109-026-1426
IOT-107-PBF005

2019 年臺灣鐵道容量手冊

交 通 部 運 輸 研 究 所

中 華 民 國 109 年 1 月

109

2019年臺灣鐵道容量手冊

交通部運輸研究所

ISBN 978-986-531-122-3

9 789865 311223

GPN：1010900182

定價 740 元

109-026-1426
IOT-107-PBF005

2019 年臺灣鐵道容量手冊

著者：黃笙珓、鍾志成、賴勇成、盧麗嵩、張恩輔、林志偉、
吳明軒、胡仲瑋、張舜淵、劉昭榮、江明益

交通部運輸研究所

中華民國 109 年 1 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

臺灣鐵道容量手冊. 2019 年 / 黃笙玹等著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運研所, 民 109.01

面 ; 公分

ISBN 978-986-531-122-3(平裝)

1.鐵路管理 2.容量分析 3.臺灣

557 109000684

2019 年臺灣鐵道容量手冊

著　　者：黃笙玹、鍾志成、賴勇成、盧麗嵩、張恩輔、林志偉、吳明軒、胡仲瑋、張舜淵、劉昭榮、江明益

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＞數位典藏＞本所出版品)

電　　話：(02)23496789

出版年月：中華民國 109 年 1 月

印 刷 者：承亞興圖文印刷有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 70 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定　　價：740 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：1010900182　　ISBN：978-986-531-122-3(平裝)

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

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

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：2019 年臺灣鐵道容量手冊

國際標準書號（或叢刊號）	政府出版品統一編號	運輸研究所出版品編號	計畫編號
ISBN978-986-531-122-3(平裝)	1010900182	109-026-1426	107-PBF005

本所主辦單位：運輸計畫組 主管：蘇振維(前)、張舜淵 計畫主持人：張舜淵 研究人員：劉昭榮、江明益 聯絡電話：(02)23496806 傳真號碼：(02)25450428	合作研究單位：財團法人中興工程顧問社 計畫主持人：黃笙珏 研究人員：鍾志成、賴勇成、盧麗嵩、張恩輔、林志偉、吳明軒、胡仲瑋 地址：臺北市南京東路 5 段 171 號 聯絡電話：(02)87919198 ext. 426 傳真號碼：(02)87912198	研究期間 自 92 年 6 月 至 107 年 11 月

關鍵詞：軌道容量分析、傳統暨區域鐵路系統、都會捷運系統、服務品質、可靠度

摘要：

近年來政府致力於規劃推動各項軌道系統相關建設，但鐵道系統建設成本甚鉅，為了要能在較經濟的條件下提供符合預期服務品質的運能，需要系統化之軌道容量分析方法與工具。因此，本所自民國92年起進行了一系列相關研究，並將成果彙集成臺灣鐵道容量手冊。

本手冊包含三個篇章：「基礎篇」、「傳統暨區域鐵路篇」和「都會捷運系統篇」，「基礎篇」的內容主要在介紹軌道容量分析的基本概念，而「傳統暨區域鐵路篇」和「都會捷運系統篇」則是針對此兩種不同的軌道系統，介紹其軌道容量分析的方法、軌道容量分析程式的使用，並以數個案例來說明其應用方式。此外，於2019年在「傳統暨區域鐵路篇」中新增了單線連續區段容量分析模式和新版容量分析軟體等內容。

本所將持續致力於軌道容量相關研究工作，俾使臺灣鐵道容量手冊內容更趨完整，以提供相關單位引用參考。

出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
109 年 1 月	620	740	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：

□密 □機密 □極機密 □絕對機密

（解密條件：□　年　月　日解密，□公布後解密，□附件抽存後解密，

□工作完成或會議終了時解密，□另行檢討後辦理解密）

■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: 2019 Railway Capacity Manual in Taiwan

ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER	PROJECT NUMBER
ISBN 978-986-531-122-3(pbk.)	1010900182	109-026-1426	107-PBF005

DIVISION: Planning Division
DIVISION CHIEF: Shuen-Yuan Chang
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Shuen-Yuan Chang
PROJECT STAFF: Jau-Rong Liu, Ming-Yi Jiang
PHONE: 886-2-23496806
FAX: 886-2-25450428

PROJECT PERIOD

FROM June 2003
TO November 2018

RESEARCH AGENCY: Sinotech Engineering Consultants, Inc.
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Sheng-Hsuan Huang
PROJECT STAFF: Jyh-Cherng Jong, Yung-Cheng Lai, Li-Song Lu, En-Fu Chang, Jyh-Wei Lin, Ming-Hsuan Wu, Chung-Wei Hu
ADDRESS: 171 Nanking E. RD. SEC. 5, Taipei, Taiwan, R.O.C.
PHONE: 886-2-87919198 ext. 426
FAX: 886-2-87912198

KEY WORDS: Rail Capacity Analysis, Regional Railway, Urban Rapid Transit System, Quality of Service, Reliability

ABSTRACT:

In recent years, our government has made great efforts in promoting railway projects. However, the construction of railway systems requires enormous capital expenditure. Systematic methodologies and tools to analyze rail capacity are essential to economically provide appropriate capacity under expected service quality. Thus, the Institute of Transportation has been undertaking a series of researches since 2003. The results of these studies are compiled into "2019 Railway Capacity Manual in Taiwan".

This manual includes three parts: "Foundations of Rail Capacity", "Capacity Analysis of Conventional Railways", and "Capacity Analysis of Urban Rail Transit Systems". The first part describes the fundamental concepts of rail capacity analysis. The methodologies of capacity analysis and the usages of capacity software for conventional regional railways and urban rail transit systems are introduced in the second and third parts respectively. Moreover, there are several examples to show how to analyze rail capacity via the software. In 2019, new content added to the second part, including the rail capacity model for continuous single-track sections and the new version capacity software.

The Institute of Transportation will continue research works to enrich the Railway Capacity Manual in Taiwan. The manual will be a public source to be used in education, planning, and researches for railway agencies, universities, and research institutes.

DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE	CLASSIFICATION
January 2020	620	740	☐RESTRICTED ☐CONFIDENTIAL ☐SECRET ☐TOP SECRET ■UNCLASSIFIED

The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.

2019 年臺灣鐵道容量手冊目錄

頁 次

第一篇－基礎篇

第一章 緒論 ..... 1 - 1

1.1 軌道容量的研究動機 ..... 1 - 1
1.2 軌道容量的研究範圍 ..... 1 - 2
1.3 軌道容量分析的目的 ..... 1 - 4
1.4 編訂容量手冊的目的 ..... 1 - 4
1.5 軌道容量手冊的使用 ..... 1 - 5
1.6 軌道容量手冊的架構 ..... 1 - 5

第二章 軌道容量的基本概念 ..... 2 - 1

2.1 績效的基本測度指標 ..... 2 - 1
2.2 定義軌道容量的要素 ..... 2 - 2
2.3 軌道容量的名詞定義 ..... 2 - 5
2.3.1 以空間參考點來區分 ..... 2 - 6
2.3.2 以運轉條件來區分 ..... 2 - 11
2.3.3 以乘客（位）為客體單位之容量 ..... 2 - 14
2.4 軌道容量的使用效率 ..... 2 - 16
2.5 容量衍生之相關術語 ..... 2 - 18
2.6 容量客體單位的轉換 ..... 2 - 22

第三章 軌道容量的影響因素 ..... 3 - 1

3.1 運轉時隔之影響因素 ..... 3 - 1
3.1.1 路線條件 ..... 3 - 2

3.1.2 交通條件 ..... 3 - 7
3.1.3 控制條件 ..... 3 - 11
3.2 車廂容量之影響因素 ..... 3 - 13
3.3 列車編組車輛數之影響因素 ..... 3 - 16
3.4 乘載變異因子的影響因素 ..... 3 - 17
3.5 非屬行車系統之影響因素 ..... 3 - 18
3.5.1 旅客流的特性分析 ..... 3 - 19
3.5.2 車站設施容量 ..... 3 - 21

第四章 列車控制與號誌系統 ..... 4 - 1

4.1 路線軌道數與運轉方式 ..... 4 - 1
4.2 列車的運轉操控方式 ..... 4 - 2
4.3 閉塞制度的基本概念 ..... 4 - 5
4.3.1 列車分隔的原理 ..... 4 - 5
4.3.2 閉塞制度的種類 ..... 4 - 8
4.4 固定閉塞號誌系統 ..... 4 - 9
4.5 移動閉塞號誌系統 ..... 4 - 13
4.6 混合閉塞制 ..... 4 - 15

第五章 服務品質的基本概念 ..... 5 - 1

5.1 服務品質概述 ..... 5 - 1
5.2 運輸系統的服務品質 ..... 5 - 4
5.3 大眾運輸服務品質的影響因素 ..... 5 - 6
5.4 大眾運輸服務品質的評估 ..... 5 - 12

第六章 軌道容量分析的應用 ..... 6 - 1

6.1 規劃階段 ..... 6 - 1
6.2 設計階段 ..... 6 - 2
6.3 營運階段 ..... 6 - 2

第七章 軌道容量分析方法概論 ..... 7 - 1

7.1 軌道容量分析模式的分類 ..... 7 - 1
7.1.1 基本概念 ..... 7 - 1
7.1.2 模式分類查核表 ..... 7 - 2
7.1.3 模式分類流程圖 ..... 7 - 3
7.2 軌道容量分析的基本理論 ..... 7 - 5
7.2.1 閉塞時間與運轉時隔 ..... 7 - 5
7.2.2 等候理論與列車延滯 ..... 7 - 12
7.2.3 容量分析的注意事項 ..... 7 - 15
7.3 軌道容量的基本分析架構 ..... 7 - 16
7.4 軌道容量分析的方法 ..... 7 - 20
7.4.1 解析模式 ..... 7 - 21
7.4.2 模擬模式 ..... 7 - 21
7.4.3 最佳化模式 ..... 7 - 22
7.5 選擇軌道容量分析方法的原則 ..... 7 - 23

參考文獻 ..... R - 1

附錄 A 重要數學符號說明 ..... A - 1

第二篇－傳統暨區域鐵路篇

第一章 緒論 ..... 1 - 1

1.1 臺鐵系統簡介 ..... 1 - 1
1.1.1 路線概要 ..... 1 - 1
1.1.2 車輛系統 ..... 1 - 3
1.1.3 號誌系統 ..... 1 - 4
1.1.4 營運概況 ..... 1 - 5
1.2 臺鐵系統特性 ..... 1 - 6

第二章 單區段路線容量分析模式 ..... 2 - 1

2.1 基本概念與模式假設 ..... 2 - 1
2.1.1 容量計算的時間單位 ..... 2 - 1
2.1.2 容量計算的空間參考點 ..... 2 - 2
2.1.3 最小運轉時隔的組成 ..... 2 - 4
2.1.4 模式的假設條件 ..... 2 - 6
2.2 號誌安全時距的計算 ..... 2 - 6
2.2.1 路段上號誌安全時距計算公式 ..... 2 - 7
2.2.2 車站內號誌安全時距計算公式 ..... 2 - 10
2.2.3 路線坡度及加減速性能的影響 ..... 2 - 31
2.2.4 車站軌道及月台配置方式的影響 ..... 2 - 33
2.2.5 瓶頸號誌安全時距的決定 ..... 2 - 47
2.3 交會待避損失時間的估計 ..... 2 - 50
2.4 運轉寬裕時間的決定 ..... 2 - 54
2.5 平均最小運轉時隔的計算 ..... 2 - 55
2.6 路線容量的計算 ..... 2 - 57

第三章 連續區段路線容量分析模式 ..... 3 - 1

3.1 複線連續區段容量分析模式 ..... 3 - 1

3.1.1 基本概念 ..... 3 - 1
3.1.2 模式架構 ..... 3 - 3
3.1.3 假設條件 ..... 3 - 4
3.1.4 整體模擬流程 ..... 3 - 5
3.1.5 列車進離站時間之調整 ..... 3 - 6
3.1.6 列車連鎖推擠之處理 ..... 3 - 10
3.2 單線連續區段容量分析模式 ..... 3 - 15
3.2.1 基本概念 ..... 3 - 15
3.2.2 模式架構 ..... 3 - 17
3.2.3 假設條件 ..... 3 - 18
3.2.4 整體流程 ..... 3 - 19
3.2.5 演算範例 ..... 3 - 30

第四章 旅客容量分析模式 ..... 4 - 1

4.1 旅客容量計算 ..... 4 - 1
4.2 停站時間推估 ..... 4 - 5

第五章 容量整體分析程序 ..... 5 - 1

5.1 容量分析架構與步驟 ..... 5 - 1
5.2 容量分析應用注意事項 ..... 5 - 12
5.2.1 路線區段的前處理 ..... 5 - 13
5.2.2 單區段與連續區段容量模式的比較 ..... 5 - 14
5.2.3 容量利用效率評估 ..... 5 - 15
5.2.4 列車服務班距規劃 ..... 5 - 17
5.2.5 設計路線容量的決定 ..... 5 - 19

第六章 列車服務可靠度分析模式 ..... 6 - 1

6.1 單區段可靠度分析模擬模式 ..... 6 - 1
6.1.1 模式架構 ..... 6 - 1
6.1.2 整體模擬流程 ..... 6 - 3

6.1.3 模擬列車排班延滯 ..... 6 - 5
6.1.4 模擬列車實際延滯 ..... 6 - 8
6.2 連續區段可靠度分析模擬模式 ..... 6 - 12
6.2.1 基本概念 ..... 6 - 12
6.2.2 模式架構 ..... 6 - 13
6.2.3 整體模擬流程 ..... 6 - 14
6.2.4 模擬列車延滯 ..... 6 - 16

第七章 容量分析軟體使用手冊 ..... 7 - 1

7.1 系統配備需求 ..... 7 - 2
7.2 快速入門 ..... 7 - 3
7.2.1 軟體執行 ..... 7 - 3
7.2.2 詞彙解釋 ..... 7 - 4
7.2.3 操作環境 ..... 7 - 5
7.2.4 專案管理 ..... 7 - 6
7.2.5 基本分析範例 ..... 7 - 8
7.2.6 參數說明檢視 ..... 7 - 15
7.3 選項設定 ..... 7 - 16
7.3.1 操作模式切換 ..... 7 - 16
7.3.2 檢核設定 ..... 7 - 18
7.4 全域參數設定 ..... 7 - 19
7.5 列車參數設定 ..... 7 - 21
7.5.1 新增列車 ..... 7 - 22
7.5.2 編輯列車 ..... 7 - 23
7.5.3 刪除列車 ..... 7 - 23
7.5.4 匯出列車參數 ..... 7 - 24
7.5.5 匯入列車參數 ..... 7 - 25
7.6 車站參數設定 ..... 7 - 26
7.6.1 新增車站 ..... 7 - 27
7.6.2 編輯車站 ..... 7 - 29

7.6.3 刪除車站 ..... 7 - 32
7.6.4 變更車站順序 ..... 7 - 32
7.6.5 匯出車站參數 ..... 7 - 33
7.6.6 匯入車站參數 ..... 7 - 34
7.7 交互關係設定 ..... 7 - 35
7.8 專案精靈 ..... 7 - 36
7.8.1 匯入臺鐵參數資料 ..... 7 - 37
7.8.2 新增車站 ..... 7 - 40
7.8.3 新建路線 ..... 7 - 41
7.9 容量分析 ..... 7 - 45
7.9.1 操作介面介紹 ..... 7 - 45
7.9.2 操作步驟說明 ..... 7 - 46
7.9.3 結果檢視與輸出 ..... 7 - 47
7.10 敏感度分析 ..... 7 - 52
7.10.1 操作介面介紹 ..... 7 - 53
7.10.2 操作步驟說明 ..... 7 - 53
7.10.3 結果檢視與輸出 ..... 7 - 57
7.11 可靠度分析 ..... 7 - 57
7.11.1 操作介面介紹 ..... 7 - 58
7.11.2 操作步驟說明 ..... 7 - 58
7.11.3 結果檢視與輸出 ..... 7 - 60
7.12 情境分析 ..... 7 - 61
7.12.1 操作介面介紹 ..... 7 - 61
7.12.2 操作步驟說明 ..... 7 - 62
7.12.3 結果檢視與輸出 ..... 7 - 69
7.13 注意事項 ..... 7 - 69

第八章 分析案例 ..... 8 - 1

8.1 範例一 ..... 8 - 1
8.2 範例二 ..... 8 - 8

8.3 範例三 ..... 8 - 14
8.4 範例四 ..... 8 - 20
8.5 範例五 ..... 8 - 29
8.6 範例六 ..... 8 - 36
8.7 範例七 ..... 8 - 41

參考文獻 ..... R - 1

第三篇－都會捷運系統篇

第一章 緒論 ..... 1 - 1

1.1 臺北捷運系統簡介 ..... 1 - 1
1.1.1 路線概要 ..... 1 - 1
1.1.2 車輛系統 ..... 1 - 4
1.1.3 號誌系統 ..... 1 - 6
1.1.4 營運概況 ..... 1 - 6
1.2 高雄捷運系統簡介 ..... 1 - 6
1.2.1 路線概要 ..... 1 - 6
1.2.2 車輛系統 ..... 1 - 9
1.2.3 號誌系統 ..... 1 - 9
1.2.4 營運概況 ..... 1 - 10
1.3 都會捷運的系統特性 ..... 1 - 10
1.4 都會捷運的號誌系統 ..... 1 - 12
1.4.1 固定閉塞制配備速度碼系統 ..... 1 - 13
1.4.2 固定閉塞制配備距離碼系統 ..... 1 - 14
1.4.3 移動閉塞制配備距離碼系統 ..... 1 - 18

第二章 路線容量分析模式 ..... 2 - 1

2.1 基本概念與模式假設 ..... 2 - 1
2.1.1 容量計算的時間單位 ..... 2 - 1
2.1.2 容量計算的空間參考點 ..... 2 - 1
2.1.3 最小運轉時隔的組成 ..... 2 - 4
2.1.4 模式的假設條件 ..... 2 - 6
2.2 號誌安全時距的計算 ..... 2 - 6
2.2.1 中間站號誌安全時距計算公式 ..... 2 - 7
2.2.2 折返站號誌安全時距計算公式 ..... 2 - 12
2.2.3 銜接點號誌安全時距計算公式 ..... 2 - 36

2.2.4 路線坡度對號誌安全時距的影響 ..... 2 - 43
2.2.5 瓶頸號誌安全時距的決定 ..... 2 - 46
2.3 運轉寬裕時間的估計 ..... 2 - 46
2.4 最小運轉時隔的計算 ..... 2 - 47
2.5 路線容量的計算 ..... 2 - 48

第三章 旅客容量分析模式 ..... 3 - 1

3.1 旅客容量計算 ..... 3 - 1
3.2 停站時間推估 ..... 3 - 6
3.2.1 中間車站的停站時間 ..... 3 - 6
3.2.2 端末車站的停站時間 ..... 3 - 7

第四章 容量整體分析程序 ..... 4 - 1

4.1 容量分析架構與步驟 ..... 4 - 1
4.2 容量分析的應用方式 ..... 4 - 7
4.2.1 巡航速度的決定方式 ..... 4 - 8
4.2.2 間隔安全係數的設定 ..... 4 - 10
4.2.3 容量利用效率評估 ..... 4 - 11
4.2.4 列車服務班距規劃 ..... 4 - 12
4.2.5 設計路線容量的決定 ..... 4 - 14
4.2.6 車隊規模的計算 ..... 4 - 15

第五章 軌道容量分析程式 ..... 5 - 1

5.1 軟體簡介 ..... 5 - 1
5.1.1 軟體特色 ..... 5 - 1
5.1.2 版權宣告 ..... 5 - 2
5.1.3 執行環境需求 ..... 5 - 3
5.2 軟體安裝與移除 ..... 5 - 4
5.2.1 安裝程序 ..... 5 - 4
5.2.2 移除程序 ..... 5 - 10

5.3 路線容量分析模組 ..... 5 - 12
5.3.1 操作環境 ..... 5 - 12
5.3.2 檔案管理 ..... 5 - 13
5.3.3 設定全域參數 ..... 5 - 14
5.3.4 設定列車參數 ..... 5 - 15
5.3.5 設定空間參考點參數 ..... 5 - 16
5.3.6 分析計算 ..... 5 - 23
5.3.7 輸出結果 ..... 5 - 28
5.3.8 偏好設定 ..... 5 - 33
5.4 運轉規劃分析模組 ..... 5 - 33
5.4.1 操作環境 ..... 5 - 33
5.4.2 進行新分析 ..... 5 - 34
5.4.3 開啟舊檔 ..... 5 - 40

第六章 分析範例 ..... 6 - 1

6.1 軌道容量分析 ..... 6 - 1
6.1.1 範例一 ..... 6 - 1
6.1.2 範例二 ..... 6 - 4
6.1.3 範例三 ..... 6 - 7
6.1.4 範例四 ..... 6 - 12
6.1.5 範例五 ..... 6 - 14
6.1.6 範例六 ..... 6 - 15
6.1.7 範例七 ..... 6 - 17
6.1.8 範例八 ..... 6 - 21
6.2 運轉規劃分析 ..... 6 - 24
6.2.1 範例一 ..... 6 - 24
6.2.2 範例二 ..... 6 - 26

參考文獻 ..... R - 1

基礎篇

基礎篇 目錄

頁 次

目 錄 I

圖 目 錄 V

表 目 錄 VII

第一章 緒論 ..... 1 - 1

1.1 軌道容量的研究動機 ..... 1 - 1

1.2 鐵道容量的研究範圍 ..... 1 - 2

1.3 鐵道容量分析的目的 ..... 1 - 4

1.4 編訂容量手冊的目的 ..... 1 - 4

1.5 容量手冊的使用 ..... 1 - 5

1.6 容量手冊的架構 ..... 1 - 5

第二章 鐵道容量的基本概念 ..... 2 - 1

2.1 績效的基本測度指標 ..... 2 - 1

2.2 定義鐵道容量的要素 ..... 2 - 2

2.3 鐵道容量的名詞定義 ..... 2 - 5

2.3.1 以空間參考點來區分 ..... 2 - 6

2.3.2 以運轉條件來區分 ..... 2 - 11

2.3.3 以乘客（位）為客體單位的容量 ..... 2 - 14

2.4 鐵道容量的使用效率 ..... 2 - 15

2.5 容量衍生的相關術語 ..... 2 - 18

2.6 容量客體單位的轉換 ..... 2 - 21

第三章 鐵道容量的影響因素 ..... 3 - 1

3.1 運轉時隔的影響因素 ..... 3 - 1

3.1.1 路線條件 ..... 3 - 2

3.1.2 交通條件 ..... 3 - 7

3.1.3 控制條件 ..... 3 - 11

3.2 車廂容量的影響因素 ..... 3 - 12
3.3 列車編組車輛數的影響因素 ..... 3 - 15
3.4 乘載變異因子的影響因素 ..... 3 - 17
3.5 非屬行車系統的影響因素 ..... 3 - 17
3.5.1 旅客流的特性分析 ..... 3 - 18
3.5.2 車站設施容量 ..... 3 - 21
第四章 列車控制與號誌系統 ..... 4 - 1
4.1 路線軌道數與運轉方式 ..... 4 - 1
4.2 列車的運轉操控方式 ..... 4 - 2
4.3 閉塞制度的基本概念 ..... 4 - 4
4.3.1 列車分隔的原理 ..... 4 - 5
4.3.2 閉塞制度的種類 ..... 4 - 8
4.4 固定閉塞號誌系統 ..... 4 - 9
4.5 移動閉塞號誌系統 ..... 4 - 12
4.6 混合閉塞制 ..... 4 - 15
第五章 服務品質的基本概念 ..... 5 - 1
5.1 服務品質概述 ..... 5 - 1
5.2 運輸系統的服務品質 ..... 5 - 4
5.3 大眾運輸服務品質的影響因素 ..... 5 - 5
5.4 大眾運輸服務品質的評估 ..... 5 - 12
第六章 鐵道容量分析的應用 ..... 6 - 1
6.1 規劃階段 ..... 6 - 1
6.2 設計階段 ..... 6 - 2
6.3 營運階段 ..... 6 - 2
第七章 鐵道容量分析方法概論 ..... 7 - 1
7.1 鐵道容量分析模式的分類 ..... 7 - 1
7.1.1 基本概念 ..... 7 - 1
7.1.2 模式分類查核表 ..... 7 - 2
7.1.3 模式分類流程圖 ..... 7 - 3
7.2 鐵道容量分析的基本理論 ..... 7 - 4

7.2.1 閉塞時間與運轉時隔 ..... 7 - 5
7.2.2 等候理論與列車延滯 ..... 7 - 11
7.2.3 容量分析的注意事項 ..... 7 - 15
7.3 鐵道容量的基本分析架構 ..... 7 - 16
7.4 鐵道容量分析的方法 ..... 7 - 20
7.4.1 解析模式 ..... 7 - 21
7.4.2 模擬模式 ..... 7 - 21
7.4.3 最佳化模式 ..... 7 - 22
7.5 選擇鐵道容量分析方法的原則 ..... 7 - 23
參考文獻 ..... R - 1
附錄 A 重要數學符號說明 ..... A - 1

圖 目 錄

頁 次

圖 1-1 鐵道容量的研究範圍 ..... 1 - 3
圖 2-1 基本系統績效測度指標關係圖 ..... 2 - 2
圖 2-2 定義鐵道容量的四個軸向 ..... 2 - 4
圖 2-3 路線折返點 ..... 2 - 7
圖 2-4 路線銜接點 ..... 2 - 8
圖 2-5 路線容量示意圖 ..... 2 - 9
圖 2-6 最大容量、理論容量、實用容量、已使用容量及可利用容量的關係示意圖 ..... 2 - 13
圖 2-7 最大乘載區間示意圖 ..... 2 - 20
圖 2-8 最大乘載區間求算－旅客上下車分布圖 ..... 2 - 20
圖 2-9 最大乘載區間求算－累積旅客上下車數分布圖 ..... 2 - 21
圖 2-10 最大乘載區間求算結果示意圖 ..... 2 - 21
圖 2-11 容量客體單位的轉換與變數之間的關係 ..... 2 - 22
圖 3-1 路線運轉方式對鐵道容量的影響 ..... 3 - 2
圖 3-2 傳統鐵路及捷運系統典型的車站佈置方式 ..... 3 - 3
圖 3-3 站間距離對運轉時隔的影響 ..... 3 - 4
圖 3-4 臺鐵推拉式自強號牽引 12 輛客車之動力運轉曲線 ..... 3 - 5
圖 3-5 不同坡度下推拉式自強號（計畫減速度 2 km/h/s）之煞車性能 ..... 3 - 5
圖 3-6 車輛基地位置及配線 ..... 3 - 6
圖 3-7 列車交通組成對運轉時隔的影響 ..... 3 - 8
圖 3-8 列車方向分布對運轉時隔的影響 ..... 3 - 8
圖 3-9 停站時間對運轉時隔的影響 ..... 3 - 9
圖 3-10 廣/狹義停站時間示意圖 ..... 3 - 10
圖 3-11 臺鐵 E1000 型電力機車牽引客車重量曲線 ..... 3 - 16
圖 3-12 旅客可用空間與步行速度關係圖 ..... 3 - 19

圖 3-13 旅客可用空間與流動率關係圖 .....3 - 20
圖 3-14 側式月臺與島式月臺車站所需空間比較示意圖 .....3 - 21
圖 4-1 路線軌道數與列車運轉方式 .....4 - 1
圖 4-2 固定閉塞距離的列車分隔原理 .....4 - 6
圖 4-3 絕對煞車距離的列車分隔原理 .....4 - 7
圖 4-4 相對煞車距離的列車分隔原理 .....4 - 8
圖 4-5 二時相號誌列車的最小空間距離 .....4 - 10
圖 4-6 三時相號誌列車的最小空間距離 .....4 - 10
圖 4-7 四時相號誌列車的最小空間距離 .....4 - 11
圖 4-8 移動閉塞系統的運作原理 .....4 - 14
圖 5-1 服務品質模型 .....5 - 3
圖 5-2 大眾運輸績效測度指標、服務品質與服務測度指標之關係 .....
.....5 - 5
圖 7-1 鐵道容量分析模式分類流程圖 .....7 - 4
圖 7-2 列車行進間的閉塞時間 .....7 - 6
圖 7-3 列車停車時的閉塞時間 .....7 - 7
圖 7-4 閉塞時間階梯圖 .....7 - 8
圖 7-5 瓶頸閉塞區間與最小運轉時隔 .....7 - 9
圖 7-6 都會捷運系統的瓶頸閉塞區間與最小運轉時隔 .....7 - 10
圖 7-7 移動閉塞制的連續閉塞時間帶 .....7 - 11
圖 7-8 等候系統示意圖 .....7 - 12
圖 7-9 列車延滯時間圖 .....7 - 13
圖 7-10 列車排班延滯與實際運轉延滯 .....7 - 14
圖 7-11 時刻表容量與最大容量 .....7 - 14
圖 7-12 鐵道容量分析的泛用架構 .....7 - 17
圖 7-13 複線區間的運轉時隔範例 .....7 - 18
圖 7-14 單線區間的運轉時隔範例 .....7 - 19
圖 7-15 容量分析三層次架構（歐洲 EUROPE-TRIP） .....7 - 24

表 目 錄

頁 次

表 2.1 定義鐵道容量的基本要素與其分類 ..... 2 - 4
表 3.1 影響運轉時隔的因素 ..... 3 - 1
表 3.2 臺北捷運電聯車乘載水準設定比較表 ..... 3 - 14
表 4.1 固定閉塞號誌的顯示相位及意義 ..... 4 - 12
表 5.1 TCQSM 服務品質架構表 ..... 5 - 13
表 7.1 臺灣地區之鐵道容量分析模式分類查核表 ..... 7 - 3
表 7.2 列車運轉條件與運轉時隔組成的關係 ..... 7 - 20
表 7.3 三種方法論之簡易比較 ..... 7 - 23
表 7.4 各容量分析層次期望精確度 ..... 7 - 25

第一章 緒論

1.1 鐵道容量的研究動機

公路系統在過去一直是國內交通建設的重點，對臺灣經濟發展有莫大的貢獻，但隨著人民生活水準提高，擁有車輛的民眾也愈來愈多。雖然政府不斷地推動國內高快速路網的興建，但供給的增加永遠趕不上需求的成長，與日俱增的車輛數使得道路容量與停車空間均已無法滿足需求，導致道路擁塞、噪音、空氣污染等問題。

近年來國際社會對於全球溫室效應與能源危機議題日益重視，雖然許多公司團體致力於研發更環保且節省能源的車輛，但是能有效減少車輛數才是治本之道，因此發展大眾運輸已是未來交通建設的趨勢。在各種大眾運輸系統中，鐵道運輸系統具有高效率、低污染以及對環境衝擊較小等特性。近年來政府乃致力於規劃推動各項鐵道系統相關建設，包括都會區捷運系統、高速鐵路系統、臺鐵系統改善工程及地區輕軌系統，希望藉由鐵道系統的建設，均衡各種運輸系統的使用，以提昇整體運輸系統之效能。

鐵道運輸系統雖具備高度的外部社會效益，但其投資金額亦十分龐大。自民國 93 年開始，政府在鐵道建設的預算核列數首度超越公路建設，成為交通部門預算的大宗，且其比例逐年攀升[10]。為了確保鐵道運輸系統能在最經濟的條件下提供符合預期服務水準的運能，必須對其容量以及服務品質進行深入的研究，惟國內在這方面的研究一直相當匱乏，對於各項鐵道建設的容量變化及服務品質亦缺乏客觀衡量的標準。

反觀國外鐵道系統較發達的國家，由於許多繁忙路線之營運調度幾乎於接近鐵道容量上限的情況下執行；再加上實行車路分離政策，基於營運、管理及設施維護之需要，鐵道營運單位與監理單位必須掌

握鐵道容量的使用情況，因此投入相當多的資源研發鐵道容量分析與鐵道容量管理的方法，例如美國推動的 TCRP Project A-08[48]、TCRP Project A-15A[34]；歐洲各國推動的 EurOPE-TRIP Project[1]以及 IMPROVERAIL Project[49, 50, 51]等研究計畫。在國內大力推動鐵道建設之際，歐美國家的作法值得借鏡，惟國內鐵道運輸系統的特性與國外情況不盡相同，實應針對國內的特性，對鐵道容量相關課題進行完整且系統化之研究分析，以便有效掌握國內鐵道系統之合理供需能量以及服務水準。

1.2 鐵道容量的研究範圍

鐵道運輸系統包括車站、月臺、軌道行車設備等設施，用以提供客、貨旅運服務。旅客或貨物從旅次起點，透過聯外運輸系統進入鐵道運輸系統，再經過車站站房至月臺層等候列車，俟列車到站後方能上車或裝貨。列車透過軌道行車設備抵達目的車站，旅客下車或貨物卸貨至月臺後，經過車站與聯外運輸系統接駁，最後抵達旅次終點，完成整個旅次。

從上述旅運過程的分析可知，聯外運輸系統、車站配置、旅客及貨物動線的規劃、電扶梯或樓梯的大小及配置方式、月臺的面積、軌道行車系統，包括路線條件、交通條件及控制條件等，均會影響到整個鐵道運輸系統的運送能力。因此廣義而言，「鐵道系統容量」的研究範疇應涵蓋所有會影響系統整體輸運能力的元素，惟一般而言，「鐵道容量」分析係側重在軌道行車設備的部分，通常不直接考慮聯外運輸系統、站房、月臺的影響。因此本手冊對於「鐵道容量」的研究範圍，係界定在「軌道行車系統」的部分，也就是探討「軌道行車設備的最大輸送能力」，而非整個鐵道運輸系統的容量，研究範圍如圖 1-1 所示。至於本手冊對於鐵道容量研究的對象，係以國內既有的鐵道運輸系統，以及未來即將引進的鐵道運輸系統為研究對象，包括傳統暨區域鐵路系統、都會捷運系統、輕軌運輸系統及混合鐵道系統。

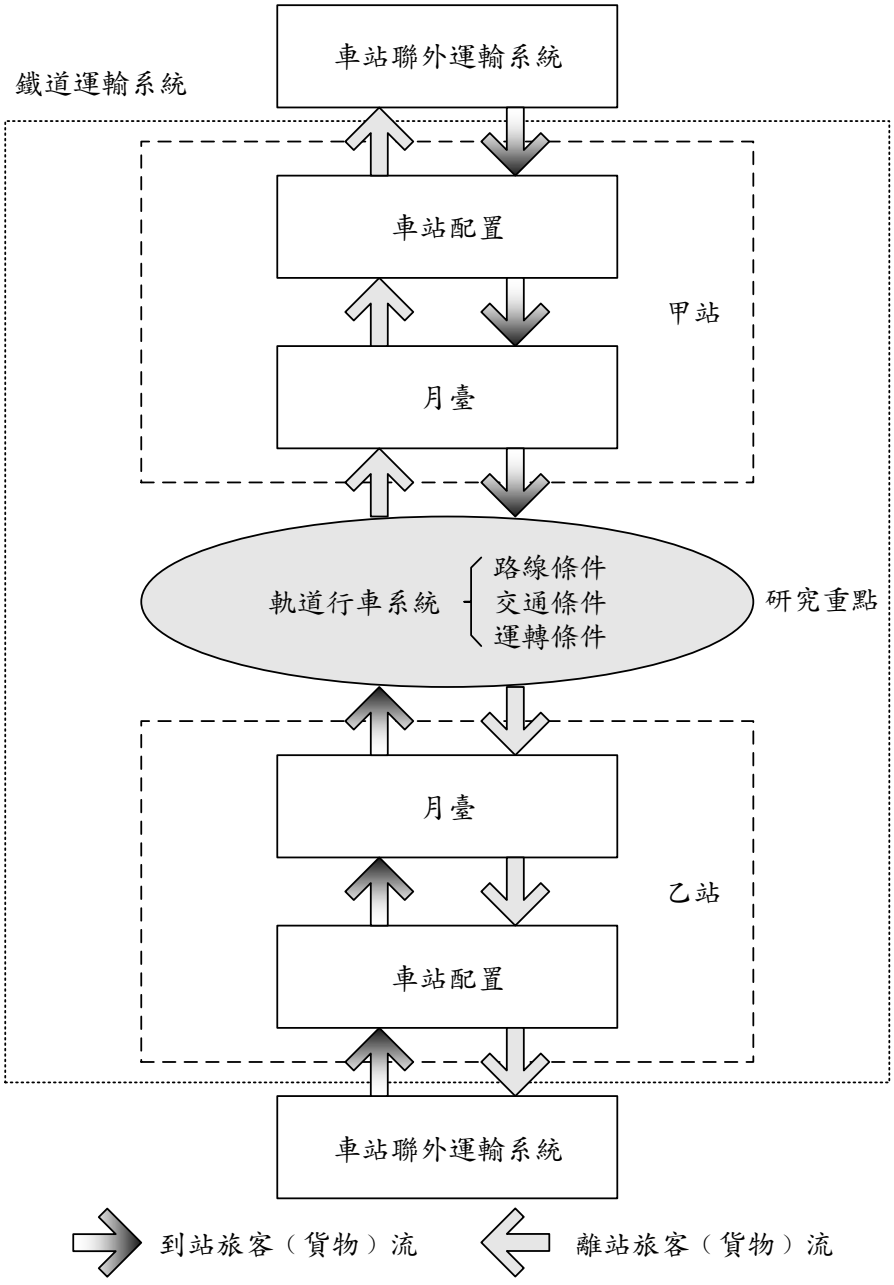


圖 1-1 鐵道容量的研究範圍

「鐵道容量」是一種多面向的概念，其包含車輛及旅客（貨物）的移動，以及兩者之間的交互作用，因此本手冊對於鐵道容量的研究，將不侷限於單位時間內所能發送的列車數，而是擴及於旅客的輸運量，這與傳統上僅分析列車流的做法略有不同，也因此，本手冊所發展的方法，能夠符合專營客運之鐵道運輸系統，以及臺鐵捷運化後之運輸型態的研究需要。另外，「鐵道容量」通常僅能反映營運機構所能提供的輸運能力，而無法反應旅客的期望，因此，本研究亦將導入「服

務品質」的觀念，期能從旅客的觀點來量測鐵道運輸系統的服務水準。由於服務品質涵蓋的範圍甚廣，本手冊對於服務品質的研究係聚焦在與鐵道容量相關的指標。

1.3 鐵道容量分析的目的

鐵道容量研究在於探討影響鐵道容量的因素，並發展評估容量的方法，而鐵道容量分析的目的則可概略歸納成以下三種：

1. 評估鐵道系統在一定的設備及運轉條件下的運輸能力，此為正向分析。
2. 分析滿足一定運輸需求所必須具備的設備數目或應採取的運轉策略，此為逆向分析。
3. 評估服務水準，此係從旅客的觀點，衡量鐵道運輸系統的需求水準與供給能力之間的關係。

1.4 編訂容量手冊的目的

交通部運輸研究所（以下簡稱本所）自民國 92 年起，即開始推動一系列鐵道容量的相關研究[2, 3, 4, 8]，從鐵道容量的定義、文獻回顧、研究方法論比較以及研究架構建議等基礎研究開始執行，並已先後完成臺鐵容量模式的建構以及容量分析程式的開發。為了使這些研究成果能夠有系統的組織、敘述，並推廣給相關運輸專業人員，因此乃著手編訂「容量手冊」。

本手冊的主要目的在於提供一套鐵道容量分析以及相關服務水準評估的程序和方法，以供未來產、官、學、研相關單位進行分析及決策的依據，同時也會提供一些分析案例，來說明如何應用這些分析程序。由於這些方法在計算上仍有一定的複雜度，因此伴隨手冊的編訂，也會發展相關的分析軟體，以便於使用者操作。

1.5 容量手冊的使用

鐵道容量分析之於鐵道運輸系統，相當於公路容量分析之於公路運輸系統。容量分析不僅在營運階段才需進行，在設計乃至於規劃階段，都有可能需要進行容量分析，只是分析的目的及資料的精確度不同而已。因此就本手冊的使用時機而言，可涵蓋鐵道系統的規劃、設計、營運階段。至於本手冊的使用對象，則包括工程顧問公司的規劃或設計人員、營運單位的職員、政府部門相關業務的管理人員、學校老師、學生，以及研究機構的研究人員等。

本手冊主要是提供分析的程序及方法，讓運輸專業人員可以遵循這些程序來進行分析，但對於某一特定鐵道運輸系統的期望容量水準及服務品質並不設定任何政策目標；亦即本手冊著重在方法論的說明及介紹，而非政策目標的設定。另外，應用本手冊所介紹的模式及方法進行分析時,必須正確的設定各項參數條件;當系統的條件改變時,可能會產生不同的分析結果；而對於不同的系統，分析的模式及方法也可能不同，因此在使用上必須特別留意。

1.6 容量手冊的架構

本手冊目前區分為「基礎篇」、「傳統暨區域鐵路篇」，以及「都會捷運系統篇」等三大篇，未來視本所的研究進展以及國內鐵道系統的發展需要，亦將陸續編訂其他系統（如高鐵、機場捷運系統或輕軌運輸系統）的容量分析方法。目前已完成三篇的主要內容如下：

1. 基礎篇

基礎篇主要是說明鐵道容量研究的動機、容量手冊的編輯目的、使用範圍及限制。基礎篇並介紹鐵道容量分析一般性的概念及基礎知識，內容包括鐵道容量的定義、影響因素、列車控制與號誌系統、服務品質、容量分析的應用，以及分析的基本原理及方法論等。由於是屬於通盤性的介紹，而非針對某一特定的鐵道系統，故本篇所用的數

學符號適用於所有系統。為避免混淆，所有的符號將儘可能採用一致的表示方式，比較重要的數學符號之意義及單位，請參閱附錄 A。

2. 傳統暨區域鐵路篇

此篇係以臺灣鐵路為研究對象，介紹其鐵道容量的分析方法與程序，包括列車流及旅客流兩種。本篇中亦包含鐵道容量分析程式的使用方式，並提供一些計算案例來說明如何應用這些程序與方法。

3. 都會捷運系統篇

此篇係以具有專用路權的都會區捷運系統為研究對象，介紹其鐵道容量的分析方法與程序。由於國內目前既存的都會捷運系統技術不盡相同，因此本篇所發展的鐵道容量分析模式為泛用型模式，除了模式之外，亦介紹容量分析程式，並提供計算案例輔助說明。

第二章 鐵道容量的基本概念

評估鐵道系統運輸能力的指標有很多種，其中容量為最常使用且最具代表性的指標之一，經由容量分析可以評估運輸系統在某種設備及運轉條件下的運輸能力，同時亦可研究滿足一定營運需求及服務水準所必須具備的設備數量或應採取的運轉策略。

在說明鐵道容量的涵義之前，本章會先介紹衡量鐵道運輸系統績效的基本測度指標，再定義各種鐵道容量及容量分析過程所衍生之相關變量的涵義。

2.1 績效的基本測度指標

客體(Objects，以u表示)、時間(Time，以t表示)及距離(Distance，以s表示)為描述運輸行為的三個基本要素，運輸可簡單定義為在某一段時間t內將某些客體u運送一段距離s，其中客體為運送的對象，其單位可為乘客、貨物、車輛（廂）、列車、座位或噸數。這三個基本要素的比率可定義出六個系統績效的測度指標，包括速度(Speed，v)、遲緩度（Slowness，v^{-1}）、密度（Density，k）、空間間距（Spacing，s_s）、頻率（Frequency，f）及班距（Headway，h，又稱運轉時隔）[54]，其定義如下：

$$v = \frac{s}{t} \quad \leftrightarrow \quad v^{-1} = \frac{t}{s} \tag{2.1}$$

$$k = \frac{u}{s} \quad \leftrightarrow \quad s_s = \frac{s}{u} \tag{2.2}$$

$$f = \frac{u}{t} \quad \leftrightarrow \quad h = \frac{t}{u} \tag{2.3}$$

由上式可知：速度與遲緩度、密度與間距、頻率與班距互為倒數關係，其與客體、時間及距離的關係可表示如圖 2-1 所示。部分測度指標經常被用來描述鐵道運輸系統的服務特性，其中速度主要是用於

列車運轉及排班，間距為防止列車追撞的重要因素，而頻率及班距則是列車排班以及容量的決定性因素。

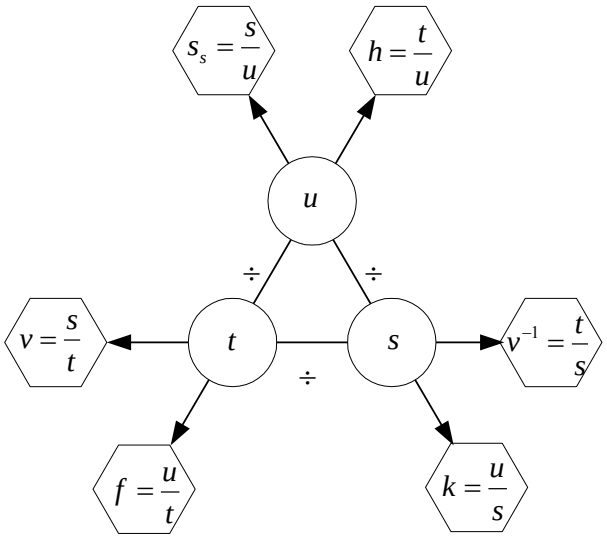


圖 2-1 基本系統績效測度指標關係圖

除了上述六個基本指標外，一般在運輸分析時亦會採用「運輸功（Transportation Work）」及「運輸功率（Rate of Transportation Work）」的概念。運輸功W為客體與距離的乘積：

$$W = us \tag{2.4}$$

延人公里、延噸公里為代表性的運輸功。運輸功率P為單位時間所作的運輸功，為運輸功與時間的比率：

$$P = \frac{W}{t} = \frac{us}{t} = uv \tag{2.5}$$

例如每日延人公里或每年延噸公里等均為運輸功率。

2.2 定義鐵道容量的要素

容量為頻率的延伸，一般而言，容量可視為最大頻率（Maximum Frequency）或最大流率（Maximum Rate of Flow），其定義為：「在

某一特定的運轉條件之下，單位時間內通過路線上某一點的最大客體數」，容量的一般計算式為：

$$C = f_{\max} = \frac{T}{h_{\min}} \tag{2.6}$$

式中容量C、最大頻率$f_{\max}$、時間週期T與最小時間間隔$h_{\min}$所採用的時間及客體單位必須相同，否則必須進行單位轉換。

由上述定義可知：運轉條件、時間單位、空間參考點，以及客體單位為定義容量的四個基本要素，不同的組合會產生不同類型的容量，表 2.1 為此四個要素的分類。如果用座標系統來表示，鐵道容量可表示成四度空間中的點(請參閱圖 2-2)，任何一點的容量意義均不相同。以下就定義鐵道容量的各個要素分別來討論。

1. 運轉條件

鐵道系統的運轉條件可概分為「路線條件(Railway Conditions)」、「交通條件(Traffic Conditions)」及「控制條件(Control Conditions)」三種，此三種條件與「公路容量手冊」[53]中定義公路容量的「道路條件（Roadway Conditions）」、「交通條件（Traffic Conditions）」及「控制條件（Control Conditions）」相對應。對鐵道系統而言，路線條件包括軌道的數目（單軌或多軌）以及運轉方式（單線運轉、複線運轉或多線運轉）、站距長短、路權型態等；交通條件包括列車的速度、列車的車種組成（單一種類型的列車或是快、慢列車混合行駛）、方向分布（不同運轉方向的比例），以及列車的停站方式等；控制條件為列車運轉的行車控制條件，例如行車制度是固定閉塞制(Fixed Block System, FBS）或移動閉塞制（Moving Block System, MBS），閉塞的工作是以人工辦理或自動辦理，以及是否具備自動列車控制系統（Automatic Train Control, ATC）等。不同運轉條件下的容量有很大的差異，第三章中將詳細說明運轉條件對容量的影響。

表 2.1 定義鐵道容量的基本要素與其分類

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

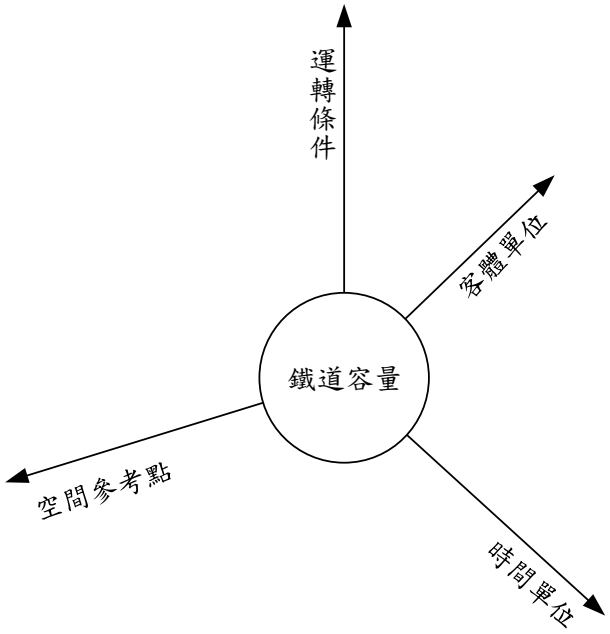


圖 2-2 定義鐵道容量的四個軸向

2. 時間單位

對於都會捷運系統以及輕軌運輸系統，由於旅次時間較短且尖峰特性明顯，故計算容量的時間單位通常是採用小時，以反映尖峰小時的輸送能力。但對於多數國家的傳統鐵路系統，因旅次時間較長且尖峰小時的特性不明顯，世界各國習慣上是以日為計算單位，但對於未來將轉型為區間通勤為主的臺鐵而言，若欲分析尖峰小時系統載運旅客的輸送能力時，則應可採用小時為容量的計算單位。必須特別說明的是，不同的時間單位之間可以進行轉換，但必須將非營業的時間扣除。例如已知每小時的容量而要換算成每日的容量時，由於鐵道系統

夜間通常必須進行維修的工作，且旅次需求較低，不可能全日 24 小時均以尖峰小時的型態來營運，因此在計算容量時，必須以實際營運的時間來計算，通常全日的實際營運時間比例約在 0.65~0.75 之間。

3. 空間參考點

一般定義容量時所採用的空間參考點包括路段（Way）、車站（Station）以及路線（Line）三種，其中路段是指車站之間的路線區間，不考慮車站的影響，而路線則是指某條運轉路線，為路段與車站的組合，因此必須考慮車站的影響。另外，有時也會以路線銜接點（Junction）或折返點（Turn-back）為分析對象。

4. 客體單位

容量分析的客體單位（輸送單位）可為乘客（Passengers）、乘位（Passenger Spaces，含坐位及站位）、車輛（廂）、列車、貨物或噸數等。不同的客體單位之間可以進行轉換，例如車輛數為列車數乘以每車掛載的車輛數；又如乘位數為車輛數與每車乘位數的乘積。客體單位的選擇視研究目的及運輸內容為客運或貨運而定，對捷運系統而言，習慣上容量所採用的客體單位為乘客或乘位，例如每小時路線上所能運送的最大乘客數；對傳統鐵路系統而言，由於兼營客貨運輸，單獨採用乘客或噸數為客體單位均無法反應實際的營運狀況，因此通常是以列車數為客體單位，例如每日某一路段所能運行的最大列車數。而對於未來將轉型為區間通勤為主的臺鐵而言，由於係以旅客運輸為主，若欲分析載運旅客的能力時，也可以採用乘客為容量分析的客體單位。

2.3 鐵道容量的名詞定義

在定義容量的要素中，不同的客體單位、時間單位、空間參考點及運轉條件，會定義出不同意義的鐵道容量，若不瞭解其中的涵義，往往會對容量的數值產生誤解。本節就常見的鐵道容量詞彙，解釋其中的涵義並比較不同容量之間的差異。

2.3.1 以空間參考點來區分

若以空間參考點來區分，鐵道容量可分為路段容量（Way Capacity，記為C_w）、車站容量（Station Capacity，記為C_s）、路線容量（Line Capacity，記為C_l）、此外，有些研究也會分析折返點容量（Turn-back Capacity，記為C_b）[29, 48]及銜接點容量（Junction Capacity, 記為C_j）[28, 48]，上述容量的客體單位可以是列車也可以是旅客數。

1. 路段容量

路段係指車站之間的路線區間，路段容量為單位時間內，通過路段上某一固定點的最大客體數。路段容量並不考慮車站（Station）、折返點（Turn-back）以及銜接點（Junction）所產生的影響，而僅就路段本身來分析。

若時間單位為小時，客體單位為列車（Train Unit, TU），則路段容量為每小時通過路段上某一固定點的最大列車數：

$$C_w = f_{w,\max} = \frac{3600}{h_{w,\min}} \tag{2.7}$$

式中：$f_{w,\max}$=路段上列車之最大通過頻率（TU/h）

$h_{w,\min}$=路段上兩連續列車之間的最小運轉時隔（s/TU）

2. 車站容量

車站容量為單位時間內，通過某一車站的最大客體數。若時間及客體單位分別為小時及列車，則車站容量為每小時通過某一車站的最大列車數：

$$C_s = f_{s,\max} = \frac{3600}{h_{s,\min}} \tag{2.8}$$

式中：$f_{s,\max}$=列車通過車站之最大頻率（TU/h）

$h_{s,\min}$=兩連續列車通過車站的最小運轉時隔（s/TU）

由於列車必須於車站內停車供旅客上下或貨物裝載，在複線運轉時，若車站內無多餘的軌道可供列車通行，則車站內之最小運轉時隔會大於路段上之最小運轉時隔（即$h_{s,\min} > h_{w,\min}$），因此車站容量C_s會小於路段容量C_w（即$C_s < C_w$）。捷運系統車站內與站間的軌道數通常一樣，此種情形最為明顯；臺鐵系統在車站內通常會有另外的副正線，情況稍佳。

3. 折返點容量

一般而言，鐵道路線的端點通常會銜接至場站（Yard），提供列車停留、整備、維修的場所，但有時因為用地的限制，某一端點可能僅有剪型道岔或複式橫渡線供列車折返，此種端點稱為折返點。此外在實際營運時，有時列車會在路線的中間站進行折返，則亦可稱該站為折返點。折返點的剪型道岔或複式橫渡線通常設置車站在附近（例如臺北捷運淡水線的淡水站），可設置在車站之前或之後，如圖 2-3 所示。

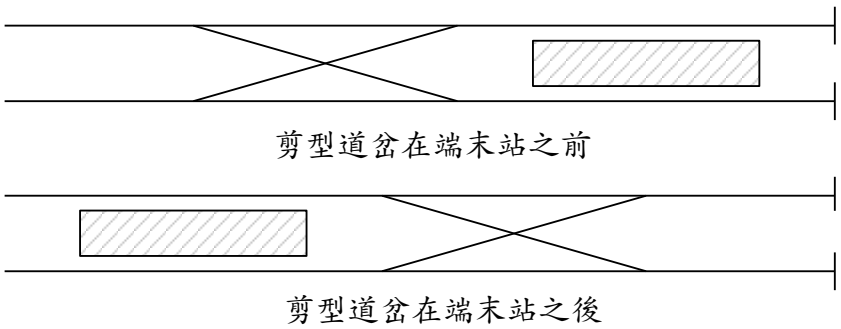


圖 2-3 路線折返點

若以列車為客體單位，小時為時間單位，折返點容量為每小時通過折返點的最大列車數，計算如下：

$$C_b = f_{b,\max} = \frac{3600}{h_{b,\min}} \tag{2.9}$$

式中：$f_{b,\max}$=列車通過折返點之最大頻率（TU/h）

$h_{b,\min}$=兩連續列車通過折返點的最小運轉時隔（s/TU）

列車通過折返點時，必須俟前行列車駛入另一側的軌道、道岔扳轉以及號誌轉換後方能前進，因此折返點的運轉時隔$h_{b,\min}$通常會大於路段上的運轉時隔$h_{w,\min}$（即$h_{b,\min} > h_{w,\min}$），故而折返點容量C_b會小於路段容量C_w（即$C_b < C_w$）。

4. 銜接點容量

鐵道系統的路線不見得會一線到底，有時會有路線銜接的情況。銜接點（或稱分歧點）係兩條路線的交會之處，視列車運轉的方向可能為匯入（Merge）或匯出（Diverge）。例如圖 2-4 中，從路線 1 往右側方向可分歧成路線 2 及路線 3；若從另一方向來看，則路線 2 與路線 3 會匯集成路線 1。

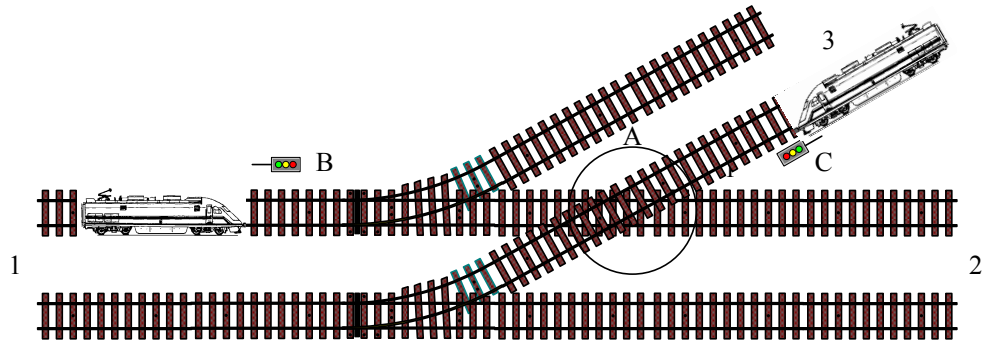


圖 2-4 路線銜接點

銜接點的容量瓶頸係發生在平面交叉的位置，也就是圖中 A 點的位置，由路線 1 往路線 2 的列車，會與從路線 3 駛向路線 1 的列車產生衝突，因此當路線 1 的列車通過 A 點後，必須間隔一段清除聯鎖的時間後，路線 3 的列車方能駛入路線 1，此一時間間隔稱為銜接點運轉時隔。若列車密度很高時，最好改成立體交叉（Flying Junction）。

若以列車及小時分別為客體及時間單位，銜接點容量係指每小時通過銜接點的最大列車數：

$$C_j = f_{j,\max} = \frac{3600}{h_{j,\min}} \tag{2.10}$$

式中：$f_{j,\max}$=列車通過銜接點之最大頻率（TU/h）

$h_{j,\min}$=兩連續列車之間通過銜接點的最小運轉時隔（s/TU）

銜接點的運轉時隔$h_{j,\min}$通常會大於路段上的運轉時隔$h_{w,\min}$（即$h_{j,\min} > h_{w,\min}$），相對的，銜接點容量C_j會小於路段容量C_w（即$C_j < C_w$）。

5. 路線容量

路線容量為單位時間內，通過路線上任一固定點的最大客體數。由於係以整條路線為分析對象，路線容量必須考慮路線經過的每一個路段、車站、折返點及銜接點的容量，如果每一列車均需通過路線上每一個空間參考點，則最瓶頸處將決定整條路線的容量。例如圖 2-5 中的路線包含六個不同的空間參考點，該圖顯示，「空間參考點 D」為最瓶頸的地方，因此整條路線的容量將受制於「空間參考點 D」的容量。此種概念可以用輸水管來比喻，如果將鐵路路線想像成一條輸水管的話，則「空間參考點 D」的容量將決定整條水管的流量。

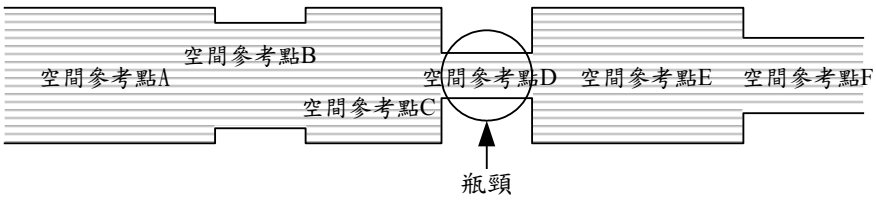


圖 2-5 路線容量示意圖

若時間及客體單位分別為小時及列車，則路線容量為每小時通過路線上任一固定點的最大列車數。依前述說明，路線容量應為路段容量、車站容量、折返點容量、銜接點容量中較小者，即：

$$C_l = \min_{i,j,k,m}\left(C_{w_i}, C_{s_j} C_{b_k}, C_{j_m}\right) = f_{l,\max} = \frac{3600}{h_{l,\min}} \tag{2.11}$$

式中：C_{w_i}=路線上第 i 個路段的容量（TU/h）

C_{s_j}=路線上第 j 個車站的容量（TU/h）

C_{b_k}=路線上第 k 個折返點的容量（TU/h）

C_{j_m}=路線上第 m 個銜接點的容量（TU/h）

$f_{l,\max}=\min_{i,j,k,m}\left(f_{w_i,\max},f_{s_j,\max},f_{b_k,\max},f_{j_m,\max}\right)$=路線上列車之最大服務頻率（TU/h）

$f_{w_i,\max}$=路線上第 i 個路段的最大服務頻率（TU/h）

$f_{s_j,\max}$=路線上第 j 個車站的最大服務頻率（TU/h）

$f_{b_k,\max}$=路線上第 k 個折返點的最大服務頻率（TU/h）

$f_{j_m,\max}$=路線上第 m 個銜接點的最大服務頻率（TU/h）

$h_{l,\min}=\max_{i,j,k,m}\left(h_{w_i,\min},h_{s_j,\min},h_{b_k,\min},h_{j_m,\min}\right)$=路線上兩連續列車之間的最小運轉時隔（s/TU）

$h_{w_i,\min}$=兩連續列車通過路線上第 i 個路段的最小運轉時隔（s/TU）

$h_{s_j,\min}$=兩連續列車通過路線上第 j 個車站最小運轉時隔（s/TU）

$h_{b_m,\min}$=兩連續列車之間通過第 k 個折返點的最小運轉時隔（s/TU）

$h_{j_m,\min}$=兩連續列車之間通過第 m 個銜接點的最小運轉時隔（s/TU）

根據美國的研究[48]，對於都會捷運系統而言，路線容量有高達79%的比例是受制於車站容量，有 15%的瓶頸發生於折返點，僅有 5%的比例是由銜接點所控制，因此路線容量通常是由路線上最繁忙（停車時間最長）的車站所決定。由於美國的研究係以旅客運輸為對象，而美國當地的鐵道大眾運輸系統通常採雙線配置及複線運轉，故上述結論應僅適用於複線運轉的路線。事實上如果採用單線運轉，則列車進入單線區間之前，必須等候反方向的列車進站後方能離站，因此路線容量是由路段容量所決定，而站間距離最長、運轉時間最久的路段則為最瓶頸的路段，也是決定路線容量的關鍵之處。

2.3.2 以運轉條件來區分

若依列車運轉條件的不同，鐵道容量包括最大容量（Maximum Capacity，記為C_M）、理論容量（Theoretical Capacity，記為C_T）、實用容量（Practical Capacity，記為C_P）、已使用容量（Used Capacity，記為C_U）與可利用容量（Available Capacity，記為C_R）[35]等幾種。各種容量的定義說明如下：

1. 最大容量

最大容量代表的是系統的極限，若以小時及列車為計算容量的時間及客體單位，最大容量為每小時通過路線上某一點的最大列車數：

$$C_M = f_{M,\max} = \frac{3600}{h_{M,\min}} \tag{2.12}$$

式中：$f_{M,\max}$=列車之最大服務頻率（TU/h）

$h_{M,\min}$=兩連續列車的最小運轉時隔（s/TU）

當列車流量趨近於最大容量時，除了第一次列車之外，其餘列車的運行會受到前車的阻礙而遇到注意或險阻號誌，以致於無法全速運轉。雖然列車在遇到阻礙的情形下運轉會降低平均速度，但因為列車的空間間距也縮小，因此運轉時隔可以更小，容量可以達到最大[9, 41]。惟此時的列車的平均延滯會急劇的增加，而導致運輸效率不彰，因此實務上通常不會在最大容量的情況下來運轉。

2. 理論容量

理論容量為「理想狀況下，單位時間內通過路線上某一點的最大客體數」。若以小時及列車為計算容量的時間及客體單位，則理論容量可依下式計算而得：

$$C_T = f_{T,\max} = \frac{3600}{h_{T,\min}} \tag{2.13}$$

式中：$f_{T,\max}$=理想狀況下，列車之最大服務頻率（TU/h）

$h_{T,\min}$=理想狀況下，兩連續列車的最小運轉時隔（s/TU）

理想狀況是指列車依照系統的最小運轉時隔循序運轉，沒有任何人為以及機械因素的干擾,也沒有考慮到列車的速度差異、車種組成，以及服務的可靠度等因素，簡言之，亦即不考慮運轉寬裕時間與各種隨機效應。另外，理論容量是假設列車在運轉中途不會受到號誌的阻礙,即列車在號誌常綠下運轉,不會遇到注意或險阻號誌,此點與「最大容量」時，列車於運轉過程中可能遇到注意號誌的狀況不同。理論容量的概念可應用於各種空間參考點以及客體單位所定義的容量，例如理論路線容量。

3. 實用容量

實用容量係正常營運條件下，單位時間通過路線上某一點的最大客體數。若以小時及列車為計算容量的時間及客體單位，則

$$C_P = f_{P,\max} = \frac{3600}{h_{P,\min}} \tag{2.14}$$

式中：$f_{P,\max}$=正常營運條件下，列車之最大服務頻率（TU/h）

$h_{P,\min}$=正常營運條件下，兩連續列車的最小運轉時隔（s/TU）

由於正常營運條件考慮了列車的速度差異、車種組成，以及服務的可靠度等因素，同時假設列車在號誌常綠下運轉，因此其運轉時隔$h_{P,\min}$必須包含運轉寬裕時間，以反映各種隨機效應，而其值會大於理想狀況下之運轉時隔$h_{T,\min}$（即$h_{P,\min} > h_{T,\min}$），故實用容量會小於理論容量（即$C_P < C_T$），其關係如下：

$$C_P = \varepsilon C_T \tag{2.15}$$

式中：ε=列車排班及調派的效率（Dispatching Efficiency）[21]。

實用容量又稱為時刻表容量（Timetable Capacity），也就是列車排班作業所能安排的最大列車數。一般而言，實用容量愈接近理論容

量，則其排班效率越高。實用容量的概念同樣可以應用至各種空間參考點以及客體單位所定義的容量，例如實用車站容量。

4. 已使用容量

已使用容量係指實際的列車流量（以列車為客體單位）或旅客乘載量（以旅客為客體單位）。已使用容量反應了列車速度差異、車種組成以及實際的營運情況。

5. 可利用容量

可利用容量（又稱剩餘容量）係實用容量與已使用容量之間的差異，代表額外可以利用的容量。可利用容量愈高，表示營運仍有許多彈性，但也表示目前的營運績效較低，相反地，可利用容量愈低，表示使用容量已接近實用容量，沒有太多擴充的餘地。最大容量、理論容量、實用容量、已使用容量及可利用容量的關係可以表示如圖 2-6 所示。

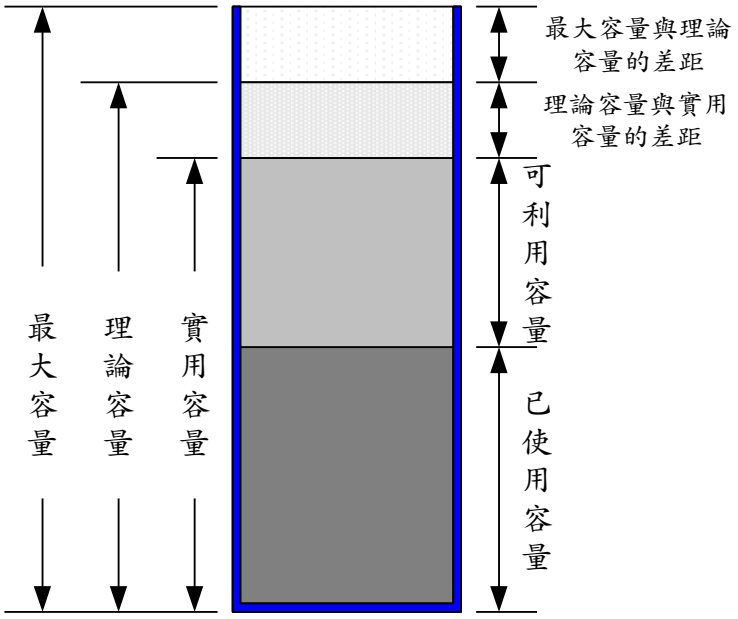


圖 2-6 最大容量、理論容量、實用容量、已使用容量及可利用容量的關係示意圖

2.3.3 以乘客（位）為客體單位的容量

對於專營旅客運輸的鐵道系統，例如都會捷運系統，其計算容量時的客體單位通常會採用乘位數或乘客數。相關的容量包括最大供給容量（Maximum Offered Line Capacity，記為C_o）、最大使用容量（Maximum Utilized Capacity，記為C_u），以及表訂服務容量（Scheduled Service Capacity，記為C_t），分別解釋如下。

1. 最大供給容量

若以乘位為客體單位，小時為時間單位，則最大供給容量為每小時路線上所能運送的最大「乘位數」，其計算方式為每小時通過的最大列車數，與每列車乘位數之乘積，如式(2.16)。若每次列車的掛載車廂數與乘位數有所不同時，應以平均的概念修正。

$$C_o = C_l c_t = C_l n_v c_v = f_{l,\max} n_v c_v \tag{2.16}$$

式中：c_t=每列車包含坐、站位的乘位容量（sps/TU），又稱列車容量

n_v=每次列車所掛載之車廂數（veh/TU）

c_v=每一車廂的乘位容量（sps/veh），又稱為車廂容量

路線最大供給容量又稱為「設計容量（Design Capacity）」[48]，為系統設計所提供的運輸能力。但由於乘客到達車站的時間以及在車廂內的分布情形不太可能呈現均勻分配，因此有許多運能其實是無法使用的，故設計容量在實務上並不可能達成。

2. 最大使用容量

最大使用容量通常是以乘客及小時為客體及時間單位，其定義為一小時內，通過路線上任一固定點的最大可能「乘客數」，其與最大供給容量最主要的差異在於客體的單位，C_o的客體單位為乘位數，而C_u的客體單位為乘客數，因此C_o代表的是系統的最大供給量，而C_u則為乘客的實際最大使用量。理論上C_u可以等於C_o，但實際上，每一車廂的乘客乘載（Passenger Loading）很少能一直維持在車廂容量的水準，

因此在絕大多數的情況下，$C_u < C_o$。最大使用容量又稱「可達成容量（Achievable Capacity）」[48]，表示實際上可能使用到的最大容量。

3. 表訂服務容量

若分別以乘位及小時為客體及時間單位，則路線表訂容量為在特定的營運時刻表（Timetable）下，每小時路線上所能運送的最大乘位數。表訂服務容量可由下式計算而得：

$$C_t = f_t c_t = f_t n_v c_v \tag{2.17}$$

式中：f_t=表訂列車服務頻率（TU/h）

理論上，表訂列車服務頻率 f_t 必須小於或等於路線上列車之最大通過頻率 $f_{l,\max}$，因此表訂容量應小於或等於路線最大供給容量，即 $C_t \le C_o$。有時候路線的最大供給容量很大，但實際的營運班次很少，則表訂服務容量會遠小於設計容量。由於表訂服務容量是基於營運時刻表所計算出來的容量，而時刻表係考慮路線的條件、列車的車種組成、可用車輛數、列車的交會及待避，以及系統號誌運作的成果，因此表定服務容量最接近實際的情況。

2.4 鐵道容量的使用效率

在進行容量分析時，經常會計算容量利用率，用來評估系統設施的使用強度或服務水準（請參閱第五章）。容量利用率為實際的需求與供給的比率，而針對不同的容量，則可定義出不同的容量利用率，鐵道運輸系統較常用到的指標有表訂容量利用率或路線利用率（Scheduled Line Capacity Utilization Coefficient）、乘載係數（Load Factor），以及客座利用率。

1. 表訂容量利用率（路線利用率）

表訂容量利用率δ為「以旅客數為客體單位」之路線表訂服務容量與路線最大供給容量的比率，即

$$\delta = \frac{C_t}{C_o} \tag{2.18}$$

路線利用率η則是「以列車數為客體單位」之容量比率，即

$$\eta = \frac{f_t}{C_l} = \frac{f_t}{f_{l,\max}} \tag{2.19}$$

表訂容量利用率δ與路線利用率η皆是實際供給與最大供給的比值。若計算服務容量與最大供給容量時，係基於相同的列車容量，則表訂容量利用率與路線容量利用率的計算值是相同的，關係式如下：

$$\delta = \frac{C_t}{C_o} = \frac{f_t c_t}{f_{l,\max} c_t} = \frac{f_t}{f_{l,\max}} = \eta \tag{2.20}$$

必須注意的是，有些系統可容許的列車最大編組車廂數與實際營運的編組數不同，則此時表訂容量利用率δ會小於路線利用率η。δ可顯示出表訂容量的飽和程度，當δ很高時，表示表訂容量非常接近路線之最大供給容量，已無太大的擴充餘裕。

2. 乘載係數

就旅客運輸而言，乘載係數α是指實際的乘客流量P（Passenger Flow）與路線表訂容量C_t的比值，即

$$\alpha = \frac{P}{C_t} \tag{2.21}$$

乘載係數α可顯示乘客的擁擠程度，α愈大，乘客愈擁擠，對於旅客的舒適度而言，其服務水準愈低。

由式(2.18)及(2.21)可得到如下關係：

$$P = \alpha C_t = \alpha \delta C_o = \alpha \delta f_{l,\max} c_t \tag{2.22}$$

鐵道運輸系統每一個路線區間的乘載係數因載運旅客數的不同而可能有所差異，若需綜觀整條路線的乘載係數，通常會將旅客搭乘距離的觀念導入，而以平均值的方式來表示，如下式所示：

$$\overline{\alpha} = \frac{\sum_{l} p_l d_l}{C_t L_n} = \frac{\sum_{i} d_i}{C_t L_n} \tag{2.23}$$

式中：$\overline{\alpha}$=平均乘載係數

p_l=路段l的旅客量（prs/h）

d_l=路段l的區間長度（km）

d_i=分析時間範圍內第i位旅客的搭乘距離（km）

C_t=表訂服務容量（sps/h）

L_n=列車營運路線長度（km）

3. 客座利用率

乘載係數是實際的乘客流量與服務容量的比值，比較適用於分析以站位為主的短距離鐵道運輸系統（例如都會捷運系統）。對於中長程旅客運輸而言，由於乘車舒適性的要求較高，售票時通常會指定乘客的座位，因此會以實際座位的使用量與座位容量的比例來反應乘載的強度，而此一測度指標即為客座利用率。客座利用率的計算式類似於式(2.21)，但此時乘客流量為有座位的旅客量，而路線表訂容量c_t的單位為每小時的座位數（seats/h），有別於計算乘載係數時所使用的乘位數（sps/h）。另外，客座利用率也會隨著路線區間而異，若需綜觀整條路線的客座利用率，同樣須導入搭乘距離的觀念，而以平均值的方式來表示之，類似於式(2.23)。

2.5 容量衍生的相關術語

除了容量的定義及使用效率之外，還有一些與鐵道容量相關的術語，其中比較重要的包括乘載變異因子與最大乘載區間，分別說明如下：

1. 乘載變異因素

在分析鐵道系統的可達成容量時，必須考慮旅客的變異情形，因為旅客不可能均勻到達，也不可能均勻的分布在每一列車的每一個車廂內，且運能本身具有不可儲存的特性，因此實際上可達成的容量可能低於供給容量，故在計算可達成容量時，必須考慮旅客的乘載變異特性。旅客乘載不均勻之原因可歸納為三種不同之類型：

(1) 不同列車之乘客乘載不均勻

即使是列車服務型態一致的捷運系統，旅客到達車站的分布也並非完全隨時間呈現均勻分布，而且部分旅客搭乘捷運系統時會因為認為車廂過度擁擠或其他因素自願搭乘後續班次，更遑論班距較長之傳統鐵路系統。大多數傳統鐵路旅客在到達車站前皆已參照時刻表進行符合自身需求的班次選擇，因此不同列車間乘載的旅客會有所變異與差距，這些變化會依不同時間與空間（車站）而有所差異。

(2) 同一列車內不同車廂之乘客乘載不均勻

對於提供站位的系統，由於較接近出入口、電扶梯之旅客較多，因此月臺出入口或電扶梯附近車廂的旅客會較多，造成旅客乘載不均勻，對都會捷運系統而言，同一列車個別車廂乘載差異範圍為 61%~33%[34]。於月臺之中央、末端、三分之一處之間設置出入口，可以改善列車中不同車廂旅客乘載之不均勻，但因每個車站的可用土地及空間配置不可能完全一樣，故此法在實務上不可能達成。其他方法包括：間隔月臺出入口、增加出入口、出入口設置於車站中間、主要出入口設置電扶梯等。對於需要劃位的

系統，旅客於不同車廂乘載的不均勻還與售票系統的劃位方式有關。

(3) 同一車廂乘客乘載不均勻

旅客站立密度最高處為車門附近，最低處視車門配置而異，若車門在車廂兩端（如臺鐵推拉式客車），車廂中間的旅客站立密度最低;若車門配置在車廂中間,則車廂兩端的站立密度最低;一些歐洲通勤鐵路系統為降低車廂兩端之不均勻分布，會在車廂盡頭處加一允許單一旅客流之邊門。對高乘載率車廂之改進之道包括：車廂兩端設車門、設計較寬之走道、設置適當之扶手以利站立乘客往車廂末端移動。同樣對於需要劃位的系統，旅客同一車廂乘載的不均勻亦與售票人員的劃位方式有關。

考慮上述三種不同變異之因子稱為乘載變異因子（Loading Diversity Factor, 記為ρ_d），係用以反映乘載差異程度，由於與系統特性有關，通常必須藉由調查而得。但對於不容許站位的系統，如果旅客夠多，每個乘位均會被旅客所使用，因此乘載變異因子為 1，代表供給容量等於可達成容量。

乘載變異因子ρ_d的值為一個小於等於 1；大於 0 的實數。其值等於 1 時，表示乘位完全被均勻利用，而當乘載變異因子愈小時，乘位的利用情形愈不均勻，亦即實際的「乘載變異」愈大時，「乘載變異因子」的數值愈小,故在描述時應特別注意,以免在溝通時造成誤解。

由於乘載變異因子可以反應乘位的實際使用情形，因此透過尖峰小時因素以及最大供給容量（設計容量），可以概算出最大使用容量（可達成容量），即

$$C_u = \rho_d C_o = \rho_d f_{l,\max} c_t = \rho_d f_{l,\max} n_v c_v \tag{2.24}$$

2. 最大乘載區間

最大乘載區間（Maximum Load Section）乃是指路線上具有最大實際旅客運載量的路段，通常是指兩站之間[55]。例如以圖 2-7 為例，

圖中顯示了由 A 站至 J 站各區間的旅客乘載量，其中乘載量最高的區間為 F 站至 G 站間，因此該區間即為最大乘載區間。

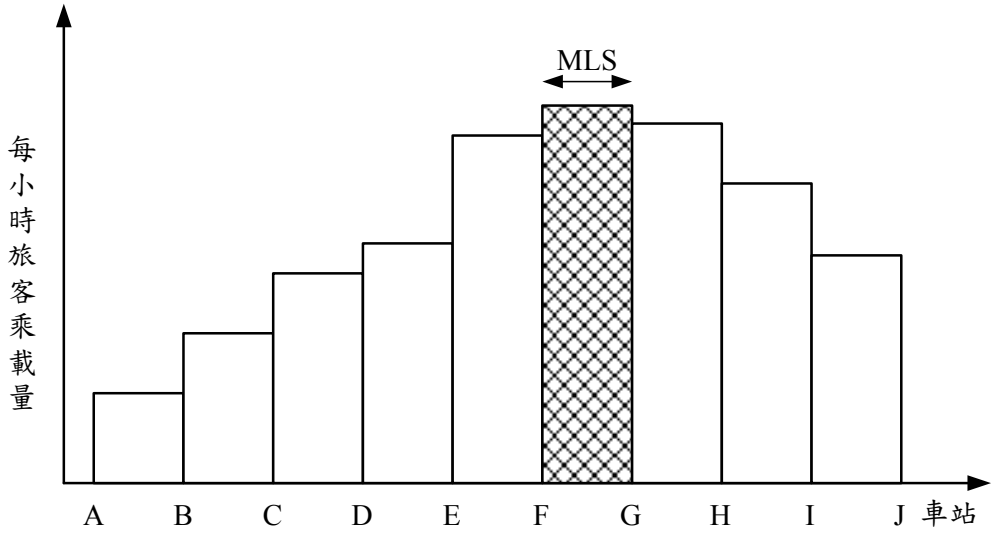


圖 2-7 最大乘載區間示意圖

對於區域鐵路而言，最大乘載區間一般會出現在較大的都會區附近；對於都市鐵路而言，最大乘載區間則是出現在轉乘站或與其他鐵道運輸系統共構的車站附近。求算最大乘載區間的方法必須先取得路線上單向各車站的旅客上下人數如圖 2-8，再將各車站的累積的旅客數繪製如圖 2-9，最後將各路段的累積上車數扣除累積下車數可得到如圖 2-10 之乘載分布[55]。

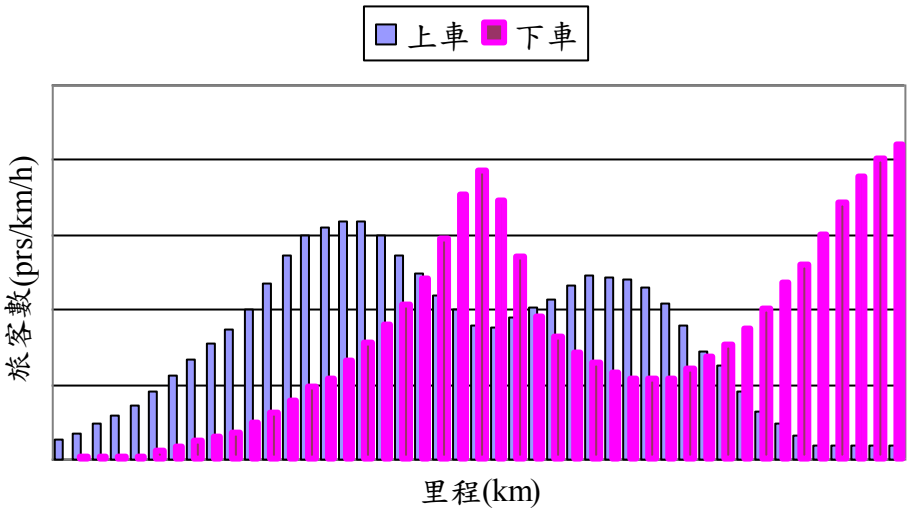


圖 2-8 最大乘載區間求算－旅客上下車分布圖

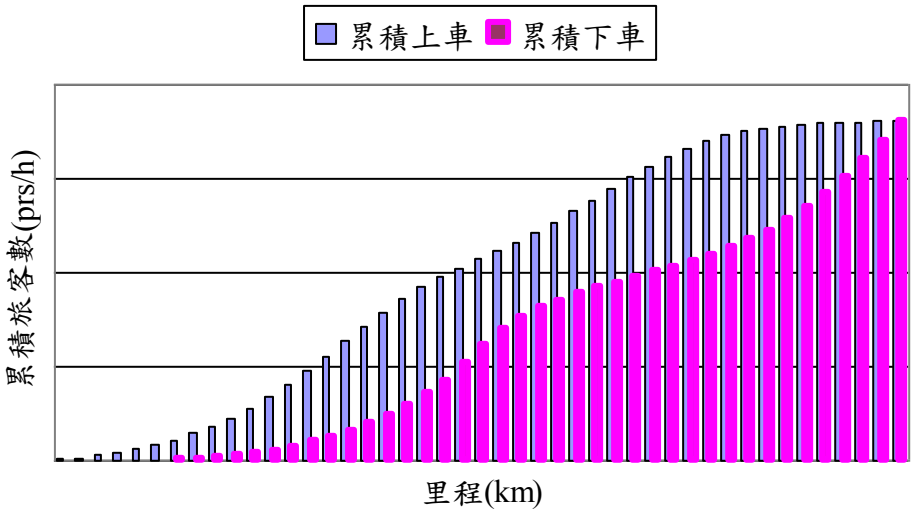


圖 2-9 最大乘載區間求算－累積旅客上下車數分布圖

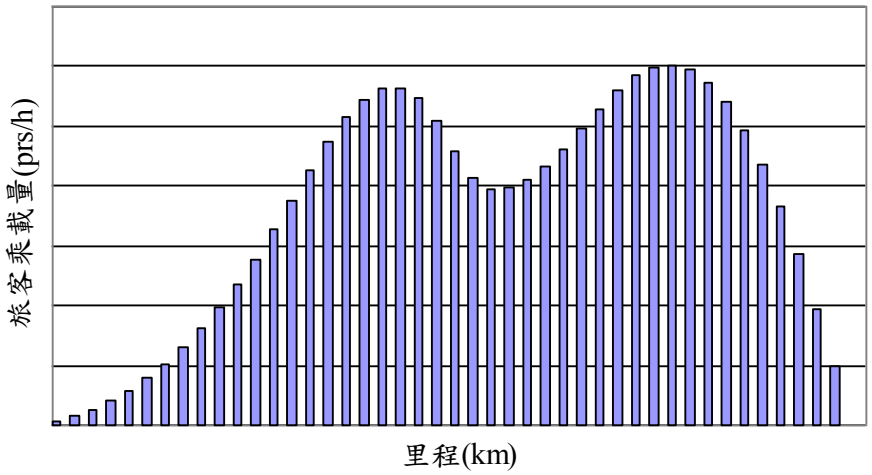


圖 2-10 最大乘載區間求算結果示意圖

2.6 容量客體單位的轉換

第 2.3 節中曾介紹以列車及乘客（位）為客體單位的容量，兩者之間的關係主要係透過列車的載運容量，以及容量利用率、乘載係數（請參閱第 2.4 節）與乘載變異因素（請參閱第 2.5 節）來轉換。這些變數之間的關係可描述如圖 2-11 所示，從中可以清楚瞭解不同容量以及相關變數之間的數學關係。

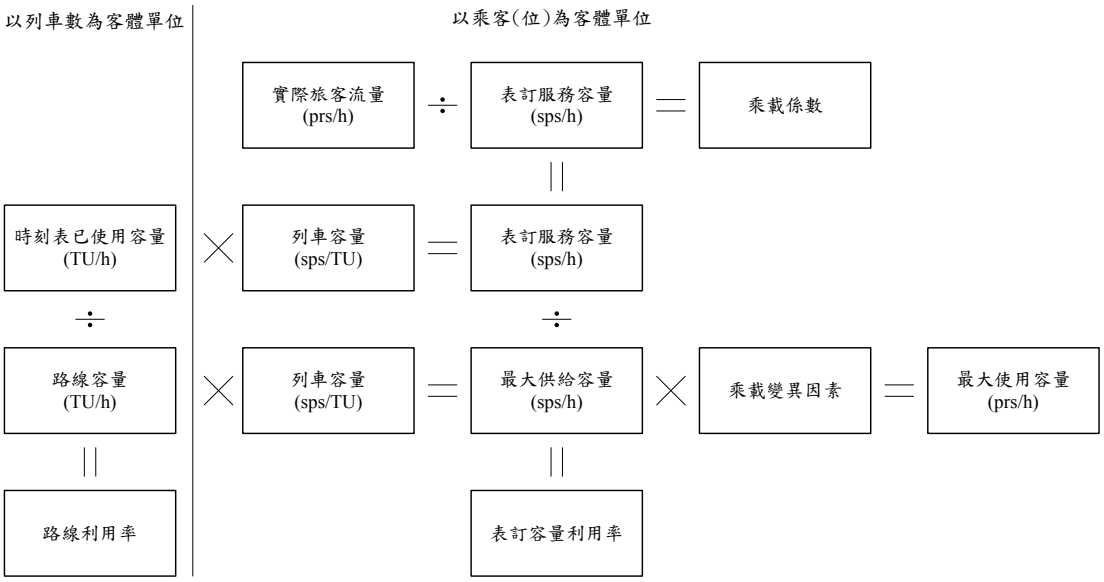


圖 2-11 容量客體單位的轉換與變數之間的關係

第三章 鐵道容量的影響因素

從第二章最大使用容量的定義 $C_u = \rho_d C_o = \rho_d f_{l,\max} c_t = \rho_d f_{l,\max} n_c c_v$ 可知，路線最大使用容量 C_u 的大小取決於列車之最大服務頻率 $f_{l,\max}$ 、列車掛載之車廂數 n_c 、車廂的容量 c_v ，以及乘載變異因子 ρ_d ，其中以列車最大服務頻率 $f_{l,\max}$（或最小運轉時隔 $h_{l,\min}$ ）為最關鍵的因素。因此凡是會影響 $h_{l,\min}$ 、 n_c 、 c_v 、 ρ_d 的因素均會間接影響到路線的最大使用容量，各項影響因素說明於以下各小節：

3.1 運轉時隔的影響因素

由於列車服務頻率 $f_{l,\max}$ 為最小運轉時隔 $h_{l,\min}$ 的倒數，因此探討影響列車最大服務頻率的因素必須從最小運轉時隔 $h_{l,\min}$ 的角度分析。 $h_{l,\min}$ 的大小主要是受制於運轉條件，可概分為路線條件、交通條件及控制條件三類。各項影響因素簡單整理列表如表 3.1 所示，並說明於以下各小節：

表 3.1 影響運轉時隔的因素

分類	影響因素	
路線條件	• 站間軌道數目與運轉方式 • 站內軌道及月臺佈置方式 • 站間距離 • 路線幾何條件	• 銜接點與折返點的配置 • 基地位置及配線 • 路線供電穩定度 • 路權型態
交通條件	• 列車性能 – 列車牽引性能 – 煞車性能 – 最大速度 • 阻力係數	• 列車的交通組成 • 列車的方向分布 • 停站時間與停站型態 • 可用列車數
控制條件	• 列車操控方式 • 閉塞制度的種類 • 辦理閉塞的方式	• 閉塞號誌的配置方式 • 閉塞區間長度 • 路口號誌設計（B 型或 C 型路權）

資料來源：[8]及本研究分析整理

3.1.1 路線條件

路線為列車運轉的通路，因此路線條件的好壞會影響到路線容量的大小，主要的影響因素有以下幾種：

1. 站間軌道數目及運轉方式

站間軌道數目的多寡會直接影響到路段的容量，軌道數目愈多，路段容量愈大；例如雙軌區間的容量會大於單軌區間的容量。路線的運轉方式攸關列車的最小運轉時隔，以單線運轉時(軌道可雙向通行)，最小運轉時隔是指兩對向列車通過同一車站的時間間隔的一半；以複線運轉時（軌道僅准許單向通行），最小運轉時隔是指先行及續行列車通過路段上同一點的最小時間間隔，因此同樣是雙軌的路段，複線運轉的路段容量會高於雙單線運轉的路段容量。例如圖 3-1 中，在同樣的時間內，以單線運轉方式僅可提供三次列車通行，但採複線運轉時，則可提供高達七次列車通行。單線運轉及複線運轉的定義請參閱第四章的說明。

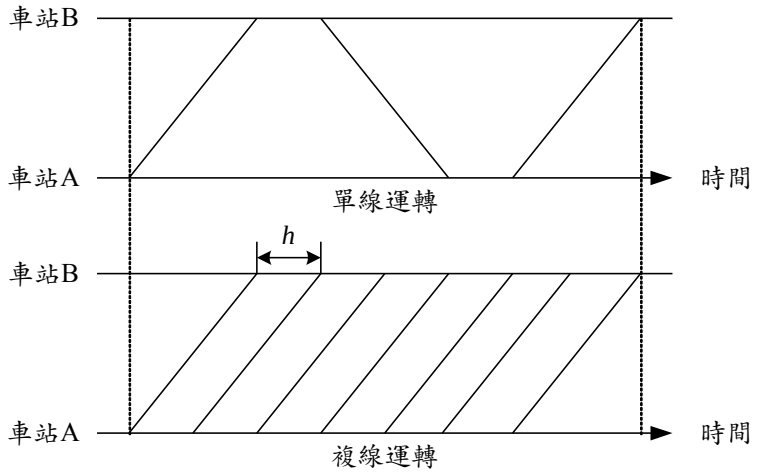
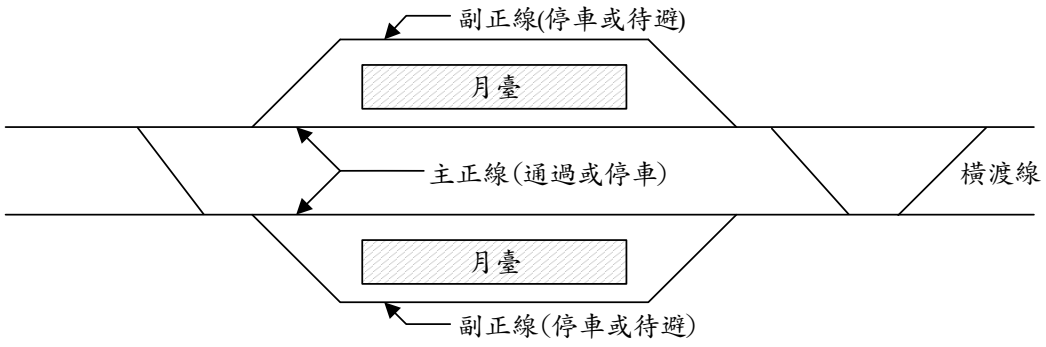


圖 3-1 路線運轉方式對鐵道容量的影響

2. 站內軌道及月臺佈置方式

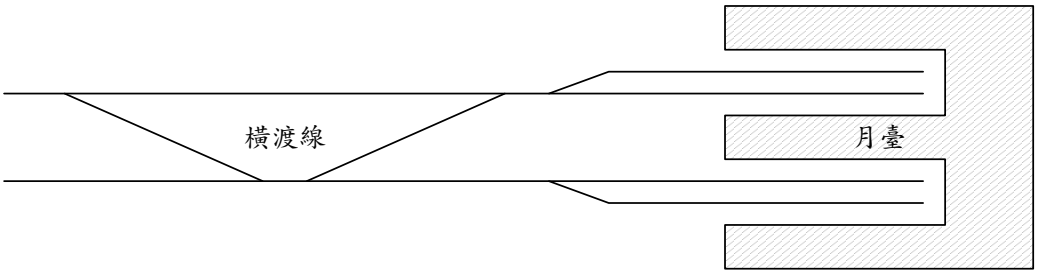
車站內的軌道佈置方式攸關車站容量甚鉅。圖 3-2(a)為傳統鐵路系統典型的車站軌道佈置方式，其中主正線提供列車停車或通過使用，而副正線則供列車停車及待避用；在某些交通量較大的車站，亦可能有專用的待避線（不臨月臺面）存在。當車站內有很多的軌道時，續

行列車進站時比較不會受到先行列車的影響，因此容量較高。若車站內的軌道數與站間的軌道數相同時，例如臺北捷運系統(如圖 3-2(b))，則列車進站的運轉時隔會增加，因而導致容量降低。另外，在歐洲及日本的某些終點站乃是採端末式月臺的配置。列車進出端末式車站的運轉方式係綜合折返點及銜接點的特性，此時車站的配線方式會影響列車的運轉時隔。



(a) 傳統鐵路系統典型車站佈置

(b) 臺北捷運系統典型車站佈置



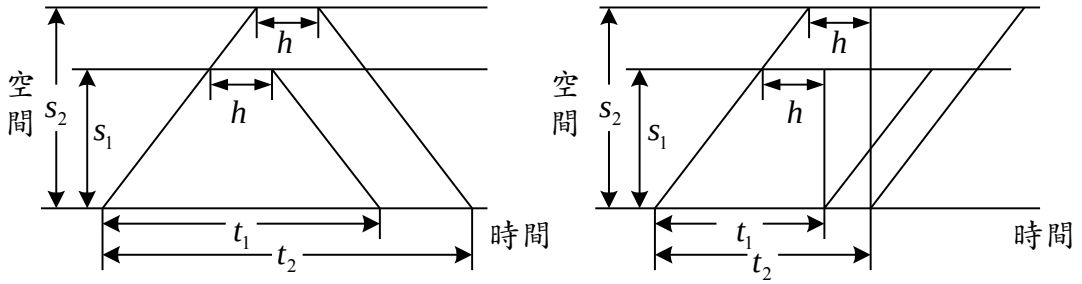
(c) 端末式車站佈置

圖 3-2 傳統鐵路及捷運系統典型的車站佈置方式

3. 站間距離

對單線運轉的兩對向列車而言，其中一列車必須於車站中等待，俟另一次列車到站並辦理完閉塞手續後方能離站；對非自動閉塞區間的同向列車而言，續行列車必須俟先行列車到站並辦理完閉塞手續後

方可離站，由於站間距離的長短會影響列車的站間運轉時間，因此會進而影響到列車的運轉時隔。從圖 3-3 的列車運轉時空圖可看出，站間距離增加時，列車的運轉時隔亦隨之增加。



(a) 單線運轉區間　　(b) 非自動化閉塞區間

圖 3-3 站間距離對運轉時隔的影響

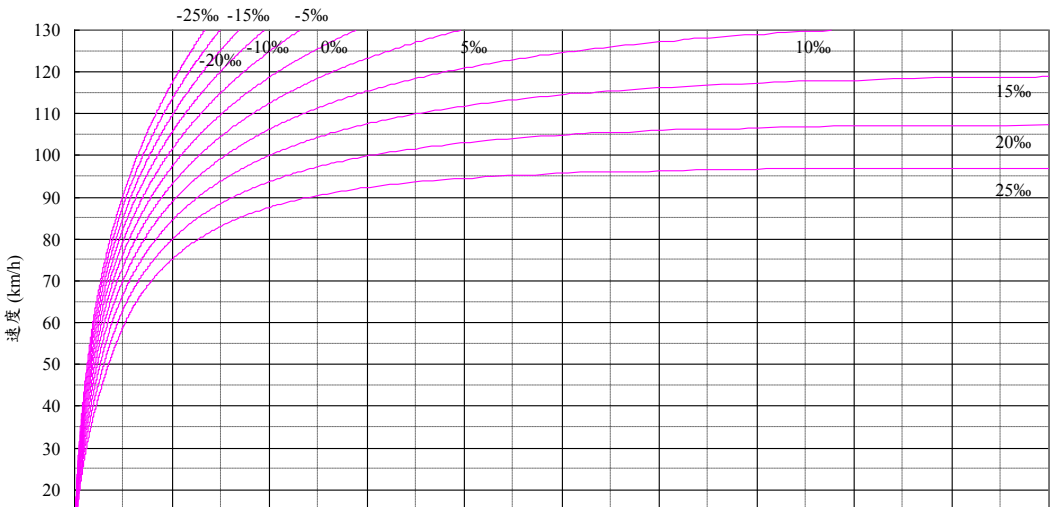
4. 路線的幾何條件

路線的幾何條件會影響列車的運轉行為，進一步影響到容量的大小。路線線形對列車運轉最主要的影響在於阻力及速限，列車經過彎道或坡道時，會比直線路段產生更多的阻力，而影響到列車的加減速性能；另外，基於安全的因素，列車行經彎道或下坡道時通常不能全速運轉，以免發生翻覆或貿進閉塞區間的危險。

圖 3-4 及圖 3-5 為臺鐵推拉式自強號在不同坡度下之動力運轉及緊軔曲線，這些圖顯示，路線坡度對列車的加減速性能有很大的影響，間接的也會影響到閉塞區間的長度以及相鄰列車之間的運轉時隔。

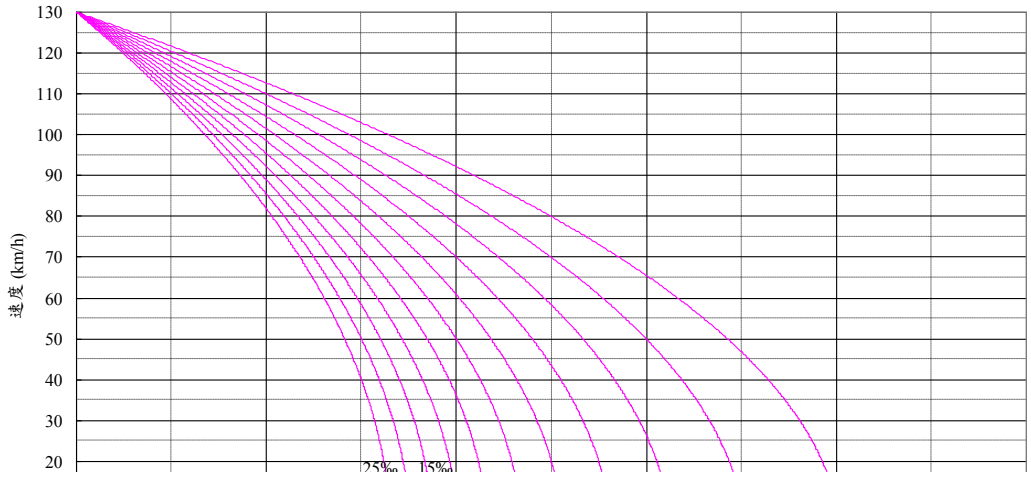
5. 銜接點及折返點的配置

路線的銜接點及折返點的配置，例如銜接路線的多寡、道岔的號數、橫渡線的佈設位置與方式等，會影響到列車通過銜接點及折返點所需的運轉時隔。另外，在折返點處是否有列車整備或是司機員交班等作業，均會影響運轉時隔。



資料來源：中興工程顧問社 TrainSim 列車運轉模擬軟體模擬結果

圖 3-4 臺鐵推拉式自強號牽引 12 輛客車之動力運轉曲線



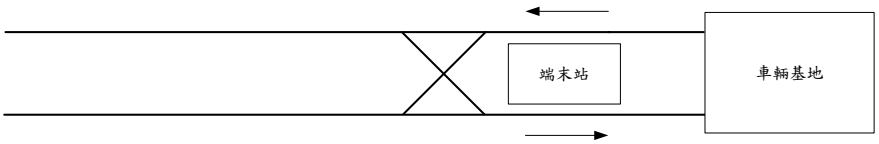
資料來源：中興工程顧問社 TrainSim 列車運轉模擬軟體模擬結果

圖 3-5 不同坡度下推拉式自強號（計畫減速度 2 km/h/s）之煞車性能

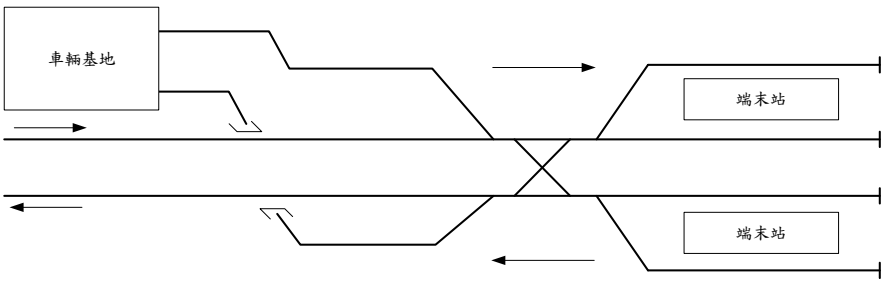
6. 基地位置及配線

路線的始發站及終點站，通常會銜接至車輛基地，提供車輛儲存、整備、檢修、改換編組等作業的場所。基地的位置及配線，攸關列車

的運轉時隔。若為抽出式的基地(基地位置在始發站及終點站的外側，例如圖 3-6(a))，則類似於一般通過型的車站的運轉方式，對運轉時隔的影響較小；如為往返式基地（車輛基地位於營運路線的內側，例如圖 3-6(b)），若無專用的機廠側線或拖上線，將導致車輛到開或迴送時，佔用營運軌道，而影響正常營運列車運轉時隔的情形。



(a) 車輛基地位於營運路線外側(抽出式基地)



(b) 車輛基地位於營運路線內側(往返式基地)

圖 3-6 車輛基地位置及配線

7. 路線供電條件

目前大部分的鐵道系統均採用電力車輛，列車的性能表現除了與車輛本身的設計有關之外，供電電壓的穩定度和總供電量也會影響列車運轉性能的表現，進而間接影響運轉時隔。

8. 路權型態

鐵道系統的路權型態可分為 A 型（完全立體分隔的專用路權）、B 型（縱向分隔但橫向有平交道）及 C 型（混合路權）三種[54]；路權的型態會影響到鐵道系統的容量。A 型路權的鐵道系統，列車有完全的路線使用權，容量比較高；B 型路權的鐵道系統，列車經過平面交叉道路時，可能會因橫向道路上有其他運具使用路口，影響到列車通過路口的使用權而降低容量；至於 C 型路權的鐵道系統，列車運行方向也可能有其他運具在使用，對列車運轉的干擾最大，容量更低。

值得一提的是，從容量分析的觀點而言，路權的型式除了根據實質的分隔條件來區分之外，亦須考慮列車運轉的優先特性，例如縱向分隔但有橫向平交道的系統，如果列車經過平交道時擁有絕對的優先通行權（例如臺鐵），在容量分析時應該視為 A 型專用路權。

3.1.2 交通條件

會影響最小運轉時隔的交通條件主要包括列車性能、交通組成、方向分布、停站方式及停站時間等，說明如下：

1. 列車性能

運轉時隔係指兩連續列車通過路線上同一點的時間間隔，因此列車的性能（加減速、運轉速度）會影響最小運轉時隔的大小。一般會認為列車速度增加時，運轉時隔會縮短，但實際上因為列車的速度較高，兩連續列車之間的安全距離必須增加，因此運轉時隔與列車速度之間的關係並非單調的負相關，當列車速度過快或過慢時，均會增加兩連續列車之間的運轉時隔，故存在最佳化的速度可使得運轉時隔達到最小[48, 54]。

影響列車運轉性能的因素包括列車的牽引特性、煞車特性、阻力係數的大小、列車的載重、等效質量係數、速度限制，以及路線的幾何條件（彎道及坡度的大小）等，詳細關係請參閱文獻[31, 32]。

2. 列車的交通組成

交通組成（Traffic Composition）係指不同編組列車的比例，舉例說明，臺鐵系統擁有各式機車及客、貨車，因此編成各級旅客列車及貨物列車。由於不同等級之列車的速度不一，停站方式也不同，對列車的安全運轉造成很大的干擾，因此會影響到路線容量。圖 3-7 顯示若系統內僅有一種編組的列車（如捷運系統），則在路線上的任何一點大致可維持一致運轉時隔，因此容量會較高；倘若有多種等級的列車一起運轉（如臺鐵系統），則路線上不同地點的運轉時隔會不同，導致時間的損失，因此容量較低。

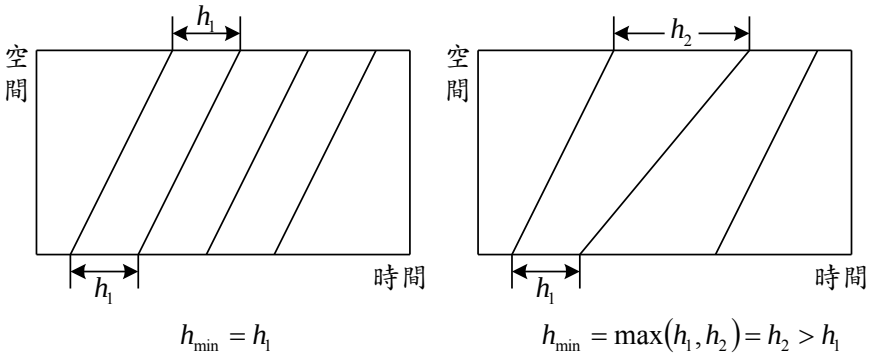


圖 3-7 列車交通組成對運轉時隔的影響

3. 列車的方向分布

方向分布（Directional Distribution）是指列車運轉方向的比例分配。對於複線運轉的路線，不同方向的列車使用不同的軌道，因此列車的方向分布不會影響到路線容量，但對於單線運轉的路線，軌道設備必須分配給不同方向的列車使用，因此方向分布攸關容量甚鉅。圖 3-8 顯示，當列車上下行比例為 3:1 時，在 T 時間內總共開行 12 次列車（上行 9 次、下行 3 次），因此運轉時隔約為 $T/12$；當方向分布為 2:1 時，開行列車減至 10 次，此時運轉時隔增加為 $T/10$；若上下行列車的比例相當時，開行列車減至 7 次，運轉時隔則增加至 $T/7$。臺鐵的路線容量計算式[16]係以方向比例相同的情況下來計算，然而實際運轉時則大多採用複線運轉（即方向比例懸殊），因此會有高估班距而導致容量被低估容量的疑慮。

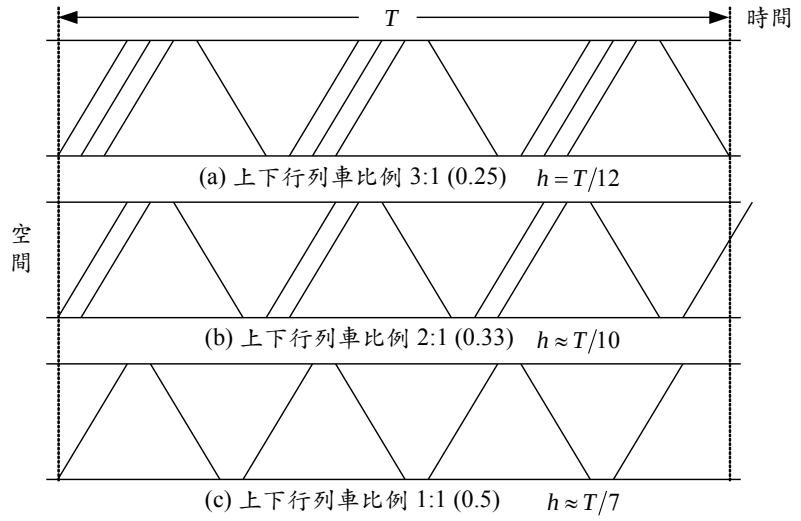


圖 3-8 列車方向分布對運轉時隔的影響

4. 列車的停站方式與停站時間

列車停站方式（跳站停或每站皆停）會影響路線容量，停站方式的種類愈多，列車彼此間的干擾愈大，路線容量愈低；又列車停站時間亦會影響路線容量，特別是車站內軌道數與站間軌道數相同時，先行列車停站會阻礙續行列車進站，因此會增加運轉時隔，導致容量的降低。圖 3-9 顯示若先行列車 i 不停站時，其與列車 j 的運轉時隔為 h；若列車 i 必須停站時（即沿 i' 的軌跡運轉），則續行列車必須沿 j' 的軌跡運轉，兩者之間的運轉時隔增加為 $h+t_d$ 列，其中 t_d 為先行列車的停站時間。

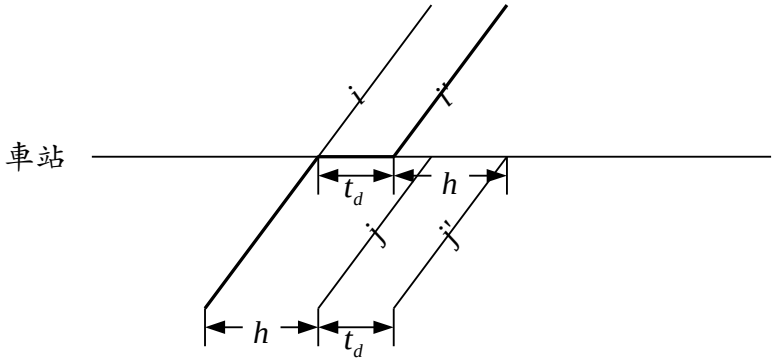


圖 3-9 停站時間對運轉時隔的影響

停站時間依涵義可區分為廣義與狹義兩種。廣義的停站時間乃指列車進站停妥後至列車啟動離站所需的時間，狹義的停站時間則是不考慮列車交會待避所額外增加的停站時間，亦可視為提供旅客上下車的時間。

由圖 3-10 可知，狹義的停站時間總共包括幾個部份：列車開門時間、旅客上下車流動時間、列車關門時間、等待出發時間。所謂的等待出發時間，是在車門關妥之後，列車可以啟動之前，另外再加上幾秒的安全強化延滯時間（Enforced Safety Delay）。而在列車開門後，一般是下車旅客先動作，接著才進行上車動作，對於車門較寬的列車而言，有時會有一些上下車同時進行的重疊時間。

考慮列車交會或待避所需要時間時，亦由列車停妥起開始計算。視交會待避狀況及旅客數的多寡，其所需時間可能小於或大於狹義停站時間，如圖 3-10 的情境 1 與情境 2，而廣義的停站時間則為狹義停站時間與交會待避時間取大者。值得注意的是一般捷運系統由於同方向僅有單一軌道供利用，且為每站皆停的營運模式，並無所謂的交會待避情況發生，故無廣義與狹義停站時間的差別。

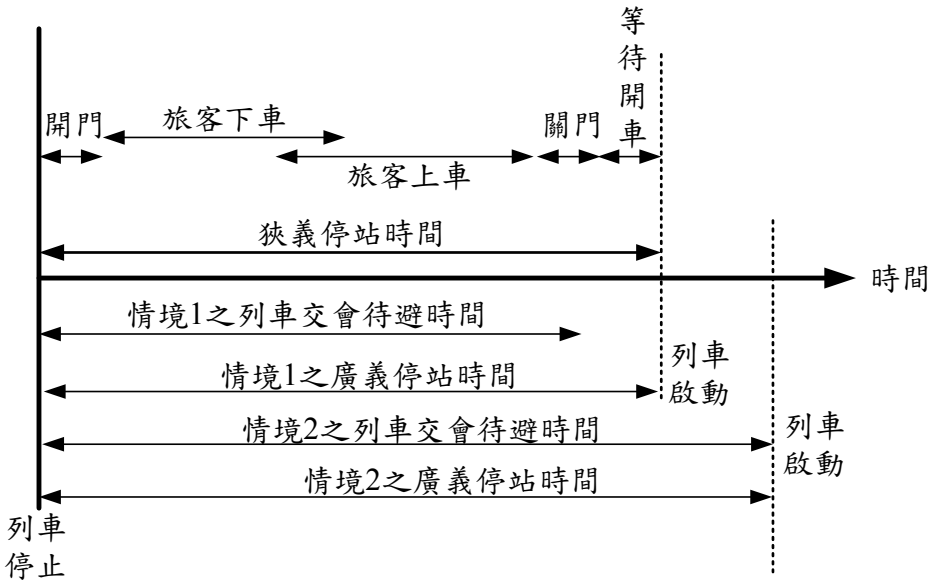


圖 3-10 廣/狹義停站時間示意圖

這裡所謂停站時間對容量的影響是著重在狹義停站時間部分，至於因交會待避所額外增加的停站時間應另外計算。列車的狹義停站時間主要是受到旅客上、下車及貨物裝卸作業時間的影響。對於旅客運輸而言，停站的時間主要與上、下車旅客的流量與型態、車門的多寡、大小、車廂內走道的配置、車廂地板與月臺的高差、旅次特性、旅客特性、月臺上候車的旅客數、車廂內已乘載人數、車門開啟及關閉時間及營運班距等因素有關。在旅客流型態方面，不同旅客流型態所需之上下車時間並不相同，例如下車型旅客流通常較上車型旅客流來得快，因而所需的停站時間較短。在車門開啟時間方面，自動控制系統較能使停站時間趨於一致，有些由司機員自行手動操作的系統，其停站時間的變異較大。

5. 可用列車數

鐵道容量探討的是軌道上的最大運送能力，故通常假設列車數充足，來分析路線條件、交通條件以及號誌控制條件下，列車循序運轉的最小時隔。惟若探討的對象是表訂服務容量，則必須考慮到可用的列車數量，因為實際的班表與車輛數息息相關。若車輛數不足，即使路線條件很好，列車性能優越且採用先進的號誌系統，列車仍無法依最小運轉時隔按時發車，此時的運轉時隔係受制於可用的列車數，而非路線及控制條件，而提升容量的方法係增購列車，而非改善路線條件及控制系統。

3.1.3 控制條件

為使列車能安全行駛於軌道上，鐵道運輸系統通常是透過行車制度以及號誌系統（詳見第四章的介紹）的設計來控制列車的行止。列車的控制條件是影響運轉時隔最關鍵的因素，主要的影響包括：

1. 列車的操控方式

列車的操控依自動化的程度不同分為許多種方式，採人工目視駕駛的系統（例如臺鐵），由於必須考慮人工辨識、判斷與反應時間，操作的精確度較差，會增加運轉時隔，而全自動化的系統(例如捷運)，列車的加減速等操作完全由電腦控制，精準度較高，運轉時隔會比較小。

2. 閉塞制度與辦理方式

鐵道系統的閉塞制度係用以指示列車加、減速以及行止的依據，閉塞制度可概分為固定閉塞制及移動閉塞制兩種。固定閉塞制的列車係由司機員以目視的方式遵照號誌的指示駕駛（或由列車自動駕駛系統駕駛），兩連續列車之間的間距會受閉塞區間長度的影響；移動閉塞制的列車通常配備 ATC 自動列車控制系統，兩連續列車之間的間距是依列車的速度及煞車距離自動調整，而不受閉塞區間長度的影響，因此可縮短列車的運轉時隔。另外，採固定閉塞制的系統，其閉塞的

工作是由人工辦理或自動辦理亦會影響列車的運轉時隔，人工閉塞制較自動閉塞制需要更多的時間來辦理閉塞的工作，因此列車的運轉時隔較長。

3. 閉塞號誌的設置方式

閉塞號誌的設置方式有路側號誌及車上號誌兩種型式，採用路側號誌的系統通常由司機員來操控列車，因此號誌的確認時間較長，運轉時隔也會增加；而採用車上號誌的系統，則可縮短司機員確認號誌時間及運轉時隔。另外，閉塞號誌系統是採用三時相號誌或四時相號誌，也會影響兩連續列車的間距以及運轉時隔。

4. 路口號誌的設計

如果鐵道系統的路線設計採用 B 型或 C 型路權，則列車通過路口的容量將受到路口號誌的影響，而真正可以讓列車通行的時間僅有效綠燈時間，因此路口號誌的設計攸關鐵道容量甚鉅。在某些先進的鐵道運輸系統，為了提高鐵道運輸系統的容量，會在路口配置列車續進式（Progressive）號誌及優先（Preemption）號誌。續進式號誌的運作原理是讓列車運行過程所經過的路口號誌隨列車的接近逐步轉換成綠燈讓列車通行；而列車優先號誌則是當列車接近路口時，延長綠燈時相讓列車可以順利通過路口；或是將紅燈轉換成綠燈讓列車通行。由於整體時間是固定的，分配較多的綠燈時間給鐵道系統，相對地也會減少其他運具通過路口的綠燈時間，因此無論是續進式號誌或優先號誌，多少都會對其他運具造成衝擊。在擁擠的都會區，必須限制續進式號誌或優先號誌的使用範圍，以免對其他運輸工具造成太多的負面影響。

3.2 車廂容量的影響因素

對旅客運輸而言，車廂容量係指每一車廂包含座位（Seats）及站位（Standees）的總數，主要是受到車廂的尺寸、空間運用方式、淨樓地板面積、舒適因子與座位/站位的比例等因素的影響；對貨物運輸而

言，車廂容量係指每一車廂最大可裝載貨物的重量或體積，車廂的尺寸與空間運用方式為主要的決定因素。

1. 車廂的尺寸

車廂的尺寸包括車廂的長度、寬度及高度等要素。車廂的尺寸主要是受到淨空、軌道寬度、車軸的承載及懸吊系統等因素的影響。同時需注意內部尺寸與外部尺寸的差別。

2. 空間運用方式

空間運用方式亦會影響乘位數或貨物可裝載數量，例如立體化隔間有助於增加乘位數或貨物堆放的密度，例如雙層式客車廂可以載運大量的旅客。但須特別注意，對於貨物運輸而言，立體化隔間可能會降低裝載貨物種類的彈性。此外某些車廂配備特殊的設備以提供特別的功能，某些貨物需要特殊的固定方式，皆會浪費一些車廂的可運用空間，計算時必須加以考慮。

3. 淨樓地板面積

車廂的淨樓地板面積係總樓地板面積扣除車廂壁的厚度、駕駛室及特殊設備所需空間後的面積。淨樓地板面積為實際可供乘載旅客或貨物的面積。

4. 舒適因子與乘載水準

舒適因子為每一乘位所佔的樓地板面積，座位的舒適因子在車廂設計時為控制因素之一。Vuchic[54]認為座位的舒適因子約為 0.30~0.55 m^2/seat；站位的舒適因子在車廂設計時並無法事先決定，其乃是視旅客的擁擠程度而定，通常在 0.15~0.20 m^2/space 之間。對於長程鐵路運輸而言，由於旅客搭乘的時間較長，因此座位的舒適因子較高，一般係採橫向（非字型）設計，對於都會區短程運輸而言，快捷及運量為主要考慮因素，因此座位的舒適因子較低，一般係採縱向（一字型）設計。

除了舒適因子之外，在考慮車廂容量時，亦可以乘載水準來規範乘客的使用空間需求，以提供不同之服務品質。乘載水準可以「單位面積之乘/立位數」或「單位列車長度的乘/立位數」來衡量，以「單位面積之立位數」來說，通常西方國家採 3~5 prs/m^2，而東方國家採 7~8 prs/m^2[34]；大多數美國運輸業者採用 5 prs/m^2[11]。利用「單位列車長度的旅客數」來作為乘載水準的前提在於車廂的寬度或座椅配置相當接近，以目前臺灣各類系統車廂內部寬度迥異的情況下，以「單位面積之立位數」計算較為合適。

臺北捷運列車服務計畫[11]提及三種乘載水準的設定值與設定目的如表 3.2。而所謂的車廂設計，指的是考慮車廂的載重，分為W_0~W_4五種標準，W_0為車廂皮重；W_1為車廂皮重加座位旅客重；W_2為W_1加 5 prs/m^2 站立旅客重（用來估算購車數）；W_3為W_1加 7 prs/m^2 站立旅客重（用來計算尖峰時段的最大乘載量）；W_4為W_1加 1.25 倍的 7 prs/m^2 站立旅客重(用作車輛強度的設計)。計算尖峰最大乘載量(7 prs/m^2)高於購車數所採用的乘載水準（5 prs/m^2）的主要原因在於，前者是用以計算供給量，而後者必須考慮乘載變異的情形，其著重的是可達成容量，兩者的比值可視為乘載變異因子，用以反映旅客流量，以及在列車與車廂之間分佈不均勻的情形。

表 3.2 臺北捷運電聯車乘載水準設定比較表

立位密度	目的	說明
7 prs/m^2	車輛設計	車輛設計時參考，維護使用壽命
5 prs/m^2	車輛採構	規劃時期，決定採購數量
6 prs/m^2	月臺設計	估算緊急狀況下月臺最小寬度

資料來源：[11]

5. 座位/站位的比例

由於單一座位的面積約為單一站位面積的 1.5~3.0 倍，因此座位/站位的比例會影響到車廂的總容量，比例愈高，則車廂容量愈低。座位/站位比率為車廂提供不同型態之服務時的基本考量，通常每個座位

使用面積約 0.35~0.55m^2，而站立面積隨不同用途目的而有所差別，一般採 0.20~0.25m^2 [34]。在車輛設計時，必須於最大車廂容量與旅客舒適程度之間作一權衡，一般而言，長程鐵路運輸的座位/站位比例較高，而都會區捷運系統則會採用較低的座位/站位比例，以便在短時間之內運送大量的旅客。

6. 座位的細部配置方式

即使固定採一字型或非字型的座位配置，配置方式的差異依舊會影響到車廂容量，例如通勤用車廂中同樣是配置 15 公尺長椅，全部集中配置與分為三區（各 5 公尺）設立相較，集中配置有可能提供較多座位。

3.3 列車編組車輛數的影響因素

列車可在限制條件下由一種或一個以上的車廂編組而成，因此列車容量將由 3.2 節介紹之車廂容量以及編組數決定。雖然列車編組車輛數可以直接提高列車的乘位數或載運旅客數，故與列車容量的關係為正相關，但是對於以機車牽引的列車，若掛載車輛數的增加，亦會降低列車的均衡速度[18]，而列車的速度又會影響到列車的運轉時隔，因此並非單純的正相關，必須作更進一步的分析，以下說明影響列車掛載車輛數之重要因素。

1. 列車性能與阻力係數

列車所能掛載的車輛數或牽引重量主要是受制於列車的性能以及阻力係數的大小，在一定的牽引力及阻力係數條件下，列車掛載的車輛數有一定的限制，不可能無限的增加；列車的牽引性能愈佳或阻力係數愈低，其可掛載的車輛數愈多。以臺鐵最高級的推拉式 E1000 型電力機車為例，圖 3-11 的牽引重量曲線顯示：坡度或速度愈小時，牽引重量愈高；反之，坡度愈大或速度愈高時，牽引重量愈小。

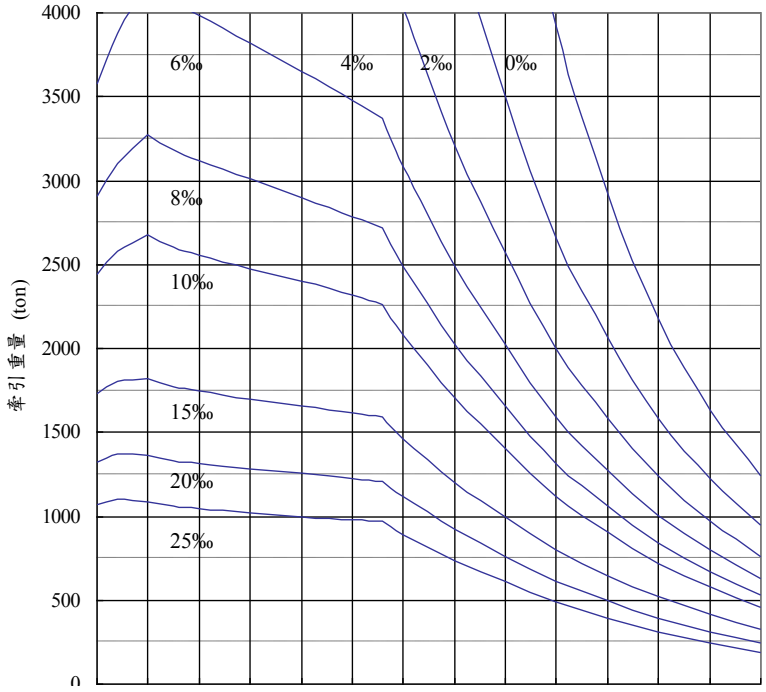
2. 場站設施及閉塞區間長度

除了列車性能以及阻力係數之外，場站設施及閉塞區間的長度也會限制列車掛載的車輛數，若月臺長度不足或閉塞區間的長度較短時，過長的列車可能會導致旅客無法上下車以及運轉上的安全問題。

3. 可用車輛數

由於車輛並非取之不竭，用之不盡的資源，故可用車輛數亦是影響車輛編組數目的因子。影響可用車輛數的因子除了車輛數本身之外，尚包括車輛可用率與路線長度。臺北捷運列車服務計畫[11]提及臺北捷運高運量車輛備用車輛數約佔總列車數的 10%；而從臺鐵年報中可發現，動力車輛可用率歷年來均維持在 85%左右。而在可運用車輛數部分，平常約保留有其中的 25%作為提供臨時調派之用。

另外一個影響可用車輛數的因素為路線長度，當系統欲維持相同班距時，若路線越長，因列車往返時間增加，需要較多列車方能滿足需求。



資料來源：中興工程顧問社 TrainSim 列車運轉模擬軟體模擬結果

圖 3-11 臺鐵 E1000 型電力機車牽引客車重量曲線

3.4 乘載變異因子的影響因素

相較於最大供給容量，可達成容量考慮了旅客到達車站的變異情形，乘載變異愈大（乘載變異因子愈小），可達成容量愈小；反之，乘載變異愈小（乘載變異因子愈大），可達成容量愈大。

大體而言，乘載變異因子的影響因素包括下述幾點：

1. 旅客量：當旅客數越多，乘載變異可能越小。

2. 列車班距變異：當同樣服務型態的第n+1班車與第n班車的間距很短時，搭乘旅客數較低；反之若間距較長時，旅客量會較多，因此當班距變異較大時，也會增加乘載變異。

3. 車廂設計：部分列車的設計裡，車廂間並無通道連通，例如臺北捷運木柵線，由於旅客上車後無法調整車廂，可能增加乘載變異。

4. 車站配置：旅客會選擇利用靠近電扶梯或樓梯的車門，因此會影響旅客在列車內的分布，但由於各車站配置可能不同，且列車是依序通過各站，因此在某特定車站所觀察到的乘載量，實際上可能被前面數個車站之配置所共同影響。

5. 列車車門數目：部分旅客偏好集中在車門附近站立，特別是短程旅客，故車門數越多，越有機會讓旅客均勻利用車廂空間。

6. 特殊功能車廂：部車車廂可能有諸如禁用手機、禁菸或提供電視設備等，旅客會根據其需求來選擇使用。

3.5 非屬行車系統的影響因素

整個鐵道運輸系統除了行車系統外，尚包括許多其他設施，若這些設施中有任何一個環節無法在特定的時間內疏導特定數量的旅客，整個鐵道運輸系統就可能無法發揮原本行車系統所能提供的運能。

為了讓行車系統發揮暨有的運能，車站必須提供足夠的空間與設施供尖峰時段的旅客使用,同時必須在安全且便利的前提下滿足需求。早期所謂的最大容量設計是沒有考慮旅客的舒適與便利的，因此會造成達到該容量時，高度擁擠使旅客產生限制和不舒服的移動。而TCQSM[34]所提出一套使旅客相對較為舒適標準，甚至是考慮到緊急疏散時的標準。

本節將概略介紹旅客流（Pedestrian Flow）的基本理論，再從「軌道行車系統」依序向外延伸，說明各種設施容量的設計考量因素。

3.5.1 旅客流的特性分析

要進行旅客流動的分析時，需要對於相關的名詞有所瞭解，這些名詞包括：

1. 旅客容量（Pedestrian Capacity）：利用旅客設施或要素可以通過的最大人數，通常用單位時間旅客數來表示。設計容量常是較高的理論容量，且並非建構在實際經驗上，也沒有經過廣泛的分析

2. 旅客步行速度（Pedestrian Speed）：通常以 m/s 表示

3. 旅客流動率（Pedestrian Flow Rate）：單位時間內通過特定一點的旅客數，時間單位為 1 分鐘、15 分鐘或其他時間，空間則可能是走道、樓梯、出口或其他旅客設施，例如電扶梯或者收費閘門

4. 旅客密度（Pedestrian Density）：單位空間裡的平均人數。

5. 旅客步行空間（Pedestrian Space）：旅客密度之倒數，而旅客所需的空間與他從事的活動有關，例如輪椅以及行李的使用。

6. 有效寬度（Effective Width or Area）：走道與樓梯中通常可被旅客使用的空間，即是把一些靠牆邊或者緩衝空間扣除。

旅客流（Pedestrian Flow）最基本的定義如式(3.1)。

$$q = kv = \frac{v}{s_p} \tag{3.1}$$

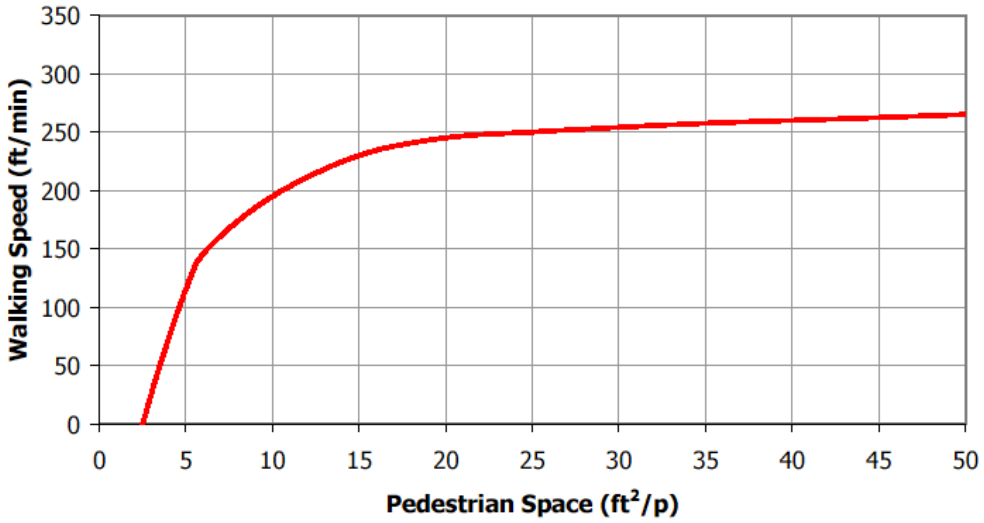
式中：q=單位寬度下之旅客流（prs/m/min）。

v=旅客速度，每分鐘行走的距離（m/min）。

k=旅客密度，每平方公尺的旅客數（prs/m^2）。

s_p=旅客空間，每位旅客所佔有之空間（m^2/prs）。

從上式可知，旅客的步行速度愈快，或旅客密度愈高，旅客流愈大，但旅客密度愈高，旅客之間彼此的干擾也愈大，因此步行速度會降低，因此旅客流與步行速度，以及旅客流與旅客密度的關係都是非線性的。密度可能是影響旅客流率的最顯著因素，而步行需要充分的空間，增加密度會減少旅客可用的空間，並增加旅客間的衝突而進而影響速度，圖 3-12 則是旅客步行可用空間與步行速度的關係，從圖中可以發現，25 平方英尺（2.3 平方公尺）是一個變化點，當每人可用空間到 0.5 平方公尺時，速度會接近 0。

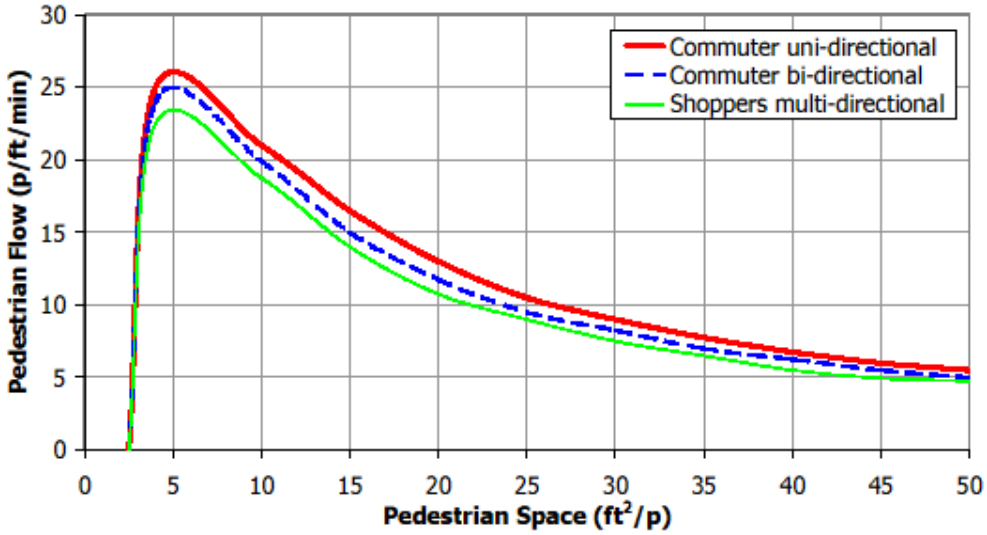


資料來源：[34]

圖 3-12 旅客可用空間與步行速度關係圖

一般而言，走道空間無法完全被利用，經研究顯示需要保留 18 吋（0.5 公尺）的緩衝，不過實際使用時能有多少緩衝空間則與旅客擁擠程度有關。圖 3-13 顯示了旅客流率（p/ft/min）與平均旅客空間（ft^2/p）

之關係，從中發現單向、雙向、多向旅客雖然會讓結果有一點差異，但是差異不大。值得注意的是，圖 3-13 雖然顯示把旅客空間設計在 $5ft^2/p(0.5m^2)$能夠有最大的產出，但這是在極度擁擠的情境下的結果，將產生潛在的不安全，故不可以依此標準來設計。



資料來源：[34]

圖 3-13 旅客可用空間與流動率關係圖

旅客流的順暢與否，會影響到行車系統的可達成容量，至於旅客流動研究的方法論，模擬法為常見的方法論之一，例如英國 Halcrow Fox 公司發展的 PEDROUTE 與 PAXPORT 旅客流模擬模式（PEDROUTE 最早是由 Gerry Weston 開發），包括國內臺北捷運系統也曾利用 PEDROUTE 模式模擬車站內旅客流動問題[13,15]。Clifford[25]則是利用上述的模式來研究澳洲、英國、香港鐵路路網裡繁忙的銜接點，並研究 2000 年雪梨奧運時，大量的旅客需求對於場站的衝擊，以便尋找適當的改善方式。

此種分析並不侷限用來分析旅客容量的瓶頸，尚可分析尖離峰情境或緊急疏散時的運作，也可以評估服務水準、旅客密度、上下車績效等。類似的軟體還包括戴夫特科技大學與 Holland 顧問公司合作開發的 SimPed[26] 套件與 NOMAD 套件，以及 Legion International Limited 顧問公司發展的 Legion 軟體等，均為研究旅客流的重要方法。

3.5.2 車站設施容量

若以軌道行車系統向外延伸進行設施容量的檢核，以臺灣地區的車站配置方式而言，依序為月臺、樓梯（電扶梯）、天橋（地下道）、候車室、驗票入口、車站大廳、轉乘設施。由於各車站等級或用地限制等因素，多少都存在差異。以下依序介紹各種設施的容量分析考量因素。

1. 月臺

一般而言，運量高的車站月臺數也會比較多，除了旅客量的考量外，亦必須要考慮緊急狀況時的疏散。而月臺的設計可以分為島式月臺與側式月臺，通常側式月臺較節省車站整體空間（參照圖 3-14），但缺點是旅客可能走錯月臺。而車站內若僅有一島式月臺時，旅客則無走錯月臺的可能。而月臺寬度設計的最重要考慮因子是要避免因為人潮過多而導致旅客被推擠下軌道，而裝設月臺門雖為避免類似事件的最後一道防線，但根本的解決之道在於設計足夠寬度的月臺。

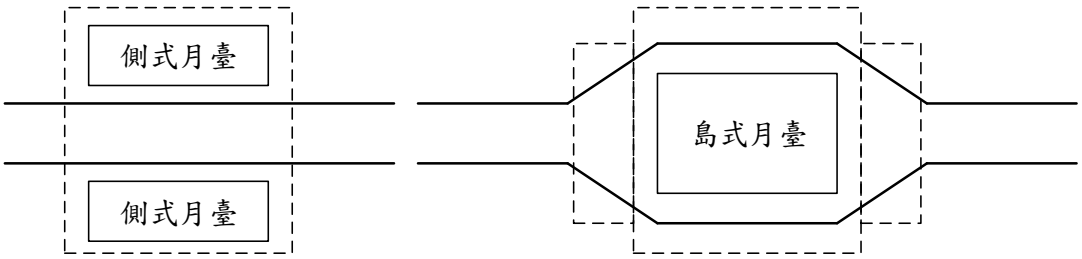


圖 3-14 側式月臺與島式月臺車站所需空間比較示意圖

2. 樓梯/電扶梯（月臺出口）

月臺出口容量是大型車站的重要考量點，需要能容納尖峰時段的需求，能在下一班列車到達前確保清空月臺。一般的思考方法如式(3.2)，概念為月臺出口容量必須能夠在第$n+1$列車進站前，使第n列車上的所有旅客全部離開月臺。

$$C_e \geq \frac{3600c_t}{h} \tag{3.2}$$

式中：C_e＝所有樓梯/電扶梯每小時所能輸送的旅客數總量

c_t＝列車容量（prs/TU）

h＝列車班距（s）

但由於人們可能無法使用所有可用的出口，所以應該考慮加一些安全因子，約為 20~30%。上述分析僅止於一般情況的分析，若考慮緊急逃生時，必須採用更高的標準，例如臺北捷運係參照 NFPA 130 之標準來定義車站月臺所有乘客的逃生時間要求。

3. 天橋（地下道）

天橋和地下道可以視為走道，考慮因素包括旅客行走速度、流量密度與走道寬度。設計時並不是考慮總容量，而是建構在較佳的服務水準，以利旅客可以(1)走較快的速度，(2)超越走的慢的人，(3)避免與對向或橫越的其他旅客衝突。

影響走道容量的因素包括旅客步行速度、旅客流量密度、旅客特徵（帶腳踏車、嬰兒車）、走道最窄處的有效寬度等。其中旅客的步行速度範圍相當大，與時間、氣候溫度、旅次目的、對環境熟悉度以及步行者的年齡性別皆有關係。自由旅客流的速度約在每分鐘 45~145 公尺之間，而通常設計值都以 75 公尺來計。

4. 候車室

通常定義候車區的服務水準也是以旅客與旅客之間的空間來衡量，但也須考慮一些其他因素，例如等候時間，等候時間越長，就需要較高的服務品質，其他諸如氣候條件等也有影響。

5. 驗票入口

對於運量高的鐵道系統而言，售票與驗票的處理速度亦可能會影響系統容量。而一般皆是透過票證電子化來改善，而在容量觀點的考量因素裡，除足夠數量的售票窗口、自動售票機、驗票閘門外，設置區位與分佈也相當重要，此外，驗票閘門可根據旅客進出比例作適當的調配，增進驗票處理效率。

6. 車站大廳

車站大廳可以同時提供旅客作多種的活動，旅客可以買票、與人會面、購物等。而 TCQSM[34]中也提到，在複雜的大型車站裡，明確清楚的車站配置有助於提高容量，實際的做法包括天花板與玻璃門提供各種標示、不同路線利用不同顏色標記、利用點字或聲音提供資訊給視障人士等。

7. 轉乘設施

轉乘設施容量的思考包括了大眾運輸以及私人運具兩種，前者包括了其他鐵道系統、公共汽車與計程車，可分別根據需求加以規劃，須注意的是轉乘其他大眾運輸系統的步行距離不可過長。至於私人運具部分，可大致分為小汽車及機車之停車轉乘（Park and Ride）與臨停接送轉乘（Kiss and Ride），以及少部分的腳踏車轉乘。

第四章 列車控制與號誌系統

影響容量的各種因素當中，列車的控制與號誌系統是最關鍵的因素之一，也是確保行車安全最重要的機制。鐵道系統經歷多年來的演進，已發展出不同的行控系統，因此同樣是鐵道系統，其控制及號誌系統仍有很大的差異。茲就列車行控的基本概念與各種分隔列車的制度概略介紹如下：

4.1 路線軌道數與運轉方式

鐵道路線依據股道數及列車之運轉方式可概分為三種：單線運轉、複線運轉及雙單線運轉（參閱圖 4-1），一般而言，路線上之列車運轉方式係以車站為分段點，但亦可於車站間分段，但此種情形較少發生。在單線區內，兩車站間僅有一股軌道，因此雙向均可行駛列車；複線區內，兩車站間共有兩股軌道，分別供上、下行列車使用（臺鐵列車通常是靠左行駛，臺北捷運系統的列車則是靠右行駛）；雙單線區間內，站間共有兩股道，列車於每股道的運轉方式同於單線區間。

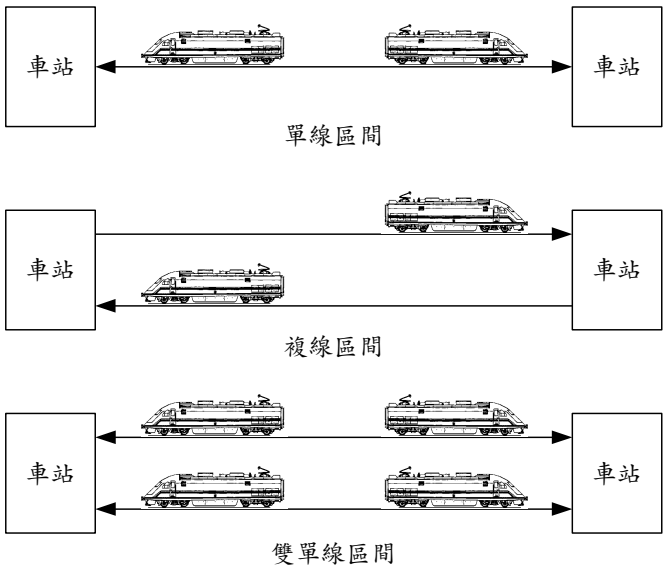


圖 4-1 路線軌道數與列車運轉方式

區域鐵路系統及輕軌運輸系統有時因用地限制或運輸需求不高，部份區間可能只有單股軌道，因此必須採用單線運轉；都會捷運系統及高速鐵路系統為了滿足班次密集或高速運轉的需求，路線上通常設置兩股道，並採複線方式運轉，以提高路線容量。

4.2 列車的運轉操控方式

列車的運轉控制方式可分為手動/目視駕駛控制（Manual/Visual Driver Control）、手動/號誌指示方式（Manual/Advisory Signal Control），以及自動列車控制（Automatic Train Control, ATC）等三種類別。

1. 手動/目視駕駛控制

手動/目視駕駛控制是指列車完全由司機員根據個人的判斷來操控列車，此種控制方式通常僅適用於速度較低、非立體分隔的路面輕軌運輸系統（Light Rail Transit, LRT），安全性較低。

2. 手動/號誌指示方式

手動/號誌指示方式是根據列車在軌道上的位置，藉由路側號誌（Wayside Signals）或車內號誌（Cab Signals）的顯示來指示司機員操控列車的運轉，其安全性較前者高，但若司機員不遵照號誌行駛時亦可能發生危險。區域鐵路系統以及部份縱向分隔（Longitudinal Physical Separation）的輕軌運輸系統的列車控制方式大多屬於此種，但臺鐵（區域鐵路系統）為防止司機員疏忽而誤闖紅燈或超速行駛，過去設置有列車自動警告（Automatic Train Warning, ATW）/列車自動停止（Automatic Train Stop, ATS）裝置，但目前已裝設自動列車防護系統（Automatic Train Protection, ATP）取代之。

3. 自動列車控制

都會捷運系統以及先進的高速鐵路系統由於安全性的要求較高，故會採用自動列車控制系統。ATC 共包含三個子系統：自動列車防護系統（Automatic Train Protection, ATP）、自動列車操作系統（Automatic

Train Operation, ATO）及自動列車監測系統（Automatic Train Supervision, ATS），由行控中心的電腦，透過交換與協調網路來自動導引列車駕駛，茲就各子系統的內容說明如下：

(1) 自動列車防護系統（ATP）：

ATP 可偵測軌道及列車行駛狀況，並將速限資訊傳送給列車，使列車依照速限行駛，保持安全距離；若列車未按速限行駛，ATP 會自動啟動煞車，強迫列車減速或停車，其系統功能如下：

- 列車偵測
- 斷軌偵測
- 執行限速指令
- 緊急煞車
- 轉轍聯鎖
- 查核靠站定位
- 車門開門許可
- 列車越位保護

ATP 若依軌道與列車資訊的傳輸方式可分為間歇式 ATP（Intermittent ATP）及連續式 ATP（Continuous ATP）兩種。間歇式 ATP 僅有間歇的資料傳送點，無法連續監控保護列車，而連續式 ATP，列車可持續接受 ATP 的訊號。連續式 ATP 又可分為速度碼系統（Speed Code）以及距離碼（Distance-to-Go）系統，在速度碼系統中，列車從正常速度區間至停車區間的速限是呈現階梯式的遞減，而距離碼系統中，列車的速限則是連續平滑的遞減，故可進一步縮短列車的行車間距。

(2) 自動列車操作系統（ATO）：

ATP 是確保列車安全運轉而不追撞的系統，而 ATO 則是負責列車進出車站非關安全部分的操作。ATO 必須與 ATP 整合，方能確保列車的行車安全，因此有 ATO 的系統一定有 ATP（ATP 是基本功能，ATO 是進階功能）。ATO 的系統功能如下：

- 調整行車速度
- 調整功能位階（Performance Level）
- 提供程式化月臺停車
- 滑行及惰力[1]（Coasting）控制

ATO 依自動化的程度可分為半自動（Semiautomatic）及全自動（Fully Automatic）操作，半自動操作僅含列車自動駕駛，而車門的監視、列車的啟動，以及故障的排除仍由司機員操控；全自動操作則無司機員，所有的操控均由中央行控中心統一調度。

(3) 自動列車監測系統（ATS）：

ATS 可監視列車的運轉，提供中央行控中心或現場調度人員調整列車靠站時間、設定列車行駛軌道，以維持列車預定之行車計畫，並減少行車延誤，其系統功能如下：

- 排定及派發車輛
- 依排定班車要求進路
- 管制列車停靠站時間
- 控制路軌及列車即時資訊
- 提供主線列車調度功能
- 提供道旁通訊，傳輸列車所需訊息
- 就地控制及維護功能
- 故障警報之顯示與報知
- 提供列車運轉資訊

4.3 閉塞制度的基本概念

列車於軌道上行駛，無法像公路車輛般任意超車及變更軌道，而且鐵路車輛的鋼輪與鋼軌之間的黏著力僅有公路車輛的 1/3，需要很

[1] 捷運公司及捷運局人員稱 Coasting 為滑行，但臺鐵人員則習慣以惰力運轉稱之。

長的煞車距離，遠大於司機員的目視距離，因此必須有一些輔助方式來分隔列車，以確保行車安全。

4.3.1 列車分隔的原理

為避免列車追撞及對撞，先行與續行列車或對向列車之間必須保持一定的安全間距，而控制列車間距的方法計有隔時法（Time Interval System）及隔地法（Space Interval System）兩種[14, 17]。隔時法係按預定的時刻表發車，使列車間隔一定的時間；若先行列車誤點時，續行列車仍照常發車，但需依照調度員的指示行駛，此種方式的安全性不高，通常只適用於車次稀少或速度較低的鐵路系統，目前幾乎已經淘汰。隔地法係控制列車之間的空間距離，此法的安全性較高，大部分的鐵路系統均採用此方式。隔地法依控制的原理，可分為固定閉塞距離（Fixed Block Distance）、絕對煞車距離（Absolute Braking Distance），以及相對煞車距離（Relative Braking Distance）三種 [41]：

1. 固定閉塞距離

固定閉塞距離的控制邏輯係將路線劃分為許多區間（Block），而兩相鄰列車之間距等於最大煞車距離、閉塞區間長度，以及額外的安全間距之和（請參閱圖 4-2），即

$$D_g = s_{b,\max} + B + s_o \tag{4.1}$$

式中：D_g=先行列車車尾與續行列車車頭的間距

$s_{b,\max}$=列車的最大煞車距離

B=閉塞距離

s_o=額外的安全間距

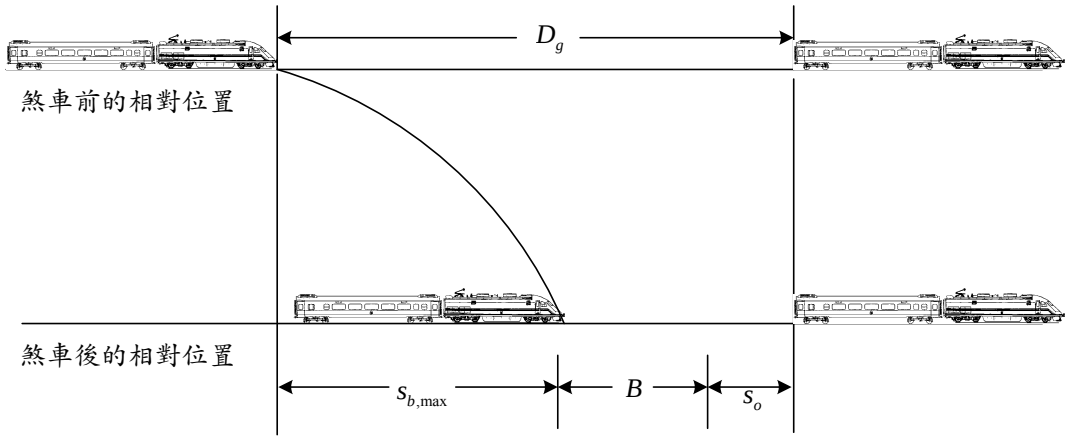


圖 4-2 固定閉塞距離的列車分隔原理

由於列車在路線上的位置隨時在改變，在早期通訊科技並未成熟前，要精確定位列車的所在位置有技術上的困難，因此係以閉塞區間來定位列車，藉此來控制列車的相對位置。在固定閉塞距離的列車分隔方式之下，即使煞車過程先行列車靜止不動，續行列車仍不會撞上先行列車，因此可確保最大的安全。此種控制邏輯為目前最普遍也最成熟的列車分隔方式，又稱為「固定閉塞區間制(Fixed Block System)」，但不同鐵路的號誌相位（Aspects）可能會有差異，例如三時相或四時相號誌，詳細內容請參閱第 4.4 節。

2. 絕對煞車距離

在固定閉塞距離的列車分隔邏輯下，由於列車的定位為閉塞區間的位置而非列車精確的位置，因此兩相鄰列車的間距較大，相對的也會降低路線的使用效率。而絕對煞車距離的分隔邏輯中，兩相鄰列車之間距縮小為續行列車的煞車距離加上額外的安全間距(如圖 4-3)：

$$D_g = s_{b_j} + s_o \tag{4.2}$$

式中：D_g=先行列車車尾與續行列車車頭的間距

s_{b_j}=續行列車的煞車距離

s_o=額外的安全間距

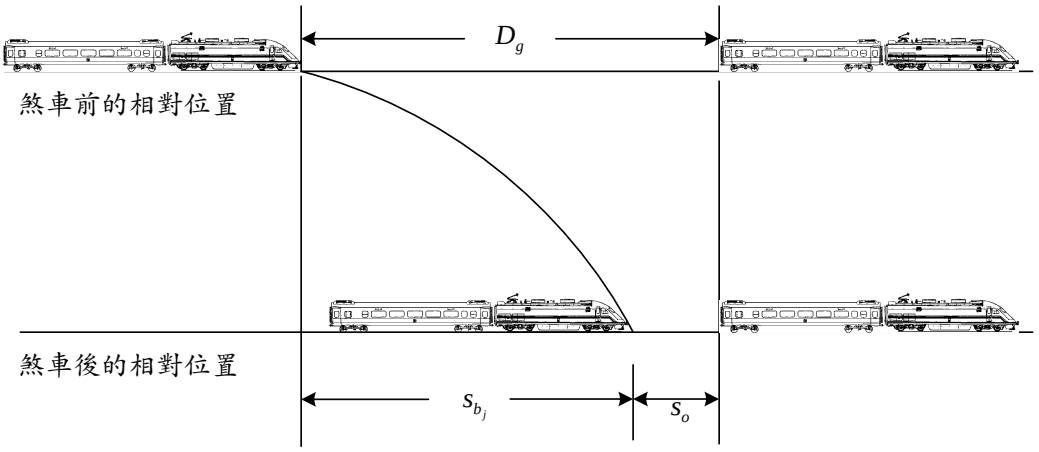


圖 4-3 絕對煞車距離的列車分隔原理

此種分隔方式最符合列車間隔的原理，但因缺乏適當的技術來定位列車，故與真實狀況仍有差距。隨著無線通訊技術的發展，絕對煞車距離的列車分隔方式已逐漸成熟。此種列車分隔方式又稱「移動閉塞區間制（Moving Block System）」，詳細內容請參閱 4.5 節。

3. 相對煞車距離

絕對煞車距離的分隔原理係假設煞車過程先行列車靜止不動，而相對煞車距離的分隔邏輯則是假設先行列車也處於煞車過程；其觀念有點類似於公路車輛的運作。在公路系統中，當後面的車輛看到前面的車子煞車時，會跟著採取煞車的動作，因此車輛的間距可以很小。對應到鐵道系統，兩相鄰列車之間距等於列車煞車距離之差，加上額外的安全間距（如圖 4-4）：

$$D_g = s_{b_j} - s_{b_i} + s_o \tag{4.3}$$

式中：D_g=列車的間距

s_{b_i}=先行列車的煞車距離

s_{b_j}=續行列車的煞車距離

s_o=額外的安全間距

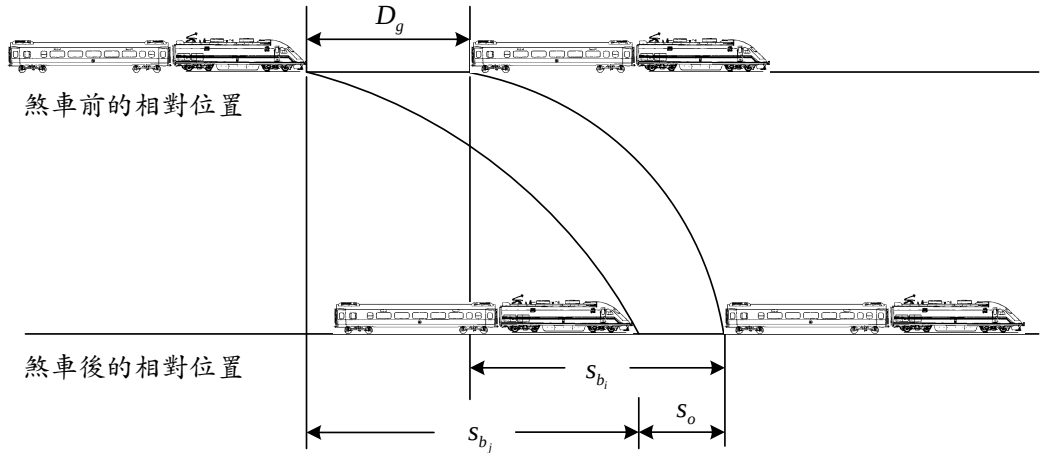


圖 4-4 相對煞車距離的列車分隔原理

相對煞車距離的列車分隔方式可使路線容量達到最大，但僅為理論的探討，實務上並不可行，因為如果先行列車發生事故突然停止不動（Stonewall Stop），續行列車將撞上先行列車；另外，當列車經過聯鎖區時，轉轍器的扳轉動作亦無法在兩列車的運轉時隔內完成，有可能會導致列車出軌。

4.3.2 閉塞制度的種類

閉塞制度為列車運轉的基本原則，而列車的行、止及加、減速乃是由司機員以目視的方式依照路側或車內號誌的指示來行駛。閉塞制度乃是根據隔地法所發展出來的行車制度，當列車在進入每一區間時，必須確認該區間內無先行列車及對向列車，辦理確認的手續稱之為閉塞（Block），而管制其他列車進入的區間稱之為閉塞區間。

閉塞制度依閉塞區間的長度是否固定可分為固定閉塞制、移動閉塞制，已如前述。若依閉塞的嚴格程度則可分為絕對閉塞制（Absolute Block System）及容許閉塞制（Permissive Block System）。絕對閉塞制之每一閉塞區間內僅容許一列車通行，而絕對不允許兩列車同時行駛；容許閉塞制可允許同向兩列車以上同時行駛於同一閉塞區間。

閉塞制度若依控制的自動化程度來分類，則可分為人工閉塞制（Manual Block System）及自動閉塞制（Automatic Block System，ABS）。人工閉塞制均是以車站或是有副正線的地方作為閉塞區間的分界點，

閉塞的工作是以人工的方式辦理，人工閉塞制一定是絕對閉塞制；自動閉塞制是利用閉塞號誌將兩站間的路段劃分為若干區間，閉塞的工作是藉由軌道電路與列車所處的位置自動辦理，因此可增加路線的容量。自動閉塞制依路線股道及列車運轉方式又可分為單線自動閉塞制（Single Track Automatic Block System）及複線自動閉塞制（Double Track Automatic Block System）。

中央控制行車制（Centralized Traffic Control, CTC）係將路線上所有的號誌及轉轍器集中於一處控制，因此可提高安全性並節省人力。以臺鐵為例，過去西部幹線分為三個 CTC 區間：基隆至竹南、竹南至臺南及臺南至屏東，分別隸屬於臺北調度所、彰化調度所及高雄調度所管轄，目前已改為集中在臺北綜合調度所控制。不過臺鐵環島路線並非均採用 CTC，部分路線仍採用電氣路牌閉塞裝置及自動閉塞行車制（ABS），但完成環島路線之 CTC 系統為臺鐵的重點工作。捷運系統自動化的程度較高，因此在行控中心皆可監督及控制列車的運轉。

4.4 固定閉塞號誌系統

固定閉塞號誌系統（Fixed Block Signaling System, FBS）係利用軌道電路，將路線劃分為許多閉塞區間（Block），經由列車之車輪及輪軸使軌道中之電路形成短路，以控制區間之號誌。最初此種軌道需加上絕緣接頭（Insulating Joint），以分隔一條軌道，而其他軌道仍可持續處理牽引電力回饋（Traction Power Return）；但藉由將直流電（Direct Current）轉換為交流電迴圈（Alternating Current Circuit），軌道可使用感應分流器分隔，以避免使用絕緣接頭，此種軌道稱為無接頭軌道線路，且亦可供牽引電力回饋。

固定閉塞號誌系統包含有二時相（2-Aspect，又稱二位式）、三時相（3-Aspect，又稱三位式）及多時相（Multiple-Aspect，又稱多位式）等號誌，最普遍者為三時相號誌。於二時相的號誌系統中，僅有綠燈（平安）及紅燈（險阻）兩種顯示。當司機原看到綠燈時，表示前方的閉塞區間內沒有其他車輛，故可全速行駛；當看到紅燈時，表示前

方的閉塞區間內有車，故需立即煞車。由於兩相鄰列車之間僅間隔一個閉塞區間，為避免續行列車撞上先行列車，通常在每一個閉塞號誌機之前都會增設遠距號誌機（Distant Signal），以提供前方閉塞號誌的資訊。遠距號誌機與閉塞號誌機之間的距離至少為一個煞車距離s_b，因此閉塞區間的長度遠大於一個煞車距離，如下圖所示：

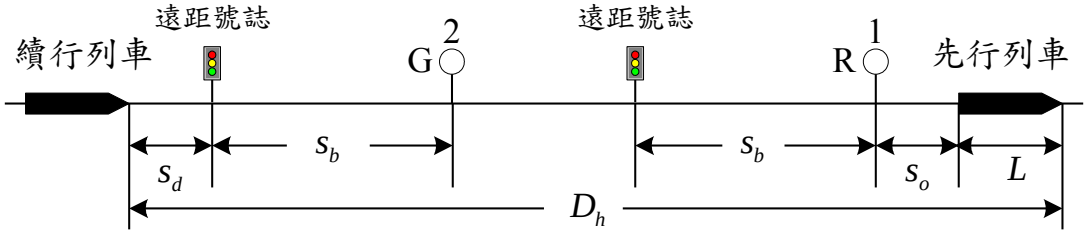


圖 4-5 二時相號誌列車的最小空間距離

在三時相號誌系統中，號誌包括綠燈（平安）、黃燈（注意）及紅燈（險阻）三種顯示方式。如圖 4-6 所示，號誌顯示綠燈表示前方兩個閉塞區間內均無其他列車，故可全速行駛；而黃燈表示前方第二個閉塞區間內有其他列車，因此列車必須減速，以備隨時停車；當號誌顯示紅燈時，表示前一個閉塞區間內有其他列車，因此必須立即煞車。值得注意的是：當號誌顯示黃燈時，續行列車與先行列車之間相隔一個閉塞區間，如果續行列車的司機員從全速開始減速，並將列車煞停，也不可以撞上先行列車，因此每一個閉塞區間的長度至少為一個煞車距離s_b。

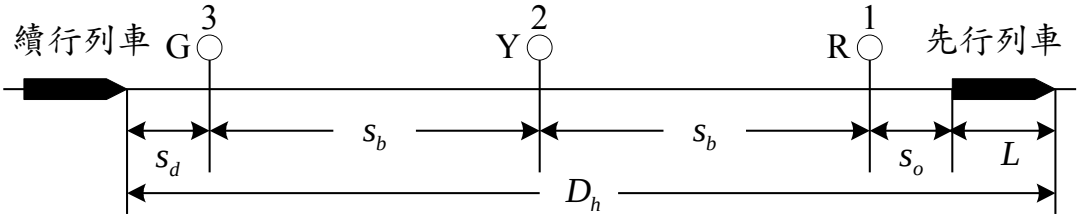


圖 4-6 三時相號誌列車的最小空間距離

於四時相號誌系統中，通常包括綠燈（平安）、雙黃燈（警戒）、黃燈（注意）及紅燈（險阻）等四種顯示方式。號誌顯示綠燈時，表

示前方三個閉塞區間內均無其他列車，故可全速行駛；號誌顯示雙黃燈時，表示前方第三個閉塞區間內有車，司機員必須警戒；看到黃燈表示還有一個閉塞區間即需停車；而顯示紅燈時表示必須立即停車。在四時相的系統中，列車相隔的閉塞區間數較多，因此每一個閉塞區間的長度可以較短，但至少為煞車距離之一半（$s_b/2$），亦即續行列車從全速開始煞車，煞停之後與先行列車至少相距一個閉塞區間，如圖 4-7。

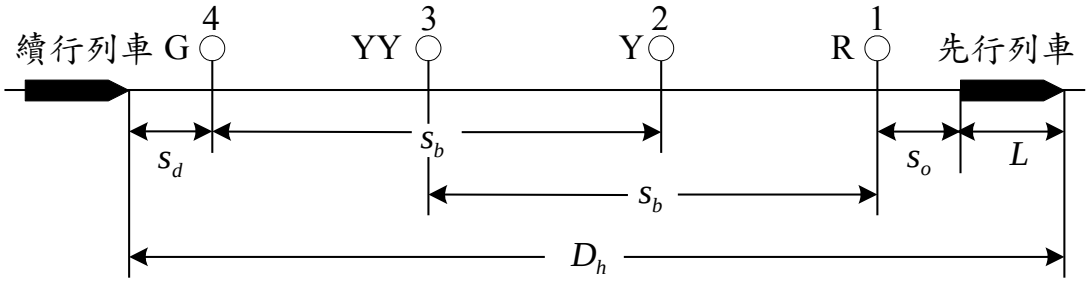


圖 4-7 四時相號誌列車的最小空間距離

臺鐵所採用的閉塞號誌系統為三時相，其路線是以路側號誌機（Wayside Signal）區分為許多閉塞區間，每個閉塞區間的長度約在 1.5 公里~2.5 公里之間，司機員以目視方式遵照路側號誌指示行駛。當駕駛前方的號誌為綠燈時（代表平安），則列車可繼續往前行駛；如為黃燈（代表注意），則需減速至 60 km/h；若是紅燈（代表險阻），則必須完全停止。

臺北高運量捷運系統的閉塞號誌系統為多時相，並以車載號誌（Cab Signal）來顯示。每一個號誌時相均有一個速度碼，列車依速度碼來運行。當列車全速運轉時，至少相距五個閉塞區間，由於號誌時相較臺鐵多，且捷運電聯車的煞車性能較佳，因此每一個閉塞區間的長度，視路線條件的不同從 100 公尺~300 公尺均有，遠小於臺鐵閉塞區間的長度。高雄捷運系統同樣是採用固定閉塞號誌系統，但並非以速度碼來顯示，而是根據先行列車所在的區間，產生平滑的煞車曲線來監控續行列車的運轉速度，此種系統稱為距離碼系統，並無明顯的號誌相位，而是連續平滑遞減的速度限制。

表 4.1 彙整固定閉塞號誌的顯示相位、意義、列車間隔與閉塞區間的最短長度。從該表可知，號誌的時相愈多，每一個閉塞區間的長度可以縮短，而列車全速運轉的間距也愈小。必須特別說明的是，號誌的間距不可太小，其長度必須足以讓列車安全煞停，然而太大的號誌間距會降低路線容量，故號誌間距必須考量列車行駛速度、路線幾何條件作最佳的配置。另外，計算運轉時隔或分析鐵道容量時，通常是假設續行列車所遇到的號誌均為綠燈(即毋須減速且 ATP 不作動)，但此時的運轉時隔並不一定是最小的；有時候如果讓續行列車遇到黃燈，降低運轉速度，反而可以縮短運轉時隔[9]，但相對的也會增加列車的延滯及運轉時間，這對鐵道營運機構而言，並非很好的運轉方式。

表 4.1 固定閉塞號誌的顯示相位及意義

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

4.5 移動閉塞號誌系統

在固定閉塞號誌系統中，兩連續列車的運轉時隔受到閉塞區間的長度影響。在前述三時相的號誌系統中，兩連續列車相隔 $2s_d$，而四時相的號誌系統中，列車間隔縮短至 $1.5s_d$。如果想像將號誌時相不斷的

增加，閉塞區間長度不斷的縮短，則理論上列車間距可所短至一個煞車距離s_d，進而縮短運轉時隔，增加路線容量。

移動閉塞號誌系統（Moving Block Signaling System, MBS）乃上述概念的延伸[54]，但並不存在實體的閉塞區間。移動式閉塞號誌系統為 1960 年代歐洲為提供高速列車之安全所發展，又稱為以通訊基準（Communication Based）的號誌系統。相對於固定閉塞號誌系統，此系統可縮短列車之間隔進而提昇鐵道容量。除此之外，移動閉塞號誌系統亦可以減少路側的設備數量，同時當列車性能（最高速度）提昇時，路側的設備毋須更改。

移動閉塞號誌系統使用一種雙向的通訊系統，列車利用車軸轉數及輪徑來推估目前的所在位置，並利用設於路線上之「Balise」裝置來校估確切的位置。以都市捷運而言，約每 25 公尺進行一次位置更新；城際鐵路則是約每 100 公尺更新一次[47]。列車會持續透過無線通訊告知中央控制電腦目前所在的位置，中央控制電腦會將此資訊（包括列車的位置、速度、長度、運轉方向等）透過無線通訊傳遞給後續列車，因此每部列車可以得知與前車或障礙物（例如交叉點）之距離，再輔以車載裝置根據資料庫中該路線的坡度、線形等資訊計算最適的運行速度或煞車距離（詳圖 4-8）。也正因為列車的偵測與軌道無關，因此不會存有區間號誌系統受牽引力電流妨礙的缺點。

列車透過偵測前車的位置來維持安全距離，實際上，由於前後車的速度不斷變動，且各路段之路線特性亦有所不同，故隨著列車的移動，列車間的安全間距也一直變化。計算安全距離之因子包含：系統反應時間、煞車執行時間、速度、運轉路段（包含結冰及下雪路段）、坡度、最大順風、緊急煞車率、正常煞車率、列車與鐵軌膠著力、煞車系統偏差容忍率等。通常將安全距離視為最差情況之煞車距離，且假設在煞車設備 3/4 有效之情況下。

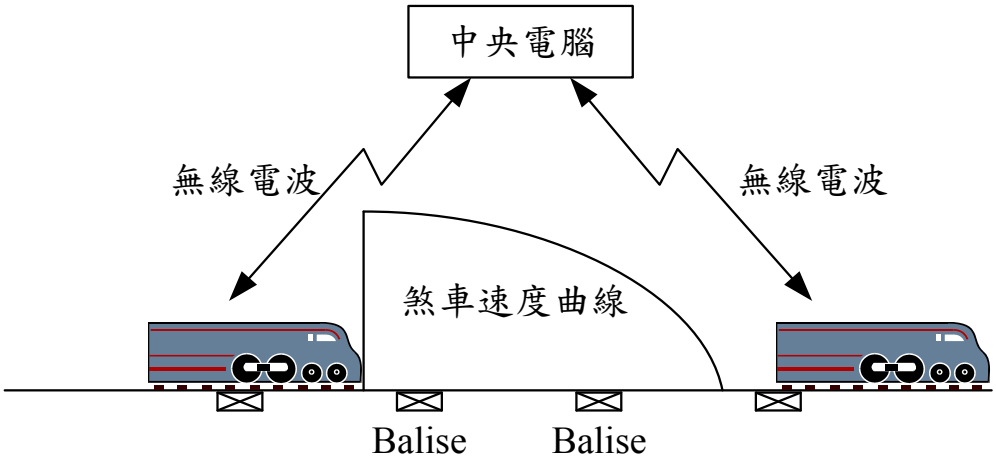


圖 4-8 移動閉塞系統的運作原理

為了達到故障安全（Fail-Safe）之要求，當通訊系統中斷或列車受干擾而無法收到訊號時，列車將緊急煞車。其運作原理則是透過中央控制電腦賦予每部列車一個辨識號碼，透過資料傳送以接收及回覆辨識號碼，當列車未收到正確的之通訊碼時會自動緊急煞車，通常在緊急煞車執行前列車會持續移動約3秒鐘，此亦為計算安全距離之考量。

在固定閉塞系統裡，列車在閉塞區間裡的確切位置是無法得知的，但移動閉塞系統則可以精確將列車定位在 6 公尺內[47]。有文獻提到在進行解析模式研究時，可將移動閉塞制想像為多時相且較短距離之固定閉塞區間號誌系統[48]，但實際上，移動閉塞號誌系統並不存在所謂的區間和時相，而是透過無線通訊設備，隨時精確掌握各列車之位置，並持續計算與維持和前車之安全距離，且安全距離數值是隨著時間和空間不斷變化。

通常移動閉塞號誌系統亦會結合列車最佳化控制與自動駕駛功能，以便在營運時，可將時刻表適度的轉化為速度碼，或者當列車受到意外事件干擾時，用以進行間距控制重整行車計畫。

移動閉塞號誌系統因無路側號誌設備，故可降低路側號誌設備的建置及維修成本[43, 48]，而且當列車性能提升時，亦無修改路側號誌設備的需求。但根據 Railway Technical Web[43]所述，MBS 能夠增加容量具爭議性，因為路線容量主要是消耗在停站時間以及終點站折返，因此除非在停站時間短、旅客量少的情況下， MBS 並無法帶來太多的

改善。同時，容量增加時，在地下路段的通風也是一個問題，一般的通風系統建議列車相互間隔 300 公尺，即使 MBS 能讓列車間距達 50 公尺，在通風空調系統裡也需要增加設備，這也降低了 MBS 所帶來之效益。

4.6 混合閉塞制

都會捷運系統有時會與其他鐵路系統共用軌道，若全面配置移動閉塞號誌不具經濟效益且不符合實務應用時，為增加捷運系統的容量，建議使用混合系統，此係將固定閉塞號誌系統結合移動閉塞系統，例如巴黎和墨西哥的 SACEM 系統，即是結合固定閉塞系統和移動閉塞系統，設有移動閉塞號誌系統之列車可使用連續通訊系統；而未設有移動閉塞號誌系統之列車則仍受基本之固定閉塞號誌系統保護[48]，此方法促使容量提昇 25%。Railway Technical Web[43]則是提到有不少營運者雖使用 MBS，但仍採用傳統的 FBS 當作備援。

第五章 服務品質的基本概念

前述各章已將鐵道容量的概念與影響因素做客觀之定義與分析，但鐵道容量不僅是營運機構所能操作的彈性以及提供的運送能力而已，對於旅客而言，容量的大小代表著不同的感受及認知（Perception）。惟截至目前為止，容量分析的結果尚無法與旅客的認知相互結合。換言之，容量（例如每小時通過之列車數）與其組成因素（例如運轉時隔）皆可有系統地計算，但計算之結果對於旅客而言，其意義為何仍是個問號，而服務品質（Quality of Service）概念的引進正是填補此闕漏的方法之一。

本節從最根本的服務與品質這兩個名詞開始，進而說明大眾運輸的服務品質與其影響因素，最後介紹評估服務品質的方法。

5.1 服務品質概述

隨著人類社會的進步，工業化、都市化及財富累積的結果，現代人在生活上所追求的層面已不再只是物質的充裕，更追求高品質和心理層面的滿足，因此「服務」與「品質」兩個概念便逐漸受到重視。

過去的學者們由於研究領域與時代背景不同，對於服務有不盡相同的描述與定義[33,39,44,45,46]，從中可整理出一些有關服務的特性如下：

1. 服務是無形的，無法像商品一樣地被儲存以及展示
2. 服務是易逝的，在提供完成後就瞬間消逝不復存在
3. 服務的產生與消費同時發生
4. 服務生產的過程需要顧客參與
5. 不會發生服務所有權的轉移
6. 顧客認為服務的好壞通常和其心情與期望有關
7. 服務的需求很難預測

8. 服務的定價頗為困難

雖然服務可以說是服務業中的商品，但由上述特性可知，服務與商品仍有許多相異處，這些特性使得不容易掌握服務的品質。

文獻中對於品質的定義亦有各家說法不一的現象，綜整之後可將品質的定義分為以下四類[24]：

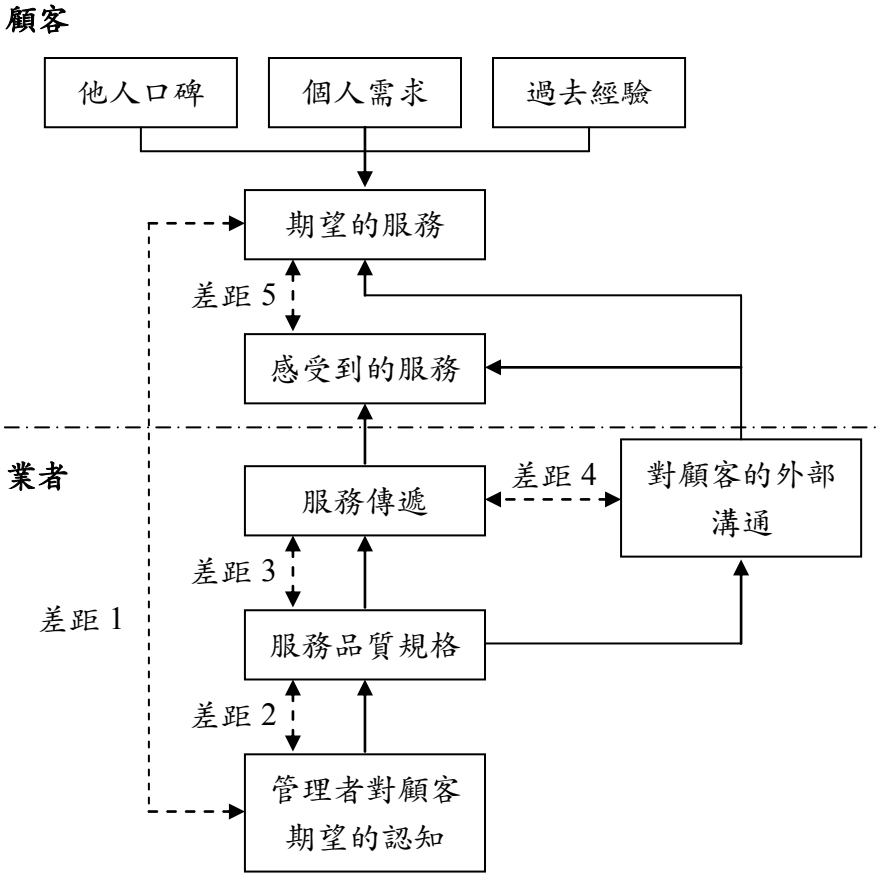
1. 品質就是完美
2. 品質就是價值
3. 品質就是符合規格
4. 品質就是滿足或超過期望

這些定義在量測方法、管理上的效用和消費者的關聯等方面各有利弊，例如在量測方面，最精確的就是以符合規格作為品質的定義；而最難以量測的則是將品質定義為完美。另外品質的定義在管理上也呈現多樣化的效用，定義為完美的品質會帶來正面的刺激，以追求卓越為使命，而以價值或符合規格為定義可引導企業注重在效能上的精進，若品質定義為符合或超過期望，則能使管理者隨時注意使用者需求的改變，並做適當的反應。

沒有任何一種品質定義是最正確的，實際上應需根據不同的情況來選擇最恰當的定義，例如在製造業就適合以符合規範作為產品品質，然而對服務而言就不適用，若換個角度，從消費者的立場出發，以符合或超過消費者的期望作為服務品質的定義，較為適合並且符合直覺。

根據這樣的定義，Parasuraman[42]提出了服務品質模型，如圖 5-1，從中可以清楚了解顧客感受到的服務品質是如何產生的。在這模型中有五大差距，分別為：

1. 差距 1：管理者對顧客期望的認知與實際顧客期望之間的差異。主要是因為管理者對顧客的需求不夠了解或誤解，以致於對品質的要求與顧客期望有所誤差。



資料來源：[42]

圖 5-1 服務品質模型

2. 差距 2：管理者對顧客期望的認知與服務品質規格之間的差異。造成這差異有兩個原因，一為市場條件或資源限制，以致於無法提供管理者所認知的服務品質，另一為沒有完整傳達管理者對品服務質的認知導致服務品質規格與管理者認知不同。
3. 差距 3：服務品質規格與實際服務傳遞之間的差異。雖然有明確的服務品質規格，然而在實際進行服務時，因為許多不確定因素，導致實際傳遞給顧客的服務與規格不盡相同。
4. 差距 4：實際服務傳遞與對顧客外部溝通之間的差異。為業者對於其所提供之服務的宣傳廣告，與實際所能提供的服務之間的誤差，若言過其實，可能會使顧客期望過高，當實際接受服務時感受到落差，將導致顧客對業者的服務品質大打折扣。

5. 差距 5：顧客期望的服務與實際感受到的服務之間的差異。顧客期望的服務受到他人口碑、個人需求、過去經驗與業者宣傳等因素的影響，若顧客實際感受到的服務比他期望的還好，則會認為服務品質好且感到滿意，反之則會感到不滿。

由此可知差距 5 是讓顧客認為服務品質好壞的主要因素，因此要評估服務品質，可以從差距 5 著手，去了解顧客所期望的服務以及其所感受到的服務。。

5.2 運輸系統的服務品質

鐵道運輸系統為大眾運輸服務業的一種型式，以客運來說，運輸業所提供的服務為將旅客運送往目的地，其服務品質則可以說是在反應旅客對運輸系統的感受，取決於營運者在預算限制內，所提供給旅客運輸服務的內容，包括班次頻率、營運時間以及運輸服務的範圍等。

根據美國「大眾運輸容量暨服務品質手冊」（Transit Capacity and Quality of Service Manual, TCQSM）[34]，對於服務品質在評估大眾運輸績效中所扮演的角色可用圖 5-2 來表示，其中幾個重要名詞的說明如下：

1. 大眾運輸績效測度指標（Transit Performance Measure）

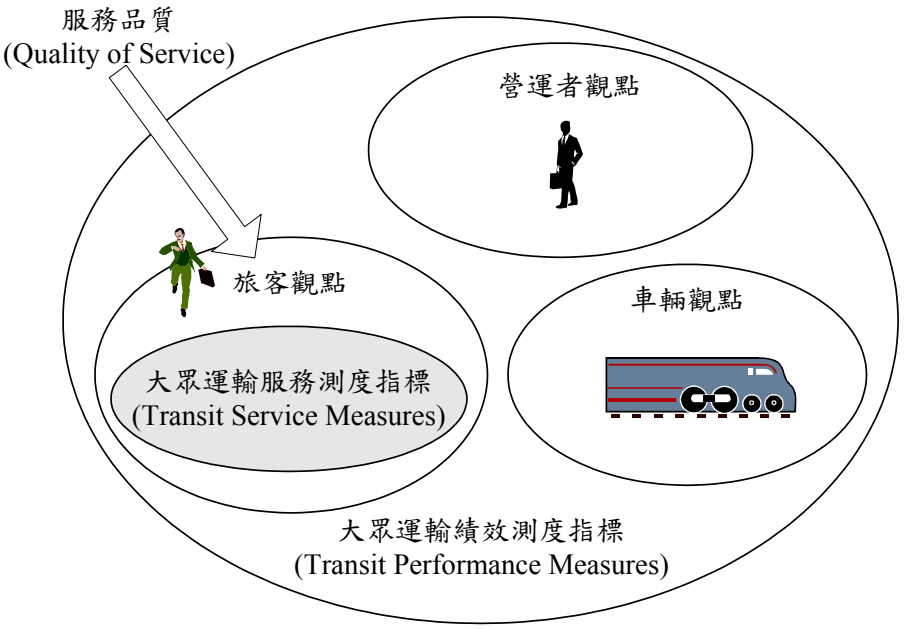
   用來評估運輸系統的各項質化或量化因子。

2. 服務品質（Quality of Service）

   從旅客的觀點對運輸服務績效整體的感受。

3. 大眾運輸服務測度指標（Transit Service Measure）

   用來描述運輸服務與反應旅客觀點最適當的量化的測度指標。



資料來源：[34]與本研究整理

圖 5-2 大眾運輸績效測度指標、服務品質與服務測度指標之關係

在「大眾運輸系統績效測度指標」所包含的眾多指標中，可歸納為營運者觀點（例如營收）、旅客觀點（例如旅行時間）和車輛觀點（例如車速或延滯）三類，而「服務品質」是用來表達旅客的觀點，影響服務品質的因素很多，包括服務涵蓋範圍、大眾運輸環境、班表、設施完善程度、旅客資訊系統、轉乘次數、總旅行時間、價格、安全性、乘載率、舒適度、可靠度…等因子（詳見第 5.3 節），在這些因子中，容易量測且能適度反應旅客感受的則稱之為「大眾運輸系統服務測度指標」，可作為評估服務品質的依據。

從服務品質的概念所延伸的應用很廣泛，可於運輸系統設計規劃時作為輔助決策的工具，在營運階段可用來評估旅客滿意度，且能對未來改善計畫提供相關建議。

5.3 大眾運輸服務品質的影響因素

前述影響大眾運輸服務品質的因素有很多，本節針對這些因子作較詳細的介紹。

1. 服務涵蓋範圍

對旅客來說，是否會選擇搭乘大眾運輸的關鍵因素，在於大眾運輸服務是否靠近其旅程的出發或目的地，當車站離旅客出發或目的地點太遠時，將會大幅降低旅客使用該大眾運輸的可能性。而且旅客從車站到達其旅程的目的地，比起從出發點到車站還受限制，例如從家出發至車站如果太遠，除了搭乘其他大眾運輸還可以自行開車前往，然而從車站到目的地則可選擇的選項較少。

一個車站基本的服務涵蓋範圍為一般人合理的步行距離，若車站有提供轉乘停車場，或配合週遭其他大眾運輸提供轉乘服務，則可增加服務涵蓋範圍。此外車站內提供電梯、電扶梯、斜坡以及其他無障礙設施，可提高老人、殘障者與較多行李之旅客進出車站的方便性。

2. 班表

班表主要是指大眾運輸系統所提供的服務頻率以及時段，是旅客認為大眾運輸系統服務品質好壞的一個重要因素。當沒有公開班表或旅客錯過上一班車時，愈頻繁的服務代表旅客的等待時間會愈短，而且有更多彈性選擇搭乘的時間，會增加其搭乘的意願，但是在沒有需求的情況下，太高的服務頻率，反而會造成營運成本的增加以及資源的浪費，因此營運者須視情況作適當安排。

另外在運輸服務提供的時段方面，只有在對的時間提供服務，對旅客來說才有意義。旅客依其旅程目的會有不同的搭乘時段，例如上班通常是在平日早上的6點到9點，因此在這時段內運輸系統需提供較高的服務頻率，以紓解大量的上班人潮。運輸服務的時段除了被動的配合旅客需求作調整外，亦可能主動影響旅客的生活型態，例如大眾運輸服務營運至午夜，可能使需加班的上班族可以工作得更晚，但也可能讓晚上在外玩樂的青少年可以玩得更晚。

3. 容量

容量直接影響大眾運輸服務的運送能力，一般營運者所在意的容量是指路線上在單位時間內能通過多少列車、運送多少旅客等，但旅

客感受到的容量主要是指車站或車廂中可容納多少旅客，至於單位時間內有幾班列車，對旅客來說反而是服務頻率上的問題。

車站的空間影響著旅客在車站中移動的速度和安全性，例如在擁擠的車站中，旅客必須在人潮中穿梭前進，造成行走的不便也提高發生碰撞的風險，月臺上太多候車旅客，會增加上下車時間且有不慎摔落月臺下的可能性。

車廂內空間大小限制了列車一次能載運的旅客數，一班客滿的列車對等車的旅客來說是沒有任何意義的,他可能必須選擇搭下一班車,因而再次增加其等車時間，並間接覺得列車服務頻率降低，而擁擠的車廂亦會造成乘客的不適，增加上下車的不便，進而造成誤點的狀況出現。此時表示營運者所提供的服務小於需求量，因此應採用可容納較多旅客數的車廂,或者增加列車的班次等方針,以紓解大量的人潮,而增加班次則會牽扯到鐵道容量。

鐵道容量是評估鐵道運輸系統，在某種設備及運轉條件下的最大運輸能力，當實際營運所使用的容量接近飽和時，會使得每班車的平均延滯時間增加，旅客所感受到的就是可靠度降低，

總結來說，容量和服務頻率、準點率、延遲時間和擁擠度…等因素有密切的關係，對服務品質的影響甚鉅，將在後續章節作進一步說明。

4. 資訊

在站內或車上提供良好完善的資訊，可帶給旅客心理一份安定的力量，尤其是對於初次或不常搭乘大眾運輸的旅客，由於對環境不熟悉，旅客會感到不確定而徬徨不安，若沒有足夠的資訊，很可能導致其搭錯車、迷路或不知所措，進而對搭乘大眾運輸留下不好的經驗。

在車站中旅客所需的資訊有:時刻表、目前進站的是哪一班列車、下一班列車到站時間、現在時刻、旅客位在車站中的位置，以及車站的出口或其他設施（如售票處、月臺、盥洗室）的位置…等；而車上

旅客所需的資訊有：列車的終點站、下一個停靠站、轉車資訊、旅客在車廂中的位置與其他設施(如緊急逃生出口、滅火器)的位置…等。

有很多方式可將資訊傳達給旅客，如標誌、看板、廣播、服務臺、跑馬燈或現場人員等，不過無論是用哪種方式，最重要的就是資訊的正確性和即時性，例如某列車誤點多久須即時告知旅客，好讓其可決定是否換搭其他班次，而不是空等，但若一直變更同一班次的誤點時間，旅客可能會有被欺騙的感覺，而引起更多不滿。

5. 旅客乘載率

在不同的立場中，旅客乘載率代表著兩個互相牴觸的意涵，站在營運者的立場，旅客乘載率反應著營運的效率，較低的旅客乘載率代表營運效率較差；而站在服務品質的立場，旅客乘載率反應著旅客在車廂內感受到的擁擠程度，較低的旅客乘載率代表旅客搭車時有較寬敞的空間。

旅客乘載率和車廂內空間大小、座椅配置以及旅客數有關。配置大又舒適的座椅，對服務品質有正面的效果，尤其是對於需要長時間搭乘的長途旅客，座椅更是不可或缺的，但座椅須占用較多空間而降低了車內空間的利用率，減少了可搭乘的人數，而對於短程旅次，旅客較能忍受短時間的戰力，因此車廂內可配置較少的座位，以便挪出更多空間容納更多旅客。

然而不管車廂內座椅怎麼配置，旅客都是不希望進入太擁擠的車廂，因為和陌生人靠太近會令人感到尷尬與不適，且易受到其他旅客行為的干擾，以及增加上下車的不便，另外擁擠的車廂也容易造成犯罪的發生，如偷竊、性騷擾等，有安全上的顧慮。

提高服務頻率可以讓大量的旅客分散在各列車裡，以降低每列車的乘載率，但是過低的乘載率對營運來說是造成運輸資源的浪費，營運者該如何取得之間的平衡以創造雙贏局面是值得探討的課題。

6. 可靠度

可靠度是指列車是否按照班表的時間，準時到達或離開車站。對於有公開班表的運輸系統，旅客可以很直接且正確地判斷列車是否有按照時刻表行駛，即使沒有公開班表，對通勤者來說，根據每天搭乘的經驗也可隱約感受到可靠度。

無論列車是提早或是延遲，對旅客來說，可靠度都是降低的。當列車延誤到達車站時，旅客因為浪費額外的時間在等待上面而感到不耐煩，而對於要轉乘其他交通工具的旅客，所造成影響更大，例如使其錯過轉乘的時間，進而要改變整個旅行計畫。相對的，當列車提早駛離車站，而旅客準時到達車站時卻發現列車早已開走，也一定會大感不滿。

影響可靠度的因素包括交通條件、路線施工維修、列車排班、旅客人數或意外事件…等，其中有很多是不容易掌控的因素，由於可靠度通常是影響旅客滿意度最主要的原因，因此營運者應該想辦法盡量減少問題的發生，以及將其所造成的影響降到最低。

7. 旅行時間

在這分秒必爭的社會裡，旅行時間是旅客會選擇何種方式完成旅程的因素之一，大眾運輸的總旅行時間為旅客從起點到車站、在車站等車、搭乘、轉車（如果必須的話）以及出車站到終點所花費時間的總和，這時間受到許多因素影響，包括路線、站間距、服務頻率、交通狀況、號誌系統和車票回收系統…等。

通常旅客會比較自行開車與搭乘大眾運輸分別所費花的時間，來衡量要使用哪一種交通工具，若運輸系統擁有專用路權，而一般道路車多擁擠，則大眾運輸是比較好的選擇，且若車廂內提供適當的環境，讓旅客能充分利用搭車的時間來進行閱讀、休息等其他事情，則會使大眾運輸佔有更多優勢。

有時候搭乘大眾運輸的旅客必須經由轉車才能到達其目的地，但此舉除了會增加總旅行時間外，亦會造成搭乘的不便，尤其是對第一

次搭乘的旅客。雖然對營運者來說轉車機制可使服務更有效率，但也提高旅客對列車可靠度的要求，若因為列車誤點導致旅客無法趕上轉乘的列車，反而會引發更多的不滿，另外若轉車需要額外的費用，也會降低旅客轉車的意願。

8. 安全

有關旅客的安全，由客觀的角度來看可以分兩種，一種是大眾運輸系統設施的安全性，包括旅客在車站或車廂內移動時發生碰撞、滑倒、摔倒的潛在性，以及在搭乘時因事故造成傷亡的可能性；另一種是在大眾運輸系統內的犯罪率，以及旅客成為犯罪事件受害者的可能性。

另外旅客也會由個人主觀的察覺產生對於自身安全的感受，例如在車站裡照明充足比起燈光昏暗閃爍使人有安全感、車廂內有其他旅客也比起只有自己單獨一人時感到來得安全。

有許多方法可提升大眾運輸的安全性，如設置照明良好的區域、標示明顯的緊急電話、裝設監視器、安排保全人員或社區志工…等。

9. 價格

無論是何種消費，顧客都是希望每筆消費都是物超所值，以大眾運輸來說，最會被用來評估是否物超所值的因素，就是運輸的距離與所花費的時間。一般來說，旅客願意支付較多的錢在距離較長、旅行時間較短的運輸服務，而對於距離或時間的重視程度則會因旅程的目的而異，例如商務的旅客會以高價換取較短的旅行時間，而較不趕時間的返鄉旅客則不然。

對於搭乘大眾運輸的價格是否昂貴，旅客通常會直覺的與自行開車的支出作比較，雖然實際上開車所需支出的費用為過路(過橋)費、停車費、燃料費、維修費、保險、稅金和購車費，不過因為通常買車不是為了特定旅程，所以除了過路（過橋）費、停車費和燃料費，其他費用通常不會被當成某次旅程在交通上的支出，而且自行開車的機動性高且方便，因此若沒有太多反誘因，一般都會選擇開車。近年來

國內每逢尖峰時段塞車情況頻繁、停車位難求以及油價上漲，是推廣大眾運輸的好時機。

10. 舒適

隨著生活水準的提升，旅客在搭乘大眾運輸時，除了上述各項因素外，也逐漸重視個人的舒適感，如適當的溫度、座位的大小、盥洗室的整潔、列車的加減速程度、車輛搖晃程度、車內氣味與噪音等，因此在車站或車廂內有許多設備與措施是用來提供旅客舒適的環境，以下列舉較常見的幾項：

(1) 長椅：讓車站中的旅客可以坐著等待列車。

(2) 照明設備：提供良好照明以減少意外發生，並增加旅客的安全感。

(3) 垃圾桶與資源回收桶：可避免旅客隨意亂丟垃圾，以維護車站內的整潔。

(4) 公共電話：讓旅客等車時打個人電話，且提供緊急電話的功能。

(5) 商店或販賣機：如販賣報紙、雜誌、食物、飲料等。

(6) 空調系統：維持站內或車內舒適的溫度與新鮮空氣的流通。

(7) 電梯或電扶梯：方便旅客上下樓。

(8) 清潔人員：隨時確保車站或車廂內的整潔。

雖然對營運者來說即使沒有這些設施，運輸系統還是能照常提供服務，不過旅客可不能接受，例如在悶熱的夏天，車內若沒提供冷氣，旅客鐵定會怨聲載道。

一個乾淨、有吸引力的車站或列車，可提升大眾運輸的形象；相反的，髒亂、被破壞沒有維護的車站或列車，會使人們心中對其所能提供的服務品質產生質疑。

5.4 大眾運輸服務品質的評估

評估服務品質就是要了解旅客的感受，而「大眾運輸系統服務測度指標」是將旅客觀點中容易被量測且能適度反應旅客感受的因子，做適當的量化後得到的指標，因此該指標可作為評估服務品質的重要依據。

旅客觀點中包含許多因子，根據性質的不同可分為質化因子和量化因子兩類，質化因子較難以客觀的方法量測，如旅客對於服務人員的滿意程度；而量化因子本身就有容易量測的特性，如車廂內溫度高低（國內臺北大眾捷運股份有限公司以及高雄捷運系統，均依據「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」等相關規定，訂定服務指標[1, 12]）。雖然質化因子不易量測，但其量測值通常就能適度的反應旅客觀點；而量化因子雖易量測，不過還是無法得知該數值對旅客而言代表怎樣的感受，因此通常會再透過服務水準來評估服務品質。

在運輸業中，除了單純以質化因子評估品質外，通常會使用服務水準（Level of Service, LOS）來評估服務品質，或用來表示交通設施品質的好壞程度。在美國 TRB 所編訂之 TCQSM 裡，對於服務水準的定義為：「對『大眾運輸系統服務測度指標』的分級，針對特定的服務測度指標分為數種等級，例如以旅客對運輸服務的感受為基礎，分為 A 級（最好）到 F 級（最差）」，此與過去定義公路容量服務水準的方式相同。文獻上有關大眾運輸服務水準的研究，除了 TCQSM 之外，尚包括 Alter 提出的服務水準架構[20]，以及 Botzow 的研究[22]，但服務水準的等級同樣是以 A 級（最好）到 F 級（最差）來定義。

在 TCQSM 所提出的服務測度指標中有兩種分類方式，一種是根據量測對象的不同分為車站（點）、路線（線）、系統（面）三類；另一種則根據量測之性質分為可利用性（Availability）與舒適和方便性（Comfort & Convenience），可利用性是基於空間和時間來考量旅客是否有意願去使用的衡量，舒適和方便性則是基於旅客搭乘運輸系

統時對品質的感受來衡量。綜合兩種分類方式可表示成表 5.1，共可劃分為服務頻率、服務時間、服務涵蓋範圍、旅客乘載率、可靠度，與汽車旅行時間比較等六個項目。

表 5.1 TCQSM 服務品質架構表

	車站	路線	系統
可利用性	服務頻率	服務時間	服務涵蓋範圍
舒適和方便性	旅客乘載率	可靠度	與汽車旅行時間比較

資料來源：[34]

本手冊對於服務品質的分析，將著重在與鐵道容量相關的部分，包括服務頻率與容量利用率、旅客乘載率，以及可靠度等三種。而服務水準的定義同樣是以 A 級（最好）到 F 級（最差）來分級，但會針對國內鐵道系統的特性，重新界定服務水準的等級。

在第二章 2.4 節中曾介紹容量利用率的概念，容量利用率是系統績效與服務水準的一種指標。容量利用率愈高，代表設備的使用強度愈高，以營運者的角度而言，使用強度高意味著穩定性差，缺乏營運彈性。而對旅客而言，容量利用率則與服務水準息息相關，但其關係為何，必須視容量的定義而定。如果容量的客體單位為列車數，則利用率愈高，表示班次密度愈高，就服務頻率這個項目而言，服務品質也愈佳。但相對地，高路線利用率也隱含著班表的穩定性較差，就可靠度這個項目而言，服務品質會下降；當然，若能提供高頻率且可靠的班次服務，則服務水準肯定會提高。而如果容量的客體單位為旅客數或座位數時，則乘載係數或客座利用率愈高，表示愈擁擠，就舒適度這個項目而言，服務品質愈差。

在服務品質的架構中，服務頻率與列車的運轉時隔有關，旅客量則與舒適因子以及車廂容量有關，有了服務品質的概念，有助於將容量分析的結果與旅客的認知感受加以整合。雖然上述服務品質與服務水準的概念，係針對公車、輕軌以及捷運等大眾運輸系統而建立，但亦可推廣於其他鐵道運輸系統。服務水準的概念在鐵道容量分析的應用裡扮演一定程度的角色，在後續章節中將進一步說明。

第六章 鐵道容量分析的應用

鐵道容量分析是鐵道建設相當基礎的一項分析工作，唯有透過容量分析，才能掌握系統的供需能量，提供滿足預期服務品質的運能。單純就鐵道容量分析的運用方式而言，可分為正向分析（Forward Analysis）與反向分析（Backward Analysis）。所謂正向分析係根據系統的運轉條件計算出路線容量，而反向分析則是根據運輸需求及預期的服務品質，反算出滿足需求所應具備的系統條件。這兩種分析方式在鐵道容量的研究中十分常見，其中正向分析經常用於營運階段，藉以瞭解系統的容量是否滿足需求,而反向分析較常用在規劃設計階段,以計算出滿足運輸需求及預期服務水準的系統設施配置。以下從規劃、設計及營運觀點，分別說明鐵道容量分析的重要性以及應用方式：

6.1 規劃階段

鐵道運輸系統在規劃階段，必須根據規劃範圍內的運輸需求，以及預期的系統服務水準，粗略的評估鐵道系統所應具有的設施數量或應採取的運轉策略。這項評估工作必須瞭解所規劃的鐵道容量，方能初步提出建議方案，儘管因系統的細部資料不甚充足，評估的結果比較粗略，但仍可作為建設及營運成本估算的重要參考，以便後續經濟效益評估的執行。相關應用範例包括：

- 某地區週邊新增許多購物商圈暨休閒設施（例如巨蛋），欲瞭解原有之系統是否足以負荷新增加之需求，是否需新建其他路線。
- 某通勤鐵路嘗試在某新路線營運，該路線原為貨物列車運轉，使用時有若干限制，欲瞭解是否需要購置雙層之列車滿足需求。
- 供軌道設施管理部門制定長期維修更新計畫與預算時參考。
- 在運輸需求已知的條件下，對數種鐵道系統進行評估與選擇。

6.2 設計階段

在設計階段，由於有比較精確的資料，例如旅運型態、設計車輛性能、路線幾何條件等，故可精確評估滿足服務水準所需的軌道數及月臺數，並可評估設計參數的改變對鐵道容量的影響。以下為常見的應用方式：

- 分別計算固定/移動閉塞號誌系統下的列車最短運轉時隔，作為號誌系統設計與決策之參考。
- 在旅運需求與列車目標班距已知下，求算系統所需列車數。
- 列車通過銜接點的班距若以兩分鐘為目標，探討銜接點的相關設備該如何設計。
- 在已知目標班距下，研究折返點之軌道佈設與號誌系統設計。
- 車站月臺寬度與相關設施之設計。
- 根據旅運需求量與特性，設計（選擇）適當的車廂大小及配置。
- 根據已知需求與預定的服務水準，設計各種設施的數量與規格。
- 評估新增通勤車站對容量之影響，以及探討如何調整站內軌道佈設方式來降低對容量的衝擊。

6.3 營運階段

在營運階段，鐵道容量分析可根據既有鐵道系統的設施與運轉條件，評估系統的服務績效，找出需要改善的區段，同時可以根據系統的實際運作情形，校估容量分析所需的參數，例如：

- 在車路分離的環境下，設施擁有者在經營管理時，鐵道容量（特別是剩餘容量）是決策的重要依據之一。
- 計算既有設施條件的最大容量，並與目前營運容量相互比較，藉以得知目前營運績效與可擴充之限度。
- 研究在有限的資金運用下，如何有效提昇容量。

- 尋找路線上之容量瓶頸點，並設法改善之。
- 探討軌道設施（號誌系統、待避月臺、轉轍器、站間軌道等）擴充或升級之效益與可行性分析。
- 作為時刻表排班之參考或輔助工具。
- 驗證時刻表之可行性及可靠度。
- 檢討實際服務水準是否達到預期目標，作為是否需要改善參考。
- 分析車種簡化對容量提升之效益。

第七章 鐵道容量分析方法概論

鐵道運輸系統有很多不同的類型，每一種系統適用的容量分析方法可能不盡相同，因此，基於系統特性的差異，應發展不同的鐵道容量分析模式,故本章中首先以鐵道容量分析的觀點來探討模式的分類,至於各類鐵道容量分析模式的細節將於後續篇章負責介紹。

雖然各種容量分析模式或有差異，但其分析的基本原理與架構則大致相同，因此本章接著介紹鐵道容量分析的基本理論以及分析的架構，再依序說明鐵道容量分析方法論，以及選擇鐵道容量分析方法的原則等主題。

7.1 鐵道容量分析模式的分類

鐵道運輸系統有很多型式，為了便於研究、分析與溝通，通常會依據系統特性來命名及分類。但即使是相同類型的系統，由於細部特性的差異，也可能無法一體適用同樣的鐵道容量分析方法。因此本手冊中對於鐵道系統，是以容量分析的觀點來分類，而非一般的分類方式。未來若有類似的鐵道系統但容量分析的考量因素及特性不同時，則應採用不同的分析模式。

7.1.1 基本概念

關於鐵道運輸系統分類課題，傳統上是以系統特性來區分，並給予有意義的命名便於識別，例如 Vuchic[54]以路權型式（Right of Way Type）、技術（Technology）及運轉／服務特性（Operational/Service Characteristics）等特性，將鐵道系統分類為：街車（Streetcars, SCR）、輕軌運輸（Light Rail Transit, LRT）、鐵路捷運（Rail Rapid Transit, RRT）與區域鐵路（Regional Rail, RGR）。而 TCQSM[34]中則是以路線（Alignment）、設備（Equipment）、列車控制（Train Control）與操作方式（Operating Practices），將鐵道系統分類為：重軌捷運（Heavy

Rail, HR)、輕軌鐵路(Light Rail, LR)、通勤鐵路(Commuter rail, CR)、自動導軌運輸(Automated Guideway Transit, AGT)與纜車(Ropeway)。

由於鐵道運輸系統的複雜性，導致許多系統的分類界線並不十分明確，因此鐵道運輸系統的分類通常具有相當大的爭議性。在不同的分類架構下，即使分類名稱相近，兩者之間還是可能存在相當的差異；而即使採用相同的分類系統，不同的人也有可能產生不一致的分類結果。

正因為鐵道容量分析方法是依系統特性而定，因此就容量分析而言，如果以不明確的分類方式來輔助分析方法的選擇，很容易導致使用者混淆。因此本手冊不採用傳統上的分類方式來區分系統，而是透過容量影響因素的探討，以及國內鐵道運輸系統的特性，來歸類不同的鐵道容量分析模式。依此分類需特別注意的是，相同的系統名稱其系統特性不一定一致，例如目前正在建設中的桃園機場聯外捷運系統，雖名為捷運系統，但與典型都會區的捷運系統仍有很大的差別，所以其容量分析方法自然也不相同。唯有在所有特性皆符合某分類屬性才可適用該分類之容量分析方法，因此未來如果有某個系統無法透過本分類來選用合適的容量分析模式，不論透過分類架構的調整或是發展新的分析方法，皆需更進一步的研究才能找到適合其系統特性之容量分析方法。

7.1.2 模式分類查核表

國內目前以及未來可能之主要鐵道運輸系統包括：臺鐵系統、臺灣高鐵系統、臺北捷運系統、高雄捷運系統、桃園機場聯外捷運系統、重要都會區之捷運系統，以及各地區之輕軌運輸系統。而第三章曾說明影響鐵道容量之因素可分為三大類：路線條件、交通條件與控制條件，根據這些影響因素，以容量分析為觀點，且適用於臺灣地區之鐵道容量分析模式分類查核表，彙整如表 7.1 所示。

在使用鐵道容量系列研究所發展之分析模式時，必須透過表 7.1 來選擇分析模式，再次強調，唯有分析對象之系統特性符合表 7.1 之

要求，才能適用本系列研究所發展之鐵道容量分析模式。此外由於本查核表係針對臺灣地區目前及可見未來可能完成之鐵道運輸系統，若有未盡完善之處，可加以適當調整。

表 7.1 臺灣地區之鐵道容量分析模式分類查核表

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

∨：該系統有此特性；—：該系統無此特性

7.1.3 模式分類流程圖

上述查核表提供讀者選擇分析方法之用，除了利用查核表逐項檢核各要素，來進行模式的分類之外，尚可利用流程圖來輔助選擇。需要特別強調的是：由於各類模式之系統特性要素並非絕對互斥，必須透過數個要素的檢核方可完成模式分類的工作，因此基於表 7.1 所產生之分類流程並非唯一。除了圖 7-1 建議之分類流程之外，讀者亦可自行建立自己的分類流程圖。

以國內的鐵道系統為例，臺鐵系統具有專用路權及錯會車行為，但因無 ATC 自動控制系統，從圖 7-1 可知其適用於第一類之系統。臺

北及高雄的捷運系統，具有專用路權但無錯會車的行為，因此屬於第二類的系統。臺灣高速鐵路系統具有專用路權及錯會車行為，並配備 ATC 自動控制系統，依分類流程圖可知其屬於第三類之系統。桃園機場聯外捷運系統除最大營運速度較低外，其特性與高速鐵路近似，故也屬於第三類系統。而擁有 B 型或 C 型混合路權的輕軌運輸系統，則屬於第四類系統。值得注意的是，表 7.1 及圖 7-1 係根據目前及可見未來將完成之鐵道運輸系統所歸納出來的結果，未來如果有某個系統無法適用本分類，則需進一步的研究與調整。

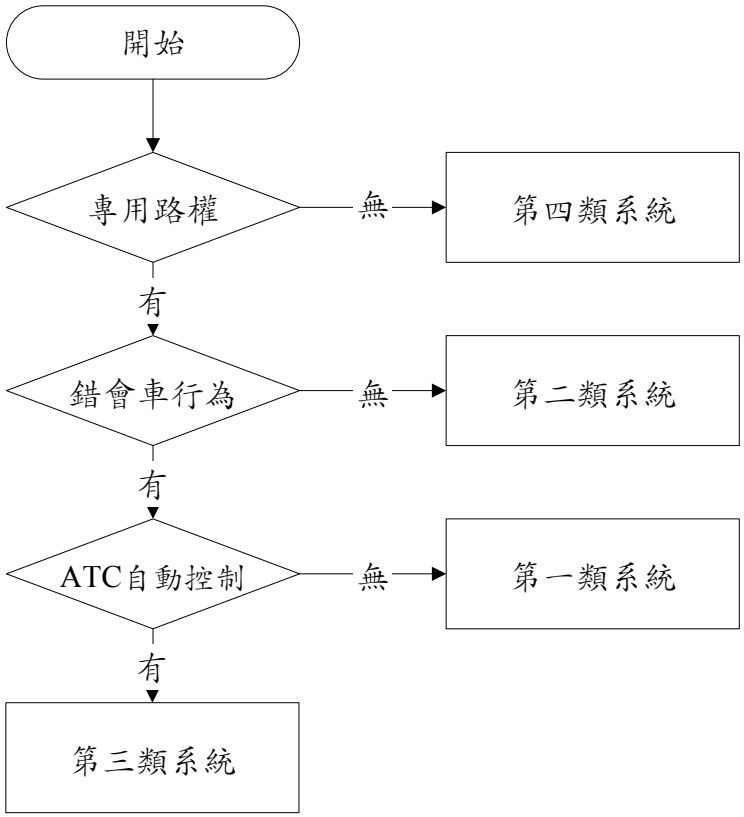


圖 7-1 鐵道容量分析模式分類流程圖

7.2 鐵道容量分析的基本理論

在發展鐵道容量的分析方法以及進行鐵道容量分析之前，有必要對鐵道容量的基本理論及數學原理作初步的介紹。本節先介紹閉塞時間以及運轉時隔的理論，再以定性的方式來探討等候理論與列車延滯的概念，最後說明容量分析的注意事項。

7.2.1 閉塞時間與運轉時隔

雖然目前鐵道系統所採用的列車分隔原理為隔地法，但計算鐵道容量時必須將列車的空間間隔轉換為時間間隔。運轉時隔（Headway）係指兩連續列車通過同一地點的運轉時間間隔，而最小運轉時隔（Minimum Headway）則是系統容許列車連續運轉的最小時隔。對於一條路線而言，路線上任一點所容許的最小時隔均可視為限制條件，如果列車在這條路線上運轉要滿足所有地點的時隔限制，則列車的最小運轉時隔必須是該路線上任一點所容許之運轉時隔的最大者（非最小者），代表整條路線運轉時隔的容許下限。當列車實際的運轉時隔小於最小運轉時隔，則會產生列車干擾及衝突的情形。

在號誌化運轉的鐵道系統中，最小運轉時隔主要是受到閉塞時間（Blocking Time）的影響[41]。閉塞時間為淨空並封鎖閉塞區間專供某一列車通行的時間；即允許某一列車通行直到允許下一列車通行所經過的時間。閉塞時間遠大於列車行駛該區間的時間。以三位式閉塞號誌系統為例，閉塞時間包括如下的組成（請參閱圖 7-2）：

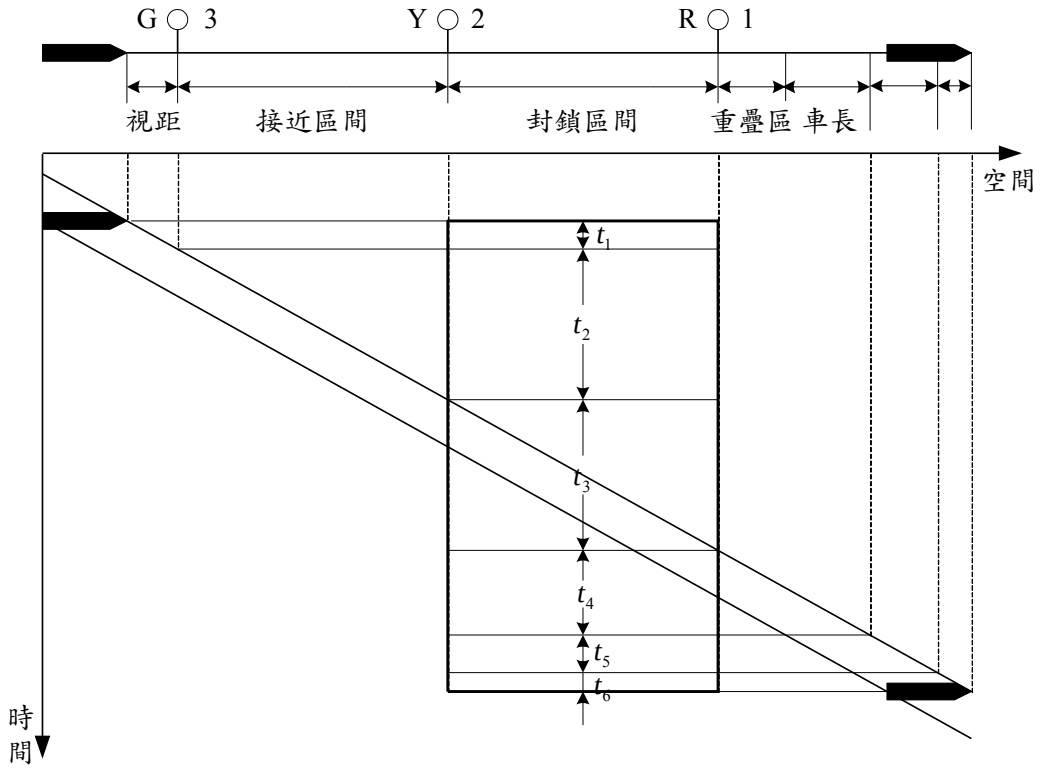
1. 司機員確認號誌直到列車車頭抵達#3 號誌機的運轉時間（Signal Watching Time）t_1；t_1的時間必須足以讓列車減速至注意號誌的速限
2. 列車在接近區間（#3 及#2 號誌機之間）的運轉時間（Approach Time）t_2
3. 列車在封鎖區間（#2 及#1 號誌機之間）的運轉時間（Time between Block Signals）t_3
4. 清除閉塞區間的運轉時間，包括行駛安全重疊區（Overlap）[1]以及列車車長的時間（Clearing Time）t_4

---

[1] 號誌的安全重疊區間是兩個相鄰號誌控制界限（Control Length）的重疊部分，其目的在於提供額外的安全餘裕空間，以便司機員無法於停車號誌之前將列車煞停時，仍不會撞及前面的列車。號誌安全重疊區間的設置會增加許多成本，因此並非每一個軌道系統均有安全重疊區間的設置。例如臺鐵基於成本的考量，即未設置號誌安全重疊區間。

5. 解除閉塞所需的時間（Release Time）t_5

6. 清除號誌所需的時間，即#3 號誌機由「注意」轉變為「平安」的時間（Time for Clearing Signal）t_6



註1: t_1 ~ t_4 為列車的運轉時間（與距離及列車速度有關）
註2: t_5 及 t_6 為號誌系統產生的時間（與距離及列車速度無關）

圖 7-2 列車行進間的閉塞時間

圖 7-2 中，t_1~t_4 為列車的運轉時間，故與閉塞區間的長度以及列車的運轉速度有關；閉塞區間愈長，閉塞時間也愈長，而列車速度愈高，閉塞時間愈短。t_5 與 t_6 係號誌系統的作用時間，與距離及速度無關，而所有時間的和（$t_1+t_2+t_3+t_4+t_5+t_6$），則為#2 號誌機及#1 號誌機所在的閉塞區間，淨空並封鎖供該列車運轉的閉塞時間。

如果#2 號誌機及#1 號誌機所在的閉塞區間為車站的位置，且列車必須在此停站時，則 t_3 包括列車的停車時間。從圖 7-3 可知，受到列車加減速以及停車的影響，此時的閉塞時間會遠大於列車行進時的閉塞時間。

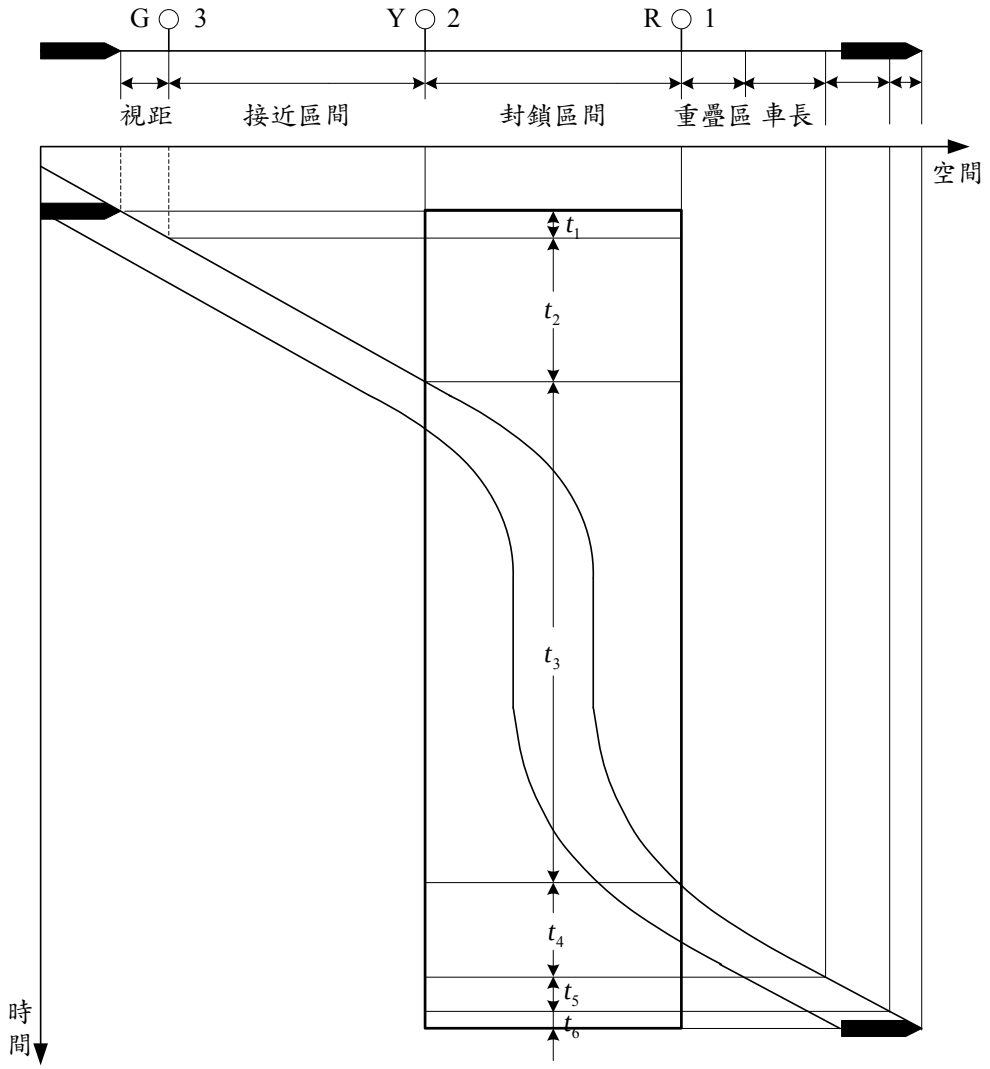


圖 7-3 列車停車時的閉塞時間

將某一列車所經過的區間之閉塞時間繪製成圖，稱為閉塞時間階梯圖（Blocking Time Stairway），如圖 7-4 的範例所示。從該圖可知，一列車在同一時間會導致所在位置鄰近的區間均處於封閉狀態。而將兩連續列車的閉塞時間階梯圖繪製在一起，若至少有一個閉塞區間的閉塞時間相連，該閉塞區間稱為臨界閉塞區間或瓶頸閉塞區間（Critical Block Section），而此時的運轉時隔即為整段路線的最小運轉時隔。若列車的運轉時隔小於此一時隔，則會發生續行列車遇到注意或險阻號誌而必須減速的情形，如圖 7-5。

值得注意的是：列車的速差對運轉時隔有很大的影響，列車的速差愈大，在非瓶頸區間的運轉時隔也愈大。另外，若車站內與站間均

為兩股軌道，且列車的運轉性能及停站方式一致時（例如都會捷運系統），由於車站所在區間的閉塞時間包括停車時間以及加減速時間，因此瓶頸閉塞區通常會發生在車站，如圖 7-6。

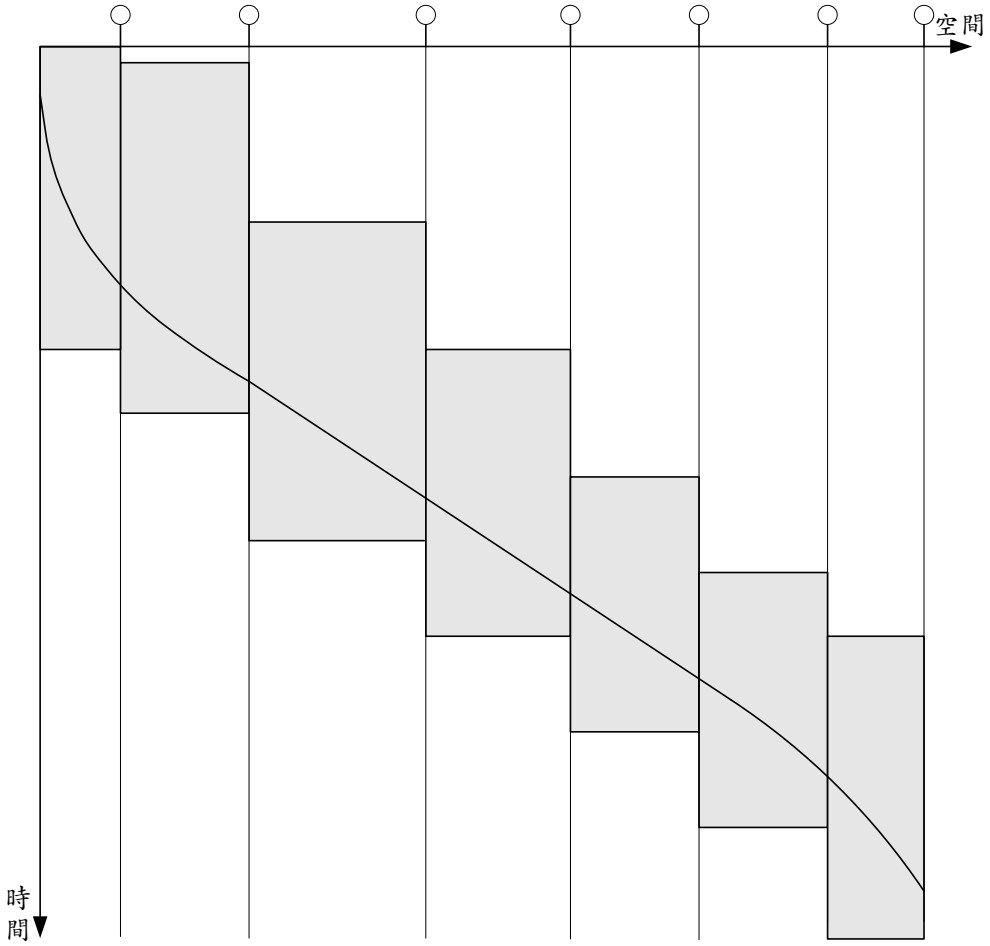


圖 7-4 閉塞時間階梯圖

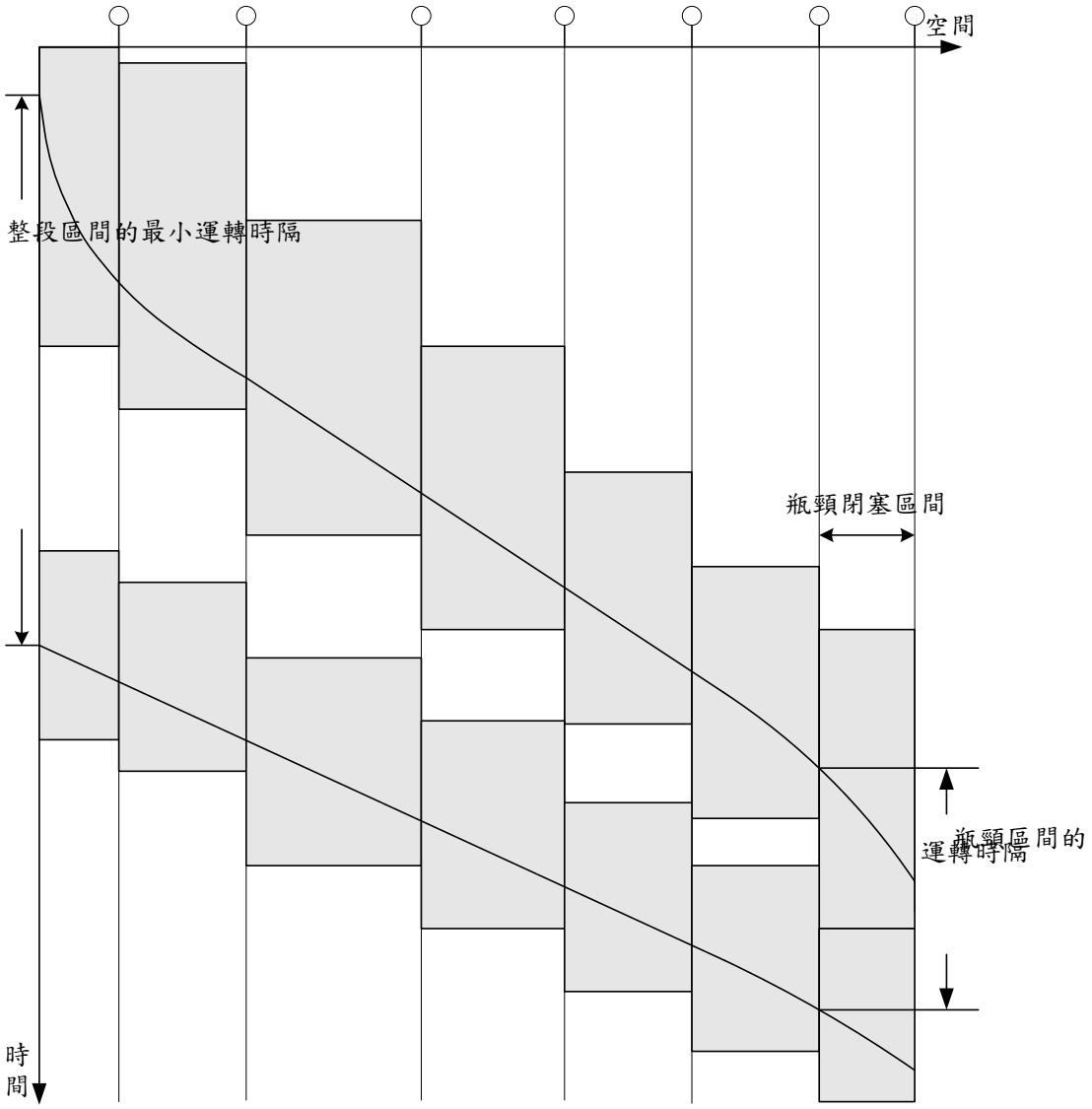


圖 7-5 瓶頸閉塞區間與最小運轉時隔

從上面的討論可知，閉塞時間是針對閉塞區間，以某一列車的觀點來分析，與其他列車的運轉性能無關，雖然其計算方式與最小運轉時隔類似，但閉塞時間並非最小運轉時隔，而最小運轉時隔一部分係來自於先行列車的閉塞時間,另一部分則是來自續行列車的閉塞時間，因此與先行及續行列車的運轉性能均有關係，並非由單一列車所能決定。值得注意的是：若先行及續行列車的性能一致且長度相同，則閉塞時間剛好等於運轉時隔。過去很多文獻計算路段的運轉時隔時，都

是在此一假設之下，直接以閉塞時間來表示運轉時隔，但若列車的性能不一致或長度不同時，兩者其實是存在差異的。

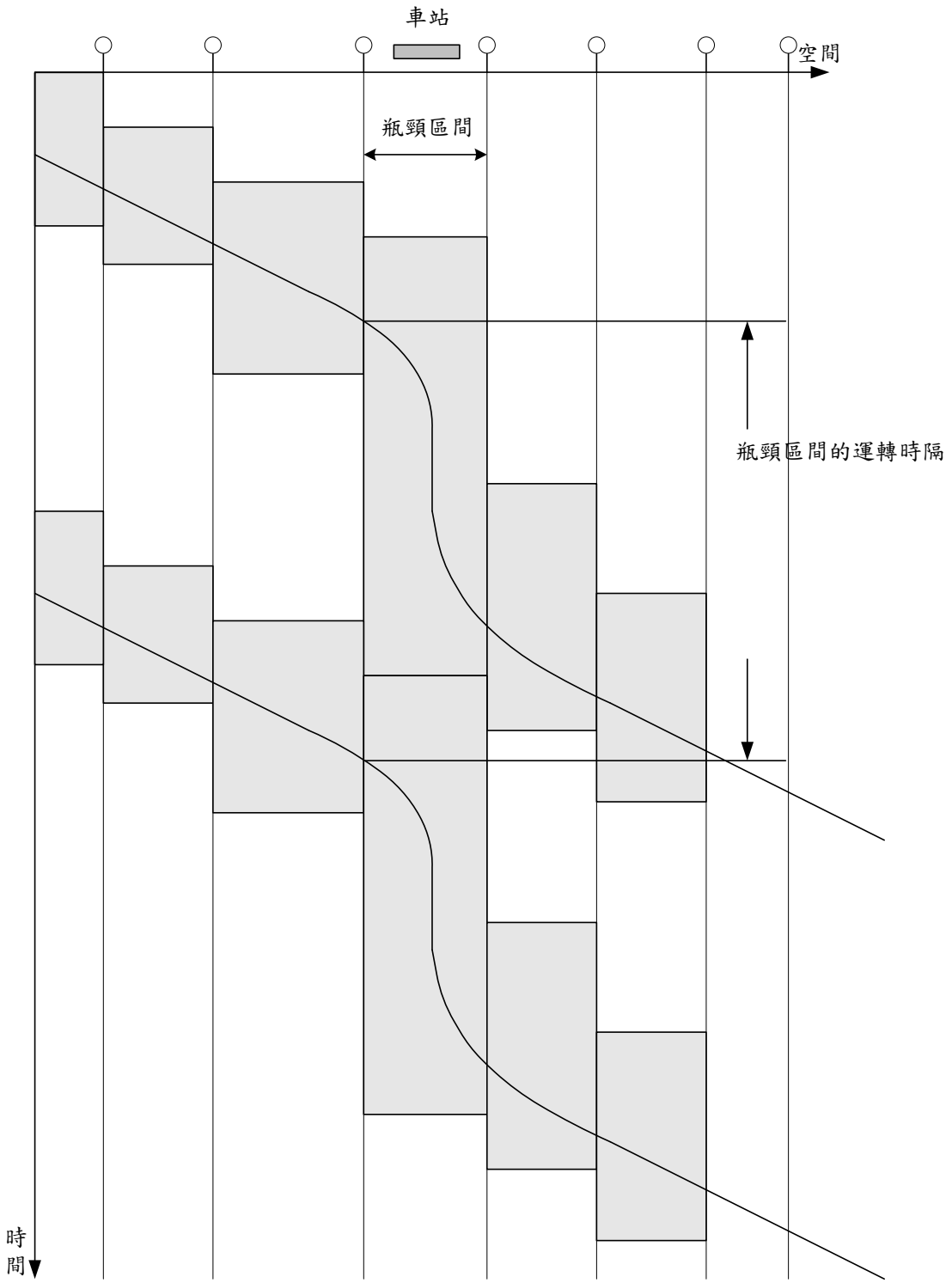


圖 7-6 都會捷運系統的瓶頸閉塞區間與最小運轉時隔

前述的閉塞時間階梯圖係針對固定閉塞制所繪製，在移動閉塞制之下，原先的接近區間可視為煞車距離，而封鎖區間則可以消除，因此閉塞時間會隨著列車的位置不斷的改變，而成為連續的時間帶。時間帶的前緣與車頭之間的距離為煞車距離與安全間距之和，而時間帶的後緣與車頭之間的距離則為列車的長度，詳如圖 7-7 所示。

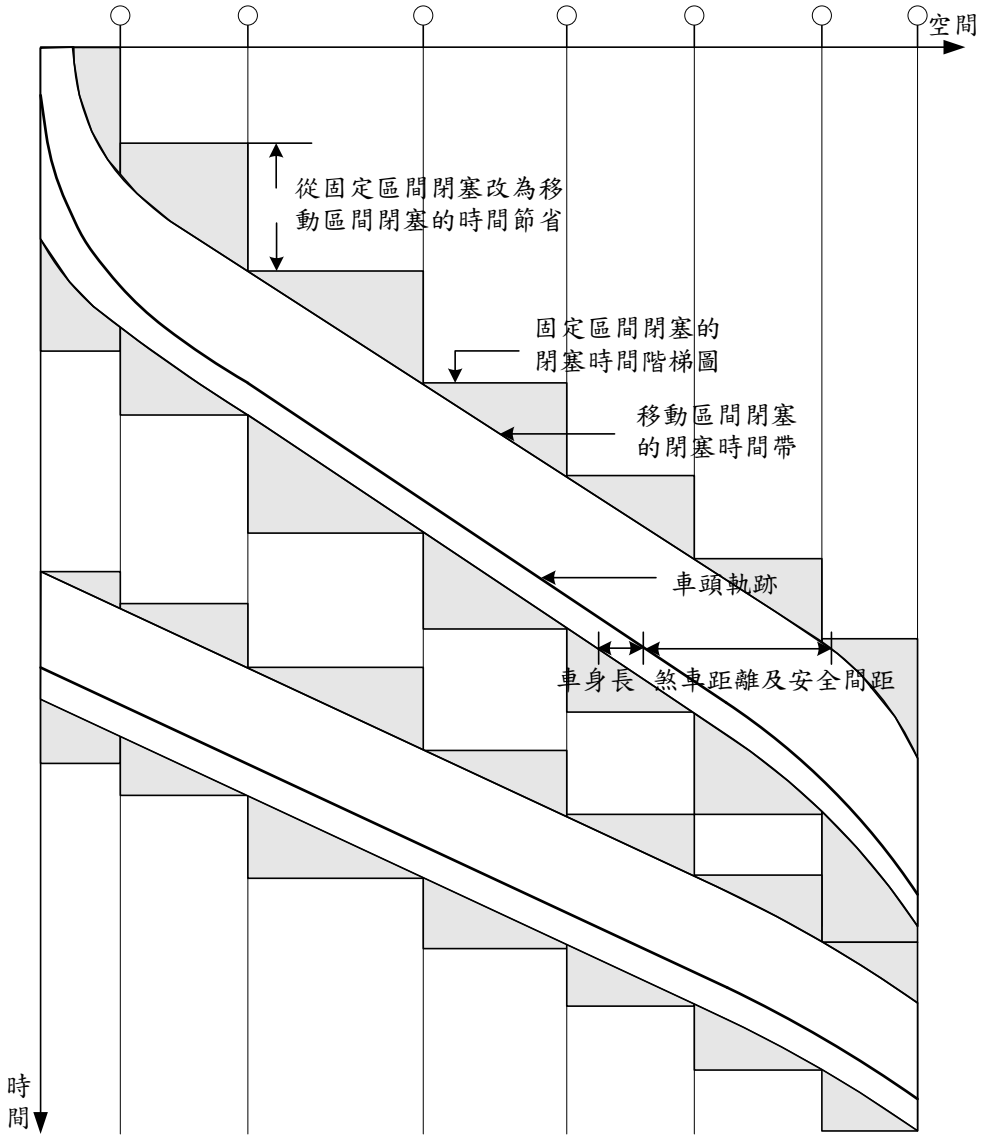


圖 7-7 移動閉塞制的連續閉塞時間帶

7.2.2 等候理論與列車延滯

列車於軌道上運行的原理與等候理論（Queuing Theory）相當類似。在等候系統（Queuing System）中，包括顧客（Customer）以及服務者

（Server）等實體，而描述等候系統的特性則包括顧客的到達程序（Arrival Process）、服務者的服務程序（Service Process），以及顧客的等候規則（Queuing Discipline）[36]，如圖 7-8 所示。

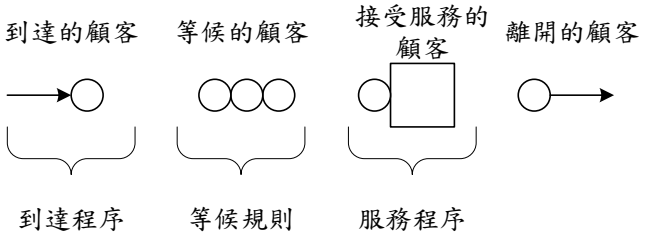


圖 7-8 等候系統示意圖

在等候系統中，顧客依到達程序抵達系統，並依照等候規則等候服務者的服務，在服務過程中依服務程序接受服務，完成服務後離開系統。對於列車運轉而言，列車可視為顧客，而月臺及軌道等資源可當作服務者，列車運行過程，依照一定的規則取得月臺及軌道的使用權，而在月臺的停車時間以及在軌道的運行時間則為服務者的服務時間。以列車停靠車站的例子說明，列車抵達車站時，必須有空餘的股道方能進站，如果是旅客列車，還必須有臨月臺面的軌道才可以停車供旅客上下車。如果車站內的軌道或月臺已被其他列車佔用，後續列車必須在進站號誌機外，甚至前一個車站等候。若不只一班列車等候，當有空餘的月臺及軌道時，這些等候中的列車會依照一定的規則（例如高級車優先）依序進站。而列車停站後，開啟車門讓旅客上下列車，再關閉車門完成停站作業後離開車站，這段時間為列車接受車站服務的時間。

既然是等候系統，由於隨機效應的關係，顧客難免會有等候時間的延誤。當顧客的抵達率逐漸增加時，每一顧客的平均等候時間也會增加，而當抵達率趨近於服務者的服務率時，平均等候時間會趨近於無窮大。對應到鐵道運輸系統，顧客的抵達率可視為「列車流量」，而軌道設施的服務率可視為「鐵道容量」，當列車流量趨近於鐵道容量時，延滯亦會趨近於無窮大，因此曲線於接近鐵道容量時會有大幅陡升的現象，如圖 7-9 所示。

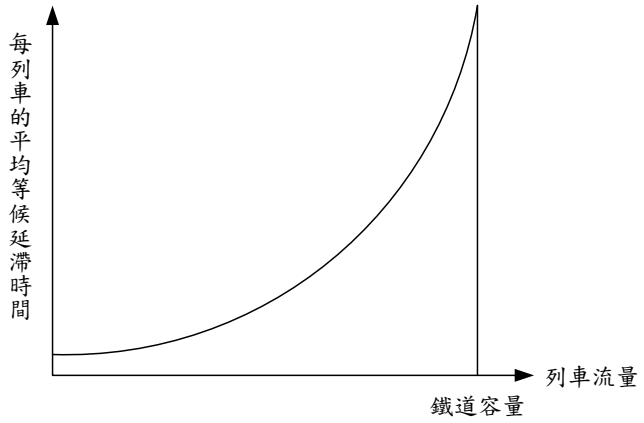


圖 7-9 列車延滯時間圖

列車延滯分為兩類：主要延滯（Primary Delay/Exogenous Delay）和次要延滯（Secondary Delay/ Knock-on Delay）[40]。主要延滯是由於外在因素直接影響列車運行導致的延滯，而次要延滯則是由於主要延滯的發生，造成列車間相互影響所導致的延滯，例如某列車因旅客量多導致停站時間過長，係為主要延滯；而導致其續行列車必須機外停車，便是次要延滯。

而次要延滯又包括兩種型態，第一種是列車排班的交會待避延誤（Waiting Time due to Scheduled Meeting and Overtaking），通常發生在車站或號誌站，第二種是列車實際運轉的延滯（Delay in Current Operation），係發生在列車運轉中途。列車實際運轉的延滯並不包含排班的交會待避延誤，事實上，排班的交會待避延誤通常大於列車實際運轉的延誤。在排班作業時，若某一列車延誤，後續的列車都將跟著延誤。例如圖 7-10 中的(b)圖，當列車*i*延後在車站 A 的出發時間時，所有的後續列車都跟著延誤。而列車實際運轉時，第二班的快速列車*j*仍會依原定時間從車站 A 出發，當其逐漸追上前行的慢速列車*i*時，受到號誌的管制，列車*j*會降低速度，使列車的平均速差變小，如(c)圖，而後續的列車*k*則完全沒有延誤。

如果僅考慮排班的延滯所對應的容量稱為「時刻表容量」或「實用容量」，而考慮列車實際運轉的延滯所求得之容量則稱為「最大容量」。由於排班的延誤通常高於實際運轉延誤，因此「時刻表容量」通常小於「最大容量」，而「最大容量」與「時刻表容量」之差，可

視為「保留容量」，如圖 7-11 所示。保留容量提供列車在實際運行時，運轉整理恢復原定時刻表的緩衝容量。時刻表容量與最大容量的差距愈大，班表的可靠度（Reliability）愈高。

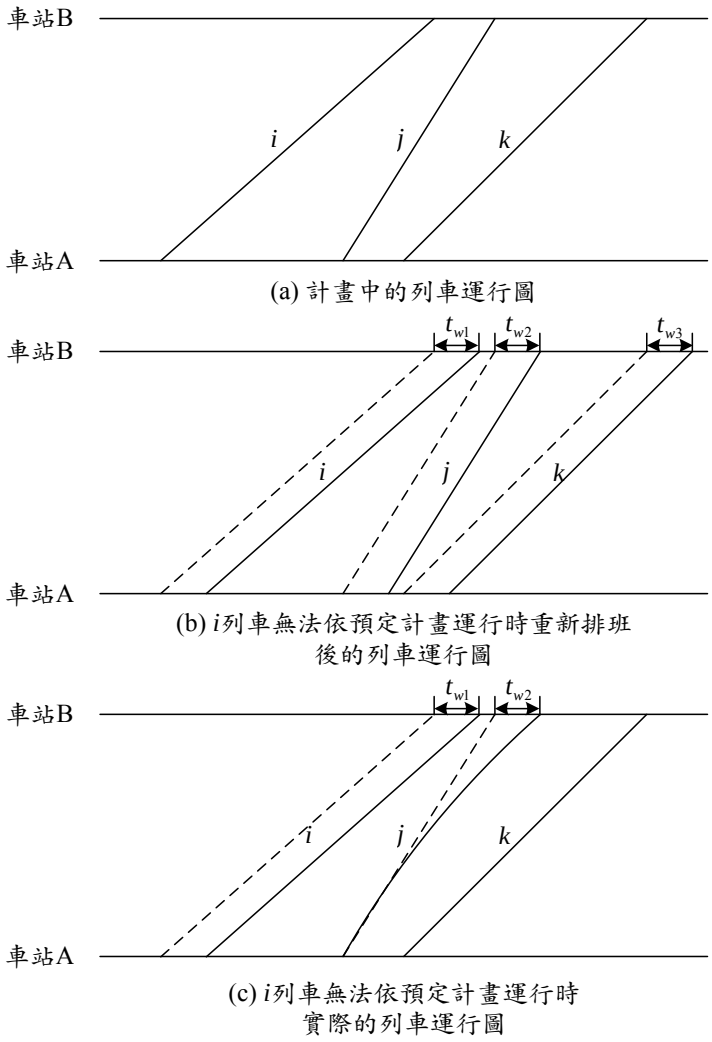


圖 7-10 列車排班延滯與實際運轉延滯

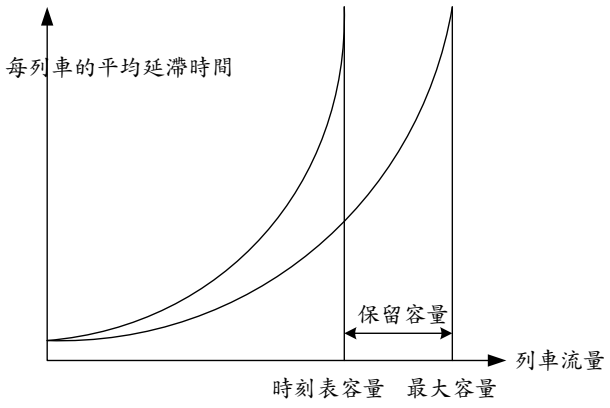


圖 7-11 時刻表容量與最大容量

「時刻表容量」與「最大容量」的差異與運轉時隔（或列車速度）的變異程度有關，運轉時隔（或列車速度）的變異愈小，「時刻表容量」與「最大容量」的差異也愈小。若欲將路線容量作最大的利用，在排班時可讓列車的運轉速度儘量一致，但實際營運時也比較沒有彈性從紊亂的班表中恢復常態運轉；相反的，如排班時保留列車的速差，當實際營運時若有列車發生延滯時，可將部份快速列車的速度稍微降下來，如此比較能夠恢復常態運轉。另外，排班時若列車的運轉時分或停站時間保留一些寬裕時間，雖然時刻表容量會比較小，但實際營運時也會比較有趕點的彈性。

7.2.3 容量分析的注意事項

在進行鐵道容量分析之前，有許多重要的概念必須先予釐清並充分瞭解，否則很容易產生誤判結果的現象，說明如下：

1. 鐵道容量並非單一固定的數值，只要運轉條件（路線、交通、控制）改變，容量也會跟著改變。有時候甚至連硬體都沒有更動，只是交通條件調整而已（例如車種組成），容量也會跟著改變。
2. 最大容量比較偏向於理論上的探討，在實務上的意義不大，比較實用的是時刻表容量，也就是排班作業所能安排的最大列車數（以列車為客體單位）或載運的最大旅客數（以旅客為客體單位）。鐵道容量分析通常以時刻表容量為主。
3. 在最大容量下，列車的交互作用相當複雜，因此分析最大容量通常必須借助模擬模式，而時刻表容量可用解析模式或模擬模式來求解。以解析模式來求解的鐵道容量通常是時刻表容量。
4. 時刻表容量與服務水準是息息相關的，而且有權衡取捨（Trade Off）的關係。當列車流量趨近於最大容量時，延滯會急劇的增加而導致運輸效率不彰，時刻表的可靠度也會下降。相反的，預留較多的運轉寬裕時間以增加保留容量，雖會降低實用容量，但可提升時刻表的可靠度及服務水準[30]。

7.3 鐵道容量的基本分析架構

本篇第二章中曾解釋各種鐵道容量的涵義，並於第三章探討影響鐵道容量的各項因素，而本章第 7.2 節中介紹鐵道容量分析的基本理論。根據這些資訊，本節中將建立一個泛用（Generic）的鐵道容量分析架構，把各種容量影響因素的因果關係串聯起來。透過這個架構，可以清楚了解到容量分析所必須考慮的因素以及分析的步驟。

圖 7-12 為鐵道容量分析的泛用架構，圖中外圍最大的方框是一般鐵道容量分析最主要的考慮範疇，方框之外的因素，包括運輸需求以及車站站體的設計與配置，通常視為外生變數。例如影響運輸需求的因素包括各種社經條件的變化，但在鐵道容量分析時並不會直接考慮這些外生變數的影響；又如旅客在月臺搭車的到達型態與車站站體的設計與各種設施的配置有關，但這些因素通常也不會直接納入考慮，而僅是考慮從月臺上搭乘列車的旅客需求型態。

在鐵道容量分析的範疇內，影響鐵道容量的因素可歸納成路線條件、交通條件及控制條件三大類。在交通條件中又可細分成列車的性能、車廂的設計以及交通特性三種分類，前兩者是車輛靜態的屬性，而後者則為列車營運的交通特性。對於已營運的鐵道運輸系統，列車時刻表可以反應出實際的交通特性。必須注意的是：鐵道系統的路線、交通、控制條件必須反應出運輸需求的特性，因為任何鐵道系統的規劃興建，都是為了提供運輸服務來滿足需求。

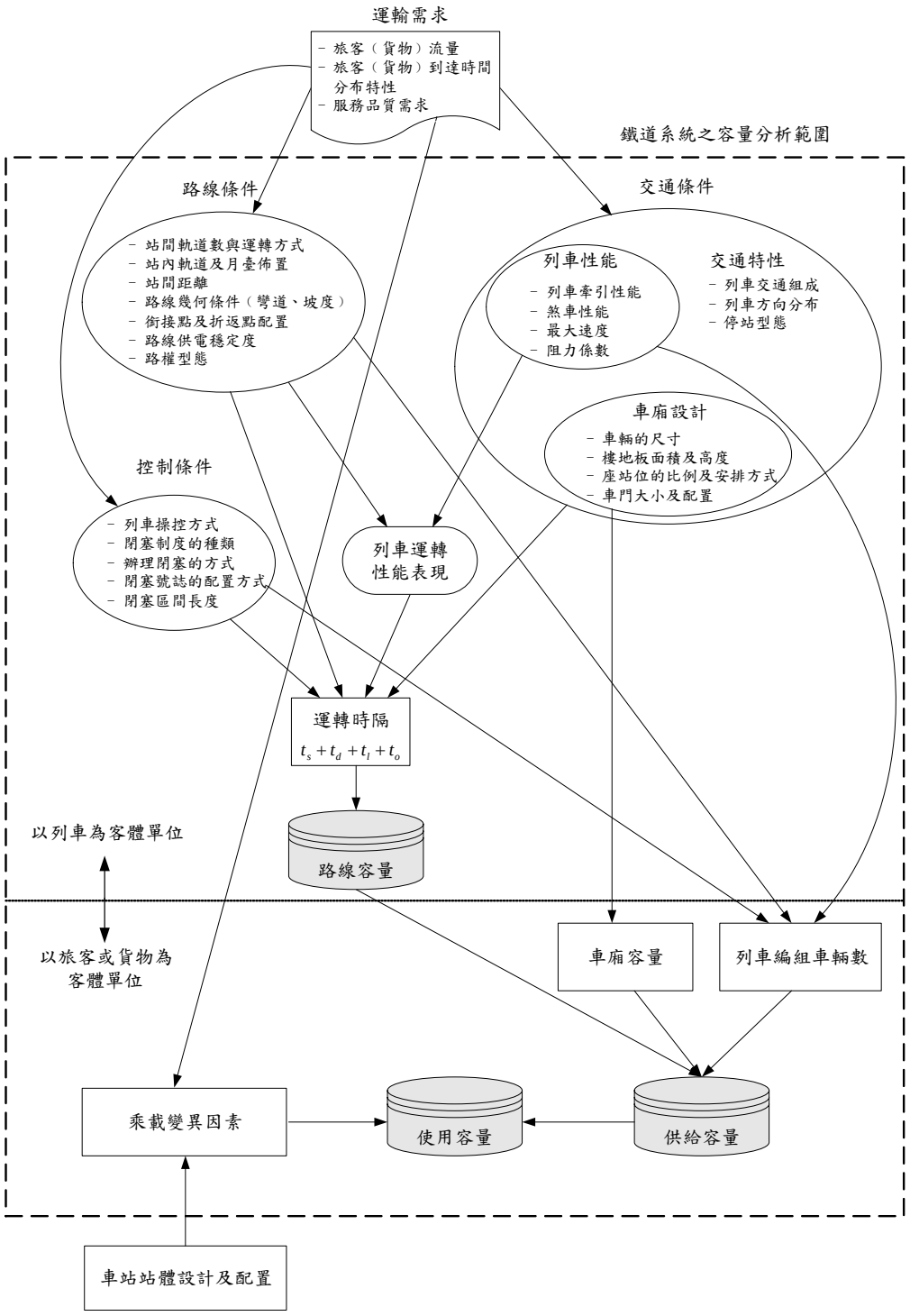


圖 7-12 鐵道容量分析的泛用架構

圖 7-12 中的列車運轉性能係列車實際運轉的績效，除與列車的設計性能有關之外，跟路線條件也有很大的影響，因為列車的運轉性能是路線與車輛交互影響的結果。例如性能優越的車輛，於很差的路線上也無法發揮應有的功效；又如列車行駛於陡上坡路段，加速性能因

坡度阻力的影響也會降低。將列車運轉性能獨立出來的原因是因為這是一個獨立的研究課題，在許多鐵道先進國家已進行過深入的研究，此種專門研究列車運轉性能的模擬工具稱為列車績效模擬器（Train Performance Simulator, TPS）或列車績效計算器（Train Performance Calculator, TPC）[18]。

不同的列車運轉條件，包括路線、交通、控制條件，與列車的運轉性能交互影響下，會導致不同的運轉時隔。列車運轉時隔是指兩連續列車通過路線上某一點的時間間距，在計算容量時扮演最關鍵的角色，而容量分析過程必須計算最瓶頸處的運轉時隔（最大時隔）。狹義的運轉時隔是指號誌所限制的行車時距，但在分析路線容量時，運轉時隔 h 應包含號誌安全時距（Signal Close-in Time）t_s、停站時間（Dwell Time）或停等時間（Waiting Time）t_d、交會待避損失時間（Time Lost due to Meeting or Overtaking）t_l 及運轉寬裕時間（Operating Margin）t_m 四部份（詳如圖 7-13 及圖 7-14）：

$$h = t_s + t_d + t_l + t_m \tag{7.1}$$

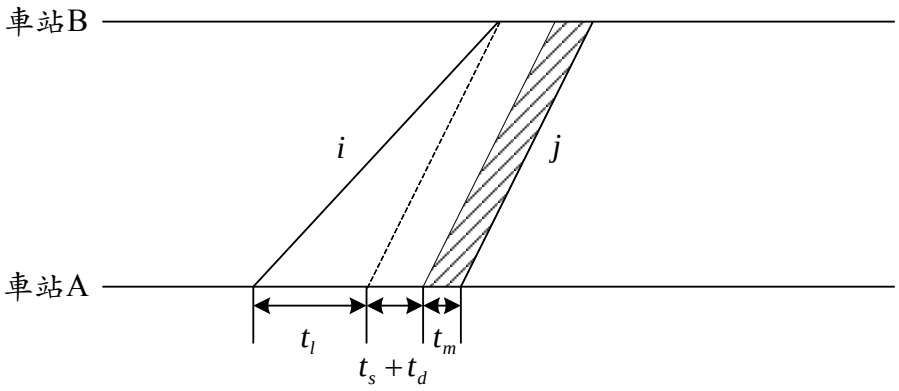


圖 7-13 複線區間的運轉時隔範例

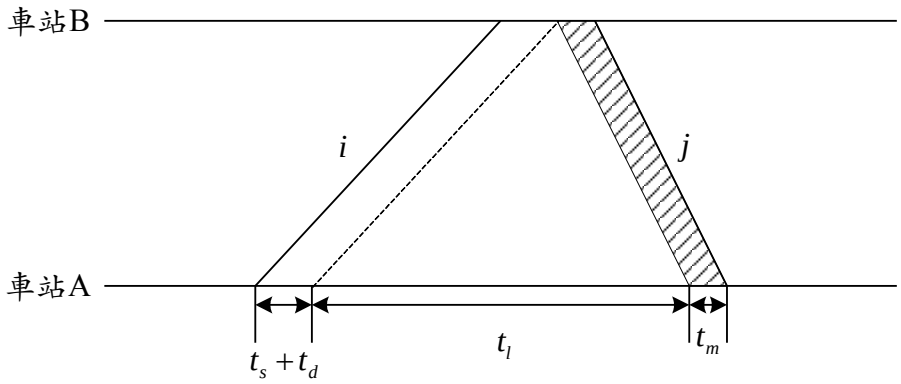


圖 7-14 單線區間的運轉時隔範例

號誌安全行車時距t_s是閉塞系統的限制之下，兩連續列車安全通過路線某一點的時間間距，這也是列車安全運轉的最基本要求。停車時間及停等時間t_d，主要是針對車站、折返點或銜接點運轉時隔的計算，對於路段而言，運轉時隔並不包含t_d。這裡不將t_d狹隘的解釋成停站時間是因為對於泛用的運轉時隔而言，t_d可解釋為列車通過路線折返點或銜接點所額外等候的時間。交會待避損失時間是列車因為交會或待避所需，而導致的時間浪費。至於運轉寬裕時間t_m則是考慮列車運轉的速差、車輛操控的精準性、停車時間的變異、運轉整理的恢復時間、交會待避延誤時間[19]等因素，所預留的寬裕時間。在分析理論容量時是不考慮運轉寬裕時間的，但評估實用容量時必須將之考慮在內。

式(7.1)為一般化的情況，若依列車的交通組成以及車站內可否進行交會待避之情形，列車運轉時隔的組成可以進一步簡化如表 7.2。大體而言，當車種不一致（意指站間運轉時間不一致）時，會有交會待避損失時間t_l，而當車站內無法交會待避時，續行列車必須俟先行列車離開車站淨空月臺後方能進入車站，因此運轉時隔會包括列車的停車時間t_d。至於號誌安全時距t_s以及運轉寬裕時間t_m，則是計算運轉時隔的必備項目。

表 7.2 列車運轉條件與運轉時隔組成的關係

運轉條件		運轉時隔公式
車種組成	路線條件	
車種不一致	站內無法交會待避	$h = t_s + t_d + t_l + t_m$
車種不一致	站內可以交會待避	$h = t_s + t_l + t_m$
車種一致	站內無法交會待避	$h = t_s + t_d + t_m$
車種一致	站內可以交會待避	$h = t_s + t_m$

根據運轉時隔，可分析出列車的路線容量（服務頻率）。至此為止，係以列車為容量分析的客體單位，若欲以旅客或貨物為客體單位，則需配合車廂容量以及列車編組車輛數，方能計算出路線的供給容量。供給容量代表的是系統提供的服務，但實際使用情況必須考慮乘載的變異情形，才能求得路線的使用容量。

上述分析架構係泛用型的架構，對於容量分析的各種應用，可能會有些許的差異，但大體而言，鐵道容量分析都必須考慮到系統的參數，同時反應實際的運輸需求。至於鐵道容量分析的方法，並不侷限於特定的模式。一般而言，可將容量分析模式區分為解析模式（Analytical Model）、模擬模式（Simulation Model）及最佳化模式（Optimization Model），但基本上均在圖 7-12 的架構當中。

7.4 鐵道容量分析的方法

鐵路路網相當複雜，很難以一個測度指標針對整個系統計算其容量，因此在計算較複雜之路網時，通常會將鐵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，再根據每一元素的佈設特性分別來計算容量。至於分析的方法，根據本所的研究[8]，文獻上求解鐵道容量問題之方法論可概分為三種：解析模式、最佳化模式與模擬模式。

1. 解析模式：是藉由鐵路設施與班表的特性，在一些設計與假設的條件下計算相關資料，以決定路線或路網其他部分之容量。

2. 模擬模式：模擬通常透過電腦模型取代真實系統，依循自然科學的實驗法，提供儘可能接近實務狀況的模式，模擬真實系統運作的情況，檢驗班表的可行性、健全性與其他服務特性。在模擬模式中，也可能於局部的次系統結合最佳化方法來求解。
3. 最佳化模式：屬於利用最佳化常用理論（包括數學規劃法、啟發式演算法…等），對基本班表作最佳化，或者直接以最佳化常用理論建立模式求解飽和班表的範疇。

以下各小節針對各種模式之特性作簡單的說明，如果需要更進一步的資料，請參閱本所研究報告[8]。

7.4.1 解析模式

解析模式通常隱含有統計學中的機率以及平均值概念關係，並且具有簡單且容易使用的特性，為計算鐵道容量常用之方式。

解析模式通常擁有所謂的公式（Formula），透過公式裡頭的變數即可約略瞭解該模式之考量因素與影響程度，亦即未在公式出現的因子被模式視為與容量無關，模式無法反應這些因素的變化。因此良好的解析模式應儘可能將鐵道容量的重要影響因素納入模式中。由於解析模式的精確性不如模擬模式，模式的驗證顯得特別重要。解析模式對於參數的變動相當敏感，即使是廣為各界所接受的模式，只要參數或係數選擇不當，皆會使結果呈現相當大的偏誤，而容易做出過於保守或樂觀的判斷，因此以解析模式求解鐵道容量問題通常必須進行參數的敏感度分析。

7.4.2 模擬模式

模擬模式是鐵道容量分析裡很重要的方法，此方法論通常應用於路線或路網的最大容量問題，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-Orientation 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[37]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導向來得恰當。

模擬模式通常是一種描述鐵道系統運作的工具，根據模式建構時考慮的因素，以及分析時所設定的情境，以圖型或文字紀錄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，常見的績效指標是延滯時間或等待時間。軌道作業模擬皆含有以下關鍵：研究目標的定義、取得詳實之實際資料、與真實狀況進行校正，以及轉換各種績效之量測等，目前應用模擬模式來研究容量相關課題的趨勢，在於強調路網的整體性考量。

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[38]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。

7.4.3 最佳化模式

嚴格來說，最佳化應屬於一種應用而非方法，本研究所謂之最佳化模式，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…等）之容量分析模式。

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，通常是以尋找最適之班表的方式求算容量，即所謂的時刻表容量。

7.5 選擇鐵道容量分析方法的原則

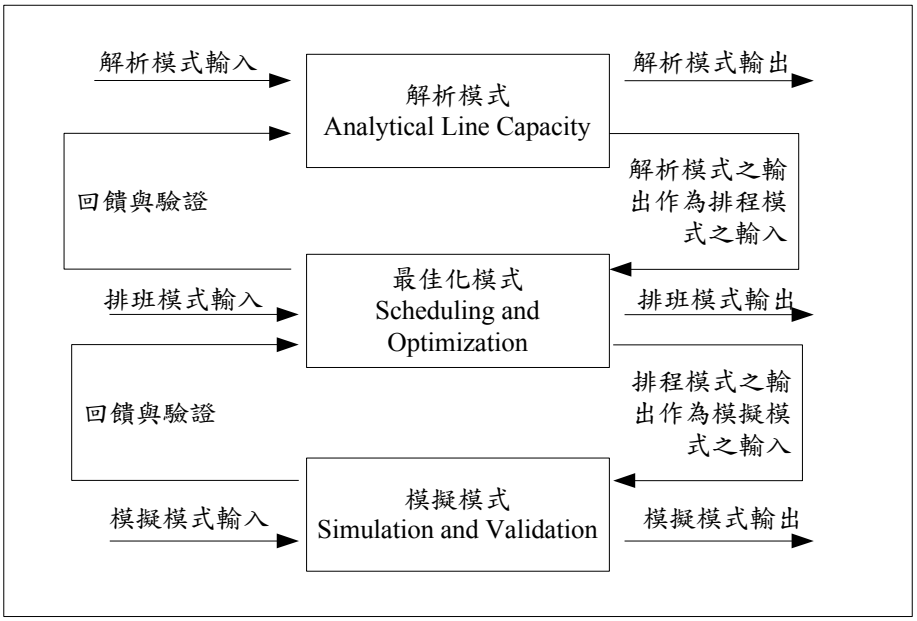
解析模式、模擬模式與最佳化模式各有其優缺點與適當的使用時機。整體而言，解析模式所需的資料較少，故使用上較為簡便，應用於不同的鐵道系統較不易有所限制，但缺點是考慮的因素相對較少、精確度低，故無法反映某些系統參數的變動；另外，解析模式亦隱含著系統達到穩定狀態（Steady State），無法詳細考慮列車運轉速度的變異、列車之間的干擾、號誌顯示等之隨機效應（Random Effect）。實際上列車運轉的隨機效應很多，穩定狀態很難達成，特別是列車的服務頻率接近最大容量時，列車之間的干擾會急劇的增加，因此解析模式通常是用來求解時刻表容量而非最大容量。而模擬模式則正好相反，考慮的因素較多，若模式構建得宜，也可以將系統的各項隨機效應納入考慮，但也正因如此，模擬模式與系統的相依程度較高，大多定位在解決特定的問題，各種方法論之簡易比較表如表 7.3 所示，讀者可以根據自己的需求，配合表 7.3 的比較，選擇所要採用之容量分析方法論。

表 7.3 三種方法論之簡易比較

	解析模式	最佳化模式	模擬模式
輸入資料	較少	普通	繁瑣
精確度	低	普通	高
模式適用範圍	初步規劃	班表設計	檢討、班表驗證
模式建構成本	較低	高	很高
運用便利性	較易使用	普通	普通
系統相依程度	低	中	高

資料來源：[8]

雖然探討鐵道容量的方法論可分為三大類，但在實務應用時，亦可以互相搭配使用，在 EUROPE-TRIP 計畫[27]的研究中，甚至認為解析模式、模擬模式與最佳化模式應該整合成一個統一的「三層式」架構，如圖 7-15 所示。



資料來源：[27]

圖 7-15 容量分析三層次架構（歐洲 EUROPE-TRIP）

這個架構是一個由上而下的研究方法，一個從總體到細部的容量分析架構，上一層次模式的輸出可以作為下層次模式的輸入，越下層其精確度越高，但所需輸入的資料越多。

1. 第一層次：即解析路線容量，主要的目標是在一些設計與假設的條件下，決定鐵路路線容量的估計值。這個層次主要使用於初步或上位的規劃，也可供參考或比較之用。在這個層次裡，並不需要提供精確的班表，只要一些基本的輸入即可。這個層次有時也會加入機率方面的方法論。
2. 第二層次：屬於利用最佳化演算法對班表作最佳化的範疇，班表被視為初步或期望的輸入（列車發車時間或其他限制是可以被放寬的，亦即適當的誤差是可以被接受的）。

3. 第三層次:屬於模擬的範疇,也可能於局部子問題結合最佳化法。這個層次的目標在於提供儘可能接近實務狀況的模式，檢驗班表的可行性、健全性與其他服務特性。

在整個架構裡，下層方法論可以對上層的產出進行最佳化，且可以假設下層的精確度都比其上層來的高。以方法論的期望精確度來說，分別以列車數、時間或模式的誤差來表示，適當的建議值如表 7.4 所示。

表 7.4 各容量分析層次期望精確度

	列車數誤差	時間誤差
第一層次	10-15%	15-30 分鐘
第二層次	1-3%	5 分鐘以下
第三層次	0-1%	15 秒以下

資料來源：[27]

因此綜合上述，容量分析可單獨使用適當的解析模式、最佳化模式與模擬模式，亦可以數個模式搭配使用，甚至將三種層次整合成一個完整的架構。

解析模式的結果除了可以作為最佳化工具的輸入之外，對於尋找系統瓶頸與限制來講，是一種值得推薦的方式，但此方法對於輸入參數的變動相當敏感，很容易造成過於保守或樂觀的分析，因此只能做為容量概估之用，而不能直接拿來做為排班之用。

最佳化模式是最近的研究趨勢，可以提供比「純解析模式」更佳的解，其精確度符合上位研究階段之所需。

一個好的模擬模式應該能提供最大路線容量真實的解，並且是一種評估容量的經濟方法，同時可以估算各種因子對路線容量的個別效益，透過模擬模式可以做最後的驗證以及提供詳細的資訊。

對於國內鐵道容量分析模式的發展而言，長期而言，每一系統分類均應有對應的解析模式、最佳化模式與模擬模式。未來如果所有的模式均能建構完成，在分析路線容量時，對於模式的選擇會比較有彈

性，同時也比較能切合所欲求解的問題。但短期內本手冊會以建立各系統的解析模式為目標，再逐步建立較複雜的最佳化模式或模擬模式。

參考文獻

1. 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。
2. 交通部運輸研究所，**軌道容量研究－臺鐵系統容量模式之建構分析（一）**，民國 94 年 3 月。
3. 交通部運輸研究所，**軌道容量研究－臺鐵系統容量模式之建構分析（二）**，民國 95 年 4 月。
4. 交通部運輸研究所，**運輸系統容量分析暨應用研究－軌道系統（1/4）**，民國 96 年 4 月。
5. 交通部運輸研究所，**運輸系統容量分析暨應用研究－軌道系統（2/4）**，民國 97 年 5 月。
6. 交通部運輸研究所，**運輸系統容量分析暨應用研究－軌道系統（3/4）**，民國 98 年 6 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（4/4）期末報告初稿**，民國 98 年 12 月。
8. 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**，民國 93 年 6 月。
9. 李治綱、丁國樑、黃哲旭，「鐵路列車模擬模式之研究」，*中華民國運輸學會第 11 屆論文集*，民國 85 年 12 月，頁 1105-1116。
10. 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。
11. 凌建勳，「列車服務計畫」，*捷運技術*，第 18 期，民國 87 年 2 月，頁 1-11。
12. 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。

13. 張澤雄，「臺北捷運規劃之模式」，*臺北捷運十週年工程技術技術研討會論文集*，民國 86 年，頁 52-85。

14. 黃民仁，**鐵路工程學**，文笙書局，民國 82 年 10 月。

15. 劉祐彰，「捷運車站規劃程序及模擬模式之探討」，*捷運技術*，第 5 期，民國 84 年 8 月，頁 32-47。

16. 謝文隆、王家福，**行車計劃**，臺灣鐵路管理局，民國 85 年 3 月。

17. 謝水源，**鐵路號誌設備**，中興工程顧問社，民國 80 年。

18. 鍾志成，**軌道運輸系統營運模式現狀評估**，中興工程顧問社，民國 90 年 6 月。

19. 鍾志成、張仕龍，「列車等候規則之探討」，*第 16 屆中華民國運輸學會論文集*，民國 90 年 11 月，頁 947-955。

20. Alter, C.H., "Evaluation of Public Transit Services: The Level of Service Concept," *Transportation Research Record*, 606, pp.37-40, 1976.

21. American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association (AREMA), **Manual for Railway Engineering, Vol. 4 System Maintenance,** AREMA, 1999.

22. Botzow, Hermann, "A level of Service Concept for Evaluating Public Transport," prepared for presentation at the 53rd Annual Meeting of the Highway Research Board, January 21, 1974.

23. Chase, R. B. & Tansik, D. A., "The Customer Contact Model for Organization Design," *Management Science*, Vol. 29, No. 9, pp. 1037-1050, September, 1983.

24. Chase, R. B. & Tansik, D. A., "The Customer Contact Model for Organization Design," *Management Science*, Vol. 29, No. 9, pp. 1037-1050, September, 1983.

25. Clifford, P., "The Impact of Passenger Capacity Analysis on Station Design", **Computers in Railways VI**, 1998, pp. 159-165.

26. Daamen, W. & Hoogendoorn, S. P. “Pedestrian traffic flow operations on a platform: observations and comparison with simulation tool SimPed”, **Computers in Railways IX**, J. Allan, C. A. Brebbia, R. J. Hill, G. Sciutto & S. Sone (Editors), 2004
27. Ferrovie dello Stato Spa - Divisione Infrastruttura, **European Railways Optimisation Planning Environment - Transportation Railways Integrated Planing**, EuROPE-TRIP, 2000.
28. Florio, L. and Mussone, L., “An Analytical Model for the Simultaneous Calculation of Capacity of Lines, Junctions and Station Tracks”, **Computers in Railways VI**, 1998, pp. 543-552.
29. Gill, D. G., “Assessment of Mass Transit Turn-back Capacity Using Dynamic Simulation Models”, **Computers in Railways VII**, 2000, pp. 1077-1086.
30. International Union of Railways (UIC), **Links between Railway Infrasturcture Capacity and the Quality of Operations**, French, 1996.
31. Jong, J. C. and Chang, S., “Algorithms for Generating Train Speed Profiles”, *Journal of the Eastern Asia Society of Transportation Studies*, Vol. 6, pp. 356-371, 2005.
32. Jong, J. C., “Analytical Solutions for Predicting Train Coasting Dynamics”, *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 4, pp. 91-103, 2003.
33. Judd, R. C., “The Case for Redefining Services,” *Journal of Marketing*, Vol. 28, pp.58-59, January, 1964.
34. 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.

35. Krueger, H., "Parametric Modeling in Rail Capacity Planning", *Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference*, 1999, pp. 1194-1200.
36. Law, A. M. and Kelton, W. D., **Simulation Modeling & Analysis 2nd Edition**, McGraw-Hill International, New York, 1991.
37. Leilich, R., "Application of Simulation Models in Capacity Constrained Rail Corridors", *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference*, 1998, pp. 1125-1133.
38. Middelkoop, D. and Bouwman, M., "SIMONE: Large Scale Train Network Simulations", *Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference*, 2001, pp. 1042-1047.
39. Mills, P. K. & Margulies, N., "Toward a core typology of service organizations," *Academy of Management Review*, Vol. 5, No. 2, April, 1980, pp. 255-265.
40. Nils O.E. Olsson and Hans Haugland, "Influencing factors on train punctuality—results from some Norwegian studies", *Transport policy 11*, 2004, pp. 387-397.
41. Pachl, J., **Railway Operation and Control**, VTD RAIL publishing, Terrace, U.S.A., 2002.
42. Parasurman, A., Zeithaml, V. A. and Berry, L. L., "A Conceptual Model of Service Quality and Its Implication for Future Research," *Journal of Marketing*, Vol. 49, pp. 41-50, Fall, 1985.
43. Railway Technology Web Pages, Web Site: http://www.railway-technical.com/。
44. Reeves, Carol A. & Bednar, David A., "Defining Quality: Alternatives and Implications," *Academy of Management Review*, Vol. 19, No. 3, pp. 419-445, July, 1994.

45. Regan, W. J., "The Service Revolution," *Journal of Marketing*, Vol. 27, pp. 57-62, July, 1963.

46. Shostack, G. L., "Breaking Free from Product Marketing," *Journal of Marketing*, Vol. 41, pp. 73-80, April, 1977.

47. Stuart R. Mckay, **An Interactive Train Performance Simulator With Signalling Applications**, Queen's University Kingston, Ontario, Canada, 1992.

48. Tom Parkinson Transport Consulting Limited, **Rail Transit Capacity（TCRP Report 13）**, Transportation Research Board, National Research Council, U.S.A., 1996.

49. Transport, Innovation and Systems (TIS.PT) et al., **Improved Tools for Railway Capacity and Access Management (IMPROVERAIL), Deliverable D0 – Inception Report**, Competitive and Sustainable Growth Programme, 2001.

50. Transport, Innovation and Systems (TIS.PT) et al., **Improved Tools for Railway Capacity and Access Management (IMPROVERAIL), Deliverable D1－ State of the Art in Railway Infrastructure Capacity and Access Management**, Competitive and Sustainable Growth Programme, 2002.

51. 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.

52. Transvert Transvert Group "Doney Spur Commuter Rail Line", Transvert Group, School of Urban Planning McGill University Studio, 2002.

53. TRB, **Highway Capacity Manual**, Transportation Research Board, National Research Council, U.S.A., 2000.

54. Vuchic, V. R., **Urban Public Transportation : Systems and Technology**, Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, New Jersey, 1981.

55. Vuchic, V. R., **Urban Transit : Operations, Planning and Economics**, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2005.

附錄 A 重要數學符號說明表

符號	定義	常用單位
B	閉塞區間長度	m
C	容量的代號	TU/h 或 TU/day
C_b	折返點容量	TU/h
C_e	所有樓梯/電扶梯每小時所能輸送的旅客數總量	—
C_j	銜接點容量	TU/h
C_l	路線容量	TU/h
C_M	最大容量	TU/h
C_o	路線最大供給容量或設計容量	sps/h
C_P	實用容量	TU/h
C_R	可利用容量	TU/h
C_s	車站容量	TU/h
C_T	理論容量或時刻表容量	TU/h
C_t	表訂服務容量	sps/h
C_U	已使用容量	TU/h
C_u	路線最大使用容量或可達成容量	prs/h
C_w	路段容量	TU/h
c_t	列車容量	sps/TU
c_v	每一車廂包含坐、站位的車廂容量	sps/veh
D_g	先行列車車尾與續行列車車頭的間距	m
d_i	第 i 位旅客的搭乘距離	km
d_l	路段 l 的區間長度	km
f	頻率的代號	TU/h 或 prs/h
$f_{b,\max}$	列車通過折返點之最大頻率	TU/h
$f_{j,\max}$	列車通過銜接點之最大頻率	TU/h
$f_{l,\max}$	路線上列車之最大服務頻率	TU/h
$f_{\max}$	最大服務頻率的代號	TU/h 或 TU/day
$f_{M,\max}$	列車之最大服務頻率	TU/h

符號	定義	常用單位
$f_{P,\max}$	正常營運條件下，列車之最大服務頻率	TU/h
$f_{s,\max}$	列車通過車站之最大頻率	TU/h
$f_{T,\max}$	理想狀況下，列車之最大服務頻率	TU/h
f_t	表訂列車服務頻率	TU/h
$f_{w,\max}$	路段上列車之最大通過頻率	TU/h
h	運轉時隔代號	s
$h_{b,\min}$	兩連續列車通過折返點的最小運轉時隔	s/TU
$h_{j,\min}$	兩連續列車之間通過銜接點的最小運轉時隔	s/TU
$h_{l,\min}$	路線上兩連續列車之間的最小運轉時隔	s/TU
$h_{\min}$	最小運轉時隔	s
$h_{M,\min}$	兩連續列車的最小運轉時隔	s/TU
$h_{P,\min}$	正常營運條件下，兩連續列車的最小運轉時隔	s/TU
$h_{s,\min}$	兩連續列車通過車站的最小運轉時隔	s/TU
$h_{T,\min}$	理想狀況下，兩連續列車的最小運轉時隔	s/TU
$h_{w,\min}$	路段上兩連續列車之間的最小運轉時隔	s/TU
k	密度的代號	—
L_n	列車營運路線長度	km
n_v	每次列車所掛載之車廂數	veh/TU
P	乘客流量	prs/h
p_i	單位時間內的第i位旅客	prs
p_l	單位時間內路段l的旅客量	prs
q	單位寬度下之旅客流	prs/m/min
s	距離的代號	m
s_b	列車的煞車距離	m
s_o	額外的列車安全間距	m
s_p	旅客空間，每位旅客所佔有之空間	m^2/prs
s_s	空間間距的代號	—
T	計算鐵道容量所涵蓋的時間	h 或 day
t	時間的代號	s
t_d	停站時間或停等時間	s

符號	定義	常用單位
t_l	交會待避損失時間	s
t_m	運轉寬裕時間	s
t_s	號誌安全時距	s
u	鐵道系統所運送的客體（Object）	列車/乘客/乘位
v	速度的代號	m/s
v^{-1}	遲緩度的代號	s/m
α	實際乘客流量與表訂服務容量的比例	—
$\overline{\alpha}$	平均乘載係數	—
δ	表訂容量利用率	—
η	路線利用率	—
ε	列車排班及調派的效率	—
ρ_d	尖峰乘客流率與尖峰流量的比例	—

傳統暨區域鐵路篇

傳統暨區域鐵路篇 目錄

頁 次

目 錄 I
圖 目 錄 VII
表 目 錄 XVII
第一章 緒論 ..... 1 - 1
1.1 臺鐵系統簡介 ..... 1 - 1
1.1.1 路線概要 ..... 1 - 1
1.1.2 車輛系統 ..... 1 - 3
1.1.3 號誌系統 ..... 1 - 4
1.1.4 營運概況 ..... 1 - 5
1.2 臺鐵系統特性 ..... 1 - 6
第二章 單區段路線容量分析模式 ..... 2 - 1
2.1 基本概念與模式假設 ..... 2 - 1
2.1.1 容量計算的時間單位 ..... 2 - 1
2.1.2 容量計算的空間參考點 ..... 2 - 2
2.1.3 最小運轉時隔的組成 ..... 2 - 4
2.1.4 模式的假設條件 ..... 2 - 6
2.2 號誌安全時距的計算 ..... 2 - 6
2.2.1 路段上號誌安全時距計算公式 ..... 2 - 7
2.2.2 車站內號誌安全時距計算公式 ..... 2 - 10
2.2.3 路線坡度及加減速性能的影響 ..... 2 - 31
2.2.4 車站軌道及月臺配置方式的影響 ..... 2 - 33
2.2.5 瓶頸號誌安全時距的決定 ..... 2 - 47
2.3 交會待避損失時間的估計 ..... 2 - 50
2.4 運轉寬裕時間的決定 ..... 2 - 54
2.5 平均最小運轉時隔的計算 ..... 2 - 55

2.6 路線容量的計算 2 - 57
第三章 連續區段路線容量分析模式 3 - 1
3.1 複線連續區段容量分析模式 3 - 1
3.1.1 基本概念 3 - 1
3.1.2 模式架構 3 - 3
3.1.3 假設條件 3 - 4
3.1.4 整體模擬流程 3 - 5
3.1.5 列車進離站時間之調整 3 - 6
3.1.6 列車連鎖推擠之處理 3 - 10
3.2 單線連續區段容量分析模式 3 - 15
3.2.1 基本概念 3 - 15
3.2.2 模式架構 3 - 17
3.2.3 假設條件 3 - 18
3.2.4 整體流程 3 - 19
3.2.5 演算範例 3 - 30
第四章 旅客容量分析模式 4 - 1
4.1 旅客容量計算 4 - 1
4.2 停站時間推估 4 - 5
第五章 容量整體分析程序 5 - 1
5.1 容量分析架構與步驟 5 - 1
5.2 容量分析應用注意事項 5 - 12
5.2.1 路線區段的前處理 5 - 13
5.2.2 單區段與連續區段容量模式的比較 5 - 14
5.2.3 容量利用效率評估 5 - 15
5.2.4 列車服務班距規劃 5 - 17
5.2.5 設計路線容量的決定 5 - 19
第六章 列車服務可靠度分析模式 6 - 1
6.1 單區段可靠度分析模擬模式 6 - 1
6.1.1 模式架構 6 - 1
6.1.2 整體模擬流程 6 - 3

6.1.3 模擬列車排班延滯 ..... 6 - 5
6.1.4 模擬列車運轉延滯 ..... 6 - 8
6.2 連續區段可靠度分析模擬模式 ..... 6 - 12
6.2.1 基本概念 ..... 6 - 12
6.2.2 模式架構 ..... 6 - 13
6.2.3 整體模擬流程 ..... 6 - 14
6.2.4 模擬列車延滯 ..... 6 - 16
第七章 容量分析軟體使用手冊 ..... 7 - 1
7.1 系統配備需求 ..... 7 - 2
7.2 快速入門 ..... 7 - 3
7.2.1 軟體執行 ..... 7 - 3
7.2.2 詞彙解釋 ..... 7 - 4
7.2.3 操作環境 ..... 7 - 5
7.2.4 專案管理 ..... 7 - 6
7.2.5 基本分析範例 ..... 7 - 8
7.2.6 參數說明檢視 ..... 7 - 15
7.3 選項設定 ..... 7 - 16
7.3.1 操作模式切換 ..... 7 - 16
7.3.2 檢核設定 ..... 7 - 18
7.4 全域參數設定 ..... 7 - 19
7.5 列車參數設定 ..... 7 - 21
7.5.1 新增列車 ..... 7 - 22
7.5.2 編輯列車 ..... 7 - 23
7.5.3 刪除列車 ..... 7 - 23
7.5.4 匯出列車參數 ..... 7 - 24
7.5.5 匯入列車參數 ..... 7 - 25
7.6 車站參數設定 ..... 7 - 26
7.6.1 新增車站 ..... 7 - 27
7.6.2 編輯車站 ..... 7 - 29
7.6.3 刪除車站 ..... 7 - 32

7.6.4 變更車站順序 ..... 7 - 32
7.6.5 匯出車站參數 ..... 7 - 33
7.6.6 匯入車站參數 ..... 7 - 34
7.7 交互關係設定 ..... 7 - 35
7.8 專案精靈 ..... 7 - 36
7.8.1 匯入臺鐵參數資料 ..... 7 - 37
7.8.2 新增車站 ..... 7 - 40
7.8.3 新建路線 ..... 7 - 41
7.9 容量分析 ..... 7 - 45
7.9.1 操作介面介紹 ..... 7 - 45
7.9.2 操作步驟說明 ..... 7 - 46
7.9.3 結果檢視與輸出 ..... 7 - 47
7.10 敏感度分析 ..... 7 - 52
7.10.1 操作介面介紹 ..... 7 - 53
7.10.2 操作步驟說明 ..... 7 - 53
7.10.3 結果檢視與輸出 ..... 7 - 57
7.11 可靠度分析 ..... 7 - 57
7.11.1 操作介面介紹 ..... 7 - 58
7.11.2 操作步驟說明 ..... 7 - 58
7.11.3 結果檢視與輸出 ..... 7 - 60
7.12 情境分析 ..... 7 - 61
7.12.1 操作介面介紹 ..... 7 - 61
7.12.2 操作步驟說明 ..... 7 - 62
7.12.3 結果檢視與輸出 ..... 7 - 69
7.13 注意事項 ..... 7 - 69
第八章 分析範例 ..... 8 - 1
8.1 範例一 ..... 8 - 1
8.2 範例二 ..... 8 - 8
8.3 範例三 ..... 8 - 14
8.4 範例四 ..... 8 - 20

8.5 範例五 ..... 8 - 29
8.6 範例六 ..... 8 - 36
8.7 範例七 ..... 8 - 41
參考文獻 ..... R - 1

圖 目 錄

頁 次

圖 1-1 臺鐵營運路線暨機廠相對位置示意圖 .....1 - 2
圖 1-2 臺鐵三位式號誌顯示關係圖 .....1 - 5
圖 2-1 傳統暨區域鐵路鐵道容量的基本分析單元 .....2 - 3
圖 2-2 中間車站不可待避而高估容量的範例 .....2 - 4
圖 2-3 忽略中間無法待避車站來分析鐵道容量的正確做法 .....2 - 4
圖 2-4 路段上之閉塞時間與最小號誌時距 .....2 - 8
圖 2-5 日本新幹線複線運轉時隔的種類 .....2 - 12
圖 2-6 傳統鐵路暨區域鐵路複線運轉時隔的種類與應用 .....2 - 12
圖 2-7 同向列車進站之號誌安全時距－站內使用同一軌道 .....2 - 14
圖 2-8 同向列車進站之號誌安全時距－站內使用不同軌道 .....2 - 17
圖 2-9 列車在站內停靠位置與進站道岔及出發號誌的相對關係 2 - 18
圖 2-10 同向列車離站之號誌安全時距－站內使用同一軌道 .....2 - 21
圖 2-11 同向列車離站之號誌安全時距－站內使用不同軌道 .....2 - 25
圖 2-12 反向列車交會之號誌安全時距－站內使用不同軌道 .....2 - 28
圖 2-13 列車先離站後進站的平面交叉號誌時距 .....2 - 29
圖 2-14 兩個島式月臺四股道的軌道運用方式 .....2 - 33
圖 2-15 一島式一側式月臺無平面交叉三股道的運用方式 .....2 - 34
圖 2-16 一島式一側式月臺有平面交叉三股道的運用方式 .....2 - 34
圖 2-17 兩個側式月臺或一個島式月臺兩股道的運用方式 .....2 - 35
圖 2-18 兩個島式月臺四股道的股道運用（單一方向） .....2 - 37
圖 2-19 停車時間對運轉時隔的影響 .....2 - 38
圖 2-20 一島式一側式月臺無平面交叉三股道的股道運用情形 ....2 - 40
圖 2-21 平面交叉的類型 .....2 - 42
圖 2-22 平面交叉運轉時隔 .....2 - 43
圖 2-23 一島式一側式月臺有平面交叉三股道的股道運用情形 ....2 - 44
圖 2-24 兩個側式月臺兩股道的軌道運用（單一方向） .....2 - 47

圖 2-25 先行快速列車與續行慢速列車的瓶頸號誌時距 .....2 - 48
圖 2-26 先行慢速列車與續行快速列車的瓶頸號誌時距 .....2 - 49
圖 2-27 列車待避延誤 .....2 - 50
圖 2-28 待避損失時間在計算運轉時隔的意義 .....2 - 52
圖 2-29 列車交會延誤 .....2 - 52
圖 2-30 交會損失時間在計算運轉時隔的意義 .....2 - 53
圖 2-31 從模擬結果或觀測值推估運轉寬裕時間 .....2 - 54
圖 3-1 複線連續區段路線容量分析模式之演算概念 .....3 - 3
圖 3-2 連續區段路線容量分析模式架構 .....3 - 3
圖 3-3 複線連續區段路線容量分析模式整體演算流程 .....3 - 6
圖 3-4 調整列車進離站時間的檢核程序 .....3 - 7
圖 3-5 調整列車進開時間之流程圖 .....3 - 8
圖 3-6 檢核程序 I 之流程圖 .....3 - 9
圖 3-7 檢核程序 II 之流程圖 .....3 - 9
圖 3-8 檢核程序 III 之流程圖 .....3 - 9
圖 3-9 檢核程序 IV 之流程圖 .....3 - 10
圖 3-10 處理後移事件與列車連鎖推擠之流程圖 .....3 - 11
圖 3-11 處理列車連鎖推擠範例示意圖 1 .....3 - 12
圖 3-12 處理列車連鎖推擠範例示意圖 2 .....3 - 12
圖 3-13 處理列車連鎖推擠範例示意圖 3 .....3 - 13
圖 3-14 處理列車連鎖推擠範例示意圖 4 .....3 - 13
圖 3-15 處理列車連鎖推擠範例示意圖 5 .....3 - 13
圖 3-16 處理列車連鎖推擠範例示意圖 6 .....3 - 14
圖 3-17 處理列車連鎖推擠範例示意圖 7 .....3 - 14
圖 3-18 處理列車連鎖推擠範例示意圖 8 .....3 - 15
圖 3-19 單線連續區段容量分析模式之演算概念 .....3 - 16
圖 3-20 列車到站事件和離站事件示意圖 .....3 - 17
圖 3-21 單線連續區段容量分析模式整體流程圖 .....3 - 19
圖 3-22 軌道預訂規則一範例 .....3 - 20
圖 3-23 軌道預訂規則二範例 .....3 - 21

圖 3-24 軌道預訂規則三範例 ..... 3 - 21
圖 3-25 軌道預訂規則四範例 ..... 3 - 21
圖 3-26 軌道預訂規則五範例 ..... 3 - 22
圖 3-27 軌道預訂規則六範例 ..... 3 - 22
圖 3-28 軌道預訂規則七範例 ..... 3 - 22
圖 3-29 軌道預訂規則八範例 1 ..... 3 - 23
圖 3-30 軌道預訂規則八範例 2 ..... 3 - 23
圖 3-31 軌道預訂規則九範例 ..... 3 - 23
圖 3-32 軌道預訂規則十範例 ..... 3 - 24
圖 3-33 列車追越條件範例 ..... 3 - 24
圖 3-34 檢查列車是否於站間追撞先行列車示意圖 ..... 3 - 25
圖 3-35 檢查列車是否於站間對撞反向列車示意圖 ..... 3 - 25
圖 3-36 站間追撞先行列車時的後移量計算示意圖 ..... 3 - 26
圖 3-37 站間對撞反向列車時的後移量計算示意圖 ..... 3 - 27
圖 3-38 到站號誌時距不足時的後移量計算示意圖 ..... 3 - 27
圖 3-39 離站號誌時距不足時的後移量計算示意圖 ..... 3 - 27
圖 3-40 反向交會號誌時距不足時的後移量計算示意圖 ..... 3 - 28
圖 3-41 評估容量所使用的時間範圍示意圖 ..... 3 - 30
圖 3-42 演算範例 ..... 3 - 30
圖 3-43 演算範例展示 1 ..... 3 - 31
圖 3-44 演算範例展示 2 ..... 3 - 31
圖 3-45 演算範例展示 3 ..... 3 - 31
圖 3-46 演算範例展示 4 ..... 3 - 32
圖 3-47 演算範例展示 5 ..... 3 - 33
圖 3-48 演算範例展示 6 ..... 3 - 33
圖 3-49 演算範例展示 7 ..... 3 - 33
圖 3-50 演算範例展示 8 ..... 3 - 34
圖 3-51 演算範例展示 9 ..... 3 - 34
圖 3-52 演算範例展示 10 ..... 3 - 34
圖 5-1 傳統暨區域鐵路系統之鐵道容量分析架構 ..... 5 - 1

圖 5-2 傳統暨區域鐵路系統鐵道容量整體分析程序 .....5 - 3
圖 5-3 最小號誌安全時距發生的位置 .....5 - 8
圖 5-4 路線區段中間包含第四型車站的運轉時間處理方式 .....5 - 13
圖 5-5 站間少於二個閉塞區間的處理方式 .....5 - 14
圖 6-1 列車服務可靠度模擬模式架構 .....6 - 1
圖 6-2 產生列車的預計到開時刻 .....6 - 2
圖 6-3 列車服務可靠度模擬模式流程圖 .....6 - 4
圖 6-4 判斷時距是否足夠 .....6 - 6
圖 6-5 計算列車排班延滯時間 .....6 - 6
圖 6-6 列車於出發站離站時的排班延滯 .....6 - 7
圖 6-7 第 k 輛列車於到達站進站時的排班延滯 .....6 - 8
圖 6-8 列車趕點的運轉時間不能小於最小運轉時間 .....6 - 9
圖 6-9 列車趕點不能比預計到達時刻還早到達 .....6 - 9
圖 6-10 計算列車運轉延滯時間 .....6 - 10
圖 6-11 第 k 輛列車於出發站離站時的運轉延滯 .....6 - 10
圖 6-12 第 k 輛列車進行趕點於到達站進站時的運轉延滯 .....6 - 11
圖 6-13 第 k 輛列車於到達站保持進站時距的運轉延滯 .....6 - 12
圖 6-14 連續區段列車服務可靠度模擬模式的基本概念 .....6 - 13
圖 6-15 連續區段列車服務可靠度模擬模式架構 .....6 - 14
圖 6-16 連續區段列車服務可靠度模式演算流程圖 .....6 - 14
圖 6-17 模擬列車延滯流程圖 .....6 - 17
圖 6-18 模擬列車延滯範例 .....6 - 18
圖 6-19 模擬列車排班延滯後的結果 .....6 - 19
圖 6-20 處理運轉延滯的後移事件與列車連鎖推擠之流程圖 .....6 - 20
圖 6-21 模擬列車運轉延滯範例示意圖 1 .....6 - 21
圖 6-22 模擬列車運轉延滯範例示意圖 2 .....6 - 21
圖 6-23 模擬列車運轉延滯範例示意圖 3 .....6 - 22
圖 6-24 模擬列車運轉延滯範例示意圖 4 .....6 - 23
圖 6-25 模擬列車運轉延滯範例示意圖 5 .....6 - 23
圖 6-26 模擬列車運轉延滯範例示意圖 6 .....6 - 23

圖 6-27 模擬列車運轉延滯後的結果.....6 - 24
圖 7-1 執行「傳統暨區域鐵路系統容量分析軟體」.....7 - 3
圖 7-2 「傳統暨區域鐵路系統容量分析軟體」主畫面.....7 - 4
圖 7-3 容量分析軟體操作環境.....7 - 6
圖 7-4 開啟專案管理功能面板.....7 - 6
圖 7-5 開啟舊檔對話盒.....7 - 7
圖 7-6 儲存專案檔對話盒.....7 - 8
圖 7-7 編輯列車參數對話盒.....7 - 9
圖 7-8 新增並設定列車名稱.....7 - 9
圖 7-9 檢視列車 A 之參數.....7 - 10
圖 7-10 編輯車站參數對話盒.....7 - 11
圖 7-11 新增並設定車站名稱.....7 - 11
圖 7-12 檢視車站 1 之參數.....7 - 12
圖 7-13 編輯交互關係之對話盒.....7 - 12
圖 7-14 設定停站時間參數.....7 - 13
圖 7-15 檢視交互關係參數.....7 - 13
圖 7-16 開啟容量分析畫面.....7 - 14
圖 7-17 設定交通組成.....7 - 14
圖 7-18 容量分析結果.....7 - 15
圖 7-19 顯示參數說明.....7 - 16
圖 7-20 選項功能面板.....7 - 16
圖 7-21 檢核設定畫面.....7 - 19
圖 7-22 開啟全域參數設定.....7 - 20
圖 7-23 全域參數設定畫面（一般模式）.....7 - 20
圖 7-24 全域參數設定畫面（進階模式）.....7 - 20
圖 7-25 開啟列車參數設定.....7 - 21
圖 7-26 列車參數設定畫面（一般模式）.....7 - 21
圖 7-27 列車參數設定畫面（進階模式）.....7 - 22
圖 7-28 新增列車（一般模式）.....7 - 22
圖 7-29 新增列車（進階模式）.....7 - 23

圖 7-30 編輯列車參數相關說明 ..... 7 - 24
圖 7-31 匯出列車參數檔之對話盒 ..... 7 - 24
圖 7-32 匯入列車參數檔之對話盒 ..... 7 - 25
圖 7-33 列車參數相關說明 ..... 7 - 25
圖 7-34 開啟車站參數設定 ..... 7 - 26
圖 7-35 車站參數設定畫面（一般模式） ..... 7 - 26
圖 7-36 車站參數設定畫面（進階模式） ..... 7 - 27
圖 7-37 新增車站（一般模式） ..... 7 - 28
圖 7-38 新增車站（進階模式） ..... 7 - 28
圖 7-39 車站參數設定輔助圖形範例 ..... 7 - 29
圖 7-40 軌道佈設選擇對話盒 ..... 7 - 30
圖 7-41 各種軌道佈設型式兩側正線配置示意對照圖 ..... 7 - 31
圖 7-42 軌道佈設選擇輔助精靈 ..... 7 - 32
圖 7-43 編輯車站參數相關說明 ..... 7 - 33
圖 7-44 匯出車站參數檔之對話盒 ..... 7 - 33
圖 7-45 匯入車站參數檔之對話盒 ..... 7 - 34
圖 7-46 車站參數相關說明 ..... 7 - 34
圖 7-47 開啟交互關係參數設定 ..... 7 - 35
圖 7-48 交互關係參數設定畫面（一般模式） ..... 7 - 35
圖 7-49 交互關係參數設定畫面（進階模式） ..... 7 - 36
圖 7-50 開啟專案精靈 ..... 7 - 37
圖 7-51 專案精靈畫面 ..... 7 - 37
圖 7-52 進行臺鐵參數資料檔匯入 ..... 7 - 38
圖 7-53 選擇臺鐵參數資料檔 ..... 7 - 39
圖 7-54 選擇資料匯入範圍 ..... 7 - 39
圖 7-55 設定新車站所在的位置與相關參數 ..... 7 - 40
圖 7-56 設定新增車站後的停站時間與運轉時間 ..... 7 - 41
圖 7-57 輸入新路線之車站與列車名稱 ..... 7 - 42
圖 7-58 設定新路線各區段之運轉方式 ..... 7 - 43
圖 7-59 設定新路線各車站之軌道佈設型式 ..... 7 - 43

圖 7-60 設定新路線之停站時間 ..... 7 - 44
圖 7-61 設定新路線之運轉時間 ..... 7 - 44
圖 7-62 開啟容量分析功能 ..... 7 - 45
圖 7-63 容量分析畫面 ..... 7 - 45
圖 7-64 設定容量分析參數 ..... 7 - 46
圖 7-65 設定各區段的交通組成 ..... 7 - 47
圖 7-66 執行容量分析 ..... 7 - 47
圖 7-67 容量分析結果－彙整表 ..... 7 - 48
圖 7-68 連續區段詳細結果 ..... 7 - 49
圖 7-69 單線單一區段詳細結果 ..... 7 - 49
圖 7-70 複線單一區段區段詳細結果 ..... 7 - 50
圖 7-71 容量分析結果－路線容量 ..... 7 - 51
圖 7-72 容量分析結果－設計容量 ..... 7 - 51
圖 7-73 儲存或複製容量分析結果 ..... 7 - 52
圖 7-74 開啟敏感度分析功能 ..... 7 - 52
圖 7-75 敏感度分析畫面 ..... 7 - 53
圖 7-76 選擇敏感度分析區段 ..... 7 - 54
圖 7-77 設定列車加減速度敏感度分析上下界 ..... 7 - 54
圖 7-78 設定閉塞區間長度敏感度分析上下界 ..... 7 - 55
圖 7-79 設定平均巡航速度敏感度分析上下界 ..... 7 - 56
圖 7-80 執行敏感度分析 ..... 7 - 56
圖 7-81 敏感度分析結果 ..... 7 - 57
圖 7-82 開啟可靠度分析功能 ..... 7 - 58
圖 7-83 可靠度分析畫面 ..... 7 - 58
圖 7-84 選擇可靠度分析區段 ..... 7 - 59
圖 7-85 設定可靠度分析參數 ..... 7 - 59
圖 7-86 執行可靠度分析 ..... 7 - 60
圖 7-87 可靠度分析結果 ..... 7 - 60
圖 7-88 開啟情境分析功能 ..... 7 - 61
圖 7-89 情境分析畫面 ..... 7 - 62

圖 7-90 選擇情境分析區段.....7 - 62
圖 7-91 情境設定對話盒.....7 - 63
圖 7-92 變動列車加減速度的對話盒.....7 - 64
圖 7-93 變動閉塞區間長度的對話盒.....7 - 64
圖 7-94 變動平均巡航速度的對話盒.....7 - 65
圖 7-95 變動軌道佈設型式的對話盒.....7 - 66
圖 7-96 變動站間運轉時間的對話盒.....7 - 66
圖 7-97 變動計畫停站時間的對話盒.....7 - 67
圖 7-98 變動進離站坡度的對話盒.....7 - 68
圖 7-99 執行情境分析.....7 - 68
圖 7-100 情境分析結果.....7 - 69
圖 8-1 恆春觀光鐵道軌道配置示意圖.....8 - 1
圖 8-2 確認沒有勾選進階模式.....8 - 2
圖 8-3 開啟專案精靈.....8 - 3
圖 8-4 選擇新建路線.....8 - 3
圖 8-5 輸入車站名稱與列車名稱.....8 - 4
圖 8-6 設定運轉方式.....8 - 4
圖 8-7 設定軌道佈設型式.....8 - 5
圖 8-8 設定停站時間.....8 - 5
圖 8-9 設定運轉時間.....8 - 6
圖 8-10 設定交通組成.....8 - 6
圖 8-11 容量分析結果.....8 - 7
圖 8-12 單線連續區段容量分析模擬結果.....8 - 8
圖 8-13 軌道佈置圖.....8 - 8
圖 8-14 輸入車站名稱與列車名稱.....8 - 10
圖 8-15 設定停站時間.....8 - 10
圖 8-16 設定運轉時間.....8 - 11
圖 8-17 設定現行列車的車廂編組.....8 - 11
圖 8-18 設定新型列車的車廂編組.....8 - 12
圖 8-19 設定交通組成為現行列車 100%.....8 - 12

圖 8-20 現行列車的容量分析結果.....8 - 13
圖 8-21 設定交通組成為新型列車 100%.....8 - 13
圖 8-22 新型列車的容量分析結果.....8 - 13
圖 8-23 鐵路路線圖.....8 - 15
圖 8-24 容量分析結果.....8 - 19
圖 8-25 方案 1 的情境設定（順向）.....8 - 22
圖 8-26 方案 1 的情境分析結果（順向）.....8 - 23
圖 8-27 方案 1 的情境設定（反向）.....8 - 23
圖 8-28 方案 1 的情境分析結果（反向）.....8 - 24
圖 8-29 方案 2 的情境設定（順向）.....8 - 25
圖 8-30 方案 2 的情境設定（反向）.....8 - 25
圖 8-31 方案 2 的情境分析結果（順向）.....8 - 26
圖 8-32 方案 2 的情境分析結果（反向）.....8 - 26
圖 8-33 方案 3 的容量分析結果（順向）.....8 - 28
圖 8-34 方案 3 的容量分析結果（反向）.....8 - 28
圖 8-35 原有路線圖.....8 - 30
圖 8-36 新車站位置圖.....8 - 32
圖 8-37 原路線容量分析結果（順向）.....8 - 32
圖 8-38 原路線容量分析結果（反向）.....8 - 33
圖 8-39 設定增設通勤車站後的情境（順向）.....8 - 34
圖 8-40 增設通勤車站的情境分析結果（順向）.....8 - 34
圖 8-41 設定增設通勤車站後的情境（反向）.....8 - 35
圖 8-42 增設通勤車站的情境分析結果（反向）.....8 - 35
圖 8-43 新增新站 1.....8 - 39
圖 8-44 方案 1 的容量分析結果（順向）.....8 - 39
圖 8-45 方案 1 的容量分析結果（反向）.....8 - 40
圖 8-46 方案 2 的容量分析結果（順向）.....8 - 40
圖 8-47 方案 2 的容量分析結果（反向）.....8 - 40
圖 8-48 臺鐵後壁站軌道運用與配置示意圖.....8 - 42
圖 8-49 臺鐵南靖－中洲各站軌道配置示意圖.....8 - 43

圖 8-50 匯入臺鐵南靖－中洲之參數資料.....8 - 44
圖 8-51 僅留下可追越待避之車站.....8 - 44
圖 8-52 重新設定合併區間的交互關係參數.....8 - 45
圖 8-53 設定交通組成.....8 - 45
圖 8-54 臺鐵新市站軌道運用與配置示意圖.....8 - 46
圖 8-55 新增新市站.....8 - 46

表 目 錄

頁 次

表 2.1 號誌安全時距計算公式 ..... 2 - 32
表 2.2 車站歸類原則 ..... 2 - 35
表 2.3 車站歸類範例 ..... 2 - 36
表 3.1 複線連續區段路線容量分析模式輸入參數分類表 ..... 3 - 4
表 3.2 各檢核程序之內容與調整對象彙整表 ..... 3 - 8
表 3.3 離散事件模擬組成要素對應表 ..... 3 - 16
表 3.4 事件類型與檢核項目對照表 ..... 3 - 25
表 3.5 通過號誌安全時距檢查的條件 ..... 3 - 26
表 3.6 不同情況下的後移量計算方式 ..... 3 - 28
表 5.1 容量分析所需資料 ..... 5 - 2
表 5.2 臺鐵列車運轉時分估算迴歸式 ..... 5 - 4
表 5.3 號誌安全時距計算公式 ..... 5 - 5
表 5.4 號誌安全時距計算公式之符號意義說明表 ..... 5 - 6
表 5.5 平均號誌安全時距計算公式 ..... 5 - 7
表 5.6 瓶頸號誌安全時距彙整表 ..... 5 - 8
表 5.7 單區段容量模式與連續區段容量模式比較表 ..... 5 - 14
表 6.1 排班延滯模式和運轉延滯模式相異處 ..... 6 - 3
表 6.2 模擬排班延滯的各項檢核與調整方式彙整表 ..... 6 - 18
表 6.3 模擬運轉延滯的各項檢核與調整方式彙整表 ..... 6 - 20
表 7.1 不同操作模式之差異 ..... 7 - 17
表 7.2 不同操作模式的所需參數彙整表 ..... 7 - 17
表 7.3 閉塞區間代號與位置 ..... 7 - 55
表 8.1 站間運轉時間 ..... 8 - 2
表 8.2 現行與新型列車運轉時間比較表 ..... 8 - 9
表 8.3 現行與新型列車之運能比較表 ..... 8 - 14
表 8.4 車站參數彙整表 ..... 8 - 15

表 8.5 各車種規格與性能彙整表 ..... 8 - 16
表 8.6 各車種行經各站間的巡航速度 ..... 8 - 16
表 8.7 各車種的站間運轉時間 ..... 8 - 17
表 8.8 各車種的停站時間 ..... 8 - 17
表 8.9 各區段於尖峰時段的交通組成 ..... 8 - 18
表 8.10 各區段於尖峰時段的路線容量與利用率 ..... 8 - 20
表 8.11 路線容量改善方案 ..... 8 - 21
表 8.12 方案 1 的相關參數調整 ..... 8 - 22
表 8.13 各區段於尖峰時段的交通組成 ..... 8 - 27
表 8.14 各方案容量改善效果比較表 ..... 8 - 29
表 8.15 車站參數彙整表 ..... 8 - 30
表 8.16 列車參數彙整表 ..... 8 - 30
表 8.17 各站間平均巡航速度彙整表 ..... 8 - 31
表 8.18 各站間運轉時間彙整表 ..... 8 - 31
表 8.19 各站計畫停站時間彙整表 ..... 8 - 31
表 8.20 增設通勤車站對原路線容量之影響 ..... 8 - 36
表 8.21 典型的車站軌道佈設方式 ..... 8 - 37
表 8.22 新車站軌道佈設型式組合方案 ..... 8 - 37
表 8.23 方案 1 的平均巡航速度彙整表 ..... 8 - 37
表 8.24 方案 1 的站間運轉時間彙整表 ..... 8 - 38
表 8.25 方案 2 的平均巡航速度彙整表 ..... 8 - 38
表 8.26 方案 2 的站間運轉時間彙整表 ..... 8 - 38
表 8.27 各方案容量分析結果比較 ..... 8 - 41
表 8.28 臺鐵南靖－中洲的基本分析單元 ..... 8 - 43
表 8.29 南靖－中洲間下行方向新合併區間之運轉時間 ..... 8 - 45
表 8.30 南靖－中洲間上行方向新合併區間之運轉時間 ..... 8 - 47
表 8.31 臺鐵南靖－中洲間的鐵道容量分析結果（下行方向） .... 8 - 47
表 8.32 臺鐵南靖－中洲間的鐵道容量分析結果（上行方向） .... 8 - 47

第一章 緒論

傳統暨區域鐵路系統主要是指服務於城際之間，採用鋼輪鋼軌運轉的鐵路系統。其特性為擁有專用的路權、車站內有副正線，且配備路側號誌機來指示司機員駕駛；此外，傳統鐵路在營運時有多種列車的停站型態，且會發生錯會車之行為。目前國內唯一的傳統暨區域鐵路系統為臺灣鐵路系統（以下簡稱臺鐵）。

臺鐵為臺灣最早的鐵道運輸系統，兼營客、貨運輸業務，在公路系統尚未普及之前，臺鐵為本島最主要的長程運輸系統，目前因公路、高鐵以及航空業者的競爭，臺鐵的長程旅客運輸業務已不再一枝獨秀，但因都會區交通壅塞，其短程通勤的業務反而逐漸受到民眾的青睞，而成為臺鐵的主要市場。以下就臺鐵系統進行概略的介紹，並從鐵道容量分析的觀點來說明其系統特性。

1.1 臺鐵系統簡介

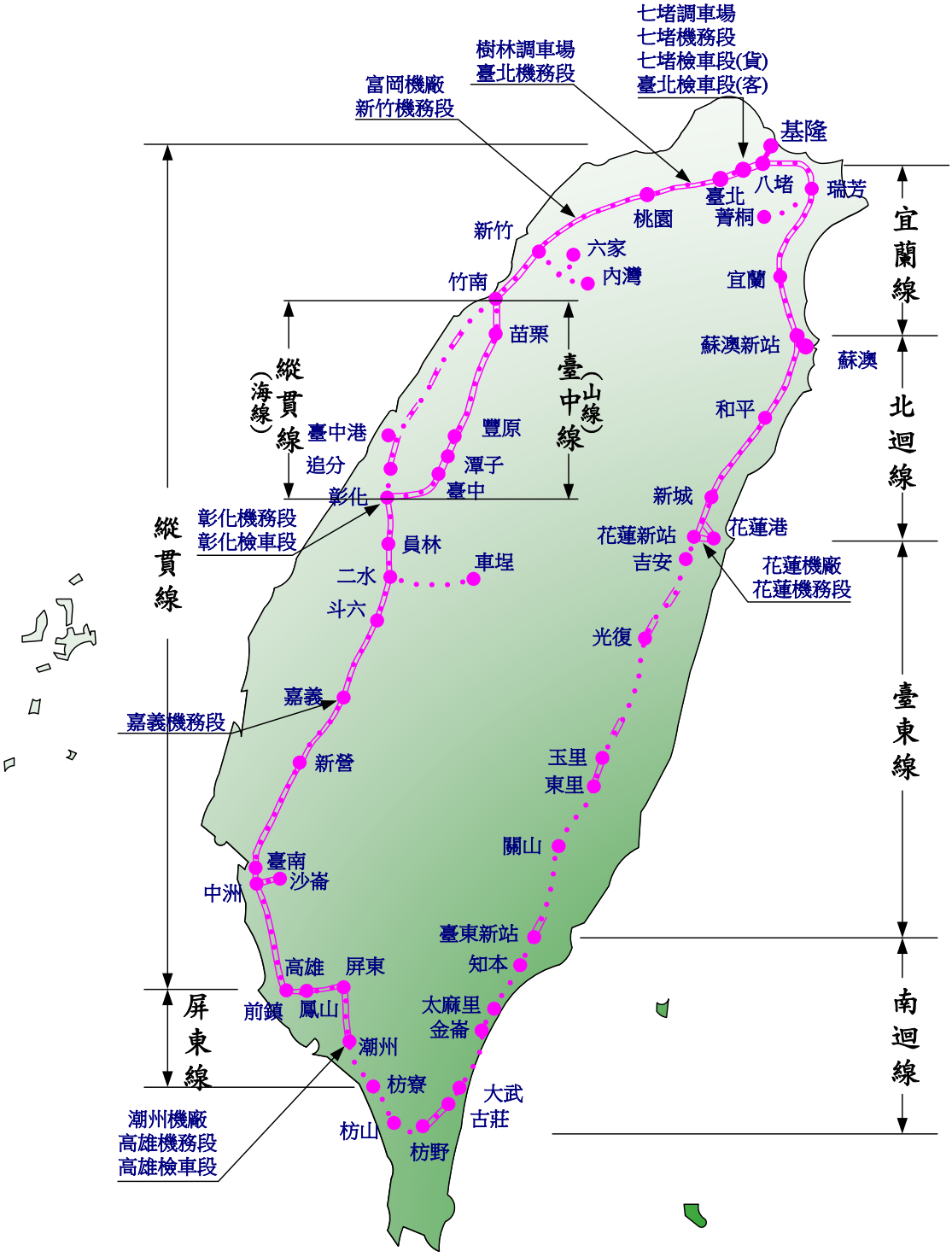
1.1.1 路線概要

臺鐵路線自清朝興建迄今已逾百年，經過不斷的擴建，目前已完成環島鐵路網（如圖 1-1 所示），目前營業里程已達千餘公里，全為窄軌建構（軌距 1,067 公厘），可概分為西部幹線與東部幹線兩大系統，分述於以下各節。

1. 西部幹線

西部幹線系統為臺鐵最主要的營運路線，主要以經營客運為主，包括縱貫線（基隆－高雄、高雄港含前鎮）、臺中線（竹南－彰化）、成追線（成功－追分）、臺中港線（臺中港－貨運辦公室）、屏東線（高雄－枋寮）、內灣線（新竹－內灣）、六家線（竹中－六家）、集集線（二水－車埕）與沙崙線（中洲－沙崙）。縱貫線北起基隆，

南至高雄，自竹南站起分為臺中線（山線）及海線；臺中線經苗栗、豐原、臺中至彰化後接回海線；海線經通宵、大甲、沙鹿地區至彰化與山線連接。



資料來源：本研究整理

圖 1-1 臺鐵營運路線暨機廠相對位置示意圖

2. 東部幹線

東部幹線系統主要以經營客運為主，目前亦可開發東沙西運等貨運業務。東部幹線包含宜蘭線（八堵－蘇澳）、北迴線（蘇澳新站－花蓮）、臺東線（花蓮站－臺東站）、南迴線（枋寮－臺東站）、深澳線（瑞芳－八斗子）與平溪線（三貂嶺－菁桐）。

3. 支線系統

支線系統計有深澳線(瑞芳－八斗子)、平溪線(三貂嶺－菁桐,)、內灣線（新竹－內灣）、六家線（竹中－六家）、集集線（二水－車埕）、臺中港線（臺中港－臺中港區）、沙崙線（中洲－沙崙）等七條支線。其中，深澳線因應國立海洋科技博物館啟用而恢復客運；平溪線以客運為主，亦兼營以煤、路料及建築材料為主之貨運；內灣線以客運為主，亦兼營以石灰石、煤為主之貨運；集集線以客運為主，未經營貨運；臺中港線以運穀類、雜糧為主，未經營客運；六家線與沙崙線以客運為主，與高鐵車站的接駁，以解決都會區與高鐵車站間的交通問題。

1.1.2 車輛系統

臺鐵的動力車輛若以動力產生的方式以及運轉的類型來分類，可分為「電力機車」、「電聯車」、「柴電機車」、「柴油客車」，以及「柴聯車」等幾種，其中電聯車、柴油客車、柴聯車可自行編組成旅客列車運轉，而電力機車及柴電機車，依牽引的非動力車輛類別，可編組成旅客列車或貨物列車運轉。

臺鐵長程客運服務的主力為推拉式自強號列車，近期加入營運的有太魯閣號與普悠瑪號列車。近十年來，臺鐵於都會區提供通勤列車的服務，因此電聯車的平均每日行駛公里數有逐年攀升的現象，而電力機車及柴電機車的平均每日行駛公里數則逐年遞減。為了提供更好的通勤服務，臺鐵已陸續訂購新型的通勤電聯車加入營運。

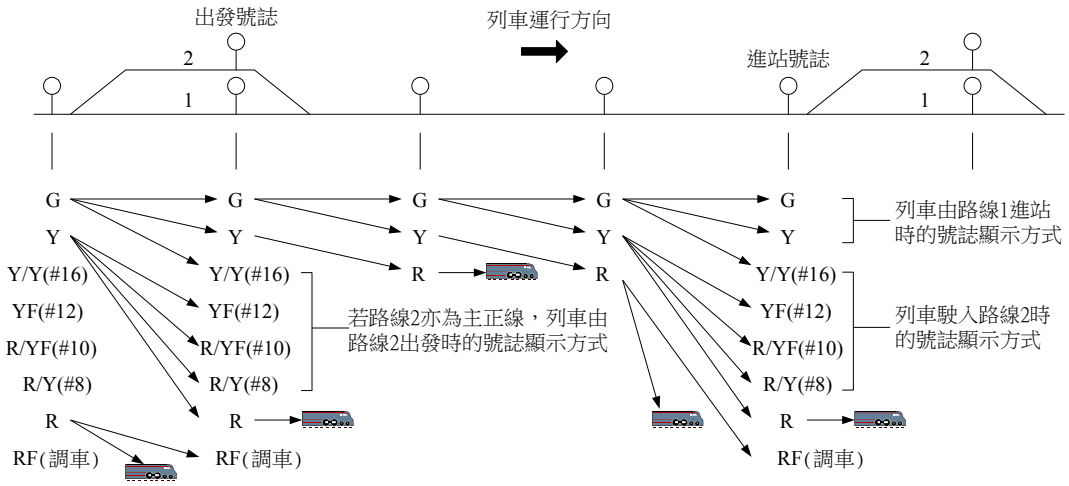
臺鐵列車的最高運轉速度為推拉式自強號、太魯閣號以及普悠瑪號列車，營運速度可達 130 km/h。早期購買之 EMU100~300 的自強號

電聯車之最高速度為 120 km/h，而通勤電聯車之最高速度則為 110 km/h。至於莒光與復興號列車依其牽引種別有 110 km/h 及 100 km/h 兩種最高速度。

1.1.3 號誌系統

臺鐵行車控制方式屬於手動/號誌指示方式，採用三位式的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。臺鐵的自動閉塞號誌系統如圖 1-2 所示，號誌燈號依據前方閉塞區間內是否有列車佔用，以及道岔號數大小來顯示。一般而言，當駕駛前方的號誌為綠燈時（代表平安），則列車可繼續往前行駛；如為黃燈（代表注意），則需減速至 60 km/h；若是紅燈（代表險阻），則必須完全停止。至於通過道岔所顯示的黃/黃燈、閃黃燈、紅/閃黃燈，以及紅/黃燈之允許速限則分別為 60 km/h、45 km/h、35 km/h 及 25 km/h。

為了確保行車安全，過去臺鐵設置有列車自動警告（Automatic Train Warning, ATW）/列車自動停止（Automatic Train Stop, ATS）裝置，當列車未按號誌行駛時，ATW 設備會產生鳴響，若司機員不予理會，ATS 設備會自動啟動車上的軔機，迫使列車自動煞車；又當號誌顯示險阻時，列車行經地上感應器並收到其所發出之停車訊號時，ATS 亦會迫使列車自動煞車。由於 ATS/ATW 的設備維修零件難尋；另外也為了提高列車行車的安全性，目前臺鐵已安裝自動列車防護系統（Automatic Train Protection, ATP）取代 ATS/ATW 裝置，將列車速度從「點速度」改為「線速度」的監控。值得一提的是，臺鐵的 ATP 與捷運系統的 ATP 略有不同，臺鐵的 ATP 是屬於間歇式 ATP（Intermittent ATP），速限的資訊僅有在特定位置傳送給列車，故車載設備無法立即反應列車佔用及速限的變化，而捷運系統則是連續式 ATP(Continuous ATP)，亦即列車持續接受號誌系統傳送的速限資訊，故可立即反應實際速限的變化。



註: 1. 直行方向的號誌顯示僅有G、Y、R三種，Y/Y、YF、R/YF、R/Y係經由道岔進出副正線的號誌顯示方式。
2. 對於進站號誌機而言，若列車駛入副正線且前方區間無列車佔用時，號誌必須依據道岔號數的大小分別顯示Y/Y、YF、R/YF或R/Y。
3. 對於出發號誌機而言，若路線不辦理列車通過，亦即列車係由靜止出發，由於列車速度不快，因此號誌只須依據前方區間是否有列車佔用分別顯示G、Y或R即可;若路線為主正線而辦理列車通過且前方區間無列車佔用時，由於列車速度較快，因此號誌必須依據道岔號數的大小分別顯示G、Y、Y/Y、YF、R/YF或R/Y。
4. 號誌顯示RF時，列車可於號誌機前後之區間來回行駛調車，但不得超過調車區界標誌。
5. 號誌速限：G(平安) - 依據列車等級所規定的速限行駛， Y(注意) - 60 km/h， R(險阻) - 停車
Y/Y(中速) - 60 km/h， YF(緩速) - 45 Km/h， R/YF(低速) - 35 km/h， R/Y(慢速) - 25 km/h

圖 1-2 臺鐵三位式號誌顯示關係圖

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 區間的列車運轉由調度員利用控制各站號誌來指揮列車。早期臺鐵僅在西幹線劃分基隆至竹南，竹南至臺南及臺南至屏東三個 CTC 區間，分別隸屬於臺北、彰化及高雄三個調度所管理。現今在該局鐵路行車保安設備改善計畫下，均予裝設 CTC 設備並由臺北調度總所之行車控制中心集中控制全線行車；另於每一車站裝有就地控制盤，以便控制中心控制設備故障時，可由車站就地控制。

1.1.4 營運概況

臺鐵長久以來均兼營客、貨運，客運的主要營運時間為 05:00～24:00，然環島路網各車站的首/末班車會因其地理位置與起、迄站距離遠近而有所差異，且因為終點站以及停車計畫的差異，對於不同起迄點需求的旅客而言，首/末班的時間亦有相當大的差異，而貨運列車則多在離峰或夜間開行。

隨著高速鐵路系統的通車，臺鐵的中長程客運量有明顯的減少，但近年臺鐵推動捷運化計畫，短程旅客量則略有增加。目前臺鐵短程客運量約佔 30%，中長程旅客約 70%，日平均運量約 60 萬人次。

1.2 臺鐵系統特性

臺鐵因興建年代久遠，設備遠不如捷運及高鐵先進，而且歷年來在政府採購法令的限制之下，導致車輛種類繁多，營運的型態也較複雜，因此路線容量的計算也較困難。

從容量計算的觀點來看，臺鐵系統的路線、交通及控制條件具有下列特性，而這些特性也是發展臺鐵容量分析模式所需考慮的因素。

1. 路線條件
   (1) 西部幹線除海線的局部區域外，大部分的區間為雙線區間；東部幹線中的臺東線局部區域與南迴線為單線，其餘為雙線區間；各支線除了六家－新竹外，皆為單線區間。
   (2) 雙線區間大多具備雙單線運轉的設備，但大部分時間仍以採用複線運轉（列車靠左行駛）為主，只有部份時段會採用雙單線運轉；單線區間一律為單線運轉。
   (3) 典型的車站佈置為一島式月臺一側式(岸壁式)月臺三股道，交通繁忙的車站有兩島四股道，而終點車站的月臺數及軌道數則更多。至於新增的捷運化車站多採兩側式月臺兩股道，或一島式月臺兩股道的配置。
   (4) 站間的距離較捷運系統長，但較高速鐵路短，平均站距約 5 公里。
   (5) 銜接點及折返點通常在比較大的車站，站內有較多的軌道。
   (6) 車輛基地的位置通常在營運路線終點站的後方（抽出式基地），車輛往返基地對正線營運列車的影響較小。

(7) 路線供電電壓為 25kV，採架空線供電；變電站約 40 公里一處，供應前後各 20 公里的用電，較繁忙路段可能採用比較短的變電站間距。

(8) 路線具有縱向隔離但有橫向平交道；列車經過平交道有專用優先通行權。

2. 交通條件

(1) 目前列車的最大營運速度為 130 km/h（自強號），高於捷運電聯車的 80 km/h，但比高鐵列車的 300 km/h 低。

(2) 為了維持乘車的舒適性，長途客車（自強號、莒光號及復興號）的加減速度通常不會太大，但新購的通勤列車，為能縮短站間運轉時間，故有較佳的加減速性能。

(3) 列車的交通組成複雜，共有九種速度種別[21] ，同時不同車輛的座位/立位數目亦有所不同。

(4) 單線區間的列車方向比約為 1：1，以達成平衡列車的目標；而雙線區間靠左側軌道行駛的比例可能高達九成以上。

(5) 列車的停站型態複雜，長途客車為跳站停，但即使同樣是自強號列車，停靠的車站也不見得會完全一致。至於通勤列車及平快車則為站站停的型態。

(6) 長途客車座位的配置為「非字型」，車門少且車門寬度較窄，旅客上下車比較不容易；通勤列車的座位安排採「一字型」，車門較多且寬度較寬，以方便旅客上下車。惟車內地板與月臺高度不一致，旅客上下車較不方便。

3. 控制條件

(1) 列車由司機員依路側號誌的指示以人工方式來駕駛，但設 ATP 系統以確保司機未按號誌行駛時能將列車安全煞停。

(2) 採用固定區間閉塞制，大部分路線均為自動閉塞，並由中央行車控制中心統一調度。

(3) 閉塞號誌為三位式色燈顯示的路側號誌。

(4) 閉塞區間的長度視所在區位的不同，約 1.5 公里~2.5 公里。

第二章 單區段路線容量分析模式

本章將為傳統暨區域鐵路系統（臺鐵系統），建立以列車為客體單位之鐵道容量分析模式，重點在於發展解析模式來評估單一區段的時刻表容量，至於連續區段的容量則需透過模擬模式來評估，將於第三章中介紹，而以旅客為客體單位之容量分析模式，則於第四章中說明。

優先發展解析模式的主要原因在於簡單易用，且模式的操作門檻較低，雖然精確度不若最佳化模式及模擬模式，但足供一般的分析使用。過去國內外雖亦有容量解析模式的發展，但因考慮因素不夠周延，或因系統特性與臺鐵不合，並不適用國內的系統[9]。因此本章將根據臺鐵的特性，建立以列車為客體單位的容量解析模式。

本章在第 2.1 節中會先介紹臺鐵路線容量分析模式的基本概念及模式假設，其次於第 2.2~2.4 節分別建立號誌安全時距、交會待避損失時間及運轉寬裕時間的估計模式，並於第 2.5 節中依據列車的交通組成與方向分布，推估平均最小運轉時隔，最後於第 2.6 節說明臺鐵系統路線容量的計算方式。

2.1 基本概念與模式假設

在第一章中曾介紹臺鐵的系統特性，這些特性在模式建構時必須納入考量，惟模式的發展仍有其使用限制及條件，模式操作者對於這些假設條件必須清楚瞭解，以免誤用模式。

2.1.1 容量計算的時間單位

在基礎篇第二章中曾定義鐵道容量為：「在某一特定的運轉條件之下，單位時間內通過路線上某一點的最大客體數」，因此採用的時間單位不同，容量計算的結果亦不同。傳統鐵路由於路線距離較長，每一列車的往返並非短時間內可以完成，因此通常是以「日」為計算

容量的時間單位，如此可以概觀全天的軌道輸送能力。然而並非全日的時間均可營運，例如有時候夜間必須封鎖軌道進行養護維修，因此必須以每日實際的營運時間來計算。在本所研究[9]的模式回顧中可發現，以日為路線容量的時間單位之計算公式，通常會以全日的時間（1440 分鐘）乘上一個路線利用率的因子，原因即在於此。

但對於捷運化後的臺鐵，由於著重在旅客通勤運輸，故有尖離峰之分，此時探討全日的路線容量並無法反應尖峰時刻的需求，因此本手冊係仿照捷運系統，以小時為計算容量的時間單位。

2.1.2 容量計算的空間參考點

有關計算容量的空間參考點，有路段、車站、路線、銜接點及折返點等，單獨觀測某一特殊定點的鐵道容量甚難綜觀全貌，惟傳統暨區域鐵路有不同等級的列車混合運轉，且車站的配線複雜，若欲一次全面檢視整條路線的容量，除非是以排點模式來分析，否則難竟其功。由於臺鐵列車的營運端末站附近通常有調車場或機檢段，而銜接點通常位處車站（例如竹南站為山線及海線的銜接站），比起站間銜接有較大的調度彈性，因此容量的瓶頸比較可能發生在路線中間。

對於傳統暨區域鐵路而言，列車交會及待避的行為通常發生於車站，故車站的配線對鐵道容量有很大的影響，因此本手冊中有關鐵道容量分析的空間參考點，是以路線區段（區間）為基本分析單元，但必須同時考慮兩側車站配線的影響。另外，若車站之間僅有一股軌道，僅能以單線運轉的方式來分析；若有兩股軌道，由於臺鐵在排點時係採用複線運轉模式，因此是根據列車的流向及該方向的號誌配置分別分析每一股道的容量。若站間有三股以上的軌道，則此三股軌道的容量必須依其運轉特性（單線運轉或複線運轉）來分別計算。例如圖 2-1 中有三個車站，其中車站 A 與車站 B 之間為雙線區間，而車站 B 與車站 C 之間為單線區間，因此區段 I、與區段 II（含車站 A 及車站 B）及區段 III（含車站 B 及車站 C），均為鐵道容量分析的基本單元，其中區段 I 與 II 為複線運轉，故依其列車流向來分析，而區段 III 則為單線運轉，必須同時考慮兩個方向的列車流來計算路線容量。

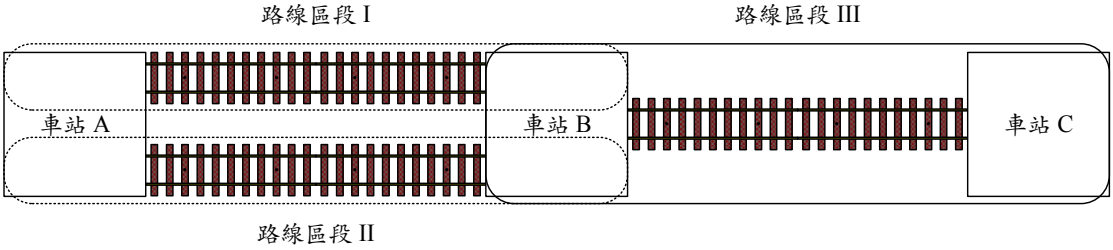


圖 2-1 傳統暨區域鐵路鐵道容量的基本分析單元

值得注意的是，作為鐵道容量基本分析單元之區段的兩側車站，必須能夠提供交會（單線運轉）或待避（複線運轉）的功能，否則可能會發生高估容量的情形。例如圖 2-2 中，若車站 B 無法提供待避的功能，則分別計算車站 A 與車站 B 之間的區段容量，以及車站 B 與車站 C 之間的區段容量，將會產生高估容量的情形。正確的做法應該是忽略車站 B，而以車站 A 及車站 C 之間的路線區間作為分析的單元，方能符合實際的情形，如圖 2-3 所示。

能夠提供交會或待避功能的車站，必須有進站號誌機及出發號誌機，且車站之間通常至少有兩個或兩個以上的閉塞區間。另外，對於複線運轉而言，車站內必須有副正線供列車停等；而單線運轉時，車站前後必須有橫渡線供列車轉換軌道。近年來臺鐵興建許多捷運化車站，大多為站內單方向僅有一股道的車站，由於車站距離過近，許多捷運化車站與相鄰車站之間的閉塞區間數僅有一個，甚至車站本身無進站及出發號誌機的配置。在複線運轉時，這類車站並不具備待避的功能；而在單線運轉時，亦無法提供列車轉換軌道進行交會，因此分析容量時必須特別留意，略過這些車站，而改以兩側均可交會及待避的路線區間來分析。

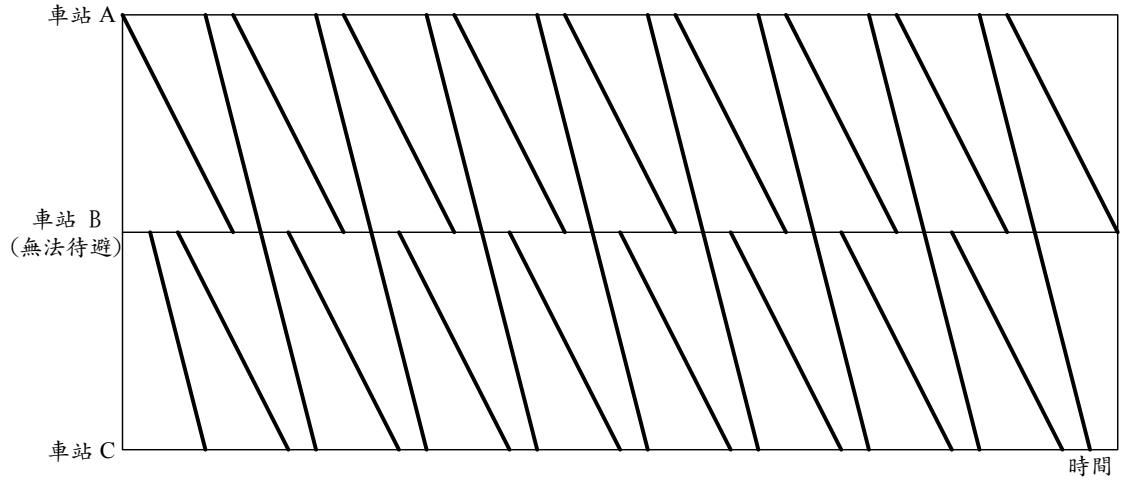


圖 2-2 中間車站不可待避而高估容量的範例

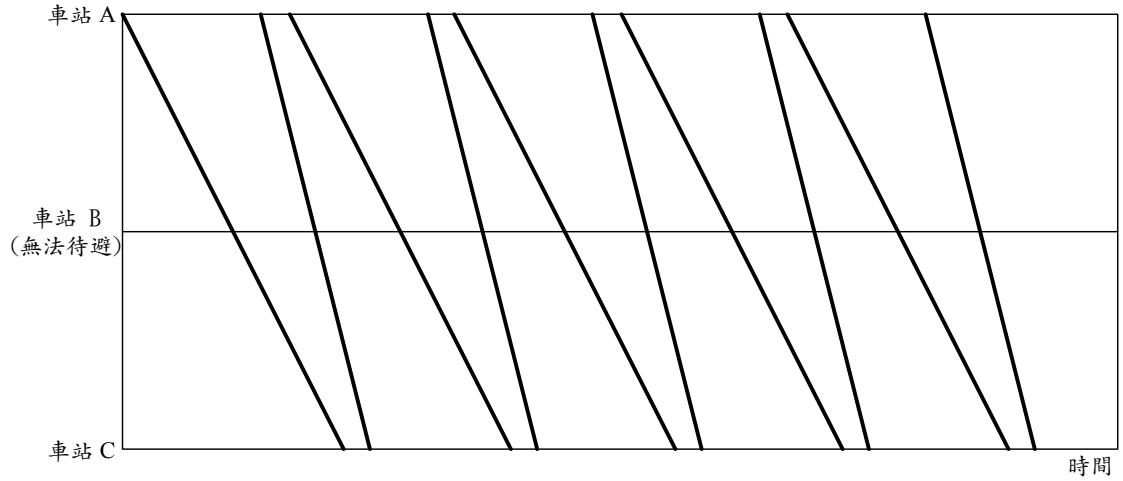


圖 2-3 忽略中間無法待避車站來分析鐵道容量的正確做法

2.1.3 最小運轉時隔的組成

對於每一路線區段的鐵道容量，依定義可由下式計算：

$$C_l = \frac{3600}{\bar{h}} \tag{2.1}$$

式中：C_l=路線容量（TU/h）（TU/h）

$\bar{h}$=路線之列車平均最小運轉時隔（s）

從上式可知，最小運轉時隔為計算鐵道容量的基礎要件，由於臺鐵的車種組成複雜且車站內的配線不一，計算相當複雜。而對於任兩列車i及j，最小運轉時隔包括瓶頸號誌安全時距（含可能的停車時間）、交會或待避損失時間，以及運轉寬裕時間，關係如式(2.2)。

$$h_{ij} = T_s + t_l + t_m \tag{2.2}$$

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=瓶頸號誌安全時距（s）

t_l=列車交會待避損失時間（s）

t_m=運轉寬裕時間（s）

瓶頸號誌時距T_s是指列車在路段運轉過程中所允許的最小號誌時隔。由於速差的關係，瓶頸號誌時距通常發生在路段兩端的車站；另外，瓶頸號誌時距是否包含列車的停車時間，與先行及續行列車在車站內使用的軌道有關，而號誌時距的大小與列車在車站內是通過或停車亦有相關，為求一般化起見，模式是保守假設所有的列車在車站內必須停車來計算號誌時距，以保留排班的彈性。另外，基礎篇第三章曾說明單線運轉時，列車流的方向分佈對容量有很大的影響，由於臺鐵大部分的路線均為雙線（採複線運轉模式），僅有少部分旅次需求較低的地區仍有單線區間，而列車的運用必須有雙向平衡的問題，因此模式係保守假設單線運轉時列車的流向是平衡的，並將容量平均分配給每一個方向。

有關瓶頸號誌安全時距的計算細節在第 2.2 節中會有詳細的說明。至於交會待避損失時間t_l與運轉寬裕時間t_m，則將於 2.3 及 2.4 節中詳述。必須特別說明的是，由於式(2.2)係計算某先行列車i與續行列車j的最小運轉時隔h_{ij}，並非考慮各種列車組合及運轉方式之「平均最小運轉時隔」，故最後必須以平均值的概念來計算「平均最小運轉時隔」，方能反映實際的交通條件與運轉條件，第 2.5 節將會有更為詳細的說明。

2.1.4 模式的假設條件

前述各小節已概略說明傳鐵暨區域鐵路鐵道容量分析的基本概念及計算原則，有關模式的重要的假設條件彙整如下：

1. 容量計算的時間單位為小時。
2. 路線具有縱向隔離但有橫向平交道；列車經過平交道享有專用優先通行權。
3. 閉塞號誌為三位式色燈顯示的路側號誌，由司機員目視駕駛。
4. 容量分析的基本單元為路線區段，但必須同時考慮兩側車站配線的影響。
5. 作為鐵道容量基本分析單元之區段的兩側車站，必須能夠提供交會（單線運轉）或待避（複線運轉）的功能。
6. 區段兩側的車站必須有進站及出發號誌機，且車站之間至少需有兩個或兩個以上的閉塞區間。
7. 複線運轉分析時，車站內必須有副正線供列車待避。
8. 單線運轉分析時，車站前後必須有橫渡線供列車轉換軌道。
9. 單線運轉分析時，假設列車方向比為 1:1。
10. 計算瓶頸號誌時距時均假設列車在車站會減速停車，至於停車時間是否納入號誌時距的計算，依列車是否停靠同一股道而定。

2.2 號誌安全時距的計算

號誌安全時距是指受制於號誌系統的列車最小運轉時間間隔，主要是受到閉塞時間的影響（請參閱基礎篇第七章）。文獻中對於號誌時距的研究相當零星且不見得能完全適用於臺鐵。例如李治綱等[16]曾引用國外文獻,說明列車於三位式號誌系統之路段上運轉的號誌時隔,但車站內之號誌時隔則未探討。國內的大型工程顧問公司在進行鐵路相關建設計畫時，亦曾分析臺鐵三位式閉塞號誌系統之號誌安全時隔[1,2,3]。而臺鐵的行車計畫[22]中也有相關的探討，但這些研究結果都僅

限於某些特定的條件而不甚完整，且其內容大多是參考日本的研究[17, 20]。國外 Vuchic[32]曾推導出列車運轉時隔的計算式，但僅適用於無閉塞運轉或捷運系統。美國鐵道容量手冊[31]有相當詳盡的推導公式，並且將許多過去研究未納入的因素考慮在內，但同樣僅適用於捷運系統。比較有完整理論探討的應屬 Pachl[30]的研究，其號誌時距是直接根據先行及續行列車在每一區間的閉塞時間來推估，但計算相當繁瑣。若要研究的較長的路線區間以及較多的車種組成時，若無電腦輔助系統，求解時間相當可觀。

本章所要建構的號誌時距計算公式，會將基礎篇第 3.1 節運轉時隔的各項影響因素納入模式當中。特別是許多過去研究所沒有考慮到的因素，例如先行列車與續行列車的性能不一致、列車的速差與運轉方式、車站的軌道配置與軌道運用、加減速性能衰退等因素，均會成為模式的參數。模式的發展係根據本所研究的成果[9]，利用列車運轉時空圖及速度距離曲線圖，來詳細說明三位式閉塞號誌系統列車運轉之交互關係，進而推導出號誌安全時距的計算模式。

2.2.1 路段上號誌安全時距計算公式

基礎篇第四章中曾介紹，在三位式的號誌系統中，列車在路段上全速行駛時必須間隔兩個閉塞區間。如圖 2-4 所示，先行列車 i 與續行列車 j 在#2 號誌機的最小運轉時隔係發生於：當兩列車在#2 與#1 號誌機的閉塞區間之閉塞時間相連的時候。對於未設置號誌安全重疊區間的系統，此時列車的空間間距為

$$D_h = s_{d_j} + B_a + B_b + s_{o_i} + L_i \tag{2.3}$$

式中：D_h=列車車頭的距離（m）

s_{d_j}=續行列車的號誌視距（m）

B_a=接近區間（#3 及#2 號誌機之間）的長度（m）

B_b=封鎖區間（#2 及#1 號誌機之間）的長度（m）

s_{o_i}=解除閉塞及清除號誌過程先行列車的運轉距離（m）

L_i=先行列車長度（m）

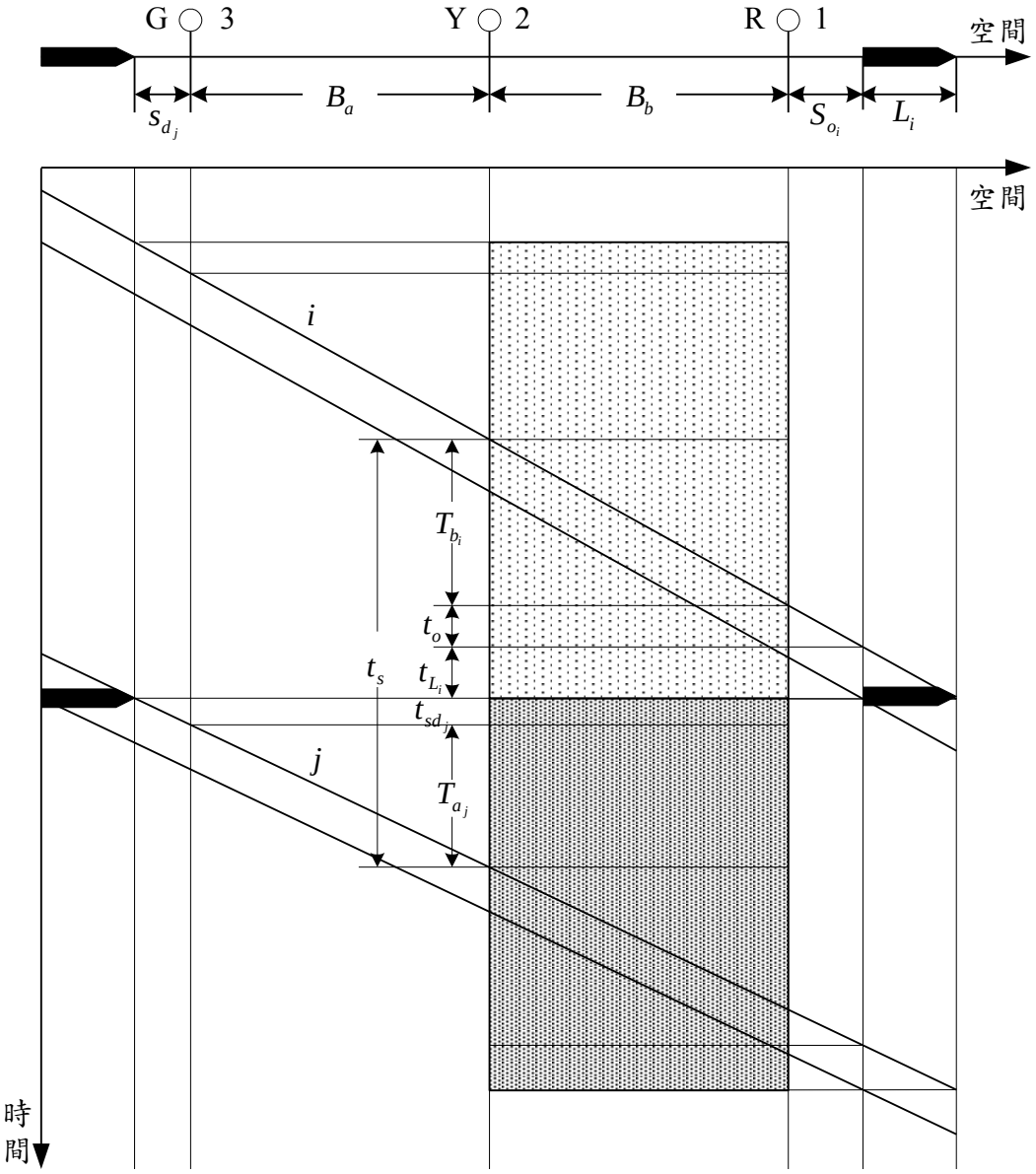


圖 2-4 路段上之閉塞時間與最小號誌時距

上式中，續行列車的號誌視距s_{d_j}有兩層意義。第一層意義是指司機員所能目視前方號誌的最遠距離，其與天候條件、路線條件、燈號的大小及光線強度有關。第二層意義是指司機員所能辨識號誌的安全距離，也就是當號誌機顯示黃色注意燈號時，司機員在該號誌機之前將列車速度降至容許速度之下的距離。為了安全起見，號誌視距通常採用第二種方式來計算。該距離共包含兩個部分，第一個部分是司機

員辨認號誌到採取制軔的反應距離，以及司機員制軔後直到軔機開始作用的距離（兩者合併稱為列車空走距離）；第二個部分是列車速度降至容許速度以下的制軔距離，如式(2.4)。

$$s_{d_j} = t_r v_j + \frac{v_j^2 - v_y^2}{2b_j} \tag{2.4}$$

式中：t_r=司機員的反應時間及軔機的作用時間（s）

v_j=續行列車的巡航速度（Cruising Speed）（m/s）

v_y=注意號誌的容許速度，臺鐵規定為 60 km/h（16.67 m/s）

b_j=續行列車的服務減速度（m/s^2）

上式中，司機員的反應時間與年齡、健康、情緒狀況有關，一般公路設計時所採用的反應時間為 2.5 秒[1]。而軔機的反應時間隨軔機裝置的種類、緊軔方式、聯掛車輛數的多寡而異；臺鐵空氣傳動式軔機（Pneumatic Brake）的試驗實績約 2.3 秒，電氣傳動式軔機（Electric Pneumatic Brake）為 1.5 秒[18]。由此可知，司機員與軔機反應時間合併約 4~5 秒，建議採 5 秒來計算。至於列車的巡航速度（不計離站加速及進站減速階段之路段平均速度），受到路線坡度及半徑的影響，通常不可能全速運轉，一般而言，列車的巡航速度通常為最大容許速度的 70%~90%，某些系統受制於設備還可能更低。

解除閉塞及清除號誌過程中，先行列車的運轉距離s_{o_i}並非固定常數，而是與列車的運轉速度有關。其控制要素是號誌系統的作業時間，此一時間可視為固定常數，依列車速度的不同，在這一段時間內的運轉距離可能隨之而異，但計算號誌安全時隔時並不需要計算s_{o_i}，直接引用號誌解除閉塞及清除號誌的時間即可。

列車在路段上之最小號誌時距一部分是來自於先行列車的閉塞時間，另一部分為續行列車的閉塞時間：

$$t_s = T_{b_i} + t_o + t_{L_i} + t_{sd_j} + T_{a_j} \tag{2.5}$$

式中：t_s=最小號誌時距（s）

T_{b_i}=先行列車行駛B_b的時間（s）

t_o=先行列車車尾通過號誌機後，解除閉塞及清除號誌的時間（s），臺鐵號誌系統以 4 秒合併計算

t_{L_i}=先行列車行駛車身長的時間（s）

t_{sd_j}=續行列車行駛號誌視距的時間（s）

T_{a_j}=續行列車行駛B_a的時間（s）

上式可整理如下：

$$t_s = \frac{B_b + L_i}{v_i} + \frac{B_a}{v_j} + \frac{v_j^2 - v_y^2}{2b_j v_j} + t_o + t_r \tag{2.6}$$

式中：v_i=先行列車的巡航速度（m/s）

v_j=續行列車的巡航速度（m/s）

從圖 2-4 及式(2.6)可知，如果先行列車與續行列車的性能一致且長度相同，則閉塞時間剛好等於運轉時隔。過去很多文獻計算路段的運轉時隔時，都是在此一假設之下，直接以閉塞時間來表示運轉時隔，但事實上兩者是有差異的。

2.2.2 車站內號誌安全時距計算公式

欲決定某一路線區間的號誌安全時距，必須計算出每一次列車在每一個閉塞區間的閉塞時間，再將兩相鄰列車的閉塞時間階梯圖銜接在一起，方能順利找出瓶頸閉塞區間（請參閱基礎篇第七章）。但由於列車速差、加減速，以及停車等因素，號誌安全時距的瓶頸一般會發生在列車進出車站的時候，而不會發生在路段中間。

車站內的號誌安全時距除了與號誌系統的配置有關之外，與車站的軌道配置也有很大的關聯。若車站內無多餘的副正線可供列車停靠時，車站所在區間的閉塞時間會受到列車停車時間的影響而增加，因

此計算號誌安全時距必須一併考慮列車的停車時間。美國的鐵道容量手冊[31]在推導號誌安全時距的公式時，是先計算路段上的時距，最後再加上列車的停車時間以及淨空月臺的時間。這樣的做法其實是簡化的處理方式，比較準確的計算方式應該是一併考量。

為了簡化分析，本手冊對於車站內號誌安全時距的計算作如下的假設：

1. 假設列車在每一個車站均停車的情況下來計算號誌安全時距，雖然這樣的計算方式比較保守，但也保留了在排班作業過程中，允許列車在車站交會待避的可能性。
2. 由於假設列車在每一個車站均停車，因此若列車以副線到開時，合理假設列車經過道岔時的速度均已降至限速之內。

基於上述的討論，本手冊所需發展的車站號誌安全時距公式，至少應該包括以下六種類型：

(1) 同向列車進站之號誌安全時距 — 站內停靠同一軌道

(2) 同向列車進站之號誌安全時距 — 站內停靠不同軌道

(3) 同向列車離站之號誌安全時距 — 站內停靠同一軌道

(4) 同向列車離站之號誌安全時距 — 站內停靠不同軌道

(5) 反向列車交會之號誌安全時距 — 站內停靠不同軌道

(6) 反向列車平面交叉之號誌安全時距 — 站內停靠不同軌道

上述六種號誌安全時距，前四項均屬複線運轉的時隔。在某些鐵道系統，例如日本新幹線高速鐵路，列車排點時的複線運轉時隔多達八種，如圖 2-5 所示。但根據臺鐵綜合調度所計畫組所述，臺鐵列車排點過程並不直接考慮圖 2-5 中的同股道進站時隔（h_1）及同股道離站隔（h_3），而是利用先行列車離站與續行列車的進站時隔（h_2），配合列車的停站時間來反推。另外，臺鐵亦不考慮出發與通過的時隔（h_7），以及通過與抵達的時隔（h_8），原因在於通過列車的等級與速度通常高於停靠的列車，因此出發及通過時隔的限制會發生在下一

個車站，而通過及抵達時隔的限制則發生在上一個車站。總而言之，臺鐵列車排點時僅考慮 h_2 、 h_4 、 h_5 及 h_6 四種時隔而已。

對於複線運轉而言，本手冊所分析的號誌安全時距，其實已涵蓋臺鐵列車排點時所考慮的時隔（詳見圖 2-6）。先行列車離站與續行列車的進站時隔 h_2 ，可以由同股道進站時隔，扣除先行列車的停車時間而求得，或是由同股道離站時隔，扣除續行列車的停車時間來計算。對於連續通過的時隔 h_4 ，只要將同股道進站時隔中，先行列車的停車時間設定為零即可。而對於列車追越所需的時隔 h_5 及 h_6 ，則分別為不同股道進站與不同股道離站的時隔。

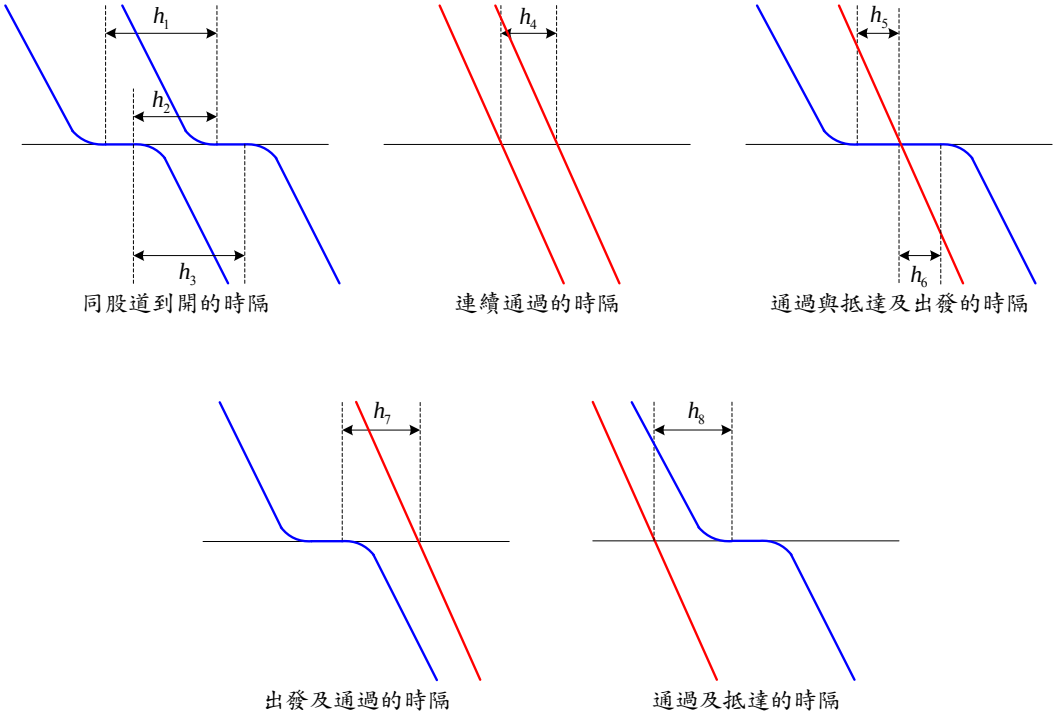


圖 2-5 日本新幹線複線運轉時隔的種類

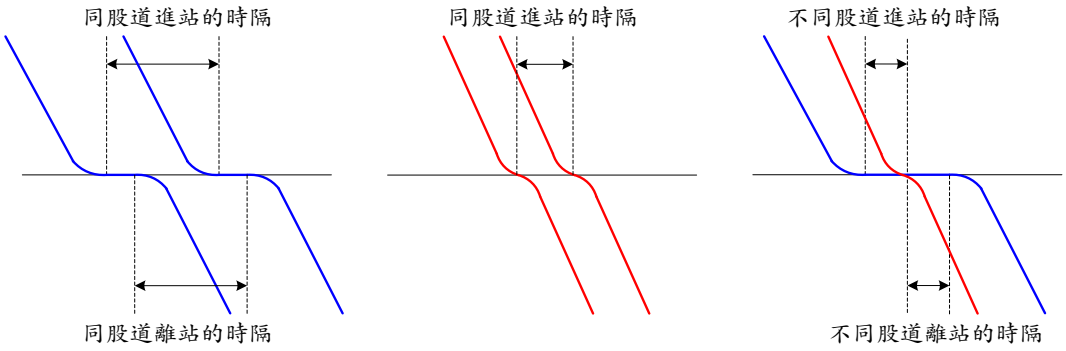


圖 2-6 傳統鐵路暨區域鐵路複線運轉時隔的種類與應用

2.2.2.1 同向列車進站之號誌安全時距－站內停靠同一軌道

若車站內僅有一股軌道，續行列車進站的必要條件是先行列車已經淨空月臺並離開車站，續行列車方能進入車站。如圖 2-7 所示，當先行列車離開車站，車尾通過出發號誌機後，經過一段解除閉塞以及清除號誌的時間，第一閉塞號誌機恰由黃燈轉變為綠燈，而續行列車剛好以巡航速度行駛至第一閉塞號誌機前方一個號誌視距的位置，此時兩列車的運轉時隔達到最小。

列車進站的安全時距是先行與續行列車進入車站的時間差，可由下式計算而得：

$$T_{s,A1} = t_{d_i} + t_{x_i} + t_o + t_{v_j} + t_{b_j} \tag{2.7}$$

式中：$T_{s,A1}$=同一股道進站的號誌安全時距（s）

t_{d_i}=先行列車的停車時間（s）

t_{x_i}=先行列車從靜止啟動直到車尾通過出發號誌機的時間（s）

t_o=先行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），臺鐵號誌系統以 4 秒合併計算

t_{v_j}=續行列車以巡航速度v_j運轉的時間（s）

t_{b_j}=續行列車的進站緊軔時間（s）

式(2.7)中的號誌安全時距包括先行列車的停車時間，如果先行列車的停車時間$t_{d_j} = 0$，亦即列車煞停後立即啟動，此時的運轉時隔即為最小號誌時距，也就是不含停車時間的號誌時距，如下式所示：

$$t_s = t_{x_i} + t_o + t_{v_j} + t_{b_j} \tag{2.8}$$

式中：t_s=不含停車時間的最小號誌時距（s）

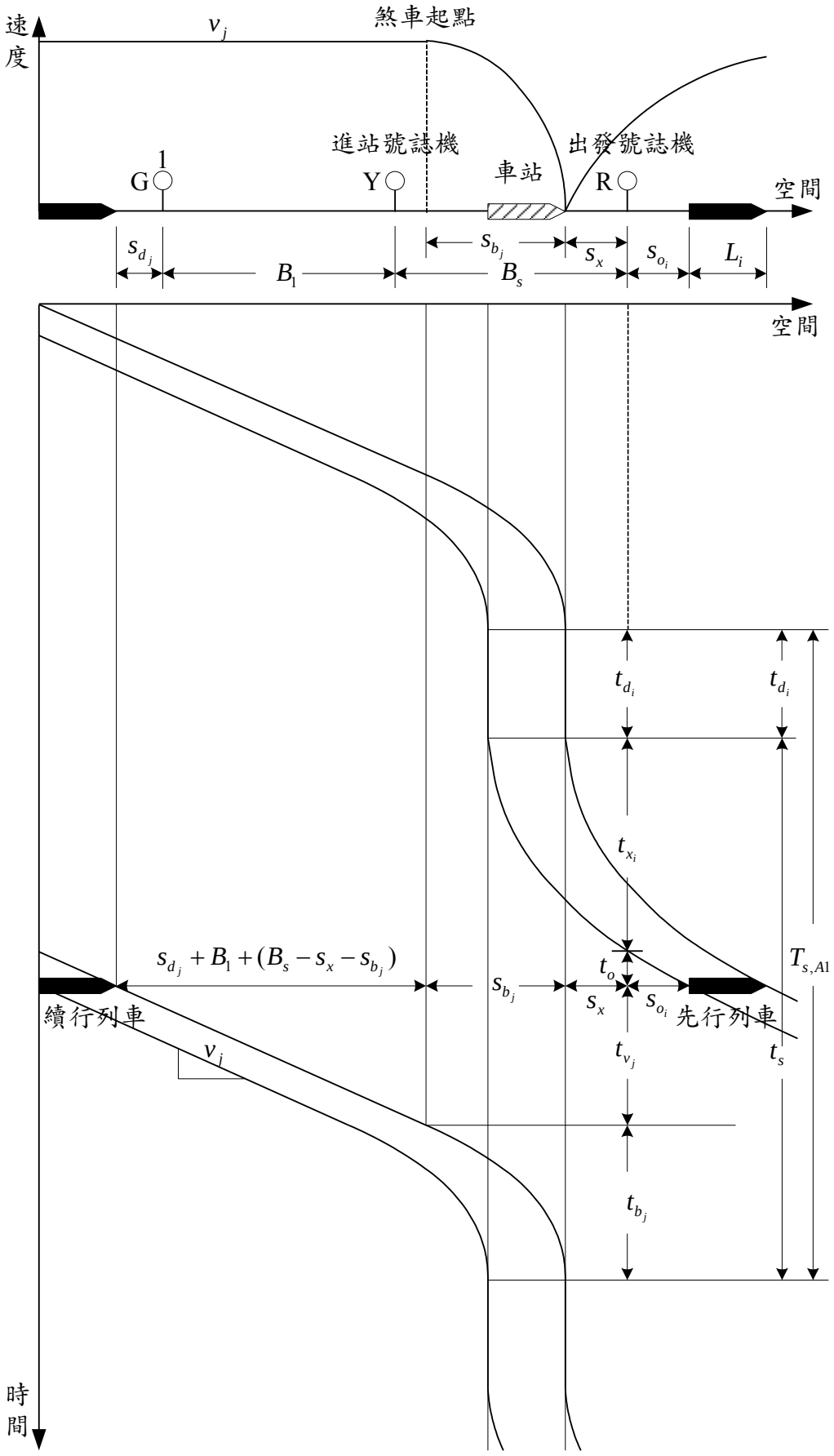


圖 2-7 同向列車進站之號誌安全時距－站內使用同一軌道

列車車尾通過出發號誌機時，通常尚未加速至最高速度，因此t_{x_i}可依下式計算：

$$t_{x_i} = \sqrt{\frac{2(L_i + s_x)}{a_i}} \tag{2.9}$$

式中：s_x=列車於車站停車時車頭與出發號誌機的距離（m）

a_i=先行列車的加速度（m/s^2）

又從圖 2-7 可知，續行列車以巡航速度v_j的運轉時間如式(2.10)。

$$t_{v_j} = \frac{s_{d_j} + B_1 + (B_s - s_x - s_{b_j})}{v_j} \tag{2.10}$$

式中：s_x=列車停車位置與出發號誌機的距離（m）

s_{b_j}=續行列車的進站緊韌距離（m）

列車進站是屬於計畫中的事件，司機員可以提早準備，因此進站緊韌距離不必考慮司機員的反應時間，以及韌機作用時間內之空走距離，而僅需計算列車開始煞車至完全煞停的距離，即

$$s_{b_j} = \frac{v_j^2}{2b_j} \tag{2.11}$$

式中：b_j=續行列車的服務減速度（m/s^2）

將式(2.4)及式(2.11)代入式(2.10)可得

$$t_{v_j} = t_r - \frac{v_y^2}{2b_j v_j} + \frac{B_1 + B_s - s_x}{v_j} \tag{2.12}$$

根據運動學公式，續行列車的緊韌時間可按下式計算：

$$t_{b_j} = \frac{v_j}{b_j} \tag{2.13}$$

將式(2.9)、式(2.12)，以及式(2.13)代入式(2.7)，可求得列車的號誌安全時距為

$$T_{s,A1} = \sqrt{\frac{2(L_i + s_x)}{a_i}} + \frac{v_j}{b_j} - \frac{v_y^2}{2b_j v_j} + \frac{B_1 + B_s - s_x}{v_j} + t_o + t_r + t_{d_i} \qquad (2.14)$$

2.2.2.2 同向列車進站之號誌安全時距－站內停靠不同軌道

若車站內有多股軌道可供列車停靠，而先行及續行列車分別使用不同的軌道時，則只要轉轍器及號誌設定妥當，續行列車即可進站。如圖 2-8 所示，先行列車在車站內停第 1 股道，在其進站後，位於 P 點（道岔位置）的轉轍器會扳轉第 2 股道，而進站號誌機將由紅燈轉變為閃黃燈（YF）[1]，且第 2 閉塞號誌機的燈色會同時轉為綠燈。若續行列車的司機剛好抵達第 2 閉塞號誌機前的視距位置，則列車可維持全速行駛，此時所決定的運轉時隔為最小進站時隔。

號誌安全時距的控制點是道岔所在的位置，但進站時隔是以列車停車後的時間來計算，因此必須從先行列車經過道岔的時間來反推。在本例中號誌安全時距的計算方式如下：

$$T_{s,A2} = (t_p - t_{e_i}) + t_{v_j} + t_{b_j} \qquad (2.15)$$

式中：$T_{s,A2}$=不同股道進站的號誌安全時距（s）

t_p=先行列車車尾通過 P 點後，解除第 1 股道進路、轉轍器扳轉、鎖錠第 2 股道進路，以及號誌變換的整體作業時間（s）

t_{e_i}=先行列車車尾通過 P 點直到列車停止的運轉時間（s）

t_{v_j}=續行列車以巡航速度 v_j 運轉的時間（s）

t_{b_j}=續行列車的進站緊韌時間（s），按式(2.13)計算

[1] 實際顯示的燈號視道岔號數的不同，可能為 Y/Y（#16）、YF（(#12)、R/YF(#10)或 R/Y(#8)。

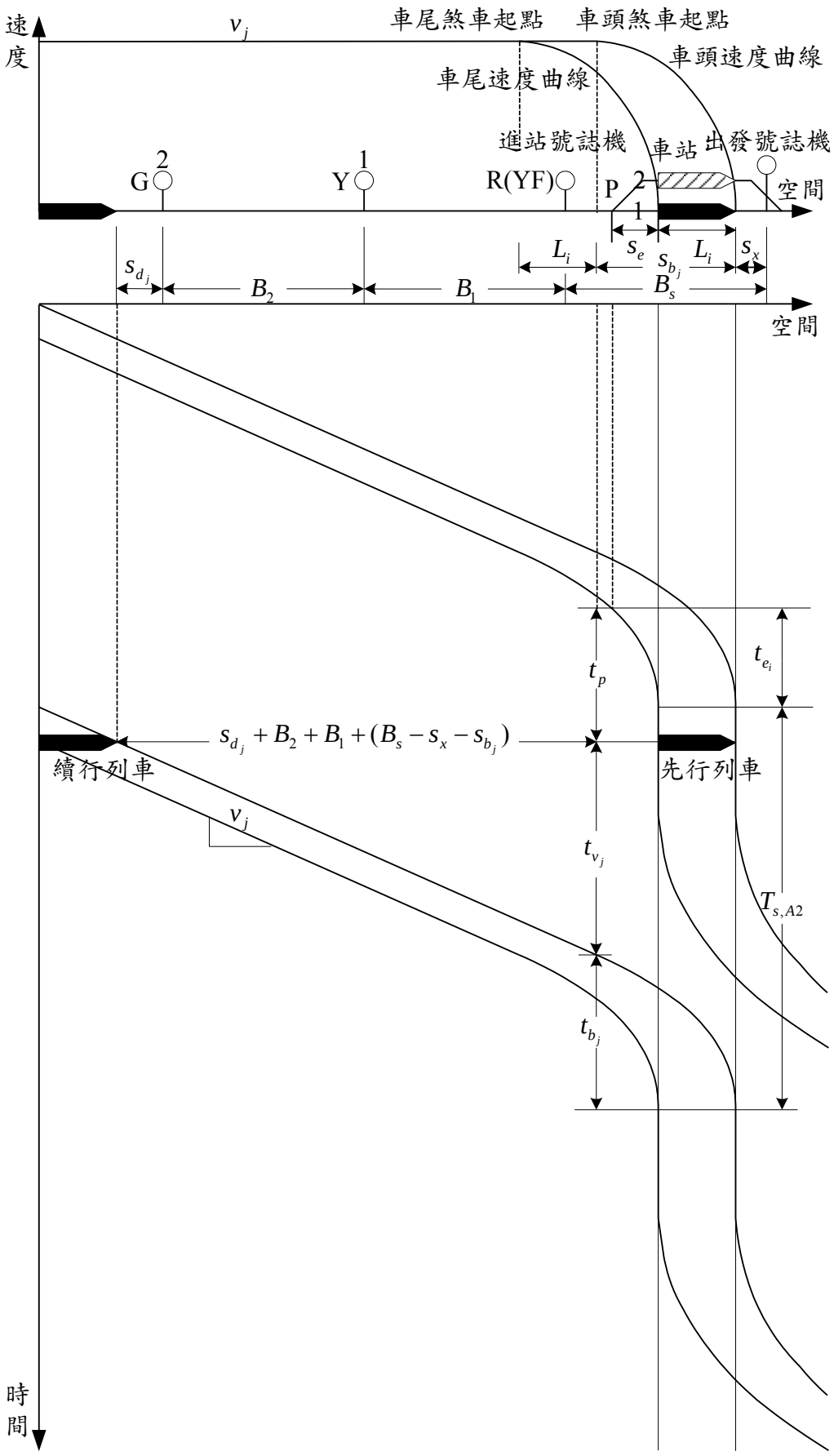


圖 2-8 同向列車進站之號誌安全時距－站內使用不同軌道

上式中t_p由軌道電路、號誌及轉轍器聯鎖設備所決定。實際上，t_p應以先行列車通過警衝標附近的絕緣區開始計算。根據臺鐵電務處的資料顯示，臺鐵的號誌系統大約需要 13 秒的作業時間，如以道岔的中心位置 P 點來計算，t_p採用 15 秒計算應屬合理。先行列車車尾通過 P 點直到列車停止的運轉時間t_{e_i}，與先行列車停車後車尾與道岔的距離s_{e_i}，以及列車的減速度b_i有關，可按下式來計算：

$$t_{e_i} = \sqrt{\frac{2s_{e_i}}{b_i}} \tag{2.16}$$

由於傳統暨區域鐵路的列車組成較為複雜，因此先行列車停車後車尾距離進站道岔的距離s_{e_i}會隨著列車長度而改變，唯一不變的是進站道岔至出發號誌機的距離。參考可知，上式中的s_{e_i}亦可利用下式來計算：

$$s_{e_i} = s_t - s_x - L_i \tag{2.17}$$

式中：s_t=進站道岔與出發號誌機的距離（m）

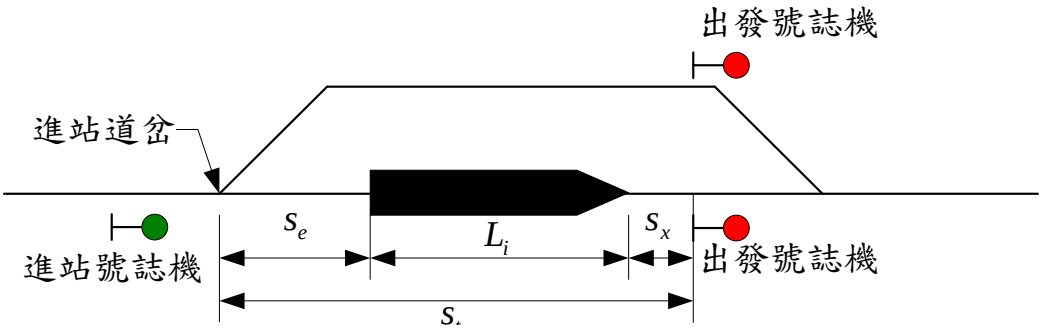


圖 2-9 列車在站內停靠位置與進站道岔及出發號誌的相對關係

式(2.15)中$t_p - t_{e_i}$為先行列車停妥後直到完成轉轍器扳轉、進路的解除與鎖錠，以及號誌變換的時間。$t_p - t_{e_i}$不見得是正值，若其值為負，表示列車停車前已完成所有的作業程序。

從圖 2-8 可知，續行列車以巡航速度v_j的運轉時間為

$$t_{v_j} = \frac{s_{d_j} + B_2 + B_1 + (B_s - s_x - s_{b_j})}{v_j} \tag{2.18}$$

式中：s_{d_j}=續行列車的號誌視距（m），按式(2.4)計算

B_2=第二閉塞區間的長度（m）

B_1=第一閉塞區間的長度（m）

B_s=車站所在區間的長度（m）

s_x=列車於車站停車時車頭與出發號誌機的距離（m）

s_{b_j}=續行列車的進站緊韌距離（m），按式(2.11)計算

v_j=續行列車的巡航速度（m/s）

將式(2.4)及式(2.11)代入上式整理後可得

$$t_{v_j} = t_r - \frac{v_y^2}{2b_j v_j} + \frac{B_2 + B_1 + B_s - s_x}{v_j} \tag{2.19}$$

再將式(2.13)、(2.16)、(2.17)及(2.19)代入式(2.15)，經整理後可得

$$T_{s,A2} = \frac{v_j}{b_j} - \sqrt{\frac{2(s_t - s_x - L_i)}{b_i}} - \frac{v_y^2}{2b_j v_j} + \frac{B_2 + B_1 + B_s - s_x}{v_j} + t_p + t_r \tag{2.20}$$

與式(2.14)比較可發現，站內使用不同軌道時，列車進站之運轉時隔少了列車停車時間t_{d_i}、解除閉塞及清除號誌的時間t_o、先行列車離開出發號誌機的時間t_{x_i}，以及先行列車通過道岔直到停止的運轉時間t_{e_i}，但增加了轉轍器扳轉時間及號誌變換時間t_p，以及續行列車行駛第二閉塞區間的時間B_2/v_j。一般而言，列車在車站內的緊韌、停車以及啟動加速時間，會遠大於以路巡航速度運轉一個閉塞區間的時間，因此式(2.20)計算而得的進站運轉時隔會小於式(2.14)的結果。圖 2-7 及圖 2-8 係以相同的閉塞區間長度及加減速度所繪製，從兩圖的比較亦可清楚看出：站內使用不同軌道時的進站時隔會小於使用相同軌道時的進站時隔。

2.2.2.3 同向列車離站之號誌安全時距－站內停靠同一軌道

若列車在車站內使用同一軌道，則先行及續行列車不可同時停靠在車站內；續行列車離站的前提是先行列車離站後，續行列車取得停靠車站的權利，並完成列車靠站停車的作業後方得離站。以圖 2-10 為例，當先行列車離開車站，車尾通過出發號誌機的次一個號誌機（圖中的$n-1$號號誌機），經過一段解除閉塞以及清除號誌的時間，進站號誌機顯示綠燈，而續行列車剛好依巡航速度行駛至進站號誌機前一個號誌視距的位置，此時兩列車的運轉時隔達到最小。

從圖 2-10 可清楚看出，先行列車離開車站直到續行列車離開車站的時間間隔為：

$$T_{s,D1} = t_s + t_{d_j} = t_{n_i} + t_o + t_{v_j} + t_{b_j} + t_{d_j} \tag{2.21}$$

式中：$T_{s,D1}$=同一股道離站的號誌安全時距（s）

$t_s = t_{n_i} + t_o + t_{v_j} + t_{b_j}$=最小號誌時距（s）

t_{d_j}=續行列車的停車時間（s）

t_{n_i}=先行列車出發後直到車尾離開第n閉塞區間（通過$n-1$號號誌機）的運轉時間（s）

t_o=解除閉塞及清除號誌的時間（s），臺鐵系統以 4 秒計算

t_{v_j}=續行列車以巡航速度v_j運轉的時間（s）

t_{b_j}=續行列車的進站緊軔時間（s）

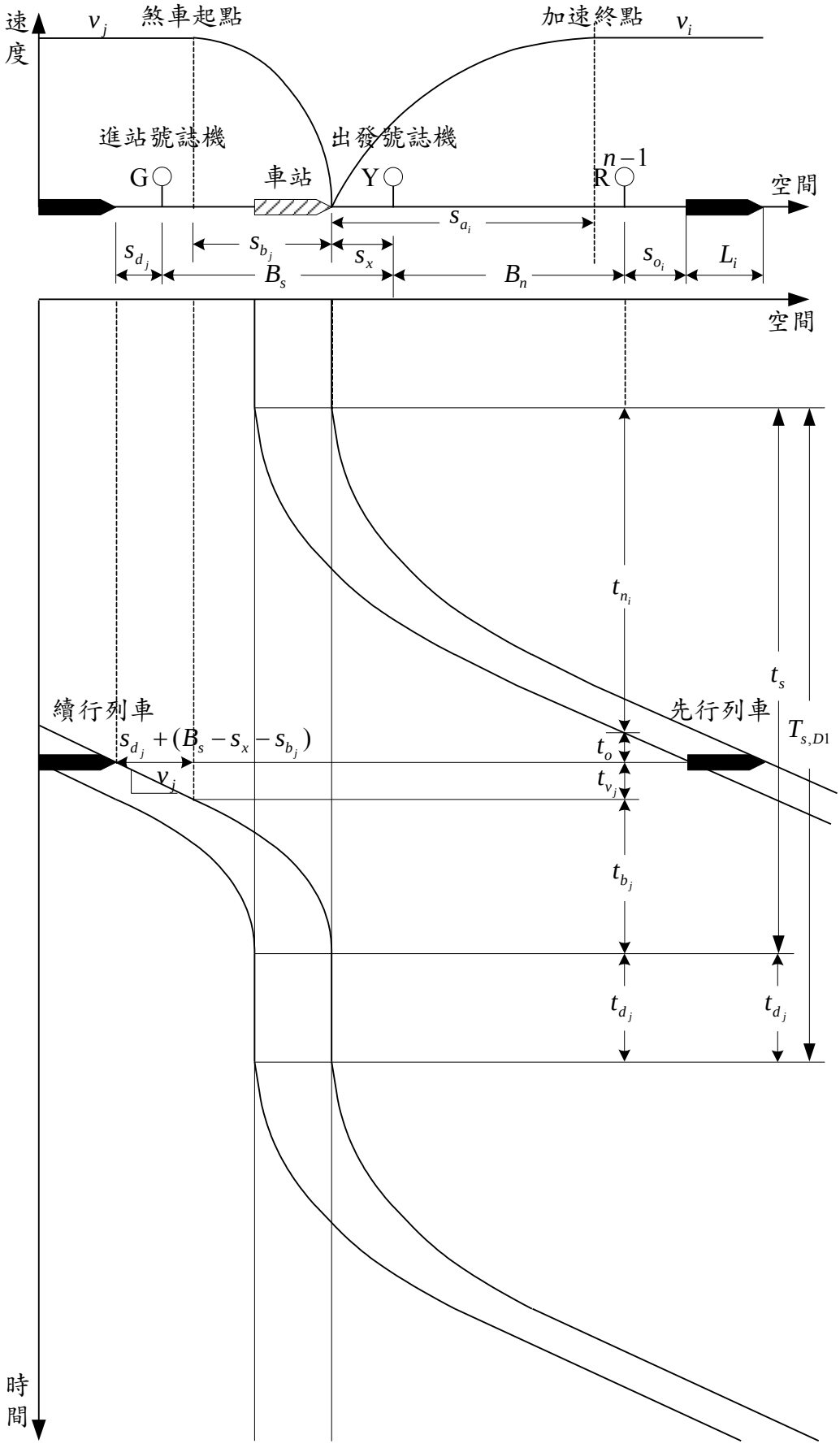


圖 2-10 同向列車離站之號誌安全時距－站內使用同一軌道

先行列車離開車站後直到車尾通過$n-1$號號誌機的運轉時間，與先行列車的加速性能a_i及閉塞區間的長度B_n有關，當先行列車的車尾通過$n-1$號號誌機時，其速度可能已達到最大規定速度v_i，也可能尚在加速階段（圖 2-10 係列車已加速至v_i 的範例）。令s_{a_i}為先行列車加速至v_i 的距離，即$s_{a_i}=v_i^2/2a_i$。若$L_i+s_x+B_n>v_i^2/2a_i$，表示列車車尾是以v_i 的速度通過$n-1$號號誌機；如果$L_i+s_x+B_n\le v_i^2/2a_i$，則表示列車尚在加速過程，兩種情形下$t_{n_i}$ 的計算方式不同。

1. $L_i+s_x+B_n>v_i^2/2a_i$

若先行列車車尾在通過$n-1$號號誌機前已加速至最大速度v_i，則t_{n_i} 包含加速運轉時間v_i/a_i 及等速運轉時間$(L_i+s_x+B_n-s_{a_i})/v_i$ 兩個部分：

$$t_{n_i}=\frac{v_i}{a_i}+\frac{L_i+s_x+B_n-s_{a_i}}{v_i}=\frac{v_i}{2a_i}+\frac{L_i+s_x+B_n}{v_i} \tag{2.22}$$

2. $L_i+s_x+B_n\le v_i^2/2a_i$

若列車車尾在通過$n-1$號號誌機之前均處於加速過程，則$L_i+s_x+B_n=a_i t_{n_i}^2/2$，因此

$$t_{n_i}=\sqrt{\frac{2(L_i+s_x+B_n)}{a_i}} \tag{2.23}$$

續行列車以巡航速度v_j 的運轉時間為

$$t_{v_j}=\frac{s_{d_j}+(B_s-s_x-s_{b_j})}{v_j} \tag{2.24}$$

式中：s_{d_j}=續行列車j的號誌視距（m）

B_s=車站所在區間的長度（m）

s_x=列車停車位置與出發號誌機的距離（m）

s_{b_j}=續行列車的停車緊韌距離（m）

將式(2.4)及式(2.11)代入式(2.24)可得

$$t_{v_j} = t_r - \frac{v_y^2}{2b_j v_j} + \frac{(B_s - s_x)}{v_j} \tag{2.25}$$

分別以式(2.22)、式(2.23)，以及式(2.13)與式(2.25)代入式(2.21)可求得列車的最小運轉時隔為

1. $L_i + s_x + B_n > v_i^2 / 2a_i$

$$T_{s,D1} = \frac{v_i}{2a_i} + \frac{v_j}{b_j} - \frac{v_y^2}{2b_j v_j} + \frac{L_i + s_x + B_n}{v_i} + \frac{B_s - s_x}{v_j} + t_o + t_r + t_{d_j} \tag{2.26}$$

2. $L_i + s_x + B_n \le v_i^2 / 2a_i$

$$T_{s,D1} = \sqrt{\frac{2(L_i + s_x + B_n)}{a_i}} + \frac{v_j}{b_j} - \frac{v_y^2}{2b_j v_j} + \frac{B_s - s_x}{v_j} + t_o + t_r + t_{d_j} \tag{2.27}$$

同樣是在站內使用同一股軌道，列車的進站及離站運轉時隔何者較大，必須視列車的加減速性能以及車站前、後的閉塞區間長度而定，經比較圖 2-7 及圖 2-10 可發現，列車進站的運轉時隔較離站時隔增加了續行列車行駛車站前一個閉塞區間長度的時間，但減少了先行列車運轉車站後第一個閉塞區間長度的時間，若是兩段閉塞區間的長度相同，由於列車的加速度通常小於減速度，因此列車的進站時隔會小於離站時隔。倘若車站後的第一個閉塞區間長度較短，且列車具有很好的加速性能，則仍有可能發生列車的進站時隔大於離站時隔的情形，但此種情形較少發生。

2.2.2.4 同向列車離站之號誌安全時距－站內停靠不同軌道

若先行及續行列車在車站內停靠不同的軌道，只要先行列車離站後，車尾通過出發號誌機的下兩個號誌機（圖 2-11 中的$n-2$號號誌機），而出發號誌機由黃燈轉變為綠燈時，續行列車的司機員確認號誌後即可離站。與站內使用同一股軌道最大的不同在於，續行列車不必等候進站後再離站，因此可縮短運轉時隔。

先行列車車尾通過$n-2$號號誌機時，已經過兩個閉塞區間，故應可加速至路線規定速度，因此其運轉時間應包括加速運轉及等速運轉兩個部分。從圖 2-11 可知，先行列車離開車站直到續行列車可以離開車站的號誌安全時距可依式(2.28)來計算。

$$T_{s,D2} = t_{a_i} + t_{v_i} + t_o + t_r \tag{2.28}$$

式中：$T_{s,D2}$=不同軌道離站的號誌安全時距（s）

t_{a_i}=先行列車的加速運轉時間（s）

t_{v_i}=先行列車以巡航速度v_i運轉的時間（s）

t_o=解除閉塞及清除號誌的時間（s），臺鐵號誌以 4 秒計算

t_r=出發號誌顯示綠燈後，關閉列車車門以及司機員確認出發號訊的反應時間（s），以 5 秒計算

先行列車的加速運轉時間依下式計算：

$$t_{a_i} = \frac{v_i}{a_i} \tag{2.29}$$

先行列車以巡航速度v_i運轉的時間為

$$t_{v_i} = \frac{L_i + s_x + B_n + B_{n-1} - s_{a_i}}{v_i} \tag{2.30}$$

式中：L_i=先行列車的車身長度（m）

s_x=列車於車站停車時車頭與出發號誌機的距離（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）

s_{a_i}=先行列車的加速運轉距離

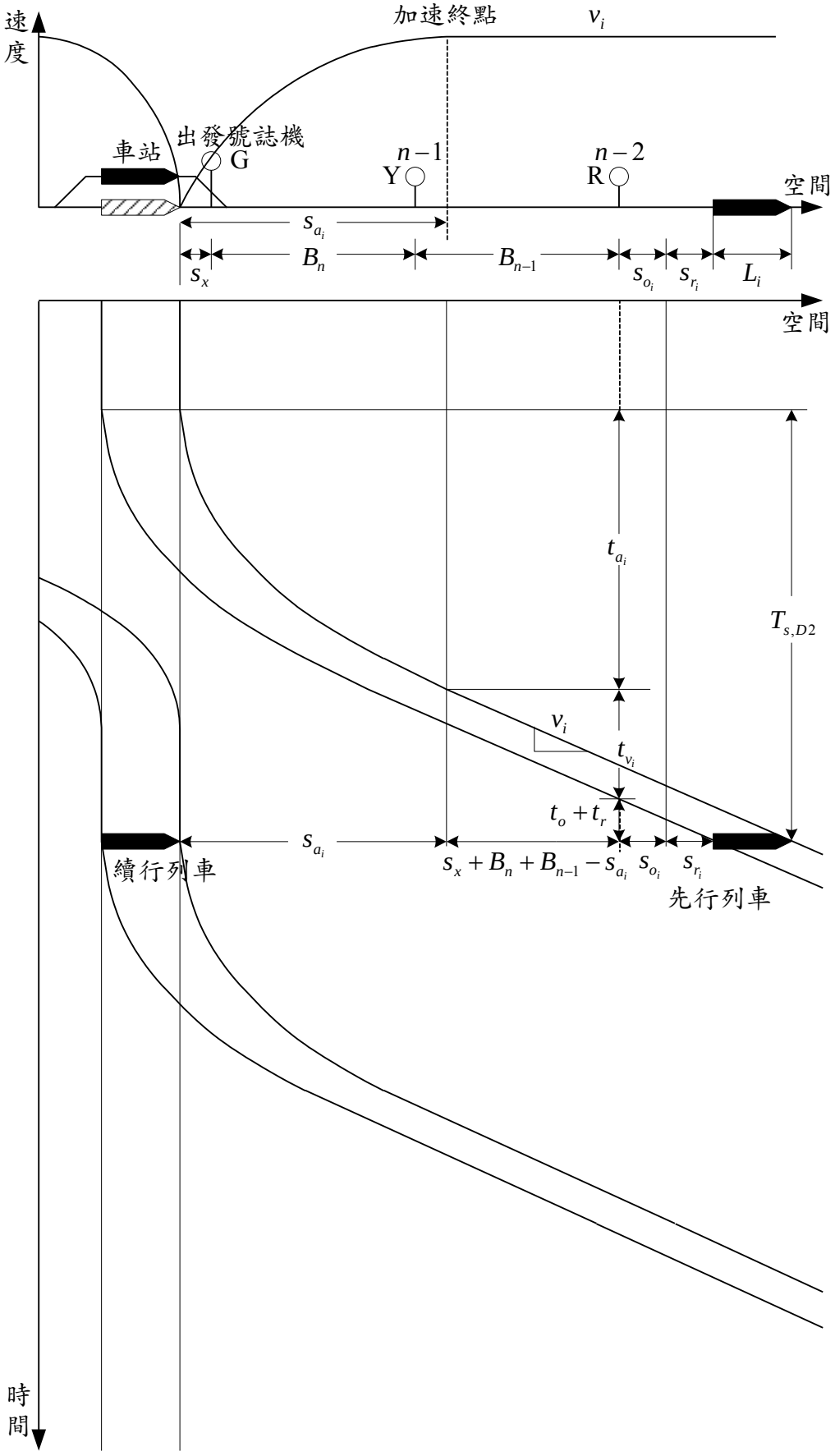


圖 2-11 同向列車離站之號誌安全時距－站內使用不同軌道

以 $s_{a_i} = v_i^2 / 2a_i$ 代入上式可得

$$t_{v_i} = \frac{L_i + s_x + B_n + B_{n-1}}{v_i} - \frac{v_i}{2a_i} \tag{2.31}$$

將式(2.29)及式(2.31)代入式(2.28)可求得號誌安全時距如下：

$$T_{s,D2} = \frac{v_i}{2a_i} + \frac{L_i + s_x + B_n + B_{n-1}}{v_i} + t_o + t_r \tag{2.32}$$

與式(2.26)及式(2.27)比較可發現，站內使用不同軌道時，列車離站之運轉時隔少了列車停車時間，以及第一閉塞區間的行駛時間但增加了先行列車行駛第 $n-2$ 個閉塞區間的時間。一般而言，列車的緊軔及停車時間會遠大於以巡航速度運轉一個閉塞區間的時間，因此依上式計算而得的離站運轉時隔會小於式(2.26)及式(2.27)的結果。圖 2-10 及圖 2-11 係以相同的閉塞區間長度及加減速度所繪製，從兩圖的比較亦可清楚看出：站內使用不同軌道時的離站時隔會小於使用相同軌道時的進站時隔。

2.2.2.5 反向列車交會之號誌安全時距－站內停靠不同軌道

要辦理列車交會，車站內至少必須有兩軌道，交會列車分別使用不同的軌道。如圖 2-12 所示，續行列車可離開車站的必要條件是先行列車的車尾通過 P 點的道岔位置，而轉轍器已扳轉至副正線，且出發號誌機已由紅燈轉變為綠燈，續行列車的司機員確認號誌後即可出發。

號誌安全時距的控制點是道岔所在的位置，但列車交會的時隔是以先行列車停車後的時間開始計算。本例中列車在車站交會的號誌安全時距為

$$T_{s,M} = (t_p - t_{e_i}) + t_r = t_p + t_r - \sqrt{\frac{2s_{e_i}}{b_i}} = t_p + t_r - \sqrt{\frac{2(s_t - s_x - L_i)}{b_i}} \tag{2.33}$$

式中：$T_{s,M}$=列車交會的號誌安全時距（s）

t_p=先行列車車尾通過 P 點後，解除進路、轉轍器扳轉、鎖錠進路，以及號誌變換的整體作業時間（s）

t_{e_i}=先行列車車尾通過 P 點直到列車停止的運轉時間（s）

t_r=司機員確認出發號訊的反應時間（s）

s_e=先行列車停車後車尾與道岔的距離（m）

2.2.2.6 反向列車平面交叉之號誌安全時距

先行列車離開車站後，只要平面交叉點的轉轍器及號誌設定妥當後，續行列車即可進站。如圖 2-13 所示，先行列車從車站出發，車尾經過平面交叉點後，L 點（道岔位置）的轉轍器將進路設定成下行主正線，而第 2 號誌機顯示綠燈。若續行列車剛好以線速度行駛至號誌機前方一個號誌視距的位置，則列車可維持線速度行駛，此時的運轉時隔達到最小。

號誌安全時距的控制點是平面交叉所在的位置，但計算時必須考慮先行列車離開車站直到續行列車進入車站為止的時間。從圖 2-13 可知，號誌安全時距為

$$T_{s,X} = t_{l_i} + t_p + t_{v_j} + t_{b_j} \tag{2.34}$$

式中：$T_{s,X}$=列車先離站後進站的平面交叉號誌時距（s）

t_{l_i}=先行列車從靜止啟動直到車尾通過 L 點的運轉時間（s）

t_p=先行列車車尾通過 L 點後，解除副正線的進路、轉轍器扳轉、鎖定主正線的進路，以及號誌變換的整體作業時間（s）

t_{v_j}=續行列車以線速度v_j運轉的時間（s）

t_{b_j}=續行列車的進站緊軔時間（s）

t_{l_i}與先行列車車頭與 L 的距離、列車的長度，以及加速度有關，按式(2.35)計算。

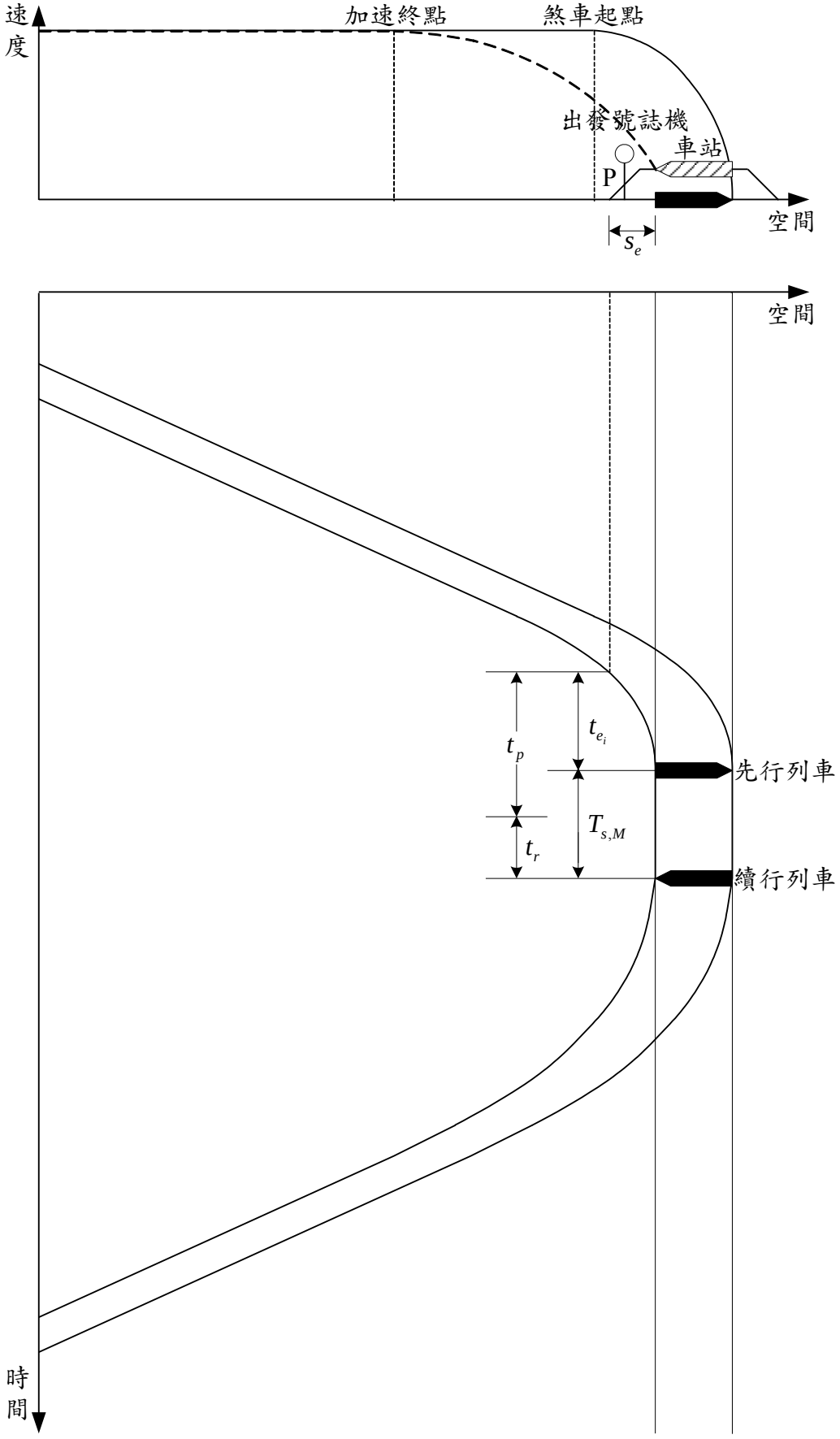


圖 2-12 反向列車交會之號誌安全時距－站內使用不同軌道

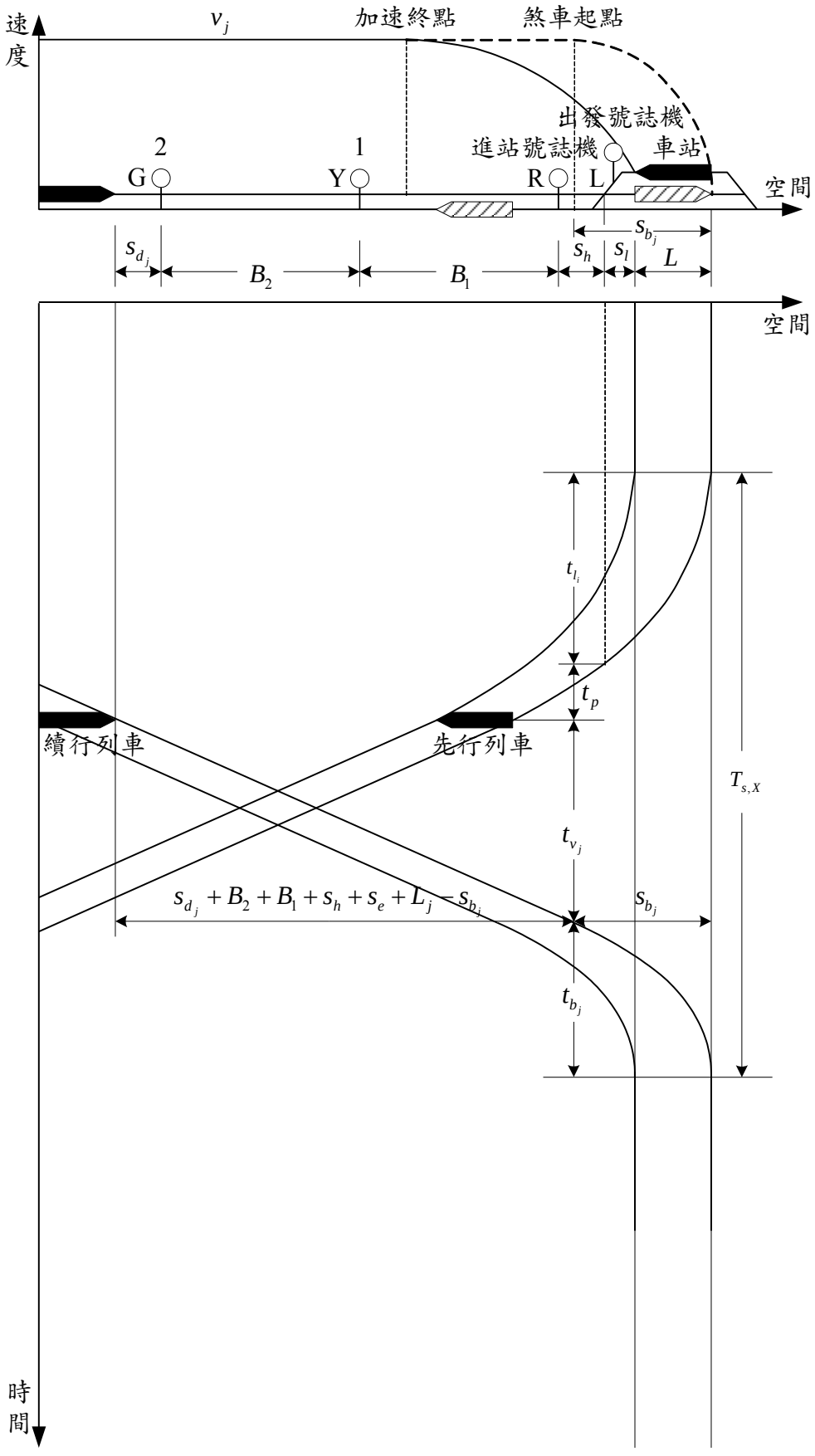


圖 2-13 列車先離站後進站的平面交叉號誌時距

$$t_{l_i} = \sqrt{\frac{2(s_l + L_i)}{a_i}} \tag{2.35}$$

式中：s_l=列車車頭停車位置與平面交叉點 L 的距離（m）

L_i=先行列車的車身長度（m）

a_i=先行列車的加速度（m/s^2）

假設先行與續行列車的長度相等，從圖 2-13 可知續行列車以線速度行駛的時間為

$$t_{v_j} = \frac{s_{d_j} + B_2 + B_1 + s_h + s_l + L_j - s_{b_j}}{v_j} \tag{2.36}$$

式中：s_{d_j}=續行列車的號誌視距（m）

B_2=第二閉塞區間的長度（m）

B_1=第一閉塞區間的長度（m）

s_h =進站號誌機與平面交叉點的距離（m）

s_l=列車車頭停車位置與平面交叉點 L 的距離（m）

L_j=續行列車的車身長度（m）

s_{b_j}=續行列車的進站緊軔距離（m）

v_j=續行列車的線速度（m/s）

將式(2.4)及(2.11)代入式(2.36)可得

$$t_{v_j} = t_r - \frac{v_y^2}{2b_j v_j} + \frac{B_2 + B_1 + s_h + s_l + L_j}{v_j} \tag{2.37}$$

將式(2.35)、式(2.37)，以及式(2.13)代入式(2.34)，可求得列車先離站後進站的號誌安全時距為

$$T_{s,X} = \sqrt{\frac{2(s_l + L_i)}{a_i}} + \frac{v_j}{b_j} - \frac{v_y^2}{2b_j v_j} + \frac{B_2 + B_1 + s_h + s_l + L_j}{v_j} + t_r + t_p \tag{2.38}$$

2.2.3 路線坡度及加減速性能的影響

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

$$a(G) \approx \frac{M_e a(0) - Mg\frac{G}{1000}}{M_e} = a(0) - \frac{g \cdot G}{1000\rho} \tag{2.39}$$

式中：$a(G)$=列車在坡度G‰的加速度（m/s^2）

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

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

M=列車編組質量（kg）

g=重力加速度（m/s^2），$g = 9.81$ m/s^2

G=路線坡度（‰）

等效質量係數ρ一般係介於 1.04~1.10 之間。臺鐵以機車牽引之列車採用 1.06，電聯車採用 1.088[18, 23]。如果將等效質量係數ρ以及重力加速度g的數值代入上式並四捨五入，可以下式來近似：

$$a(G) \approx a(0) - 0.009G \tag{2.40}$$

若是減速度，由於坡度阻力的方向相反，故以下式計算：

$$b(G) \approx b(0) + 0.009G \tag{2.41}$$

列車的加速性能除了受坡度的影響之外，與供電電壓及零件老舊亦有相關。計算號誌安全時距時，以K_a（decimal）來解釋加速性能的有效百分比。而列車的減速性能與軔機系統的出力有關，在某些情況下，軔機系統不見得能夠完全發揮作用，故以K_b（decimal）來調整列車的煞車性能。美國鐵道容量手冊[31]建議採用 0.75。

設G_i及G_o分別代表進出車站的路線坡度，如果考量坡度及加減速性能衰退的效應，則前述推導的號誌安全時距公式可調整如表 2.1。

表 2.1 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	$L_i+s_x+B_n\le\frac{v_i^2}{2K_a a_i(G_o)}$	$T_{s,D1}=\sqrt{\frac{2(L_i+s_x+B_n)}{K_a a_i(G_o)}}+\frac{v_j}{K_b b_j(G_i)}-\frac{v_y^2}{2K_b b_j(G_i)v_j}+\frac{B_s-s_x}{v_j}+t_o+t_r+t_{d_j}$
	離站時隔	不同股道		$T_{s,D2}=\frac{v_i}{2K_a a_i(G_o)}+\frac{L_i+s_x+B_n+B_{n-1}}{v_i}+t_o+t_r$
反向	交會時隔	不同股道		$T_{s,M}=t_p+t_r-\sqrt{\frac{2(s_t-s_x-L_i)}{K_b b_i(G_i)}}$
	交叉時隔	不同股道		$T_{s,X}=\sqrt{\frac{2(s_l+L_i)}{K_a a_i(G)}}+\frac{v_j}{K_b b_j(G)}-\frac{v_y^2}{2K_b b_j(G)v_j}+\frac{B_2+B_1+s_h+s_l+L_j}{v_j}+t_r+t_p$

2.2.4 車站軌道及月臺配置方式的影響

車站內的軌道配置方式會影響到列車的號誌安全時距。如果車站內同一方向只有一股臨月臺軌道，則列車僅能以同股道到開；如果車站內有兩股以上的臨月臺軌道，有可能是以同股道或不同股道到開。本節將先介紹臺鐵車站較常見的軌道配置方式，再說明如何計算各種配置下的平均號誌安全時距。

2.2.4.1 車站軌道配置方式的種類

臺鐵典型的車站軌道配置方式有以下四種類型：

1. 兩個島式月臺四股道以上（第一類型車站）

臺鐵較大的車站或終點車站通常會配備比較多的月臺及軌道，例如臺北站、板橋站以及高雄站，圖 2-14 為典型兩個島式月臺四股道的運用方式，上下行方向各有一股主正線，一股副正線，上下行列車互不干擾。

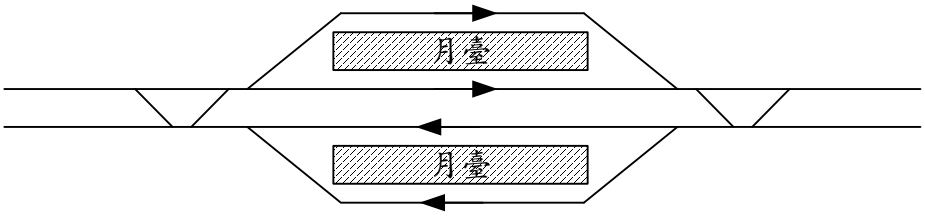


圖 2-14 兩個島式月臺四股道的軌道運用方式

2. 一個島式月臺一個側式月臺無平面交叉三股道（第二類型車站）

許多新建的大站採用採一個島式月臺一個側式月臺，無平面交叉三股道的配置，例如萬華站和斗南站。如圖 2-15 所示。上下行方向各有一股主正線，另一股副正線則供上下行列車交替使用，但列車進出副正線時，不會與對向列車產生平面交叉的情形。

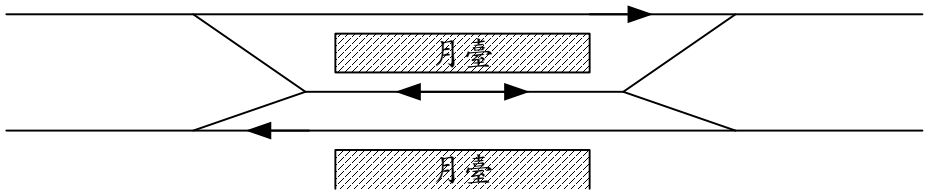


圖 2-15 一個島式月臺一個側式月臺無平面交叉三股道的運用方式

3. 一個島式月臺一個側式月臺有平面交叉三股道（第三類型車站）

臺鐵早期的車站大多採一個島式月臺一個側式月臺，有平面交叉三股道的配置方式，如圖 2-16；宜蘭站及花壇站的配置均屬此類。在此種配置之下，上下行方向各有一股專用的主正線，另一股副正線則供上下行列車交替使用，但上行或下行其中之一欲使用共用股道時，會與行駛主正線的對向列車產生平面交叉，因此其軌道運用彈性較上述無平面交叉三股道略差。

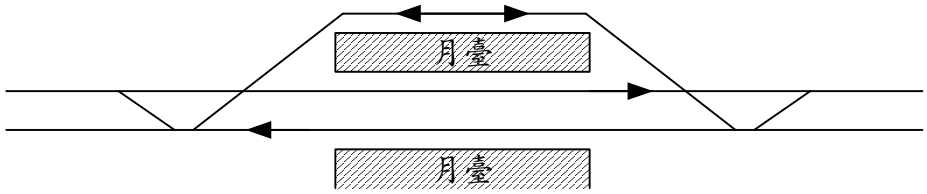
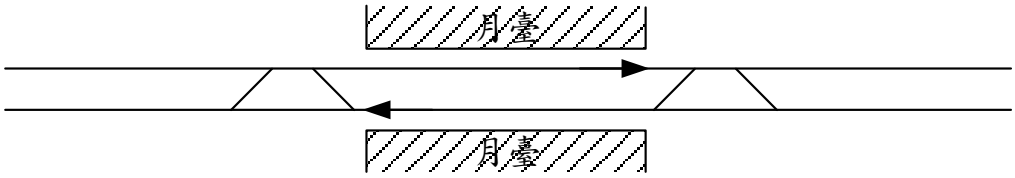


圖 2-16 一個島式月臺一個側式月臺有平面交叉三股道的運用方式

4. 兩個側式月臺或一個島式月臺兩股道（第四類型車站）

臺鐵較小的車站或新增的捷運化車站通常為兩個側式月臺或一個島式月臺兩股道的配置，如圖 2-17。例如三坑站為一個島式月臺兩股道，臺中的大慶車站為兩個側式月臺兩股道。值得注意的是，此類型的車站在複線運轉時，由於無法提供待避功能，因此不得為欲分析的路線區段的端點車站；而在單線運轉時，若車站兩側無橫渡線供列車交會，亦不得為分析區間的端點車站。



兩個岸壁式月臺兩股道

一個島式月臺兩股道

圖 2-17 兩個側式月臺或一個島式月臺兩股道的運用方式

上述四種車站配置為最典範的型式，但臺鐵的車站可能有許多變化，應用時必須根據軌道的數目與實際運用情形，來歸類車站，而非從物理上的配置方式來歸類。由於本手冊建立的容量分析模式是上下行方向分別計算，因此車站的歸類必須根據計算容量時，列車運轉方向的可用軌道數與軌道屬性來判定。另外，考慮臺鐵捷運化的需求，僅考慮臨月臺面的軌道。車站歸類原則彙整如表 2.2。

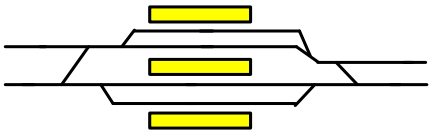
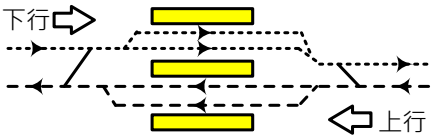
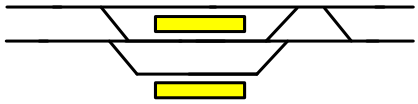
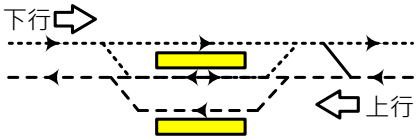
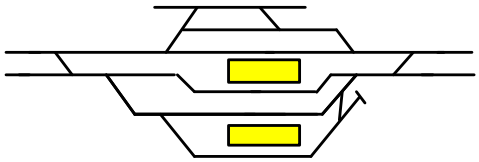
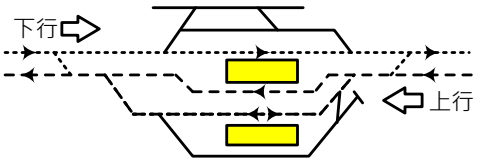
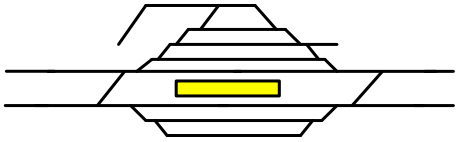
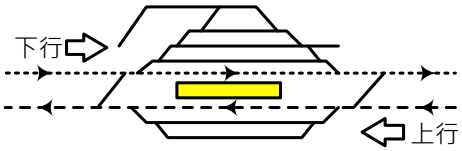
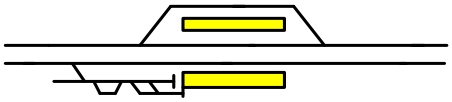
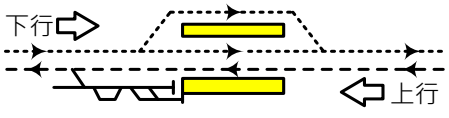
表 2.2 車站歸類原則

單向軌道屬性			車站歸類
專用軌道	共用軌道	平面交叉	
2 股以上		無	第一類車站（I）
1 股	1 股	無	第二類車站（II）
1 股	1 股	有	第三類車站（III）
1 股		無	第四類車站（IV）

透過表 2.3 的數個實際車站為例，讓讀者更能明白如何歸類車站：範例 A 之車站有兩座側式月臺和一座島式月臺，其軌道運用方式為上下行各有兩條專用軌道，因此屬於第一類車站；範例 B 之車站有側式和島式月臺各一座，在軌道運用方式上為上下行各有一條專用軌道，而中間有一條共用軌道，列車在使用共用軌道進出車站時，不會與對

向列車產生平面交叉，因此為第二類車站；範例 C 為兩座島式月臺之車站，但最下方的月臺面沒有使用，軌道運用為上下行各一條專用軌道與一條雙向共用軌道，由於列車在使用共用軌道進出車站時，會與對向列車產生平面交叉，所以屬於第三類車站；範例 D 僅一座島式月臺，站內有許多軌道，不過營運時上下行各只使用一條專用軌道，屬於第四類車站；而範例 E 雖與範例 B 同為一座島式月臺與一個側式月臺之車站，但因缺少橫渡線的關係，在軌道運用上，下行有兩條專用軌道，屬第一類車站，上行則僅有一條專用軌道，屬第四類車站。

表 2.3 車站歸類範例

No.	月臺及軌道佈設	軌道運用方式
A		 上下行皆為第一類車站
B		 上下行皆為第二類車站
C		 上下行皆為第三類車站
D		 上下行皆為第四類車站
E		 上行為第一、下行為第二類車站

2.2.4.2 各種車站配置的平均號誌安全時距計算方式

以下分別就各種不同的車站配置，來討論軌道運用的情形以及對平均號誌安全時距的影響。

1. 兩個島式月臺四股道以上（第一類型車站）

如果車站內有兩個島式月臺四股道，通常上、下行方向各別有兩股專用的軌道可供使用。如圖 2-18 所示，若第一班列車停靠主正線，下一班列車可停靠副正線，列車進站的號誌安全時距為$T_{s,A2}$。而第三班列車抵達時，第一班列車已離開車站，此時第一班列車與第三班列車的運轉時隔大於同一股道的進站時隔$T_{s,A1}$，因此第三班列車可以順利停靠主正線，其與第二班列車的號誌安全時隔同樣是$T_{s,A2}$。

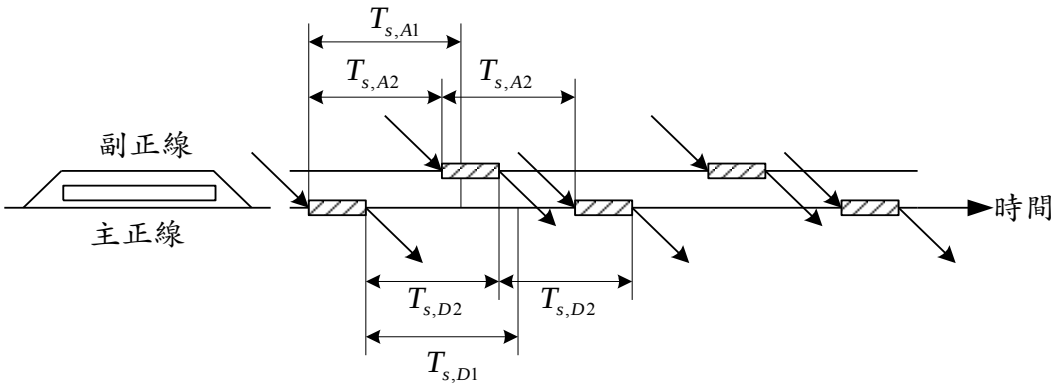


圖 2-18 兩個島式月臺四股道的股道運用（單一方向）

從上述分析可知，列車進站的平均號誌安全時距為

$$T_{s,A} = T_{s,A2} < T_{s,A1} \tag{2.42}$$

式中：$T_{s,A}$=進站平均號誌安全時距（s）

如果列車交替使用主正線及副正線，則列車的離站時隔為$T_{s,D2}$，小於同一股道的離站時隔$T_{s,D1}$，即

$$T_{s,D} = T_{s,D2} < T_{s,D1} \tag{2.43}$$

式中：$T_{s,D}$=離站平均號誌安全時距（s）

上述分析適用於一般的列車停靠作業，也就是列車的停車時間在合理範圍內。當列車交替使用主、副正線時，第一班與第三班列車的進站時隔$2T_{s,A2}$，會大於同一股道的進站時隔$T_{s,A1}$，兩者之差$2T_{s,A2}-T_{s,A1}$為第一班列車停車時間的緩衝。當列車因故（例如旅客太多）而導致停車時間大幅增加，且增加量大於$2T_{s,A2}-T_{s,A1}$時，第二班與第三班列車的進站時隔就不再是$T_{s,A2}$，而是$T_{s,A1}-T_{s,A2}$，如圖 2-19 所示，而此時的進站號誌安全時距為一個$T_{s,A2}$間隔一個$T_{s,A1}-T_{s,A2}$，即

$$T_{s,A}=0.5T_{s,A2}+0.5(T_{s,A1}-T_{s,A2})=0.5T_{s,A1} \tag{2.44}$$

離站時隔的分析方式類同，也是一個$T_{s,D2}$間隔一個$T_{s,D1}-T_{s,D2}$，即

$$T_{s,D}=0.5T_{s,D1} \tag{2.45}$$

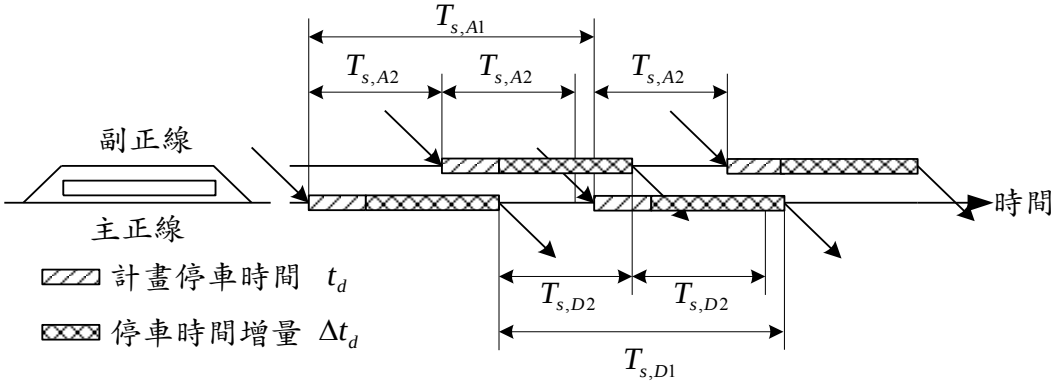


圖 2-19 停車時間對運轉時隔的影響

2. 一個島式月臺一個側式月臺無平面交叉三股道（第二類型車站）

如果車站內有一個島式月臺及一個側式月臺共三股道，通常上、下行方向各有一條專用的軌道，兩股軌道中間的另一股道，視需要可由上行或下行列車交替使用。當列車在車站內以副線到開時，並不會與主線上運轉的列車產生平面交叉的情形。

在分析此種車站配置的軌道運用時，合理假設副正線係平均分配給上、下行列車使用。如圖 2-20(a)所示，下行第一班列車停靠主正線，第二班列車停靠副正線，列車進站的號誌安全時距為$T_{s,A2}$。第三班列車

抵達車站時，第一班列車已經離開車站，且兩者之運轉時隔大於同一股道進站的時隔$T_{s,A1}$，因此第三班列車可以順利停靠主正線，其與第二班列車的號誌安全時距為$T_{s,A2}$。

當下行第四班列車要進站時，由於副正線係平均分配給上、下行列車使用，因此第四班列車必須等第三班列車離開之後，間隔同一股道的進站時隔方能停靠主正線，其與第三班列車的號誌安全時距為$T_{s,A1}$。而第五班列車進來時，又可再次使用副正線，與第四班列車的號誌安全時距為$T_{s,A2}$。

從上述分析可知，每經過兩個不同股道的進站號誌時距$T_{s,A2}$，會間隔一個同一股道進站的號誌時距$T_{s,A1}$，因此下行列車進站的平均號誌安全時距為

$$T_{s,A} = \frac{1}{3}T_{s,A1} + \frac{2}{3}T_{s,A2} \tag{2.46}$$

同理，列車離站的平均號誌安全時距為

$$T_{s,D} = \frac{1}{3}T_{s,D1} + \frac{2}{3}T_{s,D2} \tag{2.47}$$

依循同樣的分析方法，可求得上行列車的平均號誌安全時距，結果應與下行列車相符。

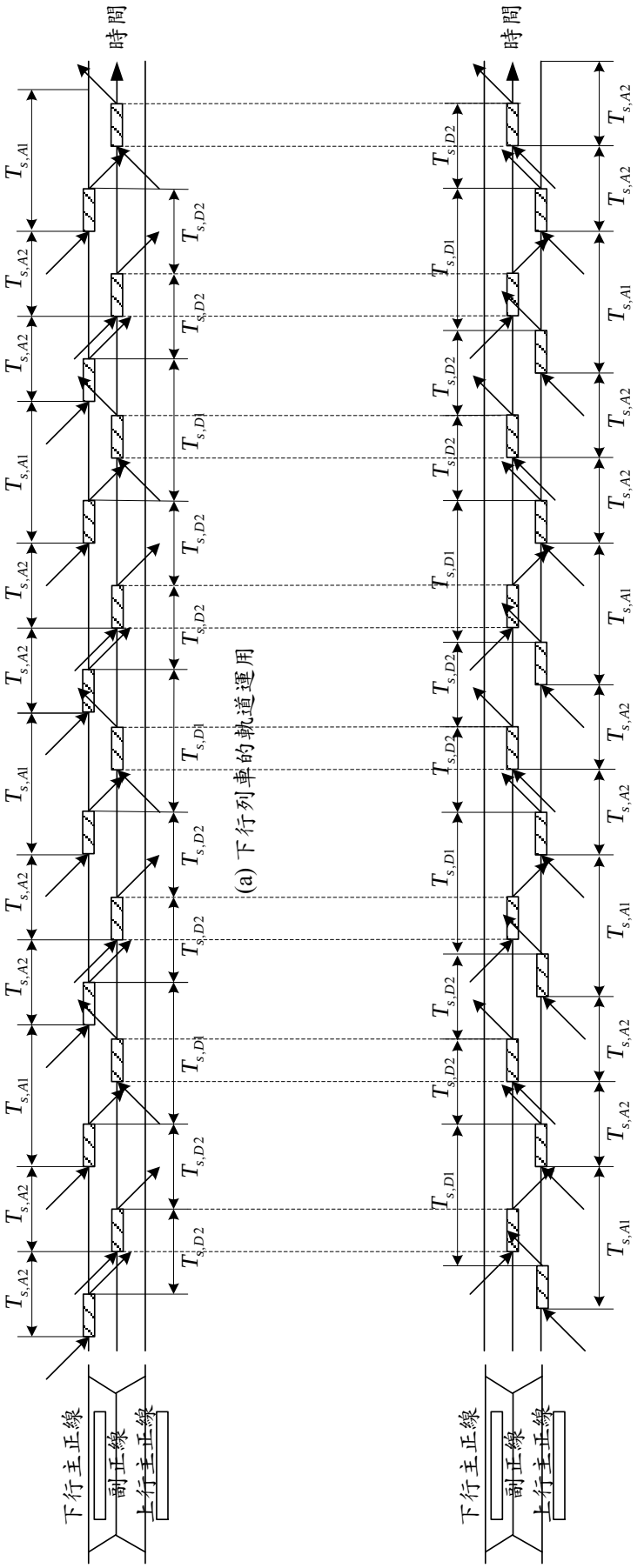


圖 2-20 一島式一側式月臺無平面交叉三股道的股道運用情形

3. 一個島式月臺一個側式月臺有平面交叉三股道（第三類型車站）

與第 2 節介紹的月臺及軌道佈置類似，車站內同樣有一個島式月臺及一個側式月臺共三股道，上、下行方向各有一條專用的股道可供利用，而另一股道則位於兩條主正線之外側，視需要可由上行或下行列車使用，當列車在車站內以副正線到開時，會與主線上運轉的列車產生平面交叉的情形。嚴格說來，此種車站配置的平面交叉應該有六種類型（詳如圖 2-21）：

(1) 停靠副正線的下行列車離站與停靠副正線的上行列車進站

(2) 停靠主正線的下行列車離站與停靠副正線的上行列車進站

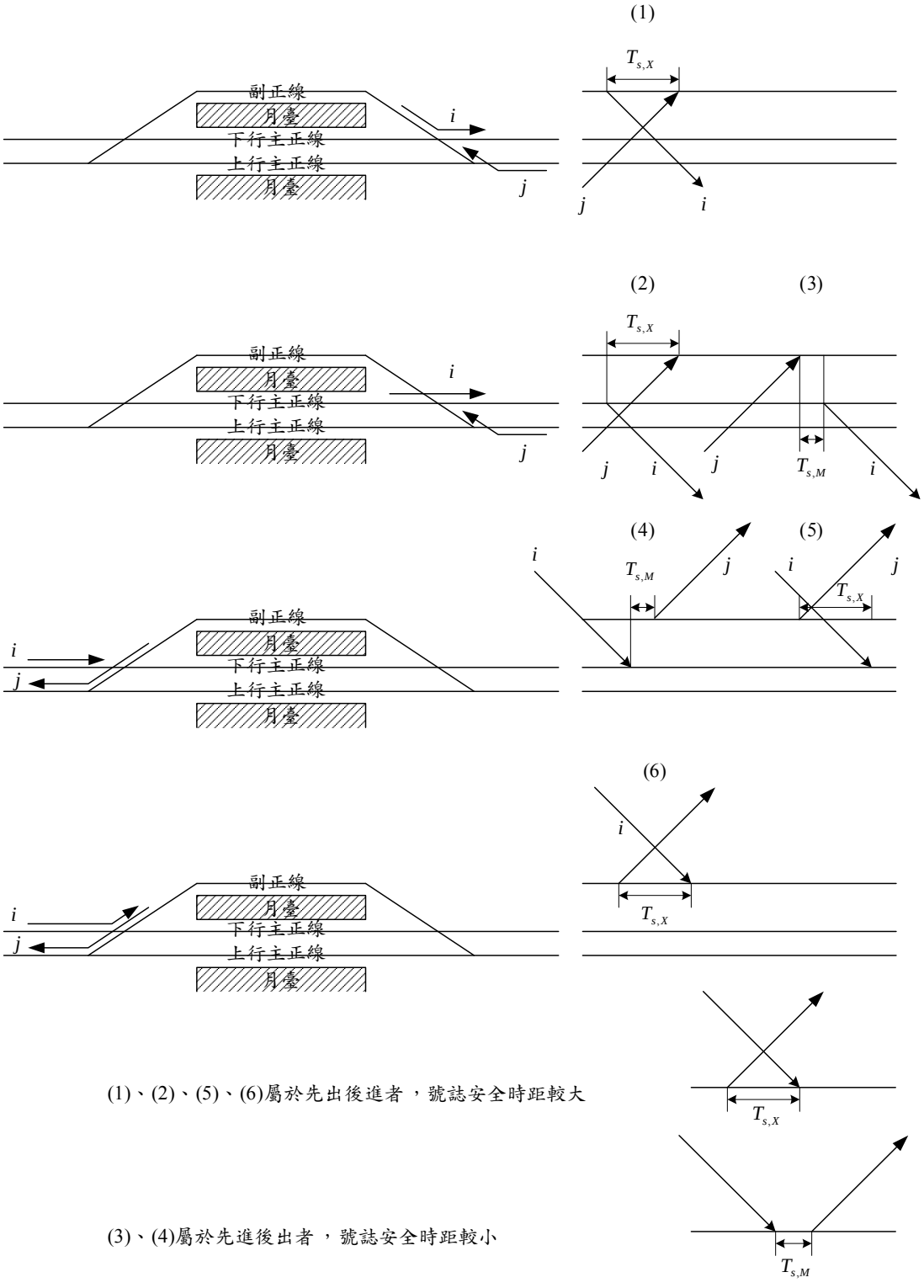
(3) 停靠副正線的上行列車進站與停靠主正線的下行列車離站

(4) 停靠主正線的下行列車進站與停靠副正線的上行列車離站

(5) 停靠副正線的上行列車離站與停靠主正線的下行列車進站

(6) 停靠副正線的上行列車離站與停靠副正線的下行列車進站

上述六種平面交叉類型又可概分為先行列車離站、續行列車進站，以及先行列車進站、續行列車離站兩種型態。為了避免列車衝突，兩列車經過平面交叉點的位置必須間隔一段時間。如圖 2-22 所示，如果列車 j 先離站的話，必須經過一段號誌安全時距 $T_{s,X}$ 之後，列車 i 方能進站；如果列車 i 先進站，則必須經過另一段號誌安全時距 $T_{s,M}$ 之後（類似於列車交會），列車 j 方能離站。在圖 2-22 中，列車 j 不允許在斜線區域的時段內離站，否則會造成列車衝突。一般而言，$T_{s,X}$ 類似於列車進站的號誌安全時距，因此 $T_{s,X}$ 會大於 $T_{s,M}$，但小於站內停靠同一軌道的號誌安全時距，因為停靠同一軌道的時隔多了列車停車時間的影響。



(1)、(2)、(5)、(6)屬於先出後進者，號誌安全時距較大

(3)、(4)屬於先進後出者，號誌安全時距較小

圖 2-21 平面交叉的類型

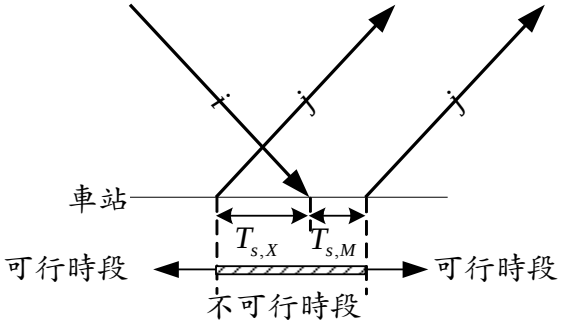


圖 2-22 平面交叉運轉時隔

同樣也是合理假設副正線係平均分配給上、下行列車使用。如圖2-23(a)所示，下行第一班列車停靠主正線，第二班列車停靠副正線，列車進站的號誌安全時距為$T_{s,A2}$。第三班列車抵達車站時，第一班列車已經離開車站，且兩者之運轉時隔大於同一股道進站的時隔$T_{s,A1}$，因此第三班列車可以順利停靠主正線，其與第二班列車的號誌安全時距為$T_{s,A2}$。

由於副正線並非專供下行列車使用，假設停靠在副正線的下行列車離站後，副正線係供上行列車使用，此時會產生兩種平面交叉的情形：

(1) 停靠副正線的下行第二班列車離開車站，與停靠副正線的上行列車進入車站

(2) 停靠主正線的下行第三班列車離開車站，與停靠副正線的上行列車進入車站

上述兩種平面交叉均屬於列車先離站後進站的類型，而控制要素是第二種，也就是停靠主正線的下行第三班列車離站與停靠副正線的上行列車進站，號誌安全時距為$T_{s,X}$。

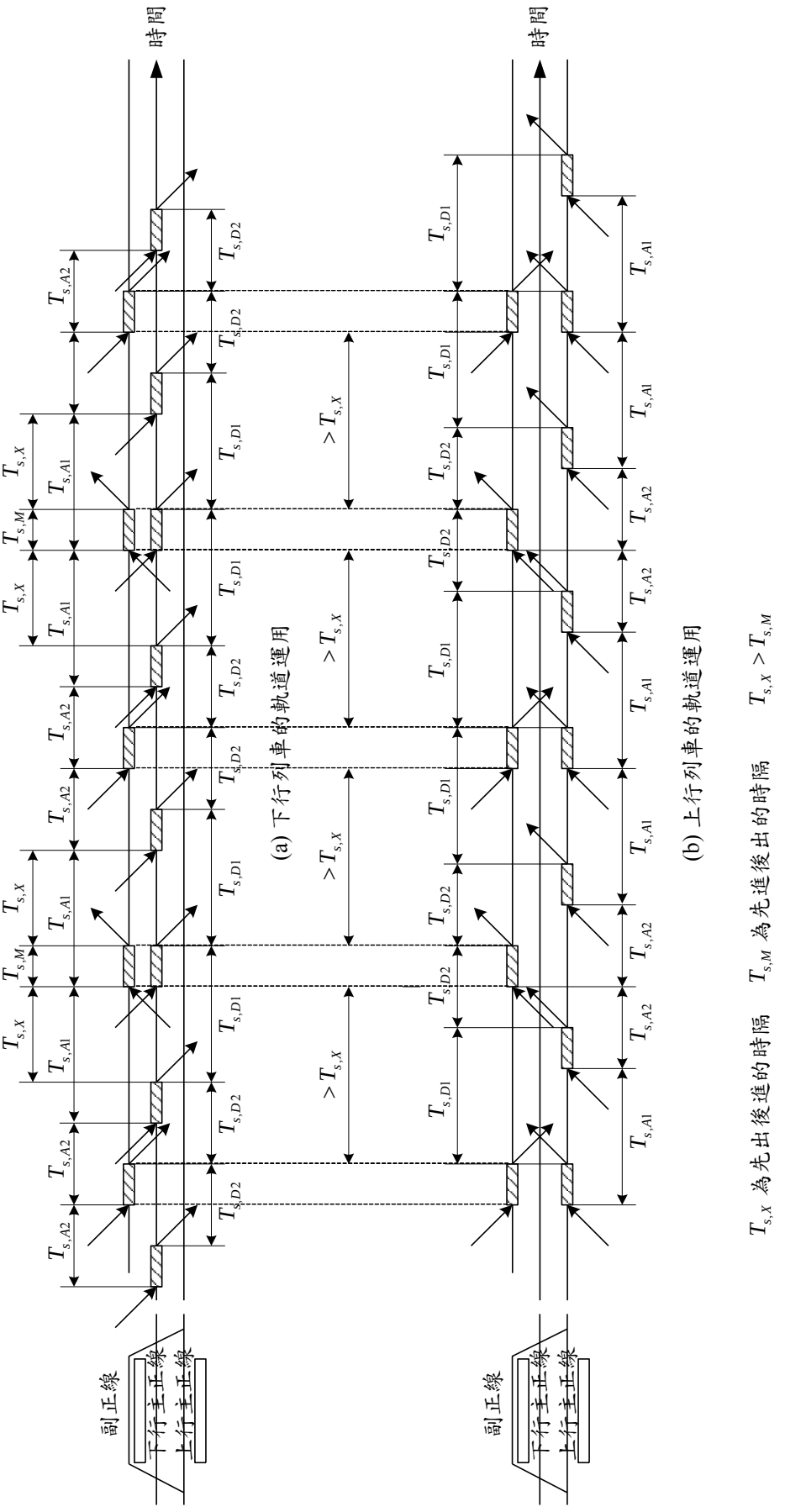


圖 2-23 一島式一側式月臺有平面交叉三股道的股道運用情形

由於副正線提供上行列車使用，故下行第四班列車必須停靠主正線，其與第三班列車的運轉時隔為$T_{s,A1}$。而下行第四班列車的進出站與上行停靠副正線的列車進出站，又會產生兩種平面交叉：

(1) 停靠主正線的下行第四班列車進入車站，與停靠副正線的上行列車離開車站

(2) 停靠副正線的上行列車進入車站，與停靠主正線的下行第四班列車離開車站

上述兩種平面交叉均屬於列車先進站後離站的類型，此類平面交叉號誌時距（$T_{s,M}$）比較小，假設列車的停車時間足以涵蓋$T_{s,M}$，故列車可依預定計畫離開車站。

當下行第五班列車抵達時，假設其停靠主正線，故與下行第四班列車的進站號誌安全時距為$T_{s,A1}$；另外，上行停靠副正線的列車離站與下行第五班列車進站也會產生平面交叉，因此需間隔$T_{s,X}$。

從上述分析可知，每經過兩個不同股道的進站號誌時距$T_{s,A2}$，會間隔兩個同一股道進站的號誌時距$T_{s,A1}$，因此下行列車進站的平均號誌安全時距為

$$T_{s,A} = 0.5T_{s,A1} + 0.5T_{s,A2} \tag{2.48}$$

值得注意的是：上述分析是最理想的狀況，並隱含著$T_{s,A1} \geq T_{s,X} + t_d$的假設條件。如果列車先出後進的平面交叉時距$T_{s,X}$很大時，而導致$T_{s,A1} < T_{s,X} + t_d$時，則下行第三班與第四班列車，以及第四班與第五班列車的號誌時距，會受制於平面交叉的時距與列車停車時間之和，而成為$T_{s,X} + t_d$。此時下行列車平均進站號誌時距為

$$T_{s,A} = 0.5T_{s,A2} + 0.5(T_{s,X} + t_d) > 0.5T_{s,A1} + 0.5T_{s,A2} \tag{2.49}$$

如果將上式換算成$T_{s,A1}$及$T_{s,A2}$的組合，則

$$T_{s,A} = \lambda T_{s,A1} + (1-\lambda)T_{s,A2} \tag{2.50}$$

式中：$\lambda = T_{s,A1}$ 佔列車進站平均號誌時距的比例；$0.5 \le \lambda \le 1$

由此可知，一島式一側式月臺三股道的平均進站號誌安全時距應介於下列範圍之內：

$$0.5T_{s,A1} + 0.5T_{s,A2} \le T_{s,A} \le T_{s,A1} \tag{2.51}$$

考量各種變異情形，以及停站時間的不確定性，建議 λ 採用 0.75，即

$$T_{s,A} = 0.75T_{s,A1} + 0.25T_{s,A2} \tag{2.52}$$

同理，列車離站的平均號誌安全時距為

$$T_{s,D} = 0.75T_{s,D1} + 0.25T_{s,D2} \tag{2.53}$$

依循同樣的分析方法，可求得上行列車的平均號誌安全時距，結果應與下行列車相符。

前述的公式推導，隱含副正線是平均分配給上下行列車使用。由於列車停靠副正線時會產生平面交叉時隔,若橫渡線的配置距離較遠,平面交叉時隔會大幅增加，故臺鐵排點實務有可能僅將副正線提供給同一方向的列車使用，而盡量避免讓對向列車停靠，使之不會產生平面交叉，此時，容量分析必須將某一方向視為兩股道的車站，而另一側視為單一月臺面的車站。

4. 兩個側式月臺或一個島式月臺兩股道（第四類型車站）

兩個側式月臺或一個島式月臺兩股道的軌道運用最單純，因為車站內同一方向只有一股正線，因此續行列車必須俟先行列車離開車站後，方能進入車站。如圖 2-24 所示，列車進站及離站的號誌安全時距分別為

$$T_{s,A} = T_{s,A1} \tag{2.54}$$

$$T_{s,D} = T_{s,D1} \tag{2.55}$$

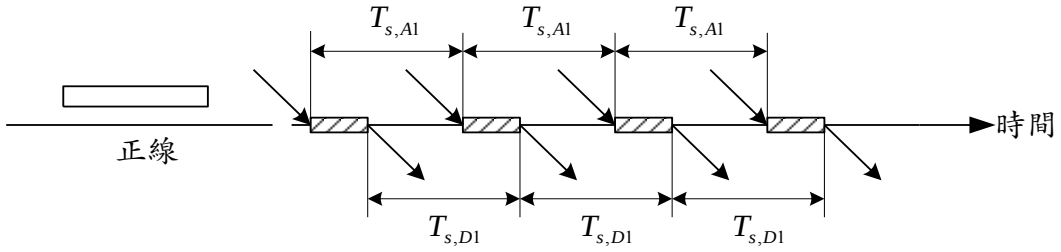


圖 2-24 兩個側式月臺兩股道的軌道運用（單一方向）

2.2.5 瓶頸號誌安全時距的決定

瓶頸號誌時距係列車於路線區段運轉過程中，先行與續行列車的最小運轉時隔。瓶頸號誌時距依列車速差的情形、路線運轉方式，以及車站軌道配置條件的差異，可能發生在出發車站或抵達車站。

2.2.5.1 複線運轉的瓶頸號誌安全時距

對於複線運轉區間，若列車速度不一致，則列車的運轉時隔不會固定不變，而最瓶頸的號誌時距通常發生在車站。

1. 先行列車的速度等級大於續行列車

若先行列車的速度等級大於續行列車，在路線運轉過程中，續行列車無法追上先行列車，因此只要在出發車站保持足夠的安全時距，運轉過程中均不會發生列車衝突。

瓶頸號誌安全時距與出發車站及抵達車站的號誌安全時距，以及列車的速差有關。如圖 2-25 所示，以 A 代表出發車站，B 代表抵達車站，若 $T_{s,D}^{A} > T_{s,A}^{B} - (t_j - t_i)$，則瓶頸號誌安全時距為 $T_s = T_{s,D}^{A}$；倘若抵達車站的號誌安全時距過大而導致 $T_{s,D}^{A} < T_{s,A}^{B} - (t_j - t_i)$ 時，則瓶頸號誌安全時距應為 $T_s = T_{s,A}^{B} - (t_j - t_i)$。由於可知當先行列車的速度等級大於續行列車時，瓶頸號誌安全時距應為

$$T_s = \max\left(T_{s,D}^{A}, T_{s,A}^{B} - \left(t_j - t_i\right)\right) \tag{2.56}$$

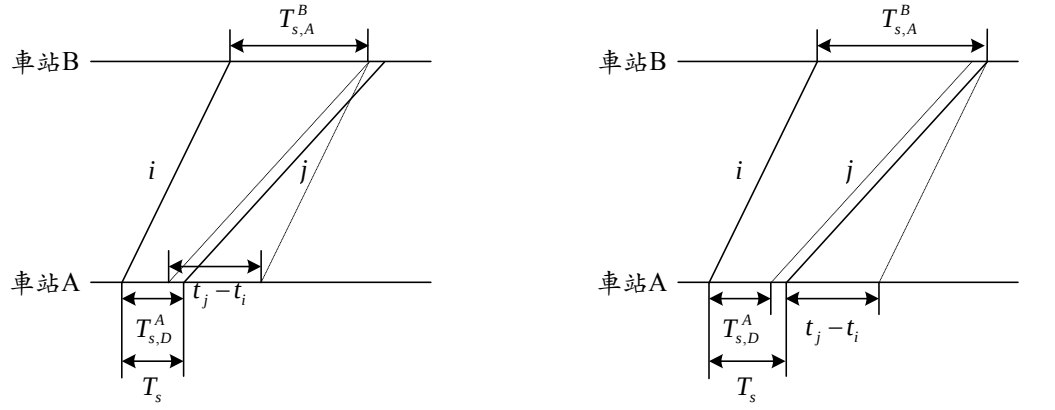
式中：$T_{s,D}^{A}$=出發車站的離站號誌安全時距（s）

$T_{s,A}^{B}$=抵達車站的進站號誌安全時距（s）

t_j=續行慢速列車的站間運轉時間（s）

t_i=先行快速列車的站間運轉時間（s）

先行的快速列車i從車站 A 出發後，若續行的慢速列車j間隔T_s之後再出發，則運轉中途即不會發生衝突。



(a) $T_{s,D}^A > T_{s,A}^B - (t_j - t_i) \Rightarrow T_s = T_{s,D}^A$

(b) $T_{s,D}^A < T_{s,A}^B - (t_j - t_i) \Rightarrow T_s = T_{s,A}^B - (t_j - t_i)$

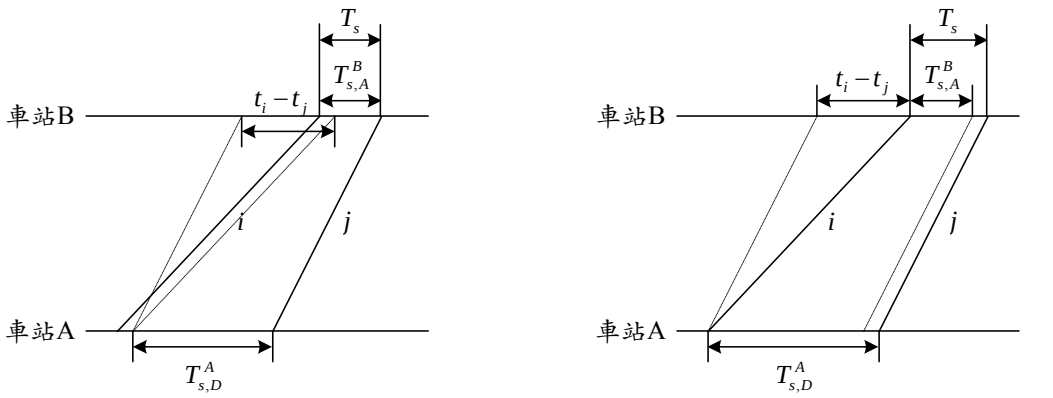
圖 2-25 先行快速列車與續行慢速列車的瓶頸號誌時距

2. 先行列車的速度等級小於續行列車

若先行列車的速度等級小於續行列車，在路線運轉過程中，先行列車有可能被續行列車追上，因此只要在抵達車站保持安全時距，運轉過程中均不會發生列車衝突。

如圖 2-26 所示，先行的慢速列車i抵達車站 B 後，間隔一段進站號誌時距T_s，續行的快速列車j即可抵達，且運轉中途不會發生衝突。依前述方式可推論瓶頸號誌時距為

$$T_s = \max\left(T_{s,D}^A - \left(t_i - t_j\right), T_{s,A}^B\right) \tag{2.57}$$



(a) $T_{s,A}^B > T_{s,D}^A - (t_i - t_j) \Rightarrow T_s = T_{s,A}^B$ (b) $T_{s,D}^A < T_{s,A}^B - (t_j - t_i) \Rightarrow T_s = T_{s,A}^B - (t_j - t_i)$

圖 2-26 先行慢速列車與續行快速列車的瓶頸號誌時距

3. 先行列車與續行列車的速度等級相同

如果先行列車與續行列車的速度等級相同，則瓶頸號誌時距有可能發生在出發車站或抵達車站，視車站的軌道配置情形而定。例如若出發車站配置兩個側式月臺兩股道，而抵達車站具有兩個島式月臺四股道，則一般而言瓶頸號誌時距發生在出發車站。相反的，若出發車站配置兩個島式月臺四股道，而抵達車站僅有單向一股軌道，則瓶頸號誌時距發生在抵達車站。

由上述分析可知，路線上最大的號誌時距為最瓶頸的號誌時距，因此

$$T_s = \max(T_{s,D}^A, T_{s,A}^B) \tag{2.58}$$

2.2.5.2 單線運轉的瓶頸號誌安全時距

對於單線運轉區間，由於路段中僅有一股軌道供雙向通行，其中一列車必須在車站等候，俟對向的列車到站後，方能離開車站，因此瓶頸號誌時距係發生在交會車站。

列車的交會號誌安全時距可依式(2.33)計算，但臺鐵排點實務上，對於反向列車交會的狀況，至少都會保持一最小號誌時距$T_{s,\min}$，若式(2.33)所計算出的列車交會號誌安全時距低於臺鐵排點時的列車交會

最短號誌時距，則會導致高估容量的情形發生，因此單線運轉之路段的瓶頸號誌安全時距的計算應修正如下式。

$$T_s = \max\left(T_{s,M}, T_{s,\min}\right) \tag{2.59}$$

式中：$T_{s,\min}$=排點時列車交會最短號誌時距（s），建議值為 25 秒。

2.3 交會待避損失時間的估計

對於複線運轉區間，若列車性能不一致，為避免續行列車遇上注意號誌，通常慢速列車會在車站待避高速列車，因此會有列車待避延誤。而對於單線運轉區間，由於路段中僅有一股軌道供雙向通行，其中一列車必須在車站等候，俟對向的列車到站後，方能離開車站，因此會有列車交會延誤。

由於列車軌跡在時空圖中可能發生於任一時間，因此本章是以隨機過程的概念來估計列車交會待避損失時間的期望值，相關的內容可參閱類似的研究[4, 24, 28]。

2.3.1.1 列車待避延誤

如圖 2-27 所示，若低速列車 j 先行從 A 站出發，則續行的高速列車 i 在抵達下一站（B 站）之前將追上列車 j，因此列車 j 必須先在 A 站待避，俟列車 i 通過車站並經過最小運轉時隔後方可從 A 站出發，其運行軌跡如虛線所示。

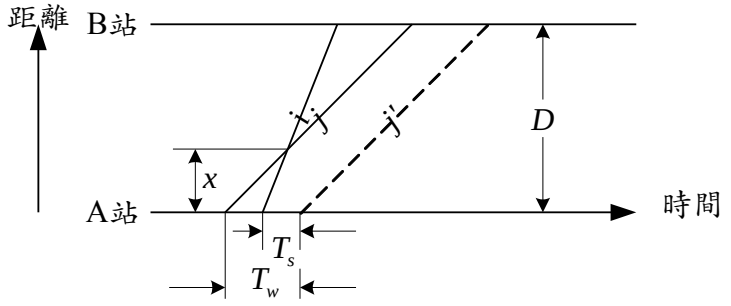


圖 2-27 列車待避延誤

列車 j 因待避所產生的延誤為

$$T_w = \left(\frac{1}{v_j} - \frac{1}{v_i} \right) x + T_s \tag{2.60}$$

式中：T_w=列車因待避所產生的延誤

v_i 及 v_j=列車 i 及列車 j 的運轉速度，$v_i > v_j$

x=列車待避的距離,$0 \le x \le D$

D=兩站之間的距離

T_s=瓶頸號誌時距

列車之待避延誤包括兩個部分，第一個部分為列車因待避之等候時間損失$(1/v_j - 1/v_i)x$，第二個部分為號誌安全時距T_s。前者係因待避所額外增加之等候時間，而後者則與待避無直接關係，即使沒有待避的現象，列車仍需維持號誌安全時距行駛。

假設列車隨機發車，則待避距離x為 0 至 D 的均勻分配（Uniform Distribution），因此列車待避損失時間的期望值為

$$t_l = \frac{1}{D}\int_0^D \left(\frac{1}{v_j} - \frac{1}{v_i}\right) x dx = \left(\frac{1}{v_j} - \frac{1}{v_i} \right) \frac{D}{2} = \frac{1}{2}(t_j - t_i) \tag{2.61}$$

式中：t_l=列車待避的損失時間

t_j=慢速列車 j 的站間運轉時間

t_i=快速列車 i 的站間運轉時間

式(2.61)的推導過程是假設慢速列車 j 待避快速列車 i，若是快速列車 i 等候慢速列車 j，則待避距離變成 $D-x$，但積分範圍仍為 0 至 D，最後結果仍然相同。由此可知t_l與由何種等級的列車來待避無關，只是不同列車的時間價值不同而已，但平均待避損失時間皆相同。另外，若符號 i 與 j 代表任意兩列車，而不深究其站間運轉時間的大小，則列車待避損失時間的期望值可由下式計算：

$$t_l = \frac{1}{2}\left|t_i - t_j\right| \tag{2.62}$$

列車產生待避的行為時，兩列車之間的運轉時隔並不固定，單從某一個車站來評估運轉時隔恐有偏誤的情形。例如下圖中，從 A 站的觀點來看，列車 i 與 j 的運轉時隔僅 T_s，而在 B 站，兩列車的運轉時隔已放大至 $T_s + t_j - t_i$，平均而言，其運轉時隔為 $T_s + t_l = T_s + (t_j - t_i)/2$。

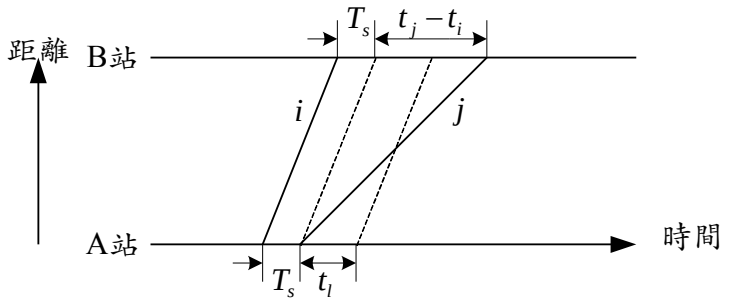


圖 2-28 待避損失時間在計算運轉時隔的意義

2.3.1.2 列車交會延誤

如圖 2-29 所示，若列車 j 依原訂計畫由 A 站出發時，在抵達 B 站之前會與對向的列車 i 發生衝突，因此列車 j 必須先在 A 站等候，俟列車 i 進站並經過最小運轉時隔後方可從 A 站出發。

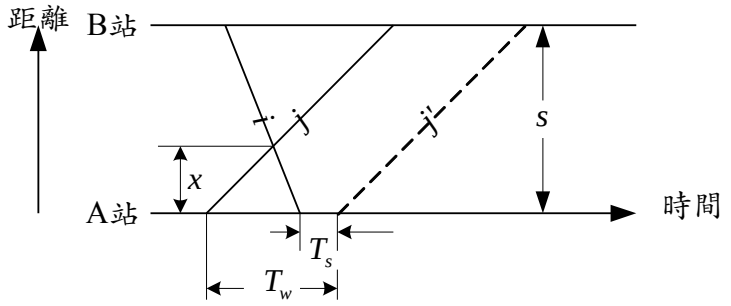


圖 2-29 列車交會延誤

列車 j 因交會所產生的延誤可由式(2.63)計算而得。

$$T_w = \left(\frac{1}{v_i} + \frac{1}{v_j}\right)x + T_s \tag{2.63}$$

與列車待避類似的是，列車交會延誤亦包括兩個部分，第一個部分為列車因交會之等候時間損失$(1/v_i + 1/v_j)x$，第二個部分為列車在車站交會之號誌安全時距T_s。前者係因交會所額外增加之等候時間，而後者則與交會無直接關係。

同樣假設列車隨機發車，則列車交會距離x為 0 至D的均勻分配，因此列車交會損失時間之期望值為

$$t_l = \frac{1}{D}\int_0^s (\frac{1}{v_i} + \frac{1}{v_j})x dx = (\frac{1}{v_i} + \frac{1}{v_j})\frac{D}{2} = \frac{1}{2}(t_i + t_j) \tag{2.64}$$

上式的推導過程是假設列車j等候列車i，若是列車i等候列車j，則距離變成$D-x$，但積分範圍仍為 0 至D，最後結果仍然相同。由此可知t_l與由那一次列車等候無關，只是不同列車的時間價值不同而已，但平均交會損失時間皆相同。

列車產生交會的行為時，兩列車之間的運轉時隔並不固定，單從某一個車站來評估運轉時隔恐有偏誤的情形。例如下圖中，從 A 站的觀點來看，列車i與j的運轉時隔僅T_s，而在 B 站，兩列車的運轉時隔已放大至$T_s + t_i + t_j$，平均而言，其運轉時隔為$T_s + t_l = T_s + (t_i + t_j)/2$。

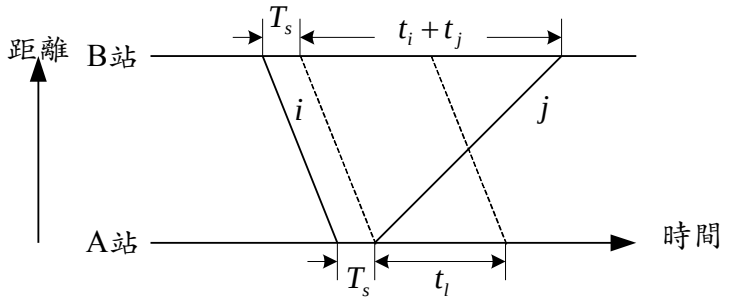


圖 2-30 交會損失時間在計算運轉時隔的意義

2.4 運轉寬裕時間的決定

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

理論上運轉時隔為隨機變數，在計算路線容量時（特別是時刻表容量），應該加計一些寬裕時間，以涵蓋大部分的運轉情形（例如 85%）。如果有模擬模式，在模擬許多回合之後，可求得最小運轉時隔的分布情形，據此來設定一個合理的數值。但以解析模式求解時，則必須在計算求得的「最小」時隔之外，再另外加上運轉寬裕時間。

運轉寬裕時間可依下列兩種方式來估計：

1. 依經驗值決定

   (1) 依類似系統的經驗值來設定，例如美國鐵道容量手冊的經驗值為 20 秒[31]，而日本經驗對於號誌安全時距的寬裕時間設定為 10 秒[20]。

   (2) 依研究對象的最小運轉時隔實際觀測資料，或模擬所得的結果，比對解析模式的計算值來決定，如圖 2-31 所示。

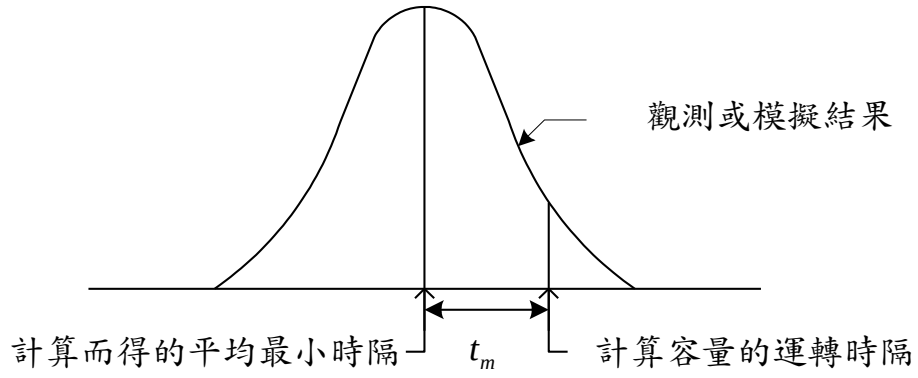


圖 2-31 從模擬結果或觀測值推估運轉寬裕時間

2. 按比例計算

號誌安全時距及交會待避損失時間愈大，其產生的變異也愈大，因此保留較大的運轉寬裕時間可確保時刻表的穩定度，即

$$t_m = \beta(T_s + t_l) \tag{2.65}$$

式中：t_m=運轉寬裕時間（s）

T_s=瓶頸號誌時隔（s）

β=運轉寬裕時間係數

運轉寬裕時間的設定，關係到營運計畫的彈性調整與營運準點的服務水準，如何拿捏訂定須視各營運單位之主、客觀條件而定。由於本手冊建立的模式是評估時刻表容量，其代表列車排點所能安排的班次密度上限，因此時刻表的列車數理應小於或等於模式計算出來的路線容量，亦即路線利用率應該小於或等於 1，否則時刻表的班次應該無法順利排點。根據臺鐵實際排點作業的情況，基隆至新竹路段在臺北車站撥交兩個月臺給臺灣高鐵公司之後，列車數僅減少十幾班，因此目前該路線區間的班次幾乎已經飽和，若假設其容量利用率為 1，則可以找出一個適當的運轉寬裕時間係數，使得該路段之容量計算結果為 1。本所的研究[9, 10]曾以變動運轉寬裕時間係數的方式，反覆驗證後，計算出運轉寬裕時間係數β為 0.35。另外，本所[13]亦曾利用服務可靠度模式（詳見第五章），計算出可接受延滯（臺鐵規定為五分鐘）時的列車流量，並反覆變動運轉寬裕係數，使路線利用率的數值略等於 1，計算出來的結果顯示，運轉寬裕係數約為 0.30。

2.5 平均最小運轉時隔的計算

第 2.2、2.3 及 2.4 節已分別說明如何計算瓶頸號誌安全時距T_s（含可能的停車時間）、列車交會待避的損失時間t_l，以及運轉寬裕時間t_m。而對於任兩列車i及j，最小運轉時隔為上述三種成分所組成，即

$$h_{ij} = T_s + t_l + t_m \tag{2.66}$$

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=瓶頸號誌安全時距（s）

t_l=列車交會待避損失時間（s）

t_m=運轉寬裕時間（s）

若營運列車不只一種速度種別，最小運轉時隔必須以平均值的觀念來計算，以反映實際的運轉條件。假設一共有n種列車的速度等級，則先行及續行列車的配對有n^2種組合。對於每一種配對組合，最小運轉時隔可依式(2.66)來計算。而計算平均最小運轉時隔時，若時刻表已知，則根據時刻表列車組合之相對頻率來計算；如時刻表未知，則根據營運列車數的相對頻率來計算。

1. 時刻表已知

$$\bar{h} = \sum h_{ij} \cdot p_{ij} \tag{2.67}$$

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

$$\bar{h} = \sum h_{ij} \cdot p_{ij} = \sum h_{ij} \cdot \frac{n_i \cdot n_j}{n^2} = \frac{1}{n^2} \sum h_{ij} \cdot n_i \cdot n_j \tag{2.68}$$

式中：n_i=第i種列車的營運列車數

n_j=第j種列車的營運列車數

$n = \sum_i n_i$=總營運列車數

2.6 路線容量的計算

若以列車為客體單位，且以小時為時間單位，則路線容量代表一小時內通過路線上任一點的最大列車數。一小時相當於 3600 秒，因此路線容量可利用下式計算而得：

$$C_l = \frac{3600}{\bar{h}} n_t \tag{2.69}$$

式中：C_l=路線容量（TU/h）

n_t=路線的軌道數目

第三章 連續區段路線容量分析模式

前章所介紹的單區段路線容量分析模式，雖然已考量了絕大部分的容量影響因素，但卻隱含所分析的區段不受其它相鄰區段影響的假設。實際上列車運行時，在時間空間裡均屬連續的移動變化，以致於每一區段都難以保持如前述的理想狀態，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，與前提假設的差異更為明顯。

為了能有效評估整條路線之容量，本章將介紹連續區段路線容量分析模式，國外雖有發展類似模式來分析連續區段容量，但其系統特性與國內臺鐵系統不盡相同，或者需要先有可行班表方能評估。而本章所介紹之模式，係基於臺鐵系統特性，在沒有可行班表的前提下，以單區段路線容量分析模式為基礎進行延伸擴充，針對不同運轉方式所發展出的連續區段的容量分析模擬模式，透過系統模擬的方式來評估容量，以下分別以第 3.1 和 3.2 節說明複線和單線連續區段容量分析模式。

3.1 複線連續區段容量分析模式

3.1.1 基本概念

在基礎篇第二章中曾以輸水管來比喻路線容量的概念，而本模式即是以此為基礎來發展，若在輸水管起點大量地灌入水，然後在尾端觀測流出量，便可得知整條輸水管的容量；同樣的概念，若在複線連續區段的始發站密集地發送列車，然後在終點站觀測列車最大的流率，便能進一步地評估整條路線之容量。

當列車從始發站一班緊接著一班發出後，根據列車的基本運轉規則，考量號誌安全時距、站場佈置以及列車速差等因素，列車在往下游區段行駛的過程中，彼此間的間距便會被適當「拉開」，最後根據

到達終點站的首、末班列車之時間，以及總列車數來求算平均時隔，然後考慮運轉寬裕來計算整個複線連續區段之容量。

以m個連續複線區段與n列車之情境為例，如圖 3-1，其中$t_D(l,i)$代表第i列車於第l區段出發站的離站時間；$t_A(l,i)$代表第i列車於第l區段到達站的進站時間。首先在第 1 個區段密集地發送列車，根據列車運轉基本規則，逐一安排每一列車在後續區段的進站與離站時間，直到所有列車到達終點站為止，此時便可獲得各列車到達最末站的時間$t_A(m,1)$～$t_A(m,n)$，最後再依式(3.1)和式(3.2)計算複線連續區段的平均最小運轉時隔與路線容量。在此須強調的是，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$t_A(l,i)$與$t_A(l+1,i)$可能並非是同一車次。

$$\bar{h} = \frac{t_A(m,n) - t_A(m,1)}{n-1} \times (1+\beta) \tag{3.1}$$

$$C_l = \frac{3600}{\bar{h}} \tag{3.2}$$

式中：$\bar{h}$=平均最小運轉時隔（s）

$t_A(m,1)$=最末區段第 1 列車的進站時間（s）

$t_A(m,n)$=最末區段第n列車進站時間（s）

m=區段數

n=模擬列車數

β=運轉寬裕係數

C_l=複線連續區段路線容量（TU/h）

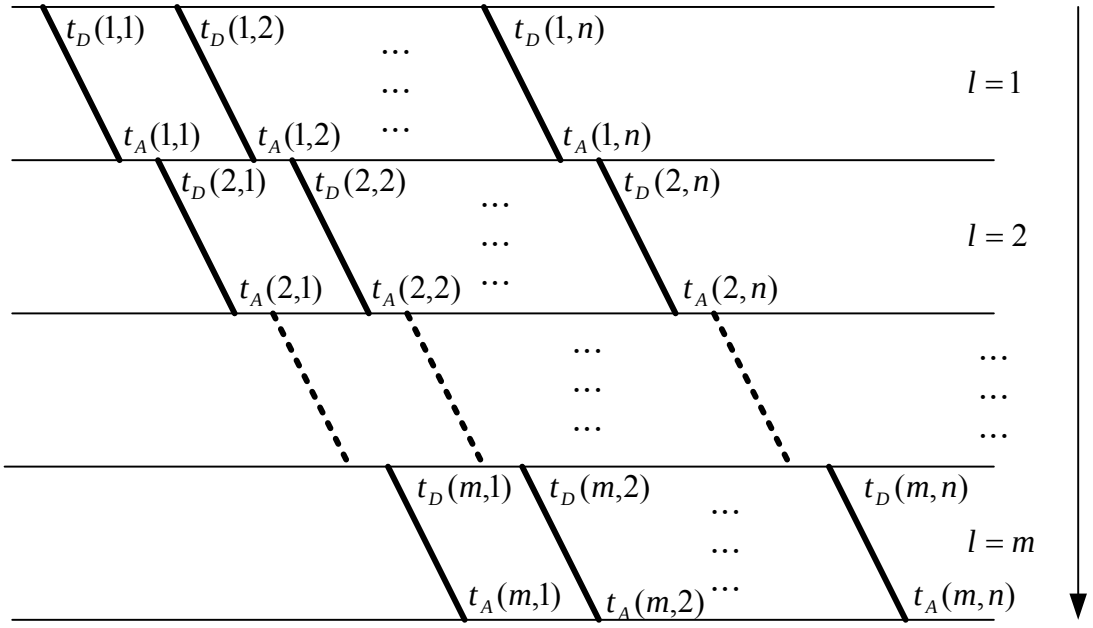


圖 3-1 複線連續區段路線容量分析模式之演算概念

3.1.2 模式架構

圖 3-2 為本模式的架構，根據列車的基本運轉規則，考量運轉時間、停站時間、號誌時距與交通組成等因素，來模擬每列車到達終點站的時間，之後再考量運轉寬裕來計算平均運轉時隔與路線容量。從此架構中可知本模式不需輸入可行班表，取而代之的則為交通組成，透過交通組成的設定，隨機地決定進入複線連續區段的列車車種。

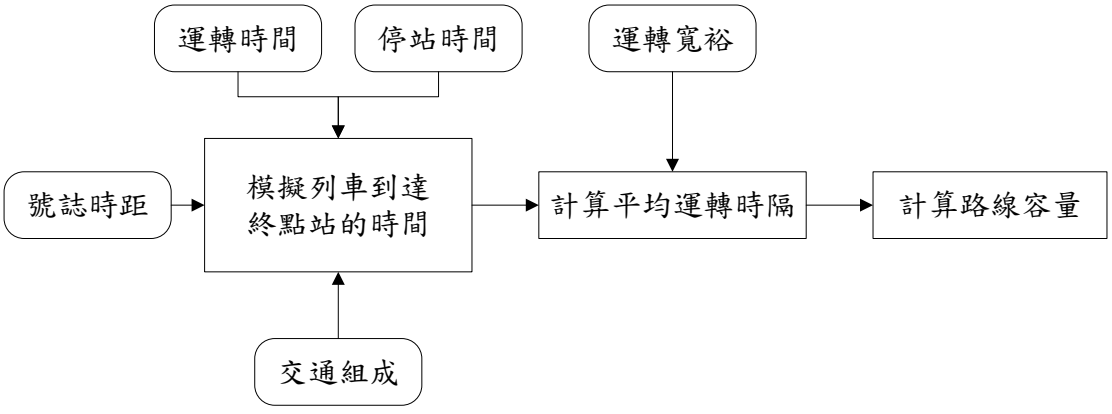


圖 3-2 連續區段路線容量分析模式架構

綜整本模式所使用到的輸入參數如表 3.1，共計有 5 大類 9 小項，其中運轉寬裕係數之設定須視營運單位的主、客觀條件而定，在第 2.4

節中有詳細的討論。在本模式中由於考量了區段間交互影響造成的容量損耗，故寬裕時間係數理應比單區段模式小，根據本所的研究[7]，運轉寬裕係數的建議值為 0.2，但應依複線連續區段的長短作適當調整，當連續區段較長時，寬裕係數值較小；當連續區段較短時，寬裕係數值較大。

模擬列車數係決定了模擬規模，此參數值設定得愈高，則模擬計算需要花費愈多的時間，但其結果也會愈準確，理論上，如果列車數夠多的話，系統會達到穩定狀態，本所[7]曾透過敏感度分析得到合適的設定值範圍在 500～1000 列次。

而交通組成參數中的亂數種子，係用來依車種組成比例隨機產生列車。最後有關號誌時距參數，則是由第二章所述之公式計算而得（詳見第 2.2 節）。

表 3.1 複線連續區段路線容量分析模式輸入參數分類表

參數分類	參數名稱
全域參數	運轉寬裕係數
	模擬列車數
交通組成參數	車種組成比例
	亂數種子
車站參數	車站清單與順序
列車與路線交戶關係參數	站間運轉時間
	計畫停站時間
號誌時距參數	進站時距
	離站時距

3.1.3 假設條件

本模式的運作完全遵循列車運轉實務，包括(1) 先續行列車要保持足夠的進離站號誌時距；(2) 列車在站間運行時不能追越前車；(3) 站

內列車數不可超過股道數量；(4) 列車的站間運轉時間不變；(5) 列車於各車站的通停組態不變。惟為便於模式的發展與操作，在應用上有以下兩項假設條件：

1. 所有列車均行經複線連續區段中的每個區段

在本模式所分析的路線範圍中，每一列車皆從路線的始發站出發，經過中間所有的區段最後到達終點站，而沒有列車以中間的任何車站作為起迄點。在實務應用時，可根據列車運轉特性與範圍，切分為數個連續區段進行分析。

2. 承襲單一區段模式之假設條件

本模式中的號誌時距參數係由單區段容量模式計算而得，因此會承襲其對於號誌時距計算的相關假設，包含：

(1) 閉塞號誌為三位式色燈顯示的路側號誌，由司機員目視駕駛。

(2) 每區段兩側的車站必須能夠提供列車交會待避的功能。

(3) 計算號誌時距時均假設列車在車站會減速停車，至於停車時間是否納入號誌時距的計算，依列車是否停靠同一股道而定。

(4) 對於三股道配置之車站，反向列車共用股道的行為直接反應在號誌時距的數值上。

3.1.4 整體模擬流程

圖 3-3 為本模式的整體模擬流程，係以「逐列車」的方式來進行，首先依車種比例以式(3.3)計算各車種出現機率，根據此機率決定列車的車種，然後從始發站開始，模擬該列車在後續區段的進站與離站時間，直到到達終點站之後，再模擬下一列車。

$$P_\tau = \frac{n_\tau}{\sum n_\tau} \tag{3.3}$$

式中：P_τ=第τ種車種的出現機率

n_τ=交通組成中第τ種車種所占的比例

在整個模擬的流程中，深色底的「調整列車於區段內的進離站時間」程序為整個演算流程的重點，有關該程序的細節說明於3.1.5節中，而在調整列車的進離站時間時，有可能與系統中的其他已存在的列車發生連鎖推擠，對於本模式如何處理此連鎖推擠問題，則於3.1.6節說明之。

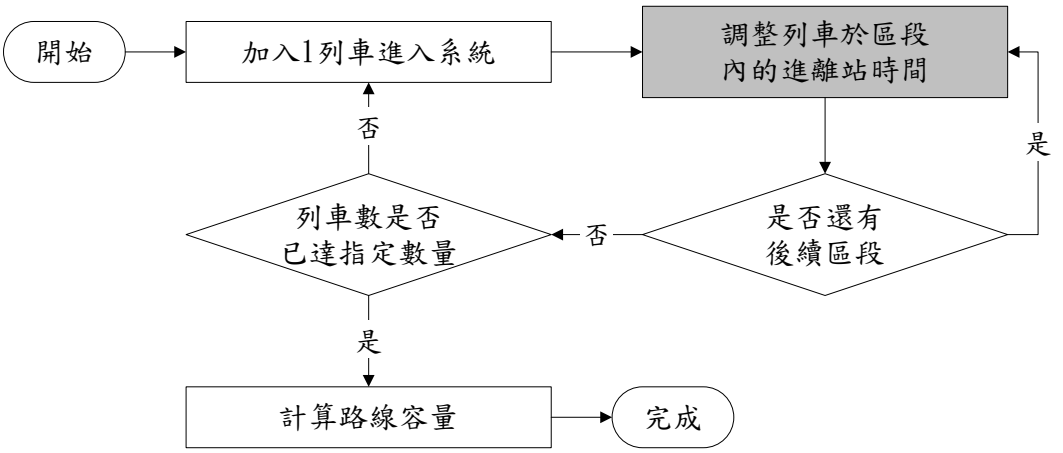


圖 3-3 複線連續區段路線容量分析模式整體演算流程

3.1.5 列車進離站時間之調整

在區段l中，調整第i列車進離站時間的順序為：先調整列車於該區段出發站的離站時間$t_D(l,i)$，再調整其於該區段到達站到站時間$t_A(l,i)$，如圖3-4所示，而在調整列車進離站時間的過程中，同時需考量其與先行車及續行車的關係是否合理，共包含4個檢核程序：

1. 檢核程序I為檢查第i列車與其先行列車的離站時間，意即「檢核$t_D(l,i)$與$t_D(l,i-1)$之間是否合理」。
2. 檢核程序II為檢查第i列車與其續行列車的離站時間，意即「檢核$t_D(l,i)$與$t_D(l,i+1)$之間是否合理」
3. 檢核程序III為檢查第i列車與其先行列車的進站時間，意即「檢核$t_A(l,i)$與$t_A(l,i-1)$之間是否合理」
4. 檢核程序IV為檢查第i列車與其續行列車的進站時間，意即「檢核$t_A(l,i)$與$t_A(l,i+1)$之間是否合理」。

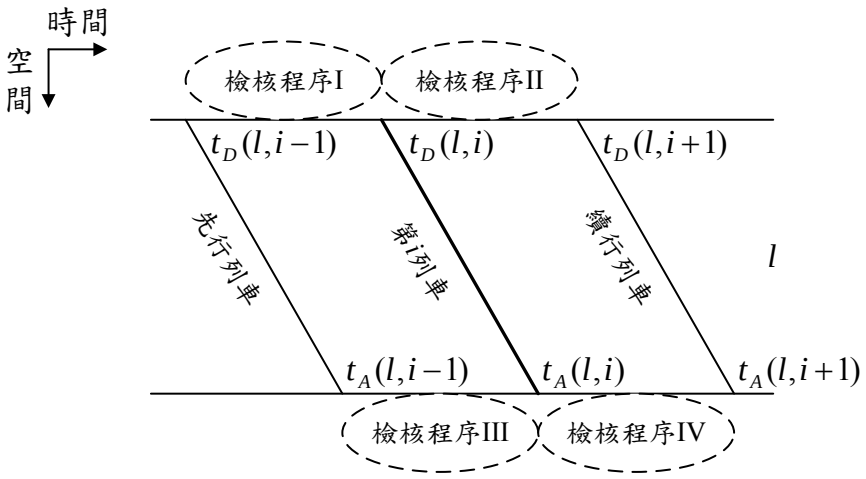


圖 3-4 調整列車進離站時間的檢核程序

對於整個列車進離站時間調整程序的流程整理如圖 3-5，而有關各檢核程序的檢核內容、調整對象與流程整理於表 3.2，其中檢核程序 I 的先行車進行待避之條件包括以下 4 點，當全部成立時，續行車方能追越先行車。

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。

在模擬的過程中，一旦發生檢核程序不通過時，則是透過後移列車的進站或離站時間來排除問題，若進離站時間調整後會造成後續列車的連鎖推擠，則依 3.1.6 節所述之流程來處理。值得注意的是，圖 3-4 中所謂的先、續行列車係相對於第 i 列車而言，而各檢核程序流程圖中（圖 3-6～圖 3-9）的先、續行列車，表示該兩列車之相對關係，請讀者勿混淆，因此在表 3.2 中特別說明了各檢核程序在圖 3-4 中的調整對象。

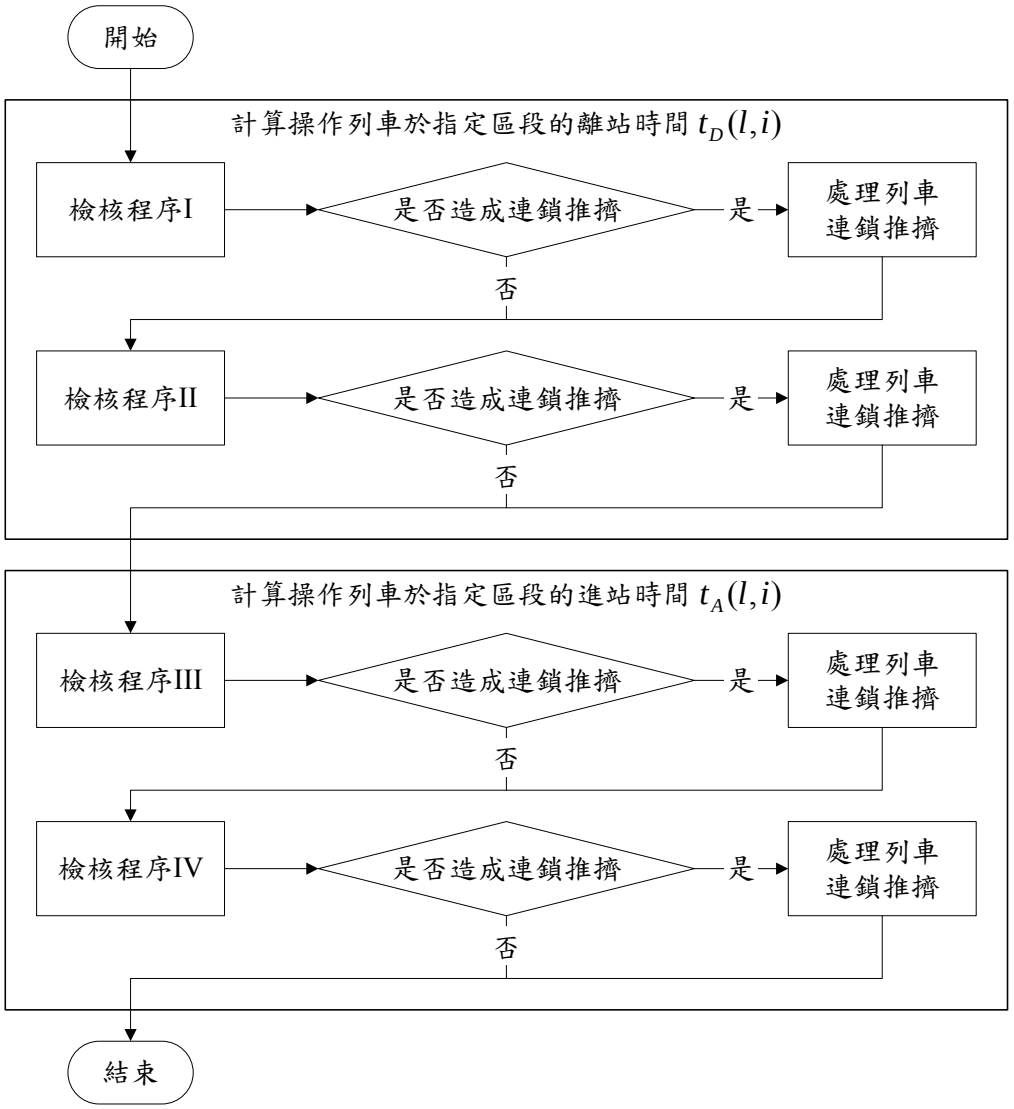


圖 3-5 調整列車進開時間之流程圖

表 3.2 各檢核程序之內容與調整對象彙整表

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	圖 3-4 第 i 列車 或 圖 3-4 先行列車	圖 3-4 續行列車	圖 3-4 第 i 列車	圖 3-4 續行列車
流程	圖 3-6	圖 3-7	圖 3-8	圖 3-9

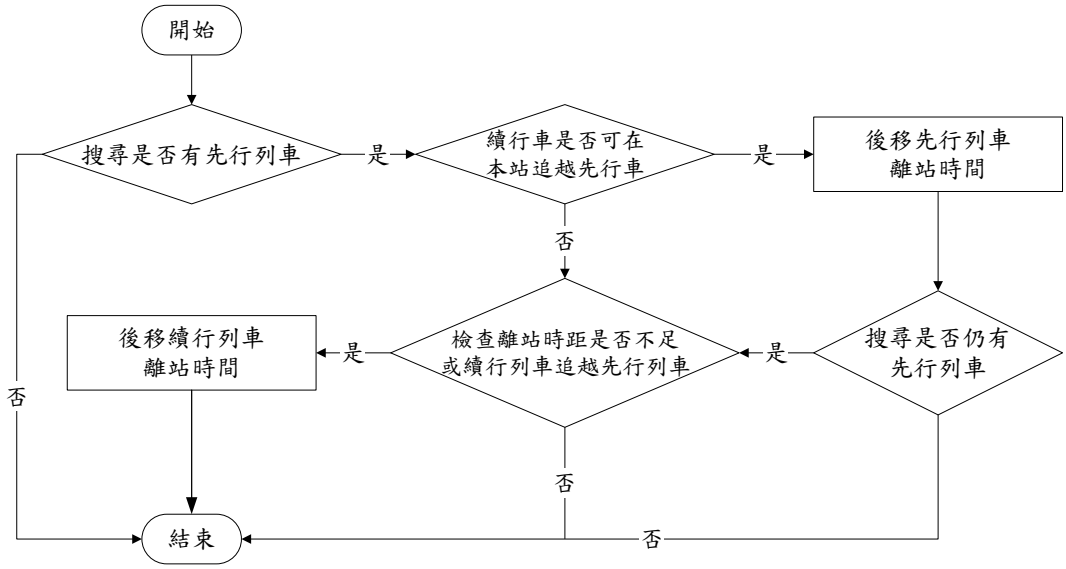


圖 3-6 檢核程序 I 之流程圖

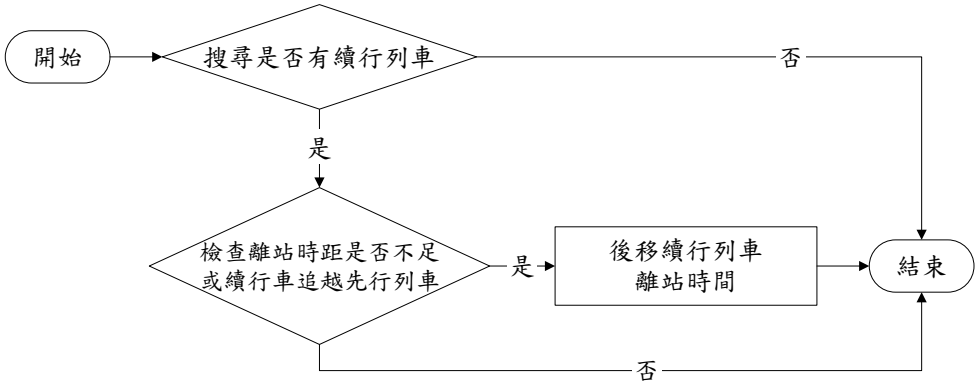


圖 3-7 檢核程序 II 之流程圖

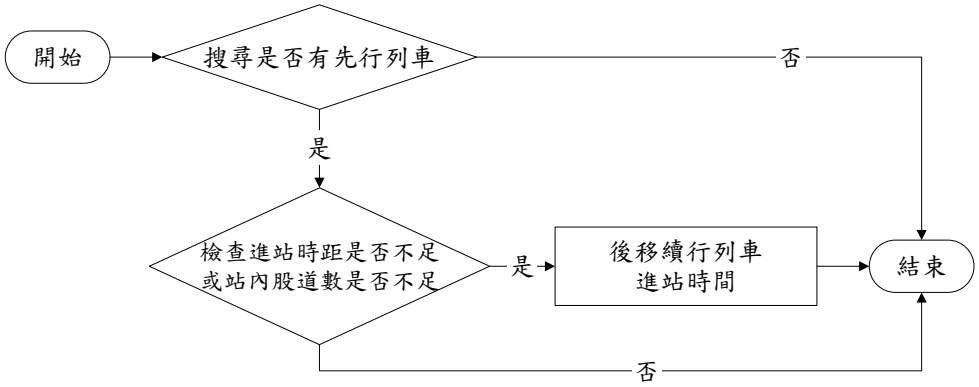


圖 3-8 檢核程序 III 之流程圖

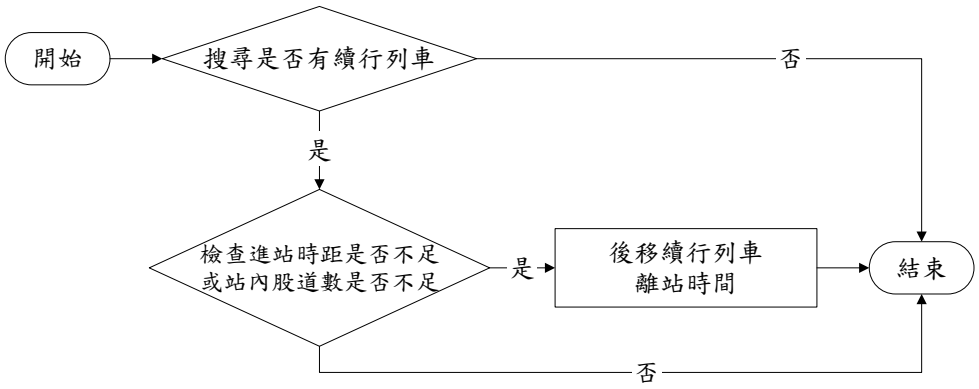


圖 3-9 檢核程序 IV 之流程圖

3.1.6 列車連鎖推擠之處理

如圖 3-5 所示，在各個檢核程序中若調整了列車的進離站時間，該列車可能與系統中其他已存在的列車發生連鎖推擠，若發生連鎖推擠現象時，不僅要調整受影響列車的進離站時間以滿足時距和軌道數的限制，還要能保持其運轉時間不變；此外，調整這些列車的進離站時間可能又再引發其他的連鎖推擠。有鑒於此，本模式中定義了「後移事件」並搭配堆疊（Stack）容器，透過堆疊後進先出（Last In First Out, LIFO）的特性，使得本模式可有系統地處理列車連鎖推擠這樣複雜的問題。

本模式所定義的「後移事件」記錄著列車進離站時間的調整資訊，包含(1)後移地點、(2)後移車次、(3)事件類型（進站事件或離站事件），以及(4)後移時間量等 4 項資訊，當列車連鎖推擠情況發生時，便會進入如圖 3-10 之流程，產生「後移事件」並處理之。

首先為了保持運轉時間不變，從「後移事件」發生處的前一停站處開始，列車於後續車站的進離站時間都必須進行後移，因此產生相關「後移事件」依序放入堆疊中。值得注意的是，在將「後移事件」依序加入堆疊容器中時，若加入的「後移事件」的事件類型屬於離站事件，則可根據該站的停站時間適度地減少其後移時間量，例如：某站的計畫停站時間為 1 分鐘，而目前列車於該站停靠 1.5 分鐘的情況下，若列車於該站進站時的後移時間量為 1 分鐘，則列車於該站離站

時的後移時間量則可減少為 0.5 分鐘，如此在完成後移之後，列車於該站的停站時間仍然大於或等於計畫停站時間。

當「後移事件」都放入堆疊後，開始逐一處理堆疊中的「後移事件」，處理前必須確保該「後移事件」不會再觸發其他列車產生「後移事件」，若會觸發者，則必須把其他列車產生的「後移事件」也放入堆疊中，如此反覆執行直到堆疊中已無任何「後移事件」後，便處理完列車連鎖推擠的問題。

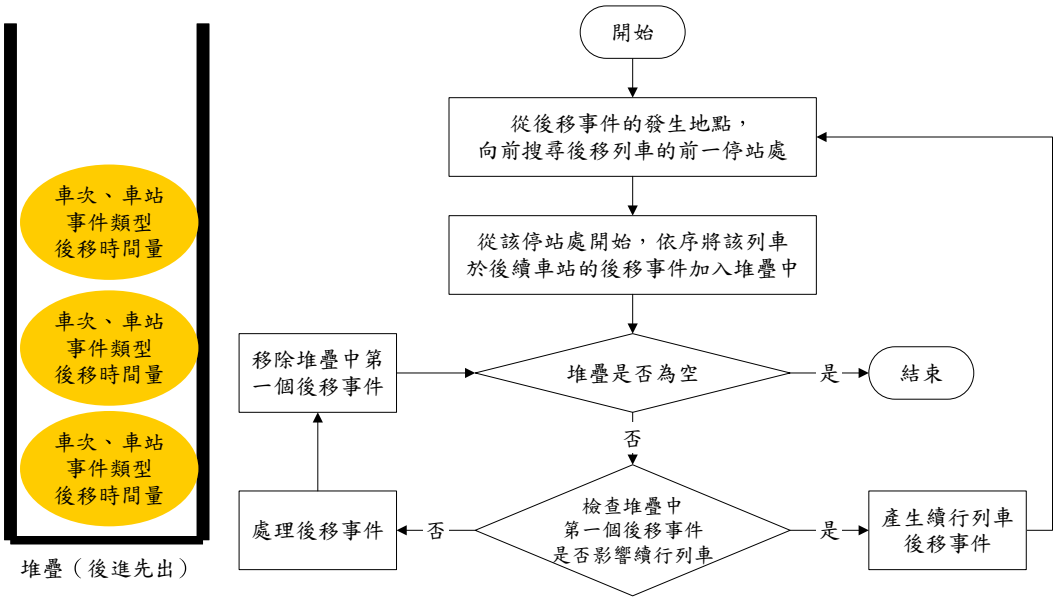


圖 3-10　處理後移事件與列車連鎖推擠之流程圖

為了讓讀者能更加容易明瞭此處理流程，以下透過圖 3-11 之範例說明之。假設要將圖 3-11 中的列車 2 在車站 B 之離站時間後移 d 單位，根據圖 3-10 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 3-12。

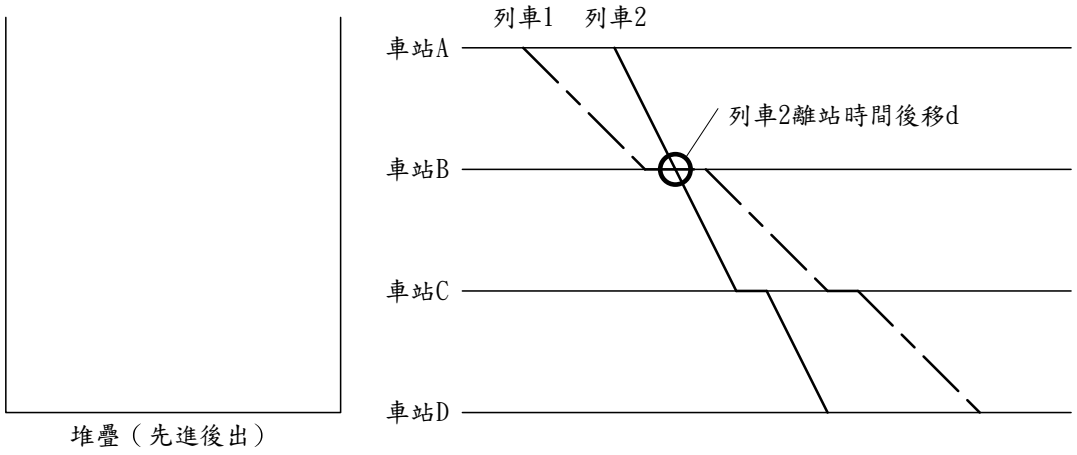


圖 3-11 處理列車連鎖推擠範例示意圖 1

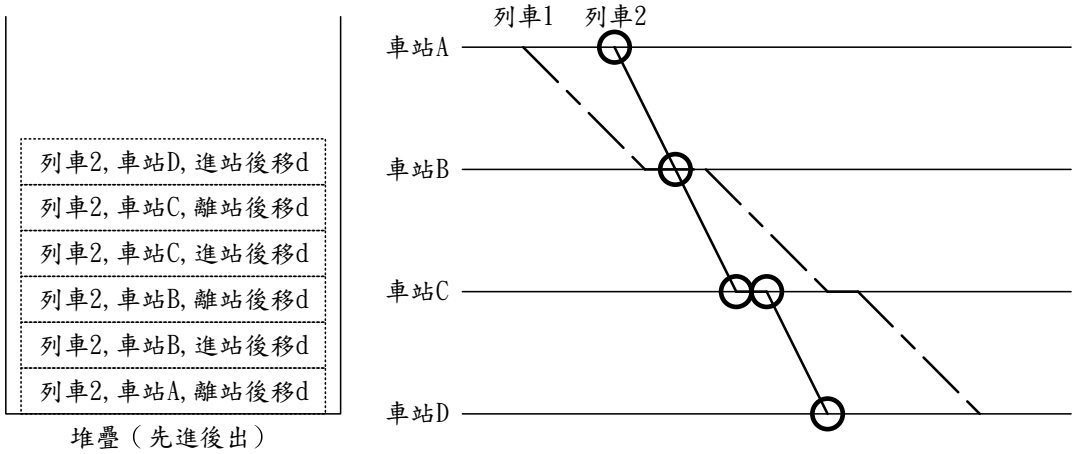


圖 3-12 處理列車連鎖推擠範例示意圖 2

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 3-13 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 3-14 所示。以此類推逐一處理堆疊中的事件，直到如圖 3-15，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。

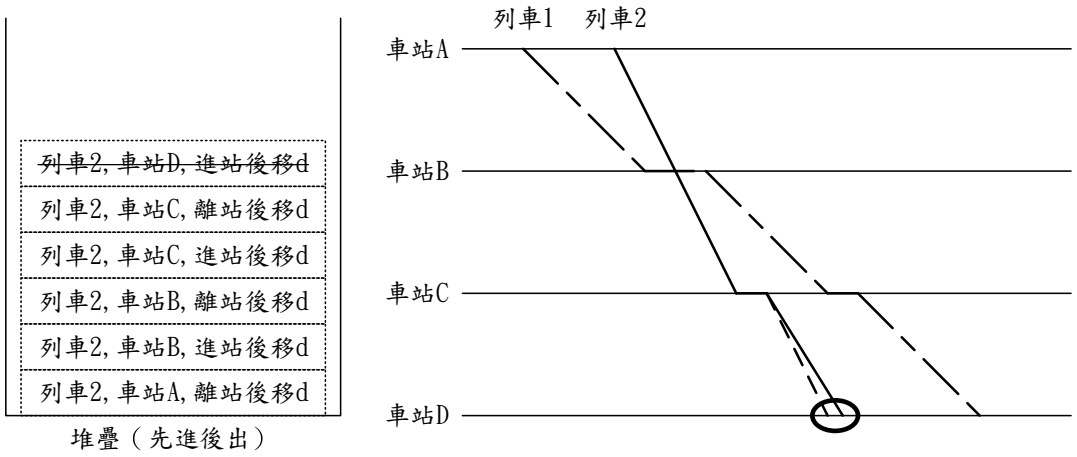


圖 3-13　處理列車連鎖推擠範例示意圖 3

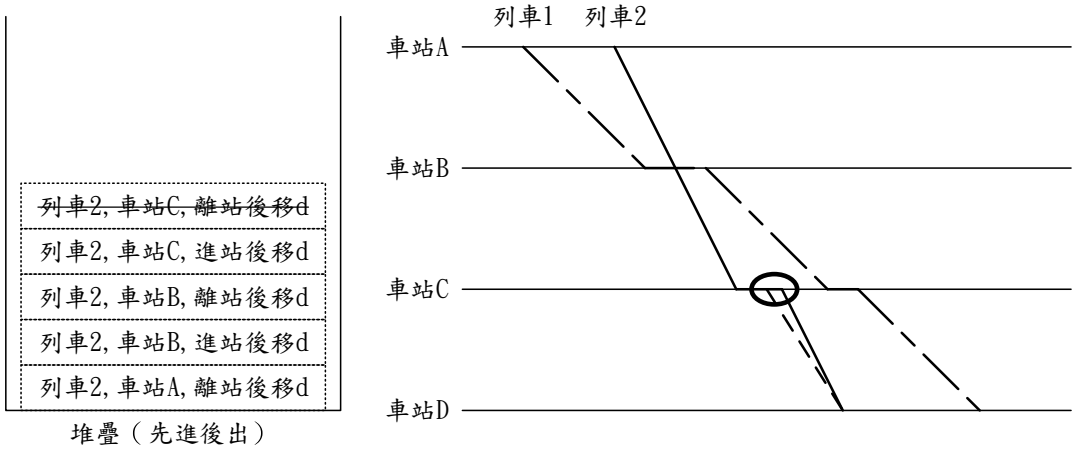


圖 3-14　處理列車連鎖推擠範例示意圖 4

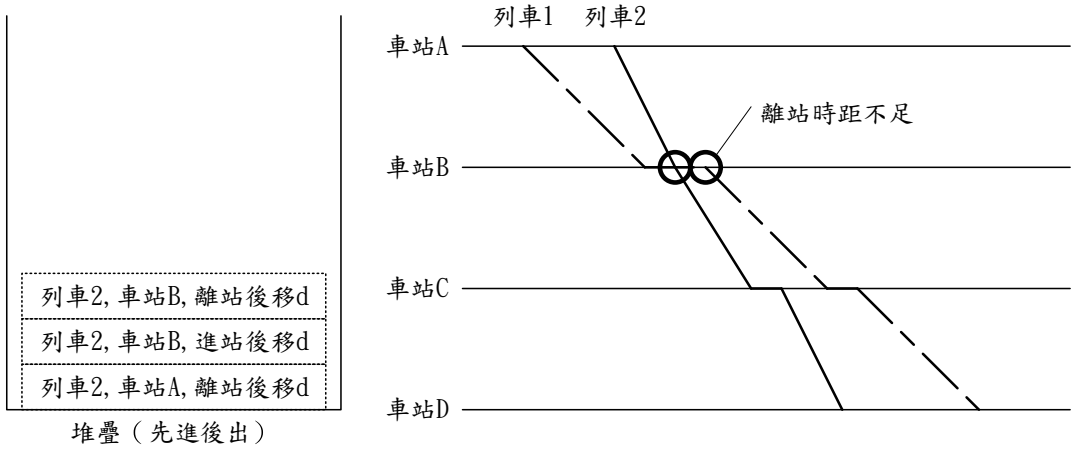


圖 3-15　處理列車連鎖推擠範例示意圖 5

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 3-16，之後再逐一繼續處理堆疊中的後移事件。

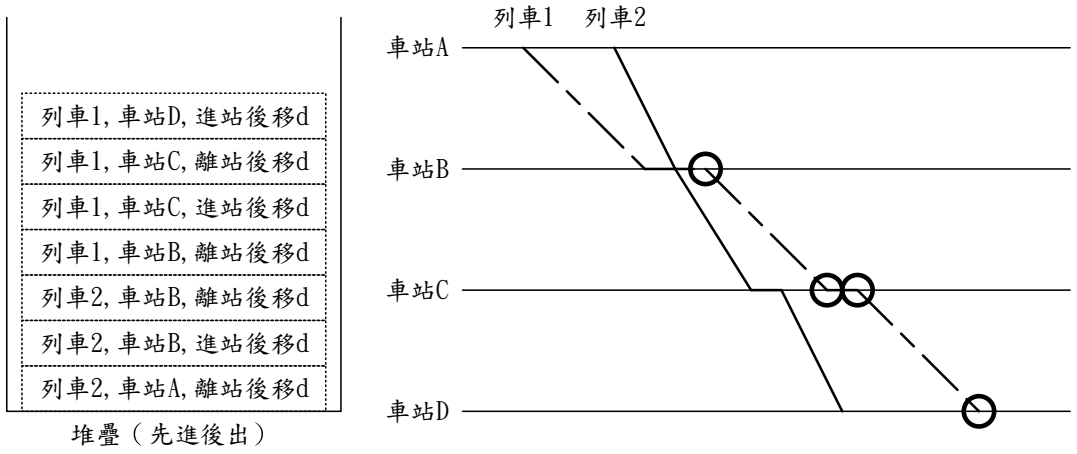


圖 3-16　處理列車連鎖推擠範例示意圖 6

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 3-17 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 3-18 所示。

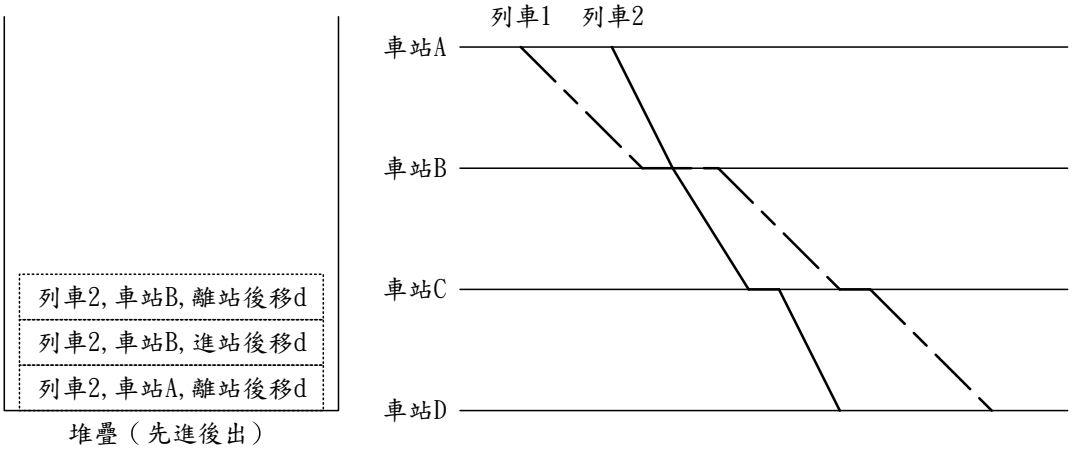


圖 3-17　處理列車連鎖推擠範例示意圖 7

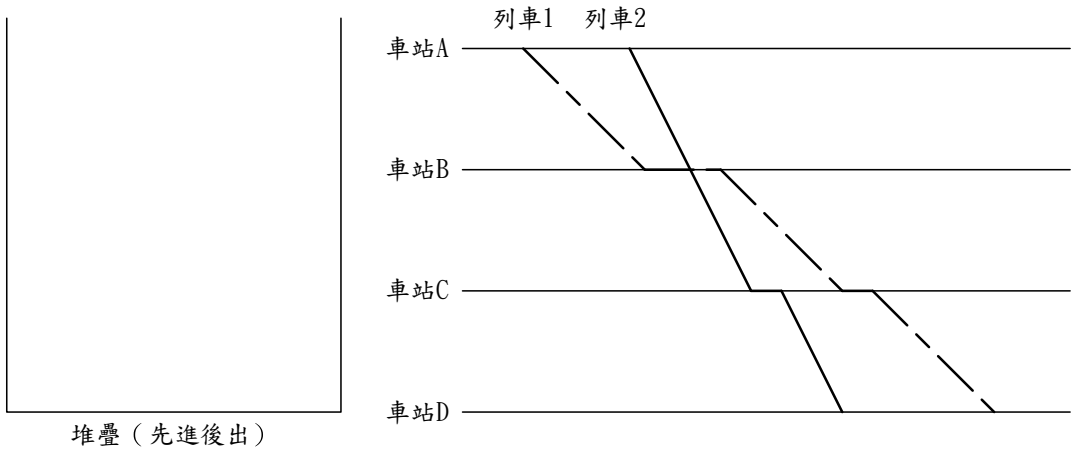


圖 3-18 處理列車連鎖推擠範例示意圖 8

3.2 單線連續區段容量分析模式

3.2.1 基本概念

容量可視為最大頻率或最大流率，也就是每單位時間最多可通過多少列車，因此本模式演算的基本概念如圖 3-19 所示，在一個連續單線運轉的路線兩端不斷地發送列車，透過模擬方法將列車依運轉基本規則推進至終點站,最後觀察單位時間內列車到達兩端終點站的情況,藉此來評估此單線連續區段之容量。

對於列車從兩端始發站運行到終點站的運轉過程，模式中採用了離散事件導向（Discrete Event-Orientation Simulation）的系統模擬方法來處理，其中組成離散事件模擬之要素，如實體（Entity）、資源（Resource）、事件（Event）、規則（Rule）與狀態（State）等，本模式與之對應項目如表 3.3 所示。

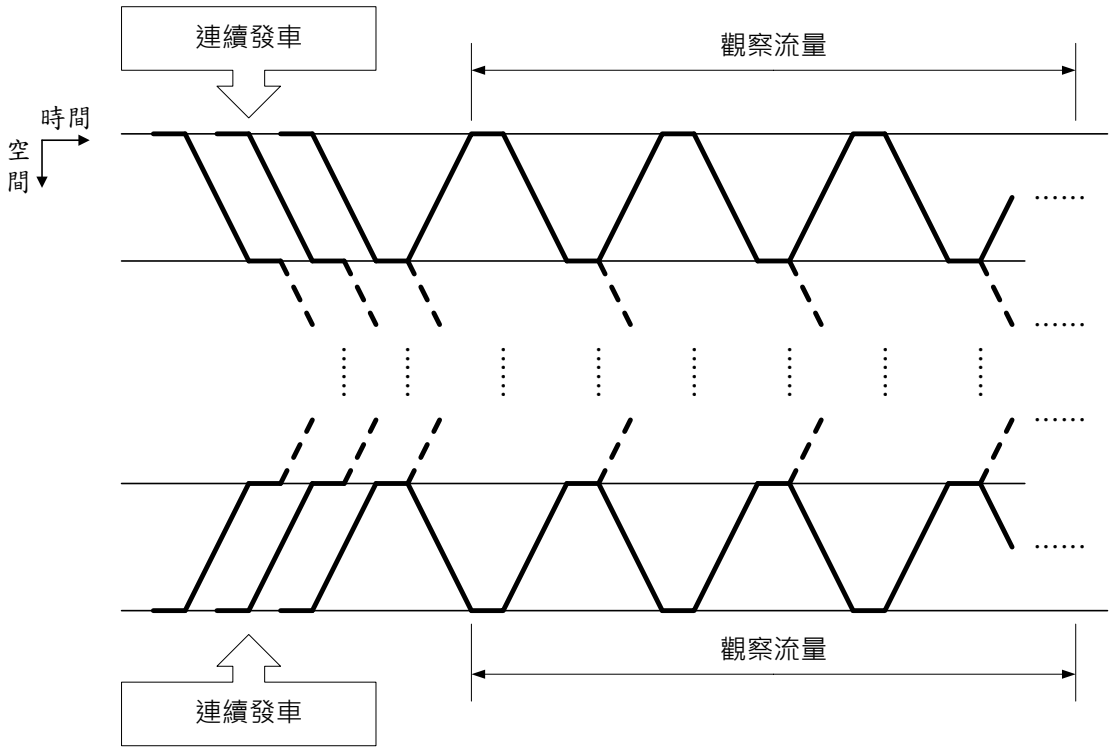


圖 3-19 單線連續區段容量分析模式之演算概念

表 3.3 離散事件模擬組成要素對應表

組成要素	對應項目
實體	列車
資源	站間軌道、站內軌道
事件	列車到站、列車離站
規則	列車運轉基本規則
狀態	列車佔用軌道的情況

在模式中係以每列車到達和離開各車站的運行過程當作成一連串的事件，如圖 3-20 所示，列車n於車站k到站事件的時間為$t_A(n,k)$，離站事件的時間為$t_D(n,k)$。隨著事件依序發生，系統的時間便會不斷往前推進，同時也會改變列車佔用軌道的情況，其中軌道分為兩類：一類為站間軌，站間軌皆為雙向使用，可讓多列同向列車接續通過，

但不能同時存在有相反方向的列車；另一類為站內軌，站內軌可為雙向或某一方向使用，一次只能讓一列車佔用。

而整個在模擬過程中，透過調整事件的發生時間，來避免系統不會發生死結，並確保各列車遵循運轉基本規則運行，當所有事件都完成後，便結束模擬。

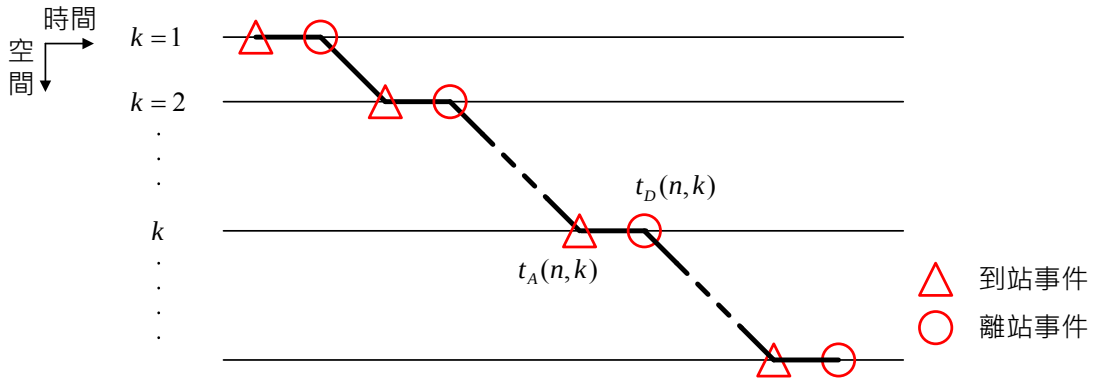


圖 3-20　列車到站事件和離站事件示意圖

3.2.2 模式架構

本模式的架構與複線連續區段容量分析模式大同小異，如圖 3-2，模式會根據交通組成的設定，隨機地決定進入單線連續區段的列車車種，接著考量列車的基本運轉規則、運轉時間、停站時間，以及號誌時距等因素來模擬每列車到達終點站的時間，最後再加入運轉寬裕來計算平均運轉時隔與路線容量。

在輸入參數方面亦如同複線連續區段容量分析模式，如表 3.1，唯在號誌時距參數中，多考慮了反向列車交會的時距。有關寬裕時間係數的設定上，根據本所的研究[6]，運轉寬裕係數的建議值為 0.2，但仍須依據路線長短作適當調整，當連續區段較長時，寬裕係數值較小；當連續區段較短時，寬裕係數值較大。至於模擬列車數的設定，過去本所[6]利用案例測試建議設定值超過 1000 列次，方能得到較穩定之結果。

3.2.3 假設條件

本模式在模擬的過程中，列車遵循著運轉基本規則運行，包括(1)先續行列車要保持足夠的號誌時距；(2)列車在站間運行時不能追越前車，亦不能與反向列車發生對撞；(3)站內列車數不可超過股道數量。

由於本模式目的在求取「實用容量」，也就是「時刻表容量」，而非「最大容量」，因此進行模擬還要保持車的站間運轉時間不變，以及列車於各車站的停站方式不變。

此外為了便於模式的發展與操作，本模式在應用上有以下假設條件：

1. 分析範圍內各車站之間皆為單線

本模式之目標在於求取單線連續區段之容量，因此分析範圍內的各車站之間皆為單線。若面臨單、複線交錯混雜的路線，本模式可處理其中單線的部份，而複線的部份則可由本所已發展的複線容量模式來求取容量。

2. 所有列車均行經連續區段中的每個區段

在本模式所分析的路線範圍中，每一列車皆從路線兩端的車站作為始發站，出發後經過中間所有的區段，最後終點為另一端車站，而所有列車均不以中間的任何車站作為起迄點，亦無折返行為。在實際應用時，可根據列車運轉特性與範圍，切分為數個連續區段進行分析。

3. 列車於路線起迄車站皆有停靠

本模式假設列車於路線的始發站必須停靠後才能出發，而在到達終點站時也必須停靠後才能離開路線，此外對於行經的中間車站是否停靠則沒有限制。若實際應用時，有列車不停靠始發站或終點站的狀況，則可以設定為停靠極短暫的時間，例如 1 秒鐘。

4. 雙向列車的數量與車種組成皆相同

與實務上會考量列車雙向平衡相同，在本模式所分析的路線範圍內，從兩端點站出發的列車數量相同，且車種組成的比例也相同。其

中雖然車種組成相同，但不表示兩端列車的車種順序相同，模式中會依比例分別隨機決定雙向列車的車種。

3.2.4 整體流程

本模式的整體演算流程如圖 3-21，首先依照交通組成決定各列車的車種，根據該車種的運轉時間和停站時間設定來產生列車的到站與離站事件，並將每列車的第一個事件放入事件列表中。接著便依照事件預計發生的時間先後逐一處理列表中的事件，處理的過程包含預訂軌道、進行檢核，若還不能使用軌道或沒通過檢核，則計算後移量，調整事件的發生時間後，將事件放回事件列表中；若可以使用軌道且通過檢核，則表示該列車可以完成該事件，然後將列車的下一事件放入事件列表。如此反覆進行，直到事件列表中的所有事件都完成為止，便能根據列車到達終點站的時間來評估容量。對於整個過程中的車種決定方式、預訂軌道機制、檢核機制、後移量之計算、回溯機制以及評估路線容量等流程，如圖 3-21 中灰色區塊，則分別詳細說明如下。

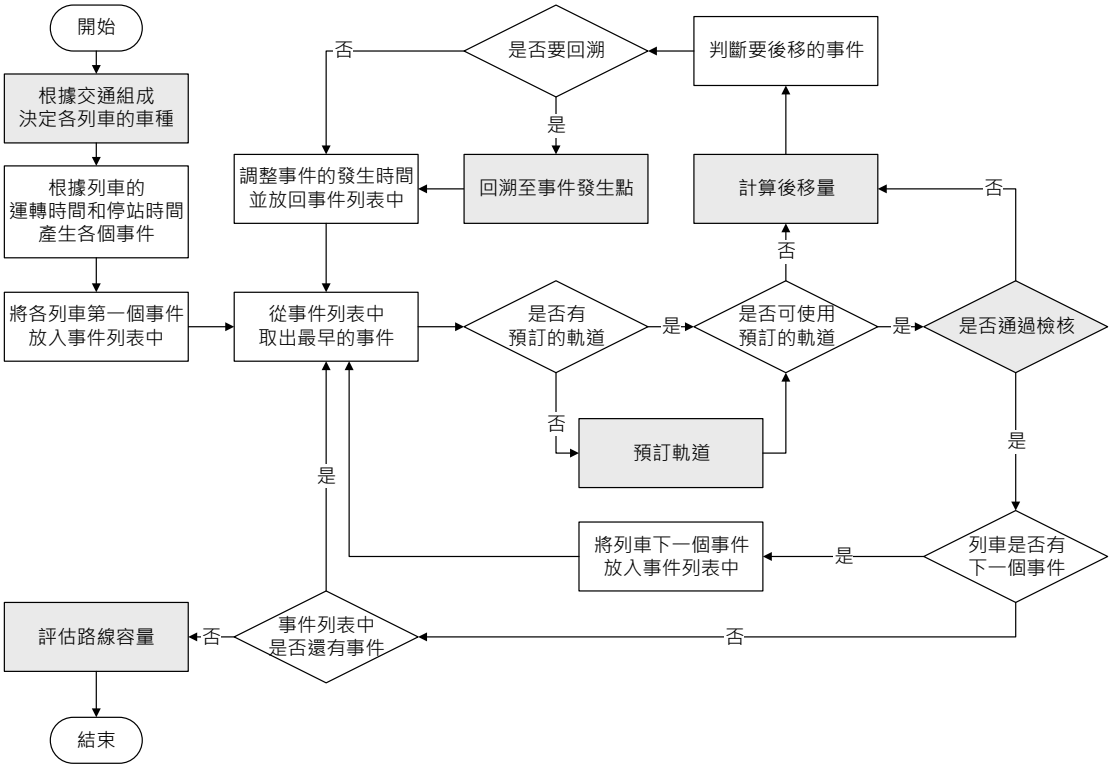


圖 3-21 單線連續區段容量分析模式整體流程圖

3.2.4.1 車種決定方式

在決定車種方面，首先依車種組成的比例以下式計算各車種出現的機率，根據此機率來決定列車的車種，雙向各列車都是採用相同的機率來決定車種，不會受前一列車或對向列車影響，亦即相互獨立。

$$p_\tau = \frac{n_\tau}{\sum n_\tau} \tag{3.4}$$

式中：p_τ=第τ種車種的出線機率

n_τ=交通組成中第τ種車種所佔的比例

3.2.4.2 預定軌道機制

本模式採用 Dynamic Route Reservation[29]方法來避免在模擬的過程中發生列車打死結的情形，此方法是在模擬的過程中加入了預定軌道機制，列車必須先根據一定的規則來預訂軌道，當列車依照預訂的次序使用軌道，便能避免死結的發生，這些預訂軌道的規則如下：

1. 規則一：列車被授權進入一段軌道前，必須先預訂之，如圖 3-22 之列車 1 在離開車站 A 之前，須先預訂車站 A 到車站 B 的站間軌。

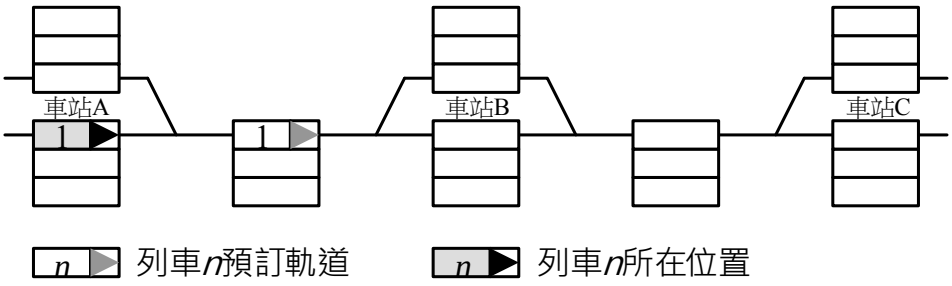


圖 3-22 軌道預訂規則一範例

2. 規則二：預訂的若是站間軌道，則須再預訂下一段軌道，如圖 3-23 之列車 1 除了預訂車站 A 到車站 B 的站間軌之外，還須繼續預訂車站 B 的站內軌。

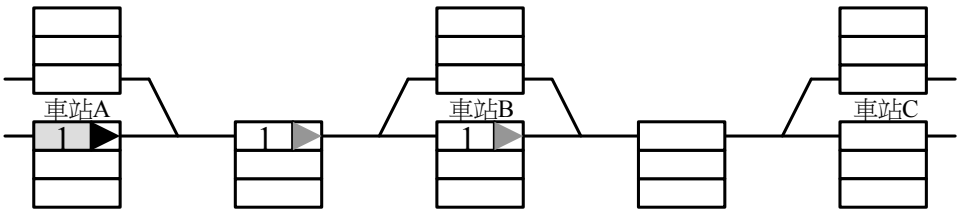


圖 3-23 軌道預訂規則二範例

3. 規則三：預訂的若是站內軌道，但列車於該站不停站，也須再預訂下一段軌道，如圖 3-24 之列車 1 不停靠車站 B，所以須繼續預訂車站 B 到車站 C 的站間軌，同時因為規則二，便一路預訂至車站 C。

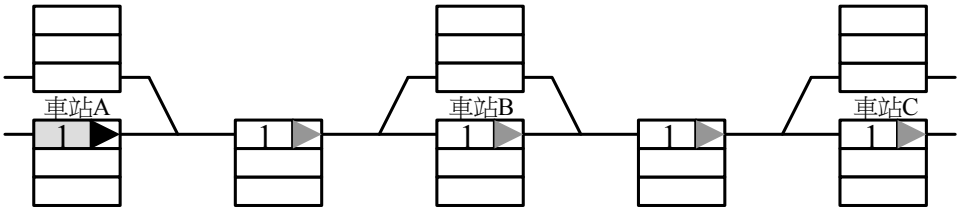


圖 3-24 軌道預訂規則三範例

4. 規則四：當列車使用完軌道後，將其從列表中標記為已使用，如圖 3-25 之列車 1 進入車站 A 到車站 B 的站間軌後，原來於車站 A 所使用的站內軌則標記為已使用。

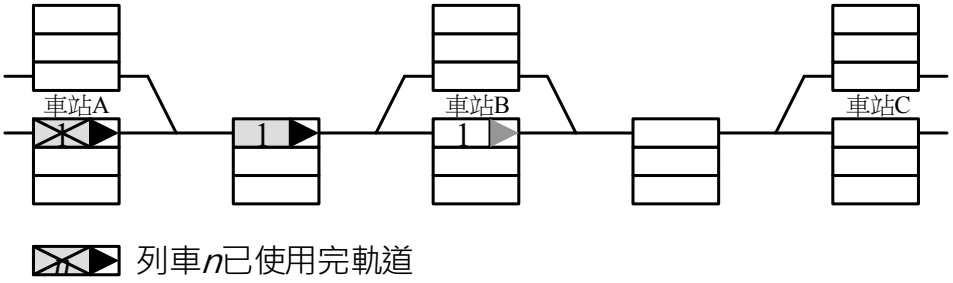


圖 3-25 軌道預訂規則四範例

5. 規則五：若要預訂的軌道已經被其他列車預訂或佔用，則依序排在其他列車後面預訂，如圖 3-26，列車 2 接續在列車 1 後面預訂軌道。

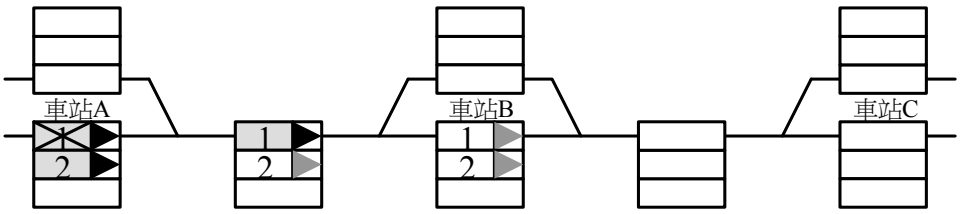


圖 3-26 軌道預訂規則五範例

6. 規則六：若列車所預訂的軌道後面有其他列車預訂，則該列車必需有預訂進入下一段軌道，圖 3-26 中的列車 1 於車站 B 所預訂的軌道後面有列車 2 預訂，因此必須預訂後續的軌道，如圖 3-27。

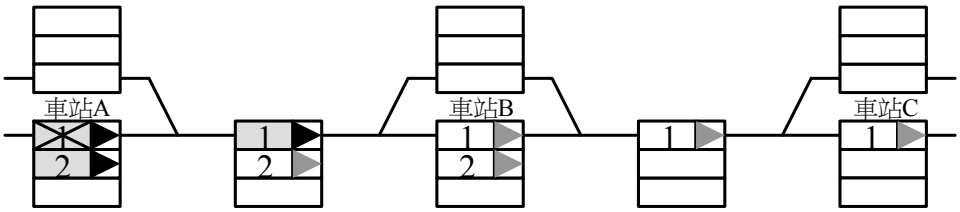


圖 3-27 軌道預訂規則六範例

7. 規則七：若某一列車要預訂的軌道已經被其他反向列車預訂，而反向列車需依規則六預訂下一段軌道，若該下一段軌道已經被原列車預訂，則預訂失敗，如圖 3-28 之列車 3 若接續在列車 2 預訂車站 B 的站內軌，而列車 2 依規則六所需預訂的下一段軌道剛好又是被列車 3 所預訂，因此列車 3 於車站 B 的預訂失敗。

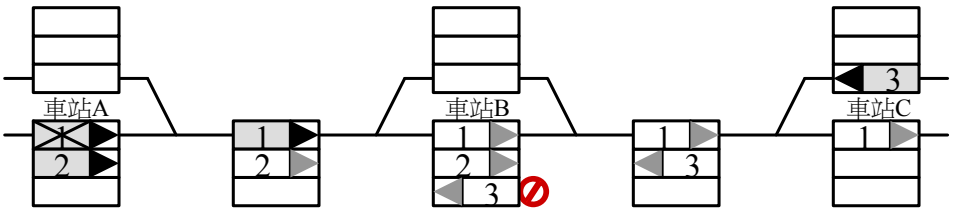


圖 3-28 軌道預訂規則七範例

8. 規則八：一個預訂可以成功的條件，包含依規則二、規則三和規則六所延伸的所有預訂也必須成功。以圖 3-29 為例，由於列車 3

預訂車站 B 的站內軌失敗，因此連車站 B 到車站 C 站間軌的預訂也失敗，若例子改為如圖 3-30，則列車 3 所有的預訂都可以成功。

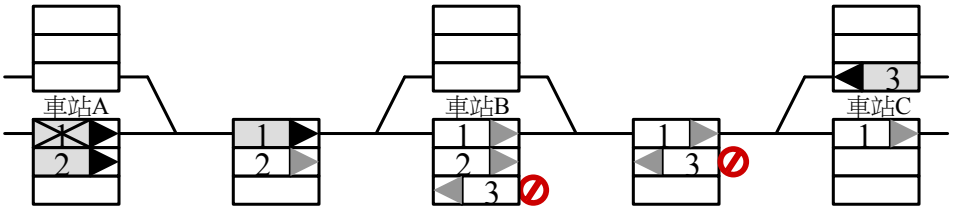


圖 3-29　軌道預訂規則八範例 1

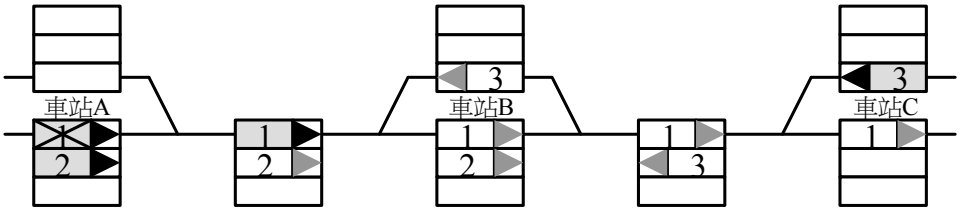


圖 3-30　軌道預訂規則八範例 2

9. 規則九：列車必須是第一位預訂者，才能使用站內軌。若是使用站間軌，即使不是第一位預訂者，只要與前一列車的運轉方向相同便可接續使用，如圖 3-31 中之列車 2，由於與列車 1 運轉方向相同，因此可接續使用車站 A 到車站 B 的站間軌。

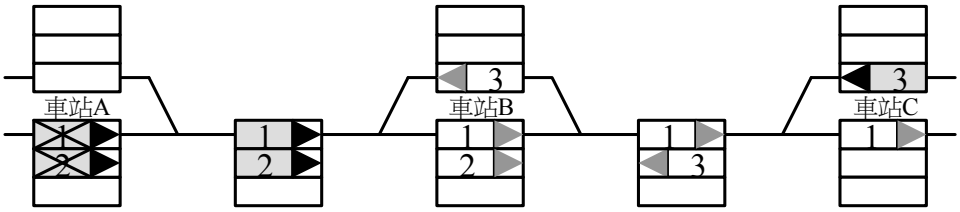


圖 3-31　軌道預訂規則九範例

10. 規則十：列車在預訂站內軌時，若要追越同向的先行列車時，則不能預訂與同向先行列車相同的軌道，如圖 3-32 中之列車 2 若要在車站 B 追越列車 1，則不能預訂與列車 1 相同的軌道，而是另一條軌道。而模式中對於列車可進行追越的條件為：

(1) 列車於車站內不停靠，而其同向的先行列車為慢車，且有停靠。

(2) 列車與其同向的先行列車於前一站間為相鄰列車，亦即兩列車之間沒有其他列車，如圖 3-33 (A)的列車 1 與列車 2 為相鄰列車，而圖 3-33 (B)的列車 1 與列車 2 為不相鄰。

(3) 車站內有足夠的軌道進行追越，亦即除了同向先行列車所預訂的軌道之外，在符合預訂規則的前提下，還有其它軌道可供預訂。

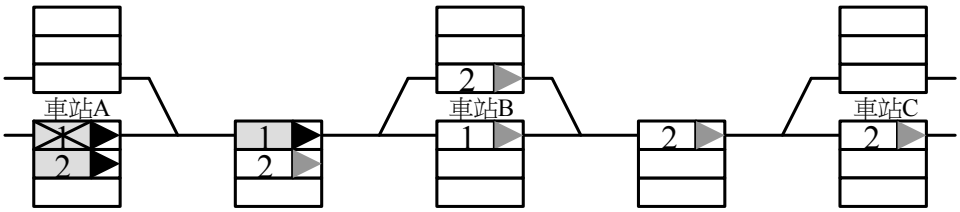
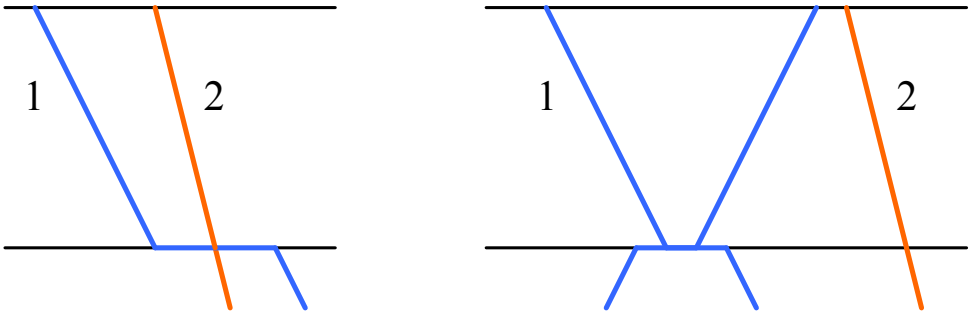


圖 3-32 軌道預訂規則十範例



(A)列車 1 與列車 2 相鄰　　(B) 列車 1 與列車 2 不相鄰

圖 3-33 列車追越條件範例

3.2.4.3 檢核機制

檢核的目的在確保在模擬的過程中，各列車之間能保持足夠的號誌安全時距、在車站內不會同時佔用同一股道，以及在站間不得發生列車追越或對撞等運轉基本規則，而這些規則在不同的事件類型中則成為不同的檢核項目，如表 3.4 所示。

表 3.4 事件類型與檢核項目對照表

事件類型	檢核項目
到站事件	• 站間追撞先行列車 • 站內軌道重複佔用 • 與同向到站列車號誌時距不足
離站事件	• 站間對撞反向列車 • 與同向離站列車號誌時距不足 • 與反向進站列車號誌時距不足

關於檢查站間追撞先行列車方面，如圖 3-34，續行列車的到站時間不能比先行列車還早，因此要通過檢查的條件為$t_A(n,k) > t_A(m,k)$；而在檢查站間對撞反向列車方面，如圖 3-35，續行列車的離站時間必須在反向列車到站後之後，因此通過檢查的條件為$t_D(n,k) > t_A(m,k)$。至於號誌安全時距方面的檢查則整理於表 3.5，而站內軌道重複佔用方面，由於列車之間已經被號誌時距隔開，所以不用再做額外檢查。

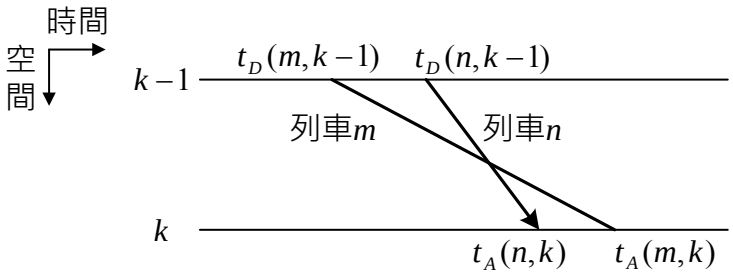


圖 3-34 檢查列車是否於站間追撞先行列車示意圖

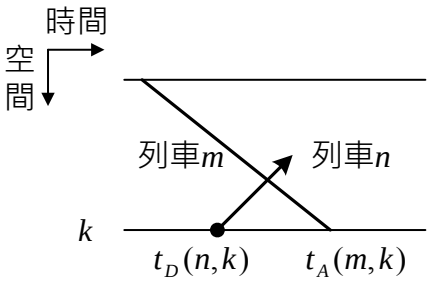


圖 3-35 檢查列車是否於站間對撞反向列車示意圖

表 3.5 通過號誌安全時距檢查的條件

先續行列車運轉方向	號誌時距種類	同一股道	不同股道
同向	到站	$t_A(n,k) - t_A(m,k) \geq T_{s,A1}$	$t_A(n,k) - t_A(m,k) > T_{s,A2}$
	離站	$t_D(n,k) - t_D(m,k) \geq T_{s,D1}$	$t_D(n,k) - t_D(m,k) \geq T_{s,D2}$
反向	—	—	$t_D(n,k) - t_A(m,k) \geq T_{s,M}$

註解：$T_{s,A1}$為同向列車採用同一股道進站的號誌安全時距，$T_{s,A2}$為同向列車採用不同股道進站的號誌安全時距，$T_{s,D1}$為同向列車採用同一股道離站的號誌安全時距，$T_{s,D2}$為同向列車採用不同股道離站的號誌安全時距，$T_{s,M}$為反向列車交會的號誌安全時距。

3.2.4.4 後移量計算

當列車還不能使用預訂的軌道或檢核機制不通過時，如圖 3-36～圖 3-40 等情況，則是將該事件的發生時間延後，而時間的後移量在不同的狀況下有不同的計算方式，表 3.6 為各種情況下的後移量計算方式。由於調整時間後的事件可能比事件處理列表中的其他事件更晚發生，因此必須將該事件重新放入事件處理列表中等待處理，以確保所有事件皆按照時間先後順序發生。

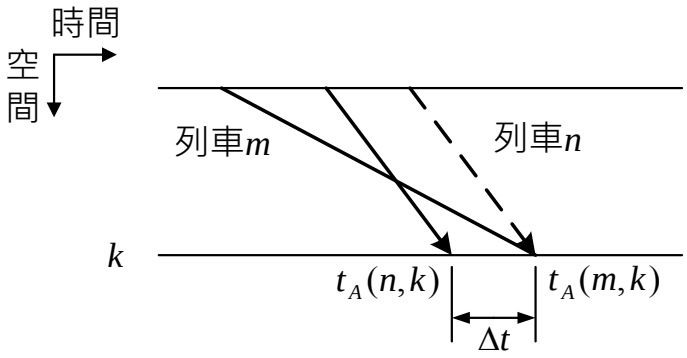


圖 3-36 站間追撞先行列車時的後移量計算示意圖

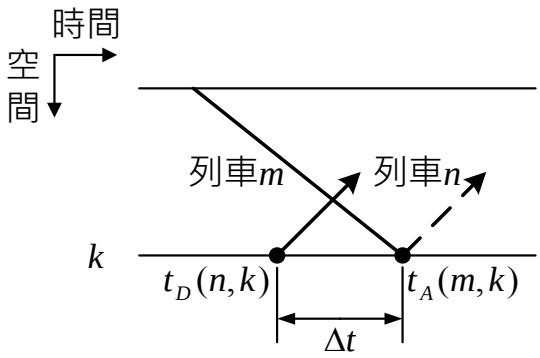


圖 3-37　站間對撞反向列車時的後移量計算示意圖

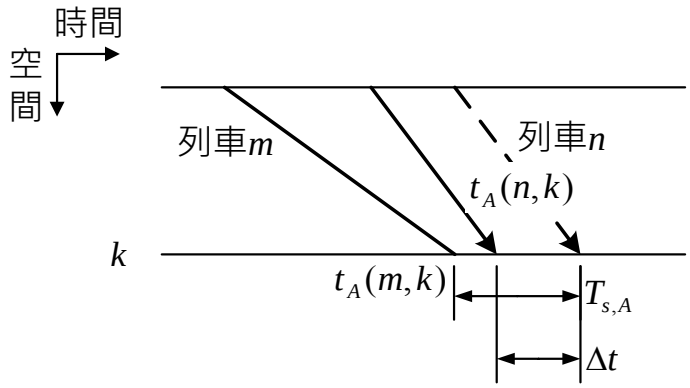


圖 3-38　到站號誌時距不足時的後移量計算示意圖

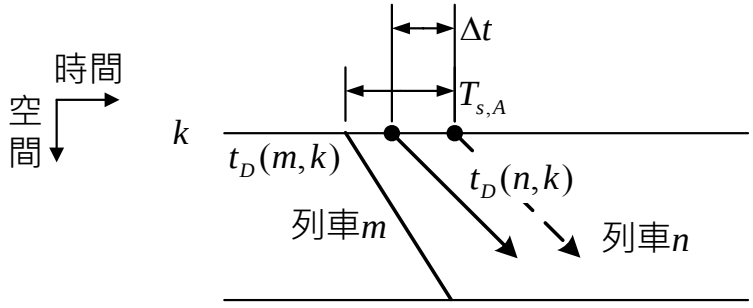


圖 3-39　離站號誌時距不足時的後移量計算示意圖

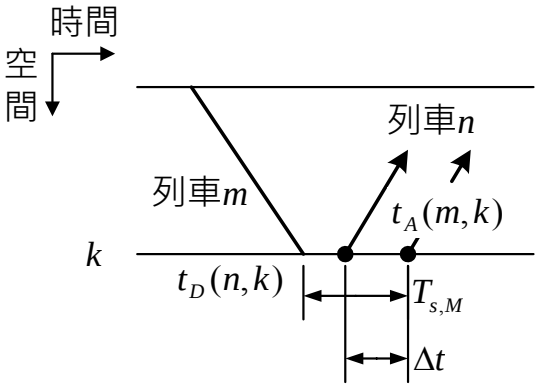


圖 3-40　反向交會號誌時距不足時的後移量計算示意圖

表 3.6　不同情況下的後移量計算方式

檢核不通過的情況	後移量計算方式	
還不可使用預訂的軌道	到站事件	$\Delta t = t_r - t_A(n,k)$
	離站事件	$\Delta t = t_r - t_D(n,k)$
站間追撞先行列車	$\Delta t = t_A(m,k) - t_A(n,k)$	
站間對撞反向列車	$\Delta t = t_A(m,k) - t_D(n,k)$	
同股道到站號誌時距不足	$\Delta t = T_{s,A1} - t_A(n,k) - t_A(m,k)$	
不同股道到站號誌時距不足	$\Delta t = T_{s,A2} - t_A(n,k) - t_A(m,k)$	
同股道離站號誌時距不足	$\Delta t = T_{s,D1} - t_D(n,k) - t_D(m,k)$	
不同股道離站號誌時距不足	$\Delta t = T_{s,D2} - t_D(n,k) - t_D(m,k)$	
反向交會號誌時距不足	$\Delta t = T_{s,M} - t_D(n,k) - t_A(m,k)$	

註：t_r為前一個預約的預計發生時間

3.2.4.5　回溯機制

當預訂軌道或檢核機制不成功時，若需要調整列車到站事件的發生時間，為了保持其運轉時間不變，便需要從列車前一個停站處的離站事件來調整，此時要啟動回溯機制，將系統的狀態回復到該離站事件的時間點重新開始模擬，如此才能把此變動對後續其他事件的影響納入考慮。

回溯機制所要回復的狀態包含事件列表，以及各個軌道預約列表的使用情況，回復此兩列表的方法說明如下：

1. 事件列表

在模擬過程中，每次從事件列表所取出的事件可以成功執行時，則將該事件放入另一個已執行列表中，當系統要進行回溯時，則從這個已執行列表裡，把回溯時間點之後的事件全部依序搬回事件列表，再將多餘事件刪除（同一列車僅保留最早發生之事件），如此便完成事件列表的系統回溯。

2. 軌道預約列表的使用情況

在 3.2.4.2 節中說明每當列車使用完軌道後，會在該軌道的預約列表中標記為已使用，在進行回溯時，若使用軌道的時間在回溯時間點之後，則重新標記成未使用，即可回復預約列表的使用情況。

3.2.4.6 路線容量評估

在完成模擬之後，須扣除系統暖機階段以及結束之前的時段，僅根據如圖 3-41 時間範圍內之狀況，以下列公式計算路線容量。

$$\bar{h} = \frac{t_A(n) - t_A(1)}{n} \times (1 + \beta) \tag{3.5}$$

$$C = \frac{3600}{\bar{h}} \tag{3.6}$$

式中：$\bar{h}$=平均時隔（s）

$t_A(n)$=時間範圍內最後一列到達終點站的時間（s）

$t_A(1)$=時間範圍內第一列到達終點站的時間（s）

n=時間範圍到達終點站的列車數

β=運轉寬裕時間係數

C=路線容量（TU/h）

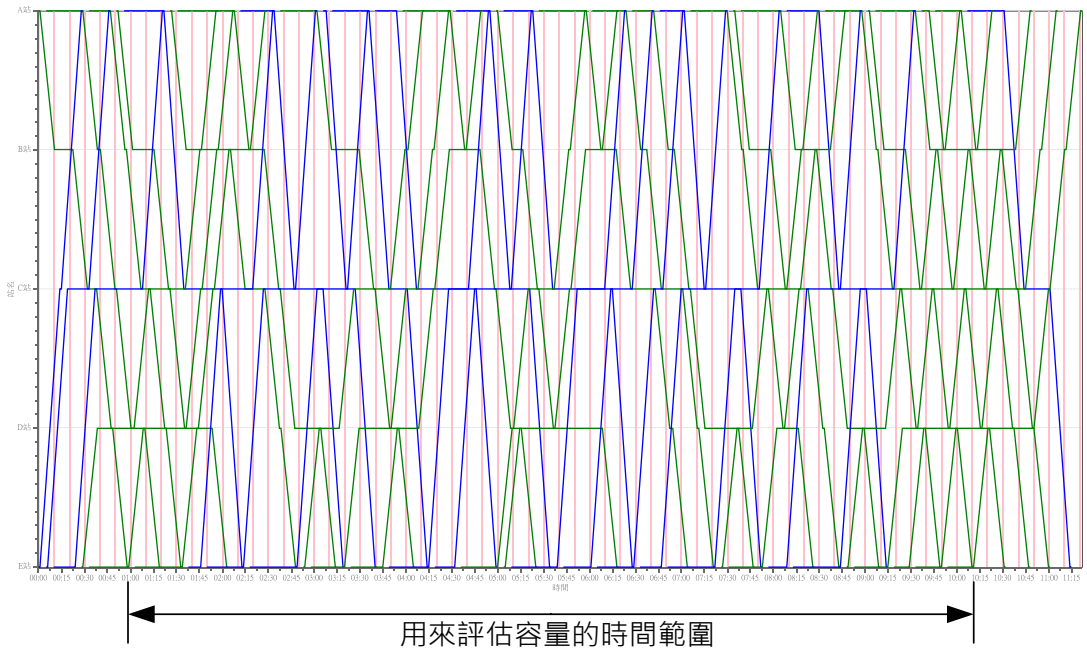


圖 3-41　評估容量所使用的時間範圍示意圖

3.2.5 演算範例

為使讀者能更清楚本模式的運作方式，本節以圖 3-42 之範例展示本模式之模擬流程，圖中為三個車站之路線，本範例共有四列車：列車 1 和列車 3 由車站 C 開往車站 A，列車 2 和列車 4 由車站 A 開往車站 C。事件列表內已經分別將四列車最早發生的事件依時間先後排序，其中列車 1 和列車 2 為慢車，每站皆停；列車 3 和列車 4 為快車，只停靠車站 A 和車站 C。

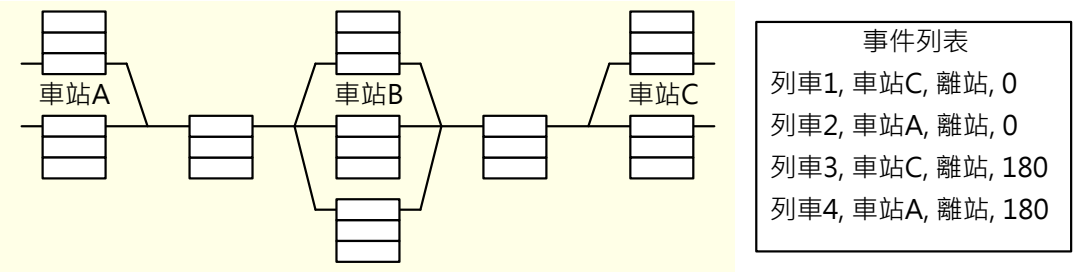


圖 3-42　演算範例

首先處理列車 1 於車站 C 的離站事件，如圖 3-43，依照預訂軌道機制預訂了車站 C 到車站 B 的站間軌和車站 B 的站內軌，檢核也符合運轉基本規則，因此可以順利離站，將列車 1 移入站間軌，並標示已使用完車站 C 的站內軌，同時也將列車 1 的下個事件（於車站 B 的到站事件）放入事件列表，如圖 3-44。接著事件列表中最早發生的事件變成為列車 2 於車站 A 的離站事件，其處理過程如同列車 1 一樣可以順利進行，處理完成後如圖 3-45。

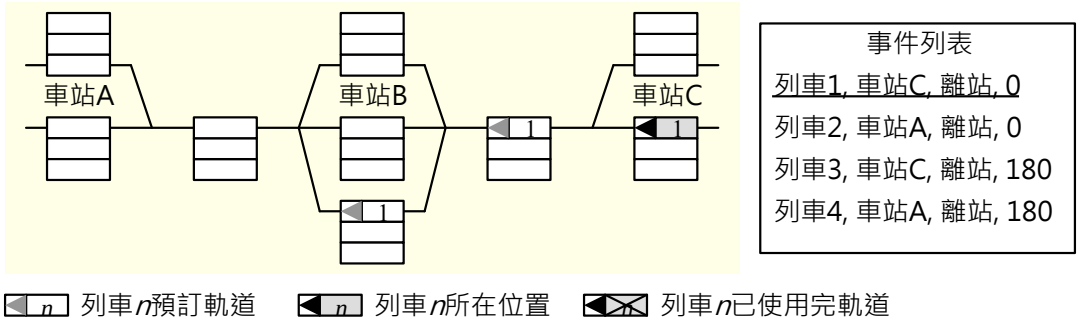


圖 3-43　演算範例展示 1

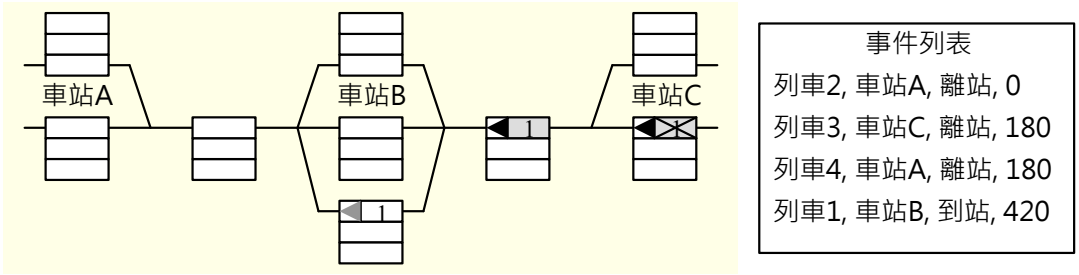


圖 3-44　演算範例展示 2

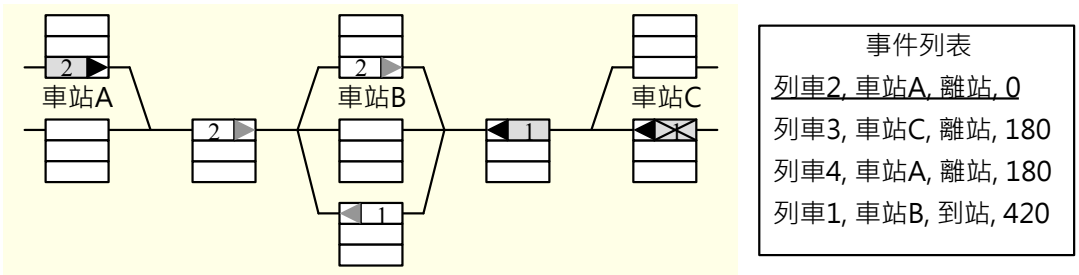


圖 3-45　演算範例展示 3

再來輪到列車 3 於車站 C 的離站事件，如圖 3-46，同樣要先預訂車站 C 到車站 B 的站間軌和車站 B 的站內軌，但此時根據預訂軌道的規則，列車 3 能夠在車站 B 追越列車 1，所以列車 3 在車站 B 預訂了與列車 1 不同的軌道。此外，因為列車 3 不停靠車站 B，還要預訂其後續的軌道，包含車站 B 到車站 A 的站間軌和車站 A 的站內軌。完成預訂後，檢核列車 3 與列車 1 之間號誌時距足夠，因此可以離站進入站間軌。

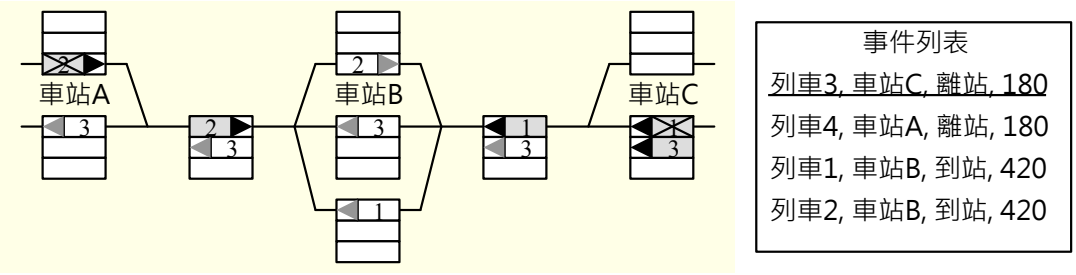


圖 3-46 演算範例展示 4

而後續列車 4 與列車 3 一樣是快車，但情況有些不同，如圖 3-47 所示，在預訂車站 A 到車站 B 的站間軌和車站 B 的站內軌後，根據預訂軌道的規則，發現列車 4 不能在車站 B 追越列車 2，因此在車站 B 預訂了與列車 2 相同的軌道，根據預訂軌道的規則，列車 2 必須再預訂其後續的軌道，包含車站 C 到車站 B 的站間軌和車站 B 的站內軌，而列車 4 因不停靠車站 B，也必須預訂後續的車站 C 到車站 B 的站間軌和車站 B 的站內軌。完成預訂後，可發現列車 4 不是車站 A 到車站 B 站間軌的第一位預訂者，且與前一位預訂之列車的運轉方向不同，因此列車 4 不得開出，只能調整其離站事件的時間後，再將事件放回事件列表中。

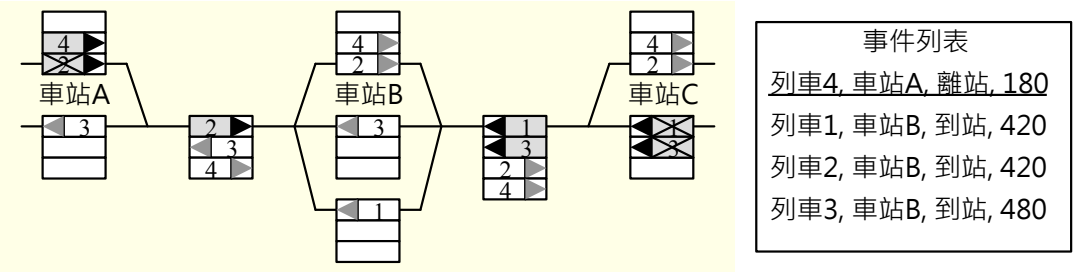


圖 3-47 演算範例展示 5

接著處理列車 1 於車站 B 的到站事件，如圖 3-48，列車 1 為車站 B 站內軌第一位預訂者，且沒有違反運轉規則，因此可以順利執行。而後續列車 2 於車站 B 的到站事件，也是相同的情況，完成如系統狀態如圖 3-49。

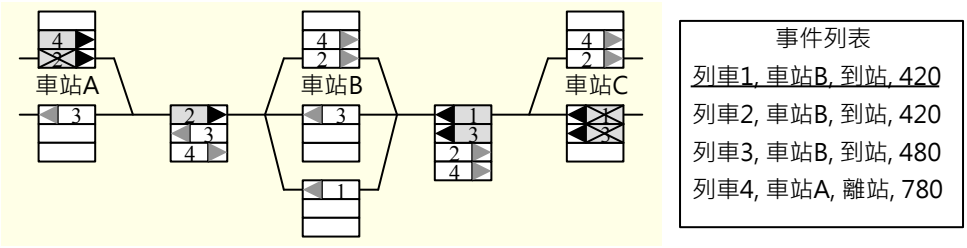


圖 3-48 演算範例展示 6

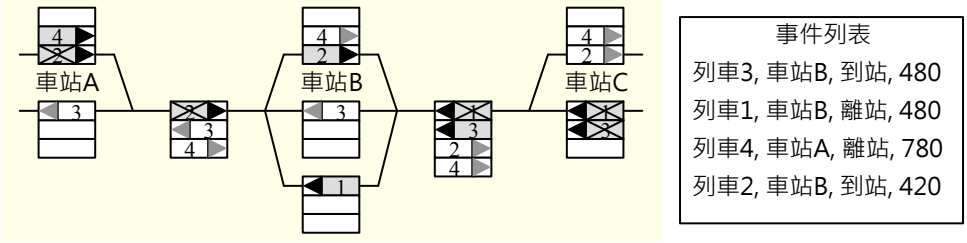


圖 3-49 演算範例展示 7

然後處理列車 3 於車站 B 的到站事件，如圖 3-50，雖然根據預訂規則，列車 3 可以使用車站 B 的站內軌，但經過檢核會發現列車 3 與列車 1 的到站號誌時距不足，所以列車 3 的到站事件時間必須後移，依照回溯機制，系統必須要回復到列車 3 於車站 C 離站時的情況，如圖 3-51。在調整列車 3 於車站 C 離站事件的時間後，列車 4 於車站 A 的離站事件變成為列表中最早發生的事件，但因為不是車站 A 到車站

B 站間軌的第一位預訂者，且與前一位預訂之列車的運轉方向不同，所以列車 4 仍然不得開出，在調整其離站事件的時間後，將事件放回事件列表中，如圖 3-52，之後才再處理列車 3 於車站 C 的離站事件。如此持續地依據 3.2.4 節之流程進行後續的模擬，直到所有列車都到達終點站為止，便能評估此路線之容量。

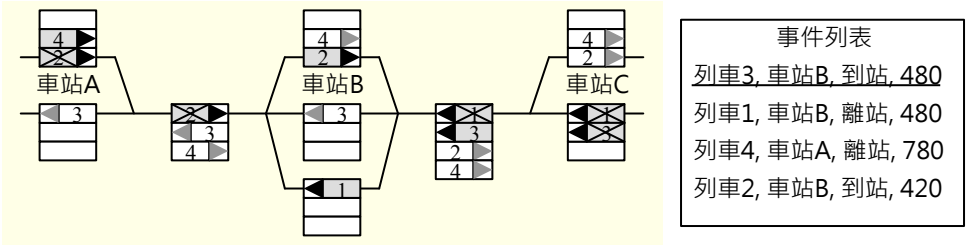


圖 3-50　演算範例展示 8

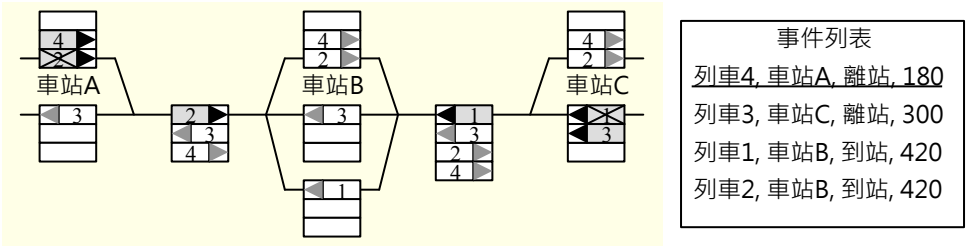


圖 3-51　演算範例展示 9

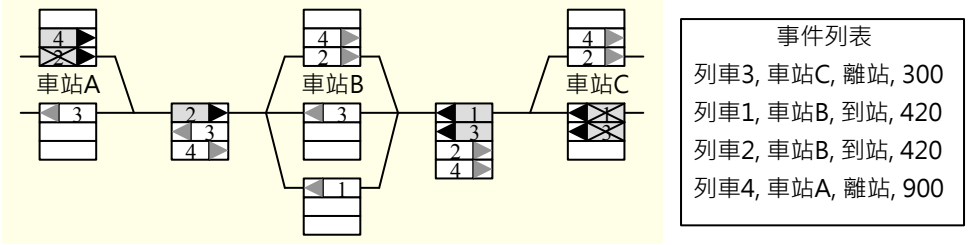


圖 3-52　演算範例展示 10

第四章 旅客容量分析模式

第二章已介紹以列車為客體單位之鐵道容量分析模式的細節，而本章將說明與旅客數相關的容量分析程序，除了車廂容量、列車容量、最大供給容量與可達成容量之外，第二章在計算號誌安全時距公式時，並沒有對列車停站時間t_d值之決定作介紹，此數值與旅客人數、列車車門數、旅客上下車所需之時間息息相關，故在本章一併介紹之。

4.1 旅客容量計算

傳統暨區域鐵路系統的列車種別與車廂並不一致，因此計算的程序較為複雜，但計算之順序同樣是依循著車廂容量、列車容量、最大供給容量、可達成容量依序來求算，以下由簡到繁說明之。

1. 車廂容量

單一種車廂容量c_v（乘位數）的計算由座位數與站位數而得，座位數以一般成年人的體型為準，站位人數的計算則以立位密度乘以車廂內可供站立之空間來加以計算，如式(4.1)所示。在立位密度的設計上，通勤用車輛以 5 prs/m^2 為建議值；中、長程用車輛以 4 prs/m^2 為建議值，主要是考量長途列車或較高等級列車/車廂應使用服務水準較高的數值，例如臺鐵觀光列車、太魯閣號或日本新幹線部分指定席車廂均不允許站位，即立位密度為 0 prs/m^2。

$$c_v = n_s + (m_s \times A_v) \tag{4.1}$$

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/m^2）

A_v=車廂可供旅客站立用之空間（m^2/veh）

2. 列車容量

單一種列車容量由數種不同型式的車廂編組所組成，因此列車容量的求算為所有客車車廂容量之彙總，如式(4.2)中列車容量C_t為n_v個客車車廂容量的加總，但由於列車鮮少有編組車廂完全迥異之情形，為了計算上的方便，亦可將列車車廂先分為m_v種型式，再分別根據其編組數相乘後進行加總。其中車廂容量C_{v_i}的計算如式(4.1)。所謂的「不同型式」車廂，可視規劃者對於精確度的需求而有所差異，例如以目前臺鐵推拉式自強號的客車而言，T 型車與 D 型車的車廂容量差異甚大，有較充分的需求將之分為兩類，但 T 型車與 C 型車的差異就較不明顯。

$$c_t = \sum_{i=1}^{n_v} c_{v_i} = \sum_{j=1}^{m_v} (c_{v_j} \times n_{v_j}) \tag{4.2}$$

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

3. 最大供給容量

最大供給容量又稱設計容量，為系統在單位時間內所能提供的最大乘位數，其計算方式如式(4.3)，即考慮單位時間內列車的最大服務頻率與列車容量之乘積，然單位時間內通過的列車種別及其數量各有不同，因此必須考慮單位時間內各種列車的比率r_i。由於每一種列車容量C_{t_i}在計算時已分別考慮各自的編組數以及車廂座位數和立位密度，故式(4.3)計算之C_o即為考慮車種不同與服務型態差異的最大供給容量。

$$C_o = \sum_i C_l c_{t_i} r_i = C_l \sum_i c_{t_i} r_i \ ； \ \sum_i r_i = 1 \tag{4.3}$$

式中：C_o=最大供給容量或設計容量（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（%）

4. 最大使用容量

最大使用容量又稱為可達成容量，為考慮旅客乘載變異時所可能達到的容量。式(4.4)為最大使用容量之計算模式，當考量系統整體的列車間乘載變異時，最大使用容量為式(4.3)中的C_o與乘載變異因子ρ_d之乘積；若考量不同種類的列車有各自的乘載變異（通常指同列車內不同車廂間的乘載變異），則必須依列車比例r_i來分別加以計算。

$$C_u = \rho_d C_o = f_{l,\max} \sum_i r_i C_{t_i} \rho_{d_i} \ ； \ \sum_i r_i = 1 \tag{4.4}$$

式中：C_u=最大使用容量或可達成容量（prs/h）

ρ_d=整體乘載變異因子

ρ_{d_i}=第i種列車之乘載變異因子

有關ρ_d或ρ_{d_i}值的設定，可考慮三種方式估算，分述如下。

(1) 使用預設值：在 TCQSM[31]的研究中，重軌捷運ρ_d以 0.8 為預設值；輕軌採 0.75；通勤鐵路採 0.6，而本所研究[10]對臺鐵進行現場調查與票證系統紀錄檔分析後發現，ρ_d值約為 0.8；一字型坐椅列車的ρ_{d_i}值為 0.83；非字型坐椅列車的ρ_{d_i}值為 0.7。這些數值均不失為可參考的數據。

(2) 分析同一列車內不同車廂間的差異：透過調查取得同一列車內各車廂的實際載客數P_{ci}，利用式(4.5)計算各車廂平均旅客數佔最擁擠車廂旅客數的比率，用此數值估算ρ_d。若同一列

車各車廂的乘位數C_{vi}差異很大（例如 PPT 與 PPD），式(4.5)中的P_{ci}則需分別先除以C_{vi}來調整再予以計算，調整後之計算式如式(4.6)。

$$\rho_d \cong \frac{\sum_{i=1}^{n_v} P_{c_i}}{n_v \times \max(P_{c_i})} \tag{4.5}$$

$$\rho_d \cong \frac{\sum_{i=1}^{n_v} (\frac{P_{c_i}}{C_{v_i}})}{n_v \times \max(\frac{P_{c_i}}{C_{v_i}})} \tag{4.6}$$

式中：P_{c_i}=同列車第i車廂的實際乘載旅客數

n_v=整列車客車車廂的編組總數

(3) 分析不同列車間乘載量的差異：設法取得尖峰時間內某一連續 4 個 15 分鐘各列車的實際載客量，利用式(4.7)計算此旅客量與其中四倍之 15 分鐘最高旅運量之比值，用此數值估算ρ_d。

$$\rho_d = \frac{P_h}{4P_{15}} \tag{4.7}$$

式中：ρ_d=列車間乘載變異因子

P_h=尖峰小時旅客流量（prs/h）

P_{15}=尖峰小時內最大 15 分鐘流率（prs/15 min）

以式(4.7)估算ρ_d時，由於旅客必須藉由列車的運轉才能在鐵道系統中流動，因此列車發車的型態會影響到計算值，特別在分析班距較大或班距變異較高的系統時，需慎選調查的對象與時段，以免估算出極度不合理的乘載變異因子。

乘載變異會視地方民情、調查時段而有所差異，即使是服務型態均一的捷運系統，不同年期的現場調查結果亦有可能不同。就乘載變

異的特性而言，旅運數量越高時，乘載變異因子會提高；觀察的時間愈長時，乘載變異因子愈低，且傳統暨區域鐵路系統之旅客通常事先根據需求參考時刻表選擇班次，因此當列車改點時，亦會對於乘載變異造成影響；故在應用上需特別注意。

4.2 停站時間推估

在第二章中探討容量分析程序中，各種不同列車之停站時間t_d為必備參數之一，本節所要介紹的程序主要在於如何估算此數值。影響停站時間的因素眾多，其中旅客上下車所需時間為最重要的因素，但光就此因素而言，不同研究採用的影響因素亦有所不同，但以「旅客人數」為最基本的變數，同時亦是模式應用上較為可行的方案。舉例而言，旅客年齡、性別、月臺上旅客數的確是影響上下車時間之因素，但在進行容量分析時，對於旅客年齡性別及月臺上旅客數等資料恐不易取得，反之，旅客上下車人數較可能從運輸需求分析中取得，故本手冊欲建構的停站時間估計模式將以上下車旅客數作為變數。以下說明估算的步驟。

1. 步驟一：決定各種列車的平均上/下車旅客總數$P_{\bar{b}}$與$P_{\bar{a}}$

依據旅次起迄表、列車起迄與型態、各種列車數比例等資訊決定旅客於車站的上/下車總人數。由於臺鐵系統具有多車種、停站型態不一、座位對號、公布時刻表且班距較捷運系統大等特性，故此資訊的估算較為不易，需要作部份假設（如均一分布）或搭配票證紀錄（限已營運之系統）來估算。

2. 步驟二：計算各種列車最繁忙車門的上/下車旅客數

影響最繁忙車門之上/下車旅客數主要有兩個因素，其一為列車可用車門總數D_n，其二為最繁忙車門利用量相對平均利用量比率D_r，由於列車停站時，上下車的旅客會各自決定使用的車門，但不會均勻分配，但使用率最高的車門會決定整列車的停站時間，故需透過式(4.8)的D_r值來調整，因此最繁忙車門的上/下車旅客數分別如式(4.9)與式

(4.10)。本所研究[10]曾對臺鐵進行現場調查，經式(4.8)的計算後求得對號列車的D_r值約為 2.0；非對號列車的D_r值為 1.88。

$$D_r = \frac{Max(P_i) \times D_n}{\sum P_{di}} \tag{4.8}$$

$$p_b = \frac{\bar{P_b}}{D_n} \times D_r \tag{4.9}$$

$$p_a = \frac{\bar{P_a}}{D_n} \times D_r \tag{4.10}$$

式中：D_r=最繁忙車門利用量相對平均利用量比率

P_i=使用第i車門上下車的旅客總數

D_n=列車的車門總數

p_a=最繁忙車門下車旅客數

p_b=最繁忙車門上車旅客數

3. 步驟三：計算最繁忙車門所需上下車時間

最繁忙車門所需的停站時間與上、下車人數有關，其泛用的一般關係如式(4.11)，其中a~c參數通常透過現場調查搭配迴歸處理求得（不顯著之參數即以 0 處理）。本所研究[10]曾對臺鐵進行現場調查，該研究校估出的非對號列車車門與對號列車車門之上下車時間關係分別如式(4.12)與(4.13)。

$$FT = a + b \times p_a + c \times p_b \tag{4.11}$$

$$FT = 2.168903 + 0.739998 \times p_a + 0.971878 \times p_b \tag{4.12}$$

$$FT = 0 + 1.377865 \times p_a + 1.642144 \times p_b \tag{4.13}$$

式中：FT=旅客完成上下車所需的停站時間（秒）

a,b,c=旅客上下車所需時間迴歸式之係數

4. 步驟四：估算停站間

在列車停站的過程中，有部分時間無法供旅客上下車使用，包括(1)車停妥後至車門開啟時間，及(2)車門關閉至列車啟動時間，本手冊將其定義為停站損失時間t_{dl}。根據本所研究[10]對臺鐵的現場調查，t_{dl}值均在2~4秒間。將最繁忙車門所需上下車時間加上停站損失時間即可作為列車停站時間t_d的估計值。

$$t_d = FT + t_{dl} \tag{4.14}$$

式中：t_{dl}=停站損失時間（秒）

第五章 容量整體分析程序

第二章和第三章已分別介紹以列車為客體單位的單區段與連續區段容量模式的細節，第四章則是介紹以旅客為客體單位之容量模式，而本章將說明鐵道容量分析之整體計算程序與應用方式。

5.1 容量分析架構與步驟

圖 5-1 為傳統暨區域鐵路的鐵道容量分析架構，此架構係綜整第二章至第四章的模式，而以整體呈現的方式來表示分析的流程，其中在以列車為客體單位的部份，則是根據實際需要選用單區段或連續區段容量分析模式，有關兩模式之適用情況說明於 5.2.2 節。

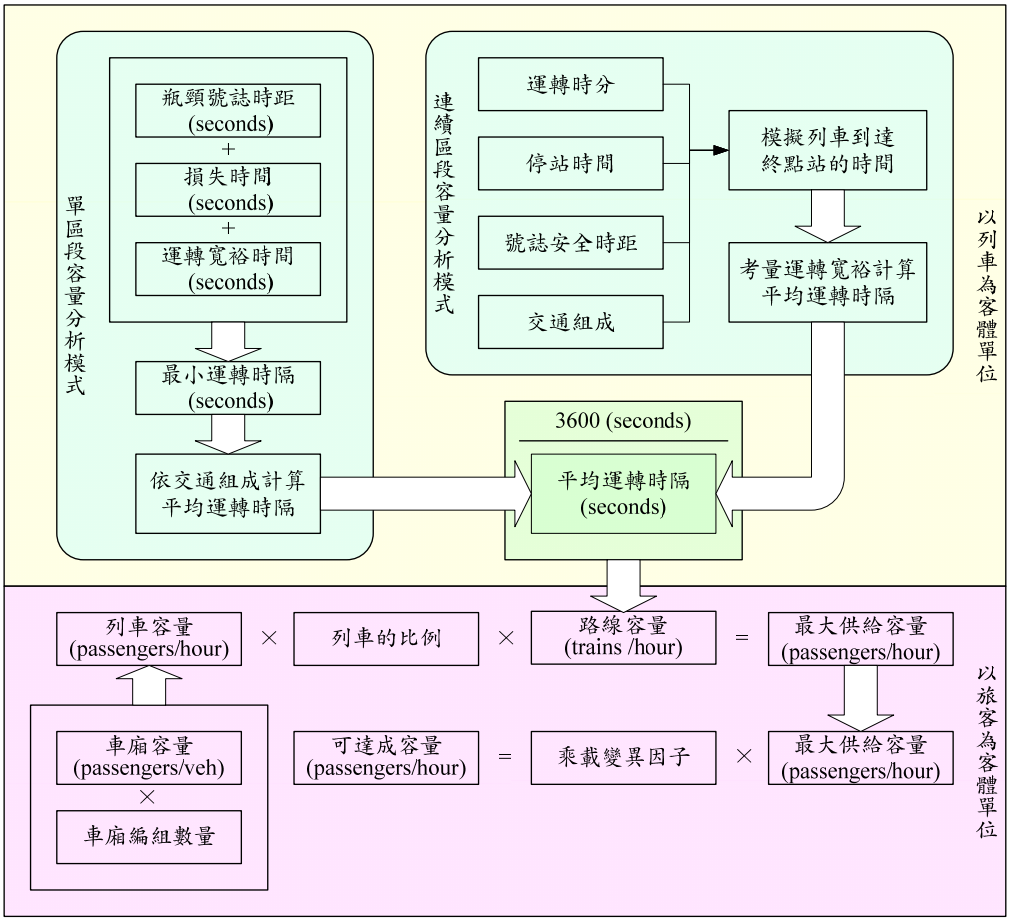


圖 5-1 傳統暨區域鐵路系統之鐵道容量分析架構

進行分析前必須先根據欲分析的路線範圍，蒐集路線條件、交通條件及控制條件等相關資料，如表 5.1 所示。

表 5.1 容量分析所需資料

分類	資料
路線條件	● 車站名稱與站中心里程 ● 車站進站與離站坡度 ● 車站軌道佈設圖（含道岔位置與月臺長度、列車停靠位置等） ● 車站內軌道運用方式 ● 站間運轉方式
交通條件	● 列車名稱與長度 ● 列車最高速度、服務加速度與減速度 ● 列車編組與站、座位數 ● 基準運轉時分 ● 營運停站型態與計畫停站時間 ● 列車間乘載變異因子 ● 單位時間內列車交通組成
控制條件	● 司機員與軔機反應時間 ● 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 ● 解除閉塞與清除號誌時間 ● 排點時單線交會最短號誌時距 ● 注意號誌速限 ● 閉塞區間長度

將上述資料經過整理之後，再依循圖 5-1 的架構逐步計算容量分析所需的各項元素，其程序如圖 5-2。值得注意的是，單區段和連續區段容量不必然都要進行分析，規劃人員可以根據需要來決定，若規劃人員欲分析的是單區段的容量，則步驟 10 及 11 可以略過；若規劃人員欲分析的是連續區段的容量，則步驟 5～9 可以略過。以下說明各個分析步驟。

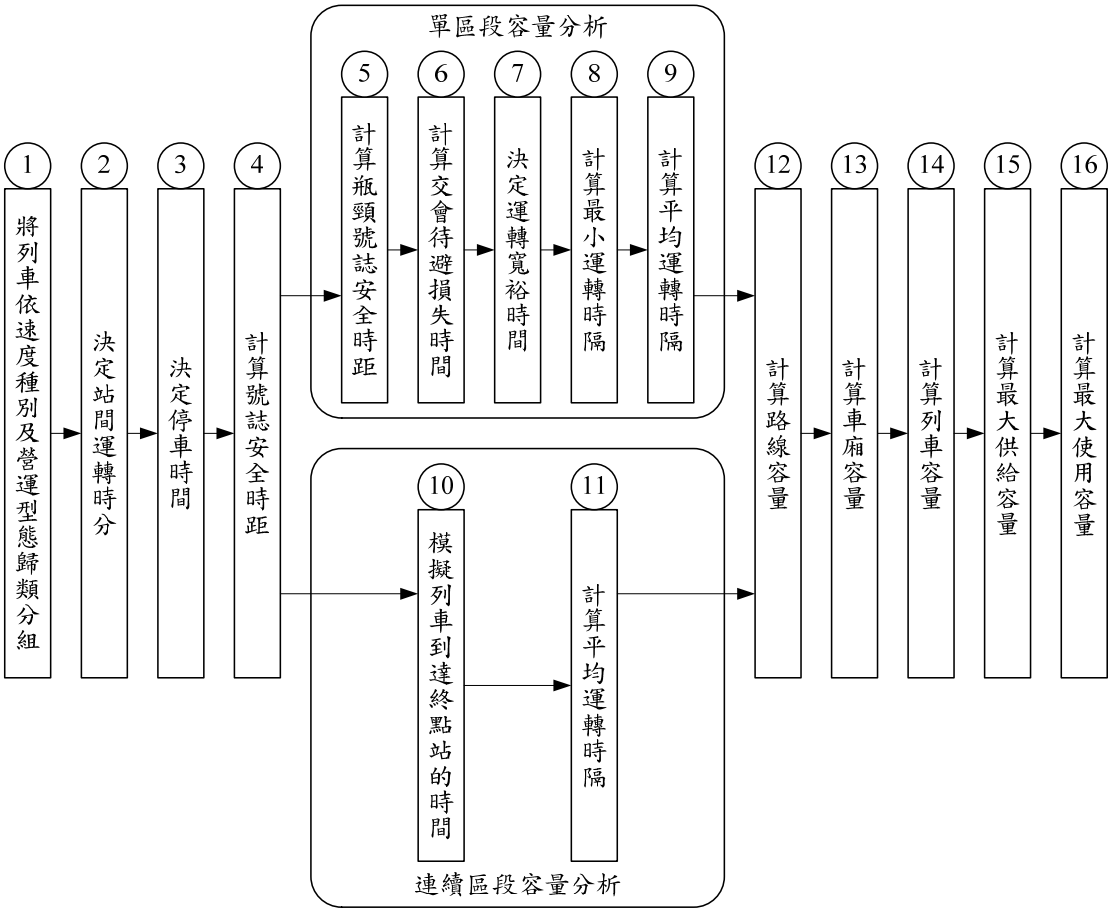


圖 5-2 傳統暨區域鐵路系統鐵道容量整體分析程序

1. 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. 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

過去張恩輔等人[19]曾利用開放資料，透過統計迴歸方法來估算國內臺鐵系統的站間運轉時分，其結果如表 5.2。

表 5.2 臺鐵列車運轉時分估算迴歸式

列車種類	迴歸式
推拉自強	$t = 169.1 + 36.1 \times s$
柴聯自強	$t = 137.9 + 41.3 \times s$
傾斜自強	$t = 98.4 + 34.3 \times s$
莒光號	$t = 116.1 + 46.8 \times s$
區間車	$t = 94.5 + 44.2 \times s$
區間快	$t = 137.9 + 41.3 \times s$

註：t =站間運轉時分（秒），s =站間距離（公里）

3. 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（可參見第 4.2 節）

4. 計算號誌安全時距

對於每一種列車組合，依下列程序計算列車進離各車站的號誌安全時距：

(1) 根據進站或離站時的股道運用方式，從表 5.3 選用合適的公式，計算號誌安全時距，變數說明如表 5.4。

(2) 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 5.5 所示。

表 5.3 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	$L_i+s_x+B_n\le\frac{v_i^2}{2K_a a_i(G_o)}$	$T_{s,D1}=\sqrt{\frac{2(L_i+s_x+B_n)}{K_a a_i(G_o)}}+\frac{v_j}{K_b b_j(G_i)}-\frac{v_y^2}{2K_b b_j(G_i)v_j}+\frac{B_s-s_x}{v_j}+t_o+t_r+t_{d_j}$
	離站時隔	不同股道		$T_{s,D2}=\frac{v_i}{2K_a a_i(G_o)}+\frac{L_i+s_x+B_n+B_{n-1}}{v_i}+t_o+t_r$
反向	交會時隔	不同股道		$T_{s,M}=t_p+t_r-\sqrt{\frac{2(s_t-s_x-L_i)}{K_b b_i(G_i)}}$

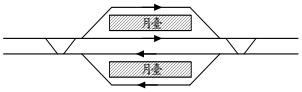
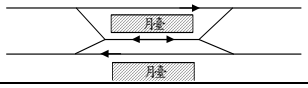
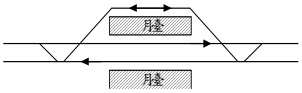
附註：變數說明詳見表 5.4。

表 5.4 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

變數	說明	單位
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，以及號誌變換的整體作業時間	s
t_r	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 5.5 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		$T_{s,D} = T_{s,D1}$	$T_{s,A} = T_{s,A1}$

5. 單區段容量分析：計算瓶頸號誌安全時距

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 4 種情況（請參閱圖 5-3），根據不同交通條件，瓶頸號誌安全時距的計算方式彙整於表 5.6。

(1) 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。

(2) 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。

(3) 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。

(4) 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。

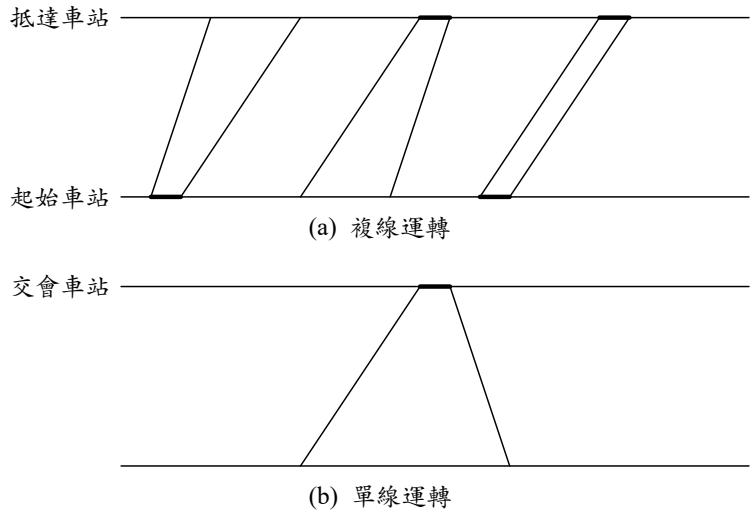


圖 5-3 最小號誌安全時距發生的位置

表 5.6 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 / i j / A	$T_s = \max\left(T_{s,D}^A, T_{s,A}^B - \left(t_j - t_i\right)\right)$
$t_i > t_j$	B / i j / A	$T_s = \max\left(T_{s,D}^A - \left(t_i - t_j\right), T_{s,A}^B\right)$
$t_i = t_j$	B / i j / A	$T_s = \max(T_{s,D}^A, T_{s,A}^B)$
反向交會	B / i j / A	$T_s = \max(T_{s,M}^B, T_{s,\min})$

6. 單區段容量分析：計算交會待避損失時間

(1) 待避損失時間

$$t_l = \frac{1}{2}\left|(t_j - t_i)\right| \tag{5.1}$$

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

$$t_l = \frac{1}{2}(t_i + t_j) \tag{5.2}$$

7. 單區段容量分析：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，例如美國鐵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：

$$t_m = \beta(T_s + t_l) \tag{5.3}$$

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）

8. 單區段容量分析：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：

$$h_{ij} = T_s + t_l + t_m \tag{5.4}$$

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）

9. 單區段容量分析：計算平均運轉時隔

(1) 時刻表已知

$$\bar{h} = \sum h_{ij} \cdot p_{ij} \tag{5.5}$$

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

$$\bar{h} = \sum h_{ij} \cdot p_{ij} = \sum h_{ij} \cdot \frac{n_i \cdot n_j}{n^2} = \frac{1}{n^2} \sum h_{ij} \cdot n_i \cdot n_j \tag{5.6}$$

式中：n_i=第 i 種列車的營運列車數

n_j=第 j 種列車的平均列車數

$n = \sum_i n_i$ =總營運列車數

10. 連續區段容量分析：模擬列車到達終點站的時間

考量運轉時分、停車時間、號誌時距、交通組成等參數，根據 3.4 節之流程，模擬各列車到達終點站的時間。

11. 連續區段容量分析：計算平均運轉時隔

$$\bar{h} = \frac{t_A(m,n) - t_A(m,1)}{n-1} \times (1+\beta) \tag{5.7}$$

式中：$\bar{h}$=平均最小運轉時隔（s）

$t_A(m,1)$=最末區段第 1 列車的進站時間（s）

$t_A(m,n)$=最末區段第 n 列車進站時間（s）

m=區段數

n=模擬列車數

β=運轉寬裕係數

12. 計算路線容量

$$C_l = \frac{3600}{\bar{h}} n_t \tag{5.8}$$

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

13. 計算車廂容量

對於各種車廂，依下式計算其車廂容量。

$$c_v = n_s + (m_s \times A_v) \tag{5.9}$$

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/m^2），通勤用車輛以 5 prs/m^2 為建議值；中、長程用車輛以 4 prs/m^2 為建議值，太魯閣號採用 0 prs/m^2

A_v=車廂可供旅客站立用之空間（m^2/veh）

14. 計算列車容量

對於各種列車，依下式計算其列車容量。

$$c_t = \sum_{i=1}^{n_v} c_{v_i} = \sum_{j=1}^{m_v} (c_{v_j} \times n_{v_j}) \tag{5.10}$$

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

15. 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。

$$C_o = \sum_i C_l c_{t_i} r_i = C_l \sum_i c_{t_i} r_i \ ； \sum_i r_i = 1 \tag{5.11}$$

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（%）

16. 計算最大使用容量

考慮列車的乘載變異因子（其計算方式可參閱第 3.1 節的內容）與最大供給容量，利用式(5.12)計算最大使用容量（可達成容量）。

$$C_u = \rho_d C_o \tag{5.12}$$

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）

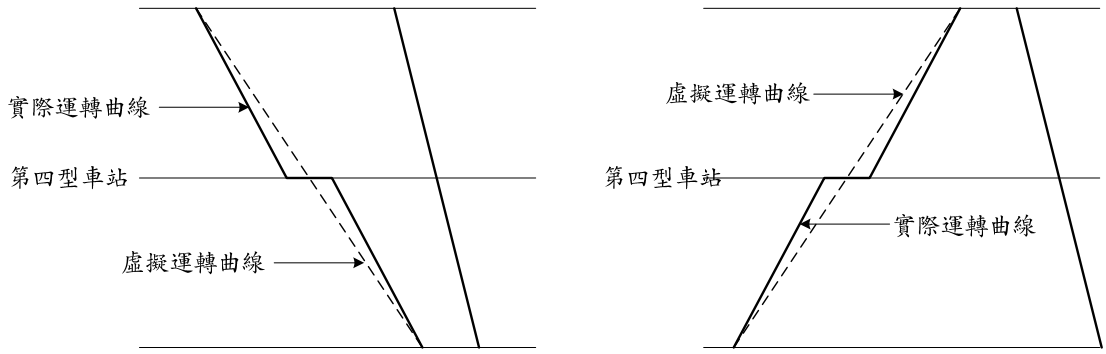
5.2 容量分析應用注意事項

第 5.1 節說明傳統暨區域鐵路的鐵道容量分析架構與步驟，實際應用時，受限於模式的假設條件，許多參數必須先經過處理；另外，

在應用容量分析模式時，也有許多注意事項及應用方式，本節將進一步說明。

5.2.1 路線區段的前處理

進行容量分析前，必須設定路線區段。第二章的模式假設中曾說明，作為鐵道容量分析之路線區段兩側的車站，必須能夠提供列車交會（單線運轉）或待避（複線運轉）的功能。由於臺鐵目前新建許多捷運化車站，這些車站並不具備交會待避的功能，但通勤列車在這些車站均需停車，故在操作容量分析模式時，列車的站間運轉時間必須以前後區間的運轉時間加計停車時間來計算。例如圖 5-4 的路線區段中間包含了一個第四型的車站（站內上下行方向各有一軌），若某些列車（例如通勤列車）在中間站必須停車，則這些列車在該路線區段的運轉時間必須加計在第四型車站停車時間。



(a) 複線運轉　　(a) 單線運轉

圖 5-4 路線區段中間包含第四型車站的運轉時間處理方式

另外，第二章的模式亦假設路線區段內至少有有兩個閉塞區間，在大部分的情形下，臺鐵的路線均能滿足這個條件，但仍有少部分無法滿足的情形。此時，權宜的方式是以鄰近的車站區間來替代閉塞區間。例如圖 5-5 中，假設車站 A 及車站 B 均可提供交會待避的功能，因此車站 A 與車站 B 之間的區段為基本分析單元，但兩站之間的閉塞區間數僅有一個，此時若以車站 A 的觀點而言，列車離站後下兩個閉塞區間 B_{n-1} 須以車站 B 所在的區間來代替；同理，若就車站 B 的觀點而言，其進站前的第二閉塞區間將以車站 A 所在的區間來代替。

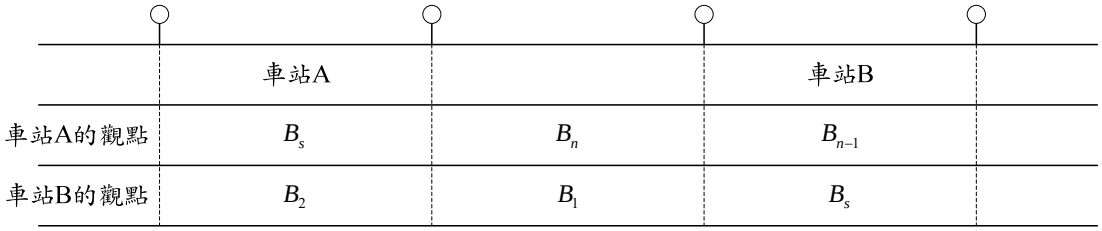


圖 5-5 站間少於二個閉塞區間的處理方式

5.2.2 單區段與連續區段容量模式的比較

「單區段容量模式」與「連續區段容量模式」均能進行路線容量分析作業，綜觀此兩種模式之特性，其差異可整理如表 5.7，若就應用面而言，可從以下幾方面來比較：

表 5.7 單區段容量模式與連續區段容量模式比較表

比較項目	單區段容量模式	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 2.1.4 節	詳見 3.1.3 與 3.2.3 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/離站時距與交會時距
輸出結果	號誌安全時距	連續路段平均時隔
上/下游區段	不考慮上/下游區段之影響	有考慮上/下游區段之影響
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

衡量系統績效：「單區段容量模式」是逐一計算個別區段之容量；而「連續區段容量模式」則可考量上/下游區段的交互影響來計算整條路線之容量。

1. 找尋路線瓶頸：使用「單區段容量模式」計算各區段之容量後，直接進行比較便可得知路線瓶頸所在，具有事半功倍之效；「連

續區段容量模式」則需逐步縮短分析的範圍進行分析比較，不易有效地找出瓶頸所在。

2. 探討系統升級或容量改善：「單區段容量模式」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。

5.2.3 容量利用效率評估

進行鐵道容量分析時，在很多情況下（特別是營運階段），分析的目的不在於計算鐵道容量本身，而是在於容量使用效率的評估。對於傳統暨區域鐵路而言，路線利用率、乘載係數與客座利用率為重要指標。

1. 路線利用率

在實務上，路線利用率為評估鐵道系統使用強度常用的指標。路線利用率為實際列車班次數（已使用容量）與路線容量的比值，即

$$\eta = \frac{f_t}{C_l} = \frac{f_t \cdot \overline{h}}{3600} \tag{5.13}$$

式中：η=路線利用率（decimal）

f_t=列車的服務頻率（TU/h）

$\overline{h}$=平均運轉時隔（s）

上式中，如果C_l為雙向的容量，則f_t為雙向的營運列車數；如果C_l為單向的容量，則f_t為單向的營運列車數。

路線利用率愈高，代表路線容量愈飽和。由於解析模式求出的是時刻表容量，因此理論上路線利用率必須小於或等於 1，但因模式在計算路線容量時有考慮運轉寬裕時間，並初步建議寬裕係數β的數值為 0.30，表示實際運轉時，有可能發生列車流量大於路線容量的情形，但此時班表的可靠度會降低，而且其中一班列車誤點即可能產生連鎖反應，故營運單位可能必須設法改善以提昇路線容量。倘若計算路線容量時，運轉寬裕係數β的數值設為 0，則不可能發生路線利用率大於

1 的情形，而此時即使利用率小於 1 僅表示容量還足夠，不代表時刻表的品質很好。當路線利用率接近於 1 時，時刻表的品質可能會下降，且表示已經沒有剩餘容量的可以排班列車，這時候同樣必須設法提高容量。

路線利用率與班表可靠度亦存在取捨（Trade-Off）的關係，通常隨著路線利用率的提高，班表可靠度會逐漸下降，比較容易發生列車延誤的情況，實務上認為當路線使用率高於 80%時，將造成班表穩定度下降；若超過 90%，將成為營運之重大瓶頸。從基礎篇第七章的分析可知，列車延誤隨著列車流量（或路線利用率）的增加而呈現非線性的增加，但其確切的關係為何，與系統設備及運轉方式有很大的關聯。過去針對臺鐵延誤與路線利用率的研究相當欠缺，故仍有待進一步的研究。

2. 乘載係數與客座利用率

乘載係數是實際乘客流與服務容量的比值，而客座利用率則為實際搭乘的旅客數與供給的座位數的比值。前者較適合於以站為主的短程運輸的分析，而後者則適合於以座為主的長程運輸的分析。由於傳統暨區域鐵路的每一次列車的行駛區間及距離可能不盡相同，因此計算時通常會導入距離的觀念，而以平均值的方式來計算，如式(5.14)所示。

$$\overline{\alpha} = \frac{\sum_l p_l d_l}{\sum_l C_{t,l} d_l} = \frac{\sum_i d_i}{\sum_k c_{t,k} l_k} \tag{5.14}$$

式中：$\overline{\alpha}$=平均乘載係數

p_l=路段l的旅客量（prs/h）

d_l=路段l的區間長度（km）

$C_{t,l}$=路段l的服務容量（sps/h）

d_i=分析時間範圍內第i位旅客的搭乘距離（km）

$c_{t,k}$=第 k 列車的容量，計算乘載率時的單位為（sps/TU），而計算客座利用率時則為（seats/TU）

l_k=第 k 列車營運路線長度（km）

值得注意的是，臺鐵的對號快車（例如自強號及莒光號）允許站位，因此以式(5.14)計算平均客座利用率時，分子是包括站立位旅客的延人公里，而分母則為客座公里。此總計算方式對於重要節慶的列車，有可能發生客座利用率大於一的情形。另外，臺鐵非對號列車原以乘位公里為分母來計算客座利用率，民國 89 年後改以客座公里來計算，因此平均客座利用率會大幅提高。

5.2.4 列車服務班距規劃

鐵道容量分析的其中一種應用係用來規劃新的路線或改善既有的路線，規劃時會先根據系統的營運目標以及社會經濟的發展，預測目標年的運量，而容量分析的目的在於規劃滿足營運需求的設施水準及數量。分析時通常是以最大乘載區間的運量作為分析的對象，而系統的規劃方案必須足以滿足最大乘載區間的需求。

旅客流量、列車服務頻率與列車容量之間存在下列關係：

$$P_{\max} = \rho_d C_t = \rho_d f_t c_t \tag{5.15}$$

式中：$P_{\max}$=目標年最大乘載區間的旅客流量（prs/h）

ρ_d=乘載變異因子

C_t=表訂服務容量（sps/h）

f_t=表訂服務頻率（TU/h）

c_t=列車容量（sps/TU）

而服務班距與服務頻率互為倒數關係，即

$$h_t = \frac{3600}{f_t} \tag{5.16}$$

式中：h_t=列車的營運班距（s）

利用式(5.15)及(5.16)，配合相關參數，即可計算出列車的服務班距，計算步驟說明如下：

1. 決定乘載水準

乘載水準（立位密度）影響的是列車的容量以及服務品質，採用較高的數值代表每一列車可以載運的人數愈多，但因為比較擁擠，故服務品質會較差。對於不販售站票的列車（例如太魯閣號），由於要求高品質的服務，因此計算車廂容量時必須假設沒有站立的旅客，而對於非字型座位安排且販售站票的列車（例如自強號），除了座位之外，車廂的其他空間亦可提供旅客站立。站位的密度與乘客的體型以及車廂的擁擠程度有關，在擁擠的情形下通常東方國家採用 7~8 prs/m^2，但設計上為提供一定的舒適程度，會採用較低的數值。根據本所研究[10]，臺鐵對號列車（通常為非字型座位安排），立位密度建議採用 4 sps/m^2，主要是考量非字型座位安排的中央走道的空間利用效率較差的緣故。至於一字型配置（例如通勤列車），由於以短程通勤為主，故可設定較高的數值（5 sps/m^2）。當然，如果要求較高的服務水準，立位的乘載密度可以選定較小的數值。

2. 計算車廂容量

根據座立位的分配，利用式(5.9)計算每一個車廂的容量。

3. 計算列車容量

根據列車的編組方式，利用式(5.10)計算列車的容量。

4. 計算列車服務頻率

式(5.15)可以轉換成為式(5.17)，利用式(5.17)可以計算出目標年列車的服務頻率為

$$f_t = \frac{P_{\max}}{\rho_d c_t} \tag{5.17}$$

5. 計算列車的服務班距

利用式(5.18)計算列車的服務班距。

$$h_t = \frac{3600}{f_t} = \frac{3600\rho_d c_t}{P_{\max}} \tag{5.18}$$

由於服務班距的大小攸關系統的服務水準，若利用式(5.18)計算出來的列車服務班距過長時，有時候為了提高服務水準，可能會縮短班距，此時可利用下式反算列車容量，重新調整乘載水準以及列車編組長度，最後再反覆計算列車的服務班距。

$$c_t = \frac{P_{\max}}{\rho_d f_t} = \frac{P_{\max} h_e}{3600\rho_d} \tag{5.19}$$

式中：h_e=期望的列車服務班距（s）

5.2.5 設計路線容量的決定

如第 5.2.3 節所述，若設計路線容量亦為 f_t，表示目標年的路線利用率等於 1，則班表的可靠度會下降。另外，運量預測不可能完全精確，因此設計上必須保留一些彈性。假設η為目標年的計畫路線利用率，則設計路線容量可利用下式來計算：

$$C_l = \frac{f_t}{\eta} = \frac{P_{\max}}{\eta\rho_d c_t} \tag{5.20}$$

而目標年的設計班距則為：

$$h_{l,\min} = \frac{3600}{C_l} = \frac{3600\eta\rho_d c_t}{P_{\max}} \tag{5.21}$$

要達到設計班距的水準，必須綜合路線、列車、號誌系統等規劃方案，利用第 5.1 節的容量分析架構，評估方案的平均運轉時隔是否可以達到$h_{l,\min}$的水準，方能確定方案的內容。

第六章 列車服務可靠度分析模式

鐵路運輸的列車服務可靠度是影響服務品質重要的因素之一，而從等候理論可知列車服務可靠度受到鐵道容量影響，當列車流量趨近於鐵道容量時，列車平均延滯時間會趨近於無窮大（詳見基礎篇 7.2.2 節），本章將依序介紹單區段和連續區段之列車服務可靠度分析模式。

6.1 單區段可靠度分析模擬模式

本節首先介紹模式架構與整體流程，接著再分別說明列車排班延滯和運轉延滯的模擬細節。

6.1.1 模式架構

本模式考量列車流量、車種組成、站間運轉時間，以及號誌時距等因素來模擬列車延滯情形，進而計算列車的平均延滯時間，其架構如圖 6-1。

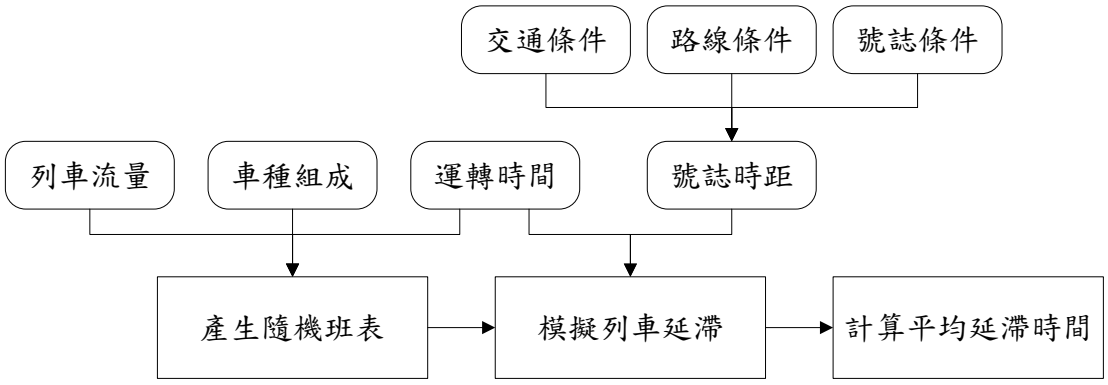


圖 6-1 列車服務可靠度模擬模式架構

計算延滯時間必須先要有所依據，在真實世界中，列車依照一既有班表來運行，而列車的延滯時間則為列車實際到達時間和班表規定到達時間相差的結果，但在設計規劃初期難以確定班表，即便於營運

階段，要製作一份用來進行可靠度分析的班表也並非易事，因此為了在應用上更具彈性，本模式採用隨機班表來計算延滯。

該隨機班表的產生並非完全無依據，而是根據期望的列車流量、車種組成比例，以及站間運轉時間等資料來產生。首先，以車種比例作為各車種出現的機率，再來以期望列車流量透過指數分配（Exponential Distribution）獲得各列車開車時間的時間間距，因為指數分配是專門用來表示獨立隨機事件發生的時間間隔，且其值介於 0 與∞之間，適合描述列車班距的物理性質，所以用於產生隨機班表中的列車發車班距。之後，依列車發車班距計算各續行列車的預計開車時刻，並依續行列車車種的站間運轉時間來計算預計到達時刻，如圖 6-2，如此逐一產生各列車的預計到開時間，最後可得到一隨機班表。

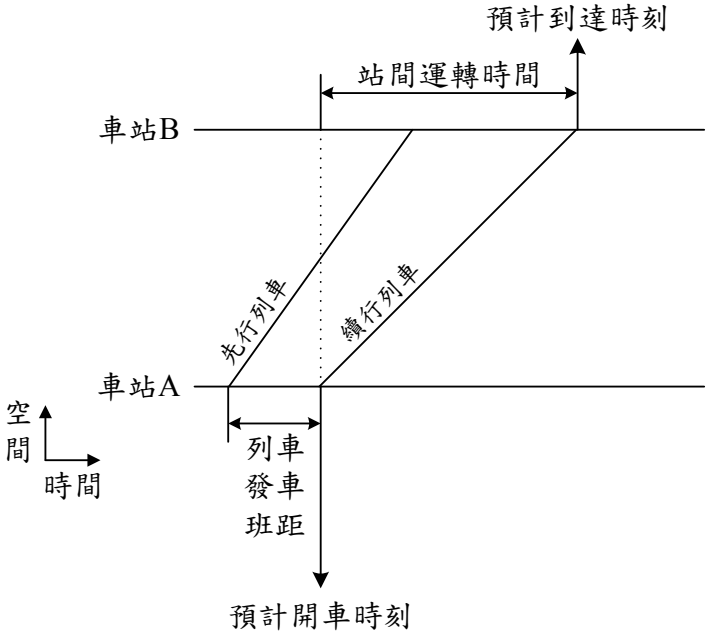


圖 6-2 產生列車的預計到開時刻

在有了隨機班表之後，接著便考量列車運轉時間和號誌安全時距等兩項參數來模擬列車的延滯情形，其中對於此兩項參數，由於目前在統計上尚未有適合的分配可描述此兩項因素的機率分佈型態，且為了減少影響模擬結果的變因，此兩參數皆採用確定性的數值。其中號誌時距受到路線、交通和號誌等條件的影響，可由第二章中 2.2 節所介紹的模式求得。

在模擬列車延滯方面，在基礎篇 7.2.2 節提及延滯可分為「列車排班時交會待避延誤」和「列車實際運行的延滯」兩類，在本模式中則是以「排班延滯」和「運轉延滯」簡稱之，兩者相異處如表 6.1 所示。進行「排班延滯」模擬時，列車於站間運行時不可進行趕點，且在號誌安全時距方面需考量寬裕，而此寬裕便是為了在實際運行時，能提供調度的餘裕，因此進行「運轉延滯」模擬時，號誌安全時距便不含寬裕，且列車可進行趕點，有關此「排班延滯」和「運轉延滯」此兩類型之模擬細節，則分別介紹於後續小節。

表 6.1 排班延滯模式和運轉延滯模式相異處

相異處 / 模式類型	號誌安全時距	站間運轉時間
排班延滯	含寬裕	不可改變
運轉延滯	不含寬裕	可改變

6.1.2 整體模擬流程

綜整臺鐵列車服務可靠度模擬模式，其模擬流程如圖 6-3 所示，以下分別說明之：

1. 依車種比例以下式計算各車種出現機率，根據此機率隨機產生第一列車的車種。

$$P_i = \frac{n_i}{\sum n_i} \tag{6.1}$$

式中：P_i=第 i 種車種的出現機率

n_i=車種組成中第 i 種車種所占的比例

2. 同流程 1 之方法決定續行列車的車種。
3. 根據期望列車流量，透過下式可產生符合指數分配的列車發車班距，以決定先續行列車之間開車的時間間距。

$$t_x = \frac{-1}{f_e}\ln(1-R) \tag{6.2}$$

式中：t_x=列車距離其前一列車開車時間的時間間距（s）

f_e=期望的列車流量（TU/s）

R=在 0～1 之間呈均勻分配的隨機亂數

4. 依續行列車車種的站間運轉時間來計算預計到達時刻。
5. 計算續行列車的排班延滯時間或運轉延滯時間，其細節介紹於後續章節。
6. 在模擬未達足夠的列車數之前，則重複流程 2 至流程 5，繼續模擬下一列續行列車，直到模擬列車數足夠。
7. 計算列車平均延滯時間。

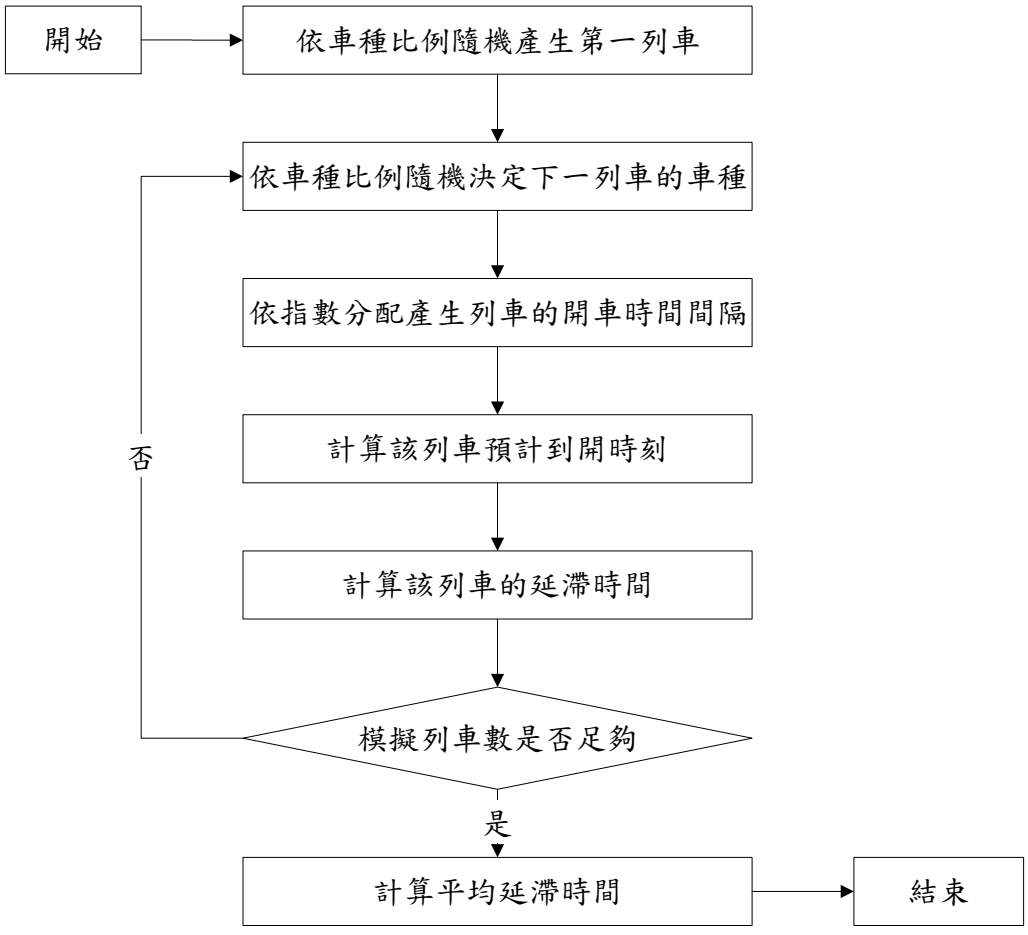


圖 6-3 列車服務可靠度模擬模式流程圖

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

依圖 6-3 的流程完成模擬模式的運算，便能得到每列車的平均延滯時間，但由於在模擬的過程中使用了隨機亂數，為了減少取亂數所造成的偏差，可進一步使用不同的亂數種子來計算，每次依上述模擬流程求得平均延滯時間，之後將各次計算結果取平均，便可獲得較準確之結果。

有關「排班延滯」和「運轉延滯」兩者的模擬細節，則分別在第 6.1.3 節和第 6.1.4 節詳細說明之。

6.1.3 模擬列車排班延滯

由於安全上的考量，以及為使列車運行順暢，排班時列車與列車之間必須抱持足夠的時距，若有任兩列車時距不足則必須將之排除，在排除過程中對列車造成的延滯即為排班延滯。欲探討這樣的延滯，主要在釐清延滯對列車之間造成的影響，因此在本模式中對於列車排班延滯的模擬流程如下：

1. 首先根據先續行列車的車種組合，計算其含寬裕的進站與離站號誌時距，以便用來判斷兩列車是否保持足夠的時距，如圖 6-4。

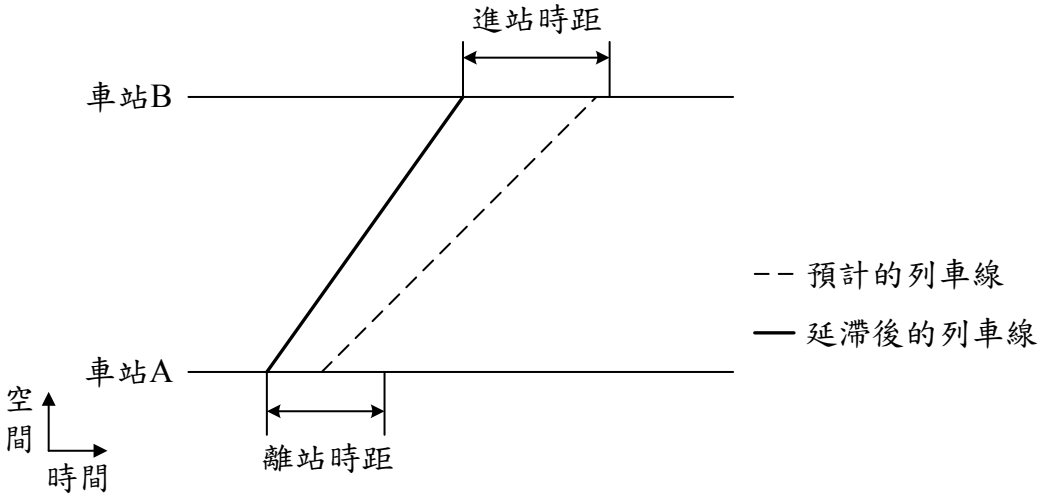


圖 6-4 判斷時距是否足夠

2. 在不變動列車站間運轉時間的前提下，將續行列車的開車與到達時刻一同延後，至到同時滿足離站和進站時距為止，所延後的總時間則為該列車的排班延滯時間，如圖 6-5。

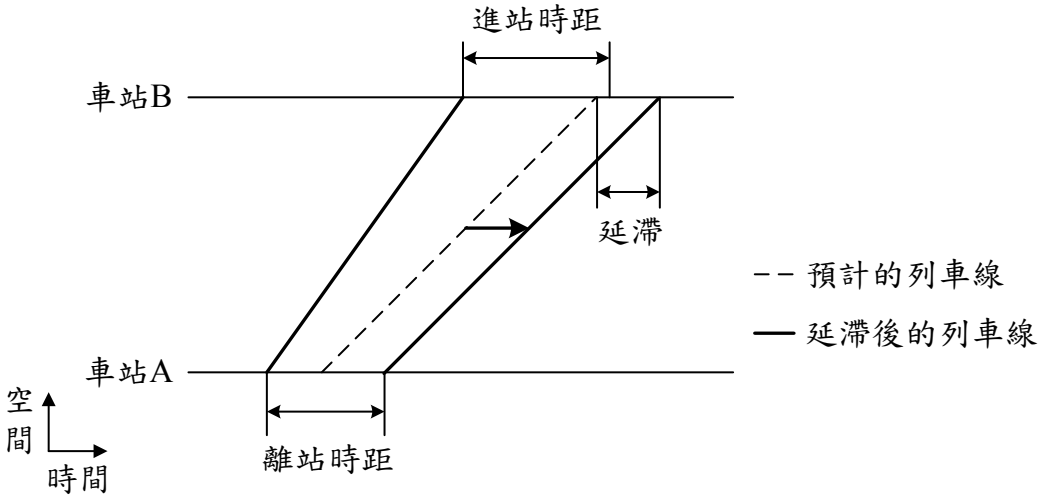


圖 6-5 計算列車排班延滯時間

按照上述流程，在排班延滯模式中，列車需同時在出發站和到達站保持離站時距和進站時距，因此第 k 輛列車延滯時間可由下列數學式來計算

$$w_k = \max\left(w_{D,k}, w_{A,k}\right) \tag{6.3}$$

式中：w_k=第 k 輛列車的排班延滯時間（s）

$w_{D,k}$=第 k 輛列車於出發站離站時的排班延滯時間（s）

$w_{A,k}$=第 k 輛列車於到達站進站時的排班延滯時間（s）

其中有關第 k 輛列車於出發站離站時的延滯時間之計算，如圖 6-6，列車於離站時需和先行列車保持足夠的離站時距，若先行列車延誤，則續行列車亦會跟著延誤，此外，由於列車不能提早離站，因此 $w_{D,k}$ 最小為 0，其計算公式如下：

$$w_{D,k} = \max\left(w_{k-1} + (1+\beta)\cdot T_{s,D}(\tau_{k-1},\tau_k) - t_{x,k}, 0\right) \tag{6.4}$$

式中：w_{k-1}=第 $k-1$ 輛列車的排班延滯時間（s）

β=寬裕時間係數

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

τ_{k-1}=第 $k-1$ 輛列車的車種

τ_k=第 k 輛列車的車種

$t_{x,k}$=第 k 輛列車距離其前一列車開車時間的時間間距（s）

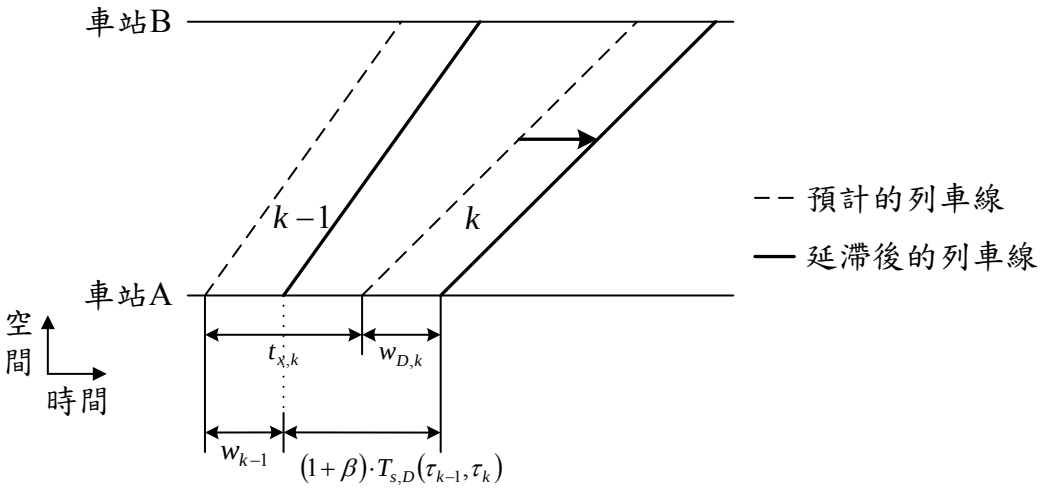


圖 6-6 列車於出發站離站時的排班延滯

而第 k 輛列車於到達站進站時的延滯時間之計算，如圖 6-7，除了先行列車的延誤時間以及進站時距，還要考量先續行列車於站間運行

的速差，另外和在出發站的情況一樣，列車不能提早進站，故$w_{A,k}$最小亦為 0，計算公式如下

$$w_{A,k}=\max\left(w_{k-1}+(1+\beta)\cdot T_{s.A}(\tau_{k-1},\tau_k)+t_{\tau_{k-1}}-t_{x,k}-t_{\tau_k},0\right) \tag{6.5}$$

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

t_i=第 i 種車種的站間基準運轉時間（s）

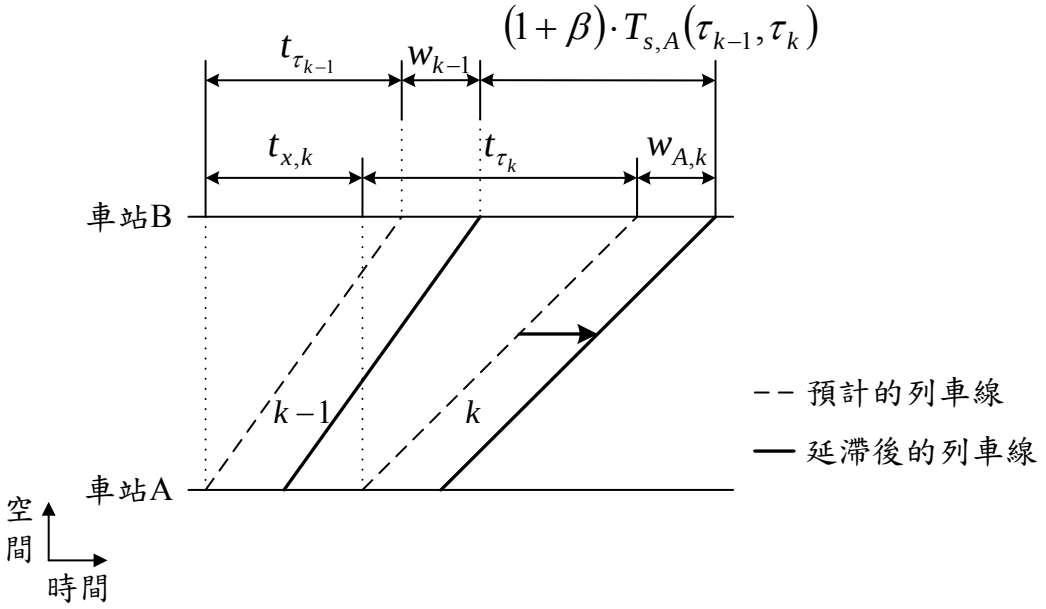


圖 6-7 第 k 輛列車於到達站進站時的排班延滯

6.1.4 模擬列車運轉延滯

列車在實際運行時，司機員是依照號誌的指示駕駛，其發生延滯的情形和排班時不同，在本模式中對於列車運轉延滯的模擬流程如下：

1. 和排班延滯的流程 1 一樣，判斷號誌時距是否足夠，如圖 6-4，但進站與離站號誌時距的計算不包含寬裕。
2. 若離站時距不足，列車在號誌系統允許下仍可從車站 A 出發，因此僅需將開車時刻延後到足夠為止，而在計算其到達時刻時，則可以在符合下列條件下進行趕點：
   (1) 趕點的運轉時間不能小於最小運轉時間（如圖 6-8）
   (2) 趕點後的到達時刻不能比預計到達時刻還早（如圖 6-9）

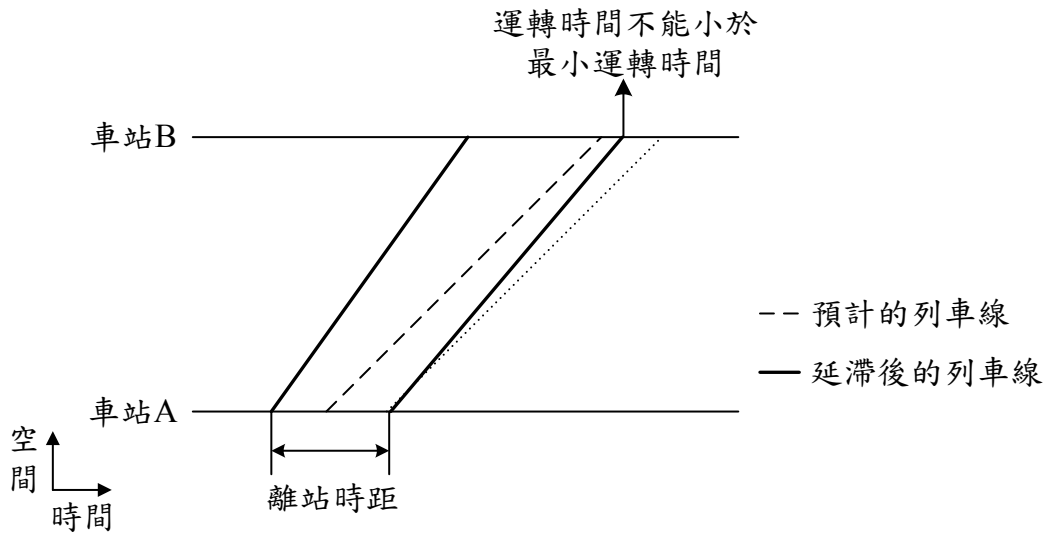


圖 6-8 列車趕點的運轉時間不能小於最小運轉時間

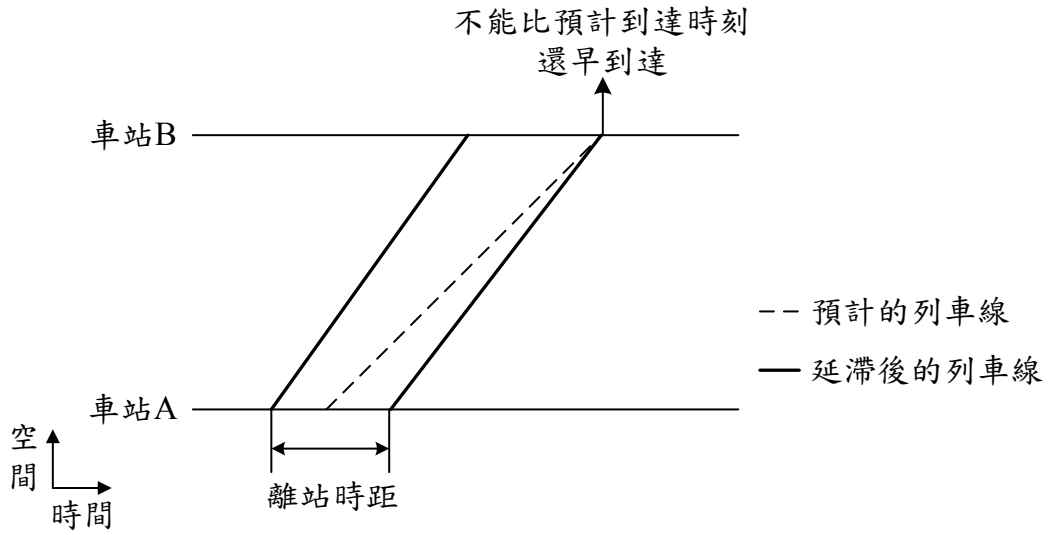


圖 6-9 列車趕點不能比預計到達時刻還早到達

3. 若上述流程中所計算出續行列車的到達時刻會導致進站時距不足，則須將其延後至到滿足時距為止。最後所計算出的到達時刻和預計到達時刻相差，即為該列車的運轉延滯時間，如圖 6-10。

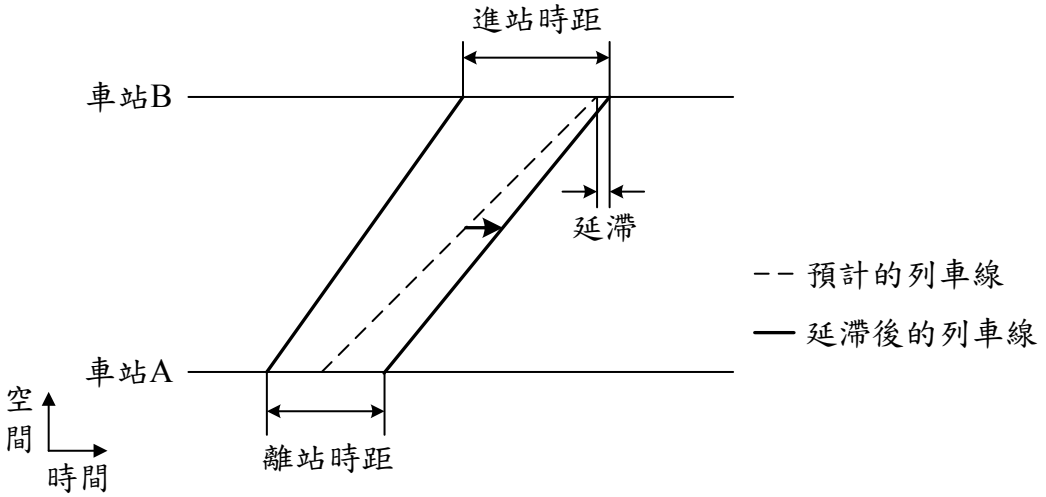


圖 6-10 計算列車運轉延滯時間

根據模擬列車運轉延滯的流程，第 k 輛列車在出發站的延滯時間之計算如圖 6-11，可用下式表示：

$$w'_{D,k} = \max\left(w'_{D,k-1} + T_{s,D}(\tau_k, \tau_{k-1}) - t_{x,k}, 0\right) \tag{6.6}$$

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

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

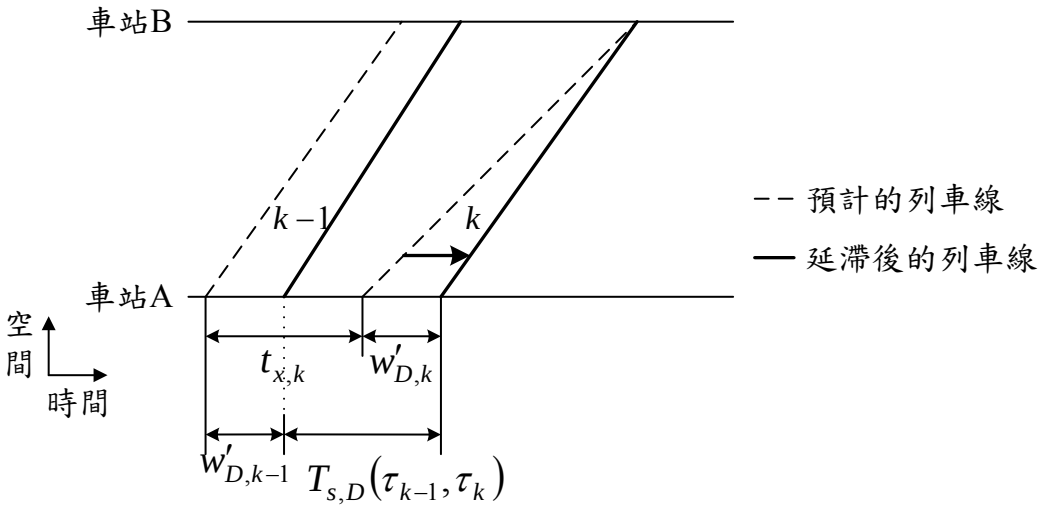


圖 6-11 第 k 輛列車於出發站離站時的運轉延滯

而第 k 輛列車的運轉延滯時間即是於到達站的延滯時間，需同時考量趕點（如圖 6-12）以及保持進站時距（如圖 6-13），此外，列車不能提早進站，所以運轉延滯時間為兩者取其大者或者為 0，因此計算公式如下：

$$w'_k = w'_{A,k} = \max \begin{pmatrix} w'_{D,k-1} + T_{s,D}(\tau_k, \tau_{k-1}) + t_{\tau_k,\min} - t_{x,k} - t_{\tau_k}, \\ w'_{A,k-1} + T_{s,A}(\tau_k, \tau_{k-1}) + t_{\tau_{k-1}} - t_{x,k} - t_{\tau_k}, \\ 0 \end{pmatrix} \tag{6.7}$$

式中：w'_k＝第 k 輛列車的運轉延滯時間（s）

$w'_{A,k}$＝第 k 輛列車於到達站進站時的運轉延滯時間（s）

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

$t_{i,\min}$＝第 i 種車種的站間最小運轉時間（s）

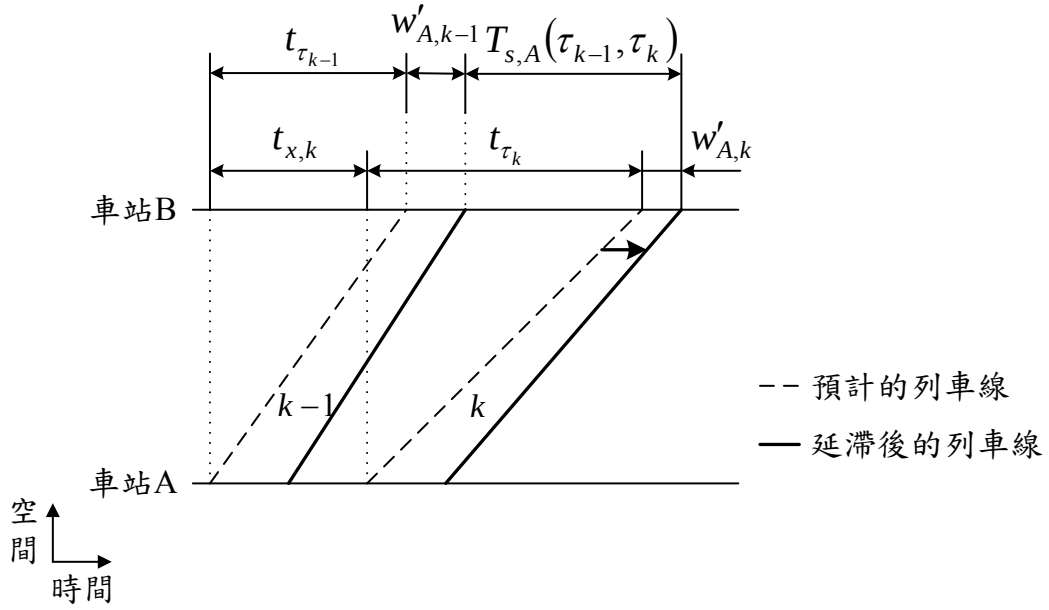


圖 6-12 第 k 輛列車進行趕點於到達站進站時的運轉延滯

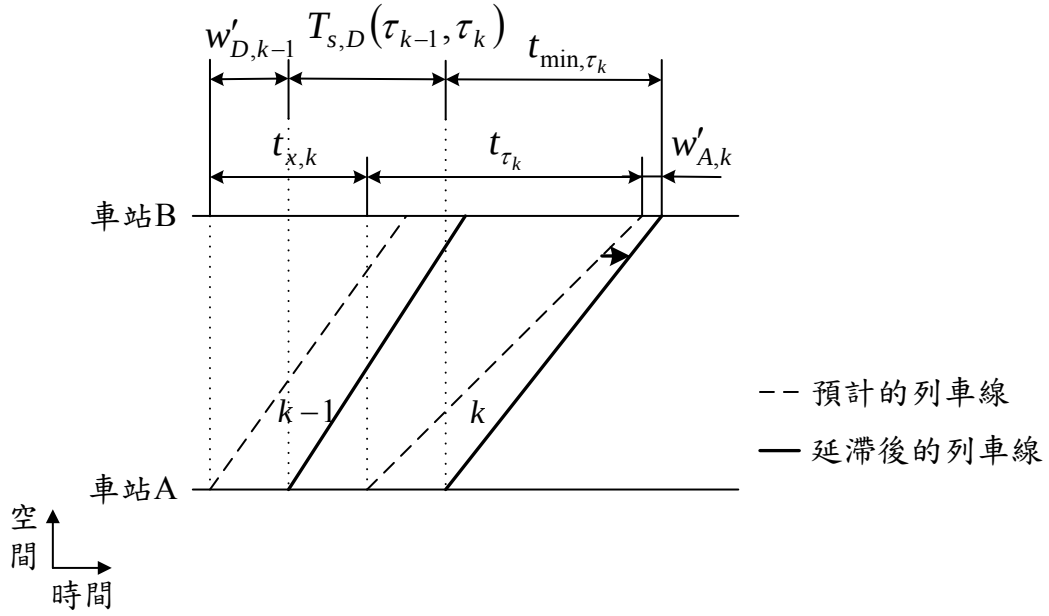


圖 6-13 第 k 輛列車於到達站保持進站時距的運轉延滯

6.2 連續區段可靠度分析模擬模式

由於連續區段可靠度分析模擬模式更為複雜，因此先在 6.2.1 節中提出基本概念，接著於 6.2.2 節和 6.2.3 節中分別介紹模式架構與整體流程，最後在 6.2.4 節中再詳細說明模擬列車延滯的細節。

6.2.1 基本概念

連續區段列車服務可靠度模式係以列車延滯時間作為列車服務可靠度的指標，探討在一定的設備及運轉條件下，列車於一連續區段中運行的可靠度，意即當列車從一連續區段的始發站發出後，依循列車的基本運轉規則，並受到系統中各項條件的影響，最後探討列車到達終點站時的延誤情形，如圖 6-14 所示。

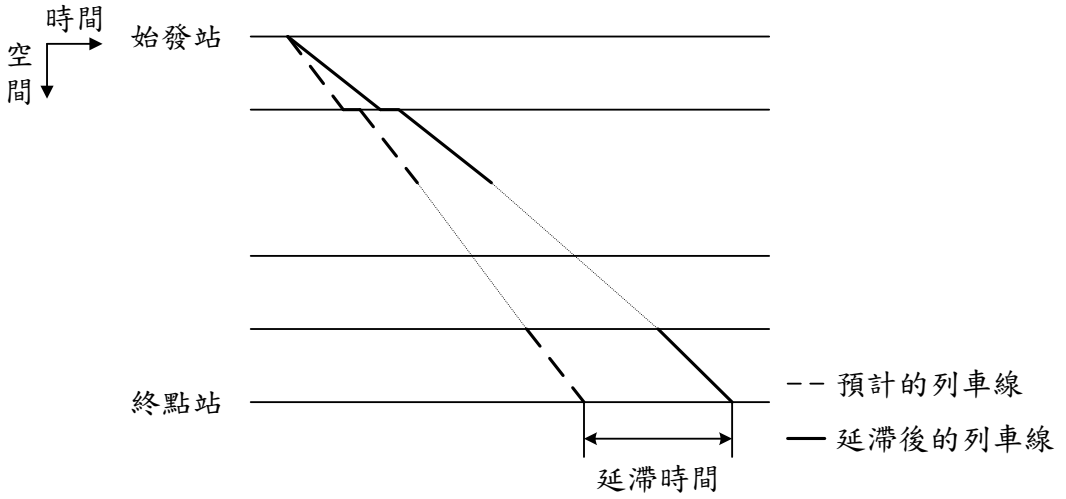


圖 6-14 連續區段列車服務可靠度模擬模式的基本概念

6.2.2 模式架構

根據上述的概念，本模式考量了列車流量、交通組成、運轉時間、停站時間，以及號誌時距等因素來探討列車服務的可靠度，其架構如圖 6-15。為了提高應用的彈性，本模式採用交通組成與列車流量的設定，隨機地產生列車進入連續區段中，而不使用可行班表。在沒有班表的情況下，本模式以期望列車流量透過指數分配（Exponential Distribution）來決定各列車開車時間的時間間距，指數分配是專門用來表示獨立隨機事件發生的時間間隔，且其值介於 0 與∞之間，適合用來描述列車班距的物理性質。

在「列車期望到達時間」方面，係以列車不受到其他列車影響的前提下，根據該列車車種的站間運轉時間與計畫停站時間，來計算預計到達終點站時間；而在「列車模擬到達時間」方面，則是考量列車基本運轉規則、系統中其他列車以及各項條件的影響，透過模擬的方式來獲得每列車到達終點站的時間。最後再根據「列車模擬到達時間」與「列車期望到達時間」來計算列車平均延滯時間。

在基礎篇 7.2.2 節中曾提及延滯可分為「列車排班時交會待避延誤」和「列車實際運行的延滯」兩類，在本模式中亦可針對此兩類延滯進行分析，分別以「排班延滯」和「運轉延滯」簡稱之。在進行模

擬排班延滯時，假設列車運轉時間不改變，停站時間不可小於計畫停站時間，且號誌時距需含寬裕時間。在進行模擬運轉延滯時，延誤的列車可進行趕點，但其運轉時間不可小於最小運轉時間，停站時間也不可小於最小停站時間，由於實際上司機會根據預計的時刻來開行列車，因此列車亦不可比預計的時刻還早到站或離站；此外，列車間保持的號誌時距不含寬裕時間。

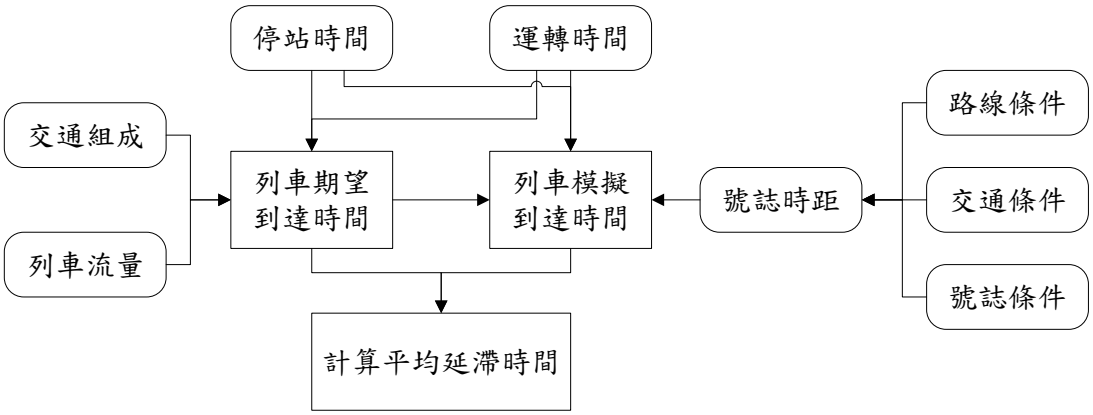


圖 6-15 連續區段列車服務可靠度模擬模式架構

6.2.3 整體模擬流程

本模式的整體流程如圖 6-16，各項流程分別說明如下。

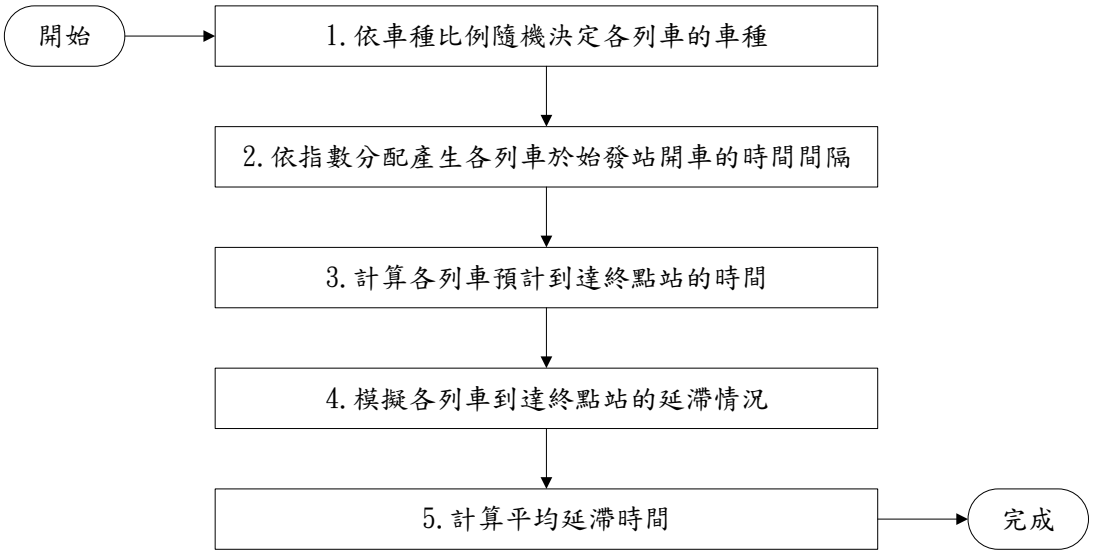


圖 6-16 連續區段列車服務可靠度模式演算流程圖

1. 依車種比例以下式計算各車種出現機率，根據此機率隨機產生每一列車的車種。

$$P_\tau = \frac{n_\tau}{\sum n_\tau} \tag{6.8}$$

式中：P_τ=第τ種車種的出現機率

n_τ=交通組成中第τ種車種所占的比例

2. 在期望列車流量f_e下，列車於始發站開車的時間間距t_x之累積分布函數（Cumulative Distribution Function）為：

$$F(t_x) = 1 - e^{-f_e t_x} \tag{6.9}$$

式中：t_x=列車距離其前一列車開車時間的時間間距

f_e=期望的列車流量

透過電腦進行模擬運算時，需將式(6.9)透過反向轉換法（Inverse Transform）得到式(6.10)，然後利用電腦產生 0～1 均勻分配的隨機亂數R，便可獲得符合指數分配的列車開車時間間距。

$$t_x = \frac{-1}{f_e}\ln(1-R) \tag{6.10}$$

式中：R=在 0～1 之間呈均勻分配的隨機亂數

而第i列車於始發站的出發時間為

$$t_{d,i} = t_{d,i-1} + t_{x,i} \tag{6.11}$$

式中：$t_{d,i}$=第i列車於始發站的出發時間

t_x=第i列車距離第$i-1$列車開車時間的時間間距

3. 根據列車車種的各站間基準運轉時間與各站停站時間，以下式計算列車預計到達終點站的時間。

$$t_{a,i} = t_{d,i} + \sum_{l=1}^{L} t_{r,l}(\tau_i) + \sum_{j=2}^{M-1} t_{w,j}(\tau_i) \tag{6.12}$$

式中：$t_{a,i}$=第 i 列車預計到達終點站的時間

τ_i=第 i 列車的車種

$t_{r,l}(\tau)$=第 τ 種車種於第 l 段站間的基準運轉時間

$t_{w,j}(\tau)$=第 τ 種車種於車站 j 的計畫停站時間

L=連續區段中的站間數

$M = L+1$，連續區段中的車站數

4. 模擬列車延滯的步驟較為複雜，故於下節再作詳細介紹。

5. 計算列車平均延滯時間，公式為

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^{N} d_i}{N} \tag{6.13}$$

式中：$\bar{d}$=平均延滯時間

d_i=第 i 列車到達終點站的延滯時間

6.2.4 模擬列車延滯

圖 6-16 中「模擬各列車到達終點站延滯情況」步驟的子流程如圖 6-17，根據每列車次於始發站的出發時間 $t_{d,i}$ 作為其進入連續區段的時間，在列車進入系統後，則是逐區段調整該列車於各車站的到開時間直到終點站為止。由於每當一列車進入系統後，有可能會影響已經在系統內其他列車的到開時間，因此在所有列車都完成模擬後，再以下式計算各列車的延滯時間。

$$d_i = t'_{a,i} - t_{a,i} \tag{6.14}$$

式中：$t'_{a,i}$=模擬第 i 列車到達終點站的時間

$t_{a,i}$=第 i 列車預計到達終點站的時間

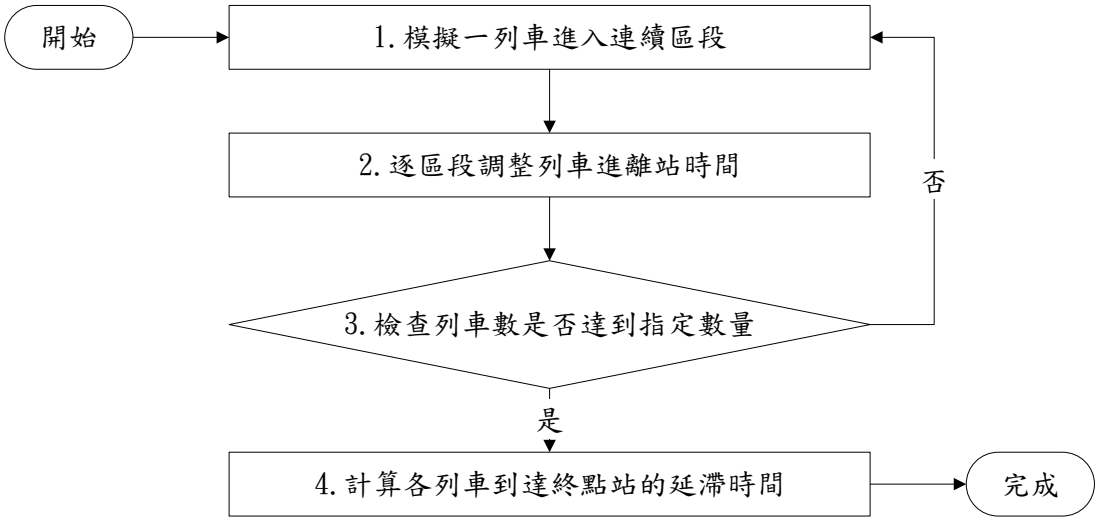


圖 6-17 模擬列車延滯流程圖

在逐區段調整列車到開時間的步驟中，列車仍然要隨時遵守基本運轉規則，因此本模式採用與連續區段路線容量分析模式相同的處理流程，如圖 3-5 所示，但根據模擬「排班延滯」和「運轉延滯」的不同，兩者在「檢核程序」與「處理列車連鎖推擠」的內容有所不同，相關細節說明於 6.2.4.1 和 6.2.4.2 節。

6.2.4.1 排班延滯

表 6.2 為進行模擬排班延滯時的「檢核程序」內容，其中進站和離站號誌時距包含寬裕時間，當列車發生待避、號誌時距不足、站間追越或站內股道數不足時,則按照調整方式來調整列車的到離站時間。在模擬排班延滯的情況下，調整到離站時間與處理連鎖推擠時，皆需保持各列車站間運轉時間不變，因此「處理列車連鎖推擠」的方式與連續區段路線容量分析模式相同，其流程如圖 3-10。

表 6.2 模擬排班延滯的各項檢核與調整方式彙整表

項目	檢核內容	調整方式
檢核程序 I	先行列車是否待避[1]	後移先行列車離站時間
	離站號誌時距是否不足[2]	後移第 i 列車離站時間
	是否有站間追越現象	後移第 i 列車離站時間
檢核程序 II	離站號誌時距是否不足[2]	後移續行列車離站時間
	是否有站間追越現象	後移續行列車離站時間
檢核程序 III	進站號誌時距是否不足[2]	後移第 i 列車到站時間
	站內股道數是否不足	後移第 i 列車到站時間
檢核程序 IV	進站號誌時距是否不足[2]	後移續行列車到站時間
	站內股道數是否不足	後移續行列車到站時間

註解 1：待避的條件與 3.1.2.2 節所述的條件相同。

註解 2：模擬排班延滯時的進站/離站號誌時距包含寬裕時間。

圖 6-18 為一個包含四個車站與兩列車之範例，若依圖 6-17 之流程，進行模擬列車排班延滯後的結果如圖 6-19 所示，將之與預計的列車線比較，便可計算各列車到達車站 D 的延滯時間。此模擬流程與連續區段容量模式中處理列車連鎖推擠的流程雷同，讀者若欲進一步瞭解此範例的操作細節，可參見第 3.6 節。

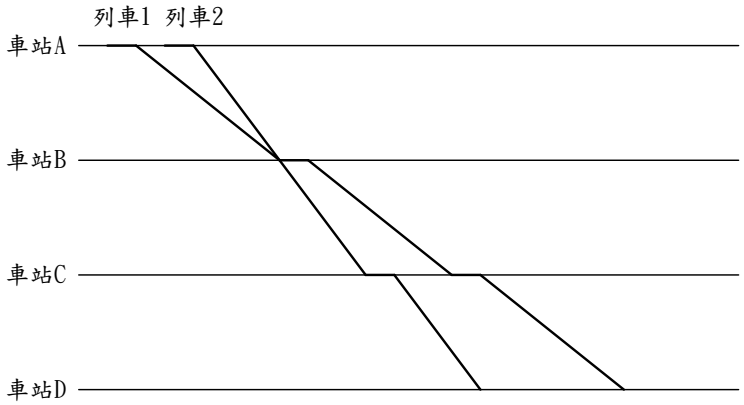


圖 6-18 模擬列車延滯範例

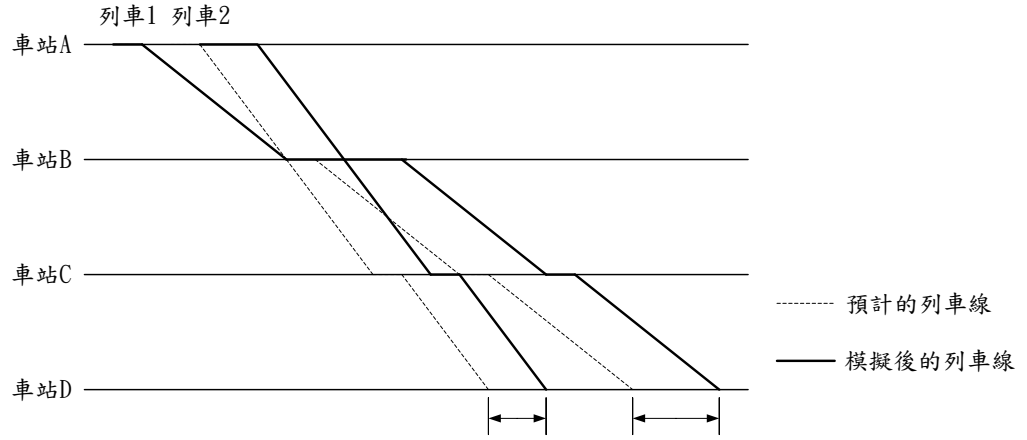


圖 6-19 模擬列車排班延滯後的結果

6.2.4.2 運轉延滯

進行模擬運轉延滯的「檢核程序」內容如表 6.3，由於列車實際運行時，寬裕時間將提供作為調度的餘裕，所以在此所考量的進站和離站號誌時距不包含寬裕時間，而「處理列車連鎖推擠」的流程如圖 6-20。

和排班延滯的「檢核程序」與「處理列車連鎖推擠」內容相比，不同的地方為表 6.3 與圖 6-20 中灰底的部份，實際上列車運行逐漸追上先行列車時，會受到號誌的管制而降低速度，使其運轉時間變長，結果造成列車比預計時間還晚到站，因此發生站間追越的調整方式僅需後移列車的到站時間，而處理後移事件時，不需像排班延滯一樣，為了不改變運轉時間，必須連同列車前一停靠站的出發時間也一併後移，僅需針對事件發生的地點進行後移即可。

此外，實際上列車運行時若發生延滯，會在條件許可下進行趕點，本模式亦考量了此特性，在將「後移事件」依序加入堆疊中時，若列車已經發生延滯，則可在符合下列條件下適度地減少其後移時間量，已達到趕點的效果：

1. 趕點後的列車到開時間，不會造成號誌時距不足、站間追越或站內股道數不足等現象。
2. 趕點後的列車到開時間不能比預計到開時間還早。

3. 趕點後的列車運轉時間與停站時間，不得小於最小運轉時間與最小停站時間。

表 6.3 模擬運轉延滯的各項檢核與調整方式彙整表

項目	檢核內容	調整方式
檢核程序 I	先行列車是否待避[1]	後移先行列車離站時間
	離站號誌時距是否不足[2]	後移第 *i* 列車離站時間
檢核程序 II	離站號誌時距是否不足[2]	後移續行列車離站時間
	是否有站間追越現象	後移續行列車到站時間
檢核程序 III	是否有站間追越現象	後移第 *i* 列車到站時間
	進站號誌時距是否不足[2]	後移第 *i* 列車到站時間
	站內股道數是否不足	後移第 *i* 列車到站時間
檢核程序 IV	進站號誌時距是否不足[2]	後移續行列車到站時間
	站內股道數是否不足	後移續行列車到站時間

註解 1：待避的條件與 3.1.2.2 節所述的條件相同。

註解 2：模擬運轉延滯時的進站/離站號誌時距不包含寬裕時間。

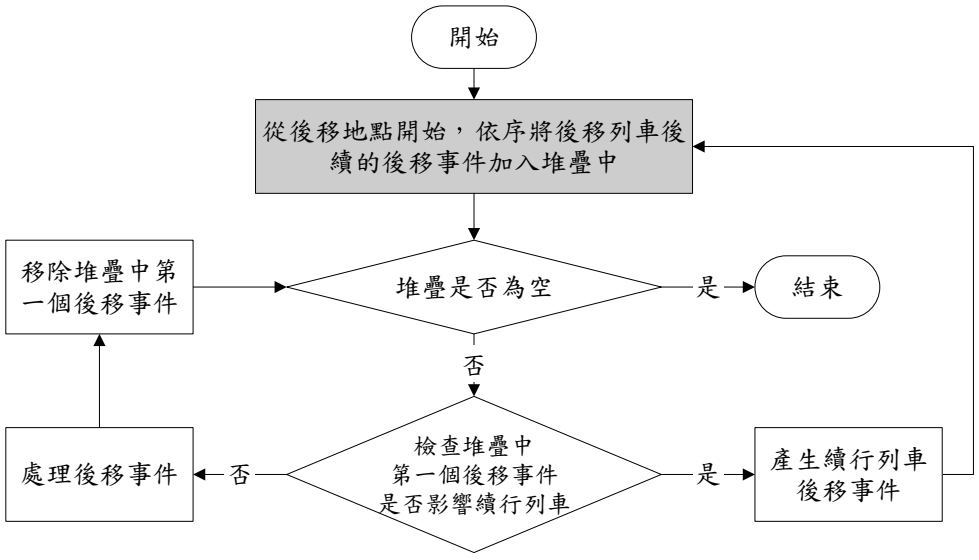


圖 6-20 處理運轉延滯的後移事件與列車連鎖推擠之流程圖

以下同樣以圖 6-18 為例來說明模擬列車運轉延滯的操作過程，在模擬列車 1 進入連續區段到達終點站（車站 D）後，接著列車 2 進入第一區段，如圖 6-21，在「檢核程序 III」中，列車 2 與列車 1 發生進站號誌時距不足，依表 6.3 之規則需後移列車 2 於車站 B 的到站時間，而根據圖 6-20 之流程，僅需將列車 2 於車站 B 的進站後移事件加入堆疊中，如圖 6-22 所示。

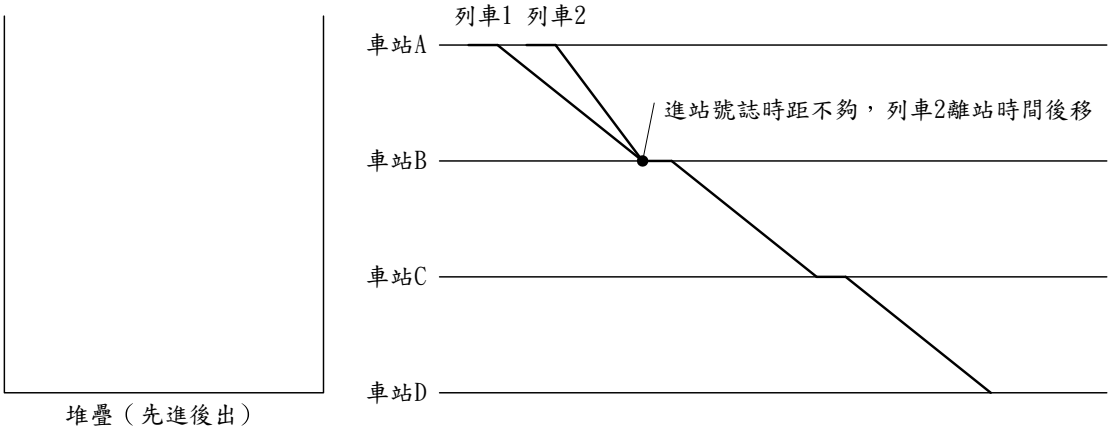


圖 6-21 模擬列車運轉延滯範例示意圖 1

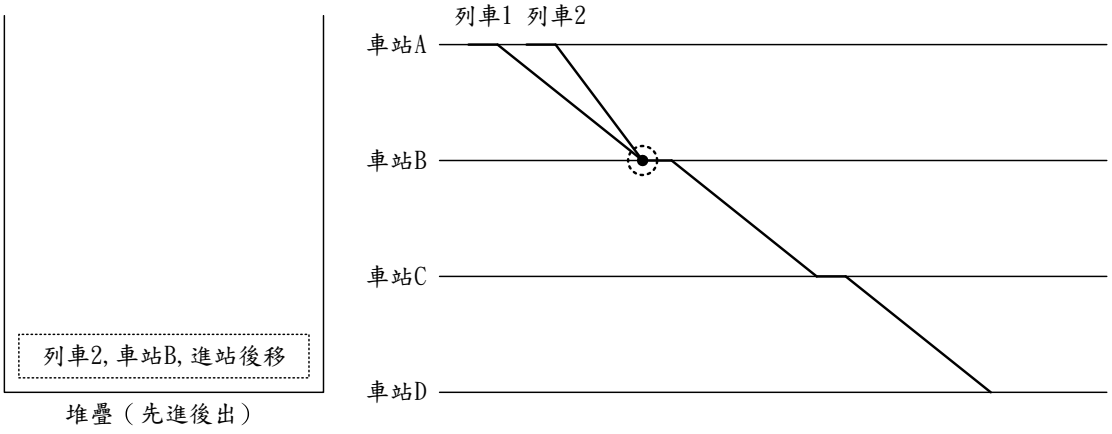


圖 6-22 模擬列車運轉延滯範例示意圖 2

處理完堆疊中的後移事件後，其結果如圖 6-23，與實際列車運轉的情況相同，當列車 2 逐漸追上列車 1 時，因受到號誌管制的關係，使其運轉時間變長，最後比預計時間晚到達車站 B。在此補充一點說明，圖 6-23 中列車 2 的運行列車線實際上應為曲線，但本範例的重點在於列車站間運轉時間變長，導致進站時間變晚，而非探討運轉速度的變化情況，因此以平均運轉速度法（Average Operating Speed）將列車線繪製成直線，後續圖 6-24～圖 6-27 亦是如此繪製。

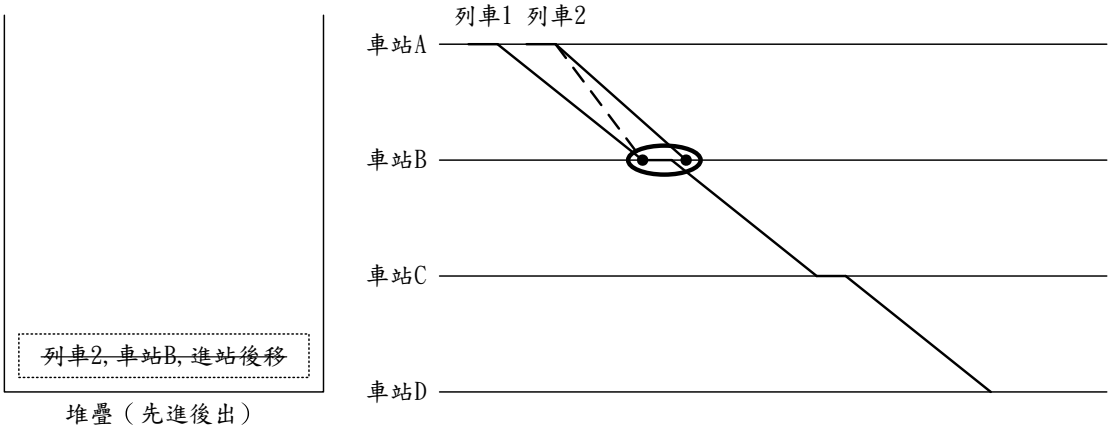


圖 6-23 模擬列車運轉延滯範例示意圖 3

在列車 2 於第二區段中，符合「檢核程序 I」的續行列車追越先行車之條件，如圖 6-24，列車 1 在車站 B 進行待避，因此將列車 1 的後移事件依序加入堆疊中，如圖 6-25，在處理堆疊中的後移事件時，列車 1 可進行趕點，所以列車 1 完成後移後的結果如圖 6-26 所示。然後繼續模擬列車 2 於後續區段的到開時間，因為列車 2 於車站 B 已經產生延滯，因此在後續區段中也會進行趕點，最後完成模擬列車運轉延滯的結果如圖 6-27。由於將寬裕時間作為調度餘裕，且列車可進行趕點，各列車到達車站 D 的運轉延滯會比排班延滯(參見圖 6-19)還小。

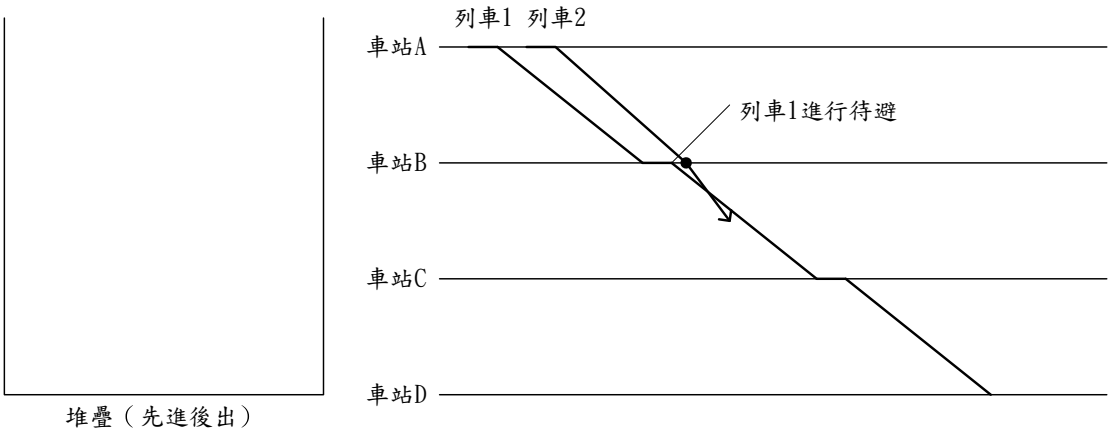


圖 6-24 模擬列車運轉延滯範例示意圖 4

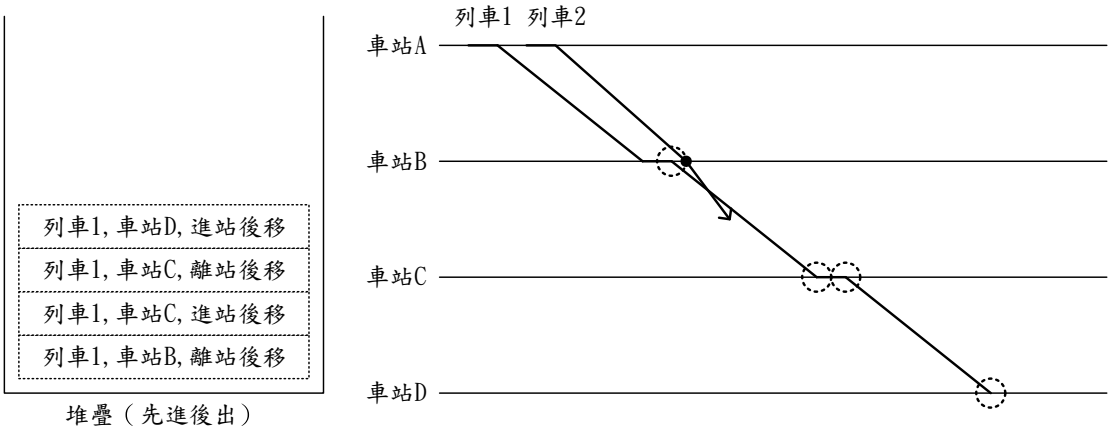


圖 6-25 模擬列車運轉延滯範例示意圖 5

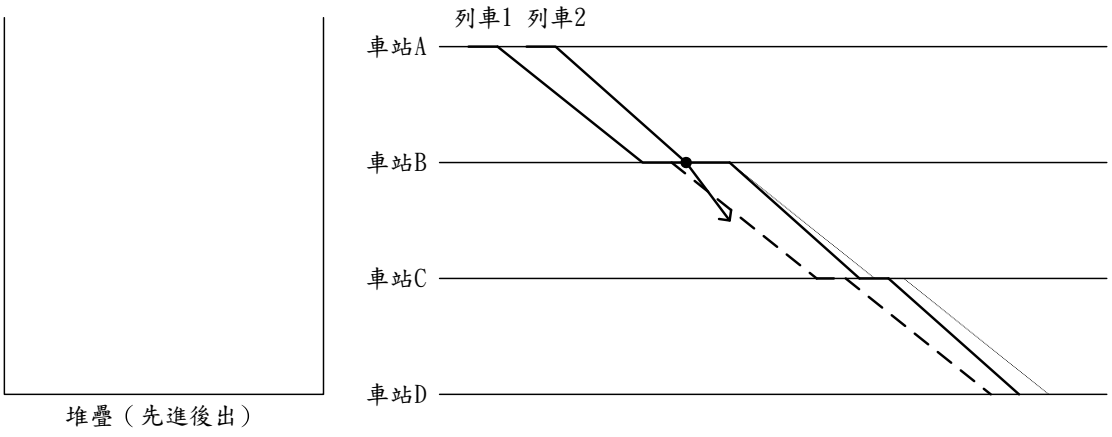


圖 6-26 模擬列車運轉延滯範例示意圖 6

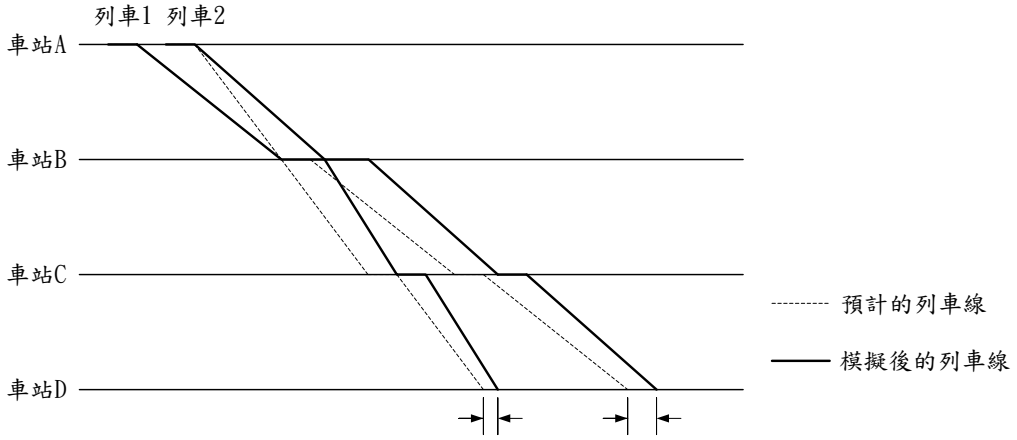


圖 6-27 模擬列車運轉延滯後的結果

第七章 容量分析軟體使用手冊

第二章至第六章所介紹之各種分析模式皆考量了許多參數，雖讓模式更能反映實務狀況，但也大幅提高計算量，例如第二章所介紹的號誌安全時距公式，其計算過程相當繁雜，且計算量隨列車種類數呈驚人的指數成長，又例如第三章的連續區段容量模擬模式，其演算流程已非人工徒手所能處理，故本手冊搭配一套「傳統暨區域鐵路系統容量分析軟體」來輔助分析人員進行容量分析，此軟體之主要特色如下：

1. 多區段容量分析：對於多個區段，能夠一次對所有區段進行單一區段容量分析，不需逐一計算，可大幅增加效率；此外若這些區段的運轉方式與交通組成相同，則會自動進行連續區段容量分析。
2. 考量車種組成差異：能分析不同車種組成對容量的影響，可適用於車種複雜的情況。
3. 適用於各階段之容量分析：提供一般和進階等兩種操作模式。在一般模式下，使用者不需輸入細部參數即可進行分析，適用於規劃階段；而在進階模式，使用者可輸入細部參數以獲得較精確之結果，適用於設計或營運階段。
4. 敏感度分析：針對幾項重要的參數，可分析其影響容量計算結果之敏感度，提供容量提升改善之方向。
5. 可靠度分析：可分析列車流量與排班延滯與實際延滯之關係，提供列車排點之參考。
6. 情境分析：使用者可針對容量改善的情境進行分析比較，作為擬定容量改善方案的依據。

7. 預設參數：容量分析所需參數眾多，在使用者無法取得所有所需參數時，可使用軟體內建之參數預設值，或使用者自訂的預設值，如此可滿足各種不同需求，亦能達到簡化計算的目的。
8. 參數合理性檢查：程式會自動檢查使用者所輸入的參數是否合理，減少參數輸入錯誤的可能性，此外使用者亦可自訂參數合理範圍。
9. 解說資訊：提供各項參數詳細的解說資訊，以降低使用者翻閱使用手冊的機會。
10. 圖形使用者介面（Graphic User Interface，GUI）：為便於操作與使用，捨棄傳統文字模式暨參數設定檔之操作，改以 GUI 之架構來輔助參數輸入與結果呈現。
11. 正體中文語系：除非中文裡無通用且貼切之翻譯詞，軟體使用者介面上均以正體中文方式呈現。
12. 以 Microsoft Windows 為執行平臺：國內目前最普遍的 Win32 作業系統為主，包括了 Windows 7/8.1/10 等個人電腦（Personal Computer）中常見之作業系統。

本章為此軟體之操作說明，為了讓使用者便於按本手冊操作軟體，針對電腦軟體介面所用到的字詞皆以黑體括號【】標記之。

7.1 系統配備需求

為了可在絕大多數政府、教育機關或公司的個人電腦或筆記型電腦上執行，容量軟體對系統配備的要求不高，其最低配備需求如下：

1. 作業系統：Microsoft Windows 7/8.1/10
2. 處理器：Intel Pentium 或其他 x86 架構相容處理器
3. 記憶體：64 MB 以上記憶體
4. 螢幕解析度：1024*768 pix
5. 磁碟空間：30 MB 可用空間

6. 輸入裝置：鍵盤、滑鼠

7. .Net Framework：Microsoft .Net Framework 4.5 版

7.2 快速入門

7.2.1 軟體執行

「傳統暨區域鐵路系統容量分析軟體」不需安裝即可執行，於本軟體的資料夾內以滑鼠雙擊「CRCS.exe」，如圖 7-1，軟體啟動後之畫面如圖 7-2 所示。

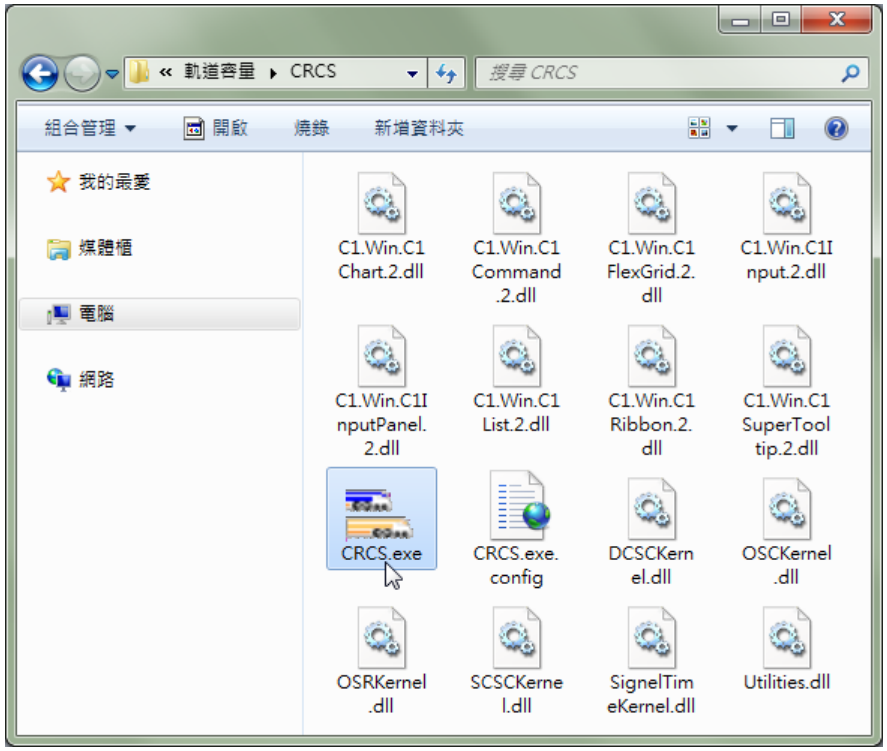


圖 7-1 執行「傳統暨區域鐵路系統容量分析軟體」

圖 7-2 「傳統暨區域鐵路系統容量分析軟體」主畫面

7.2.2 詞彙解釋

本軟體所特有的使用詞彙說明如下：

1. 專案檔：為本軟體專屬的數位檔案，其內容包括輸入參數（含一組全域變數、選項設定，和若干組列車參數、車站參數、交互關係參數等）以及各種分析結果（含容量分析、情境分析、可靠度分析等），以「crc」為副檔名。
2. 全域參數：係指進行鐵道容量分析時，不隨列車、車站或路線不同而異之參數，例如臺鐵系統之「注意號誌速限」為 60 km/h。
3. 列車參數：包含列車名稱、長度、加減速性能，以及車廂容量等資訊。
4. 車站參數：包含車站名稱、進離站坡度、閉塞區間長度、股道配置型式等資訊。

5. 交互關係參數：係指車站與車站、列車與車站，或列車與區段之關係的資訊，例如兩車站之間的運轉方式、列車於車站的停站時間，或列車在區段上之平均巡航速度、運轉時間等資訊。

6. 區段：一個區段係由兩座車站所構成，兩站之間若為單線運轉，則兩車站必須能夠提供交會功能；若為複線運轉，則要有待避功能。

7. 列車參數檔：儲存列車參數之數位檔案，內容包括列車名稱、長度、加減速性能、車廂容量等相關參數，以「trn」為副檔名。

8. 車站參數檔：儲存車站參數之數位檔案，內容包括車站名稱、進離站坡度、閉塞區間長度、股道配置型式等相關參數，以「stn」為副檔名。

9. 選項設定：包含專案所採用的操作模式、各項參數預設值與檢核範圍的設定。

10. 操作模式：本軟體提供兩種操作模式：一般模式和進階模式。在一般模式下，使用者不需輸入細部參數即可進行分析，但分析結果的精度較低，適用於規劃階段；而在進階模式，使用者則須輸入細部參數，可獲得較精確的分析結果，適用於設計或營運階段。

7.2.3 操作環境

「傳統暨區域鐵路系統容量分析軟體」的操作環境可大致分為兩個區域，如圖 7-3 所示。

1. 功能面板區：顯示目前專案名稱，並提供本軟體之專案管理、參數輸入、分析計算與選項設定等功能。

2. 參數檢視區：可根據使用者於清單中所選擇的車站、區段或列車，顯示相對應的參數資料。

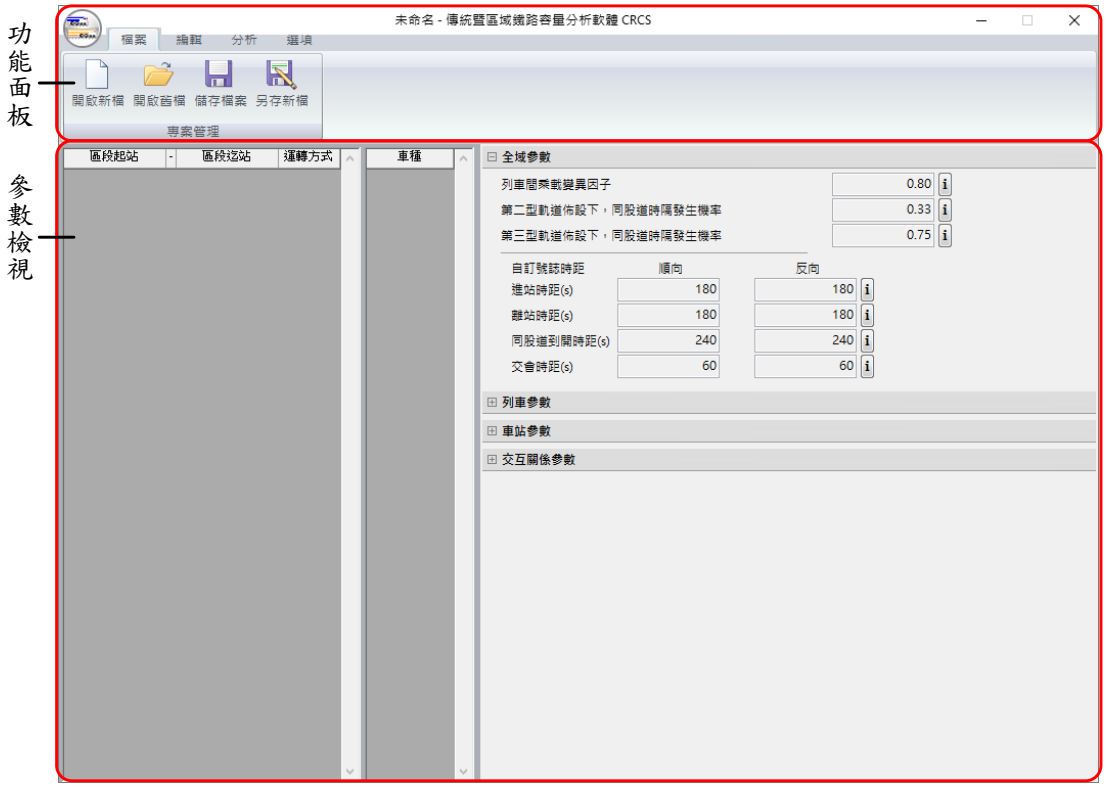


圖 7-3　容量分析軟體操作環境

7.2.4　專案管理

按下功能面板區左上方圓形按鈕可開啟專案管理功能面板，如圖 7-4，供使用者新增、開啟、儲存和另存專案檔的功能，操作說明如下：

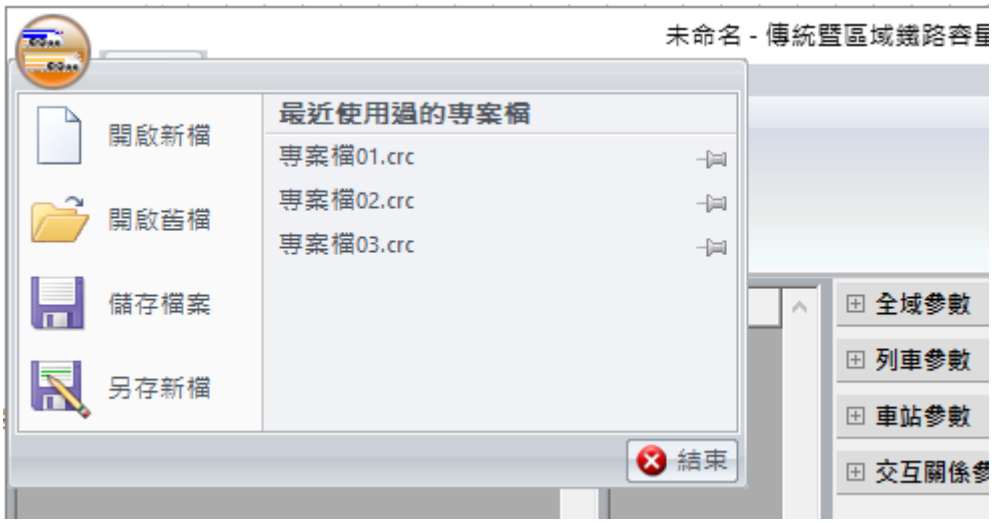


圖 7-4　開啟專案管理功能面板

1. 開啟新專案

當軟體啟動的同時，即會產生一份新專案檔供使用者使用，或點選圖 7-4 中的【開啟新檔】，即可開始一個新專案。若原先開啟的專案經過使用者編修，且尚未存檔，便會提示使用者儲存檔案。

2. 開啟舊專案

如欲開啟之前儲存的專案檔，可以點選圖 7-4 上的【開啟舊檔】，程式會出現開啟舊檔對話盒，如下圖 7-5，選定欲開啟之專案檔的路徑與檔名，按下【開啟舊檔】即可完成開檔。若原先開啟的專案經過使用者編修，且尚未存檔，便會提示使用者儲存檔案。

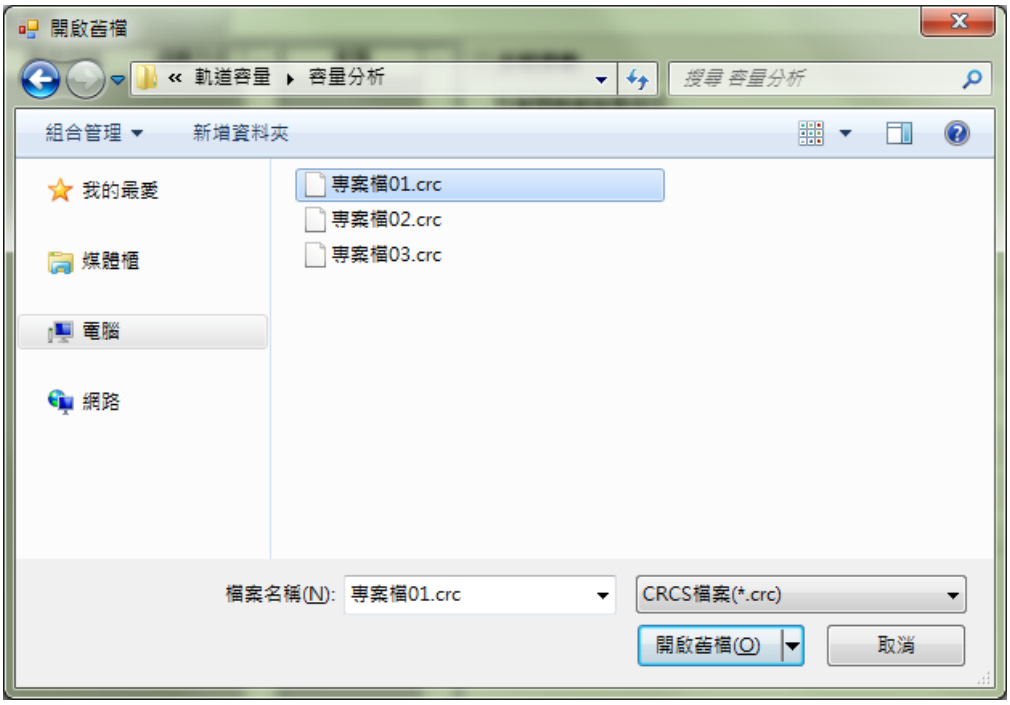


圖 7-5 開啟舊檔對話盒

3. 儲存專案

要儲存目前的專案檔，請點選圖 7-4 上【儲存檔案】或【另存新檔】。若是另存新檔或新專案第一次存檔，本軟體會以圖 7-6 之對話盒來協助使用者儲存，透過對話盒選定路徑與指定檔名後，按【存檔】按鈕完成儲存動作。

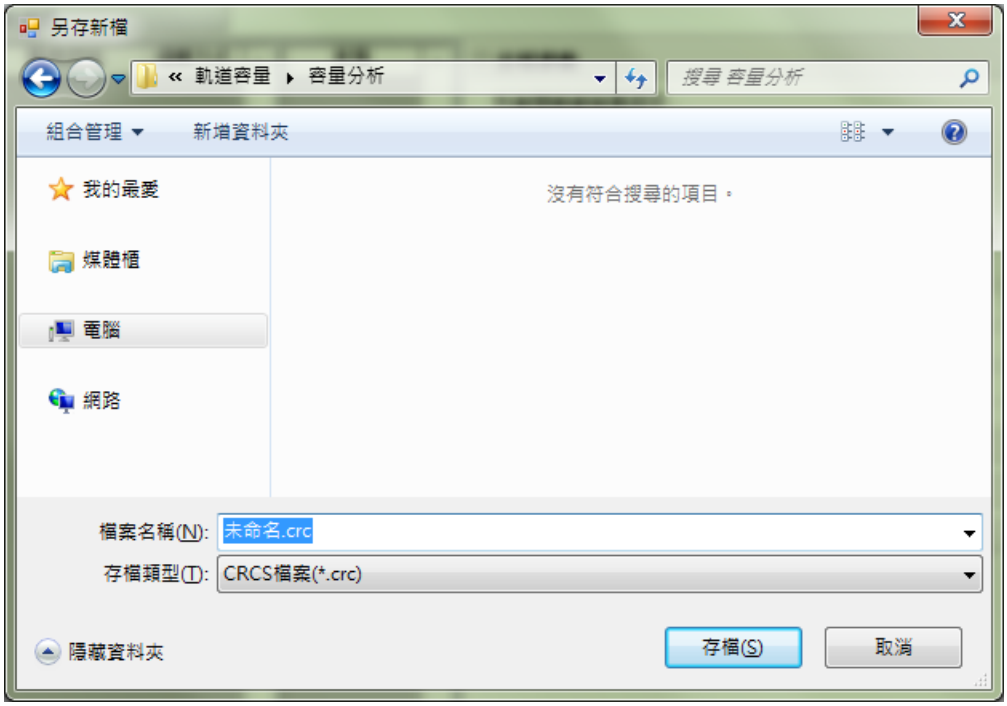


圖 7-6 儲存專案檔對話盒

7.2.5 基本分析範例

一個可以進行分析的專案，至少必須設定一組全域參數、一組以上的列車參數、兩組以上的車站參數，以及其交互關係參數，當所有參數設定完成後，才可進行各項分析功能。為了降低使用者的學習曲線，本範例以一個簡單情境的容量分析，即「單一區段單一車種」之容量分析，讓初學者能快速大致認識本軟體之操作流程。若要深入了解，則可參閱後續更完整詳細的操作說明。

當本軟體開啟後，全域變數已經有預設值，本範例直接採用預設值而不作任何修改。接著需於專案設定至少一組列車參數，故於功能面板的【編輯】面板中按下【列車參數】後，在圖 7-7 中按下【新增】按鈕，並輸入列車名稱（以「列車 A」為例），如圖 7-8，當【確定】按鈕按下後，列車 A 即會加入專案中，如圖 7-9 所示。

圖 7-7 編輯列車參數對話盒

圖 7-8 新增並設定列車名稱

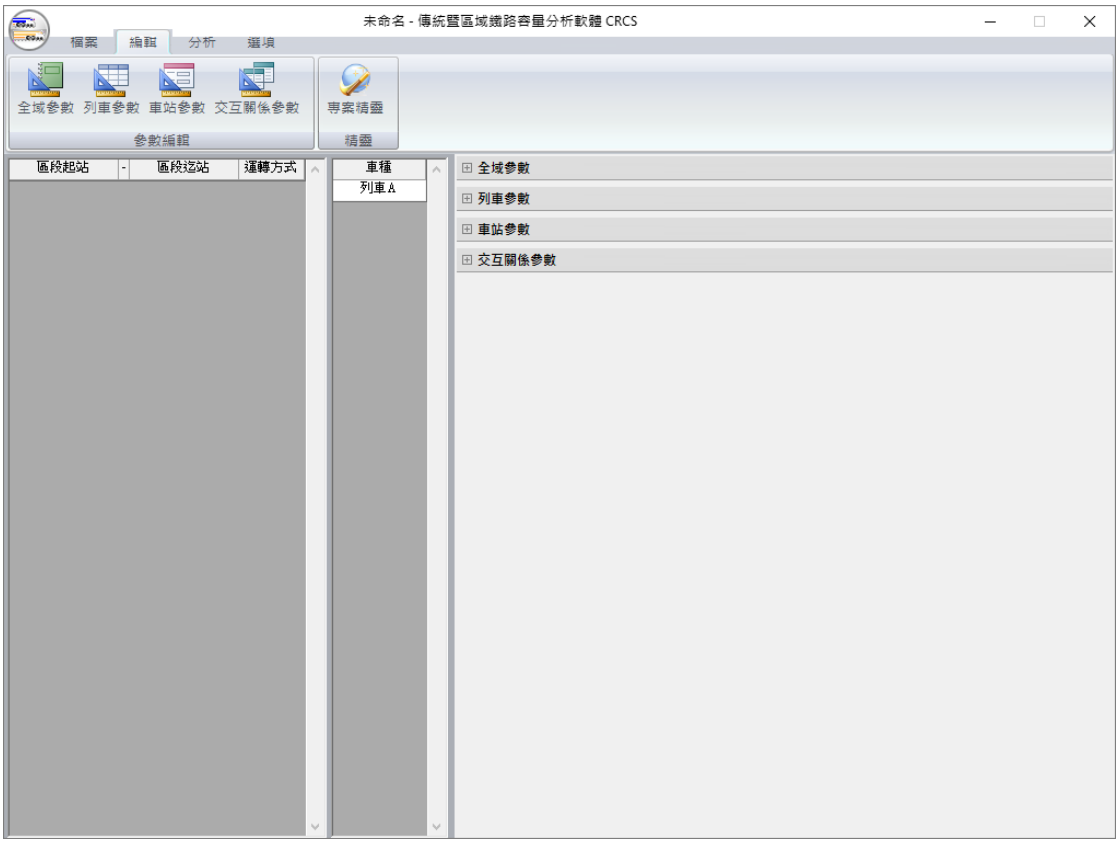


圖 7-9 檢視列車 A 之參數

然後在專案設定至少兩組車站參數，於功能面板按下【車站參數】後，在圖 7-10 中按下【新增】按鈕，並輸入車站名稱（以「車站 1」為例），如圖 7-11。重複此動作新增「車站 2」後，按下【確定】按鈕將兩車站加入專案中，如圖 7-12 所示，程式已自動依序將連續的「車站 1」與「車站 2」組成一個區段。

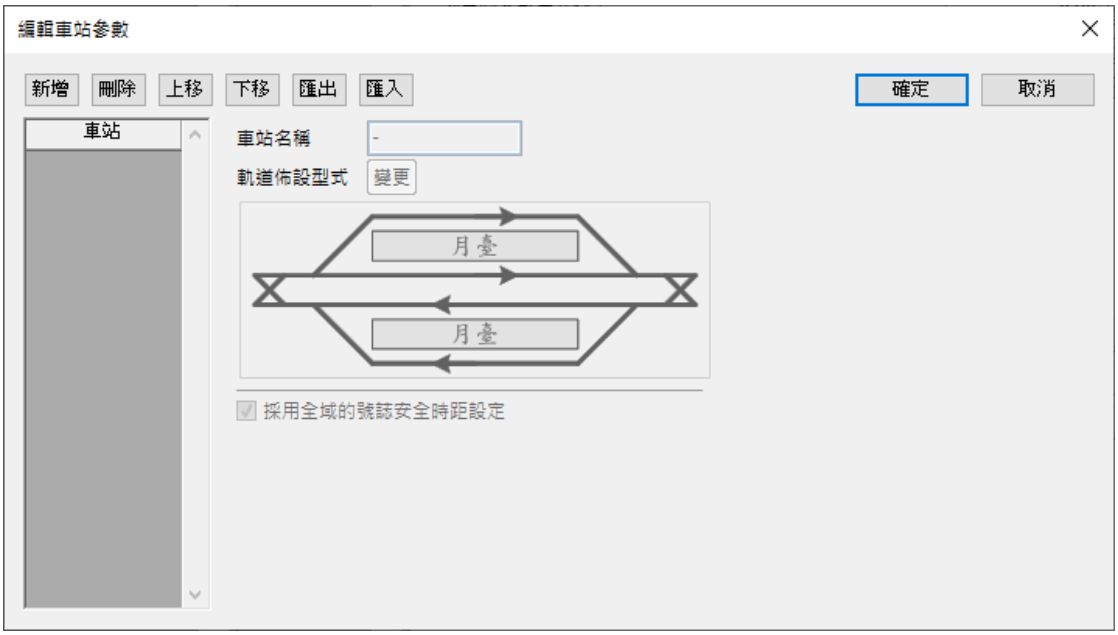


圖 7-10 編輯車站參數對話盒

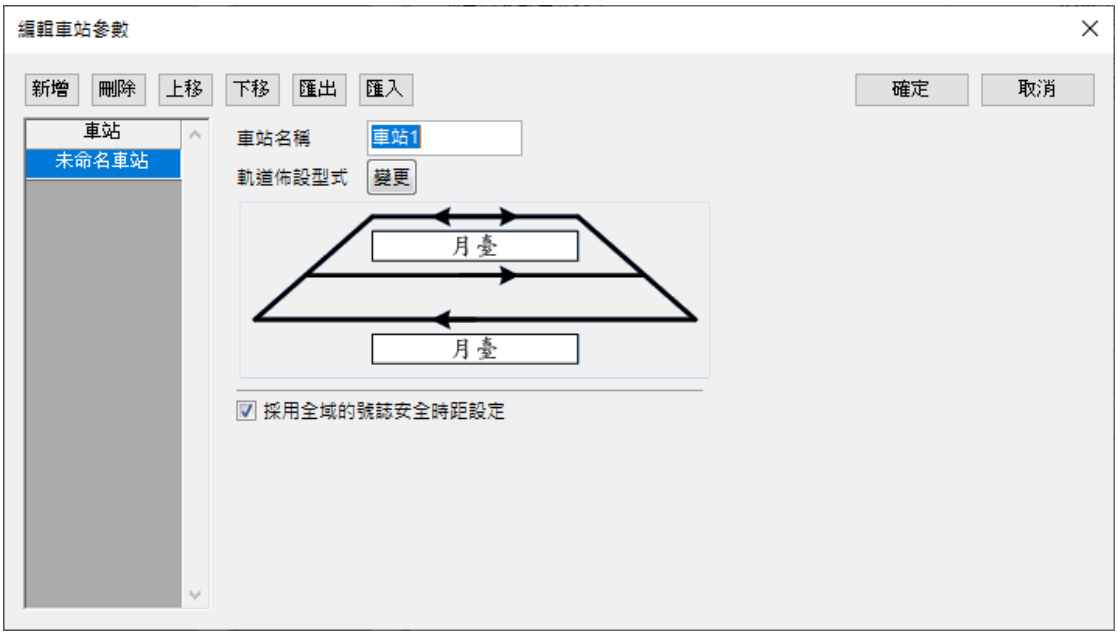


圖 7-11 新增並設定車站名稱

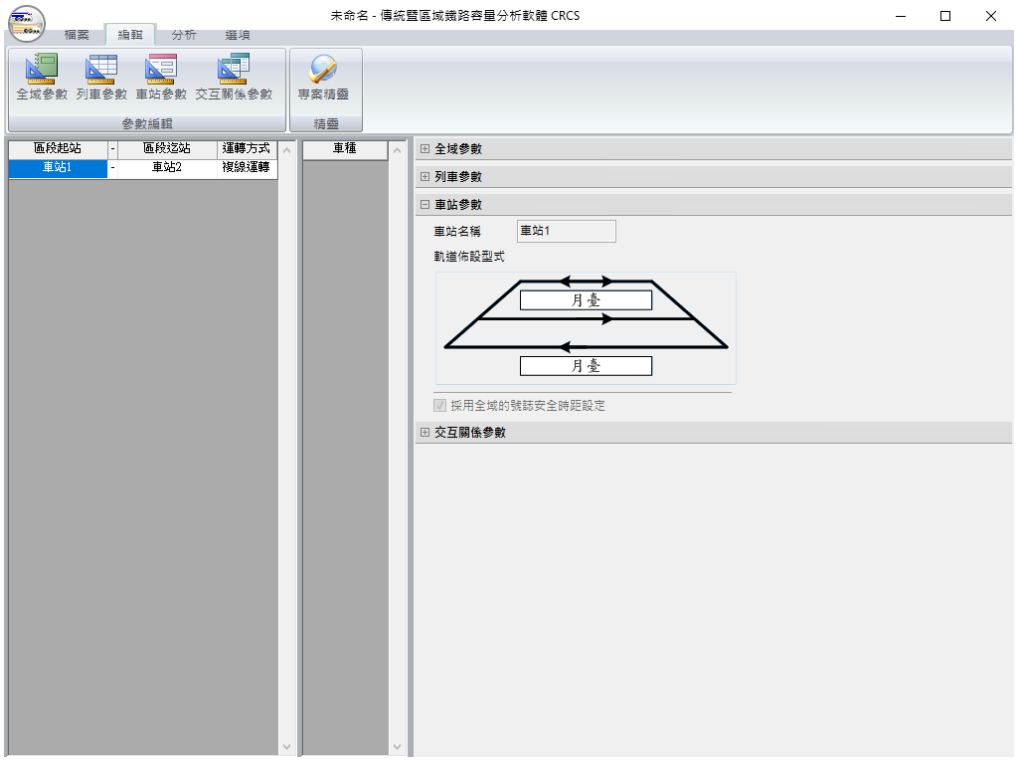


圖 7-12 檢視車站 1 之參數

最後是設定交互關係參數，於功能面板按下【交互關係參數】後，於圖 7-13 對話盒中選擇「車站 1 - 車站 2」區段和「列車 A」，便能編輯其交互關係參數。本例中將「列車 A」於「車站 1」的計畫停站時間由 120 秒改為 60 秒後，如圖 7-14，按下【確定】後完成設定，並可在主畫面檢視其設定，如圖 7-15。

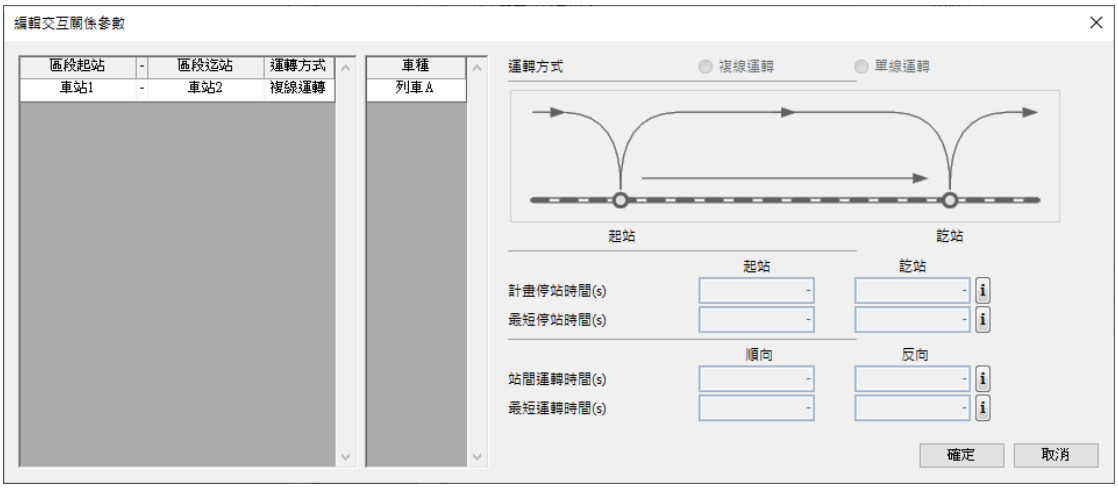


圖 7-13 編輯交互關係之對話盒

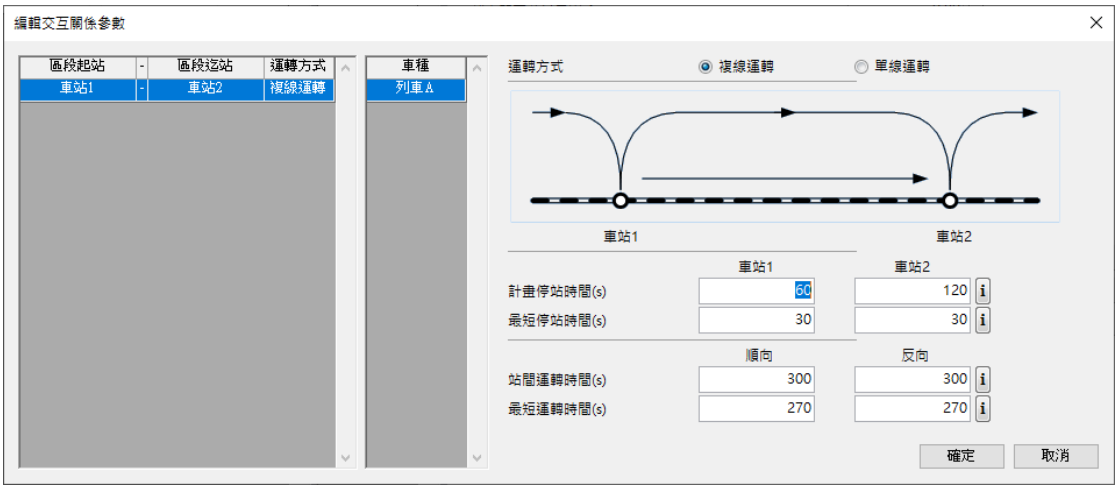


圖 7-14 設定停站時間參數

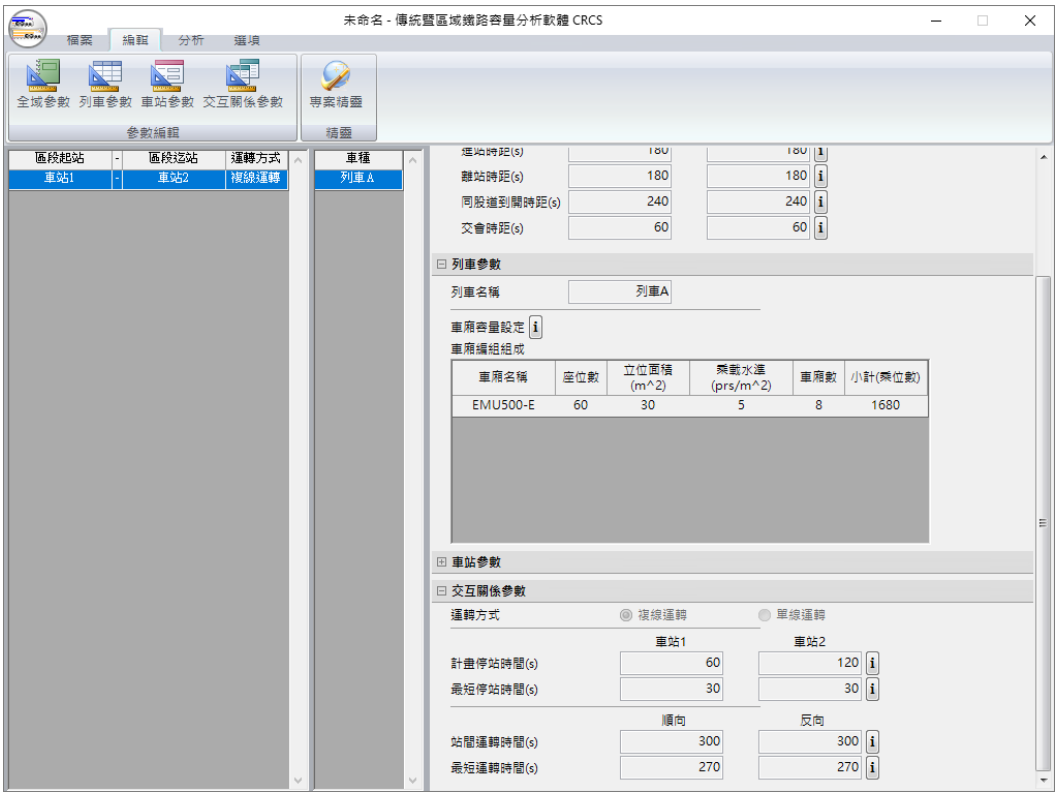


圖 7-15 檢視交互關係參數

截至目前為止，已經完成了各項的基本參數輸入設定，此時使用者便可根據實際需求，執行本軟體所提供的各項分析功能，而在本範例中，則以容量分析為例來進行說明。

將功能面板切換到【分析】面板，並按下【容量分析】按鈕開啟容量分析功能，如圖 7-16。點選「車站 1 - 車站 2」區段設定其交通組成，如圖 7-17，將「列車 A」設為 100%。設定完成後按下【執行容量分析】按鈕，即能得到如圖 7-18 的分析結果。

圖 7-16 開啟容量分析畫面

圖 7-17 設定交通組成

圖 7-18 容量分析結果

7.2.6 參數說明檢視

本軟體對於各項參數皆提供參數說明，讓使用者在操作過程中能即時獲得所需的參數解說資訊，以降低翻閱手冊所造成的不便。在各項參數設定旁有一個【i】按鈕，當滑鼠移到【i】按鈕上時，便會顯示該參數說明，如圖 7-19，直到滑鼠移走才會關閉。

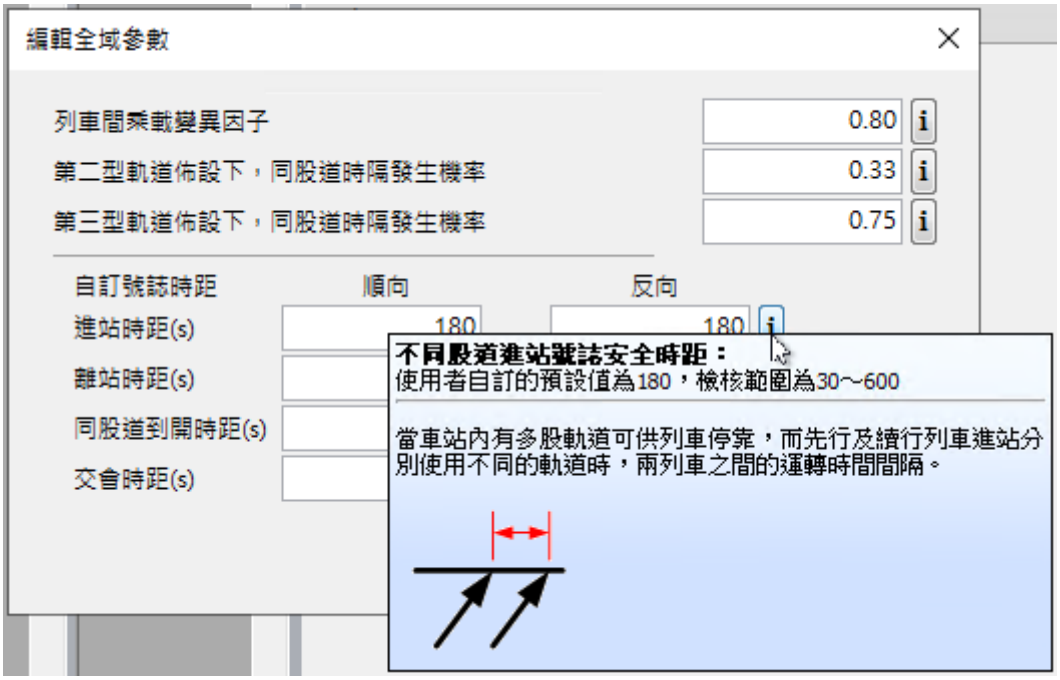


圖 7-19 顯示參數說明

7.3 選項設定

功能面板中的【選項】面板，如圖 7-20 所示，提供操作模式切換和檢核設定兩項功能，以下分別說明之。

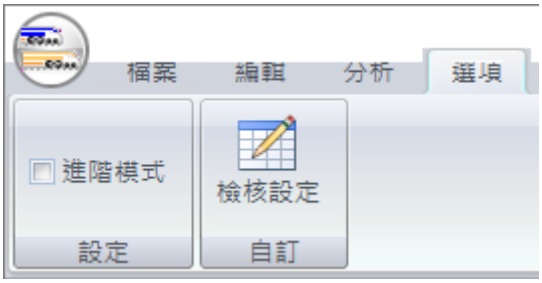


圖 7-20 選項功能面板

7.3.1 操作模式切換

本軟體提供一般模式和進階模式等兩種操作模式，可於圖 7-20 中勾選或取消勾選【進階模式】來進行切換，沒有勾選時為一般模式，勾選時則為進階模式。

一般模式和進階模式的差異在於所需的參數多寡以及可執行的分析功能，如表 7.1 所示。一般模式不需輸入計算號誌安全時距的細節參數，改為直接設定號誌安全時距，但也因此不能進行敏感度分析和情境分析；進階模式則是根據細節參數來計算號誌安全時距，因此不需再設定之，所有的分析功能皆可執行，兩模式所需參數如表 7.2。

表 7.1 不同操作模式之差異

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

表 7.2 不同操作模式的所需參數彙整表

類別	名稱	操作模式	
		一般	進階
全域	解除閉塞與清除號誌時間		V
	司機員與軔機反應時間		V
	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		V
	排點時單線交會最短號誌時距		V
	列車間乘載變異因子	V	V
	注意號誌速限		V
	第二型軌道佈設下，同股道時隔發生機率	V	V
	第三型軌道佈設下，同股道時隔發生機率	V	V
	號誌安全時距	V	

表 7.2 不同操作模式的所需參數彙整表（續）

類別	名稱	操作模式	
		一般	進階
列車	列車名稱	V	V
	列車長度		V
	行車加速度		V
	行車減速度		V
	加速度有效因子		V
	減速度有效因子		V
	列車容量	V	V
車站	車站名稱	V	V
	軌道佈設型式	V	V
	進站坡度		V
	離站坡度		V
	第 2 閉塞區間長度		V
	第 1 閉塞區間長度		V
	車站所在區間閉塞區間長度		V
	第 N 閉塞區間長度		V
	第 N-1 閉塞區間長度		V
	車頭到出發號誌距離		V
	道岔到出發號誌距離		V
交互關係	進站前的平均巡航速度		V
	站間平均巡航速度		V
	站間運轉時間	V	V
	最短運轉時間	V	V
	計畫停站時間	V	V
	最短停站時間	V	V
	運轉方式	V	V

7.3.2 檢核設定

檢核設定提供使用者可自訂參數的預設值以及合理範圍，供程式自動產生預設值以及進行參數檢核時使用。欲進行檢核設定，從圖 7-

20 按下【檢核設定】，程式便會開啟如圖 7-21 之介面，供使用者進行相關設定：

1. 功能按鈕：提供確定、取消與恢復原廠設定等功能。
2. 頁面切換標籤：切換各類參數。
3. 設定頁面：各類參數的預設值與合理範圍設定。

圖 7-21 檢核設定畫面

7.4 全域參數設定

欲設定全域參數，於功能面板中的【編輯】面板中按下【全域參數】，如圖 7-22 所示，程式便會開啟如圖 7-23（一般模式）或圖 7-24（進階模式）之介面，供使用者進行相關設定。

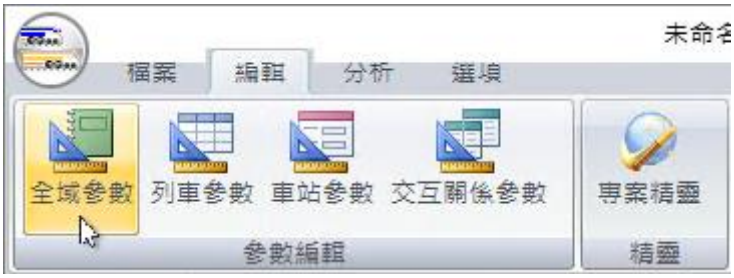


圖 7-22 開啟全域參數設定

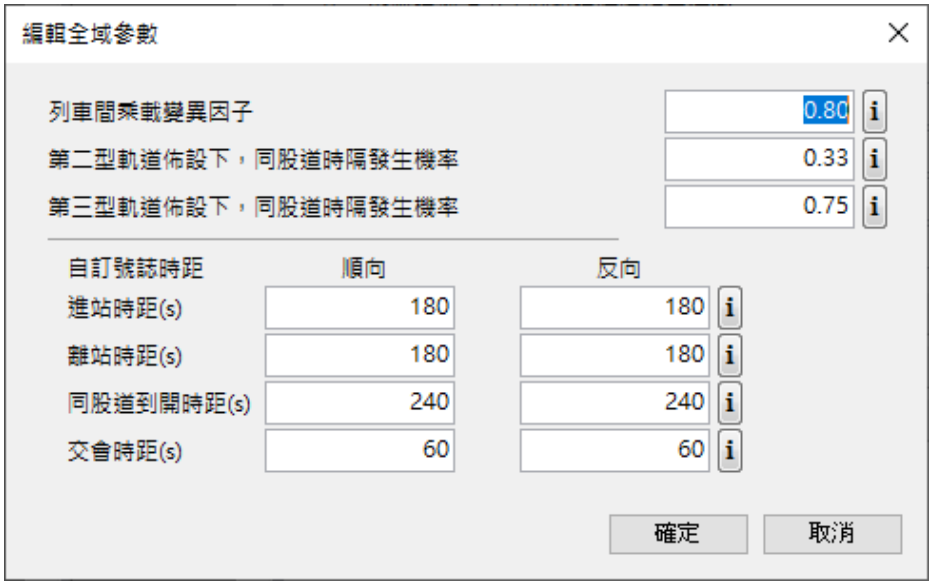


圖 7-23 全域參數設定畫面（一般模式）

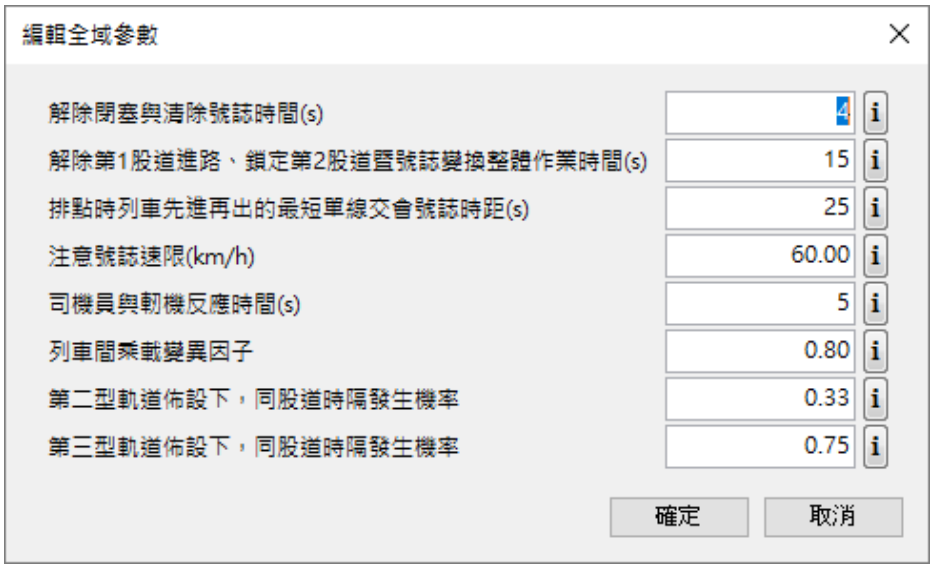


圖 7-24 全域參數設定畫面（進階模式）

7.5 列車參數設定

欲設定列車參數，於功能面板中的【編輯】面板中按下【列車參數】，如圖 7-25 所示，程式便會開啟如圖 7-26（一般模式）或圖 7-27（進階模式）之介面，供使用者進行新增、編輯、刪除、匯出與匯入列車參數之功能，以下逐一介紹之。

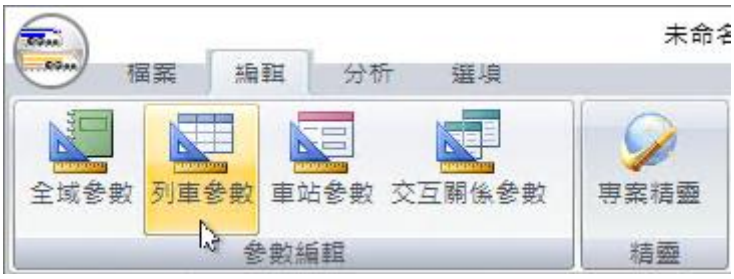


圖 7-25 開啟列車參數設定

圖 7-26 列車參數設定畫面（一般模式）

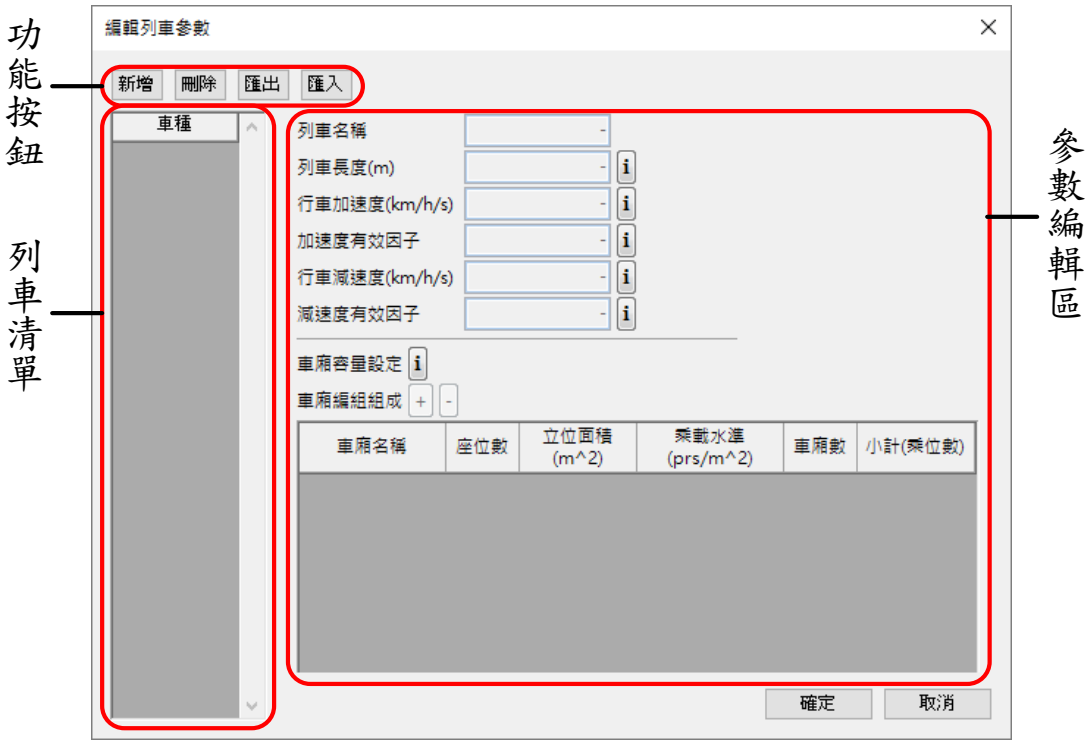


圖 7-27 列車參數設定畫面（進階模式）

7.5.1 新增列車

欲新增列車，從圖 7-26 或圖 7-27 按下【新增】按鈕，即可新增列車，畫面如圖 7-28（一般模式）或圖 7-29（進階模式）所示。

圖 7-28 新增列車（一般模式）

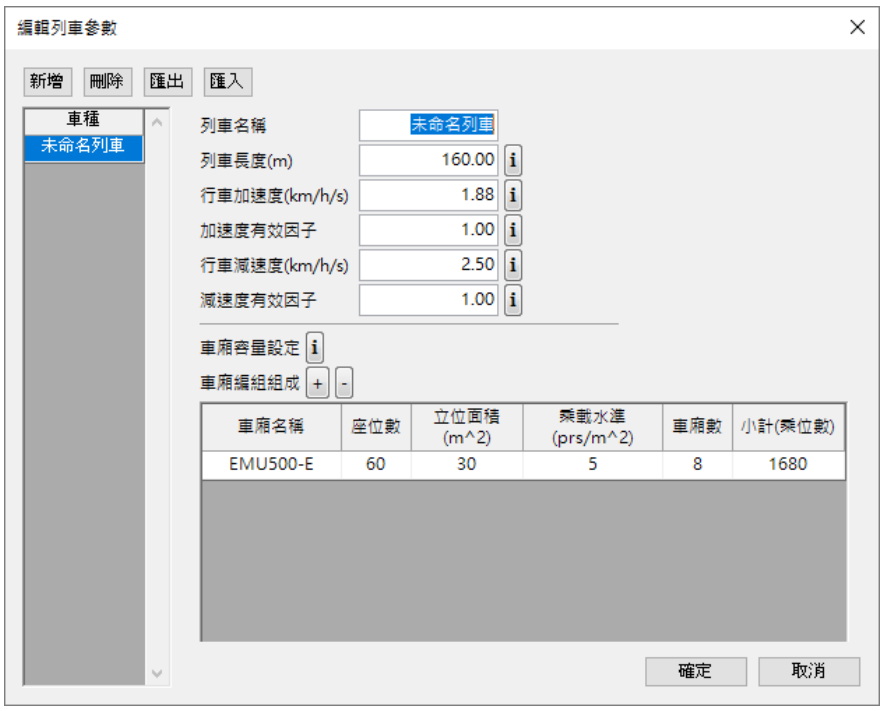


圖 7-29 新增列車（進階模式）

7.5.2 編輯列車

欲編輯列車參數，請按照下列步驟：

1. 從圖 7-26 或圖 7-27 的「列車清單」中選擇欲編輯的列車。
2. 在「參數編輯區」中編輯該列車的參數資料。
3. 完成後可按下【確定】關閉視窗，或於「列車清單」中選擇其他列車繼續編輯作業。

7.5.3 刪除列車

欲刪除列車參數，請按照下列步驟：

1. 先從圖 7-26 或圖 7-27 的「列車清單」中選擇欲刪除的列車。
2. 按下「功能按鈕」中的【刪除】即可刪除該列車的參數資料。
3. 完成後可按下【確定】關閉視窗，或於「列車清單」中選擇其他列車繼續編輯作業。

7.5.4 匯出列車參數

由於列車參數資料可能會在其他專案被重複利用，因此本軟體有提供列車資料匯出的功能，其操作步驟如下：

1. 先從圖 7-26 或圖 7-27 的「列車清單」中選擇欲匯出的列車。
2. 按下「功能按鈕」中的【匯出】，會出現圖 7-30 供使用者編寫相關說明。

圖 7-30 編輯列車參數相關說明

3. 編輯完參數相關說明後按下【確定】，會出現如圖 7-31 之對話盒，指定路徑與檔名後按【存檔】完成匯出動作。

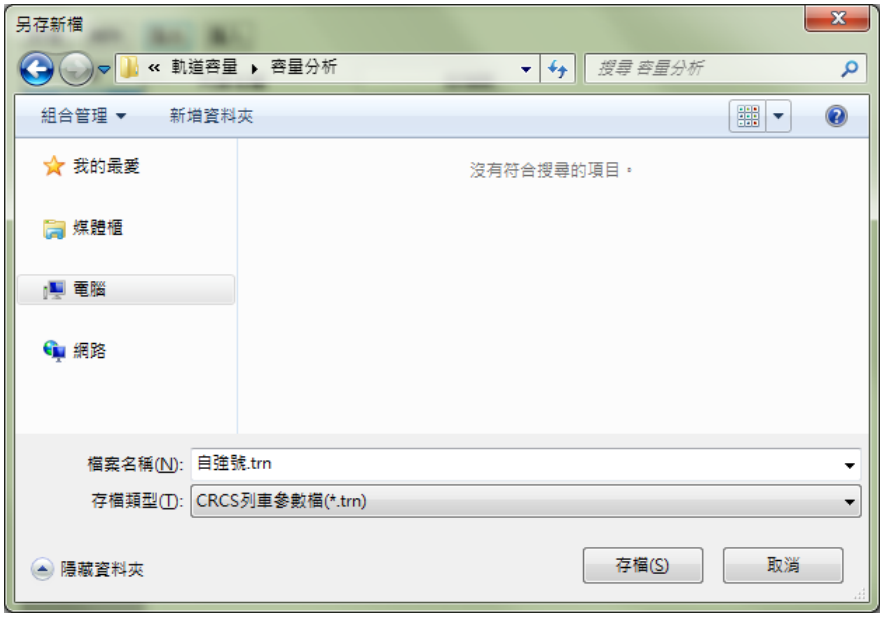


圖 7-31 匯出列車參數檔之對話盒

7.5.5 匯入列車參數

欲將其他專案匯出的列車參數檔(副檔名為「trn」)匯入專案中，請按照下列步驟：

1. 按下圖 7-26 或圖 7-27「功能按鈕」中的【匯入】，會出現圖 7-32 之對話盒，供使用者選擇欲匯入的列車參數檔。

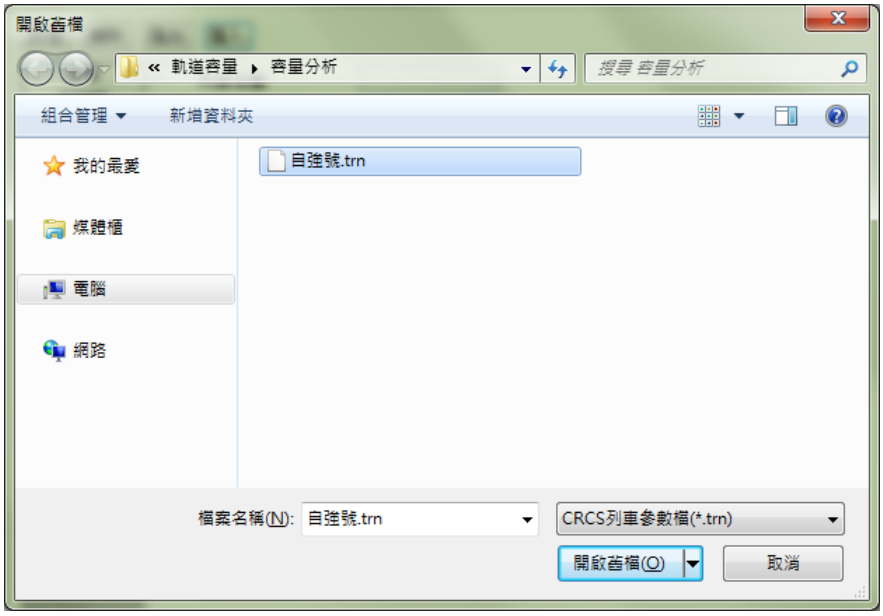


圖 7-32 匯入列車參數檔之對話盒

2. 於匯入列車參數檔對話盒中，指定好路徑與檔名後按下【開啟舊檔】，則會出現參數相關說明之提示，如圖 7-33，按下【確定】後完成匯入動作。

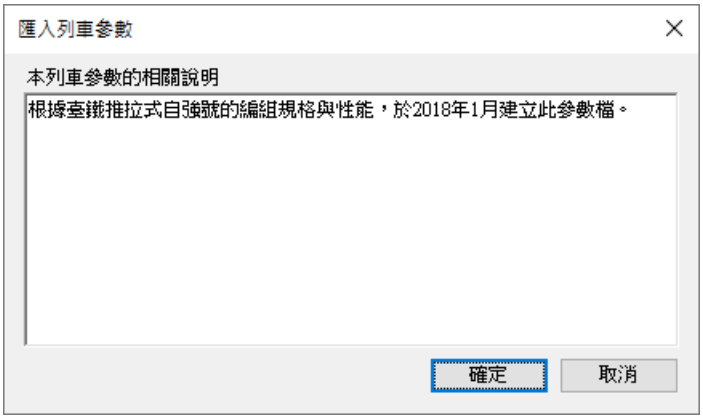


圖 7-33 列車參數相關說明

3. 此外亦可以拖拉的方式，將副檔名為「trn」的列車參數檔拉入列車參數設定畫面，便能直接匯入該列車。

7.6 車站參數設定

欲設定車站參數，於功能面板中的【編輯】面板中按下【車站參數】，如圖 7-34 所示，程式便會開啟如圖 7-35（一般模式）或圖 7-36（進階模式）之介面，供使用者進行新增、編輯、刪除、排序、匯出與匯入車站參數之功能，以下逐一介紹之。

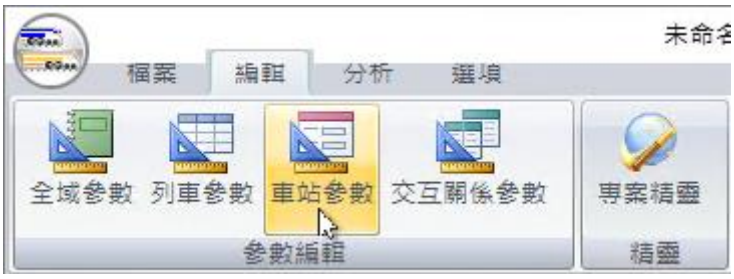


圖 7-34 開啟車站參數設定

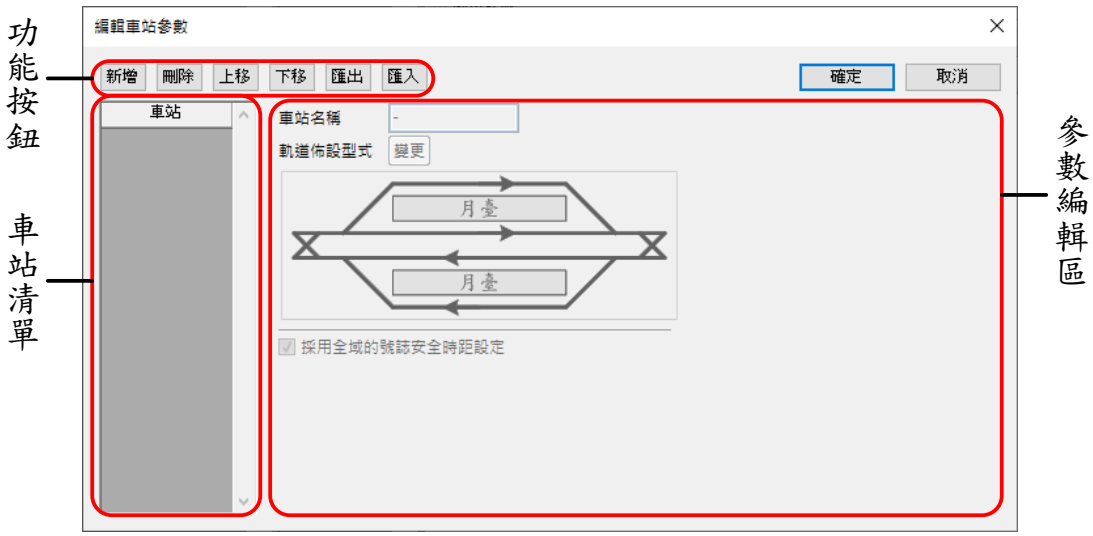


圖 7-35 車站參數設定畫面（一般模式）

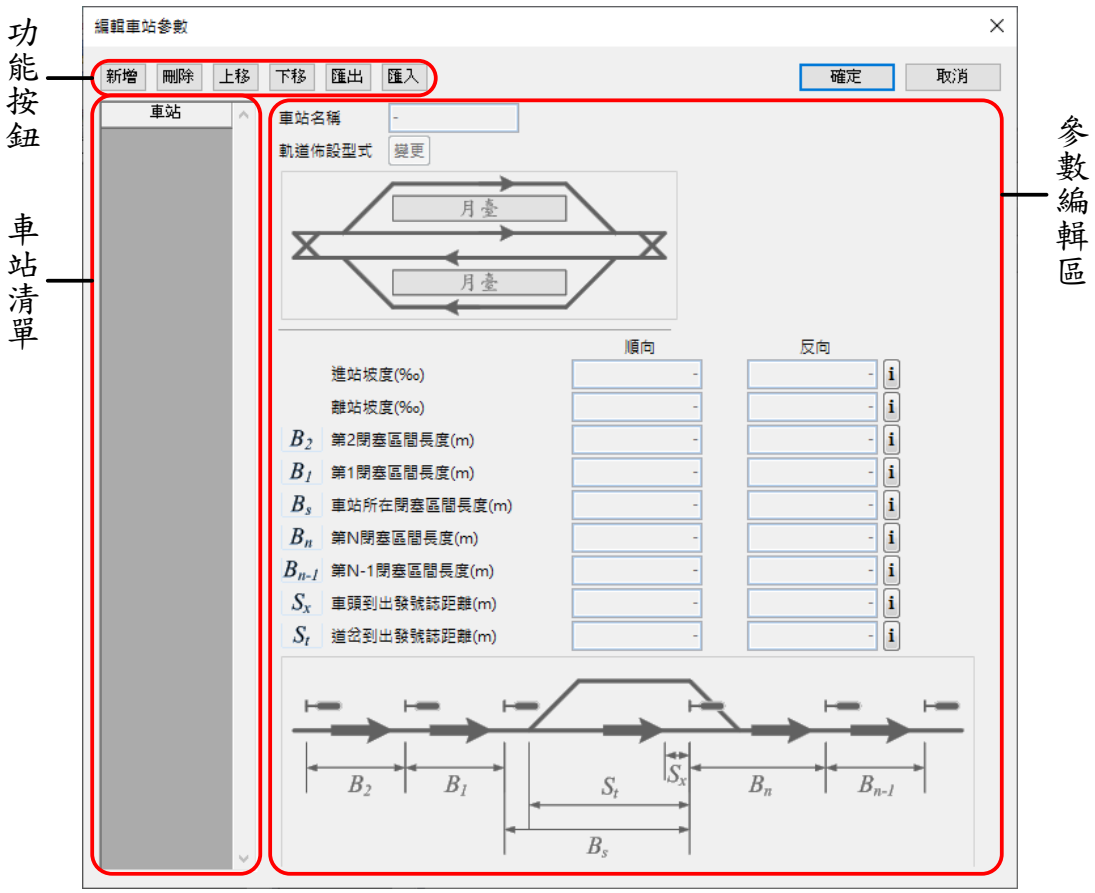


圖 7-36 車站參數設定畫面（進階模式）

7.6.1 新增車站

欲新增車站，從圖 7-35 或圖 7-36 按下【新增】按鈕，即可新增列車，畫面如圖 7-37（一般模式）或圖 7-38（進階模式）所示。

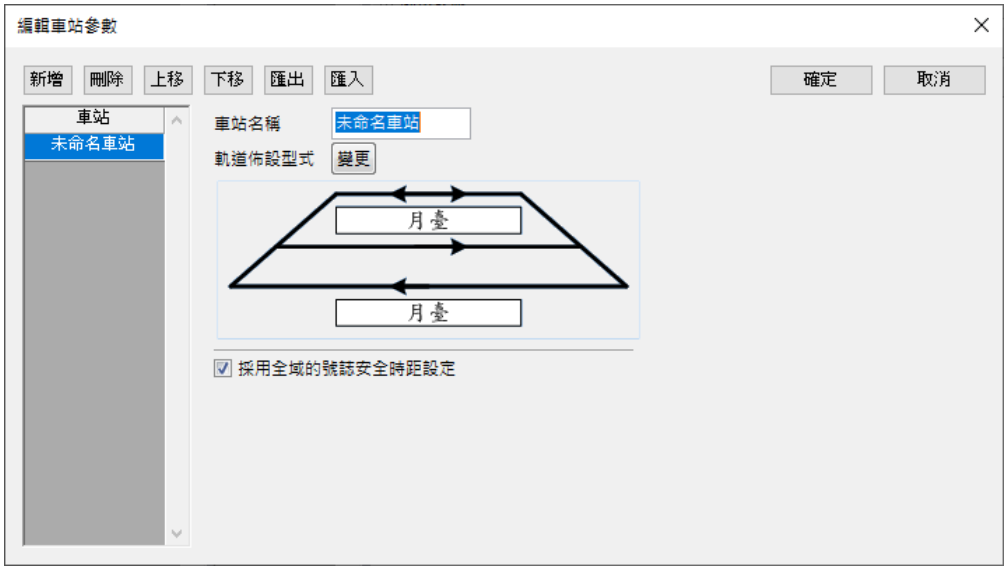


圖 7-37 新增車站（一般模式）

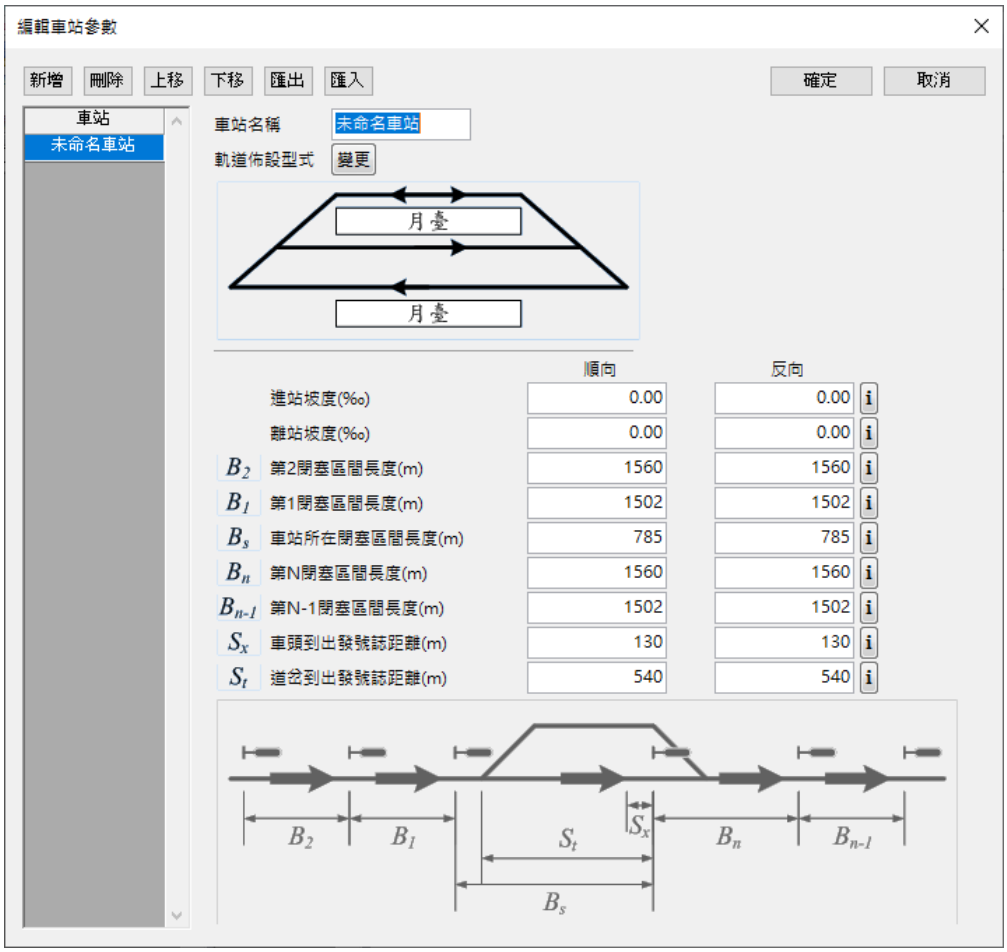


圖 7-38 新增車站（進階模式）

7.6.2 編輯車站

欲編輯車站參數，請按照下列步驟：

1. 從圖 7-35 或圖 7-36 的「車站清單」中選擇欲編輯的車站。
2. 在「參數編輯區」中編輯該車站的參數資料。
3. 完成後可按下【確定】關閉視窗，或於「車站清單」中選擇其他車站繼續編輯作業。

在進階模式下，當使用者設定與長度相關的參數時，圖 7-36 下方的輔助圖形會根據使用者編輯項目的不同而顯示相對應的圖形，例如當使用者在設定順行方向的車站所在區間閉塞區間長度時，輔助圖形會有列車出現在該閉塞區間內，並且以深色線條和文字標示，如圖 7-39。

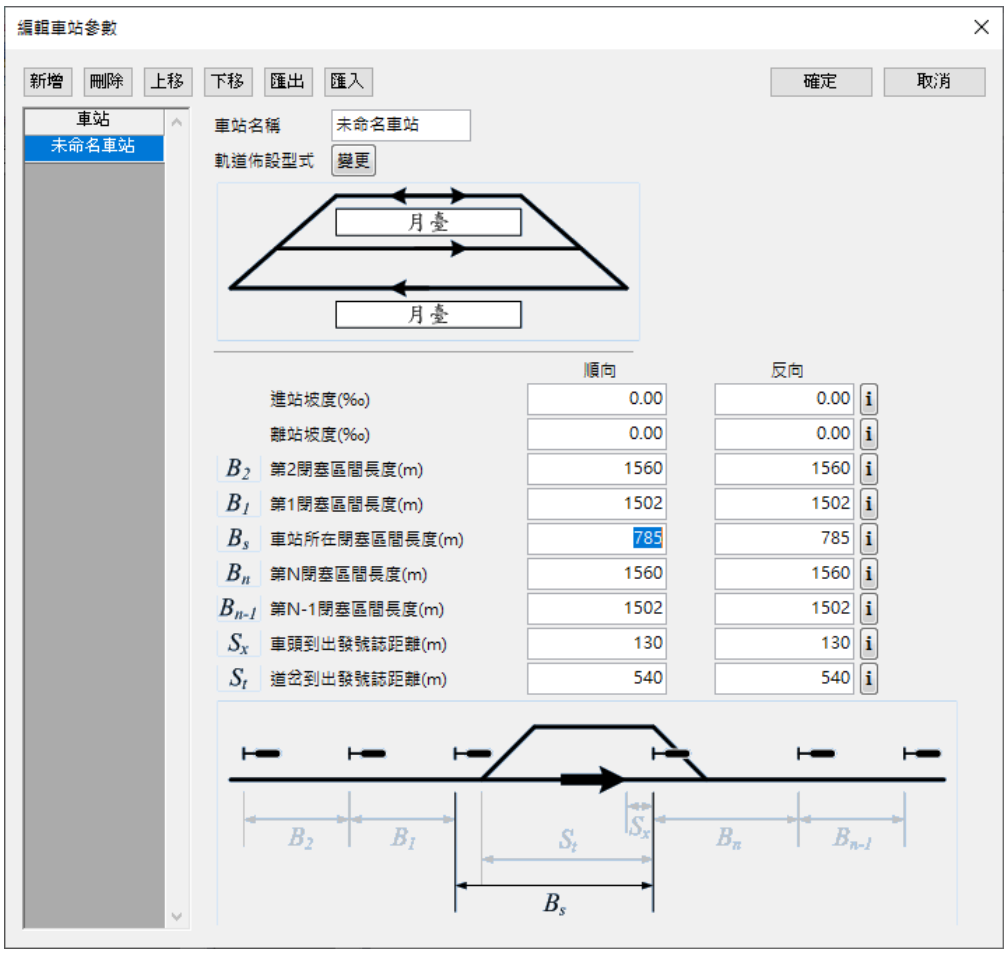


圖 7-39 車站參數設定輔助圖形範例

至於軌道佈設型式的設定，在圖 7-35 或圖 7-36 中的軌道佈設型式參數按下【變更】按鈕，程式會以圖 7-40 來輔助設定。由於進行車站設定時，尚未確定車站兩側為單線或複線，因此圖 7-40 之軌道佈設型式圖示並沒有包含兩側正線，為讓使用者了解實際配線可能的情況，圖 7-41 呈現各種軌道佈設型式下，車站兩側為單線或複線時的軌道配置示意圖，供使用者參照。有關車站軌道佈設型式的分類可詳見第 2.2.4.1 節，若不諳選擇的原則，可以按下【求助】按鈕，透過圖 7-42 的輔助精靈來完成，僅要依序回答精靈對話盒的問題，精靈即會自動指派到合適的設定。

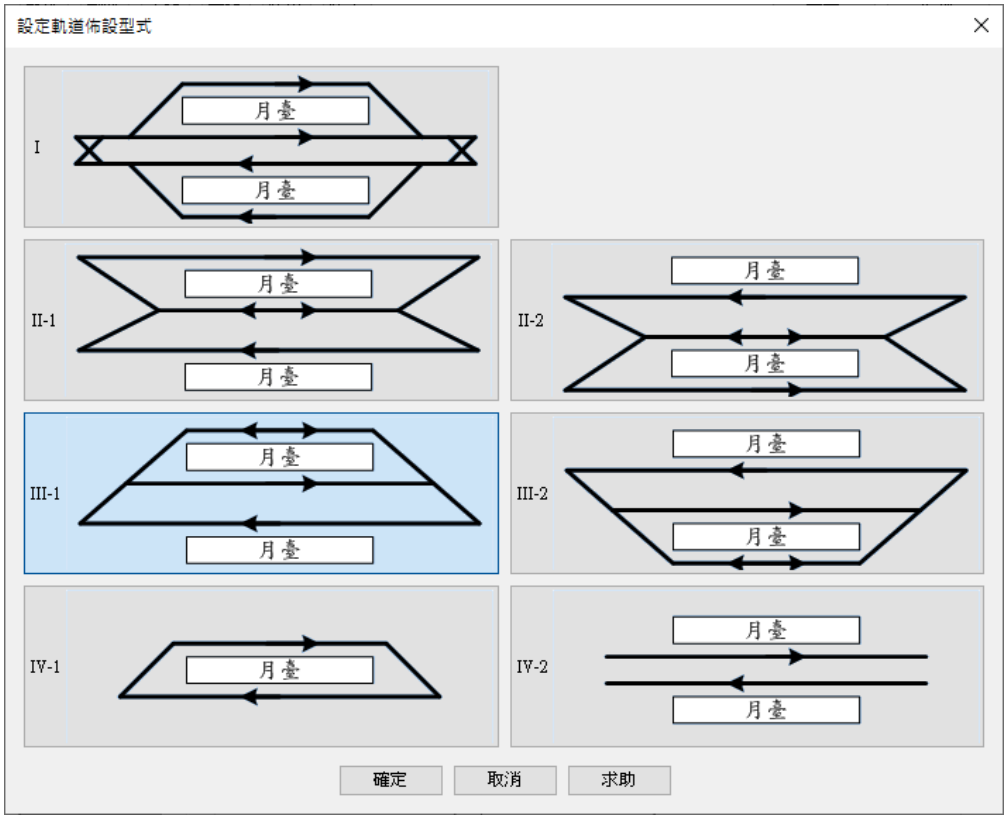


圖 7-40 軌道佈設選擇對話盒

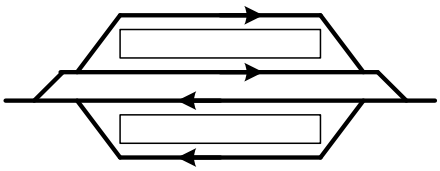
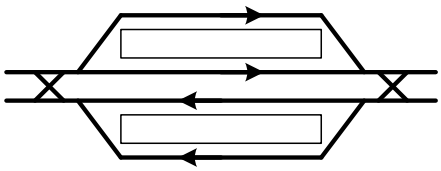
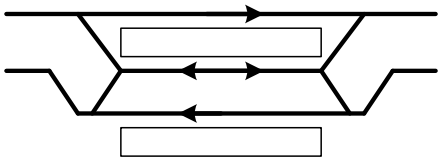
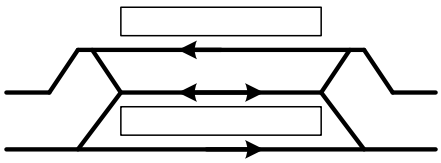
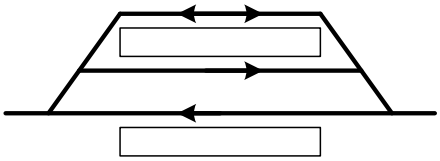
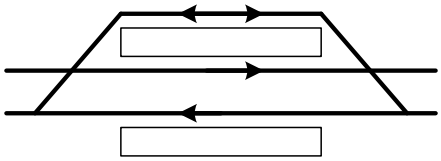
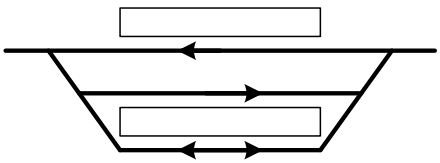
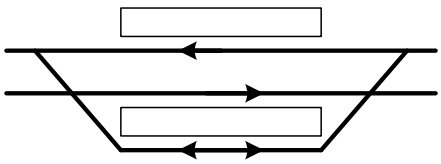
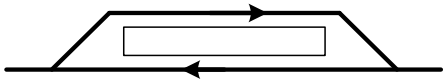
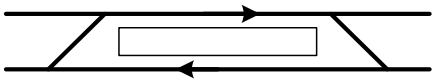
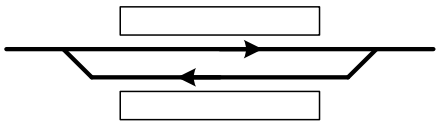
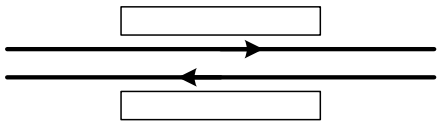
型式	車站兩側為單線	車站兩側為複線
I		
II-1	通常單線不會有此型式之車站	
II-2	通常單線不會有此型式之車站	
III-1		
III-2		
IV-1		
IV-2		

圖 7-41 各種軌道佈設型式兩側正線配置示意對照圖

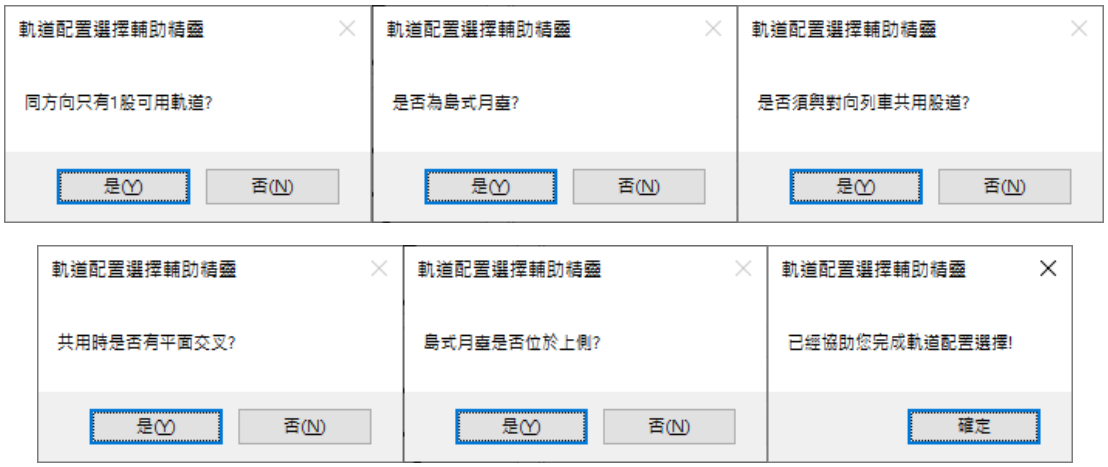


圖 7-42 軌道佈設選擇輔助精靈

7.6.3 刪除車站

欲刪除車站參數，請按照下列步驟：

1. 先從圖 7-35 或圖 7-36 的「車站清單」中選擇欲刪除的車站。
2. 按下「功能按鈕」中的【刪除】即可刪除該車站的參數資料。
3. 完成後可按下【確定】關閉視窗，或於「車站清單」中選擇其他車站繼續編輯作業。

7.6.4 變更車站順序

由於專案內的區段是根據車站的順序組合而成，若有改變車站順序的需求，例如將新增或匯入的車站放置於某區段間，請按照下列步驟變更車站順序：

1. 可從圖 7-35 或圖 7-36 的「車站清單」中選擇欲改變位置的車站。
2. 按下「功能按鈕」中的【上移】或【下移】即可將該車站與上一個或下一個車站交換順序。
3. 完成後可按下【確定】關閉視窗，或於「車站清單」中選擇其他車站繼續編輯作業。

7.6.5 匯出車站參數

由於車站參數資料可能會在其他專案被重複利用，因此本軟體有提供車站資料匯出的功能，其操作步驟如下：

1. 先從圖 7-35 或圖 7-36 的「車站清單」中選擇欲匯出的車站。
2. 按下「功能按鈕」中的【匯出】，會出現圖 7-43 供使用者編寫相關說明。

圖 7-43 編輯車站參數相關說明

3. 編輯完參數相關說明後按下【確定】，會出現如圖 7-44 之對話盒，指定路徑與檔名後按【存檔】完成匯出動作。

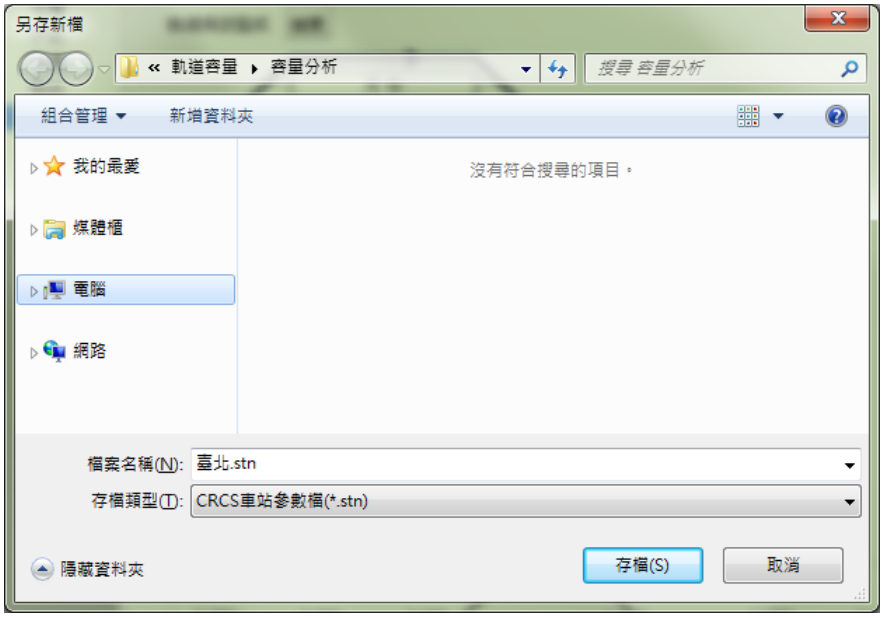


圖 7-44 匯出車站參數檔之對話盒

7.6.6 匯入車站參數

欲將其他專案匯出的車站參數檔(副檔名為「stn」)匯入專案中，請按照下列步驟：

1. 按下圖 7-35 或圖 7-36「功能按鈕」中的【匯入】，會出現圖 7-45 之對話盒，供使用者選擇欲匯入的車站參數檔。

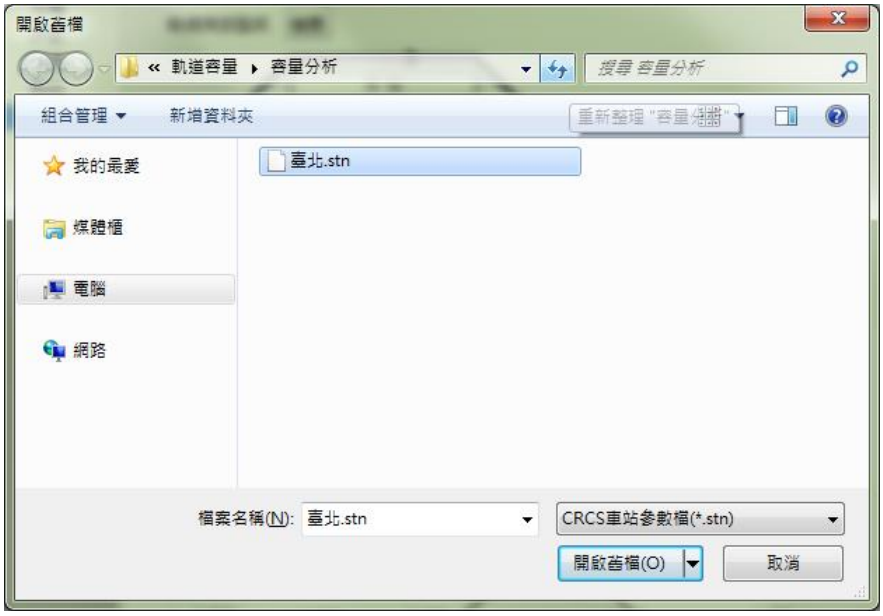


圖 7-45 匯入車站參數檔之對話盒

2. 於匯入車站參數檔對話盒中，指定好路徑與檔名後按下【開啟舊檔】，則會出現參數相關說明之提示，如圖 7-46，按下【確定】後完成匯入動作。

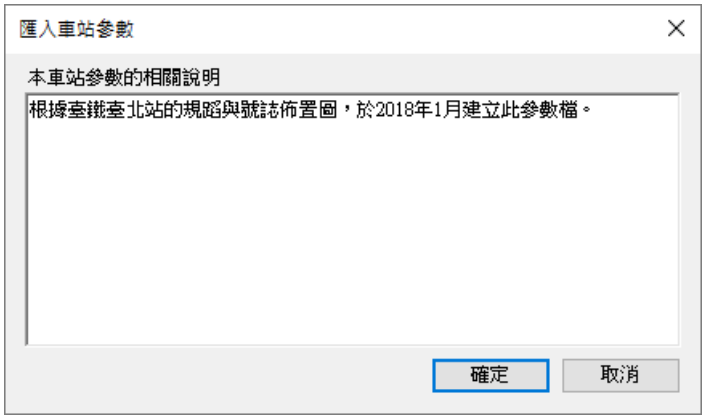


圖 7-46 車站參數相關說明

3. 此外亦可以拖拉的方式，將副檔名為「stn」的車站參數檔拉入車站參數設定畫面，便能直接匯入該車站。

7.7 交互關係設定

欲設定交互關係參數，步驟如下：

1. 於功能面板中的【編輯】面板中按下【交互關係參數】，如圖 45 所示，程式便會開啟如圖 7-48（一般模式）或圖 7-49（進階模式）之介面。

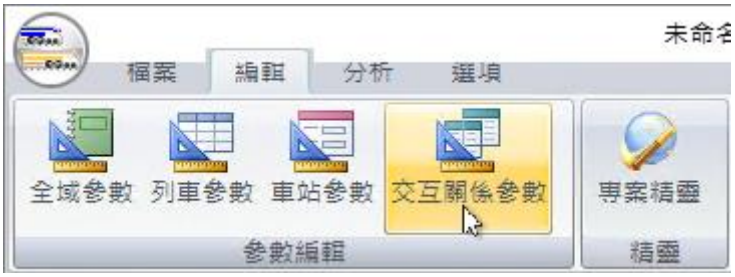


圖 7-47 開啟交互關係參數設定

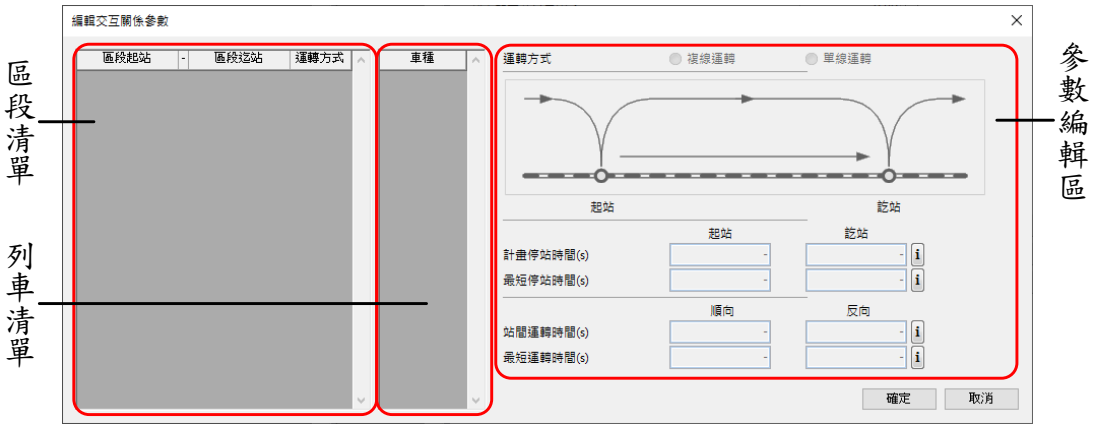


圖 7-48 交互關係參數設定畫面（一般模式）

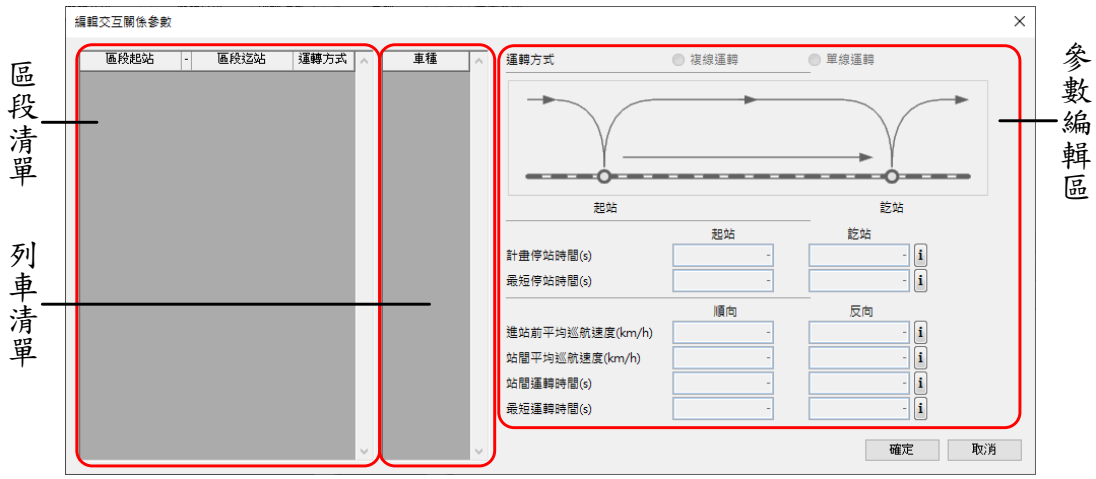


圖 7-49 交互關係參數設定畫面（進階模式）

2. 從圖 7-48 或圖 7-49 的「區段清單」與「列車清單」中選擇欲編輯的區段及列車。
3. 在「參數編輯區」中編輯交互關係參數資料。
4. 完成後可按下【確定】關閉視窗，或於「區段清單」與「列車清單」中選擇其他區段及列車繼續編輯作業。

當使用者於圖 7-48 或圖 7-49 中作設定時，「參數編輯區」上方的輔助圖形會根據使用者編輯項目的不同，即時以深色線條和文字標示對應的項目，降低輸入錯誤的可能性。

有關列車運轉時間與停站時間的決定，可參考第 5.1 節所介紹之方法，但值得注意的是，不同區段間有些交互關係參數值應該是相同的，例如：同一種列車在本路段出發站的停站時間和上個路段到達站的停站時間應相同，為避免使用者的輸入上的困擾，程式會自動將不同路段間應該相同的參數值同步化。

7.8 專案精靈

本軟體在一般模式下，提供了專案精靈功能來協助一般使用者完成特定作業，於功能面板中的【編輯】面板中按下【專案精靈】，如

圖 7-50 所示，即可開啟專案精靈，如圖 7-51。目前專案精靈將會協助使用者匯入臺鐵參數資料、新增車站與新建路線等三項工作，以下將分別說明各項工作的操作流程。

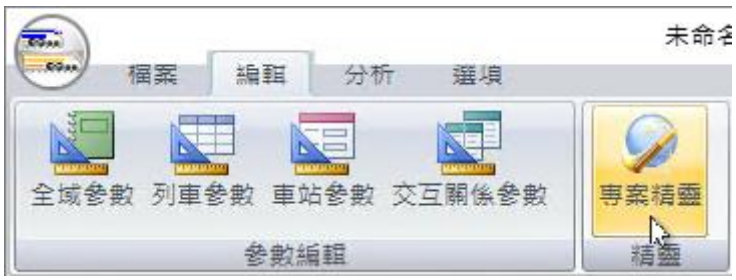


圖 7-50 開啟專案精靈

圖 7-51 專案精靈畫面

7.8.1 匯入臺鐵參數資料

當使用者欲透過專案精靈協助匯入臺鐵參數資料時，請按照下列步驟操作：

1. 在圖 7-51 中選擇【匯入臺鐵參數資料】，按下【下一步】進入圖 50 之畫面。
2. 於圖 7-52 中按下畫面中的「…」按鈕後，會以圖 7-53 之對話盒讓使用者選擇臺鐵資料參數檔的位置，接著按下【下一步】，則會出現圖 7-54 之畫面。
3. 在圖 7-54 畫面中決定要擷取的範圍，當使用者選擇路線、起站和迄站後，畫面上會顯示相關參數供使用者檢視
4. 設定完成後，按下【完成】便可將參數匯入容量軟體中。

圖 7-52 進行臺鐵參數資料檔匯入

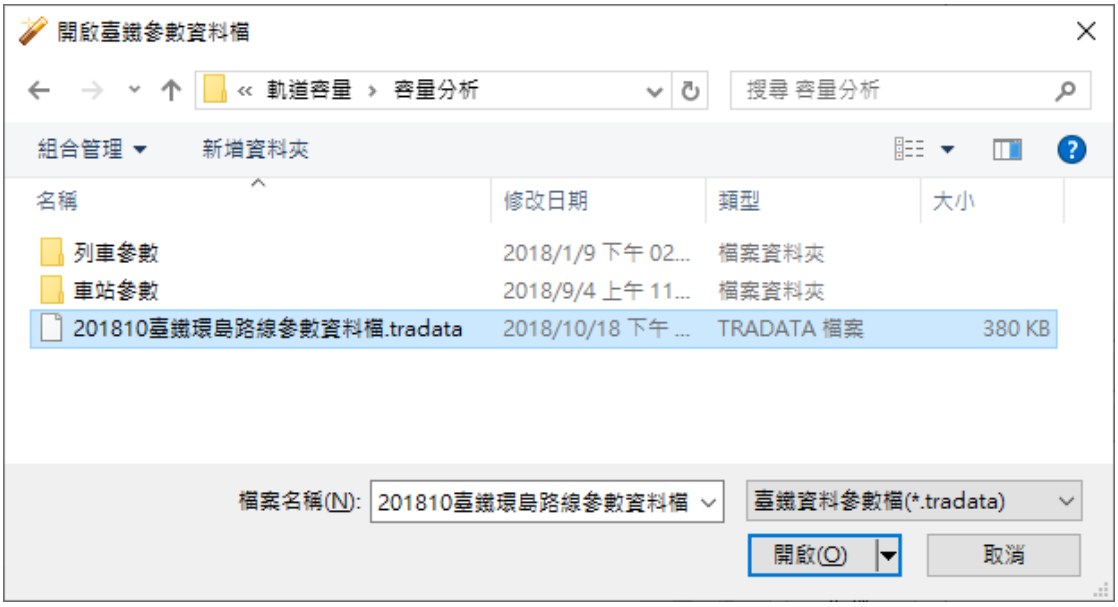


圖 7-53 選擇臺鐵參數資料檔

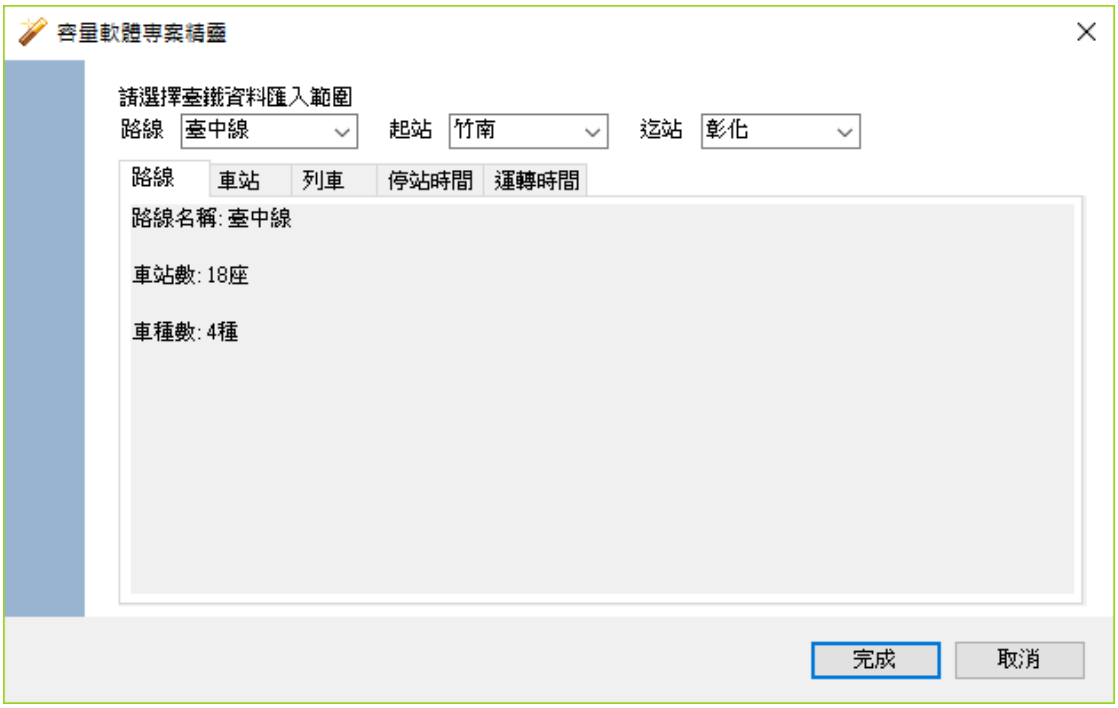


圖 7-54 選擇資料匯入範圍

7.8.2 新增車站

當專案中有一個以上之區段時，便可透過專案精靈協助在區段中新增車站。當使用者欲透過專案精靈協助新增車站時，請按照下列步驟操作：

1. 在圖 7-51 中選擇【新增車站】，按下【下一步】進入圖 7-55 之畫面。
2. 圖 7-55 之畫面左方會列出當前專案中所有的區段，供使用者選擇新車站所在的位置，右方則是設定新車站的名稱與軌道佈設型式。按下【變更】按鈕，專案精靈將提供如圖 7-40 之對話盒來輔助設定。設定完成後，按下【下一步】進入圖 7-56 之畫面。
3. 於圖 7-56 中設定每種列車於新車站的停站時間，以及於新車站前後區段的運轉時間，專案精靈會將原有運轉時間平均分配，作為兩個新區段的運轉時間預設值，但仍須依實際情況再作調整。
4. 設定完成後，按下【完成】即可在當前專案中新增車站。

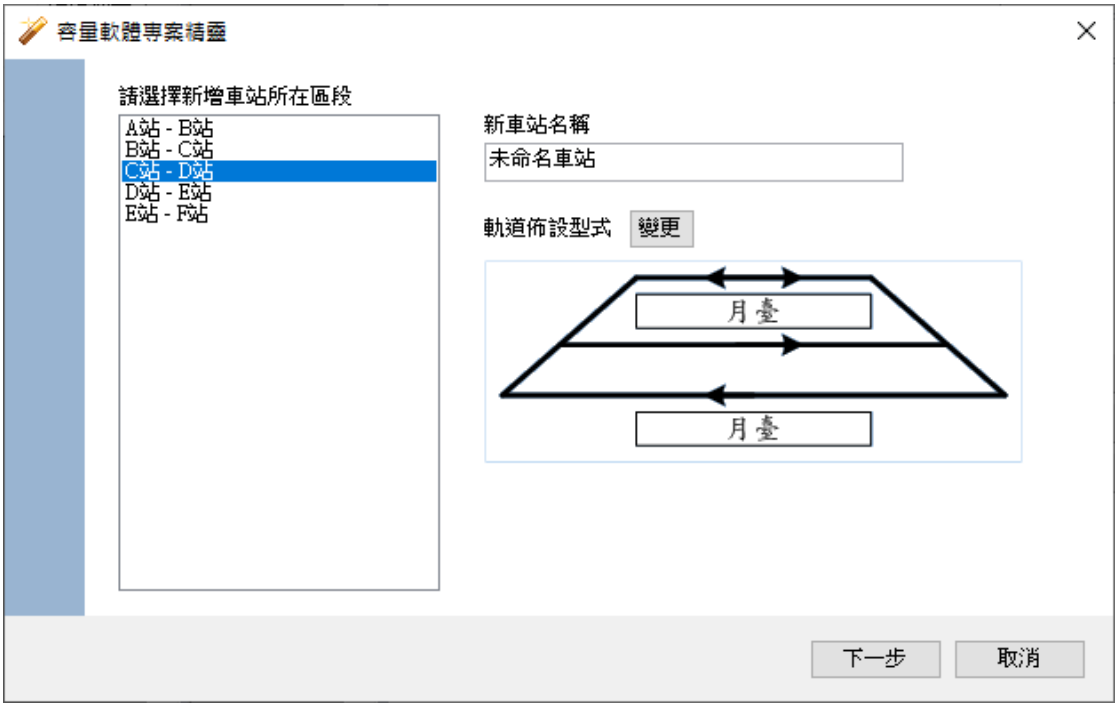


圖 7-55 設定新車站所在的位置與相關參數

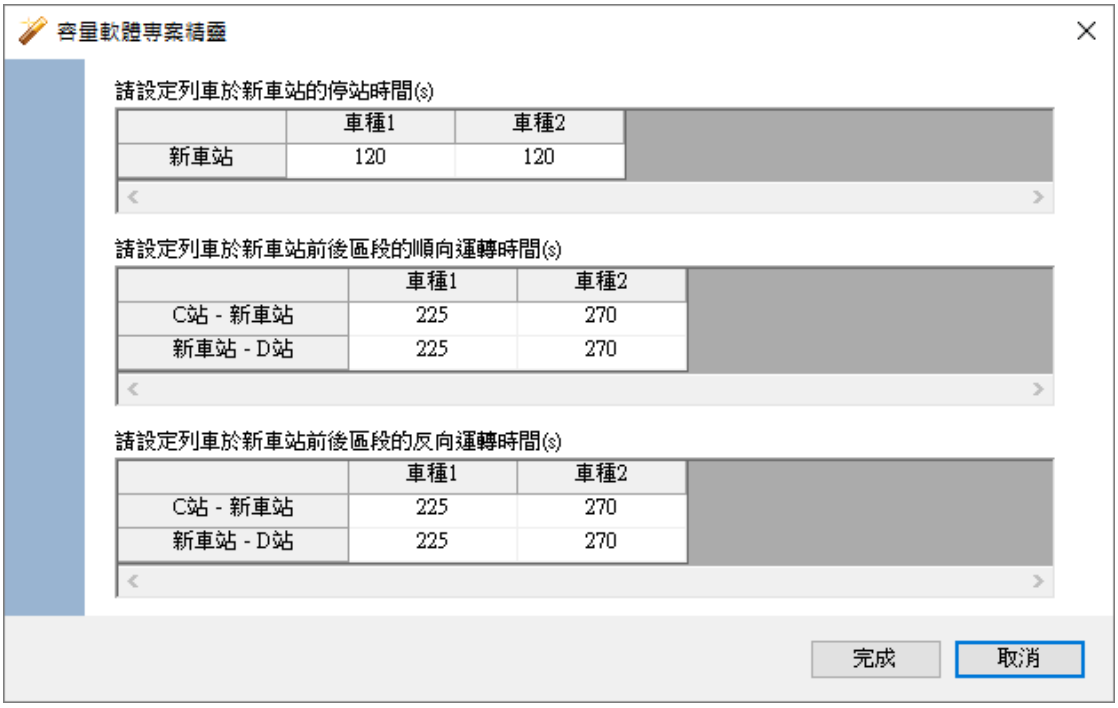


圖 7-56 設定新增車站後的停站時間與運轉時間

7.8.3 新建路線

當使用者欲透過專案精靈協助新建路線時，請按照下列步驟操作：

1. 在圖 7-51 中選擇【新建路線】，按下【下一步】進入圖 7-57 之畫面。
2. 於圖 7-57 中依序輸入新路線之車站名稱與列車名稱，輸入完成後按下【下一步】進入圖 7-58 之畫面。
3. 在圖 7-58 中設定各區段的運轉方式，另外可按上方的【全為複線運轉】或【全為單線運轉】按鈕，將整條路線設定為同樣的運轉方式，設定完成後按下【下一步】進入圖 7-59 之畫面。
4. 圖 7-59 供使用者設定各車站的軌道佈設型式，按下【變更】按鈕，專案精靈將提供如圖 7-40 之對話盒來輔助設定，設定完成後按下【下一步】進入圖 7-60 之畫面。

5. 在圖 7-60 中設定每種列車於各車站的停站時間，設定完成後按下【下一步】進入圖 7-61 之畫面。

6. 在圖 7-61 中設定每種列車於各區段的運轉時間，設定完成後按下【完成】，專案精靈便會根據上述設定在容量軟體中建立新專案。

對於新建路線之運轉時間與停站時間的決定，可參考第 5.1 節所介紹之方法。

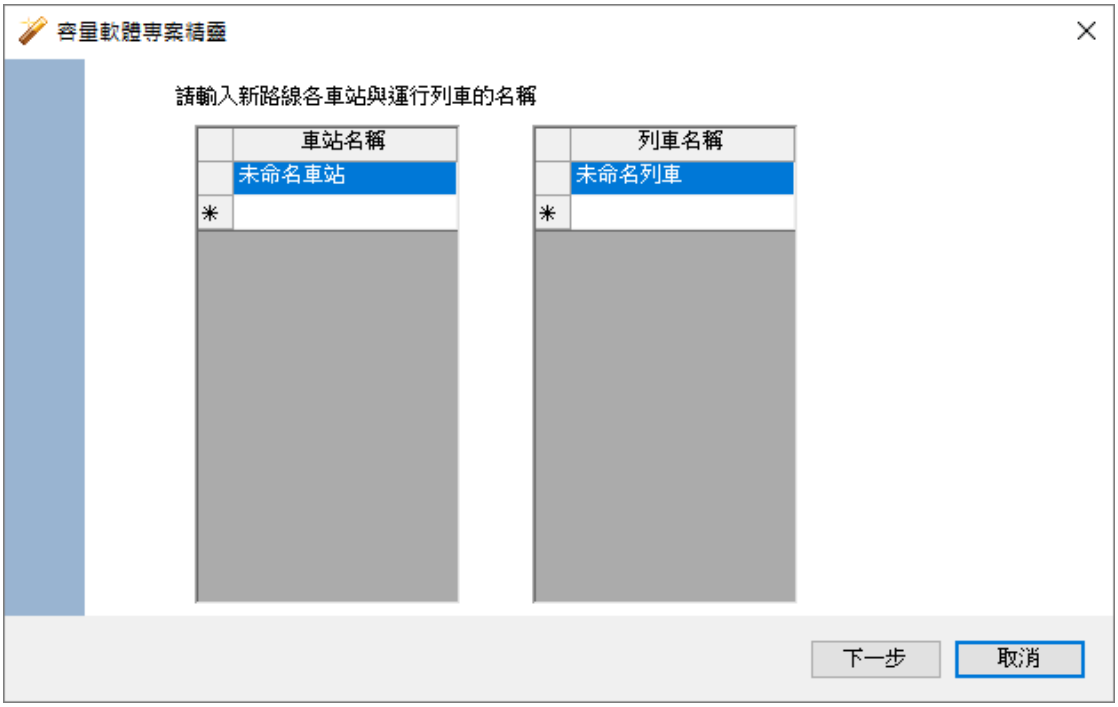


圖 7-57 輸入新路線之車站與列車名稱

圖 7-58 設定新路線各區段之運轉方式

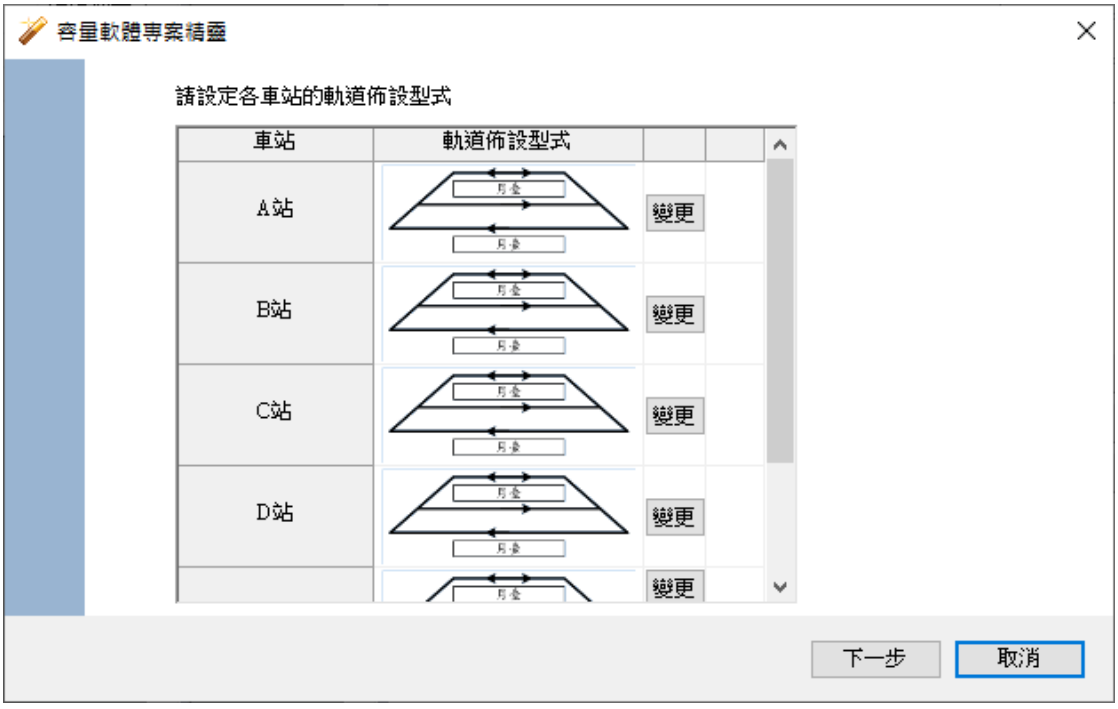


圖 7-59 設定新路線各車站之軌道佈設型式

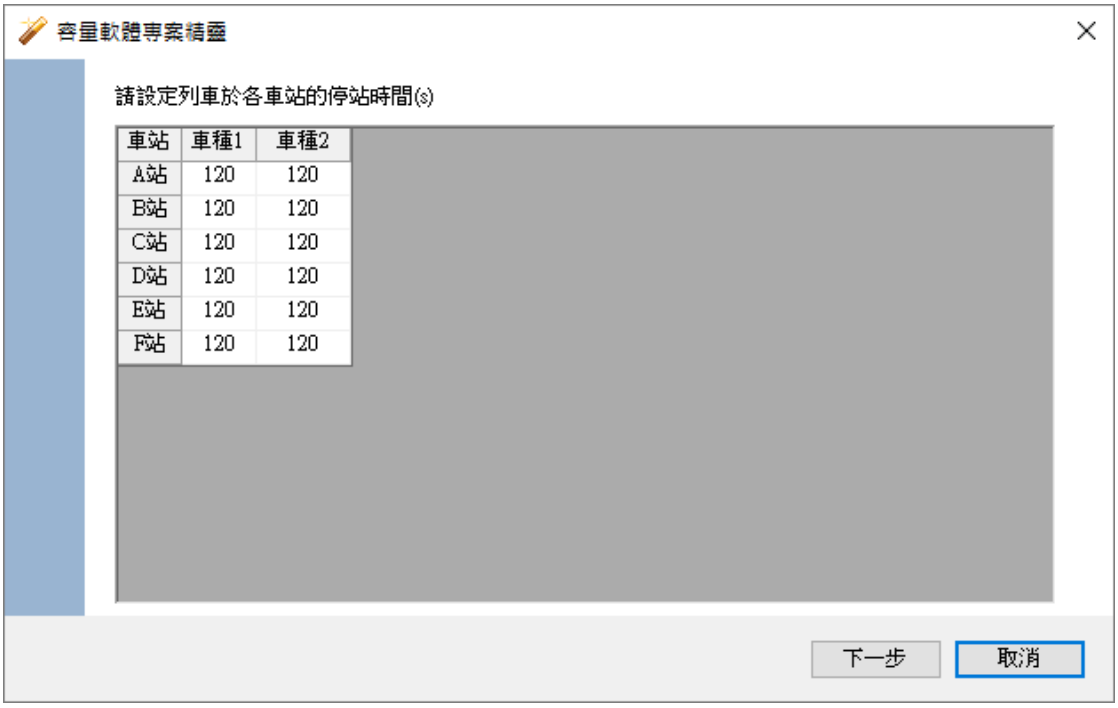


圖 7-60 設定新路線之停站時間

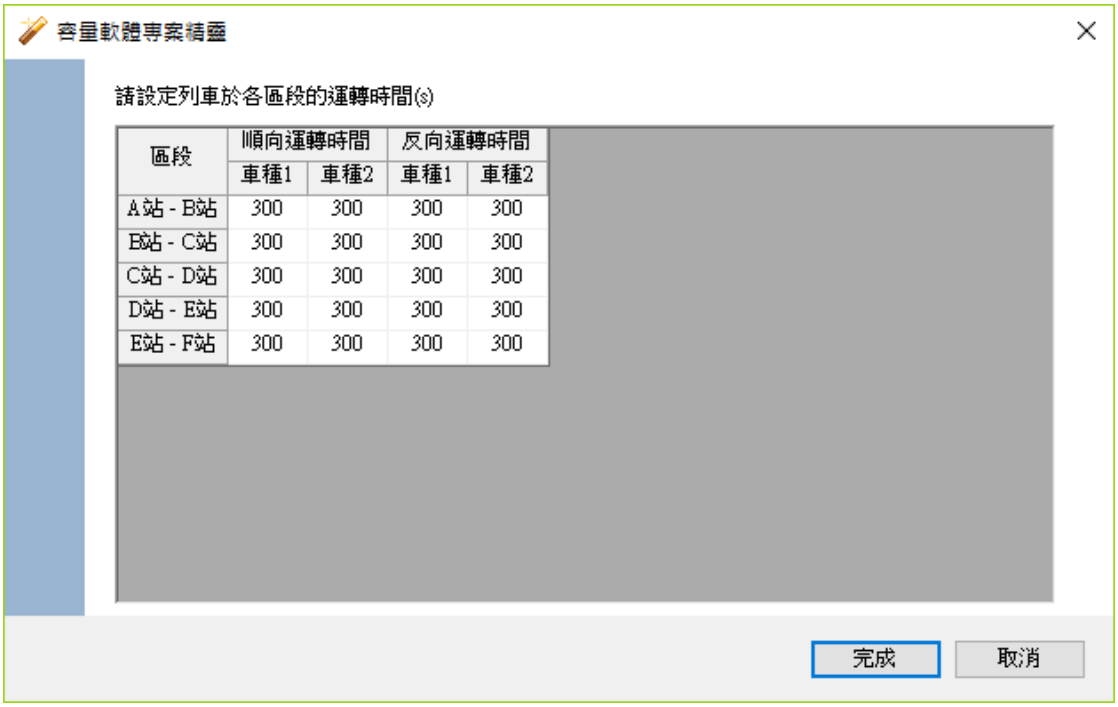


圖 7-61 設定新路線之運轉時間

7.9 容量分析

容量分析可逐一評估專案中各區段之容量，欲進行容量分析，請於功能面板中的【分析】面板中按下【容量分析】，如圖 7-62，即可開啟容量分析功能，以下將說明此功能的操作流程。

圖 7-62 開啟容量分析功能

7.9.1 操作介面介紹

容量分析功能的畫面如圖 7-63 所示，共可分為三區：

1. 分析參數：供使用者設定容量分析專用的參數。
2. 交通組成：供使用者設定各區段的交通組成。
3. 分析結果：以圖表顯示容量分析之結果。

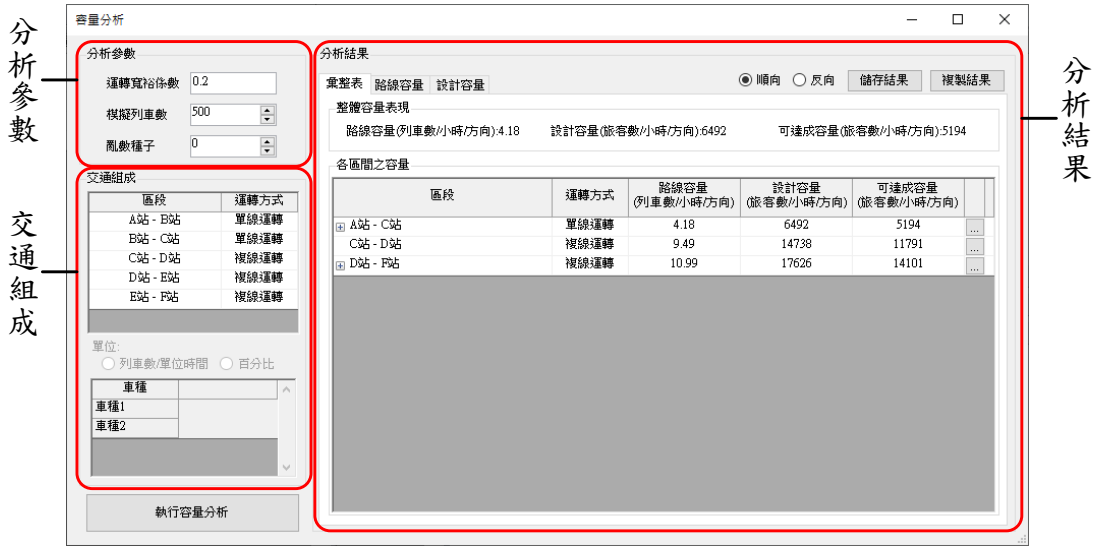


圖 7-63 容量分析畫面

7.9.2 操作步驟說明

進行容量分析有三項步驟，分別說明如下：

1. 設定分析參數

在圖 7-63 的「分析參數」區中，可設定運轉寬裕係數、模擬列車數和亂數種子等參數，如圖 7-64，其中運轉寬裕係數的建議值為 0.2，但應依路線長短作適當調整，當路線較長時，寬裕係數值較小，反之則較大；模擬列車數設愈高可得到較為精確之結果，但進行分析計算所需的時間也會愈長；至於亂數種子，係用來隨機產生列車車種，同一專案使用相同的亂數種子可確保分析結果一致。

圖 7-64 設定容量分析參數

2. 設定交通組成

在圖 7-63 的「交通組成」區中，使用者必須逐一分別設定各區段的交通組成，如圖 7-65，在上方選擇區段後，於下方設定該區段的交通組成，使用者可採用【列車數/單位時間】與【百分比】等兩種不同的單位來設定交通組成。

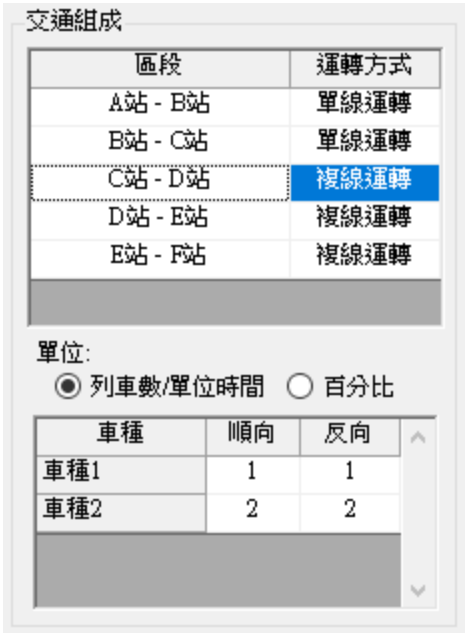


圖 7-65 設定各區段的交通組成

3. 進行容量分析

按下圖 7-63 左下角的【執行容量分析】按鈕，如圖 7-66 所示，程式便會開始進行容量分析，當分析完成後將自動在「分析結果」區中顯示分析結果。

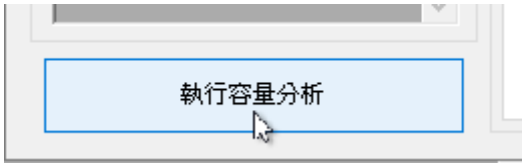


圖 7-66 執行容量分析

7.9.3 結果檢視與輸出

完成容量分析後的畫面如圖 7-67，除了呈現路線整體容量表現，也利用樹狀結構列出各連續區段與其所屬之單一區段的容量結果，並且可自行切換檢視順向或反向的結果。值得注意的是，若專案中各項參數的設定值被修改，為保持參數與計算結果的一致性，程式會自動清除原本的計算結果，直到重新執行分析計算。

圖 7-67 容量分析結果－彙整表

在圖 7-67 中還可進一步按下每列最後的「…」按鈕，來檢視該區段的詳細計算結果，依據該區段的特性，會出現圖 7-68、圖 7-69 或圖 7-70 之介面，在連續區段中，分析圖中顯示以不同模擬列車數模擬分析得到的路線容量，隨著模擬列車數增加，容量分析結果會趨於平穩，最後即可獲得此連續區段之路線容量；在單一區段中，則提供（1）離站時距、（2）進站時距、（3）號誌安全時距、（4）交會待避損失時間、（5）交通組成比例、（6）運轉時隔六種資訊，每種資訊皆會依據不同的先續行列車組合而呈現若干組數據。

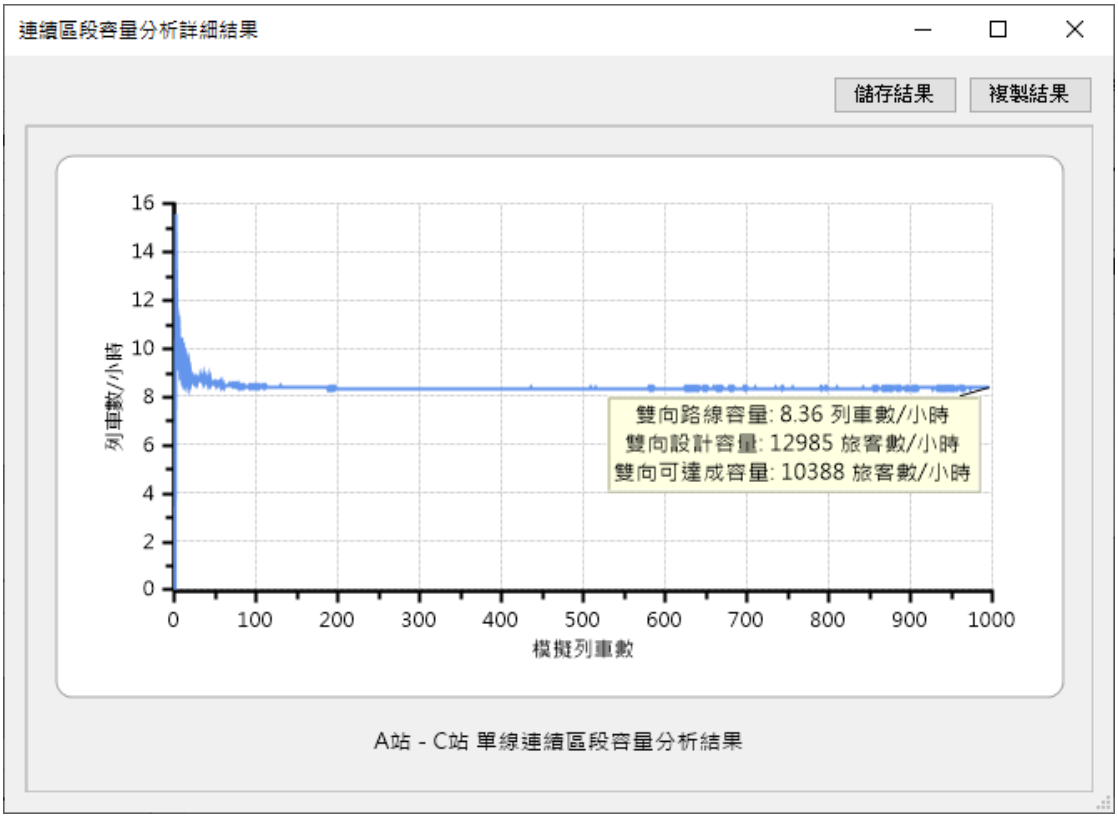


圖 7-68 連續區段詳細結果

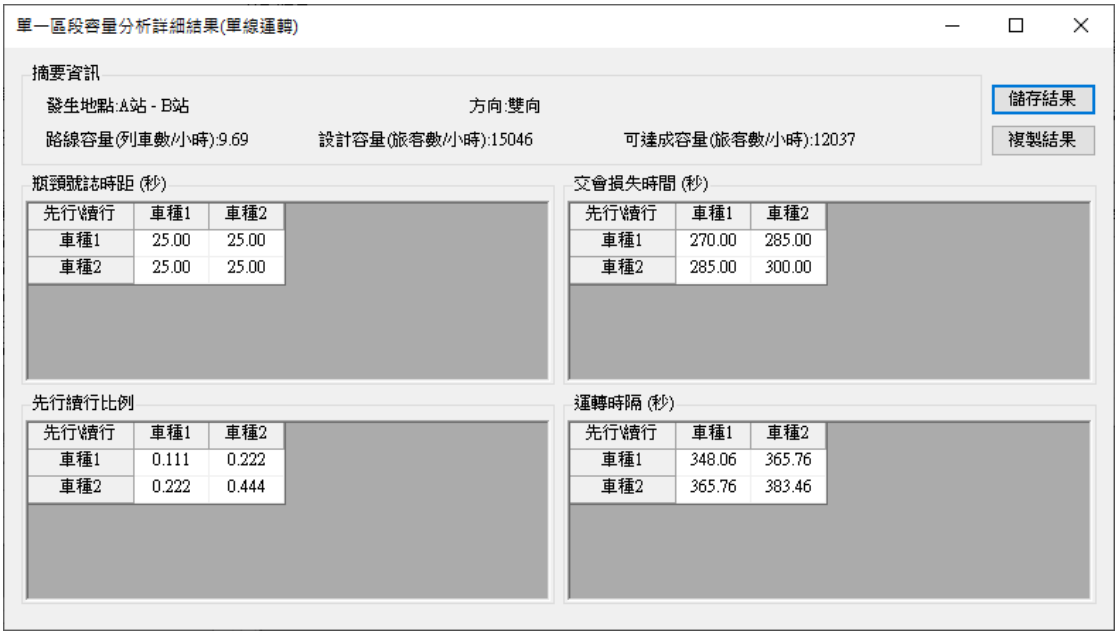


圖 7-69 單線單一區段詳細結果

圖 7-70 複線單一區段區段詳細結果

此外，在圖 7-67 的「分析結果」區中，使用者可點選【路線容量】或【設計容量】頁籤，改以直方圖搭配折線圖的方式來呈現分析結果，如圖 7-71 和圖 7-72 所示。在路線容量方面，其值至小數以下兩位，然此為理論估計值，使用者可根據實際應用需要，自行進位至整數。

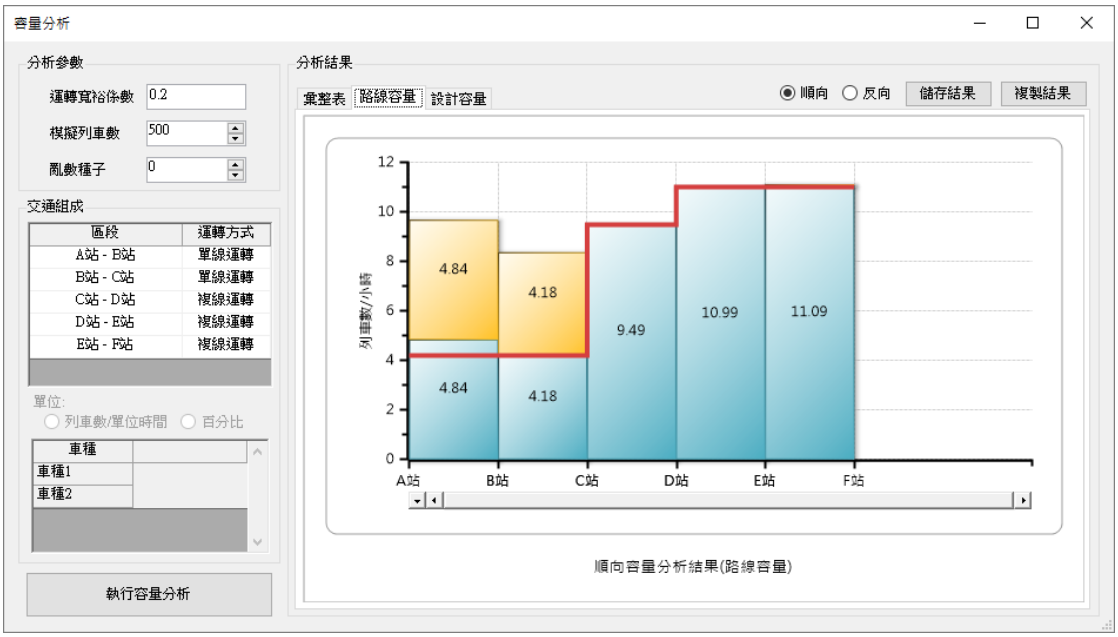


圖 7-71 容量分析結果－路線容量

圖 7-72 容量分析結果－設計容量

欲輸出容量分析結果，可按下「分析結果」區右上方之相關按鈕，如圖 7-73 所示，根據不同的檢視方式有不同的輸出格式：

1. 彙整表：可輸出副檔名為 csv 或 rtf 的檔案，或複製純文字內容至剪貼簿。
2. 連續區段詳細結果：可輸出副檔名為 bmp 的點陣圖或 wmf 的向量圖，或複製圖片至剪貼簿。
3. 單一區段詳細結果：可輸出副檔名為 csv 或 rtf 的檔案，或複製純文字內容至剪貼簿。
4. 路線容量：可輸出副檔名為 bmp 的點陣圖或 wmf 的向量圖，或複製圖片至剪貼簿。
5. 設計容量：可輸出副檔名為 bmp 的點陣圖或 wmf 的向量圖，或複製圖片至剪貼簿。

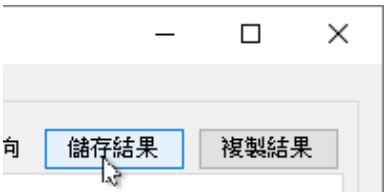


圖 7-73 儲存或複製容量分析結果

7.10 敏感度分析

在完成容量分析之後才能進行敏感度分析，敏感度分析係針對幾項重要的參數，分析其變化對容量所帶來的影響。欲進行敏感度分析，請於功能面板中的【分析】面板中按下【敏感度分析】，如圖 7-74，即可開啟敏感度分析功能，以下將說明此功能的操作流程。

圖 7-74 開啟敏感度分析功能

7.10.1 操作介面介紹

敏感度分析功能的畫面如圖 7-75 所示，共可分為三區：

1. 分析區段：列出專案內所有區段供使用者挑選作為分析基礎。
2. 分析項目：供使用者挑選欲分析的變數項目。
3. 分析結果：以折線圖顯示敏感度分析之結果。

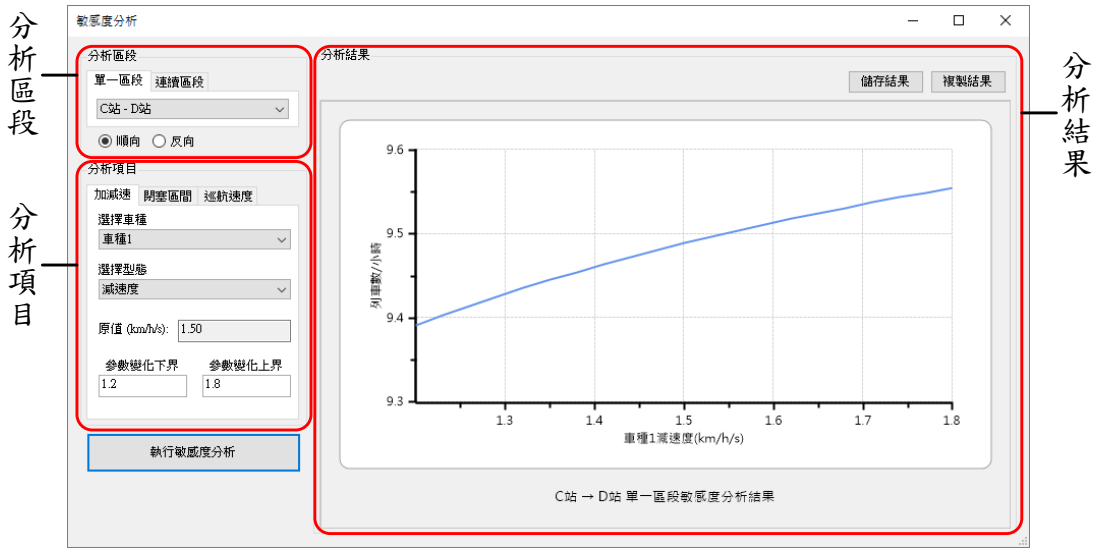


圖 7-75 敏感度分析畫面

7.10.2 操作步驟說明

進行敏感度分析有三項步驟，分別說明如下：

1. 選擇分析區段與方向

在圖 7-75 的「分析區段」區中選擇欲進行敏感度分析的區段以及方向，如圖 7-76，其中單一區段與連續區段可透過頁簽選擇來切換。若該區段為單線運轉，由於本軟體所提供之敏感度分析項目對於單線運轉的容量分析結果影響不大，為避免使用者疑惑，故不提供敏感度分析的功能。

圖 7-76 選擇敏感度分析區段

2. 設定分析項目

在圖 7-75 的「分析項目」區中，本軟體提供列車加減速度、閉塞區間長度，和平均巡航速度等三種項目供使用者進行敏感度分析，使用者可設定上下界，程式便會根據此範圍進行分析，各項目的設定方式說明如下：

(1) 列車加減速度

列車加減速度項目的設定畫面如圖 7-77，在【選擇車種】的「下拉式選單」中係根據專案中的列車資料呈現車種列表，使用者可從中選擇要進行加減速度敏感度分析的車種。完成選擇後，【原值】一欄會依照使用者的選擇，自動顯示在專案中該車種之加速度或減速度的原設定值，而使用者可於【上界】和【下界】欄中設定敏感度分析的範圍。

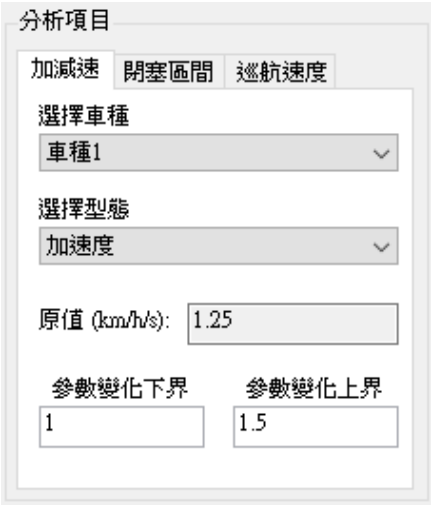


圖 7-77 設定列車加減速度敏感度分析上下界

(2) 閉塞區間長度

閉塞區間長度項目的設定畫面如圖 7-78，在【選擇車站】的「下拉式選單」中係根據所選的分析區段呈現車站列表，使用者可從中選擇要進行敏感度分析的車站，之後再從【選擇閉塞區間】的「下拉式選單」中選擇要進行敏感度分析的閉塞區間，選單中各代號所代表的閉塞區間位置參見表 7.3。完成選擇後，【原值】一欄會依照使用者的選擇，自動顯示專案中該車站於該閉塞區間的原設定值，而使用者可於【上界】和【下界】欄中設定敏感度分析的範圍。

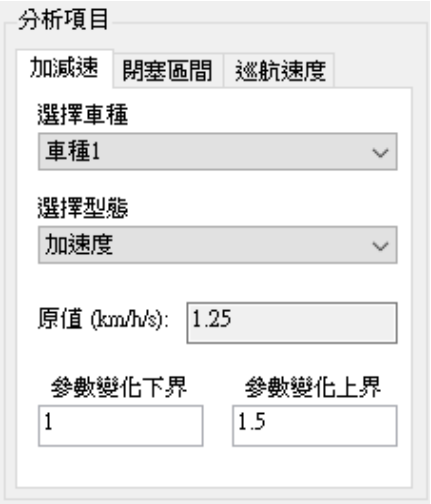


圖 7-78 設定閉塞區間長度敏感度分析上下界

表 7.3 閉塞區間代號與位置

閉塞區間代號	閉塞區間位置
B2	進站號誌機的前兩個閉塞區間
B1	進站號誌機的前一個閉塞區間
Bs	車站所在的閉塞區間
Bn	出發號誌機的下一個閉塞區間
Bn-1	出發號誌機的下兩個閉塞區間

(3) 平均巡航速度

平均巡航速度項目的設定畫面如圖 7-79，在【選擇區段】的「下拉式選單」中係根據專案中的資料呈現區段列表，使用者可從中選擇要進行敏感度分析的區段，之後再從【選擇車種】的「下拉式選單」中選擇要進行平均巡航速度敏感度分析的車種。完成選擇後，【原值】一欄會依照使用者的選擇，自動顯示專案中該車種於該區間之平均巡航速度的原設定值，而使用者可於【上界】和【下界】欄中設定敏感度分析的範圍。

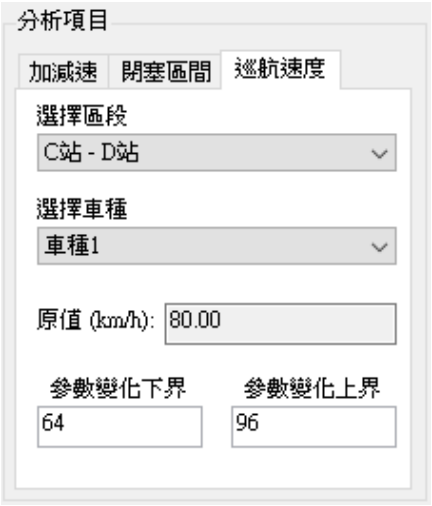


圖 7-79 設定平均巡航速度敏感度分析上下界

3. 進行敏感度分析

按下圖 7-75 左下角的【執行敏感度分析】按鈕，如圖 7-80 所示，程式便會開始進行敏感度分析，當分析完成後將自動在「分析結果」區中顯示分析結果。

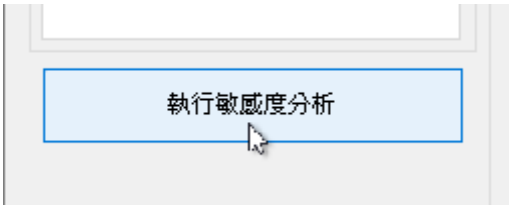


圖 7-80 執行敏感度分析

7.10.3 結果檢視與輸出

完成敏感度分析後的畫面如圖 7-81，在此須注意，由於容量模式的非線性特性，敏感度分析的結果中若出現折線屬正常情形，尤其是在連續區段中，參數的變化必須夠大才能對整條路線的容量造成影響，所以敏感度分析的結果中可能出現階梯狀或其他非線性的圖形。

欲輸出敏感度分析結果，可按下「分析結果」區右上方之相關按鈕，可輸出副檔名為 bmp 的點陣圖或 wmf 的向量圖，或複製圖片至剪貼簿。

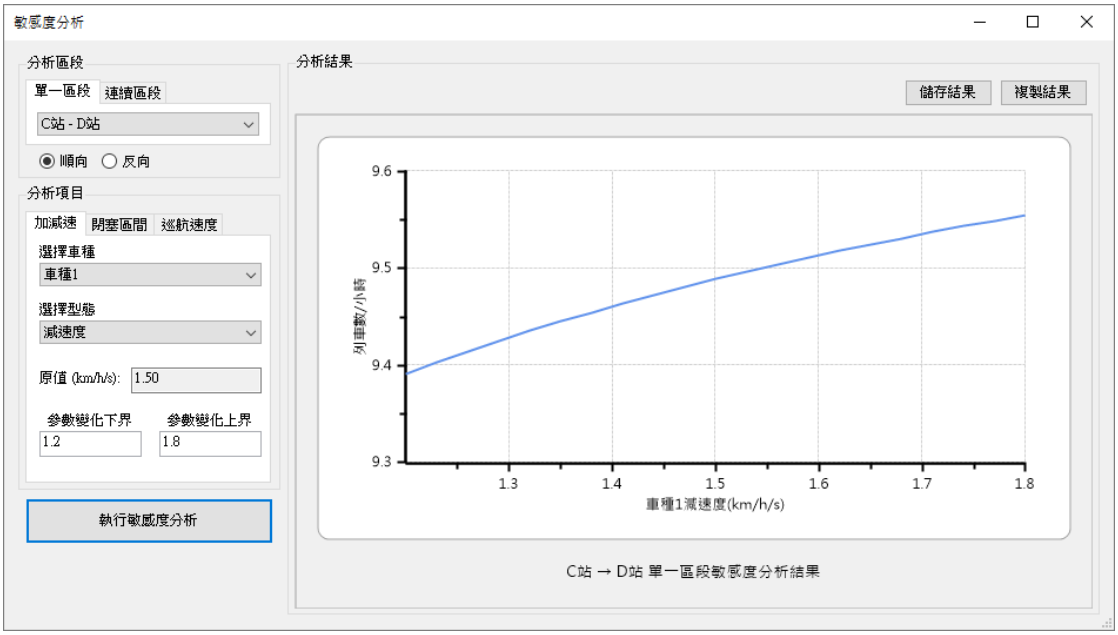


圖 7-81 敏感度分析結果

7.11 可靠度分析

在完成容量分析之後才能進行可靠度分析，可靠度分析係探討不同列車流量於一區段中運行時所產生的平均延滯時間，可提供列車排點時的參考。欲進行可靠度分析，於功能面板中的【分析】面板中按下【可靠度分析】，如圖 7-82，即可開啟可靠度分析功能，以下將說明此功能的操作流程。

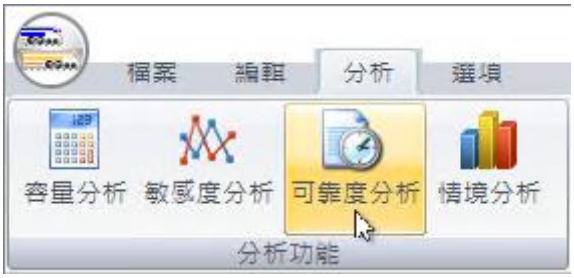


圖 7-82 開啟可靠度分析功能

7.11.1 操作介面介紹

可靠度分析功能的畫面如圖 7-83 所示，共可分為三區：

1. 分析區段：列出專案內所有區段供使用者挑選作為分析基礎。
2. 分析參數：供使用者設定可靠度分析的相關參數。
3. 分析結果：以折線圖顯示可靠度分析之結果。

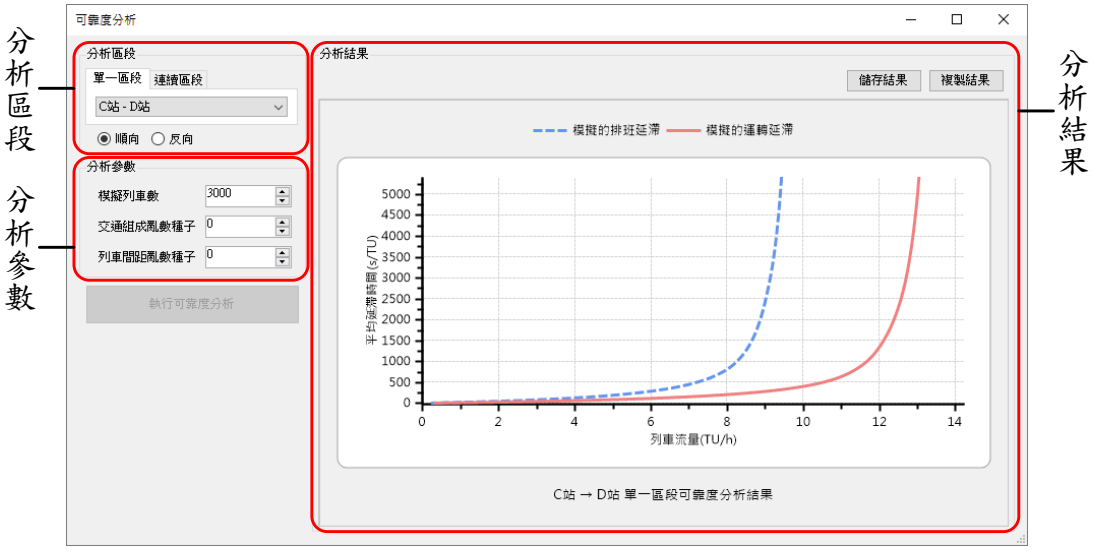


圖 7-83 可靠度分析畫面

7.11.2 操作步驟說明

進行可靠度分析有三項步驟，分別說明如下：

1. 選擇分析區段與方向

在的「分析區段」區中選擇圖 7-83 欲進行可靠度分析的區段以及方向，如圖 7-84，其中單一區段與連續區段可透過頁簽選擇來切換。

圖 7-84 選擇可靠度分析區段

2. 設定分析參數

於圖 7-83 的「分析參數」區中，設定模擬列車數、交通組成亂數種子，以及列車間距亂數種子等參數，如圖 7-85，其中模擬列車數的數值設愈高，可得到較為精確之模擬結果，但進行模擬分析的時間也會愈長，亂數種子若在同一專案設定相同數值，可確保分析結果一致。

圖 7-85 設定可靠度分析參數

3. 進行可靠度分析

按下圖 7-83 左下角的【執行可靠度分析】按鈕，如圖 7-86 所示，程式便會開始進行可靠度分析，當分析完成後將自動在「分析結果」區中顯示分析結果。

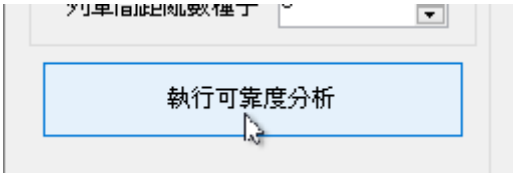


圖 7-86 執行可靠度分析

7.11.3 結果檢視與輸出

完成可靠度分析後的畫面如圖 7-87，分析圖中會顯示兩條曲線，分別是模擬的排班延滯和模擬的運轉延滯。值得注意的是，若專案中各項參數的設定值被修改，為保持參數與計算結果的一致性，程式會自動清除原本的計算結果，直到重新執行分析計算。

欲輸出可靠度分析結果，可按下「分析結果」區右上方之相關按鈕，可輸出副檔名為 bmp 的點陣圖或 wmf 的向量圖，或複製圖片至剪貼簿。

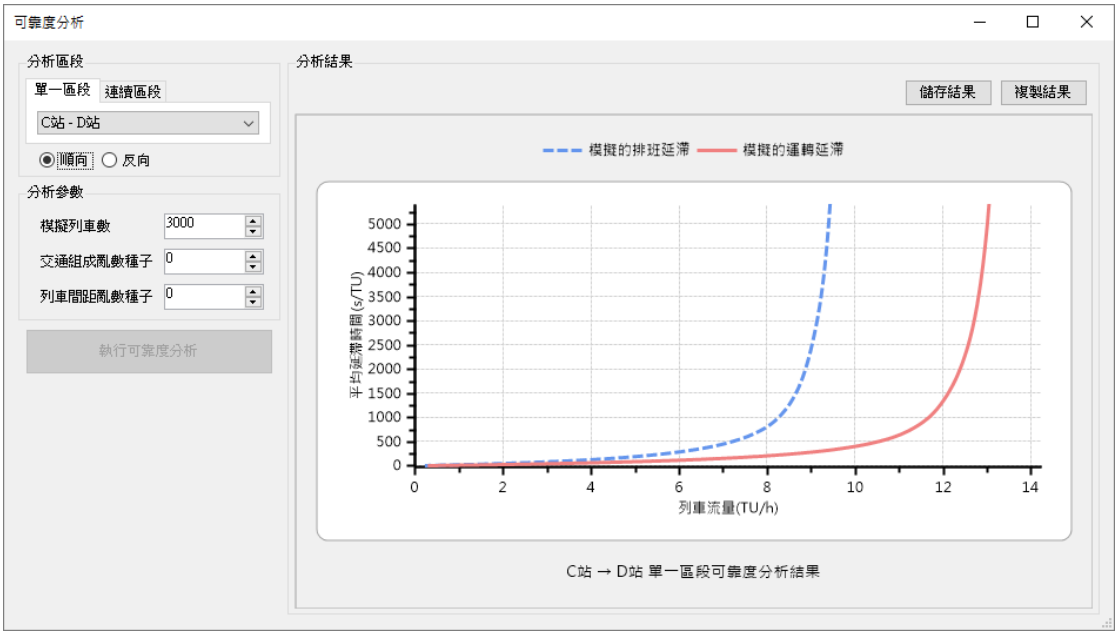


圖 7-87 可靠度分析結果

7.12 情境分析

在完成容量分析之後才能進行情境分析，情境分析可對不同容量改善的情境進行分析與比較,其結果可作為擬定容量改善方案的依據。欲進行情境分析，於功能面板中的【分析】面板中按下【情境分析】，如圖 7-88，即可開啟情境分析功能，以下將說明此功能的操作流程。

圖 7-88 開啟情境分析功能

7.12.1 操作介面介紹

情境分析功能的畫面如圖 7-89，共可分為四區：

1. 分析區段：列出專案內所有區段供使用者挑選作為分析基礎。
2. 功能按鈕：提供新增、刪除與編修情境之功能。
3. 情境清單：列出針對分析區段所設定的各項情境。
4. 分析結果：以彙整表與直方圖呈現分析之結果。

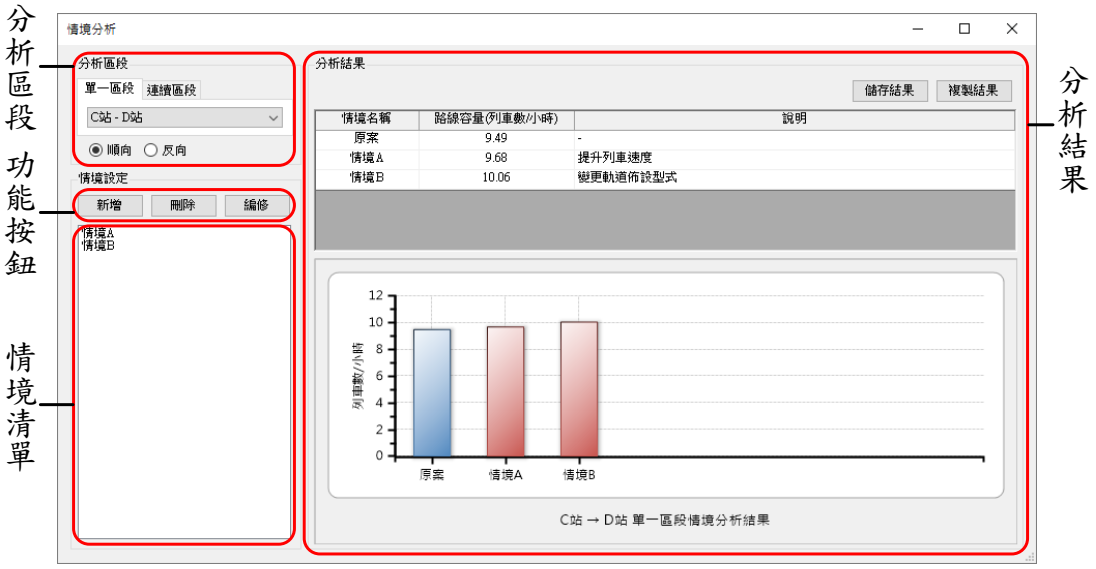


圖 7-89 情境分析畫面

7.12.2 操作步驟說明

進行情境分析有三項步驟，分別說明如下：

1. 選擇分析區段與方向

在圖 7-89 的「分析區段」區中選擇欲進行可靠度分析的區段以及方向，如圖 7-90，其中單一區段與連續區段可透過頁簽選擇來切換。

圖 7-90 選擇情境分析區段

2. 進行情境設定

在圖 7-89 的「功能按鈕」區中按下【新增】按鈕，或者先在「情境清單」區中選擇一情境後按下【編修】按鈕，會出現如圖 7-91 之對話盒，可針對個別情境的內容進行設定。在圖 7-91 中，「情境名稱」

和「情境說明」區可由使用者自行輸入情境的相關資訊；「操作控制」區係用來編修情境的內容；而「情境內容」區則是呈現目前該情境的內容細節。

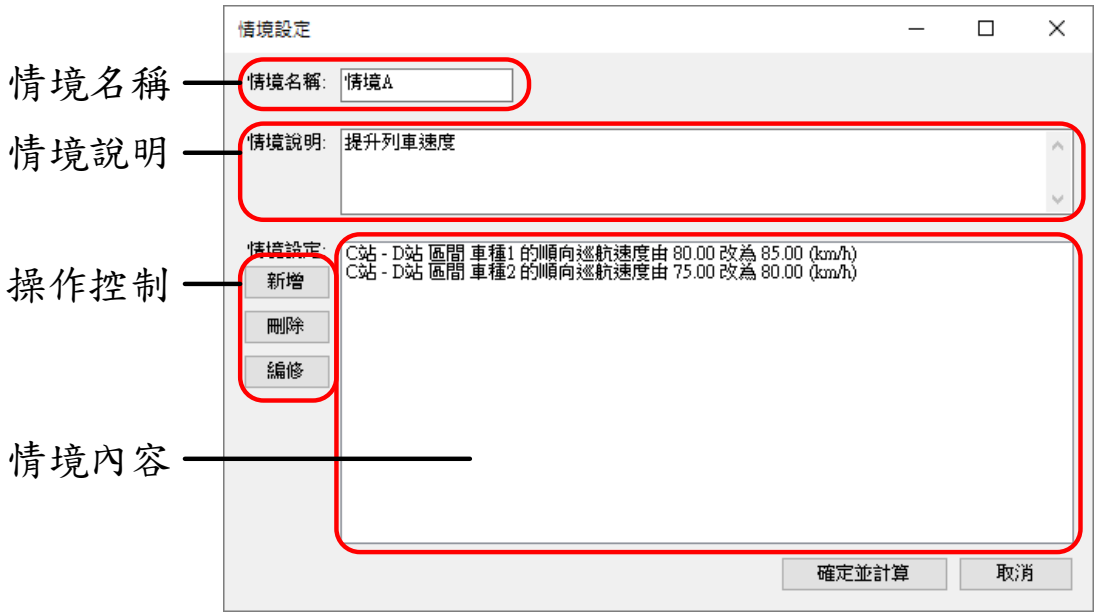


圖 7-91 情境設定對話盒

3. 編輯情境內容

按下圖 7-91「操作控制」區的【新增】、【刪除】和【編修】按鈕可編輯情境內容，使用者可針對列車加減速度、閉塞區間長度、平均巡航速度、軌道佈設型式、運轉時間、停站時間，以及進離站坡度等七種參數分別設定其變動情況，各項參數變動的設定方式說明如下：

(1) 列車加減速度

設定列車加減速度變動情境的畫面如圖 7-92，在【選擇車種】的「下拉式選單」中係根據專案內的列車資料呈現車種列表，使用者可從中選擇要變動加減速度的車種。完成選擇後，畫面中【原值】一欄會依照使用者的選擇，自動顯示專案中該車種之加速度或減速度的原設定值，而使用者可於【變動後】一欄設定變動後的數值。

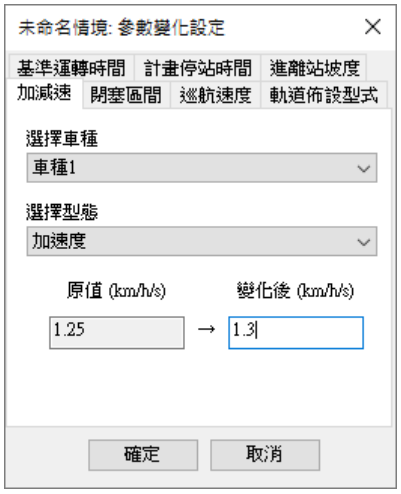


圖 7-92 變動列車加減速度的對話盒

(2) 閉塞區間長度

設定閉塞區間長度變動情境的畫面如圖 7-93，在【選擇車站】的「下拉式選單」中係根據專案內的車站資料呈現車站列表，使用者可從中選擇要變動閉塞區間長度的車站，之後再從【選擇閉塞區間】的「下拉式選單」中選擇要變動長度的閉塞區間，選單中各代號所代表的閉塞區間位置參見表 7.3。完成選擇後，畫面中【原值】一欄會依照使用者的選擇，自動顯示專案中該車站於該閉塞區間的原設定值，而使用者可於【變動後】一欄設定變動後的數值。

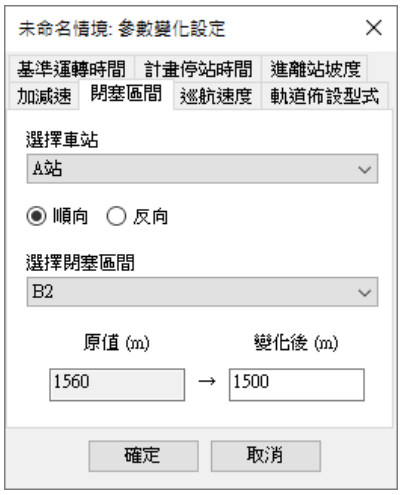


圖 7-93 變動閉塞區間長度的對話盒

(3) 平均巡航速度

設定平均巡航速度變動情境的畫面如圖 7-94，在【選擇區段】的「下拉式選單」中係根據專案內的區段資料呈現區段列表，使用者可從中選擇要變動平均巡航速度的區段，之後再從【選擇車種】的「下拉式選單」中選擇要變動平均巡航速度的車種。完成選擇後，畫面中【原值】一欄會依照使用者的選擇，自動顯示專案中該車種於該區間之平均巡航速度的原設定值，而使用者可於【變動後】一欄設定變動後的數值。

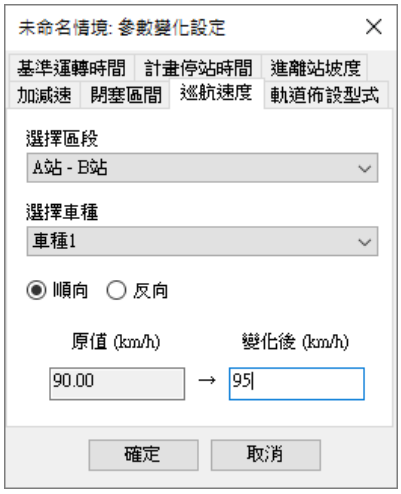


圖 7-94 變動平均巡航速度的對話盒

(4) 軌道佈設型式

設定軌道佈設型式變動情境的畫面如圖 7-95，在【選擇車站】的「下拉式選單」中係根據專案內的車站資料呈現車站列表，使用者可從中選擇要變動軌道佈設型式的車站。完成選擇後，畫面中【原值】一欄會依照使用者的選擇，自動顯示專案中該車站之軌道佈設型式的原設定值，而使用者可於【變動後】一欄設定變動後的軌道佈設型式。

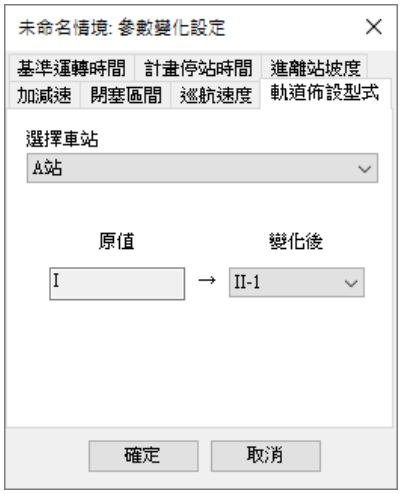


圖 7-95 變動軌道佈設型式的對話盒

(5) 站間運轉時間

設定站間運轉時間變動情境的畫面如圖 7-96，在【選擇區段】的「下拉式選單」中係根據專案內的區段資料呈現區段列表，使用者可從中選擇要變動站間運轉時間的區段，之後再從【選擇車種】的「下拉式選單」中選擇要變動站間運轉時間的車種。完成選擇後，畫面中【原值】一欄會依照使用者的選擇，自動顯示專案中該車種於該區間之站間運轉時間的原設定值，而使用者可於【變動後】一欄設定變動後的數值。

圖 7-96 變動站間運轉時間的對話盒

(6) 計畫停站時間

設定計畫停站時間變動情境的畫面如圖 7-97，在【選擇車站】的「下拉式選單」中係根據專案內的車站資料呈現車站列表，使用者可從中選擇要變動計畫停站時間的車站，之後再從【選擇車種】的「下拉式選單」中選擇要變動計畫停站時間的車種。完成選擇後，畫面中【原值】一欄會依照使用者的選擇，自動顯示專案中該車種於該車站之計畫停站時間的原設定值，而使用者可於【變動後】一欄設定變動後的數值。

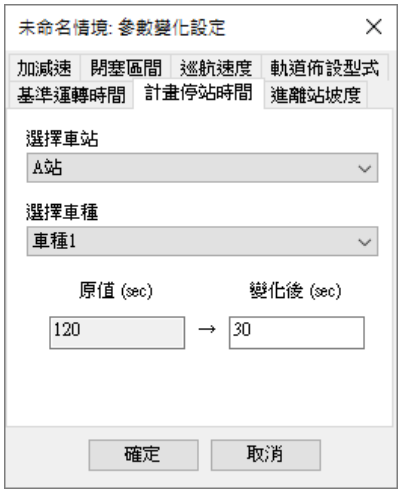


圖 7-97 變動計畫停站時間的對話盒

(7) 進離站坡度

設定進離站坡度變動情境的畫面如圖 7-98，在【選擇車站】的「下拉式選單」中係根據專案內的車站資料呈現車站列表，使用者可從中選擇要變動進離站坡度的車站。完成選擇後，畫面中【原值】一欄會依照使用者的選擇，自動顯示專案中該車站之進離站坡度的原設定值，而使用者可於【變動後】一欄設定變動後的數值。

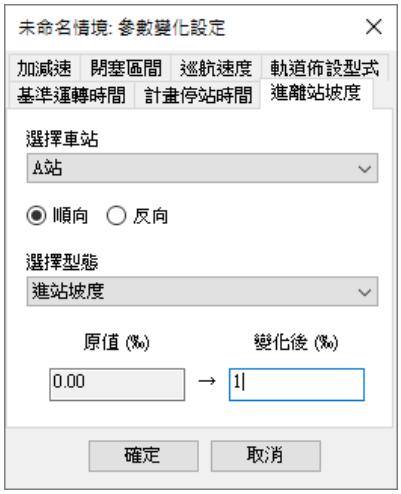


圖 7-98 變動進離站坡度的對話盒

4. 進行情境分析

按下圖 7-91 右下方的【確定並計算】按鈕，如圖 7-99 所示，程式便會開始進行情境分析，當分析完成後便會自動在分析圖中顯示分析結果。

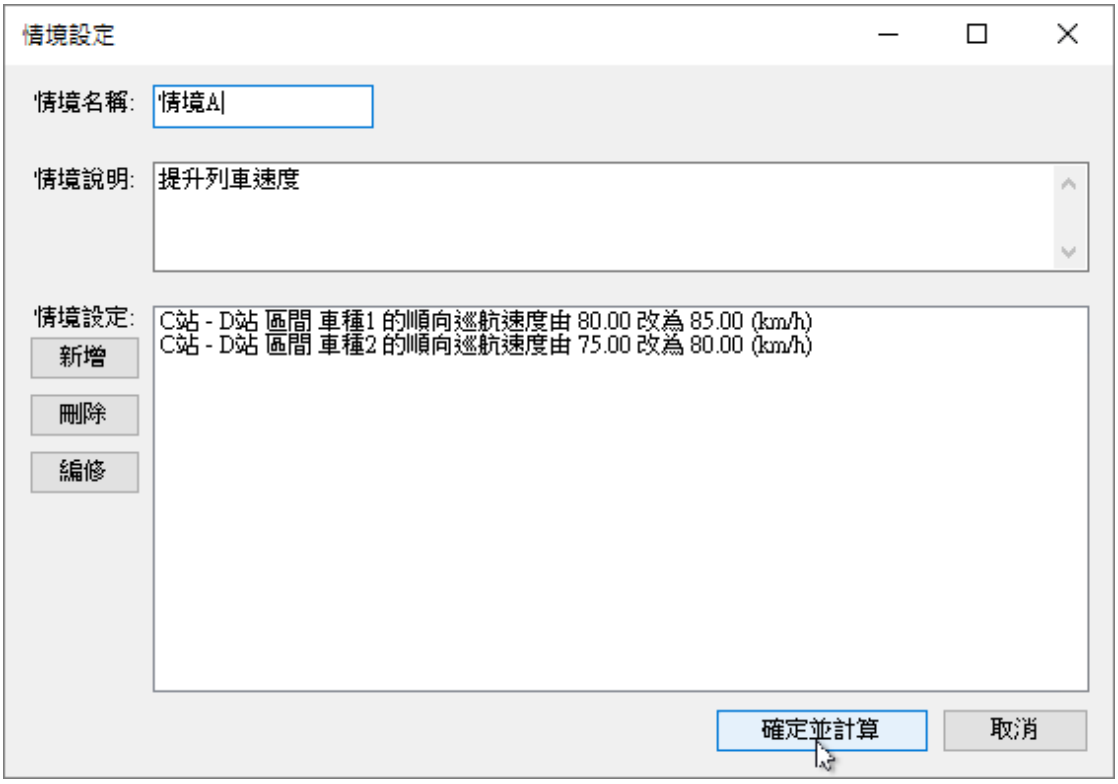


圖 7-99 執行情境分析

7.12.3 結果檢視與輸出

完成情境分析後的畫面如圖 7-100，值得注意的是，若專案中各項參數的設定值被修改，為保持參數與計算結果的一致性，程式會自動清除所有的情境設定內容與計算結果，直到重新進行設定並執行分析計算。

欲輸出情境分析結果，可按下「分析結果」區右上方之相關按鈕，可輸出副檔名為 bmp 的點陣圖、wmf 的向量圖、csv 或 rtf 的文字檔，亦可複製圖片至剪貼簿。

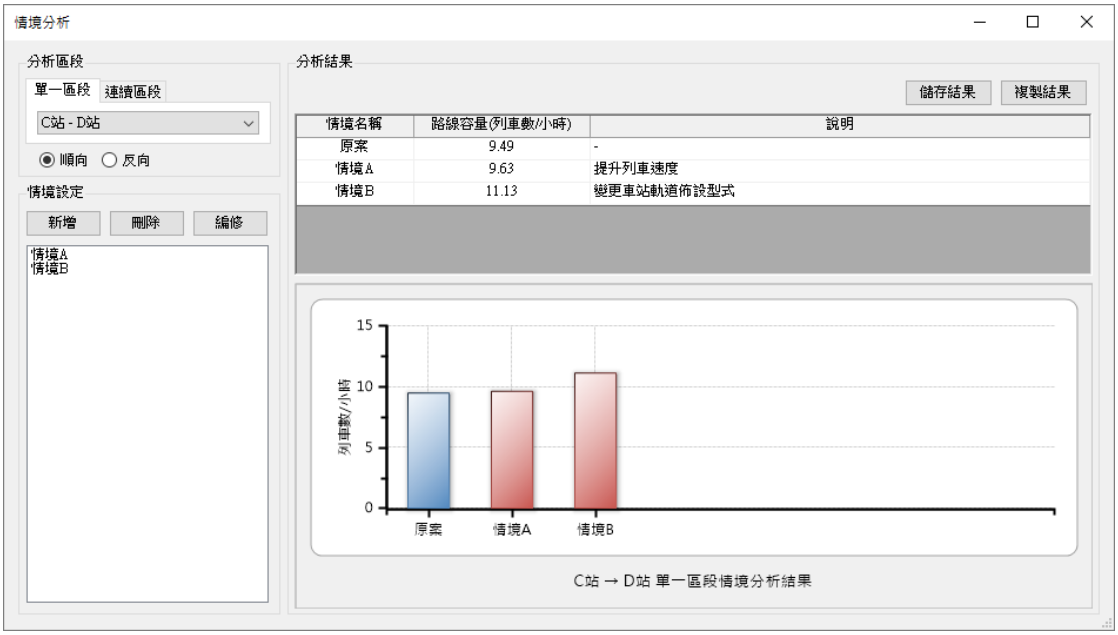


圖 7-100　情境分析結果

7.13　注意事項

「傳統暨區域鐵路系統容量分析軟體」以本手冊所介紹之容量分析模式為演算核心，因此軟體的運用上仍需符合模式的假設條件（詳見 2.1.4、3.1.3 與 3.2.3 節），此外尚有以下幾點注意事項：

1. 本軟體提供之敏感度分析、可靠度分析，與情境分析等各項功能，皆是以容量分析的結果為基礎進行延伸分析，因此必須先完成容量分析才能執行其他分析功能。

2. 為了保持各項分析結果與參數設定的一致性，當使用者變更參數設定時，軟體將會自動刪除原有分析結果。

3. 敏感度分析係以其他參數條件皆不變的前提下，僅變動一項參數來分析該變數對容量之影響，而不會同時考慮參數間的交互影響，例如：當列車加速度變高，其巡航速度或站間運轉時間可能都會有所變動，但在敏感度分析中不考慮此影響。

4. 由於目前容量模式並無處理列車折返的情況，因此模式在計算容量時，當列車到達第一座或最後一座車站後，經過一段停站時間後便會駛離。若要考慮列車折返對容量之影響，可根據折返列車佔用軌道的時間，依比例來估算容量值，例如：當第 I 型車站在下行方向因列車折返，造成其中一股道在 1 小時中被占用了 20 分鐘，被占用期間該處成為不能追越待避的第 IV 型車站，因此可採 2/3 的第 I 型車站容量與 1/3 的第 IV 型車站容量，來估算考慮列車折返後的路線容量。

5. 本容量軟體能自動判斷連續之單線或複線區段來進行容量分析，不過對於單、複線交界車站之列車如何匯流與岔出並沒有深入計算，因此有可能會高估該處之容量，尤其是對於複線區間，故在實務應用上，若連續複線區段之兩端有單線區段，且列車營運又是連續經過這些單、複線區段時，保守估計該複線區段之容量應該與其兩端單線區段之容量相去不遠。

第八章 分析範例

在本篇最後，透過幾個實務應用範例，讓讀者能了解容量分析模式與軟體的功能與應用。

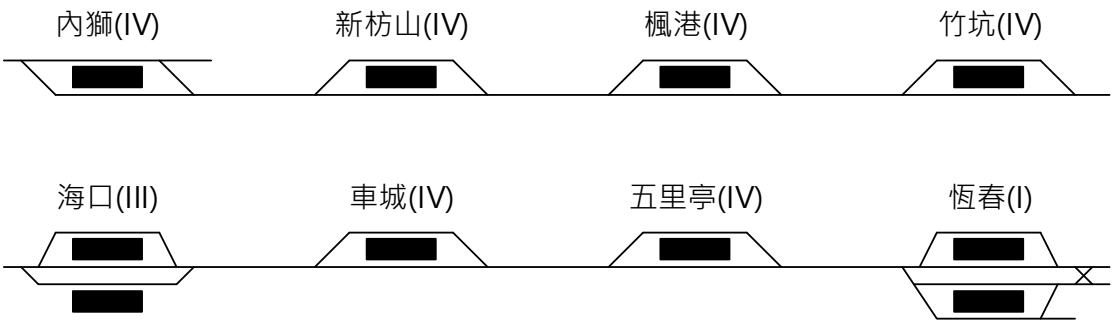
8.1 範例一

1. 問題描述

恆春半島為臺灣重要的觀光旅遊地區，近年來更是蓬勃發展，使其聯外運輸需求日益增加，因此欲延伸臺灣鐵路服務範圍，興建恆春觀光鐵道，以緩和恆春地區公路運輸壓力。根據目標年運量預測，未來恆春觀光鐵道尖峰時間單向預定開行 2 列觀光列車，請檢核該工程規劃之路線容量可否滿足其營運需求？

2. 背景說明

圖 8-1 為規劃單位提出之恆春觀光鐵道軌道配置情形，共設有 8 個車站，全線採單線運轉。觀光列車採每站皆停的方式來營運，除海口站停站時間為 120 秒之外，其餘各站的停站時間均為 60 秒，預計各基準運轉時間如表 8.1。



註：括弧內表示該車站的軌道佈設型式類型

圖 8-1 恆春觀光鐵道軌道配置示意圖

表 8.1 站間運轉時間

站間	下行	上行
內獅~新枋山	630	450
新枋山~楓港	690	720
楓港~竹坑	570	540
竹坑~海口	660	660
海口~車城	270	270
車城~五里亭	300	300
五里亭~恆春	390	390

單位：秒

3. 求解流程

對於新建路線的規劃通常沒有細部參數，因此適合採用本軟體的一般模式來進行容量分析，同時可利用「專案精靈」功能的協助來快速建立專案。

首先確認功能面板的【選項】面板中的【進階模式】沒有被勾選，表示軟體的操作模式為一般模式（如圖 8-2），接著在功能面板的【編輯】面板中按下【專案精靈】按鈕（如圖 8-3），以開始「專案精靈」畫面，於畫面中選擇「新建路線」後按【下一步】（如圖 8-4），便可依照「專案精靈」的提示逐步建立新專案。

圖 8-2 確認沒有勾選進階模式

圖 8-3 開啟專案精靈

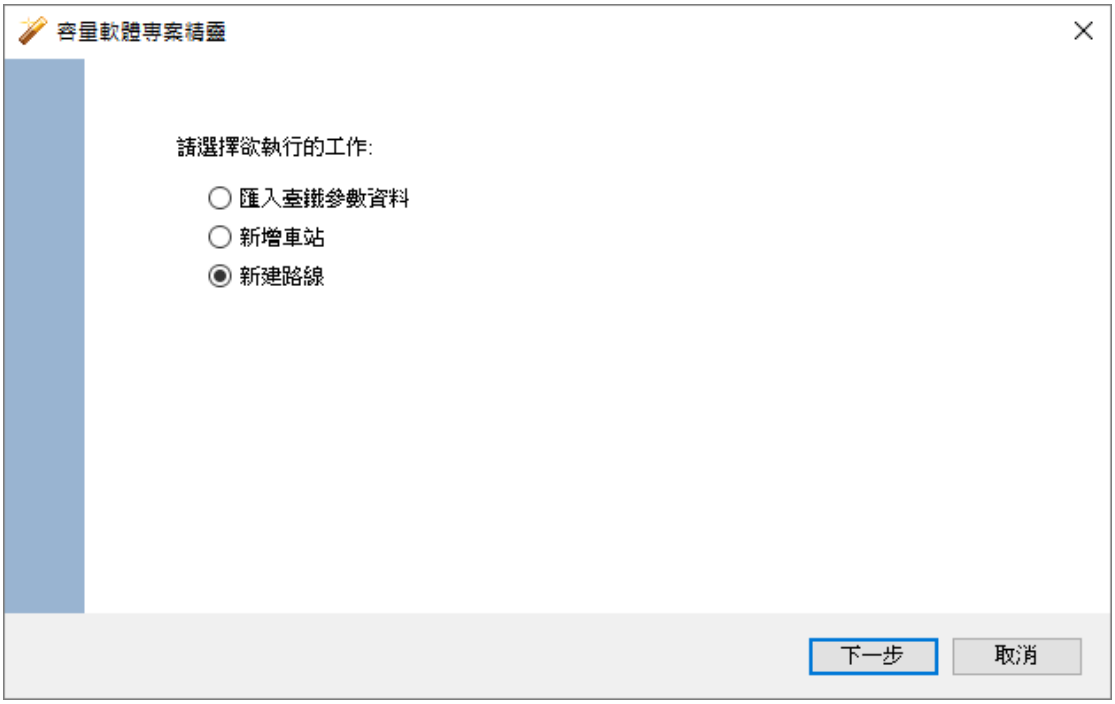


圖 8-4 選擇新建路線

新建路線的第一步要輸入車站名稱與列車名稱（如圖 8-5），完成後按【下一步】。接著則是要設定每一區段的運轉方式，恆春觀光鐵道全線採單線運轉（如圖 8-6），設定好後按【下一步】。然後是設定每座車站的軌道佈設型式，根據圖 8-1 的資訊逐站設定（如圖 8-7），完成後按【下一步】。再來是設定列車於各車站的停站時間，恆春觀光列車除了在海口站停站 120 秒之外，其餘各站皆停 60 秒（如圖 8-8），設定好後按【下一步】。最後則是設定列車於各區段的運轉時間，

依照表 8.1 設定好運轉時間後（如圖 8-9），按下【完成】便建立好了恆春觀光鐵道的專案。

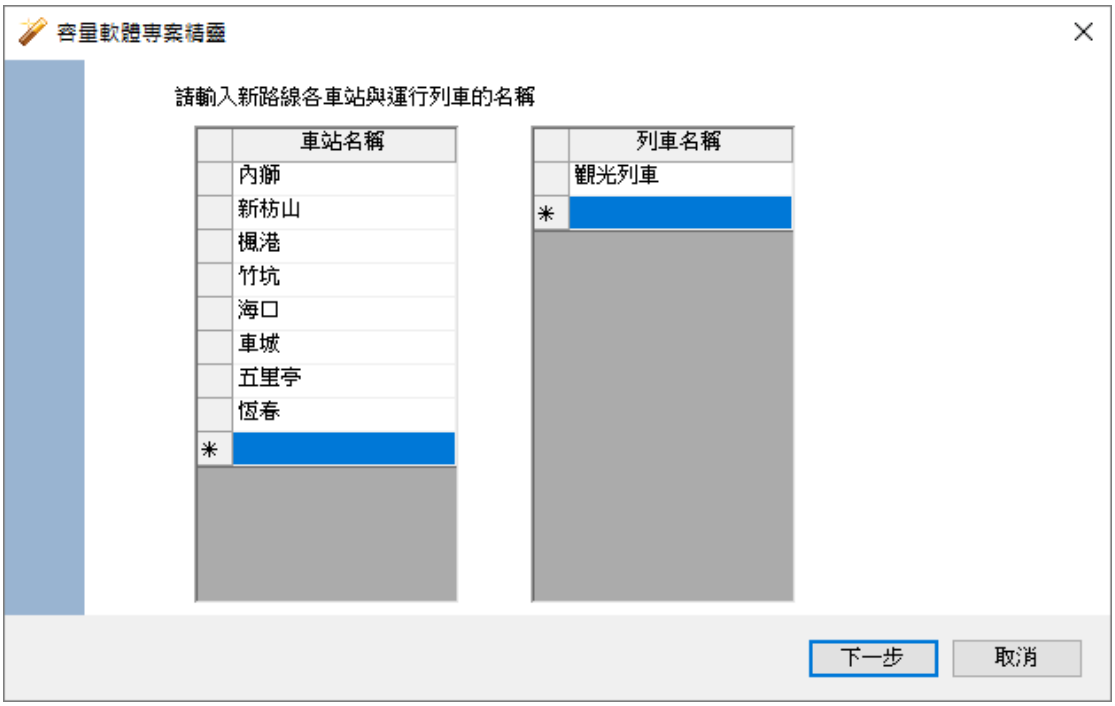


圖 8-5 輸入車站名稱與列車名稱

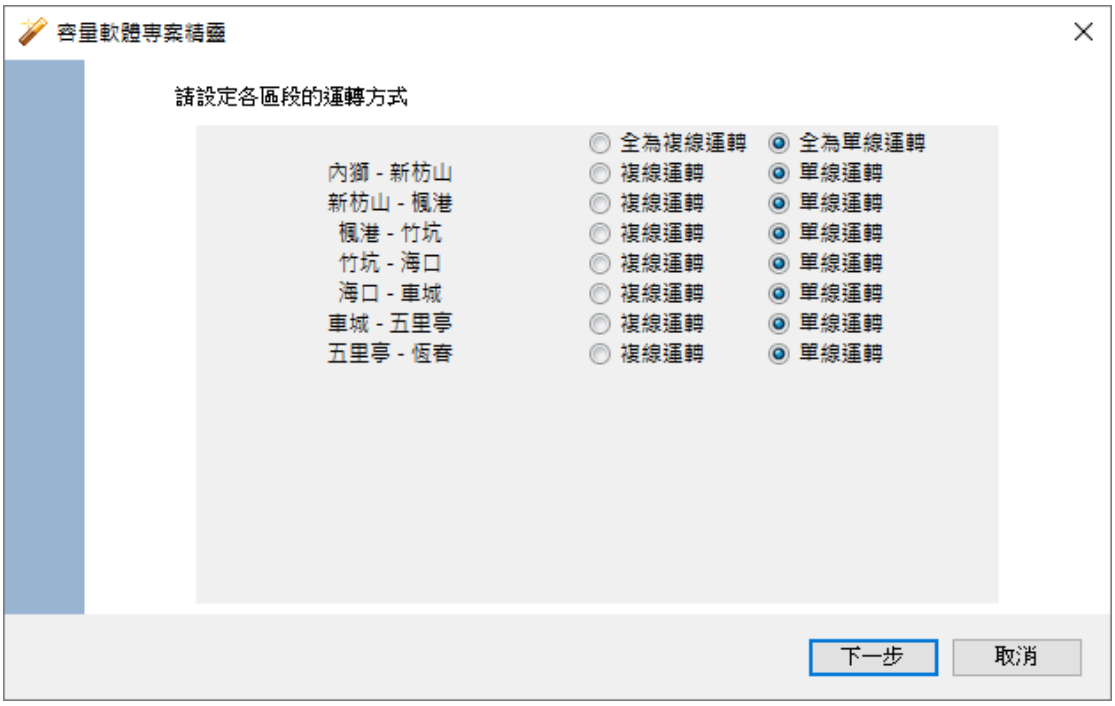


圖 8-6 設定運轉方式

圖 8-7 設定軌道佈設型式

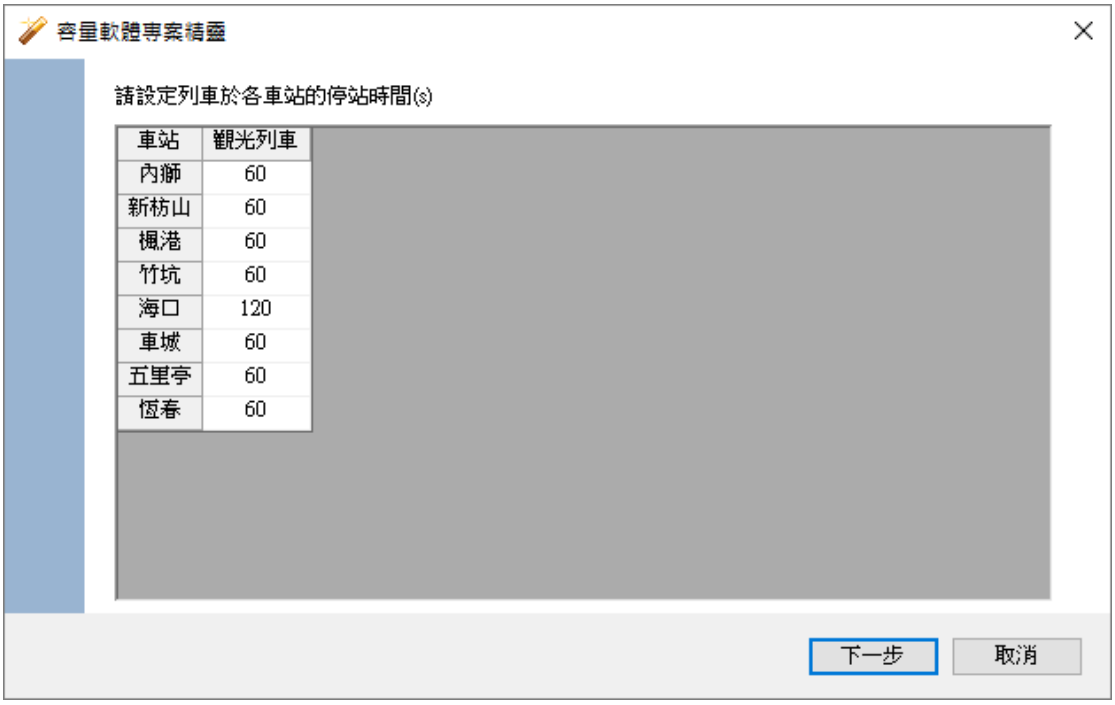


圖 8-8 設定停站時間

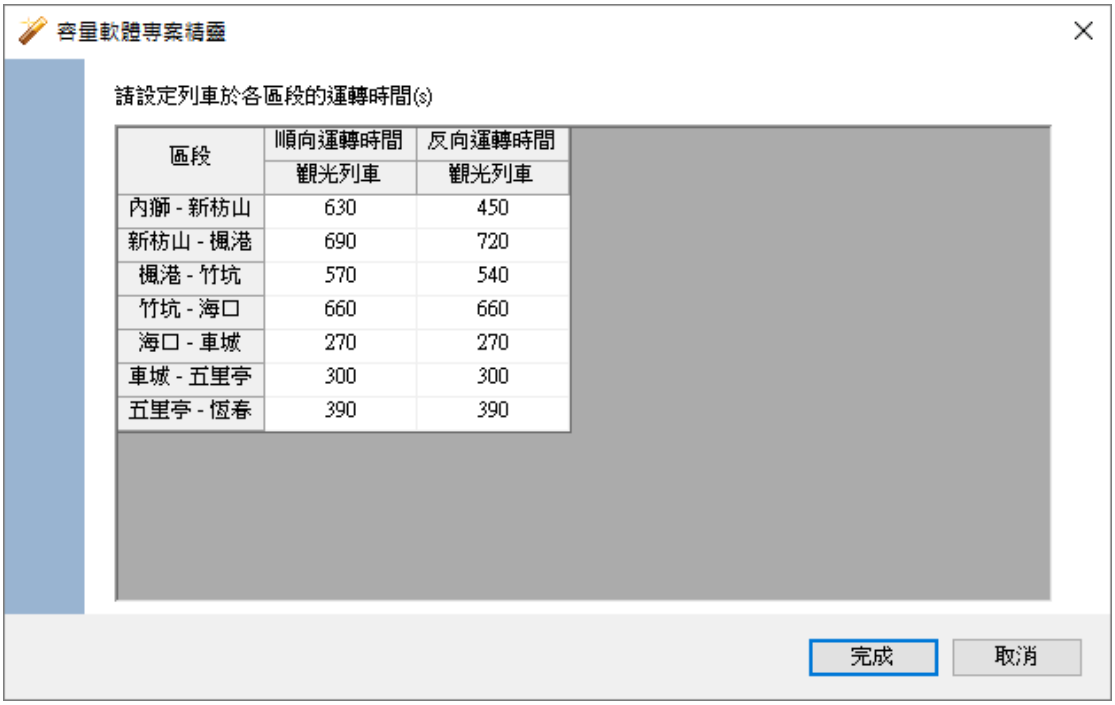


圖 8-9 設定運轉時間

專案建立好後，開啟容量分析功能，先設定每一區段的交通組成，由於恆春觀光鐵路僅有觀光列車一種，因此其組成百分比皆設為 100（如圖 8-10），設定完成後按下【執行容量分析】按鈕，便可得到圖 8-11 之結果。

圖 8-10 設定交通組成

圖 8-11 容量分析結果

4. 分析報告

根據恆春觀光鐵道的規劃內容，透過本所開發的「傳統暨區域鐵路容量分析軟體」進行容量模擬分析，其結果如圖 8-12 所示，顯示當模擬到達穩定狀態時（Steady state），恆春觀光鐵道的雙向路線容量為 4.17 TU/h，因此目前工程規劃之路線容量，可滿足未來恆春觀光鐵道於尖峰時間單向開行 2 列觀光列車的需求。

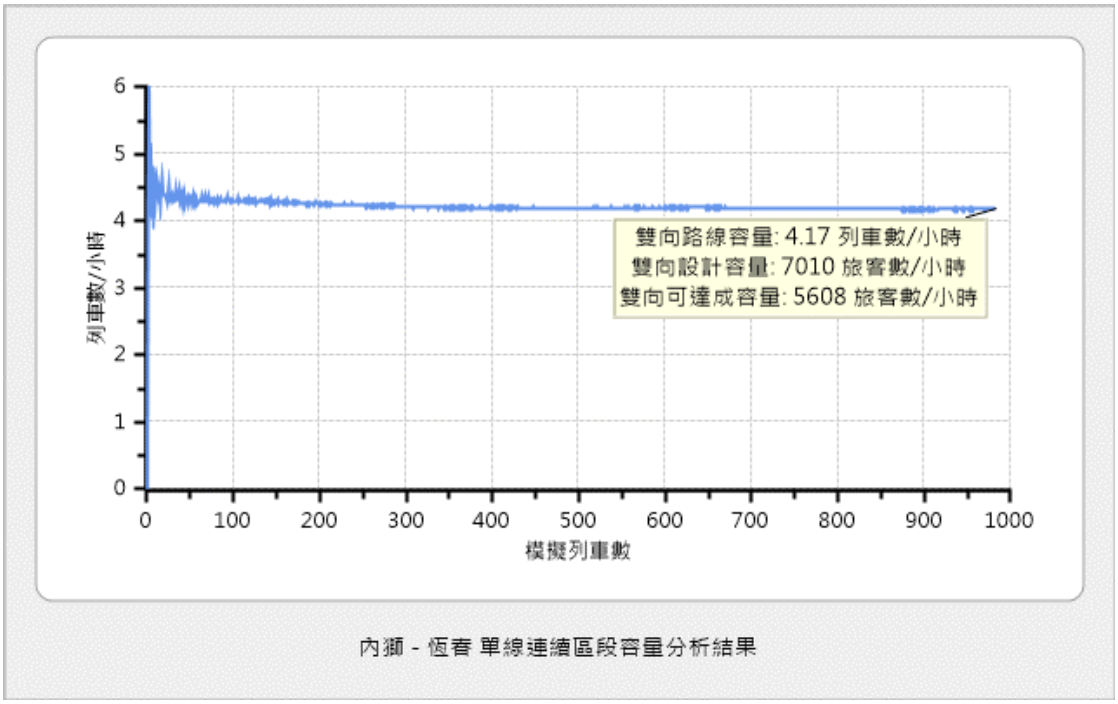


圖 8-12 單線連續區段容量分析模擬結果

8.2 範例二

1. 問題描述

為了提供旅客更好的搭乘經驗，某一軌道機構欲採用新型列車來提供運輸服務，試評估此作法對運能的影響為何？

2. 背景說明

目前路線的軌道佈置如圖 8-13，全線為單線運轉，共設有 5 個車站，現行列車是由 8 節車廂編成，每車廂有 60 個座位，採每站皆停的方式來營運，停站時間為 60 秒。

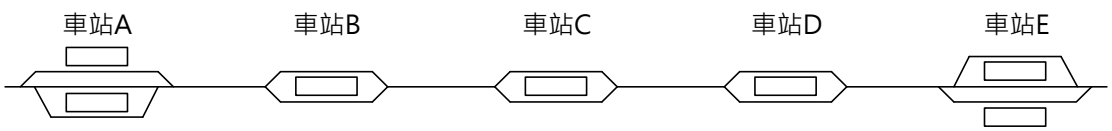


圖 8-13 軌道佈置圖

欲採購之新型列車也是由 8 節車廂編成，每車廂有 50 個座位，每個座位較現行列車寬敞且舒適，由於性能較佳，運轉時間也較現行列車短，兩種列車的運轉時間比較如表 8.2。

表 8.2 現行與新型列車運轉時間比較表

區間	順向		反向	
	現行列車	新型列車	現行列車	新型列車
車站 A－車站 B	180	165	180	165
車站 B－車站 C	165	150	165	150
車站 C－車站 D	375	315	360	300
車站 D－車站 E	330	275	345	300

單位：秒

3. 求解流程

本案例與上例一樣沒有細部參數，故同樣採用一般模式來評估容量，亦可利用「專案精靈」功能的協助來快速建立專案。

首先參考上例之流程，根據上述背景說明來建立專案，由於要比較現行列車與新型列車，在輸入車站名稱與列車名稱時，可以將兩種一併輸入，如圖 8-14，並在後續流程中設定好停站時間與運轉時間，如圖 8-15 和圖 8-16。

圖 8-14 輸入車站名稱與列車名稱

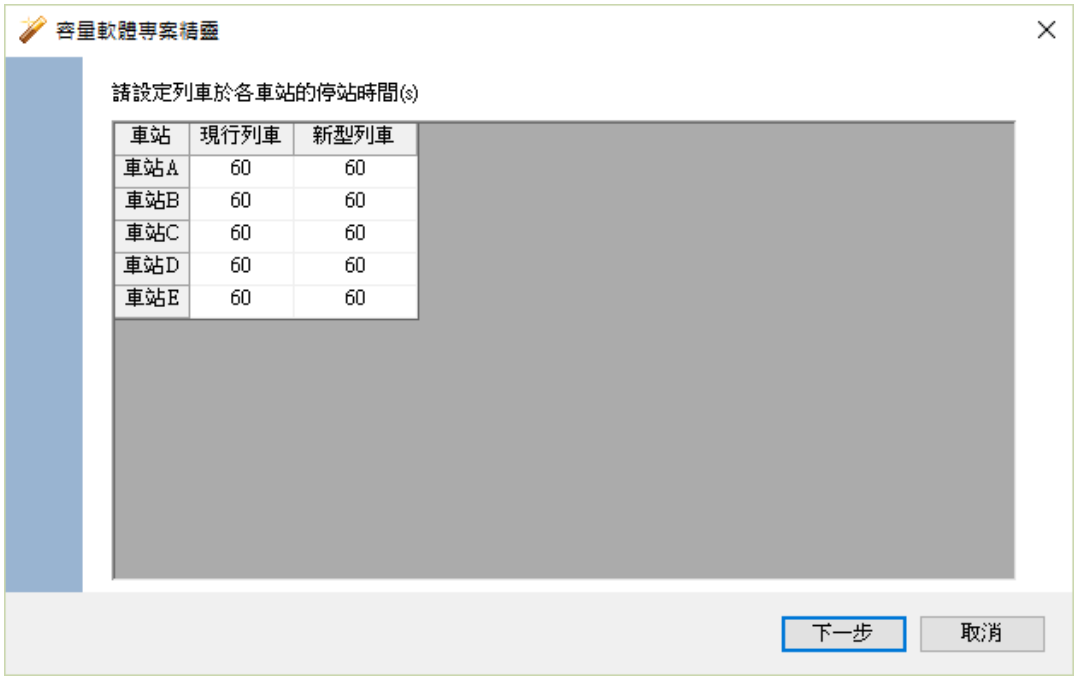


圖 8-15 設定停站時間

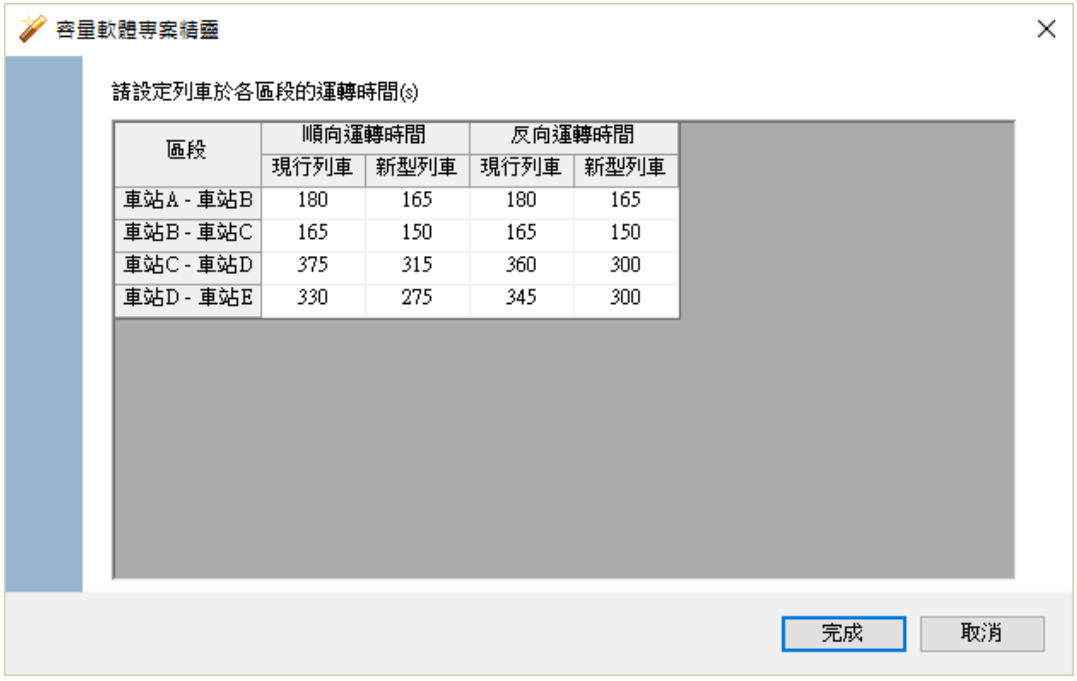


圖 8-16 設定運轉時間

建立好專案後，先開啟列車參數畫面，設定現行列車與新型列車的車廂編組組成，如圖 8-17 和圖 8-18。

圖 8-17 設定現行列車的車廂編組

圖 8-18 設定新型列車的車廂編組

完成後開啟容量分析功能，將每一區段的交通組成設為現行列車 100%（如圖 8-19），執行分析可得到圖 8-20 之結果，接著將每一區段的交通組成設為新型列車 100%（如圖 8-21），執行分析便可得到新型列車的容量表現，如圖 8-22。

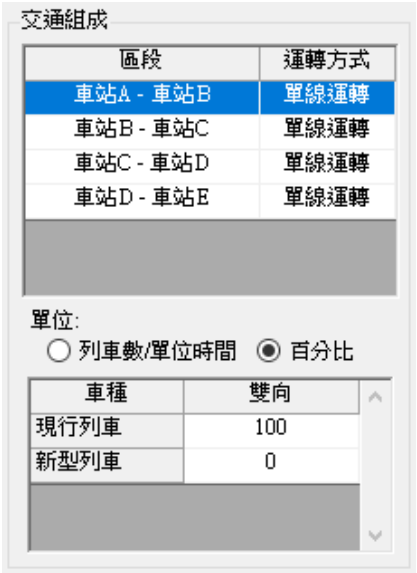


圖 8-19 設定交通組成為現行列車 100%

圖 8-20 現行列車的容量分析結果

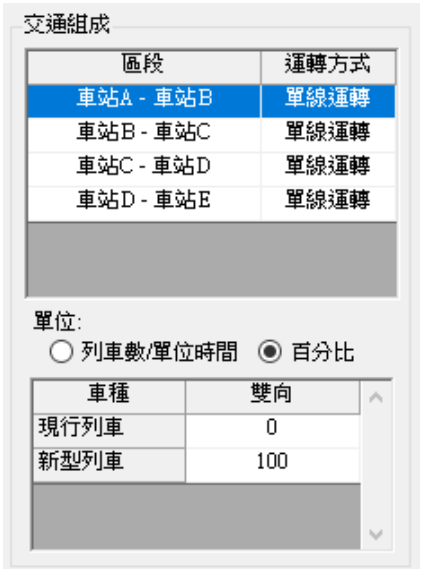


圖 8-21 設定交通組成為新型列車 100%

圖 8-22 新型列車的容量分析結果

4. 分析報告

新型列車的總旅行時間比現行列車短，座位也較為寬敞舒適，就旅客搭乘的經驗而言，服務品質確實有提升的效果。而就運能的角度來看，如表 8.3 所示，路線容量雖可從原本每小時 3 列車增為 4 列車，但新型列車座位較少，每小時所能載運的旅客量反而沒有現行列車多，若以一天營運 16 小時來看，每天將減少上千人次，倘若此路線又為熱門路線，設計容量的減少可能會造成供給不足、一票難求的情況，此時採用新型列車便需要再三考慮。

表 8.3 現行與新型列車之運能比較表

項目	現行列車	新型列車
單向路線容量 (列車數/小時)	3.63	4.05
單向設計容量 (旅客數/小時)	1744	1621
單向可達成容量 (旅客數/小時)	1396	1297

8.3 範例三

1. 問題描述

某一軌道機構為了檢視其鐵路系統目前的服務水準，因此欲了解在尖峰時段，該路線上各區間的路線利用率為何？

2. 背景說明

該軌道機構的鐵路路線如圖 8-23 所示，全線採複線運轉，共計有 12 座車站，根據該路線的平縱面線形、各車站的軌道佈置圖與號誌配置圖，彙整後可整理得到各車站的相關參數，如表 8.4 所示。

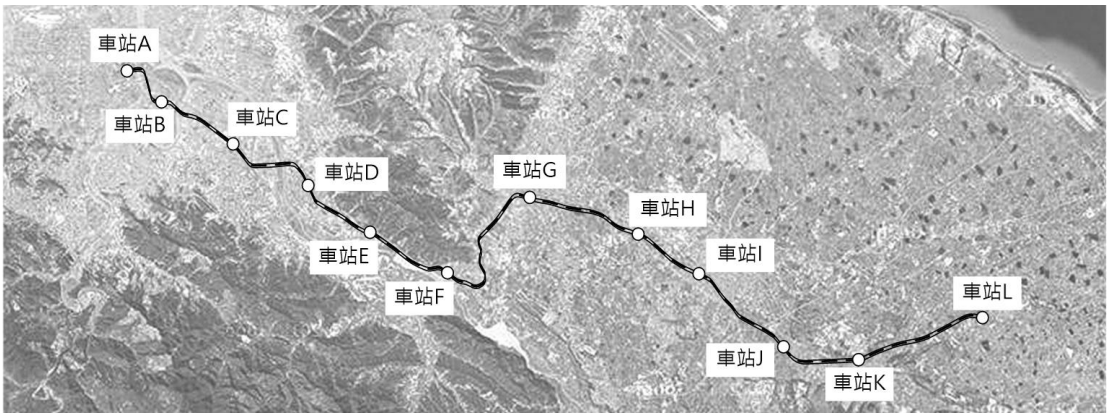


圖 8-23 鐵路路線圖

表 8.4 車站參數彙整表

車站名稱	軌道佈設類型	方向	進站坡度 (‰)	離站坡度 (‰)	B_2 (m)	B_1 (m)	B_s (m)	B_n (m)	B_{n-1} (m)
車站 A	I	順向	8.15	-4.07	1060	1080	1083	1432	885
		反向	4.07	-8.15	1330	870	705	1167	2250
車站 B	II-1	順向	-5.7	-9.8	1432	885	502	956	1584
		反向	9.8	5.7	1584	851	497	1330	870
車站 C	I	順向	0.1	-0.15	1584	814	1038	996	957
		反向	0.15	-0.1	1608	1516	850	1434	1584
車站 D	I	順向	4.8	3.2	1293	1296	764	1450	1060
		反向	-3.2	-4.8	1925	983	1067	1290	1608
車站 E	III-1	順向	3.2	6.4	1060	776	629	1045	1647
		反向	-6.4	-3.2	1085	942	825	1925	983
車站 F	I	順向	3.8	10	1647	1178	654	1310	1473
		反向	-10	-3.8	1999	2294	661	1610	1085
車站 G	III-1	順向	2.65	8.6	1634	1777	859	1670	2420
		反向	-8.6	-2.65	2178	1338	825	2113	1182
車站 H	III-1	順向	10	10	2420	1125	708	1807	971
		反向	-10	-10	1454	1556	634	1662	2178
車站 I	I	順向	4.3	2.3	1807	971	839	1338	2146
		反向	-2.3	-4.3	2629	1384	684	1454	1556
車站 J	I	順向	10	1.9	2146	1860	490	1655	1791
		反向	-1.9	-10	1133	1364	643	1185	2629
車站 K	I	順向	-8.2	-3	1655	1791	845	1541	2663
		反向	3	8.2	2085	1348	735	917	1133
車站 L	I	順向	-0.7	-8.3	2663	2037	706	1142	2086
		反向	8.3	0.7	1714	1767	937	1194	1593

該路線主要有直達車、半直達車與通勤列車等 3 種營運列車，其相關的參數彙整如表 8.5，而根據各車種的營運速度、站間運轉時分、以及停站計畫等資料，整理後可獲得列車於各站間的平均巡航速度、運轉時間，以及各站計畫停站時間等參數，如表 8.6～表 8.8。最後，從時刻表中統計各區段於尖峰時段的交通組成，如表 8.9。

表 8.5 各車種規格與性能彙整表

列車名稱	直達車	半直達車	通勤列車
列車長度（m）	270	200	160
服務加速度（km/h/s）	1.25	0.85	1.25
加速度性能有效因子	0.9	0.9	0.9
服務減速度（km/h/s）	1.5	1.5	2.0
減速度性能有效因子	0.9	0.9	0.9

表 8.6 各車種行經各站間的巡航速度

區段	順向			反向		
	直達車	半直達車	通勤列車	直達車	半直達車	通勤列車
車站 A-車站 B	75.33	61.33	64.67	75.33	53.70	64.67
車站 B-車站 C	87.33	62.67	80.67	87.33	68.53	75.78
車站 C-車站 D	86.53	69.33	79.87	82.61	69.33	79.87
車站 D-車站 E	95.33	64.53	75.67	87.90	72.33	75.67
車站 E-車站 F	102.00	77.33	80.67	93.62	68.53	80.67
車站 F-車站 G	90.19	64.57	71.19	90.19	71.92	80.40
車站 G-車站 H	95.78	76.24	95.67	95.78	80.53	83.87
車站 H-車站 I	95.33	77.90	81.24	82.33	72.33	75.67
車站 I-車站 J	94.89	75.52	88.22	94.89	79.73	88.22
車站 J-車站 K	108.93	80.19	83.52	125.33	69.78	83.52
車站 K-車站 L	111.33	78.67	91.07	111.33	82.79	91.07

單位：km/h

表 8.7 各車種的站間運轉時間

區段	順向			反向		
	直達車	半直達車	通勤列車	直達車	半直達車	通勤列車
車站 A-車站 B	210	240	240	210	330	240
車站 B-車站 C	240	360	240	240	300	270
車站 C-車站 D	300	360	300	330	360	300
車站 D-車站 E	180	300	240	210	240	240
車站 E-車站 F	180	240	240	210	300	240
車站 F-車站 G	420	630	570	420	510	450
車站 G-車站 H	270	330	240	270	300	300
車站 H-車站 I	180	240	210	240	240	240
車站 I-車站 J	270	330	270	270	300	270
車站 J-車站 K	150	210	210	120	270	210
車站 K-車站 L	240	360	300	240	330	300

單位：秒

表 8.8 各車種的停站時間

車站	直達車	半直達車	通勤列車	車站	直達車	半直達車	通勤列車
車站 A	120	120	60	車站 G	120	120	60
車站 B	0	120	60	車站 H	0	0	30
車站 C	120	120	60	車站 I	120	120	60
車站 D	0	120	60	車站 J	0	0	30
車站 E	0	0	30	車站 K	0	120	60
車站 F	0	120	60	車站 L	120	120	60

單位：秒

表 8.9 各區段於尖峰時段的交通組成

區段	順向			反向		
	直達車	半直達車	通勤列車	直達車	半直達車	通勤列車
車站 A-車站 B	3	1	7	4	1	6
車站 B-車站 C	3	1	7	5	1	5
車站 C-車站 D	2	1	8	2	1	7
車站 D-車站 E	4	1	7	4	0	5
車站 E-車站 F	2	1	6	1	0	7
車站 F-車站 G	2	1	6	1	2	6
車站 G-車站 H	2	1	6	1	2	5
車站 H-車站 I	2	1	6	2	2	5
車站 I-車站 J	2	1	6	2	2	4
車站 J-車站 K	2	1	5	2	2	4
車站 K-車站 L	2	1	5	4	1	4

單位：TU

3. 求解流程

路線利用率的公式為

$$\eta = \frac{f_t}{C_l} \tag{8.1}$$

式中：η=路線利用率（%）

f_t=訂列車服務頻率（TU/h）

C_l=線容量（TU/h）

其中f_t可從時刻表中統計得知，而C_l則可透過本軟體計算而得，透過「容量分析」功能計算各區間於尖峰時段的路線容量，再根據尖峰時段的表訂列車服務頻率來計算路線利用率。

在軟體中建立一個新專案，並根據上述背景說明的內容來設定各項參數，有關參數設定的操作細節可參考第七章。當所有參數設定完成後，透過本軟體進行容量分析，可得到如圖 8-24 之結果。最後再根

據時刻表統計各區段於尖峰時段內所開行的列車數，便可利用公式(8.1)可計算各區段的路線利用率。

圖 8-24 容量分析結果

4. 分析報告

針對某一軌道機構的鐵路系統現況，以本所開發的「傳統暨區域鐵路容量分析軟體」進行分析，其路線容量與利用率結果詳表 8.10。其中車站 F－車站 G 為路線容量最低且利用率最高的區段，是容量瓶頸所在，此外，車站 G－車站 H 和車站 D－車站 E 的路線利用率皆超過 8 成，若未來運輸需求持續成長，都將成為影響運能表現的瓶頸，應即早謀求因應策略。

表 8.10 各區段於尖峰時段的路線容量與利用率

區段	順向			反向		
	路線容量	現行列車數	路線利用率	路線容量	現行列車數	路線利用率
車站 A-車站 B	15.02	11	73.24%	13.86	11	79.37%
車站 B-車站 C	14.86	11	74.02%	13.96	11	78.80%
車站 C-車站 D	16.37	11	67.20%	13.72	10	72.89%
車站 D-車站 E	14.6	12	82.19%	12.27	9	73.35%
車站 E-車站 F	14.04	9	64.10%	15.22	8	52.56%
車站 F-車站 G	9.81	9	91.74%	9.65	9	93.26%
車站 G-車站 H	10.05	9	89.55%	10.8	8	74.07%
車站 H-車站 I	12.26	9	73.41%	13.28	9	67.77%
車站 I-車站 J	13.13	9	68.55%	12.48	8	64.10%
車站 J-車站 K	12.62	8	63.39%	14.84	8	53.91%
車站 K-車站 L	11.24	8	71.17%	13.95	9	64.52%

路線容量單位：TU/h

8.4 範例四

1. 問題描述

承上題，試針對車站 F－車站 G 瓶頸區間，擬定容量改善方案並評估改善效果。

2. 背景說明

根據上題的背景說明所提供的資訊，擬定容量改善方案有下列幾個方向：

(1) 改善路線線形

車站 F－車站 G 的線形較差，因此可考慮改善路線線形，以提升巡航速度並減少運轉時間。

(2) 變更車站軌道佈設型式

車站 G 目前為第 III 型車站，因此仍有改善空間，若能提升為第 II 型或第 I 型車站，則可減少號誌安全時距，進而提升容量。

(3) 調整交通組成

半直達車的數量少、性能較差，且停站方式與通勤列車相似，因此可將其淘汰而改用通勤列車來服務，以簡化車種的方式提昇容量。

3. 求解流程

依照上述的容量改善方向，本案例擬定了 3 個改善方案，如表 8.11，接著透過容量分析軟體來評估各方案的改善效果。

表 8.11 路線容量改善方案

方案 1	改善路線線形，使列車在車站 F－車站 G 的巡航速度提升 5%，並減少運轉時間 30 秒。
方案 2	將車站 G 變更為第 I 型車站。
方案 3	調整交通組成，以通勤列車取代半直達車。

首先進行方案 1 的評估，可利用本軟體的情境分析功能來分析容量改善效果。先依照方案 1 的內容，將相關參數調整的結果整理如表 8.12 以利後續參數設定，然後開啟情境分析功能，依表 8.12 所述，針對順向的車站 F－車站 G 區段新增情境設定，如圖 8-25，接著按下【確定並計算】按鈕便能得到容量改善結果，如圖 8-26。以相同的步驟，新增反向的情境設定，如圖 8-27，然後得到反向的容量改善結果，如圖 8-28，有關情境分析功能的操作細節可參考第 7.12 節。綜整上述結

果，車站 F－車站 G 區段若採用方案 1，其容量將提升為 9.93 TU/h（順向）和 9.8 TU/h（反向）。

表 8.12 方案 1 的相關參數調整

參數名稱	順向			反向		
	直達車	半直達車	通勤列車	直達車	半直達車	通勤列車
站間平均巡航速度 (km/h)	94.70	67.80	74.75	94.70	75.52	84.42
站間運轉時間 (s)	390	600	540	390	480	420

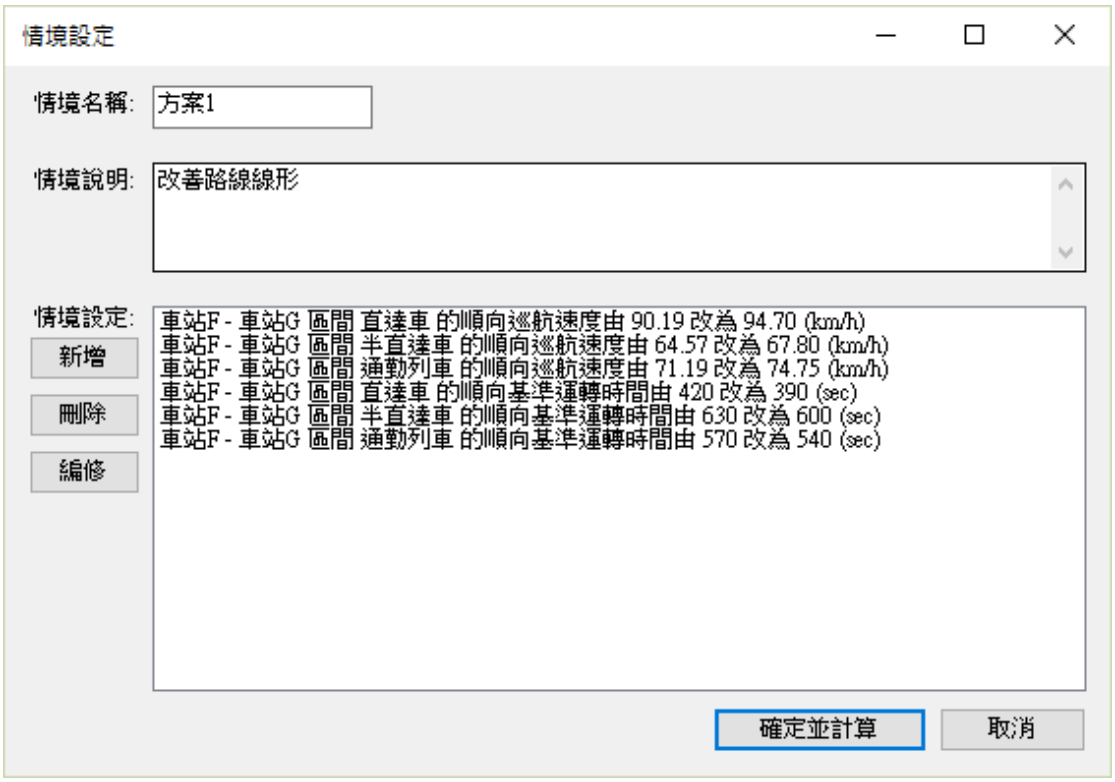


圖 8-25 方案 1 的情境設定（順向）

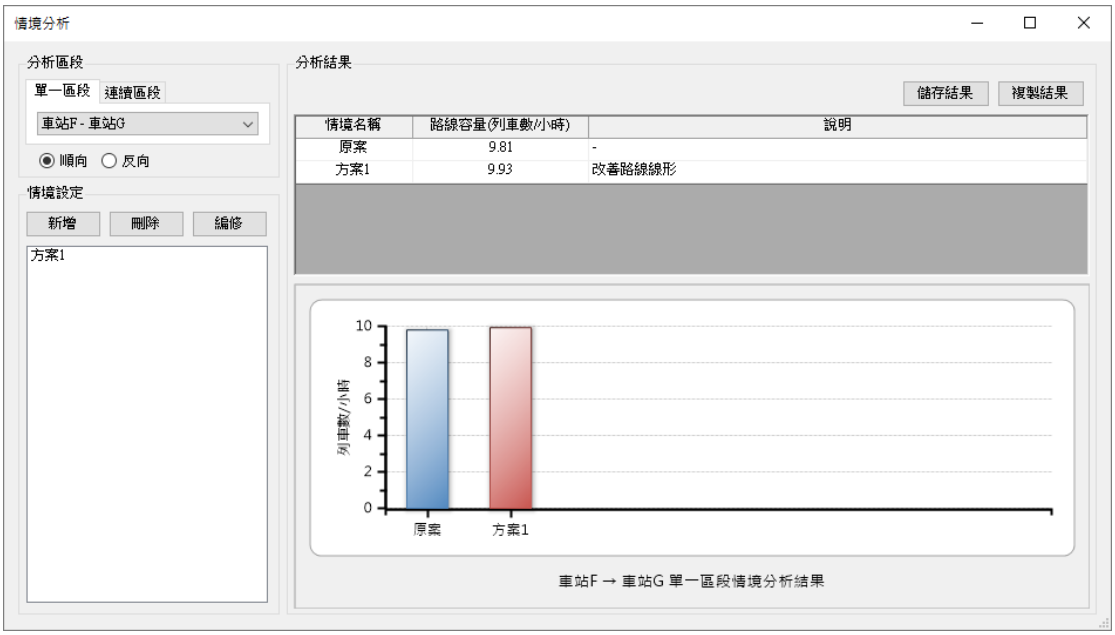


圖 8-26 方案 1 的情境分析結果（順向）

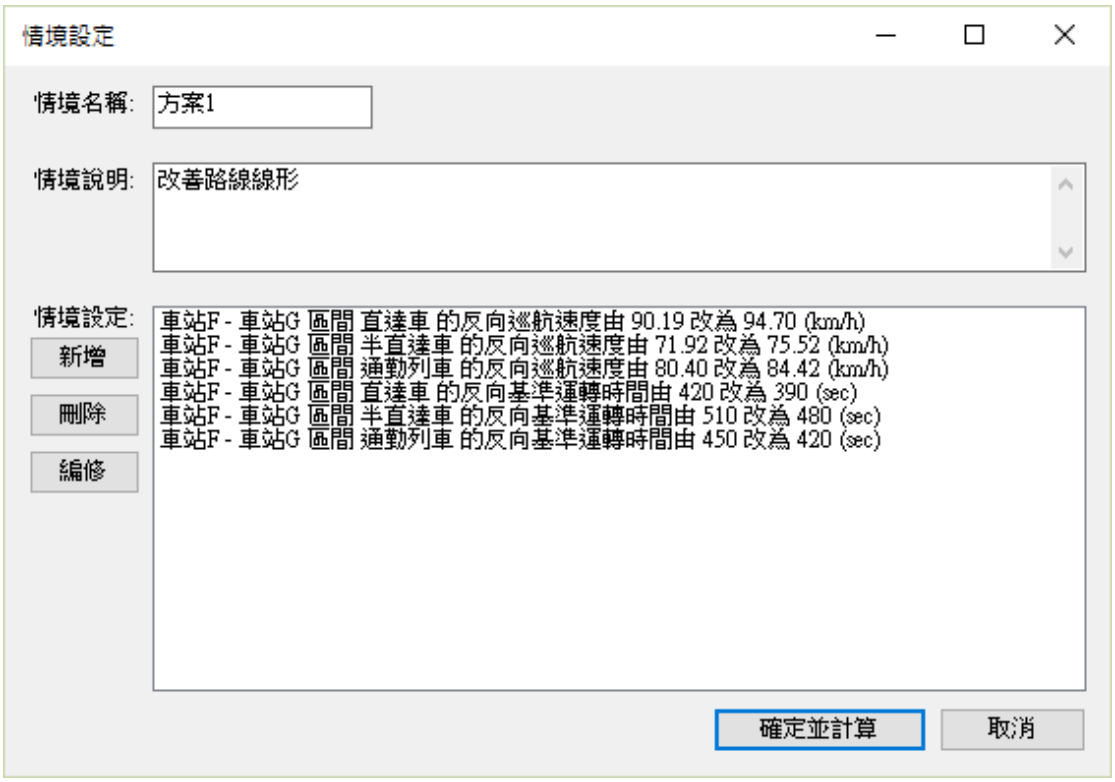


圖 8-27 方案 1 的情境設定（反向）

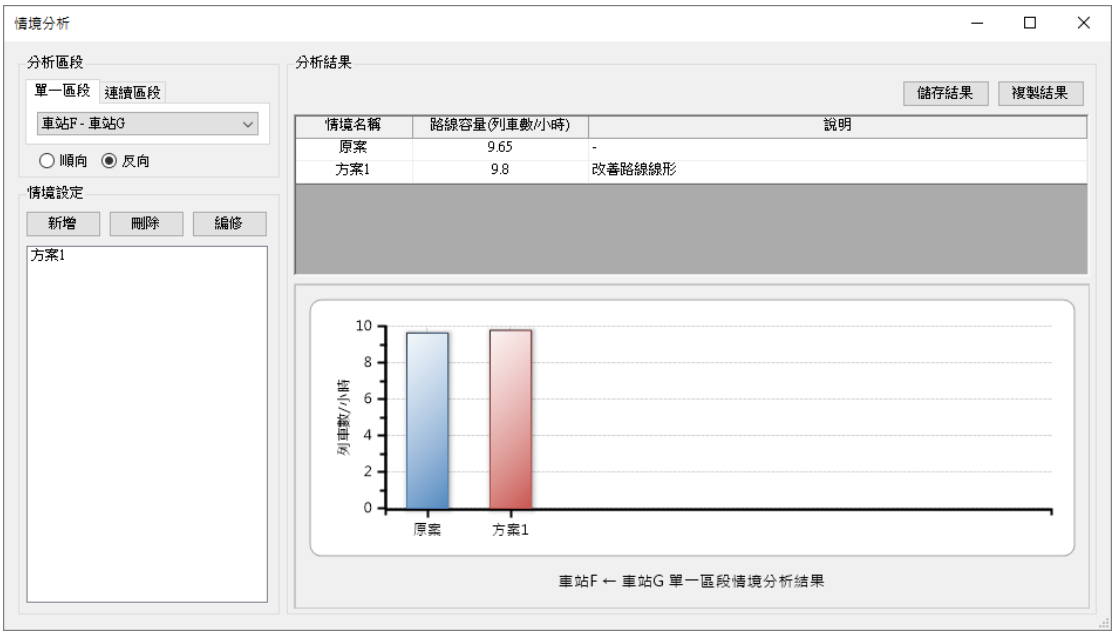


圖 8-28 方案 1 的情境分析結果（反向）

接著進行方案 2 的容量評估，同樣利用本軟體的情境分析功能，在車站 F－車站 G 區段中新增方案 2 的情境設定，如圖 8-29 和圖 8-30，然後得到順向與反向的容量改善結果，如圖 8-31 和圖 8-32，顯示車站 F－車站 G 區段若採用方案 2，其容量將提升為 11.35 TU/h（順向）和 11.2 TU/h（反向）。

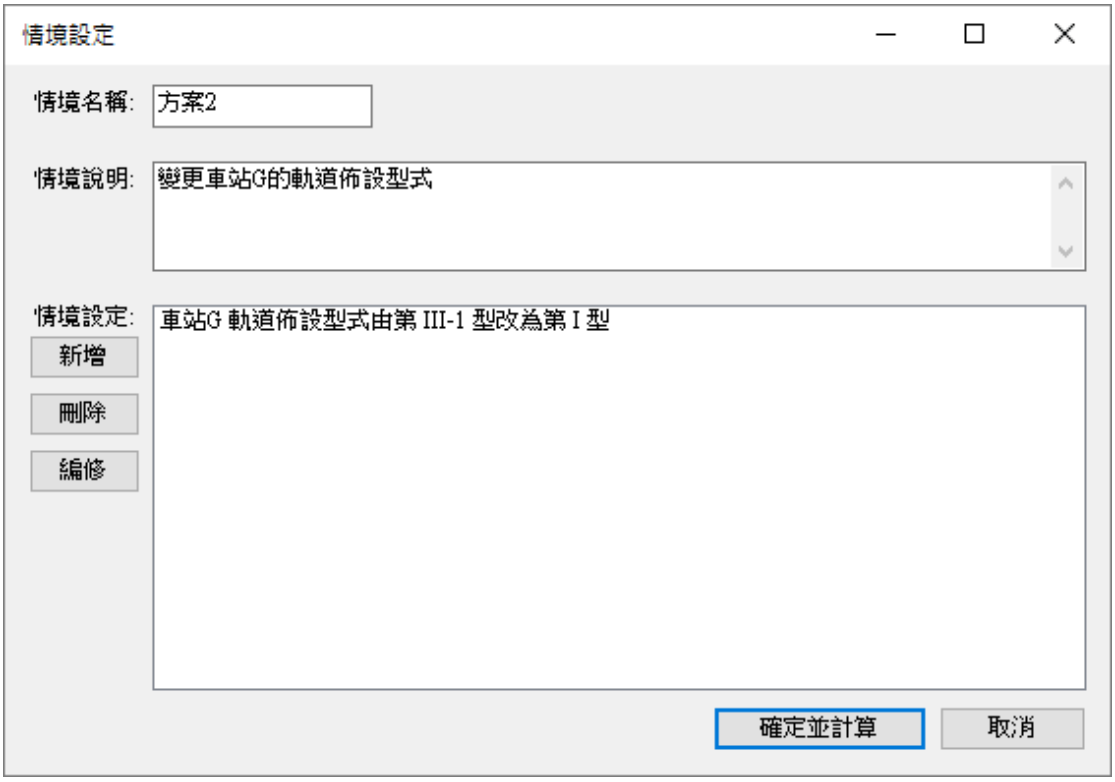


圖 8-29 方案 2 的情境設定（順向）

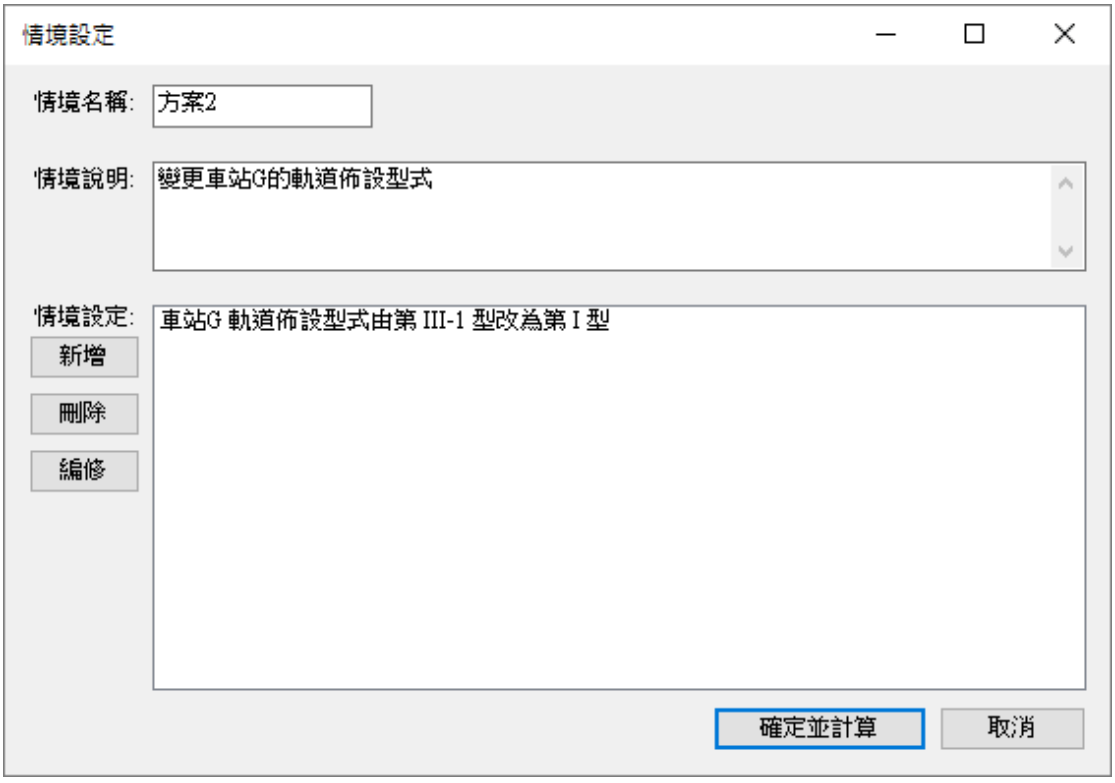


圖 8-30 方案 2 的情境設定（反向）

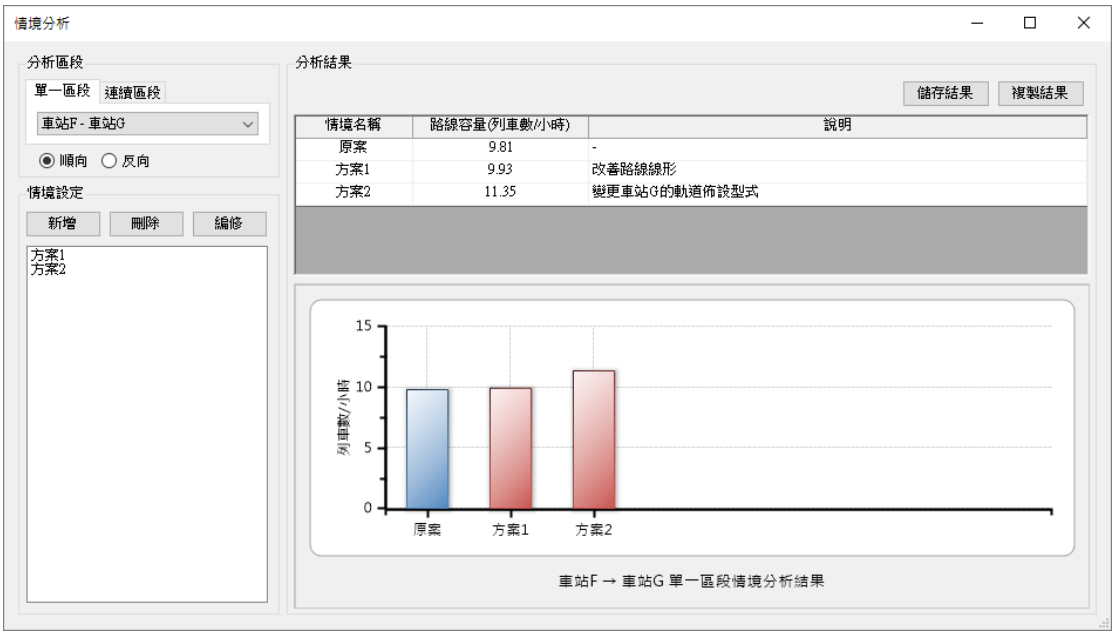


圖 8-31 方案 2 的情境分析結果（順向）

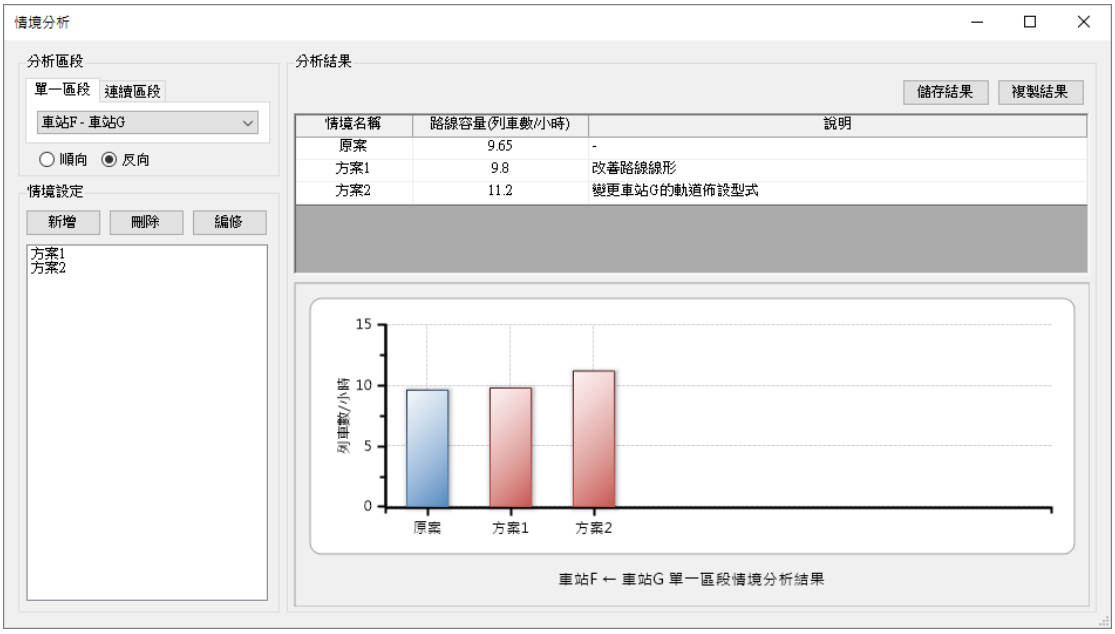


圖 8-32 方案 2 的情境分析結果（反向）

最後進行方案 3 的容量評估，此情況無法再用情境分析功能，請先將專案檔另存新檔後，依照表 8.13 來調整各區間的交通組成設定，

再進行容量分析，然後可得到圖 8-33 和圖 8-34 之結果，車站 F－車站 G 的容量值為 10.14TU/h（順向）和 10.35 TU/h（反向）。

表 8.13 各區段於尖峰時段的交通組成

區段	順向			反向		
	直達車	半直達車	通勤列車	直達車	半直達車	通勤列車
車站 A-車站 B	3	0	8	4	0	7
車站 B-車站 C	3	0	8	5	0	6
車站 C-車站 D	2	0	9	2	0	8
車站 D-車站 E	4	0	8	4	0	5
車站 E-車站 F	2	0	7	1	0	7
車站 F-車站 G	2	0	7	1	0	8
車站 G-車站 H	2	0	7	1	0	7
車站 H-車站 I	2	0	7	2	0	7
車站 I-車站 J	2	0	7	2	0	6
車站 J-車站 K	2	0	6	2	0	6
車站 K-車站 L	2	0	6	4	0	5

單位：TU

圖 8-33 方案 3 的容量分析結果（順向）

圖 8-34 方案 3 的容量分析結果（反向）

4. 分析報告

本案利用本所開發的「傳統暨區域鐵路容量分析軟體」，針對各方案進行容量改善評估，其結果如表 8.14，從路線容量提升效果的觀點來看，方案 2 的改善效果最好，方案 3 次之，方案 1 最差。

值得注意的是，實際上對於容量改善方案的效益評估尚有多個面向，如成本考量等，本案例僅從容量改善效果來進行比較。

表 8.14 各方案容量改善效果比較表

		原案	方案 1	方案 2	方案 3
順向	路線容量(TU/h)	9.81	9.93	11.35	10.14
	改善百分比	—	1.22%	15.70%	3.36%
反向	路線容量(TU/h)	9.65	9.8	11.2	10.35
	改善百分比	—	1.55%	16.06%	7.25%

8.5 範例五

1. 問題描述

某一軌道機構規劃在一軌道路線上增設兩座通勤車站，以增加服務涵蓋範圍，試評估增設車站後，對整條路線的路線容量之影響為多少？

2. 背景說明

原有的路線如圖 8-35 所示，全線為複線運轉，共有 4 座車站，各車站的相關參數如表 8.15，該路線主要有直達車和通勤電車等兩種營運列車，其交通組成的比例為 1：2，列車相關的參數彙整如表 8.16，而列車於各站間的平均巡航速度、運轉時間，以及各站計畫停站時間等參數，如表 8.17～表 8.19。

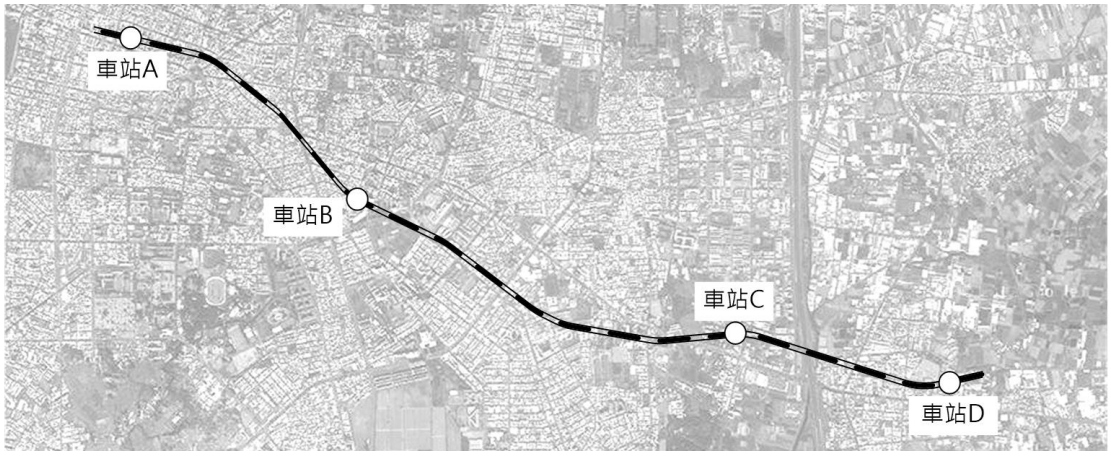


圖 8-35 原有路線圖

表 8.15 車站參數彙整表

車站名稱	軌道佈設類型	方向	進站坡度 (‰)	離站坡度 (‰)	B_2 (m)	B_1 (m)	B_s (m)	B_n (m)	B_{n-1} (m)
車站 A	III-1	順向	-8.9	-11.9	1800	1372	1145	1307	1313
		反向	11.9	8.9	1338	1333	1024	2080	1800
車站 B	I	順向	-1.49	0.01	1313	1672	748	1500	1060
		反向	-0.01	1.49	1440	1200	730	1352	1338
車站 C	III-1	順向	-4.52	0.23	1076	1252	415	1282	1515
		反向	-0.23	4.52	1585	1549	413	1026	1022
車站 D	I	順向	-7.1	-9.9	1282	1515	904	1408	1368
		反向	9.9	7.1	1668	1000	877	1585	1549

表 8.16 列車參數彙整表

車種名稱	直達車	通勤電車
列車長度（m）	274	160
服務加速度（km/h/s）	1.25	1.67
加速度性能有效因子	0.9	0.9
服務減速度（km/h/s）	1.5	2.0
減速度性能有效因子	0.9	0.9

表 8.17 各站間平均巡航速度彙整表

區間	順向		反向	
	直達車	通勤電車	直達車	通勤電車
車站 A－車站 B	93.33	86.67	100.48	86.67
車站 B－車站 C	111.33	87.67	101.62	87.67
車站 C－車站 D	96.67	82.38	96.67	76.67

單位：km/h

表 8.18 各站間運轉時間彙整表

區間	順向		反向	
	直達車	通勤電車	直達車	通勤電車
車站 A－車站 B	240	240	210	240
車站 B－車站 C	180	240	210	240
車站 C－車站 D	180	210	180	240

單位：秒

表 8.19 各站計畫停站時間彙整表

區間	直達車	通勤電車
車站 A	120	60
車站 B	0	60
車站 C	0	60
車站 D	120	60

單位：秒

本案例中計畫於車站 B－車站 C 之間，增設的兩座站內僅有兩股道的通勤車站，如圖 8-36 所示，增設車站後，直達車的營運方式不變，但通勤電車需增停兩座通勤車站各 30 秒，因此其行經車站 B－車站 C 的順向運轉時間將增為 510 秒，平均巡航速度下降至 60.67 km/h；反向運轉時間則增為 540 秒，平均巡航速度下降至 59.33 km/h。

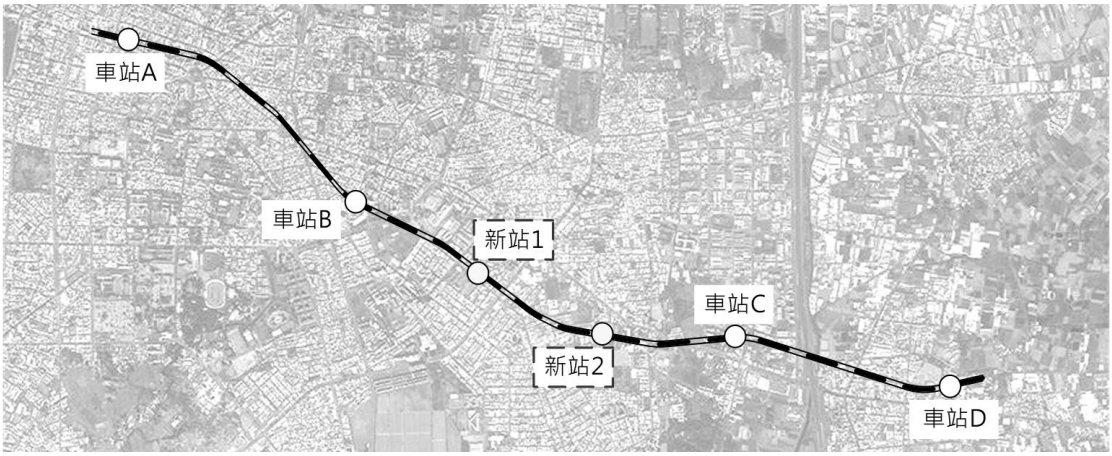


圖 8-36 新車站位置圖

3. 求解流程

為了能比較增設車站前後的容量變化，需先對原來的路線進行容量分析，再針對增設車站後的情況來進行分析比較。

首先在本軟體中建立一個新專案，並依上述背景說明在專案中設定各項參數，有關參數設定的操作細節可參考第七章。當所有參數設定完成後便可進行容量分析，本範例在模擬列車數為 500 時尚未到達穩定狀態，因此增加到 1500 列，分析的結果如圖 8-37 和圖 8-38 之結果，顯示增設車站前，原本的路線容量順向為 11.86 TU/h，反向為 12.5 TU/h。

圖 8-37 原路線容量分析結果（順向）

圖 8-38 原路線容量分析結果（反向）

接著進行增設車站後的容量分析，由於通勤車站為不能進行列車追越待避，所以容量分析時應將通勤車站前後之區段合併來計算，才不會導致高估容量。本案例中有兩座相鄰的通勤車站，因此須將車站 B—新站 1、新站 1—新站 2，和新站 2－車站 C 等 3 個區段，合併為車站 B－車站 C 區段，在此情況下，利用本軟體進行增設車站後的容量分析有兩種做法：一種是直接在專案中重新設定交互關係參數，將通勤電車於車站 B－車站 C 區段的運轉時間與巡航速度，調整為增設車站後的情況；另一種則是利用情境分析功能，在順、反兩方向上各新增一個增設車站後的情境。此兩種方法皆不須在專案中新增車站參數，以下以第二種方法為例進行說明。

開啟情境分析功能，選擇連續區段車站 A－車站 D，新增一個情境，加入兩個參數變化設定，如圖 8-39，得到的分析結果如圖 8-40，顯示增設通勤車站後，順向的容量降為 9.62 TU/h。接著將方向改為反向，同樣新增一個情境與參數變化設定，如圖 8-41，得到的分析結果如圖 8-42，顯示增設通勤車站後，反向的容量降為 10.87 TU/h。

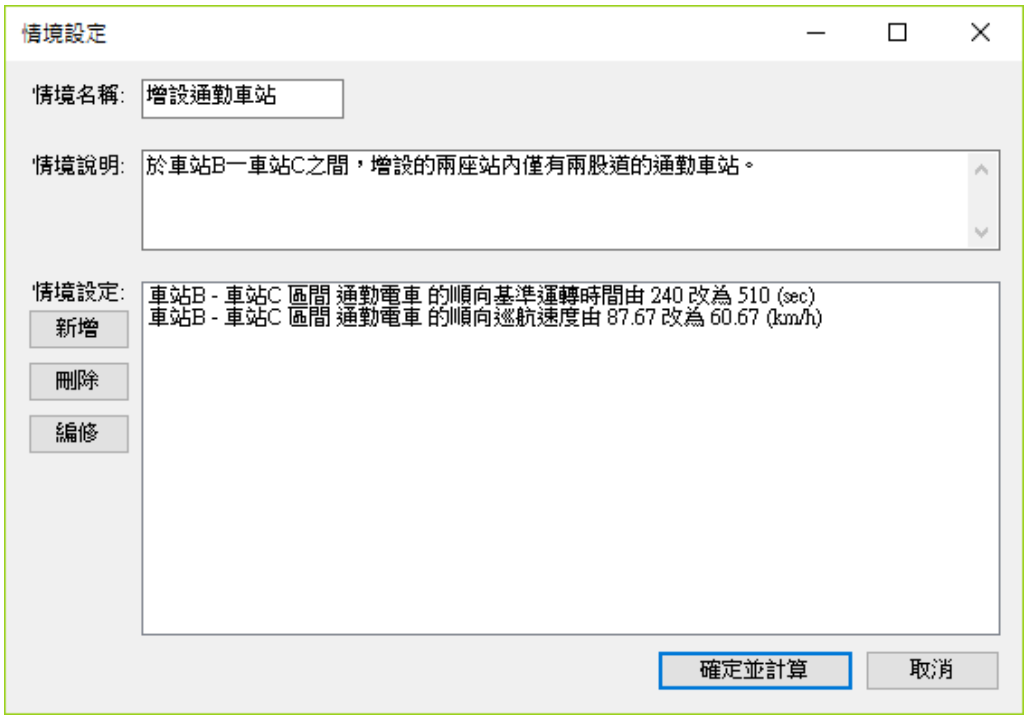


圖 8-39 設定增設通勤車站後的情境（順向）

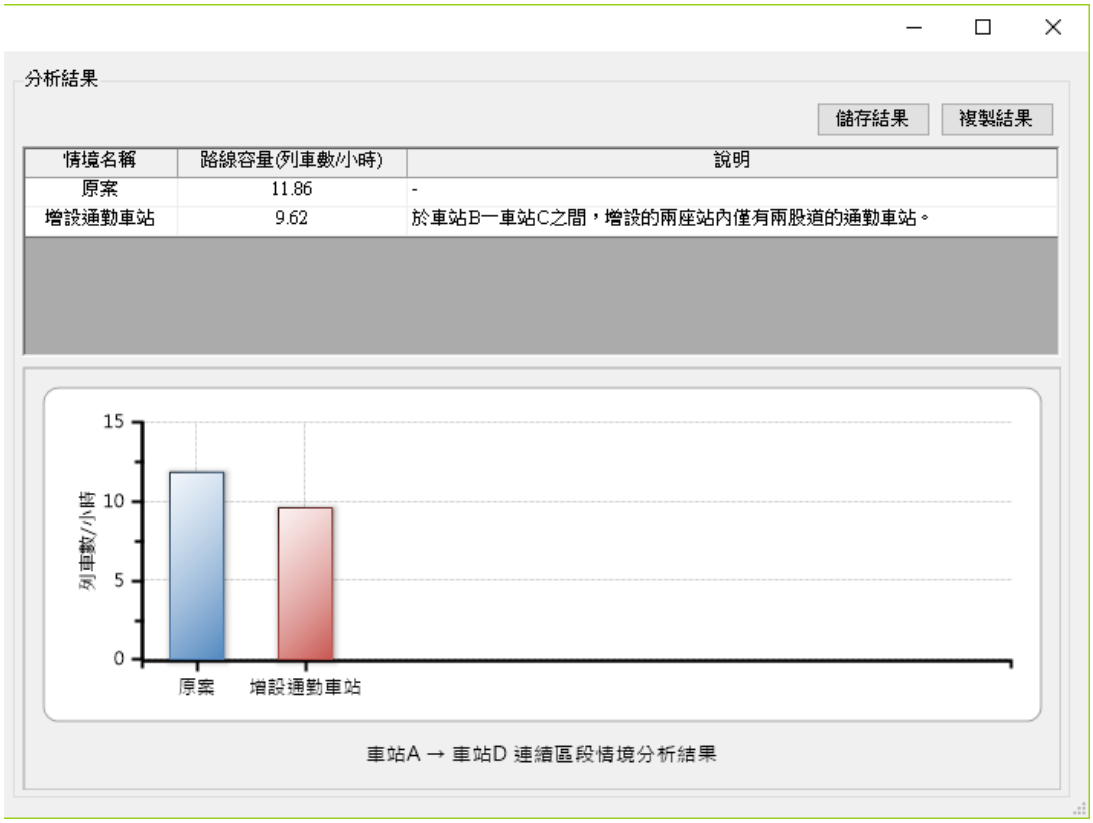


圖 8-40 增設通勤車站的情境分析結果（順向）

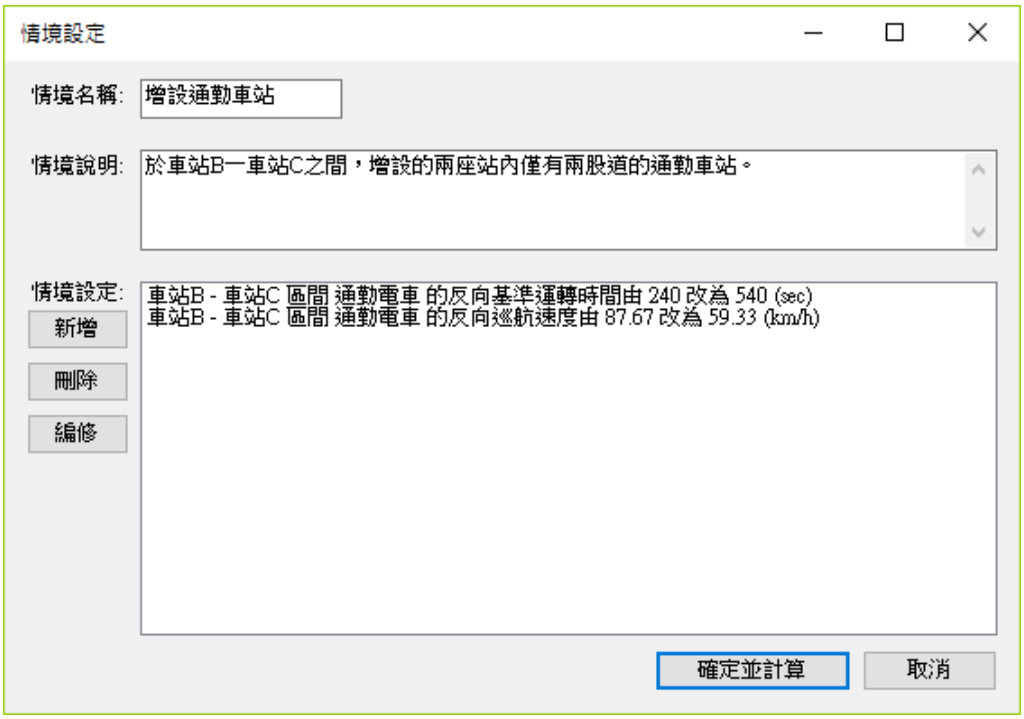


圖 8-41 設定增設通勤車站後的情境（反向）

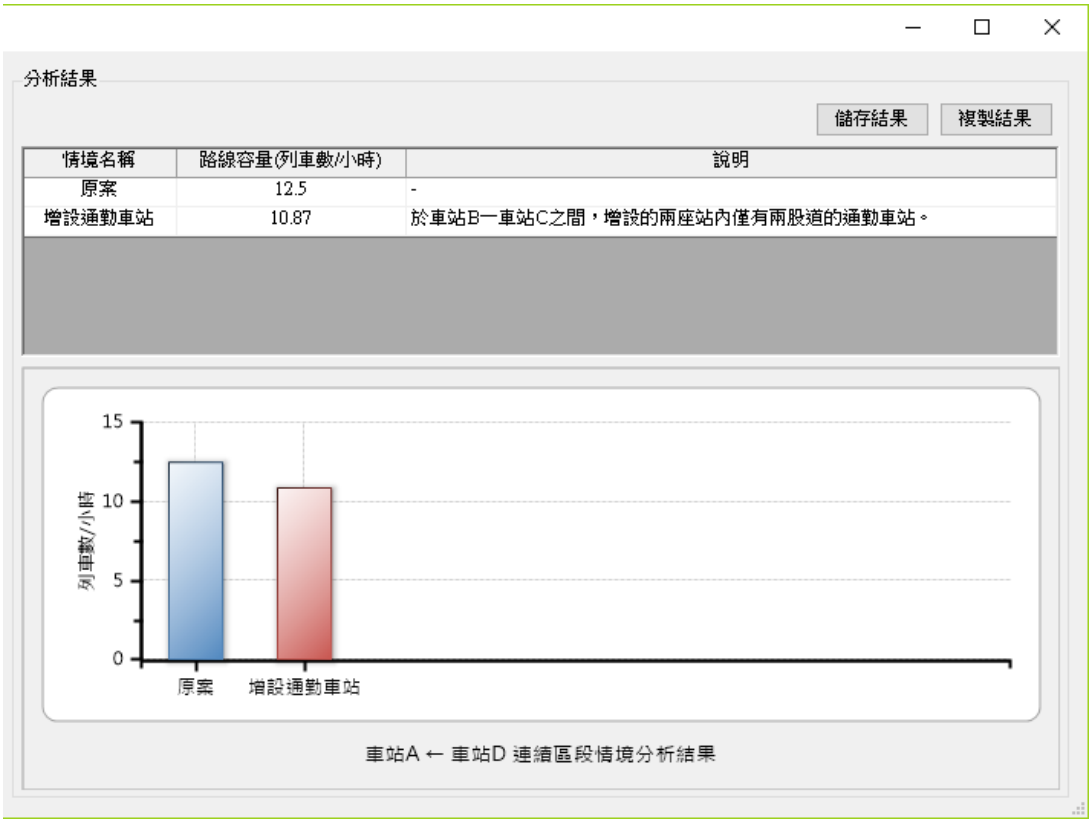


圖 8-42 增設通勤車站的情境分析結果（反向）

4. 分析報告

本案以本所「傳統暨區域鐵路容量分析軟體」，評估增設兩座通勤車站後對原有路線容量之影響，其結果如表 8.20，增設車站將造成順向路線容量降為 9.62 TU/h，下降約一成九；反向路線容量降為 10.87 TU/h，下降約一成三。

表 8.20 增設通勤車站對原路線容量之影響

		原路線	增設通勤車站後
順向	路線容量(TU/h)	11.86	9.62
	影響百分比	—	-18.89%
反向	路線容量(TU/h)	12.5	10.87
	影響百分比	—	-13.04%

增設通勤車站雖可增加服務涵蓋範圍，但通勤電車必須更頻繁地減速停靠車站並加速離開車站，再加上列車於新車站的停站時間，會導致通勤電車平均速度大幅下降，而速度降低同時也加大與直達車的速差，因此將導致整條路線的容量大幅減少，此衝擊不容小覷。

8.6 範例六

1. 問題描述

承上題，若要減少增設車站對路線容量的衝擊，試問此兩座新車站的軌道佈設該如何設計？

2. 背景說明

一般來說，車站有 4 種典型的軌道佈設型式，如表 8.21，其中第 IV 型便是通勤車站的佈設方式，因此兩座新車站的軌道佈設型式有 16 種組合，但由於課程時間有限，本案例僅示範如表 8.22 所示的兩個方案來探討兩座新車站的軌道佈設型式，方案 1 是將新站 1 改為第 I 型

軌道配置，方案 2 則是將新站 2 改為第 I 型軌道配置。各方案的列車巡航速度與運轉時間參數彙整如表 8.23～表 8.26，而停站時間方面，直達車皆不停新設車站，通勤電車則皆停 30 秒。

表 8.21 典型的車站軌道佈設方式

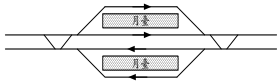
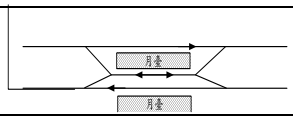
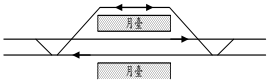
車站類型代號	類型說明	配置示意圖
I	兩島式月臺 四股道以上	
II	一島一側式月臺 三股道無平面交叉	
III	一島一側式月臺 三股道有平面交叉	
IV	一島或兩側式月臺 兩股道	

表 8.22 新車站軌道佈設型式組合方案

新站 1 / 新站 2		車站類型代號			
		I	II	III	IV
車站類型代號	I	—	—	—	方案 2
	II	—	—	—	—
	III	—	—	—	—
	IV	方案 1	—	—	原案

表 8.23 方案 1 的平均巡航速度彙整表

區間	順向		反向	
	直達車	通勤電車	直達車	通勤電車
車站 B－新站 1	111.33	68.67	101.62	68.67
新站 1－車站 C	111.33	60	101.62	58.21

單位：km/h

表 8.24 方案 1 的站間運轉時間彙整表

區間	順向		反向	
	直達車	通勤電車	直達車	通勤電車
車站 B－新站 1	60	120	60	120
新站 1－車站 C	120	360	150	390

單位：秒

表 8.25 方案 2 的平均巡航速度彙整表

區間	順向		反向	
	直達車	通勤電車	直達車	通勤電車
車站 B－新站 2	111.33	61.39	101.62	61.39
新站 2－車站 C	111.33	63.67	101.62	59.33

單位：km/h

表 8.26 方案 2 的站間運轉時間彙整表

區間	順向		反向	
	直達車	通勤電車	直達車	通勤電車
車站 B－新站 2	120	330	120	330
新站 2－車站 C	60	150	90	180

單位：秒

3. 求解流程

首先將原本上題的專案檔另存新檔後，進行方案 1 的容量分析，由於方案 1 的新站 1 可以用來進行列車追越待避，此時須在專案中於車站 B 和車站 C 之間增加一座新車站，並設定為第 I 型車站，如圖 8-43。而車站 B－車站 C 間因插入了新車站，分為車站 B－新站 1 與新站 1－車站 C 等兩個區段，所以參考表 8.23 和表 8.24 來重新設定此兩區段的交互關係參數，接著開啟容量分析功能，設定好交通組成後進行容量分析，其結果如圖 8-44 和圖 8-45，顯示若新站 1 的軌道佈設為第 I 型車站，則整條路線順向的路線容量為 11.03 TU/h，反向的路線容量為 10.99 TU/h。

透過相同步驟可得到方案 2 的容量分析結果，如圖 8-46 和圖 8-47，雙向的容量值分別為 11.86 TU/h 和 11.67 TU/h。

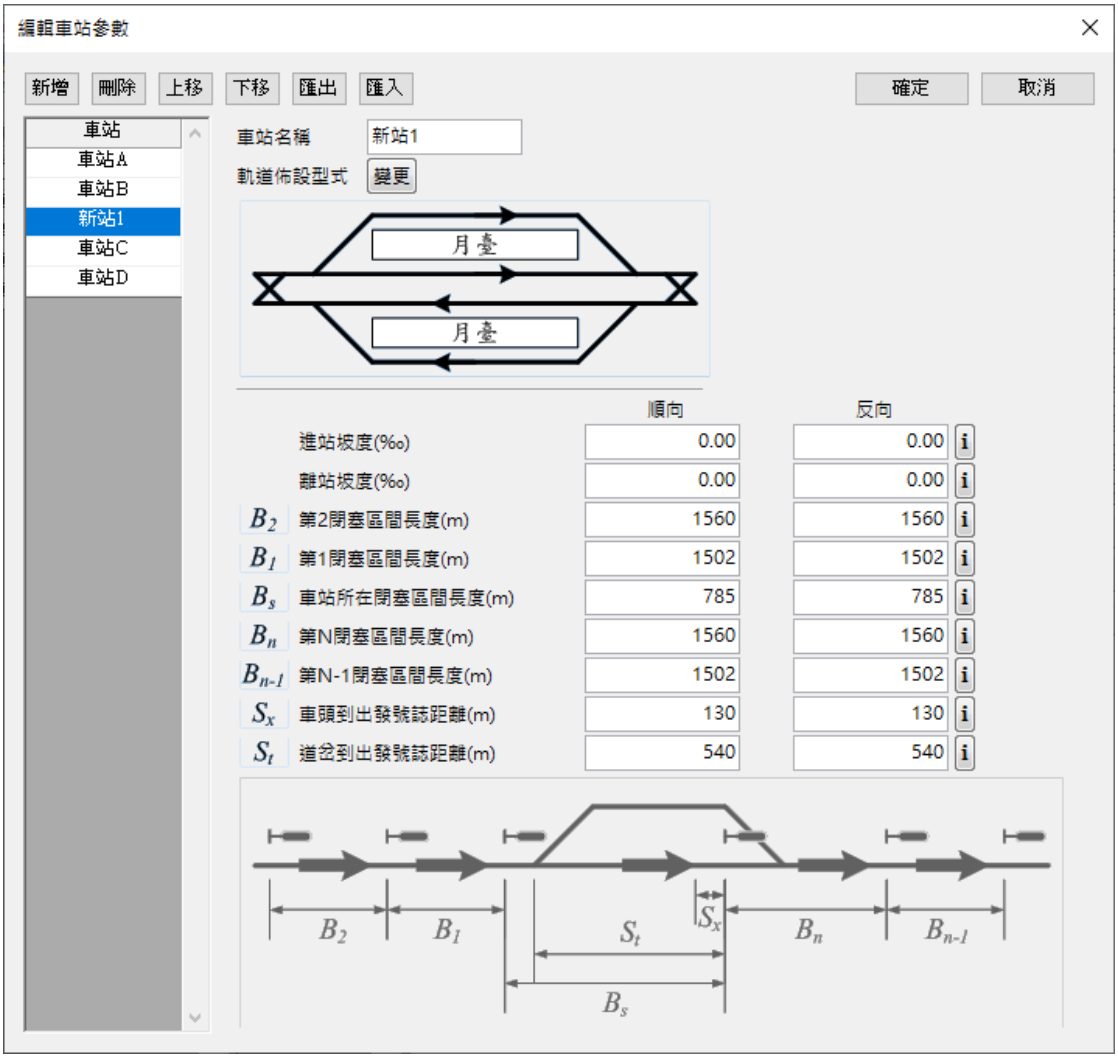


圖 8-43 新增新站 1

圖 8-44 方案 1 的容量分析結果（順向）

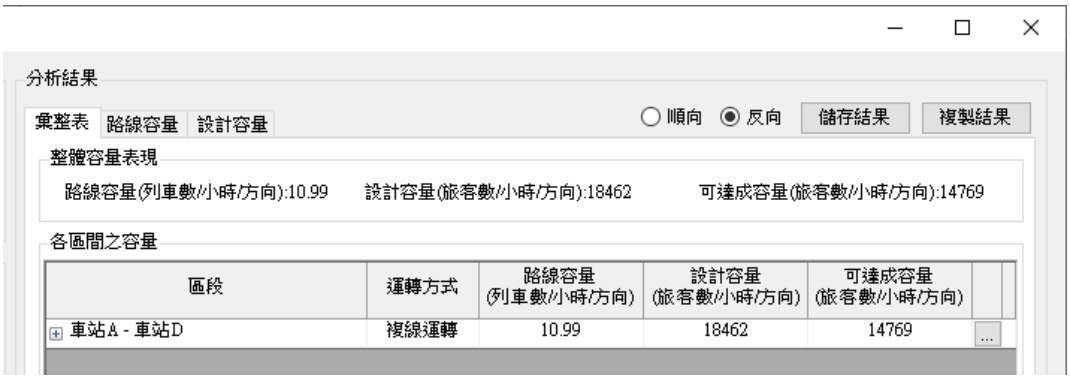


圖 8-45 方案 1 的容量分析結果（反向）

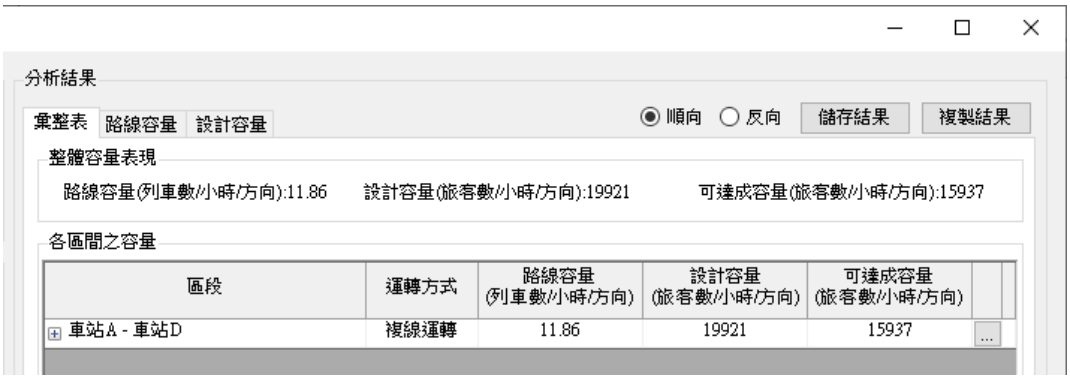


圖 8-46 方案 2 的容量分析結果（順向）

圖 8-47 方案 2 的容量分析結果（反向）

4. 分析報告

綜整上一案例與本例之分析結果於表 8.27，其中方案 1 當新站 1 為第 I 型車站時，對順向的路線容量衝擊已減低不少，但在反向上，與尚未新增車站的情況相比（12.5 TU/h）仍然有些差距。而方案 2 當

新站 2 為第 I 型車站時，降低路線容量衝擊的效果比方案 1 更佳，在順向上甚至可以保持原來的水準。然而，雖可以透過調整車站軌道配置的方式來降低新增車站對容量的衝擊，但此方法係以犧牲運輸效率來換取容量，對通勤電車而言，考量進站減速、離站加速以及停站時間，每增設一座車站其總運轉時間至少增加 2 分鐘，若要待避高級列車則增加的時間會更多，導致其運輸效率降低。

表 8.27 各方案容量分析結果比較

路線容量(TU/h)	原路線	增設通勤車站後	方案 1	方案 2
順向	11.86	9.62	11.03	11.86
反向	12.5	10.87	10.99	11.67

值得注意的是，實際上車站內軌道配置的設計尚需考量許多因素，例如另一方向的容量、號誌機位置、道岔配置…等，本案例主要是以較為簡略的方式介紹在設計階段如何應用本軟體。

8.7 範例七

1. 問題描述

臺鐵南靖－中洲間，有許多車站內的副正線並非供上、下行列車輪流平均使用，請根據實際上軌道的運用方式，分析臺鐵南靖－中洲間的路線容量。

2. 背景說明

當車站內有三條軌道時，通常上、下行方向各有一條專用的主正線，而副正線則視情況分配給上行或下行列車使用，過去發展傳統暨區域鐵路系統鐵道容量模式時，係以平均的概念來推導模式，亦即假設上行和下行列車交替使用副正線，然而實務上有時會讓副正線僅供

一個方向的列車使用，此極端情形便不適合直接用原來的模式求解容量。

上述之情況便發生在臺鐵的後壁站，根據圖 8-48 可知後壁站內有兩條主正線和一條副正線，東、西主正線分別供下行與上行列車使用，副正線則是可供上下行列車待避使用。當下行列車使用副正線進出車站時，將與上行列車產生平面交叉，因此在列車密度很高時，為了減少對上行列車運行的干擾，將會避免下行列車使用副正線，甚至完全不使用，此時若要分析下行方向之容量，後壁站便要視為無法追越待避的車站，必須將其前後區段合併為基本分析單元；而在分析上行方向容量時，後壁站便視為有兩條軌道，可進行追越待避的車站。

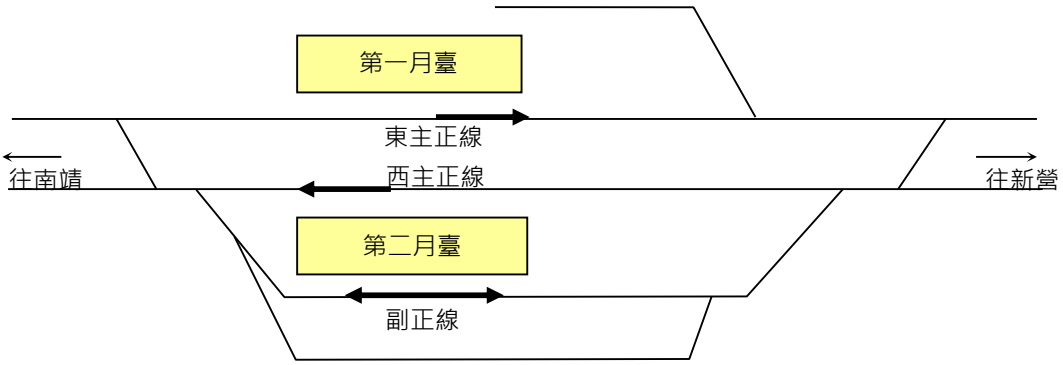
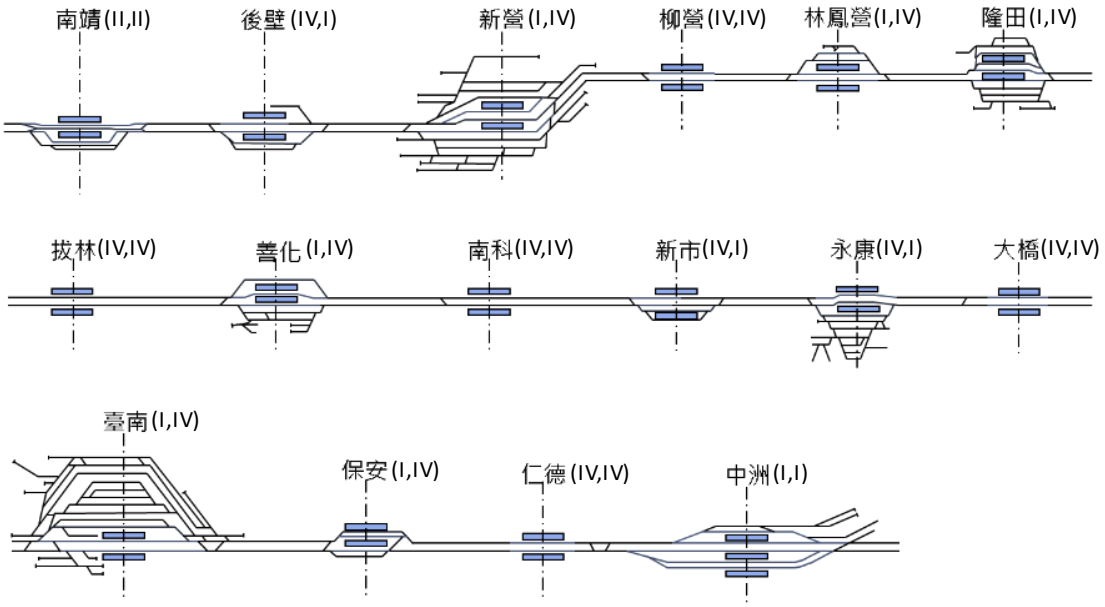


圖 8-48 臺鐵後壁站軌道運用與配置示意圖

除了後壁站，臺鐵的南靖－中洲間尚有許多類似情況發生，如圖 8-49，因此在計算容量時，上下行方向有不同的基本分析單元，如表 8.28。



註：括弧內表示該車站在下行/上行方向的軌道佈設型式類型

圖 8-49 臺鐵南靖－中洲各站軌道配置示意圖

表 8.28 臺鐵南靖－中洲的基本分析單元

下行方向的基本分析單元	上行方向的基本分析單元
南靖－新營	南靖－後壁
新營－林鳳營	後壁－新市
林鳳營－隆田	新市－永康
隆田－善化	永康－中洲
善化－臺南	
臺南－保安	
保安－中洲	

3. 求解流程

於上下行的基本分析單元不同，因此在透過本軟體來計算本案例之容量時，必須依方向分別建立兩個專案檔。

首先建立下行方向的專案，利用專案精靈匯入臺鐵南靖－中洲間的參數資料，如圖 8-50，接著根據站內軌道的實際運用狀況，於專案中刪去下行方向無法追越待避之車站，結果如圖 8-51。之後依照表 8.29 重新設定合併區間的交互關係參數，包含南靖－新營和善化－臺南，

如圖 8-52，最後將每個區間順向的交通組成設定為推拉式自強號與區間車各一列，如圖 8-53，執行容量分析即可得到南靖－中洲下行方向之容量。

圖 8-50 匯入臺鐵南靖－中洲之參數資料

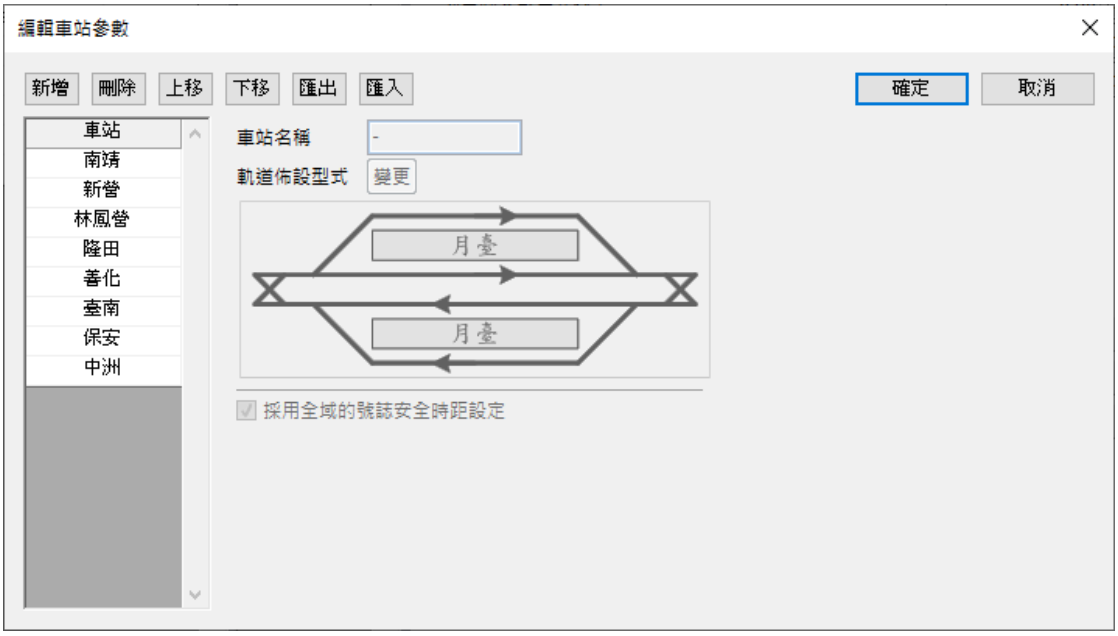


圖 8-51 僅留下可追越待避之車站

表 8.29 南靖－中洲間下行方向新合併區間之運轉時間

區間	傾斜式自強號	推拉式自強號	DMU自強號	莒光號	區間車
南靖－新營	390	510	540	600	690
善化－臺南	630	690	780	1080	1260

單位：秒

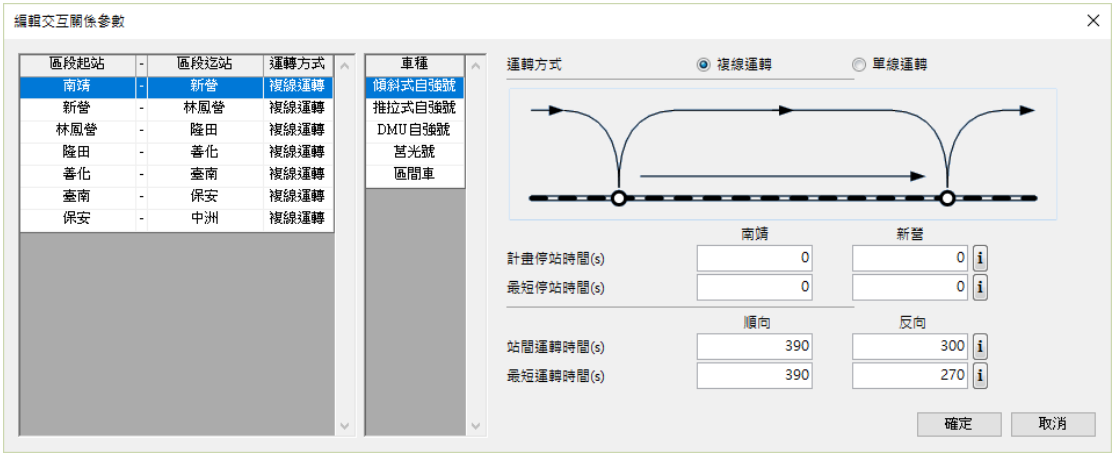


圖 8-52 重新設定合併區間的交互關係參數

圖 8-53 設定交通組成

以同樣的流程亦可求解上行方向之容量，但值得注意的是，所匯入的參數檔中，新市站僅有兩月臺面，而實際上新市站在上行方向上有一條通過線，如圖 8-54，屬於有兩條軌道可供追越待避之車站，因此根據站內軌道的實際運用狀況，於專案中刪去上行方向無法追越待避之車站，並新增新市站，如圖 8-55。之後依照表 8.30 重新設定合併區間的交互關係參數，最後將每個區間反向的交通組成設定為推拉式自強號與區間車各一列，執行容量分析即可得到南靖－中洲上行方向之容量，上述相關功能的操作細節可參考第七章。

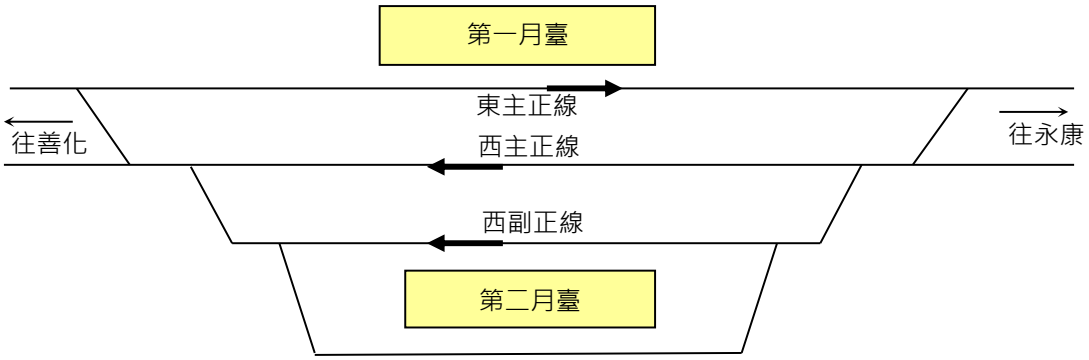


圖 8-54 臺鐵新市站軌道運用與配置示意圖

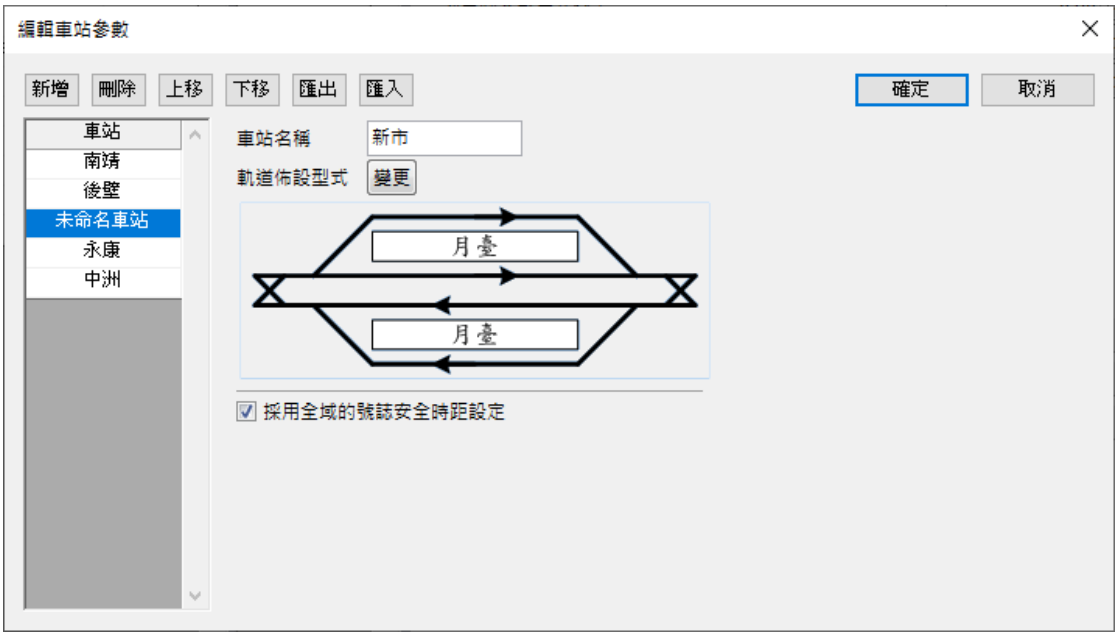


圖 8-55 新增新市站

表 8.30 南靖－中洲間上行方向新合併區間之運轉時間

區間	傾斜式自強號	推拉式自強號	DMU自強號	莒光號	區間車
後壁－新市	990	1350	1530	2100	2160
新市－永康	150	150	180	240	300
永康－中洲	750	900	990	1080	1320

單位：秒

4. 分析報告

根據本所「傳統暨區域鐵路容量分析軟體」的分析結果，在考量實際軌道運用方式下，臺鐵南靖－中洲間的路線容量如表 8.31 和表 8.32 所示，下行方向容量為 6.41 TU/h，瓶頸區段位於善化－臺南；上行方向容量為 6.77 TU/h，瓶頸區段位於後壁－新市。

表 8.31 臺鐵南靖－中洲間的鐵道容量分析結果（下行方向）

區段		路線容量(列車數/小時)
南靖 → 中洲		6.41
	南靖 → 新營	8.44
	新營 → 林鳳營	10.21
	林鳳營 → 隆田	10.21
	隆田 → 善化	9.19
	善化 → 臺南	6.41
	臺南 → 保安	11.49
	保安 → 中洲	8.89

表 8.32 臺鐵南靖－中洲間的鐵道容量分析結果（上行方向）

區段		路線容量(列車數/小時)
南靖 ← 中洲		6.77
	南靖 ← 後壁	11.64
	後壁 ← 新市	6.77
	新市 ← 永康	11.91
	永康 ← 中洲	9.09

參考文獻

1. 中華顧問工程司，**臺北市區鐵路地下化東沿南港工程綜合規劃報告第 9 冊—鐵路營運維持計畫**，交通部地下鐵路工程處，民國 85 年 12 月。
2. 中興工程顧問社，**高雄都會區鐵路地下化綜合規劃報告第 45 冊—鐵路營運維持計畫**，交通部地下鐵路工程處，民國 88 年 11 月。
3. 中興工程顧問社，**臺灣西部走廊高速鐵路基本設計—高速鐵路橫科山至板橋段工程技術研究**，交通部高速鐵路籌備處，民國 81 年。
4. 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。
5. 交通部臺灣鐵路管理局，「旅客市場定位與開發」，*臺鐵再生計畫研討會論文集*，民國 96 年 4 月。
6. 交通部運輸研究所，**單線連續區段軌道容量模式分析暨整體容量軟體改版研究（1/2）**，民國 104 年 9 月。
7. 交通部運輸研究所，**軌道系統容量與可靠度分析研究（1/3）**，民國 100 年 6 月。
8. 交通部運輸研究所，**軌道系統容量與可靠度分析研究（2/3）**，民國 101 年 4 月。
9. 交通部運輸研究所，**軌道容量研究－臺鐵系統容量模式之建構分析（一）**，民國 94 年 3 月。
10. 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）**，民國 95 年 4 月。
11. 交通部運輸研究所，**運輸系統容量分析暨應用研究－軌道系統（1/4）**，民國 96 年 4 月。
12. 交通部運輸研究所，**運輸系統容量分析暨應用研究－軌道系統（2/4）**，民國 96 年 12 月。

13. 交通部運輸研究所，**運輸系統容量分析暨應用研究－軌道系統（3/4）**，民國 98 年 6 月。
14. 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**，民國 93 年 6 月。
15. 交通部臺灣鐵路管理局網頁，網址：http://www.railway.gov.tw/。
16. 李治綱、丁國樑、黃哲旭，「鐵路列車模擬模式之研究」，*中華民國運輸學會第 11 屆論文集*，民國 85 年 12 月，頁 1105-1116。
17. 前川典生，**輸送 第一篇**。
18. 施能郁，**運轉理論**，鐵路文化工作委員會，民國 88 年 10 月。
19. 張恩輔、林志偉，「開放資料 Open Data 應用於列車表定行車時間之估計」，*中興工程*，第 128 期，第 39-47 頁，2015 年 7 月。
20. 運轉理論研究會，**運轉理論－運轉曲線圖的基礎與應用**，日本鐵道運轉協會，1992。
21. 臺灣鐵路管理局，**鐵路運轉規章彙編**，鐵路文化工作委員會，民國 89 年。
22. 謝文隆，王家福，**行車計劃**，臺灣鐵路管理局，民國 85 年 3 月。
23. 鍾志成，**軌道運輸系統營運模式現狀評估**，中興工程顧問社，民國 90 年 6 月。
24. 鍾志成、李治綱、張仕龍等，「台鐵三位式號誌系統安全時距公式之建構與分析」，*運輸學刊*，第十八卷，第二期，第 183-208 頁，民國 95 年 6 月。
25. 鍾志成、李治綱、張仕龍等，「臺鐵路線容量分析－以基隆至新竹路段為例」，*運輸學刊*，第十八卷，第三期，第 233-264 頁，民國 95 年 9 月。
26. 鍾志成、張仕龍，「列車等候規則之探討」，*第 16 屆中華民國運輸學會論文集*，民國 90 年 11 月，頁 947-955。

27. AASHTO, **A Policy on Geometric Design of Highways and Streets**, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D. C., 1994.
28. Kraft, E. R., "Analytical Models for Rail Line Capacity Analysis", *Journal of Transportation Research Forum*, Vol. 29, 1988, pp. 153-162.
29. Pachl, J., "Avoiding Deadlocks in Synchronous Railway Simulations", *2nd International Seminar on Railway Operations Modelling and Analysis*, Hannover, Germany, 2007.
30. Pachl, J., **Railway Operation and Control**, VTD RAIL publishing, Terrace, U.S.A., 2002.
31. Tom Parkinson Transport Consulting Limited, **Rail Transit Capacity**（**TCRP Report 13**）, Transportation Research Board, National Research Council, U.S.A., 1996.
32. Vuchic, V. R., **Urban Public Transportation — Systems and Technology**, Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, New Jersey, 1981.

都會捷運系統篇

都會捷運系統篇 目錄

頁 次

目 錄 I
圖 目 錄 V
表 目 錄 XI
第一章 緒論 ..... 1 - 1
1.1 臺北捷運系統簡介 ..... 1 - 1
1.1.1 路線概要 ..... 1 - 1
1.1.2 車輛系統 ..... 1 - 4
1.1.3 號誌系統 ..... 1 - 6
1.1.4 營運概況 ..... 1 - 6
1.2 高雄捷運系統簡介 ..... 1 - 6
1.2.1 路線概要 ..... 1 - 6
1.2.2 車輛系統 ..... 1 - 9
1.2.3 號誌系統 ..... 1 - 9
1.2.4 營運概況 ..... 1 - 10
1.3 都會捷運的系統特性 ..... 1 - 10
1.4 都會捷運的號誌系統 ..... 1 - 12
1.4.1 固定閉塞制配備速度碼系統 ..... 1 - 13
1.4.2 固定閉塞制配備距離碼系統 ..... 1 - 14
1.4.3 移動閉塞制配備距離碼系統 ..... 1 - 18
第二章 路線容量分析模式 ..... 2 - 1
2.1 基本概念與模式假設 ..... 2 - 1
2.1.1 容量計算的時間單位 ..... 2 - 1
2.1.2 容量計算的空間參考點 ..... 2 - 1
2.1.3 最小運轉時隔的組成 ..... 2 - 4
2.1.4 模式的假設條件 ..... 2 - 6

2.2 號誌安全時距的計算 2 - 6
2.2.1 中間站號誌安全時距計算公式 2 - 7
2.2.2 折返站號誌安全時距計算公式 2 - 12
2.2.3 銜接點號誌安全時距計算公式 2 - 36
2.2.4 路線坡度對號誌安全時距的影響 2 - 43
2.2.5 瓶頸號誌安全時距的決定 2 - 46
2.3 運轉寬裕時間的估計 2 - 46
2.4 最小運轉時隔的計算 2 - 47
2.5 路線容量的計算 2 - 48
第三章 旅客容量分析模式 3 - 1
3.1 旅客容量計算 3 - 1
3.2 停站時間推估 3 - 6
3.2.1 中間車站的停站時間 3 - 6
3.2.2 端末車站的停站時間 3 - 7
第四章 容量整體分析程序 4 - 1
4.1 容量分析架構與步驟 4 - 1
4.2 容量分析的應用方式 4 - 7
4.2.1 巡航速度的決定方式 4 - 8
4.2.2 間隔安全係數的設定 4 - 10
4.2.3 容量利用效率評估 4 - 11
4.2.4 列車服務班距規劃 4 - 12
4.2.5 設計路線容量的決定 4 - 14
4.2.6 車隊規模的計算 4 - 15
第五章 鐵道容量分析程式 5 - 1
5.1 軟體簡介 5 - 1
5.1.1 軟體特色 5 - 1
5.1.2 版權宣告 5 - 2
5.1.3 執行環境需求 5 - 3
5.2 軟體安裝與移除 5 - 4
5.2.1 安裝程序 5 - 4

5.2.2 移除程序 ..... 5 - 10
5.3 路線容量分析模組 ..... 5 - 12
5.3.1 操作環境 ..... 5 - 12
5.3.2 檔案管理 ..... 5 - 13
5.3.3 設定全域參數 ..... 5 - 14
5.3.4 設定列車參數 ..... 5 - 15
5.3.5 設定空間參考點參數 ..... 5 - 16
5.3.6 分析計算 ..... 5 - 23
5.3.7 輸出結果 ..... 5 - 28
5.3.8 偏好設定 ..... 5 - 33
5.4 運轉規劃分析模組 ..... 5 - 33
5.4.1 操作環境 ..... 5 - 33
5.4.2 進行新分析 ..... 5 - 34
5.4.3 開啟舊檔 ..... 5 - 40
第六章 分析範例 ..... 6 - 1
6.1 鐵道容量分析 ..... 6 - 1
6.1.1 範例一 ..... 6 - 1
6.1.2 範例二 ..... 6 - 4
6.1.3 範例三 ..... 6 - 7
6.1.4 範例四 ..... 6 - 12
6.1.5 範例五 ..... 6 - 14
6.1.6 範例六 ..... 6 - 15
6.1.7 範例七 ..... 6 - 17
6.1.8 範例八 ..... 6 - 21
6.2 運轉規劃分析 ..... 6 - 24
6.2.1 範例一 ..... 6 - 24
6.2.2 範例二 ..... 6 - 26
參考文獻 ..... R - 1

圖 目 錄

頁 次

圖 1-1 臺北都會區大眾捷運系統計畫路網圖 ..... 1 - 3
圖 1-2 高雄都會區大眾捷運系統計畫路網圖 ..... 1 - 8
圖 1-3 速度碼 ATP 範例 ..... 1 - 14
圖 1-4 距離碼系統縮短列車行車間距的範例 ..... 1 - 16
圖 1-5 距離碼系統的運作方式 ..... 1 - 17
圖 1-6 距離碼系統中煞車監控曲線的移動方式 ..... 1 - 17
圖 1-7 移動閉塞制縮短列車行車間距的範例 ..... 1 - 18
圖 2-1 列車進出車站的程序 ..... 2 - 2
圖 2-2 列車於島式端末車站折返的過程（站前折返） ..... 2 - 3
圖 2-3 列車於側式端末車站折返的過程（站後折返） ..... 2 - 3
圖 2-4 列車通過銜接點的過程 ..... 2 - 4
圖 2-5 中間站之號誌安全時距 ..... 2 - 8
圖 2-6 站前折返之號誌安全時距－站內停靠同一股道 ..... 2 - 14
圖 2-7 站前折返之號誌安全時距－站內停靠不同股道 ..... 2 - 18
圖 2-8 停車時間小於列車開到時隔的列車折返示意圖 ..... 2 - 22
圖 2-9 停車時間大於列車開到時隔的列車折返示意圖 ..... 2 - 22
圖 2-10 站後折返之號誌安全時距－停靠同一股尾軌 ..... 2 - 24
圖 2-11 站後折返之號誌安全時距－停靠不同股尾軌 ..... 2 - 29
圖 2-12 使用中央避車線折返之號誌安全時距 ..... 2 - 33
圖 2-13 站後折返之號誌安全時距－停靠不同股尾軌 ..... 2 - 38
圖 2-14 主線列車與側線列車輪流通過銜接點 ..... 2 - 42
圖 2-15 主線列車連續通過比例為 0.5 之情況 ..... 2 - 42
圖 3-1 臺北捷運淡水站平日（98 年 4 月 1 日）每 15 分鐘進站旅客數 ..... 3 - 4
圖 3-2 臺北捷運淡水站假日（98 年 4 月 4 日）每 15 分鐘進站旅客數 ..... 3 - 5

圖 3-3 臺北捷運淡水站平日（98 年 4 月 1 日）的乘載變異因子..3 - 5
圖 3-4 臺北捷運淡水站假日（98 年 4 月 4 日）的乘載變異因子..3 - 6
圖 4-1 都會捷運系統之鐵道容量分析架構.....4 - 1
圖 4-2 列車站間運轉曲線圖範例.....4 - 9
圖 4-3 列車循環運用時空圖範例.....4 - 15
圖 5-1 安裝程式瀏覽.....5 - 4
圖 5-2 利用【執行身分】以較高權限安裝程式.....5 - 5
圖 5-3 以其他身分安裝程式時輸入帳號與密碼.....5 - 5
圖 5-4 程式安裝畫面－啟動安裝精靈.....5 - 6
圖 5-5 程式安裝畫面－授權合約.....5 - 6
圖 5-6 程式安裝畫面－客戶資訊.....5 - 7
圖 5-7 程式安裝畫面－選擇安裝資料夾.....5 - 7
圖 5-8 程式安裝畫面－自行指定安裝資料夾.....5 - 8
圖 5-9 程式安裝畫面－檢視磁碟剩餘空間.....5 - 8
圖 5-10 程式安裝畫面－確認安裝.....5 - 9
圖 5-11 程式安裝畫面－安裝過程.....5 - 9
圖 5-12 程式安裝畫面－完成安裝.....5 - 10
圖 5-13 程式移除程序－控制台.....5 - 10
圖 5-14 程式移除程序－新增/移除程式.....5 - 11
圖 5-15 程式移除程序－確認移除程式.....5 - 11
圖 5-16 支援資訊.....5 - 11
圖 5-17 路線容量分析模組操作環境.....5 - 12
圖 5-18 儲存檔案對話盒.....5 - 13
圖 5-19 開啟舊檔對話盒.....5 - 14
圖 5-20 全域參數設定介面.....5 - 15
圖 5-21 列車參數設定介面.....5 - 15
圖 5-22 空間參考點管理介面.....5 - 16
圖 5-23 空間參考點管理功能按鈕.....5 - 17
圖 5-24 空間參考點參數設定介面.....5 - 17
圖 5-25 中間站參數設定介面.....5 - 18

圖 5-26 站前折返參數設定介面 ..... 5 - 19
圖 5-27 站後折返參數設定介面 ..... 5 - 20
圖 5-28 中央避車線折返參數設定介面 ..... 5 - 20
圖 5-29 銜接點參數設定介面 ..... 5 - 21
圖 5-30 刪除空間參考點之確認對話盒 ..... 5 - 22
圖 5-31 變更空間參考點順序 ..... 5 - 23
圖 5-32 執行容量分析計算 ..... 5 - 23
圖 5-33 容量分析結果介面 ..... 5 - 24
圖 5-34 容量分析結果彙整表 ..... 5 - 24
圖 5-35 路線容量結果直方圖 ..... 5 - 25
圖 5-36 設計容量結果直方圖 ..... 5 - 26
圖 5-37 執行敏感度分析 ..... 5 - 26
圖 5-38 敏感度分析介面 ..... 5 - 27
圖 5-39 選擇分析對象 ..... 5 - 27
圖 5-40 自訂參數變化範圍 ..... 5 - 28
圖 5-41 敏感度分析結果 ..... 5 - 28
圖 5-42 儲存容量分析結果文字檔之對話盒 ..... 5 - 29
圖 5-43 儲存容量分析結果圖檔之對話盒 ..... 5 - 30
圖 5-44 以文字格式輸出至剪貼簿後於 MS Excel 貼上 ..... 5 - 30
圖 5-45 以圖案格式輸出至剪貼簿後在 MS Word 貼上 ..... 5 - 31
圖 5-46 儲存敏感度分析結果圖檔之對話盒 ..... 5 - 32
圖 5-47 敏感度分析結果輸出至剪貼簿後於 MS Word 貼上 ..... 5 - 32
圖 5-48 執行偏好設定 ..... 5 - 33
圖 5-49 偏好設定介面 ..... 5 - 33
圖 5-50 運轉規劃分析模組操作環境 ..... 5 - 34
圖 5-51 運轉規劃分析模組整體操作流程 ..... 5 - 34
圖 5-52 選擇計算項目 ..... 5 - 35
圖 5-53 設定列車參數 ..... 5 - 35
圖 5-54 設定預測運量 ..... 5 - 36
圖 5-55 最大營運班距計算結果 ..... 5 - 37

圖 5-56 調整最大營運班距.....5 - 37
圖 5-57 設定計算車隊規模相關參數.....5 - 38
圖 5-58 車隊規模計算結果.....5 - 39
圖 5-59 輸出最大營運班距計算結果.....5 - 39
圖 5-60 儲存運轉規劃分析檔案.....5 - 40
圖 5-61 開啟運轉規劃分析檔案.....5 - 41
圖 5-62 開啟舊檔對話盒.....5 - 41
圖 5-63 選定欲開啟之舊檔.....5 - 42
圖 6-1 列車參數之設定.....6 - 2
圖 6-2 列車於車站內停車位置與車站所在區間離開點之間距.....6 - 2
圖 6-3 設定最繁忙車站參數.....6 - 3
圖 6-4 容量分析結果.....6 - 3
圖 6-5 捷運系統閉塞區間與永久速限圖.....6 - 4
圖 6-6 全域參數之設定.....6 - 5
圖 6-7 列車參數之設定.....6 - 5
圖 6-8 空間參考點參數之設定.....6 - 6
圖 6-9 列車最接近折返站前橫渡線區的位置.....6 - 6
圖 6-10 容量分析結果.....6 - 7
圖 6-11 捷運系統路線圖.....6 - 8
圖 6-12 捷運系統閉塞區間與永久速限圖.....6 - 9
圖 6-13 列車參數之設定.....6 - 9
圖 6-14 空間參考點參數之設定.....6 - 10
圖 6-15 順行方向列車最接近車站列車停靠點之位置.....6 - 10
圖 6-16 逆行方向列車最接近車站列車停靠點之位置.....6 - 11
圖 6-17 順行方向之容量分析結果.....6 - 11
圖 6-18 逆行方向之容量分析結果.....6 - 12
圖 6-19 空間參考點參數之設定.....6 - 13
圖 6-20 列車參數之設定.....6 - 13
圖 6-21 列車以 S24 車站前方之橫渡線進行折返.....6 - 14
圖 6-22 探討容量的空間參考點.....6 - 14

圖 6-23 空間參考點參數之設定.....6 - 15
圖 6-24 捷運系統之銜接點.....6 - 15
圖 6-25 銜接點參數設定.....6 - 16
圖 6-26 敏感度分析結果.....6 - 17
圖 6-27 捷運系統路線圖.....6 - 17
圖 6-28 捷運系統軌道配置圖.....6 - 18
圖 6-29 各空間參考點之容量.....6 - 21
圖 6-30 敏感度分析結果.....6 - 22
圖 6-31 設定列車於尾軌交替使用不同股道.....6 - 23
圖 6-32 容量分析結果.....6 - 23
圖 6-33 輸入列車參數.....6 - 25
圖 6-34 輸入預測運量.....6 - 25
圖 6-35 最大營運班距計算結果.....6 - 26
圖 6-36 調整營運班距.....6 - 27
圖 6-37 輸入計算車隊規模相關參數.....6 - 27
圖 6-38 車隊規模計算結果.....6 - 28

表 目 錄

頁 次

表 1.1 臺北捷運已通車路線之綜合比較 1 - 2
表 1.2 臺北捷運系統高運量車輛與中運量車輛比較表 1 - 5
表 1.3 高雄捷運已通車路線之綜合比較 1 - 7
表 1.4 高雄捷運系統車輛特性 1 - 9
表 2.1 號誌安全時距計算公式 2 - 44
表 4.1 號誌安全時距計算公式 4 - 3
表 4.2 號誌安全時距計算公式之符號意義說明表 4 - 5
表 5.1 全域參數之型態與單位 5 - 15
表 5.2 列車參數之型態與單位 5 - 16
表 5.3 空間參考點型式與參數設定介面彙整表 5 - 18
表 5.4 中間站參數之型態與單位 5 - 18
表 5.5 站前折返參數之型態與單位 5 - 19
表 5.6 站後折返參數之型態與單位 5 - 20
表 5.7 中央避車線折返參數之型態與單位 5 - 21
表 5.8 銜接點參數之型態與單位 5 - 21
表 6.1 規劃中之捷運系統的列車規格 6 - 1
表 6.2 捷運系統之列車性能 6 - 4
表 6.3 捷運系統之列車性能 6 - 8
表 6.4 捷運系統之列車性能 6 - 18
表 6.5 S1 車站之空間參考點參數 6 - 19
表 6.6 S7 車站之空間參考點參數 6 - 19
表 6.7 S10 車站之空間參考點參數 6 - 20
表 6.8 S14 車站之空間參考點參數 6 - 20
表 6.9 各區間尖峰時間預測運量 6 - 24
表 6.10 列車容量規格 6 - 24

第一章 緒論

都會捷運系統係指服務於都會區及鄰近地區，具有專用路權且能夠提供大量、快速服務的鐵道運輸系統。為了大量運輸的目的，都會捷運系統的列車停站型態一致，不會有錯會車的行為；另外，通常會配備自動列車控制系統，以減少人為的失誤。

國內自民國 85 年臺北木柵線中運量捷運系統通車以來，已陸續完成多條捷運路線的建設及營運，目前仍持續規劃興建當中。除了臺北都會區之外，高雄捷運系統亦於 97 年正式通車營運，而臺中捷運系統亦已於最近舉行開工典禮。雖然不同捷運系統的技術細節不盡相同，運能亦有差異，但就鐵道容量分析的角度而言，仍有許多共通的特性。以下就國內都會捷運系統進行概略性的介紹，並從鐵道容量分析的觀點來說明其系統特性。

1.1 臺北捷運系統簡介

1.1.1 路線概要

臺北都會區捷運系統截至民國 107 年底已營運的路線包括文山內湖線、淡水信義線、松山新店線、中和新蘆線及板南線等數條路線，營運里程共 131.1 公里，117 個車站（西門站、中正紀念堂站、古亭站及東門站等 4 個轉乘站於不同路線共用站體計為 1 站，其餘轉乘站計為 2 站），如表 1.1 所示。由於臺北都會區捷運系統營運之後對於改善道路交通有顯著的效益，因此臺北市捷運工程局仍不斷興建新的路網，包括環狀線、信義東延線、萬大線等，另外，亦規劃民生汐止線、社子線等許多遠期延伸路線，最終之願景路網如圖 1-1 所示。

表 1.1 臺北捷運已通車路線之綜合比較

路線顏色	線名	範圍概述	長度(km)	車站數	通車日期
紅	淡水	淡水～中正紀念堂(含新北投)	23.8	22	87/12
	信義	中正紀念堂～象山	6.4	6	103/11
棕	文山	動物園～中山國中	10.9	12	85/03
	內湖	中山國中～南港展覽館站	14.8	12	98/07
橘	中和	古亭～南勢角	5.4	4	87/12
	蘆洲	蘆洲～三重國小	6.4	5	99/11
	新莊	忠孝新生～大橋頭	6.1	6	99/11
	新莊	大橋頭～輔大	8.2	7	101/01
	新莊	古亭～忠孝新生	2.2	1	101/09
	新莊	輔大～迴龍	3.2	2	102/06
綠	新店	中正紀念堂~新店	9.3	10	88/11
	小碧潭	七張～小碧潭	1.9		93/09
	松山	西門～松山	8.5	8	103/11
	小南門	西門～小南門～中正紀念堂	1.6	1	89/08
藍	南港	西門～昆陽	11	11	89/12
	板橋	西門～府中	7.1	5	95/05
	土城	府中～永寧	5.6	4	95/05
	南港線東延段	昆陽～南港 南港～南港展覽館	2.5	2	97/12 100/02
	頂埔延伸	永寧～頂埔	2	1	104/07

資料來源：[10, 12]及本研究整理。

第一階段：已營運通車路線包括文山內湖線、淡水線、新店線、中和線、南港線、板橋線、土城線、小南門線、蘆洲線、新莊線古亭站至輔大站、南港線東延段等，計116.9公里、102個車站。

已完工通車之捷運路線

第二階段：已核定並執行中的路線包括新莊線新北市段輔大站至迴龍站、信義線、松山線、臺灣桃園國際機場聯外捷運系統三重至臺北段、環狀線第一階段、土城線延伸頂埔段、信義線東延段、萬大-中和-樹林線(第一期工程)等，計50.5公里、44個車站，預估完成後路網將達167.4公里。

建設計畫執行中之捷運路線

第三階段：未來繼續規劃興建，以建構完整之捷運路網，包括萬大-中和-樹林線(第二期工程)、民生汐止線、社子/士林/北投區域輕軌路網、環狀線北環段及南環段、南北線、三鶯線、安坑線等路線，預估全部完工通車後臺北都會區捷運路網將可達270公里以上，平常日每日運量約可達360餘萬人次以上。

規劃中之捷運路線

資料來源：[12]

圖 1-1 臺北都會區大眾捷運系統計畫路網圖

1.1.2 車輛系統

在車輛系統方面，目前臺北捷運淡水、新店、中和、板南線等之營運車輛主要是來由日本川崎重工業（Kawasaki）與德國西門子（Siemens）所製造。每一列車係由兩組「三車組 3-Car Unit」所組成。每一車組由二輛有動力馬達車（Motor Car）及一輛無動力拖車（Trailer Car）所組成。而木柵線所使用之 VAL256 型電聯車，其車載自動控制系統（On Board Automatic Train Control, OBATC）是由法國馬特拉（MATRA）運輸國際有限公司（其運輸系統部門已被西門子交通運輸公司併購)所發展，而電聯車則是由法國捷克-阿史東（GEC-ALSTHOM）交通運輸公司製造[6]。營運時以雙對車（四節車廂）方式聯結，同時在每對車之兩端設有自動聯結器，供車廂聯結調度之用。而內湖線興建時，已決定採用中運量系統並與木柵線合併，且採用一車到底的方式營運。其車輛系統是由龐巴迪公司負責設計製造，尺寸與木柵線列車大致相同，但車輛外觀較為流線，有關臺北捷運系統的車輛特性及其比較，請參閱表 1.2。

臺北捷運車輛均採電力動力，供電系統將臺電公司提供之 161 kV 高壓電，先經主變電站降壓為 22 kV 後，再轉換整流成 750 V 直流電力供電聯車使用。而電聯車電力的取得方式是採第三軌供電方式，經由車身旁之集電靴，自軌道左或右側之下觸式第三軌取得電力供列車牽引馬達使用。

表 1.2 臺北捷運系統高運量車輛與中運量車輛比較表

	高運量車輛	中運量車輛（木柵線）	中運量車輛（內湖線）
需要駕駛員	不需要，但實際上有安排	不需要	不需要
車輛進站開門	電腦自動開門	電腦自動開門	電腦自動開門
車輛進站關門	司機員手動關門	電腦自動關門	電腦自動關門
車輛行駛軌路	鋼輪鋼軌	膠輪混凝土	膠輪鋼軌
最大行駛速度	80 km/h	80 km/h	80 km/h
車廂設計容量	座位 60 人 立位 310 人	座位 24 人 立位 90 人	座位 20 人 立位 93 人
編組車廂數	6 輛車 （兩組車，每組 3 輛）	4 輛車 （兩對車，每對 2 輛）	4 輛車 （兩對車，每對 2 輛）
車廂尺寸	長：23.5 公尺 寬：3.2 公尺 高：3.6 公尺	長：13.78 公尺 寬：2.56 公尺 高：3.53 公尺	長：13.78 公尺 寬：2.54 公尺 高：3.53 公尺
列車總長	141 公尺	55.12 公尺	55.12 公尺
最大爬坡度	3%	6%	6%
最大加速度	1.0m/s^2	1.3m/s^2	1.0m/s^2
最大緊急煞車	1.3m/s^2	1.8m/s^2	2.35m/s^2
車門數	每車廂 8 門 左右各 4 門	每車廂 4 門 左右各 2 門	每車廂 4 門 左右各 2 門

資料來源：[10, 12]及本研究整理。

1.1.3 號誌系統

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

1.1.4 營運概況

在營運概況方面，臺北捷運系統的平均日運量逐年成長，至 2017 年已超過 200 萬人次/日。由於運量逐漸成長，尖峰平均班距逐年縮短，至 2016 年，高運量的尖峰平均班距已接近 4 分鐘，而中運量亦接近兩分鐘，旅客滿意度亦是年年增加，目前已超過九成五[11]。

在營運可靠度方面，臺北捷運每發生 1 件延誤 5 分鐘以上之平均行駛車廂公里數，已從 2011 年 248.6 萬車廂公里，上升至 2017 年的 486.7 萬車廂公里，是世界上可靠度最高的捷運系統。

1.2 高雄捷運系統簡介

1.2.1 路線概要

高雄都會捷運系統共包括紅、橘兩線，路線長 44.7 公里，其中高架段 8.5 公里，地下段 34.2 公里，設置 38 個車站，如表 1.3。高雄捷運系統為採用傳統鋼輪鋼軌之高運量捷運系統，其中紅線於 96 年 10 月開始試運轉，於 97 年 3 月正式營運，而橘線亦於同年 9 月 21 日通車營運。高雄捷運的路網圖如圖 1-2 所示。

表 1.3 高雄捷運已通車路線之綜合比較

	紅線	橘線
路線起訖	南岡山－小港	西子灣—大寮
路線長度	31.1 km	13.6 km
車站數	24	14
運能	高運量	高運量
路權型式	地下、平面、高架	地下、平面、高架
機廠	南機廠、北機廠	大寮機廠
通車時間	97.03.09	97.09.21
行駛時間	44 分鐘	23 分鐘

資料來源：[8, 9]及本研究整理。

資料來源；[8]

圖 1-2 高雄都會區大眾捷運系統計畫路網圖

1.2.2 車輛系統

高雄捷運系統的車輛係由西門子製造，以三輛車為一編組，營運時可採兩組六輛車編組，目前是以三車一組來營運。高雄捷運列車的最高速度為 80 km/h，平均速度則為 35 km/h，其列車性能類似於臺北高運量捷運列車，相關特性請參閱表 1.4。

表 1.4 高雄捷運系統車輛特性

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

資料來源：[9]及本研究整理

1.2.3 號誌系統

高雄捷運系統採用的是固定式閉塞號誌系統，並配備 ATC 自動列車控制系統。與臺北高運量捷運系統最大的不同在於：高雄捷運系統的 ATP 自動列車防護系統採用的是較先進的距離碼系統，而臺北高運量捷運系統則是採用速度碼系統。有關都會捷運號誌系統的細節，請參閱第 1.3 節的說明。

1.2.4 營運概況

高雄捷運系統除了在試運轉免費搭乘時有較高的運量之外，正式通車以後運量即大幅衰退，民國 98 年時，平均日運量約僅 10 萬人，近幾年運量逐年緩慢上升，至民國 105 年，平均日運量達 17 萬人左右。由於高雄地區的民情較偏好私人運具，因此以捷運通勤的旅客量並不高，反而是週末假日期間，有較多的旅客搭乘捷運系統購物或觀光，因此假日旅運量高於平日運量。

1.3 都會捷運的系統特性

目前國內已營運的捷運系統包括臺北木柵內湖線中運量捷運系統、臺北高運量捷運系統、高雄捷運系統，而臺中捷運系統及臺北捷運環狀線也陸續發包設計當中。這些捷運系統的技術方案並不完全相同，但就鐵道容量分析的角度而言，均具有下列共通的特性，這些特性對於鐵道容量的計算有很大的影響，在發展容量分析模式時必須詳細考慮。

1. 路線條件

(1) 捷運系統絕大部分的區間均為雙線區間，而且常態運轉時均採用複線運轉，亦即每一股道都有特定的運轉方向，列車通常是靠右側的軌道行駛。

(2) 捷運車站內通常上下行僅有一股軌道，並無副正線的配置，一般而言是採一島兩股道或兩側式月臺兩股道的配置方式。

(3) 端末車站附近會配備橫渡線供列車折返，島式月臺通常配置站前橫渡線供列車折返（例如臺北捷運系統淡水站），而側式月臺則通常為站後折返（例如木柵線中山國中站）[1]。

(4) 站間距離較傳統鐵路及高速鐵路短許多，平均站距約 1 公里。

(5) 國內捷運系統的路線供電電壓為 750V，電流型式為直流電，採用第三軌供電；牽引變電站的距離約 1.7~2.0 公里一座。

(6) 都會捷運具有完全立體分隔的專用路權，列車運行不受其他公路交通的影響。

2. 交通條件

(1) 目前國內高運量捷運系統的最高營運速度為 80 km/h，遠低於傳統鐵路的 130 km/h 以及高速鐵路的 300 km/h。

(2) 由於站距短，為了提高平均營運速度，捷運列車的加減速性能會優於城際鐵路系統，一般均可達 1.0 m/s^2 以上的水準。

(3) 捷運系統通常採用完全相同或性能相近的電聯車來營運，車廂內大多以站位為主，座位較少。

(4) 目前除了木柵內湖線捷運系統之外，高運量捷運系統的每節車廂之間均有聯通道（Gangway），旅客可以在車廂內自由流動，故車廂間的乘載變異較小。

(5) 為了縮短停車時間，捷運列車的車廂地板與月臺同高，以便旅客可以快速上下車。

(6) 捷運列車的服務型態單純，通常採用站站皆停的營運模式，不會有列車追越待避的行為。

3. 控制條件

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

(2) 在常態運轉時，原則上列車為全自動駕駛（例如木柵線），即使配備司機員，通常亦僅負責列車靠站後的關門動作（例如臺北高運量捷運系統以及高雄捷運系統），運行過程列車仍為自動駕駛。

(3) 採用人工駕駛模式時，仍須由司機員遵循號誌的指示來操控列車。在正線上除了車站以及橫渡線附近會設有路側號誌機之外，原則上捷運系統均以車載號誌（Cab Signal）為主。

(4) 閉塞制度可以採用移動閉塞制（例如臺北內湖線中運量系統），也可以採用固定閉塞制（例如臺北高運量捷運系統以及高雄捷運系統）。

(5) 採用固定閉塞制時，為縮短運轉時隔，閉塞區間的長度通常較短，平均約 200~300 m，遠低於傳統鐵路。

(6) 自動列車保護可以是速度碼式(例如臺北高運量捷運系統)，也可以距離碼式（例如臺北中運量捷運系統）。

1.4 都會捷運的號誌系統

在鐵道容量分析手冊基礎篇的第四章中，已對鐵道系統的行車控制及號誌系統作通盤性的介紹，但並未針對都會捷運的號誌系統做深入的探討。由於捷運系統的主要訴求為大量快速的運輸服務，其行車控制及號誌系統已逐漸演化出另一套運作邏輯,有別於傳統鐵路系統;特別是愈晚興建的系統，採用的系統愈先進。國內的捷運系統起步較晚,使用的技術亦較為新穎,其號誌及行車控制系統,與傳統鐵路(臺灣鐵路系統）已有很大的差異；而即使同樣是捷運系統，臺北高運量系統、中運量系統，以及高雄捷運系統的號誌控制技術也不盡相同。為了便於後續章節發展都會捷運號誌時隔的計算公式，故於本節中進一步說明捷運號誌系統的運作方式及原理。

都會捷運的號誌系統中，與列車運轉時隔及鐵道容量最相關的是閉塞制度（Block System）與自動列車防護系統（Automatic Train Protection, ATP）。若從閉塞制度的種類而言，都會捷運系統的閉塞制度有固定閉塞制（Fixed Block System）及移動閉塞制（Moving Block System）兩種，而自動列車防護系統若依據軌道與列車之間的資訊傳遞方式，可分為間歇式 ATP（Intermittent ATP）及連續式 ATP

（Continuous ATP）兩種。間歇式 ATP 僅於軌道上特定的位置進行號誌及速限資料的傳送，而無法持續更新資訊。間歇式 ATP 屬於早期的設計，通常用於採用路側號誌的城際鐵路系統，例如臺鐵目前裝設的 ATP 即屬此類。而捷運系統因為列車的班次較為密集，為了確保行車安全，對於列車的速度必須進行全程的監控，因此通常是採用連續式 ATP。連續式 ATP 若依速度監控的方式，又可再細分速度碼系統（Step Speed ATP System）及距離碼系統（Distance-to-Go ATP System）。前者對於列車速度的監控是屬於階梯式的速限管制，後者則是採連續遞減的速限控制。

速度碼系統只能應用於固定閉塞制，而距離碼系統有可能是固定閉塞制，也可能是移動閉塞制。簡言之，固定閉塞制可以採用速度碼或距離碼系統，但移動閉塞制一定是使用距離碼系統。因此，就閉塞制度與自動列車防護系統的組合而言，都會捷運的號誌系統可分為固定閉塞制配備速度碼系統、固定閉塞制配備距離碼系統，以及移動閉塞制配備距離碼系統等三種，以下分別說明這三種系統的運作原理。

1.4.1 固定閉塞制配備速度碼系統

在速度碼系統中，列車必須持續接收 ATP 送來的速度碼以控制列車的運行。ATP 的速度碼包括兩種資訊，即目前所在閉塞區間（通常為一個軌道電路區間）的最大安全速度（Maximum Safety Speed, MSS），以及進入下一個區間所需達到的目標速度（Target Speed, TS）。列車運行時，ATP 會根據先行列車的位置，產生後續每一個閉塞區間的速度碼來監控後車的速度，而列車從正常速度區間至停車區間之間，每個區間的速度限制是階梯式的遞減；另外，在停車區間與前一列車之間通常會間隔一個安全重疊區間（Overlap）作為緩衝，以便有足夠的距離將冒進號誌的列車煞停。臺北高運量捷運系統的 ATP 即屬此類。

圖 1-3 為速度碼系統的範例，假設路線的最高運轉速度為 80 km/h，當一列車佔據某一閉塞區間時，後面的每一個區間都會產生對應的速限，依序為 0 km/h、25 km/h、40 km/h、55 km/h、65 km/h，以及 80

km/h，用以管制續行列車的運行，其中先行列車後方的第一個閉塞區間之最大安全速度及目標速度均為零，理論上，續行列車在進入該區間之前即應煞停，似無設置該區間的必要，但為了避免列車煞車不及而冒進號誌，故保留此一區間作為緩衝，以確保行車安全，此即安全重疊區間。

就本例而言，列車的速度碼共有 6 種位元階，若續行列車全速運轉，則其與先行列車之間至少相距 5 個閉塞區間，而列車在每一個區間均會接收到下一個區間的目標速度。若列車的實際速度大於目標速度時，車載電腦（Train Borne Computer）會自動啟動煞車，使列車在進入下一個區間之前，降至目標速度以下。值得注意的是，臺北高運量捷運系統的車載號誌顯示的是列車所在區間的最大安全速度，因此列車從高速區間進入低速區間時，一開始會有超速的現象，車載號誌會自動啟動煞車，並於三秒內達到服務減速度，以便將列車減速至安全速度以下，若達不到服務減速度，則會啟動緊急煞車將列車速度降低至最大安全速度以下，而安全重疊區間的設置，則可確保有足夠的空間將續行列車煞停，而不會追撞先行列車。

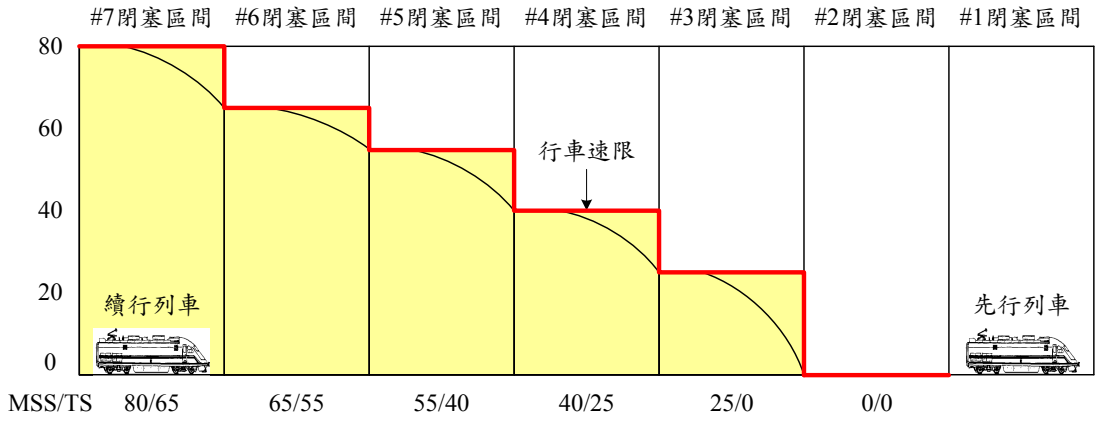


圖 1-3 速度碼 ATP 範例

1.4.2 固定閉塞制配備距離碼系統

在速度碼系統中，每一個閉塞區間的長度均必須足以讓列車從前一個速度碼，減速至下一個速度碼。由於列車從全速運轉至煞停的過

程是分段階梯式的減速，故所需的煞車距離較長；另外，即使列車煞停之後，先行與續行列車之間仍會間隔一個閉塞區間，因此兩連續列車的行車間距會遠大於一個煞車距離。

為了改善階梯式速度碼系統中列車間距較長的缺點，乃有距離碼系統的發展，用以縮短列車間距，增加路線容量。在固定閉塞制配備距離碼的系統中，列車從正常速度區間至停車區間之間的目標速度是連續遞減曲線，而非階梯式的速限，如圖 1-4 所示。每一個號誌廠商所設計的距離碼系統會有些許的差異，有些仍會保留安全重疊區間的設置，有些則是將一個閉塞區間區分為幾個軌道電路（通常是兩個），並以軌道電路區間作為安全重疊區間，以縮短列車的行車間距。最極限的情形下，則是取消安全重疊區間的設計，但為了安全起見，仍然會保留一段安全餘裕的空間（通常是 25 公尺）[22]，以避免列車無法安全煞停而造成危險。無論採用哪一種設計方式，車載電腦均會以續行列車的期望停止點反算煞車曲線，並持續監控列車的速度。從圖 1-4 可清楚看出距離碼系統可以縮短列車的間距，並提高路線容量，因此先進的都會捷運系統大多採用距離碼系統，例如高雄捷運系統。

距離碼系統在運作時，通常會有三條煞車監控曲線，即正常煞車曲線（Normal Braking Curve）、警告煞車曲線（Warning Braking Curve），以及緊急煞車曲線（Emergency Braking Curve），如圖 1-5 所示。正常煞車曲線是列車於常態運轉時，應採取減速行動的煞車曲線；常態運轉時通常比較保守，故列車會提前減速，減速度較低。警告曲線是依照正常服務減速度所計算出來的煞車曲線，若司機員未依指示減速，導致列車實際速度大於警告曲線的速度時，車載電腦會發出警告。而緊急煞車曲線則是依照緊急煞車減速度所計算出來的煞車曲線，若司機員仍未採取行動，以致於列車速度超過緊急曲線的速度時，車載電腦會立即啟動緊急煞車將列車煞停。

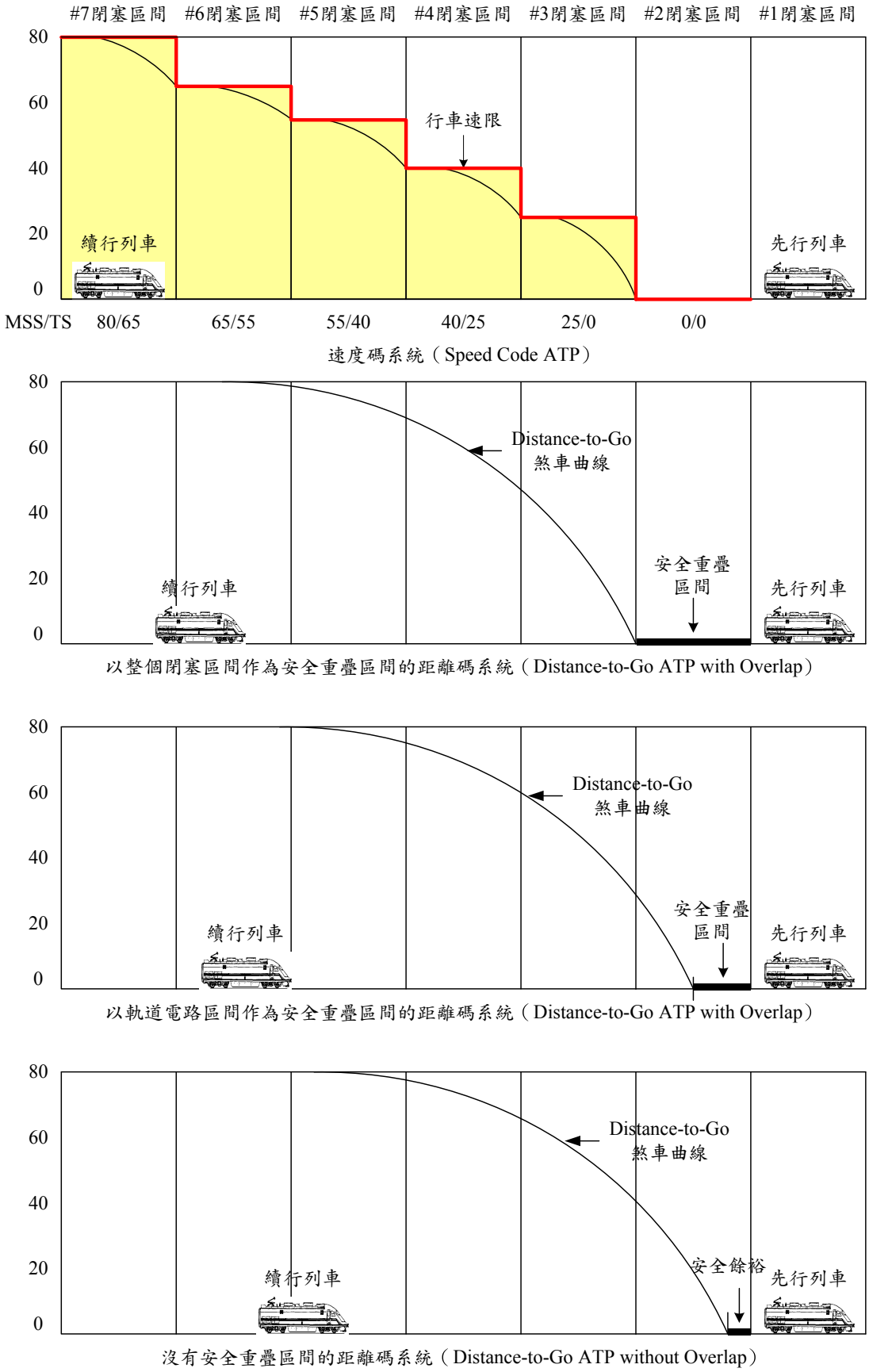


圖 1-4 距離碼系統縮短列車行車間距的範例

在固定閉塞配備距離碼的系統中，列車速度的監控雖然是連續遞減的煞車曲線，但是列車位置的偵測仍然是依賴軌道電路或計軸器，故僅能知道列車佔用的區間，而無法知道其確切的位置，因此，煞車監控曲線會依據先行列車所在的區間，呈現跳躍式的移動，在列車尚未完全進入下一個區間之前，煞車監控曲線並不會移動。例如圖 1-6 中，若列車位於第 2 閉塞區間，則在第 2 閉塞區間後方會有煞車曲線保護，以免續行列車追撞先行列車，而此一煞車監控曲線會一直停留在固定的位置，直到列車淨空第 2 閉塞區間並進入第 1 閉塞區間之後，煞車監控曲線才會移動至第 1 閉塞區間的後方。

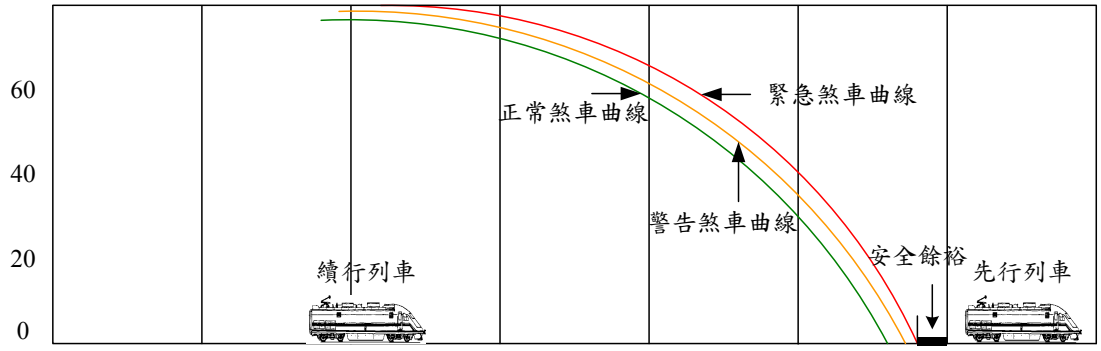


圖 1-5 距離碼系統的運作方式

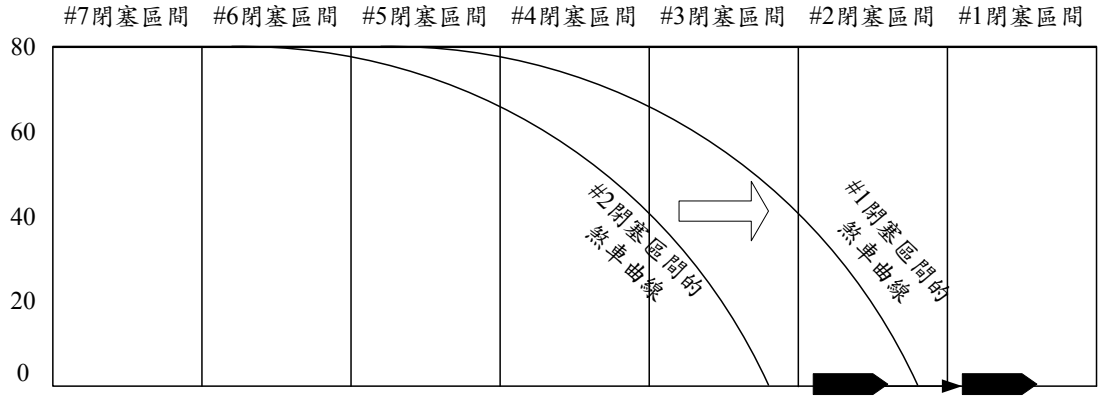


圖 1-6 距離碼系統中煞車監控曲線的移動方式

1.4.3 移動閉塞制配備距離碼系統

固定閉塞制配備距離碼系統雖然可以有效縮短列車的行車間距，但先行列車在所處區間內運行的過程中，續行列車的煞車監控曲線並不會移動，故若閉塞區間的長度很長時，列車的運行間距仍然會很長。若欲進一步縮短相鄰列車之間的距離，則必須採用移動閉塞（Moving Block），此時並不存在實體的閉塞區間，而列車後方的煞車曲線，則會隨著列車的運行而移動，因此可以更進一步縮短運轉時隔，達到提昇路線容量的目的。例如圖 1-7 中固定閉塞制的距離碼系統，若先行列車尚未完全離開第 2 閉塞區間，則其後方的煞車曲線係位於第 2 閉塞區間的後方，而在移動閉塞系統中，煞車曲線則是緊隨在列車的後方，故其與續行列車之間，至多可比固定閉塞制的距離碼系統縮短約一個閉塞區間的長度。

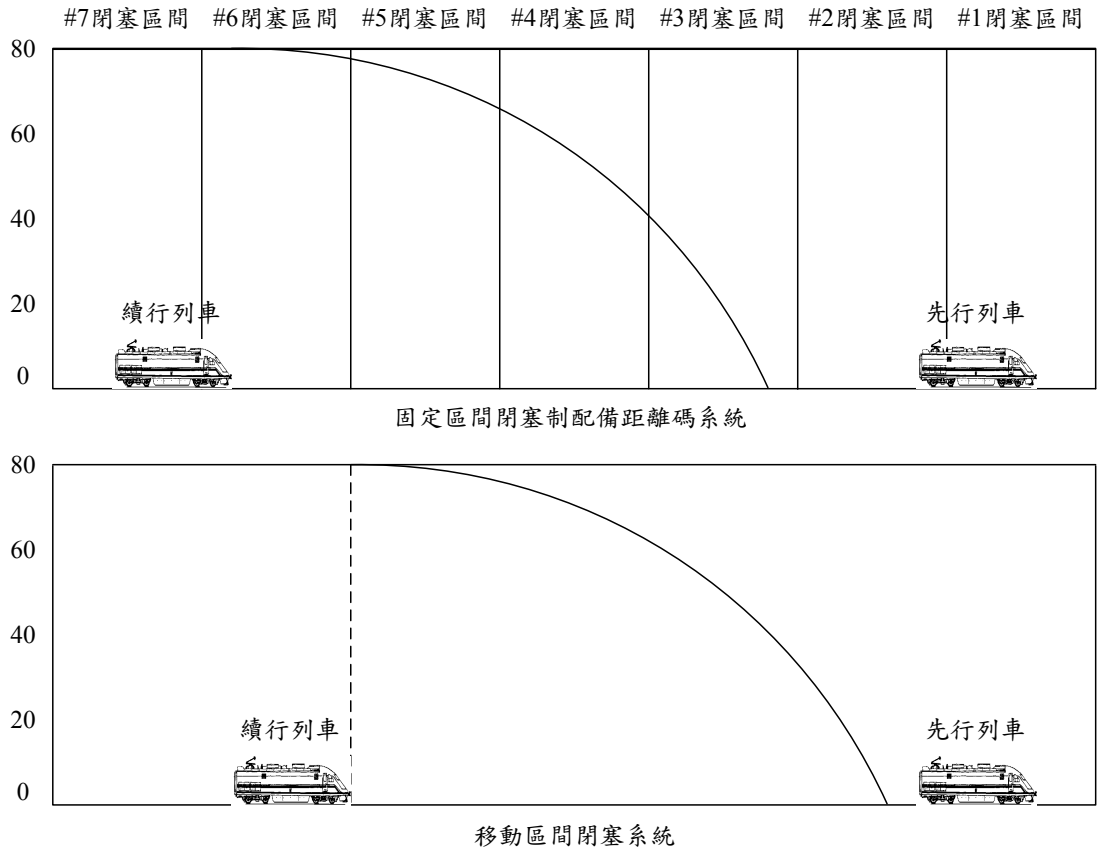


圖 1-7 移動閉塞制縮短列車行車間距的範例

第二章 路線容量分析模式

本章將針對都會捷運系統，建立以列車為客體單位的鐵道容量分析模式，至於以旅客為客體單位的容量分析模式，將於第三章中介紹。本章第 2.1 節中會先介紹都會捷運系統鐵道容量分析的基本概念以及模式假設，其次於第 2.2~2.4 節中說明號誌安全時距、最小號誌時距、運轉寬裕時間、最小運轉時隔之分析模式，最後於第 2.5 節說明路線容量分析模式。

2.1 基本概念與模式假設

在發展都會捷運的鐵道容量分析時，必須將第一章所介紹的都會捷運的系統特性納入考慮，方能忠實反映列車運轉的實際情形；另外，模式發展的限制亦須清楚說明，以免使用者誤用模式。

2.1.1 容量計算的時間單位

都會捷運系統著重的是快速且大量的運輸，其目的在於有效疏運尖峰的旅運需求，因此探討都會捷運系統的容量，一般考慮的都是尖峰小時，故容量的評估通常以「小時」為時間單位，鮮少有以「日」為時間單位的應用，因此，本手冊對於都會捷運容量評估，也是以小時為時間的單位，以符合世界的慣例。

2.1.2 容量計算的空間參考點

基礎篇第二章將路線容量定義為：「單位時間內通過路線上任一固定點的最大客體單位數」，由於是以整條路線為分析對象，路線容量必須考慮路線經過的每一個路段、車站、折返站，乃至於銜接點的容量，最瓶頸之處將決定整條路線的容量。根據美國鐵道容量手冊[20, 23]的統計，約有 79%的捷運路線瓶頸是發生在最繁忙的車站，另外有

15%發生在端末車站，最後 5%則是在銜接點，因此本模式所考量的空間參考點包含中間車站、折返站和路線的銜接點。

1. 中間車站

以圖 2-1 的列車進出車站的過程為例，當先行列車在車站停靠時，續行列車無法接近車站；續行列車必須等到先行列車完成停站程序、離開車站並清空月臺後，才能逐漸接近車站，因此最繁忙的車站（停車時間最長的車站）通常也會是路線的瓶頸。

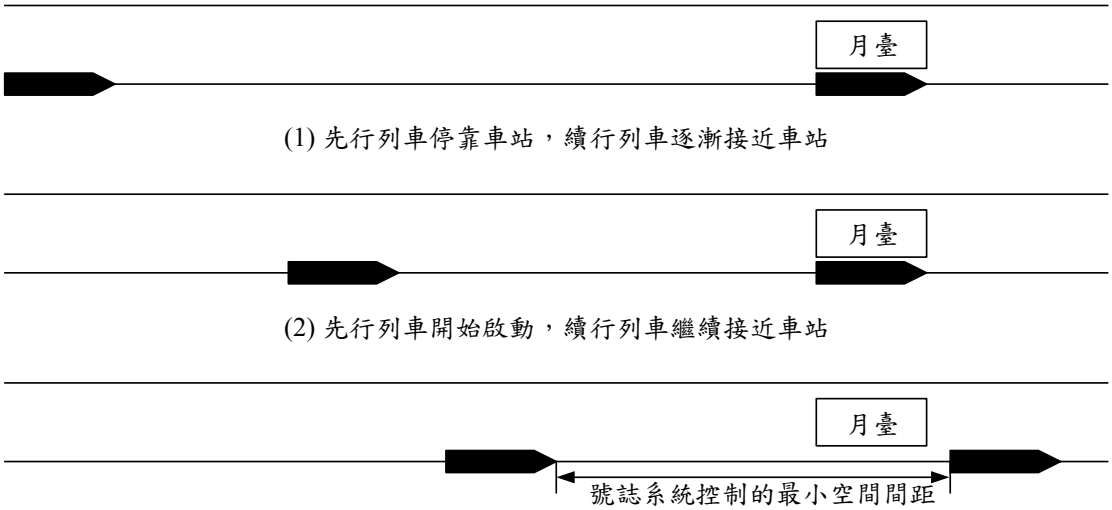
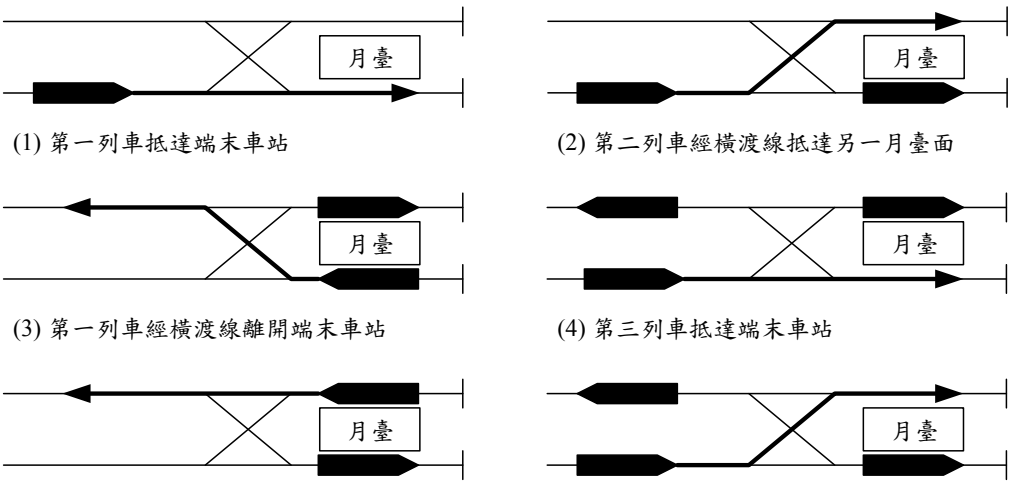


圖 2-1 列車進出車站的程序

2. 折返車站

捷運系統列車運轉的另一個瓶頸是端末車站，捷運系統的端末車站沒有一定的配置型式，但一般而言，島式月臺通常配置站前橫渡線供列車折返（例如臺北捷運系統淡水站），而側式月臺則通常為站後折返（例如木柵線中山國中站）[2]。圖 2-2 為島式月臺配置剪式橫渡線的列車折返情形，假設一開始月臺上沒有列車，而第一列車駛入端末車站下方的月臺面折返，因此第二列車必須經橫渡線駛入上方的月臺面，如此反覆進行，則(3)、(4)、(5)、(6)會交替不斷的重複。而圖 2-3 的側式月臺站後折返的情形也大致類似，透過路徑與號誌的聯鎖，列車可以使用不同的尾軌來進行折返的作業。

列車進出端末車站的速度較低，且有路徑及號誌聯鎖的需要，因此會導致閉塞時間的增加；特別是步驟(2)、(3)、(6)，列車必須經過橫渡線運轉，速度較低，閉塞時間隨之增加，故號誌安全時距也會比路段上增加許多，但是否會比最繁忙的車站長，仍需視個案而定。由於列車可以交替使用月臺面（站前橫渡線）或尾軌（站後橫渡線）來折返，因此一般而言，端末車站應不至於成為路線的瓶頸，但若是橫渡線距離車站太遠，或列車在端末車站停靠過久的話，則端末車站也可能成為路線的瓶頸。

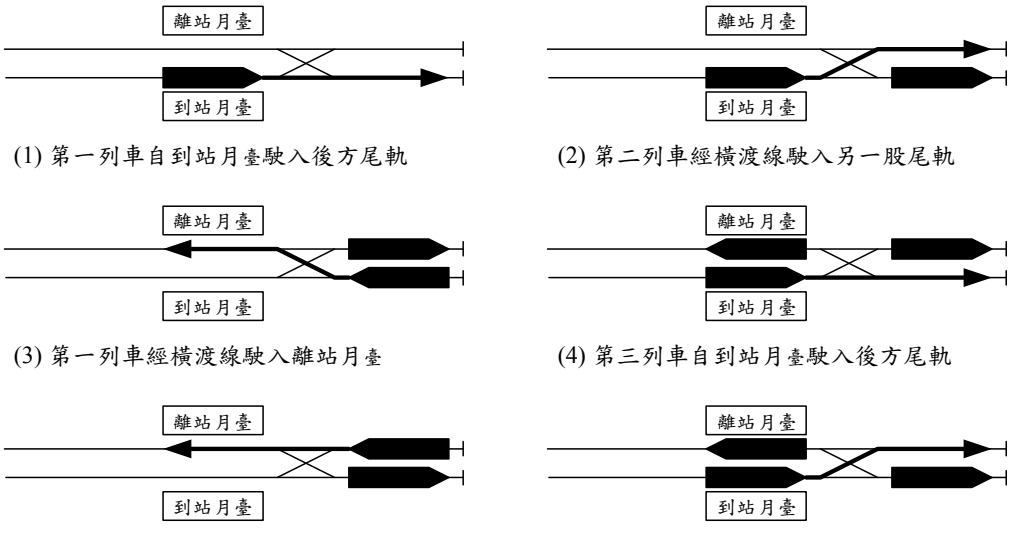


(1) 第一列車抵達端末車站　(2) 第二列車經橫渡線抵達另一月臺面

(3) 第一列車經橫渡線離開端末車站　(4) 第三列車抵達端末車站

(5) 第二列車離開端末車站　(6) 第四列車經橫渡線抵達端末車站

圖 2-2 列車於島式端末車站折返的過程（站前折返）



(1) 第一列車自到站月臺駛入後方尾軌　(2) 第二列車經橫渡線駛入另一股尾軌

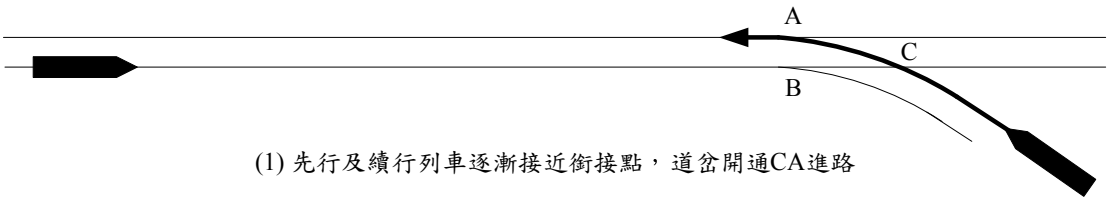
(3) 第一列車經橫渡線駛入離站月臺　(4) 第三列車自到站月臺駛入後方尾軌

(5) 第二列車駛入端末車站的離站月臺　(6) 第四列車經橫渡線駛入後方尾軌

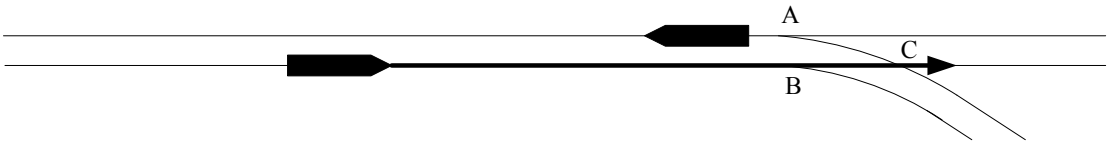
圖 2-3 列車於側式端末車站折返的過程（站後折返）

3. 銜接點

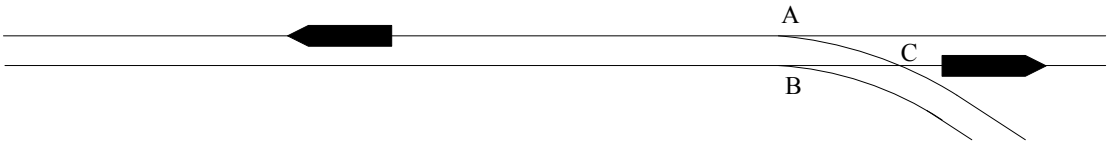
另一個可能發生瓶頸的地方為路線的銜接點（Junction），在銜接點處不同運行方向的列車會產生平面交叉,因而導致號誌時距的增加。例如圖 2-4 中的 C 點為平面交叉點，表示有運行方向相反的列車會通過該處。若有兩運行方向相反的列車逐漸接近銜接點，且假設下方的列車先通過銜接點，此時銜接點處的道岔會先開通 CA 的進路。當先行列車通過銜接點之後，道岔將會重新鎖定 BC 的進路，讓續行列車安全通過銜接點。在銜接點的道岔尚未鎖定 BC 進路之前，續行列車必須距離銜接點處一段安全運轉的距離，因此若是銜接點附近的號誌配置不當，有可能會形成系統的瓶頸。



(1) 先行及續行列車逐漸接近銜接點，道岔開通CA進路



(2) 先行列車通過銜接點，道岔開通BC進路



(3) 續行列車安全通過銜接點

圖 2-4 列車通過銜接點的過程

2.1.3 最小運轉時隔的組成

根據鐵道容量的定義，對於某一空間參考點每小時可通過的列車數可由下式計算：

$$C_l = \frac{3600}{h} \tag{2.1}$$

式中：C_l=鐵道容量（TU/h）

h=最小運轉時隔（s）

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

$$h = t_s + t_d + t_m \tag{2.2}$$

式中：h=列車的最小運轉時隔（s）

t_s=不考慮列車停等時間的最小號誌安全時距（s）

t_d=列車的停站或等候時間（s）

t_m=運轉寬裕時間（s）

上式中，號誌安全時距t_s是不考慮因列車停車或等候所額外增加的時間，若將列車的停站或停等時間t_d考慮進去，則列車的最小運轉時隔為

$$h = T_s + t_m \tag{2.3}$$

式中：T_s=考慮列車停車或等候時間的最小號誌安全時距（s）

號誌安全時距為整個路線容量分析的核心關鍵所在，有關號誌安全時距公式的推導過程及公式細節，將說明於第 2.2 節，至於整條路線最小號誌時距的決定、運轉寬裕時間的估計，以及最小運轉時隔的計算，則於第 2.2.5~2.4 節介紹，最後於第 2.5 節說明路線容量的計算方式。

2.1.4 模式的假設條件

本篇的鐵道容量分析模式係針對都會捷運系統的特性所發展，因此有許多假設條件僅有典型都會捷運系統才能滿足，其他系統則不適用，比較重要的假設條件臚列於下：

1. 路段及車站上、下行方向各別僅有一股軌道，採用複線運轉。
2. 全線均為完全立體分隔的 A 型路權，列車運行不受其他公路交通的影響。
3. 採用性能完全相同或性能相近的列車來營運，沒有速度差異。
4. 列車採用站站皆停的營運模式，沒有追越待避的行為。
5. 配備自動列車控制系統，常態運轉時列車為全自動駕駛模式。

值得注意的是，桃園機場聯外捷運系統因為車站有副正線，且有快慢列車混合運轉，因此雖名為捷運系統，但並不適用於本篇所發展的鐵道容量分析模式；唯有完全符合上述條件者，方能運用本篇發展的模式來計算路線容量。

2.2 號誌安全時距的計算

號誌安全時距是指列車受到號誌系統的限制所能運轉的最小時間間隔，其與號誌系統的設計邏輯與佈置方式有關。由於每一個都會捷運的號誌系統皆不相同，因此無法像臺鐵系統般，依其號誌佈置與控制方式來發展特定的模式；相反地，對於都會捷運系統則是發展泛

用的分析模式，實際應用時，再依據個別系統的特性，以適當的參數帶入模式來計算。

在第 2.1.2 節中曾提及，都會捷運系統的瓶頸可能發生在最繁忙的中間車站、端末車站，或是路線的銜接點，因此本節將分別針對這三個空間參考點，來推導號誌時隔的計算公式，依序說明於以下各小節：

2.2.1 中間站號誌安全時距計算公式

由於捷運系統中間車站單一方向通常只有一股軌道，因此續行列車允許進站的必要條件是先行列車已經離開月臺並淨空車站，號誌系統才會授權續行列車進站；若號誌系統有安全重疊區間的設置，先行列車甚至必須完全通過車站的下一個閉塞區間，續行列車方能進站。例如圖 2-5 中，當先行列車車尾通過車站的下一個閉塞區間或軌道電路區間（此為安全重疊區間），再經過一段反應時間後，號誌系統才會授權續行列車進站，若此時續行列車恰好運行至允許進站的最接近位置，則兩列車的運轉時間間隔可以達到最小。

列車進站的號誌安全時距是先行與續行列車進入車站的時間差，可由下式計算而得：

$$T_m = t_d + t_c + t_r + t_v + t_b \tag{2.4}$$

式中：T_m=中間車站的號誌安全時距（s）

t_d=列車的停站時間（s）

t_c=列車開始加速直到清空車站所需的運轉時間（s）

t_r=號誌系統及列車控制的反應時間（s）

t_v=列車以巡航速度運轉的時間（s）

t_b=列車以服務減速度進站的煞車時間（s）

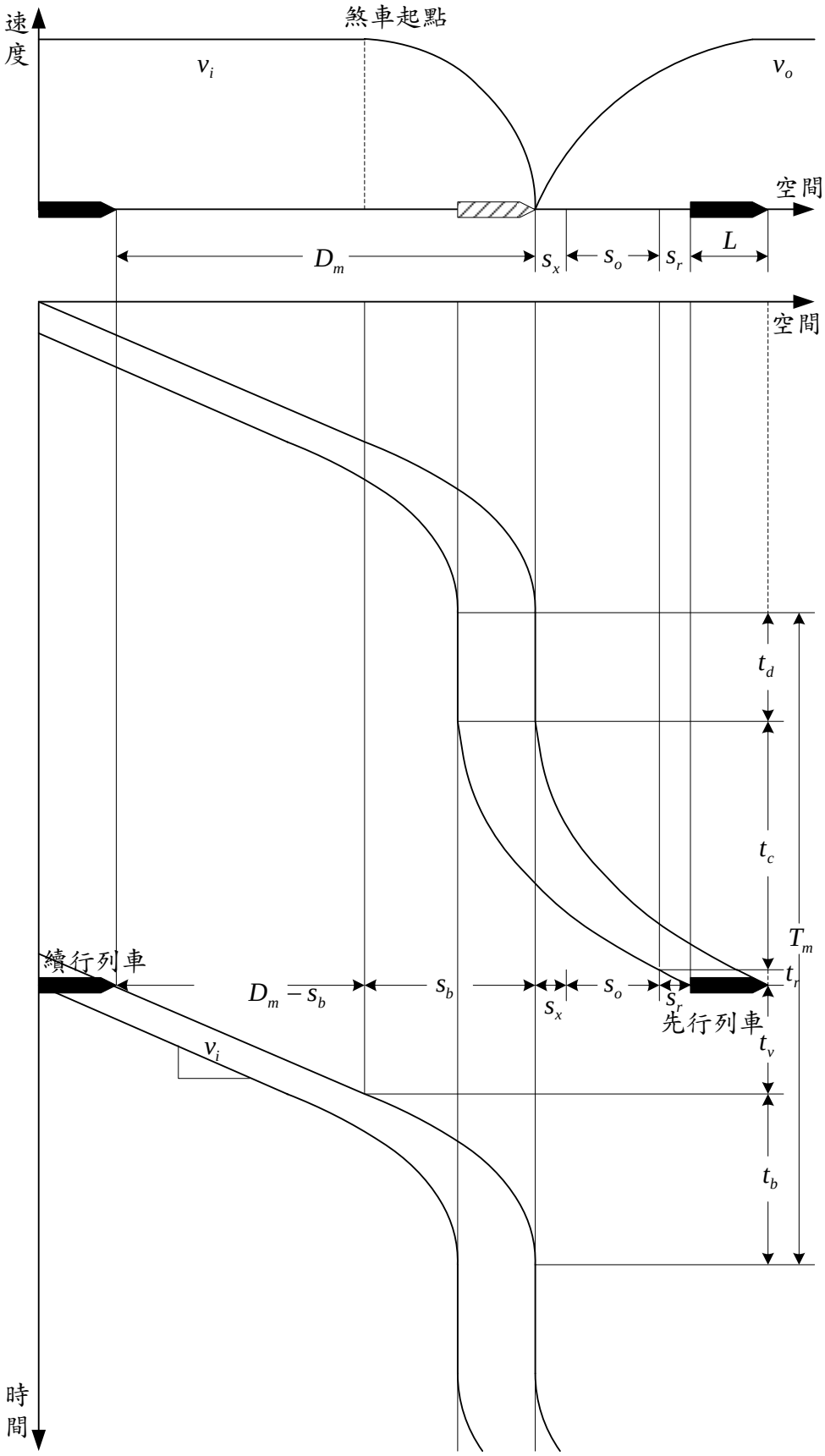


圖 2-5 中間站之號誌安全時距

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

列車開始啟動加速直到清空車站所需的時間t_c，與號誌系統的設計邏輯有關。一般而言，車站所在區間的離開點與列車車頭的停止點之間會間隔有一段安全距離，若號誌系統有安全重疊區間的設計，則先行列車甚至必須完全通過安全重疊區間之後，續行列車才會得到進站的授權。列車從靜止加速直到完全通過安全重疊區間所需的運轉時間，與列車的加速性能及安全重疊區間的長度有關，當先行列車通過安全重疊區間時，其速度可能已加速至巡航速度，也可能尚處於加速階段。先行列車離開車站加速至巡航速度所行駛的距離為$s_a = v_o^2/2a$，若$s_x + s_o + L > v_o^2/2a$，表示列車通過安全重疊區間前，就已達到巡航速度；若$s_x + s_o + L \le v_o^2/2a$，則表示列車通過安全重疊區間時，列車尚在加速階段，考量此兩種情形下之t_c的計算方式分別說明如下：

1. 當$s_x + s_o + L > v_o^2/2a$

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

$$t_{c,1} = \frac{v_o}{a} \tag{2.5}$$

$$t_{c,2} = \frac{s_x + s_o + L - s_a}{v_o} = \frac{s_x + s_o + L}{v_o} - \frac{v_o}{2a} \tag{2.6}$$

$$t_c = t_{c,1} + t_{c,2} = \frac{v_o}{a} + \frac{s_x + s_o + L}{v_o} - \frac{v_o}{2a} = \frac{s_x + s_o + L}{v_o} + \frac{v_o}{2a} \tag{2.7}$$

式中：$t_{c,1}$=先行列車加速運轉的時間（s）

v_o=列車離開中間站之後的巡航速度（m/s）

a=列車的加速度（m/s^2）

s_x=列車車頭停止點與車站所在區間的離開點之間距（m）

s_o=車站的安全重疊區間之長度（m）

L=列車車身長度（m）

$t_{c,2}$=先行列車加速至巡航速度後，以等速運轉的時間（s）

s_a=先行列車從靜止加速至巡航速度所行駛的距離（m）

2. 當 $s_x + s_o + L \le v_o^2/2a$

列車從靜止加速到完全通過安全重疊區間均處於加速運轉階段，計算公式如下：

$$t_c = \sqrt{\frac{2(s_x + s_o + L)}{a}} \tag{2.8}$$

號誌系統及列車控制的反應時間t_r包括解除閉塞、清除號誌、訊號傳送，以及超速控制、煞車系統的反應時間等，根據美國容量手冊[23]的建議，都會捷運系統一般以 4 秒合併計算。

續行列車得到進站的授權時，其與車站最接近的位置是指：「續行列車不會因為過於接近先行列車而受到 ATP 的影響，導致被迫減速之最接近車站的位置」。此一位置視號誌系統的設計而定，若採用速度碼的系統，與車站之間會間隔好幾個閉塞區間；但若採用距離碼或移動閉塞的系統，則會比較接近車站。但無論採用何種系統，續行列車最接近車站的位置與列車停止點之間的距離，至少會大於一個安全煞車距離，方能確保行車安全。一般而言，安全煞車距離係假設即使煞車系統僅部份有效的情況下（通常假設有 75%的效率[23]），仍不會撞及先行列車。

列車的安全煞車距離可依下式計算而得：

$$s_{sb} = \frac{v_i^2}{2K_b b} \tag{2.9}$$

式中：s_{sb}=列車的安全煞車距離（m）

v_i=列車進入中間站之前的巡航速度（m/s）

K_b=煞車有效因子（decimal）

b=列車的服務減速度（m/s^2）

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

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

$$D_m = Q_m s_{sb} = \frac{Q_m v_i^2}{2K_b b}, Q_m \geq 1 \tag{2.10}$$

式中：D_m=續行列車最接近車站的位置與列車停止點之間的距離（m）

Q_m=連續列車在中間車站的間隔安全係數

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

由於$D_m \geq s_{sb}$，因此續行列車從授權進站的最接近位置至列車完全停妥在車站的運行過程中，會包括兩種運轉行為：其一是以巡航速度運轉接近車站，最後則是 ATO 以服務減速度將列車安全停妥在車站內。列車以服務減速度煞停過程的運轉距離及運轉時間可依式(2.11)及(2.12)來計算。

$$s_b = \frac{v_i^2}{2b} \tag{2.11}$$

$$t_b = \frac{v_i}{b} \tag{2.12}$$

式中：s_b=列車以服務減速度進站的煞車距離（m）

而列車以巡航速度運轉的時間為可由下式計算而得：

$$t_v = \frac{D_m - s_b}{v_i} = \frac{Q_m s_{sb} - v_i^2/2b}{v_i} = \frac{v_i}{2b}(\frac{Q_m}{K_b} - 1) \tag{2.13}$$

將式(2.7) 、式(2.8)，以及式(2.12)與(2.13)代入式(2.4)可求得列車在中間車站的號誌安全時距為

1. 當 $s_x + s_o + L > v_o^2/2a$

$$T_m = \frac{s_x + s_o + L}{v_i} + \frac{v_o}{2a} + \frac{v_i}{2b}(\frac{Q_m}{K_b} - 1) + \frac{v_i}{b} + t_d + t_r \tag{2.14}$$

2. 當 $s_x + s_o + L \le v_o^2/2a$

$$T_m = \sqrt{\frac{2(s_x + s_o + L)}{a}} + \frac{v_i}{2b}(\frac{Q_m}{K_b} - 1) + \frac{v_i}{b} + t_d + t_r \tag{2.15}$$

2.2.2 折返站號誌安全時距計算公式

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

2.2.2.1 站前折返－站內停靠同一股道

若橫渡線設置在折返站前方，且列車在站內停靠同一股道，則續行列車可以允許進站的必要條件是先行列車已經離開車站並通過橫渡線區，且聯鎖區間完成路徑的重設之後，號誌系統才會授權續行列車

進站。以圖 2-6 為例，假設列車在端末車站僅利用月臺下方的軌道折返，亦即橫渡線 1↔4 不使用，僅使用 2↔3 的橫渡線。若一開始有一列車停靠在月臺下方的軌道且橫渡線鎖定在 2→3 的路徑，列車從靜止開始加速離開車站，車尾通過 3 之後，經過一段轉轍及號誌聯鎖的時間，橫渡線重新設定在 4→2 的路徑，此時進站列車恰好運行至允許進入橫渡線的最接近位置，則兩列車的運轉時間間隔可以達到最小。

列車在端末站折返的號誌安全時距為先行列車離開端末車站直到續行列車離開端末車站的時間間隔，可依下式來計算：

$$T_{t,F1} = t_{t\to m} + t_i + t_{m\to t} + t_d \tag{2.16}$$

式中：$T_{t,F1}$=列車在端末站停靠同一股道折返（站前折返）的號誌安全時隔（s）

$t_{t\to m}$=列車從端末車站經由橫渡線駛入站間正線直到車尾完全通過橫渡線區的運轉時間（s）

t_i=解除進路、道岔轉轍、鎖定進路等之道岔及號誌聯鎖時間(s)

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

t_d=列車在端末站折返停靠的時間（s）

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

$$L + s_p + s_c \tag{2.17}$$

式中：s_c=橫渡線區的長度（m）

s_p=橫渡線區至月臺端點的距離（m）

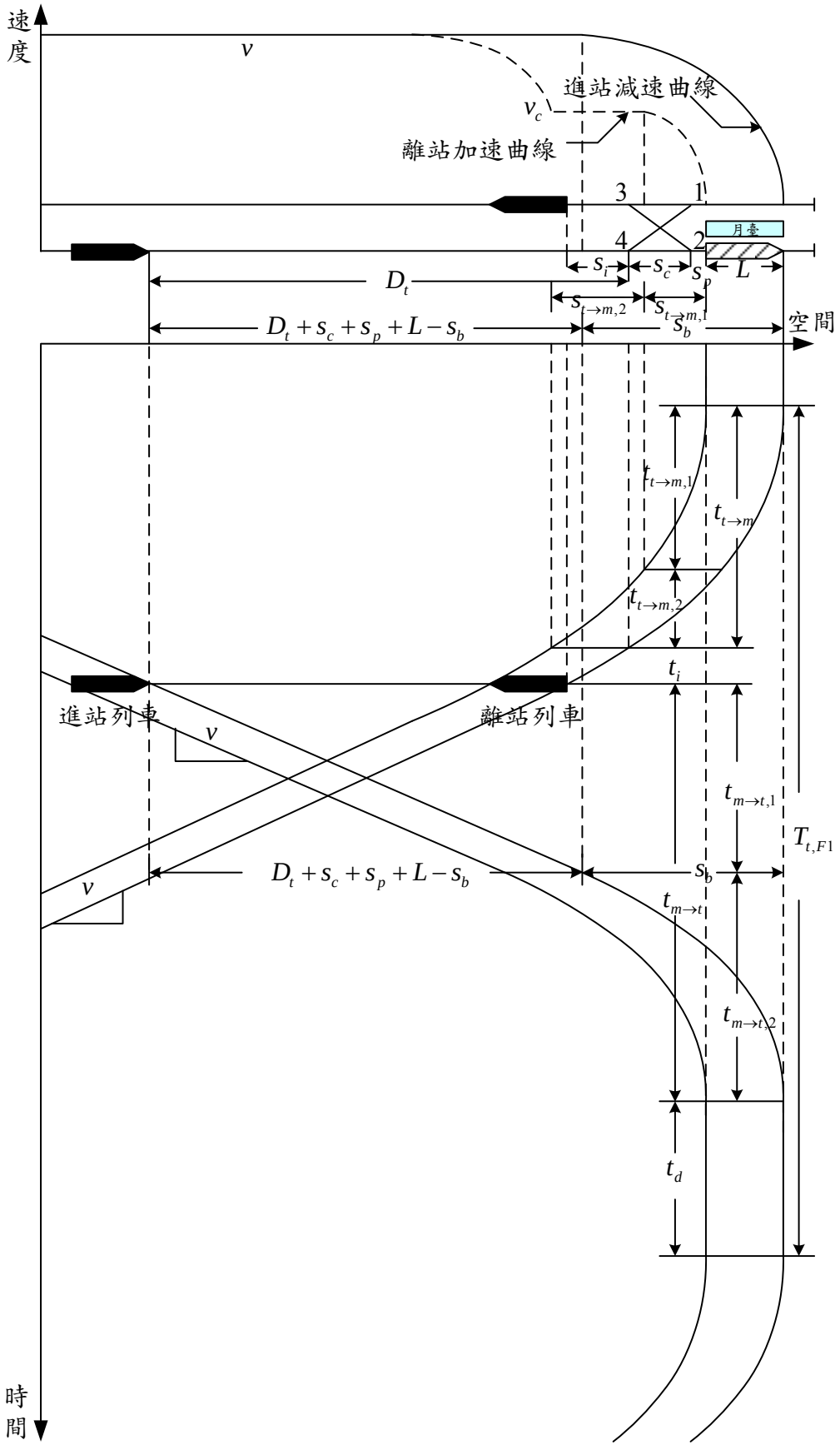


圖 2-6 站前折返之號誌安全時距－站內停靠同一股道

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

$$t_{t\to m} = t_{t\to m,1} + t_{t\to m,2} \tag{2.18}$$

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

$t_{t\to m,2}$=列車維持道岔速限等速運轉的時間（s）

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

$$s_{t\to m,1} = \frac{v_c^2}{2a} \tag{2.19}$$

$$t_{t\to m,1} = \frac{v_c}{a} \tag{2.20}$$

式中：v_c=橫渡線的道岔限速（m/s）

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

而列車維持道岔速限等速運轉的距離及時間則分別為

$$s_{t\to m,2} = L + s_p + s_c - s_{t\to m,1} \tag{2.21}$$

$$t_{t\to m,2} = \frac{s_{t\to m,2}}{v_c} = \frac{L + s_p + s_c - s_{t\to m,1}}{v_c} = \frac{L + s_p + s_c}{v_c} - \frac{v_c}{2a} \tag{2.22}$$

式中：$s_{t\to m,2}$=列車維持道岔速限的等速運轉距離（m）

將式(2.19)及(2.21)代入式(2.18)可得列車從靜止加速經橫渡線離開車站直到車尾經過橫渡線區的運轉時間為

$$t_{t\to m} = \frac{v_c}{a} + \frac{L + s_p + s_c}{v_c} - \frac{v_c}{2a} = \frac{L + s_p + s_c}{v_c} + \frac{v_c}{2a} \tag{2.23}$$

道岔及號誌聯鎖時間t_i，與軌道電路、號誌及轉轍器等聯鎖設備的設計有關，若有廠商提供的實際數據，即可直接應用。一般而言，現代化的捷運系統,轉轍器及號誌應可在 10 秒內完成路徑的解除及重設作業。在轉轍器及號誌尚未完成聯鎖設定列車的進站路徑之前，列車不得進入聯鎖區，因此續行列車距離橫渡線至少在一個安全煞車距離以外，亦即

$$D_t = Q_t s_{sb} = \frac{Q_t v^2}{2K_b b}, Q_t \geq 1 \tag{2.24}$$

式中：D_t=續行進站列車與端末站前橫渡線區的最接近距離（m）

Q_t=列車進入端末站前橫渡線區的間隔安全係數

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

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

$$t_{m\to t} = t_{m\to t,1} + t_{m\to t,2} \tag{2.25}$$

式中：$t_{m\to t,1}$=進站列車以巡航速度接近端末車站的運轉時間（s）

$t_{m\to t,2}$=進站列車從巡航速度減速停車所需的時間（s）

進站列車在最後階段的煞車距離及煞車時間可利用式(2.26)及式(2.27)來計算

$$s_{m\to t,2} = \frac{v^2}{2b} \tag{2.26}$$

$$t_{m\to t,2}=\frac{v}{b} \tag{2.27}$$

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

因此列車以巡航速度等速運轉的時間為

$$t_v=\frac{D_t+s_c+s_p+L-s_{m\to t,2}}{v}=\frac{v}{2b}(\frac{Q_t}{K_b}-1)+\frac{s_c+s_p+L}{v} \tag{2.28}$$

將式(2.27)及(2.28)代入式(2.25)可得

$$t_{m\to t}=\frac{v}{2b}(\frac{Q_t}{K_b}-1)+\frac{s_c+s_p+L}{v}+\frac{v}{b} \tag{2.29}$$

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

將式(2.23)及(2.29)代入式(2.16)可求得橫渡線設在端末站前方，且列車在端末站停靠同一股道折返的號誌安全時隔為

$$T_{t,F1}=\frac{L+s_p+s_c}{v_c}+\frac{v_c}{2a}+\frac{v}{2b}(\frac{Q_t}{K_b}-1)+\frac{s_c+s_p+L}{v}+\frac{v}{b}+t_i+t_d \tag{2.30}$$

2.2.2.2 站前折返－站內停靠不同股道

若橫渡線設置在端末站前方，且列車折返時在站內停靠不同股道，則列車可以交替使用月臺面，因此號誌時隔比較不會受到停站時間的影響。例如圖 2-7 中，假設有一列車停靠在月臺下方的軌道，當第二列車抵達時，可將橫渡線鎖定在 4→1 的進路，讓列車進站。在列車車尾通過 1 之後，將橫渡線重新設定在 2→3 的路徑，則原先停靠在月臺

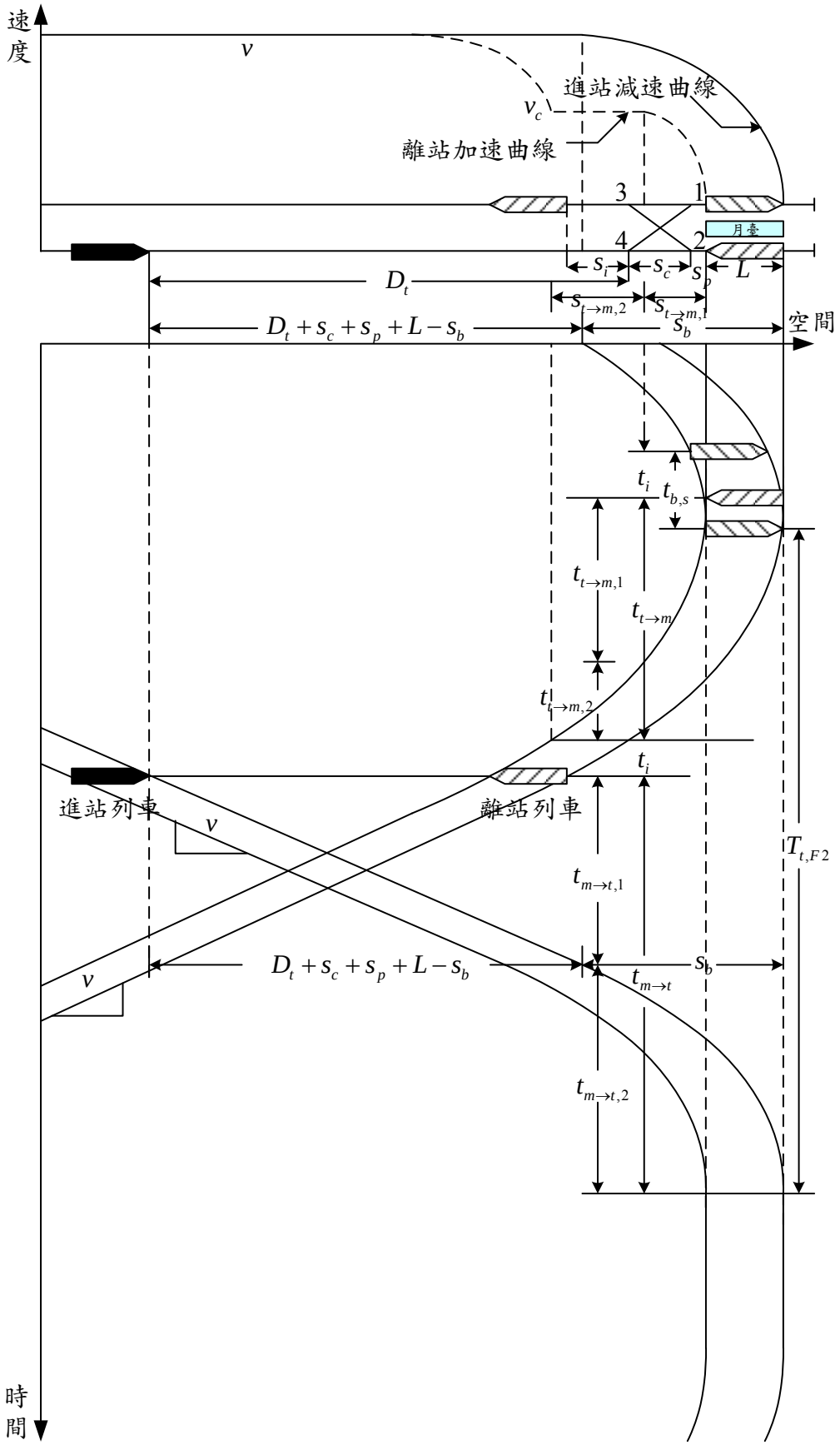


圖 2-7 站前折返之號誌安全時距－站內停靠不同股道

下方的第一列車即可離開車站。而列車車尾通過3之後，再設定為4→2的進路，則第三列車即可進入車站。

由前述分析可知，第三列車進入車站的時間受制於第一列車的離站時間，而第一列車的離站時間又與第二列車通過橫渡線的時間有關。計算號誌時隔時係以列車在端末車站的時間為基準，而第三列車與第二列車到達車站的時間間隔，即為列車在端末站交替使用不同股道折返的號誌安全時距。從圖 2-7 可知，其計算方式如下：

$$T_{t,F2} = t_{t\to m} + 2t_i + t_{m\to t} - t_{b,s} \tag{2.31}$$

式中：$T_{t,F2}$=列車在端末站停靠不同股道折返（站前折返）的號誌安全時隔（s）

$t_{t\to m}$=列車從端末車站經由橫渡線駛入站間正線直到車尾完全通過橫渡線區的運轉時間（s）

t_i=解除進路、道岔轉轍、鎖定進路等之道岔及號誌聯鎖時間（s）

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

$t_{b,s}$=列車車尾經過橫渡線至列車完全停妥的運轉時間（s）

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

$$t_{b,s} = \sqrt{\frac{2s_p}{b}} \tag{2.32}$$

將式(2.23)、(2.29)及(2.32)代入式(2.31)可得

$$T_{t,F2} = \frac{L + s_p + s_c}{v_c} + \frac{v_c}{2a} + \frac{v}{2b}\left(\frac{Q_t}{K_b} - 1\right) + \frac{s_c + s_p + L}{v} + \frac{v}{b} + 2t_i - \sqrt{\frac{2s_p}{b}} \tag{2.33}$$

若將式(2.16)與式(2.31)相減可得

$$T_{t,F1} - T_{t,F2} = t_d + t_{s,b} - t_i \text{ 或 } T_{t,F2} = T_{t,F1} - t_d - t_{s,b} + t_i \tag{2.34}$$

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

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

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

$$T_{t,F2} = \frac{L + s_p + s_c}{v_c} + \frac{v_c}{2a} + \frac{v}{2b}\left(\frac{Q_t}{K_b} - 1\right) + \frac{s_c + s_p + L}{v} + \frac{v}{b} + 2t_i - \sqrt{\frac{2s_p}{b}} \tag{2.35}$$

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

$$T_{t,F2} = \frac{L + s_p + s_c}{2v_c} + \frac{v_c}{4a} + \frac{v}{4b}\left(\frac{Q_t}{K_b} - 1\right) + \frac{s_c + s_p + L}{2v} + \frac{v}{2b} + \frac{t_i + t_d}{2} \tag{2.36}$$

一般而言，配備司機員的捷運系統，列車在端末車站的停車時間通常由司機員掉頭更換駕駛艙及簡易清潔整備的時間所控制，故列車停站的時間較長，比較可能屬於第二種情形，此時若欲提昇鐵道容量，則必須設法減少列車在折返站的停靠時間，例如採用雙人乘務（Double-Ending）或輪替乘務（Stepping Back）[22]，藉此來縮短停站時間。至於全自動駕駛的捷運系統，停站時間則是由旅客上下車的時間所控制，時間略短，因此比較可能屬於第一種情形，但若旅客量很大時，也可能屬於第二種情形。

前述公式略嫌複雜，但若經適度的簡化，可以比較容易瞭解其物理意義。首先觀察式(2.16)及圖 2-6 可知，$T_{t,F1}$ 大致可包括兩個部分，第一部分為先行列車離開車站直到續行列車進入車站的最小號誌時隔 $t_{t\to m}+t_i+t_{m\to t}$，而第二部分則為端末站的停站時間 t_d。為便於分析起見，令 $t_s=t_{t\to m}+t_i+t_{m\to t}$ 為列車離開及到達端末車站的最小號誌時隔，則 $T_{t,F1}=t_s+t_d$。其次觀察式(2.31)及圖 2-7，由於 $t_{s,b}$ 及 t_i 的值均不大，且其符號相反，故列車交替使用軌道折返的最小號誌時距亦略等於 t_s（即 $T_{t,F2}\approx t_s$）。換言之，使用單一軌道折返的號誌安全時距為比交替使用軌道折返的時距多出停站時間 t_d，故若是停站時間小於或等於列車開到的時隔，亦即 $t_d\le t_s$，則列車交替使用月臺的號誌安全時距為 t_s，且實際的停車時間亦拉長至 t_s（參閱圖 2-8）。倘若停站時間大於列車開到的時隔，亦即 $t_d>t_s$，則列車交替使用月臺折返的號誌安全時距必須延長至 $(t_d+t_s)/2$，而停車時間則維持 t_d（詳圖 2-9）。

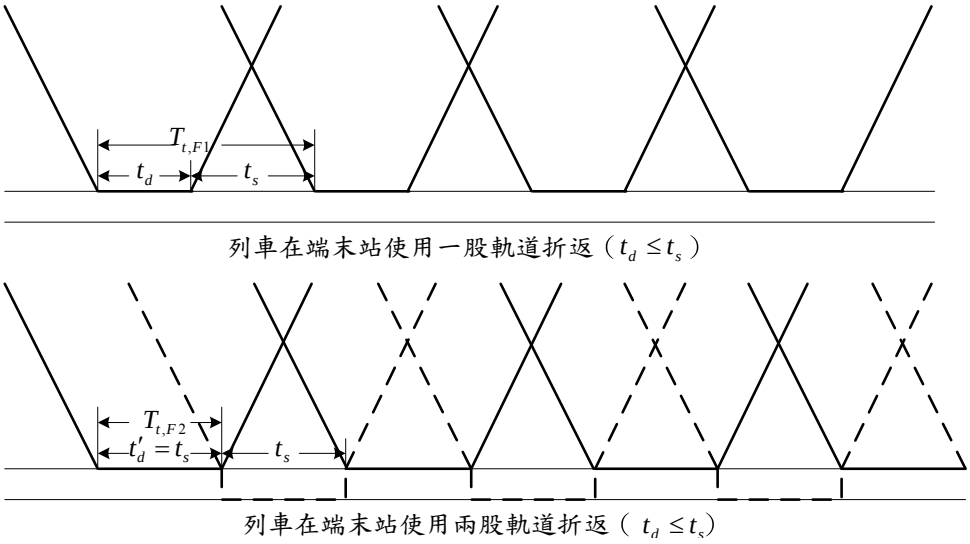


圖 2-8 停車時間小於列車開到時隔的列車折返示意圖

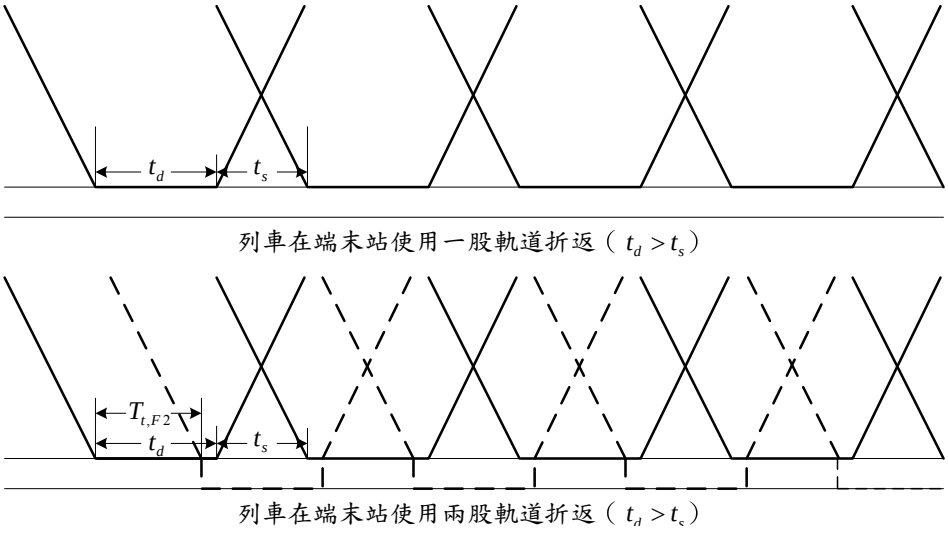


圖 2-9 停車時間大於列車開到時隔的列車折返示意圖

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

$$t_d \le n_t h - t_s \tag{2.37}$$

式中：n_t=列車在端末車站折返可使用的軌道數

2.2.2.3 站後折返－站後停靠同一尾軌

採用站後折返時，則端末站後方必須有橫渡線及尾軌讓列車折返調度，故此時端末站可視為中間站，有關中間站的號誌安全時距，可根據第 2.2.1 節的方法來分析，因此討論列車折返的號誌安全時距時，空間參考點應選擇橫渡線後方的尾軌。

若列車站後折返時停靠同一股尾軌，則續行列車可以允許進入尾軌的必要條件是先行列車已經離開尾軌並通過橫渡線區，且聯鎖區間完成路徑的重設之後，號誌系統才會授權續行列車進入尾軌。例如圖 2-10 中，若一開始有一列車停靠在下方的尾軌且橫渡線鎖定在 2→3 的路徑，當列車從靜止開始加速離開直到車尾通過 3 之後，經過一段轉轍及號誌聯鎖的時間，橫渡線重新設定在 4→2 的路徑，停靠在到站月臺列車即可允許進入尾軌，此種情形之下兩列車的運轉時間間隔可以達到最小。

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

$$T_{t,R1} = t_{e\to t} + t_i + t_{t\to e} + t_d \tag{2.38}$$

式中：$T_{t,R1}$=列車在端末站使用同一股尾軌折返（站後折返）的號誌安全時隔（s）

$t_{e\to t}$=列車從尾軌經橫渡線進入端末車站的離站月臺直到車尾完全通過橫渡線區的運轉時間（s）

t_i=解除進路、道岔轉轍、鎖定進路等之道岔及號誌聯鎖時間（s）

$t_{t\to e}$=列車從端末車站的到站月臺進入尾軌直到車尾完全通過橫渡線區的運轉時間（s）

t_d=列車在尾軌折返的停靠時間（s）

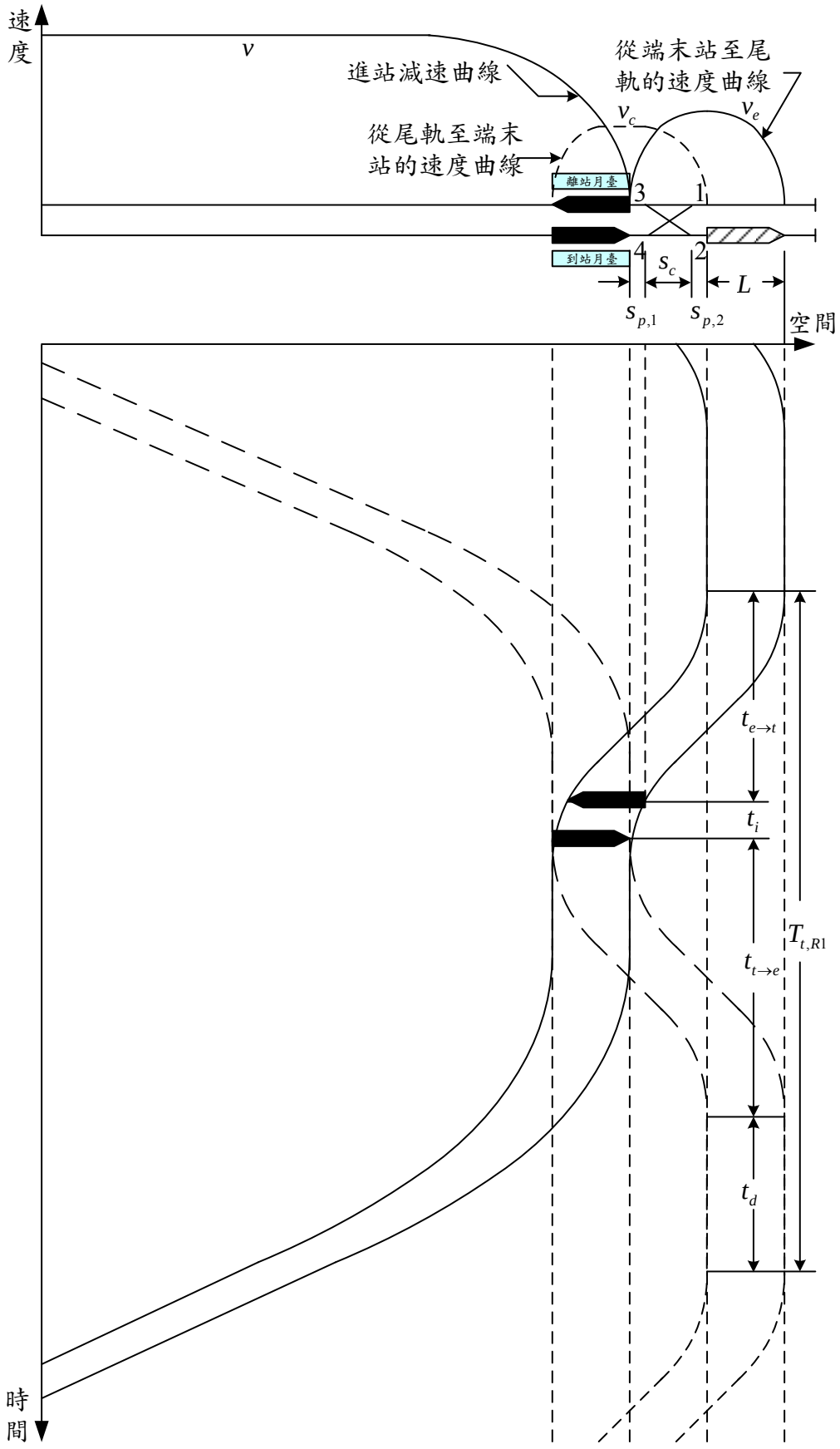


圖 2-10 站後折返之號誌安全時距－停靠同一股尾軌

列車從尾軌經由橫渡線進入端末車站的離站月臺，直到車尾完全通過橫渡線區過程中，包括加速至道岔限速、維持道岔限速運轉，以及煞車減速階段三個部分，亦即

$$t_{e\to t} = t_{e\to t,1} + t_{e\to t,2} + t_{e\to t,3} \tag{2.39}$$

式中：$t_{e\to t,1}$=列車加速運轉時間（s）

$t_{e\to t,2}$=列車維持道岔限速運轉的時間（s）

$t_{e\to t,3}$=列車從道岔限速開始減速直到車尾通過橫渡線區的運轉時間（s）

列車從靜止加速至道岔限速的運轉距離及運轉時間如式(2.40)及式(2.41)所示。

$$s_{e\to t,1} = \frac{v_c^2}{2a} \tag{2.40}$$

$$t_{e\to t,1} = \frac{v_c}{a} \tag{2.41}$$

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

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

$$s_{e\to t,2} = s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L - (\frac{v_c^2}{2a} + \frac{v_c^2}{2b}) \tag{2.42}$$

式中：$s_{e\to t,2}$=列車以道岔限速等速運轉的距離（m）

$s_{p,1}$=端末車站月臺邊緣至橫渡線的距離（m）

$s_{p,2}$=橫渡線至尾軌列車停車區的距離（m）

而其運轉時間則為

$$t_{e\to t,2}=\frac{s_{e\to t,2}}{v_c}=\frac{s_{p,1}+s_c+s_{p,2}+L}{v_c}-(\frac{v_c}{2a}+\frac{v_c}{2b}) \tag{2.43}$$

列車從道岔限速開始減速直到車尾通過橫渡線區的運轉距離可依下式計算而得：

$$s_{e\to t,3}=s_c+s_{p,2}+L-s_{e\to t,1}-s_{e\to t,2}=\frac{v_c^2}{2b}-s_{p,1} \tag{2.44}$$

列車從道岔線速開始減速直到車尾通過橫渡線區的運轉時間，為列車從道岔限速的煞停時間減去車尾通過橫渡線區至列車煞停於離站月臺的時間，亦即

$$t_{e\to t,3}=\frac{v_c}{b}-\sqrt{\frac{2s_{p,1}}{b}} \tag{2.45}$$

將式(2.41)、(2.43)、(2.45)代入式(2.39)可得

$$t_{e\to t}=\frac{s_{p,1}+s_c+s_{p,2}+L}{v_c}+\frac{v_c}{2a}+\frac{v_c}{2b}-\sqrt{\frac{2s_{p,1}}{b}} \tag{2.46}$$

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

$$s_{p,1}+s_c+s_{p,2}+L=s_{t\to e,1}+s_{t\to e,2}=\frac{v_e^2}{2a}+\frac{v_e^2}{2b} \tag{2.47}$$

式中：$s_{t\to e,1}$=列車從端末車站往尾軌的加速運轉距離（m）

$s_{t\to e,2}$=列車從端末車站往尾軌的減速運轉距離（m）

v_e=列車往尾軌的最高運轉速度（m/s）

上式經整理後可得

$$v_e = \sqrt{\frac{2ab(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{a+b}} \tag{2.48}$$

因此列車加速運轉以及減速運轉時間分別為

$$t_{t\to e,1} = \frac{v_e}{a} = \sqrt{\frac{2b(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{a(a+b)}} \tag{2.49}$$

$$t_{t\to e,2} = \frac{v_e}{b} = \sqrt{\frac{2a(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{b(a+b)}} \tag{2.50}$$

式中：$t_{t\to e,1}$=列車從端末車站往尾軌的加速運轉時間（s）

$t_{t\to e,2}$=列車從端末車站往尾軌的減速運轉時間（s）

而列車從端末車站往尾軌的整體運轉時間則為

$$t_{t\to e} = t_{t\to e,1} + t_{t\to e,2} = \sqrt{\frac{2b(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{a(a+b)}} + \sqrt{\frac{2a(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{b(a+b)}} \tag{2.51}$$

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

將式(2.46)、(2.51)代入式(2.38)可求得橫渡線設在端末站後方，且列車停靠同一股尾軌道折返的號誌安全時隔為

$$T_{t,R1}=\frac{s_{p,1}+s_c+s_{p,2}+L}{v_c}+\frac{v_c}{2a}+\frac{v_c}{2b}-\sqrt{\frac{2s_{p,1}}{b}}+\sqrt{\frac{2b(s_{p,1}+s_c+s_{p,2}+L)}{a(a+b)}}+\sqrt{\frac{2a(s_{p,1}+s_c+s_{p,2}+L)}{b(a+b)}}+t_i+t_d \quad (2.52)$$

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

$$T_{t,F1}-T_{t,R1}=t_{t\to m}+t_{m\to t}-t_{e\to t}-t_{t\to e} \quad (2.53)$$

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

若為全自動駕駛的系統，則站前折返的列車停站時間會由旅客上下車的時間所決定，而站後折返則是受制於轉轍及號誌聯鎖的時間，其值小於站前折返的停車時間，因此同樣可以推論$T_{t,F1}>T_{t,R1}$。惟採站後折返時，列車必須先在到站月臺讓旅客下車，再將列車駛往後方尾軌折返，列車駛入離站月臺後，必須等候旅客上車才能駛離端末車站，因此雖然站後折返的號誌時隔比站前折返小，但列車在端末車站的總停留時間則會大於站前折返所需的停留時間，兩者各有利弊。

2.2.2.4 站後折返－站後停靠不同尾軌

若列車在端末站後方折返時停靠不同的尾軌，則列車可以交替使用不同的軌道，因此號誌時隔不會受到列車在尾軌的停靠時間影響。例如圖 2-11 中，假設有一列車停靠在下方的尾軌，而橫渡線鎖定在4→1 的進路，此時第二列車從端末車站的到站月臺經橫渡線駛入另一股尾軌，當列車車尾通過 1 之後，橫渡線重新設定在 2→3 的路徑，則原先停靠在下方尾軌的第一列車即可駛入端末車站的離站月臺。在列

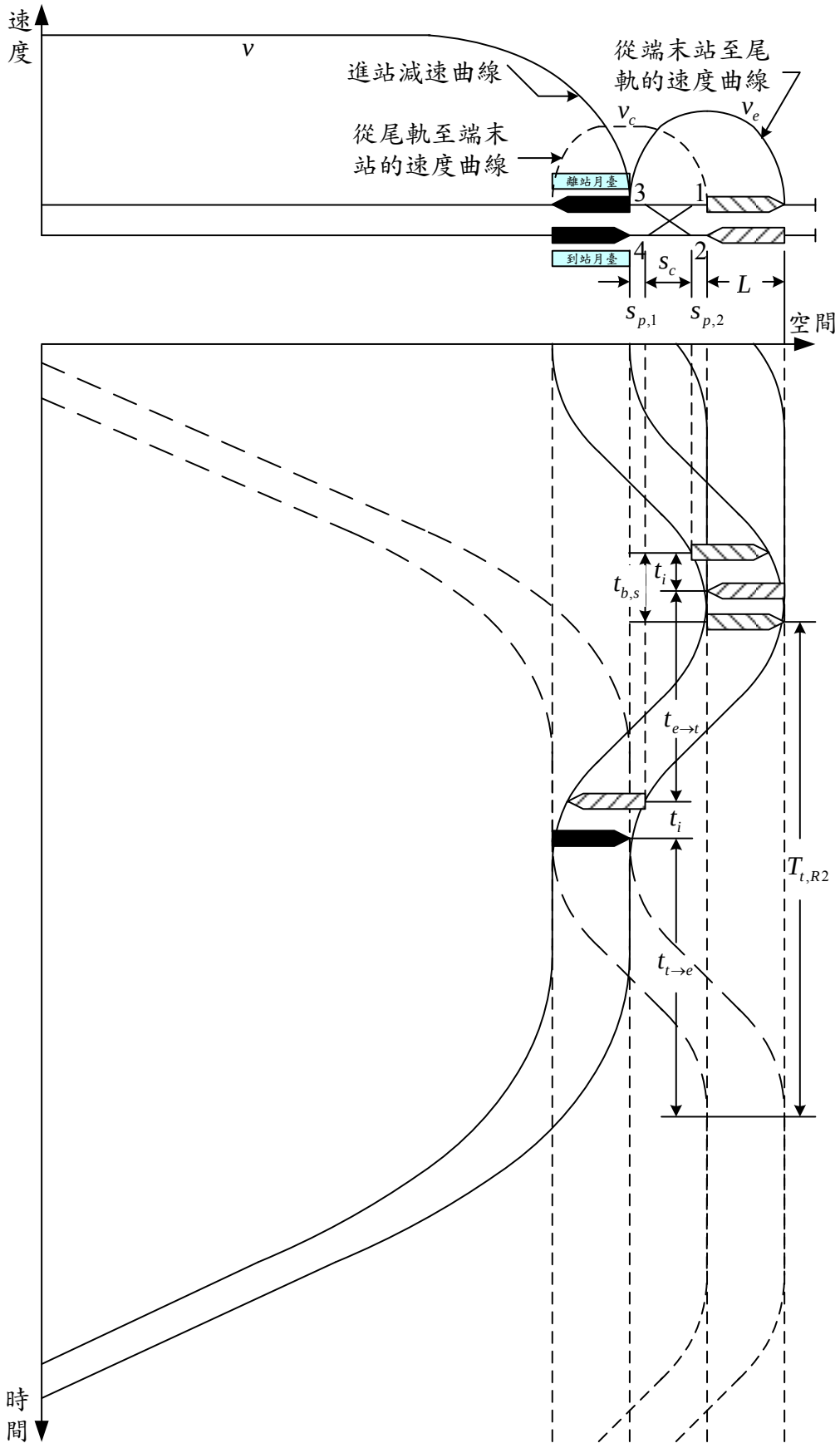


圖 2-11 站後折返之號誌安全時距－停靠不同股尾軌

車車尾通過 3 之後，橫渡線再設定為 4→2 的進路，則第三列車即可進入尾軌折返。

由前述分析可知，第三列車與第二列車到達尾軌的時間間隔，即為列車交替使用不同尾軌折返的號誌安全時距。參考圖 2-11 可知，其計算方式如下：

$$T_{t,R2} = t_{e\to t} + 2t_i + t_{t\to e} - t_{b,s} \tag{2.54}$$

式中：$T_{t,R2}$=列車在端末站交替使用不同尾軌折返（站後折返）的號誌安全時隔（s）

$t_{e\to t}$=列車從尾軌經橫渡線進入端末車站的離站月臺直到車尾完全通過橫渡線區的運轉時間（s）

t_i=解除進路、道岔轉轍、鎖定進路等之道岔及號誌聯鎖時間（s）

$t_{t\to e}$=列車從端末車站的到站月臺進入尾軌直到車尾完全通過橫渡線區的運轉時間（s）

$t_{b,s}$=列車車尾經過橫渡線至列車完全停妥的運轉時間（s）

式(2.54)中第二列車車尾通過橫渡線至列車完全停妥的運轉距離為橫渡線至尾軌停車區的距離$s_{p,2}$，此段過程之運轉時間為

$$t_{b,s} = \sqrt{\frac{2s_{p,2}}{b}} \tag{2.55}$$

將式(2.46)、(2.51)、(2.55)、代入式(2.54)可得

$$T_{t,R2} = \frac{s_{p,1}+s_c+s_{p,2}+L}{v_c} + \frac{v_c}{2a} + \frac{v_c}{2b} - \sqrt{\frac{2s_{p,1}}{b}} + \sqrt{\frac{2b(s_{p,1}+s_c+s_{p,2}+L)}{a(a+b)}} + \sqrt{\frac{2a(s_{p,1}+s_c+s_{p,2}+L)}{b(a+b)}} + 2t_i - \sqrt{\frac{2s_{p,2}}{b}} \tag{2.56}$$

將式(2.38)與式(2.54)相減可得

$$T_{t,R1} - T_{t,R2} = t_d + t_{b,s} - t_i \tag{2.57}$$

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

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

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

$$T_{t,R2} = \frac{s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L}{v_c} + \frac{v_c}{2a} + \frac{v_c}{2b} - \sqrt{\frac{2s_{p,1}}{b}} + \sqrt{\frac{2b(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{a(a+b)}} + \sqrt{\frac{2a(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{b(a+b)}} + 2t_i - \sqrt{\frac{2s_{p,2}}{b}} \tag{2.58}$$

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

$$T_{t,R2} = \frac{s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L}{2v_c} + \frac{v_c}{4a} + \frac{v_c}{4b} - \sqrt{\frac{s_{p,1}}{2b}} + \sqrt{\frac{b(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{2a(a+b)}} + \sqrt{\frac{a(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{2b(a+b)}} + \left(\frac{t_i + t_d}{2}\right) \tag{2.59}$$

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

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

2.2.2.5 站後折返－使用中央避車線

目前臺北捷運部分路段採區間運轉方式營運，於區間端點可能採用中央避車線（Pocket Track）進行折返，此時續行列車可以允許進入中央避車線的必要條件是先行列車離開中央避車線並通過橫渡線區，且聯鎖區間完成路徑的重設之後，號誌系統才會授權續行列車進入中央避車線。以圖 2-12 為例，首先，假設有一列車停靠在中央避車線且橫渡線鎖定在 1→2 的路徑，當列車從靜止開始加速離開直到全列車通過 2 之後，再經過一段轉轍及號誌聯鎖的時間，將橫渡線重新設定在 3→1 的路徑，此時停靠在到站月臺列車即可允許進入中央避車線。在此種情形之下，兩列車的運轉時間間隔可以達到最小，因此列車使用中央避車線折返的計算方式為：

$$T_{t,P} = t_{p\to t} + t_i + t_{t\to p} + t_d \tag{2.60}$$

式中：$T_{t,P}$=列車在端末站使用中央避車線折返的號誌安全時距（s）

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

t_i=解除進路、道岔轉轍、鎖定進路等之道岔及號誌聯鎖時間（s）

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

t_d=列車在中央避車線折返的停靠時間（s）

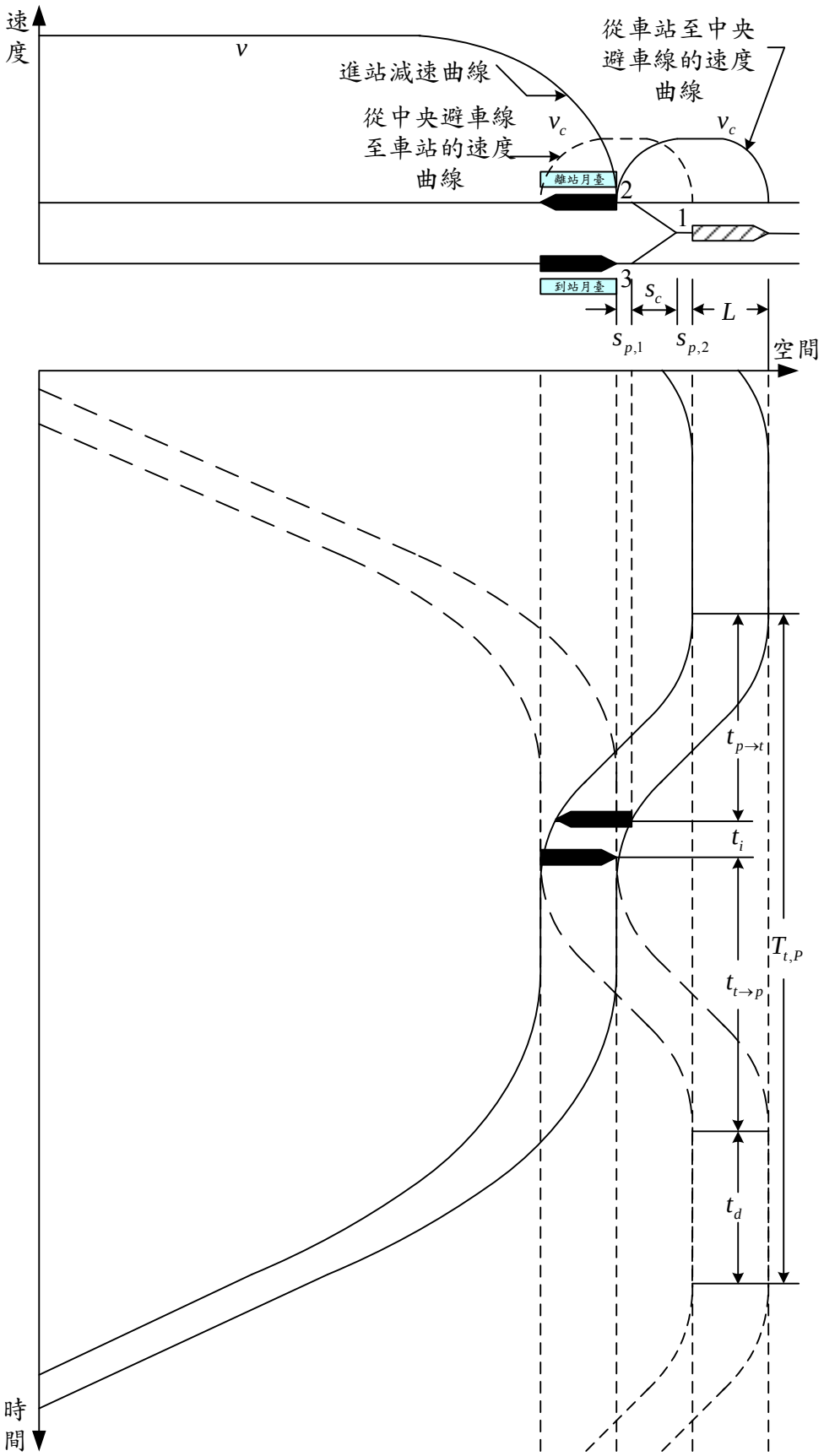


圖 2-12 使用中央避車線折返之號誌安全時距

列車從中央避車線經由橫渡線進入車站的離站月臺，直到全列車完全通過橫渡線區過程中，包括加速至道岔限速、維持道岔限速運轉，以及煞車減速階段三個部分，如式(2.61)。

$$t_{p\to t} = t_{p\to t,1} + t_{p\to t,2} + t_{p\to t,3} \tag{2.61}$$

式中：$t_{p\to t,1}$=列車加速運轉時間（s）

$t_{p\to t,2}$=列車維持道岔限速運轉的時間（s）

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

列車從靜止加速至道岔限速的運轉距離及運轉時間為

$$s_{p\to t,1} = \frac{v_c^2}{2a} \tag{2.62}$$

$$t_{p\to t,1} = \frac{v_c}{a} \tag{2.63}$$

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

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

$$s_{p\to t,2} = s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L - (\frac{v_c^2}{2a} + \frac{v_c^2}{2b}) \tag{2.64}$$

式中：$s_{p\to t,2}$=列車維持道岔限速運轉的距離（m）

則列車以道岔限速作等速運轉的時間為

$$t_{p\to t,2} = \frac{s_{p\to t,2}}{v_c} = \frac{s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L}{v_c} - (\frac{v_c}{2a} + \frac{v_c}{2b}) \tag{2.65}$$

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

$$t_{p\to t,3}=\frac{v_c}{b}-\sqrt{\frac{2s_{p,1}}{b}} \tag{2.66}$$

將式(2.63)、(2.65)、(2.66)代入式(2.61)中，可得

$$t_{p\to t}=\frac{s_{p,1}+s_c+s_{p,2}+L}{v_c}+\frac{v_c}{2a}+\frac{v_c}{2b}-\sqrt{\frac{2s_{p,1}}{b}} \tag{2.67}$$

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

$$t_{t\to p}=t_{t\to p,1}+t_{t\to p,2}+t_{t\to p,3} \tag{2.68}$$

式中：$t_{t\to p,1}$=列車加速運轉時間（s）

$t_{t\to p,2}$=列車維持道岔限速運轉的時間（s）

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

列車從靜止加速至道岔限速的運轉距離及運轉時間為

$$s_{t\to p,1}=\frac{v_c^2}{2a} \tag{2.69}$$

$$t_{t\to p,1}=\frac{v_c}{a} \tag{2.70}$$

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

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

$$s_{t\to p,2} = s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L - (\frac{v_c^2}{2a} + \frac{v_c^2}{2b}) \tag{2.71}$$

式中：$s_{t\to p,2}$=列車維持道岔限速運轉的距離（m）

則列車以道岔限速作等速運轉的時間為

$$t_{t\to p,2} = \frac{s_{t\to p,2}}{v_c} = \frac{s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L}{v_c} - (\frac{v_c}{2a} + \frac{v_c}{2b}) \tag{2.72}$$

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

$$t_{t\to p,3} = \frac{v_c}{b} - \sqrt{\frac{2s_{p,2}}{b}} \tag{2.73}$$

將式(2.70)、(2.72)、(2.73)代入式(2.68)後，可得

$$t_{t\to p} = \frac{s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L}{v_c} + \frac{v_c}{2a} + \frac{v_c}{2b} - \sqrt{\frac{2s_{p,2}}{b}} \tag{2.74}$$

再將式(2.67)和式(2.74)代入式(2.60)，便可得到列車使用中央避車線折返的號誌安全時隔公式，經整理後如下式

$$T_{t,P} = \frac{2(s_{p,1} + s_c + s_{p,2} + L)}{v_c} + \frac{v_c}{2a} + \frac{v_c}{2b} + \frac{v_c}{2a} + \frac{v_c}{2b} - \sqrt{\frac{2s_{p,1}}{b}} - \sqrt{\frac{2s_{p,2}}{b}} + t_i + t_d \tag{2.75}$$

2.2.3 銜接點號誌安全時距計算公式

在路線銜接點處，不同方向的路徑會共用路權，如果號誌系統授權其中一條路徑的列車通過銜接點時，另一條路徑的列車則禁止通過

銜接點，以確保列車的行車安全。列車通過銜接點的安全是以兩條路徑的平面交叉點為控制的基準，例如圖 2-13 中，水平的路徑與右下方的路徑在 C 點產生平面交叉，因此當其中一條路徑有列車欲通過 C 點時，另一條路徑的列車則禁止通過 C 點。

有關銜接點的號誌安全時距，通常是以正線的列車流向為主要的分析對象。假設圖中水平路徑為營運的正線，而右下方路徑為側線（例如機廠聯絡線），則銜接點的號誌安全時距，為水平路徑兩連續列車通過 C 點的時間間隔，且在兩列車之間，有側線的列車通過 C 點。舉例說明，當正線的第一列車通過 C 點之後，經過一段轉轍及號誌聯鎖的時間，號誌系統鎖定側線的進路，此時側線的列車恰好運行至授權通過 C 點的最接近位置；當側線的列車順利通過 C 點之後，號誌系統再重新設定正線的進路，此時在正線上的續行列車恰好運行至授權通過 C 點的最接近位置，則正線上兩連續列車通過 C 點的時間間隔，即為銜接點的號誌安全時距，計算方式如下：

$$T_j = t_{n\to j} + t_{l\to j} + 2t_i \tag{2.76}$$

式中：T_j=正線列車通過銜接點的號誌安全時距（s）

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

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

t_i=解除進路、道岔轉轍、鎖定進路等之道岔及號誌聯鎖時間（s）

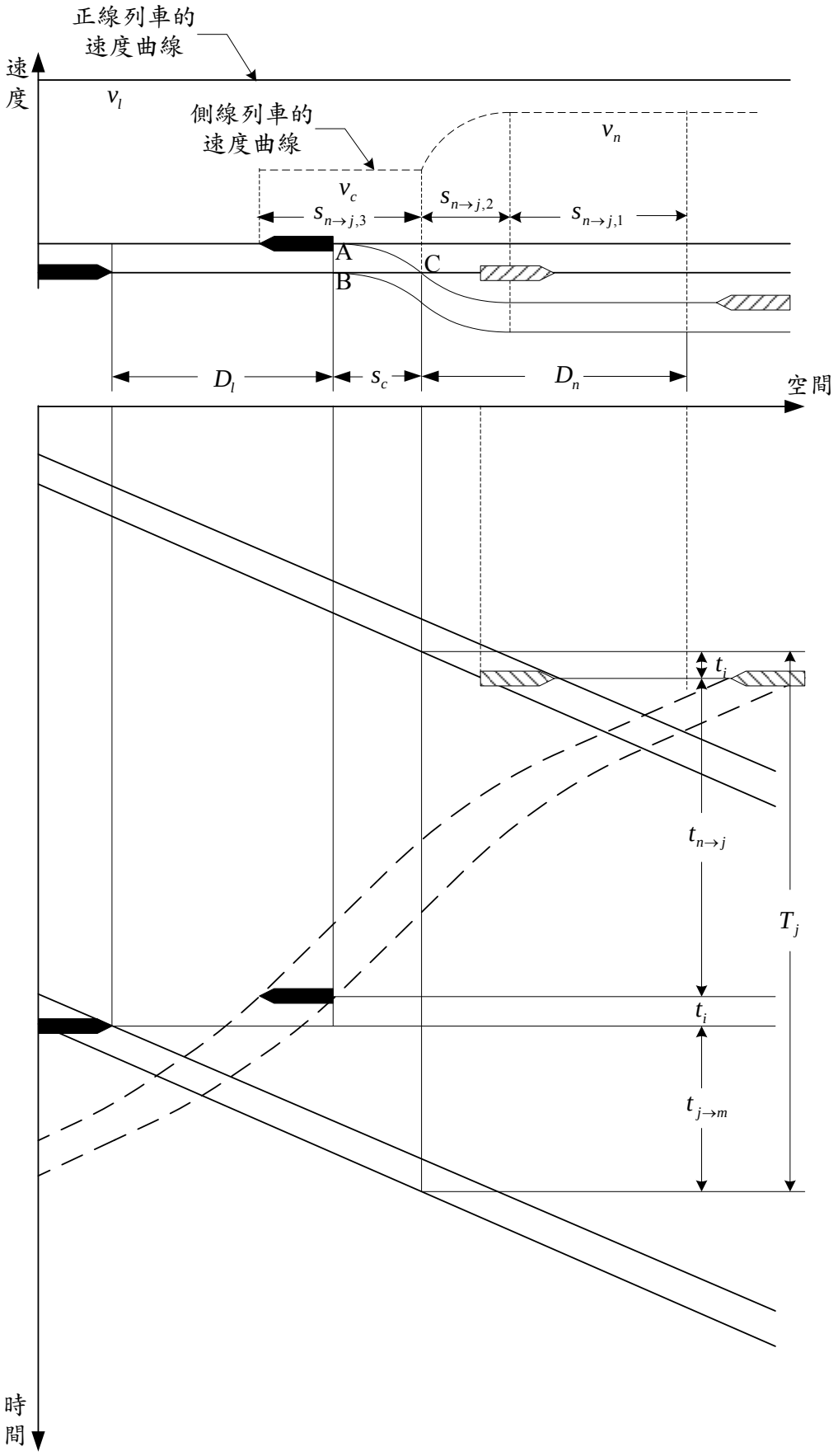


圖 2-13 站後折返之號誌安全時距－停靠不同股尾軌

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

$$D_n = \frac{Q_n v_n^2}{2K_b b}, Q_n > 1 \tag{2.77}$$

式中：D_n=側線列車授權通過銜接點前與平面交叉點的最接近距離(m)

v_n=側線列車接近銜接點之前的巡航速度（m/s）

Q_n=側線列車與銜接點的間隔安全係數

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

$$t_{n\to j} = t_{n\to j,1} + t_{n\to j,2} + t_{n\to j,3} \tag{2.78}$$

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

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

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

側線列車從其巡航速度減速至道岔限速的運轉距離及運轉時間可依下兩式計算而得：

$$s_{n\to j,2} = \frac{v_n^2 - v_c^2}{2b} \tag{2.79}$$

$$t_{n\to j,2} = \frac{v_n - v_c}{b} \tag{2.80}$$

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

因此，側線列車以巡航速度等速運轉的距離及時間為

$$s_{n\to j,1} = D_n - s_{n\to j,2} = \frac{Q_n v_n^2}{2K_b b} - \frac{v_n^2 - v_c^2}{2b} = \frac{(Q_n - K_b)v_n^2}{2K_b b} + \frac{v_c^2}{2b} \tag{2.81}$$

$$t_{n\to j,1} = \frac{(Q_n - K_b)v_n}{2K_b b} + \frac{v_c^2}{2bv_n} \tag{2.82}$$

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

而列車以道岔限速運轉直到車尾完全通過銜接點的運轉時間及運轉距離為

$$s_{n\to j,3} = L + s_c \tag{2.83}$$

$$t_{n\to j,3} = \frac{L + s_c}{v_c} \tag{2.84}$$

式中：$s_{n\to j,1}$=側線列車以道岔限速運轉直到車尾通過銜接點的時間（s）

將式(2.80)、(2.82)、(2.84)代入式(2.78)可得

$$t_{n\to j} = \frac{(Q_n - K_b)v_n}{2K_b b} + \frac{v_c^2}{2bv_n} + \frac{v_n - v_c}{b} + \frac{L + s_c}{v_c} \tag{2.85}$$

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

$$D_l = \frac{Q_l v_l^2}{2K_b b}, Q_l > 1 \tag{2.86}$$

式中：D_l=正線列車授權進入銜接點之前的最接近距離（m）

v_l=正線列車接近銜接點之前的巡航速度（m/s）

Q_l=正線列車與銜接點的間隔安全係數

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

$$t_{l\to j}=\frac{D_l+s_c+L}{v_l}=\frac{Q_l v_l}{2K_b b}+\frac{s_c+L}{v_l} \tag{2.87}$$

將式(2.85)及(2.87)代入式(2.54)可求得正線列車通過平面交叉點的號誌安全時距為

$$T_j=\frac{(Q_n-K_b)v_n}{2K_b b}+\frac{v_c^2}{2bv_n}+\frac{v_n-v_c}{b}+\frac{L+s_c}{v_c}+\frac{Q_l v_l}{2K_b b}+\frac{s_c+L}{v_l}+2t_i \tag{2.88}$$

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

在前述的分析中，有關銜接點的號誌安全時距，是以一列主線列車通過銜接點後，恰有一列側線列車要通過銜接點，待側線列車通過後，下一列主線列車才能通過銜接點，而以兩列主線列車通過銜接點所需的時間作為銜接點的號誌安全時距。若以此號誌安全時距來計算路線容量，則表示單位時間內，皆正好為一列主線列車與一列側線列車輪流通過銜接點，如圖 2-14 所示，但此情況鮮少發生，較常見的情況為主線列車連續通過數列之後，才有側線列車通過，因此修正銜接點的號誌安全時距的計算公式為

$$T_j=rt_{l\to j}+(1-r)(t_{n\to j}+t_{l\to j}+2t_i)=t_{l\to j}+(1-r)(t_{n\to j}+2t_i) \tag{2.89}$$

式中：T_j=主線列車通過銜接點的號誌安全時距（s）

r=主線列車連續通過銜接點的比例

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

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

t_i=解除進路、道岔轉轍、鎖定進路等之道岔及號誌聯鎖時間(s)

以圖 2-14 為例，因為所有通過銜接點的主線列車之間皆有側線列車通過，完全沒有主線列車連續通過銜接點，所以主線列車連續通過銜接點的比例 r 為 0。若單位時間內，完全沒有側線列車通過銜接點，意味著所有主線列車皆連續通過銜接點，因此 r 為 1。而在圖 2-15 的例子中，在續行的兩列主線列車中，其中一列和其先行列車間有側線列車通過，而另一列則是接續其先行列車通過銜接點，所以 r 為 0.5。

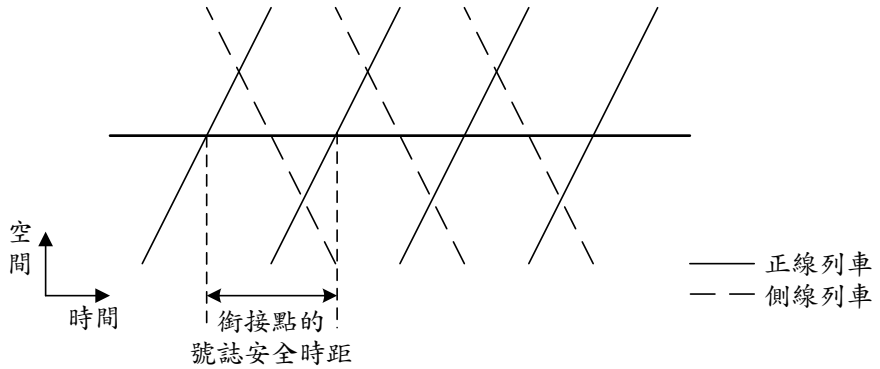


圖 2-14 主線列車與側線列車輪流通過銜接點

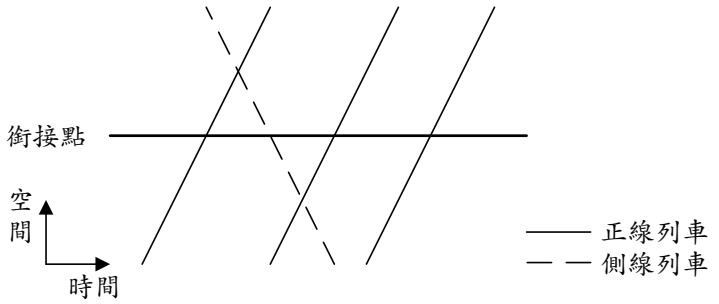


圖 2-15 主線列車連續通過比例為 0.5 之情況

2.2.4 路線坡度對號誌安全時距的影響

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

$$a(G) \approx \frac{M_e a(0) - Mg\frac{G}{1000}}{M_e} = a(0) - \frac{g \cdot G}{1000\rho} \tag{2.90}$$

式中：$a(G)$=列車在坡度G‰的加速度（m/s^2）

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

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

M=列車編組質量（kg）

g=重力加速度（m/s^2），$g = 9.81$ m/s^2

G=路線坡度（‰）

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

$$a(G) \approx a(0) - 0.009G \tag{2.91}$$

若是減速度，由於坡度阻力的方向相反，故以下式計算：

$$b(G) \approx b(0) + 0.009G \tag{2.92}$$

如果考量坡度對加減速性能的影響效應，則前述推導的號誌安全時距公式可調整如表 2.1 所示。

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

表 2.1 號誌安全時距計算公式

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

表 2.1 號誌安全時距計算公式（續）

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

2.2.5 瓶頸號誌安全時距的決定

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

$$T_s = \max\left(T_m, T_t, T_j\right) \tag{2.93}$$

式中：T_s=系統的最小號誌安全時距（s）

T_m=最繁忙的中間車站之號誌安全時距（s）

T_t=折返車站之號誌安全時距（s）

T_j=銜接點的號誌安全時距（s）

折返車站之號誌安全時距T_t，必須視橫渡線的佈設位置（站前或站後），以及使用軌道的方式（一股或兩股），來決定採用$T_{t,F1}$、$T_{t,F2}$、$T_{t,R1}$、$T_{t,R2}$或$T_{t,P}$。通常一條捷運路線至少會有兩個折返車站，因此折返站的號誌時距必須以條件最差的折返車站來計算，若無法確認，則最好每一個折返站都計算其號誌安全時距。

2.3 運轉寬裕時間的估計

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

運轉寬裕時間的設定，關係到營運計畫的彈性調整與營運準點的服務水準，如何拿捏訂定須視各營運單位之主、客觀條件而定。運轉寬裕時間愈多，計算所得的鐵道容量愈小，但列車服務愈可靠；反之，運轉寬裕時間愈少，鐵道容量愈高，但相對地，列車的準點率愈低，因此運轉寬裕時間的決定是一體兩面的問題。美國鐵道容量手冊[23]建議捷運系統的運轉寬裕時間介於 15~25 秒之間，但本研究認為運轉寬

裕時間不應採用固定值，因為當號誌時距愈大時，其產生的變異也愈大，因此運轉寬裕時間應與整條路線之最小號誌安全時距呈一定的比例，亦即

$$t_m = \beta T_s \tag{2.94}$$

式中：t_m=運轉寬裕時間（s）

β=運轉寬裕時間係數

上式說明號誌時隔愈大，所需的運轉寬裕時間愈多，而號誌時隔愈小，運轉寬裕時間則愈小；另外，若根據臺北高運量板南線的營運現況來分析，由於目前列車班次已接近飽和，據此反算運轉寬裕係數，約為 0.1 左右，而中運量捷運系統則大約為 0.2。由於臺北高運量捷運系統在尖峰時間經常會發生列車因班次密度過高而導致站間中途停車的情形，因此若考量列車服務的穩定度，本手冊建議都會捷運系統的運轉寬裕係數以 0.2 為預設值。

2.4 最小運轉時隔的計算

列車的最小運轉時隔為計算鐵道容量（包括設計容量與可達成容量）的基礎。第 2.1.3 節說明列車的運轉時隔包括號誌安全時距、停站時間或停等時間（視情形而定），以及運轉寬裕時間。由於前述號誌時距公式的推導已將可能的停站時間考慮在內，因此捷運系統兩連續列車的最小運轉時隔可依下式計算而得：

$$h = T_s + t_m = (1+\beta)T_s \tag{2.95}$$

式中：h=連續列車的最小運轉時隔（s）

2.5 路線容量的計算

如第 2.1 節所述，都會捷運系統的路線容量係指尖峰小時內，通過路線上任一點的最大列車數。一小時相當於 3600 秒，而路線之最小運轉時隔為h，因此路線容量C_l可利用下式計算而得：

$$C_l = \frac{3600}{h} \tag{2.96}$$

第三章 旅客容量分析模式

第二章所介紹的是以列車為客體單位的容量分析模式，可計算出每小時通過路線上重要瓶頸地點（例如繁忙的中間車站、折返站或銜接點）的最大列車數。除了路線容量之外，對於捷運系統而言，更重要的是評估路線的載客能力，亦即以旅客為客體單位的容量，因此本章將說明旅客容量的分析模式；另外，列車的停站時間攸關運轉時隔甚鉅，而停站時間亦與旅客人數的多寡有關，本章將一併探討。

3.1 旅客容量計算

將路線容量轉換成以旅客為單位的鐵道容量，必須經過列車容量、路線最大供給容量、可達成容量等計算步驟，依序說明如下：

1. 列車容量

都會捷運系統通常是採用電聯車來營運，而不會使用動力機車牽引非動力客車的方式來編組。使用電聯車的主要理由是電聯車為動力分散的配置，部分車廂喪失動力時仍可運轉；另外，電聯車的每一個車廂都可以乘坐旅客，故可提高整列車的載運量。

電聯車編組時是以列車組為編組單位，所謂列車組是指包括馬達車（Motor Car）及拖車（Trailer Car）所組成的最小編組單位，以臺北高運量捷運系統以及高雄捷運系統為例，其最小編組單位均為三輛車，包括前後各一輛馬達車以及中間的拖車。目前臺北高運量捷運系統是以兩個列車組六輛車編成一列車，而高雄捷運因為運量較低，目前暫時以一個列車組三輛車來營運。

捷運列車的容量為每一個車廂容量的總和，但因每一個車廂並非完全獨立，因此捷運規劃或營運機構通常會直接以整列車來計算容量；另外，捷運系統以提供短程的通勤服務為主，除了座位之外，也允許

旅客站立，甚至會以站位為主，因此列車容量必須包括座位及立位兩個部份，計算方式如下：

$$c_t = n_s + (m_s \times A_v) \tag{3.1}$$

式中：c_t=列車容量（sps/TU）

n_s=列車的座位數（sps/TU）

m_s=乘載水準，即立位密度（sps/m^2）

A_v=一列車可供旅客站立之面積（m^2/TU）

上式中的乘載水準取決於乘客的體型以及期望的舒適程度，通常歐美人士的體型較為高大，乘載水準較低，而東方人士的體型較為嬌小，乘載水準則較高；另外，乘載水準愈高，旅客愈不舒適，但可以增加列車容量，反之，乘載水準愈低，舒適程度愈高，但列車容量愈低。臺北高運量捷運系統視應用目的的不同，乘載水準從 5 prs/m^2~7 prs/m^2 皆有[7]，車廂設計時係採用 7 prs/m^2，月臺設計時採用 6 prs/m^2，而車輛採購時則採用 5 prs/m^2。

2. 最大供給容量

最大供給容量又稱為設計容量，為每小時單方向所能提供的最大乘位數。最大供給容量是單純以供給面的角度來思考，並不考慮需求面旅客搭乘列車的變異情形；另外，捷運系統的車種單純，通常一條路線會採用同一種營運列車或性能車載容量完全相同的列車來營運，

最大供給容量可由每小時所能通過的最大列車數（路線容量）與列車容量相乘而得，即

$$C_o = C_l \times c_t \tag{3.2}$$

式中：C_o=最大供給容量或設計容量（sps/h）

C_l=路線容量（TU/h）

c_t=列車容量（sps/TU）

3. 最大使用容量

實際營運時，旅客到達車站的時間不會均勻分布，因此不同列車之間的載客量不會完全一致，而即使在同一列車當中，每一車廂的乘載情形也不會完全相同，特別是車廂之間沒有走道的捷運系統（例如木柵內湖線），因此列車實際所能載運的旅客量不可能一直維持在供幾容量的水準，而考慮這種旅客乘載變異的容量，稱為最大使用容量，又稱為可達成容量，其計算方式如式所示。

$$C_u = \rho_d C_o \tag{3.3}$$

式中：C_u=最大使用容量或可達成容量（prs/h）

ρ_d=乘載變異因子

C_o=最大供給容量或設計容量（sps/h）

一般而言，有車間走道的捷運列車，旅客可以在車廂之間自由流動，因此乘載變異因子的數值較高，而無車間走道的捷運列車，乘載變異因子的數值會比較低一些。在 TCQSM 的研究中[20]，重軌捷運ρ_d以 0.8 為預設值，若要進行分析，也可透過現場調查或利用票證紀錄來分析。如果要詳細計算車廂之間的乘載差異，必須調查每一個車廂的載運情形，由於捷運系統的站距短，旅客進出頻繁，調查每一個車廂的載客量並不容易，但若要計算列車之間的乘載差異，可以透過自動收費系統的票證紀錄，利用下式來計算：

$$\rho_d \cong \frac{P_h}{4P_{15}} \tag{3.4}$$

式中：ρ_d=列車間乘載變異因子

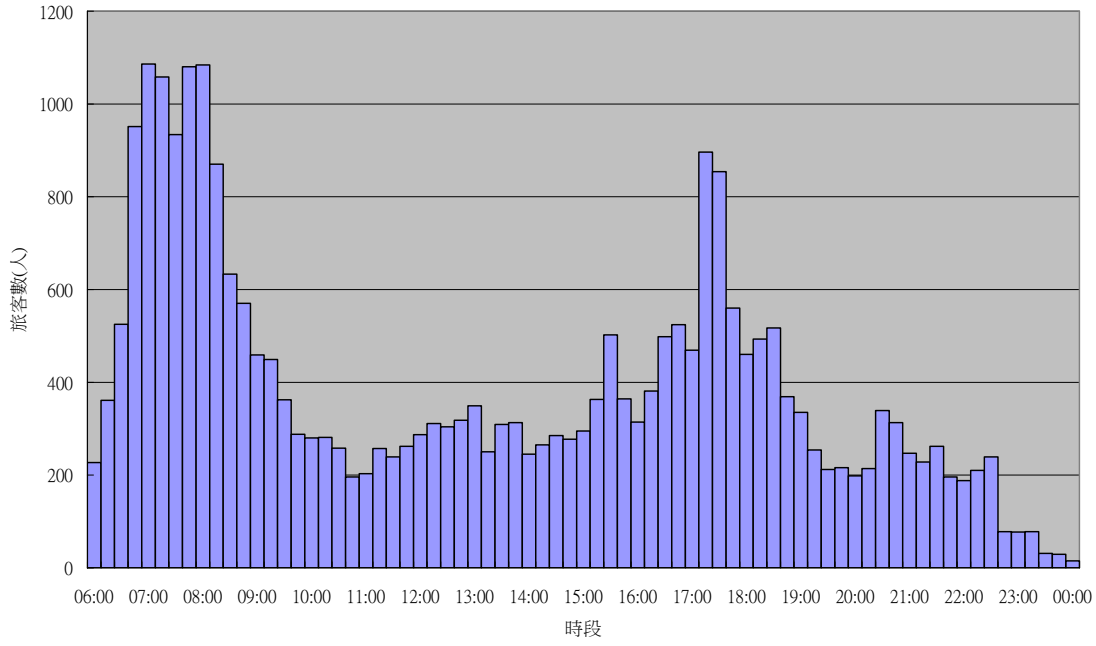
P_h=尖峰小時旅客流量（prs/h）

P_{15}=尖峰小時內最大 15 分鐘流率（prs/15 min）

上式中的乘載變異因子，又稱為尖峰小時因素，用以反應尖峰小時內旅客流量的變異。若根據臺北高運量捷運系統淡水車站的進站人

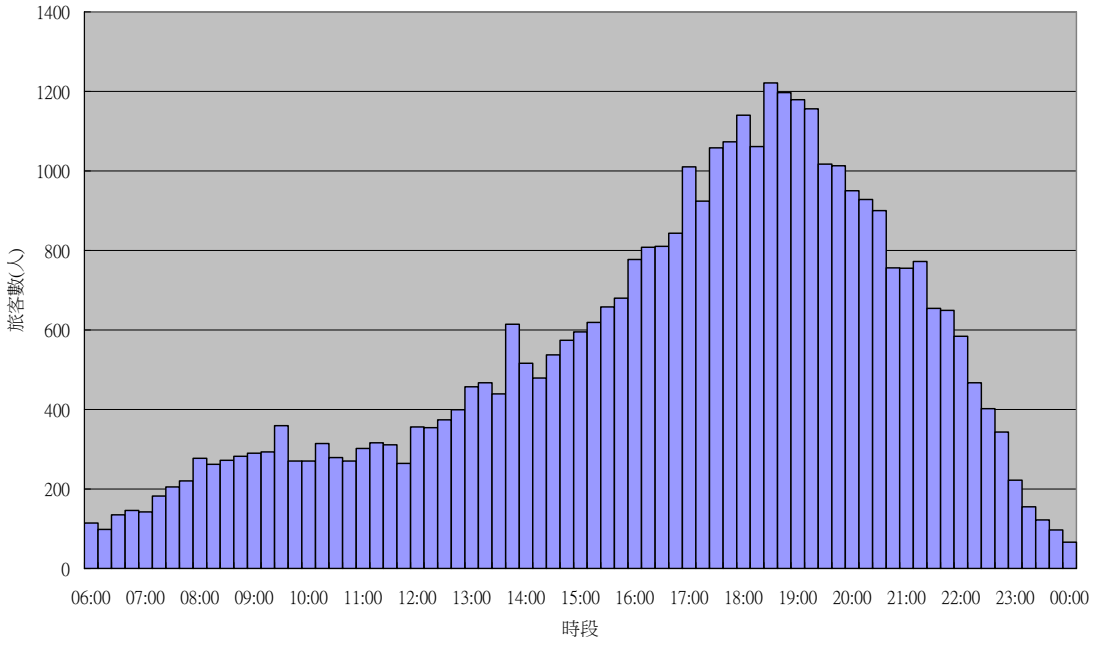
數統計每 15 分鐘的旅客進站人數，可得到圖 3-1 及圖 3-2 的結果，從圖可知，平日上午尖峰約在 6:30~8:30 之間，下午尖峰約在 16:30~18:30 之間，而假日旅客量則是逐漸增加，至 18:30~19:30 達到高峰後再逐漸減少。假日的需求主要是以來淡水遊玩的旅客為主，因此傍晚會有大量返回臺北的旅客。若根據(3.5)來計算乘載變異因子，可得到圖 3-3 及圖 3-4 的結果，從圖 3-3 可知，平日上午尖峰的乘載變異因子約在 0.83~0.95 之間，而下午尖峰則在 0.83~0.90 之間，至於假日時段，圖 3-4 的結果顯示，乘載變異因子甚至高達 0.92~0.97 之間。

對於已營運的系統，乘載變異因子可以根據實際的營運資料來計算，初步建議臺北高運量捷運系統採用 0.85，而中運量系統因為沒有車間走道，建議採用 0.8，至於規劃其他都會區捷運系統時，亦可保守採用 0.8 來計算。



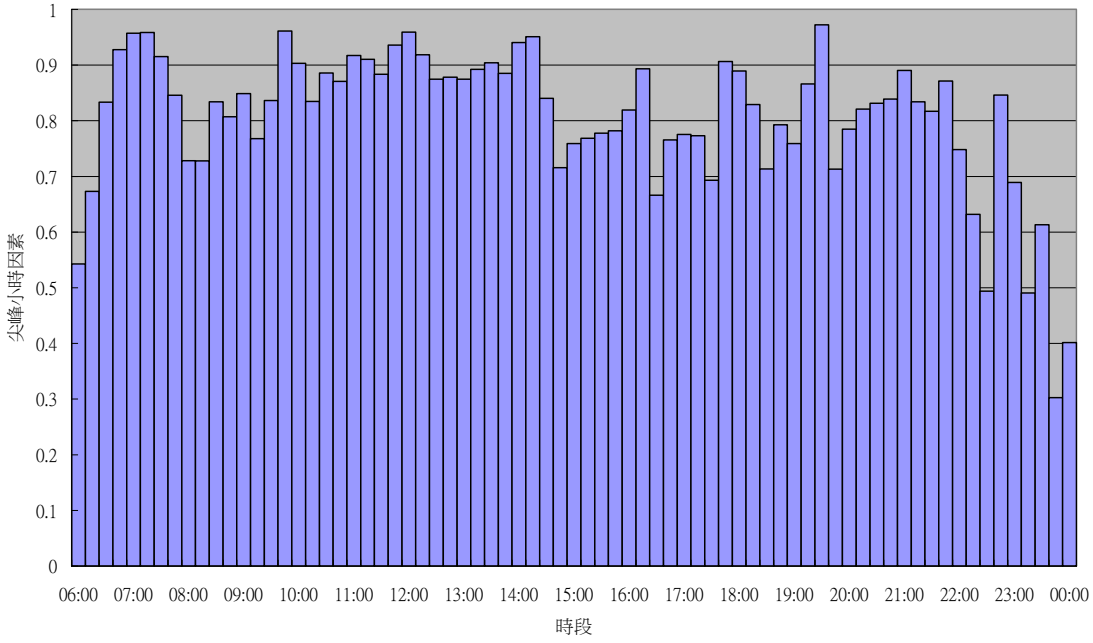
資料來源：臺北捷運公司及本研究整理

圖 3-1 臺北捷運淡水站平日（98 年 4 月 1 日）每 15 分鐘進站旅客數



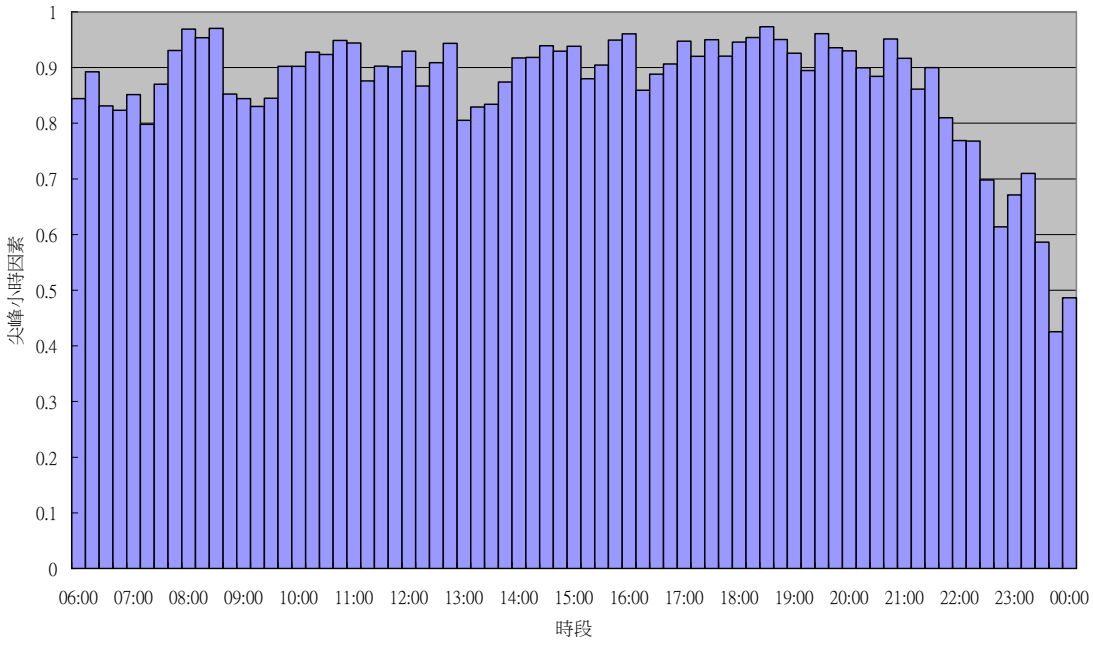
資料來源：臺北捷運公司及本研究整理

圖 3-2 臺北捷運淡水站假日（98 年 4 月 4 日）每 15 分鐘進站旅客數



資料來源：臺北捷運公司及本研究整理

圖 3-3 臺北捷運淡水站平日（98 年 4 月 1 日）的乘載變異因子



資料來源：臺北捷運公司及本研究整理

圖 3-4 臺北捷運淡水站假日（98 年 4 月 4 日）的乘載變異因子

3.2 停站時間推估

在第二章的路線容量分析模式中，列車在中間車站以及端末車站的號誌安全時距均會受到列車停站時間的影響，因此本節將進一步探討列車停站時間的估算方式。

3.2.1 中間車站的停站時間

列車在中間車站的停車時間主要是受制於上下車的旅客數量，旅客量愈大，所需要的停車時間愈長；反之，旅客量愈少，所需的停站時間愈少。列車的停站時間有一定的範圍，即使旅客再少，也有最短停站時間的限制，而若旅客量太多時，為了避免列車一直停靠車站而導致續行列車無法進站，進而降低路線容量，故亦有最長時間的限制。若以臺北捷運系統為例，一般車站的停靠時間約 18~35 秒，而最繁忙的臺北車站則約 40~50 秒[10]。

對於已營運的系統，停站時間可以直接引用實際營運的資訊，但若是對於規劃中的系統，則必須推算列車的停站時間。臺北都會區捷運規劃手冊[13]建議採用 25 秒來計算。

3.2.2 端末車站的停站時間

列車於端末車站（站前折返）或尾軌（站後折返）的停車時間，受到司機員從一端駕駛艙走向另一端駕駛艙的步行時間、旅客上下車時間，以及號誌連鎖時間等因素的影響，如下式所示：

$$t_d = \max(t_w, t_p, t_i) + t_{cd} \tag{3.5}$$

式中：t_d=列車在端末車站或尾軌的停車時間（s）

t_w=司機員從一端駕駛艙走向另一端駕駛艙的步行時間（s）

t_p=旅客上下車時間（s）

t_i=解除進路、道岔轉轍、鎖定進路等之道岔及號誌連鎖時間（s）

對於無人駕駛的系統，若是配置站前折返橫渡線（通常為島式月臺），則列車在端末車站的停車時間主要是受制於旅客上下車的時間t_p，若是配置站後折返橫渡線（通常為側式月臺），則列車在尾軌的停車時間則是受制於號誌連鎖的時間t_i。而對於配備司機員的捷運系統，列車在端末車站（站前折返）或尾軌與中央避車線（站後折返）的停車時間，均是受制於司機員從一端駕駛艙走向另一端駕駛艙的步行時間t_w，但若是採用雙人乘務（Double-Ending）或輪替乘務（Stepping Back），則是受制於旅客上下車的時間t_p（站前折返）或是號誌連鎖與運轉方向重新設定的時間t_i（站後折返）。

一般而言，號誌連鎖時間t_i在幾秒鐘之內即可完成，視系統而定會略有差別，對於鋼輪鋼軌的系統，本手冊建議採用 10 秒來計算，而全自動的膠輪系統，建議採用 1 秒。至於司機員的步行時間t_w，臺北都會區捷運規劃手冊[13]建議採用 3 分鐘來計算。

第四章 容量整體分析程序

第二章及第三章已分別探討過以列車為客體單位以及以旅客為客體單位元的容量分析模式以及公式的推導細節，本章將綜合第二章及第三章的內容，介紹鐵道容量的整體分析程式；另外，也會針對應用這些分析程式的注意事項進行說明。

4.1 容量分析架構與步驟

綜整各項容量分析之計算細節，都會捷運系統容量分析模式的整體架構彙整如圖 4-1，進行分析前尚須蒐集整理路線條件、交通條件及控制條件等相關資料，再依此架構之流程逐一計算容量分析所需的各項元素，其分析步驟說明如下。

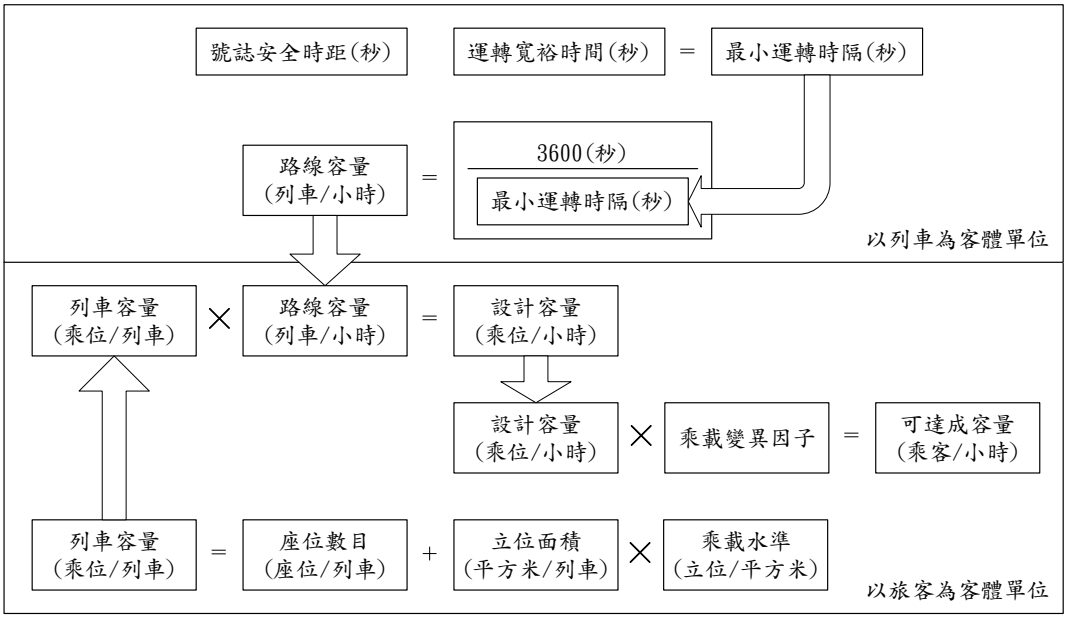


圖 4-1 都會捷運系統之鐵道容量分析架構

1. 步驟一：找出可能發生瓶頸處

捷運系統的路線瓶頸可能發生在最繁忙車站、端末車站或是銜接點，通常路線的瓶頸是發生在停站時間最長車站，然而當橫渡線佈設

位置不佳或列車密度很高時，端末車站和銜接點也可能成為瓶頸，需視個案而定，因此進行分析時，若無法確知路線的最大瓶頸，則可計算所有可能瓶頸點的鐵道容量，而其中容量最小者將為整條路線的瓶頸，其容量值代表整條路線的容量。

2. 步驟二：計算號誌安全時距

根據空間參考點的位置，從表 4.1 中選擇適當的公式來計算號誌安全時距，公式中各符號說明詳見表 4.2。

3. 步驟三：計算運轉寬裕時間

以步驟二計算而得的號誌安全時距，依下式計算運轉寬裕時間：

$$t_m = \beta \cdot T_s \tag{4.1}$$

式中：t_m=運轉寬裕時間（s）

β=運轉寬裕時間係數，本手冊建議採用 0.2

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

4. 步驟四：計算最小運轉時隔

由號誌安全時距和運轉寬裕時間計算最小運轉時隔，公式如下：

$$h = T_s + t_m = (1+\beta)T_s \tag{4.2}$$

式中：h=連續列車的最小運轉時隔（s）

T_s=瓶頸號誌安全時距（s）

t_m=運轉寬裕時間（s）

5. 步驟五：計算路線容量

將 1 小時（3600 秒）除以最小運轉時隔即為路線容量，如下式：

$$C_l = \frac{3600}{h} = \frac{3600}{(1+\beta)T_s} \tag{4.3}$$

表 4.1 號誌安全時距計算公式

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

表 4.1 號誌安全時距計算公式（續）

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

表 4.2 號誌安全時距計算公式之符號意義說明表

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

表 4.2 號誌安全時距計算公式之符號意義說明表（續）

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

式中：C_l=路線容量（TU/h）

h=連續列車的最小運轉時隔（s）

β=運轉寬裕時間係數

T_s=瓶頸號誌安全時距（s）

6. 步驟六：計算列車容量

依下式計算營運列車的車載容量。

$$c_t = n_s + (m_s \times A_v) \tag{4.4}$$

式中：c_t=列車容量（sps/TU）

n_s=列車的座位數（sps/TU）

m_s=乘載水準，即立位密度（sps/m^2），建議值為 7 sps/m^2

A_v=一列車可供旅客站立之面積（m^2/TU）

7. 步驟七：計算最大供給容量

根據步驟五計算出來的路線容量以及步驟六之列車容量，以下式計算最大供給容量。

$$C_o = C_l \times c_t \tag{4.5}$$

式中：C_o=最大供給容量（sps/h）

C_l=路線容量（TU/h）

8. 步驟八：計算最大使用容量

考量旅客乘載不均勻的特性，依下式計算最大使用容量。

$$C_u = \rho_d C_o \tag{4.6}$$

式中：C_u=可達成容量（prs/h）

ρ_d=列車間乘載變異因數，有車間走道的高運量捷運系統，建議採用 0.85，無車間走道者採用 0.8

C_o=最大供給容量（sps/TU）

4.2 容量分析的應用方式

前述之鐵道容量分析程序係泛用的架構，並未針對特定的都會捷運系統來發展，因此應用時，有些參數必須先經過處理後方能進行容

量分析；另外，有關都會捷運系統鐵道容量分析及營運規劃的相關應用，也會在本節中一併說明。

4.2.1 巡航速度的決定方式

在進行鐵道容量分析時，其中一個重要的輸入資料為巡航速度，事實上，鐵道容量對於巡航速度非常敏感，不同的巡航速度計算出來的容量會有差異，因此應用時必須設定正確的速度才能計算出正確的結果。

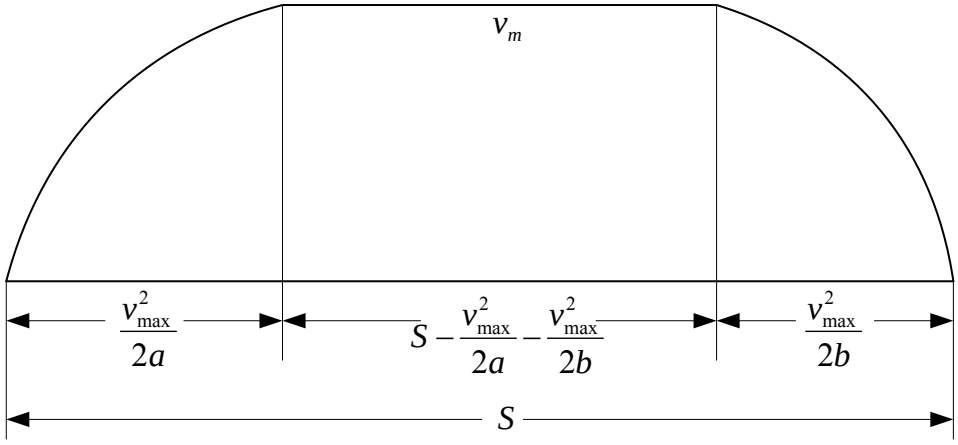
一般而言，列車在兩站之間通常可以達到最高營運速度，但列車的速度會受到列車性能、永久速限以及站間距離的影響，永久速限主要是因為路線彎道的限制，導致列車無法全速運轉，而站間距離過短或列車性能較差時,可能會導致列車在還未加速至最大營運速度之前，就必須減速進站，因此，運轉速度也不可能過高。

列車巡航速度的決定方式，依資訊是否足夠以及是否有計算工具，可有下列三種方式：

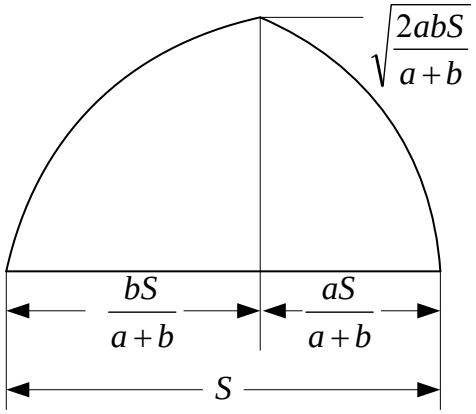
1. 對於已營運的系統，若有實際營運的巡航速度資料可供參考，則可以直接引用。
2. 若無實際營運的巡航速度可供參考，但有列車性能模擬器（Train Performance Simulator）時，可利用列車性能模擬器來計算。
3. 若無實際營運資料，亦無列車性能模擬器時，則可利用解析模式來分析列車的站間運轉曲線，再配合永久速限的位置以及列車的速度碼（速度碼系統）或期望煞車曲線（距離碼系統）來決定列車的巡航速度。假設S為站間距離，a、b為列車的加減速度，v_{max}為列車的最大營運速度，則

   (1) 若$S \geq \frac{v_{max}^2}{2a} + \frac{v_{max}^2}{2b}$，表示列車可以加速至最大營運速度，此時列車的站間運轉曲線如圖 4-2(a)所示，而巡航速度v會小於或等於最大營運速度、永久速限v_r以及列車的速度碼v_s：

$$v \le \min(v_{\max}, v_r, v_s) \tag{4.7}$$



(a) 列車可加速至最大速度



(b) 列車無法加速至最大速度

圖 4-2 列車站間運轉曲線圖範例

(2) 若 $S < \frac{v_{\max}^2}{2a} + \frac{v_{\max}^2}{2b}$，表示列車無法加速至最大營運速度，此時列車的站間運轉曲線如圖 4-2(b)所示，而列車的巡航速度存在下列關係：

$$v \le \min(\sqrt{2abS/(a+b)}, v_r, v_s) \tag{4.8}$$

4.2.2 間隔安全係數的設定

在計算號誌安全時距時，必須設定列車跟車的最小安全間隔係數，此一係數與號誌系統的設計有關。由於目前捷運號誌的自動列車保護系統有不同的設計方式（速度碼或距離碼），其對應的間隔安全係數也不相同，在實務應用時必須妥善設定；另外，對於已營運的系統，若是採用速度碼 ATP，則每一個車站的間隔安全係數可能也不盡相同，因此若要精確計算號誌時隔，必須正確設定間隔安全係數。有關間隔安全係數的設定方式，依條件的不同有下列兩種方式：

1. 已營運的系統

對於已營運的系統，列車的安全行車間距 D 為已知的條件，但本手冊的鐵道容量分析模式並不允許直接輸入安全行車間距，主要原因是避免使用者輸入不合理的行車間距而導致危險，另外也為了統一鐵道容量分析軟體的使用介面，因此必須利用安全行車間距來反算安全間隔係數，再代入模式來求解，其步驟如下：

(1) 先根據第 4.2.1 節的方式決定列車的巡航速度。

(2) 根據號誌系統的設計，找出連續列車之間的最小安全間隔距離 D。

(3) 利用下式計算間隔安全距離 Q：

$$Q = \frac{2K_b bD}{v^2} \tag{4.9}$$

2. 規劃中的系統

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

4.2.3 容量利用效率評估

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

1. 路線利用率

路線利用率為實際營運列車流量與路線容量的比值，即

$$\eta = \frac{f_t}{C_l} = \frac{3600/h_t}{3600/h} = \frac{h}{h_t} = \frac{(1+\beta)T_s}{h_t} \tag{4.10}$$

式中：η=路線利用率（decimal）

f_t=列車的表訂服務頻率（TU/h）

C_l=路線容量（TU/h）

h_t=列車排點的班距或實際營運班距（s）

h=連續列車的最小運轉時隔（s）

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

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

目前本手冊建議寬裕係數β的數值為 0.20，此係根據目前臺北高運量捷運系統板南線的狀況校估而得。目前板南線在尖峰時間的營運已接近飽和，根據尖峰正常營運班距所反算出來的運轉寬裕係數約為 0.1，但偶有發生列車因跟車過近而中途煞車的情形，因此建議運轉寬裕係數的預設值為 0.2。值得注意的是，臺北捷運板南線若再縮短營運班距，雖然仍然可以發車，但列車運轉中途煞車的情形勢必會增加，亦即列車服務的可靠度會隨著運轉班距的縮小而增加。有關都會捷運系統列車服務可靠度的議題，未來仍可進一步發展模擬模式來分析。

2. 乘載係數

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

$$\overline{\alpha} = \frac{\sum_l p_l d_l}{C_t L_n} = \frac{\sum_l p_l d_l}{(3600/h_t) c_t L_n} \tag{4.11}$$

式中：$\overline{\alpha}$=平均乘載係數

p_l=路段l的旅客量（prs/h）

d_l=路段l的區間長度（km）

C_t=表訂服務容量（sps/h）

L_n=列車營運路線長度（km）

h_t=列車排點的班距或實際營運班距（s）

c_t=列車容量（sps/TU）

4.2.4 列車服務班距規劃

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

1. 決定乘載水準

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

2. 計算列車容量

考慮列車的編組數，利用式(4.4)來計算整列車容量。

3. 計算列車服務頻率

利用式(4.12)計算目標年的列車服務頻率

$$f_t = \frac{P_{\max}}{\rho_d c_t} \tag{4.12}$$

式中：$P_{\max}$=目標年最大乘載區間的旅客流量（prs/h）

ρ_d=乘載變異因子

f_t=表訂服務頻率（TU/h）

c_t=列車容量（sps/TU）

4. 計算列車的服務班距

利用式(4.13)計算列車的服務班距。

$$h_t = \frac{3600}{f_t} = \frac{3600\rho_d c_t}{P_{\max}} \tag{4.13}$$

值得注意的是，臺北都會區捷運規劃手冊[13]在計算列車服務班距時，係假設乘載水準為 5 prs/m^2，主要是基於空間規劃的考量，另外，也考慮到列車乘載的變異以及旅客流量的變異情形，以比較保守的方式來計算。若設計的乘載水準為 7 prs/m^2，而採用 5 prs/m^2 來規劃服務班距，以整列車的容量來換算（包含座位及立位），此隱含乘載變異

因子ρ_d為0.75。而事實上，第三章的分析顯示，臺北高運量捷運系統的乘載變異因子可高達0.85的水準，因此應用時，可以根據分析的需要來設定。

另外，由於服務班距的大小攸關系統的服務水準，有時候為了提高服務水準，可能會縮短班距，此時可利用式(4.14)反算列車容量。根據計算出來的列車容量，重新調整乘載水準以及列車編組長度，最後再反覆計算列車的服務班距。

$$c_t = \frac{P_{\max}}{\rho_d f_t} = \frac{P_{\max} h_e}{3600\rho_d} \tag{4.14}$$

式中：h_e=期望的列車服務班距（s）

以高雄捷運系統為例，系統設計允許六車編組，但若採用六車編組營運，由於目前運量太低，可能導致服務班距過程，因此初期是採用三車來營運，以縮短營運班距，提高服務水準。

4.2.5 設計路線容量的決定

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

$$C_l = \frac{f_t}{\eta} = \frac{P_{\max}}{\eta\rho_d c_t} \tag{4.15}$$

而目標年的設計班距則為

$$h_{l,\min} = \frac{3600}{C_l} = \frac{3600\eta\rho_d c_t}{P_{\max}} \tag{4.16}$$

至於系統是否可以達到設計班距的水準，可利用第 4.1 節的容量分析架構，評估方案的平均運轉時隔是否可以達到$h_{l,\min}$的水準，方能確定方案的內容。

4.2.6 車隊規模的計算

在捷運列車營運規劃作業中，其中很重要的一項工作是計算列車的數量。所需營運的列車數，與列車的全程往返時間以及營運班距有關。全程往返時間愈長或營運班距愈短，所需的列車數愈多；反之，列車數則較少。

原則上，除了收班之外，捷運列車抵達終點站之後會原車折返繼續營運，而不會進入機廠整備，亦即線上營運列車會一直循環運用。假設列車全程往返時間為T_r，則每一列車經過T_r的時間之後，即可重新再運用，如圖 4-3 所示，故若列車的服務班距為h_t，則所需的營運列車數為

$$N_o = \frac{T_r}{h_t} \tag{4.17}$$

式中：N_o=營運所需的列車數（TU）

T_r=列車全程往返時間（s）

h_t=列車服務班距（s）

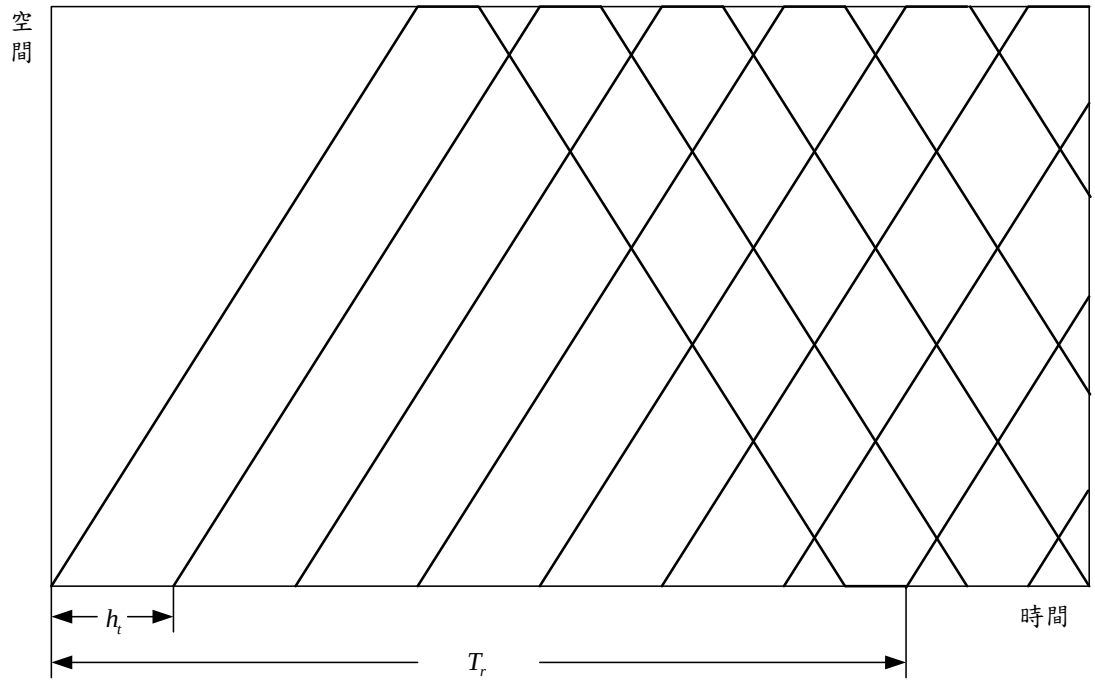


圖 4-3 列車循環運用時空圖範例

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

$$T_r = 7200\frac{L_s}{\overline{V}} + t_1 + t_2 \tag{4.18}$$

式中：L_s=列車的營運路線長度（km）

$\overline{V}$=列車的平均營運速度（km/h）

t_1=列車在一端的端末車站之折返停留時間（s）

t_2=列車在另一端的端末車站的折返停留時間（s）

目前臺北高運量捷運系統係假設列車的平均營運速度為 34 km/h，此依時間包括列車於中間車站的停車時間（每站 25 秒），至於列車在端末車站的折返停留時間，若是經由剪式橫渡線折返，至少為 3 分鐘，若是經過中央避車線折返，則至少為 5 分鐘。

除了營運列車數之外，營運機構通常必須保留一些備用車輛，以因應列車臨時故障或進廠維修時仍能維持正常營運。有關列車備用率，與系統的可靠度、可維修度、可用度等有關，臺北高運量捷運系統建議採用 10%，中運量系統則為 15%，這些比例可以視需要來調整。假設備用車輛的比例為γ，則備用列車數為

$$N_r = \gamma N_o \tag{4.19}$$

式中：N_r=備用列車數（TU）

N_o=營運所需的列車數（TU）

γ=列車備用率

營運列車與備用列車的總和，即為車隊規模（Fleet Size），計算如下：

$$N_t = N_o + N_r = N_o + \gamma N_o = (1+\gamma)N_o \approx \frac{N_o}{1-\gamma} \tag{4.20}$$

上式求得的列車組數可能包括小數，但列車為整數單位，因此計算結果必須無條件進整。

第五章 鐵道容量分析程式

本章介紹都會捷運系統容量分析軟體，並對該軟體的安裝與使用作進一步說明，為了讓使用者便於按本手冊操作軟體，針對電腦軟體介面所用到的字詞皆以黑體括號【】標記之；若屬於連續的單擊動作則以→符號串接；若屬於選單 Menu 的操作則以 | 符號加以分隔。

5.1 軟體簡介

本軟體之中文名稱為「都會捷運系統容量分析軟體」，英文名稱為 Urban Rapid Transit Capacity Software，簡稱 URTCS，包含「路線容量分析」和「營運規劃分析」兩個模組。本節介紹本軟體之特色、版權以及執行環境需求。

5.1.1 軟體特色

本軟體的主要特色說明如下：

1. 以 Microsoft Windows 為執行平臺

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

2. 圖形化使用介面

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

3. 正體中文語系

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

4. 預設參數

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

5. 參數合理性檢查

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

6. 即時解說資訊

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

7. 考量多種空間參考點

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

8. 敏感度分析

可針對重要的參數進行敏感度分析，作為未來進行容量改善計畫之參考。

9. 運轉規劃分析

本軟體除了可進行容量分析，另外提供運轉規劃模組，可進行最大營運班距和車隊規模之計算。

5.1.2 版權宣告

本軟體之智慧財產權屬於交通部運輸研究所（以下簡稱本所），並且受著作權法及國際條約之保護。取得授權者僅有在授權範圍內使用本軟體之權限。

取得授權者不得將本軟體及其相關資料或其複製品自行或使第三人以任何方式出售、出租、改作，讓與、占有移轉、借貸或提供擔

保之用途。同時不得自行或使第三人將本軟體更改、解編(Decompile)、反向組譯(Disassemble)、軟體還原工程(Reverse-Engineer the Software)。

本軟體及其相關資料雖經本所測試及審查以證明其原有之樣態，但本所並不保證其品質、性能、商品性及適當性或適於其他任何特殊用途。取得授權者須自行承擔其全部風險。

本所或本所之供應商均不負其他因使用或無法使用本軟體所衍生損害（包括但不限於營業收入之損失、營業之中斷、營業資料之遺失或其他金錢之損失）之賠償責任；即使事前已先通知本所可能有前述損害發生者，本所所應負賠償之責任亦僅限於取得授權者對本軟體所支付之實際價款（若為無償取得者，賠償價款為零）。

5.1.3 執行環境需求

為方便將來進行推廣與應用，執行軟體的環境需求不應太高，其需求如下：

1. 桌上型個人電腦或筆記型個人電腦
2. Intel Pentium 或其他 x86 架構相容處理器
3. 64MB 以上記憶體
4. 30MB 以上硬碟剩餘空間
5. 具備鍵盤、滑鼠等輸入裝置
6. 螢幕解析度至少為 1024x768 pix
7. 安裝程式之媒介可為網路、光碟機或 USB 裝置
8. Microsoft Windows NT/2000/XP/Vista/7/8.1/10 作業系統(目前軟體雖然尚未在 Windows 7/8.1/10 作業系統上充分測試)
9. .NET Framework 2.0

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

5.2 軟體安裝與移除

本軟體在開發之前就以低系統需求為目標來規劃設計，故可在絕大多數政府部門、教育機關、鐵道營運機構、顧問公司等單位的個人電腦上安裝與執行。本節將會介紹軟體之安裝、執行與移除程序。

5.2.1 安裝程序

請以具本機「Power Users」群組權限（含以上）的身分登入作業系統後執行安裝程式。以滑鼠雙擊圖 5-1 之「SETUP」檔案啟動安裝程序。

圖 5-1 安裝程式瀏覽

在 Windows XP 系統中權限不足者，使用者可在「SETUP」上按滑鼠右鍵選擇【執行身分】，以較高權限執行安裝程序（如圖 5-2）。

圖 5-2 利用【執行身分】以較高權限安裝程式

欲使用其他身分安裝程式時，需要進行密碼驗證，請在圖 5-3 的介面中輸入帳號與密碼，若無帳號與密碼資訊，請洽電腦系統的管理員。

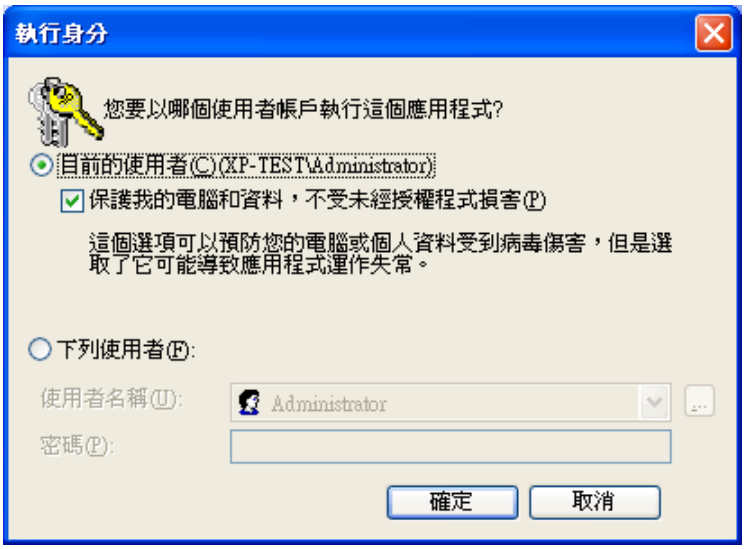


圖 5-3 以其他身分安裝程式時輸入帳號與密碼

安裝程式的初始畫面如圖 5-4，請按【下一步】。接著畫面會如圖 5-5 出現授權合約，在選擇【我同意】後才可按【下一步】。

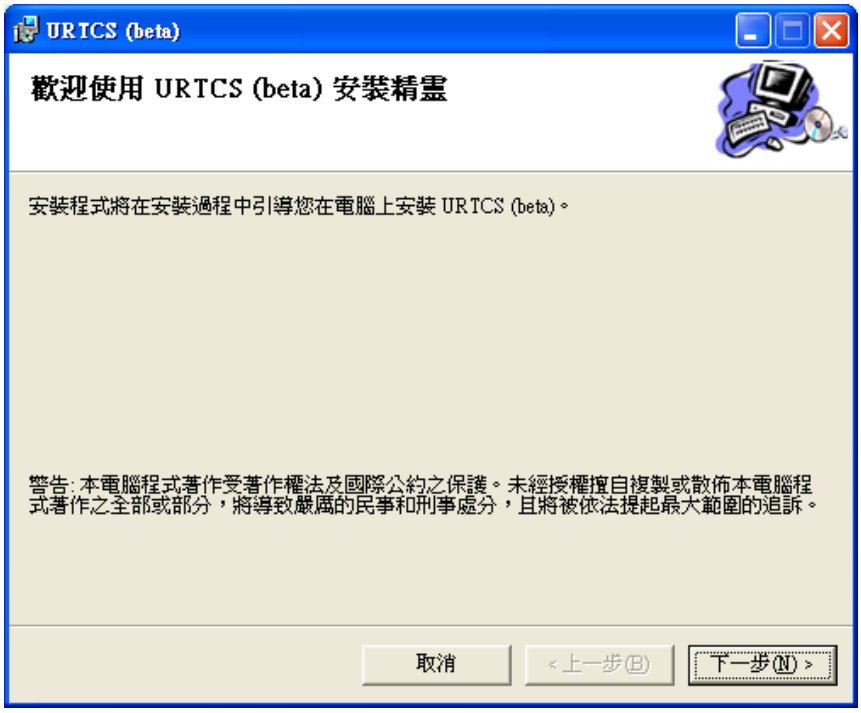


圖 5-4 程式安裝畫面－啟動安裝精靈

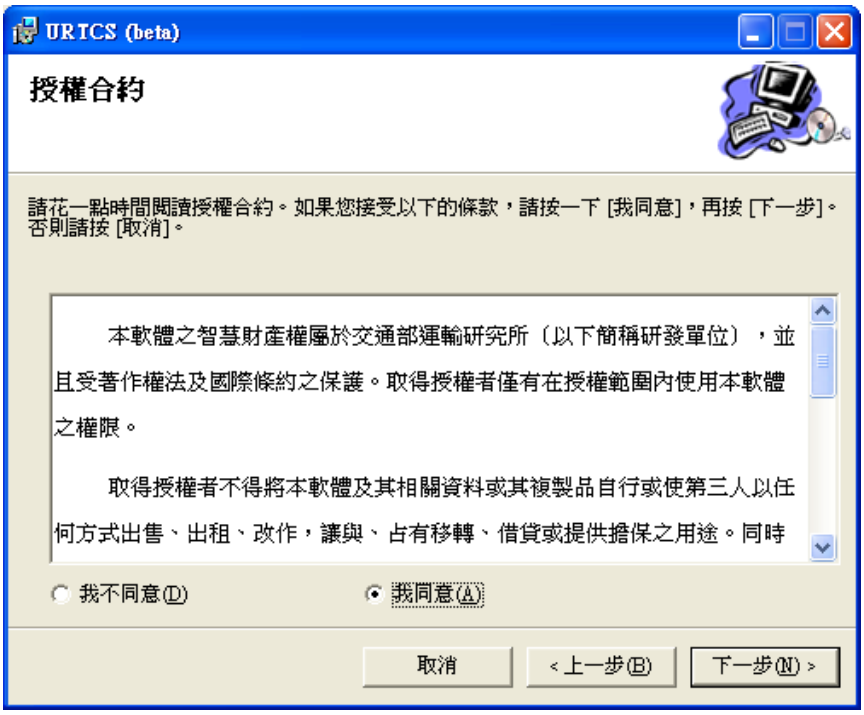


圖 5-5 程式安裝畫面－授權合約

同意授權合約後，需輸入客戶資訊，如圖 5-6，完成輸入後按【下一步】繼續。

圖 5-6 程式安裝畫面－客戶資訊

在圖 5-7 會顯示系統預設的安裝路徑，欲調整路徑可直接鍵入路徑或按【瀏覽】鍵以圖 5-8 指定路徑，或按【磁碟空間】檢視目前電腦各分割區之剩餘空間（如圖 5-9），完成後按【下一步】繼續。

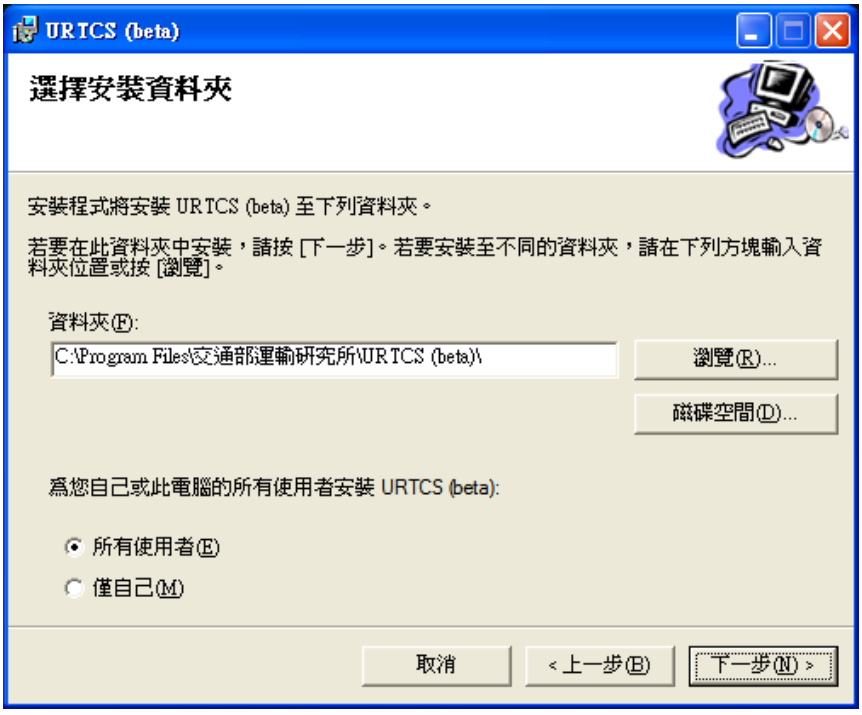


圖 5-7 程式安裝畫面－選擇安裝資料夾

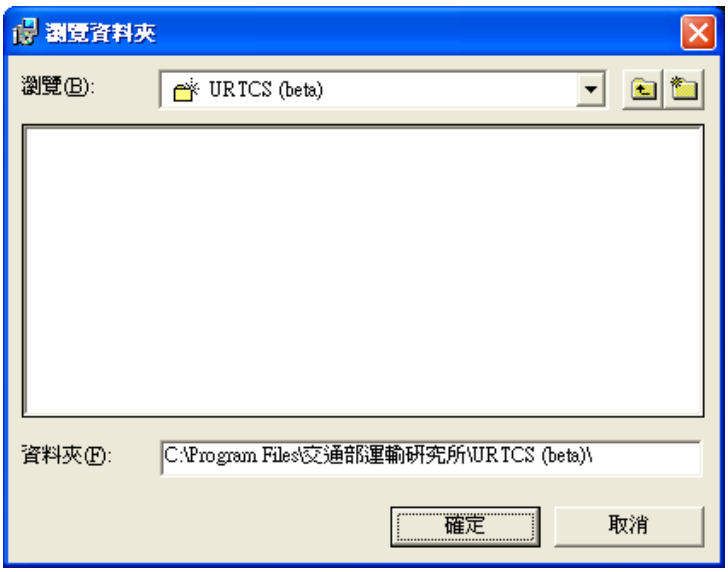


圖 5-8 程式安裝畫面－自行指定安裝資料夾

圖 5-9 程式安裝畫面－檢視磁碟剩餘空間

在程式開始正式安裝之前，會以圖 5-10 讓使用者確認，按【下一步】之後，精靈會自動安裝並呈現圖 5-11，完成安裝後則顯示圖 5-12。

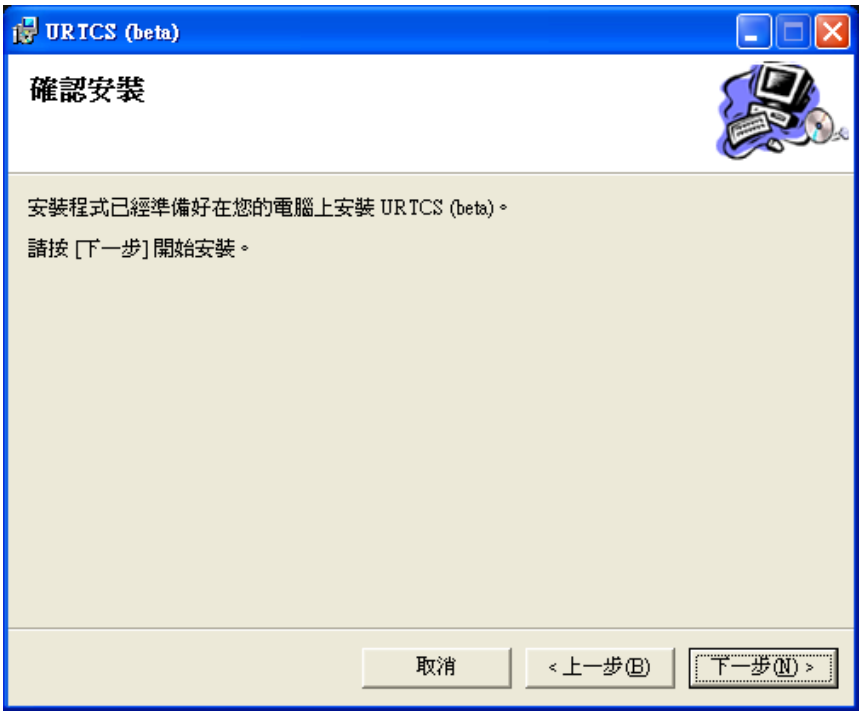


圖 5-10 程式安裝畫面－確認安裝

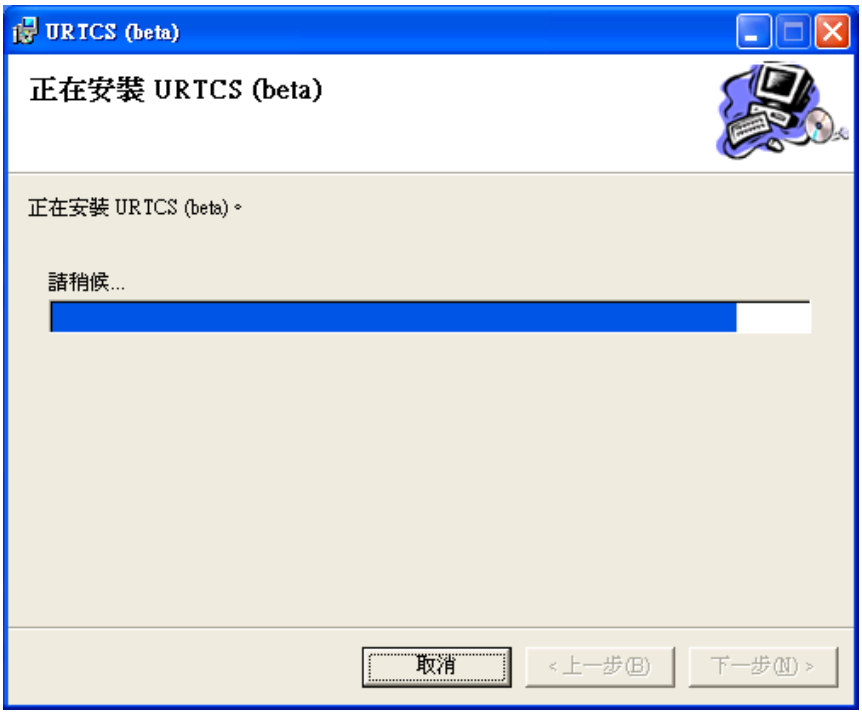


圖 5-11 程式安裝畫面－安裝過程

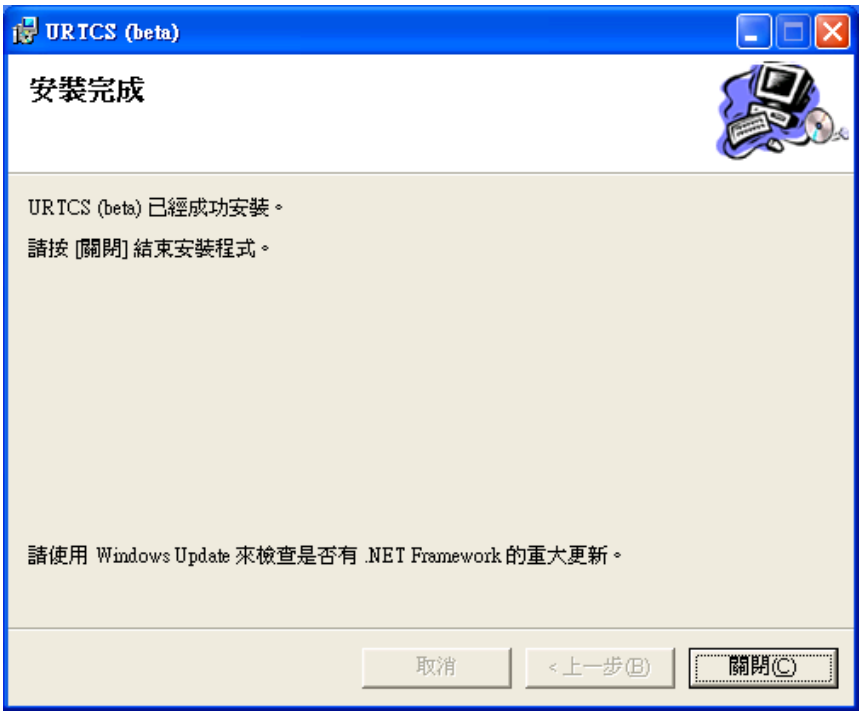


圖 5-12 程式安裝畫面－完成安裝

5.2.2 移除程序

欲移除軟體時，請先執行【開始】→【控制台】→【新增/移除程式】（如圖 5-13），經挑選本程式（如圖 5-14）後按【移除】鈕會出現如圖 5-15 的對話盒，待確認後，軟體將在系統中移除。

圖 5-13 程式移除程序－控制台

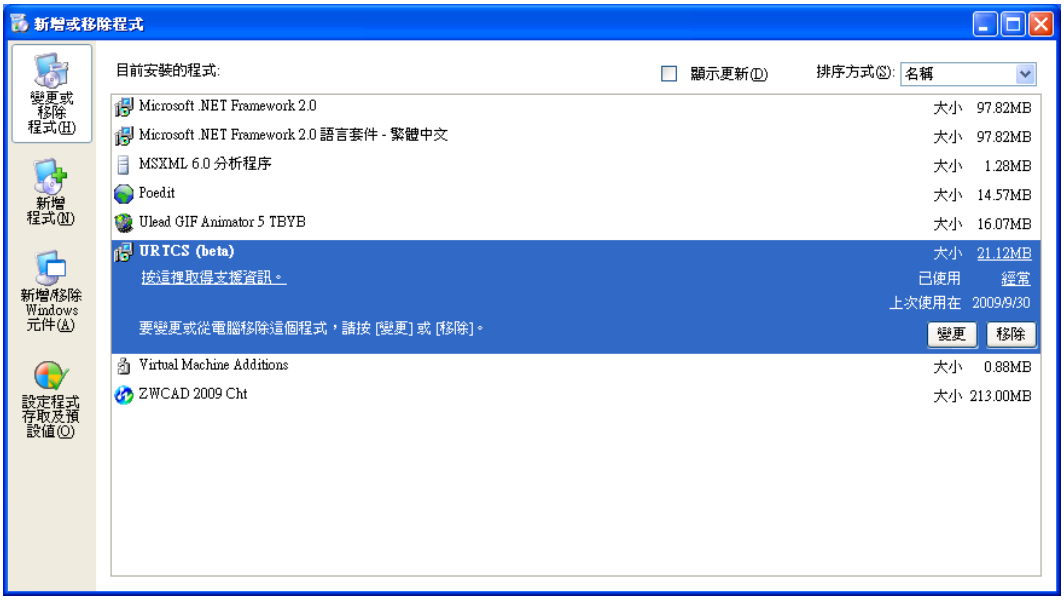


圖 5-14 程式移除程序－新增/移除程式

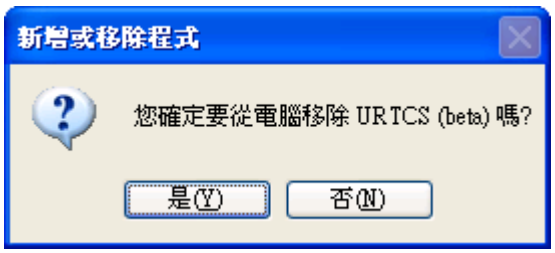


圖 5-15 程式移除程序－確認移除程式

在執行的過程中，若點選【按這裡取得支援資訊】，系統會跳出圖 5-16 之畫面，同時在電腦能存取安裝程式的前提下，可利用【修復】按鈕來重新安裝程式。

圖 5-16 支援資訊

5.3 路線容量分析模組

5.3.1 操作環境

路線容量分析模組啟動後之主視窗如圖 5-17，除了一般應用程式幾乎都包含的標題列、功能表、工具列與狀態列等基本元件外，本軟體以三個區域呈現容量分析所需的三類參數，分別為全域參數、列車參數和空間參考點參數。各元件之功能說明如下：

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

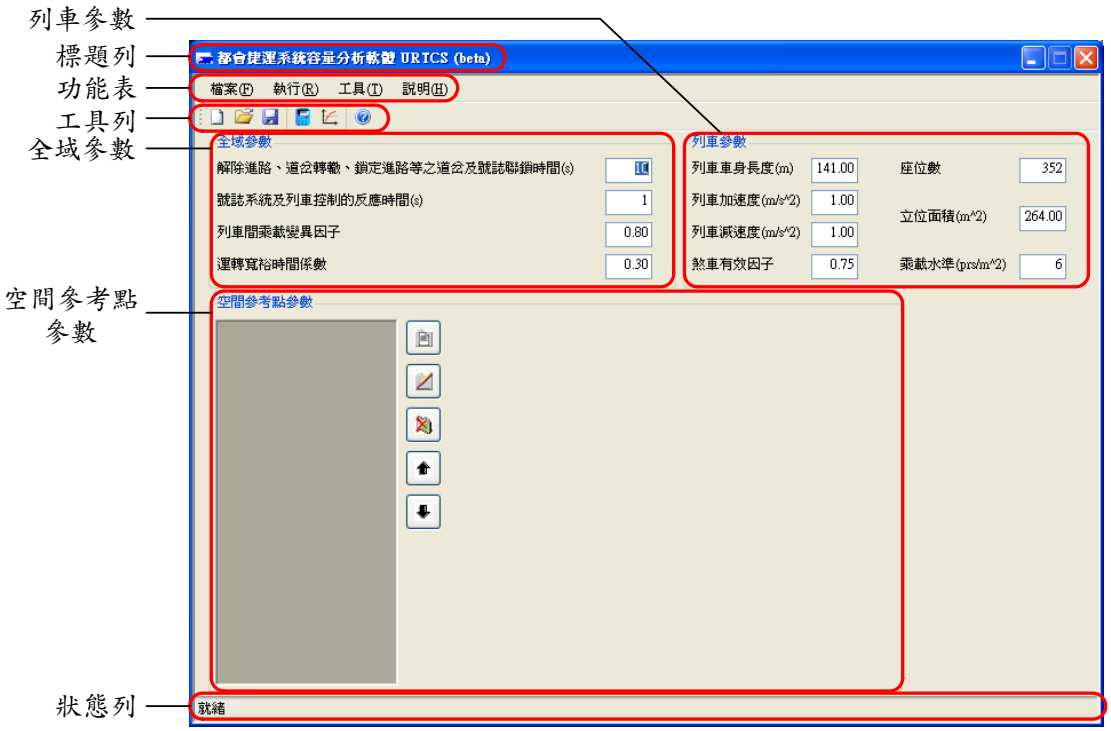


圖 5-17 路線容量分析模組操作環境

5.3.2 檔案管理

路線容量分析模組檔案之副檔名為「urc」，以下說明如何新增、儲存與開啟本程式的檔案：

1. 新增檔案

當程式開啟的同時，即會產生一份新的檔案供使用者使用。此外，點選功能表上【檔案|新增】，或按工具列上之【】按鈕，皆可新增檔案。若原先開啟的檔案經過使用者編修，且尚未儲檔，便會提示使用者儲存檔案。

2. 儲存檔案

要儲存目前的檔案，請點選功能表上【檔案｜儲存】或按工具列上之【】按鈕。若是新檔案第一次存檔，程式會以圖 5-18 之對話盒來協助使用者儲存，透過對話盒選定路徑與指定檔名後，按【儲存】按鈕完成存檔動作。

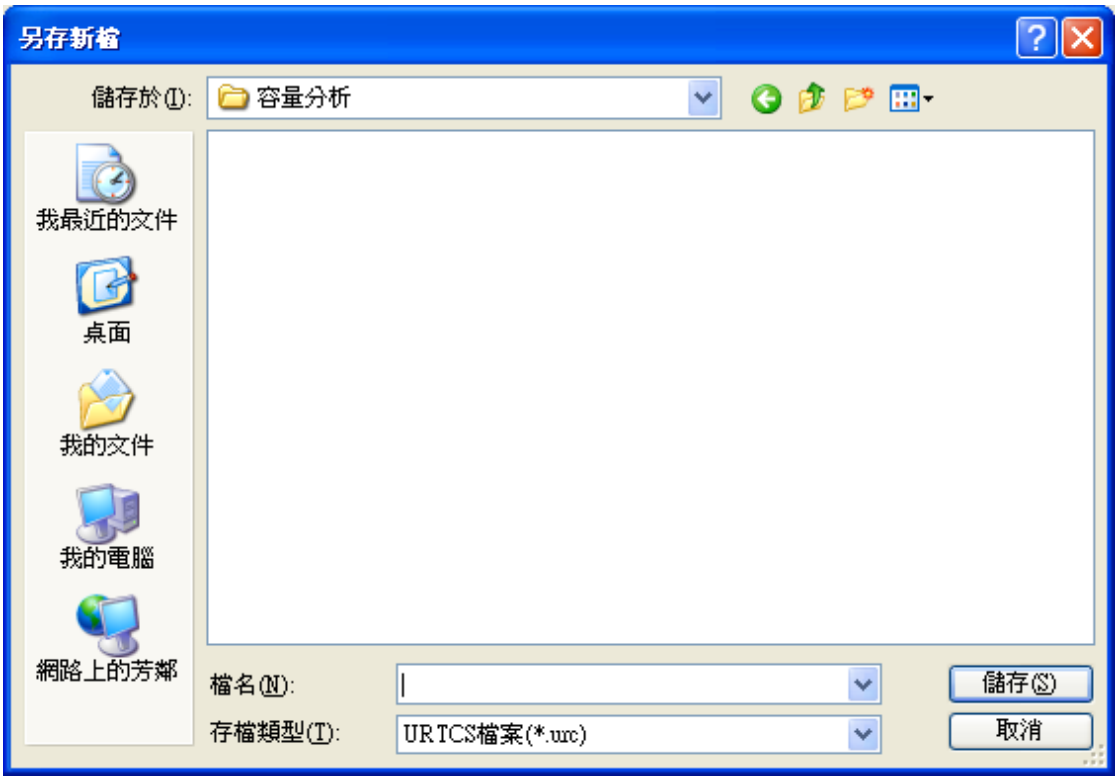


圖 5-18 儲存檔案對話盒

3. 開啟檔案

如欲開啟之前儲存的檔案，可以點選功能表上【檔案｜開啟】或按工具列上的【】按鈕。程式會出現開啟舊檔對話盒，如圖 5-19，選定欲開啟之檔案的路徑與檔名，按下【開啟】即可完成開檔。若原先開啟的檔案經過使用者編修，且尚未存檔，便會提示使用者儲存檔案。

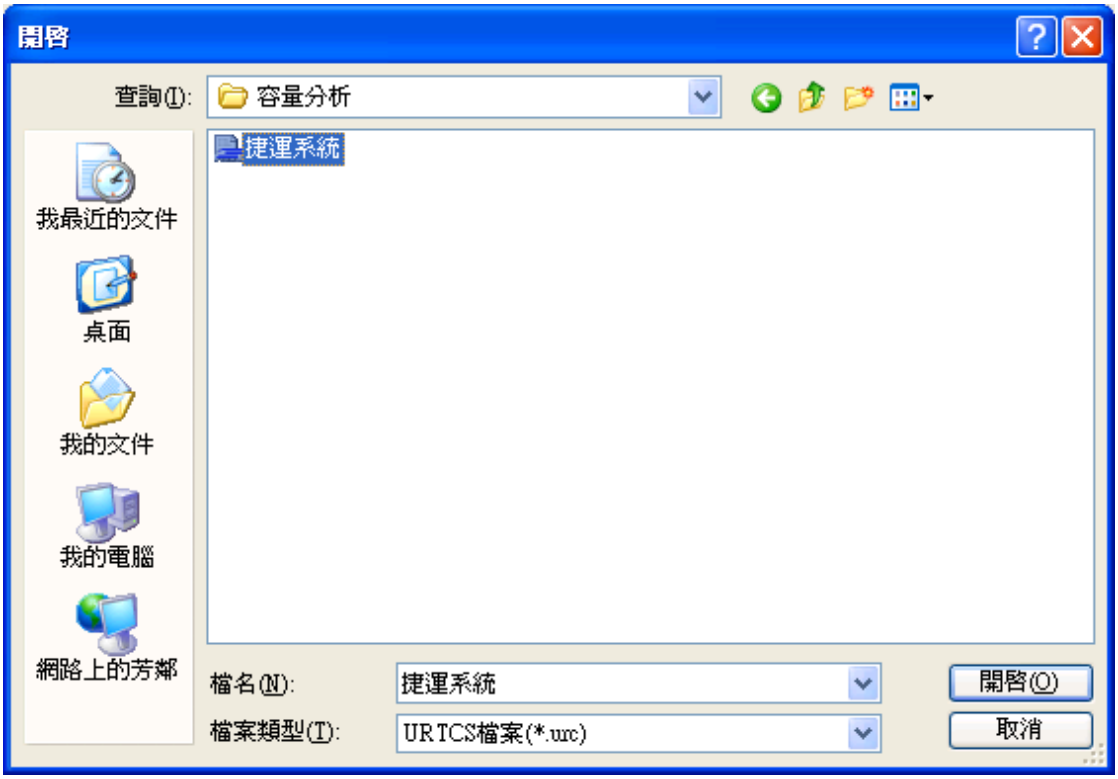


圖 5-19 開啟舊檔對話盒

5.3.3 設定全域參數

全域參數的設定介面如圖 5-20，使用者可直接在此介面中設定全域參數，其中解除進路、道岔轉轍、鎖定進路等之道岔及號誌聯鎖時間，與軌道電路、號誌及轉轍器等聯鎖設備的設計有關；至於號誌系統及列車控制的反應時間，則包含解除閉塞、清除號誌、訊號傳送，以及超速控制、煞車系統的反應時間等，各參數之型態與單位如表 5.1。

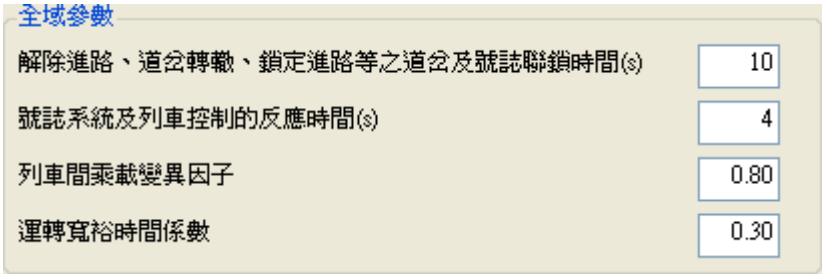


圖 5-20 全域參數設定介面

表 5.1 全域參數之型態與單位

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

5.3.4 設定列車參數

圖 5-21 為列車參數設定介面，和全域參數設定的方式相同，亦是直接在主視窗中進行設定，各參數之型態與單位如表 5.2，其中座位數和立位面積應輸入全列車各節車廂之加總。

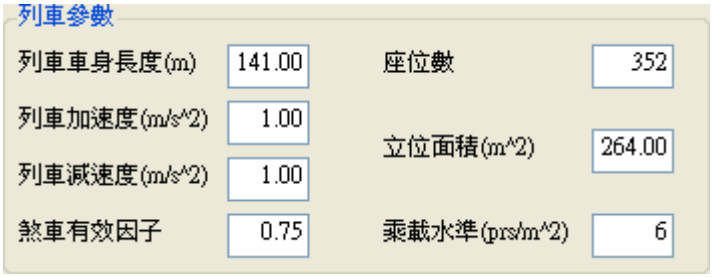


圖 5-21 列車參數設定介面

表 5.2 列車參數之型態與單位

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

5.3.5 設定空間參考點參數

本軟體可對多個不同型式之空間參考點進行容量分析，在圖 5-22 的介面中提供各項功能供使用者設定空間參考點：

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

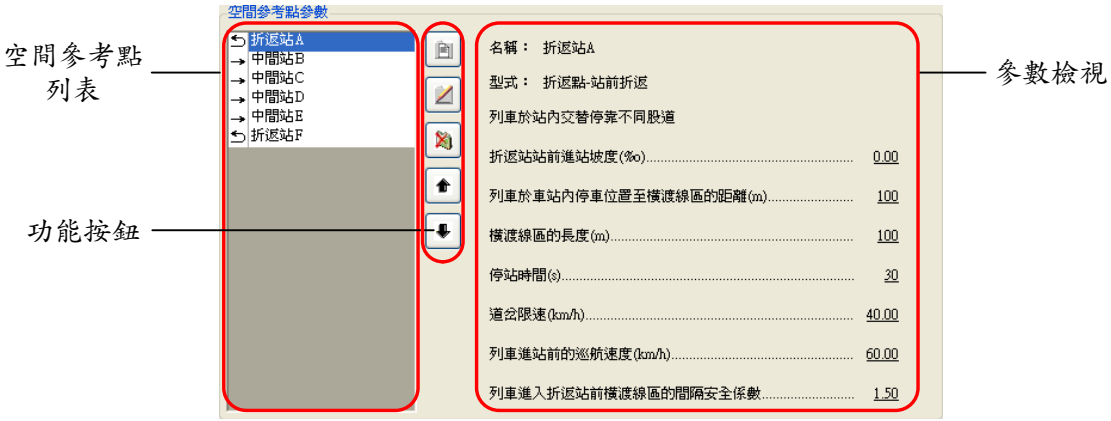


圖 5-22 空間參考點管理介面

當使用者從空間參考點列表中選擇任何一個空間參考點，參數檢視區中會顯示該空間參考點之各項參數。而功能按鈕中的五個按鈕，

如圖 5-23 所示，分別為「新增」、「編輯」、「刪除」、「上移」和「下移」按鈕，以下逐一介紹其功能。

圖 5-23 空間參考點管理功能按鈕

5.3.5.1 新增空間參考點

欲新增空間參考點，請按照下列步驟：

1. 按下【 】按鈕，程式會出現圖 5-24 之介面，右方可設定空間參考點的名稱、型式及其他各項參數，而左邊則有一輔助圖形可幫助使用者進行參數的設定。
2. 在輸入新增的空間參考點之各項參數後，按下【確定】即完成新增動作。

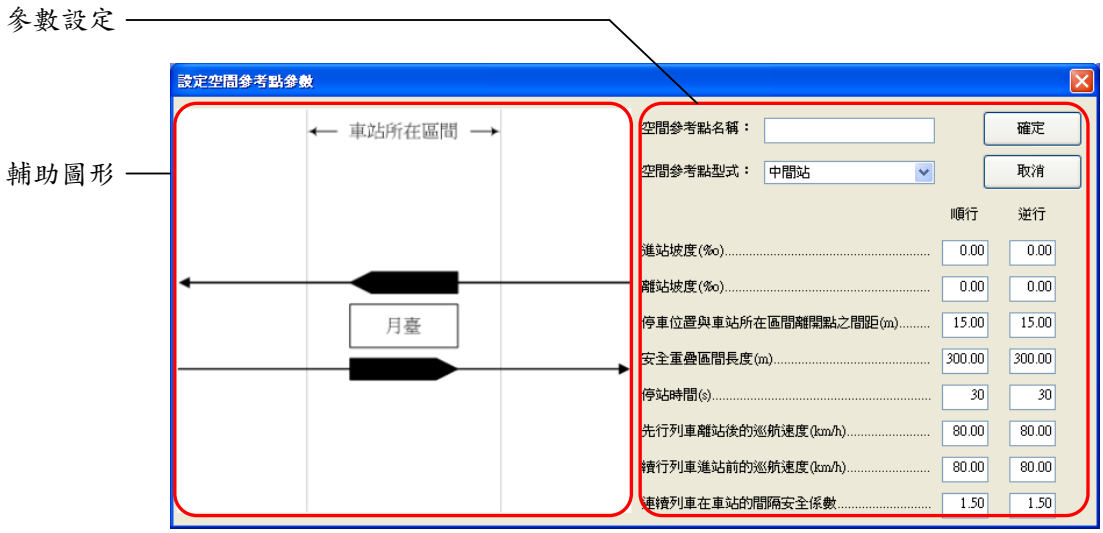


圖 5-24 空間參考點參數設定介面

由於不同型式的空間參考點之參數迥異，因此介面亦會隨著空間參考點之型式而略有變化，其設定介面、參數之型態與單位彙整如表 5.3。

表 5.3 空間參考點型式與參數設定介面彙整表

空間參考點型式	參數設定畫面	參數之型態與單位
中間站	見圖 5-25	見表 5.4
折返站－站前折返	見圖 5-26	見表 5.5
折返站－站後折返	見圖 5-27	見表 5.6
折返站－中央避車線折返	見圖 5-28	見表 5.7
銜接點	見圖 5-29	見表 5.8

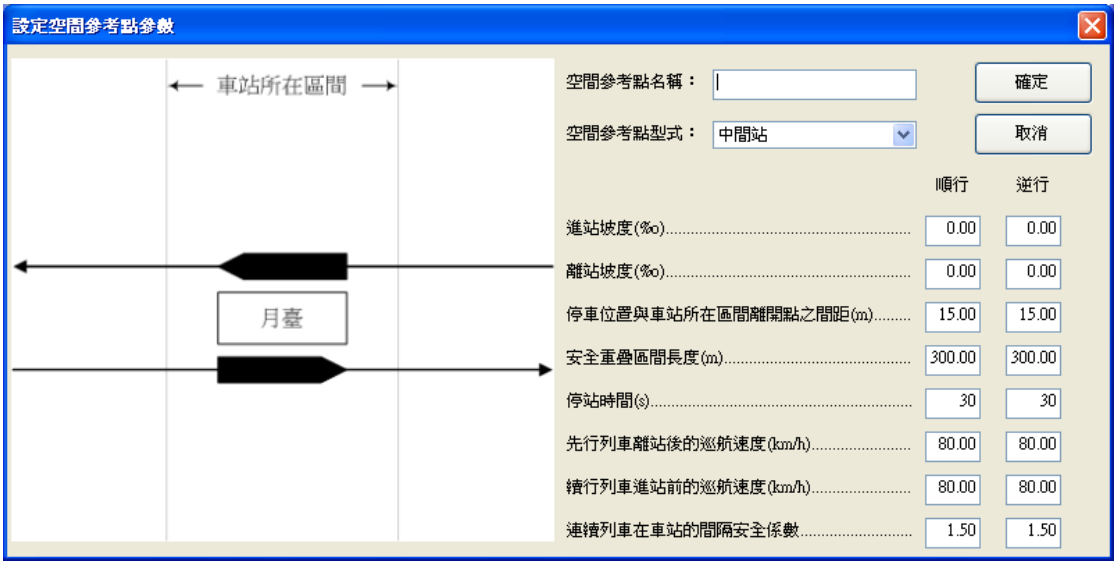


圖 5-25 中間站參數設定介面

表 5.4 中間站參數之型態與單位

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

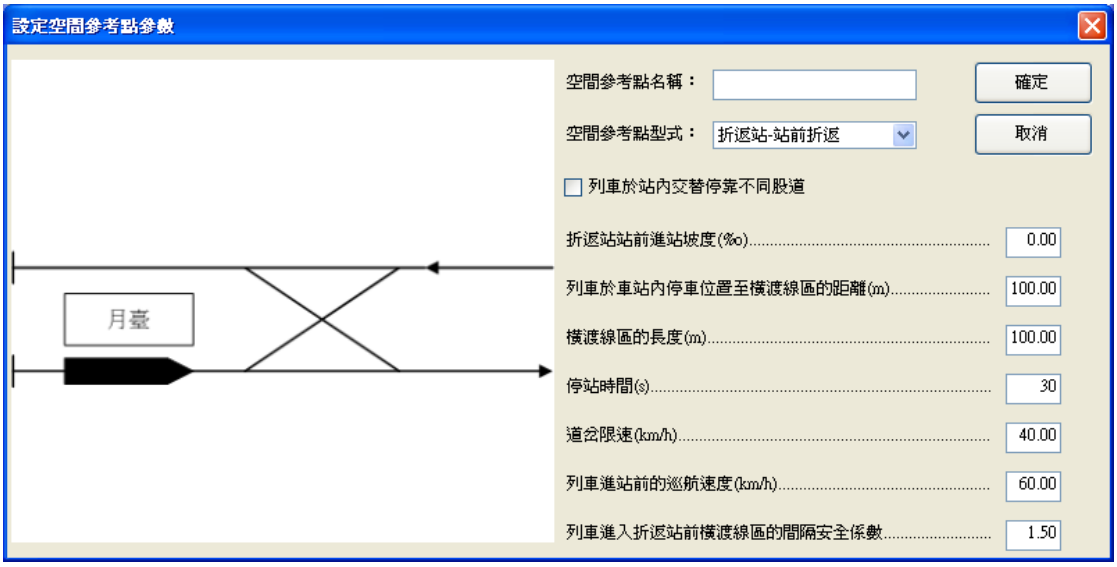


圖 5-26 站前折返參數設定介面

表 5.5 站前折返參數之型態與單位

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

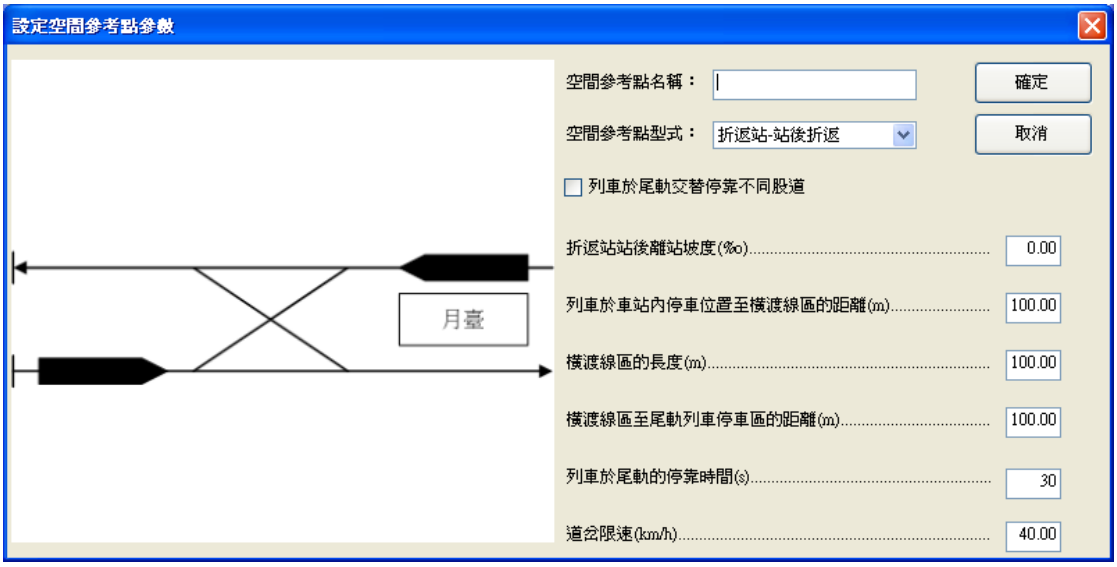


圖 5-27 站後折返參數設定介面

表 5.6 站後折返參數之型態與單位

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

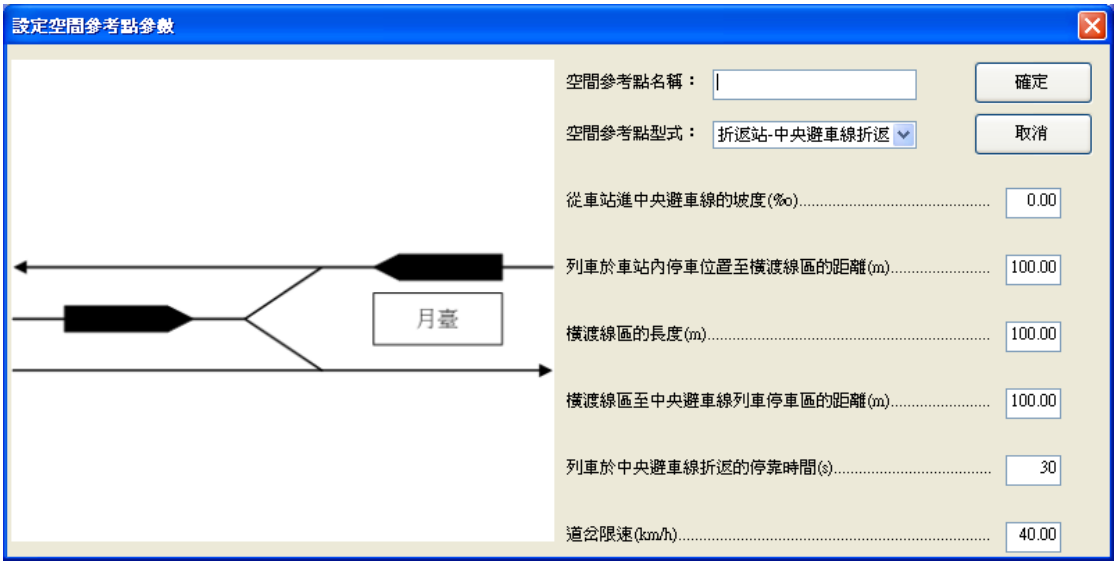


圖 5-28 中央避車線折返參數設定介面

表 5.7 中央避車線折返參數之型態與單位

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

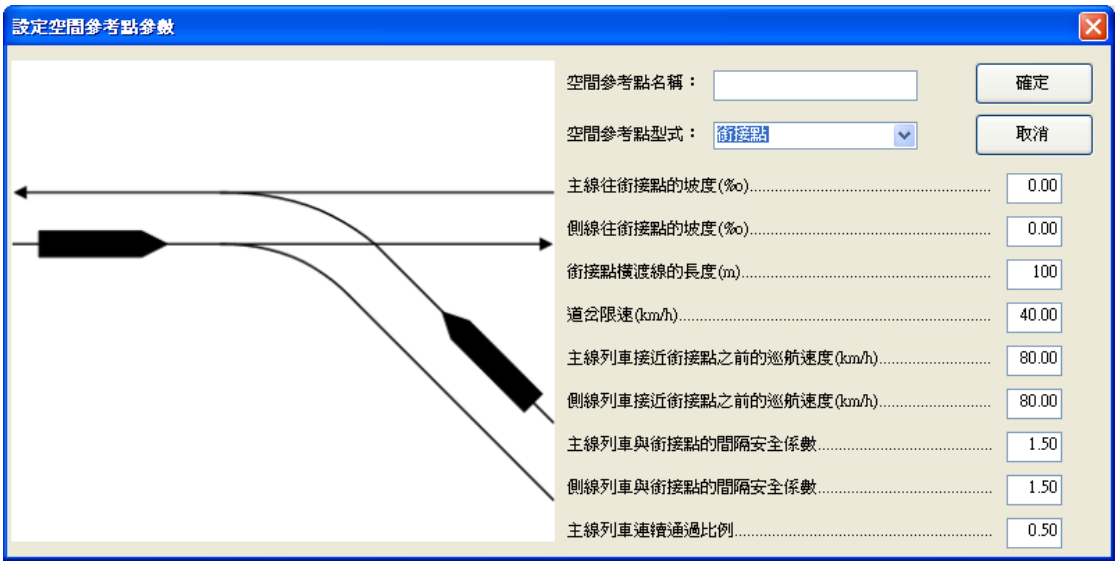


圖 5-29 銜接點參數設定介面

表 5.8 銜接點參數之型態與單位

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

5.3.5.2 編輯空間參考點

欲編輯空間參考點之參數，請按照下列步驟：

1. 從圖 5-22 的空間參考點列表中選取欲編輯的空間參考點。
2. 按下【 】按鈕，程式會出現圖 5-24 之介面，其內容為所選取的空間參考點之參數設定值。
3. 編輯空間參考點參數後，按下【確定】即完成編輯動作。

5.3.5.3 刪除空間參考點

欲刪除空間參考點，請按照下列步驟：

1. 從圖 5-22 的空間參考點列表中選取欲刪除的空間參考點。
2. 按下【 】按鈕，程式會出現圖 5-30 之對話盒請使用者確認。
3. 按下【是】即完成刪除動作。

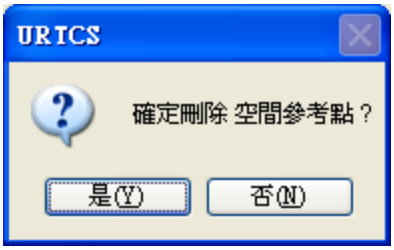
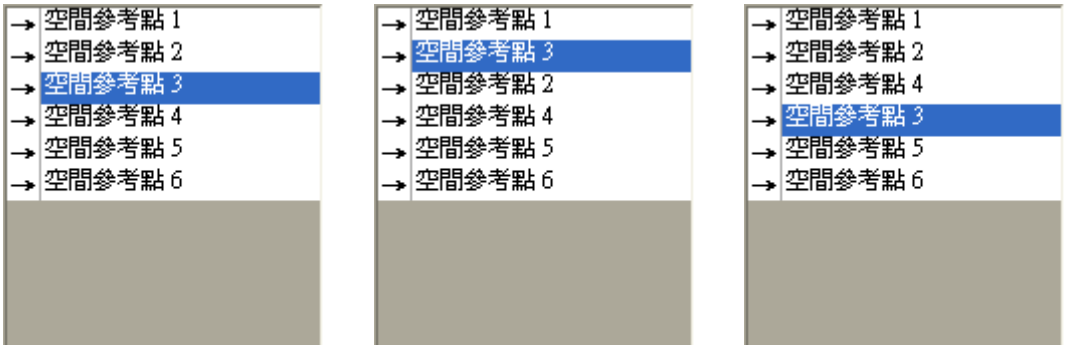


圖 5-30 刪除空間參考點之確認對話盒

5.3.5.4 變更空間參考點順序

欲變更空間參考點的排列順序，請按照下列步驟：

1. 從圖 5-22 的空間參考點列表中選取欲改變排列順序的空間參考點。
2. 按下【 】或【 】按鈕，可將該空間參考點上移或下移一個位置，如圖 5-31(b)或圖 5-31(c)。



(a) 原始排列順序 (b) 上移空間參考點 (c) 下移空間參考點

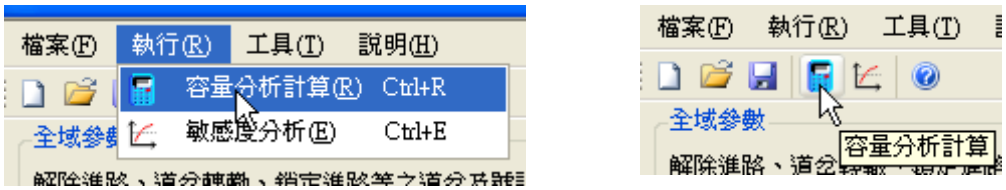
圖 5-31 變更空間參考點順序

5.3.6 分析計算

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

5.3.6.1 容量分析

欲進行容量分析計算，可從功能表選擇【執行｜容量分析計算】或直接按工具列上之【】按鈕（如圖 5-32），程式即開始進行容量分析，並在完成計算後自動顯示分析結果，如圖 5-33。



(a) 從功能表執行容量分析 (b) 從工具列執行容量分析

圖 5-32 執行容量分析計算

在容量分析結果介面中，提供了幾項功能供使用者檢視分析結果：

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

圖 5-33 容量分析結果介面

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

1. 容量分析結果彙整表

若選擇【彙整表】標籤，則結果檢視頁面如圖 5-34，上方顯示系統之路線容量瓶頸所在，下方表格則依序列出各空間參考點之名稱、設計班距、路線容量、設計容量與可達成容量。

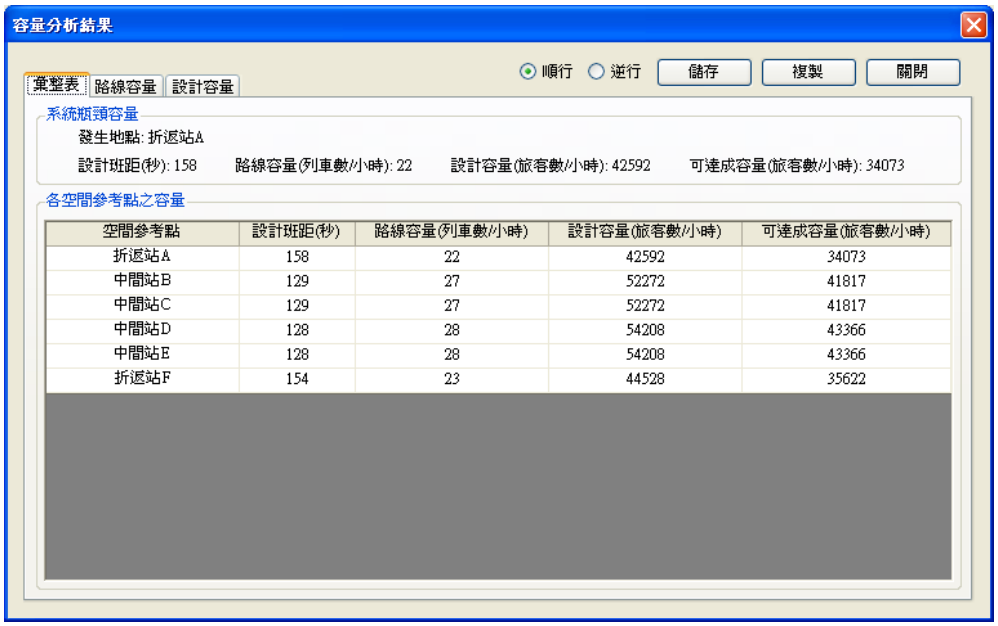


圖 5-34 容量分析結果彙整表

2. 路線容量結果直方圖

選擇【路線容量】標籤，結果檢視頁面會呈現如圖 5-35 之畫面，以直方圖的方式依序顯示各空間參考點的路線容量，而不同型式的空間參考點則以不同的顏色進行區分。

圖 5-35 路線容量結果直方圖

3. 設計容量結果直方圖

選擇【設計容量】標籤，則結果檢視頁面如圖 5-36 所示，以直方圖的方式依序顯示各空間參考點的設計容量，而不同型式的空間參考點則以不同的顏色進行區分。

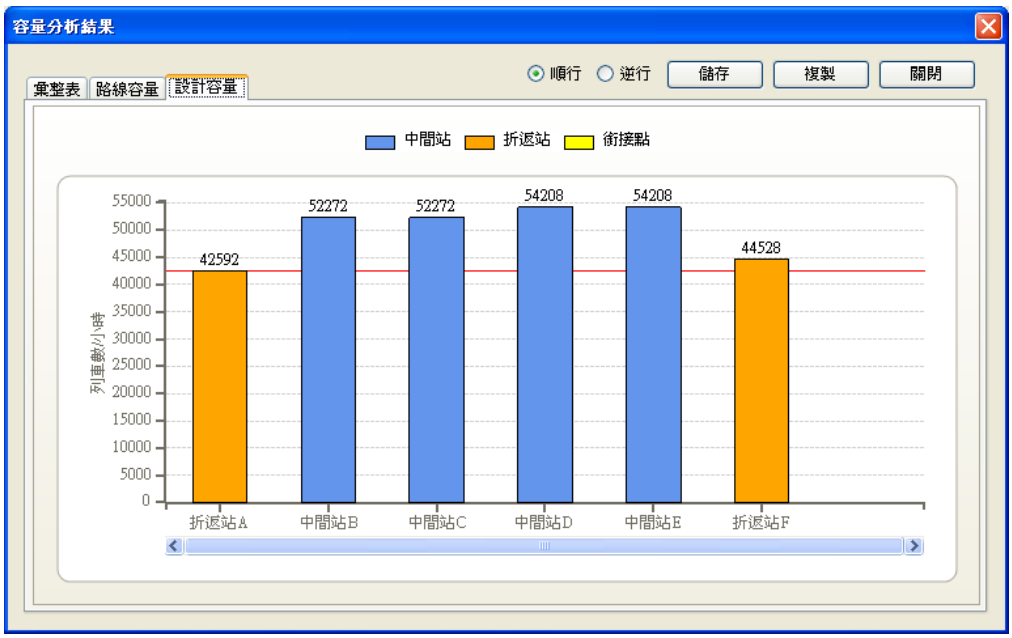
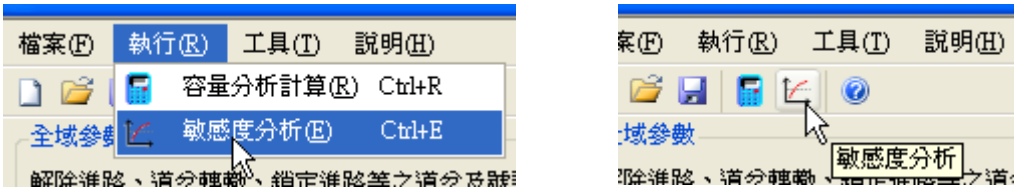


圖 5-36 設計容量結果直方圖

5.3.6.2 敏感度分析

欲進行敏感度分析，可從功能表選擇【執行｜敏感度分析】或直接按工具列上之【 】按鈕（如圖 5-37），會出現圖 5-38 之介面，分為下列幾個區域：

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



(a) 從功能表執行敏感度分析　　(b) 從工具列執行敏感度分析

圖 5-37 執行敏感度分析

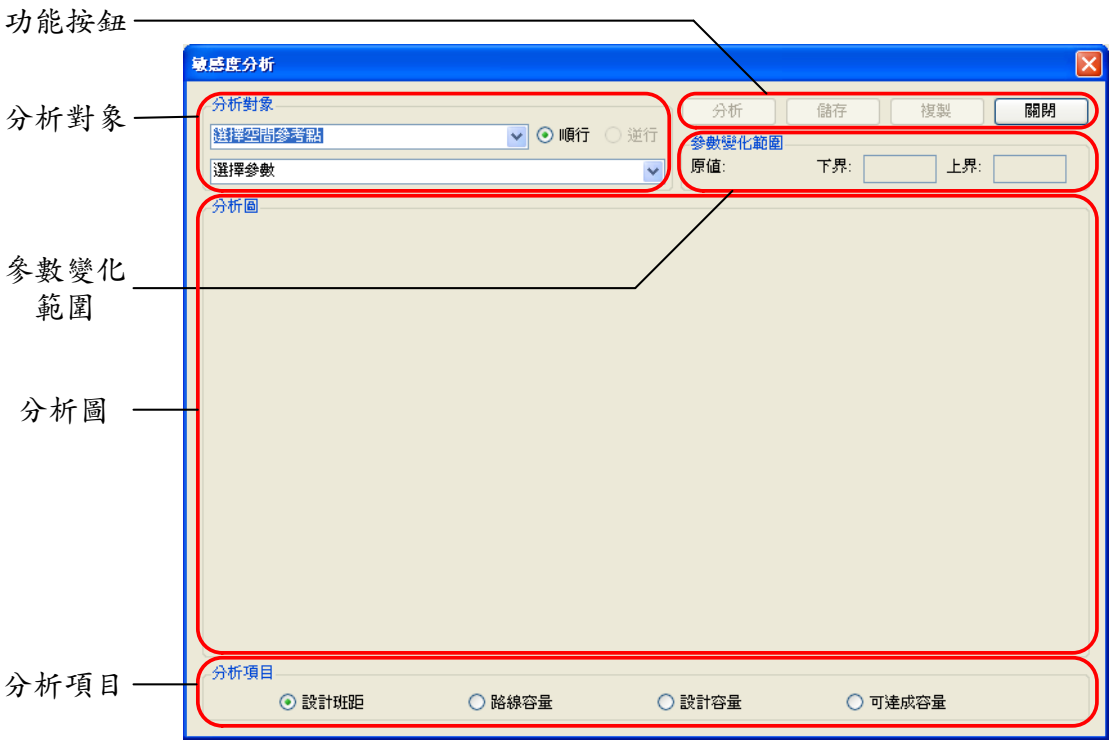
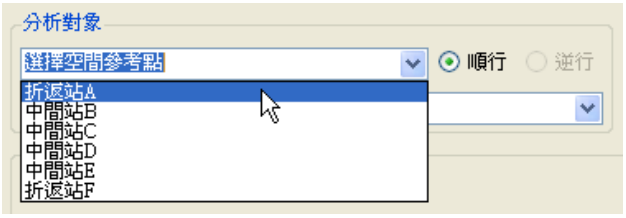


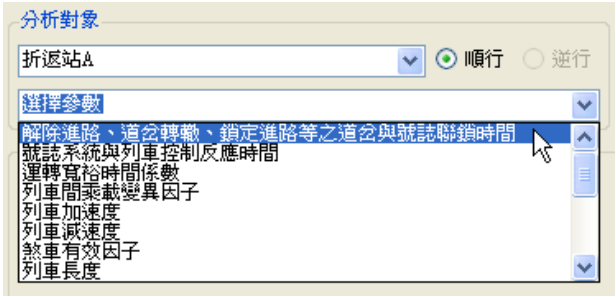
圖 5-38 敏感度分析介面

進行敏感度分析的操作步驟如下：

1. 挑選欲分析之空間參考點與參數，如 圖 5-39，若是中間站則還可選擇順／逆行方向。



(a) 選擇空間參考點



(b) 選擇分析參數

圖 5-39 選擇分析對象

2. 設定參數變化範圍，如圖 5-40。

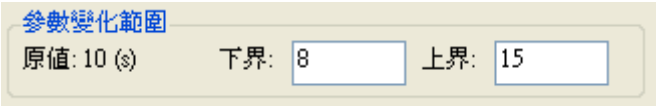


圖 5-40 自訂參數變化範圍

3. 按下【分析】按鈕，程式便開始進行敏感度分析，當分析完成，其結果會顯示於分析圖中，如圖 5-41 所示。

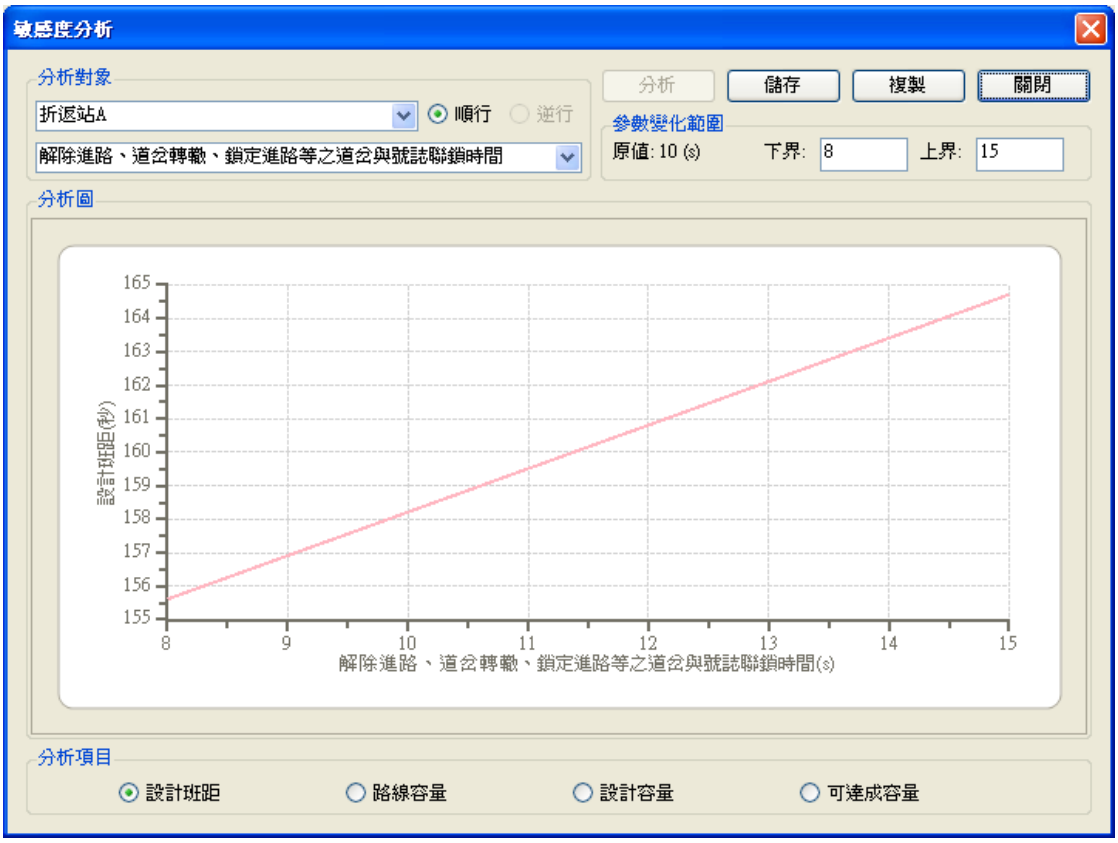


圖 5-41 敏感度分析結果

5.3.7 輸出結果

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

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

以下將分別介紹容量分析結果和敏感度分析結果的輸出方法。

5.3.7.1 輸出容量分析結果

欲輸出容量分析結果，請按照下列步驟：

1. 從容量分析結果介面（圖 5-33）中，透過頁面切換標籤選擇輸出的內容，如【彙整表】、【路線容量】或【設計容量】。
2. 按下容量分析結果介面右上方之【儲存】按鈕，若是輸出彙整表，則會出現圖 5-42 之對話盒；若是輸出路線容量或設計容量直方圖，則會出現圖 5-43 之對話盒，可選擇欲輸出的圖檔類型。
3. 指定路徑與檔名後按【儲存】完成輸出工作。
4. 若要將分析結果複製到剪貼簿中，按下容量分析結果介面右上方之【複製】按鈕，便可在其他軟體中（如 Microsoft Word, Microsoft Excel, Microsoft Visio 等）進行貼上動作，將結果資料拷貝至該軟體作其他應用。圖 5-44 為彙整表在 MS Excel 貼上之畫面，圖 5-45 為路線容量容量直方圖在 MS Word 貼上之畫面。

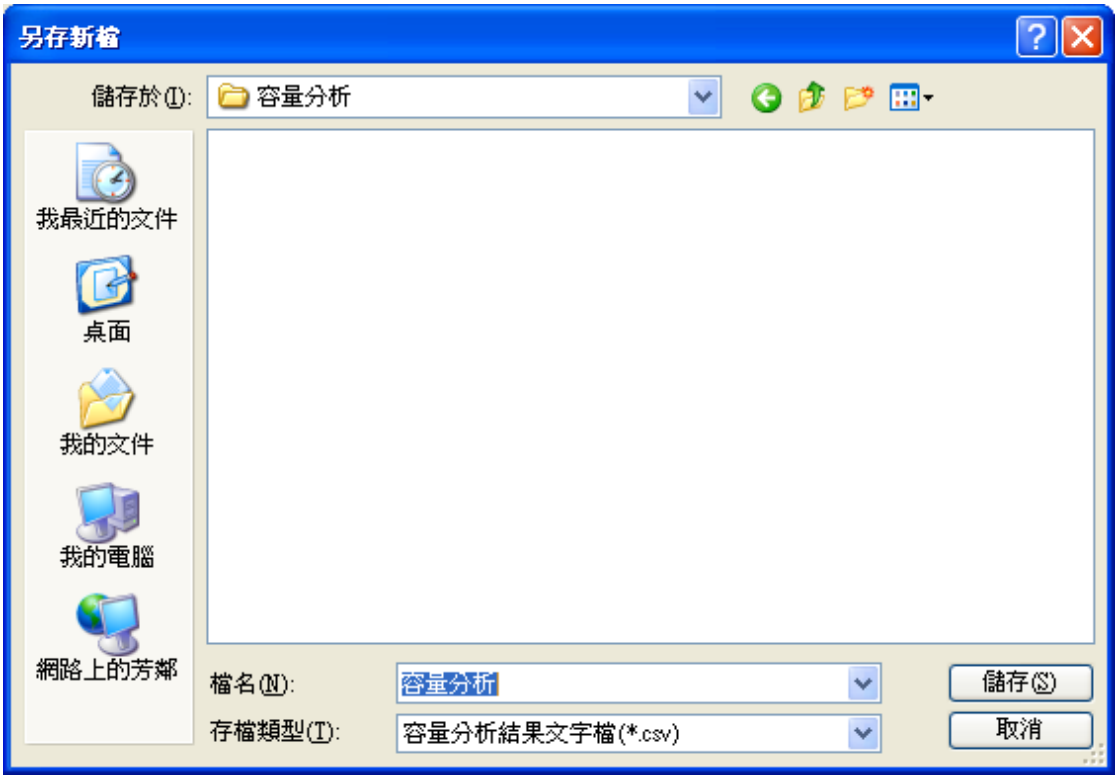


圖 5-42 儲存容量分析結果文字檔之對話盒

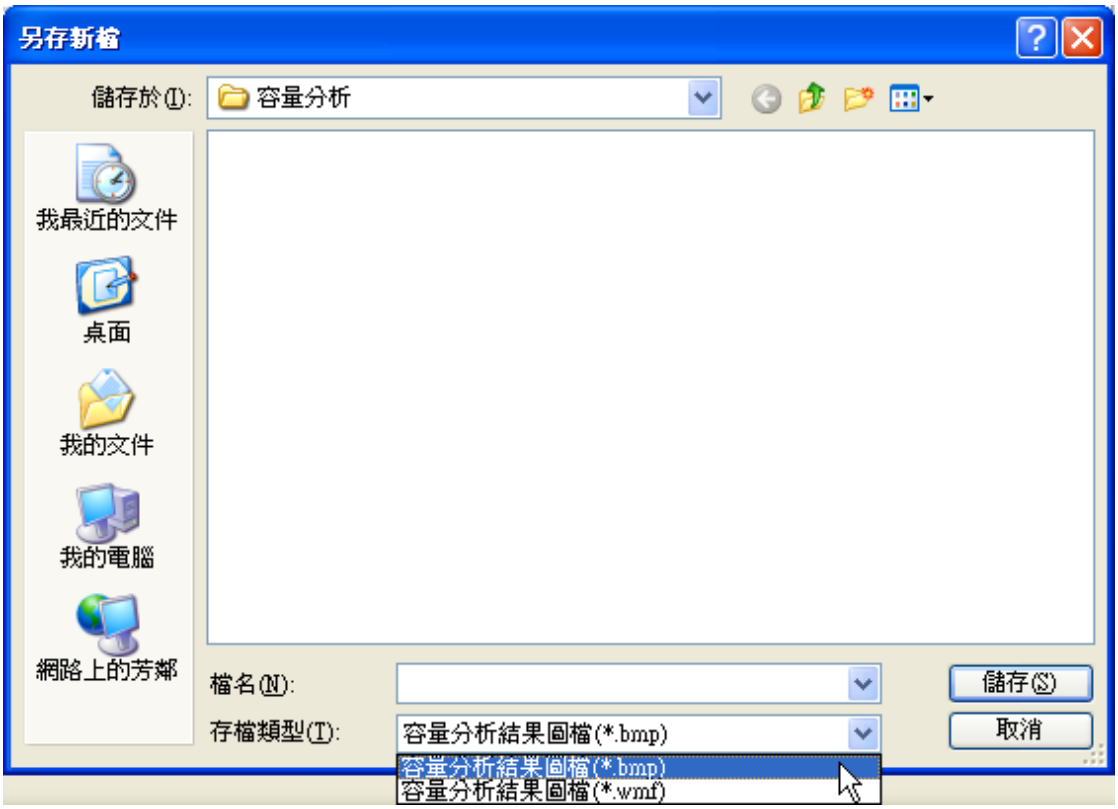
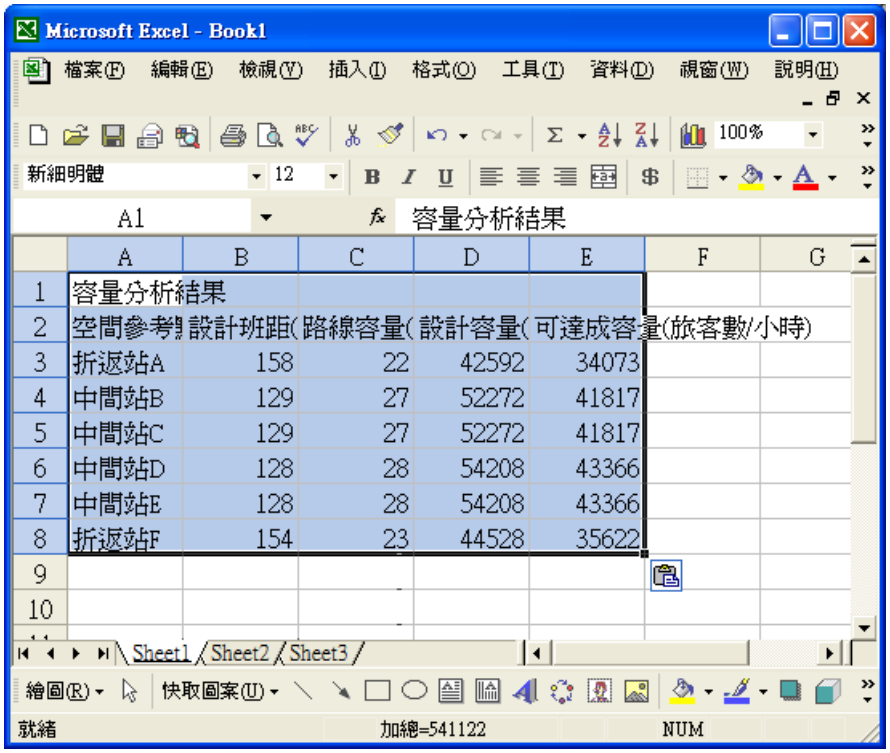


圖 5-43 儲存容量分析結果圖檔之對話盒



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

圖 5-44 以文字格式輸出至剪貼簿後於 MS Excel 貼上

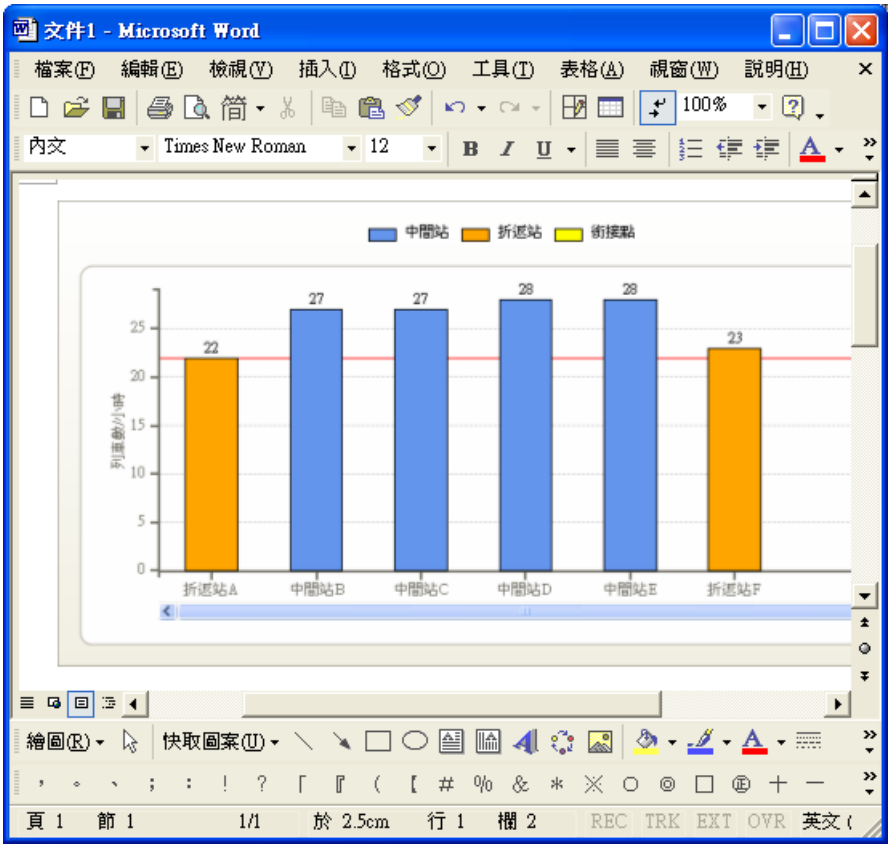


圖 5-45 以圖案格式輸出至剪貼簿後在 MS Word 貼上

5.3.7.2 輸出敏感度分析結果

欲輸出敏感度分析結果，請依下列步驟：

1. 從敏感度分析介面（圖 5-38）中，按下右上方之【儲存】按鈕，會出現圖 5-46 之對話盒，可選擇欲輸出的圖檔類型。
2. 指定存檔類型、路徑與檔名後按【儲存】便完成輸出工作。
3. 若要將分析結果複製到剪貼簿中，按下容量分析結果介面右上方之【複製】按鈕，便可在其他軟體中（如 Microsoft Word, Microsoft Excel, Microsoft Visio 等）進行貼上動作，將結果資料拷貝至該軟體作其他應用。圖 5-47 為敏感度分析結果在 MS Word 貼上之畫面。

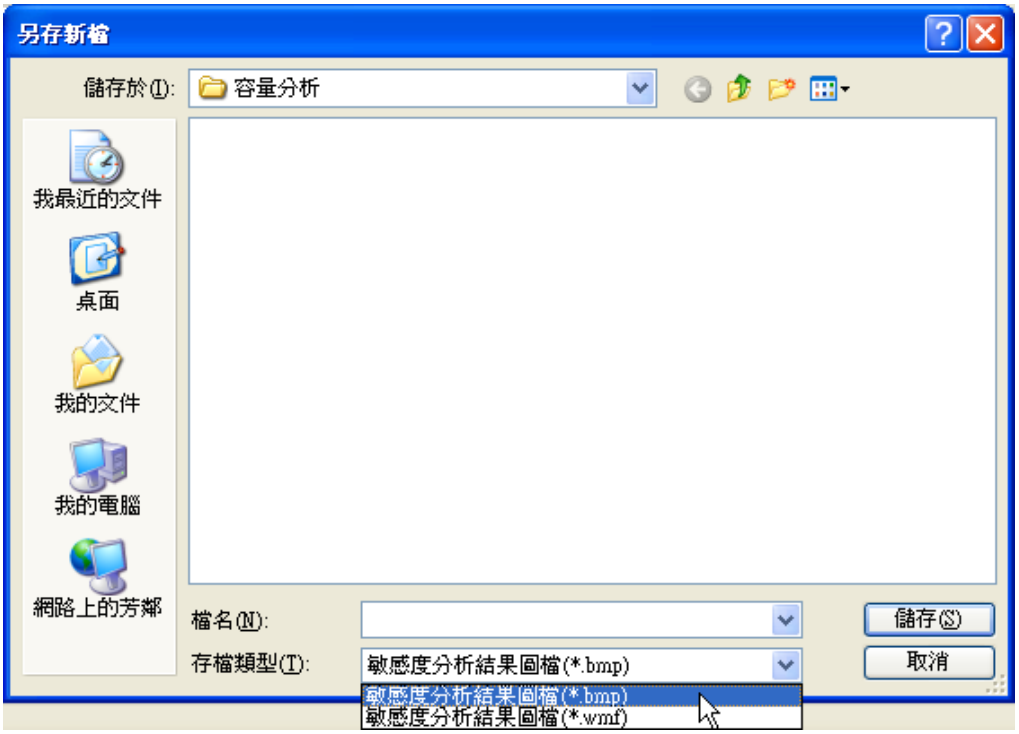


圖 5-46 儲存敏感度分析結果圖檔之對話盒

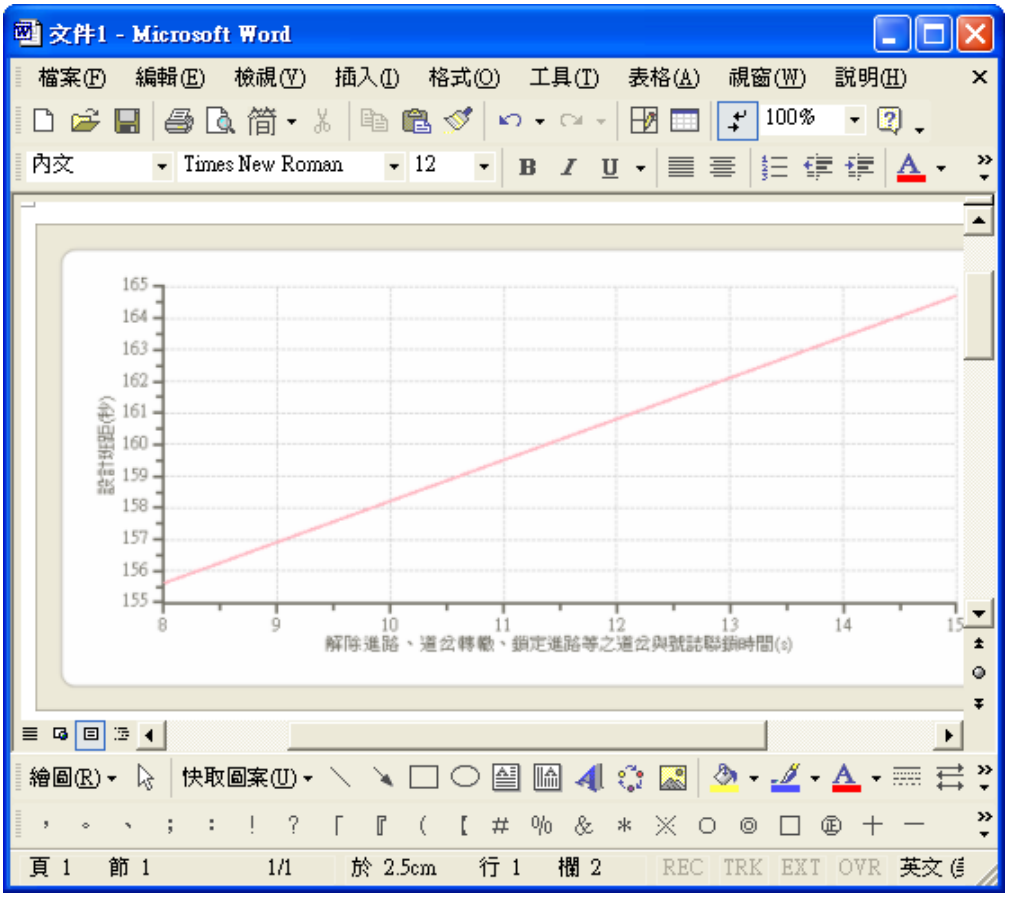


圖 5-47 敏感度分析結果輸出至剪貼簿後於 MS Word 貼上

5.3.8 偏好設定

有關進行路線容量分析所需的各項參數皆有預設值和合理範圍檢查，此外使用者亦可自訂之，從功能表選擇【工具｜偏好設定】，如圖 5-48，程式便會開啟如圖 5-49 之介面，供使用者進行相關設定：

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

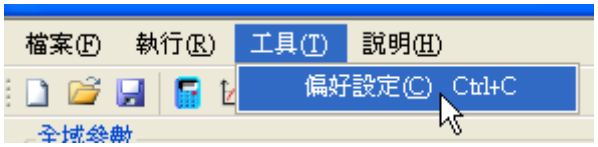


圖 5-48 執行偏好設定

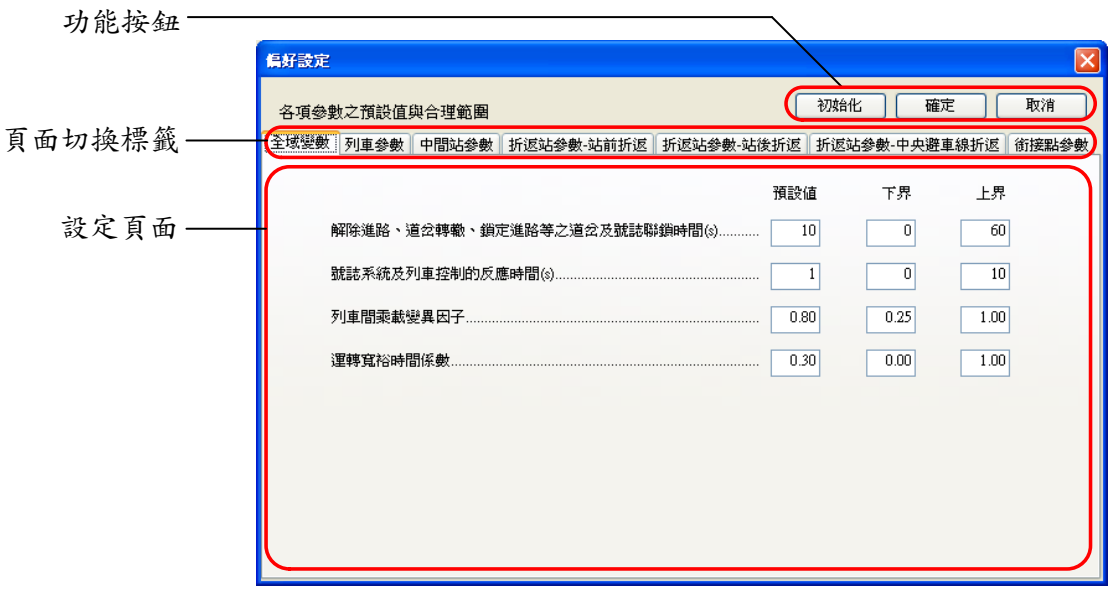


圖 5-49 偏好設定介面

5.4 運轉規劃分析模組

5.4.1 操作環境

運轉規劃分析模組啟動後之主視窗如圖 5-50，本模組採用類似應用程式精靈（Wizard）的介面，引導使用者逐一完成進行運轉規劃分

析的各項設定，並獲得分析結果。在此畫面中，可選擇【進行新的分析】或者【開啟舊檔】，有關兩者後續的操作則說明於後。

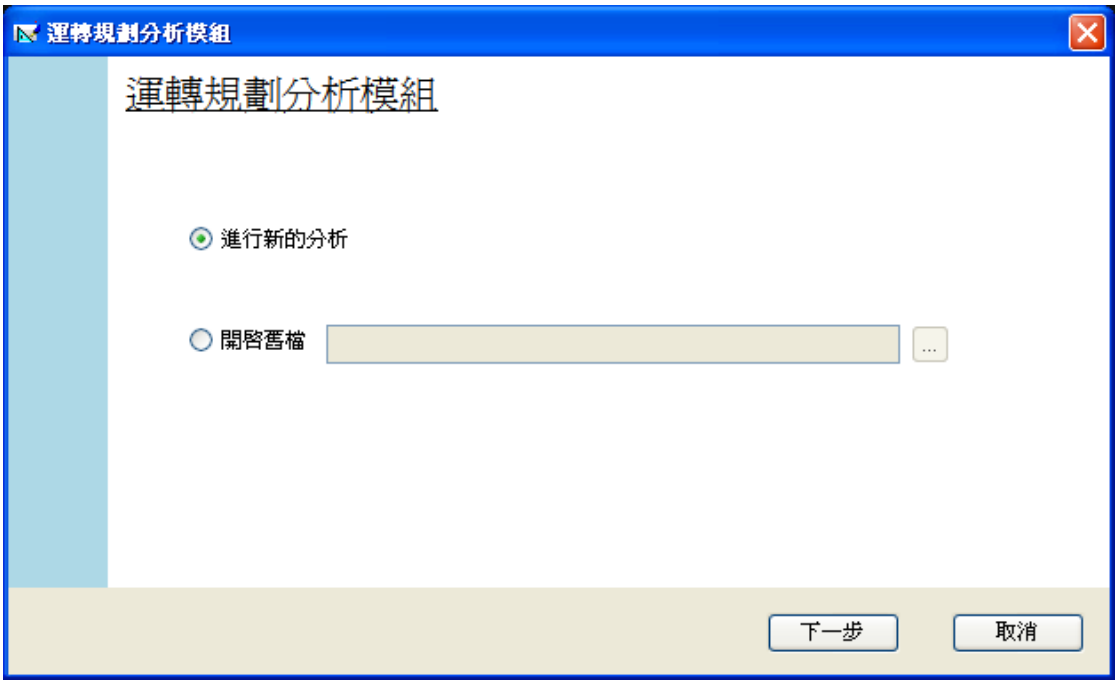


圖 5-50 運轉規劃分析模組操作環境

5.4.2 進行新分析

欲進行新的運轉規劃分析，其整體操作流程如圖 5-51，從圖 5-50 畫面選擇【進行新的分析】後按【下一步】，則會進入圖 5-52 之畫面，在此使用者可選擇欲進行計算最大營運班距或車隊規模，有關兩種計算操作細節以及結果輸出與存檔，詳述於後續小節。

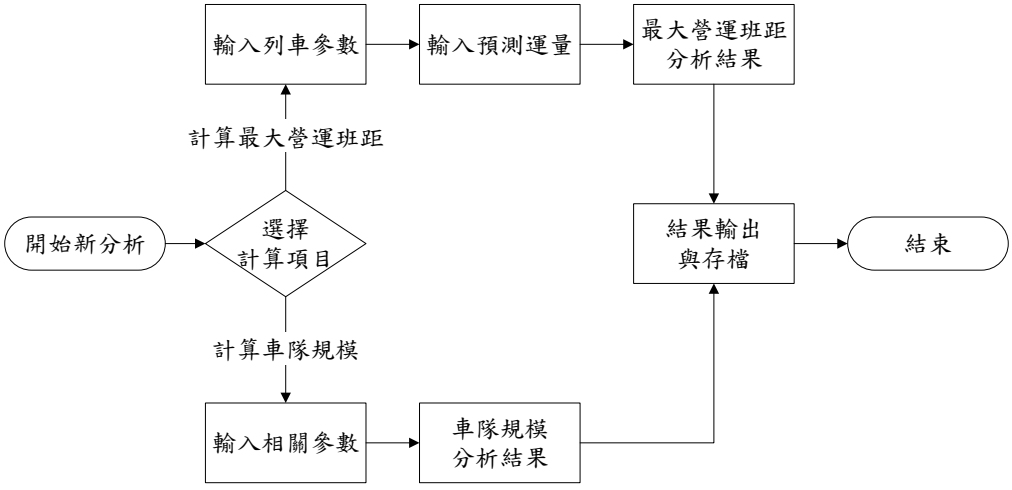


圖 5-51 運轉規劃分析模組整體操作流程

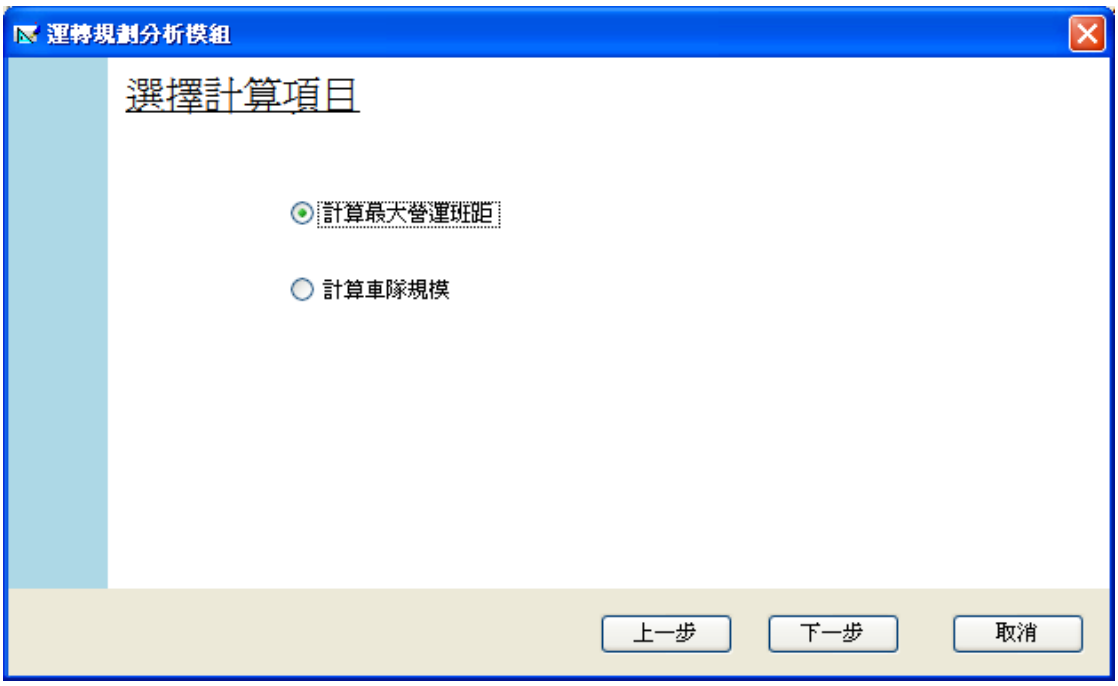


圖 5-52 選擇計算項目

5.4.2.1 計算最大營運班距

欲進行最大營運班距的計算，請按照下列步驟：

1. 從圖 5-52 畫面中選擇【計算最大營運班距】，按【下一步】後，程式畫面將變為圖 5-53。

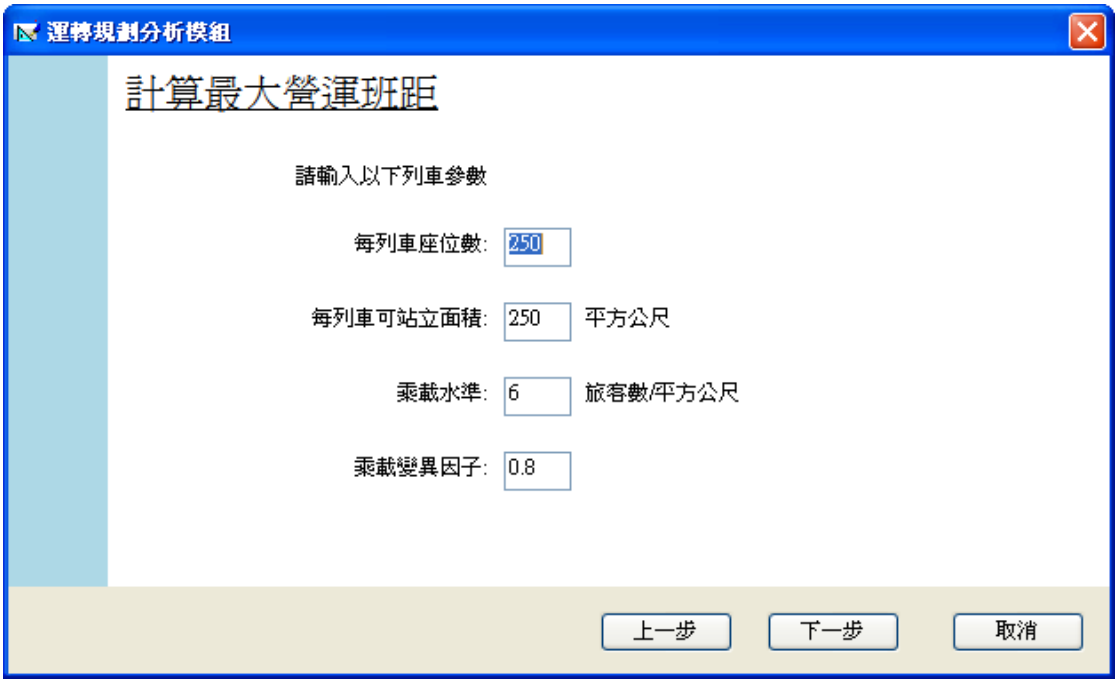


圖 5-53 設定列車參數

2. 在圖 5-53 之畫面中設定各項列車參數，包含座位數、可站立面積、乘載水準和乘載變異因子，設定完後按【下一步】進入設定預測運量，如圖 5-54。

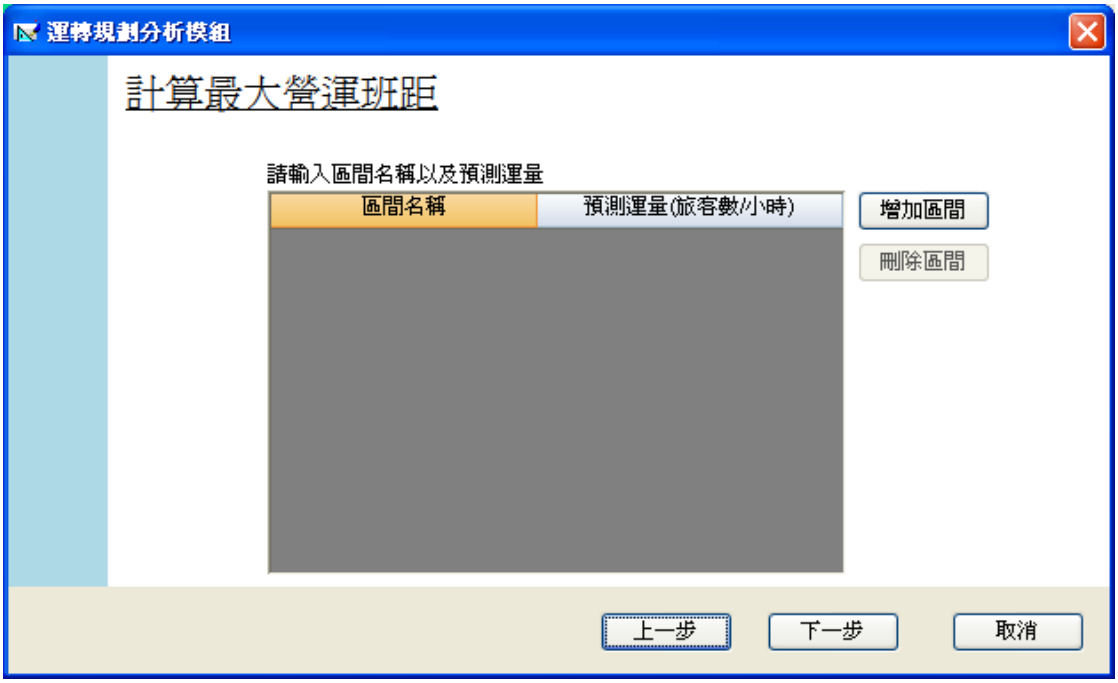


圖 5-54 設定預測運量

3. 在圖 5-54 畫面中，按下【增加區間】按鈕可新增一筆區間資料，每一筆區間資料包含區間名稱和預測運量。若要刪除區間資料，則選定欲刪除之區間資料，按下【刪除區間】按鈕。設定完後按【下一步】便會得到計算結果，如圖 5-55。

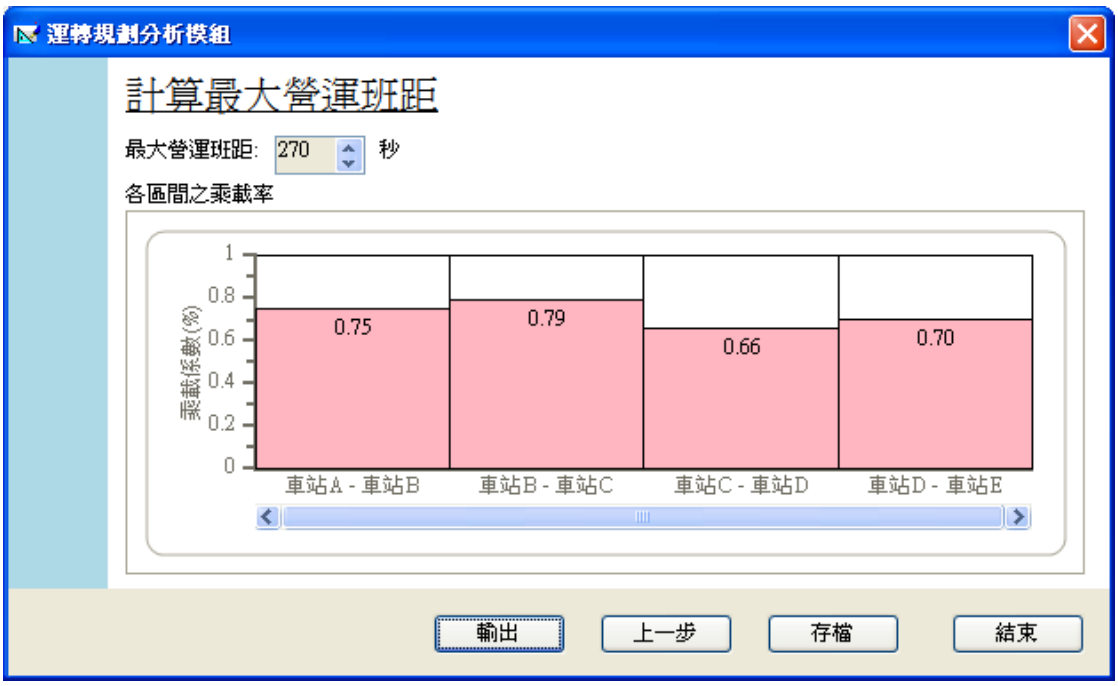


圖 5-55 最大營運班距計算結果

4. 最大營運班距的計算結果包含了最大營運班距，以及各區間在該班距下的乘載率。此外亦可對營運班距進行調整，以獲得在不同班距下各區間的乘載率，如圖 5-56。

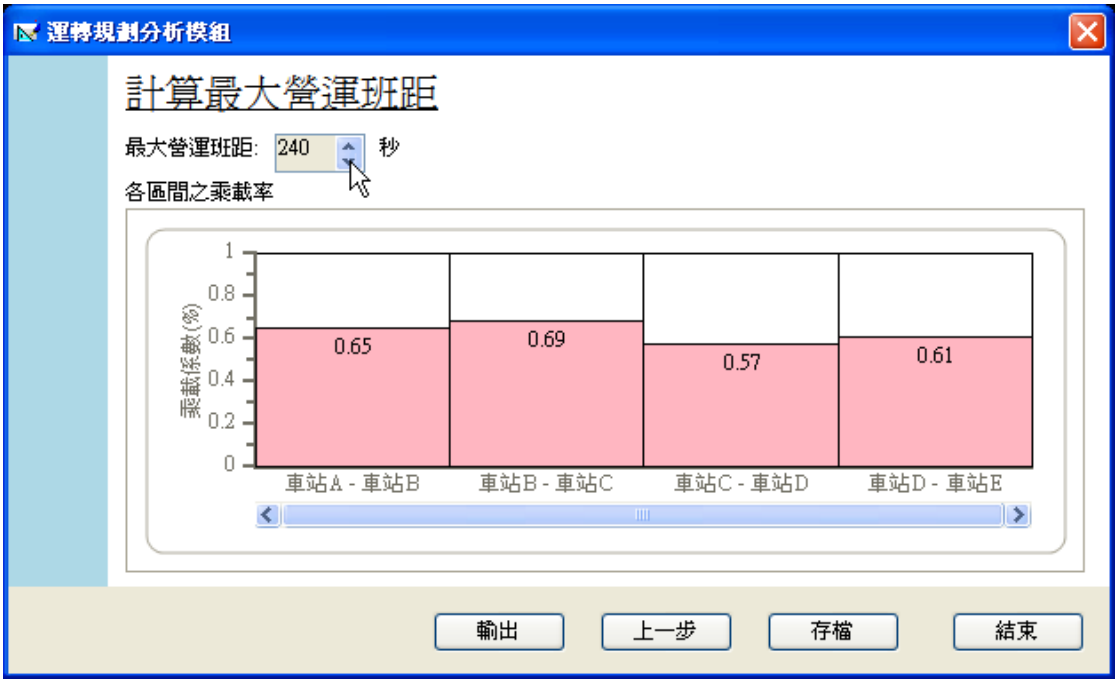


圖 5-56 調整最大營運班距

5.4.2.2 計算車隊規模

欲進行車隊規模的計算，請按照下列步驟：

1. 從圖 5-52 畫面中選擇【計算車隊規模】，按【下一步】後，程式畫面將變為圖 5-57。
2. 在圖 5-57 的畫面中，使用者需設定運行往返時間(Run Trip Time)、營運班距以及車輛備用率等參數，輸入完成後按【下一步】，程式便會計算車隊規模，並在畫面上顯示其結果，如圖 5-58。

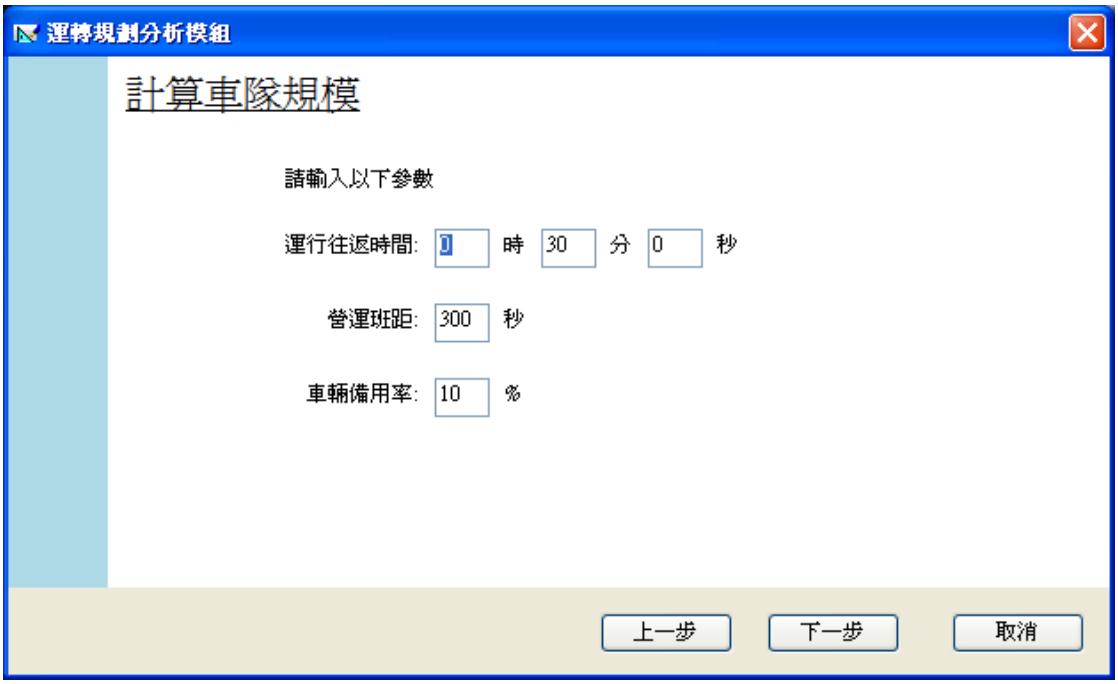


圖 5-57 設定計算車隊規模相關參數

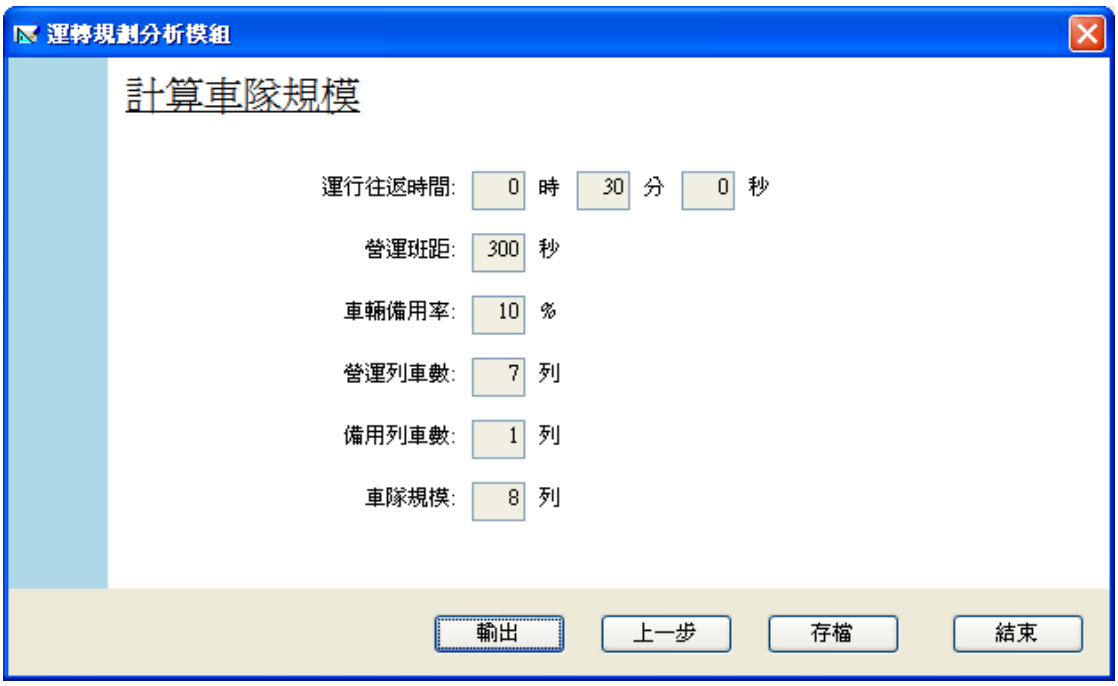


圖 5-58 車隊規模計算結果

5.4.2.3 輸出結果與存檔

欲輸出最大營運班距或車隊規模的計算結果，可於圖 5-55 和圖 5-58 下方，按下【輸出】的按鈕，程式會出現如圖 5-59 之對話盒，指定路徑與檔名後按下【儲存】，計算結果便輸出成純文字格式的檔案。

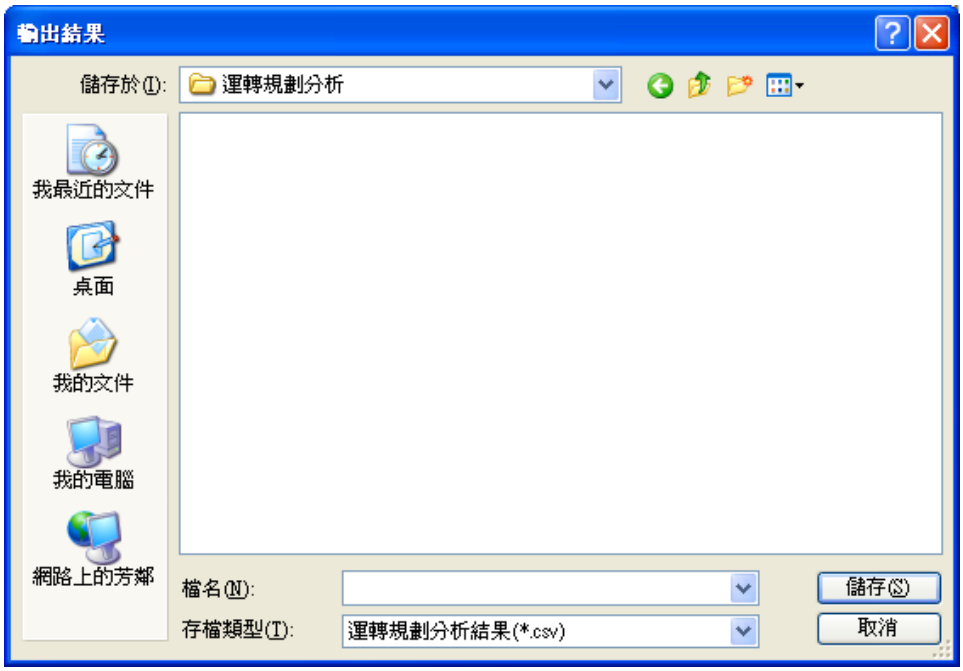


圖 5-59 輸出最大營運班距計算結果

若欲儲存運轉規劃分析檔案，可於圖 5-55 和圖 5-58 下方，按下【存檔】的按鈕，程式會出現如圖 5-60 之對話盒，指定路徑與檔名後按【儲存】便可完成存檔工作。

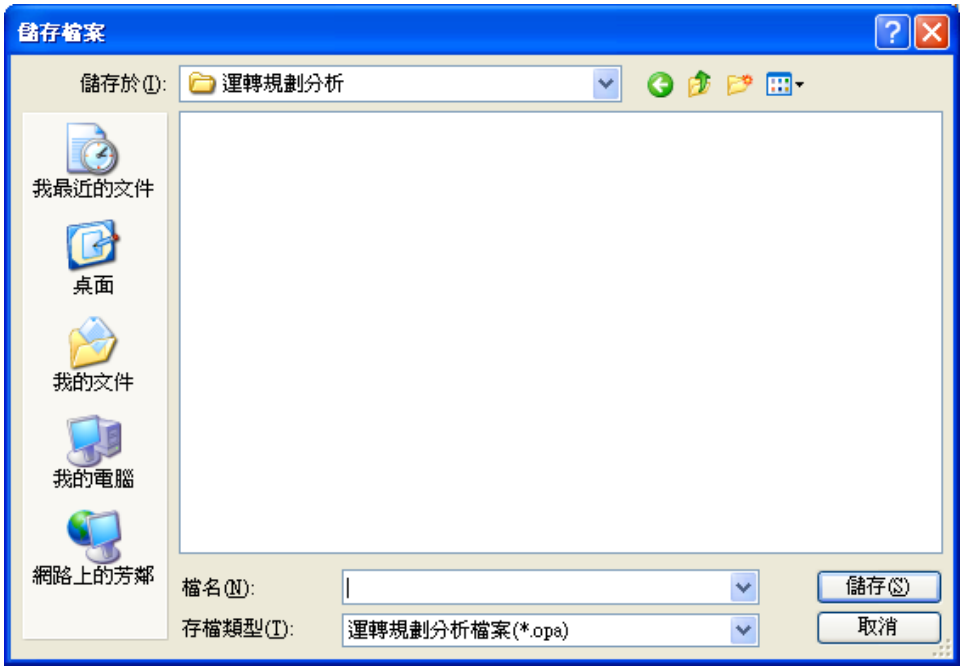


圖 5-60 儲存運轉規劃分析檔案

5.4.3 開啟舊檔

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

1. 從圖 5-50 畫面選擇【開啟舊檔】。
2. 按下右方按鈕選擇檔案，如圖 5-61，程式會出現開啟舊檔對話盒，如圖 5-62。
3. 選定欲開啟之檔案的路徑與檔名，按下【開啟】後，程式便會將所選擇路徑與檔名顯示於畫面上，如圖 5-63。
4. 按【下一步】按鈕，便完成開啟舊檔動作。

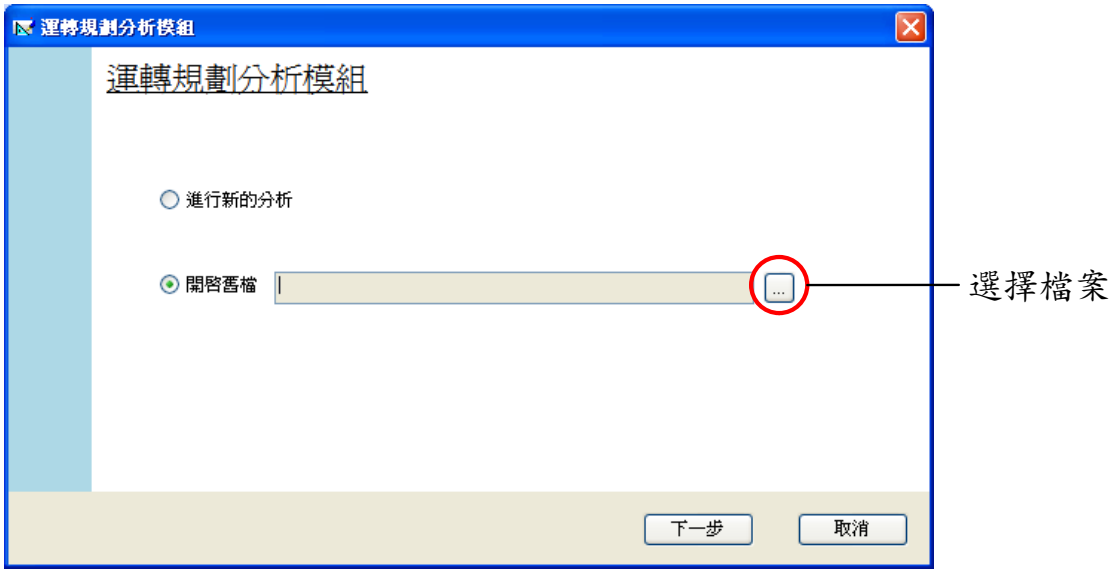


圖 5-61 開啟運轉規劃分析檔案

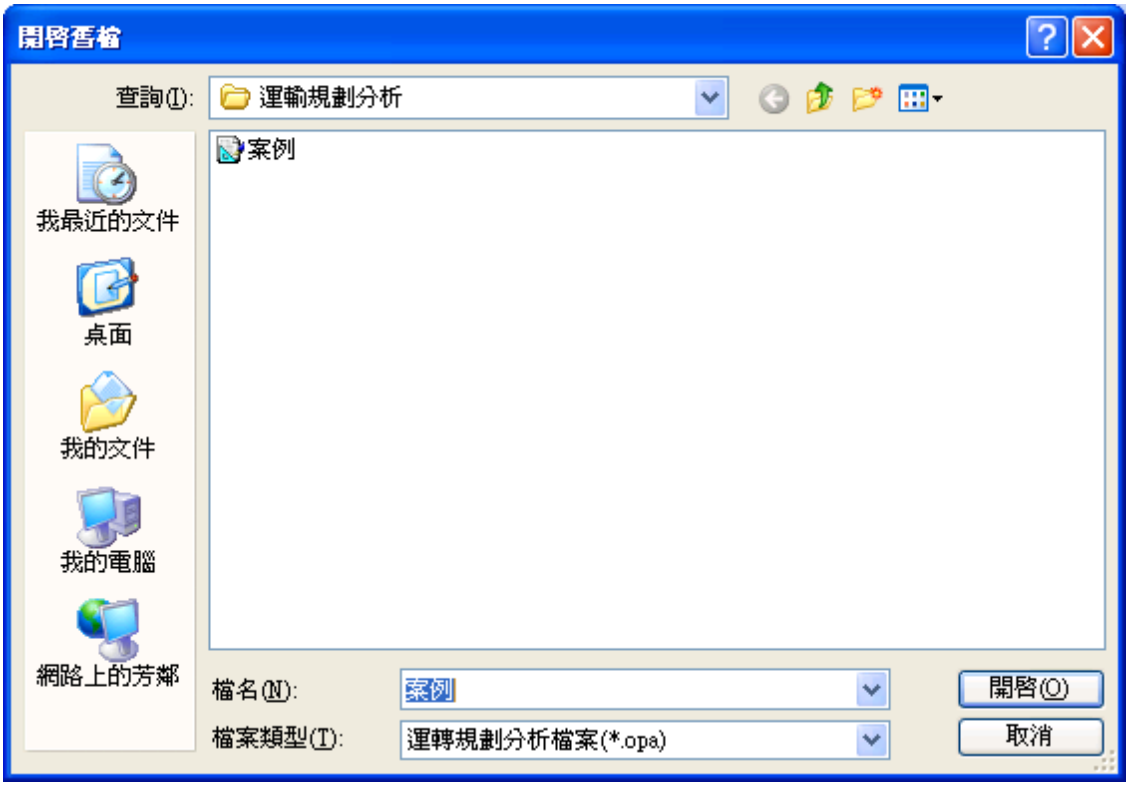


圖 5-62 開啟舊檔對話盒

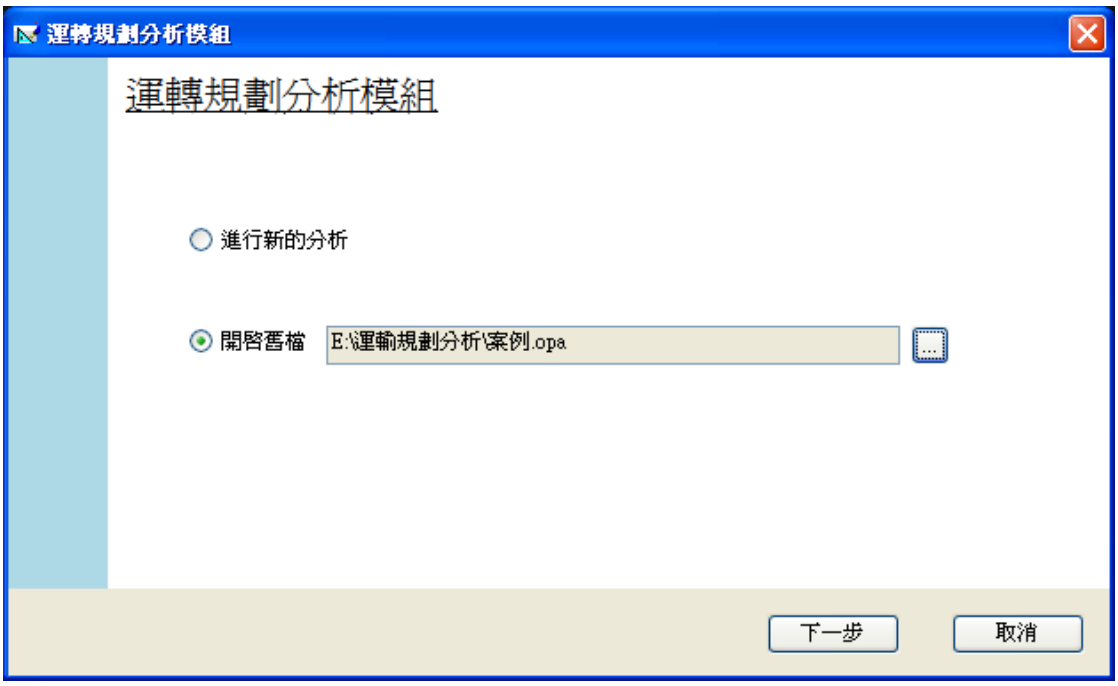


圖 5-63 選定欲開啟之舊檔

第六章 分析範例

在本篇最後透過幾個範例，讓讀者更能了解鐵道容量分析與運轉規劃分析的功能與應用。

6.1 鐵道容量分析

6.1.1 範例一

1. 問題描述

一個規劃中的捷運系統，以距離碼為其行車閉塞系統，其平均閉塞區間長度為 200 m，採用的列車規格如表 6.1，預計於最繁忙車站的停站時間為 40 s，試問此系統之容量為何？

表 6.1 規劃中之捷運系統的列車規格

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

2. 求解說明

根據列車規格資料，容量分析軟體列車參數設定如圖 6-1，其中座位數和立位面積為整列車之加總，因此分別為 240 個座位和 300 m2。

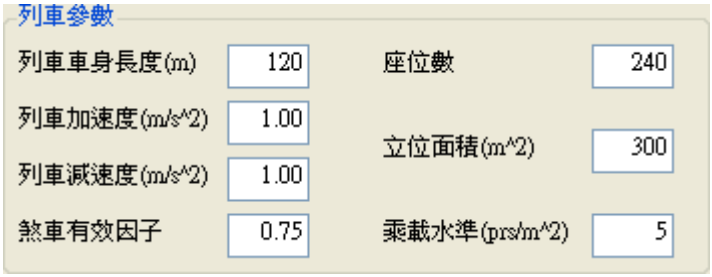


圖 6-1 列車參數之設定

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

依照案例之描述，尚未有進離站坡度，因此假設為 0。平均閉塞區間長度為 200 m，假設車站所在區間亦為 200 m，若列車停靠於正中央，則列車於車站內停車位置與車站所在區間離開點之間距為 40 m，如圖 6-2，而安全重疊區間通常為一個閉塞區間長。對於規劃中系統，列車巡航速度可假設為最高營運速度。一般而言，距離碼系統的安全係數約在 1.0～1.2 之間，此案例採用 1.2 來做分析。有關最繁忙車站的各項參數設定資料如圖 6-3。

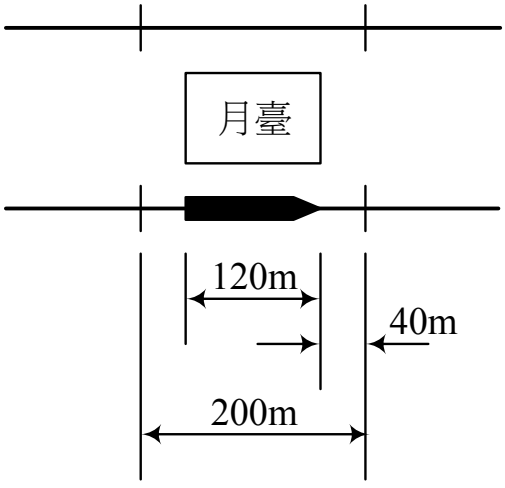


圖 6-2 列車於車站內停車位置與車站所在區間離開點之間距

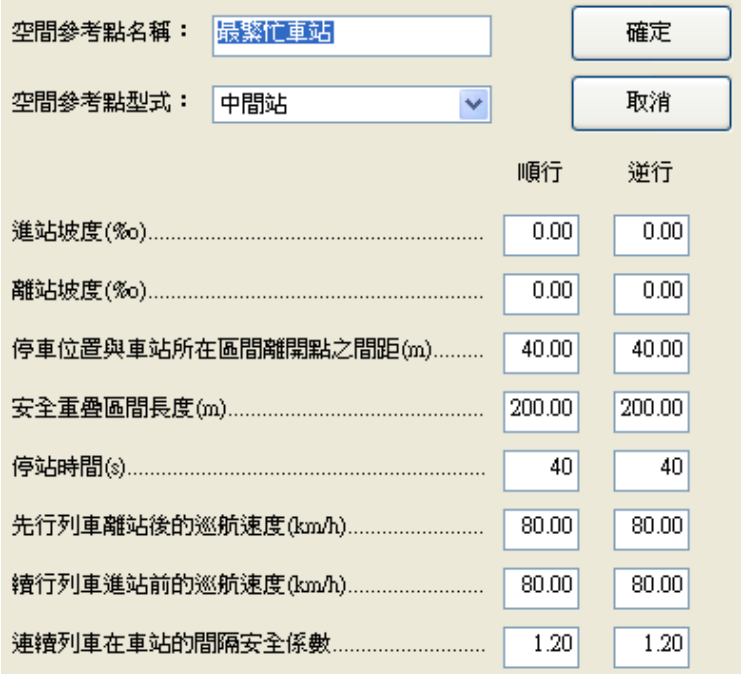


圖 6-3 設定最繁忙車站參數

經由容量分析軟體計算後，結果如圖 6-4，此系統之設計班距為 126 s，路線容量為每小時 28 列車，設計容量為每小時 48,720 人，可達成容量為每小時 38,976 人。

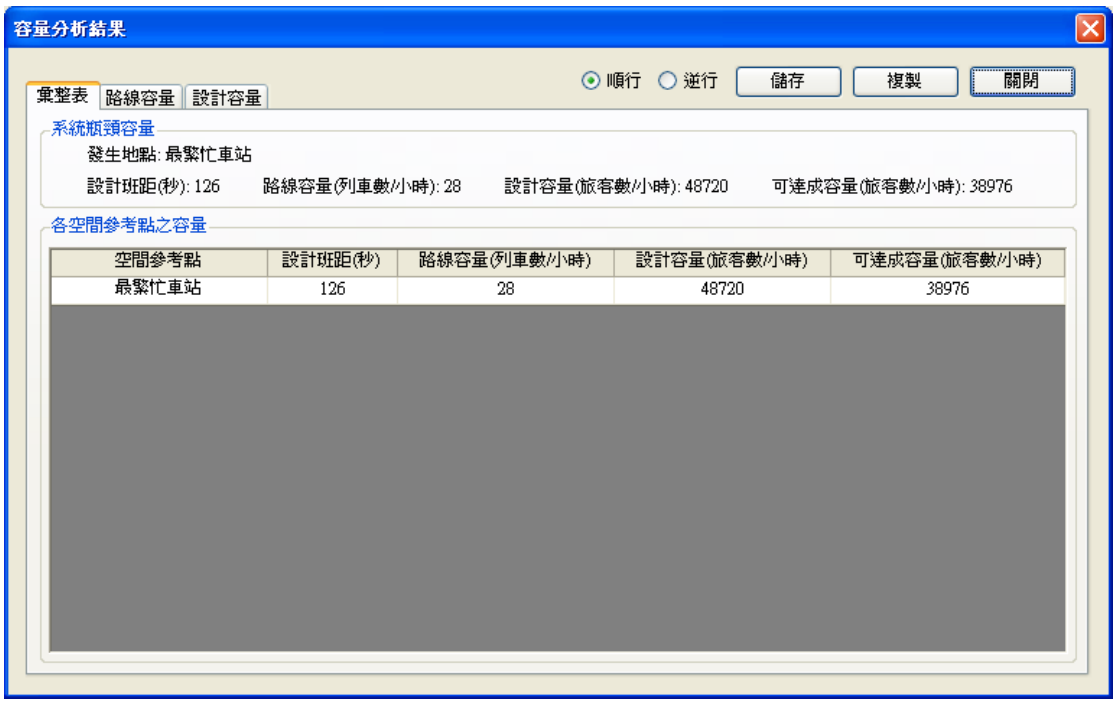


圖 6-4 容量分析結果

6.1.2 範例二

1. 問題描述

欲分析一現有捷運系統折返站之容量，該系統的道岔轉轍及號誌聯鎖時間為 15 s，號誌系統及列車控制的反應時間為 1 s。營運列車的性能如表 6.2，其速度碼有 6 個位階，分別為 0、25、40、55、65、80 km/h。折返站的進站坡度為 0.5 %，其附近的閉塞區間與速限如圖 6-5。列車於折返站停車位置至橫渡線區的距離為 15 m，停靠時間為 2.5 min，折返站前的道岔限速為 40 km/h。

表 6.2 捷運系統之列車性能

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

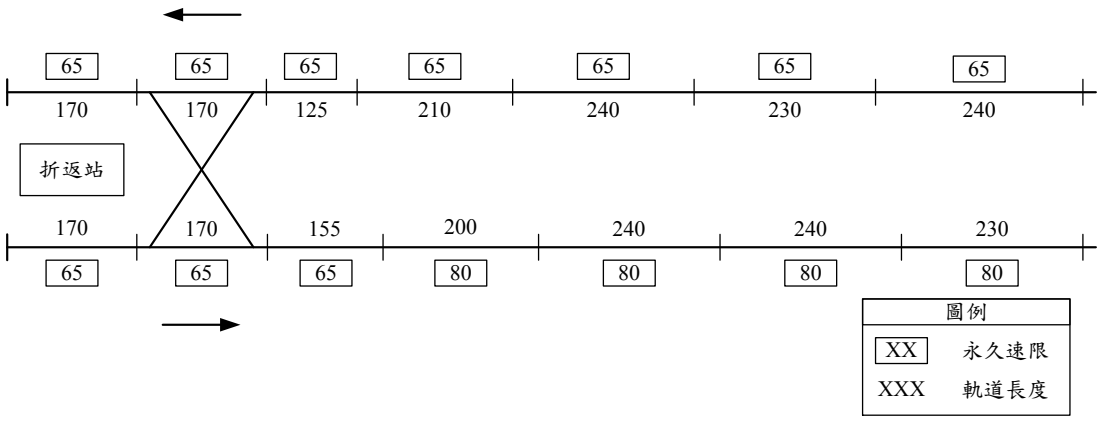


圖 6-5 捷運系統閉塞區間與永久速限圖

2. 求解說明.

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

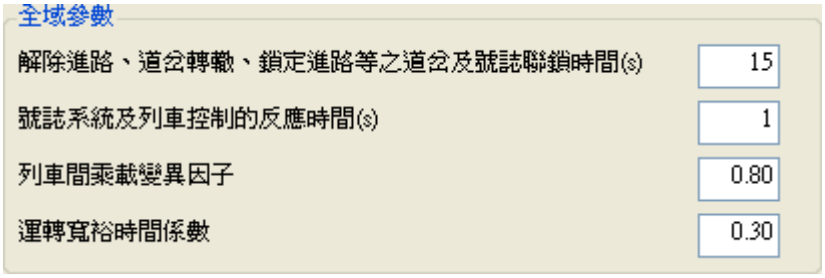


圖 6-6 全域參數之設定

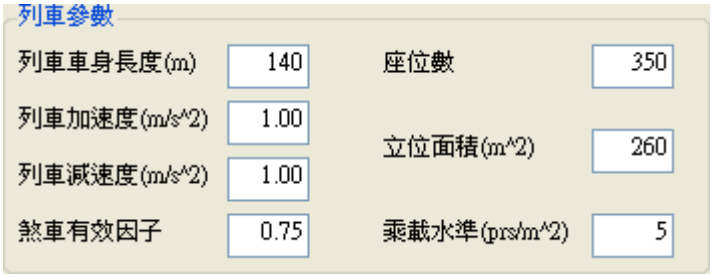


圖 6-7 列車參數之設定

有關折返站之空間參考點參數設定如圖 6-8，在巡航速度方面，雖然列車最高營運速度可達 80 km/h，但從圖 6-5 可知，列車於折返站進站前所經過的各區間之速限皆為 65 km/h，所以其巡航速度僅能能達到 65 km/h。

而在安全係數方面，因為在轉轍器及號誌尚未完成聯鎖設定列車的進站路徑之前，列車不得進入聯鎖區，因此續行列車距離橫渡線至少在一個安全煞車距離以外，在列車之巡航速度為 65 km/h 的情況下，其最接近折返站前橫渡線區的位置如圖 6-9，透過第四章 4.2.2 節公式(4.9)可計算出安全係數為 3.7。

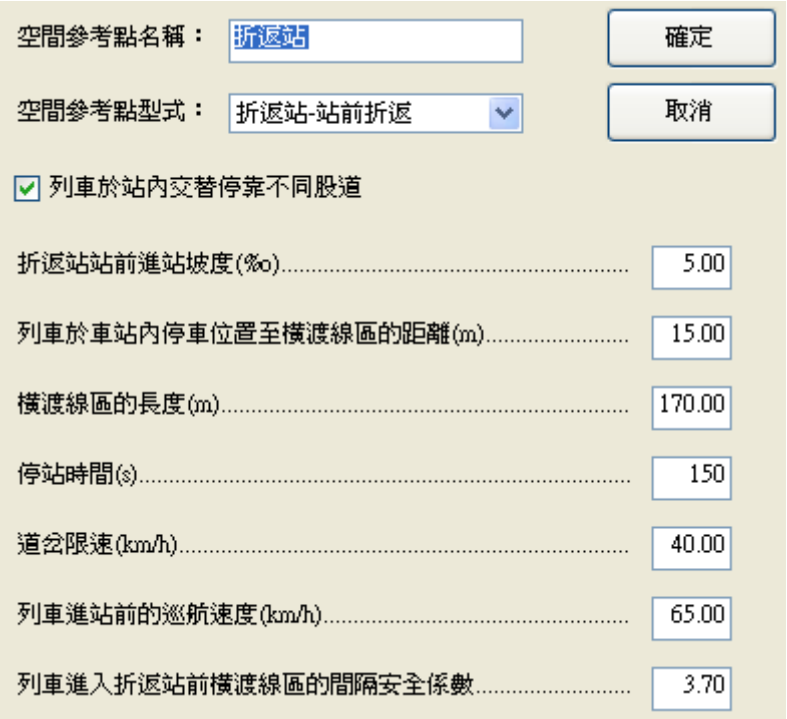


圖 6-8 空間參考點參數之設定

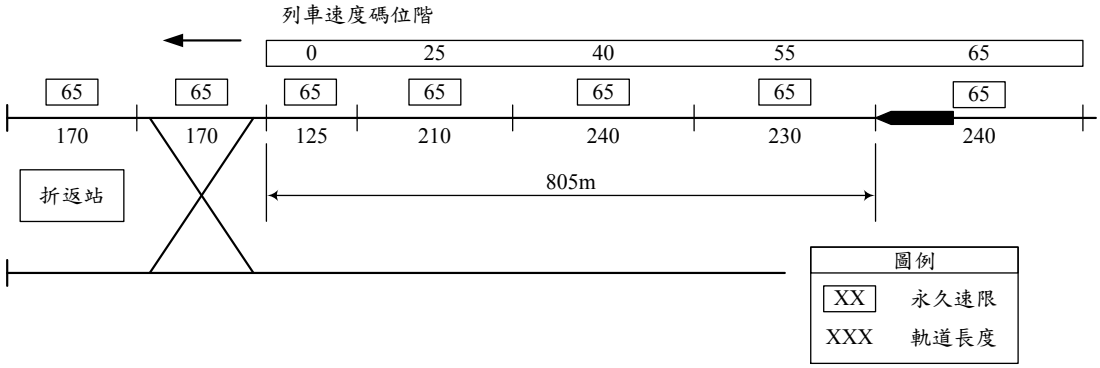


圖 6-9 列車最接近折返站前橫渡線區的位置

最後透過容量分析軟體計算，其結果如圖 6-10，此折返站之路線容量為每小時 20 列車，設計班距為 175 s，設計容量為每小時 33,000 人，可達成容量為每小時 26,400 人。

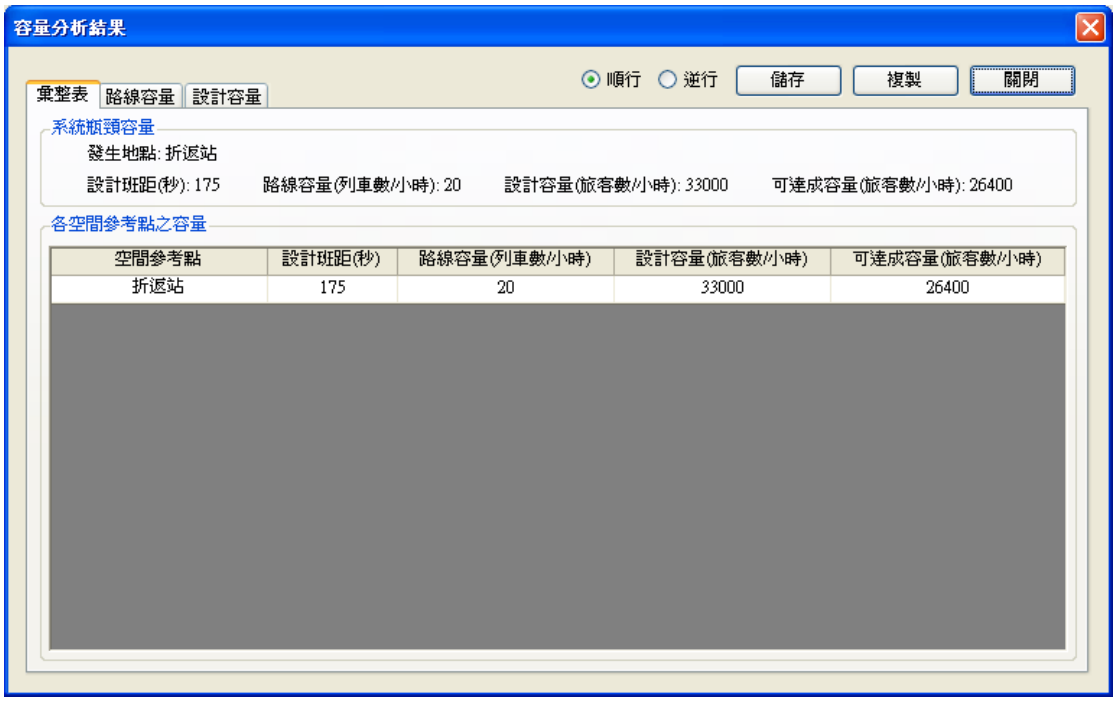


圖 6-10 容量分析結果

6.1.3 範例三

1. 問題描述

在一現有捷運系統中，其路線如圖 6-11，其中 S13 為轉乘站，通常為系統之瓶頸，因此欲分析 S13 車站在南北之方向路線上的容量為何？

該系統以速度碼為其行車閉塞系統，分為 6 個位階：0、25、40、55、65、80 km/h，其列車性能如表 6.3。在 S13 車站的進離站坡度皆為 0，S12 至 S14 的閉塞區間與速限如圖 6-12。列車停站位置與車站所在區間的離開點之距離為 10 m，停站時間為 45 s。

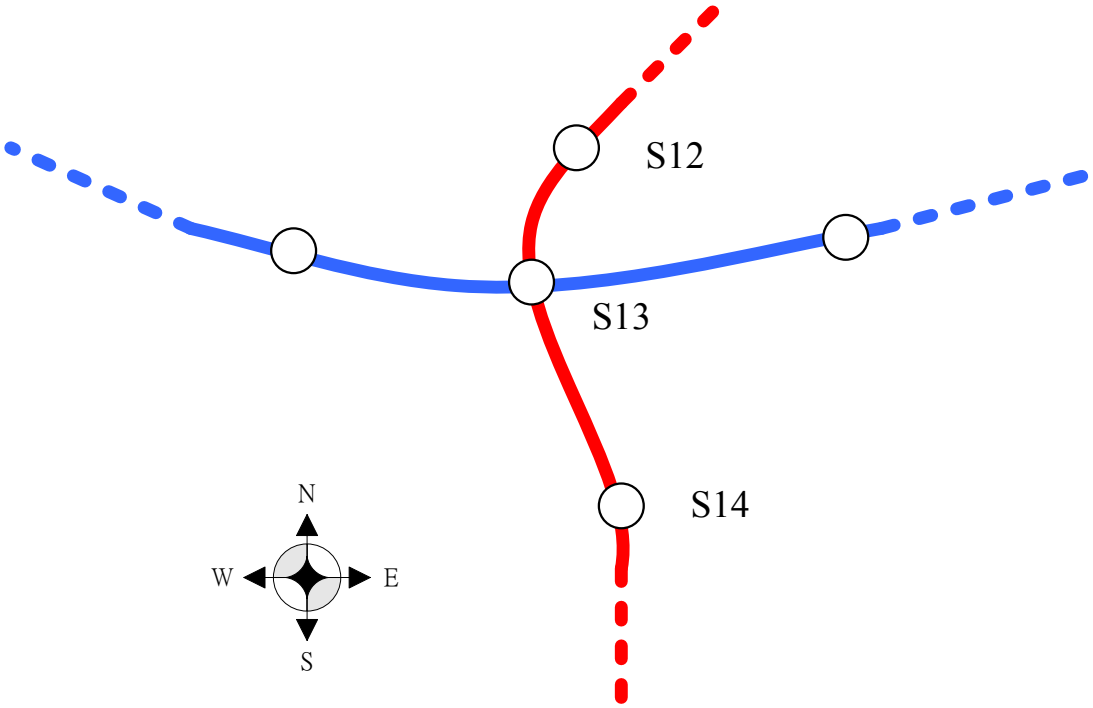


圖 6-11 捷運系統路線圖

表 6.3 捷運系統之列車性能

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

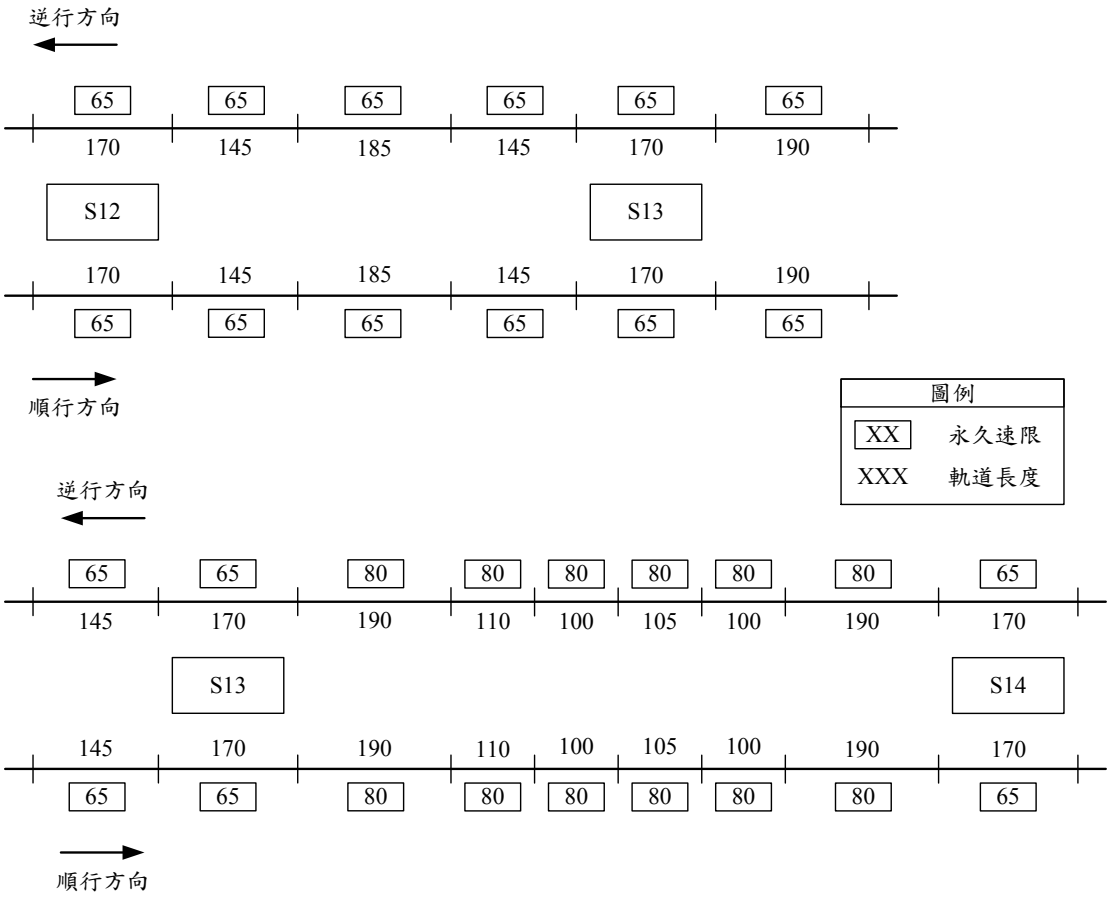


圖 6-12 捷運系統閉塞區間與永久速限圖

2. 求解說明

依照表 6.3 之列車特性資料設定容量分析軟體中的列車參數，如圖 6-13。

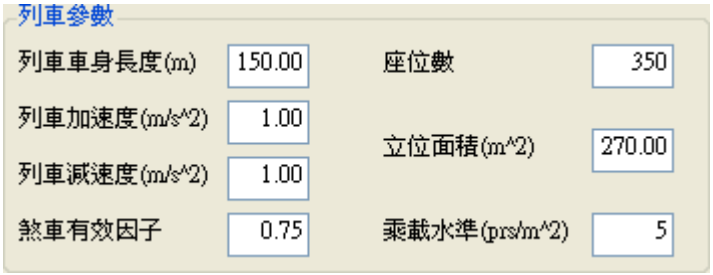


圖 6-13 列車參數之設定

空間參考點參數的設定如圖 6-14，其中有關巡航速度和安全係數之計算，在順行方向，S12 至 S13 之間的永久速限為 65 km/h，但由於站距不足，列車於 S13 進站前的巡航速度僅有 55 km/h，而在此情況

下，列車最接近車站列車停靠點之位置如圖 6-15，透過第四章 4.2.2 節公式(4.9)可計算出安全係數為 1.96。S13 至 S14 區間之永久速限為 80 km/h，且站距夠長，因此列車於 S13 離站後的巡航速度可達到 80 km/h。

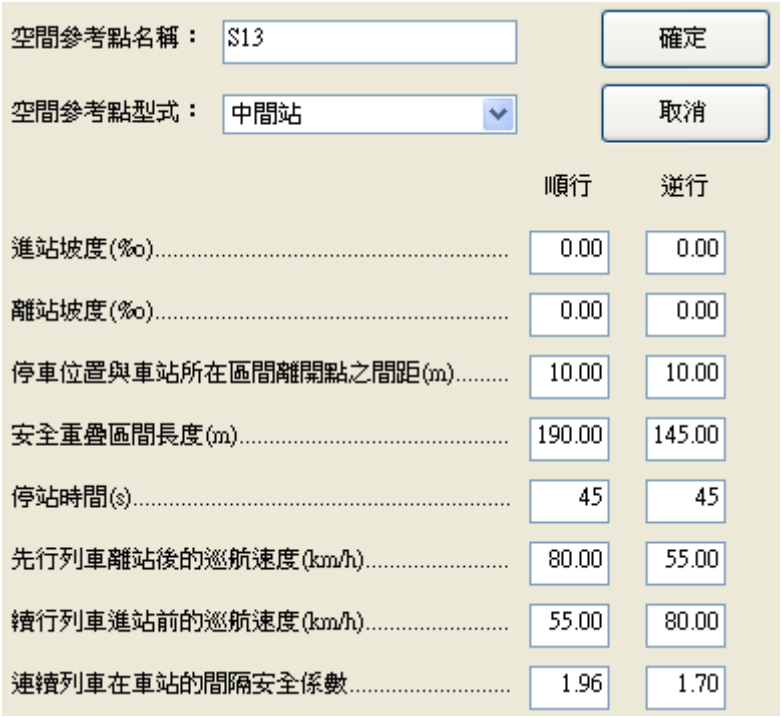


圖 6-14 空間參考點參數之設定

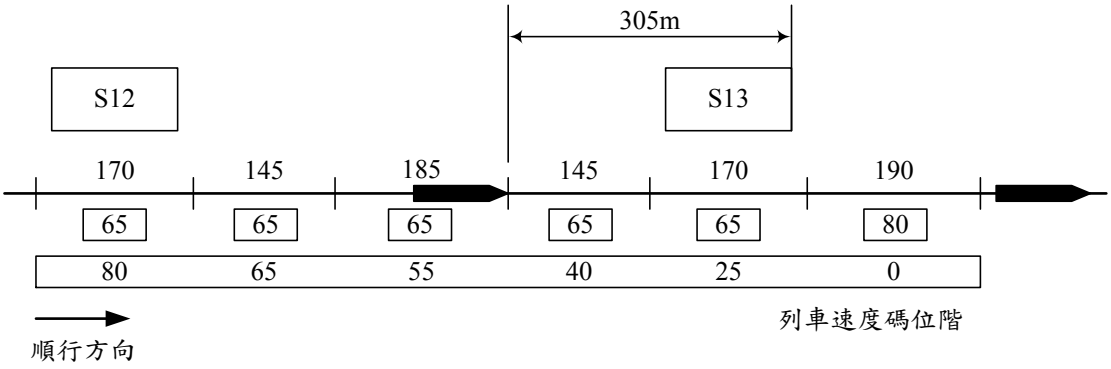


圖 6-15 順行方向列車最接近車站列車停靠點之位置

而逆行方向，列車於 S13 進站前的永久速限為 80 km/h，且站距夠長，因此巡航速度可達到 80 km/h，而在此速度下，列車最接近車站列車停靠點之位置如圖 6-16，同樣透過第四章 4.2.2 節公式(4.9)可計

算出安全係數為 1.7。列車於 S13 離站後的巡航速度則受到站距的影響，僅有 55 km/h。

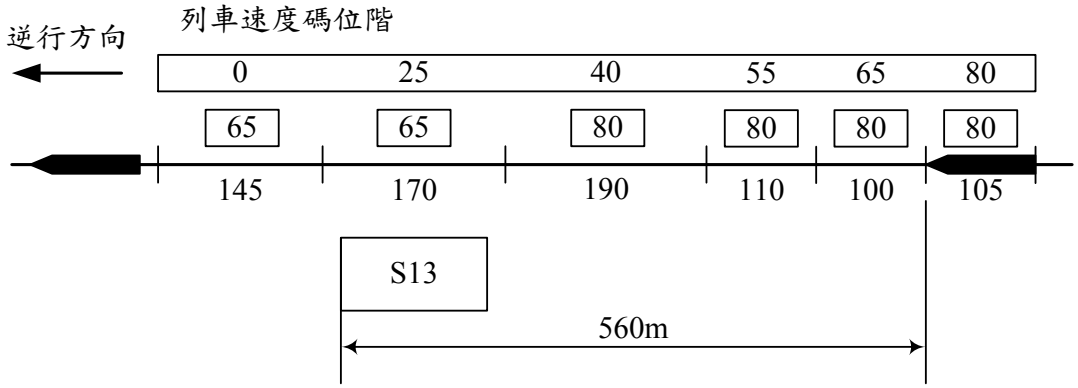


圖 6-16 逆行方向列車最接近車站列車停靠點之位置

最後程式計算出的結果如圖 6-17 和圖 6-18，順行方向之路線容量為每小時 27 列車，而逆行方向之路線容量為每小時 25 列車。

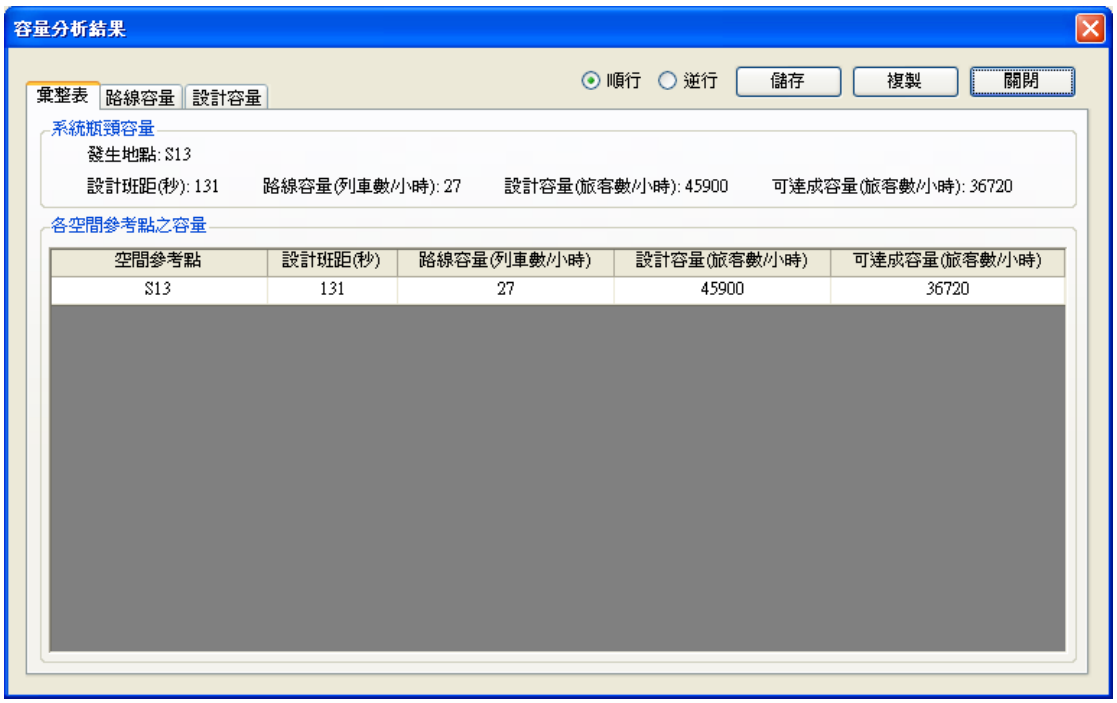


圖 6-17 順行方向之容量分析結果

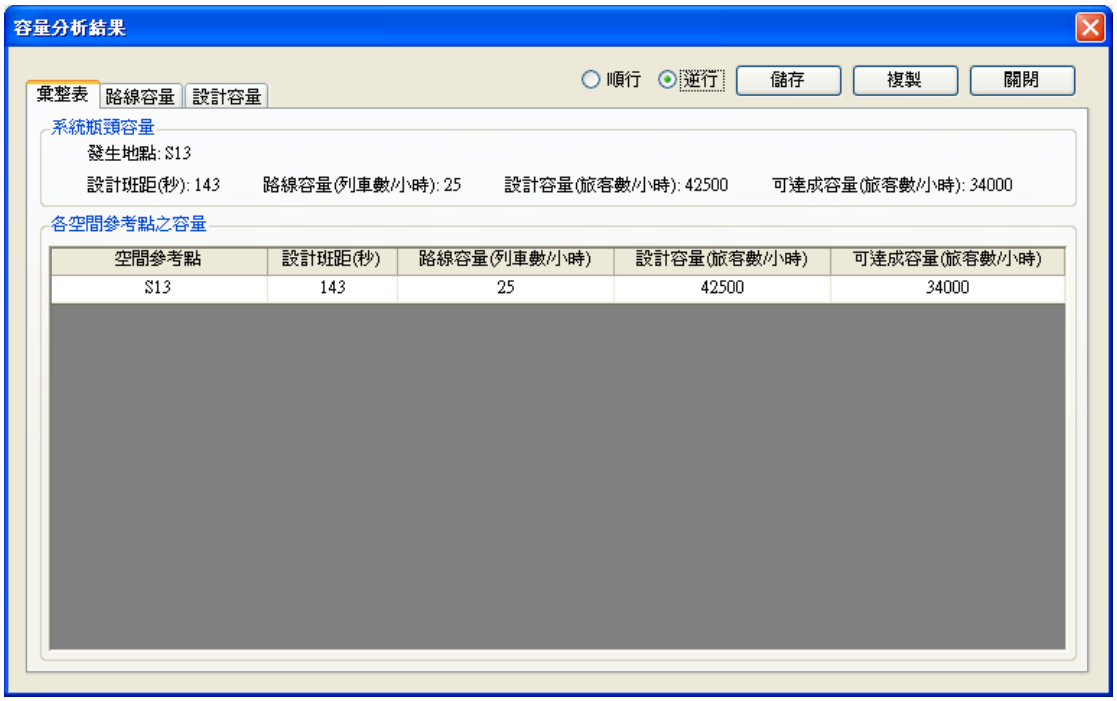


圖 6-18 逆行方向之容量分析結果

6.1.4 範例四

1. 問題描述

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

2. 求解說明

採用移動閉塞區間可有效縮短列車的行車間距，續行列車是透過煞車曲線和先行列車保持距離，此時安全係數可設為 1，由於不存在實體的閉塞區間，因此沒有安全重疊區間，所以若將系統改為移動閉塞區間制，則 S13 站的空間參考點可變更為如圖 6-19 所示。

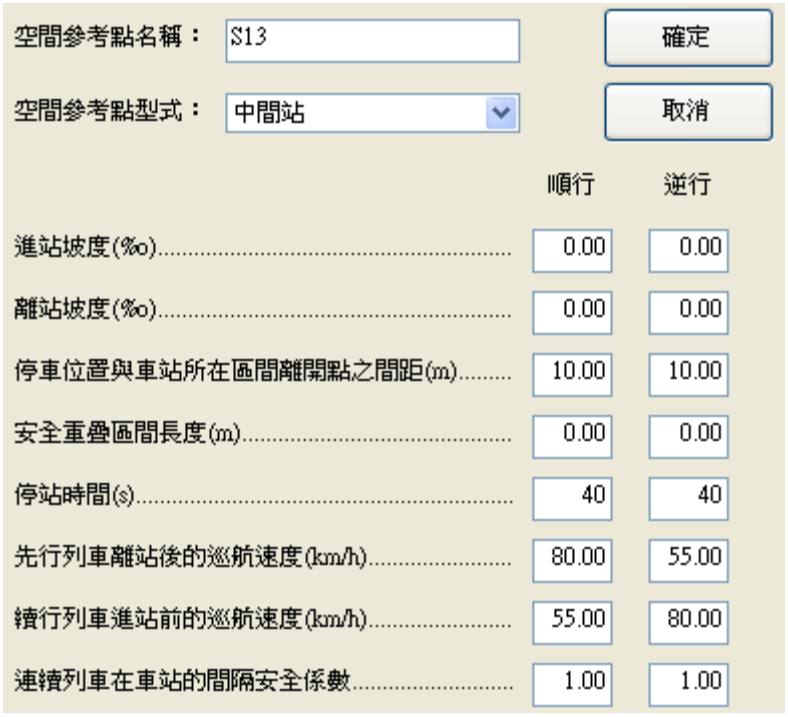


圖 6-19 空間參考點參數之設定.

在提升列車性能方面，若加減速性能提升 10%，則列車加速度和減速度參變更為 1.1 m/s^2，如圖 6-20。

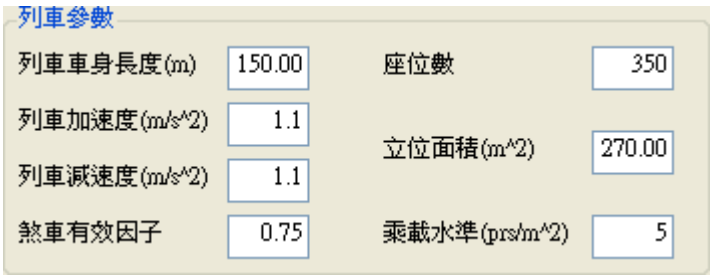


圖 6-20 列車參數之設定

最後透過程式計算，順行方向之路線容量提升為每小時 34 列車，而逆行方向之路線容量則提升為每小時 31 列車，其改善效益分別為 26%和 24%。

6.1.5 範例五

1. 問題描述

建造捷運系統通常分為數個階段興建營運，現有一捷運系統在 S23 車站以前之路線已經建造完成並通車營運，該路線將繼續向 S24 車站延伸，但 S24 車站以後之路線尚未完成，所以現接段列車必須在 S23 車站折返，然而在 S23 車站前後並無橫渡線供列車折返，因此列車需靠 S24 車站前方之橫渡線進行折返，如圖 6-21，試探討此折返點的容量為何？

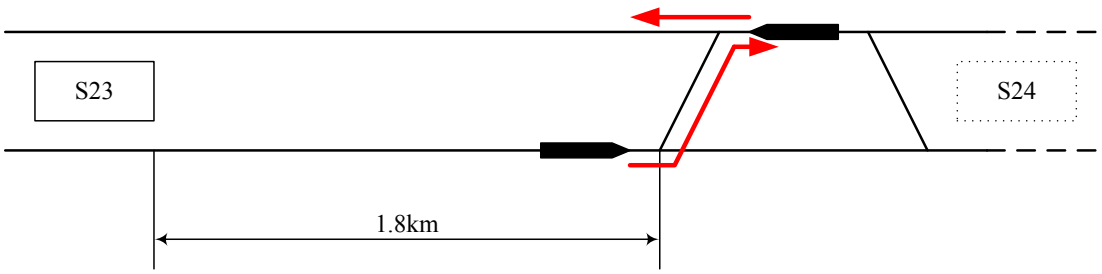


圖 6-21 列車以 S24 車站前方之橫渡線進行折返

2. 求解說明

雖然列車是在 S23 車站進行站後折返，但其後的橫渡線距離 S23 車站有 1.8 km 之遠，因此若欲分析此折返點的容量，並不適合採用 S23 車站站後折返的空間參考點型式，實際上較適合的空間參考點型式應為如圖 6-22 所示的站前折返，其各項參數設定如圖 6-23，經程式計算，該折返點之容量為每小時 14 列車。

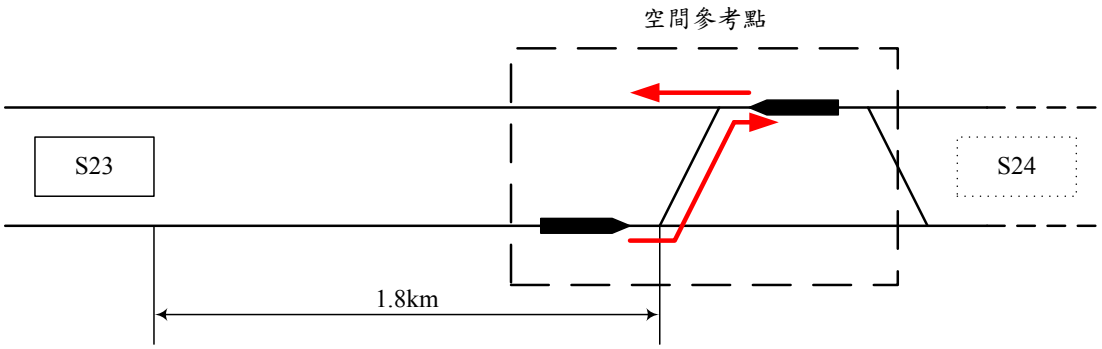


圖 6-22 探討容量的空間參考點

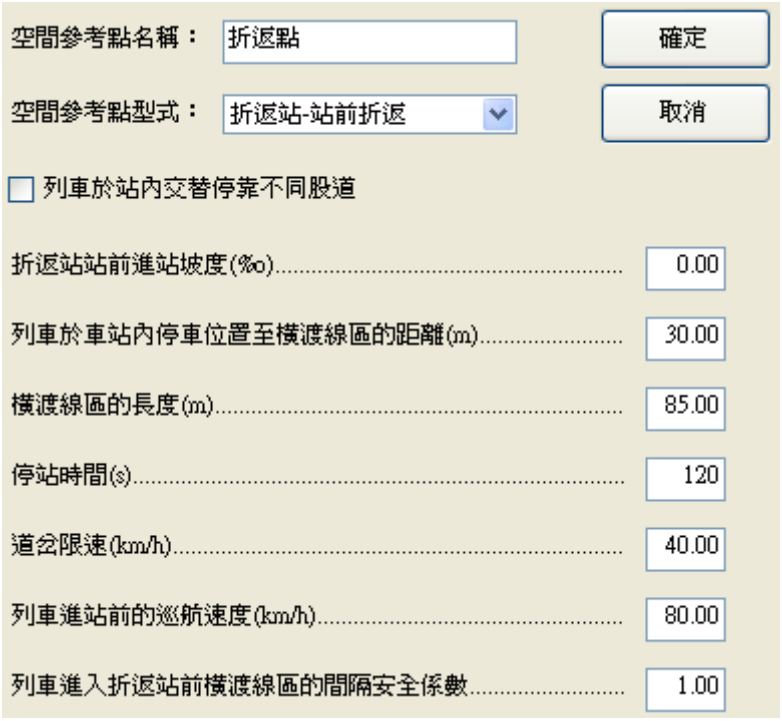


圖 6-23 空間參考點參數之設定

6.1.6 範例六

1. 問題描述

捷運系統的銜接點如圖 6-24，由於平面交叉的關係，側線列車進入主線時對會影響主線列車的運行，試分析其對主線容量影響。

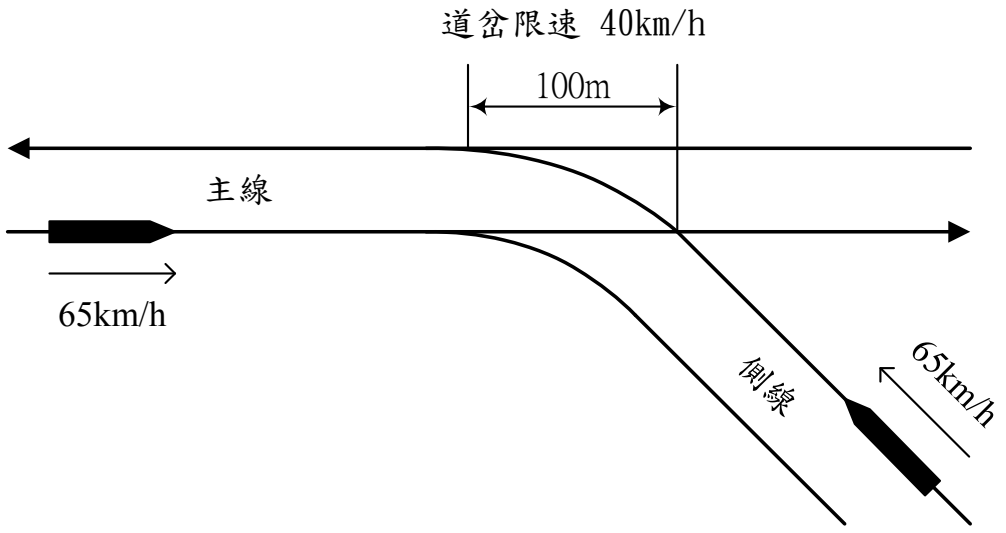


圖 6-24 捷運系統之銜接點

2. 求解說明

在容量分析軟體中新增一空間參考點，其相關設定如圖 6-25。

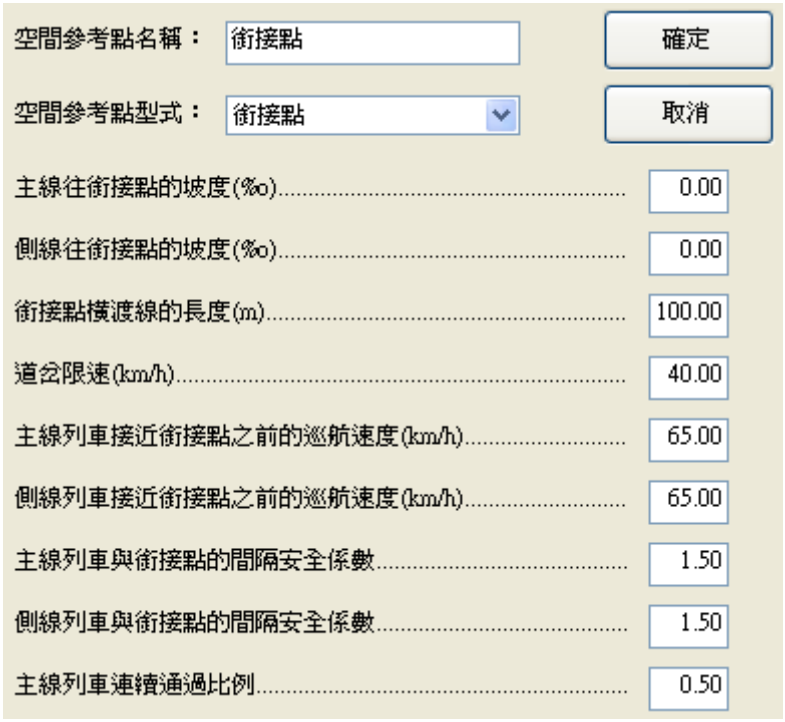


圖 6-25 銜接點參數設定

透過敏感度分析功能分析該銜接點，將欲分析之參數設為「主線列車連續通過比例」，參數變化範圍為 0～1，分析項目為路線容量，其結果如圖 6-26。當完全沒有側線列車干擾，也就是主線列車連續通過比例為 1 時，主線的容量將近每小時可通過 90 列車；當有側線列車干擾，容量則明顯受到影響而下降，主線列車連續通過比例為 0 時，主線的容量則約為每小時 30 列車。

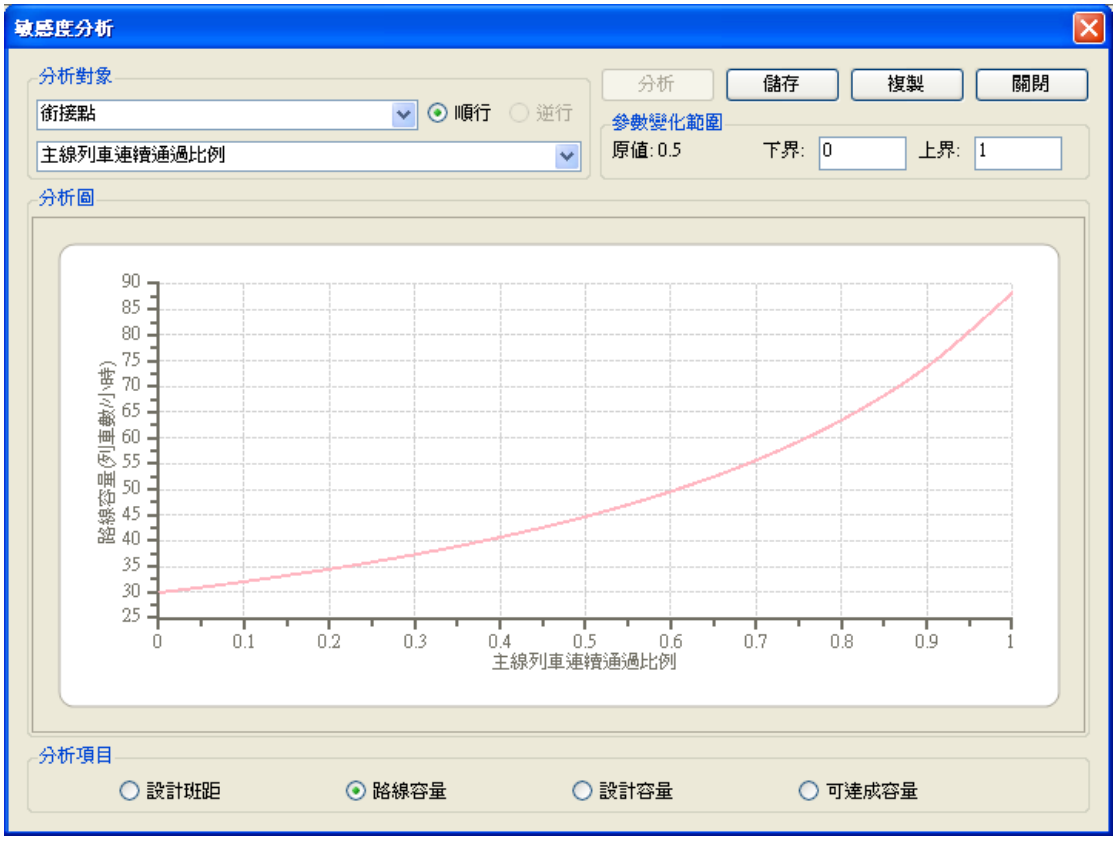


圖 6-26 敏感度分析結果

6.1.7 範例七

1. 問題描述

圖 6-27 為某捷運系統之路線，表 6.4 為其列車性能，試分析 S1 至 S14 路線上之容量瓶頸發生在何處？

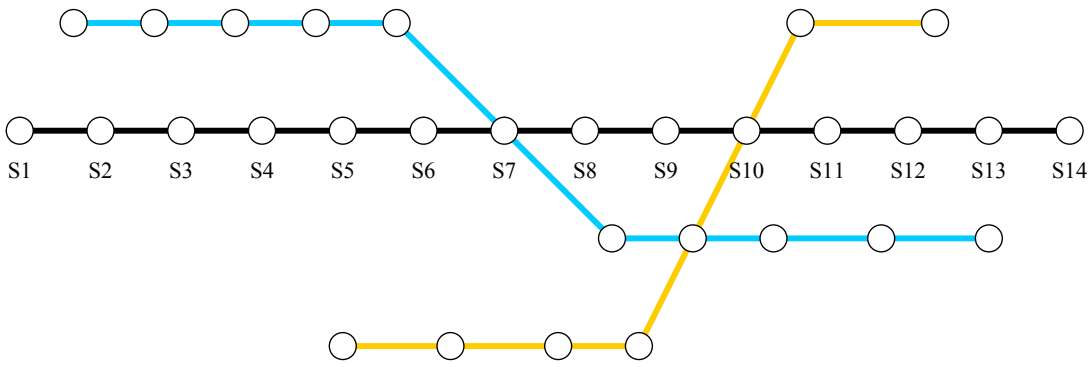


圖 6-27 捷運系統路線圖

表 6.4 捷運系統之列車性能

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

2. 求解說明

容量瓶頸可能發生在最繁忙車站、折返站或銜接點，因此在本案例中分析 S1（折返站）、S7（繁忙車站）、S10（繁忙車站），以及 S14(折返站)等站之容量，而不須逐一對所有車站進行分析。有關 S1、S7、S10 和 S14 的軌道配置如圖 6-28，S1 的空間參考點型式為站前折返，S7 和 S10 為中間站，而 S14 為站後折返，其相關參數設定如表 6.5～表 6.8。

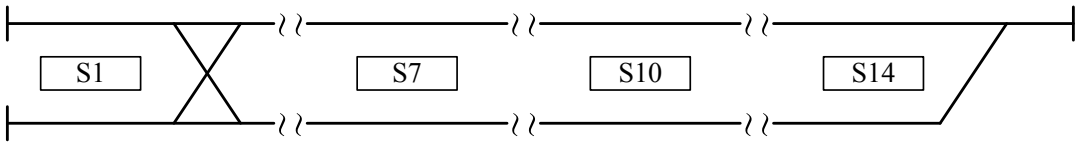


圖 6-28 捷運系統軌道配置圖

表 6.5 S1 車站之空間參考點參數

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

表 6.6 S7 車站之空間參考點參數

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

表 6.7 S10 車站之空間參考點參數

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

表 6.8 S14 車站之空間參考點參數

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

設定好各項參數後，經程式計算的結果如圖 6-29，從圖可知 S14 站為瓶頸，其容量為每小時 13 列車。

圖 6-29 各空間參考點之容量

6.1.8 範例八

1. 問題描述

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

2. 求解說明

首先利用容量分析軟體的敏感度分析功能對 S14 進行分析，將欲分析之參數設為「列車於尾軌的停靠時間」，參數變化範圍設為 10～120 s，分析項目為設計班距，分析結果如圖 6-30。

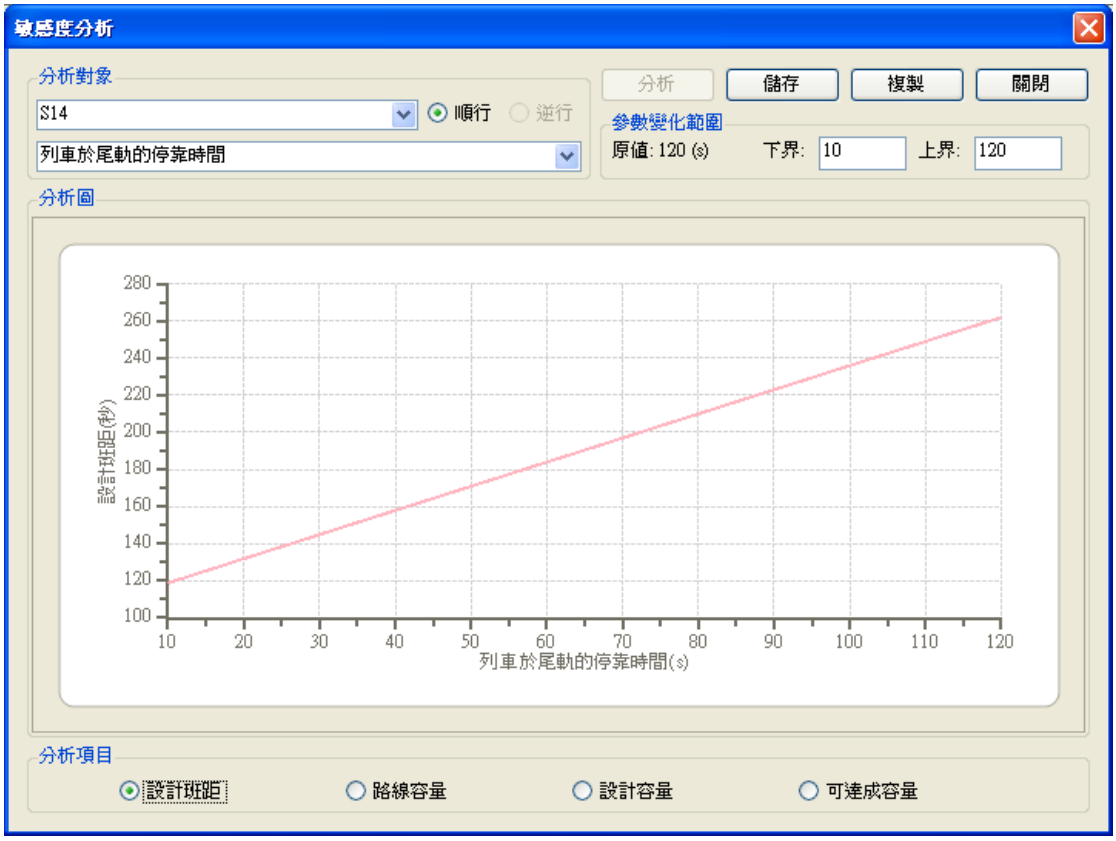


圖 6-30 敏感度分析結果

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

此外另一改善方案為於 S14 後方再新增一股尾軌與橫渡線，如此列車於 S14 折返時便可交替使用不同尾軌，此方案對容量的改善效益可透過容量分析軟體進行評估，將 S14 車站之空間參考點參數，設定列車於尾軌交替使用不同股道，如圖 6-31，再進行容量分析，其結果如圖 6-32 所示，容量提升為每小時 27 列車，有顯著的改善效益。

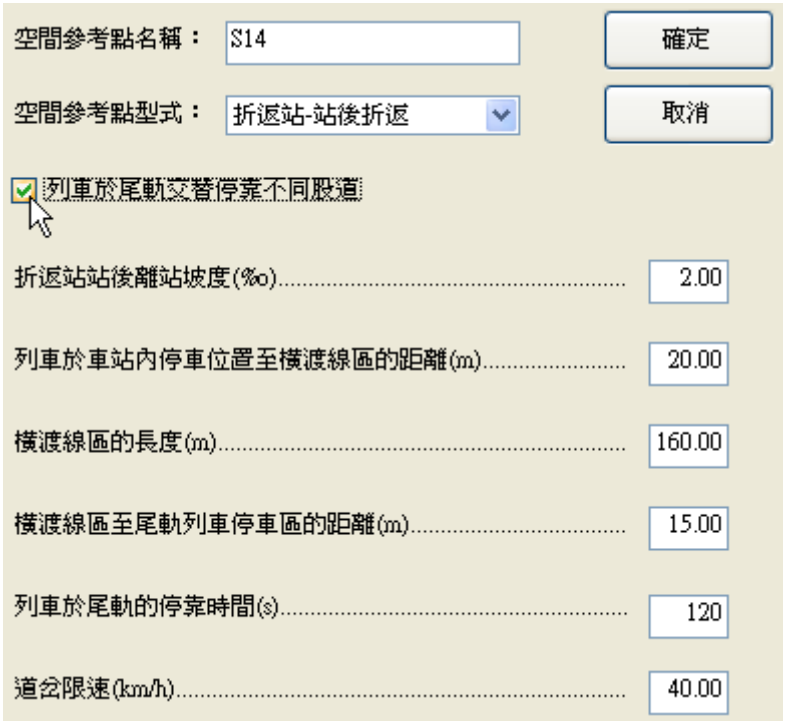


圖 6-31 設定列車於尾軌交替使用不同股道

圖 6-32 容量分析結果

6.2 運轉規劃分析

6.2.1 範例一

1. 問題描述

某一捷運系統路線的各區間之尖峰時間預測運量如表 6.9，試問若採用如表 6.10 之規格的列車，則系統的最大營運班距為何？

表 6.9 各區間尖峰時間預測運量

區間名稱	預測運量（旅客數/小時）
車站 A－車站 B	25000
車站 B－車站 C	34000
車站 C－車站 D	29000
車站 D－車站 E	32000

表 6.10 列車容量規格

項目	數據
列車組成	每列車 6 節車廂
座位	每節車廂 40 個座位
立位面積	每節車廂 50 m^2
乘載水準	6 Prs/m^2
乘載變異因子	0.8

2. 求解說明

本案例可利用運轉規劃分析模組來進行計算，首先輸入列車參數，如圖 6-33，其中列車座位數和可站立面積為整列車之加總，因此因此分別輸入 240 個座位和 300 平方公尺。

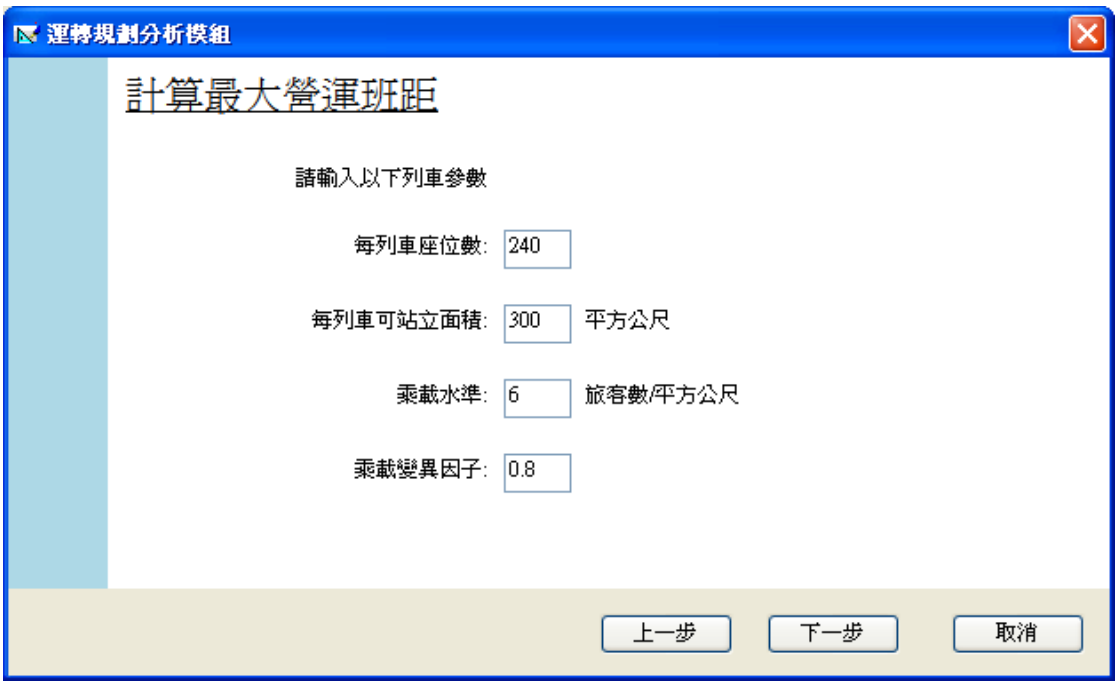


圖 6-33 輸入列車參數

接著依序輸入輸入各區間之預測運量，如圖 6-34，輸入完成後按【下一步】按鈕，則可獲得計算結果，如圖 6-35，最大營運班距為 165 s（已無條件捨去至 15 秒的倍數），乘載率最高為 79%，位於車站 B－車站 C。

圖 6-34 輸入預測運量

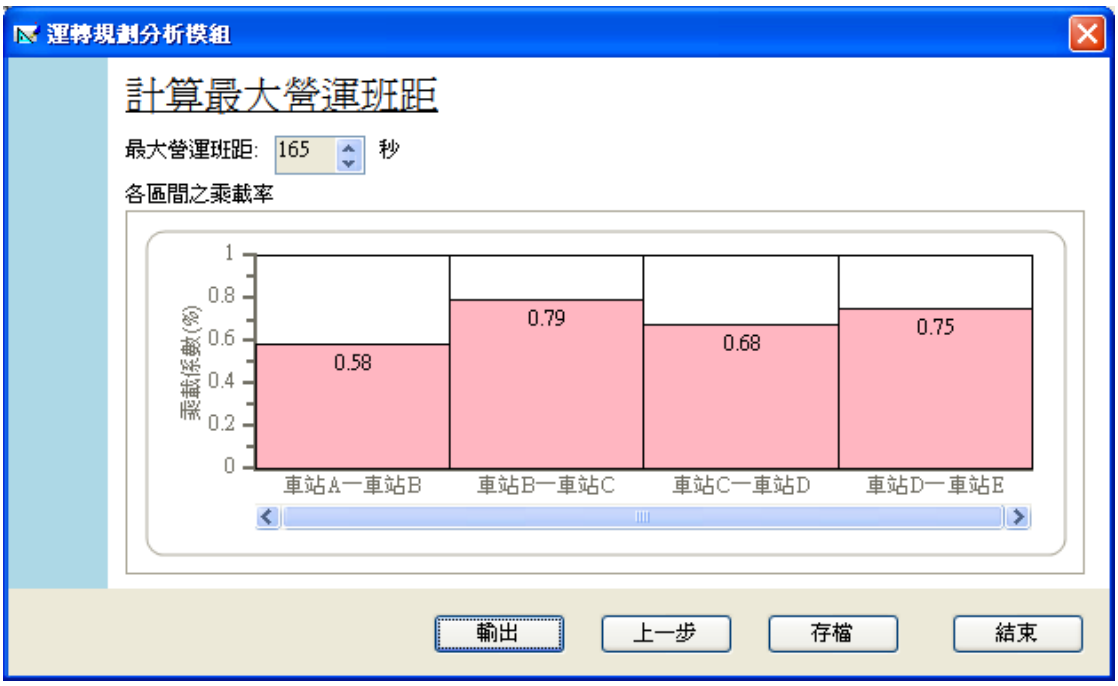


圖 6-35 最大營運班距計算結果

6.2.2 範例二

1. 問題描述

承上題，為了提供較佳之運輸服務，最高乘載率不得超過 70%，在此情況下，營運班距應為何？若列車於該路線運行往返的時間需 1 小時，且車輛備用率為 10%，則所需的車隊規模至少為多少？

2. 求解說明

從最大營運班距的計算結果中，可調整營運班距來計算各區間之乘載率，如圖 6-36，當營運班距調整為 150 s 時，最高乘載率為 69%，可符合要求。

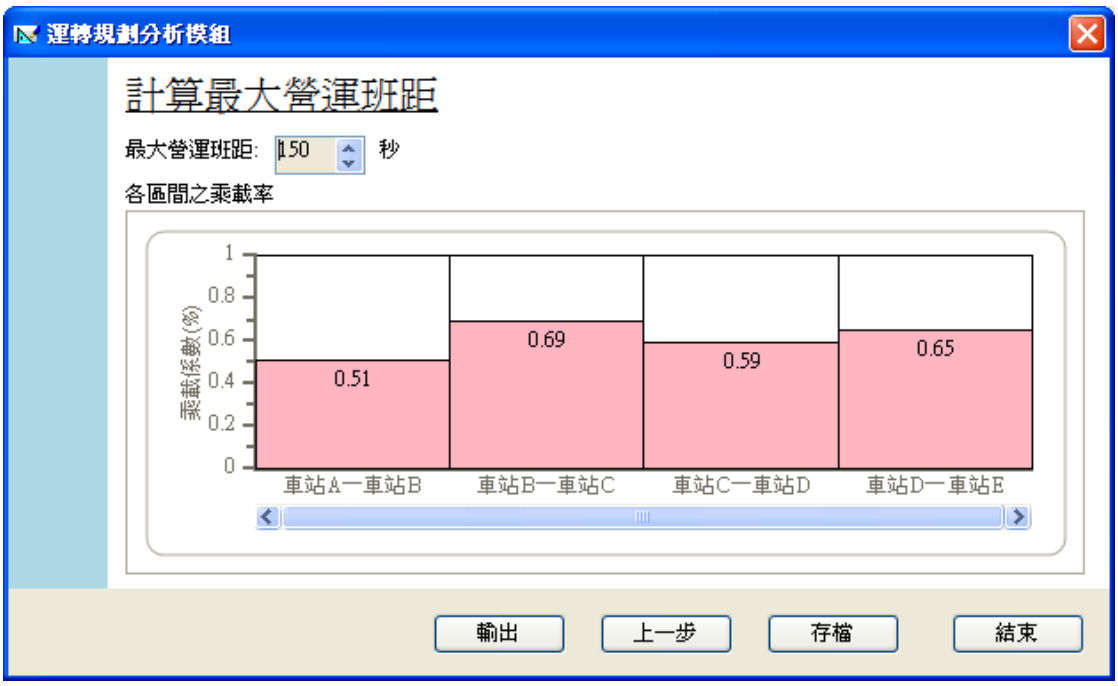


圖 6-36 調整營運班距

運轉規劃分析模組亦可計算車隊規模，輸入相關參數後，如圖 6-37，按【下一步】按鈕，則可獲得計算結果，如圖 6-38，營運列車數為 25 列，備用列車數為 3 列，車隊規模為 28 列車。

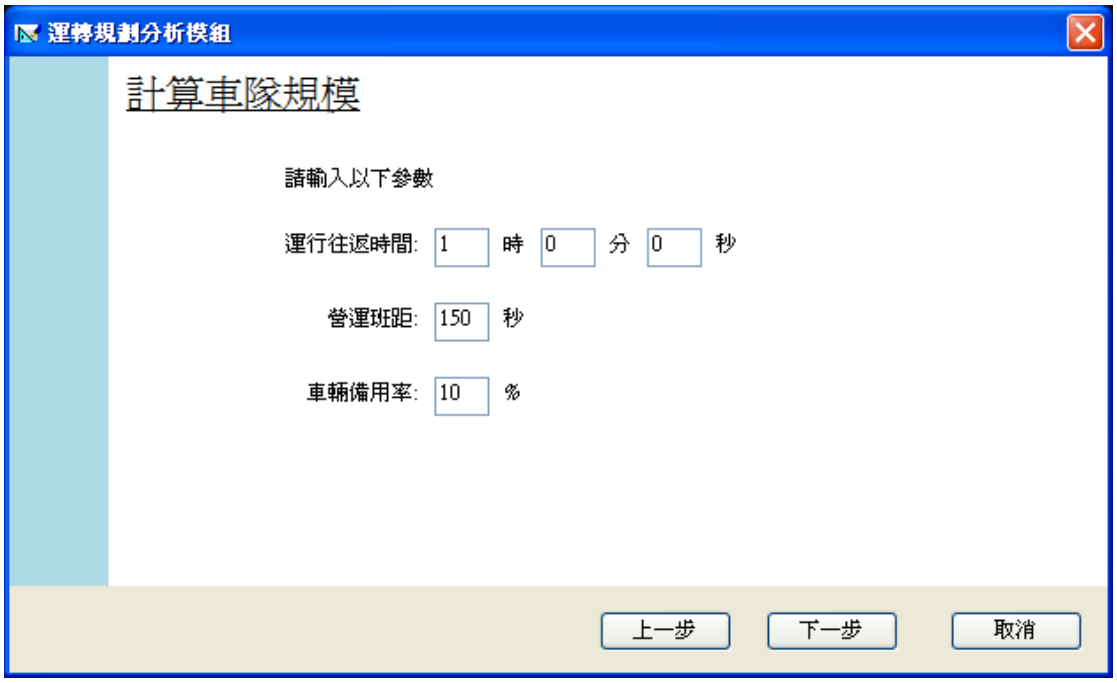


圖 6-37 輸入計算車隊規模相關參數

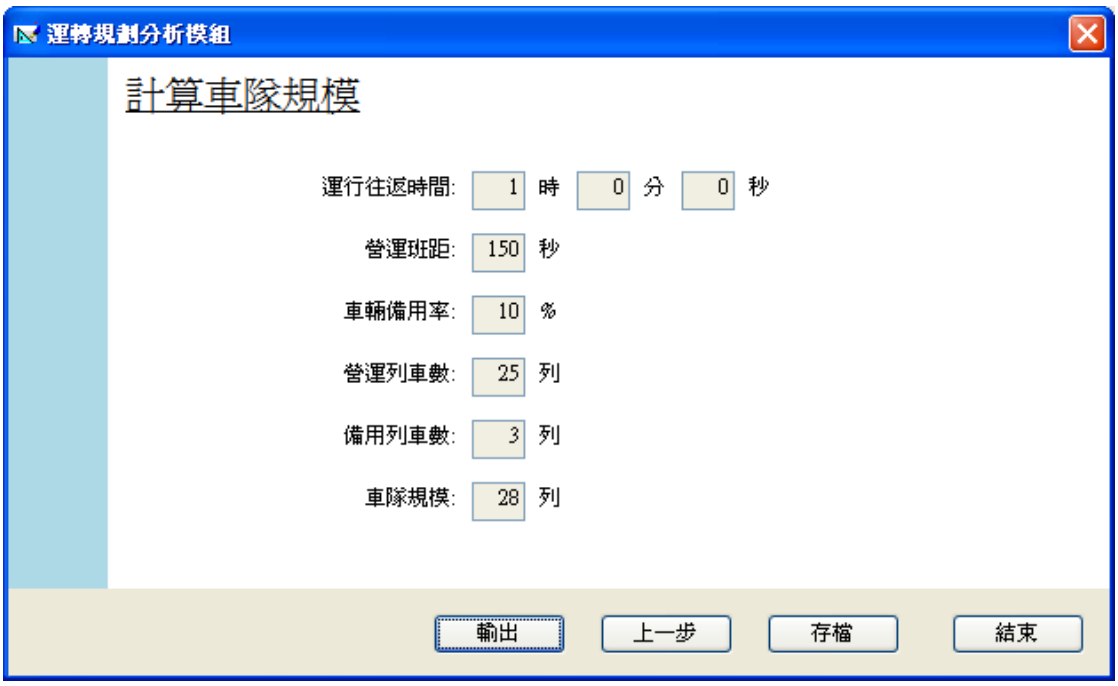


圖 6-38 車隊規模計算結果

參考文獻

1. 交通部高速鐵路工程局，**軌道運輸之機廠位置及端末車站佈置對列車運轉調度的影響研究**，民國 96 年 12 月。
2. 交通部運輸研究所，**運輸系統容量分析暨應用研究－軌道系統（3/4）**，民國 98 年 6 月。
3. 交通部運輸研究所，**運輸系統容量分析暨應用研究－軌道系統（4/4）**，民國 98 年 12 月。
4. 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**，民國 93 年 6 月。
5. 李英，「城市軌道交通折返線相關問題研究」，*城市軌道交通研究*，Vol.01, pp.28-32, 2003 年。
6. 林柏誠，「中運量電聯車簡介」，*捷運技術*，第 28 期，民國 92 年 2 月，頁 25-44。
7. 淩建勳，「列車服務計畫」，*捷運技術*，第 18 期，民國 87 年 2 月，頁 1-11。
8. 高雄市捷運工程局網站，網址：http://mtbu.kcg.gov.tw/。
9. 高雄捷運公司網站，網址：http://www.krtco.com.tw/。
10. 臺北大眾捷運股份有限公司，網址：http://www.trtc.com.tw/。
11. 臺北大眾捷運股份有限公司，**臺北捷運公司年報**。
12. 臺北市政府捷運工程局網頁，網址：http://www.dorts.gov.tw/。
13. 臺北市捷運工程局，**臺北都會區捷運規劃手冊（2004 年版本）**，民國 93 年 8 月。
14. 謝興盛，**捷運列車延誤時班距調整模式之模擬分析－以臺北捷運中、高運量系統為例**，國立成功大學交通管理科學研究所博士論文，民國 92 年 7 月。

15. 簡聰裕，**捷運系統運轉整理之研究**，國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文，民國 89 年 7 月。

16. 維基百科，網址：http://en.wikipedia.org/。

17. 蕭潔恆，**鐵路系統技術入門**，共和媒體有限公司，2006。

18. Gill, D. G., "Assessment of Mass Transit Turn-back Capacity Using Dynamic Simulation Models", *Computers in Railways VII*, 2000, pp. 1077-1086.

19. Hansen, I. A., "Station Capacity and Stability of Train Operations", *Computers in Railways VII*, 2000, pp. 809-816.

20. 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.

21. Pachl, Joern, **Railway Operation and Control**, VTD RAIL publishing, Terrace, U.S.A., 2002.

22. Railway Technical Web Pages, http://www.railway-technical.com/。

23. Tom Parkinson Transport Consulting Limited, **Rail Transit Capacity （TCRP Report 13）**, Transportation Research Board, National Research Council, U.S.A., 1996.

24. Vuchic, V. R., **Urban Public Transportation Systems and Technology**, Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, New Jersey, 1981.