國立交通大學

運輸與物流管理學系

博 士 論 文

No.017

混合限制規劃法及數學規劃法求解
大眾捷運系統司機員排班與輪值問題

A Hybrid Approach with Constraint Programming and Mathematical Programming Models for the Driver Scheduling and Rostering Problems of Mass Rapid Transit Systems

研 究 生：李 俊 德

指導教授：韓 復 華 教授

中 華 民 國 一 〇 五 年 二 月

混合限制規劃法及數學規劃法求解大眾捷運系統司機員排班與輪值問題

A Hybrid Approach with Constraint Programming and Mathematical Programming Models for the Driver Scheduling and Rostering Problems of Mass Rapid Transit Systems

研 究 生：李俊德　　Student ： Chun-Te Li

指導教授：韓復華教授　　Advisors： Anthony Fu-Wha Han

國 立 交 通 大 學

運 輸 與 物 流 管 理 學 系

博 士 論 文

A Dissertation

Submitted to Department of Transportation and Logistics Management

College of Management

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Doctor of Philosophy

in

Traffic and Transportation

February 2016

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 一〇五 年 二 月

混合限制規劃法及數學規劃法求解大眾捷運系統司機員排班與輪值問題

研究生：李俊德　　指導教授：韓復華 教授

國立交通大學運輸與物流管理學系博士班

摘　　要

司機員排班與輪值問題為大眾捷運系統營運時所面臨的重要議題之一。前者主要為求解涵蓋每日所有列車任務的最小勤務成本組合；後者則為制定司機員輪值表，確保輪值期內每日所有勤務均有司機員值勤。排班及輪值結果除直接影響人事成本外，規劃的勤務及輪值表內容亦將決定是否有給與司機員足夠的休息時間，避免疲勞駕駛而影響營運安全及顧客對企業之滿意度。

於實務上，捷運司機員排班與輪值除需滿足法規與公司規定外，另亦需儘量滿足司機員期望。在考量複雜的硬、軟限制下，即難以單純運用最佳化方法來求解，故本研究即提出運用限制規劃法與數學規劃法來建構相關模式。於司機員排班問題上，本研究先建構勤務產生限制規劃模式，產生滿足所有排班硬限制之可行勤務，並利用集合涵蓋模式求解最小勤務成本組合。此外，並依據可行勤務規模運用不同求解程序來求解最佳解。輪值問題則利用兩階段程序求解無固定班別的非週期性司機員輪值表。首先於第一階段利用目標規劃排休模式求解具休假公平之排休表。第二階段則運用勤務指派限制規劃模式，以第一階段結果為基礎，將每日勤務指派給需工作的司機員，並同時考量早班勤務、極早班勤務與長短班勤務公平分配軟限制。

本研究依高雄捷運前鎮車班的實際資料與相關排班及輪值規定，求解 3 種車班表的最佳勤務組合與司機員月輪值表。於排班結果上，本研究除平日班表可節省 2 個勤務外，3 種班表的勤務均較手排結果可較集中於 8 小時班並使用較少的加班勤務。此外，依據本研究勤務結果，輪值表可節省 2 位司機員即可涵蓋每日所有任務。於輪值表的休假公平性上，相較於手排輪值表，本研究可同時滿足司機員總休假數及總例假休假數公平性。而在早班、極早班與長短班勤務公平性上，亦可藉由限制規劃法的搜尋策略與範圍限制式來達到均勻分配的結果。運用本研究提出之有效率且具彈性的排班與輪值模式，規劃人員可快速地測試多種不同方案，尋找最合適的勤務與輪值表結果做為決策依據。

關鍵詞：司機員排班問題、司機員輪值問題、大眾捷運系統、限制規劃法、數學規劃法、非週期性輪值

A Hybrid Approach with Constraint Programming and Mathematical Programming Models for the Driver Scheduling and Rostering Problems of Mass Rapid Transit Systems

Student：Chun-Te Li　　Advisor：Dr. Anthony Fu-Wha Han

Department of Transportation and Logistics Management National Chiao Tung University

ABSTRACT

The article addresses driver scheduling and rostering problems for mass rapid transit (MRT) systems. The driver scheduling problem is to find a minimum cost of duties to cover all tasks for each timetable, and the driver rostering problem is to generate a roster to ensure each duty in a rostering horizon can be assigned to a driver. These problems are very important for MRT systems because of the results will affect labor costs and operational safety such as driver fatigue.

In real-world operations, the driver scheduling and rostering problems have to satisfy complex hard and soft rules. Such rules are complicated and difficult to follow through optimization methods alone. In this article, we propose a hybrid approach with constraint programming (CP) and mathematical programming (MP) models to solve these problems. The approach of the driver scheduling problem involves a CP model for duty generation, a set covering problem (SCP) model for duty optimization, and alternative ways to identify the final solution in different situation. For driver rostering problem, a two-phase heuristic approach is proposed to generate an acyclic roster. The first phase uses a goal programming (GP) model to solve the off-day scheduling. And the second phase applies a CP model to assign duties to drivers.

We applied our models to solve a case problem for the KRTC. Case application results using real-work data showed that our scheduling approach is capable of reducing the number of duties from 29 to 27 for the weekday timetable, and duties for each timetable can be more centralized in 8 hour shifts and less overtime shifts. According to the duties, we can save two drivers and our rostering approach can generate more equitable rosters such as the number of weekend-off, very early shifts etc. Given the efficient and flexible models, the manager can test different situations quickly to find more suitable duties and a roster.

Keywords: Driver Scheduling Problem, Driver Rostering Problem, Mass Rapid Transit, Constraint Programming, Mathematical Programming, Acyclic Roster

誌　　謝

時光飛逝，漫長的博士賽程終於在加時賽最後一刻射門得分，ゴ一～～ル。首先要感謝恩師　韓復華教授多年來的悉心指導與教誨，恩師嚴謹的治學態度及清晰的研究思路，讓學生受益良多。除自身的研究外，也感謝恩師給予學生許多機會能與實務接軌並接觸不同領域，擴展學生視野。在此，謹致上最誠摯的敬意與謝忱。

感謝論文口試委員中央大學陳惠國教授、中華大學蘇昭銘教授、本校卓訓榮教授、姚銘忠教授及張宗勝教授，於百忙中撥冗並於口試期間詳盡審查，賜予諸多寶貴意見及指正，使論文更臻完善。另外，於資料取得上，更要特別感謝高雄捷運林處長、洪先生及傅先生的幫忙並容忍學生多次打擾，使論文能順利完成。

長久的交大生活即將畫下句點，其中酸甜實在難以言喻，在此感謝研究室歷年來的眾多夥伴，陳董、威哥、小朱、學勛、貝哥、小刀、昆諭、淑詩、俐諭、裕智、育廷、阿春、昱傑、智偉、彥臻、仲豪、Pony、沂茹、小胖、忠傑、鴻祥、婷尹、少能、怡文、程鴻、致傑、妮妮...等，你們的陪伴與打屁聊天是我研究室生活最珍貴的回憶；還有陪我度過無數夜晚但已不復存在的沙發跟睡袋。另外，要特別感謝戰友承正，放假一同跑展場跟”朋友們”聊天拍照，這醉翁之意不在酒的休閒真是博士生活最好的紓壓活動。

最後要感謝一路上陪伴的家人。感謝你們在我求學過程中的全力支持與鼓勵，讓我能堅持到最後順利取得博士學位。僅將此論文獻給我摯愛的家人。

博士論文的完成，要感謝的人太多，每位有交集的朋友，都點綴繽紛了我此生難得的博士旅程。謹將這份榮耀與喜悅，與你們分享！

李俊德　謹誌

105 年 2 月

目　　錄

中文摘要 i
英文摘要 ii
誌謝 iii
目錄 iv
表目錄 vi
圖目錄 viii
一、緒論 1
1.1 研究動機與目的 1
1.2 研究範圍與對象 1
1.3 研究方法與流程 2
二、文獻回顧 5
2.1 限制規劃法(Constraint Programming) 5
2.2 組員排班問題(Crew Scheduling Problem) 9
2.3 組員輪值問題(Crew Rostering Problem) 14
2.4 大眾捷運系統組員排班及輪值相關研究 16
三、捷運司機員排班與輪值問題描述及求解架構 19
3.1 捷運司機員排班問題描述 19
3.2 捷運司機員輪值問題描述 21
3.3 混合 CP 及 MP 之司機員排班及輪值問題求解架構 22
四、捷運司機員排班模式構建 27
4.1 捷運司機員排班資料及參數 27
4.2 勤務產生：限制規劃模式 29
4.2.1 CP 模式變數設計 29
4.2.2 CP 模式限制式設計 30
4.3 勤務組合最佳化模式及變數產生法 32
4.4 台北捷運司機員排班應用 38
4.4.1 台北捷運系統介紹 38
4.4.2 台北捷運司機員排班結果分析 41
五、捷運司機員輪值模式構建 43
5.1 捷運司機員輪值資料及參數 43
5.2 司機員排休表：目標規劃排休模式 45
5.3 司機員輪值表：勤務指派限制規劃模式 49
六、高雄捷運司機員個案測試與結果分析 53
6.1 高雄捷運系統介紹 53
6.2 司機員排班結果分析 56
6.2.1 司機員排班資料 56

6.2.2 排班結果分析與比較 59
6.3 司機員輪值結果分析 65
6.3.1 司機員輪值資料 65
6.3.2 輪值結果分析 66
七、結論與建議 71
參考文獻 73
附錄 80
簡歷 116

表　目　錄

表 2.1 不同大眾運輸系統之組員排班相關詞彙 9
表 2.2 捷運組員排班研究之考慮因素比較表 18
表 4.1 捷運司機員排班問題參數說明表 28
表 4.2 捷運列車任務資料範例 28
表 4.3 班別資料範例 29
表 5.1 捷運司機員輪值問題之參數說明表 43
表 5.2 各階段考量之輪值限制 45
表 6.1 兩換班點之空載時間 56
表 6.2 不同間隔時間及班別長度範圍之可行班別數 57
表 6.3 10 分鐘間隔班別之求解時間表 60
表 6.4 10 分鐘間隔方案之勤務數與勤務成本結果 60
表 6.5 10 分鐘間隔方案之勤務利用率結果 64
表 6.6 兩階段輪值模式求解時間(秒) 66
表 6.7 輪值表之休假公平性結果比較表 67
表 6.8 輪值表工作時數及穩定度比較表 70
表 A 1 10 分鐘間隔班別資料(I) 80
表 A 2 10 分鐘間隔班別資料(II) 81
表 A 3 15 分鐘間隔班別資料(I) 82
表 A 4 15 分鐘間隔班別資料(II) 83
表 A 5 30 分鐘間隔班別資料(I) 84
表 A 6 30 分鐘間隔班別資料(II) 85
表 A 7 15 分鐘間隔班別之求解時間表 86
表 A 8 30 分鐘間隔班別之求解時間表 87
表 A 9 15 分鐘與 30 分鐘不同方案的勤務數與勤務成本結果 88
表 A 10 10 月司機員輪值期之預排表(I) 94
表 A 11 10 月司機員輪值期之預排表(II) 95
表 A 12 11 月司機員輪值期之預排表(I) 96
表 A 13 11 月司機員輪值期之預排表(II) 97
表 A 14 10 分鐘間隔之 7~9 小時班別範圍平日勤務結果表 98
表 A 15 10 分鐘間隔之 8~9 小時班別範圍假前勤務結果表 99
表 A 16 10 分鐘間隔之 7.5~9 小時班別範圍假日勤務結果表 100
表 A 17 10 分鐘間隔班別之平日班表輪值勤務資料 101
表 A 18 10 分鐘間隔班別之假前班表輪值勤務資料 102
表 A 19 10 分鐘間隔班別之假日班表輪值勤務資料 103
表 A 20 10 月每日例假日型態表 104
表 A 21 10 月每日對應車班表 104

表 A 22 11 月每日例假日型態表 104
表 A 23 11 月每日對應車班表 104
表 A 24 10 月每日勤務需求表 104
表 A 25 11 月每日勤務需求表 104
表 A 26 10 月司機員總休假天數結果表 105
表 A 27 10 月司機員總例假休假天數結果表 105
表 A 28 11 月司機員總休假天數結果表 105
表 A 29 11 月司機員總例假休假天數結果表 106
表 A 30 無考慮軟限制之早班勤務指派次數結果表 106
表 A 31 有考慮軟限制之早班勤務指派次數結果表 106
表 A 32 無考慮軟限制之 5 點前勤務班別指派次數結果表 107
表 A 33 有考慮軟限制之 5 點前勤務班別指派次數結果表 107
表 A 34 無考慮軟限制之 5 點至 6 點間勤務班別指派次數結果表 107
表 A 35 有考慮軟限制之 5 點至 6 點間勤務班別指派次數結果表 108
表 A 36 無考慮軟限制之 7 小時勤務班別指派次數結果表 108
表 A 37 無考慮軟限制之 9 小時勤務班別指派次數結果表 108
表 A 38 有考慮軟限制之 7 小時勤務班別指派次數結果表 109
表 A 39 有考慮軟限制之 9 小時勤務班別指派次數結果表 109
表 A 40 10 月勤務指派結果 110
表 A 41 10 月司機員輪值班表(I) 111
表 A 42 10 月司機員輪值班表(II) 112
表 A 43 11 月勤務指派結果 113
表 A 44 11 月司機員輪值班表(I) 114
表 A 45 11 月司機員輪值班表(II) 115

圖　目　錄

圖 1.1 研究流程圖 4
圖 2.1 節線一致性(Arc consistent)範例 7
圖 2.2 Forward checking 求解 6-queens 問題範例 8
圖 2.3 捷運及航空組員完整工作內容示意圖 10
圖 3.1 捷運路線示意圖(含機廠) 19
圖 3.2 司機員勤務示意圖 20
圖 3.3 混合 CP 及 MP 之司機員管理問題求解架構圖 23
圖 3.4 週期性輪值求解範例 25
圖 3.5 非週期性兩階段模式輪值求解範例 25
圖 3.6 非週期性多階段模式輪值求解範例 25
圖 4.1 勤務產生程序虛擬碼 32
圖 4.2 產生所有可行勤務並求解 SCP 程序虛擬碼 33
圖 4.3 一般化變數產生法求解程序虛擬碼 34
圖 4.4 以 CP 為基礎之變數產生法求解程序虛擬碼 37
圖 4.5 台北捷運路線圖 39
圖 4.6 台北都會區捷運建設願景圖 40
圖 4.7 不同時間範圍限制之勤務總工作時間分布圖 42
圖 5.1 第一階段排休模式結果範例(含預排資料) 48
圖 6.1 高雄捷運紅橘線路網圖 54
圖 6.2 高雄市環狀輕軌路網圖 55
圖 6.3 前鎮車班換班點示意圖 56
圖 6.4 班別長度相同但班別開始時間不同之重複勤務 57
圖 6.5 班別開始時間相同但班別長度不同之重複勤務 58
圖 6.6 勤務之上下班閒置時間示意圖 58
圖 6.7 10 分鐘間隔班別之平日班表勤務使用班別長度分布圖 61
圖 6.8 10 分鐘間隔班別之假前班表勤務使用班別長度分布圖 62
圖 6.9 10 分鐘間隔班別之假日班表勤務使用班別長度分布圖 63
圖 6.10 10 月早班勤務指派天數分布圖 68
圖 6.11 11 月早班勤務指派天數分布圖 68
圖 6.12 極早班勤務指派天數分布圖 69
圖 6.13 極短班與極長班勤務指派天數分布圖 69
圖 A 1 15 分鐘間隔班別平日班表之班別長度結果分布圖 89
圖 A 2 15 分鐘間隔班別假前班表之班別長度結果分布圖 90
圖 A 3 15 分鐘間隔班別假日班表之班別長度結果分布圖 91
圖 A 4 30 分鐘間隔班別平日班表之班別長度結果分布圖 92
圖 A 5 30 分鐘間隔班別假前班表之班別長度結果分布圖 93

一、 緒論

1.1 研究動機與目的

組員排班(Crew scheduling problem)及組員輪值(Crew rostering problem)為一程序性問題，一般係在已知車班表或航班表後來進行規劃。其中，組員排班問題為求解涵蓋所有列車(航班)任務之最小勤務成本組合，並需滿足相關排班規定如連續執勤時間、休息、用餐、位置等限制。每一個勤務即代表組員一日的工作內容。組員輪值問題係將組員排班所求解出之勤務，指派給不同組員，制定出組員輪值表，且需滿足相關輪值規定如最大連續工作天數、休假天數、兩連續工作勤務間隔時間等。整個程序的目的為確保營運期間，每個列車(航班)任務均有組員值勤，為作業研究著名問題之一(Caprara *et al*. [12])。

對企業而言，組員排班與輪值的結果除直接影響營運人事成本外，規劃的每日勤務及輪值表內容亦將影響組員所提供之服務，進而影響營運安全，以及顧客對企業之滿意程度。如 Gander [44]於航空運輸疲勞管理研究中，即提出三個主要導致工作疲勞之原因，分別為在無充分睡眠後工作、違反生理時鐘之 24 小時營運企業的輪值，以及勤務中工作與休息時間的安排。上述因素均與組員排班與輪值規劃有關。因此，如何建構出良好的組員排班與輪值模式，使勤務及輪值表結果能給予組員足夠的休息時間，並儘量符合組員期望即相當重要。

組員排班與輪值問題從 60 年代即開始被重視與探討(Araberyre *et al*. [3], Bennett and Potts [7])。至今，已有大量研究探討並運用於航空、鐵路、以及公車系統上，但僅有少數研究探討大眾捷運系統。捷運組員排班相關研究如 Cavique *et al*. [16]、Chew *et al*. [21]、Chu and Chan [24]、Elizondo *et al*. [36]、Han and Li [49] 與 Park and Ryu [79]；捷運組員輪值則僅有 Lezaun *et al*. [63]、Sodhi and Norris [87]及江俐諭[103]之研究。

儘管組員排班與輪值問題在不同運輸系統上已有許多應用，但由於不同運輸系統所考量的排班與輪值特性不盡相同，因此，模式通常無法直接沿用。如航空及鐵路的組員排班問題通常以多日為基準，但公車及大眾捷運系統則以單日為主。此外，每個公司所考慮的排班及輪值規則亦可能有所差異，故以往研究大多以個案進行探討，更降低模式應用之可能性。

相較於其他運輸系統，現今世界已有一百多個都市使用(半)大眾捷運系統提供載客服務(蘇昭旭[113])，但此方面的研究仍屬少數。因此，本研究目的即探討大眾捷運系統的組員排班與輪值問題，建立相關模式，並以台灣捷運公司的實際資料來求解不同車班表的勤務及組員月輪值表，最後分析模式結果對實務需求之滿足程度。

後續 1.2 節將定義本研究之研究範圍及對象，並於 1.3 節闡述本研究所應用的研究方法及流程。

1.2 研究範圍與對象

本研究探討的大眾捷運組員排班與輪值問題，其組員係指捷運列車司機員，故後續除文獻回顧外，文章內容均以司機員來代表組員。

此問題係在已知車班表後來進行規畫，並需滿足相關法規與公司規定。此外，由於司機員輪值表需於輪值期前先行規劃並公告，如 9 月中即需開始規劃 10 月的司機員輪值表，並於 9 月底前公告給司機員，因此，問題並無考慮輪值期間司機員生病或臨時請假等不確定性因素。故探討捷運司機員排班與輪值問題前，需已知下列資料：

1. 個案車班之車班表與可供司機員休息的車站與對應機廠。
2. 使用的可行勤務班別。
3. 司機員相關資料，如預排需求。
4. 排班與輪值相關限制、以及司機員期望。

本研究即在上述資料與相關限制下，先建立捷運司機員排班模式，求解每日所需的勤務組合及各勤務對應之班別相關資料；接著依據司機員排班問題結果，考量司機員相關資料與輪值硬、軟限制，建構非週期性司機員輪值模式並求解司機員月輪值表。其中，月輪值表結果需包含輪值期間之每位司機員的休假日、工作日勤務與勤務對應班別。

本研究對象為高雄捷運前鎮車班的捷運列車司機員。由江俐諭[103]及黃錫鏗[108]研究可知，列車司機員依其工作內容可分成負責正線駕駛工作之司機員、機廠調車工作之車廠司機員、備班工作並具駕駛列車資格人員等。本研究係針對所需人數最多的正線司機員進行探討。

1.3 研究方法與流程

本研究方法係以限制規劃法及數學規劃法為基礎。回顧大眾捷運系統的司機員排班與輪值相關研究，大多利用(巨集)啟發式解法來求解。然而，此類演算法通常依據問題特性而設計，因此，有兩種情況將可能導致此類方法需修改核心演算法，使得模式應用彈性不足，分別為：

1. 公司各營運路線之司機員為獨立管理，且排班及輪值因素可能有所差異。
2. 公司修改司機員排班或輪值規定。

於 Sodhi and Norris [87]探討倫敦地鐵組員輪值研究中，即提出維持模式可修改的彈性是重要的。故該研究應用數學規劃法來建構組員輪值模式，並利用商業軟體 CPLEX 求解。此方法優點為當輪值限制更動時，僅需修改數學模式而不需改變求解方法。因此，為確保模式易修改之特性，本研究即應用限制規劃法及數學規劃法來構建模式並求解。

本研究共分成四個子問題。其中，司機員排班問題分成勤務產生及勤務組合最佳化兩子問題。勤務產生問題用於產生滿足所有硬限制之可行勤務，勤務組合最佳化則從產生的可行勤務中選擇最小勤務成本組合。因此，當排班硬限制有更動時，僅需修改勤務產生模式。而在勤務產生模式構建上，由於此問題為求解符合所有排班限制的可行勤務，並無需滿足之目標，因此，其本質為限制滿足問題(Constraint satisfaction problem, CSP)，故本研究即應用求解限制滿足問題的限制規劃法(Constraint programming, CP)來建構勤務產生模式。此方法雖已成功應用於其他運輸系統(de Silva [31], Fahle *et al.* [40], Yunes *et al.* [99])，但尚未運用在大眾捷運系統上。此外，相較於數學規劃模式，限制規劃模式可產生滿足所有限制的全部可行解，因此，較適用於本研究欲先嘗試產生所有可行勤務的求解架構。

於司機員輪值問題，不同於航空及鐵路運輸，捷運司機員排班所規劃的勤務係以日為最小單位，因此輪值亦需以日為基礎制定出月輪值表。針對此問題，以往研究大多利用週期性輪值或設定休假樣板(Pattern)來求解，此類方法雖可簡化問題並增加求解效率，但也相對會喪失規劃輪值表之彈性，如組員預排需求。因此，本研究即以無樣板的非週期性輪值模式來求解司機員月輪值表。有關週期性輪值與非週期性輪值的優缺點與規劃程序將於 3.2 節探討。

然而，在考慮複雜輪值規定與司機員期望下，欲直接求解非週期的月輪值表是相當困難地，故本研究即運用兩階段架構來求解月輪值表。第一階段為利用目標規劃法建構排休模式求解司機員排休表，模式除應符合工作及休假法規硬限制外，並將同時考慮司機員最重視之休假公平性軟限制；第二階段則建構勤務指派模式，將排班問題的勤務結果指派至排休表中的工作日，求解完整司機員月輪值表。由於第二階段需應用多個邏輯限制式來建立勤務與對應班別資料的關聯限制式，故本研究即運用可描述多種限制式類型的限制規劃法來建構模式。此方法於 Caprara *et al.* [14]探討義大利鐵路組員輪值問題研究中，亦提出相較於數學規劃模式，限制邏輯語言更具有容易將問題模式化之優點。

本研究的完整研究流程如圖 1.1 所示。首先為界定組員排班與輪值問題範圍，並回顧相關文獻，其中，文獻包括較少被探討的限制規劃法、以及不同運輸系統的組員排班與輪值研究。此外，為使本研究建構之模式能儘量符合實務規劃勤務與輪值表的需求，因此，亦需蒐集並訪談個案公司制定司機員勤務與輪值表的程序與相關考慮因素，並依據文獻及訪談結果重新定義捷運司機員排班與輪值問題。

於問題定義後，即提出本研究混合限制規劃(CP)及數學規劃(MP)之司機員排班與輪值問題求解架構。其中，司機員排班問題除前述的勤務產生及勤務最佳化兩子問題外，另將依據不同可行勤務規模，運用不同變數產生法求解程序求解最佳勤務組合，讓本研究方法能適用於不同規模的排班問題。排班問題的勤務結果將作為司機員輪值問題的輸入資料，並依序利用排休模式與勤務指派模式求解司機員月輪值表。

確定模式與求解架構後，即利用 C++與 ILOG CPLEX Optimization Studio 軟體撰寫模式及整體求解程序。模式驗證上則利用高雄捷運前鎮車班的實際資料來測試本研究模式，其中，若模式求解效率或軟限制滿足程度不佳，則需調整模式並重新求解。最後分析模式產生之勤務及輪值表結果好壞，並提出本研究結論及建議。

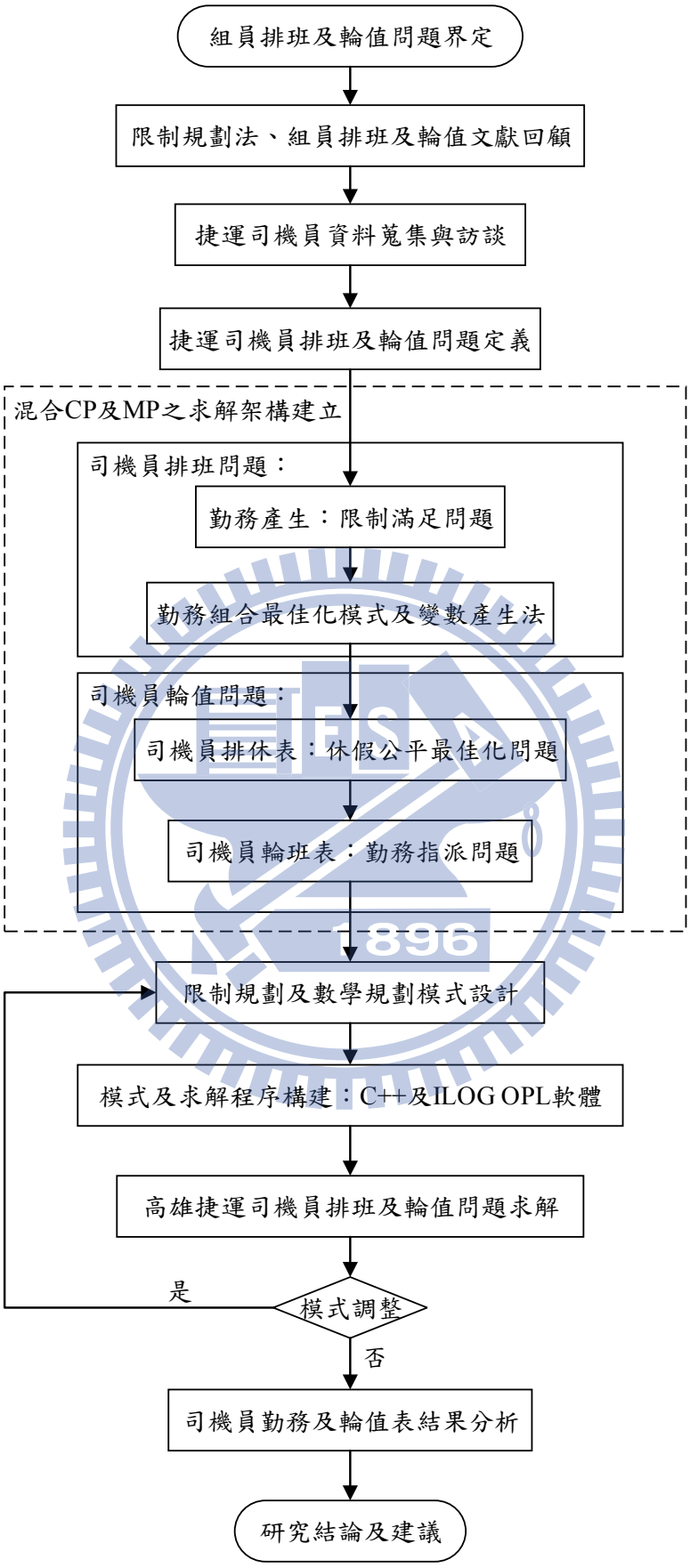

組員排班及輪值問題界定
限制規劃法、組員排班及輪值文獻回顧
捷運司機員資料蒐集與訪談
捷運司機員排班及輪值問題定義
混合CP及MP之求解架構建立
司機員排班問題：
勤務產生：限制滿足問題
勤務組合最佳化模式及變數產生法
司機員輪值問題：
司機員排休表：休假公平最佳化問題
司機員輪班表：勤務指派問題
限制規劃及數學規劃模式設計
模式及求解程序構建：C++及ILOG OPL軟體
高雄捷運司機員排班及輪值問題求解
是
模式調整
否
司機員勤務及輪值表結果分析
研究結論及建議

圖 1.1 研究流程圖

二、 文獻回顧

本章主要分成四個部分進行相關文獻回顧。首先於 2.1 節介紹限制規劃法(Constraint programming)，相較於數學規劃法，此方法於國內仍較少被探討與應用，故先回顧限制規劃法與限制滿足問題之特性，以及此方法之優缺點。接著於 2.2 節及 2.3 節分別回顧航空、公車、以及鐵路組員排班與輪值的相關研究，了解不同運輸系統目前主要運用之求解方法與技巧。最後於2.4 節再針對現有大眾捷運系統組員排班及輪值研究進行回顧，探討不同捷運系統考慮因素之差異與模式運用可行性。

2. 1 限制規劃法(Constraint Programming)

限制規劃法(Constraint programming, CP)緣起於 1970 年代人工智慧(Artifical intelligence, AI)在電腦程式語言方面的發展，係一結合多種技術來處理推論(Reasoning)及運算(Computing)的程式語言，並用以求解限制滿足問題(Constraint satisfaction problem, CSP)。主要概念為運用限制(Constraints)來求解變數(Variables)及對應值域(Domains)之關聯。至今限制規劃法已成功被應用於許多領域，如分子生物、電機工程、作業研究及數值分析等(Apt [2])。

限制滿足問題(CSP)係在給定一組決策變數$X \in \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$，且各決策變數有相對應之有限值域$D \in \{D_1, D_2, \dots, D_n\}$、以及一組限制式$C \in \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$下，尋找滿足各項限制式的一組或多組可行解。其中，n 表決策變數總數，m 表限制式總數。依上述之定義，一般即以(C, X, D)來代表限制滿足問題。

不同於最佳化問題，限制滿足問題主要為求解可行解，即對所有變數x_i均能從對應值域集合D_i中，找到一個值d_i，並滿足所有限制式 C，所有變數值所構成之集合$\{d_1, d_2, \dots, d_n\}$即為可行解。故求解限制滿足問題目的通常為：

1. 確定一個限制滿足問題是否有解。
2. 尋找一個可行解或所有可行解。
3. 若問題有衡量解品質的準則，則可用於尋找一個最佳解或所有最佳解，此類問題稱為限制最佳化問題(Constrained optimization problem)。Russell and Norvig [84]說明於處理此類問題時，係在限制規劃模式中導入一個具目標函數之限制式，反覆更新目標值至無可行解存在，即表求得最佳解，故於人工智慧領域中，最佳化問題亦被視為限制滿足問題之一。

典型限制滿足問題如數解碼問題(Cryptarithmetic problem)，此問題為將英文字母或其他符號轉換成數字之數學解謎問題，且所有英文字母之數值均不相同。以 Apt [2]的範例為例：

$$\begin{array}{r} \text{SEND} \\ +\ \text{MORE} \\ \hline \text{MONEY} \end{array}$$

對於上述之算式，可知問題變數為S, E, N, D, M, O, R, Y。而在變數值域上，由於S, M為首位，因此對應之整數值域為[1..9]，其餘變數之整數值域為[0..9]。故限制式可列式如下：

$$\begin{aligned} & 1000 \cdot S + 100 \cdot E + 10 \cdot N + D \\ & +1000 \cdot M + 100 \cdot O + 10 \cdot R + E \\ = {} & 10000 \cdot M + 1000 \cdot O + 100 \cdot N + 10 \cdot E + Y \end{aligned}$$

另外加上 28 個不等式限制式$x \neq y$，其中 x 及 y 分別代表 8 個變數的 28 種組合。然而，因上述等式限制式包含過多變數，較難發揮限制規劃法一致性檢驗與搜尋技術的特性，故該模式的求解效率較差。因此，可將此問題表示成下列另一個模式，其中將 8 個變數的整數值域均設定為[0..9]，且模式限制式為：

$$S \neq 0, M \neq 0$$

$$D + E = 10 \cdot C_1 + Y$$

$$C_1 + N + R = 10 \cdot C_2 + E$$

$$C_2 + E + O = 10 \cdot C_3 + N$$

$$C_3 + S + M = 10 \cdot C_4 + O$$

$$C_4 = M$$

於新模式中新增$C_1, \ldots, C_4$四個進位變數，值域均為$[0, 1]$。而前述 28 個不等式限制式則可運用限制規劃法的全域限制式 alldifferent 來表示。此全域限制式表式中任兩個變數值均不能相同，定義如下：

$$\text{alldifferent}(x_1, x_2, \ldots, x_n) := \{d_1, d_2, \ldots, d_n \mid d_i \neq d_j \ for \ i \neq j\}$$

因此原 28 個不等式限制式即可替換成$\text{alldifferent}(S, E, N, D, M, O, R, Y)$一式來表示。於新模式中，除 alldifferent 全域限制式外，其他限制式所包含的變數均較第一個模式少，因此，限制規劃法在執行一致性檢驗及搜尋法時，即可較有效率刪除變數不可行值域，進而加快求解效率。

除上述模式外，限制滿足問題亦可運用整數規劃模式來求解。以相同範例為例，變數亦為 S, E, N, D, M, O, R, Y，各變數的整數值域均為$[0..9]$，目標為求解線性限制式之最佳整數組合。對於$x \neq y$之不等式限制式，由於數學規劃模式無法直接處理邏輯限制式，因此需將$x \neq y$限制轉換為線性限制式並求解。為轉換該限制，模式中需增加另一附加變數$z_{x,y}$，值域為$[0, 1]$，因此，$x \neq y$可利用下列兩線性限制式來表示：

$$x - y \leq 10 - 11z_{x,y}$$

$$y - x \leq 11z_{x,y} - 1$$

其中，當$z_{x,y} = 1$時，表$y > x$，$z_{x,y} = 0$時，表$x > y$。因此，為處理任意兩變數值不能相等的邏輯限制式，即需加入 28 個附加變數$z_{x,y}$與 56 個限制式來表示。

上述三個模式均能求解出下列的唯一解：

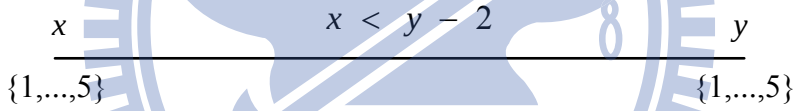
$$\begin{array}{r} 9\,5\,6\,7 \\ +\ \ 1\,0\,8\,5 \\ \hline 1\,0\,6\,5\,2 \end{array}$$

雖然上述三種模式均可求解此限制滿足問題，但在模式構建上，可知限制規劃模式較整數規劃模式更可直覺且容易地模式化問題來求解，如兩變數不相同之邏輯限制式。此外，由前面兩個限制規劃模式探討可知，對於同一個限制滿足問題，可表示成不同限制規劃模式，且不同表示法會影響其求解效率。然而，對於不同模式之好壞，卻難以訂定出一標準來衡量，因此，Apt [2]即闡明運用限制規劃法來模式化一限制滿足問題為一門藝術。其他限制滿足問題如 n Queens 問題、Zebra puzzle、邏輯電路設計、數獨等。而本研究所探討之勤務產生問題其本質亦屬此類問題。

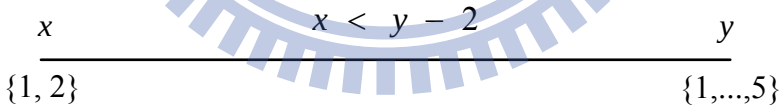
求解限制滿足問題之方法可分為特定領域方法(Domain specific method)或一般性方法(General method)，其中，限制規劃法即為特定領域方法，一般性方法則為關注縮小解空間之特殊搜尋法。Apt [2]建議若有特定領域方法可用於模式化並求解限制滿足問題，則應儘量運用其求解，而非利用一般性方法。

限制規劃法，Brailsford *et al.* [11]定義其為運用電腦程式與模式化語言，讓使用者能簡單地、輕易地描述限制滿足問題，並透過精密的電腦演算法(Sophisticated computer algorithm)有系統且有效率地求解限制滿足問題。限制規劃法為一種二層式(Two-level)求解架構，第一層為描述限制滿足問題之限制式元件，另一層則為求解第一層模式之程式求解元件。各元件內容敘述如下：

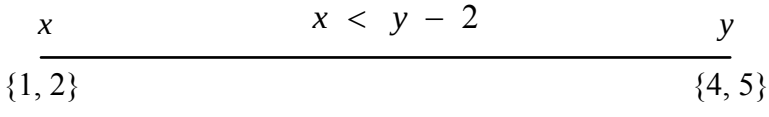
1. 限制式元件(Constraint component)：又稱為限制式模式化元件(Constraint modeling component)，其功能為提供一套親合的模式化語言，讓使用者能直覺地(Intuitive)、容易地宣告決策變數及限制式。因此，限制規劃法即內建許多實務問題所考量之限制模式元件，提供使用者進行問題模式化(Modeling)的程序，如 logical constraint、cardinality constraint、alldifferent constraint、atleast constraint 及 atmost constraint 等。
2. 程式求解元件(Programming component)：為限制規劃法的求解演算法核心，包含限制式的系統邏輯推理元件及空間搜尋元件兩種，藉由兩元件相互配合來達到有效率且有系統地求解模式。如圖 2. 1 用於檢查並刪除變數不可行值域之一致性檢驗技術(Consistency checking techniques)、限制式傳遞機制(Constraint propagation)，以及智慧型搜尋演算法如 Forward checking algorithm (如圖 2. 2 所示)、Look-Ahead checking algorithm。詳細內容及執行程序可參閱 Brailsford *et al.* [11]。



(a) 原變數值域



(b) (x, y)一致性檢驗後之值域



(c) (x, y)及(y, x)一致性檢驗後之值域

資料來源：Brailsford *et al.* [11]

圖 2. 1 節線一致性(Arc consistent)範例

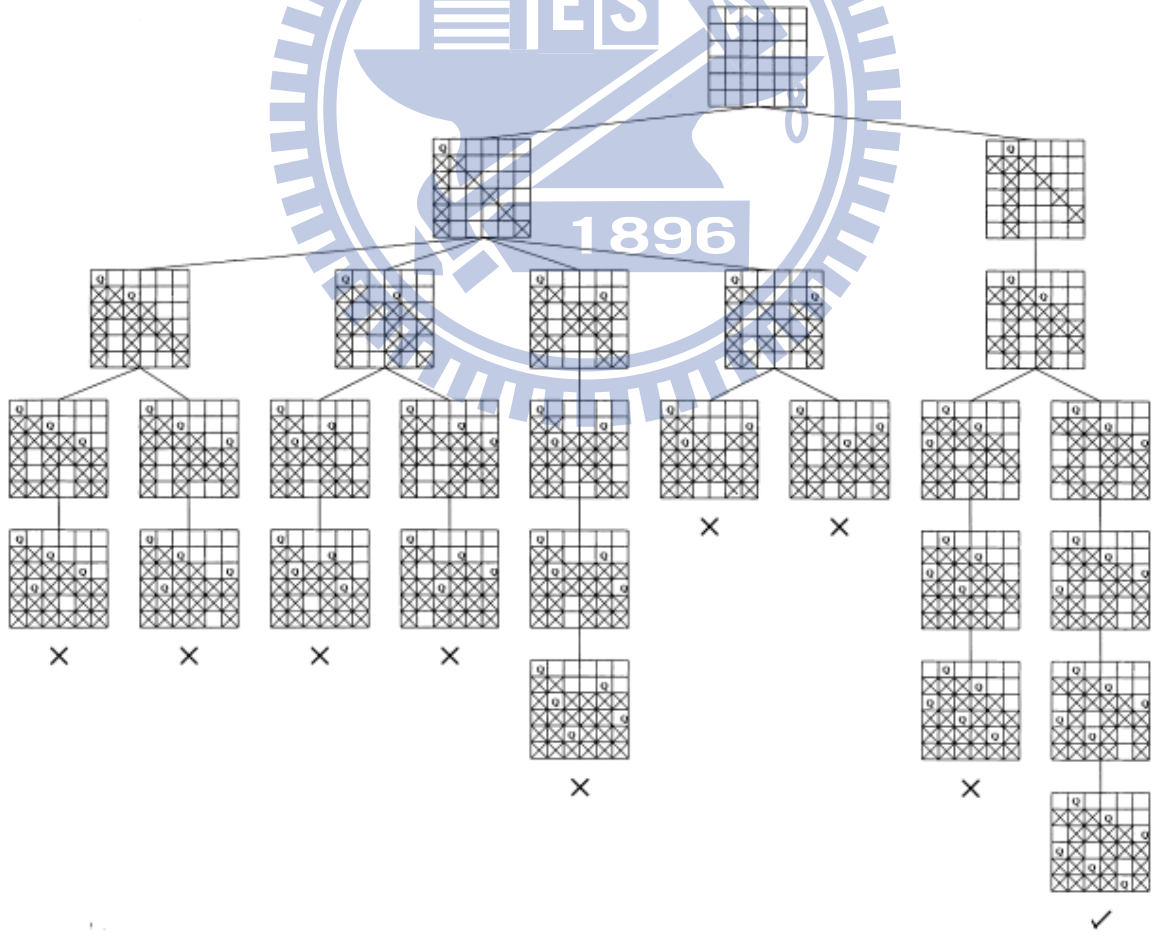
由上述限制規劃法的探討可知，數學規劃(Mathematical programming)與限制規劃有極大的差異。Lustig and Puget [69]於探討兩者差異研究中即提及，數學規劃的"Program"係用來描述一活動計畫，並將其表示成一特定之數學問題；而限制規劃之"Programming"

則指電腦程式(Computer programming)。因此，不同於數學規劃法，限制規劃法的決策變數值域不一定需為數值型態，另可運用字串型態來表示，且限制式除不等式外，亦可描述邏輯限制式及其他特殊需求限制式。故模式化問題時，限制規劃法設計模式之彈性即較數學規劃法大。

依上述限制規劃法之特性，可知運用其求解限制滿足問題有下列之優點：

1. 模式建立方便性：限制規劃語言屬於程式語言中的宣告式語言(Declarative language)，讓使用者可輕易地運用其語言來建構限制滿足問題模式。
2. 模式建立之彈性：由於限制規劃法為建模與求解程序獨立之二層式架構，因此模式限制式可隨問題需求隨意增加、移除或修改，而不影響求解程序。
3. 可處理多種限制式：相較於數學規劃法，限制規劃法內建的限制式元件，讓使用者更容易直覺式地模式化實務問題限制。
4. 有效率之求解機制：限制規劃法內建之求解元件，可快速檢查符合限制條件的變數值域關係，配合智慧型搜尋演算法有效地推論並求解模式。

由此可知，限制規劃法可有效率地模式化並求解限制滿足問題或具有高度限制之限制最佳化問題。然而，若問題為限制程度不高的最佳化問題，則可能因變數值域的可行組合過多，使得限制規劃法無法有效率地求解此類問題，故運用數學規劃法來建構此類問題的模式即為較佳之選擇。



資料來源：Brailsford *et al.* [11]

圖 2. 2 Forward checking 求解 6-queens 問題範例

2.2 組員排班問題(Crew Scheduling Problem)

組員排班問題係在已知車(航)班表資料下，求解涵蓋所有車班(航班)任務的最小勤務成本組合，並滿足相關排班規則如連續執勤時間、休息、用餐、位置等限制。此問題除決定各勤務內容外，亦用於估算輪值期所需之輪值人力(Ernst *et al.* [39])。而對於不同大眾運輸系統，組員排班所使用的名詞定義與規劃天數亦有些許差異，本研究整理如表 2.1 所示。其中，名詞定義分成最小排班單位、連續執勤任務及完整工作內容三類。完整工作內容係指組員於執勤完最後一個任務時，需回到原出發車站或機場，亦稱組員基地(Crew base)。

表 2.1 不同大眾運輸系統之組員排班相關詞彙

	捷運[24,48]	公車[32, 41]	鐵路[12]	航空[45]
最小排班單位	Task 或 Trip	Task	Trip	Flight leg 或 Segment
連續執勤任務	Piece (of work)	Piece (of work)		Duty
完整工作內容	Duty or run	Duty or Workday	Duty	Pairing
完整工作天數	單日	單日	單日或多日	單日或多日

以本研究探討的捷運司機員排班為例，其名詞定義類似公車司機員排班，最小排班單位為車任務，多以“Task”或“Trip”來表示；連續執勤任務表司機員連續駕駛多個任務，且中間無休息或用餐，名詞以“Piece of work (工作鏈)”來表示；完整工作內容則由多個 Task 或 Piece of work 組成，稱為“Duty (勤務)”。鐵路司機員排班使用名詞亦類似捷運系統，但連續執勤任務則無明確定義。而在完整工作天數上，捷運及公車均以單日為主；鐵路則因列車任務可能包含長途城際運輸，無法在每日工作時間規定下回到組員基地，故勤務可能為多日。

相較於上述運輸系統，航空組員排班名詞定義則差異較大，其最小排班單位為航班任務，以“Flight leg”或“Segment”來表示；連續執勤任務則以“Duty (勤務)”表示，可視為組員一天的工作內容，且連續兩航班間可有短暫休息時間來等待接續下一航班；而在完整工作內容上，由於航空組員結束勤務的最後航班，其到達機場可能非組員基地，因此會將多個勤務組合成“Pairing (勤務組合)”，確保組員可於規定天數內完成航班任務並回到組員基地，故完整工作天數可能為單日或多日。捷運及航空組員完整工作內容示意圖如圖 2.3 所示。

組員排班問題從 60 年代即開始被探討，主要為針對航空公司，如 Araberyre *et al.* [3] 彙整當時探討不同航空公司組員排班之研究，分析其求解方法並提出建議。至今，已有大量研究探討航空、公車以及鐵路組員排班，於求解方法上，大致可分為變數產生法及巨集啟發式解法兩類。

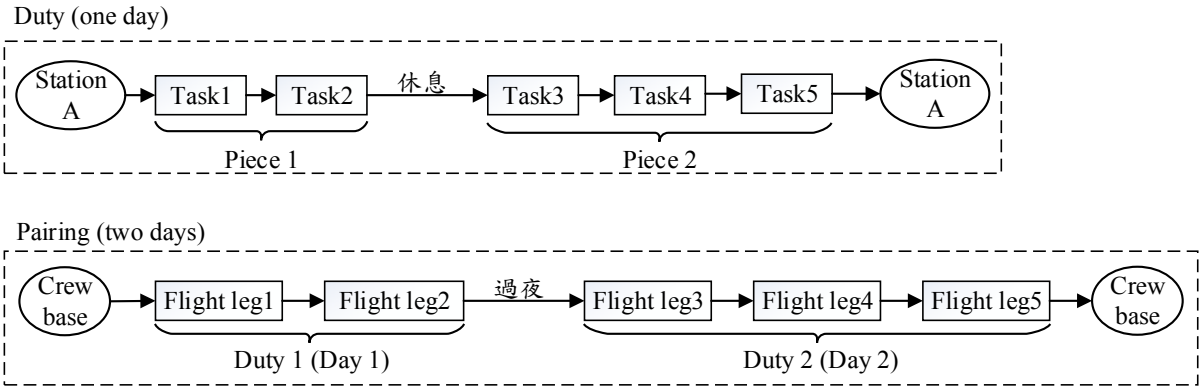


圖 2. 3 捷運及航空組員完整工作內容示意圖

1. 變數產生法(Column Generation)

變數產生法又稱為 Dantzig-Wolfe 分解法(Danzig-Wolfe decomposition)，由 Dantzig 及 Wolfe [26]於 1960 年提出，係用於求解大規模線性規劃問題。作法為將原問題分成放鬆受限制主問題及子問題，並利用對偶理論從子問題中尋找可改善的變數並將其加入放鬆受限制主問題中，反覆求解至子問題無改善變數為止。

於運輸業排班問題中，主要目標係求解涵蓋所有任務之最小勤務成本組合，因此多將主問題視為一集合涵蓋問題(Set covering problem, SCP)或集合分割問題(Set partitioning problem, SPP)。以集合涵蓋問題為例，模式定義如式(2-1)至式(2-3)：

$$Min \sum_{j \in FD} c_j x_j \tag{2-1}$$

subject to

$$\sum_{j \in FD} a_{ij} x_j \geq 1 \quad \forall i \in Task \tag{2-2}$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in FD \tag{2-3}$$

其中

FD 為所有可行勤務之集合

Task 為所有任務之集合

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{若勤務} j \text{包含任務} i \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad \forall i \in Task, j \in FD$$

式(2-1)為模式目標式，其中c_j為勤務 j 之成本，因此目標即最小化總勤務成本。限制式(2-2)表每個任務 i 至少需被一個可行勤務所涵蓋；若每個任務僅能被一個勤務涵蓋，則稱為集合分割模式，即限制式(2-2)等於 1。限制式(2-3)為二元決策變數x_j的定義，表可行勤務 j 是否有被選用。

當組員排班問題的所有可行勤務數量過於龐大，而無法直接求解集合涵蓋(分割)模式時，則需運用變數產生法來求解。作法為從所有可行勤務集合 *FD* 中選取部分勤務 *FD'*作為起始勤務集合，且起始勤務集合需涵蓋所有任務。此時，僅包含起始勤務集合之集合涵蓋模式即稱為受限制主問題(Restricted master problem, RMP)；接著放鬆二元整數變數成$x_j \geq 0$，將模式轉為線性規劃模式，亦稱為放鬆之受限制主問題。

依據對偶理論可定義放鬆受限制主問題之對偶模式如下：

$$Max \sum_{i \in Task} \pi_i \tag{2-4}$$

subject to

$$\sum_{i \in Task} a_{ij}\pi_i \leq c_j \quad \forall j \in FD' \tag{2-5}$$

$$\pi_i \geq 0 \qquad \forall i \in Task \tag{2-6}$$

其中，π_i為限制式(2-2)之對偶變數。於此模式中，應用對偶單體法(Dual simplex method)的對偶可行性條件，檢查是否仍有可改善放鬆受限制主問題的解，該條件如式(2-7)所示：

$$c_j - \sum_{i \in Task} a_{ij}\pi_i \geq 0 \tag{2-7}$$

若放鬆受限制主問題之一基本解滿足式(2-7)時，即表找到最佳解。然若有尚未考慮的勤務其$c_j - \sum_{i \in Task} a_{ij}\pi_i < 0$，則表將此勤務加入放鬆受限制主問題中，可改善最佳解。

故變數產生法求解程序即為反覆求解放鬆受限制主問題，獲得每個遞迴的勤務集合最佳解，以及每個任務的對偶變數值。接著利用任務的對偶變數值於尚未考慮的可行勤務中，找尋改善勤務(子問題)並加入放鬆受限制主問題中求解，直至無改善可行勤務存在，即結束變數產生法程序。最後，由於放鬆受限制主問題所求得之最佳解不一定為整數解，因此，若非整數解則需再利用如分支定限法來求得整數解。

除上述一般化變數產生法外，當問題規模過於龐大時，可能無法於合理時間內產生所有可行勤務。於此情況下，變數產生法程序則需先運用啟發式解法求解部分勤務作為起始勤務，並求解放鬆受限制主問題。而在子問題部分，由於其他可行勤務為未知，因此，除考慮式(2-7)之對偶可行性條件外，另需搭配其他方法來產生改善可行勤務，如最短路徑演算法、動態規劃法、限制規劃法等。此程序亦為大部分研究使用變數產生法求解組員排班問題的求解架構。

變數產生法於 80 年代即被應用於組員排班問題上，如 Crainic and Rousseau [25]及 Lavoie *et al.* [61]分別用於求解美國及法國航空組員排班，並利用啟發式解法搜尋改善勤務組合；Desrochers and Soumis [32]則探討公車駕駛員排班，其中將子問題視為一資源受限之最短路徑問題並利用動態規劃法求解改善勤務。至今，仍有許多研究利用變數產生法來求解組員排班問題，其中，主問題除應用集合涵蓋(分割)模式外，亦有考量額外限制式或將問題列式為網路流量模式，子問題則提出不同方法來求解改善勤務。

有關航空組員排班研究如 Stojkovic and Soumis [91]將主問題列式為一多商品網路流量問題，子問題則視為時間受限之最短路徑問題，並利用動態規畫法來尋找改善勤務組合。Yan and Chang [97]及 Yan *et al.* [98]將子問題視為一最短路徑問題，並利用標記修正法(Label correcting algorithm)尋找改善勤務組合。Freling *et al.* [42]則利用變數產生法建構一組員排班決策支援系統，用於求解航空及鐵路組員排班。Makri and Klabjan [71]提出利用刪除規則(Pruning rules)輔助最短路徑法，並以深度優先搜尋來尋找改善勤務組合。AhmadBeygi *et al.* [1]將子問題列式為一整數規劃問題並求解改善勤務組合。Aydemir-Karadag *et al.* [4]則於子問題中，利用基因演算法來求解改善勤務組合。

而在車輛(公車)組員排班上，多數研究則同時考慮車輛及組員排班問題並求解。如 Haase et al. [47]及 Desaulniers [29]將子問題視為資源受限之最短路徑問題利用動態規

畫法來尋找改善勤務。Valouxis and Housos [93]則利用 QS 法(Quick shift)求解起始解及整數解，並利用變數產生法之概念尋找可改善之班別，子問題以標記修正法求解。Boschetti *et al.* [10]與 Huisman *et al.* [55]為探討多場站組員排班問題與多場站車輛及組員排班問題，並利用拉式鬆弛法來求解。Mesquita and Paias [76]混合集合涵蓋及分割模式，並加入多商品網路流量模式做為主問題，子問題則利用動態規劃法求解改善勤務。Elhallaoui *et al.* [35]主要為探討運用 BDCA 法(Bi-dynamic constraint aggregation)來減少變數產生法中主問題及子問題之求解規模，藉以加速求解效率。Steinzen *et al.* [90]利用時空網路法作為基礎並求解最短路徑問題，子問題則利用動態規劃法來求解。

鐵路組員排班相關研究如 Jutte *et al.* [57]利用變數產生法建立貨物列車組員排班系統來求解德國鐵路 DB Schenker 的組員排班；Jutte and Thonemann [58]為處理大規模貨車列車任務，提出 Divide-and-price 架構，將列車任務分割成不同群組(Region)，藉以縮小問題規模，並利用變數產生法針對每個群組平行求解。

其他類型之研究如 Hollis *et al.* [53]探討郵件配送的車輛路線及組員排班問題，並將子問題視為一最短路徑問題，利用動態規劃求解改善路線。Huisman [54]、Rezanov and Ryan [82]、Potthoff *et al.* [80]、Veelenturf *et al.* [94]則運用變數產生法探討列車組員重新排班問題，此問題為當營運時，列車因誤點或事故等因素導致班表需變動時，則原規劃之勤務即需同時更動以符合新的時間表需求。

由上述組員排班文獻可知，多數應用變數產生法求解架構的研究中，所有可行勤務均為未知，因此，子問題即需運用不同方法來產生改善可行勤務，主要為將子問題視為最短路徑問題來求解。然而，在求解改善勤務時，如何確保產生的改善勤務需滿足各種排班硬限制即相當重要。為能有效率地尋找改善可行勤務，即有研究應用限制規劃法來求解子問題的改善可行勤務。如 de Silva [31]與 Fahle *et al.* [40]利用限制規劃法結合變數產生法，分別求解組員排班例題與歐洲航空組員排班問題；Yunes *et al.* [99]為探討巴西公車組員排班及輪值問題，並運用限制邏輯語言(Constraint logic programming, CLP)求解改善勤務，於結果中亦提出限制邏輯語言的求解效率較動態規劃法佳。

2. 巨集啟發式解法(Metaheuristic)

巨集啟發式解法為一廣泛應用於求解組合最佳化問題之方法，相關回顧文獻可參閱 Blum and Roli [9]。Metaheuristic 一詞最早由 Glover 於 1986 年所提出，源自於兩個希臘詞語，分別為 Heuristic 表去發現(To find)，以及 Meta 表越過(Beyond)的意思。關於巨集啟發式一詞則有許多不同的定義，Blum and Roli [9]將其特性彙整如下：巨集啟發式解法係用於引導搜尋過程之策略，其目的為有效地探索搜尋空間，藉以發現(近似)最佳解，並避免落入局部搜尋空間。因此，巨集啟發式一重要概念即在取得廣度(Diversification)及深度(Intensification)間的動態平衡。廣度指探索的搜尋空間，亦稱多樣性，深度則指針對特定區域進行深度挖掘。

巨集啟發式解法已有許多不同方法被提出，以群族式(Population-based)及單點搜尋(Single point search)分類法來區分，群族式之巨集啟發式解法有基因演算法(Genetic algorithm, GA)、粒子群最佳化法(Particle swarm optimization, PSO)、螞蟻演算法(Ant colony optimization, ACO)等；單點搜尋之巨集啟發式解法則有禁忌搜尋法(Tabu Search, TS)、模擬退火法(Simulated Annealing, SA)、門檻接受法(Threshold Accepting, TA)等。兩類搜尋法之差異可由同時進行搜尋之解數量來區分。

於組員排班應用上，群族式演算法多利用基因演算法來求解，如 Levine [62]利用穩態基因演算法(Steady-state genetic algorithm, SSGA)結合區域搜尋，求解航空組員排班問題，其區域搜尋主要應用於基因交換後，進行子代的深度優化搜尋。Chu and Beasley [23]亦利用穩態基因演算法結合啟發式演算法求解集合分割問題，其中，啟發式演算法用於基因交換後將不可行之勤務或重複涵蓋任務改善成可行解，並提出兩種配適度計算方法與兩種突變法，藉以增加問題限制之處理能力。Dias *et al.* [33]為探討公車司機員排班，其中，基因排列以工作鏈(piece-of-work)來表示，並指派勤務至基因中的每一個工作鏈，選擇機制則利用機率值來選擇一般或穩態取代，突變除傳統突變外，亦加入改善突變進行區域改善。Chang [18]則同時求解短途航空之組員排班及輪值問題，其中基因編碼方式採用二維矩陣，分別表示組員於某日指派某勤務，於交配機制上，則取兩個基因中的固定天數進行交換，突變為針對單一基因中同一天的兩個組員進行交換。Souai and Teghem [89]應用基因演算法搭配啟發式解法求解航空組員排班及輪值問題，其基因編碼亦採用二維矩陣，於兩階段求解架構中，第一階段利用基因演算法交配及突變後，輔以啟發式解法調整不符合法規之基因，使其成為合法解；於求解完排班問題後，再利用改善與隨機修補可行解機制來求取配適度更佳之輪值解。Shen *et al.* [86]應用混合式基因演算法求解車輛組員排班問題，該研究不同於一般組員排班，其任務已先指派至不同可行班別中，因此問題主要係從班別集合中選取部分班別，並需涵蓋所有車輛任務。故基因係以班別為基礎，基因長度由一開始給定之班別總數來決定，基因中每一段表一選用班別，並經由交配及突變來選擇最佳班別組合。Chen *et al.* [19]則為求解短途航空之週組員排班及輪值問題，該研究將基因定義成兩組二維矩陣，第一組表第 d 天第 i 個航班屬於第 j 個勤務；第二組矩陣表第 d 天第 i 位組員指派何種勤務，兩組矩陣利用不同之交配及突變法來求解新的子代，並利用修復法來交換並改善無效之基因。

其他群族式演算法如 Deng and Lin [30]將航空組員排班問題視為一旅行銷售員問題(TSP)，並利用螞蟻演算法求解。Azadeh [5]則利用粒子群演算法求解航空組員排班，並在粒子移動後，運用區域搜尋法確定每個粒子中的航班在交換後是否能改善目標值，最後與螞蟻演算法及基因演算法比較其結果。

於單點搜尋之巨集啟發式應用上，Lourenco *et al.* [65]應用禁忌搜尋法求解多目標公車司機員排班問題，以滿足管理者更多排班需求，此外，亦建構基因演算法來求解，並與現行之決策支援系統所使用的線性規劃求解模式結果進行比較。Chen and Niu [20]則利用禁忌搜尋法求解巡迴公車司機員排班問題，其中考慮三種班別來指派所有公車任務，並利用交換及插入法搜尋改善解。

Emden-Weinert and Proksch [37]及 Hanafi and Kozan [50]利用模擬退火法分別求解航空組員排班與輪值問題，以及鐵路組員排班問題。前者其鄰域搜尋藉由結合(join)及切割(split)目前之勤務來找尋可改善之解，此外，亦利用放鬆限制之方法來擴大搜尋空間，並給予每個勤務於違反限制時的懲罰值，於結束模擬退火求解程序後，再應用最陡下降法，將有違反限制之懲罰值勤務修復成可行解。後者使用建構法產生起始解，並應用交換及插入法來尋找鄰域是否有可改善之解，其中班別內容主要考慮兩個工作鏈並利用用餐來區隔，且考慮連續駕車、用餐、總駕車等時間限制，班別以 8 小時為基準。

其他方法如 Lagerholm *et al.* [60]利用 Potts 回饋式類神經網路搭配平均場近似法來求解週航空組員排班及輪值問題，於求解前先將問題依組員基地分成多個受限制之子問題，藉以縮小問題規模，並將航班重新組合成以基地為主的航班串(Flight clustering)，並

將兩個航班串是否相連作為變數來求解。Toth and Kresz [92]則應用分階段啟發式解法求解公車司機員排班問題，主要以貪心法為基礎先建構工作鏈，再將工作鏈組合成起始班別，此時的班別不一定為可行班別；接著利用不同條件將起始班別分割為多個符合排班限制之短班別，再將所有短班別結合成符合限制且能改善目標值之班別組合；最後檢查不同班別間的工作鏈是否可相互交換並改善目標值。

於前述的組員排班文獻中，運用(巨集)啟發式解法的研究其核心搜尋法與搜尋策略通常需依個案特性設計，此類方法雖然有極佳的求解效率，但當個案排班規則有較大變動或欲運用至其他個案時，則可能需調整或重新設計較有效率的搜尋法，因此，模式的應用彈性則可能較低。

2. 3 組員輪值問題(Crew Rostering Problem)

組員輪值問題係在已知前一階段組員排班的勤務結果及輪值人員相關資料下，求解每位組員輪值期之工作日勤務及休假日，並滿足相關輪值規定如最大連續工作天數、休假天數、兩連續工作勤務間隔時間等。同組員排班問題，輪值問題從 60 年代即在公車系統上被探討，如 Bennett and Potts [7]，該研究將問題分成兩個子問題，首先先制定輪值期的休假樣板(Day-off pattern)，接著再指派班別至工作日中。

航空組員輪值問題則於 70 年代開始被探討(Nicoletti [78])。不同於 Bennett and Potts 先求解休假樣板再指派工作班別的架構，Nicoletti 提出利用循序建構輪值表來簡化問題複雜度，雖然無法獲得全域最佳解但可滿足更多組員需求。構建法可分為兩類，第一類係以組員為基準，由第一位組員先指派輪值期之工作勤務及休假日，完成後再指派第二位組員，依序至指派完全部勤務給所有組員；第二類則以天為基準，首先將第一天所有勤務分別指派給不同之輪值組員，完成後再指派第二天之勤務，直至最後一天指派完全部勤務。相較於第一類建構法，第二類方法更能均衡組員之工作量。因此，該研究即利用 Ford-Fulkerson 法依序求解每日之組員勤務指派，且每日指派之勤務需考慮過去的指派結果。

其他航空組員輪值研究如 Day and Ryan [28]探討短途航班之客艙組員輪值問題，並將其分成兩個子問題。第一階段為求解排休問題，於窮舉所有可能休假組合後，再利用集合分割模式找出最佳之休假組合；第二階段則求解勤務指派問題，將勤務指派至第一階段結果中，並利用集合分割模式求解，其中，為縮小問題規模，其程序將 2 周分解成多個子問題求解。Lucic and Teodorovic [66]則利用模擬退火法求解航空組員輪值問題，起始解係以組員為基礎，從未指派之組員中選取一位組員並指派勤務組合給予該組員，且多個勤務組合間需符合輪值法規，直至指派完全部組員即完成起始解構建。接著利用模擬退火法逐步改善至近似最佳解。於模擬退火法中，其為隨機選擇勤務組合給其他組員並判斷新指派之組員是否符合輪值規定，若符合則與進行交換，並輔以擾動法來跳脫區域最佳解。Lucic and Teodorovic [67]並於 2007 年另外探討基因演算法及禁忌搜尋法兩種巨集啟發式解法來求解，最後並與模擬退火法比較其結果。Gamache *et al.* [43]應用變數產生法求解法國航空組員輪值問題，並將子問題視為受限制最短路徑問題，利用動態規劃法求解。Medard and Sawhney [73]探討同時處理航空組員排班及輪值問題，並利用變數規劃法求解以航班為基礎之輪值問題，其中，子問題以 k 條最短路徑法來求解合法之改善工作行程。Jeng *et al.* [56]以傳統之基因演算法，加上制約不等式法及多目標最佳化之方法求解短途航空組員輪值問題，以便能同時考慮多種目標，並找出近似最佳解。Maenhout and Vanhoucke [70]則利用分散式搜尋法來求解週期為 14 天之航空組員輪值問題。

相關航空組員輪值研究可參閱 Kohl and Karisch [59]之回顧文獻，其中，大致將輪值問題分成兩類處理，第一類為競標法(Bidlines approach)，即系統先產生個人之輪值行程後，再由組員來競標輪值行程，其缺點為無法事先考慮組員預排休假或預先指派之工作；另一類則為個人輪值(Personalized rostering)，即會考慮各組員需求，直接求解儘量符合組員需求之輪班表。

鐵路組員輪值相關研究如 Monfroglio [77]利用混合基因演算法求解組員輪值問題，首先於基因母代上，利用貪心演算法隨機選取並建構不違反硬限制之起始解，接著再利用交換及突變逐步改善至近似最佳解。其中，輪值以 6 天為基準，並求解 30 天的輪值表。Caprara *et al*. [13, 14]為探討義大利鐵路組員輪值問題，其模式亦以 6 天表一周，求解五周之輪值表，於輪值表的產生上，前者利用建構式啟發式解法來求解，並於每次加入新的勤務時重新計算拉式下界，並使用此更新之下界選取新勤務加入直至指派完全部勤務即完成；之後再隨機擾動其參數，重新利用啟發式解法求解是否有可改善目前最佳值之解。後者則利用限制邏輯語言來產生可行輪值表，再利用啟發式解法選取兩個組員之輪值內容，利用限制邏輯語言重新求解並計算是否可改善目標值，以決定是否更新。於兩篇文章中，雖然限制規劃模式之求解時間於大規模問題時較數學規劃之啟發式解法慢，但運用限制邏輯語言則較數學規劃法更容易將問題模式化。Ernst *et al*. [38]則探討澳洲鐵路組員排班及輪值問題，並以整數規劃模式求解，其中以 7 天為基礎，輪值天數為多個星期或月，並於輪值問題中同時考慮週期性及非週期性之輪值行程，求解最佳的輪值行程組合。Liu et al. [64]為同時求解美國鐵路客運列車組員的一周排班及輪值問題，並提出以基因演算法為基礎之變數產生法來求解，其中，子問題即以基因演算法來求解改善之勤務組合。

公車組員輪值相關研究如 Carraresi and Gallo [15]採用以天為基礎之作法，將公車司機員輪值視為一多層瓶頸指派問題，提出 SSMBA 及 PBA 兩種演算法來求解。其中，SSMBA 利用兩階段求解架構來求解，兩階段均將問題拆解為多個瓶頸指派問題(天數為 2)，並從第一天開始求解瓶頸問題至 m-1 天。第一階段為求解起始解並取得起始之目標值；第二階段則用於尋找是否有改善之解。PBA 則為求解前先依權重遞減排序，再依序由最大權重班別進行起始解構建，之後再測試其他組合尋找是否有改善之解。Bianco *et al*. [8]亦將組員輪值問題視為一多層瓶頸指派問題，並利用啟發式解法於每次遞迴中求解新的下界至近似最佳解。Mesquita *et al*. [74]則同時探討公車司機員排班及輪值問題，並將車輛排班、組員排班及組員輪值三個問題整合列式成一整數規劃問題。然由於問題過於複雜，因此利用以啟發式解法為基礎的優先目標規劃來求解(Preemptive goal programming)。其中，求解分成兩部分，首先應用 2008 年求解車輛及組員排班問題之研究來求解每日之組員勤務，接著再將勤務結果匯入整數規劃模式，求解組員輪值之結果。Xie *et al*. [96]定義公車司機員輪值問題為以週為單位之週期性輪值，其中並考慮利用班別組合(Shift pattern)來規劃週輪值表，班別組合即一連串之班別集合。因此，第一階段先利用整數規劃模式求解最小化勤務組合作為起始解，再藉由模擬退火法改善其公平性目標，接著窮舉所有期望之班別組合集合，並求解最小成本的班別組合來涵蓋每日班別人數需求。Respicio *et al*. [81]利用改良式之基因演算法來求解非週期性葡萄牙公車司機員輪值問題，該研究利用工作成本及工作時間雙目標來作為配適準則，並利用 utopian 及 lexicographic 基因從群體中依不同準則找尋其最佳解，其中 utopian 係為滿足部分限制之不可行解，lexicographic 為滿足全部限制之可行解，最後並利用交換之鄰域搜尋法來尋找是否有改善解。Mesquita *et al*. [75]則利用 Bender decomposition 法來求解車輛、司機員排班及輪值問題，其中，輪值之休假為預設休假組合，即以周為基礎，上班五天休假兩天。而在問題模式上，將車輛、司機員排班及輪值問題列式為一數學模式，並將其中

之車輛及司機員排班之目標及限制視為主問題，輪值目標及限制視為子問題並遞迴求解至無改善子問題。

此外，亦有研究探討機場地勤組員輪值問題如 Dowling *et al.* [34]探討國際機場之地勤組員輪值系統，並利用模擬退火法求解月輪值班表，其中隨機產生起始解，並於交換時僅考慮符合限制之鄰域進行交換。Mason *et al.* [72]利用工作休假組合之輪值型態，即 6 天工作 3 天休假來規劃奧克蘭機場地勤組員輪值表。Hao *et al.* [51]則以週為單位之週期性輪值探討航空地勤組員輪值問題，並利用類神經網路先求解符合規定之週輪班表，再利用交換法來改善休息時間及工作之間差異最小化目標。Chow and Hui [22]利用訪談專家制定輪值表之知識，建構兩階段啟發式求解模式來求解機場服務人員輪值班表。其求解以週班表為基礎，每位人員依序輪值不同週班表來組成長時間輪值，其中，啟發式解法先產生些許違反限制之結果，再利用交換改善求解符合限制之班表。

除上述之方法外，由於組員輪值問題需考慮多樣之輪值規定及限制，當應用啟發式解法找尋改善解時，通常需耗費時間來檢查交換後之解是否為可行解。因此，即有學者探討利用限制規劃法或其概念來輔助尋找可行解。如 Dawid *et al.* [27]於模式中利用限制規劃之 Propogation 概念，輔助窮舉輪值行程(line of work)，以加速判斷後續分支點是否仍為可行。Sellmann *et al.* [85]利用以限制規劃法為基礎之變數產生法求解航空組員輪值問題，並利用啟發式之限制規劃搜尋法來改善重複之勤務組合藉以求得最終之可行解。Yunes *et al.* [99]亦利用以限制規劃法為基礎之變數產生法，求解巴西公車司機員之月輪值班表。此外，韓復華及李俊德[112]亦使用限制規劃法構建以工作休假組合為基礎之捷運站務人員輪值問題，相較於整數規劃，限制規劃能更容易描述及建構模式並求解，且有較佳之求解效率。

除運輸業之組員輪值問題外，限制規劃法亦被應用於具複雜限制之醫院人員輪值規劃中，如 Rousseau *et al.* [83]探討醫師輪值問題，並利用限制規劃法產生多組起始解，將每一位醫師之輪值行程視為一基因，應用基因演算法之概念，進行不同解之交換，最後搭配區域搜尋改善解的品質。韓復華及李俊德[111]探討內科病房之護理人員輪值問題，並分別構建排休及派班兩限制規劃模式求解其輪值班表。He and Qu [52]則利用以限制規劃為基礎之變數產生法求解護理人員輪值問題。Soto *et al.* [88]探討應用限制規劃法求解固定班別組合(Fourth shift)之護理人員及醫務輔助人員輪值表。Baeklund [6]亦利用以限制規劃為基礎之變數產生法求解護理人員輪值問題，其中以人為基礎，即每個護理人員選擇一種個人輪值行程。主問題除考慮護理人員成本外，另考慮護理人員層級及班別重複涵蓋等限制，並最小化其懲罰值。子問題則利用限制規劃法構建符合複雜限制之輪值行程產生模式來產生改善解。

由上述不同運輸系統的組員輪值研究可知，在處理此類複雜問題時，通常會運用分階段或休假組合等方式來簡化問題複雜度。且由於組員輪值需依據不同國家與公司之規定來制定組員輪值表，因此求解模式通常依個案需求設計，更難在不同個案中相互運用。

2.4 大眾捷運系統組員排班及輪值相關研究

大眾捷運系統之名稱，以蘇昭旭[113]一書之介紹，其名稱具有地區文化性，大致可分八大類如英國使用之 Underground、美語系之 Subway、法義西語系常用之 Metro、德語系及東歐諸國之 U-Bahn、新加坡之 MRT 到台灣捷運、中國地鐵、日本地下鐵。目前通用性最高之名稱為 Metro 及 Subway。依上述定義之大眾捷運系統類別可知，關於捷運組員排班及輪值問題之研究至今仍不多。

於捷運組員排班問題求解上，係以(巨集)啟發式解法為主。如 Chu and Chan [24]探討香港輕軌組員排班，並提出三階段啟發式解法來求解，其中第一階段為利用最短路徑法從列車時刻表中求取較佳之工作鏈，接著再使用最小加權對稱配對問題求解含兩個工作鏈之勤務集合，由於第二階段並非所有工作鏈都能配對，因此第三階段提出五種演算法來改善未配對之工作鏈或求解含三個工作鏈之勤務集合。Cavique *et al.* [16]利用禁忌搜尋法求解里斯本地鐵之組員排班問題，首先運用 run-cutting 法逐步選擇列車任務產生可行勤務集合之起始解，並應用以 Subgraph ejection chain 為基礎之鄰域搜尋法搭配廣域擾動策略求解最小勤務數之目標。Chew et al. [21]為探討新加坡捷運之組員排班問題，由於此個案規定某時段內之列車任務屬跨夜勤務，因此該研究首先將車班表之列車任務分成跨夜時段及一般時段之工作鏈，接著分別建立跨夜勤務排班模式及一般勤務排班模式兩問題來求解勤務集合。其中跨夜勤務排班被列式為 weighted bipartite matching 問題，並利用匈牙利法求解；而較複雜之一般勤務排班則利用禁忌搜尋法及鄰域搜尋法求解。Park and Ryu [79]利用隱含基因之基因演算法(genetic algorithm with unexpressed genes)求解韓國地鐵排班，隱性基因主要用於維持廣度，整個演算法以貪心法為基礎。於起始群組部分利用貪心法產生顯性染色體，並隨機產生隱性染色體，並運用貪心法做為交配運算子來產生較佳之子代，突變則利用 K-exchange 法，於每次突變選擇 k 個染色體更換，加入之染色體選擇亦使用貪心法。該研究之目標不同於一般組員排班文獻，由於其任務總數為定值，因此目標為最小化三至四次休息之勤務。Elizondo *et al.* [36]則利用演化法、禁制搜尋法與貪心法求解聖地亞哥捷運排班並比較其效果。

除巨集啟發式解法外。Han and Li [49]提出以限制規劃為基礎之方法求解台北捷運司機員排班問題，該研究利用限制規劃法產生所有可行勤務並直接求解集合涵蓋問題，由此研究可知，限制規劃法可簡單地建構考量多種實務限制之勤務產生模式，此外，亦提出若限制規劃模式無法產生全部可行勤務時，可直接利用限制規劃模式加上對偶可行性條件作為變數產生法中求解改善勤務之子問題模式。

相關研究考量之排班因素整理如表 2.2 所示。由表中可知，在不同個案中，所考量之因素均有所差異，因此以往研究所提出之巨集啟發式解法即難以運用至不同個案中。以可用餐時間限制為例，Chu and Chan [24]、Park and Ryu [79]與 Elizondo *et al.* [36]無規定可用餐時間範圍，若欲將其方法運用至有考量可用餐時間範圍的個案，則需修改搜尋法與判斷準則；勤務涵蓋任務數亦同，限制工作鏈數之搜尋法並無法直接應用於限制任務總數之個案。而在 Han and Li [49]提出的勤務產生限制規劃模式中，由於已考量所有基本的排班因素，且限制規劃法之模式與搜尋法為二層式架構，因此，當個案需求不同時，僅需調整模式中的限制式即可，故應用彈性較巨集啟發式解法佳。

捷運組員輪值相關研究如 Sodhi and Norris [87]以倫敦地鐵為對象，將輪值問題定義為週期性輪值，並利用樣板組合(Pattern)來建構輪值表。求解程序首先為由人工建構以周為主的休假樣板，並指派工作類型周，每一周均為同一種班別或僅能轉換一次班別；建構完後將問題視為一混合整數規劃問題(MILP)求解同等人數之周數輪值表。江俐諭[103]則運用數學規劃法及限制規劃法求解台北捷運司機員輪值問題，該研究將問題分成三個階段依序求解，首先建立排休之目標規劃模式求解每位司機員輪值期之工作日及休假日，第二階段輪班模式及第三階段派卡模式則分別運用限制規劃法求解其工作日之工作班別及執行勤務。Lezaun *et al.* [63] (2007)則探討西班牙巴斯克區的捷運司機員輪值問題，其輪值係以週為單位之週期性輪值，並求解全年的輪值表。其中，將一年分成五種類型，每種類型所需之班別人數需求亦有所不同，因此，首先針對不同類型構建其二元整數規劃輪值模式，接著並考慮不同類型變換時之組合限制、國定假日班別變動之限制

及公平分配之考量來求解全年之輪值表。

於組員輪值研究中，除江俐諭[103]外，其他均為探討週期性輪值，並無考量組員預排需求，因此，求解的輪值表結果可能無法直接運用，若欲考慮組員需求則需由規劃人員手動調整週期性輪值表內容或另外建構模式調整。而江俐諭[103]所探討之捷運司機員輪值，雖然建構的非週期性輪值模式可滿足組員預排需求，但其個案之組員均已有固定輪值班別種類，故無法應用於無固定輪值班別的組員輪值問題上。因此，本研究即針對目前尚無研究探討之無固定輪值班別的非週期性組員輪值問題進行模式構建並求解。

表 2.2 捷運組員排班研究之考慮因素比較表

	Han and Li [49]	Chu and Chan [24]	Cavique *et al.* [16]	Chew *et al.* [21]	Park and Ryu [79]	Elizondo *et al.* [36]
應用案例	台北	香港	里斯本	新加坡	釜山	聖地雅哥
班表涵蓋率	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes
換班點位置限制						
連續任務	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
勤務開始及結束	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
休息時間限制						
時間下限	Yes	No	No	No	No	No
時間上限	Yes	No	No	No	No	No
用餐次數	Yes	No	No	No	No	No
用餐時間限制						
可用餐時間	Yes	No	Yes	Yes	No	No[a]
時間下限	Yes	Yes	Yes[b]	Yes	No	No
時間上限	Yes	No	Yes[b]	Yes	No	No
連續駕駛時間限制						
時間下限	Yes	Yes	Yes	No	No	No
時間上限	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
工時均衡考慮						
時間下限	Yes	No	Yes	No	No	No
時間上限	Yes	No	Yes	No	No	Yes
勤務涵蓋任務數						
完全考慮	Yes	No[c]	No[c]	No[c]	No[d]	Yes
工作班別						
完全考慮	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No[e]

[a] 用餐時間多指派於最長工作鏈後
[b] 固定一小時用餐時間
[c] 每個勤務僅考慮 2 或 3 個工作鏈
[d] 每個勤務固定 10 個列車任務
[e] 僅考慮 2 種全職班別

三、 捷運司機員排班與輪值問題描述及求解架構

捷運司機員排班與輪值至今僅有少數研究探討，且對於捷運系統的營運與司機員指派程序亦無完整介紹。因此，本章即依據相關研究與個案訪談結果，於 3.1 節先敘述捷運司機員排班問題，並於 3.2 節介紹捷運司機員輪值問題，最後於 3.3 節提出本研究完整的求解程序。

3.1 捷運司機員排班問題描述

捷運司機員排班的目的為求解涵蓋所有列車任務(Task)的最小勤務(Duty)成本組合，並滿足相關排班規定如交接車站限制、連續駕駛時間限制、休息時間限制等。於捷運系統中，司機員指派係以車班為基礎，且各車班有對應的機廠及營運路線。因此，司機員排班問題即依據每日各車班所負責的列車車班表來規劃司機員勤務。

於車班表資料中，車站可分成三種類型：(1) 一般載客車站（Transit stations）：僅提供一般乘客上下車及轉乘之車站，但不提供司機員交接或列車停放及維護；(2) 可提供司機員交接之車站，本研究將其稱為終站(Ternimal stations)：此類型車站除提供一般乘客上下車服務外，另亦提供司機員休息場所或列車暫時停放之空間；(3) 機廠(Yard stations)：主要為提供捷運列車收發車之車站，列車並於此車站進行例行保養及維修工作，此類型車站通常鄰近於第二類車站。此外，由於機廠並不提供載客服務，因此，一般提供給民眾的捷運路線圖上並不會標註。圖 3.1 為包含機廠的捷運路線示意圖。於司機員排班問題中，車班表資料僅會以第二類及第三類車站作為列車任務的起迄站，故此兩類車站亦可定義為司機員之換班點(Relief point, RP)。

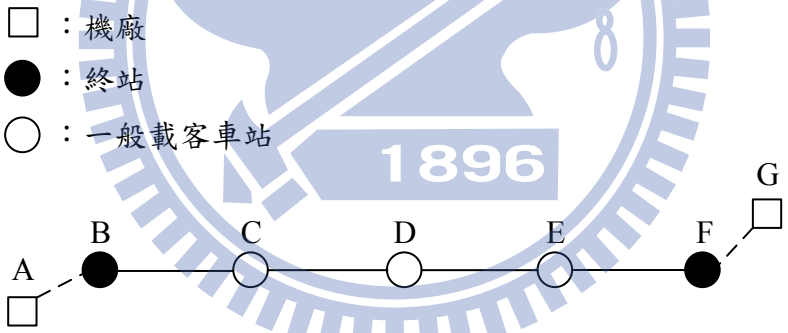


圖 3.1 捷運路線示意圖(含機廠)

介於兩換班點間的列車任務(Task)即捷運司機員排班問題的最小排班單位。依列車任務營運特性，可分為一般載客任務、發車任務及收車任務三類。一般載客任務係從早晨首發車至夜間末班車間，所有提供載客服務之列車任務，此類任務於端點站間往返運行，並沿途停靠所有車站提供載客服務，以圖 3.1 為例，即 B→C→D→E→F 或 F→E→D→C→B。第二類發車任務通常於載客首發車任務前兩小時開始，包含司機員將列車由機廠開至鄰近之端點站(A→B 或 G→F)，並執行檢查軌道之巡軌任務(B→C→D→E→F 及 F→E→D→C→B)，確保列車可於營運期間安全地執行載客任務。收車任務則為末班車結束載客服務後，將列車送回機廠之任務(B→A 或 F→G)。以此三類列車任務為基礎，即可得知每日應規劃的列車任務數，且每個任務會有列車車次、發車站、發車時間、到達站、到達時間、前置時間與收車時間的資料。

勤務(Duty)由多個列車任務所組成，每一個勤務代表司機員一日的工作內容。以圖 3.2 為例，該勤務共包含 4 個列車任務。故司機員上班時需先至 Task1 的發車站進行簽到(Check in)，隨後開始執行列車任務 (Task1~Task4)，最後結束當日列車任務後再回到

簽到車站進行簽退並下班。其中，若規劃之相鄰任務其到達站與發車站不同、或簽到車站與最後列車任務的到達站不同時，則應給予空載(Deadhead)旅次，以便將司機員送至相鄰任務的發車車站或回到原簽到車站。空載期間司機員如同一般乘客，不需執行駕駛列車工作，但車上時間仍應列為工作時間。圖 3.2 即為最後任務之換班點非原簽到車站，故給予空載旅次將司機員送回原車站並進行簽退，結束一天的工作。

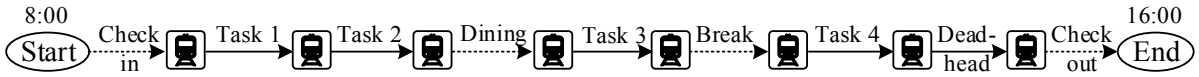


圖 3.2 司機員勤務示意圖

此外，不同於航空機組員排班，捷運司機員規劃的勤務工作內容需介於某一班別中，以圖 3.2 的 8 點開始之 8 小時班為例，該勤務中的所有任務，其發車與到達時間在考量任務的前置時間、收車時間、簽到、簽退、與空載時間後，需介於 8:00 至 16:00 間，才為一可行勤務。因此，一般捷運排班問題所考量的限制可分成班別、位置與時間三類，敘述如下：

1. 班別相關限制：

   (1) 工作班別時間限制：即規劃的每一個勤務需介於某一個可行班別的開始與結束時間中。

   (2) 班別是否用餐：對於不同開始時間與工時之班別，是否需給予用餐的規定亦不同，如 8:00 至 16:00 的 8 小時班會橫跨中午用餐時間，故需給予用餐；22:00 至 7:00 的大夜班則因凌晨時段有長時間休息，故不需給予用餐。因此，規劃勤務時即需考慮班別是否需給予司機員用餐的限制。

   (3) 用餐時段限制：對需安排用餐之班別，均有一可用餐時段限制，規劃勤務時需讓司機員於此時段內開始用餐，其他非用餐時段則不能指派用餐。

2. 位置相關限制：

   (1) 兩相鄰任務之換班點需相同：每個任務的發車站需與前一個任務到達站相同，否則應給予空載旅次。

   (2) 簽到與簽退車站需相同：每個勤務的簽到與簽退車站需相同，否則應於最後一個任務結束後給予空載旅次讓司機員回到簽到車站。

3. 時間相關限制

   (1) 休息時間限制：為讓司機員有足夠休息時間，因此每次休息時間應大於捷運公司規定之最小休息時間。此外，為讓人力能有效運用，亦可能會制定最大休息時間限制。

   (2) 用餐時間限制：同休息時間限制，用餐時間應介於捷運公司規定之最小與最大用餐時間之間。

   (3) 連續駕駛時間限制：為避免疲勞駕駛，每個勤務中的連續駕駛列車時間不得超過公司規定之時間上限。此外，連續駕駛時間亦可能規定時間下限避免無效率的指派。

上述即規劃司機員勤務必須滿足之硬限制條件。除硬限制外，規劃人員亦可能考

慮其他軟限制，如每個勤務的列車駕駛時間儘量相同或使用較少班別涵蓋所有列車任務以利後續制定司機員輪值表。

3.2 捷運司機員輪值問題描述

捷運司機員輪值係將司機員排班問題所求解之各班表勤務結果，指派給輪值期中需工作的司機員。此問題除應確保每日的所有勤務均有司機員執勤外，另需滿足輪值法規及公司規定之輪值硬限制。此外，規劃人員亦可能考量不同公平性軟限制，讓輪值表能儘量滿足司機員期望。

因此，建構司機員輪值表前需已知：(1) 勤務資料：即司機員排班問題所求解之不同車班表所需勤務、以及各勤務對應班別相關資料。車班表類型依個案需求而定，如高雄捷運將車班表分成平日班表、假前班表及假日班表三類。(2) 輪值期：依法律及公司規定不同，輪值期亦會有所差異。以台灣捷運系統而言，輪值週期多以月為基準。(3) 司機員資料：除運用各班表勤務數估算輪值期所需之輪值總人數外，每位司機員亦可能有指定可輪值班別或預排的資料。於司機員技能上，則因捷運列車車型均相同，故司機員無駕駛列車技能之差異。(4) 班別資料：分成工作班別及休假班別兩類。工作班別除排班問題求解之勤務班別外，另包含特殊工作班別如教育訓練、體檢、公差等；休假班別則包含一般法律規定之例假日及其他特殊休假如特休、產假、病假等。(5) 輪值限制：分成硬限制及軟限制兩類。硬限制為必須滿足、不可違反的限制條件，通常為法律或公司規定；軟限制則為規劃人員或司機員的期望因素，於規劃輪值表時需儘量滿足。有關捷運司機員輪值硬限制敘述如下：

1. 預排需求：
   (1) 預排工作班別：若司機員於某日需指派教育訓練、公出或出差等其他工作班別，則當日不得指派勤務或休假。
   (2) 預排休假班別：若司機員於某日提出特休、婚假或產假等休假需求，則當日不得指派勤務或休假。
2. 勤務(人力)需求限制：輪值期間需確定每日均有足夠司機員來執行所有勤務。
3. 工作考慮因素：
   (1) 司機員於工作日中僅能指派一個勤務。
   (2) 最大連續工作天數限制：依勞基法第 36 條規定勞工每七日中至少應有一日之休息，作為例假。因此，為符合法規限制，需限制最大連續工作天數。
   (3) 最小連續工作天數限制：為避免發生休假、工作、休假組合，規劃人員即可能考慮最小連續工作天數限制。
   (4) 週總工作時間限制：依勞基法第 30 條規定，每二週工作總時數不得超過八十四小時。前項正常工作時間，雇主經工會同意，如事業單位無工會者，經勞資會議同意後，得將其二週內二日之正常工作時數，分配於其他工作日。其分配於其他工作日之時數，每日不得超過二小時。但每週工作總時數不得超過四十八小時。
   (5) 輪值班別型態限制：依勞基法第 34 條規定，勞工工作採晝夜輪班制者，其工作班次，每週更換一次。但經勞工同意者不在此限。

4. 班別銜接考慮因素：

   (1) 若連續兩日工作班別不同時，需給予足夠的休息時間。

   (2) 更換班別時，需給予之休假時間。

5. 休假考慮因素：

   (1) 最大連續休假天數。

   (2) 輪值期總休假天數：除一般例假外，依勞基法第 37 條規定，紀念日、勞動節日及其他由中央主管機關規定應放假之日，均應休假。

上述即為制定司機員輪值表可能考量之相關法律及公司規定。此外，規劃人員亦可能考慮其他公平性軟限制來符合司機員期望，一般考慮的軟限制如下：

1. 休假公平性：為司機員最重視之公平性指標。休假公平可分為兩類，一類為輪值期總休假天數公平，另一類為例假日總休假天數公平。

2. 輪值班別型態公平分配：對本研究探討之無固定輪值班別型態的司機員，因司機員輪值期間可輪值任一種班別型態如早、中、晚班，因此，即期望能公平分配不同班別型態的指派天數。

3. 極早班別公平分配：對於極早開始工作之勤務班，應儘量公平分配，用以均衡司機員之負擔。如公平分配 5:00 前開始之勤務班。

4. 班別時間公平性：若規劃之勤務班別可涵蓋不同班別長度，如班別除 8 小時正常班外，另可考量 7 小時或 9 小時班，則在規劃輪值表時即需考慮班別時間公平性。

5. 駕駛時間公平性：若規劃勤務之班別以 8 小時正常班為主，且勤務駕駛時間差異較大，則在規劃輪值表時即須考慮駕駛時間公平性，避免某一司機員於輪值期中均指派長駕駛時間勤務或短駕駛時間勤務。

3.3 混合 CP 及 MP 之司機員排班及輪值問題求解架構

司機員排班及輪值為一程序性求解架構，首先於已知車班表後，先求解司機員排班問題，獲得各班表的勤務結果，接著求解司機員輪值問題，將每日勤務指派給不同的司機員，進而獲得司機員輪值表。於此程序中，本研究將其分成四個子問題，並依據問題特性，分別運用限制規劃法(CP)與數學規劃法(MP)建構模式並求解。整體求解架構圖如圖 3.3 所示。

司機員排班問題分成勤務產生及勤務組合最佳化兩個子問題。勤務產生問題係產生滿足所有排班硬限制之可行勤務，由於此問題無目標式，因此屬一限制滿足問題。故在已知換班點、列車任務、勤務成本、公司營運規定及法規限制等輸入資料下，本研究即利用限制規劃法來建構勤務產生模式並求解所有班別的可行勤務。運用限制規劃法之優點除容易將實務規則模式化外，若模式需增減或變更限制時，限制規劃法亦可容易地修正模式使其滿足新的限制。勤務組合最佳化問題則定義為集合涵蓋模式，即從已產生的可行勤務中選取涵蓋所有列車任務之最小勤務成本組合。

然而，依據排班問題規模大小或限制程度，勤務產生模式可能可在合理時間如 30 分鐘內產生全部可行勤務或無法產生全部可行勤務，因此，需考慮不同程序來求解最佳勤務組合。其中，可分成兩大類、三種程序來求解最小勤務成本組合，各程序內容敘述如下：

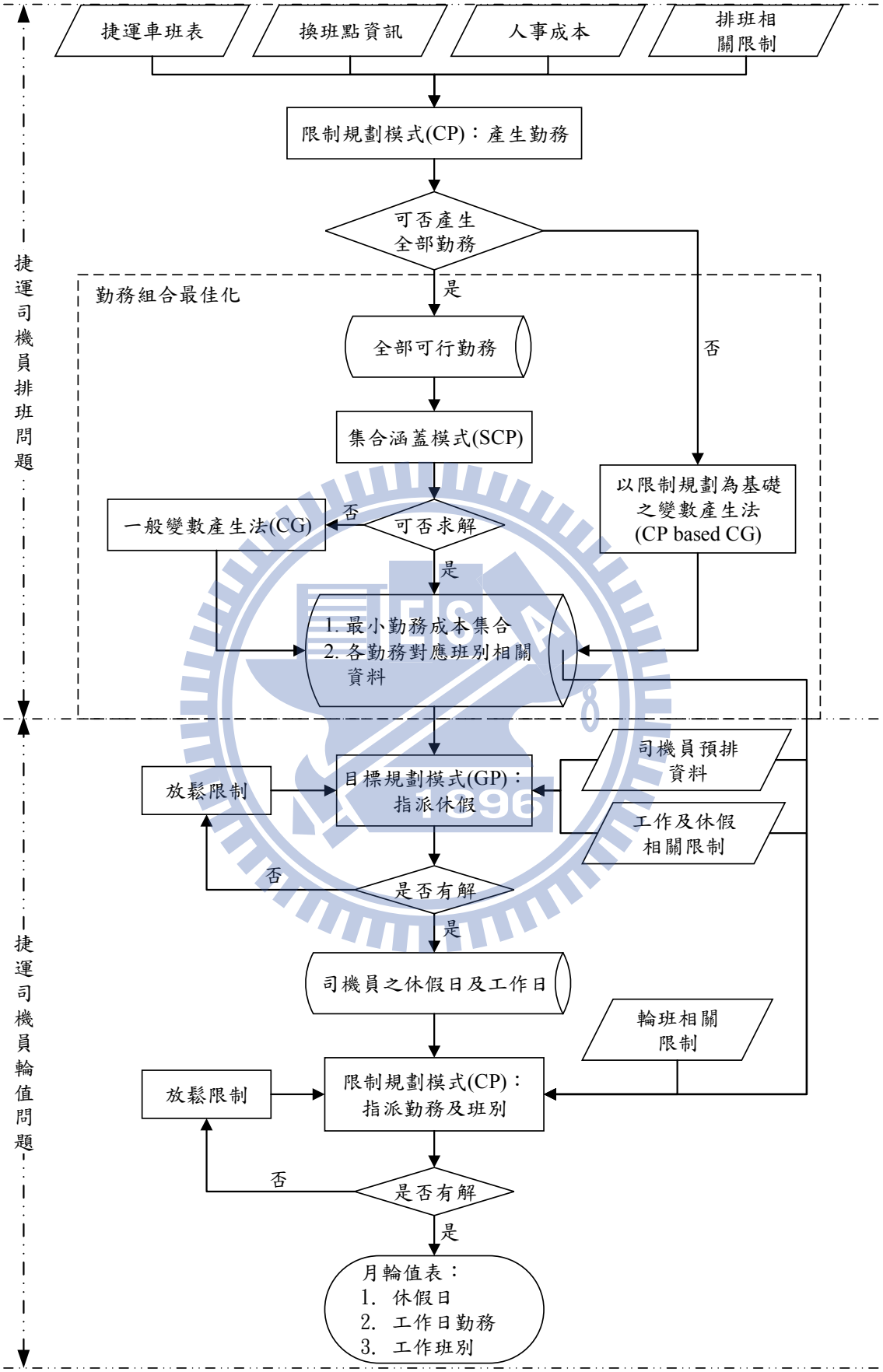


圖 3.3 混合 CP 及 MP 之司機員管理問題求解架構圖

(1) 已知所有可行勤務：若勤務產生模式可於合理時間內可產生所有班別的可行勤務，則有下列兩種程序來求解最小勤務成本組合：

(i) 直接求解集合涵蓋模式：若所有可行勤務規模並非相當龐大，且可直接求解集合涵蓋模式，即獲得最小勤務成本組合。

(ii) 一般化變數產生法：若所有可行勤務規模較大導致集合涵蓋模式無法直接求解，則需利用一般化變數產生法來求解最佳解。由於已知全部可行勤務，因此求解時係先從全部可行勤務集合中，選取部分涵蓋所有任務之勤務作為起始勤務，並求解放鬆受限制主問題，接著依據對偶函數值從尚未選取之可行勤務中尋找最佳改善可行勤務，並將其加入放鬆受限制主問題中求解，反覆至無改善可行勤務為止。最後再利用已選取的可行勤務求解集合涵蓋模式並獲得整數解，即為最小勤務成本組合。

(2) 未知所有可行勤務：若勤務產生模式無法於合理時間內產生所有可行勤務，即利用以 CP 為基礎之變數產生法來求解最小勤務成本組合。其中，起始勤務亦應用相同之勤務產生模式加上任務涵蓋限制式，產生部分涵蓋所有任務之可行勤務集合，接著求解放鬆受限制主問題，並產生各任務對偶值；而在子問題部分，則在原勤務產生模式中加入計算最小勤務改善值之目標式，並依問題特性修改相關限制來求解最佳改善可行勤務，修正模式將於 4.3 節探討。於子問題求解出改善可行勤務後，再將新的可行勤務加入放鬆受限制主問題反覆求解至子問題無改善可行勤務。最後再利用已產生的可行勤務求解集合涵蓋模式並獲得整數解，即為最小勤務成本組合。

於最小勤務成本組合的輸出結果中，除勤務結果外，本研究亦將紀錄各勤務對應之班別相關資料，作為後續司機員輪值問題之輸入資料。

組員輪值問題則在已知排班問題結果、司機員預排資料下，求解滿足所有輪值硬限制與儘量滿足司機員期望軟限制的司機員輪值表。除司機員人數、輪值天數、班別及不同勤務組合組成之龐大解空間外，複雜的輪值硬限制及軟限制更增加輪值問題複雜度。為求解此複雜之組合問題，以往研究通常將問題分成多個階段或縮小問題規模來求解。而在規劃輪值表時，亦會先確定輪值類型為週期性輪值或非週期性輪值，並運用不同求解架構來求解輪值表。

週期性輪值係先求解一短時間的輪值行程，後續組員即依序輪值不同的輪值行程。以圖 3.4 為例，4 位組員於 28 天輪值期中，先求解前 7 天的輪值行程組合，接著各組員依序輪值 P1 至 P4 四種輪值行程。週期性輪值除可簡化問題複雜度，加快求解效率外，在不受其他外在因素影響下，對公平性的滿足程度亦最高。但於實務規劃中，輪值表通常需考量司機員預排或休假公平等需求，因此，週期性輪值表需再經由規劃人員手動調整後，才為真正可運用之輪值表，且調整後之輪值表亦將打破原週期性輪值表的公平性結果。

相較於週期性輪值，非週期性輪值則可於求解過程中考量預排與公平性需求，但求解難度亦較高。為求解非週期性輪值，一般會利用分階段架構來求解。其中，可分成兩種類型，第一類為先決定輪值期的司機員休假日，接著再指派勤務或班別給需工作的司機員，如圖 3. 5 所示；另一類為將輪值期分成多個子問題，如圖 3. 6 所示，將 28 天輪值期分成四個 7 天的子問題，再依序求解每七天的休假及班別組合。

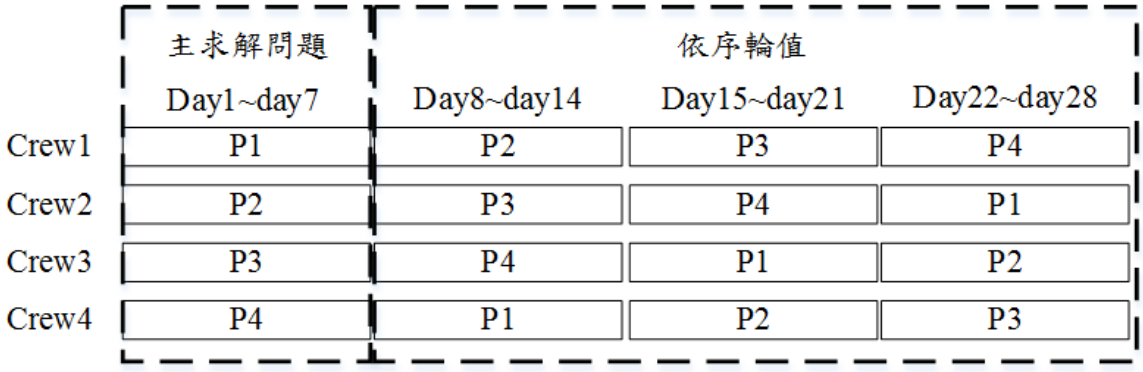


圖 3.4 週期性輪值求解範例

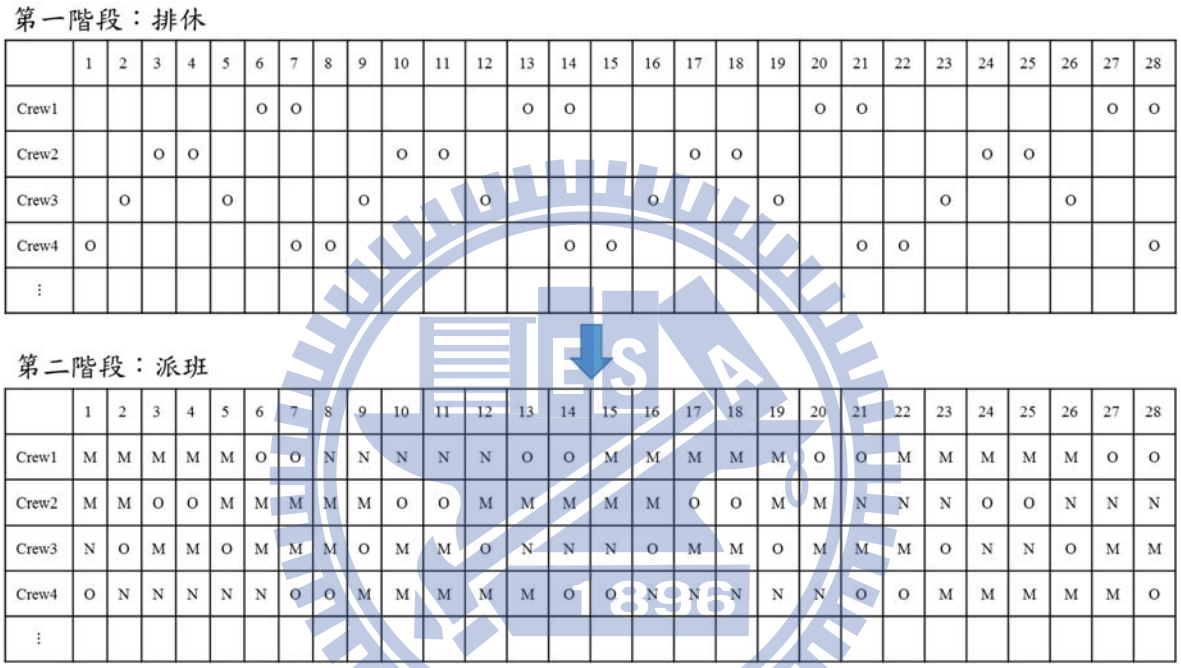


圖 3.5 非週期性兩階段模式輪值求解範例

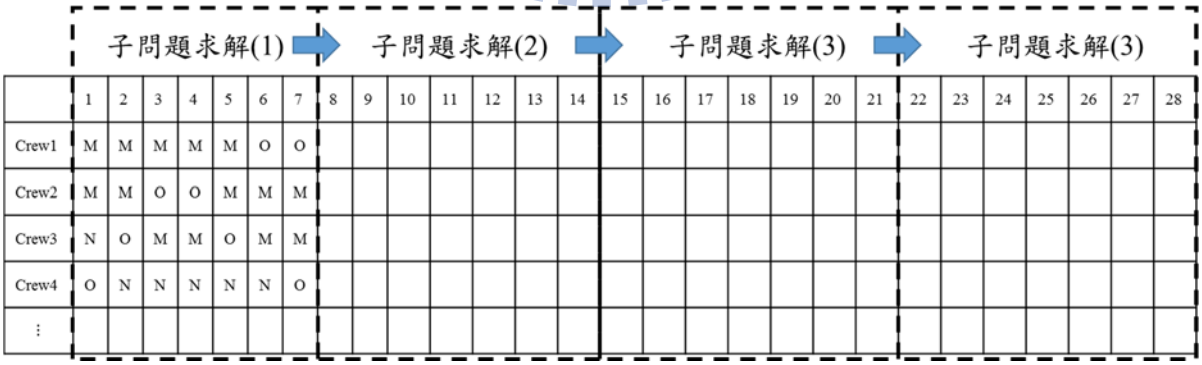


圖 3.6 非週期性多階段模式輪值求解範例

於非週期性輪值之分階段求解架構中，雖然有研究運用休假或班別樣板(Pattern)來簡化問題複雜度，如固定工作五天休假兩天之休假樣板，但樣板組合亦可能無法滿足司機員預排需求。因此，為使模式求解出之輪值表結果能符合司機員預排與公平性需求，本研究即以不考量樣板組合之非週期性輪值來建構相關模式。

於輪值問題求解架構上，本研究以兩階段架構來求解司機員輪值表。其中，第一階段為制定司機員排休表，此階段除考慮司機員預排需求、每日勤務所需人力、工作及休假天數硬限制外，另將考慮休假公平性軟限制，滿足司機員對休假公平之期望，因此，即利用目標規劃法來建構司機員排休模式，結果為輪值期中每位司機員之工作日及休假日。

第二階段的勤務指派問題則以第一階段結果為基礎，將每日勤務指派給需工作之司機員，為縮小變數規模並滿足多種邏輯限制式，此階段將運用限制規劃法來建構勤務指派模式。於公平性軟限制考量上，主要為考量班別型態公平分配、極早班別公平分配等。勤務指派模式結果即為完整司機員輪值表，內容包含每位司機員之休假日、工作日之勤務及對應班別。

此外，若司機員排休模式或勤務指派模式無可行解，即代表某些限制條件範圍過於嚴苛，因此需放鬆限制並重新求解。如限制最大連續工作天數僅能 4 天，即可能因範圍過小無可行解存在，故需將最大連續工作天數增加至 5 天。

上述即捷運司機員排班與輪值問題完整求解程序。後續第四章及第五章將分別說明如何建構相關模式，並於第六章運用個案實際資料求解司機員勤務與輪值表。

四、 捷運司機員排班模式構建

本章為針對捷運司機員排班問題，探討如何運用限制規劃法建構符合實務需求的勤務產生模式，並詳述 3.3 節提出的三種求解程序步驟，來獲得最小化勤務成本組合。首先，4.1 節先描述捷運司機員排班所需資料及對應參數；4.2 節說明勤務產生限制規劃模式的變數與限制式設計；4.3 節則探討針於不同問題規模，如何運用集合涵蓋模式與變數產生法架構求解最小化勤務成本組合；最後於 4.4 節簡單彙整 Han and Li [49]於台北捷運司機員排班結果。

4.1 捷運司機員排班資料及參數

捷運司機員排班係求解涵蓋所有列車任務的最小勤務成本組合，且每個勤務需介於某一可行班別的開始與結束時間中，並滿足相關排班限制。因此，排班資料可分成列車任務、可行班別及排班限制三類，相關資料及對應參數彙整如表 4.1 所示。

參數 *Task* 表所有列車任務集合，且$Task = \{0, 1, 2, \dots, \mathrm{Nt}\}$，其中 0 為虛擬任務，Nt 為車班表的總列車任務數。每個任務包含七項資料，分別為列車車次(Number_t)、發車站(Org_t)、發車時間(Dept_t)、到達站(Des_t)、到達時間(Arr_t)、前置時間($\mathrm{Prepare}_t$)以及收車時間(FT_t)。其中，虛擬任務為讓本研究產生的勤務具彈性之設計，其功用將於 4.2 節變數設計時說明，資料設定為$\mathrm{Number}_0 = \mathrm{Org}_0 = \mathrm{Des}_0 = \mathrm{Prepare}_0 = \mathrm{FT}_0 = 0$，以及$\mathrm{Arr}_0 = \mathrm{Dept}_0 = 9999$。

於任務資料中，發車時間及到達時間均轉換為以分鐘數表示。前置時間則依列車營運任務特性，需給予不同時間值。如任務為發車任務時，司機員需先至機廠取車並進行行車前檢查，故需較長前置時間；若為載客任務，司機員僅需於接車前領取行車工作袋並聽取任務提示，故前置時間較短。收車時間亦同，通常發生在結束載客服務將列車駛回機廠之收車任務，司機員將列車駛回機廠後，需進行車廂檢查，故需給予一收車時間。列車任務資料範例如表 4.2 所示。

參數 *S* 表所有可行班別集合，每個班別包含開始時間(Start_s)、結束時間(End_s)、最早可用餐時間($\mathrm{dine_LB}_s$)以及最晚可用餐時間($\mathrm{dine_UB}_s$)四類基本資料，並均以分鐘數來表示。班別資料範例如表 4.3 所示。其中，班別代碼以 4 碼數字來表示，前三碼表開始時間，如 070 表 0700 開始之班別，073 表 0730 開始之班別；第四碼表班別長度，其中 1 表班別長度為 6 小時、2 表 6.5 小時、3 表 7 小時至 9 表 10 小時班別。除上述資料外，若捷運公司有規劃從前一晚深夜開始工作至隔日早晨之大夜班班別，因凌晨無提供列車載客服務，故最大休息時間將遠大於其他班別且不需用餐。因此，班別資料需另外增加班別最大休息時間(maxRT_s)及用餐次數($\mathrm{numDine}_s$)資料來區別不同班別之特性。

其他排班限制相關參數敘述如下：

- 司機員所需簽到時間(CIT)及簽退時間(COT)。
- 休息時間限制：除班別資料的最大休息時間(maxRT_s)外，另需限制最小休息時間(minRT)，確保給予司機員足夠休息時間。
- 用餐時間限制：用餐時間限制參數分別為最小用餐時間(minDT)及最大用餐時間(maxDT)。
- 連續駕駛時間限制：連續駕駛時間限制參數分別為最小連續駕駛時間(minCDT)及最大連續駕駛時間(maxCDT)。

- 兩換班點之空載旅行時間(DHT)：空載時間依換班點類型可分成兩類，一類為兩換班點均為終站，空載時間即為列車行駛於兩站間的平均時間。另一類為終站與機廠間的空載時間，時間為司機員站間步行時間。

表 4.1 捷運司機員排班問題參數說明表

參數定義	參數說明
Task	列車任務集合，$Task = \{0, 1, 2, \ldots, \mathrm{Nt}\}$，其中 0 為虛擬任務
Nt	總列車任務數
Number_t	第 t 個任務之列車車次，其中$t \in Task$
Org_t	第 t 個任務發車換班點，其中$t \in Task$
Dept_t	第 t 個任務發車時間，其中$t \in Task$
Des_t	第 t 個任務到達換班點，其中$t \in Task$
Arr_t	第 t 個任務到達時間，其中$t \in Task$
$\mathrm{Prepare}_t$	第 t 個任務前置時間，其中$t \in Task$
FT_t	第 t 個任務收車時間，其中$t \in Task$
S	班別集合
Start_s	第 s 種班別開始時間，其中$s \in S$
End_s	第 s 種班別結束時間，其中$s \in S$
$\mathrm{dine_LB}_s$	第 s 種班別最早可用餐時間，其中$s \in S$
$\mathrm{dine_UB}_s$	第 s 種班別最晚可用餐時間，其中$s \in S$
maxRT_s	第 s 種班別最大休息時間，其中$s \in S$
$\mathrm{numDine}_s$	第 s 種班別是否需給予用餐，其中$s \in S$
CIT	簽到時間
COT	簽退時間
minRT	最小休息時間
minDT	最小用餐時間
maxDT	最大用餐時間
minCDT	最小連續駕駛時間
maxCDT	最大連續駕駛時間
DHT(i, j)	換班點 i 至換班點 j 之空載旅行時間

表 4.2 捷運列車任務資料範例

Task	Number	Org	Dept	Des	Arr	Prepare	FT
0	0	0	9999	0	9999	0	0
1	001	Yard	309	B	358	30	0
2	001	B	366	A	406	5	0
3	001	A	406	A	425	5	0
4	001	A	425	B	462	5	0
5	001	B	470	A	513	5	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

表 4. 3 班別資料範例

班別代碼 [1]	Start	End	dine_LB	dine_UB	maxRT	numDine
0705	420	900	600	780	40	1
0735	450	930	600	780	40	1
2209	1320	1920	0	0	270	0
2239	1350	1950	0	0	270	0
1105	660	1140	600	780	40	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

1. 班別代碼前三碼表班別開始時間，如 070 表 0700 開始之班別，223 表 2230 開始之班別；第四碼表班別長度，其中 1 表 6 小時班、2 表 6.5 小時班、3 表 7 小時班、4 表 7.5 小時班、5 表 8 小時班、6 表 8.5 小時班、7 表 9 小時班、8 表 8.5 小時班、以及 9 表 10 小時班。

4. 2 勤務產生：限制規劃模式

本研究以 Han and Li [49]之勤務產生模式為基礎，並再加入任務前置時間、收車時間以及兩連續任務間之容許時間，藉以讓模式可適用於更多排班需求。依限制滿足問題(C, X, D)之定義，本節先說明如何設計模式所需變數及變數對應值域，接著再依個案考慮因素建構相關限制式。

4.2. 1 CP 模式變數設計

勤務產生模式係用於產生捷運排班問題的可行勤務，每一個解即代表一個符合所有排班硬限制之可行勤務。由 3.1 節司機員排班問題描述可知，勤務由多個任務所組成，因此，本研究定義x_i變數表勤務中第 i 個指派的列車任務，且$i = \{1, 2, \dots, m\}$，如式(4-1)所示。

$$Duty = \{x_1, x_2, \dots, x_m\} \tag{4-1}$$

變數值域為列車任務集合$Task = \{0, 1, 2, \dots, \mathrm{Nt}\}$。m 為一個勤務中所能指派之最大任務數，計算公式如式(4-2)所示：

$$m = max_s \left(\frac{\mathrm{End}_s - \mathrm{Start}_s - \mathrm{minDT} - \mathrm{minRT} - \mathrm{CIT} - \mathrm{COT}}{min_i(\mathrm{Arr}_i - \mathrm{Dept}_i)} \right) \tag{4-2}$$

最大任務數係利用最長班別時間扣除最小用餐時間、最小休息時間、簽到時間及簽退時間後，得到單一勤務最長可能駕駛時間，接著除以最小任務駕駛時間即可求得。其中，最小任務駕駛時間不包含收發車任務。

然而，每個可行勤務所指派的列車任務總數並不一定等於最大任務數 m，因此需利用虛擬任務來補足無指派列車任務的變數。以圖 3. 2 為例，假設$m = 6$，則勤務的第五個及第六個變數即為虛擬任務，$x_5 = x_6 = 0$。此設計不同於以往捷運排班相關研究需固定總工作鏈數或總任務數，運用虛擬任務概念來求解勤務，可尋找較彈性之任務組合，如可行勤務可包含 1 個至 m 個列車任務或多個工作鏈，視個案需求而定。

此外，為避免司機員長時間連續駕駛列車，因此兩相鄰任務間可能需給予休息或用餐。故模式以中斷變數$break(x_i, x_{i+1})$來判斷兩相鄰任務x_i及x_{i+1}是否連續。變數定義如下：

$$break(x_i, x_{i+1}) = \begin{cases} 1 & \text{if } (\mathrm{Dept}_{x_{i+1}} - \mathrm{Arr}_{x_i} \geq \mathrm{minRT}) \wedge (x_{i+1} \neq 0) \\ 0 & otherwise \end{cases}$$
$$\forall\, i = \{1, 2, \dots, m-1\} \tag{4-3}$$

其中，若第 i+1 個任務發車時間扣除第 i 個任務到達時間大於等於最小休息時間，且第 i+1 個任務非虛擬任務，即表兩任務為非連續任務，$break(x_i, x_{i+1})$等於 1，否則為 0。相較於 Han and Li [49]之模式，本研究考量的兩任務到達與發車時間容許值，主要為滿足司機員的換班點位於捷運路線頭尾兩端，列車到站時會停留數分鐘再行駛之狀況。

而當中斷發生時，則需決定此中斷為休息或用餐。因此，模式另外定義兩類二元變數$rest(x_i, x_{i+1})$及$dining(x_i, x_{i+1})$，分別代表是否休息與是否用餐，且兩類變數和需等於中斷變數，表休息及用餐僅能為其中一種，相關限制定義如式(4-4)所示：

$$break(x_i, x_{i+1}) = rest(x_i, x_{i+1}) + dining(x_i, x_{i+1}) \quad \forall i = 1, 2, \dots, m-1 \tag{4-4}$$

此外，並利用$breaktime(x_i, x_{i+1})$中間變數來記錄每個中斷的時間，用以處理休息及用餐時間限制。變數定義如下：

$$breaktime(x_i, x_{i+1}) = \begin{cases} \text{Dept}_{x_{i+1}} - \text{Arr}_{x_i} - \text{Prepare}_{x_{i+1}} - \text{FT}_{x_i} - \text{DHT}(\text{Des}_{x_i}, \text{Org}_{x_{i+1}}) & if\ break(x_i, x_{i+1}) = 1 \\ 0 & otherwise \end{cases}$$
$$\forall i = \{1, 2, \dots, m-1\} \tag{4-5}$$

其中$\text{Dept}_{x_{i+1}} - \text{Arr}_{x_i}$為相鄰兩任務發車與到達之時間差；$\text{Prepare}_{x_{i+1}}$為接續任務前置時間；$\text{FT}_{x_i}$為前一任務結束後的收車時間；$\text{DHT}(\text{Des}_{x_i}, \text{Org}_{x_{i+1}})$為兩任務發車站及到達站間的空載時間。其中，藉由空載時間的估算，即可滿足相鄰兩任務發生中斷時，換班點需相同之位置限制。即當兩任務換班點不同時，中斷時間除考量兩任務前置與收車時間外，另需再同時考量兩站間之空載時間，確保此中斷有足夠時間讓司機員移動到下一任務的發車站。若兩任務換班點相同，則不需考量空載時間，$\text{DHT}(\text{Des}_{x_i}, \text{Org}_{x_{i+1}}) = 0$。

最後一類變數為連續駕駛時間紀錄變數，用於判別指派的連續任務其連續駕駛時間是否有超過公司規定時間。本研究將連續駕駛時間變數CDT_i定義為第 i 個任務結束時之累積連續駕駛時間，且僅在發生中斷與最後一個列車任務時才計算累積駕駛時間值。該變數定義如下：

$$CDT_i = \begin{cases} \sum_{n=1}^{i}(\text{Arr}_{x_n} - \text{Dept}_{x_n}) - \sum_{k=1}^{i-1} CDT_k & if\ \text{Dept}_{x_{i+1}} - \text{Arr}_{x_i} \geq \text{minRT} \\ 0 & otherwise \end{cases}$$
$$\forall i = \{1, 2, \dots, m-1\} \tag{4-6}$$

且

$$CDT_m = \sum_{n=1}^{m}(\text{Arr}_{x_n} - \text{Dept}_{x_n}) - \sum_{k=1}^{m-1} CDT_k \tag{4-7}$$

以圖 3.2 為例，其中 Task2 結束後為用餐，Task3 結束後為休息，Task4 結束後即結束當日駕駛列車任務，因此，該勤務僅有CDT_2、CDT_3及CDT_4需計算連續駕駛時間值，其他 CDT 變數均為 0。

變數值域為$\{0, 1, \dots, \text{maxCDT}\}$。由於司機員連續駕駛時間需小於最大連續駕駛時間 maxCDT，因此，模式可簡單利用變數值域來滿足該限制。然而，最小連續駕駛時間 minCDT 則無法運用值域設計來滿足，主要為式(4-6)中，若連續兩任務間無中斷，則 CDT 變數必為 0，因此最小連續駕駛時間需於限制式中考量。

4.2.2 CP 模式限制式設計

於捷運司機員排班規則中，除總勤務數需涵蓋所有列車任務的考量於求解最佳化問題時滿足外，其他排班硬限制於勤務產生模式中即需考慮。而在建構排班硬限制的限制式前，模式需先考量兩個附加限制式，分別為第一個任務不能指派虛擬任務，避免產生

全部任務皆為虛擬任務之空勤務，限制式定義如式(4-8)；第二個附加限制式為任務順序性，即後一個任務的發車時間必須大於等於前一個任務的到達時間，如式(4-9)所示。

$$x_1 \neq 0 \tag{4-8}$$

$$\text{Dept}_{x_{i+1}} \geq \text{Arr}_{x_i} \quad \forall\, i = \{1, 2, \dots, m-1\} \tag{4-9}$$

連續任務位置限制：若相鄰兩任務為連續任務，為確保其到達站與發車站需相同，可利用指派同一列車車次來滿足。即當第 i+1 個任務發車時間扣除第 i 個任務到達時間小於最小休息時間，則兩任務列車車次需相同。限制定義如下：

$$(\text{Dept}_{x_{i+1}} - \text{Arr}_{x_i} < \text{minRT}) \Longrightarrow (\text{number}_{x_{i+1}} = \text{number}_{x_i}) \quad \forall\, i = \{1, 2, \dots, m-1\} \tag{4-10}$$

工作班別限制：對每一個可行勤務所指派的列車任務，其發車與到達時間均應介於某一班別的開始與結束時間之間，且發車時間需考量簽到及任務前置時間，到達時間需包含簽退、收車及空載時間，即$\left[\text{Start}_s + \text{CIT} + \text{Prepare}_{x_i},\ \text{End}_s - \text{COT} - \text{FT}_{x_i} - \text{DHT}\right]$。因此，工作班別限制可定義如式(4-11)及式(4-12)，其中，指派任務不包含虛擬任務。

$$x_i \neq 0 \Longrightarrow (\text{Dept}_{x_i} \geq \text{Start}_s + \text{CIT} + \text{Prepare}_{x_i}) \quad \forall i \in M \text{ and } s \in S \tag{4-11}$$

$$x_i \neq 0 \Longrightarrow \left(\text{Arr}_{x_i} \leq \text{End}_s - \text{COT} - \text{FT}_{x_i} - \text{DHT}\left(\text{Des}_{x_i}, \text{Org}_{x_1}\right)\right) \quad \forall\, i \in M, s \in S \tag{4-12}$$

於式(4-12)中，空載時間$\text{DHT}\left(\text{Des}_{x_i}, \text{Org}_{x_1}\right)$用於滿足簽到及簽退換班點需相同之位置限制。即若列車任務到達站與首個任務的發車站不同，則需給予兩站間的空載時間，確保司機員可於班別結束時間前回到原簽到車站並簽退下班。

休息時間限制：若相鄰兩任務間為休息，則中斷時間需介於最小與最大休息時間之間，限制式定義如式(4-13)。

$$rest(x_i, x_{i+1}) = 1 \Longrightarrow (\text{minRT} \leq breaktime(x_i, x_{i+1}) \leq \text{maxRT}_s)$$
$$\forall\, i = \{1, 2, \dots, m-1\}, s \in S \tag{4-13}$$

用餐時間限制：若相鄰兩任務間為用餐，則中斷時間需介於最小與最大用餐時間之間，且開始用餐時間亦需介於最早及最晚可用餐時段中。其中，本研究以任務到達時間作為司機員開始用餐時間之依據，故用餐時間限制可定義如式(4-14)。

$$dining(x_i, x_{i+1}) = 1 \Longrightarrow (\text{minDT} \leq breaktime(x_i, x_{i+1}) \leq \text{maxDT}) \wedge \left(\text{dine_LB}_s \leq \text{Arr}_{x_i} \leq \text{dine_UB}_s\right)$$
$$\forall\, i = \{1, 2, \dots, m-1\}, s \in S \tag{4-14}$$

用餐次數限制：對於不同班別，可能需給予或不需給予用餐，此限制可藉由用餐變數$dining(x_i, x_{i+1})$及班別是否用餐參數 numDine 來滿足。此限制亦提供規劃人員可彈性地制定不同班別。限制式定義如式(4-15)：

$$\sum_{i=1}^{m-1} dining(x_i, x_{i+1}) = \text{numDine}_s \quad \forall\, s \in S \tag{4-15}$$

最小連續駕駛時間限制：於連續駕駛時間限制上，最大連續駕駛時間已利用CDT_i變數的值域滿足，因此，限制式僅需考慮最小連續駕駛時間限制。依據式(4-6)與式(4-7)之定義，連續駕駛時間變數僅在發生中斷及最後一個任務時計算，因此限制式可定義如式(4-16)及式(4-17)。

$$\left(\text{Dept}_{x_{i+1}} - \text{Arr}_{x_i} \geq \text{minRT}\right) \Longrightarrow (CDT_i \geq \text{minCDT}) \quad \forall\, i = \{1, 2, \dots, m-1\} \tag{4-16}$$

$$x_m \neq 0 \Longrightarrow (CDT_m \geq \text{minCDT}) \tag{4-17}$$

上述即為滿足所有排班硬限制之勤務產生模式。於執行上，本研究利用 ILOG CPLEX Optimization Studio 軟體來構建此限制規劃模式，並反覆求解每個班別的所有可行勤務直至無可行解存在。當限制規劃模式求解完所有班別的可行勤務或是超過預先設定之合理時間即停止勤務產生程序。求解程序如圖 4.1 所示。

```
GET RPs, tasks, shifts, cost and scheduling rules data
FOR each shift in S
    REPEAT
        Solve duty generation model
        Generate a feasible duty solution
    UNTIL no solution exists or time is up
END FOR
PRINT all feasible duties
```

圖 4.1 勤務產生程序虛擬碼

4.3 勤務組合最佳化模式及變數產生法

本研究將勤務組合最佳化問題視為一集合涵蓋模式，並求解最小勤務成本組合，模式定義如式(4-18)至式(4-20)。

$$Min \sum_{j \in FD} c_j Duty_j \tag{4-18}$$

subject to

$$\sum_{j \in FD} a_{ij} Duty_j \geq 1 \quad \forall i \in Task \tag{4-19}$$

$$Duty_j = \{0,1\} \quad \forall j \in FD \tag{4-20}$$

其中

$Task$ 為列車任務集合，同勤務產生模式定義
FD 為勤務產生模式產生之所有可行勤務

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{if task } i \text{ is included in duty } j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \forall i \in Task, j \in FD$$

式(4-18)為目標式，其中c_j為勤務成本。於成本設定上，視個案可行班別而定。若個案使用班別均為 8 小時正常班，則勤務成本設定為 1，問題即求解最小化勤務數；若個案無固定使用班別長度，則成本需以班別長度為基準，並考慮勞基法加班成本規定，因此，問題即為求解最小化勤務成本組合。限制式(4-19)表每個列車任務 i 至少需被一個可行勤務所涵蓋。限制式(4-20)則為定義二元決策變數$Duty_j$，表可行勤務 j 是否有被選用。

由 3.3 節求解程序可知，求解捷運司機員排班問題時，依可行勤務規模大小會有三種求解勤務組合最佳化之程序。不同程序之執行步驟敘述如下：

1. 直接求解集合涵蓋模式(SCP)：若勤務產生模式可於合理時間內產生所有可行勤務，且可行勤務規模並非相當龐大，則直接利用 SCP 從所有可行勤務中求解出最小勤務成本組合。執行程序如圖 4.2 所示。

GET RPs, tasks, shifts, cost and scheduling rules data
FOR each shift in *S*
    REPEAT
        Solve duty generation model
        Generate a feasible duty solution
    UNTIL no solution exists
END FOR
PRINT all feasible duties (*FD*)
Solve SCP with *FD*
PRINT optimal solution

圖 4.2 產生所有可行勤務並求解 SCP 程序虛擬碼

2. 一般化變數產生法：若勤務產生模式可於合理時間內產生所有可行勤務，但可行勤務規模較大使得 SCP 無法直接求解，則需運用一般化變數產生法求解架構。執行程序如圖 4.3 所示。求解步驟敘述如下：

   (1) 運用勤務產生模式產生所有可行勤務。

   (2) 產生起始解：由所有可行勤務(*FD*)中選取部分可行勤務(*FD'*)，其中，起始勤務選取以任務為基準，且每個任務至少需被 n 個勤務涵蓋，確保所有任務可被起始勤務所涵蓋。本研究設定$n = 5$。於執行程序上，本研究利用一任務涵蓋次數矩陣 *cover_task* 來記錄每選擇一個勤務後的任務涵蓋次數。因此，當從未選擇勤務中檢查到涵蓋任務 t 的可行勤務後，即記錄勤務並針對勤務內所有任務進行 *cover_task* 矩陣更新。

   (3) 放鬆受限制主問題求解：依據選取的可行勤務，求解放鬆的集合涵蓋模式，並獲得最小勤務成本組合之目標值(Z_R^*)及各任務對偶值(π^*)。

   (4) 計算最佳改善勤務值：利用前一步驟所產生之對偶值，從未選取的可行勤務中計算每個可行勤務的改善值，並尋找具最佳改善值之可行勤務。勤務改善值(Z_S')計算如式(4-21)所示：

   $$Z_S' = Min\left(c_j - \sum_{i \in M} \pi_{Duty_{x_i}}\right) \quad (4\text{-}21)$$

   於執行程序上，首先先宣告最佳改善值Z_S^*為 0，若檢查之未選取可行勤務改善值小於Z_S^*，則更新$Z_S^* = Z_S'$並記錄勤務編號；若大於則不更新，直至檢查完所有未選取可行勤務。

   (5) 是否有改善勤務：若Z_S^*小於 0，則表未選取可行勤務中存在改善勤務，因此將最佳改善可行勤務加入部分可行勤務集合(*FD'*)中，並返回步驟(3)求解放鬆的集合涵蓋模式，獲得新的目標值(Z_R^*)及各任務對偶值(π^*)；若Z_S^*等於 0，則至下一步驟。而在改善勤務部分，本研究將同時測試每次遞迴僅加入一個最佳改善勤務及加入多個改善勤務兩種結果。執行程序如下：

      (a) 加入一個改善勤務：若Z_S^*小於 0，則依步驟(4)紀錄之勤務編號，將對應勤務加入放鬆受限制主問題。

(b) 加入多個改善勤務：若Z_S^*小於 0，則重新搜尋未選取之可行勤務，假如可行勤務改善值等於Z_S^*，則將其加入放鬆受限制主問題，直至檢查完全部未選取之勤務。

(6) 求解最佳勤務成本組合：利用目前所選取之部分可行勤務集合(*FD'*)，求解集合涵蓋模式並獲得最小勤務成本組合整數解。

GET RPs, tasks, shifts, cost and scheduling rules data
FOR each shift in *S*
    REPEAT
        Solve duty generation model
        Generate a feasible duty solution
    UNTIL no solution exists
END FOR
PRINT all feasible duties (*FD*)

/* Generate initial duties for each task

FOR each task *t* in *Task*
    IF $cover_task_t < n$ **THEN**
        FOR unselected duties in *FD*
            Choice a duty with task *t*
            FOR each task *i* in the duty
                $cover_task_i = cover_task_i + 1$
            END FOR
            If $cover_task_t = n$ then **BREAK**
        END FOR
    END IF
END FOR
OBTAIN initial feasible duties (*FD'*)

/* General column generation

Do
    Solve restricted master problem with *FD'* (LP model)
    OBTAIN Z_R^* and π^*
    SET $Z_S^* = 0$
    FOR unselected duties in *FD*
        Calculate Z_S'
        IF $Z_S' < Z_S^*$ **THEN**
            $Z_S^* = Z_S'$ and record duty's number
        END IF
    END FOR
    IF $Z_S^* < 0$ **THEN**
        Add the best improvement duty to *FD'*
    END IF
WHILE $(Z_S^* < 0)$
Solve SCP with *FD'* (IP model)
PRINT optimal solution

圖 4.3 一般化變數產生法求解程序虛擬碼

3. 以 CP 為基礎之變數產生法：若勤務產生模式無法於合理時間內產生所有可行勤務，則需利用以 CP 為基礎之變數產生法來求解。其中，起始可行勤務及子問題改善勤務均利用 4.2 節之勤務產生模式為基礎來修改並求解，其餘步驟則類似一般化變數產生法。求解程序如圖 4. 4 所示。

(1) 產生起始解：於輸入相關資料後，利用勤務產生模式依序產生涵蓋各列車任務之可行勤務。於此程序中，每個列車任務將產生 n 個勤務來涵蓋，確保起始勤務於放鬆受限制主問題中有解。為確保產生之可行勤務涵蓋列車任務 t，因此需於 4.2 節的勤務產生模式中新增一任務檢查限制，即可行勤務需指派 1 次任務 t，新增限制定義如下：

$$\sum_{i=1}^{m}(x_i = t) = 1 \quad \forall\, t \in Task \tag{4-22}$$

(2) 放鬆受限制主問題求解：依步驟(1)產生的可行勤務集合(FD')，求解放鬆的集合涵蓋模式，並獲得最小勤務成本組合之目標值(Z_R^*)及各任務對偶值(π^*)。

(3) 產生改善勤務：由 Han and Li [49]之研究可知，若個案考量班別數不多，則勤務產生模式可於短時間內求解出所有可行勤務。因此，以 CP 為基礎之變數產生法較可能運用於考量大量可行班別之狀況，如班別開始時間以 10 分鐘為間隔，且可接受 6~10 小時班別長度，於此條件下，即有 729 種可行班別。然而，若直接運用 4.2 節以班別為基礎之勤務產生模式，代表每次遞迴中需求解 729 個子問題，此程序將耗費大量時間求解每個班別的改善勤務。

故對於產生最佳改善勤務的模式，經測試後，本研究將 4.2 節以班別為基礎之模式，修改為以班別長度為基礎之勤務產生模式來求解，並於模式中引入一目標函式來尋找最佳改善勤務。模式修正如下：

目標函式：即最小化勤務改善值，其中，勤務成本 C 依班別長度給予不同成本值。

$$Z_s' = Min\ (\mathrm{C} - \sum_{i=1}^{m}\pi_i x_i) \tag{4-23}$$

限制式：

(a) 原式(4-11)及式(4-12)之工作班別限制更改為總勤務時間限制。此限制主要用於產生高利用率之改善勤務，提高最佳改善勤務求解效率，並確定產生的勤務可介於某班別中。於此限制中，需新增班別長度參數 SL，若求解班別長度為 8 小時班之最佳改善勤務，則 SL 為 480。限制式定義如式(4-24)，其中，總勤務時間為開始簽到至完成簽退間的時間長度，該時間需小於等於班別長度 SL 減 10 (10 分鐘間隔)，且需大於等於班別長度 SL 減 40 (班別長度以 30 分鐘為區隔並加上 10 分鐘間隔容許值)。

$$\begin{aligned}&(x_{i+1} = 0 \wedge x_i \neq 0) \Longrightarrow \\ &\left(\mathrm{Arr}_{x_i} + \mathrm{FT}_{x_i} + \mathrm{COT} + \mathrm{DHT}\left(\mathrm{Des}_{x_i}, \mathrm{Org}_{x_1}\right) - \mathrm{Dept}_{x_1} + \mathrm{CIT} + \mathrm{Prepare}_{x_1}\right. \\ &\qquad \left.\leq\ \mathrm{SL} - 10\right) \wedge \\ &\left(\mathrm{Arr}_{x_i} + \mathrm{FT}_{x_i} + \mathrm{COT} + \mathrm{DHT}\left(\mathrm{Des}_{x_i}, \mathrm{Org}_{x_1}\right) - \mathrm{Dept}_{x_1} + \mathrm{CIT} + \mathrm{Prepare}_{x_1}\right. \\ &\qquad \left.\geq\ \mathrm{SL} - 40\right) \\ &\quad \forall\, i = \{1, 2, \ldots, m-1\}\end{aligned} \tag{4-24}$$

(b) 原式(4-14)用餐時間限制修正為含中午及下午兩類用餐時間限制，其中，dine_LB_l及dine_UB_l為中午可用餐時段；dine_LB_d及dine_UB_d為下午可用餐時段。若勤務有用餐，則開始用餐時間需介於其中一個用餐時段間。限制式定義如式(4-25)。

$$dining(x_i, x_{i+1}) = 1 \Longrightarrow \Big((\text{minDT} \le breaktime(x_i, x_{i+1}) \le \text{maxDT}) \wedge \Big((\text{dine}_{\text{LB}_l} \le \text{Arr}_{x_i} \le \text{dine}_{\text{UB}_l}) \vee (\text{dine}_{\text{LB}_d} \le \text{Arr}_{x_i} \le \text{dine}_{\text{UB}_d})\Big)\Big)$$

$$\forall i = \{1, 2, \dots, m-1\}, s \in S \qquad (4\text{-}25)$$

(c) 原式(4-15)用餐次數限制修正為利用第一個任務開始時間扣除任務前置時間及簽到時間來判斷對應之班別是否落在需用餐班別區間中，若有則用餐變數總和需為 1，若無則為 0。此限制需新增兩個參數來判斷需用餐之班別區間，分別為FSD表第一個需用餐之班別開始時間，以及LSD表最後一個需用餐之班別開始時間。因此，若第一個任務開始時間扣除任務前置時間及簽到時間落在 FSD 及 LSD 中，即表勤務需用餐，則用餐變數總和應為 1。限制式定義如式(4-26)與式(4-27)。

$$\big(\text{FSD} \le \text{Dept}_{x_1} - \text{CIT} - \text{Prepare}_{x_1} \le \text{LSD}\big) \Longrightarrow \sum_{i=1}^{m-1} dining(x_i, x_{i+1}) = 1 \quad \forall i = \{1, 2, \dots, m-1\} \qquad (4\text{-}26)$$

$$\Big(\big(\text{Dept}_{x_1} - \text{CIT} - \text{Prepare}_{x_1} \le \text{FSD}\big) \vee \big(\text{Dept}_{x_1} - \text{CIT} - \text{Prepare}_{x_1} \ge \text{LSD}\big)\Big) \Longrightarrow \sum_{i=1}^{m-1} dining(x_i, x_{i+1}) = 0 \quad \forall i = \{1, 2, \dots, m-1\} \qquad (4\text{-}27)$$

其他限制同 4.2 之勤務產生模式。利用上述修正限制的最佳勤務產生模式，即可求解不同班別長度之最佳改善勤務值Z_S'及對應改善勤務結果。若Z_S'小於Z_S^*，則更新$Z_S^* = Z_S'$並記錄勤務編號；若大於則不更新。

(4) 是否有改善勤務：若Z_S^*小於 0，則將最佳改善可行勤務加入部分可行勤務集合(*FD'*)中，並返回步驟(2)求解放鬆的集合涵蓋模式，獲得新的目標值(Z_R^*)及各任務對偶值(π^*)；若Z_S^*等於 0，則至步驟(5)。

(5) 求解最佳勤務成本組合：利用目前所選取之部分可行勤務集合(*FD'*)，求解集合涵蓋模式並獲得最小勤務成本組合整數解。

GET RPs, tasks, shifts, cost and scheduling rules data

/* Generate initial duties for each task

FOR each task *t* in *Task*
  IF $cover_task_t < n$ **THEN**
    FOR each shift in *S*
      WHILE $cover_task_t < n$
        Solve duty generation model with additional constraint (4-22)
        IF no solution exists **THEN BREAK**
        ELSE IF
          FOR each task *i* in new duty
            $cover_task_i = cover_task_i + 1$
          END FOR
        END IF
      END WHILE
      IF $cover_task_t = n$ **THEN BREAK**
    END FOR
  END IF
END FOR
OBTAIN initial feasible duties (*FD*')

/* CP-based column generation

Do
  Solve restricted master problem with *FD*' (LP model)
  OBTAIN Z_R^* and π^*
  FOR each shift length
    SET $Z_s^* = 0$
    Solve modified duty generation model with an objective function(π^*)
    OBTAIN Z_s'
    IF $Z_s' < Z_s^*$ **THEN**
      Add the best improve duty to *FD'*
    END IF
  END FOR
WHILE $(Z_s^* < 0)$
Solve SCP with *FD*' (IP model)
PRINT optimal solution

圖 4.4 以 CP 為基礎之變數產生法求解程序虛擬碼

4.4 台北捷運司機員排班應用

於 Han and Li [49]之研究中，已將前述司機員排班模式應用於台北捷運上，因此，本節先介紹台北捷運系統現況，接著再簡單彙整 Han and Li [49]的排班結果。

4.4.1 台北捷運系統介紹

台北捷運為台灣最早規劃及運行之大眾捷運系統，目的為紓解台北都會區長期交通壅塞問題，藉以活絡都市機能並促進台北市與周邊衛星市鎮再發展。台北捷運於 1986 年 3 月經行政院核定台北都會區大眾捷運系統初期路網後，即於 1988 年 12 月動工。首條營運路線木柵線(現稱文湖線)於 1996 年 3 月正式通車，至 2014 年 11 月松山線(西門站—松山站)通車後，目前已有五條主線投入服務，服務範圍區涵蓋台北市及新北市，總人口數約為 550 萬人[102, 109]。五條路線分別為：

1. 文湖線：南港展覽館站—動物園站，全長 25.2 公里，共 24 個車站，機廠為內湖機廠及木柵機廠。
2. 淡水信義線：淡水站—象山站(含新北投支線)，全長 29.3 公里，共 28 個車站，機廠為北投機廠。
3. 松山新店線：松山站—新店站(含小碧潭支線)，全長 20.7 公里，共 20 個車站，機廠為新店機廠。
4. 中和新蘆線：南勢角站—迴龍站、蘆州站，全長 29.3 公里，共 26 個車站，機廠為中和機廠、新莊機廠及蘆洲機廠。
5. 板南線：永寧站—南港展覽館站，全長 24.7 公里，共 22 個車站機廠為南港機廠及土城機廠。

完整路網如圖 4.5 所示[100]，總營運長度為 129.2 公里，共 116 個車站。依台北市政府捷運工程局之捷運願景圖可知，未來除現有路線之延伸外，目前正進行桃園國際機場聯外捷運及環狀線之建設，用以建構更完整之捷運路網。願景圖如圖 4.6 所示[101]。

台北捷運各路線之載客營運時間從上午 6 點發車至凌晨 1 點，尖離峰平均發車班距除文湖線分別為 2.5 分鐘及 4 分鐘外，其他路線分別為 6 分鐘及 8~10 分鐘。於 2014 年 12 月之旅運量統計資料顯示，平均每日約有 2 百萬人搭乘使用。

資料來源：台北大眾捷運股份有限公司(2015 年)

圖 4.5 台北捷運路線圖

資料來源：台北市政府捷運工程局(2015 年)

圖 4.6 台北都會區捷運建設願景圖

4.4.2 台北捷運司機員排班結果分析

於 Han and Li [49]之研究中，已將前述司機員排班模式應用於先前的淡水-南勢角線個案上。此個案利用 16 種工作班別來求解涵蓋 228 個列車任務的勤務。於勤務成本設定上，個案除大夜班為長班別外，其餘班別皆為 8 小時正常班，且每位司機員會固定輪值大夜班，因此勤務成本設定均為 1，目標即求解最小化勤務數。詳細班別資料及排班規則參數設定請參閱 Han and Li [49]之文章。

於求解效率上，勤務產生模式花費約 113 秒產生 56,562 個符合全部排班硬限制之可行勤務，且可直接求解 SCP 獲得最佳解，時間約 194 秒。勤務數結果則可由手排 58 個勤務改善至 55 個勤務即可涵蓋所有列車任務，約節省 5.2%之人力成本。

此外，為考量勤務中的工作時間公平性，該研究於勤務產生模式中，透過新增總工作時間(Total work time, TWT)變數與時間範圍限制式，限制每個產生的可行勤務其總工作時間需介於某個時間範圍內，藉以達到勤務公平性需求。TWT 變數定義如式(4-28)，總工作時間為所有任務運行時間及所有空載時間的總和。

$$TWT = \sum_{j=1}^{lst}(\mathrm{Arr}_{x_j} - \mathrm{Dept}_{x_j}) + \sum_{j=1}^{lst-1}\mathrm{DHT}(\mathrm{Des}_{x_j}, \mathrm{Org}_{x_{j+1}}) + \mathrm{DHT}(\mathrm{Des}_{x_{lst}}, \mathrm{Org}_{x_1}) \quad (4\text{-}28)$$

其中，lst 表最後一個列車任務，定義為：

$$(x_i \neq 0 \ \wedge \ x_{i+1} = 0) \implies lst = i \quad \forall i = \{1, 2, \ldots, m-1\} \quad (4\text{-}29)$$

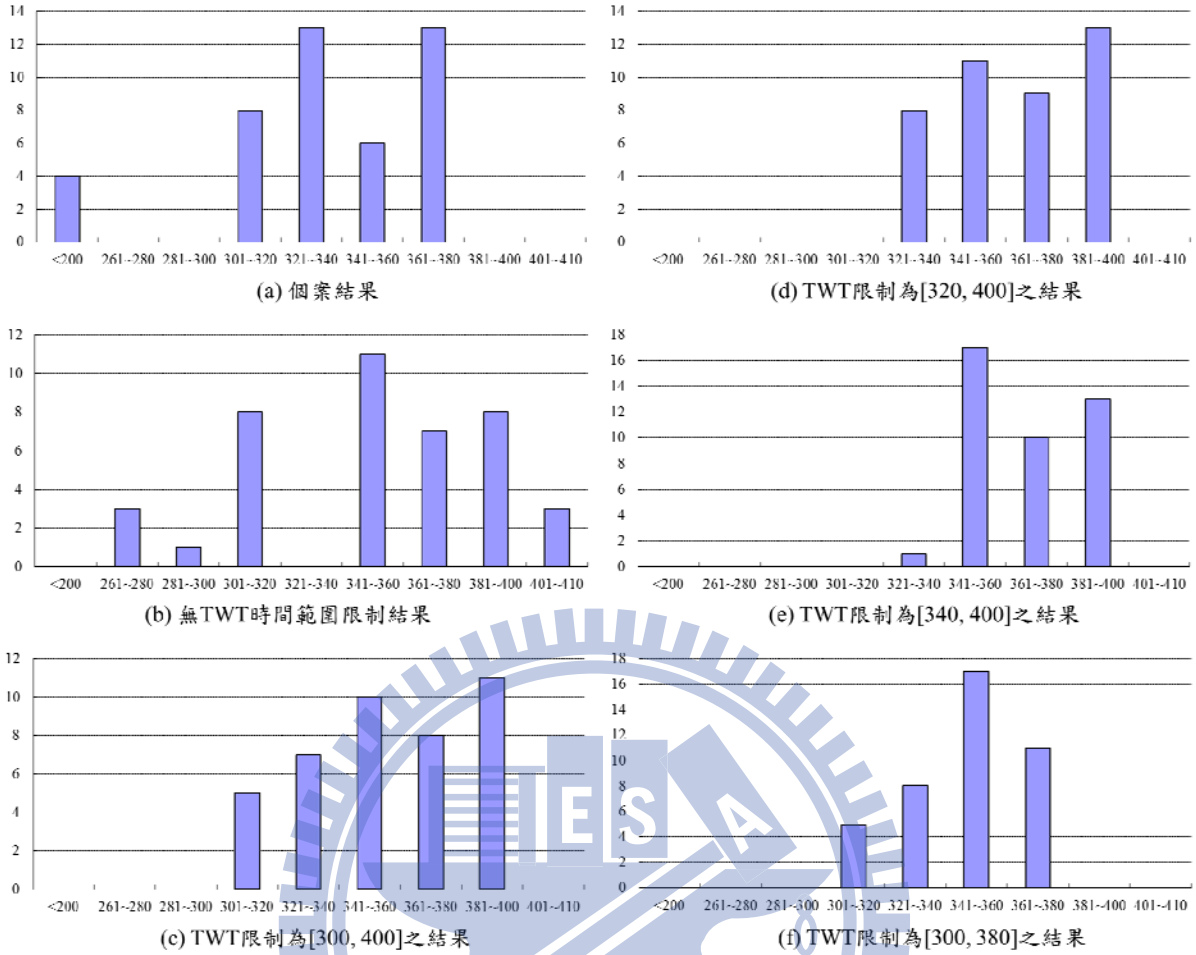
$$x_i \neq 0 \ \Rightarrow \ lst = m \quad (4\text{-}30)$$

故時間範圍限制式如(4-31)所示，其中 MN 為大夜班班別集合。

$$minTWT_s \leq TWT \leq maxTWT_s \quad \forall s \notin MN \quad (4\text{-}31)$$

圖 4.7 為在相同最佳勤務數結果下，不同時間範圍的勤務總工作時間分布圖。由圖中可知，無時間範圍限制之勤務結果(圖 4. 7b)其勤務時間分布從 261 分鐘至 410 分鐘，變異係數為 10.9，但若將時間限制在[300, 380]之範圍內時，變異係數則可降至 5.3，大幅縮小總工作時間的離散程度並提升公平性，勤務時間分布如圖 4.7f 所示。因此，藉由總工作時間的範圍限制式，確實可達到勤務的工作時間公平性需求。

除公平性外，利用時間範圍限制式可僅產生司機員利用率較高之勤務，減少整體可行勤務數，加快整體求解效率，並維持相同最佳勤務數結果。如時間範圍限制為[300, 380]之方案，可行勤務數可由 56,562 個減少至 36,208 個，且整體求解時間由 307 秒減少至 259.95 秒。此結果亦與 Goumopoulos and Housos [46]探討之航空組員排班結論相同。故於求解排班問題時，應儘量避免產生低利用率之勤務。



(a) 個案結果　(d) TWT限制為[320, 400]之結果

(b) 無TWT時間範圍限制結果　(e) TWT限制為[340, 400]之結果

(c) TWT限制為[300, 400]之結果　(f) TWT限制為[300, 380]之結果

圖 4.7 不同時間範圍限制之勤務總工作時間分布圖

五、 捷運司機員輪值模式構建

本章為探討如何建構無固定輪值班別的非週期性司機員輪值模式，求解符合司機員預排與不同公平性需求的輪值表。首先，5.1 節先描述捷運司機員輪值所需資料及對應參數設定，並依高雄捷運訪談結果，條列個案司機員輪值所考量之硬限制與軟限制條件。接著依據 3.3 節提出之非週期性輪值問題求解架構，於 5.2 節介紹如何建構司機員排休模式；並於 5.3 節說明如何運用限制規劃法來設計勤務指派模式。

5.1 捷運司機員輪值資料及參數

捷運司機員輪值問題係將排班問題求解出之每日勤務指派給不同司機員，決定輪值期間每位司機員的休假日及工作日之勤務與班別，並滿足所有輪值硬限制與司機員期望軟限制。輪值問題所需資料與對應參數彙整如表 5.1 所示。

表 5.1 捷運司機員輪值問題之參數說明表

參數定義	參數說明
Day	輪值天數集合，$Day = \{1, 2, \dots, \text{Nday}\}$
Nday	輪值期總天數
Day_Type_d	第 d 天之例假日型態，其中$d \in Day$
Timetable_d	第 d 天使用車班表，$\text{Timetable}_d = \{\text{W}, \text{F}, \text{H}\}$，其中$d \in Day$
$Duty_r$	第 r 種車班表之勤務集合，其中$r = \text{Timetable}_d$
Duty_C_w	第 w 個勤務編號，$w \in Duty_r$
Shift_C_w	第 w 個勤務對應班別代碼，$w \in Duty_r$
ShiftST_w	第 w 個勤務對應班別開始時間，$w \in Duty_r$
ShiftET_w	第 w 個勤務對應班別結束時間，$w \in Duty_r$
ST_w	第 w 個勤務對應班別型態，$\text{ST}_w = \{\text{M}, \text{A}, \text{N}\}$，其中$w \in Duty_r$
SL_w	第 w 個勤務對應班別長度，$w \in Duty_r$
$Driver$	司機員集合，$Driver = \{1, 2, \dots, \text{Ndriver}\}$
Ndriver	總司機員人數
Preassign_{di}	第 d 天第 i 位司機員預排特殊工作或特殊休假班別，其中 $d \in Day, i \in Driver$
AS	指派班別集合，包含每日勤務班別(Shift_C)、一般休假(0)、特殊工作 (1)、以及特殊休假(2)
Duty_Demand_d	第 d 天總勤務需求，其中$d \in Day$
maxCW	最大連續工作天數
maxCO	最大連續休假天數

Day 表輪值天數集合，且$Day = \{1, 2, \dots, \text{Nday}\}$，Nday 為輪值期總天數。由於高雄捷運個案係以月作為輪值期基準，因此，Nday 即為輪值月份天數。此外，為判斷模式中指派的休假是否為例假日，以及每日所需勤務種類，因此，輪值天數包含例假日型態(Day_Type)及對應車班表(Timetable)兩種資料。其中，例假日型態以 0 表平常日、1 表例假日；車班表資料則依個案使用班表種類，分為平常日班表(W)、假日前一天班表(F)、與例假日班表(H)三類。

$Duty_{\text{Timetable}}$表排班問題所求解出的各班表勤務集合。每個勤務資料包含對應之勤務編號(Duty_C)、班別代碼(Shift_C)、班別開始時間(ShiftST)、班別結束時間(ShiftET)、班別型態(ST)、以及班別長度(SL)。其中，班別代碼與班別長度編碼同表 4. 3 所定義，班別型態則分成班別開始時間為 10 點前的早班(M)、開始時間介於 10 點至 15 點間的午班(A)、以及開始時間為 15 點後的晚班(N)。

Driver 表司機員集合，且 $Driver = \{1, 2, \ldots, \text{Ndriver}\}$，Ndriver 為總輪值司機員數。其中，Ndriver 可由各班表勤務數結果估算而得。而在高雄捷運個案中，司機員可輪值任一種班別，因此，司機員資料主要為預排資料，本研究以參數Preassign_{di}表第 d 天第 i 位司機員預排特殊工作或特殊休假。

AS 表所有可指派的班別集合，除每日勤務班別與一般休假外，另包含特殊工作、特殊休假。勤務班別即為班別代碼(Shift_C)資料，另外，本研究以 0 表一般休假；1 表特殊工作代碼，包含教育訓練、體檢、溫故、夜領、公差、公出等；2 表特殊休假代碼，包含法律及公司給予之年休、補休、產前假、產假、流產假、陪產假、婚假、喪假、病假、事假。

其他個案輪值硬限制與相關參數敘述如下：

1. 預排需求(H1)：若司機員有預排特殊工作或特殊休假，則當日不得指派勤務或一般休假。
2. 每日勤務需求(H2)：每日應有足夠的工作司機員值勤當日所有勤務，本研究以參數Duty_Demand_d表第 d 天總勤務需求。
3. 工作考慮因素：
   (1) 司機員每個工作日僅能指派一個勤務(H3)。
   (2) 最大連續工作天數(maxCW)為 5 天(H4)。
   (3) 避免出現休假、工作、休假之組合(H5)。
4. 班別更換考慮因素：
   (1) 兩連續工作班別時間限制(H6)：
      (i) 連續兩日工作班別的結束時間與開始時間至少需間隔 10 小時(H6-1)。
      (ii) 午班接晚班兩班別開始時間應小於等於 3 小時(H6-2)。
      (iii) 晚班接午班兩班別開始時間應小於等於 3 小時(H6-3)。
   (2) 晚班隔日不接早班(H7)。
   (3) 午班隔日不接早班(H8)。
5. 休假考慮因素：
   (1) 最大連續休假天數(maxCO)為 3 天(H9)。
   (2) 輪值期最少總休假天數至少需等於每月平均休假數(H10)：不同於一般人員排班，為因應連續假期或活動等，捷運公司需增加營運車次以達到紓解群眾之目的，因此捷運司機員每月休假天數並不一定能符合當月法定例假日天數，故最少休假總天數需以司機員平均可休假天數為基準。

除上述輪值硬限制外，規劃人員於制定輪值表時會考量不同軟限制以達到輪值公平性，藉以滿足司機員期望。本研究考量之公平性軟限制如下：

1. 每位司機員總休假天數儘量相同(S1)。
2. 每位司機員總例假休假天數儘量相同(S2)。
3. 每位司機員指派早班數儘量公平分配(S3)：由於個案司機員無固定輪值班別，且早班勤務對司機員負擔較大，如司機員值勤 6:00 前的勤務班，則凌晨即需起床準備上班，因此三類班別中以早班公平分配為優先。
4. 每位司機員指派極早班別數儘量公平(S4)：除早班數公平分派外，亦需對早班中極早班的勤務公平分配，避免司機員均輪值極早班的早班勤務。
5. 每位司機員公平分配極短班與極長班班別(S5)：高雄捷運個案其班別長度可從 6 小時至 10 小時，因此於制定輪值表時，需儘量公平分配極短與極長之班別，藉以達到工時平衡之目的。

本研究即依據上述之輪值硬、軟限制式來建構輪值相關模式，求解司機員輪值表。依 3.3 節介紹之兩階段非週期性輪值求解架構，各階段所考慮之限制整理如下表。

表 5.2 各階段考量之輪值限制

	輪值硬限制	輪值軟限制
第一階段：排休模式	H1、H2、H4、H5、H9、H10	S1、S2
第二階段：勤務指派模式	H2、H3、H6、H7、H8	S3、S4、S5

5.2 司機員排休表：目標規劃排休模式

司機員排休模式係在已知司機員預排資料及每日總勤務需求下，依據工作及休假相關硬限制，求解輪值期中每位司機員的工作日及休假日，即司機員排休表。除硬限制外，此階段亦將考量總休假天數儘量相同(S1)及總例假休假天數儘量相同(S2)之軟限制，藉以滿足司機員最重視之休假公平性指標。

為達到上述公平性目標，本研究運用目標規劃法[48]來建構模式並求解，目的為最小化司機員總休假天數與目標休假天數之差值、以及司機員總例假休假天數與目標例假休假天數之差值。此外，為使司機員整體休假天數儘量接近目標天數，故本研究將以超休天數差距平方來估算其懲罰值。排休模式所需參數及變數定義如下：

模式使用參數：

$Driver$：司機員集合，$Driver = \{1, 2, \dots, \text{Ndriver}\}$

Day：輪值天數集合，$Day = \{1, 2, \dots, \text{Nday}\}$

$$\text{Day_Type}_d = \begin{cases} 1 & \text{第} d \text{天休假為例假日} \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad \forall d \in Day$$

Duty_Demand_d：第 d 天總勤務需求，其中$d \in Day$

$$\text{PA_off}_{di} = \begin{cases} 1 & \text{第} d \text{天第} i \text{位司機員預排特殊休假} \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad \forall d \in Day, i \in Driver$$

$$\text{PA_work}_{di} = \begin{cases} 1 & \text{第}d\text{天第}i\text{位司機員預排特殊工作} \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad \forall d \in Day, i \in Driver$$

Total_PA_Demand_d：第 d 天總預排數，其中$d \in Day$

上述PA_off_{di}、PA_work_{di}及Total_PA_Demand_d資料係由Preassign_{di}預排矩陣轉換而得。

$\bar{O}$：輪值期休假天數目標，計算如下所示。即加總輪值期間每日可休假人數後，再除以總輪值人數，計算出的值即為每位司機員輪值期平均可休假天數，本研究取其值的整數下界作為模式中的休假天數目標。因此，此目標值搭配超休天數的離差變數即可滿足 H10 硬限制。

$$\bar{O} = \left\lfloor \left(\sum_{d \in Day} (\text{Ndriver} - \text{Duty_Demand}_d - \text{Total_PA_Demand}_d) \right) / \text{Ndriver} \right\rfloor$$

$\bar{H}$：輪值期總例假休假天數目標。類似$\bar{O}$之計算，主要差異為估算的每日可休假人數需乘上例假日型態參數，確保只計算例假日之總休假數。結果亦取整數下界作為模式中例假休假天數目標。

$$\bar{H} = \left\lfloor \left(\sum_{d \in Day} (\text{Ndriver} - \text{Duty_Demand}_d - \text{Total_PA_Demand}_d) * \text{Day_Type}_d \right) / \text{Ndriver} \right\rfloor$$

模式變數：

1. 主要決策變數：

$$x_{di} = \begin{cases} 1 & \text{第}d\text{天第}i\text{位司機員指派休假} \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad \forall d \in Day, i \in Driver$$

2. 目標規劃離差變數：

$y_i^+ \geq 0$：第 i 位司機員每月超休天數，其中$i \in Driver$

$z_i^+ \geq 0$：第 i 位司機員每月超休例假天數，其中$i \in Driver$

$$y1_i^+ = \begin{cases} 1 & \text{第}i\text{位司機員超休一天} \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad \forall\, i \in Driver$$

$$y2_i^+ = \begin{cases} 1 & \text{第}i\text{位司機員超休二天} \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad \forall\, i \in Driver$$

$$z1_i^+ = \begin{cases} 1 & \text{第}i\text{位司機員例假超休一天} \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad \forall\, i \in Driver$$

$$z2_i^+ = \begin{cases} 1 & \text{第}i\text{位司機員例假超休二天} \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad \forall\, i \in Driver$$

$$z3_i^+ = \begin{cases} 1 & \text{第}i\text{位司機員例假超休三天} \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad \forall\, i \in Driver$$

目標規劃排休模式：

$$Min \sum_{i \in Driver} (y1_i^+ + 4y2_i^+ + z1_i^+ + 4z2_i^+ + 9z3_i^+) \tag{5-1}$$

s.t.

$$\sum_{d \in Day} x_{di} - \bar{O} - y_i^+ = 0 \quad \forall i \in Driver \tag{5-2}$$

$$y_i^+ = y1_i^+ + 2y2_i^+ \quad \forall i \in Driver \tag{5-3}$$

$$y1_i^+ + y2_i^+ \leq 1 \quad \forall i \in Driver \tag{5-4}$$

$$\sum_{d \in Day}(x_{di} \times \text{Day_Type}_d) - \bar{H} - z_i^+ = 0 \quad \forall i \in Driver \tag{5-5}$$

$$z_i^+ = z1_i^+ + 2z2_i^+ + 3z3_i^+ \quad \forall i \in Driver \tag{5-6}$$

$$z1_i^+ + z2_i^+ + z3_i^+ \leq 1 \quad \forall i \in Driver \tag{5-7}$$

$$(1 - x_{di}) \geq \text{PA_off}_{di} + \text{PA_work}_{di} \quad \forall d \in Day, i \in Driver \tag{5-8}$$

$$\sum_{i \in Driver}(1 - x_{di}) = \text{Duty_Demand}_d + \text{Total_PA_Demand}_d \quad \forall d \in Day \tag{5-9}$$

$$\sum_d^{d+\text{maxCW}}(1 - x_{di}) - \sum_d^{d+\text{maxCW}} \text{PA_off}_{di} \leq \text{maxCW} \quad \forall d = \{1, \dots, (\text{Nday} - \text{maxCW})\}, i \in Driver \tag{5-10}$$

$$\sum_d^{d+\text{maxCO}}(1 - x_{di}) \geq 1 \quad \forall d = \{1, \dots, (\text{Nday} - \text{maxCO})\}, i \in Driver \tag{5-11}$$

$$x_{di} + (1 - x_{(d+1)i}) + x_{(d+2)i} \leq 2 \quad \forall d = \{1, \dots, (\text{Nday} - 2)\}, i \in Driver \tag{5-12}$$

$$x_{di} + (1 - x_{(d+1)i}) + \text{PA_off}_{(d+2)i} \leq 2 \quad \forall d = \{1, \dots, (\text{Nday} - 2)\}, i \in Driver \tag{5-13}$$

$$\text{PA_off}_{di} + (1 - x_{(d+1)i}) + x_{(d+2)i} \leq 2 \quad \forall d = \{1, \dots, (\text{Nday} - 2)\}, i \in Driver \tag{5-14}$$

式(5-1)為最小化每位司機員總休假天數及總例假休假天數之差異，用來達到總休假天數儘量相同(S1)及總例假休假天數儘量相同(S2)之公平性軟限制。

於天數差異估算上，本研究以離差變數y_i^+及z_i^+來分別記錄輪值期總休假超休天數與總例假休假超休天數，如式(5-2)與式(5-5)所示。以總休假超休天數為例，於輪值期間，對每位司機員指派的總休假天數扣除休假天數目標，即為總超休天數y_i^+。然而，若直接於目標式中運用離差變數y_i^+來求解，在超休天數平方的懲罰值設計下，模式將變成一非線性規劃模式。為將非線性模式轉換成線性模式，故需另外加入$y1_i^+$及$y2_i^+$兩變數，分別代表超休 1 天及超休 2 天，故總超休天數y_i^+即為兩變數乘上對應天數和，如式(5-3)。且$y1_i^+$及$y2_i^+$最多僅能有其中一項發生，表司機員僅能超休 1 天、超休 2 天或無超休，如式(5-4)。因此，目標式即可運用$y1_i^+$及$y2_i^+$並乘上對應天數平方，將其轉換為線性模式。

總例假休假超休天數z_i^+計算與轉換亦同，需另外加入$z1_i^+$、$z2_i^+$與$z3_i^+$三變數，分別代表例假超休 1 天、超休 2 天以及超休 3 天，如式(5-5)至式(5-7)。此外，為確保估算的休假數只計算例假日休假天數，式(5-5)的指派司機員休假需乘上例假日型態Day_Type。

式(5-8)為考量預排需求限制式(H1)，即若司機員 i 於第 d 天有預排休假(PA_off_{di})或預排工作(PA_work_{di})，則不得指派休假給此司機員。式(5-9)為滿足每日人力需求限制(H2)，即每日指派非休假人數需等於當日總勤務數加上總預排人數。此階段同時考量 H1 及 H2 限制主要為避免第二階段發生工作需求人力不足的無可行解狀況。

式(5-10)為滿足最大連續工作天數限制(H4)。以$\text{maxCW} = 5$為例，即連續 6 天中，指派工作天數需小於等於 5 天。然而，於排休模式中，司機員預排休假與指派工作其x_{di}變數值均為 0，因此，若司機員連續預排休假天數超過 5 天時，將違反(5-10)限制，使得模式無可行解。故式(5-10)除計算指派工作天數外，另需扣除預排休假天數，以滿足司機員長時間預排休假之需求。

式(5-11)為滿足最大連續休假天數限制(H9)。以$\text{maxCO} = 3$為例，即連續 4 天中，至少需指派 1 天工作給司機員。

式(5-12)至式(5-14)則為避免出現休假、工作、休假之組合(H5)，除式(5-12)的一般休假、工作、休假組合外，本研究另外考量休假、工作、預排休假，以及預排休假、工作、休假組合之狀況，定義如式(5-13)與式(5-14)所示。

運用上述排休模式即可求解出司機員排休表，結果為輪值期間司機員每日的工作與休假狀態。其中，由於$x_{di} = 0$包含司機員需工作與預排兩類，因此匯出的排休結果需依據Preassign$_{di}$資料區隔出原預排需求。圖 5.1 為排休結果範例，其中 0 表司機員需工作，1 表司機員休假，2 表預排需求。

此外，於求解完排休模式並進入下一階段前，本研究會預先執行一前置處理步驟，將排休結果為 0 的部分彙整成另一$work_driver_d$集合矩陣，記錄每日需工作的司機員編號，作為下一階段勤務指派模式的輸入資料。

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	…
C1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	…
C2	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	2	…
C3	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	…
C4	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	2	0	…
C5	0	1	0	0	2	2	2	2	2	2	2	1	…
C6	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	…
C7	1	0	2	1	0	0	0	0	0	1	0	0	…
C8	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	2	2	…
C9	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	…
C10	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	2	2	…
C11	0	1	2	0	1	1	1	0	0	0	0	0	…
C12	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	…
C13	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	…

圖 5.1 第一階段排休模式結果範例(含預排資料)

5.3 司機員輪值表：勤務指派限制規劃模式

勤務指派模式係將每日勤務指派給需工作的司機員，制定出符合輪值硬限制與儘量滿足司機員期望的輪值表。此階段除需前一階段產生之工作司機員矩陣外，另需要輪值期間每日對應的車班表種類、各車班表的勤務結果、以及勤務對應班別相關資料。於模式設計上，由於指派模式需運用大量判斷式來建構輪值限制式，因此本研究利用限制規劃法來構建勤務指派模式。模式定義如下：

1. 參數定義：

Day：輪值天數集合，$Day = \{1, 2, \dots, \text{Nday}\}$

$Driver$：司機員集合，$Driver = \{1, 2, \dots, \text{Ndriver}\}$

Timetable_d：第 d 天車班表種類，$\text{Timetable}_d = \{\text{W}, \text{F}, \text{H}\}$，其中 $d \in Day$

$work_driver_d$：第 d 天需工作的司機員集合，其中 $d \in Day$

$Duty_r$：第 r 種車班表勤務結果，$r = \text{Timetable}_d$

Duty_C_w：第 w 個勤務編號，其中 $w \in Duty_r$

Shift_C_w：第 w 個勤務對應班別代碼，其中 $w \in Duty_r$

ShiftST_w：第 w 個勤務對應班別開始時間，其中 $w \in Duty_r$

ShiftET_w：第 w 個勤務對應班別結束時間，其中 $w \in Duty_r$

ST_w：第 w 個勤務對應班別型態，$\text{ST}_w = \{\text{M}, \text{A}, \text{N}\}$，其中 $\text{w} \in Duty_r$

SL_w：第 w 個勤務對應班別長度，其中 $\text{w} \in Duty_r$

2. 變數定義：

模式主要決策變數為勤務指派變數。此變數有兩種設計方法，第一種為指派司機員給第 d 天第 w 種勤務；另一種則為指派勤務給第 d 天第 i 位司機員。本研究運用第一種變數設計來求解勤務指派問題，此變數設計優點除可直接應用限制規劃法之全域限制式(Global constraint)來加快求解效率外，對於勤務及班別接續相關限制，亦較第二種變數設計單純。勤務指派變數定義如式(5-15)，其中，變數值域為前一階段產生之工作司機員矩陣 $work_driver_d$。

$$driver_assign_{dw} \in work_driver_d \quad \forall d \in Day,\ w \in Duty_{\text{Timetable}_d} \tag{5-15}$$

3. 限制式定義：

於排休模式中，已滿足預排需求(H1)、連續工作天數(H4)、避免出現休假、工作、休假組合(H5)、連續休假天數(H9)及總休假天數(H10)硬限制。故勤務指派模式的限制式主要考量每日勤務需求(H2)、司機員工作日僅能指派一個勤務(H3)、以及班別更換(H6~H8)硬限制。相關限制敘述如下：

(1) 每日勤務需求(H2)與司機員工作日僅能指派一個勤務(H3)限制：針對這兩個硬限制，本研究運用限制規劃法的 alldifferent 全域限制語法來建立限制式。其中，alldifferent 表任兩個變數指派之數值不得相同，因此能確保每個勤務指派給不同司機員，並可同時滿足每日勤務需求與司機員僅指派一個勤務的限制。限制式定義如式(5-16)所示。

$$alldifferent_{\mathrm{w}\in Duty_{\mathrm{Timetable}_d}}(driver_assign_{dw}) \quad \forall d \in Day \tag{5-16}$$

(2) 連續兩日的工作結束時間與開始時間需間隔 10 小時(600 分鐘)以上(H6-1)：對於此限制的設計，本研究運用反向思考來限制勤務可指派之司機員。即第 d+1 天勤務 o 的班別開始時間與第 d 天勤務 w 的班別結束時間差若小於 600 分鐘，則勤務 o 與勤務 w 不能指派給同一位司機員。利用此限制式設計，可有效率刪除變數的不可行解空間，加快求解效率。限制式定義如下：

$$(1440 + \mathrm{ShiftST}_o - \mathrm{ShiftET}_w < 600) \Longrightarrow (driver_assign_{(d+1)o} \neq driver_assign_{dw})$$
$$\forall d = \{1, \dots, \mathrm{Nday} - 1\}, w \in Duty_{\mathrm{Timetable}_d}, o \in Duty_{\mathrm{Timetable}_{d+1}} \tag{5-17}$$

(3) 午班接晚班的兩班別開始時間差應小於等於 3 小時(180 分鐘)之間(H6-2)：類似於式(5-17)之設計，若第 d 天勤務 w 為午班，且勤務 w 的班別開始時間與第 d+1 天勤務 o 的班別開始時間差大於 180 分鐘，則勤務 w 與勤務 o 不能指派給同一位司機員。限制式定義如式(5-18)所示：

$$(\mathrm{ST}_w = \mathrm{A} \wedge (\mathrm{ShiftST}_w - \mathrm{ShiftST}_o < -180)) \Longrightarrow (driver_assign_{(d+1)o} \neq driver_assign_{dw})$$
$$\forall d = \{1, \dots, \mathrm{Nday} - 1\}, w \in Duty_{\mathrm{Timetable}_d}, o \in Duty_{\mathrm{Timetable}_{d+1}} \tag{5-18}$$

(4) 晚班接午班的兩班別開始時間差應小於等於 3 小時(180 分鐘)之間(H6-3)：同式(5-18)，若第 d 天勤務 w 為晚班，且勤務 w 的班別開始時間與第 d+1 天勤務 o 的班別開始時間差大於 180 分鐘，則勤務 w 與勤務 o 不能指派給同一位司機員。限制式定義如式(5-19)所示：

$$(\mathrm{ST}_w = \mathrm{N} \wedge (\mathrm{ShiftST}_w - \mathrm{ShiftST}_o > 180)) \Longrightarrow (driver_assign_{(d+1)o} \neq driver_assign_{dw})$$
$$\forall d = \{1, \dots, \mathrm{Nday} - 1\}, w \in Duty_{\mathrm{Timetable}_d}, o \in Duty_{\mathrm{Timetable}_{d+1}} \tag{5-19}$$

(5) 晚班隔日不接早班(H7)：若第 d 天勤務 w 的對應班別型態為晚班，且第 d+1 天勤務 o 的對應班別型態為早班，則勤務 o 與勤務 w 不能指派同一位司機員。限制式定義如式(5-20)所示。

$$(\mathrm{ST}_w = \mathrm{N} \wedge \mathrm{ST}_o = \mathrm{M}) \Longrightarrow (driver_assign_{(d+1)o} \neq driver_assign_{dw})$$
$$\forall d = \{1, \dots, \mathrm{Nday} - 1\}, w \in Duty_{\mathrm{Timetable}_d}, o \in Duty_{\mathrm{Timetable}_{d+1}} \tag{5-20}$$

(6) 午班隔日不接早班(H7)：若第 d 天勤務 w 的對應班別型態為午班，且第 d+1 天勤務 o 的對應班別型態為早班，則勤務 o 與勤務 w 不能指派同一位司機員。限制式定義如式(5-21)所示。

$$(\mathrm{ST}_w = \mathrm{A} \wedge \mathrm{ST}_o = \mathrm{M}) \Longrightarrow (driver_assign_{(d+1)o} \neq driver_assign_{dw})$$
$$\forall d = \{1, \dots, \mathrm{Nday} - 1\}, w \in Duty_{\mathrm{Timetable}_d}, o \in Duty_{\mathrm{Timetable}_{d+1}} \tag{5-21}$$

依上述限制式，即可產生符合輪值法規與公司規定的輪值表。然而，此結果可能無法符合司機員期望，如某些司機員輪值期均值勤早班且多為極早班別，或是司機員均指派長加班勤務。因此，為使輪值表結果能更符合司機員期望，故需於模式中另外考量其他輪值軟限制。而在軟限制考量上，不同於以往大多運用目標式之設計，本研究於限制規劃模式中係運用搜尋策略與範圍限制式來滿足軟限制需求，作法敘述如下：

4. 軟限制考量：本階段主要考量每位司機員輪值期內指派的早班數儘量公平(S3)、極早班數儘量公平(S4)、以及極短班與極長班數儘量公平(S5)三類軟限制。因此，於勤務指派模式中，需新增五類變數來記錄每日指派勤務的對應班別相關資訊，並輔以搜尋策略及範圍限制式來滿足相關軟限制。作法敘述如下：

(1) 每位司機員輪值期內指派早班數儘量公平分配(S3)：針對此軟限制，本研究係運用搜尋策略來規範勤務指派變數指派司機員之順序。因此，模式中需增加一班別型態紀錄變數，用以記錄第 d 天第 i 位司機員指派勤務的對應班別型態，且變數值域為$\{0, \mathrm{M}, \mathrm{A}, \mathrm{N}\}$，變數定義如式(5-22)。

$$shift_type_{di} = \begin{cases} \mathrm{M} & if\ driver_assign_{dw} = i \ \wedge\ \mathrm{ST}_w = \mathrm{M} \\ \mathrm{A} & if\ driver_assign_{dw} = i \ \wedge\ \mathrm{ST}_w = \mathrm{A} \\ \mathrm{N} & if\ driver_assign_{dw} = i \ \wedge\ \mathrm{ST}_w = \mathrm{N} \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

$$\forall d \in Day, i \in Driver \tag{5-22}$$

搜尋策略係以司機員的累積早班指派次數為依據。作法為將輪值期分成兩部分，第一部分為輪值期第 1 天至第$(\bar{\mathrm{M}} + 2)$天，早班勤務優先指派給目前累積早班最多的司機員。其中，$\bar{\mathrm{M}}$為司機員平均早班指派次數。第二部分則與第一部分相反，為第$(\bar{\mathrm{M}} + 2)$至最後一天的早班勤務將優先指派給目前累積早班最少之司機員。每日的早班累積天數估算如式(5-23)所示。運用此搜尋法，除求解過程中能逐步滿足早班指派天數公平外，另外搭配前述硬限制，亦可讓司機員於連續工作日上儘量指派同一類班別，減少換班情況。

$$\sum_{j=1}^{d} (shift_type_{ji} = \mathrm{M}) \quad \forall d \in Day,\ i \in Driver \tag{5-23}$$

(2) 每位司機員指派極早班數儘量公平(S4)：針對此類軟限制，本研究運用範圍限制式來限制每位司機員最多可指派極早班的次數。其中，極早班分為班別開始時間為 5 點前的勤務，以及班別開始時間介於 5 點至 6 點間的勤務兩類。因此，模式中新增兩類變數來記錄是否指派上述之勤務。相關變數定義如下：

$$SL300_{di} = \begin{cases} 1 & if\ driver_assign_{dw} = i \ \wedge\ \mathrm{ShiftST}_w \le 300 \\ 0 & Otherwise \end{cases}$$

$$\forall d \in Day, i \in Driver \tag{5-24}$$

$$SL360_{di} = \begin{cases} 1 & if\ driver_assign_{dw} = i \ \wedge\ (300 < \mathrm{ShiftST}_w \le 360) \\ 0 & Otherwise \end{cases}$$

$$\forall d \in Day, i \in Driver \tag{5-25}$$

式(5-24)為勤務班別開始時間為 5 點前的紀錄變數，紀錄第 d 天第 i 位司機員指派勤務之班別開始時間是否小於等於 300 分鐘。式(5-25)則為紀錄第 d 天第 i 位司機員指派的勤務，其班別開始時間是否介於 5 點(300 分鐘)至 6 點(360 分鐘)間的紀錄變數。依據上述兩類變數，即可分別運用範圍限制式來限制司機員的指派次數，範圍限制式定義如式(5-26)及式(5-27)所示，其中，ε_1及ε_2為輪值期中兩類極早班勤務的平均指派次數。

$$\sum_{d \in Day} S300_{di} \le \varepsilon_1 \quad \forall i \in Driver \tag{5-26}$$

$$\sum_{d \in Day} S360_{di} \le \varepsilon_2 \quad \forall i \in Driver \tag{5-27}$$

(3) 每位司機員公平分配極短班與極長班次數(S5)：同 S4 軟限制，對於極短班與極長班勤務，亦運用範圍限制式來限制指派次數。經測試後，本研究求解之最佳勤務組合可介於 7 小時至 9 小時範圍內，因此，即以 7 小時勤務班別作為極短班，9 小時勤務班別作為極長班。故可定義兩類紀錄變數如下：

$$SL3_{di} = \begin{cases} 1 & if\ driver_assign_{dw} = i\ \wedge\ \mathrm{SL}_w = 3 \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases}$$

$$\forall d \in Day, i \in Driver \tag{5-28}$$

$$SL7_{di} = \begin{cases} 1 & if\ driver_assign_{dw} = i\ \wedge\ \mathrm{SL}_w = 7 \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases}$$

$$\forall d \in Day, i \in Driver \tag{5-29}$$

式(5-28)為 7 小時班別紀錄變數，紀錄第 d 天第 i 位司機員指派勤務之班別長度是否為 7 小時，其中，班別長度(SL)值同 4.1 節之定義，7 小時的班別長度代碼為 3。式(5-29)為 9 小時班別紀錄變數，紀錄第 d 天第 i 位司機員指派勤務之班別長度是否為 9 小時(班別長度代碼為 7)。因此，每位司機員公平分配極短班與極長班勤務軟限制即可利用式(5-30)及式(5-31)之範圍限制式來儘量滿足。其中，ε_3及 ε_4為輪值期中 7 小時班勤務與 9 小時班勤務的平均指派次數。

$$\sum_{d \in Day} SL3_{di} \leq \varepsilon_3 \quad \forall i \in Driver \tag{5-30}$$

$$\sum_{d \in Day} SL7_{di} \leq \varepsilon_4 \quad \forall i \in Driver \tag{5-31}$$

於勤務指派模式中新增上述 5 類變數，並加入早班搜尋策略與相關範圍限制式，即可求解出更符合司機員期望的輪值表。運用此方法考量軟限制，亦可維持模式之彈性，即當規劃人員欲考量其他軟限制，亦可藉由調整搜尋策略與增加其他範圍限制式之概念來測試並求解。

六、 高雄捷運司機員個案測試與結果分析

本章為運用個案實際資料來測試本研究提出的司機員排班與輪值模式，並分析勤務及司機員輪值表結果。於個案選擇上，台北捷運司機員排班已在 Han and Li [49]的研究中被探討，且江俐諭[103]亦已針對其司機員輪值問題進行研究，因此，本研究即以台灣第二大捷運系統，高雄捷運作為測試對象。其中，於 6.1 節先介紹高雄捷運系統現況，並說明高雄捷運與台北捷運在司機員排班與輪值問題上的考量差異；接著於 6.2 節敘述如何於模式中新增限制式來符合高雄捷運司機員排班需求，並分析本研究的勤務結果；最後 6.3 節的非週期性司機員輪值表結果，則運用本研究 6.2 節的勤務結果與實際的預排需求，分析所需輪值人力與司機員輪值表公平性。

6.1 高雄捷運系統介紹

高雄捷運為台灣第二座大眾捷運系統，使命為替大高雄地區大眾運輸系統之發展及城市提升做出貢獻。高雄捷運於 1998 年 10 月行政院同意採民間參與(BOT)方式推動，並於 1999 年 6 月核定民間參與高雄都會區大眾捷運系統紅橘線路網建設先期計畫書，於 2000 年 11 月與高雄捷運股份有限公司簽訂合約負責興建。首條營運路線捷運紅線於 2008 年 4 月正式通車營運，同年 9 月橘線亦開始正式營運，完成十字路網之建構。服務範圍區主要為高雄市，總人口數約 150 萬人[105]。兩線分別為：

1. 紅線：小港站—南岡山站，全長約 31.1 公里，共 24 個車站，機廠有岡山的北機廠及前鎮的南機廠。
2. 橘線：大寮站—西子灣站，全長約 13.5 公里，共 14 個車站，機廠為大寮機廠。

紅橘線路網如圖 6.1 所示[107]，總營運長度約 44.6 公里，共 38 個車站。此外，在高雄捷運現有的路網基礎下，目前正興建一南北與東西向十字相交路網之環狀線，藉以強化大眾運輸系統整體路網及接駁運輸服務。環狀輕軌路網如圖 6.2 所示[106]。輕軌路線全長 22.1 公里，共 36 個車站，並於 2015 年 12 月已開放 C1 至 C4 站供民眾試乘。

紅橘路線之載客營運時間約從上午 6 點發車至凌晨 1 點，尖離峰平均發車班距分別為 4-6 分鐘及 8 分鐘。於 2014 年 12 月之旅運量統計資料顯示，平均每日約有 17 萬人搭乘使用。

本研究探討個案為捷運紅線上的前鎮車班，不同於台北捷運利用固定班別種類規劃司機員勤務，高雄捷運為有效運用人力並最小化成本，因此可行班別考量較具彈性，故於第四章提出之勤務產生模式即需依此特殊需求進行調整。此外，台北捷運的司機員每月有固定輪值班別，亦不同於高雄捷運司機員輪值期間可輪值任一種勤務班別，因此，本研究於第五章即提出無固定輪值班別的非週期性輪值模式來符合個案輪值需求。相關排班與輪值結果分析如 6.2 節與 6.3 節。

資料來源：高雄捷運股份有限公司(2015 年)

圖 6. 1 高雄捷運紅橘線路網圖

資料來源：高雄市政府捷運工程局(2015 年)

圖 6. 2 高雄市環狀輕軌路網圖

6.2 司機員排班結果分析

本節首先於 6.2.1 節先敘述個案現況及排班模式之參數設定，並說明如何調整 4.2 節的勤務產生模式以符合高雄捷運的勤務規劃特殊需求。6.2.2 節則分析在考量不同起始間隔時間班別及不同班別長度範圍下，各方案之勤務結果。

6.2.1 司機員排班資料

高雄捷運前鎮車班服務的捷運紅線共有 24 個營運車站，列車服務乘客時間約從 0600 至隔日凌晨 0100，列車實際運行時間約從 0500 至隔日凌晨 0130。於司機員勤務規劃上，前鎮車班僅有一非端點 R4A 車站可做為司機員之換班點(RP 站)，另一換班點為鄰近之南機廠，路線示意圖如圖 6.3 所示。列車營運班表分成平日、假前及假日三種，因此，列車任務可分為四類，分別為南機廠→R4A(發車任務)、R4A→R3→R4A(短任務)、R4A→R24→R4A(長任務)及 R4A→南機廠(收車任務)。以上述四類任務為基礎，三種班表的任務數分別為平日 175 個任務、假前 193 個任務及假日 207 個任務。

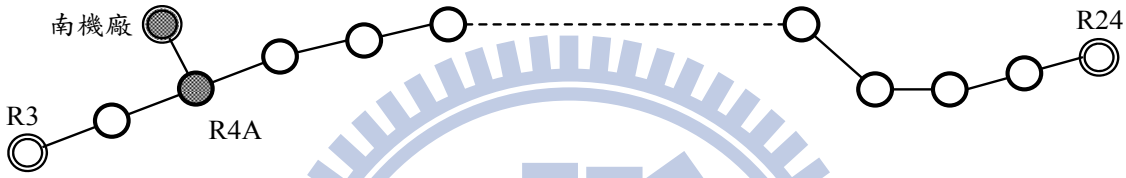


圖 6.3 前鎮車班換班點示意圖

於勤務班別規劃上，個案班別起始時間以 10 分鐘間隔為基礎，即若 04:30 為第一種可行班別開始時間，後續其他班別開始時間則為 04:40、04:50、05:00 等以此類推；班別長度以半小時間隔為基礎，可使用 6 小時至 10 小時班別，故班別長度可為 6 小時、6.5 小時、7 小時、7.5 小時、8 小時、8.5 小時、9 小時、9.5 小時及 10 小時 9 類，班別代碼同 4.1 節之定義。

其他排班規則參數設定如下：

- 簽到時間(CIT)及簽退時間(COT)均為 5 分鐘。
- 休息時間限制：最小休息時間(minRT)為 20 分鐘，最大休息時間(maxRT)為 70 分鐘。
- 用餐時間限制：最小用餐時間(minDT)及最大用餐時間(maxDT)分別為 35 及 90 分鐘。
- 連續駕駛時間限制：最小連續駕駛時間(minCDT)及最大連續駕駛時間(maxCDT)分別為 60 分鐘及 150 分鐘。
- 兩換班點空載旅行時間(DHT)如表 6.1 所示。

表 6.1 兩換班點之空載時間

迄站 \ 起站	R4A	南機廠
R4A	0	15
南機廠	15	0

- 前置時間：發車任務為 30 分鐘；其他任務為 7 分鐘。
- 收車時間：收車任務為 10 分鐘；其他任務則不需收車時間。

除上述個案資料外，由於個案可運用不同班別長度來規劃司機員勤務，因此，本研究模式的勤務成本即需以班別長度為基準，並考量加班成本。若班別長度為 8 小時或未滿 8 小時，成本均設定為 1；超過 8 小時之班別，則依勞動基準法第 24 條規定，延長工作時間在 2 小時以內者，按平日每小時工資額加給 3 分之 1 以上。因此，加班成本以 1.33 倍計算並無條件進位至小數 1 位。故 8.5 小時班成本為 1.1；9 小時班成本為 1.2；9.5 小時班成本為 1.3 及 10 小時班成本為 1.4。

此外，為探討在相同勤務成本下，是否有更集中且穩定的勤務結果，因此，本研究於班別設計上，除個案班別開始時間以 10 分鐘間隔為基礎外，另外考量 15 分鐘間隔及 30 分鐘間隔班別；且在班別長度範圍上，除個案可接受的 6~10 小時班別長度範圍外，本研究另外設計其它六種班別長度範圍方案。故在 3 種時間間隔及 7 種班別長度範圍組合下，每種班表均有 21 種方案需測試求解。21 種班別方案的可行班別數整理如表 6. 2 所示，以 10 分鐘間隔班別為例，考慮 6~10 小時班別長度範圍來排班的可行班別共有 729 種，若只考慮 7~8 小時班別長度，則僅有 255 種可行班別。三類不同時間間隔之班別參數資料可參閱附錄表 A 1 至表 A 6。

表 6. 2 不同間隔時間及班別長度範圍之可行班別數

班別長度範圍(小時)	10 分鐘間隔	15 分鐘間隔	30 分鐘間隔
6~10	729	489	249
7~8	255	171	87
7~8.5	334	224	114
7~9	410	275	140
7.5~9	322	216	110
8~9	237	159	81
7.5~8.5	246	165	84

然而，依上述班別設計，若直接運用本研究 4.2 節提出之勤務產生模式求解 21 種班別組合方案，將會產生大量重複勤務。所謂重複勤務，即使用班別不同，但列車任務均相同之勤務。重複勤務有兩類，第一類為相同班別長度但不同班別開始時間之重複勤務，以圖 6. 4 的 10 分鐘間隔 8 小時班為例，該勤務第一個任務的發車時間為 8:42，最後一個任務的到達時間為 15:55，因此，此勤務除在 8:00 開始的班為可行勤務外，對於 8:10、8:20、8:30 開始之班別亦為可行勤務。

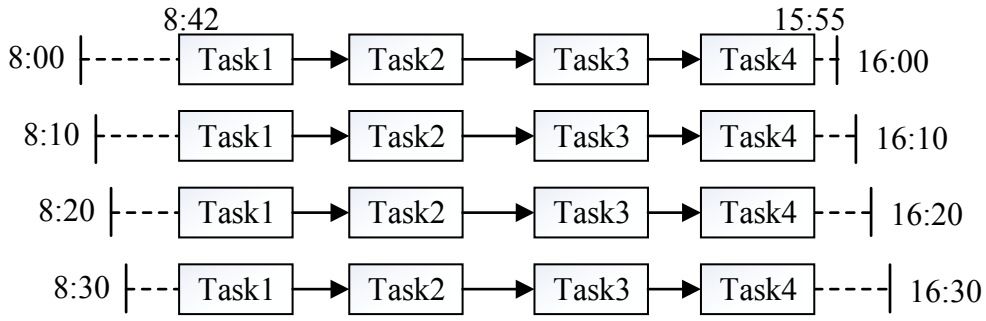


圖 6. 4 班別長度相同但班別開始時間不同之重複勤務

第二類為相同班別開始時間但不同班別長度之重複勤務，以圖 6. 5 的 8:30 開始班別為例，同上述之勤務，此勤務除 8 小時班為可行勤務外，另對於 8.5 小時班、9 小時班、以及 9.5 小時班等亦為可行勤務。由兩類重複勤務範例可知，該勤務至少在 6 種班

別中被重複產生。

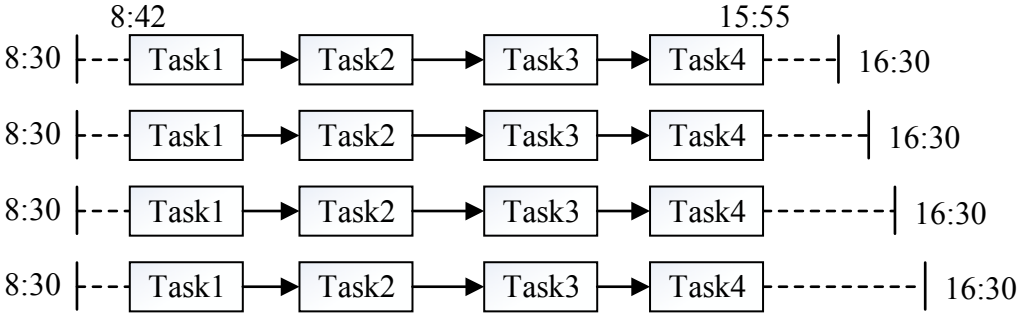


圖 6.5 班別開始時間相同但班別長度不同之重複勤務

雖然上述的重複勤務屬於不同班別，但對排班問題結果並無助益，反而會使得可行勤務規模急遽增加。因此，為避免產生大量重複勤務，故本研究於原勤務產生模式中，另外加入兩組限制式，分別限制開始上班後至第一個任務開始之閒置時間，以及最後一個任務結束到下班間的閒置時間，閒置時間示意圖如圖 6.6 所示。此外，加入此類限制亦有一優點，即模式僅會產生高利用率之勤務，對於僅包含一兩個任務之低利用率勤務則不會被產生。限制定義如下：

圖 6.6 勤務之上下班閒置時間示意圖

上班閒置時間限制：用於避免產生第一類的重複勤務，即第一個列車任務開始時間扣除任務前置時間及簽到時間後，此時間與班別開始時間的差值即為上班閒置時間，如圖 6.6 左邊部分。該閒置時間需小於等於班別起始時間間隔(S_Interval)，依本研究設計之方案，其值分別為 10 分鐘、15 分鐘與 30 分鐘。

$$\text{Dept}_{x_1} - \text{Prepare}_{x_1} - \text{CIT} - \text{Start}_s \leq \text{S_Interval} \quad \forall s \in S \tag{6-1}$$

下班閒置時間限制：用於避免產生第二類重複勤務，即最後一個列車任務到達時間加上收車時間、回簽到車站的空載時間、以及簽退時間後，此時間與班別結束時間的差值即為下班閒置時間，如圖 6.6 右邊部分。該閒置時間需小於等於班別長度間隔 30 分鐘。

$$\begin{aligned}&\left(\left(\text{Dept}_{x_{i+1}} - \text{Arr}_{x_i} \geq \text{minRT}\right) \wedge \left(x_{i+1} = 0\right)\right) \Longrightarrow \\ &\quad \left(\text{End}_s - \left(\text{Arr}_{x_i} + \text{FT}_{x_i} + \text{COT} + \text{DHT}\left(\text{Des}_{x_i}, \text{Org}_{x_1}\right)\right) \leq 30\right) \\ &\quad\quad for\ i = 1, 2, \ldots, m-1\ and\ s \in S\end{aligned} \tag{6-2}$$

藉由上述兩個限制式，即可避免產生多數的重複勤務，如圖 6.4 與圖 6.5 的 7 個可行勤務中，僅有 8:30~16:30 班別的勤務會被產生，其他 6 個勤務則因違反上述兩個限制式而不會被產生。

除上述兩個避免產生大量重複勤務限制外，由於個案可接受 9~10 小時的長加班班別，因此，為避免司機員於工作期間執行過多駕駛任務，即希望每個勤務最多只能有三個工作鏈。對本研究模式而言，即為限制每個勤務的中斷次數最多僅能 2 次，故於模式

中新增一中斷次數限制如下：

$$\sum_{i=1}^{m-1} break(x_i, x_{i+1}) \leq 2 \quad (6\text{-}3)$$

因此，本研究即利用 4.2 節的勤務產生模式另外加入上述三個限制式，來產生符合個案需求的可行勤務，並探討不同方案的最佳勤務成本結果。

6.2.2 排班結果分析與比較

本研究利用 C++與 ILOG CPLEX Optimization Studio 軟體撰寫勤務產生限制規劃模式及集合涵蓋模式，並建構 4.3 節提出之三種求解程序(CP+SCP、一般化變數產生法、以及 CP 為基礎之變數產生法)。完整求解程序於 Intel Core i3-3220 處理器、4GB 記憶體的 Windows XP SP3 32-bit 環境下測試。三種班表的 10 分鐘間隔方案求解時間如表 6.3 所示，15 分鐘與 30 分鐘間隔方案的求解時間請參閱附錄表 A7 與表 A8。

觀察表 6.3 結果，不同班表的所有方案大多可在 2 分鐘內產生所有滿足排班限制的可行勤務，僅有假日班表的 6~10 小時範圍方案，需花費約 150 秒產生 127006 個可行勤務。由此求解時間結果可知，對於以車班為基礎的捷運司機員排班問題，本研究的勤務產生模式可有效率地求解所有可行勤務，因此，個案並不需運用以 CP 為基礎之變數產生法來求解。

而在可行勤務數規模上，平日班表的所有方案其勤務規模並非相當龐大，因此均可直接利用 SCP 模式求解最佳勤務組合。然而，在假前與假日班表上，當可行勤務數大於 58000 個時，SCP 模式即因記憶體不足而無法求解，故需運用一般化變數產生法來求解。於變數產生法的求解效率上，由於已知所有可行勤務，因此亦僅需短時間即可完成其求解程序，並運用選擇的可行勤務求解 SCP 模式獲得最佳解。最長的總求解時間為假日班表的 6~10 小時方案，約 190 秒即可求解出最佳解。

15 分鐘間隔班別的求解時間亦有類似結果，均可於短時間內產生所有可行勤務並求解出最小勤務成本組合，如附錄表 A7 所示。但當班別開始時間間隔增加至 30 分鐘時，假日班表的所有方案即因有 2 至 3 個發車任務無法被涵蓋，因此 SCP 模式無可行解存在，如附錄表 A8 所示。代表若實務上欲以 30 分鐘間隔的班別來求解司機員勤務，則需放鬆某些限制來求解。此外，其結果亦隱含勤務結果可能需使用更多的司機員，且整體司機員利用率可能較低。

表 6.4 為手排及本研究 10 分鐘間隔班別方案的勤務相關結果。於勤務數結果上，手排分別為平日班表需 29 個勤務來涵蓋所有列車任務；假前班表需 31 個勤務；假日班表需 33 個勤務。而在考量與個案相同之 10 分鐘間隔班別結果上，本研究在平日班表上有 4 種方案可減少 2 個勤務，僅需 27 個勤務即可涵蓋所有列車任務，假前班表及假日班表之最佳勤務數則與手排結果相同。

此外，由勤務成本結果可知，相較於手排的平日班表勤務成本為 31.1，本研究最小勤務成本為 28，減少約 3.1 單位的勤務成本，此差異除減少 2 勤務外，亦隱含使用較少的加班勤務來涵蓋所有任務。而在假前班表上，雖然手排與本研究的勤務數均為 31 個，但本研究的勤務成本約可減少約 1.6；假日班表亦同，雖然勤務數均為 33 個，但勤務成本可較手排再減少約 1.1。由此可知，對於假前班表與假日班表的勤務班別使用上，本研究可求解出較少的加班勤務結果。減少的加班勤務數可參閱圖 6.7 至圖 6.9 的勤務班別長度分布圖。其中，觀察圖 6.7 的平日班表勤務班別長度分布，於勤務成本為 28 的方案中，加班勤務可由手排的 13 個減少至 7~8 個。而圖 6.8 與圖 6.9 的假前班表與假日班表勤務班別長度分布圖中，相較於手排結果，本研究均可將加班勤務大幅減少至 1

至 2 個。故雖然假前與假日班表有相同的勤務數結果，但本研究勤務結果仍是有改善的。

表 6. 3 10 分鐘間隔班別之求解時間表

班表	班別長度範圍(小時)	CP 求解時間(秒)	可行勤務數	一般化變數產生法			SCP 求解時間(秒)
				遞迴數	CG 求解時間(秒)	選擇勤務數	
平日班表	6~10	99.75	54586				5.66
	7~8	28.78	36353				2.23
	7~8.5	43.67	46842				3.69
	7~9	51.31	51037				6.41
	7.5~9	45.17	46103				2.8
	8~9	35.39	31919				4.55
	7.5~8.5	33.19	41908				3.95
假前班表	6~10	104.19	70010	196	26.08	1903	2.87
	7~8	32.75	47364				4.06
	7~8.5	50.8	60739	194	18.68	1198	1.11
	7~9	63.9	65594	188	19.08	1526	1.06
	7.5~9	52.03	58557	169	16.38	1368	0.69
	8~9	39.7	40114				4.83
	7.5~8.5	38.58	53702				13.28
假日班表	6~10	149.85	127006	168	22.71	1588	17.75
	7~8	49.61	92720	76	5.92	705	0.33
	7~8.5	67.8	114494	138	14.76	1189	10.66
	7~9	91.89	120575	145	20.95	2045	5.03
	7.5~9	89.06	106826	148	18.39	1732	2.33
	8~9	61.2	69400	93	10.08	2175	1.81
	7.5~8.5	63.53	100745	137	14.6	1347	9.44

表 6. 4 10 分鐘間隔方案之勤務數與勤務成本結果

		手排結果	6 | 10	7 | 8	7 | 8.5	7 | 9	7.5 | 9	8 | 9	7.5 | 8.5
平日班表	勤務數	29	27	29	28	27	27	27	28
	勤務成本	31.1	28	29	28.3	28	28	28.3	28.3
假前班表	勤務數	31	31	32	31	31	31	31	31
	勤務成本	32.7	31.1	32	31.1	31.1	31.1	31.1	31.1
假日班表	勤務數	33	33	34	33	33	33	33	33
	勤務成本	34.3	33.5	34	33.5	33.2	33.2	33.2	33.5

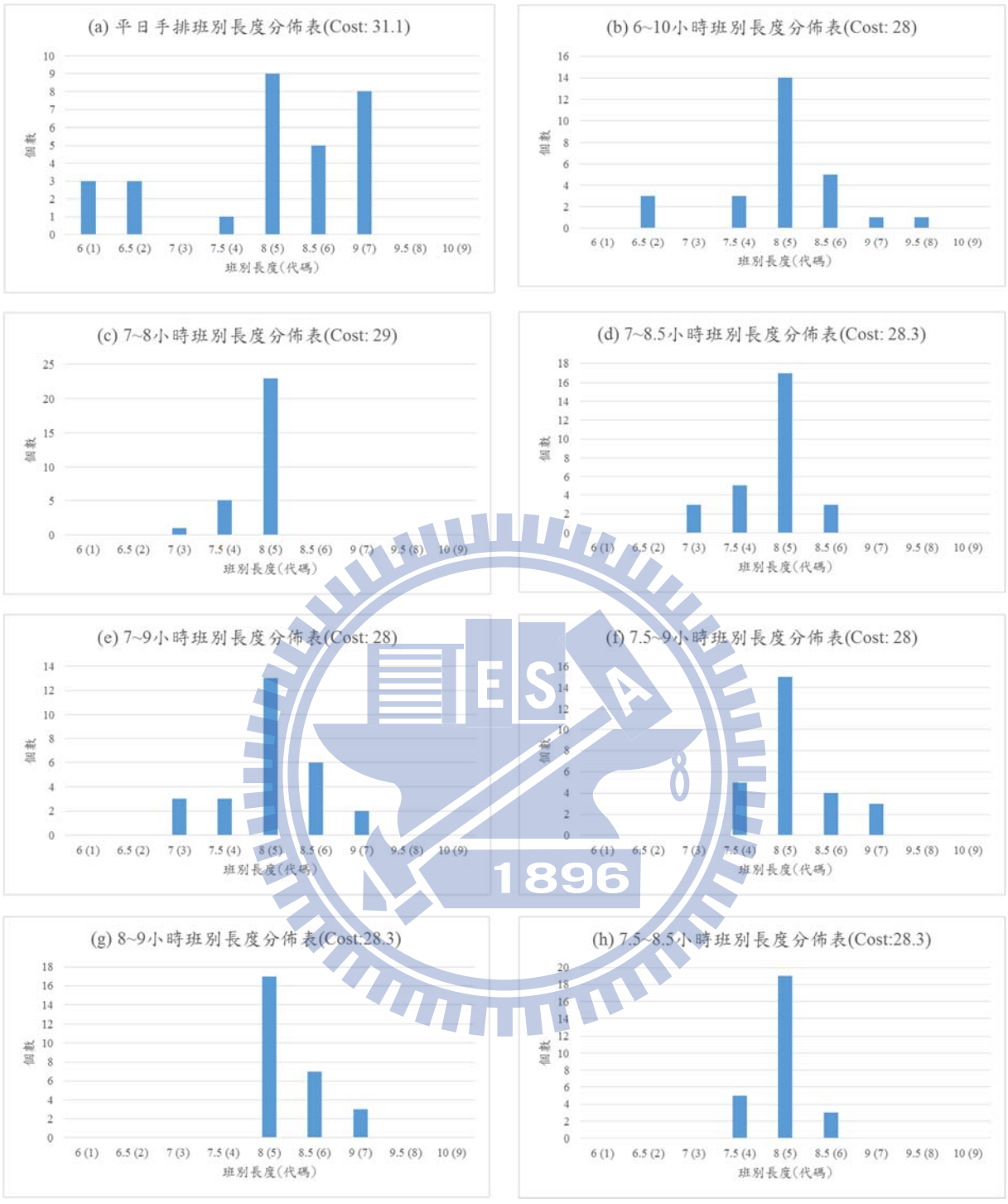


圖 6. 7 10 分鐘間隔班別之平日班表勤務使用班別長度分布圖

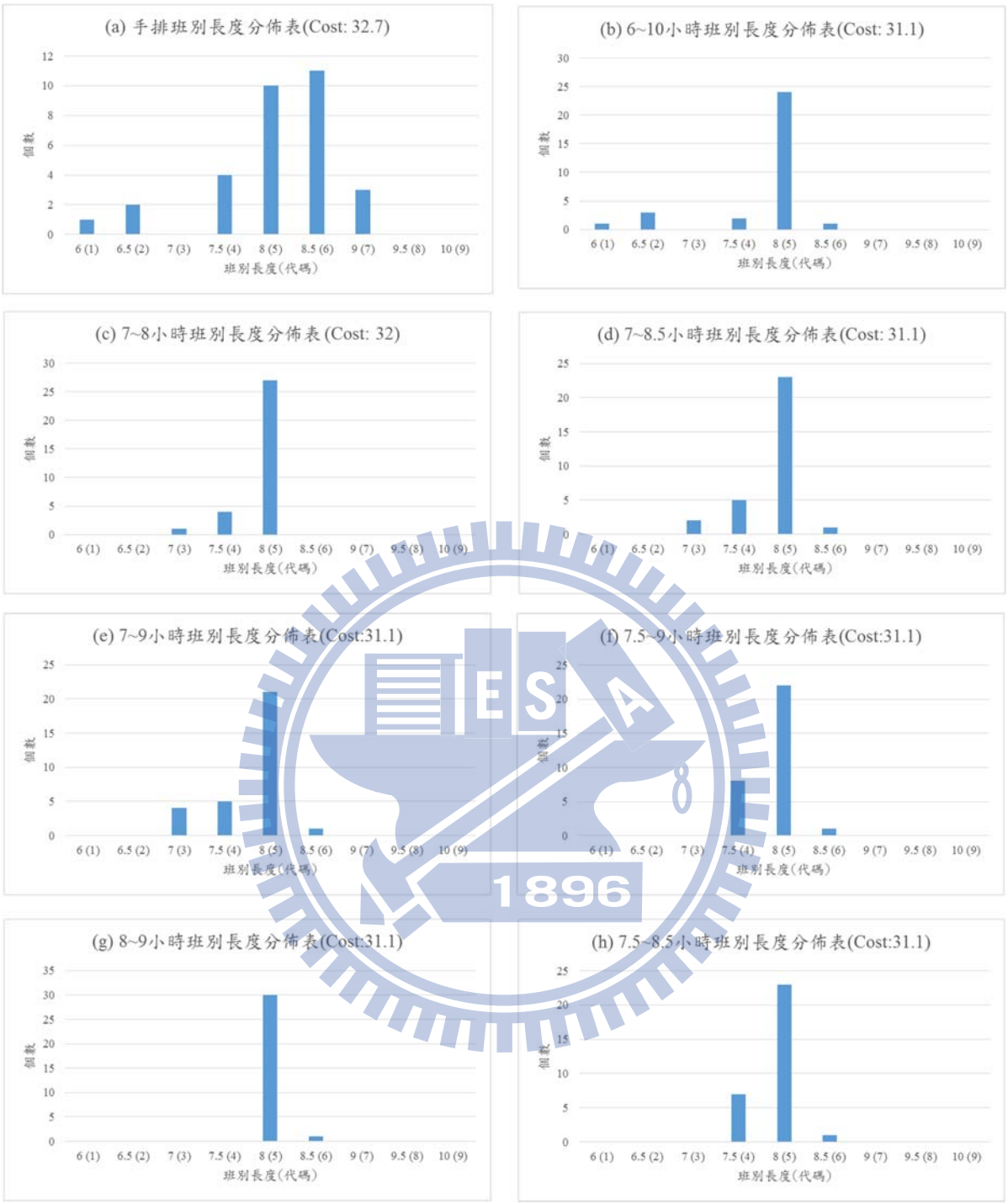


圖 6. 8 10 分鐘間隔班別之假前班表勤務使用班別長度分布圖

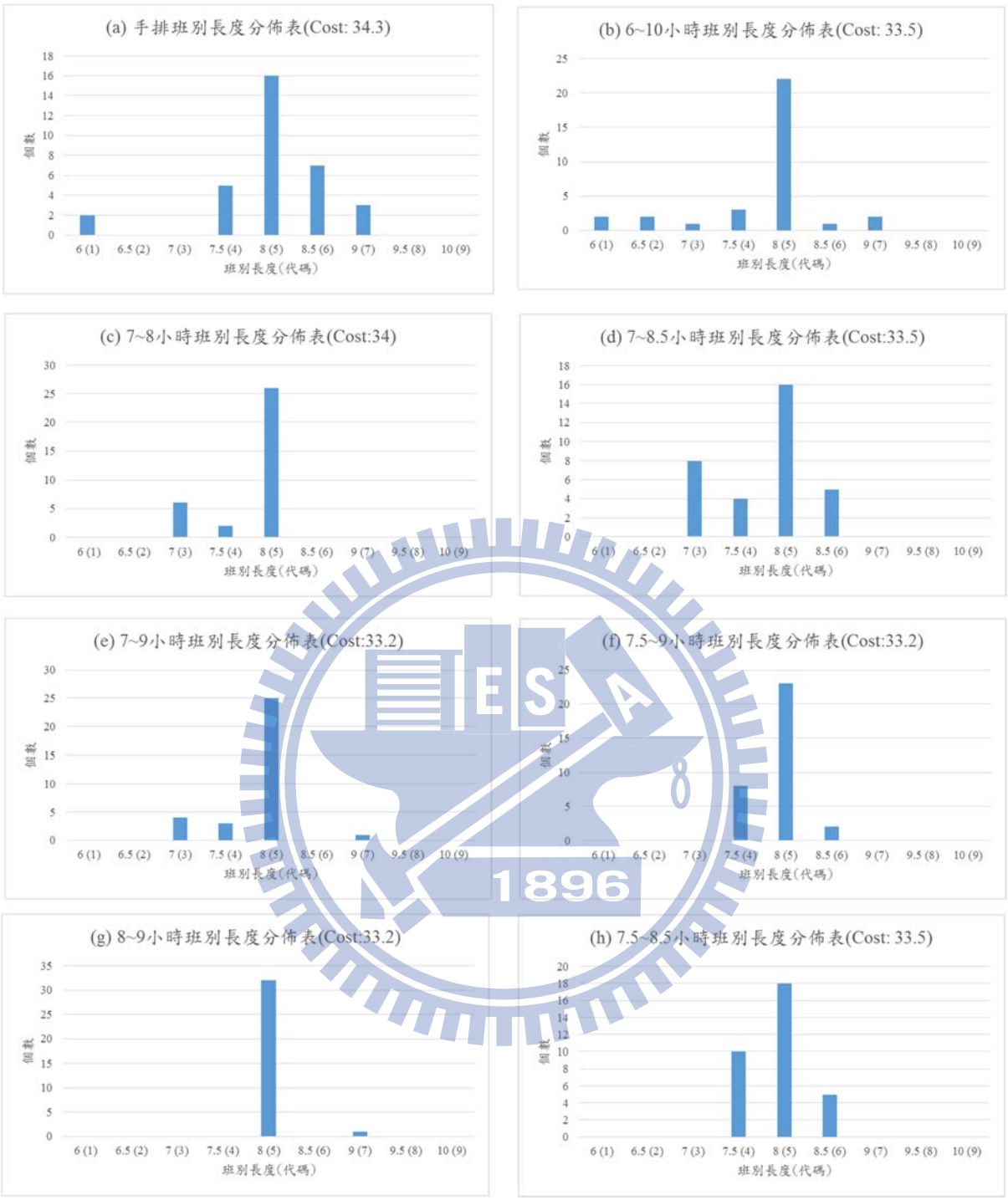


圖 6.9 10 分鐘間隔班別之假日班表勤務使用班別長度分布圖

除勤務數與勤務成本結果外，由圖 6.7 至圖 6.9 的結果亦可知，藉由求解不同的方案，本研究可獲得較集中於正常 8 小時班的勤務分布結果。如平日班表的 7~9 小時及 7.5~9 小時方案即較 6~10 小時方案的勤務分布佳。假前班表與假日班表結果亦同，多數勤務均為 8 小時正常班。對規劃人員而言，此結果於輪值表的規劃上即較容易平衡司機員的工作時數。依據上述結果，對於個案的三種班表，本研究排班模式除求解效率高外，求解出的勤務結果於總勤務數、加班勤務使用與勤務班別分布均有所改善。

15 分鐘間隔與 30 分鐘間隔方案的勤務數與勤務成本結果請參閱附錄表 A 9。於 15 分鐘的結果中，雖大部分方案可維持與 10 分鐘間隔班別相同的勤務數結果，但三種班

表的最佳勤務成本則均略為增加 0.1，代表相較於 10 分鐘結果，可能需增加一個加班勤務。當間隔時間增加至 30 分鐘時，平日班表則需增加 1 個勤務才可涵蓋所有列車任務，雖然假前班表可求解出相同的 31 個勤務數結果，但最佳勤務成本則需增加約 0.3，假日班表則無可行解。由三種班別開始時間間隔的方案結果可知，目前個案考量的 10 分鐘間隔班別確實為最節省人力的規劃。但若僅考量相同勤務數，班別的開始時間間隔則最多可增加至 15 分鐘，藉以減少可行的班別種類。15 分鐘及 30 分鐘間隔班別之班別長度分布圖請參閱附錄圖 A 1 至圖 A 5。

最後為勤務利用率結果分析，即勤務總駕駛時間(含發車任務整備時間)佔總班別時間的比例，10 分鐘間隔方案結果如表 6. 5 所示。其中，因本研究係運用集合涵蓋模式(SCP)求解最小勤務成本組合，因此最佳勤務組合結果會存在重複任務，表中各方案的利用率結果為已刪除重複任務之狀況。觀察平日班表結果可知，在考量相同任務數下，本研究可利用較少的勤務數來涵蓋，因此較手排勤務有更高的利用率，利用率離散程度最小的為 7.5~9 小時方案，表勤務最具公平性，但其利用率則略低於 7~9 小時方案，因此，若同時考量利用率與勤務公平性，7~9 小時方案為較好的選擇。而在假前班表結果上，雖然勤務數結果相同，但因可減少約 13 個加班勤務，因此利用率亦略高於個案結果。然而，因假前班表的勤務結果有重複的長任務，因此再扣除重複長任務後，勤務利用率差異則較手排結果大。假日班表亦有類似的狀況，再扣除重複長任務後，平均利用率即略低於手排結果，且差異亦略高，如 7~9 小時方案的變異係數 6.95 與手排的 6.18。針對此現象，可於求解出勤務後，藉由簡單的演算法來刪除重複任務，並檢查是否可減少對應的班別長度即可提高勤務利用率。

表 6. 5 10 分鐘間隔方案之勤務利用率結果

		手排結果	6 | 10	7 | 8	7 | 8.5	7 | 9	7.5 | 9	8 | 9	7.5 | 8.5
平日班表	Avg.	64.36	69.95*	65.96	68.09	69.61*	68.70*	67.48*	67.35
	S.D.	3.91	3.78	8.73	6.60	3.17	2.40	3.14	6.98
	C.V.	6.08	5.41	13.23	9.69	4.56	3.50	4.66	10.37
假前班表	Avg.	66.61	68.91*	65.30	67.87*	68.42*	67.65*	66.85*	67.71*
	S.D.	2.77	4.07	7.92	6.36	7.14	5.76	6.17	5.14
	C.V.	4.19	5.90	12.13	9.37	10.44	8.52	9.23	7.58
假日班表	Avg.	69.38	68.43*	66.24	68.51*	67.65*	67.35*	66.35*	67.02*
	S.D.	4.29	4.75	7.83	5.77	4.70	4.77	5.85	5.86
	C.V.	6.18	6.95	11.82	8.43	6.95	7.09	8.82	8.75

* 最佳勤務數方案

由上述排班結果可知，在滿足個案的排班限制下，本研究可改善勤務結果，除平日班表可節省 2 個勤務數外，三種班表均可減少加班勤務的使用，尤其在假前班表上，可減少 13 個加班勤務。依據此結果，亦可提高平日與假前班表的勤務利用率。此外，藉由各班表的勤務班別長度分布結果可知，本研究勤務結果亦可較集中於 8 小時正常班，對於後續輪值表規劃可較容易平衡司機員時數。

而由 4.4 節與本節的個案排班結果可知，對於台北捷運與高雄捷運兩個不同排班需求的司機員排班問題，本研究勤務產生模式可藉由簡單新增限制式，即可重新求解滿足不同個案需求的可行勤務，顯示本研究模式的運用彈性。且在求解效率上，對不同班表的 63 個方案，本研究提出的排班問題求解程序均可於 3 分半內求解出每個方案的勤務

結果。因此，若以此做為決策支援系統的求解架構，規劃人員可於短時間內測試多種不同方案與參數組合，分析並找出最合適的勤務結果。

6.3 司機員輪值結果分析

本節為分析本研究提出之輪值模式結果，為探討排班問題的勤務結果對司機員輪值表的影響，本研究即以 6.2.2 節之勤務結果為依據，並利用個案預排資料估算輪值期所需人力，進而求解非週期性的司機員月輪值表，最後依不同公平性指標來分析本研究之輪值表結果。

6.3.1 司機員輪值資料

個案目前的司機員輪值表制定係以週期性輪值為基礎。然而，由於司機員輪值需考量預排以及月休假天數公平需求，故於實務運作上，規劃人員需再耗費大量時間與心力對原週期性輪值表進行調整，使輪值表內容能符合司機員期望並滿足相關輪值法規。

本研究測試案例為個案 10 月及 11 月的輪值表，預排需求分別為 107 人天與 88 人天，且每位司機員每月至少需給予 8 天休假。預排資料如附錄表 A 10 至表 A 13 所示，其中，為清楚顯示司機員預排狀況，因此表中僅保留預排代碼。

依個案目前規劃的平日 29 個勤務、假前 31 個勤務及假日 33 個勤務結果，另外加上每日需兩名司機員至機廠值班，因此，10 月與 11 月總輪值人力需現有 48 名司機員及約 2 名支援人力來滿足兩個月的勤務需求。而在司機員輪值班別型態上，個案規劃班別開始時間小於上午 10:00 為早班；開始時間介於 10:00~15:00 為午班；15:00 之後為晚班，且司機員輪值期間可輪值任一類班別，即每位司機員均可指派早班、午班及晚班。其他考量輪值限制相關資料如下：

- 最大連續工作天數(maxCW)為 5 天。
- 最大連續休假天數(maxCO)為 3 天。

而在本研究的司機員輪值表求解上，為探討排班結果對輪值表的影響，因此，模式以本研究 10 分鐘間隔班別的勤務結果為基礎，求解司機員輪值表。於方案選擇上，除考量最小勤務成本外，另亦需考量三種班表的勤務班別長度分布，避免求解出之輪值表整體工作時數過低或過高。故選用的勤務方案分別為：平日班表採用 7~9 小時方案勤務；假前班表採用 8~9 小時方案勤務；假日班表採用 7.5~9 小時方案勤務。三種班表的勤務內容詳見附錄表 A 14 至表 A 16。輪值模式所使用之勤務資料如附錄表 A 17 至表 A 19 所示，其勤務順序依班別開始時間由早至晚遞增排序，且包含兩個機廠勤務，班別代碼為 0655 及 1435。因此，本研究用於輪值的各班表勤務數即為平日 29 個勤務、假前 33 個勤務以及假日 35 個勤務。

於輪值人力估算上，本研究假設每位司機員每週均休假兩天，並以韓復華[110]所整理之最少雇用人力公式$N + \lceil 2n/5 \rceil$來估算輪值人數，其中 N 表平常日每日所需值班總人數，n 表周末每日所需值班總人數。因此，依據上述平日 29 個勤務、假前 33 個勤務及假日 35 個勤務來計算，所需基本人力為$29.8 + \lceil 2 * 35/5 \rceil = 43.8$人；此外，考量 10 月 107 人天的預排需求，因此約需再增加 3.4 個人力。故本研究 10 月及 11 月的輪值人力設定為 48 人。其他輪值相關資料敘述如下：

1. 輪值期之每日例假日型態及對應車班表如附錄表 A 20 及表 A 23 所示。
2. 預排需求：同附錄表 A 10 至表 A 13。此外，另考量第一位司機員為孕婦，其輪值內容同個案已安排的固定機廠勤務及休假日資料。

3. 勤務需求：10 月及 11 月每日勤務需求如附錄表 A 24 與表 A 25 所示。

4. 最大連續工作天數及最大連續休假天數同個案設定，分別為 5 天與 3 天。

5. 休假公平性目標：

   (1) 總休假天數目標($\bar{O}$)：8 天。

   (2) 總例假休假天數目標($\bar{H}$)：1 天。

6. 早班指派天數目標($\bar{M}$)：8 天。

7. 極早班限制參數：5 點前勤務(ε_1)及 5 點至 6 點間勤務(ε_2)分別為 2 天與 4 天。

8. 極短班及極長班參數：7 小時勤務(ε_3)及 9 小時勤務(ε_4)均為 2 天。

6.3.2 輪值結果分析

本節依 6.3.1 節所述資料與第五章提出之兩階段非週期性輪值問題求解模式，求解個案 10 月及 11 月的司機員輪值表。其中，於勤務指派模式部分，為探討限制規劃模式運用搜尋策略及範圍限制式來滿足軟限制的程度，因此，本研究將分別測試無考慮軟限制(Model 1)、以及有考慮軟限制(Model 2)之勤務指派模式。

不同模式的求解時間如表 6. 6 所示，於目標規劃排休模式上，10 月及 11 月均能於 3 秒內求解出司機員排休表；而無考慮軟限制及有考慮軟限制的勤務指派限制規劃模式則均於 25 秒內即可求解出司機員月輪值表。由求解時間結果可知，對於個案的非週期性輪值表，本研究模式可快速求解滿足所有輪值硬限制之輪班表。

表 6. 6 兩階段輪值模式求解時間(秒)

	排休模式	勤務指派模式*	
		Model 1	Model 2
10 月輪值表	2.49	24.55	22.72
11 月輪值表	1.81	23.19	22.63

* Model 1: 無考慮軟限制；Model 2：考慮軟限制

而在公平性滿足程度上，休假公平性軟限制將與手排輪值表結果進行比較分析；早班指派天數、極早班指派天數與長短班指派天數公平性上，則由本研究的兩個勤務指派限制規劃模式(Model 1 與 Model 2)進行比較分析。最後再針對手排輪值表與 Model 2 的模式結果，分析司機員工作時數與輪值表穩定度。結果分析如下：

1. 休假公平性：休假公平係指輪值期間每位司機員總休假數及總例假休假數應儘量相同，為司機員最重視之公平性指標。本研究與手排的休假公平性結果彙整如表 6. 7 所示，且結果不含第一位已固定輪班內容的司機員。

   (1) 總休假公平性(S1)：由休假天數分布範圍結果可知，個案經調整後的週期性輪值表，10 月與 11 月的司機員總休假數均分布於 8~9 天，與本研究排休模式的休假天數相同，因此，對此公平性軟限制，手排與本研究結果均有極高的滿足程度。此外，由相同的分布天數結果亦可知，若以本研究之勤務數結果來制定輪值表，僅需現有的 48 名司機員即可涵蓋每日所有列車任務，並符合個案的休假天數需求，不需另外增加 2 位支援人力。

(2) 例假休假公平性(S2)：於此休假公平性上，本研究兩個月的總例假休假天數分布均為 1 至 2 天。而個案經調整後的週期性輪值表，其總例假休假天數的分布範圍分別為 10 月的 0 至 5 天與 11 月的 0 至 4 天，因此，個案結果較難滿足例假休假的公平性。由此可知，週期性輪值表在考量預排需求與總休假天數公平性後，即難以同時滿足總例假休假天數亦公平分配的目標。而本研究排休模式則因求解排休表時，僅固定預排需求，因此可同時滿足兩項休假公平性軟限制。若以本研究目標函數值估算，個案則因例假休假天數差異較大，因此，目標函數值亦大於本研究結果。

故對於上述兩類休假公平性指標而言，若以非週期性輪值來制定輪值表，可較容易同時滿足兩類休假公平性需求。每位司機員 10 月與 11 月的休假天數與例假休假天數請參閱附錄表 A 26 至表 A 29。

表 6. 7 輪值表之休假公平性結果比較表

		10 月		11 月	
		總休假數	總例假休假數	總休假數	總例假休假數
手排	分布範圍	8~9	0~5	8~9	0~4
	目標函數值	96		109	
排休模式	分布範圍	8~9	1~2	8~9	1~2
	目標函數值	37		54	

2. 早班分配公平性(S3)：即輪值期間指派給每位司機員的早班勤務天數應儘量相同。由於個案司機員輪值期間無固定輪值班別，因此本研究於求解非週期性輪值表時，從早班、午班及晚班三類勤務班別中，選擇對司機員負擔最大的早班勤務優先進行公平性指派。兩勤務指派模式的 10 月與 11 月結果如圖 6. 10 與圖 6. 11 所示。由圖中可知，當勤務指派模式不考慮軟限制時，早班勤務會集中於某些司機員上，如 10 月有 11 位司機員整月指派 20 天以上的早班勤務，11 月則有 13 位司機員。此結果即司機員無法接受之輪值表內容。

   若於勤務指派模式中，運用本研究提出之早班指派搜尋策略，則可將早班勤務指派天數範圍縮小至 10 月為 7 到 10 天，以及 11 月為 6 到 9 天，且有約 40 位司機員的早班勤務天數為 8 至 9 天。由此結果可知，本研究的勤務指派模式可透過搜尋策略大幅改善早班分配公平性。早班勤務指派天數細節請參閱附錄表 A 30 與表 A 31。

3. 極早班分配公平性(S4)：即輪值期間指派給每位司機員的極早班勤務班別次數應儘量相同，其中，本研究將極早班分為 5 點前開始的勤務班別，以及 5 點至 6 點間開始的勤務班別兩類。兩勤務指派模式結果如圖 6. 12 所示。由圖中可知，當勤務指派模式無考量軟限制時，部分輪值期均值早班的司機員整月將被指派 5 點前的極早班勤務。對這些司機員而言，整月均需凌晨起床準備上班，因此，將造成司機員相當大的負擔，故此輪值表即為規劃人員儘量避免的結果。但當勤務指派模式運用搜尋策略搭配範圍限制式後，即可將 5 點前勤務班別較公平分配給大部分司機員，每位司機員均指派 0 至 2 天，雖然無法完全公平分配給所有司機員，但已大幅改善 5 點前勤務班集中指派的狀況。

   5 點至 6 點間的早班勤務指派天數結果亦相同，當模式不考慮軟限制時，有部分司機

員整月會被指派此類勤務班。但當模式考量軟限制後，指派天數將被限制於 4 天以下，且有約 40 位司機員平均指派 3 至 4 天的 5 點至 6 點間早班勤務。司機員的極早班勤務指派天數細節請參閱附錄表 A 32 至表 A 35。

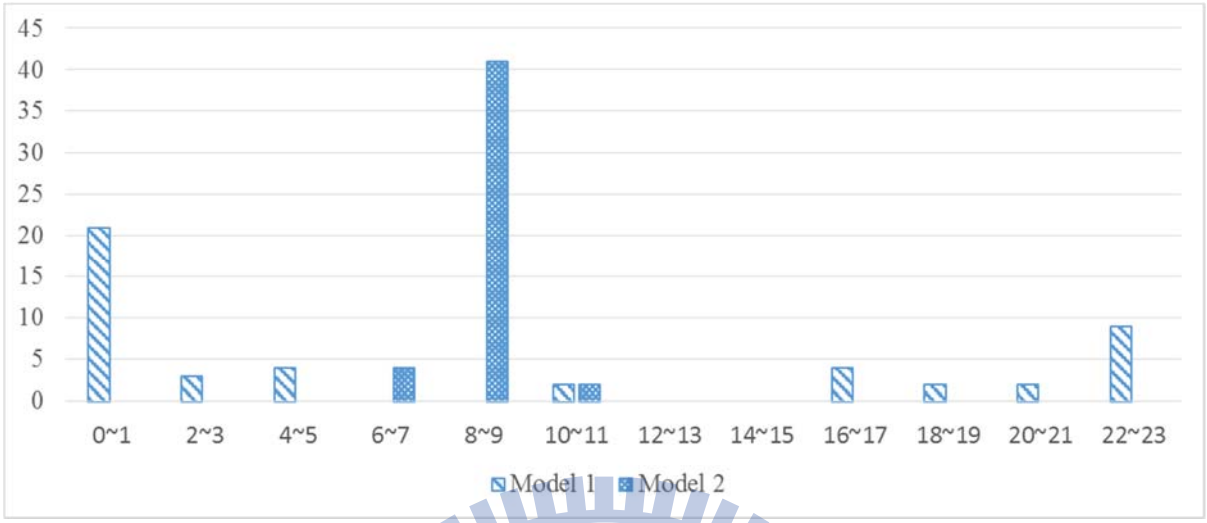


圖 6. 10 10 月早班勤務指派天數分布圖

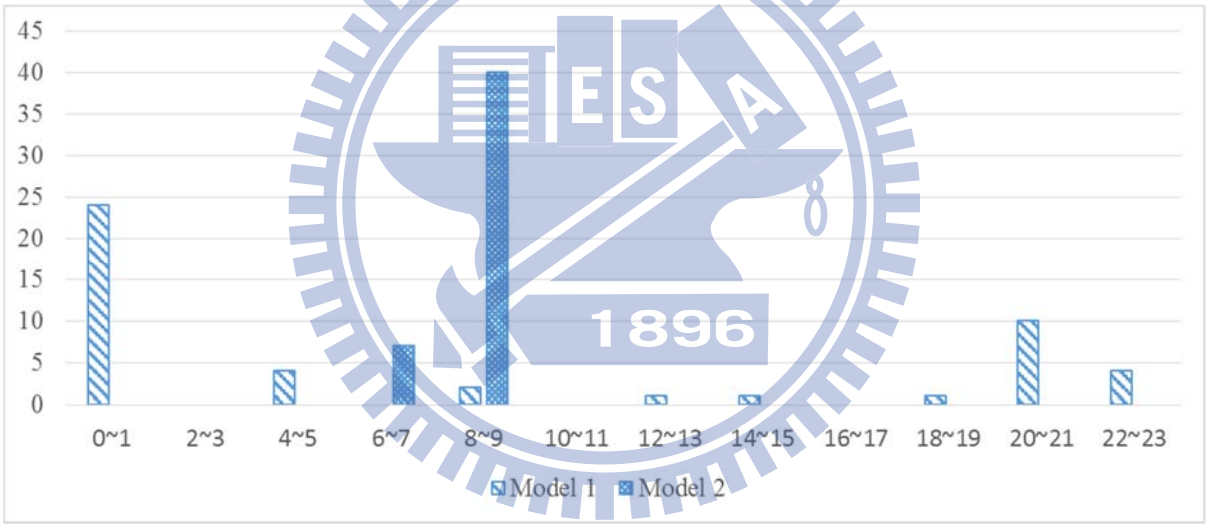


圖 6. 11 11 月早班勤務指派天數分布圖

4. 極短班與極長班班別分配公平性(S5)：即輪值期間指派給每位司機員之極短班與極長班勤務班別次數應儘量相同。此公平性主要為避免司機員輪值期間指派過多的極短班與極長班勤務班別，使得司機員總工時過低或過高。而本研究所使用之勤務班別均介於 7 至 9 小時間，因此即以 7 小時表極短班班別，9 小時表極長班班別。兩勤務指派模式指派天數結果如圖 6. 13 所示。由分布範圍結果可知，當勤務指派模式無考慮軟限制時，極短班與極長班的分配較不公平，如 10 月的極短班指派天數為 0 至 6 天，11 月為 0 至 9 天；極長班別分布天數則為 10 月的 0 至 4 天，與 11 月的 0 至 5 天。但當勤務指派模式中考量極長班與極短班的範圍限制式後，即可將指派天數限制在 0 至 2 天之間，因此，運用範圍限制式確可有助於極短班與極長班的分配公平性，司機員於極短班與極長班的指派天數細節請參閱附錄表 A 36 至表 A 39。

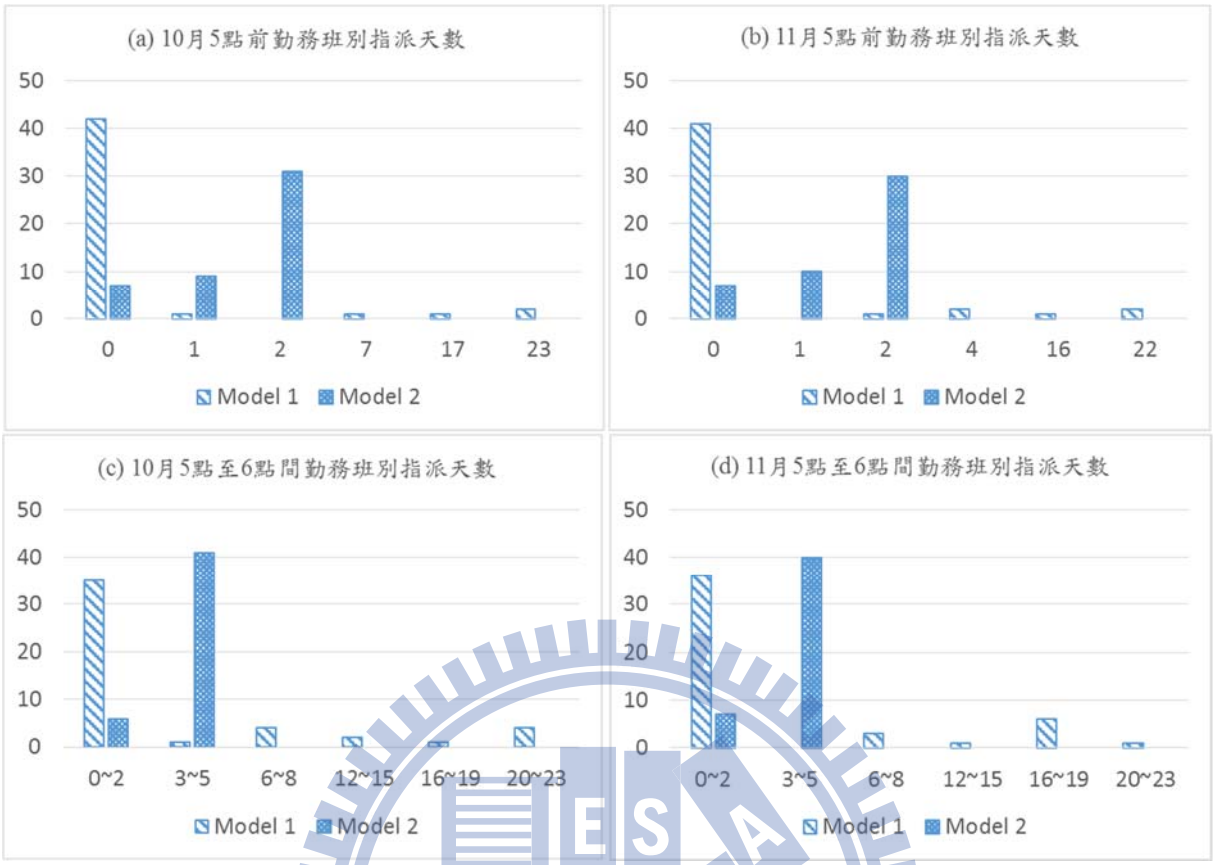


圖 6. 12 極早班勤務指派天數分布圖

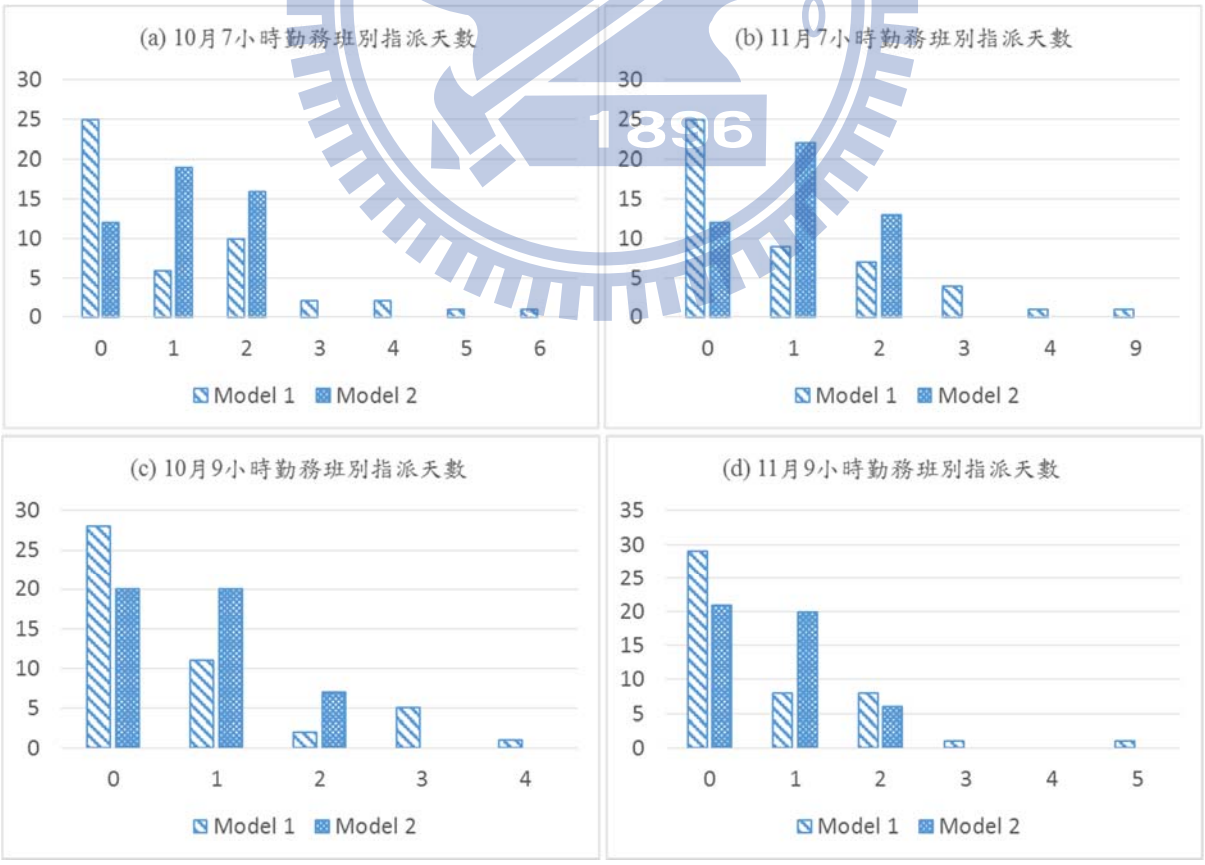


圖 6. 13 極短班與極長班勤務指派天數分布圖

除上述公平性結果外，本研究另外探討兩項指標，第一項為分析勤務班別分布對工時的影響，第二項為週期性與非週期性輪值表於穩定度上的表現。前者係加總司機員輪值期每日勤務班別時間與 8 小時之差值，估算司機員於輪值期過多或不足的工作時數；後者為連續兩工作日更換班別型態的次數。兩項指標結果彙整如表 6.8 所示。其中，本研究結果為有考慮軟限制之勤務指派模式(Model 2)結果。

於過多與不足時數上，10 月輪值期個案的時數分布為-9 小時至 6.5 小時，本研究為-6 小時至 4 小時；11 月輪值期的時數分布則為個案-6 小時至 9 小時，以及本研究-5 小時至 4 小時。由此可知，本研究較個案有較小的時數分布範圍。探討其原因，主要為個案使用之勤務班別長度分布為 6~9 小時，且有多個 6 小時與 6.5 小時短班，以及 9 小時長班之勤務，導致規劃人員於調整週期性輪值表時，較難同時均衡司機員的工作時數。而在本研究結果上，由於勤務班別均介於 7~9 小時，且較少加班勤務以及勤務多集中於 8 小時班，因此，工作時數分布即較個案小。由此結果可知，司機員排班問題的結果除直接影響司機員成本外，勤務班別長度的分布亦會影響輪值表工作時數分配之差異與規劃難易度。

而在輪值表穩定度上，調整後的週期性輪值表仍具有極高之穩定度，但非週期性輪值表則較難滿足此需求。儘管本研究已於勤務指派模式運用搜尋策略循序指派勤務給司機員，但在多種輪值硬、軟限制考量下，司機員仍會有較多更換班別的次數。本研究求解之 10 月及 11 月勤務指派結果與完整輪值表請參閱附錄表 A 40 至表 A 45。

表 6.8 輪值表工作時數及穩定度比較表

		過多與不足時數		輪值表穩定度	
		手排	Model 2	手排	Model 2
10 月	分布範圍	-9~6.5	-6~4	0~4	0~5
	平均值	0.47	-0.34	1.36	2.71
	標準差	3.07	2.41	1.3	1.44
11 月	分布範圍	-6~9	-5~4	0~4	0~5
	平均值	0.23	-0.43	1	2.49
	標準差	2.87	2.06	0.95	1.16

不同於個案以週期性輪值為基礎來規劃輪值表的程序，本研究為運用兩階段模式來求解無固定輪值班別的非週期性司機員輪值表。由上述輪值表結果分析可知，雖然非週期性輪值較難達到與週期性輪值相同的輪值表穩定程度，但可同時滿足兩類司機員較重視的休假公平性，分別為輪值期總休假天數及總例假休假天數。

對於早班勤務、極早班勤務及長短班勤務分配公平性上，本研究提出的勤務指派限制規劃模式亦可藉由搜尋策略與範圍限制式的設計來滿足，使月輪值表結果儘量均衡司機員的負擔。而在司機員的總工作時數上，則因受勤務的班別長度影響，因此需於規劃司機員勤務時，儘量求解班別長度分布較集中的勤務組合，藉以減少司機員過多與不足工作時數的現象。

此外，由於本研究提出之排班模式與勤務指派模式均可快速求解出司機員排休表與輪值表，因此，規劃人員亦可運用此模式於短時間內測試不同輪值需求，藉以尋找較合適的輪值表結果。

七、 結論與建議

本研究係探討捷運司機員排班與輪值問題，並運用限制規劃法與數學規劃法來構建相關模式並求解。於排班問題上，不同於以往捷運排班研究大多應用(巨集)啟發式解法來求解，本研究首次利用限制規劃法來建構滿足所有捷運司機員排班限制的勤務產生模式，並針對不同可行勤務數規模，利用三種求解架構來求解最佳勤務組合，其中，最佳勤務組合係以集合涵蓋模式(SCP)來求解。

而在司機員輪值問題上，本研究為求解無固定班別的非週期性輪值表。此問題除尚未於捷運司機員研究中被探討外，非週期性輪值亦可於求解過程中同時考量司機員預排與不同公平性需求，使輪值表結果更符合實務需求。於求解程序上，本研究先利用目標規劃排休模式求解具休假公平性之排休表，接著運用限制規劃法建構勤務指派模式，求解滿足早班勤務分配、極早班勤務分配、以及長短班勤務分配軟限制的完整月輪值表。最後並利用高雄捷運前鎮車班的實際資料來測試本研究提出的排班與輪值模式，相關結論彙整如下：

1. 捷運司機員排班問題：

(1) 排班模式適用性：本研究排班模式主要將勤務產生及勤務組合最佳化視為兩獨立子問題，因此，若探討對象有不同排班規則時，僅需修改勤務產生模式。如本研究探討之台北捷運與高雄捷運兩個案，以台北捷運為基礎的勤務產生模式，僅需於模式中新增 6.2.1 節的三個限制式，即可產生符合高雄捷運個案特殊需求的勤務。且由個案限制工作鏈數次數可知，本研究設計的勤務產生模式可適用於任務數或工作鏈數限制之案例。

(2) 可行勤務影響因素：司機員排班問題複雜度主要來自於可行勤務規模，而影響可行勤務規模的因素除任務數、任務時間長短、可行班別數、班別長度、以及限制程度外，本研究由高雄捷運不同班表的結果亦發現，使用列車車次數與各列車營運時間長短亦會影響可行勤務規模。觀察表 6.3，假日班表不同方案的可行勤務規模約為假前班表的 1 倍，此差異除假日班表較假前班表多 14 個任務外，假日班表為運用 14 個列車車次來涵蓋所有任務，但假前班表卻指派 17 個車次，因此，假前班表即有較多的短營運車次。在考量列車收發車所需較長前置與收車時間下，使用較多短營運車次之班表，其可行勤務數則較少。

(3) 捷運系統的可行勤務規模：不同於其他運輸系統，捷運司機員為各路線獨立規劃，並以車班為基礎，因此，不論捷運路網多複雜，不同路線的司機員指派並不會相互影響。此外，由台北捷運及高雄捷運兩個案結果可知，若僅產生高利用率的可行勤務，其勤務規模並非相當龐大，故不需運用以限制規劃為基礎的變數產生法來求解。

(4) 勤務結果與輪值表關聯性：勤務結果除影響人事成本外，亦會影響司機員輪值期的總時數分配差異。由 6.2.2 節的勤務結果可知，在考量相關排班限制下，本研究平日班表可減少兩個勤務，假前及假日班表則維持相同勤務數，若利用此結果來規劃司機員月輪值表，可較個案節省 2 名司機員即可滿足每日列車任務需求。且在司機員的輪值期總工作時數上，若使用班別長度差異越小的勤務來規劃輪值表，則可減少司機員指派過多或不足的時數，讓規劃人員更容易管理司機員的工作時數。

(5) 求解效率：本研究提出的排班問題求解架構，於測試 63 種方案上，均能在約 3 分鐘內求解出最佳勤務組合。因此，對規劃人員而言，可在規劃期間內測試多種方案，尋找最合適且較佳的勤務組合做為參考。如本研究測試不同開始時間間隔方案，即可發現在維持相同最佳勤務數下，班別的開始時間間隔可由 10 分鐘增加至 15 分鐘，以減少使用的可行勤務數。此外，亦可藉由不同班別長度方案，求解較集中的勤務班別組合。

2. 捷運司機員輪值問題：

(1) 週期性與非週期性輪值：週期性輪值原為一具公平性與穩定性的輪值類型，但由於實務上需考量司機員預排與其他公平性需求，因此，週期性輪值表需經過規劃人員調整後才為真正可執行的輪值表，但其公平性與穩定性即會受到影響，且隨著預排需求的增加，影響程度亦越大。相較於週期性輪值，非週期性輪值可於求解程序中即考量司機員預排與不同公平性需求，然而，在考量多種公平性與輪值硬限制下，則較難顧及輪值表的穩定性。

(2) 排休模式及休假公平性：本研究運用目標規劃模式來同時滿足輪值期總休假數與總例假休假數公平性目標，因此，可較個案有更公平地總例假休假數分配結果。此外，模式除符合一般工作及休假法規外，本研究亦另外考量司機員長時間的預休需求，讓排休表結果能更符合實務需求。

(3) 勤務指派模式及勤務相關公平性：不同於以往多運用目標式來滿足軟限制需求，本研究於勤務指派的限制規劃模式中，係藉由搜尋策略及範圍限制式來滿足勤務相關軟限制，且由 6.3.2 節的結果中可知，此方法確實可大幅改善早班勤務與極早班勤務的公平性。

(4) 求解效率與模式彈性：本研究模式除可於短時間內求解出司機員排休表與輪值表結果外，勤務指派模式亦可藉由刪除或增加限制式來考量不同輪值軟硬限制。因此，規劃人員可於規劃期間內測試多種參數組合或其他軟限制需求，尋找較合適的司機員輪值表做為參考。如測試於滿足預排需求情況下，可否求解出最大連續工作天數為 4 天的輪值表，減輕司機員連續多日駕駛列車之負擔。

而在實務應用上，則有下列幾點建議：

1. 重複任務修正：為滿足所有排班硬限制，本研究係利用集合涵蓋模式求解最佳勤務組合，因此勤務即可能有任務重複之情形。於重複任務修正上，可簡單運用比對刪除的方法來解決，執行步驟為紀錄重複任務出現在哪些勤務中，接著刪除具有較高利用率勤務中的重複任務。此外，若重複任務為勤務中第一個或最後一個列車任務，則可在移除重複任務後，檢查是否可縮短勤務班別長度，提高該勤務利用率。

2. 輪值表接續性：本研究係以月輪值表來建構輪值模式，因此模式中尚未考量兩輪值表間的接續性。若欲考量此需求，可透過新增模式參數來達成。以休假公平接續性為例，可在排休模式中新增一司機員多休參數來記錄前一個月休假天數較多之司機員，接著將此參數加入超休限制式中即可。連續工作天數限制則可將輪值期涵蓋至前一個月的最後 MaxCW 天，並將其視為預排資料加入排休模式中，藉由最大連續工作天數限制式即可滿足。班別型態接續性亦同，於勤務指派模式中將輪值期天數涵蓋至前一個月的最後一至二天，並將其視為預排資料。藉由上述之作法，即可滿足連續兩個月的休假公平性需求、以及連續工作天數與更換班別限制。

參 考 文 獻

1. AhmdBeygi, S., Cohn, A., and Weir, M., "An Integer Programming Approach to Generating Airline Crew Pairings," *Comupters & Operations Research*, Vol. 36, No. 4, pp. 1284-1298, 2009.
2. Apt, K. R., *Principles of Constraint Programming*, Cambridge: Cambridge University Press, 2003.
3. Arabeyre, J., Fearnley, F., Steiger, F., and Teather, W., "The Airline Crew Scheduling Problem: A Survey," *Transportation Science*, Vol. 3, No. 2, pp. 140-163, 1969.
4. Aydemir-Karadag, A., Dengiz, B., and Bolat, A., "Crew Pairing Optimization Based on Hybrid Approaches," *Comupters & Operations Research*, Vol. 65, No. 1, pp. 87-96, 2013
5. Azadeh, A., Farahani, M. H., Eivazy, H., Nazari-Shirkouhi, S., and Asadipour, G., "A Hybrid Meta-heuristic Algorithm for Optimization of Crew Scheduling," *Applied Soft Computing*, Vol. 13, No. 1, pp. 158-164, 2013
6. Baeklund, J, "Nurse Rostering at a Danish Ward," *Annals of Operations Research*, Vol. 222, No. 1, pp. 107-123, 2014.
7. Bennett, B. T., and Potts, R. B., "Rotating Roster for a Transit System," *Transportation Science*, Vol. 2, No. 1, pp. 14-34, 1968.
8. Bianco, L., Bielli, M., Mingozzi, A., Ricciardelli, S., and Spadoni, M., "A Heuristic-procedure for the Crew Rostering Problem," *European Journal of Operational Research*, Vol. 58, No. 2, pp. 272-283, 1992.
9. Blum, C., and Roli, A., "Metaheuristics in Combinatorial Optimization: Overview and Conceptual Comparison," *ACM Computing Surveys*, Vol. 35, No. 3, pp. 268-308, 2003.
10. Boschetti M. A., Mingozzi A., and Ricciardelli S., "An Exact Algorithm for the Simplified Multiple Depot Crew Scheduling Problem," *Annals of Operations Research*, Vol. 127, No. 1, pp. 177-201, 2004.
11. Brailsford, S. C., Potts, C. N., and Smith, B. M., "Constraint Satisfaction Problem: Algorithms and Applications," *European Journal of Operational Research*, Vol. 119, No. 3, pp. 557-581, 1999.
12. Caprara, A., Fischetti, M., Toth, P., Vigo, D., and Guida, P. L., Algorithms for railway crew management," *Mathematical Programming*, Vol. 79, No. 1–3, pp. 125–141, 1997.
13. Caprara, A., Toth, P., Vigo, D., and Fischetti, M., "Modeling and Solving the Crew Rostering Problem," *Operations Research*, Vol. 46, No. 6, pp. 820-830, 1998.
14. Caprara, A., Focacci, F., Lamma, E., Mello, P., Milano, M., Toth, P., and Vigo, D., "Integrating Constraint Logic Programming and Operations Research Techniques for the Crew Rostering Problem," *Software, Practice & Experience*, Vol. 28, No. 1, pp. 49-76, 1998.
15. Carraresi, P., and Gallo, G., "A Multi-level Bottleneck Assignment Approach to the Bus Drivers Rostering Problem," *European Journal of Operational Research*, Vol. 16, No. 2, pp. 163-173, 1984.
16. Cavique, L., Rego, C., and Themido, I., "Subgraph Ejection Chains and Tabu Search for the Crew Scheduling Problem," *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 50, No. 6, pp. 608-616, 1999.
17. Ceder, A., "Urban Transit Scheduling: Framework, Review and Examples," *Journal of*

Urban Planning and Development, Vol. 128, No. 4, pp. 225-244, 2002.

18. Chang, S. C., "A New Aircrew-scheduling Model for Short-haul Routes," *Journal of Air Transport Management*, Vol. 8, No. 4, pp. 249-260, 2002.
19. Chen, C. H., Liu, T. K., and Chou, J. H., "Integrated Short-haul Airline Crew Scheduling Using Multiobjective Optimization Genetic Algorithms," *IEEE Transactions on Systems Man Cybernetics-System*, Vol. 43, No. 5, pp. 1077-1090, 2013.
20. Chen, M., and Niu, H., "A Model for Bus Crew Scheduling Problem with Multiple Duty Types," *Discrete Dynamics in Nature and Society*, Vol. 2012, pp. 1-11, 2012.
21. Chew, K. L., Pang, J., Liu, Q., Ou, J., and Teo, C. P., "An Optimization Based Approach to the Train Operator Scheduling Problem at Singapore MRT," *Annals of Operations Research*, Vol. 108, No. 1, pp. 111-122, 2001.
22. Chow, K. P., and Hui, C. K., "Knowledge-based System for Rostering," *Expert Systems with Applications*. Vol. 6, No. 3, pp. 361-375, 1993.
23. Chu, P. C., and Beasley, J. E., "Constraint Handling in Genetic Algorithms: The Set Partitioning Problem," *Journal of Heuristics*, Vol. 4, No. 4, pp. 323-357, 1998.
24. Chu, S. C. K., and Chan, E. C. H., "Crew Scheduling of Light Rail Transit in Hong Kong: From Modeling to Implementation," *Computers and Operations Research*, Vol. 25, No. 11, pp. 887-894, 1998.
25. Crainic, T. G., and Rousseau, J. M., "The Column Generation Principle and The Airline Crew Scheduling Problem," *INFOR*, Vol. 25, No. 2, pp. 136-151, 1987.
26. Dantzig, G. B., and Wolfe, P., "Decomposition Principle for Linear Programs," *Operations Research*, Vol. 8, No. 1, pp. 101-111, 1960.
27. Dawid, H., Konig, J., and Stauss, C., "An Enhanced Rostering Model for Airline Crews," *Computers & Operations Research*, Vol. 28, No. 7, pp. 671-688, 2001.
28. Day, P. R., and Ryan, D. M., "Flight Attendant Rostering for Short-haul Airline Operaions," *Operations Research*, Vol. 45, No. 5, pp. 649-661, 1997.
29. Desaulniers, G., "Managing Large Fixed Costs in Vehicle Routing and Crew Scheduling Problems Solved by Column Generation," *Computers & Operations Research*, Vol. 34, No. 4, pp. 1221-1239, 2007.
30. Deng, G. F., and Lin, W. T., "Ant Colony Optimization-based Algorithm for Airline Crew Scheduling Problem," *Expert Systems with Application*, Vol. 38, No. 5, pp. 5787-5793, 2011.
31. de Silva A., "Combining Constraint Programming and Linear Programming on an Example of Bus Driver Scheduling," *Annals of Operations Research*, Vol. 108, No. 1, pp. 277-291, 2001.
32. Desrochers, M., and Soumis, F., "A Column Generation Approach to The Urban Transit Crew Scheduling Problem," *Transportation Science,* Vol. 23, No. 1, pp. 1-13, 1989.
33. Dias, T. G., de Sousa, J. P., and Cunha, J. F., "Genetic Algorithms for The Bus Driver Scheduling Problem: A Case Study," *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 53, No. 3, pp. 324-335, 2002.
34. Dowling, D., Krishnamoorthy, M., Mackenzie, H., and Sier, D., "Staff Rostering at a Large International Airport," *Annals of Operations Research*, Vol. 72, No. 0, pp. 125-147, 1997.

35. Elhallaoui, I., Desaulniers, G., Metrane, A., and Soumis, F., "Bi-dynamic Constraint Aggregation and Subproblem Reduction," *Computers & Operations Research*, Vol. 35, No. 5, pp. 1713-1724, 2008.

36. Elizondo, R., Parada, V., Pardenas L., and Artigues, C., "An Evolutionary and Constructive Approach to a Crew Scheduling Problem in Underground Passenger Transport," *Journal of Heuristics*, Vol. 16, No. 4, pp. 575-591, 2010.

37. Emden-Weinert, T., and Proksch, M., "Best Practice Simulated Annealing for the Airline Crew Scheduling Problem," *Journal of Heuristics*, Vol. 5, No. 4, pp. 419-436, 1999.

38. Ernst, A. T., Jiang, H., Krishnamoorthy, M., Nott, H., and Sier, D., "An Integrated Optimization Model for Train Crew Management," *Annals of Operations Research*, Vol. 108, No. 1-4, pp. 211-224, 2001.

39. Ernst, A. T., Jiang, H., Krishnamoorthy, M., and Sier, D., "Staff Scheduling and Rostering: A Review of Applications, Methods and Models," *European Journal of Operational Research*, Vol. 153, No. 1, pp. 3-27, 2004.

40. Fahle T., Junker U., Karisch S., Kohl N., Sellmann M., and Vaaben B., "Constraint Programming Based Column Generation for Crew Assignment," *Journal of Heuristics*, Vol. 8, No. 1, pp. 59-81, 2002.

41. Freling, R., Wagelmans, A. P. M., and Paixao, J. M. P., "An Overview of Models and Techniques for Integrating Vehicle and Crew Scheduling," *Computer-Aided Transit Scheduling, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, Vol. 471, pp. 441-460, 1999.

42. Freling, R., Lentink, R. M., and Wagelmans, A. P. M., "A Decision Support System for Crew Planning in Passenger Transportation Using a Flexible Branch-and-price Algorithm," *Annals of Operations Research*, Vol. 127, No. 1-4, pp. 203-222, 2004.

43. Gamache, M., Soumis, F., Marquis, G. and Desrosiers, J., "A Column Generation Approach for Large-scale Aircrew Rostering Problems," *Operations Research*, Vol. 47, No. 2, 247-263, 1999.

44. Gander, P., "Fatigue Management in Air Traffic Control: the New Zealand Approach," *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, Vol. 4, No. 1, 49-62, 2001.

45. Gopalakrishnan, B. and Johnson, E. L. "Airline Crew Scheduling: State-of-the-art," *Annals of Operations Research*, Vol. 140, No. 1, pp. 305-337, 2005.

46. Goumopoulos, C., and Housos, E. "Efficient Trip Generation with a Rule Modeling System for Crew Scheduling Problems," *Journal of Systems and Software*, Vol. 69, No. 1-2, pp. 43-56, 2004.

47. Haase K., Desaulniers G., and Desrosiers J., Simultaneous Vehicle and Crew Scheduling in Urban Mass Transit Systems," *Transportation Science*, Vol. 35, No. 3, pp. 286-303, 2001.

48. Hamdy A. T. *Operation Research: An Introduction*, 7th ed., New Jersey: Pearson Education, Inc., pp. 347-360, 2003.

49. Han, A. F., and Li, E. C. "A Constraint Programming-based Approach to the Crew Scheduling Problem of the Taipei Mass Rapid Transit System," *Annals of Operations Research*, Vol. 223, No. 1, pp. 173-193, 2014.

50. Hanafi, R., and Kozan, E., "A Hybrid Constructive Heuristic and Simulated Annealing for

Railway Crew Scheduling," *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 70, pp. 11-19, 2014.

51. Hao, G., Lai, K. K., and Tan, M., "A Neural Network Application in Personnel Scheduling," *Annals of Operations Research*, Vol. 128, No. 1-4, pp. 65-90, 2004.
52. He, F., and Qu, R., "A Constraint Programming Based Column Generation Approach to Nurse Rostering Problems," *Computers & Operations Research*, Vol. 39, No. 12, pp. 3331-3343, 2012.
53. Hollis, B. L., Forbes, M. A., and Douglas, B. E., "Vehicle Routing and Crew Scheduling for Metropolitan Mail Distribution at Australia Post," *European Journal of Operational Research*, Vol. 173, No. 1, pp 133-150, 2006
54. Huisman, D., "A Column Generation Approach for the Rail Crew Re-scheduling Problem," *European Journal of Operational Research*, Vol. 180, No. 1, pp. 163-173, 2007.
55. Huisman D., Freling R., and Wagelmans A. P. M., "Multiple-depot integrated vehicle and crew scheduling," *Transportation Science*, Vol. 39, No. 4, pp. 491-502, 2005.
56. Jeng, C. R., Liu, T. K., and Chang, Y. H., "Short-haul Airline Crew Rostering by Using Inequality-based Multiobjective Genetic Algorithm," *Transportation Research Record*, Vol. 2052, pp. 37-45, 2008.
57. Jutte, S., Albers, M., Thonemann, U. W., and Haase, K., "Optimizing Railway Crew Scheduling at DB Schenker," *Interfaces*, Vol. 41, No. 2, pp. 109-122, 2011.
58. Jutte, S., and Thonemann, U. W., "Divide-and-price: A Decomposition Algorithm for Solving Large Railway Crew Scheduling Problems," *European Journal of Operational Research*, Vol. 219, No. 2, pp. 214-223, 2012.
59. Kohl, N., and Karisch, S. E., "Airline Crew Rostering: Problem Types, Modeling, and Optimization," *Annals of Operations Research*, Vol. 127, No. 1-4, pp. 223-257, 2004.
60. Lagerholm, M., Peterson, C., and Soderberg, B., "Airline Crew Scheduling Using Potts Mean Field Techniques," *European Journal of Operational Research*, Vol. 120, No. 1, pp. 81-96, 2000.
61. Lavoie, S., Minoux, M., and Odier, E., "A New Approach for Crew Pairing Problems by Column Generation with An Application to Air Transportation," *European Journal of Operational Research*, Vol. 35, No. 1, pp. 45-58, 1998.
62. Levine, D., "Application of a Hybrid Genetic Algorithm to Arline Crew Scheduling," *Computers & Operations Research*, Vol. 23, No. 6, pp. 547-558, 1996.
63. Lezaun, M., Perez, G., and de la Maza, E., "Rostering in a Rail Passenger Carrier," *Journal of Scheduling*, Vol. 10, No. 4-5, pp. 245-254, 2007.
64. Liu, M., Haghani, A., and Tooaie, S., "Genetic Algorithm-Based Column Generation Approach to Passenger Rail Crew Scheduling," *Transportation Research Record*, Vol. 2159, pp. 36-43, 2010.
65. Lourenco, H. R., Paixao, J. P., and Portugal, R., "Multiobjective Metaheuristics for the Bus-driver Scheduling Problem," *Transportation Science*, Vol. 35, No. 3, pp. 331-343, 2001.
66. Lucic, P., and Teodorovic, D., "Simulated Annealing for the Multi-objective Aircrew Rostering Problem," *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 33, No. 1, pp. 19-45, 1999.
67. Lucic, P., and Teodorovic, D., "Metaheuristics Approach to the Aircrew Rostering

Problem," *Annals of Operations Research*, Vol. 155, No. 1, pp. 311-338, 2007.

68. Lusby, R., Dohn, A., Range, T. M., and Larsen, J., "A Column Generation-based Heuristic for Rostering with Work Patterns," *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 63, No. 2, pp. 261-277, 2012.
69. Lustig, I. J., and Puget, J. F., "Program Does Not Equal Program: Constraint Programming and Its Relationship to Mathematical Programming," *Interfaces*, Vol. 31, No. 6, pp. 29-53, 2001.
70. Maenhout, B., and Vanhoucke, M., "A Hybrid Scatter Search Heuristic for Personalized Crew Rostering in the Airline Industry," *European Journal of Operational Research*, Vol. 206, No. 1, pp. 155-167, 2010.
71. Makri, A., and Klabjan, D., "A New Pricing Scheme for Airline Crew Scheduling," *Informs Journal on Computing,* Vol. 16, No. 1, pp. 56-67, 2004.
72. Mason, A. J., Ryan, D. M., and Panton, D, M., "Integrated Simulation, Heuristic and Optimisation Approaches to Staff Scheduling," *Operations Research,* Vol. 46, No. 2, pp. 161-175, 1998.
73. Medard, C. P., and Sawhney, N., "Airline Crew Scheduling from Planning to Operations," *European Journal of Operational Research*, Vol. 183, No. 3, pp. 1013-1027, 2007.
74. Mesquita, M., Moz, M., Paias, A., Paixao, J., Pato, M., and Respicio, A., "A New Model for the Integrated Vehicle-crew-rostering Problem a Computational Study on Rosters," *Journal of Scheduling*, Vol. 14, No. 4, pp. 319-334, 2011.
75. Mesquita, M., Moz, M., Paias, A., and Pato, M., "A Decomposition Approach for the Integrated Vehicle-crew-rostering Problem with Days-off Pattern," *European Journal of Operational Research*, Vol. 229, No. 2, pp. 318-331, 2013.
76. Mesquita M., and Paias A., "Set Partitioning/covering-based Approaches for the Integrated Vehicle and Crew Scheduling Problem," *Computers & Operations Research*, Vol. 35, No. 5, pp. 1562-1575, 2008.
77. Monfroglio, A., "Hybrid Genetic Algorithms for a Rostering Problem," *Software, Practice & Experience*, Vol. 26, No. 7, pp. 851-862, 1996.
78. Nicoletti, B., "Automatic Crew Rostering," *Transportation Science*, Vol. 9, No. 1, pp. 33-42, 1975.
79. Park, T., and Ryu, K. R., "Crew Pairing Optimization by a Genetic Algorithm with Unexpressed Genes," *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 17, No. 4, pp. 375-383, 2006.
80. Potthoff, D., Huisman, D., and Desaulniers, G., "Column Generation with Dynamic Duty Selection for Railway Crew Rescheduling," *Transportation Science*, Vol. 44, No. 3, pp. 493-505, 2010.
81. Respicio, A., Moz, M., and Pato, M. V., "Enhanced Genetic Algorithms for a Bi-objective Bus Driver Rostering Problem: A Computational Study," *International Transactions in Operational Research*, Vol. 20, No. 4, pp. 443-470, 2013.
82. Rezanov, N. J., and Ryan, D. M., "The Train Driver Recovery Problem – A Set Partitioning Based Model and Solution Method," *Computers & Operations Research*, Vol. 37, No. 5, pp. 845-856, 2010.
83. Rousseau, L., M., Gendreau, M., and Pesant, G., "A General Approach to the Physician

Rostering Problems," *Annals of Operations Research*, Vol. 115, No. 1-4, pp. 193-205, 2002.

84. Russell, S., and Norvig, P., *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, 2nd ed., New Jersey: Pearson Education, Inc., 2003.
85. Sellmann, M., Zervoudakis, K., Stamatopoulos, P., and Fahle, T., "Crew Assignment Via Constraint Proramming: Integrating Column Generation and Heuristic Tree Search," *Annals of Operations Research*, Vol. 115, No. 1-4, pp. 207-225, 2002.
86. Shen, Y. D., Peng, K. K., Chen, K., and Li, J. P., "Evolutionary Crew Scheduling with Adaptive Chromosomes," *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 56, pp. 174-185, 2013.
87. Sodhi, M. S, and Norris, S., "A Flexible, Fast, and Otimal Modeling Approach Applied to Crew Rostering at London Underground," *Annals of Operations Research*, Vol. 127, No. 1-4, pp. 259-281, 2004.
88. Soto, R., Crawford, B., Monfroy, E., Palma, W., and Paredes, F., "Nurse and Paramedic Rostering with Constraint Programming: A Case Study," *Romanian Journal of Information Science and Technology*, Vol. 16, No. 1, pp. 52-64, 2013.
89. Souai, N., and Teghem, J., "Genetic Algorithm Based Approach for the Integrated Airline Crew-pairing and Rostering Problem," *European Journal of Operational Research*, Vol. 199, No. 3, pp. 674-683, 2009.
90. Steinzen, I., Gintner, V., Suhl, L., and Kliewer, N., "A Time-space Network Approach for the Integrated Vehicle- and Crew-scheduling Problem with Multiple Depots," *Transportation Science*, Vol. 44, No. 3, pp. 367-382, 2010.
91. Stojkovic, M., and Soumis, F., "An Optimization Model for the Simultaneous operational Flight and Pilot Scheduling Problem," *Management Science*, Vol. 47, No. 9, pp. 1290-1305, 2001.
92. Toth, A., and Kresz, M., "An Efficient Solution Approach for Real-world Driver Scheduling Problems in Urban Bus Transportation," *Central European Journal of Operations Research*, Vol. 21, No. 1 Supplement, pp. 75-94, 2013.
93. Valouxis, C., and Housos, E., "Combined Bus and Driver Scheduling," *Computers & Operations Research*, Vol. 29, No. 3, pp. 243-259, 2002.
94. Veelenturf, L. P., Potthoff, D., Huisman, D., and Kroon, L. G., "Railway Crew Rescheduling with Retiming," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 20, No. 1, pp. 95-101, 2012.
95. Ven den Bergh, J., Belien, J., De Bruecker, P., Demeulemeester, E., and De Boeck, L., "Personnel Scheduling: A Literature Review," *European Journal of Operational Research*, Vol. 226, No. 3, pp. 367-385, 2013.
96. Xie, L., Kliewer, N., and Suhl, L, "Integrated Diver Rostering Problem in Public Bus Transit," *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, Vol. 54, pp. 656-665, 2012.
97. Yan, S. Y., and Chan, J. C., "Airline Cockpit Crew Scheduling," *European Journal of Operational Research*, Vol. 136, No. 3, pp. 501-511, 2002.
98. Yan, S., Tung, T.-T., and Tu, Y.-P., "Optimal construction of airline individual crew pairings," *Computers & Operations Research*, Vol. 29, No. 4, pp. 341-363, 2002.
99. Yunes T., Moura A. V., and De Souza C. C., "Hybrid Column Generation Approaches for

Urban Transit Crew Management Problems," *Transportation Science*. Vol. 39, No. 2, pp. 273-288, 2005.

100. 台北捷運路網圖及各站資訊，民國 104 年 1 月 29 日，取自台北大眾捷運股份有限公司網頁：http://www.metro.taipei/ct.asp?xItem=78479152&CtNode=70089&mp=122035
101. 台北都會區捷運建設願景圖，民國 104 年 2 月 11 日，取自台北市政府捷運工程局網頁：http://www.dorts.gov.taipei/public/MMO/dortsc_media/00linkicon/dorts_wish_map.jpg
102. 台北市各行政區最新月份人口數，民國 104 年 1 月，取自台北市政府民政局：http://www.ca.taipei.gov.tw/ct.asp?xItem=1503254&ctNode=41896&mp= 102001
103. 江俐諭，「捷運司機員輪值問題之研究—以台北捷運公司為例」，國立交通大學，碩士論文，民國 95 年。
104. 大眾捷運法，民國 103 年 6 月，取自法務部全國法規資料庫：http://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?PCode=K0120001
105. 高雄市戶籍人口統計查詢，民國 104 年 1 月，取自高雄市政府民政局：http://cabu.kcg.gov.tw/Report/ReportTypeFile.aspx?id=92&menuid=183
106. 高雄捷運紅橘線與環狀輕軌規畫圖，民國 104 年 1 月，取自高雄市政府捷運工程局：http://mtbu.kcg.gov.tw/cht/project_LRT_circle.php
107. 高雄捷運營運系統圖，民國 104 年 1 月，取自高雄捷運股份有限公司：http://www.krtco.com.tw/images/newInnerSite/guide/KRTC%20Route%20map_Chinese.pdf
108. 黃錫鏗，「捷運系統人力配置模式之研究—以高雄捷運公司司機員為例」，國立中山大學，碩士論文，民國 91 年。
109. 新北市人口統計，民國 104 年 1 月，取自新北市政府民政局：http://www.ca.ntpc.gov.tw/Population/List?wnd_id=68
110. 韓復華，休假排班及其人力需求規劃決策支援系統雛形建立，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告，民國 84 年。
111. 韓復華、李俊德，「兩階段限制規劃模式求解護理人員輪值問題」，管理與系統，第十四卷第一期，121-146 頁，民國 96 年 1 月。
112. 韓復華、李俊德，「限制規劃與整數規劃模式應用之比較：以捷運站務人員輪值問題為例」，運輸學刊，第二十卷第三期，229-254 頁，民國 97 年 9 月。
113. 蘇昭旭，世界捷運與輕軌圖鑑，人人出版股份有限公司，民國 98 年。

附　　錄

表 A 1 10 分鐘間隔班別資料(I)

班別代碼	Start	End	dine_LB	dine_UB	maxRT	numDine
431	270	630	0	0	70	0
441	280	640	0	0	70	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1851	1130	1490	0	0	70	0
1901	1140	1500	0	0	70	0
432	270	660	0	0	70	0
442	280	670	0	0	70	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1852	1130	1520	0	0	70	0
1902	1140	1530	0	0	70	0
0433	270	690	0	0	70	0
0443	280	700	0	0	70	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
0523	320	740	0	0	70	0
0533	330	750	600	810	70	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1053	650	1070	600	810	70	1
1103	660	1080	990	1170	70	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1723	1040	1460	990	1170	70	1
1733	1050	1470	0	0	70	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1853	1130	1550	0	0	70	0
1903	1140	1560	0	0	70	0
0434	270	720	0	0	70	0
0444	280	730	0	0	70	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
0524	320	770	0	0	70	0
0534	330	780	600	810	70	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1054	650	1100	600	810	70	1
1104	660	1110	990	1170	70	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1724	1040	1490	990	1170	70	1
1734	1050	1500	0	0	70	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1824	1100	1550	0	0	70	0
1834	1110	1560	0	0	70	0

表 A 2 10 分鐘間隔班別資料(II)

班別代碼	Start	End	dine_LB	dine_UB	maxRT	numDine
0435	270	750	0	0	70	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
0525	320	800	0	0	70	0
0535	330	810	600	810	70	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1055	650	1130	600	810	70	1
1105	660	1140	990	1170	70	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1655	1010	1490	990	1170	70	1
1705	1020	1500	0	0	70	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1755	1070	1550	0	0	70	0
1805	1080	1560	0	0	70	0
436	270	780	600	810	70	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1056	650	1160	600	810	70	1
1106	660	1170	990	1170	70	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1736	1050	1560	990	1170	70	1
0437	270	810	600	810	70	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1027	620	1160	600	810	70	1
1037	630	1170	990	1170	70	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1707	1020	1560	990	1170	70	1
0438	270	840	600	810	70	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1038	630	1200	600	810	70	1
1048	640	1210	990	1170	70	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1638	990	1560	990	1170	70	1
0439	270	870	600	810	70	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1039	630	1230	600	810	70	1
1049	640	1240	990	1170	70	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1609	960	1560	990	1170	70	1

表 A 3 15 分鐘間隔班別資料(I)

班別代碼	Start	End	dine_LB	dine_UB	maxRT	numDine
431	270	630	0	0	70	0
441	285	645	0	0	70	0
501	300	660	0	0	70	0
511	315	675	0	0	70	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1841	1125	1485	0	0	70	0
1901	1140	1500	0	0	70	0
432	270	660	0	0	70	0
442	285	675	0	0	70	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1842	1125	1515	0	0	70	0
1902	1140	1530	0	0	70	0
0433	270	690	0	0	70	0
0443	285	705	0	0	70	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
0603	360	780	0	0	70	0
0613	375	795	600	810	70	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1043	645	1065	600	810	70	1
1103	660	1080	990	1170	70	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1713	1035	1455	990	1170	70	1
1733	1050	1470	0	0	70	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1843	1125	1545	0	0	70	0
1903	1140	1560	0	0	70	0
0434	270	720	0	0	70	0
0444	285	735	0	0	70	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
0514	315	765	0	0	70	0
0534	330	780	600	810	70	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1044	645	1095	600	810	70	1
1104	660	1110	990	1170	70	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1714	1035	1485	990	1170	70	1
1734	1050	1500	0	0	70	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1814	1095	1545	0	0	70	0
1834	1110	1560	0	0	70	0

表 A 4 15 分鐘間隔班別資料(II)

班別代碼	Start	End	dine_LB	dine_UB	maxRT	numDine
0435	270	750	0	0	70	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
0515	315	795	0	0	70	0
0535	330	810	600	810	70	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1045	645	1125	600	810	70	1
1105	660	1140	990	1170	70	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1645	1005	1485	990	1170	70	1
1705	1020	1500	0	0	70	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1745	1065	1545	0	0	70	0
1805	1080	1560	0	0	70	0
436	270	780	600	810	70	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1046	645	1155	600	810	70	1
1106	660	1170	990	1170	70	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1736	1050	1560	990	1170	70	1
0437	270	810	630	810	70	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1017	615	1155	600	810	70	1
1037	630	1170	990	1170	70	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1707	1020	1560	990	1170	70	1
0438	270	840	600	810	70	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1038	630	1200	600	810	70	1
1048	645	1215	990	1170	70	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1638	990	1560	990	1170	70	1
0439	270	870	600	810	70	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1039	630	1230	600	810	70	1
1049	645	1245	990	1170	70	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1609	960	1560	990	1170	70	1

表 A 5 30 分鐘間隔班別資料(I)

班別代碼	Start	End	dine_LB	dine_UB	maxRT	numDine
431	270	630	0	0	70	0
501	300	660	0	0	70	0
531	330	690	0	0	70	0
601	360	720	0	0	70	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1831	1110	1470	0	0	70	0
1901	1140	1500	0	0	70	0
432	270	660	0	0	70	0
502	300	690	0	0	70	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1832	1110	1500	0	0	70	0
1902	1140	1530	0	0	70	0
433	270	690	0	0	70	0
503	300	720	0	0	70	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
0603	360	780	0	0	70	0
0633	390	810	600	810	70	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1033	630	1050	600	810	70	1
1103	660	1080	990	1170	70	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1703	1020	1440	990	1170	70	1
1733	1050	1470	0	0	70	0
1803	1080	1500	0	0	70	0
1833	1110	1530	0	0	70	0
1903	1140	1560	0	0	70	0
434	270	720	0	0	70	0
504	300	750	0	0	70	0
534	330	780	600	810	70	1
604	360	810	600	810	70	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1034	630	1080	600	810	70	1
1104	660	1110	990	1170	70	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1704	1020	1470	990	1170	70	1
1734	1050	1500	0	0	70	0
1804	1080	1530	0	0	70	0
1834	1110	1560	0	0	70	0

表 A 6 30 分鐘間隔班別資料(II)

班別代碼	Start	End	dine_LB	dine_UB	maxRT	numDine
0435	270	750	0	0	70	0
0505	300	780	0	0	70	0
0535	330	810	600	810	70	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1035	630	1110	600	810	70	1
1105	660	1140	990	1170	70	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1635	990	1470	990	1170	70	1
1705	1020	1500	0	0	70	0
1735	1050	1530	0	0	70	0
1805	1080	1560	0	0	70	0
436	270	780	600	810	70	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1036	630	1140	600	810	70	1
1106	660	1170	990	1170	70	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1736	1050	1560	990	1170	70	1
0437	270	810	600	810	70	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1007	600	1140	600	810	70	1
1037	630	1170	990	1170	70	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1707	1020	1560	990	1170	70	1
0438	270	840	600	810	70	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1038	630	1200	600	810	70	1
1108	660	1230	990	1170	70	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1638	990	1560	990	1170	70	1
0439	270	870	600	810	70	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1039	630	1230	600	810	70	1
1109	660	1260	990	1170	70	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1609	960	1560	990	1170	70	1

表 A 7 15 分鐘間隔班別之求解時間表

班表	班別長度範圍(小時)	CP 求解時間(秒)	可行勤務數	一般化變數產生法			SCP 求解時間(秒)
				遞迴數	CG 求解時間(秒)	選擇勤務數	
平日班表	6~10	79.52	57839				1.88
	7~8	22.89	37505				0.63
	7~8.5	36.03	49597				1.54
	7~9	42.72	54225				1.42
	7.5~9	43.19	49472				2.64
	8~9	28.48	35209				2.52
	7.5~8.5	28.8	44844				1
假前班表	6~10	89.58	70348	199	24.7	1603	2
	7~8	29.64	48043				0.69
	7~8.5	42.72	60997	184	17.78	1510	1.06
	7~9	51.94	66544	162	16.08	1726	0.85
	7.5~9	45.61	60581	157	14.66	1352	0.61
	8~9	42.13	44975				3.94
	7.5~8.5	37.88	57603				2.96
假日班表	6~10	128.19	115193	132	15.58	1311	5.55
	7~8	44.09	82546	66	4.85	736	6.17
	7~8.5	68.05	103805	173	20.79	1553	1.37
	7~9	78.27	110007	163	19.4	1338	4.08
	7.5~9	64.81	98629	145	16.92	1943	1.95
	8~9	53.14	66123	89	8.81	1873	0.39
	7.5~8.5	59.55	92427	164	18.86	1383	3.64

表 A 8 30 分鐘間隔班別之求解時間表

班表	班別長度範圍(小時)	CP 求解時間(秒)	可行勤務數	一般化變數產生法			SCP 求解時間(秒)
				遞迴數	CG 求解時間(秒)	選擇勤務數	
平日班表	6~10	55.13	51833				2.42
	7~8	20.14	29861				無解 [1]
	7~8.5	25.52	42293				3.05
	7~9	33.56	47940				2.19
	7.5~9	31.08	44776				1.88
	8~9	25.05	34305				1.31
	7.5~8.5	26.89	39129				1.66
假前班表	6~10	68.21	61407	130	21.85	2529	1.36
	7~8	21.3	37936				無解
	7~8.5	33.08	53121				1.44
	7~9	47.28	57651	127	11.16	1277	2.27
	7.5~9	36.64	55559				1.19
	8~9	29.33	41844				0.96
	7.5~8.5	28.2	48924				1.27
假日班表	6~10	106.75	112225				無解
	7~8	20.45	40499				無解
	7~8.5	51.82	100971				無解
	7~9	73.69	107414				無解
	7.5~9	61.22	99903				無解
	8~9	53.78	74211				無解
	7.5~8.5	49.36	93227				無解

1. 產生之可行勤務無法涵蓋全部列車任務

表 A 9 15 分鐘與 30 分鐘不同方案的勤務數與勤務成本結果

班表	班別時間(小時)	15 分鐘間隔班別		30 分鐘間隔班別	
		勤務成本	勤務數	勤務成本	勤務數
平日班表	6~10	28.1	27	28.5	28
	7~8	30	30	NA	
	7~8.5	28.4	28	28.6	28
	7~9	28.1	27	28.6	28
	7.5~9	28.1	27	28.9	28
	8~9	28.4	27	29.2	28
	7.5~8.5	28.4	28	29	28
假前班表	6~10	31.2	31	31.7	31
	7~8	32	32	NA	
	7~8.5	31.2	31	31.4	31
	7~9	31.3	31	32.6	32
	7.5~9	31.2	31	32.4	32
	8~9	31.2	31	32.4	32
	7.5~8.5	31.1	31	32.4	32
假日班表	6~10	33.8	33	NA	
	7~8	36	36	NA	
	7~8.5	33.3	33	NA	
	7~9	33.3	33	NA	
	7.5~9	33.3	33	NA	
	8~9	33.2	33	NA	
	7.5~8.5	33.2	33	NA	

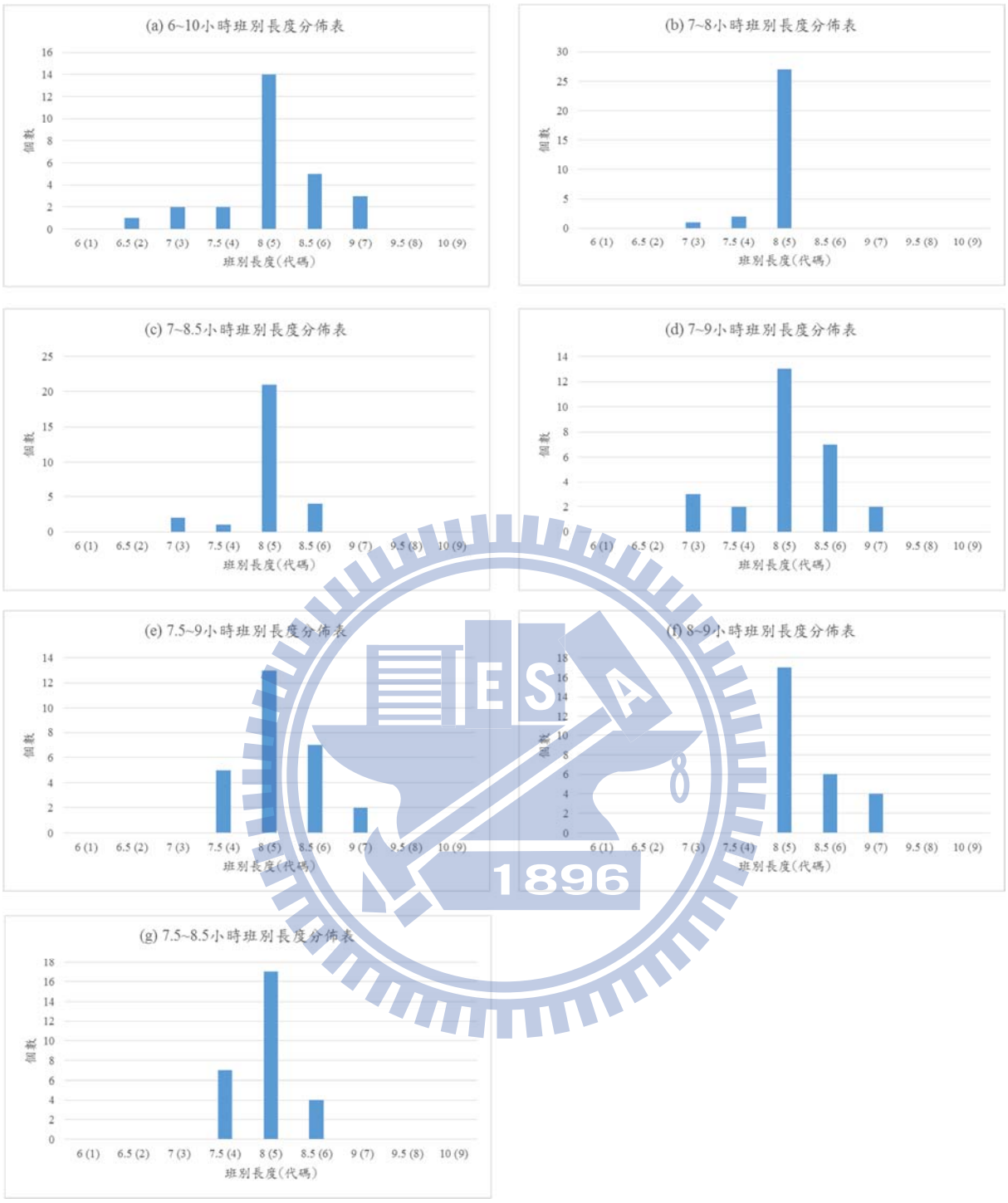


圖 A 1 15 分鐘間隔班別平日班表之班別長度結果分布圖

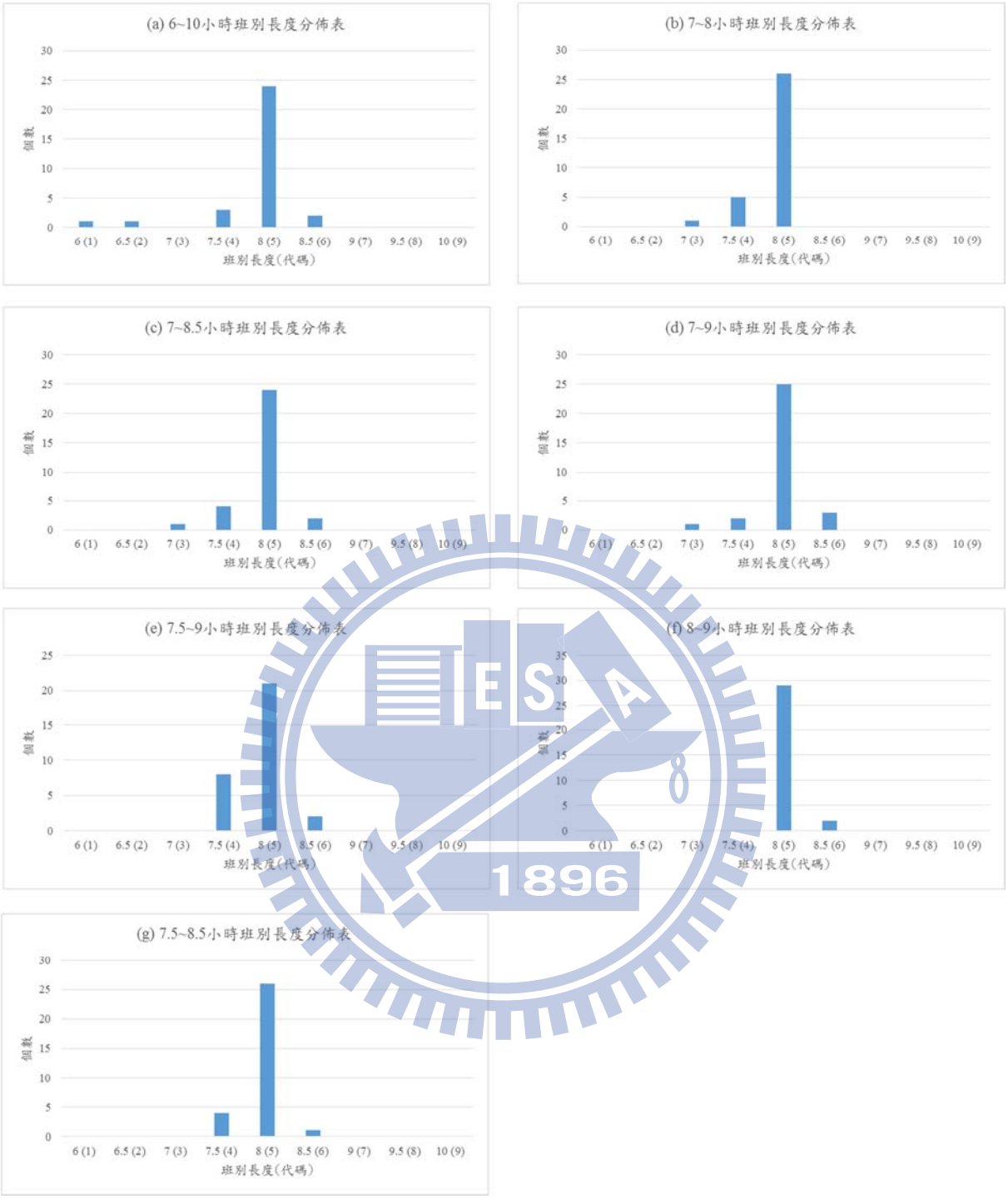


圖 A 2 15 分鐘間隔班別假前班表之班別長度結果分布圖

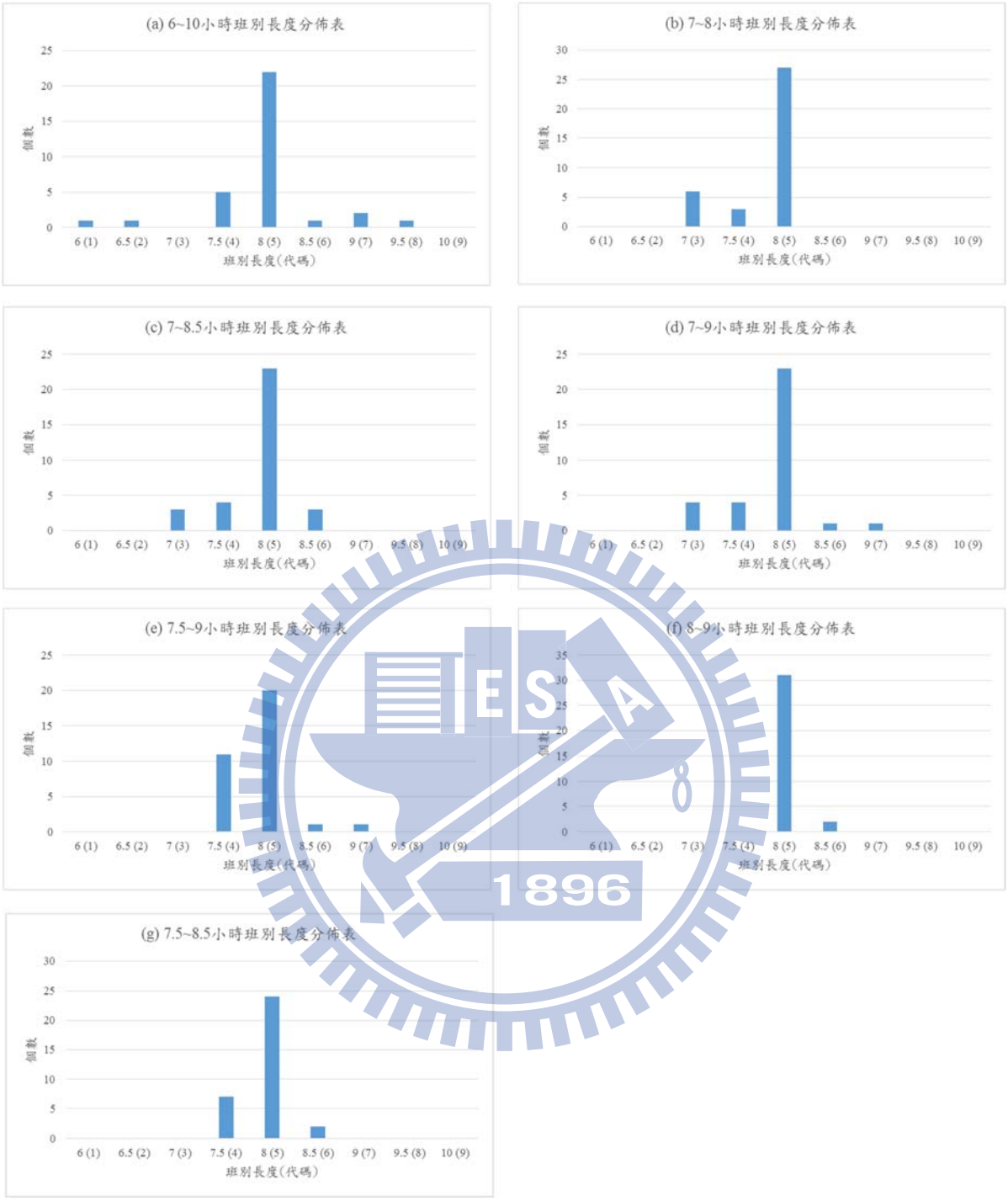


圖 A 3 15 分鐘間隔班別假日班表之班別長度結果分布圖

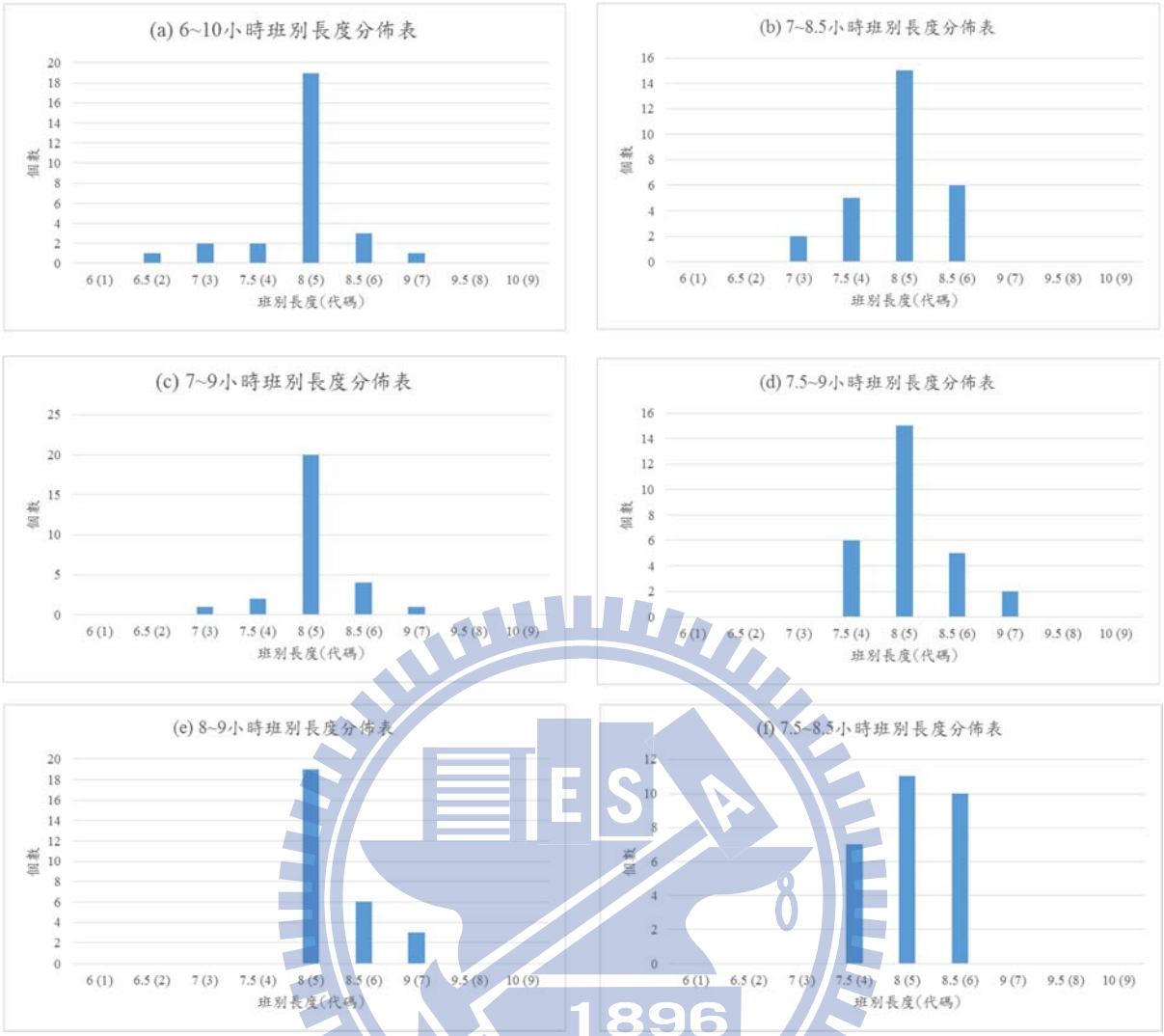


圖 A 4 30 分鐘間隔班別平日班表之班別長度結果分布圖

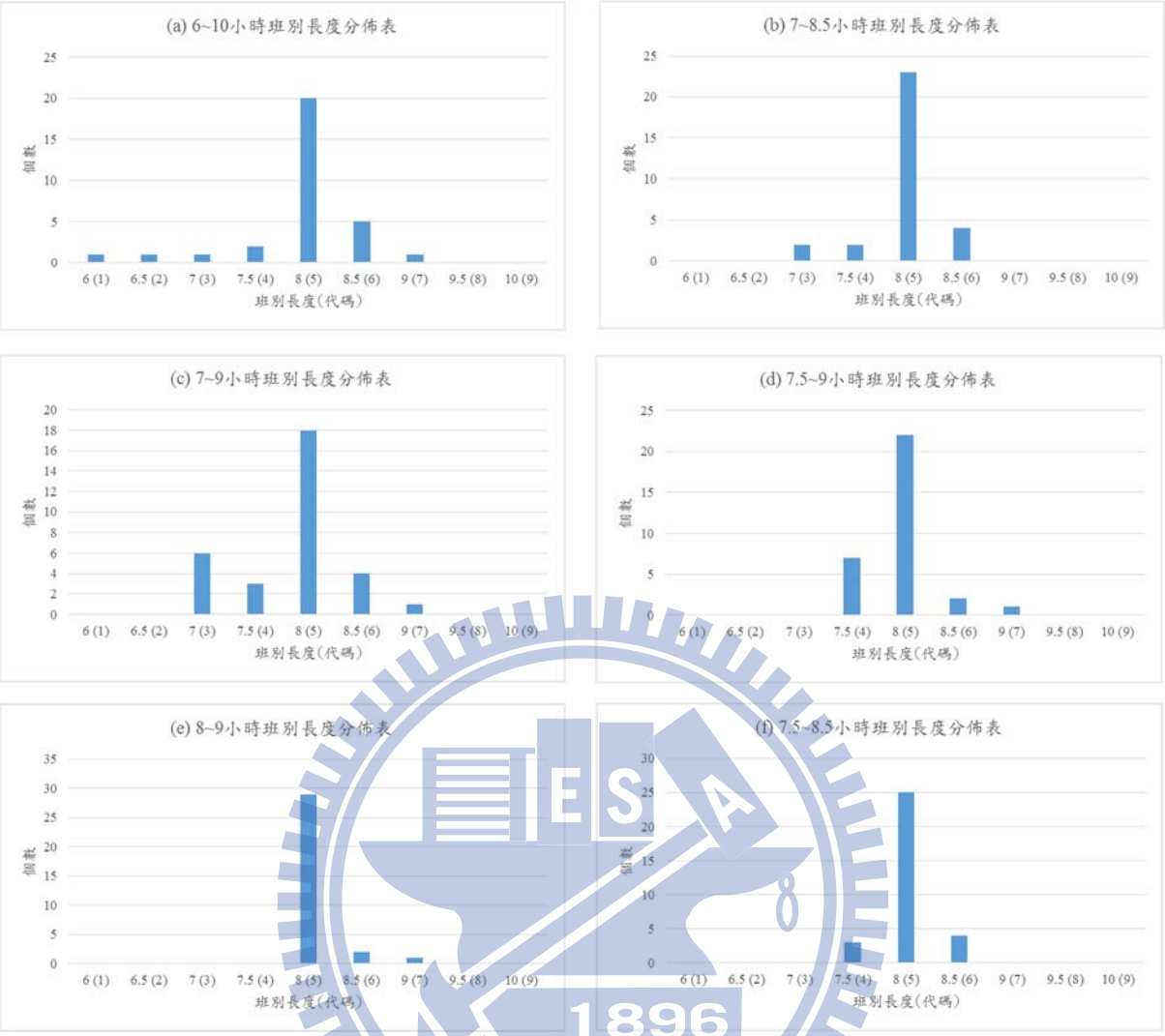


圖 A 5 30 分鐘間隔班別假前班表之班別長度結果分布圖

表 A 10 10 月司機員輪值期之預排表(I)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
C1																															
C2												2														2					
C3																									2	2					
C4											2																		2		
C5					2	2	2	2	2	2	2																				
C6																			2												
C7			2																							2				1	
C8											2	2																2			
C9																															
C10											2	2																			
C11			2																				2	2							
C12												2																		1	
C13													2	2						2											
C14																															
C15												2							2												
C16				2		2							2			2						2	2				2				
C17				2							2																				
C18																															
C19																		2	2												
C20																															
C21					2													2											2	2	
C22				2	2	2	2	2																							
C23									2	2	2	2	2																	1	
C24																									2	2					

表 A 11 10 月司機員輪值期之預排表(II)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
C25																								2	2	2					
C26											2																				
C27					2																										
C28							2												2											2	
C29				2									2	2																	
C30																									2	2					
C31											2	2																			
C32							2	2																							
C33										2	2	2																			
C34																														2	2
C35															2							2									
C36															2																
C37													2	2	2	2	2	2	2												
C38																															
C39				2																											
C40																										2	2				
C41			1															2	2												
C42			1																												
C43										2								2												1	
C44																															
C45				2	2																										
C46												2	2																		
C47																															
C48																															

表 A 12 11 月司機員輪值期之預排表(I)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
C1																														
C2									2								2													
C3																													2	
C4																						2	2	2	2	2	2			
C5																														
C6														2	2															
C7								2	2																					
C8															2							2								
C9								2																						
C10									2																				2	
C11									2								2	2	2											
C12															2															2
C13												2	2						2											
C14								2																						
C15																					2	2	2	2	2					
C16					2	2									2				2	2									2	
C17									2											2										
C18																														
C19																						2	2							
C20																														
C21																														
C22							2	2	2	2																				
C23																														
C24																										2	2	2	2	2

表 A 13 11 月司機員輪值期之預排表(II)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
C25								2	2	2																				
C26																														
C27																							2							
C28				2															2											2
C29								2												2					2					
C30									2														2							
C31									2														2							
C32				2	2																									
C33								2	2																					
C34	2	2	2	2																										
C35																			2					2						
C36																													2	
C37																				2										
C38																														
C39																						2								
C40														2	2															
C41														2	2															
C42																														
C43																														
C44																														
C45							2	2	2																					
C46																						2	2							
C47																														
C48																														

表 A 14 10 分鐘間隔之 7~9 小時班別範圍平日勤務結果表

勤務數	對應班別	勤務內容	總駕駛時間
1	0435	1, 2, 休息, 43, 44, 45, 休息, 137, 138, 139	354
2	0435	23, 24, 休息, 85, 86, 87, 休息, 7	328
3	0513	41, 42, 休息, 65, 休息, 109, 110	297
4	0525	62, 63, 64, 休息, 128, 129, 休息, 68, 69	328
5	0535	83, 84, 休息, 135, 136, 137, 用餐, 48, 49	324
6	0545	104, 105, 106, 休息, 5, 6, 用餐, 110, 111	325
7	0555	125, 126, 127, 休息, 45, 46, 47, 用餐, 140	328
8	0556	130, 131, 132, 休息, 66, 67, 用餐, 8, 9. 10	345
9	0606	133, 134, 135, 休息, 25, 26, 用餐, 28, 29	326
10	0617	148, 149, 150, 休息, 26, 27, 用餐, 92	316
11	0635	2, 3, 4, 休息, 87, 88, 89, 用餐, 49, 50	343
12	0805	107, 108, 用餐, 89, 90, 91, 休息, 30, 31	328
13	1244	79, 71, 休息, 143, 144, 145, 用餐, 55, 56, 57	341
14	1304	112, 113, 114, 休息, 32, 33, 用餐, 77, 78	331
15	1314	141,142, 休息, 13, 14, 用餐, 97, 98, 99	327
16	1333	10, 11, 12, 休息, 53, 54, 用餐, 119, 120	326
17	1413	51, 52, 休息, 96, 97, 用餐, 17, 18	312
18	1425	72, 73, 休息, 117, 118, 用餐, 99 100, 101	328
19	1435	93, 94, 95, 休息, 146, 147, 用餐, 18, 19	329
20	1457	151, 152, 153, 用餐, 158, 159, 160, 休息, 59, 60, 61	358
21	1505	115, 116, 休息, 154, 155, 用餐, 36, 37	316
22	1556	156, 157, 用餐, 167, 168, 休息, 101, 102, 103	328
23	1615	74, 75, 76, 用餐, 34, 35, 休息, 80, 81, 82	336
24	1615	164, 165, 166, 用餐, 57, 58, 休息, 122, 123, 124	341
25	1616	161, 162, 163, 用餐, 79, 休息, 170, 171, 172	337
26	1636	173, 174, 175, 用餐, 121, 休息, 20, 21, 22	342
27	1706	14, 15, 16, 用餐, 168, 169, 休息, 38, 39, 40	349

表 A 15 10 分鐘間隔之 8~9 小時班別範圍假前勤務結果表

勤務數	對應班別	勤務內容	總駕駛時間
1	0435	1, 2, 休息, 45, 46, 47, 休息, 122, 123, 124	354
2	0445	23, 24, 休息, 62, 63, 64, 休息, 6, 7, 8	352
3	0515	43, 44, 休息, 97, 98, 99, 休息, 49, 50	328
4	0525	60, 61, 62, 休息, 121, 122, 休息, 49, 50, 51	340
5	0535	81, 82, 83, 休息, 5, 用餐, 66, 67	313
6	0545	95, 96, 休息, 113, 114, 用餐, 88, 89	315
7	0555	110, 111, 112, 休息, 25, 用餐, 101, 102, 103	330
8	0555	115, 116, 117, 休息, 64, 65, 用餐, 125	314
9	0605	118, 119, 120, 休息, 47, 48, 用餐, 102, 103	325
10	0615	137, 138, 139, 休息, 100, 用餐, 9	301
11	0635	2, 3, 4, 休息, 85, 86, 87, 用餐, 51, 52	343
12	0745	83, 84, 85, 休息, 26, 27, 28, 用餐, 10, 11	342
13	1225	29, 休息, 70, 71, 72, 用餐, 158, 159, 160	326
14	1245	68, 69, 休息, 128, 129, 130, 用餐, 153, 54, 155	344
15	1255	89, 90, 91, 休息, 151, 152, 用餐, 133, 134	324
16	1305	103, 104, 105, 休息, 32, 33, 用餐, 93, 94	329
17	1315	126, 127, 128, 休息, 55, 56, 用餐, 179, 180, 181	341
18	1355	30, 31, 休息, 177, 178, 179, 用餐, 160, 161	325
19	1415	53, 54, 55, 休息, 108, 109, 用餐, 169, 170, 171	339
20	1435	91, 92, 用餐, 34, 35, 36, 休息, 18, 19	325
21	1455	106, 107, 休息, 15, 16, 用餐, 134, 135, 136	325
22	1515	12, 13, 14, 用餐, 74, 75, 76, 休息, 146, 147, 148	352
23	1515	140, 141, 用餐, 167, 168, 169, 休息, 38, 39	324
24	1555	156, 157, 158, 用餐, 144, 145, 休息, 78, 79, 80	338
25	1605	165, 166, 用餐, 17, 18, 休息, 162, 163, 164	326
26	1616	174, 175, 176, 用餐, 77, 休息, 183, 184, 185	327
27	1625	73, 用餐, 188, 189, 190, 休息, 171, 172, 173	322
28	1635	186, 187, 用餐, 37, 38, 休息, 192, 193	321
29	1705	131, 132, 休息, 145, 146, 休息, 20, 21, 22	326
30	1725	142, 143, 144, 休息, 181, 182, 休息, 148, 149, 150	338
31	1745	57, 58, 59, 休息, 191, 休息, 40, 41, 42	336

表 A 16 10 分鐘間隔之 7.5~9 小時班別範圍假日勤務結果表

勤務數	對應班別	勤務內容	總駕駛時間
1	0434	1, 2, 休息, 26, 休息, 88, 89, 90	328
2	0445	23, 24, 25, 休息, 87, 88, 休息, 7, 8	340
3	0505	46, 47, 48, 休息, 126, 127, 128, 休息, 29, 30	340
4	0525	67, 68, 休息, 108, 109, 休息, 52, 53, 54	329
5	0525	84, 85, 86, 休息, 5, 6, 休息, 71, 72	328
6	0535	105, 106, 107, 休息, 27, 28, 用餐, 91	314
7	0555	124, 125, 16, 休息, 69, 70, 用餐, 131	313
8	0645	3, 4, 休息, 145, 146, 用餐, 73, 74	311
9	0725	49, 50, 休息, 162, 163, 用餐, 132, 133	311
10	0914	51, 休息, 111, 112, 113, 用餐, 179, 180	307
11	0945	128, 129, 130, 用餐, 32, 休息, 198, 199, 200	328
12	0945	110, 111, 用餐, 54, 55, 休息, 203, 204, 205	323
13	1035	29, 30, 31, 用餐, 33, 34, 35, 休息, 118	323
14	1144	8, 9, 10, 休息, 75, 76, 77, 用餐, 15, 16	336
15	1155	147, 148, 休息, 193, 194, 195, 用餐, 60, 61, 62	334
16	1224	164, 165, 休息, 94, 95, 96, 用餐, 206, 207	326
17	1254	92, 93, 休息, 12, 13, 14, 用餐, 119, 120, 121	337
18	1314	114, 休息, 151, 152, 153, 用餐, 184, 185	312
19	1334	149, 150, 151, 休息, 59, 用餐, 191, 192	311
20	1345	11, 12, 休息, 169, 170, 用餐, 62, 63, 64	323
21	1404	166, 167, 168, 休息, 136, 137, 用餐,172, 173, 174	335
22	1415	56, 57, 58, 休息, 195, 196, 197, 用餐, 140, 141	340
23	1446	186, 187, 188, 休息, 206, 207, 用餐, 157, 158, 159	342
24	1446	115, 116, 117, 用餐, 98, 99, 100, 休息, 174, 175	334
25	1455	134, 135, 136, 休息, 170, 171, 用餐, 41, 42	323
26	1545	35, 36, 37, 用餐, 138, 139, 140, 休息, 64, 65, 66	349
27	1605	77, 78, 用餐, 155, 156, 157, 休息, 81, 82, 83	336
28	1615	181, 182, 183, 用餐, 39, 40, 41, 休息, 103, 104	337
29	1635	97, 用餐, 17, 18, 休息, 142, 143, 144	310
30	1645	189, 190, 用餐, 79, 80, 81, 休息, 20, 21, 22	334
31	1705	201, 202, 休息, 100, 101, 102, 休息, 159, 160, 161	340
32	1715	154, 155, 休息, 18, 19, 休息, 43, 44, 45	322
33	1745	38, 39, 休息, 121, 122, 123, 休息, 176, 177, 178	342

表 A 17 10 分鐘間隔班別之平日班表輪值勤務資料

Duty_C	Shift_C	ShiftST	ShiftET	SL	ST
1	0435	270	750	5	1
2	0435	270	750	5	1
3	0513	310	730	3	1
4	0525	320	800	5	1
5	0535	330	810	5	1
6	0545	340	820	5	1
7	0555	350	830	5	1
8	0556	350	860	6	1
9	0606	360	870	6	1
10	0617	370	910	7	1
11	0635	390	870	5	1
12*	0655	410	890	5	1
13	0805	480	960	5	1
14	1244	760	1210	4	2
15	1304	780	1230	4	2
16	1314	790	1240	4	2
17	1333	810	1230	5	2
18	1413	850	1270	3	2
19	1425	860	1340	3	2
20	1435	870	1350	5	2
21*	1435	870	1350	5	2
22	1457	890	1430	7	2
23	1505	900	1380	5	3
24	1556	950	1460	6	3
25	1615	970	1450	5	3
26	1615	970	1450	5	3
27	1616	970	1480	6	3
28	1636	990	1500	6	3
29	1706	1020	1530	6	3

* 調車場勤務

表 A 18 10 分鐘間隔班別之假前班表輪值勤務資料

Duty_C	Shift_C	ShiftST	ShiftET	SL	ST
1	0435	270	750	5	1
2	0445	280	760	5	1
3	0515	310	790	5	1
4	0525	320	800	5	1
5	0535	330	810	5	1
6	0545	340	820	5	1
7	0555	350	830	5	1
8	0555	350	830	5	1
9	0605	360	840	5	1
10	0615	370	850	5	1
11	0635	390	870	5	1
12*	0655	410	890	5	1
13	0745	460	940	5	1
14	1225	740	1220	5	2
15	1245	760	1240	5	2
16	1255	770	1250	5	2
17	1305	780	1260	5	2
18	1315	790	1270	5	2
19	1355	830	1310	5	2
20	1415	850	1330	5	2
21*	1435	870	1350	5	2
22	1435	870	1350	5	2
23	1455	890	1370	5	2
24	1515	910	1390	5	3
25	1515	910	1390	5	3
26	1555	950	1430	5	3
27	1605	960	1440	5	3
28	1616	970	1480	6	3
29	1625	980	1460	5	3
30	1635	990	1470	5	3
31	1705	1020	1500	5	3
32	1725	1040	1520	5	3
33	1745	1060	1540	5	3

* 調車場勤務

表 A 19 10 分鐘間隔班別之假日班表輪值勤務資料

Duty_C	Shift_C	ShiftST	ShiftET	SL	ST
1	0434	270	720	4	1
2	0445	280	760	5	1
3	0505	300	780	5	1
4	0525	320	800	5	1
5	0525	320	800	5	1
6	0535	330	810	5	1
7	0555	350	830	5	1
8	0645	400	880	5	1
9*	0655	410	890	5	1
10	0725	440	920	5	1
11	0914	550	1000	4	1
12	0945	580	1060	5	1
13	0945	580	1060	5	1
14	1035	630	1110	5	2
15	1144	700	1150	4	2
16	1155	710	1190	5	2
17	1224	740	1190	4	2
18	1254	770	1220	4	2
19	1314	790	1240	4	2
20	1334	810	1260	4	2
21	1345	820	1300	5	2
22	1404	840	1290	4	2
23	1415	850	1330	5	2
24*	1435	870	1350	5	2
25	1446	880	1390	6	2
26	1446	880	1390	6	2
27	1455	890	1370	5	2
28	1545	940	1420	5	3
29	1605	960	1440	5	3
30	1615	970	1450	5	3
31	1635	990	1470	5	3
32	1645	1000	1480	5	3
33	1705	1020	1500	5	3
34	1715	1030	1510	5	3
35	1745	1060	1540	5	3

* 調車場勤務

表 A 20 10 月每日例假日型態表

日期	1	2	3	***4***	***5***	6	7	8	9	***10***	***11***	***12***	13	14	15	16
Day_Type	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
日期	17	***18***	***19***	20	21	22	23	24	***25***	***26***	27	28	29	30	31	
Day_Type	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	

表 A 21 10 月每日對應車班表

日期	1	2	3	***4***	***5***	6	7	8	9	***10***	***11***	***12***	13	14	15	16
Timetable	W	W	F	H	H	W	W	W	F	H	H	H	W	W	W	W
日期	17	***18***	***19***	20	21	22	23	24	***25***	***26***	27	28	29	30	31	
Timetable	F	H	H	W	W	W	W	F	H	H	W	W	W	W	F	

表 A 22 11 月每日例假日型態表

日期	***1***	***2***	3	4	5	6	7	***8***	***9***	10	11	12	13	14	***15***	***16***
Day_Type	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1
日期	17	18	19	20	21	***22***	***23***	24	25	26	27	28	***29***	***30***		
Day_Type	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1		

表 A 23 11 月每日對應車班表

日期	***1***	***2***	3	4	5	6	7	***8***	***9***	10	11	12	13	14	***15***	***16***
Timetable	H	H	W	W	W	W	F	H	H	W	W	W	W	F	H	H
日期	17	18	19	20	21	***22***	***23***	24	25	26	27	28	***29***	***30***		
Timetable	W	W	W	W	F	H	H	W	W	W	W	F	H	H		

表 A 24 10 月每日勤務需求表

日期	1	2	3	***4***	***5***	6	7	8	9	***10***	***11***	***12***	13	14	15	16
勤務數	29	29	33	35	35	29	29	29	33	35	35	35	29	29	29	29
日期	17	***18***	***19***	20	21	22	23	24	***25***	***26***	27	28	29	30	31	
勤務數	33	35	35	29	29	29	29	33	35	35	29	29	29	29	33	

表 A 25 11 月每日勤務需求表

日期	***1***	***2***	3	4	5	6	7	***8***	***9***	10	11	12	13	14	***15***	***16***
勤務數	35	35	29	29	29	29	33	35	35	29	29	29	29	33	35	35
日期	17	18	19	20	21	***22***	***23***	24	25	26	27	28	***29***	***30***		
勤務數	29	29	29	29	33	35	35	29	29	29	29	33	35	35		

表 A 26 10 月司機員總休假天數結果表

司機員	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
手排	8	8	8	8	8	9	8	8	9	9	9	9	9	9	8	8
本研究	8	8	8	8	8	9	8	9	9	8	8	8	9	9	9	8
司機員	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
手排	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	8	9
本研究	8	8	9	9	9	9	8	8	8	9	9	9	9	8	8	8
司機員	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
手排	8	8	9	9	8	9	9	9	9	9	9	8	8	8	8	8
本研究	9	9	9	8	8	8	9	9	9	9	8	9	9	9	8	9

表 A 27 10 月司機員總例假休假天數結果表

司機員	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
手排	3	0	1	1	1	4	1	1	0	2	1	3	2	3	1	1
本研究	3	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1
司機員	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
手排	1	1	2	2	2	1	0	1	1	5	2	0	0	1	1	1
本研究	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	2	1	2	2	1	1
司機員	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
手排	0	0	2	1	0	3	3	2	1	1	1	3	1	1	3	2
本研究	1	2	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1

表 A 28 11 月司機員總休假天數結果表

司機員	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
手排	9	9	9	9	9	8	9	9	8	8	8	9	8	8	9	9
本研究	9	8	8	8	8	9	8	9	8	8	8	8	8	8	8	8
司機員	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
手排	8	8	9	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
本研究	9	9	9	9	8	8	9	9	8	8	8	9	9	9	8	9
司機員	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
手排	8	9	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
本研究	8	8	8	9	9	9	9	9	8	8	9	9	8	8	9	9

表 A 29 11 月司機員總例假休假天數結果表

司機員	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
手排	2	3	2	1	3	2	1	2	1	0	2	4	2	0	1	0
本研究	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	1	2	2	2	2
司機員	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
手排	3	3	0	2	0	1	3	1	3	2	3	1	4	0	1	1
本研究	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	1	1	2	2	2	2
司機員	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
手排	2	0	3	2	0	3	4	4	2	0	1	2	1	1	2	3
本研究	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1

表 A 30 無考慮軟限制之早班勤務指派次數結果表

司機員	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
10 月	8	21	19	19	1	21	0	11	22	17	0	17	5	22	4	0
11 月	13	4	21	0	22	0	0	0	21	0	0	8	0	21	1	0
司機員	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
10 月	11	23	0	22	4	0	0	2	0	16	16	0	0	2	4	0
11 月	0	21	0	21	22	0	21	0	0	22	21	0	0	4	14	0
司機員	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
10 月	0	0	1	22	0	23	0	0	0	2	0	22	1	0	23	22
11 月	0	0	0	1	0	21	5	0	12	22	21	9	4	0	20	18

表 A 31 有考慮軟限制之早班勤務指派次數結果表

司機員	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
10 月	8	8	8	8	9	9	7	9	9	9	9	9	8	9	9	9
11 月	13	9	9	8	8	9	9	8	9	8	8	8	8	8	9	8
司機員	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
10 月	9	9	8	8	8	9	8	10	8	10	9	9	9	8	9	8
11 月	8	7	8	8	8	8	8	6	8	8	9	8	7	8	9	8
司機員	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
10 月	8	7	8	8	8	7	8	9	8	9	8	8	8	8	8	7
11 月	7	8	8	8	8	7	9	7	8	8	8	8	8	7	8	8

表 A 32 無考慮軟限制之 5 點前勤務班別指派次數結果表

司機員	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
10 月	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	1	0	0
11 月	0	0	4	0	22	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
司機員	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
10 月	0	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11 月	0	0	0	0	22	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0
司機員	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
10 月	0	0	0	0	0	23	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0
11 月	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0

表 A 33 有考慮軟限制之 5 點前勤務班別指派次數結果表

司機員	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
10 月	0	2	2	1	2	2	2	1	2	0	2	0	2	2	0	1
11 月	0	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	0
司機員	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
10 月	2	2	2	2	0	2	0	1	2	1	0	2	2	2	2	2
11 月	2	2	2	2	2	2	2	0	2	2	2	1	2	2	0	2
司機員	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
10 月	2	2	2	2	2	2	2	1	1	0	1	2	1	2	2	2
11 月	2	0	2	2	1	1	0	1	2	2	1	0	1	1	0	2

表 A 34 無考慮軟限制之 5 點至 6 點間勤務班別指派次數結果表

司機員	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
10 月	0	12	8	8	0	8	0	0	15	2	0	3	0	21	0	0
11 月	0	0	17	0	0	0	0	0	19	0	0	0	0	21	0	0
司機員	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
10 月	1	0	0	22	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0
11 月	0	19	0	18	0	0	14	0	0	6	10	0	0	0	1	0
司機員	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
10 月	0	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	6	17
11 月	0	0	0	0	0	8	0	0	0	18	6	1	0	0	1	1

表 A 35 有考慮軟限制之 5 點至 6 點間勤務班別指派次數結果表

司機員	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
10 月	0	2	2	4	4	2	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
11 月	0	3	4	4	4	2	4	4	4	3	4	1	4	4	4	4
司機員	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
10 月	2	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3	3
11 月	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	3	3	4	4	3	4
司機員	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
10 月	1	4	4	4	4	4	3	4	3	4	2	4	3	4	4	4
11 月	3	4	4	2	4	3	4	4	2	4	1	2	3	4	4	0

表 A 36 無考慮軟限制之 7 小時勤務班別指派次數結果表

司機員	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
10 月	0	0	0	0	1	0	2	0	6	0	0	0	1	4	0	2
11 月	0	0	0	0	0	2	2	3	2	1	1	0	2	1	0	0
司機員	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
10 月	0	0	2	2	0	0	0	0	2	0	1	0	0	3	3	2
11 月	3	0	1	0	0	1	0	0	1	4	0	0	0	2	0	0
司機員	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
10 月	4	2	2	0	2	0	1	0	0	1	0	0	1	2	5	0
11 月	3	1	2	2	1	0	0	0	0	9	0	0	1	3	0	0

表 A 37 無考慮軟限制之 9 小時勤務班別指派次數結果表

司機員	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
10 月	0	0	1	3	0	0	0	0	0	3	1	1	2	0	0	0
11 月	0	0	0	0	0	2	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0
司機員	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
10 月	1	0	3	0	1	1	0	1	0	4	1	1	0	0	0	0
11 月	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	5	2
司機員	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
10 月	1	0	1	0	0	0	0	3	0	0	0	0	2	3	0	0
11 月	2	0	0	0	2	1	0	1	2	0	2	1	0	1	2	3

表 A 38 有考慮軟限制之 7 小時勤務班別指派次數結果表

司機員	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
10 月	0	1	0	1	1	0	1	2	0	0	2	2	2	1	0	0
11 月	0	1	1	1	2	2	2	1	0	2	1	1	2	0	2	0
司機員	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
10 月	0	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	2	1	2
11 月	2	1	1	2	1	1	2	1	1	0	0	0	1	1	0	2
司機員	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
10 月	0	2	2	0	1	1	1	2	0	1	1	0	1	0	1	1
11 月	2	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	2	2	1

表 A 39 有考慮軟限制之 9 小時勤務班別指派次數結果表

司機員	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
10 月	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	2	2	0	2	0	1
11 月	0	1	1	0	1	0	0	1	1	2	0	2	0	1	0	1
司機員	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
10 月	0	1	0	0	1	1	0	2	0	1	2	1	0	1	1	1
11 月	0	1	0	1	0	0	1	0	2	1	0	1	0	0	1	1
司機員	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
10 月	0	0	0	0	1	1	1	2	1	1	1	0	1	1	2	0
11 月	0	1	0	1	1	2	0	0	0	0	1	2	1	1	2	0

表 A 40 10 月勤務指派結果

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1	18	47	38	18	14	48	20	20	48	2	19	5	33	16	7	11	11	13	46	37	37	25	34	31	17	8	24	40	7	45	4
2	9	9	47	38	36	3	44	36	2	3	28	39	5	22	13	34	30	30	22	35	35	33	39	26	28	17	25	41	46	6	19
3	14	20	9	14	44	18	18	47	18	6	29	43	8	23	32	35	34	32	32	11	11	45	37	37	29	31	30	24	5	22	21
4	20	44	14	47	18	38	38	44	38	36	40	19	15	25	16	42	35	34	13	15	13	11	15	35	37	37	8	25	40	29	39
5	4	48	20	20	38	9	47	2	36	48	41	28	39	46	21	7	42	42	30	19	15	40	21	34	5	5	17	26	41	35	43
6	6	2	36	36	47	14	9	4	3	10	45	29	43	24	22	13	7	7	34	41	19	46	22	39	11	28	27	30	8	46	45
7	10	3	44	44	9	4	14	10	10	12	27	40	19	33	23	32	16	16	42	46	27	13	25	21	31	29	28	17	24	24	29
8	12	4	48	2	48	6	48	12	12	18	36	41	28	8	25	5	23	23	43	16	30	23	32	22	35	11	31	27	26	26	31
9	17	6	2	1	1	30	2	9	47	1	2	17	31	15	46	21	25	25	5	22	41	19	33	42	43	32	42	37	15	5	23
10	24	10	3	4	3	27	3	26	14	38	3	26	41	39	24	22	5	39	7	28	42	27	45	13	4	33	11	16	37	14	9
11	26	12	10	6	4	31	6	15	20	9	6	45	40	43	29	24	21	40	17	29	7	24	40	15	19	34	13	12	12	15	11
12	27	1	1	10	6	45	1	1	1	14	18	27	17	28	33	29	45	24	21	32	8	30	46	16	26	35	32	42	16	40	22
13	31	17	12	12	10	21	10	8	44	44	20	36	26	31	8	33	8	26	23	43	16	41	23	27	39	43	33	47	18	42	28
14	32	26	17	42	12	24	24	24	4	4	13	13	11	34	15	15	19	27	27	31	5	5	4	7	7	41	4	4	34	2	20
15	39	27	15	13	24	17	30	27	26	30	16	16	34	30	19	19	41	28	31	5	17	17	7	24	40	45	19	19	48	13	25
16	42	30	26	15	17	42	17	31	15	24	32	32	42	45	39	39	43	29	33	17	22	28	8	30	41	4	21	21	2	20	35
17	7	31	27	19	42	13	27	19	17	26	34	34	30	26	40	40	17	31	39	21	28	42	24	32	42	15	23	48	13	25	46
18	11	34	30	26	13	19	31	33	42	15	22	42	45	4	45	41	27	33	40	26	26	43	30	33	45	16	34	34	20	30	5
19	19	39	31	27	15	32	34	34	8	17	42	24	27	12	26	43	28	45	8	12	29	4	38	40	13	19	35	2	25	8	6
20	25	43	32	31	19	35	45	35	31	42	15	30	4	38	38	17	29	8	24	38	43	7	47	45	15	21	39	13	47	16	14
21	35	7	25	32	32	39	13	39	32	8	24	38	1	1	1	28	1	4	26	1	1	8	1	1	16	22	1	1	1	1	15
22	40	11	33	35	35	46	21	40	19	13	30	48	12	47	47	31	31	12	4	2	12	38	14	46	22	23	43	32	30	18	42
23	45	29	34	46	39	7	46	45	22	16	38	3	48	3	48	4	4	38	12	47	47	48	20	12	23	26	2	35	32	47	24
24	46	40	39	7	46	11	11	7	33	21	48	1	2	2	2	47	12	1	1	6	3	3	18	38	27	39	38	6	3	38	30
25	8	45	43	8	7	25	25	43	35	31	9	6	9	6	3	48	38	47	38	36	14	18	36	9	9	14	9	9	36	36	32
26	28	41	28	11	8	29	29	29	39	32	14	18	14	9	6	2	48	48	47	44	18	36	44	14	14	18	18	36	44	10	36
27	41	21	29	25	11	43	23	23	40	34	44	20	18	20	18	14	3	2	48	10	20	44	10	20	44	20	36	44	10	44	37
28	21	22	40	33	25	28	41	41	46	22	7	11	20	44	44	18	6	3	2	14	6	6	48	36	20	47	3	38	38	33	18
29	5	23	45	34	29	23	37	37	41	25	11	25	10	10	10	36	9	6	3	20	9	9	3	10	36	44	6	3	33	27	10
30			22	43	33				7	37	37	37					14	9	44					47	10	10					33
31			23	28	43				11	35	25	35					18	14	9					48	46	46					12
32			37	40	16				43	39	35	21					36	18	18					2	12	12					17
33			5	41	28				29	46	46	47					44	20	20					3	47	38					27
34				37	41					7	21	9						36	36						48	48					
35				5	23					11	47	14						44	10						2	6					

*表中欄表天數；列表勤務編號；內容為司機員編號

表 A41 10 月司機員輪值班表(I)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
C1	0	655	655	655	655	0	655	655	655	655	0	1435	1435	1435	1435	0	1435	1435	1435	1435	1435	0	1435	1435	0	0	1435	1435	1435	1435	0
C2	0	545	605	645	0	0	606	535	445	434	655	2	1556	1556	1556	1615	0	1455	1545	1457	0	0	0	1725	1745	2	1505	1413	1314	1244	0
C3	0	555	615	0	725	435	617	0	545	445	725	1415	0	1505	1615	0	1605	1545	1605	0	1556	1556	1706	1745	2	2	1636	1706	1556	0	0
C4	535	556	0	725	914	555	0	545	1225	1035	2	0	1435	1425	0	1505	1455	1345	1404	0	0	1413	1244	0	725	1155	1244	1244	2	0	435
C5	1706	0	1745	1745	2	2	2	2	2	2	2	434	435	0	0	556	615	0	655	1304	1244	1244	0	0	525	525	0	0	513	606	1315
C6	545	606	0	914	945	556	635	0	0	505	914	1446	0	1615	1615	0	1616	1605	2	1556	1636	1636	0	0	0	1745	1706	1556	0	435	1355
C7	1333	1435	2	1435	1446	1505	0	1556	1635	1715	1545	0	0	0	435	535	545	535	725	0	635	1435	1304	1225	1035	2	0	0	435	1	0
C8	1615	0	0	1446	1446	0	0	805	1355	1345	2	2	513	556	805	0	745	1334	1314	0	655	1435	1314	0	0	434	525	2	545	1413	0
C9	435	435	515	0	555	535	545	606	0	914	1446	1715	1615	1615	0	0	1625	1615	1635	0	1706	1706	0	1515	1446	0	1615	1615	0	0	615
C10	555	617	635	945	945	0	805	555	555	535	2	2	1706	1706	1706	0	0	0	1745	1616	0	0	1616	1625	1615	1615	0	0	1616	1615	1625
C11	1425	1457	2	1446	1455	1556	1556	0	1705	1745	1605	1545	1244	0	0	435	435	0	0	513	513	525	2	2	535	645	617	0	0	0	635
C12	556	635	745	945	1035	0	0	556	555	555	0	2	1457	1413	0	0	1515	1404	1415	1413	1457	0	0	1455	1645	1645	0	635	635	1	1705
C13	0	0	0	1144	1254	1333	1435	0	0	1404	1035	1035	2	2	435	545	0	434	525	2	525	555	0	615	1314	0	635	1435	1333	1304	0
C14	513	0	525	505	434	545	555	0	615	945	1446	1745	1615	0	0	1616	1635	1635	0	1636	1615	0	1457	10555	1446	1446	0	0	0	617	1415
C15	0	0	1245	1155	1314	0	0	635	1255	1254	1334	2	525	606	1244	1244	0	0	2	525	535	0	525	635	1334	1224	0	0	606	635	1435
C16	0	0	0	2	1645	2	0	0	0	1415	1144	1144	2	435	525	2	555	555	0	556	805	2	2	655	1345	1254	2	617	655	1435	0
C17	606	805	1225	2	1155	1304	1314	0	1305	1314	2	655	655	0	0	1435	1305	0	914	1314	1304	1304	0	0	434	445	535	555	0	0	1725
C18	435	0	0	434	525	513	513	0	515	645	945	1446	1616	0	1616	1636	1705	1645	1645	0	1615	1615	1556	0	0	1446	1615	0	805	1457	1616
C19	1413	0	0	1224	1334	1425	0	1333	1435	0	434	525	555	0	1304	1304	1225	2	2	535	545	606	0	0	914	1314	1304	1304	0	0	445
C20	525	513	535	525	0	0	435	435	635	0	945	1455	1636	1616	0	0	0	1705	1705	1706	1616	0	1505	1605	1545	1455	0	0	1425	1314	1225
C21	1636	1616	0	0	2	805	1457	0	0	1435	1715	1645	0	0	535	606	635	2	945	1333	0	0	535	555	0	1334	1314	1314	2	2	515
C22	0	1636	1635	2	2	2	2	2	1455	1545	1254	0	0	435	545	617	0	0	445	606	1314	0	545	555	1404	1345	0	0	0	513	655
C23	0	1706	1705	0	1745	1706	1616	1616	2	2	2	2	2	513	555	0	555	645	945	0	0	556	805	0	1415	1404	1333	0	0	1	605
C24	617	0	0	0	1144	1244	1244	1244	0	1155	1345	1314	0	545	617	635	0	945	1334	0	0	635	1333	1245	2	2	435	513	555	555	1455

表 A 42 10 月司機員輪值班表(II)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
C25	1435	0	1435	1455	1545	1615	1615	0	0	1605	1635	1605	0	525	556	0	605	655	0	0	0	435	555	2	2	2	435	525	1413	1333	1245
C26	635	1244	1255	1254	0	0	0	617	1245	1224	2	725	805	1333	1413	0	0	945	1345	1425	1425	0	0	445	945	1415	0	535	556	556	0
C27	655	1304	1305	1314	2	617	1333	1304	0	0	555	945	1413	0	0	0	1315	1035	1035	0	555	617	0	745	1435	0	545	556	0	1706	1745
C28	1615	0	10555	1635	1705	1636	2	0	0	0	445	525	556	655	0	1435	1355	1144	2	617	1333	1314	0	0	445	535	555	0	0	2	745
C29	0	1505	1605	2	1605	1615	1615	1615	1745	0	505	535	2	2	635	655	1415	1155	0	635	1413	0	0	0	505	555	0	0	0	525	555
C30	0	1314	1315	0	0	606	1304	0	0	1144	1404	1334	1333	1304	0	0	445	445	525	0	556	655	1425	1255	2	2	513	545	1457	1425	1515
C31	805	1333	1355	1334	0	635	1425	1314	1415	1446	2	2	606	805	0	1457	1435	1224	1144	1244	0	0	0	435	555	505	556	0	0	0	555
C32	1244	0	1415	1345	1345	1413	2	2	1435	1446	1155	1155	0	0	513	555	0	505	505	655	0	0	556	1305	0	655	655	1457	1505	0	1515
C33	0	0	1435	1545	1615	0	0	1425	1515	2	2	2	435	555	655	805	0	1254	1155	0	0	435	606	1315	0	725	805	0	1706	1636	1635
C34	0	1425	1455	1605	0	0	1413	1413	0	1455	1224	1224	1304	1244	0	435	515	525	535	0	0	0	435	535	0	914	1425	1425	1244	2	2
C35	1435	0	0	1404	1404	1435	0	1435	1515	1635	1645	1635	0	0	2	513	525	0	0	435	435	2	0	525	645	945	1413	1505	0	535	1255
C36	0	0	545	535	445	0	0	435	535	525	645	945	0	0	2	1706	1725	1715	1715	1615	0	1615	1615	1616	1605	0	1616	1615	1615	1615	10555
C37	0	0	1725	1715	0	0	1706	1706	0	1615	1615	1615	2	2	2	2	2	2	2	435	435	0	513	515	525	525	0	606	617	0	1605
C38	0	0	435	445	525	525	525	0	525	725	1415	1345	0	1435	1435	0	1515	1415	1446	1435	0	1457	1413	1515	0	1705	1556	1636	1636	1556	0
C39	1304	1413	1515	2	1415	1435	0	1435	10555	1645	0	445	535	617	1314	1314	0	725	1224	0	0	0	435	545	945	1435	1435	0	0	0	525
C40	1457	1556	1616	1645	0	0	0	1457	1605	0	525	555	635	0	1333	1333	0	914	1254	0	0	535	635	1355	1144	2	2	435	525	655	0
C41	1616	1615	1	1705	1715	0	1636	1636	1625	0	525	645	617	0	0	1425	1245	2	2	545	606	805	0	0	1155	1035	0	435	535	0	0
C42	1314	0	1	1035	1224	1314	0	0	1315	1334	1314	1254	1314	0	0	525	535	525	555	0	617	1333	0	605	1224	0	606	655	0	805	1435
C43	0	1435	1515	1615	1635	1616	0	1615	1725	2	0	505	545	635	0	1413	1255	2	645	805	1435	1425	0	0	655	945	1457	0	0	1	535
C44	0	525	555	555	505	0	435	525	745	945	1455	0	0	1636	1636	0	1745	1745	1615	1615	0	1616	1615	0	1455	1605	0	1616	1615	1616	0
C45	1505	1615	1625	2	2	655	1435	1505	0	0	535	914	1425	1314	1425	0	655	1314	0	0	0	513	617	1415	1254	1144	0	0	0	435	545
C46	1556	0	0	1415	1435	1457	1505	0	1616	1705	1705	2	2	535	606	0	0	0	434	555	0	545	655	1435	1635	1635	0	0	435	545	1305
C47	0	435	445	525	535	0	535	513	605	0	1745	1705	0	1457	1457	1556	0	1446	1446	1505	1505	0	1435	1635	1705	1545	0	805	1435	1505	0
C48	0	535	555	0	645	435	556	0	435	525	1435	1404	1505	0	1505	1615	10555	1446	1455	0	0	1505	1636	1705	1715	1715	0	1333	1304	0	0

表 A 43 11 月勤務指派結果

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	103	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	21	5	5	42	9	9	23	18	18	20	6	32	4	13	10	7	7	17	33	28	30	41	40	46	35	15	15	4	25	36
2	26	21	3	3	14	14	27	27	20	43	19	35	8	17	11	10	8	29	19	32	37	30	41	36	45	22	2	25	48	48
3	42	26	21	5	5	23	21	38	23	23	22	6	15	24	29	11	10	34	17	11	7	33	12	7	46	35	32	15	22	6
4	3	42	26	21	21	5	26	5	42	27	25	19	16	33	13	29	13	46	22	33	11	7	7	19	47	45	22	32	4	4
5	9	9	9	26	42	38	3	26	3	31	34	22	28	4	17	8	16	2	25	35	17	11	11	30	13	46	40	39	30	25
6	14	18	14	14	18	43	9	42	27	2	37	25	36	8	24	13	24	4	29	45	28	29	28	40	17	47	31	44	37	31
7	20	20	18	18	20	44	14	3	38	30	40	34	32	15	33	16	36	10	34	8	32	37	29	41	19	6	41	2	39	39
8	23	23	27	20	23	47	38	21	5	45	46	37	35	16	4	24	40	15	39	19	35	6	33	12	30	10	47	8	15	19
9	27	27	38	27	27	20	43	43	21	5	30	40	6	28	1	1	6	13	46	22	45	1	37	11	33	34	16	11	17	20
10	38	38	43	44	47	31	44	44	26	26	45	46	12	36	15	36	12	16	2	25	2	10	39	28	36	3	34	13	35	32
11	43	43	44	48	39	39	47	47	9	42	2	30	22	19	28	40	23	24	4	34	8	13	6	31	41	7	3	16	44	3
12	47	44	48	31	41	12	48	48	14	9	39	1	1	1	35	6	42	1	1	1	1	17	8	1	1	18	1	28	45	7
13	48	48	31	41	12	2	31	31	43	14	41	45	25	32	37	12	9	36	10	39	16	24	10	37	12	29	7	34	2	15
14	7	2	2	2	17	17	39	12	44	44	7	7	7	7	34	34	19	30	30	15	40	22	25	25	24	48	17	18	18	18
15	10	6	35	7	34	30	41	39	47	12	8	10	40	34	46	46	28	37	37	40	46	25	32	3	39	13	18	20	29	38
16	12	7	6	10	46	34	2	41	48	7	10	2	46	12	2	2	30	41	41	46	4	32	45	18	44	17	19	29	33	5
17	31	10	13	33	7	46	35	2	12	8	17	39	2	25	19	19	32	12	15	4	12	34	47	24	48	19	29	33	38	8
18	33	12	19	35	10	7	36	19	39	17	31	41	41	39	22	22	35	6	40	12	19	35	2	39	8	30	20	38	40	11
19	35	13	25	6	13	10	6	34	41	33	20	18	45	45	25	28	37	3	47	47	22	36	3	44	20	36	30	40	46	17
20	36	33	36	8	33	13	17	35	8	35	5	31	47	47	39	30	41	23	6	3	34	45	13	48	31	33	35	3	5	22
21	37	36	1	19	45	1	1	36	19	36	9	42	18	44	47	32	45	42	3	31	36	47	16	8	37	12	6	31	8	30
22	39	37	37	25	8	32	30	46	34	10	14	5	23	20	3	35	47	9	18	44	39	2	17	20	38	38	10	41	11	27
23	41	45	45	37	25	33	37	6	35	13	13	14	42	23	18	37	18	18	5	5	47	3	18	38	14	14	33	47	13	35
24	46	1	11	11	28	45	40	1	1	11	11	33	3	3	31	39	31	44	48	14	31	16	24	5	5	21	36	36	1	1
25	8	46	22	22	11	25	7	13	36	15	29	3	48	48	44	41	44	48	38	21	44	18	44	21	21	23	5	46	14	37
26	17	8	32	29	22	28	10	17	46	28	33	48	21	38	48	45	20	20	14	23	20	31	48	23	26	26	23	5	23	44
27	19	11	40	16	29	22	15	37	6	29	3	38	26	42	20	47	21	38	26	26	14	48	20	42	43	42	26	6	28	45
28	25	22	15	24	24	29	32	40	13	4	48	21	43	5	23	18	26	43	42	42	21	20	38	9	9	43	42	10	27	14
29	30	30	16	4	4	24	33	10	40	24	38	43	27	9	38	31	43	27	27	9	23	38	5	27	27	27	43	43	12	16
30	32	32					11	15	15					14	42	44					26	14	14					12	43	21
31	40	40					16	28	28					21	5	20					42	23	21					21	21	23
32	28	15					25	32	32					26	9	5					9	26	23					26	41	26
33	29	28					29	11	4					27	14	21					27	43	26					9	42	34
34	4	29						16	16						43	26						9	42						47	42
35	24	4						24	24						27	43						27	43						9	9

表 A 44 11 月司機員輪值班表(I)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
C1	0	1435	1435	0	0	1435	1435	1435	1435	0	0	655	655	655	655	655	0	655	655	655	655	655	0	655	655	0	655	0	1435	1435
C2	0	1035	1244	1244	0	805	1255	1224	2	545	635	1314	1333	0	1155	1155	2	535	617	0	615	1404	1254	0	0	0	435	555	945	0
C3	525	0	435	435	0	0	535	555	525	0	1616	1615	1556	1515	1404	0	0	1413	1435	1435	0	1415	1314	1304	0	617	635	1415	2	914
C4	1715	1745	0	1706	1706	0	0	0	1705	1636	0	0	435	535	645	0	0	545	635	1333	1255	2	2	2	2	2	2	435	525	525
C5	0	434	435	513	513	525	0	525	645	606	1435	1457	0	1616	1635	1645	0	0	1505	1505	0	0	1605	1556	1556	0	1615	1555	1334	1155
C6	0	1144	1314	1413	0	0	1355	1415	1455	0	435	513	606	2	2	945	606	1425	1435	0	0	645	914	0	0	555	1435	1605	0	505
C7	1035	1155	0	1304	1333	1425	1515	2	2	1314	1244	1244	1244	1225	0	434	435	0	0	0	515	525	525	513	0	635	805	0	0	945
C8	1446	1446	0	1435	1457	0	0	0	1334	1333	1304	0	435	545	2	525	435	0	0	555	635	2	945	1435	1425	0	0	555	1345	1224
C9	525	525	535	0	435	435	545	2	914	655	1435	0	0	1625	1645	0	805	1457	0	1706	1725	1715	0	1636	1636	0	0	1745	1745	1745
C10	1144	1224	0	1314	1425	1413	1555	1605	2	1457	1314	1304	0	0	434	445	513	555	805	0	0	725	945	0	0	556	1457	1616	2	0
C11	0	1455	1556	1556	1615	0	1635	1705	2	1556	1556	0	0	0	445	505	2	2	2	513	525	525	525	606	0	0	0	605	1404	1254
C12	1155	1254	0	0	805	655	0	1035	1224	1304	0	0	617	1255	2	945	617	1333	0	1425	1305	0	505	556	805	1435	0	1635	1605	2
C13	0	1314	1333	0	1413	1435	0	1446	1545	1505	1505	2	2	435	525	535	525	606	2	0	0	914	1334	0	535	1304	0	615	1415	0
C14	535	0	545	545	435	435	555	2	945	805	1457	1505	0	1635	1705	0	0	0	1615	1556	1605	1615	1615	0	1505	1505	0	0	1446	1545
C15	0	1645	1636	0	0	0	1605	1615	1615	1615	0	0	513	555	725	0	0	556	1333	1244	2	2	2	2	2	435	435	515	645	945
C16	0	0	1706	1616	2	2	1705	1715	1715	0	0	0	525	555	2	555	535	617	2	2	745	1435	1345	0	0	0	606	635	2	1605
C17	1446	0	0	0	1244	1244	1415	1446	2	1425	1333	0	0	445	525	0	0	435	513	2	535	945	1404	0	545	1314	1244	0	655	1314
C18	0	535	555	555	545	0	0	434	434	0	0	1413	1435	0	1415	1545	1505	1505	1457	0	0	1446	1415	1314	0	655	1304	1225	1035	1035
C19	1455	0	1425	1435	0	0	0	1254	1345	0	435	525	0	635	1224	1224	1244	0	435	556	1315	2	2	525	555	1333	1314	0	0	645
C20	555	555	0	556	555	606	0	0	445	435	1413	0	0	1435	1455	1635	1615	1615	0	0	1555	1545	1455	1457	1413	0	1425	1245	0	655
C21	434	445	513	525	525	0	515	645	655	0	0	1636	1615	1705	0	1705	1616	0	0	1615	1616	0	1635	1615	1615	1556	0	1705	1635	1615
C22	0	1545	1615	1615	1615	1616	2	2	2	2	513	535	635	0	1254	1254	0	0	525	606	1355	1035	0	0	0	435	525	0	505	1334
C23	645	645	0	0	556	513	435	0	505	513	0	0	1457	1455	1545	0	635	1435	0	1615	1625	1635	1645	1615	0	1615	1615	0	1446	1635
C24	1745	0	0	1636	1636	1706	0	1745	1745	1706	0	0	0	515	535	645	545	635	0	0	0	945	1435	1333	1244	2	2	2	2	2

表 A 45 11 月司機員輪值班表(II)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
C25	1545	0	1413	1457	1505	1615	1725	2	2	2	525	545	805	1305	1314	0	0	0	535	617	0	1144	1035	1244	0	0	0	445	434	525
C26	445	505	525	535	0	0	525	525	725	617	0	0	1616	1725	0	1715	1636	0	1616	1616	1635	1645	1705	0	1615	1615	1616	1725	0	1645
C27	655	655	556	606	606	0	445	445	535	525	0	0	1706	1745	1745	0	0	1706	1706	0	1745	1745	2	1706	1706	1706	0	0	1545	1404
C28	1645	1705	0	2	1556	1615	0	1635	1635	1615	0	0	535	605	914	1314	1304	0	2	435	545	0	535	617	0	0	0	655	1455	2
C29	1705	1715	0	1615	1616	1636	1745	2	0	1616	1615	0	0	0	505	525	0	435	545	2	0	535	555	0	2	805	1333	1255	1144	0
C30	1605	1605	0	0	0	1304	1435	0	2	555	606	635	0	0	0	1334	1314	1244	1244	0	435	445	2	535	556	1425	1413	0	525	1345
C31	1224	0	805	655	0	617	745	945	2	535	1425	1435	0	0	1435	1605	1556	0	0	1435	1515	1446	2	635	1435	0	545	1435	0	535
C32	1615	1615	1615	2	2	1457	1616	1645	1645	0	0	435	555	745	0	1345	1333	0	0	435	555	1155	1144	0	0	0	513	525	0	725
C33	1254	1334	0	1333	1435	1505	1625	2	2	1413	1615	1556	0	525	555	0	0	0	435	525	0	505	645	0	606	1435	1505	1305	1155	0
C34	2	2	2	2	1304	1314	0	1314	1404	0	535	555	0	1245	1035	1035	0	513	555	635	1415	1224	0	0	0	606	617	745	0	1705
C35	1314	0	1304	1425	0	0	1305	1334	1415	1435	0	435	556	0	945	1404	1425	0	2	535	555	1254	0	2	435	513	1435	0	725	1415
C36	1334	1345	1435	0	0	0	1315	1345	1446	1435	0	0	545	615	0	725	555	805	0	0	1435	1314	0	435	617	1413	1556	1515	2	434
C37	1345	1404	1457	1505	0	0	1455	1455	0	0	545	556	0	0	945	1415	1413	1304	1304	2	445	555	655	805	1435	0	0	0	535	1446
C38	725	725	606	0	0	535	555	505	555	0	1706	1616	0	1555	1605	0	0	1616	1615	0	0	1605	1545	1505	1457	1457	0	1315	1224	1144
C39	1404	0	0	0	635	635	1225	1144	1254	0	655	1333	0	1315	1334	1435	0	0	556	805	1435	2	725	1425	1304	0	0	535	555	555
C40	1635	1635	1616	0	0	0	1515	1545	1605	0	555	606	1304	2	2	914	556	0	1425	1304	1225	0	434	545	0	0	535	1355	1254	0
C41	1415	0	0	805	655	0	1245	1155	1314	0	805	1425	1425	2	2	1446	1435	1314	1314	0	0	434	445	555	635	0	555	1435	1645	0
C42	505	525	0	435	535	0	0	535	525	635	0	1435	1505	1605	1615	0	655	1435	1636	1636	1705	0	1715	1616	0	1616	1636	0	1705	1715
C43	914	914	617	0	0	545	605	655	945	435	0	1706	1636	0	1715	1745	1706	1636	0	0	0	1705	1745	0	1616	1636	1706	1625	1615	0
C44	0	945	635	617	0	555	615	725	1035	1244	0	0	0	1435	1446	1615	1615	1556	0	1457	1515	0	1446	1413	1314	0	0	545	914	1446
C45	0	1415	1505	0	1435	1556	2	2	2	556	617	805	1413	1355	0	1446	1435	0	0	545	605	1334	1155	0	435	525	0	0	945	1455
C46	1435	1446	0	0	1314	1333	0	1404	1446	0	556	617	1314	0	1144	1144	0	525	606	1314	1245	2	2	435	513	535	0	1515	1314	0
C47	945	0	0	0	617	556	635	914	1144	0	0	0	1435	1415	1345	1455	1457	0	1413	1413	1455	1345	1224	0	525	545	556	1455	1715	0
C48	945	945	655	635	0	0	655	945	1155	0	1636	1615	1615	1515	1446	0	0	1615	1556	0	0	1455	1446	1435	1333	1244	0	0	445	445

簡　　歷

姓　　名： 李俊德

出 生 地： 高雄市

出生日期：民國 69 年 10 月 1 日

聯絡地址：高雄市鼓山區正德路 100 巷 9 號

學　　歷：

民國 105 年 2 月　國立交通大學運輸與物流管理學系博士

民國 94 年 6 月　國立交通大學運輸科技與管理學系碩士

民國 92 年 6 月　逢甲大學交通工程與管理學系學士

電子郵件：minyu.li@gmail.com