

104-026-2281  
MOTC-IOT-103-EBB002

# 鐵路列車自動化排點系統 功能擴充與推廣應用

著者：許書耕、許修豪、陳春益、林東盈、李威勳、  
袁永偉、郭昭佑、吳美玲、顏利憲、李宇欣

交通部運輸研究所

中華民國 104 年 2 月

國家圖書館出版品預行編目資料

鐵路列車自動化排點系統功能擴充與推廣應用 /  
許書耕等著. -- 初版. -- 臺北市：交通部運  
研所，民 104. 02

面；公分  
ISBN 978-986-04-4395-0(平裝)

1. 鐵路管理 2. 運輸系統

557

104003090

鐵路列車自動化排點系統功能擴充與推廣應用

著者：許書耕、許修豪、陳春益、林東盈、李威勳、袁永偉、郭昭佑、吳美玲、顏  
利憲、李宇欣

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](http://www.iot.gov.tw) (中文版>圖書服務>本所出版品)

電話：(02)23496823

出版年月：中華民國 104 年 2 月

印刷者：全凱數位資訊有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 85 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定價：100 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸資訊組・電話：(02)23496880

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

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

GPN：1010400260

ISBN：978-986-04-4395-0 (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/共同研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：鐵路列車自動化排點系統功能擴充與推廣應用			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN978-986-04-4395-0 (平裝)	政府出版品統一編號 1010400260	運輸研究所出版品編號 104-026-2281	計畫編號 103-EBB002
本所主辦單位：運輸工程組 主管：許書耕 計畫主持人：許書耕 研究人員：許修豪 聯絡電話：02-23496823 傳真號碼：02-25450427	合作研究單位：財團法人成大研究發展基金會 計畫主持人：李宇欣 研究人員：陳春益、林東盈、李威勳、袁永偉、郭昭佑、吳美玲、顏利憲 地址：701 臺南市大學路 1 號 聯絡電話：(06)2757575		研究期間 自 103 年 2 月  至 103 年 11 月
關鍵詞：鐵路、自動排點、最佳化			
<p>摘要：</p> <p>本研究針對臺鐵排點作業所開發之列車自動化排點系統雛型進行功能擴充，包括資料平台設計、模擬技術、班表穩定性評估等模組與技術開發。為利系統能順利移轉臺鐵局，並針對臺鐵局排點作業人員進行需求訪談、系統操作訓練。就求解核心技術、使用者介面、資料介接等面向進行實務驗證，評估該系統未來在實務應用之可行性。後續移轉臺鐵局應用後，除可滿足臺鐵排點作業資訊化及電子化需求，未來並可應用於相關軌道政策之方案評估。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
104 年 2 月	128	100	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
<p>機密等級：</p> <p><input type="checkbox"/>密 <input type="checkbox"/>機密 <input type="checkbox"/>極機密 <input type="checkbox"/>絕對機密</p> <p>（解密條件：<input type="checkbox"/>年 月 日解密，<input type="checkbox"/>公布後解密，<input type="checkbox"/>附件抽存後解密， <input type="checkbox"/>工作完成或會議終了時解密，<input type="checkbox"/>另行檢討後辦理解密）</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>普通</p>			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

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

TITLE: The Enhancement, Application, and Promotion of the Automated Railway Scheduling System			
ISBN(OR ISSN) 978-986-04-4395-0 (pbk.)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010400260	IOT SERIAL NUMBER 104-026-2281	PROJECT NUMBER 103-EBB002
DIVISION: Engineering Division DIVISION DIRECTOR: Shu-Keng Hsu PRINCIPAL INVESTIGATOR: Shu-Keng Hsu PROJECT STAFF: Hsiu-Hao Hsu PHONE: 886-2-23496823 FAX: 886-2-25450427			PROJECT PERIOD FROM February 2014 TO November 2014
RESEARCH AGENCY: NCKU Research & Development Foundation PRINCIPAL INVESTIGATOR: Yusin Lee PROJECT STAFF: Chuen-Yih Chen, Dung-Ying Lin, Wei-Hsun Lee, Yune-Wei Yuan, Chao-Yu Kuo, Mei-Ling Wu, Li-Hsian Yan ADDRESS: 1 University Road, Tainan, Taiwan 701 PHONE: 886-6-2757575			
KEY WORDS: railway, automated scheduling, optimization			
ABSTRACT:  <p>This study articulated past results and experiences and enhanced the automated scheduling technology developed in the past to cover data platform design, simulation, and timetable stability evaluation. We also performed demand interviews and system operation training with Taiwan Railways Administration (TRA) schedulers to validate the practical applicability of the core technology, user interface, and data interfacing and confirm the ability of the system to be used in the TRA in the future. The system could be used to improve the efficiency of TRA's train scheduling process and to evaluate the feasibility of new railway projects.</p>			
DATE OF PUBLICATION February 2015	NUMBER OF PAGES 128	PRICE NT 100	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

## 目 錄

第一章 緒論 .....	1
1.1 研究緣起 .....	1
1.2 研究目的 .....	1
1.3 研究流程 .....	2
第二章 文獻回顧 .....	3
2.1 排點技術相關文獻 .....	3
2.2 臺鐵局自動排點系統發展歷程 .....	5
2.3 本所自動排點核心技術發展歷程 .....	6
2.4 班表穩定性與回復力相關文獻 .....	13
第三章 列車排點自動化課題與求解 .....	15
3.1 列車排點問題 .....	15
3.2 列車排點考慮因素 .....	18
3.3 班表衝突 .....	24
3.4 定期列車自動排點 .....	25
3.5 臨時列車自動排點 .....	25
3.6 編組運用 .....	27
3.7 數學模式及求解策略 .....	28
3.8 自動排點模式基本輸入資訊 .....	33
3.9 使用者介入機制 .....	34
第四章 鐵路列車自動化排點系統功能擴充 .....	39
4.1 排點功能擴充 .....	39
4.2 資料與資料平臺 .....	41
4.3 列車運行模擬 .....	42
4.4 列車班表穩定性分析 .....	43
4.5 實務驗證 .....	44
第五章 鐵路列車自動化排點系統未來發展 .....	49
5.1 持續提升自動排點技術 .....	49
5.2 發展資源調度輔助系統 .....	50
5.3 路線容量分析與公共投資方案評估 .....	52
5.4 小結 .....	53
第六章 結論與建議 .....	55
6.1 結論 .....	55
6.2 建議 .....	55

參考文獻.....	57
附錄 A 期中審查意見及辦理情形	
附錄 B 期末審查意見及辦理情形	
附錄 C 期末簡報	
附錄 D 實務驗證項目	
附錄 E 人機介面使用手冊	

## 圖目錄

圖 2.1 「臺鐵車輛排程最適化之研究」求解測試 .....	7
圖 2.2 CTC 紀錄誤差示例 .....	8
圖 2.3 ATP 解析列車行車過程示例 .....	9
圖 2.4 鐵路系統決策支援平臺資料庫架構 .....	11
圖 3.1 列車追越與交會示意圖 .....	19
圖 3.2 列車追越實例 .....	19
圖 3.3 三義站股道佈設 .....	20
圖 3.4 寬裕時間與緩衝時間示意圖 .....	21
圖 3.5 二列車於南勢站與銅鑼站之間發生第一類衝突 .....	24
圖 3.6 列車排點模式啟發式解法流程圖 .....	33
圖 4.1 本系統與臺鐵系統班表交換格式示例 .....	45
圖 5.1 臺鐵車輛編組運用弓形圖示例 .....	52
圖 5.2 未來發展藍圖 .....	53

## 表目錄

表 2.1 本所過去相關研究成果整理 .....	14
表 3.1 廣義排點作業工作內容.....	17
表 3.2 排點控制參數表.....	36
表 4.1 樹林=臺東間自強號班表調整測試狀況 .....	46
表 4.2 列車增停調整測試狀況.....	47



# 第一章 緒論

## 1.1 研究緣起

臺鐵是全國規模最大、歷史最久的鐵路系統。目前平均每日約有 63 萬旅客搭乘臺鐵系統，每次班表改點都受到各界矚目。交通部亦不斷要求臺鐵提升包括排點作業在內之相關營運系統的資訊化及現代化，以提供更切合旅客需求之服務。然鐵路系統為規模龐大、高沈沒成本、高變動成本、高度複雜性以及高精密度之系統。在運轉上必須有精準的規劃作業方能達到高安全性、高可靠度、高效率之要求。此一龐大系統所需要的規劃作業相當複雜而多樣，其中列車排點為營運作業之核心，決定了該鐵路系統所提供的服務項目與內容。排點作業的產出為班表，整個鐵路系統大部分的資源與部門，亦多以班表為最主要的工作指導原則，列車班表主導鐵路系統之資源分配，其重要性不言可喻。

本所自 93 年開始進行一系列軌道容量分析相關研究，在列車排點部分亦於 95 年完成「臺鐵車輛排程最適化之研究」<sup>[1]</sup>，透過列車排點基本觀念的建立、文獻的回顧及臺鐵現行列車排點作業現況的瞭解，釐清臺鐵列車排點的問題，再考量現有鐵路設施與路線營運之限制條件，已建立初步之最適化排點模式。100 年完成之「鐵路列車排程參數蒐整建置及架構分析之研究」<sup>[2]</sup>及「臺鐵包車營運需求下列車班表之研究」<sup>[3]</sup>，前者蒐整臺鐵列車排點所需之相關參數並以資料庫方式建置，用以提供產官學研各界於後續發展求解演算法及自動排點模式之用，後者針對臺鐵包車營運型態探討列車班表調整模式。101 年完成之「鐵路列車排程模式建立及運行資料分析校估之研究」<sup>[4]</sup>，除持續發展列車排點模式外，並分析鐵路營運之中央行車控制 (Centralized Traffic Control, CTC) 及列車自動防護系統 (Automatic Train Protection, ATP) 紀錄資料，嘗試作為列車排點參數校估及班表績效評估之用。同樣在 101 年也完成了「鐵路系統設施基本資料庫建置之擴充」<sup>[5]</sup>，在該研究案中設計並建置了符合臺鐵自動化排點需求的鐵路決策支援資料庫平臺 (Railway Decision Support Platform, RDSP)。102 年完成之「鐵路列車自動化排點系統建置之研究」<sup>[6]</sup>已建立適用於臺鐵排點作業之列車自動化排點系統雛型，具備服務計畫產製、班表求解、列車衝突檢查及排除、運行圖顯示等功能。103 年度研究除配合臺鐵局在臨時列車與全線班表排點作業之實務應用，持續進行功能開發與擴充，並進行系統移轉臺鐵局之相關需求訪談、臺鐵排點人員系統操作訓練與班表績效評估。

## 1.2 研究目的

本研究主要目的在擴充過去研究成果之自動化排點功能，並推廣在實務上之應用。其主要項目列舉如下：

1. 綜整過去相關研究之成果與經驗，有系統整理自動排點技術之困難與克服方法。
2. 擴充過去研究成果之自動化排點功能，並及於資料平臺設計、模擬技術、與班表穩定性評估技術之開發。
3. 就求解核心技術、使用者介面、資料介接等各面向進行實務驗證，以落實自動排點技術在實務作業上之應用。
4. 提出自動排點技術成熟化後之未來應用。

## 1.3 研究流程

本報告書計分為 6 章。除本章計畫背景分析外，第二章為相關文獻回顧、第三章則整理並分析列車自動排點之各種課題及克服之方法。第四章說明本研究對過去自動排點技術及軟體之擴充、第五章則提出在現有研究成果上，未來研究與發展之可行方向。最後第六章為結論與建議。

## 第二章 文獻回顧

### 2.1 排點技術相關文獻

列車排點因其重要性與複雜度，國內外均吸引許多學者投入研究。目的在發展適當之輔助工具，以達成排點工作自動化與最佳化。早期 Cury 等學者<sup>[8]</sup>即曾嘗試建立數學模式，並以拉氏鬆弛法(Lagrangian relaxation)求解列車班表，但僅能在小規模之捷運系統等單純鐵路作有限制應用。而 Fukumori 等學者<sup>[9]</sup>則嘗試在一組規則下以試誤法求解班表，但無法克服單線區間，兩方向列車共用同一股道之複雜問題。之後 Carey 及其研究團隊亦提出一系列之研究成果<sup>[10-12]</sup>，惟目前所見研究成果與實際應用仍有相當距離。

近十年來國際上對軌道車輛排點技術研究著墨甚多，所使用之方法各不相同。Liu and Kozan<sup>[13]</sup>將列車視為生產線中工作項目，將單一股道的軌道區間視為貨件逐一通過之單一機臺，將多股道的軌道區間視為貨件擇一通過之多臺平行機臺，利用工作排程模式(job-shop scheduling problem)求解軌道列車排點問題。在此模式下，工作由一個機臺移至下一個機臺的動作，即可用以描述軌道系統中列車由一個閉塞區間行駛至下一個閉塞區間的行為。而每一機臺在任一時間僅能處理一件工作，則可類比較每一閉塞區間在同一時間僅允許一列列車佔用規定。由於鐵路中列車在離開一個閉塞區間的同時必須進入下一個閉塞區間，因此本模式設定各項工作在機臺之間沒有緩衝時間。亦即前一工作在一個機臺上尚未完成處理之前，其下一件工作即無法進入，而必須留在前機臺上等待。在真實軌道系統中，前後列車之間的最小時間間隔，隨著前後列車的行駛方向以及是否停站而有所差異。此外，在車站中不同的股道分配方式，也會影響列車間是否產生衝突。而鐵路股道有平面交叉時，使用完全不同股道的兩列列車亦有相互干擾的可能。若將這些重要的真實狀況，完整表現在此工作排程模式中，則模式規模極大，因工作排程問題本身即不易求解，故此模式雖具學術價值，但與實用尚有距離。

晚近發展的模式，常在求解班表行點外，再納入其他更多考量因素。例如 Canca et al<sup>[14]</sup>與 Barrena et al<sup>[15]</sup>提出之排點模式，即考慮需求隨班表之班車間距而變化狀況。但其模式僅適用於軌道狀況單純之捷運系統，測試例之規模亦僅有數十列次且不及 10 座車站，遠小於臺鐵規模。Niu 與 Zhou<sup>[16]</sup>模式亦納入乘客擁擠考量，但並未考慮股道分配及其他重要實務因素，且假設兩方向行車完全區隔。其測試亦僅 7 座車站，不及 100 列次規模。Yang 等學者<sup>[17]</sup>則針對事故發生後之運轉整理計畫，使用模糊理論發展數學模式。由於求解上困難，雖然該模式目標為局部性班表修正而非求解全班表，亦僅能求解小規模、單方向行車之問題。

Lee and Chen<sup>[18]</sup>針對軌道車輛排點問題發展專用之特殊演算法，在初始階段先以簡單規則得到第一個可行班表，之後則以回合演算的方式持續改善，直到解得可用的優良班表為止。每回合分為 4 個階段，由已知的可行班表開始，第一階段以鄰近搜尋法小幅度改變一小部分列車通過各站間區間的順序；第二階段則利用一個純雙元整數規劃模式，以分配各列車通過各站時所使用股道；若可解得可行之股道分配方式，則演算法的第三階段使用一個不含整數的純線性規劃模式，以求解在各站共同股道之各班列車通過其股道順序；最後在第四階段使用另一個純線性規劃模式求解完整班表。此模式完整考慮各種真實考量的因素，為目前所見最完整的模式，相關成果亦曾於國際研討會獲得最佳論文獎<sup>[19]</sup>。在求解能力上此論文所提出之演算法亦足以求解真實規模之排點問題，為目前所見最接近實務需求者。該模式並未直接

納入列車機車牽引能力考量，而以基準運轉時分以及適當的安全時隔達到目的。此作法與臺鐵實務作法接近。

Chung, Oh, and Choi<sup>[20]</sup>利用混合整數規劃模式配合基因演算法，求解韓國鐵路系統的列車排點問題。此模式特性為納入相當多的額外考量因素，包括各編組行駛里程平衡、列車過夜基地容量、車輛編組維修里程的有效使用等。然此模式並未完整納入排點時最重要的衝突排除。該論文中雖以韓國的真實鐵路為例，但僅能用作較簡略之系統規劃用途，並無法求解可用之列車班表。

軌道車輛排點問題的核心，在決定各車次通過各車站所使用的股道，及使用這些股道的順序。這些資訊本質上為離散量，與班表時間為連續量有別。編排班表所需遵守的限制，以各種時隔及運行時間為主，在若干簡化假設下，基本上大都能以線性數學式描述。利用此性質，有些文獻利用雙元整數變數描述問題中離散的順序，利用無整數限制的連續實數變數描述班表時間項，再使用線性混合整數規劃模式描述班表問題並求解。Caprara, Fischetti, and Toth<sup>[21]</sup>在此觀念下，使用混合整數規劃模式求解列車系統的規格班表。為降低模式的複雜度，該模式僅考慮單線、線狀(不分叉)軌道，並僅限於單一行車方向。由於真實軌道系統中常有很多雙向共用的股道存在，因此兩行車方向的列車並無法分別獨立考慮。這些限制使得該模式並無實用能力。求解亦為一大挑戰。雖該模式已經大幅簡化，但使用分枝定限法等一般化之求解仍相當困難，因此該文獻使用拉式鬆弛法(Lagrangian relaxation)配合啟發式解法解得近似解。

另一以混合整數模型為主之模式為英國學者 Carey<sup>[10]</sup>，在模式的架構上，其所發表之一系列研究<sup>[10, 11, 22]</sup>，早在十餘年前即獲得相當接近實務需求成果。其早期發展之數學模式<sup>[22]</sup>能求解單一行車方向班表，然如前述，雙向行車股道使得求解班表時無法獨立考慮兩行車方向，大幅限制模式實用性。其後之研究成果<sup>[11]</sup>即推廣到同時考慮兩行車方向。在其基本模式<sup>[22]</sup>及<sup>[11]</sup>發表之前，其他學者相關研究在求解列車交會與待避時，多僅考慮各車站總股道數，而未能實際考慮股道之分配方式。而 Carey 首先對列車所使用之股道分配方式作深入探討，然這些模式均架構於混合整數規劃模型，因此規模略大即甚難求解。以致這些模式雖能描述真實問題，但均僅能求解極小規模問題，與實際軌道系統相去甚遠。迄今亦未能針對當時數學模式，提出足以求解真實規模問題之演算法。

國內研究部分，周永暉<sup>[23, 24]</sup>以假期等特殊尖峰需求為目標，研究鐵路列車排程之最佳化模式。該研究考慮列車載客營收值與旅客旅行時間節省效益，使用啟發式解法求解最佳列車車種組合、發車時點、列車停站數及停靠車站。鍾志成等<sup>[1, 25]</sup>使用混合整數規劃模式，可求解小規模單向行車班表。而李治綱、謝汶進<sup>[26]</sup>則使用混合整數規劃模式求解小規模列車班表。這些文獻雖各有其見解與貢獻，但受限於求解問題規模及納入考慮因素不足，均未具實務應用能力。

上述研究均未在模式中完整考慮機車牽引特性及機械性能。求解上雖可利用調整給定之基準運轉時分，考量停靠車站時因加減速之損失時間，基本上均假設機車具有無限大的加速能力與減速能力，多數文獻甚至假設列車在各閉塞區間的運轉時分為已知的定值，與列車在其前後區間之行駛狀態、是否停車無關。部分模式(如<sup>[18]</sup>)雖容許此行駛時間為模式中之決策變數，但決定其值僅考量班表所需，至於列車之機械性能仍不在考慮之列。這些假設雖無礙模式求解班表之實用性，但學理上這些假設並不合理。所求得班表，在特殊狀況下亦可能因列車性能限制而無法完全依班表行駛。即一列車由靜止啟動時，不可能在一瞬間達到運轉速率，可能造成其後列車時隔不足。同理，列車在進站停靠時，無法在一瞬間由運轉速率而靜止，必須在進站前提早減速，可能佔用前一閉塞區間時間超過班表所排定者，造成與後車時

隔不足。為了能貼近真實狀況，這些模式在參數中納入了安全時隔以及行車時間餘裕，並列入加減速時間損耗的考量，以作為真實列車在加速、減速時所需要的額外時間。然而這些額外時間均為事先給定，並未在模式中依車輛性能而納入嚴謹的計算公式。主要原因在於真實列車的加減速性能與行車速率之間有著複雜關係，同時規章所允許的最高車速又與曲率半徑、超高量等軌道條件相關。然多數模式以線性限制式為主，無法與高度非線性之機械性能公式相兼容。為此，Nagarajan and Ranade<sup>[27]</sup>以解析方式推導在考量列車機械性能下列車的運行狀況，但因問題高度複雜性與高度非線性，僅能初步推導單一系列車之行駛狀況，無法直接用於求解班表。該研究在列車機械性能方面僅假設列車之最大出力與阻力相抵消後之淨力為定值，與真實狀況亦有所出入。其成果雖無法用於真實班表求解，但推導而得的基本數學性質或可為未來排點模式納入機械性能之重要參考。

## 2.2 臺鐵局自動排點系統發展歷程

臺鐵局擁有超過 125 年之歷史，遠在任何現代化計算工具問世之前，臺鐵局系統就已經長期常態性運轉。在早期電腦尚未出現之年代，排點工作自然全靠人工為之。約在二十多年前，臺鐵局著手於排點工作之電腦化與自動化，並獲得相當可觀之成果。回顧其發展歷程可分為電腦化與自動化兩個階段，分述如下。

### 1. 電腦化發展階段

臺鐵局早期努力重點，在使鐵路排點工作由紙上作業朝向電腦化發展。民國 81 年 7 月完成列車排點電腦化系統，由電腦提供基本查詢及相關報表輸出功能。民國 81 年時臺鐵全線共有 218 座車站，平均每日開行列次數為 789 列<sup>[28]</sup>。該系統設計目標為求解 230 座車站、每日 350 列次之問題規模，並依循一組既定規則以排除班表中衝突，達到排點目的<sup>[29]</sup>。所採用求解策略分為全域排點(global scheduling)與區域排點(local scheduling)兩層。在全域排點層，演算法暫不考慮列車間衝突，先求解一組大略班表。此階段僅考慮列車發車站與終點站、理想始車時間、沿途停靠車站、及最小停站時分。之後再於區域排點層尋找衝突，並依一定規則排除。偵測衝突方式為利用列車到離站時分，檢核各列車與其先行列車間是否有時隔不足、單線區間站間對撞、站間追撞等狀況。若兩列車所分配之股道有發生平面交叉可能，則再檢查平面交叉時隔。若發現衝突，則區域排點層演算法則依列車推擠原則，以提前或延後列車到離站時分、變更股道分配方式、延長列車在站間運行時間、延長列車在站內停靠時間、安排在無停靠需求車站臨時停車等方式，嘗試排除衝突。此作法能夠有效排除特定衝突，但亦有可能在移動列車之到離站時分時，因為推擠其他列車而造成連鎖效應，在其他列車之間產生新衝突，該演算法會再行偵測新衝突並嘗試再排除。該研究發現此「偵測衝突→排除該衝突」策略並無法完全排除所有衝突。原因是連鎖效應而產生新衝突現象，可能產生循環，即經過多次衝突排除後，原先之衝突再次出現。這將使演算法落入無窮迴圈而無法解得可行班表。該研究設計了人工介入之使用者介面，在演算法發現無法求解時，由人工進行衝突排除以打破前述循環，再由軟體繼續求解。

受限於前述問題，此系統排點自動化成效雖未臻理想，但對臺鐵局排點作業之電腦化仍具貢獻。復於民國 91 年 8 月完成列車排點系統更新案，以 Windows 為主要作業系統。後於民國 92 年底完成列車排點系統擴充案，再次提升系統功能。至此，臺鐵局排點工作之基本資料查詢、報表輸出、運行圖輸出等功能已初具規模，並對排點人員提供實務作業之助益。

### 2. 自動化發展階段

在達成排點工作電腦化後，臺鐵局續朝難度更高的排點自動化、以及決策輔助功能發展。

民國 97 年 2 月執行之電腦排點系統短期改善案，除了在系統中增加更多的資料查詢、資料跨平臺拋轉等功能外，並納入簡單的班表衝突偵測功能。該系統亦補強人工調整排點輔助功能，並增加網路化審核、公告及瀏覽能力。續於民國 99 年 11 月完成之電腦排點系統功能提升案進一步強化了使用者介面、班表管理、時點管理等功能，達成以電腦資訊系統輔助人工排點效果。民國 101 年之電腦排點系統功能擴充案，強化班表編輯、管理、出版等功能。多年累積的成果，除對排點工作人員提供助益，也串連臺鐵局排點工作上下游電腦化的工作環境。

## 2.3 本所自動排點核心技術發展歷程

在臺鐵局發展其自動排點技術與軟體之同時，本所亦執行多項相關研究，依其主題方向大致上可分為三個階段，分別說明如下：

### 1. 核心技術發展階段

演算法為電腦自動排點能力之最重要來源，國內外雖然多有相關研究，但具有實用能力者甚少。本系列研究展開初期，先致力於基本核心技術之發展。本所在此一階段完成三項研究：

#### (1) 臺鐵車輛排程最適化之研究<sup>[1]</sup>

該研究使用二元整數變數描述列車排點時所受到的各種限制，建立混合整數規劃模式後，以分支定限法(Branch and bound)以及基因法分別求解之。

混合整數規劃問題具有指數求解複雜度，求解不易。其中最主要之二元整數變數來源是用以描述列車行經同一地點之先後順序。雖然該研究已使用模式構建技巧以減少二元整數變數數量，但仍未能將問題縮小到可使用分支定限法求解規模。以臺鐵基隆至新竹路段 24 座車站之範圍，若班表中含有 139 列之之列車，則模式即含有 642,597 個二元整數變數與 1,739,307 個限制式，超過電腦以分支定限法求解能力。數值測試結果亦呈現類似結果：以臺鐵基隆至新竹路段，南下方向之部分車次為例，測試分支定限法求解績效結果轉錄於圖 2.1。圖中顯示其僅能成功求解 6 列次之問題。

該研究亦嘗試以基因演算法求解班表，可求解達 30 列次之問題。但其求解能力仍僅止於基隆至新竹路段，單向行車之班表。若問題中同時考慮兩方向之車次，則能夠求解之問題更受限制。雖然本研究成果僅能成功求解基隆至新竹路段，單一方向少數列次之排點問題，與臺鐵全線自動排點之長遠目標尚有相當之距離，但已顯示具實用能力自動排點技術之發展並非遙不可及。

#### (2) 臺鐵包車營運需求下列車班表之研究<sup>[3]</sup>

該研究以臨時列車為範疇，發展將新增車次排入既有背景班表之技術。臺鐵系統中，依不定期列車作業程序規劃調度，或於臺鐵局官方網站中歸類於包車之車種有六類，為：團體列車、專開列車、郵輪列車、兩鐵列車、軍運列車、與計畫性加開列車。此一問題為給定一個可行無衝突列車班表，在其中依指定的理想發車時間以及行程、停靠站等安插額外一列次的新增列車。類似的模式並可用於特殊節日、甚至運轉整理。對此一重要問題，國際上文獻並不多見，本報告先前已有回顧<sup>[27, 30, 31]</sup>。

此研究成果足以在臺鐵真實班表內插入一班新增列車，進一步將相關模式與軟體技術推進到實務應用範圍之內，並確立其後排點相關研究均以臺鐵全線班表規模作為研究對象，有別於先前僅以局部小規模班表進行研究。而在本研究進行過程中，亦發現人工排點與自動排

點，對資料之需求有極大差異。以人工作業為排點主要工作模式時，受到人工處理資訊能力之限制，資料量不能太大。而資料有若干之錯誤、缺漏、格式不一致、或內容不一致時，工作人員亦以其知識與經驗，作資料插補而完成任務。故以往排點工作僅能由經驗豐富人員為之，易造成人才接續養成之困難。以自動化方式排點時，電腦有能力以高效率處理龐大量體之資料，但資料之完整性、一致性等品質課題便成為重要項目。因此，如何以人工作業之資料為基礎，建立適合自動作業之資料，便成為面臨之重大挑戰。為此，本所乃在排點技術相關研究達到臺鐵真實規模能力後，接續辦理資料整理與建立相關研究。

列車數	二元變數個數	分支定限法 最大節點數	限制式個數	運算時間(sec)
2	67	$2.95148 \times 10^{62}$	366	0.125
3	201	$6.42775 \times 10^{60}$	819	0.516
4	402	$2.0658 \times 10^{121}$	1452	2.500
5	670	$9.7978 \times 10^{201}$	2265	16.094
6	1005	$6.8577 \times 10^{302}$	3258	86.031
7	1407	◎	4431	122.781
8	1876	◎	5784	1001.625
9	2412	◎	7317	2241.875
10	3015	◎	9030	20865.307
11	3685	◎	10923	118658.219
12	4422	◎	12996	☆
13	5226	◎	15249	☆
14	6097	◎	17682	☆
15	7035	◎	20295	☆
20	12730	◎	36060	☆
30	29145	◎	81090	☆
50	82075	◎	225150	☆
100	331650	◎	900300	☆
200	1333300	◎	3600600	☆

附註 1：◎表示計算機無法計算

附註 2：☆表示計算時間遠大於 1 週，放棄計算

圖 2.1 「臺鐵車輛排程最適化之研究」求解測試

資料來源：臺鐵車輛排程最適化之研究<sup>[1]</sup>

### (3)鐵路列車排程模式建立及運行資料分析校估之研究<sup>[4]</sup>

本研究目的在持續發展鐵路列車自動化排點模式，分析鐵路列車運行資料( CTC 及 ATP)於排點作業應用，並以未來能供臺鐵實務使用為目標。因此，除發展自動化排點模式求解列車班表外，本研究並依據過去相關研究所累積經驗，及嘗試求解真實班表之測試結果，提高求解所得班表品質，朝向實用化發展。在前述 CTC 及 ATP 等鐵路列車運行資料分析方面，



亦以未來真正上線使用為目的，深入研究鐵路列車運行資料之分析如何支援應用於自動排點系統求解。在解析了 CTC 與 ATP 兩系統紀錄檔後，發現兩者均紀錄了列車運行之過程，但 CTC 資料精準度不足，常有誤差。圖 2.2 所示為該研究解讀 CTC 紀錄後繪製的運行圖，可以觀察到列車在車站之間不正常來回跳動現象，顯然與真實狀況並不一致。

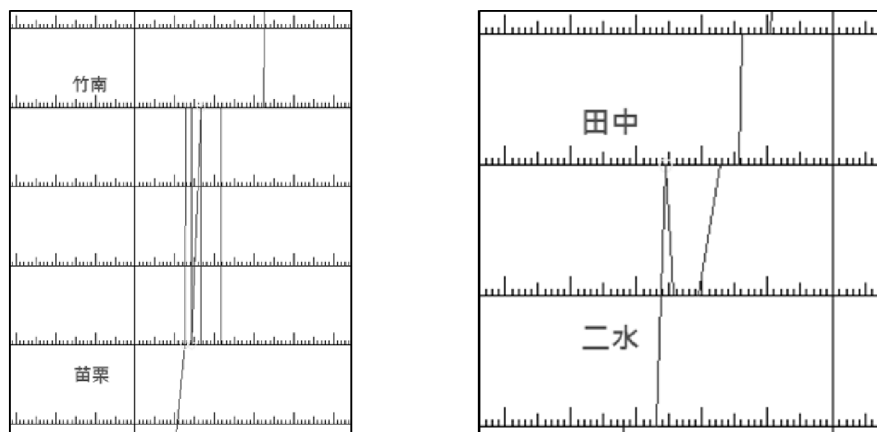


圖 2.2 CTC 紀錄誤差示例

資料來源：鐵路列車排程模式建立及運行資料分析校估之研究<sup>[4]</sup>

而 ATP 原始紀錄經解析後，可還原得到精準之行車過程紀錄，如圖 2.3 所示例。此系統基本上每秒鐘留存一筆紀錄，含有列車位置與速率。其中列車位置精準度可達公分、時間之精準度為秒、速率精準度為每秒公分。此種精度已經足供實務上需求。然而 ATP 系統原始設計目的在保護列車運行，並非作為歸納排點參數之用。因此不論在原始資料紀錄，或在該系統內建之資料整理與呈現功能，均有需要補強之處。欲由大量 ATP 紀錄檔中歸納整理出排點作業所需要之重要參數，仍然需要相當多後續工作。如上述研究<sup>[3]</sup>曾經指出人工排點與自動排點所需資料差異，故進一步由自動排點系統角度，釐清支持自動化排點系統所需要資料項及其性質，並將資料分類為：動力車輛與牽引種別、軌道電路與進路、列車時隔與號誌、排點時隔與緩衝時間、基準運轉時分與寬裕量。由於資料量龐大，且需系統化的組織，本研究提出了未來自動化系統所需要的資料模型與資料庫架構。其中所謂資料模型，指將軌道、車輛、車次、規章、參數及其他排點相關資料，以數位型態整理於資訊系統中之方式。本研究為自動排點系統所設計之主要資料模型可分為軌道模型、車輛模型、與車次模型三項。其中軌道模型主要分為軌道電路與進路兩階層，分別代表在排點時列車占用軌道之最小單元，以及各列車通過各車站所可能運行方式。排點模式則在排定班表的同時亦決定所有列車通過所有車站時所使用進路，亦等同於決定所分配股道。就學理上而言，自動排點所需要軌道模型只要有軌道電路以及進路即可。然為方便人員操作，尚需許多其他附屬資料，例如車站名錄、股道編號與進路之對應關係等。



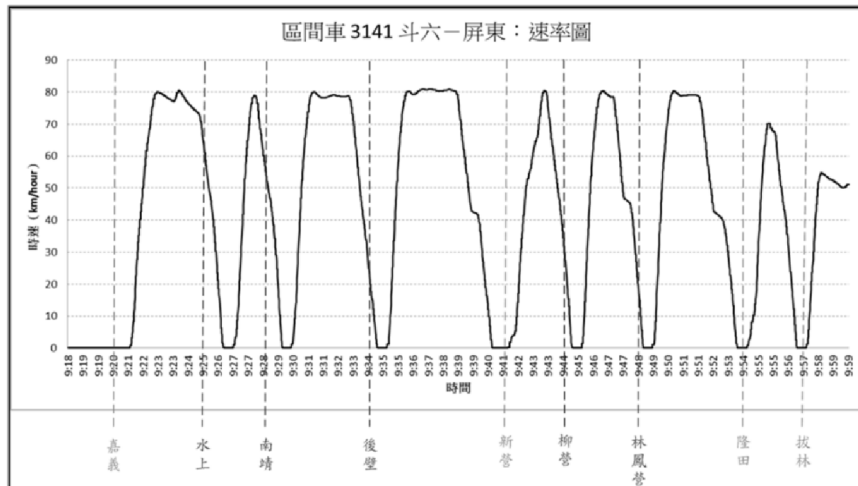


圖 2.3 ATP 解析列車行車過程示例

資料來源：鐵路列車排程模式建立及運行資料分析校估之研究<sup>[4]</sup>

在車輛模型方面，代表車輛之最主要特性為其牽引力，以基準運轉時分表現之。最後，排點系統利用理想班表，在排除所有衝突後可得到運轉計畫。而理想班表內容，即為欲排入運轉計畫中之車次。描述車次之模型即為車次模型。本研究所設計之車次模型包含了各車次之編號（例如「1108 次」）、車種（例如「區間車」）、牽引種別（例如 EMU）、所行經之所有車站、在所有車站之任務（例如「通過」或「停靠」）、以及最小停站時間。

當資料量趨於龐大而結構複雜時，如何正確收納並提供高效率軟體查詢，便成為重要而專業的課題。資料庫正是依據資料模型之需求，收錄大量資料之軟體系統。本研究之成果顯示自動排點系統所需要良好資料模型以支持軟體系統高效率取得完整而正確之資訊。同時亦突顯良好資料模型仍然需要資料庫方能落實而達成其目的。

## 2.實務參數蒐整階段

### (1)鐵路列車排程參數蒐整建置及架構分析之研究<sup>[2]</sup>

對臺鐵系統自動排點所需之參數及資訊作基本釐清。本研究所考慮之資料共計有「路網資料」、「列車資料」與「運轉資料」三大項。在該研究中針對這三大類之資料分別整理其中所含有之資料項，但並未對資料內容作有系統之全面收集與呈現。在這三項中路網資料最為繁複，其內容主要包括：

- 1) 路網中的路線清單：縱貫線、臺中線、成追線、屏東線、南迴線、宜蘭線、北迴線、臺東線等 8 條路線。實際上臺鐵除了本線路線外，尚有多條支線如集集線、內灣線、平溪線、深澳線、沙崙線等，並未納入該研究整理之範圍。
- 2) 各車站名稱、車站中心里程：包括 2011 年年初對外營運的車站。
- 3) 各路線之平、縱面線型與隧道位置。
- 4) 各車站之間的股道配置（含中途閉塞號誌、ATP 感應器）。
- 5) 各車站站內股道配置（含月臺、號誌、道岔、股道等）。
- 6) 列車常態運轉路徑。

在列車資料方面，該研究區分為「車輛諸元及性能」與「初始班表」兩類分別分析之。前者之資料項目包括：

- 1) 各牽引種別所對應之編組方式，即動力或非動力車輛，以及其型式與數量。
- 2) 上述動力或非動力車輛之技術諸元，包括：空車重、重車重、長度、速限、座位數等資料項。
- 3) 上述動力車輛之牽引力曲線，亦即車輛速率與出力之關係曲線。
- 4) 上述動力或非動力車輛之出發阻力與行駛阻力。
- 5) 上述車輛之服務減速度。

而初始班表所含之資料項目則為：

- 1) 各等級列車的典型停靠型態與預定停站時間。
- 2) 初始班表車次清單。
- 3) 各車次之列車等級、牽引種別、出發時間等資訊。
- 4) 各車次之停站計畫（經過的所有站名以及預計的停站時間）。

其中第3項之「列車等級」在該研究報告中，指列車之服務型態或商業營運稱呼。在這份研究中共歸納有自強號、莒光號、復興號、通勤車、及普通車等5種。至於「牽引種別」則是為識別其動力系統及決定基準運轉時分之用，研究中共歸納「PP」、「電車組自強號」、「太魯閣自強號」、「通勤電車」、「柴聯車」、「客甲B」與「貨乙」等7種。與現今（民國103年）相較，目前臺鐵尚有普悠瑪、太魯閣、區間車、區間快、與貨車等營業車種，以及E客甲、E客乙、E客丙、E特客甲、客乙、及其他數種牽引種別。

最後，運轉資料指規範列車於路網上之移動限制的參數，於該研究中區分為以下5項。

- 1) 基準運轉時分：描述單一系列車於兩連續車站間運轉時間。
- 2) 運轉時隔：描述先行、續行兩列車行經路線上之同一點時，其間需要維持之最小時間間隔。
- 3) 道岔速限：在道岔位置，為避免列車出軌而設定之速限。
- 4) 下坡道速限：避免下坡路段煞車距離過長導致危險而設定之速限。
- 5) 彎道速限：避免列車經過曲線向外傾覆而設定之速限。

本研究在分析了「路網資料」、「列車資料」與「運轉資料」三大項資料間之內容後，並認為三者中以路網資料最為基礎。而列車資料則是相依於路網，例如班表中各車次之任務順序需要與路網中各車站之排列順序一致。至於運轉參數則同時相依於路網資料與列車資料，例如基準運轉時分描述了列車資料中之牽引種別在各站間的運轉時分。

## (2)鐵路系統設施基本資料庫建置之研究<sup>[32]</sup>

該研究對臺鐵設施相關資料進行廣泛初步盤點，並收集彙整鐵路設施之基礎資料，包含地理位置等，並依運務、工務、機務、電務等單位執行業務時所需之各類設施特性，彙整設計其屬性欄位。依該研究報告書之說明，該研究之過程中並與臺鐵局運務處、工務處、機務處、電務處、材料處、會計室及資訊中心等單位召開工作會議以瞭解臺鐵局之需求與期待。所達成之共識為朝向作為臺鐵局未來發展設施維修管理系統(MMIS)之基礎，建置符合臺鐵營

運管理之設施基礎資料庫架構。其中企劃處認為需要彙整各業務單位之系統資料，而長遠目標則為結合設施管理與後勤管理以提供行車營運業務之協助。運務處則提醒需要考慮運轉規章對各項設施使用之規範。工務處建議可彈性設計欄位報表及整合 Google Map 街景影像與地址地標定位等功能。機務處考慮在當時已有機務管理系統，可有效處理車籍資料與車輛維護保養記錄，並已進一步規劃於富岡基地案實作機務之維修後勤管理系統。因此建議該研究不需重複研究機務細部養護架構，僅於未來建置整體性之鐵路系統設施基本資料架構時，將資料介接介面妥為預留即可，以利日後與該維修後勤管理系統相介接。工作會議中電務處則表示該處以人工作業方式為主，資料多為紙圖形式，將各種設施之平面配置圖，以及維護保養紀錄等紙本紀錄與資料，依據各標案里程範圍分冊存放。由於資料多未電子化，紙本資料多依各設施管理權責單位，分別存放於各電力段與電務段。至於各電力段、電務段、機廠等單位之現場使用人員則建議應結合維修計畫與採購計畫，以協調材料庫存、採購、進庫、及使用等供需環節，以避免缺料或堆料等狀況之發生。在工作會議中材料處則說明富岡基地之新建資料庫中將會建立設施與維修材料間之關連；而本研究之資料庫應在設施資料庫中納入類似之能力。最後，會計處以其統管所有全局財產資料之業務立場，認為資料庫應能涵蓋設施由購建取得、經過各種異動、至報廢減損之全生命過程。

綜合觀之，本項研究對臺鐵全系統之物料管理作了整體之觀察，並在訪談之過程中瞭解各相關單位之想法與需求。該研究基於這些資料，設計了資料庫之架構以提供資料儲存與資料查詢之功能。而資料庫設計整體概念則以人工作業之支援為出發點，為操作人員設想在工作上需要之查詢功能。至於對決策支援系統或其他軟體系統之支援則未納入資料庫系統設計之考慮中。未來臺鐵局若欲建置設施基本資料庫，必須具體考慮人工查詢與資訊系統介接需求上之差異，據以設計適當之資料庫架構，方能同時滿足兩種不同，且差異甚大之需求。

### (3)鐵路系統設施基本資料庫建置之擴充<sup>[5]</sup>

此研究將前述以人工作業支援為出發點之研究成果，加入資料庫作為決策支援系統後盾之能力。同時並以支援自動排點系統為標的，設計並實作資料庫架構、周邊介接軟體、橋接功能，而成為鐵路決策支援資料庫平臺(Railway Decision Support Platform, RDSP)。此一平臺歷續多次改版與擴充，迄今仍作為自動排點系統實作基礎。平臺資料庫架構如圖 2.4 所示。其設計係以作為多數、多樣化之獨立資料來源橋接為原則。

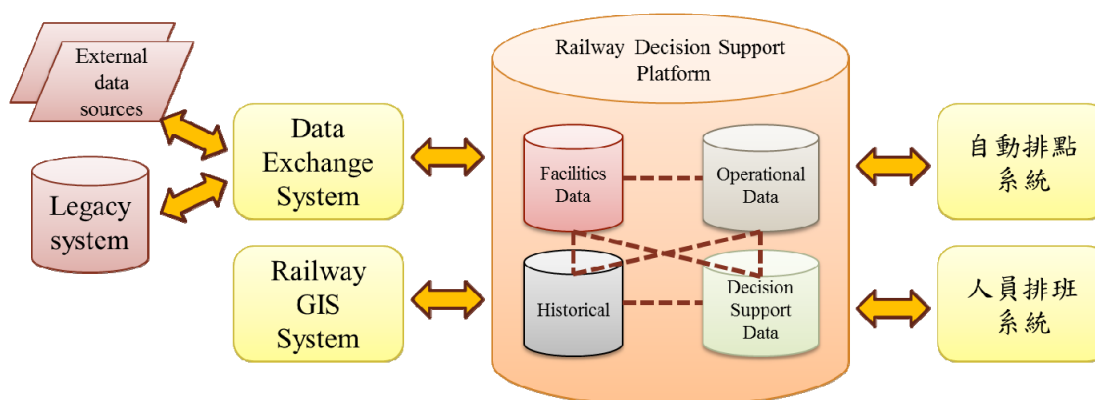


圖 2.4 鐵路系統決策支援平臺資料庫架構

資料來源：鐵路系統設施基本資料庫建置之擴充<sup>[5]</sup>

本研究具體研究成果可歸納為五個方面，說明如下。

- 1) 本研究整合本所於 100 年期完成之「鐵路系統設施基本資料庫建置之研究」案相關成果，並對資料平臺之設計作進一步精進、擴充與改良，提出更符合臺鐵實務單位所需要之資料庫格式、內容及功能。
- 2) 除各種設施之基本資料外，本研究擴大收集整理臺鐵局各種營運資料與歷史紀錄。其中包含了每日營運班表、售票系統紀錄、CTC 與 ATP 行車紀錄，並嘗試與現有財產管理系統、材料管理系統相介接。這些擴充使得未來本研究設計的資料平臺擁有更高的能力以介接並容納更多系統中之各式資料，成為鐵路全系統各單位共用的資料庫系統平臺。
- 3) 本研究提出了「鐵路資料自動橋接系統」以及配合發展的「自動資料庫介面」，可以自動化橋接多種格式資料源的檔案，或是其他獨立資料庫系統。在此種設計下，外界資料將可以自動匯入本研究設計的資料庫，或是依設定自動匯出資料到外部的資料庫。其重要效益是可扮演臺鐵局現有或未來各資訊系統之間的「橋梁」角色，達到消弭多個資訊系統各自獨立孤島現象的目的。
- 4) 本研究為鐵路設施設計了一套全新的新式設施座標定位系統。此一座標系統以鐵路股道為中心，建立「全域標點」與「區域標點」的概念，可提供統一精準的設施定位需求，同時又可提供各種不同里程系統之間的精準關聯。這對資料融合提供了最重要的功能：不同里程系統的關聯對照。不但得以解決鐵路里程長短鏈特性的問題，而且亦建立對決策輔助系統提供資料支援之能力。本研究實作了此系統，並將臺鐵局現有的所有車站與站間的鐵路設施均輸入到本資料庫平臺中。
- 5) 本資料庫平臺之架構設計引進了資料倉儲的概念，以便密切關聯營運紀錄與歷史資料，達到支援決策輔助之功能。本研究並配合當時同時執行之「鐵路列車排程模式建立及運行資料分析校估」等研究案，以資料平臺具備的決策支援資料經資料介接，提供排點功能相關參數之校估與排程模式建立，並獲得良好結果。

綜觀「鐵路系統設施基本資料庫建置之研究」<sup>[32]</sup>與「鐵路系統設施基本資料庫建置之擴充」<sup>[5]</sup>兩項研究案，可發現參數與資料對排點系統效能之重要性，以及由行之有年之人工排點作業模式進入自動化排點之作業模式時，蒐集整理實務參數資料之難度。回顧這些成果可以發現具有強大的求解能力尚不足以形成一個成功的自動排點系統，建立模式時所需要的參數與資料同等重要。

### 3.實作技術發展階段

#### (1)鐵路列車自動化排點系統建置之研究<sup>[6]</sup>

該研究具體目標在建置可實務應用之臺鐵列車自動化排點系統雛型。研究成果整合了 RDSP 以及多項軟體，成為一個功能較為完整之軟體系統。由於鐵路列車排點工作之複雜性，任何軟體系統均需要結合多數子系統方能提供鐵路列車自動排點所需之完整功能。本研究所開發各種功能包括了：

- 1) 服務計畫模組，讀取給定之運輸需求以及車次樣板由模式求解產生初始班表；
- 2) 班表求解模組，讀取初始班表、排除其中所有衝突而成為無衝突之班表；
- 3) 臨時列車模組，在給定之一組背景班表中自動插入所需要之臨時列車；
- 4) 運行圖顯示模組，以時空圖形顯示列車在運行過程中之軌跡；

- 5) 衝突檢查模組，在給定之班表中檢查列車衝突之存在；
- 6) 衝突排除模組，讀取衝突並自動排除其中所含有之衝突；
- 7) 班表管理模組，用以管理多組班表。

本研究之成果顯示了鐵路列車排點系統之複雜性，同時亦顯現了以自動排點技術為核心，提供功能不僅限於列車班表之編排，而是高度多樣化之決策輔助。同時該研究報告亦提及自動排點系統可應用於鐵路公共投資方案之早期規劃階段，提供營運面之深度評估。

本研究之服務計畫模組，亦考量對號列車之配位。所謂配位，指將對號車次車上之座位，適當分配予各段旅程之作業。配位作業具有相當複雜性，以車上配置 576 個座位的 PP 推拉式自強號，由七堵經山線行駛至高雄為例，在該車次開始發售預售車票前，運務單位即需先規劃提供給沿途停靠各起迄站組合之座位數。例如由七堵至新竹、七堵至臺中、七堵至高雄、桃園至嘉義、臺中至高雄，以及其他各種組合。規劃可售出座位數，以維持適當之運能服務。臺鐵系統多數自強號行程，大都停靠 12 至 20 站，估計可能之起迄組合大約落在 60 至 200 種間。至於莒光號列車，則其沿途停靠站數更多，約可達 40 站或更多。因此每一車次可服務之起迄組合將可達到約 800 種。

乘客之運輸需求具有分時特性，鐵路上由於列車之運行時間經常長達數小時以上，甚至跨日行駛，因此即便是同一車次，對不同起點運輸需求所提供服務時間並不相同。以上午 7:30 自七堵發車，運行西幹線之逆行自強號為例，該車次可提供上午尖峰時段自七堵上車往沿線各停靠站之運輸服務。然而同一車次其停靠新竹站之時分約為 9:05、停靠彰化站之到站時分將約為 10:30。因此對新竹站、或彰化站、及後續其他停靠站，並無法提供上午尖峰時段之運輸服務。

鐵路系統具有高度計畫性，欲以高效率運用上述人、車、路各種資源，必須在事前擬妥詳實之計畫。觀察此三類資源之運用計畫，可發現這些運用計畫均以班表為中心。其他相關之計畫亦多如此。其根本原因在於班表呈現了鐵路系統運轉之目標。實務上之規劃作業程序中，大抵是先擬妥服務計畫，再依據服務計畫排出無衝突之班表。此階段之班表雖已無衝突，但仍需據以據以排定上述各類乘務人員之運用計畫，以及各式動力與非動力車輛之運用計畫，而其過程中亦有可能需要配合調整班表。這些班表，與各式運用計畫均相當精密，編排工作費時費力。若在過程中發現其中之任一項計畫無法在可用資源範圍內達成，即可能需要修正服務計畫，耗費大量計畫工作之人力。

綜上，本所以系統發展方式，逐步實現列車排點自動化之遠程目標。相關研究名稱、技術領域、及成果摘要綜合整理如表 2.1。

## 2.4 班表穩定性與回復力相關文獻

相對於自動排點核心模式，國際上對班表穩定性之研究較少。其中 Carey and Carville<sup>[33]</sup>使用班表模擬之方法，針對單一車站提出評估班表穩定性模式。由於班表穩定性與班表中列車之密度有關，de Kort et al.<sup>[34]</sup>以隨機程序之方法，由統計觀點分析鐵路系統在給定之準點率之下，該系統能通過之最大列車量。由於此一方法不使用給定之班表，因此僅能對系統作統計性之評估。此外，Vromans<sup>[35]</sup>針對給定之規格化班表以及給定之擾動分佈，利用隨機模式調整班表以降低晚點量在系統中之傳播。晚近 Delorme<sup>[36]</sup>則以模擬之方法評估單一車站之班表穩定性。文獻回顧之結果並沒有發現足以供本研究直接使用之方法。

表 2.1 本所過去相關研究成果整理

計畫名稱及年度	技術領域			成果摘要
	核心技術	參數蒐整	實作發展	
臺鐵車輛排程最適化之研究」(民國 95 年)	✓			尋求發展自動排點相關數學模式之方向。 可求解基隆至新竹路段，單向行車 30 列次之班表。
臺鐵包車營運需求下列車班表之研究(民國 100 年)	✓			發展將臨時車次排入既有背景班表之技術。 確立其後之排點相關研究均以臺鐵全線班表之規模作為研究對象。
鐵路列車排程參數蒐整建置及架構分析之研究(民國 100 年)		✓		釐清臺鐵系統自動排點所需之參數及資訊。
鐵路系統設施基本資料庫建置之研究(民國 100 年)		✓		廣泛盤點臺鐵設施相關資料。 訪談臺鐵局運、工、機、電、材料各處、會計室及資訊中心等單位瞭解需求。
鐵路列車排程模式建立及運行資料分析校估之研究(民國 101 年)	✓	✓		確認了自動排點技術應用於臺鐵系統之可行性。 擘畫未來自動排點系統所需之資料與參數架構。
鐵路系統設施基本資料庫建置之擴充(民國 101 年)		✓		以支援自動排點系統為標的，設計並實作具資料庫架構、周邊介接軟體、橋接功能，之鐵路決策支援資料庫平臺 (Railway Decision Support Platform, RDSP)。
鐵路列車自動化排點系統建置之研究(民國 102 年)			✓	建置可實務應用之臺鐵列車自動化排點系統雛型。 確認過去多年所累積之技術已足以形成具實用能力之自動排點系統。
鐵路列車自動化排點系統功能擴充與推廣應用(本報告)			✓	綜合回顧產、官、學界各界二十餘年長期合作研究發展成果，並對核心技術、資料平臺、人機介面等方面作完整整理。 在核心技術、資料平臺、運行模擬、及班表穩定性等各方向擴充既有技術。

## 第三章 列車排點自動化課題與求解

如文獻回顧所述，過去少見真正具有實用能力之列車排點核心模式發表，亦無高度自動化之商用列車排點軟體。本研究藉由派駐研究人員至臺鐵駐點，執行軟體測試並進行訪談，並由臺鐵局排點人員協助試用以蒐集相關意見。後將測試結果與實務人員意見整理歸納，並合併其他學理及分析，綜合整理呈現於本章。

### 3.1 列車排點問題

軌道系統是一種高度計畫性的運輸系統。絕大多數之運轉作業均需要在上線執行之前全部完成縝密之詳細計畫，方能達到安全而高效率之目標。在路線上運轉之所有列車均需要依照既定之計畫而運行於時間-空間中。這種計畫之主要內容，在排定每一列車在每一個時間點時，於空間中之位置，亦即通常所稱之「班表」。例如，班表中顯示車次 A 應於上午 8:00 抵達車站甲，之後於 8:02 自車站甲開出，再於 8:10 抵達車站乙，通過而不停靠之後，再於 8:18 抵達車站丙等等，均為該車次於時間與空間位置之描述。系統營運單位必須於上線執行之前完成班表之編排，而編排班表之過程即為「排點」。臺鐵系統之排點相關人員常以「行點」稱呼班表中各車次到站及離站之時間點，例如上例中之 8:00、8:02、8:10、8:18 等時間點即是。

除了上述之班表外，軌道系統最主要運轉作業之計畫尚有乘務人員運用計畫與車輛運用計畫。班表定義了所擬開行之車次、各車次之停站模式、以及各車次在所行經之車站之到站與離站行點。而乘務人員運用計畫則包括了司機員工作班，以及列車長工作班兩大主要部分，分別定義了司機員與列車長兩類最主要乘務人員在每日的工作中所值勤之車次。車輛運用計畫亦分為兩大主要部分，分別為編組運用計畫以及機車運用計畫；此一計畫定義了車輛編組如何執行班表中之各車次。對動力分散式之車組而言，編組運用計畫與機車運用計畫常合而為一，不個別製作。

由上述說明可以發現，對軌道系統之營運而言，班表實位居各種運轉計畫之中心。而對軌道系統之使用者而言，班表為運輸服務之「菜單」，列舉了該系統所提供之運輸服務項目及內容。大部分鐵路系統對旅客所提供之班表均記載車次、車種、各停靠站之行點等基本旅行資料。有時尚有其他服務之說明，例如車上所提供之無障礙設施等。而在營運體系內部，班表則涵括了更為豐富之資訊。除了上述提供予旅客之資訊外，尚包括了車次在各站之辦客、裝卸貨、更換機車、待避等到站任務、車次在所行經各路段之牽引種別、車次在所行經各站所分配之股道、同一編組與前後車次之接續狀況等。

列車在運轉時受制於軌道，無法自由調整航道。因此運轉時需要在號誌系統之控管下行車以確保安全。包括臺鐵在內，現今多數軌道系統均以軌道電路為號誌系統之基礎。經由偵測裝置，號誌系統得以隨時掌握上線運轉中之所有列車在任一時間所佔用之軌道電路。再經由號誌系統之指揮，確保每一軌道電路在任一時間均最多僅能由單一系列車佔用。由此即可確保所有列車在時-空中均能適當隔離而不致發生碰撞。而由此一觀點，排點工作之核心內涵，可視為在研擬適當之計畫，將所有軌道電路之可用時間，適當分配予所有需要之列車，以使所有列車均能順利完成其旅程，而軌道系統之各種資源又均能適當發揮其運用效率。

依據過往文獻<sup>[7]</sup>鐵路系統之決策作業分為企劃階段(strategic)、規劃階段(tactical)、與營運階段(operational)。臺鐵之作業方式亦大致類似，但其作業內容遠為精細。鐵路運輸系統之目的在提供適時適量之運能以服務社會因各種活動而產生之運輸需求，因此廣義排點作業之始在決定運輸需求之後，而排點之成果則為可供旅客搭車選搭之班表，以及執行該班表之精密



營運計畫。因此排點作業相關流程實橫跨了三階段決策作業之前二個階段。

鐵路系統運轉時需要多種資源的同時支持。其中最主要者為乘務人員、車輛、與軌道，亦即人、車、路三種資源。在排點工作之各階段均需要同時考慮所有資源之運用及限制因素，方能達到高效率運轉之目標。例如，在研擬系統營運策略時應一併考慮各型車輛編組之特性、在研擬可能之服務計畫以及理想班表時則應同時納入考量可用的車班（列車長）與機班（司機員）人力資源，以及所擁有之車隊中可用的車輛數量。而在排定系統運轉計畫時更應詳細考慮到各種乘務人員的工作班編排，以及各式車輛之運用計畫。

在排點作業之初期階段，負責之規劃單位需要擬定「營運策略」。其主要內容在訂定該鐵路系統提供服務之型態，而考慮之主要因素即為前述人、車、路三種資源之運用。營運策略之主要內容包括下列各項：

### 1. 車輛運用區間

本項內容主要在設定系統所擁有的各型車隊所服務的區間。以臺鐵系統為例，其常以 TMU1000 型及 TMU2000 傾斜式列車服務樹調至花蓮及臺東之區間，利用其車輛性能以適應宜蘭線彎道多、半徑小之軌道條件限制。而非電化區間的自強號服務則以 DMU2800、DMU2900、DMU3000、DMU3100 各型柴聯車提供等。

### 2. 服務模式

服務模式之內容在決定鐵路系統各式服務的任務定位，以及提供服務之運轉模式。以臺鐵捷運化政策為例，臺鐵在此政策下於西幹線將大部分之運轉資源投入各通勤區間內之通勤服務，例如嘉義至高雄之間、基隆至新竹之間等等。這些服務模式之定位在提供中距離的通勤服務。其餘之運輸定位則在彌補高鐵系統設站區位之缺失，並達到部分與高鐵競爭之效果。

此外，臺鐵實施於宜蘭線少數車次之「區間快車」服務模式，係以區間車開行，但不停靠部分運輸需求過小之車站。此種服務模式是否適宜運用於其他區域，以克服近年在各都會區大量增設「通勤車站」後，車站之站間距過小所帶來之運轉障礙，亦宜在本階段考量決定之。而臺鐵是否採行與平日班表不同之假日班表運行，亦屬本階段之考量範圍。

### 3. 停站模式

列車停站模式為列車在行駛過程中到站任務之設定。除了停靠沿途所有車站之車次外，所有服務均需要決定停靠站之設定原則，亦為本項作業之主要內容。以臺鐵之自強號列車為例，其停站模式設定

以城際運行的自強號列車為例，在此需要決定是否所有相似之列車均停靠相同的一組車站。若是，則需要進一步決定是哪些車站。若決定各列車停靠之車站不同，則需要進一步決定選站的原則、哪些車站停靠部分自強號列車、哪些車站停靠所有自強號列車等。上述區間快車亦需要類似之決策。

以城際運行的自強號列車為例，在此需要決定是否所有相似之列車均停靠相同的一組車站。若是，則需要進一步決定是哪些車站。若決定各列車停靠之車站不同，則需要進一步決定選站的原則、哪些車站停靠部分自強號列車、哪些車站停靠所有自強號列車等。上述區間快車亦需要類似之決策。

依據上述車輛運用區間、服務模式、停站模式等營運策略，即可進一步形成鐵路系統之「服務計畫」。其主要計畫內容為營運時各種服務預計使用的車輛型式、各服務車種在平日或假日、尖峰或離峰等不同時段，以及各種行駛區間之偏好之發車時間、服務供應量、服務路段等。主要考慮因素為系統運輸能力、運輸需求、與人、車、路等運轉資源。若為對號列車，



則尚需進一步考慮售票時之配位問題。然而在本階段係以較巨觀之考量為出發點，尚未排定精準之班表。故可以統計之方式估計未來上線運轉之後，人、車、路各種資源之需求量，並評估各種資源之裕度。

服務計畫為後續「理想班表」之基礎。所謂理想班表以定期列車為主，其中含有每車次之服務路段、牽引力、服務車種、理想發車時間、及預計停站模式等資訊，並以基準運轉時分以及各站到站任務之停站時間推估各列車在各車站之到開時分。由於理想班表並未考慮各列車間之互制行為，因此其中不可避免將含有衝突。在後續階段排除衝突之時仍需要調整行點，因此在理想班表編排之階段並不要詳細考慮乘務人員、車輛編組運用等資源之限制。

以理想班表為基礎，調整行點以排除其中所有衝突之作業階段即為一般較狹義之排點作業，而所得之成果即為運轉計畫。在運轉計畫中含有了完整之時間與空間資訊。其中各車次之資訊包含了在各站點之到開時分，以及各車次行經各站時所分配使用之股道，以及占用與釋放沿途各軌道電路之時分。這種含有大量資訊之工作班表並不適合旅客查詢，因此常依需摘取摘取始發站與停靠站之離站時分，以及終點站之到站時分，而略去其他資訊項目供給旅客使用。提供予鐵路機構各單位應用時亦常依其業務需求而擷取其中部分資訊。例如若提供予調度員使用，則應包含各車次在各行經車站所分配使用之股道，以利調度員配合執行其任務。以上各階段之作業內容、考慮之因素、與作業成果整理於表 3.1。

表 3.1 廣義排點作業工作內容

決 策 階段	排點階段	考慮因素	成果內容
企劃	營運策略	車隊特性、路線特性、需求型態、 企業目標、社會責任	營運區間之劃分 車輛運用區間 服務模式 停站模式
	服務計畫	系統運輸能力 運輸需求 可用人力 可用車隊	各種時段、各營運區間之服 務供應量 車輛型式規劃
	理想班表	牽引力 停站需求 可用人力 可用車隊	含有衝突之班表
規劃	運轉計畫*	股道分配 衝突排除 人力運用 車輛運用	詳細資訊之班表 所有車次在所有車站之股 道分配 所有軌道電路之占用與釋 放時分

註：狹義之列車排點屬此階段。

資料來源：[4]。

## 3.2 列車排點考慮因素

列車排點工作之困難程度與問題規模有絕對關係。對小規模問題，僅考慮少數列車以及少數車站時，求解列車排點並不困難。但當問題規模較大時，列車排點之困難程度即快速成長。其主要原因係來自列車排點問題之核心性質：排點時需要決定所有列車行經各段軌道之順序，而此類問題具有 NP-Complete 之特性。此外，需要同時考慮多項相互影響之因素，亦為複雜度之主要來源之一。列車排點工作應考慮之主要因素如下。

### 1. 物理限制

系統中之任一系列車，在任一時間必須佔用至少一個軌道電路。列車移動時，在離開一個軌道電路的同時，必須進入另一個相鄰的軌道電路。此物理限制所描述之要求為列車不可能憑空消失，亦不可能以跳躍方式在軌道上不相鄰的點之間移動。

### 2. 安全限制

任一支號誌機在通過先行列車之後，均至少需要間隔一段時間方可允許續行列車通過。此時間稱為最小時隔。其原因是道岔的扳轉、確認，以及號誌的轉換等程序均需要一段或長或短之作業時間。因此排點時於表定時間中必須在所有列車之間至少留下最小時隔。

### 3. 站間運轉時分

基準運轉時分為列車由某一車站運行至相鄰車站所需要之最小時間長度，其主要來源為列車機械性能之限制。而影響之主要因素為該車型之加減速性能、列車在前後兩站是否停站、站間路線之坡度、路線之速限等。因此排點時需要考慮各車次所擬使用之車型、停站模式、行車方向等，方能在排定行點時在各站間路段分配予適當之運轉時分。

### 4. 理想停站時間

通常在進入排點階段之前，各車次均已排定其行程以及沿途行經各站之到站任務。客運列車之到站任務種類不少，其中最主要有「通過」及「停車載客」兩種。當到站任務為通過時，列車將不停靠該站，因此停站時間為零。而到站任務為停車載客時，則需要設定理想停站時間。理想停站時間主要考慮預期上下車乘客人數以及該型車輛之車門配置，一般大都介於 0.5 至 4 分鐘之間。但若為團體專開列車，有時應申請人之要求亦有安排數小時之久者。通常除非有必要，停站時間均避免過長，以免其他旅客誤乘、或車上旅客誤以為發生故障等事件，甚至不耐久候擅自離車而發生意外。

### 5. 始發時間

在排點前每一車次依任務構想均設有其在始發站之理想發車時間。而排點時考慮列車間之互制，常無法使表定始發時間與理想發車完全一致。但仍需要使各車次之發車時間儘量接近其理想發車時間，以提高班表之品質。

### 6. 追越位置之安排

當路線上運轉之各車次因為性能或停站模式之差異而造成速率不同時，即需要於排點時考慮安排適當之追越以提高系統運轉效率，如圖 3.1 所示。圖中車速較低之列車 A 先行，車速較高之列車 B 續行，造成路線容量損失。若如車次 C 與車次 D 所示，排點時安排追越，則可提高路線容量之運用效率，但 C 車將因待避之停等而增加其總行駛時間。交會則如列車 E 與列車 F 所示，與追越類似不再重複說明。

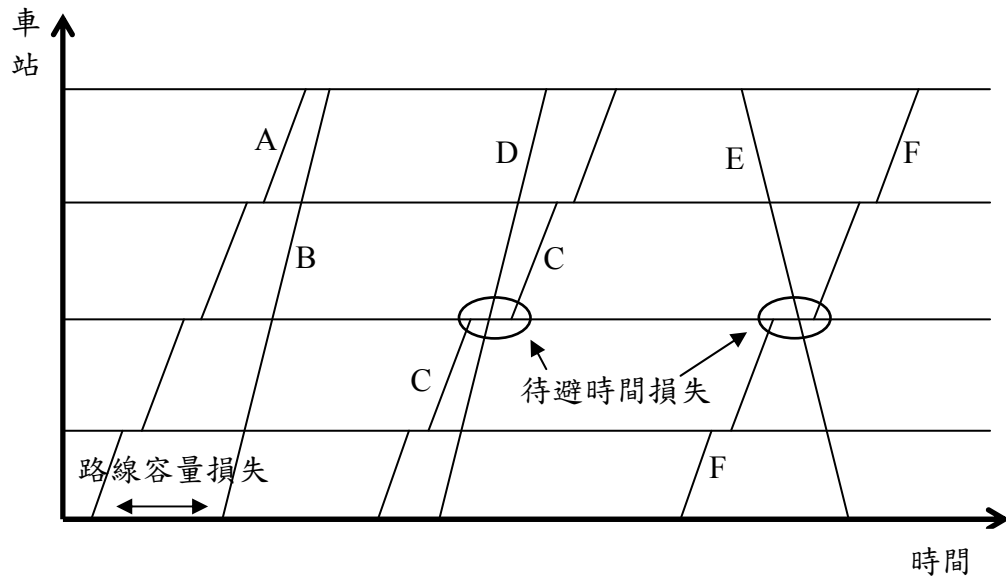


圖 3.1 列車追越與交會示意圖

在臺鐵系統中，追越必須於站內發生。班表需要安排先行列車先進入副正線待避，經適當時隔後續行列車追越，再經適當時隔後待避之列車再離站。因此發生追越之車站必須配置有適當之股道。依臺鐵之實務習慣，通常較低級之列車均不安排追越較高級之列車。而列車待避時，亦以每次僅供一列次追越為原則。圖 3.2 所示為取自臺鐵真實班表之實例，上下行各二列次於大約下午 21 時，在三義站進行追越。而三義站之股道佈設如圖 3.3 所示，具有四股道可供上下行各二列車使用。



圖 3.2 列車追越實例

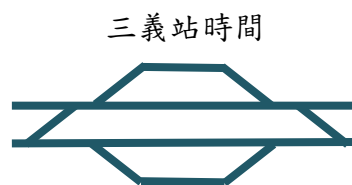


圖 3.3 三義站股道佈設

### 7. 交會位置之安排

於單線區間，行車方向相反之列車需要在站內交會。因此排點時需要安排列車在適當之車站交會，且在交會前與交會後均需要在兩車之間保留適當之時隔。而發生交會之車站必須配置有適當之股道。若為雙線區間，則原則上兩方向列車並不相互影響，因此不必考慮交會之問題。

### 8. 股道分配

不論是否停靠，列車在行經車站時必須佔用適當之股道。股道之分配受到許多限制，例如若該車次之到站任務為辦客，則必須分配鄰月臺之股道。又如在中洲站，往沙崙線之列車必須進入第 2 股道，否則即無法進入沙崙線。而由長榮大學站進入中洲站時，又僅能進入第 6 股道。而行經同一站之前後兩列車間所需要之時隔，有時亦受到兩列車所分配之股道之影響。同時運轉規章又規定通過而不停站之列車僅允許使用主正線通過。停靠則可使用主正線，亦可使用副正線。因此排點時，股道分配不僅本身即為一複雜之問題，更因股道分配方式影響行點而使得排點工作更形複雜。

### 9. 寬裕時間與緩衝時間

寬裕時間為班表中，於站間運行之基準運轉時分之上所配予之額外時間，或於站內理想停站時間之上所配予之額外時間。由於列車相互避讓之需要，即便是行車密度極高之班表，亦均有寬裕時間存在。寬裕時間具有吸收晚點、增加班表穩定性之效果，因此排點時亦常刻意加入寬裕時間。但寬裕時間同時亦會延長行車時間，降低服務品質。

至於緩衝時間則為前後列車之間之時間間隔，超過最小時隔的部分。一般而言不論行車如何的密集，必有緩衝時間存在。而緩衝時間具有減少晚點傳播的功能，為排點時必須考慮的項目。

妥善排除所有衝突為列車班表之基本要求。但一份班表要具有實用價值與品質，除了上列諸多考慮因素之外，尚需要達到多項實務之要求。衡量班表之品質有諸多之評估指標，常見之指標有：運行時間、衝突狀況、載客點行點、停站時間、臨停位置、臨停次數。由於臺鐵服務之旅客眾多，為因應不同類型之旅客需求，臺鐵提供了不同類型之服務。不同類型之服務重點不同，因此對各項指標之偏好也各有不同。人工排點通常係依照長時間累積之經驗以盡量符合不同類型之偏好，然求解核心之精緻化涉及數學模型與指標相關參數的設計。自動排點系統之設計如欲達到實務使用所要求之精緻程度，應將實務之排點經驗充分知識化、邏輯化與參數化，使得系統能夠更精準地根據不同需求控制行點之偏好。實務上所要求之排點原則可歸納如下。

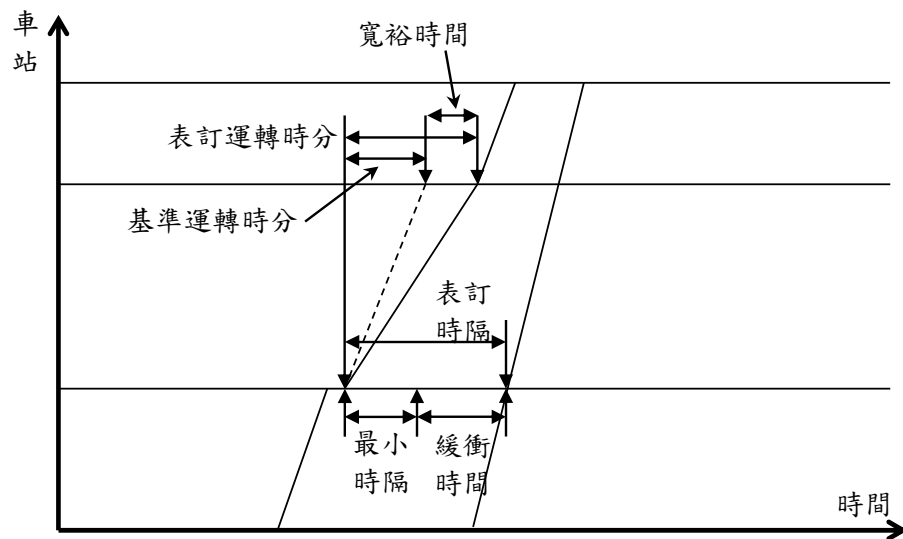


圖 3.4 寬裕時間與緩衝時間示意圖

### 1. 列車等級之考量

排點時應以次級列車不影響較高級列車為原則。此一原則有兩種主要意涵：第一，次級列車不應追越高級列車；第二，次級列車先行時，排點時應力求續行之較高級列車不因先行列車而降速。

至於迴送列車，則以不影響正班車為原則。所謂迴送列車，指為了調整車輛編組所在位置而運行之列車，係不辦客而以空車行駛。例如若以位在嘉義機務段之某編組執行臺南站發車之車次時，即需先將該編組迴送至臺南站。此種車次因為不辦客，其排點時之優先順序較低，且不需考慮停站上下客時間、停靠股道等之限制。

### 2. 站間運行時間之考量

站間運行車速有彈性但不可過慢。列車排點時，基本上均使各列車依其基準運轉時分行駛於各站之間。然而由於列車間之互制行為，通常班表均無法完全依循基準運轉時分配予行駛時間。例如，假設 A、B、C 列車依序由甲站駛往乙站。若 B 列車以其基準運轉時分之時間抵達乙站，則將受先行之 A 列車阻擋而無法即時進站。但若排點時安排 B 列車略為延後離開甲站，則又將阻擋續行之 C 列車進站。在這種狀況下，排點時即可彈性考慮在甲站與乙站之間給予 B 列車略長之運行時間。但若所安排之站間運行時間過長，又將造成班表執行時列車運行車速過慢，或列車提早抵達而發生機外停車。

### 3. 臨時列車待避位置之選擇

臨時列車可在非停靠站停車待避，但次數以少為宜。臨時列車為班表公告之後再加入之車次，因此排點時需要將已公告之班表視為背景班表，在不變更已有車次行點之條件下排入臨時列車。由於條件較為嚴苛，因此當列車較為擁擠時，臨時列車常需要在非停靠站停車，以待避其他列車。實務上雖容許安排臨時列車停車待避，但發生之次數以儘量減少為宜。

行點之編排有需要時，可使臨時列車可在無載客任務之車站停車，但應避免在招呼站停車。臨時列車在無載客任務車站停車之需求，常發生在臨時列車之車速高於先行列車時。正常狀況下，若續行列車之車速高於先行列車之車速，而兩列車距離接近時，應安排在適當車站追越。但臨時列車之排點不允許變更已排定之背景班表行點，因此常難以追越先行列車。此時實務上常安排續行之臨時列車於中途適當車站停車，待先行列車距離較遠再開車，以避免續行車降速過多。但排點時，此種停車應優先安排於股道較多之站，而避免安排於招呼站，以增加運轉之彈性並有助班表之回復力。

#### 4. 車站停靠時間之安排

停車載客之停站時間有彈性，但應考量旅客上下車之需要。實務上對各種列車於各站之停靠時間均有一般原則，但排點時可視行點安排之需要而略予延長或縮短，以充份利用軌道之行車資源。然而所安排之停靠時間應考慮預期之上下車人數、車門之型式等，以避免因旅客上下車時間不足而造成晚點。

專開列車應避免在載客月臺停留過久，以免一般旅客誤乘。專開列車常因申請者之需求而需在站內停留較長之時間。若列車停留於月臺上，即增加一般旅客誤乘之機率，造成站務人員額外工作負擔並分散其處理其他事務之注意力。而發生誤乘時又造成該旅客及列車長之困擾。專開列車應盡可能符合旅客要求之停站時間。如前所述，專開列車常因申請者之需求而需在站內停留較長之時間。此常發生於以旅遊為目的之專開列車。雖然基本上此種停站時間均有其彈性，但排點時應在可行範圍內儘量配合之。

#### 5. 專開列車之股道分配

專開列車應盡可能符合旅客要求使用股道。以旅遊為目的而申請之專開列車有時會要求在某些站停留於某些股道，或於某些站間運行於某些股道，以方便乘客瀏覽窗外景色。實務上臺鐵均於可能之範圍內儘量配合滿足需求，因此排點系統亦應有納入此一考量之能力。

#### 6. 臨時列車排點同時考慮運轉整理以及隨機擾動之需求

為負荷全臺各地繁重之旅運需求，臺鐵定期班表之車次密度極高。若計入各式迴送車次、試運轉、貨物列車、臨時列車等，一日所開出之車次數常在 1200 列次以上，或甚至達到 1300 列次。在定期班表車次已經極為密集且不允許變動的條件下，同時充分考慮行車效率以及可能發生之擾動，實際狀況下常難以在完全滿足號誌設施之限制下在班表內再插入一些額外之臨時列車。然而在外界強力要求下臺鐵實務上又常必須達成滿足臨時列車需求之任務。在上述各種現實限制下，排點人員常必須在不完全滿足號誌之要求標準之狀況下排入臨時列車，再於執行班表時由調度人員以運轉整理之手段使所有列車均順利運行。此種班表未完全滿足號誌或其他運轉要求標準之現象，即為所謂班表中之列車衝突。路線上行車密度愈高，排入臨時列車時發生列車衝突之機率就愈高。而班表執行時不可避免必然發生隨機擾動，其後續對行車準點之影響，又隨行車密度之提高以及列車衝突之存在而快速增加。

排點人員以其長期累積之專業知識與經驗，於排點臨時列車時除了作上述考量外，並能因地制宜，視各地狀況於品質與衝突間取得良好之平衡。例如樹林站至七堵站間之路段為臺鐵全線行車密度最高之區域，發生晚點時平時即難以運轉整理快速回復正常。若臨時列車排點時將列車衝突安排於此路段，不但將對執行時之運轉整理帶來更多之難度，其影響範圍亦有可能遠超過樹林站至七堵站之範圍。因此排點人員均儘量避免在此一路段中排入班表之衝突，而是以列車降速代之。

在實務上以人工排點時，排點人員亦在上述不得已狀況下將列車衝突排入班表中。但在

排入衝突之同時，也依其知識與經驗考慮未來班表執行時之運轉整理，同時考慮所排入之衝突對其他列車之影響程度，以及發生隨機擾動時班表之回復能力。因此，良好之自動排點系統亦應能在其排點核心模式中納入運轉整理之考量，亦即自動排點系統應在排入臨時列車時，有能力在不得已時將若干列車衝突排入班表中，但同時又考慮未來運轉整理時能夠順利回復。

## 7. 行點精準度之實務化

實務上人工排點時，均以 0.5 分鐘作為行點之最小單位，亦即所有行點均安排於 0.5 分之整數倍。這種習慣之形成與許多實務狀況有關，如對旅客公告之班表均以整分為最小時間單位，而人工對時、副站長依時開車、司機員之行車時間控制等，配合人工作業之精準度，均宜以 0.5 分鐘作為最小時間單位。然而以模式自動排點時，模式內時間計算之精準度卻遠高於此。例如，若設定列車於某站之理想停靠時間為 3.0 分鐘，並應至少停靠 2.0 分鐘，則模式在衡量所有因素數學求解之後，可能決定停靠 2.6 分鐘。在此狀況下該列車之行點即非處處以 0.5 分鐘作為最小單位。

在解得班表之後，再以四捨五入之方法調整行點，使所有班表中之行點時間均成為 0.5 分鐘之整數倍，並不可行。其原因在於班表必須依照列車之基準運轉時分配予站間運行時間，且前後列車之間必須維持適當之最小安全時隔。若逕予利用進位或退位方式調整行點，極有可能造成運行時間不足，或多處時隔不足。若進位或退位所造成之誤差發生累積，則問題將更嚴重，損及班表之品質以及未來執行時之穩定性。

欲使所解得班表之行點符合上述實務習慣，有兩種作法。最直覺之方法是在班表求解模式中納入此一要求，自然可解得符合習慣之班表。然而這種作法必須引入大量整數決策變數於模式中，大幅增加模式求解之難度。在未來大幅提升演算法之求解能力之前，此種作法並不可行。另一種作法為利用一個獨立之數學模式作為調整班表之工具。亦即在解得班表之後，在後處理階段利用線性規劃數學模式將所有行點儘可能調整到 0.5 分鐘之整數倍。這種作法不需要在後處理之數學模式中使用整數變數，因此可以快速求解。然亦無法保證所有行點均能全部如願調整。本研究經初步測試發現此種作法能夠得到理想之結果；絕大部分之行點均能夠以理想之方式調整，亦不會產生前述運行時間不足或時隔不足之現象。

## 8. 人為介入之需求

本研究在深入訪談之過程中感受到實務排點人員常有介入排點過程之需求。然而介入排點軟體之求解程序，並不等同於人工設定班表之行點。臺鐵現況使用之排點輔助軟體所提供之介面可使操作人員設定任何車次在任何站之行點。但因而造成衝突時卻無修正排除能力，形成操作人員沈重之工作負擔。經整理分析與歸納，本研究發現較理想之作法是設計具有影響力之參數，並經由人機介面提供操作人員設定參數值。這些參數之功能應為引導班表求解之方向，而非設定班表中之行點。

將上述這些實務上所要求之排點原則反映到班表求解模式中，具有相當之複雜性。主要之複雜性來自於這些原則多屬偏好性之描述，而非明確的禁制規則。以「次級列車不應追越高級列車」之原則為例，若此為明確的禁制規則，禁止任何次級列車在任何車站追越高級列車，則在求解過程中，搜尋列車間順序時將不當追越視為不可行解，即可達到目的。然而真實班表中，偶有莒光號臨時列車，因申請人之要求而於某站停靠一小時或甚至更久。在此狀況下，模式即應允許等級較低之區間車、普通車、甚至貨物列車在該站追越該莒光號車次，否則班表品質將受到嚴重之影響。以例明確顯示這項不應追越之原則，在本質上屬偏好性質



而非禁制規則。本研究經測試結果發現本項原則，以及相關的「次級列車先行時，排點時應力求續行之較高級列車不因先行列車而降速」原則均可由參數權重設定而達到所希望之效果。不論是被追越，或是降速運轉，均會延長列車之行程運行時間，亦即增加該車次之總班表延遲量。因此適當設定高級列車與次級列車對總班表延遲量之權重，即可減少不當追越或不當降速之發生機率。而迴送列車避免影響正班車之原則亦可以相同方式達成。其他對站內停站時間長度之需求、對分配股道之要求等均可以類似方式達成。至於站間運行車速不可過慢之要求，則視為禁制規則處理之，在模式中加入相關決策變數之上限。

### 3.3 班表衝突

列車在軌道上運轉時需要遵守許多物理限制、規章限制、及號誌管制。而班表所排定之行點以及所分配予各車次使用之股道，亦應遵守相同的規範。若一份班表中各列車在時間-空間中之軌跡未能完全滿足所有規範，則形成班表衝突。需要釐清的是班表衝突與實體列車間發生衝突不可混為一談。即便班表中存有衝突，於實際執行時亦會因為號誌之作用而使所有列車間在時間與空間上均維持適當之區隔。因此有衝突的班表並不會造成實體列車間之碰撞；而實體列車之碰撞亦非因班表有衝突而發生。雖然班表中存有衝突與行車安全無關，但會造成晚點與行車紊亂。依臺鐵規章，此時應施行運轉整理<sup>[37]</sup>。實務上在臺鐵系統，運轉整理由調度員依其專業知識與經驗為之。調度員可依運轉之需要，機動調整列車使用之股道、變更各列車之行車順序、或變更行點。但旅客列車及混合列車不得提早開車<sup>[37]</sup>。

班表中列車衝突依其性與影響程度可分為四類<sup>[4]</sup>，分別為(1)股道進出順序之衝突、(2)時隔不足、(3)站間運轉時分或站內停站時間不足、與(4)站間運轉時分或站內停站時間過長。其中第一類衝突之發生與否僅與列車進出股道之順序有關，與列車之行進方向以及時間安排無關。因此班表中若有此類衝突，則調度員必須調整相關列車之股道分配，或調整各列車使用股道之順序方能排除之，若僅調整各列車之行點則不可能排除。依據經驗，臺鐵真實班表中偶有此類衝突存在；圖 3.5 所示為班表中第一類衝突示例。至於其他三類之衝突，則僅調整行點即有可能排除之。

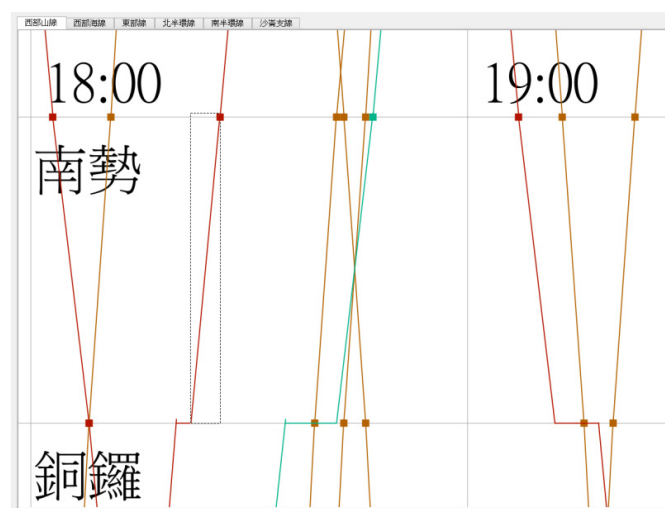


圖 3.5 二列車於南勢站與銅鑼站之間發生第一類衝突



### 3.4 定期列車自動排點

定期列車指臺鐵每周固定開行之車次。依臺鐵實務作法，其定期列車基本上以一周為循環單位，亦即每星期一之車次均相同，但星期一與星期二之車次不全然相同。但非每日開行之車次佔整體車次之數量比例並不高。因此自動排點模式可以不必同時考慮全周七日之班表，而是僅考慮單日、24 小時之基本班表即可。亦即於排點時，以 24 小時為循環排定班表即可，至於非每日開行之車次則於 24 小時之基本班表排定之後再行刪除或新增即可，此與臺鐵實務作法相一致。但此時對跨夜車即需要特別處理。

所謂跨夜車（或稱跨日車），指運行時間跨過半夜 23 時 59 分 59 秒之車次。以下以 5 月 5 日至 5 月 6 日之跨夜車次為例說明排點時跨夜車所產生之影響與需要特別考慮之處。假設某車次甲之理想發車時間為 5 月 5 日下午 22:30，預定運行約 8 小時。則該車次必須跨夜，於 5 月 6 日上午約 6:30 抵達終點。於排點時，必須慮考該跨夜車次在 5 月 5 日 22:30 至 23:59:59 之間，與路線上其他車次間之相互影響以及可能產生之班表衝突，同時亦需考慮該跨夜車次在 0:00:00 之後，於 5 月 6 日上午與其他車次間之相互影響。

假設排點時發現於 5 月 6 日上午，某車次乙因為在某站必須避讓前一晚發車之跨夜車次甲而需要安排待避。此時因為車次甲與車次乙均為每日開行，因此模式需要同時考慮下列兩項因素：5 月 4 日下午發車之跨夜車次甲與 5 月 5 日上午發車之車次乙間之相互影響、以及 5 月 5 日下午發車之跨夜車次甲與 5 月 6 日上午發車之車次乙間之相互影響。但如前所述，自動排點模式僅考慮單日、24 小時之基本班表。因此跨夜車為模式帶來了相當複雜之挑戰。

考慮上述之跨夜車次甲。當自動排點模式僅考慮單日、24 小時之基本班表時，跨夜車次甲在班表中將出現兩段行程：其一為下午發車後，至半夜間之行程，而其二則為上午零時至收車間之行程。因為班表上線運轉時此二行程實際上分屬不同日發車之車次，因此在班表中並不連續。排點模式之任務在安排所有車次之行點以解得班表，但在排定行點之前並無從確定跨夜車次甲之跨夜點位置。對此種複雜之狀況，本模式將跨夜車次視為不同之二車次，其中之一之發車時間為模式之零點之前，而另一車次之收車時間為模式之 23:59:59 之後。以前文所使用之例，跨夜車次甲之一之理想發車時間設定為零點前之 90 分鐘，並預定在 6:30 左右收車；而跨夜車次甲之二之理想發車時間設定為 22:30，並預定在 30:30 抵達終點站左右收車。此二車次在模式中各自獨立，各以其自有之變數表示其各站到離時分之行點以及沿途各站之股道分配。但在建立數學模式時，額外增加限制式以強制兩車次相對應之行點必須相差恰好 24 小時，且兩車次沿途各對應站之股道分配必須完全相同。求解完成後，再以後處理之程序將兩車次合而為一。

### 3.5 臨時列車自動排點

相對於定期列車者為臨時列車（或稱不定期列車），係屬非固定每日開行之列次。臺鐵系統中，營業之臨時列車計有團體列車、專開列車、郵輪列車、兩鐵列車、軍運列車、與計畫性加開列車共六種<sup>[38]</sup>。其中專開列車、郵輪列車、軍運列車、計畫性加開列車、以及一部分之兩鐵列車均在定期班表外加開車次，而另有一部分之兩鐵列車則使用定期列車為之。除了上述營業性質之臨時列車外，排點時尚有臨時性之迴送車次、試運轉車次等非營業性質之車次。

就數量而言，定期列車在每日約 1200 至 1300 列次之總數中佔了絕大多數，營業性質與非營業性質之臨時列車常各少於 100 列次。雖然臨時列車看似為數不多，但若以一周為期觀

之，則臨時列車之車次數量與定期列車車次數量並不相上下，其差異為臨時列車僅開行一次，而定期列車則原則上每日開行。除了數量外，臨時列車在系統營運時常耗佔用了超過其數量比例之資源<sup>[3]</sup>。就列車排點工作而言，臨時列車之排點所受到的限制較多，難度亦比定期列車高出許多。

由排點立場視之，臨時列車排點與定期列車排點之最大差異在班表排定之時機。臨時列車為班表已公告之後再行加入之車次，因此編排臨時列車時需要將已公告之班表視為背景，在不變更已有車次行點之條件下排入臨時列車。而臺鐵系統之行車密度甚高，背景班表中通常不易找到適當之時間帶供臨時列車行駛，造成求解上之挑戰。

追越與交會之適當安排為臨時列車排點最主要的困難點之一。以追越為例，當臨時列車之車速高於先行列車，且兩車相當接近時，排點時必須選擇：(1)臨時列車降速運行、或(2)臨時列車於適當車站臨時停車，待與先行列車之間距離拉大之後再以正常速率行駛、或(3)追越先行列車。就運轉與班表品質而言，三種選項以第(3)為最優。列車之追越有其一定程序。續行列車欲於某站追越先行列車時，先行列車必須先在該站進入副正線待避，待適當之時隔（通常為3分鐘）之後，續行列車進行追越。之後再等適當之時隔（通常亦為3分鐘）之後，待避之列車再離站。因此待避列車至少需要停站6分鐘。當先行列車為背景班表中之車次時，通常並未預留足可待避之停站時間，因此造成續行之臨時列車難以追越。於單線區間，臨時列車與背景班表之列車間之交會亦有類似之困難，不再詳細贅述。

外界對臺鐵臨時列車之要求甚為多樣化。常見者例如要求臨時列車安排於其指定之時分發車、或整體行程於某時間（例如3小時）內完成、或於指定之路段慢行以利乘客欣賞車外景緻、或於某車站停靠某股道以配合乘客動線、或於某車站長時間停靠以配合乘客活動等等不一而足。實務上臺鐵定期列車之行車密度原本即甚密，常無法充份提供臨時列車安排行點之自由度。但實務上但外界對臺鐵之臨時列車又常有過度之期待甚至以種種方法強力要求，造成排點上之困難。

現今臺鐵之排點均以人工為之。實務上之常用作法，於編排臨時列車行點時，若排點人員發現有追越前車之需要，即依其專業判斷挑選先行列車有停靠之適當車站，在追越時隔不足之狀況下仍安排臨時列車追越背景班表中之車次。因此於班表中即產生時隔不足，亦即前述第二類衝突。於班表執行時，此類衝突可在不變更股道分配與行車順序下以行點調整排除之，但調整行點時即造成晚點，需要以後續運轉整理之手段消除其影響。有時因為行車密度過高，上述作法仍無法滿足排點之需求時，排點人員偶而會安排臨時列車於股道不足之狀況下追越先行列車。此種安排將在班表中產生前述第一類衝突。於班表執行時，此類衝突需要調度人員安排股道變更、或調整列車使用股道之順序方有可能排除。其調度之難度較高、通常影響範圍較大、且較易將晚點傳播予其他車次。至於列車之交會則與此類似，不再重複說明。上述於臨時列車排點時在班表中排入衝突之作法並不理想。但基於前述原因，卻為臺鐵臨時列車排點時經常性、不得不然之作法。

如何將上述實務作法納入自動排點系統中，為模式建立之一大挑戰。若於數學模式中精準而正確描述列車運行時所需遵守之一切要求，則所解得之班表中將不含衝突，同時多數臨時列車將難以排入。此外，臨時列車之求解係在給定背景班表之條件下建立數學模式。對精準之數學模式而言，若所給定之背景班表中含有先前人工排入之臨時列車，且該臨時列車行點中含有衝突，則對數學模式而言該班表為不可行。在此狀況下完全不可能由數學模式求解如何在背景班表中排入更多之臨時列車。

在另一方面，定義數學模式時亦可設定使其於求解班表時容許衝突，亦即賦與數學模式類似人工作業之能力，以降低班表品質、容許衝突換取排入更多之車次。但此時卻難以控制

數學模式對衝突之取捨。本研究於多次深入訪談中歸納發現，排點人員於判斷、選擇追越地點時之考慮因素主要為所造成之晚點量、事後運轉整理之難度、所造成之晚點擴散傳播之可能狀況等。亦即，於進行臨時列車排點時，運轉整理為必須考慮之因素。

因應此種狀況，本模式於求解臨時列車班表時，於模式中設定於必要時可在小幅度內（例如 1 分鐘或 3 分鐘）調整背景班表之行點，但不允許變動背景班表中各車次進出各站之順序。同時設定模式不允許臨時列車與背景班表之列車發生班表上之衝突。於求解完成之後，再將求解所得之臨時車列行點取出，併入背景班表原行點中。此時，若模式於求解過程中調整背景班表之行點，則臨時列車併入背景班表後即有可能產生衝突，與人工求解相同。而於上線運轉時，該衝突將產生運轉整理之需求，但只要小幅度調整即可達到運轉整理之目的。

若臨時列車為跨夜運行，則模式處理其對班表影響之方法，必須與前述求解定期班表時對跨夜車次之處理方法不同。如前所述，於求解定期班表時，跨夜車次於半夜之後對班表行點之影響，必須反映於當日清晨車次之行點與交會待避安排中，以維持班表每日相同之需求。但臨時列車並非每日重複運行，因此臨時列車跨夜運行時，在半夜之後影響者為次日上午之車次。

### 3.6 編組運用

班表中之車次，需要適當之列車編組以執行之。因此鐵路系統之計畫單位在排班表時需要同時考慮列車編組運用之問題。列車編組運用計畫之主要內容在安排一組列車於完成某一車次之任務後，應接續哪一車次，亦即各編組於車次間之接續方式。

列車編組計畫之編擬為相當複雜之工作。以臨時列車為例，假設某莒光號臨時車次由海線之大甲站發車，經臺南、高雄、臺東、花蓮、臺北再回到大甲站。該列車編組需於出發前需要由彰化機務段以電力機車拖行，向北空車迴送到到大甲站，機車轉線並搭載乘客後向南行駛。至新左營站時更換柴電機車，行駛南迴線至臺東站。而原電力機車則於新左營站摘掛後運用變更；若後續無適當之機車運用則單機回送到彰化。列車抵達臺東站再更換電機車繼續拖行至花蓮。而原來自新左營之柴電機車則在臺東站加油後迴送到新左營原基地。而列車繼續行駛至大甲站之途中，亦有可能於七堵再更換另一電力機車，以利原機車回送花蓮。列車行駛回到大甲站，下客後整車迴送到彰化機務段，摘下客車，其機車再變更執行後續運用，或回送原基地，方完成整個任務。若為定期車次，其列車編組運用計畫亦甚為複雜，在此不再詳述。在列車編組運用計畫之編擬作業中，與排點最為相關者說明如下。

#### 1. 編組於兩次機檢與運檢間之最大運行里程

列車編組每隔一定運行里程必須回到其所配屬之基地實施機檢與運檢。實務上臺鐵大都以 1800 公里為運行里程之上限，因此編組運用計畫必須適時安排列車編組返回其基地。

#### 2. 編組回到其所屬基地進行機運檢之時間窗

在正常狀況下列車編組實施機檢與運檢所需之時間為二至三小時，且臺鐵大都於上午 8 時至下午 17 時間之上班時間進行此種維修工作。編組運用計畫必須配合安排適當之基地停留時間。

#### 3. 編組過夜地點

車輛編組於執行任務之過程中經常需要在其基地之外過夜。車輛無法返回其所配屬之基地過夜時，實務上通常儘量安排車輛於其他基地過夜。但部分車型於需要時亦可以在部分外

站過夜，而部分車種則因為實際需要之考量而不允許在外站過夜。

#### 4. 回送車次

當車輛編組之前一車次任務之終點站，與後一車次任務之起點站不同時，即需要安排回送車次以調整車輛之位置。回送車次與營業車次佔用相同之路線容量、需要司機員、佔用車輛資源、耗用可用里程，但對運能卻無直接之貢獻。因此於安排編組運用計畫時均儘量避免回送車次之發生；不得已時亦避免長距離之回送。

#### 5. 車輛整備

車輛編組於前後車次間之接續時，常需於車站進行站掃，或於具有適當設備之車場執行大洗或小洗等整備工作。此亦為編排車輛編組運用計畫時所必須考慮之因素。

除了以上各項重要因素外，車輛編組運用計畫尚需考慮許多實務上之需求，例如柴油動力車種需要安排適當之加油機會，並考慮加油時間；凌晨開出之車次(多為回送車次)是否有噪音擾鄰之顧慮等等。

目前臺鐵之編組運用計畫研擬均由具豐富經驗之人員以人工為之。而此項計畫之自動化雖在營運管理自動化之遠景中具有高度重要性，但並非屬本研究之範疇，且迄今在國內外相關學理之發展均尚未達到臺鐵規模實用能力。有鑒於其重要性以及未來發展之必要性，本研究於前端人機介面程式之架構、後端求解核心之軟體、以及數學模式中均預留未來編組運用計畫自動化之考量。在自動化方法與自動化系統尚未開發之前先提供人工設定之機制，而未來實作自動化模組時亦可直接介接，不必修改系統。

### 3.7 數學模式及求解策略

本節將說明本自動排點系統所使用之數學模式，以及其求解策略<sup>[6]</sup>。配合排點問題之性質，數學模式分為股道分配模式與列車行點模式兩部分，在數學上彼此互相獨立。這些模式均作為求解演算法之一部分，由啟發式解法經由反覆求解這些模式以引導求解之方向。

#### 1. 股道分配模式

在數學本質上，列車排點問題同時含有離散及連續因子。其主要離散因子為各車次通過各車站時的股道分配，以及分配到同一股道之各列車之通過順序。本數學模式之目的即在求解可行之股道分配方式。可行之股道分配方案必須不含第一類衝突，亦即前述股道進出順序上之衝突。由於第一類衝突與列車之行點、運行方向均無關，因此本模式亦不需納入時間之因子，同時亦無列車行進方向之考量。

由本類衝突之定義可以進一步推論：考慮某一車站，當二列車 A 與 B 同時或不同時行經該車站時，若且唯若該二列車用以進入與離開該車站之先後順序相同，或是此二列列車行經該車站時使用不同股道，則在 A 與 B 之間必無法發生第一類衝突。以上論述即為股道分配模式<sup>[18]</sup>之主要立論基礎，如式(3-1)至式(3-4)所示。

$$\text{Minimize } \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} P_{tr} b_{tr} \quad (3-1)$$

Subject to

$$b_{sr} + b_{tr} \leq 1 \quad \forall t \in T, s \in T, r \in R, \text{ and } t, s \text{ changed orders} \quad (3-2)$$

$$\sum_{r \in R} b_{tr} = 1 \quad \forall t \in T \quad (3-3)$$

$$b_{tr} \in \{0,1\} \quad \forall t \in T, r \in R \quad (3-4)$$

在本模式中，定義  $T$  為行經所考慮車站之所有車次所成之集合；定義  $R$  為該車站所有可使用之股道所成之集合。本模式僅有一組雙元整數變數，設定其值為 1 時代表車次  $t$  在行經該車站時分配使用股道  $r$ 。反之，若其值為 0，則代表車次  $t$  在行經該車站時未分配使用股道  $r$ 。上列式(3-1)為目標函數。對所有行經該站，而進站與離站順序不同之車次組合  $t$  與  $s$ ，限制式(3-2)使得車次組合  $t$  與  $s$  不可能安排到相同之股道。限制式(3-3)則限定每一車次  $t$  均被指派到恰好一股道。最後限制式(3-4)為變數之雙元整數限制式。上列模式之限制式排除了第一類衝突，因此模式之任一組可行解均將對應一組不存在第一類衝突之股道分配方式。除了不應有衝突之外，實務上各種列車在沿途各車站均有偏好使用之股道。一般而言均優先偏好使用效率較佳之主正線，較不偏好使用副正線。為此，模式設計 為車次  $t$  在行經該車站時對股道  $r$  之偏好權重，愈偏好使用者其值愈小。

## 2. 列車行點模式<sup>[18]</sup>

在列車班表排點問題中，各項連續因子間之關係接近線性，因此在模式中可以用線性規劃模型描述之。這些連續因子之主要作用在描述各列車到站與離站之時間，以及列車占用與釋放軌道電路之時間為主。由此所建立者為列車行點模式，其數學符號定義如下。

$h$  軌道電路的註標

$B$  所有軌道電路所成的集合

$B^S$  位於車站內所有軌道電路所成的集合

$V$  所有車次所成的集合

$G_k$  車次  $k$  的理想發車時間

$E_h$  任何車次在軌道電路  $h$  的最大允許額外耗時

$Trip_k$  車次  $k$  的全程最小旅程時間

$T_{hk}^{\min}$  車次  $k$  在軌道電路  $h$  的最小占用時間

$T_{hk}^{ext}$  車次  $k$  在軌道電路  $h$  的延伸占用時間，為最小占用時間加上寬裕時間

$B_k$  車次  $k$  所行經的所有軌道電路所成之集合

$B_k^0$  車次  $k$  所使用的第一個軌道電路

$B_k^F$  車次  $k$  所使用的最後一個軌道電路

$P(h,k)$	在車次 $k$ 之前一個使用軌道電路 $h$ 的車次
$B_{hk}^-$	車次 $k$ 使用軌道電路 $h$ 之前一個使用的軌道電路
$W_k$	車次 $k$ 的權重
$W^{D1}$	任一車次總班表延遲量的第 1 段權重
$W^{D2}$	任一車次總班表延遲量的第 2 段權重
$W^{D3}$	任一車次總班表延遲量的第 3 段權重
$W^{*D1}$	任一車次總班表延遲量的第 1 段權重允許量
$W^{*D2}$	任一車次總班表延遲量的第 2 段權重允許量
$W^{P1}$	任一車次理想發車時間差異量的第 1 段權重
$W^{P2}$	任一車次理想發車時間差異量的第 2 段權重
$W^{P3}$	任一車次理想發車時間差異量的第 3 段權重
$W^{*P1}$	任一車次理想發車時間差異量的第 1 段權重允許上限
$W^{*P2}$	任一車次理想發車時間差異量的第 2 段權重允許上限
$C_{hmk}$	車次 $m$ 與車次 $k$ 共同使用軌道電路 $h$ 時的最小時隔

決策變數部分：

$delay_k$	車次 $k$ 的總班表延遲量
$delay_k^1$	車次 $k$ 的總班表延遲量，第 1 段
$delay_k^2$	車次 $k$ 的總班表延遲量，第 2 段
$delay_k^3$	車次 $k$ 的總班表延遲量，第 3 段
$a_{hk}$	排定車次 $k$ 到達軌道電路 $h$ 的時分
$d_{hk}$	排定車次 $k$ 離開軌道電路 $h$ 的時分
$y_{hk}$	車次 $k$ 在軌道電路 $h$ 的班表延遲量
$r_k$	與車次 $k$ 發車時分之差異之絕對值
$r_k^1$	與車次 $k$ 發車時分之差異之絕對值，第 1 段
$r_k^2$	與車次 $k$ 發車時分之差異之絕對值，第 2 段
$r_k^3$	與車次 $k$ 發車時分之差異之絕對值，第 3 段

列車行點模式之目標函數與限制式整理於式(3-5)至式(3-20)。基本上此模式之目標函數描述排點時對班表品質之要求準則，而限制式則描述了在給定之行車順序與股道分配下，所有列車於鐵路上運行時所應遵守之規則。大部分這些規則均與時間有關，例如列車佔用軌道電

路之時間長度、前後車次間之時隔等等。因此主要之決策變數亦以時間相關為主。

$$\text{Minimize } \sum_{k \in V} W_k (W^{P1} r_k^1 + W^{P2} r_k^2 + W^{P3} r_k^3 + W^{D1} \text{delay}_k^1 + W^{D1} \text{delay}_k^2 + W^{D3} \text{delay}_k^3) \quad (3-5)$$

Subject to

$$d_{hk} \geq a_{hk} + T_{hk}^{\min} \quad \forall h \in B_k \quad \forall k \in V \quad (3-6)$$

$$d_{hk} \leq a_{hk} + y_{hk} + T_{hk}^{\text{ext}} \quad \forall h \in B_k \quad \forall k \in V \quad (3-7)$$

$$y_{hk} \leq E_h \quad \forall h \in B_k \quad \forall k \in V \quad (3-8)$$

$$r_k \geq a_{B_k^0} - G_k \quad \forall k \in V \quad (3-9)$$

$$r_k \geq -a_{B_k^0} + G_k \quad \forall k \in V \quad (3-10)$$

$$r_k^1 + r_k^2 + r_k^3 \geq r_k \quad \forall k \in V \quad (3-11)$$

$$r_k^1 \leq W^{*P1} \quad \forall k \in V \quad (3-12)$$

$$r_k^2 \leq W^{*P2} \quad \forall k \in V \quad (3-13)$$

$$a_{hk} - d_{h, P^-(h,k)} \geq C_{h, P^-(h,k), k} \quad \forall h \in B_k \setminus B^S \quad \forall k \in V \quad (3-14)$$

$$d_{B_{hk}^-} = a_{hk} \quad \forall h \in B_k \quad \forall k \in V \quad (3-15)$$

$$d_{B_k^F} - a_{B_k^0} = \text{delay}_k + \text{Trip}_k \quad \forall k \in V \quad (3-16)$$

$$\text{delay}_k^1 + \text{delay}_k^2 + \text{delay}_k^3 \geq \text{delay}_k \quad \forall k \in V \quad (3-17)$$

$$\text{delay}_k^1 \leq W^{*D1} \quad \forall k \in V \quad (3-18)$$

$$\text{delay}_k^2 \leq W^{*D2} \quad \forall k \in V \quad (3-19)$$

$$y_{hk} \geq 0 \quad \forall i \in B_j \quad \forall k \in V \quad (3-20)$$

上述列車行點模式之目標函數為(3-5)，其最佳化方向在追求系統中所有車次在所解得之班表中，表定發車時間與理想發車時間最為接近，而且行車時間最短。函數將表定發車時間與理想發車時間之差距的絕對值分為三段，每一段在目標函數中給予的權重則漸增，以分段線性之方法達到懲罰權重累進之效。而列車之行車時間亦以類似手法處理，將表定行車時間超過最小行車時間之部分（即延遲時間量）亦分為三段。同樣以分段線性之方法，每段給予漸增的權重。在極小化目標函數值的求解目標下，模式將最佳化各車次之表定發車時間與理想發車時間之差距絕對值，以及各車次之表定行車時間，均將在加權之後趨向於最小。限制式(3-6)所限定者為所有車次在所有行經之軌道電路的最小佔用時間。限制式(3-7)將所有車次表定佔用每一軌道電路的時間劃分為為延伸佔用時間 與班表延遲量，其中延伸佔用時間定義為最小佔用時間加上一寬裕時間。限制式(3-8)對每一車次在每一行經之軌道電路之班表延遲量給予一不可超過之上限值。限制式(3-9)與限制式(3-10)則使得變數  $r_k$  之值至少等於車次  $k$

之表定發車時間與其對應的理想發車時間差距之絕對值。其後限制式(3-11)則將此一差距值分割為、與三段，並以限制式(3-12)與限制式(3-13)約制各段之最容許大量。上述這三個量均為目標函數之一部分，因此對求解方向具有直接的引導作用。其後之限制式(3-14)為時隔限制式，作用在使先後佔用同一區間的兩車次  $m$  與  $k$  之間保持至少之時隔。由於在數學模式中為事先決定之常數，使得本模式有能力在模式建立之階段因車、因地制宜而納入各種複雜的考慮因素以決定所需之時隔，不影響後續之求解過程。限制式(3-15)之目的為表現每車次在任一時間點均必須佔用某一軌道電路之物理限制。限制式(3-16)右側則為車次  $k$  已知的最小旅行時間與班表延遲量之和，左側為該車次由發車到收車之表定總旅行時間。之後利用限制式(3-17)將此一班表延遲量分為三部分。限制式(3-18)與限制式(3-19)則限制分段線性時，各段所容許之最大量。最後，限制式(3-20)為各決策變數之非負限制式。由於各車次於各軌道電路的表定到開時分變數與已受到各限制式之束約，並不再需要再立非負限制式，因此僅限制表定班表延遲量不得為負值。

### 3. 啟發式解法

若行車順序已給定，則上述股道分配模式足以求解可行之股道分配。若求解結果發現可行之股道分配方式，即可進一步利用列車行點模式求解行點而解得可行之列車班表。因此求解之策略為利用啟發式解法以尋找良好之到離站行車順序，再利用此二模式求解之。

若股道分配模式無法解得可行解，則表示該組行車順序必定產生第一類衝突。此時即回到啟發式解法以調整到離站順序。可用之調整方法為嘗試改變部分列車之交會或追會地點、調整發車順序等。調整過到離站順序後，再次以股道分配模式重新求解可行之股道分配。

若股道分配模式順利解得可行解，則下一步為對各股道，求解分配共同使用該股道之各列車之通過順序。此時各列車之到站與離站順序皆為已知，因此若分配使用該股道之所有列車均具有相同之行駛方向，則所有這些列車佔用該股道之順序必定與到站與離站之順序相同，且必為可行，因此不必再行調整或求解。但若同一股道分配予不同行車方向之列車，則這些列車並無唯一之佔用股道順序，且並非所有順序均為可行。在此狀況下，一個良好的方法是預估各列車需要佔用該股道之時間，用以排定其通過順序。但是在求解行點模式之前預估各列車需要佔用該股道之時間本身即為複雜之問題，而且可行解不一定存在。在本階段若發現無法解得可行解，則求解流程將回到調整到離站順序之階段尋求更可行之方案。

在所有股道均成功解得所有列車之通過順序之後，則可進一步利用前述列車行點模式求解班表。若此時發現列車行點模式無法解得可行解，則表示這一組順序無法完全避免第二、或第三、或第四類衝突。此時必須回溯調整列車之到離站順序，再重行求解。若在本階段列車行點模式順利解得最佳解，即為一新發現之可行班表。演算法即取此一新發現之可行班表，與先前求解過程中已經發現之其他可行班表相比較，以決定接受或捨棄該新發現之可行班表。在整個求解過程中，演算法隨時保存所發現之最優良可行解，並在求解完成時輸出。演算法流程圖整理於圖 3.6。



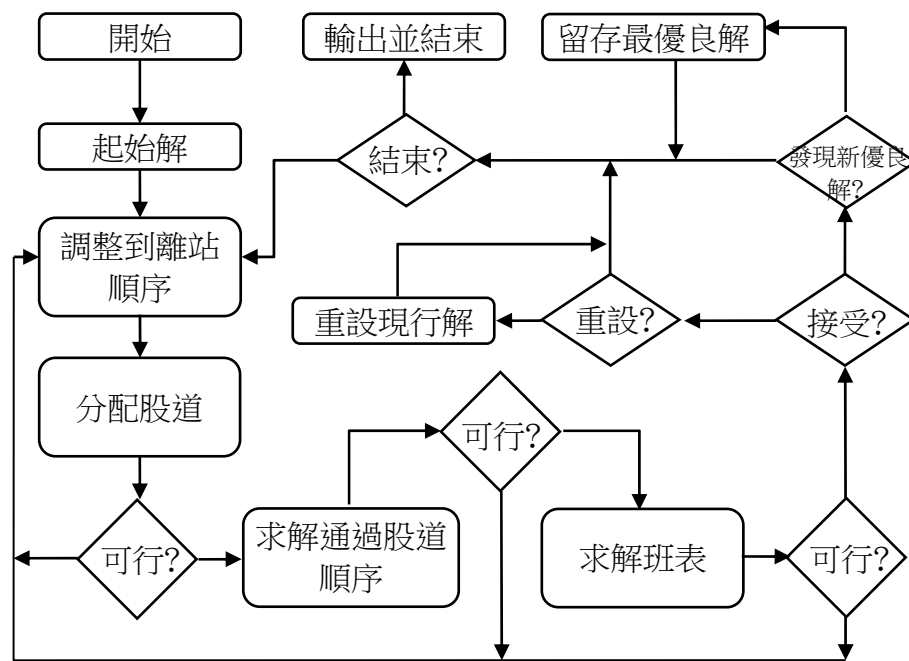


圖 3.6 列車排點模式啟發式解法流程圖

### 3.8 自動排點模式基本輸入資訊

列車排點工作以人工作業時所需要之資訊，與自動化作業所需之資訊並不全然相同。以人工作業時，排點人員所需要之參考資訊以方便取用、量體不大為主。因此資訊常以股道佈設圖等資訊密度高（一張圖中所含有之資訊常相當可觀）而方便閱讀之形式存在。排點人員在養成與實際工作過程中所累積之經驗，亦為有用之資訊，因此經驗豐富之排點人員常有能力使用精密度不高、甚至含有不一致或小錯誤之資訊即可正確完成任務。但使用資訊系統自動化排點時，對資訊精準度、格式與內容一致性等之要求則較高，而處理大量體之資訊則較無困難。這種資訊處理能力、資訊性質偏好之差異使得人工作業所使用之排點資訊並無法直接提供與自動化之排點系統使用。

自動排點系統所需要之資訊大致上可分為三大部分，分別為軌道資訊、車輛資訊、與理想班表資訊。分別說明如下。

#### 1. 軌道資訊

軌道資訊所描述者為構成軌道系統之軌道電路、以及管制列車佔用與釋放軌道電路之號誌系統。軌道電路之資訊必須能夠正確表現諸多軌道電路在空間中之相關性，而號誌系統之資訊則需要紀錄列車在其行進過程中依序佔用軌道電路之規則。

#### 2. 車輛資訊

排點工作在此方面所需要之內容以基準運轉時分為主，因此車輛資訊所描述者為各種牽引種別之列車佔用各軌道電路之最小時間長度。

#### 3. 理想班表資訊

理想班表描述了所欲排入班表中之所有車次、其牽引種別、起迄站、行經路線、停靠站、

在各站之到站任務等。在本系統中，所有需要之資訊均由 RDSP<sup>[5]</sup>資料平臺所提供。此亦為 RDSP 之設計目標之一，即充份支持決策支援系統所需之資訊。

### 3.9 使用者介入機制

功能強大之電腦軟體為重要之決策輔助工具，但不能、亦不應代人決策。亦即，未來之自動排點軟體應有供操作人員介入之能力。軟體之高度自動化，與操作人員之介入是完全不相衝突的兩項功能。例如，目前已相當普及之全自動洗衣機，具有自動完成整個洗衣程序之能力，但操作人員仍然擁有高度之控制力，亦能在洗衣之過程中隨時介入而依人員之意志改變、終止、或重複洗衣程序。同樣的，理想之自動排點軟體應具備高度自動化之能力，可自動執行繁複之運算而排出合格之班表。但同時亦提供適當之軟體功能，使操作人員能夠方便影響排點結果。

經針對臨時列車排點作業實際瞭解之結果，實務上對人為介入之需求可分為排點方向之引導，與排點結果之設定兩類。排點人員於臨時列車排點時，均會先瞭解該臨時車次之任務需求，如理想發車時間、各站停靠需求、行點之彈性範圍等等。依其經驗，在綜合各方考量之後，排點人員均能很容易擬出該臨時列車於背景班表中，行點之大略範圍，亦即時-空中之「廊帶」。因此自動排點軟體應有能力供操作人員以符合作業方便性之方式設定其心目中的合理廊帶範圍，而核心之班表求解模組亦應有能力配合此一廊帶之設定，在操作人員所設定之範圍內求解良好之車次行點。

至於排點結果設定之需求，則為操作人員認為有必要時，軟體在完成行點之自動求解之後，允許操作人員修改行點之操作。由於此一需求係由人工設定行點，因此並不需要核心之複雜數學運算；所需要的是使用者介面上方便的操作功能。

為強化使用者導求解結果之能力，本研究為自動排點系統設計了多項可由使用者控制之參數，其參數說明及設定準則整理如表 3.2 所示。

在表中，車次重要性權重係配與每一車次之可設定權重，其目的在設定該車次與其他車次之相對權重。在路線容量不足時，相對較重要之車次有較大之機率被排入班表中，而在模式安排待避時，亦有較大之機率由重要性相對較低之車次待避重要性較高之車次。模式於求解表定發車時間時，重要性較高之車次亦較有機會以更接近其理想發車時間之表定時間發車。

行車時間權重為另一項可對各車次個別設定之參數，旨在呈現各車次由發車至收車之總行車時間之重要性。此參數之值愈高，該車次將愈不易被求解演算法設定待避、或在路塞時設定降速運轉。

列車依其設定之牽引種別，有其明確定義之基準運轉時分。而各車次在沿途各站亦有其理想停靠時間。本模式將此二者合併稱為理想佔用時間。在實務上，有時基準運轉時分與理想停靠時間為班表中安排行點時之理想目標值，但不一定為最小之極限值。因此本研究在模式中將最小佔用時間定義為參數之一。若理想佔用時間確已為最小之極限，則最小佔用時間即等於理想佔用時間。而未達理想佔用時間權重即用以設定表定時間滿足理想佔用時間之重要性。本項權重值愈大，模式愈傾向不允許未達理想佔用時間。

利用每一車次之理想發車時間、在各站之到站任務、以及站間之基準運轉時分，可推算得該車次在沿途每一站之理想到站與離站時分。理想上若數學模式求解時能使各車次之表定到站與離站時分儘量接近上述理想時分，則班表執行時之運轉效率可望較高。但排點人員亦

有可能考量班表中各列車之狀況，希望對某車次於某站之到站或離站時分之目標值作不同之設定。例如人員可能希望某車次略晚抵達某站，以避免可能發生之複雜交會待避狀況。因此本研究將理想到站與離站時分依上述不同性質，分別定義了第一理想時分與第二理想時分。其中第一到/離站時分為僅考慮該車次之基準運轉時分與各站之理想停靠時間，而不考慮班表中之其他列車時，推算該列車到、離各站之時分。而第二到/離站時分為考慮班表中之其他列車時，排點人員心目中該車次到、離各站之理想時分。這些理想時分均為模式之參數，排點人員設定這些參數，並非設定列車之表定到站與離站時分。軟體系統在取得參數值之後將納入模式中與其他所有考慮因素綜合權衡取捨。

求解所得之班表中，各車次在各站之表定到離站時分與上述理想時分不一定完全相同。表定到站與離站時分與理想到離站時分之差距稱為偏移量。依到站或離站、第一理想時分或第二理想時分、以及正向偏移或負向偏移，這些偏移量共有 8 種組合。本模式允許操作人員以設定參數之方式控制這些偏移量之最大容許值，亦即到/離站時分相對第一/二理想時分之最大正/負偏移量。這些容許值小，所解得之班表行點將愈接近理想值，但無法排入車次之機率愈高。而另一組參數則設定這些偏移量之相對權重。權重值愈大者將愈不允發生偏移。

為了維持班表執行時之穩定性以及班表編排所必須，班表配予車次之表定站間運轉時間大都會略大於所對應之基準運轉時分，而所超過之部分即為寬裕時間。相同之概念亦可用於站內停靠時間。若班表之表定停靠時間大於理想停靠時間，則超過之部分亦視為寬裕時間。於班表中適當安排寬裕時間有其必要性，但過大之寬裕時間則將延長列車之運行時間，有損運轉效率。且列車之運行時間愈長，所佔用之路線容量資源愈多，亦不利排點。基於這些考量，本模式將每一列車在每一車站或站間路段之寬裕時間分為二段。其中第一寬裕時間可設定其上限，而第二寬裕時間則無上限。二者之總和即為該車次在該站停站時間或站間運行時間之表定寬裕時間。此二寬裕時間均可個別設定權重。其權重值愈大，模式求解時愈傾向縮小表定之寬裕時間。使用時將第一寬裕時間給予相對較小之權重值、將第二寬裕時間給予相對較大之權重值，即可引導數學模式在第一寬裕時間之範圍內配予表定寬裕時間，同時避免使用第二寬裕時間而達到控制過大寬裕時間之目的。

如前所述，本系統使用股道分配模式以求解列車行經各車站時適當之股道分配方案。而股道偏好權重即在表現各車次在各站對股道之偏好，本參數值設定愈小，該車次愈傾向偏好該股道。

表 3.2 排點控制參數表

參數	說明	設定準則
車次重要性權重	該車次與其他車次之相對重要性。權重愈大，該車次愈為優先。	欲使所排入之車次行點更接近理想行點時調高本參數值。
行車時間權重	該車次由發車至收車之總行車時間之權重。較大之權重值將使該車次趨向減少待避、減少降速運行。	欲避免所排入之車次被追越或引導所排入之車次追越其他車次時，調高本參數值。
理想佔用時間	站間基準運轉時分，或站內理想停靠時間。	設定所排入之車次在各站之理想停靠時間。
最小佔用時間	實務上基準運轉時分常內含有基本寬裕時間。由基準運轉時分扣除該基本寬裕時間後所餘為該站間之最小佔用時間。若允許班表配予之站內停靠時間小於理想停靠時間，則所允許之最小停靠時間為該車次於該站之最小佔用時間。若基準運轉時分不含上述基本寬裕時間，或不允許列車於站內停靠時間小於理想停靠時間，則本項參數之值等於理想停靠時間。	設定所排入之車次在各站之絕對最小停靠時間，以及在各站間之絕對最小運轉時間。
未達理想佔用時間權重	設定滿足理想佔用時間之重要性。本項權重值愈大，模式愈傾向不允許未達理想佔用時間。	欲避免所排入之車次在各站之表定停靠時間，或在各站間之表定運轉時間小於理想佔用時間時調高本參數值。若車站內股道不敷分配之現象時，調高本參數值可能造成衝突或無法排入。
到/離站之第一/二理想時分	設定理想之第一/二到/離站時分。其中第一到/離站時分為僅考慮該車次之基準運轉時分與各站之理想停靠時間，而不考慮班表中之其他列車時，推算該列車到、離各站之時分。而第二到/離站時分為考慮班表中之其他列車時，排點人員心目中該車次到、離各站之理想時分。	設定所排入之車次在各站之理想到站與離站時分。

表 3.2 排點控制參數表

參數	說明	設定準則
到/離站時分相對第一/二理想時分之最大正/負偏移量	可接受之班表到站與離站行點相對於第一/二理想時分之最大允許正值或負值偏移量。	設定所排入之車次在各站之表定到站或離站時分與理想到站或離站時分之最大偏移量。正與負方向可獨立設定。
到/離時分偏移權重	各種偏移量之重要性。本權重值愈大，模式愈傾向不允許發生偏移。	欲使所排入之車次之表定到站時分更接近理想到站時分時，調高本參數值。離站亦同。本參數值較高時，造成壓點之機會亦隨之增加。
第一寬裕時間	對站間運轉時間而言，若班表配予之運行時間大於基準運轉時分，超過之部分即為寬裕時間。對站內停靠而言，若班表配予之停靠時間超過理想停站時間，超過之部分視為寬裕時間。本參數定義班表配予各列車在各站之停站時間，以及各站間之運轉時分之第一段寬裕時間時間長度。若班表配予之站間運行或站內停靠之寬裕時間超過第一寬裕時間，超過之部分為第二寬裕時間。第二寬裕時間無上限之限制。	設定所排入之車次在各站與各站間所允許使用之寬裕時間量。
第一/二寬裕時間權重	第一寬裕時間以及第二寬裕時間之權重。權重值愈大，模式愈傾向縮小寬裕時間。	欲使所排入之車次獲得更大之寬裕時間時，調高本參數值。反之則調低本參數值。本參數值較高將使所排入之車次較準點，但行程時間將較長。
股道偏好權重	定義各車次對所行經之各站之使用股道偏好。權重值愈大之股道，該車次愈傾向不選用之。	調高本參數值將欲使所排入之車次於指定之車站儘量使用指定股道之偏好趨於強烈，較易獲得所偏好之股道，但對其他列車之影響亦愈大。



## 第四章 鐵路列車自動化排點系統功能擴充

本研究以本所 102 年「鐵路列車自動化排點系統建置之研究」<sup>[6]</sup>所建置之排點系統雛型為基礎，擴充其功能，並提升該系統使用時之友善程度，以助推廣應用。供實務使用之軟體系統必須貼近操作人員之思考模式與需求。以下各小節將逐一介紹排點功能之擴充、資料平臺之改版、列車運行模擬技術、列車班表穩定性分析技術、以及實務驗證過程與成果。

### 4.1 排點功能擴充

本研究以過去多年累積之技術成果為基礎，持續擴充自動化排點技術以求達到更佳之班表品質、更高的可控制性、更良好的求解效能，目的在達到該技術於實務之應用。主要之功能提升與擴充項目說明如下。

#### 1. 班表求解納入編組運用之概念

目前為止國內外所發展之自動排點相關模式中，於班表求解時，絕大多數之模式均以車次為單位。亦即模式將班表中之各車次視為相互獨立單元。臺鐵局目前使用之排點輔助軟體亦在此基本假設下運作。這種作法具有簡化問題、有利模式求解之優點。然而本研究訪談中發現，實務上排點人員之任務並不止於完成無衝突之班表。排點人員所完成之班表尚需考慮到車輛編組在不同車次間之接續。亦即，不論是以人工方式或以自動化方式編排班表，均需要考慮到同一車輛編組先後執行多趟車次之因素。更廣義來說，實務上所有車輛編組之行程均始於該編組所配屬之車輛基地，亦終於同一車輛基地。而每一趟行程均先後執行班表中之若干車次。例如，配屬臺北機務段之某一推拉式自強號編組可能由七堵車輛基地發車，運行至高雄過夜後，次日接續高雄至屏東之車次，再接續屏東至七堵之車次而回到七堵基地。

實務上不論是定期列車之排點，或臨時列車之排點，均需要一併考慮編組運用之問題。利用數學模式自動排點時，此一考量使得班表之求解大為複雜化。車輛編組運用與班表行點之配合問題，可分兩個層次討論之。較複雜之層次為如何將車輛編組運用之考量納入排點模式中，使得軟體系統能夠在求解班表行點之過程中，同時解得良好之編組運用計畫。較單純之層次為給定每一車輛編組所擬執行之車次，而排點模式則依循此一給定之編組運用計畫求解適當之班表行點。其中較複雜之層次涉及編組運用計畫自動化之課題。該問題本身即具有相當之複雜性與困難度，並非本研究之時程與經費所能容納。因此在以下之討論中，將以上述較單純層次之考慮為準。

當模式將每一車次視為獨立單元，未考慮車輛編組運用而進行排點時，所有列車均在發車時間「出現」於其始發站之某一適當股道，經一段停留時間之後往下一車站運行。收車時，則於抵達終點站之某一適當股道並停留適當時間之後，於該股道「消失」。於模式中納入車輛編組運用因素之考量時，上述作法有兩項不足之處。第一項是時間接續的問題。假設某車輛編組在完成車次 A 抵達終點站之後，應在同一車站接續執行車次 B。則在排點時，車次 B 在其發車站之行點應安排在車次 A 在終點站行點之後，且其間應留下適當之接續時間，以進行必要之翻席、站掃等後勤整備工作。第二項是股道接續的問題。亦即 A 與 B 二車次在某車站接續時，車次 A 收車之股道應與車次 B 發車之股道相同。此外，若該次接續為折返，則該股道必須具有折返能力。本排點系統並不包括車場內之調車，因此若同一編組在執行前後車次之間進入車場，則自然無原股道接續之問題。而若於同一車站內以調車方式轉換股道，則模式需要為該調車動作排點與其他車次不相衝突之行點。

時間接續以及股道接續兩項考慮因素使得原本已相當複雜之排點模式變得更複雜。其主要影響有二：第一，人機介面需要將更複雜之資訊帶入求解核心中；第二，RDSP 需要更多之資訊以支持這些需求。至於數學模式部分，本研究之模式已具備相當之班表求解能力，於本次功能擴充時納入車次接續之考量。經過初步測試成效良好。

## 2. 多車次臨時列車之求解

實務上臺鐵在編排其定期列車的同時，均同步完成編組運用計畫以確保兩者得以完整搭配。所有定期之車次均排有其所屬之編組運用以執行之。為了避免臨時列車之需求影響既定之編組運用計畫造成執行上之複雜，實務上均避免定期列車與臨時列車共用編組。亦即，排點人員於編排臨時列車之班表時，均以專用編組為之。實務上之此種作法使得多數臨時列車之需求均非僅有單一車次。例如，假設所申請臨時列車之行程為臺中站發車，以高雄站為終點。此時若使用配屬於彰化機務段之車輛編組，則該編組需要先由彰化空車迴送至臺中站，再辦客運行至高雄站，任務結束後再迴送至原基地彰化機務段。因此以本例而言，雖然旅客僅申請一車次之臨時列車，但實際上該編組需要執行三車次方能完成任務。

對求解核心而言，此部分之功能需求與上述項目相同，以時間接續及股道接續為主，因此並不需要調整數學模式。所需要之配合調整均以人機介面為主。

## 3. 股道分配之簡化

班表求解能力之強化為本研究重要目標之一。為所有車次在所行經之所有車站分配適當股道，具有數學上之離散性質。因此在數學模式中對應到整數決策變數。本研究所採用之核心模式適度分解離散與連續決策變數間之關係使之成為能夠分階段個別求解之不同模式，但由於複雜之基本性質，使得整數決策變數仍然為模式求解主要障礙之一。

觀察臺鐵之真實軌道系統可以發現，列車在正常運行過程中並非在每一站均能自由選擇所使用之股道。在雙線區間，若某車站僅有二股道，則在正常狀況下兩方向之列車均固定使用各自之左側股道。即便該站設置有橫渡線，正常運轉時列車亦不使用右側股道。而實際上此種固定運用型態亦符合效率原則。同樣的，若在單線區間之車站僅有單一股道，則自然所有列車必須全數使用此一股道，並無選擇之空間。利用此一性質，本模式在建立數學模式之前，先在前處理階段全面檢查軌道系統，辨識上述無選擇可能之車站。於建立數學模式時，對這些車站之股道分配則不予建立相對應之整數決策變數，以達到減少變數量而加速求解之目的。

## 4. 運轉整理計畫

臺鐵之行車密度甚高，但又常必須在已排定之班表之中，再排入更多之臨時列車。因此常必須於班表中以縝密安排衝突之方式達到插入臨時列車之任務。而所安排之衝突，又必須能夠在班表執行時順利進行運轉整理，以儘快消除因班表衝突而造成之晚點。此一部份構成自動排點系統建立模式與求解之最大挑戰。為此本研究在模式中加入求解運轉整理計畫之能力，亦即在求解臨時列車之行點的同時，考量未來上線執行之狀況以及運轉整理之需求。因此模式若成功依操作人員所設定之條件於背景班表中排入臨時列車，則除了得到該臨時列車之行點外並同時解得背景班表之運轉整理計畫，之後再依適當格式輸出即可供排點人員參考。



## 4.2 資料與資料平臺

臺鐵系統龐大而複雜，而自動排點系統亦需要大量之資料。因此自動排點系統必須有設計良好之資料平臺方能達到其設計目的。衡量臺鐵現況並非缺乏資料，而是缺乏整合資料之工具。本所過去所發展之鐵路決策支援平臺 RDSP 資料平臺<sup>[5]</sup>具有良好之能力，因此本研究以該系統為基礎，配合新增之功能需求而予以改版，作為本系統之主要資料平臺。

本項改版對軌道系統之資料納入了變動歷程之管理能力，以符合實務作業上之需求。臺鐵系統在過去一百多年中，隨著系統之發展與技術之進步而逐步擴充。近年來更隨著大量公共投資之投入而發展，如早期之臺北鐵路地下化工程、稍早之沙崙線新建工程、最近通車之臺東線電氣化工程、施工中之臺中鐵路高架化工程、臺南鐵路地下化工程、高雄鐵路地下化工程等，以及新設站與廢站、既有車站股道改善等配合工程，在在均持續改變臺鐵之鐵路系統。在鐵路系統持續改變之同時，RDSP 中對應之資訊亦需要更新，以維持其實用性。然而僅僅同步更新資料，並不足以滿足實務需求。資料庫中必須同時維持過去、現在、與未來之軌道資訊。

舉例而言，臺鐵於民國 102 年 6 月 27 日裁撤月美站。若配合此一變動而自資料庫中刪除月美站，並配合設定前後之關山站與瑞和站為相鄰站，則應用程式在檢視較早之班表歷史紀錄時，將因為班表中含有不存在之車站而發生錯誤。反之，若不自資料庫中刪除月美站，則應用程式在處理現今之班表時，又將因為班表顯示列車由關山站直通瑞和站而發生錯誤。且用以求解班表時，亦將因為資料與實況不符而失真。

與此類似之狀況為北湖站之新設。位於富岡站與湖口站間之北湖站於民國 101 年 9 月 28 日設站。在設站之前，資料庫中之軌道資訊均以富岡站與湖口站為相鄰之車站。因此基準運轉時分亦為列車由富岡站運行至湖口站（或反方向）之時間。設置北湖站之後，資料庫中上述基準運轉時分資料需要由富岡站至北湖站、以及北湖站至湖口站之資料取代之。但此時將發生與前述類似之現象：9 月 28 日以前之班表無法適用修正後之軌道資訊，而 9 月 28 日之後的班表無法適用修正前之軌道資訊。

最近通車之臺東線電氣化工程帶來更複雜之需求。該工程於 103 年 7 月正式通車。於電氣化之後，臺東線可運行電力列車，且有部分路段配合改為雙線運行。假設在通車前，5 月份時，臺鐵之排點人員需要編排預定於 7 月份使用之班表，則需要依據該工程完工通車後之軌道狀況為之。若所編排之班表係在 5 月份執行，則需要依據非電氣化之方式為之。

以上各例均顯示在實務應用上，排點系統之資料庫必須具備變動歷程之管理能力，以對應各種不同的排點需求。本研究配合此一新增功能之需求，將先前之 RDSP 系統予以改版，使之能夠同時容納同一處所不同時期之股道狀況資訊，並開發相對應之後端軟體以利操作人員方便選用。

配合本項變動，RDSP 調整了整理車站清單之方式，將單層式之架構修正為雙層式架構。具體而言，在 RDSP 中納入了「車站群」之概念，每一車站群內含有一或多數車站資料。每一車站群對應一座實體車站，群內之各元素即為該實體車站歷次變動之各歷程。此外，於 RDSP 中再新設路線版本紀錄，每一路線版本由每一車站群中各取不多於 1 個元素集合而成。使用時依時間點之需求，撈取正確之版本，即可得到全套相對應之軌道狀況資訊。

### 4.3 列車運行模擬

任何鐵路系統在上線運轉過程中，必定受到許多內在或外在之隨機擾動而無法完全精準依據班表運行。常見之隨機擾動包括旅客上下或下車之行為影響列車準點離站、車上旅客人數或貨物重量影響列車載重、司機員駕駛行為影響站間運行時間、動力系統之狀況影響列車之機械阻力與加減速能力、供電系統電壓之變動影響列車出力、風與雨等大氣條件影響空氣阻力與輪軌間之黏著力、能見度影響司機員駕駛行為等。此外路線之施工慢行亦對列車運轉時間產生可觀之影響。

臺鐵「鐵路行車規則」<sup>[37]</sup>第六十五條明文規定「旅客列車及混合列車，應嚴守規定時刻，不得提早開車。」因此在絕大部分情況下，前述各種擾動均使列車產生晚點。而當某車次發生晚點後，該晚點狀況將隨著該車次在時間空間中之移動，並在適當之狀況下傳播予其他車次。車次間相互影響準點狀況之方式，必為先行車次影響續行車次。而先行之車次 A 與續行之車次 B 間發生影響，需要以下二條件同時成立：(1)車次 A 與車次 B 先後佔用同一軌道電路 T、(2) 車次 B 為了與車次 A 在 T 維持最小時隔必須延後抵達 T。

實務運轉時，上述狀況常發生在列車交會或待避時。例如依班表之計畫，車次 A 於某站待避，由車次 B 追越。但車次 A 發生晚點延後抵達待避站，使得車次 B 延後進入待避站。或者依班表之計畫，車次 A 於某站待避，由車次 B 追越。但車次 B 發生晚點延後離開待避站，使得車次 A 延後離開待避站。

前後列車間無追越或待避時亦有發生相互影響之可能。例如依班表之行點，先行車次 A 與續行車次 B 應在抵達某站後，以相同順序離站。但先行之車次 A 發生晚點而延後進入該站，使得車次 B 亦延後進入該站。

本系統依據前述二條件進行列車運行模擬。系統先取得待模擬之班表，並依預設之方式設定班表中各車次在各站或各站間所發生之延遲，之後依時間推移之原則模擬列車之間相互影響之狀況。此處所謂之延遲係指列車在站內停靠之時間長度、或列車在站間運行之時間長度超過表定之時間長度。對模擬系統之軟體核心而言，時間延遲為外來設定之值，係軟體在讀取班表階段即一併輸入之資訊。而延遲量之產生可視模擬之目的而定。若欲模擬班表在隨機擾動下之運轉狀況，則可對所有車次在沿途停靠之所有車站，以及所行經之所有站間各產生某一隨機延遲量（例如 0 至 5 秒間之平均分佈、或某平均值之指數分佈、或其他分佈）。在車站與在站間所產生之延遲量可有不同之統計分佈、各車次亦可有不同之統計分佈。若有適當之歷史紀錄，亦可嘗試利用歷史紀錄取代上述隨機值。同樣的，亦可設定整份班表中僅有某指定車次在某站或某處站間發生延遲，而其餘車次均完全無延遲。這種模擬可用以觀察特定處發生延遲時晚點量之傳播與吸收狀況。

在實務上，有時班表中未能在前後車次之間留下適足之時隔。此時即便先行列車並未發生晚點，亦有可能使得續行列車發生晚點。而若班表中原本即含有第一類衝突，則執行時必須由調度人員變更行車順序方能解開衝突。對模擬系統而言，含有第一類衝突之班表即非時間推移所能模擬，而需同時模擬調度人員之作為。由文獻觀之，目前所有鐵路系統之線上調度均以人工為之<sup>[40]</sup>。雖然國際上對列車調度之方法及其應用有若干相關研究<sup>[41-43]</sup>，但均遠不及成熟階段，且均與各該研究對象之鐵路系統有密切關係。在核心方法論未成形之前，本系統階段性先假設班表中無第一類衝突，而以時間推移作為模擬方法。至於其他類之衝突則仍可正常模擬。

## 4.4 列車班表穩定性分析

考慮班表執行過程中，在某一時間  $t$ ，某一車次  $s$  之準點狀況，並假設該列車在當時係處於晚點  $m$  分鐘之狀態。則依定義，車次  $s$  在當時所在之空間位置，為依班表，其在時間  $t-m$  時之表定位置。例如，若依班表某車次應在 15:36 自嘉義站開出，而該列車至 15:37 才自嘉義站開出，則晚點量為 1 分鐘。

為了論述方便，此處暫先假設系統中無其他列車存在，並假設該車次之表定行程中完全沒有寬裕時間，亦即在所有車站，表定之停站時間均等於其最小停站時間，且在所有站間，表定之運行時間均為其行駛該路段所需之最小時間。在此假設狀況下，該車次將完全沒有減少晚點量之可能，自然更無法回復到與原表定班表一致之狀況。反之，若班表中排有寬裕時間，則在系統中無其他列車存在之假設下，車次  $s$  將有減少晚點量之可能。在某一站間運行過程中所實際減少之晚點量，取決於三項因素：晚點量、寬裕時間、以及趕點量，而實際減少之晚點量為三者中之最小者。其中晚點量為在時間  $t$  當下已發生之客觀事實、寬裕時間為排點時已經決定之量，而趕點量則為司機員操作列車時，在列車機械性能、規章規定等客觀允許範圍內所達成之運行時間縮減量。本研究對此定義「趕點強度」，定義為趕點量與晚點量、寬裕時間二者之小者間之比值。

由上列論述可以推論下列二項性質。第一，單一車次之回復力完全取決於班表中之寬裕時間，與前後車次間之緩衝時間無關；第二，車次在時間  $t$  之趕點狀況受到當時之晚點量  $m$  以及該車次所在位置之影響，但不受晚點形成過程之影響。上述第二項為「無記憶」之性質。本研究利用這些性質，設計班表回復力指標及測試方法。

前述推論的簡化假設之一，為系統中無其他列車存在。此一假設使得該列車在各種狀況，行程中之各個位置之回復力推算成為一個簡單的問題。然而真實的系統中常有多數其他列車，且各車次與所欲分析之車次  $s$  產生互制。因此需要以模擬方式，利用數值方法推估班表中各車次在各位置之回復力。

令  $RC_m$  為「 $m$  分鐘回復力」(m-recoverability)。某車次  $t$  在其行程中之某處  $x$  之  $RC_m$  定義如下。假設車次  $t$  在  $x$  處之晚點狀態為晚點  $m$  分鐘，而其他所有車次均無晚點。在所有車次通過各進路與閉塞區間之順序不變，且無其他原發性晚點之條件下模擬所有列車之晚點傳播以及趕點作為。定義  $RC_m$  為依模擬結果，系統中最大之晚點量降至  $m$  值之半所需之時間，以分鐘為單位。需注意的是，由於晚點量有可能在不同列車之間傳播，此處所謂系統中最大之晚點量，不一定發生在車次  $t$ 。例如車次  $t$  將其晚點量傳播予另一車次  $t'$  之後，由於車次  $t$  排有充份之寬裕時間而快速吸收自身之晚點，但車次  $t'$  因晚點吸收能力不足而持續長時間保有其晚點量。此時系統之最大晚點量將由車次  $t$  轉移至車次  $t'$ 。而依定義， $RC_m$  即為系統中所有車次之晚點量均下降至不大於  $m$  值之半所需之時間。此一指標反映了班表吸收發生於車次  $t$  在  $x$  處之晚點之能力。

依前述說明，本研究將以「 $m$  分鐘回復力」 $RC_m$  作為數量化衡量班表穩定度之指標。其方法是選定一個列車事件並給予  $m$  分鐘之晚點量，並模擬該晚點事件對其他車次之影響。進行模擬時則設定所有所有車次均無任何其他之原發性晚點發生，再依據  $RC_m$  之定義以班表模擬之方法推得該列車事件之  $RC_m$  值。以相同的方法對整份班表中之每一列車事件均推得其  $RC_m$  值，再以圖形化之方式標示在運行圖上，即可獲得整份班表之穩定圖。

本研究於測試過程中，發現班表中之寬裕時間對晚點之吸收與傳播具有重大影響。沒有適當安排寬裕時間之車次由於難以自行吸收晚點時間，運行時常會將晚點作長距離傳播，連帶影響許多其他車次。茲以一例說明之。該例係以臺鐵真實班表為基礎，利用 TrainWorld 全盤重新求解全新班表，並安排甚少之寬裕時間。解得班表後，選擇上午 6:42 由基隆站發車，駛往終點站高雄之 111 車次自強號，在基隆站給予 2 分鐘之晚點，令其延遲離站。此外假設

其他所有車次均無晚點。上述 111 車次之發車晚點使得隨後於基隆站發車之 1123 車次發生遞延。由前後兩車次間之緩衝時間吸收一部分晚點量之後，1123 車次延後 70 秒離開基隆站。由於 1123 車次並未安排寬裕時間，其晚點於 9:09 在新竹站傳播予 171 車次。而依班表，171 車次應於臺南站追越 3153 車次，因此於 12:20 在臺南站將晚點傳播予待避之 3153 車次。隨後，3153 車次於高雄站將晚點傳播予 3521 車次。最後，3521 車次利用在林邊站所安排之寬裕時間將晚點量全數吸收。而在上述這些車次由基隆站至林邊站，超過 430 公里之運行過程中，又多次傳播予其他車次。

鐵路列車運轉時，運行速率較無自由控制之彈性。且嚴格執行之速率限制亦限縮了趕點以吸收晚點之空間。在隨機擾動不可避免之現實下，此類之測試例顯示了適當分配寬裕時間對班表穩定之重要性。實務上臺鐵常因外界強力要求或其他因素而必須扣減寬裕時間以達到縮短班表行車時間之要求，但同時對準點率帶來之反面影響，亦應納入考慮。

## 4.5 實務驗證

本所對鐵路列車自動排點核心技術及其他相關課題已進行多年研究，而在過去研究之過程中亦進行多次訪談與調查，對實務需求已建立相當深入之瞭解。然而在各種技術及實作之軟體達到一定完整性之前，均難以利用真實案例進行實用性之驗證。本專案整合了核心技術、RDSP 資料平臺、並開發人機介面，完整資訊系統已然成形。在此基礎上，本研究得以進行實務驗證工作。本案之實務驗證工作係以研究人員駐點方式為之，在進行期間自 103 年 3 月 31 日起至 11 月 17 日止每星期一次派員到臺鐵局就地進行一天，執行驗證測試及相關訪談。之後將驗證測試結果帶回研究團隊處理。研究期間共駐點 33 次，其間專案主持人前往訪視 11 次，亦均同時進行訪談。

不論對新技術或新軟體之開發，實務驗證均為重要過程，其目的在降低上線運轉時之風險。本研究之自動排點系統兼具新技術與新軟體之性質，因此實務驗證更形重要。自動排點系統具有高度複雜性，且其中所使用之多數技術均屬新開發，並無先前實務運用之經驗可資參考。因此本研究將實務驗證之目的，定位在不足處之發現與補足。亦即嘗試在實務操作之演練中發現本系統各方面之不足處，並在本研究中儘量予以加強補足。無法於本案時間與經費範圍內完全補足處則予以紀錄供未來持續開發時之參考。所進行之實務驗證分為四大項，分別說明如下。

### 1. 臨時列車排點驗證

本項驗證以各種不同需求之臨時列車，驗證本系統於給定之背景班表中排入新增臨時列車之能力。所測試之臨時列車涵蓋了臺鐵本線全線，詳細列表整理於附錄中。利用本系統求解臨時列車，其目的並不在得到臨時列車之行點班表，而是在利用實地操作之過程以發現系統與模式不足之處。因此這些臨時列車排點驗證之過程為：取得需求資訊與背景班表資訊後，嘗試以本系統將臨時列車排入背景班表中。將所解得之臨時列車行點交給實務排點人員檢視並指出其中待改進之處後，將結果帶回研究團隊中，就軟體與數學模式之角度檢討這些待改進處形成之原因並找出改進的方法。歷經多次驗證之後本系統在臨時列車排點方面之能力已經接近實用之要求。

### 2. 改點驗證

本項驗證以 103 年 11 月 18 日改點為例，驗證本系統求解班表改點之能力。所測試之內容包含了自強號班表之調整，以及列車之增停。測試之項目整理如表 4.1 與表 4.2 所示。測試結果發現本系統均有能力排出符合運行時間要求之行點，但對班表中原本即存在衝突之容錯

能力不足。此外，本項測試亦充份凸顯了臨時列車排點、與班表改點雖均以排點模式為其核心，但其基本出發點不同，所需要之參數設定與求解策略亦不同。

### 3. 人機介面設計驗證

本項驗證針對本案所開發之人機介面，由臺鐵局排點人員實地操作以發現應改善之處。在操作過程中，由駐點人員觀察並紀錄排點人員需要協助之處、不易操作之處、或執行各種操作時所經常需要查詢之資料項目。事後再將這些觀察與紀錄帶回研究團隊，據以修正人機介面之設計。本案進行之過程中基於陸續觀察得到之需求，曾經二次全盤重新開發人機介面程式。

### 4. 資料介接驗證

本項驗證在測試本系統與臺鐵現用之排點輔助軟體間交換班表資訊之能力。由於本項作業係以軟體對軟體之方式進行，且所傳遞之資訊僅有班表，因此較為單純，利用明確定義格式之 XML 檔即可達到目的。目前兩組軟體系統間之雙向班表資訊交換均已完全成功。圖 4.1 所示為 103 年 8 月 1 日真實班表之 XML 檔部分示例。至於檔案傳遞之方式則不受限，在資訊安全管制容許範圍內任何傳遞方式均可使用。

```
<Train TrainCode="1A" TrainClass="客運"><Station StationCode="1003" StationOrder="1" TrainMission="停車不載客" Arrive="05:40:00"
  Deptime="05:42:00" TrainEngine="E特客甲A"/><Station StationCode="1004" StationOrder="3" TrainMission="通過" Arrive="05:50:00"
  Deptime="05:50:00" TrainEngine="E特客甲A"/><Station StationCode="1005" StationOrder="4" TrainMission="通過" Arrive="05:52:00"
  Deptime="05:52:00" TrainEngine="E特客甲A"/><Station StationCode="1006" StationOrder="6" TrainMission="通過" Arrive="05:59:00"
  Deptime="05:59:00" TrainEngine="E特客甲A"/><Station StationCode="1007" StationOrder="7" TrainMission="通過" Arrive="06:02:00"
  Deptime="06:02:00" TrainEngine="E特客甲A"/><Station StationCode="1008" StationOrder="8" TrainMission="停車不載客" Arrive=
  "06:08:00" Deptime="06:10:00" TrainEngine="E特客甲A"/><Station StationCode="1030" StationOrder="2" TrainMission="通過" Arrive=
  "05:47:00" Deptime="05:47:00" TrainEngine="E特客甲A"/><Station StationCode="1031" StationOrder="5" TrainMission="通過" Arrive=
  "05:54:00" Deptime="05:54:00" TrainEngine="E特客甲A"/></Train><Train TrainCode="1B" TrainClass="客運"><Station StationCode=
  "1008" StationOrder="1" TrainMission="停車不載客" Arrive="19:51:00" Deptime="19:53:00" TrainEngine="E特客甲A"/><Station
  StationCode="1009" StationOrder="2" TrainMission="通過" Arrive="19:57:00" Deptime="19:57:00" TrainEngine="E特客甲A"/><Station
  StationCode="1011" StationOrder="3" TrainMission="通過" Arrive="20:02:00" Deptime="20:02:00" TrainEngine="E特客甲A"/><Station
  StationCode="1012" StationOrder="5" TrainMission="停車不載客" Arrive="20:09:00" Deptime="20:10:00" TrainEngine="E特客甲A"/>
  <Station StationCode="1032" StationOrder="4" TrainMission="通過" Arrive="20:05:00" Deptime="20:05:00" TrainEngine="E特客甲A"/>
  <Station StationCode="4102" StationOrder="6" TrainMission="停車不載客" Arrive="20:16:00" Deptime="20:18:00" TrainEngine=
  "E特客甲A"/></Train><Train TrainCode="1C" TrainClass="單機迴送"><Station StationCode="1236" StationOrder="3" TrainMission=
  "通過" Arrive="10:27:30" Deptime="10:27:30" TrainEngine="客丙A"/><Station StationCode="1237" StationOrder="2" TrainMission=
  "通過" Arrive="10
  :23:30" Deptime="10:23:30" TrainEngine="客丙A"/><Station StationCode="1238" StationOrder="1" TrainMission="停車不載客" Arrive=
  "10:17:00" Deptime="10:19:00" TrainEngine="客丙A"/><Station StationCode="1242" StationOrder="4" TrainMission="停車不載客" Arrive=
  "10:31:00" Deptime="10:33:00" TrainEngine="客丙A"/></Train><Train TrainCode="1N" TrainClass="客運"><Station StationCode="1003"
  StationOrder="13" TrainMission="停車不載客" Arrive="21:52:00" Deptime="21:54:00" TrainEngine="E特客甲A"/><Station StationCode=
  "1004" StationOrder="11" TrainMission="通過" Arrive="21:43:00" Deptime="21:43:00" TrainEngine="E特客甲A"/><Station StationCode=
  "1005" StationOrder="10" TrainMission="通過" Arrive="21:41:00" Deptime="21:41:00" TrainEngine="E特客甲A"/><Station StationCode=
  "1006" StationOrder="8" TrainMission="通過" Arrive="21:35:00" Deptime="21:35:00" TrainEngine="E特客甲A"/><Station StationCode=
  "1007" StationOrder="7" TrainMission="通過" Arrive="21:32:00" Deptime="21:32:00" TrainEngine="E特客甲A"/><Station StationCode=
  "1008" StationOrder="6" TrainMission="停車不載客" Arrive="21:21:00" Deptime="21:25:00" TrainEngine="E特客甲A"/><Station
  StationCode="1009" StationOrder="5" TrainMission="通過" Arrive="21:17:00" Deptime="21:17:00" TrainEngine="E特客甲A"/><Station
  StationCode="1011" StationOrder="4" TrainMission="通過" Arrive="21:11:00" Deptime="21:11:00" TrainEngine="E特客甲A"/><Station
  StationCode="1012" StationOrder="2" TrainMission="停車不載客" Arrive="20:54:00" Deptime="21:04:00" TrainEngine="E特客甲A"/>
  <Station StationCode="1030" StationOrder="12" TrainMission="通過" Arrive="21:47:00" Deptime="21:47:00" TrainEngine="E特客甲A"/>
  <Station StationCode="1031" StationOrder="9" TrainMission="通過" Arrive="21:39:00" Deptime="21:39:00" TrainEngine="E特客甲A"/>
  <Station StationCode="1032" StationOrder="3" TrainMission="通過" Arrive="21:08:00" Deptime="21:08:00" TrainEngine="E特客甲A"/>
  <Station StationCode="4102" StationOrder="1" TrainMission="停車不載客" Arrive="20:46:00" Deptime="20:48:00" TrainEngine=
  "E特客甲A"/></Train><Train TrainCode="1S" TrainClass="單機迴送"><Station StationCode="1236" StationOrder="2" TrainMission="通
```

圖 4.1 本系統與臺鐵系統班表交換格式示例

表 4.1 樹林=臺東間自強號班表調整測試狀況

臺鐵需求	處理方式	求解結果
(一) 普悠瑪(半直達)自強號:花東間停 4 站		
停瑞穗、玉里池上關山等 4 站，由每日 4 列次減為 2 列次 (順逆行 合計)。 北=東間總運行時間為 4 小時內。	刪除 411 與 448 車次	
(二) 推拉式(半直達)自強號:花東間停 4 站		
花東間停瑞穗、玉里、池上、關山等 4 站，由停 10 站縮減為站縮減為 4 站。 北花間減停七堵、新城 2 站，增停瑞芳站。 每日開行 2 列次 (順逆行合計 順逆行合計)，北=東間總運行時間為 4.5 小時內。	順行增加 498 次 PP 自強號，停靠樹林、板橋、萬華、臺北、松山、八堵、瑞芳、雙溪、頭城、礁溪、宜蘭、羅東、蘇新、新城、花蓮、瑞穗、玉里、池上、關山、臺東  逆行增加 499 次 PP 自強號，停靠站同上	498 次 PP：樹調發車 07:22、臺北開車 07:46、抵達臺東 11:59  499 次 PP：臺東發車 17:32、臺北開車 21:49、抵達樹調 22:11
(三) 普悠瑪(多站)自強號:花東間停 8、10 站		
停吉安、壽豐、鳳林、光復、瑞穗、玉里、富里、池上、關山、鹿野等 10 站，每日開行 2 列次 (順逆行合計)，北=東間總運行時間為 4.25 小時內。	順行增開 496 普悠瑪，停靠站與 422 次相同，但增停吉安、池上  逆行增開 497 普悠瑪，停靠站與 431 次相同，但增停吉安、池上	496 次 TEMU：樹調發車 12:05、臺北開車 12:29、抵達臺東 16:16  497 次 TEMU：臺東發車 17:35、臺北開車 21:28、抵達樹調 20:49
停壽豐、鳳林、光復、瑞穗、玉里、富里、關山、鹿野等 8 站，逢五、六、日開行 2 列次(順逆行合計)，北=東間總運行時間為 4.25 小時內。	現已有 422 及 431 次，不增減車次	
(四) 樹林=花蓮間普悠瑪自強號延長行駛至志學站到開		

每日延長開行 2 列次(順逆行合計)，停吉安、志學等 2 站。需考量編組折返及路線問題。	<p>延駛 206，217 車次，成為新增 206-1、217-1 原 206、217 刪除</p> <p>順行 206-1 車次，樹調=志學，其餘停站模式與 408 車次相同。</p> <p>逆行 217-1 車次，志學=樹調，其餘停站模式與 411 車次相同。</p>	<p>206-1 次 TEMU：樹調發車 06:38、臺北開車 07:02、抵達志學 09:12</p> <p>217-1 次 TEMU：志學發車 10:56、臺北開車 13:13、抵達樹調 13:34</p>
(五) 上述總班次數不變。		

表 4.2 列車增停調整測試狀況

臺鐵需求	處理方式	求解結果
(一) 246 次自強號增停和平站。	車次改為 246-1 次 原 246 次樹林 18:18， 花蓮 21:40	246-1 次 PP：樹調發車 17:09、臺北開車 17:35、抵 達花蓮 20:21
(二) 272 次自強號增停八堵、蘇澳新站。	車次改為 272-1 次 原 272 次苗栗 5:30， 花蓮 10:27	272-1 次 DMU：苗栗發車 05:24、臺北開車 07:07、抵 達花蓮 09:53
(三) 208 次自強號 次自強號 減停八堵、瑞芳、蘇澳新站；增停七堵站。	車次改為 208-1 次 原 208 次樹林 7:38， 花蓮 10:39	208-1 次 PP：樹調發車 07:03、臺北開車 07:27、抵 達花蓮 10:01
(四) 71 次莒光號增停新城站	車次改為 71-1 次 原 71 次花蓮 17:33， 樹林 20:36	71-1 次 E 客甲 B：花蓮發 車 17:17、臺北開車 19:55、 抵達樹調 20:18





## 第五章 鐵路列車自動化排點系統未來發展

列車排點自動化具有高度技術門檻，而其實作所涉及之資料資訊化、以及人機介面發展，亦均有其難度。本研究以過去多年之研究成果為基礎，將求解核心、人機介面、及 RDSP 資料平臺融合成為完整之軟體系統。未來以此系統為基礎，可應用於臺鐵相關營運系統及軌道政策分析等領域。

### 5.1 持續提升自動排點技術

目前雖可求解臺鐵局含本線與支線之全線班表，但仍須依實務應用之需求強化精進，說明如下。

#### 1. 加快求解速度

列車排點問題具有 NP-Complete 之本質，求解時間隨著問題規模而成指數成長。因此如何縮短求解時間為長期努力之方向。與五年前發表之成果<sup>[18]</sup>相較，本系統之求解速度大約已提升 107 倍。此提升自於演算法、程式實作技術、以及 CPLEX® 求解引擎之改善，並佐以電腦硬體效能提升。其中，以演算法改善之貢獻最大。經測試，本系統求解臺鐵全線班表，1000 車次約費時 60 小時，而所需主記憶體空間可控制在 50GB 以下，惟後續仍有提升空間。

#### 2. 強化班表管理功能

本研究在訪談及對觀察實務排點過程中，發現排點人員需要人機介面提供多項班表管理功能。這些功能與班表求解核心關聯不大，但卻影響人機介面應用之便利性。訪談結果發現實務操作人員對過去、當天、近期、與遠期的班表，所需要的管理功能並不全然相同。對於過去之班表，操作人員需要能方便瞭解其執行績效，其中又以載客狀況與準點狀況最為主要。對於當天之班表，操作人員需要有方便的查詢與統計功能。而對於近期之未來班表，則需要有方便的介面能微調其中之定期車次，並能在其中編修臨時列次。對於遠期之班表，則需要有適當之電腦輔助以編排定期車次，並評估班表之運輸能力。這些功能均需要在未來持續開發軟體以形成良好之工作環境。

#### 3. 強化人機介面

本系統人機介面經過實務排點人員多次測試以及軟體開發人員之調整，已經具備基本之操作性。但本系統求解核心仍有多種能力尚待人機介面提供適當機制，以供操作人員充份利用，未來可逐一針對各需求而設計適當之操作機制。例如本模式求解核心有能力個別處理任二車次在任一車站之任一股道所需之時隔。如，設定：若車次 101 與車次 202 先後使用臺南站第 3 股道，則其最小時隔應為所設定之分鐘數。若非此二車次，或此二車次但非先後使用所指定之股道，則不受影響。求解核心這種能力提供了很大的彈性，但在人機介面上必須有相對應的方便操作機能設計，方能協助操作人員很方便充份利用求解核心之能力。

#### 4. 強化容錯功能

臺鐵系統在特殊的營運環境下常需在班表中計畫性容許衝突存在。由過往文獻(如<sup>[44]</sup>)觀之，這可能是臺鐵系統相當獨特之性質與需求。但班表中存有衝突，對自動排點系統而言是一大挑戰。例如，欲在給定背景班表中排入一車次之臨時列車，但此時之背景班表中原本即含有衝突，則對數學模式而言，背景班表即為不可行，無法排入臨時列車。為此，本系統納

入了容錯功能，即在開始求解臨時列車之前先檢視背景班表。若其中原本即含有衝突，則以自動調整限制參數之方式予以包容。例如若某處之最小時隔為 3 分鐘，而發現班表中有 A 與 B 兩車次在該處之時隔僅有 1 分鐘，則由系統自動調整限制參數，將 A 與 B 兩車次在該處之最小時隔限制由原本之 3 分鐘調整為 1 分鐘。為了避免在臨時列車求解過程中出現更多之衝突，模式限制此種特別之限制參數之調整僅適用於 A 與 B 兩車次在該處。亦即，在車次 A 與其他之車次 C 之間，或雖為 A 與 B 兩車次之間但非在該處，則時隔限制仍不予調整。

這種容錯能力可順利克服背景班表中既存之衝突對臨時列車排點之干擾。其原因在於插入臨時列車時，背景班表之調動彈性甚小。但若系統求解者為背景班表之改點而非安插臨時列車，則需要對背景班表作較大幅度之變動。此時上述之容錯能力即不足以供模式順利求解。如何強化對背景班表之容錯功能，將為後續之重要研究課題。

## 5.2 發展資源調度輔助系統

人、車、路是鐵路系統運轉時之最重要核心資源。而鐵路系統具有高度之計畫性，所有資源之運用均要縝密之計畫方能維持系統之高效率運轉。由文獻可以發現，由於鐵路系統之高度複雜性，現今多數鐵路系統之資源運用計畫大都仍倚靠人力為之，臺鐵系統亦不例外。在臺鐵系統，運轉所需要之人員運用計畫、車輛運用計畫均與班表計畫同為以人工作業為主，由具有豐富專業知識與經驗之工作人員編訂各種計畫。臺鐵系統雖然已經累積了超過百年之營運經驗，但外在環境快速變遷、內部設備之持續現代化、乘客對臺鐵運輸服務期待之提高、以及人才斷層之日益嚴重，使得臺鐵面對前所未見之挑戰。臺鐵亟需具有自動化能力之資源調度輔助系統，方能維持內部工作品質與效率，並回應外界之要求與期待。

在各種主要資源之運用計畫中，班表位居核心之地位。而班表求解之自動化亦為其中難度最高者。排點系統之發展達到實用程度之後，持續發展全面性資源調度輔助系統之技術條件已經成形。本研究歸納多次深入訪談以及對臺鐵分工體系觀察之結果，提出以下各項發展之建議。

### 1. 自動排點系統之導入

歷經產、官、學各界長期多年合作，已經克服了自動排點系統之最主要技術障礙：電腦化之班表求解技術。此外，多項研究<sup>[2, 5, 32]</sup>之成果亦已設計、實作、並驗證排點系統所需要之資料平臺技術。這種大型、關係重大、而採用新技術之系統在克服技術障礙之後，必須以逐步導入(phase in)之方式使其上線運轉，而非以快速切換方式為之。新開發之技術必然缺乏實用經驗；導入之過程給予開發團隊與使用團隊間充份的磨合機會，亦給予軟體系統調整、補強之機會。這種機制對於系統之成敗具有決定性之重要性。任何新技術、新軟體之開發均有其風險。過去之多項研發，以及本研究之實務驗證結果均顯示將自動排點技術導入臺鐵之風險並不高。因此後續如何將自動排點技術平順導入臺鐵應用，為重要之發展方向。

### 2. 建立以共同資訊系統為中心之分工體系

臺鐵局在過去二十多年中廣泛致力於各方面業務之電腦化。長期齊頭並進的努力得到了顯著的成果，但也產生了多數各自獨立的系統與資料庫。各系統之間呈現孤島式的組合，缺乏適當的資料交換介面與機制。因此在業務快速電腦化的同時，產生了各系統資料不一致、資料不共容、不同系統間資訊無法共享等諸多使用上之障礙。在這種現象下，目前臺鐵局各單位普遍存在人工傳遞資訊、人工整合資訊、人工分析資訊等現象，造成人工作業之重大負擔。而工作負擔過重，則迫使業務分工上必須將原本緊密關聯之業務分別由不同單位執行。

但工作之分割，又產生了資訊交換之介面。

以車輛編組運用計畫之編擬為例，此項業務屬事前資源運用規劃之一部分，主掌鐵路系統所擁有車隊之運用，決定如何以可用之車輛執行班表中之各車次。車輛運用計畫與班表息息相關，在理想狀況下，本項計畫之編擬應與班表之編擬全面緊密整合，相互搭配，方能使車隊發揮最大之效用。但在工作性質上此二者並不相同：班表之編擬偏重軌道設施之時間分配運用，車輛運用計畫之編擬則又區分為客車編組之運用、動力車輛之運用、以及車輛之調度三項，性質各不相同。現今臺鐵局之分工方式係由綜合調度所掌班表之編擬與客車編組運用，而機務處則掌動力車輛運用及車輛之調度。這種分工方式原本即合理，但由於上述孤島式資訊系統之架構，使得各分工單位各自使用其資訊系統。雙方協調、或接續作業時，幾全靠人力傳遞資訊。相同資訊在不同單位之間重複人工登打進入電腦之現象甚為普遍。作業過程中不同單位之工作人員相互聯繫協調本為正常且應該，但其聯繫內容卻常為請求提供資訊、或資訊之查詢，而非工作內容或專業意見之諮詢與協調。

以上以車輛編組運用計畫之編擬為例，但所描述之現象並非此項業務專有，而是普遍存在於臺鐵局內各單位之間。為此，過去研究<sup>[5]</sup>曾經建議並設計符合臺鐵自動化排點需求的鐵路決策支援資料庫平臺 RDSP。該系統之重要設計目的之一是自動化橋接多種格式資料源的檔案，或是其他獨立資料庫系統，用意即在消弭多個資訊系統各自獨立孤島現象。同時並並具有支持決策支援系統之能力，可充份支持現有及未來將建置之各種決策支援系統。

本研究預期此種中央橋接系統之建置，將使臺鐵局得以建立以共同資訊系統為中心之分工體系。除了能夠橋接各不同資訊系統，使大量寶貴資料得以融合而發揮更大之功效之外，並可整合臺鐵局各種資料，大幅降低工作同仁人工收集、整理資料之工作負擔。未來開發各種決策輔助系統及其他軟體系統時，並可節省軟體開發經費、縮短開發期程、且降低系統開發風險。長期使用之後，並有助各單位以有系統之方式儲存長期累積之重要資料，降低資料遺失之風險，並降低相關人員保存、整理資料之工作負擔。

過去研究<sup>[2, 4-6, 32]</sup>經驗顯示，在長期人工作業之環境中，將人工作業所使用之資料轉化成為標準化、精準化之電腦資訊並非一蹴可及，而是需要長期之努力。因此本研究建議具有高度自動化能力資料橋接系統之建立應為未來重要之研究發展方向。

### 3. 車輛運用計畫之自動化

車輛編組運用計畫之主旨在有效運用臺鐵所擁有之車隊，以支援班表之所有車次任務。其主要內容又可分為編組用、機車運用、與車輛調度三類。這些計畫之研擬工作具有相當之複雜性，其品質影響車隊運用之效率。臺鐵局目前之編組運用計畫均以人工為之。而以 excel 為主要之工作環境，如圖 5.1 所示例之弓形圖。此外並無其他軟體工具可提供作業輔助。由於本項工作與班表之編排間存在有複雜之互動關係，因此未來若能將編組運用部分予以成功自動化，將可完整融合車輛編組運用計畫與排點工作，達到相乘效果。

預期本項技術預期可大幅度提高車輛編組運用計畫研擬工作之自動化程度。除了將可節省大量人力外，並能與自動排點系統相搭配，進一步提高排點系統之自動化程度。此外，訪談中發現臺鐵局在此方面人才斷層日益嚴重，早日發展本系統可將長期累積之寶貴實務經驗利用有系統之方式予以整理、模式化、電腦化，以因應專業人力短缺之現象。惟臺鐵局之車輛種類繁多、可用車隊數量不充裕、而運用方式又甚複雜。目前國際上雖已有若干相關研究成果（例如<sup>[45]</sup>），但僅能求解小規模系統之問題。考慮臺鐵系統之大規模、複雜之程度、以及不同鐵路系統之不同特性，未來在發展自動化之軟體系統之前，必須先行針對臺鐵系統開發具有實用能力之核心技術。因此較務實而可行、風險亦較低之作法是先行建置自動化程度

較低，但具有資訊融合、操作輔助能力之軟體系統。待核心技術達到實用能力後再逐步提升系統之自動化能力。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	AE
1	運	臺北機務段【TMU1000】機車運行														編	
2	用	壽		花				樹	彰		斗				組		
3	碼			蓮				調	化		六						
4		17:10					(232)		14:00	△X○							
5		17:30	站				(283)	山						22:45			
6				11:50			(280)	山						站 07:05			
7		日檢		18:20	○		(285)	海				22:54					
8				11:30			(278)	海			站	06:52					
9				13:30	站		(273)	山				17:37					
10				23:30			(288)	山			站	19:12					
11				06:06	站		(203)			08:44							
12																	
13																	
14																	
15																	

圖 5.1 臺鐵車輛編組運用弓形圖示例

#### 4. 乘務人員運用計畫自動化

鐵路系統最重要之乘務人力為機班與車班人員。過往文獻對乘務人員運用計畫與實務應用所需能力均有一段距離。而臺鐵局相關作業亦以人工為主，鑑於乘務人員運用計畫自動化重要性，臺鐵局曾經於 101 年針對機班人力之運用計畫，推動「臺鐵司機員工作班決策輔助技術研究開發與建置」案。該案雖達到工作電腦化之部分目標，但尚未能達到自動化程度，其根本原因即在自動化與最佳化核心技術開發不足。

本研究認為可利用上述於 101 年建置相關系統經驗，擴充功能使系統能與 RDSP 橋接，並一併納入車班人員運用計畫編擬輔助功能。即可促成機班人員、車班人員運用計畫相關業務之資訊化，並與排點系統相橋接，貫通資訊流動管道。同時，針對臺鐵系統需求進行相關核心技術研發，以發展決策輔助系統，使乘務人員運用計畫編擬工作得以逐步自動化。若能在較長遠之未來與融合自動排點系統相融合，則預期將可大幅減輕乘務人員工作班排班工作之工作負荷，並提高整體資源運用之效率。

### 5.3 路線容量分析與公共投資方案評估

近年來投注於鐵路之國家公共投資已經超過投注於公路之預算金額。在可見之未來尚有多項鐵路改善或新建計畫有待研究、規劃、或建設。在這研究、規劃之過程中常需比較不同方案，或評估某些方案所能帶來之鐵路運輸能力。其中路線容量之評估為相當重要之部分。

鐵路之路線容量評估旨在得知給定之鐵路路線承載車次之最大能力，因此具有最佳化之特性<sup>[36]</sup>。鐵路路線容量分析有數種不同之方法，其中又以班表試排法最為廣用，在國際之試排結合模擬<sup>[47]</sup>，及國內之列車連鎖推擠方法<sup>[48]</sup>等均屬班表試排方法。惟受限於班表求解困難，尚未見廣被採用之具體路線容量分析程序。我國應善用排點技術領先之優勢，發展具可信度之路線容量標準分析程序。

此外，在需求本質上，鐵路公共投資方案之評估與營運單位之排點需求有所差異。後者著重於成果之實用性，而前者著重於整體之分析。兩者雖然使用之核心技術均類似，但是所需之軟體功能並不全然相同<sup>[6]</sup>。此亦為後續擬定發展策略時應參考之因素。

## 5.4 小結

本研究所完成之系統，除可應用於臺鐵局列車排點作業中，未來以此系統為基礎，可應用於臺鐵相關營運系統及軌道政策分析等領域。中期，可持續發展臺鐵局之決策輔助系統，逐步擴大其面向，在臺鐵內部建立以共同資訊系統為中心之分工體系。並以現有之基礎，利用排點技術發展具可信度之路線容量標準分析程序及所需之軟體系統。以作為未來鐵路公共投資之方案評估工具，提高軌道建設投資之決策品質。長期而言，本研究成果在國際上稍具領先優勢，鑑於許多國家均致力鐵路建設，而以排點為中心之資源運用規劃又為所有鐵路系統之共同需求，其應用極具潛力，後續或可考量技術輸出之可能性。發展藍圖整理示意如圖 5.2。

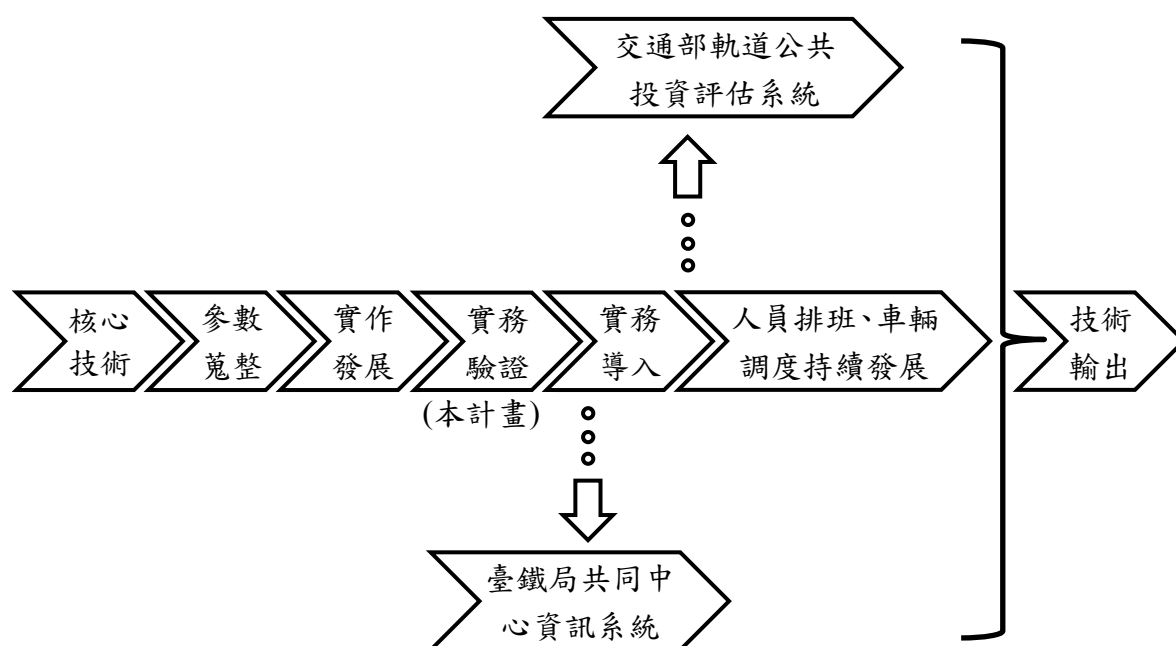


圖 5.2 未來發展藍圖



## 第六章 結論與建議

列車排點之自動化之技術門檻甚高，包括了核心技術、資料資訊、使用者介面。我國產官學各界歷經二十餘年之通力合作，克服了最困難之技術障礙。本研究站在過去研究之基礎上擴充鐵路列車自動化排點系統之功能，並強化了列車自動化排點系統人機介面。以下為本研究之結論與建議。

### 6.1 結論

#### 1. 本研究完成多項排點功能擴充，並經實際使用驗證系統於實務應用之可行性

本研究持續擴充自動化排點技術，以求達到更佳之班表品質、更高的可控制性、更良好的求解效能。主要功能擴充包括：(1)班表求解納入編組運用概念；(2)多車次臨時列車求解功能；(3)簡化股道分配，強化班表求解能力；(4)臨時列車背景班表之運轉整理計畫求解。另為分析解得列車班表之穩定性，提出以模擬方式，利用數值方法推估班表中各車次在各位置之回復力，定義  $RC_m$  (m 分鐘回復力, m-recoverability) 為指標，用以反映班表吸收晚點的能力。實務驗證方面，透過駐點服務，在實務操作過程中蒐集意見回饋修正。所進行實務驗證包括：(1)臨時列車排點驗證；(2)班表改點驗證；(3)人機介面設計驗證；(4)資料介接驗證。

#### 2. 列車自動排點系統除具備自動化能力，亦需提供使用者介入機制

功能強大之軟體為重要之決策輔助工具，但不能亦不應代人決策。經本次計畫內之實務應用意見研析發現，列車自動排點軟體應有供操作人員介入能力。軟體高度自動化與操作人員介入並不衝突，而是藉由排點軟體所具備高度自動化能力，自動執行繁複之運算而排出合格之班表，供操作人員決策。故於介面設計需提供適當之功能，使操作人員能夠方便調整排點結果，方能符合實務作業需求。

#### 3. 實務參數與資料蒐整之精確性與完整性，攸關系統化之良窳

列車排點需要大量資料與參數，臺鐵系統運轉已累積超過百年之經驗，所有資料與參數早已齊備。然而長期人工作業下，排點所使用之資料與參數均是為配合人工作業而存在，其形式、格式、精準度等對軟體系統而言是一大挑戰。其中，部分資訊甚至是以經驗傳承形式存在，更是數學模式難以涵括運用。任何決策支援系統，均需要資料平臺，本系列研究累積經驗顯示，為自動排點系統設計資料庫架構有其挑戰性，但資料內容之整理與建置難度更高。

### 6.2 建議

本研究透過產官學合作，以臺鐵局需求，研發列車自動化排點系統雛型，初步已確認此技術應用於臺鐵局列車排點實務作業之可行性，也開展未來整體鐵路資源調度輔助系統之發展可能。有關鐵路列車自動化排點系統之未來發展，已於第五章說明，茲提出後續推動建議如下：

#### 1. 應配合實務作業，持續調整改良列車排點之求解核心技術與使用者介面

列車自動排點系統奠基於高效率的求解核心技術，其數學模式及演算法應配合硬體發展，持續進行改良。而友善的系統使用介面，可使操作者直覺的操控系統功能，完成其作業。

列車自動排點系統異於傳統資訊系統，係以複雜求解技術為核心，並非單純的流程電子化，不論實務單位或開發團隊，均無以往使用經驗。建議後續系統建置應持續進行求解核心技術的改良，使用者介面之設計開發，應瞭解使用者需求，配合實務作業逐步調整。

## 2.後續應由臺鐵局以穩健導入方式，推動列車自動排點系統之建置與應用

列車自動排點系統為一大型決策輔助系統，上線後將對臺鐵相關作業模式產生影響。本所經過一系列研究，已研發完成列車自動化排點之求解核心技術，並初步確認應用於臺鐵局列車排點實務作業之可行性。建議後續應由臺鐵局接手推動實際之系統建置，逐步落實於實務作業中。本研究於實務驗證過程中亦發現，此大型、採用新技術之新系統在克服技術障礙之後，須以逐步導入(phase in)方式使其上線運轉，並逐步調整改善，而非冀望短時間內以新系統取代現行作業，藉由漸進、穩健的導入，配合實務作業需求，調整補強系統功能與操作介面。

## 3.建議臺鐵局可循產官學合作模式，發展其營運所需之資源調度輔助系統

由於臺鐵內部各業務單位之任務，以維持鐵路系統正常運轉為主，類此高難度、數學導向之自動排點技術研發，並非其主要工作，因此以往較無明顯之突破。然而本所在進行本系列研究時，係採取產官學合作方式，亦即由本所提供研究資源並引導研究方向、臺鐵局提供實務經驗與資料，有效結合產學之研究能量，方得以完成系統開發。臺鐵局其他相關之資源調度輔助系統(如車輛運用計畫、乘務人員運用計畫等)均有類似特性，非屬單純之流程資訊化或電子化，建議可循此合作模式，逐步推動。



## 參考文獻

- [1] 鍾志成, 李治綱, 李宇欣, 盧麗嵩, 張仕龍, 張恩輔, 曾志煌, 賴威仲, 臺鐵車輛排程最適化之研究, 2006, 交通部運輸研究所。
- [2] 陳一昌, 許書耕, 許修豪, 張恩輔, 鍾志成, 盧麗嵩, 張仕龍, 林志偉, 林蓁, 黃笙玹, 林永青, 謝銘智, 鐵路列車排程參數蒐整建置及架構分析之研究, 2011, 交通部運輸研究所。
- [3] 陳一昌, 許書耕, 許修豪, 李宇欣, 陳春益, 余秀梅, 李衍儒, 楊承道, 盧立昕, 楊峻武, 吳美玲, 王彥傑, 蔡欣恬, 臺鐵包車營運需求下列車班表之研究, 2011, 交通部運輸研究所。
- [4] 陳一昌, 許書耕, 許修豪, 陳春益, 林東盈, 李威勳, 楊承道, 李宇欣, 鐵路列車排程模式建立及運行資料分析校估之研究, 2013, 交通部運輸研究所. pp. 128。
- [5] 陳一昌, 許書耕, 鄔德傳, 李宇欣, 李威勳, 林東盈, 蘇國璋, 顏利憲, 鐵路系統設施基本資料庫建置之擴充, 2013, 交通部運輸研究所. pp. 394。
- [6] 陳一昌, 許書耕, 許修豪, 陳春益, 林東盈, 李威勳, 李宇欣, 鐵路列車自動化排點系統建置之研究, 2013, 交通部運輸研究所。
- [7] Assad, A.A., Modelling of rail networks: Toward a routing/makeup model. *Transportation Research Part B*, 1980. 14(1-2): p. 101-114.
- [8] Cury, J., Gomide F., Mendes M., A methodology for generation of optimal schedules for an underground railway system. *Automatic Control, IEEE Transactions on*, 1980. 25(2): p. 217-222.
- [9] Fukumori, K., Sano H., Hasegawa T., Sakai T., Fundamental algorithm for train scheduling based on artificial intelligence. *Systems and Computers in Japan*, 1987. 18(3): p. 52-64.
- [10] Carey, M., A model and strategy for train pathing with choice of lines, platforms, and routes. *Transportation Research Part B*, 1994. 28(5): p. 333-353.
- [11] Carey, M., Extending a train pathing model from one-way to two-way track. *Transportation Research Part B*, 1994. 28(5): p. 395-400.
- [12] Carey, M., Crawford I., Scheduling trains on a network of busy complex stations. *Transportation Research Part B*, 2007. 41(2): p. 159-178.
- [13] Liu, S.Q., Kozan E., Scheduling trains as a blocking parallel-machine job shop scheduling problem. *Computers & Operations Research*, 2009. 36(10): p. 2840-2852.
- [14] Canca, D., Algaba E., Barrena E., Zarzo A., Railway rapid transit timetables with variable and elastic demand. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2014. 111(0): p. 538-548.
- [15] Barrena, E., Canca D., Coelho L.C., Laporte G., Exact formulations and algorithm for the train timetabling problem with dynamic demand. *Computers and Operations Research*, 2014. 44: p. 66-74.
- [16] Niu, H., Zhou X., Optimizing urban rail timetable under time-dependent demand and oversaturated conditions. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2013. 36: p. 212-230.

- [17] Yang, L., Zhou X., Gao Z., Credibility-based rescheduling model in a double-track railway network: A fuzzy reliable optimization approach. *Omega*, 2014. 48(0): p. 75-93.
- [18] Lee, Y., Chen C.-Y., A heuristic for the train pathing and timetabling problem. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2009. 43(8-9): p. 837-851.
- [19] Lee, Y., Chen C.-Y. Modeling and solving the train pathing problem. *The 12th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics*. 2008. Orlando, Florida, USA.
- [20] Chung, J.W., Oh S.M., Choi I.C., A hybrid genetic algorithm for train sequencing in the korean railway. *Omega*, 2009. 37(3): p. 555-565.
- [21] Caprara, A., Fischetti M., Toth P., Modeling and solving the train timetabling problem. *Operations Research*, 2002. 50(5): p. 851-861+916.
- [22] Carey, M., Lockwood D., Model, algorithms and strategy for train pathing. *Journal of the Operational Research Society*, 1995. 46(8): p. 988-1005.
- [23] 周永暉, 張家祝, 黃承傳, 特殊假期鐵路列車排程規劃之分析模式. *運輸計畫*, 2001. 30(1): p. 63-87。
- [24] 周永暉, 特殊尖峰需求下鐵路列車排程規劃之最佳化模式, 2000, 國立交通大學。
- [25] 鍾志成, 李治綱, 張仕龍, 張恩輔, 林國顯, 劉昭榮, 臺鐵路線容量分析-以基隆至新竹路段為例. *運輸學刊*, 2006. 18(3): p. 233-264。
- [26] 李治綱, 謝汶進, 鐵路列車排點模式之建立. *運輸計畫*, 1996. 25(4): p. 545-564。
- [27] Nagarajan, V., Ranade A.G., Exact train pathing. *Journal of Scheduling*, 2008. 11(4): p. 279-297.
- [28] 運輸研究統計資料彙編, 2012, 交通部運輸研究所。
- [29] Chiang, T.W., Hau H.Y., Chiang H.M., Ko S.Y., Hsieh C.H., Knowledge-based system for railway scheduling. *Data and Knowledge Engineering*, 1998. 27(3): p. 289-312.
- [30] Burdett, R.L., Kozan E., Techniques for inserting additional trains into existing timetables. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2009. 43(8-9): p. 821-836.
- [31] Cacchiani, V., Caprara A., Toth P., Scheduling extra freight trains on railway networks. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2010. 44(2): p. 215-231.
- [32] 陳一昌, 鄔德傳, 林永青, 鍾志成, 蕭偉政, 謝銘智, 蕭釗瑛, 辛希, 黃舒郁, 張仕龍, 林志偉, 鐵路系統設施基本資料庫建置之研究, 2012。
- [33] Carey, M., Carville S., Testing schedule performance and reliability for train stations. *Journal of the Operational Research Society*, 2000. 51(6): p. 666-682.
- [34] De Kort, A.F., Heidegott B., Ayhan H., A probabilistic (max, +) approach for determining railway infrastructure capacity. *European Journal of Operational Research*, 2003. 148(3): p. 644-661.
- [35] Vromans, M., Reliability of railway systems, 2005, Erasmus University Rotterdam.
- [36] Delorme, X., Gandibleux X., Rodriguez J., Stability evaluation of a railway timetable at station level. *European Journal of Operational Research*, 2009. 195(3): p. 780-790.
- [37] 交通部, 鐵路行車規則, 2008。
- [38] 交通部臺灣鐵路管理局網站。2014; [www.tra.gov.tw](http://www.tra.gov.tw).

- [39] Abril, M., Barber F., Ingolotti L., Salido M.A., Tormos P., Lova A., An assessment of railway capacity. *Transportation Research Part E*, 2008. 44(5): p. 774-806.
- [40] Visentini, M., Borenstein D., Li J.-Q., Mirchandani P., Review of real-time vehicle schedule recovery methods in transportation services. *Journal of Scheduling*, 2014. 17(6): p. 541-567.
- [41] Milinković, S., Marković M., Vesković S., Ivić M., Pavlović N., A fuzzy petri net model to estimate train delays. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 2013. 33: p. 144-157.
- [42] Murali, P., Dessouky M., Ordóñez F., Palmer K., A delay estimation technique for single and double-track railroads. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2010. 46(4): p. 483-495.
- [43] Schachtebeck, M., Schöbel A., To wait or not to wait-and who goes first? Delay management with priority decisions. *Transportation Science*, 2010. 44(3): p. 307-321.
- [44] Ursani, Z., Mei T.X., Whiteing A., A fault tolerance approach for railway scheduling and train control. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2013. 56: p. 161-173.
- [45] Reuther, M., Borndorfer R., Schlechte T., Weider S., Integrated optimization of rolling stock rotations for intercity railways. 2012.
- [46] Jütte, S., Thonemann U.W., Divide-and-price: A decomposition algorithm for solving large railway crew scheduling problems. *European Journal of Operational Research*, 2012. 219(2): p. 214-223.
- [47] Gandibleux, X., Riteau P., Delorme X., Recife: A mcdds for railway capacity evaluation, M. Ehrgott, et al., Editors. 2010. pp. 93-103.
- [48] 鍾志成, 李治綱, 賴勇成, 盧麗嵩, 黃笙玹, 張恩輔, 張仕龍, 孫千山, 林志偉, 林蓁, 林杜寰, 黃宏仁, 蘇振維, 劉昭榮, 軌道系統容量與可靠度分析研究(3/3), 2013。



# 附錄 A 期中審查意見及辦理情形

交通部運輸研究所■合作研究計畫第 2 類□委託研究計畫

■期中□期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：鐵路列車自動化排點系統功能擴充與推廣應用

執行單位：財團法人成大研究發展基金會

參與審查人員 及 其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫 承辦單位 審查意見
<b>詹鴻漳委員</b>		
1. 簡報內容說明站間運轉車速有彈性，但實務上均以定值為原則，若要求減速，實務上司機員亦不易配合。	此處所謂有彈性，是指在數學模式中並未限制在求解班表時，所配予之站間運轉時分必須恰好等於基準運轉時分，而是給予微小之彈性空間，以利數學求解。實務上司機員於駕駛列車時亦無法完全精準，與數學模式是相一致的。	同意辦理。
2. 招呼站並無待避線亦無站員，不宜臨時停車。	謝謝指正，將納入數學模式中。	同意辦理。
3. 納入編組運用有其重要性，可否加入編組行程 1800 公里、尖離峰、編組長度之考量。	委員所提這些因素確均為實務上之重要考慮因素。編組運用計畫之自動化尚未納入本研究範圍內，這些考慮因素將由軟體輔助操作人員為之。	同意辦理。
4. 運轉整理計畫若能在班表執行過後與行車紀錄進行比對，應有參考價值。	謝謝指正，將作為後續研究，分析行車紀錄時之重要參考。	同意辦理。
5. 建議 RDSP 強化對運轉決策之支援，如準點率之提升、臺鐵陸續完成電子票證建置後之影響評估等。	RDSP 原本即為支持決策支援系統而設計。這些項目將作為後續發展之參考。	同意辦理。
6. 臨時列車若為高級列車，需要注意對其他列車之干擾；若為較低等級列車，則需要注意其行點品質。	謝謝指正，將納入模式參數校正用。	同意辦理。
7. 臺鐵目前 DRC 九七折之新作法，實質上產生一種新車種，請排點時納入考慮。	本系統於求解班表行點時，基本上以各牽引種別之基準運轉時分為重要參數。至於票價則尚未納入考慮中。	同意辦理。
<b>李西武委員</b>		
1. 人機介面對列車停站時間預設值應正確設定。	謝謝指正，將於後續工作中修正之。	同意辦理。
2. 預設理想停站時間應考慮辦客、更換機車、會讓等	謝謝指正。為了簡化參數，人機介面軟體將提供操作人員設定理想停靠時間	同意辦理。

不同到站任務，不宜以單一數值為之。	之機制。	
3. 臨時停車需要考慮是否有適當股道可用。	已納入模式中考慮。	同意辦理。
4. 排入臨時列車後需能評估對班表實際執行之影響。	已納入模式中考慮。	同意辦理。
5. 將知識整理參數化為正確之方向，但要注意區分特例與通則。	此項意見至為寶貴，謝謝提醒。	同意辦理。
6. 實務上臨時列車排點是考慮可運用之列車編組，請列入考量。	此項功能確為本系統長遠發展之方向。惟欲達到此境界，需要先在 RDSP 中建立各型車輛之可用數量、所配屬之基地等，並且需要將編組運用計畫納入軟體功能範圍中。	同意辦理。
7. 系統中同時編排多趟臨時列車時，是否考慮各臨時列車間相互影響，請說明。	本項考慮已納入模式中。	同意辦理。
8. 臺鐵設施陸續提升，軌道資料與真實狀況一致性將影響排點作業，系統內之相關參數應注意其正確性。	提升 RDSP 所收錄資料之精準程度，為長期持續努力之方向，亦為本研究重要工作之一部分。	同意辦理。
<b>周家慶委員</b>		
1. 實務驗證狀況如何，應於報告中說明。	將於期末報告中說明之。	同意辦理。
2. 系統可否在排點之後納入實務運轉狀況之回饋。	此為本系統長遠發展目標之一。需要先完成 RDSP 與 ATP 資料之介接以及行車紀錄清分收納之功能，方能在本系統中重現實務運轉之狀況。之後再逐步建立與排點資料相互印證勾稽之能力。	同意辦理。
3. 排入臨時列車之後是否能評估該臨時列車對班表中其他列車之衝擊。	此部分之資訊於班表求解過程中均有產生。然而資訊量甚為龐大而複雜，需要再研究如何以容易瞭解之適當方式呈現出來。	同意辦理。
4. 臨時列車之排點是否考慮人員、編組等資源之可用度。	欲達到此一功能，需要先在 RDSP 中建立乘務人員、車隊編組之基本資料。而屬動態性質之人員運用計畫與車輛運用計畫亦需要上線納入排點系統中。目前臺鐵局在人員運用計畫與車輛運用計畫之作業均以人工為主，需要逐步發展方能達到本項意見之理想境界。	同意辦理。
5. 請特別注意確認資料流入與流出之正確性。	謝謝提醒，遵照辦理。	同意辦理。

6. 可否以強化硬體方式進一步改善求解時間。	目前已使用具 64 核心、配置 400GB 記憶體之 server 級電腦作為求解主機。在有限經費下再強化硬體之空間並不大。	同意辦理。
7. 本研究為軟體開發，請注意相關資安檢測。	謝謝提醒，遵照辦理。	同意辦理。
8. 後端求解核心是否同時僅能求解一份班表，或是可同時求解多個專案，請說明。	後端求解核心可同時求解數份班表。惟若同時求解之班表數量過多（例如在 3 或 5 個以上）則求解速度變慢。	同意辦理。
<b>鐵路改建工程局</b>		
1. 請說明班表求解核心模式之目標函數所考慮之因素。	核心模式之目標函數頗為複雜，可以分三方面說明之。在股道分配模式中，目標函數所考慮之主要因素為各車次在各車站之各股道之偏好權重，期望經由各車之間之權衡取捨解得整體最佳之股道分配方式。在行點模式中，目標函數則考慮各車次表訂發車時間與理想發車時間之差距之絕對值，且為分段線性之函數，達到懲罰權重累進之效果。此外並考慮到列車運行時間長度之因素。在整體啟發式演算法方面則尚考慮其他偏好之權重，用以由所發現之可解當中挑選品質較佳者。	同意辦理。
2. 系統可否提供線上運轉時之運轉整理建議等即時輔助功能。	利用本研究之核心技術提供即時輔助功能確有其可能，但所需要之配套功能甚多。其中最困難者為即時狀況之掌握。任何即時輔助之軟體系統必須隨時掌握系統狀況，其中基本資訊包括了線上運行之每一車次之位置速率及行車方向、所佔用之軌道電路、已取得通行授權之進路等。臺鐵目前所使用之行控系統均無對外部資訊系統提供即時數據之能力。	同意辦理。
<b>臺灣鐵路管理局</b>		
1. 經三月至 7 月份之驗證，單一系列車部分已達到可實務作業接受之水準。多列次部分有待新版求解核心完成之再行測試。	謝謝指教。	同意辦理。
2. 以複製既有車次之方式新增臨時列車與現有習慣不同，是否可提供完全手動之新增車次方式。	對軟體而言，完全手動之新增車次方式遠較複製方式單純，技術上並無困難。	同意辦理。
3. 目前班表求解時間仍太	謝謝指教。本演算法在過去長時間發展	同意辦理。

長，請再研究如何加速求解。	過程中已大幅提升求解能力。與五年前發表之成果[18]相較，求解速度大約已提升 107。本團隊認為仍有持續提升之空間，此為重要後續研究方向之一。	
4. 實務上編排臨時列車時，背景班表應為未來之班表，但目前系統中均使用過去之班表作為背景班表，請說明。	過去班表與未來班表之資料格式完全相同。目前本軟體系統僅存有過去之班表，但已具有充份能力以處理未來之班表。後續研究階段中臺鐵局若提供未來之班表，本軟體並無處理上之困難。	同意辦理。
<b>本所運計組</b>		
1. 請於報告內補充列車自動排點各階段之研究成果回顧及其發展歷程，俾利閱讀。	謝謝指正，遵照辦理。	同意辦理。
2. 知識參數化如何配合數學模式應用，包括模式內參數調整及影響，請再說明。	謝謝指正，將納入期末報告內容說明之。	同意辦理。
3. 編組運用計畫與班表行點之配合很重要，惟本系統尚未納入編組運用之自動化，其影響如何請說明。	編組運用之自動化，本身即為具有相當難度之問題。對班表之求解而言，編組運用計畫為外界輸入之資訊。因此本系統尚未納入編組運用之自動化功能，並不礙班表之求解，亦不礙使用者自行設定編組運用計畫。未來之使用者介面將提供適當機制輔助使用者依其構想設定編組運用計畫，再由求解核心納入班表求解過程考慮之。求解核心將有能力依據所設定之編組運用計畫而在班表中留下折返時間、折返時停留之股道等。	同意辦理。
4. 如何將運轉整理計畫匯入臺鐵系統，相關介面流程請再思考。	配合臺鐵現用排點輔助軟體之功能，目前本系統採用檔案介接之方式，在兩系統之間雙向傳遞資訊。未來若臺鐵之軟體提供其他介接方式，本系統亦可配合修正。	同意辦理。
<b>許書耕委員</b>		
1. 以排點系統為基礎，分析路線容量之實際作法為何，是否須多次測試，請補充說明。	由國際文獻觀之，班表試排法為現今最常用之路線容量分析策略。惟受限於班表求解困難，尚未見廣被採用之具體路線容量分析程序。現我國應善用排點技術領先之優勢，發展具可信度之路線容量標準分析程序。本項將納入期末報告之後續研究建議項目中。	同意辦理。
2. 調度員應以原始班表或本	鐵路系統在運轉過程中持續受到各種	同意辦理。



<p>系統之運轉整理計畫作為執行調度與運轉整理之目標，請補充說明。</p>	<p>隨機擾動之影響。不論是原始班表，或是運轉整理計畫，對隨機擾動均僅能考慮其機率分佈(stochastic distribution)、或考慮期望值。但真正執行時，調度員所面對者為真實發生之值(outcome)。因此原始班表、運轉整理計畫等，對調度員而言均為參考資料，最終仍應以真實發生之狀況為依歸。至於運轉整理之作為，自應以原始班表為目標。</p>	
<p>3. 能否預估未來 4.5 版求解核心對求解速度之改善程度。</p>	<p>班表求解速度之持續提升為長期努力之目標。本研究認為由 4.0 版提升至 4.5 版之間，應仍有改善求解速度之空間。但改善程度不易預估，需待嚴謹測試方能得知。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p><b>本所運工組</b></p>		
<p>1. 報告 4.2 節「自動化排點系統核心功能之擴充」中依臺鐵實務作業流程，加入數項功能擴充如：納入編組運用概念、多車次臨時列車求解、運轉整理計畫等，可使排點系統更貼近實務應用，但報告內僅為敘述性之說明，請補充說明其於系統演算法與求解模式之實際作法(如增加那些變數或調整幾項限制式)，以明本次研究計畫之突破與貢獻。</p>	<p>這些功能擴充均在原有核心架構下設計，因此數值求解時將增加最核心之數學模式之變數與限制式之數量，但並未改變模式本身。而其影響多在人機介面功能設計、RDSP 資料項與資料內容、以及在 RDSP、人機介面、與求解核心之間傳遞資訊之格式與內容方面。將在期末報告中增加相關說明。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>2. 列車排點為規劃階段作業(事前)，運轉整理則屬營運階段作業(即時)，本次排點系統功能擴充中，增加可解得班表之運轉整理計畫(報告 P.29)，請補充說明對於臺鐵實務作業之影響，必要時提出作業流程改善建議。</p>	<p>臺鐵之事前排點與即時調度均甚為複雜。本系統在求解臨時列車班表時，伴隨之運轉整理計畫可用以評估臨時列車產生之衝突可能帶來之影響。但如何將其中所含有之大量資訊以有效方式呈現予工作人員、對作業流程將帶來何種影響，可能均需要更多之探討與測試方能有確定性之結論。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>3. 鐵路決策輔助支援平臺(Railway Decision Support Platform, RDSP)為排點系統相關參數主要的資料平臺，報告 4.3「RDSP 架構改版」中所提內容，主要</p>	<p>遵照辦理，將於期末報告中說明之。</p>	<p>同意辦理。</p>

<p>為增加資料版本控制功能，請補充說明資料庫架構增修之具體內容。</p>		
---------------------------------------	--	--

## 附錄 B 期末審查意見及辦理情形

交通部運輸研究所■合作研究計畫第 2 類□委託研究計畫

□期中■期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：鐵路列車自動化排點系統功能擴充與推廣應用

執行單位：財團法人成大研究發展基金會

參與審查人員 及 其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫 承辦單位 審查意見
<b>李西武委員</b>		
1. 感謝本所辦理本案，對臺鐵局應有實質之助益。	敬悉。	同意辦理。
2. 本案內 33 次駐點之具體成果請以表列方式說明其內容及成果。	已在附錄 C 中補充說明之。	同意辦理。
3. 系統求解臨時列車時，緩衝時間與寬裕時間之設定是多少，是否可作為準點率評估之用？	緩衝時間與寬裕時間之設定為本軟體系統提供操作人員設定參數之一部分。而班表穩定性之評估則可使用報告第四章所說明之班表穩定性分析方法為之。	同意辦理。
4. 月美與溪口已廢站，不應再出現於運行圖中，路軌資料能否即時更新，將影響班表求解成果之正確性。	運行圖中納入哪些車站，為本系統提供予使用者設定之功能。本團隊於開發系統之同時均致力於路軌資料之更新，更於 RDSP 資料平臺中納入變動歷程之管理能力。亦感謝臺鐵局多次提供實務資料。	同意辦理。
5. 定期班表之求解仍有待改進處，如基隆站僅餘三軌道，但排點結果同時安排四列車停留於基隆站；班表中一處 113 次自強號於汐止待避 129 次區間車現象；少數列車於汐止至五堵間之運行時分過長；基隆站 10:49 至 11:54 間長達 65 分鐘無區間車；部分路段在單線區間有列車於站間衝突等，請補充說明。	委員所指正之現象係本系統以容錯功能排點之結果。本研究及過往研究於訪談過程中均發現臺鐵局因為行車密度過高，時有必要於班表中納入計畫性衝突。因此配合於本軟體中納入容錯功能。	同意辦理。
6. 本研究完成後臺鐵局應如何接手，可否直接移用本軟體。	本軟體基本上已可移用，惟目前各項參數之調校均屬開發者之設定，於上線運轉前仍需系統使用者協助調校各項參數。	同意辦理。

<b>邱裕鈞委員</b>		
1. 本系統雖仍有不盡理想之處，但應大都屬於資料、數據、參數問題，其基本模式及架構應無問題，應有順利上線機會。	謝謝。	同意辦理。
2. 建議文獻彙整做成表列式，將過去成果以及未來目標做綜合整理以利閱讀。	已在報告中增設「表 2-1 本所過去相關研究成果整理」以系統呈現之。	同意辦理。
3. 第一章計畫目的應予充實，以反映本研究貢獻。	遵照辦理。	同意辦理。
4. 人員排班與車輛編組運用計畫，如何納入本系統中，請補充說明。	已在報告第五章增加「5.2. 資源調度輔助系統之發展」乙節說明之。	同意辦理。
5. 本系統定義了多組參數，請在報告中說明參數設定的準則。	已於表 3-2 中增加「設定準則」欄說明之。	同意辦理。
6. 以半衰期概念處理班表穩定度，其參數 m 值應如何設定？除了評估班表穩度之外，可否提供如何微調班表以提升穩定度之建議。	國內外文獻均未見適合臺鐵實務使用之量化穩定度指標，因此本研究首創以半衰期觀念設計量化指標。參數 m 值之設定方式仍有待未來深入研究之。 班表之微調往往牽一髮而動全身。此處之穩定度衡量係為診斷而設計，若欲提升穩定度則需要其他之方法。	同意辦理。
7. 請在附錄中納入實務驗證成果。	遵照辦理。	同意辦理。
8. 班表求解速度持續提升值得肯定，是否有長遠目標？	班表求解核心技術自 2009 年首次於國際發表迄今，其求解速度已提升 $10^7$ 倍。而效能之提升是無止境的，並未設定目標值。	同意辦理。
9. 「排點」、「行點」、「班表」等名詞應予以釐清統一。	遵照辦理，已將 3.1 節移到第一章成為 1.5 節，於其中完整定義說明這三個名詞用語。	同意辦理。
<b>施文雄委員</b>		
1. 本系統發展應配合臺鐵局實務使用需求。	謝謝指教。	同意辦理。
2. 軟體應先系統化，先供實務上線使用，之後再往自動化發展。	謝謝指教，本系統之開發係以自動化為目標，以系統化為手段。	同意辦理。
3. 軟體應能產生軌道佔用圖，以利調度人員瞭解調度方式。	謝謝建議，將納入未來優先開發功能。	同意辦理。

4. 軟體操作介面應以圖形化、可視化為設計原則。	謝謝指正，遵照辦理。	同意辦理。
<b>許委員書耕</b>		
1. 計畫中 33 次駐點之成果、困難、突破請再補充說明。	遵照辦理。本研究多項突破均與駐點相關，但並非每次駐點均獲得突破，而是多次駐點測試結果結合研究而得。因此於附錄 C 中逐次整理駐點之測試內容，並再加上驗證處理項目，若遇到困難亦在其中說明之。	同意辦理。
2. 目前軟體介面與功能設計，均由開發者角度進行測試與調整，但欲達到真正實用境界，建議臺鐵局接手後，應採使用者角度之參與及測試。	謝謝指正。目前系統之參數均依開發者之觀點而設定。未來於上線運轉前確需系統使用者協助調校各項參數。	同意辦理。
<b>林所長志明</b>		
1. 本系統除臺鐵排點作業面之應用外，其他重大軌道投資建設與營運策略，如北宜直線鐵路、臺鐵捷運化對運轉造成之影響、四軌之效益等，能否藉由本系統進行相關評估，其評估流程為何？	班表試排法為國際上最常使用之路線容量分析方法。本系統具有自動求解全線班表之能力，可用以評估各種軌道投資案、各種情境下之方案評估之用。經本團隊自行以臺東線電氣化為例初步試用，成效良好。在技術上其評估流程為先擬妥各種情境之路軌條件以及運轉服務型態，再據以評估所能達到之運轉效能。	同意辦理。
2. 本系統為一分析工具，可提供交通部、臺鐵局、鐵工局等單位於軌道政策之研擬與推動，提供量化數據。	本研究建議我國應善用排點技術領先之優勢，發展具可信度之路線容量標準分析程序。	同意辦理。
<b>交通部臺灣鐵路管理局</b>		
1. 排點系統是臺鐵系統的生財器具，為 24 小時持續運轉系統。本案建議由本所繼續以研究案方式推動。	訪談中發現目前臺鐵局經常性耗費大量人力於班表相關作業中。本系統早日導入臺鐵局作業體系中將可帶來可觀之效益。 本所過去多年之研究已克服了大部分之技術障礙，未來接續開發實用系統並無技術上之風險。軟體之建置需要實際使用人員之深入參與，而本所並無排點業務，所內人員之實務排點經驗亦遠不及臺鐵局之專業人員，未來由臺鐵局接續建置較能達到實用化之目的。	同意辦理。
2. 本系統僅能排出無衝突之班表，但實務上由於路線	本研究及過往研究於訪談過程中均發現臺鐵局因為行車密度過高，時有必要	同意辦理。

容量不足，必須在班表中容納衝突。	於班表中納入計畫性衝突。因此配合於本軟體中納入容錯功能。而本項能力亦呈現於全線班表排點成果中。	
3. 於本局進行平行驗證時，曾於上半年試排 4 車次之貨物列車，但效果並不佳，請說明。	本研究於該項驗證測試中發現缺點後即予以改善，並已提送改善後之成果。	同意辦理。
4. 驗證過程中系統無法排出之案例，如臺東往礁溪之臨時列車於豐田站需要停留 96 分鐘、試排元旦加班車中 781 與 782 次無法排出等，請補充說明其可能原因。	元旦該批加班車共有 20 列次，除 781 與 782 列次外，其餘列次均於第一次嘗試即悉數順利排出班表，成功率約 90%，而 18 列次之所有求解時間總計約為 20 分鐘。而部分車次未能於第一次即解得班表，亦在正常範圍內。	同意辦理。
5. 本系統之調校若需要由操作人員設定參數，是否會過於複雜反而無法達到提升作業效率目的。	本軟體系統雖然具有高度自動化之能力，但並非為了取代操作人員而設計。因此於系統中納入了多數可供操作人員設定之參數，以反映操作人員之偏好與決策。目前這些參數之調校均以開發者之立場為之，未來若有機會由使用者參與，其設定值將可更貼近使用者之實務需求。屆時各種參數之配套將可作套餐式之設計，即可大幅簡化使用者之操作。此亦為本研究建議系統儘速導入臺鐵局建置之重要原因之一。	同意辦理。
<b>本所運工組</b>		
1. 報告「4.1 排點功能之擴充」內增加在排入臨時列車時，同時可解得背景班表之運轉整理計畫。請補充其求解流程或方法，必要時請以案例說明。	本研究係在模式中加入求解運轉整理計畫之能力，亦即在求解臨時列車之行點的同時，考量未來上線執行之狀況以及運轉整理之需求。因此模式若成功依操作人員所設定之條件於背景班表中排入臨時列車，則除了得到該臨時列車之行點外，並可同時解得背景班表之運轉整理計畫。因此並不需要額外之求解操作。	同意辦理。
2. 報告 4.4 節「列車班表穩定性分析」中由本研究所定義的「RCm : m 分鐘回復力(m-recoverability)」作為數量化衡量班表穩定度指標，透過列車模擬觀察其晚點傳播，所得推論「班表中寬裕時間對晚點之吸收與傳播具有重大影	本研究文獻回顧中發現國內外文獻均未見適合臺鐵實務使用之量化穩定度指標，因此本研究首創以半衰期觀念設計量化指標。目前初步觀察到之成效大略與直覺及經驗相符，但未來仍需要更多之研究方能達到嚴謹而具公信力之境界。	同意辦理。

響」，雖與實務之直覺觀察相符，但其嚴謹程度似嫌不足，請補充說明。		
3. 本系統發展至今，透過臺鐵局之試用與回饋，已初具實務應用之價值，於後續發展建議中，請補充臺鐵局後系統建置與應用之相關流程，及以自動排點系統作為核心，拓展其營運管理系統之建議。	已遵照於報告第五章中，分三節說明之。	同意辦理。





## 附錄 C 期末簡報



鐵路列車自動化排點系統功能  
擴充與推廣應用  
MOTC-IOT-103-EBB002  
期末報告

國立成功大學軌道運輸中心  
李宇欣、林東盈、李威勳、陳春益  
103年12月8日

簡報內容

- 一、計畫背景分析
- 二、重要文獻回顧
- 三、列車排點自動化之課題與克服
- 四、鐵路列車自動化排點系統功能擴充
- 五、未來研究與發展
- 六、結論與後續發展建議

2

# 一、計畫背景分析

## 計畫緣起

- 排點為鐵路系統營運之中心
- 排點工作已成為臺鐵沉重負擔
- 運研所與臺鐵均致力於排點自動化研究發展

## 計畫目的

- 擴充過去研究成果之自動化排點功能
- 推廣其在實務上之應用

## 計畫重要性

- 國內產官學二十年通力合作發展了核心技術
- 本計畫將自動排點技術融入臺鐵體系中成為最重要之部份

3

# 二、重要文獻回顧

## 排點技術相關文獻

- 多年來國內外文獻嘗試多種模式及解法
- 均未達到臺鐵規模之實用能力

## 臺鐵局自動排點系統發展歷程回顧

- 電腦化發展階段
- 自動化發展階段

## 運研所自動排點核心技術發展歷程回顧

- 核心技術發展階段
- 實務參數蒐整階段
- 實作技術發展階段

## 班表穩定性與回復力相關文獻

- 大都使用模擬方法
- 未見具真實應用經驗者

4

## 臺鐵局自動排點系統發展歷程： 電腦化發展階段

### 列車排點電腦化系統

- 民國81年7月完成
- 演算法：(1)排大略班表、(2)尋找各種衝突、(3)依列車推擠原則排除衝突
- 演算法無法求解時由人工介入排除衝突

### 列車排點系統擴充案

- 民國92年底完成

### 累積成果

- 基本資料查詢、報表輸出、運行圖輸出等功能已見規模
- 對排點人員提供顯著實質上之幫助
- 確立電腦化之排點工作環境

### 列車排點系統更新案

- 民國91年8月完成
- 以Windows為作業系統

## 臺鐵局自動排點系統發展歷程： 自動化發展階段

### 電腦排點系統短期改善案

- 民國97年2月完成
- 朝向決策輔助功能發展之第一步
- 增加資料查詢、資料跨平台拋轉等功能，納入簡單的班表衝突偵測功能

### 電腦排點系統功能擴充案

- 民國102年完成
- 強化了班表編輯、管理、出版等功能

### 營運班表規劃模組建置案

- 目前執行中

### 電腦排點系統功能提升案

- 民國99年11月完成列車排點系統更新案
- 強化了使用者介面、班表管理、時點管理等功能，達成以電腦資訊系統輔助人工排點之效果



## 運研所自動排點核心技術發展歷程： 核心技術發展階段<sup>(1/2)</sup>

### 台鐵車輛排程最適化之研究(民95)

- 嚐試尋求發展自動排點相關數學模式之方向
- 整數規畫模式：求解基隆至新竹南下6列次
- 基因演算法求解基隆至新竹南下30列次
- 顯示具實用能力自動排點技術之發展並非遙不可及

### 臺鐵包車營運需求下列車班表之研究(民100)

- 以臨時列車為範疇，發展將新增車次排入既有背景班表之技術
- 確立其後之排點相關研究均以臺鐵全線班表之規模作為研究對象
- 發現人工排點與自動排點，對資料之需求有相大之差異

7

## 運研所自動排點核心技術發展歷程： 核心技術發展階段<sup>(2/2)</sup>

### 鐵路列車排程模式建立及運行資料分析 校估之研究(民101)

- 持續發展鐵路列車自動化排點模式
- 分析CTC、ATP資料於排點作業之應用，成功解讀ATP紀錄並還原行車狀況
- 提出了未來自動化系統所需要的資料模型與資料庫架構
- 資料模型：以數位型態呈現軌道、車輛、車次、規章、參數及其他排點相關資料之方式
- 資料庫架構：於資料庫中收納組織大量資料以提供高效率資料支援之方式

8

## 運研所自動排點核心技術發展歷程： 實務參數蒐整階段

### 鐵路列車排程參數蒐整建置及架構分析之研究(民100)

- 釐清臺鐵系統自動排點所需之參數及資訊分為路網資料、列車資料、運轉資料三大項

### 鐵路系統設施基本資料庫建置之研究(民101)

- 初步盤點臺鐵設施相關資料
- 收集彙整鐵路設施基礎資料
- 收集運工機電、材料、會計、資訊中心等單位意見

### 鐵路系統設施基本資料庫建置之擴充(民102)

- 將前述以人工作業之支援為出發點之研究成果，加入資料庫作為決策支援系統後盾之能力
- 提出鐵路決策支援資料庫平台(Railway Decision Support Platform, RDSP)

9

## 運研所自動排點核心技術發展歷程： 實作技術發展階段

### 鐵路列車自動化排點系統建置之研究(民102)

- 整合了RDSP以及多項軟體，成為一個功能較為完整之軟體系統。本研究之成果，亦確認過去多年所累積之技術已足以形成具實用能力之自動排點系統
- 服務計畫：考慮配位及分時需求

### 鐵路列車自動化排點系統功能擴充與推廣應用

- 本案

10



### 三、列車排點自動化之課題與克服

列車排點問題

編組運用之考慮

列車排點之考慮因素

數學模式及求解策略

班表衝突

自動排點模式基本輸入資訊

定期列車之自動排點

使用者之介入機制

臨時列車之自動排點

列車排點自動化之重要性

11

### 三、列車排點自動化之課題與克服

#### 列車排點問題

- 軌道系統資源運用需要縝密規畫
- 排點：研擬計畫將軌道電路之可用時間分配予列車，使能完成旅程，而軌道各種資源又能發揮效率
- 班表位居各種計畫之中心，協調人、車、路各資源

營運  
策略

服務  
計畫

理想  
班表

運轉  
計畫

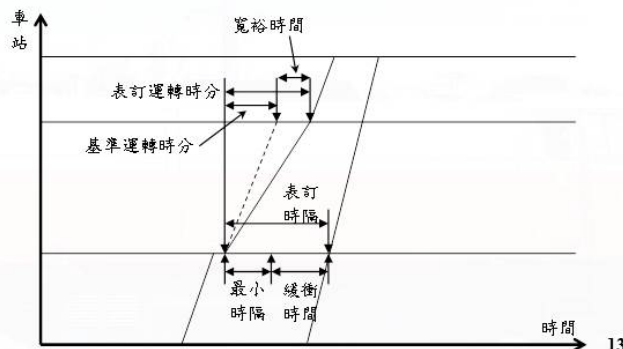
旅客公告班表  
內部工作班表  
車輛運用計畫  
乘務人員運用

12

### 三、列車排點自動化之課題與克服

#### 列車排點考慮因素

- 物理限制：任一系列車，在任一時間必須佔用至少一個軌道電路
- 安全限制：最小時隔
- 站間運轉時分：列車機械性能
- 理想停站時間：到站任務及時間
- 始發時間
- 追越/交會位置之安排
- 股道分配
- 寬裕時間與緩衝時間



13

### 三、列車排點自動化之課題與克服

#### 實務要求

- 列車等級之考量：次級車不影響高級車
- 站間運行時間之考量：有彈性但不大
- 臨時列車待避位置之選擇
- 車站停靠時間之安排：有規範亦有彈性，且不同狀況允許之彈性不同
- 專開列車之股道分配：偶有特殊需求
- 臨時列車排點同時考慮運轉整理以及隨機擾動之需求：允許衝突但應易於運轉整理
- 行點精準度之實務化：看似單純但需要複雜數學模式方能達成
- 人為介入之需求：以多數參數達成

14



### 三、列車排點自動化之課題與克服

#### 班表衝突

- 班表中各列車在時間-空間中之軌跡未能完全滿足所有規範
- 與實體列車間發生衝突不可混為一談

#### 班表衝突類型

- (1)股道進出順序之衝突
- (2)時隔不足
- (3)站間運轉時分或站內停站時間不足
- (4)站間運轉時分或站內停站時間過長

#### 定期列車之自動排點

- 每日約1200列次
- 臺鐵定期列車以一周為循環
- 跨夜車影響隔日上午車次，因而影響當日上午車次

#### 臨時列車之自動排點

- 營業性質與非營業性質之臨時列車常每日各少於100列次
- 整周之臨時列車數量與定期列車不相上下
- 排點難度高、佔用資源多
- 外界要求多：指定發車時分、運行時間、停站時間等等
- 跨夜車：影響隔日車次但不影響當日上午車次

15

### 三、列車排點自動化之課題與克服

#### 編組運用之考慮

- 編組於完成某車次任務後，應接續哪一車次
- 現今實務均以人工為之
- 本系統已預留與未來自動化系統界接之機制

#### 編組運用計畫考慮因素

- 可用編組數之限制
- 兩次機運檢間之最大運行里程
- 編組回到其所屬基地進行機運檢之時間窗
- 編組過夜地點
- 回送車次
- 車輛整備時間
- 其他：加油、噪音等等

#### 數學模式及求解策略

- 建模策略：分離連續與離散變數，建立股道分配模式及行點模式
- 求解策略：四階段啟發式解法

#### 自動排點模式基本資訊

- 軌道資訊：軌道電路及號誌系統
- 車輛資訊：基準運轉時分
- 理想班表資訊：車次、其牽引種別、起迄站、行經路線、停靠站、在各站之到站任務等
- 本研究之系統由RDSP提供支援

16



### 三、列車排點自動化之課題與克服

#### 使用者之介入機制

- 自動排點軟體應有供操作人員介入之能力，不應代人決策
- 軟體之高度自動化，與操作人員之介入互不衝突
- 人為介入之需求：排點方向之引導、排點結果之設定
- 本研究設計多數參數引導排點方向

#### 列車排點自動化之重要性

- 排點工作之輔助
- 營運管理自動化之基礎
- 營運與發展策略之評估
- 強化知識管理
- 鐵路公共投資方案評估

17

### 四、鐵路列車自動化排點系統 功能擴充

#### 排點功能之擴充

- 班表求解納入編組運用之概念
- 多車次臨時列車之求解
- 股道分配之簡化
- 運轉整理計畫

#### 資料與資料平台

- RDSP改版納入變動歷程管理能力
- 建立資料維護界面之概念：路軌圖形之數位化

#### 列車運行模擬

- 以時間推移模擬班表執行
- 第一類衝突之處理

#### 實務驗證

- 3月31日至11月17日每星期一次駐點一天
- 驗證測試結果帶回研究團隊處理
- 共駐點33次，主持人訪視11次
- 臨時列車排點驗證
- 改點驗證
- 人機界面設計驗證
- 資料界接驗證

18

# 路軌圖形之數位化

```
<bu id="4" type="5" pointset=" 13692;20892;" />
<bu id="5" type="0" pointset=" 20892;23312;" />
<bu id="6" type="0" pointset=" 23312;24912;" />
<bu id="7" type="0" pointset=" 24912;28112;" />
<bu id="8" type="7" pointset=" 11312;23312;" />
<bu id="9" type="0" pointset=" 8128;9712;" />
<bu id="10" type="0" pointset=" 24912;26528;" />
<bu id="11" type="0" pointset=" 6528;8128;" />
<bu id="12" type="7" pointset=" 8128;26528;" />
<bu id="13" type="0" pointset=" 26528;28128;" />
</buset>
<cpu id="1001" tk="0" direction="0" BwPUON="1" FwPUON="1" buset="1;2;3;4;5"
<cpu id="1002" tk="1" direction="0" BwPUON="1" FwPUON="1" buset="1;2;6;6;7"
<cpu id="1011" tk="2" direction="1" BwPUON="2" FwPUON="2" buset="13;12;11;
<cpu id="1013" tk="0" direction="1" BwPUON="2" FwPUON="2" buset="13;10;6;5"
</puset>
</lu>
<lu id="0100000013" Order="2" Isdt="0" BwLUON="81" FwLUON="82">
<buset>
<bu id="1" type="0" pointset=" 80;8080;" />
```

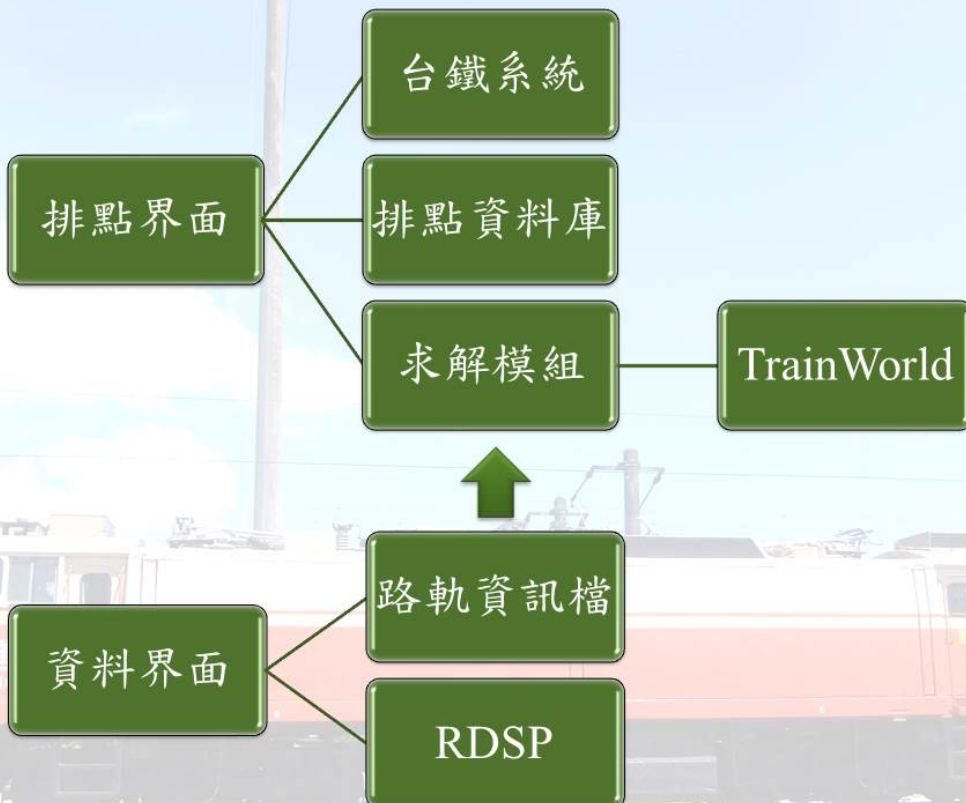


RDSP

## 股道佈設圖形與數位資訊之連結

- 大幅提高工作效率及精準度
- 可由圖形界面新增、編修車站及站間
- 可與RDSP界接同步
- 可自動產生簡圖供前端使用

19



20

## 四、鐵路列車自動化排點系統 功能擴充

### 列車班表穩定性分析

- 「m分鐘回復力」 $RC_m$ 作為數量化衡量班表穩定度之指標
- 選定一個列車事件並給予m分鐘之晚點量，模擬該晚點事件之影響
- 模擬時無任何其他原發性晚點
- 對整份班表中之每一列車事件均推得其 $RC_m$ 值
- 以圖形化之方式標示在運行圖上，即可推得整份班表之穩定圖

21

## 五、未來研究與發展

### 自動排點技術之持續實用化

- 加快求解速度
- 強化班表管理功能
- 強化人機界面操控核心之能力
- 強化容錯功能

### 資源調度輔助系統之發展

- 自動排點系統之導入
- 建立以共同資訊系統為中心之分工體系
- 車輛運用計畫之自動化
- 乘務人員運用計畫自動化

### 路線容量分析與公共投資方案評估

- 班表試排法為國際上最廣用之路線容量分析方法

22



## 六、結論與後續發展建議

### 結論

- 核心技術之重要性
- 實務參數與資料蒐整之難度
- 使用者界面之關鍵重要性
- 穩健導入程序之必要性
- 產官學之合作之優勢

### 後續發展建議

- 短期：已有之成果導入臺鐵
- 中期：發展具可信度之路線容量標準分析程序及所需之軟體系統
- 長期：國際化

23

## 鐵路列車自動化排點系統功能 擴充與推廣應用

MOTC-IOT-103-EBB002

期末報告

# 謝謝

國立成功大學軌道運輸中心

李宇欣、林東盈、李威勳、陳春益

103年12月8日

## 附錄 D 實務驗證項目

車次	59860408	行程及到站任務
車種	莒光	花蓮(停車載客)、吉安、志學、平和、壽豐、豐田、溪口、林榮、南平、鳳林、萬榮、光復、大富、富源、瑞穗、舞鶴、三民、玉里、東里、東竹、富里、池上、海端、關山、月美、瑞和、瑞源、鹿野、山里、臺東(停車載客)
始發站	花蓮	
理想發車時間	14:00	
終點站	臺東	
驗證及處理項目		
列車在行程中常須以待避或調整站間運行時間之方式安排多餘之時間。檢視驗證軟體對臨時列車班表之求解結果發現操作人員需要能夠引導模式求解時對這兩種方法之偏好程度。但實務排點人員對於待避或調整運行時間之相對偏好並無一定之規則，而是視狀況依其經驗個別判定。 據此於模式中引入權重參數，使軟體操作人員能夠在列車行程之不同地點個別設定此二項選項之相對偏好。		
車次	59830409	行程及到站任務
車種	莒光	臺中(停車載客)、大慶、烏日、新烏日、成功、大肚溪、彰化(停車載客)、花壇、大村、員林(停車載客)、永靖、社頭、田中、二水、林內、石榴、斗六、斗南、石龜、大林、民雄、嘉北、嘉義(停車載客)、水上、南靖、後壁、新營、柳營、林鳳營、隆田、拔林、善化、南科、新市、永康、大橋、臺南(停車載客)、保安、仁德、中洲、大湖、路竹、岡山、橋頭、楠梓、新左營(停車不載客)、左營、鼓山、高雄(停車不載客)、鳳山、後庄、九曲堂、六塊厝、屏東、歸來、麟洛、西勢、竹田、潮州、崁頂、南州、鎮安、林邊、佳冬、東海、枋寮、加祿、內獅、枋山、枋野、中央、古莊、大武、瀧溪、多良、金崙、太麻里、知本(停車載客)、康樂、臺東(停車不載客)
始發站	臺中	
理想發車時間	8:00	
終點站	臺東	
驗證及處理項目		
將排點結果與臺鐵現有排點輔助系統之輸出入格式詳細比對，發現雖然多良站已停止辦客，但於臺鐵之排點輔助系統之輸出與輸入檔案中仍有多良站。經瞭解發現其目的是為了在臺鐵之系統中達到新舊班表整合。因此若有車站廢站，本系統與臺鐵系統資料介接時，仍應維持之，以避免造成資料錯亂。		
車次	59810419T	行程及到站任務
車種	莒光	路竹(停車載客)、路竹(停車載客)、岡山(停車載客)、橋頭、楠梓(停車不載客)、新左營、左營、鼓山、高雄(停車載客)、鳳山、後庄、九曲堂、六塊厝、屏東、歸來、麟洛、西勢、竹田、潮州、崁頂、南州(停車載客)、鎮安、林邊、佳冬、東海、枋寮、加祿、內獅、枋山、枋野、中央、古莊、大武、瀧溪、多良、金崙、太麻里、知本、康樂、臺東(停車載客)、山里、鹿野、瑞源、瑞
始發站	路竹	
理想發車時間	6:40	
終點站	花蓮	

		和、月美、關山、海端、池上、富里、東竹、東里、玉里、三民、舞鶴、瑞穗、富源、大富、光復(停車載客)、萬榮、鳳林、南平、林榮、溪口、豐田、壽豐、平和、志學、吉安、花蓮(停車不載客)
驗證及處理項目		
本臨時列車之測試求解結果經實務人員檢視認為大致上已符合實務之要求，惟歸來及枋山二座車站均僅有單一股道，但解得之班表在此與其他列車交會。經檢查，確認解得之班表於歸來及枋山二座車站發生交會之原因在於 RDSP 之資料中，此二車站均設定為二股道。修正資料即可消除本問題，與模式或軟體之正確性及求解能力無關。		
車次	59510426	行程及到站任務
車種	莒光	花蓮(停車不載客)、北埔、景美、新城(停車載客)、崇德、和仁、和平、漢本、武塔、南澳、東澳、永樂、蘇澳新、新馬、冬山(停車載客)、羅東、中里、二結、宜蘭、四城、礁溪(停車載客)、頂埔、頭城、烏石港、外澳、龜山、大溪、大里、石城、福隆、貢寮、新雙溪、雙溪、牡丹、三貂嶺、猴硐、瑞芳、四腳亭、暖暖、八堵、七堵、百福、五堵、汐止、汐科、南港、松山、臺北(停車載客)、萬華、板橋、浮洲、樹林、山佳、鶯歌、桃園(停車載客)、內壢、中壢、埔心、楊梅、富岡、北湖、湖口、新豐、竹北、北新竹、新竹(停車載客)、南新竹、香山、崎頂、竹南、談文、談文南、大山、後龍、龍港、白沙屯、新埔、通霄、苑裡、日南、大甲、臺中港、清水(停車載客)、沙鹿、龍井、大肚、追分、大肚溪、彰化(停車載客)、花壇、大村、員林、永靖、社頭、田中、二水、林內、石榴、斗六、斗南、石龜、大林、民雄、嘉北、嘉義(停車載客)、水上、南靖、後壁、新營(停車載客)、柳營、林鳳營、隆田、拔林、善化、南科、新市、永康、大橋、臺南(停車載客)
始發站	花蓮	
理想發車時間	10:30	
終點站	臺南	
驗證及處理項目		
本項驗證案例之行程長而需要停車載客之站數較少。因此需要待避之處相對較多。驗證中發現實務人員較偏好將停車待避集中到少數車站，亦即較好採用待避次數少、每次待避時間較長之方案，而非待避次數多、每次待避時間較短之方案。由數學模式之觀點，在現行模式下，上述二種方案屬多重最佳解，求解時並不易控制之。而以 Lexicographic linear programming 之技術可達到打破多重最佳解之目的，但不易控制其求解行為，評估並不適用於本模式。另一建模策略為利用整數變數控制待避位置之次數及偏好，但此種限制式將為 non-separable，預期將造成相當之求解障礙。評估後認為在後處理階段建立整數最佳化模式將可有效解決本問題，且不致於形成求解之困難點。		
車次	59870429	行程及到站任務
車種	莒光	七堵(停車不載客)、百福、五堵、汐止、汐科、南港、松山、臺北(停車不載客)、萬華、板橋、浮洲、樹林、山佳、鶯歌、桃園、內壢、中壢、埔心、楊梅(停車載客)、富岡(停車載客)、北湖、湖口、新豐、竹北、北新竹、
始發站	七堵	
理想發車時間	4:30	

終點站	臺東	新竹(停車載客)、南新竹、香山、崎頂、竹南、造橋、豐富、苗栗(停車載客)、南勢、銅鑼、三義、泰安、后里、豐原、潭子、太原、臺中、大慶、烏日、新烏日、成功、大肚溪、彰化(停車載客)、花壇、大村、員林、永靖、社頭、田中、二水、林內、石榴、斗六、斗南、石龜、大林、民雄、嘉北、嘉義、水上、南靖、後壁、新營、柳營、林鳳營、隆田、拔林、善化、南科、新市、永康、大橋(停車載客)、臺南(停車載客)、保安、仁德、中洲、大湖、路竹、岡山、橋頭、楠梓、新左營(停車載客)、左營、鼓山、高雄(停車不載客)、鳳山、後庄、九曲堂、六塊厝、屏東、歸來、麟洛、西勢、竹田、潮州、崁頂、南州(停車載客)、鎮安、林邊、佳冬、東海、枋寮、加祿、內獅、枋山(停車載客)、枋野、中央、古莊、大武、瀧溪、多良、金崙、太麻里(停車載客)、知本、康樂、臺東(停車載客)
驗證及處理項目		
經由臨時列車班表求解及實務人員之驗證，發現模式在求解時，在不同狀況下可接受的班表壓點是不同的。而實務上所慣用之壓點，即為時隔不足之狀況，亦即第 2 型衝突。 據此於數學模式中將時隔之要求轉成軟限制，並納入參數以控制目標式對時隔不足之懲罰，據以供使用者影響模式對滿足時隔之重要性衡量。		
車次	1430501T	行程及到站任務
車種	自強	松山(停車載客)、臺北(停車載客)、萬華、板橋(停車載客)、浮洲、樹林、山佳、鶯歌、桃園、內壢、中壢、埔心、楊梅、富岡、北湖、湖口、新豐、竹北、北新竹、新竹、南新竹、香山、崎頂、竹南、造橋、豐富、苗栗、南勢、銅鑼、三義、泰安、后里、豐原、潭子、太原、臺中(停車載客)、大慶、烏日、新烏日、成功、大肚溪、彰化(停車載客)、花壇、大村、員林、永靖、社頭、田中、二水、林內、石榴、斗六、斗南、石龜、大林、民雄、嘉北、嘉義、水上、南靖、後壁、新營、柳營、林鳳營、隆田、拔林、善化、南科、新市、永康、大橋、臺南(停車載客)、保安、仁德、中洲、大湖、路竹、岡山、橋頭、楠梓、新左營、左營、鼓山、高雄(停車載客)
始發站	松山	
理想發車時間	18:00	
終點站	高雄	
驗證及處理項目		
臨時列車求解驗證中發現實務上對於列車之到站時分與離站時分有時是分別獨立評估，亦即兩者間並無必然之一定關係。 歸納認為模式需要有能力對列站時分與離站時分作個別之操控，再以限制式建立兩者間之可解必要條件。		
車次	58170511	行程及到站任務
車種	電車	竹南(停車載客)、談文、談文南、大山、後龍、龍港、白沙屯、新埔(停車載客)、通霄、苑裡、日南、大甲(停車載客)、臺中港、清水、沙鹿、龍井、大肚、追分(停車載客)、大肚溪、成功、新烏日、烏日、大慶、臺中(停
始發站	竹南	
理想發車時間		

終點站	豐原	車載客)、太原、潭子、豐原(停車載客)
驗證及處理項目		
測試驗證中發現 RDSP 中在海線部分車站之股道資訊，以及部分站間之單線或雙線資訊可能有所誤差。其中後龍與龍港間之路線應為雙線，但在 RDSP 中設定為單線，因此限縮了軟體求解班表之能力。		
車次	59590529	行程及到站任務
車種	自強	花蓮(停車不載客)、北埔、景美、新城(停車載客)、崇德、和仁、和平(停車不載客)、漢本、武塔、南澳(停車不載客)、東澳、永樂、蘇澳新、新馬、冬山(停車不載客)、羅東、中里、二結、宜蘭、四城、礁溪(停車載客)、頂埔、頭城、烏石港、外澳、龜山、大溪、大里、石城、福隆、貢寮、新雙溪、雙溪、牡丹、三貂嶺、猴硐(停車載客)、瑞芳、四腳亭、暖暖、八堵、七堵(停車不載客)、百福、五堵、汐止(停車不載客)、汐科、南港、松山、臺北(停車載客)、萬華、板橋、浮洲、樹林、山佳、鶯歌、桃園(停車載客)、內壢、中壢、埔心、楊梅、富岡、北湖、湖口、新豐、竹北、北新竹、新竹(停車載客)、南新竹、香山、崎頂、竹南、談文、談文南、大山、後龍、龍港、白沙屯、新埔、通霄、苑裡、日南、大甲、臺中港、清水(停車載客)、沙鹿、龍井、大肚、追分、大肚溪、彰化(停車載客)、花壇、大村、員林、永靖、社頭、田中、二水、林內、石榴、斗六、斗南、石龜、大林、民雄、嘉北、嘉義(停車載客)、水上、南靖、後壁、新營(停車載客)、柳營、林鳳營、隆田、拔林、善化、南科、新市、永康、大橋、臺南(停車載客)、保安(停車不載客)、仁德、中洲、大湖、路竹、岡山、橋頭、楠梓、新左營、左營、鼓山、高雄(停車不載客)
始發站	花蓮	
理想發車時間	10:30	
終點站	高雄	
驗證及處理項目		
<p>本項驗證中發現實務上列車之到離站時分均要求為半分鐘之整數倍，而始發站之離站時分與終點站之到站時分則應為整數分鐘。訪談發現實務上均由排點人員以人為判斷之方式達到上述要求。</p> <p>在數學模式中時間為連續變數，基本上即為實數值。而本模式並無 Totally unimoduar matrix 之性質，因此即便所有係數均為 0.5 之整數倍，求解所得解之行點亦不一定均為 0.5 整數倍。況且即便達到行點均為 0.5 整數倍之要求，亦尚未達到首站與末站整數分鐘之要求。經分析發現本項要求無法以進位或退位方式達成，其原因在於進位或退位將有可能造成小幅度之時隔不足或站間運轉時分不足。但本項要求可在未來發展後處理數學模式達成之。</p>		
車次	36950608	行程及到站任務
車種	普通車	臨時客迴： 高雄(停車不載客)、鼓山、左營、新左營、楠梓、橋頭、岡山(停車不載客) 普通車： 岡山(停車不載客)、橋頭(停車載客)、楠梓、新左營(停車載客)、左營、鼓山、高雄(停車載客)、鳳山、後庄、
始發站	高雄	
理想發車時間	5:30	
終點站		



		九曲堂、六塊厝、屏東、歸來、麟洛、西勢、竹田、潮州(停車載客)、崁頂、南州、鎮安、林邊、佳冬、東海、枋寮、加祿、內獅(停車載客)、枋山、枋野、中央、古莊、大武、瀧溪、多良、金崙、太麻里、知本、康樂、臺東(停車載客)、山里(停車載客)、鹿野、瑞源、瑞和(停車載客)、月美、關山、海端、池上(停車載客) 普通車： 池上(停車載客)、海端、關山、月美、瑞和、瑞源、鹿野、山里、臺東(停車載客)、康樂、知本、太麻里、金崙、多良、瀧溪、大武、古莊、中央、枋野、枋山、內獅、加祿、枋寮(停車載客)、東海、佳冬、林邊、鎮安、南州、崁頂、潮州、竹田、西勢、麟洛、歸來、屏東、六塊厝、九曲堂、後庄、鳳山、高雄(停車載客)、鼓山、左營、新左營(停車載客)、楠梓、橋頭(停車載客)、岡山(停車不載客) 臨時客迴： 岡山(停車不載客)、橋頭、楠梓、新左營、左營、鼓山、高雄(停車不載客)
驗證及處理項目		
本項驗證發現同一臨時列車任務中，同時含有辦客車次以及迴送車次時，兩種列次之要求標準並不相同。而臨時列車常有股道之特殊要求。迴送車次則允許待避任何車種，亦可使用無月臺之股道。因此本系統需要有能力對同一運用之不同車次，個別設定參數權重。		
車次	36950608	行程及到站任務
車種	普通車	岡山(停車不載客)、橋頭(停車載客)、楠梓、新左營(停車載客)、左營、鼓山、高雄(停車載客)、鳳山、後庄、九曲堂、六塊厝、屏東、歸來、麟洛、西勢、竹田、潮州(停車載客)、崁頂、南州、鎮安、林邊、佳冬、東海、枋寮、加祿、內獅(停車載客)、枋山、枋野、中央、古莊、大武、瀧溪、多良、金崙、太麻里、知本、康樂、臺東(停車載客)、山里(停車載客)、鹿野、瑞源、瑞和(停車載客)、月美、關山、海端、池上(停車載客)
始發站	岡山	
理想發車時間	6:30	
終點站	池上	
驗證及處理項目		
以實際臨時列車，依不同參數設定方式求解不同行點班表，再經實務人員依其經驗與偏好予以驗證比較，歸納得到：若比較(1)臨時列車班表較接近理想班表，但衝突較多，與(2)班表衝突較少但行點較接近理想班表等兩種方案，通常實務人員較偏好前者。本項驗證顯示實務人員相對較重視所排得之行點較接近臨時列車申請人之要求，而相對較不重視班表執行時因衝突而引起之誤點問題。由此發現本系統之數學模式應有能力對解得行點與理想班表之差異給予較重之權重。		
車次	36960608	行程及到站任務
車種	臨時客迴	岡山(停車不載客)、橋頭、楠梓、新左營、左營、鼓山、高雄(停車不載客)
始發站	岡山	
理想發車	22:30	

時間		
終點站	高雄	
驗證及處理項目		
本項驗證發現實務排點人員對於辦客與非辦客車次有不同之要求水準。而其差異主要在待避時間之容許量，對於非辦客車次其容許之待避時間較長。但對站間運轉時分之彈性則辦客與非辦客車次無異。		
因此本模式應能提供針對不同車次設定不同待避時間權重，以及不同時間長度上限之能力。		
車次	36960608	行程及到站任務
車種	普通車	池上(停車載客)、海端、關山、月美、瑞和、瑞源、鹿野、山里、臺東(停車載客)、康樂、知本、太麻里、金崙、多良、瀧溪、大武、古莊、中央、枋野、枋山、內獅、加祿、枋寮(停車載客)、東海、佳冬、林邊、鎮安、南州、崁頂、潮州、竹田、西勢、麟洛、歸來、屏東、六塊厝、九曲堂、後庄、鳳山、高雄(停車載客)、鼓山、左營、新左營(停車載客)、楠梓、橋頭(停車載客)、岡山(停車不載客)
始發站	池上	
理想發車時間	16:40	
終點站	岡山	
驗證及處理項目		
本項驗證發現臨時列車在始發站發車時間之彈性範圍大小，對於求解結果常有重大影響。而實務排點人員常相對較重視始發時間接近理想發車時間，其主觀上之重要性有時超過解得班表之預期穩定性。		
車次	59560613	行程及到站任務
車種	自強	自強： 彰化(停車不載客)、大肚溪、成功、新烏日、烏日、大慶、臺中(停車載客)、太原、潭子、豐原(停車載客)、后里、泰安、三義、銅鑼、南勢、苗栗、豐富、造橋、竹南、崎頂、香山、新竹(停車載客)、北新竹、竹北、新豐、湖口、北湖、富岡、楊梅、埔心、中壢、內壢、桃園(停車載客)、鶯歌、山佳、樹林、浮洲、板橋(停車載客)、萬華、臺北(停車載客)、松山、南港、汐科、汐止、五堵、百福、七堵(停車載客)、八堵、暖暖、四腳亭、瑞芳、猴硐、三貂嶺、牡丹、雙溪、新雙溪、貢寮、福隆、石城、大里、大溪、龜山、外澳、烏石港、頭城、頂埔、礁溪、四城、宜蘭、二結、中里、羅東、冬山、新馬、蘇澳新永樂、東澳、南澳、武塔、漢本、和平、和仁、崇德、新城(停車載客)、景美、北埔、花蓮(停車不載客) 臨時客迴： 花蓮(停車不載客)、吉安、志學、平和、壽豐、豐田、溪口、林榮、南平、鳳林、萬榮、光復、大富、富源、瑞穗、舞鶴、三民、玉里、東里、東竹、富里、池上、海端、關山、月美、瑞和、瑞源、鹿野、山里、臺東(停車不載客)
始發站	彰化	
理想發車時間	13:00	
終點站	臺東	
驗證及處理項目		

本項測試驗證本系統對跨線列車之求解能力，班表求解結果顯示其求解能力與一般其他臨時列車相當，並未受到跨線與否之影響。		
車次	59560613	行程及到站任務
車種	自強	彰化(停車不載客)、大肚溪、成功、新烏日、烏日、大慶、臺中(停車載客)、太原、潭子、豐原(停車載客)、后里、泰安、三義、銅鑼、南勢、苗栗、豐富、造橋、竹南、崎頂、香山、新竹(停車載客)、北新竹、竹北、新豐、湖口、北湖、富岡、楊梅、埔心、中壢、內壢、桃園(停車載客)、鶯歌、山佳、樹林、浮洲、板橋(停車載客)、萬華、臺北(停車載客)、松山、南港、汐科、汐止、五堵、百福、七堵(停車載客)、八堵、暖暖、四腳亭、瑞芳、猴硐、三貂嶺、牡丹、雙溪、新雙溪、貢寮、福隆、石城、大里、大溪、龜山、外澳、烏石港、頭城、頂埔、礁溪、四城、宜蘭、二結、中里、羅東、冬山、新馬、蘇澳新永樂、東澳、南澳、武塔、漢本、和平、和仁、崇德、新城(停車載客)、景美、北埔、花蓮(停車不載客)
始發站	彰化	
理想發車時間	6:30	
終點站	花蓮	
驗證及處理項目		
本項驗證測試實務人員對列車待避點之選擇偏好。歸納結果發現實務人員偏好不提前待避。主要之考慮因素是若臨時列車提前待避背景班表中之列車，則未來班表於執行時若背景班表之列車發生晚點，其影響將會較大。		
車次	59880615	行程及到站任務
車種	自強	臺東(停車載客)、康樂、知本、太麻里、金崙、多良、瀧溪、大武、古莊、中央、枋野、枋山、內獅、加祿、枋寮(停車載客)、東海、佳冬、林邊、鎮安、南州、崁頂、潮州、竹田、西勢、麟洛、歸來、屏東、六塊厝、九曲堂、後庄、鳳山、高雄(停車載客)、鼓山、左營、新左營(停車載客)、楠梓、橋頭、岡山、路竹、大湖、中洲、仁德、保安、臺南(停車載客)、大橋、永康、新市、南科、善化、拔林、隆田、林鳳營、柳營、新營、後壁、南靖、水上、嘉義(停車載客)、嘉北、民雄、大林、石龜、斗南、斗六(停車載客)、石榴、林內、二水、田中、社頭、永靖、員林(停車載客)、大村、花壇、彰化(停車載客)、大肚溪、成功、新烏日(停車載客)、烏日、大慶、臺中(停車載客) 臨時客迴： 臺中(停車不載客)、太原、潭子、豐原、后里、泰安、三義、銅鑼、南勢、苗栗、豐富、造橋、竹南、崎頂、香山、南新竹、新竹、北新竹、竹北、新豐、湖口、北湖、富岡、楊梅、埔心、中壢、內壢、桃園、鶯歌、山佳、樹林、浮洲、板橋、萬華、臺北、松山、南港、汐科、汐止、五堵、百福、七堵(停車不載客)
始發站	臺東	
理想發車時間	13:00	
終點站	七堵	
驗證及處理項目		
本項驗證同時測試本系統求解結果轉回臺鐵排點輔助系統之狀況。結果發現臺鐵		

之系統在接收多車次臨時列車之排點結果時，必須各趟車次逐一傳回。因此本系統需要提供多車次排點、逐一回傳之功能。		
車次	59880615	行程及到站任務
車種	自強	臺東(停車載客)、康樂、知本、太麻里、金崙、多良、瀧溪、大武、古莊、中央、枋野、枋山、內獅、加祿、枋寮、東海、佳冬、林邊、鎮安、南州、崁頂、潮州、竹田、西勢、麟洛、歸來、屏東、六塊厝、九曲堂、後庄、鳳山、高雄(停車載客)、鼓山、左營、新左營(停車載客)、楠梓、橋頭、岡山、路竹、大湖、中洲、仁德、保安、臺南(停車載客)、大橋、永康、新市、南科、善化、拔林、隆田、林鳳營、柳營、新營、後壁、南靖、水上、嘉義(停車載客)、嘉北、民雄、大林、石龜、斗南、斗六(停車載客)、石榴、林內、二水、田中、社頭、永靖、員林(停車載客)、大村、花壇、彰化(停車載客)、大肚溪、成功、新烏日(停車載客)、烏日、大慶、臺中(停車載客)
始發站	臺東	
理想發車時間	15:20	
終點站	臺中	
驗證及處理項目		
本項測試驗證中發現實務人員於決定是否在臨時列車班表中接受衝突時，均有考慮未來運轉整理之難易程度。但同時亦發現人工作業時所考慮運轉整理之時間與空間範圍均不大。歸納結果發現考慮運轉整理，在數學模式上等同於放寬背景班表行點不得變動之限制式。		
車次	59280622	行程及到站任務
車種	電車	嘉義(停車載客)、嘉北、民雄、大林、石龜、斗南、斗六(停車載客)、石榴、林內、二水、田中、社頭、永靖、員林(停車載客)、大村、花壇、彰化(停車載客)、大肚溪、成功、新烏日(停車載客)、烏日、大慶、臺中(停車不載客)、太原、潭子、豐原、后里、泰安、三義、銅鑼、南勢、苗栗、豐富、造橋、竹南
始發站	嘉義	
理想發車時間	6:00	
終點站	竹南	
驗證及處理項目		
於本項驗證中發現實務人員對於停站時間長度之調整彈性具有分段特性。亦即若所解得班表在某站之停靠時間長度比理想時間略長，在某個限度內通常可以接受，但若超過該限度，則可接程度快速降低。至於此一可接受的彈性限度則與該臨時列次申請人在該站停靠之目的有關。評估歸納結果本研究認為模式應將停靠時間之彈性調整量作分段線性之處理。至於上述彈性限度之值則必須由系統操作人員依臨時列車申請人之需求而個案設定。		
車次	59290622	行程及到站任務
車種	電車	竹南、談文、談文南、大山、後龍、龍港、白沙屯、新埔(停車載客)、通霄、苑裡、日南、大甲(停車載客)、臺中港、清水(停車載客)、沙鹿、龍井、大肚、追分(停車載客)、大肚溪、彰化(停車載客)
始發站	竹南	
理想發車時間	10:30	
終點站	彰化	
驗證及處理項目		
本項測試結果發現設定臨時列車廊帶寬度時，行程中若含有單線區間，其所需之		

廊帶應比雙線區間左右各加寬約一小時，可達到相似之班表求解效果。		
車次	58320628	行程及到站任務 樹調(停車不載客)、樹林(停車不載客)、浮洲、板橋(停車載客)、萬華、臺北(停車載客)、松山(停車載客)、南港、汐科、汐止、五堵、百福、七堵(停車載客)、八堵、暖暖、四腳亭、瑞芳、猴硐、三貂嶺、牡丹、雙溪、新雙溪、貢寮、福隆(停車載客)、石城、大里、大溪、龜山、外澳、烏石港、頭城、頂埔、礁溪、四城、宜蘭、二結、中里、羅東、冬山、新馬、蘇澳新永樂、東澳、南澳、武塔、漢本、和平、和仁、崇德、新城、景美、北埔、花蓮(停車不載客)、吉安、志學、平和、壽豐、豐田、溪口、林榮、南平、鳳林、萬榮、光復、大富、富源、瑞穗、舞鶴、三民、玉里、東里、東竹、富里、池上(停車載客)、海端、關山、月美、瑞和、瑞源、鹿野、山里、臺東(停車不載客)
車種	莒光	
始發站	樹調	
理想發車時間	6:45	
終點站	臺東	
驗證及處理項目		
本項驗證發現排點實務人員對於背景班表中既有之衝突，與本系統解得之臨時列車之班表衝突，其接受程度有所差異。觀察驗證過程發現當本系統解得之臨時列含有衝突時，即便於背景班表中含有相同之衝突，有時亦被判定為求解結果不理想。經歸納本研究認為此為操作人員對於人工排點與自動排點之期待不同。因此未來可能不宜由臺鐵真實班表中歸納可容忍之衝突程度。		
車次	58320711	行程及到站任務 樹調(停車不載客)、樹林(停車不載客)、浮洲、板橋(停車載客)、萬華、臺北(停車載客)、松山(停車載客)、南港、汐科、汐止、五堵、百福、七堵(停車載客)、八堵、暖暖、四腳亭、瑞芳、猴硐、三貂嶺、牡丹、雙溪、新雙溪、貢寮、福隆(停車載客)、石城、大里、大溪、龜山、外澳、烏石港、頭城、頂埔、礁溪、四城、宜蘭(停車載客)、二結、中里、羅東、冬山、新馬、蘇澳新永樂、東澳、南澳、武塔、漢本、和平、和仁、崇德、新城、景美、北埔、花蓮(停車載客)、吉安、志學、平和、壽豐、豐田、溪口、林榮、南平、鳳林、萬榮、光復、大富、富源、瑞穗、舞鶴、三民、玉里(停車載客)、東里、東竹、富里、池上、海端、關山、月美、瑞和、瑞源、鹿野、山里、臺東(停車不載客)
車種	莒光	
始發站	樹調	
理想發車時間	6:20	
終點站	臺東	
驗證及處理項目		
本項測試發現將縮小臨時列車之廊帶寬度以引導模式解得較接近理想時間之班表時，實務人員有較高之滿意程度。但縮小廊帶寬度之同時亦增加了無法在廊帶中順利找到可行班表之求解失敗機會，易被實務人員解讀為軟體求解能力不足。其間之取捨需要未來觀察實務人員使用本系統之狀況方能得知。		
車次	7433/7434/7435/7436	行程及到站任務 7433： 和仁(停車不載客)、和平、漢本、武塔、南澳、東澳(停
車種	普通貨車	
始發站	和仁	

理想發車時間		車不載客) 7434：
終點站	東澳	東澳(停車不載客)、南澳、武塔、漢本、和平、和仁(停車不載客) 7435： 和仁(停車不載客)、和平、漢本、武塔、南澳、東澳(停車不載客) 7436： 東澳(停車不載客)、南澳、武塔、漢本、和平、和仁(停車不載客)
驗證及處理項目		
本項驗證發現這些貨物列車之行程均不長，若個別排點並不難，但由於使用同一編組，因此前後車次之間必須滿足時間可接續及股道可接續之條件。經測試確認本軟體可達到這些要求。		
車次	7382-7391	行程及到站任務
車種	普通貨車	3782、3784、3786、3788、3790
始發站	和仁	和仁(停車不載客)、崇德、新城、景美、北埔、嘉新號誌、花蓮港(停車不載客)
理想發車時間		3783、3785、3787、3789、3791
終點站	花蓮港	花蓮港(停車不載客)、嘉新號誌、北埔、景美、新城、崇德、和仁(停車不載客)
驗證及處理項目		
本項驗證再次確認如經過適當設定，本系統可順利求解多車次之接續。		
車次	5974	行程及到站任務
車種	莒光	(牽引種別客甲 B)新城、景美、北埔、花蓮、吉安、志學、平和、壽豐、豐田、溪口、林榮、南平、鳳林、萬榮、光復、大富、富源、瑞穗、舞鶴、三民、玉里、東里、東竹、富里、池上、海端、關山、月美、瑞和、瑞源、鹿野、山里、臺東、康樂、知本、太麻里、金崙、多良、瀧溪、大武、古莊、中央、枋野、枋山、內獅、加祿、枋寮、東海、佳冬、林邊、鎮安、南州、崁頂、潮州、竹田、西勢、麟洛、歸來、屏東、六塊厝、九曲堂、後庄、鳳山、高雄、鼓山、左營、新左營
始發站	新城	
理想發車時間	14:30	
終點站	臺南	(牽引種別 E 客甲 B) 新左營、楠梓、橋頭、岡山、路竹、大湖、中洲、仁德、保安、臺南
驗證及處理項目		
本項測試驗證用以觀察排點實務人員對於以下二項選項之相對偏好：(1)臨時列車追越前方車速較低之區間車，造成區間車因待避而晚點，換取臨時列車較高之運行速度；(2)臨時列車在區間車後方運行較長之距離而避免追越，維持區間車準點，但臨時列車之車速降低。 歸納結果發現實務人員常較偏前者。因此本系統之數學模式應配合此一偏好而設定相關參數值。		
車次	5942	行程及到站任務
車種	莒光	(牽引種別客甲 B)知本(停車載客)、太麻里、金崙、多良、

始發站	知本	瀧溪、大武、古莊、中央、枋野、枋山、內獅、加祿(停車載客)、枋寮、東海、佳冬、林邊、鎮安、南州、崁頂、潮州(停車載客)、竹田、西勢、麟洛、歸來、屏東(停車載客)、六塊厝、九曲堂、後庄、鳳山、高雄、鼓山、左營、新左營(停車載客) (牽引種別 E 客甲 B) 新左營、楠梓、橋頭、岡山、路竹、大湖、中洲、仁德、保安、臺南、大橋、永康、新市、南科、善化、拔林、隆田、林鳳營、柳營、新營、後壁、南靖、水上、嘉義、嘉北、民雄、大林、石龜、斗南、斗六、石榴、林內、二水、田中、社頭、永靖、員林、大村、花壇、彰化(停車載客)、大肚溪、追分(停車載客)、大肚、龍井、沙鹿、清水、臺中港、大甲、日南、苑裡、通霄、新埔、白沙屯、龍港、後龍、大山、談文南、談文、竹南、崎頂、香山、南新竹、新竹、北新竹、竹北、新豐、湖口、北湖、富岡、楊梅、埔心、中壢(停車載客)
理想發車時間	08:46	
終點站	中壢	
驗證及處理項目		
本次驗證測試中發現臺鐵實務上常由不同人員同時進行同一天各臨時列次之排點。因此本系統未來上線時必須具備統合不同人員工作成果之能力。此外，連續假日常有同一臨時列次在不同日期重複開行之需求，但不同日期之背景班表各不盡相同。因此未來系統需要有能力在求解臨時列車班表時，同時考慮一個以上版本之背景班表。		
車次	5989	行程及到站任務
車種	莒光	彰化(停車載客)、花壇、大村、員林、永靖、社頭、田中、二水、林內、石榴、斗六、斗南、石龜、大林、民雄、嘉北、嘉義、水上、南靖、後壁、新營、柳營、林鳳營、隆田、拔林、善化、南科、新市、永康、大橋、臺南、保安、仁德、中洲、大湖、路竹、岡山、橋頭、楠梓、新左營、左營、鼓山、高雄、鳳山、後庄、九曲堂、六塊厝、屏東、歸來、麟洛、西勢、竹田、潮州、崁頂、南州(停車載客)、鎮安、林邊、佳冬、東海、枋寮、加祿、內獅、枋山、枋野、中央、古莊、大武(停車載客)、瀧溪、多良、金崙、太麻里、知本、康樂、臺東(停車載客)
始發站	彰化	
理想發車時間	臺南 08:25	
終點站	臺東	
驗證及處理項目		
本次測試驗證之臨時列車行程涵跨雙線與單線區間，歸納實務排點人員之意見，發現在雙線區間與單線區間，實務上對班表衝突之接受程度並不相同。在雙線區間實務人員較不能接受時隔不足之狀況，但對站間追越之衝突較可接受。而在單線區間則較可接受過短之時隔，但較不願接受站間交會之衝突。 此種觀察顯示求解班表之數學模式以及操作介面需要有能力供使用者在不同區間作不同權重之設定。至於適當之參數值則需要待實地上線操作後方能決定。		
車次	5942	行程及到站任務
車種	區間車	臺東、山里(停車載客)、鹿野、瑞源、瑞和、月美、關山、海端、池上(停車載客)、富里、東竹、東里(停車載客)、玉里、三民、舞鶴、瑞穗(停車載客)、富源、大富、
始發站	臺東	
理想發車時間	09:00	

時間		光復、萬榮、鳳林、南平、林榮、溪口、豐田、壽豐(停車載客)
終點站	壽豐	富源=光復慢行 40 公里
驗證及處理項目		
本項測試驗證本軟體求解核心具有求解含有慢行需求之臨時列車，但使用者介面所提供設定之功能不足。未來交由實務人員上線運用時，若有此需求應於使用者介面中提供設定慢行之功能。		
車次	5959	行程及到站任務
車種	莒光	礁溪(停車載客)、頂埔、頭城、烏石港、外澳、龜山、
始發站	礁溪	大溪、大里、石城、福隆、貢寮、新雙溪、雙溪、牡丹、
理想發車時間	11:30	三貂嶺、猴硐(停車載客)、瑞芳、四腳亭、暖暖、八堵、七堵(停車載客)、百福、五堵、汐止、汐科、南港、松山、臺北(停車載客)、萬華、板橋、浮洲、樹林、山佳、鶯歌、桃園(停車載客)、內壢、中壢、埔心、楊梅、富岡、北湖、湖口、新豐、竹北、北新竹、新竹(停車載客)、南新竹、香山、崎頂、竹南、談文、談文南、大山、後龍、龍港、白沙屯、新埔、通霄、苑裡、日南、大甲(停車載客)、臺中港、清水(停車載客)、沙鹿、龍井、大肚、追分、大肚溪、彰化(停車載客)、花壇、大村、員林、永靖、社頭、田中、二水、林內、石榴、斗六、斗南、石龜、大林、民雄、嘉北、嘉義(停車載客)、水上、南靖、後壁、新營(停車載客)、柳營、林鳳營、隆田、拔林、善化、南科、新市、永康、大橋、臺南(停車載客)、保安、仁德、中洲、大湖、路竹、岡山、橋頭、楠梓、新左營、左營、鼓山、高雄(停車載客)
終點站	高雄	大里=石城慢行 40 公里 龍港=白沙屯慢行 40 公里
驗證及處理項目		
本項測試發現本系統求解行程甚長之臨時列次時，其能力與求解短行程之車次相當，顯示模式求解能力並未因為車次行程之增長而有所減損。		



# 附錄 E 人機介面使用手冊

## 一、簡介

本軟體為 TrainWorld 之人機介面，本手冊說明本軟體之各項功能及操作方法。軟體之功能分為三大類，說明如下。

1. 提供使用者以運行圖檢視列車班表。
2. 提供使用者編輯臨時列車需求。
3. 與後端求解核心介接求解臨時列車行點。
4. 以臺鐵格式輸出與輸入班表，與臺鐵系統介接。

## 二、檢視班表功能

使用目的：依使用者需求檢視各班表詳細資料。其操作步驟說明如下。

1. 啟動運行圖程式：確認運行圖存放目錄下開啟 RequestMaker.exe，如圖 E-1 所示。
2. 讀取班表：程式可讀取臺鐵格式檔 (TRA) 及行點預排格式檔 (RQT)，如圖 E-2 所示。
3. 檢視運行圖：讀取班表檔後畫面顯示運行圖，如圖 E-3 所示。



圖 E-1. 軟體啟動畫面

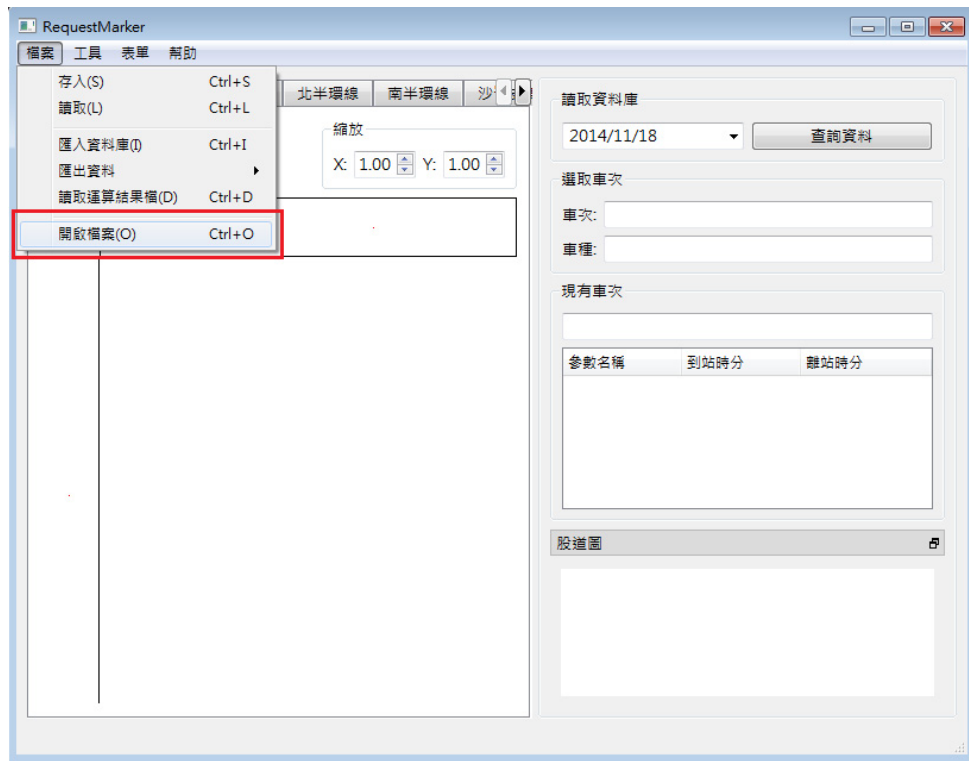


圖 E-2. 讀取檔案畫面

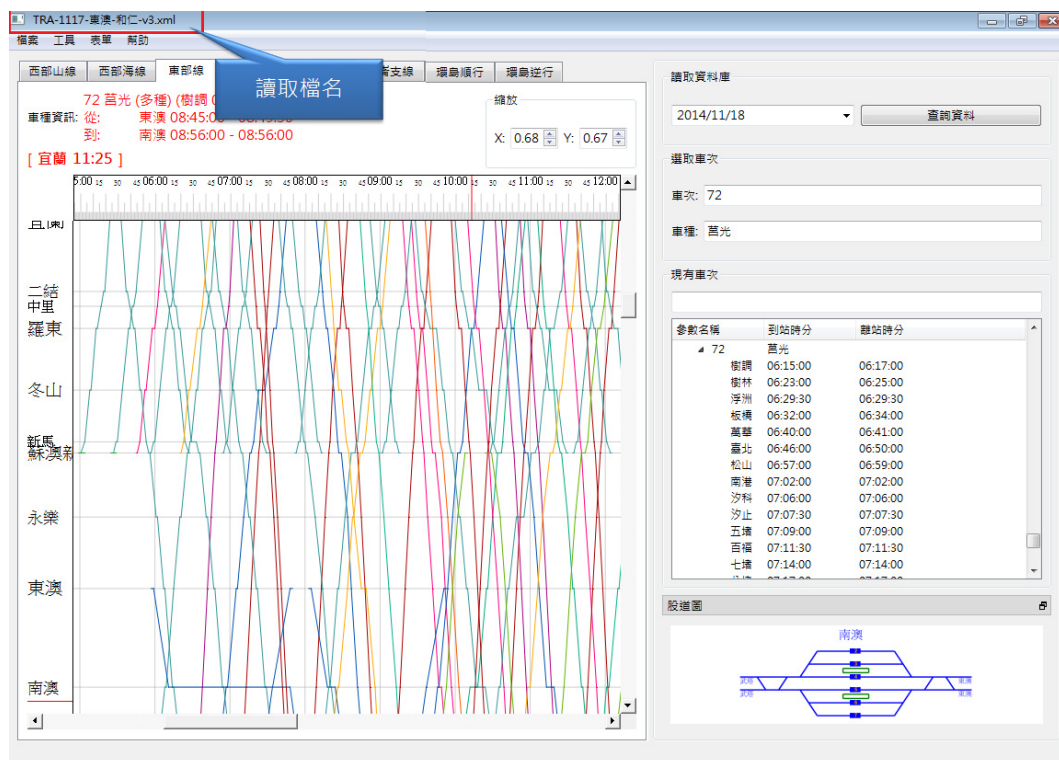


圖 E-3. 檢視運行圖畫面

本軟體相關畫面說明如下。

1. 功能表單：位於程式畫面最上方，可分” 檔案” ，工具，表單及幫助。
2. 線別：位於功能表單之下，依列車行駛不同線別。使用者可自行定義各頁之內容，其方法將在後續說明之。預設可檢視之線別為：
  - (1) 西部山線：基隆＝潮州。
  - (2) 西部海線：基隆＝臺中港＝沙鹿＝潮州。
  - (3) 東部線：臺北＝宜蘭＝臺東＝屏東。
  - (4) 北半環線：新竹＝臺北＝宜蘭＝花蓮。
  - (5) 南半環線：臺東＝屏東＝高雄＝臺南。
  - (6) 沙崙支線：嘉義＝臺南＝長榮大學＝沙崙，臺南＝中洲＝高雄。
  - (7) 環島順行：臺北＝宜蘭＝臺東＝屏東＝高雄＝臺南＝臺中＝臺北。
  - (8) 環島逆行：基隆＝臺北＝臺中＝屏東＝花蓮＝臺東＝宜蘭＝臺北。
3. 車種資訊：位於運行線別下，顯示所選取之車次資訊，車次之選取為游標於運行圖框下，點選所要選取之車次，則該車次之運行線段將顯示一虛線框，表示已被選取之站間運行線段。
4. 運行圖框：位於程式畫面下方，又可分為下列各部分：
  - (1) 運行圖上方之尺規，可顯一天之時間刻度，最小單位為 1 分鐘，但可區分出 0.5 之時間範圍。
  - (2) 左方之站點名稱，依站點的大小及距離，而站點名稱可顯示不同之大小及站間距離。
  - (3) 運行圖框，為顯示讀取之各車次運行圖形，各車次之圖形可依線別，時間範圍，站點範圍及顯示比例，而顯示不同區塊範圍之運行圖。
  - (4) 游標移動資相關資訊，依游標移動之位置，可顯示游標位置及游標所在站點之股道圖。
  - (5) 調整運行圖比例。兩軸可獨立調整，最大為 6 倍。

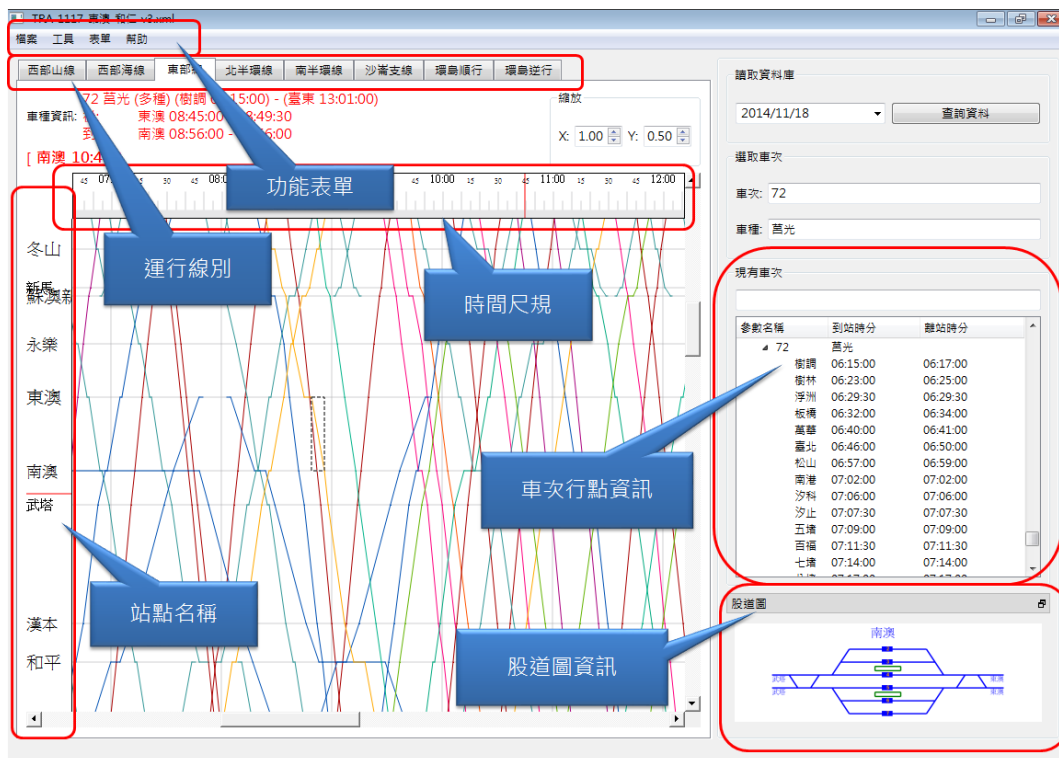


圖 E-4. 畫面各部分說明(1)

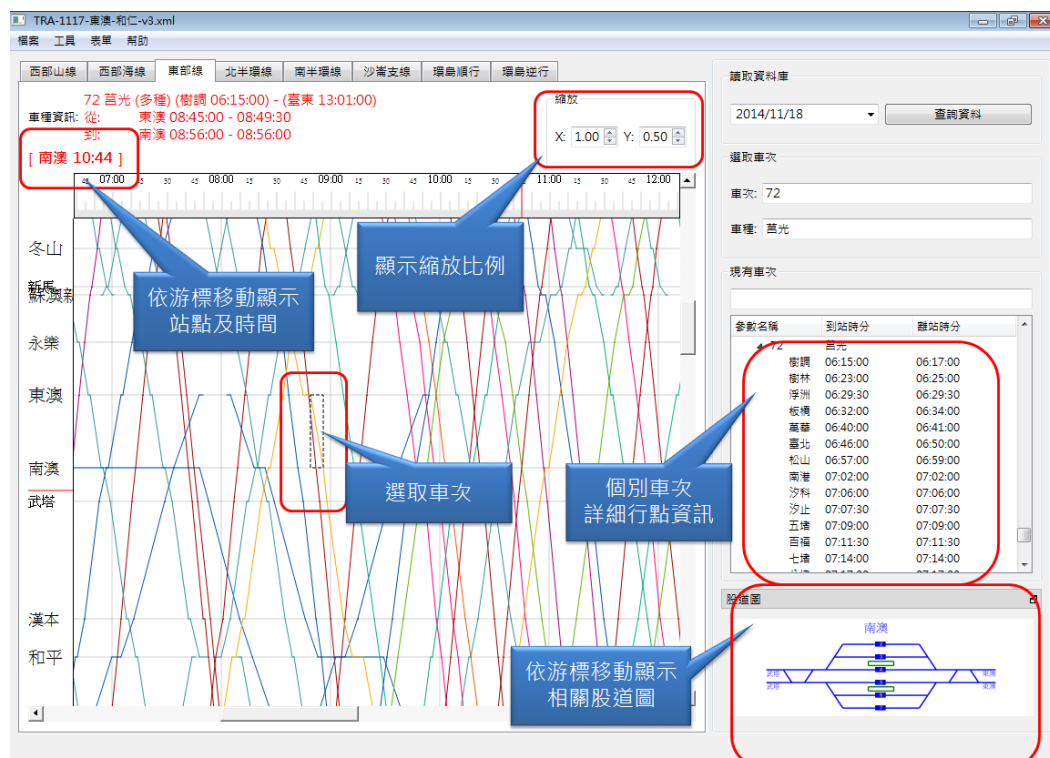


圖 E-5. 畫面各部分說明(2)

5. 各車次資訊：位於程式畫面右邊上方之現有車次，可顯示各車次之各站行點資訊，包含站名及到離站時間等。
6. 股道資訊：位於程式畫面右邊下方則顯示游標所在位置車站之股道佈設圖，之現有車次。若不需隨游標移動而顯示該位置車站之股道圖，則可按滑鼠右鍵跳出快捷鍵畫面，在 "股道圖自動讀取" 選項上，切換是否自動讀取股道圖 (如圖 E-6)。點選股道佈設圖框上緣，可將股道佈設圖在原有圖框或獨立視窗切換 (如圖 E-7)。
7. 設定車次顏色：可獨立設定各服務車種之顏色，如圖 E-8 所示。
8. 檔案儲存：檔案可存成臺鐵格式檔 (TRA) 及班表求解需求檔 (RQT)，如附圖 E-9 所示。選擇格式後再輸入所要存入之檔名即可，如圖 E-10 所示。

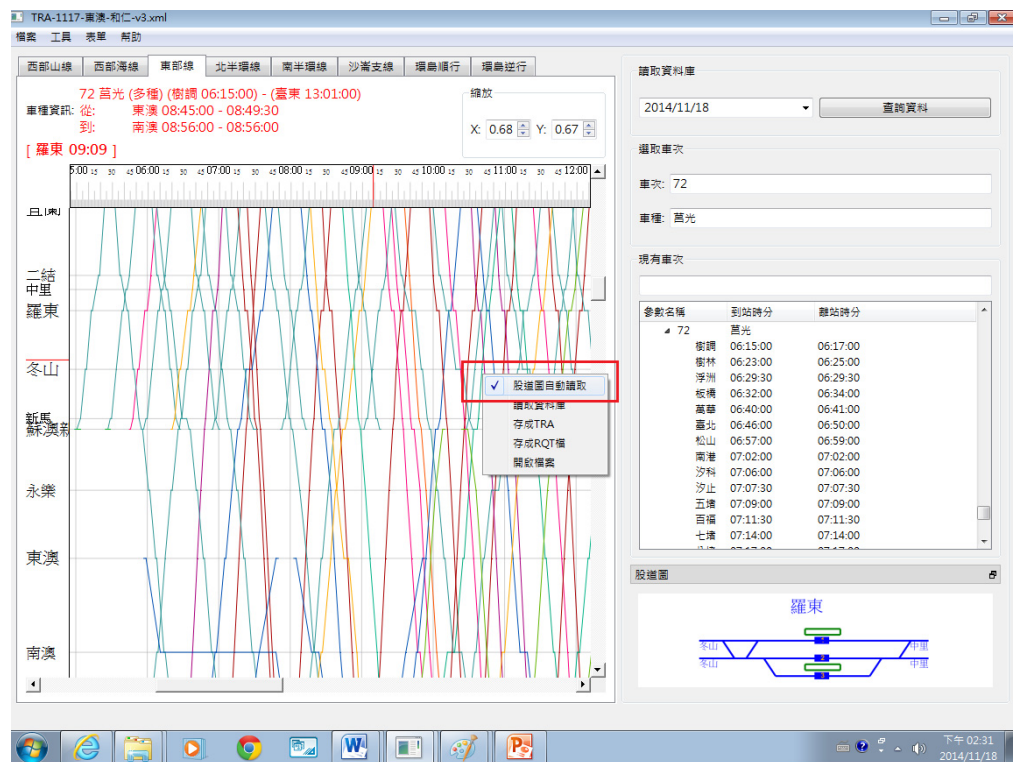


圖 E-6. 設定自動讀取股道佈設圖

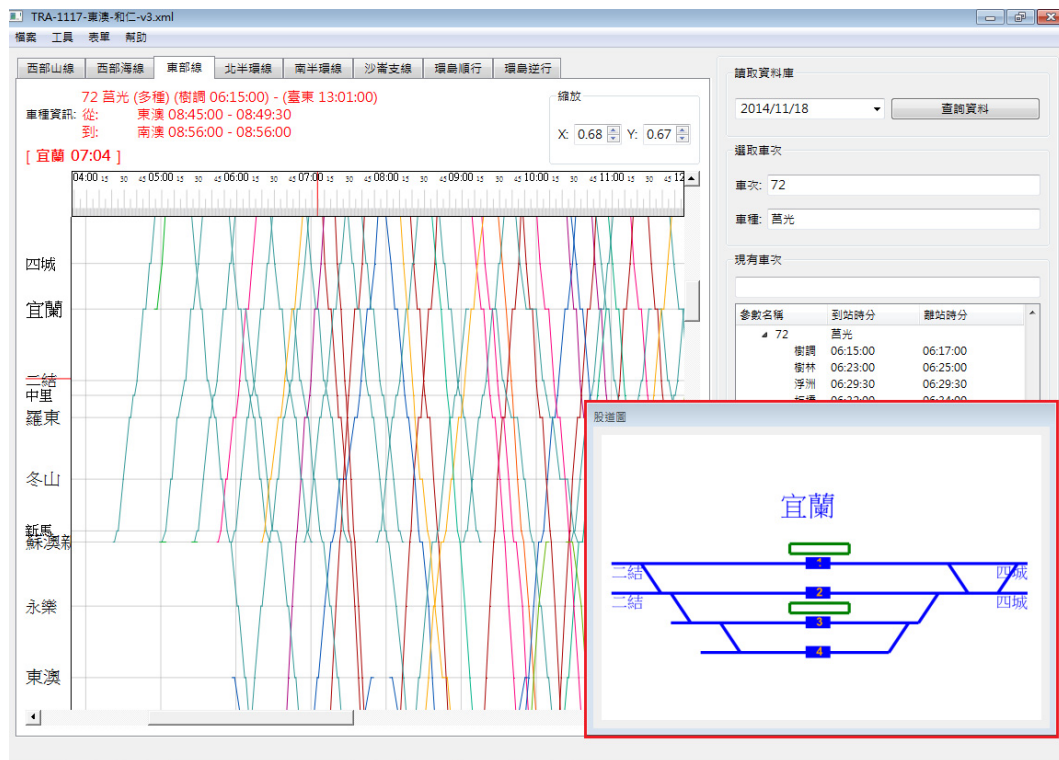


圖 E-7. 設定自動讀取股道圖

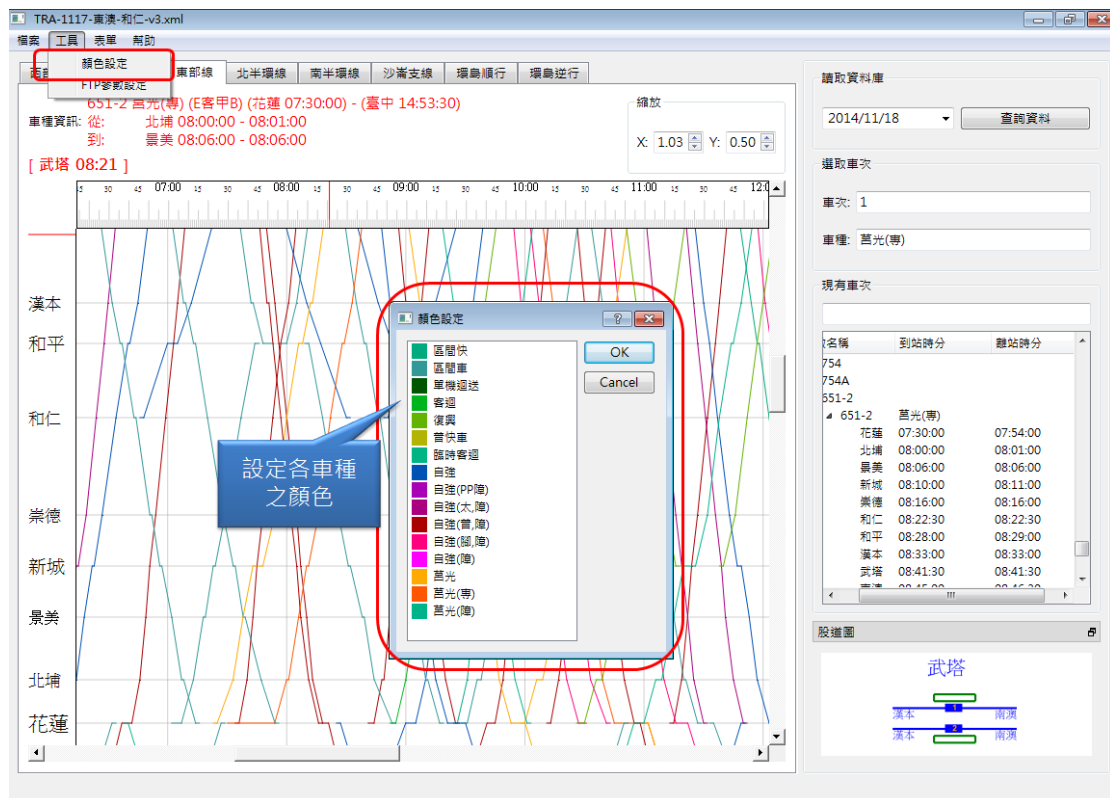


圖 E-8. 設定車種顏色



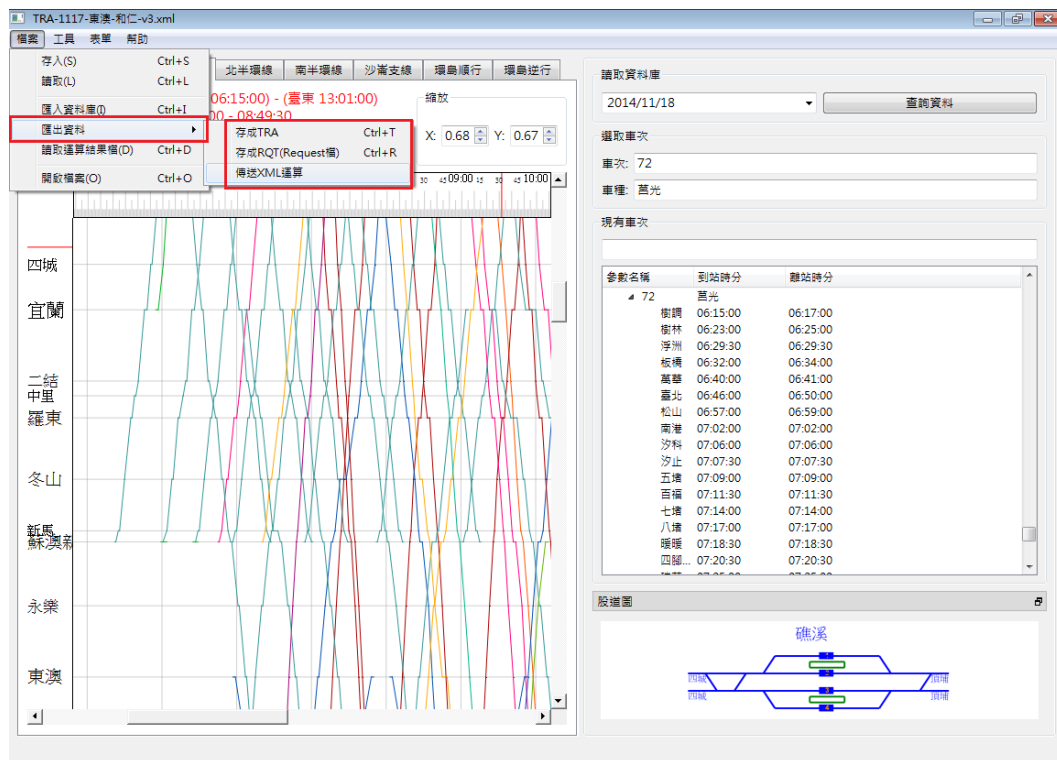


圖 E-9. 匯出班表求解需求檔

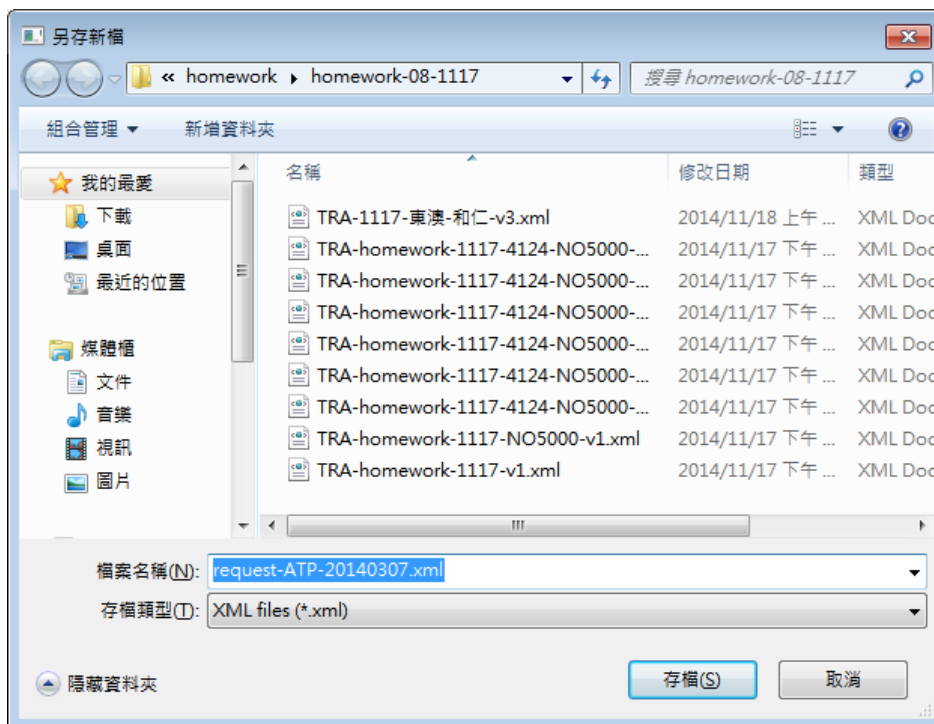


圖 E-10. 輸入存檔檔案名稱

### 三、編輯臨時列車求解需求

使用目的：供使用者依其需求編輯臨時列車之求解需求，以供後續求解之用。其操作步驟說明如下。

1. 開啟運行圖程式，使用滑鼠移至希望複製之車次上，點一下即顯示如圖 E-11 之畫面，再於功能表上選擇 "/表單/新增車次"，出現如圖 E-12 之選單。

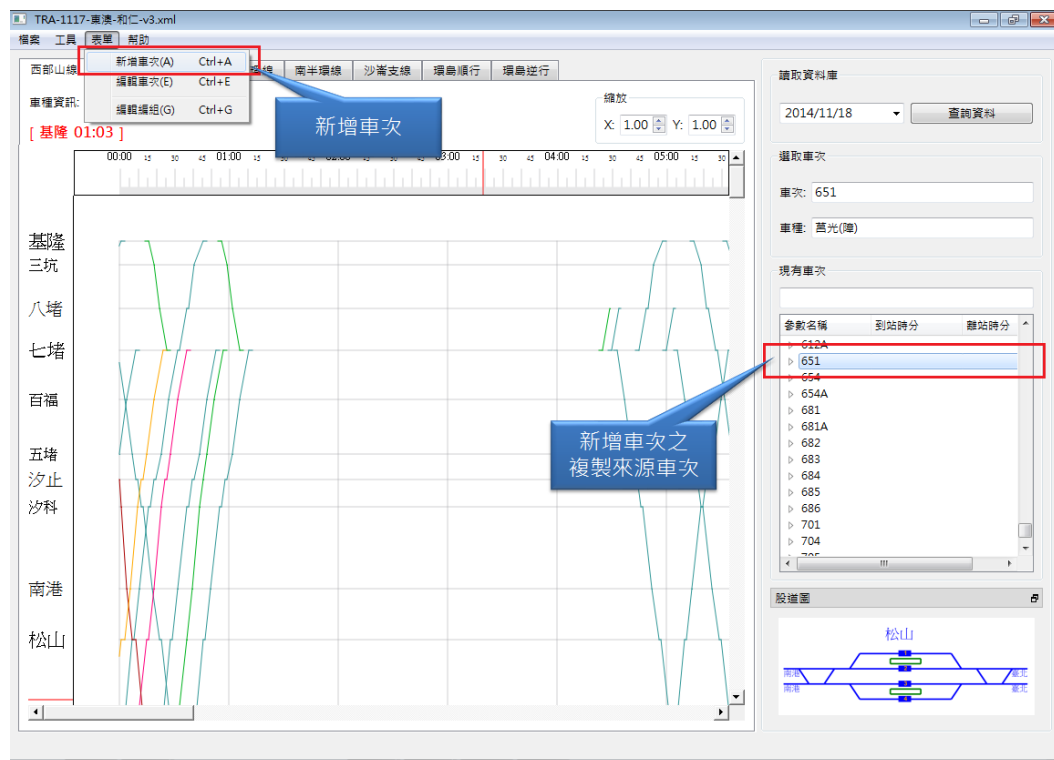


圖 E-11. 編輯臨時列車畫面



**新增車次**

	編碼	車站	最低停留時間	到站任務
1	1632	臺東	2.00	停車載客
2	1631	山里	0.00	通過可待避
3	1630	鹿野	2.00	停車載客
4	1629	瑞源	5.00	停車載客
5	1628	瑞和	0.00	通過可待避
6	1627	月美	0.00	通過可待避
7	1626	關山	7.00	停車載客
8	1625	海端	0.00	通過可待避
9	1624	池上	2.00	停車載客
10	1623	富里	3.00	停車載客
11	1622	東竹	0.00	通過可待避
12	1621	東里	0.00	通過可待避
13	1619	玉里	5.00	停車載客
14	1617	三民	0.00	通過可待避

0.00 編組ID: 651-2

**車次資訊**

車次: 651-2 車種: 自強

起迄站

起站: 臺東 迄站: 彰化

**車站行點設定**

車站: 臺東 ☒ 出發 ☐ 抵達 00:00:00

**牽引種別**

新增 刪除

	牽引種別	起站	迄站
1	預設值	臺東	彰化

OK Cancel

圖 E-12. 新增車次畫面

2. 編輯新增車次之資訊，包含起迄站資訊，發車時間，牽引種別等。可供設定之項目說明如下。

- (1) 車次：臨時列車之車次編號。
- (2) 行程：臨時列車之起迄站。
- (3) 理想到離時分：使用者可選行程中之一站設定理想之到站或離站時分。程式依此自動推算所有其他各站之理想到離站時分。
- (4) 編輯畫面如圖 E-13 所示。
- (5) 編輯完成後按「OK」即將新增之車次存入程式中並顯示於運行圖，如圖 E-14 所示。

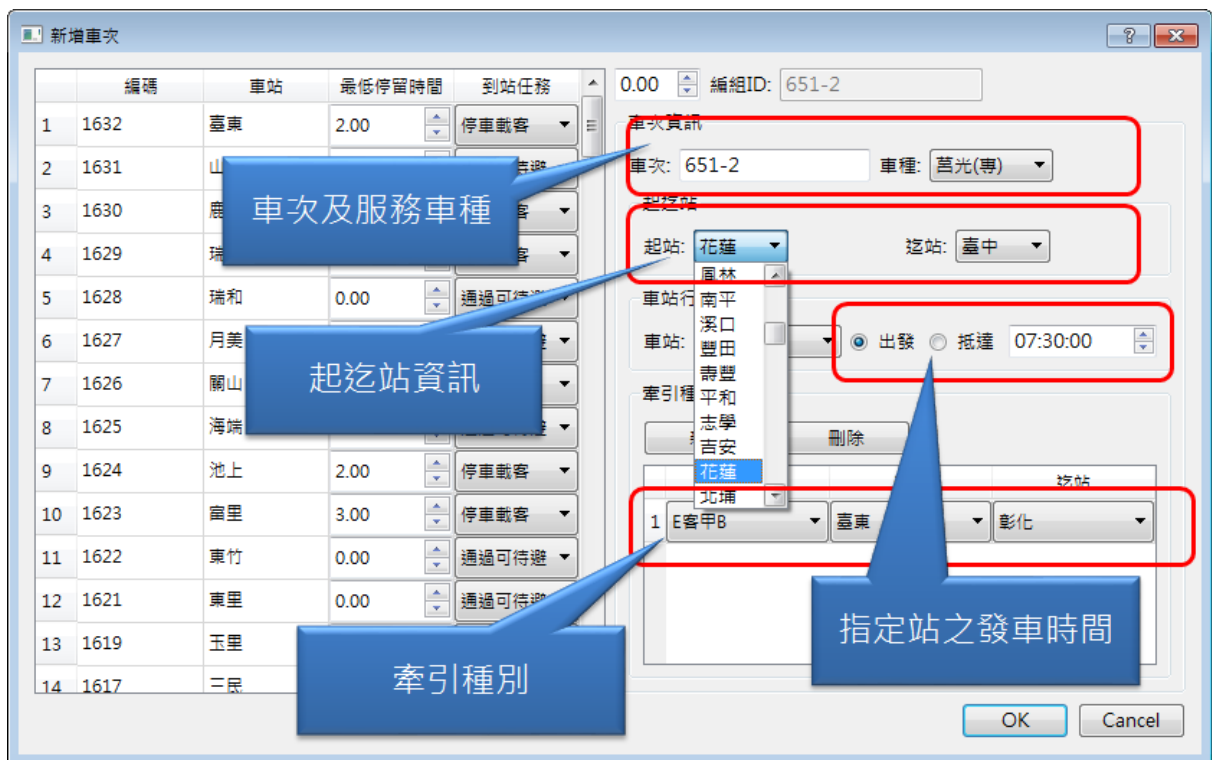


圖 E-13. 編輯臨時列車畫面

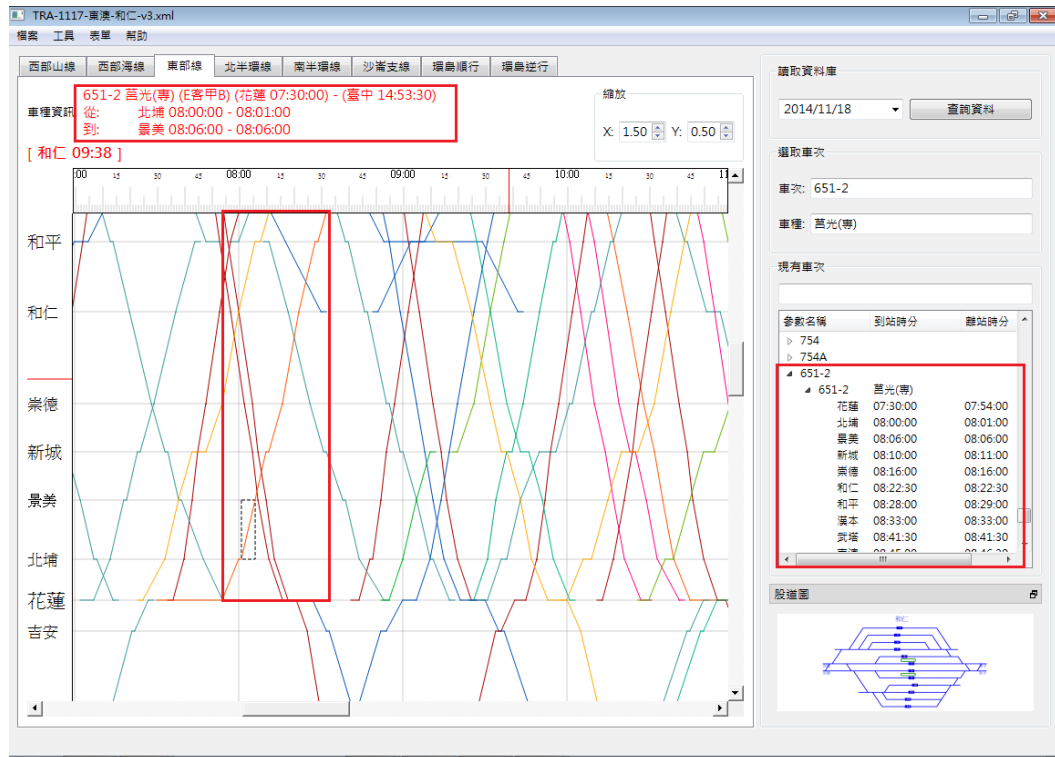


圖 E-14. 完成編輯，臨時列車顯示於運行圖中

3. 編輯臨時列車廊帶資訊及相關參數設定，參閱圖 E-15 至圖 E-18。

- (1) 選擇表單：選擇功能表，「表單/編輯車次」如圖 E-15 所示。
- (2) 編輯臨時列車到離站時分：可修改各站到站及離站時間，修改任一站時到離站時間，其他各站則依據內建之基準運轉時分表同步修正。
- (3) 編輯臨時列車到站任務：可分 "停車載客"，"通過"，"停車待避" 及 "通過可待避" 等 4 項。
- (4) 編輯臨時列車牽引種別：各站之牽引種別可另行指定。
- (5) 編輯臨時列車廊帶：運行圖部分會出現臨時列車之廊帶，以及跳出一參數輸入視窗，可供輸入需運算之所有參數。
- (6) 編輯臨時列車廊帶到站時間之運算權重參數(Weight)。
- (7) 編輯臨時列車廊帶到站時間正負調整值之運算權重(adjust\_weight)。
- (8) 編輯臨時列車廊帶到站時間之正調整值(adjust\_plus)。
- (9) 編輯臨時列車廊帶到站時間之負調整值(adjust\_minus)。
- (10) 編輯臨時列車廊帶到站時間之最大調整值(maxOffset)。
- (11) 編輯臨時列車廊帶到站時間之運算目標值(targetTime)。
- (12) 編輯臨時列車廊帶離站時間之運算權重(weight)。
- (13) 編輯臨時列車廊帶離站時間正負調整值之運算權重(adjust\_weight)。
- (14) 編輯臨時列車廊帶離站時間之正調整值(adjust\_plus)。
- (15) 編輯臨時列車廊帶離站時間之負調整值(adjust\_minus)。
- (16) 編輯臨時列車廊帶離站時間之最大調整值(maxOffset)。
- (17) 編輯臨時列車廊帶離站時間之運算目標值(targetTime)。
- (18) 編輯臨時列車廊帶未能達到理想股道佔用時間時之運算權重(timeWeight)。
- (19) 編輯臨時列車廊帶股道偏好之權重(weight)。
- (20) 編輯臨時列車廊帶股道第一段寬裕量之權重(weight1)。
- (21) 編輯臨時列車廊帶股道第二段寬裕量之權重(weight2)。
- (22) 編輯臨時列車廊帶股道容許的第一段之寬裕量(slack1)。
- (23) 編輯臨時列車廊帶股道容許的第二段之寬裕量(slack2)。
- (24) 編輯臨時列車廊帶運算之目標停站時間 (分鐘) (MinTime)。
- (25) 編輯臨時列車廊帶運算之理想停站時間 (分鐘) (IdealMinTime)。

4. 按 "OK" 即可儲存所有運算之廊帶參數。

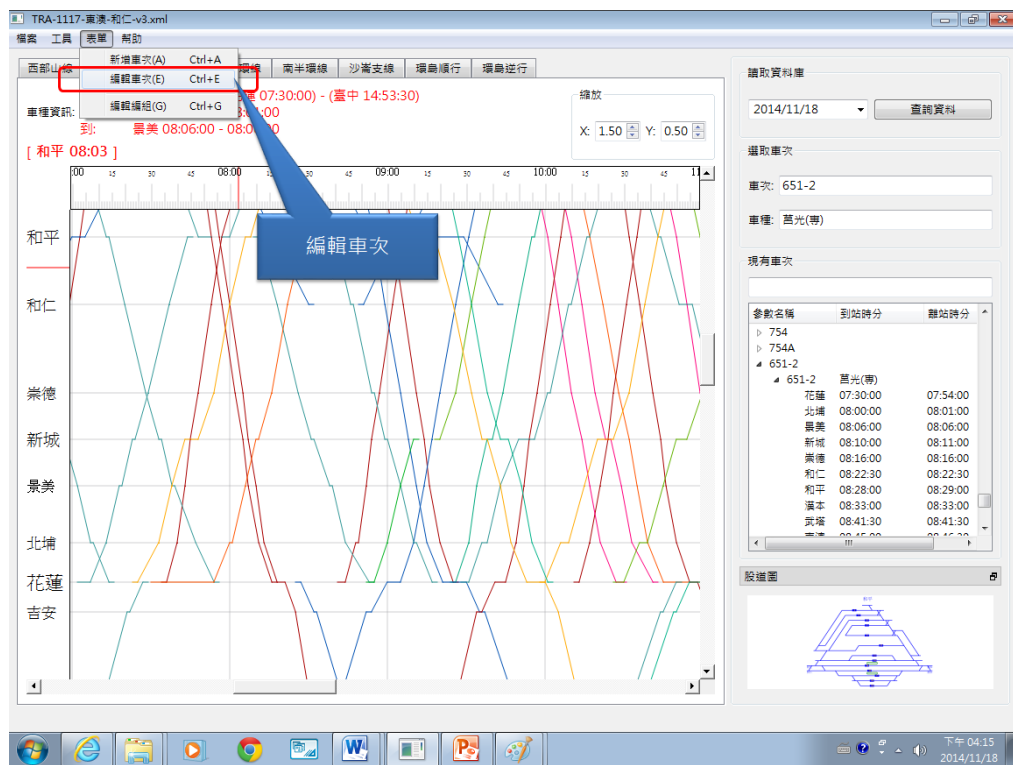


圖 E-15. 編輯車次表單

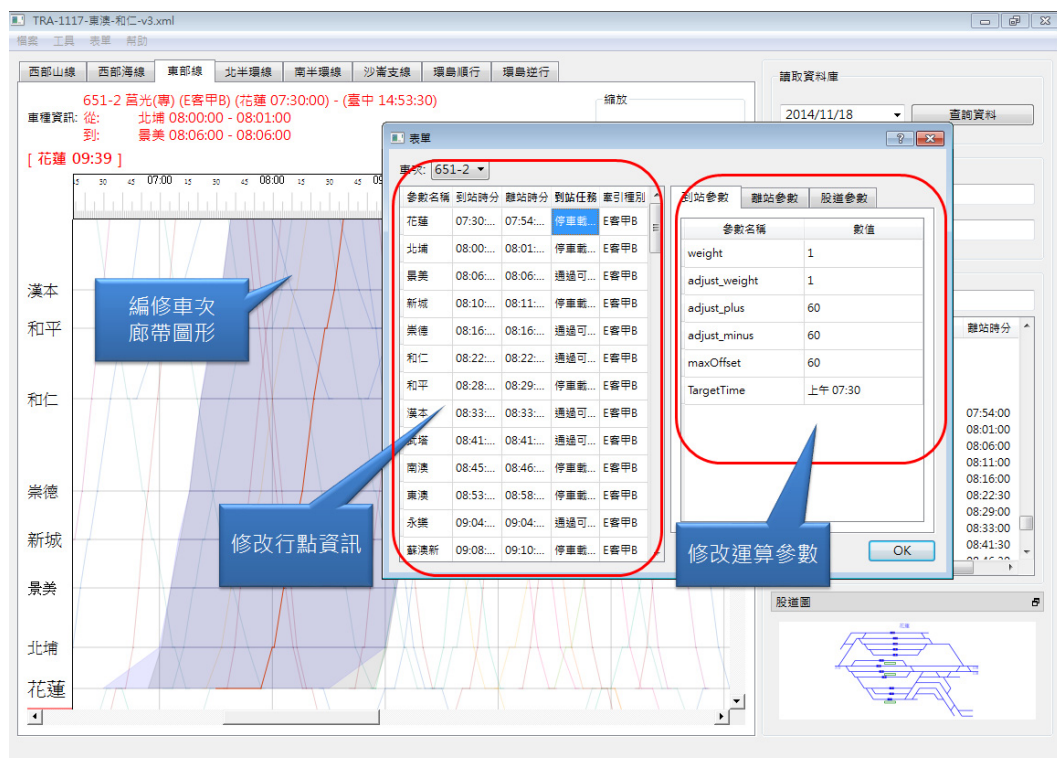


圖 E-16. 編輯臨時列車廊帶

車次: 651-2

參數名稱	到站時分	離站時分	到站任務	車引種別
花蓮	07:30:...	07:54:...	停車載...	E客甲B
北埔	08:00:...	08:01:...	停車載...	E客甲B
景美	08:06:...	08:06:...	通過可...	E客甲B
新城	08:10:...	08:11:...	停車載...	E客甲B
崇德	08:16:...	08:16:...	通過可...	E客甲B
和仁	08:22:...	08:22:...	通過可...	E客甲B
和平	08:28:...	08:29:...	停車載...	E客甲B
漢本	08:33:...	08:33:...	通過可...	E客甲B
武塔	08:41:...	08:41:...	通過可...	E客甲B
南澳	08:45:...	08:46:...	停車載...	E客甲B
東澳	08:53:...	08:58:...	停車載...	E客甲B
永樂	09:04:...	09:04:...	通過可...	E客甲B
蘇澳新	09:08:...	09:10:...	停車載...	E客甲B

到站參數 離站參數 股道參數

參數名稱	數值
weight	1
adjust_weight	1
adjust_plus	60
adjust_minus	60
maxOffset	60
TargetTime	上午 07:54

OK

圖 E-17. 編輯臨時列車廊帶行點相關參數

車次: 651-2

參數名稱	到站時分	離站時分	到站任務	車引種別
花蓮	07:30:...	07:54:...	停車載...	E客甲B
北埔	08:00:...	08:01:...	停車載...	E客甲B
景美	08:06:...	08:06:...	通過可...	E客甲B
新城	08:10:...	08:11:...	停車載...	E客甲B
崇德	08:16:...	08:16:...	通過可...	E客甲B
和仁	08:22:...	08:22:...	通過可...	E客甲B
和平	08:28:...	08:29:...	停車載...	E客甲B
漢本	08:33:...	08:33:...	通過可...	E客甲B
武塔	08:41:...	08:41:...	通過可...	E客甲B
南澳	08:45:...	08:46:...	停車載...	E客甲B
東澳	08:53:...	08:58:...	停車載...	E客甲B
永樂	09:04:...	09:04:...	通過可...	E客甲B
蘇澳新	09:08:...	09:10:...	停車載...	E客甲B

到站參數 離站參數 股道參數

參數名稱	數值
weight	1
adjust_weight	1
adjust_plus	60
adjust_minus	60
maxOffset	60
TargetTime	上午 08:22

OK

和仁站之到站參數

圖 E-18. 編輯臨時列車廊帶到站相關參數

車次: 651-2

站名	到站時分	離站時分	到站任務	車引種別
花蓮	07:30:...	07:54:...	停車載...	E客甲B
北埔	08:00:...	08:01:...	停車載...	E客甲B
景美	08:06:...	08:06:...	通過可...	E客甲B
新城	08:10:...	08:11:...	停車載...	E客甲B
崇德	08:16:...	08:16:...	通過可...	E客甲B
和仁	08:22:...	08:22:...	通過可...	E客甲B
和平	08:28:...	08:29:...	停車載...	E客甲B
漢本	08:33:...	08:33:...	通過可...	E客甲B
武塔	08:41:...	08:41:...	通過可...	E客甲B
南澳	08:45:...	08:46:...	停車載...	E客甲B
東澳	08:53:...	08:58:...	停車載...	E客甲B
永樂	09:04:...	09:04:...	通過可...	E客甲B
蘇澳新	09:08:...	09:10:...	停車載...	E客甲B

到站參數 離站參數 股道參數

參數名稱	數值
weight	1
adjust_weight	1
adjust_plus	60
adjust_minus	60
maxOffset	60
TargetTime	上午 07:54

花蓮站之離站參數

OK

圖 E-19. 編輯臨時列車廊帶離站相關參數

車次: 651-2

站名	到站時分	離站時分	到站任務	車引種別
花蓮	07:30:...	07:54:...	停車載...	E客甲B
北埔	08:00:...	08:01:...	停車載...	E客甲B
景美	08:06:...	08:06:...	通過可...	E客甲B
新城	08:10:...	08:11:...	停車載...	E客甲B
崇德	08:16:...	08:16:...	通過可...	E客甲B
和仁	08:22:...	08:22:...	通過可...	E客甲B
和平	08:28:...	08:29:...	停車載...	E客甲B
漢本	08:33:...	08:33:...	通過可...	E客甲B
武塔	08:41:...	08:41:...	通過可...	E客甲B
南澳	08:45:...	08:46:...	停車載...	E客甲B
東澳	08:53:...	08:58:...	停車載...	E客甲B
永樂	09:04:...	09:04:...	通過可...	E客甲B
蘇澳新	09:08:...	09:10:...	停車載...	E客甲B

到站參數 離站參數 股道參數

參數名稱	數值
timeWeight	100
weight	1
weight1	1
weight2	1
slack1	0.4
slack2	9999
MinTime	1
IdealMinTime	1

新城站之股道參數

OK

圖 E-20. 編輯臨時列車廊帶股道相關參數

## 四、求解臨時列車行點

使用目的：依使用者需求於背景班表中插入臨時列車。其操作步驟說明如下。

1. 傳送運算班表至後端求解核心之前，需先設定連線位置如圖 E-21 所示。
2. 讀取運算結果，如圖 D.22 所示。
3. 檢視運算結果，如圖 D.23 所示。

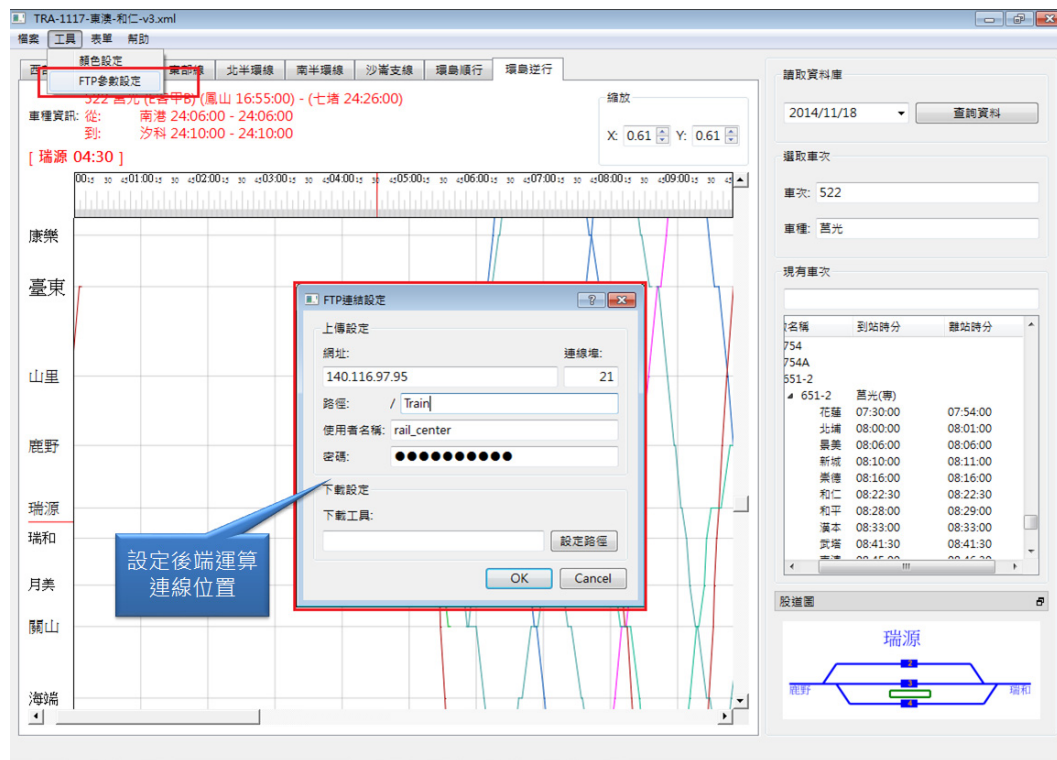


圖 E-21. 後端求解核心連線設定



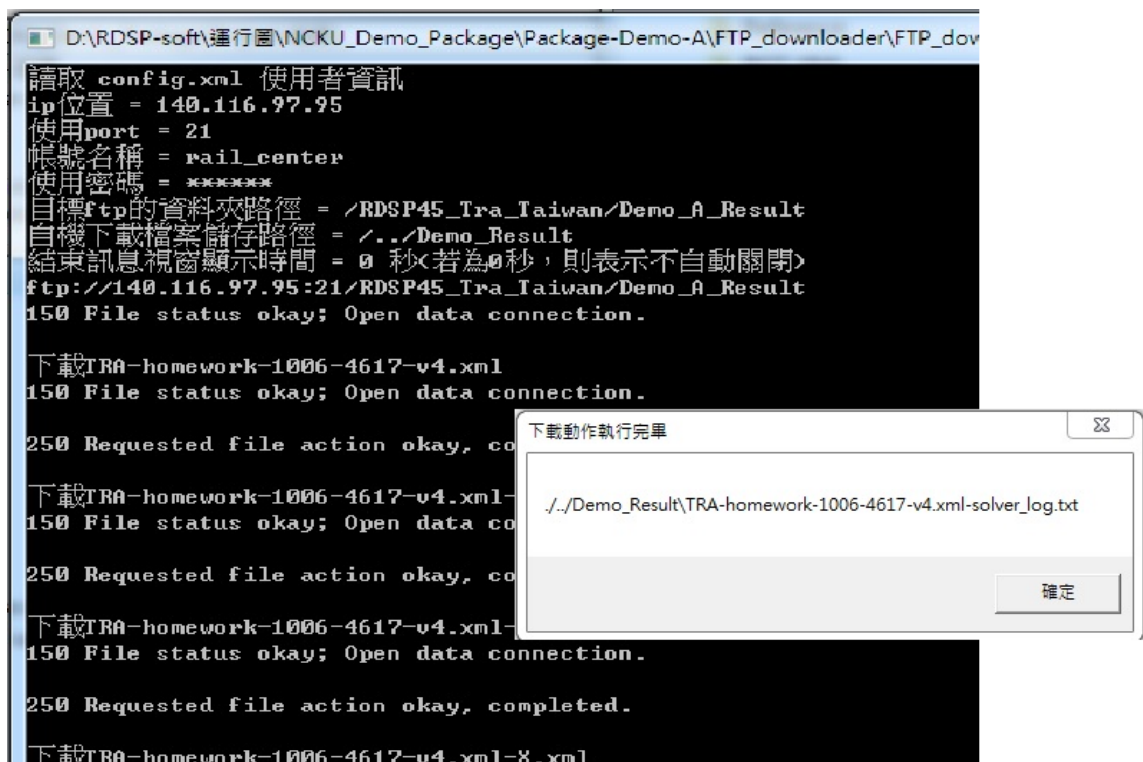


圖 E-22. 讀取求解核心運算結果

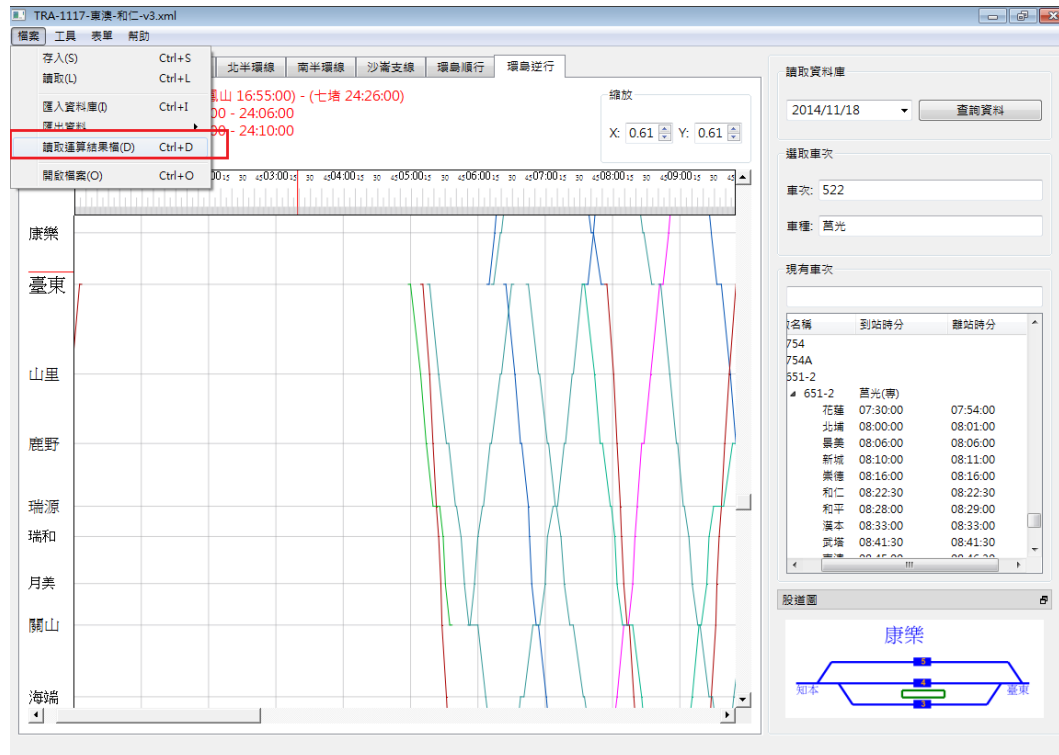


圖 E-23. 檢視求解核心運算結果

## 五、軟體設定檔說明

本軟體使用了數個檔案以設定各種參數，說明如下。

### 1. 站等資訊檔 (StationCode.csv)

本檔案之目的在定義各車站之名稱、站等及編碼，其內容如下。各欄位之意義依序為：編碼,車站名,CTC 車站編碼,站等,站等全名

10000,基隆,1001,1,一等站  
10013,三坑,1029,4,簡易站  
10060,七堵,1003,1,一等站  
10087,百福,1030,4,簡易站  
10117,五堵,1004,4,簡易站  
10131,汐止,1005,2,二等站  
10146,汐科,1031,4,簡易站  
10191,南港,1006,2,二等站  
10219,松山,1007,1,一等站  
10283,臺北,1008,0,特等站  
10311,萬華,1009,1,一等站  
10355,板橋,1011,1,一等站  
10380,浮洲,1032,4,簡易站  
10409,樹林,1012,1,一等站

### 2. 路線設定檔 ( GraphDef.txt)

本檔案之目的在設定各路線對應之車站列表及其他繪製運行圖設定。檔案中每一筆設定都由一個路線名稱、車種數量、各車種名稱及其對應的繪圖類型、路線上的車站總數、以及沿途所有的車站名稱所組成。以下為設定範例：

#標籤,車站數量,車站名稱 1,車站名稱 2

西部山線,102,基隆,三坑,八堵,七堵,百福,五堵,汐止,汐科,南港,松山,臺北,萬華,板橋,浮洲,樹林,山佳,鶯歌,桃園,內壢,中壢,埔心,楊梅,富岡,北湖,湖口,新豐,竹北,北新竹,新竹,香山,崎頂,竹南,造橋,豐富,苗栗,南勢,銅鑼,三義,泰安,后里,豐原,潭子,太原,臺中,大慶,烏日,新烏日,成功,大肚溪,彰化,花壇,大村,員林,永靖,社頭,田中,二水,林內,石榴,斗六,斗南,石龜,大林,民雄,嘉北,嘉義,水上,南靖,後壁,新營,柳營,林鳳營,隆田,拔林,善化,南科,新市,永康,大橋,臺南,保安,仁德,中洲,大湖,路竹,岡山,橋頭,楠梓,新左營,左營,鼓山,高雄,鳳山,後庄,九曲堂,六塊厝,屏東,歸來,麟洛,西勢,竹田,潮州

### 3. 站間距離檔 (StationDistance.csv)

本檔案之目的在設定各車站及其他車站之距離，以繪製運行圖。其範例如圖 E-24 所示。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1		基隆	三坑	七堵	百福	五堵	汐止	汐科	南港	松山	臺北	萬華
2	基隆		0	1.3	6	8.7	11.7	13.1	14.6	19.1	21.9	28.3
3	三坑	1.3		0	4.7	7.4	10.4	11.8	13.3	17.8	20.6	27
4	七堵	6	4.7		0	2.7	5.7	7.1	8.6	13.1	15.9	22.3
5	百福	8.7	7.4	2.7		0	3	4.4	5.9	10.4	13.2	19.6
6	五堵	11.7	10.4	5.7	3		0	1.4	2.9	7.4	10.2	16.6
7	汐止	13.1	11.8	7.1	4.4	1.4		0	1.5	6	8.8	15.2
8	汐科	14.6	13.3	8.6	5.9	2.9	1.5		0	4.5	7.3	13.7
9	南港	19.1	17.8	13.1	10.4	7.4	6	4.5		0	2.8	9.2
10	松山	21.9	20.6	15.9	13.2	10.2	8.8	7.3	2.8		0	6.4
11	臺北	28.3	27	22.3	19.6	16.6	15.2	13.7	9.2	6.4		0
12	萬華	31.1	29.8	25.1	22.4	19.4	18	16.5	12	9.2	2.8	
13	板橋	35.5	34.2	29.5	26.8	23.8	22.4	20.9	16.4	13.6	7.2	
14	浮洲	38	36.7	32	29.3	26.3	24.9	23.4	18.9	16.1	9.7	
15	樹林	40.9	39.6	34.9	32.2	29.2	27.8	26.3	21.8	19	12.6	
16	樹頭	42.1	40.8	36.1	33.4	30.4	29	27.5	23	20.2	13.8	
17	山佳	44.8	43.5	38.8	36.1	33.1	31.7	30.2	25.7	22.9	16.5	
18	鶯歌	49.2	47.9	43.2	40.5	37.5	36.1	34.6	30.1	27.3	20.9	
19	桃園	57.4	56.1	51.4	48.7	45.7	44.3	42.8	38.3	35.5	29.1	
20	內壢	63.3	62	57.3	54.6	51.6	50.2	48.7	44.2	41.4	35	
21	中壢	67.3	66	61.3	58.6	55.6	54.2	52.7	48.2	45.4	39	

圖 E-24. 站間距離檔設定範例

### 4. 站間基準運轉時分檔 (TravelingTime.csv)

本檔案之目的在設定站間基準運轉時分。檔案中各欄位依序為通通、停停、停通、通停、前一站、後一站、牽引種別。設定範例如下。

TimePP,TimeSS,TimeSP,TimePS,FromST2,EndST2,TractivePower2

2.5,3.5,3,3,南港,汐科,TEMU

2.5,3.5,3,3,南港,松山,TEMU

2,3,2.5,2.5,松山,南港,TEMU

4.5,5.5,5,5,汐科,南港,客甲 B

4,5,4.5,4.5,南港,汐科,客甲 B

3,4,3.5,3.5,南港,松山,客甲 B

2.5,3.5,3,3,松山,南港,客甲 B

4,5,4.5,4.5,汐科,南港,貨乙 B

4,5,4.5,4.5,南港,汐科,貨乙 B

4,5,4.5,4.5,南港,松山,貨乙 B

#### 5. 牽引種別代碼設定檔 (Locomotive.csv)

本檔案之目的在設定各種牽引種別之代碼。設定範例如下。

ID,TractoveName

0,DMU

1,DRC

2,E

3,EMU

20,EMU700

4,E 客丙 A

5,E 客甲 B

6,E 特客甲 A

21,E 特客甲 B

7,E 貨乙

8,E 貨乙 B

9,PP

10,R

11,TEMU

12,多種

13,客乙 A

14,客甲 A

15,客甲 B

16,柴(特)

17,貨乙 B

18,通勤電車

19,預設值

#### 6. 服務車種代碼設定檔 (TrainClass.csv)

本檔案之目的在設定服務車種之代碼。設定範例如下。

ID,Name,Remark

1,自強,NULL

10,自強(商專),NULL  
11,自強(專),NULL  
12,自強(普障),NULL  
13,自強(郵),NULL  
14,自強(腳障),NULL  
15,自強(障),NULL  
16,莒光(專),NULL  
17,莒光(郵),NULL  
18,莒光(障),NULL  
19,復興(專),NULL  
2,莒光,NULL  
20,復興(郵),NULL  
21,客迴,NULL  
22,單機迴送,NULL  
23,電車(專),NULL  
24,電車(郵),NULL