三段…「營運時可採兩組六輛車編組」…，高雄捷運股份有限公司目前營運模式皆採一組三車廂營運，故六車組於現階段而言並不合適，建議修改。	依評審意見辦理。	--
	P3-3 第 3.2 節(3.2)式中之 h =最小運轉時隔(s)是否相當於「設計班距」，如是，建議本文件統一修改。	依評審意見辦理。	--
交通大 學黃教 授承傳	本研究所編寫之軌道容量手冊將提供給國內各相關軌道單位使用，而本研究亦有回顧國外相關應用軟體，但不知目前實務單位是否有進行軌道容量之相關研究及分析，建議可於報告中增加相關背景或文獻回顧之說明，以突顯本研究之貢獻。	在前期研究中，就曾對國內容量相關研究進行回顧，但國內容量相關研究不多，在捷運系統方面，主要為容量分析之應用，而非直接探討容量評估問題。	同意承辦單位之回應說明。
	本研究所撰寫之容量手冊及所使用之計算方法是否可仿照公路容量手冊做驗證或局部驗證，建議是否可結合所使用之方法及國內實務資料進行理論及實務之驗證，以提高本手冊之公信力。	本研究之後續工作將會以台北捷運和高雄捷運為對象，進行案例分析作為驗證。	已於期末報告中回應處理。
	P3-12 式(3.19)中之 t_i 未定義，請檢核補充說明。	依評審意見辦理。	--
	P4-12 有關介紹之軟體並未註明資料來源，請補充。	依評審意見辦理。	--
	有關本報告案例分析中之運轉寬裕參數 β 係如何調查取得或估算，建議補充說明；另有關案例分析之車站或區間，其選取之考量基礎為何，建議亦能補充說明。	依評審意見辦理。	--
臺灣高 鐵公司 陳協理 信雄	P4-38 有關敏感度分析之參數項目是否適宜，如乘載變異因子是否需納入分析，建議研究團隊再整體檢視，以符合後續使用需要。	依評審意見辦理。	--

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
臺灣高 鐵公司 陳協理 信雄	P4-33 有關路線容量結果之直方圖，其 2 個直方圖之方向性顯示及是否分開呈現以利判讀，建請再考量。	容量分析通常探討單一方 向單位時間內的運輸能 力，因此依評審意見，依 方向分開呈現較為適當。	已於期 末 報 告 中 回 應處理。
	有關本研究之系統軟體命名及簡 寫，是否需俟本系列 4 年研究整體完 成後再綜合考量如何命名，建議可於 期末階段考量。	依評審意見辦理。	--
	有關報告提及尚有部分資料未取 得，如有缺漏該如何補足因應，請考 量說明。	目前資料蒐集情況順利， 僅剩少數資料尚未取得， 若最後還是有部份資料缺 漏，則以現有資料估算 之。	已於期 末 報 告 中 回 應處理。
	有關號誌安全時距愈大為何運轉時 間變異會愈大，而運轉寬裕時間需取 愈大值，因運轉寬裕係處理變異是可 靠度問題，為何會與號誌安全時距有 固定關係而非與可靠度有關係，建議 應釐清說明。	運轉寬裕時間和可靠度有 關係，然而本研究主題為 容量分析，因此未提及可 靠度。有關可靠度相關研 究，可參考前期研究成 果。	同 意 承 辦 單 位 之 回 應說明。
	木柵內湖線目前已通車至南港，相關 資料建議於期末報告更新以符最新 現況。	依評審意見辦理。	--
	P4-24 有關軟體參數之防呆設計係以 Range 之方式設定，為利後續案例分 析使用，建議後續可與捷運營運單位 共同檢視各參數之 Range 如何設定。	依評審意見辦理。	--
	有關軟體功能之空間參考點型式選 擇部分，因其仍有方向性問題，故有 關其圖例亦應一併考量。	依評審意見辦理。	--
	有關車廂內旅客數之多寡是否影響 列車之加減速性能，或影響列車之車 站停靠時間，其產生之變異是否影響 容量，建議考量。	捷運列車之馬達出力會隨 載重大小自動調整，因此 其加減速性能不受旅客多 寡影響。至於停站時間， 使用者則可視旅客量輸入 適當之數值。	同 意 承 辦 單 位 之 回 應說明。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
臺灣高 鐵公司 陳協理 信雄	有關規劃分析模組之車隊規模計算部分，未來於軟體設計時是否要求使用者輸入尖峰小時旅客數，其相關之計算分析邏輯建議於報告中能補充相關說明。	未來規劃分析模組之車隊規模計算部分，不會要求使用者輸入尖峰小時旅客數，而其相關計算邏輯將於報告中補充說明。	已於期 末報 告中 回 應 處 理。
交通部 臺鐵局 鄭工程 司騰清	P4-32 有關容量分析表格資料，台鐵局有固定之格式欄位規定及判讀方式，請注意。	本軟體為都會捷運系統容量分析軟體，若捷運營運單位對於分析結果表格資料格式有其他建議，歡迎提供回饋意見。	--
	有關運轉寬裕時間與號誌安全時距並非存在一定之比例關係，以台鐵為例運轉寬裕時間是依站間運轉時隔而異，故是否考量依站間運轉時隔大小進行分類及設定運轉寬裕係數，建議考量。	若以運轉時隔大小分類來設定寬裕，則類別間的門檻值不易定義，且會使得分析軟體操作上更為複雜，而因為號誌安全時距愈大，其產生的變異也愈大，所以也不適合用一固定值表示寬裕，因此依比例計算運轉寬裕時間較為合理。	同 意 承 辦 單 位 之 回 應 說 明。
	有關台鐵路線容量依現有計算公式之計算結果不合理問題，台鐵局已注意到並希望藉由運研所本研究能提出較合理之軌道容量公式，以利後續各軌道系統之容量分析。	感謝評審支持。	--
成功大 學鄭教 授永祥 (書面 意見)	P2-3 中有關法國捷克阿史東公司(Gec-Alsthom)，現已改名為Alsthom 公司，請修正。	依評審意見辦理。	--
	P2-11 中有關高雄捷運路網圖 R24 尚未開始營運，建議先不要納入。	依評審意見辦理。	--
	P3-11 中有關 r=主線列車連續通過協銜接點的比例之解釋，是否宜更清楚說明其操作型定義，請考量。	依評審意見辦理。	--

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
成功大學鄭教授永祥 (書面意見)	P3-17 中有關最後一句「計算所有可能發生的瓶頸點，再以最小者作為系統的瓶頸」，此段文義不甚清楚，請檢核修正。	依評審意見辦理。	--
	未來是否有可能針對不同末端車站的折返型態，進行容量分析，請考量。	本軟體可針對站前折返、站後折返，或利用中央避車線折返等不同折返型態進行容量分析。	已於期末報告中回應處理。
本所運 計組 (書面意見)	P2-3 台北捷運內湖線已於 7/4 通車營運，故相關執行現況內容請修正。	依評審意見辦理。	--
	P2-12 高雄捷運南岡山站及大寮站前方及後方同時配置橫渡線及折返線，本研究構建之模式雖有針對站前及站後折返 2 種型態分析號誌安全時距，惟有關前述站前站後皆可同時折返之路線配置，是否對容量之提升更有助益？若有，本模式是否有可反應該配置型態之考量。另該類配置實務上列車運行是否有其他功能考量，建議可補充相關分析。	南岡山和大寮站皆為和機廠相鄰的末端車站，為降低列車進出機廠對主線營運的影響，因此路線配置為站前站後皆可折返，以提供營運調度上的彈性，對容量提升有正面的效益，而本模式則能依實際上其營運模式為站前或站後折返進行分析。 有關末端車站與機廠之營運調度關係可參見交通部高鐵路「軌道運輸之機廠位置及末端車站佈置對列車運轉調度的影響研究」報告。	已於期末報告中回應處理。
	P3-1 本容量分析模式係基於常態運轉之複線運轉所構建，惟若遇緊急事故或特殊狀況需以單線或雙單線方式運轉，本研究之容量及運轉規劃 2 分析模組是否能反應處理；另鑑於橫渡線對車站瓶頸點之消除係扮演關鍵角色，故從設施改善之角度，本模式是否可分析瓶頸點增設橫渡線之區位選擇建議，而實務上是否可行，建議可補充分析說明。	捷運系統常態運轉均採用複線運轉，而容量分析亦是在分析正常營運下之最大運輸能力，因此本模式不考量單線或雙單線運轉等特殊情況。 有關橫渡線之區位選擇建議，可透過本軟體提供的敏感度分析功能進行分析。	同意承辦單位之回應說明。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
本所運 計組 (書面 意見)	有鑑於內湖線係採移動式閉塞區間，而本研究模式係如何處理該類型閉塞制度，建議可補充說明。	考量到每個捷運的號誌系統可能不同，當初即發展泛用的容量分析模式，因此只需根據系統特性設定適當參數，即可進行分析。在後續工作之案例分析中將會詳細說明。	已於期末報告中回應處理。
	P3-4 式(3.4)運轉寬裕時間 t_m 與號誌安全時距 t_s 間係存在一定係數關係，是否合理，實務上是否亦有此關係，而捷運營運單位實務上如何設定運轉寬裕時間，建議於文中補充分析說明。另文中提及列車停站時間於號誌安全時距計算時已視列車使用股道情況考慮之，其原因為何，建議亦於文中補充說明。	由於軌道運輸中含有許多隨機程序，不可能百分之百精準地運作，因此在計算容量時，需考量寬裕時間，以涵蓋大部分的運轉情形。過去決定運轉寬裕的方式有如美國軌道容量手冊採用經驗值，或者根據模擬或實際觀測資料，比對解析模式之結果而定，但當號誌安全時距愈大，其產生的變異也愈大，若以一固定值作為寬裕，則時距較小時，寬裕過多；而時距較大時，寬裕可能不足，故本研究考量寬裕和時距存在一正比關係，而捷運營運單位在使用上則可根據其情況設定運轉寬裕係數。 最後，有關列車停站時間於號誌安全時距計算時已視列車使用股道情況考慮之，其原因在於若列車使用同一股道，則停站時間會影響號誌安全時距，若交替使用股道，則不影響，將在報告中補充說明。	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
本所運 計組 (書面 意見)	P4-18 本研究之路線容量及運轉規劃等 2 分析模組，其間是否應有交互回饋之關係，建議應就其關連性補充分析說明。	此兩模組在應用上功能迥異，因此各自獨立。	已於期末報告中回應處理。
	P4-33 有關容量分析結果，建議可增加順行、逆行之標示圖例；另本研究路線容量及運轉規劃模式是否允許順行、逆行各項參數設定不同之彈性，而實務上是否有此需求，建議補充說明。	本軟體對於順、逆行之參數可分別設定，對於結果呈現方面，將依順、逆行方向分別呈現，以方便使用者檢視。	已於期末報告中回應處理。
	本研究所建構解析模式之分析結果是否已經過實際案例驗證，其驗證結果如何，建議可於文中說明。	有關實際案例分析，為本研究之後續工作，將於期末報告中說明其結果。	已於期末報告中回應處理。
主席結 論	本年度研究完成捷運系統之容量分析研究後，本系列研究即完成台鐵及捷運系統之容量研究，至於高鐵系統之容量研究部分是否於後續年度辦理，可補充說明。	將於期末報告之結論建議一章中說明未來研究方向。	已於期末報告中回應處理。
	有關案例分析部分是否以將路段方式進行分析，或類似公路容量手冊以結合模擬分析呈現案例驗證結果，可補充說明。	案例分析將會針對繁忙車站或折返站等可能容量瓶頸點進行分析，而本研究僅有解析模式，因此沒有模擬分析。	已於期末報告中回應處理。
	有關本研究辦理過程中若各捷運局及捷運公司有發現相關課題值得進一步研究，請提出納入本研究之後續建議，俾利後續適時進一步研析。	依主席裁示辦理。	--
	本研究後續已預計辦理教育訓練，將會提供給相關機關單位及學校科系參加名額，屆時請大家共襄盛舉，俾利檢視提供意見以回饋修正本研究之成果。	依主席裁示辦理。	--
	有關本會議各與會學者專家所提意見，請規劃單位充分考量納入報告修正及列表回應；至本次期中報告審查通過，請依合約續辦相關作業。	感謝諸位評審的肯定。	--

「運輸系統容量分析暨應用研究—軌道系統(4/4)」
期中報告審查會議紀錄

一、時間：98年7月6日(星期一)下午2時30分

二、地點：交通部運輸研究所10樓會議室

三、主持人：蘇副組長振維

紀錄：劉昭榮

四、出席(列席)單位及人員：

交通大學交通運輸研究所黃教授承傳

黃承傳

成功大學交通管理科學研究所鄭教授永祥

鄭永祥

交通部鐵工局周副局長永暉

周永暉

交通部鐵工局規劃組施副組長文雄

施文雄

交通部臺鐵局運務處綜合調度所鄭工程司騰清

鄭騰清

臺灣高鐵公司陳協理信雄

陳信雄

臺北市政府捷運工程局

楊士賢

臺北大眾捷運股份有限公司

廖書媛

高雄市政府捷運工程局

邱俊毅

高雄捷運股份有限公司

劉昭榮

本所運工組

劉昭榮

運計組

劉昭榮

財團法人中興工程顧問社

鍾志武

李沁如

張昱輔

賴勇成 黃定強

附錄 F 期末工作會議資料

運輸系統容量分析暨應用研究-軌道系統(4/4) (98.09.22)

1. 會議資料摘要

本會議資料包括下列課題

- (1) 目前工作進度
- (2) 未來工作計畫
- (3) 問題討論

2. 目前工作進度

以下分別說明目前本研究各項工作進度。

2.1 案例分析

先前已蒐集案例分析的相關資料，然而有些資料並非能直接取得，例如巡航速度和安全係數，因此先說明該參數該如何透過計算獲得，再說明案例分析的初步成果。

2.1.1 巡航速度的計算

有關列車於站間的巡航速度之計算，速度碼系統可根據站間各閉塞區間的永久速限和列車的速度碼位階來估算。當先行列車離開車站，並行駛一段安全重疊區間後，依速度碼位階反算續行列車於進站前在各閉塞區間的速限，同時考量各閉塞區間的永久速限，來決定列車的巡航速度。以圖 2-1 為例，當先行列車離開車站行駛至第 1 閉塞區間時，依照列車速度碼位階，續行列車在第 2~7 閉塞區間的速限分別為 0、25、40、55、65、80km/h，但由於第 4~7 閉塞區間之永久速限皆為 65km/h，因此列車於此站間的巡航速度為 65km/h。

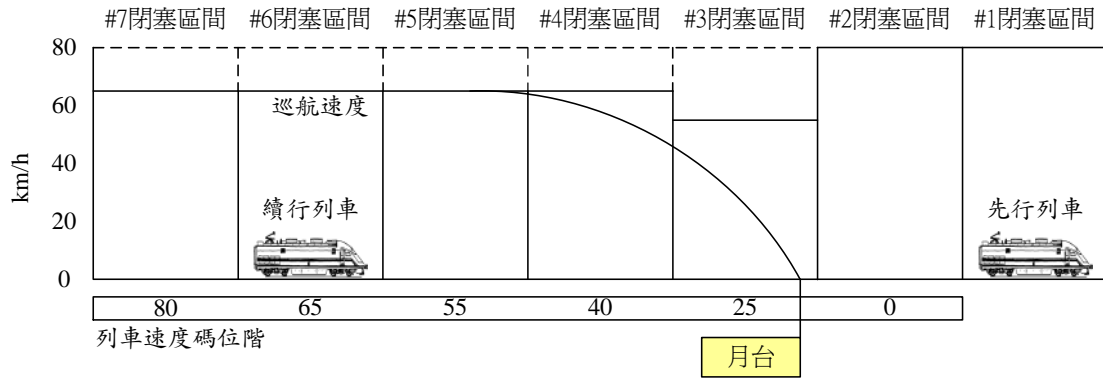


圖2-1 巡航速度計算範例

除此之外，若站間距離較短，使得列車從前一站出發後，無法加速至最高速限便需減速停站，此時則根據列車的加減速性能以及站間距離，來計算合理的巡航速度，如圖 2-2。

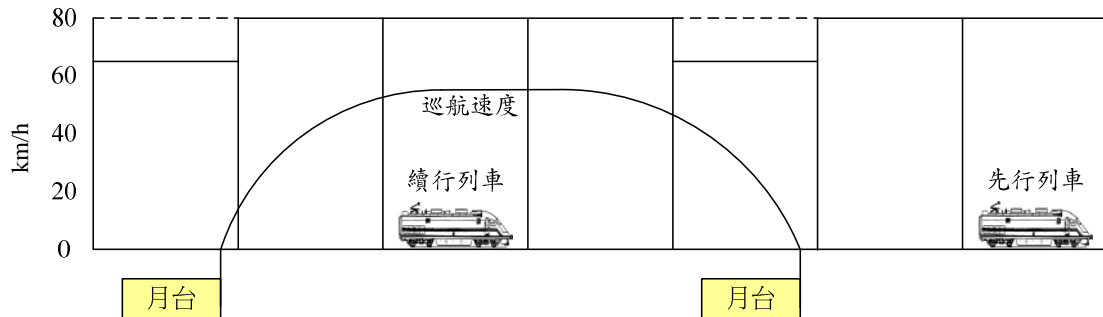


圖2-2 站間距離較短之情況

至於距離碼系統也是採用相同的邏輯來計算巡航速度，僅是將列車的速度碼位階改為列車煞車曲線。

2.1.2 安全係數的計算

由於列車的安全煞車距離與號誌系統的設計有關，而每個都會捷運的號誌系統又不盡相同，本模式為了泛用性的考量，在參數中係採用安全係數來計算，可根據實際情況以適當的數值帶入即可。

對於已存在系統，各閉塞區間皆以確定，由計算列車巡航速度的方法，可得到列車於進站前所在閉塞區間位置，便可進一步計算實際列車的安全煞車距離，利用下式來求得安全係數

$$Q = \frac{D_s \times 2K_b b}{v^2} \quad (2.1)$$

式中： Q =安全係數

D_s =安全煞車距離 (m)

K_b =煞車有效因子 (decimal)

b =列車服務減速度 (m/s^2)

v =列車巡航速度 (m/s)

圖 2-3 同樣為速度碼系統的範例，續行列車最接近車站的位置為第 6 閉塞區間，距離停站位置為 600m，巡航速度為 65km/h，若列車的服務加速度為 1m/s^2 ，煞車有效因子為 0.75，則安全係數約為 2.76。

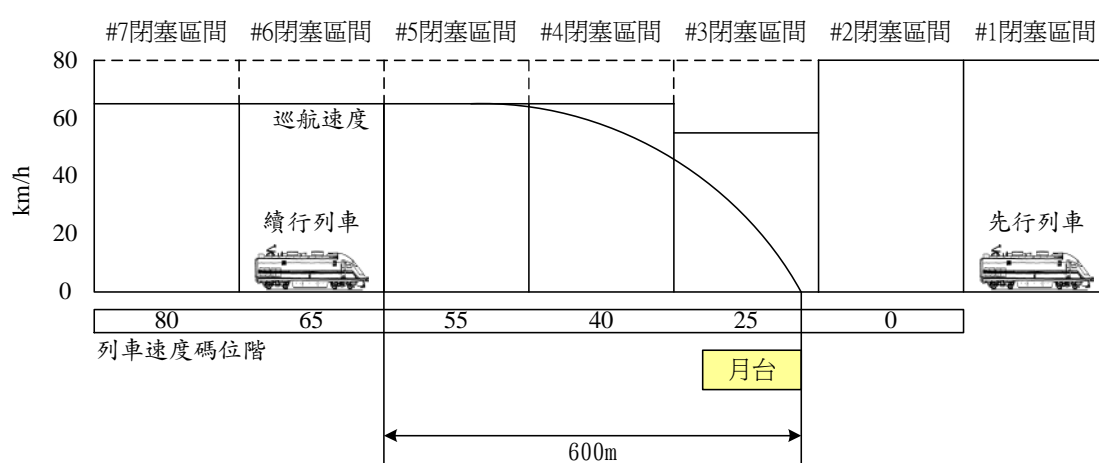


圖2-3 速度碼系統安全係數計算範例

距離碼系統則是根據列車的正常煞車曲線，計算列車從巡航速度下煞停所需的距離為 D_s ，然後同樣以式(2.1)來計算安全係數。

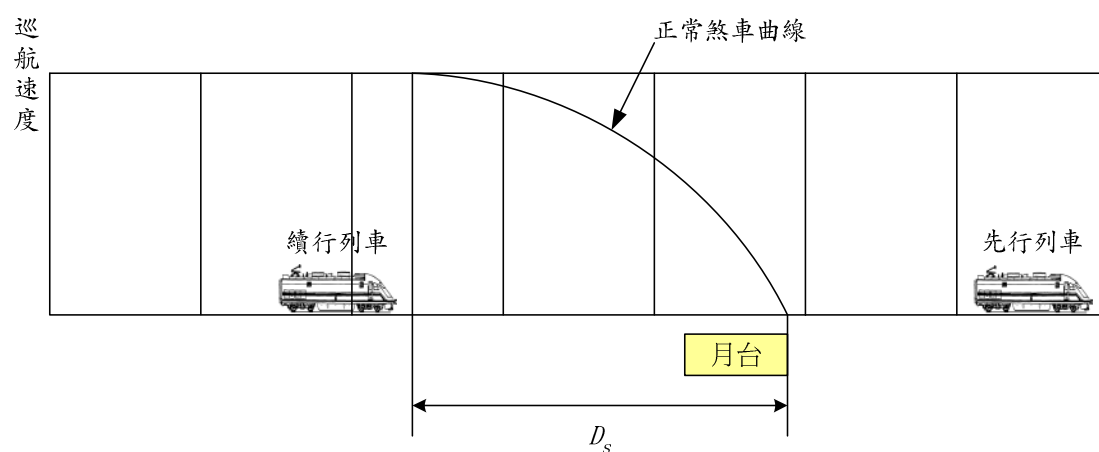


圖2-4 計算距離碼系統安全煞車距離

2.1.3 初步成果

透過本研究所開發的容量分析程式對國內捷運系統進行案例分析，在空間參考點的選擇上，以最繁忙車站、轉乘站或末端站為選取的考量基礎，以下就臺北捷運系統高運量、中運量以及高雄捷運系統的案例分析初步成果進行說明。

2.1.3.1 臺北捷運高運量

有關臺北捷運高運量的部分，以板南線的台北車站、忠孝復興站、永寧站，和南港站等站來進行案例分析，其分析結果為圖 2-5、圖 2-6以及表 2.1。

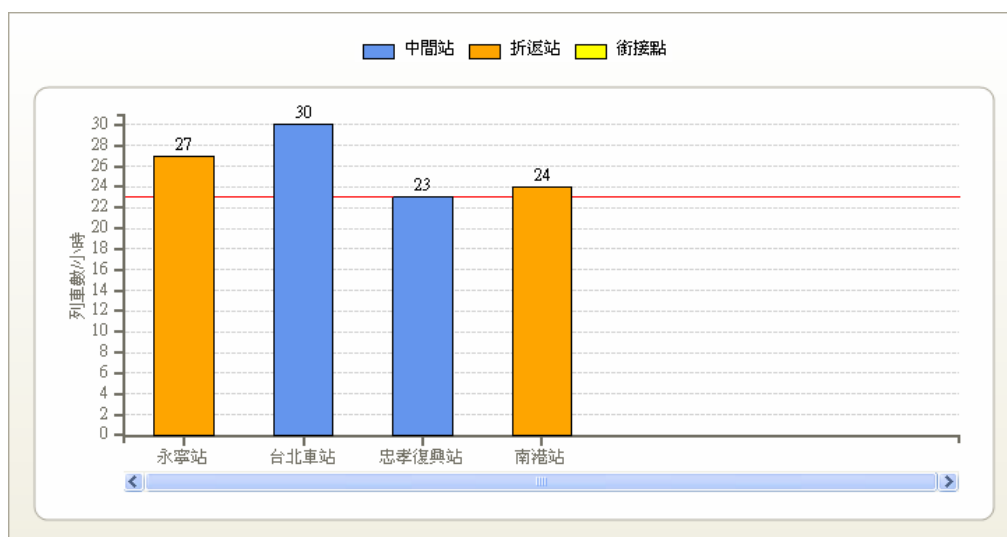


圖2-5 臺北捷運高運量系統容量分析結果（順行）

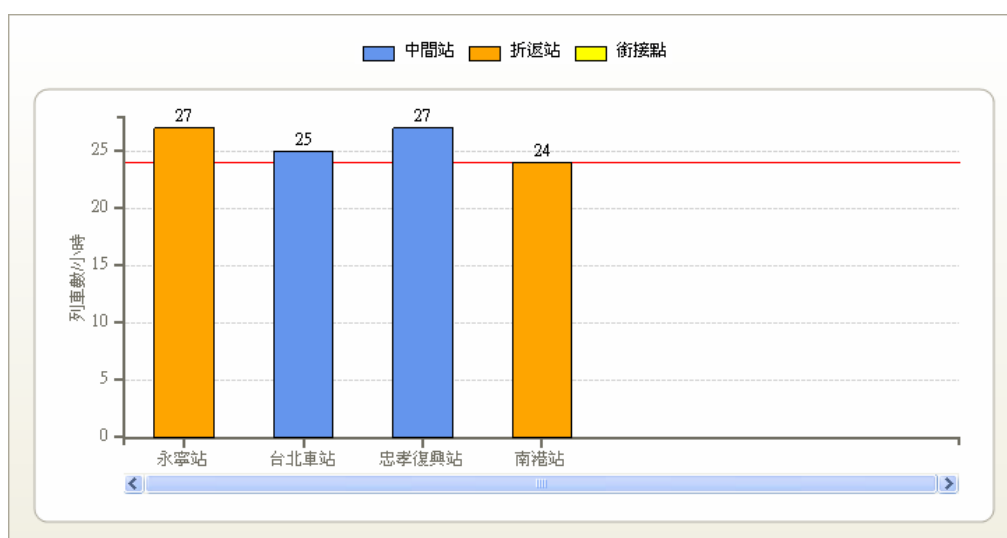


圖2-6 臺北捷運高運量系統容量分析結果圖（逆行）

表2.1 臺北捷運高運量系統容量分析結果

空間參考點	設計班距 (s)	
	順行	逆行
永寧站	133	
臺北車站	120	140
忠孝復興站	153	131
南港站	144	

2.1.3.2 臺北捷運中運量

中運量系統所進行分析的空間參考點為忠孝復興、南港展覽館和動物園等站，分析結果如圖 2-7、圖 2-8以及表 2.2。

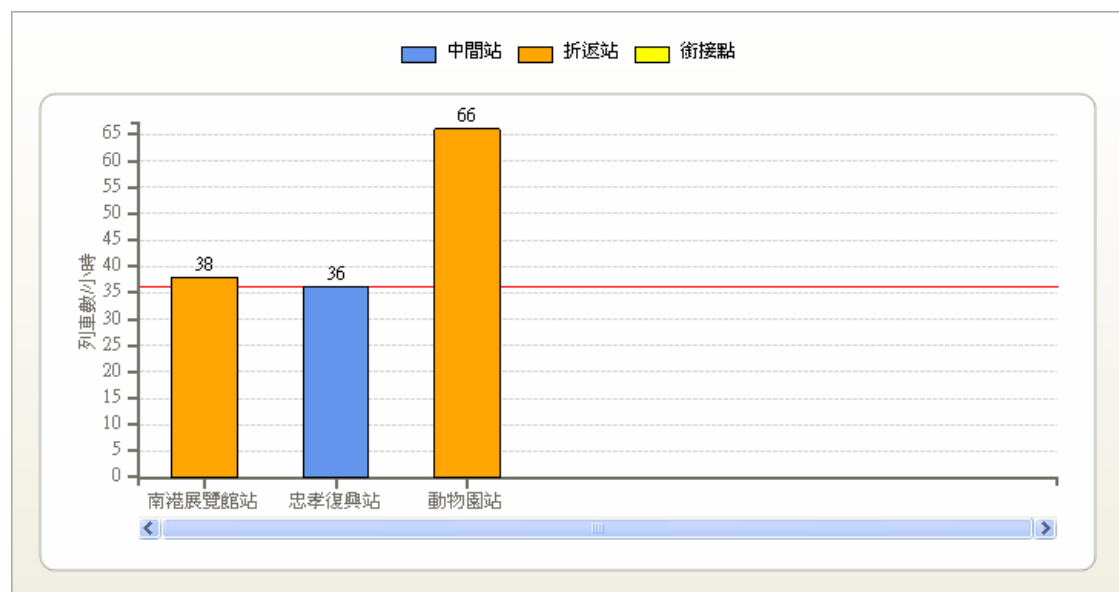


圖2-7 臺北捷運中運量系統容量分析結果圖（順行）

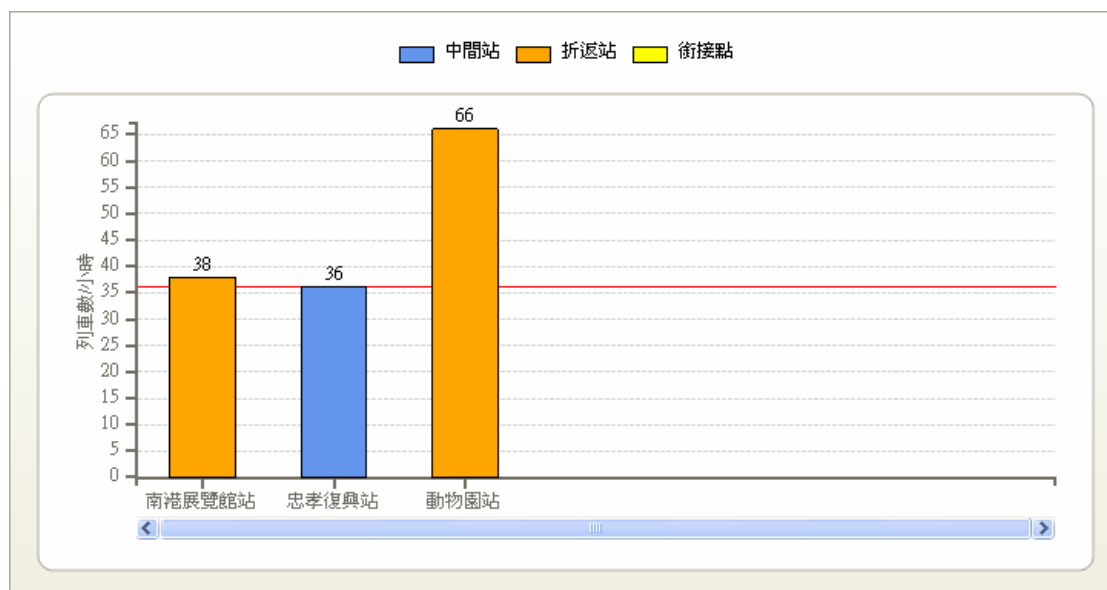


圖2-8 臺北捷運中運量系統容量分析結果圖（逆行）

表2.2 臺北捷運中運量系統容量分析結果

空間參考點	設計班距 (s)	
	順行	逆行
南港展覽館站	93	
忠孝復興站	99	99
動物園站	54	

2.1.3.3 高雄捷運

在高雄捷運方面，選取紅線上的高雄車站、左營站、美麗島站、橋頭站和小港站等站進行案例分析。由於目前南岡山站尚未營運，而橋頭站前後並無橫渡線，因此列車需利用南岡山站前的橫渡線進行折返，實際上探討容量的空間參考點如圖 2-9，根據模式，此折返情況可視為站前折返。有關案例分析的各項參數如表 2.3～表 2.9，其容量分析的結果如圖 2-10、圖 2-11以及表 2.10。

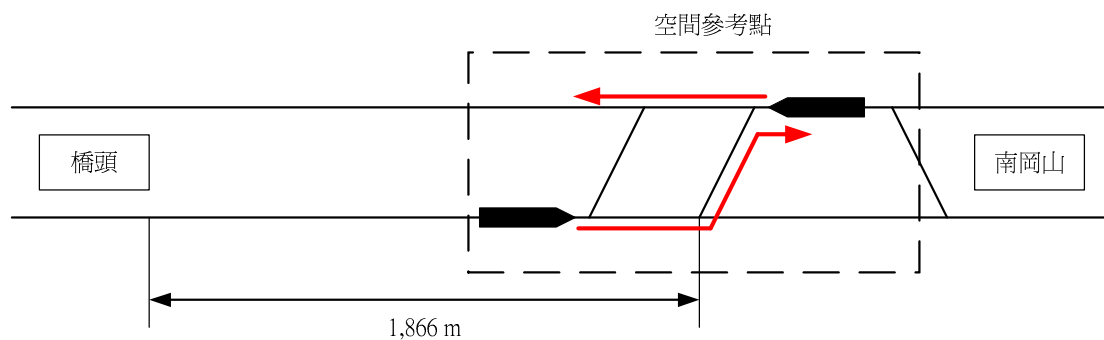


圖2-9 橋頭站折返情況

表2.3 高雄捷運系統全域參數

參數名稱	數值
解除進路、道岔轉轍、鎖定進路等之道岔及號誌聯鎖時間	20 s
號誌系統及列車控制的反應時間	1 s
列車間乘載變異因子	0.8
運轉寬裕時間係數	0.3

表2.4 高雄捷運系統列車參數

參數名稱	數值
列車車身長度	65.45 m
列車加速度	1 m/s ²
列車減速度	1 m/s ²
煞車有效因子	0.75
座位數	126
立位面積	126.1 m ²
乘載水準	6 Prs/m ²

表2.5 橋頭折返空間參考點參數

參數名稱	數值
折返站站前進站坡度	0 ‰
列車於車站內停車位置至橫渡線區的距離	39.78 m
橫渡線區的長度	86 m
停站時間	120 s
道岔限速	40 km/h
列車進站前的巡航速度	80 km/h
列車進入折返站前橫渡線區的間隔安全係數	1
列車於站內停靠不同股道	否

表2.6 左營站空間參考點參數

參數名稱	數值	
	順行	逆行
進站坡度	-29.94 ‰	30 ‰
離站坡度	-30 ‰	29.94 ‰
列車於車站內停車的位置與車站所在區間的離開點之間距	4.5 m	4.5 m
車站的安全重疊區間長度	276 m	241 m
停站時間	30 s	30 s
先行列車離站後的巡航速度	80 km/h	80 km/h
續行列車進站前的巡航速度	80 km/h	80 km/h
連續列車在車站的間隔安全係數	1	1

表2.7 高雄車站空間參考點參數

參數名稱	數值	
	順行	逆行
進站坡度	-14.3 ‰	-6.8 ‰
離站坡度	6.8 ‰	14.3 ‰
列車於車站內停車的位置與車站所在區間的離開點之間距	4.5 m	4.5 m
車站的安全重疊區間長度	221 m	310 m
停站時間	30 s	30 s
先行列車離站後的巡航速度	80 km/h	80 km/h
續行列車進站前的巡航速度	80 km/h	80 km/h
連續列車在車站的間隔安全係數	1	1

表2.8 美麗島站空間參考點參數

參數名稱	數值	
	順行	逆行
進站坡度	6.8 ‰	-14.24 ‰
離站坡度	14.24 ‰	6.8 ‰
列車於車站內停車的位置與車站所在區間的離開點之間距	4.5 m	4.5 m
車站的安全重疊區間長度	302 m	149 m
停站時間	40 s	40 s
先行列車離站後的巡航速度	80 km/h	80 km/h
續行列車進站前的巡航速度	80 km/h	80 km/h
連續列車在車站的間隔安全係數	1	1

表2.9 小港站空間參考點參數

參數名稱	數值
折返站站前進站坡度	6 ‰
列車於車站內停車位置至橫渡線區的距離	24.55 m
橫渡線區的長度	131 m
停站時間	120 s
道岔限速	40 km/h
列車進站前的巡航速度	80 km/h
列車進入折返站前橫渡線區的間隔安全係數	1
列車於站內交替使用不同股道	是

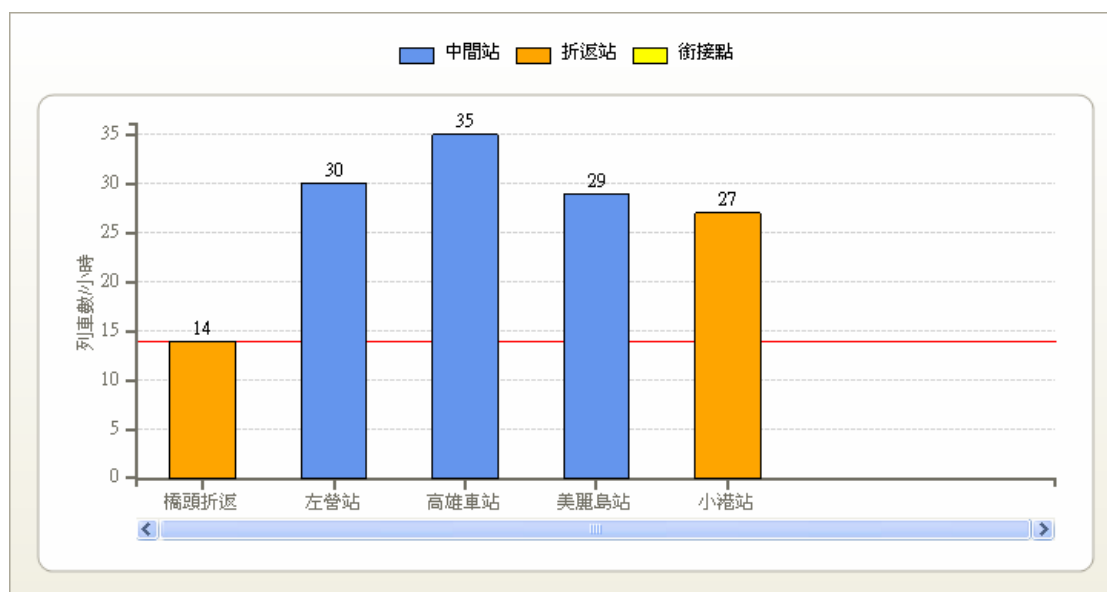


圖2-10 高雄捷運系統容量分析結果圖 (順行)

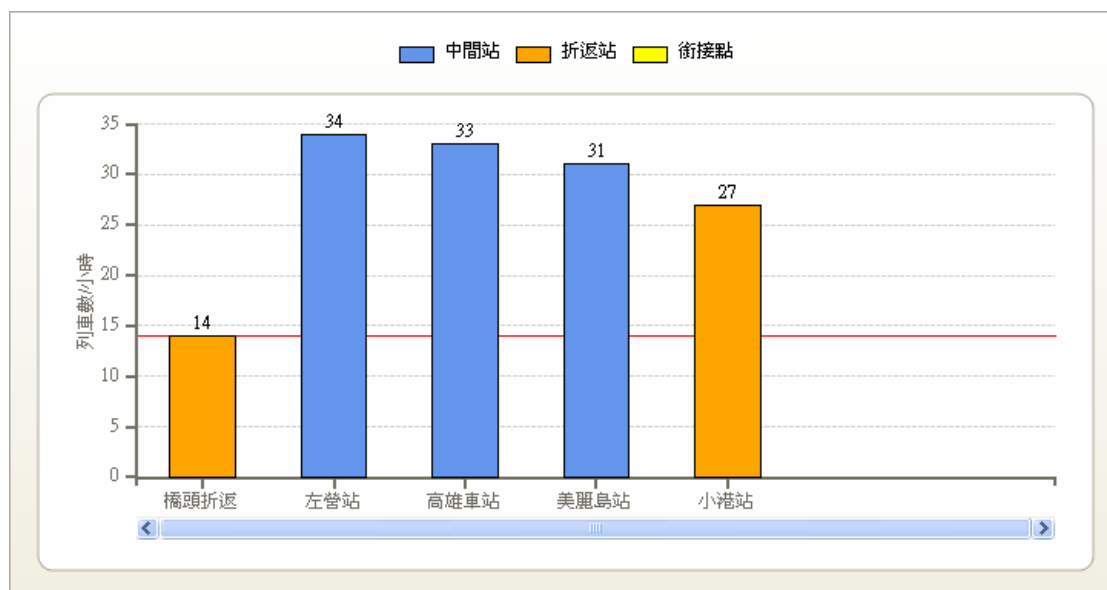


圖2-11 高雄捷運系統容量分析結果圖（逆行）

表2.10 高雄捷運系統容量分析結果

空間參考點	設計班距 (s)	
	順行	逆行
橋頭	256	
左營站	118	105
高雄車站	102	106
美麗島站	120	115
小港站	130	

2.2 編訂軌道容量手冊

手冊編訂的工作包含「基礎篇」和「城際軌道系統－第一型模式」兩篇章的修訂，根據前期的研究成果，增加列車服務可靠度相關內容，包含列車服務可靠度模擬模式，以及容量分析程式之可靠度分析功能操作說明。此外彙整上年度與本年度以都會捷運系統為對象的研究成果，編訂手冊中的「都會軌道系統－第一型模式」。

2.3 成果發表與教育訓練內容

今年為全程計畫的最後一期，因此在最後辦理整個計畫的成果發表以及教育訓練，內容包含：

1. 軌道容量分析概論

包含軌道容量分析的目的、定義、基本架構與應用等，讓參與人士能盡快對軌道容量分析有一定程度的認識。

2. 傳統暨區域鐵路系統容量分析研究成果

內容主要為傳統暨區域鐵路系統容量分析模式、程式與相關應用，但由於模式牽涉許多數學公式，為避免太過艱澀導致反效果，因此將以概念以及計算程序介紹為主。

3. 都會捷運系統容量分析研究成果

內容和上一項相似，但是研究對象為都會捷運系統，此外有關其分析程式的介紹將獨立為教育訓練課程。

4. 都會捷運系統容量分析程式教育訓練

介紹容量分析程式的特色、操作環境、快速入門和各項功能操作程序教學。此外，將依據教學需求設計案例，藉由實際操作程式進行案例分析，讓使用者能更熟悉軟體的操作與應用。

根據過去辦理「傳統區域鐵路系統軌道容量分析模式暨視窗軟體」教育訓練之經驗，本次成果發表及教育訓練一樣規劃為一天之活動，若報名人數踴躍則考慮增加場次。授課時數分配如表 2.11。

表2.11 成果發表及教育訓練內容與授課時數分配

項目	時數	合計時數
軌道容量分析概論	1.5 小時	6 小時
傳統暨區域鐵路系統容量分析研究成果	1.5 小時	
都會捷運系統容量分析研究成果	1.5 小時	
都會捷運系統容量分析程式教育訓練	1.5 小時	

3. 未來工作計畫

未來欲進行的後續工作內容如下：

1. 編訂軌道容量手冊
2. 辦理成果發表與教育訓練
3. 撰寫期末報告

4. 問題討論

1. 決定舉辦成果發表與教育訓練的時間與地點。
2. 其他問題討論。

附錄 G 期末工作會議紀錄

「運輸系統容量分析暨應用研究—軌道系統(4/4)」 期末工作會議紀錄

一、時 間：98 年 9 月 22 日(星期二)下午 2 時整

二、地 點：交通部運輸研究所七樓運輸規劃科技研究室

三、主持人：林組長國顯、鍾志成博士

紀錄：張恩輔

四、出(列)席單位及人員：

國立成功大學交通管理科學研究所鄭教授永祥

<請假>

交通部鐵工局周副局長永暉

<請假>

交通部鐵路改建工程局規劃組施副組長文雄

<請假>

交通部臺鐵局鄭工程司騰清

鄭騰清

臺灣高鐵公司陳協理信雄

陳信雄

臺北市政府捷運工程局

楊士賢

臺北大眾捷運股份有限公司

李元勳 張淑雯 康書媛

高雄市政府捷運工程局

<請假>

高雄捷運股份有限公司

<請假>

財團法人中興工程顧問社

鍾志成

賴勇成 黃生法 郭弘

本所運計組

劉昭榮

五、主席致詞：(略)

六、簡報：(略)

七、出席人員發言要點：

(一) 交通部臺鐵局鄭工程司騰清

1. 圖 2-3 可能會誤導讀者，建議修改。

鍾志成博士答覆：將在期末報告中，將對於此部分的文字說明以及圖例做適當的修改，以便使讀者容易了解。

(二) 臺灣高鐵公司陳協理信雄

1. 文中對於煞車有效因子建議為 0.75，此建議值是否有所依據？

鍾志成博士答覆：根據文獻，煞車有效因子 0.75 是號誌系統廠商普遍可接受的設計水準，此外，在 TCQSM 和 Vuchic 的書中，對於煞車有效因子也都採用 0.75，因為在設計上都會較為保守一點，也就是要考量列車即使在最壞的狀況下也能煞停，所以不會使用理想情況下的減速度。

2. 請問案例分析中，順逆行的定義為何？

黃笙玗研究員答覆：案例分析中的順逆行，是照著空間參考點的排列順序，順行就是順著空間參考點順序的方向，逆行則相反。

3. 有關北捷高運量系統的案例分析結果，台北車站和忠孝復興站在順逆行方向上的容量分析結果有較大差異，其可能原因為何？

鍾志成博士答覆：臺北捷運系統為雙線區間採複線運轉，因此在

順行和逆行兩方向上，容量分析所用的參數不盡相同，因此其結果自然就會有所差異。

4. 是否有方法可以驗證本模式？

鍾志成博士答覆：聽說過去北捷剛完工的時候，曾經為了驗證招標文件中規定的 105 秒設計班距，在收班後將所有列車開出進行驗證，本模式若要進行驗證，可以採用相同的方法，但此方法相當耗時耗力。在實際營運上，若列車數充裕且已盡量縮短班距，其結果如果跟本模式所算出的結果相近，即有相當的程度顯示本模式的正確性。

(三) 臺北市政府捷運工程局

1. 有關 2.1.1 中的敘述，為何各閉塞區間的速限有兩種？

鍾志成博士答覆：列車於站間運行時，其運行速度受到幾種限制，首先是速度碼位階的影響，以北捷高運量為例，速限分別為 0、25、40、55、65、80km/h；其次是路線上有些地方會有彎道速限或其他因素的關係會有永久速限，而使得列車不能以最高營運速度運行；此外，若是站間距離太短，也會使列車無法加速到最高營運速度，要視列車的加減速性能，來決定列車於此站間所能行駛的最高速度。而列車的站間運行速限，是以上所有限制的最小者，才是最安全的速限。

(四) 臺北大眾捷運股份有限公司

1. 目前中運量系統在尖峰時間的最小營運班距是 90 秒，而設計班距是 72 秒，和初步分析的結果有所差異。

鍾志成博士答覆：我們會再重新檢視各項參數，以了解產生差異的原因，另外通常系統能達到設計班距的條件和實際營運的條件不盡相同，因此希望捷運公司能提供當時驗收設計班距時，系統的各项條件。

(五) 交通部運輸研究所運計組林組長國顯

1. 一般來說，兩個車站之間有幾個閉塞區間？閉塞區間大約多長？

鍾志成博士答覆：兩個車站之間的閉塞區間數量，需視兩站之間的距離以及閉塞區間長度而定，若站間距離不長，閉塞區間數就會較少，例如善島寺到台北車站就沒幾個閉塞區間；而如果閉塞區間長度較長，即使在站距較長之區間，閉塞區間數量也可能不多。另外，每個閉塞區間長度不一，一般大約在 180~320 公尺，在靠近進出車站的地方，閉塞區間長度會較短，而在長距離的站間，因為列車速度較快，閉塞區間長度則會較長，原則是讓列車通過每個閉塞區間的時間差不多。

2. 模式中的安全係數可小於 1 嗎？

鍾志成博士答覆：因為兩列車需保持的最小安全距離至少為一個煞車距離，因此安全係數不可能小於 1。

3. 圖 2-5 和圖 2-6 是否為程式介面的圖，看不出順逆行？

鍾志成博士答覆：該圖為容量分析軟體的部分截圖，僅呈現容量分析結果，在完整的介面中有清楚標示順逆行，由使用者自行決定欲檢視的方向。

4. 有關軌道容量手冊的部分，目前各篇章名稱是否適當？

鍾志成博士答覆：原本手冊中各篇名稱為「基礎篇」、「城際軌道系統—第一型模式」和「都會捷運系統—第一型模式」，考量不易直接從篇名聯想各種軌道系統，因此將改為「基礎篇」、「傳統暨區域鐵路篇」和「都會捷運系統篇」。

八、散會

附錄 H 期末簡報資料



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)

期末簡報

簡報人：黃瑩琰

中華民國98年12月10日



財團法人中興工程顧問社

簡報大綱

- 計畫背景介紹
- 研究工作流程
- 案例分析
- 編修軌道容量手冊
- 教育訓練與成果發表
- 結論與建議



計畫背景介紹

傳統暨區域鐵路系統

第一年度

1. 容量分析程式開發
2. 程式測試與驗證
3. 程式使用者手冊編訂
4. 台鐵捷運化案例分析

第二年度

1. 程式使用教育訓練
2. 程式回饋修正
3. 軌道系統服務品質
4. 軌道容量手冊編訂

都會捷運系統

第三年度

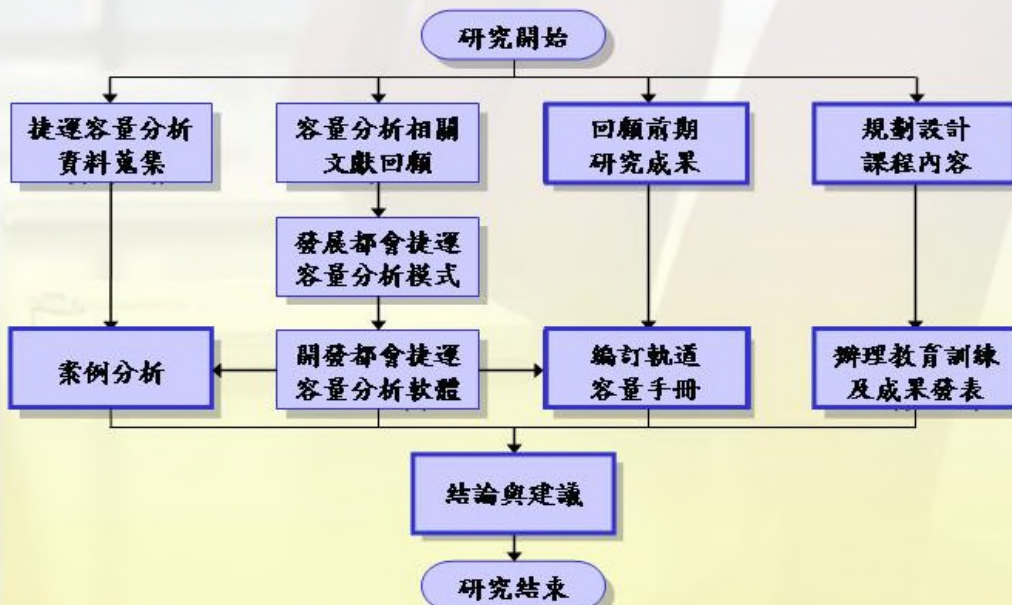
1. 可靠度分析模式
2. 可靠度分析程式
3. 捷運容量模式回顧
4. 捷運準時時隔建構

第四年度(本年度)

1. 捷運容量模式建構
2. 捷運容量程式開發
3. 軌道容量手冊編訂
4. 教育訓練和成果發表

運輸系統容量分析暨應用研究—軌道系統

研究工作流程



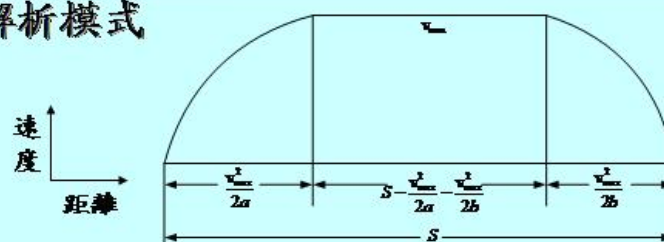
案例分析

- 巡航速度的決定方式
- 間隔安全係數的設定
- 臺北捷運高運量系統
- 臺北捷運中運量系統
- 高雄捷運系統



案例分析

- 巡航速度的決定方式
 - 實際營運的巡航速度資料
 - 列車性能模擬器
 - 解析模式



$$\text{巡航速度} \leq \min \left\{ \begin{array}{l} \text{最高營運速度,} \\ \text{永久速限,} \\ \text{列車速度碼} \end{array} \right\}$$

案例分析

• 間隔安全係數的設定

– 規劃中的系統

- 速度碼系統—建議採用1.5~2.0
- 距離碼系統—建議採用1.0~1.2

– 已營運的系統

$$Q = \frac{2K_b b D}{v^2}$$

Q = 安全係數

K_b = 減速性能折減因子

b = 列車減速度

D = 連續列車之間的最小安全間隔距離

v = 巡航速度

案例分析

• 臺北捷運高運量系統

– 空間參考點

	空間參考點名稱	空間參考點型式
板南線	永寧站	站前折返
	臺北車站	中間站
	忠孝復興站	中間站
	南港站	站前折返

案例分析

• 臺北捷運高運量系統

－ 列車參數

參數名稱	數值	單位
列車車身長度	141	m
列車加速度	1	m/s ²
列車減速度	1	m/s ²
列車有效因子	0.75	—
座位數	352	—
立位面積	264	m ²
乘載水準	6	prs/m ²

註：全列車為6輛車編組

案例分析

• 臺北捷運高運量系統

－ 分析結果

• 往南港方向

空間參考點	設計班距 (秒)	路線容量 (列車數/小時)	設計容量 (旅客數/小時)	可達成容量 (旅客數/小時)
永寧站	125	28	54208	46076
台北車站	101	35	67760	57596
忠孝復興站	130	27	52272	44431
南港站	124	28	54208	46076

案例分析

• 臺北捷運高運量系統

－ 分析結果

• 往永寧方向

空間參考點	設計班距 (秒)	路線容量 (列車數/小時)	設計容量 (旅客數/小時)	可達成容量 (旅客數/小時)
南港站	124	28	54208	46076
忠孝復興站	111	32	61952	52659
台北車站	119	30	58080	49368
永寧站	125	28	54208	46076

案例分析

• 臺北捷運中運量系統

－ 空間參考點

	空間參考點名稱	空間參考點型式
文湖線	南港展覽館站	站後折返
	忠孝復興站	中間站
	動物園站	站後折返

案例分析

• 臺北捷運中運量系統

— 列車參數

參數名稱	數值	單位
列車車身長度	55.12	m
列車加速度	1.34	m/s ²
列車減速度	1.34	m/s ²
列車有效因子	0.75	—
座位數	80	—
立位面積	58.4	m ²
乘載水準	6	prs/m ²

註：全列車為4輛車編組

案例分析

• 臺北捷運中運量系統

— 分析結果

• 往動物園方向

空間參考點	設計班距 (秒)	路線容量 (列車數/小時)	設計容量 (旅客數/小時)	可達成容量 (旅客數/小時)
南港展覽館	84	42	18076	14460
忠孝復興站	90	40	17216	13772
動物園站	49	73	31419	25135

案例分析

• 臺北捷運中運量系統

－ 分析結果

• 往南港展覽館方向

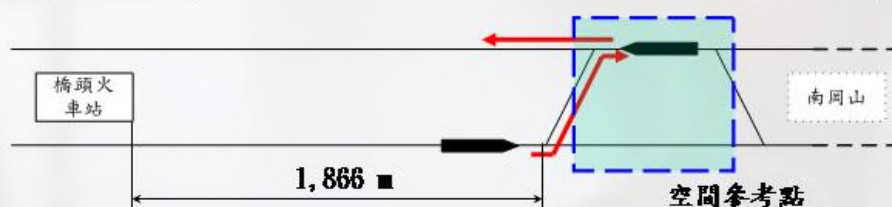
空間參考點	設計班距 (秒)	路線容量 (列車數/小時)	設計容量 (旅客數/小時)	可達成容量 (旅客數/小時)
動物園站	49	73	31419	25135
忠孝復興站	90	40	17216	13772
南港展覽館	84	42	18076	14460

案例分析

• 高雄捷運系統

－ 空間參考點

	空間參考點名稱	空間參考點型式
紅線	橋頭折返處	站前折返
	高雄車站	中間站
	左營站	中間站
	美麗島站	中間站
	小港站	站前折返



案例分析

• 高雄捷運系統

— 列車參數

參數名稱	數值	單位
列車車身長度	65.45	m
列車加速度	1	m/s ²
列車減速度	1	m/s ²
列車有效因子	0.75	—
座位數	126	—
立位面積	126.1	m ²
乘載水準	5	prs/m ²

註：全列車為3輛車編組

案例分析

• 高雄捷運系統

— 分析結果

• 往小港方向

空間參考點	設計班距 (秒)	路線容量 (列車數/小時)	設計容量 (旅客數/小時)	可達成容量 (旅客數/小時)
橋頭折返處	217	16	12104	9683
左營站	100	36	27234	21787
高雄車站	86	41	31016	24812
美麗島站	102	35	26477	21181
小港站	112	32	24208	19366

案例分析

• 高雄捷運系統

– 分析結果

• 往南岡山方向

空間參考點	設計班距 (秒)	路線容量 (列車數/小時)	設計容量 (旅客數/小時)	可達成容量 (旅客數/小時)
小港站	112	32	24208	19366
美麗島站	97	37	27990	22392
高雄車站	90	40	30260	24208
左營站	89	40	30260	24208
橋頭折返處	217	16	12104	9683
南岡山站	143	25	18912	15129

編修軌道容量手冊

臺灣地區軌道容量手冊

基礎篇

傳統暨區域鐵路篇

都會捷運系統篇

高鐵及機場捷運系統篇

輕軌運輸系統篇

教育訓練與成果發表

- 教育訓練

- 時間：民國98年10月29日
- 地點：中興社10F電腦教室



- 成果發表

- 我國整體運輸規劃研究系列成果暨應用推廣研習會
- 時間：民國98年12月15、16日
- 地點：交通部運輸研究所B1國際會議廳

結論

- 本研究發展了都會捷運系統容量分析模式
 - 補足都會捷運系統運轉時隔分析公式
 - 以「列車」為客體單位之容量模式
 - 以「旅客」為客體單位之容量模式
- 以都會捷運系統容量分析模式為核心，開發相關軟體，包含
 - 容量分析模組
 - 運轉規劃模組

結論

- 針對國內捷運系統進行案例分析之結果
 - 臺北捷運高運量系統
 - 往南港方向，27 TU/h
 - 往永寧方向，28 TU/h
 - 臺北捷運中運量系統
 - 雙向皆為40 TU/h
 - 高雄捷運系統
 - 雙向皆為16 TU/h
 - 若南岡山站營運，則軌道容量可提高為25 TU/h，約改善56%

結論

- 根據實際資料反算的結果，運轉寬裕時間係數之建議值
 - 高運量系統為0.1
 - 中運量系統為0.2
- 編訂了軌道容量手冊「都會捷運系統篇」，並修訂「基礎篇」和「傳統暨區域鐵路篇」兩個篇章
- 教育訓練於98年10月29日舉辦，且成功圓滿落幕



建議

- 針對高複雜度或需要較高精確度的容量分析問題，則必須發展高精度的模擬模式
- 停站時間對於容量具有相當的影響程度，當停站時間增長將使軌道容量降低，兩者間該如何權衡，值得深入研究
- 捷運系統之停站型態一致且無對號的特性，使得旅客人潮管制的困難度大幅提升，旅客時空分布是重要的課題之一，建議未來可發展相關模式及程式來進行評估



建議

- 不同區間之間的軌道容量彼此會互相影響，為了精確地了解整條路線的容量，建議發展多區間容量分析模式
- 後續可進行高鐵系統或輕軌運輸系統的軌道容量分析研究，以作為軌道容量手冊內容之基礎
- 利用電腦科技研究軌道運輸系統中其他複雜課題



簡報完畢、敬請指教

————— Thank You —————

附錄 I 期末審查意見處理情形

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 政府捷 運工程 局	有關南岡山站之案例，係導因於原 BOT 合約是紅線興建至橋頭站，但後續計畫核定至南岡山站且計畫時程不變，但最後整體財務計畫併同 R24 站陳報，以致議約不順利。	將依主席裁示，於報告中增加此背景說明。	已於定案報告中回應補充說明。
	本研究之教育訓練甚具教育宣導功能，但本年度僅於臺北舉辦，故建議至南部增加辦理 1 場，以利南部相關人士學習。	將依主席裁示，請所需機關直接邀請舉辦，或待後續年度本所相關研究案辦理時再至南部增辦。	--
	P7-2 有關報告之建議第 5 項，建議後續可增加輕軌 LRT 之容量研究。	依評審意見辦理。	已於定案報告中回應補充說明。
臺北市 政府捷 運工程 局	P7-1 結論第 2 點皆為以「列車」為客體單位之容量模式，應係為誤植，另一項應為「旅客」模式，請修正。	依評審意見辦理。	已於定案報告中修正。
	Ch6 有關教育訓練之 Q&A 資料甚為寶貴，建議應納入報告內，以作為後續參考。	在教育訓練當下並沒有紀錄 Q&A 資料，但可試著回想，若可以則在報告中補充。	已於定案報告中適度補充說明。
	P5-3 有關本研究模式所考量之先行列車與續行列車參數於方向上之差異設定，是否係造成忠孝復興站(中間站)與永寧站(末端站)是捷運板南線 2 方向瓶頸點之原因，建議應於報告中說明。	以忠孝復興站為例，分析往南港方向之容量，列車是從忠孝新生站往忠孝復興站進站，再離站開往忠孝敦化站，而往永寧方向則相反，因此先續行列車參數在不同方向上有所差異，也使得分析結果不同，所以瓶頸的位置也會不同。	已於定案報告之相關章節回應補充說明。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
臺北大眾捷運股份有限公司	P2-8 由臺電公司提供「雙向」之161KV 高壓電，「雙向」應為「雙迴路」，請釐清。	依評審意見辦理。	已於定案報告中修正。
臺北大眾捷運股份有限公司	P2-9 表 2.2 臺北捷運系統高運量車輛未具備終端站自動折返、故障訊息回傳與遙控排除之設計及軌道障礙偵測，故高運量車輛需備有司機員，請修正表 2.2 之資料。	依評審意見辦理。	已於定案報告中修正。
	P3-5 在實務上運轉寬裕時間之設定，可反映月臺旅客因素之變異，建議運轉寬裕時間應單獨設定。	在本模式中，停站時間本身是號誌時隔的一個變數，因此模式中是全部以一個轉寬裕係數來進行設定，過去傳統鐵路容量分析模式也是依此原則，保持此一致性較不會讓使用者混淆。	同意承辦單位之處理及補充說明。
	P3-6 請釐清可達成容量是否為實際運轉中考慮旅客搭乘行為之實際最大承載量？列車間承載變異因子之估計是否需在容量飽和之前提下進行估算。	可達成容量是系統最大能達到的載運量，而承載變異因子若在愈接近容量飽和的情況下進行估算，則參考性愈高，但不一定非要在容量飽和之前提下進行估算。	同意承辦單位之處理及補充說明。
	建議站後折返之容量估計模式增列列車停靠月臺時間(含清車時間)，以符合實際之運作。	模式中針對站後折返的部分，主要是以尾軌的立場進行分析，因為列車於尾軌需要停車、變更運轉方向等動作。若考慮列車於末端站停靠時，需要清車時間，可將之視為中間站進行分析，最後再取兩種方式分析結果中的最小值，則是整個末端站之容量。	同意承辦單位之處理及補充說明。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
	建議未來之研究方向可包括：分析路線容量不足會發生何種現象(如列車延滯現象)？另亦可針對列車運轉異常時會對容量降低程度之影響相關分析。	依評審意見辦理。	已於定案報告之相關章節回應補充說明。
臺北大眾捷運股份有限公司	P5-5 表 5.5 與表 5.6 之容量分析結果與目前實際運轉經驗尚有落差，建議再檢核修正。	將檢核分析結果，再作修正。	已於定案報告中修正。
	P5-7 表 5.9 之表名誤植，請更正。	依評審意見辦理。	已於定案報告中修正。
	P2-2 之附表有分內湖線與木柵線，目前已合併為文湖線，車廂之容量亦不同，建議應檢核統一修正。	依評審意見辦理。	已於定案報告中修正。
	目前文湖線平常日尖峰運量係發生於大安站—中山國中站區間，通過運量為 44 列車/hr、10,800 人/hr，與 P5-7 之每小時載客數有落差，建議應再檢視車廂乘載水準等相關參數設定；另表 5.8 文湖線正常之最小設計班距為 72 秒，營運規劃上之最小班距為 90 秒，與本研究之設定為 49 秒有明顯差距，建議考量修正。	有關目前文湖線平常日尖峰運量的統計值，僅表示目前系統現況之平均值，而本研究的分析為系統最大能達到的載運量，因此有所落差。 另本研究之案例分析是分別計算幾個瓶頸可能發生處，再找出整個系統的瓶頸容量，所以雖然分析結果在動物園站的設計班距僅 49 秒，但整條路線的容量瓶頸仍然在忠孝復興站，設計班距為 90 秒，不過有關於動物園站考量旅客淨空時間，本研究將會進行相關分析，並在報告中進行補充與修正。	已於定案報告之相關章節回應補充說明。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
	有關文湖線採用之列車自動控制系統(ATC)與 Communication-based Train Control (CBTC)系統, 及 Distance-to-go 等列車自動保護系統間之定義及差異, 建議可於報告中敘明; 另 P2-8 第三段有關文湖線之相關時程之文字, 建議修正。	依評審意見辦理。	已於定案報告中修正。
	有關圖 2-3 與圖 2-4 之軌道配置圖建議應再檢核修正, 例如: 南港機廠之股道應為平面交叉、圖 2-3 中運量橫渡線之位置與實際狀況不符等。	依評審意見辦理, 亦請貴公司提供相關資料, 以利修正。	已於定案報告中修正。
臺北大眾捷運股份有限公司	P3-7 (3.12)式若交通需求是變動, 則 ρ_d 也是變動, 故是否應界定需求達飽和流量時, 其始為可達成容量。	基本上就像公路容量一樣, 隨條件不同, ρ_d 值也會有變化, 在量測時的流量若愈接近容量, 則量測值愈具參考性。該數值雖會變動, 但變動是在可接受的小範圍內, 因此實務上可以現況的 ρ_d 值來進行運用。	同意承辦單位之處理及補充說明。
	P3-6 式 3.10 請增列 n_v 之說明; P3-12 式 3.19 請增列 t_i 之說明。	依評審意見辦理。	已於定案報告中修正。
高雄捷運股份有限公司(書面意見)	P2-11 第 2.2.2 節之圖 2-9 中, 05/R10 應為「美麗島站」, 請修正。	依評審意見辦理。	已於定案報告中修正。
	P2-13 第 2.2.2 節第三段…「營運時可採兩組六輛車編組」…, 高雄捷運股份有限公司目前營運模式皆採一組三車廂營運, 故六車組於現階段而言並不合適, 建議修改。	依評審意見辦理。	已於定案報告中修正。
	P2-11 第 2.2.2 節表 2.4 之第 2 行, 本系統列車上「需要」駕駛員, 請修正; 另第 4 行, 車輛進站關門, 請修正為車輛「離」站關門。	依評審意見辦理。	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
	P2-12 第 2.2.2 節表 2.3 之第 5 行，橘線美麗島站為側式月台，紅線美麗島站仍為島式月台；另除島式月台及側式月台外，尚有大東站為側疊式月台，請修正。	依評審意見辦理。	已於定案報告中修正。
高雄捷運股份有限公司(書面意見)	P5-2 第 5.1 節之表 5.1，橋頭站為站後折返(詳見 P2-12)。	目前橋頭站為臨時端末站，然而該站前後並無橫渡線，使得列車需利用南岡山站前的橫渡線進行折返，該處距離橋頭站甚遠，因此不適合以站後折返進行分析，而要以模式中站前折返的型態來進行分析，報告中將補充說明。	已於定案報告之相關章節回應補充說明。
	有關容量手冊部分，內文中有關高雄捷運公司相關資料，請與「運輸系統容量分析暨應用研究—軌道系統」一併修改。	依評審意見辦理。	已於定案報告中修正。
交通大學黃教授承傳	有關車廂容量之計算鑑於與實務營運單位之定義及認知不同，為求一致性，建議是否就車廂之坐、立位數進行實際調查，或參考交通部頒標準。	由於捷運系統站距短、人潮多，難以進行實際調查，考量營運單位訂定的服務指標，臺北捷運在尖峰小時的平均承載率，要求平均低於 6 人/m ² ；高雄捷運則是須滿足 5 人/m ² 的要求，但達 7 人/m ² 的情形不應連續超過四站，因此綜合考量後，建議採用 6 人/m ² 。	同意承辦單位之處理及補充說明。
	有關本研究考量之瓶頸點分析與路段長短及列車車流紓解是否有關，建議應釐清說明。	捷運系統是封閉系統，列車服務型態一致，因此和路段長短及列車車流紓解無關，瓶頸點會限制整條路線的容量。	同意承辦單位之處理及補充說明。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
	P3-7 有關 Peak hour factor 之定義說明，分母應是最高 15 分鐘之運量乘 4 倍，相關內容建議應修正。	依評審意見辦理。	已於定案報告中修正。
交通大學黃教授承傳	有關可達成容量、設計容量等相關專有名詞，建議可加註英文，俾利比較瞭解；另其使用之單位（如 space/hr、prs/hr）建議亦應一致。	依評審意見辦理。	已於定案報告中修正。
	有關本報告之結論與建議內容建議應更有系統整理呈現，建議可依問題層次加以分類，並依問題解決之 Priority 予以建議，俾利後續研究辦理之參考；另本研究對於軌道系統（捷運系統）容量與服務水準（服務品質）之分析較少，是否於後續年度將針對 Reliability 課題進行研究，請考量。	依評審意見辦理。	已於定案報告之結論與建議章節回應補充說明。
	簡報 P1 有關第二年研究項目中，軌道容量服務品質是否為軌道系統之服務品質，建議釐清相關文字。	依評審意見辦理。	已於定案報告中修正。
	有關本報告之巡航速度係由解析模式求得，其與容量之關係為何？另如何與實務營運單位之運作資料作驗證，建議可補充相關說明。	巡航速度和容量為非線性關係，一般情況下當列車巡航速度提高，容量會提高，但若提高到使得煞車時間增加的效益較列車運行時間縮短的效益大，則容量會下降，因此巡航速度過高或過低對於容量均屬不利。 若要驗證尚須營運單位提供相關資料，但本研究採用解析模式係因無實際資料。	同意承辦單位之處理解及補充說明。
交通部 臺鐵局 鄭工程 司騰清	本研究案對捷運系統容量之分析十分明確，但有關手冊部分建議可另出版精裝摘要本，俾利讀者閱讀。	明年運研所出版手冊時，可再行考量。	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
交通部 臺鐵局 鄭工程 司騰清	有關本案之容量分析程式建議考量是否增加自動提示可能改善之參數項目，俾利使用。	基本上每一項參數都會影響容量分析結果，而本程式提供敏感度分析可讓使用者針對某項參數，分析其對容量的影響情況。	同意承辦單位之處 理及補充 說明。
	有關本研究都會捷運容量軟體之「運轉規劃分析」模組，目前僅有「最大營運班距」與「車隊規模」等 2 項功能，建議是否考慮增加其他規劃功能，以期系統是否更能符合營運規劃需求。	感謝評審建議，將列入未來後續研究方向的參考。	已於定案 報告之結 論與建議 章節回應 補充說 明。
臺灣高 鐵公司 陳協理 信雄	本報告書架構條理清晰、內容嚴謹，應已達結案標準。	感謝評審對本研究的肯定。	--
	有關本報告後續修訂之建議，報告書 P3-5 建議增加有關「運轉寬裕時間係數值」決定方式之探討，以利跟軌道容量手冊—都會捷運系統篇 2.3 節相呼應。	依評審意見辦理。	已於定案 報告中補 充說明。
	報告書 P3-29，營運班距應係依據該時段運輸需求來決定，建議於相關段落加以補充。	依評審意見辦理。	已於定案 報告中補 充說明。
	報告書 4.3 節各參數型態與單位表，建議增加「預設值」與「數值範圍限制」之欄位，以利參考。	在本軟體中，各項參數之「預設值」與「數值範圍限制」係由使用者自訂，因此不需再多加說明。	同意承辦 單位之處 理方式。
	報告書 P4-34~P4-35，建議路線容量結果直方圖應增加方向標示。	依評審意見辦理。	已於定案 報告中修 正。
	以下為報告中文字錯誤之處，請參考訂正： (1)P. II 之 3.6.3 節標題應為「容量利用效率」，P3-26 之標題請一併修正。 (2)P3-28 第 11 行之「…納入立位之考量…」，應為「…納入立位之考量…」。	依評審意見辦理。	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	有關手冊部分建議應先釐清係為「Book」或「手冊」之方式展現或展示，再考量是否未來再專案修訂： (1)建議增加名詞索引查找功能。 (2)名詞定義宜整併(分系統)條列。 (3)建議針對範例給予 Naming，以利讀者望名知義。	依評審意見辦理。	已於定案 報告中修 正。
	最大立位水準係與營運者期望、監理者期望與當地民眾耐受力有關，建議報告中可列出各規範之建議值，至於實際應用則由 User 自行決定。	依評審意見辦理。	已於定案 報告中修 正。
交通部 鐵工局 周副局 長永暉	有關本研究之容量手冊於各軌道子系統之容量分析程式中之各項專有名詞不甚一致，建議應再檢核修正。	依評審意見辦理。	已於定案 報告中修 正。
	為利本研究之後續應用，有關本研究模式應用於臺北捷運之信義線、松山線，其使用之各項參數是否仍一致，建議可於報告中說明。	臺北捷運之信義線和松山線為高運量系統，且將來營運方式分別接續淡水線和新店線，因此在無進一步資料的情況下，採用和臺北捷運高運量系統一致的參數進行容量分析，是變通且可行的做法。	同意承辦 單位之處 理及補充 說明。
	本系列研究目前已完成臺鐵區域鐵路及都會捷運系統之容量分析，為利實務應用，建議是否可應用於臺北捷運延伸基隆之 With & Without 及軌道系統服務水準等分析，俾利提供決策參考。	對於臺北捷運延伸基隆一案之可行性，所需考量因素眾多，容量分析僅是其中一項，且本研究主要工作在於容量分析模式和程式的發展，因此不適合在報告中增加此案例，倒是捷運公司本身可以利用此軟體來進行相關分析。	同意承辦 單位之處 理及補充 說明。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
交通部 鐵工局 周副局 長永暉	本研究臺北捷運中運量系統之運轉寬裕係數採 0.2，是否適用於臺中捷運系統，請考量。	一般來說，若無實際系統資料時，則用類似系統資料來進行容量分析，因此目前在尚未有任何有關臺中捷運系統相關資訊的情況下，採用建議值是一種可行方式。	同意承辦單位之處 理及補充 說明。
成功大學鄭教授永祥 (書面 意見)	本研究針對臺北捷運及高雄捷運進行個案分析，由於機場捷運刻正興建中，未來營運模式與高捷及北捷應有所不同，可否在結論與建議部份，說明本模式應用在機場捷運營運時之容量分析所必須注意之可能修正處？	機場捷運和典型都會捷運系統有很大的差別，所以不能以本模式來進行容量分析，在報告書中的結論與建議部份會提出相關的後續研究。	已於定案 報告之結 論與建議 章節回應 補充說 明。
	在前期研究中曾經探討服務品質與容量間之關係，是否可說明在都會捷運系統之服務品質與容量間關係，與其他軌道運輸系統之差異為何？	與容量相關的服務指標有服務頻率、可靠度和旅客乘載率等三種，根據前期研究，都會捷運與臺鐵短程通勤電車較類似，旅客在意的指標為發車頻率、準點率和立位密度。	同意承辦 單位之處 理及補充 說明。
	有關本研究針對運轉寬裕係數之建議，高捷與北捷之建議均為 0.1，是否合理，可否說明之？	因為高雄捷運運量不高，無法藉由實際量測來計算運轉寬裕係數，一般在分析時，若無實際資料，則可利用類似系統之參數來進行計算。	同意承辦 單位之處 理及補充 說明。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
本所運 計組 (書面 意見)	P5-4 有關本研究案例分析係選用台北捷運高運量、中運量及高雄捷運之各瓶頸點車站，其分析之間隔安全係數參數亦皆不同，惟其中永寧站係數值為 3.80、忠孝復興站(往南港方向)係數值為 2.99、南港站係數值為 3.01 等皆較為特殊，建議應於本章節內容中補充說明其原因，另其與 P3-26 間隔安全係數之設定原則及速度碼系統之建議值採 1.5~2.0、距離碼系統之建議值採 1.0~1.2 等之相關作法有何關聯影響，建議可綜合補充說明，俾利瞭解。	有關部份車站的安全係數數值較高，係根據捷運公司提供之軌道電路配置資料運算的結果，而建議值則是在無確切實際設計資訊的情況下再行採用。	同意承辦單位之處 理及補充 說明。
	本報告雖已呈現台北捷運高運量、中運量及高雄捷運之設計容量、路線容量等案例分析結果，且相關結果初步檢視亦大致符合預期，惟為利檢核驗證其結果，建議可增列各案例現況之各項容量相關數據值，俾利比較。	目前營運單位的容量相關數據為系統驗收時的資料，該運轉條件與現行營運情況有若干差距，因此不能直接比較。	同意承辦單位之說 明。
	本研究教育訓練辦理成果豐碩，惟是日與會學員參與熱烈且提出許多有建設性之問題，建議可將關鍵重要問題彙整於第六章內容中呈現，俾作為本模式後續回饋修正或後續相關研究之參考。	對於教育訓練中，學員所提出可供後續相關研究參考之問題，將於報告書中結論與建議部分補充。	已於定案 報告之結 論與建議 章節回應 補充說 明。
	結論第 5 點有關運轉寬裕時間係數之設定，其係根據反推且高運量建議值為 0.1、中運量建議值為 0.2，相關推論過程建議可於 P3-27 之路線利用率及可靠度判定之內容中摘述，俾利讀者瞭解。	依評審意見辦理。	已於定案 報告中修 正。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
本所運 計組 (書面 意見)	有關可靠度議題雖已於先前年度進行分析，惟時間限制並未十分深入，故為求臺鐵區域鐵路部分之容量研究更深入週延，建議是否可將軌道容量暨列車服務可靠度及服務品質與路線容量之關聯分析等議題列入後續研究方向建議，俾利參考辦理。	依評審意見辦理。	已於定案 報告中修 正。
	有關本容量手冊及各子系統之視窗軟體英文命名是否為 TRCS2009、URTCS(都會捷運系統容量分析軟體)、TRACS(傳暨區域鐵路系統容量分析軟體)…等，建議可於容量手冊中統一命名呈現。	依評審意見辦理。	已於定案 報告中修 正。
	有關期中簡報時黃承傳教授所提之軌道容量手冊分析案例驗證問題，建議仍應考量如何增加實務資料之檢核比對驗證呈現，俾為週延完整。	由於捷運公司在期末工作會議中提出不願公佈參數資料，因此手冊中僅能以假設參數來設計案例，而無法和實務資料進行檢核比對。	同意承辦 單位之處 理及補充 說明。
主席意 見及結 論	有關高雄捷運紅線 R24 站之容量問題，請規劃單位能於報告中增加相關背景說明。	依主席裁示辦理。	已於定案 報告中修 正與補充 說明。
	有關本案教育訓練，後續於南部若有需要增辦，可請所需機關另邀請規劃單位舉辦，或待後續年度本所相關研究案辦理時再至南部增辦。	依主席裁示辦理。	--
	有關文湖線之硬體、營運系統及車廂容量等相關資料，請於報告中統一釐清說明。	依主席裁示辦理。	已於定案 報告中修 正。
	有關北、高捷運之可達成容量定義及列車各項參數資料，請再檢視確認。	依主席裁示辦理。	已於定案 報告中修 正與補充 說明。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
	本系列研究為 4 年期計畫，故有關結論與建議內容應將各年期之重要結論及建議逐項摘要說明。	依主席裁示辦理。	已於定案報告之結論與建議章節逐項摘要說明。
	軌道系統容量與服務品質之相關研究甚為重要，服務品質相關議題應列入後續研究建議。	依主席裁示辦理。	已於定案報告之結論與建議章節摘要說明。
主席意見及結論	有關容量手冊之專有名詞，建議應以黑體字或 Quotes 標註說明，以利查找。	依主席裁示辦理。	已參照辦理。
	本計畫之期末報告初稿審查通過，請研究單位參酌與會學者專家代表之意見儘速修正報告逐一列表回應，並於 2 週內提送定案報告，俾利辦理後續驗收暨結案等相關作業。	感謝諸位評審的肯定。	--

「運輸系統容量分析暨應用研究—軌道系統（4/4）」 期末報告審查會議紀錄

一、時 間：98 年 12 月 10 日(星期四)下午 2 時 30 分

二、地 點：交通部運輸研究所 10 樓會議室

三、主持人：林組長國顯

紀錄：劉昭榮

四、出(列)席單位及人員：

交通大學交通運輸研究所黃教授承傳

黃承傳

成功大學交通管理科學研究所鄭教授永祥

請假：〈研究書面意見〉

交通部鐵工局周副局長永暉

周永暉

交通部鐵工局規劃組施副組長文雄

請假

交通部臺鐵局運務處綜合調度所鄭工程司騰清

鄭騰清

臺灣高鐵公司陳協理信雄

陳信雄

臺北市政府捷運工程局

楊士賢

臺北大眾捷運股份有限公司

朱唯中

王瑞銘 康書媛

高雄市政府捷運工程局

王啟材

高雄捷運股份有限公司

請假

本所運工組

請假

運計組

劉昭榮

財團法人中興工程顧問社

鍾克成 黃定法

賴易成 張國輔

