

100-100-1293
MOTC-IOT-99-PBB004

軌道系統容量與可靠度分析研究 (1/3)

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

交通部運輸研究所

中華民國 100 年 6 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

軌道系統容量與可靠度分析研究. (1/3) / 鍾志成
等著. -- 初版. -- 臺北市：交通部運研所，民
100. 06

面；公分

ISBN 978-986-02-8212-2(平裝)

1. 鐵路管理 2. 大眾捷運系統 3. 運輸系統

557.23

100010941

軌道系統容量與可靠度分析研究(1/3)

著者：鍾志成、李治綱、賴勇成、黃笙玟、盧麗嵩、張仕龍、張恩輔、孫千山、林 蓁、林志偉、林杜寰、李永強、林國顯、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 100 年 6 月

印刷者：立文印刷有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 120 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定價：200 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸資訊組・電話：(02)23496880

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

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

GPN：1010002038

ISBN：978-986-02-8212-2 (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：軌道系統容量與可靠度分析研究(1/3)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN978-986-02-8212-2(平裝)	政府出版品統一編號 1010002038	運輸研究所出版品編號 100-100-1293	計畫編號 99-PBB004
本所主辦單位：運輸計畫組 主管：蘇振維 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、賴勇成、黃笙玟 研究人員：盧麗嵩、張仕龍、張恩輔、孫千山、林蓁、林志偉、林杜寰、李永強 地址：臺北市南京東路5段171號 聯絡電話：(02)27692131 ext. 20998 傳真號碼：(02)27655010		研究期間 自 99 年 2 月 至 99 年 11 月
關鍵詞：軌道容量分析、列車延滯分析、可靠度分析 摘要： <p>軌道系統建設成本甚鉅，所以需要有系統的進行容量分析與可靠度研究，方能在較經濟的條件下提供符合預期服務品質的運能。過去交通部運輸研究所針對傳統鐵路系統，發展了單一區段軌道容量分析模式與可靠度分析模式，但該模式未考慮相鄰區段之影響，因此「軌道系統容量與可靠度分析研究」要進一步研究連續區段下的軌道容量分析與可靠度分析。</p> <p>本研究為此三年研究計畫的第一年，主要工作為分析臺鐵列車延滯情況，以瞭解其延滯時空分佈情形與延滯原因風險，並提出可靠度改善建議。此外，考慮列車之間的干擾以及追越行為，發展連續區段軌道容量分析模式，可作為未來臺鐵評估軌道容量的分析工具。</p>			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
100 年 6 月	322	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。
機密等級： <input type="checkbox"/> 密 <input type="checkbox"/> 機密 <input type="checkbox"/> 極機密 <input type="checkbox"/> 絕對機密 （解密條件： <input type="checkbox"/> 年 月 日解密， <input type="checkbox"/> 公布後解密， <input type="checkbox"/> 附件抽存後解密， <input type="checkbox"/> 工作完成或會議終了時解密， <input type="checkbox"/> 另行檢討後辦理解密） <input checked="" type="checkbox"/> 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

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

TITLE: Capacity and Reliability Analysis of Rail Transportation Systems (1/3)			
ISBN(OR ISSN) ISBN 978-986-02-8212-2(pbk.)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010002038	IOT SERIAL NUMBER 100-100-1293	PROJECT NUMBER 99-PBB004
DIVISION: Planning Division DIVISION CHIEF: Cheng-Wei Su PRINCIPAL INVESTIGATOR: Kuo-Shian Lin PROJECT STAFF: Cheng-Wei Su, Jau-Rong Liu PHONE: 886-2-23496809 FAX: 886-2-25450428			PROJECT PERIOD FROM February 2010 TO November 2010
RESEARCH AGENCY: Sinotech Engineering Consultants, Inc. PRINCIPAL INVESTIGATOR: Jyh-Cherng Jong, Chi-Kang Lee, Yung-Cheng Lai, Sheng-Hsuan Huang PROJECT STAFF: Li-Song Lu, SLoan Cheng, En-Fu Chang, Chian-Shan Suen, Jen Lin, Jyh-Wei Lin, Tu-Huan Lin, Yung-Chiang Li ADDRESS: 171 Nanking E. RD. SEC. 5, Taipei, Taiwan, R.O.C. PHONE: 886-2-27692131 ext. 20998 FAX: 886-2-27655010			
KEY WORDS: Rail Capacity Analysis, Train Delay Analysis, Reliability Analysis			
ABSTRACT: <p>The construction of railway systems requires enormous capital expenditure. As a result, systematic researches on capacity and reliability are essential to economically provide the appropriate capacity with the expected service quality. Recently, the Institute of Transportation developed models to analyze rail capacity and the reliability of single sections for conventional railway systems. The models did not, however, consider the influence of the adjacent sections. Thus, the objective of this research project, "Capacity and Reliability Analysis of Rail Transportation System", is to investigate rail capacity and train reliability for continuous sections.</p> <p>This study is the first year of the three-year project. The focus is to analyze train delays of the Taiwan Railway System (TRA). The results shed light on the time-space distribution and risks of train delays. Based on the results, several strategies to improve service reliability are proposed. In addition, this study develops a rail capacity model for continuous sections while considering the interference between trains and overtaking maneuver. The model can be used to evaluate the capacity of the TRA in a more realistic way.</p>			
DATE OF PUBLICATION June 2011	NUMBER OF PAGES 322	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.....	XIII
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 研究範圍	1 - 3
1.5 研究對象.....	1 - 5
1.6 研究內容與工作項目	1 - 10
1.7 研究方法與流程.....	1 - 11
1.8 報告書章節架構.....	1 - 14
第二章 文獻回顧.....	2 - 1
2.1 列車服務可靠度相關文獻	2 - 1
2.1.1 列車服務可靠度之評估指標	2 - 1
2.1.2 國內軌道系統列車服務可靠度現況分析	2 - 5
2.1.3 列車延滯分析模式	2 - 10
2.1.4 列車延滯預測分析	2 - 14
2.1.5 小結	2 - 18
2.2 軌道容量分析相關文獻	2 - 19
2.2.1 軌道容量評估方法	2 - 20
2.2.2 單一區段軌道容量分析模式回顧	2 - 22
2.2.3 連續區段軌道容量分析模式回顧	2 - 39
2.2.4 小結	2 - 49
第三章 臺鐵列車延滯時空分布分析	3 - 1

3.1	資料蒐集整理與分析	3 - 1
3.2	平日列車延滯情形	3 - 4
3.2.1	三大都會區列車延滯時空分布	3 - 4
3.2.2	列車行經各車站之延滯情形	3 - 12
3.3	假日列車延滯情形	3 - 20
3.3.1	三大都會區列車延滯時空分布	3 - 20
3.3.2	列車行經各車站之延滯情形	3 - 28
3.4	特殊事件列車延滯情形	3 - 36
3.5	小結	3 - 40
第四章	臺鐵對號列車延滯原因分析	4 - 1
4.1	資料蒐集整理與分析方法	4 - 1
4.2	各項延滯原因的風險分析	4 - 3
4.3	旅客造成的延滯風險	4 - 6
4.3.1	各時段之「旅客」延滯風險	4 - 6
4.3.2	各車站之「旅客」延滯風險	4 - 8
4.4	交會待避造成的延滯風險	4 - 11
4.4.1	計畫性之交會待避延滯風險	4 - 12
4.4.2	非計畫性之交會待避造成的延滯風險	4 - 14
4.5	慢行造成的延滯風險	4 - 16
4.6	車輛故障造成的延滯風險	4 - 18
4.7	小結	4 - 20
第五章	列車停站與運轉時間變異分析	5 - 1
5.1	資料蒐集整理與分析方法	5 - 1
5.2	停站時間變異分析結果	5 - 2
5.3	站間運轉時間變異分析結果	5 - 6
5.4	小結	5 - 11
第六章	連續區段軌道容量分析模式	6 - 1
6.1	單一區段容量模式重點回顧	6 - 2
6.2	模式建構	6 - 3
6.2.1	基本概念	6 - 3

6.2.2	假設條件	6 - 4
6.2.3	輸入參數	6 - 5
6.2.4	計算流程	6 - 6
6.2.5	寬裕時間係數	6 - 16
第七章	軌道容量案例分析	7 - 1
7.1	單一區段容量模式案例分析	7 - 1
7.1.1	輸入參數	7 - 1
7.1.2	計算結果	7 - 6
7.2	連續區段模式案例分析	7 - 8
7.2.1	輸入參數	7 - 8
7.2.2	計算結果	7 - 9
7.2.3	敏感度分析	7 - 9
7.3	綜合比較	7 - 13
第八章	結論與建議	8 - 1
8.1	結論	8 - 1
8.2	建議	8 - 2
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 軌道容量的研究範圍	1 - 4
圖 1-3 臺鐵營運路線圖	1 - 6
圖 1-4 臺鐵各式動力車行駛里程	1 - 7
圖 1-5 臺鐵歷年旅客人次	1 - 8
圖 1-6 臺鐵各級列車之客座利用率	1 - 8
圖 1-7 臺鐵列車準點率	1 - 9
圖 1-8 臺鐵客運列車準點率	1 - 10
圖 1-9 研究流程圖	1 - 11
圖 2-1 臺鐵歷年客運列車準點率變化情形	2 - 6
圖 2-2 臺灣高鐵歷月列車準點率變化情形	2 - 6
圖 2-3 準點率與延滯時間指標差異說明圖	2 - 8
圖 2-4 臺北捷運系統歷年準點率變化情形	2 - 9
圖 2-5 臺北捷運系統歷年 5 分鐘以上事件之平均行駛車廂公 里	2 - 9
圖 2-6 臺北捷運 ATC 記錄之績效分析圖	2 - 10
圖 2-7 美國通勤鐵路每日準點率統計圖	2 - 11
圖 2-8 美國通勤鐵路上/下午尖峰與離峰之準點率統計圖	2 - 11
圖 2-9 美國通勤鐵路各種延滯原因之統計圖	2 - 12
圖 2-10 美國通勤鐵路機械及旅客延滯的細部原因統計圖	2 - 12
圖 2-11 臺灣高鐵延滯風險矩陣圖	2 - 13
圖 2-12 臺灣高鐵延滯風險排序圖	2 - 14
圖 2-13 IMPROVERAIL 複線區間最小運轉時隔的計算方式	2 - 25
圖 2-14 IMPROVERAIL 單線區間最小運轉時隔的計算方式	2 - 25
圖 2-15 傳統暨區域鐵路系統之軌道容量分析架構	2 - 30

圖 2-16 最小號誌安全時距發生的位置	2 - 32
圖 2-17 UIC Code 406 容量利用率計算之工作流程圖	2 - 39
圖 2-18 UIC Code 406 將路網切割為路線區間之示意圖	2 - 40
圖 2-19 閉塞時間階梯圖	2 - 41
圖 2-20 班表壓縮過程示意圖	2 - 42
圖 2-21 班表壓縮範例圖－壓縮前	2 - 43
圖 2-22 班表壓縮範例圖－壓縮後	2 - 43
圖 2-23 容量利用率計算之架構圖	2 - 44
圖 2-24 軌道容量曲線	2 - 45
圖 3-1 列車實際到離站時間之計算	3 - 2
圖 3-2 北部都會區平日對號車順行方向之累積延滯時空分布	3 - 5
圖 3-3 北部都會區平日對號車逆行方向之累積延滯時空分布	3 - 5
圖 3-4 北部都會區平日非對號車順行方向之累積延滯時空分 布	3 - 6
圖 3-5 北部都會區平日非對號車逆行方向之累積延滯時空分 布	3 - 7
圖 3-6 中部都會區平日對號車順行方向之累積延滯時空分布	3 - 8
圖 3-7 中部都會區平日對號車逆行方向之累積延滯時空分布	3 - 8
圖 3-8 中部都會區平日非對號車順行方向之累積延滯時空分 布	3 - 9
圖 3-9 中部都會區平日非對號車逆行方向之累積延滯時空分 布	3 - 9
圖 3-10 南部都會區平日對號車順行方向之累積延滯時空分布	3 - 10
圖 3-11 南部都會區平日對號車逆行方向之累積延滯時空分布	3 - 11
圖 3-12 南部都會區平日非對號車順行方向之累積延滯時空分 布	3 - 11
圖 3-13 南部都會區平日非對號車逆行方向之累積延滯時空分 布	3 - 12
圖 3-14 平日七堵－鳳山順行方向之平均延滯時空分布	3 - 13
圖 3-15 平日七堵－鳳山逆行方向之平均延滯時空分布	3 - 14

圖 3-16 平日 1032 次自強號於各車站之平均延誤情形	3 - 16
圖 3-17 平日 101 次復興號於各車站之平均延誤情形	3 - 17
圖 3-18 平日 29 次莒光號於各車站之平均延誤情形	3 - 18
圖 3-19 平日 1133 次自強號於各車站之平均延誤情形	3 - 19
圖 3-20 北部都會區假日對號車順行方向之累積延滯時空分布	3 - 21
圖 3-21 北部都會區假日對號車逆行方向之累積延滯時空分布	3 - 21
圖 3-22 北部都會區假日非對號車順行方向之累積延滯時空分 布	3 - 22
圖 3-23 北部都會區假日非對號車逆行方向之累積延滯時空分 布	3 - 22
圖 3-24 中部都會區假日對號車順行方向之累積延滯時空分布	3 - 23
圖 3-25 中部都會區假日對號車逆行方向之累積延滯時空分布	3 - 24
圖 3-26 中部都會區假日非對號車順行方向之累積延滯時空分 布	3 - 24
圖 3-27 中部都會區假日非對號車逆行方向之累積延滯時空分 布	3 - 25
圖 3-28 南部都會區假日對號車順行方向之累積延滯時空分布	3 - 26
圖 3-29 南部都會區假日對號車逆行方向之累積延滯時空分布	3 - 26
圖 3-30 南部都會區假日非對號車順行方向之累積延滯時空分 布	3 - 27
圖 3-31 南部都會區假日非對號車逆行方向之累積延滯時空分 布	3 - 27
圖 3-32 假日七堵－鳳山順行方向之延滯時空分布	3 - 29
圖 3-33 假日七堵－鳳山逆行方向之延滯時空分布	3 - 30
圖 3-34 假日 112 次復興號於各車站之平均延誤情形	3 - 31
圖 3-35 假日 24 次莒光號於各車站之平均延誤情形	3 - 32
圖 3-36 假日 29 次莒光號於各車站之平均延誤情形	3 - 33
圖 3-37 假日 1043 次自強號於各車站之平均延誤情形	3 - 34
圖 3-38 假日 1045 次自強號於各車站之平均延誤情形	3 - 35

圖 3-39 3 月 4 日西部幹線對號車順行方向之累積延滯時空分布	3 - 37
圖 3-40 3 月 4 日西部幹線非對號車順行方向之累積延滯時空分布	3 - 38
圖 3-41 3 月 4 日西部幹線對號車逆行方向之累積延滯時空分布	3 - 39
圖 3-42 3 月 4 日西部幹線非對號車逆行方向之累積延滯時空分布	3 - 40
圖 4-1 各項延滯原因的嚴重程度	4 - 4
圖 4-2 各項延滯原因的發生頻率	4 - 4
圖 4-3 列車延滯原因風險矩陣	4 - 5
圖 4-4 列車延滯原因風險排序	4 - 6
圖 4-5 順行方向各時段之「旅客」延滯風險	4 - 7
圖 4-6 逆行方向各時段之「旅客」延滯風險	4 - 8
圖 4-7 平日順行方向之「旅客」延滯風險前十大車站	4 - 9
圖 4-8 平日逆行方向之「旅客」延滯風險前十大車站	4 - 10
圖 4-9 假日順行方向之「旅客」延滯風險前十大車站	4 - 10
圖 4-10 假日逆行方向之「旅客」延滯風險前十大車站	4 - 11
圖 4-11 平日「計畫性交會待避」延滯風險前十大車次	4 - 13
圖 4-12 假日「計畫性交會待避」延滯風險前十大車次	4 - 13
圖 4-13 平日「非計畫性交會待避」延滯風險前十大車次	4 - 15
圖 4-14 假日「非計畫性交會待避」延滯風險前十大車次	4 - 15
圖 4-15 平日「慢行」延滯風險前十大區間	4 - 17
圖 4-16 假日「慢行」延滯風險前十大區間	4 - 17
圖 4-17 各車種因車輛故障造成延滯的嚴重程度	4 - 19
圖 4-18 各車種因車輛故障造成延滯的發生頻率	4 - 19
圖 4-19 各車種因車輛故障造成延滯的風險	4 - 19
圖 5-1 桃園站平日順行方向對號車之停站時間變異分布	5 - 3
圖 5-2 桃園站假日順行方向對號車之停站時間變異分布	5 - 3
圖 5-3 桃園站平日逆行方向對號車之停站時間變異分布	5 - 3

圖 5-4	桃園站假日逆行方向對號車之停站時間變異分布	5 - 4
圖 5-5	桃園站平日順行方向非對號車之停站時間變異分布	5 - 4
圖 5-6	桃園站假日順行方向非對號車之停站時間變異分布	5 - 4
圖 5-7	桃園站平日逆行方向非對號車之停站時間變異分布	5 - 5
圖 5-8	桃園站假日逆行方向非對號車之停站時間變異分布	5 - 5
圖 5-9	隆田到善化間平日對號車之站間運轉時間變異分布	5 - 7
圖 5-10	隆田到善化間假日對號車之站間運轉時間變異分布	5 - 7
圖 5-11	隆田到善化間平日非對號車之站間運轉時間變異分布	5 - 8
圖 5-12	隆田到善化間假日非對號車之站間運轉時間變異分布	5 - 8
圖 5-13	隆田到善化間平日對號車之運轉時間變異分布（慢行 期間）	5 - 8
圖 5-14	隆田到善化間假日對號車之運轉時間變異分布（慢行 期間）	5 - 9
圖 5-15	隆田到善化間平日非對號車之運轉時間變異分布（慢 行期間）	5 - 9
圖 5-16	隆田到善化間假日非對號車之運轉時間變異分布（慢 行期間）	5 - 9
圖 6-1	單一/連續區段模式之整合架構圖	6 - 1
圖 6-2	連續區段模式使用之變數示意圖	6 - 4
圖 6-3	以逐車次調整為主的反覆疊代計算程序	6 - 7
圖 6-4	列車離站/進站時間之檢核調整	6 - 8
圖 6-5	調整列車到開時間之整體流程	6 - 8
圖 6-6	檢核程序 I 之流程圖	6 - 9
圖 6-7	續行車追越先行車之條件圖	6 - 10
圖 6-8	檢核程序 II 之流程圖	6 - 10
圖 6-9	檢核程序 III 之流程圖	6 - 11
圖 6-10	檢核程序 IV 之流程圖	6 - 11
圖 6-11	利用堆疊操作完成連鎖後移事件之流程圖	6 - 12
圖 6-12	處理列車連鎖推擠範例示意圖 1	6 - 13
圖 6-13	處理列車連鎖推擠範例示意圖 2	6 - 13

圖 6-14 處理列車連鎖推擠範例示意圖 3	6 - 14
圖 6-15 處理列車連鎖推擠範例示意圖 4	6 - 14
圖 6-16 處理列車連鎖推擠範例示意圖 5	6 - 15
圖 6-17 處理列車連鎖推擠範例示意圖 6	6 - 15
圖 6-18 處理列車連鎖推擠範例示意圖 7	6 - 16
圖 6-19 處理列車連鎖推擠範例示意圖 8	6 - 16
圖 7-1 車站配置參數代號說明圖	7 - 4
圖 7-2 單一區段容量模式分析結果（東正線）	7 - 6
圖 7-3 單一區段容量模式分析結果（西正線）	7 - 6
圖 7-4 連續區段數與連續區段容量值關係圖（七堵-樹林）	7 - 9
圖 7-5 連續區段數與連續區段容量值關係圖（基隆-新竹）	7 - 10
圖 7-6 交通組成與連續區段容量值關係圖	7 - 11
圖 7-7 模擬列車數與連續區段容量值關係圖	7 - 12
圖 7-8 不同亂數種子下模擬列車數與連續區段容量值關係圖	7 - 12
圖 7-9 11 組不同種子之最大/平均/最小容量值之比較圖	7 - 13

表 目 錄

	頁 次
表 2.1 臺北捷運系統所訂定的可靠度相關服務指標	2 - 7
表 2.2 臺北捷運系統不同條件下的延滯時間基準表	2 - 7
表 2.3 鐵路行車規則第一百二十二條律定之行車事故項目	2 - 13
表 2.4 臺鐵延滯原因主要延滯與次要延滯原因分類表	2 - 14
表 2.5 號誌安全時距計算公式	2 - 33
表 2.6 號誌安全時距計算公式之符號意義說明表	2 - 34
表 2.7 平均號誌安全時距計算公式	2 - 35
表 2.8 瓶頸號誌安全時距彙整表	2 - 35
表 4.1 臺鐵主要列車延誤概況日報表範例	4 - 1
表 4.2 臺鐵主要列車延滯原因分類表	4 - 2
表 5.1 桃園站停站時間變異之平均值與標準差（順行方向）	5 - 6
表 5.2 桃園站停站時間變異之平均值與標準差（逆行方向）	5 - 6
表 5.3 隆田到善化間對號車站間運轉時間變異之平均值與標準差	5 - 10
表 5.4 隆田到善化間非對號車站間運轉時間變異之平均值與標準差	5 - 10
表 6.1 列車基本運轉規則與考慮	6 - 5
表 6.2 輸入參數名稱與來源分類表	6 - 6
表 6.3 各種檢核與調整項目之比較表	6 - 9
表 7.1 全域參數設定參數表	7 - 2
表 7.2 列車參數表	7 - 3
表 7.3 車站軌道配置參數表（東正線）	7 - 3
表 7.4 車站軌道配置參數表（西正線）	7 - 4
表 7.5 軌道佈設類型代號說明表	7 - 4
表 7.6 停站時間設定值	7 - 5

表 7.7	站間運轉時間設定值	7 - 5
表 7.8	巡航速度設定值	7 - 6
表 7.9	進站時距值（東正線）	7 - 7
表 7.10	離站時距值（東正線）	7 - 7
表 7.11	進站時距值（西正線）	7 - 7
表 7.12	離站時距值（西正線）	7 - 8
表 7.13	連續區段容量模式輸入數值一覽表	7 - 8
表 7.14	單一區段容量模式與連續區段容量模式比較表	7 - 14

第一章 緒論

1.1 研究動機

全球暖化議題近幾年在全世界各地充分討論，各領域均致力於節能減碳，在交通運輸領域方面，由於軌道系統具有高效率、低污染、對環境衝擊較小之特性，許多國家均以推動軌道建設作為減少石化燃料使用之重要手段。臺灣過去對於交通建設之投資雖曾經一度以公路系統為主，但自民國 93 年開始，軌道建設的預算核列數開始超越公路建設^[14]，且比例逐年攀升，顯示國內的交通建設之方向亦符合世界潮流。

但軌道系統建設成本甚鉅，無論規劃、設計或營運階段均需以容量分析結果為基礎，若過度設計會造成浪費，設計不足則易發生延滯進而降低可靠度。故在大量推動軌道建設之際，需要有系統的進行容量分析與可靠度研究，方能在較適切的條件下提供符合預期服務品質的運能。為達到此目的，交通部運研所過去曾進行「運輸系統容量分析暨應用研究—軌道系統」之研究計畫，針對國內臺鐵系統與捷運系統建構容量分析模式、發展臺鐵列車平均延滯模擬模式，並編訂「臺灣地區軌道容量手冊」。該研究雖比一般解析模式考量更多的容量影響因子，但模式仍僅考慮單一區段，也就是只考量兩個車站之間（包含車站）的相關參數，然而實際列車運轉時，在時空上均屬連續性的移動變化，故上/下游列車特性與車站配置會彼此相互影響容量，因此有必要進一步研究連續區段下的軌道容量分析與可靠度模式，方能使國內的軌道容量分析技術更臻完整與切合實務，故進行「軌道系統容量與可靠度分析研究」研究計畫之推動。

1.2 全程計畫概要

「軌道系統容量與可靠度分析研究」為三年期之研究計畫，依研究課題的不同可分（1）軌道容量分析（2）可靠度分析兩大方向，全程計畫概要如圖 1-1，以下分別就此兩大方向介紹各年度之研究重點：

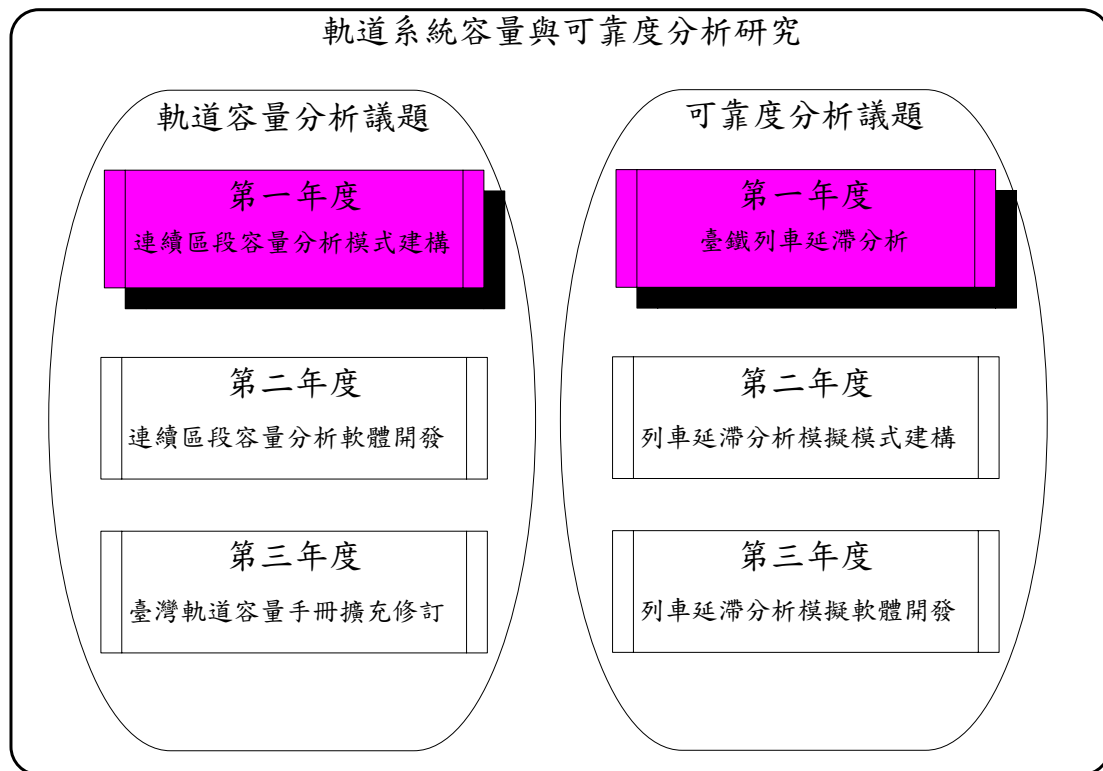


圖1-1 全程計畫概要示意圖

1. 軌道容量分析

此方向的重點在於建立連續區段的容量分析工具，各年度的重點工作如下：

- (1) 第一年度：連續區段容量分析模式建構（本年度）。
- (2) 第二年度：連續區段容量分析軟體開發。
- (3) 第三年度：臺灣地區軌道容量手冊擴充修訂。

2. 可靠度分析

此方向的重點在於建立列車延滯分析的模擬工具，各年度的重點工作如下：

- (1) 第一年度：臺鐵列車延滯分析（本年度）。
- (2) 第二年度：列車延滯分析模擬模式建構。
- (3) 第三年度：列車延滯分析模擬軟體開發。

本年度（民國 99 年度）為此研究計畫的第一年度，即「軌道系統容量與可靠度分析研究(1/3)」。

1.3 研究目的

本年度研究之目標主要在於建立連續區段的容量分析，擴充過去僅考慮連續兩車站及站間的容量分析模式，增加容量分析考慮之因素，更適切的反應系統實務狀況。此外，本研究亦針對臺鐵的列車實際誤點現象進行分析，以作為後續年度進行可靠度研究之基礎。

1.4 研究範圍

本研究包括連續路段軌道容量模式建構及列車服務可靠度分析兩個面向，其中連續路段軌道容量為單一路段軌道容量之延伸；而可靠度則著重於列車延滯之探討。

在軌道容量方面，軌道運輸係使用車站、月台、軌道行車設備等設施，運用排班、營運調度等作業方式來提供運輸服務，因此在整個旅運的過程中，設施配置的良窳以及營運的方式，均會影響整個軌道運輸系統的運送能力。然而一般而言，軌道容量分析係側重於軌道行車設備部分，通常不直接考慮聯外運輸系統、站房、月台的影響，因此本研究對於「連續路段軌道容量」的研究範圍，係界定在「軌道行車系統」的部分，如圖 1-2所示，也就是探討「軌道行車設備的最大

輸送能力」，而非整個軌道運輸系統的容量。與單一路段軌道容量不同的是，受制於瓶頸路段容量限制，其餘路段之容量利用率不可能達到 100%，因此需針對連續路段各路段相互影響的特性修正實用容量，才能求得真正可供利用的容量。

在可靠度方面，軌道運輸系統的可靠度攸關運輸服務的品質，也是營運業者的主要訴求之一。可靠度的範疇相當廣泛，舉凡各類機電系統，包括車輛系統、供電系統、號誌系統等，都是可靠度的涵蓋的範圍。惟軌道系統最主要的功能就是提供列車服務，民眾最關切的僅是列車的服務是否可靠，而不會針對個別子系統去深究，因此本研究將可靠度的研究範圍界定在列車服務可靠度的分析與探討。

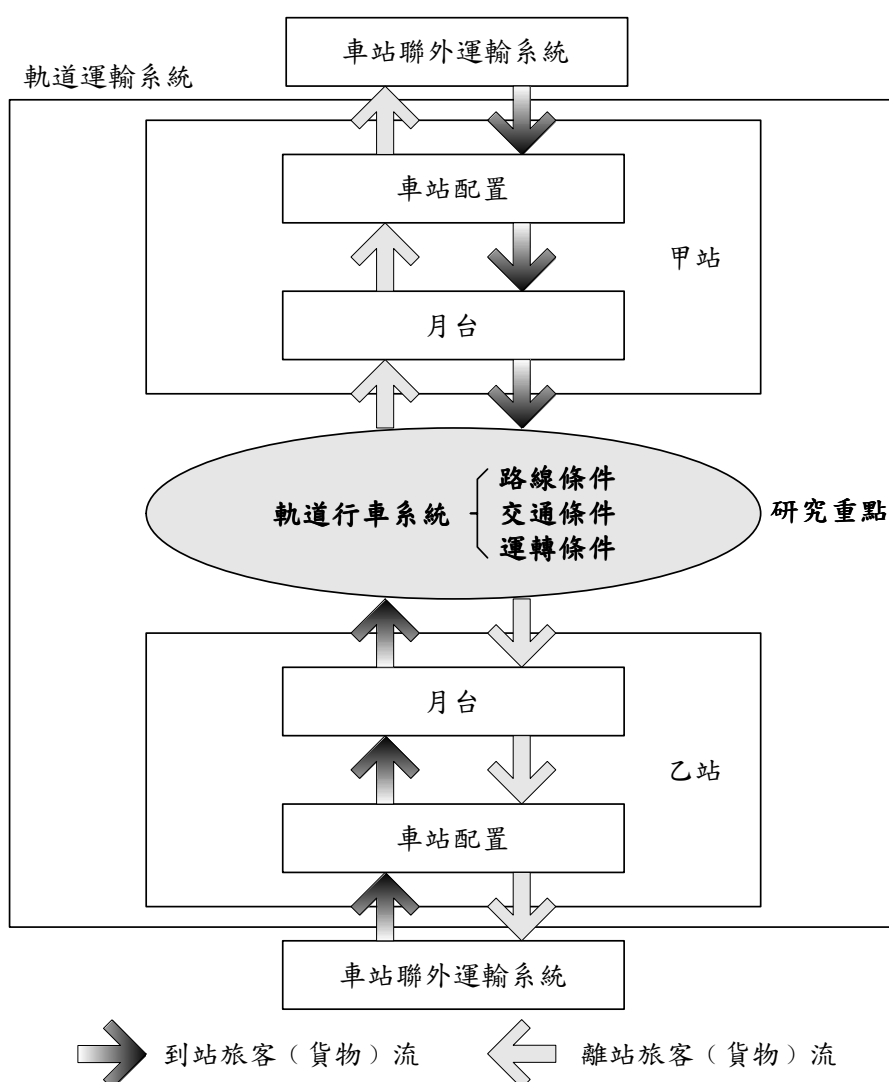


圖1-2 軌道容量的研究範圍

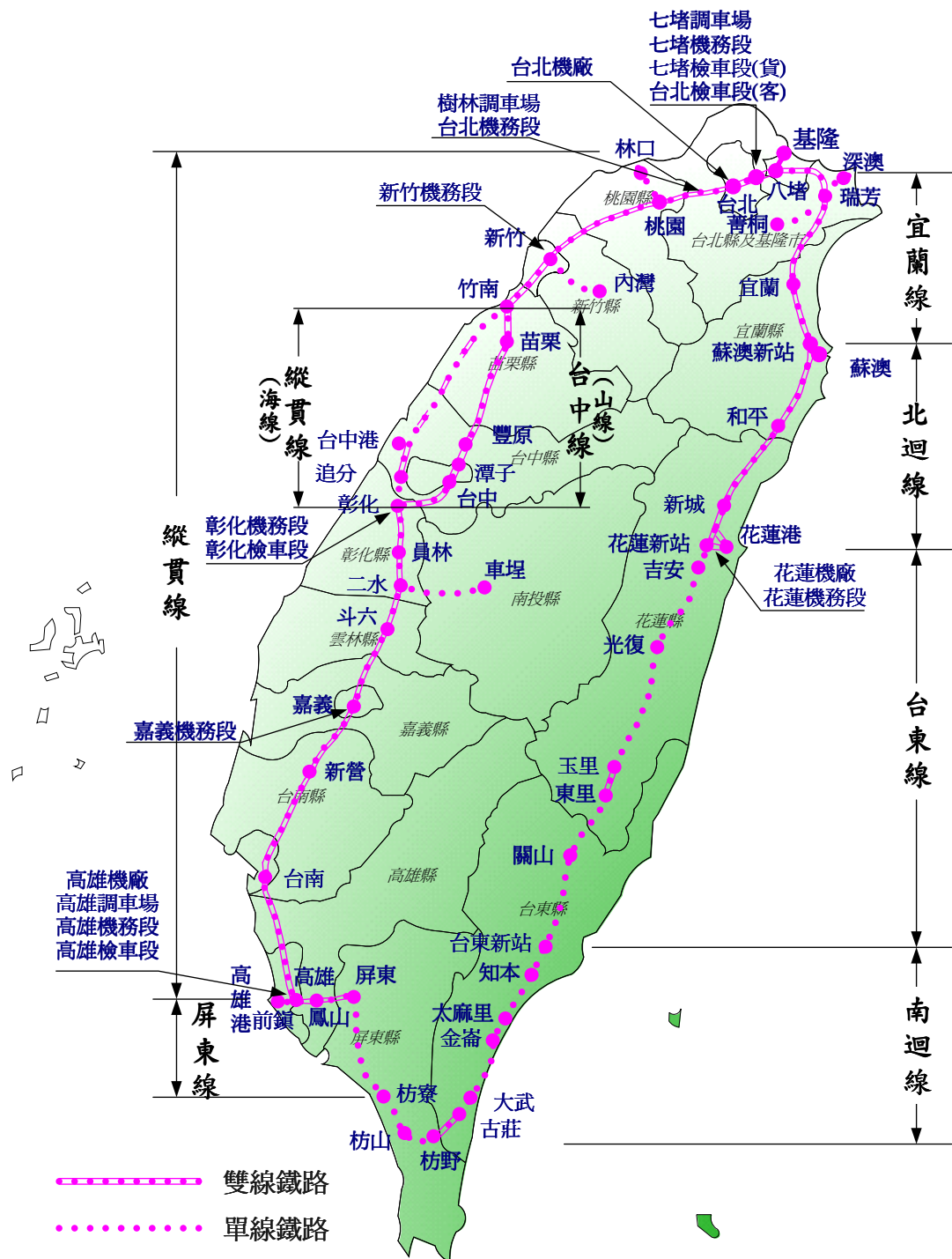
1.5 研究對象

本年度的研究對象為臺鐵系統，由於研究課題包含連續路段軌道容量模式及列車延滯分析兩課題，因此以下除了說明臺鐵系統設施概況之外，亦特別針對旅次變化、客座利用率及準點率等營運現況做一說明。

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 98 年底，其營業里程為 1,085.3 公里^[12]，其中包括雙線 669.0 公里，單線 416.3 公里，全為窄軌建構（軌距 1,067 公厘），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 1-3。

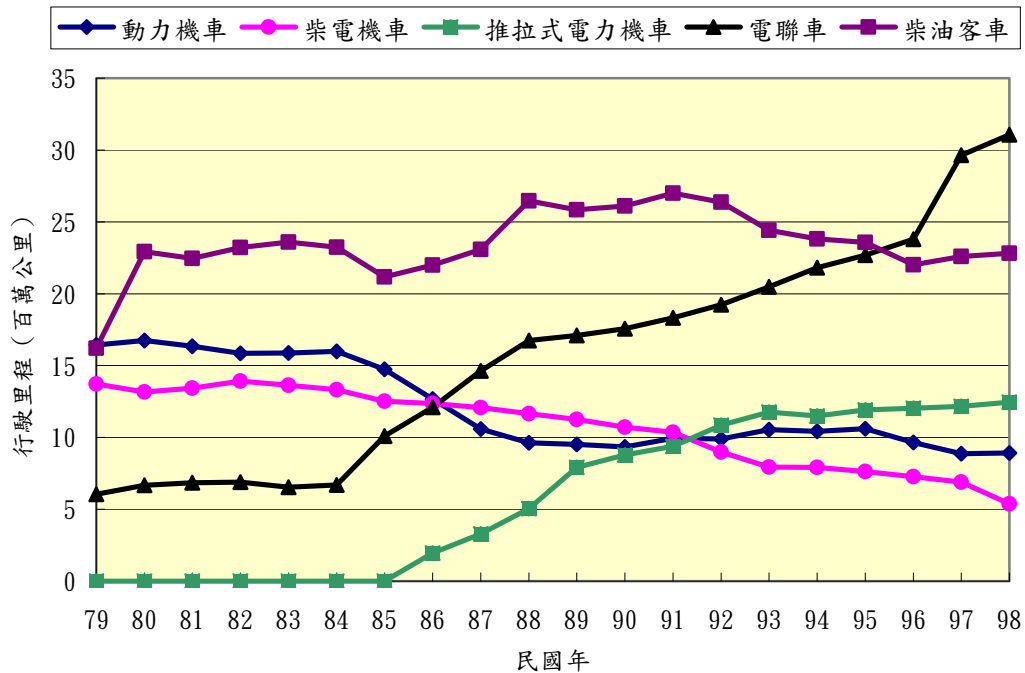
在車輛系統方面，動力車輛可區分為動力機車、柴電機車、推拉式電力機車、電聯車，以及柴油客車等幾類。從圖 1-4 可知，電聯車的行駛里程數有逐漸增加的趨勢，近 2 年之增加尤其明顯，而動力機車與柴電機車則呈下降的趨勢。

在供電系統方面，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。



資料來源：本研究整理

圖1-3 臺鐵營運路線圖

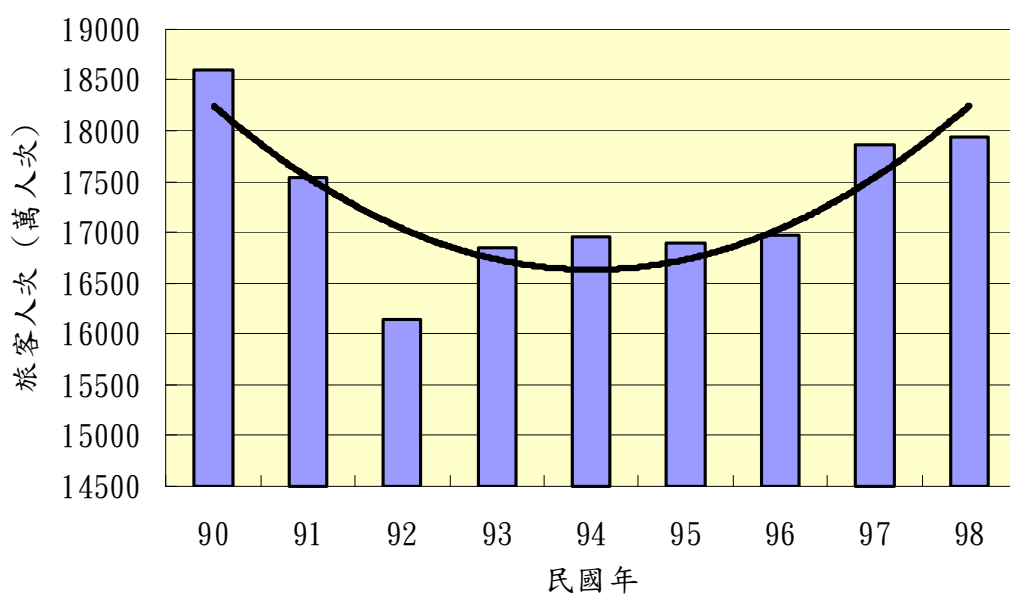


資料來源：[12]及本研究整理

圖1-4 臺鐵各式動力車行駛里程

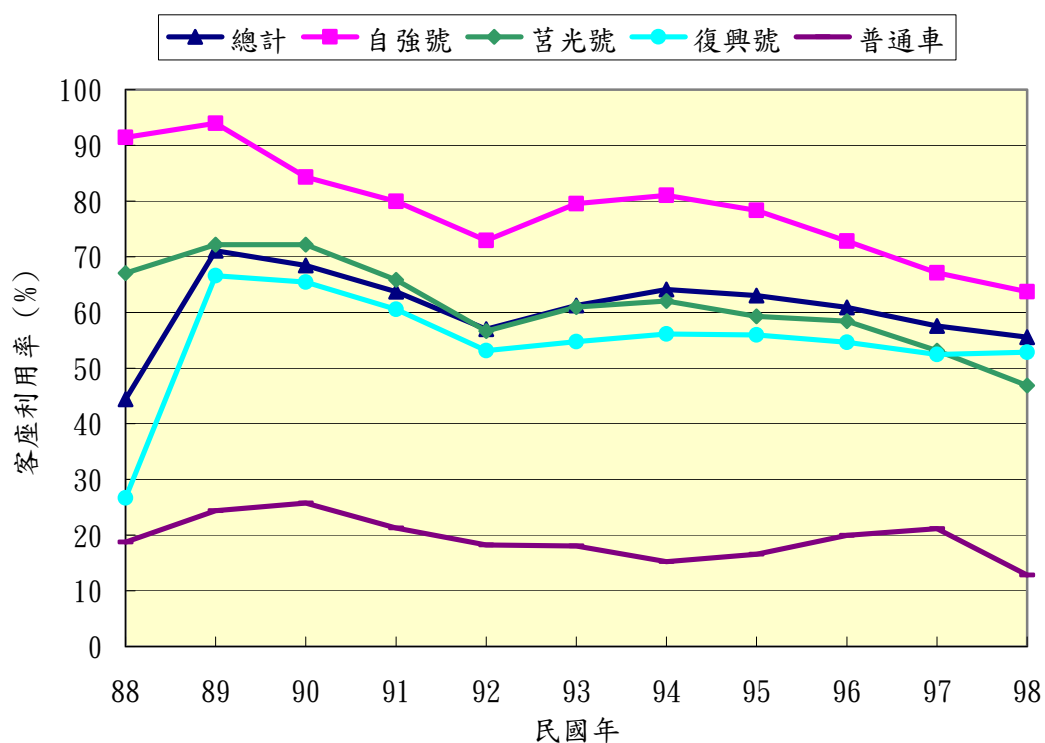
在號誌系統方面，臺鐵行車控制方式屬於手動/號誌指示方式，採用固定式閉塞號誌系統（Fixed Block Signaling System, FBS），其路線根據路側號誌機區分為許多閉塞區間，由司機員以目視方式遵照號誌指示行駛。為了確保行車安全，另裝設有列車自動保護系統（Automatic Train Protection, ATP），將列車的速度從單點監控提升至線的監控。另外，臺鐵對於運轉車輛的調度監控係採用中央行車控制系統（Centralized Traffic Control, CTC），在 CTC 區間的列車運轉由臺北車站四樓的綜合調度所集中控制全線行車。

在旅客人次變化方面，臺鐵每日平均開行的列車數超過一千個班次，在民國 98 年所載運的客運人數約為 1 億 7,937 萬人次，較上年增加 71 萬人次，歷年旅客人次變化如圖 1-5，由於執行通勤化政策，旅客人次已有止跌回升的趨勢。在客座利用率部份，圖 1-6 顯示臺鐵各級列車客座利用率均呈現下降趨勢，其中以自強號為最高，往年均能維持在 80% 以上，但是自民國 97 年後已不到 70%，最低者為普通車，往年大致維持 20% 上下，但是民國 98 年已降至 15% 以下。



資料來源：[12]及本研究整理

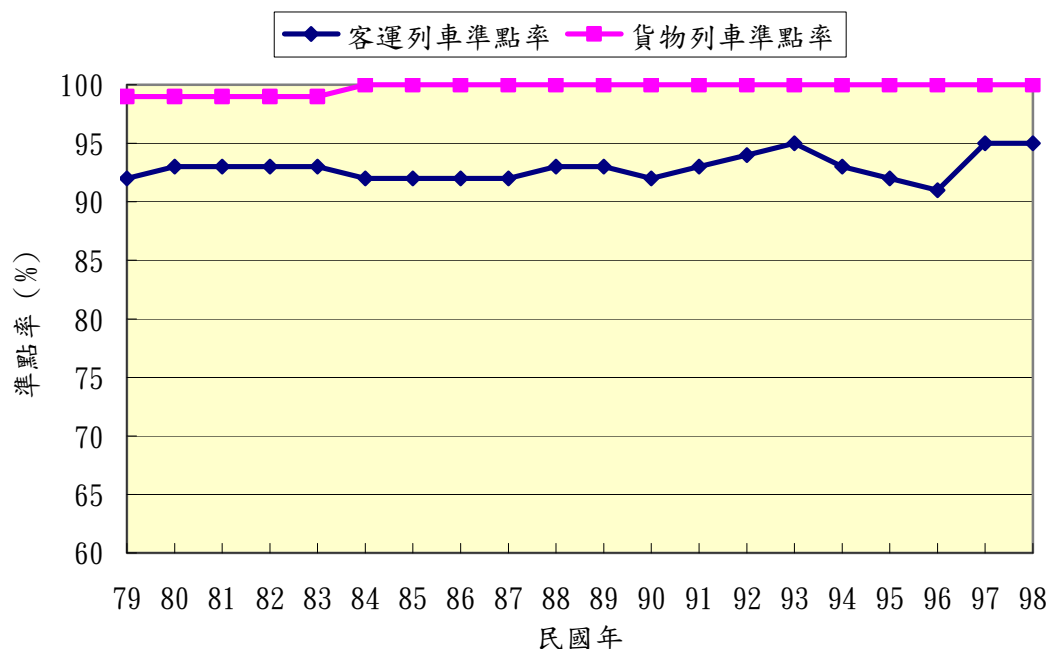
圖1-5 臺鐵歷年旅客人次



資料來源：[12]及本研究整理

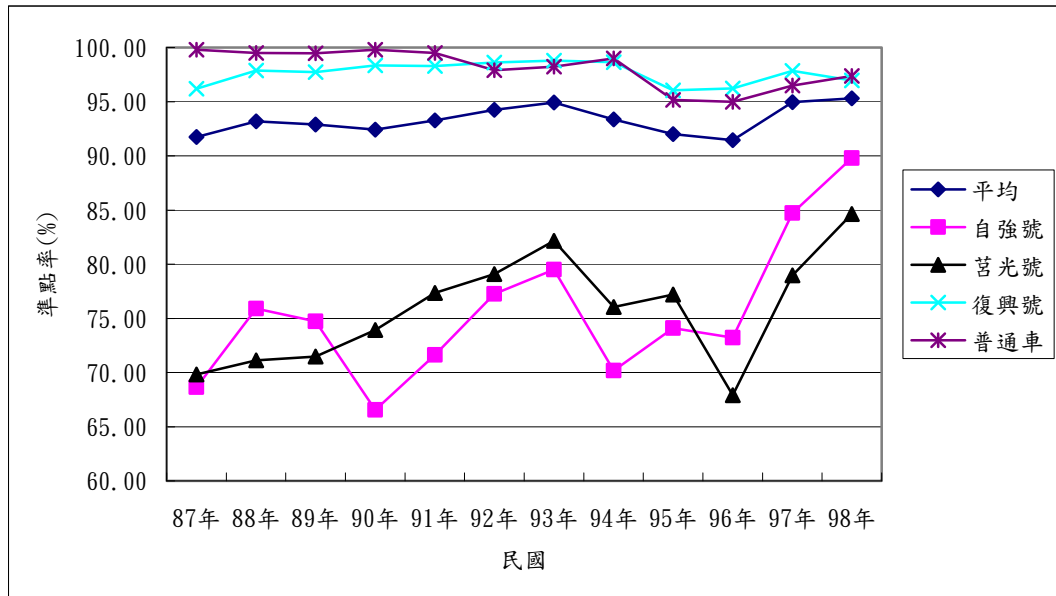
圖1-6 臺鐵各級列車之客座利用率

至於準點率方面，圖 1-7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 92~95% 之間波動。進一步檢視客運列車準點率如圖 1-8，大致上復興號與普通車準點率較高，大都可維持在 90%以上，而自強號和莒光號準點率較低，大約在 65%~80%之間，不過經改善後 98 年已提昇至 85%以上。有鑑於整體客運列車準點率於 96 年降至歷年最低約 91%，因此臺鐵局於 96 年 1 月起成立「誤點改善小組」，針對影響誤點主要原因研擬相關改善措施，因此民國 97 年以後之準點率已有顯著提昇，回到歷年最佳 93 年的 95%之水準。



資料來源：[12]及本研究整理

圖1-7 臺鐵列車準點率



資料來源：[11]及本研究整理

圖1-8 臺鐵客運列車準點率

1.6 研究內容與工作項目

欲達成前述的研究目的，就研究內容而言，本研究包含容量分析與可靠度兩個課題；若就工作項目而言，則包括以下兩點工作：

1. 臺鐵系統列車延滯分析

「準點」議題為可靠度課題中最重要而且是旅客最容易感受到的項目，同時亦是目前國人對臺鐵最為詬病的問題。所以「列車延滯」勢必是未來進行可靠度研究的重點工作。本項工作是以科學化的方式分析延滯的時空分布與嚴重程度，作為未來發展可靠度分析模式之參考。

2. 連續區段容量分析模式之建立

以「臺灣地區軌道容量手冊」之容量分析模式為基礎，進一步建構連續區段容量分析模式。透過模式分析該連續區段於單位時間內所能提供的列車服務量，並對模式中的參數進行敏感度分析。

1.7 研究方法與流程

本年度研究主要的工作項目可歸納為（1）臺鐵系統列車延滯分析（2）連續區段容量分析模式之建立，整個研究流程如圖 1-9，各流程之研究重點或方法說明如下。

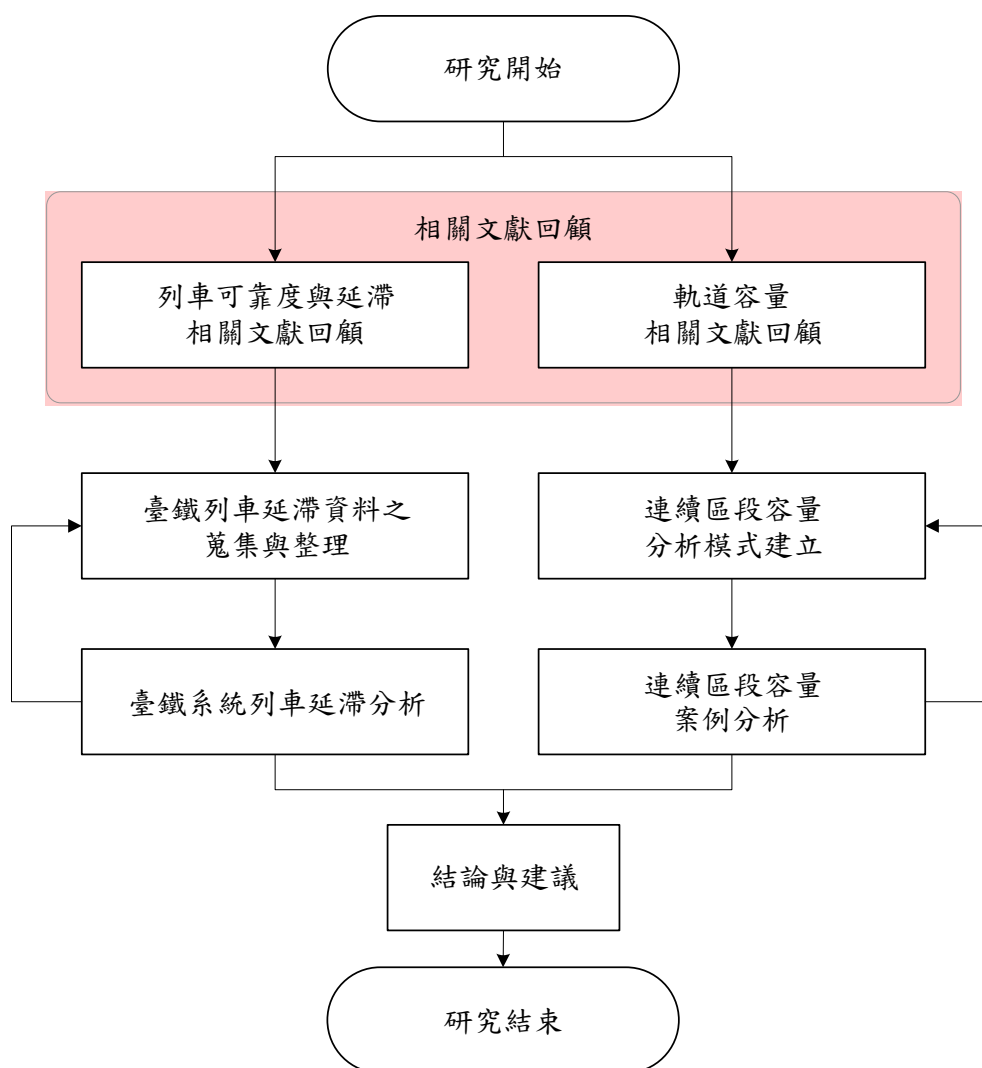


圖1-9 研究流程圖

1. 相關文獻回顧

(1) 列車可靠度與延滯相關文獻回顧

列車服務可靠度是影響運輸服務品質重要的因素之一，其評估指標包括準點率、延滯時間（實際到達時間與表訂到達時間的

差異)，以及列車到達時間的標準差等，故可知延滯為影響列車可靠度之重要因素之一。在列車可靠度與延滯方面，本研究對列車可靠度的評估和列車可靠度分析模式等方面之相關文獻，進行整理與回顧。

(2) 軌道容量相關文獻回顧

一般而言，軌道容量通常以區段為分析單位，而區段則是以可供列車交會待避之場站為分界點，惟本研究的主題之一係連續區段軌道容量分析，因此在軌道容量的文獻方面，除了針對傳統單一區段軌道容量分析文獻進行回顧之外，亦針對軌道容量的評估方法及連續區段的容量分析等議題，回顧並整理相關文獻。

2. 臺鐵延滯資料之蒐集與整理

列車延滯是屬於事後分析，亦即針對實際營運後所發生的延滯進行分析。本研究以臺鐵為研究對象，蒐集其列車延滯的資料進行分析。為了能夠深入探討臺鐵列車延滯的變化情形，將利用臺鐵列車時刻表中的「列車表訂到開時間」、臺鐵綜合調度所記錄的「列車實際到開時間」以及「延滯或事故原因紀錄」等資訊，作為臺鐵延滯或可靠度分析的輸入資料。

3. 臺鐵系統列車延滯分析

這個步驟是透過所蒐集到的臺鐵列車延滯資料，進行列車營運延滯的分析，其內容與研究方法說明如下：

(1) 列車延滯的計算

列車延滯的計算係利用「表訂到開時間」以及「實際到開時間」的比對，計算出兩者之時間差，用以判定列車是否晚點，以及誤點的程度。

(2) 延滯的時空分析

利用列車延滯資料，逐站及分時段統計，以計算每一車站在哪一個時間段的延滯量，再透過資訊技術的方法，繪製出列車延滯與時間、空間的三維度圖形，以便迅速掌握全線的延滯概況。

(3) 延滯的原因分析

原因分析主要是根據臺鐵「主要列車延誤概況表」，以風險管理的觀念分析各種原因對列車可靠度帶來的風險，提供影響程度的量化依據。

(4) 停站時間和站間運轉時間變異分析

以敘述統計的方式，透過圖表呈現，以了解列車停站時間和站間運轉時間變異情形，其結果除可作為可靠度分析模式之輸入參數，亦可提供可靠度改善方面的建議。

4. 連續區段容量分析模式建構

為了能夠與前期研究成果（單一區段容量模式）充分整合，本研究儘量以「延伸既有成果」及「放寬限制與假設」之方向來建構連續區段模式，考量輸入參數的定義儘可能共用以及兩模式的假設不可相互違背等，以利後續的垂直整合。

5. 連續區段軌道容量案例分析

本研究以臺鐵系統七堵－樹林路段為對象進行連續區段容量分析與敏感度分析。且由於連續區段模式的部分輸入參數來自於單一區段容量模式之計算結果，因此亦會依台鐵現階段的參數進行單一區段的容量分析。

1.8 報告書章節架構

本報告計共有八章，第一章（即本章）說明本研究之計畫緣起、計畫概要、計畫目的、範圍、對象、工作項目與研究流程等；第二章則回顧國內外列車服務可靠度以及軌道容量分析相關的文獻。

第三～五章正式開始進入本研究的第一項工作項目，第三章主要就列車延滯的時間與空間分布進行分析；第四章則進一步分析對號列車的延滯原因，且導入風險矩陣的方式分析各種原因的嚴重程度與發生頻率關係；第五章則是針對停站時間及站間運轉時間進行統計分析，藉以瞭解其變異情形。

第六～七章則分別為連續區段容量分析模式的建構與案例分析，前者逐一說明模式的架構、假設條件、輸入參數與計算流程，後者則以七堵－樹林路段為例依第六章建構之模式進行案例分析。最末的第八章則為本研究之結論與建議。

第二章 文獻回顧

本章將分別介紹「列車服務可靠度」和「軌道容量分析」的相關文獻。

2.1 列車服務可靠度相關文獻

有關列車服務可靠度相關文獻方面，首先介紹列車服務可靠度的定義與評估指標，其次說明國內軌道系統列車服務可靠度的現況。由於列車延滯為衡量服務可靠度的重要指標之一，過去的文獻對於列車延滯的研究頗多，而其研究課題可分為「列車延滯分析」與「列車延滯推估」兩大類，前者主要功能為檢討已發生的列車實際績效，後者功能則為建立模式推估/預測未發生的列車延滯，故本章將分別於2.1.3節與2.1.4節中進行回顧，最後再於2.1.5節歸納文獻回顧的結論，並彙整本研究後續欲進行之分析工作。

2.1.1 列車服務可靠度之評估指標

根據 IEEE 及英英字典的定義，可靠度 (Reliability) 定義為『在明確的條件下，在特定時間內某系統或元件達到系統某種運作要求的機率』，若套用至列車服務而言，所謂的「明確條件」可能包括整個軌道系統的運轉條件，包括路線條件（路線長度、幾何線形、站內配線等）、控制條件（號誌控制系統、閉塞區間長度等）及交通條件（列車密度、車種組成、方向分布等），而「達到系統的某種運作要求」通常是指「列車準點」，而其機率則為「列車準點率」。除了列車準點率之外，軌道運輸領域在衡量列車服務可靠度時，也會採用其他的指標，文獻中常見的列車服務可靠度評估指標可歸納出以下幾種：

1. 準點率

準點率（Punctuality）幾乎是所有鐵路運輸業者評估其系統績效的一項重要指標^[35]，準點率指標的計算公式大同小異，最大的差別在於對「準點」的定義有所差異。通常鐵路實務界不會嚴格認定列車的實際時間與表定時間分毫不差才視為準點，因為些許的誤點對旅客而言可能毫無意義而且是可容忍的範圍，也因此，Rietveld^[51]將準點定義為「列車誤點在可接受的時間範圍內」；另外，根據 Hansen^[34]所述，歐洲大部分國家係以超過 5 分鐘視為誤點，瑞士則是 4 分鐘，荷蘭則為 3 分鐘，日本某些鐵路甚至是以 10~15 秒為標準，而國內臺鐵則是將 5 分鐘以上的延誤視為誤點。由此可見，準點的定義視國情的不同以及民眾的期望而異，但幾乎沒有軌道營運機構將分毫不差視為準點。

2. 延滯時間

延滯時間也是評估列車服務可靠度常見的指標。列車延滯依其類型可分為「列車排班的交會待避延誤（Waiting Time due to Scheduled Meeting and Overtaking）」以及「列車實際運行的延滯（Delay in Current Operation）」兩類^[5]。前者係列車排班作業過程中，列車因排除衝突所需額外增加的停等時間，通常是用來分析時刻表容量，而後者則是列車實際運行過程中所發生的延滯，一般列車服務可靠度所討論的延滯通常是指後者。

若細究延滯發生的原因，則列車實際運行延滯又可分為主要延滯（Primary Delay/Exogenous Delay）和次要延滯（Secondary Delay/Knock-on Delay）兩類^[49]。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。無論是主要延滯或是次要延滯，都是列車服務可靠度探討的範疇。

如同準點率，各軌道營運機構對於列車延滯時間的定義也不盡相同，例如日本新幹線以誤點一分鐘以上才計入延誤^[27]，而國內臺北捷

運則是視營運的距離分別規定延滯時間的計算門檻^[18]，詳細規定說明於2.1.2節。

3. 兩延誤事件的平均間隔

在可靠度工程領域中，兩個失效事件之間的平均間隔為衡量系統可靠度的重要指標，稱之為平均故障間隔（Mean Time between Failure，簡稱 MTBF）。MTBF 指的是對一個可修復的系統，從第一次失效時間與隨後發生失效時間的平均值，通常用來評估系統的可靠性和可維修性。若應用在軌道系統，則為兩個延誤事件之間的平均間隔，由於 MTBF 只考慮時間，但不同捷運系統的運能可能差距很大，為能反應系統的差異，故間隔的定義可以是車廂公里或車廂小時。間隔愈長，代表系統愈穩定可靠；反之，間隔愈短，代表列車經常延誤。由於間隔的倒數相當於誤點率，與準點率互為一體兩面，故兩延誤事件之間的平均間隔也是衡量列車服務可靠度的指標之一。

國際鐵路標竿聯會（International Railway Benchmarking Group）的大都會捷運聯盟（CoMET）與新興捷運聯盟（NOVA）為了評比各捷運系統，故制定了一系列共計 32 項指標。有關可靠度的指標計有 6 項，其中三項主要評估指標均採用兩延誤事件的平均間隔的概念，包括「每 5 分鐘事件之間的車廂公里」、「每 5 分鐘事件之間的車廂小時」，以及「車廂小時除以總延滯」^[23]。前兩項指標即是將「5 分鐘以上的延滯」視為一種系統失效，而第三項則是以總延滯（以小時計）為基礎，進一步分析每兩次失效的平均間隔，與前兩項最大的差異在於考量系統失效的嚴重程度。值得注意的是，國際鐵路標竿聯會這兩項指標是以「車廂（Car）」而非以「列車（Train）」來計算延誤事件的間隔，因此假設兩個捷運系統全年度提供的服務車次數及發生五分鐘以上的延誤次數均相同，列車編組的車廂數較多的系統會在這兩項指標上有較佳的表現。

4. 延誤發生後的恢復能力

有部分研究^[15, 31]將列車服務可靠度的要求設定在「延誤發生後的回復能力」，例如 Goverde^[31]的定義：「當軌道運輸系統中發生有限的延誤後，能在有限的時間內回復到準點狀態」，而 Middelkoop 與 Bouwman^[47]的研究也把恢復時間視為評估可靠度的指標之一。值得注意的是，當探討延誤發生之後的列車恢復能力時，僅檢視單獨或少數車次是不夠的，故通常是以整份班表作為評估的對象，用以評估班表的可靠度。

5. 其他評估指標

除了前述的指標之外，視研究主題的不同，也有研究採用其他指標來評估軌道系統的服務可靠度，例如 Rietveld 等人^[51]指出除了準點率與列車延滯之外，亦可採用以下(1)~(5)種指標作為評估可靠度的標準，而國際鐵路標竿聯會的可靠度指標除了兩延誤事件的平均間隔以及列車準點率之外，也採用(6)~(7)的指標。另外，Middelkoop 與 Bouwman^[47]在評估時刻表可靠度時，除了恢復時間之外，亦採用延滯的列車數作為評估的指標之一。

- (1) 列車提早離站的機率
- (2) 列車實際到達時間與表訂到達時間的平均差異
- (3) 當一列車延誤時，其續行列車的平均延誤時間
- (4) 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
- (5) 列車到達時間的標準差
- (6) 總旅客延滯小時/旅次數
- (7) 準點旅次數/旅次數
- (8) 延滯的列車數

上述指標大多是準點率與列車延滯的衍生統計量，指標(1)類似於誤點率，但著重在列車提早離站的部份；指標(2)類似於列車延滯，但列車早點亦考慮在內；指標(3)及(4)也是列車延滯相關的統計量，但主

要在衡量次要延滯；指標(5)也是列車延滯的衍生統計量，但不考慮表訂到達時間；指標(6)及(7)都是以旅次為分析標的來探討平均延滯時間以及準點率；而指標(8)則是直接探討延滯的列車數，但因未考慮系統的規模，故僅能適用於探討同一系統的列車服務可靠度。

2.1.2 國內軌道系統列車服務可靠度現況分析

國內目前營運的軌道運輸系統包括臺灣鐵路、臺灣高鐵等城際鐵路系統，以及臺北捷運及高雄捷運系統，每個系統均有列車服務可靠度的評估方式，說明如下：

1. 臺灣鐵路管理局

臺鐵係以列車準點率來評估列車服務的可靠度，其定義為：「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」^[12]，計算公式如下：

$$\text{列車準點率} = (\text{準點列車次數} / \text{開行列車次數}) \times 100\% \quad (2.1)$$

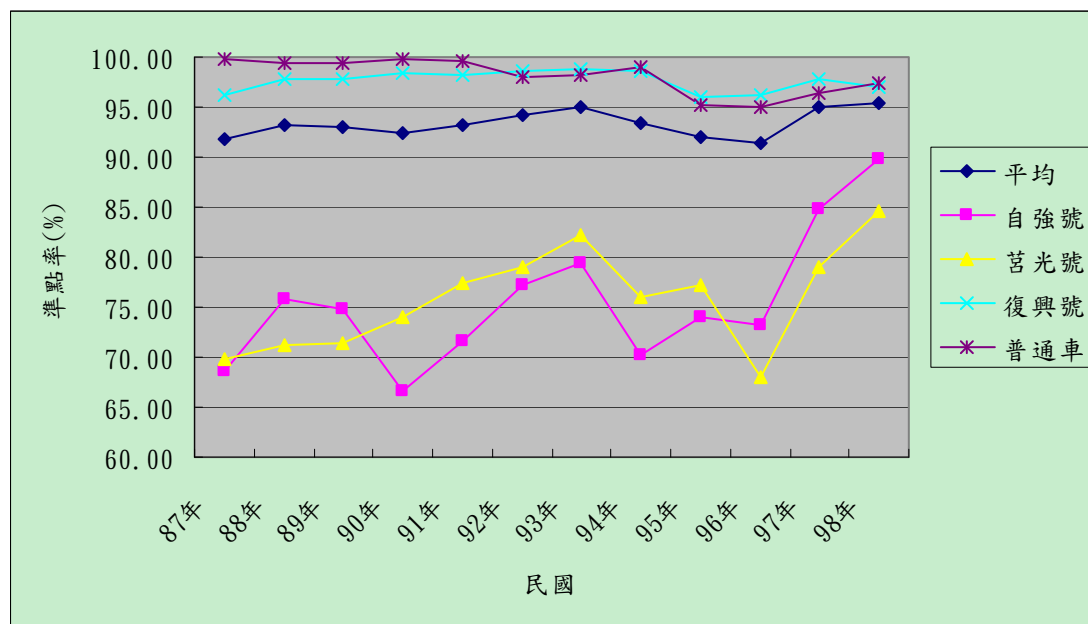
依此標準，其客運列車歷年的準點率變化情形如圖 2-1，平均準點率約在 91~95%之間波動，其中復興號與普通車準點率較高，而自強號和莒光號準點率較低，至於貨運方面，近年來的準點率皆為 100%，主要原因在於貨運列車多於非尖峰時間運轉，此時的車流密度較低，故準點率較高。臺鐵列車準點率雖然不低，但民眾對於臺鐵準點率的印象卻不盡理想，探究原因可能在於 91~95%係指全年平均，但臺鐵的延誤狀況可能依平/假日、尖離峰有所差異，導致民眾普遍認為 90%的準點率數值與實際有落差。

2. 臺灣高鐵

臺灣高鐵官方同樣是以準點率來評估列車服務的可靠度，其計算準點率的方式和臺鐵相同，均以列車抵達終點站時間，不遲於時刻表預定時間 5 分鐘內之班次比例來計算^[20]。同時每月會在各車站公告上

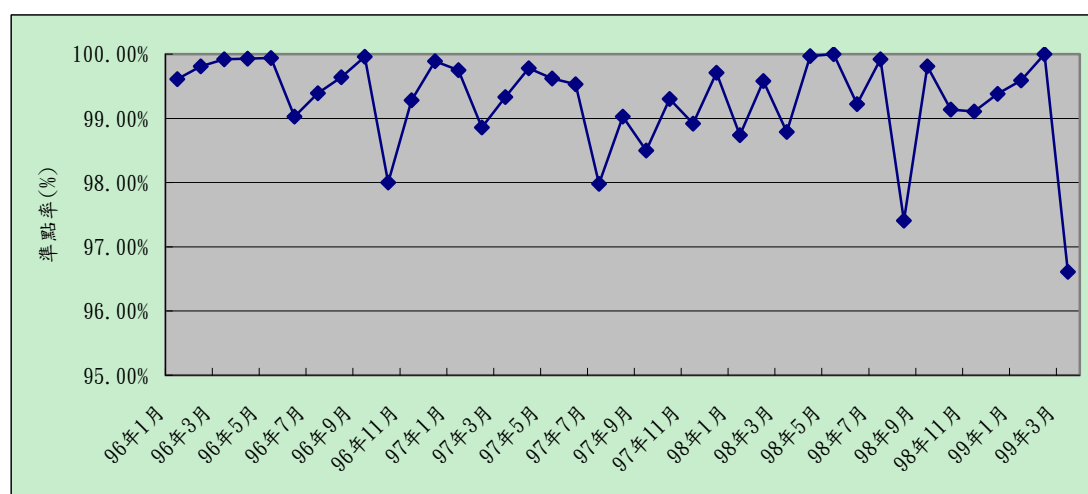
個月準點率供旅客周知。自民國 96 年通車以來，歷月的準點率變化情形如圖 2-2，截至目前為止，僅 4 個月份低於 98%，其餘皆高於 98%，而平均準點率則高於 99%，整體而言高鐵的準點率較臺鐵佳。

臺灣高鐵並未公佈或提報平均列車延滯的資料，但根據 Jong et al.^[40]的研究，其列車平均延滯約略為 0.216 分鐘，就此項此標而言，甚至優於日本新幹線的 0.6 分鐘^[27]。



資料來源：[11]及本研究整理

圖2-1 臺鐵歷年客運列車準點率變化情形



資料來源：[20]及本研究整理

圖2-2 臺灣高鐵歷月列車準點率變化情形

3. 臺北捷運

臺北捷運公司依據「大眾捷運法」及「大眾捷運系統經營維護與安全監督實施辦法」相關規定訂定系統服務指標，該服務指標清單中有兩項指標與可靠度相關，分別為「延滯時間」與「準點率」，兩者的量測方法與目標值如表 2.1。值得注意的是，臺北捷運對於準點的定義是「列車於終點站之實際到達時間與時刻表預定到達時間，正負差在 90 秒以內」，依此定義，列車太早到站也視為「不準點」，這是與臺鐵及高鐵對準點定義出入較大之處。

表2.1 臺北捷運系統所訂定的可靠度相關服務指標

項目	量測方式	目標值
延滯時間	<ul style="list-style-type: none"> 列車由起點站至終點站，實際運行時間與表訂運行時間之差距與「延滯時間計算門檻值」之差距，「延滯時間計算門檻值」之決定視尖離峰與列車起迄距離決定如表 2.2。 以季為時間單位，統計季內每日各列車平均延滯時間的平均值。 	平均低於 5 秒／每列車
準點率	<ul style="list-style-type: none"> 列車於終點站之實際到達時間與時刻表預定到達時間，正負差在 90 秒以內為準點。 計算季內準點班次數與季內實際總發車班次數之比率。 	平均高於 95%

資料來源：[18]

表2.2 臺北捷運系統不同條件下的延滯時間基準表

尖/離峰	列車起迄點距離	延滯時間計算門檻
尖峰	起終點距離<10 km	超過 1 分鐘始計之
	10≤起終點距離<20 km	超過 2 分鐘始計之
	起終點距離≥20km	超過 3 分鐘始計之
離峰	不分路線長短	超過 1 分鐘始計之

資料來源：[18]

值得強調的是這兩個指標就列車運行績效檢討上有彼此互補的特性，例如準點率僅計算準點的比例，無法反映出延滯的嚴重程度，某甲列車誤點6分鐘與某乙列車誤點60分鐘對於整體準點率的衝擊是一樣的，但延滯時間指標能夠反應兩種情況的差異。此外，準點率指標關注的是列車實際到達終點站與表定到達時間的差距，但延滯時間關注的則是整趟車次的運轉時間與表訂運轉時間之差距，若圖 2-3 中的虛線為時刻表中某車次的表訂運行軌跡，若實際的軌跡如圖 2-3 中的列車 A 軌跡時，由於整體運行時間超過表訂時間，故會列入延滯時間的計算，但仍算準點列車，但圖 2-3 中的列車 B 軌跡雖然在到達站超過 5 分鐘被列入誤點，但由於其出發時間也較晚，因此整趟車次所花費的時間與時刻表一致，因此列入誤點車次但不列入延滯時間計算。

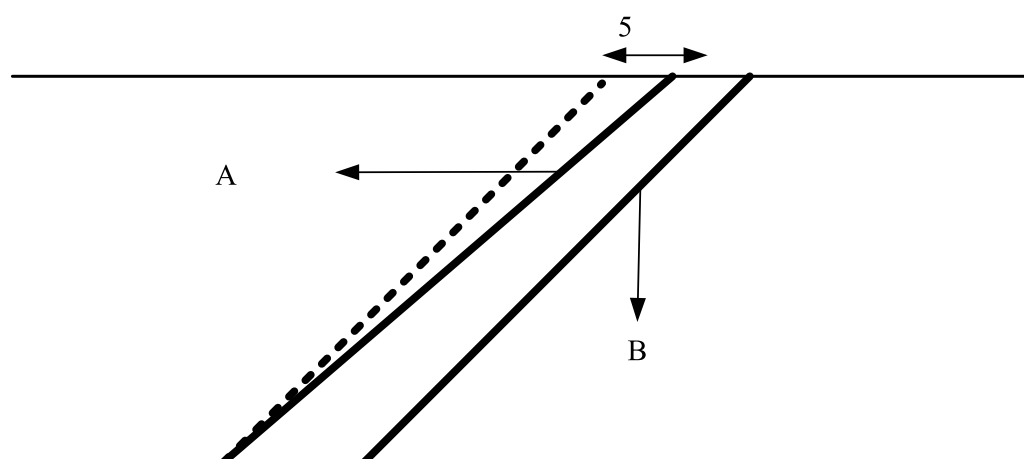


圖2-3 準點率與延滯時間指標差異說明圖

雖然臺北捷運的服務指標有「延滯時間」與「準點率」兩項可靠度的指標，但臺北捷運的年報僅揭露準點率的資訊，如圖 2-4 所示。除了中運量捷運系統在開始營運的第一年沒有達到目標之外，其於年度均達成可準點率的服务目標，雖然民國 98 年文湖線通車以後，由於系統尚未穩定，以至於準點率下降至 96.38%，但仍高於 95% 的目標值。另外，臺北捷運因加入 CoMET/NOVA 的會員，因此也在年報中提供「每 5 分鐘事件之間的车廂公里」的資訊，如圖 2-5。臺北捷運

曾在 2004 年起連續 4 年獲得 CoMET/NOVA 所有會員系統的可靠度第一名評比，其所指的即是該項指標。



資料來源：[19]

圖2-4 臺北捷運系統歷年準點率變化情形



資料來源：[19]

圖2-5 臺北捷運系統歷年 5 分鐘以上事件之平均行駛車廂公里

4. 高雄捷運

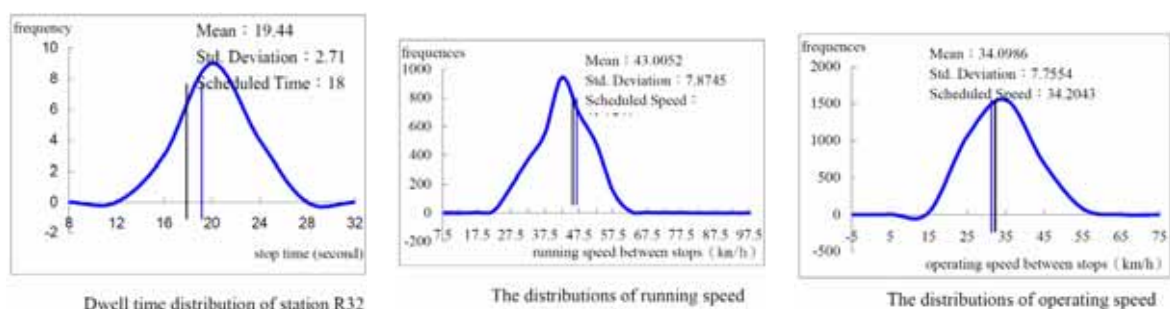
高雄捷運的準點率計算方式與臺北捷運類似，惟高雄捷運的列車準點標準為「正負差距 180 秒」^[17]，此標準看似比臺北捷運寬鬆，但其目標值訂為 97%，比臺北捷運的 95%還高。高捷的準點率資料並未對外公開，但內部統計的資料顯示，準點率高達 99.69%。

2.1.3 列車延滯分析模式

延滯分析的相關研究包括延滯程度與延滯原因兩階段，前者將關注議題放在延滯值的大小，意即延滯的程度，同時也包含諸如平均值、變異數等敘述統計值；後者則進一步分析延滯的原因，用以作為延滯改善策略研擬之參考。

2.1.3.1 延滯程度分析

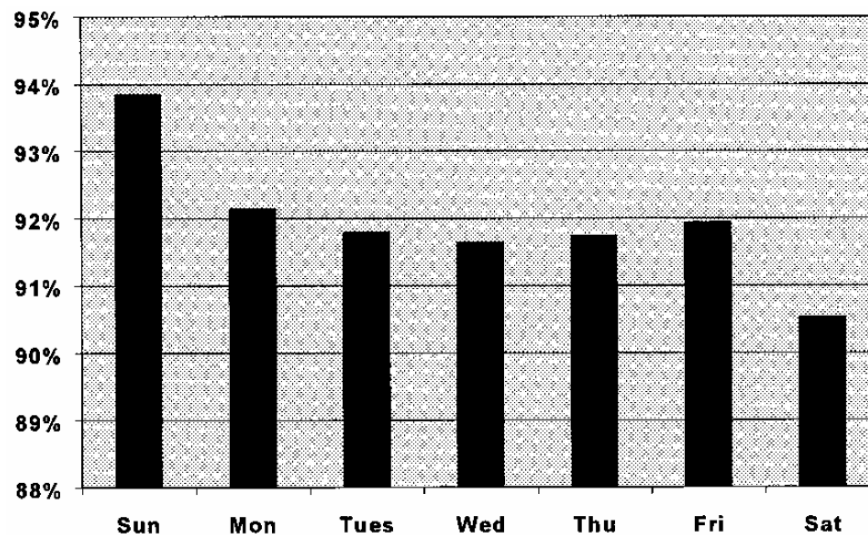
有關「列車延滯分析」的相關研究主要是透過列車實際到開時間進行敘述統計分析，實際到開時間的取得可能來自人工記錄或號誌電腦記錄。運研所^[8]曾經利用臺鐵局的實際列車到開人工記錄進行延滯分析相關研究，而謝興盛^[21]則是利用臺北捷運 ATC 的紀錄進行績效分析如圖 2-6，分析構面包含不同的時段與車站，分別分析停站時間、站間運轉時間與營運速度的分布情形，以作為檢討班表規劃作業之參考。



資料來源：[21]

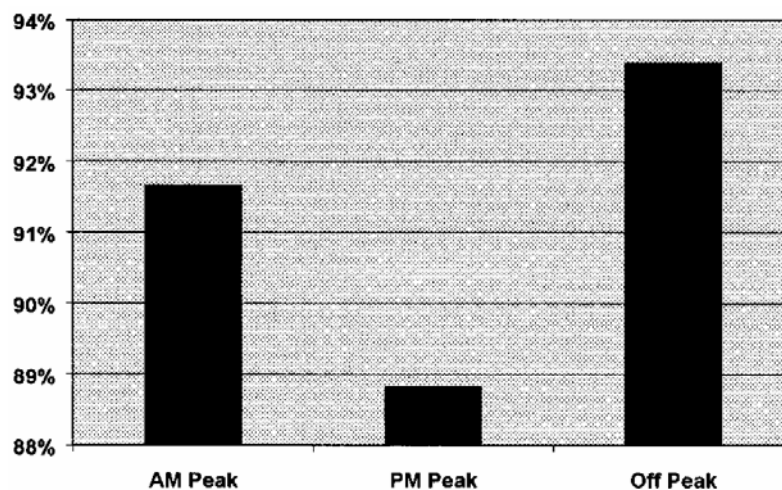
圖2-6 臺北捷運 ATC 記錄之績效分析圖

國外亦有類似研究，例如荷蘭科技大學 Goverde 博士論文^[32]，以荷蘭 Eindhoven 站為例進行進站延誤、離站延誤與轉乘延誤等不同課題之分析；Nelson 及 O'Neil^[48]在研究美國通勤鐵路服務可靠度時，更進一步分析「星期一至日」、「上/下午尖峰與離峰」等不同條件下的準點率變化如圖 2-7與圖 2-8。



資料來源：[48]

圖2-7 美國通勤鐵路每日準點率統計圖

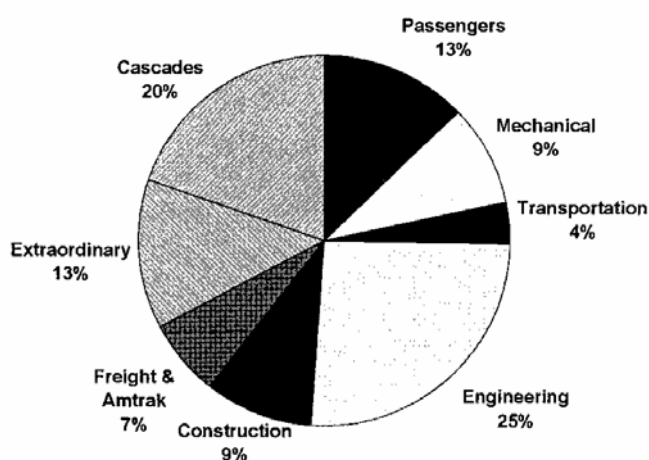


資料來源：[48]

圖2-8 美國通勤鐵路上/下午尖峰與離峰之準點率統計圖

2.1.3.2 延滯原因分析

Nelson 及 O'Neil^[48]的通勤鐵路服務可靠度除了分析延滯程度外，亦針對延滯的原因進行探討，該研究將延滯原因分為 8 大類，包括工程、機械、運輸、施工、旅客相關原因、特殊狀況、推擠延滯及貨運列車，該研究蒐集 40 多萬筆車次資訊進行統計如圖 2-9，值得注意的是該比例值並非以發生次數比例統計，而是以延滯的分鐘數比例繪製圓餅圖。



資料來源：[48]

圖2-9 美國通勤鐵路各種延滯原因之統計圖

圖 2-9僅是就延滯原因的分類大項繪製，部分項目還可進一步進行子項目分析，例如機械類與旅客相關的延滯原因可以細分如圖 2-10。

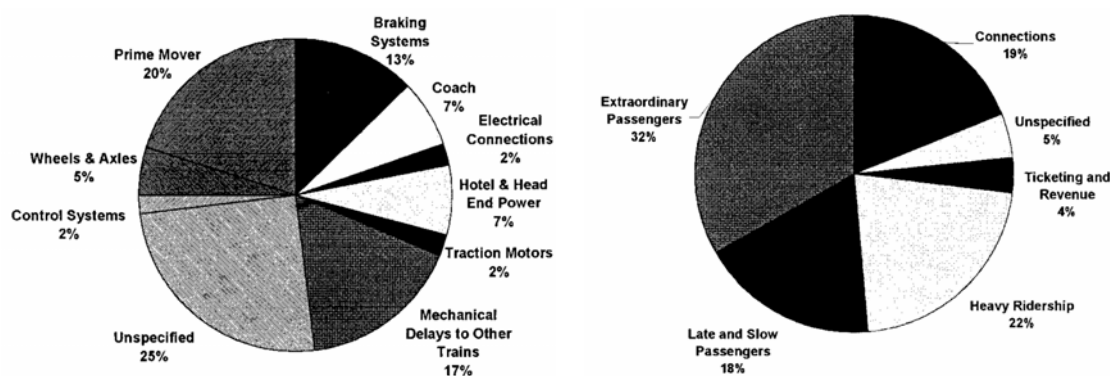


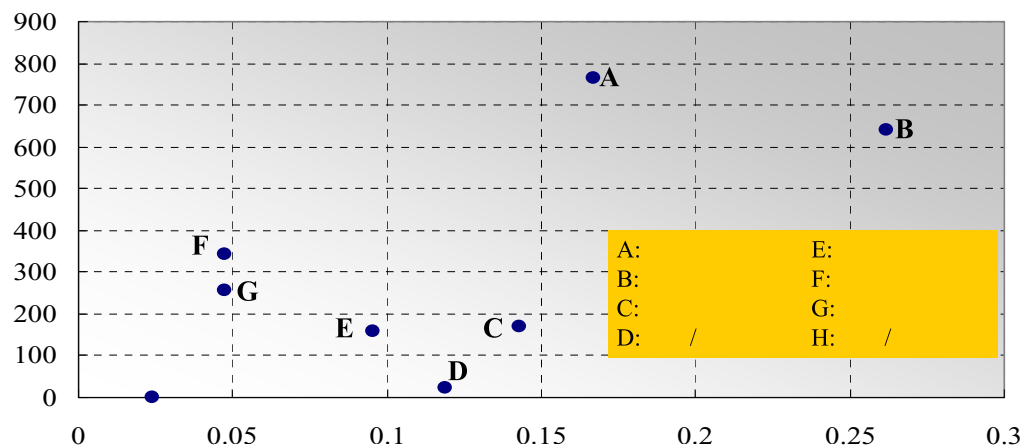
圖2-10 美國通勤鐵路機械及旅客延滯的細部原因統計圖

除了以敘述統計的方式分析之外，Jong et al.^[40]進一步套用風險矩陣的概念進行延誤分析，意即依不同延滯原因分別計算發生頻率與嚴

重度（延滯程度）。該研究以國內「鐵路行車規則」第一百二十二條律定的 17 項事故（如表 2.3），配合臺灣高鐵自營運起 39 個月的延誤資料進行分析。該研究得到列車延滯的風險矩陣如圖 2-11，位於此矩陣越右上方的延滯原因由於發生頻率與嚴重度均高，需要儘快改善，反之位於越左下方的延滯原因則較不急迫，由圖 2-11 計算亦可得到如圖 2-12 的列車延滯風險排序圖。

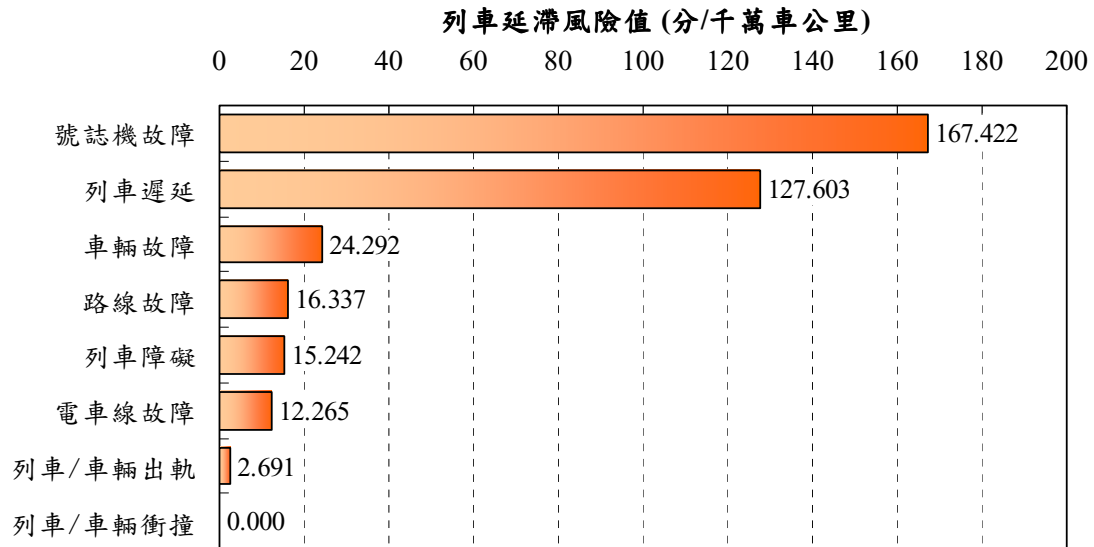
表2.3 鐵路行車規則第一百二十二條律定之行車事故項目

編號	行車事故項目名稱	編號	行車事故項目名稱
1	列車或車輛衝撞	10	車輛故障
2	列車或車輛傾覆	11	路線故障
3	列車或車輛火災	12	電車線故障
4	列車或車輛出軌	13	號誌機故障
5	列車分離	14	列車障礙
6	列車進入錯線	15	號誌機外停車
7	車輛溜逸	16	列車遲延
8	止衝擋衝撞	17	人員死傷
9	閉塞錯誤	—	—



資料來源：[40]

圖2-11 臺灣高鐵延滯風險矩陣圖



資料來源：[40]

圖2-12 臺灣高鐵延滯風險排序圖

上述介紹的延滯原因分析均以軌道營運單位或監理單位制定之延滯原因為基礎進行分析，但亦可將延滯原因歸納成主要延滯與次要延滯。若將臺鐵局現階段記錄的延誤原因利用上述方式予以分類可得表 2.4。值得注意的是部分延滯原因可能同時歸屬於主要延滯與次要延滯原因，例如旅客過多可能導致主要延滯，但亦可能因先前的主要延滯方導致某車站累積過多旅客需要上下車，使得延誤更加擴散。

表2.4 臺鐵延滯原因主要延滯與次要延滯原因分類表

分類	延滯原因
主要延滯	天候環境、行慢、慢行、車輛故障、ATP、號誌、事故、行包
推擠延滯	交會、待避、路塞
兩者皆可能	旅客、調車、編組

資料來源：本研究整理

2.1.4 列車延滯預測分析

至於「列車延滯預測」相關的文獻數量較多，若依方法論的不同來分類，大致可分為解析方法（Analytical Methods）、微模擬模式

(Micro-Simulation Models) 和推論統計 (Statistical Inference) [24]，以下分別說明之。

2.1.4.1 解析方法

解析方法需要較深奧的數學，但優點在於不像模擬模式需要大量的參數，亦可以不需要精確的班表，電腦的計算負擔也不大。圖論 (Graph Theory)、等候理論 (Queuing Theory) 和 Max-Plus 代數法 (Max-Plus Algebra) 等理論經常被用來分析列車可靠度，如 Hansen 即曾結合兩種理論來推估列車服務的可靠度 [33]。

在 1995 年，Higgins 等人 [35] 針對單線區間，分別建構車站（含端點站）、軌道相關，以及列車相依等三種延滯型態的解析模式，模式中考量了每個軌道段、列車和班表，可用於改善班表的可靠度或效益比較，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 [36]。

在 Ferreira 和 Higgins [29] 的研究中，其所發展的解析模式中考量單線區間每一列車延遲的風險值 (Risk of Delay, RD)，進而討論不同程度延遲對減少延遲風險所需時間的影響。

而 Goverde [31] 亦是以 Max-Plus 代數法為基礎發展模式，當軌道系統中單一系列車發生延滯時，透過模式可分析系統恢復常態運轉所需的時間，來判定班表受到延滯影響的敏感度和穩定度，可作為設計可靠班表的輔助工具。但 Goverde [31] 發展之模式主要是基於規格化時刻表（或稱週期時刻表、定型化時刻表），國內邱戊吉 [15] 針對這項限制予以放寬，並以臺鐵基隆—新竹進行案例分析，並在時空圖上針對每一個車次到開標記其允許延滯的多寡，允許延滯的值越低代表該處越不可靠或越不穩定。

在規劃階段通常無法清楚確定軌道系統的細節，此時適合使用解析方法作為輔助決策的分析工具。解析模式通常允許某些簡化問題的假設，以減少數學的複雜度，但這也導致計算出的結果精確性與可靠度較差。

2.1.4.2 微模擬模式

微模擬可詳細分析不同列車與其他列車以及設施互動之複雜過程，分析結果有較高的精確性，但對電腦的運算負荷量很高，早年電腦性能較差，求解時間較長，僅能處理簡單或小規模的問題，如早年 Chen 和 Harker^[28]僅對單線區間，列車於路線上的交會待避行為建構模擬模式來分析列車延滯。國內周學怡^[13]亦是以模擬模式分析單線區間的可靠度議題，該模式考量站間運轉時間、停站時間均不確定的情況下評估時刻表的可靠度。

近年來開始有較為複雜的模擬模式，例如 Carey 和 Carville^[26]針對多月台車站，考量列車性能與車站月台軌道配置建構模擬模式，基於在一可行班表下，外加延滯或擾動進行模擬，以測試班表的可靠度。而國內交通部運研所^[8]針對單一區段，考量列車流量、車種組成情況、站間運轉時間以及號誌時距等多項因素，建構列車服務可靠度模擬模式，探討列車流量與列車平均延滯時間的關係，並透過案例分析提出運轉寬裕係數建議值，以及了解站間運轉時間寬裕對可靠度的影響。

目前已有許多模擬模式已發展成商業軟體，且實務上也有不少應用，如荷蘭的 Railned 與 Incontrol Enterprise Dynamics 公司合作開發之 SIMONE，專門針對荷蘭鐵路系統所設計，具備有直接存取荷蘭鐵路資料庫之介面，可直接擷取資料庫中路網、軌道、設施、流量需求與時刻表等資訊，可評估時刻表可靠度與分析延滯之產生與影響，並量化不同軌道設施配置之延滯。Middelkoop 與 Bouwman^[46, 47]曾使用該軟體探討荷蘭 Weesp 車站轉乘等待時間，以及比較兩個小型路網及時刻表之穩定度。

在 EUROPE-TRIP 計畫^[30]中，則是利用由英國的 AEA Technology Rail 公司所開發 VISION，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取捨 (Trade-off) 的關係。

模擬模式與個別系統的依存度較高，且另一方面它需要更多軌道系統的細節資料，當未來面對新建或改善軌道系統的決策時，會有許多的未知數（例如未來的營運班表等），若使用模擬模式來進行分析，則必須作一些不確定會造成什麼結果的假設，反而讓模擬模式喪失高精確度的優勢。

2.1.4.3 推論統計

推論統計分析是根據實際營運資料，利用統計方法校估延滯的機率分布或各種延滯影響因素與延滯值的迴歸式。在 Olsson 等人^[49]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，雖然在該研究結果中，容量利用率和準點率的相關性沒有預期中的高，但作者說明可能是判定列車誤點的門檻值吸收了部分的延滯，而造成這樣的結果。

而 Briggs 和 Beck^[25]則是發展了較複雜的指標：首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，可個別評估各車站的可靠度，其結果可能更能反映旅客的感受。

周學怡^[13]的研究雖為模擬模式，但模式中有關站間運轉時間的機率分配仍是以統計方法校估，該研究考慮臺鐵列車的車種與停靠型態差異很大，故並非以式(2.2)中的列車實際到開時間 t_{ij}^O 進行校估參數，而是以表定時間與實際時間之差 e_{ij} 進行分析，經該研究的測試，同一車種的運轉時間差距 e_{ij} 與站間距離有正相關。

$$e_{ij} = t_{ij}^O - t_{ij}^S \quad (2.2)$$

式中： t_{ij}^O = 列車於二相鄰車站*i*與*j*之間的實際運轉時間

t_{ij}^s = 列車於二相鄰車站 i 與 j 之間的計畫運轉時間

e_{ij} = 列車於二相鄰車站 i 與 j 之間的運轉時間差距

過去交通部運研所^[8]亦曾以臺鐵列車實際到開時間資料，透過迴歸分析方法建立列車服務可靠度迴歸模式，但列車在實際營運時含有許多隨機特性，影響列車可靠度的因素眾多，且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諸多原因，以致於迴歸分析的結果不如預期。

統計方法隨著資料量愈多，可使模式的可信度愈高，但當未來系統改變，統計模式的解釋能力則會大幅下降。有文獻提出結合模擬模式和統計分析兩方法的可能性，模擬模式能產生與真實世界相近之結果，透過模擬模式產生大量的結果提供給統計分析建立關係式^[24]。

2.1.5 小結

根據本節蒐集整理國內外列車服務可靠度相關文獻，就本年度的工作項目－臺鐵列車延滯分析而言，係屬於對可靠度現況分析的課題，從文獻中可知，此類分析之重點不外乎是要了解延滯發生的時間、地點、對象（發生延滯的車次）、原因和嚴重程度等情況，此外亦須考量資料之正確性，因此歸納以下幾點作為本研究之研究方向。

1. 分析列車延滯需收集列車時刻表與列車實際到開資訊

無論從軌道實務上的準點率定義或可靠度相關研究中的延滯定義，均以列車實際到開與表訂時間之差距為基礎進行分析，故此兩項資訊的收集為研究工作的首要任務。

2. 列車實際到開的資料取得應以號誌電腦為主

無論國內運研所^[8]或國外 Nelson 及 O'Neil^[48]的研究均提出人工記錄可能會因子母鐘對時問題等而有偏誤，甚至 Nelson 的研究指出部分營運單位會因為終點站延誤超過 5 分鐘視為誤點而將 6、7 分鐘的延誤

登記為 5 分鐘。若採用類似臺北捷運 ATC 號誌電腦記錄^[21]，則可避免類似問題。

3. 列車延滯分析之構面

從文獻中可知準點率計算是考慮列車到達終點站延誤在一定範圍內的列車比例；而列車延滯分析則可針對車站停等時間、站間運轉時間、到站延誤、離站延誤分別分析，無論何種分析均可依不同地點（車站）或時段（含週間/週末、全天不同時段）進行分析。但考量本研究的研究對象臺鐵具有多車種追越/交會之特性，分析停等時間與站間運轉時間應以實際時間與原時刻表規劃時間之差值來分析，以避免臺鐵快慢車混合運轉造成之干擾。

4. 延滯分析可進一步考慮延滯原因

由部分研究^[35, 48]發現延滯分析可將延滯原因一起納入考慮，但由於列車延滯的原因相當複雜且分類的方式會依營運者有所不同，故本研究對臺鐵進行延滯原因分析時，將採用臺鐵內部的原因分類方式。

5. 延滯分析可引入風險管理的觀念進行評析

在風險管理的基本理論裡將風險視為事故發生機率以及其嚴重性的乘積，若將延滯也視為一種事故，不同的延滯原因亦有其發生機率與嚴重性（即延滯時間長短）的差異，透過風險管理可分析不同原因發生的頻率及影響程度，用以作為提昇準點率的參考。

2.2 軌道容量分析相關文獻

軌道容量分析一直是軌道運輸產業重要的研究課題之一，過去因為軌道運輸產業較為封閉，因此相關研究不多，或是並未公開對外發表。但近幾年來軌道運輸系統逐漸受到世界各國的重視，開始帶動研究熱潮，因此國際上持續有軌道容量相關論文的發表。本節將對軌道容量評估的方法以及模式進行回顧。第2.2.1節是以方法論的角度來回

顧軌道容量評估的技術，而第2.2.2及2.2.3節則是分別就單一區段及連續區段的軌道容量分析模式進行回顧。

2.2.1 軌道容量評估方法

Pachl^[50]將軌道容量研究的方法區分為解析法（Analytic Method）與模擬法（Simulation）兩大類，但在 EUROPE-TRIP^[30]中，則是將軌道容量的研究方法論區分為解析模式、排班模式，以及模擬模式三種。在運研所的研究中^[9]，根據文獻中記載各種模式所採用的技術內涵，將軌道容量評估方法分為解析模式（Analytical Model）、模擬模式（Simulation Model）與最佳化模式（Optimization Model），以下分別就這三種模式，說明其技術內容及優缺點。

2.2.1.1 解析模式

解析模式通常是考慮鐵路設施與班表的特性，在一些設計與假設的條件下推導出容量計算的公式（Formula），透過公式中的變數來計算路線或路網其他部分之容量。解析模式通常隱含有統計學中的機率以及平均值的概念，並且具有簡單且容易使用的特性，為評估軌道容量常用之方式，但因考慮的因素有限，因此其精確性不如模擬模式。

解析模式在計算較複雜之路網時，通常會將軌道系統視為許多節點（Node, 例如車站、橫渡線、銜接點）與節線（Segment, Section）的組合，每一元素皆由其佈設特性來計算容量。另外，解析模式非常適合在規劃期間或系統設計之初使用，用以決定各種因素對軌道容量的影響。

2.2.1.2 模擬模式

模擬模式通常是一種描述軌道系統運作的工具，根據模式建構時考慮的因素，以及分析時所設定的情境，以圖型或文字來描述系統的運作過程，因此僅能藉由比較各情境下的績效來探討容量課題。相較於解析模式，模擬模式通常考慮較多複雜的因素，例如號誌閉塞系統、

列車性能、路線條件等；模式可以反應系統內些微差異對於容量的影響。

一般將模擬模式區分為離散模擬（Discrete Simulation）與連續模擬（Continuous Simulation），亦可稱為離散事件導向模擬（Discrete Event-Oriented Simulation）與連續性時間模擬（Continuous Time Scanning Simulation），兩種模擬方法的選擇，視研究的重點而有所不同。Leilich^[44]認為，微觀模式之績效比巨觀模式佳，又微觀模式裡，以節線節點表現的模式通常效果比較好，而面對大量、長距離或多天數的模擬，事件導向的模擬較連續時間模擬來得恰當。

模擬模式通常存在一些假設與限制（即模擬模式考慮的因素），這些因素過多或過少都不恰當，考慮的因素過少，對問題的關鍵因素無法確實反應；若考慮的因素過多，對於容量的初步研究而言反而是多餘的，Middelkoop 與 Bouwman^[45]提出一種由上而下的方法論（Top-Down Approach）來處理這個問題，其主要的概念是先以較高階較抽象的層級來研究問題，若此層級無法充分回答問題時，再繼續將下一個層次拆解出來詳細研究。這種做法間接說明了模擬模式雖然可以將眾多的複雜因素納入分析，但通常建構模式者會根據自己研究的需求對某些因素仔細或簡化處理，亦即模擬模式與研究對象的相依程度較高。

2.2.1.3 最佳化模式

嚴格來說，最佳化應屬於一種應用而非方法，這裡所謂之最佳化模式，是指運用最佳化概念（例如如何在一定限制條件下排入最多的班次等），且並非明顯屬於解析或模擬模式，以及運用最佳化領域常用方法（如線性規劃法、分枝定限法、啟發式演算法…等），對基本班表作最佳化以求解飽和班表者。

最佳化模式在容量分析上之應用常與時刻表的規劃或驗證相互配合，藉由搜尋最適班表的方式來求算容量，即所謂的時刻表容量。

最佳化模式通常會著重在列車排點的技術內涵，但不直接處理軌道配置、車輛性能、號誌系統等對列車運轉時隔的影響。

2.2.2 單一區段軌道容量分析模式回顧

由於軌道系統相當複雜，直接評估整個路網的容量相當困難，特別是對於類似臺鐵有多種列車運行且有列車追越待避行為的傳統暨區域鐵路系統。因此，早期的研究通常是將整個路網區分為許多路段，每次僅計算單一路段的軌道容量，而採用的方法大多屬於解析模式。以下說明美國、歐洲、日本、中國，以及我國有關單一路段軌道容量之分析模式。

2.2.2.1 美國

美國傳統鐵路的軌道容量研究並不發達，目前鐵路業界有容量研究之議，因此運輸研究委員會（Transportation Research Board, TRB）亦有編訂軌道容量手冊的構想。相較於傳統貨運鐵路，美國比較有系統的研究是針對都會捷運系統所發展的容量計算模式，此係運輸研究委員會（TRB）主導的「大眾運輸容量暨服務品質手冊」系列之研究成果，包括 TCRP Project A-08^[52]及 TCRP Project A-15^[41]，目的是發展符合北美運輸特性之系統化分析模式，成為大眾運輸實務及政策制定者之基本參考文件。第一版手冊已於 1999 年出版，第二版亦於 2003 年底出版。

在美國「大眾運輸容量暨服務品質手冊」中，路線容量計算式為：

$$C_l = \frac{3600}{(t_s + t_d + t_m)} \quad (2.3)$$

式中： C_l =路線容量（TU/h）

t_s =最小號誌時距（s）

t_d =瓶頸車站的停車時間（s）

t_m =運轉寬裕時間（s）

美國的路線容量是以捷運系統為主要的研究對象，因此容量的時間單位為「小時」，有別於傳統鐵路是以「日」為單位；另外，捷運系統多採複線運轉，列車性能以及停站方式一致，故容量計算公式中並未考慮列車交會待避的情形。

2.2.2.2 歐洲

歐洲的軌道系統相當發達，軌道容量相關的研究已有深厚的基礎，其中最知名的模式為 UIC (International Union of Railway) [38] 所提出的公式 (UIC Codes 405)，而近期最重要的研究則為歐盟推動的 IMPROVERAIL 計畫 [53]，其中一個工作項目 (WP8) 就是制定「鐵路設施容量與使用管理手冊 (Handbook for Railway Infrastructure Capacity and Access Management)」，因此軌道容量計算方法的發展，亦為重要的研究課題。以下分別介紹這兩個容量分析模式。

1. UIC 公式

UIC 為國際知名的軌道聯盟，其所發展的軌道容量分析模式也廣為世界各國所採用。在 1997 年歐盟執委會所推動的「歐洲鐵路最佳規劃環境計畫 (European Railway Optimisation Planning Environment, EROPE)」的運輸鐵路整合規劃 (Transportation Railways Integrated Planning, TRIP) [30] 研究中，認可三種軌道容量的解析模式：UIC、German Rails 與 Malaspina & Reitiani，其中最知名的亦為 UIC 公式：

$$C_l = \frac{T}{t_s + t_m + t_z} \quad (2.4)$$

式中： C_l = 複線區間的路線容量 (TU/day)

T = 計算容量的時間涵蓋範圍 (min)

$t_s = \sum t_{ij} \cdot p_{ij}$ = 列車之平均號誌時隔 (min)

t_{ij} = 列車 j 跟隨列車 i 的號誌時隔 (min)

p_{ij} = 列車 j 跟隨列車 i 的機率或相對頻率

t_m = 列車運轉寬裕時間 (min) (其經驗值為 $0.67t_s$)

t_z = 號誌顯示寬裕時間 (min)

UIC 公式所計算的是複線運轉時每一股軌道的容量，除了以列車的運轉時隔為計算的依據之外，UIC 公式亦考慮列車運轉的緩衝時間及餘裕時間，但並未直接將列車停車時間的影響納入考量。近年來國內鐵路相關建設計畫中曾多次引用 UIC 公式。

2. IMPROVERAIL 公式

在 IMPROVERAIL 計畫最近出版的文件^[53]中，提出容量與資源管理的評估方法，其中有關軌道容量的計算方式如下：

$$C_l = \frac{T}{h} \delta \quad (2.5)$$

式中： C_l = 路線容量 (TU/單位時間)

T = 計算容量的時間涵蓋範圍 (min)

$h = \sum h_{ij} \cdot p_{ij}$ = 平均最小運轉時隔 (min)

h_{ij} = 列車 j 跟隨列車 i 的最小運轉時隔

p_{ij} = 列車 j 跟隨列車 i 的機率或相對頻率

δ = 路線利用率

由於全日的時間並不能完全用來營運，且所有的容量不能用罄，必須保留部分容量彈性運用或進行路線維修工作，故上式中的路線利用率係反映實際營運時間的比例，或是路線容量的期望使用比例。至於最小運轉時隔依單複線區間而有不同的計算方法。在複線區間必須考慮列車的速差，並且是以出發車站的觀點來計算（詳如圖 2-13），而單線區間則必須另外考慮對向列車的運轉時隔（詳如圖 2-14），計算公式如下：

(1) 複線區間

$$h_{ij} = t_{s,ij} + t_{m,ij} + \max(t_i - t_j, 0) \quad (2.6)$$

式中： $t_{s,ij}$ =列車*j*跟隨列車*i*的最小號誌時隔（min）

$t_{m,ij}$ =列車*j*跟隨列車*i*的運轉寬裕時間（min）

t_i =先行列車*i*的站間運轉時間（min）

t_j =續行列車*j*的站間運轉時間（min）

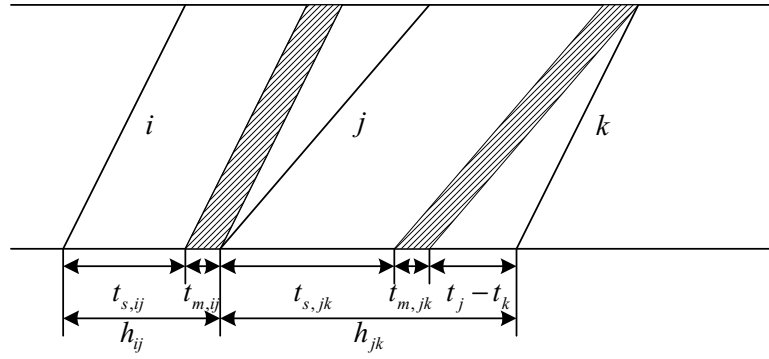


圖2-13 IMPROVERAIL 複線區間最小運轉時隔的計算方式

(2) 單線區間

$$h_{ij} = \frac{(n_s - 1) \cdot h_{ijs} + h_{ijo}}{n_s} \quad (2.7)$$

式中： n_s =連續同向運轉的平均列車數

$h_{ijs} = t_{s,ij} + t_{m,ij} + \max(t_i - t_j, 0)$ ，為列車*i*與列車*j*同向運轉的最小時隔（min）

$h_{ijo} = t_i + t_{m,ij}$ ，為列車*i*與列車*j*反向運轉的最小時隔（min）

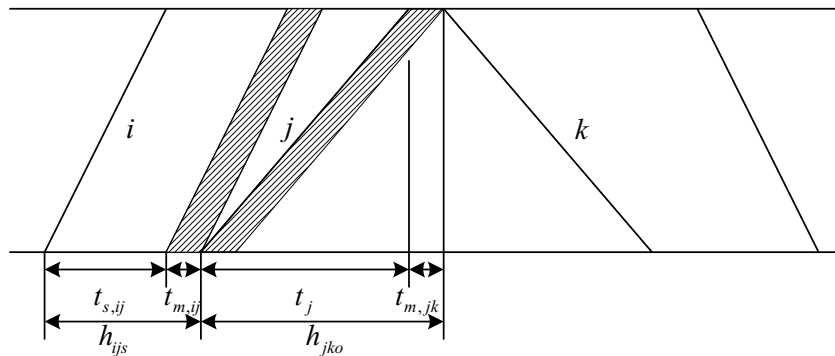


圖2-14 IMPROVERAIL 單線區間最小運轉時隔的計算方式

IMPROVERAIL 所建議的容量計算方式，已充分考慮到號誌安全時距、列車交會待避損失時間，以及運轉寬裕時間，算是相當地完整。但對於號誌安全時距的計算細節則未交代。

2.2.2.3 日本

日本軌道容量分析仍著重於路段容量計算，並不考慮銜接點、車站對於容量之影響，關於路段容量之計算於一般複線區間採山岸氏概算法，單線區間則採運轉局簡易式^[4]，如果是通勤電車專用區間則採通勤電車專用區間計算式^[16]，簡單說明如下：

1. 複線區間（山岸氏概算法）

$$C_l = \frac{1440}{h_1 r_h + (h_2 + h_3 + 1) r_l} \times \delta \quad (2.8)$$

式中： C_l =複線區間的路線容量（TU/day）

h_1 =高速列車之間的運轉時隔（min）

h_2 =低速先行列車與高速續行列車之進站運轉時隔（min）

h_3 =高速先行列車與低速續行列車之離站運轉時隔（min）

r_h =高速列車所佔的比率=高速列車次數/列車總次數

r_l =低速列車所佔的比率=低速列車次數/列車總次數

δ =路線利用率，一般採 0.6

山岸氏概算法計算的是複線區間每一股道的容量，該公式考慮不同速度列車進出站的運轉時隔，而以加權平均的方式來計算。

2. 單線區間（運轉局簡易式）

$$C_l = \frac{1440}{t + t_s} \times \delta \quad (2.9)$$

式中： C_l =單線區間的路線容量（TU/day）

t =列車於站間之平均運轉時分（min）

t_s =辦理閉塞所需的時間 (min)，自動閉塞制及聯動式閉塞制為 1.5 min，電氣路牌式閉塞制為 2.5 min

δ =路線利用率，一般採 0.6

運轉局簡易式以列車於站間之平均運轉時分，而非最慢列車於最長區間的運轉時間為計算的依據，公式中同時考慮到路線利用率的因子，將容量作適度的折減。

3. 通勤電車專用區間

$$C_l = \frac{1440}{h} \times \delta \quad (2.10)$$

式中： C_l =路線容量 (TU/day)

h =最小運轉時隔 (min)

δ =路線利用率，一般採 0.6

通勤電車專用區間沒有高速列車與低速列車的差別，因此在計算路線容量時，不需考慮低速列車待避高速列車的延滯，其計算式顯得更為簡單。

2.2.2.4 中國

有關大陸地區容量計算方法，可參照 1984 年鐵道部(MR, Ministry of Railways)頒布的「鐵路區間通過能力計算方法」法規(鐵運字 664 號)^[1]，內容共計 27 條，包含計算的原則與計算式定義，其計算方式可參照式(2.11)，該式為單線非自動區間成對運行圖的通過能力計算式，其他包括雙線、自動閉塞區間、甚至交叉線與岔線之計算則由該基本型式所衍生而來。上述法規之第 22 條在 1990 年曾被修訂，主要修改在於對車種混合之處理方式。

$$C_l = \frac{1440 - t_n - t_c}{t_U + t_D + \tau_A + \tau_B} \quad (2.11)$$

式中： C_l =路線區間的通過能力（對數或列數）

t_n =接觸網（電氣化路線電力供應設施）檢修封鎖時間（min）

t_c =運行圖規定的施工封鎖時間（min）

t_U =上行客貨列車區間運行時間（含停車與啟動附加時間）

t_D =下行客貨列車區間運行時間（含停車與啟動附加時間）

τ_A =A 車站之運轉時隔（min）

τ_B =B 車站之運轉時間（min）

上述公式最大的特色在於同時考慮區間兩端車站的運轉時隔，以反映兩端車站配置的影響；另外，路線封鎖時間是直接從一晝夜的時間扣除，有別於其他公式乘以路線利用率的處理方式。

中國認為機務段設備通過能力為鐵路通過能力的重要因素，在 1990 年代由鐵道部頒布「鐵路機務段設備通過能力查定方法」^[2]，其內容即為機務段設備容量的分析原則與方法。

2.2.2.5 我國

臺灣鐵路的容量評估研究，最早在民國 63 年，交通部運輸計畫委員會（為交通部運輸研究所前身）在整體運輸規劃專題研究^[10]中，就曾對臺灣鐵路系統進行容量評估。除此之外，民國 77 年尹承蓬^[3]進一步考量不同交通組成、閉塞方式、待避交會延誤等因素，假設列車隨機開出，計算服務容量的期望值（Expected Value）。民國 79 年蘇萬鐘^[22]發表一系列計算臺鐵路線及站場容量的文章，並提出改善的方法。臺鐵所認可的容量計算公式係臺鐵自行發展的經驗公式，如下式所示：

$$C_l = \frac{1440}{\frac{t_U + t_D}{2} + t_s} \times \delta \times \eta \times n_t \quad (2.12)$$

式中： C_l =路線容量（TU/day）

t_U =上行客貨列車所佔比例之混合運轉時分（min）

t_D =下行客貨列車所佔比例之混合運轉時分 (min)

t_s =辦理閉塞及號誌時間 (min)，臺鐵目前採用 1.5min

δ =路線利用率，外國採用 0.65~0.75，臺鐵採用 0.7

η =行車制度效率因素，又稱續行係數，人工閉塞區間為 1.0，在 CTC 區間依站間閉塞區間的數目來制定，以兩個閉塞區間為基本值 1，每增加一個閉塞區間則增加 0.1

n_i =軌道數 (單軌、雙軌、三軌)

臺鐵容量計算式與日本國鐵的公式類似，列車的站間運轉時分是以上下行列車的平均運轉時分來計算，公式中除了考慮路線利用率之外，並增加了行車制度的調整因素以反映自動化閉塞區間對容量的影響，此外該公式所計算的是整個區間所有軌道的容量，因此在計算式中有軌道數的調整因子 n_i 。

臺鐵路線容量計算公式隱含著列車是上、下行交替運行的單線運轉模式，但實際上臺鐵列車在雙線區間是採用複線運轉，因此臺鐵的公式容易造成容量的低估；另外，臺鐵是以「天」為容量計算的時間單位，對於目前正在轉型捷運化的臺鐵而言，不容易評估尖峰小時的輸送能力。由於臺鐵局一直面臨容量不足的困擾，運研所自民國 94 年起亦著手進行一系列臺鐵容量分析模式的研究^[5, 6, 7, 8]，考慮臺鐵路線條件、交通條件、控制條件等眾多因素，發展臺鐵軌道容量計算公式，以提供國內產、官、學、研進行軌道容量分析之教育訓練、學術研究，以及實務應用的參考。由於模式考慮的容量影響因素相當多，計算有些繁複，因此運研所亦開發容量評估軟體來輔助計算。運研所發展的模式可用以評估每小時的通過列車數以及每小時能夠載運的旅客數兩種容量，其整體架構如圖 2-15 所示，計算程序說明如下：

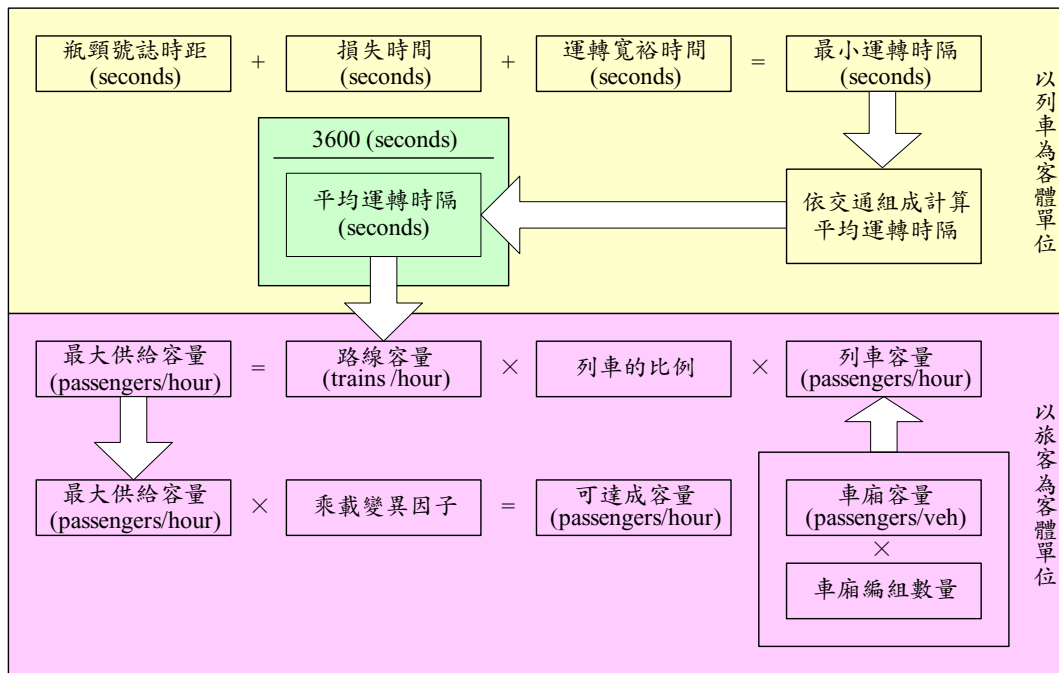


圖2-15 傳統暨區域鐵路系統之軌道容量分析架構

1. 步驟一：將列車依速度種別及營運型態歸類分組

視需求進行列車分組，分組的依據包括(1)列車性能，(2)營運型態，(3)車廂容量。分組越多精確度愈高，但計算愈繁雜。而分組的目的包括有時隔的計算和車廂容量的計算，由於目的不同，可以分別處理。舉例而言，A 與 B 列車的性能和營運型態類似，但車廂容量大不相同，此時可以在計算運轉時隔時將 A 與 B 視為同類，僅在計算旅客數相關課題時才將 A 與 B 視為不同，用以降低運轉時隔計算的繁雜。

2. 步驟二：決定站間運轉時分

常用的站間運轉時分決定方式包括：

- (1) 採用排班使用之基準運轉時分
- (2) 採用時刻表的站間運轉時分
- (3) 利用列車運轉性能模擬器計算
- (4) 發展簡算迴歸公式來估算

3. 步驟三：決定停車時間

停車時間的決定方式包括：

- (1) 採用運轉計畫的停車時間
- (2) 參考時刻表之停車時間
- (3) 依旅客流量及車廂設計條件來計算

4. 步驟四：計算瓶頸號誌安全時距

對於每一種列車組合，依下列程序計算瓶頸號誌安全時距：

- (1) 根據列車的站間運轉時間，決定瓶頸號誌安全時距發生的車站，列車進出車站的瓶頸號誌時距之發生位置，依列車速差以及單複線運轉方式，可能有以下幾種情況（請參閱圖 2-16）：

- 複線運轉時，先行列車為快速列車，續行列車為慢速列車時，瓶頸號誌安全時距通常會發生在起始車站，但仍有少數例外。
- 複線運轉時，先行列車為慢速列車，續行列車為快速列車時，瓶頸號誌安全時距通常會發生在抵達車站，但仍有少數例外。
- 複線運轉時，當列車的速度種別一致時，瓶頸號誌安全時距可能發生在起始車站或抵達車站。
- 單線運轉時，列車交會的最小號誌安全時距發生在交會車站。

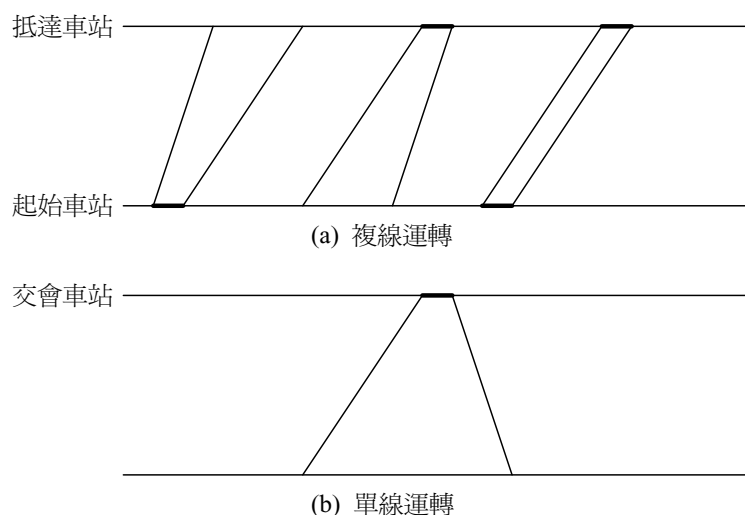


圖2-16 最小號誌安全時距發生的位置

- (2) 根據進站或離站時的股道運用方式，從表 2.5選用合適的公式，計算號誌安全時距，變數說明如表 2.6。
- (3) 根據車站的軌道配置與運用方式，計算列車的平均號誌時距之公式如表 2.7所示。
- (4) 根據不同交通條件，計算瓶頸號誌安全時距彙整於表 2.8。

5. 步驟五：計算交會待避損失時間

(1) 待避損失時間

$$t_l = \frac{1}{2} |(t_j - t_i)| \quad (2.13)$$

式中： t_l =列車待避或交會的損失時間（s）

t_j =列車 j 的站間運轉時間（s）

t_i =列車 i 的站間運轉時間（s）

(2) 交會損失時間

$$t_l = \frac{1}{2} (t_i + t_j) \quad (2.14)$$

表2.5 號誌安全時距計算公式

運轉方向	時隔種類	停靠股道	其他條件	號誌安全時距計算公式
同向	進站時隔	同一股道		$T_{s,A1} = \sqrt{\frac{2(L_i + s_x)}{K_a a_i(G_o)}} + \frac{v_j}{K_b b_j(G_i)} - \frac{v_y^2}{2K_b b_j(G_i)v_j} + \frac{B_1 + B_s - s_x}{v_j} + t_o + t_r + t_{d_i}$
	進站時隔	不同股道		$T_{s,A2} = \frac{v_j}{K_b b_j(G_i)} - \sqrt{\frac{2(s_t - s_x - L_i)}{K_b b_j(G_i)}} - \frac{v_y^2}{2K_b b_j(G_i)v_j} + \frac{B_2 + B_1 + B_s - s_x}{v_j} + t_p + t_r$
	離站時隔	同一股道	$L_i + s_x + B_n > \frac{v_i^2}{2K_a a_i(G_o)}$	$T_{s,D1} = \frac{v_i}{2K_a a_i(G_o)} + \frac{v_j}{K_b b_j(G_i)} - \frac{v_y^2}{2K_b b_j(G_i)v_j} + \frac{L_i + s_x + B_n}{v_i} + \frac{B_s - s_x}{v_j} + t_o + t_r + t_{d_j}$
		同一股道	$L_i + s_x + B_n \leq \frac{v_i^2}{2K_a a_i(G_o)}$	$T_{s,D1} = \sqrt{\frac{2(L_i + s_x + B_n)}{K_a a_i(G_o)}} + \frac{v_j}{K_b b_j(G_i)} - \frac{v_y^2}{2K_b b_j(G_i)v_j} + \frac{B_s - s_x}{v_j} + t_o + t_r + t_{d_j}$
	離站時隔	不同股道		$T_{s,D2} = \frac{v_i}{2K_a a_i(G_o)} + \frac{L_i + s_x + B_n}{v_i} + \frac{B_{n-1}}{v_i} + t_o + t_r$
	交會時隔	不同股道		$T_{s,M} = t_p + t_r - \sqrt{\frac{2(s_t - s_x - L_i)}{K_b b_i(G_i)}}$

附註：變數說明詳見表 2.6。

表2.6 號誌安全時距計算公式之符號意義說明表

變數	說明	單位
a	加速度的代號	m/s^2
$a(G)$	列車在坡度 $G\%$ 的加速度	m/s^2
B_1	第一閉塞區間的長度	m
B_2	第二閉塞區間的長度	m
B_n	出發號誌機的下一個閉塞區間的長度	m
B_{n-1}	出發號誌機的下兩個閉塞區間的長度	m
B_s	車站所在區間的長度	m
b	減速度的代號	m/s^2
$b(G)$	列車在坡度 $G\%$ 的減加速度	m/s^2
G_i	進站路線坡度	‰
G_o	出站路線坡度	‰
i	先行列車的代號	—
j	續行列車的代號	—
K_a	加速性能折減因子	—
K_b	減速性能折減因子	—
L	列車的長度	m
s_e	先行列車停車後車尾與道岔的距離	m
s_t	進站道岔與出發號誌機的距離	m
s_x	列車於車站停車時車頭與出發號誌機的距離	m
T_s	最瓶頸處的號誌時距	s
$T_{s,A}$	進站平均號誌安全時距	s
$T_{s,A1}$	同一股道進站的號誌安全時距	s
$T_{s,A2}$	不同股道進站的號誌安全時距	s
$T_{s,A}^B$	抵達車站的進站號誌時距	s
$T_{s,D}$	離站平均號誌安全時距	s
$T_{s,D1}$	同一股道離站的號誌安全時距	s
$T_{s,D2}$	不同股道離站的號誌安全時距	s
$T_{s,D}^A$	出發車站的離站號誌時距	s
$T_{s,M}$	列車交會的號誌安全時距	s
t	站間運轉時間	s
t_d	停站時間或停等時間	s
t_o	列車車尾通過出發號誌機後，解除閉塞及清除號誌的時間	s
t_p	列車進站時，車尾通過道岔位置後，解除主正線的進路、轉轍器扳轉、鎖定副正線的進路，以及	s

變數	說明	單位
t_r	號誌變換的整體作業時間 司機員的反應時間及軔機的作用時間（停車）， 或司機員確認號誌的時間（出發）	s
v	速度的代號	m/s
v_y	注意號誌的容許速度	m/s

表2.7 平均號誌安全時距計算公式

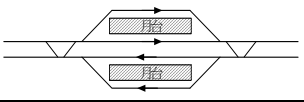
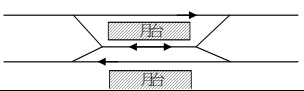
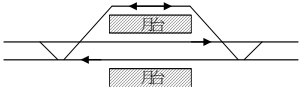
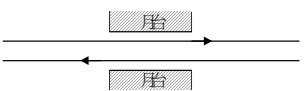
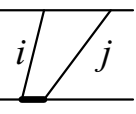
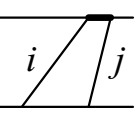
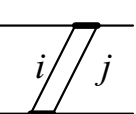
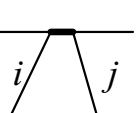
軌道佈 設類型	車站內軌道配置	平均號誌安全時距	
		離站	進站
I		$T_{s,D} = T_{s,D2}$	$T_{s,A} = T_{s,A2}$
II		$T_{s,D} = \frac{1}{3}T_{s,D1} + \frac{2}{3}T_{s,D2}$	$T_{s,A} = \frac{1}{3}T_{s,A1} + \frac{2}{3}T_{s,A2}$
III		$T_{s,D} = \frac{3}{4}T_{s,D1} + \frac{1}{4}T_{s,D2}$	$T_{s,A} = \frac{3}{4}T_{s,A1} + \frac{1}{4}T_{s,A2}$
IV		$T_{s,D} = T_{s,D1}$	$T_{s,A} = T_{s,A1}$

表2.8 瓶頸號誌安全時距彙整表

交通條件	瓶頸可能車站	瓶頸號誌安全時距
$t_i < t_j$	B  A	$T_s = \max(T_{s,D}^A, T_{s,A}^B - (t_j - t_i))$
$t_i > t_j$	B  A	$T_s = \max(T_{s,D}^A - (t_i - t_j), T_{s,A}^B)$
$t_i = t_j$	B  A	$T_s = \max(T_{s,D}^A, T_{s,A}^B)$
反向交會	B  A	$T_s = \max(T_{s,M}^B, T_{s,\min})$

6. 步驟六：決定運轉寬裕時間

(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，而日本經驗對於號誌安全時距的寬裕時間設定為 10 秒。

(2) 按號誌時距與交會待避損失時間之和的比例計算：

$$t_m = \beta(T_s + t_l) \quad (2.15)$$

式中： t_m = 運轉寬裕時間 (s)

β = 寬裕時間係數，建議採用 0.3

T_s = 瓶頸號誌時距 (s)

t_l = 列車交會或待避損失時間 (s)

7. 步驟七：計算最小運轉時隔

對於任兩列車 i 及 j ，依下式計算最小運轉時隔：

$$h_{ij} = T_s + t_l + t_m \quad (2.16)$$

式中： h_{ij} = 先行列車 i 與續行列車 j 的最小運轉時隔 (s)

T_s = 瓶頸號誌時距 (s)

t_l = 列車交會或待避損失時間 (s)

t_m = 運轉寬裕時間 (s)

8. 步驟八：計算平均運轉時隔

(1) 時刻表已知

$$\bar{h} = \sum h_{ij} \cdot p_{ij} \quad (2.17)$$

式中： \bar{h} = 平均最小運轉時隔

h_{ij} =列車 j 跟隨列車 i 的最小運轉時隔

p_{ij} =列車 j 跟隨列車 i 的相對頻率（根據時刻表來統計）

(2) 時刻表未知

$$\bar{h} = \sum h_{ij} \cdot p_{ij} = \sum h_{ij} \cdot \frac{n_i \cdot n_j}{n^2} = \frac{1}{n^2} \sum h_{ij} \cdot n_i \cdot n_j \quad (2.18)$$

式中： n_i =第 i 種列車的營運列車數

n_j =第 j 種列車的平列車數

$n = \sum_i n_i$ =總營運列車數

9. 步驟九：計算路線容量

$$C_l = \frac{3600}{\bar{h}} n_t \quad (2.19)$$

式中： C_l =路線容量（TU/h）

\bar{h} =平均最小運轉時隔（s）

n_t =路線的軌道數目

10. 步驟十：計算車廂容量

對於各種車廂，依下式計算其車廂容量。

$$c_v = n_s + (m_s \times A_v) \quad (2.20)$$

式中： c_v =車廂容量（sps/veh）

n_s =車廂座位數（sps/veh）

m_s =乘載水準，即立位密度（sps/m²），通勤用車輛以 5 prs/m² 為建議值；中、長程用車輛以 4 prs/m² 為建議值，太魯閣號採用 0 prs/m²

A_v = 車廂可供旅客站立用之空間 (m^2/veh)

11. 步驟十一：計算列車容量

對於各種列車，依下式計算其列車容量。

$$c_t = \sum_{i=1}^{n_v} c_{v_i} = \sum_{j=1}^{m_v} (c_{v_j} \times n_{v_j}) \quad (2.21)$$

式中： c_t = 列車容量 (sps/TU)

c_{v_i} = 列車中第 i 節客車車廂容量 (sps/veh)

c_{v_j} = 列車中第 j 種客車型式之車廂容量 (sps/veh)

n_{v_j} = 列車中第 j 種客車車廂之編組總數

n_v = 整列車客車車廂的編組總數

m_v = 整列車客車車廂類型數

12. 步驟十二：計算最大供給容量

考慮列車的比例與容量，依下式計算最大供給容量。

$$C_o = \sum_i C_l c_{t_i} r_i = C_l \sum_i c_{t_i} r_i ; \sum_i r_i = 1 \quad (2.22)$$

式中： C_o = 最大供給容量 (sps/h)

C_l = 列車的最大服務頻率 (TU/h) ,

c_{t_i} = 第 i 種列車的列車容量 (sps/TU)

r_i = 單位時間裡第 i 種列車數佔總列車數的比例 (%)

13. 步驟十三：計算最大使用容量

考慮列車的乘載變異因子與最大供給容量，利用下式計算最大使用容量 (可達成容量)。

$$C_u = \rho_d C_o \quad (2.23)$$

式中： ρ_d =列車間乘載變異因子，本手冊以 0.8 為建議值

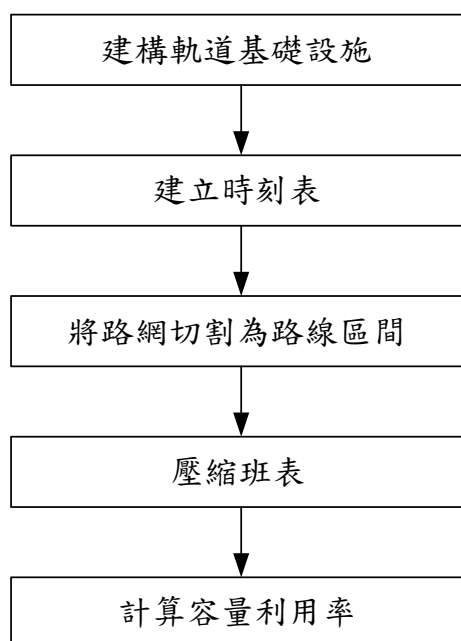
C_u =可達成容量或最大使用容量 (prs/h)

2.2.3 連續區段軌道容量分析模式回顧

單一區段軌道容量的分析方法，皆隱含假設忽略其相鄰區段的交互影響，然而，傳統暨區域鐵路系統具有多車種運行以及列車追越待避行為等特性，若忽略此交互影響則可能高估容量，因此有研究進一步提出了連續區段軌道容量分析模式，以下分別介紹國際鐵路聯盟（International Union of Railways、UIC），以及加拿大國鐵所提出的模式。

2.2.3.1 UIC 406

國際鐵路聯盟提出的 UIC Code 406^[39]是基於基礎設施與時刻表已知的情況下，利用閉塞時間（Blocking Time）的方式壓縮時刻表來計算容量利用率（Capacity Consumption），其程序如圖 2-17。

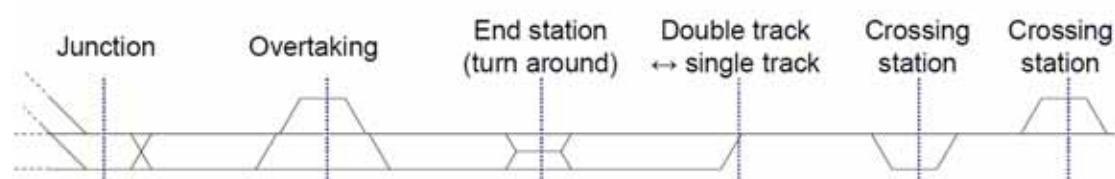


資料來源：[43]與本研究翻譯

圖2-17 UIC Code 406 容量利用率計算之工作流程圖

其中基礎設施與時刻表之建構兩程序被該方法視為容量利用率計算的基礎輸入，一般人也較能瞭解，故不額外敘述。至於第三步驟一將路網切割為路線區間的方法則需要進一步介紹，其切分點經整理後包含以下 3 類，Landex^[43]將之整理如圖 2-18。

1. 路線分歧處（即 Junction）
2. 列車追越待避/交會處
3. 列車折返處



資料來源：[43]

圖2-18 UIC Code 406 將路網切割為路線區間之示意圖

Landex^[43]的研究也提及由於路網切割是後續壓縮班表的基礎，因此如何切割將影響結果，他以丹麥鐵路之尖峰時段為例進行測試，發現不同切割方法計算出來的容量利用率差距高達 38%~45% 之間。

至於 UIC Code 406 的壓縮班表程序則是基於閉塞時間的觀念，若以圖 2-19 為例來說明，其中圖 2-19(a) 是將某一系列所經過的區間以閉塞時間繪製成閉塞時間階梯圖（Blocking Time Stairway），用以呈現單一系列運行所導致其鄰近閉塞區間處於封閉狀態。若將兩連續列車的閉塞時間階梯圖繪製在一起如圖 2-19(b)，並儘可能使兩列車靠近到有任一閉塞時間相連時，該閉塞區間稱為臨界閉塞區間或瓶頸閉塞區間（Critical Block Section）。以上即為班表壓縮的基本概念。

若欲壓縮多列車之閉塞時間，則可將上述概念予以擴充，例如圖 2-20(a) 有三列車之閉塞時間圖，按圖 2-19 的方式可以將第 1 列與第 2 列的閉塞時間予以壓縮得到圖 2-20(a)，此時瓶頸區間在最末一個區間。緊接著將這個已壓縮的閉塞時間合併成為一個大的閉塞時間如圖 2-20(c)，最後再利用同樣的方式將已合併的閉塞時間與第 3 列車的閉

塞時間予以壓縮可得圖 2-20(d)，此為三列車的壓縮結果，同時瓶頸區間亦可能變動位置。循此方法可以擴充到 N 列車的閉塞時間壓縮，在 UIC 報告^[37]裡的範例可以明顯看出班表壓縮前與壓縮後的差異如圖 2-21與圖 2-22。值得強調的是根據 UIC Code 406^[39]所述，在班表壓縮階段是不考慮任何寬裕時間的，有關寬裕的計算在下一階段考慮。

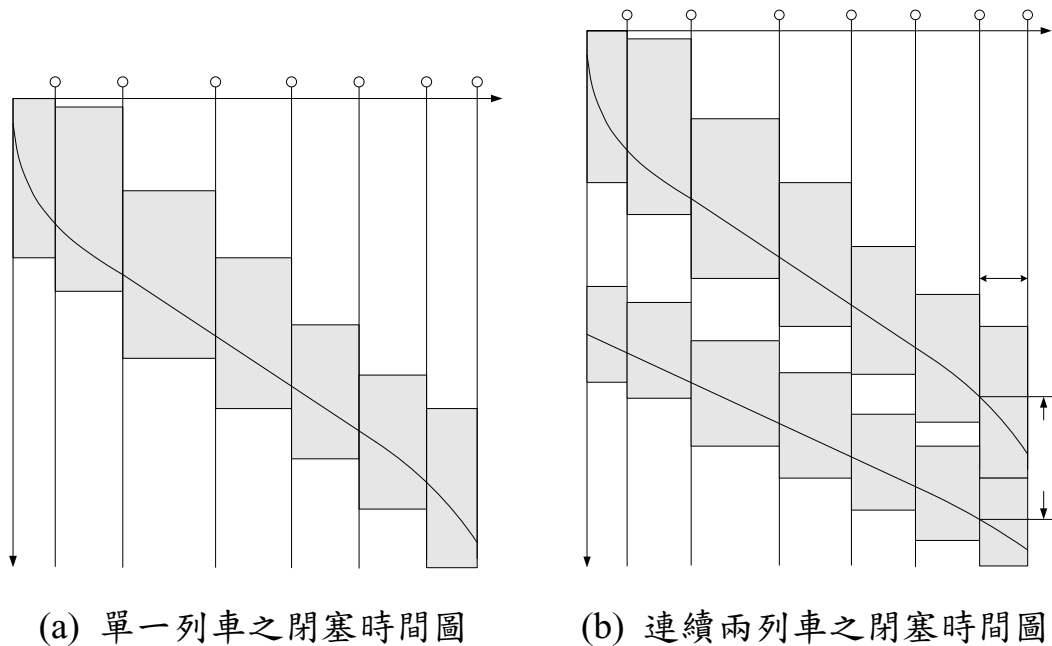
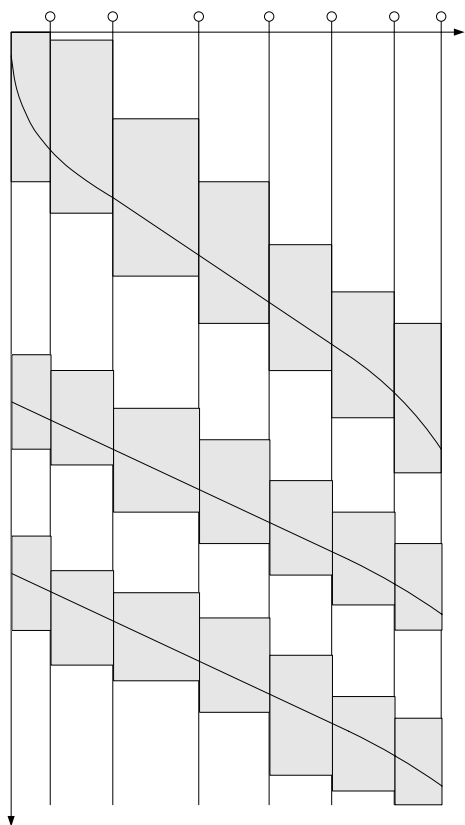
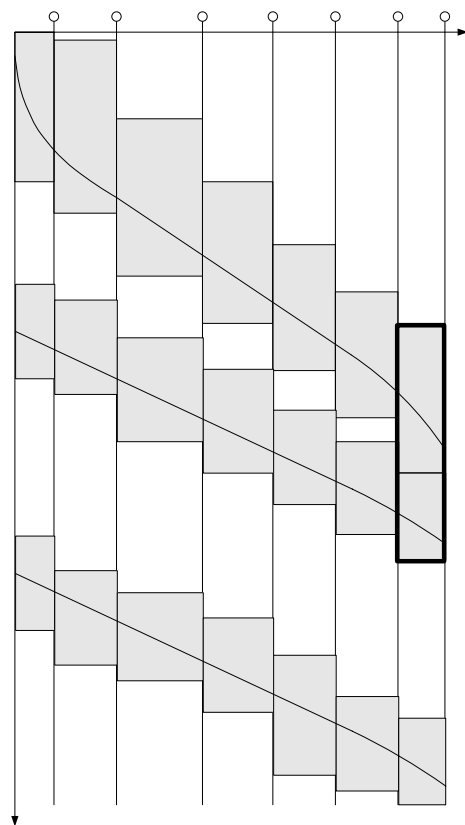


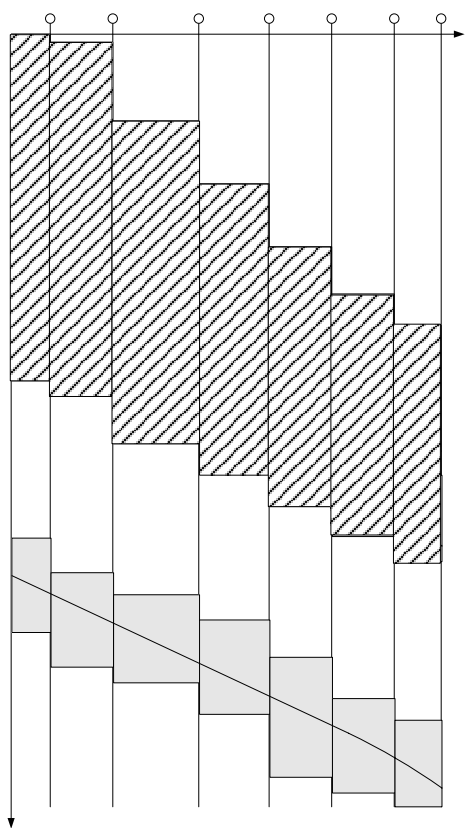
圖2-19 閉塞時間階梯圖



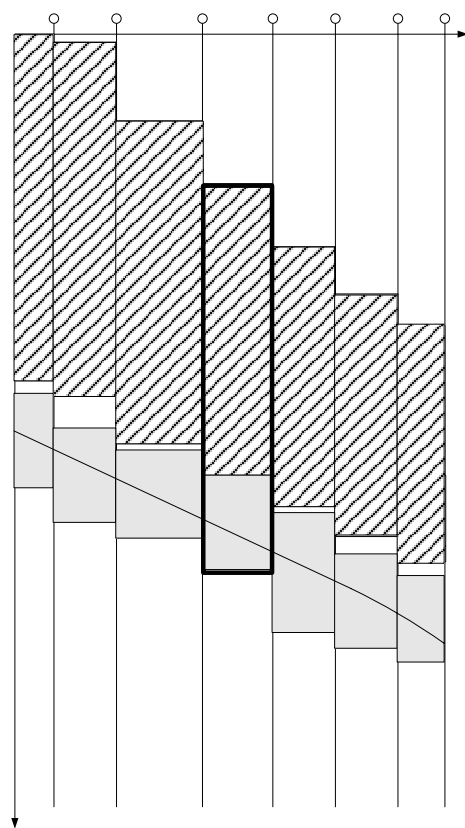
(a)原班表



(b)壓縮第 1 & 2 列車閉塞時間

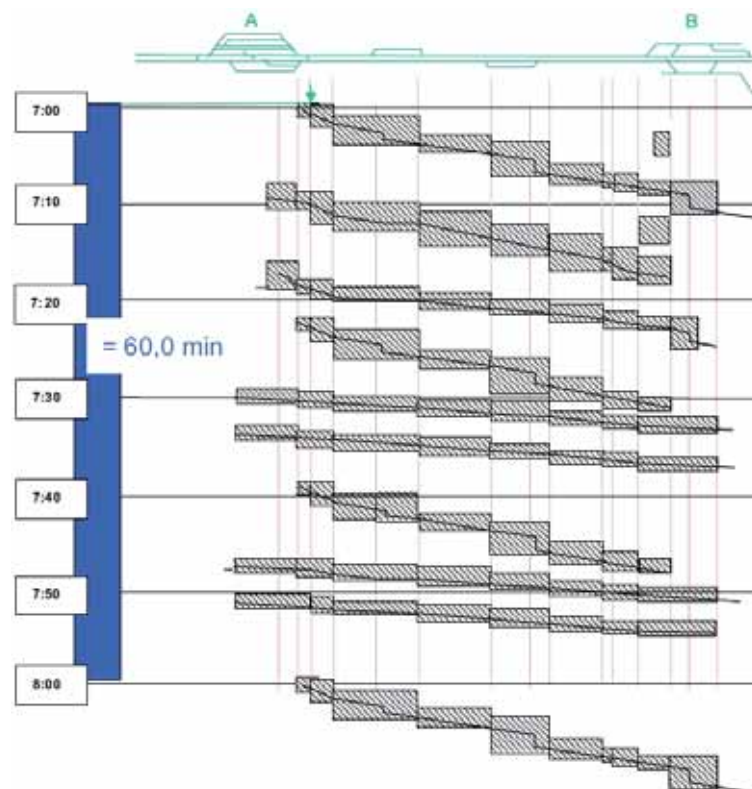


(c)將壓縮結果視為一列車的閉塞時間



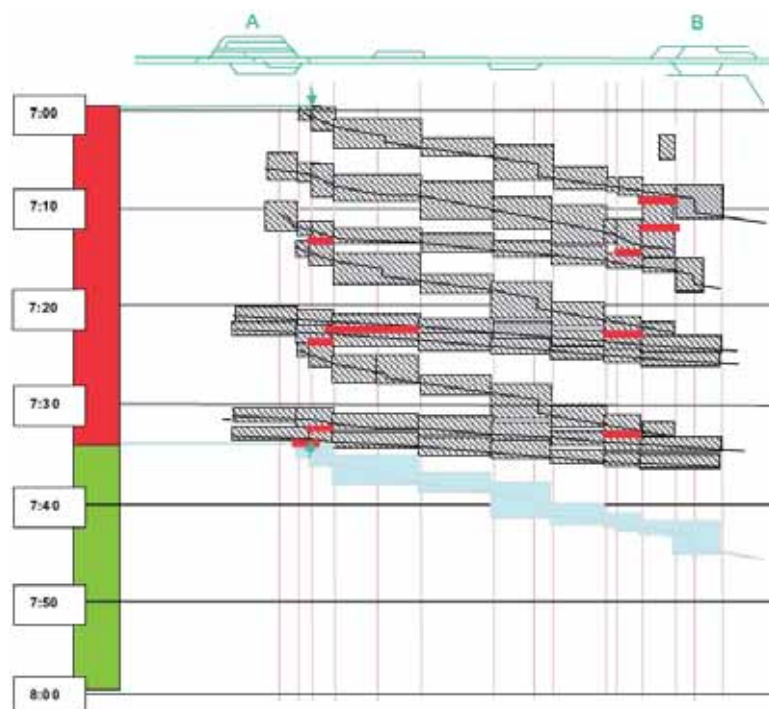
(d)壓縮下一列車之閉塞時間

圖2-20 班表壓縮過程示意圖



資料來源：[37]

圖2-21 班表壓縮範例圖－壓縮前

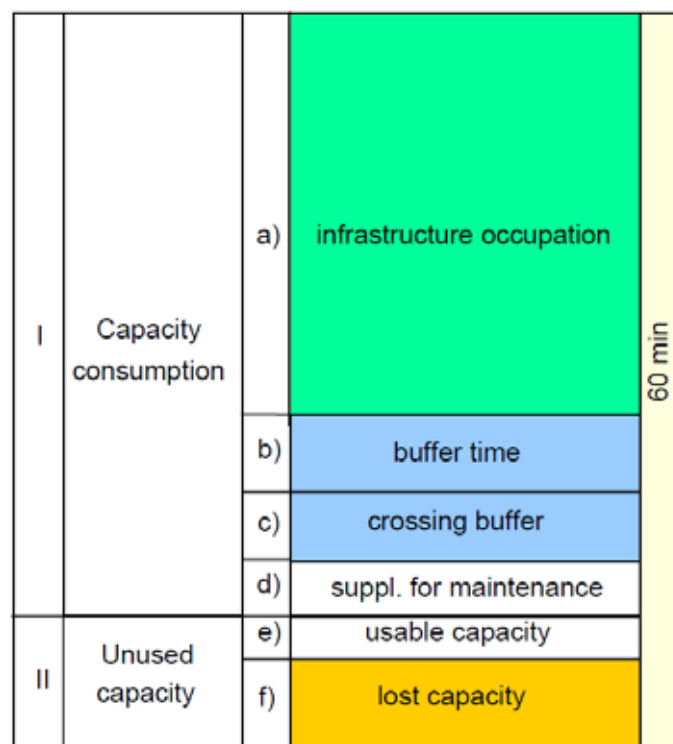


資料來源：[37]

圖2-22 班表壓縮範例圖－壓縮後

UIC Code 406 的最後一個步驟，即容量的利用率計算，其架構如圖 2-23。軌道容量的組成分可分為兩大塊包含「容量消耗量 (Capacity consumption)」與「未使用容量 (Unused capacity)」。其中「容量消耗量」包含 4 個組成，其中第一項(a)就是前一步驟一班表壓縮後的總時間；第二項(b)則是寬裕時間，但文中並沒有提供計算方式或建議值，僅約略提到寬裕時間可全面的給予一個數值或兩連續列車間逐一考慮。第三項(c)則是基於單線運轉所額外考慮的寬裕；最後一項(d)則是基於維修所需的時間，以上四項即為容量消耗量的總數。

至於「未使用容量」的部份則包含了「可用容量」與「損失容量」兩部分，文獻中提到若要使用剩餘的可用容量時，由於會更改到班表，因此有需要再進行一次新的容量利用率分析。



資料來源：[39]

圖2-23 容量利用率計算之架構圖

2.2.3.2 Parametric Capacity Model

「Parametric Capacity Model」是加拿大國鐵使用於路線容量規劃之決策輔助工具^[42]，可針對大區域之路線進行軌道容量分析。該模式雖是透過模擬分析建立各項影響因素與容量的關係，但本質上算是解析模式，透過下列公式分析容量

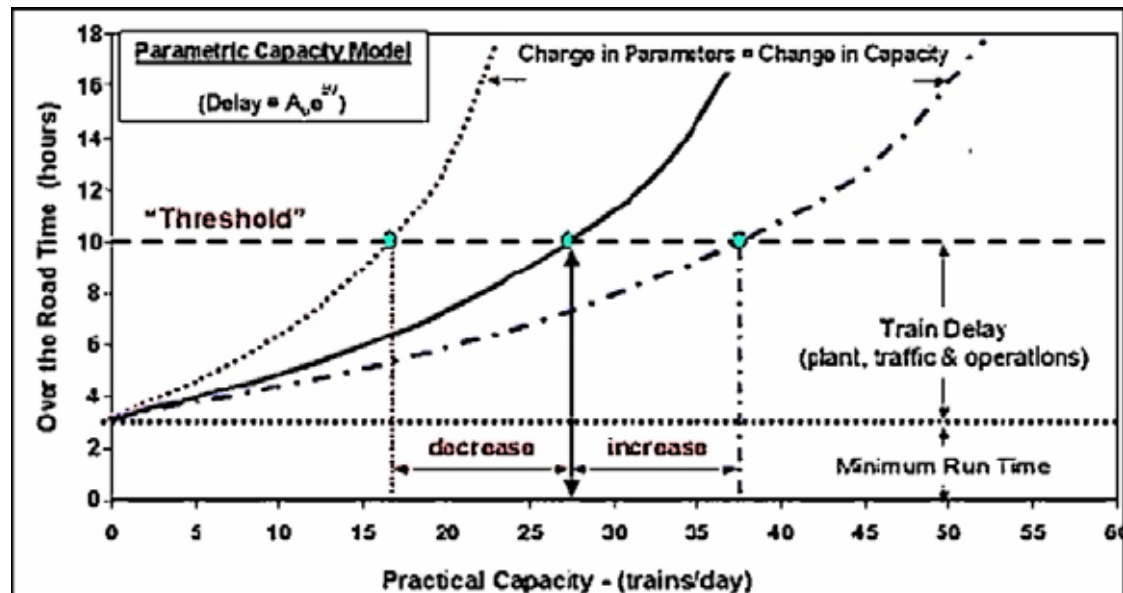
$$Delay = A_0 e^{BV} \quad (2.24)$$

式中： A_0 =聯合係數

B =常數

V =列車容量

根據式(2.24)可得到軌道容量曲線，如圖 2-24，再由可接受的最大旅行時間門檻（Maximum Trip Time Threshold, MTTT）來得到軌道容量。式(2.24)中的 A_0 ，是考量設備（Plant）相關、交通（Traffic）相關，與運轉作業（Operating）相關等三類參數聯合計算所得的係數，以下分別說明這些參數所包含的項目。



資料來源：[42]

圖2-24 軌道容量曲線

1. 設備相關參數

(1) 路線長度 (Length of the Subdivision)

路線長度愈長，意味著列車運行時間愈長，列車進行交會待避次數愈高，這些都會影響軌道容量。

(2) 列車交會待避處的平均間隔 (Meet Pass Planning Point Spacing, MPPPS)

列車交會待避處通常是指有側線的地方，其平均間隔的計算公式如下：

$$MPPPS = \frac{\text{路線長度}}{(\text{MPPP數量} + 1)} \quad (2.25)$$

(3) 列車交會待避處的分布 (Meet Pass Planning Point Uniformity, MPPPU)

列車交會待避處在路線上的分布情況，公式如下，若 MPPPU 為 0 表示列車交會待避處是完全平均的分布在路線上。

$$MPPPU = \frac{\text{MPPPS的標準差}}{MPPPS} \quad (2.26)$$

(4) 號誌間隔和側線間隔比率 (Intermediate Signal Spacing Ratio, ISSR)

增加號誌可以減少列車間距以提高路線容量，號誌間隔和側線間隔比率計算如下式：

$$ISSR = \frac{\left(\frac{\text{路線長度}}{(\text{MPPP數量} + 1 + \text{號誌數量})} \right)}{MPPPS} \times 100 \quad (2.27)$$

(5) 複線百分比 (Percent Double Track, %DT)

本參數的計算如下式，其中長度超過 2 英里的複線區間才計入複線區間總長度的計算，若小於 2 英里大於 6000 英尺則視為側線，小於 6000 英尺則乎略不計。

$$\%DT = \frac{\text{複線區間的總長度}}{\text{路線長度}} \times 100 \quad (2.28)$$

2. 交通相關參數

(1) 交通尖峰因子 (Traffic Peaking Factor, TPF)

以 4 小時為單位，計算 4 小時最大的列車數，與平均每 4 小時的列車數之比率。

$$TPF = \frac{\text{4小時內最大列車數}}{\text{4小時內平均列車數}} \quad (2.29)$$

(2) 列車優先或然率 (Priority Probability, PP)

不同車種的列車有不同的優先權，本參數在計算列車碰到優先權更高之列車的機會，公式如下：

$$PP = \frac{1}{T} \sum_{i=2}^N \left(\frac{C_i}{(T-1)} \sum_{j=1}^{i-1} C_j \right) \quad (2.30)$$

式中：N=列車種類

T=總列車數

C_i =第*i*種列車的數量

(3) 速差比率 (Speed Ratio, SR)

本參數的公式如下，為最高速列車的速度和最低速列車的速度之比率。

$$SR = \frac{\text{最快列車的速度}}{\text{最慢列車的速度}} \quad (2.31)$$

3. 運轉作業相關參數

(1) 軌道中斷 (Track Outages, TO' s)

包含所有計畫性或非計畫性的軌道中斷，軌道中斷直接地影響容量，此參數計算如下式：

$$TO's = \frac{\text{軌道中斷的總時間}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{n_T d_i}} \quad (2.32)$$

式中： n_T = 每天軌道中斷的總次數

d_i = 每次軌道中斷的時間 (hr)

(2) 慢行處 (Temporary Slow Orders, TSO' s)

列車行經慢行處，除了因為車速慢，且加上經過慢行處前必須先減速，通過後再加速離開，對軌道容量有很大的影響，本參數的計算方式如下：

$$TSO's = Vtime + TravelTime \quad (2.33)$$

$$Vtime = \frac{(V_m K - TSOSpeed)}{A} + \frac{(V_m - TSOSpeed)}{D} \quad (2.34)$$

$$TravelTime = \left(\frac{L}{TSOSpeed} + \frac{L}{(V_m K)} \right) \times 60 \quad (2.35)$$

式中： V_m = 最大貨運速度 (預設值 60 mph)

K = 以最高速行駛的比率 (預設值 85 %)

$TSOSpeed$ = 慢行的速度 (mph)

A = 列車加速度 (預設值 20 mph/min)

D = 列車減速度 (預設值 30 mph/min)

$L = \text{慢行處長度} + \text{列車平均長度}$

綜觀「Parametric Capacity Model」之操作流程，首先根據公式(2.25)～(2.35)的計算結果獲得 A_0 ，接著將 A_0 代入公式(2.24)得到軌道容量曲線，最後依可接受的最大旅行時間門檻值來得到軌道容量。

2.2.4 小結

過去文獻中，對於單一區段軌道容量分析的方法，皆隱含假設其它區段都配合所分析的區段，在不考慮其它區段干擾的情況下，使列車能一列接著一列的運轉，來計算容量，但列車的運行是隨時間空間不斷的進行，尤其在傳統暨區域鐵路系統中，不同車種的列車具有速差以及追越待避的行為，所以實際運轉時，難以在每一區間都保持計算單一區段軌道容量的理想狀態，因此，較完善的容量分析方法應該要考量各區段之間的交互影響。

自從 UIC Code 406 被發表之後，有眾多報告書引用該方法進行容量利用率的分析，但該方法所需資料相當繁雜，包含號誌與閉塞配置、列車運行績效（Train Performance）、可行時刻表等資料，均僅有在營運階段方可能取得，在規劃設計階段幾乎無法應用，這是此方法的使用限制。而即使是營運中的系統，當容量接近飽和時，排班會相當困難，而此方法卻需要時刻表方能執行，將導致進退失據的窘況。此外，由於該方法必須依交會待避車站來切割路網，故快慢車混合之系統（例如臺鐵/高鐵）要應用此方法時，很可能需把路線切許多細段，雖仍屬連續區段，但區段長度可能較為有限。

而「Parametric Capacity Model」雖具有解析模式簡單易用的特性，但其推導過程的邏輯並沒有清楚的說明。理論上，以模擬模式的結果來探討軌道容量與影響因素的關係，進而發展解析模式來評估容量是可行的方法，但模擬模式的內涵以及精確度，也會影響到最後發展出來模式的正確性。此外，即使「Parametric Capacity Model」背後所採用的模擬模式能夠正確的反應列車運行的結果，但也僅是針對加拿大鐵路的特性所發展，因此若要直接應用該模式至其他系統，可能

仍必須針對所研究的系統，發展詳細的模擬模式，經過不斷的案例分析之後，探討容量與影響因素的關係，方能建立連續區段的軌道容量分析模式。

有鑑於此，本研究嘗試以2.2.2.5節中所介紹的運研所發展之模式為基礎，進一步發展連續區段軌道容量分析模式。

第三章 臺鐵列車延滯時空分布分析

過去的研究對於列車延滯的分析，大多是以終點站作為量測的基準來計算列車的延滯，少部份會針對服務範圍內的車站，逐站統計列車的延滯。惟不同的時間範圍內，列車的密度、車種可能會不一樣，因此列車的延滯也會隨著時間而變化，但同時分析列車延滯的時空變化情形者並不多，為了能夠綜觀延滯隨時間、空間的變化情形，本章將根據臺鐵實際營運的資料，分析列車延滯的時空分布。首先在第3.1節中先介紹資料的蒐集與分析方式，接著3.2和3.3節分別說明平日和假日的列車延滯時空分布分析結果，而3.4節則是針對特殊事件發生時延滯時空分布的情況，最後於3.5節彙整分析的結論。

3.1 資料蒐集整理與分析

用來進行臺鐵列車延滯時空分布分析的資料，是根據臺鐵中央行車控制系統（Centralized Traffic Control, CTC）所記錄的列車實際到離站資訊來計算。CTC 紀錄的列車實際到離站情況，為公告時刻表的表訂到/離站時間與實際到/離站時間之差值，但 CTC 僅可偵測列車實際通過進站號誌機與出發號誌機時之時間，而非列車實際靜止停站與啟動離站之時間，如圖 3-1所示，因此該系統透過式(3.1)和式(3.2)來計算之。當列車不停靠某車站時，則是以實際離站時間作為列車通過該車站的時間。

$$d_a(i, j) = t'_a(i, j) - t_a(i, j) = t_h(i, j) + 30 - t_a(i, j) \quad (3.1)$$

$$d_d(i, j) = t'_d(i, j) - t_d(i, j) = t_s(i, j) - 60 - t_d(i, j) \quad (3.2)$$

式中： $d_a(i, j)$ =列車*i*在車站*j*之實際與表訂到站時間的差值（秒）

$t'_a(i, j)$ =列車*i*在車站*j*之實際到站時間（秒）

$t_a(i, j)$ =列車*i*在車站*j*之表訂到站時間（秒）

$t_h(i, j)$ = 列車 i 通過車站 j 進站號誌機之時間 (秒)

$d_d(i, j)$ = 列車 i 在車站 j 之實際與表訂離站時間的差值 (秒)

$t'_d(i, j)$ = 列車 i 在車站 j 之實際離站時間 (秒)

$t_d(i, j)$ = 列車 i 在車站 j 之表訂離站時間 (秒)

$t_s(i, j)$ = 列車 i 通過車站 j 出發號誌機的時間 (秒)

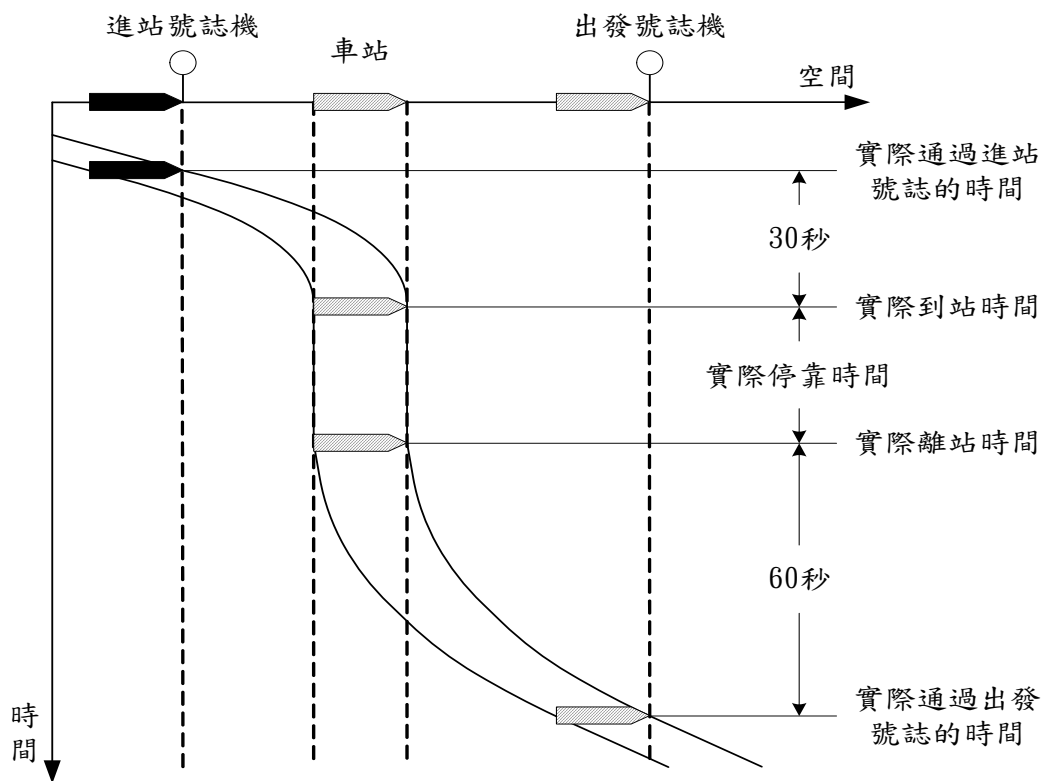


圖3-1 列車實際到離站時間之計算

列車運行的過程中，若延滯發生時可能會進行趕點作業，但在列車延滯時空分布分析中，主要是探討延滯的部份，因此本研究首先依式(3.3)計算每列車在每一車站的平均延滯時間；接著計算「平均每日在某一單位時間內，經過某一車站之所有列車的累積延滯時間」，公式如(3.4)。由於列車的累積延滯與列車流量有關，因此亦可進一步以公式(3.5)計算「在某一單位時間內，經過某一車站之每列車的延滯時間」。最後再以三維直方圖或二維等高線圖來呈現列車延滯的時

空分布情況，而後續可再針對延滯較嚴重的時空區域，深入探討在該區域內之列車行經各車站的延滯狀況。

$$d(i, j) = \max\left(\frac{d_a(i, j) + d_d(i, j)}{2}, 0\right) \quad (3.3)$$

$$D_{j,k} = \frac{\sum_{i \in I_{j,k}} d(i, j)}{n} \quad (3.4)$$

$$D'_{j,k} = \frac{D_{j,k}}{m_{j,k}} \quad (3.5)$$

式中： $d(i, j)$ =列車*i*在車站*j*之到離站平均延滯（秒）

$D_{j,k}$ =平均每日第*k*個單位時間在車站*j*的累積延滯時間（秒）

n =進行分析的總日數

$I_{j,k}$ =表訂時間在第*k*個單位時間內到達車站*j*的所有列車之集合

$D'_{j,k}$ =在第*k*個單位時間內，經過車站*j*之每列車的平均累積延滯時間（秒）

$m_{j,k}$ =在第*k*個單位時間內，經過車站*j*的列車數

本研究分別分析平日（週一到週四）、假日（週五到週日），以及特殊事件發生時的列車延滯時空分布，資料來源為民國 98 年 12 月 1 日到民國 99 年 3 月 25 日期間，臺鐵 CTC 所記錄的列車到離站延滯時間。由於該系統難免會有資料遺失之情形發生，因此本分析對於無實際到站資訊的列車，則以實際離站資訊作為其實際到站資訊，反之亦然，若實際到站與離站資訊兩者皆無，則假設該列車無任何延滯。

在平日和假日期間的分析方面分為兩個部份，第一部份係針對北、中、南等三大都會區，透過公式(3.4)，分別從對號車和非對號車，及順行（在西部幹線為上行）和逆行（在西部幹線為下行）方向等不同構面，來探討平均每天列車的累積延滯時空分布情形；第二部份則利用公式(3.5)分析每列車平均延滯的時空分布情形，針對延滯較嚴重

之時空廊帶，進一步探討行經該廊帶之列車行經各車站的延滯狀況。由於此分析為探討列車在一般營運情況下的延滯狀況，因此新年連續假期（12月31日到1月3日）、春節連續假期（2月12到21日），以及國內發生規模較大之地震的3月4日和8日兩天等期間的資料，將不列入分析之中。

而對於特殊事件的分析，則是針對民國99年3月4日所發生的地震，區分對號車和非對號車，以及順行和逆行方向，探討地震發生後，西部幹線的列車延滯時空分布情形，由於分析重點在於探討事件發生後列車延滯的累積擴散情況，因此不像平假日一樣再分析列車行經各車站的延滯狀況。各項分析結果於以下章節分別說明之。

3.2 平日列車延滯情形

3.2.1 三大都會區列車延滯時空分布

有關平日期間列車累積延滯的時空分布情形，以1小時為分析的時間單位，空間上則區分北、中、南三大都會區，其中北部都會區的分析範圍為七堵到新竹區間，中部為苗栗到員林區間，而南部為新營到鳳山區間。

3.2.1.1 北部都會區

在北部都會區方面，透過三維直方圖呈現對號列車的延滯時空分布情形，如圖3-2和圖3-3所示，圖中 x 軸為時間，表示一天的24個小時； y 軸為空間，依序表示臺鐵各個車站； z 軸為平均延滯時間。根據分析的結果可發現，順行列車累積延滯較嚴重的時間為晚上7點到8點左右，且隨著順行方向增加，其中又以萬華最為嚴重；而逆行列車的累積延滯則較順行列車少，傍晚5點以後在湖口到新竹區間才有稍高的累積延滯。

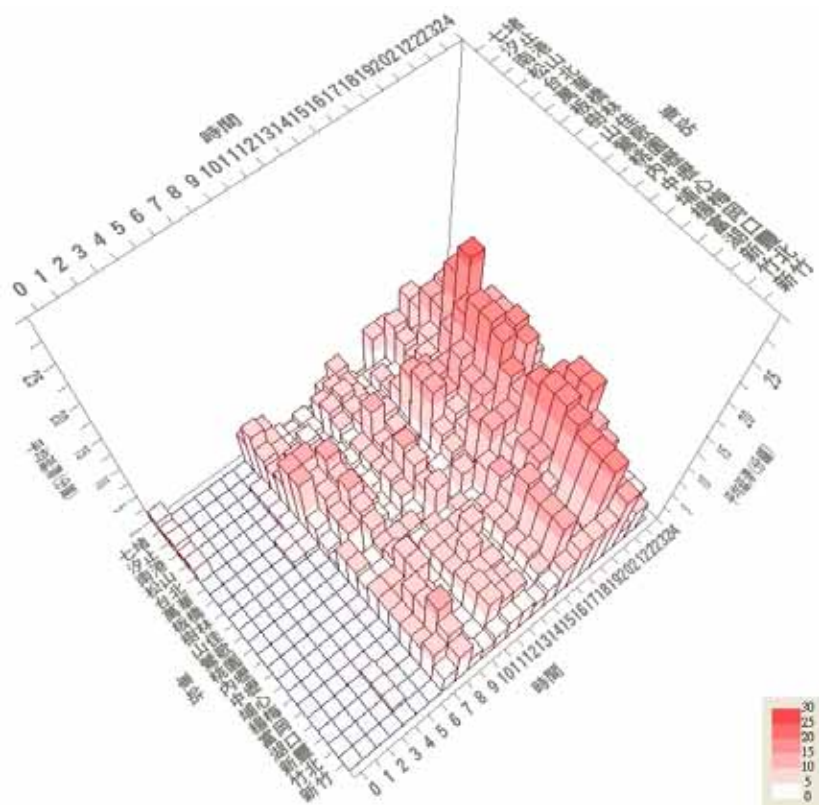


圖3-2 北部都會區平日對號車順行方向之累積延滯時空分布

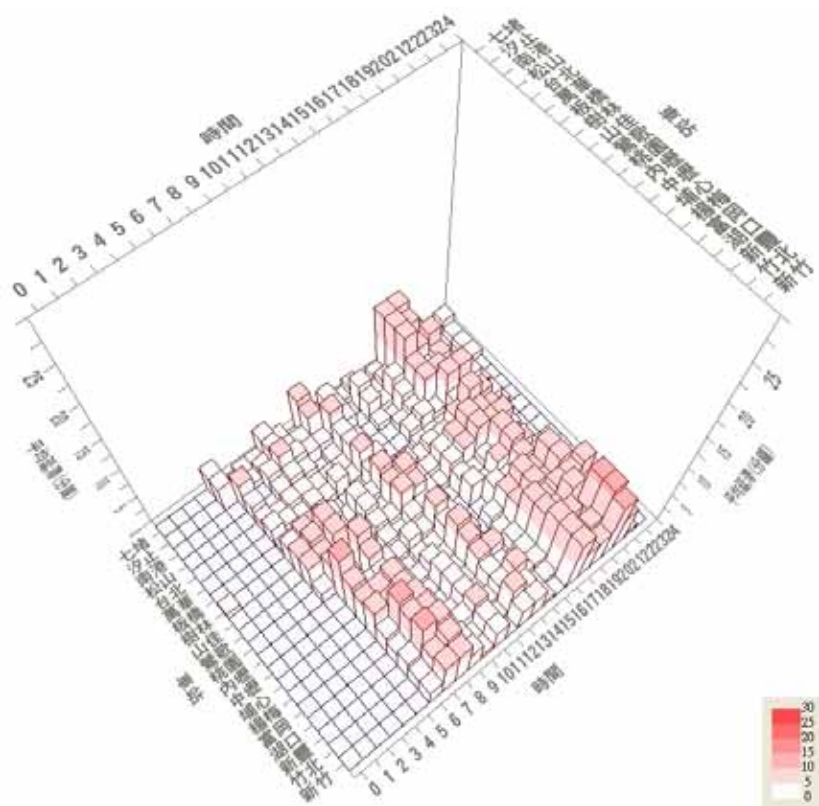


圖3-3 北部都會區平日對號車逆行方向之累積延滯時空分布

在非對號車方面如圖 3-4和圖 3-5，同樣是順行列車的累積延滯較逆行列車嚴重，但無論是順行或逆行，在早上 8 點和晚上 7 點兩尖峰時間的累積延滯均較高，下午尖峰較上午尖峰嚴重，並且隨著順行或逆行方向增加，順行方向以板橋、萬華、七堵等地點的累積延滯較高，逆行則是在楊梅到新竹區間。

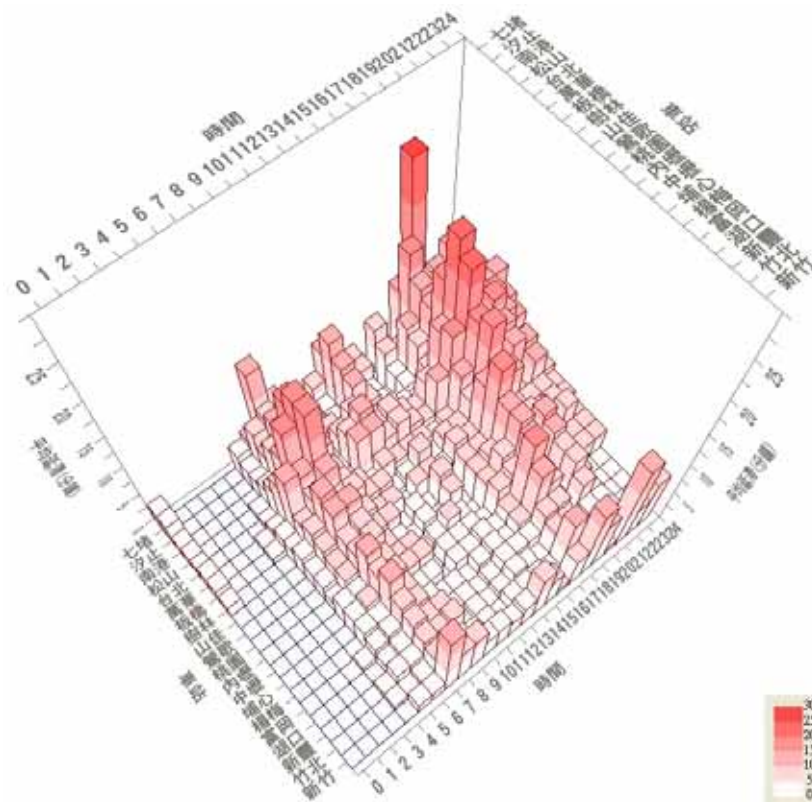


圖3-4 北部都會區平日非對號車順行方向之累積延滯時空分布

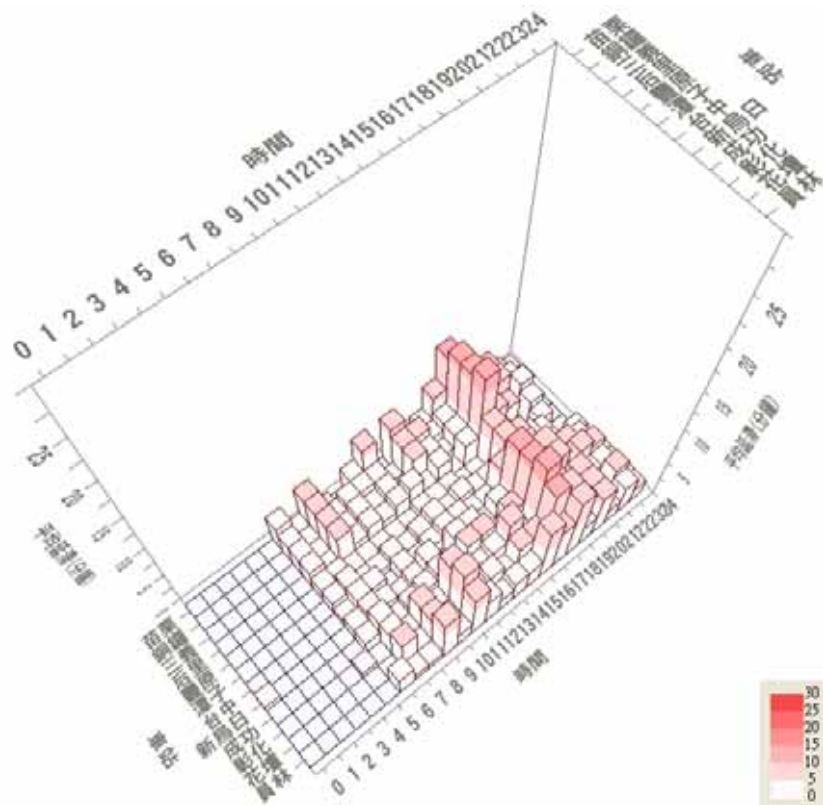


圖3-6 中部都會區平日對號車順行方向之累積延滯時空分布

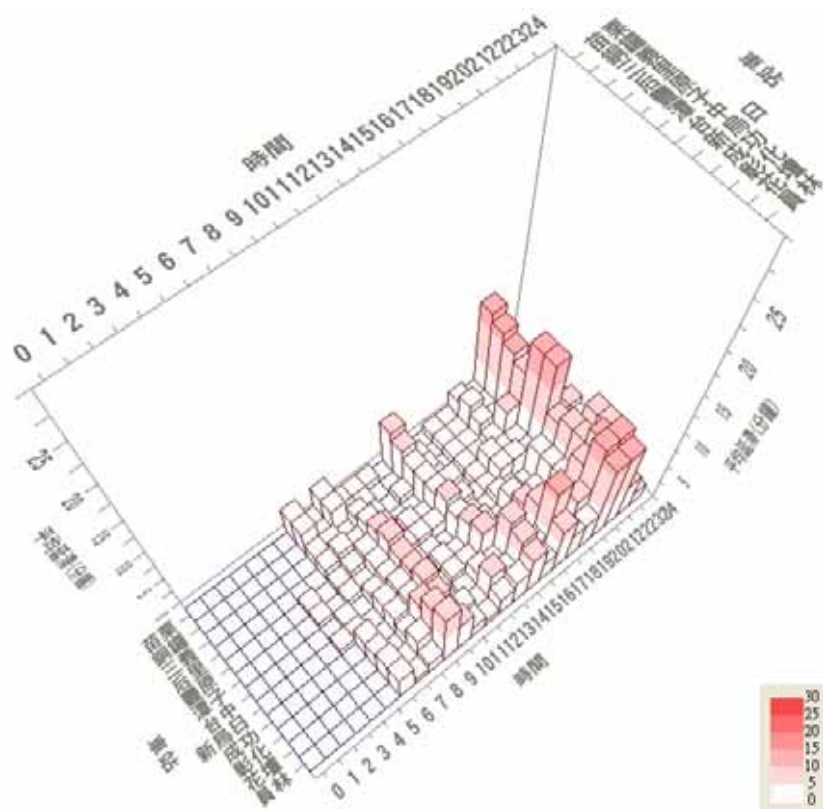


圖3-7 中部都會區平日對號車逆行方向之累積延滯時空分布

3.2.1.3 南部都會區

圖 3-10和圖 3-11為南部都會區對號車在平日的延滯時空分布，順行方向沒有明顯較高的累積延滯，但可看出延滯隨著順行方向些微增加；而逆行方向中午 12 點有較高延滯，且晚上 7 點以後列車延滯情況更為普遍，主要發生在保安到新左營區間。非對號車在平日順行方向延滯的分布如圖 3-12，和對號車的情況相似，無明顯較高的累積延滯；而逆行方向的分布如圖 3-13，較高的延滯是在上午 8 點左右和下午 5 點以後。

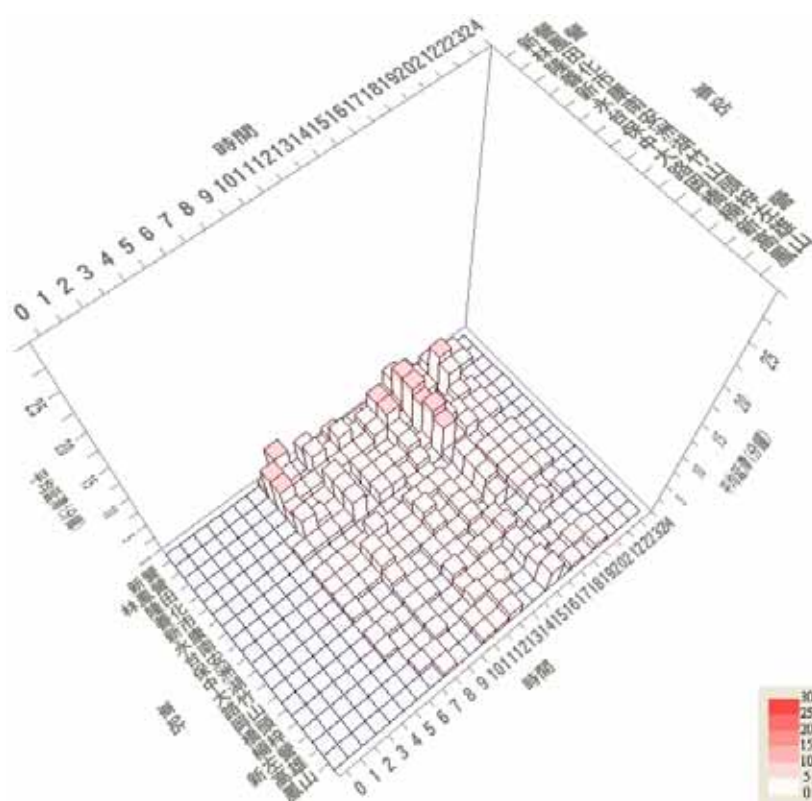


圖3-10 南部都會區平日對號車順行方向之累積延滯時空分布

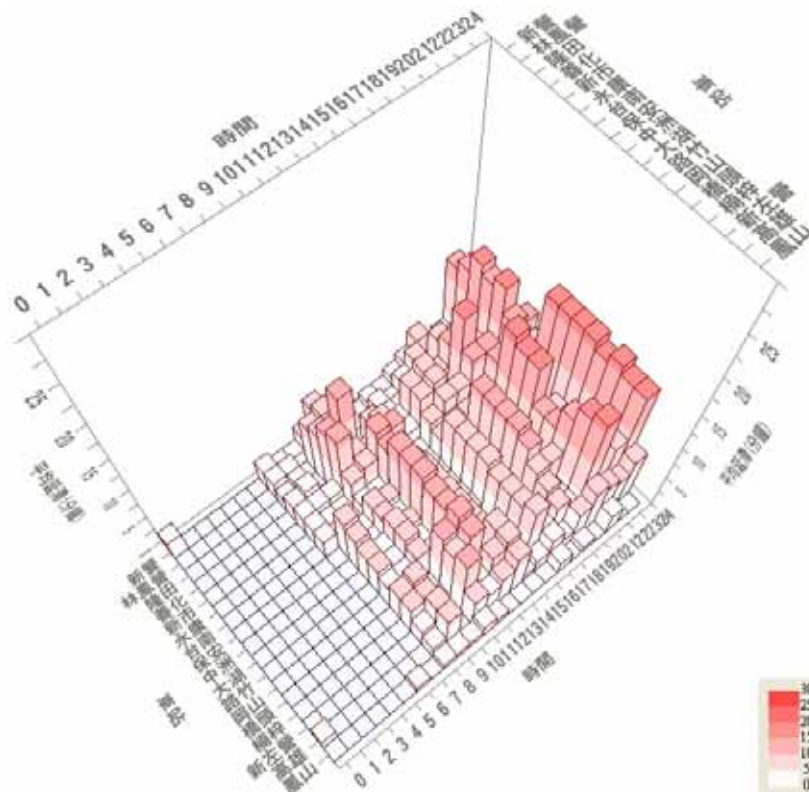


圖3-11 南部都會區平日對號車逆行方向之累積延滯時空分布

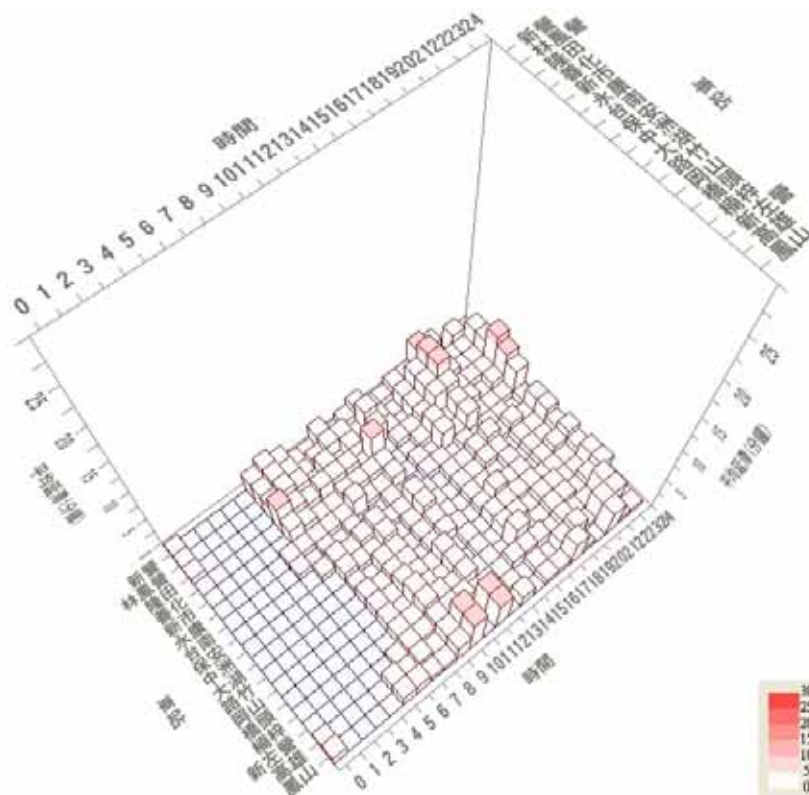


圖3-12 南部都會區平日非對號車順行方向之累積延滯時空分布

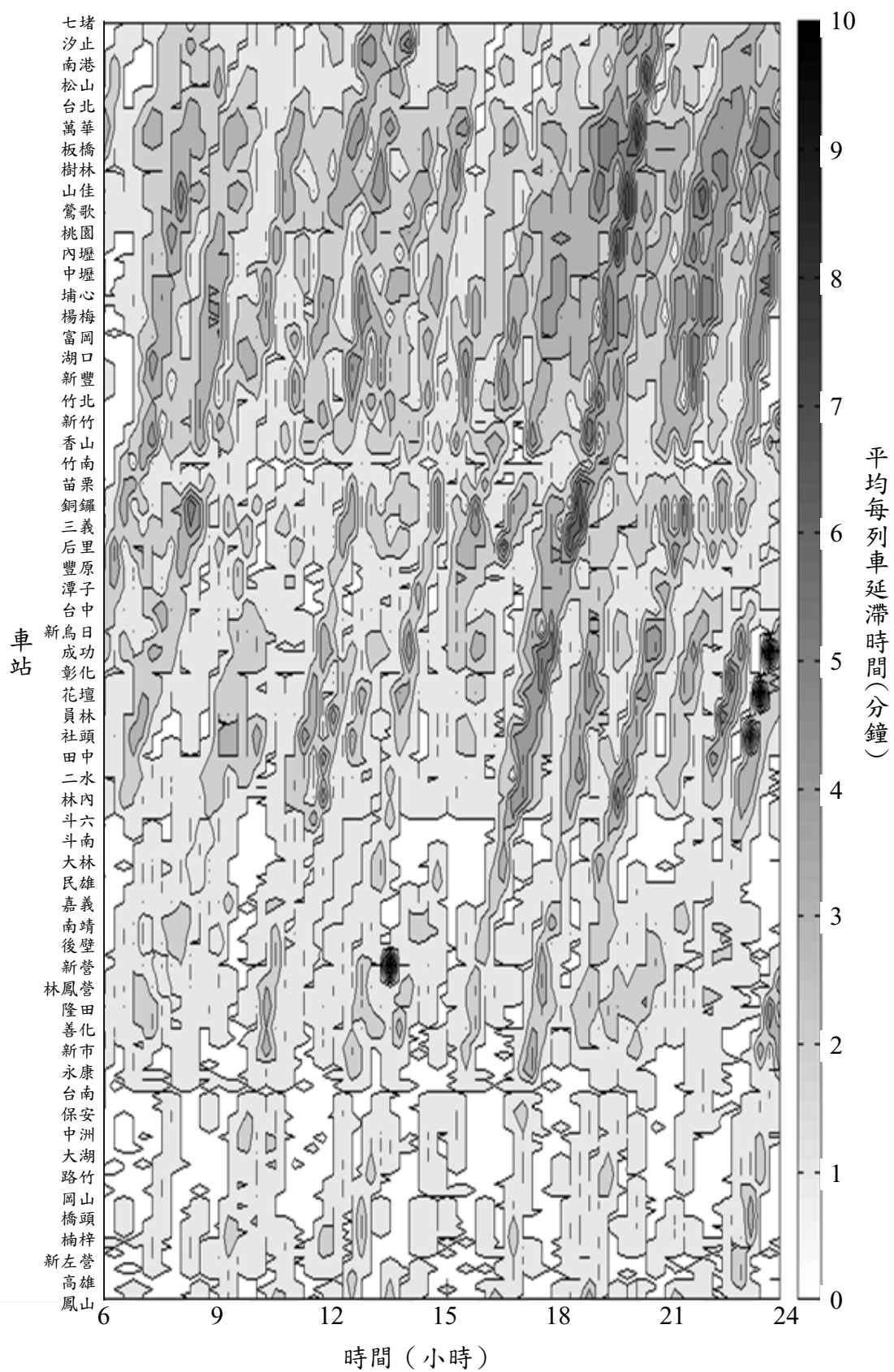


圖3-14 平日七堵—鳳山順行方向之平均延滯時空分布

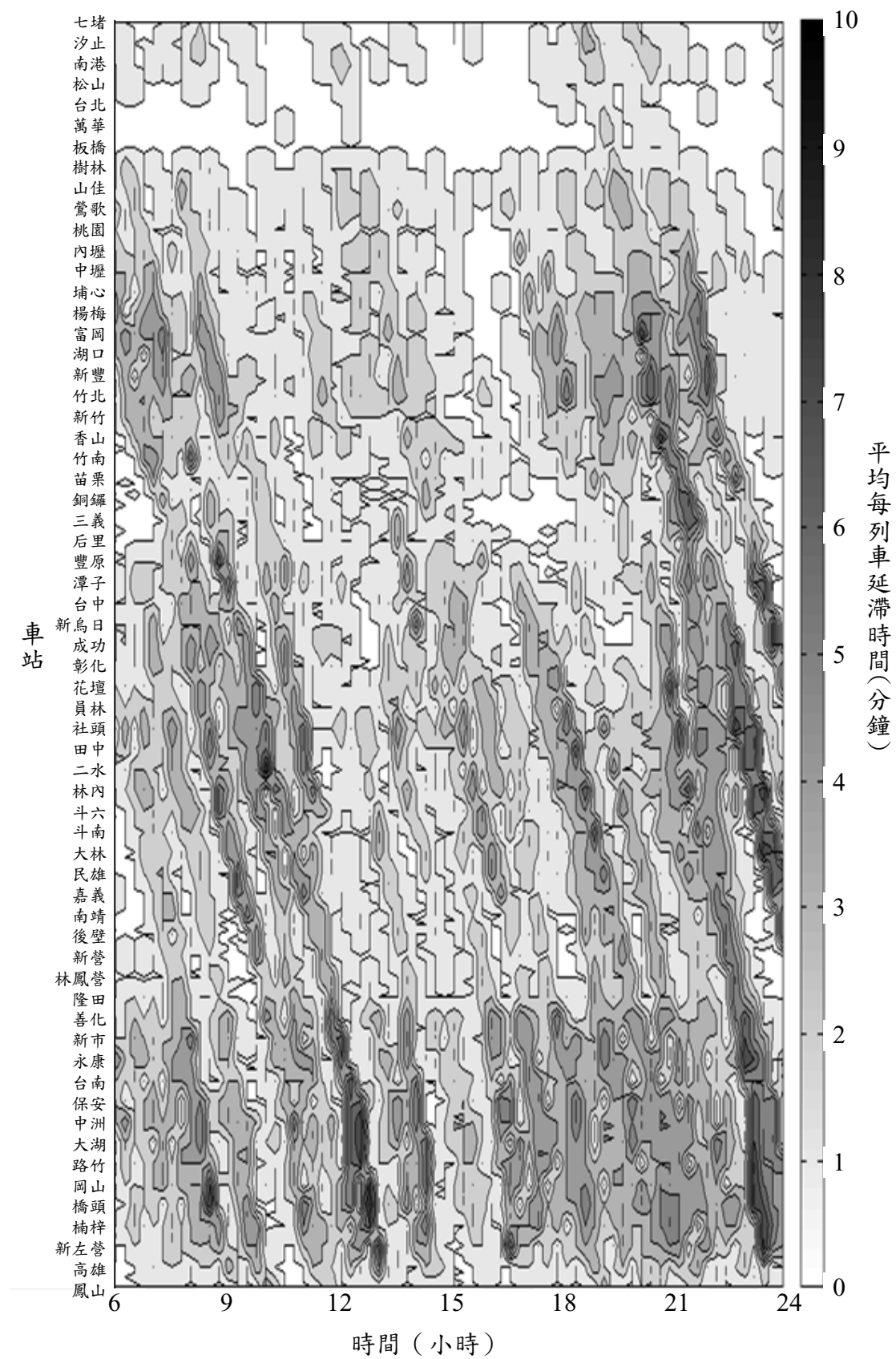


圖3-15 平日七堵—鳳山逆行方向之平均延滯時空分布

對於這些平均延滯較高的列車，可進一步探討其行經各車站的平均延滯情況。1032 次自強號的結果如圖 3-16，從后里站往前追溯可發現豐原后里、斗六林內、嘉義民雄，以及善化隆田是造成延滯較嚴重之區間，但其中列車行經善化隆田後便逐漸進行趕點，到了嘉義站已無延滯，而其他三個區間所造成的延滯則是不斷累積增加。

有關 101 次復興號於善化到新左營區間有較高延滯，從圖 3-17 可知，主要是列車行經板橋樹林間以及隆田善化間所造成，雖然列車從中壢到談文間也陸續發生延滯，但隨後便趕點回來。

從圖 3-18 中可發現 29 次莒光號在到達社頭站之前，雖然在東部幹線的玉里三民和花蓮新城間發生較大的延滯，但到達松山站時列車已經趕點讓平均延滯低於一定的水準，而之後延滯又逐漸開始增加，其中以樹林山佳、新竹香山和彰化花壇等三個區間最為嚴重。

而 1133 次自強號從永康站到新左營站有較高的延滯，由圖 3-19 可知最主要的原因之一為列車行經隆田善化間時所造成，而在隆田站之前，在汐止南港、竹南談文和苑裡日南等區間發生較高的延滯，列車也不時的進行趕點，但整體看來，延滯仍是有不斷增加的趨勢。

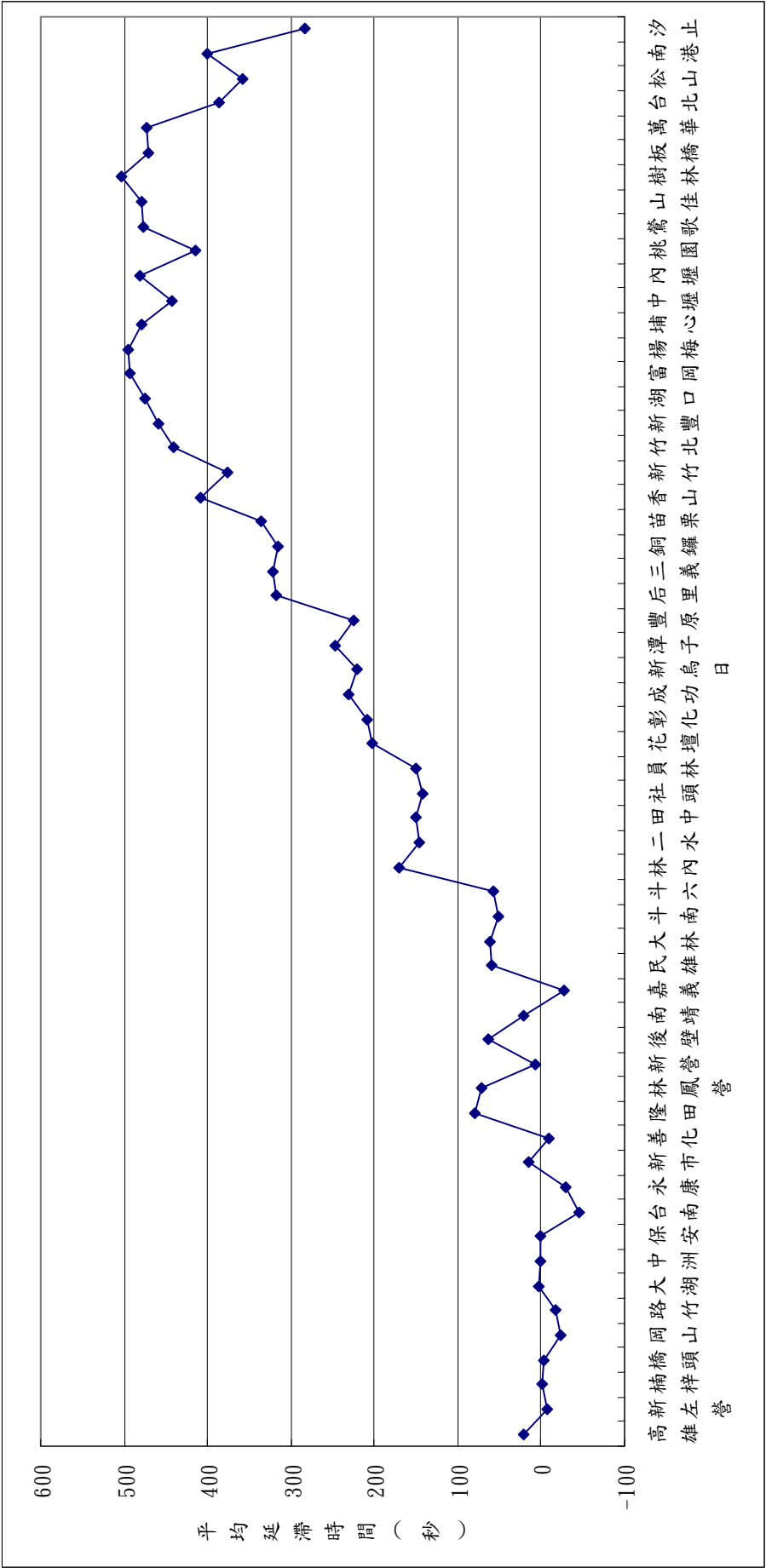


圖3-16 平日 1032 次自強號於各車站之平均延誤情形

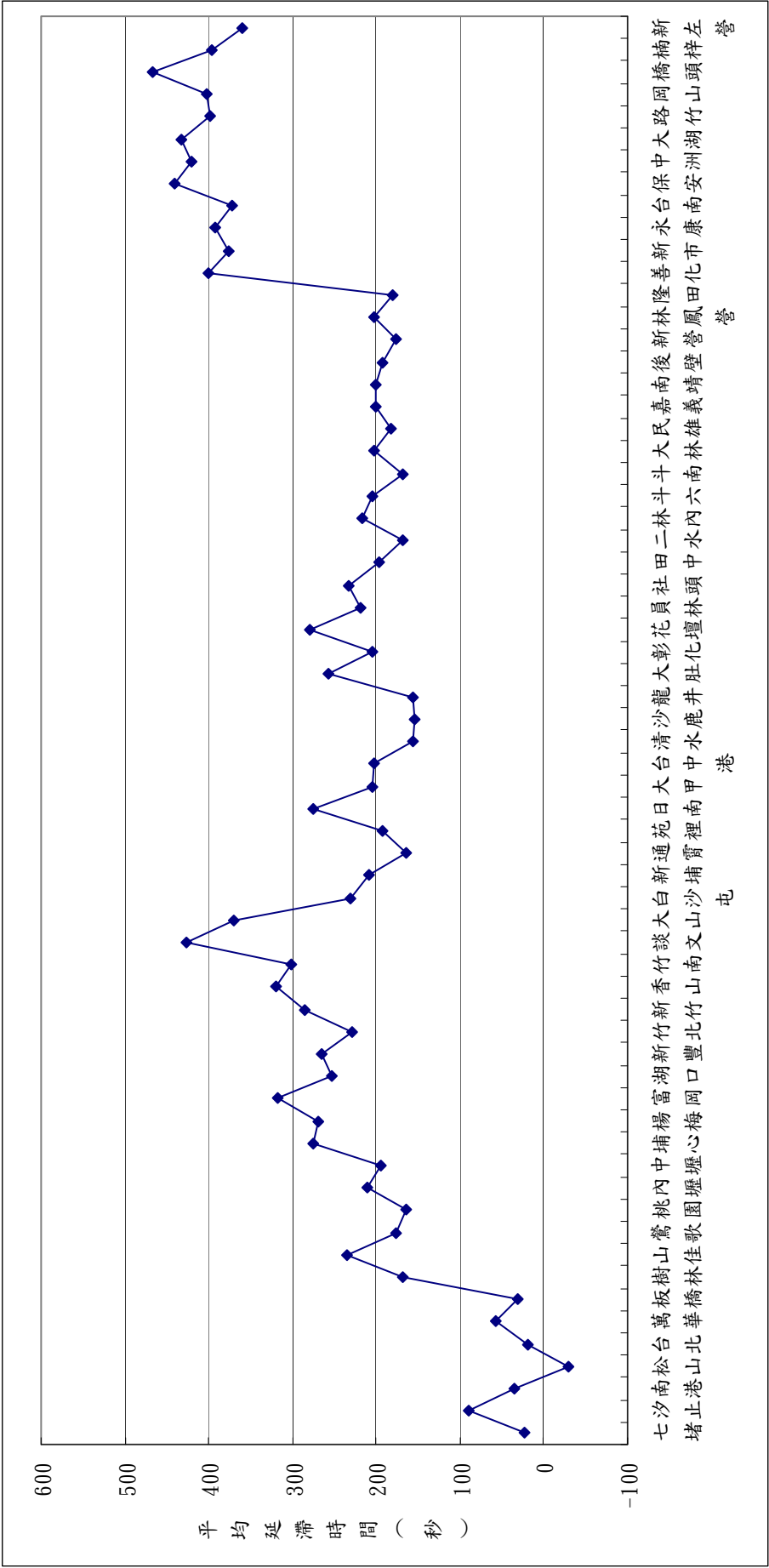


圖3-17 平日 101 次復興號於各車站之平均延誤情形

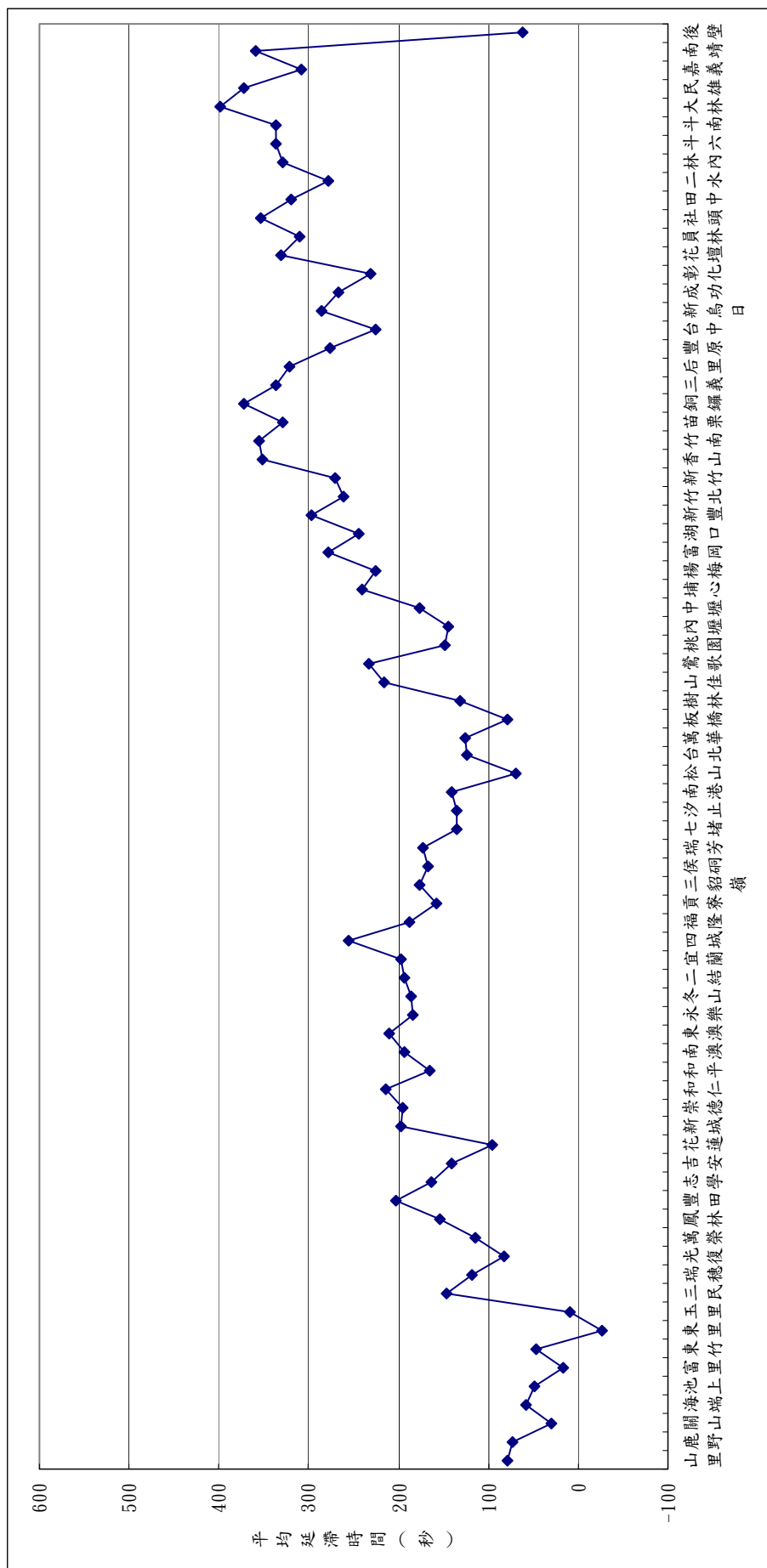


圖3-18 平日 29 次莒光號於各車站之平均延誤情形

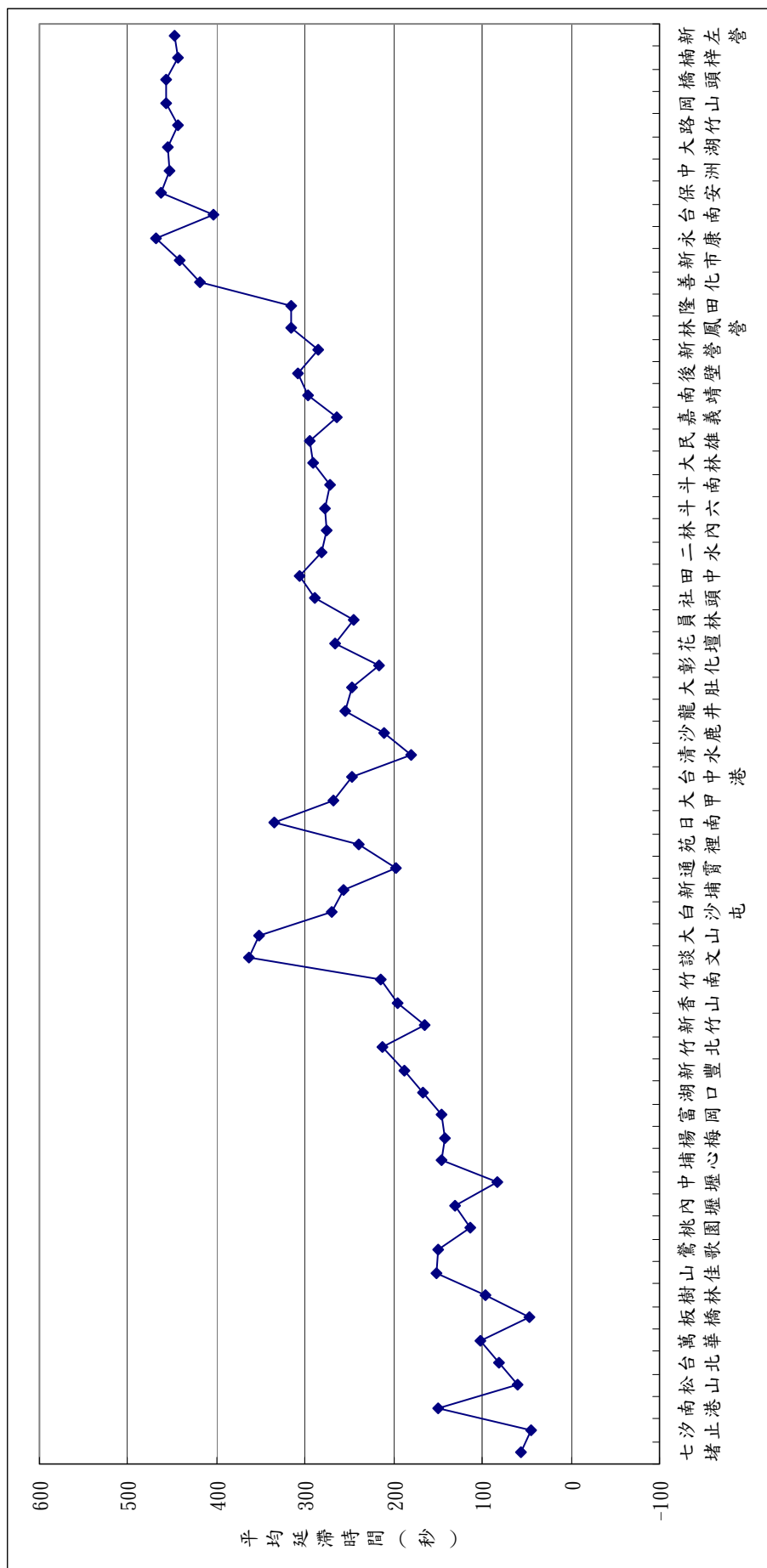


圖3-19 平日 1133 次自強號於各車站之平均延誤情形

3.3 假日列車延滯情形

3.3.1 三大都會區列車延滯時空分布

對於假日期間的時空分布情形，和平日期間一樣，以北、中、南等三大都會區分別說明，其中各都會區的時空劃分範圍和平日的劃分相同。

3.3.1.1 北部都會區

北部都會區對號車在順行方向延滯的分布如圖 3-20，較高的累積延滯發生在晚上 7 點到 8 點，隨著北上的方向，累積延滯逐漸增加，尤其在萬華最為嚴重；逆行方向較高的累積延滯則是分別發生在下午 5 點和晚上 8 點，如圖 3-21 所示，且延滯亦隨著南下的方向逐漸增加，從埔心以南開始有明顯較高的累積延滯。非對號車的累積延滯分布情況如圖 3-22 和圖 3-23，順行方向在晚上 6 點到 8 點的延滯較高，且隨北上方向遞增，直到松山南港累積延滯最高；而逆行方向延滯明顯較高是在晚上 8 點，其中最高的累積延滯是發生在楊梅。

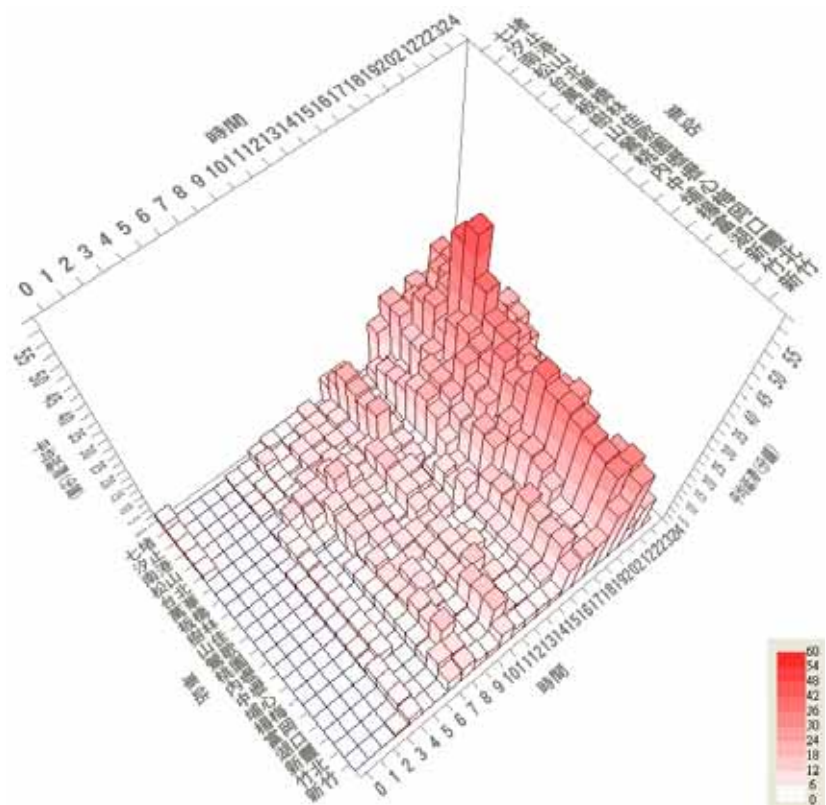


圖3-20 北部都會區假日對號車順行方向之累積延滯時空分布

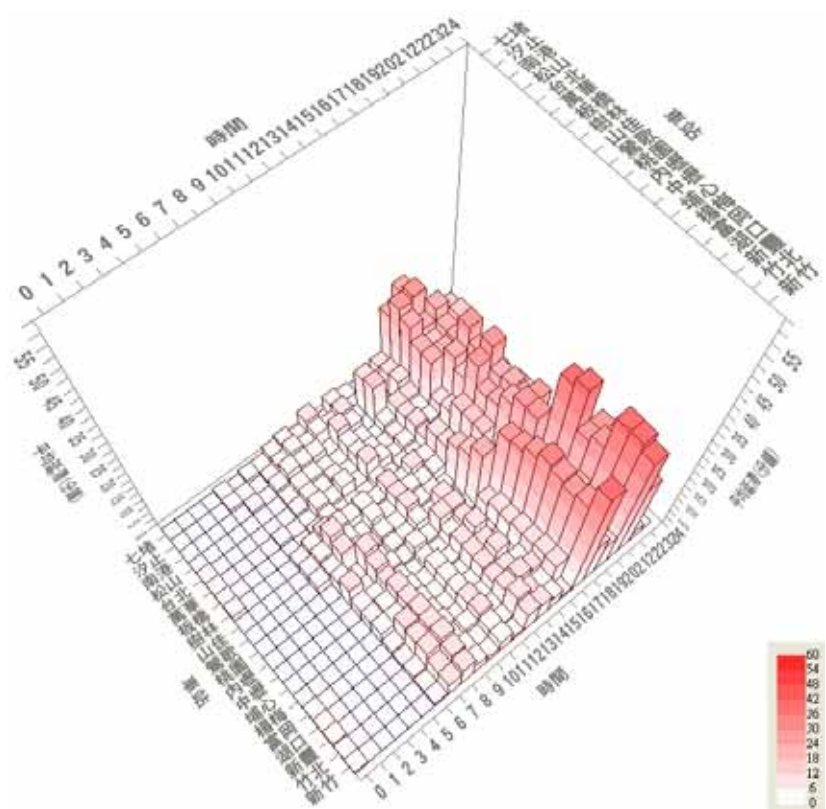


圖3-21 北部都會區假日對號車逆行方向之累積延滯時空分布

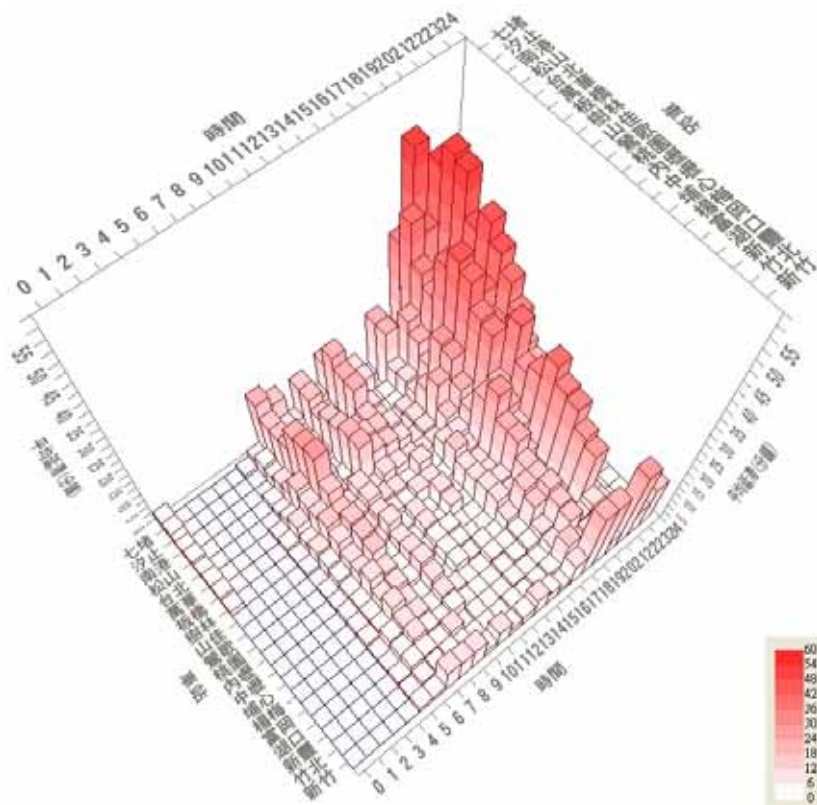


圖3-22 北部都會區假日非對號車順行方向之累積延滯時空分布

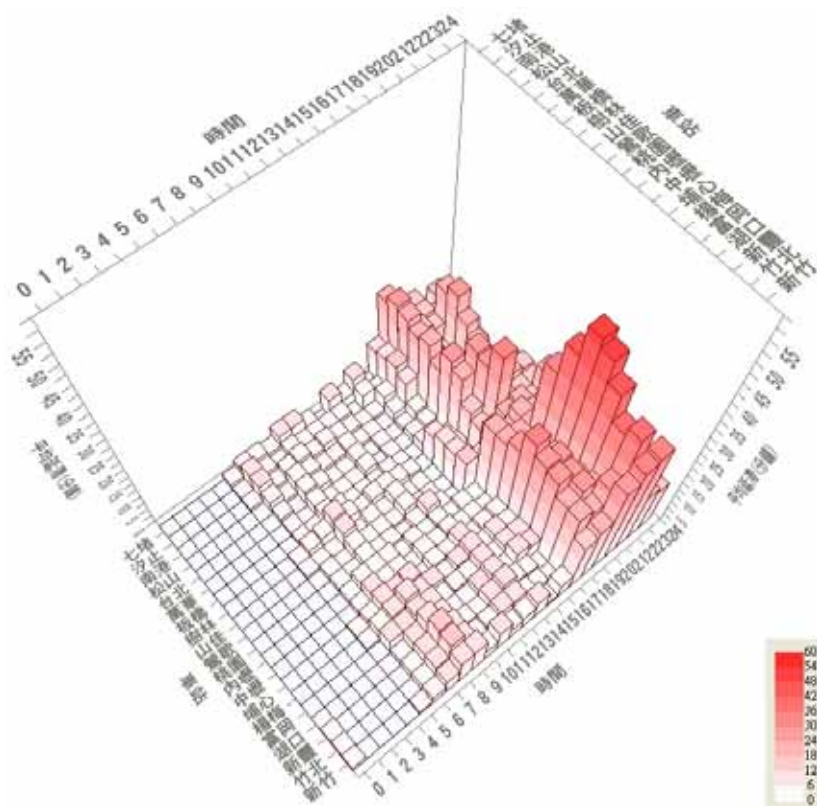


圖3-23 北部都會區假日非對號車逆行方向之累積延滯時空分布

3.3.1.2 中部都會區

中部都會區假日期間對號車的累積延滯分布如圖 3-24和圖 3-25，在順行方向的傍晚 5 點到 6 點有稍高的累積延滯，且苗栗到后里以及彰化到員林區間較為明顯；逆行方向較高的累積延滯則是發生在晚上 9 點左右，豐原到潭子間高於其他區間。非對號車方面的情況如圖 3-26 和圖 3-27，順行方向在下午 5 點以後各區間普遍發生稍高的累積延滯；在逆行方向也是在下午 5 點以後有稍高的延滯，但主要在新烏日到彰化區間。整體來說，中部都會區的累積延滯情況較北部都會區輕微許多。

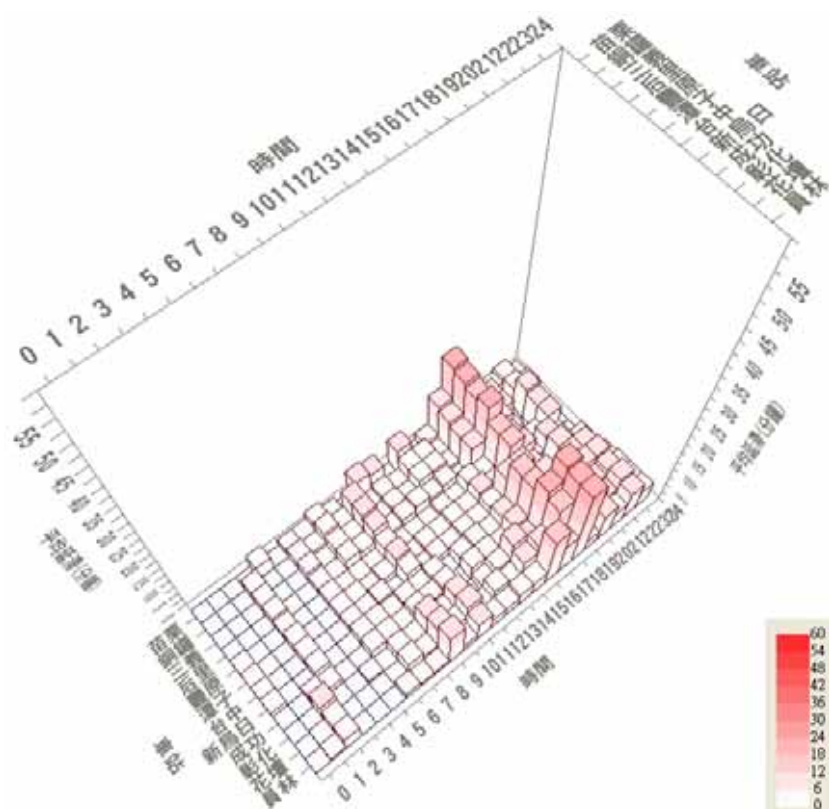


圖3-24 中部都會區假日對號車順行方向之累積延滯時空分布

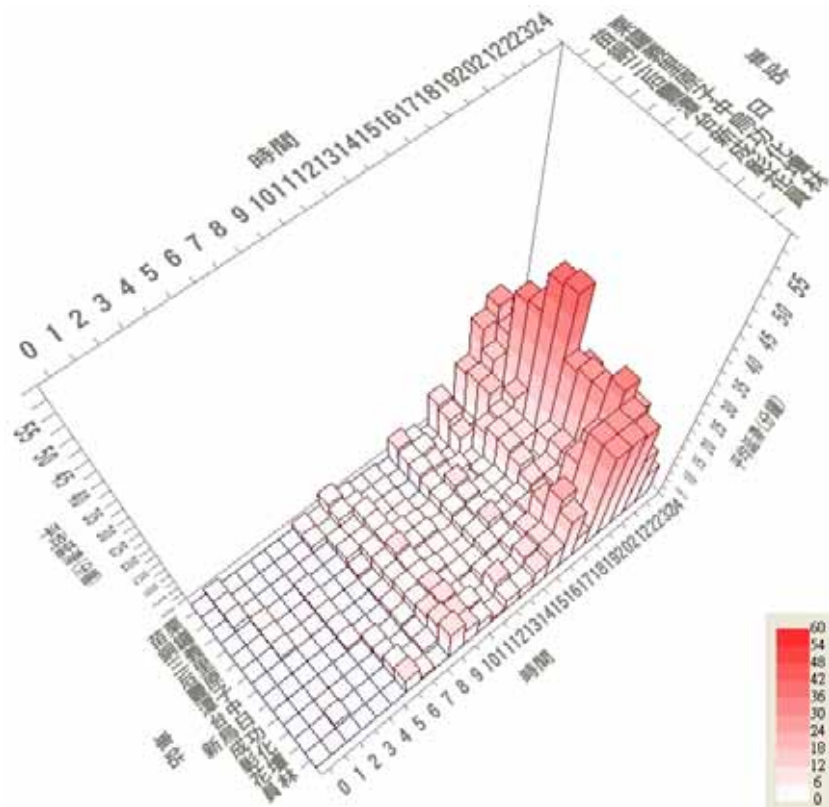


圖3-25 中部都會區假日對號車逆行方向之累積延滯時空分布

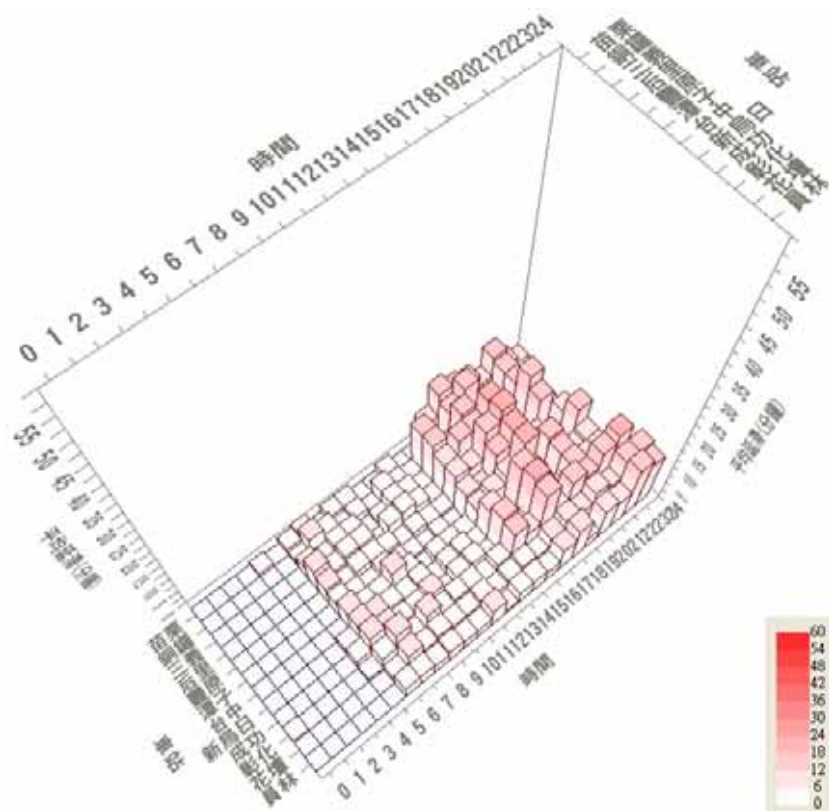


圖3-26 中部都會區假日非對號車順行方向之累積延滯時空分布

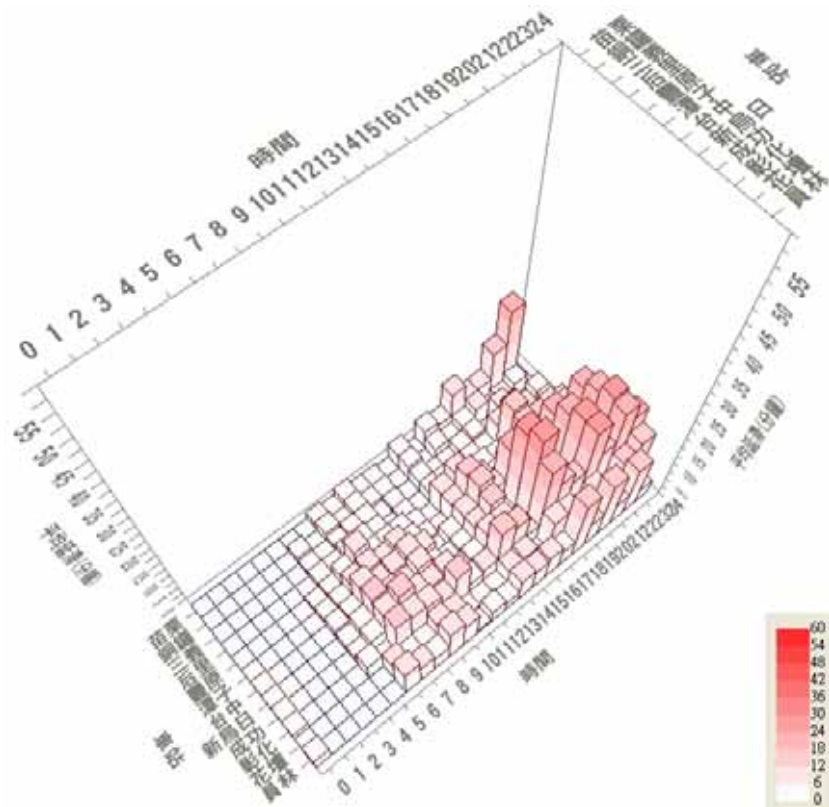


圖3-27 中部都會區假日非對號車逆行方向之累積延滯時空分布

3.3.1.3 南部都會區

圖 3-28和圖 3-29為南部都會區對號列車在假日期間的延滯分布狀況，在順行方面，累積延滯隨著順行方些微增加，但尚未發生重大的延滯；而逆行方面，晚上 9 點到 10 點的延滯較高，其中又以新市和新左營較為嚴重。而非對號車的延滯分布如圖 3-30和圖 3-31，順行方向無明顯較高的累積延滯；逆行方向則是下午 5 點開始，善化到新左營區間有較高的延滯。

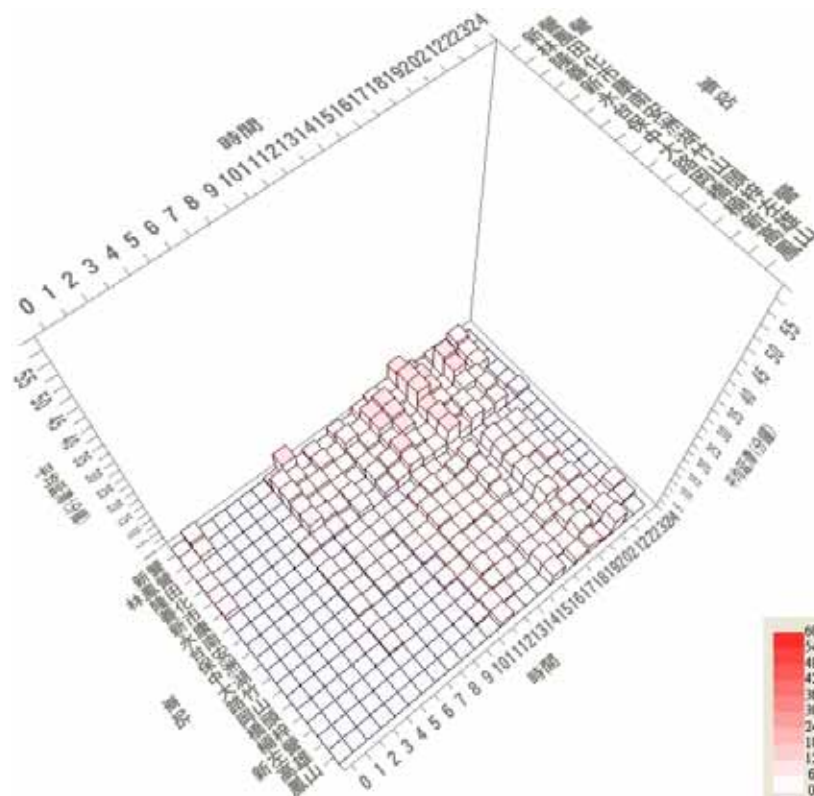


圖3-28 南部都會區假日對號車順行方向之累積延滯時空分布

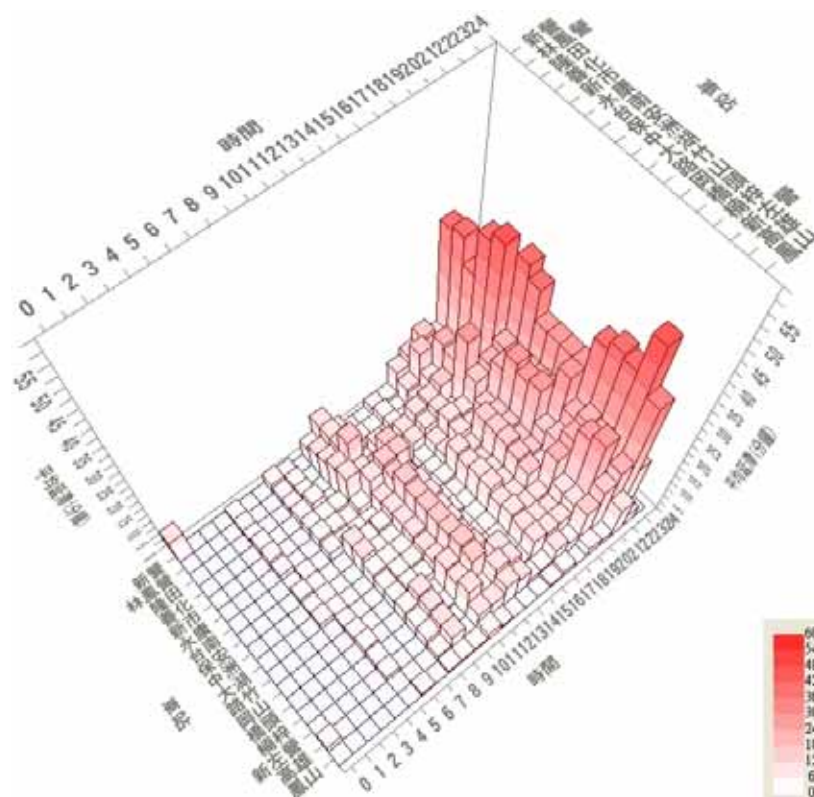


圖3-29 南部都會區假日對號車逆行方向之累積延滯時空分布

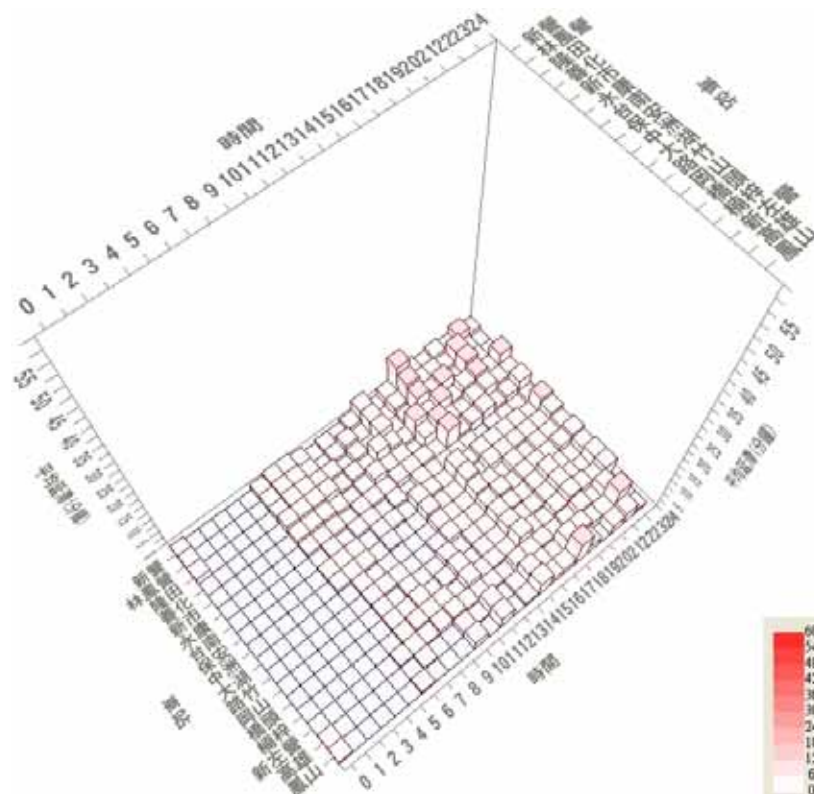


圖3-30 南部都會區假日非對號車順行方向之累積延滯時空分布

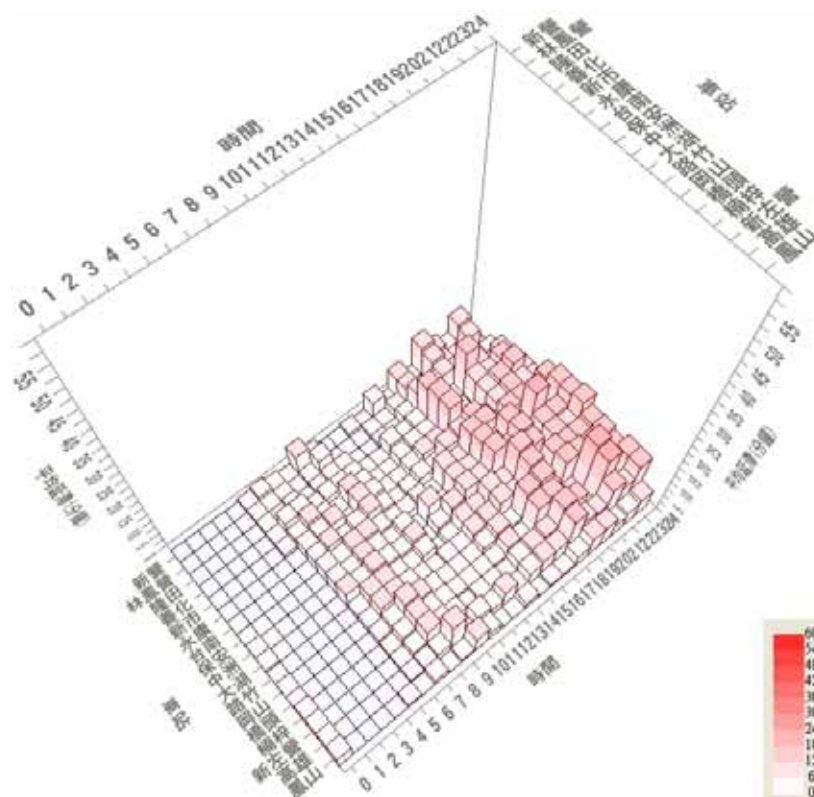


圖3-31 南部都會區假日非對號車逆行方向之累積延滯時空分布

3.3.2 列車行經各車站之延滯情形

進一步以 15 分鐘為時間單位，分析每列車平均延滯的時空分布情形，結果如圖 3-32和圖 3-33所示。在圖 3-32中有數條平均延滯較高的廊帶，其中最為嚴重的是從 20 點左右的中壢站開始往北延伸，到 21 點左右的汐止站，完全經過此廊帶的列車有 112 次復興號和 24 次莒光號。而在圖 3-33中的延滯情況更為嚴重，其中 20 點左右從中壢站開始，有大範圍平均延滯嚴重的區域，牽涉的列車數眾多，經研判主要應是受到最一開始在 20 點左右行經中壢站之列車的影響，包含 29 次莒光號、1043 次自強號以及 1045 次自強號。

關於這些列車行經各車站的平均延滯情況，結果如圖 3-34～圖 3-38。首先在順行方向，圖 3-34為 112 次復興號行經各車站的延誤情形，在進入平均延滯最嚴重的廊帶以前，列車在臺南永康和斗六林內區間發生較明顯之延滯，而在林內之後平均延滯時間便一直居高不下。另外一列行經此廊帶的列車為 24 次莒光號，從圖 3-35可發現此列車從出發站開始，雖然列車在部分區間進行趕點，但還不足以恢復在其他區間發生的延滯量，使得整體之平均延滯時間呈現增加的趨勢，其中又以列車行經臺南永康、斗六林內、豐原后里，與新竹竹北等區間所發生的延滯較為嚴重。

在逆行方向方面，圖 3-36顯示玉里三民、花蓮崇德、樹林山佳和內壢埔心等區間，是導致 29 次莒光號延滯嚴重的主要區間。而有關 1043 次和 1045 次自強號兩列車，其差異在於：1043 次列車僅在週五行駛，以七堵為始發站；1045 次列車僅在週日行駛，以花蓮為始發站，但在七堵站之後兩列車的班表相同，因此從圖 3-37和圖 3-38可發現在七堵之後，兩列車行經各車站的延誤情形相似，導致平均延滯增加的主要區間為七堵汐止和板橋樹林兩區間。

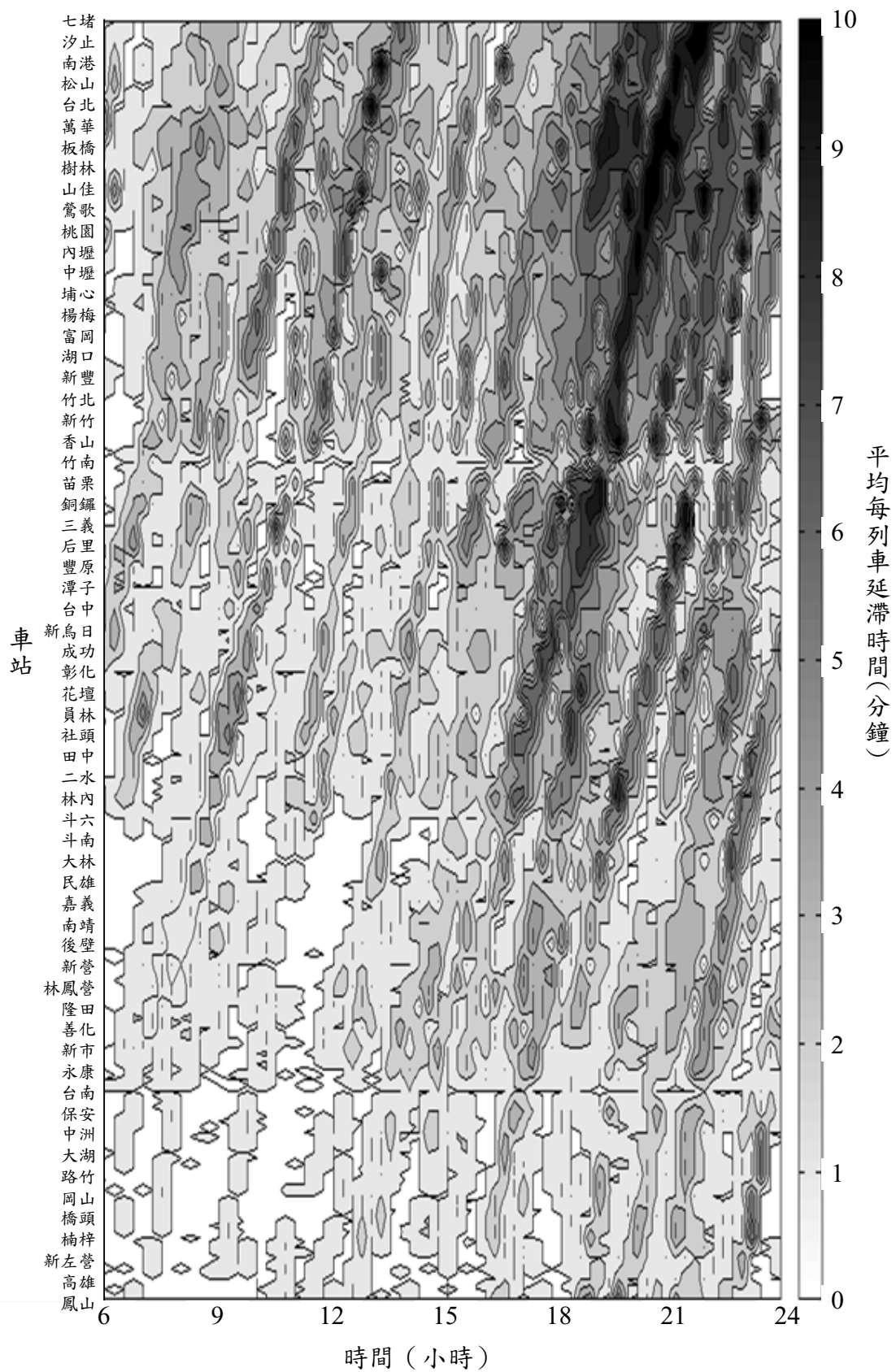


圖3-32 假日七堵－鳳山順行方向之延滯時空分布

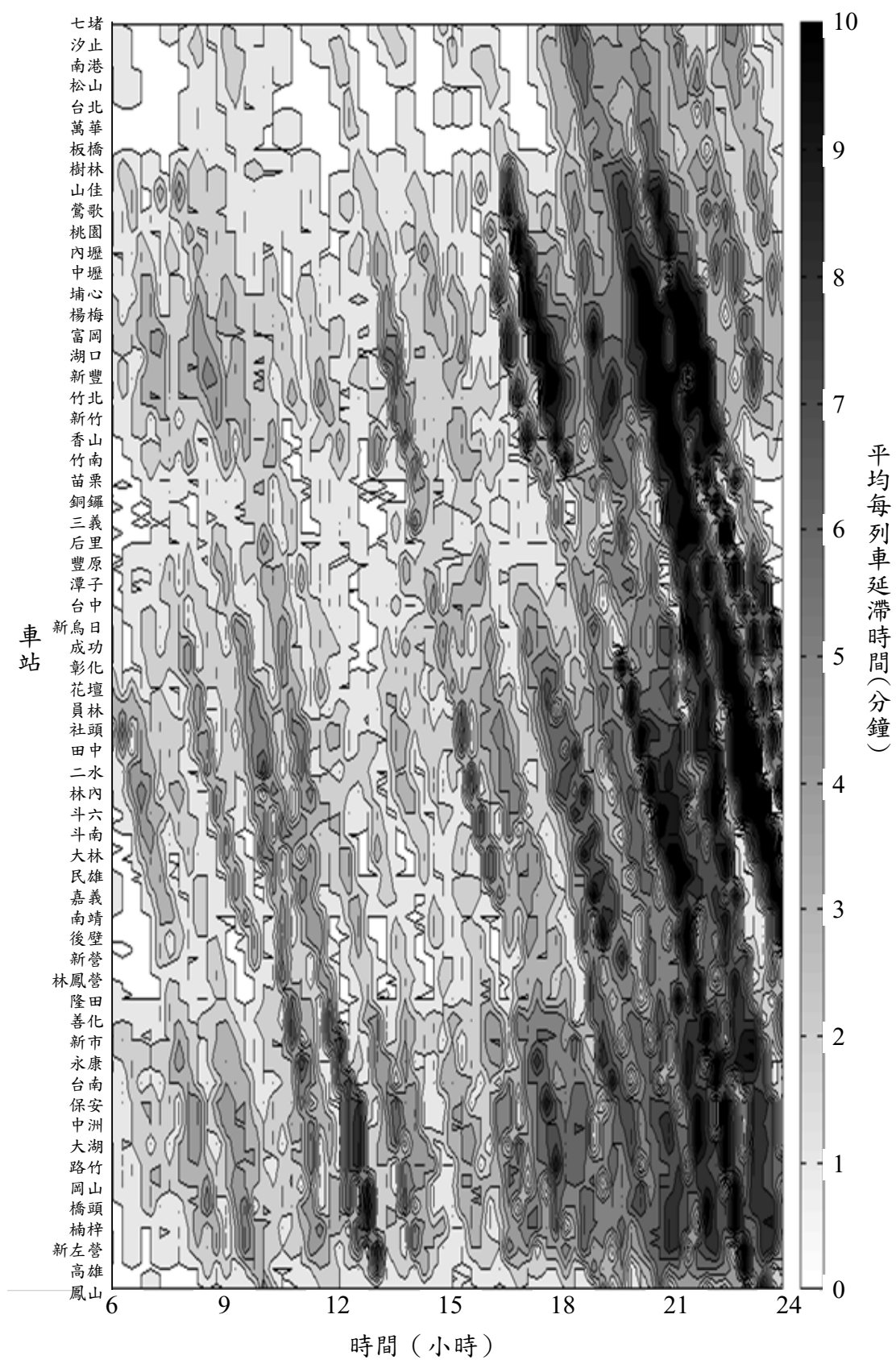


圖3-33 假日七堵－鳳山逆行方向之延滯時空分布

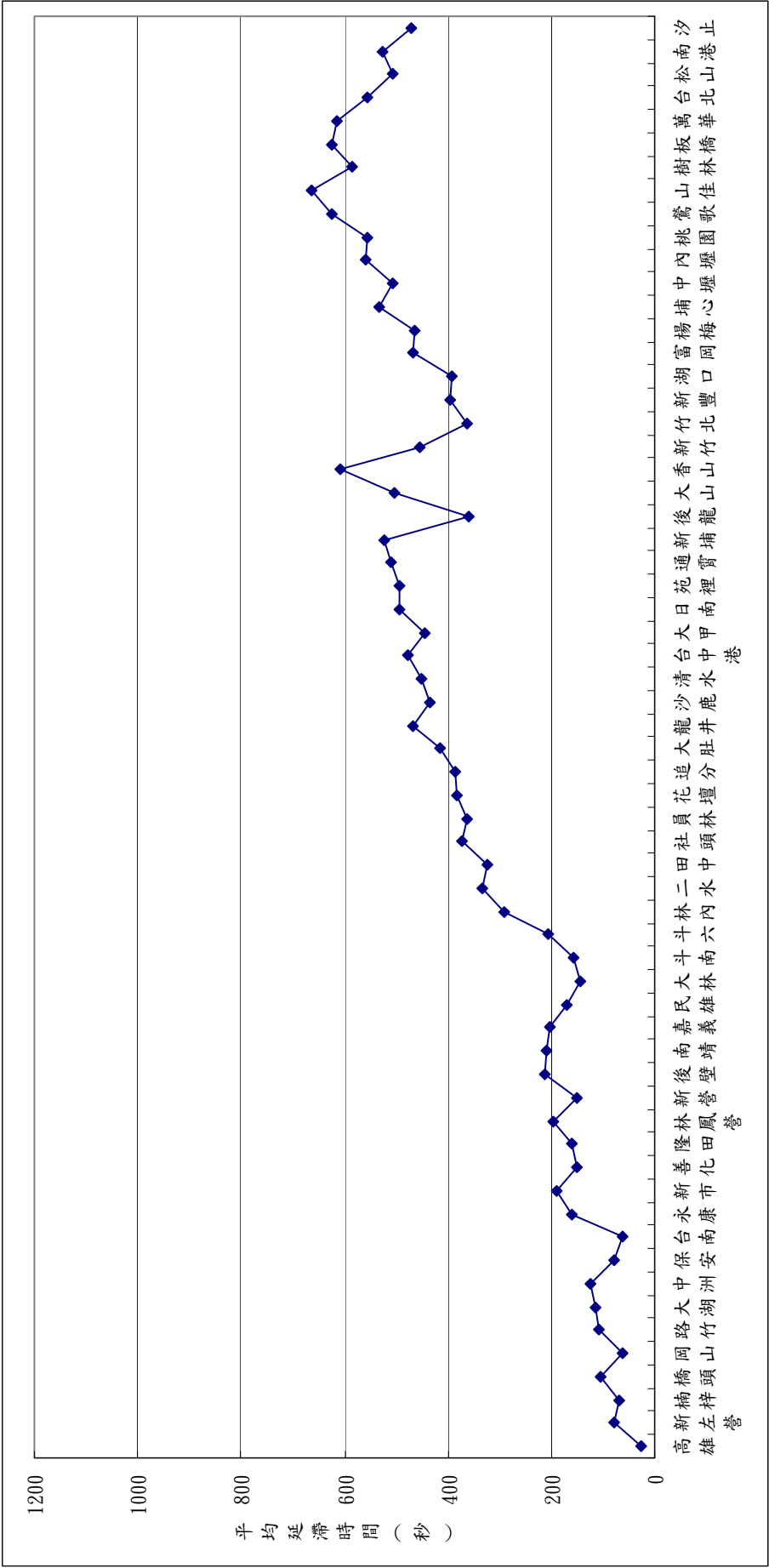


圖3-34 假日 112 次復興號於各車站之平均延誤情形

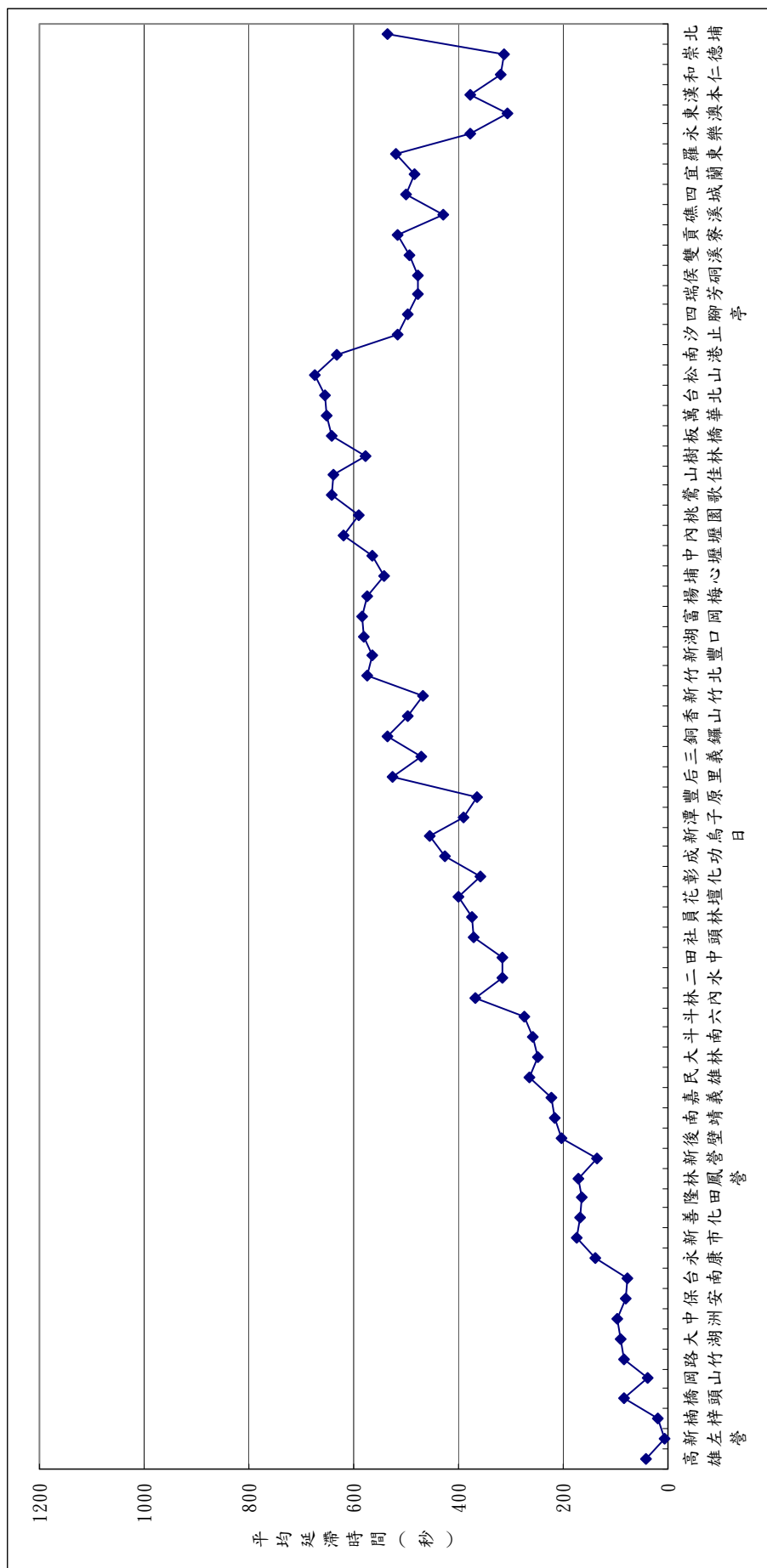


圖3-35 假日 24 次莒光號於各車站之平均延誤情形

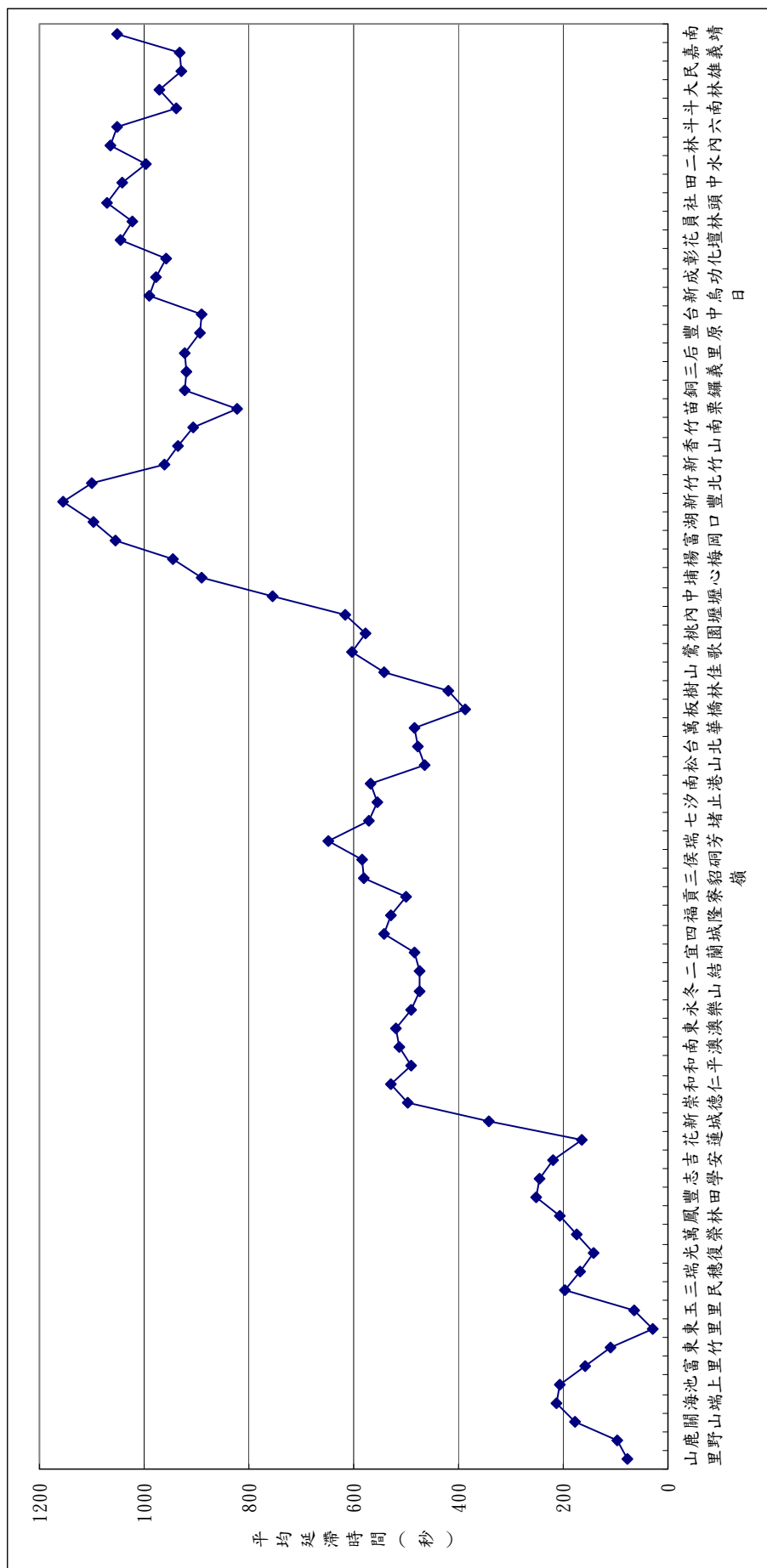


圖3-36 假日 29 次莒光號於各車站之平均延誤情形

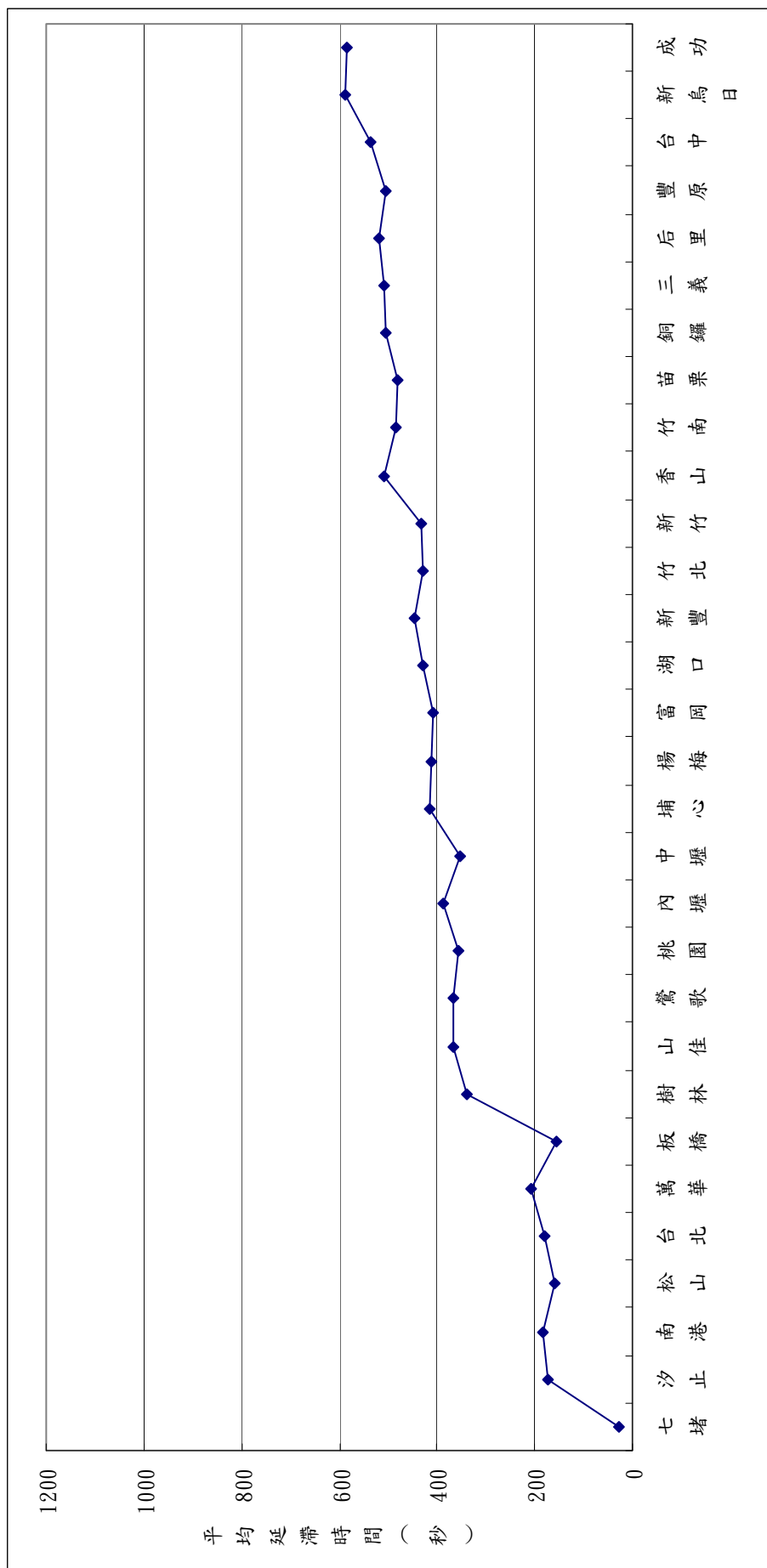


圖3-37 假日 1043 次自強號於各車站之平均延誤情形

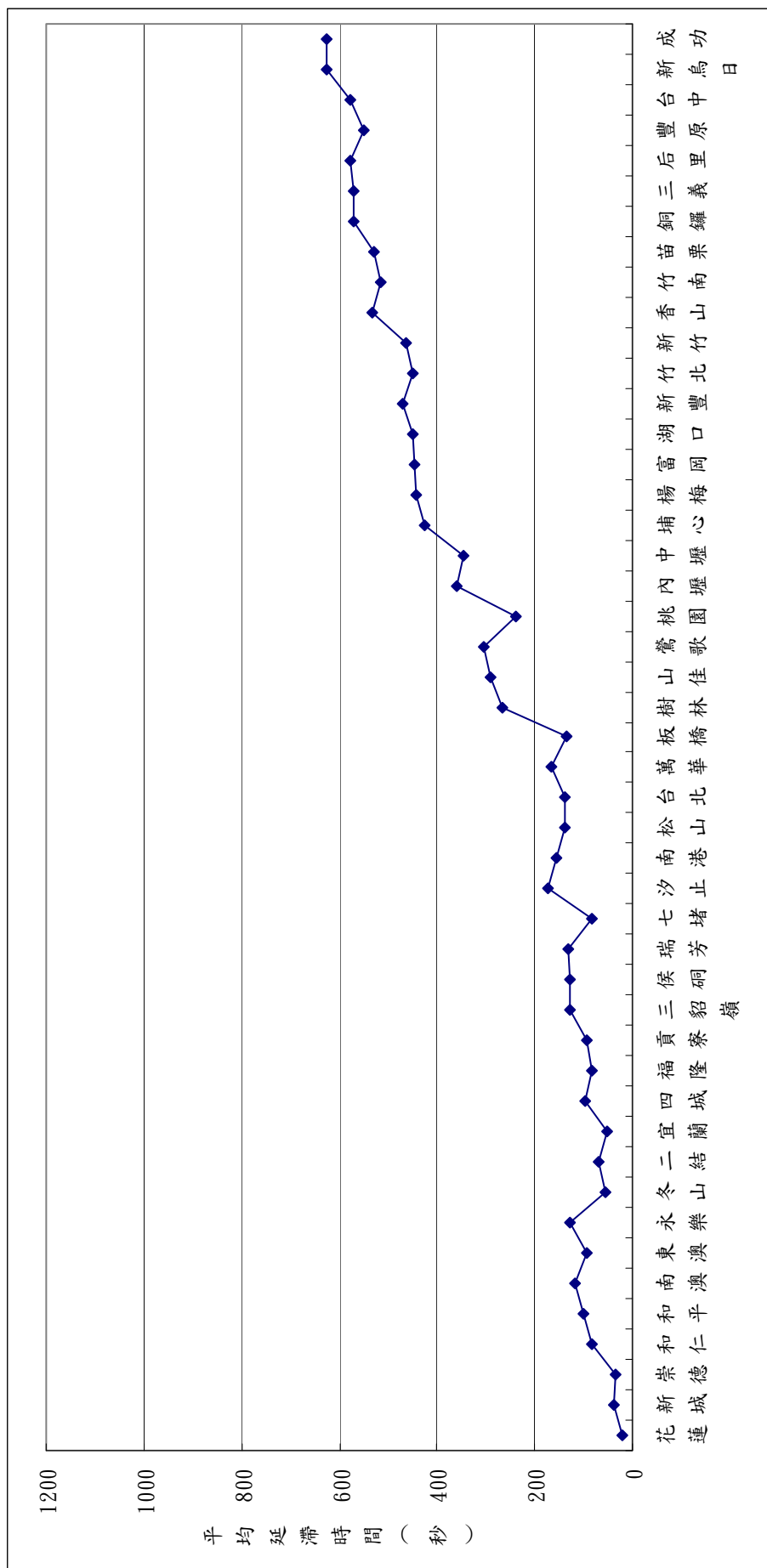


圖3-38 假日 1045 次自強號於各車站之平均延誤情形

3.4 特殊事件列車延滯情形

根據中央氣象局的資料，在今年（民國 99 年）3 月 4 日早上 8 點 18 分發生一起芮氏規模 6.4 之地震，震央在高雄甲仙地震站東南方 17.1 公里處，震度最高發生在嘉義縣大埔鄉和臺南縣楠西鄉，震度高達 6 級，該地震亦對行經嘉義和臺南的臺鐵列車造成衝擊，透過列車延滯時空分布圖可清楚了解其影響以及延滯擴散的效應。

圖 3-39 為 3 月 4 日對號列車在西部幹線北上方向之列車延滯時空分布，在早上 8 點 15 分～8 點 30 分間，於善化站開始有較高之延滯，且該延滯隨著時間往北上方向延伸，延滯在最初時快速的增加，之後雖有減少的趨勢，但幅度有限。非對號車北上方向之結果如圖 3-40，在相同的時間與地點附近開始發生較高的延滯，並且往北上方向快速增加，但從嘉義站之後，則逐漸恢復正常，可能是部分非對號車的終點站為嘉義站，因此延滯得以逐漸削減。

而在西部幹線的逆行方向，圖 3-41 和圖 3-42 分別對號車和非對號車之延滯時空分布情形，在早上 8 點 15 分～8 點 30 分間，於嘉義站開始有較高之延滯，之後延滯隨時間往南下方向逐漸增加，對號車之延滯在高雄站之後迅速減少，主要原因可能也是因為大多數的對號列車以高雄站為終點，使得延滯不再累積，且高雄站之後的列車流量較低，讓列車有趕點的空間。同樣的原因，由於部分非對號車之終點站為臺南站，因此可發現圖 3-42，有部分非對號車之延滯在臺南站之後便不再累積。

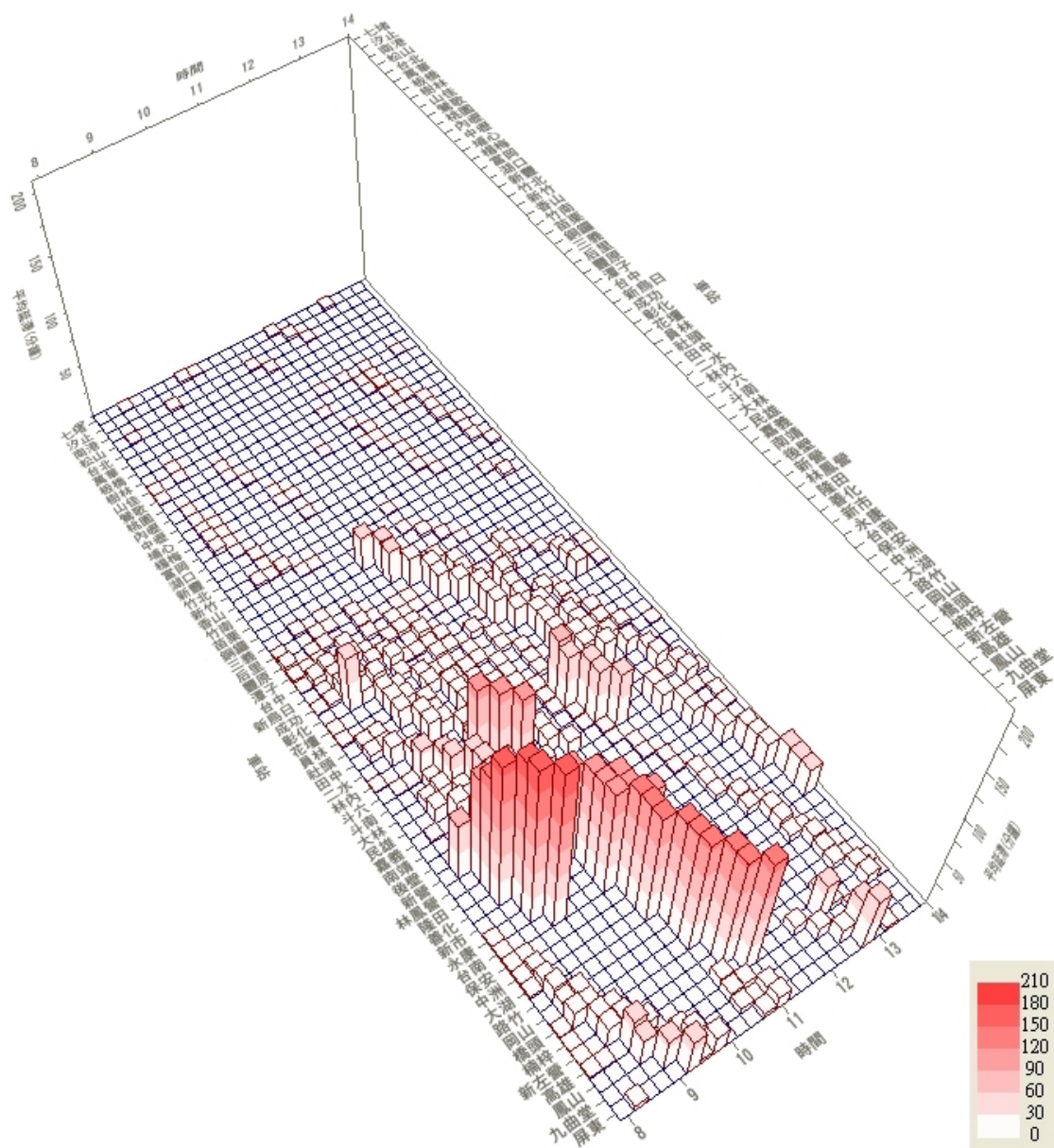


圖3-42 3月4日西部幹線非對號車逆行方向之累積延滯時空分布

3.5 小結

綜整以上分析結果，從時間的角度來看，大致上列車在平日的上下午尖峰期間有較長的延滯時間，且下午的延滯情況大多比上午嚴重，而假日則是只有下午有較長延滯，且延滯的情況通常比平日還嚴重。而從空間的角度來看，北部都會區的延滯情況最為嚴重，中南部則較為輕微，此外，北部和南部有明顯的方向性區別，主要原因可能

在於北部多為逆行列車之起點和順行列車之終點，因此逆行列車在北部尚未發生較高之延滯，而順行列車到了北部已經累積了不少延滯，而南部則相反。

當地震發生時，可發現在震央附近，列車的延滯快速增加，並隨時間向外累積擴散，若沒有其他條件（如到達終點站），列車雖可趕點以減少延滯，但幅度有限，主要原因在於當地震發生後，依規定駕駛員必須進行「巡軌」的動作，以確保軌道沒有受到地震的破壞，所以不可能有大幅的趕點。

本研究亦針對平均延滯較高的時空廊帶中之列車，進一步分析其行經各車站之延滯情形，發現造成列車延滯量增加通常集中在某些區間，例如在順行方向的臺南到永康、斗六到林內、豐原到后里等區間，以及逆行方向的板橋到山佳、隆田到善化等區間。

從延滯時空分布圖中，可清楚看出列車延滯較為嚴重的時段和區間，以及延滯累積增加或擴散削減的現象，但卻難以釐清其原因，僅能根據分析結果推測可能是因為尖鋒時間旅客量多或是列車流量高，所以導致延滯時間較高。此外，若有所有列車的延滯原因資料，進而篩選出次要延滯資料，則可根據次要延滯發生的時間地點計算列車流量，進一步分析列車流量與平均延滯時間之關係。

然而目前臺鐵僅針對各級對號列車記錄其延滯原因，因此較難探討列車與列車之間交互影響下造成的延滯情況，但仍能利用該資料進行原因分析，在下一章中，將根據臺鐵對號列車的延滯原因紀錄，對延滯原因進行探討。

第四章 臺鐵對號列車延滯原因分析

過去無論是研究單位或軌道營運單位，對於列車延滯原因的分析，皆僅以各項延滯原因造成的總延滯時間，來比較各延滯原因對可靠度影響的嚴重程度，但不同的延滯原因有其發生機率與嚴重性（即延滯時間長短）的差異，為了能同時探討此兩因素，本研究引入風險管理的觀念進行延滯原因分析。本章4.1節先說明資料的蒐集與分析方法，之後4.2節對各項延滯原因風險分析結果，而第4.3～4.6節則針對風險較高的原因作進一步的探討，最後4.7節提出結論。

4.1 資料蒐集整理與分析方法

列車延滯原因分析所採用的資料為臺鐵的「主要列車延誤概況日報表」，其格式如表 4.1 所示，由調度員填寫，該表係針對各級對號列車，即臺鐵的自強號、莒光號、復興號與觀光列車，當列車到達終點站延誤 6 分鐘以上時，才會在延誤概況欄中紀錄其延誤原因、發生地點與延誤時間，延誤時間的單位為分鐘。

表4.1 臺鐵主要列車延誤概況日報表範例

交通部台灣鐵路管理局						
主要列車延誤概況表						
(4)	中華民國 99 年 3 月 6 日 星期六			綜合調度所		調度員
車種	車次	經由	起迄站	起站	延誤概況	到站
(東) 莒	57		樹林=台東	0		0
	59		樹林=花蓮	0	旅客:松山1八堵1瑞芳1宜蘭1羅東1計(5)。慢行:侯硐=三貂嶺1漢本1和仁=崇德1計(3)	8
	63		樹林=台東	0		0
	65		樹林=花蓮	0		0
	67		花蓮=台東	0		0
	69		樹林=花蓮	0	崇德↔1091(7)。 11:漢本(1)	8
	54		花蓮=樹林	0		0

臺鐵將延誤原因共分為 15 類，詳見表 4.2 之說明，由於「其他」類原因包含其餘各種可能造成列車延滯的因素，不易再深入探討，因此在本研究中不納入考量，僅就 14 類延滯原因進行分析。

表4.2 臺鐵主要列車延滯原因分類表

原因類型	說明
交會	為避免兩對向列車於路線上發生衝突，使得某一系列車需等候另一列車離開衝突區間後方能通過，進而造成延滯。
待避	兩同向列車於路線上發生追越待避情形，導致某一系列車需等候另一列車追越後方能通過，進而造成延滯。
旅客	因車站內旅客數量過多，導致無法於表訂停站時間內完成旅客上下車的作業，迫使列車增加停站時間而造成延滯。
路塞	列車受到其先行列車發生延誤的影響而導致延滯。
行包	部分列車除了載運旅客之外，尚需承載貨物，當貨物量較多，導致無法於表定停站時間內完成搬運任務，迫使列車增加停站時間而造成延滯。
慢行	當列車通過施工區域，為確保人車安全必須要求列車減速，因列車無法按原訂速度行駛而導致延滯。
調車	因突發狀況導致非預期的調車作業進而造成延滯。
編組	列車於某趟任務結束後，經過一段整備時間會繼續執行下一趟任務，若先行任務發生延滯，則會連帶造成接續任務延滯。
號誌	因號誌系統異常進而造成延滯。
ATP	因 ATP 系統異常進而造成延滯。
行慢	因列車動力系統異常導致列車無法正常出力進而導致延滯。
車輛故障	因機故、機修、客修、電故等車輛故障而導致延滯。
天候環境	因大雨、地震等天然災害導致列車必須停駛或減速行駛而導致延滯。
事故	因平交道事故、死傷事故等因素而導致列車延滯。
其他	其他不屬於上述分類的延滯原因。

資料來源：臺灣鐵路管理局

本分析利用風險管理（Risk Management）的概念，將延滯原因影響可靠度的程度加以量化。風險管理能有系統的發現潛在風險，並分析評估可能帶來的影響，其中對於風險的評估是考量事件發生的頻率（或機率）以及其造成損失的嚴重性，數學式可表示為式(4.1)，而本研究便是將列車因故發生延滯當作事件，透過此數量化的方式，對各項延滯原因做進一步的比較與探討。

$$R = F \times S \quad (4.1)$$

式中： R =風險

F =發生頻率

S =嚴重程度

「主要列車延誤概況日報表」係由人工填寫，雖然列車延滯原因有統一的分類，但其紀錄格式卻因人而異，因此後續的資料整理工作較為繁雜，以致於無法像 CTC 紀錄一樣可在研究時程之內迅速蒐集整理 4 個月的資料，所以本研究僅根據民國 99 年 2 月 22 日到 3 月 25 日期間的資料，進行臺鐵對號列車延滯原因分析，首先分析各項延滯原因的風險，之後再對其中風險較高的原因作更深入的分析，相關內容於以下章節說明。

4.2 各項延滯原因的風險分析

從臺鐵「主要列車延誤概況表」中可統計出各項延滯原因的總發生次數以及所造成的總延滯時間，由下式計算各項延滯原因的嚴重程度，其結果如圖 4-1，嚴重程度前三名的延滯原因為「事故」、「天候環境」和「車輛故障」。

$$S_r = \frac{T_r}{N_r} \quad (4.2)$$

式中： S_r =第 r 種原因的嚴重程度

T_r =第 r 種原因造成的總延滯時間

N_r =第 r 種原因的總發生次數

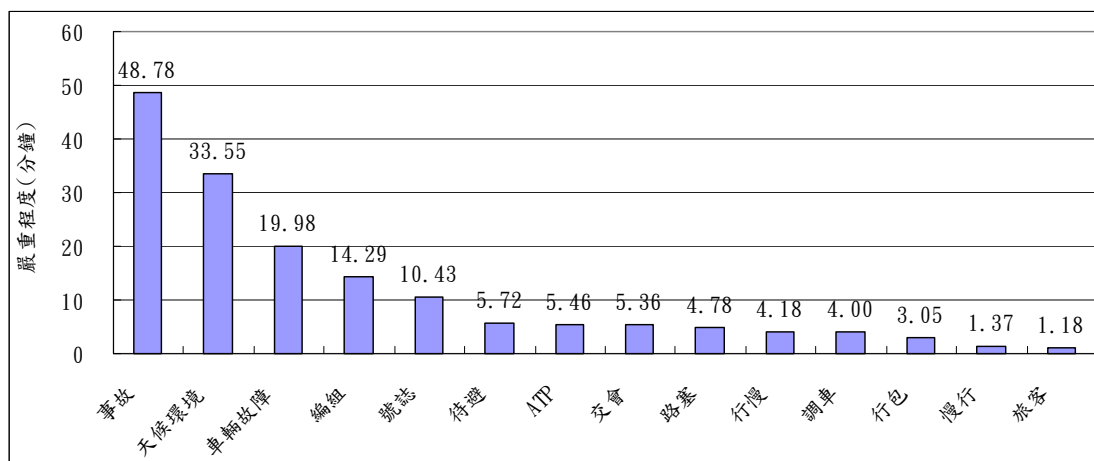


圖4-1 各項延滯原因的嚴重程度

在發生頻率方面，以各級對號列車於民國 99 年 2 月 22 日到 3 月 25 日的總延車公里作為分母，如式(4.3)，也就是計算各項延滯原因在每單位延車公里，所發生的平均次數，其結果如圖 4-2，因「旅客」和「慢行」導致列車延滯的發生頻率明顯高出其他原因。

$$F_r = \frac{N_r}{L} \quad (4.3)$$

式中： F_r = 第 r 種原因的發生頻率

L = 各級對號列車於分析期間內的總延車公里

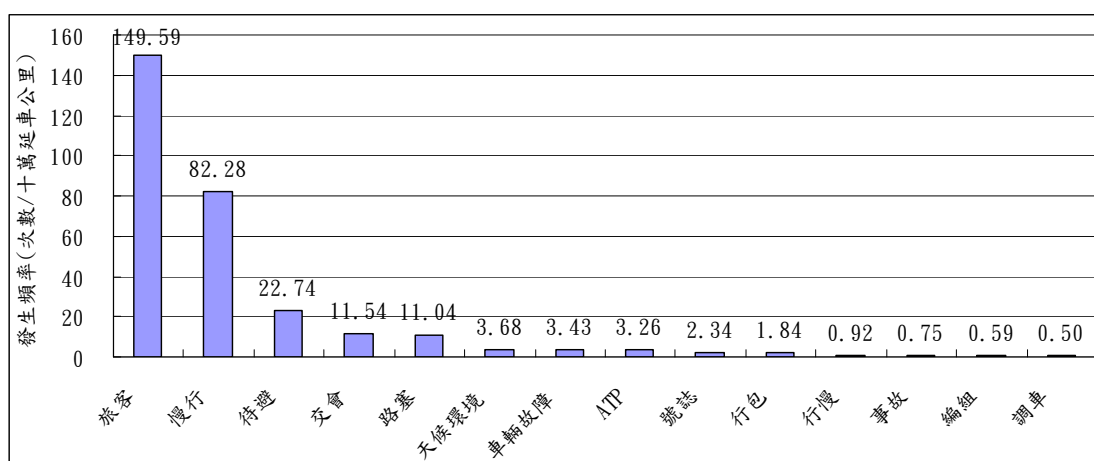


圖4-2 各項延滯原因的發生頻率

若以延滯原因的嚴重程度為 x 軸，發生頻率為 y 軸，將各類原因標示於直角座標系中，便可得到一風險矩陣，如圖 4-3 所示，從中可發現：「事故」和「天候環境」等原因，雖然嚴重程度很高，但其發生頻率不高；而「旅客」和「慢行」的發生頻率雖高，但其嚴重程度相對較低。

進一步計算各項延滯原因的風險，並由高至低排列，如圖 4-4，其中「旅客」、「待避」、「天候環境」、「慢行」、「車輛故障」，以及「交會」等原因的風險佔了全部風險的八成以上，若能對這些原因進行改善，則對可靠度的提升會有明顯的效果，因此以下章節，將就這幾類原因分別做深入分析，但其中「天候環境」為不可控因素，所以不再加以探討，而「待避」和「交會」類似，則合併為一類進行分析。

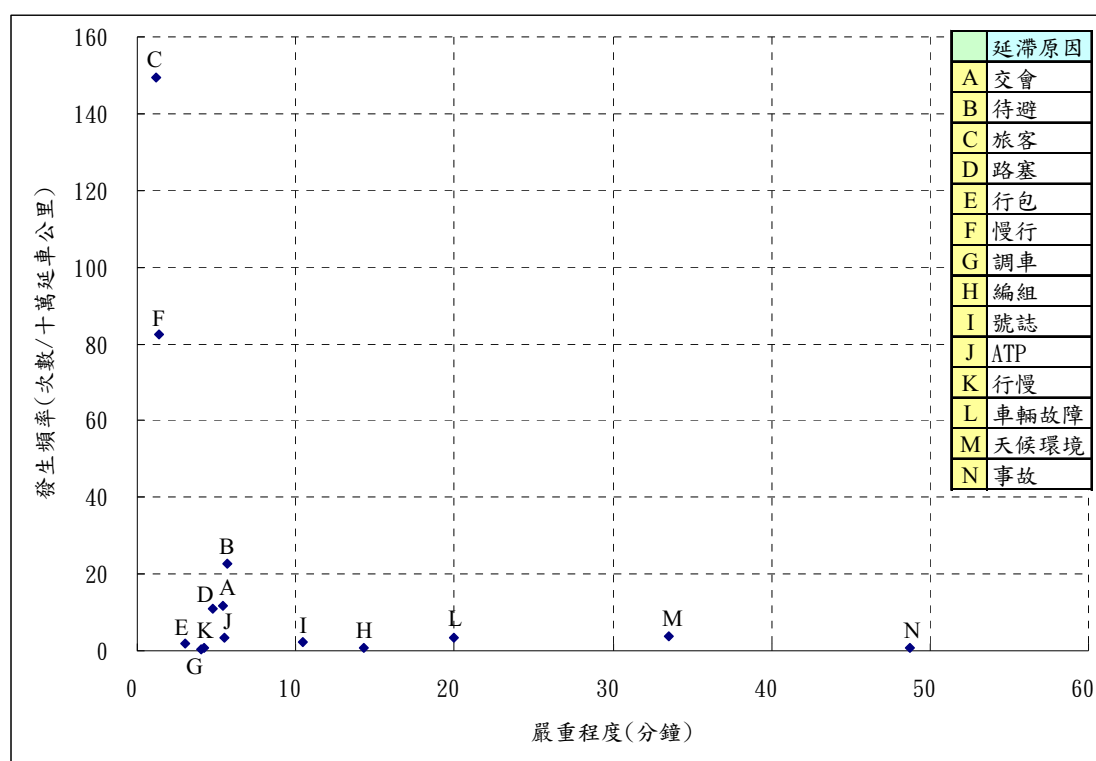


圖4-3 列車延滯原因風險矩陣

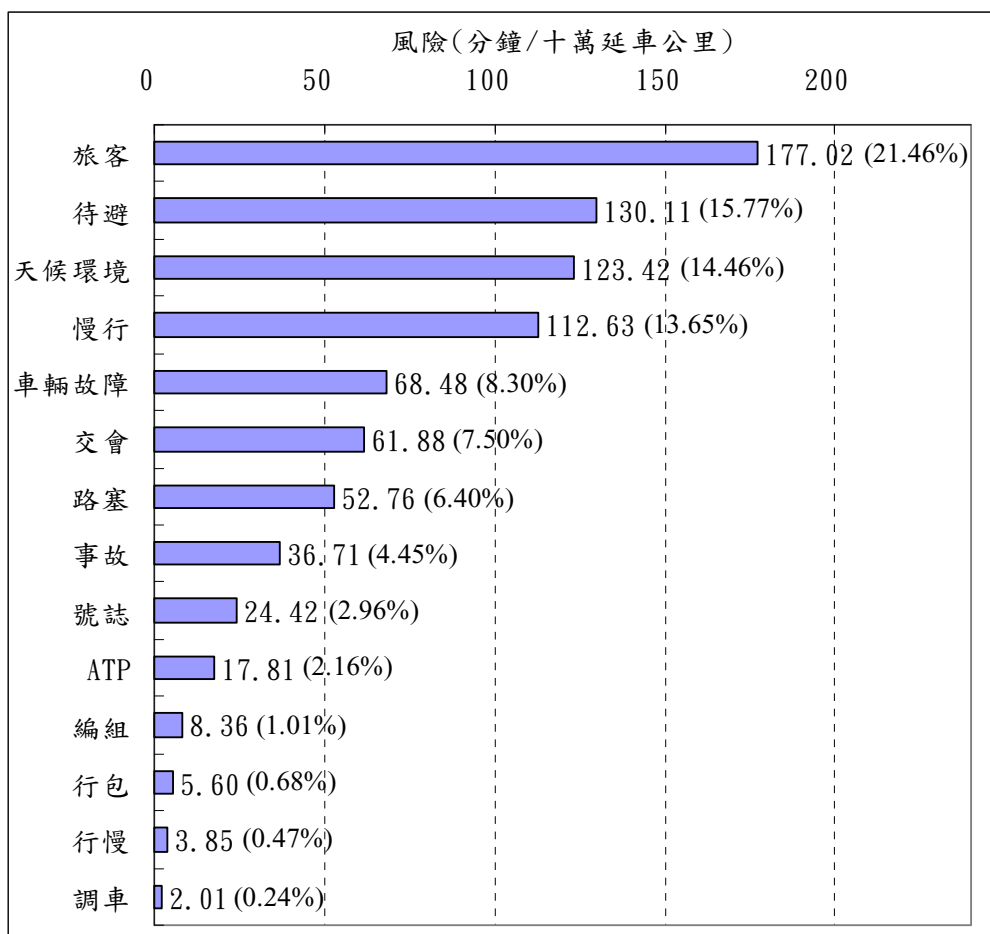


圖4-4 列車延滯原因風險排序

4.3 旅客造成的延滯風險

根據上節之分析結果，旅客是造成對號列車延滯的主因，若要進一步的分析，可分別從時間和空間的角度，來探討一天 24 小時之中各時段的「旅客」延滯風險。4.3 旅客造成的延滯風險，或臺鐵各車站之「旅客」延滯

4.3.1 各時段之「旅客」延滯風險

有關各時段旅客所造成的延滯風險之計算，分別統計一天 24 個小時，各時段發生「旅客」延滯的總次數及所造成的總延滯時間，以式(4.4)計算其嚴重程度，而發生頻率方面，則以各時段對號列車停靠車站的數量作為分母來計算，如式(4.5)，再依式(4.6)計算各時段的風險。

$$S_{p,k} = \frac{T_{p,k}}{N_{p,k}} \quad (4.4)$$

$$F_{p,k} = \frac{N_{p,k}}{C_{p,k}} \quad (4.5)$$

$$R_{p,k} = F_{p,k} \times S_{p,k} \quad (4.6)$$

式中： $S_{p,k}$ =在第 k 個時段「旅客」延滯的嚴重程度

$T_{p,k}$ =在第 k 個時段因「旅客」造成的總延滯時間

$N_{p,k}$ =在第 k 個時段發生「旅客」延滯的總次數

$F_{p,k}$ =在第 k 個時段「旅客」延滯的發生頻率

$C_{p,k}$ =在第 k 個時段對號列車於分析期間內停靠車站的總次數

$R_{p,k}$ =在第 k 個時段的「旅客」延滯風險

圖 4-5和圖 4-6分別為臺鐵全線在順行(順時鐘)和逆行(逆時鐘)方向各時段的「旅客」延滯風險，從中可看出無論是順行或逆行方向，各時段在假日因旅客造成的延滯風險皆比平日高，下午時段也都比上午高，其中最高的風險都是發生在晚上 7 點。

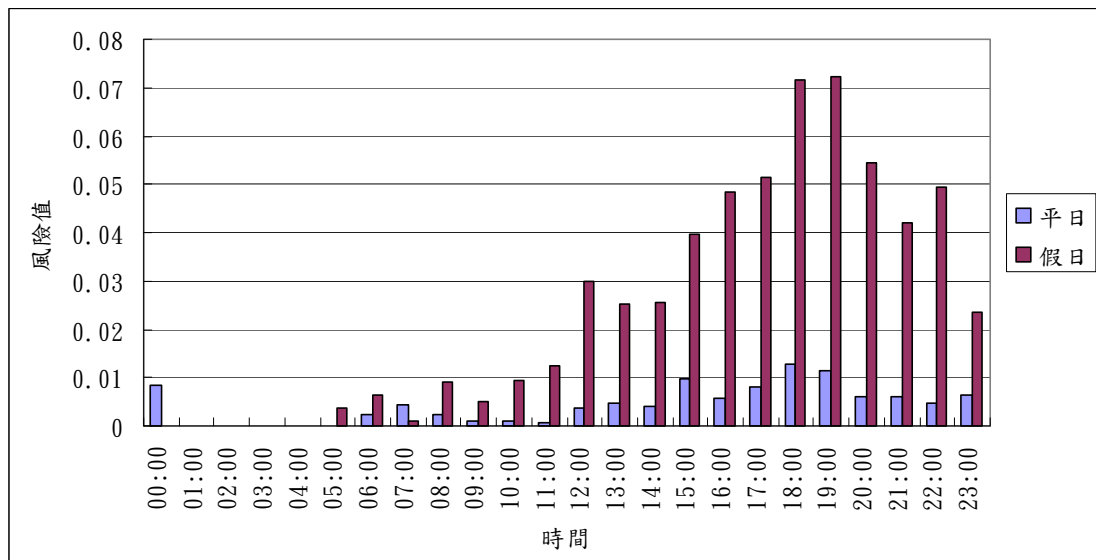


圖4-5 順行方向各時段之「旅客」延滯風險

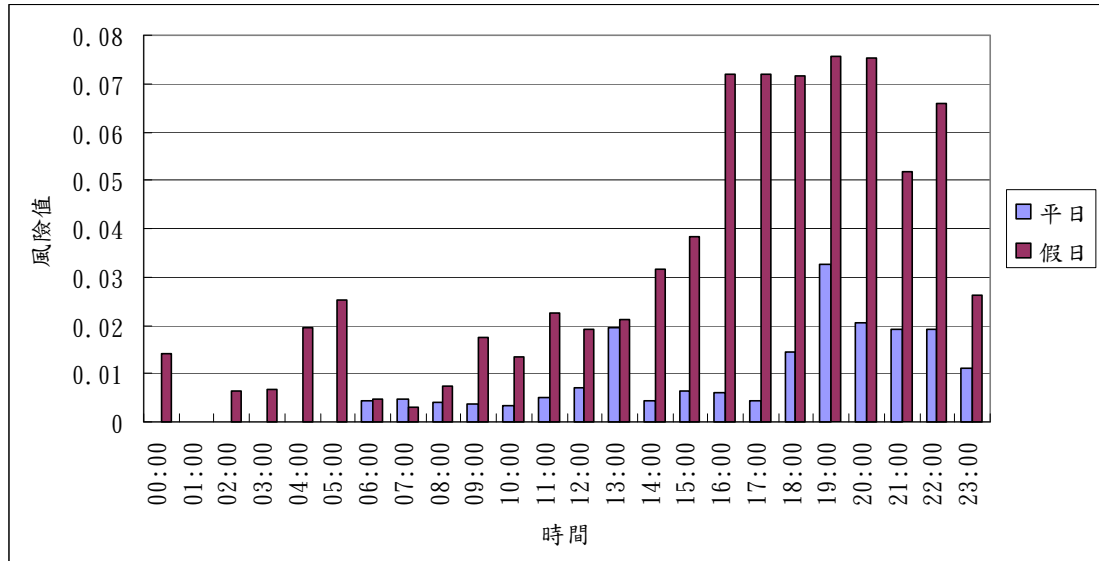


圖4-6 逆行方向各時段之「旅客」延滯風險

4.3.2 各車站之「旅客」延滯風險

各車站之「旅客」延滯風險的計算和上節大致相同，不同處僅在於「旅客」延滯的總次數、所造成的總延滯時間以及對號列車停靠車站的數量，是依各車站分別統計之，其計算公式如下。

$$S_{p,j} = \frac{T_{p,j}}{N_{p,j}} \quad (4.7)$$

$$F_{p,j} = \frac{N_{p,j}}{C_{p,j}} \quad (4.8)$$

$$R_{p,j} = F_{p,j} \times S_{p,j} \quad (4.9)$$

式中： $S_{p,j}$ = 車站 j 之「旅客」延滯的嚴重程度

$T_{p,j}$ = 車站 j 因「旅客」造成的總延滯時間

$N_{p,j}$ = 車站 j 發生「旅客」延滯的總次數

$F_{p,j}$ = 車站 j 之「旅客」延滯的發生頻率

$C_{p,j}$ = 對號列車於分析期間內停靠車站 j 的總次數

$R_{p,j}$ = 車站 j 的「旅客」延滯風險

在平日期間，順行和逆行方向之「旅客」延滯風險前十大車站如圖 4-7和圖 4-8所示，其中新烏日站皆是名列第一，且其風險值皆遠高於第二名，可能原因在於新烏日站主要提供與高鐵台中站的轉乘功能，但兩站之距離較遠，以至於列車需等待轉乘旅客搭乘的緣故。此外桃園、中壢、新竹、嘉義等站在順行和逆行方向的結果，皆屬於高風險群，應檢視其表訂停站時間是否足夠。

而在假日期間的結果如圖 4-9和圖 4-10所示，可看出因旅客造成的延滯風險高出平日許多，在順行和逆行方向上，延滯風險前十大車站大致相同，包含瑞芳、桃園、中壢、新竹、竹南、臺中、嘉義和台南等 8 個站，而相異的部份，順行方向是在彰化和高雄兩站；逆行方向為臺北和板橋兩站，顯示假日期間在西部幹線，北上的旅客多集中在南部；南下的旅客多集中於北部。

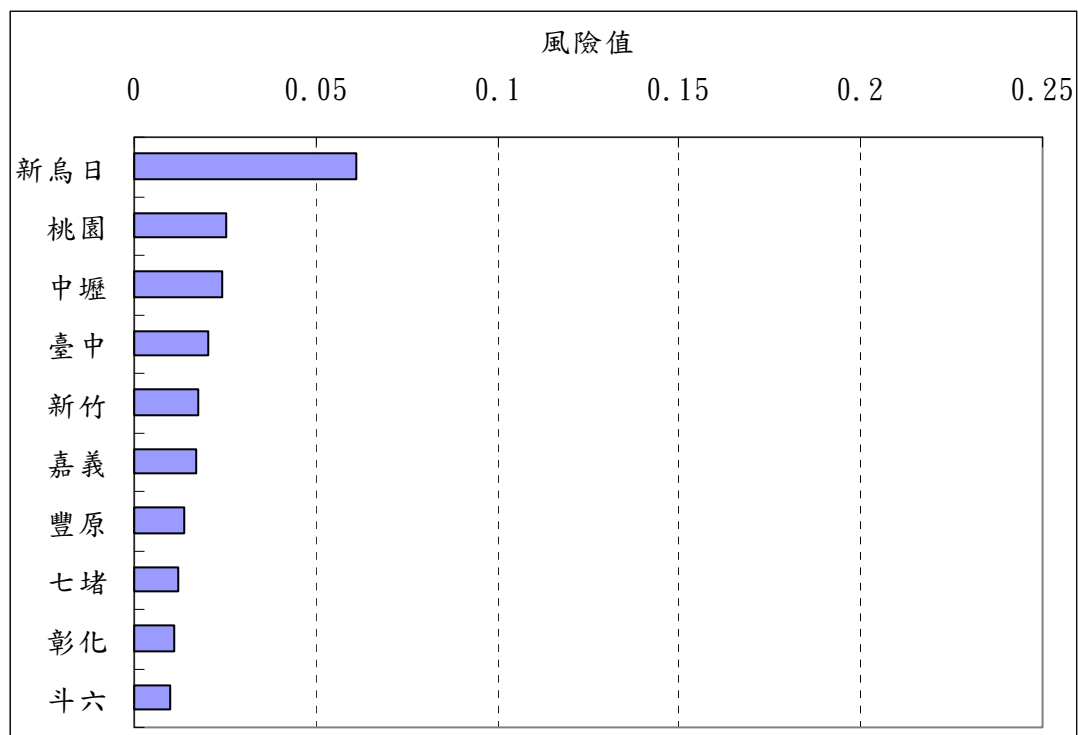


圖4-7 平日順行方向之「旅客」延滯風險前十大車站

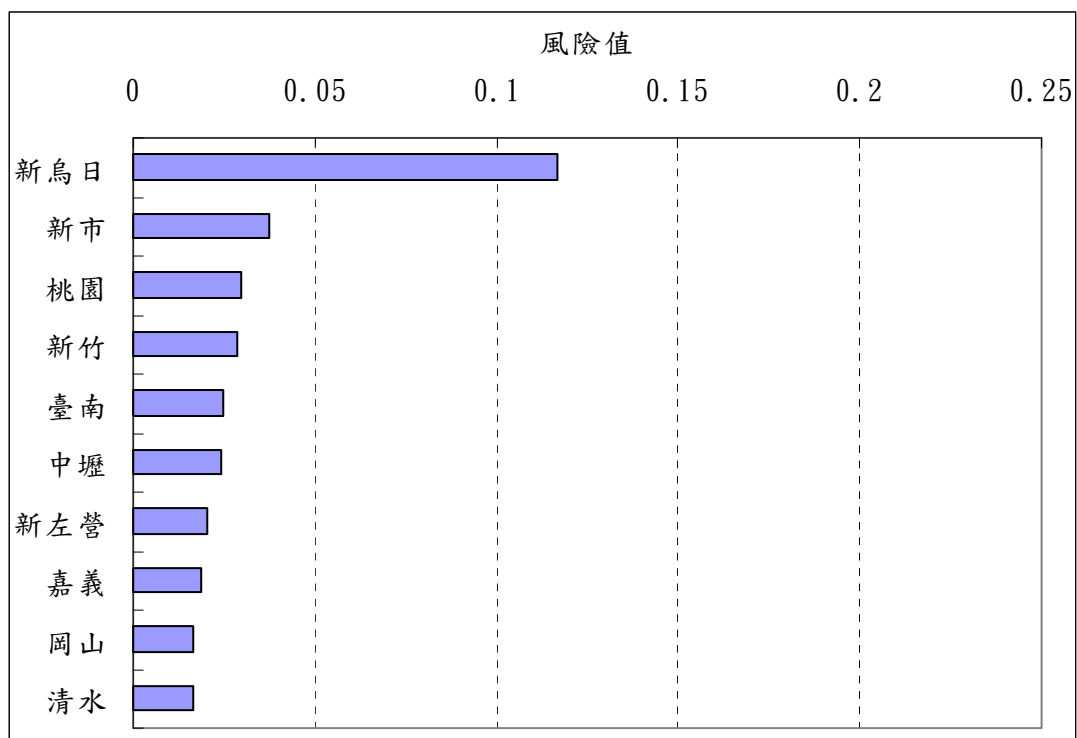


圖4-8 平日逆行方向之「旅客」延滯風險前十大車站

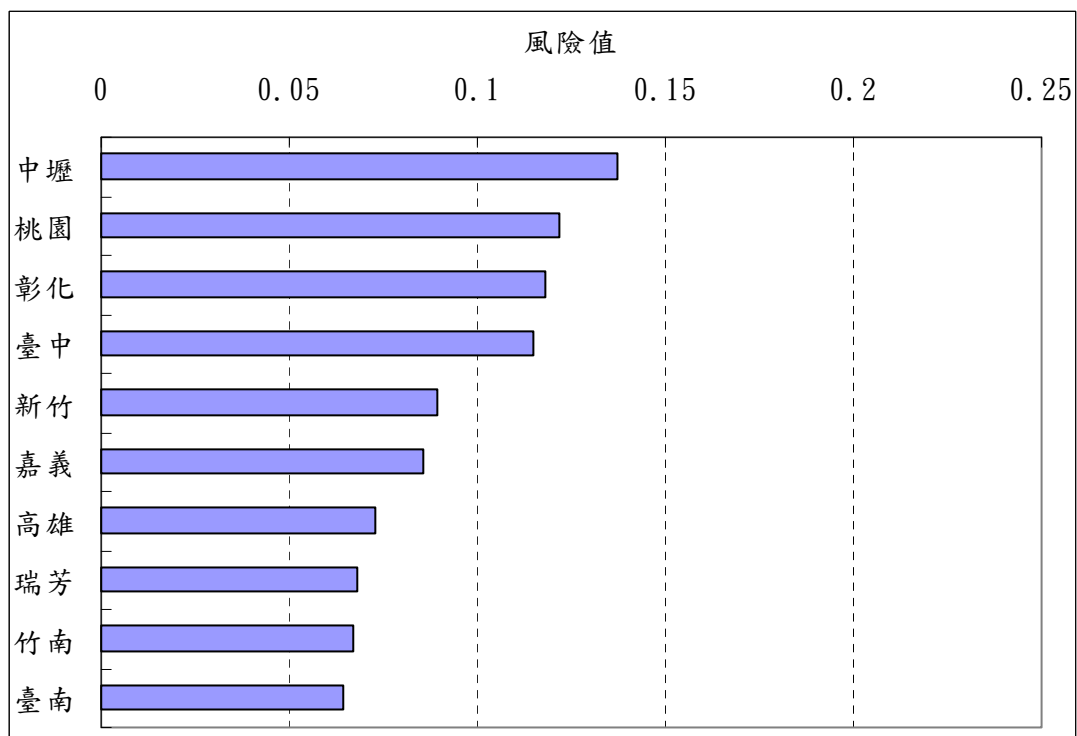


圖4-9 假日順行方向之「旅客」延滯風險前十大車站

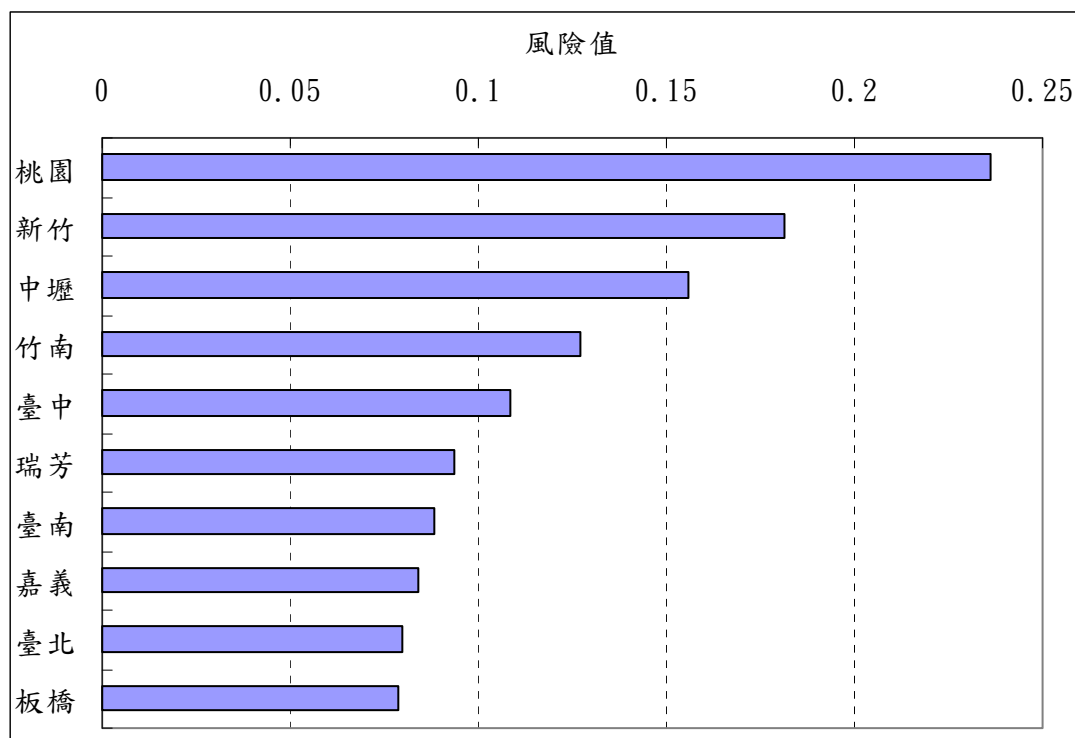


圖4-10 假日逆行方向之「旅客」延滯風險前十大車站

4.4 交會待避造成的延滯風險

雖然臺鐵將交會待避區分為兩類不同的延滯原因，但此兩類原因皆是列車必須於車站內等候其先行車通過而造成的延滯，因此在本研究將其合併為一類進行分析。

此外，在實務上，交會待避的延滯可分為計畫性和非計畫性兩類：「計畫性交會待避延滯」為班表已安排列車交會或待避的時間與地點，但營運時因受到先行列車延誤的影響，而增加交會或待避的時間；而「非計畫性交會待避延滯」為班表中無安排列車交會或待避，但因加開列車或運轉整理，導致列車需額外進行交會或待避所造成的延滯。本分析從車次的角度，分別探討計畫性和非計畫性之交會待避延滯風險。

4.4.1 計畫性之交會待避延滯風險

根據「主要列車延誤概況表」中所記錄的發生交會待避延滯之地點，對照時刻表可找出各車次發生計畫性交會待避延滯的總次數和總延滯時間，依式(4.10)計算其嚴重程度。接著根據時刻表統計各列車的計畫性交會待避之總次數，以式(4.11)計算各列車發生計畫性交會待避延滯之頻率，最後以式(4.12)計算各車次發生計畫性交會待避延滯之風險。

$$S_{x,i} = \frac{T_{x,i}}{N_{x,i}} \quad (4.10)$$

$$F_{x,i} = \frac{N_{x,i}}{C_{x,i}} \quad (4.11)$$

$$R_{x,i} = F_{x,i} \times S_{x,i} \quad (4.12)$$

式中： $S_{x,i}$ = 第 i 次列車之「計畫性交會待避」延滯的嚴重程度

$T_{x,i}$ = 第 i 次列車因「計畫性交會待避」造成的總延滯時間

$N_{x,i}$ = 第 i 次列車發生「計畫性交會待避」延滯的總次數

$F_{x,i}$ = 第 i 次列車之「計畫性交會待避」延滯的發生頻率

$C_{x,i}$ = 第 i 次列車於分析期間內進行計畫性交會待避的總次數

$R_{x,i}$ = 第 i 次列車的「計畫性交會待避」延滯風險

計算結果如圖 4-11 和圖 4-12 所示，圖中分別為平日和假日發生「計畫性交會待避」延滯之風險前十大車次，可發現假日的延滯風險較高於平日。其中平日風險最高的為 13 次列車，其交會待避延滯皆發生於隆田站，待避 1011 次列車；而假日風險最高的為 1036 次列車，延滯皆發生於竹南站，待避 1154 次列車。

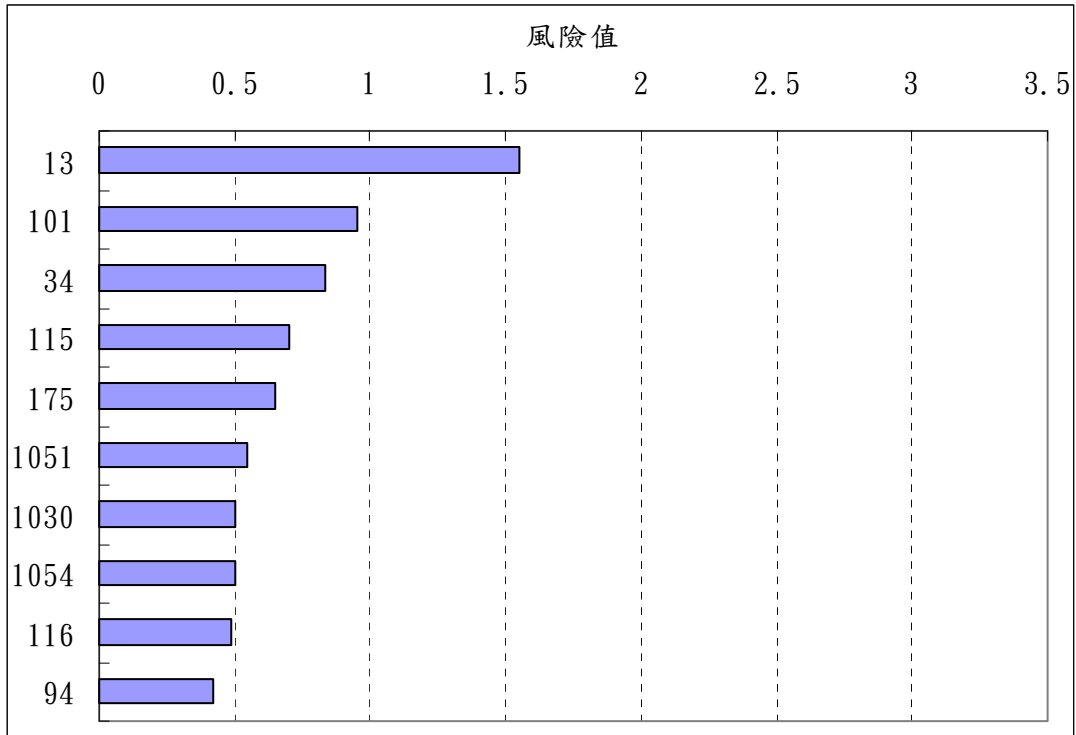


圖4-11 平日「計畫性交會待避」延滯風險前十大車次

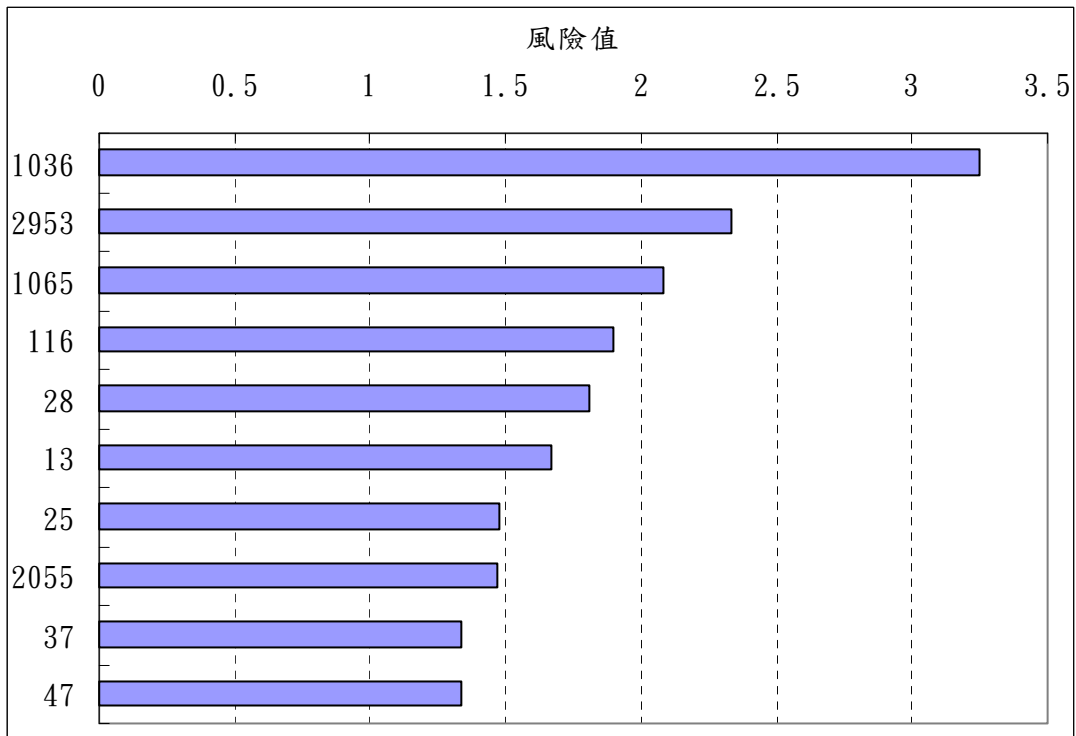


圖4-12 假日「計畫性交會待避」延滯風險前十大車次

4.4.2 非計畫性之交會待避造成的延滯風險

針對非計畫性交會待避所造成的延滯風險，其計算方式與上節之方法相同，由於分析對象改為非計畫性的交會待避，因此須將計畫性的總發生次數和總延滯時間，改以非計畫的來計算，如式(4.13)，而在發生頻率方面，則是以各車次開行的總次數作為分母，如式(4.14)，最後有關風險之計算如式(4.15)。

$$S_{u,i} = \frac{T_{u,i}}{N_{u,i}} \quad (4.13)$$

$$F_{u,i} = \frac{N_{u,i}}{C_{u,i}} \quad (4.14)$$

$$R_{u,i} = F_{u,i} \times S_{u,i} \quad (4.15)$$

式中： $S_{u,i}$ = 第 i 次列車之「非計畫性交會待避」延滯的嚴重程度

$T_{u,i}$ = 第 i 次列車因「非計畫性交會待避」造成的總延滯時間

$N_{u,i}$ = 第 i 次列車發生「非計畫性交會待避」延滯的總次數

$F_{u,i}$ = 第 i 次列車之「非計畫性交會待避」延滯的發生頻率

$C_{u,i}$ = 第 i 次列車於分析期間內開行的總次數

$R_{u,i}$ = 第 i 次列車的「非計畫性交會待避」延滯風險

「非計畫性交會待避」的延滯風險前十大車次如圖 4-13 和圖 4-14 所示，其中平日的 8807、8808 和 1337 次列車，以及假日的 7708、7791、2934、7700 和 8836 次列車為加開列車。從兩圖可發現，以非計畫性交會待避延滯風險最高的車次來看，平日和假日相去不遠，但整體來說假日各車次的風險還是明顯比平日高，差別在於平日的風險主要集中於加開列車，而假日則較為分散。和「計畫性交會待避」的延滯風險相比，皆是假日的風險比平日高，但假日的計畫性交會待避延滯風險是全面地提高，而非計畫性交會待避延滯風險則是將風險分攤到其他車次，使最高風險不會超過平日的水準。

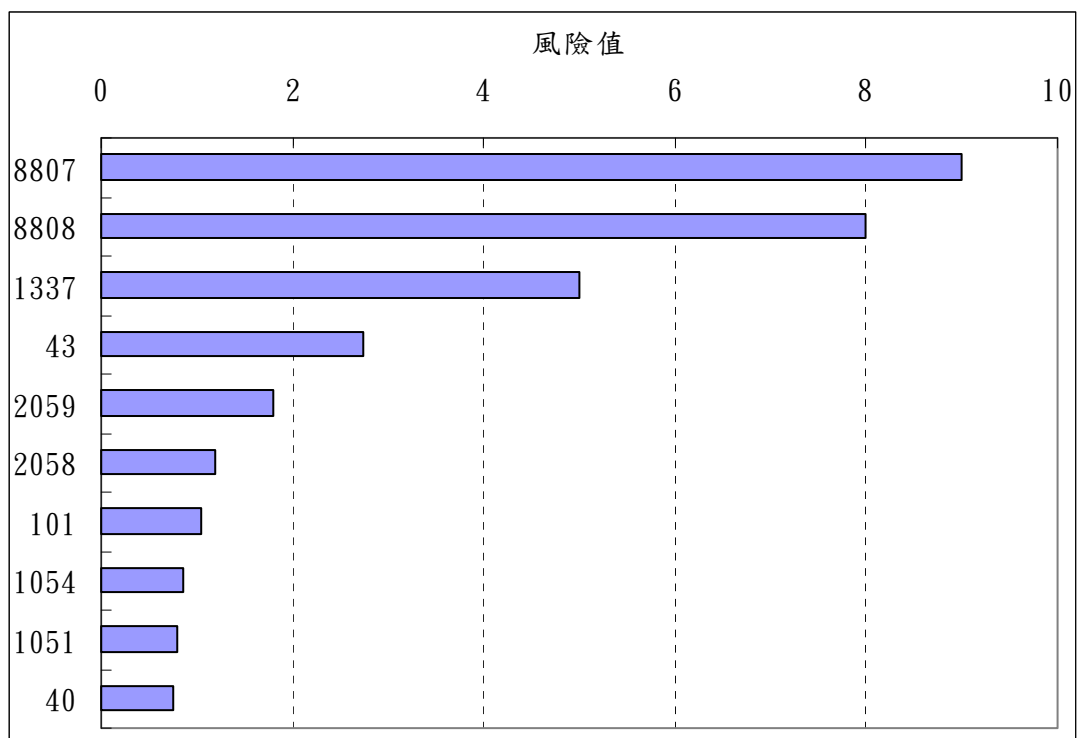


圖4-13 平日「非計畫性交會待避」延滯風險前十大車次

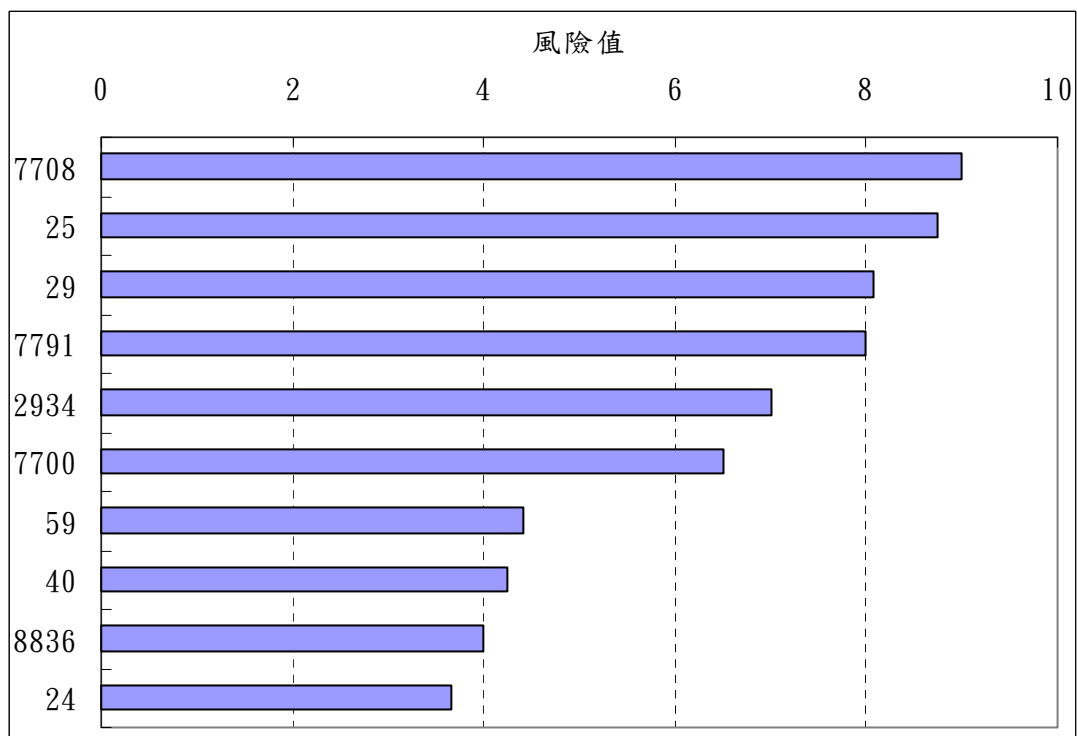


圖4-14 假日「非計畫性交會待避」延滯風險前十大車次

4.5 慢行造成的延滯風險

欲分析慢行所造成的延滯風險，可從列車慢行區間的角度來探討。依「主要列車延誤概況表」中記錄發生慢行延滯之區間，統計各區間發生慢行延滯的總次數和總延滯時間，以式(4.16)計算各區間慢行延滯的嚴重程度。再根據時刻表，分別統計通過這些區間之對號車的數量，以式(4.16)計算其發生頻率，最後透過式(4.18)計算各區間因慢行造成的延滯風險。

$$S_{s,l} = \frac{T_{s,l}}{N_{s,l}} \quad (4.16)$$

$$F_{s,l} = \frac{N_{s,l}}{C_{s,l}} \quad (4.17)$$

$$R_{s,l} = F_{s,l} \times S_{s,l} \quad (4.18)$$

式中： $S_{s,l}$ =第 l 段區間之「慢行」延滯的嚴重程度

$T_{s,l}$ =第 l 段區間因「慢行」造成的總延滯時間

$N_{s,l}$ =第 l 段區間發生「慢行」延滯的總次數

$F_{s,l}$ =第 l 段區間之「慢行」延滯的發生頻率

$C_{s,l}$ =於分析期間內通過第 l 段區間之對號車總數

$R_{s,l}$ =第 l 段區間的「慢行」延滯風險

平日和假日「慢行」延滯風險前十大區間如圖 4-15和圖 4-16所示，其中樹林板橋、豐原后里、斗六林內、善化隆田區間，以及竹北站東正線，無論在平日或假日，慢行對列車造成延滯都有較高的風險，尤其是隆田往善化區間，在平假日的風險都是名列前矛。

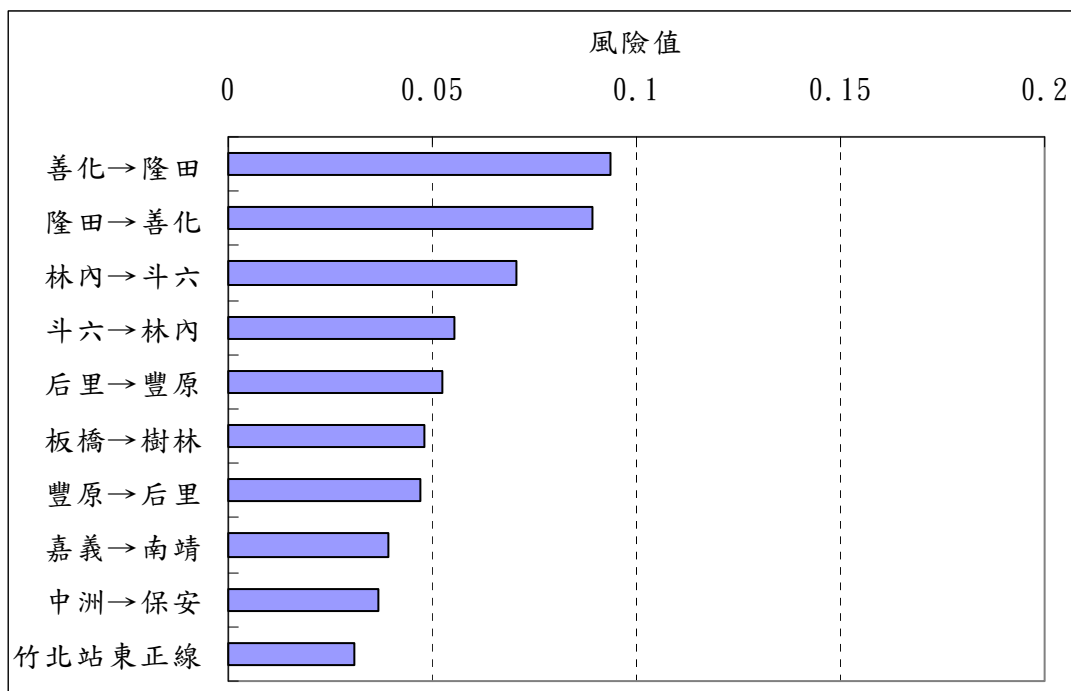


圖4-15 平日「慢行」延滯風險前十大區間

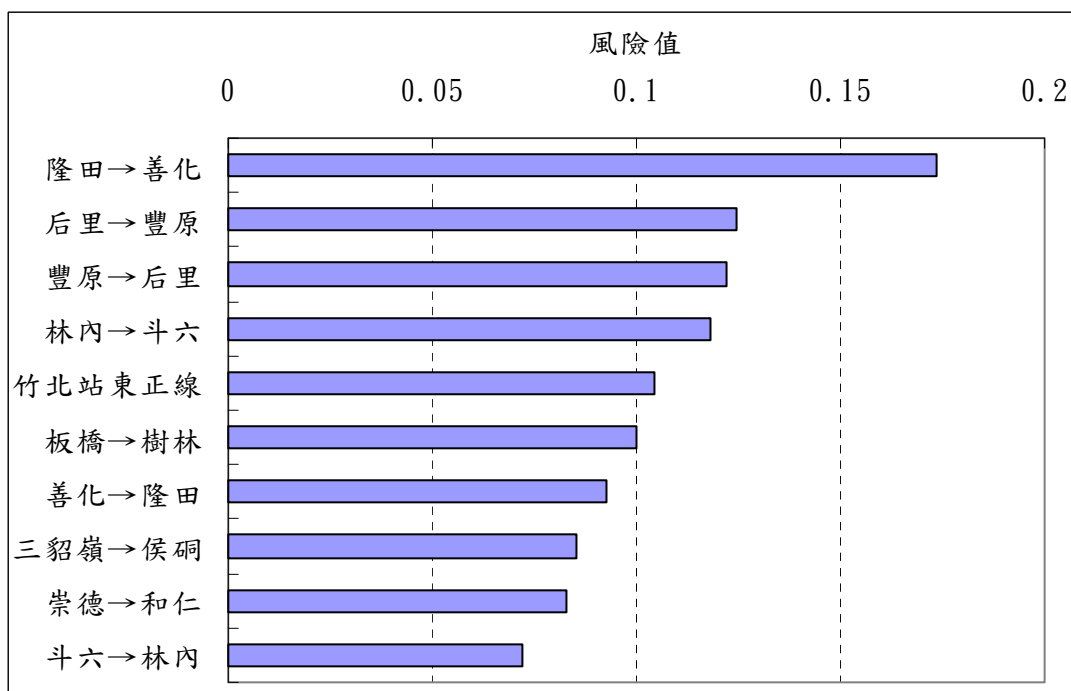


圖4-16 假日「慢行」延滯風險前十大區間

4.6 車輛故障造成的延滯風險

有關因車輛故障造成延滯的風險分析，依現有資料可分車種來檢視其風險，其中莒光號和復興號同為機車牽引非動力車輛之編組，其機車頭是混用的，因此合併為一類進行比較。

分別統計兩類車種發生車輛故障的總次數和造成的總延滯時間，根據式(4.19)計算其嚴重程度，結果如圖 4-17。而分別以兩類車種的總延車公里作為分母，透過式(4.20)計算其發生車輛故障的頻率，結果如圖 4-18，最後以式(4.21)分別計算其風險，結果如圖 4-19所示。

$$S_{f,m} = \frac{T_{b,m}}{N_{b,m}} \quad (4.19)$$

$$F_{f,m} = \frac{N_{b,m}}{L_{b,m}} \quad (4.20)$$

$$R_{f,m} = F_{f,m} \times S_{f,m} \quad (4.21)$$

式中： $S_{f,m}$ = 第 m 種車之「車輛故障」延滯的嚴重程度

$T_{f,m}$ = 第 m 種車因「車輛故障」造成的總延滯時間

$N_{f,m}$ = 第 m 種車發生「車輛故障」延滯的總次數

$F_{f,m}$ = 第 m 種車之「車輛故障」延滯的發生頻率

$L_{f,m}$ = 第 m 種車於分析期間內的總延車公里

$R_{f,m}$ = 第 m 種車的「車輛故障」延滯風險

根據風險的計算結果，莒光號和復興號發生車輛故障延滯的風險高於自強號，若進一步探討其發生頻率和嚴重程度，可發現兩車種因車輛故障造成延滯的嚴重程度相近，但莒光號和復興號的發生頻率則高出自強號許多，可提供臺鐵列車維修作業之參考。

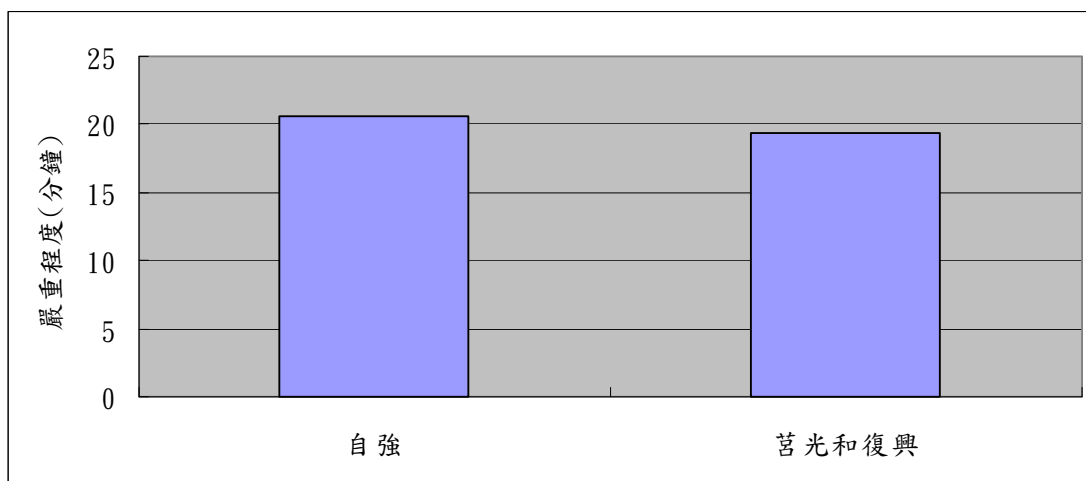


圖4-17 各車種因車輛故障造成延滯的嚴重程度

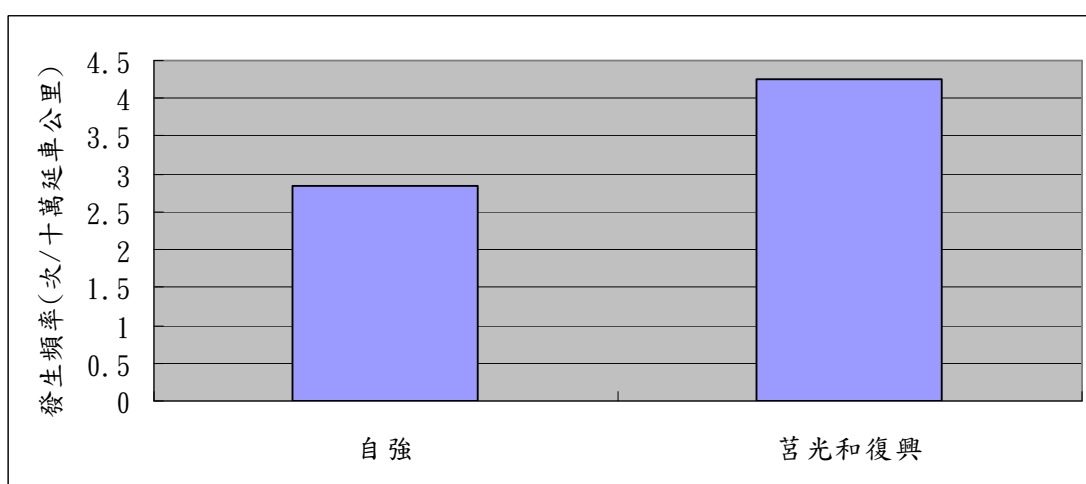


圖4-18 各車種因車輛故障造成延滯的發生頻率

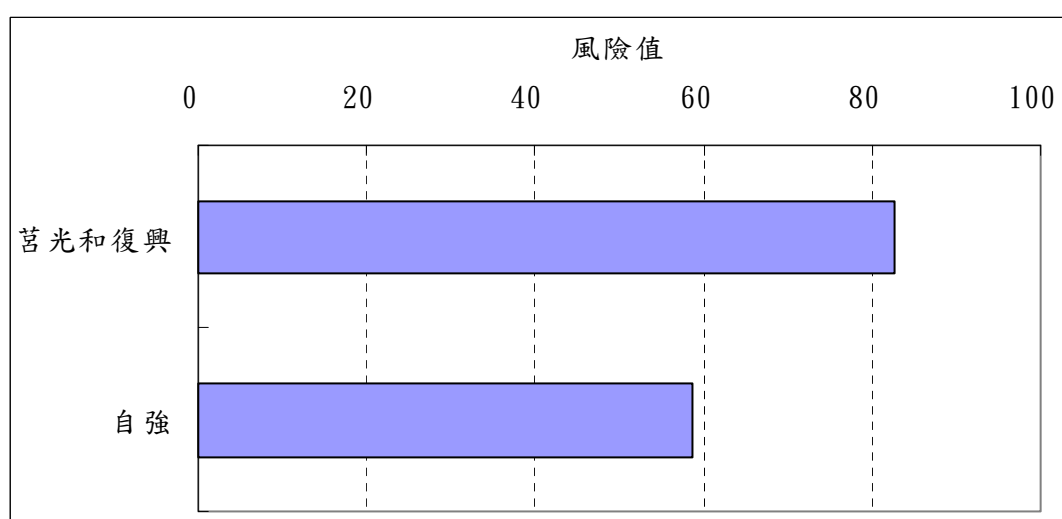


圖4-19 各車種因車輛故障造成延滯的風險

4.7 小結

綜整本章針對臺鐵對號列車的研滯原因分析，「旅客」、「交會待避」、「慢行」和「車輛故障」為延滯風險較高的原因，在進一步分析後，對各項原因提出改善建議：

1. 「旅客」方面

晚上 7 點是「旅客」延滯風險最高的時段，且假日更為嚴重，因此可於該時段加派人員疏導旅客，以降低列車延滯的風險。而桃園、中壢、新竹、嘉義等站，無論在平假日其延滯風險皆高，可重新檢視是否須調整其表訂停站時間，以符合實際需求。

2. 「交會待避」方面

對於計劃性交會待避延滯風險較高的車次，通常可藉由排點改善，另外，簡化車種、減少停站模式、雙軌化等方式，可減少安排交會待避的需要，便能降低列車交會待避延滯的風險。而非計劃性交會待避只要發生便會造成列車延誤，通常都是因為加開列車所導致，可考量對平日、假日分別制定班表，或制定班表時同時考量假日可能之班車，以減少非計劃性交會待避的發生。

3. 「慢行」方面

理論上所有通過慢行區間的列車應該都會受到影響而有所延誤，透過風險分析雖可找出較嚴重的區間，但不同慢行區間的長度、速限、列車密度和軌道配置的情況迥異，就目前現有資料，較難找出慢行對每列車造成的影響的根本因素，尚需更詳細的資料才能提出改善方案。

4. 「車輛故障」方面

除了加強車輛定期保養維修外，對於老舊車輛應有計畫性的進行汰舊換新工作，以減少發生故障的可能性。

根據臺鐵實際營運上的經驗，認為號誌故障是最嚴重的列車延誤原因，因為雖然號誌故障不是常常發生，但會直接影響路線上的所有列車。而在本分析中號誌故障造成的風險卻無預期中高，從分析的結果來看，圖 4-2顯示號誌故障的發生頻率不高，和實務經驗相符，但嚴重程度方面（見圖 4-1）則不如預期高，主要原因在於號誌故障對所有列車皆造成影響，包含對號車和非對號車，由於非對號車的數量較多，因此非對號車受到的影響遠大於對號車，而臺鐵「主要列車延誤概況表」中僅針對對號車紀錄延誤原因，所以無法完全反應出號誌故障的嚴重性。

列車延滯原因分析之功能，係根據過去實際營運資料檢討列車可靠度情況，以研擬改善建議，但若要評估或預測未來的列車可靠度，則尚需靠可靠度分析模式。就整體研究計畫之規劃，可靠度分析模式為下年度之範疇，但從過去文獻中可知，可靠度分析模式通常需給定初始延滯或發生延滯的機率分布等，因此下一章便根據臺鐵實際營運資料，統計列車於車站內和站間的延滯變異情形，以供後續研究參考。

第五章 列車停站與運轉時間變異分析

臺鐵系統具有多車種、多種停站模式，以及有交會待避等特性，而列車的停站時間依車種而異，且若需進行交會待避，則停站時間會大幅增加；列車的站間運轉時間同樣也隨車種而異，且停站與否也會影響運轉時間。基於以上因素，本章將分析臺鐵列車停站與運轉時間的變異，以瞭解其隨機分布狀態，有助於未來探討時刻表穩定度的議題。

本分析是以列車實際的停站時間和站間運轉時間，與原時刻表規劃時間相減的值來探討變異情況。本章首先於5.1節說介紹資料的蒐集與分析方法，分別於5.2節和5.3節說明停站時間和站間運轉時間變異的分析結果，之後於5.4節提出結論。

5.1 資料蒐集整理與分析方法

本分析所採用的資料為臺鐵 CTC 所紀錄的列車實際到離站資料，相關說明詳見 4.1 節。根據列車實際與表訂到離站時間之差值，可分別以式(5.1)和(5.2)，計算每列車於各車站的實際與表訂停站時間之差值，以及各區間的實際與表訂運轉時間之差值，接著透過統計的方式，依平/假日、對號/非對號車的不同，透過圖表呈現其變異的情況，並計算其平均值和標準差以進行比較。

$$\begin{aligned} d_w(i, j) &= t'_w(i, j) - t_w(i, j) = [t'_d(i, j) - t'_a(i, j)] - [t_d(i, j) - t_a(i, j)] \\ &= d_d(i, j) - d_a(i, j) \end{aligned} \quad (5.1)$$

$$\begin{aligned} d_r(i, j) &= t'_r(i, j) - t_r(i, j) = [t'_a(i, j+1) - t'_d(i, j)] - [t_a(i, j+1) - t_d(i, j)] \\ &= d_a(i, j+1) - d_d(i, j) \end{aligned} \quad (5.2)$$

式中： $d_w(i, j)$ =列車*i*在車站*j*之實際與表訂停站時間之差值（秒）

$t'_w(i, j)$ =列車*i*在車站*j*之實際停站時間（秒）

$t_w(i, j)$ = 列車 i 在車站 j 之表訂停站時間 (秒)

$d_r(i, j)$ = 列車 i 從車站 j 到車站 $j+1$ 之實際與表訂運轉時間的差值 (秒)

$t'_r(i, j)$ = 列車 i 從車站 j 到車站 $j+1$ 之實際運轉時間 (秒)

$t_r(i, j)$ = 列車 i 從車站 j 到車站 $j+1$ 之表訂運轉時間 (秒)

根據民國 98 年 12 月 1 日到民國 99 年 3 月 25 日期間的臺鐵 CTC 資料，分析的結果分別說明於以下章節。特別說明本分析為探討一般營運情況下的狀況，因此新年連續假期（12 月 31 日到 1 月 3 日）、春節連續假期（2 月 12 到 21 日），以及國內發生規模較大之地震的 3 月 4 日和 8 日兩天等期間的資料，將不列入此分析之中。此外臺鐵系統的車站數與站間數眾多，考量研究期程與報告篇幅，因此僅就延滯較為嚴重的車站和站間進行分析和探討，

5.2 停站時間變異分析結果

停站時間變異的分析是以桃園站作為分析對象，因為根據 5.3.2 節之結果，桃園站無論在平日或假日，受到旅客造成的延滯風險皆名列前三名，透過此分析不僅可了解其停站時間變異情形，其結果亦可提供調整其停站時間之參考。

計算每列車於桃園站實際與表訂停站時間之差值，以每 30 秒為一類，分別統計其次數佔全部次數的百分比，透過直方圖可呈現其變異分布情形，如圖 5-1～圖 5-4 為對號列車在桃園站的停站時間變異分布，圖 5-5～圖 5-8 為非對號車，和平日相比，假日的分布皆向右方偏移，但對號車較非對號車有明顯偏移，可能原因為假日的旅客多為長途旅次，加上對號車車門較窄不利旅客快速上下車的緣故，造成假日期間對號車的停站時間增加。

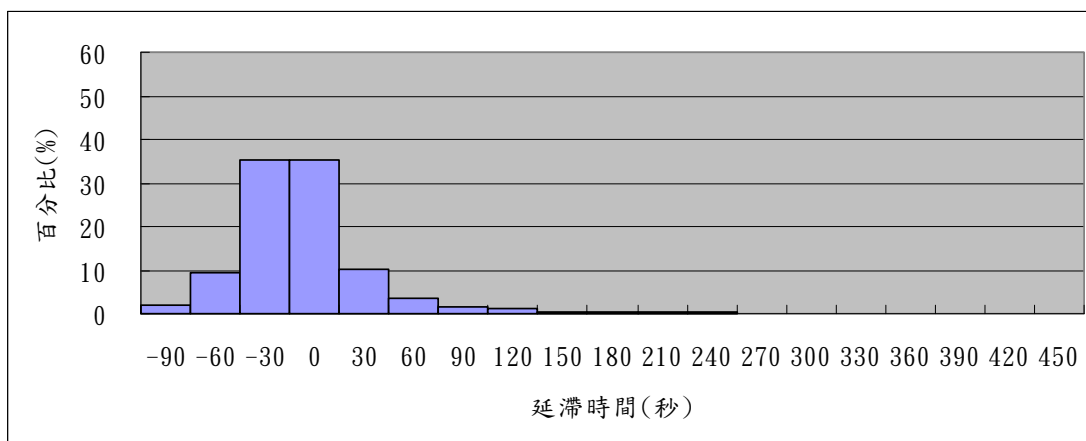


圖5-1 桃園站平日順行方向對號車之停站時間變異分布

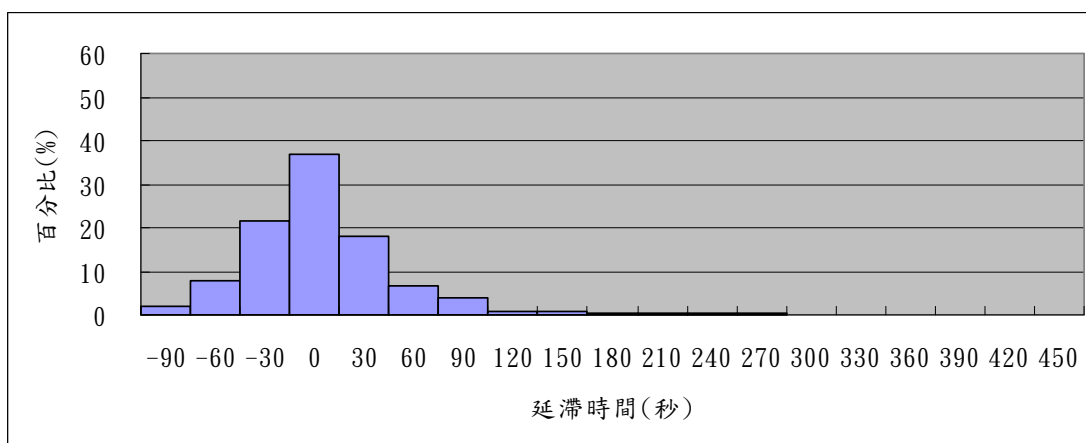


圖5-2 桃園站假日順行方向對號車之停站時間變異分布

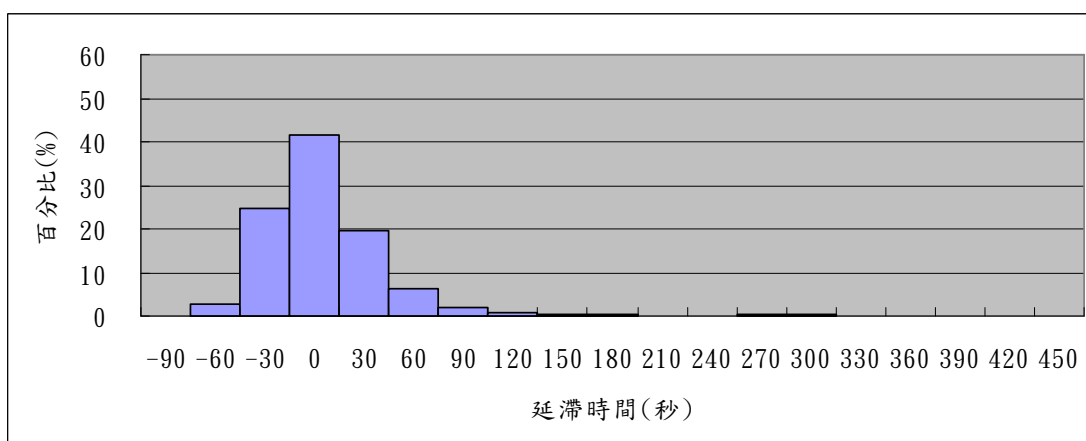


圖5-3 桃園站平日逆行方向對號車之停站時間變異分布

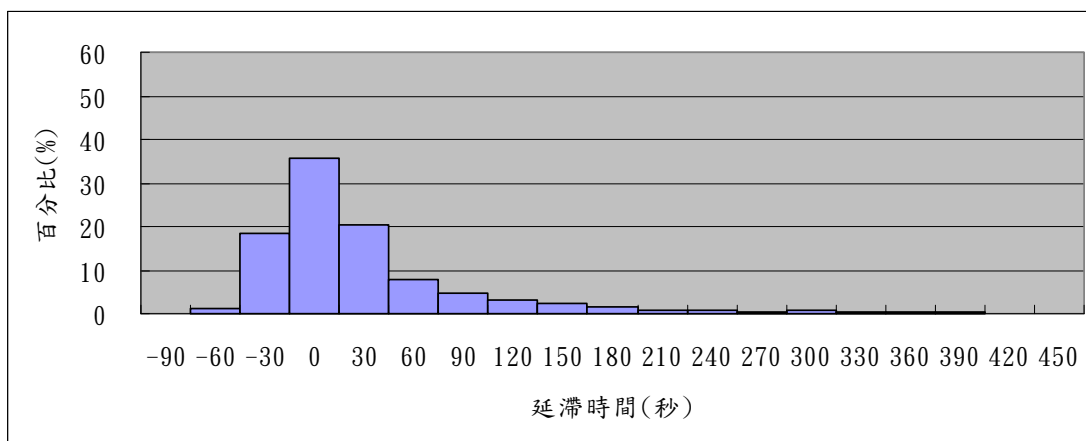


圖5-4 桃園站假日逆行方向對號車之停站時間變異分布

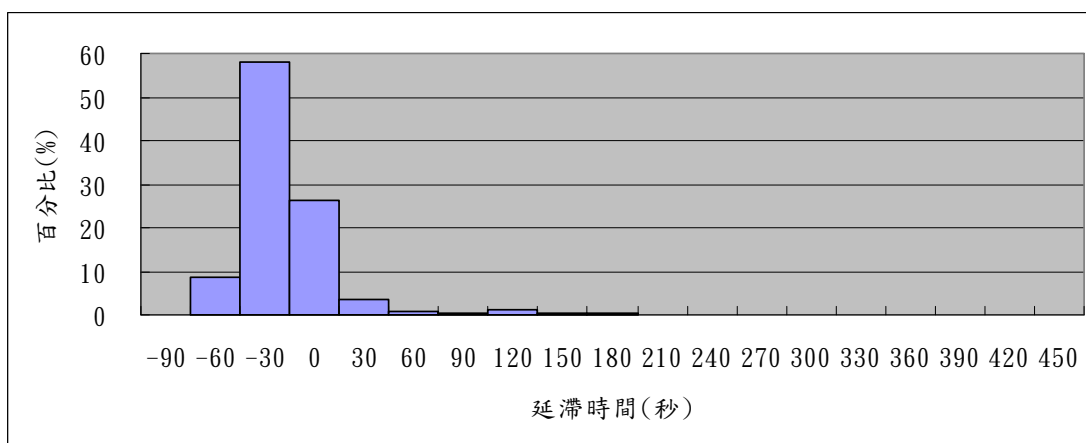


圖5-5 桃園站平日順行方向非對號車之停站時間變異分布

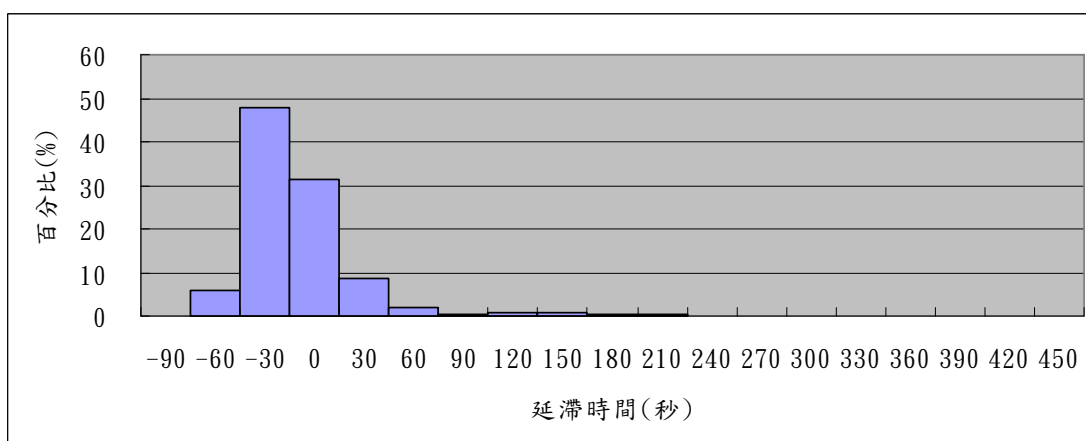


圖5-6 桃園站假日順行方向非對號車之停站時間變異分布

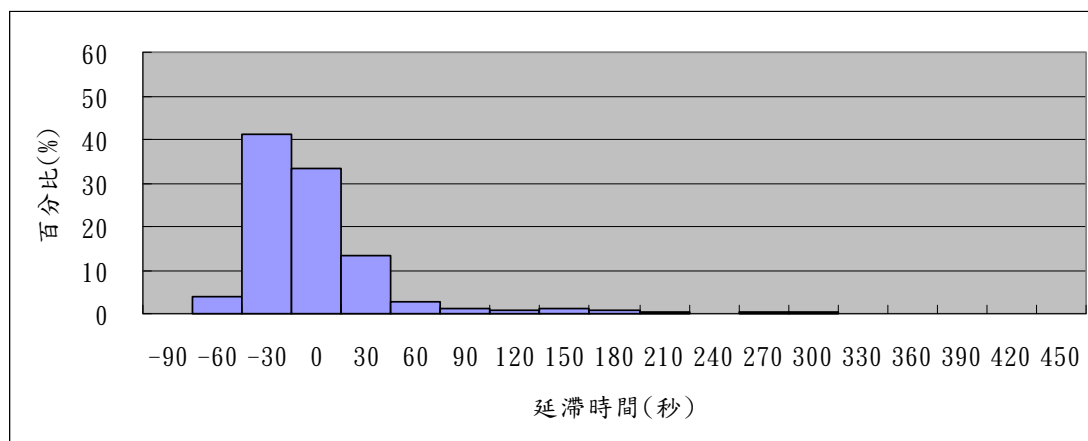


圖5-7 桃園站平日逆行方向非對號車之停站時間變異分布

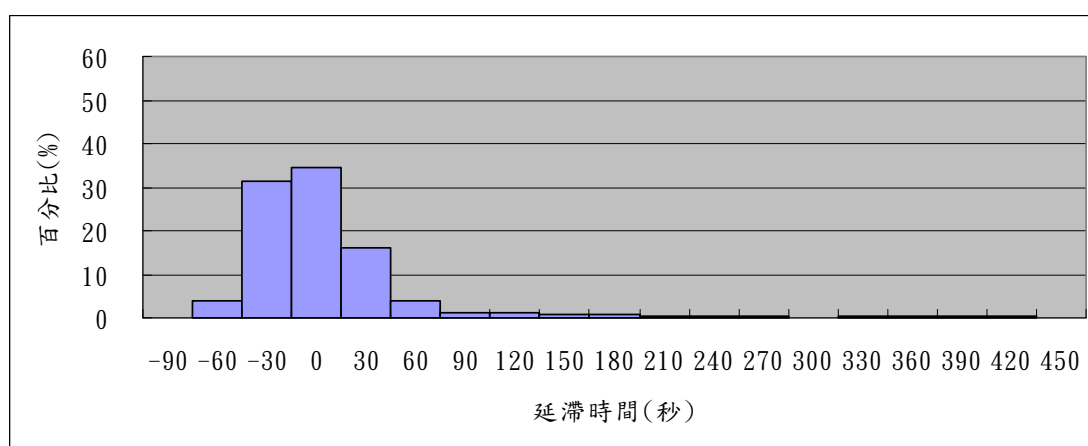


圖5-8 桃園站假日逆行方向非對號車之停站時間變異分布

依平/假日、對號/非對號車，分別計算列車於桃園站停站時間變異的平均值、標準差、偏態係數，和峰態係數，其結果如表 5.1和表 5.2所示，從中可發現假日的平均值和標準差皆高於平日期間，顯示假日延滯的情況較平日嚴重，尤其在逆行方向，其在假日的標準差為平日的兩倍以上，可能在假日時間的尖峰搭乘特性特別明顯，例如週五晚上返鄉以及週日晚上返回工作崗位，以至於旅客多集中搭乘某些車次，進而造成變異性較大。

表5.1 桃園站停站時間變異之平均值與標準差（順行方向）

		平日	假日
對號車	平均值	7	19
	標準差	43.17	49.23
	偏態係數	2.45	2.37
	峰態係數	5.07	5.49
非對號車	平均值	-2	7
	標準差	38.44	47.61
	偏態係數	3.35	2.88
	峰態係數	11.65	7.96

單位：秒

表5.2 桃園站停站時間變異之平均值與標準差（逆行方向）

		平日	假日
對號車	平均值	24	52
	標準差	50.64	139.52
	偏態係數	2.50	2.38
	峰態係數	5.98	5.50
非對號車	平均值	12	23
	標準差	60.77	121.66
	偏態係數	2.59	2.34
	峰態係數	5.80	4.42

單位：秒

5.3 站間運轉時間變異分析結果

根據 5.5 節的結果，隆田到善化在平假日皆為慢行延滯風險高的區間，因此本分析以該區間為對象來探討站間運轉時間變異。此外，臺鐵 CTC 資料所包含的期間為民國 98 年 12 月 1 日到民國 99 年 3 月 25 日，而從民國 99 年 2 月 23 日起，隆田到善化為慢行區間，所以本研究以 2 月 23 日為界，分別對實施慢行之前與之後，分析列車從隆田到善化的站間運轉時間變異。

計算每列車從隆田到善化間實際與表訂運轉時間之差值，以每 30 秒為一類，分別統計其次數佔全部次數的百分比，在未實施慢行時，隆田到善化區間的結果如圖 5-9～圖 5-12，可發現對號車和非對號車，在平日和假日的分布情況大致相同，可見平假日對列車站間運轉時間的影響不大。而在實施慢行之後，隆田到善化區間的結果如圖 5-13～圖 5-16，和實施慢行前相比，分布都向右偏移，顯示實施慢行造成列車站間延滯時間增加。

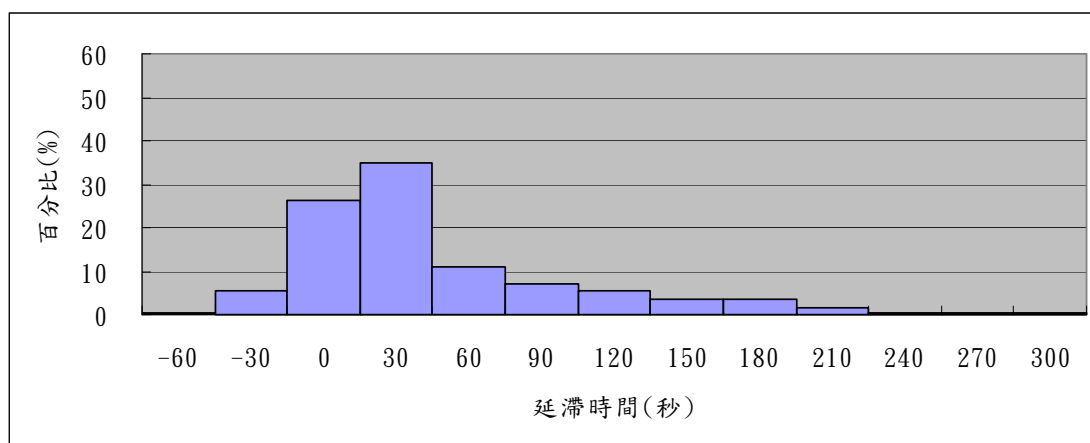


圖5-9 隆田到善化間平日對號車之站間運轉時間變異分布

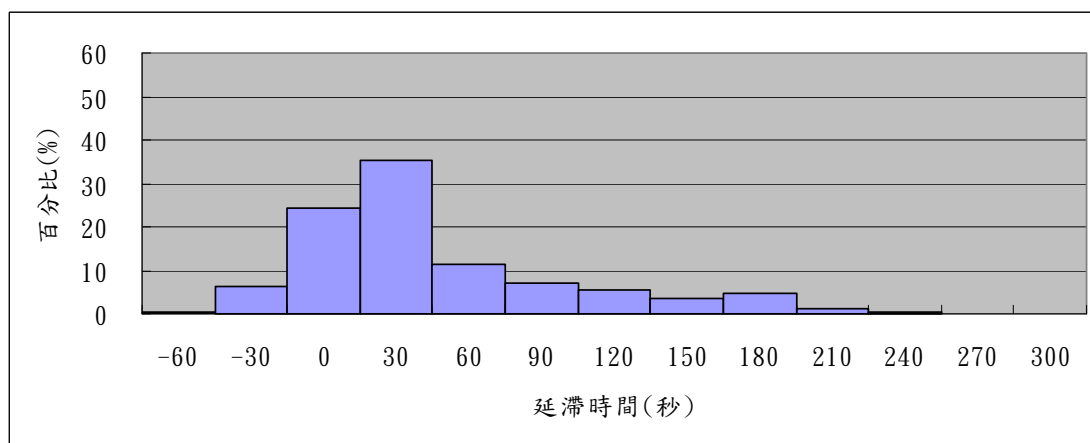


圖5-10 隆田到善化間假日對號車之站間運轉時間變異分布

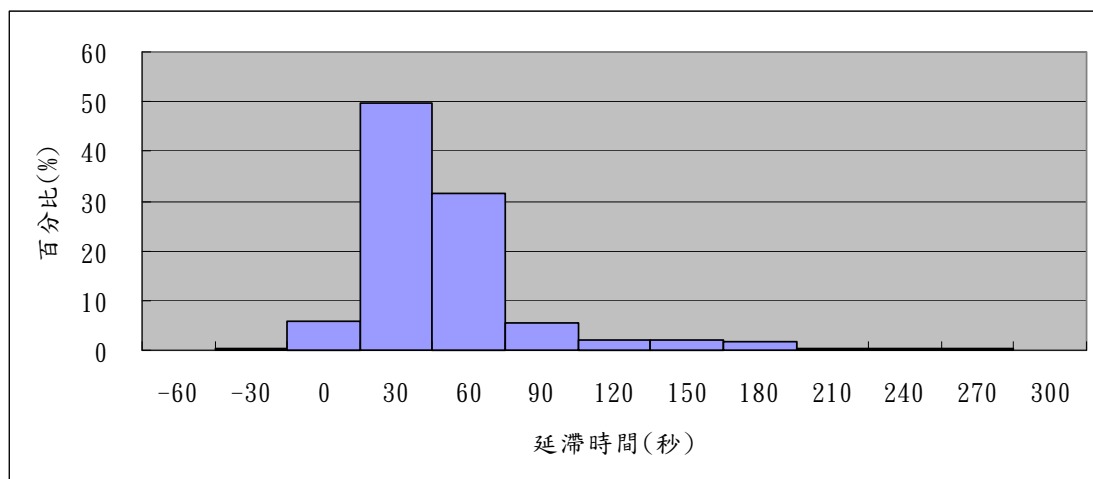


圖5-11 隆田到善化間平日非對號車之站間運轉時間變異分布

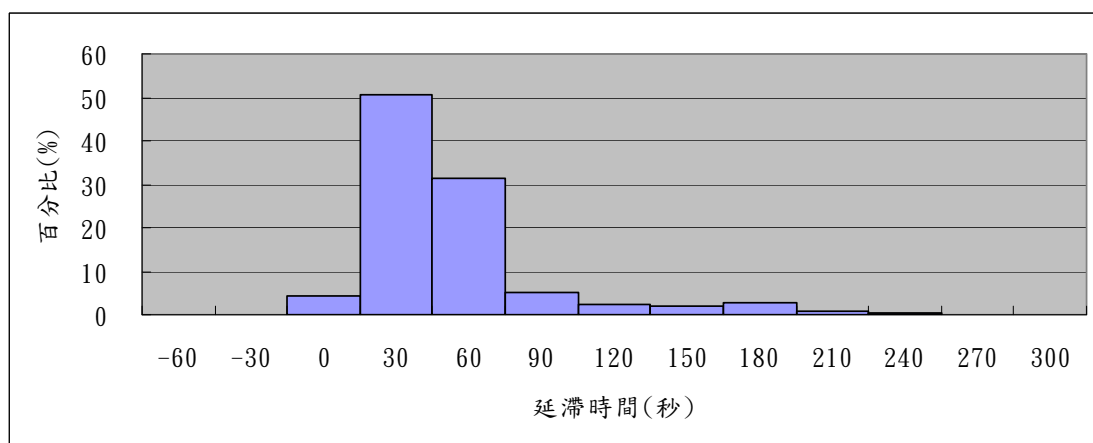


圖5-12 隆田到善化間假日非對號車之站間運轉時間變異分布

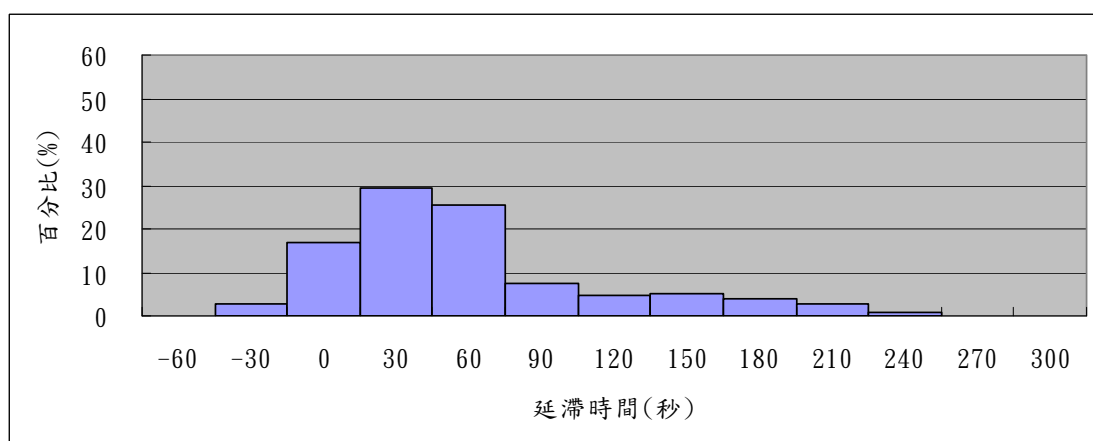


圖5-13 隆田到善化間平日對號車之運轉時間變異分布（慢行期間）

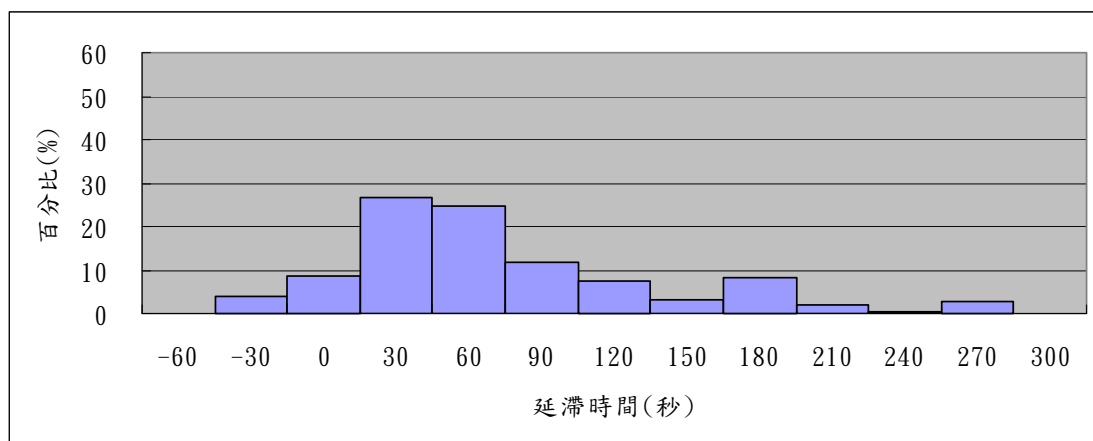


圖5-14 隆田到善化間假日對號車之運轉時間變異分布（慢行期間）

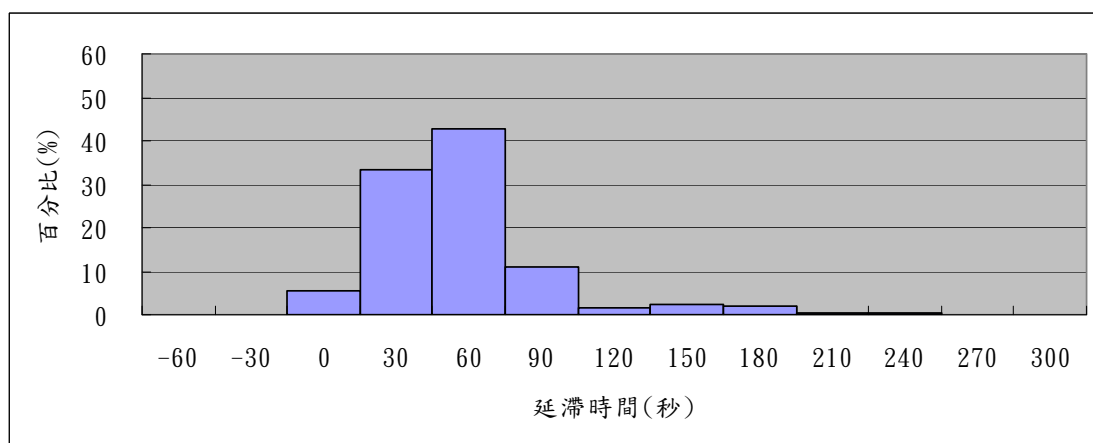


圖5-15 隆田到善化間平日非對號車之運轉時間變異分布（慢行期間）

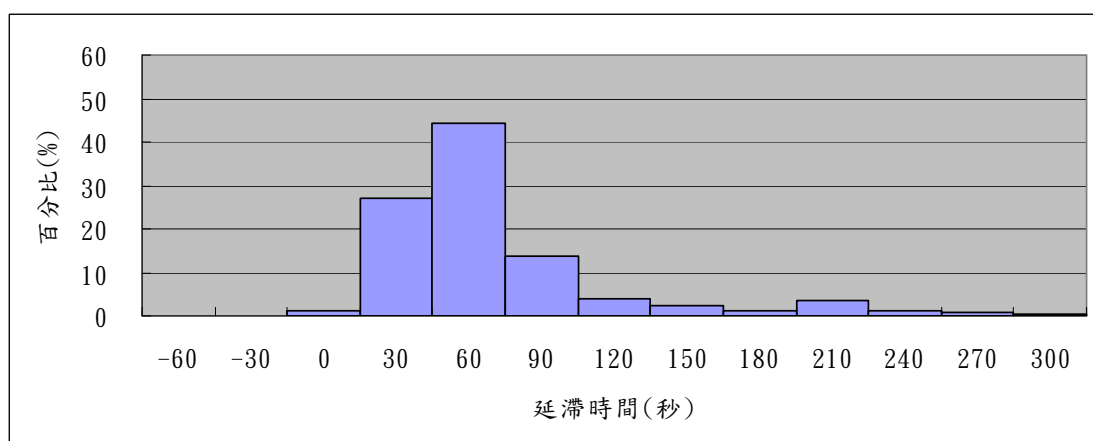


圖5-16 隆田到善化間假日非對號車之運轉時間變異分布（慢行期間）

依實施慢行前後、平/假日以及對號/非對號車，分別計算列車於隆田到善化間站間運轉時間變異的平均值、標準差、偏態係數，和峰態係數，結果如表 5.3和表 5.4，雖然實施慢行之後造成列車的站間運轉時間增加，但其實在未實施慢行時，列車的站間運轉時間平均約延滯 1 分鐘，可能表訂運轉時間不足，或者有其他原因造成列車延滯。

表5.3 隆田到善化間對號車站間運轉時間變異之平均值與標準差

		未實施慢行	實施慢行
平日	平均值	61	73
	標準差	61.66	62.64
	偏態係數	1.93	1.51
	峰態係數	3.06	1.08
假日	平均值	60	87
	標準差	57.14	67.53
	偏態係數	1.96	1.46
	峰態係數	3.44	1.26

單位：秒

表5.4 隆田到善化間非對號車站間運轉時間變異之平均值與標準差

		未實施慢行	實施慢行
平日	平均值	64	71
	標準差	41.43	37.21
	偏態係數	2.37	2.06
	峰態係數	5.00	3.21
假日	平均值	66	85
	標準差	40.75	51.26
	偏態係數	2.42	2.21
	峰態係數	5.31	4.44

單位：秒

5.4 小結

停站與運轉時間變異分析之結果，除了在未來發展可靠度分析模式後，可提供模式輸入延滯相關的參數資料，亦可對可靠度改善方面提供進一步的建議。例如在第五章中，透過延滯風險分析，發現桃園站因旅客造成的延滯風險較高，因此提出調整表訂停站時間來改善，而再透過本章對於停站時間變異之分析，則可進一步提出應該再增加多少停站時間才能符合需求。在站間運轉時間變異分析方面，延滯風險分析發現隆田到善化間容易因慢行造成延滯，而從本章的分析結果，則發現可能表訂站間運轉時間本身就不足，導致慢行施工後，對列車延滯造成更大的影響。

列車服務可靠度不僅是影響服務品質重要的因素之一，更是備受社會大眾所期望，軌道營運業者無不致力於可靠度的改善，而本研究提出各項對列車延滯分析之方法，對未來營運單位檢討與改善其可靠度有所幫助。

第六章 連續區段軌道容量分析模式

前期研究發展之容量模式僅考慮單一區段（包含兩連續車站及其站間），應用於整條路線容量計算時則採逐一計算每個區段之容量，並將整條路線中容量值最小的區段視為瓶頸，該區段之容量值則為該路線之容量。此方法隱含計算每一區段時都假設其他相鄰區段可充分配合該區段，讓該區段達到最大容量的列車運行需求，但實際上列車在時間空間裡均屬連續的移動變化，故上/下游列車特性與車站配置會彼此相互影響，因此本期研究進一步研究連續區段下的軌道容量分析。

連續區段容量分析所需的輸入參數可能來自單一區段模式的輸入（例如停站型態、站間運轉時間）與輸出（例如號誌安全時距），兩模式彼此間的關係架構如圖 6-1，為了能夠充分整合過去與未來之研究成果，連續區段模式無論是現階段的模式構建或未來的程式開發，均會考慮垂直整合的議題。未來模式應用時，20 餘項基礎輸入參數（例如列車加減速、閉塞區段長度）一旦調整，單一區段容量模式與連續區段模式之分析結果均能反應該變數對容量之影響。

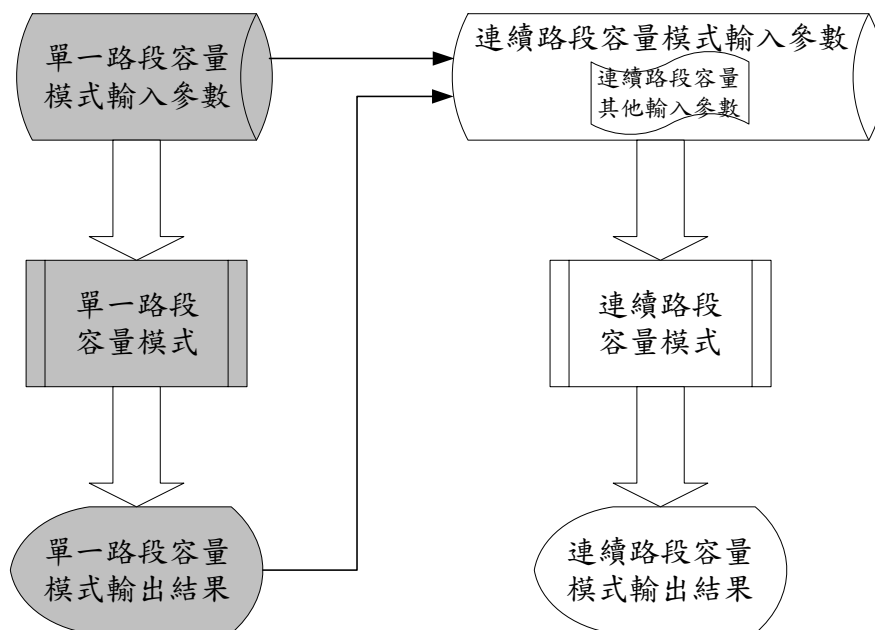


圖6-1 單一/連續區段模式之整合架構圖

因此，以下說明連續區段容量模式之前，會先針對單一區段容量模式進行重點回顧，特別是重要的模式假設以及與連續區段相關的輸出產出。接著再說明連續區段模式細節，最後對模式計算的結果予以介紹。

6.1 單一區段容量模式重點回顧

以下分別說明單一區段容量模式的重要假設與輸出結果，詳細內容請查閱「臺灣地區軌道容量手冊，第二篇－傳統暨區域鐵路篇」。

1. 僅考慮可待避之車站

為了避免高估容量，單一區段容量分析僅考慮可待避的車站，以七堵～汐止間為例，單一方向雖然有三個區段（即七堵→百福、百福→五堵、五堵→汐止），但由於目前百福與五堵均為捷運化車站，同向僅有一股道可使用，無法進行列車待避，因此會將七堵→汐止間合併為一個區段，但站間運轉時間除了是三個區段的累積加總之外，尚要加入停站時間一併計算。

2. 號誌時距計算均以停站為基礎

無論是進站或離站的號誌時距模式，均假設列車在車站均停車的情況下來計算號誌安全時距，除了可保留排班作業中的列車待避可能性之外，亦可確保列車以副線到開進出車站時，經過道岔的速度會降至限速之內。意即模式中以「進站-進站」時距代替「進站-通過」時距；以「離站-離站」時距代替「通過-離站」時距。

3. 股道共用之行為直接反應在時距數值

模式在計算時距時已將南北共用的股道予以考慮，例如以臺鐵常見的一島一岸存有平面交叉配置（例如臺中、臺南等站）為例，其進站時距將以 $T_{s,A} = 0.75T_{s,A1} + 0.25T_{s,A2}$ 計算之，其中 $T_{s,A1}$ 為站內使用同一軌道的進站時距； $T_{s,A2}$ 則為站內使用不同軌道的進站時距。詳細推導過程可參閱「臺灣地區軌道容量手冊，第二篇－傳統暨區域鐵路篇」。

4. 號誌安全時距為主要計算結果

計算結果包含進站號誌時距 $T_{s,A}$ 與離站號誌時距 $T_{s,D}$ ，且數值會依不同的先/續行列車組合有所不同，若有 3 種列車種別，則會計算出 $3^2 = 9$ 種組合的進站時距與離站時距。

6.2 模式建構

以下將分節就基本概念、假設條件、輸入參數、計算流程、寬裕時間係數等議題分別介紹模式。

6.2.1 基本概念

有鑑於 UIC 406 的連續區段容量分析方法（壓縮時刻表）必須以時刻表作為輸入，對於尚在規劃/設計階段時的軌道系統不易使用，因此本研究改以將第 1 個區段的列車密度安排至最密（列車數以及列車的車種組成則由使用者決定），接著視下游區段的號誌安全時距、站場佈置以及列車速差，適當「拉開」列車間距，如此反覆計算直到所有區段均考慮完畢。接著以最末區段的首/末班車之間距配合列車數求算平均時隔，最後考慮寬裕係數求得整個連續區段之容量。簡言之，此一運算概念即是在連續區段的進口（第 1 個區段）密集地發送列車，而在連續區段的出口（最末區段）觀測列車最大的流率，據此來計算連續區段的容量。

以 n 個連續複線區段與 N 列車之情境如圖 6-2 為例，以下將以 $t_{i,j}^{Dep}$ 代表第 i 區段中第 j 列車於該區段的離站時間；以 $t_{i,j}^{Arr}$ 代表第 i 區段中第 j 列車於該區段的到站時間。在此架構下，過去單一區段容量模式即是利用第 1 個區段所有的 $t_{1,1}^{Dep} \sim t_{1,N}^{Dep}$ 以及 $t_{1,1}^{Arr} \sim t_{1,N}^{Arr}$ 求算容量，而本研究則將之擴充，以第 1 個區段之結果配合下一個區段之參數（停站時間、站間運轉時間、號誌時距等）求算 $t_{2,1}^{Dep} \sim t_{2,N}^{Dep}$ 以及 $t_{2,1}^{Arr} \sim t_{2,N}^{Arr}$ ，如此反覆處理直到所有區段計算完畢後，最後再以式(6.1)進行連續區段容量計算。值得強調的是，由於列車可能透過車站進行追越待避，因此每個區段的列車順序可能會有所異動，意即 $t_{i,j}^{Arr}$ 與 $t_{i+1,j}^{Arr}$ 可能並非是同一車次。

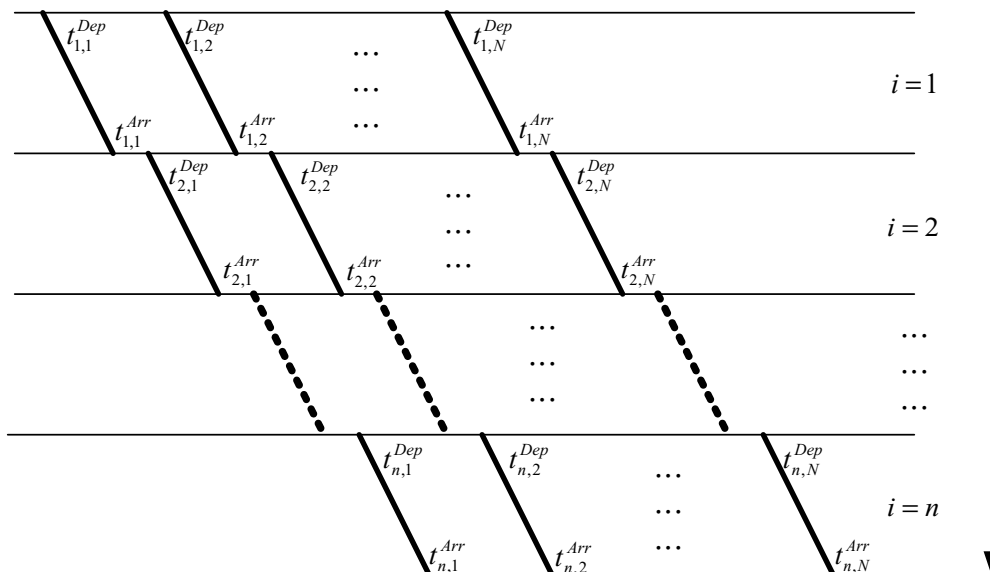


圖6-2 連續區段模式使用之變數示意圖

$$C = \frac{3600}{\frac{t_{N,n}^{Arr} - t_{1,n}^{Arr}}{N-1} \times (1 + \beta)} \quad (6.1)$$

式中：C＝連續區段容量（Trains/Hour）

N＝模擬列車數

β ＝寬裕時間係數

$t_{1,n}^{Arr}$ ＝最末區段（第n區段）第1列車的到站時間（秒）

$t_{N,n}^{Arr}$ ＝最末區段（第n區段）最末列車（第N列車）到站時間（秒）

6.2.2 假設條件

以下列舉本模式之假設條件並簡略說明之。

1. 繼承單一區段模式之所有假設

由於連續區段模式中的號誌時距參數是由單一區段模式計算而得，因此對於單一區段模式的假設會概括接收。

2. 所有列車均行經n個連續區段

考慮 N 列車全貫穿 n 個區段所計算出的平均時距是一種較為保守的容量計算方式，此假設亦可省去使用者逐一輸入各車次的起迄站資訊，特別是模擬列車數 N 可能動輒數百或上千，逐一輸入起迄站相當耗時。況且實際運用模式時，連續區段數 n 亦可由使用者自行決定，已具有相當大之彈性。

3. 遵守基本的列車運轉規則

本研究考慮的規則項目與說明如表 6.1。

表6.1 列車基本運轉規則與考慮

列車基本運轉規則	補充說明
保持號誌時距 $T_{s,A}$ 與 $T_{s,D}$ 充足	單一區段模式亦有考慮
不允許站間中途追越行為	此為列車追撞行為，故應排除
不允許站內列車數超過股道數量	此為列車追撞行為，故應排除
站間運轉時間不可改變	規劃階段與容量計算均如此考慮
列車通停組態不可改變	通停組態修改會影響站間運轉時間

4. 不考慮第 III 型月台的反向列車平面交叉

由於單一區段模式已將其反應在號誌時距數值上，故在連續區段不予考慮。

6.2.3 輸入參數

本模式的輸入參數計有 5 大類 9 小項如表 6.2，其中 3 項參數係屬單一區段容量模式之輸入參數；2 項參數則屬於單一區段容量模式之輸出結果。在另外 4 項輸入參數中，「運轉寬裕」係公式(6.1)中之 β ；「欲模擬列車數」是讓使用者決定模擬規模；「車種組成比例」參數和過去單一區段模式中逐區段設定不同，而是以一組設定值套用到所有的區段內；「亂數種子」則是本模式用來隨機產生列車車種之參數。

表6.2 輸入參數名稱與來源分類表

參數分類	參數名稱	資料來源歸類		
		單區段模式之輸入	單區段模式之輸出	其他
全域參數	運轉寬裕	—	—	√
	欲模擬列車數	—	—	√
交通組成	車種組成比例	—	—	√
	亂數種子	—	—	√
車站參數	車站清單與順序	√	—	—
列車路線交互關係參數	站間運轉時間	√	—	—
	計畫停站時間	√	—	—
號誌時距	進站時距 $T_{s,A}$	—	√	—
	離站時距 $T_{s,D}$	—	√	—

6.2.4 計算流程

雖然圖 6-2是以「逐區段計算」的概念反覆求算容量，但此方法存在明顯的效能缺陷，以列車模擬數量是 1000 列為例，若第 5 列車於第 i 區段因號誌時距不足需增加 $t_{i,5}^{Dep}$ ，很有可能第 1 到第 $i-1$ 各區段都有大量的 t^{Dep} 與 t^{Arr} 需要偏移固定數值，基於效能的考慮，本研究改以「逐車次調整為主、逐區段調整為輔」的調整程序如圖 6-3所示。

首先根據使用者設定的「車種組成比例」與「亂數種子」產生第 1 列車進入系統，接著從第 1 區段開始逐區段調整列車的到開時間，直到列車到達最後一個區段，然後同樣再以「車種組成比例」與「亂數種子」產生下一列車，逐區段調整其到開時間，直到模擬的列車數達到「欲模擬列車數」為止。

圖 6-3中深色底的「調整列車到開時間」為計算程序的重點，無論是在第 1 區段之調整或後續區段之調整，兩者的差異僅在於前者是以原始輸入的車次資訊作為輸入，後者則以上游區段的車次到開時間作為輸入，因此一併於6.2.4.1節中介紹之。而當調整列車的到開時間

時，有可能與系統中的其他列車發生連鎖推擠，對於本模式如何處理此連鎖推擠問題，則於6.2.4.2節詳細說明。

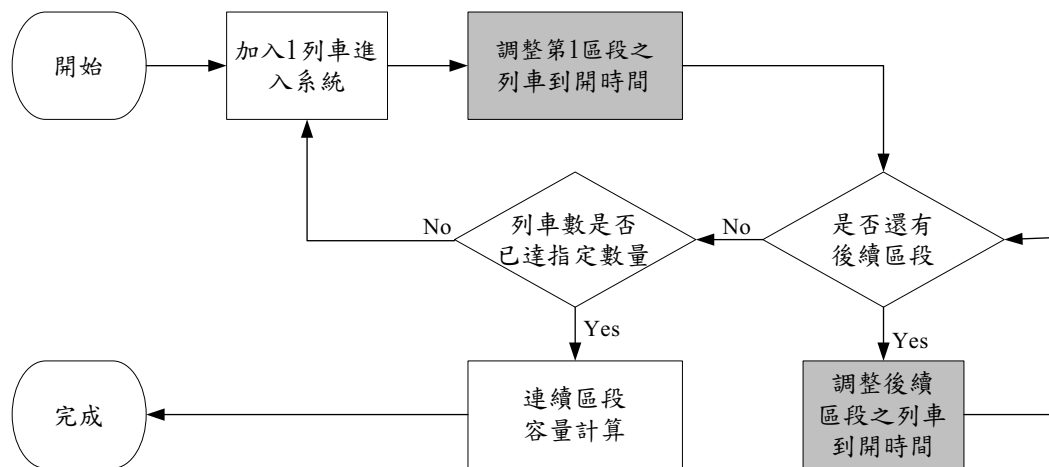


圖6-3 以逐車次調整為主的反覆疊代計算程序

6.2.4.1 列車到開時間之調整

根據圖 6-2可知，由於離站時間 $t_{i,j}^{Dep}$ 會比到站時間 $t_{i,j}^{Arr}$ 還要早，因此在計算列車到開時間時，採取先計算 $t_{i,j}^{Dep}$ 再計算 $t_{i,j}^{Arr}$ 之策略。在調整 $t_{i,j}^{Dep}$ 時，需考慮其與先行車（ex: $t_{i,j-1}^{Dep}, t_{i,j-2}^{Dep}$ 等）及續行車（ex: $t_{i,j+1}^{Dep}, t_{i,j+2}^{Dep}$ 等）的關係是否合理，為利於後續說明，本研究稱「檢核 $t_{i,j}^{Dep}$ 與 $t_{i,j-1}^{Dep}$ 之間是否存在衝突」為檢核程序 I；「檢核 $t_{i,j}^{Dep}$ 與 $t_{i,j+1}^{Dep}$ 之間是否存在衝突」則稱為檢核程序 II。

同理，在調整 $t_{i,j}^{Arr}$ 時，亦需考慮其與先行車（ex: $t_{i,j-1}^{Arr}, t_{i,j-2}^{Arr}$ 等）及續行車（ex: $t_{i,j+1}^{Arr}, t_{i,j+2}^{Arr}$ 等）的關係是否合理，「檢核 $t_{i,j}^{Arr}$ 與 $t_{i,j-1}^{Arr}$ 之間是否存在衝突」以下將稱為檢核程序 III，「檢核 $t_{i,j}^{Arr}$ 與 $t_{i,j+1}^{Arr}$ 之間是否存在衝突」以下將稱為檢核程序 IV。I~IV 四個檢核程序區塊如圖 6-4，在檢核程序 I 與檢核程序 III 裡，第 $j-1$ 列車為先行列車，第 j 列車為續行列車，在檢核程序 II 與檢核程序 IV 中，第 j 列車為先行列車，第 $j+1$ 列車為續行列車。整個計算程序可整理如圖 6-5。

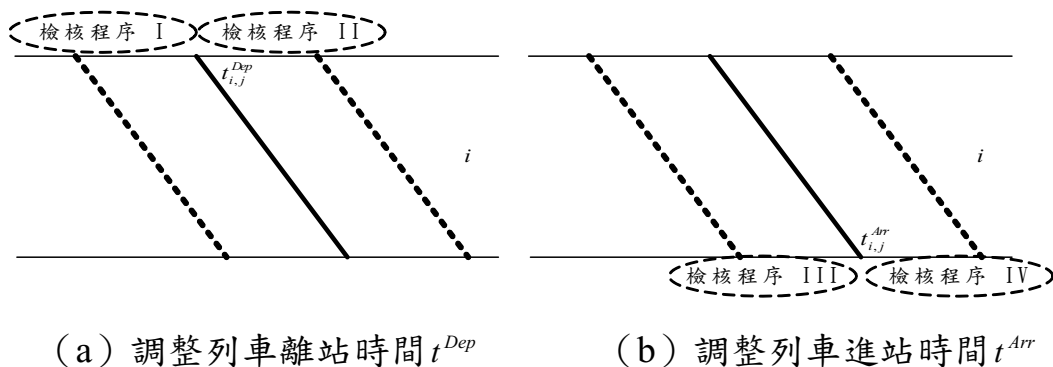


圖6-4 列車離站/進站時間之檢核調整

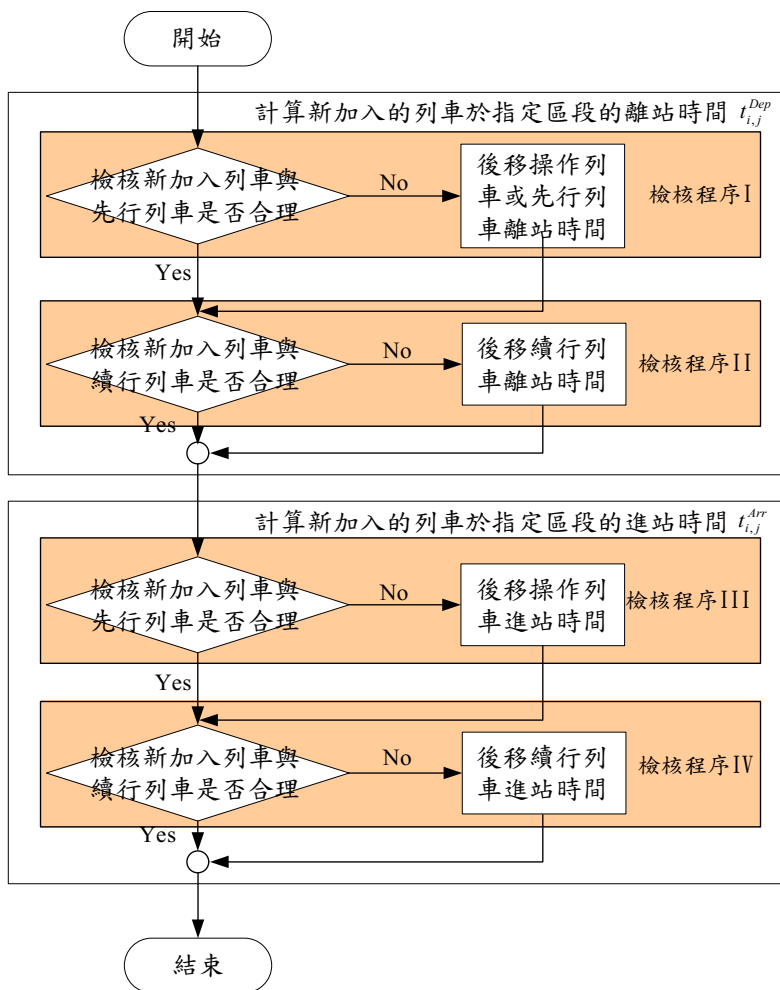


圖6-5 調整列車到開時間之整體流程

表 6.3 則分別彙整比較圖 6-4 中提及的 4 項檢核程序，分別就檢核內容、調整對象以及流程圖來比較，其中檢核流程如圖 6-6～圖 6-10。

表6.3 各種檢核與調整項目之比較表

項目	檢核程序 I	檢核程序 II	檢核程序 III	檢核程序 IV
檢核內容	離站號誌時距 站間追越現象 先行車待避	離站號誌時距 站間追越現象	進站號誌時距 站內股道數	進站號誌時距 站內股道數
調整對象	先行/續行列車 (圖 6-4(a)實線虛線)	續行列車 (圖 6-4(a)虛線)	先行列車 (圖 6-4(b)實線)	續行列車 (圖 6-4(b)虛線)
流程	圖 6-6	圖 6-8	圖 6-9	圖 6-10

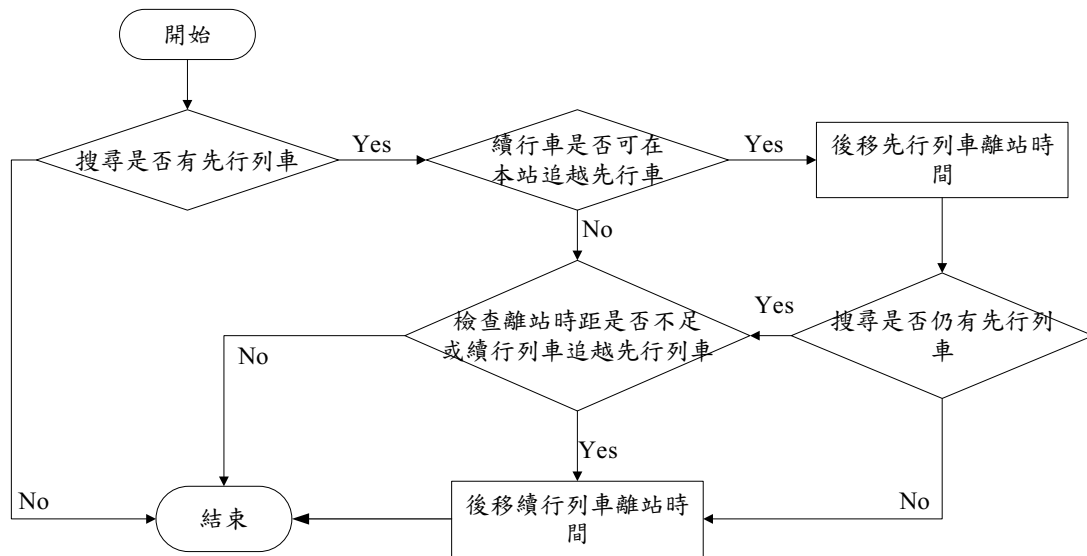


圖6-6 檢核程序 I 之流程圖

圖 6-6 中的「續行車是否可在本站追越先行車」的條件包括以下 3 點，必須要全部成立方允許追越如圖 6-7。

1. 先行列車為慢車：即續行車在前一區段的運轉時間小於先行車。
2. 先行列車在該車站有停站：即先行列車在該車站停站時間大於 0。
3. 離站時距不足：續行車與先行車在計算區段中離站時距不足。
4. 站內股道數足夠：即站內有多餘股道可供待避。

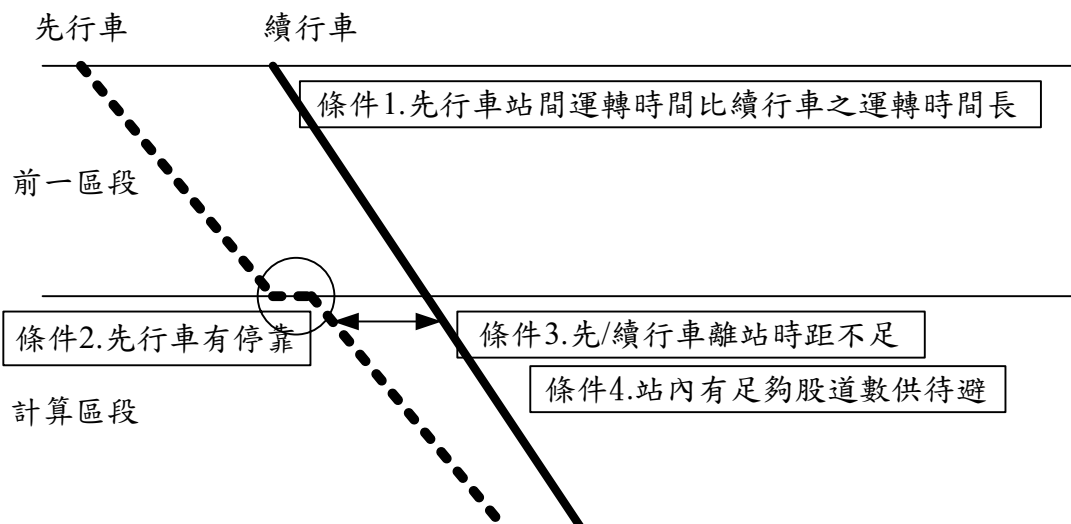


圖6-7 續行車追越先行車之條件圖

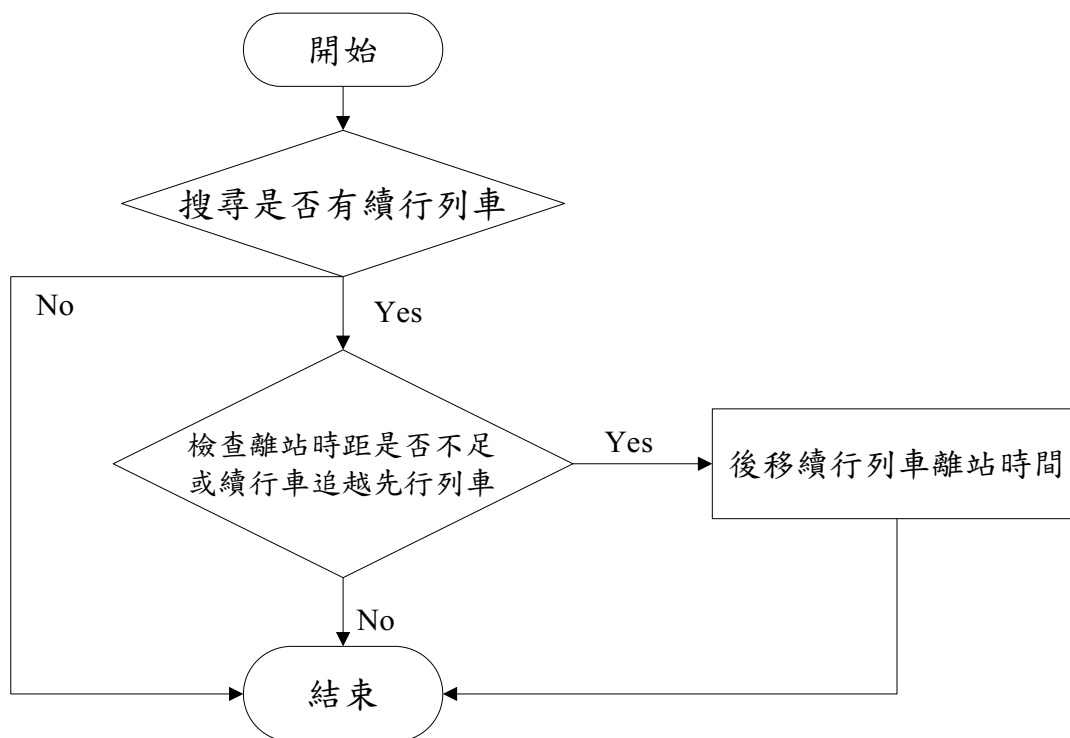


圖6-8 檢核程序 II 之流程圖

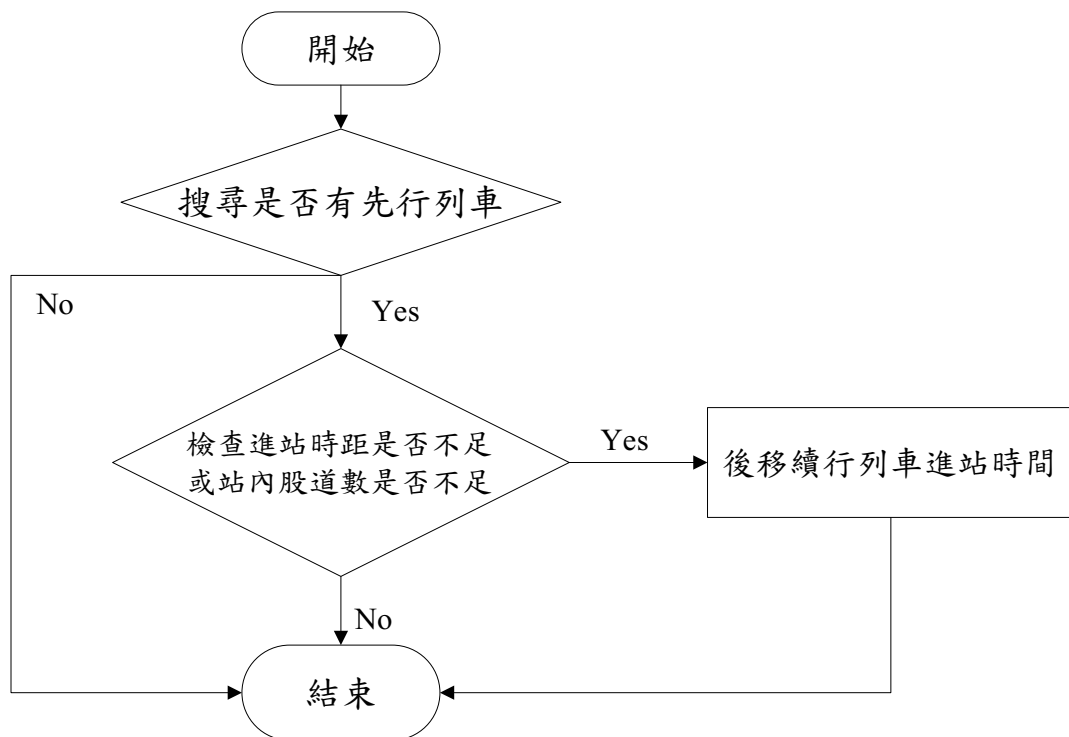


圖6-9 檢核程序 III 之流程圖

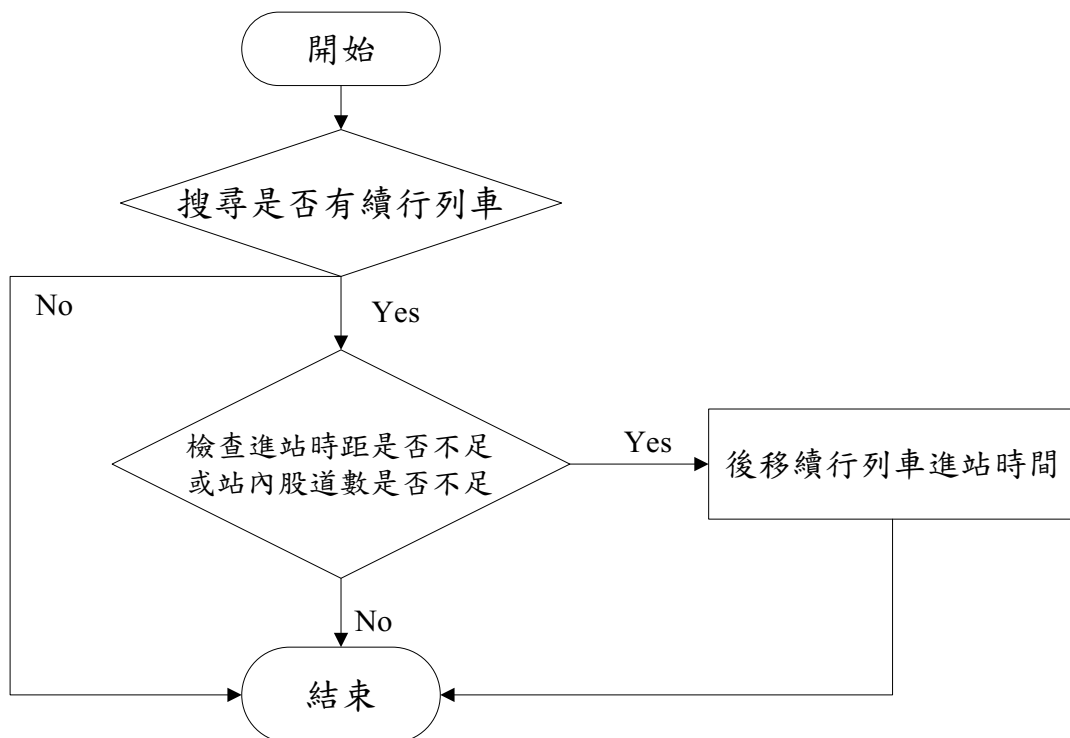


圖6-10 檢核程序 IV 之流程圖

6.2.4.2 列車連鎖推擠之處理

在圖 6-5中進行各種列車（含先行列車、續行列車）之「後移進/離站時間」動作時，均極有可能與系統中的其他列車發生連鎖推擠，為了在調整各列車於各站的進/離站時間時，不改變其運轉時間並滿足時距和軌道數等條件，本研究定義了「後移事件」並搭配一個堆疊（Stack）容器來處理列車的連鎖後移。「後移事件」是由以下四種資訊組成，其中第(3)與第(4)項必有一項為 0，而另一項則記錄後移量。

- (1) 後移地點（即車站）
- (2) 後移車次
- (3) 進站時間後移量
- (4) 離站時間後移量

當在圖 6-5中觸發任何一個後移事件時，模式會將「後移事件」依區段順序加入堆疊容器中，接著才正式處理「後移事件」，處理前必須確保該「後移事件」不會再觸發其他後續列車產生「後移事件」，若會觸發者，則必須把後續列車的「後移事件」也丟入堆疊容器。如此反覆執行直到堆疊中已無任何「後移事件」後，方算完成一次由圖 6-5所觸發的後移動作，整個程序如圖 6-11。

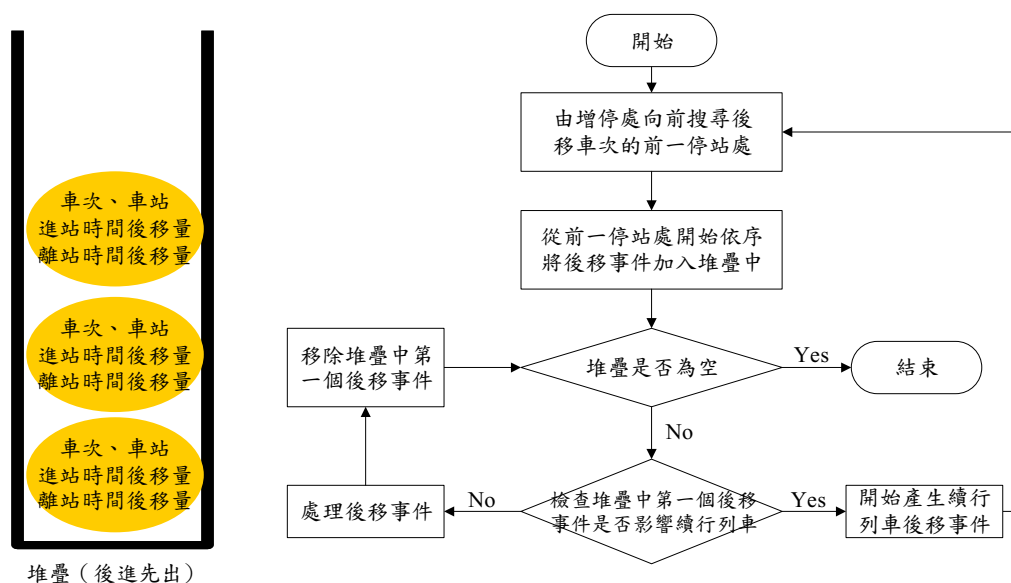


圖6-11 利用堆疊操作完成連鎖後移事件之流程圖

為了讓讀者能更加容易明瞭此處理流程，以下透過圖 6-12 之範例說明之。假設要將圖 6-12 中的列車 2 在車站 B 之離站時間後移 d 單位，根據圖 6-11 之處理流程，首先找出列車 2 在車站 B 以前（包含車站 B）的第一個停站處，也就是車站 A，再由車站 A 開始，依序將列車 2 在各站的後移事件加入堆疊中，如圖 6-13。

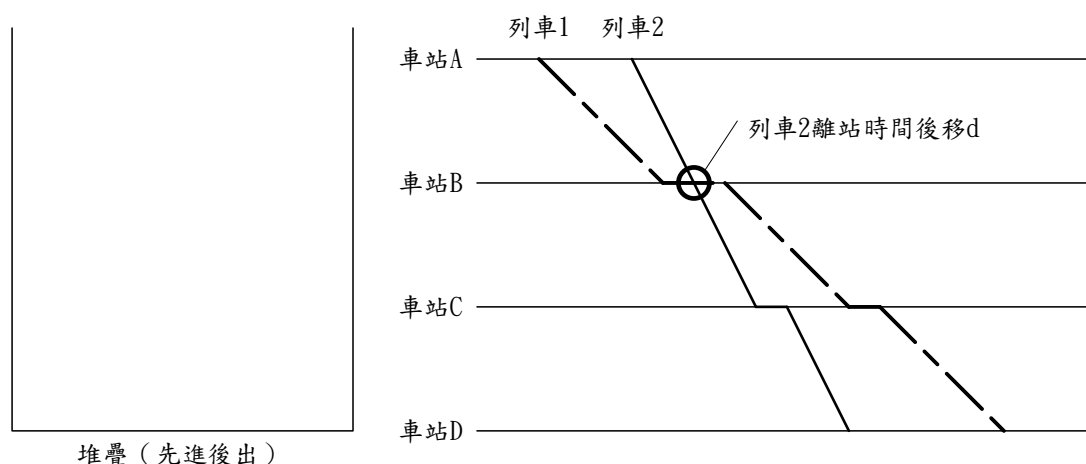


圖6-12 處理列車連鎖推擠範例示意圖 1

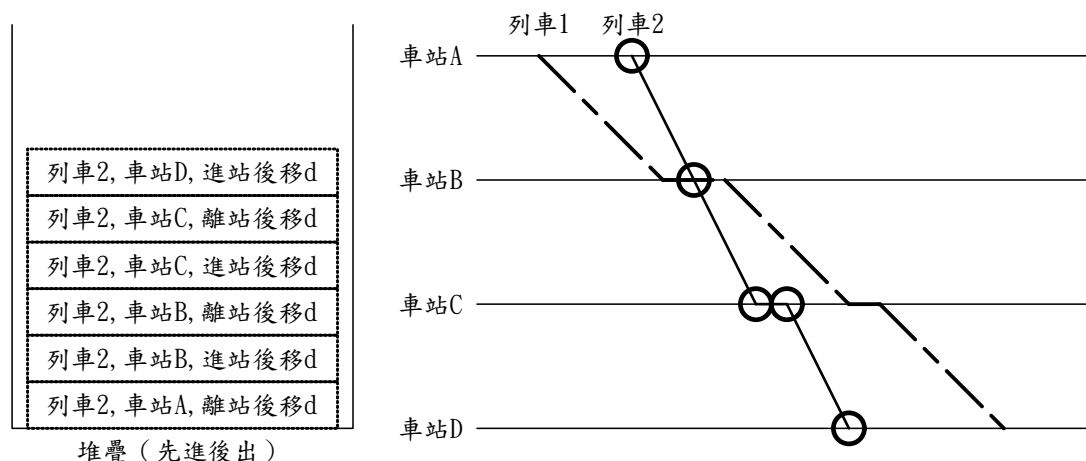


圖6-13 處理列車連鎖推擠範例示意圖 2

接著便開始處理堆疊中的後移事件，此時堆疊中第一個後移事件的意義為：將列車 2 於車站 D 的進站時間後移 d 單位，由於此事件並不會造成後續列車的連鎖推擠，因此可直接將進站時間後移 d 單位，如圖 6-14 所示，並將堆疊中第一個後移事件移除。由於堆疊中尚有其他後移事件，所以繼續處理下一個事件：列車 2 於車站 C 的離站時間

後移 d 單位，如圖 6-15 所示。以此類推逐一處理堆疊中的事件，直到如圖 6-16，要處理列車 2 於車站 B 的離站時間後移事件時，續行的列車 1 和列車 2 之間的離站時距不足，因此列車 1 於車站 B 的離站時間也需一併後移 d 單位，才能保持足夠的時距。

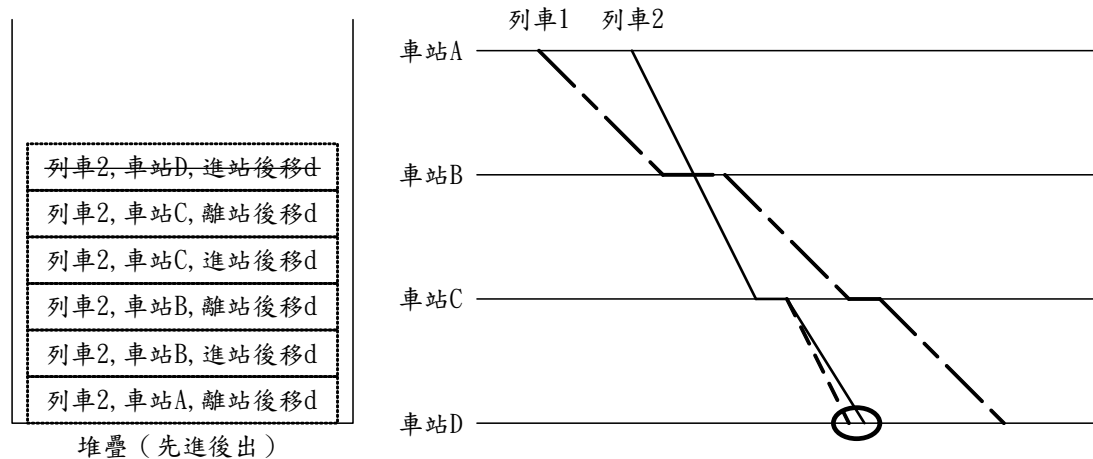


圖6-14 處理列車連鎖推擠範例示意圖 3

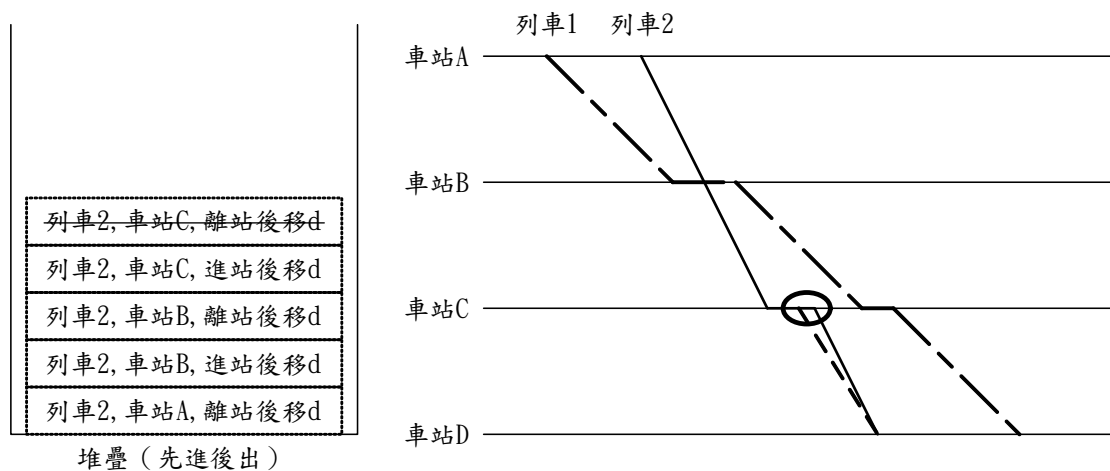


圖6-15 處理列車連鎖推擠範例示意圖 4

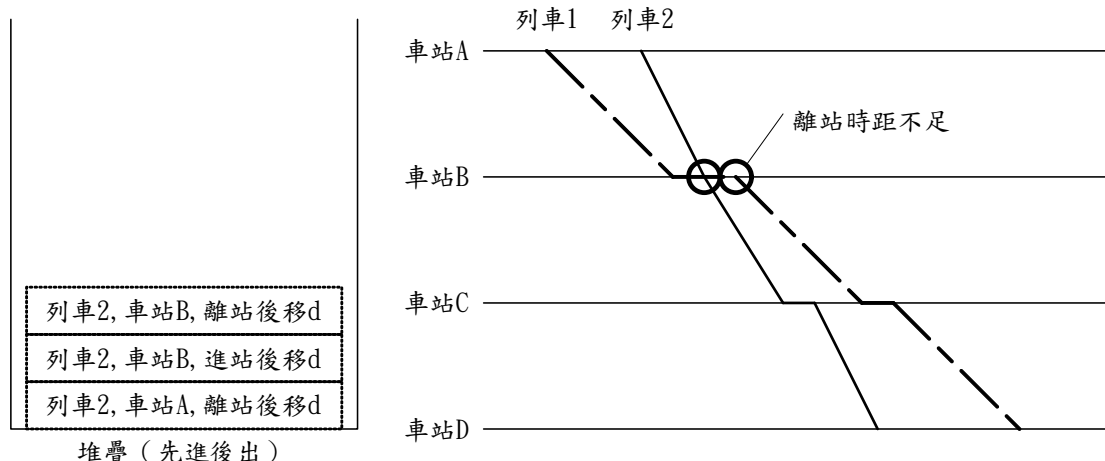


圖6-16 處理列車連鎖推擠範例示意圖 5

就如同一開始後移列車 2 的情況一樣，要將列車 1 於車站 B 的離站時間後移 d 單位，首先找出列車 1 在車站 B 以前（包含車站 B）的第一個停站處，也就是車站 B 本身，再由車站 B 開始，依序將列車 1 在各站的後移事件加入堆疊中，如圖 6-17，之後再逐一繼續處理堆疊中的後移事件。

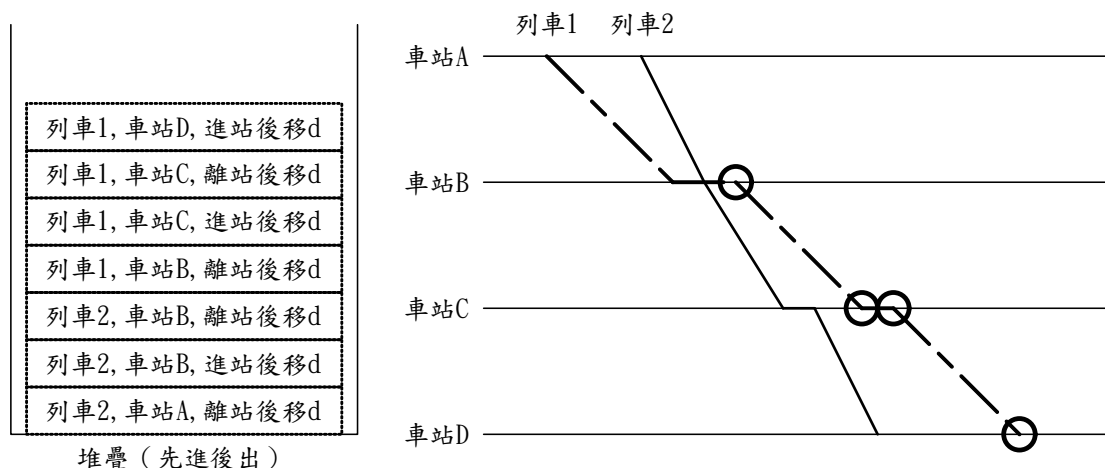


圖6-17 處理列車連鎖推擠範例示意圖 6

當堆疊中所有有關列車 1 的後移事件都處理完成後，其結果如圖 6-18所示，此時堆疊中的第一個後移事件：將列車 2 於車站 B 的離站時間後移 d 單位，已經不會造成列車 1 離站時距不足的問題，因此可

直接將列車2的離站站時間後移 d 單位。當堆疊中所有的後移事件處理完成後，便完成了整個列車連鎖推擠的處理，結果如圖6-19所示。

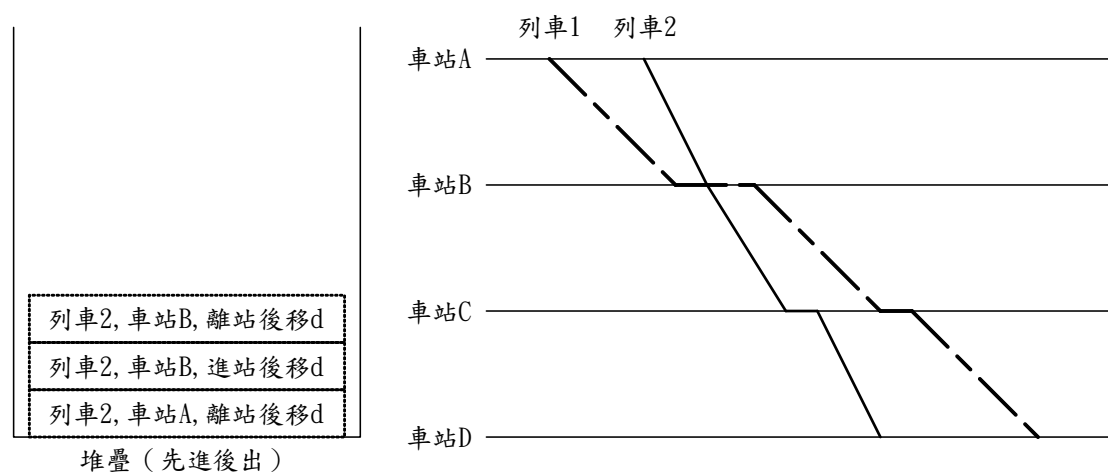


圖6-18 處理列車連鎖推擠範例示意圖 7

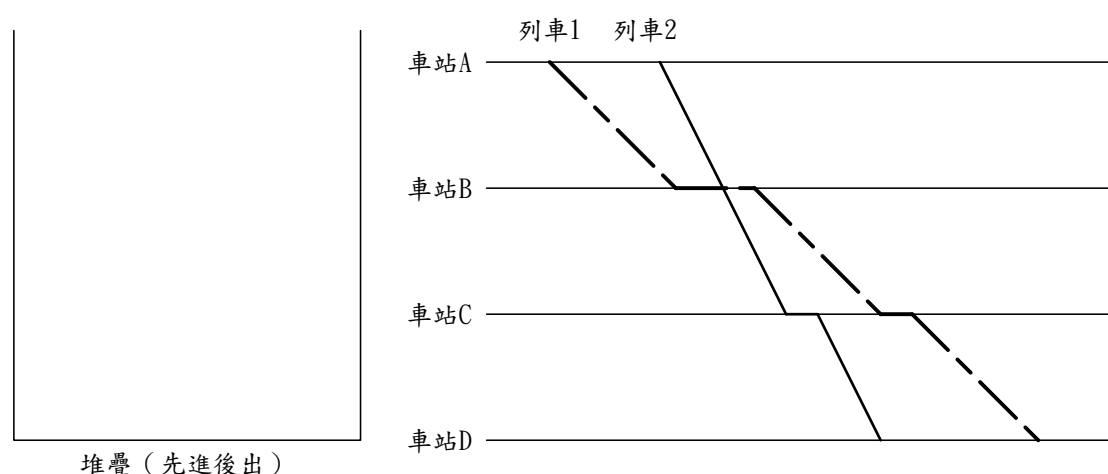


圖6-19 處理列車連鎖推擠範例示意圖 8

6.2.5 寬裕時間係數

容量分析過程中考慮寬裕時間係數主要的原因在於運轉過程中，無論是號誌顯示、轉轍器的操作、停車時間等過程均為隨機程序，不太可能百分之百精準地依預定的計畫來運作，因此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。

運轉寬裕係數之決定相當困難，除與系統複雜性（如快慢車混合運轉）外，與行車系統可靠度亦高度相關，過去單一路段容量研究中建議台鐵系統的寬裕時間係數約為 0.3，由於該數值含括了因連續區段所產生的容量損耗，故連續區段模式之寬裕時間係數理應比 0.3 小。

若假設目前台鐵車次最密集的區段「七堵-樹林」已達到可接受之可靠度下的最高容量利用率（每小時 11 列），在此前提下，將寬裕時間係數從 0 開始，以 0.05 為增量來計算容量，逆推所得到的寬裕時間係數約為 0.2，作為本研究初步建議值，然此參數可能依分析區段之數量不同而異，有待後續研究作進一步探討。

第七章 軌道容量案例分析

考慮七堵－樹林是目前台鐵局最密集且所有列車均行駛全部區段，故本研究以七堵－樹林間的區段進行案例分析。由圖 7-1 可知「單一區段容量模式」與「連續區段容量模式」是密不可分的，前者可視為後者的基礎，「連續區段模式」的輸入參數除了少數是特有的之外，大多數的來源係屬「單一區段容量模式」的輸入參數與輸出結果。因此，案例分析需從「單一區段容量模式」做起，雖然過去研究「運輸系統容量分析暨應用研究-軌道系統(1/4)」曾對基隆－新竹間進行「單一區段容量模式」的案例分析，但近四年來，鐵工局陸續推動若干臺鐵捷運化工程，同時南港專案（松山、南港車站地下化）的完工亦使許多容量計算參數有所變化，因此本章將重新進行「單一區段容量模式」與「連續區段容量模式」之案例分析，最後再進行兩種模式的綜合比較。

7.1 單一區段容量模式案例分析

本節將進行七堵－樹林間單一區段容量模式的案例分析，除了分別說明基本的輸入參數與計算結果之外，會額外列出各種先/續行列車組合的進站時距與離站時距，此資訊雖非「單一區段容量模式」的最終計算結果，但係屬「連續區段容量模式」的輸入參數，故呈現之。

7.1.1 輸入參數

單一區段模式所需輸入之參數眾多，本節將依據「交通部運研所－傳統暨區域鐵路系統軌道容量分析程式」之操作界面的分類方式將資料分為全域參數設定、列車參數設定、車站參數設定、列車與路線交互關係設定等四項來分別說明設定值。

7.1.1.1 全域參數

「單一區段容量模式」共計有 8 項全域參數，其參數名稱與在本案例中的設定值如表 7.1。

表7.1 全域參數設定參數表

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
寬裕時間係數	0.30
注意號誌速限	60km/h
第 II 種軌道佈設採用之 α	0.3333
第 III 種軌道佈設採用之 β	0.75

7.1.1.2 列車設定值

臺鐵的服務車種眾多，本案例中將考慮以下三種車種，為便於文章的說明，這三類列車將分別簡稱為「自強號」、「莒光號」與「通勤電車」。

1. 推拉式電車組（推拉式機車×2+推拉式客車×13，自強號）
2. E200~E400 牽引非動力客車（電力機車×1+客車×8，莒光/復興號）
3. EMU500 型通勤電車（8 車編組，通勤電車）

此三類列車的對應的參數設定值整理如表 7.2。由於本次的案例分析並不進行旅客數（即設計容量、可達成容量等）之分析，因此有關列車的掛載車廂數、座位數、立位面積、乘載水準等數值不予介紹。

表7.2 列車參數表

	自強號	莒光號	通勤電車
列車長度（公尺）	274	197	160
服務加速度（km/h/s）	1.25	0.85	1.25
服務減速度（km/h/s）	1.5	1.5	2.0
加速度性能有效因子	1.0	1.0	1.0
減速度性能有效因子	1.0	1.0	1.0

7.1.1.3 車站設定值

車站參數設定值眾多，包括閉塞區間的長度、進出站坡度、出發號誌機位置與轉轍器位置等，以下將車站參數彙總整理如表 7.3與表 7.4。表中所列軌道佈設類型可參考表 7.5，相關代號可參照圖 7-1之說明，其中的 S_x 與 S_t 值由於對結果不敏感且數值變異較小，均以預設值處理之。

表7.3 車站軌道配置參數表（東正線）

	佈設類型	進站坡度	離站坡度	B_2	B_1	B_s	B_n	B_{n-1}
單位	無	‰	‰	公尺	公尺	公尺	公尺	公尺
七堵	I	6.24	0	638	1329	1133	1625	2605
汐止	I	-1.5	4.98	1175	1134	691	1698	1749
南港	I	-6.32	-1	1248	2213	972	1933	875
松山	I	5.98	9.7	972	1933	875	1737	1350
台北	I	8.15	-4.07	1060	1080	1083	1432	885
萬華	II	-5.7	-9.8	1432	885	502	956	1584
板橋	I	0.1	-0.15	1584	814	1038	996	957
樹林	I	4.8	3.2	1293	1296	764	1450	1060

表7.4 車站軌道配置參數表（西正線）

	佈設類型	進站坡度	離站坡度	B_2	B_1	B_s	B_n	B_{n-1}
單位	無	‰	‰	公尺	公尺	公尺	公尺	公尺
樹林	I	-3.2	-4.8	1925	983	1067	1290	1608
板橋	I	0.15	-0.1	1608	1516	850	1434	1584
萬華	II	9.8	5.7	1584	851	497	1330	870
台北	I	4.07	-8.15	1330	870	705	1167	2250
松山	I	-9.7	-5.89	1090	993	789	1433	1425
南港	I	1	6.32	789	1433	1425	1654	2274
汐止	III	-4.98	1.5	2274	1195	968	1839	1658
七堵	I	0	-6.24	1788	2674	501	1113	947

表7.5 軌道佈設類型代號說明表

代號	類型說明	配置示意圖
I	兩島四股道以上	
II	一島一側無平面交叉三股道	
III	一島一側有平面交叉三股道	
IV	一島兩股道兩側兩股道	

2 1 N-1 N-2

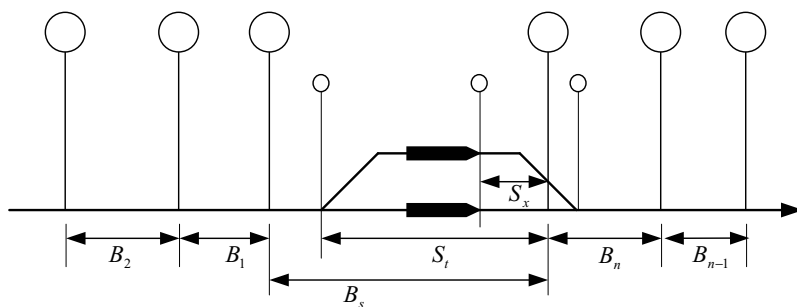


圖7-1 車站配置參數代號說明圖

7.1.1.4 列車與路線交互關係設定值

列車與路線交互關係的設定參數包括了（1）停站時間（2）站間運轉時間（3）平均巡航速度三項。

其中停站時間是雙向設定值皆一致如表 7.6，而站間運轉時間以及巡航速度則依不同方向有不同設定值分別如表 7.7與表 7.8。至於各車種的比例，參考該區間之全日列車數，南下方向設定自強號：莒光號：電車為 44：24：83，北上方向則設定為 44：23：76。

表7.6 停站時間設定值

車站	停站時間（單位：分）			車站	停站時間（單位：分）		
	自強號	莒光號	通勤電車		自強號	莒光號	通勤電車
七堵	2：00	2：00	1：00	臺北	2：00	2：00	1：00
汐止	2：00	2：00	1：00	萬華	0：00	2：00	1：00
南港	0：00	2：00	1：00	板橋	2：00	2：00	1：00
松山	2：00	2：00	1：00	樹林	0：00	2：00	1：00

單位：[分:秒]

表7.7 站間運轉時間設定值

區間	東正線（南下方向）			西正線（北上方向）		
	自強號	莒光號	通勤電車	自強號	莒光號	通勤電車
七堵—汐止	7：30	9：00	9：30	8：30	9：00	10：30
汐止—南港	5：30	6：30	6：30	5：00	6：30	4：30
南港—松山	2：30	4：30	3：00	2：30	4：00	3：00
松山—臺北	6：00	6：00	5：30	6：00	7：30	5：30
臺北—萬華	3：30	4：00	4：00	3：30	5：30	4：00
萬華—板橋	4：00	6：00	4：00	4：00	5：00	4：30
板橋—樹林	5：00	6：00	5：00	5：30	6：00	5：00

單位：[分:秒]

表7.8 巡航速度設定值

區間	東正線（南下方向）			西正線（北上方向）		
	自強號	莒光號	通勤電車	自強號	莒光號	通勤電車
七堵—汐止	81.20	64.89	66.56	76.75	64.89	63.71
汐止—南港	86.97	70.26	73.59	91.33	70.26	90.00
南港—松山	89.73	59.11	75.33	89.73	62.33	75.33
松山—臺北	86.00	76.00	83.21	86.00	67.47	83.21
臺北—萬華	75.33	61.33	64.67	75.33	53.70	64.67
萬華—板橋	87.33	62.67	80.67	87.33	68.53	75.78
板橋—樹林	86.53	69.33	79.87	82.61	69.33	79.87

單位：km/h

7.1.2 計算結果

單一區段容量模式計算結果如圖 7-2與圖 7-3，瓶頸區間主要為七堵—汐止。至於作為連續區段容量模式用的輸入參數—進站時距與離站時距資訊則如表 7.9～表 7.12。

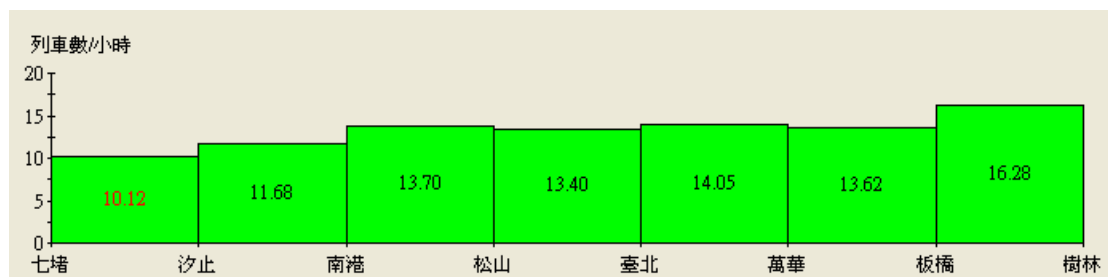


圖7-2 單一區段容量模式分析結果（東正線）

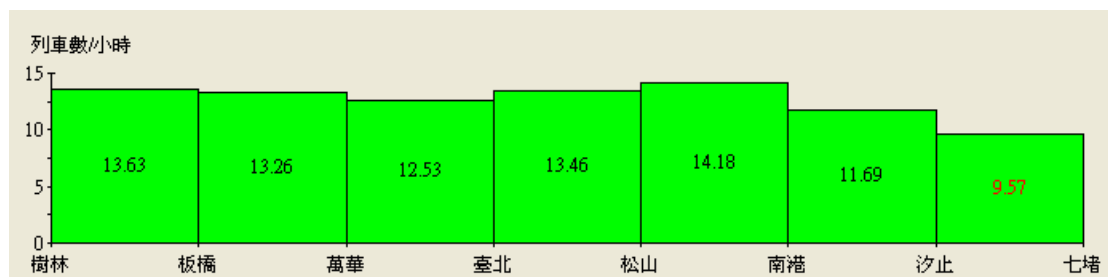


圖7-3 單一區段容量模式分析結果（西正線）

表7.9 進站時距值（東正線）

先行	自強	自強	自強	莒光	莒光	莒光	通勤	通勤	通勤
續行	自強	莒光	通勤	自強	莒光	通勤	自強	莒光	通勤
汐止	162	179	170	155	172	163	158	174	165
南港	222	247	230	215	241	223	218	243	226
松山	184	235	194	177	229	188	179	231	189
臺北	163	173	157	157	167	152	158	168	153
萬華	154	156	147	243	246	237	193	195	186
板橋	175	207	171	169	201	165	171	203	167
樹林	169	189	168	163	183	161	165	185	163

單位：秒

表7.10 離站時距值（東正線）

先行	自強	自強	自強	莒光	莒光	莒光	通勤	通勤	通勤
續行	自強	莒光	通勤	自強	莒光	通勤	自強	莒光	通勤
七堵	247	247	247	300	300	300	280	280	280
汐止	208	208	208	253	253	253	226	226	226
南港	173	173	173	233	233	233	186	186	186
松山	201	201	201	242	242	242	200	200	200
臺北	166	166	166	195	195	195	178	178	178
萬華	152	234	185	175	257	208	151	233	184
板橋	142	142	142	168	168	168	142	142	142

單位：秒

表7.11 進站時距值（西正線）

先行	自強	自強	自強	莒光	莒光	莒光	通勤	通勤	通勤
續行	自強	莒光	通勤	自強	莒光	通勤	自強	莒光	通勤
板橋	202	223	196	196	216	190	198	218	192
萬華	148	153	144	242	247	238	186	191	182
臺北	160	194	167	153	188	161	155	189	163
松山	161	172	146	154	165	139	157	168	142
南港	181	220	188	175	213	182	177	215	184
汐止	216	247	203	209	240	197	212	243	199
七堵	257	287	285	250	281	279	252	283	281

單位：秒

表7.12 離站時距值（西正線）

先行	自強	自強	自強	莒光	莒光	莒光	通勤	通勤	通勤
續行	自強	莒光	通勤	自強	莒光	通勤	自強	莒光	通勤
樹林	182	182	182	211	211	211	181	181	181
板橋	185	185	185	225	225	225	196	196	196
萬華	176	260	213	214	297	250	181	264	217
臺北	197	197	197	239	239	239	197	197	197
松山	171	171	171	223	223	223	186	186	186
南港	223	223	223	281	281	281	221	221	221
汐止	224	224	224	262	262	262	250	250	250

單位：秒

7.2 連續區段模式案例分析

以下依序介紹輸入參數、計算結果與敏感度分析結果。

7.2.1 輸入參數

輸入參數清單與數值如表 7.13，其中計畫停站時間與站間運轉時間可參考表 7.6與表 7.7，號誌安全時距則如表 7.9～表 7.12。

表7.13 連續區段容量模式輸入數值一覽表

參數名稱	南下方向設定值	北上方向設定值
運轉寬裕 β	0.2	0.2
模擬列車數 N	1000	1000
車種比例(自強號：莒光號：電車)	44：83：24	44：76：23
亂數種子	0	0
車站清單	七堵→樹林	樹林→七堵
站間運轉時間	參閱表 7.7	參閱表 7.7
計畫停站時間	參閱表 7.6	參閱表 7.6
進站時距 $T_{s,A}$	參閱表 7.9	參閱表 7.11
離站時距 $T_{s,D}$	參閱表 7.10	參閱表 7.12

7.2.2 計算結果

依前節輸入參數進行疊代計算後，東正線（逆行）與西正線（順行）之最末區間平均時隔（即 $\frac{t_{N,n}^{Arr} - t_{1,n}^{Arr}}{N-1}$ ）分別為 273.82 秒與 293.67 秒，在運轉寬裕 β 值為 0.2 時，容量值分別約為 10.96 列次與 10.22 列次。與目前該區間最密集車次相當接近。雖然這些數值略高於單一區段容量分析模式的計算結果，此係因為兩者的計算邏輯與寬裕係數的設定值不同所致，但兩者誤差不大，結果仍然相當吻合。

7.2.3 敏感度分析

以下對模式中不同參數的敏感度進行分析，藉以瞭解模式特性。

7.2.3.1 連續區段數

連續區段模式與單一區段模式的主要差異在於考慮 n 個連續區段，而考量的連續區段多寡可能影響容量的計算結果，因此針對連續區段的數量進行敏感度分析。若由七堵—汐止起逐一增加連續區段數 n ，則 $n=1$ 至 $n=7$ 的容量值分別如圖 7-4，從中可發現隨著考慮區間越多，容量值會微幅下降。

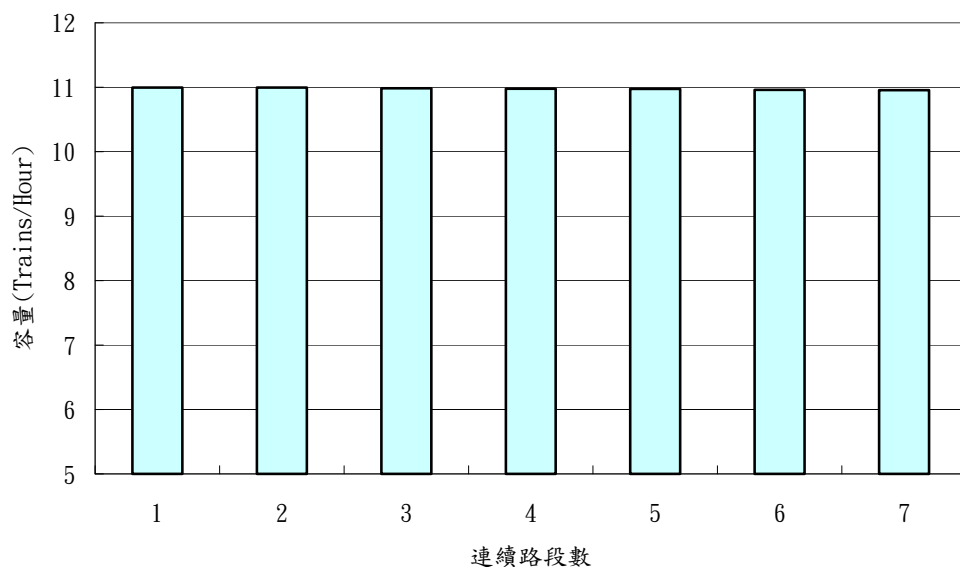


圖7-4 連續區段數與連續區段容量值關係圖（七堵-樹林）

若進一步考慮更長的區段數，本研究亦嘗試進行基隆—新竹共 20 個連續區段可得到如圖 7-5。從中可進一步確認當考慮的連續區段數越多，因為交互干擾數越多而導致容量值越低，而且其中容量值下降較明顯之處（第 11 個區段為鶯歌—桃園）也與單一區段分析結果中的瓶頸處相互呼應。

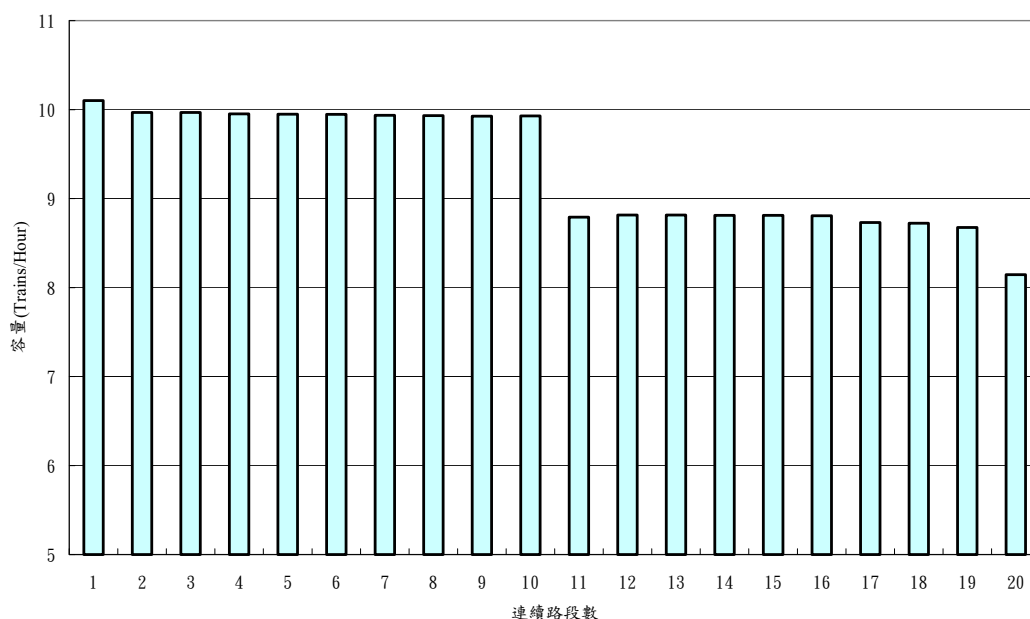


圖7-5 連續區段數與連續區段容量值關係圖（基隆-新竹）

7.2.3.2 交通組成

一般認為交通組成愈單純，容量值愈高，透過此敏感度分析可支持此先驗知識。原案例分析中依現況設定有三種車種，但在敏感度分析時，由於三種車種之變化繁多且不容易用單一維度表達趨勢，同時未來台鐵將逐漸朝向車種簡化目標邁進，因此在本敏感度分析中，僅考慮自強號與通勤電車兩車種之各種交通組成如圖 7-6，越左側通勤電車比率越高，越右側自強號比例越高，由圖 7-6可發現容量值大致呈現一個 V 字型，意即交通組成越單純，容量值越高。而其中通勤電車比率高時的容量較自強號比例高時還低，主要原因可能在於自強號的號誌時隔較低，例如以表 7.9～表 7.12的平均數值而言，連續兩列自

強號的平均號誌時隔為 186 秒左右，而連續兩列通勤電車的號誌時隔平均約為 194 秒。而反應在容量上的差異亦不會太大。

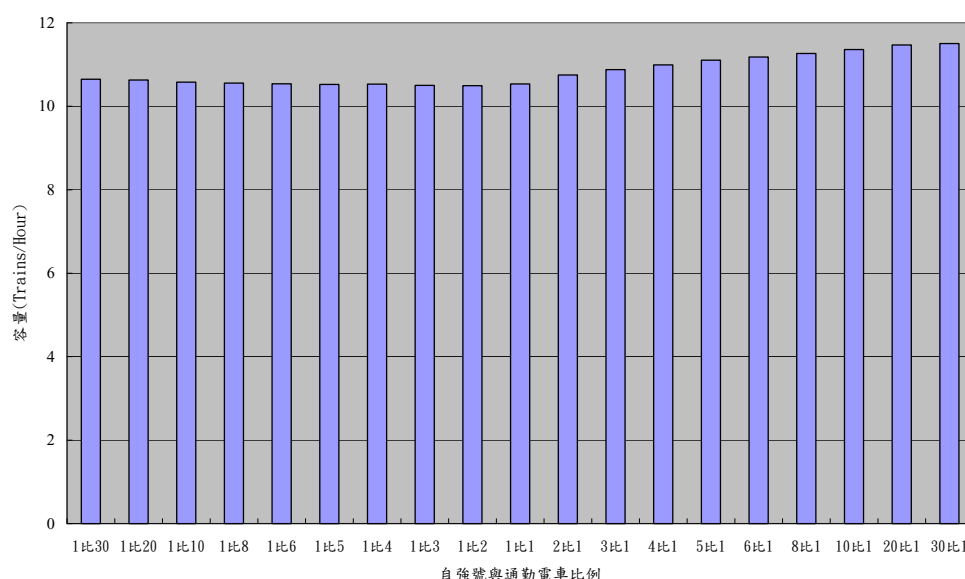


圖7-6 交通組成與連續區段容量值關係圖

7.2.3.3 模擬列車數

模式中的模擬列車數 N 是由使用者決定，理論上，如果列車數夠多的話，系統會達到穩定狀態，但相對地也需付出足夠的運算時間，因此透過模擬列車數的敏感度分析，提出合適的設定值。

在案例分析中設定為 1000 列次，而本節則是分別設定 1~2000 列次，分別計算其容量並繪製如圖 7-7。從中可發現在 100 列次以前容量值變化最大，100~500 列次之，500 列次之後的變化就很小，特別是 1000~2000 列次之變化更是極小，故初步建議列車模擬數設定在 500~1000 列次為宜。

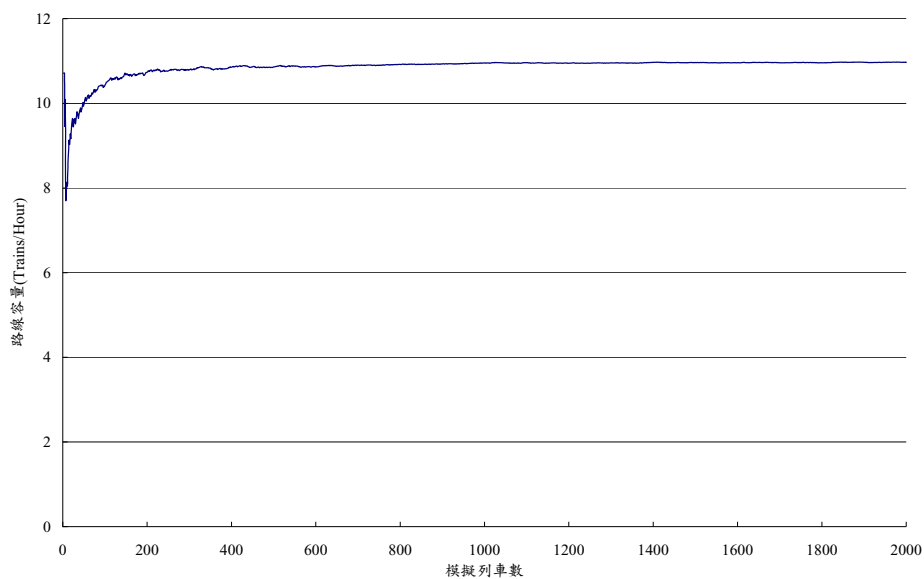


圖7-7 模擬列車數與連續區段容量值關係圖

7.2.3.4 亂數種子

本模式中的亂數種子會影響容量計算的結果，為瞭解其差異，除了案例分析中以 0 作為亂數種子外，本研究另外分別以 9 種亂數種子進行分析，並將其結果繪製如圖 7-8。

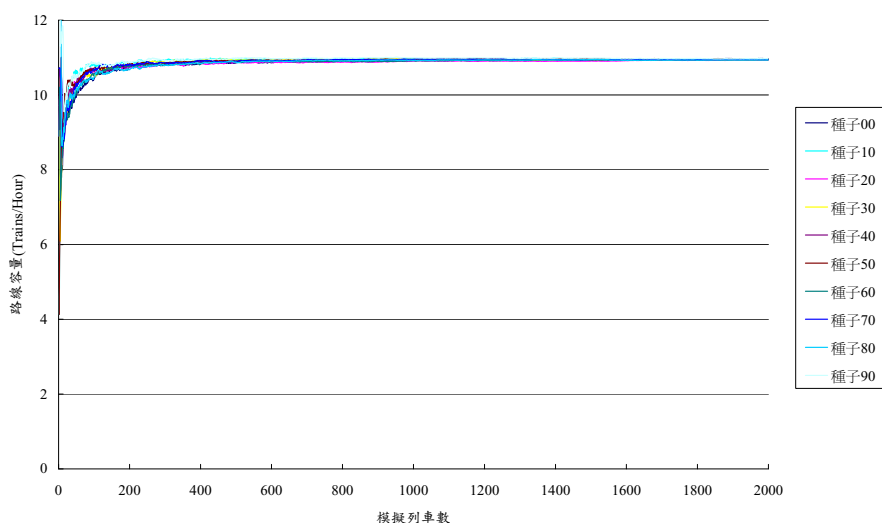


圖7-8 不同亂數種子下模擬列車數與連續區段容量值關係圖

從中發現在 1000 列次以前，不同種子的計算結果差異較大，為了清楚說明各種子間的差異，以下將以圖 7-8為基礎，分別比較 11 組

種子之最小值、平均值、最大值如圖 7-9，從中可發現最大值與最小值之差距約在 0.1 以下，表示計算結果呈現穩定（Stable）狀態。

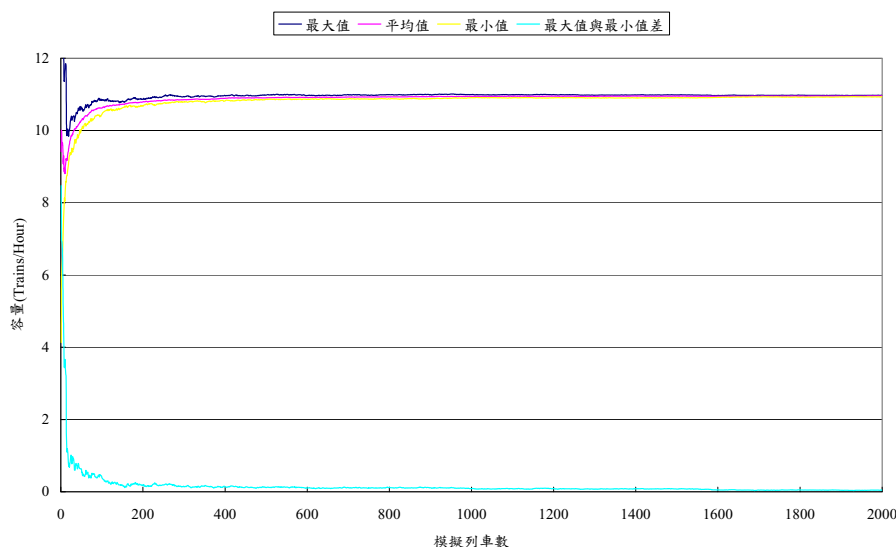


圖7-9 11 組不同種子之最大/平均/最小容量值之比較圖

7.3 綜合比較

「單一區段容量模式」與「連續區段容量模式」均能進行路線容量分析作業，綜觀此兩種模式之模式特性，兩者之差異可整理如表 7.14，但由於「連續區段容量模式」無論在輸入參數或模式假設上均承襲「單一區段容量模式」，故「連續區段容量模式」亦可視為「單一區段容量模式」之延伸或擴充。

就應用面而言，在「衡量系統績效」方面，「單一區段容量模式」是逐一個別計算各區段之容量，而「連續區段容量模式」則可考量上/下游車站交互影響來計算容量；就「找尋路線瓶頸」的角度來看，使用「單一區段容量模式」具有事半功倍之效，「連續區段容量模式」雖有協助檢核瓶頸之用，但過程較為繁雜；若要「探討系統升級或容量改善」，採用「單一區段容量模式」著重在某區段之改善，「連續區段容量模式」則可分析對整體改善之成效。

表7.14 單一區段容量模式與連續區段容量模式比較表

比較項目	單一區段容量模式	連續區段容量模式
理論基礎	閉塞時間 (Blocking Time)	列車基本運轉規則
方法論	解析模式	模擬模式
重要假設	詳見 6.1 節	詳見 6.2.2 節
主要輸入參數	列車、車站 (含路線) 列車與路線交互關係	列車與路線交互關係 進站時距/離站時距
輸出結果	號誌安全時距	連續路段平均時隔
上/下游車站	不考慮上/下游車站之影響	有考慮上/下游車站之影響
求解時間	較短	較長
適用時機	找尋路線瓶頸位置	整體路線容量績效評估

資料來源：本研究整理

第八章 結論與建議

本研究以臺鐵局提供之「表訂時刻表」、「列車實際到開時間」與「延滯或事故原因記錄」等資訊進行系統化的分析，包含列車延滯的時空分布分析以及延滯原因分析。另外亦以「臺灣地區軌道容量手冊」之容量分析模式為基礎，進一步建構連續區段容量分析模式。以下分別說明本研究之結論與建議。

8.1 結論

1. 利用列車延滯時空分布分析，可清楚檢視列車運轉過程中延滯的累積、擴散和消滅之狀況。根據 98 年 12 月 1 日到民國 99 年 3 月 25 日期間的資料分析所得之結果，獲得以下結論：
 - (1) 從時間的角度來看，臺鐵列車的延滯情況假日比平日嚴重，下午比上午嚴重。
 - (2) 從空間的角度來看，北部都會區的延滯情況最為嚴重，中南部則較為輕微，且北部和南部有明顯的方向性區別。
 - (3) 造成列車延滯量增加通常集中在某些區間，例如在順行方向(順時鐘方向)的臺南到永康、斗六到林內、豐原到后里，以及逆行方向(逆時鐘方向)的板橋到山佳、隆田到善化等區間。
 - (4) 依本研究報告 3.4 節「特殊事件列車延滯情形」之分析結果顯示，列車延滯時空分布分析方法亦可用於分析地震發生時列車的延滯情況。
2. 在臺鐵對號列車延滯原因分析中，本研究利用風險管理的概念探討各項延滯原因的風險，根據民國 99 年 2 月 22 日到 3 月 25 日期間的資料分析所得之結果，發現「旅客」、「交會待避」、「慢行」和「車輛故障」為延滯風險較高的原因。

3. 透過停站與運轉時間變異分析發現：桃園站的停站時間不足，尤其在假日期間的逆行方向；而隆田到善化間的表訂站間運轉時間可能不足，導致列車經常在此區間延誤。
4. 對於本研究有關臺鐵列車服務可靠度之結論，皆是根據當下之資料進行分析的結果，但隨著時間變遷、營運情況改變，雖然分析的結果可能會有所改變，但分析的方法仍然適用。
5. 延滯時空分布分析與延滯原因分析係著重在「延滯現況分析」的探討，而可靠度分析的另一重要課題為「延滯推估」，其中在探討時刻表穩定度相關的研究方面，經常需以列車停站與運轉時間的分布狀態作為參數，因此本研究進而進行停站及運轉時間變異分析，其結果可作為「延滯推估」相關研究之重要參考依據。
6. 連續區段容量分析可視為單一區段容量模式之延伸，可補足單一區段容量模式沒有考慮上/下游車站交互影響之缺點，提供更貼近實務的容量分析結果。
7. 有關連續區段容量分析模式中的寬裕係數 β ，因為相較於單一區段模式而言，連續區段模式考量了上/下游車站的交互影響，故寬裕係數理應較小，而本研究在假設目前臺鐵最密集區段（七堵—樹林）已達最高容量的前提假設下，校估反推寬裕係數值 β 為 0.2。
8. 從敏感度分析過程中發現，分析的連續區段數越多時，容量值將越低，同時亦發現簡化車種將有助於路線容量之提升。

8.2 建議

1. 目前臺鐵 CTC 列車延滯資料中，雖記錄了所有列車每日於每一站的到離站延滯時間，但卻缺乏詳細的列車延滯原因，而在主要列車延誤概況日報表中，又僅針對對號列車，且到達終點站延滯超過 6 分鐘之列車才有記錄原因。若延滯相關資料不足、延滯原因無法有效釐清（尤其非對號車之延滯原因資料），恐影響後續模式之構建，因此，建議臺鐵未來應增加非對號列車之延誤原因紀

錄，並與 CTC 紀錄整合，使列車延滯資料更為完整，以利未來進行可靠度相關研究。

2. 本研究根據延滯原因風險分析的結果，進而提出相關改善建議（詳見 4.7 節），雖有助於軌道營運單位研擬改善策略，但此方法受資料的影響甚鉅，除了在資料記錄時，判定延滯原因的人為主觀因素外，延滯原因之分類亦決定分析結果是否能夠提出足夠的資訊。目前臺鐵的延滯原因分類中，部份類別的涵蓋範圍過大，以至於無法完全釐清真正原因所在，例如「旅客」一項，便難以區分究竟是因為旅客量過多導致列車延誤，還是列車為了等待轉乘接駁的旅客而延誤。此外，延滯原因的分類與經理管理階層關心的重點也有關，因此建議臺鐵可重新檢視並調整其延滯原因之分類，有助於發掘列車延誤的真正原因以進行改善。
3. 欲提供高可靠度的運輸服務，必須持續不斷的進行可靠度分析工作，以防患未然，因此建議營運單位可建立相關資訊系統，提升可靠度相關資訊蒐集與分析工作之效率。
4. 可靠度分析的課題可分為兩大類：「延滯現況分析」和「延滯推估」，本研究著重在「延滯現況分析」的探討，而未來可在「延滯推估」此一課題進行相關研究，使國內在軌道系統可靠度分析方面的技術可更趨完整。
5. 由於本研究建立的連續區段模式為模擬模式，需要大量之疊代計算，因此亟需透過電腦工具予以輔助，建議發展電腦化之連續區段容量分析軟體，以提高本模式之分析效率與實用性。
6. 為利於單一區段分析模式與連續區段分析模式的交互利用，未來發展連續區段容量分析軟體時，需儘可能與「交通部運研所－傳統暨區域鐵路系統軌道容量分析軟體」高度整合，特別是輸入資料之格式應予以統一，除了可以免除使用者輸入大量重複資料外，亦可確保兩種模式輸入資料的一致性。

7. 容量分析中的寬裕係數值之設定與列車服務可靠度息息相關，未來應進一步執行列車服務可靠度之相關研究，以瞭解不同寬裕係數下，時刻表容量與列車延滯的關係，藉以驗證運轉寬裕係數。

參考文獻

1. 中國大陸鐵運字 664 號，**鐵路區間通過能力計算辦法**，1984
http://www.law-lib.com/law/law_view.asp?id=2960。
2. 中國大陸鐵機字 31 號，**鐵路機務段設備通過能力查定辦法**，1990
http://www.law-lib.com/law/law_view.asp?id=6430。
3. 尹承蓬，**鐵路路線容量計算與探討**，頂淵文化事業有限公司，民國 77 年 6 月。
4. 日本國有鐵道，**運轉概論**，日本國有鐵道。
5. 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。
6. 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。
7. 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。
8. 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）**，交通部運輸研究所，民國 98 年 6 月。
9. 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。
10. 交通部運輸計劃委員會，**臺灣鐵路系統容量評估研究報告**，交通部運輸計劃委員會，民國 63 年 6 月。
11. 交通部網頁 <http://www.motc.gov.tw>。
12. 交通部臺灣鐵路管理局網頁 <http://www.railway.gov.tw>。
13. 周學怡，**列車運行計畫之可靠性分析**，國立成功大學碩士論文，民國 86 年。

14. 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論文集*，交通部運輸研究所，民國 95 年。
15. 邱戊吉，**應用 Max-Plus 代數分析鐵路時刻表穩定性**，國立交通大學碩士論文，民國 99 年。
16. 前川典生，**輸送 第一篇**。
17. 高雄市政府捷運工程局，**高雄捷運營運服務指標**，民國 95 年 8 月。
18. 臺北大眾捷運股份有限公司，**臺北大眾捷運股份有限公司系統服務指標**，民國 82 年 10 月。
19. **臺北捷運公司 2009 年年報**，民國 99 年
20. 臺灣高速鐵路股份有限公司網頁 <http://www.thsrc.com.tw/>。
21. 謝興盛、李治綱，「Performance Analysis of Taipei Metro Using ATC Log File Data」，*運輸學刊*，第 15 卷第二期，頁 115-126，民 92 年 6 月。
22. 蘇萬鐘，「本路路線容量，站場容量之評估及容量之提高（一）～（七）」，*臺鐵資料*，第 188 期（頁 109～118）、第 189 期（頁 67～76）、第 190 期（頁 50～60）、第 191 期（頁 33～42）、第 192 期（頁 33～42）、第 193 期（頁 37～46）、第 194 期（頁 47～55），民國 68 年。
23. Adeney, W., (2003), **Metro Benchmarking - CoMET and Nova deliver tangible benefits**, Railway Gazette, Metro Report 2003
24. Alan T. Murray, Tony H. Grubescic, **Critical Infrastructure Reliability and Vulnerability**, Springer Berlin Heidelberg, 2007.
25. Briggs, Keith and Beck, Christian, “Modelling Train Delays with q-exponential Functions”, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Vol. 378, Issue 2, 15 May 2007, pp. 498-504.

26. Carey, M. and Carville, S., “Testing Schedule Performance and Reliability for Train Stations”, *Journal of the Operational Research Society* 51, 2000, pp. 666-682.
27. Central Japan Railway Company, **Data Book 2009**, Central Japan Railway Company, 2009.
28. Chen, B. and Harker, P.T., “Two-moment estimation of the delay on single-track rail lines with scheduled traffic”, *TranspSci* 24, 1990, pp. 261-275.
29. Ferreira, L. and Higgins, A., “Modelling Reliability of Train Arrival Times”, *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 122, 1996, pp. 414-420.
30. Ferrovie dello Stato Spa - Divisione Infrastruttura, **European Railways Optimisation Planning Environment - Transportation Railways Integrated Planning**, EuROPE-TRIP, 2000.
31. Goverde, R.M.P., "Railway Timetable Stability Analysis Using Max-Plus System Theory", *Transportation Research Part B* 41, 2005, pp. 179–201.
32. Goverde, R.M.P., **Punctuality of railway operations and timetable stability analysis**, PhD Thesis, Delft University of Technology (2005).
33. Hansen, I. A., “Station Capacity and Stability of Train Operations”, *Computers in Railways VII*, 2000, pp. 809-816.
34. Hansen, I. A., Pachl, J., **Railway Timetable & Traffic: Analysis · Modelling · Simulation**, Eurailpress, Hamburg, 2008.
35. 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.

36. Higgins, A., Kozan, E., “Modeling Train Delay in Urban Networks”, *Transportation Science*, Vol. 32, No.4, November 1998, pp.346-357.
37. International Union of Railways (UIC), **Influence of ETCS on line capacity. Generic study**, UIC, France, 2008.
38. International Union of Railways (UIC), **Links between Railway Infrastructure Capacity and the Quality of Operations**, UIC, French, 1996.
39. International Union of Railways (UIC), **UIC leaflet 406 Capacity**, UIC, France, 2004.
40. Jong, J.C. et al., “The analysis on train reliability of Taiwan High Speed Rail”, *Proceeding of 12th COMPRAIL Conference*, Beijing, August 2010
41. 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.
42. Krueger, H., “Parametric Modeling in Rail Capacity Planning”, *Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference*, 1999, pp. 1194-1200.
43. Landex, A., Kaas, A. H., Schittenhelm, B. & Schneider-Tilli, J., “Evaluation of railway capacity”, *Proceedings of the Annual Transport Conference at Aalborg University*, Denmark, 2006.
44. Leilich, R., “Application of Simulation Models in Capacity Constrained Rail Corridors”, *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference*, 1998, pp. 1125-1133.
45. Middelkoop, D. and Bouwman, M., “SIMONE: Large Scale Train Network Simulations”, *Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference*, 2001, pp. 1042-1047.

46. Middelkoop, D. and Bouwman, M., “Testing the Stability of the Rail Network”, *Computers in Railways VIII*, 2002, pp. 995-1002.
47. 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.
48. Nelson, D. and O'Neil, K., “Commuter Rail Service Reliability On-Time Performance and Causes for Delays”, *Transportation Research Record*, Vol. 1704, pp. 42-50.
49. Olsson, Nils, O.E. and Haugland, Hans, “Influencing factors on train punctuality—results from some Norwegian studies”, *Transport policy* 11, 2004, pp. 387-397.
50. Pachl, J., **Railway Operation and Control**, VTD RAIL publishing, Terrace, U.S.A., 2002.
51. 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.
52. Tom Parkinson Transport Consulting Limited, **Rail Transit Capacity (TCRP Report 13)**, Transportation Research Board, National Research Council, U.S.A., 1996.
53. Transport, Innovation and Systems (TIS.PT) et al., **Improved Tools for Railway Capacity and Access Management (IMPROVERAIL), Deliverable D6 – Methods for Capacity and Resource Management**, Competitive and Sustainable Growth Programme, 2003.

附錄 A 期中工作會議資料

軌道系統容量與可靠度分析研究(1/3) (99.06.14)

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

以下分別說明目前本研究各項工作進度。

2.1 臺鐵資料蒐集與整理

為進行臺鐵列車延滯分析，本研究已向臺鐵蒐集相關資料，包含：

1. 全線列車實際到離站資料

此資料係根據中央行車控制系統 (Centralized Traffic Control, CTC) 記錄列車通過進站號誌與出發號誌的時間，配合公告時刻表，可計算列車於各車站到站與離站的延滯時間。

2. 主要列車延誤概況表

主要列車延誤概況表的格式如表 2.1 所示，針對對號列車，若列車到達終點站延誤 6 分鐘以上，則在延誤概況欄中紀錄其延誤原因、地點與延誤時間，延誤時間是以分鐘為最小單位。

表2.1 臺鐵主要列車延誤概況日報表範例

交通部台灣鐵路管理局						
主要列車延誤概況表						
(4)	中華民國 99 年 3 月 6 日 星期六			綜合調度所	調度員	
車種	車次	經由	起迄站	起站	延誤概況	到站
莒	57		樹林=台東	0		0
	59		樹林=花蓮	0	旅客:松山1八堵1瑞芳1宜蘭1羅東1計(5)・慢行:侯硐=三貂嶺1漢本1和仁=崇德1計(3)	8
	63		樹林=台東	0		0
	65		樹林=花蓮	0		0
	67		花蓮=台東	0		0
	69		樹林=花蓮	0	崇德↔1091(7)・ 11:漢本(1)	8
	54		花蓮=樹林	0		0

2.2 臺鐵列車延滯分析初步結果

透過向臺鐵蒐集到的相關資料，本研究進行了列車延滯時空分布和列車延滯原因分析，分別說明如下。

2.2.1 臺鐵列車延滯之時空分布

列車延滯之時空分布分析是以 CTC 的資料為基礎，計算「平均每日在某一小時內，通過某一車站所有列車的累積研滯時間」，藉由三維直方圖的呈現來掌握列車延滯的概況。

本研究初步以北中南三大都會區為時空分布分析的空間範圍，以民國 99 年 3 月 1 日到 21 日為時間範圍，但其中 4 日和 8 日兩天國內發生規模較大之地震，對列車運轉造成很大的影響，為了探討在一般營運情況下列車延滯的概況，因此這兩天不納入分析。各都會區的列車延滯之時空分布分析皆區分平日（週一到週四）與假日（週五到週日），初步結果於以下各小節分別說明。

2.2.1.1 北部都會區

北部都會區的分析範圍為七堵到新竹，其分析結果如圖 2.1和圖 2.2，無論是平假日，下午的延滯情況皆比上午嚴重，但假日的每日平均累積延滯時間比平日高出許多。平日全區皆有延滯，但其中萬華、板橋和新竹等三站較為嚴重；而假日於晚上 8 點延滯最為嚴重，尤其在中壢到新竹間。

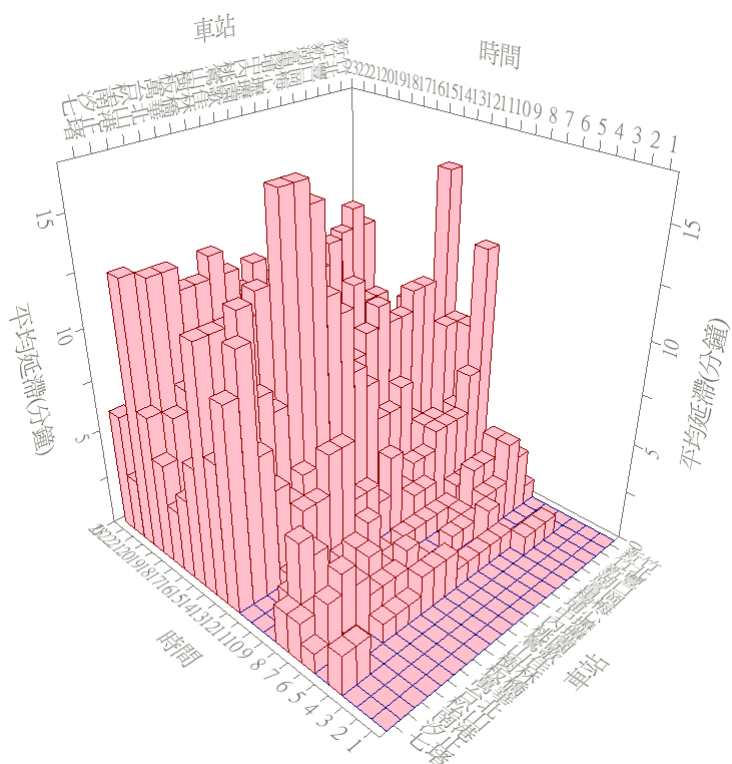


圖2.1 北部都會區平日列車延滯之時空分布圖

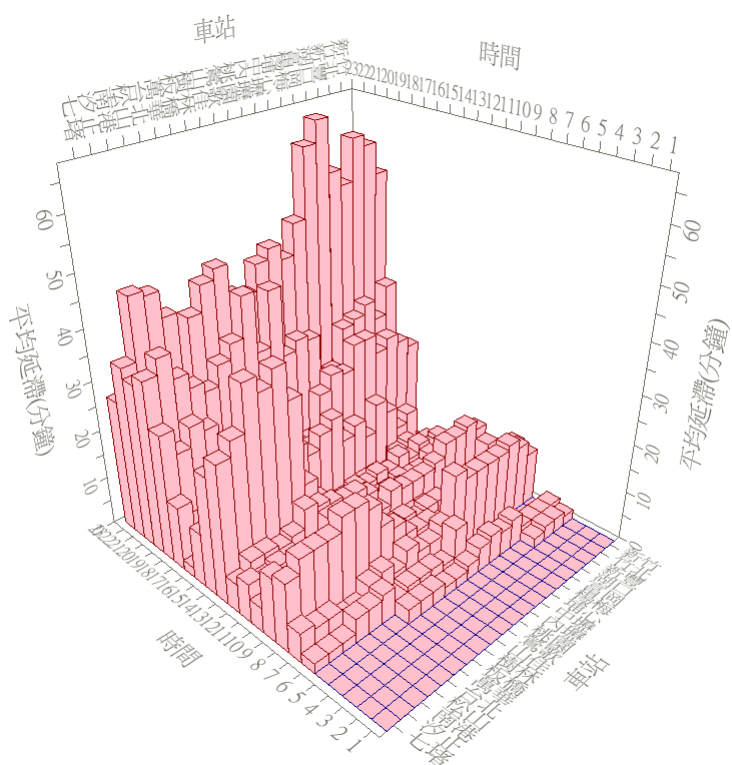


圖2.2 北部都會區假日列車延滯之時空分布圖

2.2.1.2 中部都會區

從苗栗到員林的中部都會區分析結果如圖 2.3和圖 2.4，整體上假日的延滯情況比平日嚴重，平日主要集中在下午 1 點左右，其中最嚴重的為銅鑼站；假日則是自下午 3 點以後列車延滯逐漸嚴重，此外，在上午時段彰化到員林間延滯較劇。

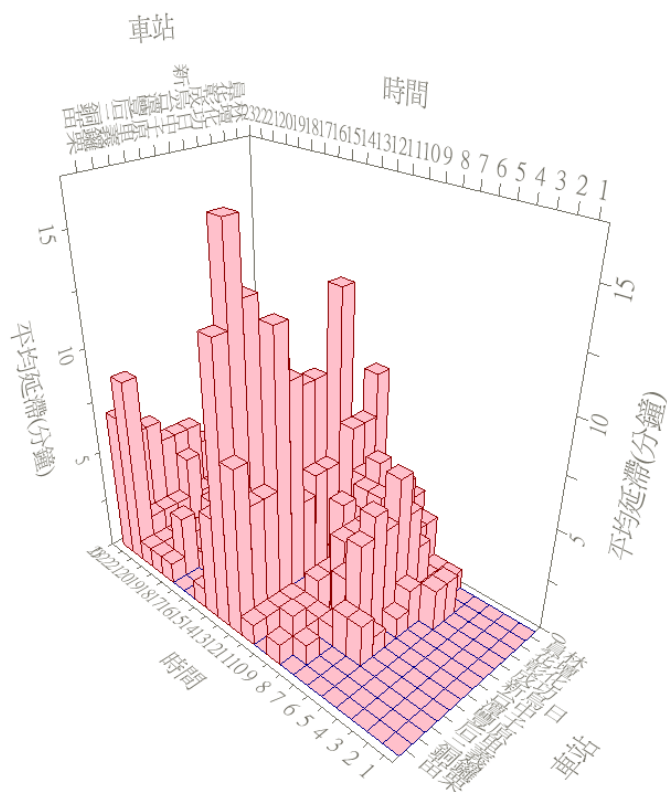


圖2.3 中部都會區平日列車延滯之時空分布圖

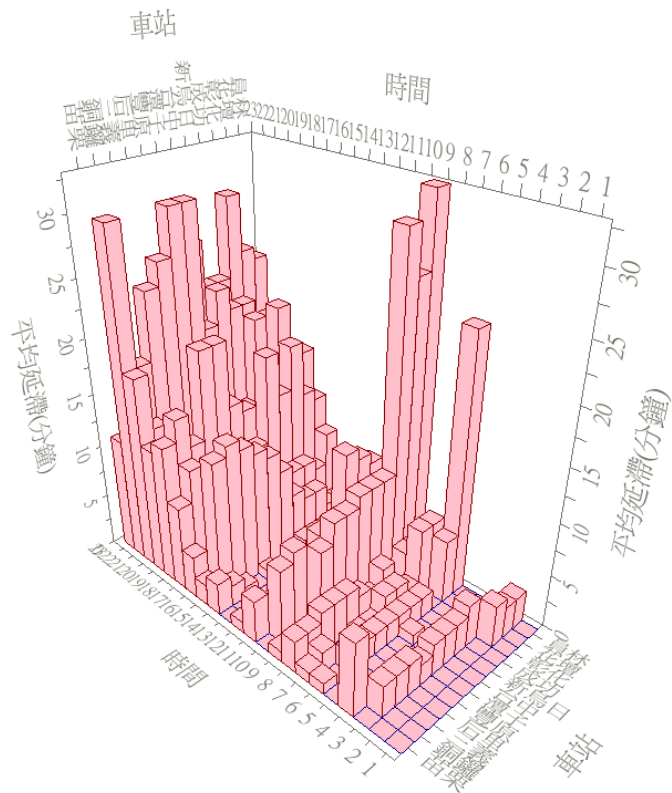


圖2.4 中部都會區假日列車延滯之時空分布圖

2.2.1.3 南部都會區

南部都會區從新營到鳳山的分析結果如圖 2.5和圖 2.6，同樣是假日的延滯情況比平日嚴重，高雄至鳳山間在平日下午 5 點有較高的延滯；全區在假日下午 6 點後的延滯較為嚴重。

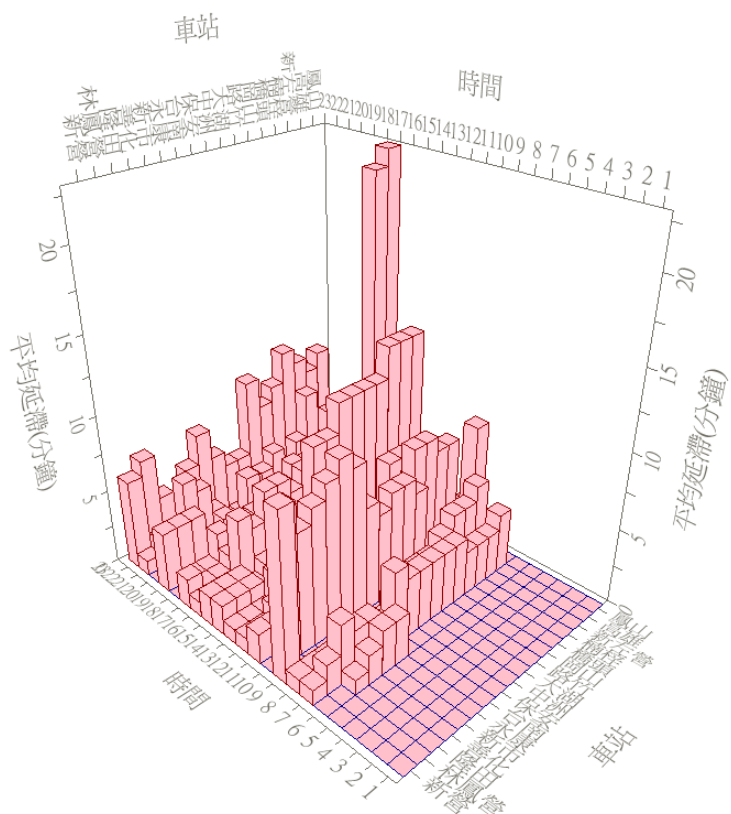


圖2.5 南部都會區平日列車延滯之時空分布圖

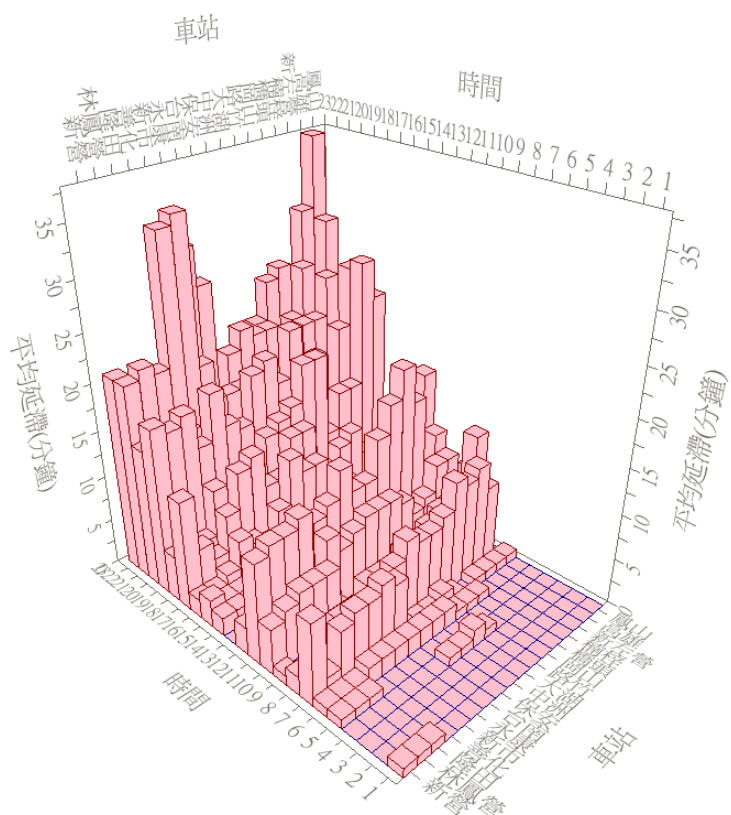


圖2.6 南部都會區假日列車延滯之時空分布圖

2.2.2 臺鐵對號列車延滯原因分析

根據臺鐵「主要列車延誤概況表」，可將延滯原因區分為 15 類，應用風險矩陣的概念探討各種原因的發生頻率與嚴重程度，再針對造成延滯較關鍵的原因進行更深入的分析。

本研究以民國 99 年 3 月 1 日到 21 日的臺鐵主要列車延誤概況表資料為基礎，進行列車延滯原因分析，以下各小節分別說明分析結果。

2.2.2.1 綜合分析

在臺鐵「主要列車延誤概況表」中的 15 類延滯原因，除了「其他」類之外，其餘 14 類原因的發生頻率與嚴重程度如圖 2.7 和圖 2.8，以嚴重程度為 X 軸，發生頻率為 Y 軸，將各類延滯原因標示在風險矩陣上，如圖 2.9，可發現「旅客」和「慢行」兩原因的發生頻率雖高，但其嚴重程度相對較低；而「事故」和「天候環境」兩原因，雖然嚴重程度很高，但其發生頻率很低。

風險為發生頻率與嚴重程度之乘積，依此概念計算各類列車延滯原因，由高至低排列如圖 2.10，「旅客」、「天候環境」、「待避」、「慢行」、「車輛故障」，以及「交會」等原因佔了全部風險的 85% 以上，若能對此部份原因進行改善，則對系統可靠度的提升會有明顯的效果，因此以下幾節，就這幾類原因分別做深入分析。其中「天候環境」為不可控因素，所以不再進行深入分析，而「待避」和「交會」類似，則合併為一類。

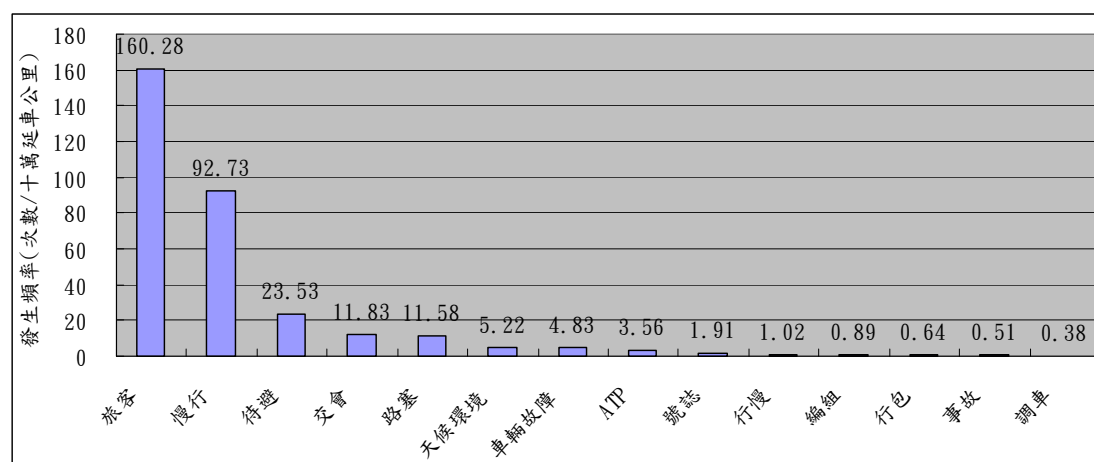


圖2.7 各項延滯原因的發生頻率

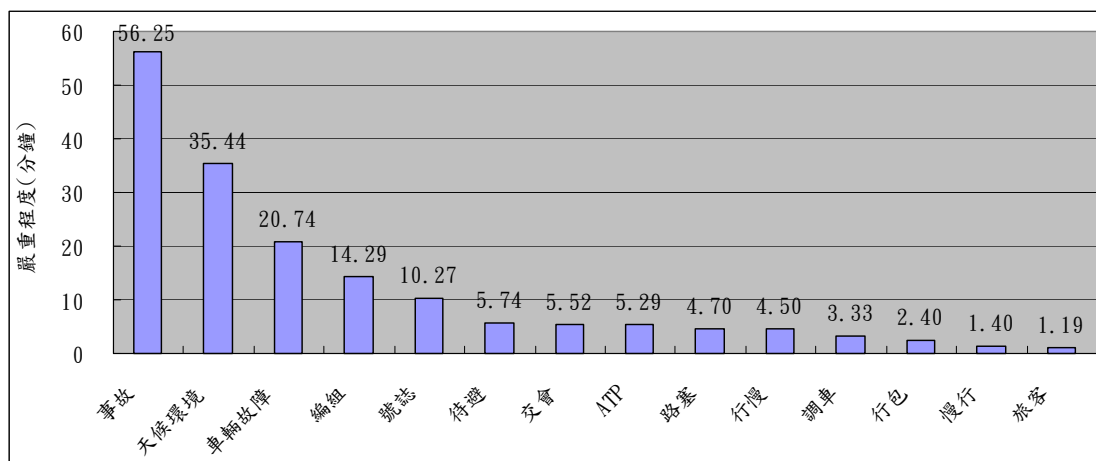


圖2.8 各項延滯原因的嚴重程度

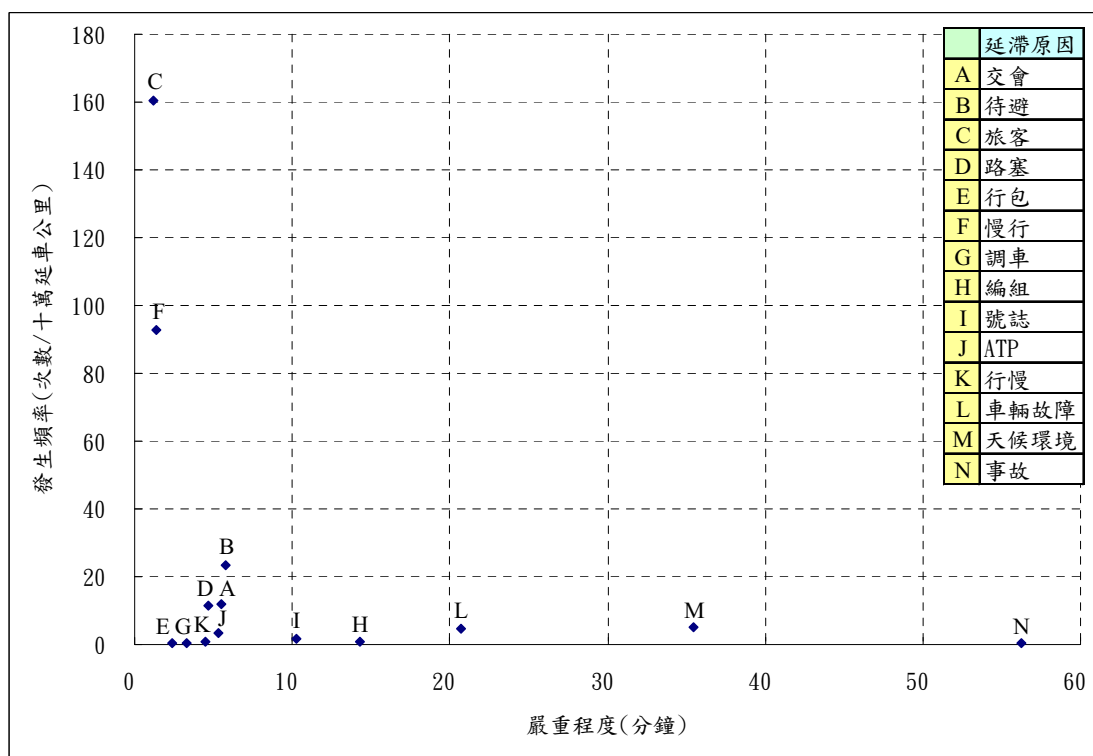


圖2.9 列車延滯原因風險矩陣

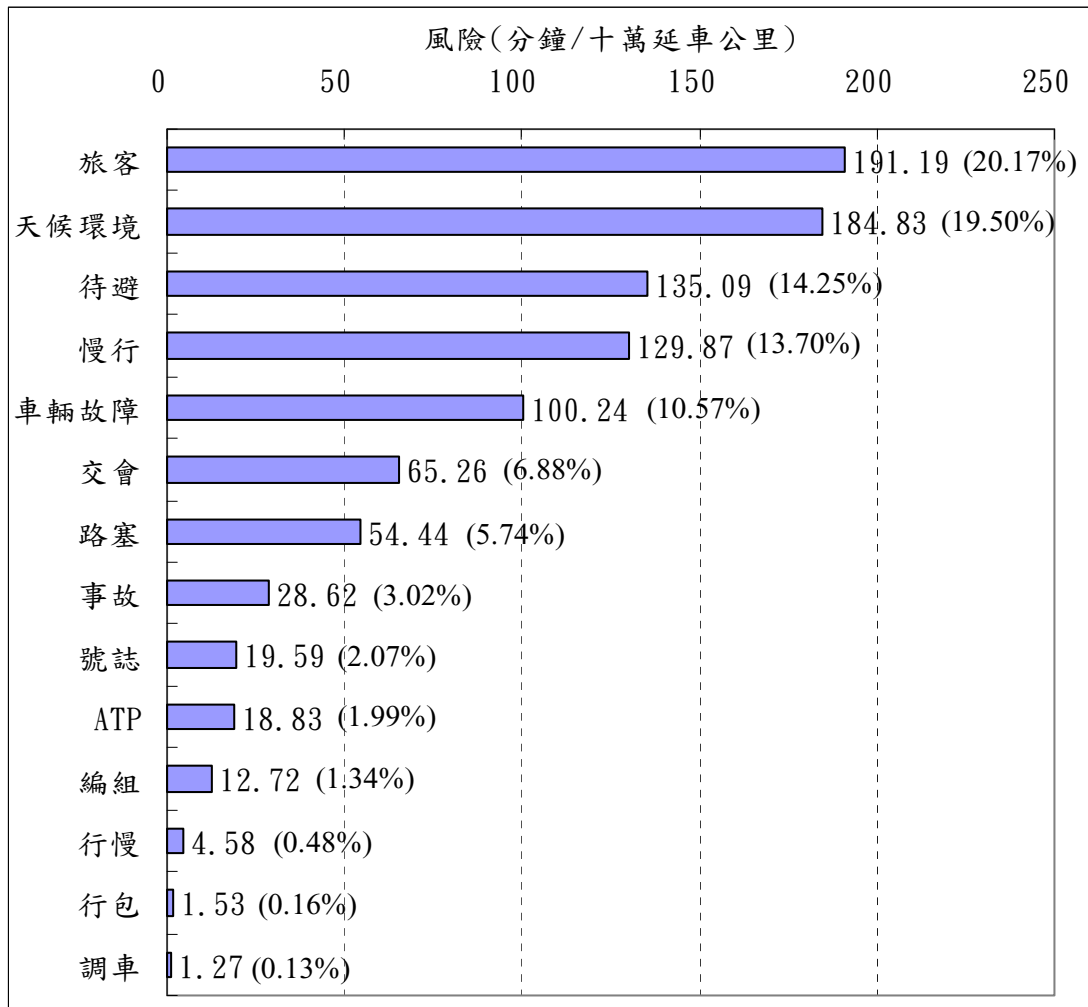


圖2.10 列車研滯原因風險排序

2.2.2.2 因旅客造成列車延滯之分析

根據上節之分析結果，旅客是造成列車延滯最主要的原因，由於旅客數量過多，導致在表訂停站時間內無法完成旅客上下車作業，迫使列車增加停站時間而衍生的延滯。統計各車站發生因旅客造成列車延滯的累積次數，前十大車站如圖 2.11所示。

各車站因需求不同，列車停靠的數量也不同，且平假日也會有所差異，所以進一步以公式(2.1)計算列車受旅客影響造成延滯的比例，並區分平日（週一到週四）和假日（週五到週日）進行比較，其結果如圖 2.12。圖中可發現假日發生延滯的比例明顯高於平日，而桃園、中壢和新竹等三站，不但是發生延滯累積次數的前三名，且其發生延滯的比例也名列前三，是需改善的重點車站。

$$\text{延滯發生比例} = \frac{\text{發生延滯次數}}{\text{總停靠車次數}} \quad (2.1)$$

此外，從時間分布的角度來看，在假日因旅客造成列車延滯的時間分布如圖 2.13，多集中於下午 6 點左右，若進一步區分週五、週六和週日，週五集中於下午 6 點，週六多發生於下午 5 點以後，而週日則是中午過後，可於這些時段加派人員疏導旅客，以減少延滯發生。

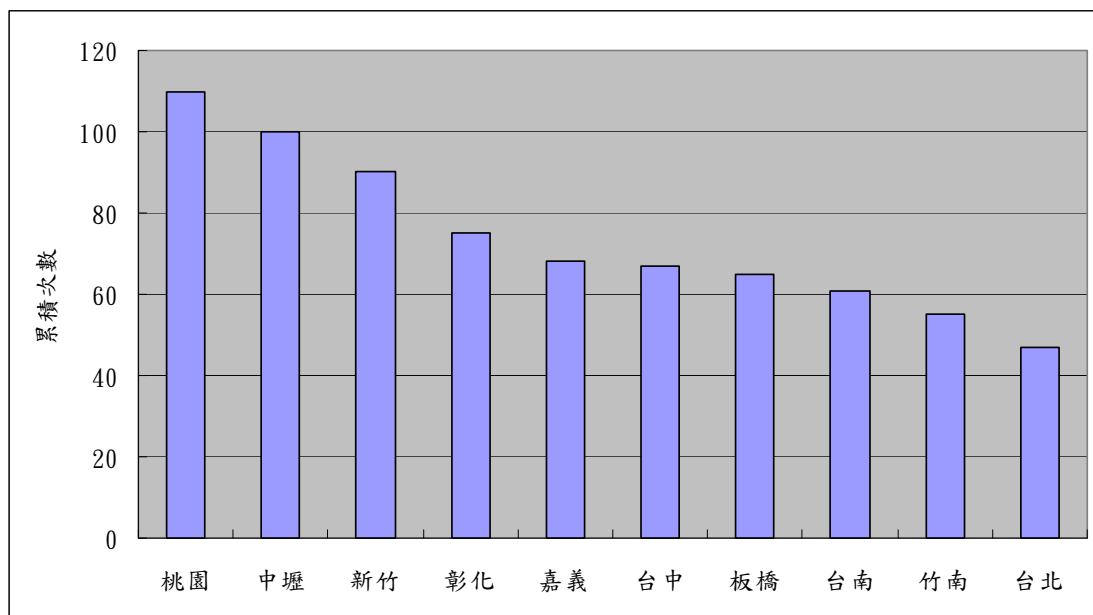


圖2.11 因旅客造成列車延滯的累積次數前十大車站

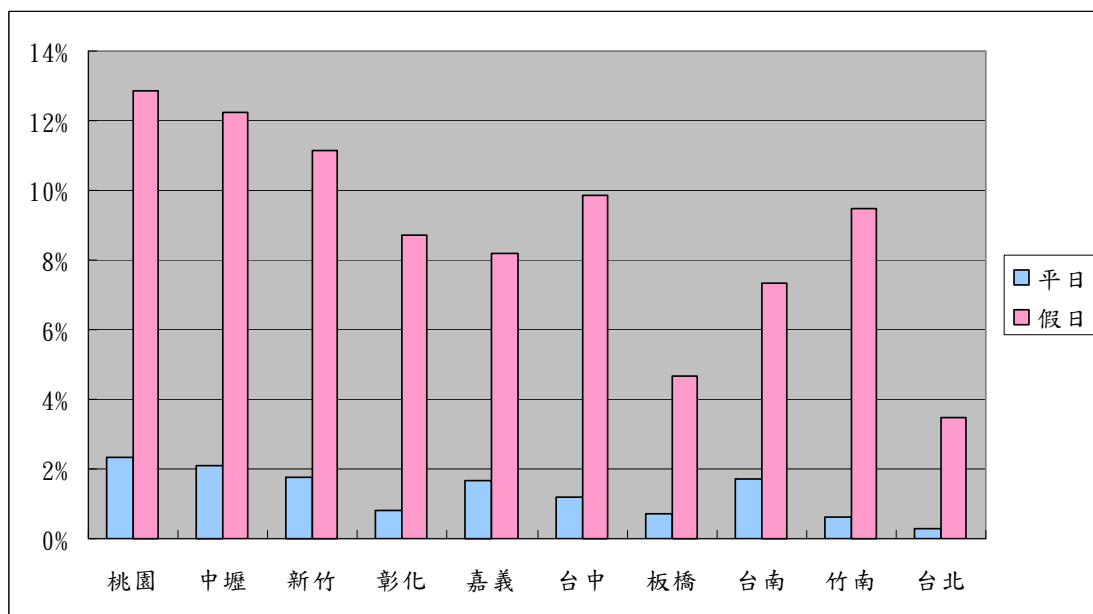


圖2.12 因旅客造成列車延滯的發生比例

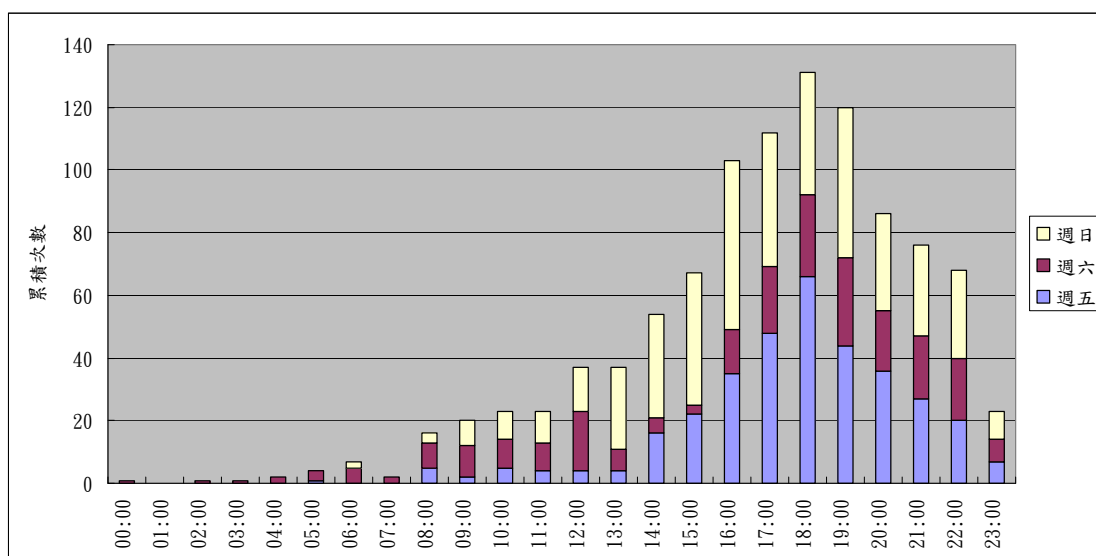


圖2.13 因旅客造成列車延滯的累積次數之時間分布

2.2.2.3 因交會待避造成列車延滯之分析

從 3 月 1 日到 21 日總計有 108 列車，受到交會待避影響而導致列車延滯，共發生 278 次，其中最嚴重的為 25 次列車，如圖 2.14，發生因交會待避造成的延滯共 24 次，明顯高出第二名許多。

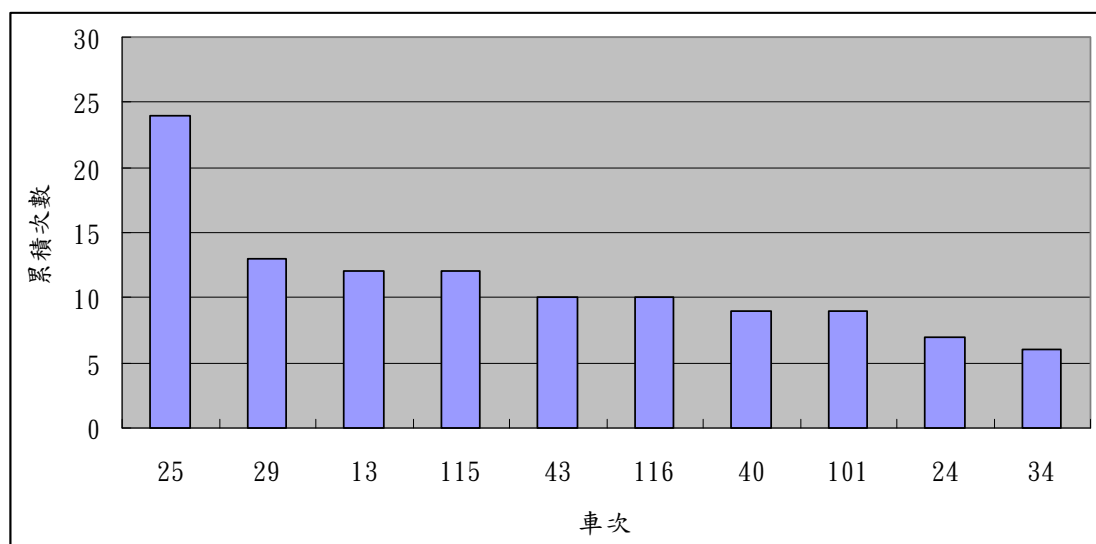


圖2.14 因交會待避造成延滯的累積次數前十大列車

深入分析影響 25 次車延滯的列車，如圖 2.15所示，1037、1066 車次是造成 25 次車交會待避延滯的主因，可重新檢視時刻表，調整列車運行計畫以進行改善。

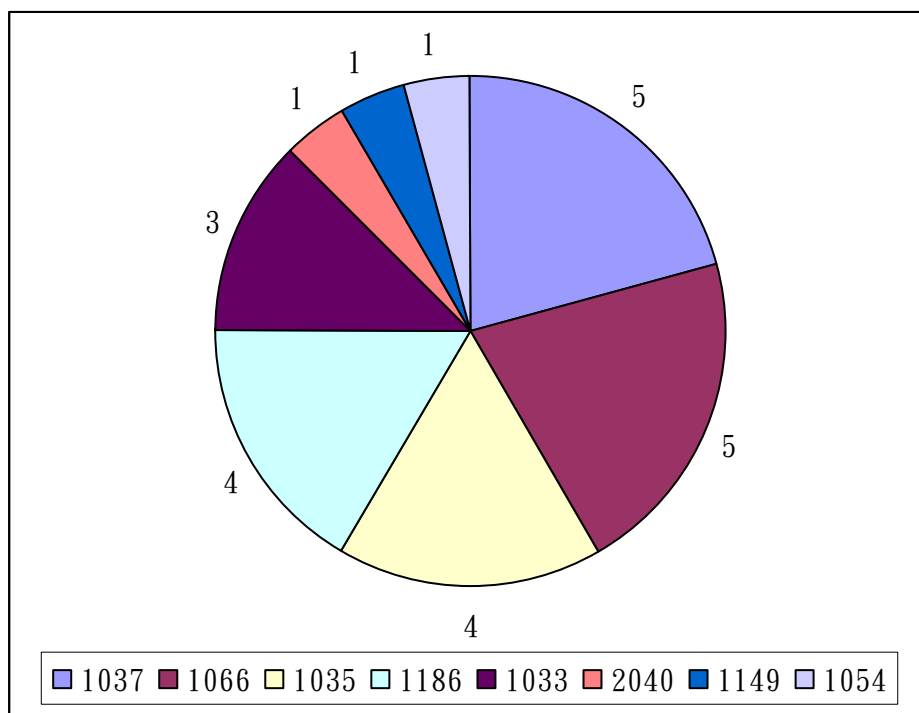


圖2.15 造成 25 次列車因交會待避延滯之列車

2.2.2.4 因慢行造成列車延滯之分析

由於路線保養或維修施工作業，為確保人車安全，當列車通過施工區域必須要求列車減速慢行，因而導致列車延滯，但施工維修無法避免，所以對慢行此一因素的分析主要在探討延滯發生的地點，如圖 2.16，配合臺鐵公告之慢行區間表（表 2.2），可發現因慢行造成列車延滯的累積次數前十大地點，其慢行區間的長度較長，或速限較低，或者通過該區間的列車數較多等特性，若要減少慢行對列車延滯造成的影響，可視路段的運轉寬裕時間調整慢行處數、長度與速限來進行改善。

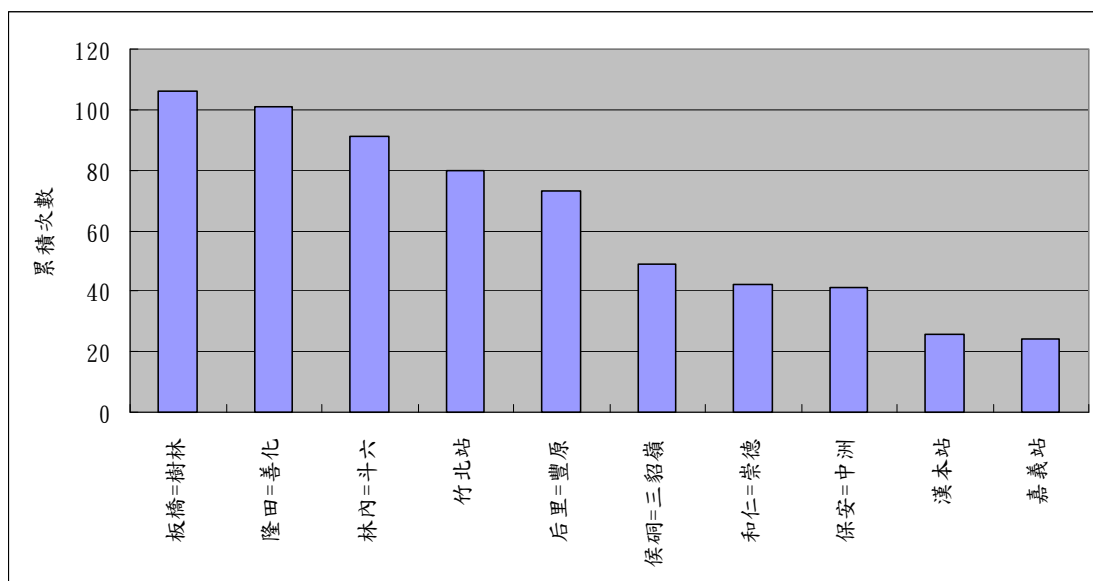


圖2.16 因慢行造成列車延滯的累積次數前十大地點

表2.2 慢行區間表

區間	慢行地點	慢行期間	速度 (km/h)
板橋=樹林間東、西正線	K37+850 至 K38+050	98/10/30 09:00 至 99/06/30 08:00	60
竹北站東、西主正線及東、 西主正線之北端站端路線	K100+300 至 K100+700	99/02/25 05:00 至 99/06/30 10:00	80
新竹站東、西主正線	K104+900 至 K105+210	99/03/15 10:00 至 99/03/31 10:00	60
林內=斗六東、西正線	K261+140 至 K261+300	99/01/25 06:00 至 99/04/19 05:40	60
嘉義站西主正線之北端站端 路線	K296+175 至 K296+800	99/01/05 05:00 至 99/03/31 24:00	80
隆田=善化間東正線	K336+200 至 K336+700	99/02/23 09:00 起	60
新市=永康間東正線	K348+077 至 K348+313	99/02/23 09:00 至 99/05/05 09:00	80
保安=中洲間東、西正線	K366+873 至 K367+079	99/03/18 09:00 至 99/03/31 17:00	60
林邊=佳冬間路線	K54+500 至 K55+000	99/02/24 11:00 起	50

侯硐=三貂嶺間東正線	K15+200 至 K15+300	99/01/28 10:40 起	20
侯硐=三貂嶺間西正線	K15+200 至 K15+300	99/01/20 10:40 起	40
南澳=漢本間東正線及漢本站東主正線之北端站端路線	K35+203 至 K35+480	99/03/17 06:00 至 99/03/29 10:00	40
和仁=崇德間東正線	K54+350 至 K54+450	99/02/10 15:00 起	80
和仁=崇德間東正線	K47+900 至 K48+400	98/12/16 15:00 起	80
和仁=崇德間西正線	K47+900 至 K48+400	98/12/16 15:00 起	80

資料來源：臺灣鐵路管理局工程慢行區間一覽表（99/03/29）

2.2.2.5 因車輛故障造成列車延滯之分析

若分車種來檢視車輛故障的發生頻率與嚴重程度，如圖 2.17和圖 2.18，可發現復興號最容易發生車輛故障，且嚴重程度也最高，可提供臺鐵列車維修作業之參考。

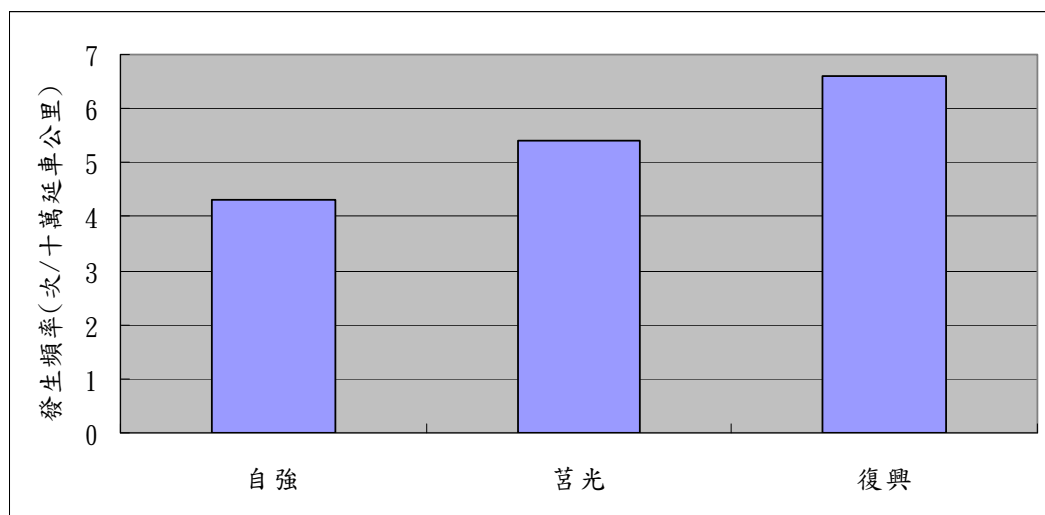


圖2.17 各車種因車輛故障造成延滯的發生頻率

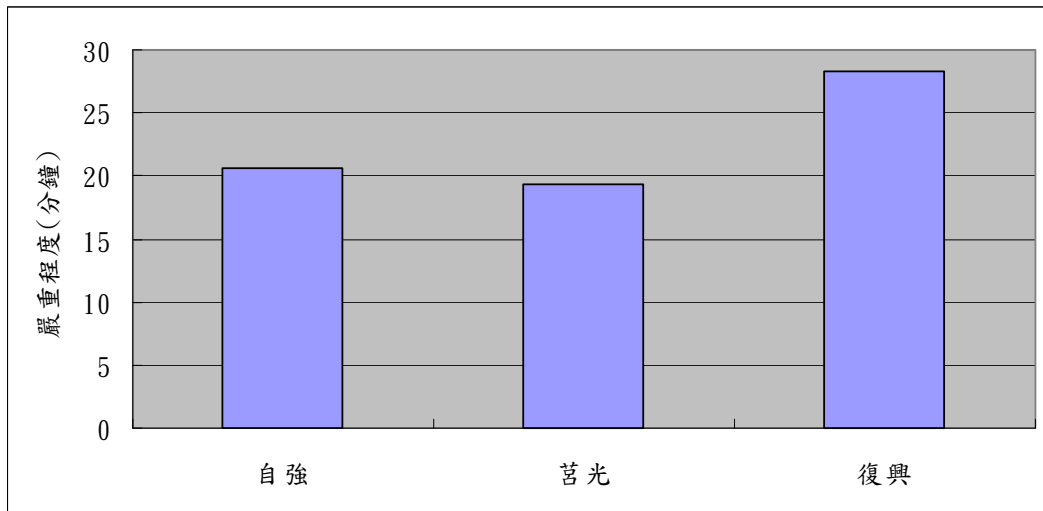


圖2.18 各車種因車輛故障造成延滯的嚴重程度

3. 未來工作計畫

未來欲進行的後續工作內容如下：

1. 撰寫期中報告
2. 評估連續路段之軌道容量分析方法
3. 發展臺鐵連續路段之軌道容量分析模式

4. 問題討論

附錄 B 期中工作會議紀錄

「軌道系統容量與可靠度分析研究(1/3)」

期中工作會議記錄

一、時間：99 年 6 月 14 日（星期一）下午 2 時 30 分整

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、鍾博士志成

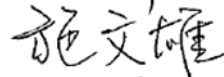
記錄：黃筌琰

四、出（列）席單位及人員：

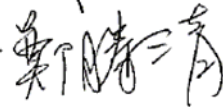
國立成功大學交通管理科學研究所鄭教授永祥



交通部鐵路改建工程局規劃組施副組長文雄



交通部臺灣鐵路管理局運務處綜合調度所鄭工程司騰清

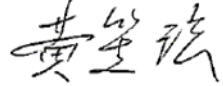
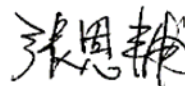
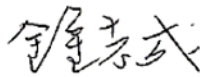


臺灣高鐵公司陳協理信雄

交通部運輸研究所運計組



財團法人中興工程顧問社



五、主席致詞：（略）

六、簡報：（略）

七、出席人員發言要點：

（一）國立成功大學交通管理科學研究所鄭教授永祥

1. CTC 資料和列車延誤概況是否包含所有列車的延誤資料？

鍾志成博士答覆：CTC 資料記錄了所有列車的延誤時間，但沒有紀錄延誤原因；而列車延誤概況僅針對對號列車，且列車到達終點站延誤 6 分鐘以上才會記錄延誤原因。

2. 目前進行可靠度分析是否和期中之後的容量分析有關聯，還是為了明年可靠度分析模式作準備？

鍾志成博士答覆：是為了明年發展可靠度分析模式作準備。

3. 期中之後的容量分析模式和過去所發展的容量分析模式有何差別？

鍾志成博士答覆：過去的容量分析模式是針對一個區間，也就是不考慮其相鄰區間的影響，而今年則是希望能考量各區間之間的交互影響，發展一連續區間的容量分析模式。

(二) 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. 其實號誌故障是臺鐵目前最嚴重的列車延誤原因，因為會直接影響路線上的所有列車，但號誌故障不是天天有，且由於非對號車數量較多，所以對非對號車的影響遠大於對號車，而「主要列車延誤概況表」僅紀錄對號車的延誤原因，因此反應不出號誌故障的嚴重性。

鍾志成博士答覆：此為資料上的不足，目前臺鐵並無紀錄非對號車之延誤原因，因此有關列車延誤原因分析的部份，會在報告中

強調延誤原因分析僅針對對號車，並說明在實務上號誌故障對可靠度影響的嚴重程度。

2. 有關慢行延誤，其原因不只是慢行區間長度或是速限，例如樹林到板橋為慢行延誤最多的區間，主要是因為該區間是東西部幹線重疊處，列車密度較高；而隆田到善化間和林內到斗六間，則是因為善化和林內車站內無法交會待避，只要列車一晚點就會影響續行列車。

鍾志成博士答覆：有關列車密度方面，可利用風險的概念進行分析，以除去曝光量的因素，但所有通過慢行區間的列車應該都會受到影響，不是僅有對號列車，而目前並無紀錄非對號車的延誤原因，至於車站內軌道也是沒有資料。若僅從現有的延誤原因概況資料，確實是無法透過分析找出最根本的原因，但透過本研究的分析，或許可以建議臺鐵對於列車延滯資料還需補充什麼，以利未來進行相關研究或實務上的經驗傳承。

3. 在車輛故障造成列車延滯的分析方面，莒光號和復興號同為機車牽引非動力車輛編組，其機車頭是混用的，因此不該分為兩類進行分析比較。

鍾志成博士答覆：期中報告在有關車輛故障的分析部份，將會把莒光號和復興號合併為一類。

(三) 交通部鐵路改建工程局規劃組施副組長文雄

1. CTC 的列車延誤時間，是否可以分析和路線容量或路線利用率的關聯？

鍾志成博士答覆：路線利用率高，累積的延誤時間和延滯的風險可能會較高，但必須排除重大事故造成的延誤，就目前 CTC 資料僅有延誤時間而無延誤原因，較難做到這樣的分析。

2. 有關列車延滯時空分布分析，可區分車種和方向，或許可以看出更多的現象，例如非對號車的尖離峰現象等。

鍾志成博士答覆：這是很好的研究方向，將會在期中報告納入相關的分析。

八、散會

附錄 C 期中簡報資料



交通部運輸研究所

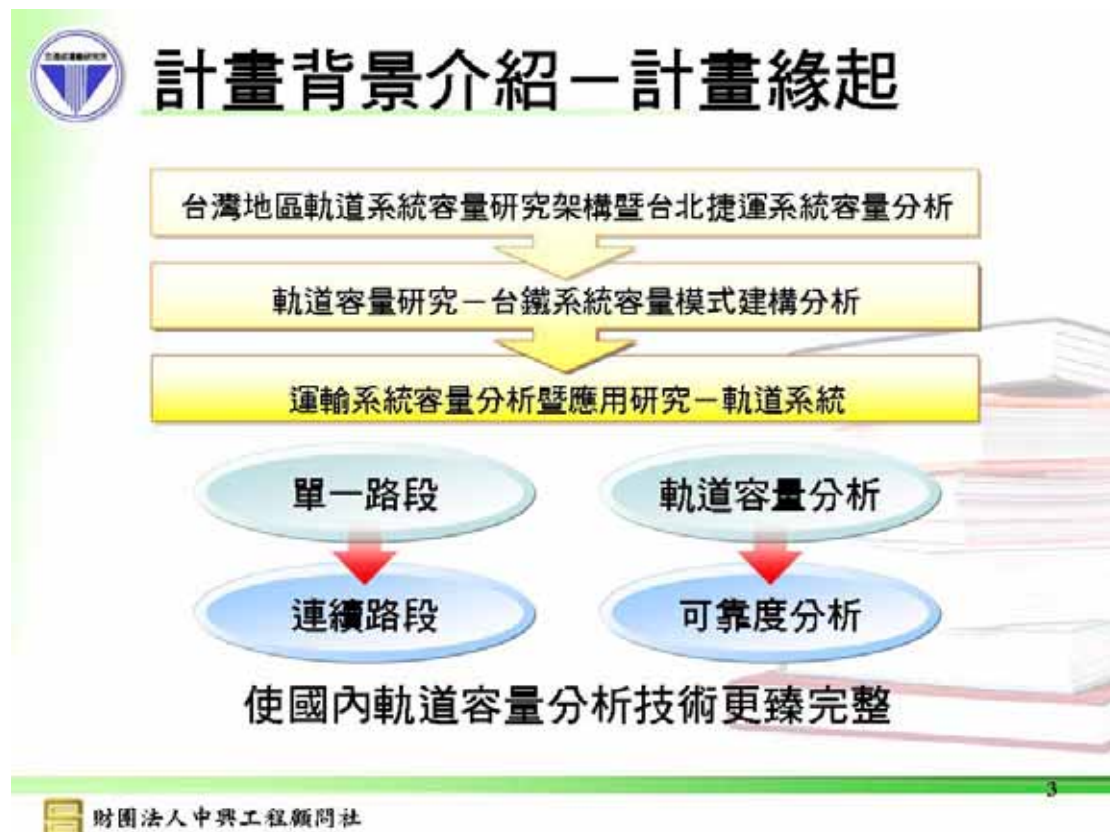
軌道系統容量與可靠度分析研究
(1/3)

期中簡報

簡報人：黃笙玟

中華民國99年08月06日

財團法人中興工程顧問社





簡報大綱

- 計畫背景介紹
- 研究工作流程
- 可靠度相關文獻回顧
- 臺鐵列車延滯分析
- 後續工作計畫



財團法人中興工程顧問社

2



計畫背景介紹－全程計畫概要

軌道系統容量與可靠度分析研究

軌道容量分析議題

本年度
連續路段容量分析模式建構

第二年度
連續路段容量分析軟體開發

第三年度
臺灣軌道容量手冊擴充修訂

可靠度分析議題

本年度
臺鐵實際延滯分布分析

第二年度
列車延滯分析模擬模式建構

第三年度
列車延滯分析模擬軟體開發

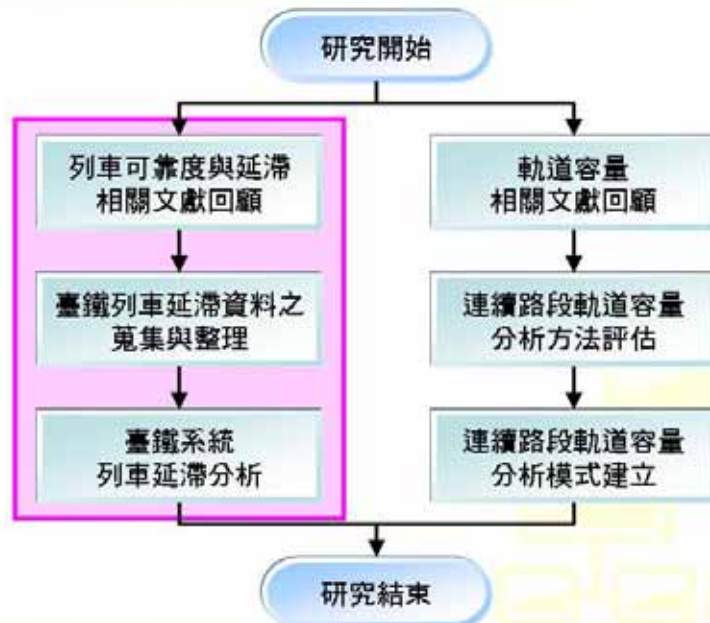


財團法人中興工程顧問社

4



研究工作流程



財團法人中興工程顧問社

5



可靠度相關文獻回顧

- 可靠度評估指標
- 列車延滯分析
- 列車延滯推估



財團法人中興工程顧問社

6



可靠度相關文獻回顧

- 可靠度評估指標
 - 準點率
 - 延滯時間
 - 兩延誤事件的平均間隔
 - 延誤發生後的恢復能力
 - 其他評估指標



財團法人中興工程顧問社

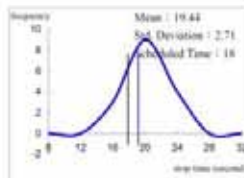
7



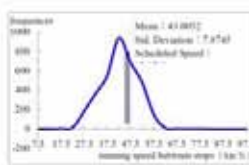
可靠度相關文獻回顧

- 列車延滯分析
 - 延滯程度

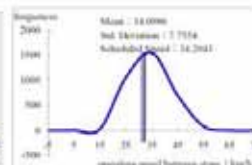
謝興盛等人, 民92年



Dwell time distribution of station R32

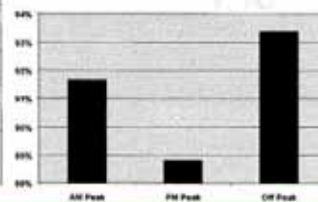
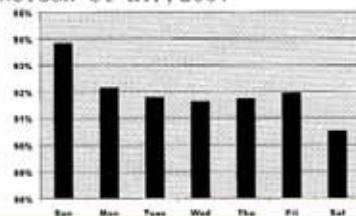


The distributions of running speed



The distributions of operating speed

Nelson et al., 2007



財團法人中興工程顧問社

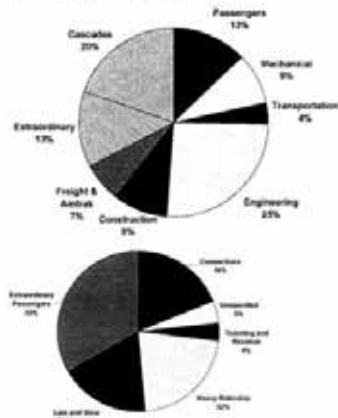
8



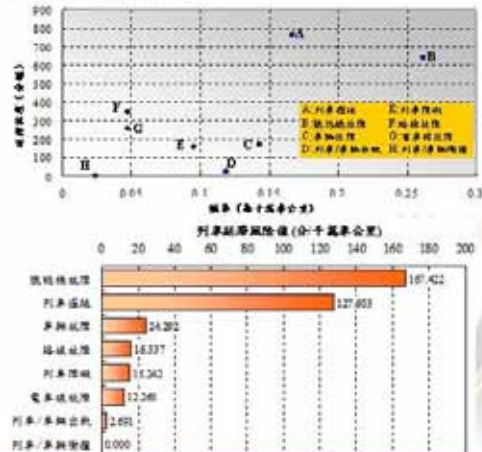
可靠度相關文獻回顧

• 列車延滯分析 — 延滯原因

Nelson et al., 2007



Jong et al., 2010



財團法人中興工程顧問社



可靠度相關文獻回顧

• 列車延滯推估

	解析方法	微模擬模式	推論統計
優點	<ul style="list-style-type: none"> 不需大量參數 可不需精確班表 電腦計算負擔小 	<ul style="list-style-type: none"> 可分析不同列車間與設施間的複雜互動過程 精確性較高 	<ul style="list-style-type: none"> 統計資料量愈多，可信度愈高 數學式較簡單
缺點	<ul style="list-style-type: none"> 模式推導牽涉到較深奧的數學 精確性較差 	<ul style="list-style-type: none"> 求解時間較長 系統依存度較高 需要較多細節資料 	<ul style="list-style-type: none"> 系統改變時，解釋能力會大幅下降 系統依存度高



財團法人中興工程顧問社



可靠度相關文獻回顧

- 小結
 - 列車服務可靠度研究分為延滯分析和延滯推估
 - 本年度研究為臺鐵延滯現況分析
 - 臺鐵列車延滯分析的構想
 - 收集列車時刻表與列車實際到開資訊
 - 列車延滯分析資料應以號誌電腦紀錄為主
 - 從不同的構面分析列車延滯
 - 引入風險管理的觀念分析延滯原因



臺鐵列車延滯分析

- 臺鐵列車延滯時空分布分析
- 臺鐵對號列車延滯原因分析
- 臺鐵停站與運轉時間變異分析





列車延滯時空分布分析

- 分析方法說明
 - 「平均每日在某一個小時內，經過某一車站之所有列車的累積延滯時間」
 - 以三維直方圖呈現
 - X：時間（一天24小時）
 - Y：空間（依依序表示臺鐵各車站）
 - Z：每日平均累積延滯時間

13



財團法人中興工程顧問社



列車延滯時空分布分析

- 分析資料說明
 - 資料來源：CTC全線列車實際到離站情況
 - 期間：民國98年12月1日～99年3月25日
 - 分析構面

時間	平日、假日、特殊事件
空間	北、中和南都會區
車種	對號車、非對號車
方向	上行、下行

14

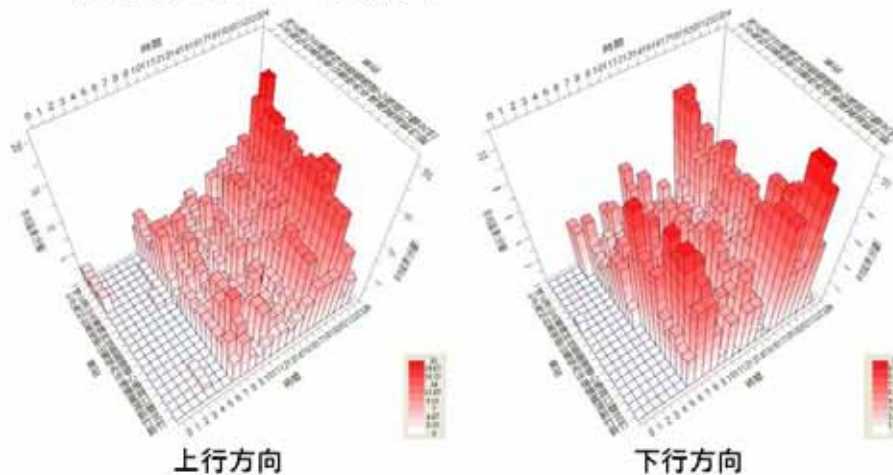


財團法人中興工程顧問社



列車延滯時空分布分析

- 分析結果—平日（週一～四）
— 北部都會區，對號車



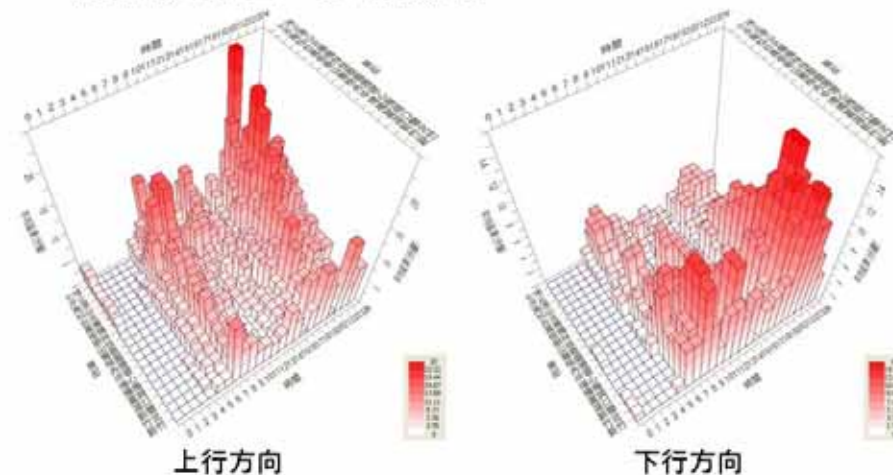
財團法人中興工程顧問社

15



列車延滯時空分布分析

- 分析結果—平日（週一～四）
— 北部都會區，非對號車



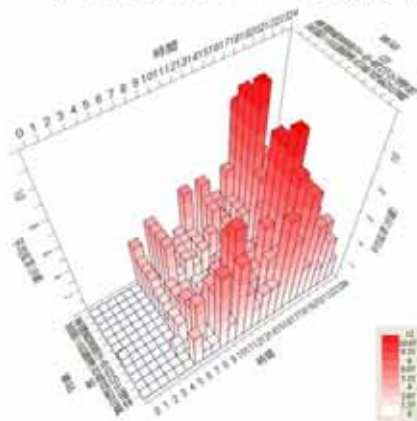
財團法人中興工程顧問社

16

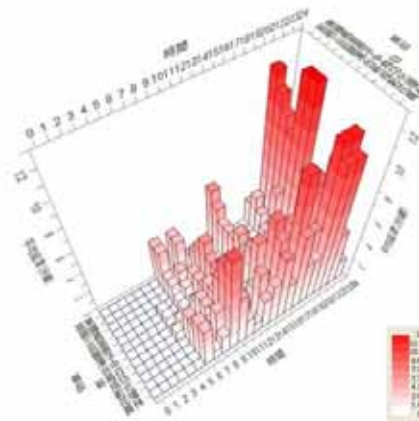


列車延滯時空分布分析

- 分析結果—平日（週一～四）
— 中部都會區，對號車



上行方向



下行方向



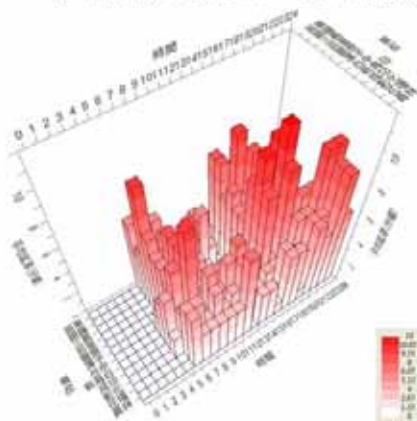
財團法人中興工程顧問社

17

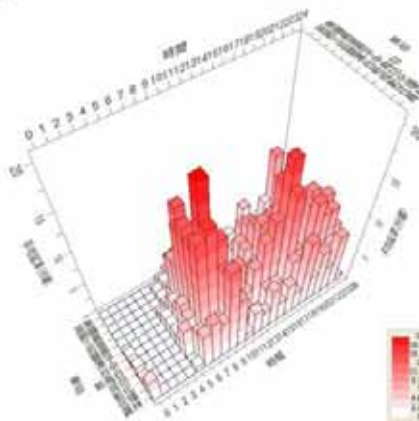


列車延滯時空分布分析

- 分析結果—平日（週一～四）
— 中部都會區，非對號車



上行方向



下行方向



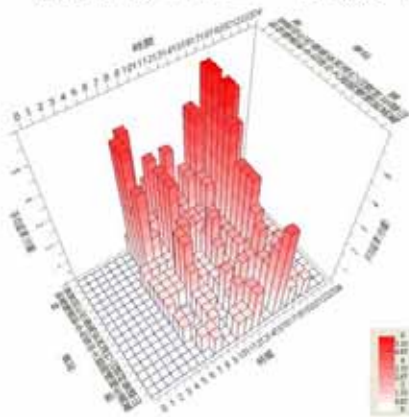
財團法人中興工程顧問社

18

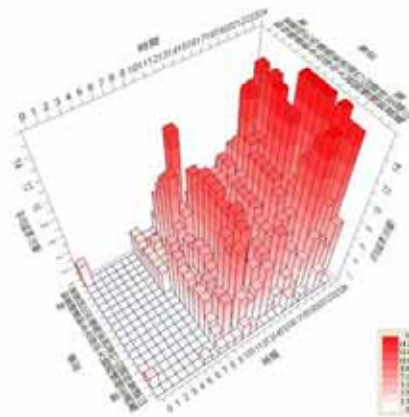


列車延滯時空分布分析

- 分析結果—平日（週一～四）
—南部都會區，對號車



上行方向



下行方向



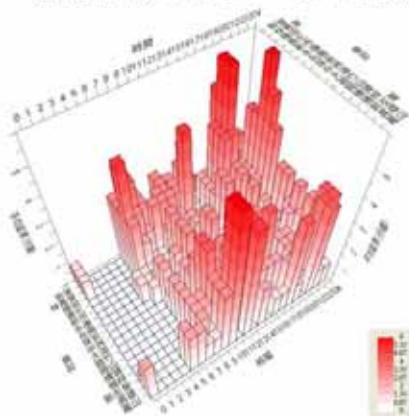
財團法人中興工程顧問社

19

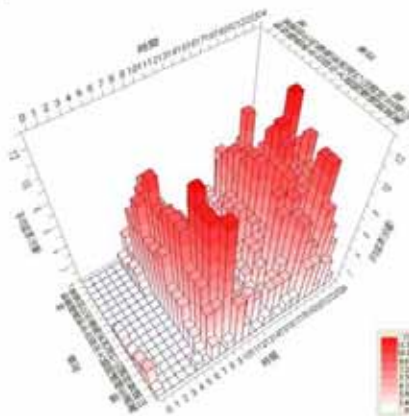


列車延滯時空分布分析

- 分析結果—平日（週一～四）
—南部都會區，非對號車



上行方向



下行方向



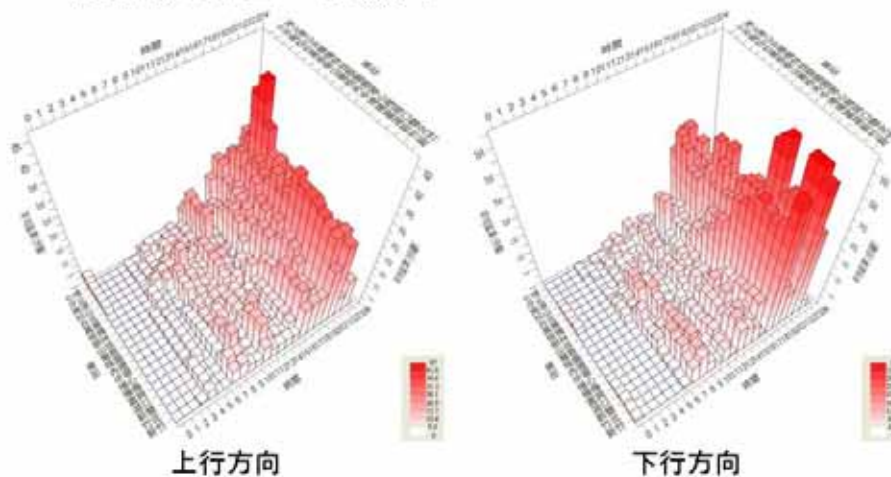
財團法人中興工程顧問社

20



列車延滯時空分布分析

- 分析結果－假日（週五～日）
－北部都會區，對號車



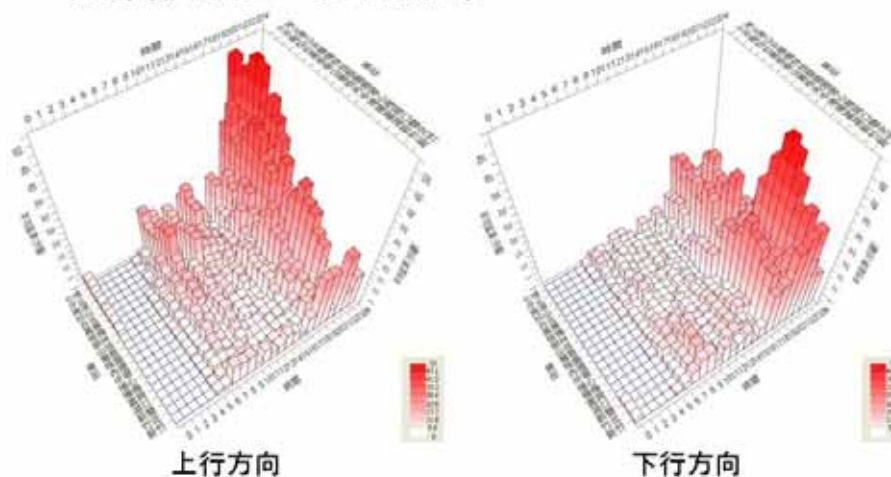
財團法人中興工程顧問社

21



列車延滯時空分布分析

- 分析結果－假日（週五～日）
－北部都會區，非對號車



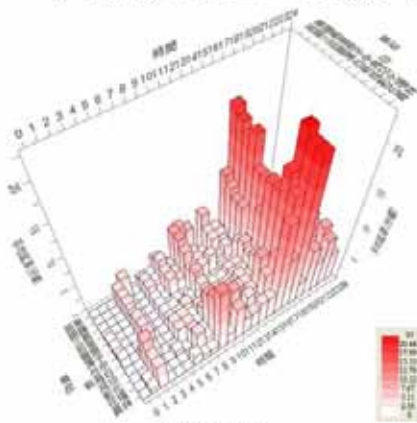
財團法人中興工程顧問社

22

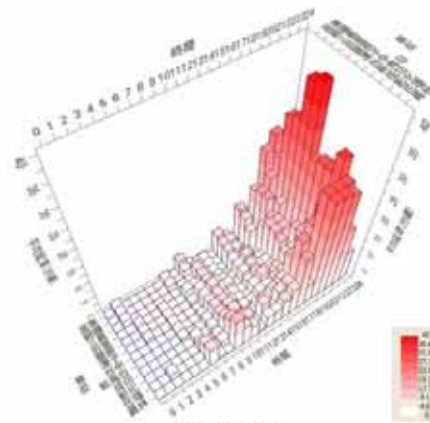


列車延滯時空分布分析

- 分析結果－假日（週五～日）
 - －中部都會區，對號車



上行方向



下行方向



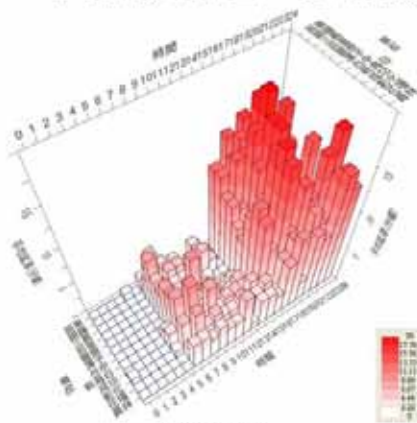
財團法人中興工程顧問社

23

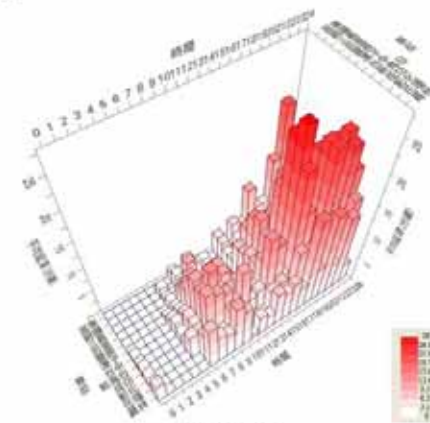


列車延滯時空分布分析

- 分析結果－假日（週五～日）
 - －中部都會區，非對號車



上行方向



下行方向



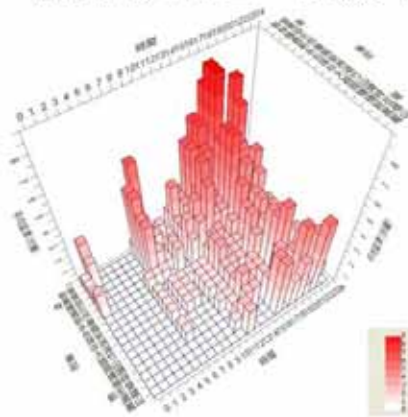
財團法人中興工程顧問社

24

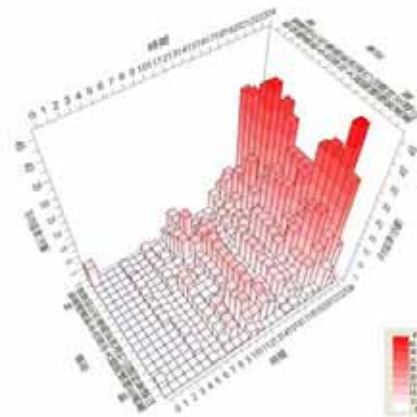


列車延滯時空分布分析

- 分析結果－假日（週五～日）
－南部都會區，對號車



上行方向



下行方向



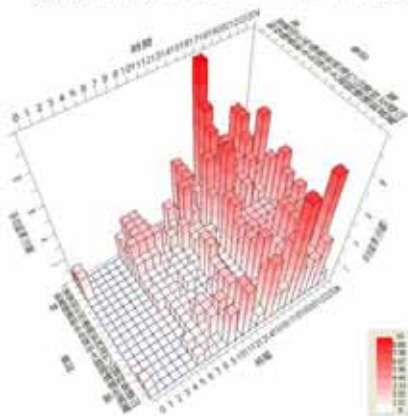
財團法人中興工程顧問社

25

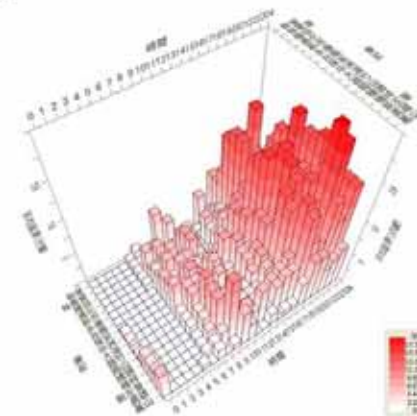


列車延滯時空分布分析

- 分析結果－假日（週五～日）
－南部都會區，非對號車



上行方向



下行方向



財團法人中興工程顧問社

26



列車延滯時空分布分析

- 特殊事件
 - －事件：高雄甲仙地震
 - －時間：民國99年3月4日上午8點18分
 - －震央：高雄甲仙地震站東南方17.1公里處
 - －芮氏規模：6.4級
 - －最高震度：6級（嘉義大埔、台南楠西）



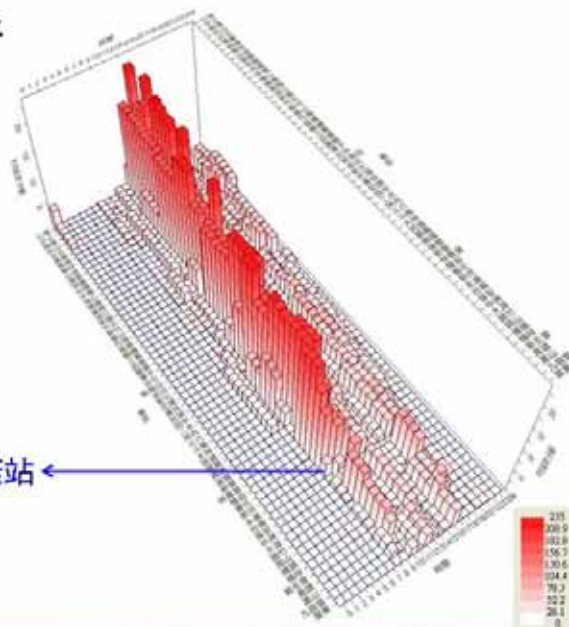
財團法人中興工程顧問社

27



列車延滯時空分布分析

- 分析結果－特殊事件
（高雄甲仙地震）
 - －西部幹線
 - －對號車
 - －上行方向



財團法人中興工程顧問社

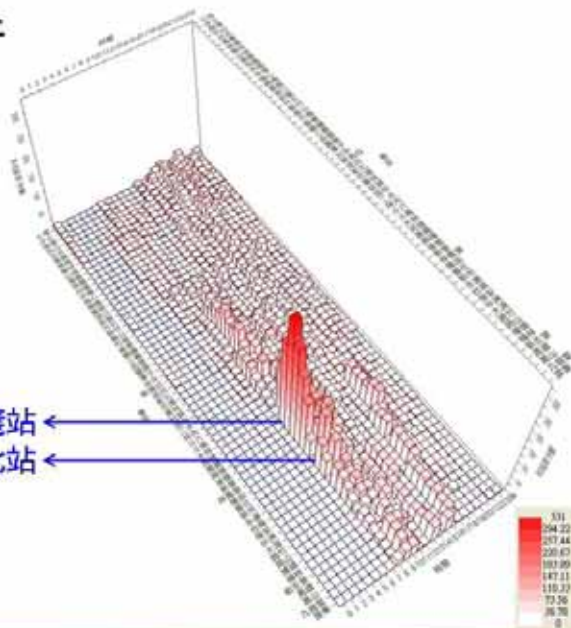
28



列車延滯時空分布分析

- 分析結果－特殊事件
（高雄甲仙地震）
 - － 西部幹線
 - － 非對號車
 - － 上行方向

上午8點，嘉義站 ←
上午8點，善化站 ←



財團法人中興工程顧問社

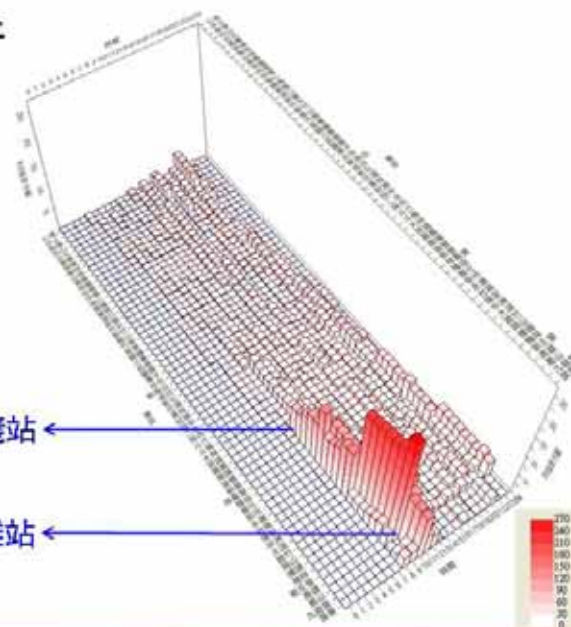
29



列車延滯時空分布分析

- 分析結果－特殊事件
（高雄甲仙地震）
 - － 西部幹線
 - － 對號車
 - － 下行方向

上午8點，嘉義站 ←
上午9點，高雄站 ←



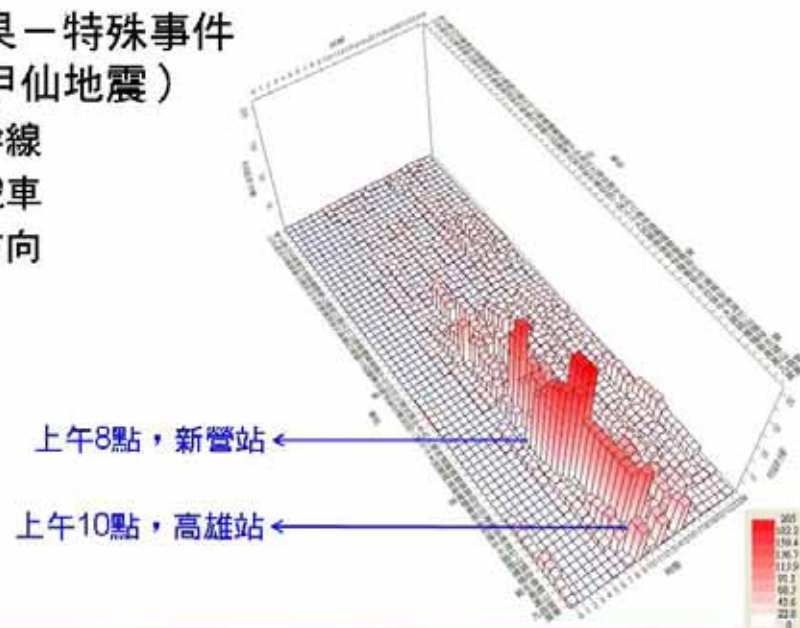
財團法人中興工程顧問社

30



列車延滯時空分布分析

- 分析結果－特殊事件
（高雄甲仙地震）
 - － 西部幹線
 - － 非對號車
 - － 下行方向



財團法人中興工程顧問社

31



列車延滯時空分布分析

- 小結

平日 上下午尖峰時段有較長的延滯時間
下午的延滯情況大多比上午嚴重

假日 較長延滯多發生在下午
延滯的情況通常比平日還嚴重

地震 震央附近列車的延滯快速增加
隨時間向外擴散



財團法人中興工程顧問社

32



對號列車延滯原因分析

- 分析方法說明
 - 利用風險管理的概念

$$\text{發生頻率} = \frac{\text{總發生次數}}{\text{曝光量}}$$

$$\text{嚴重程度} = \frac{\text{造成的總延滯時間}}{\text{總發生次數}}$$

$$\text{風險} = \text{發生頻率} \times \text{嚴重程度}$$



33



財團法人中興工程顧問社



對號列車延滯原因分析

- 分析資料說明
 - 資料來源：臺鐵**主要列車**延誤概況日報表
 - 期間：民國99年2月22日～99年3月25日

交通部 台灣鐵路管理局
主要列車延誤概況表
中華民國 99 年 3 月 6 日 星期六

車次	種類	起迄站	延誤原因	延誤時間(分)
57	對號	樹林~台東	0	0
59	對號	樹林~花蓮	0	8
63	對號	樹林~台東	0	0
65	對號	樹林~花蓮	0	0
67	對號	花蓮~台東	0	0
69	對號	樹林~花蓮	0	8
74	對號	花蓮~樹林	0	0

- 交會 • 路塞 • 調車 • ATP • 天候環境
- 待避 • 行包 • 編組 • 行慢 • 事故
- 旅客 • 慢行 • 號誌 • 車輛故障 • 其他

34

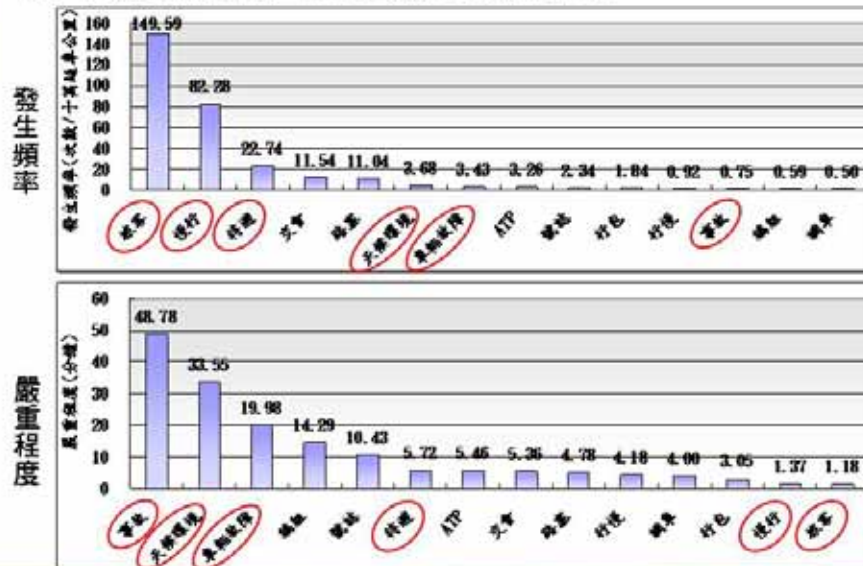


財團法人中興工程顧問社



對號列車延滯原因分析

• 各項延滯原因風險分析結果



35



財團法人中興工程顧問社



對號列車延滯原因分析

• 各項延滯原因風險分析結果

— 風險排序



81.64%

36

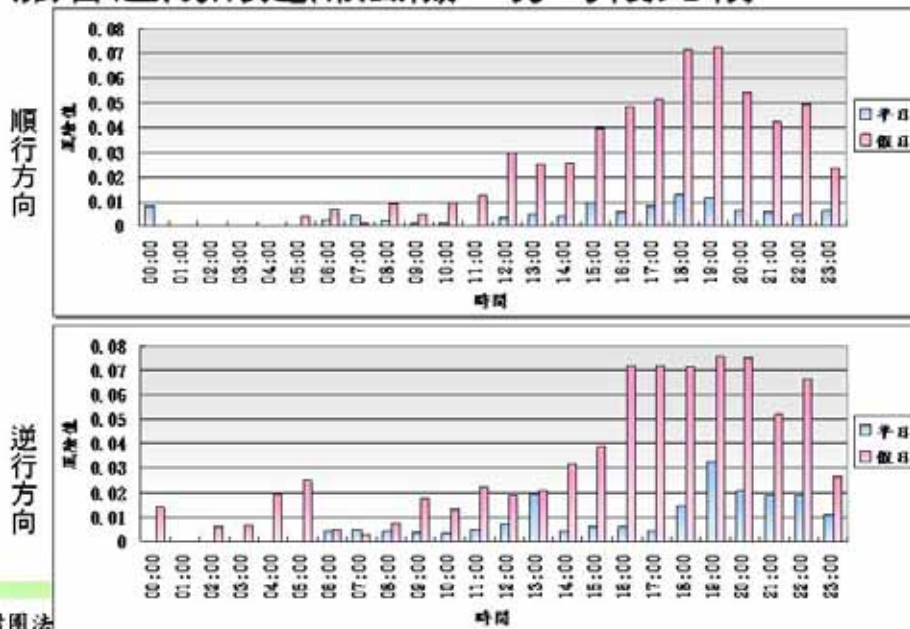


財團法人中興工程顧問社



對號列車延滯原因分析

• 旅客造成的延滯風險一分時段比較



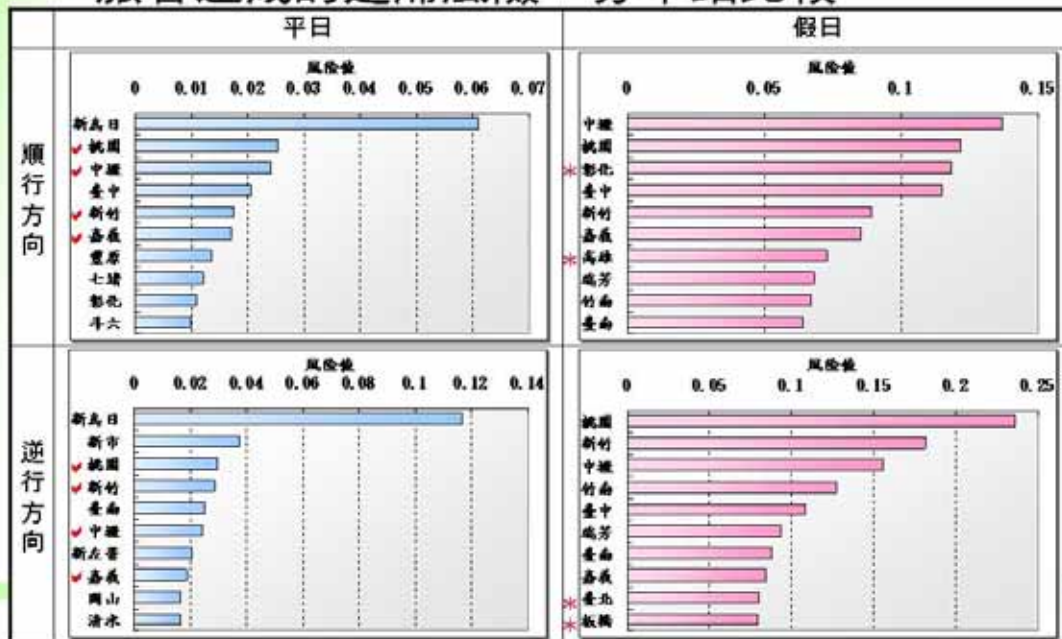
財團法

37



對號列車延滯原因分析

• 旅客造成的延滯風險一分車站比較





對號列車延滯原因分析

- 交會待避造成的延滯風險
 - 計畫性交會待避



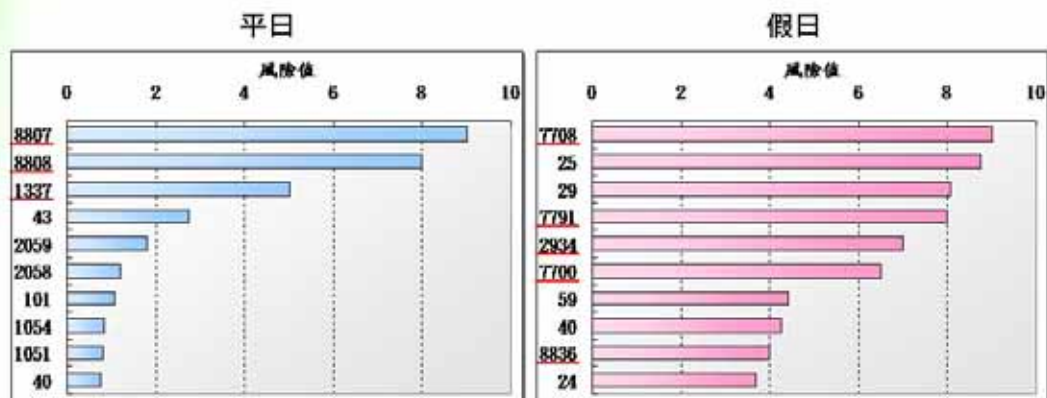
財團法人中興工程顧問社

39



對號列車延滯原因分析

- 交會待避造成的延滯風險
 - 非計畫性交會待避



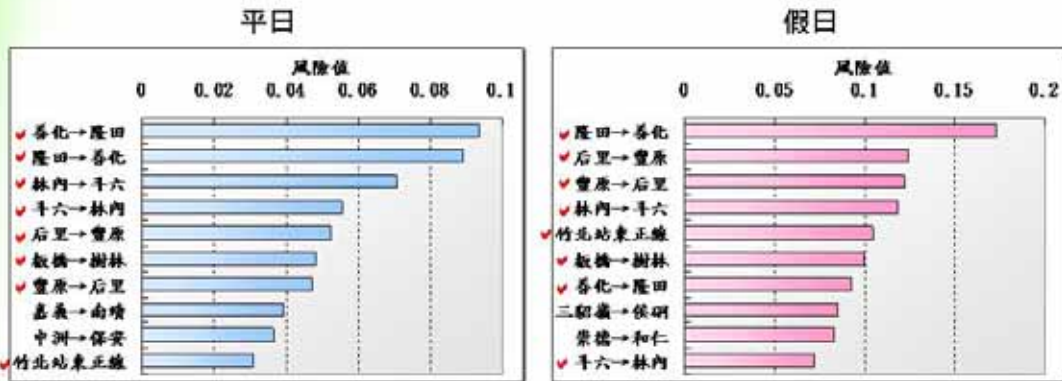
財團法人中興工程顧問社

40



對號列車延滯原因分析

• 慢行造成的延滯風險



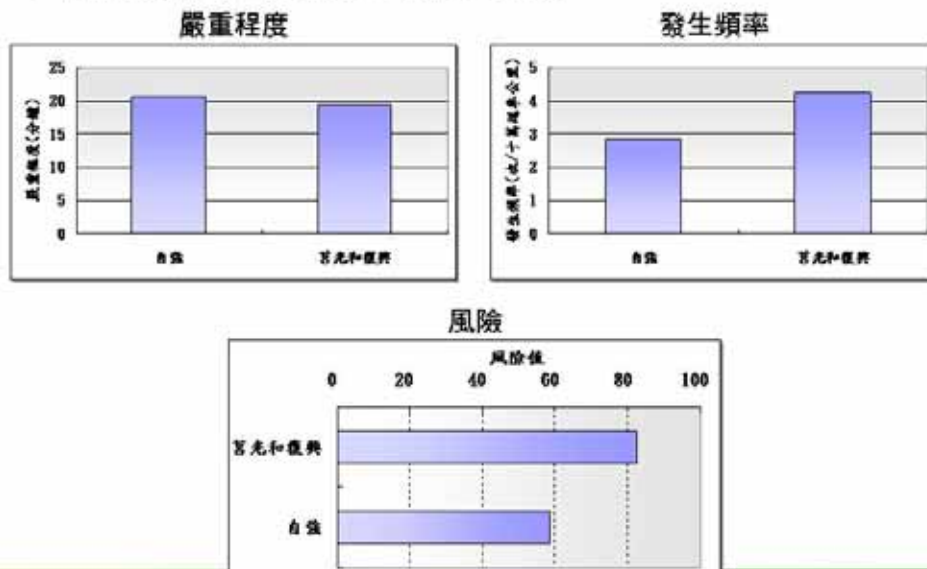
財團法人中興工程顧問社

41



對號列車延滯原因分析

• 車輛故障造成的延滯風險



財團法人中興工程顧問社

42



對號列車延滯原因分析

• 小結

旅客

晚上7點的延滯風險最高
桃園、中壢、新竹和嘉義為風險較高的車站

交會
待避

計劃性交會待避延滯通常可藉由排點改善
非計劃性交會待避通常是加開列車導致

慢行

嚴重的區間為隆田善化區間
以現有資料較難找出根本因素

車輛
故障

加強車輛定期保養維修
計畫性的進行汰舊換新工作



財團法人中興工程顧問社



停站與運轉時間變異分析

• 分析方法說明

- 實際與表訂停站時間之**差值**
- 實際與表訂站間運轉時間之**差值**
- 每30秒為一類，統計其次數比例

• 分析資料說明

- 資料來源：CTC全線列車實際到離站情況
- 期間：民國98年12月1日～99年3月25日
- 對象：桃園站、隆田→善化區間



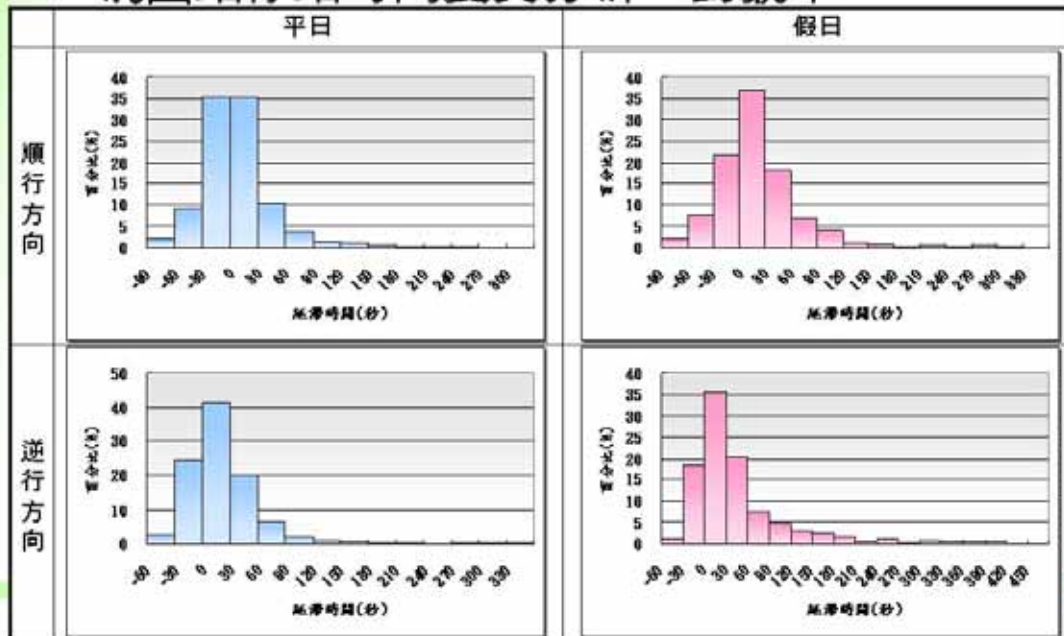
財團法人中興工程顧問社

44



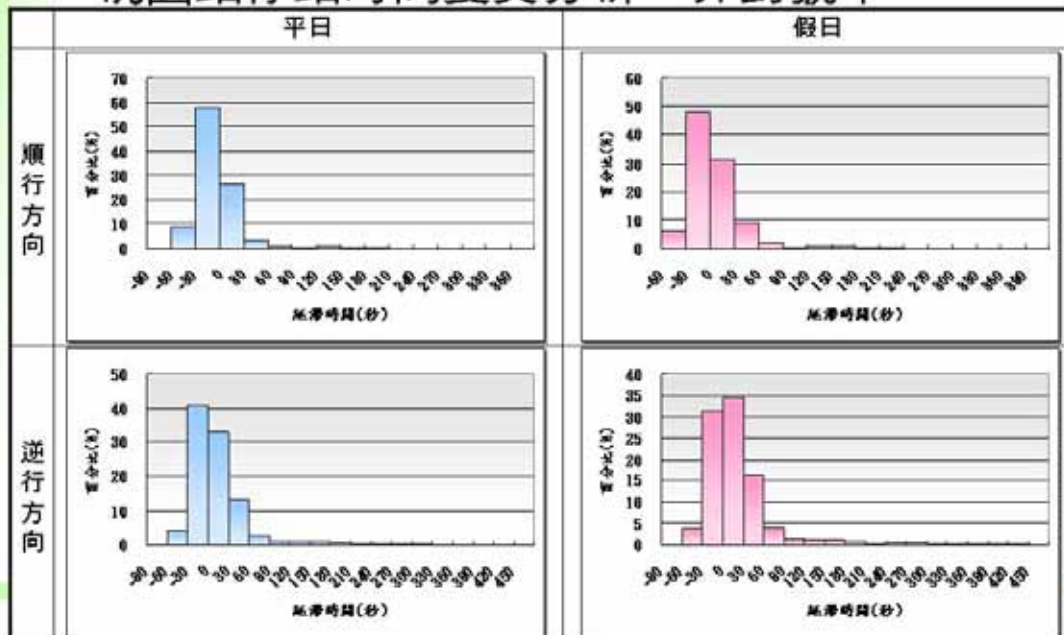
停站與運轉時間變異分析

• 桃園站停站時間變異分析－對號車



停站與運轉時間變異分析

• 桃園站停站時間變異分析－非對號車





停站與運轉時間變異分析

• 桃園站停站時間變異分析

			平日	假日
上行方向	對號車	平均值	7	19
		標準差	43.17	49.23
	非對號車	平均值	-2	7
		標準差	38.44	47.61
下行方向	對號車	平均值	24	52
		標準差	50.64	139.52
	非對號車	平均值	12	23
		標準差	60.77	121.66



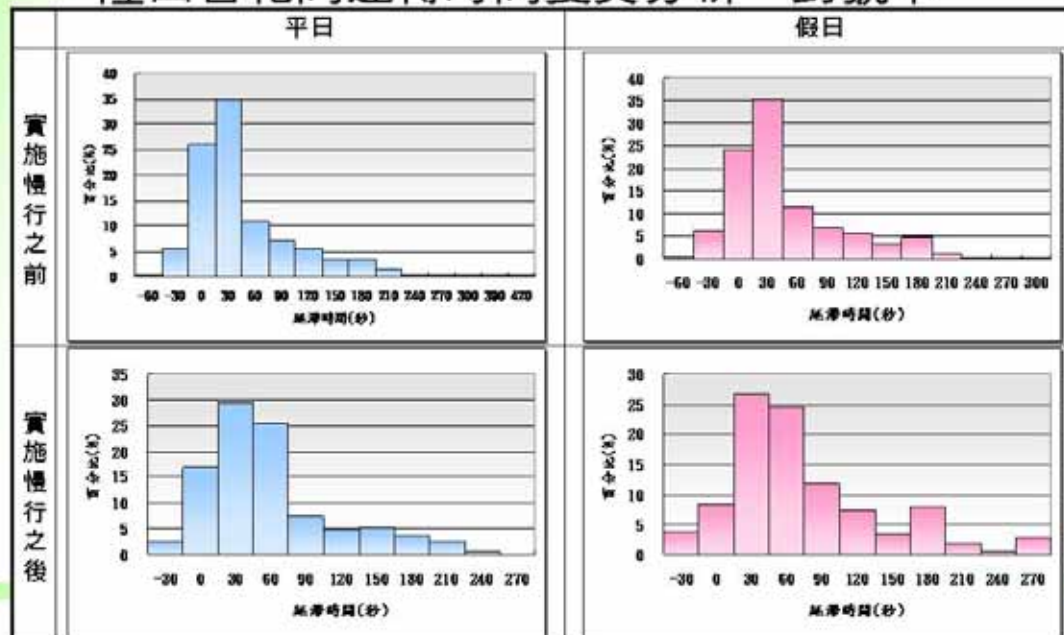
財團法人中興工程顧問社

47



停站與運轉時間變異分析

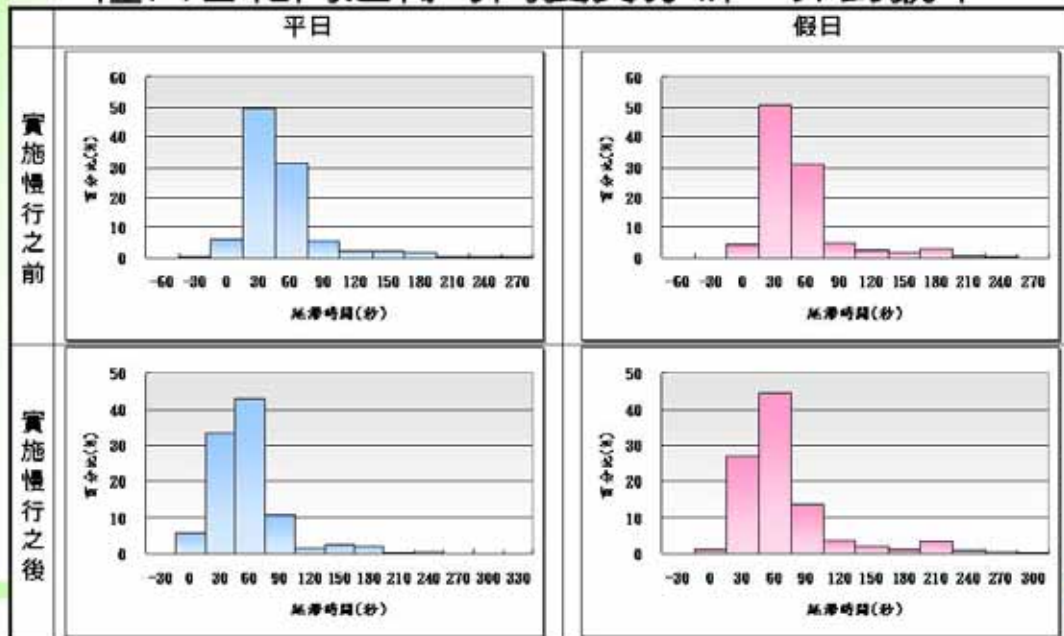
• 隆田善化間運轉時間變異分析－對號車





停站與運轉時間變異分析

- 隆田善化間運轉時間變異分析－非對號車



停站與運轉時間變異分析

- 隆田善化間運轉時間變異分析

			實施慢行之前	實施慢行之後
對號車	平日	平均值	61	73
		標準差	61.66	62.64
	假日	平均值	60	87
		標準差	57.14	67.53
非對號車	平日	平均值	64	71
		標準差	41.43	37.21
	假日	平均值	66	85
		標準差	40.75	51.26





停站與運轉時間變異分析

• 小結

作為調整桃園站停站時間的參考依據

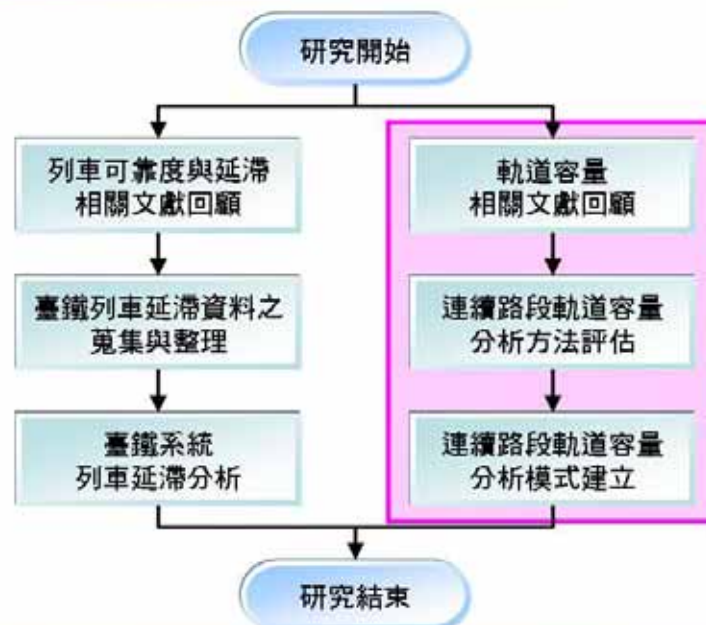
隆田善化間可能表訂運轉時間本身就不足，導致慢行施工後，對列車延滯造成更大的影響

提供未來可靠度分析模式的相關輸入參數資料

51



後續工作計畫



52



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
本所林 組長國 顯	有關本報告之特殊事件延滯資料是以車站所有列車延滯之累積，而非呈現每列車之 Knock-on 效果，建議特殊事件之延滯資料不宜以平常 Routine 的方式處理，可參考臺鐵局鄭騰清工程司之建議於報告中說明其係因「巡軌」慢行作法之結果，以真實呈現實務之運作。	依主席意見辦理，於報告中補充說明當地震發生後，列車進行「巡軌」慢行之作法。	已於期末報告中回應處理。
	本研究有關可靠度及延滯之相關分析結果十分實用，建議後續應可提供給臺鐵局作為營運改善之參考。	感謝主席支持與肯定。	--
	有關報告中表 5.2 之臺鐵主要列車延滯原因分類表，因其說明內容可能無法真實反映真正延滯原因，將可能誤導後續延滯之分析結果，後續應可建議臺鐵局檢討適合之分類內容，俾利資料之蒐集及分析。	依主席意見辦理，於報告中提出相關建議。	已於期末報告中回應處理。
	報告中列車延滯時空分布圖係為通過車站所有列車延滯之累積，而非以各列車之延滯時間呈現，可能易造成誤導，且可能對營運排班改善無實際助益，並建議可以不同顏色檢討其呈現方式。	將根據主席意見，檢討列車延滯時空分布的呈現方式。	同意承辦單位之回應說明。
	建議應針對 First Delay 及 Knock-on Delay 之原因及影響確實釐清，以利後續可靠度分析及模式之建立。	本研究將嘗試釐清 CTC 系統紀錄中的主要和次要延滯，而對於「主要列車延滯概況日報表」中部分無法區分者，目前也難以追溯釐清，因此將於報告中提出相關建議供臺鐵局參考。	已於期末報告中增加相關說明。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
成功大學鄭教授永祥	有關臺鐵主要列車延滯原因分類表之內容可能範圍過大或不明確，造成延滯資料登錄之錯誤，及無法發掘其真正之原因，建議應檢討修正。	根據臺鐵鄭工程司指出，臺鐵列車延滯原因分類確實有範圍過大或不明確之問題，因此依主席指示，將於報告中提出相關建議供臺鐵局參考。	已於期末報告中增加相關建議。
	有關本研究可靠度分析與先前容量研究分析之關聯性，及其對於臺鐵系統排班及營運改善之目的為何，建議可於報告中予以釐清，以利讀者瞭解。	本研究可靠度分析和先前容量分析模式無關聯，其目的是為了後續發展可靠度分析模式所需，並對臺鐵系統目前的可靠度情況進行檢視並提出改善建議，將於報告中補充說明。	已於期末報告中增加相關說明。
	有關 Service Recovery(延誤恢復能力)之相關分析只列為文獻資料，是否可考量納入後續可靠度模式中分析，建議可於報告中著墨。	有關 Service Recovery 的分析是未來發展可靠度模式的可能方向之一，將於報告中補充說明。	已於期末報告中增加相關說明。
	目前 CTC 系統只有列車到開時間資料，而「主要列車延誤概況日報表」只針對對號列車紀錄而無非對號列車之延滯資料，應可考慮建議臺鐵局能建置蒐集完整之所有列車延滯資料，俾利續相關分析應用。	依評審意見辦理，於報告中提出相關建議。	已於期末報告中增加相關建議。
交通部 臺鐵局 鄭工程司騰清	有關臺鐵系統延誤資料之真正原因很難從現有資料判斷，原因在於表 5.2 之臺鐵主要列車延滯原因分類表之分類定義不明確，建議可檢討釐清，俾作為臺鐵局改善之參考。	列車延滯原因分類確實會影響後續分析的結果，根據主席指示，將於報告中提出相關建議供臺鐵局參考。	同意承辦單位之回應說明。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
交通部 臺鐵局 鄭工程 司騰清	目前許多大站延滯資料之原因可能並非都是旅客量過多所致，真正原因可能是旅客轉乘接駁列車之停等，建議可作進一步檢視。	誠如各評審所言，臺鐵系統延誤資料之真正原因很難從現有資料判斷，由於臺鐵目前對於旅客造成的相關延滯，沒有轉乘接駁等更進一步的資訊，因此也難以作更進一步的檢視，但本研究會提出相關建議，若未來有更詳細明確之資料，則可做更精準的分析。	已於期末報告中增加相關建議。
	目前臺鐵局有誤點改善小組之設置，惟其小組運作方式及其功能仍有提升之空間，故本研究若能確實釐清延滯之真正原因，並建立周延之可靠度模式，則相關成果將對臺鐵局服務品質之改善有所助益。	感謝評審支持。	--
臺灣高 鐵公司 陳協理 信雄 (書面 意見)	對於研究範圍、架構、後續研究重點及方向等，並無意見。	感謝評審肯定。	--
	pp. 1-7, 行-1 「…以計算列車的最大容量」應改為「…以計算軌道的最大容量」。	依評審意見辦理。	已於期末報告中處理。
	pp. 2-5, 段-1 旅客會先找尋座位，當無座位時才會選擇站立，因此客座利用率僅考慮座位之方式並無不當，亦無高估之問題，建議刪除此段。	依評審意見辦理。	已於期末報告中處理。
	pp. 3-13, 圖 3-11「列車延遲」是「果」而非「因」，建議不宜視為影響延滯風險之因子。	圖 3-11 為 Jong et al. (2010)之研究成果，該研究係以「鐵路行車規則」律定之行車事故項目進行分析，而「列車延遲」為其中一個項目。當造成列車延滯的原因無法歸類於其他事故項目時，則歸類於「列車延遲」，其意義較接近「其他」。	同意承辦單位之回應說明。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
臺灣高 鐵公司 陳協理 信雄 (書面 意見)	pp. 3-16, 行 4 「…列車…」應改為「…列車…」。	依評審意見辦理。	已於期末 報告中處 理。
	pp. 4-3, 圖 4-2~29 3D 圖並不容易讀，建議以表來取代圖，如車站為列、小時為欄、儲存格為延滯時間，並以儲存格底色來顯示延滯之等級。	3D 圖主要目的為呈現列車延滯的整體趨勢，若以表格來呈現，並保持適當大小之字體，由於時空範圍過大（例如北部都會區為 24 個小時×20 個車站），表格的欄位與列數皆會超過 A4 紙張之範圍，使得排版不易。此外，實際上需更進一步探討的僅是延滯較嚴重的部分，因此保留 3D 圖以呈現整體情況，而對於其中較重要的部分，再以表格或文字等其他方式說明之。	同意承辦 單位之回 應說明。
	pp. 5-16 慢行區間會因施工等事件之發生區域及時間而改變，因此本節分析似無必要性，建議評估是否保留本小節。	由於施工慢行是造成延誤的主要原因之一，本節所介紹的方法有助於找出因慢行所造成延誤的高風險區間，雖然分析結果會隨著時間、區域而改變，但本節所提出的方法仍然適用，因此建議保留。	同意承辦 單位之回 應說明。
	pp. 5-18 各車種之故障狀況是否會有很大之不同？如統計上無明顯差異，本節分析亦無必要性，建議評估是否保留本小節。	雖然分析的結果顯示自強號電車組與莒光復興號的故障延誤風險大致相同，但未來臺鐵若有新的車種加入或是維修的可靠度有變化，結果也可能會改變，但分析的方法仍然適用，因此建議保留本節的內容。	同意承辦 單位之回 應說明。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
臺灣高 鐵公司 陳協理 信雄 (書面 意見)	pp. 6-2 停站時間變異與上下車旅客數有關，然如以全日來看停站時間變異分佈，則無法與各時段之進出站旅客數相連結。建議可思考將橫軸改為小時，縱軸則為各該小時之停站時間之標準變異(各班次變異平方和之開根號平均值)。如研究資源許可，建議可蒐集各小時進出站人數，分析是否具明顯相關性。	目前臺鐵並無各小時進出站旅客數之相關資料，因此難以分析停站時間變異與上下車旅客數之關係。雖然文獻中有研究可根據票證紀錄與時刻表，模擬各時段進出車站的旅客數，但已超過本研究之範圍。	同意承辦單位之回應說明。
本所運 計組 (書面 意見)	P3-2 延滯發生之原因可分為主要延滯(Primary Delay)與次要延滯(Secondary Delay)，惟台鐵所呈現之延滯資料結果可能皆為已融合主要延滯與次要延滯(如表 3.4 所述)之資料，故如何由延滯結果有效釐清其真正延滯原因，以作為後續列車延滯分析模式建構及容量分析模式更強化之基礎，建議於後續研究階段可結合各延滯原因分析補強相關分析。	本研究係由臺鐵的「主要列車延誤概況日報表」進行延滯原因分析，然目前臺鐵延滯原因之分類中，「旅客」、「調車」和「編組」等項目無法區分是主要延滯或是次要延滯，且也難以再追朔釐清，因此將於報告中提出相關建議供臺鐵局參考。	同意承辦單位之回應說明。
	報告中提及部分研究將「延誤發生後的回復能力」列為服務可靠度之其中一項指標，且以整份班表作為評估對象，而基於延滯分析模式係作為容量分析模式更強化之基礎，容量亦是影響延誤發生後回復能力之關鍵，故有關此部分之分析是否亦會納入後續研究，建議可作說明。	發展可靠度分析模式為明年度之研究項目，而「延誤發生後的回復能力」是未來發展模式的可能方向之一，若未來所發展的模式是以此作為評估指標，則可進行相關的分析。	同意承辦單位之回應說明。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
本所運 計組 (書面 意見)	有關本研究延滯分析之構面係以平日、假日及特殊事件之尖、離峰來處理，並以實際到開時間與原班表時間之差值來分析，惟其如何處理過程中快慢車混合及追越待避所造成之延滯干擾問題，建議可於模式分析過程中補充相關說明；另有關於本研究之延滯原因分類主要係沿用台鐵之分類方式，是否足以含括所有延滯類型及可充分建構於後續之模式中，建議報告中可作說明。	單從 CTC 資料難以精確得知列車交會待避干擾所造成的延滯，因此本研究係以臺鐵「主要列車延誤概況日報表」之紀錄，並區分「計畫性」和「非計畫性」，分別探討對號列車因交會待避造成的延滯，而對於非對號列車，因為缺乏相關資料，因此無法進一步進行分析。 另外對於未來發展可靠度模式方面，為了模式的泛用性，考量的延滯類型將不會沿用臺鐵的分類方式，而是考量延滯發生地點、嚴重性和發生頻率等因素。	同意承辦單位之回應說明。
	有關本研究之延滯原因分析係以風險分析進行，惟本章之分析理論與 CH4 延滯時空分析結果之關聯性並未完整說明，其一係從時空面向另一係從延滯個體面向，二者分析之邏輯性如何整合，建議應於報告中再加強說明；另前者台鐵 4 個月之 CTC 延滯時間資料與後者 1 個月之延誤概況資料間之關聯性，亦請再補充說明；另該二部分分析於後續延滯模擬模式架構中之定位及關聯性，建議亦應說明。	延滯時空分析之目的在於了解整體延滯情況，而為了深入探討造成延滯的主要原因，所以進行延滯原因的風險分析，將於報告中加強說明此兩部份分析與其相關資料之關聯性。另可靠度分析的課題可分為兩大類：「延滯現況分析」和「延滯推估」，本研究之課題屬於前者，而未來發展可靠度分析模式為後者，將於報告中補充說明。	已於期末報告中增加相關說明。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
本所運 計組 (書面 意見)	延滯之真正原因錯綜複雜，CH4 針對台鐵延滯資料以時空角度進行分析，惟內容多以結果呈現為主，相關原因分析較少，建議仍應儘量以路線、交通及控制等條件角度嘗試剖析其原因，並嘗試將其歸納入主要延滯或次要延滯類別，俾利後續模式構建依據，另台鐵之該 4 個月延滯資料是否有何問題或不周延之處，建議亦可增加相關分析說明，俾利作為後續是否需再補充調查或由後續模擬模式產生資料補足之依據。	CH4 之分析重點在於列車延滯的分布，可對目前臺鐵可靠度現況有通盤了解，而正因為造成延滯的原因錯綜複雜，所以難以僅根據延滯分布分析的結果推論造成延滯的原因，於是本研究於 CH5 中進一步進行延滯原因的分析與探討。 至於臺鐵 4 個月之 CTC 列車延滯資料之不足處，主要為缺少詳細的列車延滯原因，雖然臺鐵有「主要列車延誤概況日報表」之紀錄，但僅針對對號列車，且到達終點站延滯超過 6 分鐘之列車才有延誤紀錄，因此將於報告中提出相關建議，以期未來臺鐵可建立更完整的資料。	已於期末報告中增加相關說明及建議。
主席結 論	為釐清臺鐵系統各路段之路線容量、路線利用率及瓶頸地點，以作為軌道發展政策暨相關改善計畫之參考，請另擇期邀請臺鐵局綜合調度所鄭騰清工程司及相關人員就整體臺鐵系統之路線及排班狀況，針對上述議題作進一步研商釐清。	依主席裁示辦理。	已於期末階段辦理
	鑑於國內後續有許多鐵路立體化計畫將執行，建議本研究可階段性找出影響臺鐵系統準點率之真正原因，並研提具體改善策略及作法，適時提供給臺鐵局作為後續改善之參考。	依主席裁示辦理。	已於期末報告中增加相關說明及建議。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
主席結 論	有關本研究之結論及建議內容，為顯現本系列研究之理論及實務價值，建議可朝下述 2 類內容進行彙整：(1) 模式資料分析結果；(2) 對實務現況準點率、可靠度問題改善之建議。	依主席裁示辦理。	已於期末報告中增加相關說明及建議。
	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。	--

「軌道系統容量與可靠度分析研究(1/3)」期中報告 審查會議紀錄

一、時 間：99 年 8 月 6 日(星期五)上午 9 時 30 分

二、地 點：交通部運輸研究所 10 樓會議室

三、主持人：林組長國顯

紀錄：劉昭榮

四、出(列)席單位及人員：

交通大學交通運輸研究所黃教授承傳

請假
鄭永祥

成功大學交通管理科學研究所鄭教授永祥

交通部鐵工局規劃組施副組長文雄

請假

交通部臺鐵局運務處綜合調度所鄭工程司騰清

鄭騰清

臺灣高鐵公司陳協理信雄

請假

本所運工組

運計組

劉昭榮

財團法人中興工程顧問社

鍾志威 李仁山 賴易成 黃竺凌

附錄 E 期末工作會議資料

軌道系統容量與可靠度分析研究(1/3) (99.10.18)

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（臺鐵連續區段軌道容量分析）

前期研究發展之容量模式僅考慮單一區段（包含兩連續車站及其站間），應用於整條路線容量計算時則採逐一計算每個區段之容量，並將整條路線中容量值最小的區段視為瓶頸，該區段之容量值則為該路線之容量。此方法隱含計算每一區段時都假設其他相鄰區段可充分配合該區段，讓該區段達到最大容量的列車運行需求，但實際上列車在時間空間裡均屬連續的移動變化，故上/下游列車特性與車站配置會彼此相互影響，因此本期研究近一步研究連續區段下的軌道容量分析。

連續區段容量分析所需的輸入參數可能來自單一區段模式的輸入（例如停站型態、站間運轉時間）與輸出（例如號誌安全時距），兩模式彼此間的關係架構如圖 2.1，為了能夠充分整合過去與未來之研究成果，連續區段模式無論是現階段的模式構建或未來的程式開發均會考慮垂直整合的議題。未來模式應用時，20 餘項基礎輸入參數（例如列車加減速、閉塞區段長度）一旦調整，單一區段容量模式與連續區段模式之分析結果均能反應該變數對容量之影響。

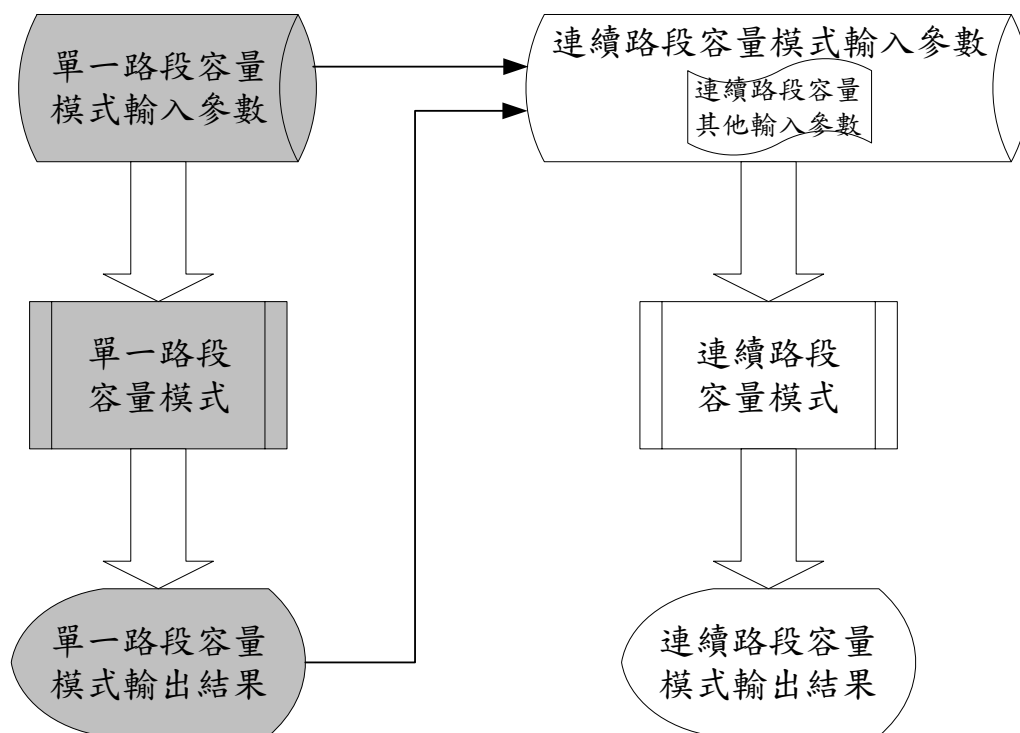


圖2.1 單一/連續區段模式之整合架構圖

因此，以下說明連續區段容量模式之前，會先針對單一區段容量模式進行重點回顧，特別是重要的模式假設以及與連續區段相關的輸出產出。接著再說明連續區段模式細節，最後對模式計算的結果予以介紹。

2.1 單一區段容量模式重點回顧

以下分別說明單一區段容量模式的重要假設與輸出結果，詳細內容請查閱「臺灣 區軌道容量手冊，第二篇—傳統暨區域鐵路篇」。

1. 僅考慮可待避之車站

為了避免高估容量，單一區段容量分析僅考慮可待避的車站，以七堵～汐止間為例，單一方向雖然有三個區段（即七堵→百福、百福→五堵、五堵→汐止），但由於目前百福與五堵均為捷運化車站，同向僅有一股道可使用，無法進行列車待避，因此會將七堵→汐止間合併為一個區段，但站間運轉時間除了是三個區段的累積加總之外，尚要加入停站時間一併計算。

2. 號誌時距計算均以停站為基礎

無論是進站或離站的號誌時距模式，均假設列車在車站均停車的情況下計算號誌安全時距，除了可保留排班作業中的列車待避可能性之外，

亦可確保列車以副線到開進出車站時，經過道岔的速度會降至限速之內。意即模式中以「進站-進站」時距代替「進站-通過」時距；以「離站-離站」時距代替「通過-離站」時距。

3. 股道共用之行為直接反應在時距數值

模式在計算時距時已將南北共用的股道予以考慮，例如以臺鐵常見的一島一岸存有平面交叉配置（例如臺中、臺南等站）為例，其進站時距將以 $T_{s,A} = 0.75T_{s,A1} + 0.25T_{s,A2}$ 計算之，其中 $T_{s,A1}$ 為站內使用同一軌道的進站時距； $T_{s,A2}$ 則為站內使用不同軌道的進站時距。詳細推導過程可參閱「臺灣區軌道容量手冊，第二篇—傳統暨區域鐵路篇」。

4. 號誌安全時距為主要計算結果

計算結果包含進站號誌時距 $T_{s,A}$ 與離站號誌時距 $T_{s,D}$ ，且數值會依不同的先/續行列車組合有所不同，若有 3 種列車種別，則會計算出 $3^2 = 9$ 種組合的進站時距與離站時距。

2.2 連續區段容量模式

以下就整體架構、假設條件、輸入參數、計算流程等議題分別介紹模式。

2.2.1 整體架構

有鑑於 UIC 406 的連續區段容量分析方法（壓縮時刻表）必須以時刻表作為輸入，對於尚在規劃/設計階段時的軌道系統不易使用，因此本研究改以將第 1 個區段的列車密度安排至最密（列車數則由使用者決定，例如 100 列或 500 列），接著視下游區段的號誌安全時距適當「拉開」列車間距，如此反覆計算直到所有區段均考慮完畢。接著以最末區段的首/末班車之間距配合列車數求算平均時隔，最後考慮寬裕係數求得整個連續區段之容量。

以 n 個連續複線區段與 N 列車之情境如圖 2.2 為例，以下將以 $t_{i,j}^{Dep}$ 代表第 i 區段中第 j 列車於該區段的離站時間；以 $t_{i,j}^{Arr}$ 代表第 i 區段中第 j 列車於該區段的到站時間。在此架構下，過去單一區段容量模式即是利用第 1 個區段所有的 $t_{1,1}^{Dep} \sim t_{1,N}^{Dep}$ 以及 $t_{1,1}^{Arr} \sim t_{1,N}^{Arr}$ 求算容量，而本研究則將之擴充，以第 1 個區段之結果配合下一個區段之參數（停站時間、站間運轉時間、號誌時距等）求算 $t_{2,1}^{Dep} \sim t_{2,N}^{Dep}$ 以及 $t_{2,1}^{Arr} \sim t_{2,N}^{Arr}$ ，如此反覆處理直到所有區段計算完

畢後，最後再以式(2.1)進行連續區段容量計算。值得強調的是，由於列車可能透過車站進行追越待避，因此每個區段的列車順序可能會有所異動，意即 $t_{i,j}^{Arr}$ 與 $t_{i+1,j}^{Arr}$ 可能並非是同一車次。

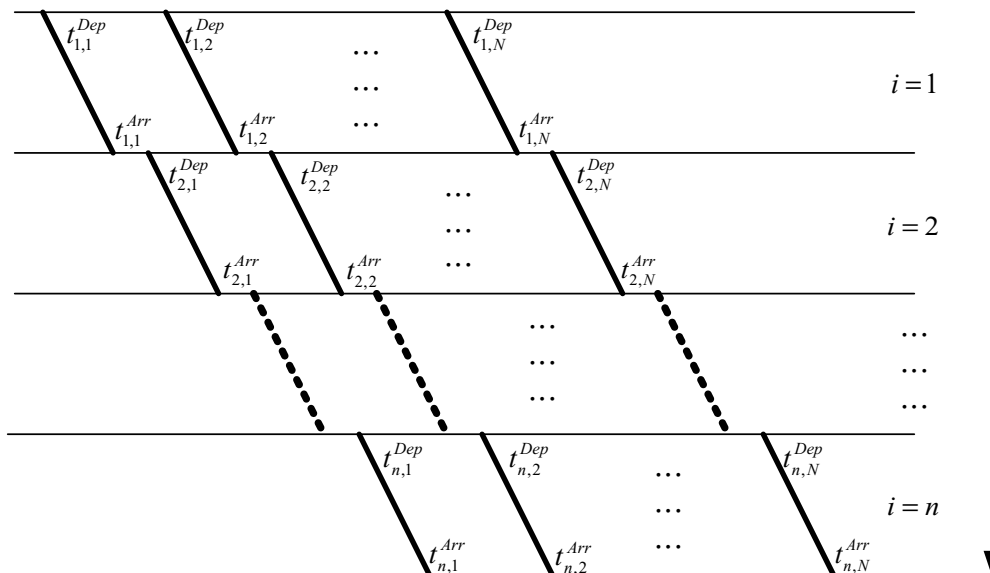


圖2.2 連續區段模式使用之變數示意圖

$$C = \frac{3600}{\frac{t_{N,n}^{Arr} - t_{1,n}^{Arr}}{N-1} \times (1 + \beta)} \quad (2.1)$$

式中： C = 連續區段容量 (Trains/Hour)

N = 模擬列車數

β = 寬裕時間係數

$t_{1,n}^{Arr}$ = 最末區段 (第 n 區段) 第 1 列車的到站時間 (秒)

$t_{N,n}^{Arr}$ = 最末區段 (第 n 區段) 最末列車 (第 N 列車) 的到站時間 (秒)

2.2.2 假設條件

以下列舉本模式之假設條件並簡略說明之。

1. 繼承單一區段模式之所有假設

由於連續區段模式中的號誌時距參數是由單一區段模式計算而得，因此對於單一區段模式的假設會概括接收。

2. 所有列車均行經 n 個連續區段

考慮 N 列車全貫穿 n 個區段所計算出的平均時距是一種較為保守的容量計算方式，此假設亦可省去使用者逐一輸入各車次的起迄站資訊，特別是模擬列車數 N 可能動輒數百或上千，逐一輸入起迄站相當耗時。況且實際運用模式時，連續區段數 n 亦可由使用者自行決定，已具有相當大之彈性。

3. 遵守基本的列車運轉規則

本研究考慮的規則項目與說明如表 2.1。

表2.1 列車基本運轉規則與考慮

列車基本運轉規則	補充說明
保持號誌時距 $T_{s,A}$ 與 $T_{s,D}$ 充足	單一區段模式亦有考慮
不允許站間追越行為	此為列車追撞行為，故應排除
不允許站內列車數超過股道數量	此為列車追撞行為，故應排除
站間運轉時間不可改變	規劃階段與容量計算均如此考慮
列車通停組態不可改變	通停組態修改會影響站間運轉時間

4. 不考慮第 III 型月台的反向列車平面交叉

由於單一區段模式已將其反應在號誌時距數值上，故在連續區段放不予考慮。

2.2.3 輸入參數

本模式的輸入參數計有 5 大類 9 小項如表 2.2，其中 4 項參數係屬單一區段容量模式之輸入參數；2 項參數則屬於單一區段容量模式之輸出結果。在另外 3 項輸入參數中，「欲模擬列車數」是讓使用者決定模擬規模。另外值得說明的是，過去單一區段模式中的「交通組成」參數允許逐區段設定，但在連續區段模式中，僅能存在一組設定值，且會套用到所有的區段內。

表2.2 輸入參數名稱與來源分類表

參數分類	參數名稱	資料來源歸類		
		單區段模式之輸入	單區段模式之輸出	其他
全域參數	運轉寬裕	√	—	—
	欲模擬列車數	—	—	√
交通組成	車種組成比例	—	—	√
	亂數種子	—	—	√
車站參數	車站清單與順序	√	—	—
列車路線交互關係參數	站間運轉時間	√	—	—
	計畫停站時間	√	—	—
號誌時距	進站時距 $T_{s,A}$	—	√	—
	離站時距 $T_{s,D}$	—	√	—

2.2.4 計算流程

雖然圖 2.2是以「逐區段計算」的概念反覆求算容量，但此方法存在明顯的效能缺陷，以列車模擬數量是 1000 列為例，若第 5 列車於第 i 區段因號誌時距不足需增加 $t_{i,5}^{Dep}$ ，很有可能第 1 到第 $i-1$ 各區段都有大量的 t^{Dep} 與 t^{Arr} 需要偏移固定數值，基於效能的考慮，本研究改以「逐車次調整為主、逐區段調整為輔」的調整程序如圖 2.3所示。

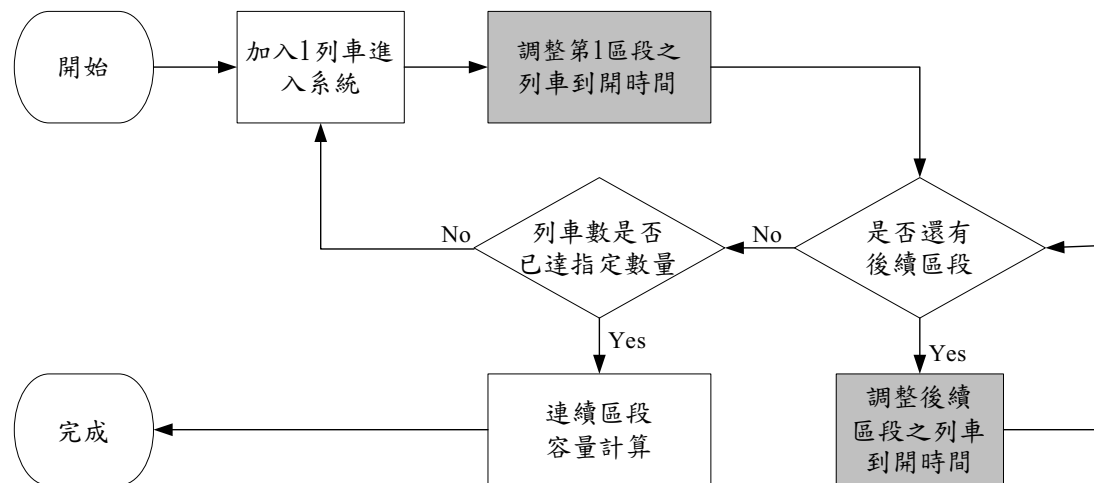


圖2.3 以逐車次調整為主的反覆疊代計算

圖 2.3 中深色底的「調整列車到開時間」為計算程序的重點，無論是在第 1 區段之調整或後續區段之調整，兩者的差異僅在於前者是以原始輸入的車次資訊作為輸入，後者則以上游區段的車次到開時間作為輸入。以下詳細介紹之。

由於離站時間 $t_{i,j}^{Dep}$ 會比到站時間 $t_{i,j}^{Arr}$ 還要早，因此計算時採取先計算 $t_{i,j}^{Dep}$ 再計算 $t_{i,j}^{Arr}$ 之策略。在調整 $t_{i,j}^{Dep}$ 時，需考慮其與先行車（ex: $t_{i,j-1}^{Dep}, t_{i,j-2}^{Dep}$ 等）及續行車（ex: $t_{i,j+1}^{Dep}, t_{i,j+2}^{Dep}$ ）的關係是否合理，同理，在調整 $t_{i,j}^{Arr}$ 時，亦需考慮其與先行車（ex: $t_{i,j-1}^{Arr}, t_{i,j-2}^{Arr}$ 等）及續行車（ex: $t_{i,j+1}^{Arr}, t_{i,j+2}^{Arr}$ ）的關係是否合理。整個檢核與調整項目可以分為 I~VI 共四大區塊如圖 2.5，整個調整計算程序可整理如圖 2.4。

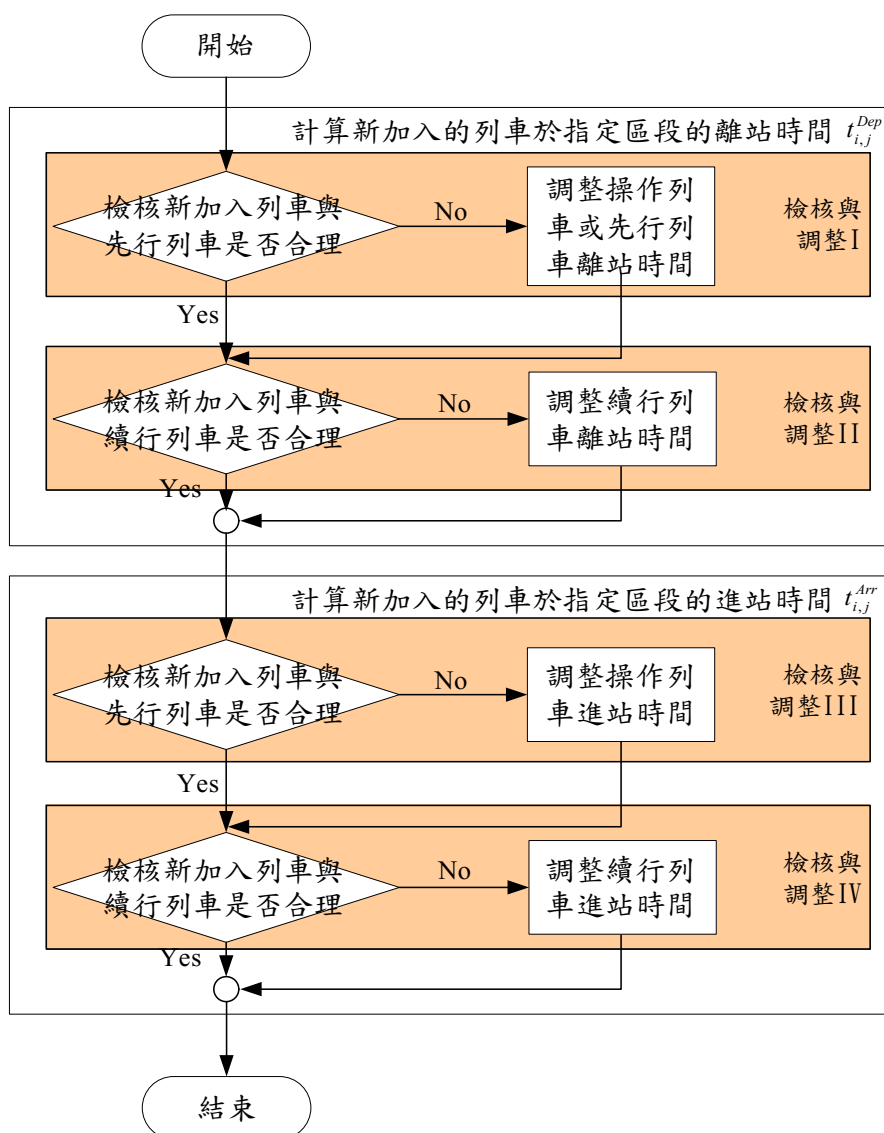
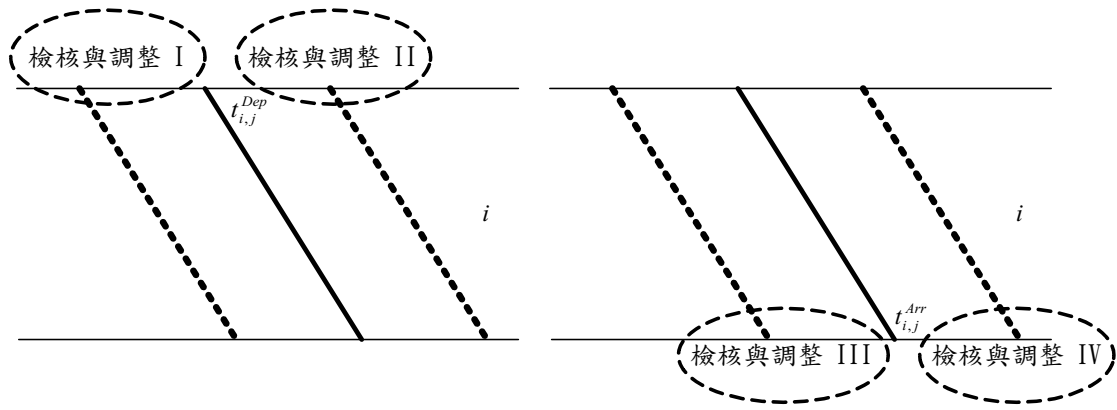


圖 2.4 調整列車到開時間之整體流程



(a) 調整列車離站時間 t^{Dep}

(b) 調整列車進站時間 t^{Arr}

圖2.5 列車離站/進站時間之檢核調整

表 2.3則分別彙整比較圖 2.5中提及的 4 種檢核調整作業，分別就檢核內容、調整對象以及流程圖來比較，其中檢核流程如圖 2.6～圖 2.9。

表2.3 各種檢核與調整項目之比較表

項目	檢核與調整 I	檢核與調整 II	檢核與調整 III	檢核與調整 IV
檢核內容	離站號誌時距 站間追越現象 先行車待避	離站號誌時距 站間追越現象	進站號誌時距 站內股道數	進站號誌時距 站內股道數
調整對象	操作列車/續行列車 (圖 2.5(a) 實線虛線)	續行列車 (圖 2.5(a) 虛線)	操作列車 (圖 2.5(b) 實線)	續行列車 (圖 2.5(b) 虛線)
流程	圖 2.6	圖 2.7	圖 2.8	圖 2.9

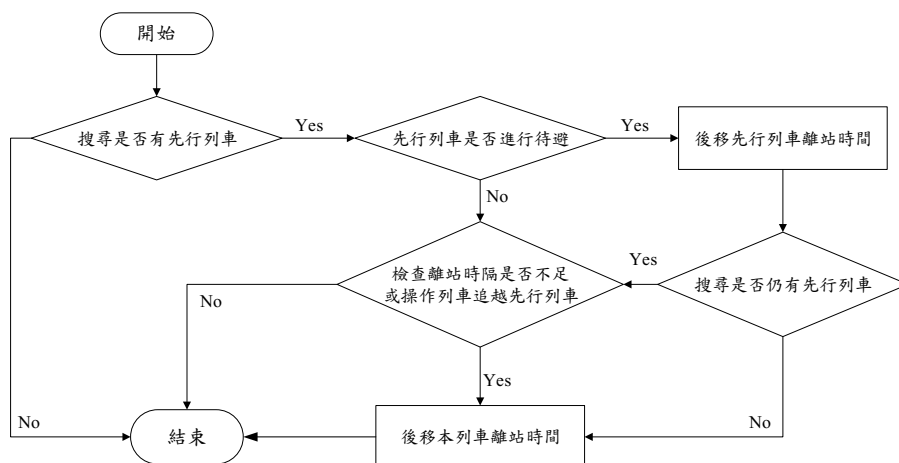


圖2.6 檢核與調整項目 I 之流程圖

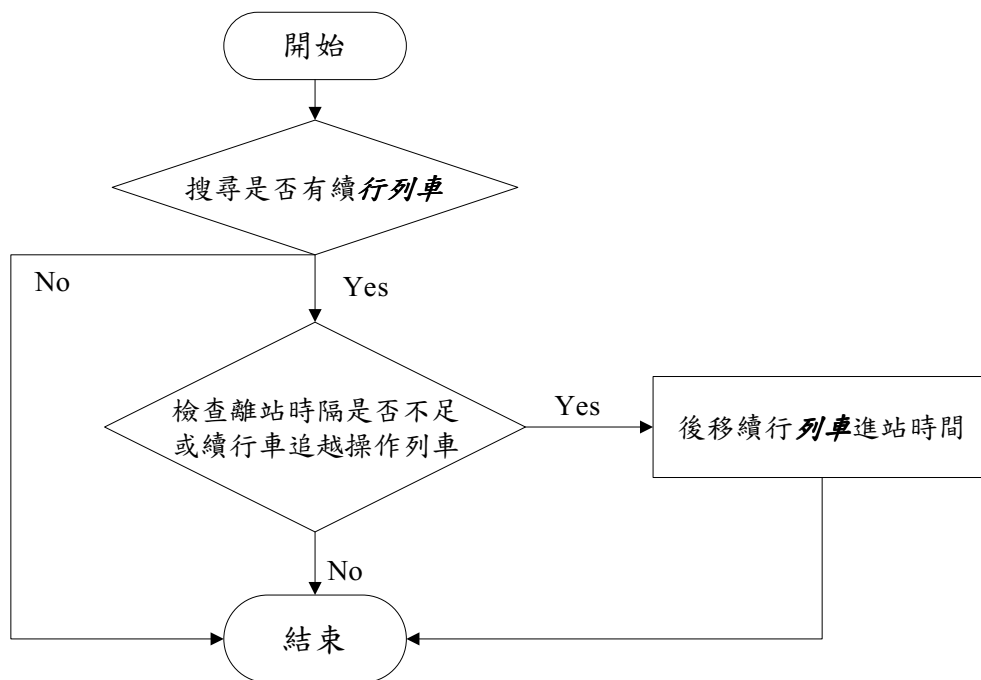


圖2.7 檢核與調整項目 II 之流程圖

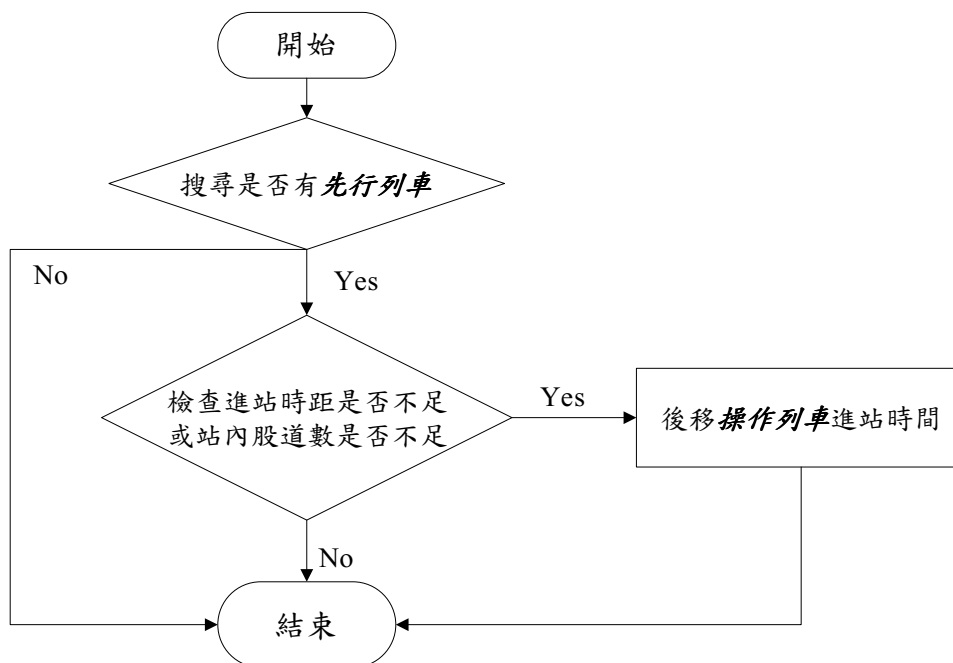


圖2.8 檢核與調整項目 III 之流程圖

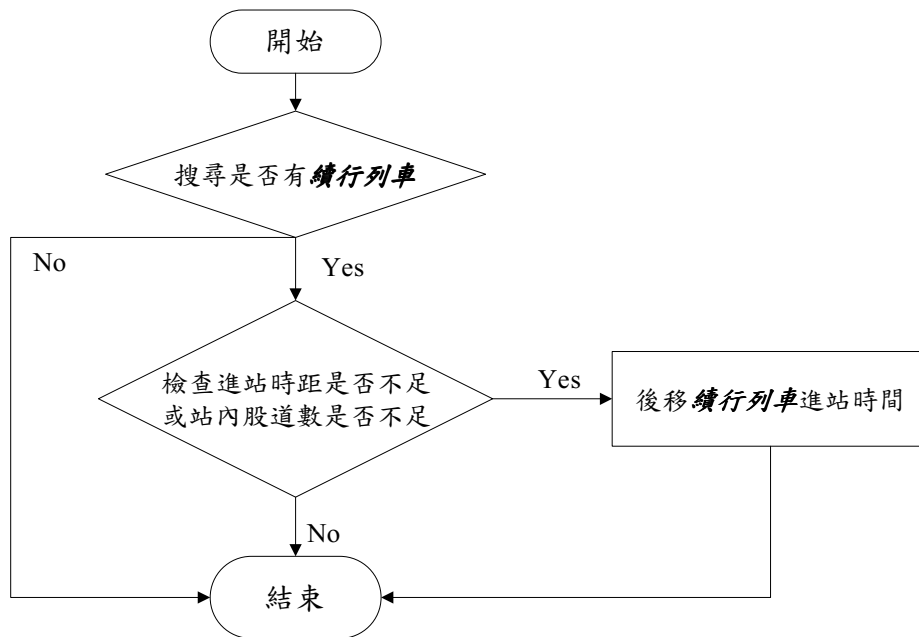


圖2.9 檢核與調整項目 IV 之流程圖

在圖 2.4 中進行各種列車（含先行列車、操作列車、續行列車）之「後移」動作時，均極有可能與系統中的其他列車發生連鎖推擠，為了能夠合理完成所有不同車次、不同時空的後移事件，本研究定義了「後移事件」並搭配一個堆疊（Stack）容器來處理列車連鎖後移。其中「後移事件」由以下四種資訊組成，在一個後移事件中，第(3)與第(4)項必定要有一項為 0，另一項則記錄後移值。

- (1) 後移地點（即車站）
- (2) 後移車次
- (3) 進站時間後移量
- (4) 離站時間後移量

當在圖 2.4 中觸發任何一個後移事件時，系統中會建立一個放置「後移事件」的堆疊容器，模式會將後移事件依區段順序加入堆疊，接著才正式處理「後移事件」，處理前必須確保該「後移事件」不會再觸發其他後續列車產生「後移事件」，若會觸發者，則必須把後續列車的「後移事件」也丟入堆疊容器。如此反覆執行直到堆疊中已無任何「後移事件」後，方算完成一次由圖 2.4 所觸發的後移動作，整個程序如圖 2.10。

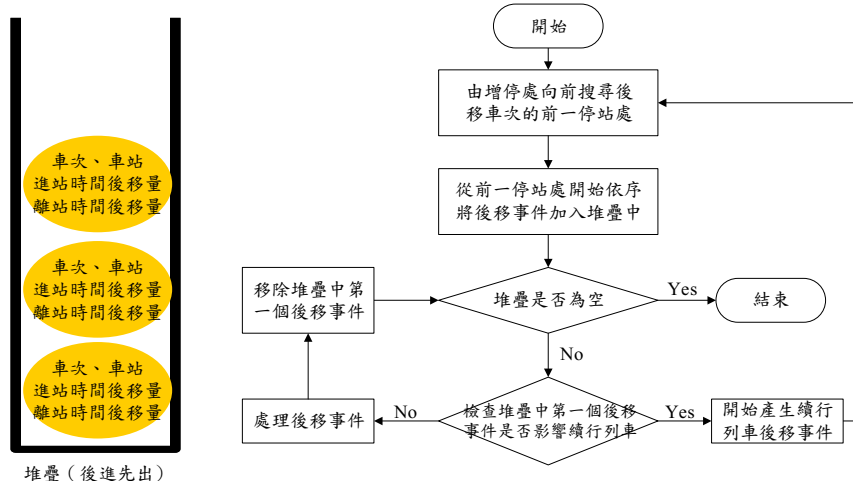


圖2.10 利用堆疊操作完成連鎖後移事件之流程圖

2.3 初步案例分析

本研究以前期研究「運輸系統容量分析暨應用研究-軌道系統(1/4)」中基隆—新竹間的案例為例，進行連續區段的容量計算。以下依序介紹輸入參數、計算結果與敏感度分析結果。

2.3.1 輸入參數

輸入參數清單與數值如表 2.4，其中站間運轉時間與計畫停站時間可參考表 2.5，號誌安全時距則如表 2.6。

表2.4 案例分析輸入資料數值一覽表

參數名稱	設定值
運轉寬裕 β	0.3
欲模擬列車數 N	1000
車種組成比例	自強號：通勤電車=1：3
亂數種子	0
車站清單與順序	基隆-新竹共 22 個車站
站間運轉時間	參閱表 2.5
計畫停站時間	參閱表 2.5
進站時距 $T_{s,A}$	參閱表 2.6
離站時距 $T_{s,D}$	參閱表 2.6

表2.5 輸入資料-停站時間與站間運轉時間

停站時間			站間運轉時間		
車站	自強號	通勤電車	站間	自強號	通勤電車
基隆	01:00	01:00	基隆→八堵	04:00	06:00
八堵	00:00	01:00	八堵→七堵	02:15	03:00
七堵	00:00	01:00	七堵→汐止	06:00	09:45
汐止	00:00	01:00	汐止→南港	04:30	09:00
南港	00:00	00:30	南港→松山	02:45	03:15
松山	01:30	01:00	松山→臺北	05:15	05:30
臺北	04:00	04:00	臺北→萬華	03:00	03:15
萬華	00:00	01:00	萬華→板橋	04:00	04:45
板橋	01:30	01:00	板橋→樹林	04:00	06:15
樹林	01:00	01:00	樹林→山佳	02:45	03:30
山佳	00:00	00:30	山佳→鶯歌	03:15	04:00
鶯歌	00:00	01:00	鶯歌→桃園	06:30	08:45
桃園	01:30	01:00	桃園→內壢	04:30	08:15
內壢	00:00	00:30	內壢→中壢	02:45	05:30
中壢	01:30	01:00	中壢→埔心	04:45	06:30
埔心	00:00	00:30	埔心→楊梅	02:15	03:45
楊梅	00:00	00:30	楊梅→富岡	03:45	05:15
富岡	00:00	00:30	富岡→湖口	03:00	04:30
湖口	00:00	00:30	湖口→新豐	03:30	04:45
新豐	00:00	00:30	新豐→竹北	04:00	04:30
竹北	00:00	00:30	竹北→新竹	04:00	06:00
新竹	01:30	01:00			

資料來源：運輸系統容量分析暨應用研究-軌道系統(1/4)

表2.6 輸入資料-號誌安全時距

先行車種別	自強號		自強號		通勤電車		通勤電車	
續行車種別	自強號		通勤電車		自強號		通勤電車	
時距種類	進站	離站	進站	離站	進站	離站	進站	離站
基隆	247	247	244	244	238	238	235	235
八堵	203	199	205	218	216	171	218	190
七堵	178	267	161	267	178	273	161	273
汐止	168	188	168	228	201	199	201	240
南港	219	142	251	142	217	125	250	125
松山	146	195	138	195	146	181	137	181
臺北	157	176	153	176	155	157	152	157
萬華	152	164	144	183	167	150	160	169
板橋	184	136	174	136	183	141	173	141
樹林	153	167	180	167	151	155	177	155
山佳	140	186	137	186	133	169	130	169
鶯歌	176	189	171	189	173	178	168	178
桃園	271	264	271	237	237	281	237	254
內壢	172	184	194	198	182	202	204	216
中壢	158	185	208	185	157	209	207	209
埔心	191	169	243	169	189	187	241	187
楊梅	171	200	190	200	170	217	189	217
富岡	216	165	235	165	215	178	234	178
湖口	185	197	202	197	184	208	201	208
新豐	182	173	190	173	180	150	189	150
竹北	185	205	170	214	189	225	175	234
新竹	244	244	293	293	244	244	293	293

資料來源：運輸系統容量分析暨應用研究-軌道系統(1/4)

2.3.2 計算結果

依前節輸入參數進行疊代計算後，最末區間的平均時隔（即 $\frac{t_{N,n}^{Arr} - t_{1,n}^{Arr}}{N-1}$ ）為 366 秒，代入式(2.1)後可得容量值約為 7.57 列次。

2.3.3 敏感度分析

以下將針對模式中不同參數進行敏感度分析，藉以瞭解模式特性。

2.3.3.1 連續區段數

本模式與過去單一區段模式的主要差異在於考慮 n 個連續區段，因此在敏感度分析時考慮以案例分析為背景，分別進行 $n=1$ 至 $n=21$ 的容量計算，其結果如圖 2.11。

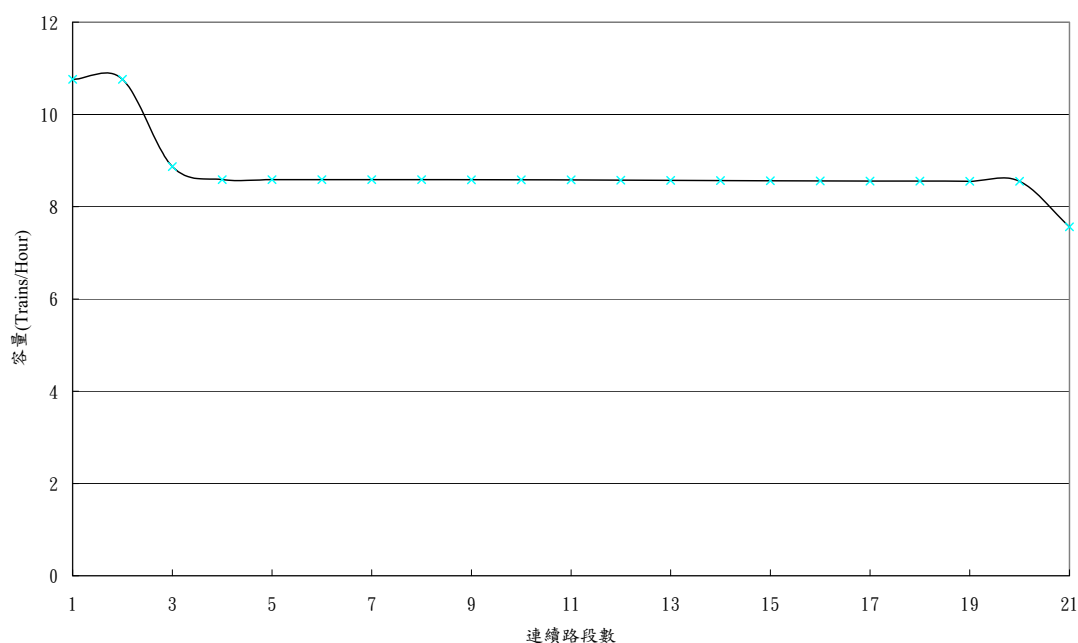


圖2.11 連續區段數與連續區段容量值關係圖

從圖中得知較大的轉折點為第 3 區段與第 21 區段，此現象與單一區段模式計算出的瓶頸結果（圖 2.12）趨勢類似。



資料來源：運輸系統容量分析暨應用研究-軌道系統(2/4)

圖2.12 單一區段模式計算之瓶頸區段

2.3.3.2 交通組成

案例分析中設定自強號與通勤電車比例為 1：3，而本研究亦嘗試其他各種交通組成如圖 2.13，越左側通勤電車比率越高，越右側自強號比例越高，由圖 2.13可發現容量值大致呈現一個 V 字型，意即交通組成越單純，容量值越高。而其中通勤電車比率高時的容量較自強號比例高時還低，主要原因在於通勤電車之號誌時距較高（可參見表 2.6），這也是造成 V 字型的谷底出現在 1：3，而非 1：1 的主要原因。

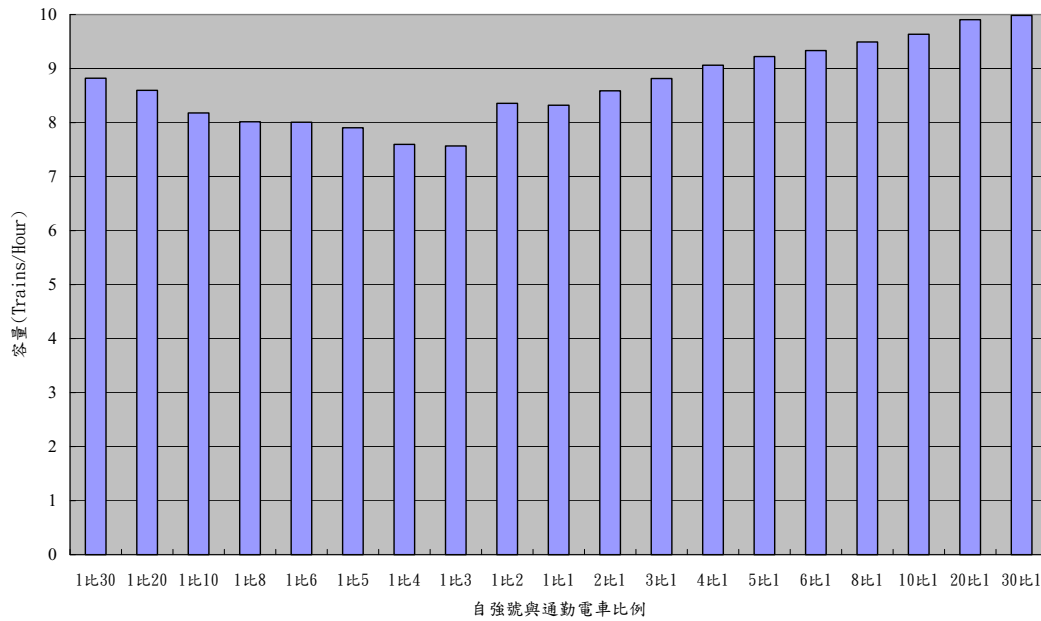


圖2.13 交通組成與連續區段容量值關係圖

2.3.3.3 模擬列車數

模式中的模擬列車數 N 是由使用者決定，在案例分析中設定為 1000 列次，而本節則是分別設定 1~2000 列次，分別計算其容量並繪製如圖 2.14。從中可發現在 100 列次以前容量值變化最大，100~500 列次之，500 列次之後的變化就很小，特別是 1000~2000 列次之變化更是極小，故初步建議列車模擬數設定在 500~1000 列次為宜。

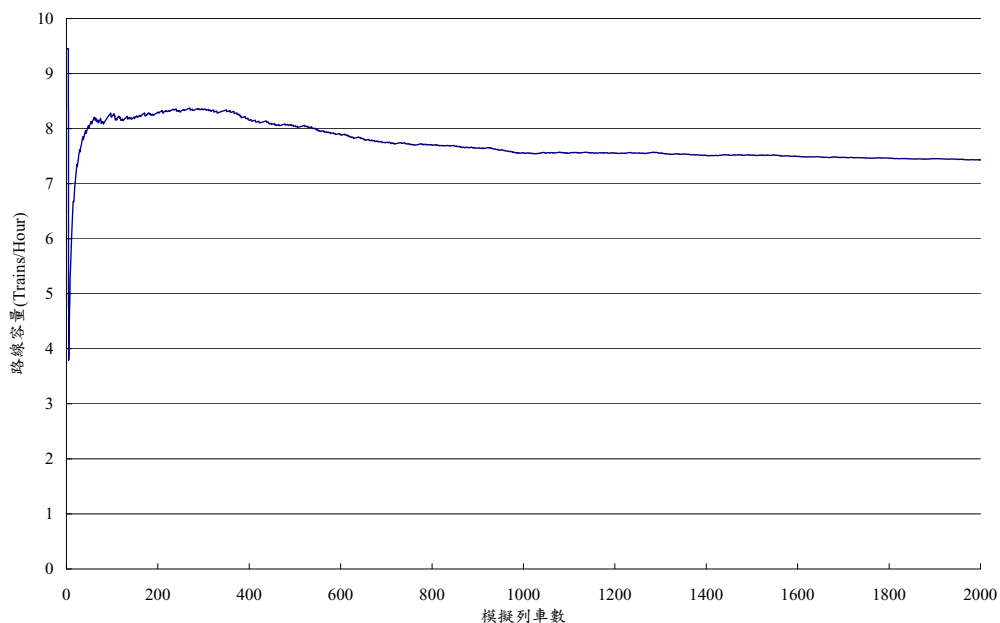


圖2.14 模擬列車數與連續區段容量值關係圖

2.3.3.4 亂數種子

案例分析中將亂數種子設定為 0，為瞭解不同亂數種子的計算結果差異，本研究分別進行種子為 10,20,30,40,50,60,70,80,90,100，同時將其繪製如圖 2.15。

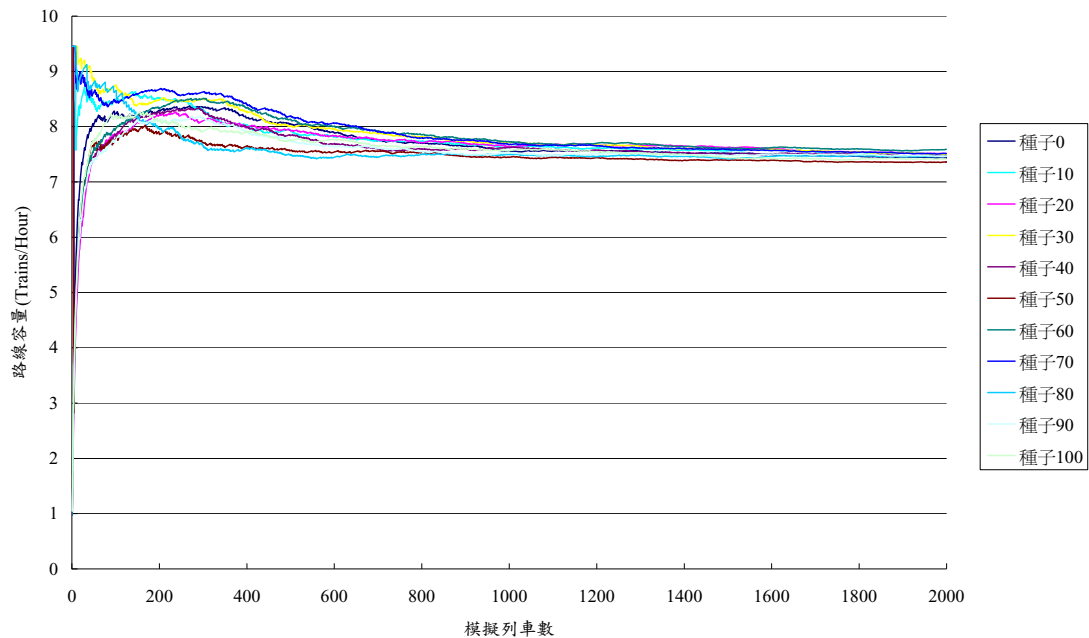


圖2.15 不同亂數種子下模擬列車數與連續區段容量值關係圖

從中發現在 1000 列次以前，不同種子的計算結果差異較大，為了清楚說明各種子間的差異，以下將以圖 2.15為基礎，分別比較 11 組種子之最小值、平均值、最大值如圖 2.16，從中可發現最大值與最小值之差距約在 0.3 左右。

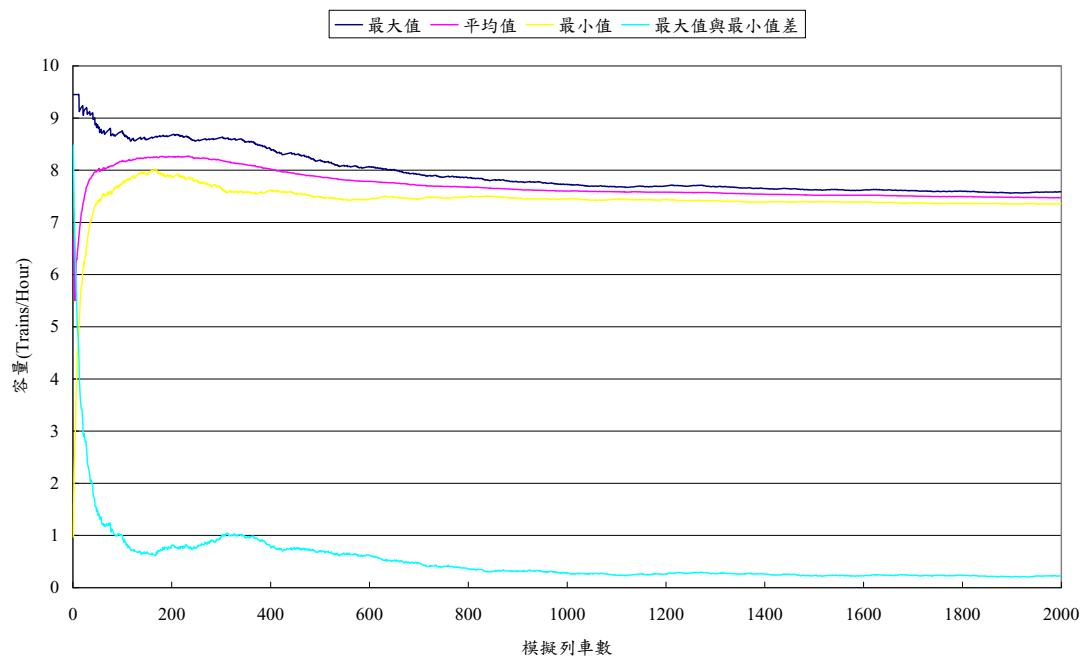


圖2.16 11 組不同種子之最大/平均/最小容量值之比較圖

3. 未來工作計畫

未來欲進行的後續工作內容如下：

1. 進行案例分析
2. 撰寫期末報告

4. 問題討論

附錄 F 期末工作會議紀錄

「軌道系統容量與可靠度分析研究(1/3)」 期末工作會議紀錄

一、時 間：99 年 10 月 18 日(星期一)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：蘇代組長振維、鍾志成博士

紀錄：張恩輔

四、出(列)席單位及人員：


國立成功大學交通管理科學研究所鄭教授永祥



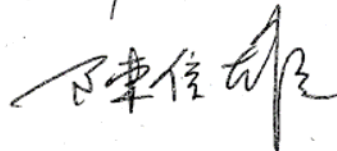
交通部鐵路改建工程局規劃組施副組長文雄



交通部臺鐵局鄭工程司騰清



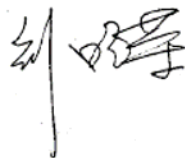
臺灣高鐵公司陳協理信雄



財團法人中興工程顧問社



本所運計組



五、主席致詞：(略)

六、簡報：(略)

七、出席人員發言要點：

(一) 國立成功大學交通管理科學研究所鄭教授永祥

1. 本研究和過去最大的差別就是在過去是僅針對單一區段進行容量分析，現在則是考慮連續區段，但可否具體的說明為何要發展連續區段容量分析模式？透過這模式能夠比過去的模式多得到什麼資訊？

張恩輔研究員答覆：過去單一區段容量分析，是假設其它區段都配合所分析的區段，在不考慮其它區段干擾的情況下，使列車能一列接著一列的運轉，來計算容量，但列車的運行是隨著時間空間不斷的進行，所以比較完善的分析應該是要考量連續區段，才能反應出區段之間的交互影響，因此本模式的分析結果和過去模式相比，就是能進一步說明，若考量各區段上下游的交互影響，路線容量會變成多少，而在實務上就路線改善的角度來看，可比較各種方案對整體路線容量的改善效果。

鍾志成博士答覆：最早 UIC 405 的容量分析公式亦是針對一個路段來計算，同樣也是沒有考量路段間干擾的問題，所以後來又發展 UIC 406，但 UIC 406 需要一個可行班表才能進行分析，因此在實際運用上會碰到兩個問題，第一是對於設計規劃中的路線沒有班表，第二是從無到有產出可行班表本身就是件很大的工作，

不過現在本研究的作法可解決此問題，不需可行班表，僅需透過交通組成等參數的設定，來模擬計算路線容量。

2. 連續區段容量分析中的運轉寬裕時間係數，是否和單一區段採用相同的數值？

張恩輔研究員答覆：會議資料中的數值是暫時採用單一區段容量模式的預設值，但本研究認為連續區段容量分析中的運轉寬裕時間係數應該和過去模式不同，因為過去模式沒有考慮上下游區段的干擾，所以要有較多的寬裕才不至於高估容量，而現在的模式已經考慮了這影響，因此寬裕應該可以小一點，未來可能會透過案例分析與實際營運情況比較，來決定一個適當的數值。

鍾志成博士答覆：目前臺鐵七堵到樹林間是整個環島鐵路最瓶頸的地方，在這區間內列車已經排得很緊密，不太有增加的空間，所以初步想法是以該區間為對象進行案例分析，然後去調整寬裕使得結果能夠匹配，就可得到一個適當的運轉寬裕時間係數數值。

(二) 臺灣高鐵公司陳協理信雄

1. 就案例分析的初步結果，顯示連續區段的整體容量和各區間的個別容量是不同的，且瓶頸區間會影響整體的容量表現，因此連續區段容量分析確實有存在的必要，但建議有關單一區段和

連續區段容量分析的差異，未來在報告中應要有所交代，以突顯連續區段容量分析模式的價值。

鍾志成博士答覆：將會在期末報告中補充說明。

2. 請問連續區段容量分析模式在進行模擬時，是否有考慮列車趕點的行為？

鍾志成博士答覆：容量分析的前提為列車在號誌系統常綠下運轉，因此本模式在模擬時不考慮趕點。

(三) 交通部鐵路改建工程局規劃組施副組長文雄

1. 有關交通組成的敏感度分析結果，顯示交通組成自強號比例高時的容量，比通勤電車比例高時的容量要高，但理論上就單一車種來看，都是自強號和都是通勤電車，兩者應該誰的容量會比較高？

鍾志成博士答覆：直覺上會覺得都是通勤電車的容量比較高，因為通勤電車的加減速性能較好，不過自強號車速較高，且通勤電車的停站較多，尤其是停靠通勤車站，對整體路線容量有很大的影響。

2. 在實務上，若用規格化班表，可發現在不同的列車順序組合下，好的組合會有較高容量，而不好的則較低，而目前此模式只能設定交通組成的比例，而不能決定順序的變化，此模式是

否可用來檢驗不同組合順序的好壞？

鍾志成博士答覆：本模式僅能設定交通組成的比例，而不設定交通組成的順序，主要原因在於列車的順序在運行過程中可能因追越待避而改變，所以才決定以亂數的方式，根據比例來產生順序，透過大量的模擬，便可考量在各種順序組合下的容量。但技術上還是可以做到檢驗不同組合順序好壞的功能，只要將模式改為不以亂數來產生車種順序，而是由使用者自行決定列車順序，再由模式進行模擬計算容量，不過列車僅有第一個區段的順序會和使用者設定的一樣，之後還是有可能因追越待避而改變順序。

(四) 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. 在案例分析中，各車種建議附加說明採用的牽引種別，因為例如同樣是自強號，東幹線和西幹線的牽引種別就有所不同。

鍾志成博士答覆：在期末報告中將會詳細說明案例分析的計算條件。

2. 會議資料中表 2.5，通勤電車從基隆到八堵間，運轉時間 6 分鐘似乎太短。

鍾志成博士答覆：本案例分析的參數係沿用前期研究的案例分析之舊參數，由於時間的變遷，部分數據可能有所改變，因此將重新檢視該數據，根據臺鐵局最新之資料來進行案例分析。

3. 會議資料中表 2.6，基隆站為末端站，在下行方向應該不會有進站時距。

張恩輔研究員答覆：主要為了讓資料在呈現上的格式一致，所以才將基隆站的進站時距也填入數值，實際上分析時並沒有使用該值，期末報告中將會作修改以免誤解。

4. 八堵站本身沒有進站和出發號誌，且基隆－八堵－七堵的區間只有兩軌，因此無法待避。

張恩輔研究員答覆：由於八堵站是東、西部幹線交會的地方，而沒注意到此問題，在期末報告中將會修改，並重新做分析。

(五) 交通部運輸研究所運計組

1. 請在期末報告中補充說明單一區段和連續區段容量分析的差異。


鍾志成博士答覆：將會在期末報告中補充說明。

2. 有關圖 2-11 和圖 2-12 的意義與比較，在期末報告中需作更週延的交代，避免誤解。

鍾志成博士答覆：將會在期末報告中詳細說明。

八、散會

附錄 G 期末簡報資料




交通部運輸研究所

軌道系統容量與可靠度分析研究
(1/3)

期末簡報


簡報人：黃笙玟

中華民國99年11月29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
- 臺鐵列車延滯分析結果
- 連續區段路線容量分析模式
- 連續區段路線容量案例分析
- 結論與建議



計畫背景介紹－計畫緣起

臺灣地區軌道系統容量研究架構暨台北捷運系統容量分析

軌道容量研究－臺鐵系統容量模式建構分析

運輸系統容量分析暨應用研究－軌道系統

單一路段

軌道容量分析

連續路段

可靠度分析

使國內軌道容量分析技術更臻完整

3

計畫背景介紹－全程計畫概要

軌道系統容量與可靠度分析研究

軌道容量分析議題

本年度
連續區段容量分析模式建構

第二年度
連續區段容量分析軟體開發

第三年度
臺灣軌道容量手冊擴充修訂

可靠度分析議題

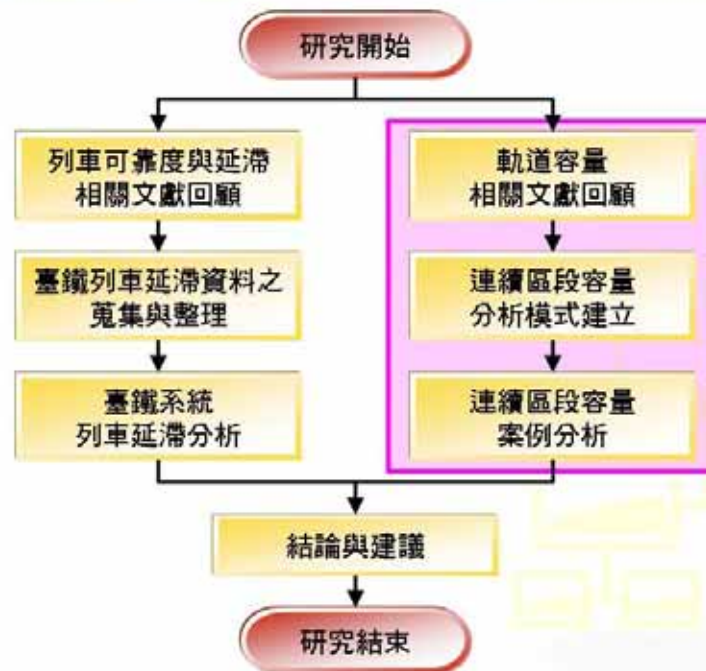
本年度
臺鐵實際延滯分析

第二年度
列車延滯分析模擬模式建構

第三年度
列車延滯分析模擬軟體開發

4

研究工作流程



5

臺鐵列車延滯分析結果

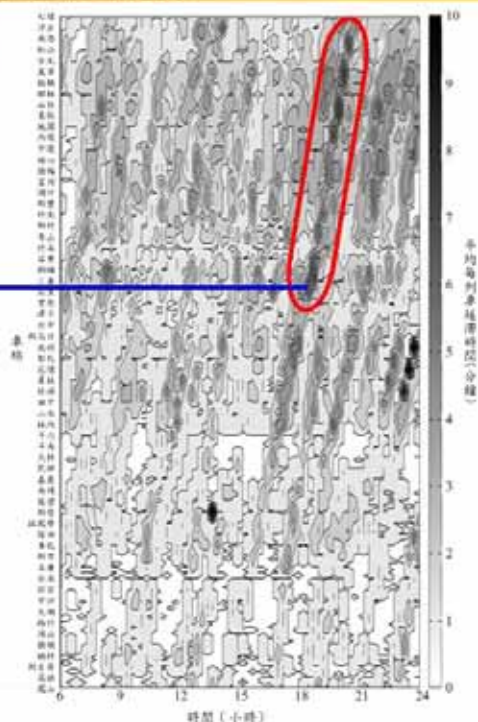
- 列車延滯時空分布分析
 - 平日列車延滯情形
 - 延滯時空分布
 - 列車行經各車站之延滯情形
 - 假日列車延滯情形
 - 延滯時空分布
 - 列車行經各車站之延滯情形
 - 特殊事件列車延滯情形
- 對號列車延滯原因分析
- 停站與運轉時間變異分析

6

臺鐵列車延滯分析結果

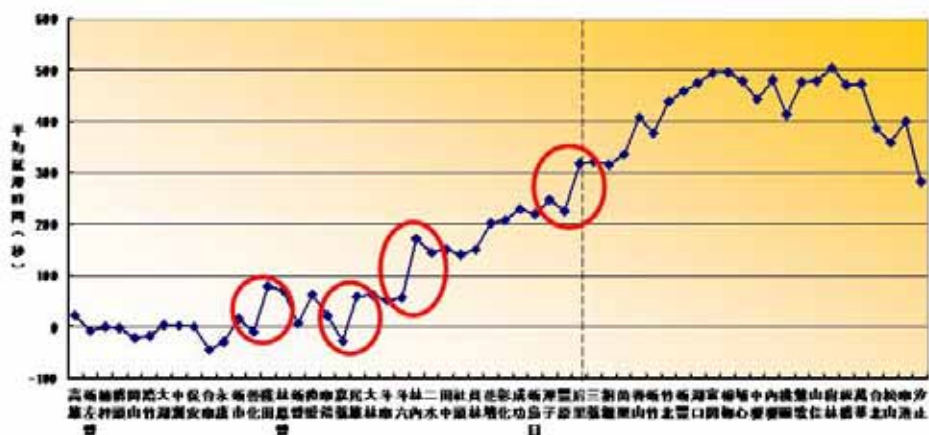
- 平日平均延滯時空分布
- 七堵－鳳山上行方向

18點 后里－南港
1032次自強號



臺鐵列車延滯分析結果

- 平日1032次自強號於各車站之平均延誤情形



臺鐵列車延滯分析結果

- 平日平均延滯時空分布
- 七堵－鳳山下行方向

12點 善化－新左營

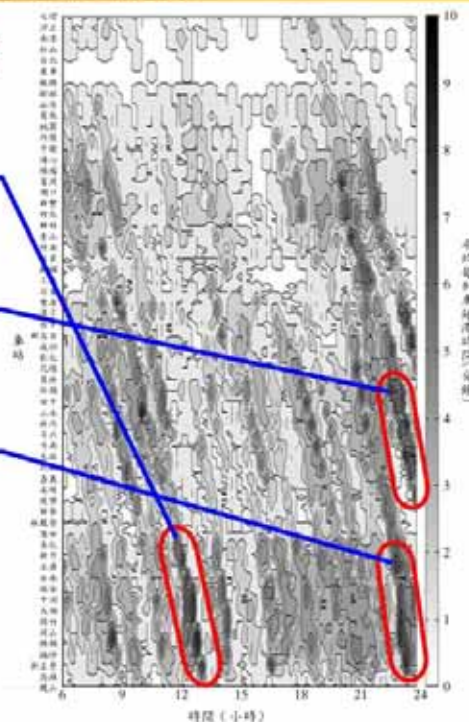
101次復興號

22點 社頭－後壁

29次莒光號

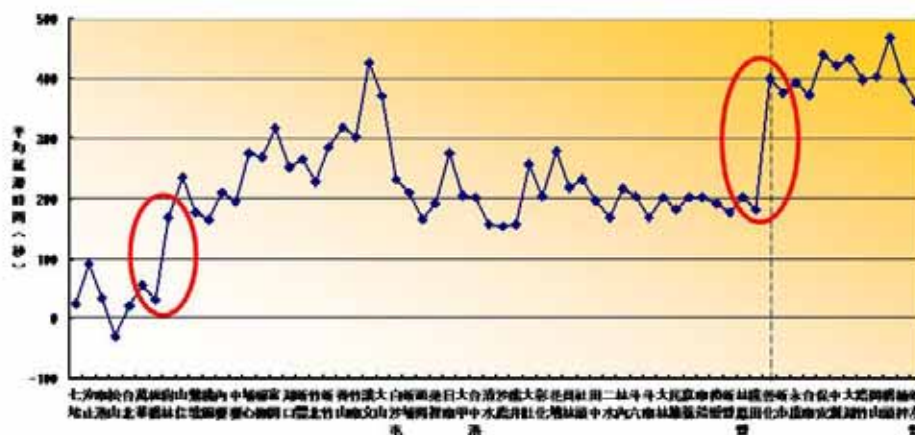
23點 永康－新左營

1133次自強號



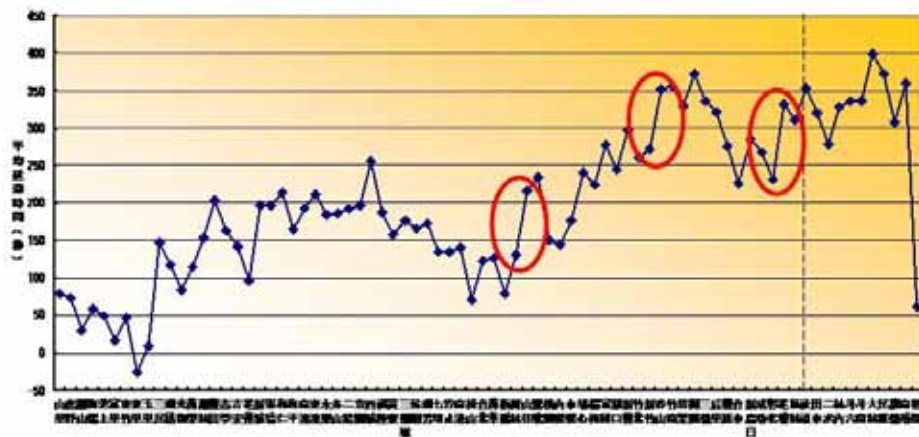
臺鐵列車延滯分析結果

- 平日101次復興號於各車站之平均延誤情形



臺鐵列車延滯分析結果

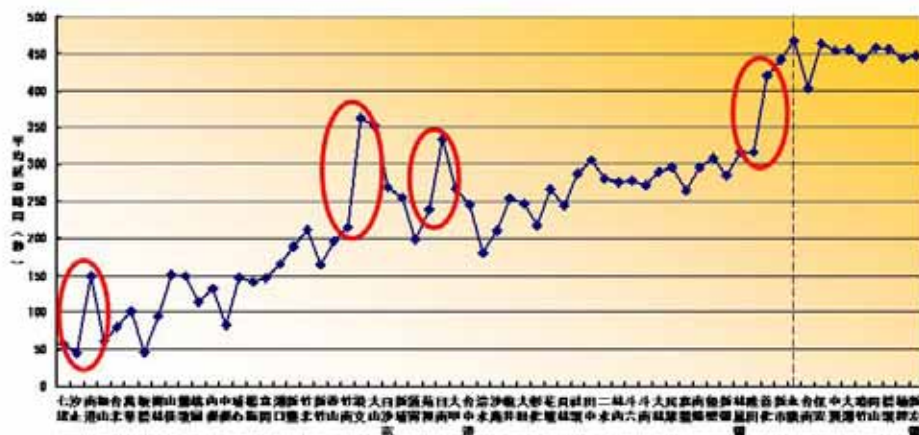
- 平日29次莒光號於各車站之平均延誤情形



11

臺鐵列車延滯分析結果

- 平日1133次自強號於各車站之平均延誤情形



12

-

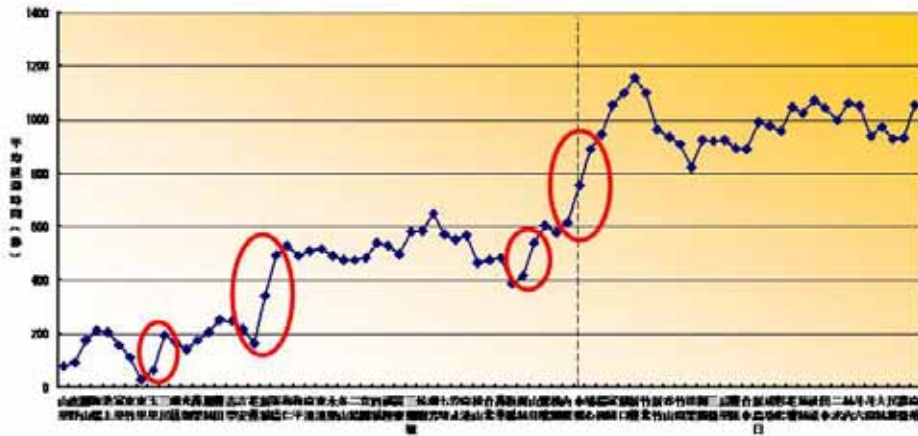
-
- Figure 1: Line graph showing the average annual precipitation (mm) for 30 cities in Jiangsu Province from 1951 to 1980. The Y-axis represents average annual precipitation in mm, ranging from 0 to 700. The X-axis lists 30 cities. A vertical dashed line at the 15th city (Zhenjiang) separates the period before and after the 1979 reform. Two cities, Huaiyin and Huaiyin, are circled in red, indicating significant precipitation changes.

-

20點 中壢
29次莒光號
1043次自強號
1045次自強號

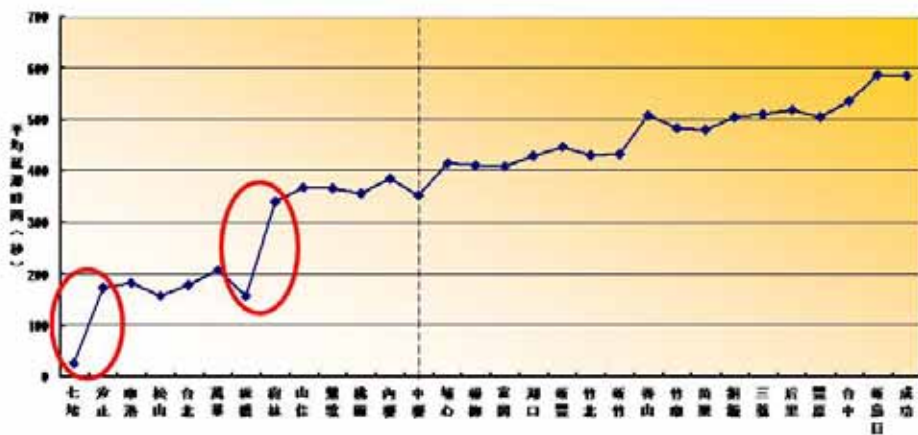


- 假日29次莒光號於各車站之平均延誤情形



17

- 假日1043次自強號於各車站之平均延誤情形



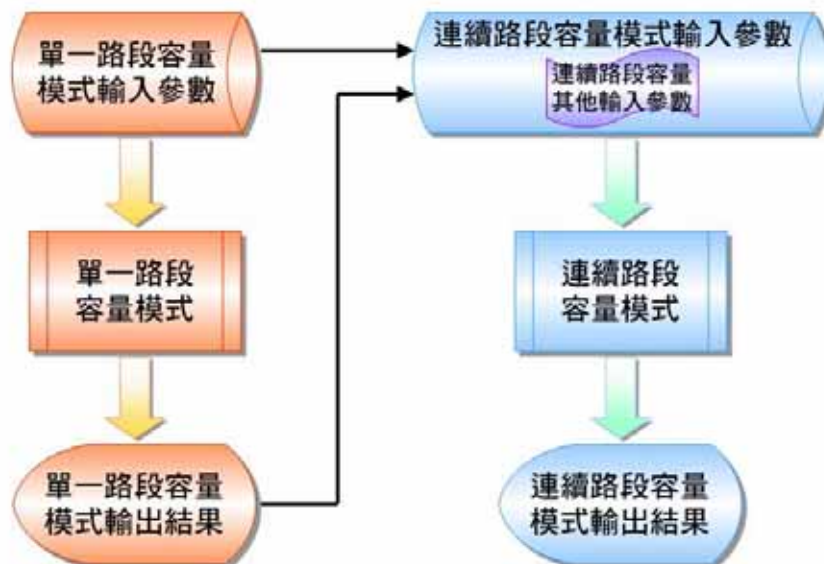
18

- [illegible]

- 造成列車延滯量增加通常集中在某些區間
 - 上行方向：臺南永康、斗六林內、豐原后里
 - 下行方向：板橋山佳、隆田善化
- 無論在平日或假日，29次莒光號均是發生嚴重延滯的列車

連續區段路線容量分析模式

- 與「單一區段容量分析模式」整合



21

連續區段路線容量分析模式

- 單一區段容量模式回顧

- 僅考慮可待避車站



- 號誌時距計算均以停站為基礎
- 股道共用之行為直接反映在時距數值上

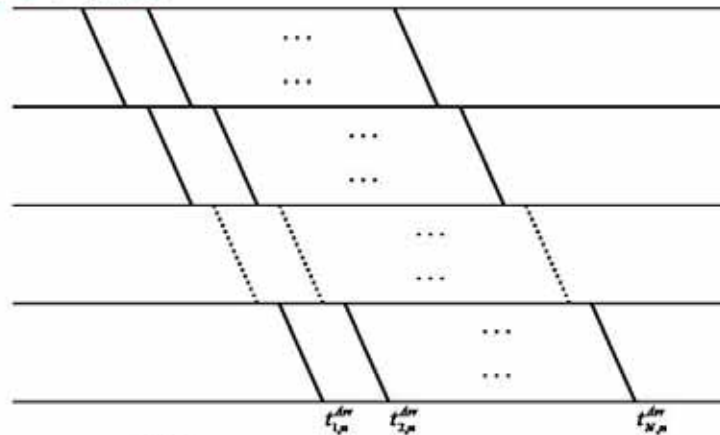


- 號誌安全時距為主要計算結果

22

連續區段路線容量分析模式

- 模式建構
 - 基本概念



$$C = \frac{3600}{\frac{t_{N,n}^{Arr} - t_{1,n}^{Arr}}{N-1} \times (1 + \beta)}$$

23

連續區段路線容量分析模式

- 模式建構
 - 假設條件
 - 承襲單一區段容量分析模式之假設
 - 所有列車均行經路線中的每個區段
 - 遵守基本的列車運轉規則
 - 保持號誌時距足夠
 - 不允許站間中途追越行為
 - 不允許站內列車數超過股道數量
 - 站間運轉時間不可改變
 - 列車通停組態不可改變
 - 不考慮第III型月台的反向列車平面交叉

24

連續區段路線容量分析模式

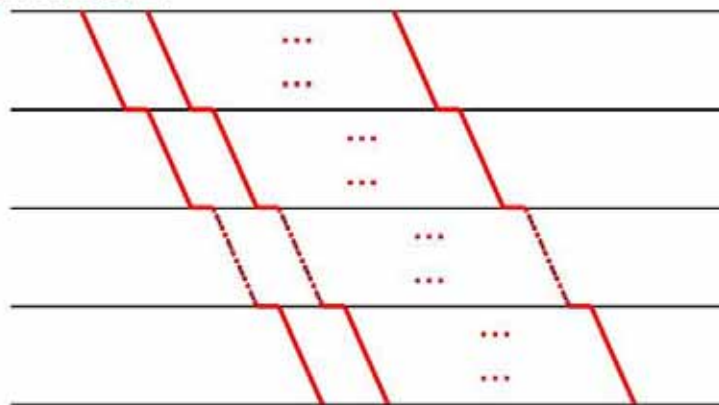
- 模式建構
 - 輸入參數

參數分類	參數名稱	資料來源歸類		
		單區段模式之輸入	單區段模式之輸出	其他
全域參數	運轉寬裕	-	-	✓
	欲模擬列車數	-	-	✓
交通組成	車種組成比例	-	-	✓
	亂數種子	-	-	✓
車站參數	車站清單與順序	✓	-	-
列車路線交互關係參數	站間運轉時間	✓	-	-
	計畫停站時間	✓	-	-
號誌時距	進站時距	-	✓	-
	離站時距	-	✓	-

25

連續區段路線容量分析模式

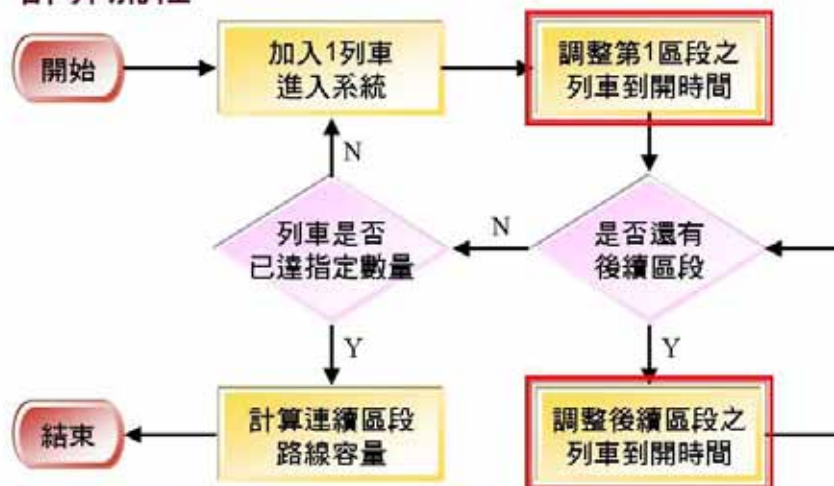
- 模式建構
 - 計算流程



26

連續區段路線容量分析模式

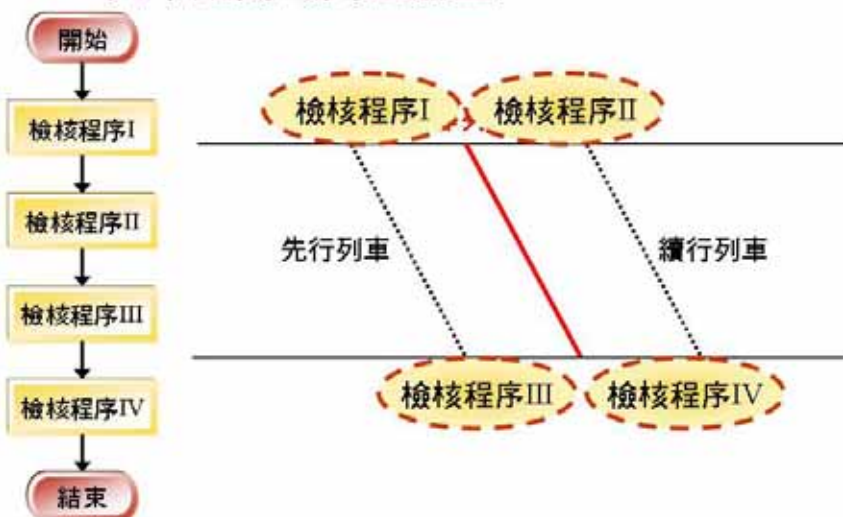
- 模式建構
 - 計算流程



27

連續區段路線容量分析模式

- 模式建構
 - 列車到開時間之調整

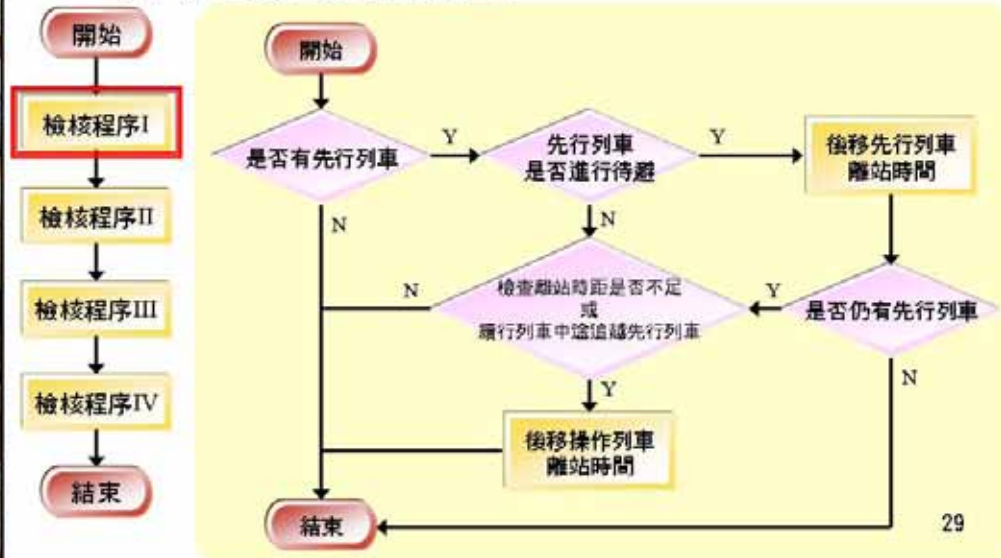


28

連續區段路線容量分析模式

• 模式建構

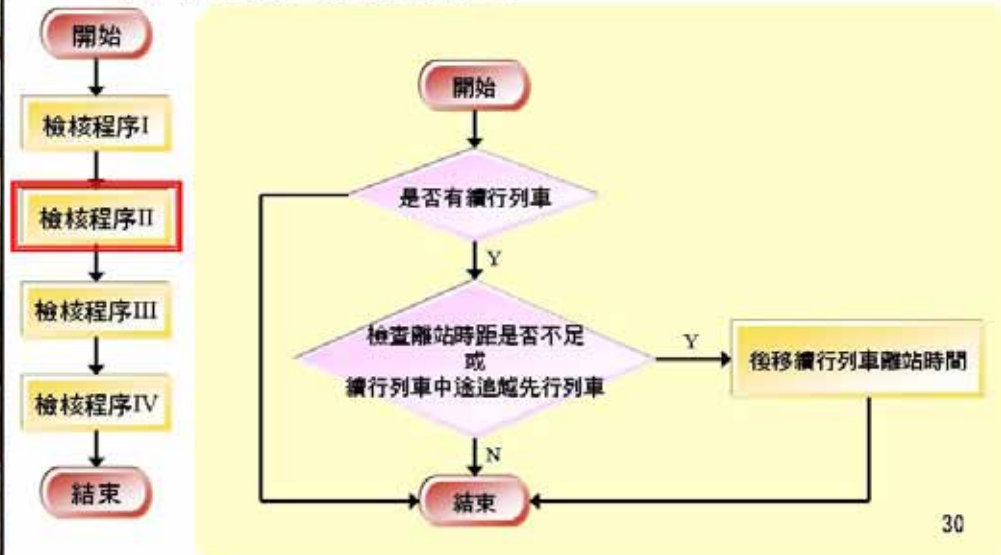
– 列車到開時間之調整



連續區段路線容量分析模式

• 模式建構

– 列車到開時間之調整



連續區段路線容量分析模式

• 模式建構

– 列車到開時間之調整



31

連續區段路線容量分析模式

• 模式建構

– 列車到開時間之調整

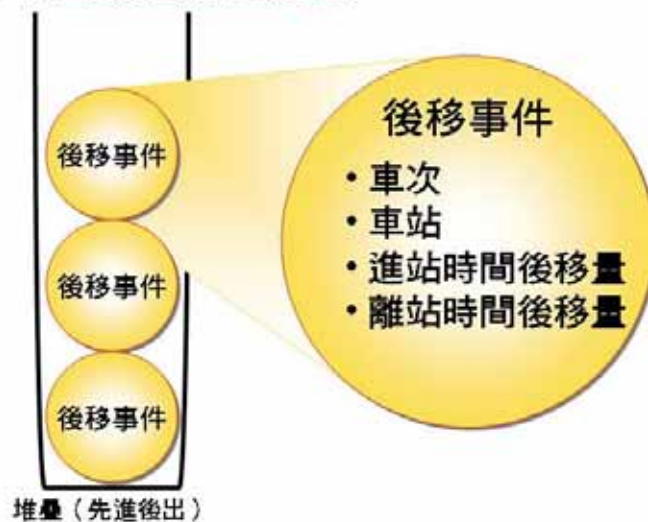


32

連續區段路線容量分析模式

• 模式建構

– 列車連鎖推擠之處理

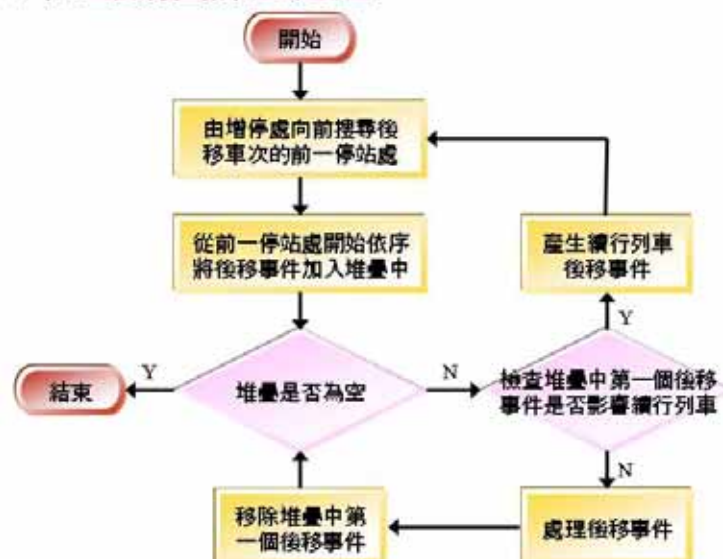


33

連續區段路線容量分析模式

• 模式建構

– 列車連鎖推擠之處理

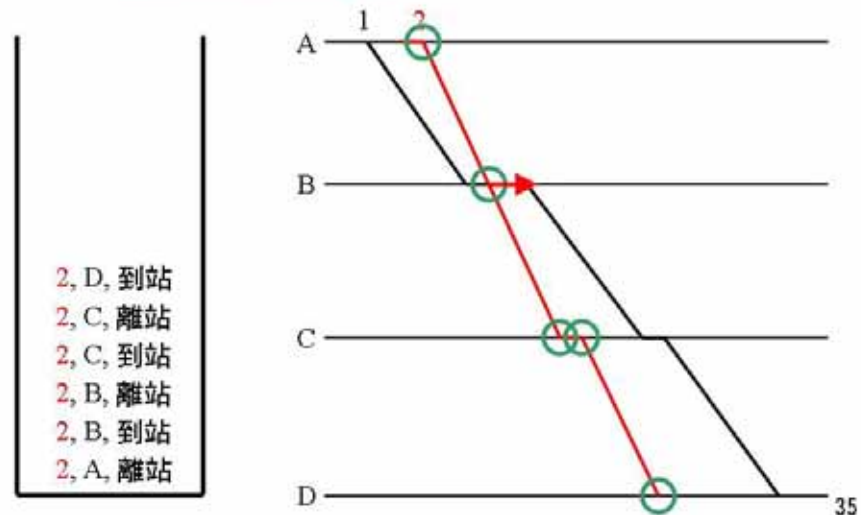


34

連續區段路線容量分析模式

• 模式建構

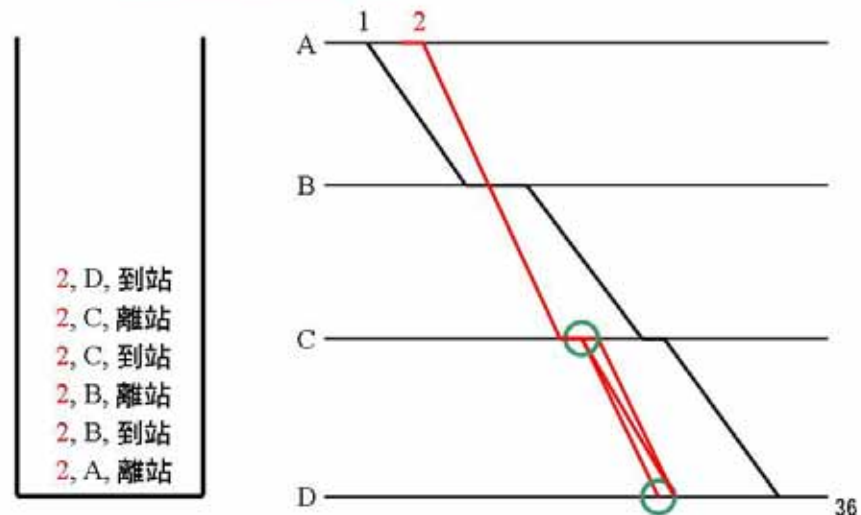
– 列車連鎖推擠之處理



連續區段路線容量分析模式

• 模式建構

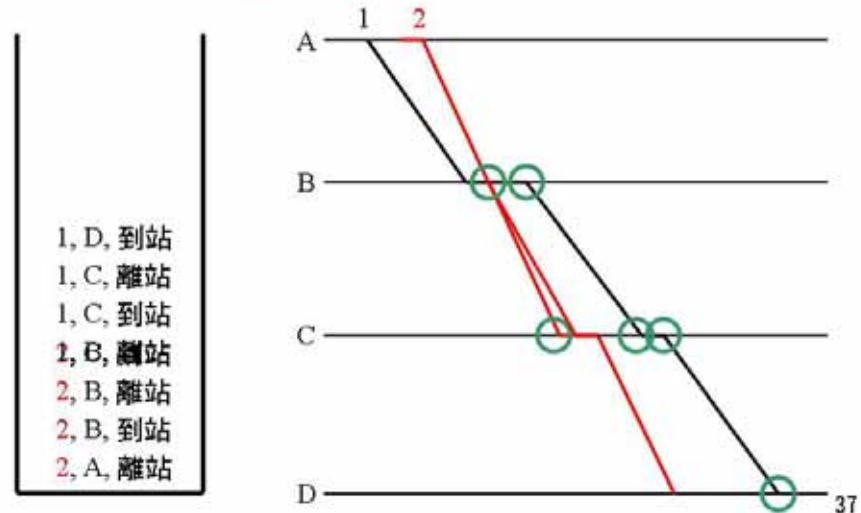
– 列車連鎖推擠之處理



連續區段路線容量分析模式

• 模式建構

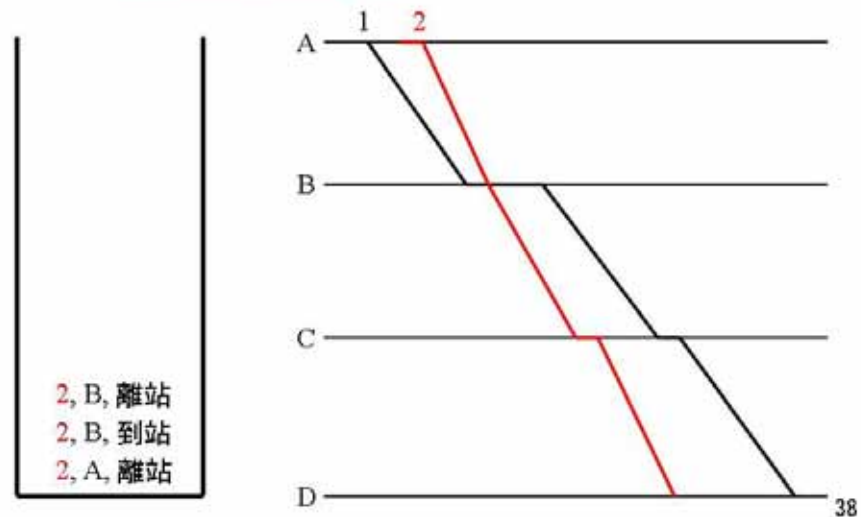
– 列車連鎖推擠之處理



連續區段路線容量分析模式

• 模式建構

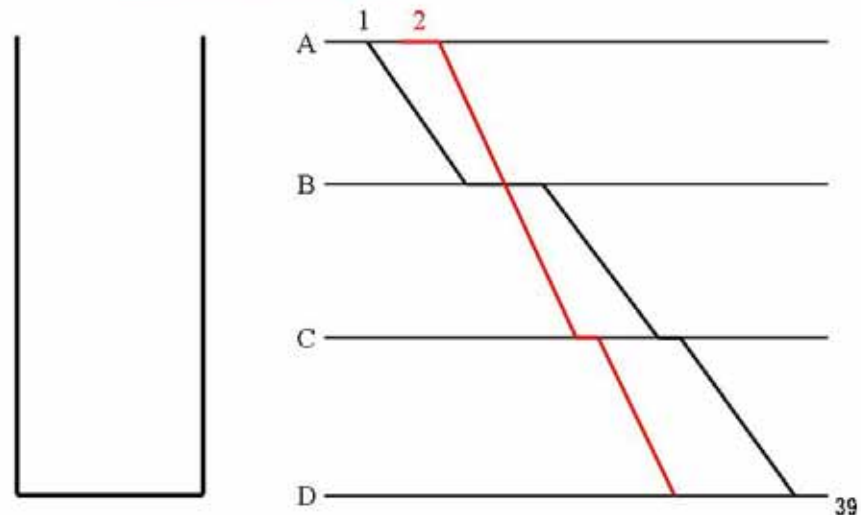
– 列車連鎖推擠之處理



連續區段路線容量分析模式

• 模式建構

– 列車連鎖推擠之處理



連續區段路線容量案例分析

• 路線



• 車種

自強號	推拉式電車組
莒光號	E200~E400牽引非動力客車
通勤電車	EMU500型通勤電車

連續區段路線容量案例分析

• 計算結果

– 不含寬裕

方向	平均時隔(s)	路線容量(TU/h)
七堵→樹林	273.82	13.15
樹林→七堵	293.67	12.26

– 寬裕係數=0.2

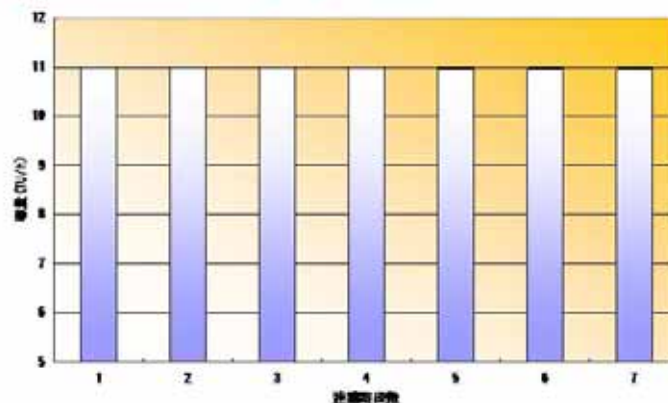
方向	最末區段尖峰小時 實際列車數	路線容量(TU/h)
七堵→樹林	11	10.96
樹林→七堵	9	10.22

41

連續區段路線容量案例分析

• 敏感度分析

– 連續區段數（七堵→樹林）



1. 七堵→汐止
2. 七堵→汐止→南港
- ...
7. 七堵→汐止→...→樹林

42

- 連續區段數（基隆→新竹）

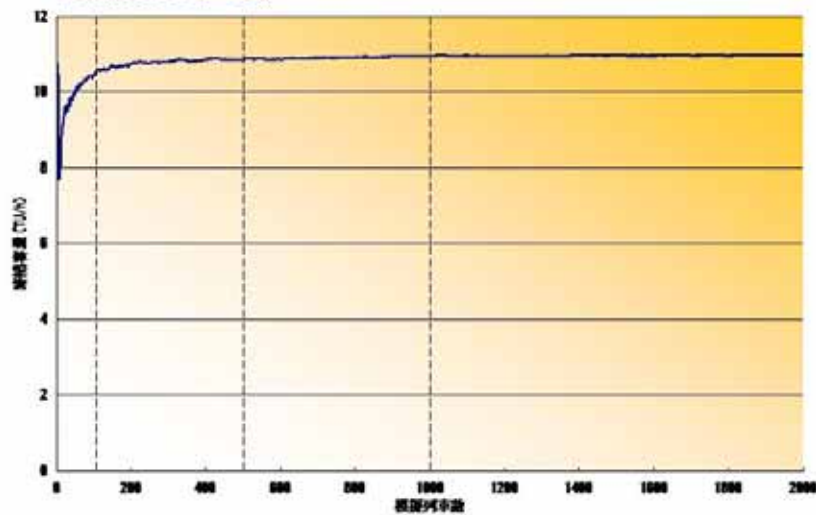


- ### — 交通組成



連續區段路線容量案例分析

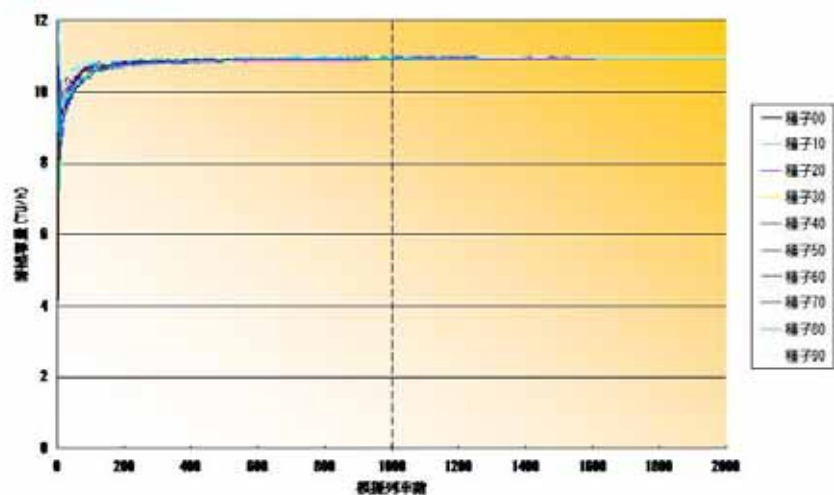
- 敏感度分析
 - 模擬列車數



45

連續區段路線容量案例分析

- 敏感度分析
 - 亂數種子

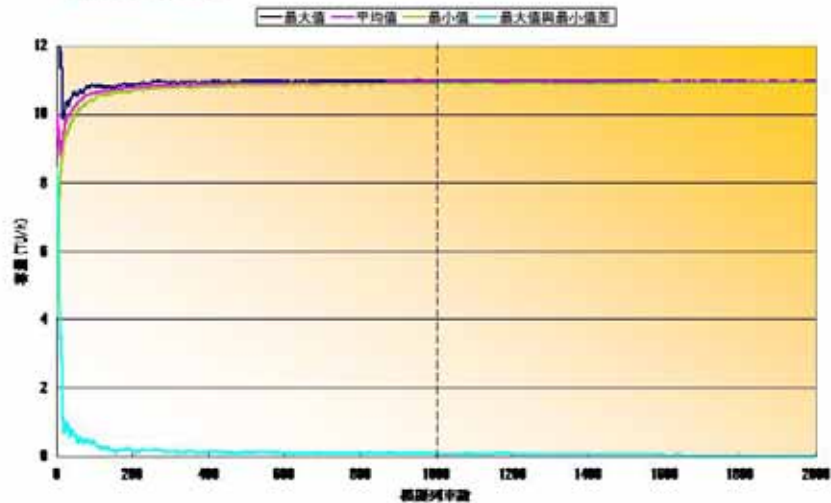


46

連續區段路線容量案例分析

• 敏感度分析

– 亂數種子



47

連續區段路線容量案例分析

• 綜合比較

比較項目	單一區段容量分析模式	連續區段容量分析模式
理論基礎	閉塞時間 (Blocking Time)	列車基本運轉規則
方法論	解析模式	模擬模式
主要輸入參數	列車、車站 (含路線) 列車與路線交互關係	列車與路線交互關係 進站時距/離站時距
輸出結果	號誌安全時距	連續路段平均時隔
上/下游車站	不考慮上/下游車站之影響	有考慮上/下游車站之影響
容量值高低	較高	較低
適用時機	找尋路線瓶頸位置	整體路線容量績效評估

48



結論

- 列車延滯時空分布分析，可清楚檢視列車運轉過程中延滯的累積、擴散和削減之狀況
- 「旅客」、「交會待避」、「慢行」和「車輛故障」為對號列車延滯風險較高之原因
- 桃園站的停站時間不足，尤其在假日期間的下行方向；而隆田到善化間的表訂站間運轉時間可能不足，導致列車經常在此區間延誤
- 隨著時間變遷、營運情況改變，雖然分析的結果可能會有所改變，但分析的方法仍然適用



49




結論

- 補足單一區段容量模式沒有考慮上/下游車站交互影響之缺點，提供更貼近實務的容量分析結果
- 假設目前臺鐵最密集區段（七堵－樹林）已達最高容量的前提假設下，校估反推寬裕係數值為0.2
- 連續區段數越多時，容量值將越低，同時亦發現簡化車種將有助於路線容量之提升



50




建議

- 蒐集更完整之列車延滯資料，以利未來進行可靠度相關分析
- 重新檢視延滯原因之分類，有助於發掘列車延誤的真正原因
- 開發相關資訊系統，提升可靠度相關資訊蒐集與分析工作之效率
- 進一步研究「延滯推估」相關課題，使國內在軌道系統可靠度分析方面的技術可更趨完整



51




建議

- 發展電腦化之連續區段容量分析軟體
- 與「交通部運研所－傳統暨區域鐵路系統軌道容量分析軟體」整合
- 容量分析中的寬裕係數值之設定與列車服務可靠度息息相關，期未來能透過不同的面向來評析



52



**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
交通大學黃教授承傳	有關本研究延滯時空分佈圖係以顏色深淺之等高線圖表示其嚴重程度，再進一步檢視分析可能造成延滯之列車班次，惟班次係如何客觀選擇，且是否能確定所選列車即為影響該延滯之關鍵班次？另該延滯時空圖應如何判讀，建議應於報告中妥予說明。	本研究認為延滯嚴重的列車不僅是在某車站發生嚴重延滯，且延滯無法消滅而一直持續地累積下去，然而要從數量龐大的列車延滯數據資料中，找出關鍵之班次並非易事，因此本研究提出一系統化之方法，將數據資料整理轉換成延滯時空分佈圖來呈現，從中便可找出延滯嚴重的列車。至於是否能確定所選列車為影響該延滯之關鍵班次，根據臺鐵局專家之實務經驗，認為本分析之結果可反映真實現況。另外，有關延滯時空圖之判讀方式，已於報告 3.2.2 節中補充說明。	同意承辦單位之處 理及補充 說明。
	本研究有關延滯時空分佈及延滯原因風險分析之資料來源及時間不同，建議能針對資料蒐集之時段或特性補充說明其原因。	依評審意見辦理，於報告 4.1 節中補充說明。	已於定案 報告之相 關章節回 應補充說 明。
	本研究以模擬方法進行軌道連續路段容量分析，並就某些變數(如列車數)或亂數轉換為變數等方式進行敏感度分析，惟相關分析之原因、功能及目的皆未具體說明，建議應於報告中補充。	已於 7.2.3 節補充說明敏感度分析的原因及目的。	已於定案 報告之相 關章節回 應補充說 明。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
交通大學黃教授承傳	本研究之容量寬裕係數經反推估計為 0.2，惟報告前段又提及寬裕係數需設定，故有關寬裕係數值是否隨分析路段之數量不同而異(降低)，建議應說明。	已於 6.2.5 節補充說明。	已於定案報告之相關章節回應補充說明。
	有關報告中之「順行」、「逆行」及「上行」、「下行」之表示方式，建議應統一。	依評審意見辦理。	已於定案報告中修正。
	為利讀者判讀，有關報告中 3-D 延滯時空分佈圖建議其角度可略作調整。	依評審意見辦理。	已於定案報告中修正。
	本報告章節分為 9 章似過多，建議可就相關內容酌予整併。	依評審意見辦理。	已於定案報告中修正。
	本研究相關研究成果豐碩，故建議報告最終之結論與建議能再補強相關研究成果，俾為週延。	依評審意見辦理。	已於定案報告中修正。
成功大學鄭教授永祥	本系列研究包括容量與可靠度等 2 項議題，並採各別分析之方式進行，但是否面臨二者間有交互作用而需同時分析之問題，請考量。	就今年度的研究項目而言，在容量議題方面，研究內容在於發展容量分析模式，與可靠度較無關聯；而在可靠度分析方面，今年的研究僅止於探討臺鐵列車延滯現況以及原因，並未分析列車流量及路線容量對可靠度的影響。惟後續發展可靠度分析模式，則會考量容量及流量之因素，該模式應可反映路線利用率對可靠度之影響。	同意承辦單位之處理解及補充說明。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
	有關延滯之分析係採先就延滯資料進行時空分佈分析，再就主要延滯列車之時空關係進一步分析之方式進行，相關分析結果建議後續可作為各面向延滯影響因素分析之基礎。	依評審意見於第八章補充相關建議，但由於相關分析結果可能隨著時間變遷、營運情況改變而異，因此以分析方法作為後續相關研究之基礎較為合適。	同意承辦單位之處 理及補充 說明。
成功大學鄭教授永祥	有關延滯資料之分佈、分類分析結果部分，鑑於臺鐵局目前延滯原因之分類仍未細分(如旅客乙項)，可能會影響最終分析結果，故建議本研究可建議臺鐵局就分類項目再檢討調整之必要性。	已於 8.2 節提出相關建議。	已於定案報告之相關章節回應補充說明。
	有關本報告已針對單一區段、多區段容量分析結果列表綜合比較，以利瞭解其適用條件，如單一區段模式適用於規劃階段之瓶頸路段分析，而連續路段模式適用於實際整體路段之容量呈現，但因模式卻過於複雜，故建議本研究能確實呈現其差異及特性，俾供後續應用參考。	依評審意見於報告 7.3 節中補充說明。	已於定案報告之相關章節回應補充說明。
交通部	有關本研究已針對單一區段、多區段容量分析結果之列表綜合比較，可針對其後續之研究延伸或將來之使用性提出建議，並於報告中進一步說明，俾供參考。	依評審意見於報告 7.3 節中補充說明。	已於定案報告之相關章節回應補充說明。
鐵工局 施副組 長文雄	有關本研究欲構建之列車延滯模擬模式是一大挑戰，因若相關延滯資料建構不足及影響原因無法有效分析釐清(尤其非對號部分之延滯資料)，恐影響後續模式之構建，故應及早因應，另亦可於本報告之建議部分妥予說明。	依評審意見辦理。	已於定案報告之相關章節回應補充說明。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
交通部 鐵工局	有關風險管理觀念之引進，本研究主要係就某些重要類別事件之發生頻率及嚴重程度進行分析，是否有針對全面整體性的風險進行評估分析，以提供後續改善方向之建議及模式之建構參考，建議可於報告中補充說明。	由於臺鐵目前缺乏非對號列車之延滯原因資料，因此本研究僅針對對號列車進行整體性的風險進行評估分析，並對風險較高之項目做進一步分析，以提出改善方向。另於報告中補充建議臺鐵能蒐集非對號列車的延滯原因資料，以使未來可進行全面性的評估。	已於定案報告之相關章節回應補充說明。
施副組 長文雄	本報告第 6 章之停站及運轉時間變異分析，及第 4~5 章之延滯相關分析結果，是否對於後續之可靠度分析扮演關鍵性角色，建議應有彙整說明，俾供後續年度之研究參考依據。	依評審意見於報告第八章中彙整說明。	已於定案報告之相關章節回應補充說明。
	有關寬裕係數之設定與可靠度息息相關，建議應再仔細探討路線容量與可靠度之關係，並於報告中具體呈現分析結果。	本研究已於第八章中建議，後續應進行列車服務可靠度之相關研究，以期未來可在考量列車服務可靠度的前提下，提出寬裕係數之建議值。	同意承辦單位之處理及補充說明。
交通部 臺鐵局	本研究有關連續路段容量模式之分析方法已十分類似排班作業，且所考量之內容及方法論皆甚為週延，分析結果亦十分正確，以本研究案例分析七堵—樹林之容量為 11 列車，結果已與實際排班現況相符合十分精確。	感謝評審對本研究的肯定。	--
鄭工程 司騰清	有關列車延滯時空分析結果所指出七堵—鳳山下行主要之延滯列車為 29 次莒光號，確實已反映真實現況，惟因該班次列車之延滯確有許多不可抗力之因素，故實務排班作業已盡力降低其延滯之嚴重程度。	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
交通部 臺鐵局 鄭工程 司騰清	有關寬裕係數之設定建議為 0.2，使路線容量利用率取 80%，已十分符合理論與實務之運作。	感謝評審對本研究的肯定。	--
臺灣高 鐵公司 陳協理 信雄 (書面 意見)	經審閱本研究計畫期末報告初稿，內容嚴謹且詳實，對於研究計劃書所載重點工作項目均有允當履行，個人審查並無重大意見。惟為使研究報告書更充實，謹提供以下建議，請研究團隊參考。	感謝評審對本研究的肯定。	--
	針對圖 4-14、4-15、4-32、4-33 之延滯時空分布圖，建議於內文中提供「導讀說明」，並考量是否以彩色方式呈現，以利讀者及使用者判讀。	依評審意見補充導讀說明。由於本報告最後是由運研所出版，因此有關是否以彩色方式呈現，則須依運研所規定辦理。	有關延滯時空分布圖主要係以色度代表延滯，以灰階尚可判讀，故仍以黑白圖示呈現。
	建議將圖 4-16~19 之 Y 軸刻度最大值與間距統一，以利比較；圖 4-34~38 亦同。	依評審意見辦理。	已於定案報告中修正。
	建議將圖 5-7~16 的 X 軸刻度最大值與間距統一，以利比較。此外，風險值相對較高並不代表其風險不可接受，研究單位如可提供「可接受風險值」的建議門檻，將更具實用性。	依評審意見辦理，根據不同的項目，分別統一其延滯分析結果的 X 軸刻度最大值與間距。另外有關「可接受風險值」的門檻，一般是由營運單位根據其經驗與期望設定之。	同意承辦單位之處理及補充說明。
	建議於圖 6-1~16 均提供統計特徵值，如平均值、標準差、偏態係數、峰態係數等。此外，對號車與非對號車之表現是否有所不同，以及其原因為何，建議可加以探究說明。	依評審意見辦理，將平均值、標準差、偏態係數，和峰態係數等統計特徵值會整於表 5.1~4 中。	已於定案報告之相關章節回應補充說明。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
	建議將第八章標題由「案例分析」改為「連續區段軌道容量案例分析」，以利讀者望文即知本章內涵。	由於該章中亦包含單一區段容量模式之案例分析，在考量評審意見之下，將該章標題改為「軌道容量案例分析」	已於定案報告之相關章節回應補充說明。
臺灣高鐵公司 陳協理 信雄 (書面 意見)	以下為審查發現之文字疏漏，請卓參：(1)pp. 3-8, 行-4「…均達成可準點率的服務目標…」應改為「…均可達成準點率的服務目標…」。 (2)pp. 3-10, 圖 3-6 「…ATC 記錄之…」應改為「…ATC 紀錄之…」。 (3)pp. 3-11, 圖 3-7 「…延滯原因之延統計圖」應改為「…延滯原因之延滯統計圖」。(4)pp. 4-12, 段 2, 行 1 「…可進一步其行經各車站…」似應改為「…可進一步探討其行經各車站…」。(5)pp. 9-1, 行 9 「…累積、擴散和削減…」似應改為「…累積、擴散和消滅…」。	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)	P3-40 有關 UIC Code 406 對於班表壓縮之具體作法(圖 3-20~圖 3-21)建議可再詳述，俾利參考。	依評審意見辦理，於 2.2.3.1 節中補中說明。	已於定案報告之相關章節回應補充說明。
	P3-43 有關加拿大國鐵之 Parametric Capacity Model，雖已提出經驗公式及相關參數所考慮之項目內容，惟仍建議補充本模式之操作流程說明，俾利參考。	依評審意見辦理，於 2.2.3.2 節中補中說明。	已於定案報告之相關章節回應補充說明。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
	P4-12 本節雖提出各車站延滯情形分析，採先對平均延滯較高的列車分析再進一步分析各車站的平均延滯情況，但本研究接續往前追溯延滯較嚴重之區間，並朝列車之因素判定其相關原因，是否過於主觀，建議再考量。	要從一堆列車延滯數據資料中，判別延滯較嚴重之時間、空間或車次並不容易，因此本研究將之轉換成圖形來呈現，此方式之優點在於使人可一目瞭然系統的可靠度情形，也因此在此判定上就免除不了人為之主觀因素，但對於延滯嚴重的部份，不同人的觀點應不至於相去太遠。	同意承辦單位之回應說明。
本所運 計組 (書面 意見)	P4-13 有關本節以二維等高線圖呈現經過各站之平均每列車延滯時間之嚴重程度(以顏色深淺表示)，惟有關等高線圖之圖形代表意義及圖示之解讀方式，建議可於報告中多加著墨，俾利瞭解。	已於 3.2.2 節中補充說明。	已於定案報告之相關章節回應補充說明。
	P4-35 有關特殊事件無針對平均每列車之延滯進行分析，建議可於文中說明。	依評審意見辦理，說明於 3.1 節中。	已於定案報告之相關章節回應補充說明。
	P4-40 有關文中提及若有所有列車的延滯原因資料，將可進而篩選出次要延滯資料…，本研究針對次要延滯之後續處理方式為何，建議可略作說明。	若有所有列車的延滯原因資料，進而篩選出次要延滯資料，則可根據次要延滯發生的時間地點計算列車流量，進一步分析列車流量與平均延滯時間之關係。	同意承辦單位之回應說明。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
	P5-1 有關台鐵系統各級列車之延誤時間達幾分鐘始列入紀錄，請檢核確認是 5 或 6 分鐘。	臺鐵對列車準點的定義為列車到達終點站延誤 5 分鐘以內，因此超過 5 分鐘才算延誤，又因為該紀錄以分鐘為單位，所以是 6 分鐘以上才會列入延誤紀錄。已於 3.5 節中略作說明。	已於定案報告之相關章節回應補充說明。
	P5-7 有關本節延滯風險分析之「順行」與「逆行」表示方式，建議統一成「上行」與「下行」，俾利報告前後一致。	有鑑於以「上行」與「下行」來說明列車行進方向時，會有當列車由西部幹線開往東部後，行駛方向會由原本的上行變為下行的問題，因此本報告將統一以「順行」與「逆行」表示。	已於定案報告之相關章節回應補充說明。
本所運 計組 (書面 意見)	P5-9 有關新烏日站「旅客」延滯風險皆是名列第一，其可能之原因為何？建議可增加相關分析說明。	可能原因在於新烏日站主要提供與高鐵台中站的轉乘功能，但兩站之距離較遠，以至於列車需等待轉乘旅客搭乘的緣故。已於 4.3.2 節中補充相關說明。	已於定案報告之相關章節回應補充說明。
	P5-14 建議增加「計畫性」與「非計畫性」交會待避延滯風險之嚴重程度之差異比較說明；另有關「非計畫性」交會待避延滯風險如何由計畫性的總發生次數與總延滯時間改以非計畫來計算，其計算基礎為何，建議應補充說明。	依評審意見於 4.4.2 節補充「計畫性」與「非計畫性」交會待避延滯風險之差異。另「非計畫性」交會待避延滯風險本應由「非計畫性」交會待避的總發生次數與總延滯時間來計算，而非用「計畫性」的來計算。	已於定案報告之相關章節回應補充說明。
	P5-21 建議促請台鐵局增加非對號列車之「主要列車延誤概況表」，以完整真實反映號誌故障所導致延滯之全部影響實況。	依評審意見辦理，於第八章中加入相關建議。	已於定案報告之相關章節中建議。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
	P6-2 有關 6.2 節之停站時間變異分析結果，其中桃園站之非對號車之假日變異分佈皆向右方偏移，但非對號車較不明顯…之論述，其原因除了可能假日旅客多為長途旅次外，是否還有其他重要因素(如桃園站上下旅客較多，且對號車之車門不利快速上下車所致…等因素)，建議可再多作分析。	依評審意見辦理，於 5.2 節中補充說明。	已於定案報告之相關章節回應補充說明。
	P6-5 由表 6.1 與表 6.2 數據顯示比較，其停站時間變異之平均值除顯示假日延滯的情況較平日嚴重之外，亦應顯示桃園站之停站時間於假日之對號車部分變異性很大，顯示其旅客之尖峰搭乘特性特別明顯，建議可增加相關論述說明。	依評審意見辦理，於 5.2 節中增加相關論述。	已於定案報告之相關章節回應補充說明。
本所運 計組 (書面 意見)	P7-5 有關 7.2.3 節中過去單一區段模式中的「交通組成」在連續區段模式中僅能存在一組設定值，且會套用到所有區段內之「輸入參數」方式，是否能處理區間車未跨越某些連續區段之情形，其「交通組成」設定方式是否有差異？	本模式的假設條件之一為「所有列車均行經每個連續區段」，因此不能處理區間車未跨越某些連續區段之情形。此作法於實際運用時，使用者可自行決定連續區段數，已具有相當大之彈性，此外也可避免需逐一設定各車次起迄站資訊的麻煩。	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
	P8-9 有關 8.2.2 節連續區段模式案例分析之計算結果，其容量值分別約為 10.96 列次(下行)與 10.22 列次(上行)，此結果相較於單一區段容量模式七堵—汐止瓶頸區間容量值為大，是否合理？建議可於本節多作著墨說明。	1. 由於寬裕係數的設定值不希望出現破數，目前的設定是以 0.05 為增量來計算容量，故容量的計算結果會受到寬裕係數設定方式的影響。 2. 連續區段的容量會受到路線長度的影響，以本例而言，連續區段容量略高於單一區段，但若區段長度變動，則可能小於單一區段的容量。 3. 即使單一區段與連續區段的容量略有出入，但誤差很小，結果仍相當吻合。	同意承辦單位之處 理及補充 說明。
主席意 見及結 論	有關延滯時空圖資料之 Scale 不一致問題，請修正統一；另相關分析結果對臺鐵局之後續運轉調度之助益亦可納入報告之建議事項，以提供給臺鐵局參考。	依主席裁示辦理。	已參照辦 理。
	有關本研究針對臺鐵系統交通組成之容量案例分析，結果亦證實臺鐵車種簡化成自強號及電聯車 2 類，將會對臺鐵之容量及營運效益提升最有助益。	感謝主席對本研究的肯定。	--

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
主席意見及結論	本研究連續路段容量模式係以模擬方法進行分析，鑑於後續使用必須透過軟體操作且分析過程過於複雜，故建議未來可否仿照公路容量手冊，將分析過程及結果以查表之方式處理及呈現，以利使用者應用。	本研究建議後續可開發相關軟體，使用者操作之便利性可透過軟體介面設計加以解決，而分析過程過於複雜之問題則可利用電腦強大的運算能力來大幅減少，將會比查表方式更加實用。但未來若能歸納出通用的案例，亦可製表及繪圖供使用者快速查詢。	同意承辦單位之處 理及補充 說明。
	本研究延滯資料蒐集過程是否遭遇 Missing data 或 Error 之問題，相關資料前處理之內容建議亦可納入報告中說明。	本研究所蒐集的 CTC 紀錄確實有面臨 Missing data 之問題，將於報告 3.1 節中補充說明處理方式。	已於定案 報告中修 正與補充 說明。
	有關本報告章節共 9 章過多乙節，請參酌審查委員之意見酌予整併。	依主席裁示辦理。	已參照辦 理。
	本系列研究第 2 年辦理連續路段容量分析軟體開發，第 3 年辦理軌道容量手冊擴充修訂，但為利相關研究成果之推廣，請規劃單位與承辦單位研商後續教育訓練的辦理時間。	依主席裁示辦理。	將於後續 年度研商 教育訓練 的辦理時 間
	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相關內容並逐一列表回應，於 99 年 12 月 20 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。	--

「軌道系統容量與可靠度分析研究(1/3)」期末報告 審查會議紀錄

一、時間：99年11月29日(星期一)下午2時30分

二、地點：交通部運輸研究所10樓會議室

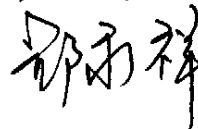
三、主持人：蘇代組長振維  記錄：劉昭榮

四、出(列)席單位及人員：

交通大學交通運輸研究所黃教授承傳



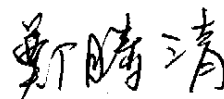
成功大學交通管理科學研究所鄭教授永祥



交通部鐵工局規劃組施副組長文雄



交通部臺鐵局運務處綜合調度所鄭工程司騰清

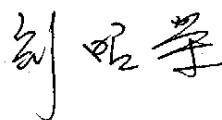


臺灣高鐵公司陳協理信雄

請假：(提供書面意見)

本所運工組

運計組



財團法人中興工程顧問社

