

98-72-1258
MOTC-IOT-97-PDB004

運輸系統容量分析暨應用 研究-軌道系統(3/4)



交通部運輸研究所

中華民國 98 年 6 月

98-72-1258
MOTC-IOT-97-PDB004

運輸系統容量分析暨應用 研究-軌道系統(3/4)

著者：鍾志成、李治綱、盧麗嵩、張恩輔、黃笙珵、
李永強、林國顯、蘇振維、劉昭榮

交通部運輸研究所

中華民國 98 年 6 月

運輸系統容量分析暨應用研究：軌道系統. (3/4) / 鍾志成等著. -- 初版. -- 臺北市：交通部運輸研究所，民98.06

面；公分

參考書目：面

ISBN 978-986-01-8852-3(平裝)

1. 鐵路管理 2. 大眾捷運系統 3. 運輸系統

557.23

98010387

運輸系統容量分析暨應用研究—軌道系統(3/4)

著者：鍾志成、李治綱、盧麗嵩、張恩輔、黃笙玟、李永強、林國顯、蘇振維、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 98 年 6 月

印刷者：大地整合行銷有限公司

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：200 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸資訊組・電話：(02)23496880

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

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

GPN：1009801344 ISBN：978-986-01-8852-3 (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（3/4）			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-01-8852-3(平裝)	政府出版品統一編號 1009801344	運輸研究所出版品編號 98-72-1258	計畫編號 97-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：蘇振維、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 研究人員：盧麗嵩、張恩輔、黃笙玟、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 97 年 3 月 至 97 年 11 月
關鍵詞：可靠度、都會捷運系統、軌道容量			
<p>摘要：</p> <p>由於國內土地資源有限，且軌道系統具有高效率、低污染、對環境衝擊較小之特性，因此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。然而軌道建設的投資金額相當龐大，無論是新建或改善計畫，均需掌握其對軌道容量的影響，計畫的投資才能恰如其分。</p> <p>有鑑於此，本所於民國95年開始推動「運輸系統容量分析暨應用研究－軌道系統」4年期之計畫。在本年度的研究中，蒐集臺鐵列車實際運行資料進行可靠度分析，分別發展了可靠度迴歸模式和可靠度模擬模式，並開發相關的分析程式。此外，回顧都會捷運系統容量分析的文獻，考量中間站、折返站和銜接點等不同空間參考點，建構運轉時隔分析模式。</p> <p>在臺鐵可靠度模擬模式部分，模式中考量了列車流量、車種組成、運轉時間以及號誌時距等因素，模擬計算列車的平平均延滯時間，且經由臺鐵實際資料進行驗證後，確定該模式能反映實際列車運行延滯的現象。另在都市捷運系統容量分析部分，本研究發展了運轉時隔泛用分析模式，可依個別系統特性不同，用適當的參數來計算，此外除了中間站外，亦針對折返點和銜接點發展其號誌安全時距計算公式。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
98 年 6 月	288	200	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。
<p>機密等級：</p> <p><input type="checkbox"/>密 <input type="checkbox"/>機密 <input type="checkbox"/>極機密 <input type="checkbox"/>絕對機密</p> <p>（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）</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>普通</p>			
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(3/4)			
ISBN(OR ISSN) ISBN 978-986-01-8852-3 (pbk.)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009801344	IOT SERIAL NUMBER 98-72-1258	PROJECT NUMBER 97-PDB004
DIVISION: Planning Division DIVISION CHIEF: Kuo-Shian Lin PRINCIPAL INVESTIGATOR: Kuo-Shian Lin PROJECT STAFF: Cheng-Wei Su, Jau-Rong Liu PHONE: 886-2-23496809 FAX: 886-2-25450428			PROJECT PERIOD FROM March 2008 TO November 2008
RESEARCH AGENCY: Sinotech Engineering Consultants, Inc. PRINCIPAL INVESTIGATOR: Jyh-Cherng Jong, Chi-Kang Lee PROJECT STAFF: Li-Song Lu, En-Fu Chang, Sheng-Hsuan Huang, 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: Reliability, Urban Transit System, Rail Capacity			
ABSTRACT: <p>Since land resources in Taiwan are quite limited, and rail transportation is more efficient, and has less environmental impact, the government's transportation policy has focused on railways in place of highways over recent years. However, the construction of railway systems requires enormous capital expenditure. Thus, the impact on rail capacity for a new proposed or an improved railway project will need to be investigated so that the investment is appropriate.</p> <p>In consideration of this, the Institute of Transportation (IOT) has been undertaking a four-year project – "Capacity Analysis of Rail Transportation Systems and Its Applications" since 2006. In this year, the study collects train operating datum from TRA to analyze reliability, and develops the reliability regression model, simulation model, and software. Moreover, the study reviews literatures on capacity models for urban transit systems and considers different space reference points including intermediate stations, turnbacks, and junctions to develop analytic models for estimating operation headways.</p>			
DATE OF PUBLICATION June 2009	NUMBER OF PAGES 288	PRICE 200	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 - 5
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 - 3
2.2.1 臺鐵系統	2 - 3
2.2.2 臺北捷運系統	2 - 7
2.2.3 高雄捷運系統	2 - 13
第三章 文獻回顧.....	3 - 1
3.1 列車服務可靠度相關文獻	3 - 1
3.1.1 列車服務可靠度的評估	3 - 1
3.1.2 列車延滯與等候理論	3 - 3
3.1.3 運輸系統容量與可靠度的關係	3 - 6
3.1.4 小結	3 - 10
3.2 都會捷運系統容量分析	3 - 11
3.2.1 號誌安全時距	3 - 12
3.2.2 停站時間	3 - 23
3.2.3 運轉寬裕時間	3 - 29

3.2.4 小結	3 - 30
第四章 臺鐵列車服務可靠度迴歸模式	4 - 1
4.1 臺鐵實際資料蒐集	4 - 1
4.2 資料建檔與分析	4 - 2
4.3 可靠度迴歸分析	4 - 7
4.3.1 迴歸分析方法簡介	4 - 8
4.3.2 迴歸分析結果	4 - 10
第五章 臺鐵列車服務可靠度模擬模式	5 - 1
5.1 模式整體概觀與模擬流程	5 - 1
5.2 排班延滯時間的計算	5 - 5
5.3 實際延滯時間的計算	5 - 8
5.4 模式驗證	5 - 12
5.5 模式應用案例	5 - 13
5.5.1 可接受的路線利用率	5 - 14
5.5.2 車站內軌道配置型式之影響	5 - 19
5.5.3 車種組成比例之影響	5 - 22
5.5.4 站間運轉時間寬裕之影響	5 - 24
第六章 傳統鐵路容量分析軟體輔助工具程式之開發	6 - 1
6.1 程式開發流程	6 - 1
6.2 程式操作說明	6 - 4
6.2.1 操作介面介紹	6 - 4
6.2.2 進行可靠度分析	6 - 5
6.2.3 檢視與輸出分析結果	6 - 9
第七章 都會捷運系統運轉時隔分析模式	7 - 1
7.1 都會捷運的系統特性	7 - 1
7.2 運轉時隔的基本概念	7 - 3
7.3 行車控制及號誌系統	7 - 7
7.3.1 自動列車防護系統	7 - 8
7.3.2 速度碼系統	7 - 9
7.3.3 距離碼系統	7 - 10

7.3.4 移動區間閉塞	7 - 13
7.4 號誌安全時距的計算	7 - 14
7.4.1 中間站號誌安全時距計算公式	7 - 15
7.4.2 折返站號誌安全時距計算公式	7 - 19
7.4.3 銜接點號誌安全時距計算公式	7 - 38
7.4.4 路線坡度對號誌安全時距的影響	7 - 43
7.5 最小號誌時距的決定	7 - 46
7.6 運轉寬裕時間的估計	7 - 46
7.7 最小運轉時隔的計算	7 - 47
第八章 結論與建議	8 - 1
8.1 結論	8 - 1
8.2 建議	8 - 3
參考文獻	R - 1
附錄 A 期中工作會議資料	A - 1
附錄 B 期中工作會議記錄	B - 1
附錄 C 期中簡報資料	C - 1
附錄 D 期中審查意見處理情形	D - 1
附錄 E 期末工作會議資料	E - 1
附錄 F 期末工作會議記錄	F - 1
附錄 G 期末簡報資料	G - 1
附錄 H 期末審查意見處理情形	H - 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 列車服務可靠度分析的基本分析單元	2 - 2
圖 2-3 臺鐵營運路線圖	2 - 4
圖 2-4 臺鐵各式動力車歷年行駛里程	2 - 5
圖 2-5 臺鐵歷年旅客人次	2 - 6
圖 2-6 臺鐵各車種歷年客座利用率	2 - 6
圖 2-7 臺鐵歷年準點率	2 - 7
圖 2-8 臺北都會區大眾捷運系統計畫路網圖	2 - 9
圖 2-9 臺北捷運系統歷年平均日運量	2 - 11
圖 2-10 臺北捷運系統歷年尖峰平均班距	2 - 11
圖 2-11 臺北捷運系統歷年旅客整體滿意度	2 - 12
圖 2-12 臺北捷運系統延誤 5 分鐘以上行車事件次數	2 - 12
圖 2-13 臺北捷運系統歷年準點率變化	2 - 13
圖 2-14 高雄都會區大眾捷運系統計畫路網圖	2 - 14
圖 2-15 高雄捷運系統歷月旅運量	2 - 15
圖 3-1 列車排班延滯與實際運行延滯	3 - 4
圖 3-2 等候系統示意圖	3 - 5
圖 3-3 列車延滯時間圖	3 - 6
圖 3-4 時刻表容量與最大容量	3 - 6
圖 3-5 每日列車數和平均延滯的關係	3 - 7
圖 3-6 每小時列車數對平均延滯和延滯發生機率的影響	3 - 8
圖 3-7 每小時列車數和平均延滯時間的關係	3 - 9
圖 3-8 不同程度延遲對減少 RD 所需時間的關係	3 - 10

圖 3-9 簡化後之軌道容量分析泛用架構.....	3 - 11
圖 3-10 三時相號誌列車之最小空間距離.....	3 - 13
圖 3-11 TCQSM 手冊四種號誌系統之車站號誌時距比較圖	3 - 16
圖 3-12 TCQSM 島式月台末端站	3 - 17
圖 3-13 臺北捷運終端站折返模式－直進模式	3 - 18
圖 3-14 臺北捷運終端站折返模式－交叉模式	3 - 18
圖 3-15 臺北捷運終端站折返模式－交叉直進模式	3 - 19
圖 3-16 路線銜接點與衝突點示意圖	3 - 20
圖 3-17 TCQSM 銜接點示意圖	3 - 21
圖 3-18 臺北捷運袋型軌折返之銜接點衝突示意圖	3 - 23
圖 3-19 北美 TCQSM 手冊中運轉時隔組成份案例圖	3 - 23
圖 3-20 捷運系統停站時間組成示意圖	3 - 24
圖 4-1 資料庫關聯圖	4 - 3
圖 4-2 計算平均延滯時間示意圖	4 - 5
圖 4-3 萬華→板橋站間列車流量和平均延滯時間關係直方圖	4 - 7
圖 4-4 板橋→樹林站間列車流量和平均延滯時間關係直方圖	4 - 7
圖 4-5 萬華→板橋區間以公式(4.14)進行迴歸分析結果圖	4 - 11
圖 4-6 板橋→樹林區間以公式(4.14)進行迴歸分析結果圖	4 - 11
圖 4-7 萬華→板橋區間以公式(4.15)進行迴歸分析結果圖	4 - 12
圖 4-8 板橋→樹林區間以公式(4.15)進行迴歸分析結果圖	4 - 12
圖 4-9 萬華→板橋區間以公式(4.16)進行迴歸分析結果圖	4 - 13
圖 4-10 板橋→樹林區間以公式(4.16)進行迴歸分析結果圖	4 - 13
圖 4-11 萬華→板橋區間以公式(4.17)進行迴歸分析結果圖	4 - 14
圖 4-12 板橋→樹林區間以公式(4.17)進行迴歸分析結果圖	4 - 14
圖 4-13 萬華→板橋區間以公式(4.18)進行迴歸分析結果圖	4 - 15
圖 4-14 板橋→樹林區間以公式(4.18)進行迴歸分析結果圖	4 - 15
圖 5-1 模式整體概觀.....	5 - 1
圖 5-2 列車服務可靠度分析模擬模式流程圖	5 - 3
圖 5-3 續行列車預計到達時刻	5 - 5
圖 5-4 判斷時距是否足夠	5 - 6

圖 5-5	計算排班延滯時間	5 - 6
圖 5-6	列車於出發站離站時的排班延滯	5 - 7
圖 5-7	列車於到達站進站時的排班延滯	5 - 8
圖 5-8	續行列車趕點的運轉時間不能小於最小運轉時間	5 - 9
圖 5-9	續行列車趕點不能比預計到達時刻還早到達	5 - 9
圖 5-10	實際延滯時間的計算	5 - 10
圖 5-11	列車於出發站離站時的實際延滯	5 - 10
圖 5-12	列車進行趕點於到達站進站時的實際延滯	5 - 11
圖 5-13	列車於到達站保持進站時距的實際延滯	5 - 11
圖 5-14	模式驗證方式	5 - 12
圖 5-15	模式驗證結果	5 - 13
圖 5-16	車站配置參數代號說明圖	5 - 16
圖 5-17	計算平均實際延滯時間 5 分鐘所對應的列車流量示意 圖	5 - 18
圖 5-18	不同站內軌道配置下的路線容量	5 - 20
圖 5-19	計算列車流量 10TU/h 所對應的平均實際延滯時間示 意圖	5 - 20
圖 5-20	不同站內軌道配置下的平均排班延滯時間	5 - 21
圖 5-21	不同站內軌道配置下的平均實際延滯時間	5 - 21
圖 5-22	不同車種組成下的路線容量	5 - 22
圖 5-23	不同車種組成下的平均排班延滯時間	5 - 23
圖 5-24	不同車種組成下的平均實際延滯時間	5 - 23
圖 5-25	不同站間運轉時間寬裕下的路線容量	5 - 24
圖 5-26	不同站間運轉時間寬裕下的平均排班延滯時間	5 - 25
圖 5-27	不同站間運轉時間寬裕下的平均實際延滯時間	5 - 25
圖 6-1	程式開發流程	6 - 1
圖 6-2	新增可靠度分析輔助工具架構圖	6 - 2
圖 6-3	新增可靠度分析輔助工具之介面	6 - 3
圖 6-4	選擇可靠度分析頁面	6 - 4
圖 6-5	可靠度分析頁面	6 - 5

圖 6-6	選擇欲分析之區段.....	6 - 5
圖 6-7	尚未設定列車與路線交互關係的提示對話盒.....	6 - 6
圖 6-8	區段為單線運轉的提示對話盒.....	6 - 6
圖 6-9	設定分析參數.....	6 - 6
圖 6-10	設定最小運轉時間.....	6 - 7
圖 6-11	進行可靠度分析.....	6 - 8
圖 6-12	顯示可靠度分析結果.....	6 - 9
圖 6-13	輸出可靠度分析結果圖檔之對話盒.....	6 - 10
圖 6-14	可靠度分析結果複製至剪貼簿後在 Word 軟體貼上之 畫面.....	6 - 11
圖 7-1	列車進出車站的程序.....	7 - 5
圖 7-2	列車在瓶頸車站的停車時間會增加運轉時隔的時空圖 範例.....	7 - 5
圖 7-3	列車於島式末端車站折返的過程（站前折返）.....	7 - 6
圖 7-4	列車於側式末端車站折返的過程（站後折返）.....	7 - 6
圖 7-5	列車通過銜接點的過程.....	7 - 7
圖 7-6	速度碼 ATP 範例.....	7 - 10
圖 7-7	距離碼系統縮短列車行車間距的範例.....	7 - 12
圖 7-8	距離碼系統的運作方式.....	7 - 13
圖 7-9	距離碼系統中煞車保護曲線的移動方式.....	7 - 13
圖 7-10	移動區間閉塞制縮短列車行車間距的範例.....	7 - 14
圖 7-11	中間站之號誌安全時距.....	7 - 16
圖 7-12	站前折返之號誌安全時距—站內停靠同一股道.....	7 - 21
圖 7-13	站前折返之號誌安全時距—站內停靠不同股道.....	7 - 25
圖 7-14	停車時間小於列車開到時隔的列車折返示意圖.....	7 - 28
圖 7-15	停車時間大於列車開到時隔的列車折返示意圖.....	7 - 29
圖 7-16	站後折返之號誌安全時距—停靠同一股尾軌.....	7 - 31
圖 7-17	站後折返之號誌安全時距—停靠不同股尾軌.....	7 - 36
圖 7-18	銜接點之號誌安全時距.....	7 - 40

表 目 錄

	頁 次
表 2.1 臺北捷運已通車之路線之綜合比較	2 - 8
表 2.2 臺北捷運系統高運量車輛與中運量車輛比較表	2 - 10
表 2.3 高雄捷運系統車輛特性	2 - 15
表 3.1 容量利用率和恢復運轉所需時間之關係	3 - 9
表 3.2 美國 TCQSM 手冊車站號誌公式列表	3 - 16
表 3.3 臺北捷運末端站最小開通時間	3 - 19
表 3.4 臺北捷運銜接點最小開通時間	3 - 22
表 3.5 北美繁忙鐵路系統尖峰小時停站時間列表	3 - 25
表 4.1 臺鐵列車到開時刻登記表	4 - 2
表 4.2 到開時刻資料表	4 - 3
表 4.3 車站資料表	4 - 4
表 4.4 車次資料表	4 - 4
表 4.5 萬華→板橋站間的列車到開資料統計結果	4 - 6
表 4.6 板橋→樹林站間的列車到開資料統計結果	4 - 6
表 4.7 各迴歸模型之判定係數比較	4 - 16
表 5.1 排班延滯模式和實際延滯模式相異處	5 - 12
表 5.2 全域參數表	5 - 14
表 5.3 車站軌道配置參數表（東正線）	5 - 15
表 5.4 車站軌道配置參數表（西正線）	5 - 15
表 5.5 各車種性能參數表	5 - 16
表 5.6 各區段之平均巡航速度參數表	5 - 16
表 5.7 基準運轉時間參數表	5 - 17
表 5.8 最小運轉時間參數表	5 - 17
表 5.9 各車站停站時間參數表	5 - 17

表 5.10 在平均實際延滯時間 5 分鐘下各區段所對應的列車流 量	5 - 18
表 5.11 在不同寬裕係數下各區段可接受的路線利用率	5 - 19
表 5.12 在不同列車流量下增加寬裕對實際延滯時間的改善情 形	5 - 27
表 6.1 可靠度分析參數之預設值與合理性檢查列表	6 - 7
表 6.2 最小運轉時間參數之預設值與合理性檢查列表	6 - 8
表 7.1 號誌安全時距計算公式	7 - 44

第一章 緒論

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，相較於公路系統，軌道系統所具備的特性更符合環保的要求，因此使其在交通建設中的重要性逐漸提升。然而興建軌道系統所需的金額十分龐大，所以無論在規劃、設計或營運階段，均要能夠掌握系統的供需能量，才能提供符合經濟效益的服務，而創造永續的運輸。

1.1 研究動機

過去國內對於交通建設之投資主要以公路系統為主，但由於土地資源有限，且軌道系統具有高效率、低污染、對環境衝擊較小之特性，因此，近年來政府致力於規劃推動各項軌道系統相關建設。自民國 93 年開始，軌道建設的預算核列數首度超越公路建設，且其比例逐年攀升^[12]，顯示國內的交通建設已從以公路為主的計畫，逐漸走向以軌道為主的計畫。

由於軌道建設的投資金額相當龐大，無論新建或改善計畫，軌道容量皆為其關鍵核心議題；唯有清楚了解一項計畫對軌道容量的影響，該計畫的投資方能恰如其分，而不至於產生投資不足或過度建設的疑慮。爰此，本所陸續於 92~94 年度完成「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)」等案，而本研究即希望延續過去的成果，自 95 年度起，依軌道系統別及各相關重要議題，分 4 年進行延續性計畫，以期系統性地完成國內軌道容量之相關研究，並為軌道容量手冊之編訂預作準備。

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」為 4 年期之計畫，依研究對象的不同可分為 2 個階段。第一階段（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。就各期的執行工作而言，第 1 年度（95 年）主要工作包括軌道容量分析程式之開發與臺鐵捷運化計畫之案例分析；第 2 年度（96 年）主要工作則是分析程式的教育訓練、服務品質研析以及軌道容量手冊編訂。由於 96 年度計畫執行過程發現，傳統暨區域鐵路仍有可靠度（Reliability）分析模式及分析程式等議題尚待深入研究，因此納入第 3 年度（97 年）的研究項目，並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。至於第 4 年度（98 年）則是辦理後續都會捷運系統容量分析模式及程式的開發，以及軌道容量手冊捷運系統篇之編訂工作。全程計畫概要如圖 1-1。

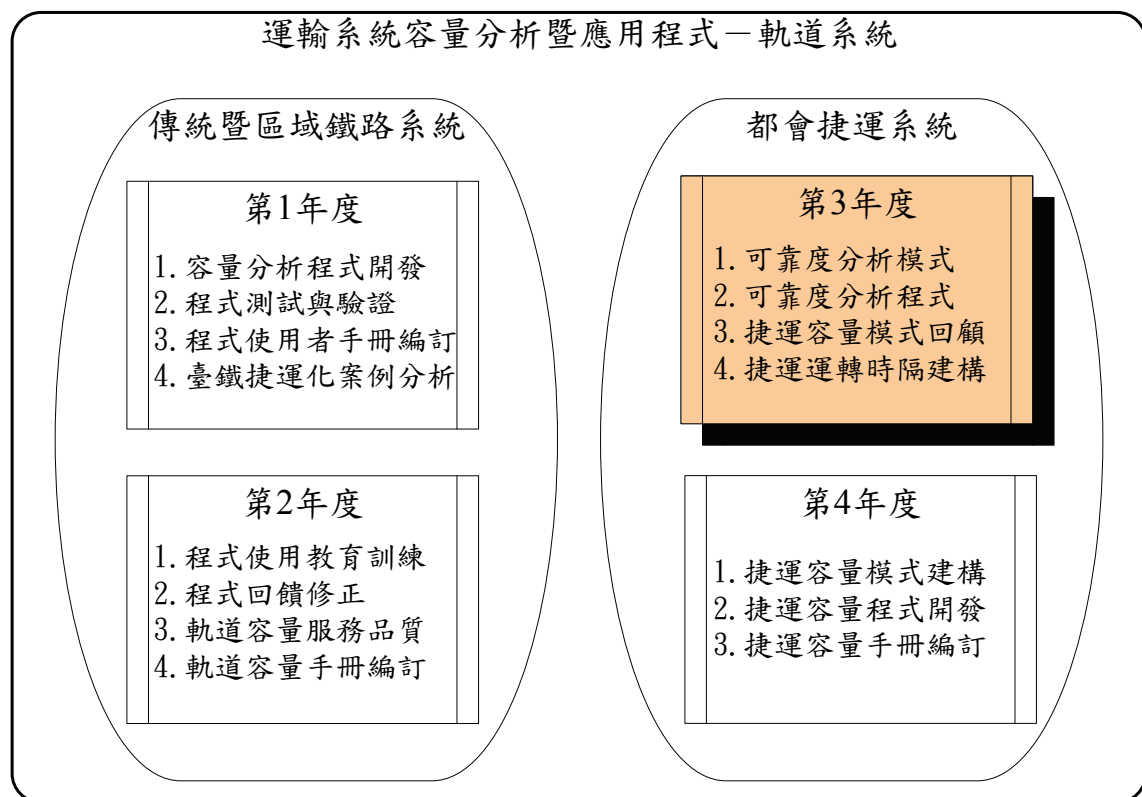


圖1-1 全程計畫概要示意圖

本年度（97 年度）為本計畫中第 3 年度，即「運輸系統容量分析暨應用研究—軌道系統(3/4)」，研究重點在於傳統暨區域鐵路系統可靠度之分析、可靠度相關程式之開發，以及都會捷運系統運轉時隔之建構。

1.3 研究目的

前期研究雖已針對傳統暨區域鐵路建構軌道容量分析模式，並開發一套軌道容量分析工具程式，及探討服務品質的概念，但列車的流量和路線利用率對於列車的延滯有很大的影響，故於本年度研究中進行探討並發展相關分析模式及程式；另外，依全程計畫概要，本年度亦將著手進行都會捷運系統的容量分析研究。

綜整本年度之研究目的，主要為以下 2 點：

1. 釐清傳統暨區域鐵路列車流量與可靠度之關係。
2. 建立都會捷運系統之容量分析模式的發展基礎。

1.4 研究內容與工作項目

為達到前述研究目的，本研究的內容與工作項目包括以下幾項：

1. 傳統暨區域鐵路之可靠度分析

本項工作係針對傳統暨區域鐵路系統，研究列車服務可靠度的議題。由於傳統暨區域鐵路有車種複雜的特性，且前期研究所發展的軌道容量分析模式均含有平均值的概念，因此對於可靠度的議題，其研究重點包括以下 2 點：

(1) 不同車種組成下之列車流量與平均延滯之關係研析

本項工作係以不同的車種組成，探討列車流量與列車平均延滯之間的關係。從過去的研究可歸納出先驗知識為：列車流量愈高，平均延滯愈大；車種組成愈複雜，平均延滯愈大。本研究中

針對此一課題進行研析，並須發展相關的評估模式，以利研究成果的後續應用。

(2) 車種組成及列車流量對可靠度及運轉寬裕時間之量化評估

前期所發展的軌道容量分析模式係用以計算時刻表容量，為了避免實際營運時經常發生誤點情形，因此在計算列車的運轉時隔時會加入運轉寬裕時間，以吸收列車實際運轉的擾動。理論上，運轉寬裕時間愈大，但相對地，時刻表的可靠度較高，計算出來的時刻表容量愈小，因此若採用較大的運轉寬裕時間，路線利用率或許可以允許較高的數值水準（例如接近 1），而不會對時刻表的穩定度產生太大的衝擊；相反地，若是計算容量時採用的運轉寬裕時間較小，對計算所得的時刻表容量會較大，但當路線利用率到達一定水準時（例如 0.8），或許時刻表的穩定度即已大幅降低。因此計算時刻表容量所採用的運轉寬裕係數，攸關路線利用率的接受水準。本項工作探討兩者之間的量化關係，以便未來政府機構或營運單位，有量化的標準進行評估，並針對瓶頸路段預先採取改善措施。

2. 傳統暨區域鐵路容量分析輔助工具程式開發

本項工作係針對前項工作所發展出來的分析方法，開發輔助計算程式，並整合至既有的容量分析程式中，使傳統鐵路容量分析軟體功能更加完備。

3. 都市捷運系統容量模式回顧

本年度的研究目的之一係建立都會捷運系統之容量分析模式的發展基礎。要達到此一目的，首先必須蒐集並回顧捷運系統容量分析相關的文獻，以掌握目前的研究水準。

4. 都市捷運系統容量模式建構

建構都市捷運系統容量模式至少包括 3 項工作：(1)運轉時隔的估算模式、(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。由於本年度的目的在於建立容量分析模式的發展基礎，因此將著重在運轉時隔估算模式的發展，至於(2)及(3)的容量分析模式，係歸屬於下年度的工作範疇。

1.5 研究方法與流程

本年度的研究可概分為傳統暨區域鐵路以及都會捷運系統 2 部分來進行，首先針對傳統鐵路的部分進行分析，後續再進行都會捷運部分之分析。本研究的工作研究流程如圖 1-2所示，各項工作之研究重點與方法說明如下。

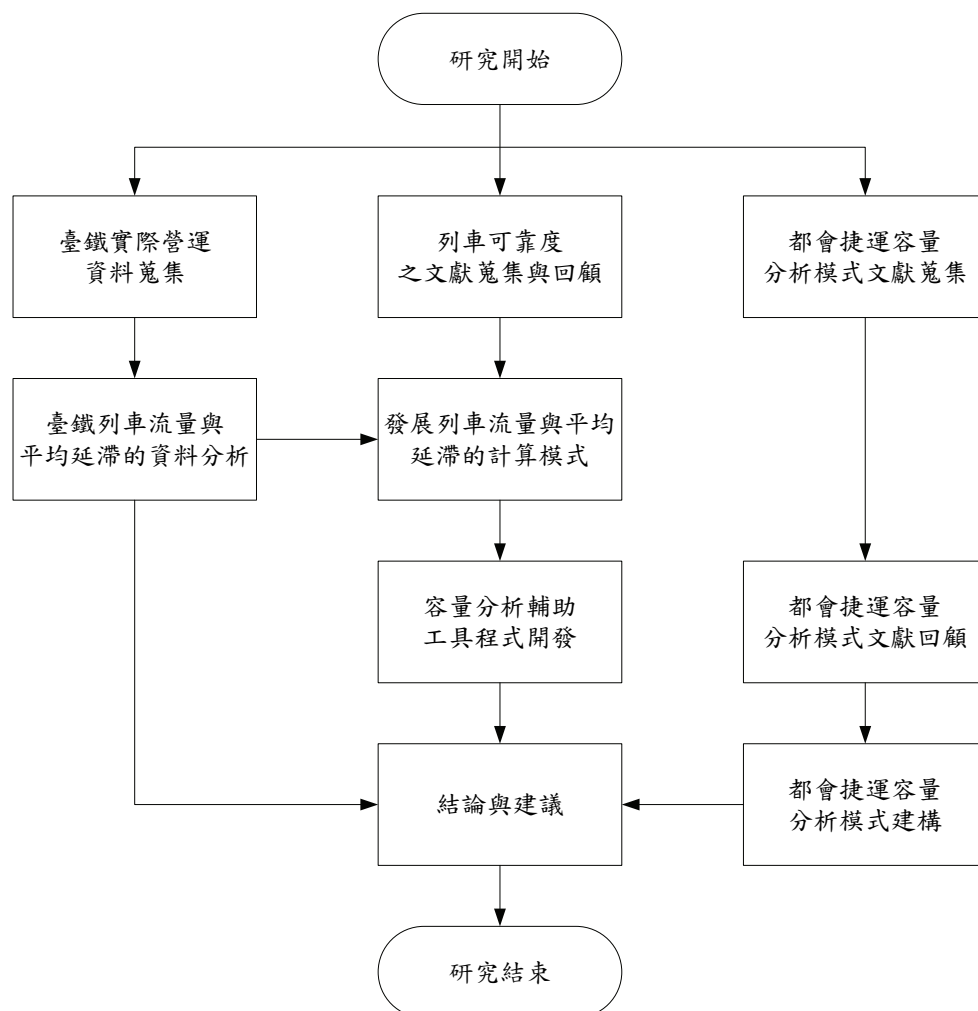


圖1-2 研究流程圖

1. 臺鐵列車服務可靠度的分析

臺鐵目前對於列車服務可靠度的分析方法是計算列車的準點率，準點率其實與列車的流量以及路線容量有關，如僅計算全線整體的準點率，無法反映出個別路段之差異。依等候理論，當列車的流量增加時，列車的平均延滯也會增加，且增加的幅度呈非線性的成長；當列車的流量趨近於路線容量時，列車的平均延滯將趨近於無窮大。本項工作以臺鐵列車密度最高的基隆—新竹之間，蒐集配置不同的2~3 個路線區段連續數天的資料，以小時為單位，分別計算每小時內的列車流量以及平均延滯，藉由二維的統計圖，便可清楚瞭解列車流量與平均延滯的趨勢。

由於車站及號誌配置的關係，臺鐵每一個路線區段的軌道容量並不相同，即使在相同的列車流量之下，列車的平均延滯也不相同，因此分析列車流量與列車平均延滯的關係，應以個別路線區段來分析，且必須注意的是，資料分析時必須剔除異常的資料，以免產生偏誤。

2. 發展列車服務可靠度分析模式

實際資料的分析僅能看出過去的結果，但對於預測及推估的幫助並不大。本項工作即是發展列車服務可靠度的分析模式，以作為未來推估列車延滯的根據。模式的發展採用 2 種方法：

(1) 統計迴歸模式

根據臺鐵實際的資料點，利用統計迴歸方式，找出列車流量與平均延滯的關係式。

(2) 隨機模擬模式

隨機模擬模式係根據列車的車種組成、到達時間等之隨機特性，建構模擬模式來分析列車流量與平均延滯的關係。

3. 傳統暨區域鐵路容量分析輔助工具程式開發

由於前述模擬模式的建構較為複雜，若無實用的分析工具，一般規劃人員將很難進行分析，因此本項工作係針對前項工作所發展出來

的分析方法，利用電腦資訊技術開發輔助計算程式，並整合至既有的容量分析程式中，使傳統鐵路容量分析軟體功能更加完備。和一般軟體開發步驟相同，首先確定軟體功能需求，接著進行系統分析設計以確保輔助工具程式能和容量分析程式能完美結合，當程式開發完成後須通過測試以確保其品質。

4. 都市捷運系統容量模式回顧

都會捷運系統容量瓶頸可能發生在車站、折返點或者銜接點，本項工作依此 3 項課題，分別整理回顧相關文獻及國內捷運現況，並比較其差異性與適用性，以便針對目前國內捷運系統之特性發展合適的容量分析解析模式。

5. 都市捷運系統容量模式建構

本年度的研究囿於研究時程的限制，對於都市捷運系統容量模式建構，僅先發展運轉時隔分析模式。在本所的前期研究中^[7]，曾探討都會捷運系統在正線運轉的最小列車運轉時隔，但根據臺北捷運公司的人員私下表示，列車在末端站折返的時隔亦為重要的瓶頸之一，因此除了中間車站外，本研究也考慮了橫渡線的配置（包括橫渡線的型式及位置），發展列車在末端站折返的運轉時隔分析模式。另外，由於每一個捷運系統的號誌設計並不相同，因此對於捷運系統運轉時隔分析模式，將不採用傳統暨區域鐵路針對號誌系統的方式來建構，而是讓使用者根據系統的特性，自行輸入列車的最小安全行車間距，如此可增加模式的泛用性。

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、軌道行車設備等硬體設施，以及營運調度等軟性的操作。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。惟一般而言，「軌道容量」分析係側重在軌道行車設備的部分，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，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，研究範圍如圖 2-1 所示。

而在可靠度分析方面，承襲前期研究之成果^[3,5]，以傳統暨區域鐵路系統為對象，從軌道容量分析延伸到列車服務可靠度分析，因此可靠度的基本分析單元亦和容量分析模式相同，但僅針對複線運轉區間，分別探討每一股道的容量與可靠度之關係，如圖 2-2。

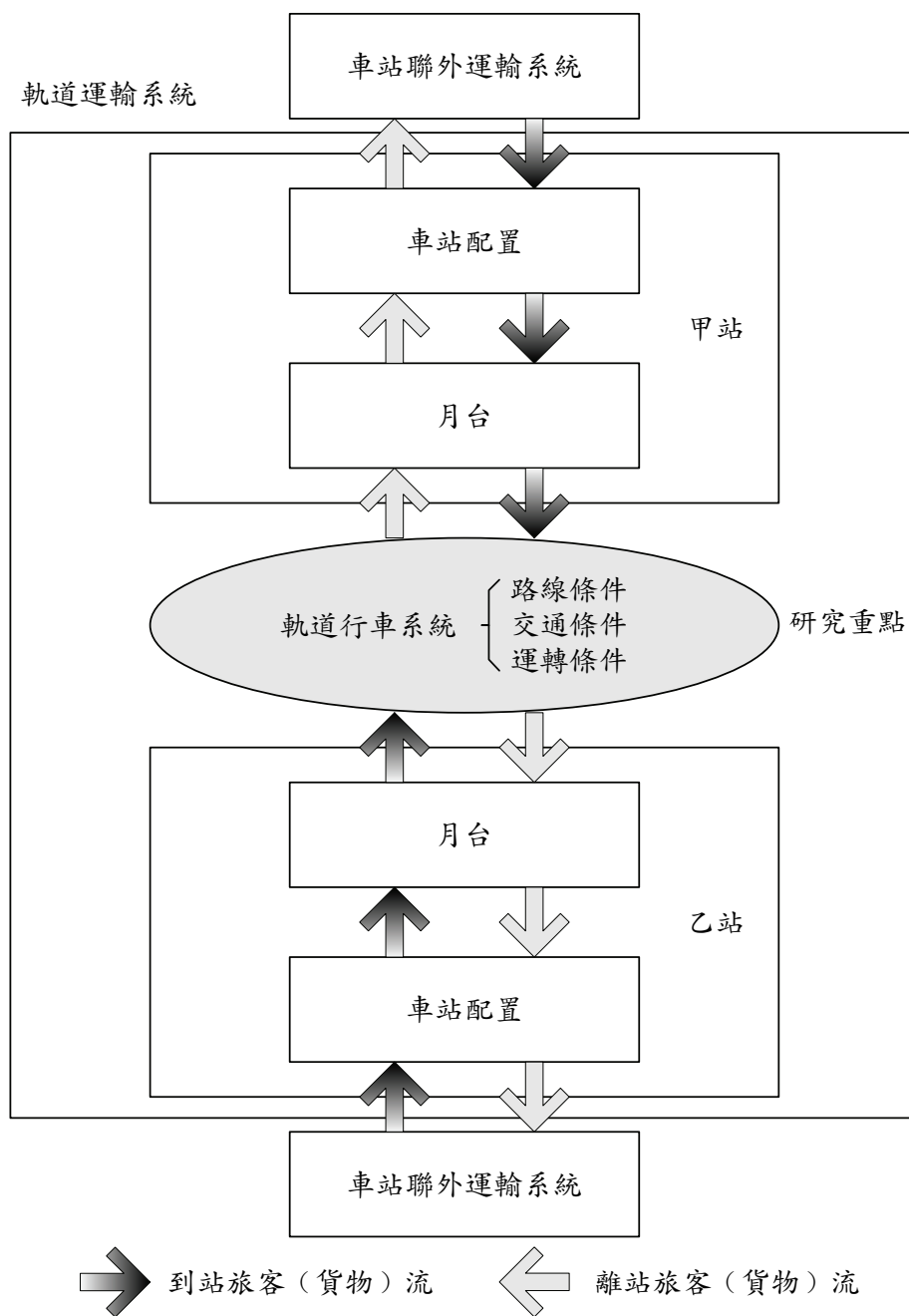


圖2-1 軌道容量的研究範圍

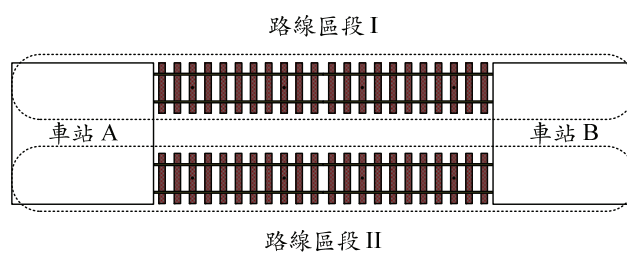


圖2-2 列車服務可靠度分析的基本分析單元

2.2 研究對象

本年度的研究對象包括傳統暨區域鐵路以及都市捷運系統，就國內目前的發展情況而言，前者包括臺鐵系統，而後者則包括臺北捷運系統以及高雄捷運系統。

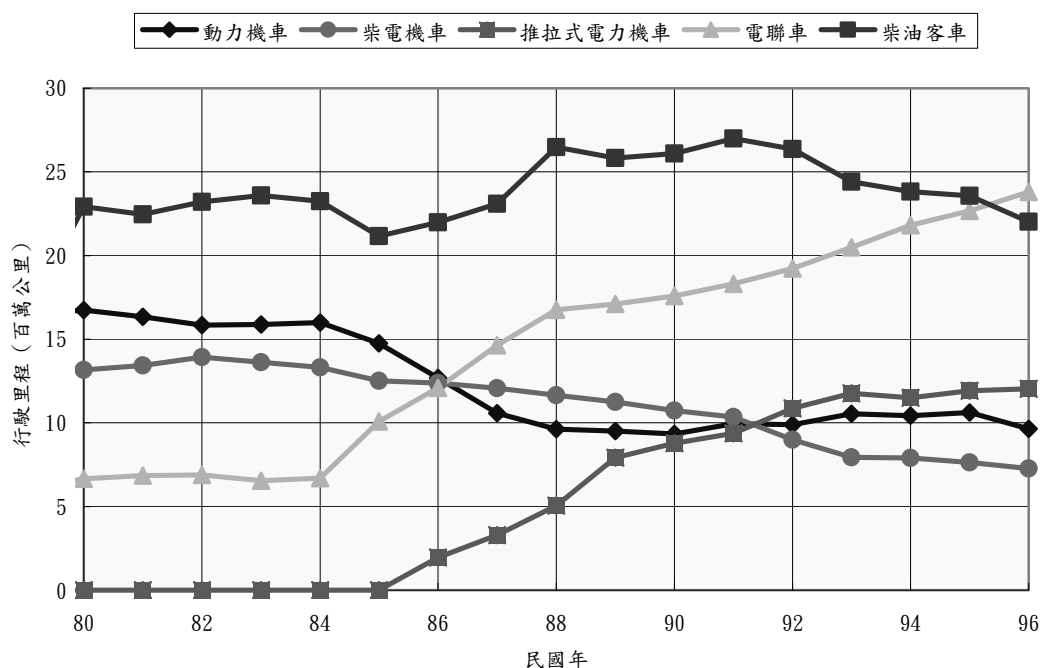
2.2.1 臺鐵系統

臺鐵自清朝興建迄今已逾百年，為臺灣最早的軌道運輸系統。經過不斷的擴建，於民國 80 年完成環島鐵路網。至民國 96 年底，其營業里程為 1,093 公里，其中包括雙線 667.7 公里，單線 425.3 公里，全為窄軌建構（軌距 1,067 公厘）^[8]，區分為三大系統：西部幹線系統、東部幹線系統以及支線系統，沿線並佈設有許多的維修基地及調車場，如圖 2-3。

在車輛系統方面，動力車輛可區分為動力機車、柴電機車、推拉式電力機車、電聯車，以及柴油客車等幾類。從圖 2-4 可知，電聯車的行駛里程數有逐漸增加的趨勢，而柴電機車則呈下降的趨勢。

在供電系統方面，電化區間 687.4 公里，非電化區間 405.6 公里，臺鐵除了花東線、南迴線、部分屏東線，以及支線鐵路之外，其餘路線均已完成電氣化。臺鐵供電設施係沿電化路線約每 40 公里設置一變電站，分別向鄰近約 20 公里電化路線供電。兩變電站中間各設饋電絕緣區（即中性區間）一處，區分各變電站之供電，並作為供電調度之用。供電路徑為自臺電引接二迴路三相 69 kV 交流電源，經臺鐵變電站設置之主變壓器降壓為二組單相 25 kV 交流電，60 Hz（M 相及 T 相），饋送至電車線系統以供列車運行之用。因此以變電站為中心，北側為 T 相，南側為 M 相，與饋電絕緣區鄰接之 T 相與 M 相之電力形成相對。

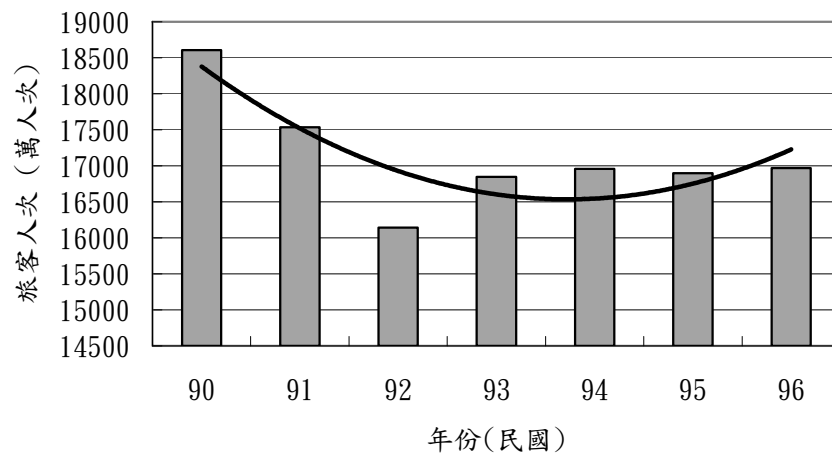
指示行駛。為了確保行車安全，另裝設有列車自動保護系統(Automatic Train Protection, ATP)，將列車的速度從單點監控提升至線的監控。另外，臺鐵對於運轉車輛的調度監控係採用中央行車控制系統(Centralized Traffic Control, CTC)，在 CTC 區間的列車運轉由綜合調度所之行車控制中心集中控制全線行車。



資料來源：[8]及本研究整理

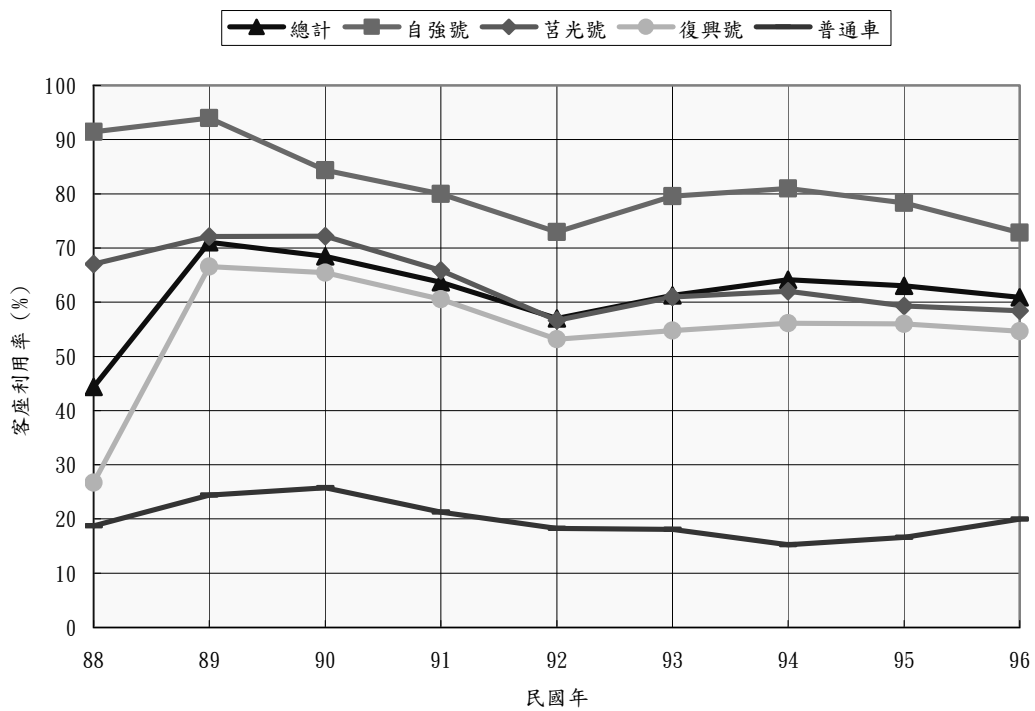
圖2-4 臺鐵各式動力車歷年行駛里程

在營運概況方面，臺鐵在民國96年所統計的客運人數約1億6,969萬人次，平均每日約46萬4,911人次，較上年小幅增加0.42%，歷年旅客人次如圖2-5。另外在圖2-6中顯示臺鐵的客座利用率以自強號為最高，約70%，最低者為普通車，僅約20%，由於臺鐵的自強號有販售站位，而計算客座利用率時卻僅考慮座位，因此有高估之嫌。至於準點率的部分，圖2-7顯示貨運列車的準點率較高，主要原因在於貨運列車多於非尖峰時間運轉，此時的車流密度較低，故準點率較高，而客運列車則多於白天及尖峰時間運轉，準點率約在91~95%之間波動。



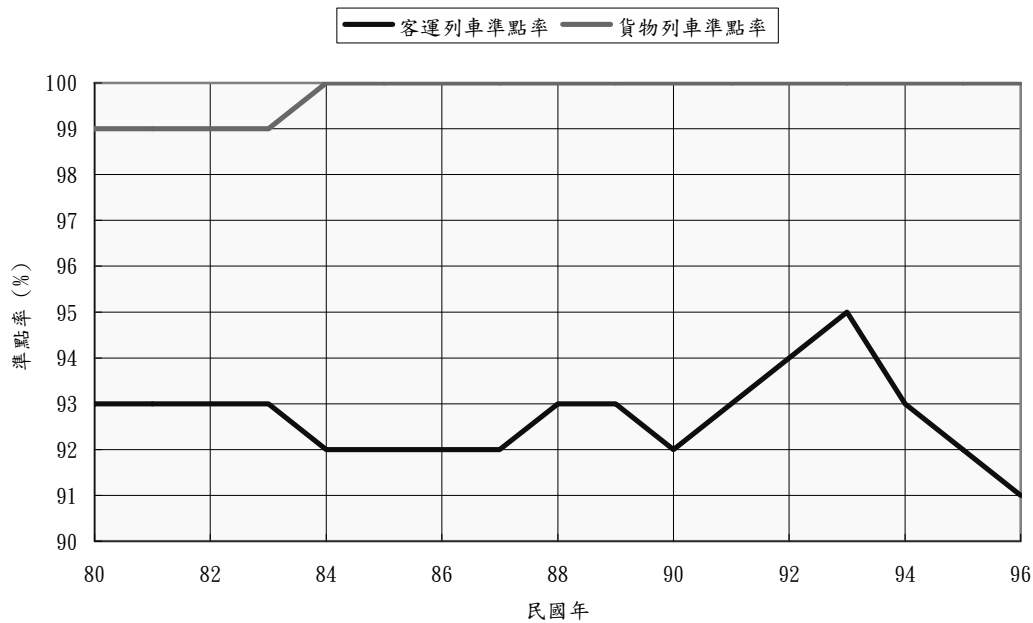
資料來源：[8]及本研究整理

圖2-5 臺鐵歷年旅客人次



資料來源：[8]及本研究整理

圖2-6 臺鐵各車種歷年客座利用率



資料來源：[8]及本研究整理

圖2-7 臺鐵歷年準點率

2.2.2 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、板橋線等八條路線，營運里程共 74.4 公里，如表 2.1所示。由於臺北都會區捷運系統營運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 2-8所示。

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來自日本川崎重工業（Kawasaki）與德國西門子（Siemens）所製造。每一列車係由兩組「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。而木柵線所使用之 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）交通運輸公司製造^[11]。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。

表2.1 臺北捷運已通車之路線之綜合比較

	木柵線	淡水線	中和線	小南門線
路線顏色	棕	紅	橘	淺綠
路線起訖	中山國中 動物園	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	10.5km	23.5 km	5.4 km	1.6 km
車站數	12	22	4	1
運能	中運量	高運量	高運量	高運量
路權型式	高架	高架平面地下	地下	地下
機廠	木柵機廠	北投機廠	中和機廠	—
通車時間	85.03.28	86.12.25	87.12.24	89.8.31
行駛時間	19 分 38 秒	37 分 26 秒	9 分 06 秒	3 分 38 秒

	新店線	南港線	板橋線	土城線
路線顏色	綠	藍	藍	藍
路線起訖	中正紀念堂 新店 (含小碧潭線)	昆陽 西門	西門 府中	府中 永寧
路線長度	11.2 km	9.5 km	7.2 km	5.5 km
車站數	10	11	5	4
運能	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
機廠	新店機廠	南港機廠	—	土城機廠
通車時間	88.11.11	89.12.30	95.05.31	95.05.31
行駛時間	16 分 55 秒	18 分 10 秒	10 分 59 秒	9 分 24 秒

資料來源：[16, 19]及本研究整理。



資料來源：[19]

圖2-8 臺北都會區大眾捷運系統計畫路網圖

表2.2 臺北捷運系統高運量車輛與中運量車輛比較表

	高運量車輛	中運量車輛
需要駕駛員	不需要（但實際上有安排）	不需要
車輛進站開門	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
車輛行駛軌路	鋼輪鋼軌	膠輪混凝土軌/膠輪鋼軌 ¹
車輛最高速度	80km/h	80km/h
車廂設計容量	座位 60 人；立位 310 人	座位 24 人；立位 90 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）
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）
列車總長	141 公尺	55.12 公尺
最大爬坡度	3%	6%
最大加速度	1.0m/s ²	1.3m/s ²
最大緊急煞車	1.3m/s ²	1.8m/s ²
最小轉彎半徑	140 公尺（速限 25km/h）	30 公尺
車門數	每車廂 8 門，左右各 4 門	每車廂 4 門，左右各 2 門

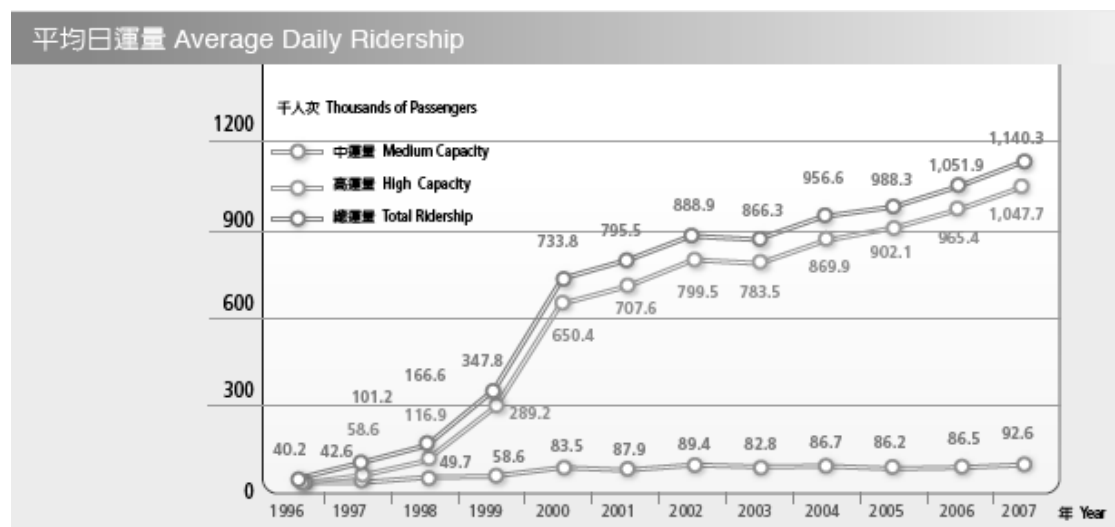
臺北捷運供電系統之功能是負責將臺電公司提供之 161kV 高壓電，先經主變電站降壓為 22kV 後，再轉換整流成 750V 直流電力（電聯車使用）或 380V/220V 之電力（場站設備使用）。而電聯車電力的取得方式是採第三軌供電方式，經由車身旁之集電靴，自軌道左或右側之下觸式第三軌取得電力供列車使用。

在號誌系統方面，臺北捷運系統採用的是固定式閉塞號誌系統，但未來捷運內湖線完工之後，中運量系統將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。

在營運概況方面，圖 2-9顯示臺北捷運系統的平均日運量逐年成長，至 2007 年已超過 110 萬人次/日^[16]。由於運量逐漸成長，尖峰平

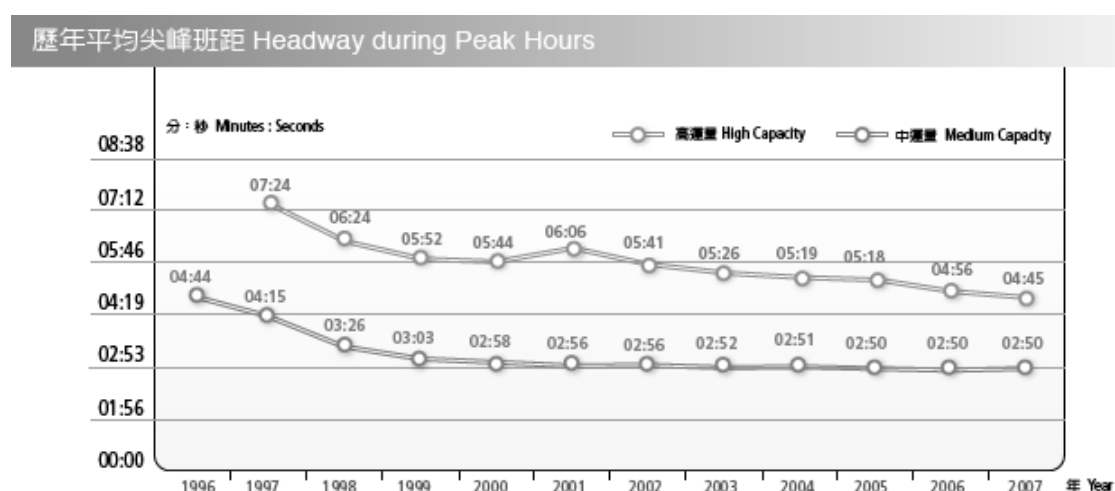
均班距逐年縮短，至 2006 年，高運量的尖峰平均班距已小於 5 分鐘，而中運量更小於 3 分鐘（詳如圖 2-10），旅客滿意度亦是年年增加，如圖 2-11，2006 年滿意度已超過九成。

在營運可靠度方面，臺北捷運每年延誤 5 分鐘以上的行車事件，已從 2001 年的 145 次，下降至 2007 年的 36 次，其結果統計如圖 2-12 所示，歷年準點率變化如圖 2-13，是目前世界上準點率最高的捷運系統。



資料來源：[18]

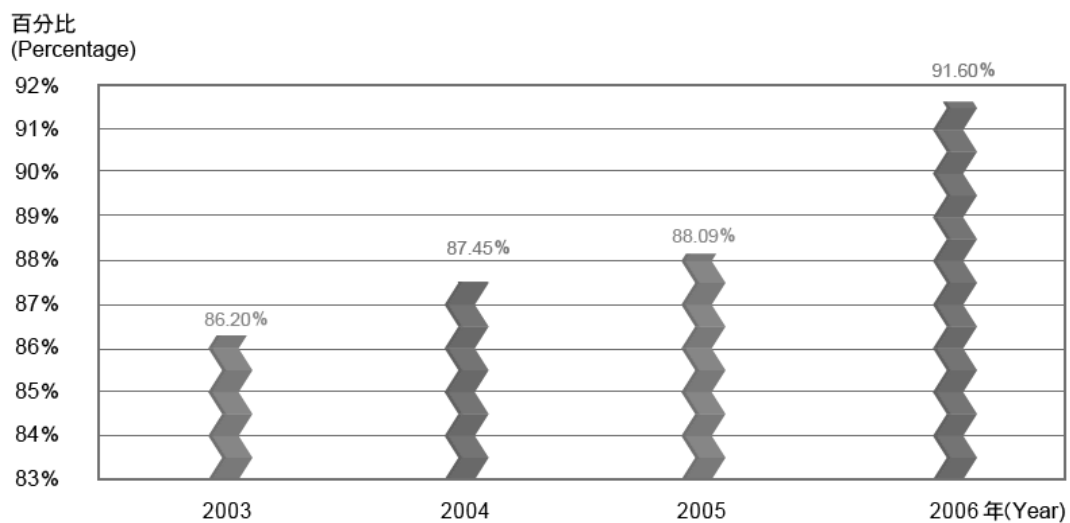
圖2-9 臺北捷運系統歷年平均日運量



資料來源：[18]

圖2-10 臺北捷運系統歷年尖峰平均班距

2003-2006年旅客整體滿意度
Rate of Customers Satisfaction 2003-2006



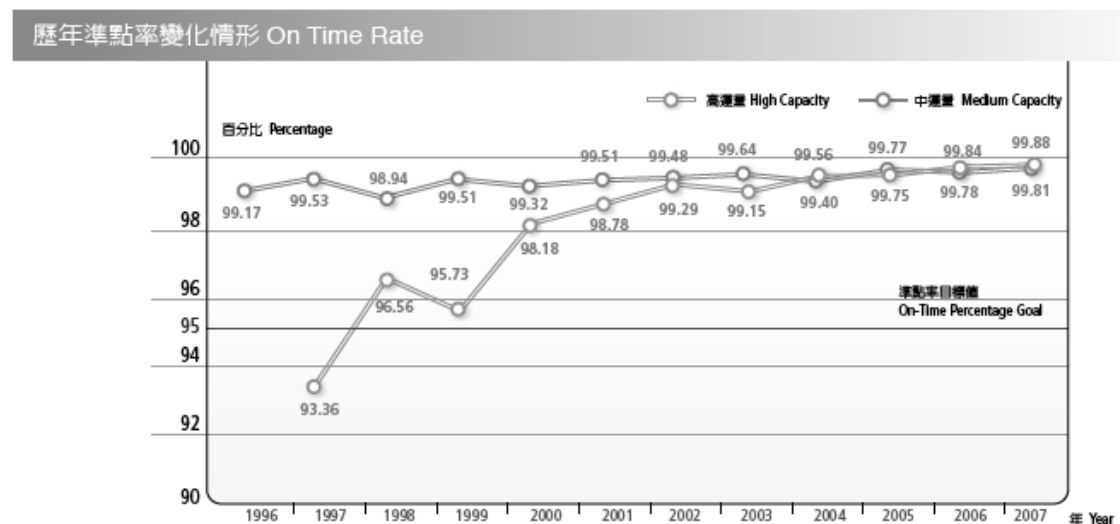
資料來源：[17]

圖2-11 臺北捷運系統歷年旅客整體滿意度



資料來源：[18]

圖2-12 臺北捷運系統延誤 5 分鐘以上行車事件次數



資料來源：[18]

圖2-13 臺北捷運系統歷年準點率變化

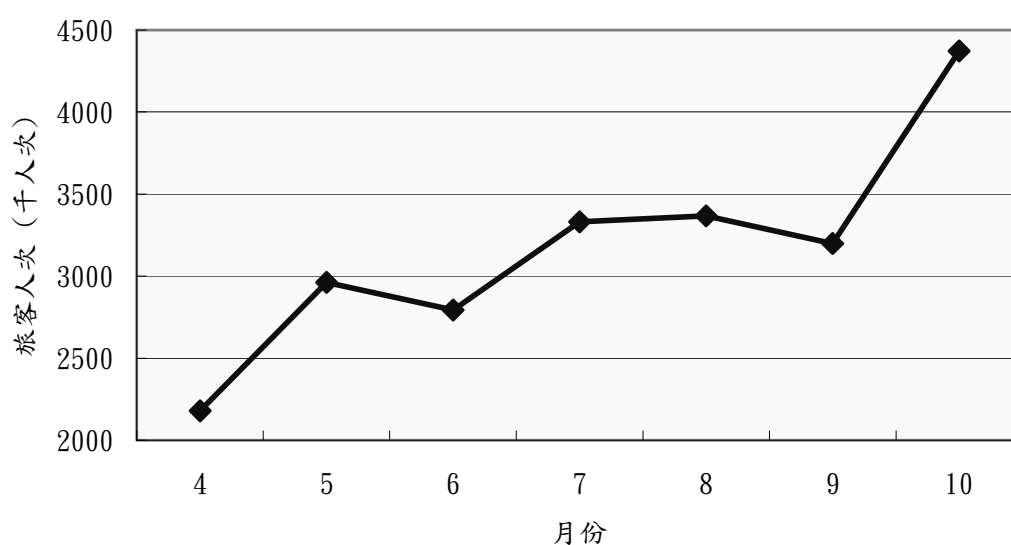
2.2.3 高雄捷運系統

高雄都會捷運系統共包括紅、橘、藍、棕四種路線，已奉准興建的初期路網為紅、橘兩線，如圖 2-14所示，路線長 42.7 公里，其中高架段 8.5 公里，地下段 34.2 公里，採傳統鋼輪鋼軌之高運量捷運系統。在民國 95 年 5 月紅橘線所有潛盾隧道全部貫通，96 年 10 月紅線開始全線試運轉，97 年 3 月紅線開始正式啟用，同年 9 月橘線通車，營運至今各月的客運人數成長情形如圖 2-15。



資料來源；[13]

圖2-14 高雄都會區大眾捷運系統計畫路網圖



資料來源：[13]及本研究整理

圖2-15 高雄捷運系統歷月旅運量

高雄捷運系統的車輛係由西門子製造，以三輛車為一編組，營運時可採兩組六輛車編組，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 2.3。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。

表2.3 高雄捷運系統車輛特性

項目		內容
列車編組	三車編組	DM-T-DM
	六車編組	DM-T-DM - DM-T-DM
列車容量	三車編組	126 座位+879 立位，共 1005 乘位
	六車編組	252 座位+1758 立位，共 2010 乘位
最高速度 (km/h)		80
平均速度 (km/h)		35

資料來源：[14]及本研究整理

第三章 文獻回顧

本章將文獻分為兩大主題，分別是列車服務可靠度與都會捷運系統容量分析，茲介紹如下。

3.1 列車服務可靠度相關文獻

本節從研究列車服務可靠度的相關文獻開始，藉由等候理論引出容量與可靠度之間的關係，並介紹相關的研究。

3.1.1 列車服務可靠度的評估

運輸系統的可靠度是影響運輸服務品質重要的因素之一，其中列車服務的可靠度更是受到社會的期望。旅客對列車準點的重視程度，不亞於對搭乘舒適度、服務頻率或旅行時間等因素的要求，尤其在通勤旅客的眼裡，可靠度是最被重視的因素。

軌道營運單位為了提高服務品質，也將提供可靠的運輸服務作為努力的目標，但要改善運輸服務的可靠度，首先要有評估列車服務可靠度的指標，才能夠了解目前可靠度現況，以及未來對可靠度的改善情形進行比較，Rietveld 等人^[46]提出了有下列幾種指標，可作為評估可靠度的標準：

1. 準點率（列車在可接受時間內到達車站（通常指終點站）的機率）
2. 列車提早離站的機率
3. 列車實際到達時間與表訂到達時間的差異，也就是延滯時間
4. 當一列車延誤時，其續行列車的平均延誤時間
5. 當一列車延誤超過某一時間，對續行列車所造成的平均延誤時間
6. 到達時間的標準差

7. 其他更複雜的指標

在實務上，準點率是最常用來評估列車服務可靠度的指標，以臺鐵為例，其對列車準點率（Train Punctuality）的定義為：「列車到達終點站延誤 5 分鐘以內者，謂之列車準點，各級列車準點列車次數占該級列車總列車次數之百分比，謂之列車準點率」^[8]，公式為：

$$\text{列車準點率} = (\text{準點列車次數} / \text{開行列車次數}) \times 100\% \quad (3.1)$$

從第二章的介紹中可知，近年來臺鐵每年平均的列車準點率皆超過九成，但在臺鐵最新的旅客意向調查中，顯示旅客對於臺鐵「列車準點情形」的滿意度僅 57.5%，且有 70.2% 的旅客認為臺鐵最應改進事項為「列車誤點」^[8]，可見公式(3.1)雖簡單明瞭且方便使用，但尚有不足之處。

在學術研究上，準點率並非是評估列車服務可靠度最好的指標，需依據研究方法和內容的不同挑選適用的指標。在 Middelkoop 與 Bouwman^[42]的研究中，是透過 SIMONE 模擬模式來比較兩個小型路網及時刻表之穩定度，其中對可靠度的評估是用延滯的列車數、恢復時間，以及初始與最終延滯之比率等三個項目來作為評比的標準。而 Briggs 和 Beck^[34]則是發展了更複雜的指標：先統計在某一車站的列車實際運行資料，找出一條最能夠代表其延誤時間和發生率關係的 q-exponential 函數（q-exponential functions），再透過該函數中的各項係數來評估該車站在可靠度上的表現。此方法的優點為可分別評估各車站的可靠度，其結果可能更能反映旅客的感受，但缺點為其過程相當繁雜。

此外，尚有許多研究著重在推估列車服務的可靠度，透過推估模式的建立可了解影響列車服務可靠度的因素，並可進一步應用於評估不同的可靠度改善策略。

早年 Kraft^[37]曾發表一篇介紹數個有關列車延滯之解析模式的文章，但其所探討的對象僅侷限於單線運轉鐵路，且只針對列車交會而

忽略了列車待避的情況。在 1995 年，Higgins 等人^[30]則考量了每個軌道段、列車和班表，分別針對車站（含端點站）、軌道相關以及列車相依等三種型態的延滯建構解析模式，可用於改善班表的可靠度，之後在 1998 年又分別以旅運和貨運為對象，以解析的方法預估其可能延誤時間^[31]。

除了解析方法，亦有許多研究採用模擬分析，在 1998 年 Barter^[25]所發表的文章中，除了介紹 RailPlan 模擬模式之基本概念之外，亦討論了容量與列車服務之間的關係以及可靠度規劃（Planning for Reliability）問題。在 EUROPE-TRIP 計畫^[27]中則是利用 VISION 模式，研究時刻表每多排入數目不等的列車對整體路線延滯情形之影響，進一步發現排入的列車數與整體的延滯時間，兩者之間存在著權衡（Trade-off）的關係，在後續小節中將針對這關係有更多的介紹。

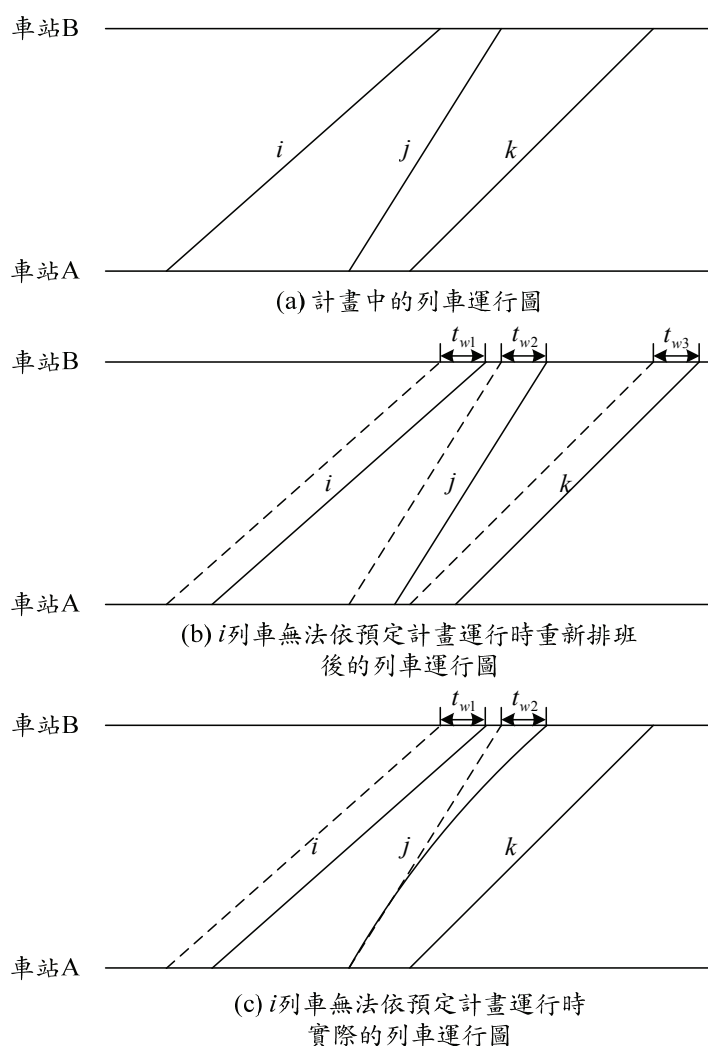
3.1.2 列車延滯與等候理論

過去許多對可靠度的研究，皆是將列車延滯分為兩類：主要延滯（Primary Delay/Exogenous Delay）和次要延滯（Secondary Delay/Knock-on Delay）^[43]。主要延滯是由於外在因素直接影響列車運行導致的延滯，而次要延滯則是由於主要延滯的發生，造成列車間相互影響所導致的延滯，例如某列車因旅客量多導致停站時間過長，係為主要延滯；而導致其續行列車必須機外停車，便是次要延滯。

而次要延滯又可再分為兩類^[3]，第一種是列車排班的交會待避延誤（Waiting Time due to Scheduled Meeting and Overtaking），通常發生在車站或號誌站。以圖 3-1(a)為例，在排班作業時，若某一系列車延誤，後續的所有列車都將跟著延誤，如圖 3-1 中的(b)圖，當列車*i*延後在車站 A 的出發時間時，其後續的列車*j*和列車*k*都跟著延誤。

第二種是列車實際運行的延滯（Delay in Current Operation），係發生在列車運轉中途。同樣以圖 3-1 (a)為例，在列車實際運行時，當列車*i*發生延誤，第二班的快速列車*j*仍會依原定時間從車站 A 出發，當其逐漸追上前行的慢速列車*i*時，因受到號誌的管制，列車*j*會降低

速度，使列車的平均速差變小，如圖 3-1(c)所示，而後續的列車 k 則完全沒有延誤。



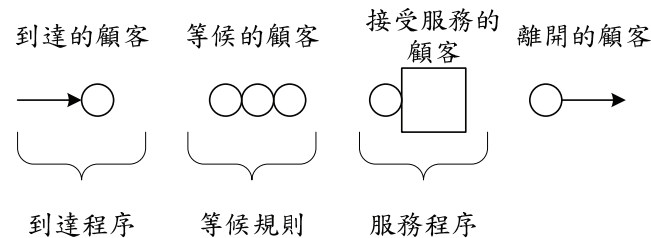
資料來源：[3]

圖3-1 列車排班延滯與實際運行延滯

由於列車在軌道上運行的原理與等候理論（Queuing Theory）相當類似，因此以該理論為基礎，可對列車延滯行為與現象作更深入的探討，在 2000 年 Hansen^[29]就利用了等候理論搭配 Max-Plus 代數法（Max-Plus Algebra），來推估車站容量與列車服務的可靠度。

在等候系統（Queuing System）中，包括了顧客（Customer）以及服務者（Server）等實體，而描述等候系統的特性則包括顧客的到達程序（Arrival Process）、服務者的服務程序（Service Process），以及顧客的等候規則（Queuing Discipline）^[38]，如圖 3-2所示，顧客依到

達程序抵達系統，並依照等候規則等候服務者的服務，在服務過程中依服務程序接受服務，完成服務後離開系統。

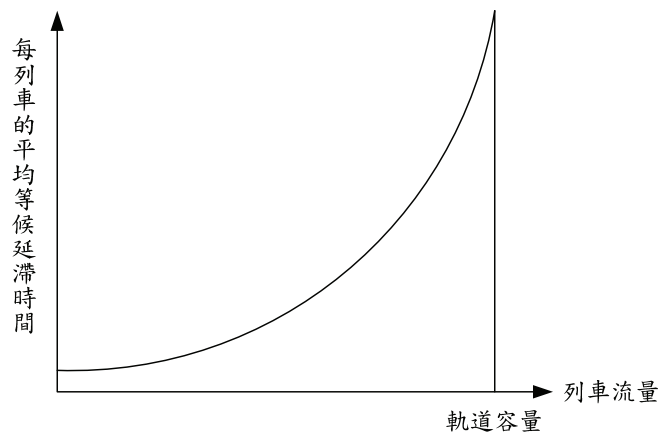


資料來源：[3]

圖3-2 等候系統示意圖

對於列車運轉而言，可將列車視為顧客，而月台及軌道等資源當作服務者，在系統特性方面，列車運行的過程是依照一定的規則取得月台及軌道的使用權，而在月台的停車時間以及在軌道的運行時間則為服務者的服務時間。以列車停靠車站的例子說明，列車抵達車站時，必須有空餘的股道方能進站，如果是旅客列車，還必須有臨月台面的軌道才可以停車供旅客上下車。如果車站內的軌道或月台已被其他列車佔用，後續列車必須在進站號誌機外，甚至前一個車站等候。若不只一班列車等候，當有空餘的月台及軌道時，這些等候中的列車會依照一定的規則（例如高級車優先）依序進站。而列車在停站後，開啟車門讓旅客上下列車，再關閉車門完成停站作業離開車站，這段時間則為列車接受車站服務的時間。

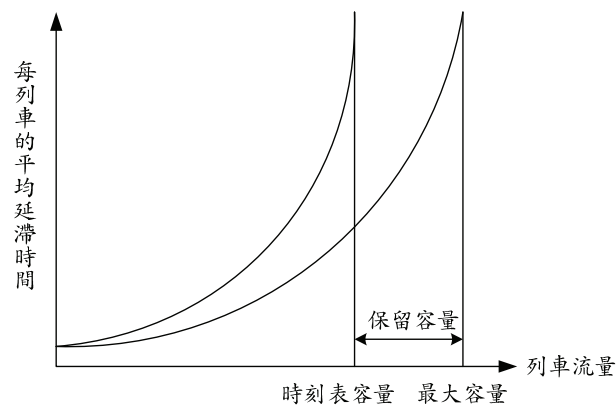
既然是等候系統，由於隨機效應的關係，顧客難免會有等候時間的延誤。當顧客的抵達率逐漸增加時，每一顧客的平均等候時間也會增加，而當抵達率趨近於服務者的服務率時，平均等候時間會趨近於無窮大。對應到軌道運輸系統，顧客的抵達率可視為「列車流量」，而軌道設施的服務率可視為「軌道容量」，當列車流量趨近於軌道容量時，延滯亦會趨近於無窮大，因此列車流量與平均延滯時間關係的曲線，於接近軌道容量時會有大幅陡升的現象，如圖 3-3所示。



資料來源：[3]

圖3-3 列車延滯時間圖

考慮排班的延滯所對應的容量稱為「時刻表容量」或「實用容量」，而考慮列車實際運行的延滯所求得之容量稱為「最大容量」，由於排班的延誤通常高於實際延誤的緣故，因此「時刻表容量」通常小於「最大容量」，而它們之間的差值可視為「保留容量」，如圖 3-4 所示。「保留容量」提供列車在實際運行時進行運轉整理所需的緩衝容量，因此當「保留容量」愈大，亦代表班表的可靠度會愈高。



資料來源：[3]

圖3-4 時刻表容量與最大容量

3.1.3 運輸系統容量與可靠度的關係

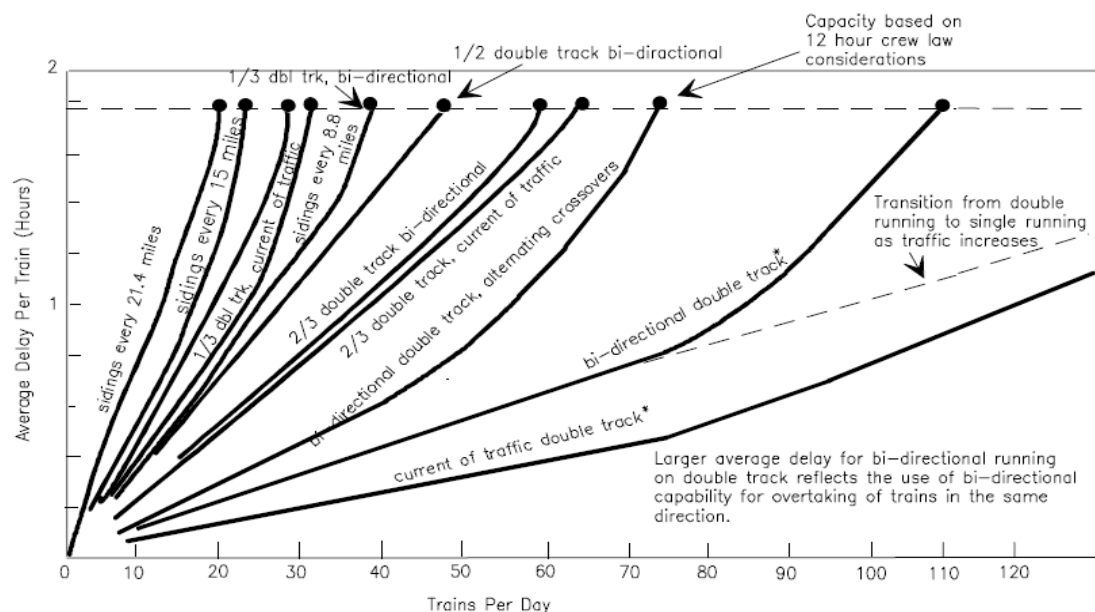
影響可靠度的因素很多，在 Olsson 等人^[43]對挪威鐵路系統作的一系列研究中，根據號誌系統的自動紀錄、調度員的手寫紀錄和其他整合性資料，透過統計方法，以相關係數（Pearson Correlation）來確認

影響準點率的因素，其中包含：旅客數、容量利用率、班次取消率、臨時速限、工程施工、平日/週末、到離站準點情形，以及運轉調度方式等。

延續上一年度的研究^[6]，運輸系統容量與可靠度之間的關係是個值得深入研究之議題，雖然在 Olsson 等人^[43]的研究結果中，容量利用率和準點率的相關性沒有預期中的高，但造成這結果的原因可能是判定列車誤點的門檻值吸收了部分的延滯。總而言之，就等候理論的邏輯而言以及過去許多相關研究的文獻，在在說明其關聯性：列車流量愈高、路線容量利用率愈高，則可靠度會愈低，詳如下列說明。

若某一班列車發生延滯，其續行列車有可能受到影響而跟著延滯，這是所謂的延滯的連鎖效應（Knock-on Effects）。當列車流量愈高時，表示列車與列車間的距離較近，因此延滯的連鎖效應影響愈大，使得整體的可靠度降低。

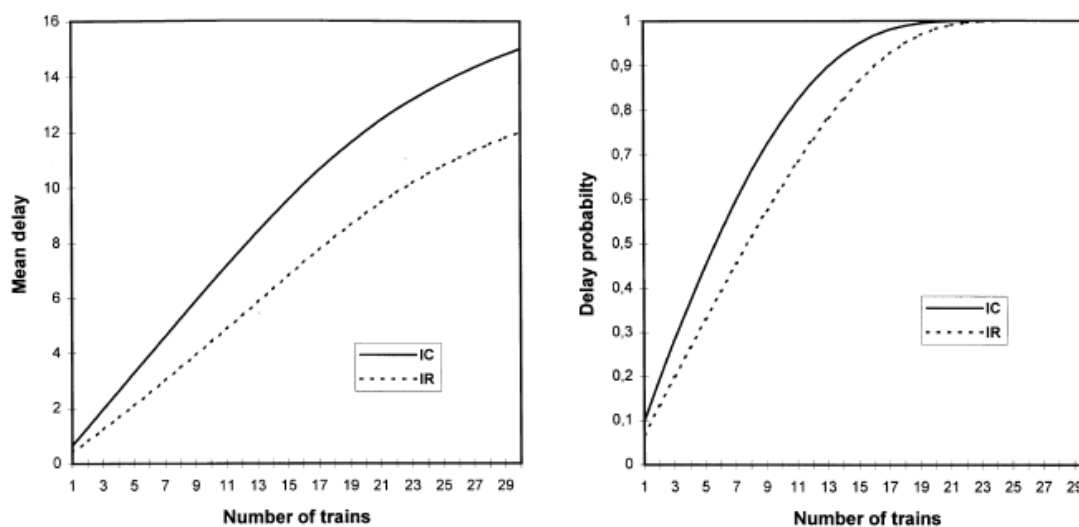
在 Leilich^[39]的文章中提到，PMM&Co. (Peat, Marwick, Mitchell & Co.) 在 1970 年間研究影響路線容量的因素，圖 3-5 為其研究成果之一，即使是在不同的路線條件下，隨著每日列車數的增加，每列車平均的延滯時間都是呈現增加的狀態。



資料來源：[39]

圖3-5 每日列車數和平均延滯的關係

在 2001 年，Huisman 和 Boucherie^[32]考量在複線區段且有不同的車種組成，發展了計算運轉時間的統計模式，此模式可應用於分析每小時列車數對平均延滯和延滯發生機率的影響，以荷蘭阿默斯福特（Amersfoort）到茲沃勒（Zwolle）路段為例，其結果如圖 3-6，顯示當每小時列車數增加時，除了平均延滯時間會跟著增加外，延滯發生的機率也會同時提升。



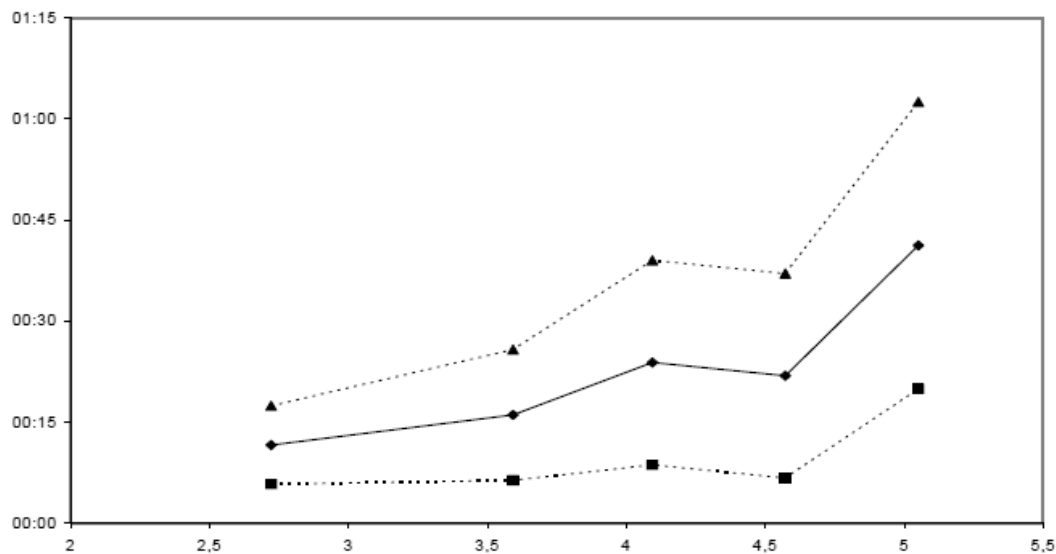
註：IC: Intercity；IR: Interregional

資料來源：[32]

圖3-6 每小時列車數對平均延滯和延滯發生機率的影響

另外 Middelkoop 與 Bouwman^[41]曾使用 SIMONE 模式，進行探討荷蘭 Weesp 車站轉乘等待時間的案例分析，假設將 6 列貨物列車排入班表後，發現模擬的結果是會造成延滯的程度增加 10%，顯示列車流量的提高會導致可靠度下降。

在 2004 年，Mattsson^[40]受 SIKA (Swedish Institute for Transport and Communications Analysis) 所託所寫的文章中，介紹了許多有關列車服務可靠度的研究成果，其中提到 Wiklund 利用 RailSys 模擬的結果，如圖 3-7 所示，平均延滯時間隨著列車數增加而有提高的趨勢。



註：X 軸為每小時列車數，Y 軸為延滯時間（小時：分鐘）

資料來源：[40]

圖3-7 每小時列車數和平均延滯時間的關係

從另一角度來看，高列車流量代表著路線的容量利用率高，而在實際營運上，容量利用率愈低時，表示有愈多未使用的容量可作為運轉調度的緩衝，當有列車發生延遲，便可減少列車延滯造成的衝擊，以迅速恢復回原訂班表運轉，因此可靠度較高。

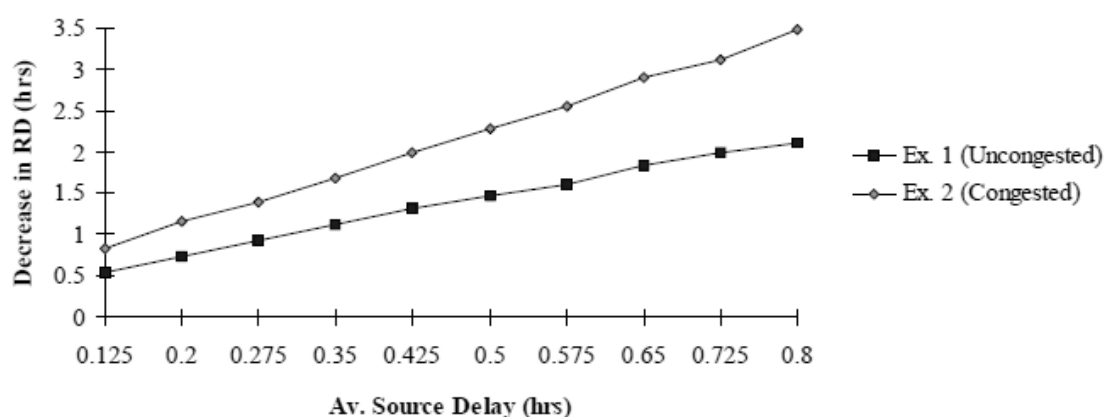
在 Mattsson^[40]的文中提到，Wahlborg 利用了 RailSys 模擬模式，研究瑞典韋斯特羅斯（Västerås）到斯德哥爾摩（Stockholm）路段，在不同的交通量下，從延滯發生到恢復成原訂班表運轉所需的時間，結果如表 3.1，可看出當有延遲發生時，容量利用率愈高則受到影響的列車數愈多，使得恢復原訂班表運轉所需的時間也愈長，意味著系統整體的可靠度較低。

表3.1 容量利用率和恢復運轉所需時間之關係

列車數	31	35	37
容量利用率 (%)	62	72	76
當發生 15 分鐘延遲時，受到影響的列車數	4.8	7.0	8.0
當發生 15 分鐘延遲時，恢復運轉所需的時間 (min)	41.4	47.9	51.3

資料來源：[40]及本研究整理

此外在 Ferreira 和 Higgins^[26]的研究中，其所發展的解析模式中考量了每一列車延遲的風險值（Risk of Delay, RD），進而討論各種會影響可靠度的因素，其中包含有關不同程度延遲對減少延遲風險所需時間之關係的試驗，如圖 3-8，第一例（Ex. 1）的列車班次較為寬鬆（Uncongested），而第二例（Ex. 2）較為擁擠（Congested），結果顯示無論發生何種程度的延遲，第一例要減少整體延遲風險所需時間都比第二例來得少，原因在於第二例的路線已太過擁擠，而無法有效吸收延遲造成的衝擊，導致可靠度下降。



資料來源：[26]

圖3-8 不同程度延遲對減少 RD 所需時間的關係

3.1.4 小結

從以上文獻說明了，列車流量或容量利用率的增加，將造成可靠度下降，原因在於列車班距時隔過近，且沒有足夠的空間進行運轉整理，使得延滯的連鎖效應顯著，因此當某路段路線利用率太高，應該提出改善方案，以避免影響服務品質。

延續前期對軌道容量分析研究的成果以及等候理論的基礎，可了解影響可靠度眾多指標中，列車的延滯時間和容量息息相關，因此本研究在列車服務可靠度的研究上，著重在列車流量與列車平均延滯時間之關係，係以臺鐵為對象，蒐集其相關資料進行分析與探討，同時進一步發展可靠度模擬模式，以考量更多影響可靠度之因素，提高可靠度分析之實用性。

3.2 都會捷運系統容量分析

本節將就目前所蒐集的資料，對捷運系統容量分析相關的文獻作初步介紹。但需強調的是許多模式（特別是已開發成商業軟體的模擬模式）皆標榜其全面性（不分軌道系統）之功能，例如早期由澳大利亞新南威爾斯洲（New South Wales）鐵路管理局所開發的MTRAIN^[33]，國內臺北捷運與高雄捷運均曾使用該軟體來進行路線規劃模擬，MTRAIN除可以分析捷運系統容量，亦能分析其他軌道系統之容量，而本節將僅介紹專為捷運系統容量分析之研究文獻。

本所研究報告^[6]曾提出軌道容量分析之泛用架構，該架構經簡化後如圖 3-9。若以圖 3-9為基礎再根據都會捷運系統容量分析的特性來客製化，在「時間單位」上通常以「小時」為單位，而運轉時隔由 4 個項目組成如式(3.2)。

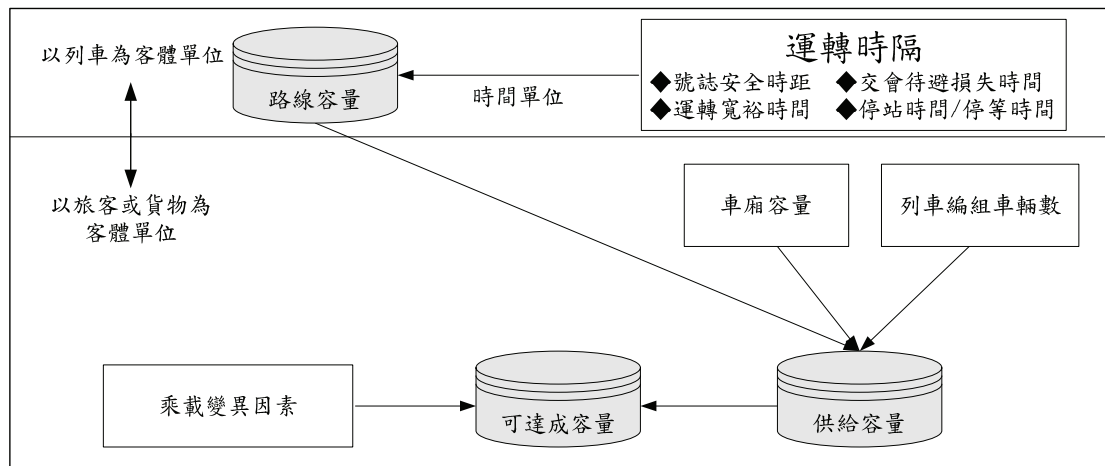


圖3-9 簡化後之軌道容量分析泛用架構

$$h = t_s + t_d + t_l + t_m \quad (3.2)$$

式中： h =運轉時隔（s）

t_s =號誌安全時距（s）

t_d =停站（等）時間（s）

t_l =交會待避損失時間（s）

t_m = 運轉寬裕時間 (s)

但由於捷運系統幾乎為複線運轉¹，同時站內每一方向均僅配置一股道，所以大多數的車站皆不存在列車交會待避的行為，因此式(3.2)中之 t_l 值在捷運系統容量分析中不考慮。故本節會依序介紹號誌安全時距、停站時間及運轉寬裕時間的相關文獻，至於圖 3-9中的其他項目，由於並非本年度研究的工作項目，故暫時不予介紹。

3.2.1 號誌安全時距

號誌安全時距為影響運轉時隔的重要因素之一，綜觀目前所收集文獻可發現在「空間參考點」的選擇上有諸多不同，包括車站、折返點、銜接點等，而根據美國 TCQSM 研究報告^[35]所述，通常路線容量有高達 79%的比例是受制於車站，有 15%的瓶頸發生於折返點，另有 5%的比例是受制於銜接點，故以下將依據這三種空間參考點介紹文獻中所提及之模式。

3.2.1.1 車站

北美 TCQSM 研究報告^[35]用許多篇幅介紹空間參考點為車站的號誌安全時距，同時針對不同的號誌系統提出一系列的解析模式，包括固定閉塞號誌系統 (Fixed Block Signaling System, FBS) 與移動閉塞號誌系統 (Moving Block Signaling System, MBS) 兩大類，以下逐一介紹之。

固定區間閉塞號誌系統係隔地法 (Space Interval System) 的典型代表，利用軌道電路將路線劃分為許多閉塞區間，藉此達到防止列車追撞的效果，固定閉塞號誌系統包含有二時相、三時相及多時相等號誌，在北美使用最普遍者為三相號誌 (3-Aspect)。在三時相號誌系

¹ 少數的捷運路段會以單一車輛在 2~3 個車站間不斷折返方式 (Shuttle Service) 營運，例如臺北捷運系統之「北投—新北投」、「七張—小碧潭」、「西門—小南門—中正紀念堂」等路段，然而這種營運方式雖非複線運轉，但因為路段內僅有單一列車，故亦不存在交會待避損失時間。

統中，看到黃燈時表示還有一個區間即需停車，其閉塞區間長度至少為一個煞車距離，如圖 3-10。

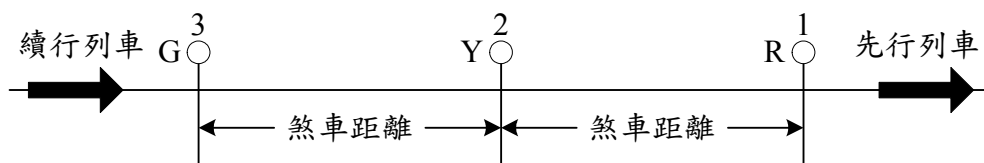


圖3-10 三時相號誌列車之最小空間距離

針對固定區間閉塞號誌系統，北美 TCQSM 研究報告^[35]提出的解析公式如式(3.3)。

$$T_s = \underbrace{\sqrt{\frac{2(L+D)}{a_s(1-0.1G_o)}}}_{①} + \underbrace{\frac{L}{v_a}}_{②} + \underbrace{\left(\frac{100}{K} + B\right)\left(\frac{v_a}{2d_s}\right)}_{③} + \underbrace{\frac{a_s(1-0.1G_i)l_v^2 t_{os}^2}{20000 v_a} \left(1 - \frac{v_a}{v_{\max}}\right)}_{④} + \underbrace{t_{os}}_{⑤} + \underbrace{t_{jl}}_{⑥} + \underbrace{t_{br}}_{⑦} \quad (3.3)$$

式中： T_s =號誌安全時距 (s)

L =最長列車之長度 (m)

D =停站列車之前端至離站後第一個閉塞區間之距離 (m)

a_s =服務加速度 (m/s^2)

G_o =出站坡度 (%)

v_a =進站速度 (m/s)

K =煞車安全因子 (%)，煞車系統作用效能之係數，預設 75%

B =列車安全分隔因子

d_s =服務減速度 (m/s^2)

G_i =進站坡度 (%)

l_v =電壓降 (%)

t_{os} =超速控制時間 (s)

v_{\max} =最大列車速度 (m/s)

t_{jl} =列車急衝度限制寬裕時間 (s)

t_{br} = 列車駕駛及煞車系統反應時間 (s)

式(3.3)等號右側依序為(1)月台淨空時間、(2)列車行駛車身長的時間、(3)安全煞車時間、(4)超速控制時間、(5)超速時間、(6)急衝度限制時間與(7)煞車系統反應時間。眾多參數中較值得說明的是：列車安全分隔因子 B 。該參數用來表示煞車距離之增量，其值隨號誌控制系統而定，手冊中建議若系統為車廂號誌，該值採用 1.2；若為三時相號誌系統採用 2.4。意即北美 TCQSM 手冊僅提供一套固定區間閉塞號誌系統的號誌時隔公式，至於各種固定區間閉塞之間的個別差異，則以參數 B 來處理之。

移動區間閉塞號誌系統則是固定區間閉塞概念的延伸^[48]，但並不存在實體的閉塞區間。移動式閉塞號誌系統為 1960 年代歐洲為提供高速列車之安全所發展，又稱為以通訊基準 (Communication Base) 的號誌系統。相對於固定區間閉塞號誌系統，此系統可縮短列車之間隔進而提昇軌道容量。移動區間閉塞號誌系統使用一種雙向的通訊系統，列車持續利用無線通訊透過路側的「Balise」裝置告知中央控制電腦目前所在的位置，以都市捷運而言，約每 25 公尺進行一次位置更新；城際鐵路則是約每 100 公尺更新一次^[47]。

針對上述這種移動區間閉塞號誌系統，北美 TCQSM 手冊^[35]將之分為固定安全距離 (Fixed Safety-Separation Distance, FSD) 與變動安全距離 (Variable Safety Distance, VSD) 兩種型式。所謂固定安全距離表示兩列車之間的最小安全距離固定不變，而在變動安全距離下，列車之間的最小安全間距會隨著運轉的速度及各種條件而改變。TCQSM 針對這兩種類型式的移動區間閉塞系統，分別建構解析模式，如式(3.4)與式(3.5)。

$$T_s = \frac{L + S_{mb}}{v_a} + \left(\frac{100}{K} \right) \left(\frac{v_a}{2d_s} \right) + t_{jl} + t_{br} \quad (3.4)$$

$$T_s = \frac{L + P_e}{v_a} + \left(\frac{100}{K} + B \right) \left(\frac{v_a}{2d_s} \right) + \frac{a_s(1 - 0.1G_i)l_v^2 t_{os}^2}{20000v_a} \left(1 - \frac{v_a}{v_{\max}} \right) + t_{os} + t_{jl} + t_{br} \quad (3.5)$$

式中： T_s =號誌安全時距（s）

L =最長列車之長度（m）

S_{mb} =移動閉塞系統安全距離（m）

v_a =進站速度（m/s）

K =煞車安全因子（%），煞車系統作用效能之係數，預設 75%

d_s =服務減速度（m/s²）

t_{jl} =列車急衝度限制寬裕時間（s）

t_{br} =列車駕駛及煞車系統反應時間（s）

P_e =定位誤差距離（m），預設值為 6.25m

B =列車安全分隔因子，預設值為 1.0

a_s =服務加速度（m/s²）

G_i =進站坡度（%）

l_v =電壓降（%）

t_{os} =超速控制時間（s）

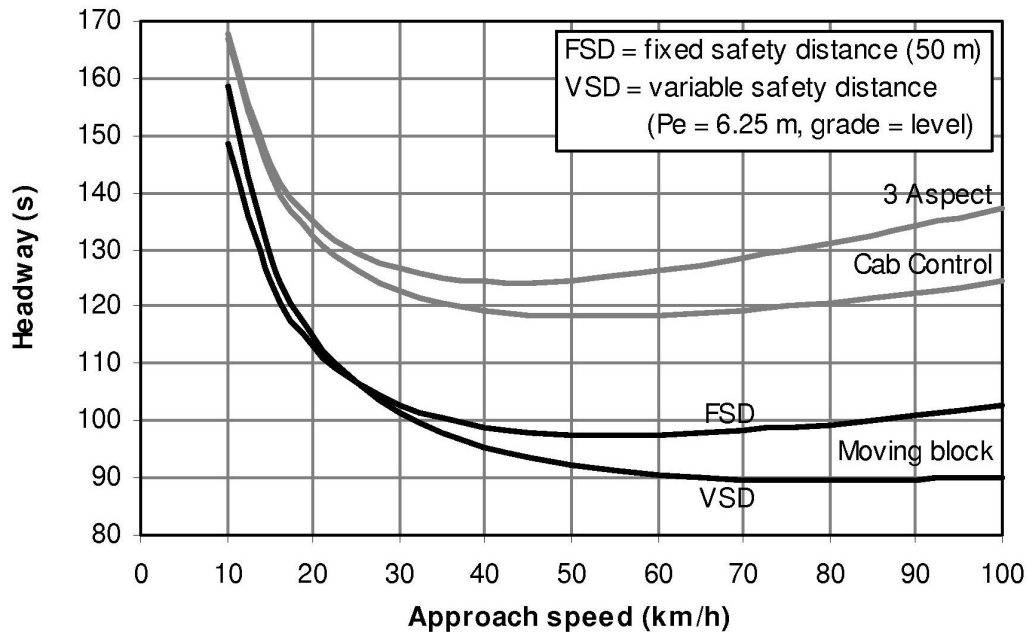
v_{\max} =最大列車速度（m/s）

由上述的公式可知，美國 TCQSM 手冊有關車站號誌安全時距之公式可以簡單歸納如表 3.2，該研究也曾將 4 種號誌系統進行比較如圖 3-11，從中可明顯發現移動閉塞系統的號誌時隔低於固定閉塞號誌系統；而車廂號誌系統之號誌時隔比三位式號誌系統小（實際上是 B 值使用 1.2 與 2.4 之差異）。而在一般正常的營運速度（時速 30km/h 以上）之情境下，變動安全距離的號誌時隔比固定安全距離來的小。

表3.2 美國 TCQSM 手冊車站號誌公式列表

固定閉塞號誌系統		移動閉塞號誌系統	
車廂號誌系統	三時相號誌系統	固定安全距離	變動安全距離
式(3.3)；B 值 1.2	式(3.3)；B 值 2.4	式(3.4)	式(3.5)

資料來源：[35]及本研究整理



資料來源：[35]

圖3-11 TCQSM 手冊四種號誌系統之車站號誌時距比較圖

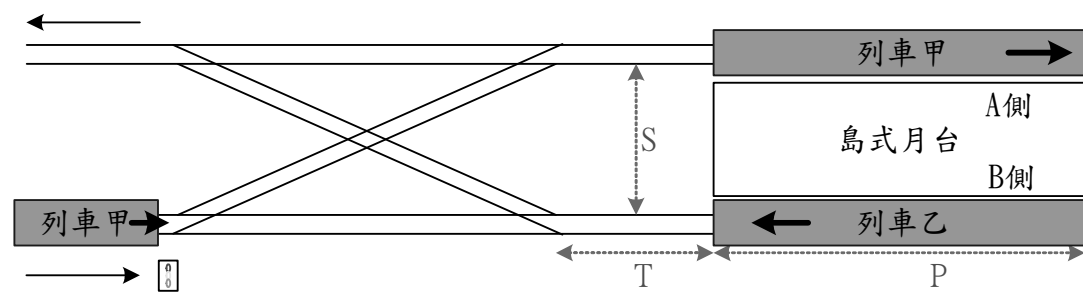
本所前期研究「臺灣地區軌道系統容量研究架構暨臺北捷運系統容量分析」^[7]，曾利用表 3.2 中固定閉塞號誌系統的公式搭配臺北捷運工程局提供的資料，分析臺北捷運淡水線與木柵線的號誌安全時距分別為 55.65 秒與 62.64 秒，但由於該研究並未考量北美系統與國內捷運系統之差異，而是全盤套用北美的模式，再加上分析時許多臺北捷運無法提供的參數均是以手冊的預設建議值取代，該數值與國內的情況可能存在相當的差異，故分析結果僅供參考，這也是本年度研究所需努力之處。

目前臺北捷運公司在排班時，針對非特殊車站（包括端點站/折返站/銜接點站等）的一般通過性車站設有所謂「車站行車最小車距時間」，該數值約在 95~120 秒左右，平均約為 105 秒^[21]，但值得強調

的是該數值是將停站時間與寬裕時間均納入後的時隔數值，並非單只有式(3.2)中的 t_s ，而是式(3.2)中已經加總後的 h 值。

3.2.1.2 折返點

折返點通常發生在末端站，但亦有少數例外，例如國人熟悉的臺北捷運淡水線北投站或板南線亞東醫院站即是非路線末端處的折返站。而折返點也被北美 TCQSM 手冊^[35]認為可能是路線瓶頸之處（15%）。雖然該報告提及末端站在正確地設計與正常營運之下，應不會成為容量之限制，但報告中亦針對島式月台搭配剪式橫渡線的末端站（如圖 3-12），建構了運轉時隔計算公式如式(3.6)。



資料來源：[35]

圖3-12 TCQSM 島式月台末端站

$$H(t) \geq \frac{t_i + 2\sqrt{\frac{2(P+T+CS)}{a_s + d_s}} + \sqrt{\frac{2(P+T+CS)}{a_s}}}{2} + t_s \quad (3.6)$$

式中： $H(t)$ =末端站運轉時隔 (s)

t_i =末端站停留時間 (s)

P =月台長度 (m)，手冊使用之數值為 200 公尺

T =剪式橫渡線到月台距離 (m)，手冊使用之數值為 20 公尺

C =轉轍器角度因子：#6 = 5.77、#8 = 6.41、#10 = 9.62

S =上/下行軌道間距 (m)，手冊使用之數值為月台寬度+1.6 公尺

a_s =服務加速度 (m/s^2)

d_s =服務減速度 (m/s^2)

t_s =轉轍器鎖定時間 (s)，手冊使用之數值為 6 秒

式(3.6)之模式是考慮圖 3-12的列車甲先透過轉轍器進入島式月台的 A 側，接著停靠於 B 側的列車乙再離站之情境。而臺北捷運高運量系統則可透過號誌電腦對列車的折返方式進行 3 種設定，包括圖 3-13 的直進模式、圖 3-14 的交叉模式與圖 3-15 的交叉直進模式。

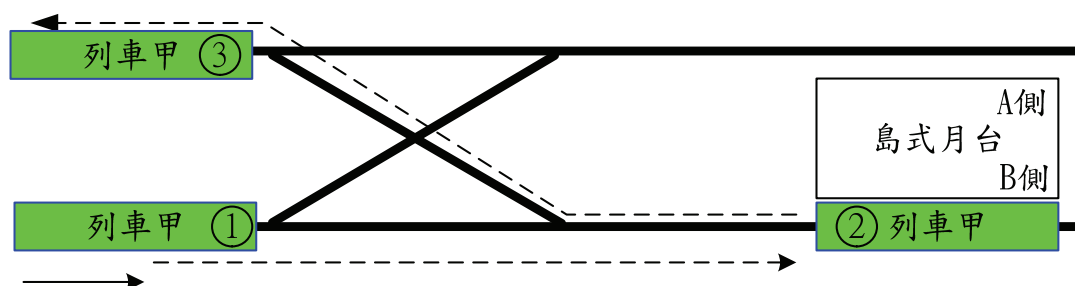


圖3-13 臺北捷運終端站折返模式—直進模式

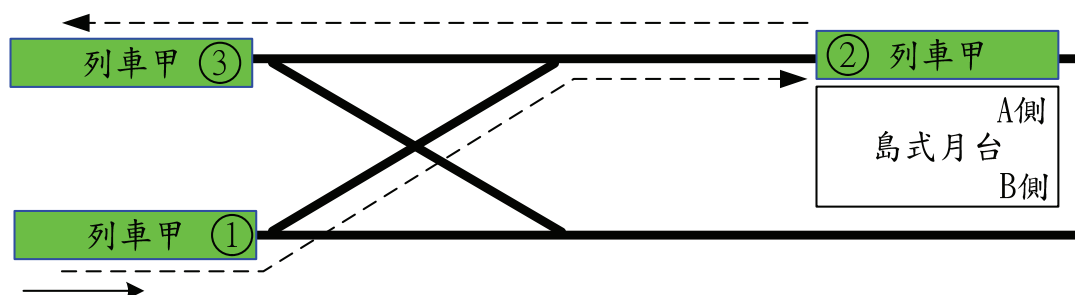


圖3-14 臺北捷運終端站折返模式—交叉模式

前兩種折返模式適合在末端站只有一個月台供使用時設定，兩者差別只是在進站前（或後）切換至靠右軌道而已，至於第三種折返模式則較為複雜，當兩側月台均無列車佔用時，第一部列車會先停靠 A 側月台，第二部車則是停靠 B 側月台，離開末端站則是第一部列車先離開，第二部列車次之，很明顯第三種折返方式較能夠應付高密度的發車需求。

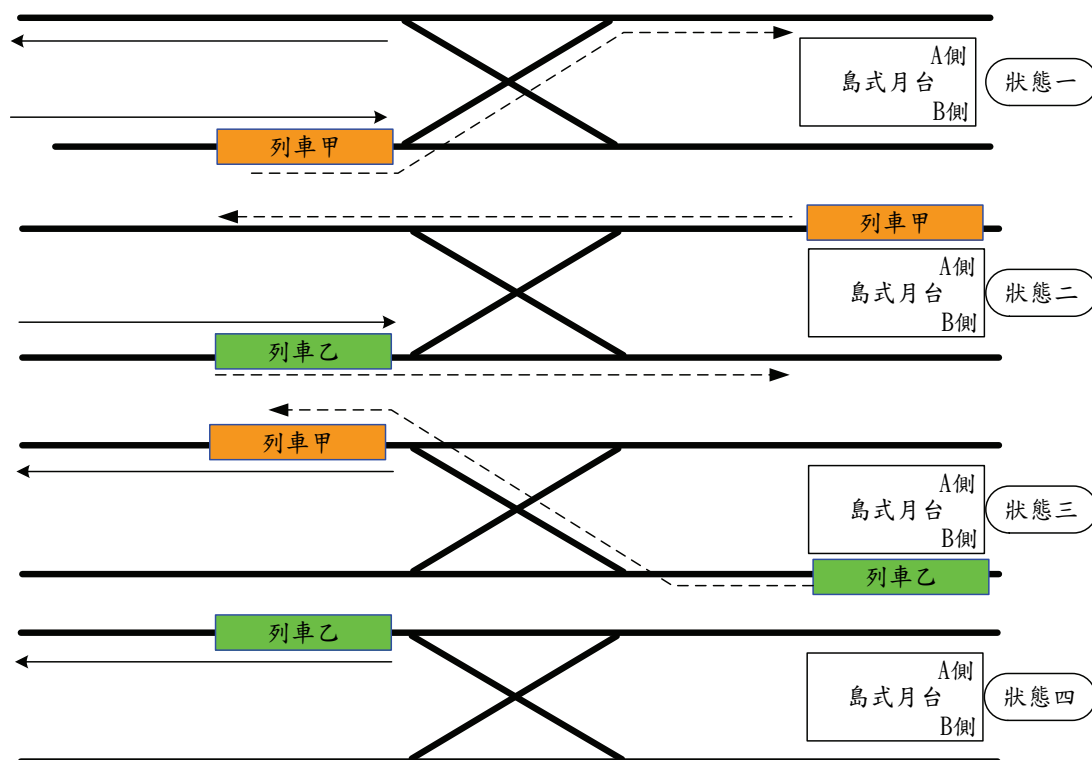


圖3-15 臺北捷運終端站折返模式－交叉直進模式

在臺北捷運系統這類終點折返號誌安全時距稱為「終點站行車最小開通時間」(Minimum Terminal Station Clearance Time)，謝興盛研究^[21]之附錄中列舉部分端點站最小開通時間如表 3.3。

表3.3 臺北捷運端末站最小開通時間

代號	車站	Arrival Following Departure	Departure Following Arrival
G01	新店	53 秒	0 秒
O19	南勢角	23 秒	0 秒
R13	臺北	48 秒	0 秒
R27	新北投	42 秒	7 秒
R33	淡水	41 秒	0 秒

資料來源：[21]

此外，西屋號誌公司發展一套研究大眾捷運系統折返點 (Turn-back) 的模擬模式^[28]，該模式具備 GUI 介面與動畫功能，可用來對端末站之設計進行研究，達到減少衝突的目的。該研究指出折

返點容量上限的因素包括軌道佈設方式、號誌系統差異、停站時間三大類。

3.2.1.3 銜接點

軌道系統的路線有時會有路線銜接的情況。銜接點（或稱分歧點）係兩條路線的交會之處，視列車運轉的方向可能為匯入（Merge）或匯出（Diverge）。如圖 3-16 中，從路線甲往右側方向可分歧成路線乙及路線丙；若從另一方向來看，則路線乙與路線丙會匯集成路線甲。

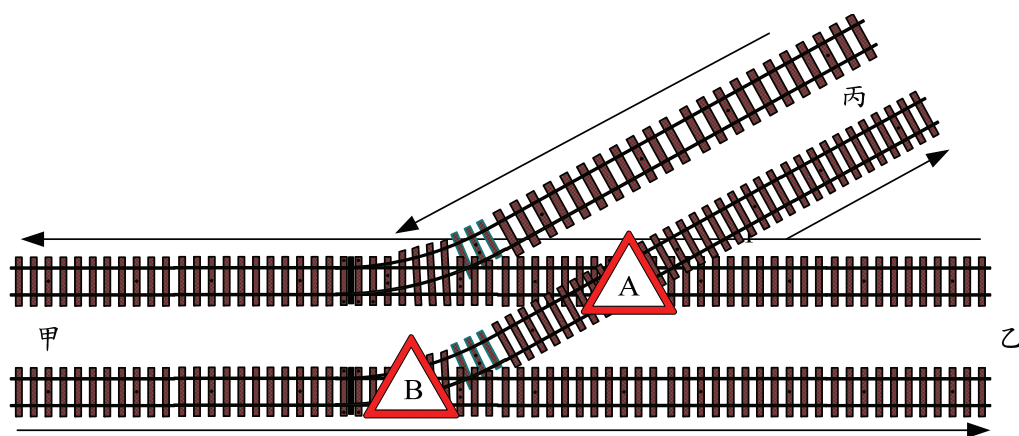


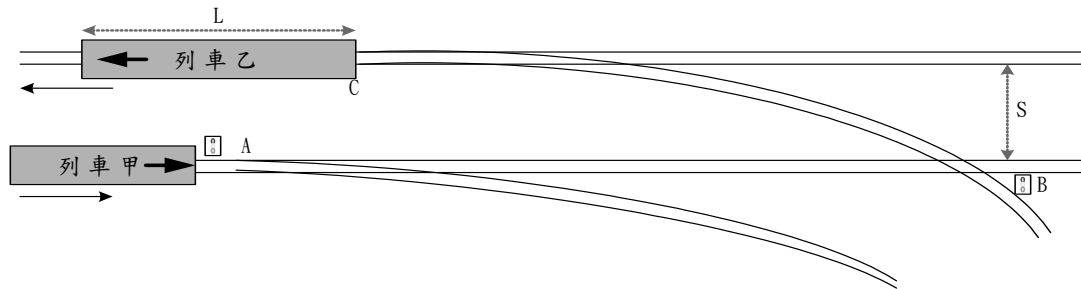
圖3-16 路線銜接點與衝突點示意圖

一般文獻對於銜接點的研究又可分為兩類，本研究將之稱為「平面交叉衝突」與「合併點衝突」。前者的發生地點在圖 3-16 中的 A 處，後者則發生在圖 3-16 中的 B 處，兩種衝突的主要差異如下，後續會針對兩種課題做更深入的介紹。

1. 「平面交叉衝突」可透過立體分隔的方式完全排除，但「合併點衝突」則無法在路線銜接點避免。
2. 就路線甲的角度而言，產生「平面交叉衝突」的兩列車為反向運行，產生「合併點衝突」的兩列車則為同向運行。

有關「平面交叉衝突」的相關文獻，北美 TCQSM 手冊^[35]即是典型的代表，該報告的銜接點模式僅針對沒有立體分隔的銜接點圖 3-17 發展時隔限制如式(3.7)，該公式考慮情境為「列車甲」於號誌 A 前暫

停，而車長 L 的「列車乙」由號誌B到完全駛離聯鎖區段C的最小可運行間距。北美 TCQSM 手冊^[35]建議在列車密度較高的路段（間距小於150~180秒）採用立體交叉設計，此舉將可移除匯流及分流之衝突，僅剩下橫渡線轉轍器搬移與聯鎖時間(Switch Throw and Lock Time)。



資料來源：[35]

圖3-17 TCQSM 銜接點示意圖

$$H(j) = H(l) + \sqrt{\frac{2(L + 2C \times S)}{a_s}} + \frac{v_l}{a_s + d_s} + t_s \quad (3.7)$$

式中： $H(j)$ =路線銜接點限制班距 (Limiting Headway at Junction) (s)

$H(l)$ =路線班距 (s)，手冊使用之數值為 32 秒

L =列車車長 (m)，手冊使用之數值為 200 公尺

S =軌道間隔 (m)，手冊使用之數值為 10 公尺

C =轉轍器角度因子：#6 = 5.77、#8 = 6.41、#10 = 9.62

a_s =起始服務加速率 (m/s^2)，手冊使用之數值為 1.3m/s^2

d_s =服務減速率 (m/s^2)，手冊使用之數值為 1.3m/s^2

v_l =線速度 (m/s)，手冊使用之數值為 27.8m/s ，約為 100km/h

t_s =轉轍器搬移與鎖定時間 (s)，手冊使用之數值為 6 秒

臺北捷運高運量系統中亦有路線銜接點，例如古亭站²、臺北站³及進出機廠路段等，其中古亭站、臺北站、七張站至新店機廠、北投至北投機廠等路段均有立體分隔設計，故不存在上述的平面交叉衝突問題。但例如南港機廠或土城機廠等則未設置立體分隔的銜接點，因此存在平面交叉衝突問題。

至於「合併點衝突」則是路線銜接點無法避免的衝突，TCQSM手冊^[35]提及橫渡線轉轍器搬移與聯鎖時間約是3~6秒。臺北捷運系統則是將之稱為「合併點最小車距時間」（Minimum Merge Point Clearance Time），謝興盛研究^[21]之附錄中列舉部分銜接點最小開通時間如表3.4。

表3.4 臺北捷運銜接點最小開通時間

位置	方向	位置	方向	時隔	位置	方向	位置	方向	時隔
CTD	U	O18	U	89 秒	PTDW	U	R29	D	30 秒
G02	U	HTD	U	95 秒	R13	D	R14P	U	40 秒
G03	U	G04P	U	28 秒	R13P	D	R14	D	52 秒
G03P	D	G04	D	46 秒	R14	D	R13P	D	58 秒
G04	D	G03P	D	28 秒	R14P	U	R13	D	59 秒
G04P	U	G03	U	48 秒	R23P	D	R24	D	37 秒
G07	U	G09P	U	29 秒	R24	D	R23P	D	41 秒
G09P	U	G07	U	54 秒	R26	D	R26X	D	41 秒
HTD	U	G02	U	65 秒	R26X	D	R26	D	45 秒
O18	U	CTD	U	180 秒	R28	D	PTDE	D	52 秒
PTDE	D	R28	D	61 秒	R28	U	PTDW	U	52 秒
PTDW	U	R28	U	100 秒	R29	D	PTDW	U	52 秒

1. 資料來源：[21]

2. U 代表上行方向，D 代表下行方向。

² 在臺北捷運系統遠期路網架構下，古亭站為橘線與綠線之交會站，兩路線為完全立體分隔。惟目前前期路網營運時，由於橘線僅有南勢角至古亭間的路段通車，且捷運公司希望讓中永和旅客得以在不轉乘的前提下直達淡水線北投—中正紀念堂路段，故目前古亭站存在銜接點。

³ 在初期營運路網架構下，為使藍線列車得以在維修時段駛至紅線北投機廠進行檢修，板南線臺北站西側設有銜接點通往綠線的西門站，惟該路段僅供車輛調度使用，並無對外營運。

值得說明的是「合併點衝突」不單只有先前圖 3-16 所介紹的形式，尚包括袋型軌折返會發生的「分歧」與「匯入」衝突如圖 3-18。

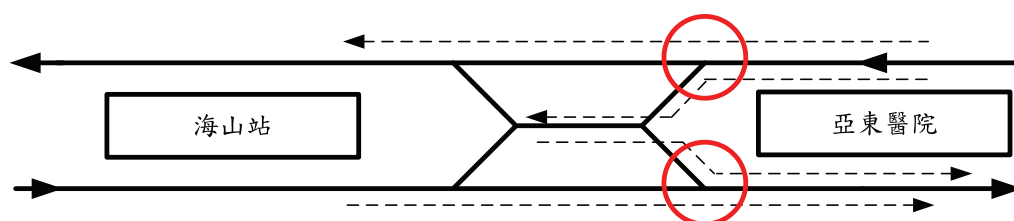
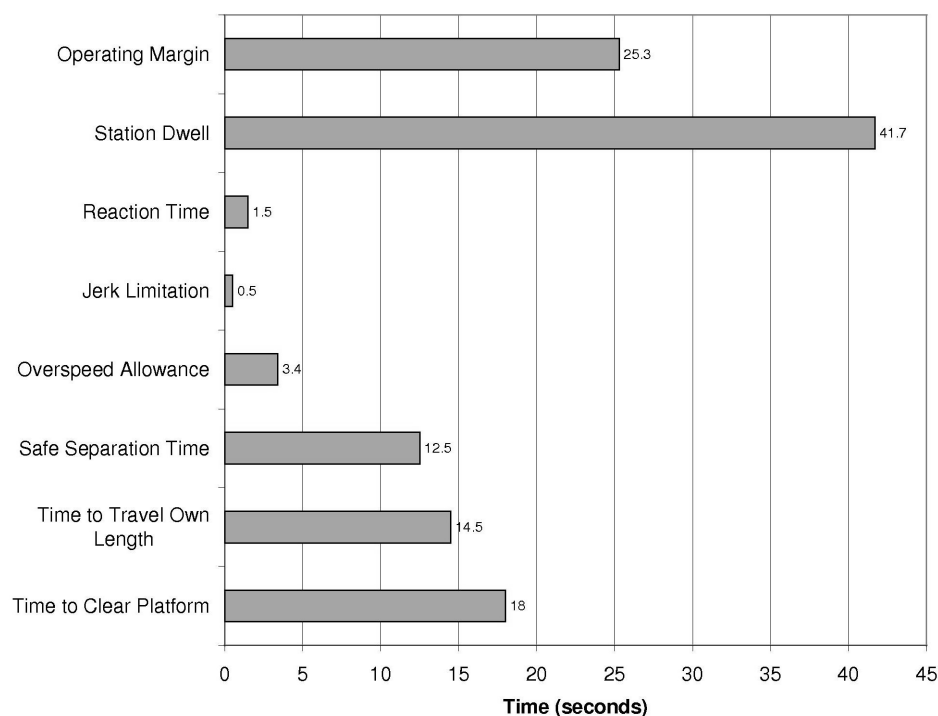


圖3-18 臺北捷運袋型軌折返之銜接點衝突示意圖

3.2.2 停站時間

在捷運系統的容量分析裡，停站時間佔有很重要的地位，原因在於捷運系統通常同向僅配置一股道，故同向的先行列車尚未離站之前，續行列車永遠無法進站，因此停站時間成為決定車站最小列車間距之重要因素之一。由北美 TCQSM 手冊中的案例資料如圖 3-19 亦可印證停站時間對整個運轉時隔的重要影響。



資料來源：[35]

圖3-19 北美 TCQSM 手冊中運轉時隔組成份案例圖

本所前期研究^[4]曾將停站時間定義為「廣義停站時間」與「狹義停站時間」兩種。前者乃指列車進站停妥後至列車啟動離站所需的時間，後者則是不考慮列車交會待避所額外增加的停站時間，亦可視為提供旅客上下車的時間。由於捷運系統通常無交會待避的情況，故兩種定義在捷運系統下已無明顯差異。

一般而言，停站時間主要包含列車開門時間、旅客上下車流動時間、列車關門時間、等待出發時間等如圖 3-20。所謂的等待出發時間，係指在車門關妥之後，列車可以啟動之前，另外再加上幾秒的安全強化延滯時間（Enforced Safety Delay）。

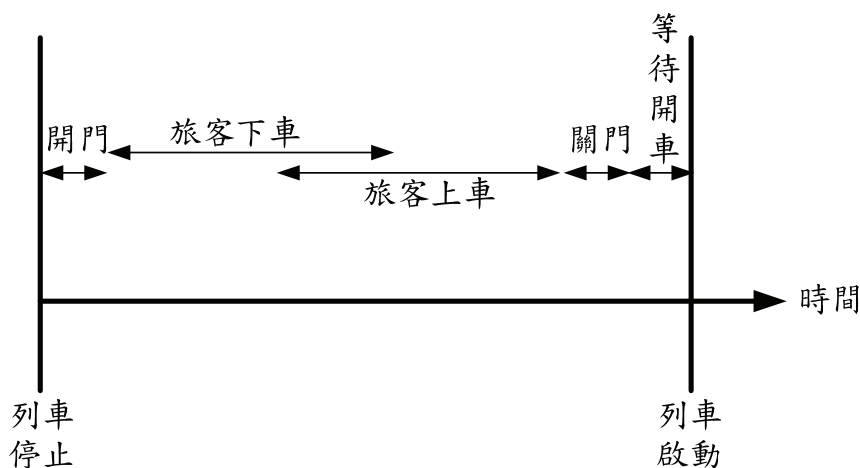


圖3-20 捷運系統停站時間組成示意圖

綜觀所蒐集之文獻，就停站時間計算的方法而言，由簡而繁可以分為三大類，以下分別介紹之

1. 指定合理數值：

在 Auer^[24]的研究中，停站時間之決定即直接指定一個合理的數值（例如 20 秒），相較於其他方法雖然較為簡單，但理論基礎略顯不足。

根據 TCQSM^[35,36]，捷運系統一般停站時間合理範圍為 30~50 秒，如果要求更高的精確度亦可使用 35~45 秒之範圍；合理的數值必須視系統特性而定，非常繁忙的車站如紐約地鐵（NYCT）的中央車站（Grand Central Station）甚至超過 60 秒。

2. 對停站時間統計分析

在 Alle^[23]的研究中，針對紐約 NYCTA 的 Queens Plaza 車站，蒐集實際的停站時間樣本，利用統計學的理论來分析（以 95% 的雙尾信賴區間上界來決定停站時間）。該研究的優點在於根據實際的觀察結果來推論，缺點則是僅適用於該車站，由於樣本數只有 29 個似乎偏低，而且上界顯然比平均值高出很多。此法比較適合變異數低的情況。

依美國之經驗，都會捷運與輕軌運輸系統一般停站時間為 27.5~61.5 秒，如表 3.5 所示。如果係於同一系統新增同樣營運模式的路線或車站，亦可參考同一系統內其他車站之停站時間。

表3.5 北美繁忙鐵路系統尖峰小時停站時間列表

系統/城市	車站	總旅客數 (人)	平均停站時間 (秒)	平均運轉時隔 (秒)
BART (San Francisco)	Embarcadero	2,298	48.0	155.0
CTS (Calgary)	1 st St. SW (LRT)	298	33.0	143.0
CTS (Calgary)	3 rd St. SW (LRT)	339	38.0	159.0
CTS (Calgary)	City Hall (LRT)	201	34.0	161.0
NYCT (New York)	Grand Central (4 & 5) SB	3,488	61.5	142.5
NYCT (New York)	Queens Plaza (E & F)	634	36.0	121.0
PATH (Newark)	Journal Square	478	37.0	204.0
Nuni (San Francisco)	Montgomery (LRT)	2,748	32.0	129.0
SkyTrain (Vancouver)	Broadway	257	30.0	166.0
SkyTrain (Vancouver)	Metrotown (off-peak)	263	34.0	271.5
TTC (Toronto)	King	1,602	27.5	129.5
TTC (Toronto)	Bloor	4,907	44.0	135.0

資料來源:[35]

附註:SB 表示 southbound

3. 建立旅客人數與所需上下車時間關係

利用此方法進行停站時間估算的研究很多，而最常見的型式可由式(3.8)表示。

$$t_d = (P_a \times t_a) + (P_b \times t_b) + t_{oc} \quad (3.8)$$

式中： t_d =停站時間 (s)

P_a =下車旅客數 (prs)

t_a =每位下車旅客所需時間 (s)

P_b =上車旅客數 (prs)

t_b =每位上車旅客所需時間 (s)

t_{oc} =列車開關門時間 (s)

簡聰裕^[22]曾經實際調查臺北捷運系統淡水線旅客上下車時間，其結果為式(3.9)與式(3.10)。

$$T_a = 2.268 + 0.454 \times P_a \quad (3.9)$$

$$T_b = 1.049 + 0.373 \times P_b \quad (3.10)$$

式中： T_a =旅客下車總時間 (s)

T_b =旅客上車總時間 (s)

本所研究^[4]曾整理過許多透過上下車旅客數推估停站時間之文獻，案例對象包含國外的輕軌運輸系統、通勤鐵路系統等，同時該研究也針對臺鐵系統進行現場調查，採用筆記型電腦 (NB) / 個人數位助理 (PDA) 等裝置來改善現場調查流程與提升調查成果品質，該研究對臺鐵常見的車輛均進行參數校估，其中與捷運車廂較為接近的車輛為 EMU400 與 EMU500 電聯車，該研究的校估式如式(3.11)與式(3.12)。

$$FT = 2.122611 + 0.733213 \times P_a + 0.996546 \times P_b \quad (3.11)$$

$$FT = 3.307825 + 0.739818 \times P_a + 0.860647 \times P_b \quad (3.12)$$

式中：FT=旅客上下車所需時間（s）

P_a =下車旅客數（prs）

P_b =上車旅客數（prs）

北美 TCQSM 手冊^[35]提供一個計算上較為繁瑣，須要不斷遞迴計算直到停站時間收斂為止的計算程序，此方法必須在每個車站均可從區域運輸模式中，獲得每小時單向之旅客流資料之新系統才適用。主要觀念是透過旅客流動時間，與上車/下車/混合流動旅客數的相關性所建立的迴歸方程式，先求得旅客流動時間再計算停站時間，計算程序如下。

- (1) 步驟一：由區域運輸模式獲得每小時之旅客流，有些模式是以兩小時尖峰計算，可以利用模式的尖峰小時轉換因子計算或取 60% 來估算。
- (2) 步驟二：選擇具有最高旅客量的車站，並且把旅客流歸類為上車為主（Boarding Passengers 70%）、下車為主（Alighting Passengers 70%），或混合旅客流。例如早晨的市中心車站是下車流為主，捷運轉乘車站則是混合流。
- (3) 步驟三：參考類似的系統選擇合適的尖峰小時變異因子。
- (4) 步驟四：計算單一月台尖峰 15 分鐘之移動旅客數（上、下車分開計算）。

$$P_{15} = \frac{P_h}{4\rho_d} \quad (3.13)$$

式中： P_{15} =單一月台尖峰 15 分鐘之移動旅客數（prs/15min）

P_h =由區域運輸模式獲得之單一月台尖峰小時之移動旅客數（prs/h）

ρ_d =尖峰小時變異因子

- (5) 步驟五：計算 15 分鐘週期內，可供利用的車門（容許雙向旅客流之車門）總數。

$$D_{15} = \frac{900D_n N_c}{t_s + T_d + t_m} \quad (3.14)$$

式中： D_{15} =每 15 分鐘裡可供使用的車門數

t_s =號誌安全時距 (s)

t_d =停站時間 (s)

t_m =運轉寬裕 (s)

D_n =每車容許雙向旅客流車門總數

N_c =每列車的總車廂數

- (6) 步驟六：計算尖峰小時裡最尖峰時段列車最繁忙車門的旅客流。

$$P_{\max} = \frac{D_r P_{15}}{D_{15}} = \frac{D_r P_h (t_s + t_d + t_m)}{3600 D_n N_c D_{ph}} \quad (3.15)$$

式中： D_r =最繁忙車門旅客數與平均車門旅客數比率，一般重軌捷運取 1.2，輕軌取 1.5，於愈繁忙系統愈趨近於 1。

- (7) 步驟七：依步驟二之分類選擇適當的迴歸方程式，其中式(3.16)為下車旅客流為主的方程式；式(3.17)為上車旅客流為主的方程式；式(3.18)為混合旅客流的方程式，將步驟六獲得的變數代入方程式。

$$\ln(FT_{\max}^{light}) = 1.440 + 0.0922P_a - 0.00116P_a^2 \quad (3.16)$$

$$\ln(FT_{\max}^{board}) = 1.380 + 0.124P_b - 0.00214P_b^2 \quad (3.17)$$

$$\ln(FT_{\max}^{mixed}) = 1.368 + 0.0948P_a + 0.112P_b - 0.00184P_a^2 - 0.00225P_b^2 \quad (3.18)$$

式中： FT =最繁忙車門的旅客流動時間 (秒)

(8) 步驟八：代入停站時間方程式。

$$\ln(t_d) = 3.168 + 0.0254FT_{\max}^{(mode)} \quad (3.19)$$

(9) 步驟九：以遞迴數值方法（Recursive Numeric Assumption Approach）求解步驟八之方程式，得到 t_d 。

由上述文獻可得知，都會捷運系統停站時間的影響因素不外乎旅客上/下車流動時間、上/下車旅客數、列車上的人數、月台上的人數、旅客的分布、車門數、車門寬、車門開/關時間等。至於停站時間的推估方式，則以線性迴歸方程式居多，各方法之主要差異在於迴歸變數的選用。此外，由於捷運系統車種與停站方式單純，旅客只管搭乘方向，而毋需關心自身的起訖需求是否與列車停站計畫相符，故相較於城際軌道運輸，都市捷運系統較能允許把旅客需求平均分布到每一車次。

3.2.3 運轉寬裕時間

有關運轉寬裕時間的介紹，本所前期研究報告^[6]已有完整的敘述和介紹，大體而言，運轉寬裕對容量分析的存在價值在於號誌顯示、轉轍器的操作、停車時間以及列車運轉過程均為隨機程序（Stochastic Process），不可能百分之百精準地依預定的計畫來運作，因此運轉計畫中，列車的運轉時隔必須加計運轉寬裕時間，以便列車因故發生延誤時有趕點的空間。通常運轉寬裕時間有下列兩種方式來估計：

1. 依經驗值決定：

依類似系統的經驗值來設定，例如美國軌道容量手冊的經驗值為 20 秒^[35]，而日本經驗對於號誌安全時距的運轉寬裕時間設定為 10 秒^[15]。

2. 按比例計算：

號誌安全時距及停站時間愈大，其產生的變異也愈大，因此保留較大的運轉寬裕時間，可有效提升時刻表的穩定度，即式(3.20)。

$$t_m = \beta(t_s + t_d) \quad (3.20)$$

式中： t_m =運轉寬裕時間 (s)

β =運轉寬裕時間係數

運轉寬裕時間的設定，關係到營運計畫的彈性調整與營運準點的服務水準，如何拿捏訂定須視各營運單位之主、客觀條件而定。臺北高運量捷運系統的最小運轉時隔為 105 秒^[7]，若其中的運轉寬裕時間 t_m 為 20 秒，則 β 值約等於 0.23。

3.2.4 小結

國內臺北和高雄捷運採用較新穎的行車控制與號誌系統，已和北美系統有很大的差異。美國 TCQSM 所發展的軌道容量分析公式，不見得能夠完全適用於臺灣的狀況。例如，對於中間車站的號誌時隔，TCQSM 的公式著重在許多行車控制及號誌系統的運作細節，而事實上，無論是號誌系統的反應時間、急衝度的限制時間，以及超速控制的時間等，佔整個號誌時隔的比例甚小，且不同系統的差異甚小，似無必要拆分成許多項目來分析。而另一方面，先行與續行列車之間的行車間距，TCQSM 的公式則略顯保守。以變動安全距離的移動區間閉塞制為例，式(3.5)第二項的預設值顯示兩連續列車的行車空間距離仍高達 2 倍以上的煞車距離，此係相當保守的假設，與目前都會捷運號誌系統的設計水準並不相符。

此外，對於折返站以及銜接點的號誌時隔，TCQSM 的公式均假設列車在橫渡線外側停候另一列車通過，此與號誌時隔的定義相違背。一般而言，號誌時隔係假設列車在號誌常綠或列車不會因為過於接近而導致限速時的最小行車時間間距，若列車因為號誌聯鎖的進路

尚未開通而導致一度停車，則表示列車之間的行車間距過短。另外，對於折返站的號誌時隔，TCQSM 的公式僅考慮橫渡線配置在車站前方情況，但折返站的橫度線配置與運用方式有多種變化組合，並非一成不變^[2]，例如李英^[10]即曾針對橫渡線在折返站之前或之後，以及使用一股或兩股軌道折返來發展號誌時隔的公式，惟對於列車的接近時間以及離開時間，並沒有提出詳細的計算方法。

基於前述理由，有必要針對目前國內捷運系統之特性發展合適的容量分析解析模式。本年度著重在模式中號誌安全時距公式的推導，由於每一個都會捷運號誌系統的設計邏輯不盡相同，因此本解析模式的發展也考量了其泛用性，將來應用時只需視個別系統差異，以適當的參數帶入模式，便能進行運算，詳細內容請參閱第七章。

第四章 臺鐵列車服務可靠度迴歸模式

有關傳統暨區域鐵路系統之可靠度分析方面，主要研究對象為臺鐵，因此首先蒐集其相關資料進行分析，以下作進一步說明。

4.1 臺鐵實際資料蒐集

以臺鐵現行的行車制度，各站副站長每天會將各車次列車的到開時間登記在「列車到開時刻登記表」中（其格式可參見表 4.1），所有經過該站的列車，包括客運、貨運或回送列車等，其車次和規定到開時刻等資訊已經事先印於表中，其中車次號碼靠左或靠右對齊是依其實際運行方向不同而異，副站長再依列車實際運行情況填寫列車實際的到開時刻，並計算列車早到、早開、遲到或遲開的時間，因此透過此資料，便能了解每天每一列列車的實際運行狀態。

有鑒於本研究在於了解列車流量和可靠度的關係，因此必須蒐集包含各種列車流量下的資料，然而以臺鐵兩百個左右的車站數和每天上千次的車次數來看，每天每一車站一份列車到開時刻登記表，內容記載著經過該站每列車的到開時間，其資料量相當龐大，且目前臺鐵仍沿用人工紙本作業，沒有電子檔案，若要進行分析，光是要將全部資料輸入電腦中建檔，就難以在本次研究的時程內完成。

目前臺鐵在營運上，列車流量高低分布情形如下：

1. 尖離峰時段：尖峰時間的列車流量高於離峰時間。
2. 路線的地理位置：北部的列車流量高於中南部。

由於尖離峰的特性，任何區間在深夜或凌晨的離峰時段，其列車流量都很低，而在高列車流量的部分，愈繁忙的區間在尖峰時間的列車流量愈高，利用這些特性便可只蒐集少數區間資料就涵蓋所需的列車流量範圍，因此本研究以臺鐵較繁忙的北部都會區為主要對象，蒐

集在民國 97 年 2 月到 3 月間，松山、臺北、萬華、板橋、樹林等五個站的列車到開時刻資料。

表4.1 臺鐵列車到開時刻登記表

台北站列車到開時刻登記表									
中華民國 97 年 3 月 19 日 星期三					副站長				
車次	到達時刻		開車時刻		早到	早開	遲到	遲開	附註
	規定	實際	規定	實際					
2114	6:56	6:59	6:59	7:01			3	2	9 基
1003	6:55	5:59	7:00	7:02			4	2	6 高
2120	7:03	7:05	7:06	7:07			2	1	7 新
1053	7:03	7:04	7:08	7:08			1		8 東
2116	7:08	7:08	7:12	7:12					9 基
2706	7:11	7:11	7:14	7:14					6 樹
2104※	7:14	7:14	7:16	7:16					8 逢六日例停 七
2505	7:19	7:21	7:21	7:23			2	2	7 新
62	7:17	7:19	7:22	7:23			2	1	9 團體 花
2506	7:22	7:23	7:25	7:26			1	1	8 六日例 停駛 松
1005	7:25	7:26	7:30	7:30			1		6 高
2051	7:29	7:32	7:33	7:35			3	2	9 出カ=カ一弓 花
2708	7:30	7:32	7:33	7:35			2	2	7 樹

資料來源：[20]

4.2 資料建檔與分析

在資料建檔方面，由於「列車到開時刻登記表」是依各車站個別登記，而進行資料分析前需先綜整各車站的資料，才能分析各站間列車流量與平均延滯時間的關係，且登記表是紙本手寫資料，只能靠人工輸入的方式建立成電子資料，因此在資料輸入的介面上應有避免輸入錯誤等相關功能。

基於以上理由，本研究採用 Microsoft Access 資料庫系統將資料建檔，各資料表的關聯圖如圖 4-1，各資料表的設計如表 4.2～表 4.4，如此在資料輸入的過程中，每個欄位會受到資料類型的限制，以防輸

入不合理的內容，此外透過關聯可確保資料的一致性和正確性，並且在資料建置完成後，能透過 SQL 查詢迅速取得所需的資料。

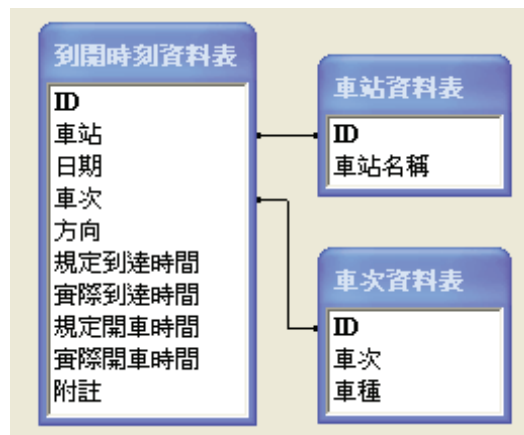


圖4-1 資料庫關聯圖

表4.2 到開時刻資料表

欄位名稱	資料類型
ID (主索引)	自動編號
車站	數字 (關聯)
日期	日期／時間
車次	數字 (關聯)
方向	數字
規定到達時間	日期／時間
實際到達時間	日期／時間
規定開車時間	日期／時間
實際開車時間	日期／時間
附註	文字

表4.3 車站資料表

欄位名稱	資料類型
ID (主索引)	自動編號
車站名稱	文字

表4.4 車次資料表

欄位名稱	資料類型
ID (主索引)	自動編號
車次	文字
車種	文字

在資料分析方面，從資料庫中取出所需的資料後，利用 Microsoft Excel 搭配 VBA 巨集指令進行分析，有關列車流量以及列車延滯時間的計算方式定義如下：

1. 列車流量：以在出發站規定的開車時刻為準，計算在每一小時內所開車的列車數。
2. 列車延滯時間：如式(4.1)，依列車在到達站的實際到達時刻和規定到達時刻之差值，作為該列車的延滯時間，若為負值則為 0。

$$w = \max(T'_A - T_A, 0) \quad (4.1)$$

其中：w=列車的延滯時間

T'_A =列車實際到達時刻

T_A =列車規定到達時刻

舉例來說，假設圖 4-2 (a)為依照規定到開時刻所繪的運行圖，計算其中 1 小時內有 3 輛列車從車站 A 出發，因此列車流量為 3 列車/小時。而圖 4-2(b)則是實際上列車的運行圖，該小時中的第一和第二列車，在車站 B 的實際到達時刻和規定到達時刻，分別相差 d_1 和 d_2 ，

因此平均延滯時間為 $(d_1 + d_2)/3$ 。值得注意的是，圖 4-2(b)中的 d_3 雖然也是延滯時間，但因該列車之規定出發時間不在所計算的 1 小時內，因此不列入平均延滯時間的計算。

由上述說明可知，在計算列車流量和平均延滯時間時，對於從何時開始取 1 小時來計算，將會影響其結果，為避免造成偏差，所以採用 15 分鐘移動平均的方式，來計算每小時內列車流量及其所對應的列車平均延滯時間，以減少計算時間起始點所造成的誤差，並增加樣本數。

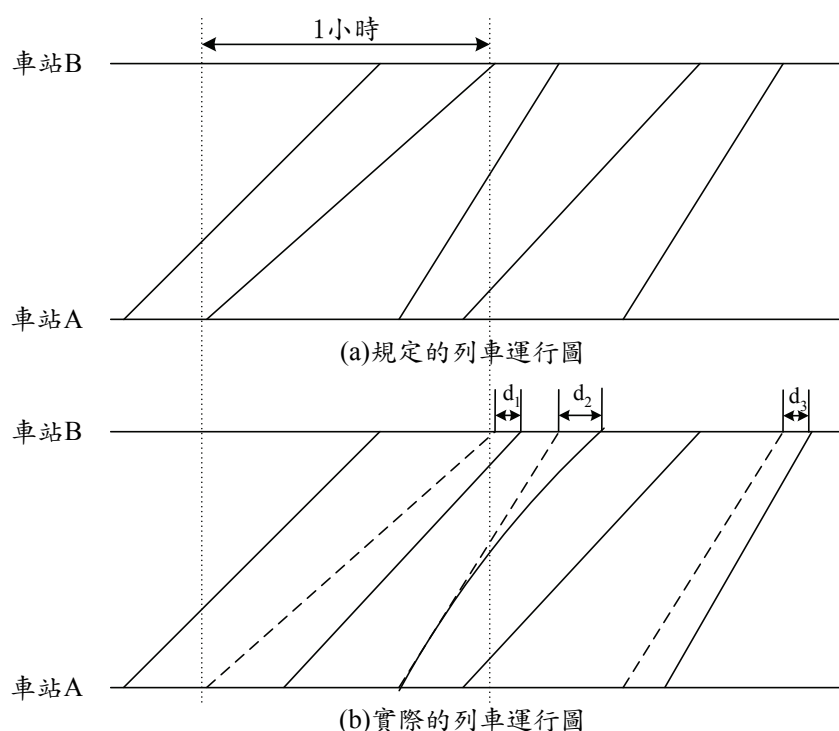


圖4-2 計算平均延滯時間示意圖

最後，本研究以民國 97 年 3 月 19 日和 20 日兩天，在萬華到板橋、板橋到樹林兩個區間的列車到開資料進行統計分析，其結果如表 4.5 和表 4.6，由於列車流量為 0 時沒有意義，故表中之列車流量一欄由 1 開始。

分別將此兩區間的列車流量和平均延滯時間關係繪成直方圖（如圖 4-3 和圖 4-4），在大體的趨勢上，可看出平均延滯時間隨列車流量增加而提高。理論上，列車流量愈高，則平均延滯時間愈高，從以上

對實際資料的分析中來看，雖然大致符合此趨勢，但還是有少部分差距。由於鐵路系統在實際營運時，影響列車可靠度的因素不單只是列車流量，且列車運轉中尚有許多隨機特性，因而造成其結果不佳。

表4.5 萬華→板橋站間的列車到開資料統計結果

列車流量(TU/h)	樣本數	平均值 (s)	標準差
1	6	0	0
2	4	105	121.24
3	5	64	69.86
4	6	47.5	109.17
5	10	31.2	66.50
6	14	56.43	50.78
7	18	29.05	34.80
8	42	267.32	567.95
9	27	102.72	130.24
10	20	189.3	472.52
11	6	811.82	1192.64

表4.6 板橋→樹林站間的列車到開資料統計結果

列車流量(TU/h)	樣本數	平均值 (s)	標準差
1	2	0	0
2	2	0	0
3	2	20	0
4	4	7.5	8.66
5	10	67.2	87.26
6	20	48.5	60.05
7	23	288.63	546.18
8	18	100.42	151.19
9	30	116	237.97
10	24	420.375	795.23
11	7	327.66	788.84

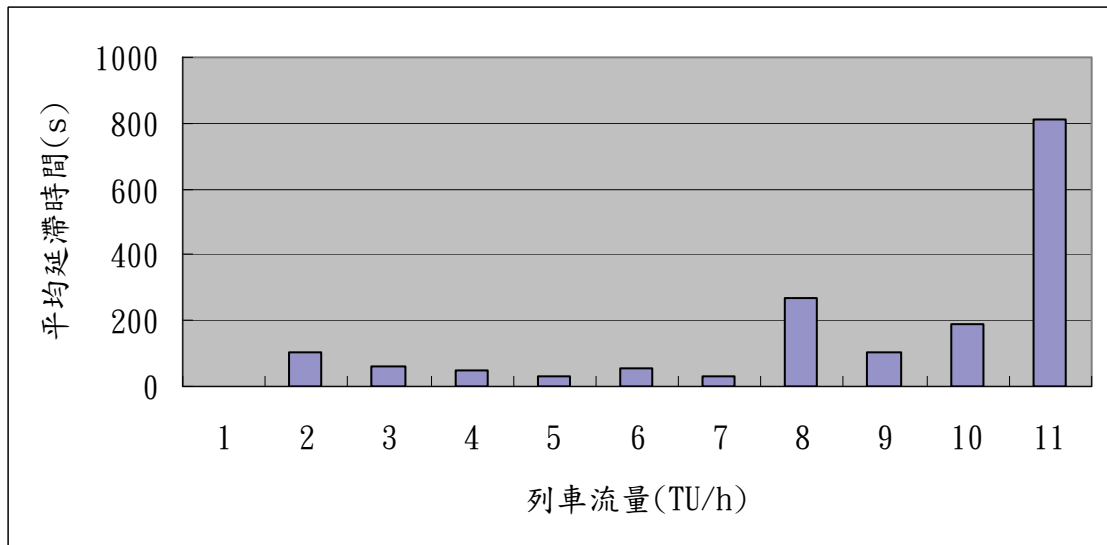


圖4-3 萬華→板橋站間列車流量和平均延滯時間關係直方圖

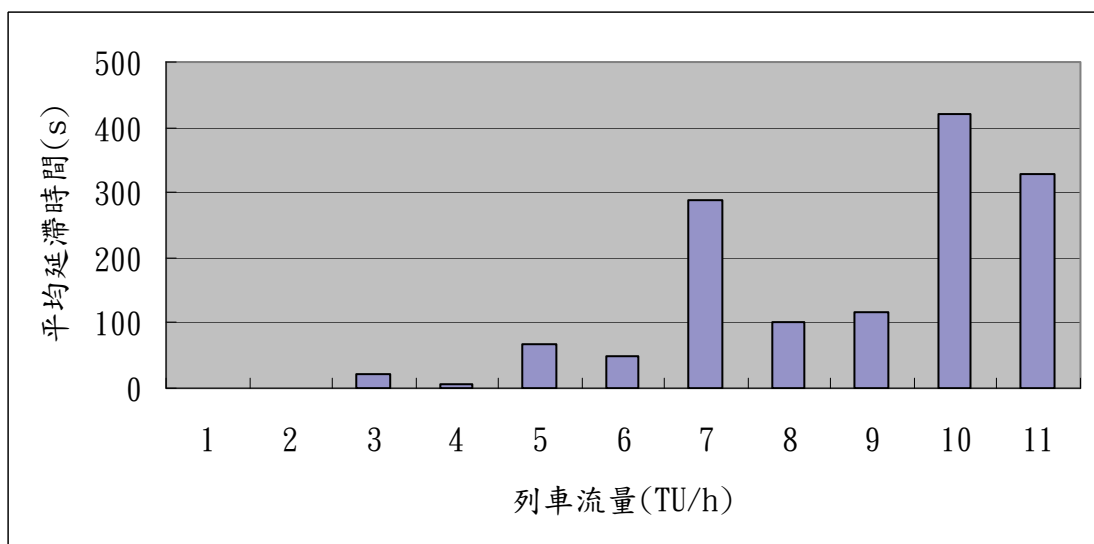


圖4-4 板橋→樹林站間列車流量和平均延滯時間關係直方圖

4.3 可靠度迴歸分析

根據上節之列車到開時刻資料，可利用迴歸分析方法（Regression Analysis）找出列車流量與平均延滯時間之間的關係式。

4.3.1 迴歸分析方法簡介

迴歸分析是統計學上用來分析數據的方法之一，主要目的在於探討多個變數之間是否存在某種特定關係，並建立數學模型，以便根據特定變數來預測感興趣的變數。

迴歸分析包含線性迴歸分析（Linear Regression）和非線性迴歸分析（Nonlinear Regression）兩種，其區別在於所採用之迴歸模型為線性或非線性函數，而兩者皆是透過調整函數內的各項係數，使得該函數值與觀測數據之誤差的平方和為最小（Least Squares），進而找出一條最能夠代表所有觀測數據之函數。

最簡單的線性迴歸模型如下式：

$$y = a_0 + a_1x \quad (4.2)$$

其中： y = 應變數（Dependent Variable）

x = 自變數（Independent Variable）

a_0 和 a_1 = 待求之係數

假設其觀測數據為 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ ，則其誤差的平方和為式 (4.3)，再藉由最小二乘法（Ordinary least square estimation, OLSE）求解其係數。

$$\sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1x_i)^2 \quad (4.3)$$

其中： $e_i = y_i - a_0 - a_1x_i$ 為函數值與觀測數據之誤差

此外如式 (4.4) 雖然是非線性函數，但是取對數後可轉換成式 (4.5)，便能進行線性迴歸分析。

$$y = a_0 \cdot e^{a_1x} \quad (4.4)$$

$$\ln y = \ln a_0 + a_1x \quad (4.5)$$

有些非線性函數無法透過任何方法轉換成線性，因此只能採用非線性迴歸分析，例如下式：

$$y = a_0 \cdot (e^{a_1 x} - 1) \quad (4.6)$$

不同於線性迴歸分析，非線性迴歸是利用高斯牛頓法（Gauss-Newton method）來求解最小平方和問題。以式(4.6)為例，假設其觀測數據為 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ ，首先將式(4.6)分別對其係數進行偏微分後可得下列二式：

$$\frac{\partial y}{\partial a_0} = e^{a_1 x} - 1 \quad (4.7)$$

$$\frac{\partial y}{\partial a_1} = a_0 \cdot x \cdot e^{a_1 x} \quad (4.8)$$

令

$$Z = \begin{Bmatrix} e^{a_1 x_1} - 1, & a_0 \cdot x_1 \cdot e^{a_1 x_1} \\ e^{a_1 x_2} - 1, & a_0 \cdot x_2 \cdot e^{a_1 x_2} \\ \vdots & \vdots \\ e^{a_1 x_n} - 1, & a_0 \cdot x_n \cdot e^{a_1 x_n} \end{Bmatrix} \quad (4.9)$$

$$D = \begin{Bmatrix} y_1 - a_0 \cdot (e^{a_1 x_1} - 1) \\ y_2 - a_0 \cdot (e^{a_1 x_2} - 1) \\ \vdots \\ y_n - a_0 \cdot (e^{a_1 x_n} - 1) \end{Bmatrix} \quad (4.10)$$

接著決定 a_0 和 a_1 之初始值後，根據下式求解 ΔA 。

$$(Z^T Z) \Delta A = Z^T D \quad (4.11)$$

其中： $\Delta A = \begin{Bmatrix} \Delta a_0 \\ \Delta a_1 \end{Bmatrix}$

然後重新計算係數如下：

$$a_{0,j+1} = a_{0,j} + \Delta a_0 \quad (4.12)$$

$$a_{1,j+1} = a_{1,j} + \Delta a_1 \quad (4.13)$$

最後反覆疊代運算直到 ΔA 收斂至可接受範圍。

4.3.2 迴歸分析結果

根據4.2節所統計的列車流量與列車延滯時間之樣本，嘗試以式(4.14)~(4.18)等五種迴歸模型進行迴歸分析，其中萬華到板橋區間的樣本數為 158 個；板橋到樹林區間的樣本數為 142 個，分析結果如圖 4-5~圖 4-14所示，圖中同時呈現樣本的分佈情況與迴歸函數圖形。

$$\bar{w} = a_1 f + a_0 \quad (4.14)$$

$$\bar{w} = a_2 f^2 + a_1 f + a_0 \quad (4.15)$$

$$\bar{w} = \frac{1}{a_1 f + a_0} \quad (4.16)$$

$$\bar{w} = a_0 \cdot e^{a_1 f} \quad (4.17)$$

$$\bar{w} = a_0 \cdot (e^{a_1 f} - 1) \quad (4.18)$$

其中： \bar{w} =平均延滯時間

f =列車流量

a_n =待求之係數， $n \in \{0,1,2\}$

在各分析結果圖中呈現了各樣本資料，以及迴歸分析所得函數之圖形、公式和判定係數 r^2 (Coefficient of Determination)，表 4.7綜整各迴歸分析結果之判定係數，其中最高的僅有 0.2 左右，說明這些分析結果皆不佳。

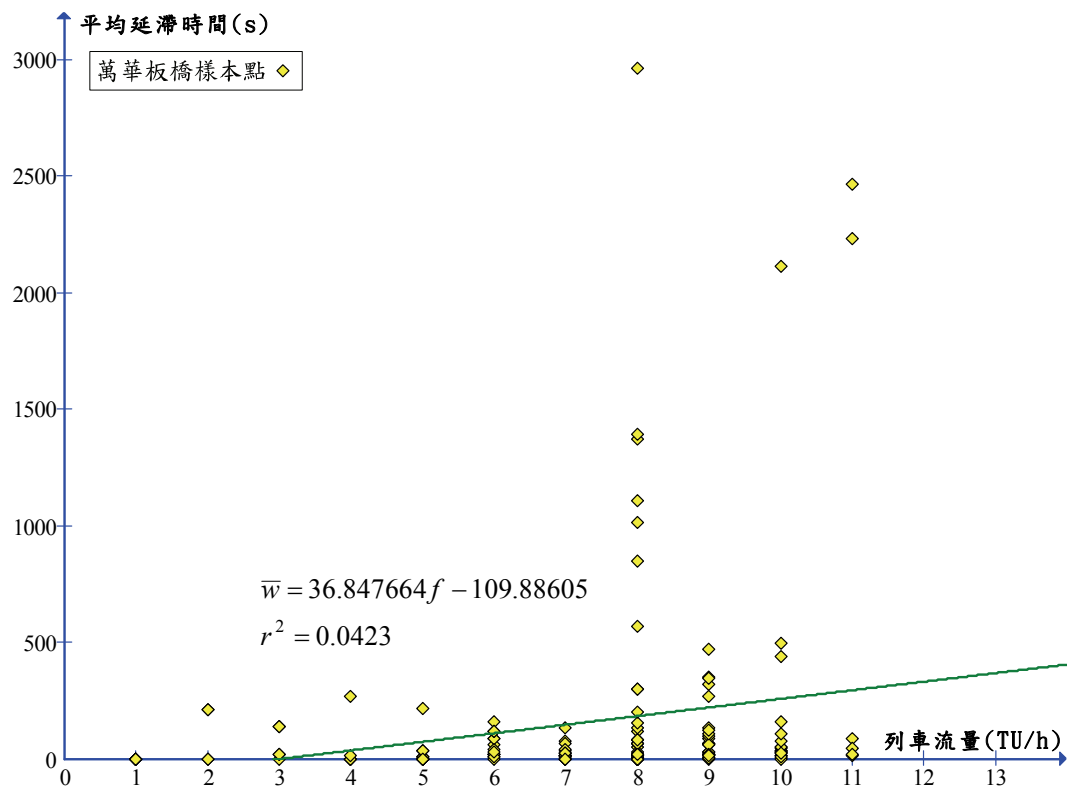


圖4-5 萬華→板橋區間以公式(4.14)進行迴歸分析結果圖

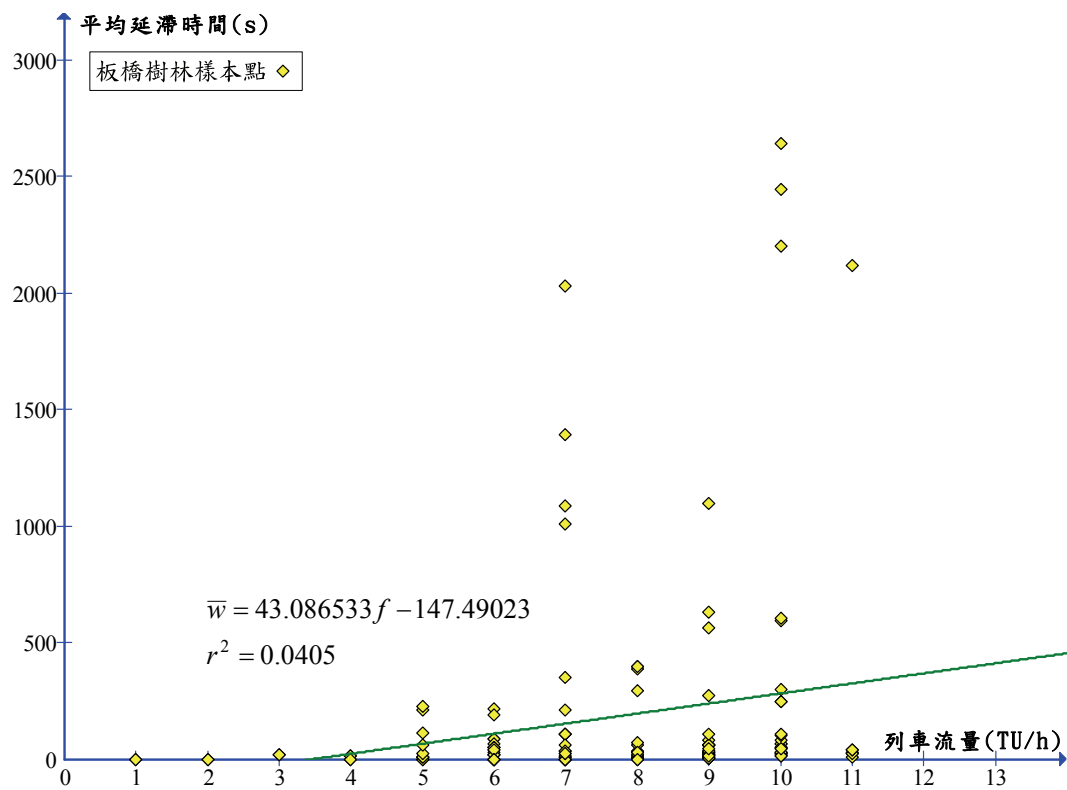


圖4-6 板橋→樹林區間以公式(4.14)進行迴歸分析結果圖

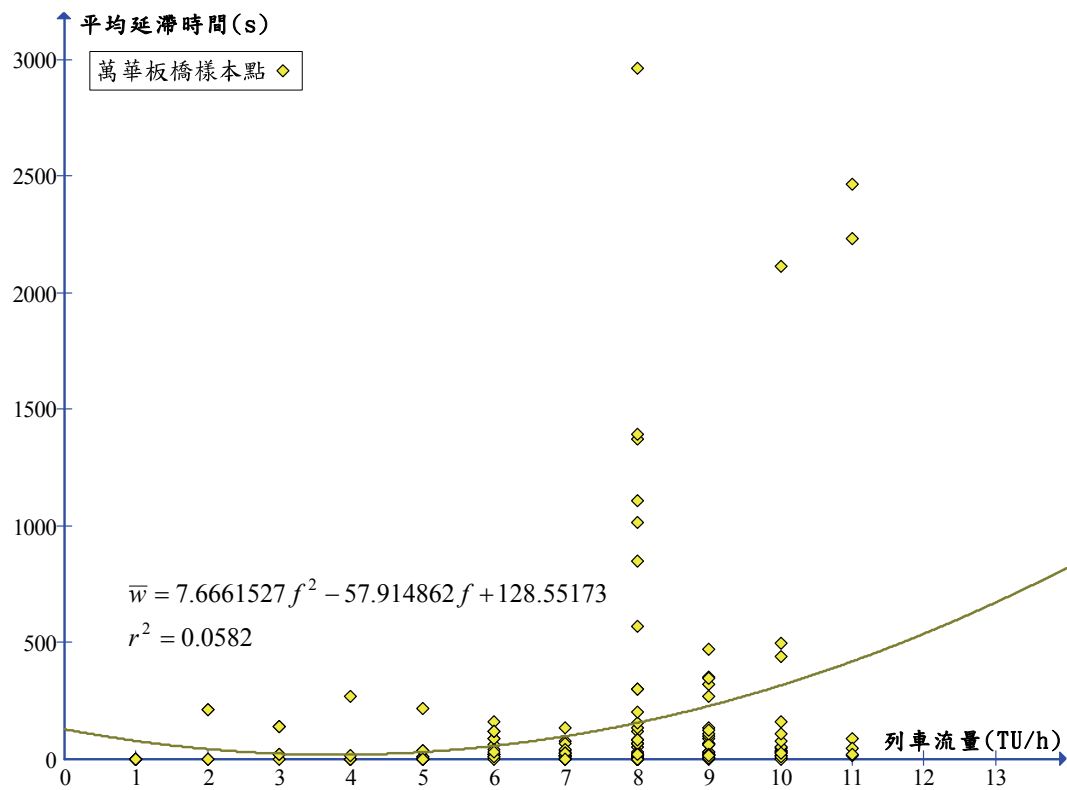


圖4-7 萬華→板橋區間以公式(4.15)進行迴歸分析結果圖

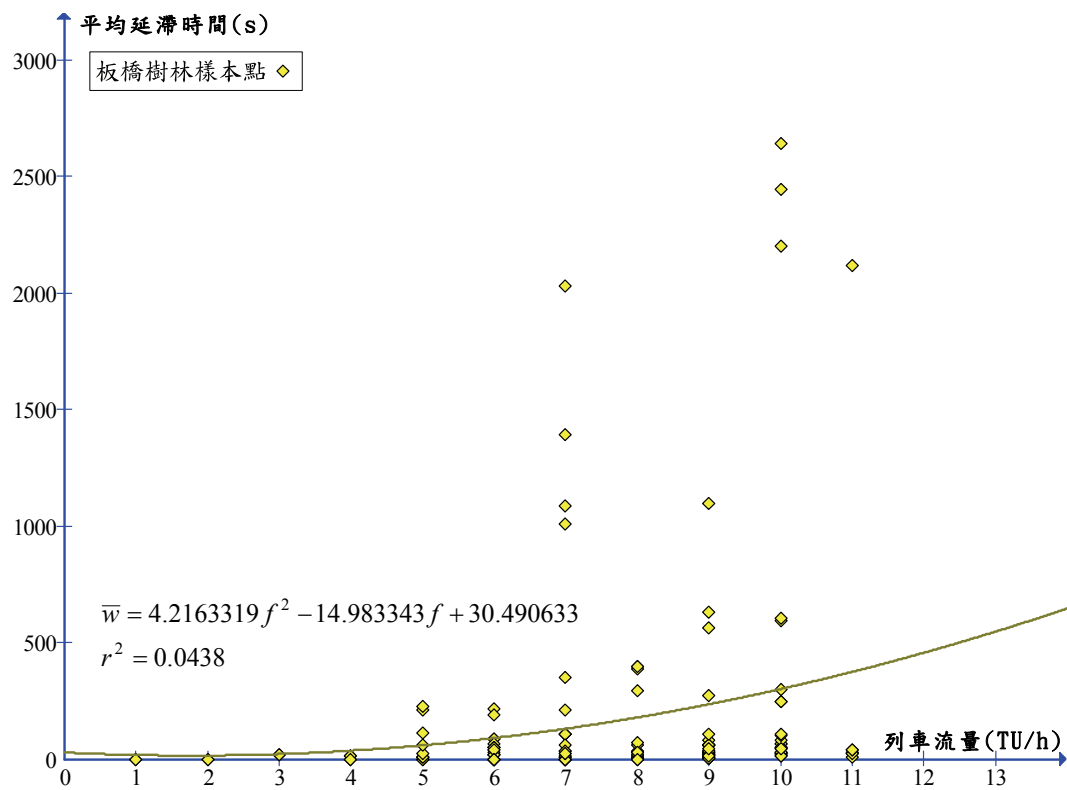


圖4-8 板橋→樹林區間以公式(4.15)進行迴歸分析結果圖

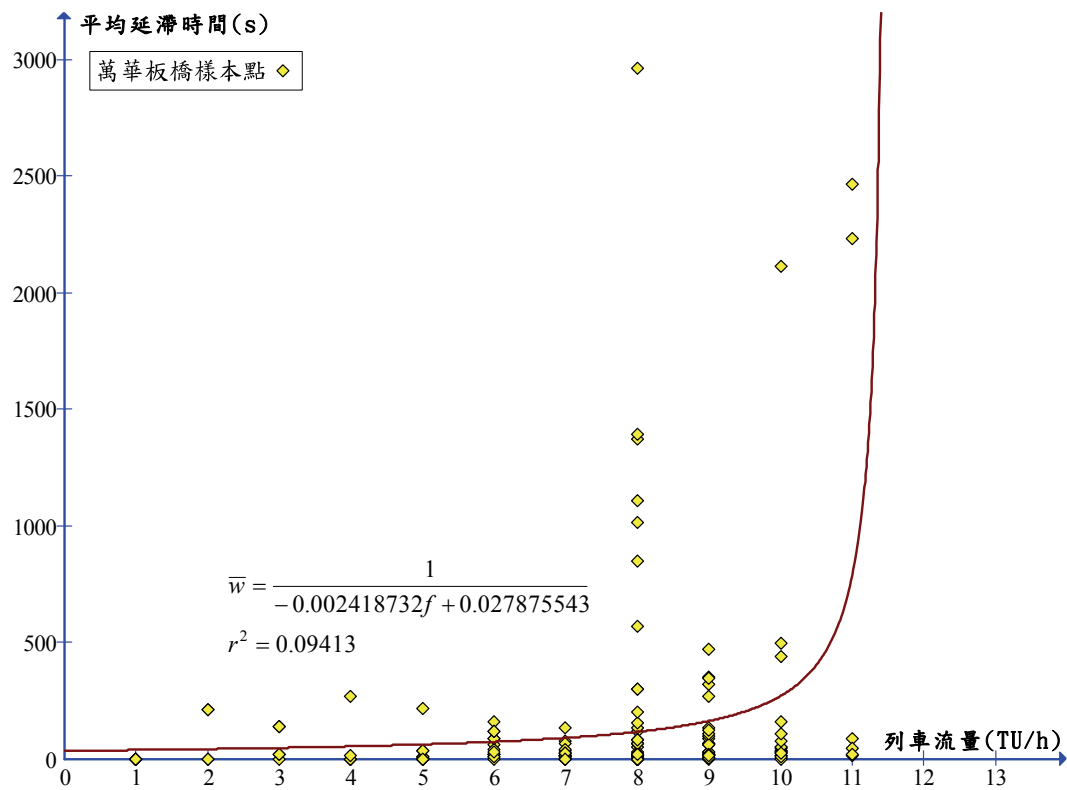


圖4-9 萬華→板橋區間以公式(4.16)進行迴歸分析結果圖

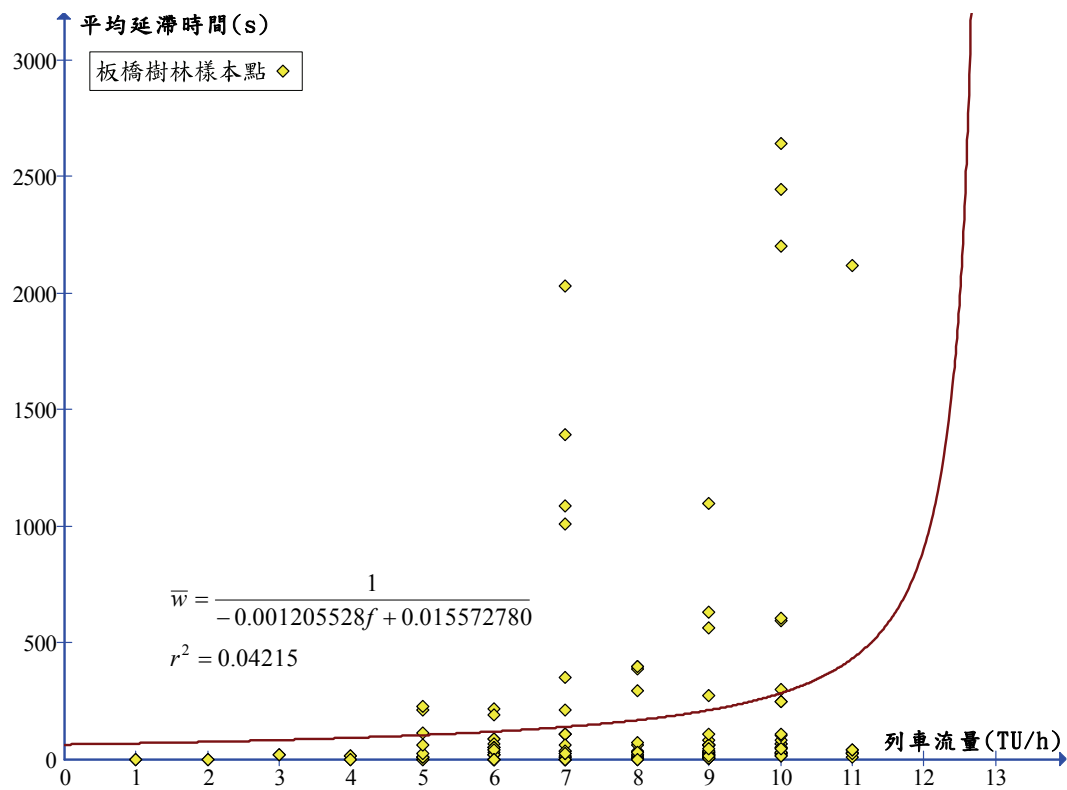


圖4-10 板橋→樹林區間以公式(4.16)進行迴歸分析結果圖

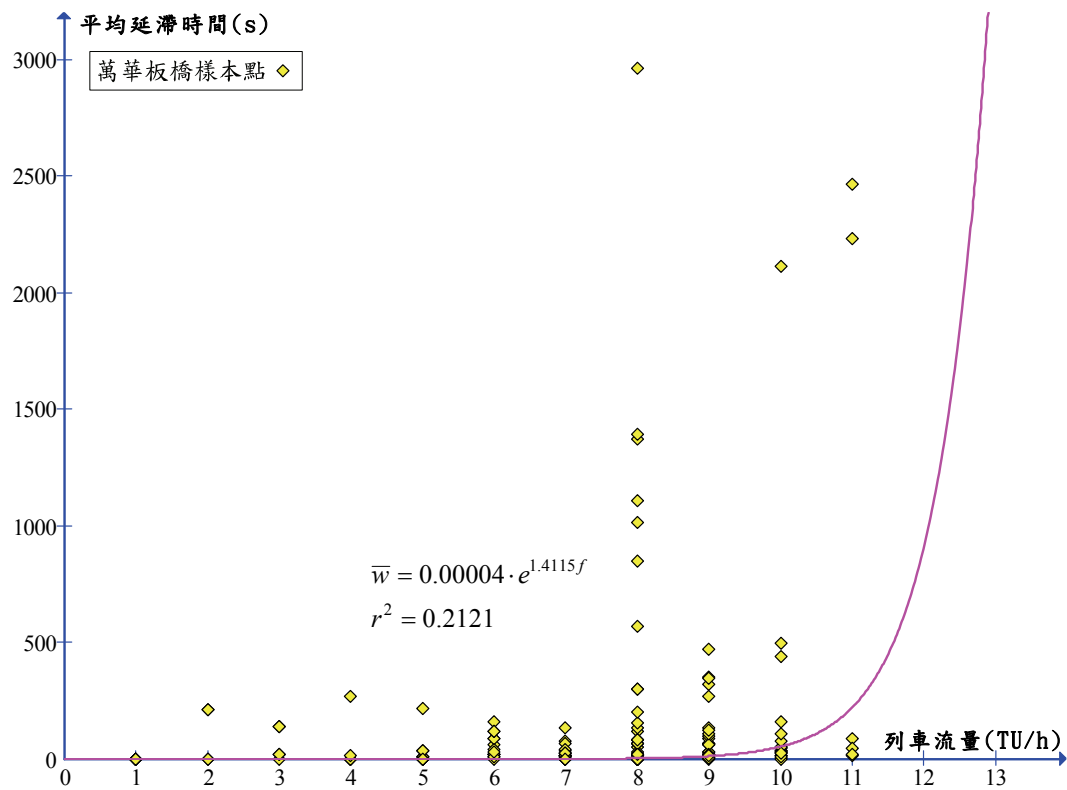


圖4-11 萬華→板橋區間以公式(4.17)進行迴歸分析結果圖

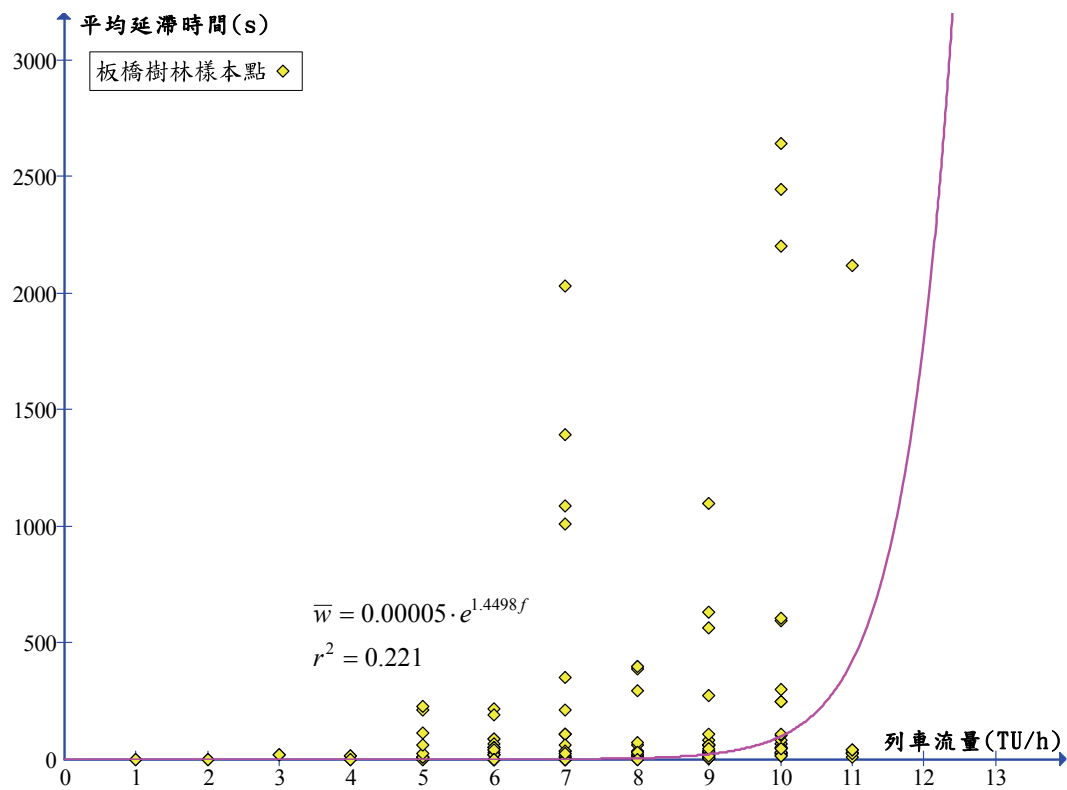


圖4-12 板橋→樹林區間以公式(4.17)進行迴歸分析結果圖

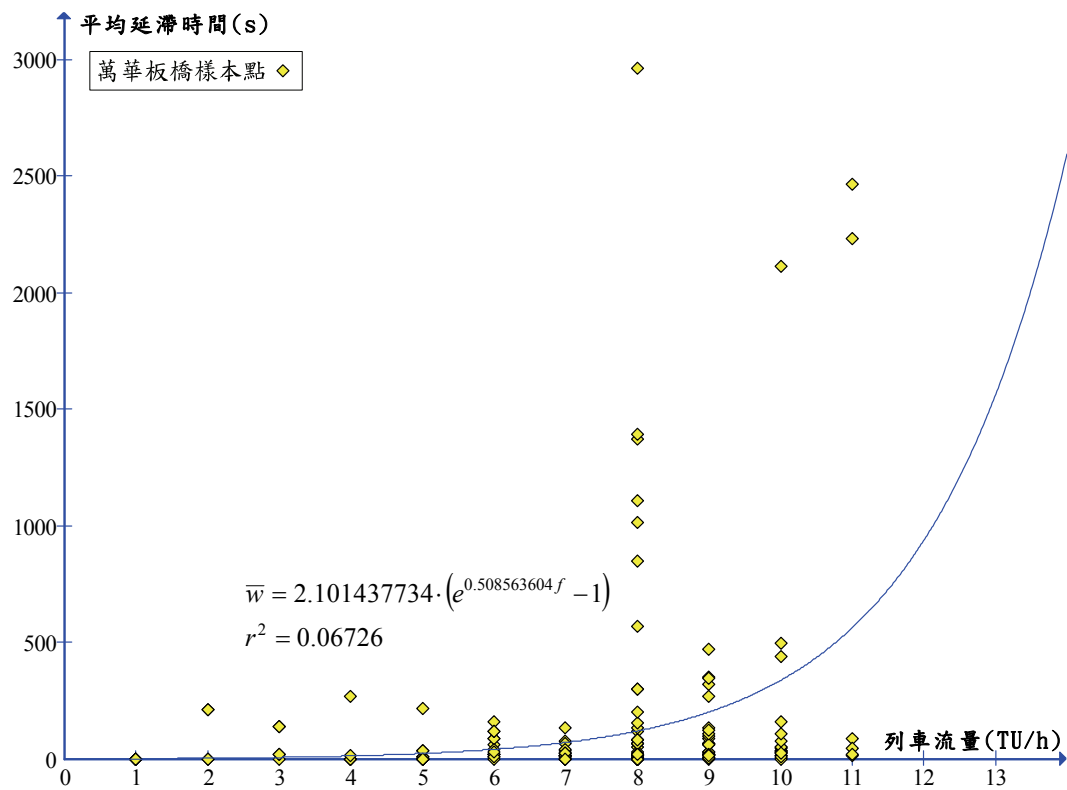


圖4-13 萬華→板橋區間以公式(4.18)進行迴歸分析結果圖

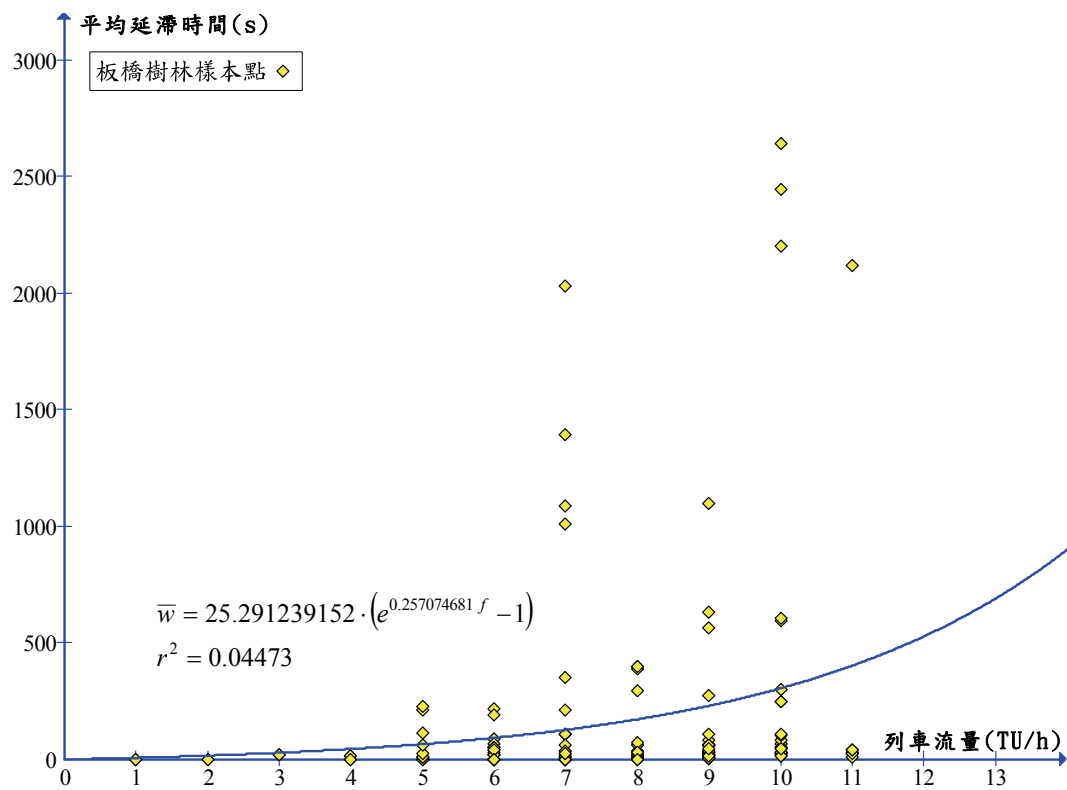


圖4-14 板橋→樹林區間以公式(4.18)進行迴歸分析結果圖

表4.7 各迴歸模型之判定係數比較

分析區間 迴歸模型	萬華→板橋	板橋→樹林
$\bar{w} = a_1 f + a_0$	0.0423	0.0405
$\bar{w} = a_2 f^2 + a_1 f + a_0$	0.0582	0.0438
$\bar{w} = \frac{1}{a_1 f + a_0}$	0.09413	0.04215
$\bar{w} = a_0 \cdot e^{a_1 f}$	<u>0.2121</u>	<u>0.2210</u>
$\bar{w} = a_0 \cdot (e^{a_1 f} - 1)$	0.06726	0.04473

探究其原因，首先是樣本資料的正確性，臺鐵的列車到開時刻登記表是由各車站分別紀錄，而且是由人工填寫，因此若紀錄前沒有進行子母鐘對時或者是人員填寫疏失，都會導致資料不正確，進而影響可靠度分析的結果。

其次，樣本數的多寡亦是原因之一，理論上資料量愈多，其他變異因素的影響會愈小，惟臺鐵只有紙本資料，而要將其建立成電子資料又非常費時，實在無法在有限的時間內建立大量的資料進行分析。

最後，由於影響列車延誤的因素很多，而本迴歸分析主要在探討列車流量與延滯之關係，所以分析前應先對樣本進行篩選，排除因其他因素造成列車延誤之樣本，才能得到較佳的結果，然而在到開時刻登記表中並無記載列車延誤原因，難以篩選樣本，因此僅能就所有樣本進行分析。

無論如何，即便是排除以上問題，並透過迴歸分析得到較佳的關係式，雖可了解該區間在不同列車流量下平均的延滯情形，在排班時則能盡量避免讓列車流量過大導致列車嚴重的延滯，或者考量是否該進一步改善硬體設施，但是迴歸模式僅適用於原分析區間，無法延伸應用於其他區間，若用以預測資料範圍外的結果，其解釋能力亦大幅下降，且迴歸模式的自變數僅列車流量一項，無法用以評估在不同的

運轉條件下（包括路線、交通及控制條件）對列車平均延滯時間的影響，以致於實用性不高。有鑑於此，本研究發展了可靠度模擬模式，於下一章作詳細的介紹。

第五章 臺鐵列車服務可靠度模擬模式

從臺鐵實際資料的分析中，可了解目前列車服務可靠度的情況，並且透過迴歸分析獲得列車流量與平均延滯的關係式，但其僅適用於被分析的路線區段，不能通用到其他區間，且迴歸式中沒有如車種組成等相關的參數可供調校，無法進一步應用於預測與推估，因此本研究發展模擬模式，以便納入更多影響因素來分析列車流量與平均延滯的關係。

5.1 模式整體概觀與模擬流程

在 3.1.2 節中曾提到，列車的延滯分為「列車排班時交會待避延誤」和「列車實際運行的延滯」，因此本研究亦針對此兩種延滯型態，分別發展了「排班延滯模式」和「實際延滯模式」，兩模式所考量的因素和模擬流程大同小異，僅在延滯計算方式有所不同，因此本節先介紹其整體概觀與模擬流程。

影響列車服務可靠度的因素很多，本研究為了探討列車流量與平均延滯的關係，因此模式中考量了各項影響此關係的因素，如列車流量、車種組成情況、站間運轉時間以及號誌時距等，然後透過模擬的方式得到列車的延滯時間，模式整體概觀如圖 5-1。

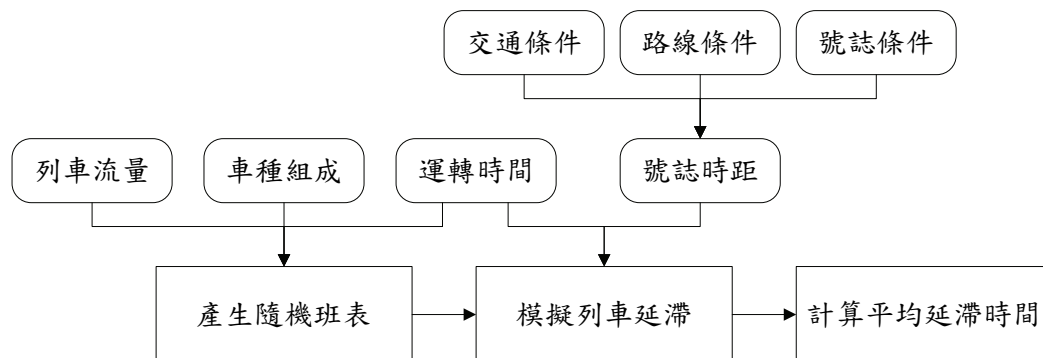


圖5-1 模式整體概觀

模式的重點在於計算各列車的平均延滯時間，但計算延滯時間必須先要有所依據，在真實世界中，列車是依照班表來運行，而延滯便是列車實際到達時間和班表規定到達時間相差的結果，國外許多研究所發展的模擬模式，亦是需給定一個班表方能進行分析^[27,40]，但在設計規劃初期難以確定班表，若於營運階段，要製作一份用來分析的班表並非易事，因此在本模擬模式中不需給定班表，而改以隨機班表來作為計算延滯的依據。

隨機班表的產生係根據期望列車流量、車種組成比例，以及站間運轉時間等資料計算而得：由車種比例可計算各車種出現的機率，而期望的列車流量透過指數分配（Exponential Distribution）可獲得先續行列車開車時間的時間間距，因為指數分配是專門用來表示獨立隨機事件發生的時間間隔，且其值介於 0 與 ∞ 之間，比較符合列車班距的物理性質，所以適用於產生隨機班表中的列車發車班距，最後加上基準運轉時間即是此隨機班表中各列車規定的到達時間，如此便有計算列車延滯時間的依據。

有了隨機班表之後，接著就是模擬列車的延滯情形，其中所需的運轉時間和號誌安全時距等兩項參數，由於目前在統計上尚未有適合的分配可描述此兩項因素的機率分佈型態，且為了減少影響模擬結果的變因，此兩參數皆採用確定性的數值。其中號誌時距受到路線、交通和號誌等條件的影響，可由前期研究中的容量模式求得^[5]。

以上是模式的整體概觀，然而為了容易將模式開發成電腦程式，因此模擬的流程是以一系列列車的方式來進行，如圖 5-2所示，各流程內容說明如下：

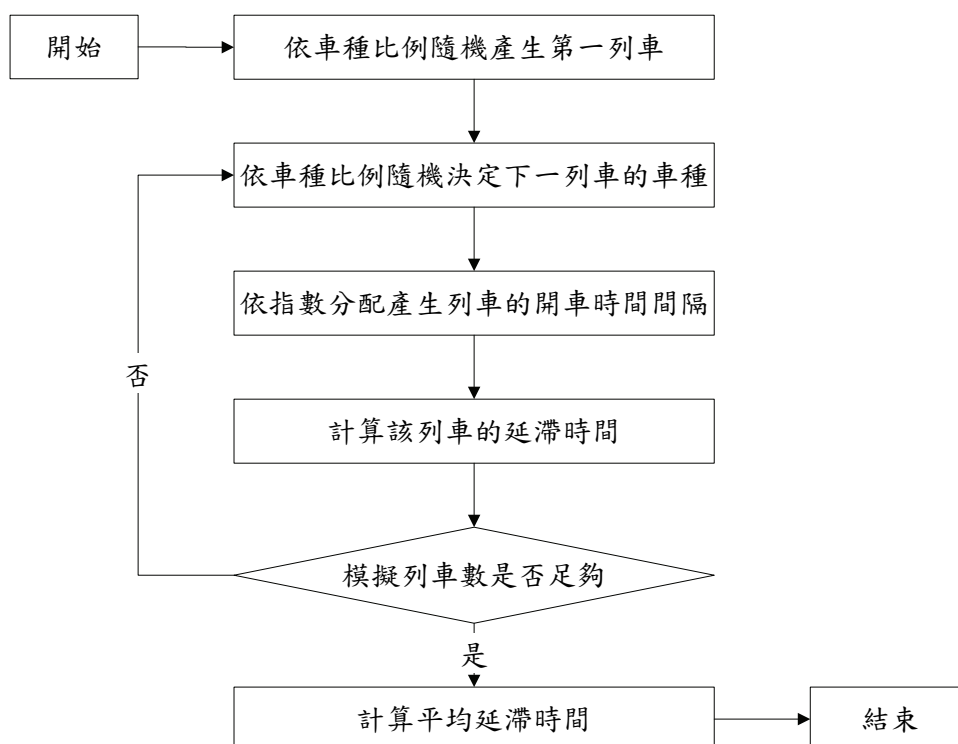


圖5-2 列車服務可靠度分析模擬模式流程圖

1. 根據車種比例隨機決定第一列車的車種，各車種出現的機率公式如式(5.1)。

$$P_i = \frac{n_i}{\sum n_i} \quad (5.1)$$

式中： P_i =第*i*種車種的出現機率

n_i =車種組成中第*i*種車種所占的比例

2. 同流程1之方法決定續行列車的車種。
3. 根據期望的列車流量，產生的先續行列車開車時間間距，且該時間間距須符合指數分配，利用式(5.2)，可產生符合指數分配的先續行列車開車時間間距。

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

式中： t_x =列車距離其前一列車開車時間的時間間距（s）

f_e =期望的列車流量 (TU/s)

R =在 0~1 之間呈均勻分配的隨機亂數

4. 計算續行列車所需的延滯時間，其細節介紹於後續章節。
5. 在模擬未達足夠的列車數之前，就重複流程2至流程4，繼續模擬下一續行列車，如此反覆直到模擬的列車數足夠。
6. 最後計算每列車平均延滯時間。

一般而言，模擬模式根據計算的終止的方式可區分為終結式模擬模式 (Terminating Simulation) 以及穩定狀態模擬模式 (Steady-State Simulation) 兩種。前者係模擬模式運作至某一事件發生為止，例如模擬銀行顧客的等候狀態會以銀行結束營運的時間作為模擬模式終止的條件。後者則是指模擬模式運作至穩定狀態。就本研究所欲探討的課題而言，應屬於後者，但穩定狀態在列車流量趨近於容量時是很難確認的，也因此，本研究建議的方式是採用終結式模擬，但終止條件是模擬足夠多的列車數，此一參數可由使用者來設定。理論上，如果列車數夠多的話，系統會達到穩定狀態。

依圖 5-2 的流程完成模擬模式的運算，便能得到每列車的延滯時間，但由於在模擬的過程中使用了隨機亂數，為了減少亂數造成的偏差，進一步用不同的亂數種子計算多個回合，每回合依上述模擬流程求得平均延滯時間，之後將各回合之結果取平均，便可獲得較準確之結果，此參數亦可由使用者自行設定。

本研究之重點在於探討列車流量與平均延滯的關係，透過此模擬模式，在其他條件固定下變動列車流量，即可計算出在不同列車流量下的平均延滯時間，進而找出兩者間的關係。

「排班延滯模式」和「實際延滯模式」兩者在延滯時間的計算方式上有明顯差異，在後續章節分別詳細說明之。

5.2 排班延滯時間的計算

由於安全的考量，且為使列車運行順暢，排班時列車與列車間必須抱持足夠的時距，若有任兩列車時距不足則必須將之排除，在排除過程中對列車造成的延滯即為排班延滯。在排班延滯模式中，其流程如上節所述，其中對於計算續行列車延滯時間的流程如下：

1. 在隨機決定續行列車的車種與開車的時間間距後，可依該列車的基準運轉時間計算其預計到達時刻，如圖 5-3，此為計算延滯時間的依據。

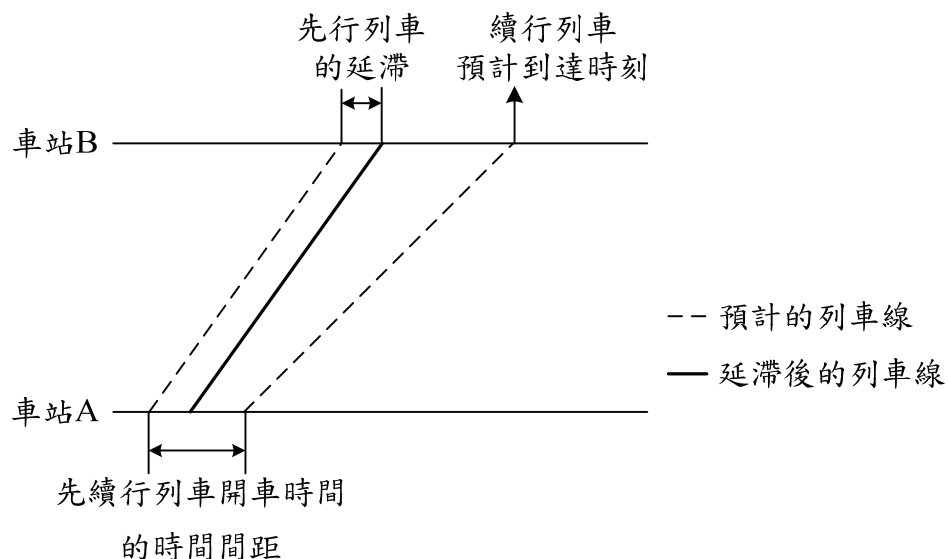


圖5-3 續行列車預計到達時刻

2. 根據先續行列車的車種組合，計算其含寬裕的進站與離站號誌時距，以使用來判斷兩列車是否保持足夠的時距，如圖 5-4。

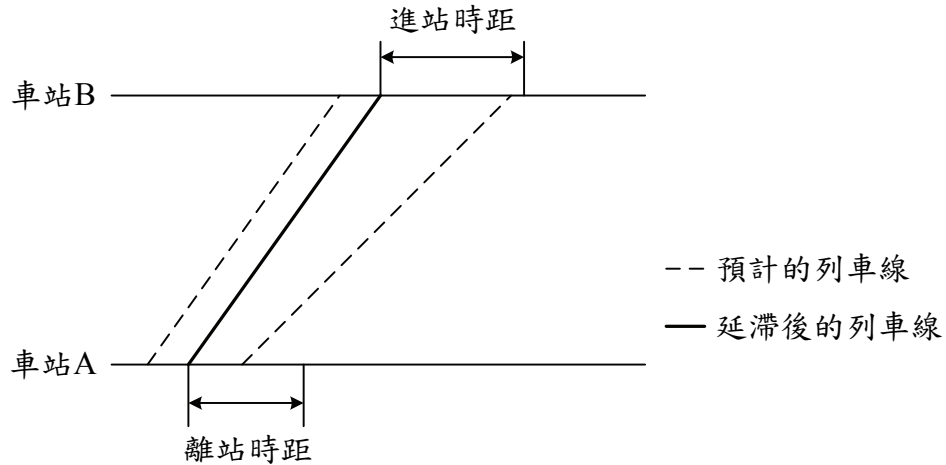


圖5-4 判斷時距是否足夠

3. 以不更改列車站間運轉時間的方式，將續行列車的開車與到達時刻一同延後至滿足離站及進站時距為止，所延後的總時間為該列車的排班延滯時間，如圖 5-5所示。

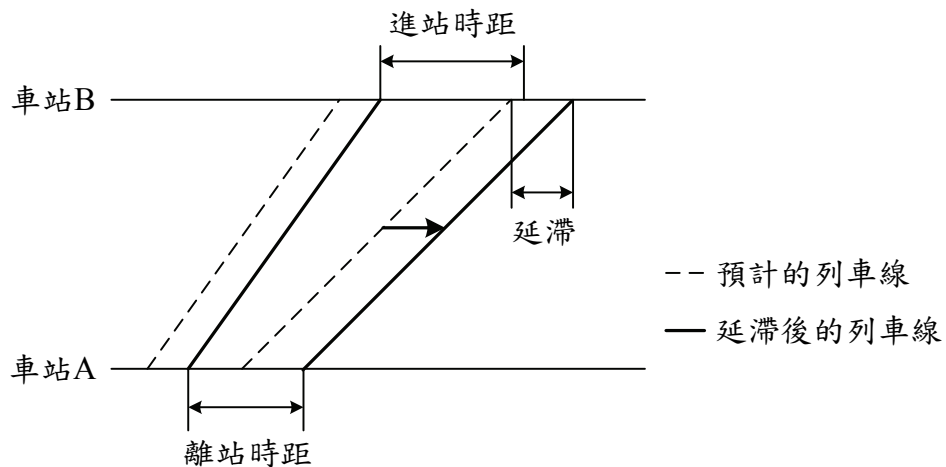


圖5-5 計算排班延滯時間

上述流程若以數學式表示，在排班延滯模式中，第 k 輛列車延滯時間的計算如式(5.3)，第 k 輛列車需同時在出發站和到達站保持離站時距和進站時距，因此延滯時間為保持前述時距所造成延滯時間之兩者中較大者。

$$w_k = \max(w_{D,k}, w_{A,k}) \quad (5.3)$$

式中： w_k = 第 k 輛列車的排班延滯時間 (s)

$w_{D,k}$ = 第 k 輛列車於出發站離站時的排班延滯時間 (s)

$w_{A,k}$ = 第 k 輛列車於到達站進站時的排班延滯時間 (s)

其中有關第 k 輛列車於出發站離站時的延滯時間計算方式為式 (5.4)，如圖 5-6。列車於離站時需和先行列車保持足夠的離站時距，若先行列車延誤，則續行列車亦會跟著延誤，此外，由於列車不能提早離站，因此 $w_{D,k}$ 最小為 0。

$$w_{D,k} = \max(w_{k-1} + (1 + \beta) \cdot T_{s,D}(\tau_{k-1}, \tau_k) - t_{x,k}, 0) \quad (5.4)$$

式中： w_{k-1} = 第 $k-1$ 輛列車的排班延滯時間 (s)

β = 寬裕時間係數

$T_{s,D}(i, j)$ = 先續行車種組成為第 i 種和第 j 種車種的離站時距 (s)

τ_{k-1} = 第 $k-1$ 輛列車的車種

τ_k = 第 k 輛列車的車種

$t_{x,k}$ = 第 k 輛列車距離其前一列車開車時間的時間間距 (s)

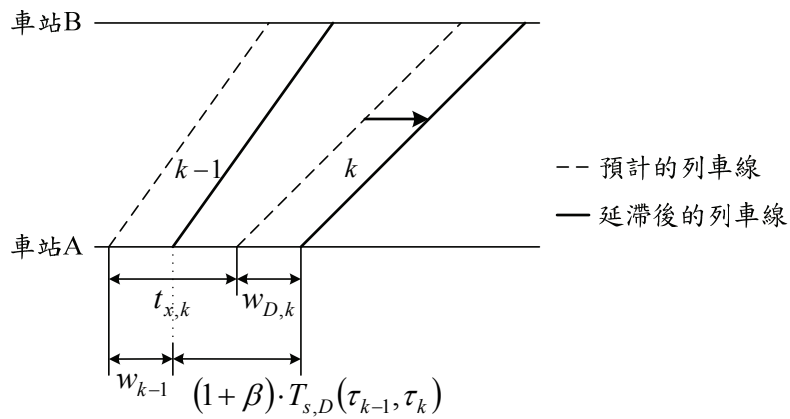


圖5-6 列車於出發站離站時的排班延滯

而第 k 輛列車於到達站進站時的延滯時間計算方式為式 (5.5)，如圖 5-7，除了先行列車的延誤時間以及進站時距，還要考量先續行列車於站間運行的速差，另外和在出發站的情況一樣，列車不能提早進站，故 $w_{A,k}$ 最小為 0。

$$w_{A,k} = \max(w_{k-1} + (1 + \beta) \cdot T_{s,A}(\tau_{k-1}, \tau_k) + t_{\tau_{k-1}} - t_{x,k} - t_{\tau_k}, 0) \quad (5.5)$$

式中： $T_{s,A}(i,j)$ =先續行車種組成為第*i*種和第*j*種車種的進站時距（s）

t_i =第*i*種車種的站間基準運轉時間（s）

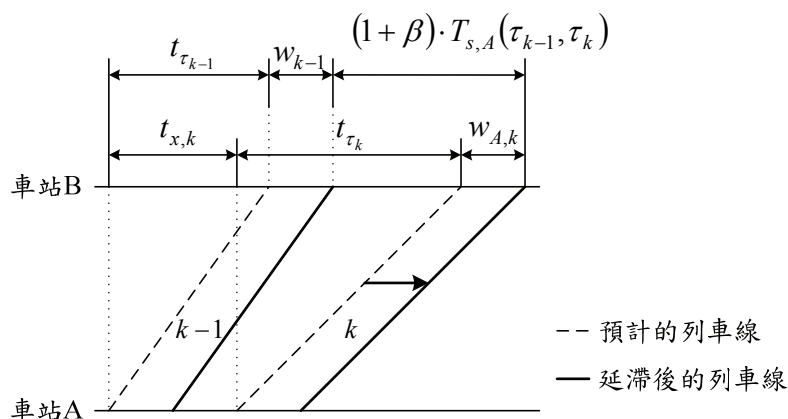


圖5-7 列車於到達站進站時的排班延滯

5.3 實際延滯時間的計算

當列車在實際運行時，司機員是依照號誌的指示駕駛，其發生延滯的情形和排班時不同，不能以排班模式模擬之，故另外發展實際延滯模式，其流程如5.1節所述，而有關計算續行列車延滯時間的細節流程如下：

1. 如同排班延滯流程1的方式，獲得續行列車的預計到達時刻作為計算延滯時間的依據，如圖 5-3。
2. 和排班延滯流程2一樣，判斷號誌時距是否足夠，如圖 5-4。
3. 若離站時距不足，則僅需將開車時刻延後到足夠為止，且在計算其到達時刻時，則可以在以下條件容許下進行趕點：
 - (1) 趕點的運轉時間不能小於最小運轉時間（如圖 5-8）
 - (2) 趕點後的到達時刻不能比預計到達時刻還早（如圖 5-9）

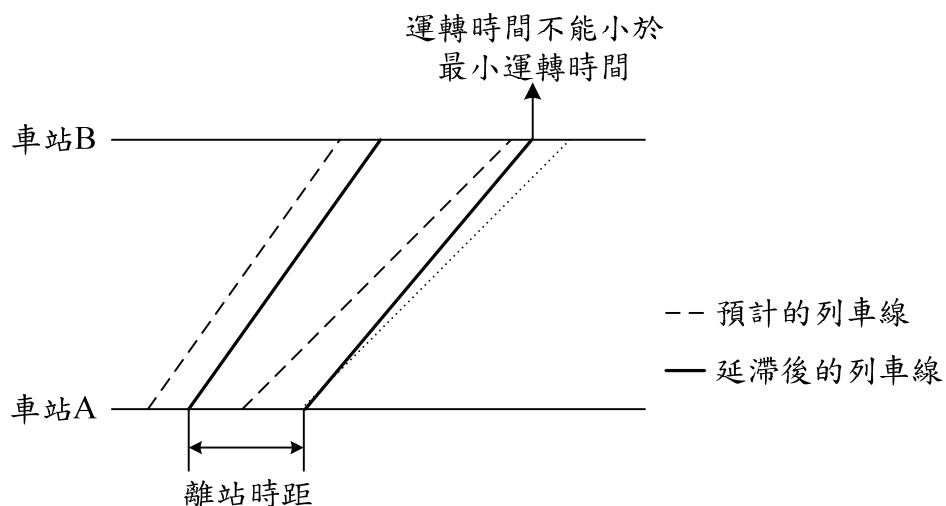


圖5-8 續行列車趕點的運轉時間不能小於最小運轉時間

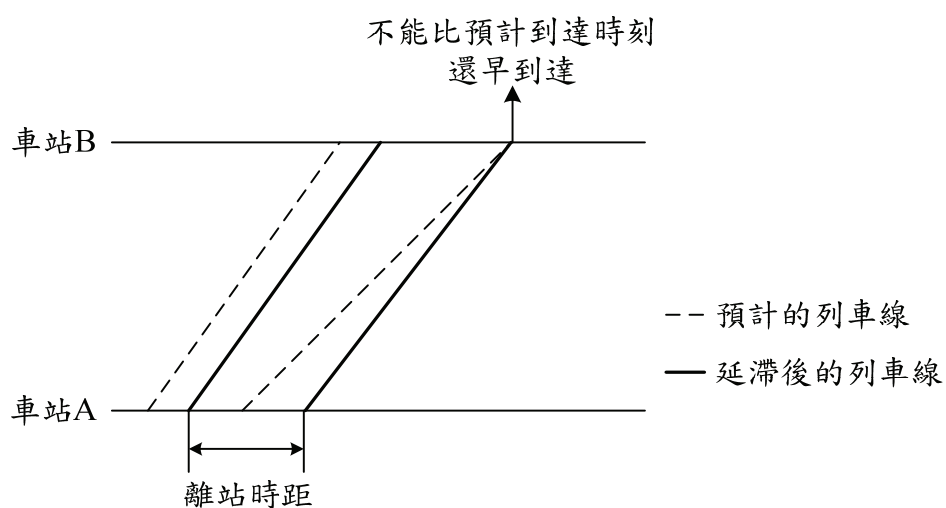


圖5-9 續行列車趕點不能比預計到達時刻還早到達

4. 計算出續行列車的到達時刻後，判斷其進站時距是否足夠，若不足則將其到達時刻延後至時距足夠為止。將最後所計算出的到達時刻和預計到達時刻相差，即為該列車的實際延滯時間，如圖5-10。

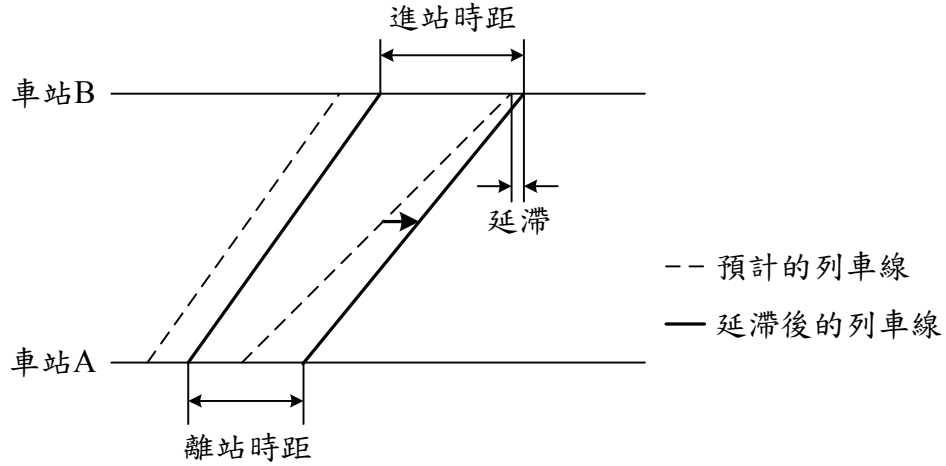


圖5-10 實際延滯時間的計算

以數學式表示，如圖 5-11，第 k 輛列車在出發站的實際延滯時間可用式(5.6)表示，其型式和排班延滯的式(5.4)相似，但不考慮寬裕時間係數，其中兩列車於出發站離站時的實際延滯時間不一定會相等。

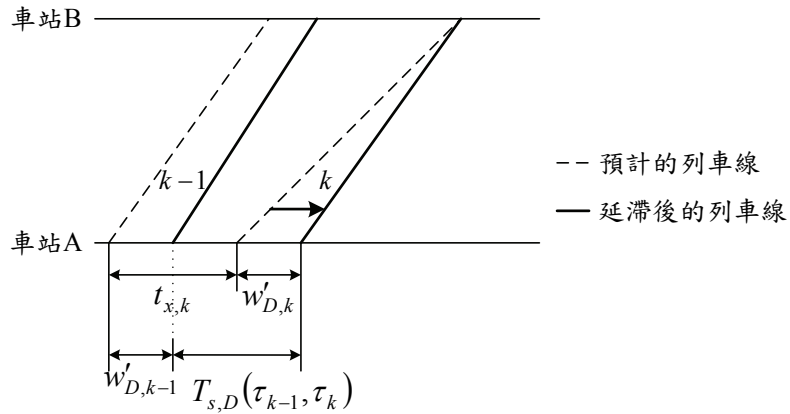


圖5-11 列車於出發站離站時的實際延滯

$$w'_{D,k} = \max(w'_{D,k-1} + T_{s,D}(\tau_k, \tau_{k-1}) - t_{x,k}, 0) \quad (5.6)$$

式中： $w'_{D,k}$ = 第 k 輛列車於出發站離站時的實際延滯時間 (s)

$w'_{D,k-1}$ = 第 $k-1$ 輛列車於出發站離站時的實際延滯時間 (s)

第 k 輛列車的實際延滯時間亦是其在到達站實際延滯時間，計算式如式(5.7)，要同時考量趕點（如圖 5-12）以及保持進站時距（如圖 5-13），且列車不能提早進站，所以其值為兩者取其大者或者為 0。

$$w'_k = w'_{A,k} = \max \begin{pmatrix} w'_{D,k-1} + T_{s,D}(\tau_k, \tau_{k-1}) + t_{\tau_k, \min} - t_{x,k} - t_{\tau_k}, \\ w'_{A,k-1} + T_{s,A}(\tau_k, \tau_{k-1}) + t_{\tau_{k-1}} - t_{x,k} - t_{\tau_k}, \\ 0 \end{pmatrix} \quad (5.7)$$

式中： w'_k = 第 k 輛列車的實際延滯時間 (s)

$w'_{A,k}$ = 第 k 輛列車於到達站進站時的實際延滯時間 (s)

$w'_{A,k-1}$ = 第 $k-1$ 輛列車於到達站進站時的實際延滯時間 (s)

$t_{i, \min}$ = 第 i 種車種的站間最小運轉時間 (s)

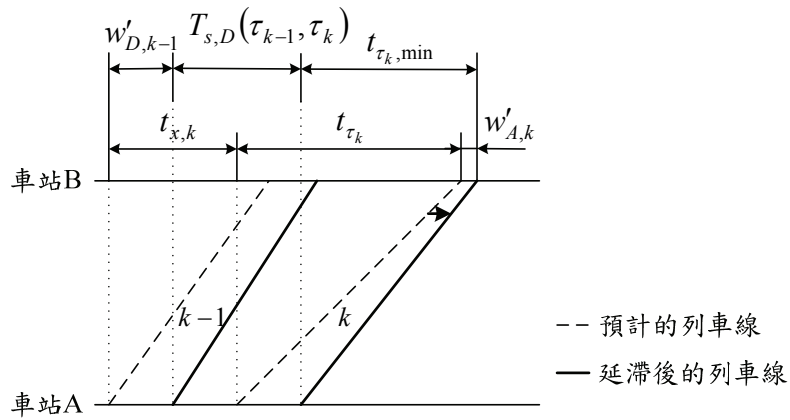


圖5-12 列車進行趕點於到達站進站時的實際延滯

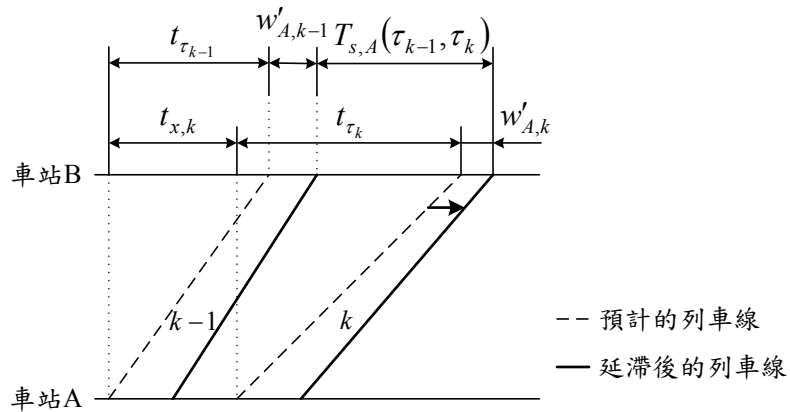


圖5-13 列車於到達站保持進站時距的實際延滯

有關排班和實際延滯時間的計算上，除了在運轉時間方面不同之外，在號誌安全時距的計算上也有所不同，在排班時，號誌時距會考量寬裕，而此寬裕便是為了在實際運行時，能提供調度的餘裕，因此

在實際延滯模式中，計算號誌安全時距便不含寬裕，表 5.1 綜整兩個模式的相異處。

表5.1 排班延滯模式和實際延滯模式相異處

模式類型	號誌安全時距	站間運轉時間
排班延滯模式	含寬裕	不可改變
實際延滯模式	不含寬裕	可改變

5.4 模式驗證

前一章所介紹，本研究蒐集了臺鐵列車實際到開資料，可用來驗證實際延滯模式，但真實世界和模擬模式有些許出入：在真實世界中，列車是基於一可行班表來運行，由於某些因素造成列車延滯進而影響其他列車，而在模擬模式中，則是利用機率分配產生隨機班表，兩者有所不同，因此無法直接驗證。

為了進行驗證，模式不使用隨機班表，而改採臺鐵實際列車到開資料，直接給定列車的車種、開車時間和運轉時間，透過模式的模擬方式計算每一列車的到達時間，到達時間與其規定到達時間相減則為每列車各別的延滯時間，如圖 5-14，最後比較真實資料和模式計算的延滯時間，便可了解本模式是否能反映真實世界的情況。

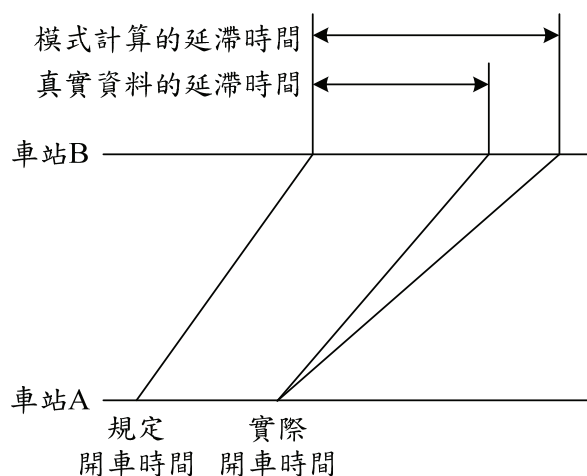


圖5-14 模式驗證方式

本研究採用民國 97 年 3 月 19 日和 20 日兩天，在萬華到板橋、板橋到樹林兩個區間內的資料進行驗證，總共 562 個樣本資料，模式計算的延滯時間和真實資料之比較如圖 5-15。從迴歸分析的結果可看出：若模式完全能描述真實世界的情形，則迴歸式應為 $\hat{y} = x$ ，且判定係數 r^2 應為 1，而驗證結果的迴歸式為 $\hat{y} = 0.991x$ ，判定係數 r^2 為 0.9363，表示模式計算的延滯時間和真實資料相當吻合，說明了本模式確實能反映實際上列車延滯的現象。

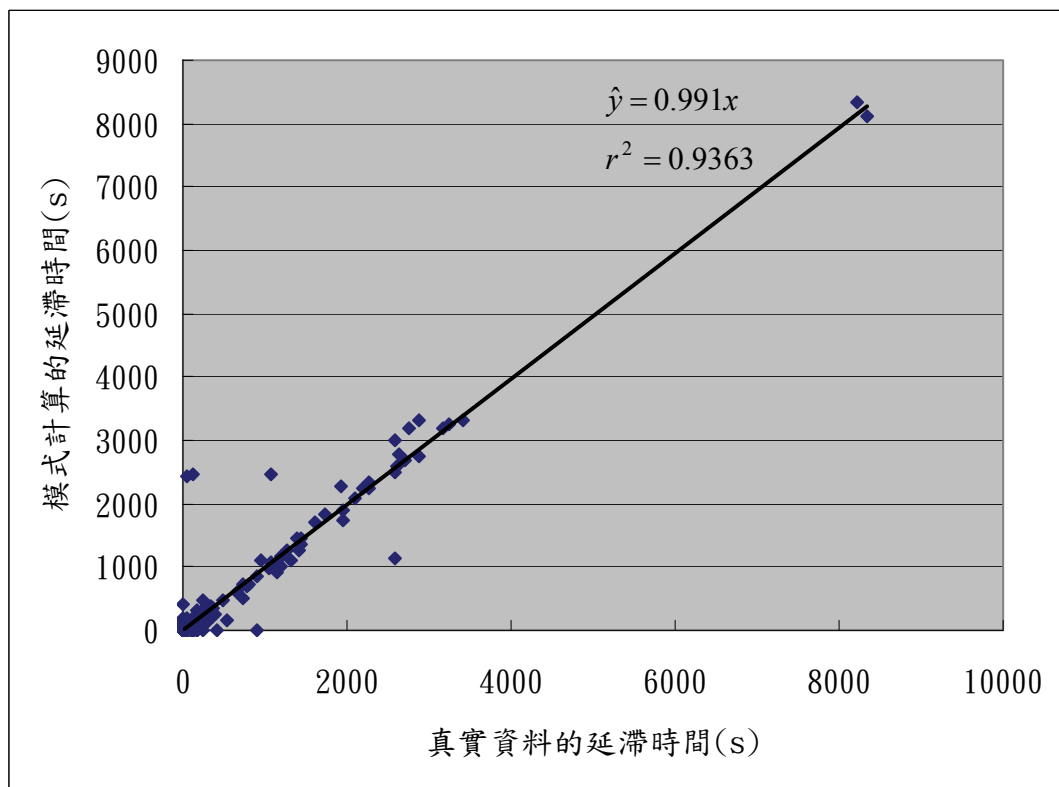


圖5-15 模式驗證結果

5.5 模式應用案例

本節介紹幾個有關可靠度分析的案例，說明本模式如何和前期研究的容量分析模式結合運用。

5.5.1 可接受的路線利用率

過去文獻中有學者認為路線利用率超過 80% 者即需要改善^[44]，因為需留下餘裕供運轉調度使用，以提供可靠的列車服務。前期研究所發展的路線容量分析模式加入了寬裕係數的考量，因此所得之容量分析結果已考量了運轉調度的餘裕。

決定寬裕係數有很多方法，當初建議其值為 0.35，係根據當時臺鐵實際排點情況，假設其列車流量最密集之區段的路線利用率為 100%，反算求得。然而回歸到問題的本質，該設定多少寬裕是和可靠度有關，透過可靠度模擬模式便可直接以可靠度的角度來決定寬裕係數。

本案例以松山到樹林上下行共 8 個區段為例，分析計算所使用的全域參數如表 5.2，其中有關可靠度模擬模式的模擬回合數 10 回合，每回合模擬 3000 輛列車，而各車站之軌道配置如表 5.3 和表 5.4（其相關參數代號可參照圖 5-16 之說明），最後有關各車種之性能、於各區段之巡航速度、運轉時間，以及各站停站時間參數如表 5.5～表 5.9，其中由於無法取得各車種的最小運轉時間資料，所以在此假設最小運轉時間為基準運轉時間的九折，再以 15 秒進位。

表 5.2 全域參數表

參數名稱	數值
解除閉塞與清除號誌時間	4 秒
司機員與軔機反應時間	5 秒
解除第 1 股道進路、鎖定第 2 股道暨號誌變換整體作業時間	15 秒
排點時單線交會最短號誌時距	25 秒
列車間乘載變異因子	0.8
注意號誌速限	60km/h
第二型軌道佈設下，同股道號誌時隔發生的機率	0.3333
第三型軌道佈設下，同股道號誌時隔發生的機率	0.75
模擬回合數*	10
模擬列車數*	3000

*：模擬回合數和模擬列車數為可靠度模擬模式專用之參數

表5.3 車站軌道配置參數表（東正線）

	軌道 佈設 類型	進站 坡度	離站 坡度	B_2	B_1	B_s	B_n	B_{n-1}	S_x	S_t	反向 S_e
單位	無	‰	‰	公尺	公尺	公尺	公尺	公尺	公尺	公尺	公尺
松山	I	5.88	3.97	675	1002	975	1837	1350	63	551	118
台北	I	3.19	-2.06	1080	1060	1085	1430	885	110	535	118
萬華	II	4.17	-10.9	1430	885	502	956	1577	95	487	107
板橋	I	5.66	4.39	1577	821	1033	1001	952	95	560	117
樹林	I	3.16	4.22	1308	1286	754	1460	1060	75	472	83

附註 1：軌道佈設類型 I 為兩島四股道以上運用方式，II 為一島一側無平面交叉三股道運用方式。

附註 2：本資料來自民國 95 年 11 月底前，各站之月台／股道資訊。

表5.4 車站軌道配置參數表（西正線）

	軌道 佈設 類型	進站 坡度	離站 坡度	B_2	B_1	B_s	B_n	B_{n-1}	S_x	S_t	反向 S_e
單位	無	‰	‰	公尺	公尺	公尺	公尺	公尺	公尺	公尺	公尺
樹林	I	-0.42	-0.32	1990	983	1047	1310	1603	75	535	162
板橋	I	-0.44	-0.57	1603	1521	856	2615	1249	95	503	114
萬華	II	1.1	-0.42	2615	1249	497	1329	870	95	480	96
台北	I	0.21	-0.32	1329	870	663	1207	2250	110	501	105
松山	I	-0.4	-0.59	1090	940	785	1359	747	63	380	229

附註 1：軌道佈設類型 I 為兩島四股道以上運用方式，II 為一島一側無平面交叉三股道運用方式。

附註 2：本資料來自民國 95 年 11 月底前，各站之月台／股道資訊。

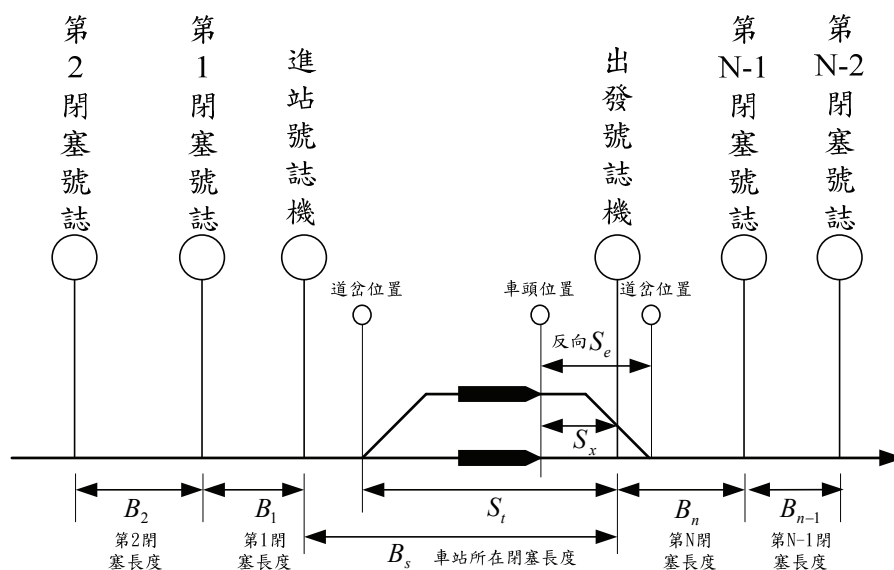


圖5-16 車站配置參數代號說明圖

表5.5 各車種性能參數表

性能	PP 推拉式電車組	通勤電車
列車長度 (公尺)	236	160
服務加速度 (km/h/s)	1.25	1.88
服務減速度 (km/h/s)	2	2.5
加速度性能有效因子	1.0	1.0
減速度性能有效因子	1.0	1.0

表5.6 各區段之平均巡航速度參數表

	東正線 (下行區段)		西正線 (上行區段)	
	PP 推拉式電車組	通勤電車	PP 推拉式電車組	通勤電車
松山-台北	84.77	82.91	84.77	82.91
台北-萬華	67.99	71.53	61.81	69.04
萬華-板橋	70.20	73.61	75.21	73.61
板橋-樹林	99.84	84.74	92.71	84.74

單位：km/h

表5.7 基準運轉時間參數表

站名	下行基準運轉時間(分鐘)		上行基準運轉時間(分鐘)	
	PP 電車組	通勤電車	PP 電車組	通勤電車
松山	○	○	○	○
	5.25	5.50	5.25	5.50
台北	○	○	○	○
	3.00	3.25	3.00	3.50
萬華	○	○	○	○
	4.00	4.75	4.50	4.75
板橋	○	○	○	○
	4.00	4.50	3.75	4.50
樹林	○	○	○	○

表5.8 最小運轉時間參數表

站名	下行基準運轉時間(分鐘)		上行基準運轉時間(分鐘)	
	PP 電車組	通勤電車	PP 電車組	通勤電車
松山	○	○	○	○
	4.75	5.00	4.75	5.00
台北	○	○	○	○
	2.75	3.00	2.75	3.25
萬華	○	○	○	○
	3.75	4.50	4.25	4.50
板橋	○	○	○	○
	3.75	4.25	3.50	4.25
樹林	○	○	○	○

表5.9 各車站停站時間參數表

車站	PP 推拉式電車組	通勤電車
松山	1.5	1
台北	4	4
萬華	0	1
板橋	1.5	1
樹林	1	1

單位：分鐘

經由可靠度模擬模式，便可獲得各區段之列車流量與平均實際延滯時間的關係，如圖 5-17，參考臺鐵之規定：列車到達終點站延誤 5 分鐘以內者謂之列車準點，因此本案例以平均實際延滯時間 5 分鐘當作是路線利用率可接受的標準，計算其所對應的列車流量。

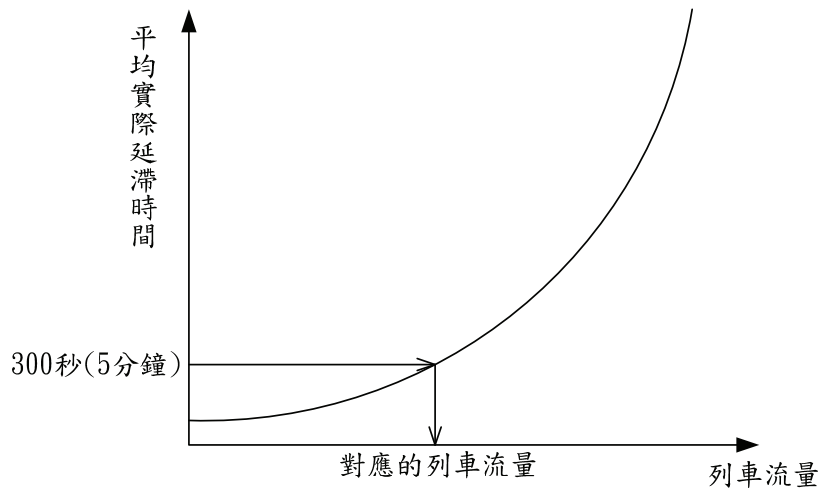


圖5-17 計算平均實際延滯時間 5 分鐘所對應的列車流量示意圖

在推拉式電車組與通勤電車之組成比例為 1：3 的情況下，計算當平均實際延滯時間 5 分鐘時，各區段所對應的列車流量，如表 5.10 所示。

表5.10 在平均實際延滯時間 5 分鐘下各區段所對應的列車流量

區段	松山 ↓ 台北	台北 ↓ 萬華	萬華 ↓ 板橋	板橋 ↓ 樹林	樹林 ↓ 板橋	板橋 ↓ 萬華	萬華 ↓ 台北	台北 ↓ 松山
流量 (TU/h)	15.20	17.49	15.80	18.21	15.02	11.28	16.02	14.13

以不同寬裕係數計算而得的各區段之容量為分母，與上述各區段之列車流量相比，作該區段可接受之路線利用率，如表 5.11。當寬裕係數為 0 時，各區段可接受的路線利用率平均為 78.7 %，標準差為 2.94，和過去文獻建議不超過 80%相去不遠；當寬裕係數為 0.35 時，

各區段之路線利用率平均為 106.3%，標準差為 3.99，可知前期研究稍微高估了寬裕係數。根據表 5.11 之結果，若以路線利用率不超過 100% 為準，則進行容量分析時，保守建議寬裕係數應設為 0.3。

表5.11 在不同寬裕係數下各區段可接受的路線利用率

區 段 寬 裕	松山 ↓ 台北	台北 ↓ 萬華	萬華 ↓ 板橋	板橋 ↓ 樹林	樹林 ↓ 板橋	板橋 ↓ 萬華	萬華 ↓ 台北	台北 ↓ 松山	平 均	標 準 差
0.00	77.79	81.42	81.32	79.62	78.72	72.82	81.24	76.80	78.72	2.94
0.05	81.68	85.53	85.41	83.61	82.62	76.47	85.30	80.60	82.65	3.10
0.10	85.59	89.60	89.47	87.59	86.57	80.11	89.35	84.46	86.59	3.24
0.15	89.46	93.63	93.49	91.55	90.48	83.74	93.41	88.31	90.51	3.38
0.20	93.37	97.71	97.59	95.54	94.47	87.37	97.50	92.11	94.46	3.54
0.25	97.25	101.8	101.7	99.50	98.36	91.04	101.5	95.99	98.39	3.68
0.30	101.1	105.9	105.7	103.5	102.3	94.63	105.6	99.79	102.3	3.84
0.35	105.0	109.9	109.8	107.5	106.2	98.3	109.7	103.7	106.3	3.99

5.5.2 車站內軌道配置型式之影響

軌道佈設型式係屬於路線條件之一，影響著號誌時距的計算，從前期容量之研究結果已知，車站內的軌道佈設型式會影響路線容量的大小^[3]，而在可靠度方面，由圖 5-1 之架構可知，其亦會影響列車平均延滯時間之結果。

為了瞭解車站內的軌道佈設型式究竟對路線容量，以及列車平均延滯時間造成的影響為何，因此以板橋→樹林區段作為例子，分別比較若兩車站之站內軌道佈設為第 I 型（兩島四股道）、第 II 型（一島一岸壁三股道無平面交叉），和第 III 型（一島一岸壁三股道有平面交叉）等不同組合下，其路線容量與平均延滯時間的結果。在本案例中

所使用的各項分析參數，除了兩站的車站軌道佈設類型外，其他的皆和上一案例相同。

圖 5-18 為由容量分析模式計算而得的結果，可發現當站內軌道配置組合愈差時其路線容量愈低。在各種軌道配置組合下，可透過可靠度模擬模式計算當列車流量為 10TU/h 時，其所對應的平均延滯時間，如圖 5-19 所示，所獲得的結果整理如圖 5-20 和圖 5-21，無論是排班延滯或是實際延滯，在固定列車流量下，路線容量愈低都將導致平均延滯時間的增加。

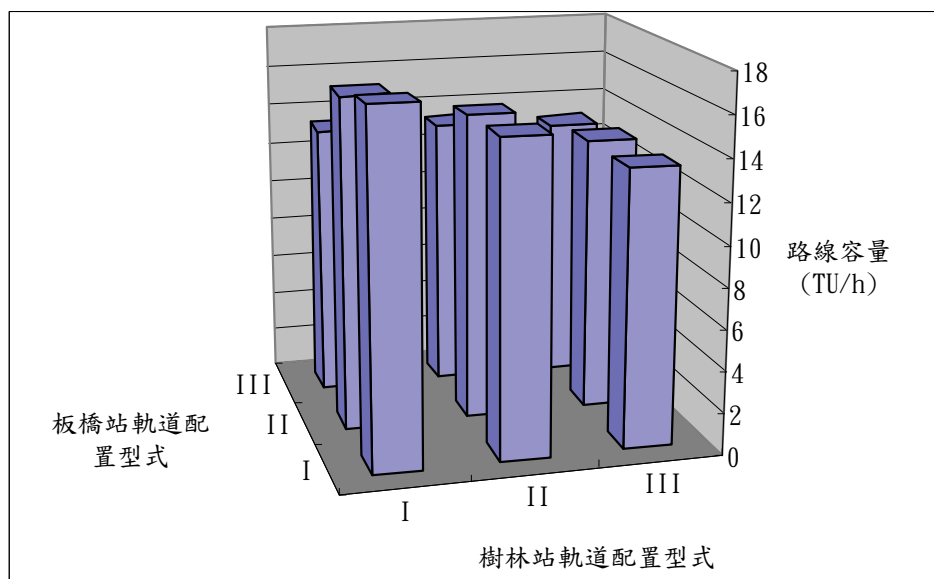


圖5-18 不同站內軌道配置下的路線容量

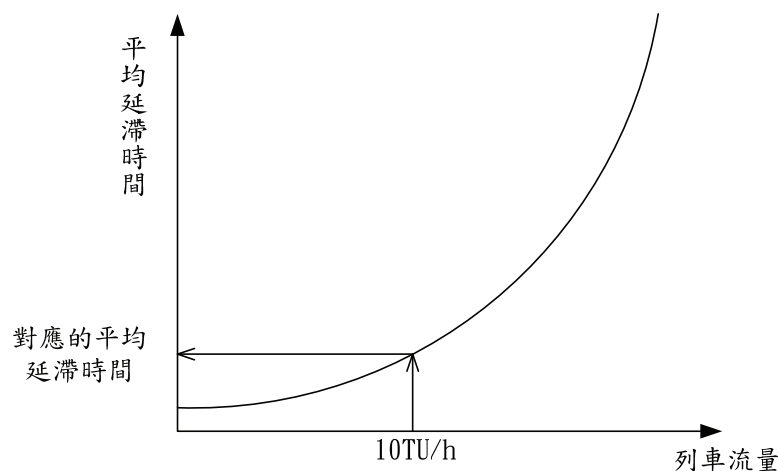


圖5-19 計算列車流量 10TU/h 所對應的平均實際延滯時間示意圖

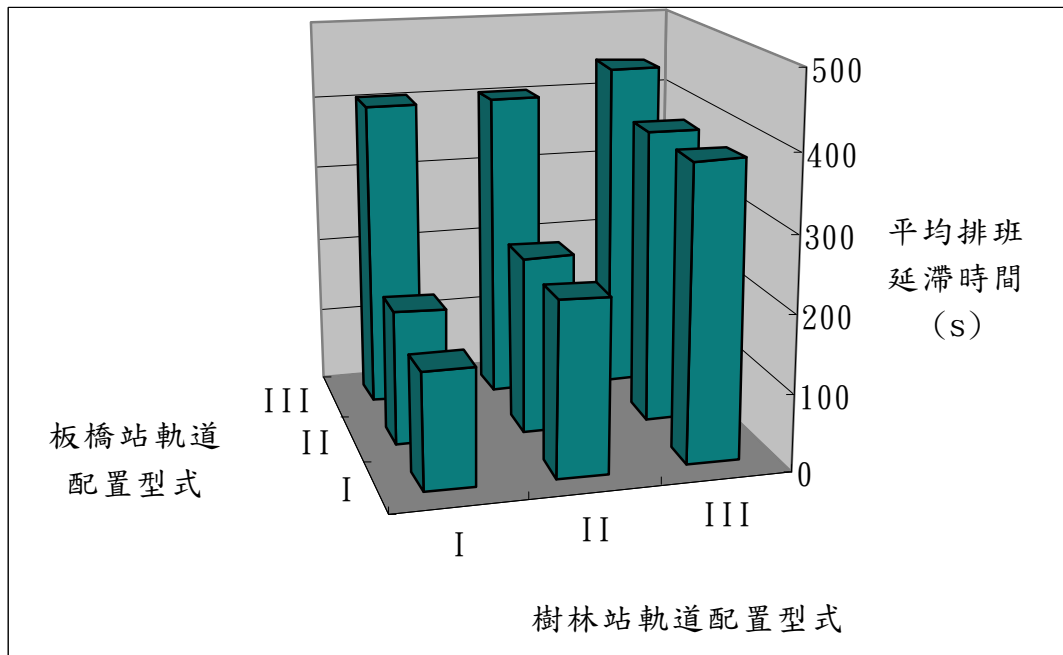


圖5-20 不同站內軌道配置下的平均排班延滯時間

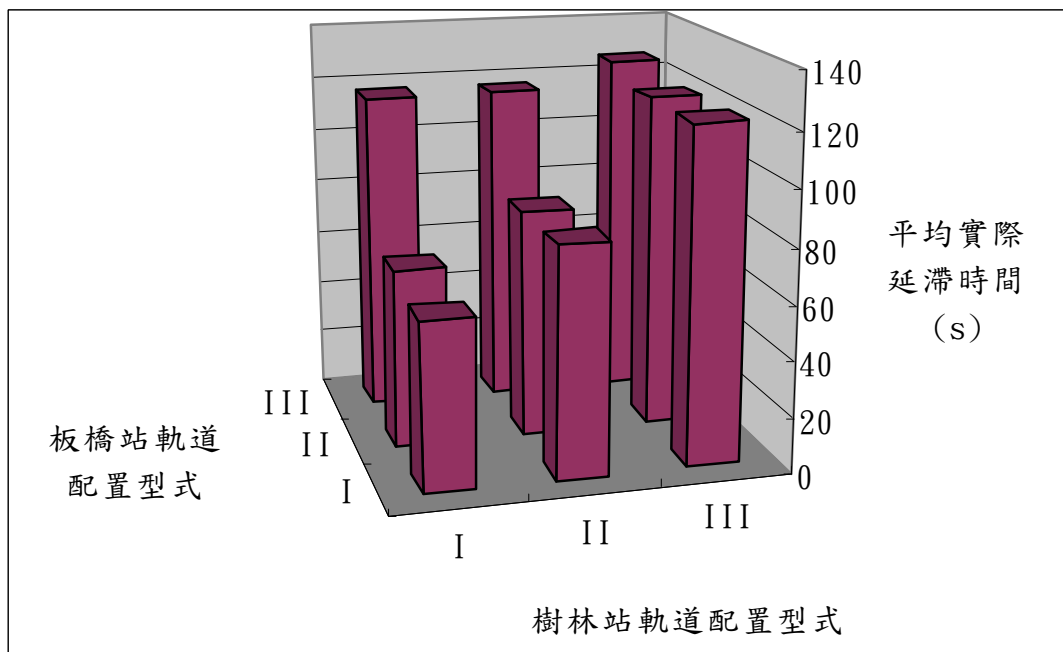


圖5-21 不同站內軌道配置下的平均實際延滯時間

5.5.3 車種組成比例之影響

由於不同車種的速度不一，停站方式不同，因此會影響到列車的安全運轉^[7]，在一般的先驗知識中，認為車種組成愈單純，路線容量和列車的可靠度則會愈高，本案例利用前期研究的容量分析模式與本研究的可靠度模擬模式，進一步針對此概念進行探討。

以樹林→板橋區段為例，所採用的參數如表 5.2～表 5.9，而推拉式電車組和通勤電車兩車種之比例從 0:1 開始，逐步提高推拉式電車組的比重，直到其組成比例為 1:0，分析在各車種組成比例下的路線容量，結果如圖 5-22，以及當列車流量為 10 TU/h 時的平均延滯時間，結果如圖 5-23和圖 5-24。

綜整來說，本案例之結果驗證了車種組成愈單純，則路線容量愈高、可靠度亦愈高的結論。由圖 5-22可知，當車種組成單純，即推拉式電車組之比重趨近 0 或 1 時，路線容量較高；而當車種組成較複雜，即推拉式電車組和通勤電車各占有一定比例時，路線容量較低。在圖 5-23中，當車種組成複雜則平均排班延滯時間較高，意味排班時排除衝突所造成的延滯時間較多。圖 5-24中，當車種組成愈單純，其平均實際延滯時間愈低，表示其列車服務的可靠度愈高。

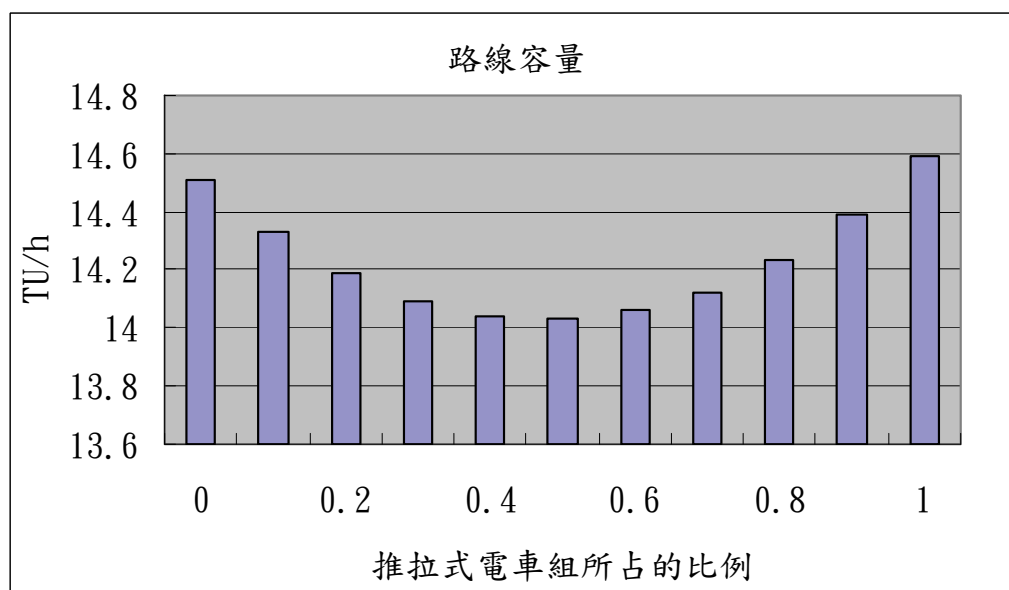


圖5-22 不同車種組成下的路線容量

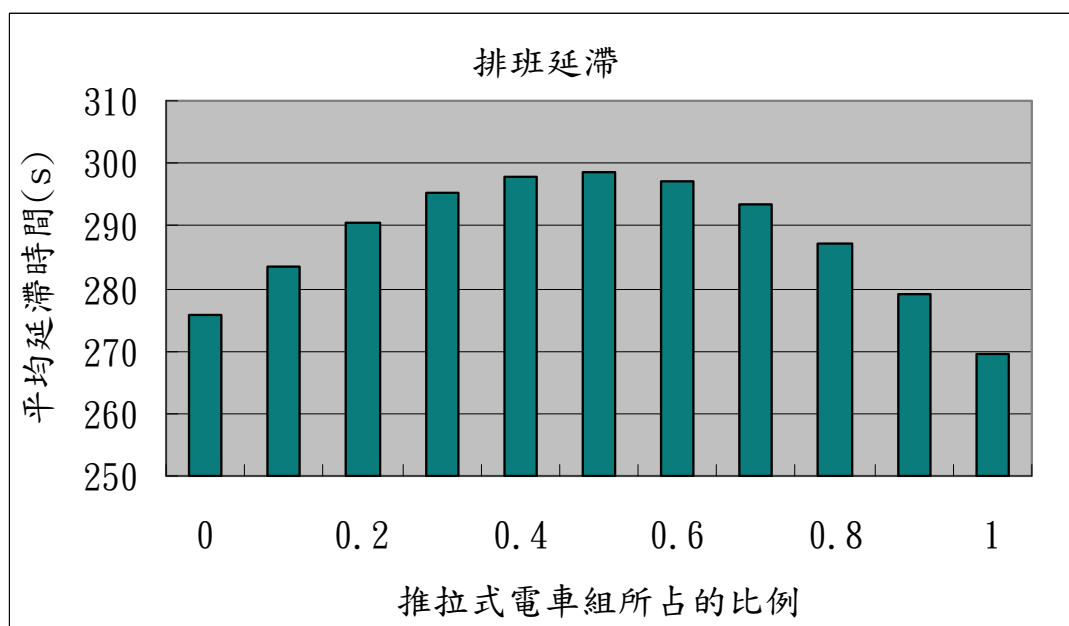


圖5-23 不同車種組成下的平均排班延滯時間

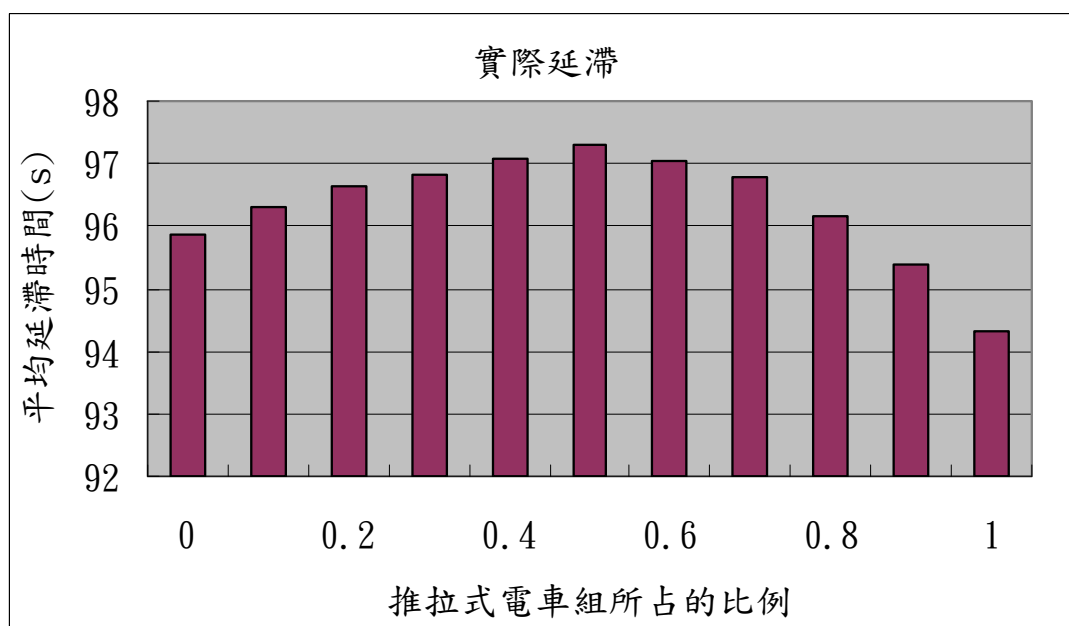


圖5-24 不同車種組成下的平均實際延滯時間

5.5.4 站間運轉時間寬裕之影響

一般人認為增加站間運轉時間寬裕就能提高可靠度，例如：假設某列車從甲站到乙站需 1 小時，而排班時排 2 個小時，則列車一定不容易誤點，因為即使中途誤點也能夠靠趕點趕回來。然而這樣的見解是否正確，在現實世界中不可能真正去實驗這樣的情況，但藉由模擬模式可在電腦中進行模擬而得知結果。

本案例便是要探討站間運轉時間寬裕對可靠度的影響，以萬華→板橋區段為例，採用之參數如表 5.2～表 5.6、表 5.8 和表 5.9，而各車種之基準運轉時間是以表 5.8 之最小運轉時間為基準，利用公式(5.8)計算而得。

$$t_i = (1 + \beta_r) \cdot t_{i,\min} \quad (5.8)$$

其中： β_r =站間運轉時間寬裕係數

透過容量分析模式，可得到在不同的站間運轉時間寬裕下，對路線容量之影響，如圖 5-25；而透過可靠度模擬模式，可得到在不同的站間運轉時間寬裕下，對排班延滯和實際延滯之影響，如圖 5-26 和圖 5-27。

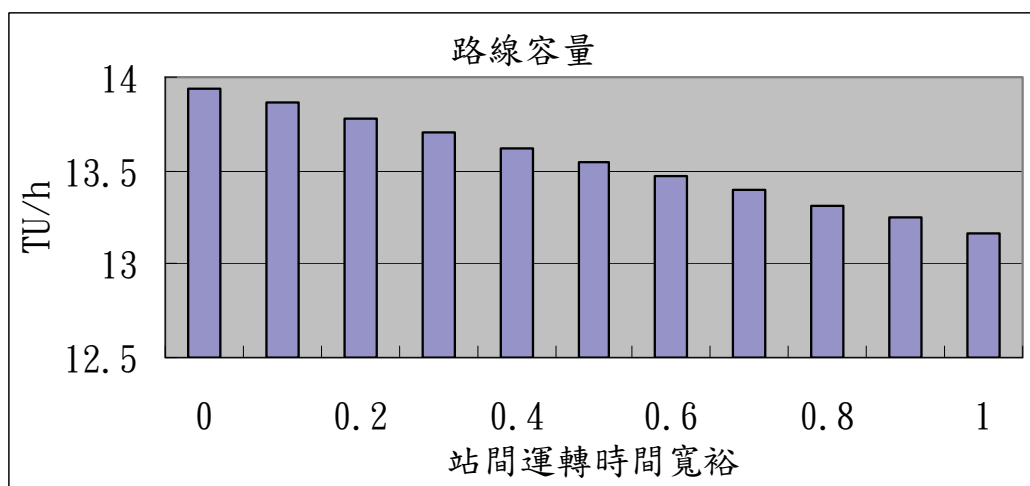
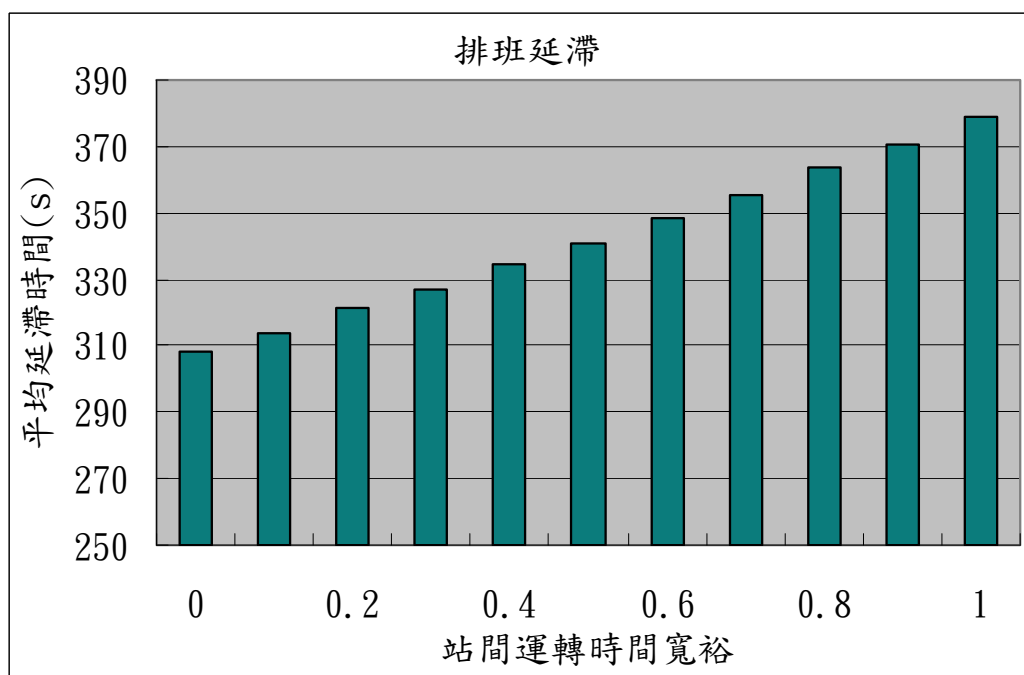
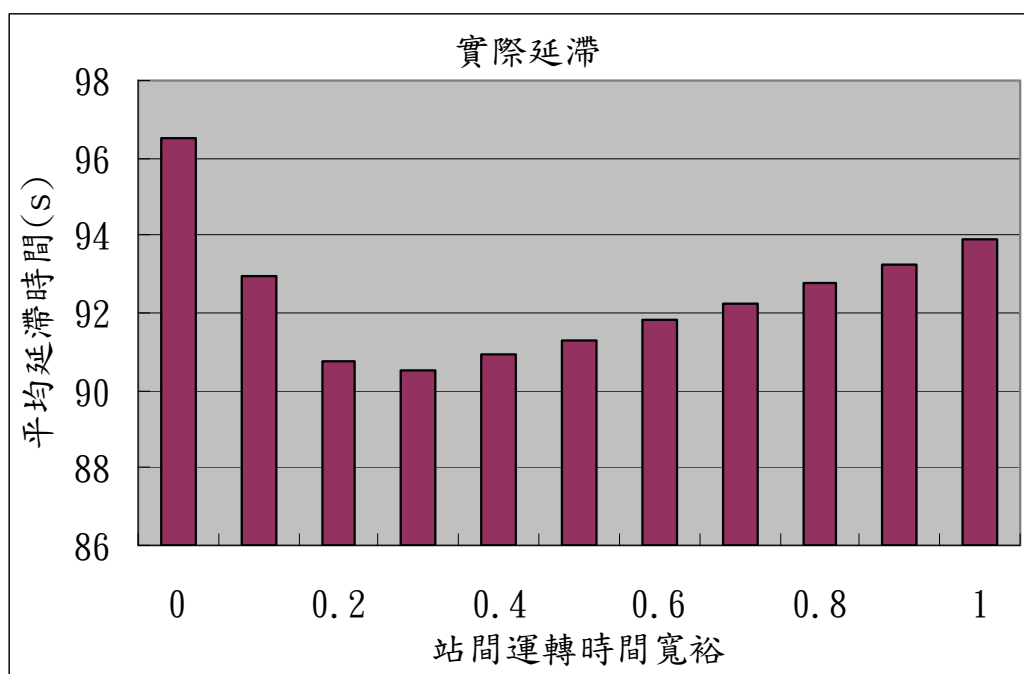


圖5-25 不同站間運轉時間寬裕下的路線容量



註解：此為當列車流量 10 TU/h 時所對應平均排班延滯時間

圖5-26 不同站間運轉時間寬裕下的平均排班延滯時間



註解：此為當列車流量 10 TU/h 時所對應平均實際延滯時間

圖5-27 不同站間運轉時間寬裕下的平均實際延滯時間

由於隨著站間運轉時間寬裕的增加，各車種之間的速差增加，因此提高了各車種間的待避時間，從圖 5-25可發現路線容量便隨之降低，而平均排班延滯時間則相對提高（圖 5-26），以上皆符合預期，不過對平均實際延滯時間的影響則不然。圖 5-27中，在沒有任何寬裕的情況下平均實際延滯時間會最高，如果增加了些許寬裕，則對於降低延滯時間有所幫助，但這樣的改善效果是有限度的，若增加更多寬裕，則平均實際延滯時間不降反升。

當沒有任何站間運轉時間寬裕時，列車發生延誤時無法進行趕點，理所當然延滯會最高。當加入寬裕後，列車延誤後能夠進行趕點，便能追回先前延誤的時間、減少延滯，但是列車即便能夠追回延誤時間也不能追越前車，而且要和前車保持號誌時隔，所以當寬裕給得太多，則會有多餘的寬裕無法有效使用，因而造成平均實際延滯時間呈現先下降後上升的情況。

由上述結果可知，雖然增加站間運轉時間寬裕可提高可靠度，但其效果有限。此外，若進一步比較在不同列車流量下，寬裕從 0 增加到 0.1 對延滯的改善情形，如表 5.12，可發現當列車流量低時，改善效果較佳。

表5.12 在不同列車流量下增加寬裕對實際延滯時間的改善情形

列車流量 (TU/h)	寬裕為 0 的平均 實際延滯時間(s)	寬裕為 0.1 的平均 實際延滯時間(s)	延滯改善百分比 (%)
12	141.96	137.48	3.16
11	116.85	112.83	3.44
10	96.52	92.94	3.71
9	79.55	76.43	3.92
8	65.31	62.66	4.06
7	53.17	50.94	4.19
6	42.72	40.83	4.42
5	33.57	32.03	4.59
4	25.39	24.17	4.81
3	18.03	17.13	4.99
2	11.46	10.87	5.15
1	5.50	5.21	5.27

第六章 傳統鐵路容量分析軟體輔助工具

程式之開發

在上一章中介紹了列車服務可靠度分析模擬模式，然而模擬模式尚需藉由電腦的強大運算能力來獲得模擬結果，因此本研究亦將之開發成工具程式，並整合至前期研究所發展的傳統暨區域鐵路系統軌道容量分析軟體中，作為其輔助工具，使其功能更加完備。

6.1 程式開發流程

程式的開發流程如圖 6-1所示，包含需求分析、系統分析設計、程式開發和測試驗證等幾項工作，以下分別說明各項工作的內容。

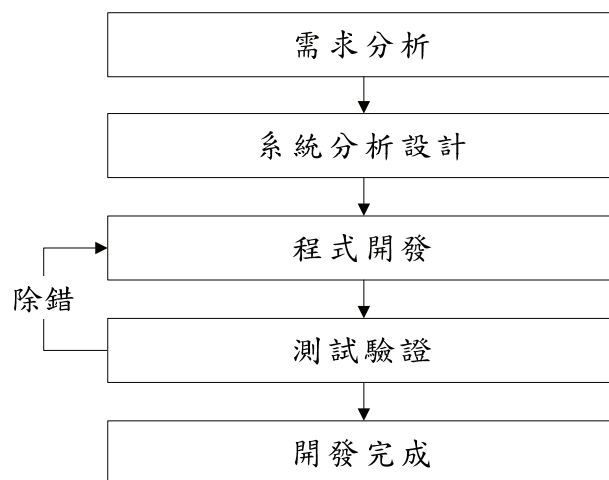


圖6-1 程式開發流程

1. 需求分析

本程式作為傳統鐵路容量分析軟體之輔助工具，其主要功能為進行可靠度模擬分析，此外需讓使用者可自由決定欲分析之區段、調整相關參數，以及檢視與輸出分析結果。

進行可靠度分析所需的各項輸入資料包含列車的車種組成、運轉時間和號誌時距等，其中車種組成和運轉時間在容量分析軟體中也含有相同的資料，而號誌時距是容量分析軟體的計算結果之一，因此考量將本程式整合至容量分析軟體之中，此作法有以下幾點優點：

- (1) 使用者不需為了進行可靠度分析，再次輸入相同的資料。
- (2) 提供一致的操作環境，讓使用者容易上手。
- (3) 進行可靠度分析不需新建專案，且過去容量分析的專案亦可直接用來進行可靠度分析。

2. 系統分析設計

在既有的傳統鐵路軌道容量分析軟體之功能架構中，大致可分為參數輸入、分析計算和結果輸出三大部分，如圖 6-2所示，由於可靠度分析所需的參數，絕大部分來自原有的容量分析軟體中，因此可直接加以運用，需新增的部分為可靠度分析計算功能和可靠度分析圖的輸出。

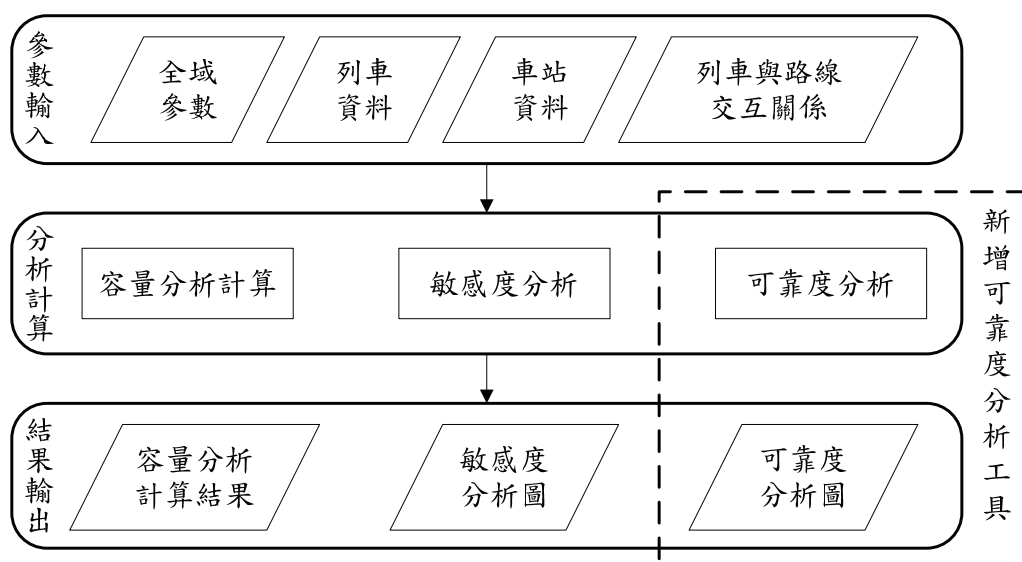


圖6-2 新增可靠度分析輔助工具架構圖

除了功能上的整合，在介面上也需進行整合，使用者才能使用新增的可靠度分析輔助工具。在原本的容量分析軟體介面中包含許多頁

面，分別提供參數輸入、檢視計算結果與敏感度分析等功能，因此可靠度分析可直接在原有的介面中增加一個新頁面，如圖 6-3所示，該頁面可讓使用者輸入可靠度分析專用的相關參數，以及檢視分析結果。

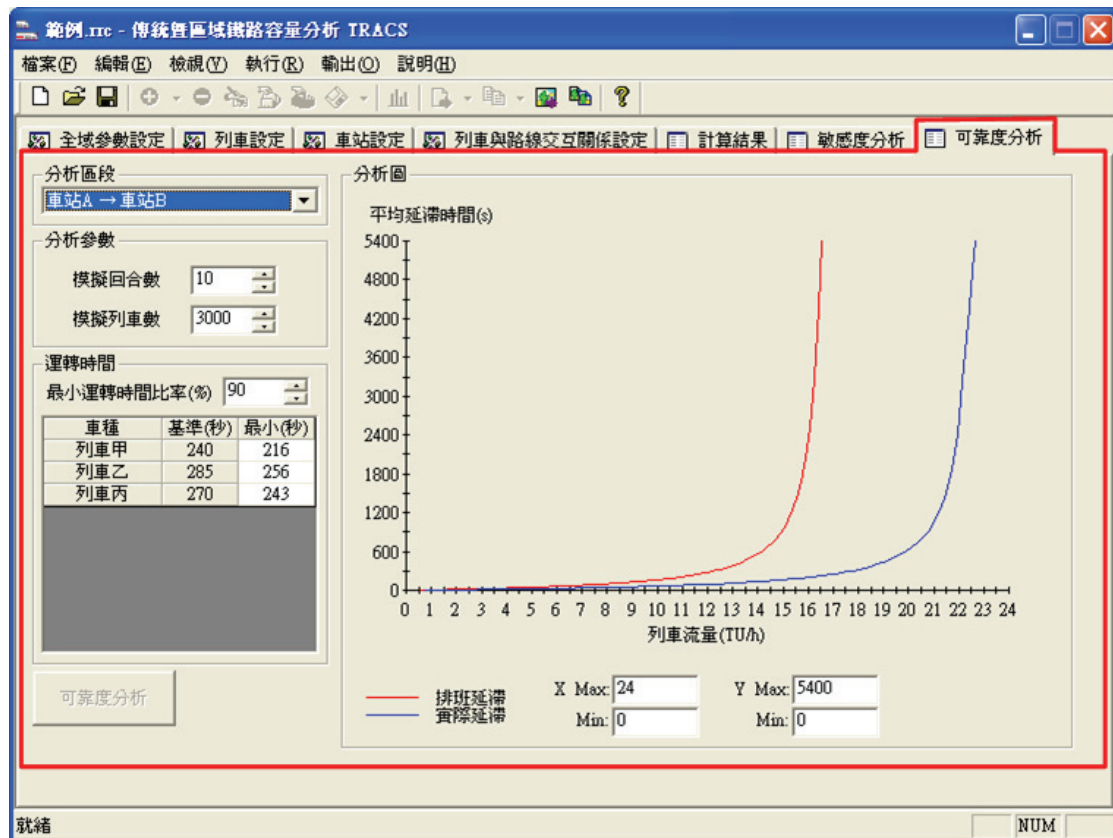


圖6-3 新增可靠度分析輔助工具之介面

3. 程式開發

以 Microsoft Visual Studio 2005 為開發平台，使用的程式語言為 C++，並搭配 MFC (Microsoft Foundation Class) 以及 Component One 元件，根據前述的分析設計結果撰寫、編譯程式碼，以及在測試驗證後進行除錯和修訂。

4. 測試驗證

程式開發完成後，透過進行測試與驗證以確保其品質，內容包含確認模擬核心的正確性、視窗程式的行為是否符合預期…等。至於有

關本研究可靠度分析模擬模式之測試驗證，係依據 5.4 節所述之方式進行。

6.2 程式操作說明

在傳統暨區域鐵路系統軌道容量分析軟體中開啟或新建專案，且設定好列車、車站、交通組成等相關資料後，便能進行可靠度分析。

欲進行可靠度分析，首先在頁面切換標籤內點選【可靠度分析】，如圖 6-4，主頁面便會切換到【可靠度分析】頁面，以下將詳細介紹該如何進行可靠度分析。

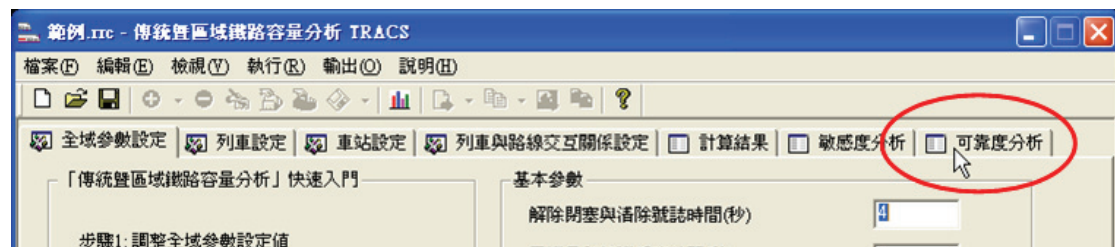


圖6-4 選擇可靠度分析頁面

6.2.1 操作介面介紹

可靠度分析頁面的介面如圖 6-5所示，共可分為四個部分：

1. 分析區段：列出專案內所有區段供使用者挑選作為分析基礎
2. 分析參數：供使用者設定可靠度分析的相關參數
3. 運轉時間：顯示各車種的基準運轉時間與最小運轉時間
4. 分析圖：顯示可靠度分析之結果

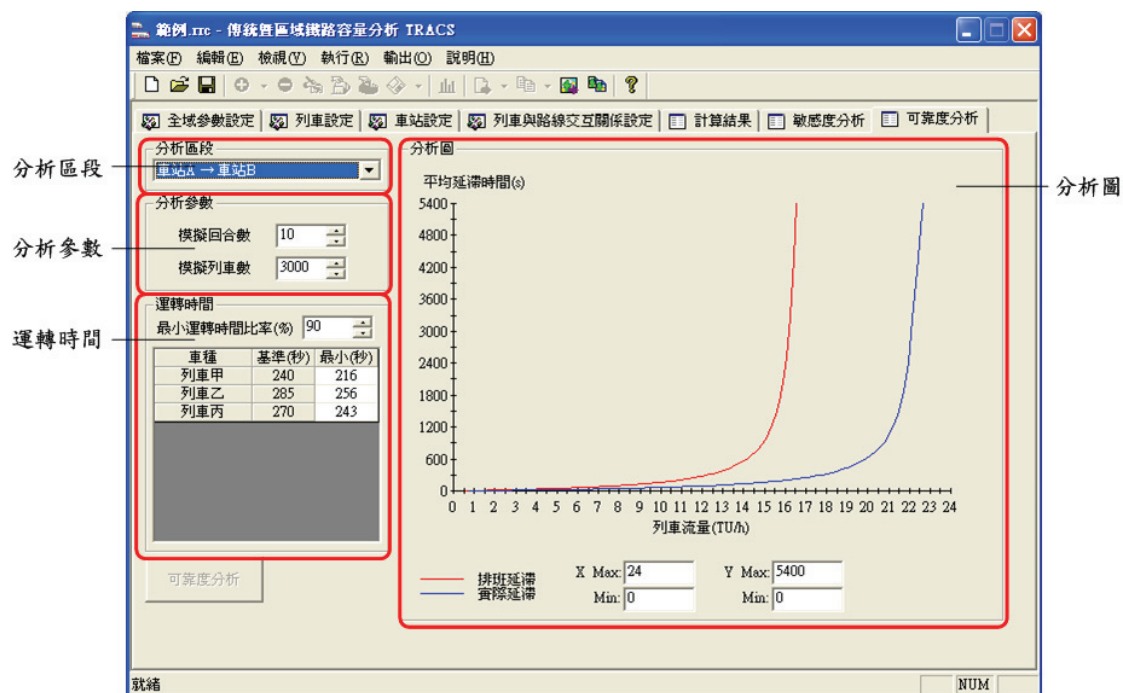


圖6-5 可靠度分析頁面

6.2.2 進行可靠度分析

進行可靠度分析有四步驟，分別說明如下：

1. 選擇分析區段

在「分析區段」的下拉式選單中選擇欲分析之區段，如圖 6-6，該區段所對應的列車、車站、交通組成，與路線交互關係等資料和專案中一致。

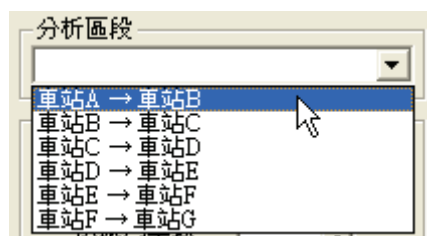


圖6-6 選擇欲分析之區段

若該區段尚未設定列車與路線交互關係，則無法進行可靠度分析，程式會出現圖 6-7之提示；若該區段為單線運轉，由於可靠度分析模式是以複線運轉為前提，故不能進行分析，程式會以圖 6-8提示。



圖6-7 尚未設定列車與路線交互關係的提示對話盒

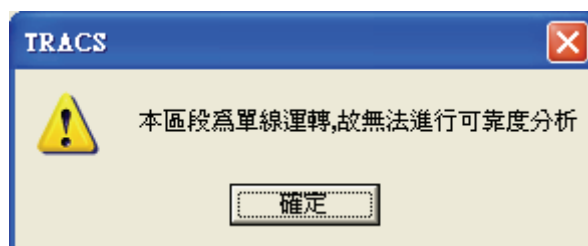


圖6-8 區段為單線運轉的提示對話盒

2. 設定分析參數

設定模擬分析的回合數與列車數，如圖 6-9，此兩參數值設愈高可得到較為精確之模擬結果，但進行模擬分析的時間也會愈長，因此建議採用預設值即可，其預設值與範圍等資訊如表 6.1。

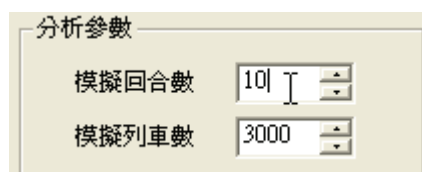


圖6-9 設定分析參數

表6.1 可靠度分析參數之預設值與合理性檢查列表

參數名稱	型態	單位	預設值	合理性檢查
模擬回合數	整數	—	10	[1, 20]
模擬列車數	整數	—	3000	[500, 8000]

3. 設定最小運轉時間

當選定欲分析之區段後，介面便會顯示通過該區段的各車種名稱、基準運轉時間和最小運轉時間，如圖 6-10所示，其中基準運轉時間是由使用者在【列車與路線交互關係設定】頁面中設定，在此頁面僅提供檢視，而最小運轉時間是由程式即時計算而得，其公式為：

$$\text{最小運轉時間} = \text{基準運轉時間} \times \text{最小運轉時間比率} \quad (6.1)$$

在程式自動計算最小運轉時間後，使用者還是可以針對個別車種的最小運轉時間進行調整，有關最小運轉時間比率以及各車種最小運轉時間的預設值與範圍如表 6.2。

車種	基準(秒)	最小(秒)
列車甲	240	216
列車乙	285	256
列車丙	270	243

圖6-10 設定最小運轉時間

表6.2 最小運轉時間參數之預設值與合理性檢查列表

參數名稱	型態	單位	預設值	合理性檢查
最小運轉時間比率	整數	%	90	[1, 100]
最小運轉時間	整數	秒	註	[1, 基準運轉時間]

註：最小運轉時間的預設值是根據最小運轉時間比率即時計算而得。

4. 進行分析

按下頁面左下角的【可靠度分析】按鈕，程式便會開始進行可靠度分析，由於模擬分析需較長的時間，因此在進行分析的時候，畫面會提示「正在進行可靠度分析」，如圖 6-11所示，當分析完成後便會自動在分析圖中顯示分析結果。

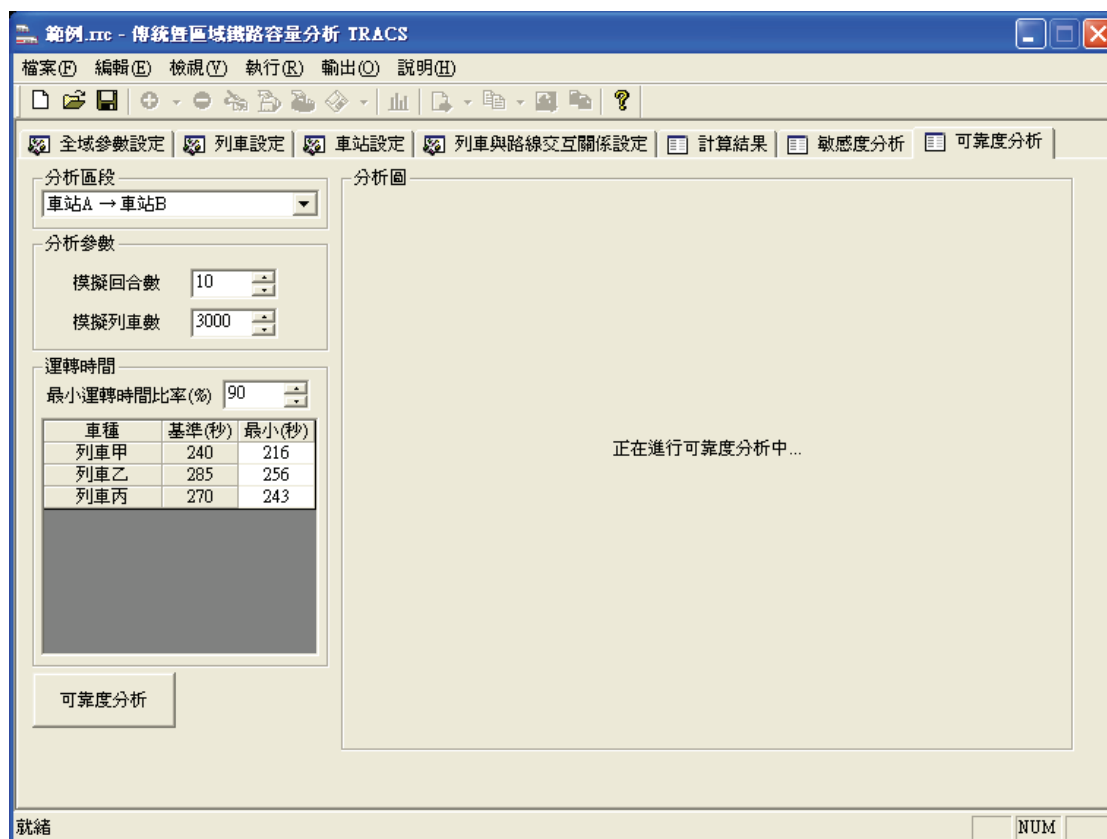


圖6-11 進行可靠度分析

6.2.3 檢視與輸出分析結果

圖 6-12為完成可靠度分析後的畫面，分析圖中會顯示兩條曲線，分別是經由排班延滯模式和實際延滯模式模擬得到的結果，使用者可在分析圖下方自行設定欲檢視的座標軸範圍。

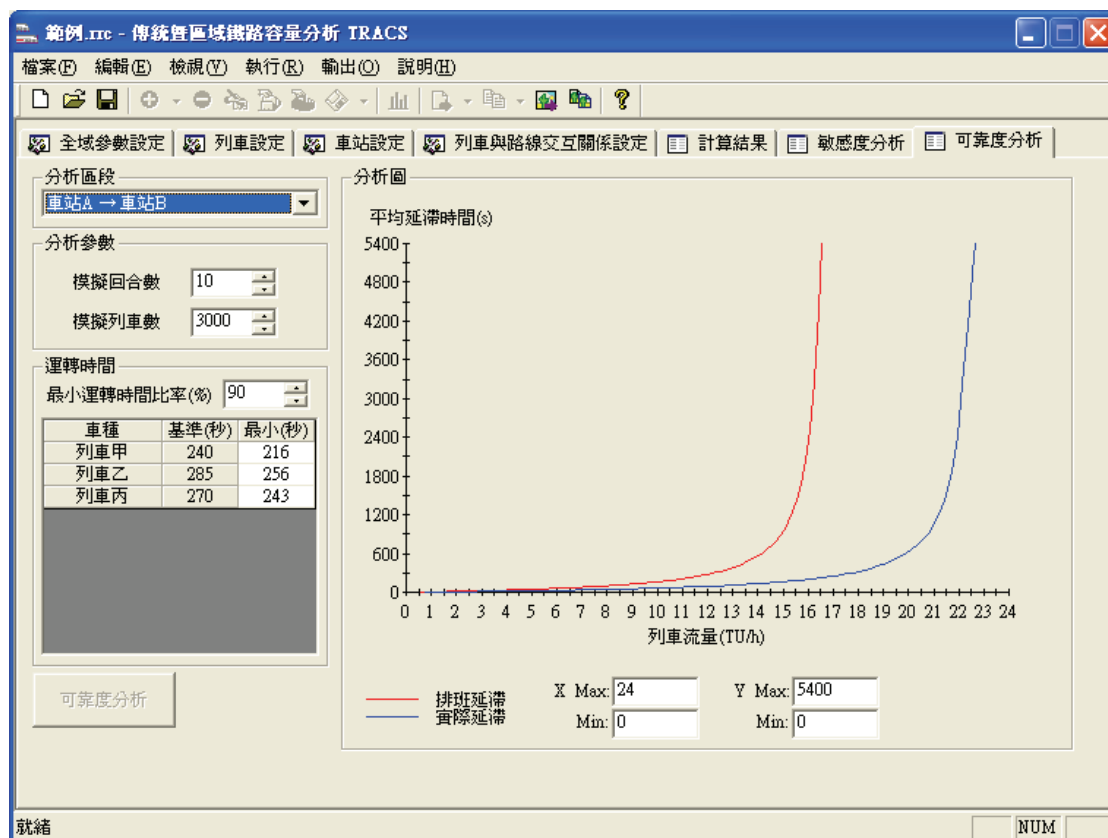



圖6-12 顯示可靠度分析結果

若要將分析結果輸出，本程式提供點陣圖（副檔名為「bmp」）和向量圖（副檔名為「wmf」）兩種檔案格式，此外亦可將分析圖複製到剪貼簿中，其操作方式如下：

1. 輸出圖檔

在【可靠度分析】頁面中，點選功能表上【輸出 | 輸出圖檔】，或按工具列上按鈕，程式會出現如圖 6-13之對話盒，指定存檔類型、路徑與檔名後，按【儲存】便可完成輸出工作。

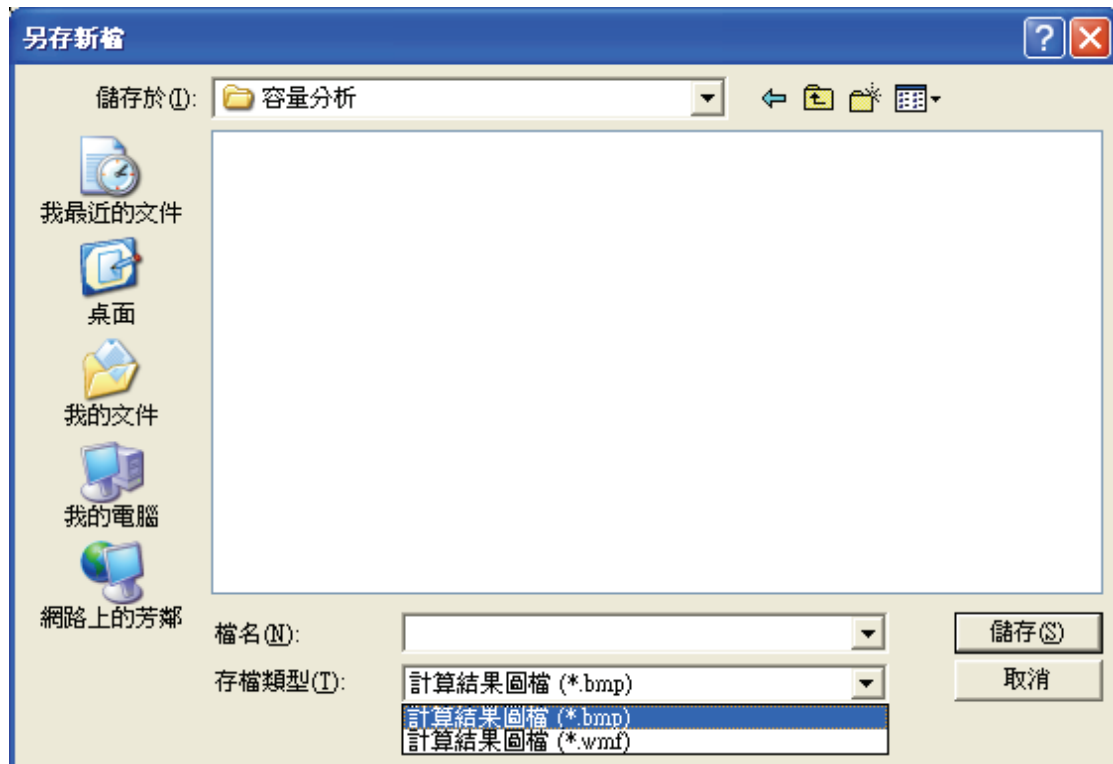



圖6-13 輸出可靠度分析結果圖檔之對話盒

2. 複製至剪貼簿

在【可靠度分析】頁面中，點選功能表上【輸出 | 複製圖案】，或按工具列上【】按鈕，即可完成複製到剪貼簿的動作。在完成複製後，可在其他軟體進行貼上動作，舉凡常見的 Microsoft Word, Microsoft Excel, Microsoft Visio 等軟體均能以「貼上」方法將資料拷貝至該軟體中進行其他應用，圖 6-14則為在 Word 貼上之畫面。

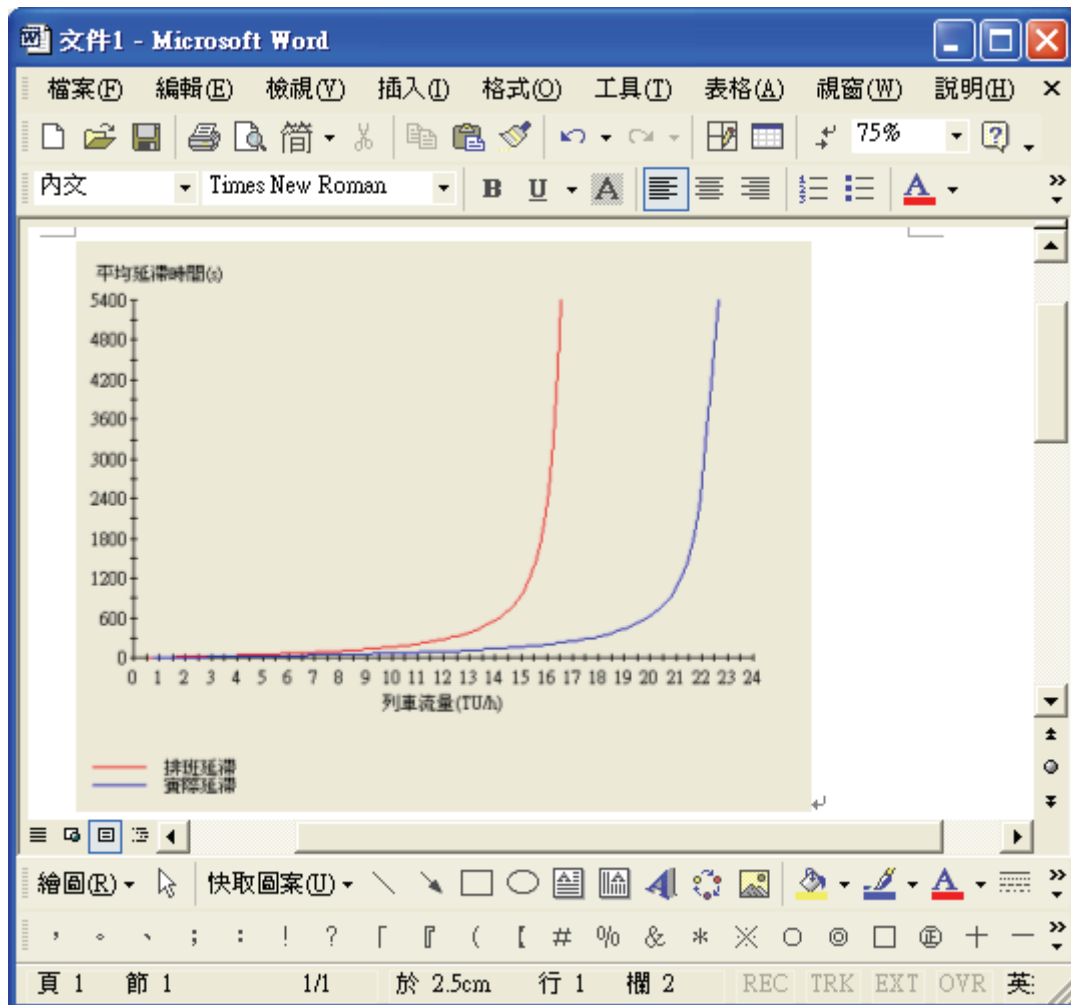


圖6-14 可靠度分析結果複製至剪貼簿後在 Word 軟體貼上之畫面

第七章 都會捷運系統運轉時隔分析模式

分析軌道容量時，必須計算連續兩列車之間的最小運轉時隔，亦即兩連續列車通過路線上某一點的最小時間間隔。本章將針對都會捷運系統，發展運轉時隔的分析模式。以下首先說明都會捷運系統的特性及運轉時隔的基本概念，接著介紹都會捷運系統的號誌及行車控制系統，最後再據此發展都會捷運系統於不同地點之最小運轉時隔的分析模式。

7.1 都會捷運的系統特性

國內最早的都會捷運系統為臺北的木柵線中運量捷運系統，於民國 85 年完工通車，隨後高運量捷運系統亦陸續加入營運，民國 97 年高雄捷運系統也開始通車營運，而目前台中捷運系統及台北捷運環狀線也陸續發包設計當中。

捷運系統與傳統鐵路雖然均為軌道運輸系統，但就軌道容量分析的角度而言，捷運系統具有下列特性，這些特性對於軌道容量的計算有很大的影響：

1. 路線條件

- (1) 捷運系統絕大部分的區間均為雙線區間，而且常態運轉時均採用複線運轉，亦即每一股道都有特定的運轉方向，列車通常是靠右側的軌道行駛。
- (2) 捷運車站內通常上下行僅有一股軌道，並無副正線的配置，一般而言是採一島兩股道或兩側式月台兩股道的配置方式。
- (3) 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（例如台北捷運系統淡水站），而側式月台則通常為站後折返（例如木柵線中山國中站）^[2]。

- (4) 站間距離較傳統鐵路及高速鐵路短許多，平均站距約 1 公里。
- (5) 國內捷運系統的路線供電電壓為 750V，電流型式為直流電，採用第三軌供電；牽引變電站的距離約 1.7~2.0 公里一座。
- (6) 都會捷運具有完全立體分隔的專用路權，列車運行不受其他公路交通的影響。

2. 交通條件

- (1) 目前國內高運量捷運系統的最高營運速度為 80 km/h，中運量木柵線則為 70 km/h，遠低於傳統鐵路的 130 km/h 以及高速鐵路的 300 km/h。
- (2) 由於站距短，為了提高營運速度，捷運列車的加減速性能會優於城際鐵路系統，一般均可達 1.0 m/s^2 以上的水準。
- (3) 捷運系統通常採用完全相同或性能相近的列車來營運，車廂內大多以站位為主，座位較少。
- (4) 目前除了木柵線捷運系統之外，高運量捷運系統的每節車廂之間均有聯通道 (Gangway)，旅客可以在車廂內自由流動，故車廂間的乘載變異較小。
- (5) 為了縮短停車時間，捷運列車的車廂地板與月台同高，以便旅客可以快速上下車。
- (6) 捷運列車的服務型態單純，通常採用站站皆停的營運模式。

3. 控制條件

- (1) 目前國內的捷運系統皆配備自動列車控制系統 (Automatic Train Control, ATC)，其下包含自動列車防護系統 (Automatic Train Protection, ATP)、自動列車操作系統 (Automatic Train Operation, ATO) 及自動列車監測系統 (Automatic Train Supervision, ATS)。

- (2) 在常態運轉時，原則上列車為全自動駕駛（例如木柵線），即使配備司機員，通常亦僅負責列車靠站後的關門動作（例如臺北高運量捷運系統以及高雄捷運系統），運行過程列車仍為自動駕駛。
- (3) 採用人工駕駛模式時，仍須由司機員遵循號誌的指示來操控列車。在正線上除了車站以及橫渡線附近會設有路側號誌機之外，原則上捷運系統均以車載號誌（Cab Signal）為主。
- (4) 閉塞制度可以採用移動區間閉塞制（例如內湖線中運量系統），也可以採用固定區間閉塞制（例如臺北高運量捷運系統以及高雄捷運系統）。
- (5) 採用固定區間閉塞制時，為縮短運轉時隔，閉塞區間的長度通常較短，平均約 200~300 m，遠低於傳統鐵路。
- (6) 捷運系統採用多位式（Multi-Aspect）號誌系統，且以速度碼來控制列車的最高運行速度。以台北高運量捷運系統為例，列車在正線上的速度碼有 80 km/h、65 km/h、55 km/h、40 km/h、25 km/h、0 km/h 等位階。

7.2 運轉時隔的基本概念

從軌道容量分析基礎篇第七章的分析方法論之概論可知，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。由於都會捷運系統通常採用性能相近的列車來營運，且採站站皆停的服務模式，因此除了少數如日本的系統之外，大多數的都會捷運系統幾乎都沒有列車待避的行為；另外，都會捷運系統通常是上、下行方向各配置一股軌道，在常態運轉時，每一股道都有固定的運行方向，故亦無交會列車的需求，因此都會捷運系統的列車運轉時隔，通常僅有號誌安全時距、停站時間或停等時間（視情形而定），以及運轉寬裕時間，而沒有交會待避的損失時間，即

$$h = t_s + t_d + t_m \quad (7.1)$$

式中： h =列車的運轉時隔（s）

t_s =號誌安全時距（s）

t_d =列車的停站時間（s）

t_m =運轉寬裕時間（s）

受到號誌系統與軌道的佈置方式，以及列車運轉型態的不同，連續列車之間的最小運轉時隔會因地而異，而其中最大者將決定整條路線的容量。號誌系統的設計必須確保列車運行時不發生衝撞的危險，在分析軌道容量時，必須假設列車運轉過程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，因此列車之間必須保持適當的安全距離。以圖 7-1 的列車進出車站的過程為例，當先行列車在車站停靠時，續行列車必須距離車站有一段距離，由於先行列車在車站內靜止不動，故續行列車會逐漸接近車站，而最接近的情況為先行列車完成停站程序後，起動離開車站並清空月台時，此時兩列車最為接近。因此就運轉時隔而言，最繁忙的車站（停車時間最長的車站）通常也會是路線的瓶頸。例如圖 7-2 的列車運行圖中，列車在車站 D 的停車時間最久，因此即使列車在其他車站的運轉時隔可以壓縮，但就整個路線而言，列車於車站 D 的運轉時隔仍會決定整條路線的容量。根據美國軌道捷運容量報告^[48]的統計，大約有 79% 的捷運路線瓶頸是發生在最繁忙的車站。

捷運系統列車運轉的另一個瓶頸是端末車站，捷運系統的端末車站沒有一定的配置型式，但一般而言，島式月台通常配置站前橫渡線供列車折返（例如台北捷運系統淡水站），而側式月台則通常為站後折返（例如木柵線中山國中站）^[2]。圖 7-3 為島式月台配置剪式橫渡線的列車折返情形，假設一開始月台上沒有列車，而第一列車駛入端末車站下方的月台面折返，因此第二列車必須經橫渡線駛入上方的月台面，如此反覆進行，則(3)、(4)、(5)、(6)會交替不斷的重複。而圖 7-4

的側式月台站後折返的情形也大致類似，透過路徑與號誌的連鎖，列車可以使用不同的尾軌來進行折返的作業。

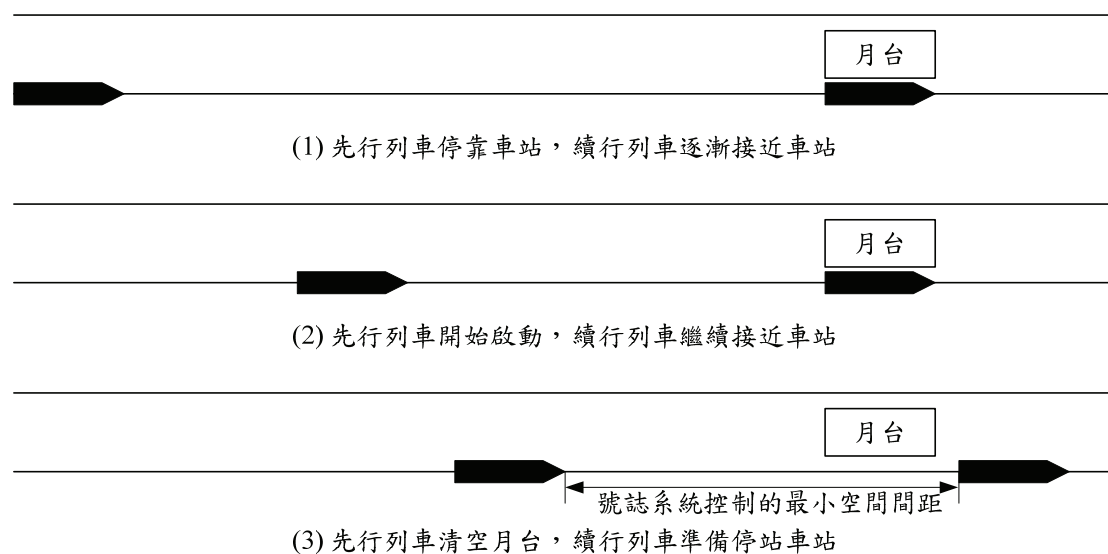


圖7-1 列車進出車站的程序

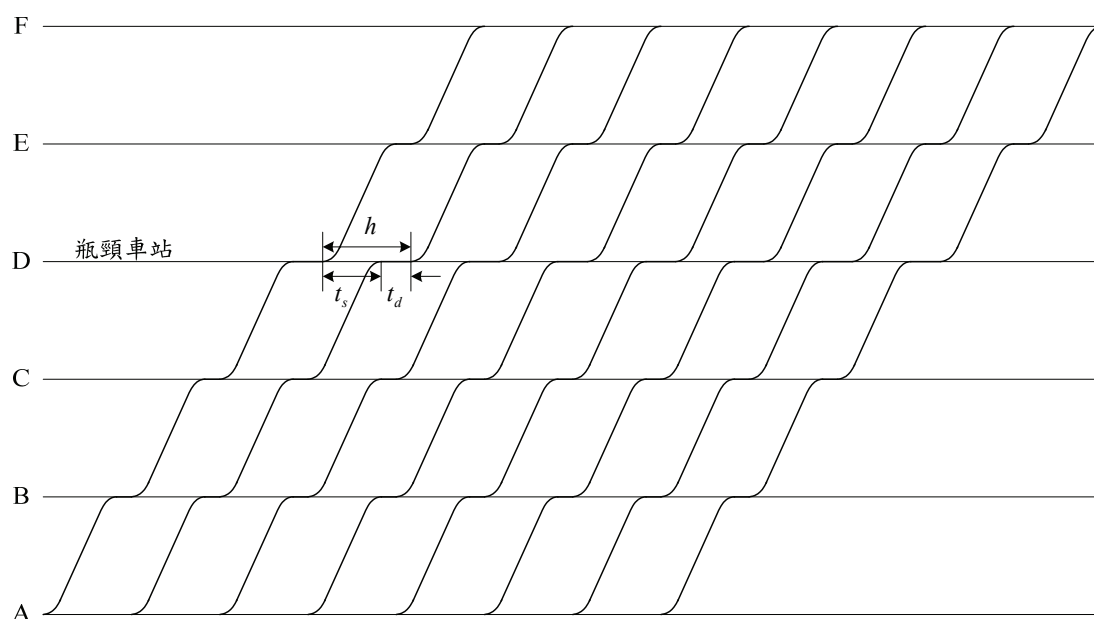


圖7-2 列車在瓶頸車站的停車時間會增加運轉時隔的時空圖範例

列車進出末端車站的速度較低，且有路徑及號誌聯鎖的需要，因此會導致閉塞時間的增加；特別是步驟(2)、(3)、(6)，列車必須經過橫渡線運轉，速度較低，閉塞時間隨之增加，故號誌安全時距也會比路段上增加許多，但是否會比最繁忙的車站長，仍需視個案而定。由於

列車可以交替使用月台面（站前橫渡線）或尾軌（站後橫渡線）來折返，因此一般而言，末端車站應不至於成為路線的瓶頸，但若是橫渡線距離車站太遠的話，則列車通過橫渡線所需的時間增加，使末端車站也可能成為路線的瓶頸，對於橫渡線佈設的適當位置，則依用地、橫渡線號數、月台寬度等因素而定。根據美國的研究^[48]顯示，約有 15% 的路線瓶頸是發生在末端車站。

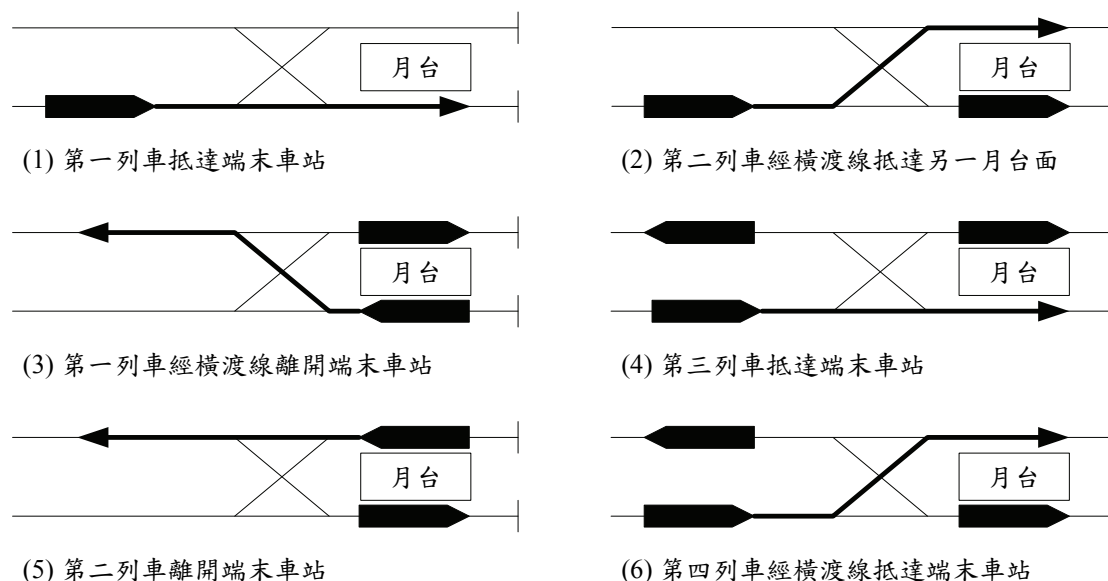


圖7-3 列車於島式末端車站折返的過程（站前折返）

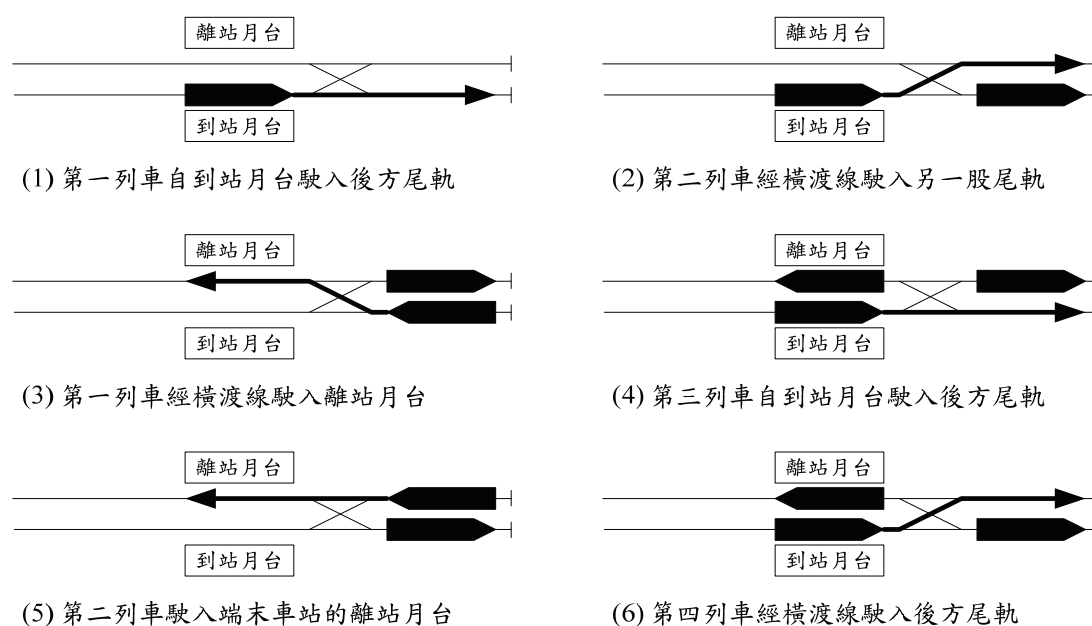


圖7-4 列車於側式末端車站折返的過程（站後折返）

另一個可能發生瓶頸的地方為路線的銜接點（Junction），在銜接點處不同運行方向的列車會產生平面交叉，因而導致號誌時距的增加。例如圖 7-5 中的 C 點為平面交叉點，表示有運行方向相反的列車會通過該處。若有兩運行方向相反的列車逐漸接近銜接點，且假設下方的列車先通過銜接點，此時銜接點處的道岔會先開通 CA 的進路。當先行列車通過銜接點之後，道岔將會重新鎖定 BC 的進路，讓續行列車安全通過銜接點。在銜接點的道岔尚未鎖定 BC 進路之前，續行列車必須距離銜接點處一段安全運轉的距離，因此若是銜接點附近的號誌配置不當，有可能會形成系統的瓶頸，但若是列車的密度很高時，大部分的系統會改以立體交叉的方式來興建，因此根據美國的研究^[48]，僅有 5% 的系統之路線瓶頸是發生銜接點的地方。

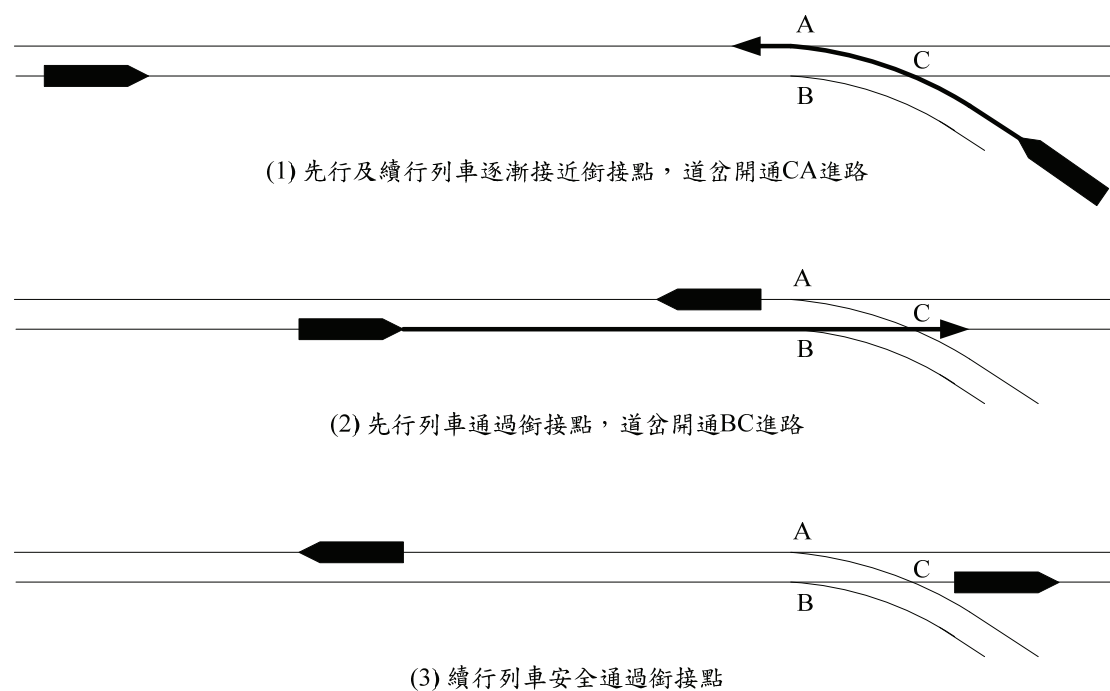


圖7-5 列車通過銜接點的過程

7.3 行車控制及號誌系統

早期都會捷運系統的行車控制與號誌系統與一般傳統鐵路的差異並不大，但由於捷運系統的主要訴求為大量快速的運輸服務，其行

車控制及號誌系統已逐漸演化出另一套運作邏輯，有別於傳統鐵路系統；特別是愈晚興建的系統，採用的系統愈先進。國內的捷運系統起步較晚，使用的技術亦較為新穎，其號誌及行車控制系統，與傳統鐵路（臺灣鐵路系統）已有很大的差異。

雖然在軌道容量分析手冊基礎篇的第四章中，已對軌道系統的行車控制及號誌系統作通盤性的介紹，但並未針對都會捷運系統作深入的探討。都會捷運的號誌系統中，與列車運轉時隔及軌道容量最相關的設計為自動列車防護系統（Automatic Train Protection, ATP），為了便於後續章節發展都會捷運號誌時隔的計算公式，故於本節中說明其運作方式及原理。

7.3.1 自動列車防護系統

在手動配合號誌指示的列車操控模式（Manual/Advisory Signal Control）下，列車的行、止及加、減速乃是由司機員依照號誌的指示來控制列車的運轉，但若司機員不按號誌的指示運轉，仍可能發生危險；而即使在全自動駕駛的情況下，若續行列車過於接近先行列車，亦可能發生危險。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，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，會自動啟動煞車，強迫列車減速或停車。

自動列車防護系統若依據軌道與列車之間的資訊傳遞方式，可分為間歇式 ATP（Intermittent ATP）及連續式 ATP（Continuous ATP）兩種。間歇式 ATP 僅於軌道上特定的位置進行號誌及速限資料的傳送，而無法持續更新資訊，因此是屬於「點速度」的監控。間歇式 ATP 屬於早期的設計，通常用於採用路側號誌的城際鐵路系統，例如台鐵早期的 ATS/ATW 即屬此類。而捷運系統因為列車的班次較為密集，為了確保行車安全，對於列車的速​​度必須進行全程的監控，因此通常是採用連續式 ATP（Continuous ATP）。連續式 ATP 若依速度監控的方式，又可再細分速度碼系統（Step Speed ATP System）及距離碼系

統（Distance-To-Go ATP System）。前者對於列車速度的監控是屬於階梯式的速限管制，後者則是採連續遞減的速限控制，其運作原理將分述於以下兩節。

7.3.2 速度碼系統

在速度碼系統中，列車必須持續接收 ATP 送來的速度碼以控制列車的運行。ATP 的速度碼包括兩種資訊，即目前所在閉塞區間（通常為一個軌道電路區間）的最大安全速度（Maximum Safety Speed, MSS），以及進入下一個區間所需達到的目標速度（Target Speed, TS）。列車運行時，ATP 會根據先行列車的位置，產生後續每一個閉塞區間的速度碼來監控後車的速度，而列車從正常速度區間至停車區間之間，每個區間的速度限制是階梯式的遞減；另外，在停車區間與前一系列車之間通常會間隔一個安全重疊區間（Overlap）作為緩衝，以便有足夠的距離將冒進號誌的列車煞停。臺北高運量捷運系統的 ATP 即屬此類。

圖 7-6 為速度碼系統的範例，假設路線的最高運轉速度為 80 km/h，當一列車佔據某一閉塞區間時，後面的每一個區間都會產生對應的速限，依序為 0 km/h、25 km/h、40 km/h、55 km/h、65 km/h，以及 80 km/h，用以管制續行列車的運行，其中先行列車後方的第一個閉塞區間之最大安全速度及目標速度均為零，理論上，續行列車在進入該區間之前即應煞停，似無設置該區間的必要，但為了避免列車煞車不及而冒進號誌時，故保留此一區間作為緩衝，以確保行車安全，此即安全重疊區間。

就本例而言，列車的速度碼共有 6 種位階，若續行列車全速運轉，則其與先行列車之間至少相距 5 個閉塞區間，而列車在每一個區間均會接收到下一個區間的目標速度。若列車的實際速度大於目標速度時，車載電腦（Train Borne Computer）會自動啟動煞車，使列車在進入下一個區間之前，降至目標速度以下。值得注意的是，臺北高運量捷運系統的車載號誌顯示的是列車所在區間的最大安全速度，因此列

車從高速區間進入低速區間時，一開始會有超速的現象，車載號誌會自動啟動煞車，並於三秒內達到服務減速度，以便將列車減速至安全速度以下，這也是設置安全重疊區間的主要原因。

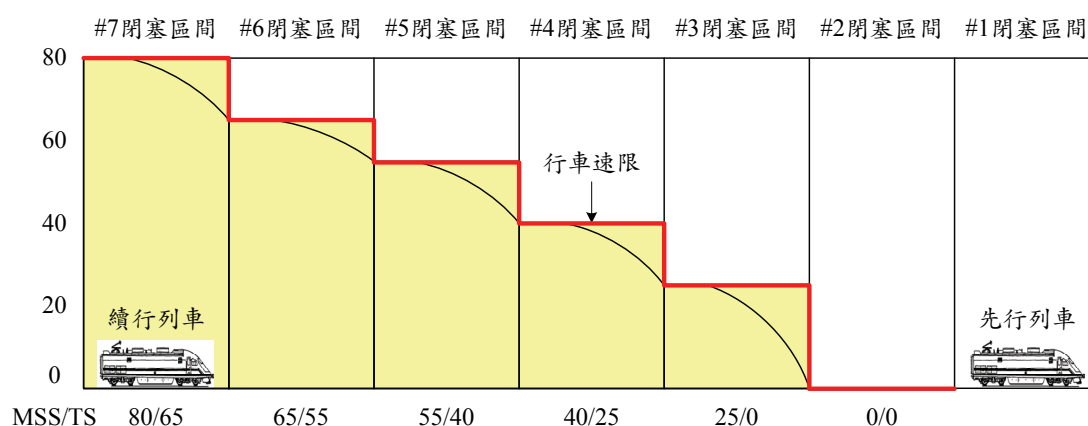


圖7-6 速度碼 ATP 範例

7.3.3 距離碼系統

在速度碼系統中，每一個閉塞區間的長度均必須足以讓列車從前一個速度碼，減速至下一個速度碼。由於列車從全速運轉至煞停的過程是分段階梯式的減速，故所需的煞車距離較長；另外，即使列車煞停之後，先行與續行列車之間仍會間隔一個閉塞區間，因此兩連續列車的行車間距會遠大於一個煞車距離。

為了改善階梯式速度碼系統中列車間距較長的缺點，乃有距離碼系統的發展，用以縮短列車的間距，並增加路線的容量。在距離碼系統中，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，而非階梯式的速限，如圖 7-7所示。每一個號誌廠商所設計的距離碼系統可能會有些許的差異，有些仍會保留安全重疊區間的設置，有些則是將一個閉塞區間會區分為幾個軌道電路（通常是兩個），並以軌道電路區間作為安全重疊區間，以縮短列車的行車間距。最極限的情形下，則是取消安全重疊區間的設計，但為了安全起見，仍然會保留一段安全餘裕的空間（通常是 25 公尺）^[45]，以避免列車無法安全煞停而造成危險。無論採用哪一種設計方式，車載電腦均會以續行

列車的期望停止點反算煞車曲線，並持續監控列車的速度。從圖 7-7 可清楚看出距離碼系統可以縮短列車的間距，並提高路線容量，因此先進的都會捷運系統大多採用距離碼系統，例如高雄捷運系統。

距離碼系統在運作時，通常會有三條煞車曲線，即正常煞車曲線（Normal Braking Curve）、警告煞車曲線（Warning Braking Curve），以及緊急煞車曲線（Emergency Braking Curve），如圖 7-8 所示。正常煞車曲線是列車於常態運轉時，應採取減速行動的煞車曲線；常態運轉時通常比較保守，故列車會提前減速，減速度較低。警告曲線是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。而緊急煞車曲線則是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，以致於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將列車煞停。

在距離碼系統中，列車速度的監控雖然是連續遞減的煞車曲線，但是列車位置的偵測仍然是依賴軌道電路或計軸器，故僅能知道列車佔用的區間，而無法知道其確切的位置，因此，煞車曲線會依據先行列車所在的區間，呈現跳躍式的移動，在列車尚未完全進入下一個區間之前，煞車曲線並不會移動。例如圖 7-9 中，若列車位於第 2 閉塞區間，則在第 2 閉塞區間後方會有煞車曲線保護，以免續行列車追撞先行列車，而此一煞車曲線會一直停留在固定的位置，直到列車淨空第 2 閉塞區間並進入第 1 閉塞區間之後，煞車曲線才會移動至第 1 閉塞區間的後方。

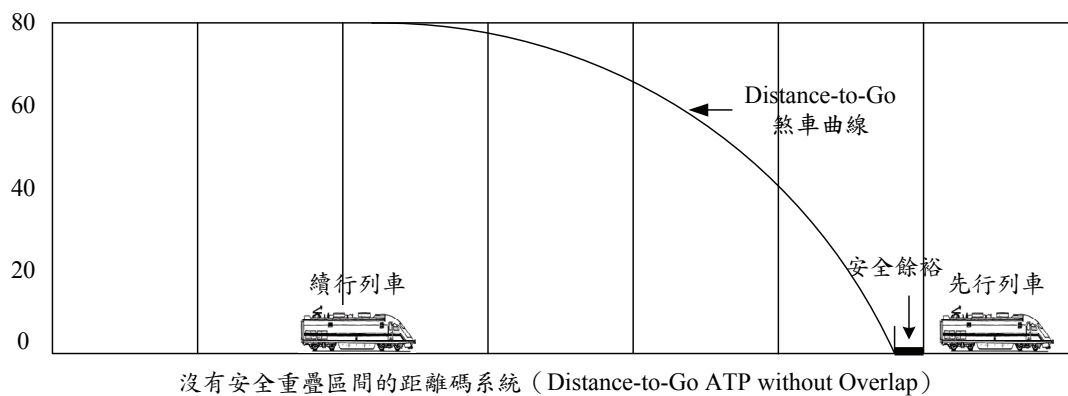
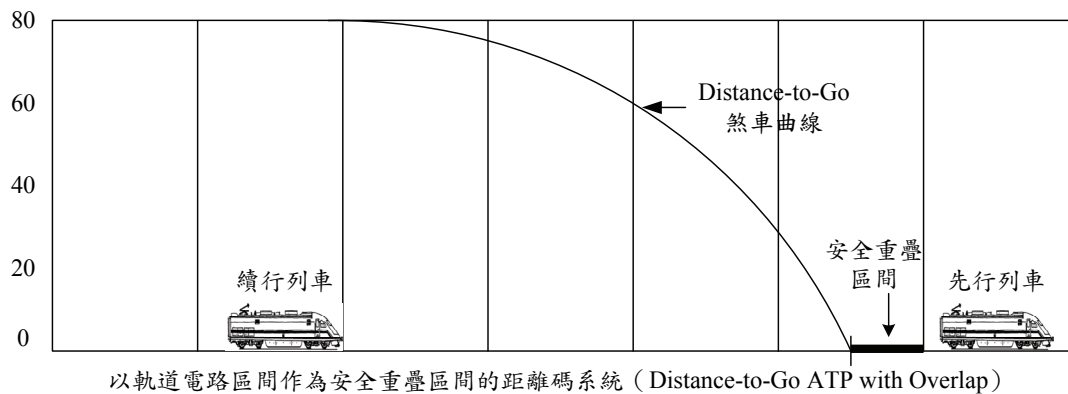
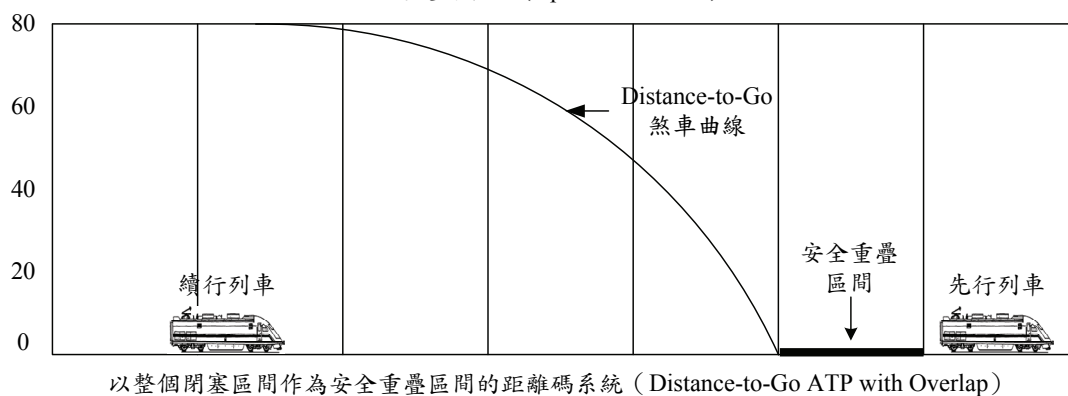
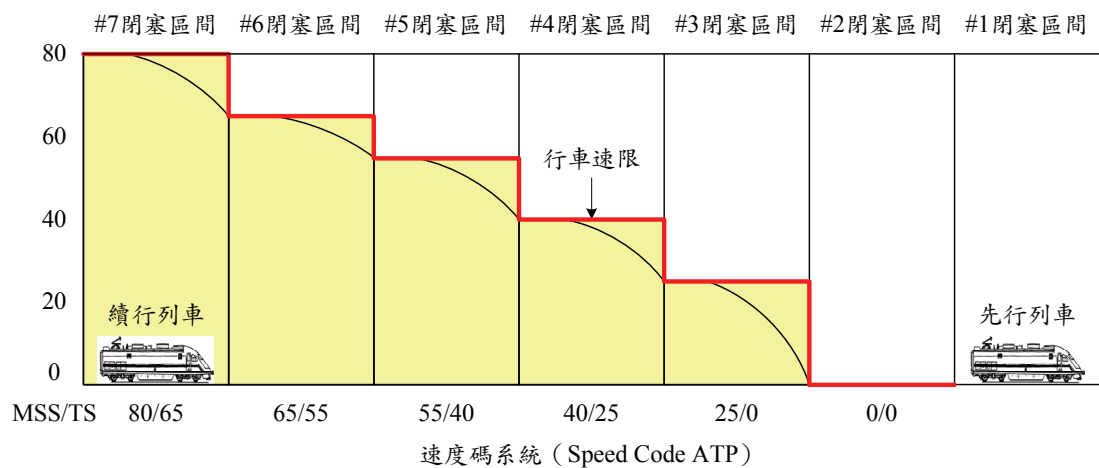


圖7-7 距離碼系統縮短列車行車間距的範例

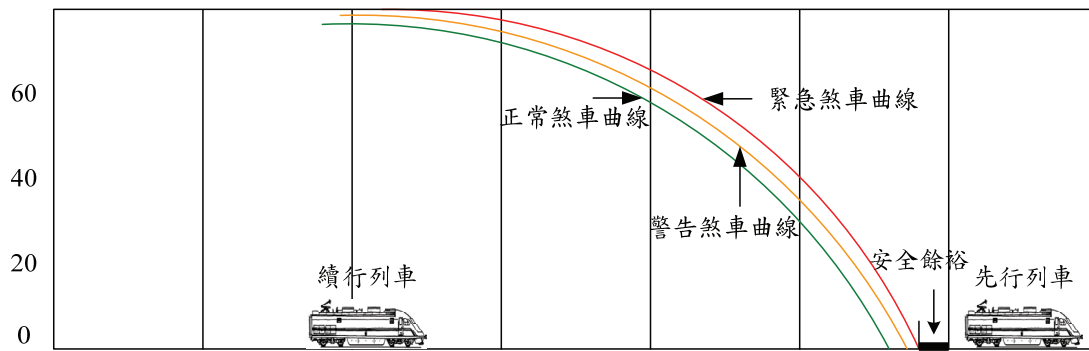


圖7-8 距離碼系統的運作方式

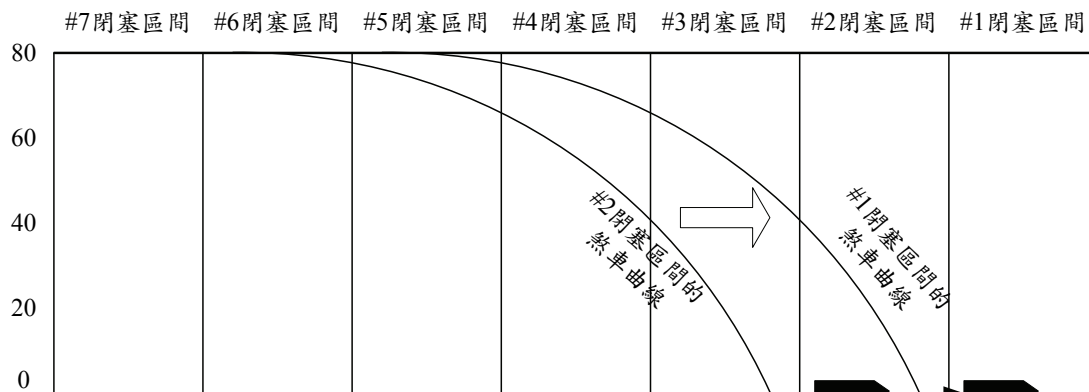


圖7-9 距離碼系統中煞車保護曲線的移動方式

7.3.4 移動區間閉塞

距離碼系統雖然可以有效縮短列車的行車間距，但先行列車在所處區間內運行的過程中，後方的煞車曲線並不會移動，故若閉塞區間的長度很長時，列車的運行間距仍然會很長。若欲進一步縮短相鄰列車之間的距離，則必須採用移動區間閉塞（Moving Block），此時並不存在實體的閉塞區間，而列車後方的煞車曲線，則會隨著列車的運行而移動，因此可以更進一步縮短運轉時隔，達到提昇路線容量的目的。例如圖 7-10中固定閉塞制的距離碼系統，若先行列車尚未完全離開第 2 閉塞區間，則其後方的煞車曲線係位於第 2 閉塞區間的後方，而在移動閉塞系統中，煞車曲線則是緊隨在列車的後方，故其與續行

列車之間，至多可比固定閉塞制的距離碼系統縮短約一個閉塞區間的長度。

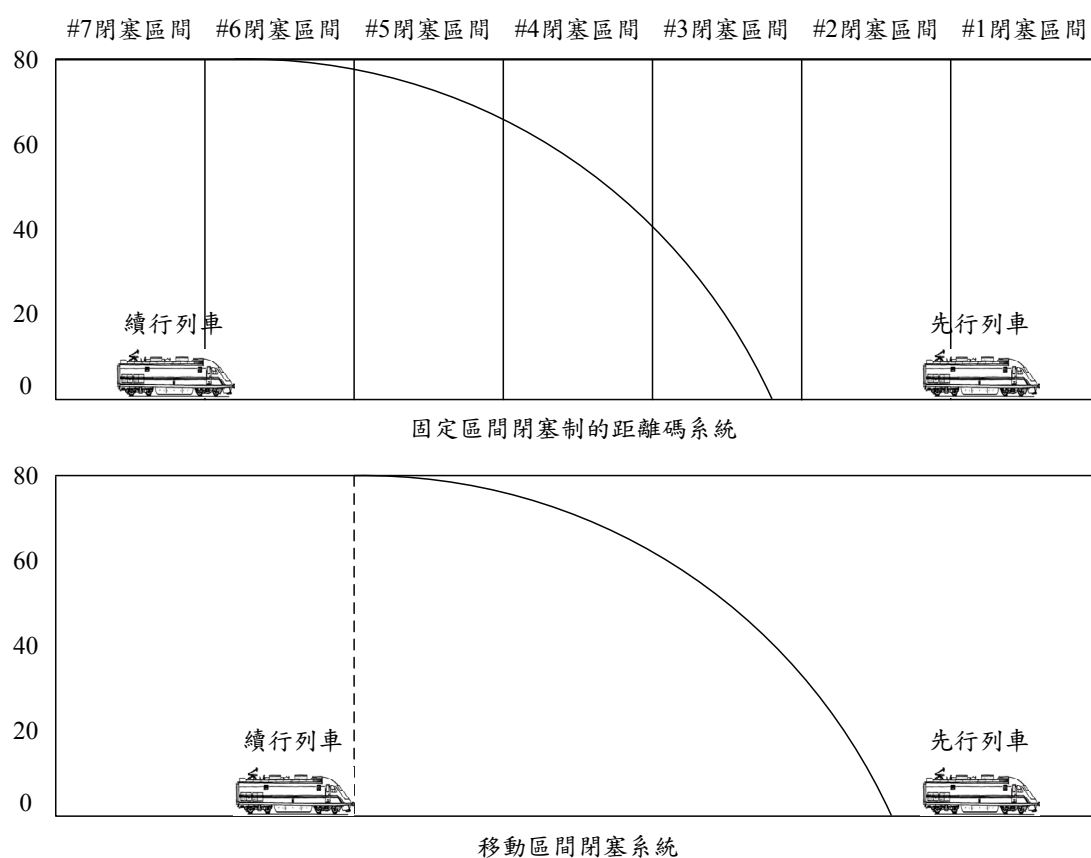


圖7-10 移動區間閉塞制縮短列車行車間距的範例

7.4 號誌安全時距的計算

號誌安全時距是指列車受到號誌系統的限制所能運轉的最小時間間隔，其與號誌系統的設計邏輯與佈置方式有關。由於每一個都會捷運的號誌系統皆不相同，因此無法像臺鐵系統般，依其號誌佈置與控制方式來發展特定的模式；相反地，對於都會捷運系統則是發展泛用的分析模式，實際應用時，再依據個別系統的特性，以適當的參數帶入模式來計算。

在7.2節中曾提及，都會捷運系統的瓶頸可能發生在最繁忙的中間車站、末端車站，或是路線的銜接點，因此本節將分別針對這三個空間參考點，來推導號誌時隔的計算公式，依序說明於以下各小節：

7.4.1 中間站號誌安全時距計算公式

由於捷運系統中間車站單一方向通常只有一股軌道，因此續行列車允許進站的必要條件是先行列車已經離開月台並淨空車站，號誌系統才會授權續行列車進站；若號誌系統有安全重疊區間的設置，先行列車甚至必須完全通過車站的下一個閉塞區間，續行列車方能進站。例如圖 7-11 中，當先行列車車尾通過車站的下一個閉塞區間或軌道電路區間（此為安全重疊區間），再經過一段反應時間後，號誌系統才會授權續行列車進站，若此時續行列車恰好運行至允許進站的最接近位置，則兩列車的運轉時間間隔可以達到最小。

列車進站的號誌安全時距是先行與續行列車進入車站的時間差，可由下式計算而得：

$$T_s = t_d + t_c + t_r + t_v + t_b \quad (7.2)$$

式中： T_s =車站的號誌安全時距（s）

t_d =列車的停站時間（s）

t_c =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 =列車以巡航速度運轉的時間（s）

t_b =列車以服務減速度進站的煞車時間（s）

對於捷運系統而言，列車的停站時間 t_d 與上下車的旅客量有關，旅客量愈大，所需的時間愈長。例如台北高運量捷運系統，對於較小的車站之計畫停車時間為 18 秒，但較重要的大站（例如台北車站），停車時間可能會超過 40 秒。

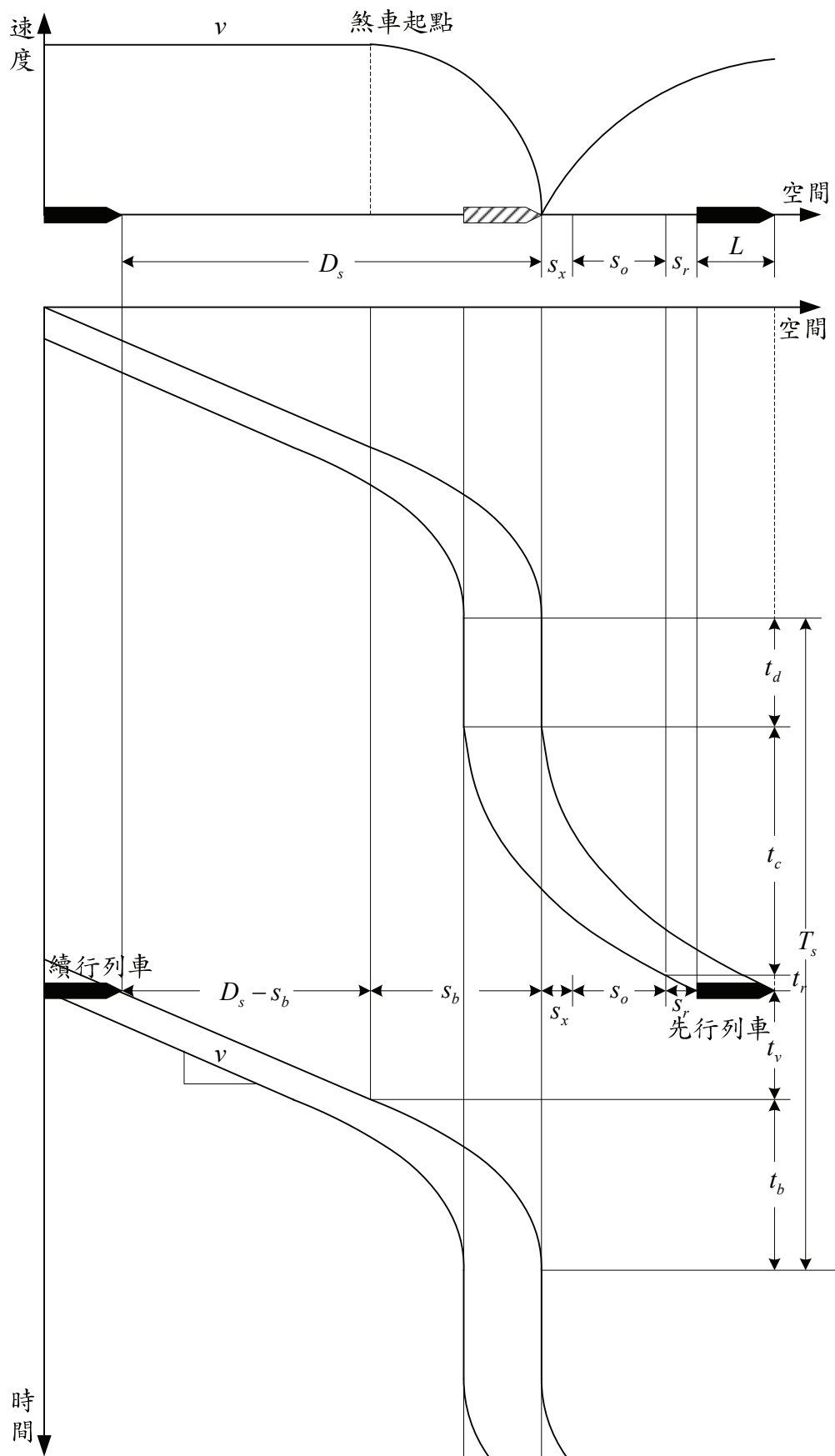


圖7-11 中間站之號誌安全時距

列車開始啟動加速直到清空車站所需的時間 t_c ，與號誌系統的設計邏輯有關。一般而言，車站所在區間的離開點與列車車頭的停止點之間會間隔有一段安全距離，若號誌系統有安全重疊區間的設計，則先行列車甚至必須完全通過安全重疊區間之後，續行列車才會得到進站的授權。列車從靜止加速直到完全通過安全重疊區間所需的運轉時間，可依(7.3)來計算。若號誌系統無安全重疊區間的設計，可將式中安全重疊區間的長度設定為零。

$$t_c = \sqrt{\frac{2(s_x + s_o + L)}{a}} \quad (7.3)$$

式中： 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）

a =列車的加速度（m/s²）

號誌系統及列車控制的反應時間 t_r 包括解除閉塞、清除號誌、訊號傳送，以及超速控制、煞車系統的反應時間等，根據美國容量手冊^[48]的建議，都會捷運系統一般以 4 秒合併計算。

續行列車得到進站的授權時，其與車站最接近的位置是指：「續行列車不會因為過於接近先行列車而受到 ATP 的影響，導致被迫減速之最接近車站的位置」。此一位置視號誌系統的設計而定，若採用速度碼的系統，與車站之間會間隔好幾個閉塞區間；但若採用距離碼或移動閉塞的系統，則會比較接近車站。但無論採用何種系統，續行列車最接近車站的位置與列車停止點之間的距離，至少會大於一個安全煞車距離，方能確保行車安全。一般而言，安全煞車距離係假設即使煞車系統僅部份有效的情況下（通常假設有 75%的效率^[48]），仍不會撞及先行列車。

列車的安全煞車距離可依下式計算而得：

$$s_{sb} = \frac{v^2}{2K_b b} \quad (7.4)$$

式中： s_{sb} = 列車的安全煞車距離 (m)

v = 列車的站間巡航速度 (m/s)

K_b = 煞車有效因子 (decimal)

b = 列車的服務減速度 (m/s^2)

上式中列車的站間巡航速度與列車的設計速度、路線的條件、站間距離，以及列車的運轉方式的大小有關。如果站間距離過短或是有彎道的永久速限，即使列車的設計速度很高，巡航速度也可能很低。實際應用時，必須根據各種條件來綜合推估。

續行列車最接近車站的位置與號誌系統的設計有關，因此除非有實際的閉塞區間及軌道電路配置圖，否則很難知道其確切數值，但無論如何，該位置與列車停止點之間一定會大於安全煞車距離，亦即

$$D_s = Q_s s_{sb} = \frac{Q_s v^2}{2K_b b}, Q_s \geq 1 \quad (7.5)$$

式中： D_s = 續行列車最接近車站的位置與列車停止點之間的距離 (m)

Q_s = 連續列車在車站的間隔安全係數

上式中 Q_s 可根據實際閉塞區間以及軌道電路配置來計算，或參考類似的系統來推估。一般而言，採用速度碼的系統， Q_s 值約在 1.5~2.0 之間；若是距離碼的系統， Q_s 值約為 1.0~1.2。

由於 $D_s \geq s_{sb}$ ，因此續行列車從授權進站的最接近位置至列車完全停妥在車站的運行過程中，會包括兩種運轉行為：其一是以巡航速度運轉接近車站，最後則是 ATO 以服務減速度將列車安全停妥在車站內。列車以服務減速度煞停過程的運轉距離及運轉時間可依式(7.6)及(7.7)來計算。

$$s_b = \frac{v^2}{2b} \quad (7.6)$$

$$t_b = \frac{v}{b} \quad (7.7)$$

式中： s_b = 列車以服務減速度進站的煞車距離 (m)

而列車以巡航速度運轉的時間為可由下式計算而得：

$$t_v = \frac{D_s - s_b}{v} = \frac{Q_s s_{sb} - v^2/2b}{v} = \frac{v}{2b} \left(\frac{Q_s}{K_b} - 1 \right) \quad (7.8)$$

將式(7.3)、式(7.7)及(7.8)代入式(7.2)可求得列車在中間車站的號誌安全時距為

$$T_s = \sqrt{\frac{2(s_x + s_o + L)}{a}} + \frac{v}{2b} \left(\frac{Q_s}{K_b} - 1 \right) + \frac{v}{b} + t_d + t_r \quad (7.9)$$

7.4.2 折返站號誌安全時距計算公式

列車在折返站的號誌安全時距與橫渡線的配置方式有關，有些末端車站會將橫渡線配置在車站前方（通常是島式月台），有些則是配置在後方（通常為側式月台）；另外，列車在折返站可能只使用一股道來折返，也可能交替使用兩股道來折返，因此有很多變化，以下根據橫渡線的配置以及使用軌道的方式，分別發展不同情境之下的號誌安全時距計算公式。

7.4.2.1 站前折返一站內停靠同一股道

若橫渡線設置在折返站前方，且列車在站內停靠同一股道，則續行列車可以允許進站的必要條件是先行列車已經離開車站並通過橫渡線區，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站。以圖 7-12 為例，假設列車在末端車站僅利用月台下方的軌道折返，亦即橫渡線 1↔4 不使用，僅使用 2↔3 的橫渡線。若一開始有一列車停靠在月台下方的軌道且橫渡線鎖定在 2→3 的路徑，列車從靜止

開始加速離開車站，車尾通過 3 之後，經過一段轉轍及號誌聯鎖的時間，橫渡線重新設定在 4→2 的路徑，此時進站列車恰好運行至允許進入橫渡線的最接近位置，則兩列車的運轉時間間隔可以達到最小。

列車在末端站折返的號誌安全時距為先行列車離開末端車站直到續行列車離開末端車站的時間間隔，可依下式來計算：

$$T_{t,F1} = t_{t \rightarrow m} + t_i + t_{m \rightarrow t} + t_d \quad (7.10)$$

式中： $T_{t,F1}$ = 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）

$t_{t \rightarrow m}$ = 列車從末端車站經由橫渡線駛入站間正線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）

$t_{m \rightarrow t}$ = 列車在正線上允許進入橫渡線的最接近位置至列車完全停止在末端車站的運轉時間（s）

t_d = 列車在末端站折返停靠的時間（s）

列車經由橫渡線運轉時，其速度不得大於道岔的限速。由於列車從靜止開始加速直到車尾離開橫渡線區的運轉距離，包括列車編組的長度、橫渡線至月台端點的距離，以及橫渡線區的長度：

$$L + s_p + s_c \quad (7.11)$$

式中： s_c = 橫渡線區的長度（m）

s_p = 橫渡線區至月台端點的距離（m）

此一距離通常會大於列車從靜止加速至橫渡線道岔限速的運轉距離，因此列車離開車站直到車尾通過橫渡線區的過程包括兩種運轉行為：加速運轉至道岔速限，以及以道岔速限進行等速運轉，亦即

$$t_{t \rightarrow m} = t_{t \rightarrow m,1} + t_{t \rightarrow m,2} \quad (7.12)$$

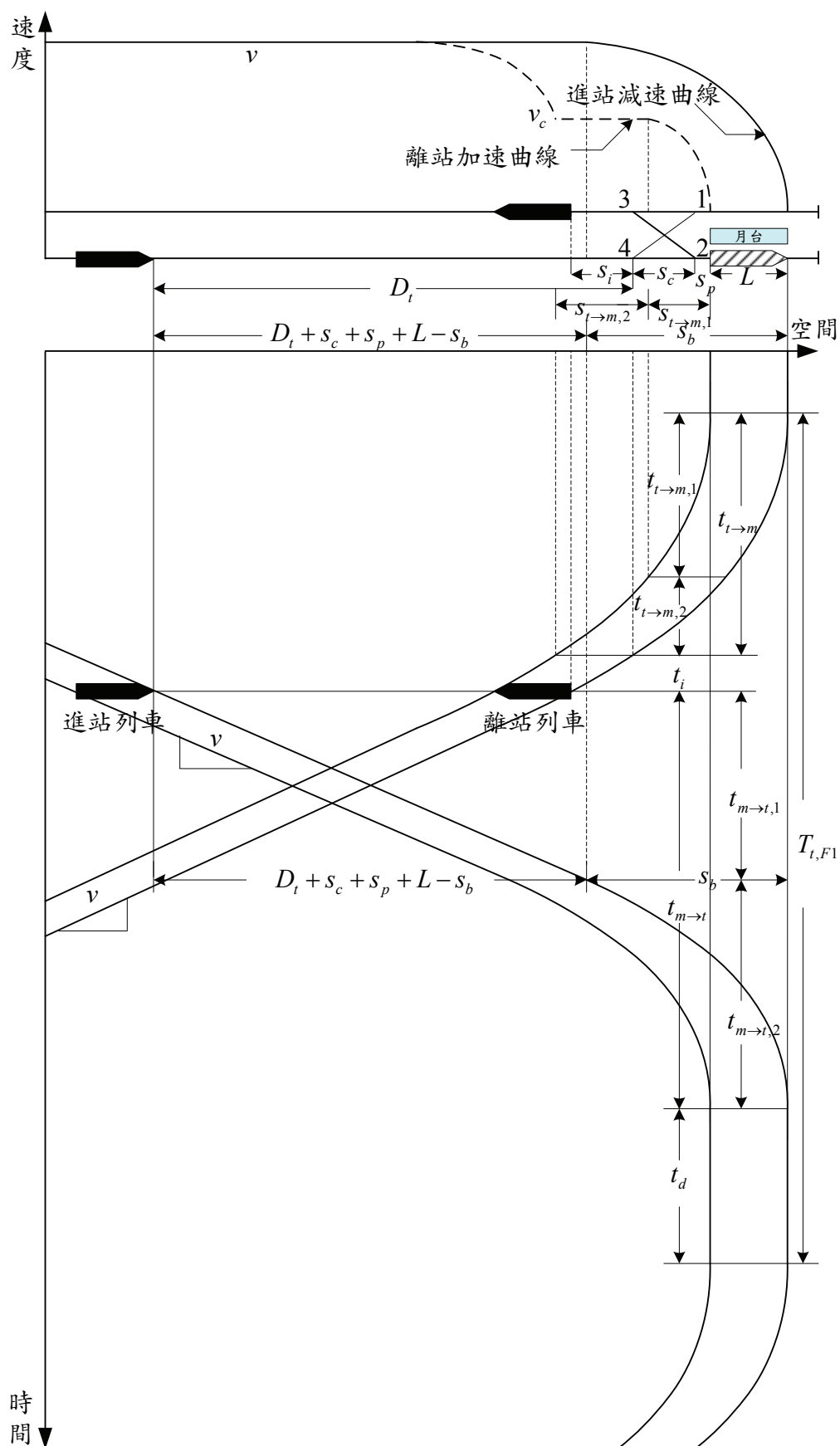


圖7-12 站前折返之號誌安全時距—站內停靠同一股道

式中： $t_{t \rightarrow m,1}$ = 列車從靜止加速到橫渡線的速限所需的運轉時間 (s)

$t_{t \rightarrow m,2}$ = 列車維持道岔速限等速運轉的時間 (s)

列車從靜止加速到橫渡線的道岔速限所需的運轉距離及運轉時間可依下兩式計算而得：

$$s_{t \rightarrow m,1} = \frac{v_c^2}{2a} \quad (7.13)$$

$$t_{t \rightarrow m,1} = \frac{v_c}{a} \quad (7.14)$$

式中： v_c = 橫渡線的道岔限速 (m/s)

$s_{t \rightarrow m,1}$ = 列車從靜止加速至橫渡線道岔限速的運轉距離 (m)

而列車維持道岔速限等速運轉的距離及時間則分別為

$$s_{t \rightarrow m,2} = L + s_p + s_c - s_{t \rightarrow m,1} \quad (7.15)$$

$$t_{t \rightarrow m,2} = \frac{s_{t \rightarrow m,2}}{v_c} = \frac{L + s_p + s_c - s_{t \rightarrow m,1}}{v_c} = \frac{L + s_p + s_c}{v_c} - \frac{v_c}{2a} \quad (7.16)$$

式中： $s_{t \rightarrow m,2}$ = 列車維持道岔速限的等速運轉距離 (m)

將式(7.14)及(7.16)代入式(7.12)可得列車從靜止加速經橫渡線離開車站直到車尾經過橫渡線區的運轉時間為

$$t_{t \rightarrow m} = \frac{v_c}{a} + \frac{L + s_p + s_c}{v_c} - \frac{v_c}{2a} = \frac{L + s_p + s_c}{v_c} + \frac{v_c}{2a} \quad (7.17)$$

道岔及號誌聯鎖時間 t_i ，與軌道電路、號誌及轉轍器等聯鎖設備的設計有關，若有廠商提供的實際數據，即可直接應用。一般而言，現代化的捷運系統，轉轍器及號誌應可在 10 秒內完成路徑的解除及重設作業。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煞車距離以外，亦即

$$D_t = Q_t s_{sb} = \frac{Q_t v^2}{2K_b b}, Q_t \geq 1 \quad (7.18)$$

式中： D_t = 續行進站列車與末端站前橫渡線區的最接近距離 (m)

Q_t = 列車進入末端站前橫渡線區的間隔安全係數

上式中 Q_t 的數值可根據 ATP 的運作邏輯，以及閉塞區間與軌道電路的配置來計算，若無實際的方案時，則可參考類似的系統來推估。一般而言，對於有安全重疊區間設計的系統， Q_t 會大於 Q_s ，因為列車在中間站的安全重疊區間係位於車站的下一個區間，而在末端站前橫渡線區的安全重疊區間則是在橫渡線前一個區間，故間隔距離較長。

一旦號誌完成聯鎖且將路徑設定為 4→2，續行列車即得到進站的授權。列車從橫渡線的最接近位置至列車停妥在車站內的運轉過程，包括以巡航速度等速運轉以及最後 ATO 以服務減速度將列車安全停妥在車站內兩種行為，因此

$$t_{m \rightarrow t} = t_{m \rightarrow t,1} + t_{m \rightarrow t,2} \quad (7.19)$$

式中： $t_{m \rightarrow t,1}$ = 進站列車以巡航速度接近末端車站的運轉時間 (s)

$t_{m \rightarrow t,2}$ = 進站列車從巡航速度減速停車所需的時間 (s)

進站列車在最後階段的煞車距離及煞車時間可利用式(7.20)及式(7.21)來計算

$$s_{m \rightarrow t,2} = \frac{v^2}{2b} \quad (7.20)$$

$$t_{m \rightarrow t,2} = \frac{v}{b} \quad (7.21)$$

式中： $s_{m \rightarrow t,2}$ = 列車從巡航速度減速將列車煞停的運轉距離 (m)

因此列車以巡航速度等速運轉的時間為

$$t_v = \frac{D_t + s_c + s_p + L - s_{m \rightarrow t,2}}{v} = \frac{v}{2b} \left(\frac{Q_t}{K_b} - 1 \right) + \frac{s_c + s_p + L}{v} \quad (7.22)$$

將式(7.21)及(7.22)代入式(7.19)可得

$$t_{m \rightarrow t} = \frac{v}{2b} \left(\frac{Q_t}{K_b} - 1 \right) + \frac{s_c + s_p + L}{v} + \frac{v}{b} \quad (7.23)$$

列車在末端車站的停車時間 t_d 之影響因素包括旅客上下車時間、司機員折返更換駕駛艙、必要的檢查或簡單的整備，以及橫渡線的道岔重設路徑的時間，其中最大者將決定列車在末端車站的停靠時間。一般而言，有司機員的列車折返停靠時間最少需要3分鐘，若為全自動駕駛的列車，則瓶頸為旅客上下車的時間。

將式(7.17)及(7.23)代入式(7.10)可求得橫渡線設在末端站前方，且列車在末端站停靠同一股道折返的號誌安全時隔為

$$T_{t,F1} = \frac{L + s_p + s_c}{v_c} + \frac{v_c}{2a} + \frac{v}{2b} \left(\frac{Q_t}{K_b} - 1 \right) + \frac{s_c + s_p + L}{v} + \frac{v}{b} + t_i + t_d \quad (7.24)$$

7.4.2.2 站前折返一站內停靠不同股道

若橫渡線設置在末端站前方，且列車折返時在站內停靠不同股道，則列車可以交替使用月台面，因此號誌時隔比較不會受到停站時間的影響。例如圖 7-13 中，假設有一列車停靠在月台下方的軌道，當第二列車抵達時，可將橫渡線鎖定在 4→1 的進路，讓列車進站。在列車車尾通過 1 之後，將橫渡線重新設定在 2→3 的路徑，則原先停靠在月台下方的第一列車即可離開車站。而列車車尾通過 3 之後，再設定為 4→2 的進路，則第三列車即可進入車站。

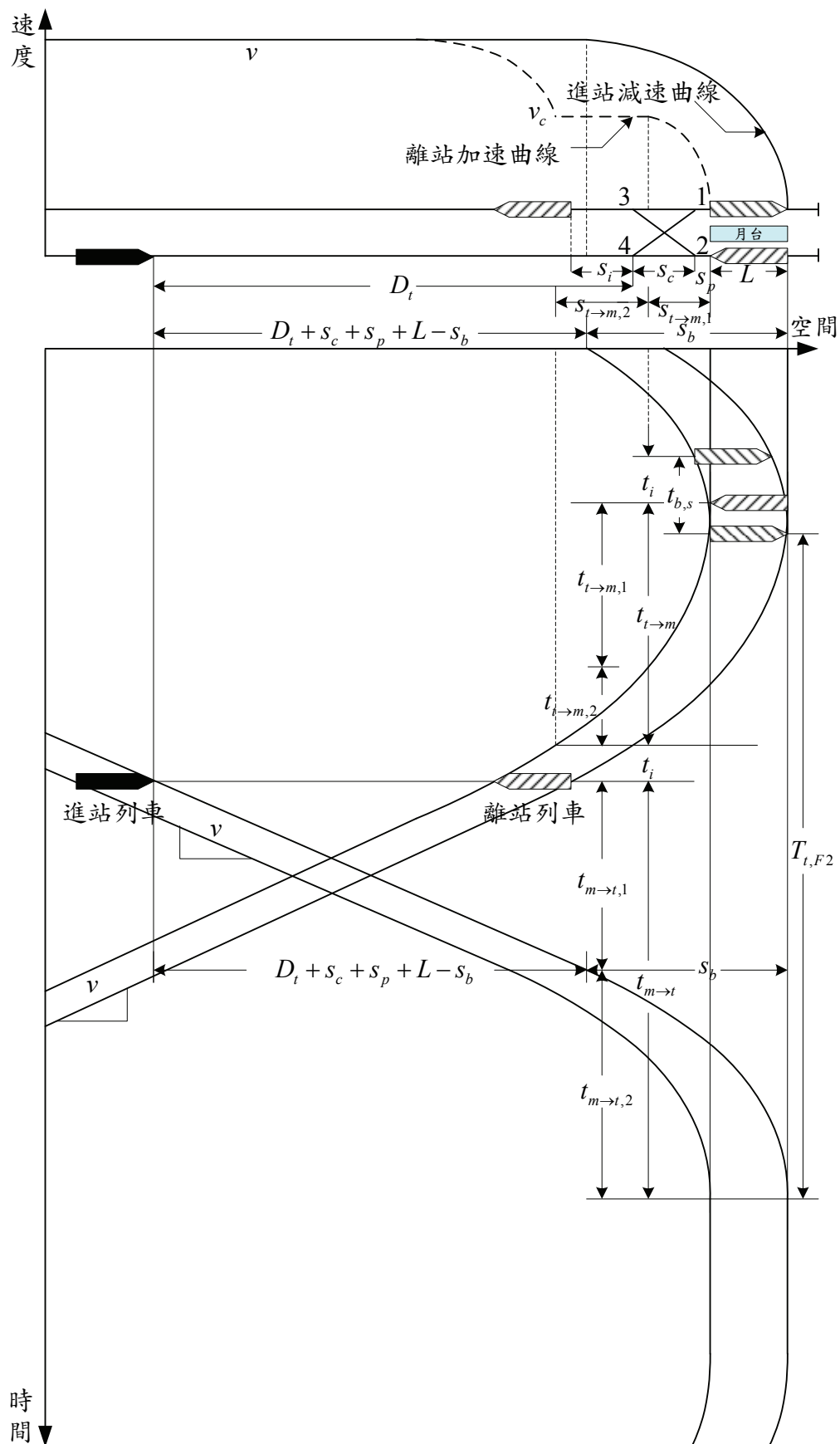


圖7-13 站前折返之號誌安全時距一站內停靠不同股道

由前述分析可知，第三列車進入車站的時間受制於第一列車的離站時間，而第一列車的離站時間又與第二列車通過橫渡線的時間有關。計算號誌時隔時係以列車在末端車站的時間為基準，而第三列車與第二列車到達車站的時間間隔，即為列車在末端站交替使用不同股道折返的號誌安全時距。從圖 7-13 可知，其計算方式如下：

$$T_{t,F2} = t_{t \rightarrow m} + 2t_i + t_{m \rightarrow t} - t_{b,s} \quad (7.25)$$

式中： $T_{t,F2}$ = 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）

$t_{t \rightarrow m}$ = 列車從末端車站經由橫渡線駛入站間正線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）

$t_{m \rightarrow t}$ = 列車在正線上允許進入橫渡線的最接近位置至列車完全停止在末端車站的運轉時間（s）

$t_{b,s}$ = 列車車尾經過橫渡線至列車完全停妥的運轉時間（s）

上式中第二列車車尾通過橫渡線至列車完全停妥的運轉距離為橫渡線至月台端點的距離 s_p ，此段過程中列車均處於減速階段，因此

$$t_{b,s} = \sqrt{\frac{2s_p}{b}} \quad (7.26)$$

將式(7.17)及(7.23)代入式(7.25)可得

$$T_{t,F2} = \frac{L + s_p + s_c}{v_c} + \frac{v_c}{2a} + \frac{v}{2b} \left(\frac{Q_t}{K_b} - 1 \right) + \frac{s_c + s_p + L}{v} + \frac{v}{b} + 2t_i - \sqrt{\frac{2s_p}{b}} \quad (7.27)$$

若將式(7.10)與式(7.25)相減可得

$$T_{t,F1} - T_{t,F2} = t_d + t_{s,b} - t_i \text{ 或 } T_{t,F2} = T_{t,F1} - t_d - t_{s,b} + t_i \quad (7.28)$$

通常列車在末端車站的停靠時間會遠大於轉轍及號誌聯鎖時間亦即 $t_d > t_i$ ，因此 $T_{t,F1} - T_{t,F2} > 0$ ，表示列車在末端站交替使用軌道折返的號誌安全時距，會小於僅使用一股道折返的時隔。

值得注意的是，前述有關列車使用兩股道折返之號誌安全時距公式的推導，係假設第二列車車尾通過橫渡線之後，第一列車即可離開車站，但若是第一列車的停車時間很長時，控制的因素就不再是第二列車通過橫渡線的時間，而是第一列車離開車站的時間。在交替使用月台折返的情況下，第二列車與第一列車之間的號誌時距為 $T_{t,F2}$ ，而第三列車與第二列車的號誌時距亦為 $T_{t,F2}$ ，因此第三列車與第一列車的最小時隔為 $2T_{t,F2}$ ，由於第三列車與第一列車在末端車站是利用同一股道折返，故兩者的運轉時隔亦須滿足同一股道折返的號誌時隔 $T_{t,F1}$ ，因此，若是 $T_{t,F1} < 2T_{t,F2}$ ，表示第三列車抵達末端車站時，第一列車停靠的軌道已經淨空，故列車可以順利進站；倘若 $T_{t,F1} > 2T_{t,F2}$ ，則表示第三列車抵達末端站時，第一列車佔用的軌道尚未完全淨空，因此第三列車無法順利靠站，故此時列車交替使用月台折返的號誌安全時距必須修正為 $T_{t,F1}/2$ ，彙整前述分析可得如下之結論：

1. 若 $T_{t,F1} \leq 2(T_{t,F1} - t_d - t_{b,s} + t_i)$ 或 $T_{t,F1} \geq 2(t_d + t_{b,s} - t_i)$ ，則

$$T_{t,F2} = \frac{L + s_p + s_c}{v_c} + \frac{v_c}{2a} + \frac{v}{2b} \left(\frac{Q_t}{K_b} - 1 \right) + \frac{s_c + s_p + L}{v} + \frac{v}{b} + 2t_i - \sqrt{\frac{2s_p}{b}} \quad (7.29)$$

2. 若 $T_{t,F1} > 2(T_{t,F1} - t_d - t_{b,s} + t_i)$ 或 $T_{t,F1} < 2(t_d + t_{b,s} - t_i)$ ，則

$$T_{t,F2} = \frac{L + s_p + s_c}{2v_c} + \frac{v_c}{4a} + \frac{v}{4b} \left(\frac{Q_t}{K_b} - 1 \right) + \frac{s_c + s_p + L}{2v} + \frac{v}{2b} + \frac{t_i + t_d}{2} \quad (7.30)$$

一般而言，配備司機員的捷運系統，列車在末端車站的停車時間通常由司機員掉頭更換駕駛艙及簡易清潔整備的時間所控制，故列車停站的時間較長，比較可能屬於第二種情形，此時若欲提昇軌道容量，則必須設法減少列車在折返站的停靠時間，例如採用雙人乘務（Double-Ending）或輪替乘務（Stepping Back）^[45]，藉此來縮短停站

時間。至於全自動駕駛的捷運系統，停站時間則是由旅客上下車的時間所控制，時間略短，因此比較可能屬於第一種情形，但若旅客量很大時，也可能屬於第二種情形。

前述公式略嫌複雜，但若經適度的簡化，可以比較容易瞭解其物理意義。首先觀察式(7.10)及圖 7-12 可知， $T_{t,F1}$ 大致可包括兩個部分，第一部分為先行列車離開車站直到續行列車進入車站的最小號誌時隔 $t_{i \rightarrow m} + t_i + t_v + t_b$ ，而第二部分則為末端站的停站時間 t_d 。為便於分析起見，令 $t_s = t_{i \rightarrow m} + t_i + t_v + t_b$ 為列車離開及到達末端車站的最小號誌時隔，則 $T_{t,F1} = t_s + t_d$ 。其次觀察式(7.25)及圖 7-13，由於 $t_{s,b}$ 及 t_i 的值均不大，且其符號相反，故列車交替使用軌道折返的最小號誌時距亦略等於 t_s （即 $T_{t,F2} \approx t_s$ ）。換言之，使用單一軌道折返的號誌安全時距為比交替使用軌道折返的時距多出停站時間 t_d ，故若是停站時間小於或等於列車開到的時隔，亦即 $t_d \leq t_s$ ，則列車交替使用月台的號誌安全時距為 t_s ，且實際的停車時間亦拉長至 t_s （參閱圖 7-14）。倘若停站時間大於列車開到的時隔，亦即 $t_d > t_s$ ，則列車交替使用月台折返的號誌安全時距必須延長至 $(t_d + t_s)/2$ ，而停車時間則維持 t_d （詳圖 7-15）。

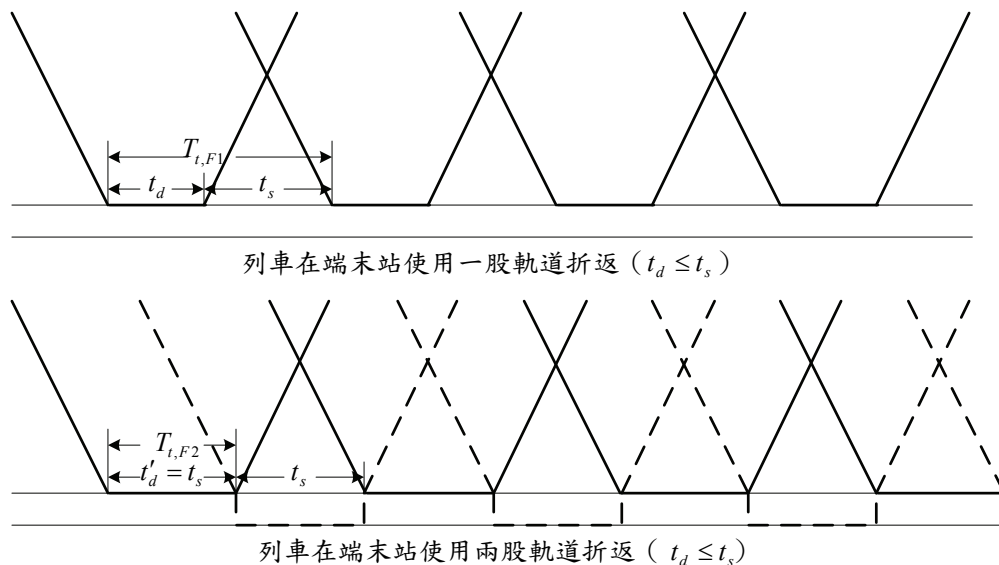


圖7-14 停車時間小於列車開到時隔的列車折返示意圖

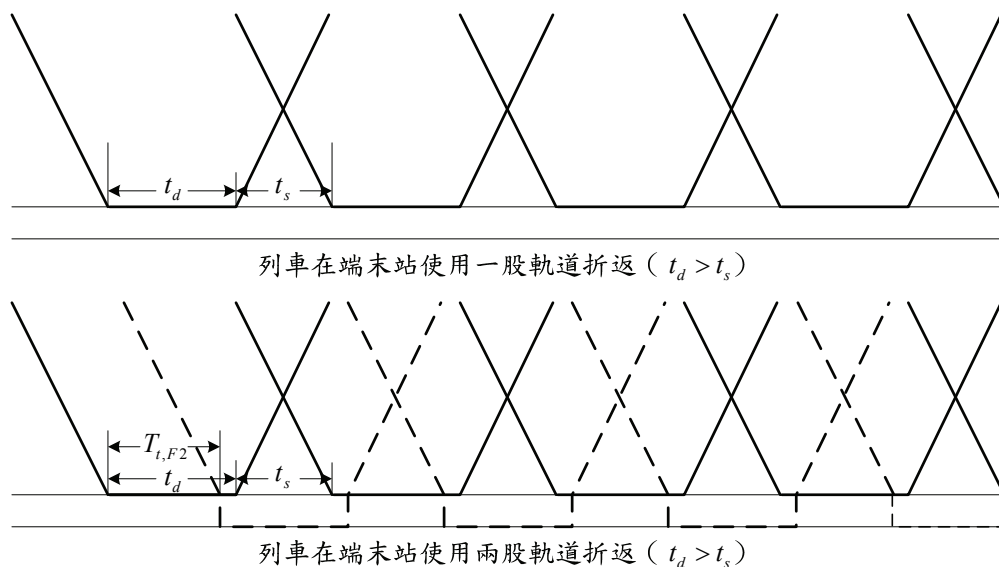


圖7-15 停車時間大於列車開到時隔的列車折返示意圖

另外，假設實際的營運班距為 h ，倘若列車在末端車站僅使用一股道折返時，則 $h \geq t_s + t_d$ ，因此 $t_d \leq h - t_s$ ；如果列車在末端車站使用兩股道折返，則 $h \geq (t_s + t_d)/2$ ，因此 $t_d \leq 2h - t_s$ 。綜合前述分析可知，列車在末端車站的停車時間上限可由下式計算而得：

$$t_d \leq n_t h - t_s \quad (7.31)$$

式中： n_t =列車在末端車站折返可使用的軌道數

7.4.2.3 站後折返一站內停靠同一股道

採用站後折返時，則末端站後方必須有橫渡線及尾軌讓列車折返調度，故此時末端站可視為中間站，有關中間站的號誌安全時距，可根據第7.4.1節的方法來分析，因此討論列車折返的號誌安全時距時，空間參考點應選擇橫渡線後方的尾軌。

若列車站後折返時停靠同一股尾軌，則續行列車可以允許進入尾軌的必要條件是先行列車已經離開尾軌並通過橫渡線區，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尾軌。例如圖7-16中，若一開始有一列車停靠在下方的尾軌且橫渡線鎖定在2→3的

路徑，當列車從靜止開始加速離開直到車尾通過 3 之後，經過一段轉轍及號誌聯鎖的時間，橫渡線重新設定在 4→2 的路徑，停靠在到站月台列車即可允許進入尾軌，此種情形之下兩列車的運轉時間間隔可以達到最小。

列車利用尾軌折返的號誌安全時距為先行列車離開尾軌直到續行列車離開尾軌的時間，計算方式如下：

$$T_{t,R1} = t_{e \rightarrow t} + t_i + t_{t \rightarrow e} + t_d \quad (7.32)$$

式中： $T_{t,R1}$ =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）

$t_{e \rightarrow t}$ =列車從尾軌經橫渡線進入末端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）

$t_{t \rightarrow e}$ =列車從末端車站的到站月台進入尾軌直到車尾完全通過橫渡線區的運轉時間（s）

t_d =列車在尾軌折返的停靠時間（s）

列車從尾軌經由橫渡線進入末端車站的離站月台，直到車尾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，亦即

$$t_{e \rightarrow t} = t_{e \rightarrow t,1} + t_{e \rightarrow t,2} + t_{e \rightarrow t,3} \quad (7.33)$$

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

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

$t_{e \rightarrow t,3}$ =列車從道岔限速開始減速直到車尾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如式(7.34)及式(7.35)所示。

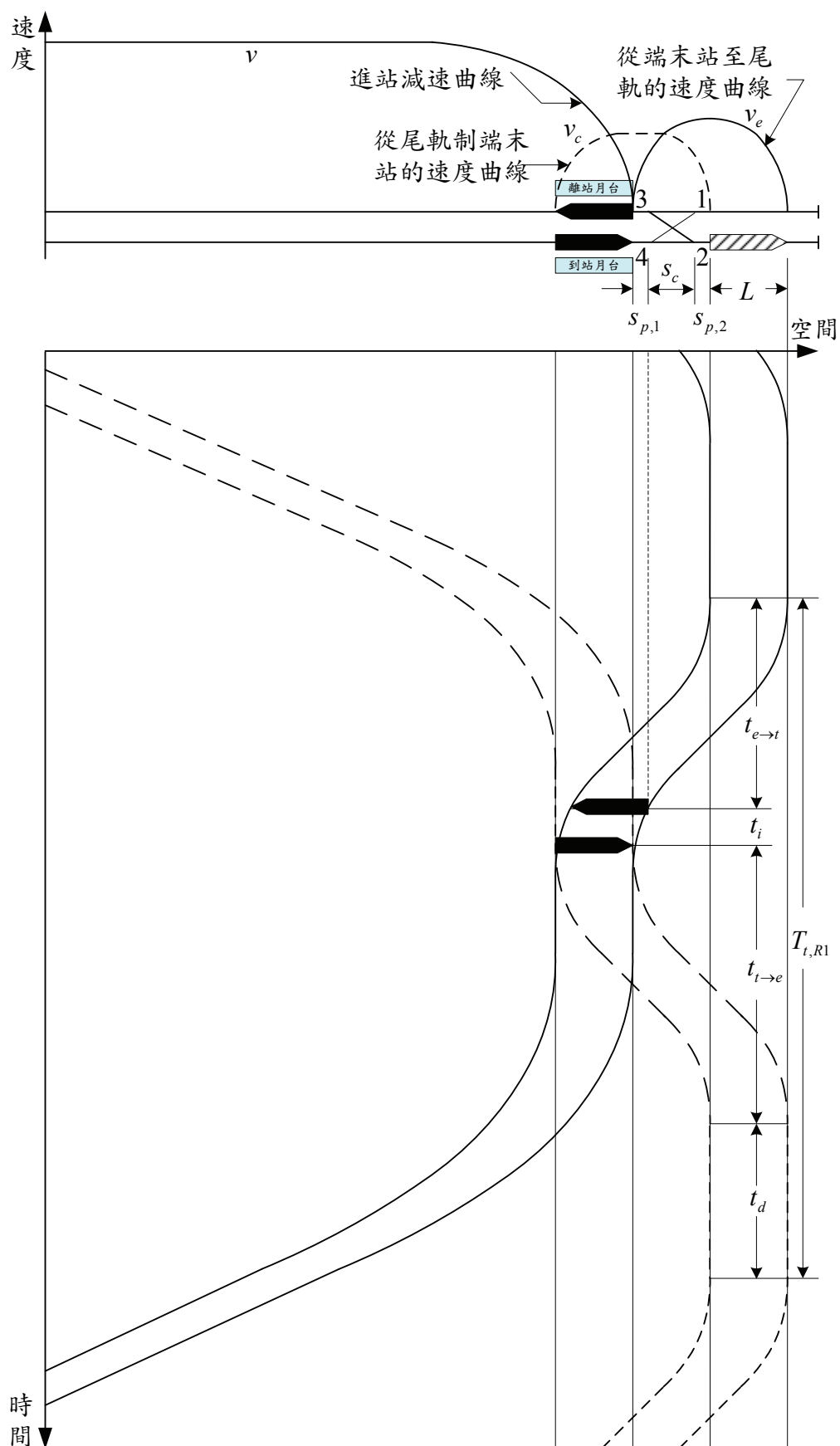


圖7-16 站後折返之號誌安全時距—停靠同一股尾軌

$$s_{e \rightarrow t,1} = \frac{v_c^2}{2a} \quad (7.34)$$

$$t_{e \rightarrow t,1} = \frac{v_c}{a} \quad (7.35)$$

式中： $t_{e \rightarrow t,1}$ =列車從靜止加速至道岔限速的運轉時間（s）

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

$$s_{e \rightarrow t,2} = s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L - \left(\frac{v_c^2}{2a} + \frac{v_c^2}{2b} \right) \quad (7.36)$$

式中： $s_{p,1}$ =末端車站月台邊緣至橫渡線的距離（m）

$s_{p,2}$ =橫渡線至尾軌列車停車區的距離（m）

而其運轉時間則為

$$t_{e \rightarrow t,2} = \frac{s_{e \rightarrow t,2}}{v_c} = \frac{s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L}{v_c} - \left(\frac{v_c}{2a} + \frac{v_c}{2b} \right) \quad (7.37)$$

列車從道岔限速開始減速直到車尾通過橫渡線區的運轉距離可依下式計算而得：

$$s_{e \rightarrow t,3} = s_c + s_{p,2} + L - s_{e \rightarrow t,1} - s_{e \rightarrow t,2} = \frac{v_c^2}{2b} - s_{p,1} \quad (7.38)$$

列車從道岔限速開始減速直到車尾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車尾通過橫渡線區至列車煞停於離站月台的時間，亦即

$$t_{e \rightarrow t,3} = \frac{v_c}{b} - \sqrt{\frac{2s_{p,1}}{b}} \quad (7.39)$$

將式(7.35)、(7.37)、(7.39)代入式(7.33)可得

$$t_{e \rightarrow t} = \frac{s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L}{v_c} + \frac{v_c}{2a} + \frac{v_c}{2b} - \sqrt{\frac{2s_{p,1}}{b}} \quad (7.40)$$

列車車尾通過橫渡線區之後，再經過一段轉轍及號誌聯鎖時間，停留在到站月台的列車即可進入尾軌折返。列車從末端車站至尾軌的運轉過程係行駛橫渡線的直線段，因此不受道岔限速的影響；另外，尾軌通常距離末端車站很近，故其運轉過程只有加速及減速運轉兩個部分，亦即

$$s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L = s_{t \rightarrow e,1} + s_{t \rightarrow e,2} = \frac{v_e^2}{2a} + \frac{v_e^2}{2b} \quad (7.41)$$

式中： $s_{t \rightarrow e,1}$ =列車從末端車站往尾軌的加速運轉距離（m）

$s_{t \rightarrow e,2}$ =列車從末端車站往尾軌的減速運轉距離（m）

v_e =列車往尾軌的最高運轉速度（m/s）

上式經整理後可得

$$v_e = \sqrt{\frac{2ab(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{a + b}} \quad (7.42)$$

因此列車加速運轉以及減速運轉時間分別為

$$t_{t \rightarrow e,1} = \frac{v_e}{a} = \sqrt{\frac{2b(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{a(a + b)}} \quad (7.43)$$

$$t_{t \rightarrow e,2} = \frac{v_e}{b} = \sqrt{\frac{2a(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{b(a + b)}} \quad (7.44)$$

式中： $t_{t \rightarrow e,1}$ =列車從末端車站往尾軌的加速運轉時間（s）

$t_{t \rightarrow e,2}$ =列車從末端車站往尾軌的減速運轉時間（s）

而列車從末端車站往尾軌的整體運轉時間則為

$$t_{t \rightarrow e} = t_{t \rightarrow e,1} + t_{t \rightarrow e,2} = \sqrt{\frac{2b(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{a(a+b)}} + \sqrt{\frac{2a(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{b(a+b)}} \quad (7.45)$$

列車在尾軌折返的停靠時間 t_d 必須視系統的運作方式而定，若列車有配備司機員，則尾軌停靠時間為司機員變更駕駛艙的折返時間；若為全自動的系統，則由列車變更駕駛方向的設定時間，以及轉轍與號誌聯鎖時間的最大者所控制。一般而言，對於全自動的系統，轉轍與號誌聯鎖時間為站後折返停靠時間最主要的決定因素，亦即 $t_d = t_i$ ，而大多數採用站後折返的系統多屬於全自動駕駛的系統。

將式(7.40)、(7.45)代入式(7.32)可求得橫渡線設在末端站後方，且列車停靠同一股尾軌道折返的號誌安全時隔為

$$T_{t,R1} = \frac{s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L}{v_c} + \frac{v_c}{2a} + \frac{v_c}{2b} - \sqrt{\frac{2s_{p,1}}{b}} + \sqrt{\frac{2b(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{a(a+b)}} + \sqrt{\frac{2a(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{b(a+b)}} + t_i + t_d \quad (7.46)$$

假設系統配備司機員，則無論橫渡線在末端站之前或之後，列車折返的停靠時間均由司機員更換駕駛艙的時間所控制，此時若比較使用一股道的站前折返與站後折返的號誌時隔可發現

$$T_{t,F1} - T_{t,R1} = t_{t \rightarrow m} + t_{m \rightarrow t} - t_{e \rightarrow t} - t_{t \rightarrow e} \quad (7.47)$$

由於列車從尾軌進入末端車站因為速度較低，因此 $t_{e \rightarrow t}$ 會略大於 $t_{t \rightarrow m}$ ，但因為站前折返時，列車最接近橫渡線的位置與末端車站的距離，會遠大於站後折返時末端車站與尾軌的距離，故 $t_{m \rightarrow t} > t_{t \rightarrow e}$ ，因此 $T_{t,F1} > T_{t,R1}$ ，表示站後折返的號誌時隔會小於站前折返的號誌時隔。

若為全自動駕駛的系統，則站前折返的列車停站時間會由旅客上下車的時間所決定，而站後折返則是受制於轉轍及號誌聯鎖的時間，其值小於站前折返的停車時間，因此同樣可以推論 $T_{t,F1} > T_{t,R1}$ 。惟採站後折返時，列車必須先在到站月台讓旅客下車，再將列車駛往後方尾

軌折返，列車駛入離站月台後，必須等候旅客上車才能駛離末端車站，因此雖然站後折返的號誌時隔比站前折返小，但列車在末端車站的總停留時間則會大於站前折返所需的停留時間，兩者各有利弊。

7.4.2.4 站後折返一站內停靠不同股道

若列車在末端站後方折返時停靠不同的尾軌，則列車可以交替使用不同的軌道，因此號誌時隔不會受到列車在尾軌的停靠時間影響。例如圖 7-17 中，假設有一列車停靠在下方的尾軌，而橫渡線鎖定在 4→1 的進路，此時第二列車從末端車站的到站月台經橫渡線駛入另一股尾軌，當列車車尾通過 1 之後，橫渡線重新設定在 2→3 的路徑，則原先停靠在下方尾軌的第一列車即可駛入末端車站的離站月台。在列車車尾通過 3 之後，橫渡線再設定為 4→2 的進路，則第三列車即可進入尾軌折返。

由前述分析可知，第三列車與第二列車到達尾軌的時間間隔，即為列車交替使用不同尾軌折返的號誌安全時距。參考圖 7-17 可知，其計算方式如下：

$$T_{t,R2} = t_{e \rightarrow t} + 2t_i + t_{t \rightarrow e} - t_{b,s} \quad (7.48)$$

式中： $T_{t,R2}$ =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）

$t_{e \rightarrow t}$ =列車從尾軌經橫渡線進入末端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）

$t_{t \rightarrow e}$ =列車從末端車站的到站月台進入尾軌直到車尾完全通過橫渡線區的運轉時間（s）

$t_{b,s}$ =列車車尾經過橫渡線至列車完全停妥的運轉時間（s）

式(7.48)中第二列車車尾通過橫渡線至列車完全停妥的運轉距離為橫渡線至月台端點的距離 $s_{p,2}$ ，此段過程之運轉時間為

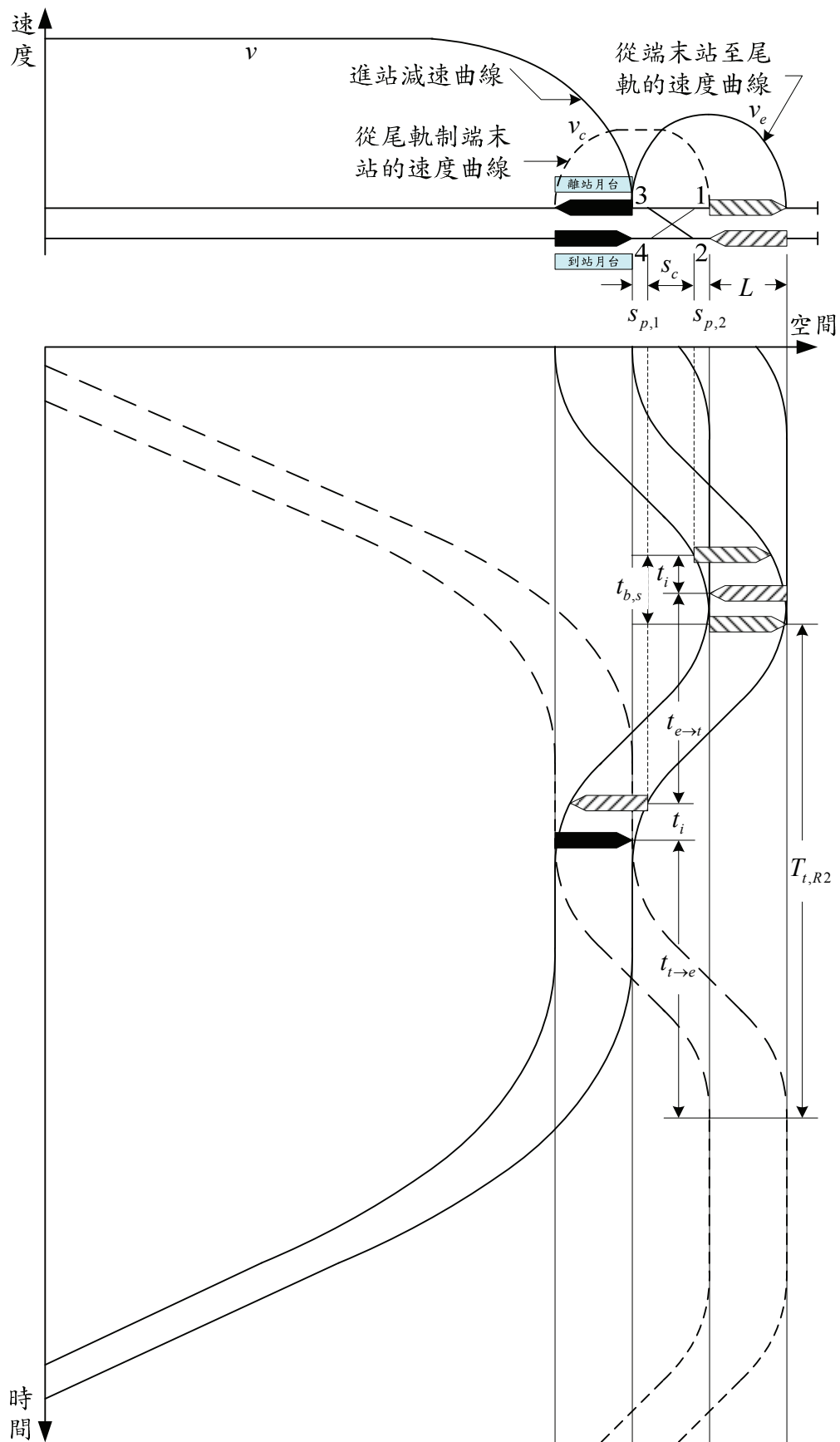


圖7-17 站後折返之號誌安全時距—停靠不同股尾軌

$$t_{b,s} = \sqrt{\frac{2s_{p,2}}{b}} \quad (7.49)$$

將式(7.40)、(7.45)、(7.49)、代入式(7.48)可得

$$\begin{aligned} T_{t,R2} = & \frac{s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L}{v_c} + \frac{v_c}{2a} + \frac{v_c}{2b} - \sqrt{\frac{2s_{p,1}}{b}} + \sqrt{\frac{2b(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{a(a+b)}} \\ & + \sqrt{\frac{2a(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{b(a+b)}} + 2t_i - \sqrt{\frac{2s_{p,2}}{b}} \end{aligned} \quad (7.50)$$

將式(7.32)與式(7.48)相減可得

$$T_{t,R1} - T_{t,R2} = t_d + t_{b,s} - t_i \quad (7.51)$$

如果配備司機員，則列車在尾軌的停留時間會遠大於轉轍及號誌聯鎖時間，即 $t_d > t_i$ ；若為全自動的系統，則列車在尾軌的停留時間會等於聯鎖時間，即 $t_d = t_i$ 。因此無論如何， $T_{t,R1} > T_{t,R2}$ ，表示交替使用尾軌折返的號誌時隔，會小於僅使用一股尾軌折返的時隔。

列車交替使用尾軌的前提是 $T_{t,R1} < 2T_{t,R2}$ ，若 $T_{t,R1} > 2T_{t,R2}$ ，則表示第三列車進入尾軌時，第一列車佔用的軌道尚未完全淨空，故此時列車交替使用尾軌折返的號誌安全時距必須修正為 $T_{t,R1}/2$ ，彙整前述分析可得如下之結論：

1. 若 $T_{t,R1} \leq 2(T_{t,R1} - t_d - t_{b,s} + t_i)$ 或 $T_{t,R1} \geq 2(t_d + t_{b,s} - t_i)$ ，則

$$\begin{aligned} T_{t,R2} = & \frac{s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L}{v_c} + \frac{v_c}{2a} + \frac{v_c}{2b} - \sqrt{\frac{2s_{p,1}}{b}} + \sqrt{\frac{2b(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{a(a+b)}} \\ & + \sqrt{\frac{2a(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{b(a+b)}} + 2t_i - \sqrt{\frac{2s_{p,2}}{b}} \end{aligned} \quad (7.52)$$

2. 若 $T_{t,R1} > 2(T_{t,R1} - t_d - t_{b,s} + t_i)$ 或 $T_{t,R1} < 2(t_d + t_{b,s} - t_i)$ ，則

$$T_{t,R2} = \frac{s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L}{2v_c} + \frac{v_c}{4a} + \frac{v_c}{4b} - \sqrt{\frac{s_{p,1}}{2b}} + \sqrt{\frac{b(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{2a(a+b)}} + \sqrt{\frac{a(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{2b(a+b)}} + \left(\frac{t_i + t_d}{2}\right) \quad (7.53)$$

一般而言，採用站後折返的系統通常為全自動駕駛的系統，由於列車在尾軌的停留時間很短，列車之間的號誌時隔主要受制於橫渡線區的淨空時間以及號誌聯鎖時間，因此比較可能屬於第一種情形，但若是配備司機員的系統，列車停留尾軌的時間會由更換駕駛艙的折返時間所決定，若停留時間過長的話，將會屬於第二種情形。

若與交替使用軌道的站前折返方式比較，同樣可以推論站後折返所需的時隔會小於站前折返所需的時隔，但列車在端末車站的總停留時間則是大大於站前折返所需的時間。

7.4.3 銜接點號誌安全時距計算公式

在路線銜接點處，不同方向的路徑會共用路權，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。列車通過銜接點的安全是以兩條路徑的平面交叉點為控制的基準，例如圖 7-18 中，水平的路徑與右下方的路徑在 C 點產生平面交叉，因此當其中一條路徑有列車欲通過 C 點時，另一條路徑的列車則禁止通過 C 點。

有關銜接點的號誌安全時距，通常是以正線的列車流向為主要的分析對象。假設圖中水平路徑為營運的正線，而右下方路徑為側線（例如機廠聯絡線），則銜接點的號誌安全時距，為水平路徑兩連續列車通過 C 點的時間間隔，且在兩列車之間，有側線的列車通過 C 點。舉例說明，當正線的第一列車通過 C 點之後，經過一段轉轍及號誌聯鎖的時間，號誌系統鎖定側線的進路，此時側線的列車恰好運行至授權通過 C 點的最接近位置；當側線的列車順利通過 C 點之後，號誌系統再重新設定正線的進路，此時在正線上的續行列車恰好運行至授權通

過 C 點的最接近位置，則正線上兩連續列車通過 C 點的時間間隔，即為銜接點的號誌安全時距，計算方式如下：

$$T_j = t_{n \rightarrow j} + t_{m \rightarrow j} + 2t_i \quad (7.54)$$

式中： T_j =正線列車通過銜接點的號誌安全時距 (s)

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

$t_{m \rightarrow j}$ =主線列車從授權通過銜接點的最接近位置直到車尾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)

在主線列車車尾尚未通過 C 點之後，號誌系統會禁止側線列車通過 C 點，因此側線列車最接近 C 點的位置必須距離 C 點至少一個安全煞車距離以上，亦即

$$D_n = \frac{Q_n v_n^2}{2K_b b}, Q_n > 1 \quad (7.55)$$

式中： D_n =側線列車授權通過銜接點前與平面交叉點的最接近距離(m)

v_n =側線列車接近銜接點之前的巡航速度 (m/s)

Q_n =側線列車與銜接點的間隔安全係數

側線列車進入銜接點的路徑通常是道岔的反位，列車通過時必須減速至道岔限速以下，因此側線列車從最接近 C 點的位置運行至車尾通過 C 點的過程會包括三種運轉行為：以側線的巡航速度等速運轉、減速至道岔限速、以道岔限速等速運轉，因此

$$t_{n \rightarrow j} = t_{n \rightarrow j,1} + t_{n \rightarrow j,2} + t_{n \rightarrow j,3} \quad (7.56)$$

式中： $t_{n \rightarrow j,1}$ =側線列車進入銜接點的平面交叉處之前以巡航速度的運轉時間 (s)

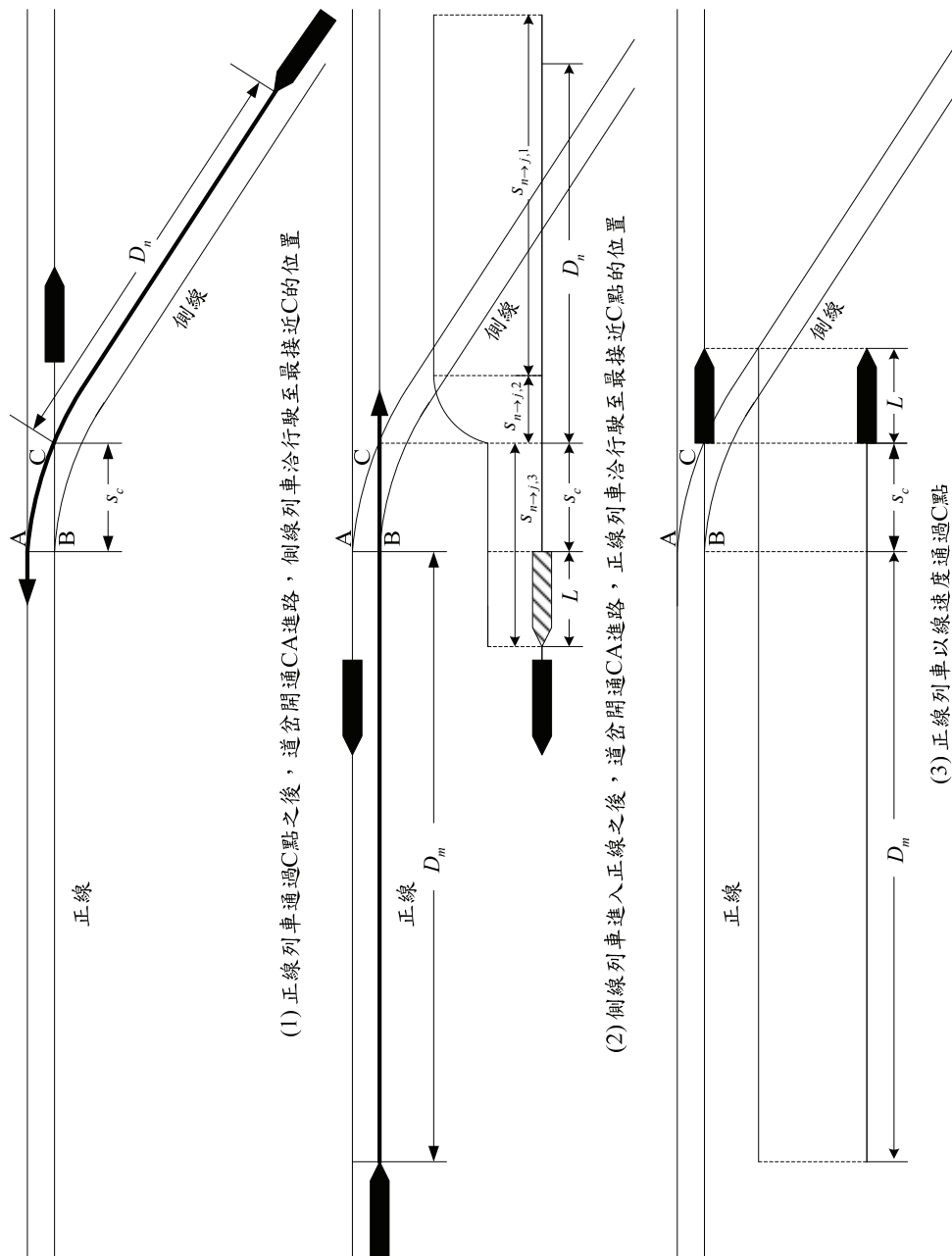


圖7-18 銜接點之號誌安全時距

$t_{n \rightarrow j,2}$ = 側線列車從巡航速度減速至道岔限速的運轉時間 (s)

$t_{n \rightarrow j,3}$ = 側線列車以道岔限速等速運轉直到車尾通過銜接點的運轉時間 (s)

側線列車從其巡航速度減速至道岔限速的運轉距離及運轉時間可依下兩式計算而得：

$$s_{n \rightarrow j,2} = \frac{v_n^2 - v_c^2}{2b} \quad (7.57)$$

$$t_{n \rightarrow j,2} = \frac{v_n - v_c}{b} \quad (7.58)$$

式中： $s_{n \rightarrow j,2}$ = 側線列車從其巡航速度減速至道岔限速的運轉距離 (m)

因此，側線列車以巡航速度等速運轉的距離及時間為

$$s_{n \rightarrow j,1} = D_n - s_{n \rightarrow j,2} = \frac{Q_n v_n^2}{2K_b b} - \frac{v_n^2 - v_c^2}{2b} = \frac{(Q_n - K_b)v_n^2}{2K_b b} + \frac{v_c^2}{2b} \quad (7.59)$$

$$t_{n \rightarrow j,1} = \frac{(Q_n - K_b)v_n}{2K_b b} + \frac{v_c^2}{2bv_n} \quad (7.60)$$

式中： $t_{n \rightarrow j,1}$ = 側線列車從最接近銜接點的位置以巡航速度等速運轉的時間 (s)

而列車以道岔限速運轉直到車尾完全通過銜接點的運轉時間及運轉距離為

$$s_{n \rightarrow j,3} = L + s_c \quad (7.61)$$

$$t_{n \rightarrow j,3} = \frac{L + s_c}{v_c} \quad (7.62)$$

式中： $t_{n \rightarrow j,3}$ = 側線列車以道岔限速運轉直到車尾通過銜接點的時間 (s)

將式(7.58)、(7.60)、(7.62)代入式(7.56)可得

$$t_{n \rightarrow j} = \frac{(Q_n - K_b)v_n}{2K_b b} + \frac{v_c^2}{2bv_n} + \frac{v_n - v_c}{b} + \frac{L + s_c}{v_c} \quad (7.63)$$

當側線列車通過銜接點之後，經過一段轉轍及號誌聯鎖時間，號誌重新鎖定正線的進路，在號誌尚未完成聯鎖之前，正線列車不得通過銜接點，因此正線列車與銜接點的最接近位置，至少為一個安全煞車距離以上，亦即

$$D_m = \frac{Q_m v_m^2}{2K_b b}, Q_m > 1 \quad (7.64)$$

式中： D_m = 正線列車授權進入銜接點之前的最接近距離 (m)

v_m = 正線列車接近銜接點之前的巡航速度 (m/s)

Q_m = 正線列車與銜接點的間隔安全係數

銜接點開通正線的路徑為道岔的正位，因此列車速度不受道岔限速的影響，故可以巡航速度通過銜接點。正線列車從與銜接點的最接近位置至車尾通過平面交叉點的運轉時間為

$$t_{m \rightarrow j} = \frac{D_m + s_c + L}{v_m} = \frac{Q_m v_m}{2K_b b} + \frac{s_c + L}{v_m} \quad (7.65)$$

將式(7.63)及(7.65)代入式(7.48)可求得正線列車通過平面交叉點的號誌安全時距為

$$T_j = \frac{(Q_n - K_b)v_n}{2K_b b} + \frac{v_c^2}{2bv_n} + \frac{v_n - v_c}{b} + \frac{L + s_c}{v_c} + \frac{Q_m v_m}{2K_b b} + \frac{s_c + L}{v_m} + 2t_i \quad (7.66)$$

前述公式的推導係假設正線列車一通過銜接點之後，側線列車恰行駛至最接近銜接點的位置，但實際營運時，若時間配合的不好，將導致正線列車的運轉時隔加大，因此在列車時刻的安排上必須配合的很好，而側線列車必須尋找空檔通過銜接點駛入正線，以減少對正線營運列車的干擾。如果列車密度很高的話，最好還是建構成立體交叉 (Grade Separation)，成為飛越式的銜接點 (Flying Junction)。

7.4.4 路線坡度對號誌安全時距的影響

路線坡度會影響列車的加減速性能，當列車行駛在 $G\%$ 的坡度上時，加速度可按下式估計：

$$a(G) \approx \frac{M_e a(0) - Mg \frac{G}{1000}}{M_e} = a(0) - \frac{g \cdot G}{1000\rho} \quad (7.67)$$

式中： $a(G)$ =列車在坡度 $G\%$ 的加速度 (m/s^2)

$M_e = \rho M$ 為列車的等效質量 (Equivalent Mass)

ρ =等效質量係數，用以表示列車運動過程中，轉動零件（例如車輪、車軸）吸收的能量之等價質量

M =列車編組質量 (kg)

g =重力加速度 (m/s^2)， $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

G =路線坡度 ($\%$)

等效質量係數 ρ 一般係介於 1.04~1.10 之間，如果將等效質量係數 ρ 以及重力加速度 g 的數值代入上式並四捨五入，可以下式來近似：

$$a(G) \approx a(0) - 0.009G \quad (7.68)$$

若是減速度，由於坡度阻力的方向相反，故以下式計算：

$$b(G) \approx b(0) + 0.009G \quad (7.69)$$

如果考量坡度對加減速性能的影響效應，則前述推導的號誌安全時距公式可調整如表 7.1 所示。

捷運路線在車站附近的坡度通常不大，因此坡度對加減速度的影響較小。特別是在末端車站，進站方向若是上坡，則出站方向則為下坡，坡度的效應會互相抵銷，因此若是無實際的線形資料，在計算號誌時隔時可以暫時忽略之。

表7.1 號誌安全時距計算公式

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				$T_s = \sqrt{\frac{2(s_x + s_o + L)}{a(G_o)}} + \frac{v}{2b(G_i)} \left(\frac{Q_s}{K_b} - 1 \right) + \frac{v}{b(G_i)} + t_d + t_r$
折返站	站前折返	一股道		$T_{i,F1} = \frac{L + s_p + s_c}{v_c} + \frac{v_c}{2a(-G_f)} + \frac{v}{2b(G_f)} \left(\frac{Q_t}{K_b} - 1 \right) + \frac{s_c + s_p + L}{v} + \frac{v}{b(G_f)} + t_i + t_d$
		兩股道	$T_{i,F1} \geq 2(t_d + t_{b,s} - t_i)$	$T_{i,F2} = \frac{L + s_p + s_c}{v_c} + \frac{v_c}{2a(-G_f)} + \frac{v}{2b(G_f)} \left(\frac{Q_t}{K_b} - 1 \right) + \frac{s_c + s_p + L}{v} + \frac{v}{b(G_f)} + 2t_i - \sqrt{\frac{2s_p}{b(G_f)}}$
			$T_{i,F1} < 2(t_d + t_{b,s} - t_i)$	$T_{i,F2} = \frac{L + s_p + s_c}{2v_c} + \frac{v_c}{4a(-G_f)} + \frac{v}{4b(G_f)} \left(\frac{Q_t}{K_b} - 1 \right) + \frac{s_c + s_p + L}{2v} + \frac{v}{2b(G_f)} + \frac{t_i + t_d}{2}$
	站後折返	一股道		$T_{i,R1} = \frac{s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L}{v_c} + \frac{v_c}{2a(-G_r)} + \frac{v_c}{2b(-G_r)} - \sqrt{\frac{2s_{p,1}}{b(-G_r)}} + \sqrt{\frac{2b(G_r)(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{a(G_r)(a(G_r) + b(G_r))}} + \sqrt{\frac{2a(G_r)(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{b(G_r)(a(G_r) + b(G_r))}} + t_i + t_d$

表 7.1 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	$T_{i,R1} \geq 2(t_d + t_{b,s} - t_i)$	$T_{i,R2} = \frac{s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L}{v_c} + \frac{v_c}{2a(-G_r)} + \frac{v_c}{2b(-G_r)} - \sqrt{\frac{2s_{p,1}}{b(-G_r)}}$ $+ \sqrt{\frac{2b(G_r)(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{a(G_r)(a(G_r) + b(G_r))}} + \sqrt{\frac{2a(G_r)(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{b(G_r)(a(G_r) + b(G_r))}} + 2t_i - \sqrt{\frac{2s_{p,2}}{b(G_r)}}$
			$T_{i,R1} < 2(t_d + t_{b,s} - t_i)$	$T_{i,R2} = \frac{s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L}{2v_c} + \frac{v_c}{4a(-G_r)} + \frac{v_c}{4b(-G_r)} - \sqrt{\frac{s_{p,1}}{2b(-G_r)}}$ $+ \sqrt{\frac{b(G_r)(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{2a(G_r)(a(G_r) + b(G_r))}} + \sqrt{\frac{a(G_r)(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{2b(G_r)(a(G_r) + b(G_r))}} + \left(\frac{t_i + t_d}{2}\right)$
銜接點				$T_j = \frac{(Q_n - K_b)v_n}{2K_b b(G_{j,n})} + \frac{v_n^2}{2b(G_{j,n})v_n} + \frac{v_n - v_c}{b(G_{j,n})} + \frac{L + s_c}{v_c} + \frac{Q_m v_m}{2K_b b(G_{j,m})} + \frac{s_c + L}{v_m} + 2t_i$

備註： G_i = 中間站進站坡度 (‰)

G_o = 中間站離站坡度 (‰)

G_f = 折返站站前進站坡度 (‰)

G_r = 折返站站後離站坡度 (‰)

$G_{j,m}$ = 正線往銜接點坡度 (‰)

$G_{j,n}$ = 側線往銜接點坡度 (‰)

7.5 最小號誌時距的決定

雖然在路線的每一個空間參考點都有號誌安全時距，但對於整個系統而言，最小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

$$T_{\min} = \max(T_s, T_t, T_j) \quad (7.70)$$

式中： T_{\min} =系統的最小號誌安全時距（s）

T_s =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）

折返車站之號誌安全時距 T_t ，必須視橫渡線的佈設位置（站前或站後），以及使用軌道的方式（一股或兩股），來決定採用 $T_{t,F1}$ 、 $T_{t,F2}$ 、 $T_{t,R1}$ 或 $T_{t,R2}$ 。通常一條捷運路線至少會有兩個折返車站，因此折返站號誌時距的計算，必須以條件最差的折返車站來計算。

7.6 運轉寬裕時間的估計

號誌顯示、轉轍器的操作、停車時間以及列車運轉過程均為隨機程序（Stochastic Process），不可能百分之百精準地依預定的計畫來運作，因此運轉計畫中，列車的運轉時隔必須加計運轉寬裕時間，以備列車因故延誤時有趕點的空間。

運轉寬裕時間的設定，關係到營運計畫的彈性調整與營運準點的服務水準，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。美國軌道容量手冊^[48]建議捷運系統的運轉寬裕時間介於 15~25 秒之間，但本研究認為運轉寬

裕時間不應採用固定值，因為當號誌時隔愈大時，其產生的變異也愈大，因此運轉寬裕時間應與整個系統最小號誌時距呈一定的比例，亦即

$$t_m = \beta T_s \quad (7.71)$$

式中： t_m =運轉寬裕時間（s）

β =運轉寬裕時間係數

上式說明號誌時隔愈大，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。

7.7 最小運轉時隔的計算

列車的最小運轉時隔為計算軌道容量（包括設計容量與可達成容量）的基礎。第7.2節說明列車的運轉時隔包括號誌安全時距、停站時間或停等時間（視情形而定），以及運轉寬裕時間。由於前述號誌時距公式的推導已將可能的停站時間考慮在內，因此捷運系統兩連續列車的最小運轉時隔可依下式計算而得：

$$h = T_s + t_m = (1 + \beta)T_s \quad (7.72)$$

式中： h =連續列車的最小運轉時隔（s）

第八章 結論與建議

本系列計畫之前期研究雖已針對傳統暨區域鐵路建構軌道容量分析模式，並開發一套軌道容量分析工具程式，及探討服務品質的概念，但列車的流量和路線利用率對於列車的延滯有很大的影響，故於本年度研究中進行探討並發展相關分析模式及程式；本計畫之主要研究目的包括：釐清傳統暨區域鐵路列車流量與可靠度之關係、建立都會捷運系統之容量分析模式的發展基礎等 2 項。

延續去年的研究，在本年度中探討傳統暨區域鐵路軌道容量與可靠度之議題，為了解列車流量與列車平均延滯時間的關係，除蒐集臺鐵列車實際到開資料進行分析之外，並發展了可靠度模擬模式。而在都市捷運系統方面，綜整回顧容量分析相關文獻，建構了運轉時隔分析模式，最後本研究提出以下結論與建議。

8.1 結論

1. 本研究蒐集臺鐵的「列車到開時刻登記表」，將其建立成電子資料後，經過統計分析，大致符合列車平均延滯時間隨列車流量增加的趨勢，然而除了列車流量外，尚有很多影響列車可靠度的因素，且列車在實際營運時含有許多隨機特性，因此其統計結果並不佳。
2. 根據臺鐵列車實際到開時間的資料，本研究透過迴歸分析方法，嘗試以線性、二次、指數等函數建立迴歸模式，然而由於樣本資料的品質難以掌握，如資料正確性欠佳、數量不多、資訊太少無法針對延滯原因進行樣本篩選等原因，以致於迴歸分析的結果皆不如預期。
3. 考量迴歸模式的實用性有限，因其僅能就列車流量一項探討平均延滯時間，無法用以評估在其他不同的條件下的影響，所以本研

究發展了可靠度模擬模式，模式中考量了列車流量、車種組成、運轉時間以及號誌時距等因素，模擬計算列車的平​​均延滯時間，且經由臺鐵實際資料進行驗證後，確定該模式能反映實際列車運行延滯的現象。

4. 在實務上，決定寬裕應為多寡的方式很多，但須注意由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會有所不同。本研究以平均實際延滯時間 5 分鐘為標準，透過可靠度模擬模式所得到的分析結果，建議容量分析的寬裕係數值應為 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。
6. 藉由電腦資訊技術，將可靠度模擬模式開發成輔助工具程式，並整合至傳統暨區域鐵路系統軌道容量分析軟體之中，使得模式便於推廣應用，且透過圖形化視窗介面讓使用者在操作上更加容易簡單。
7. 本研究針對國內都市捷運系統之特性，發展了運轉時隔分析模式，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，用適當的參數來計算，此外除了中間站外，亦針對折返點和銜接點發展其號誌安全時距計算公式。

8.2 建議

1. 一個完整的容量分析模式應具有運轉時隔分析模式、以列車為客體單位之容量模式，和以旅客為客體單位之容量模式等 3 個部分，在本年度研究中礙於時程的限制，僅發展了運轉時隔分析模式，建議後續研究應繼續完成其他 2 部分，以完備都市捷運系統的容量分析模式。
2. 都市捷運系統容量分析模式之複雜性不亞於傳統暨區域鐵路系統，因此如同傳統暨區域鐵路系統軌道容量分析軟體，也應針對都市捷運系統容量分析模式，開發視窗化應用程式，除可提升容量分析工作之效率外，也能降低使用該模式所需之技術門檻，進而達到推廣的目的。
3. 依軌道容量手冊之架構，本研究針對都市捷運系統所發展之運轉時隔分析模式，未來可作為該手冊中「都會軌道系統—第一型模式」內容之參考。
4. 軌道系統尚有高鐵系統、輕軌運輸系統等，可進行相關的容量分析研究，以作為軌道容量手冊中尚未編訂的「城際軌道系統—第二型模式」，以及「都會軌道系統—第二型模式」等 2 個篇章內容之基礎。
5. 鐵路營運上有相當多的寶貴資訊，如列車實際到開時間、旅客旅程起訖點等，若能對這些資料作進一步分析，將能對未來營運策略的決定與服務品質的改善提出建設性之建議。然而分析結果要正確，其資料的質與量皆非常重要，如在本次研究中，向臺鐵蒐集之「列車到開時刻登記表」係為人工作業填寫，除了有人為作業疏失的問題外，要將資料輸入電腦進行分析亦相當費時費力，若未來能從號誌系統自動蒐集列車實際到開時間，並將資料建立成資料庫，對於未來進行相關研究將有所助益。

6. 在本研究中僅探討容量與可靠度之關係，然而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。

參考文獻

1. 交通部全球資訊網網頁，網址：<http://www.motc.gov.tw/>。
2. 交通部高速鐵路工程局，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。
3. 交通部運輸研究所，軌道容量研究－臺鐵系統容量模式之建構分析（一），交通部運輸研究所，民國 94 年 3 月。
4. 交通部運輸研究所，軌道容量研究－臺鐵系統容量模式之建構分析（二），交通部運輸研究所，民國 95 年 4 月。
5. 交通部運輸研究所，運輸系統容量分析暨應用研究－軌道系統（1/4），交通部運輸研究所，民國 96 年 4 月。
6. 交通部運輸研究所，運輸系統容量分析暨應用研究－軌道系統（2/4），交通部運輸研究所，民國 97 年 5 月。
7. 交通部運輸研究所，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. 交通部臺灣鐵路管理局網頁，網址：<http://www.railway.gov.tw/>。
9. 交通部鐵路改建工程局網頁，網址：<http://www.trupo.gov.tw/>。
10. 李英，「城市軌道交通折返線相關問題研究」，城市軌道交通研究，Vol.01, pp.28-32, 2003 年。
11. 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。
12. 林國顯，「我國陸路運輸建設之檢討與未來發展方向」，我國陸路交通政策展望研討會－創造永續、均衡與關懷的生活環境，交通部運輸研究所，民國 95 年。

13. 高雄市捷運工程局網站，網址：<http://mtbu.kcg.gov.tw/>。
14. 高雄捷運公司網站，網址：<http://www.krtco.com.tw/>。
15. 運轉理論研究會，**運轉理論－運轉曲線圖的基礎與應用**，日本鐵道運轉協會，1992。
16. 臺北大眾捷運股份有限公司，網址：<http://www.trtc.com.tw/>。
17. 臺北大眾捷運股份有限公司，**臺北捷運公司 2006 年年報**，臺北大眾捷運股份有限公司，2007 年 9 月。
18. 臺北大眾捷運股份有限公司，**臺北捷運公司 2007 年年報**，臺北大眾捷運股份有限公司，2008 年 7 月。
19. 臺北市政府捷運工程局網頁，網址：<http://www.dorts.gov.tw/>。
20. 臺鐵列車到開時刻登記表。
21. 謝興盛，**捷運列車延誤時班距調整模式之模擬分析－以台北捷運中、高運量系統為例**，國立成功大學交通管理科學研究所博士論文，民國 92 年 7 月。
22. 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。
23. 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.
24. Auer, J.H., Rail-Transit People-Mover Headway Comparison, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1974.
25. Barter, W. M., "Application of Computer Simulation to Rail Capacity Planning", *Computers in Railways VI*, 1998, pp. 199-211.

26. Ferreira, L. and Higgins, A., “Modelling Reliability of Train Arrival Times”, *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 122, 1996, pp. 414-420.
27. Ferrovie dello Stato Spa - Divisione Infrastruttura, **European Railways Optimisation Planning Environment - Transportation Railways Integrated Planning**, EuROPE-TRIP, 2000.
28. Gill, D. G., “Assessment of Mass Transit Turn-back Capacity Using Dynamic Simulation Models”, *Computers in Railways VII*, 2000, pp. 1077-1086.
29. Hansen, I. A., “Station Capacity and Stability of Train Operations”, *Computers in Railways VII*, 2000, pp. 809-816.
30. Higgins, A., Kozan, E. and Ferreira L. “Modelling delay risks associated with train schedules”, *Transportation Planning and Technology*, Vol. 19, Issue 2, November 1995, pp. 89-108.
31. Higgins, A., Kozan, E., “Modeling Train Delay in Urban Networks”, *Transportation Science*, Vol. 32, No.4, November 1998, pp.346-357.
32. Huisman, T. and Boucherie, R. J., “Running Times on Railway Sections with Heterogeneous Train Traffic”, *Transportation Research B*, Vol. 35, 2001, pp. 271-292.
33. Hyland Joy & Wardrop Pty, **MTRAIN User’s Manual**, Version 89A, State Rail, 1989.
34. Keith Briggs, Christian Beck, “Modelling Train Delays with q-exponential Functions”, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Vol. 378, Issue 2, 15 May 2007, pp. 498-504.
35. 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.

36. 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.
37. Kraft, E. R., “Analytical Models for Rail Line Capacity Analysis”, *Journal of Transportation Research Forum*, Vol. 29, 1988, pp. 153-162.
38. Law, A. M. and Kelton, W. D., **Simulation Modeling & Analysis 2nd Edition**, McGraw-Hill International, New York, 1991.
39. Leilich, R. H., “Application of Simulation Models in Capacity Constrained Rail Corridor”, Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference. New Jersey: Piscataway, 1998, pp. 1125-1133.
40. Mattsson, L. G., “Train service reliability A survey of methods for deriving relationships for train delays”, Written at the request of the Swedish Institute for Transport and Communications Analysis, 12 August 2004.
41. Middelkoop, D. and Bouwman, M., “Testing the Stability of the Rail Network”, *Computers in Railways VIII*, 2002, pp. 995-1002.
42. Middelkoop, D. and Bouwman, M., “Train Network Simulator for Support of Network Wide Planning of Infrastructure and Timetables”, *Computers in Railways VII*, 2000, pp. 267-276.
43. Nils O.E. Olsson and Hans Haugland, “Influencing factors on train punctuality—results from some Norwegian studies”, *Transport policy* 11, 2004, pp. 387-397.

44. Pachl, Joern, **Railway Operation and Control**, VTD RAIL publishing, Terrace, U.S.A., 2002.
45. Railway Technical Web Pages, <http://www.railway-technical.com/> °
46. Rietveld, P., Bruinsma, F. R., Van Vuuren, D. J., “Coping with Unreliability in Public Transport Chains: a case for the Netherlands”, *Transportation Research Part A*, Vol. 35, 2001, pp. 539-559.
47. Stuart R. Mckay, An Interactive Train Performance Simulator With Signalling Applications, Queen’s University Kingston, Ontario, Canada, 1992
48. Tom Parkinson Transport Consulting Limited, **Rail Transit Capacity (TCRP Report 13)** , Transportation Research Board, National Research Council, U.S.A., 1996.
49. Vuchic, V. R., **Urban Public Transportation Systems and Technology**, Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, New Jersey, 1981.

附 錄

附錄 A 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(3/4) (97.06.03)

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

辦理傳統暨區域鐵路系統之可靠度分析是本次研究的重點之一，首先從臺鐵實際的營運情形分析著手，進而發展可靠度分析的模式。以下說明目前研究的進度。

2.1 臺鐵實際營運資料蒐集與分析

要了解目前臺鐵列車服務可靠度的情況，必須先蒐集臺鐵列車在各車站實際到開時間的資料，才能進行後續的分析。

2.1.1 資料蒐集

依照臺鐵現行的制度，各車站副站長每天會將各車次列車的到開時間登記在「列車到開時刻登記表」中，其格式可參見表 2.1，車次和規定的到開時刻已經先印在表上，而副站長再依實際情況填寫列車的到開時刻，並計算列車早到、早開、遲到或遲開的時間。

臺鐵每天每一車站都會有一份列車到開時刻登記表，裡面記載著經過該站每列車的到開時間，以臺鐵兩百個左右的車站數和每天上千次的車次數來看，若要蒐集一段時期內，每一站的列車到開時刻，其資料量將相當

龐大，且所有的資料都是紙上作業，沒有電子檔案，若要進行分析，光是將全部資料輸入電腦中建檔，就難以在本次研究的時程內完成。

有鑒於本分析在於了解列車流量和可靠度的關係，因此以臺鐵列車密度較高的路段為主要分析對象，向臺鐵蒐集了在民國 97 年 2 到 3 月間，松山、臺北、萬華、板橋、樹林等五個站的列車到開時刻資料。

表2.1 臺鐵列車到開時刻登記表

台北站列車到開時刻登記表									
中華民國 97 年 3 月 19 日 星期三					副站長				
車次	到達時刻		開車時刻		早到	早開	遲到	遲開	附註
	規定	實際	規定	實際					
2114	6:56	6:59	7:01				3	2	9 基
1003	6:55	6:59	7:00	02			4	2	6 高
2120	7:03	05	:06	07			2	1	7 新
1053	7:03	04	7:08				1		8 東
2116	7:08		7:12						9 基
2706	:11		:14						6 樹
2104※	:14		:16						8 逢六日例停 七
2505	7:19	21	7:21	23			2	2	7 新
69	7:17	19	:22	23			2	1	9 團體 花
2506	7:22	23	7:25	26			1	1	8 六日例 停駛 松
1005	7:25	26	7:30				1		6 高
2031	:29	32	:33	35			3	2	9 由力=力一弓 花
2708	:30	32	:33	35			2	2	7 樹

資料來源：臺鐵列車到開時刻登記表

2.1.2 資料統計

在統計臺鐵列車服務可靠度資料之前，首先需將列車到開時刻的資料建檔，結合兩相臨車站成為一個站間，針對某一站間則可統計出其列車流量與平均延滯時間的關係。對於列車流量以及列車延滯時間的計算方式定義如下：

1. 列車流量：在出發站，根據規定開車時刻計算在一單位時間內開車的列車數。
2. 列車延滯時間：在到達站，列車實際到達時刻和規定到達時刻的差值，若為負值則為 0，可用以下公式表示：

$$\text{列車的延滯時間} = \max\{(\text{實際到達時刻} - \text{規定到達時刻}), 0\}$$

舉例來說，圖 2-1(a)為依照規定到開時刻所繪的運行圖，在 1 小時內有三輛列車從車站 A 出發，因此列車流量為 3 列車／小時。而圖 2-1(b)則是實際上列車的運行圖，其中第一和第二輛列車在車站 B 實際的到達時刻和規定的相比，分別相差 d_1 和 d_2 ，因此平均延滯時間為 $(d_1 + d_2) \div 3$ 。

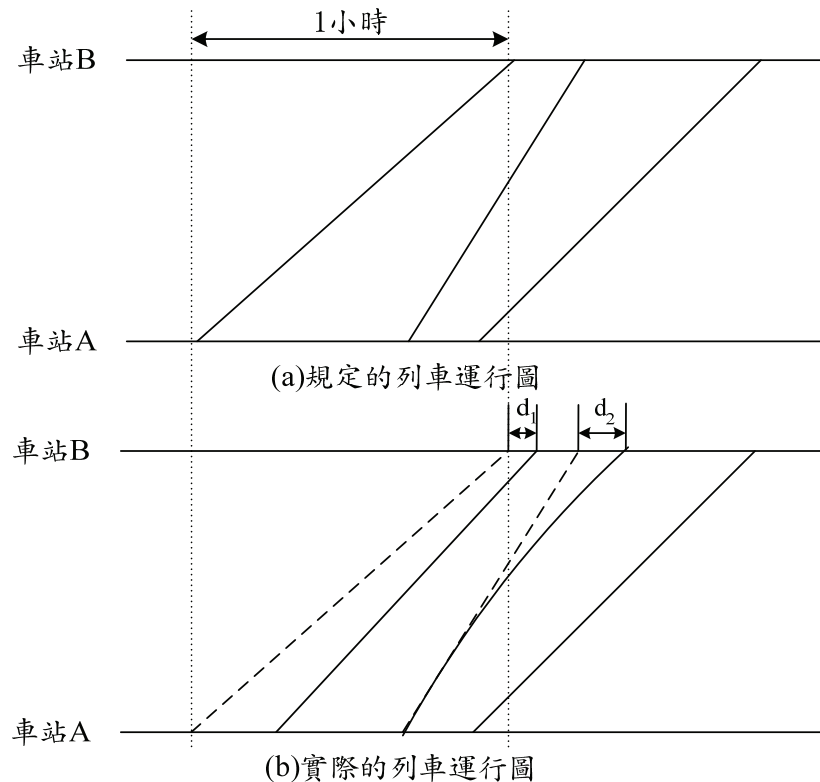


圖2-1 計算平均延滯時間示意圖

根據上述方式，統計萬華到板橋、板橋到樹林兩個路段，在民國 97 年 3 月 19 日和 20 日兩天的資料，得到列車流量和平均延滯時間關係的結果如圖 2-2和圖 2-3，從圖中可看出平均延滯時間大致上隨列車流量增加而成長。

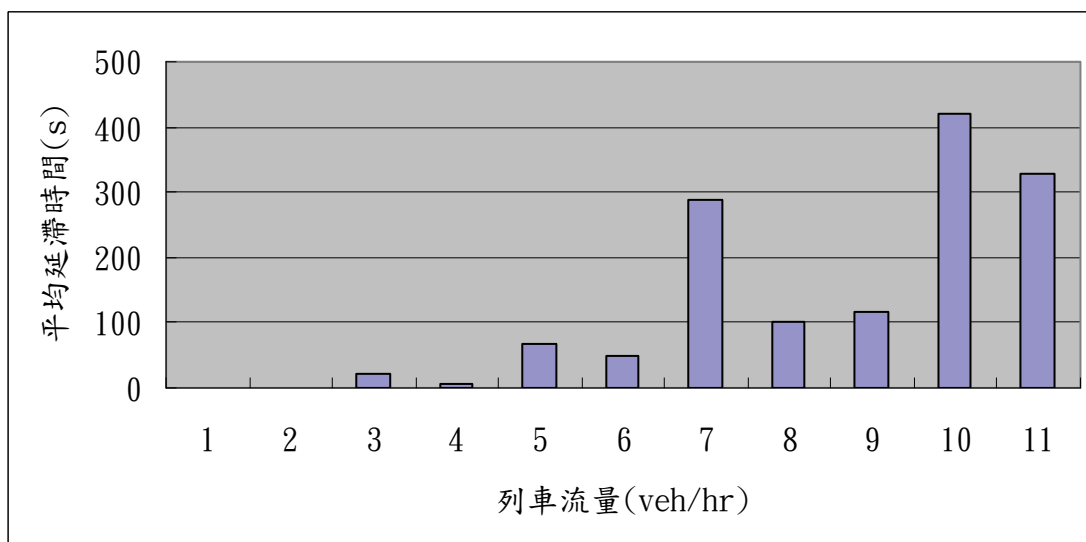


圖2-2 板橋→樹林站間列車流量和平均延滯時間關係直方圖

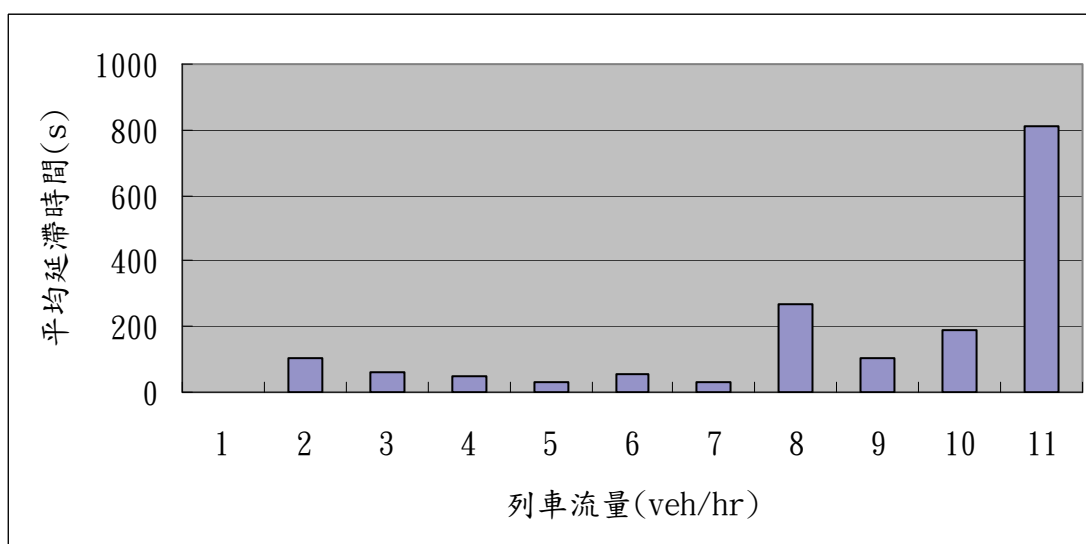


圖2-3 萬華→板橋站間列車流量和平均延滯時間關係直方圖

2.2 列車服務可靠度分析統計迴歸模式

根據上節的統計資料，可利用線性迴歸分析（Linear Regression）或非線性迴歸分析（Nonlinear Regression）兩種方式，來找出列車流量與平均延滯時間之關係式，以下分別說明之。

2.2.1 線性迴歸分析

從圖 2-2和圖 2-3中可明顯看出列車流量和平均延滯的關係並非直線，一般對於以指數增加的關係會以 $\hat{y} = a \cdot e^{bx}$ 的公式來加以預測，雖然該公式為非線性，但可轉換成 $\ln \hat{y} = \ln a + bx$ 以進行線性迴歸分析。將2.1.2節之統

計資料加以分析後的結果如圖 2-4和圖 2-5，可發現其判定係數 R^2 （Coefficient of Determination）分別為 0.5826 與 0.3454，顯示其迴歸分析結果不盡理想。

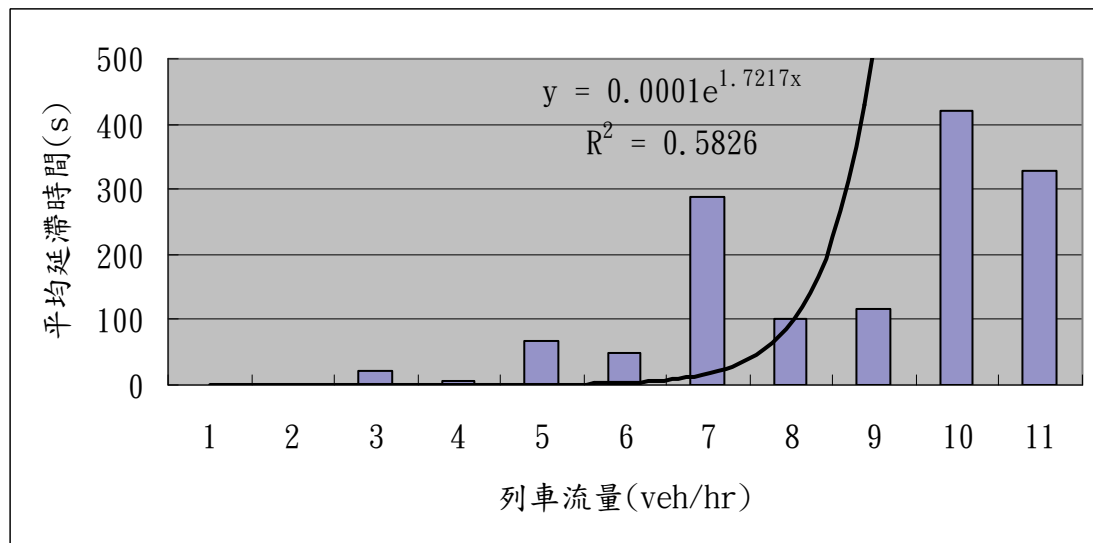


圖2-4 板橋→樹林站間的線性迴歸分析結果

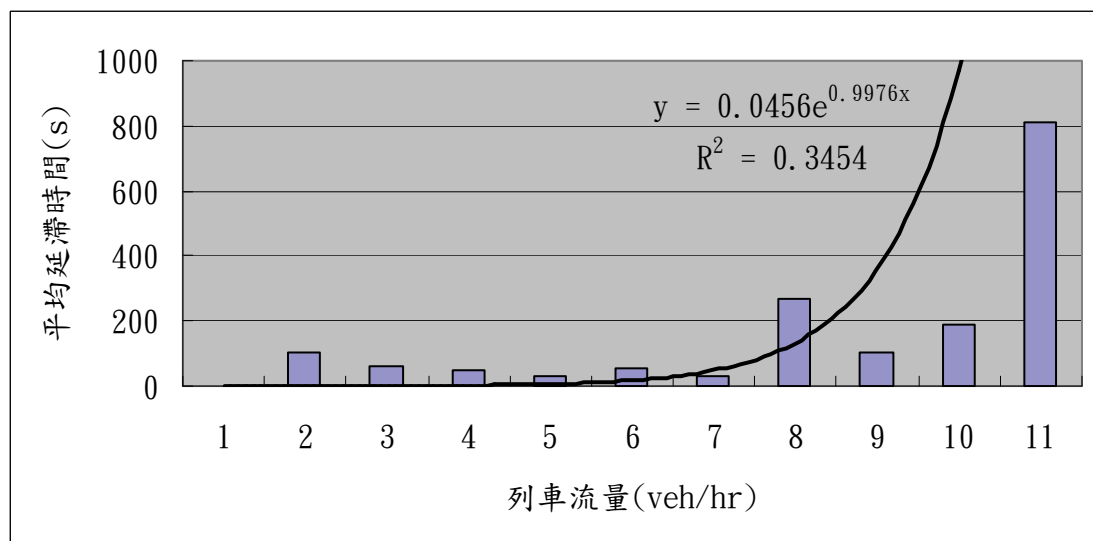


圖2-5 萬華→板橋站間的線性迴歸分析結果

2.2.2 非線性迴歸分析

由於線性迴歸分析效果不佳，因此改採用非線性迴歸，以公式 $\hat{y} = a \cdot (e^{bx} - 1)$ 來進行分析，結果如圖 2-6和圖 2-7，其 R^2 分別為 0.70325 以及 0.84366，明顯較線性迴歸分析的結果佳。

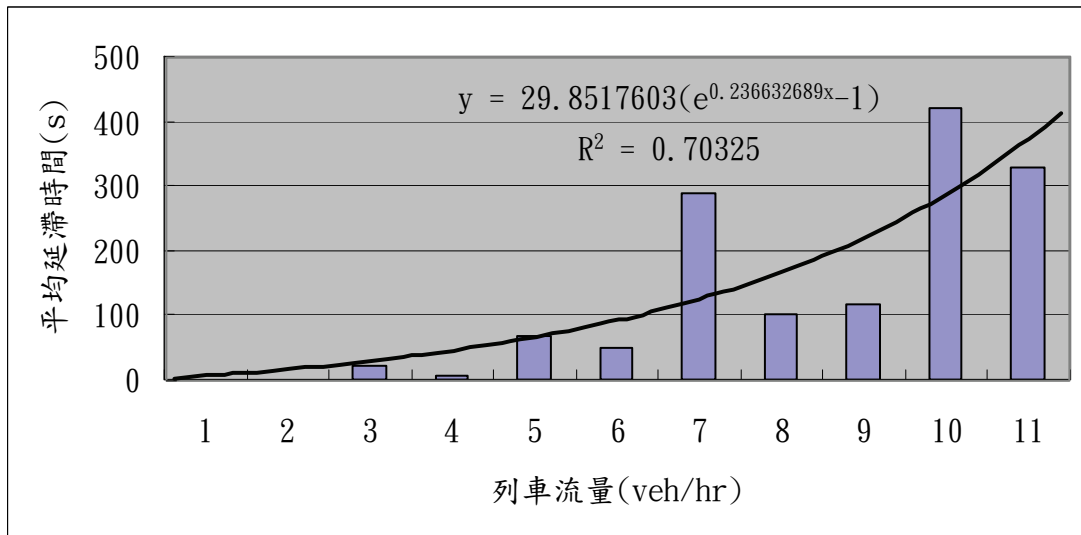


圖2-6 板橋→樹林站間的非線性迴歸分析結果

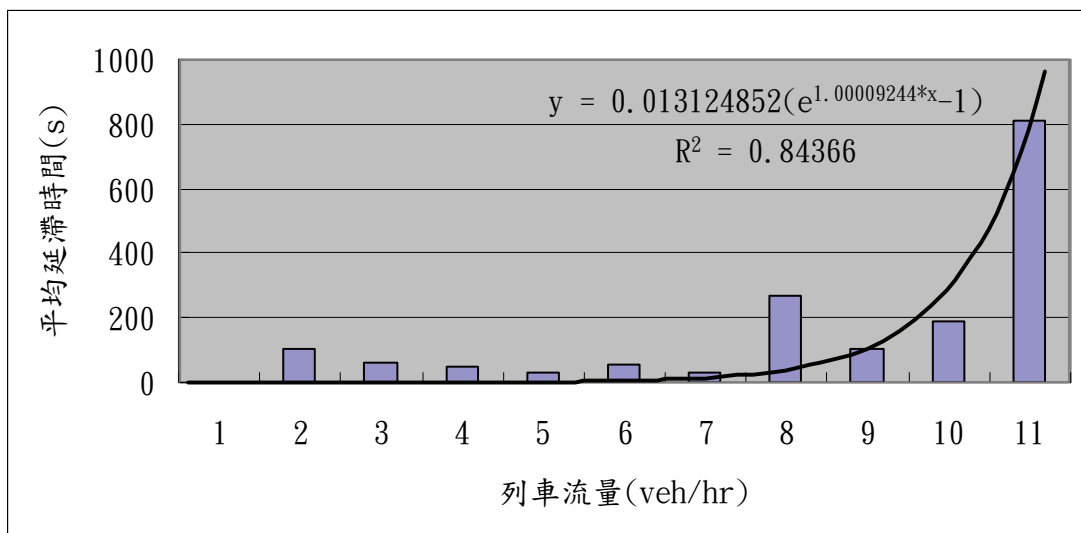


圖2-7 萬華→板橋站間的非線性迴歸分析結果

2.3 列車服務可靠度分析模擬模式

統計迴歸模式雖能獲得列車流量與平均延滯的關係式，但僅適用於被分析的路線區段，不能通用到其他路段，且沒有車種組成等相關的參數可供調校，無法進一步應用於預測以及推估上，因此本研究發展模擬模式來分析列車流量與平均延滯的關係。

2.3.1 模擬流程介紹

本模式是根據列車的車種組成、到達時間等之隨機特性，建構模擬模式來分析列車流量與平均延滯的關係，然而影響列車服務可靠度的因素很

多，包括路線條件、交通條件和號誌條件等，因此模擬過程必須盡量排除這些因素對可靠度所造成的影響，所以本模式是在固定的路線條件、交通條件和號誌條件前提下進行模擬。此外，號誌安全時距及運轉時間皆使用確定性的數值，其理由也是為了減少影響模擬結果的變因，且統計上尚未有合適的分配可表示其機率分佈型態。

模擬的流程如圖 2-8 所示，首先根據車種比例隨機決定第一輛列車的车種，依同樣的方式可再決定其續行列車的车種，接著根據期望的列車流量，以指數分配產生續行列車與先行列車開車時間的時間間距，然後計算續行列車所需的延滯時間，在模擬未達足夠的列車數之前，就繼續再模擬下一續行列車，如此反覆直到模擬的列車數足夠，最後計算每列車平均延滯時間。藉由模擬獲得在不同列車流量下的平均延滯時間，便可得到兩者之間的關係。

模擬過程中的列車間距是採用指數分配，係因為模擬分析須以隨機的期望班表為標準來計算列車的延滯，而指數分配是專門用來表示獨立隨機事件發生的時間間隔，且其值介於 0 與 ∞ 之間，比較符合列車時距的物理性質，所以適合用來產生隨機期望班表中的列車發車間距。

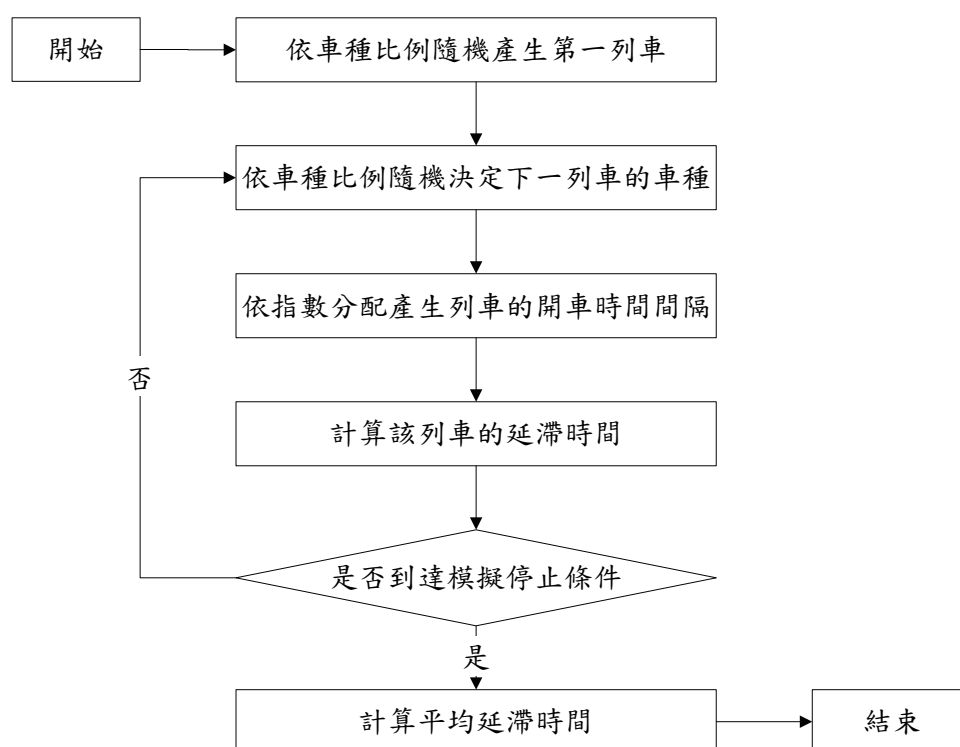


圖2-8 列車服務可靠度分析模擬模式流程圖

在前期研究中，將列車的延滯分為兩種型態，一種是列車排班的交會待避延誤（Waiting Time due to Scheduled Meeting and Overtaking），另一

種是列車實際運行的延滯（Delay in Current Operation），本模擬模式亦針對此兩種延滯型態，分別發展「排班延滯模式」和「實際延滯模式」，這兩種模式的模擬流程大同小異，下節將做進一步說明。

2.3.2 延滯的計算

從圖 2-9中可了解列車在排班時和實際運行時所發生的延滯之相異處，排班時若某一班列車延誤，例如圖 2-9(b)中的列車*i*，則續行的列車*j*和列車*k*皆是不改變其運轉時間，在運行圖上平移延後，但若是在實際運行時，續行列車*j*會在離站時距足夠的前提下離開車站 A，當其逐漸追上先行列車*i*時，因受到號誌的管制，列車*j*會降低速度，如圖 2-9(c)，其運轉時間變長，而其後續的列車*k*則完全沒有延誤。

由於排班和實際上的列車延滯方式不同，所以兩者在計算延滯時間的方式也有所不同，以下分別說明之。

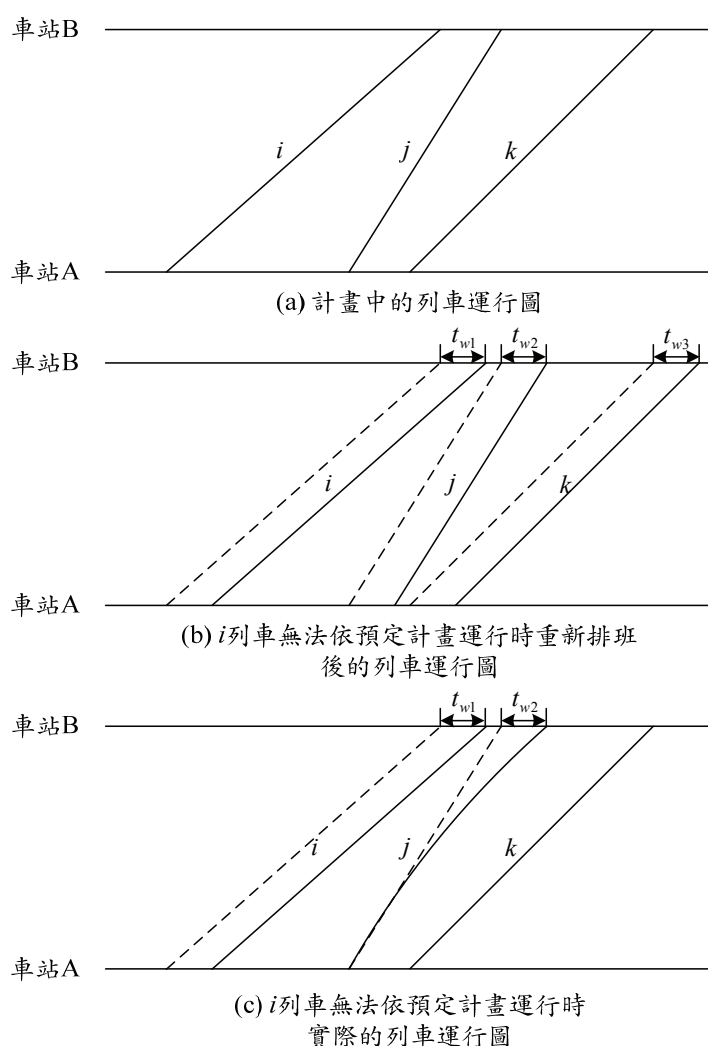


圖2-9 列車排班延滯與實際運行延滯

1. 排班延滯

根據上節所述的模擬流程，在隨機決定續行列車的車種與開車的時間間距後，即可依該列車的基準運轉時間計算其預計到達時刻，接著將該列車的到開時刻與先行列車的相比，判斷其號誌時距是否足夠，若不足則把該列車的到開時刻一同延後到時距足夠為止，所延後的總時間為該列車的排班延滯時間，如圖 2-10所示。

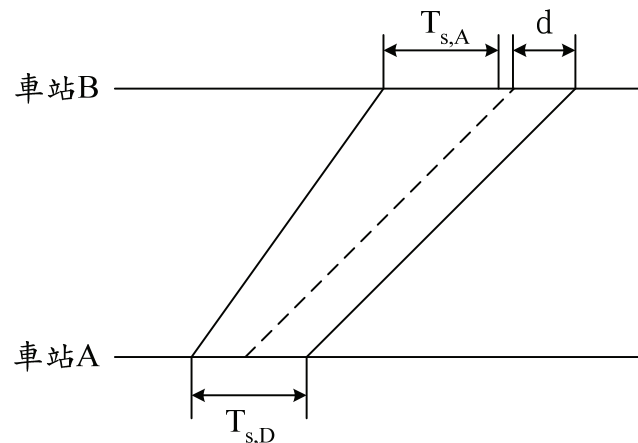


圖2-10 排班延滯的計算方式

2. 實際延滯

起初如同排班延滯一樣，先產生續行列車並計算其預計到達時刻，接著檢查其離站時距是否足夠，若不足則僅需將開車時刻延後到足夠為止，然後計算其到達時刻，和排班延滯模式不同的是，在此不是用基準運轉時間來計算。

列車在實際運行時如果有延誤，則會在條件容許下進行趕點，本模式亦反應此現象，如圖 2-11(a)，且趕點所考慮的條件為：

- (1) 趕點的運轉時間不能小於最小運轉時間
- (2) 趕點後的到達時刻不能比預計到達時刻還早
- (3) 趕點後的進站時距必須足夠

此外，若進站時距不足時，也僅需將續行列車的到達時刻延後到時距足夠為止，如圖 2-11(b)，將最後所計算出的到達時刻和預計到達時刻相差即為該列車的實際延滯時間。

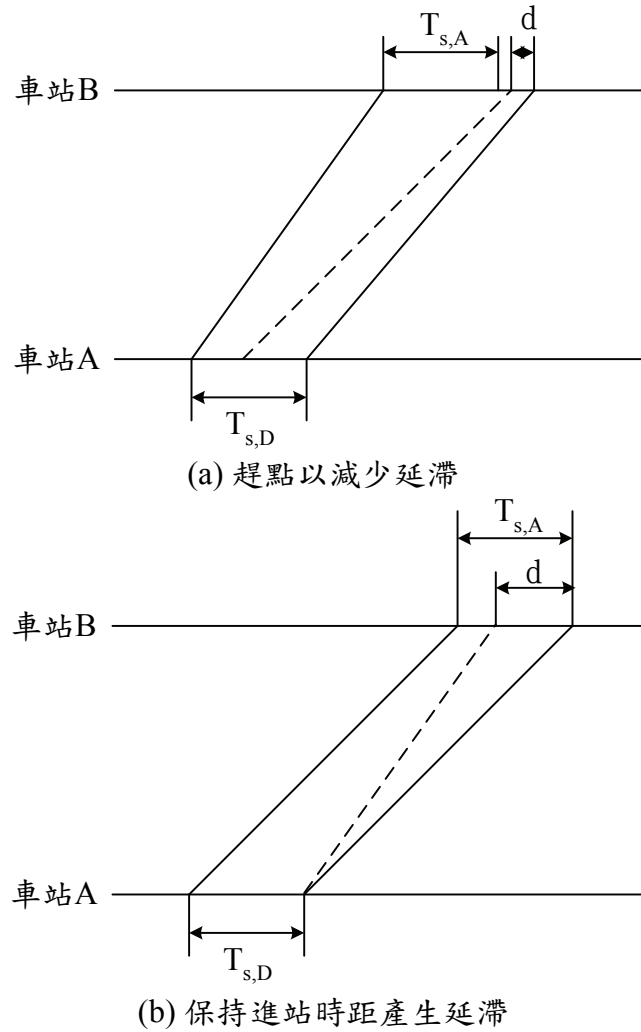


圖2-11 實際延滯的計算方式

排班延滯模式和實際延滯模式最大的不同處，除了在運轉時間方面之外，在號誌安全時距的計算上也有不同，在排班時，號誌時距會考量寬裕，而排班時所考量的寬裕便是為了在實際運行時，能提供調度的餘裕，因此在實際延滯模式中，在計算號誌安全時距時不含寬裕，表 2.2 綜整兩個模式的相異處。

表2.2 排班延滯模式和實際延滯模式相異處

模式類型	號誌安全時距	站間運轉時間
排班延滯模式	含寬裕	不可改變
實際延滯模式	不含寬裕	可改變

2.3.3 模式驗證

模式建構完成後，利用臺鐵的列車實際到開資料，可對模式進行驗證，但真實世界和模擬模式有些許出入：在真實世界的列車到開時間資料，是基於一可行班表，由於某種因素造成某一系列車延滯，而使其他列車也受到影響，而在模擬模式中，是利用機率分配產生隨機班表，兩者有所不同。

因此為了驗證模式，將以臺鐵的列車到開時間資料為基礎，而不使用隨機班表，直接給定列車實際開車時間以及車種，然後透過模式的模擬方式計算每一列車的到達時間，再與其規定到達時間相比得到每列車各別的延滯時間。將此延滯時間和2.1.2節所統計的延滯時間相互比較，如圖 2-12，便可了解本模式是否能反映真實世界的情況。

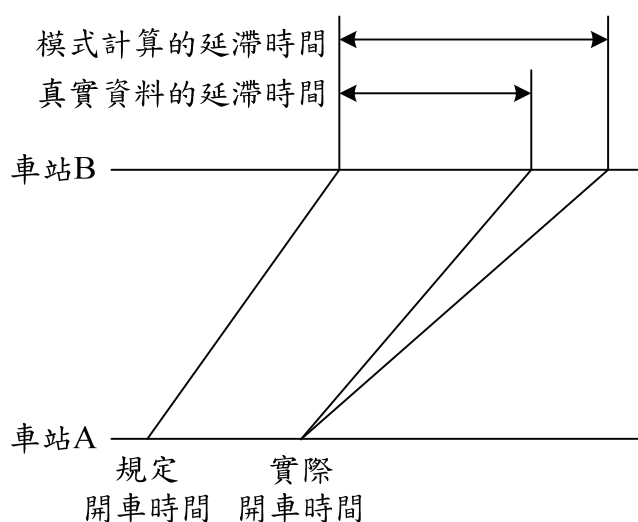


圖2-12 模式驗證方式

以民國 97 年 3 月 19 日和 20 日兩天，在萬華到板橋、板橋到樹林兩個路段內的所有班次到開資料來作驗證，模式所計算出的每列車延滯時間和真實資料相比的結果如圖 2-13。根據迴歸分析的結果，可發現模式計算的延滯時間和真實資料相當吻合，說明了本模式確實能反映列車延滯的現象。

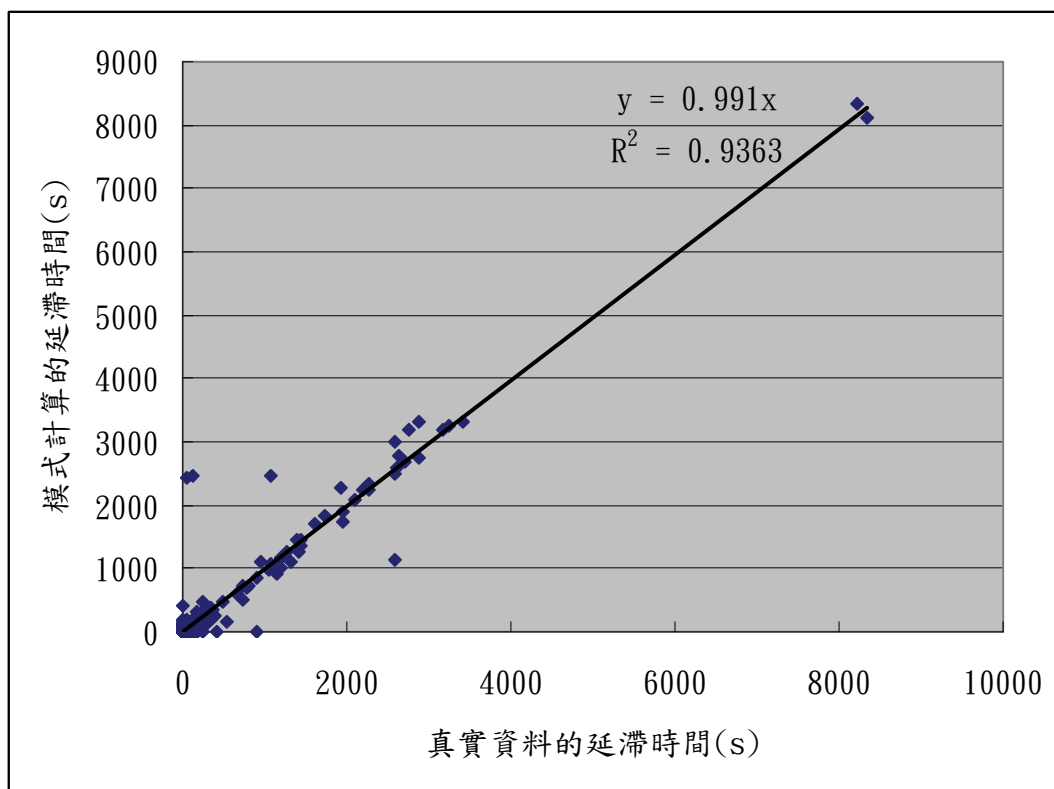


圖2-13 模式驗證結果

2.3.4 模式應用

在模式後續應用方面，本研究以板橋到樹林路段為例來進行可靠路模擬分析，假設在該路段所經過的列車車種、組成比例、運轉時間如表 2.3，以及利用前期研究的容量分析程式所求得的進離站時距如表 2.4和表 2.5，在每一列車流量下，皆經過 10 個回合，每回合 3000 車次的模擬，所獲得的結果如圖 2-14，可發現無論是排班延滯還是實際延滯，皆是呈現隨列車流量增加而成長的趨勢，和先驗知識相符。

表2.3 板橋到樹林路段的車種組成資料

車種	比例	基準運轉時間（秒）	最小運轉時間（秒）
自強號	2	240	225
莒光號	2	285	270
通勤電車	9	270	255

註：在此最小運轉時間假設為基準運轉時間的九折，再 15 秒進位。

表2.4 各先續行車種組成下於板橋的離站時距

先行 \ 續行	自強號	莒光號	通勤電車
自強號	136.4	136.4	136.4
莒光號	159.5	159.5	159.5
通勤電車	127.2	127.2	127.2

單位：秒

表2.5 各先續行車種組成下於樹林站的進站時距

先行 \ 續行	自強號	莒光號	通勤電車
自強號	153.4	177.5	162.3
莒光號	152.1	175.9	161.1
通勤電車	148.4	171.7	157.8

單位：秒

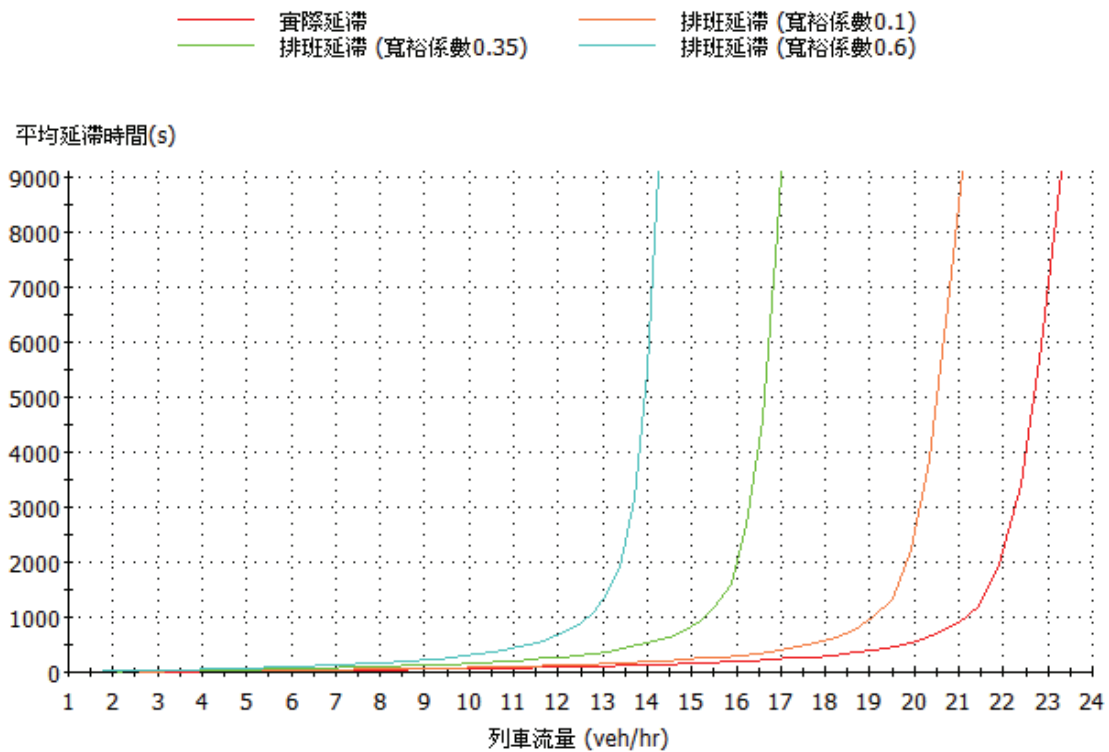


圖2-14 可靠度模擬模式分析結果

從圖 2-14亦可發現，在相同的平均延滯時間之下，雖然排班時寬裕係數愈高所能達成的列車流量愈低，但相對其保留容量則愈高，有較多的餘裕供運轉調度，可提高列車服務可靠度。另外在一般認知中，當路線利用率高到某種程度時需要提改善計畫，然而此關係受到寬裕係數的影響，當

寬裕係數大，即使利用率很高，也有足夠的寬裕提供運轉整理以避免平均延滯過大；若寬裕係數小，而利用率高時，則平均延滯可能過大而須要改善。

3. 未來工作計畫

未來欲進行的後續工作內容如下：

1. 傳統暨區域鐵路容量分析輔助工具程式開發
2. 都市捷運系統容量模式建構

4. 問題討論

附錄 B 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(3/4)」 期中工作會議紀錄

一、時 間：97 年 6 月 3 日(星期二)上午 9 時 30

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：

交通部鐵工局周副局長永暉

< 請假 >

交通部臺鐵局鄭工程司騰清

鄭騰清

交通部高鐵局七組施科長文雄

施文雄

臺灣高鐵公司陳經理信雄

< 請假 >

國立成功大學交通管理科學研究所鄭教授永祥

< 請假 >

逢甲大學交通工程管理系林教授大傑

< 請假 >

財團法人中興工程顧問社

鍾光太 張恩輔 黃聖琰

本所運計組

劉如琴 李沁山

五、主席致詞：(略)

六、簡報：(略)

七、出席人員發言要點：

(一) 交通部運輸研究所運計組林組長國顯

1. 在圖 2-2 中列車流量為 7 veh/h，和圖 2-3 中列車流量為 8 veh/h 的平均延滯時間為何會突然提高？

鍾志成博士答覆：在其他條件不變的情況下，理論上，列車流量愈高，平均延滯時間也會愈高，但是列車在實際運轉中有很多隨機的特性，是造成統計結果和理論有所出入的原因，此外，分析的資料來源為臺鐵的「列車到開時刻登記表」，該表是由人工手寫登記，無法確保資料登記的正確性亦是原因之一，但大體的趨勢是符合理論的。

2. 將臺鐵實際資料整理成流量和延滯關係圖時，是把 1 整天的時段分為 24 個小時嗎？

鍾志成博士答覆：有關臺鐵資料的整理，是採移動平均的方式，移動的時間為 15 分鐘，例如：早上 6 點到 7 點內，有幾班規定開車的班次為列車流量，然後計算這些列車整體的平均延滯時間，再來就看早上 6 點 15 分到 7 點 15 分，以此類推。最後有關圖 2-2 和圖 2-3，皆是針對單一軌道下行的分析結果。

3. 在公路上，分析時會標準化到一個車道，圖 2-2 和圖 2-3 的結果，是否有標準化？

鍾志成博士答覆：有關圖 2-2 和圖 2-3，皆是針對單一軌道下行的分析結果。

4. 最後提到容量利用率高到某個程度需提改善計畫，所謂的「某個程度」是指多少？

鍾志成博士答覆：所謂容量利用率高到某個程度需提改善計畫，並沒有一個固定的量化值，原因在於其跟寬裕係數大小有關。

(二) 交通部高速鐵路工程局七組施科長文雄

1. 將本模式開發成程式後，使用者該如何運用？

鍾志成博士答覆：未來開發程式將會和前期研究的容量分析整合，讓使用者除了可以進行容量分析，還可進一步進行可靠度分析，且可透過調整參數了解其對可靠度的影響，如車種組成變化等。

2. 模擬模式僅能分析一個站間，其泛用性受限，實際上當列車經過多個站間，即使在某站間發生延滯，但可以在其他站間追回，在可靠度分析上，將會和僅分析一個站間的結果有所差異。

鍾志成博士答覆：過去容量分析模式便是以一個站間為基礎，因此為保持一致性，本模式亦是以相同的基礎來發展，此外，多站間的可靠度分析有很高的複雜性，尚需投入更多的研究能量才能釐清，或許未來的後續研究可朝這方向努力。

(三) 交通部臺灣鐵路管理局運務處綜合調度所鄭工程司騰清

1. 不同車種的列車，即使組成比例相同，其發車順序不同對延滯亦有所影響。

鍾志成博士答覆：列車發車的次序確實會影響平均延滯計算的結果，為考量此隨機效應，因此模式依車種組成比例隨機產生車種來分析可靠度，以呈現整體平均情況。

2. 目前臺鐵排班希望可以了解，旅客在各時段的不同 OD 需求，列車該如何安排，如車種、班次數等，才能盡量符合旅客的期望。

鍾志成博士答覆：根據各時段的不同 OD 需求來安排列車，係屬於列車服務計畫課題，和本研究較無直接關係。

(四) 逢甲大學交通工程管理系林教授大傑（書面）

1. 2.2 中之 regression models 是否有理論基礎，請說明。

鍾志成博士答覆：2.2 節中的統計迴歸模式，僅就實際觀察資料進行迴歸分析，是統計分析中常見的分析方法，目的在探討兩組或多組數據之間是否有一種特定關係，在本研究中則是探討列車容量和平均延滯時間的關係。

2. 相關之影響因素，如車種等，如何納入模型？

鍾志成博士答覆：在統計迴歸模式中，由於是根據實際觀測資

料，本身已含有各項相關因素在內，但從迴歸式中無法了解其變化對平均延滯造成的影響，因此本研究繼而發展模擬模式，藉由調整參數進行模擬，例如調整車種組成，便可了解車種組成對平均延滯的影響。

3. onboard 之乘客數是否會有影響？


鍾志成博士答覆：本模式是以列車觀點來分析可靠度，因此不考量車上的乘客數，且從臺鐵實際資料中，難以釐清每列車的乘客數，即使將該變因納入模式中，也無法驗證模式之正確性。

4. 嘗試以模型發展應用於實際作業，值得肯定。

鍾志成博士答覆：感謝評審肯定。

八、散會

附錄 C 期中簡報資料



交通部運輸研究所


交通部運輸研究所


運輸系統容量分析暨應用研究 軌道系統(3/4)

期中簡報

簡報人：黃笙玟

中華民國97年06月26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
- 臺鐵列車服務可靠度分析
- 等候理論與可靠度相關文獻
- 可靠度分析模擬模式
- 後續工作計畫



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. 軌道容量服務品質
4. 軌道容量手冊編訂

都會捷運系統

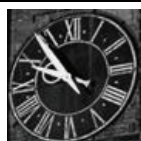
第三年度(本年度)

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. 捷運率轉時隔建構

第四年度

1. 捷運容量模式建構
2. 捷運容量程式開發
3. 捷運容量手冊編訂

運輸系統容量分析暨應用研究—軌道系統

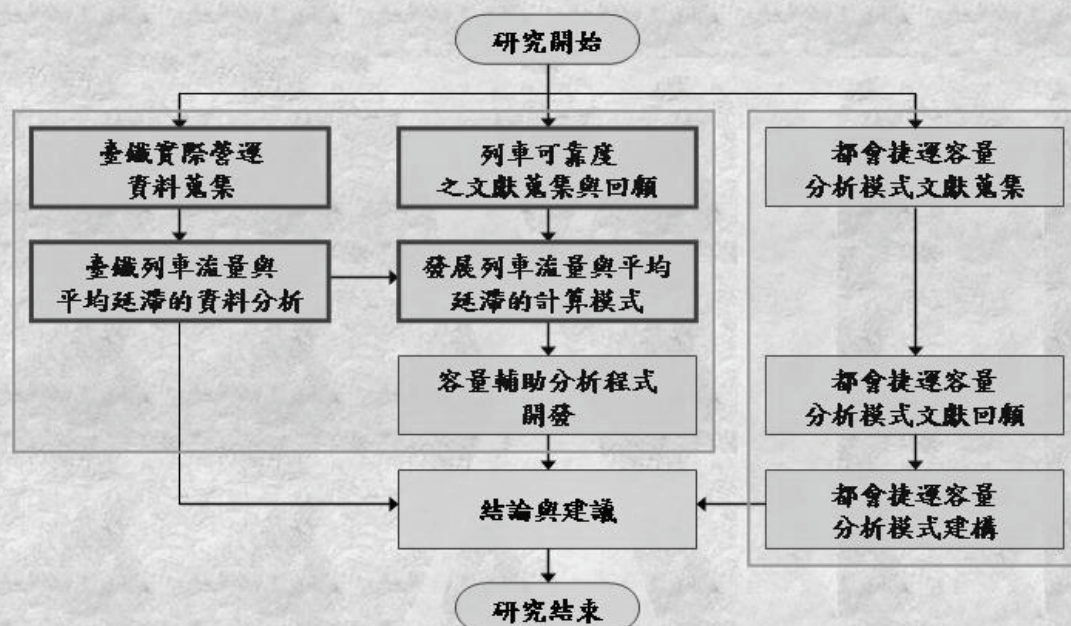


研究重點

- 辦理傳統暨區域鐵路系統之可靠度分析
- 完成傳統鐵路容量分析軟體輔助工具程式開發
- 辦理都市捷運系統容量分析相關文獻回顧與模式建構



研究工作流程



列車服務可靠度的評估指標

- 準點率
- 列車提早離站的機率
- 實際到達時間與表定到達時間的差異
- 續行列車的平均延誤時間
- 到達時間的標準差
- 其他



臺鐵列車到開登記表

站列車到開時刻登記表									
中華民國 97 年 3 月 19 日 星期三					副站長				
車次	到達時刻		開車時刻		車次	到達時刻		開車時刻	
	規定	實際	規定	實際		規定	實際	規定	實際
2114	6:56	6:59	6:59	7:01	2140	6:25	—	6:26	—
1003	6:55	5:59	7:00	02	2123	26	—	27	—
2120	7:03	05	:06	07	1051	32	—	33	—
1853	7:03	04	7:08	—	2704	34	—	34.5	—
2116	7:08	—	7:12	—	666	—	—	36	43
2706	:11	—	:14	—	2110	39	—	40	—
2104	:14	—	:16	—	2127	41	—	41.5	—
2505	7:19	21	7:21	23	75	—	—	46	—
69	7:17	19	:22	23	2503	50	—	50.5	—
2506	7:22	23	7:25	26	2114	51.5	—	52	—
1005	7:25	26	7:30	—	1061A	—	—	56	7:00
2001	:29	32	:33	35	1053	58	—	59	—
2708	:30	32	:33	35	1003	—	—	7:03.5	05.5
					2116	7:03.5	—	04	—
					2104	09	—	10	—
					2129	10	—	10.5	—
					69	—	—	13	15
					2506	17	18	18	19
					2706	18	—	18.5	—
					2803	24.5	29.5	25.5	35
					2034	25	—	25.5	28.5
					2505	29	31	30	32
					1005	—	—	33	—
					2708	37	—	37.5	—



統計結果

97/3/19-20

萬華→板橋站間

列車流量 (TU/h)	樣本數	平均值 (s)	標準差
1	6	0	0
2	4	105	121.24
3	5	64	69.86
4	6	47.5	109.17
5	10	31.2	66.50
6	14	56.43	50.78
7	18	29.05	34.80
8	42	267.32	567.95
9	27	102.72	130.24
10	20	189.3	472.52
11	6	811.82	1192.64

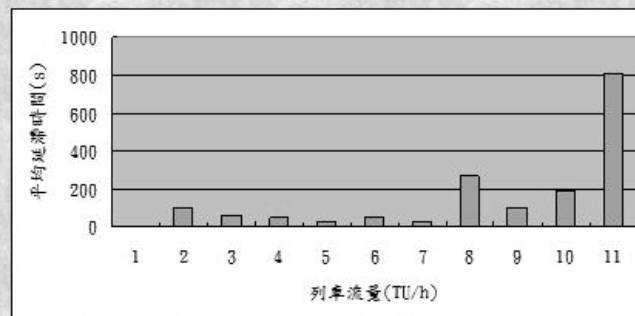
板橋→樹林站間

列車流量 (TU/h)	樣本數	平均值 (s)	標準差
1	2	0	0
2	2	0	0
3	2	20	0
4	4	7.5	8.66
5	10	67.2	87.26
6	20	48.5	60.05
7	23	288.63	546.18
8	18	100.42	151.19
9	30	116	237.97
10	24	420.375	795.23
11	7	327.66	788.84

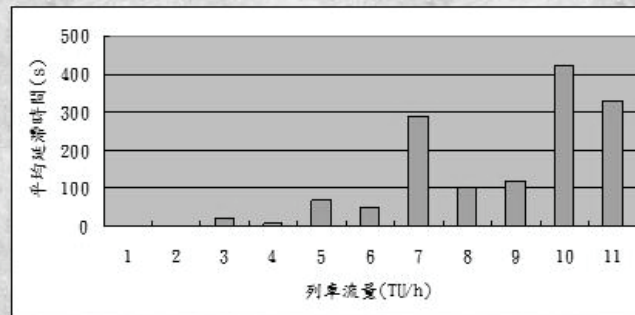


資料分析結果

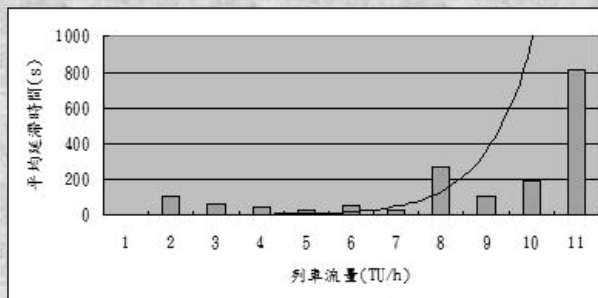
萬華→板橋站間



板橋→樹林站間



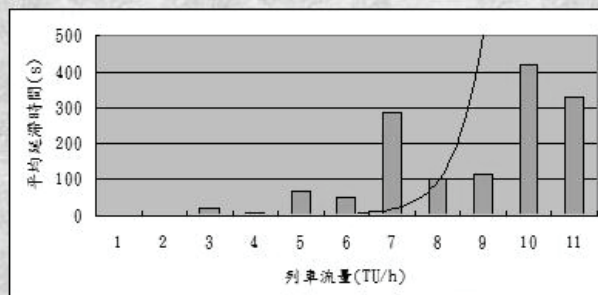
線性迴歸分析



萬華→板橋站間

$$\hat{y} = 0.0456 \cdot e^{0.9976x}$$

$$r^2 = 0.3454$$



板橋→樹林站間

$$\hat{y} = 0.0001 \cdot e^{1.7217x}$$

$$r^2 = 0.5826$$

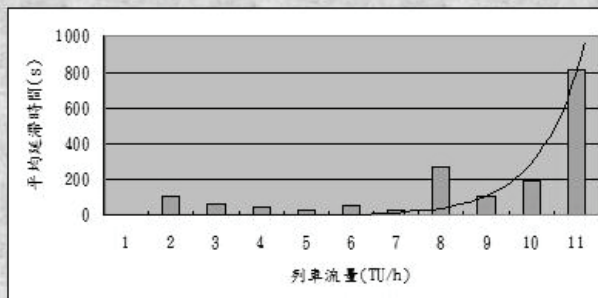


迴歸式的選擇

- $\hat{y} = a \cdot e^{bx} \longrightarrow \ln \hat{y} = \ln a + bx$
- $\hat{y} = a \cdot (e^{bx} - 1)$



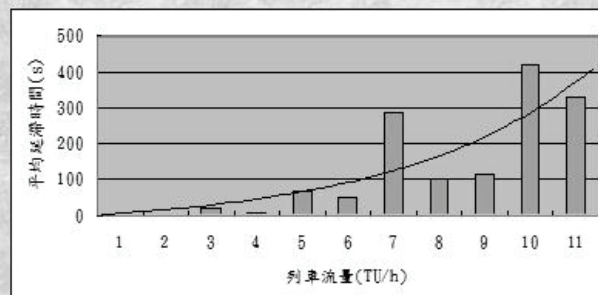
非線性迴歸分析



萬華→板橋站間

$$\hat{y} = 0.013124852 \cdot (e^{1.00009244x} - 1)$$

$$r^2 = 0.84366$$



板橋→樹林站間

$$\hat{y} = 29.8517603 \cdot (e^{0.236632689x} - 1)$$

$$r^2 = 0.70325$$



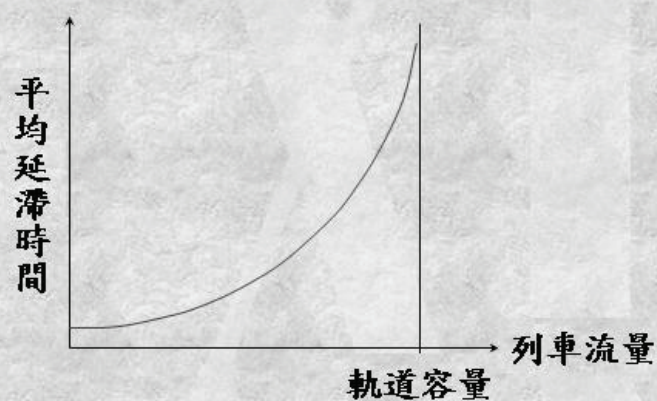
迴歸分析結果的缺點

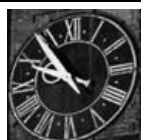
- 僅適用原分析路段
- 對於資料範圍外的結果，預測能力大幅下降
- 自變數僅有列車流量



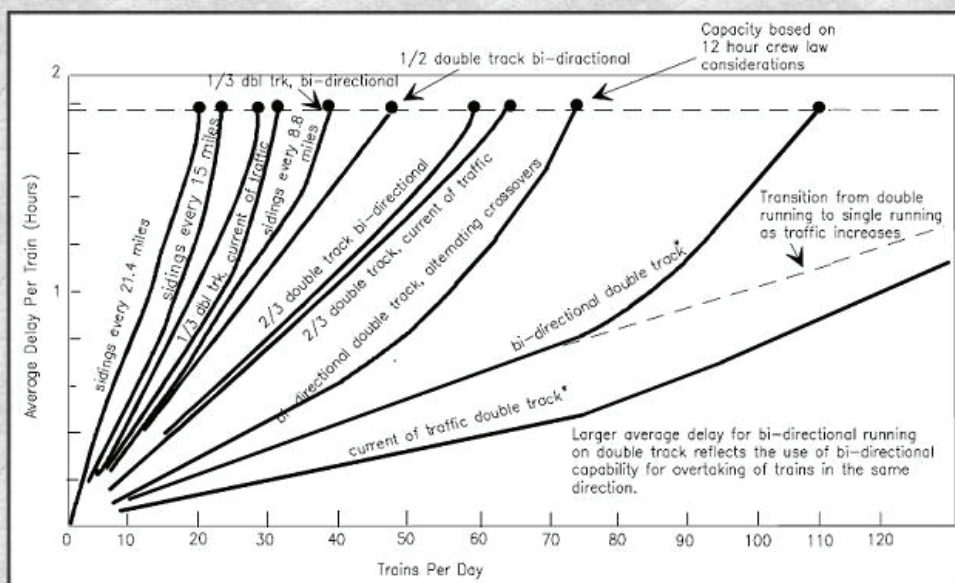
等候理論

- | | | |
|----------|---|--------|
| • 顧客 | → | • 列車 |
| • 伺服器 | | • 軌道 |
| • 顧客到達率 | | • 列車流量 |
| • 伺服器服務率 | | • 軌道容量 |





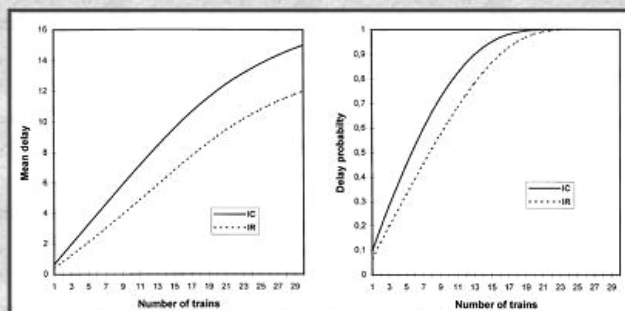
可靠度相關文獻(1/3)



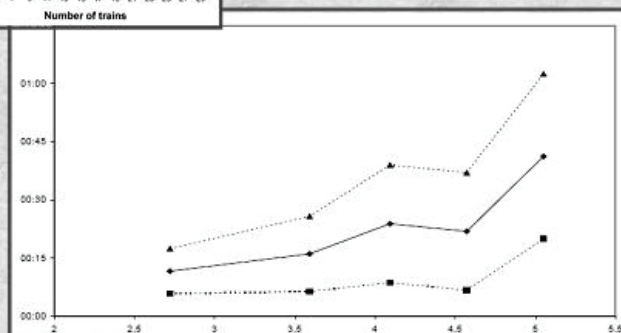
資料來源：Leitch, R. H., 1998



可靠度相關文獻(2/3)



資料來源：Hassam, T. & Boucherie, R. J., 2001



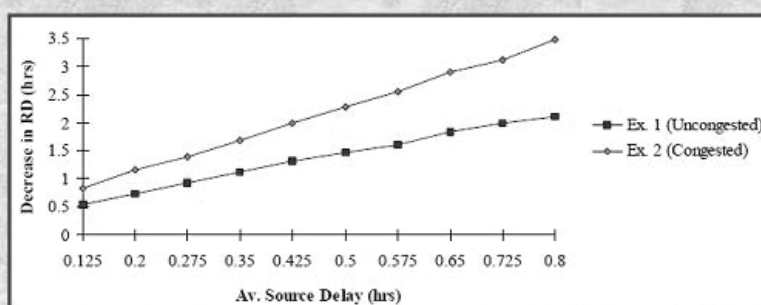
資料來源：Mattsson, L. G., 2004



可靠度相關文獻(3/3)

列車數	31	35	37
容量利用率 (%)	62	72	76
當發生15分鐘延遲時，受到影響的列車數	4.8	7.0	8.0
當發生15分鐘延遲時，恢復運轉所需的時間 (min)	41.4	47.9	51.3

資料來源：Mattsson, L. G., 2004 及本研究整理

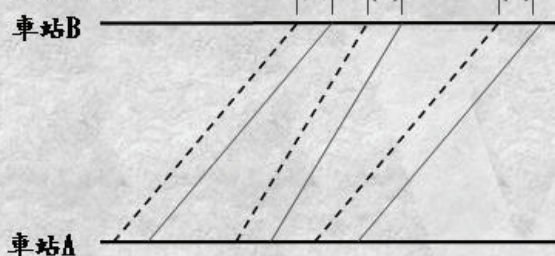


資料來源：Fonseca, L. & Higgins, A., 1996

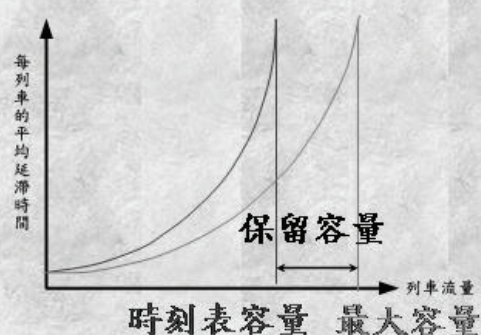
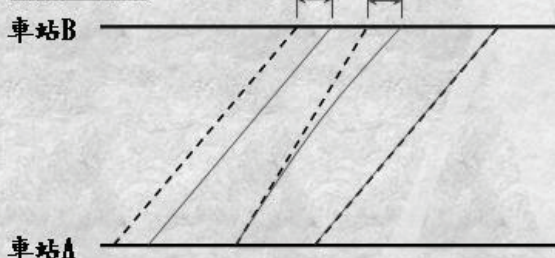


排班延滯和實際延滯

排班延滯



實際延滯



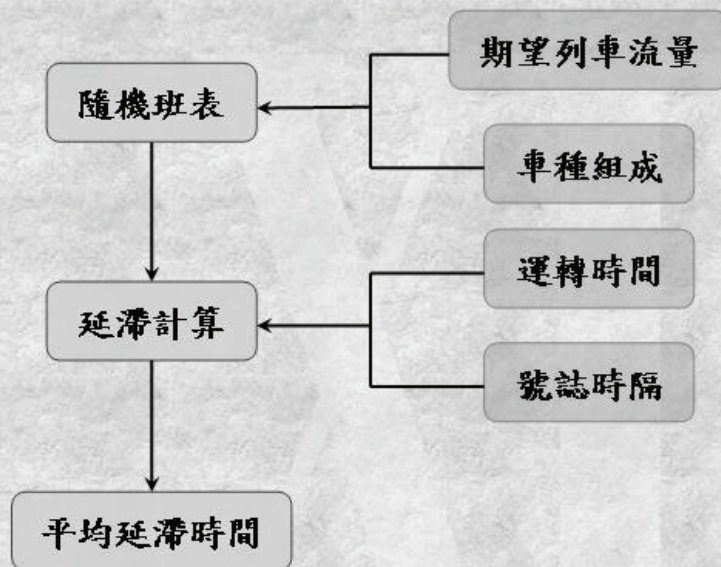


可靠度分析模擬模式

- 模式概觀
- 排班延滯模式
- 實際延滯模式
- 模式驗證
- 模式應用

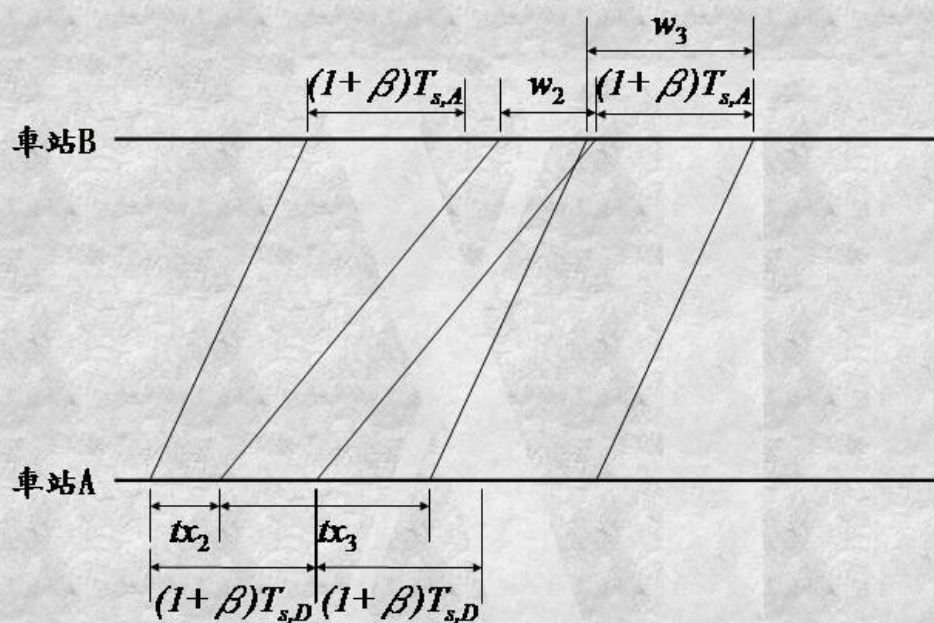


模式概觀

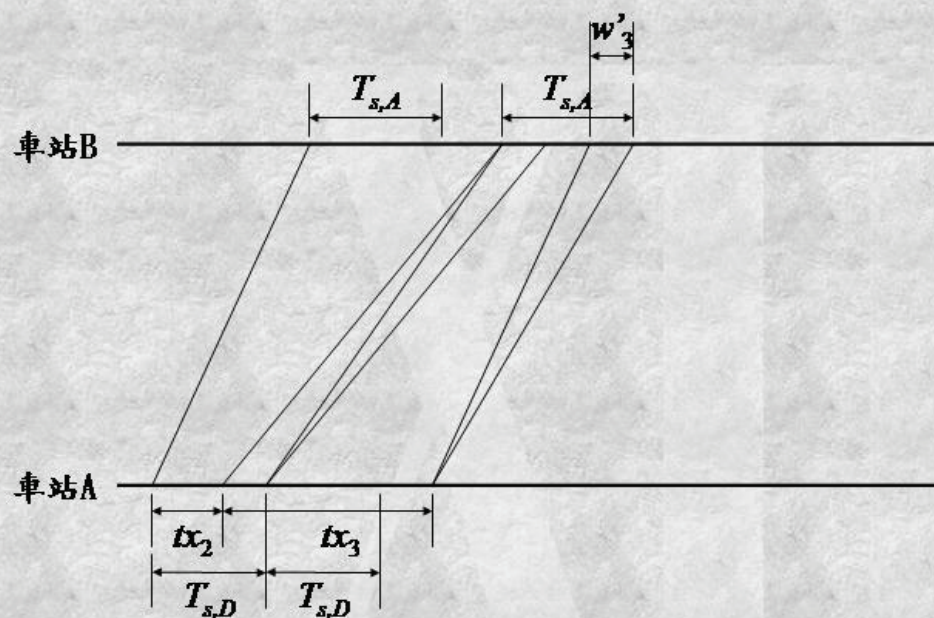


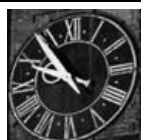


排班延滯模式

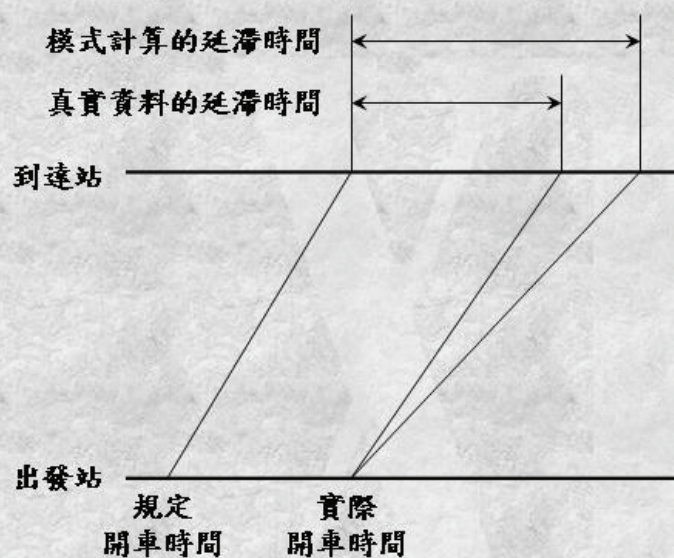


實際延滯模式

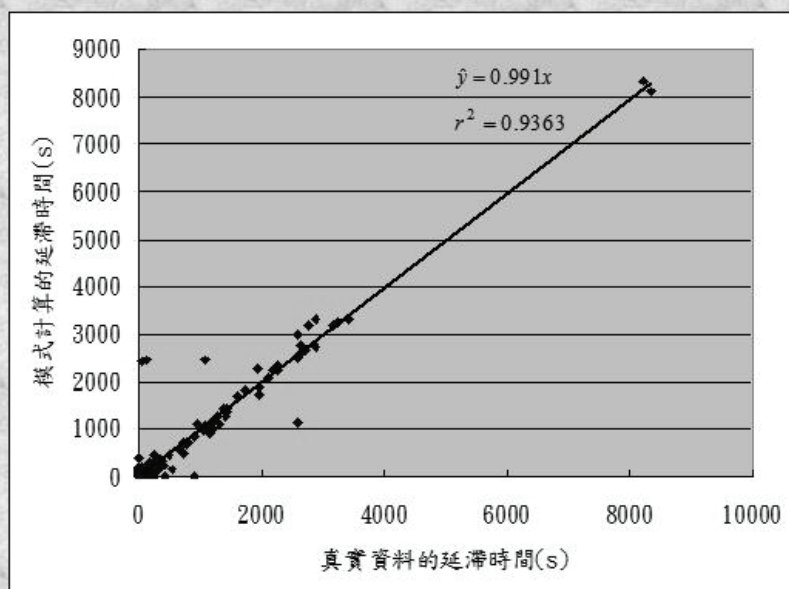




模式驗證(1/2)



模式驗證(2/2)





模式應用(1/2)

車種組成

車種	比例	基準運轉時間(秒)	最小運轉時間(秒)
自強號	2	240	225
莒光號	2	285	270
通勤電車	9	270	255

離站時距
板橋站

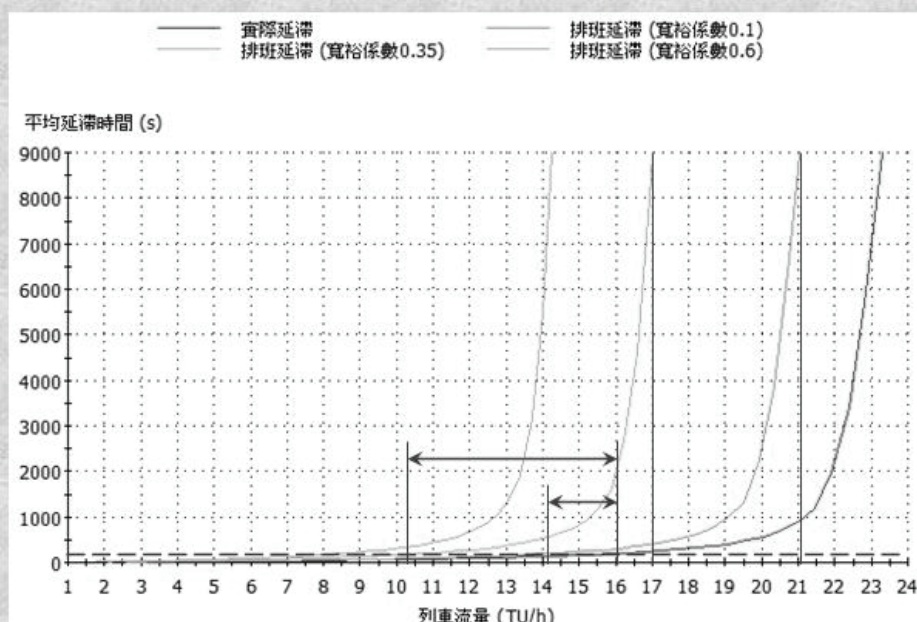
續行	自強號	莒光號	通勤電車
先行			
自強號	136.4	136.4	136.4
莒光號	159.5	159.5	159.5
通勤電車	127.2	127.2	127.2

進站時距
樹林站

續行	自強號	莒光號	通勤電車
先行			
自強號	153.4	177.5	162.3
莒光號	152.1	175.9	161.1
通勤電車	148.4	171.7	157.8



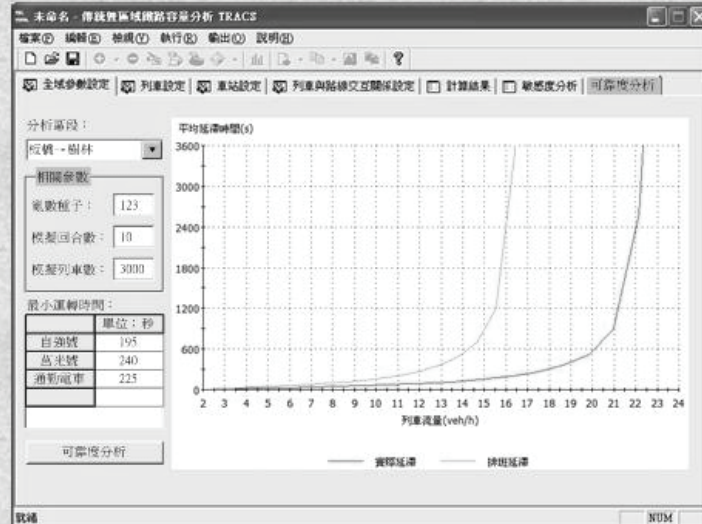
模式應用(2/2)





後續工作計畫

- 傳統暨區域鐵路容量分析輔助工具程式



- 都市捷運系統容量分析模式

簡報完畢
敬請指教

Thank You

附錄 D 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
運研所 運計組	有關本研究開發之模擬模式於後續應用時，可能需臺鐵系統各路段車站、路線及運轉等各項資料之輸入始能獲得結果，故後續仍需臺鐵局提供各項資料取得之協助。	感謝主席對本研究的支 持，希望臺鐵局未來能提 供最新且可靠的資料供後 續研究分析使用。	--
林國顯 組長	有關本模擬模式分析之路段長度與延滯時間長度是否有正相關，另是否可應用於臺鐵車種簡化及相關營運調整之政策參考，建議可於報告中補充說明。	未來於期末報告會將補充 相關案例分析，以說明模 式應用方式。	已於期 末 報 告 中 回 應處理。
臺鐵局 鄭工程 司騰清	臺鐵系統目前於七堵—汐止間因車站股道配置，列車時隔最密為 5 分鐘一班，無法達到真正捷運系統 3 分鐘一班之標準，故本研究之模擬模式分析時，於相關輸入資料之設定應注意其限制。	本研究發展之模擬模式係 根據實際的股道配置及號 誌設置來計算時隔，而非 使用者直接輸入，故時隔 會符合實際的限制。	同 意 承 辦 單 位 處 理 方 式。
	有關本模擬模式是否可反映不同車種組成對於延滯之影響程度，因為旅客真正 OD 需求資訊若能知道，將可透過本模式調整營運計畫，一方面滿足真正之旅客需求，一方面使營運效率提高。	本模擬模式可反映在不同 車種組成下對平均延滯時 間的影響。	同 意 承 辦 單 位 處 理 方 式。
國立成 功大學 鄭永祥 教授	有關本研究模擬模式考慮影響延滯之因素似乎只有列車數、運轉時間及號誌時隔等，而真正影響列車運行延滯之因素其實仍有許多，而最近挪威有一篇探討影響列車運行延滯因素之論文發表，建議本研究可納入參考。	感謝評審之建議，希望評 審可以提供該篇論文，以 利本研究參考。	--

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
國立成功大學 鄭永祥 教授	本研究模擬模式之使用界面，其中包括亂數種子、模擬回合數…等參數，為保留使用者應用之彈性，建議可由系統給定 default 值，抑或可由使用者依專業知識自行修改或輸入。	依評審意見辦理。	已於期末報告中回應處理。
	影響列車運行延滯之因素有很多，而本研究似乎未考慮不同車種相對速度差異所造成之延滯，另本研究似主要著重於 Link 2 車站間之延滯處理，是否能處理整個 Network 之延滯問題，建議可於報告中說明。	本研究發展之模式可以考慮列車車種組成之影響，但不能處理整個 Network 之延滯問題，該問題相當複雜，必須發展列車排點模式才能處理，但其工程非常浩大，短期內難以實現。	同意承辦單位之回應處理方式。
高鐵局 施文雄 科長	有關本研究之模擬模式於 2 站間，是否能充分反映運轉時隔與車種組成對於列車平均延滯之關係，建議於報告中可再補充說明；另本研究對於不同車種組成之平均延滯分析，建議可針對較常使用之車種組成加以分類，以方便檢核排班效益。	在模式的流程中，是以車種組成的比例，透過蒙地卡羅方法來決定各車次列車的車種，並且是根據先續行車種組成下的運轉時隔，來計算列車的延滯時間，因此模式可反應運轉時隔與車種組成的影響，將於報告中再補充說明。有關車種組成部分，隨著車種數增多，其可能的組成數呈非線性增加，且車種數和組成比例皆是由使用者自行決定，因此情況將變得複雜，難以事先替使用者決定常用的車種組成。	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
高鐵局 施文雄 科長	實務上營運排班應用時通常求算較大區間(如七堵—樹林區間)之路線容量，再運用餘裕之設定進行調整，而本研究模擬模式之求解結果係為相鄰 2 站之平均延滯，相關結果如何與路線容量模式作最佳之結合使用，建議可結合相關案例分析補充說明。	依評審意見辦理。	已於期末報告中回應處理。
臺灣高 鐵公司 陳信雄 經理 (書面 意見)	pp. 3-8 的圖 3-6 中，須註明 IC 與 IR 之定義	依評審意見辦理。	已於期末報告中回應處理。
	pp. 3-11 中，第三段所謂「路線利用率之可接受水準」定義為何？建議改為「班表之可靠度」。	本研究所謂「路線利用率之可接受水準」和「班表之可靠度」的意義不同，列車的平均延滯時間隨著路線利用率增加，在可接受的延滯時間下，其所對應的路線利用率為「路線利用率之可接受水準」。	同意承辦單位處理說明。
	pp. 4-5 中，本研究以 15 分鐘移動平均方式來計算每小時內之車流量，雖可減少計算時間起始點所造成之誤差且增加樣本點，但是相鄰樣本點間也可能形成高度自我相關性，是否會導致統計分析之偏誤，建議釐清。	因為時間是連續的，即便是不採用移動平均，樣本之間還是有相關性。此外，樣本數太少也會影響統計結果，而臺鐵列車到開資料的蒐集建檔工作相當費時費力，亦是採用移動平均來增加樣本數的原因之一。	同意承辦單位處理說明。

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 陳信雄 經理 (書面 意見)	pp. 4-6 中，統計結果顯示標準差甚高，顯示各組樣本分佈過於離散，是否影響資料之可用度，建議釐清。	當列車發生延誤時，會造成其續行列車跟著延誤，且列車流量愈高，受影響的續行列車則愈多、延誤時間也愈長。相反的，若沒有列車發生延誤，即使列車流量高，也不會有延滯時間發生。然而真實資料中本身便包含此兩種現象，即便是造成標準差較高，但卻是反映真實的情況。高標準差代表樣本較偏離平均值，然而本研究主要在探討整體平均可靠度，不是個別列車之可靠度，因此不影響資料可用度。	同意承辦單位處理說明。
	pp. 4-8~10 中，本研究係先計算各列車流量組別之平均值後再作迴歸分析，考量各組之統計分配不一定雙尾對稱，建議不分組別而直接以各樣本點之列車流量與延滯進行迴歸，並請釐清結果是否有所不同？	本研究之迴歸分析確實有評審所述之盲點，將改採評審建議之方法。	已於期末報告中回應處理。
	pp. 4-9 的最後一段倒數第二行，「其解是能力…」應更正為「其解釋能力…」。	依評審意見辦理。	已修正處理。
	pp. 5-12 中，請修改圖 5-9 各曲線之樣式圖例，以利識別。	依評審意見辦理。	已修正處理。
	pp. 5-12 的圖 5-9 中，顯示流量-平均延滯曲線大部分都是平緩且延滯數值低，只有在達到容量前 3 班內才會陡升，建議釐清是否符合先驗知識。	根據等候理論，平均延滯時間隨列車流量呈非線性增加的現象，是符合先驗知識的，但目前沒有文獻指出，平均延滯時間是否一定在達到容量前 3 班內才會陡升。	同意承辦單位之處理解說明。

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 陳信雄 經理 (書面 意見)	建議增列第六章，適度說明後續研究 方向與重點。	後續研究方向與重點將於 期末報告的結論與建議中 提出。	已於期 末 報 告 中 相 關 章 節 處 理。
逢甲大 學林大 傑教授 (書面 意見)	Ch. 4 中迴歸分析所用之資料，是否 來自於不同車種？若是，則所有觀察 與預期結果有差異處，未必全為隨機 因素所致。建議可進一步檢視資料來 了解原因。	迴歸分析所使用的資料包 括不同的車種。 觀察值與預測值的差異， 的確不全來自於隨機效 應，亦包括車種的影響、 原始登錄資料的正確性 等，由於迴歸模式的解釋 能力有限，故而發展模擬 模式以納入更多的影響因 素。	同 意 承 辦 單 位 之 處 理 說 明。
	請說明迴歸分析使用之樣本數	本研究之迴歸模式，針對 每個路段所使用的樣本數 為 11 個。 然而此作法有所盲點，因 此將改採其他評審之建議 重新進行分析。	同 意 承 辦 單 位 之 處 理 說 明。
	建議可以嘗試其他迴歸模型 (model specifications)	依評審意見辦理。	已於報 告 第 四 章 分 析 處 理
	研究成果結合理論與實務，值得肯 定，建議期中報告通過。	感謝評審對本研究的肯 定。	--
交通部 鐵路改 建工程 局	本研究模擬模式之使用限制因不計 算站間路線線型及列車停站時間，故 本模式應無法完全滿足捷運化通勤 車站之營運排班需求，故本研究模式 主要目的應係反映路線區間最大之 路線容量及可提供之服務排班數量。	誠如評審所言，本研究發 展的係列車延滯分析模 式，而非列車排點模式。	同 意 承 辦 單 位 之 處 理 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 鐵路改 建工程 局	以七堵—南港區間為例，目前通勤車站乘客抱怨反映之主要關鍵，仍在於希望列車發車能準點、提供之乘載容量要夠高，此與大站乘客所希望班次多之期待不盡相同；由於臺鐵捷運化政策目的希望使每個車站皆能達到捷運系統高密度之發車班次目標，但由於車種組成及硬體設施限制，實際上並無法達到上述政策目標，故本研究之最大功能應係能提供臺鐵局作為臺鐵捷運化政策執行成效 Defense 說明之工具。	敬悉。	--
本所運 計組 (書面 意見)	P1-6 有關研究重點 3. 提及本研究開發之可靠度模擬模式將與傳統暨區域鐵路容量分析輔助工具程式相結合，建議於文中補充其具體之結合方式及架構。	依評審意見辦理。	已於期 末報 告中 相 關 章 節 處 理。
	P2-5 圖 2-3 中推拉式電力機車之圖示因黑白印刷未顯示，另圖 2-5 亦有類似情形，請修正。	依評審意見辦理。	已於期 末報 告中 相 關 章 節 處 理。
	P3-3 文中提及國外 EUROPE-TRIP 計畫已針對時刻表多排入列車數與整體路線延滯情形進行分析，並瞭解二者間存在權衡關係，其分析過程與結果應有可供本研究參採之處，建議可於報告中具體補充說明其與本研究發展之模擬模式架構有何優劣異同。	依評審意見辦理。	已於期 末報 告中 相 關 章 節 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)	P3-9 有關 Mattsson 文中提及之 RailSys 模擬模式，其是否為於運轉時間及安全時距給定下之模擬結果，其相關路線、交通及控制前提條件為何，可略作補充說明俾供參考；另其所處理 15 分鐘延滯之受影響列車數及恢復運轉所需時間等相關資料，是否與 Knock-on Delay 有關，而該模擬模式與本研究發展之模擬模式架構有何異同，建議皆可於報告中略作補充說明。	依評審意見辦理。	已於期末報告中相關章節處理。
	P4-9 有關引用式(4.3)進行非線性迴歸分析之邏輯，建議可於報告中略作補充說明，俾利讀者瞭解。	依評審意見辦理。	已於期末報告中相關章節處理。
	本研究建議發展模擬模式進行列車流量與平均延滯之關係分析，係鑒於迴歸式無法處理車種組成及路線、交通等因素之相關參數調校，惟本研究進行模擬仍需給定運轉時間及安全時距等數值，故為利瞭解模擬模式是否為處理此類問題較佳之分析方法，建議能補充說明國外是否有發展解析式或最佳化模式之作法。	文獻中有採解析模式來評估列車延滯的做法，但所能考慮的影響因素較為有限，至於最佳化模式則是在排點模式中採用，亦可順便評估列車的延滯情形，惟排點模式的發展工程浩大，且超出本研究的範疇，故依等候理論發展模擬模式來評估列車延滯。	同意承辦單位之處理解說明。
	P5-3 有關本模擬模式之模擬終止條件係設定在模擬之列車數需足夠，並建議由使用者自行設定此一參數，故有關本模式對於此一參數設定是否有建議之判定標準或法則，可於文中補充說明。	依評審意見辦理。	已於期末報告中相關章節處理。
	P5-5 有關圖 5-3 與圖 5-4 對於時距是否足夠及延滯時間之計算，相關圖示及說明似不充分清楚，建議比照圖 5-5 與圖 5-6 之圖式及說明補充。	依評審意見辦理。	已於期末報告中相關章節處理。

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)	有關式(5.4)～式(5.7)中各因子之 計算邏輯，建議可於文中增加補充說 明，俾利讀者瞭解。	依評審意見辦理。	已於期 末 報 告 中 相 關 章 節 處 理。
主席結 論	有關本研究模擬模式應用時之相關 限制及適用範圍，請規劃單位參酌與 會學者專家之意見，於報告中及後續 研究內容中妥予說明及修訂。	依主席裁示辦理。	已於期 末 報 告 中 相 關 章 節 處 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（3/4）」 期中報告審查會議紀錄

一、時 間：97 年 6 月 26 日(星期四) 14 時整

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：

交通部鐵工局周副局長永暉

<洪假>

交通部臺鐵局運務處綜合調度所鄭工程司騰清

鄭騰清

交通部高鐵局七組施科長文雄

施文雄

臺灣高鐵公司陳經理信雄

<請假>

國立成功大學交通管理科學研究所鄭教授永祥

鄭永祥

逢甲大學交通工程管理系林教授大傑

<請假>

交通部鐵路改建工程局

黃光宏

財團法人中興工程顧問社

鍾克成 黃望法

本所運工組

運計組

劉昭榮

附錄 E 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(3/4) (97.10.14)

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

期中報告後至目前的研究成果包含：(1)列車服務可靠度分析統計迴歸模式、(2)可靠度模擬分析工具程式和(3)模式應用案例，分別說明如下。

2.1 列車服務可靠度分析統計迴歸模式

在期中報告中，可靠度的統計迴歸模式是先計算各列車流量組別之平均值，然後再進行迴歸分析，但有評審提出此方法未考量各組之統計分配不一定為雙尾對稱，為改進此盲點，本研究採不分組別而直接對所有樣本點進行迴歸。此外亦有評審建議多嘗試其他迴歸模型，因此本研究將迴歸模型增為五種：

$$\hat{y} = ax + b \quad (2.1)$$

$$\hat{y} = ax^2 + bx + c \quad (2.2)$$

$$\hat{y} = \frac{1}{ax + b} \quad (2.3)$$

$$\hat{y} = a \cdot e^{bx} \quad (2.4)$$

$$\hat{y} = a \cdot (e^{bx} - 1) \quad (2.5)$$

以萬華到板橋、板橋到樹林兩個路段，在民國 97 年 3 月 19 日和 20 日兩天的可靠度統計資料，進行各種迴歸分析後其結果如圖 2-1～圖 2-10，並將各結果所得之判定係數 R^2 （Coefficient of Determination）整理於表 2.1，可發現各種迴歸模型中，以式(2.4)之 R^2 較佳，但還是不盡理想。

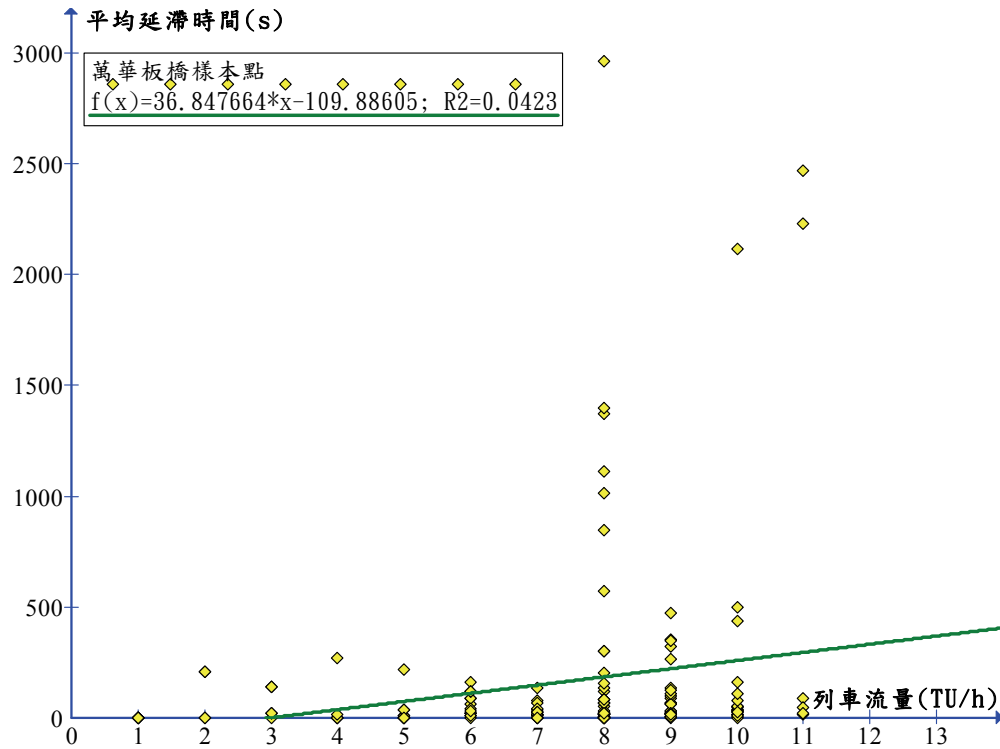


圖2-1 萬華→板橋站間迴歸分析結果一

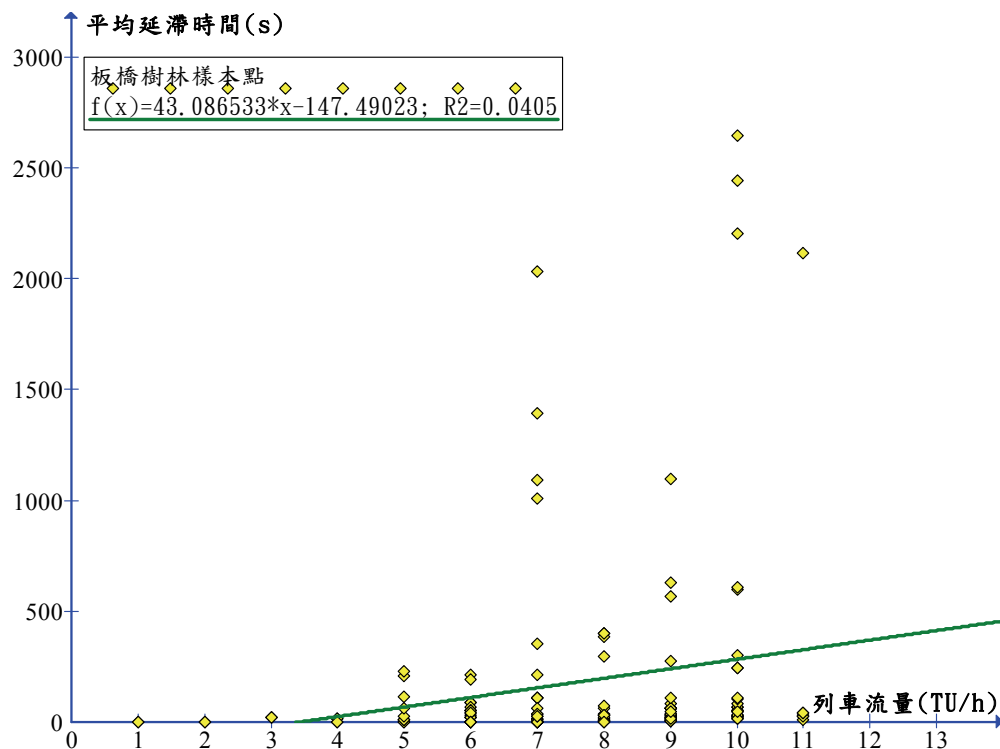


圖2-2 板橋→樹林站間迴歸分析結果一

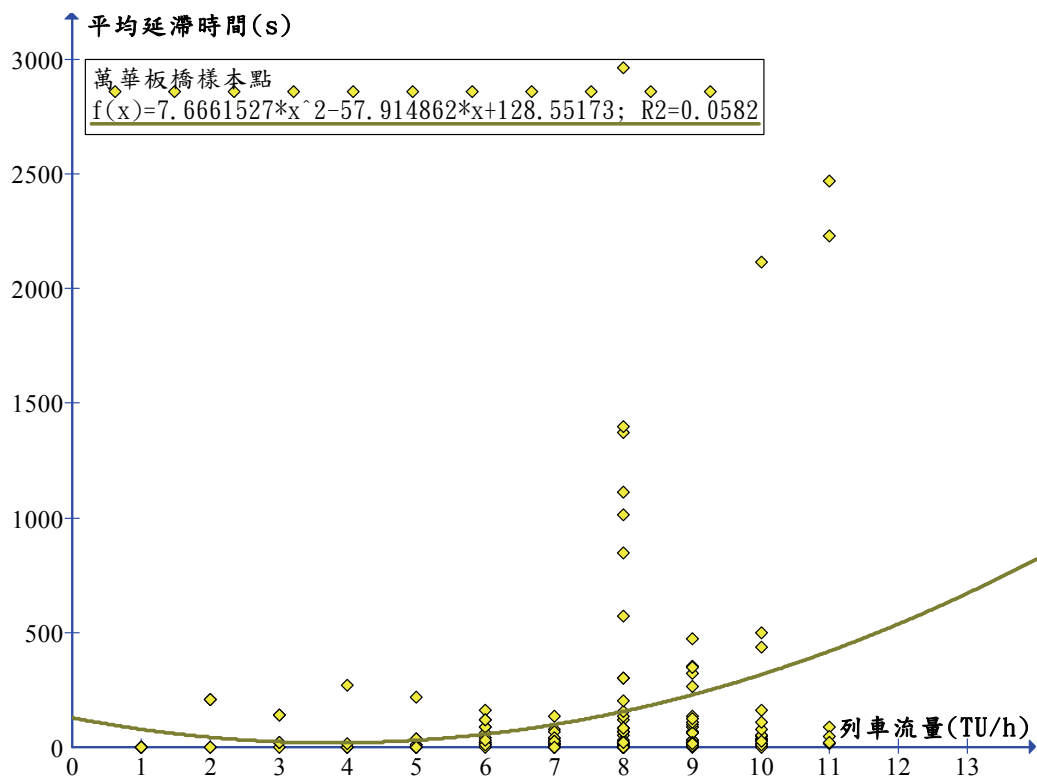


圖2-3 萬華→板橋站間迴歸分析結果二

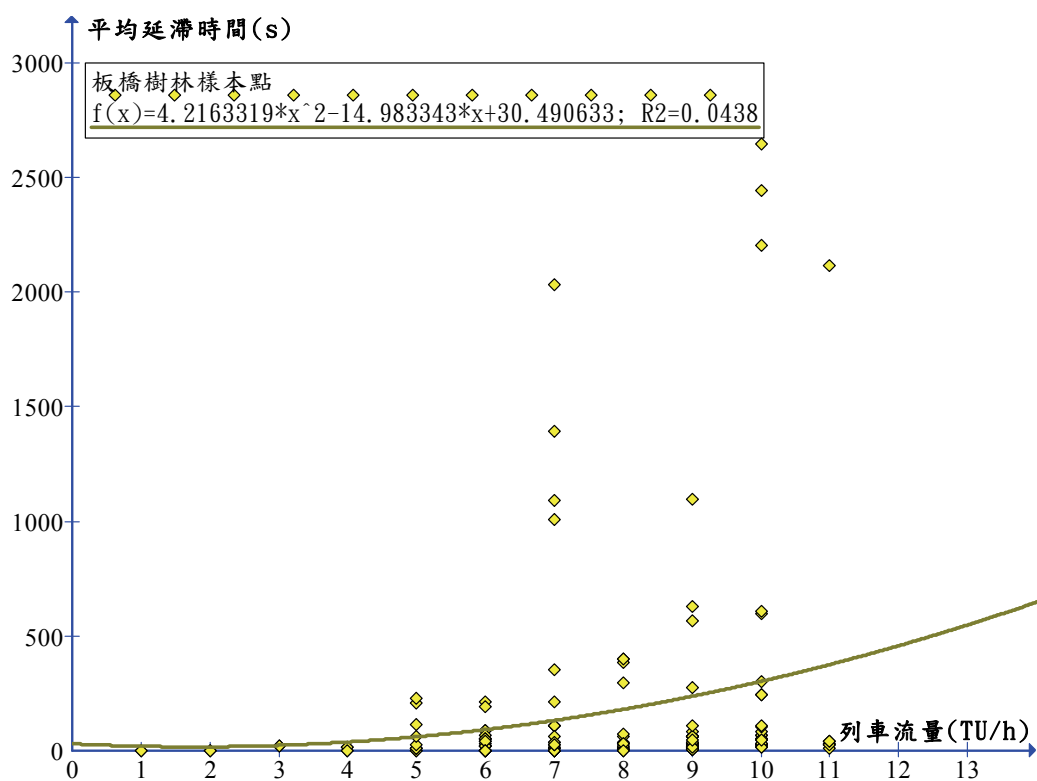


圖2-4 板橋→樹林站間迴歸分析結果二

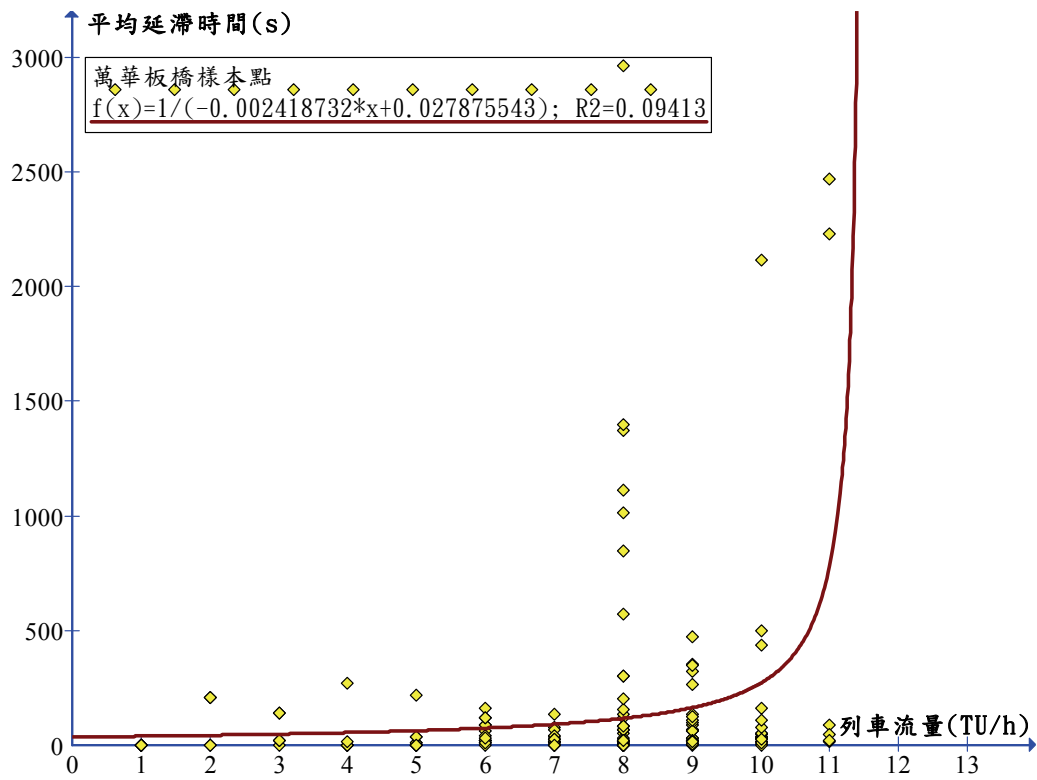


圖2-5 萬華→板橋站間迴歸分析結果三

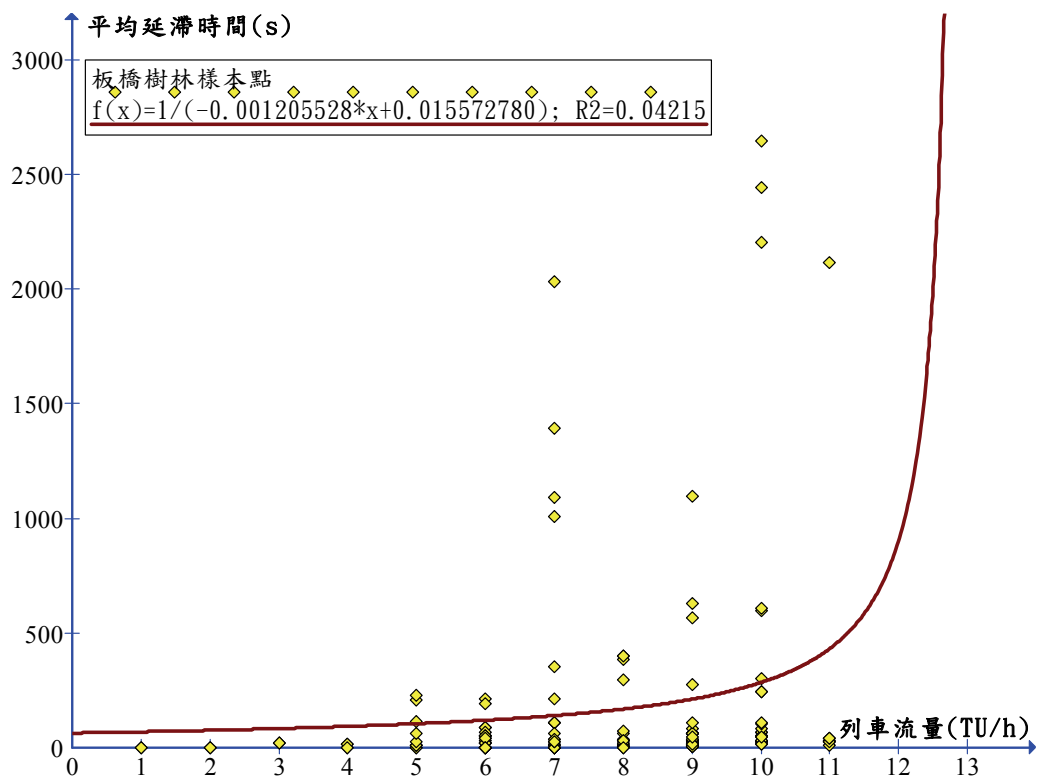


圖2-6 板橋→樹林站間迴歸分析結果三

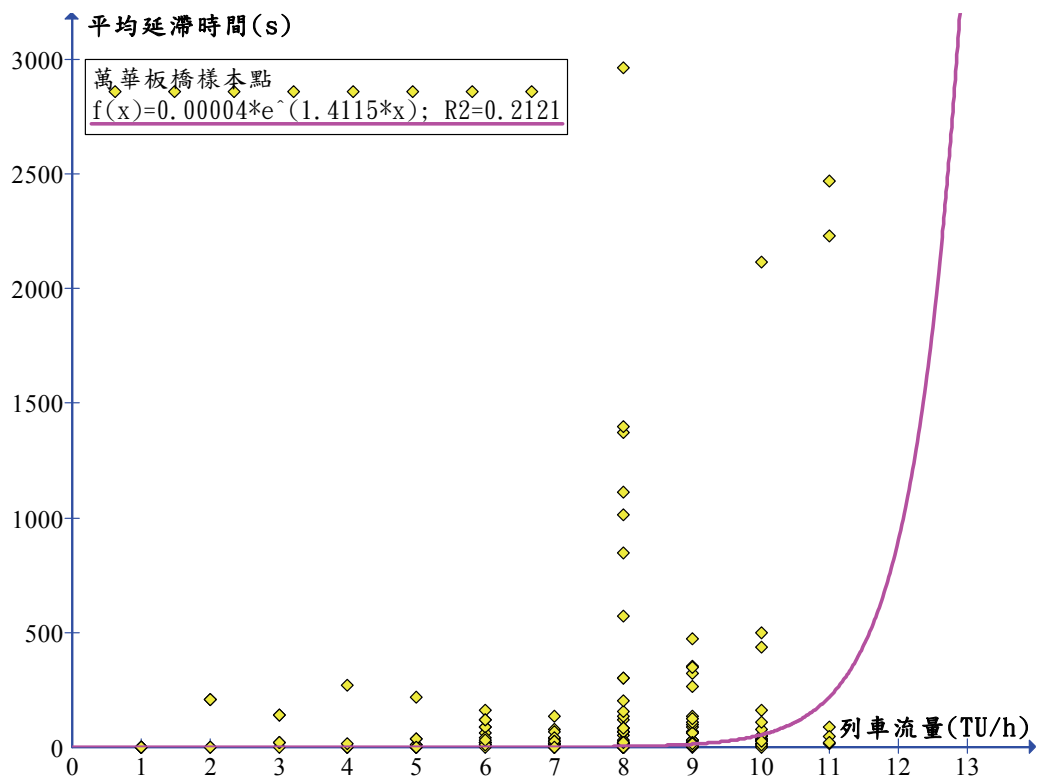


圖2-7 萬華→板橋站間迴歸分析結果四

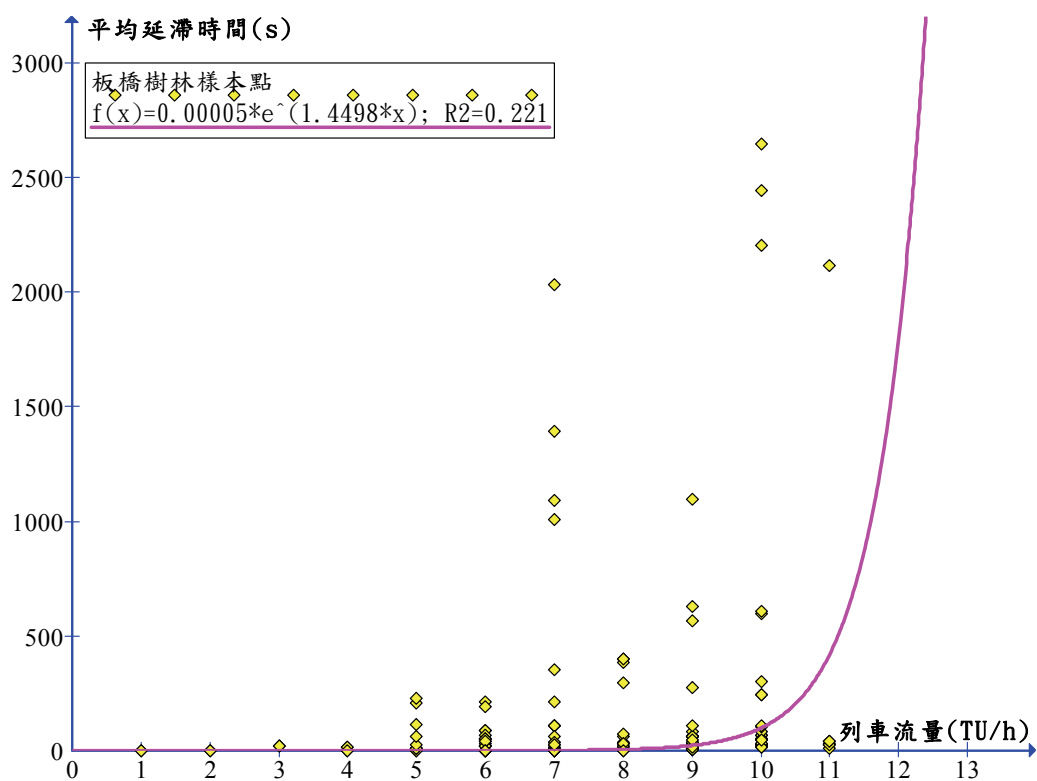


圖2-8 板橋→樹林站間迴歸分析結果四

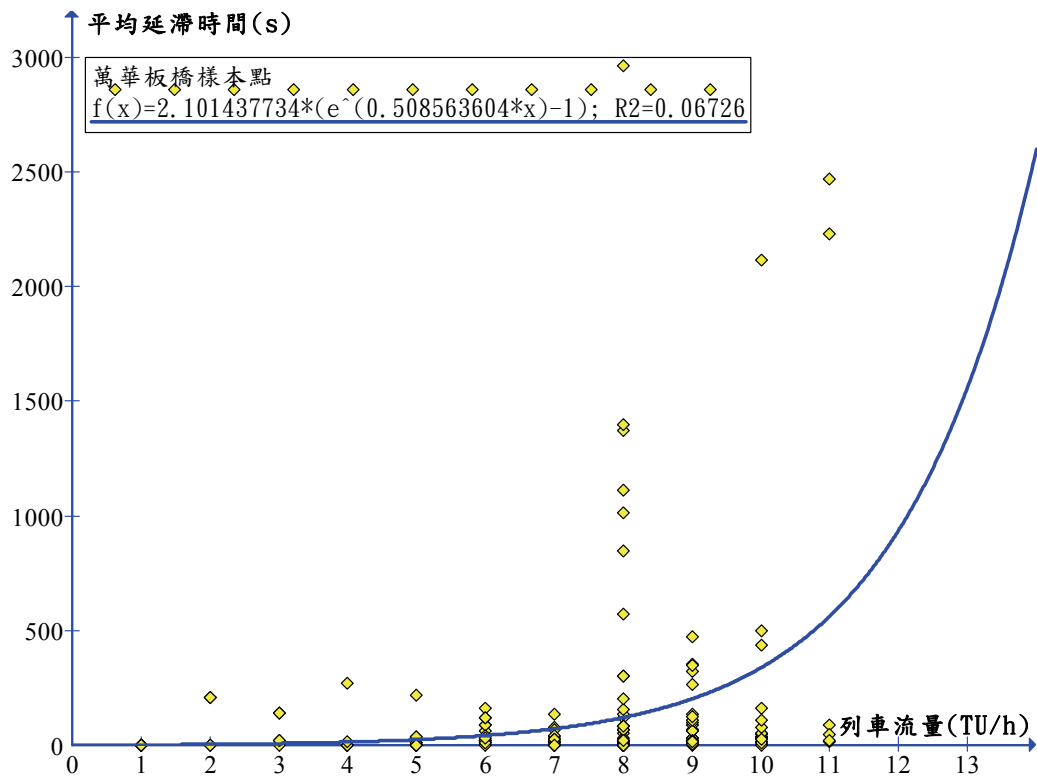


圖2-9 萬華→板橋站間迴歸分析結果五

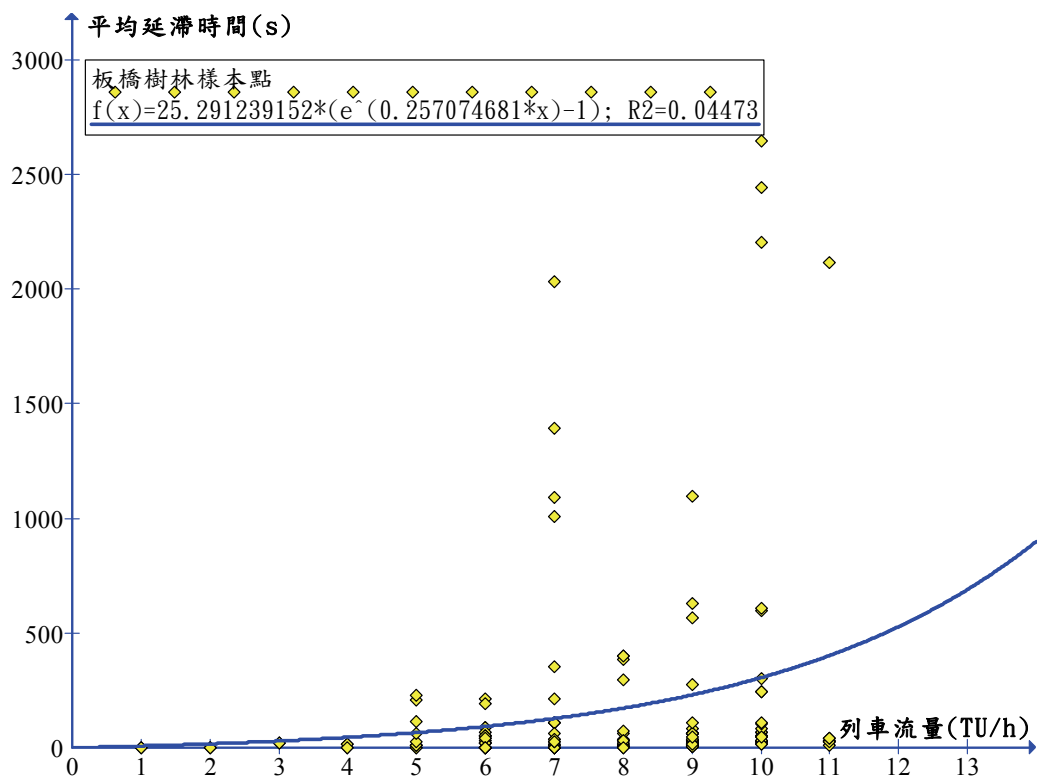


圖2-10 板橋→樹林站間迴歸分析結果五

表2.1 各迴歸模型之判定係數比較

分析路段 迴歸模型	萬華→板橋	板橋→樹林
$\hat{y} = ax + b$	0.0423	0.0405
$\hat{y} = ax^2 + bx + c$	0.0582	0.0438
$\hat{y} = \frac{1}{ax + b}$	0.09413	0.04215
$\hat{y} = a \cdot e^{bx}$	<u>0.2121</u>	<u>0.2210</u>
$\hat{y} = a \cdot (e^{bx} - 1)$	0.06726	0.04473

理論上所述「列車流量愈高，平均延滯時間愈高」，是指當某事故發生造成列車延滯時，列車流量愈高則所影響的層面愈大，導致較多列車延滯，因此列車平均延滯時間較高。在真實世界中，營運時若注意每個環節不出差錯，列車便能準時到開，而當事故發生時，在實際的調度上亦會盡可能減少延誤的列車數量與延誤時間，甚至將延誤盡量集中在某一車次，讓大部分的車次準點。從臺鐵的列車到開統計資料中便可看出，大部分列車的延誤時間不多，甚至沒有延誤，但當列車流量較高時，有少數列車發生較大的延誤，因此各列車延誤的時間長短分佈其實相當離散，使得其迴歸分析的結果不佳。

此外，迴歸分析所得之迴歸式僅適用於該路段，無法直接應用於其他路段，若要預測資料範圍外的結果，其解釋能力也將大幅下降，而且迴歸式中只有列車流量一項自變數，無法評估不同的運轉條件對列車平均延滯時間的影響。

基於以上原因，本研究發展了可靠度模擬模式，該模式能考量路線、交通及控制等條件進行可靠度分析，以了解在不同條件下列車的平均延滯時間為何，並且更進一步將此模式整合加入前期研究所開發的軌道容量分析軟體中，以下對該程式介面做詳細介紹。

2.2 可靠度模擬分析工具程式

本工具程式整合於容量分析軟體內的其中一個頁面，並承襲一貫的設計原則，在介面部分則和「敏感度分析」頁面相似，如圖 2-11所示，左邊讓使用者選擇欲分析之區段與設定相關的分析參數，包括欲分析之區段、

模擬回合數、模擬列車數、趕點比率以及列車最小運轉時間等，右邊則是顯示分析結果。

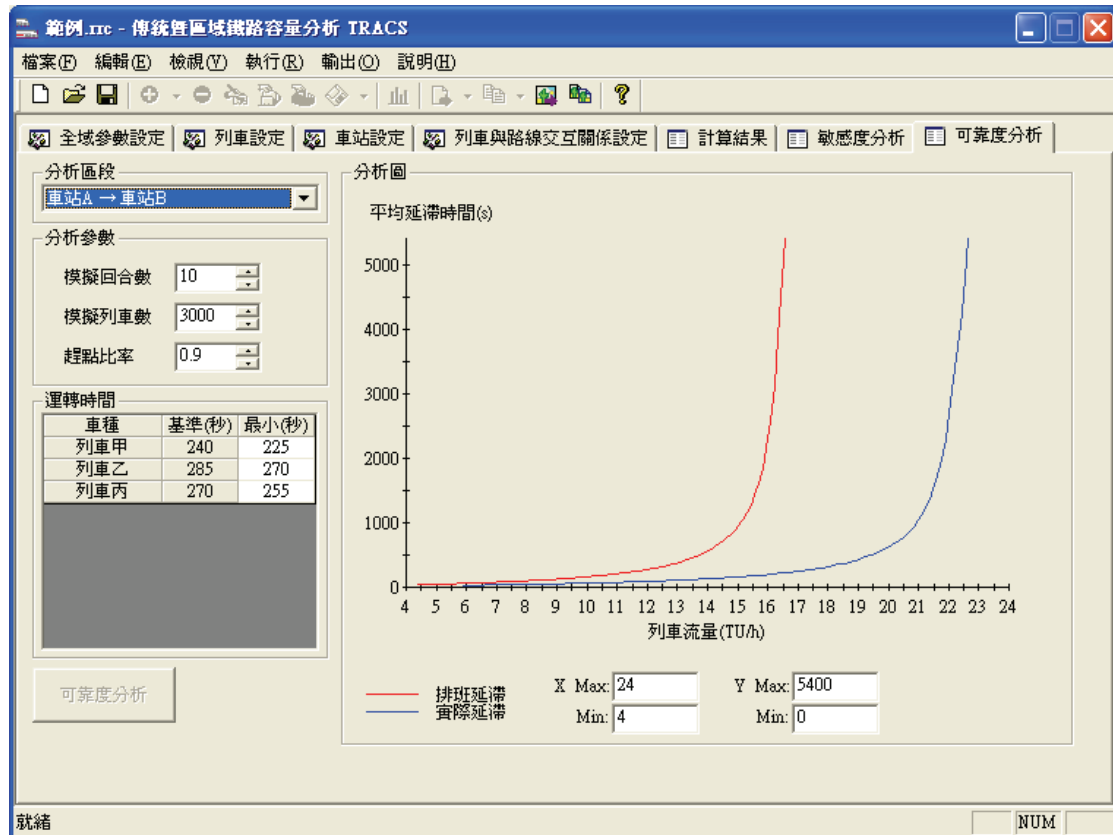


圖2-11 可靠度分析頁面

可靠度分析工具的操作流程為：

1. 於頁面左上方「分析區段」區塊中選擇欲分析之區段，如圖 2-12。
2. 選定區段後，頁面左下方的「運轉時間」區塊中便會根據該區段的交通組成設定，顯示其組成的各種車種名稱與運轉時間，如圖 2-13，此時便可依需求設定相關參數。
3. 按下頁面左下方「可靠度分析」按鈕後，程式會進行分析，並將結果呈現在右方的「分析圖」區塊中，如圖 2-14。該分析圖可讓使用者自行定義 XY 軸之上下界，此外滑鼠停留於分析結果曲線上時，會顯示該點座標。
4. 欲輸出可靠度分析結果圖，可由上方功能表選擇【輸出】→【輸出圖檔】，或於工具列點選對應功能的按鈕，亦可在分析圖內按下滑鼠右鍵，便會出現輸出圖檔之功能，如圖 2-15。

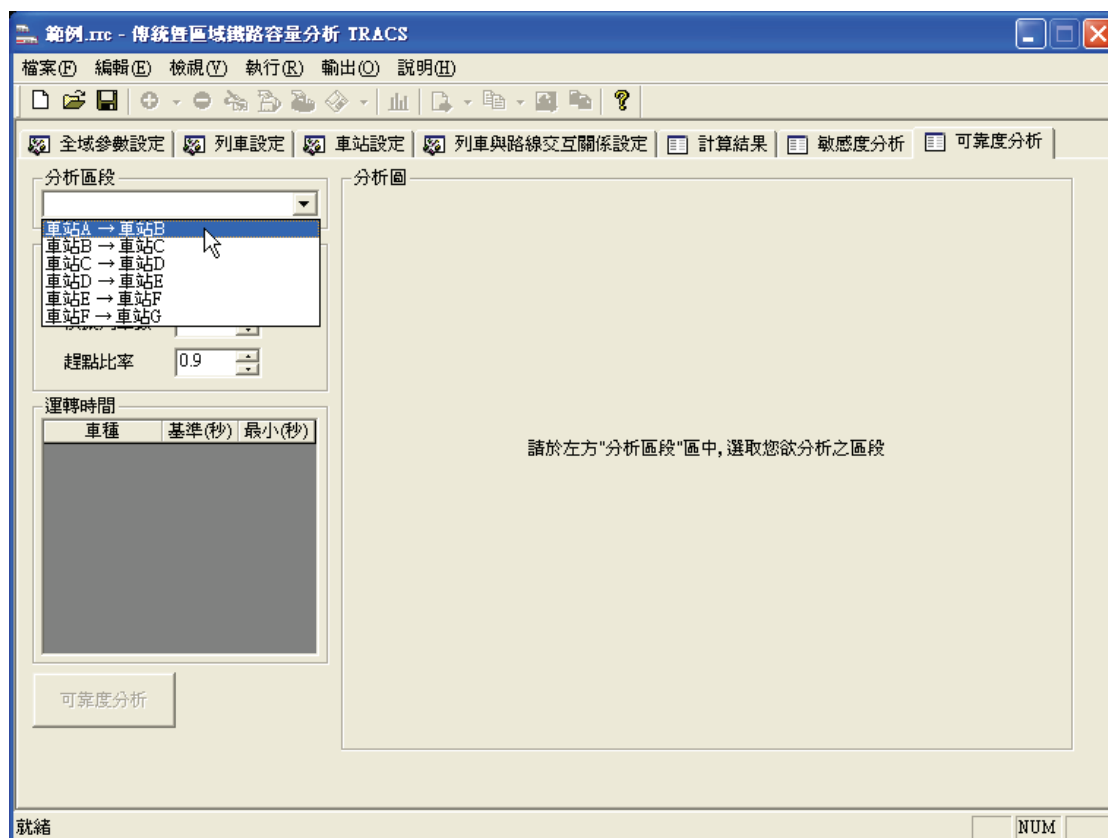


圖2-12 選擇分析區段

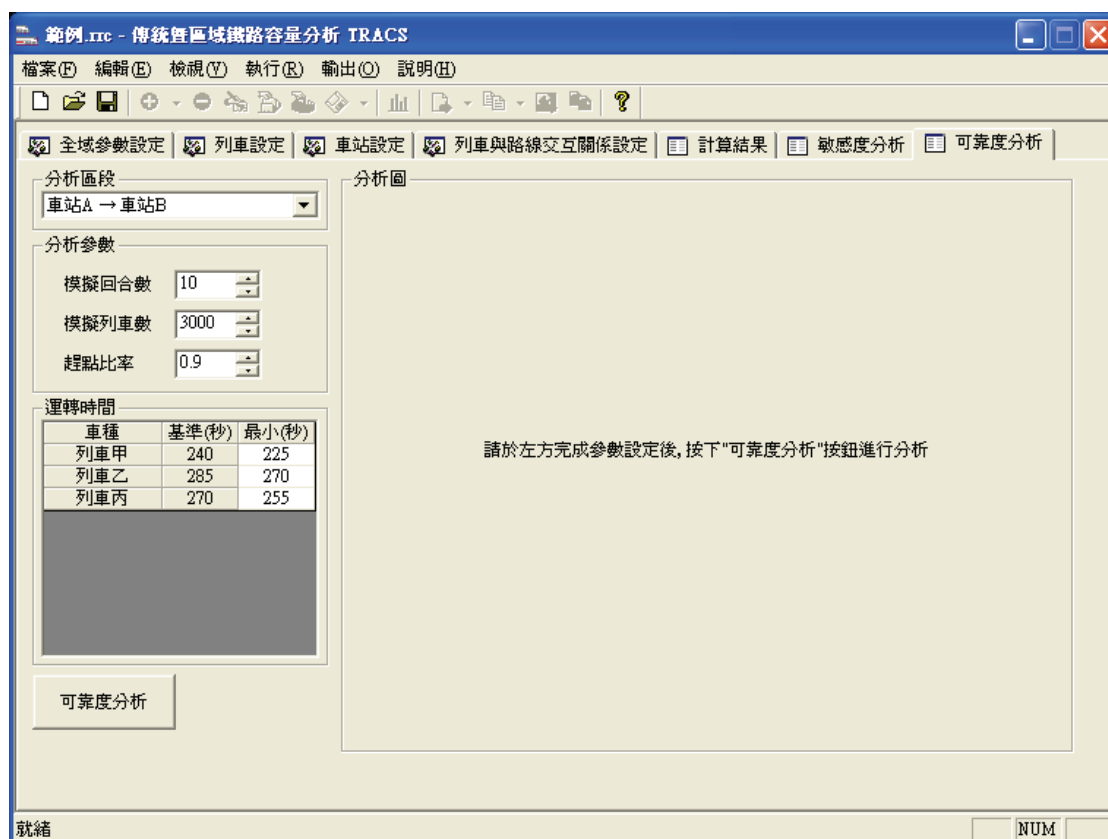


圖2-13 設定分析參數

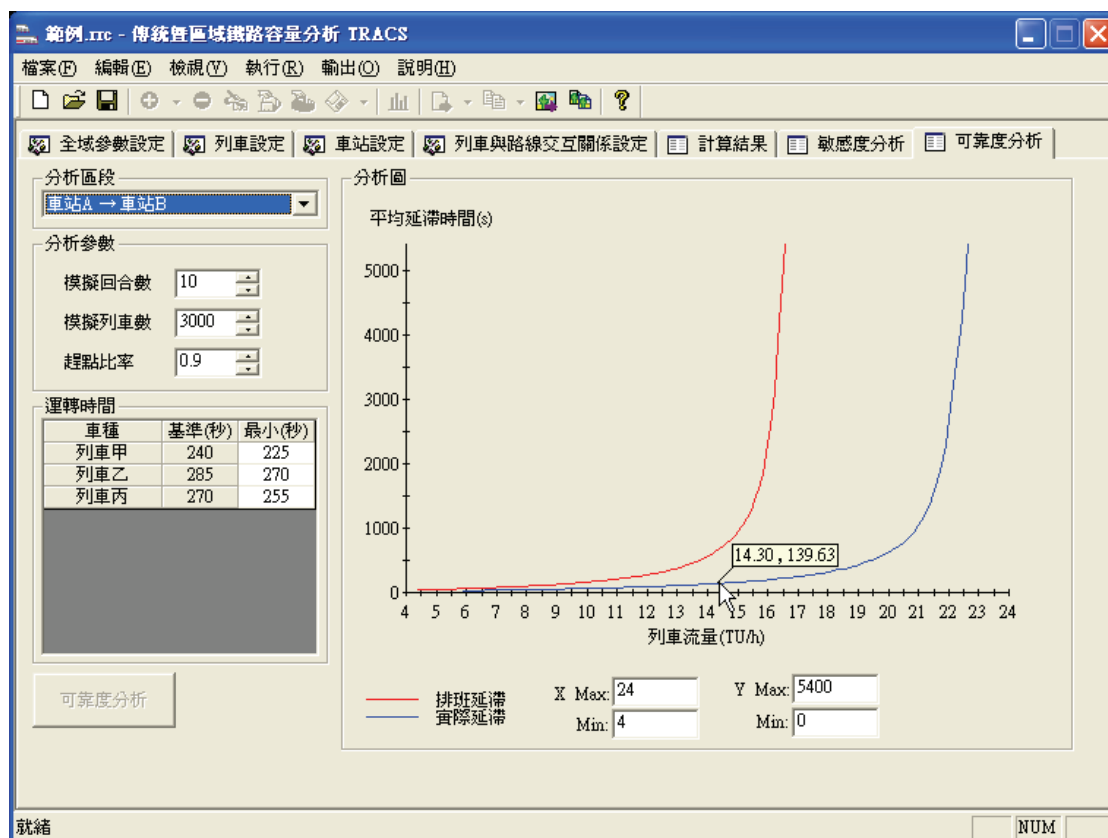


圖2-14 檢視分析結果

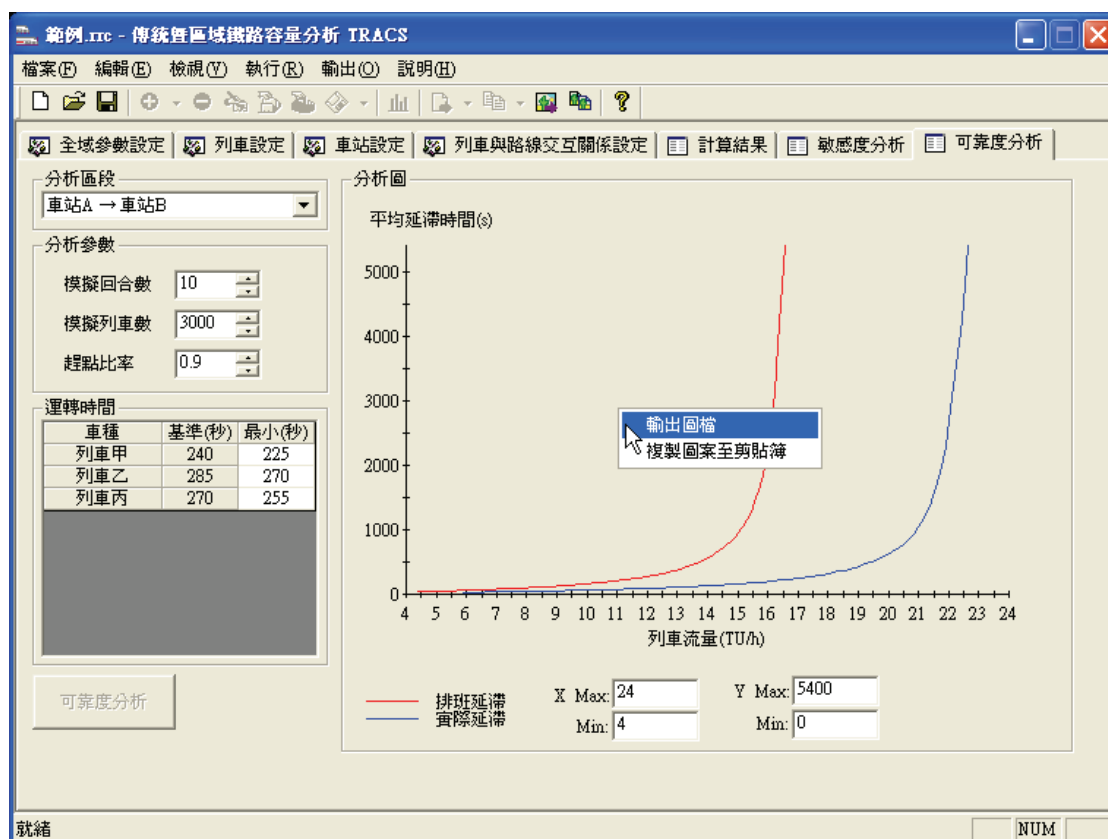


圖2-15 輸出分析結果

2.3 模式應用案例

本研究設計了幾個案例分析，用於探討可靠度模擬模式和前期研究的容量分析模式如何結合運用，分別說明如下。各案例之相關輸入參數皆採用自前期研究，由於內容繁多，為避免累贅，此工作會議資料中不將所有參數一一列出，而著重在說明探討各案例的分析結果，但在期末報告中會完整呈現。

2.3.1 合適的路線利用率

臺鐵規定列車到達終點站延誤 5 分鐘以內者，謂之列車準點，因此本研究以平均實際延滯時間 5 分鐘為標準，其所對應的列車流量與路線容量相比，作為該路段合適的路線利用率。以松山到樹林上下行共 8 個路段為例，結果如表 2.2，各路段路線利用率之平均為 106.3%，標準差為 3.99。

過去文獻中有學者建議容量利用率在八成左右，其剩下的餘裕可供運轉調度使用，有助於維持列車服務的可靠度。但在前期研究中，路線容量分析模式加入了寬裕係數的考量，因此所得之容量分析結果已考量運轉調度的餘裕，而寬裕係數建議值為 0.35，是假設容量利用率能夠到達 100%，和本案例的分析結果相互可得到驗證。

若將寬裕係數設為 0，則結果如表 2.3，各路段路線利用率之平均 78.7 標準差為 2.94，和過去文獻對容量利用率的建議值亦相當接近。

表2.2 各路段的容量利用率（寬裕係數為 0.35）

路段	松山 ↓ 台北	台北 ↓ 萬華	萬華 ↓ 板橋	板橋 ↓ 樹林	樹林 ↓ 板橋	板橋 ↓ 萬華	萬華 ↓ 台北	台北 ↓ 松山
容量 (TU/h)	14.47	15.91	14.39	16.94	14.14	11.48	14.61	13.63
流量 (TU/h)	15.20	17.49	15.80	18.21	15.02	11.28	16.02	14.13
利用率 (%)	105.0	109.9	109.8	107.5	106.2	98.3	109.7	103.7

表2.3 各路段的容量利用率（寬裕係數為0）

路段	松山 ↓ 台北	台北 ↓ 萬華	萬華 ↓ 板橋	板橋 ↓ 樹林	樹林 ↓ 板橋	板橋 ↓ 萬華	萬華 ↓ 台北	台北 ↓ 松山
容量 (TU/h)	19.54	21.48	19.43	22.87	19.08	15.49	19.72	18.40
流量 (TU/h)	15.20	17.49	15.80	18.21	15.02	11.28	16.02	14.13
利用率 (%)	77.8	81.4	81.3	79.6	78.7	72.8	81.2	76.8

2.3.2 站內軌道配置影響

此案例在探討車站內軌道佈設型式對可靠度之影響，以板橋→樹林路段為例，兩車站在第 I 型（兩島四股道）、第 II 型（一島一岸壁三股道無平面交叉）和第 III 型（一島一岸壁三股道有平面交叉）等不同軌道佈設組合下，其路線容量之比較如圖 2-16，透過可靠度模擬模式，計算當列車流量為 6 TU/h 時，其所對應的平均排班延滯時間和平均實際延滯時間，結果如圖 2-17和圖 2-18。

從前期容量之研究已知，較差的站內軌道配置組合會造成路線容量較低，而在相同的列車流量下，路線容量愈低將會導致延滯時間的增加，從此案例之結果可得到驗證。

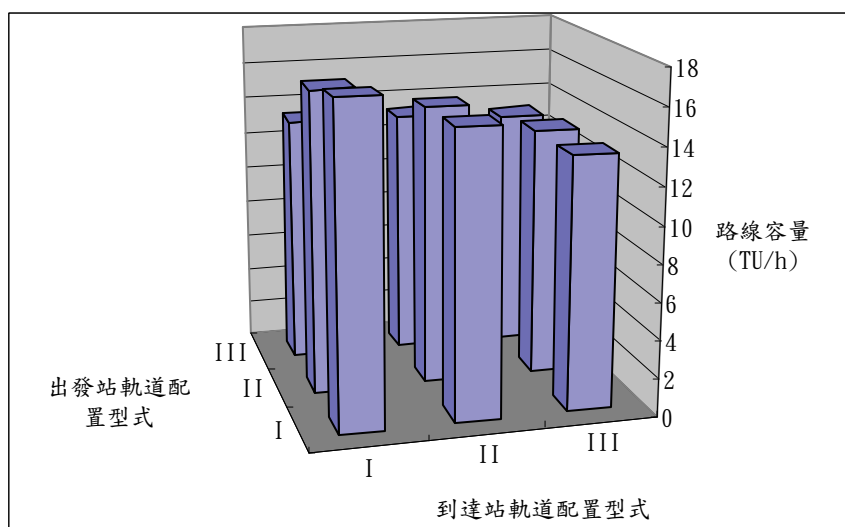


圖2-16 不同站內軌道配置下的路線容量

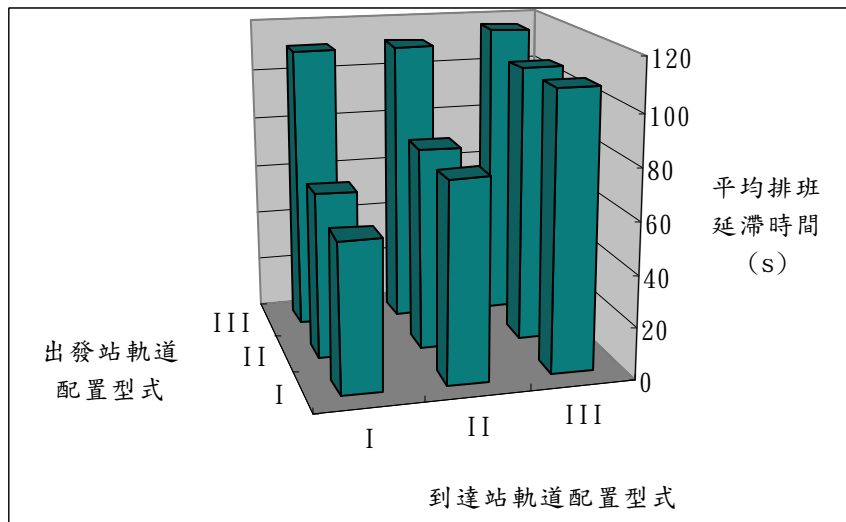


圖2-17 不同站內軌道配置下的平均排班延滯時間

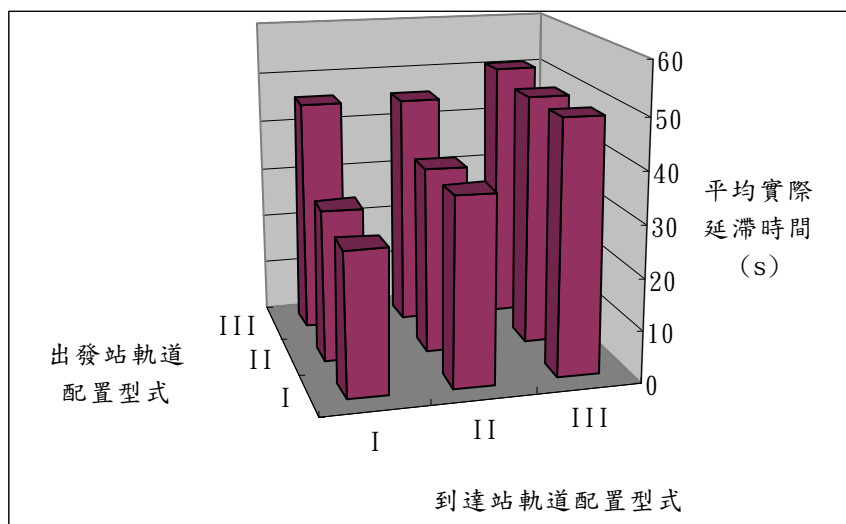


圖2-18 不同站內軌道配置下的平均實際延滯時間

2.3.3 車種組成影響

前期研究曾對臺鐵車種簡化對路線容量影響之議題做過案例分析，本案例則是進一步探討其對可靠度之影響。為簡化問題，考量行駛於樹林→板橋路段的列車僅含推拉式電車組和通勤電車兩種車種，從全都是通勤電車開始，逐步提高推拉式電車組所占的比例，直到全為推拉式電車組，分析在各組成比例下的路線容量，以及在列車流量 10 TU/h 下的平均延滯時間，其結果如圖 2-19～圖 2-21。

當車種組成為只有推拉式電車組或只有通勤電車時，其路線容量大於其他組成比例下之容量，而在平均延滯時間方面則是低於其他的組成比

例。此結果與先驗知識相符，當車種組成愈單純，路線容量愈大，亦使可靠度愈高。

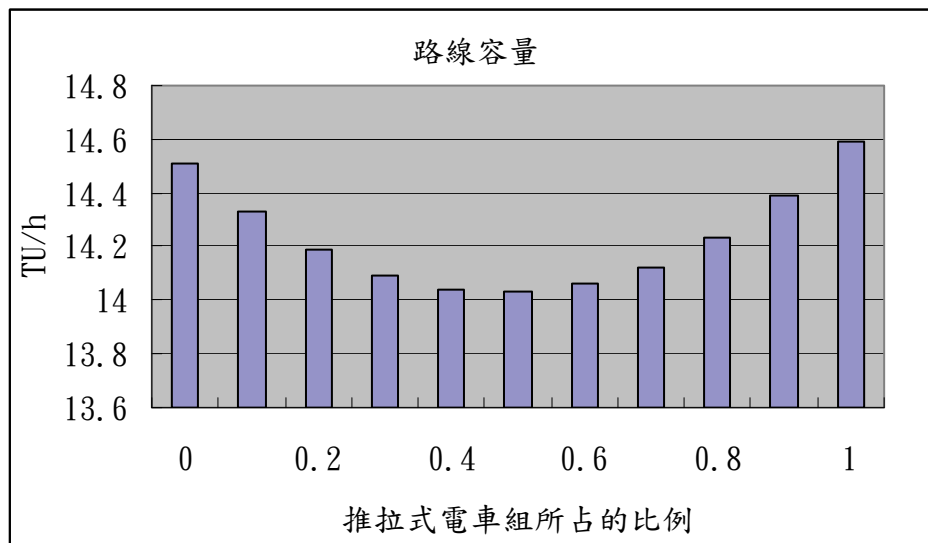


圖2-19 不同車種組成下的路線容量

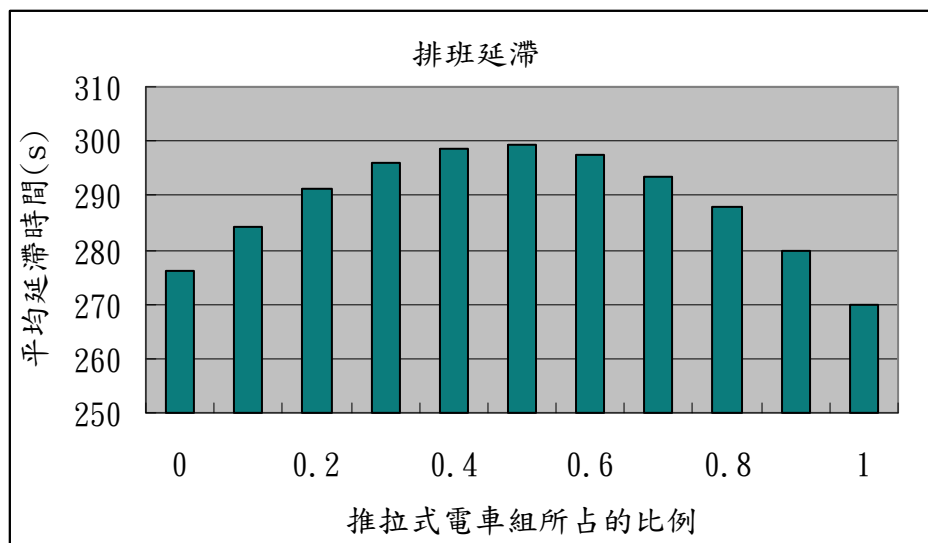


圖2-20 不同車種組成下的平均排班延滯時間

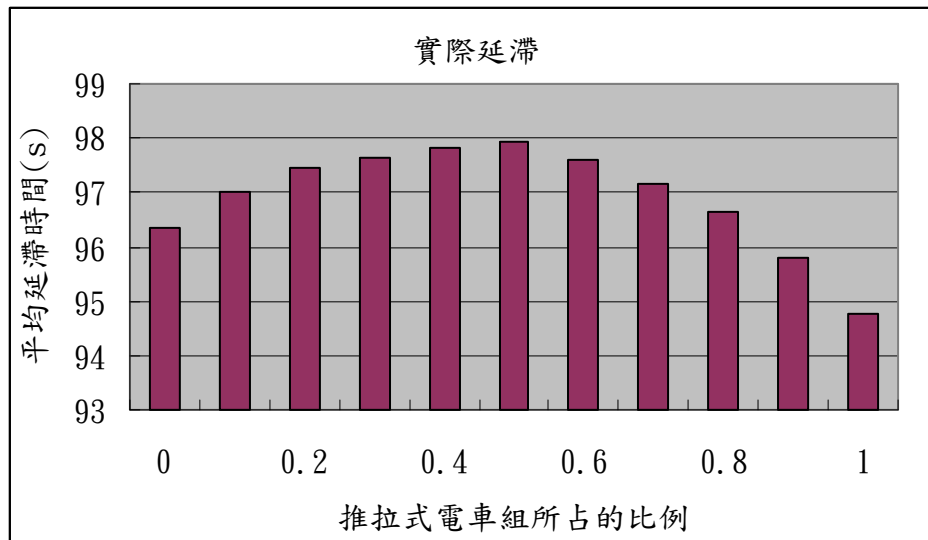


圖2-21 不同車種組成下的平均實際延滯時間

2.3.4 站間運轉時間寬裕影響

為模擬列車在實際運行發生延誤時會進行趕點的行為，本研究所發展的可靠度模式中需考量列車於站間的最小運轉時間。基本上，列車於排班時所使用的基準運轉時間，是根據實際量測或者進行運轉模擬所得之時間，再加入適當的寬裕以及進位後決定之，如此在延誤發生時，列車才有辦法進行趕點，而能夠比基準運轉時間更短的時間內行駛到下一站。

然而，目前本研究無法獲得列車在進行趕點時，於站間所能行駛的最短時間，因此以臺鐵公佈的列車基準運轉時間打九折後 15 秒進位，作為列車的最小運轉時間。

為探討站間運轉時間寬裕對可靠度的影響，本案例以上述所得之最小運轉時間為基準，以公式(2.6)來重新計算各列車之基準運轉時間，分析在不同站間運轉時間寬裕下的路線容量，以及列車流量 10 TU/h 所對應的平均延滯時間。

$$\text{基準運轉時間} = \text{最小運轉時間} \times (1 + \text{站間運轉時間寬裕}) \quad (2.6)$$

以萬華→板橋路段為例，其結果如圖 2-22～圖 2-24 所示，隨著寬裕增加，路線容量逐漸降低，平均排班延滯時間相對提高，皆符合預期，但是平均實際延滯時間則不然。在圖 2-24 中，沒有任何寬裕的情況下平均實際延滯時間為最高，如果增加些許寬裕，會發現對於提升可靠度所有幫助，

但這樣的改善效果並非無止境，若增加更多寬裕，對於可靠度的改善效果將會下降。

當沒有任何站間運轉時間寬裕時，列車延誤無法進行趕點，理所當然延滯會最高；當加入寬裕後，列車能夠趕點，便能追回延誤的時間、減少延滯，但是列車即便能夠追回延誤時間也不可能追越前車，而且要和前車保持號誌時隔，所以寬裕給得太多，則會有多餘的寬裕無法使用。此外，隨著增加愈多的寬裕，將使各車種之間的速差增加，進而增加列車的待避時間，影響運轉的效率。

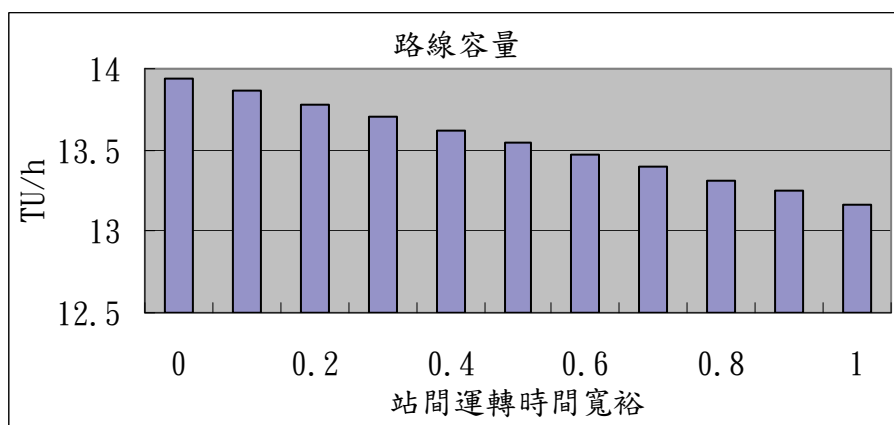


圖2-22 不同站間運轉時間寬裕下的路線容量

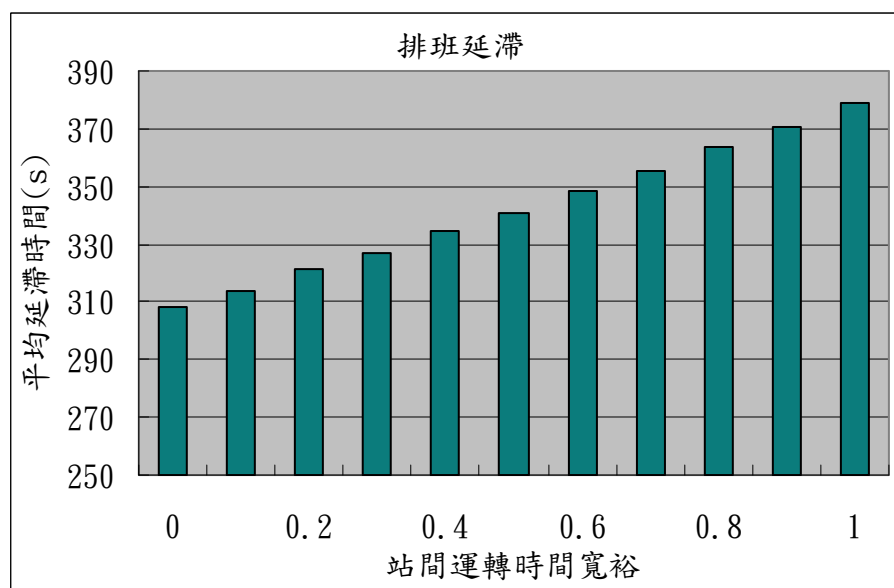


圖2-23 不同站間運轉時間寬裕下的平均排班延滯時間

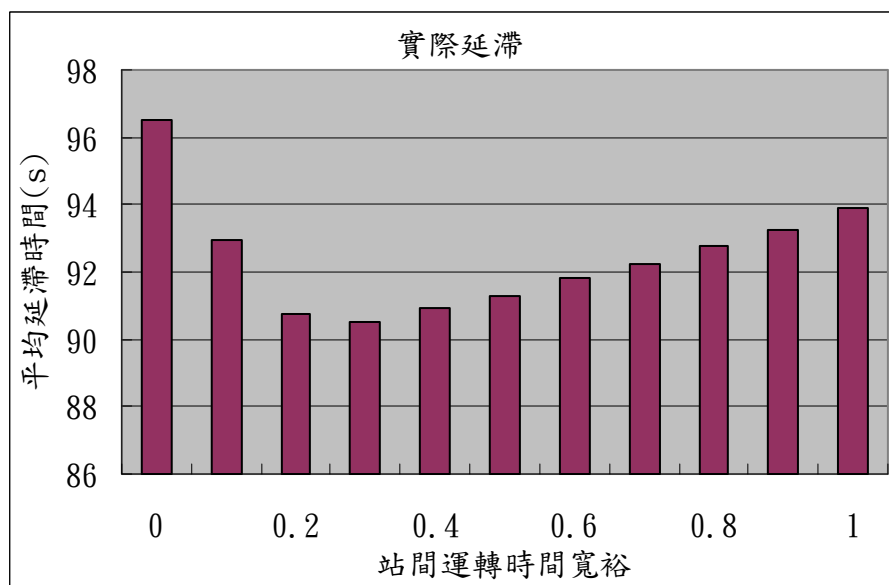


圖2-24 不同站間運轉時間寬裕下的平均實際延滯時間

一般認為增加站間運轉時間寬裕就一定能提高可靠度，但此案例顯示，增加寬裕雖可提高可靠度，但其效果有限。此外，本案例更進一步整理在不同列車流量下，比較寬裕從 0 增加到 0.3 對延滯的改善情形，結果如表 2.4，說明如果要以增加寬裕來改善可靠度，則當列車流量低時會有較好的效果。

表2.4 在不同列車流量下增加寬裕對延滯的改善情形

列車流量 (TU/h)	寬裕為 0 的平均 實際延滯時間(s)	寬裕為 0.3 的平均 實際延滯時間(s)	延滯改善百分比 (%)
12	141.96	134.48	5.27
11	116.85	110.11	5.77
10	96.52	90.49	6.25
9	79.55	74.29	6.61
8	65.31	60.80	6.91
7	53.18	49.33	7.24
6	42.71	39.47	7.59
5	33.60	30.88	8.10

3. 未來工作計畫

未來欲進行的後續工作內容如下：

1. 發展都會捷運系統號誌時距分析模式
2. 撰寫期末報告

4. 問題討論

附錄 F 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(3/4)」 期末工作會議紀錄

一、時 間：97 年 10 月 14 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：

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

交通部高鐵局七組施科長文雄

<請假>

臺灣高鐵公司陳經理信雄

陳信雄

國立成功大學交通管理科學研究所鄭教授永祥

<請假>

逢甲大學交通工程管理系林教授大傑

<請假>

財團法人中興工程顧問社

鍾志成

本所運計組

劉昭榮

黃建宏
張恩輔

五、主席致詞：(略)

六、簡報：(略)

七、出席人員發言要點：

(一) 交通部運輸研究所運計組林組長國顯

1. 理論上，隨列車流量增加，其平均延滯時間會呈指數成長，然而從實際資料的迴歸分析看來結果並不佳，請問原因為何？

鍾志成博士答覆：原因有很多，首先是資料的正確性，這些資料是來自臺鐵每個車站所紀錄的列車到開時刻登記表，實際上我們在統計資料時就發現有部分資料不符合邏輯，例如前一站所登記的離站時間和這一站登記的到站時間相減，其運轉時間短得過於離譜，可能是沒有和子母鐘對時，也可能是人員填寫疏失。其次是資料量的多寡，理論上資料量愈多，其他變異的因素影響會愈小，然而因為臺鐵只有紙本資料，要將其建立成電子資料非常費時，在有限的時間內無法建立大量的資料進行分析。其實在還沒進行迴歸分析之前，我們也預料其結果不會很好，因此發展模擬模式。

2. 是否可探討在某一列車流量下，其不準點的機率為何？可能可以找到當每小時通過的列車愈多則不準點率愈高的關係，其中不準點率就是每小時誤點的列車數除以總列車數。

鍾志成博士答覆：雖然也可探討這樣的分析，但不建議這樣做，原因在於不準點率或準點率會忽略掉一些資訊，例如某系統有

100 輛列車，當延滯發生時，可以犧牲某一系列車，讓其他列車準點，結果被犧牲的列車誤點非常嚴重，然而以準點率來看，則準點率可高達 99%。

(二) 臺灣高鐵公司陳經理信雄

1. 此迴歸分析主要在探討列車流量與平均延滯時間的關係，然而有些列車的延滯可能有意外事件或其他因素造成，因此若能將樣本進行篩選，其分析結果可能較佳。

鍾志成博士答覆：理論上應該先對樣本進行篩選，消除其他影響因素，然而在臺鐵的資料中僅有列車的到開時間，因此要針對造成延滯的原因進行篩選，執行上有所困難。

2. 路線利用率是否有大家公認的上限標準？因為有了一個標準後，再來訂定利用率不能超過多少比較有意義。

鍾志成博士答覆：當運轉寬裕係數決定之後，就決定了路線的容量以及其路線利用率上限，本研究找出了運轉寬裕係數和路線利用率上限的關係，但是要寬裕用 0，利用率不要超過 80%；或是寬裕用 0.35，利用率不要超過 100%，兩者是相對的，該以何為標準則是見仁見智。

3. 模式是在計算平均延滯時間，然而平均延滯時間是否就是代表可靠度？用可靠度這名詞是否適合？還是要經過某種換算？

鍾志成博士答覆：可靠度確實不等於平均延滯時間，從前期研究可知可靠度有很多評估的指標，而不同的對象所在意的可靠度指標可能有所不同，例如對每天搭乘的通勤旅客來說，在意的是列車的準點率；但對於偶爾搭乘的長途旅客，則是會在意他所搭乘列車的延滯時間。本研究是針對延滯時間去作分析，文章中一直使用可靠度一詞有可能會造成誤解，將來期末報告會在適當的地方交待清楚。

(三) 交通部臺灣鐵路管理局運務處綜合調度所鄭工程司騰清

1. 實際排點時，確實會因為過多的站間運轉時間寬裕而造成反效果，模式是否可分析出最適當的寬裕為何？

鍾志成博士答覆：要了解站間運轉時間加多少寬裕最為適當，尚需大規模的案例分析才行，但若以 2.3.4 之案例來說，從圖 2-24 可知其最適當的寬裕為 0.3，然而實務上不建議這樣採用，因為運輸系統的營運不止要考量準點問題，還要考量運輸效率，兩者間必須有所取捨。

(四) 交通部鐵工局周副局長永輝

1. 本研究之成果能否用來分析南港到樟樹灣間若不興建第三軌會有何影響？

鍾志成博士答覆：基本上可以作容量相關分析，但是無法深入探

討排點的細節，例如該如何調度列車使用第三軌才可使容量最高，由於目前的模式中沒有參數反應此細節，因此不能進行細部的分析，若要分析細節，則需要發展排點模式。

2. 什麼是合適的路線利用率？

鍾志成博士答覆：在路線容量模式中有個運轉寬裕係數，當此係數愈高則所計算出的容量值會愈低，也就是愈保守。在尚未進行本研究時，我們將計算出的容量和臺鐵實際排出的流量進行比對，讓利用率最高的部分到達 100%，則運轉寬裕係數約為 0.35。此係數是由使用者設定，因此在不同的運轉寬裕係數下，到底容量利用率到達多少需提改善計畫？本可靠度模擬模式便可用來回答這樣的問題，根據模擬在不同列車流量下的平均延滯時間，我們可以了解當路線利用率多高會使得平均延滯時間太長，而需要進行改善。

(五) 國立成功大學交通管理科學研究所鄭教授永祥（書面）

1. 有關可靠度模擬分析工具在本研究所推得之結果，應有驗證分析之比較結果。

鍾志成博士答覆：在期中報告中已對模式進行驗證，當時是根據臺鐵列車實際到開資料，在模式中給定列車的車種、開車時間與運轉時間，經由模式模擬運算得出延滯時間，與真實資料的延滯

時間相比後發現相當吻合，表示模式能反映列車實際延滯的現象。

2. p11 及 p12 中有提到學者及相關文獻中對於容量利用率的建議值為八成，請列出文獻來源，並應比較與本研究之異同之處。

鍾志成博士答覆：相關內容將會補充在期末報告裡。

3. 請討論本研究所討論之寬裕係數與容量利用率之關係，根據本研究的分析結果顯示寬裕係數與容量利用量似乎存在有一定之加減關係，此關係是否合理請說明之，如表 2.2 各路段的容量利用率減去寬裕係數便可推得出與表 2.3 的利用率有相當程度的吻合。

鍾志成博士答覆：在期末報告中，將會討論寬裕係數與容量利用率之關係。

八、散會

附錄 G 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(3/4)

期末簡報

簡報人：黃笙玟

中華民國97年12月2日



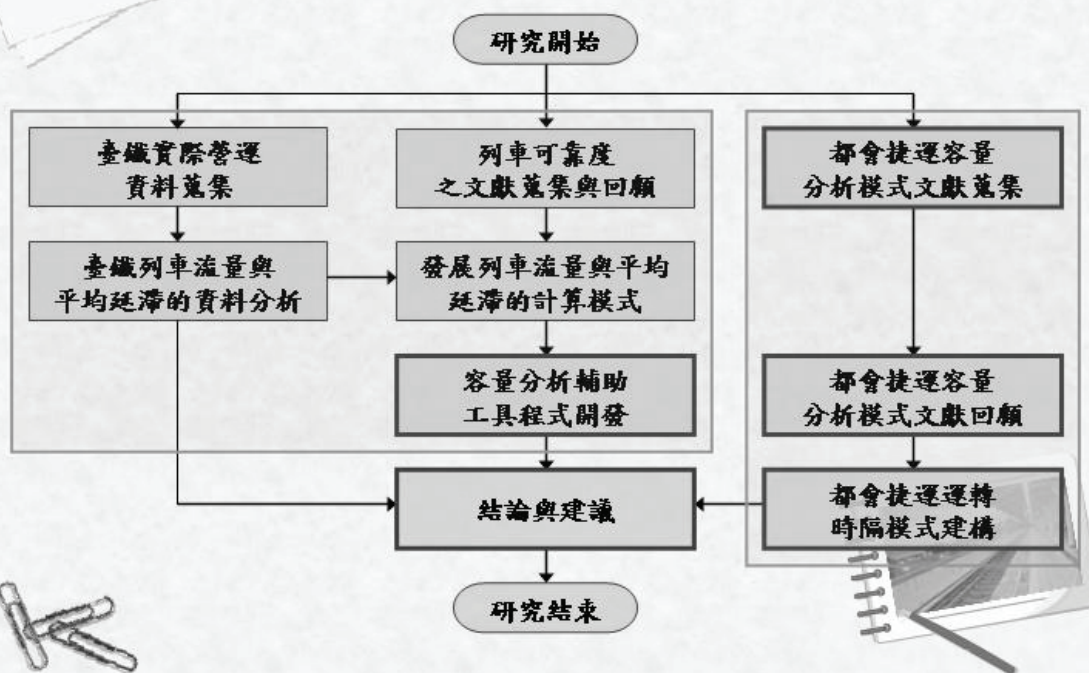
財團法人中興工程顧問社

簡報大綱

- 研究內容及工作流程
- 可靠度迴歸分析模式結果
- 可靠度模擬模式應用案例
- 輔助工具程式開發
- 捷運系統運轉時隔分析模式
- 結論與建議




研究內容及工作流程




可靠度迴歸分析模式結果

判定係數 r^2


分析區間 迴歸模型	萬華→板橋	板橋→樹林
$\bar{w} = a_1 f + a_0$	0.0423	0.0405
$\bar{w} = a_2 f^2 + a_1 f + a_0$	0.0582	0.0438
$\bar{w} = \frac{1}{a_1 f + a_0}$	0.09413	0.04215
$\bar{w} = a_0 \cdot e^{a_1 f}$	0.2121	0.2210
$\bar{w} = a_0 \cdot (e^{a_1 f} - 1)$	0.06726	0.04473




迴歸分析模式結果不佳之原因



- 樣本資料的正確性欠佳
- 無法在有限的時間內將大量紙本資料輸入電腦中進行分析
- 難以篩選樣本，以排除因其他因素造成的列車延誤
- 迴歸分析只考慮列車流量一項變數，而未考慮其他因素



可靠度模擬模式應用案例



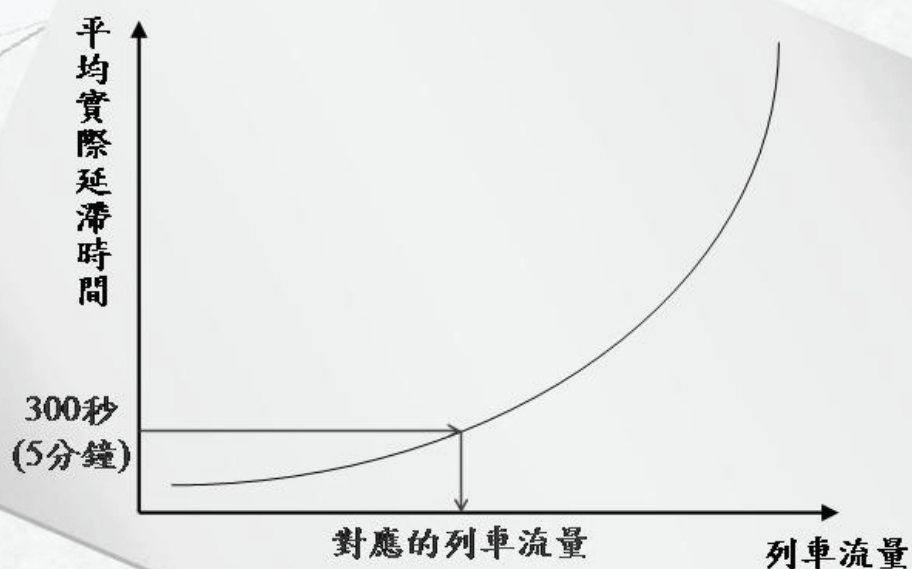
- 可接受的路線利用率
- 車站內軌道配置型式之影響
- 車種組成比例之影響
- 站間運轉時間寬裕之影響



可接受的路線利用率

- 以松山到樹林上下行共8個區段為例
- 以平均實際延滯時間5分鐘當作是路線利用率可接受的標準

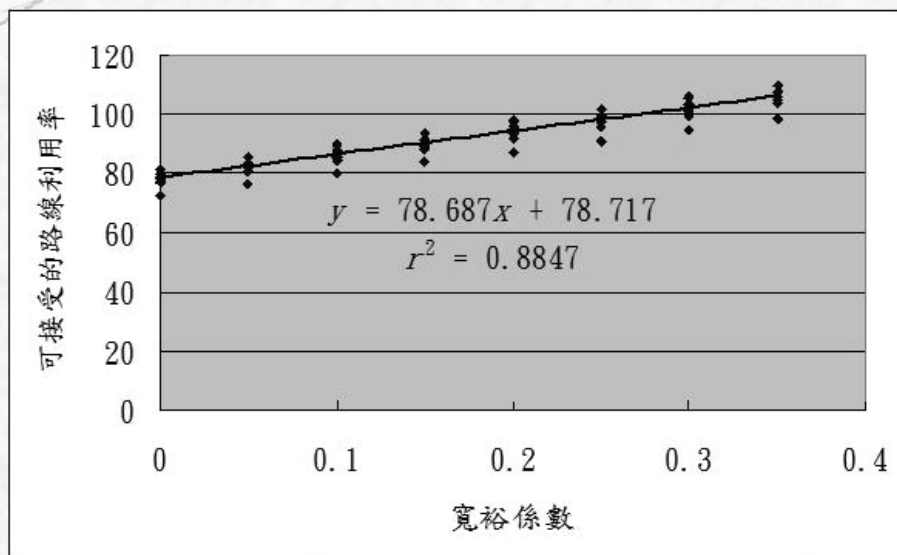
可接受的路線利用率



可接受的路線利用率

區段 寬裕	松山 ↓ 台北	台北 ↓ 萬華	萬華 ↓ 板橋	板橋 ↓ 樹林	樹林 ↓ 板橋	板橋 ↓ 萬華	萬華 ↓ 台北	台北 ↓ 松山	平均	標準差
0.00	77.79	81.42	81.32	79.62	78.72	72.82	81.24	76.80	78.72	2.94
0.05	81.68	85.53	85.41	83.61	82.62	76.47	85.30	80.60	82.65	3.10
0.10	85.59	89.60	89.47	87.59	86.57	80.11	89.35	84.46	86.59	3.24
0.15	89.46	93.63	93.49	91.55	90.48	83.74	93.41	88.31	90.51	3.38
0.20	93.37	97.71	97.59	95.54	94.47	87.37	97.50	92.11	94.46	3.54
0.25	97.25	101.8	101.7	99.50	98.36	91.04	101.5	95.99	98.39	3.68
0.30	101.1	105.9	105.7	103.5	102.3	94.63	105.6	99.79	102.3	3.84
0.35	105.0	109.9	109.8	107.5	106.2	98.3	109.7	103.7	106.3	3.99

可接受的路線利用率

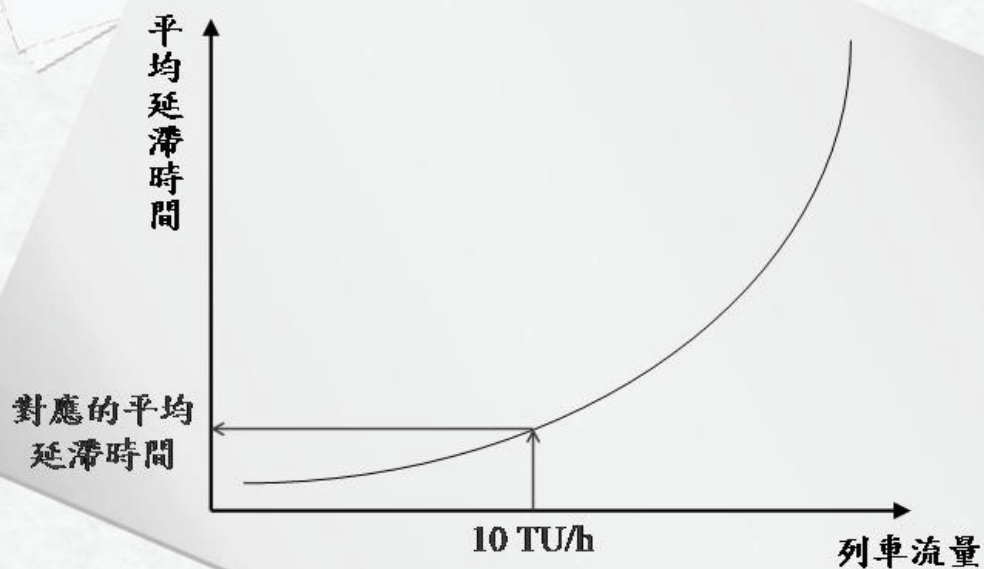


車站內軌道配置型式之影響

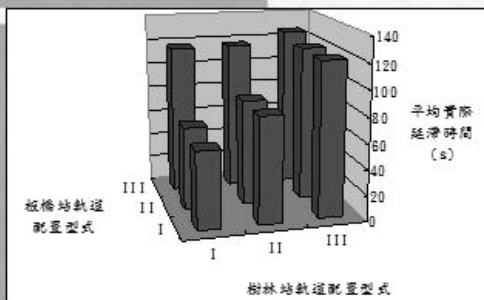
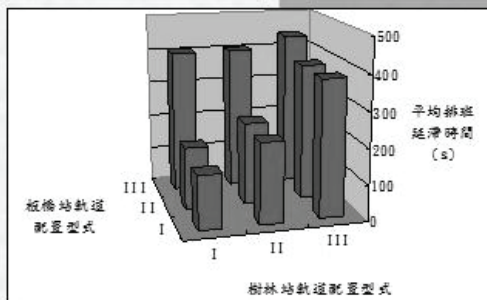
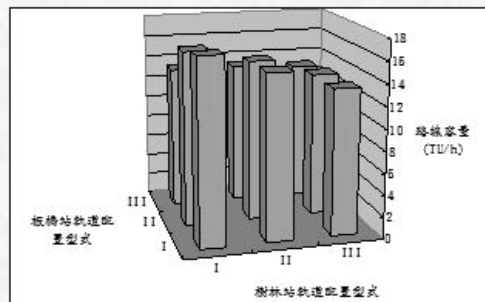
- 以板橋→樹林區段為例
- 探討在不同軌道佈設組合下之影響
 - 第I型(兩島四股道)
 - 第II型(一島一岸壁三股道無平面交叉)
 - 第III型(一島一岸壁三股道有平面交叉)



車站內軌道配置型式之影響



車站內軌道配置型式之影響



車種組成比例之影響

- 以樹林→板橋區段為例
- PP推拉式電車組：通勤電車

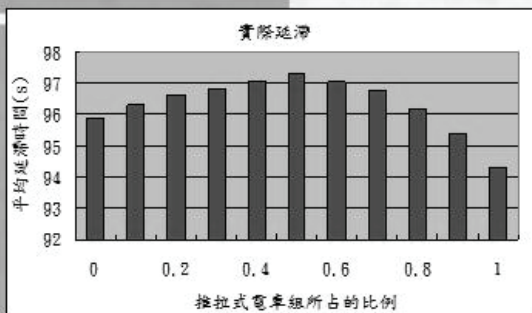
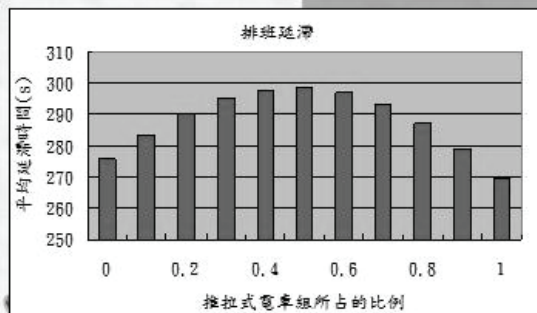
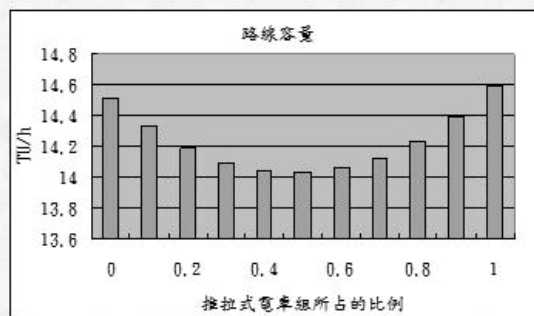
0 : 1



1 : 0



車種組成比例之影響

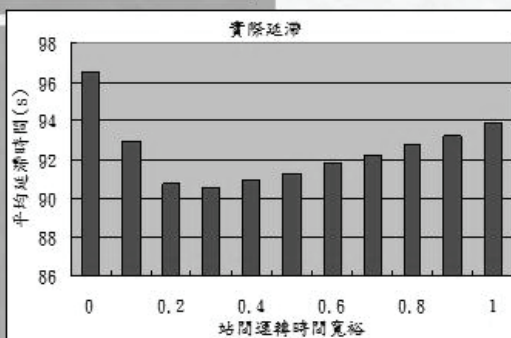
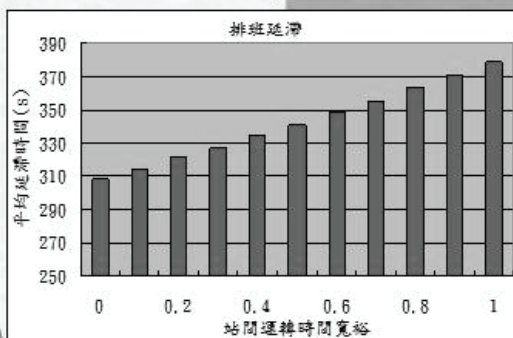
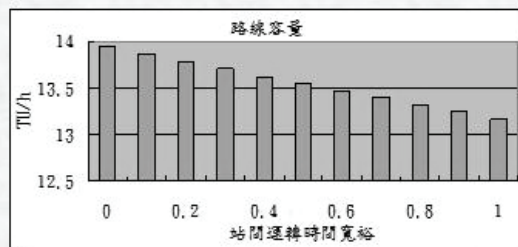


站間運轉時間寬裕之影響

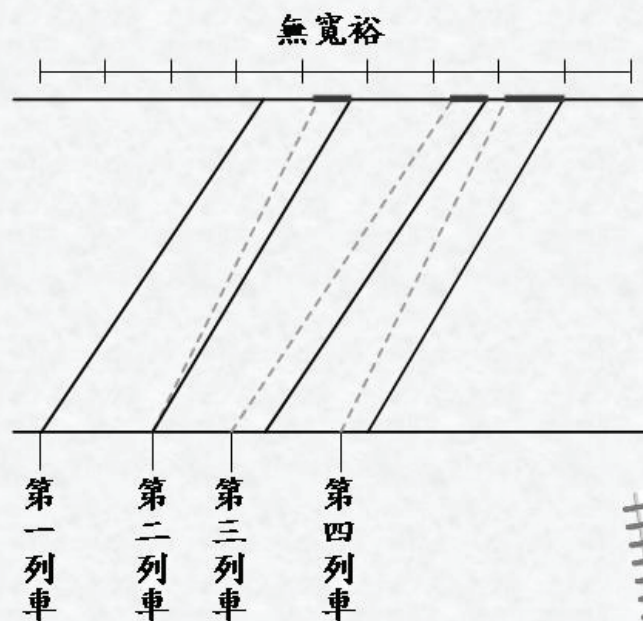
- 以萬華→板橋區段為例

$$\text{基準運轉時間} = (1 + \text{站間運轉時間寬裕係數}) \times \text{最小運轉時間}$$

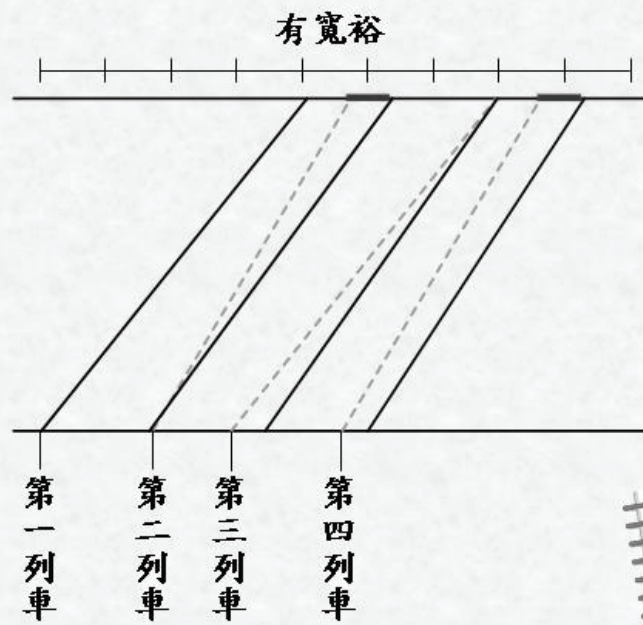
站間運轉時間寬裕之影響



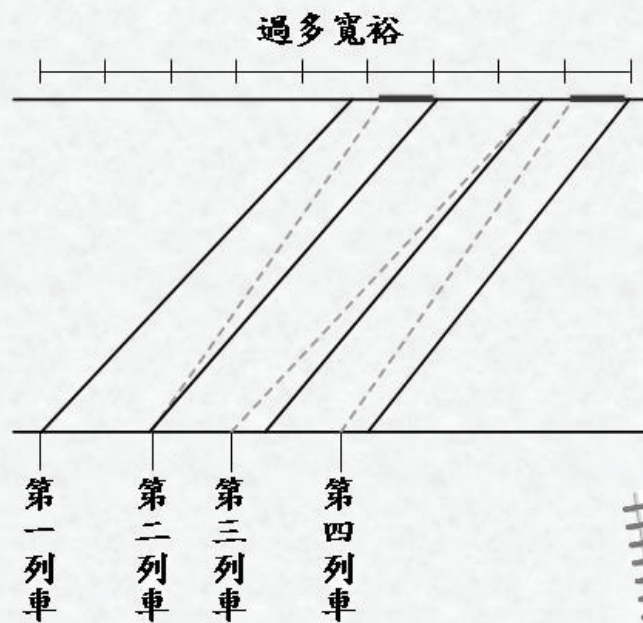
站間運轉時間寬裕之影響



站間運轉時間寬裕之影響



站間運轉時間寬裕之影響



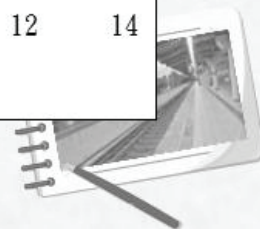
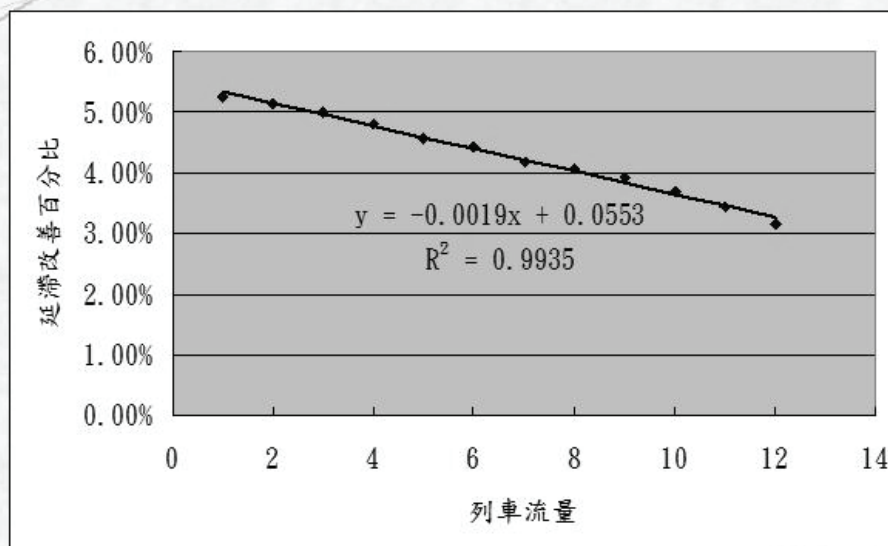


在不同列車流量下增加運轉時間 寬裕對實際延滯時間的改善情形

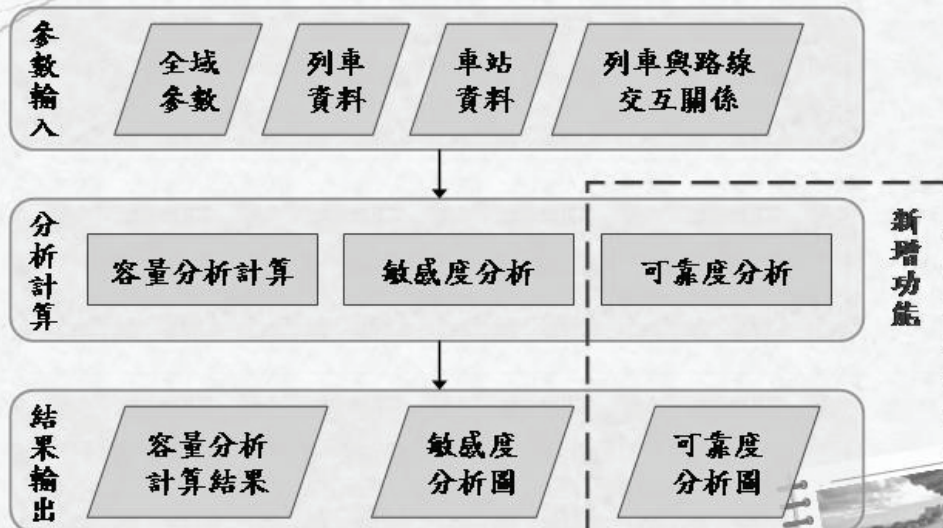
列車流量(TU/h)	寬裕為0的平均 實際延滯時間(s)	寬裕為0.1的平均 實際延滯時間(s)	延滯改善百分比(%)
12	141.96	137.48	3.16
11	116.85	112.83	3.44
10	96.52	92.94	3.71
9	79.55	76.43	3.92
8	65.31	62.66	4.06
7	53.17	50.94	4.19
6	42.72	40.83	4.42
5	33.57	32.03	4.59
4	25.39	24.17	4.81
3	18.03	17.13	4.99
2	11.46	10.87	5.15
1	5.50	5.21	5.27



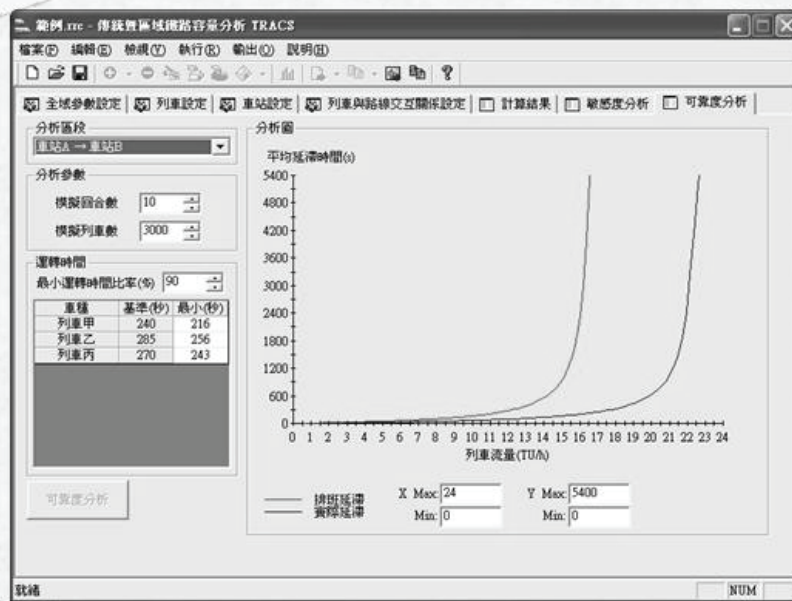
在不同列車流量下增加運轉時間 寬裕對實際延滯時間的改善情形




輔助工具程式開發




程式展示





捷運系統運轉時隔分析模式

- 列車的運轉時隔
 - 號誌安全時距
 - 列車的停站時間
 - 運轉寬裕時間
- 瓶頸發生位置
 - 最繁忙的車站（約79%）
 - 端末車站（約15%）
 - 銜接點（約5%）

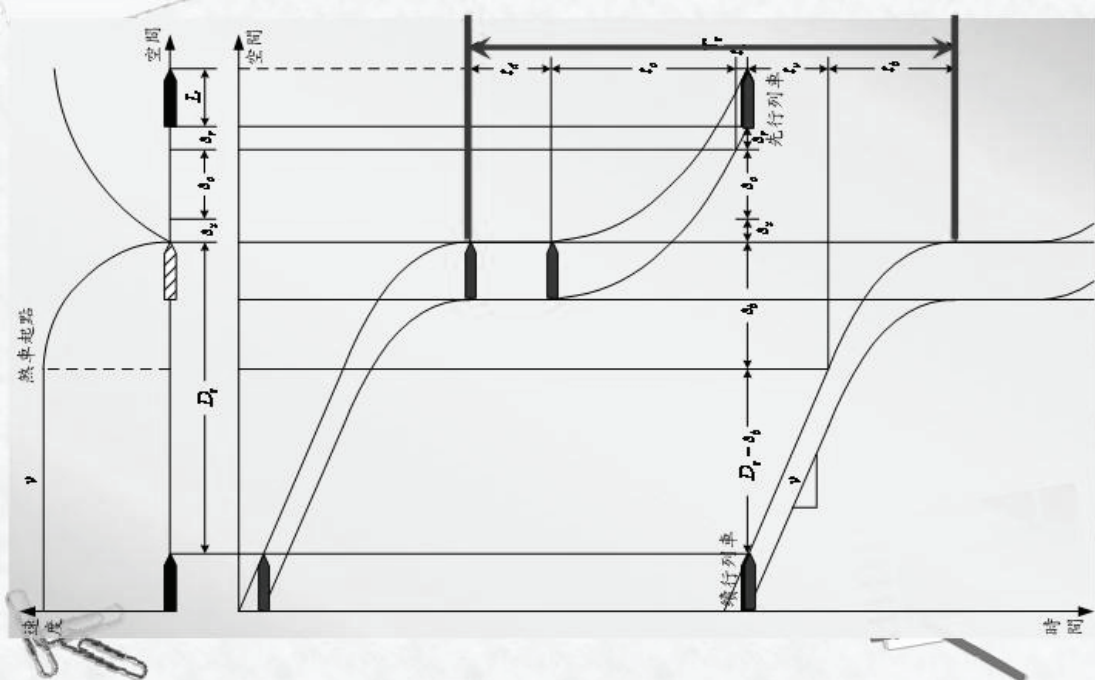


號誌安全時距的計算

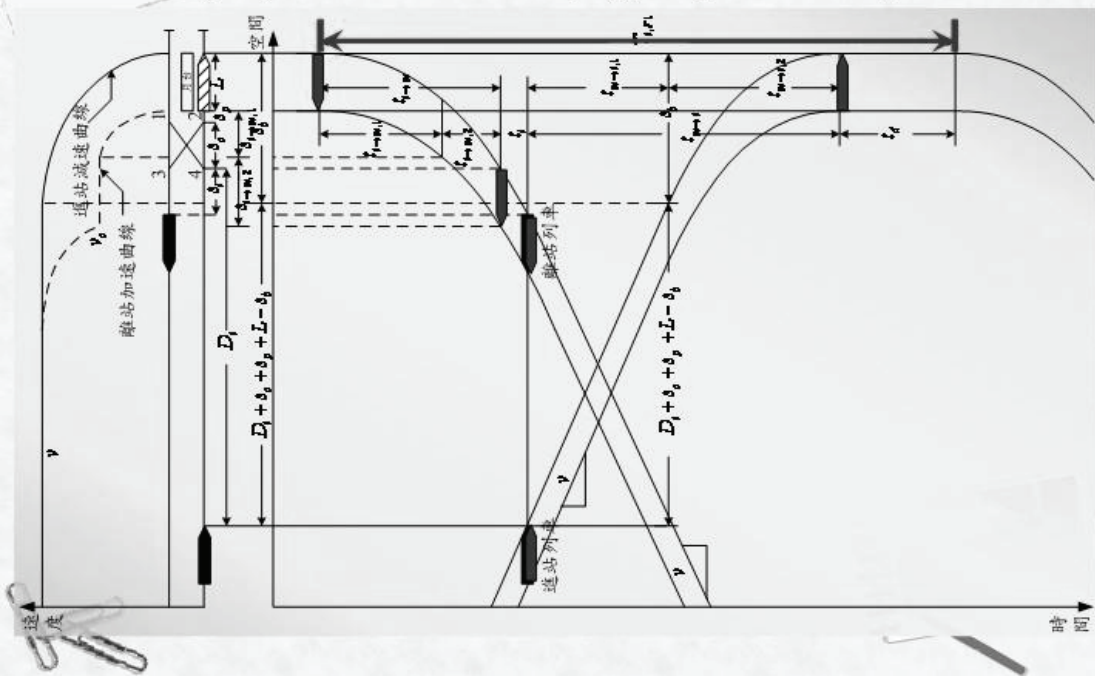
- 中間站
- 折返站
 - 站前折返—站內停靠同一股道
 - 站前折返—站內停靠不同股道
 - 站後折返—站內停靠同一股道
 - 站後折返—站內停靠不同股道
- 銜接點



計算中間站號誌安全時距

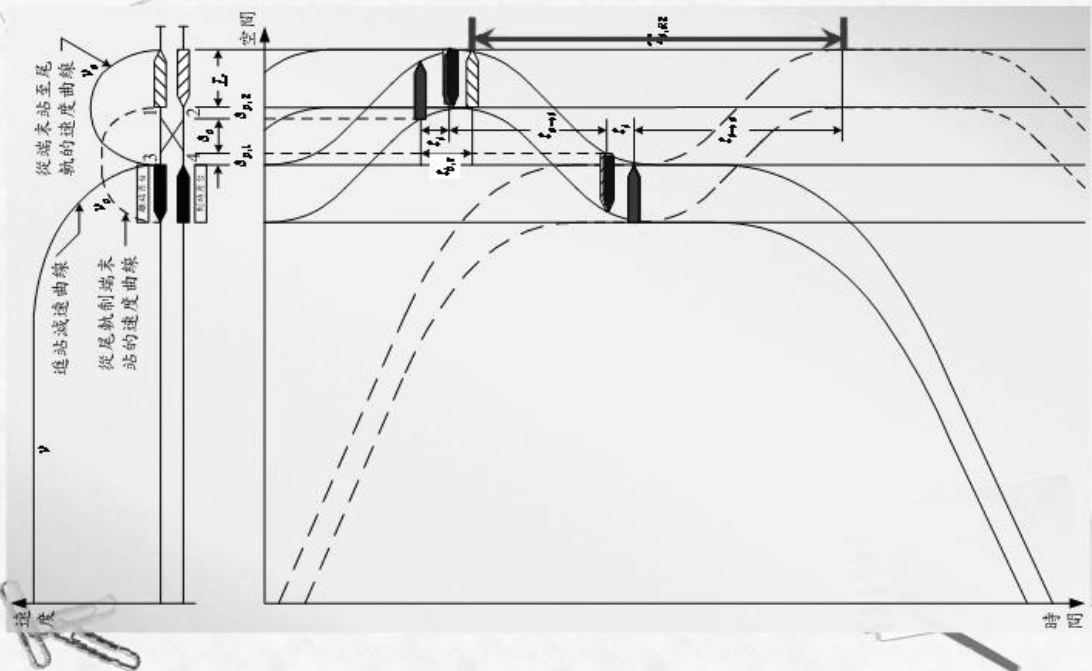


計算折返站號誌安全時距 站前折返—站內停靠同一股道

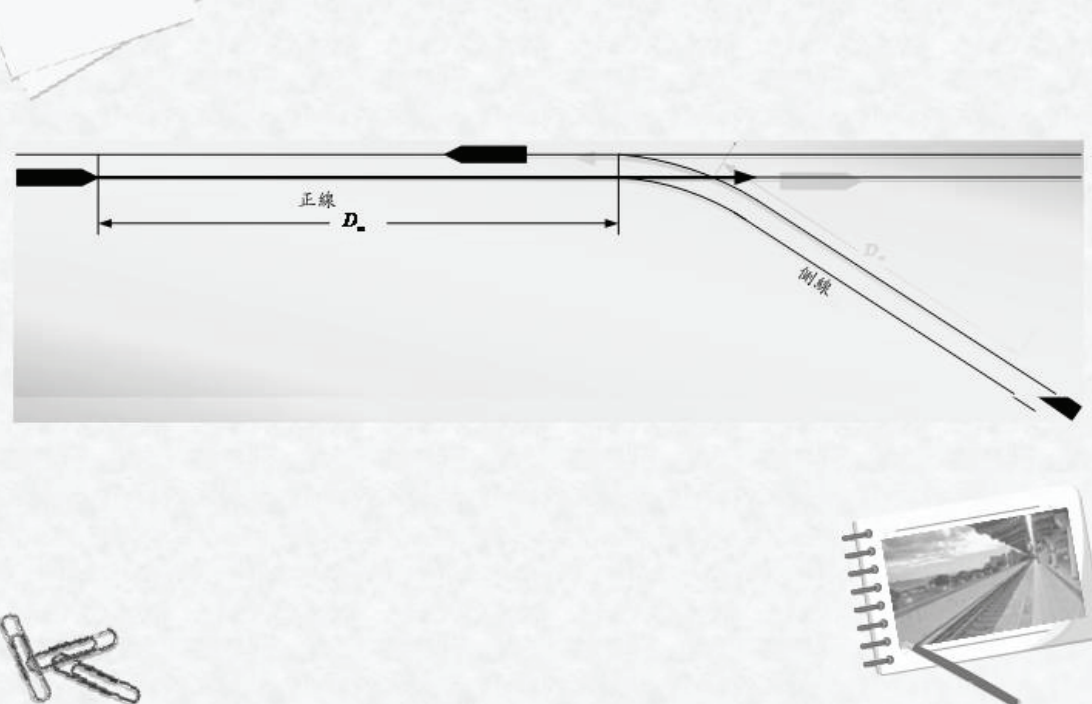




計算折返站號誌安全時距 站後折返一站內停靠不同股道



計算銜接點號誌安全時距




公式彙整(1/2)


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				$T_s = \sqrt{\frac{2(s_s + s_a + L)}{a(G_s)}} + \frac{v}{2b(G_s)} \left(\frac{Q_s}{K_s} - 1 \right) + \frac{v}{b(G_s)} + t_s + t_r$
折返站	站前折返	一股道		$T_{s,r1} = \frac{L + s_p + s_c}{v_c} + \frac{v_c}{2a(-G_r)} + \frac{v}{2b(G_r)} \left(\frac{Q_r}{K_r} - 1 \right) + \frac{s_c + s_p + L}{v} + \frac{v}{b(G_r)} + t_r + t_s$
		兩股道	$T_{s,r1} \geq 2(t_s + t_{k,s} - t_r)$	$T_{s,r2} = \frac{L + s_p + s_c}{v_c} + \frac{v_c}{2a(-G_r)} + \frac{v}{2b(G_r)} \left(\frac{Q_r}{K_r} - 1 \right) + \frac{s_c + s_p + L}{v} + \frac{v}{b(G_r)} + 2t_r - \sqrt{\frac{2s_p}{b(G_r)}}$
		兩股道	$T_{s,r1} < 2(t_s + t_{k,s} - t_r)$	$T_{s,r2} = \frac{L + s_p + s_c}{2v_c} + \frac{v_c}{4a(-G_r)} + \frac{v}{4b(G_r)} \left(\frac{Q_r}{K_r} - 1 \right) + \frac{s_c + s_p + L}{2v} + \frac{v}{2b(G_r)} + \frac{t_r + t_s}{2}$

公式彙整(2/2)


折返站	站後折返	一股道		$T_{s,r1} = \frac{s_{p1} + s_c + s_{p2} + L}{v_c} + \frac{v_c}{2a(-G_r)} + \frac{v_c}{2b(-G_r)} - \sqrt{\frac{2s_{p1}}{b(-G_r)}} + \sqrt{\frac{2b(G_r)(s_{p1} + s_c + s_{p2} + L)}{a(G_r)(a(G_r) + b(G_r))}} + \sqrt{\frac{2a(G_r)(s_{p1} + s_c + s_{p2} + L)}{b(G_r)(a(G_r) + b(G_r))}} + t_r + t_s$
		兩股道	$T_{s,r1} \geq 2(t_s + t_{k,s} - t_r)$	$T_{s,r2} = \frac{s_{p1} + s_c + s_{p2} + L}{v_c} + \frac{v_c}{2a(-G_r)} + \frac{v_c}{2b(-G_r)} - \sqrt{\frac{2s_{p1}}{b(-G_r)}} + \sqrt{\frac{2b(G_r)(s_{p1} + s_c + s_{p2} + L)}{a(G_r)(a(G_r) + b(G_r))}} + \sqrt{\frac{2a(G_r)(s_{p1} + s_c + s_{p2} + L)}{b(G_r)(a(G_r) + b(G_r))}} + 2t_r - \sqrt{\frac{2s_{p2}}{b(G_r)}}$
		兩股道	$T_{s,r1} < 2(t_s + t_{k,s} - t_r)$	$T_{s,r2} = \frac{s_{p1} + s_c + s_{p2} + L}{2v_c} + \frac{v_c}{4a(-G_r)} + \frac{v_c}{4b(-G_r)} - \sqrt{\frac{s_{p1}}{2b(-G_r)}} + \sqrt{\frac{b(G_r)(s_{p1} + s_c + s_{p2} + L)}{2a(G_r)(a(G_r) + b(G_r))}} + \sqrt{\frac{a(G_r)(s_{p1} + s_c + s_{p2} + L)}{2b(G_r)(a(G_r) + b(G_r))}} + \left(\frac{t_r + t_s}{2} \right)$
銜接點				$T_f = \frac{(Q_s - K_s)v_s}{2K_s b(G_{f,s})} + \frac{v_s^2}{2b(G_{f,s})v_s} + \frac{v_s - v_c}{b(G_{f,s})} + \frac{L + s_c}{v_c} + \frac{Q_s v_m}{2K_s b(G_{f,m})} + \frac{s_c + L}{v_m} + 2t_r$




系統最小號誌時距的決定



$$\text{最小號誌安全時距} = \max \left\{ \begin{array}{l} \text{最繁忙的中間車站之號誌安全時距,} \\ \text{折返車站之號誌安全時距,} \\ \text{銜接點的號誌安全時距} \end{array} \right.$$




最小運轉時隔的計算





$$\text{最小運轉時隔} = \text{號誌時隔} + \text{運轉寬裕時間}$$


$$\text{運轉寬裕時間} = \text{運轉寬裕時間係數} \times \text{號誌時隔}$$







結論(1/2)

- 影響列車可靠度的因素很多，實際營運時有許多隨機特性；另外，樣本資料的品質難以掌握，以致於可靠度迴歸模式結果不佳。
 - 考量列車流量、車種組成、運轉時間以及號誌時距等因素，發展了可靠度模擬模式，且經由臺鐵實際資料進行驗證後，確定該模式能反映實際列車運行延滯的現象。
- 
- 




結論(2/2)

- 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應為0.3，而排班時路線利用率最高不要超過100%。
 - 加入站間運轉時間寬裕可降低平均實際延滯時間，但加入太多寬裕反而會造成反效果。
 - 開發可靠度模擬輔助工具程式，並整合至傳統暨區域鐵路系統軌道容量分析軟體之中。
 - 針對國內都市捷運系統之特性，發展了運轉時隔分析模式，包含中間站、折返點和銜接點號誌安全時距計算公式。
- 
- 



建議(1/2)


- 建議後續研究應繼續完成以列車為客體單位和以旅客為客體單位之容量模式，以完備都市捷運系統的容量分析模式。
- 針對都市捷運系統容量分析模式，開發視窗化應用程式，提升容量分析工作效率，達到推廣的目的。
- 針對都市捷運系統所發展之運轉時隔分析模式，可作為軌道容量手冊中「都會軌道系統—第一型模式」篇章內容之參考



建議(2/2)

- 軌道系統尚有高鐵系統、輕軌運輸系統等，可進行相關的容量分析研究，以作為軌道容量手冊中相關內容之基礎。
- 研究如何有效蒐集鐵路營運上的寶貴資訊，並將資料建立成資料庫，對於未來進行相關研究將有所助益。
- 影響可靠度的因素眾多，未來若要深入研究可靠度，則旅客數、運轉調度策略等，皆是可考慮之方向。





簡報完畢
敬請指教

Thank You

附錄 H 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
交通部 鐵路改 建工程 局周副 局長永 暉	有關本研究估算路線容量，分析出之臺鐵系統合理寬裕係數值是否可能為一個 Range，而不一定是 3.0 或 3.5 之固定值，請研究單位考量於報告中補充說明。	本研究旨在說明，由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會有所不同，若以路線利用率最高 100% 來看，則建議寬裕係數值為 0.3，並非固定寬裕係數值。將於報告結論中說明。	已於定案報告中回應補充說明。
	有關現況臺鐵系統之平交道及路線立體化與否，是否對運轉時隔之估算及變動產生影響；另若針對電聯車之單一車種但採跳站停車方式(區間快)進行營運，本研究之運轉時隔模式是否可以有效反映，建請考量說明。	臺鐵在平交道有絕對優先路權，列車不需因通過平交道而減速，理論上應對運轉時隔沒有影響，但實際上司機員行駛時，由於心理因素，通過平交道時不敢開快，進而影響站間運轉時間。站間運轉時間是模式的輸入參數之一，因此可調整該參數來進行估算。另外，電聯車採每站皆停或跳站停之不同方式，其站間運轉時間、巡航速度則有所不同，此兩項因素在模式中皆有考量，因此可有效反映其影響，在前期教育訓練中亦有針對此議題設計案例分析。	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 鐵路改 建工程 局周副 局長永 暉	有關目前臺鐵內灣支線岔出連接高 鐵車站並以不同車速車種分別營 運，該銜接點之號誌安全時距，是否 可以使用本研究之都會捷運系統運 轉時隔分析模式進行分析，請說明。	本研究針對銜接點運轉時 隔分析公式之推導，係以 捷運系統為對象，通常捷 運系統中採用完全相同或 性能相近的列車來營運， 所以該公式中沒有考量列 車性能不同之因素，因此 不能直接用於臺鐵系統。	同意承辦 單位之處 理及補充 說明。
臺灣高 鐵公司 陳信雄 協理	本報告中部分附圖不清楚，請調整。	依評審意見辦理。	已於定案 報告中修 正。
	本研究之可靠度模擬模式係以隨機 班表作為計算延滯之依據，惟國外相 關模擬模式通常係以既定班表進行 分析，請問二者之模式建構邏輯及分 析結果有何異同？另本研究之模擬 模式是否可將班表型式設定為選 項，請考量。	本研究發展之可靠度模式 主要是用於分析列車流量 與延滯的關係圖，因此是 給定列車流量，以隨機 的方式產生列車進入分析路 段的時間。若是固定班 表，則是分析該班表的可靠 度，此時必須輸入每列 車進入分析路段的實際時 間與預定時間的隨機分布 函數，兩者目的不同，因 此本研究發展的模式無法 直接適用。	已於定案 報告之相 關章節回 應補充說 明。
	有關簡報中站間運轉寬裕時間之影 響分析，看不出有寬裕、無寬裕及過 多寬裕等不同寬裕程度對站間運轉 時間之影響差異，請就圖示呈現方式 考量修正。	依評審意見辦理。	已於定案 報告中第 五章分析 說明。
	有關本研究都會捷運系統瓶頸點可 能發生之中間站、末端站及銜接點之 三個空間參考點，於號誌安全時距之 計算時，是否有交互影響，建議可增加 相關分析說明。	當這些空間參考點距離相 近時，確實會有交互影 響，如巡航速度、安全煞 車距離等，然而這些受影 響的因素是模式中的參 數，因此依實際情況給定 計算之即可。	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
高鐵路 施文雄 科長	有關寬裕係數是否為一 Range 的問題，報告 P5-19 文中建議寬裕係數取值 0.3，該建議值若基於路段區間路線利用率之角度應如何判定，是否應鎖定那些關鍵之站間路線利用率，並以其作為關鍵判定值，建議可考量。	基本上每個區段不會相同，因此報告中之建議值，係針對在一般情況下所提出的建議，並非限制其值，因此亦可針對關鍵之站間路線利用率為判定值，來選擇寬裕係數。	同意承辦單位之處 理及補充 說明。
	另有關本研究之可靠度模擬模式係以臺鐵系統萬華—板橋—樹林路段之延滯資料進行驗證，但如何證明驗證後之模式可應用於臺鐵系統其他路段之可靠度分析，建議可於報告中補充說明。	模擬模式和統計模式不同，統計的迴歸分析結果，僅能適用於原分析條件之下的資料，不能延伸解釋以外的資料，這也是為何本研究後來發展模擬模式的原因之一。模擬模式建構完成後，根據真實資料進行模擬，如果其模擬結果和真實觀測結果很接近，就表示此模擬模式通過驗證，此後便可進行其他相關應用，要分析不同條件下的結果，僅需修改相關參數進行分析。	同意承辦單位之處 理及補充 說明。
	P6-11 圖 6-14 之延滯分析結果應如何解釋及後續營運調度策略之應用，建議應補充說明；另建議所增加之餘裕度應配合關鍵區間之選定及基礎運轉時間加以考量，並結合案例分析呈現，使發展之可靠度分析模式功能可確實發揮。	第六章內容主要在介紹程式開發流程與操作方法，至於應用案例的部分則交代於 5.5 節中。	已於定案 報告中第 五章分析 說明。
臺鐵路 鄭工程 司騰清	本研究進行站間運轉時間寬裕之影響分析時，獲致在沒有任何寬裕的情況下平均實際延滯時間會最高，如果增加了些許寬裕則延滯降低，但若增加更多寬裕，則平均實際延滯時間不降反升，相關分析結果亦印證實際營運限制，深具參考價值。	感謝評審對本研究的肯定。	--

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
臺鐵局 鄭工程 司騰清	P3-2 有關臺鐵針對列車準點率定義為列車到達終點站延誤 5 分鐘以內者謂之準點等相關用語，似有不妥，建議應修正。	依評審意見辦理，報告中改成完全引用臺鐵對於列車準點率定義之敘述。	同意承辦單位之處理方式。
	有關本研究之平均實際延滯係以 5 分鐘為標準，雖是以臺鐵系統之起迄延滯時間界定，但是否妥適請再考量。	不同軌道系統對延滯標準的界定所有不同，在本研究案例中係以臺鐵系統為對象，因此以臺鐵之規定作為標準較為適當。若將來將本模式應用於其他系統，則可根據該系統選定合適的延滯標準。	同意承辦單位之處理及補充說明。
成功大學交通管理科學研究所鄭教授永祥（書面意見）	有關本研究是探討鐵路列車流量與可靠度之關係，因此建議須就本研究所指之『可靠度』加以明確定義。	依評審意見辦理。	已於定案報告中相關章節補充說明。
	是否可加入影響列車可靠度的因素探討及相關分析？如臺鐵一直認為旅客的上下車時間是影響列車可靠度一重要因素。	旅客的上下車時間確實是影響列車可靠度的重要因素之一，然而本計畫之主題為軌道容量，因此僅探討列車流量與可靠度之關係，若要針對其他因素探討可靠度，建議將來於後續研究中再行考慮。	同意承辦單位之處理及補充說明。
	本研究應在第五章臺鐵列車服務可靠度模擬模式中，說明為何考量列車流量、車種組成、站間運轉時間以及號誌時距等因素來構建模式。	依評審意見辦理。	已於定案報告中第五章補充說明。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
	本研究在結論部份提及站間運轉時間寬裕對可靠度之影響，加入寬裕後可降低平均實際延滯，又提及然加入太多寬裕後，認為多餘的寬裕無法有效利用，這部份寬裕應會受當時的流量影響，未來應考量多少寬裕以確保其在一定之可靠度。請問這部份的結論是否有相關的國內外文獻可供支持此論點？	就本研究目前所蒐集之國內外文獻中，並無相關研究支持此論點，然而就臺鐵局鄭工程司騰清先生實務上之經驗，肯定此一結論。	同意承辦單位之處 理及補充 說明。
	本研究期末報告嚴謹且結合理論與實務，建議通過。	感謝評審對本研究的肯定。	--
	因應高鐵營運後臺鐵系統勢必轉型加強通勤功能，故有關臺鐵系統之相關改善計畫及營運調度策略，不應一味強調只增加月臺數目，而應確認增設之車站是否具備列車交會待避功能，而本研究之研究方向及分析結果，應可有效滿足上述需求。	感謝評審對本研究的肯定。	--
交通部 鐵路改 建工程 局	有關本研究之後續案例，建議有二：(1)臺中專案中增設2岸壁2股道之松竹站，考量對整體路線容量及排點之限制有何影響。(2)太原站之佈設從2岸壁2股道改變為2島4股道，對整體路線容量及原規劃設計規模有何影響。	如果鐵工局願意提供相關資料，在時間及經費許可的情形下，未來研究團隊願意協助分析此兩案例。	--
	P5-20 圖 5-17 有關樹林站與板橋站不同軌道配置對路線容量之真正意涵為何，建議應於報告中補充詳細分析說明。	依評審意見辦理。	已於定案 報告中相 關章節補 充說明。
	P2-8 表 2.1 之內容有誤，如小南門線請改為綠線，另昆陽機廠請改為南港機廠。	依評審意見辦理。	已於定案 報告中修 正。
臺北市 政府捷 運工程	P2-6 圖 2-6 臺鐵各車種歷年客座利用 率之縱軸應為「客座利用率」，請 修正。	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
局	有關簡報中提及之都會捷運系統運轉時隔計算，現行臺北捷運於 CBD 常以區間運轉方式營運，於區間營運點是否一定為端末折返站，是否可考量佈設 Pocket track，請本研究可納入考量。	依主席裁示，考量於明年研究案中納入研析暨當成教育訓練案例。	本項議題將列入 98 年度研究課題及教育訓練案例。
	本研究若加入相關各種案例分析將使本研究內容更為週延，敬表支持。	感謝評審對本研究的肯定。有關案例分析部分，將依主席裁示，於明年研究案中考量。	同上
臺北市 政府捷 運工程 局	P2-8 綜合比較表中，部分數據錯誤，請參閱附件更正。	依評審意見辦理。但其中有關於行駛時間之資料，報告中係以路線別區分，而非依營運模式區分，因此有所差異。	同意承辦單位之處 理及補充 說明。
臺北大 眾捷運 股份有 限公司 (書面 意見)	第七章，由於本研究所推導之運轉時隔分析模式相當複雜，且尚缺乏實例映證，故後續之應用研究方向，建議將模式適度簡化，且相關數據可考慮建立查表系統或程式化，並嘗試以現有之捷運系統營運模式，進行試算。	案例分析部分，將於明年研究案中納入考量，至於程式化，也是 98 年研究案預計之工作項目之一。	同意承辦單位之處 理及補充 說明。
	P2-9 圖 2-8 有關臺北都會區大眾捷運系統計畫路網圖不清楚，請修正。	依評審意見辦理。	已於定案 報告中修 正。
本所運 計組一 書面意 見	P3-25 文中提及美國經驗，都會捷運與輕軌運輸系統一般停站時間為 27.5~61.5 秒，其範圍甚大之原因，可能與捷運與輕軌系統設置之路權型式是否與平面交通實體分隔有關，建議可於表 3.5 或文中補充相關資料或說明。	影響停站時間的主要原因為車站等級與規模，軌道系統路權型式對其影響不大。	同意承辦單位之處 理及補充 說明。
	P5-6 倒數第 3 行有關式(5.3)之說明，建議可修正為「因此延滯時間為保持前述時距所造成延滯時間之兩者中較大者」，俾為週延。	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
	P5-7 有關 $t_{x,k}$ 符號中之 x 並無定義，是否更正為 $k-1$ 以表示先行列車較為妥適；另有關本章中 w_{k-1} 、 τ_{k-1} 、 $\tau_k \cdots$ 等各項符號之代表意義亦請一併檢視定義，俾便使用者瞭解。	t_x 定義為列車距離其前一系列開車時間的時間間距，而 $t_{x,k}$ 則是第 k 輛列車距離其前一系列開車時間的時間間距，在報告中將修正其敘述，以便讀者瞭解，另 w_{k-1} 、 τ_{k-1} 、 $\tau_k \cdots$ 等符號亦一併加上定義。	已於定案報告中修正。
	P5-8 有關實際延滯時間之計算，其「趕點的運轉時間不能小於最小運轉時間」之計算流程，建議是否可配合於圖示中表示。	依評審意見辦理。	已於定案報告中修正。
本所運 計組— 書面意 見	P5-9 有關第 4 項實際延滯時間計算之段落文字，建議於最後增加如圖 5-9 之文字。	依評審意見辦理。	已於定案報告中修正。
	P5-10 有關圖 5-10 中先、續行列車之出發延滯時間 $w'_{D,k-1}$ 及 $w'_{D,k}$ 是否必定相等，請於文中補充說明。另本章之列車各時空示意圖建議於列車行駛線上增加先行列車 $k-1$ 及續行列車 k 之標示，俾便瞭解。	$w'_{D,k-1}$ 和 $w'_{D,k}$ 不一定相等，將在文中補充說明，並在各相關示意圖中增加先行列車 $k-1$ 及續行列車 k 之標示。	已於定案報告中修正。
	P5-14 有關本模擬模式之模擬回合數及模擬列車數之預設參數值分別採用 10 及 3000，建議於文中增加相關預設值設定之說明。	依評審意見辦理。	已於定案報告中修正。
	P5-23 圖 5-22 及圖 5-23 有關不同車種組成下之排班延滯及實際延滯之分析結果，建議應增加二者差異之比較及其意涵說明。	依評審意見辦理。	已於定案報告中修正。
	P6-3 有關本研究可靠度分析模擬模式之測試驗證係依據第五章之可靠度模擬模式分析結果進行，建議於「測試驗證」項內增加上述相關說明。	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
	P6-9 為利使用者瞭解「排班延滯」及「實際延滯」之差異及分析目的，建議可於軟體頁面中增加其定義及相關說明；另有關可靠度相關分析結果之後續應用，建議亦可於畫面中適度增加說明簡述。	由於可靠度分析之功能整合於容量分析軟體之中，而該軟體在容量分析頁面中，亦無詳細列出其分析目的、定義以及後續應用等相關說明，為提供使用者一致的操作經驗，以及考量頁面美觀，因此有關可靠度分析目的、定義，以及後續應用僅在報告與使用手冊中交代，而不再加入可靠度頁面之中。	同意承辦單位之處 理及補充 說明。
本所運 計組— 書面意 見	P7-1 本頁最後一行有關捷運高架車站通常為兩側式月台兩股道的配置之相關論述，實務上似無固定之佈設方式，且若以淡水線之現況檢視並不相符，故請修正。	依評審意見辦理。	已於定案 報告中修 正。
	P7-6 第 3 行「…但若是橫渡線距離車站太遠的話，端末車站也可能成為路線的瓶頸…」，建議增加其造成瓶頸之原因及一般佈設距離之相關說明。	依評審意見辦理。	已於定案 報告中修 正。
	P7-47 本研究認為運轉寬裕時間應與號誌時隔呈一定之比例，應甚為合理，惟該運轉寬裕係數是否應隨中間站、折返站及銜接點之位置不同而應有不同之參數值設定，建議本研究可補充相關之分析說明；另對照美國容量手冊運轉寬裕時間介於 15~25 秒間之設定值，有何相關之處，亦請一併說明。	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
	P8-3 有關建議第 6 項之後續研究方向，本研究主要之可靠度分析係針對列車數與平均延滯進行分析，惟文中建議可再針對旅客數及運轉調度策略作深入研究，建議可於文中再稍作詳細陳述說明，俾作為相關單位後續研究之參考。	依評審意見辦理。	已於定案報告中修正。
主席結論	有關與會各學者專家建議之研究案例及軌道配置 Pocket track 等議題，請列入報告中之建議事項說明，並考量於明年研究案中納入研析暨當成教育訓練案例。	依主席裁示辦理。	相關議題已依主席裁示列入 98 年度研究課題及教育訓練案例。
主席結論	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 97 年 12 月 22 日前提送定案報告，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。	已於定案報告中逐一列表回應修正。

「運輸系統容量分析暨應用研究－軌道系統（3/4）」 期末報告審查會議紀錄

一、時 間：97 年 12 月 2 日(星期二) 14 時整

二、地 點：交通部運輸研究所 7 樓運輸規劃科技研究室

三、主持人：林組長國顯

紀錄：劉昭榮

四、出(列)席單位及人員：

交通部鐵工局周副局長永暉

周永暉

交通部高鐵局七組施科長文雄

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

國立成功大學交通管理科學研究所鄭教授永祥

<請假>

逢甲大學交通工程管理系林教授大傑

交通部鐵路改建工程局

林大傑

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

<請假>

財團法人中興工程顧問社

廖志文

黃至強

本所運計組

李治仁

張里輔

劉昭榮