

國立交通大學

運輸科技與管理學系

博士論文

汽車客運多場站車輛排程問題之研究

The Study of the Multiple-Depot Vehicle Scheduling Problem
of Intercity Bus Carriers

研究生：林至康

指導教授：王晉元 博士

中華民國九十八年三月

汽車客運多場站車輛排程問題之研究

The Study of the Multiple-Depot Vehicle Scheduling Problem
of Intercity Bus Carriers

研究生：林至康
指導教授：王晉元

Student : Chih-Kang Lin
Advisor : Dr. Jin-Yuan Wang

國立交通大學
運輸科技與管理學系
博士論文

A DISSERTATION

Submitted to Department of Transportation Technology and Management

College of Management

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

DOCTOR OF PHILOSOPHY

in

Transportation Technology and Management

February 2009

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十八年三月

汽車客運多場站車輛排程問題之研究

學生：林至康

指導教授：王晉元 博士

國立交通大學運輸科技與管理學系博士論文

摘 要

近年來臺灣地區受到私人運具過度成長與使用影響，大眾運輸之經營環境逐漸惡化，因此在外部環境開闢客源不易之情形下，規劃良好營運車輛排程以降低客運業者的內部成本支出，則被視為另一項可行辦法。但過去文獻中所提出多場站車輛排程問題(Multiple-Depot Vehicle Scheduling Problem, MDVSP)數學模式多存在不符實務之假設與限制，其相關假設與限制為：(1)各場站所配置營運車輛數目上限為已知；(2)相關營運成本被簡化為單一型式目標函數；(3)車輛空駛之處理並未提供足夠彈性；(4)勤務中車輛營運路線之轉換次數並未處理等四項假設與限制，上述假設與限制雖使得 MDVSP 於問題定式與模式求解較為容易，卻限制此類模式於臺灣地區汽車客運實務應用上之實用性，因此如何增加客運業者競爭力，並解決上述假設與限制對於處理實務問題時所造成之困難，產製出有效率之車輛排程勤務規劃，實為一大挑戰。

有鑑於此，本研究以具有多場站營運特性之汽車客運業者為研究對象，改善過去文獻中數學模式所建立假設與限制，構建符合臺灣地區汽車客運營運現況之多場站車輛排程模式，並依據所提出多場站車輛排程模式之特性，提出一啟發式解法—變數固定法(variable fixing heuristic)進行模式求解之工作。本研究並選取具有多場站多路線營運特性之金門縣公共車船管理處為測試對象，其測試結果顯示，本研究所構建之多場站車輛排程模式不僅可滿足臺灣地區汽車客運業者實際需求，而所提出之變數固定啟發式解法於處理較大型之車輛排程問題時，亦極具效率，顯示本研究之模式構建、參數特性證明、求解流程與測試結果等研究成果，具有提供國內汽車客運業者與學術界之參考價值。

The Study of the Multiple-Depot Vehicle Scheduling Problem of Intercity Bus Carriers

Student: Chih-Kang Lin

Advisor: Dr. Jin-Yuan Wang

Department of Transportation Technology and Management

National Chiao Tung University

ABSTRACT

The multiple-depot vehicle scheduling problem (MDVSP) address the work of assigning vehicle to serve a given set of time trips with the consideration of certain requirements representing the market rules. Extensive studies in the literature address the MDVSP, but because of the complexity of the problem, the findings made by those researches are still not enough to represent real world situations in Taiwan. Formulation for the MDVSP typically contains the following assumptions: (1) the size of fleet or maximum number of available vehicles at each depot is known already, (2) all trip serving costs are usually simplified as a single term in the objective function, which fails to reflect public transit operator concerns, (3) the applied deadheading strategy is static less flexibility, (4) without discussing of the difference of route change frequency in the problem. This study presents a new MDVSP model to address the above issues. A variable fixing heuristic algorithm based on the divide-and-conquer technique is also proposed to solve the MDVSP effectively. Computational tests are performed on the Kinmen Bus Administration (KBA) and results demonstrate that the proposed new model and the greedy heuristic algorithm for the MDVSP are effective in solving real world problems.

誌 謝

論文得以順利完成，進而取得博士學位，首先要感謝我的指導教授王晉元老師，老師多年來的教導與提攜，不僅在課業與研究上給予學生充分的指導，更在日常生活中給予學生非常多的照顧，使學生受益良多，師恩浩蕩，在此謹致上最深的敬意與謝意。

感謝論文口試暨審查委員中央大學顏上堯教授、暨南大學周榮昌教授、本校韓復華教授、卓訓榮教授，於口試與審查期間撥冗細審，並給予寶貴意見與殷切指正，使本論文更臻完備，在此致上學生由衷的感謝。其中特別感謝顏上堯老師，謝謝老師在論文研究期間給予學生正確的學術研究觀念，並在學生面臨困惑抉擇時，老師總是不吝提供意見並予以幫助，在此致由衷地表示謝忱；此外，亦感謝中華大學的蘇昭銘老師與交通部運研所的王穆衡組長，對學生在課業上的指導與幫助，謹致上由衷的謝意。

充實難忘的博士班生活即將劃下句點，在此特別感恩千佛山華德禪寺的住持師父-如孟法師，由於您的開示、指點、照顧、幫忙與鼓勵，才能有今日順利畢業的我，您的恩德與教誨，弟子必將銘記在心，永不敢忘。

在不算短的研究日子裡，感謝誌銘學長、慧潔學姐的打氣與支持，使得孤獨的研究道路不致孤單，感謝實驗室內共同救火隊成員的宗成與紀舜，在關關難過關關過的計畫考驗之下，豐富了原本枯燥的研究生活，而實驗室學弟峻凱、小松、嘉龍、建名、思文的互相鼓勵與關心，亦使得研究生活變得多采多姿；此外，感謝曹永恭叔叔的支持與照顧，使我在面臨瓶頸時，總能給予適時的指點與鼓勵。

最後感謝我摯愛的家人：給敬愛的父母，由於您們的支持與鼓勵，才使得本論文能順利產生，並且完成博士學位；給兩位以言語無法形容的妹妹，你們的打氣與鼓勵亦成就了本篇論文；給我最親愛的老婆-阿敏與可愛的女兒-涵涵，在我求學過程中，老婆妳的鼓勵與支持，是我能堅持下去的力量，也感謝老婆辛苦的打拼經濟與照顧女兒，讓我沒有後顧之憂，而女兒的可愛與聰穎，亦是我努力向前的動力。未來我將繼續的往前邁進，希望能不辜負你們對我的期望。

林至康 謹誌

2009年3月於新竹交大

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.....	vii
第一章 緒論.....	1
1.1 研究動機與目的.....	1
1.2 研究範圍與對象.....	5
1.3 研究方法與流程.....	5
第二章 文獻回顧.....	8
2.1 模式構建方式.....	8
2.1.1 網路流量模式.....	9
2.1.2 指派網路模式.....	11
2.1.3 時空網路模式.....	16
2.1.4 集合涵蓋/分割模式.....	18
2.2 解決問題型態.....	19
2.3 求解演算法.....	21
2.4 本章小結.....	24
第三章 多場站車輛排程模式之建立.....	28
3.1 多場站車輛排程問題之特性.....	28
3.2 模式建立.....	29
3.3 參數分析.....	34
第四章 演算法之設計與求解.....	37
4.1 變數固定演算法之特性.....	37
4.2 變數固定演算法之求解步驟.....	38
4.3 變數固定演算法之求解策略.....	41
第五章 實例測試與分析.....	45
5.1 測試對象.....	45
5.2 測試結果分析.....	46
5.2.1 與金門縣車船處營運現況比較之分析.....	46
5.2.2 擴充現有測試資料之分析.....	48
5.3 目標函數中各項子成本之敏感度分析.....	51
5.3.1 營運車輛於場站內閒置成本之變化.....	51

5.3.2 車輛折舊成本之變化.....	53
5.3.3 勤務中路線轉換成本之變化.....	56
5.3.4 車輛空駛成本之變化.....	61
第六章 結論與建議.....	64
6.1 結論	64
6.2 建議	66
參考文獻.....	67
附錄.....	70
簡歷.....	75



表 目 錄

表 2-1 解決車輛排程問題型態彙整表.....	25
表 5-1 金門縣車船處營運現況比較結果彙整表.....	47
表 5-2 六個情境問題之測試結果彙整表.....	49
表 5-3 營運車輛於場站內閒置成本之敏感度分析結果彙整表	52
表 5-4 啟發解於 α 值敏感度分析之平均間距與運算時間表	53
表 5-5 車輛折舊成本之敏感度分析結果彙整表.....	54
表 5-6 啟發解於 c 值敏感度分析之平均間距與運算時間表.....	56
表 5-7 勤務中路線轉換成本之敏感度分析結果彙整表	57
表 5-8 啟發解於 λ 值敏感度分析之平均間距與運算時間表.....	58
表 5-9 車輛空駛成本之敏感度分析結果彙整表.....	60
表 5-10 啟發解於 ω 值敏感度分析之平均間距與運算時間表.....	61
表 5-11 啟發解於本次測試所有測試結果之平均間距與運算時間表.....	63

圖 目 錄

圖 1.1 臺灣地區汽車客運(intercity bus)旅客運輸成長率折線圖	1
圖 1.2 研究流程圖	7
圖 2.1 多場站車輛排程問題之網路流量模式架構圖	10
圖 2.2 多場站車輛排程問題之純指派網路模式架構圖	13
圖 2.3 多場站車輛排程問題之多重貨物指派網路模式架構圖	14
圖 2.4 多場站車輛排程問題之時空網路模式架構圖	17
圖 3.1 多場站營運車輛排程示意圖	29
圖 3.2 車輛執行營運班次可能發生空駛種類示意圖	32
圖 3.3 修正前後流量守恆限制式之決策變數個數示意圖	34
圖 4.1 變數固定演算法之求解流程圖	40
圖 4.2 求解策略二之求解流程圖(陰影部分為修改部分)	42
圖 4.3 求解策略三之求解流程圖(陰影部分為修改部分)	44
圖 5.1 班次個數與網路規模之變化趨勢圖	50
圖 5.2 班次個數與最佳解間距之變化趨勢圖	50
圖 5.3 α 值與最佳解總成本間距之變化趨勢圖	53
圖 5.4 c 值與最佳解間距之變化趨勢圖	56
圖 5.5 λ 值與最佳解間距之變化趨勢圖	58
圖 5.6 ω 值與最佳解間距之變化趨勢圖	59

第一章 緒論

1.1 研究動機與目的

近年來臺灣地區受到私人運具過度成長與使用影響，大眾運輸之經營環境逐漸惡化，根據國內公路客運旅客運輸成長率統計資料顯示(如圖 1.1)，過去十多年間旅客成長多呈現負成長之趨勢，此種經營困境不僅使得客運業者虧損連連，更造成國內大眾運輸營運情形持續衰退。因此在外部環境開闢客源不易之情形下，降低客運業者內部成本支出則成為另一項可行辦法。

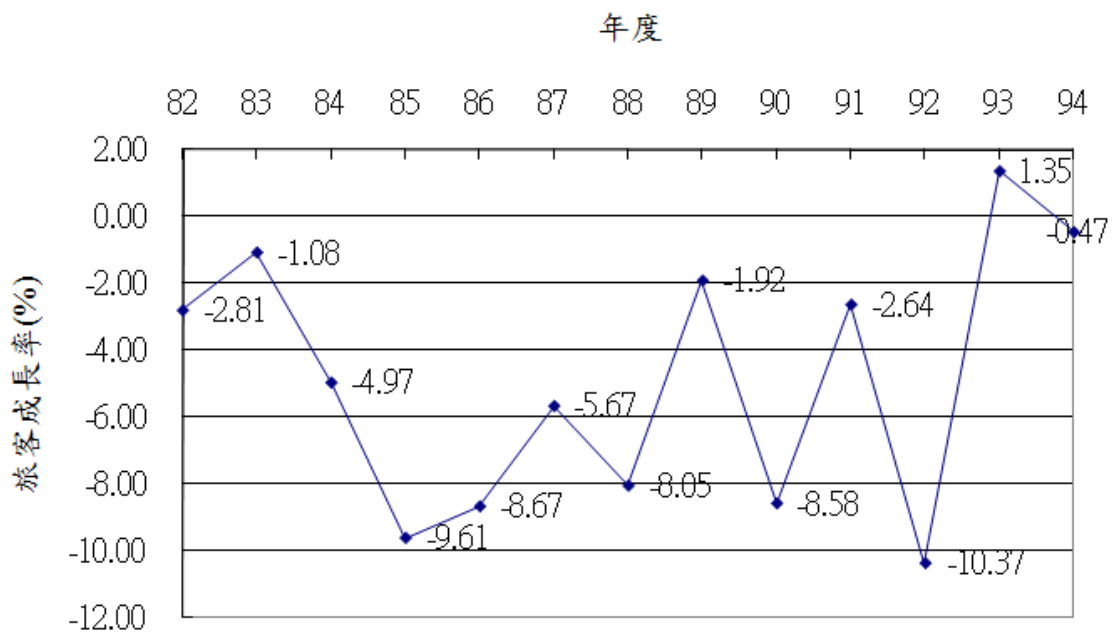


圖 1.1 臺灣地區汽車客運(intercity bus)旅客運輸成長率折線圖[37]

一般而言，客運業者之營運排程規劃(transit scheduling)可包含下列四項基本流程[38]：

1. 路線規劃與設計(design of routes)：客運路線規劃與設計過程[42]首先應考慮路網筆直性(directness of network)、路網密集度(connection of network)、路網彎繞度(circuit of network)、路線服務範圍(area coverage)、路網服務效率(service efficiency of network)...等路網特性，之後再依據所調查出的起迄服務運量、平均旅行時間、平均旅行成本、運輸走廊旅次時間等資訊，配合所需路線型態、路線間轉運考量、車站位置等實務考量，最後產生營運路線。

2. 時刻表制訂(creation of timetables)：此部分規劃包含營運班距(headway)制訂與時刻表制訂等兩項主要作業；在營運班距制訂方面，乃是依據既定路線、車輛種類及運量需求下，配合車隊規模、車輛運能、路線行駛時間、路線需求分佈與尖離峰時間分佈等資訊，計算出適當的營運班距，以兼顧營運成本及旅客需求；而在時刻表制訂方面，則是考量業者人力資源與配合相關政策法規後，對前述所計算出各時段之營運班距進行細部調整，調整後之各路線發車時刻表即可視為各路線之運量需求。
3. 營運車輛排程規劃(scheduling vehicles to trips)：此部分規劃通常是依據前述所制訂出之時刻表，再配合客運公司的營運特性(場站數量、車隊型態與數量限制、及特殊營運需求等)，規劃出可以滿足時刻表需求之班次銜接組合(亦即勤務組合)與最小車隊規模。
4. 司機員指派(assignment of drivers)：此部分規劃通常依據營運車輛排程之結果，配合現有司機員之資源、客運公司輪班輪休之規定與現行法令之限制，規劃出可滿足相關規定與兼顧營運效率之司機員指派勤務。

其中路線規劃設計與時刻表制訂之規劃成果均屬於長期(long-term planning)規劃之範疇，若欲在短期內進行符合客運公司效益之調整與修正，則有其困難度，因此對於客運業者而言，營運車輛排程規劃與司機員指派之規劃在短期內較易掌握且易收到成效。另就營運成本而言，營運成本的使用仍是客運業者最關注之問題，基本上營運成本包含場站設施、營運車輛等固定成本與營運支出、員工薪資等變動成本兩大項，其中由於營運車輛購入動輒耗資好幾百萬，且購入後之折舊成本與後續營運時車輛之維運成本亦為業者成本支出大宗，故可得知車輛安排配置之良窳不僅直接影響業者成本項支出，更為營運班次能否有效率執行之重要依據；亦即良好車輛排程不僅可大幅降低業者購車固定成本與車輛維修變動成本之支出，更可使得後續司機員之排班規劃更有效率。

在學術研究方面，自從 Dantzig[11]提出以數學規劃方式解決固定時刻表之最小車隊問題起，車輛排程問題(vehicle scheduling problem, VSP)在國際上早已被廣泛討論。但過去文獻中所提出有關 VSP 之數學模式，多因實務上之需求過於複雜而較難納入模式、或簡化部分實務需求後再納入模式考量[1]。經本研究彙整

後發現，過去文獻中所提關於 VSP 之數學模式多存在部分假設與限制，這些假設與限制雖使得 VSP 在問題定式與模式求解上較為容易，卻也限制了此類模式於臺灣地區汽車客運實務應用上之實用性。其相關假設與限制，彙整說明如下：

1. 各場站所配置營運車輛數目之上限為已知；

客運公司決策者最困擾的問題之一，即是如何配置適當的營運車輛於各場站，以往文獻中所提出的數學模式([9]、[3]、[16]、[23])，對於各場站所配置營運車輛之上限數均設為已知，此限制由數學角度觀察可得知，若於模式中各場站營運車輛之上限設定過大時，此限制式於模式求解時將無太大效用，若各場站營運車輛之上限設定過小時，則可能造成問題無可行解之情況發生；再從規劃角度檢視，提出此項限制的學者認為場站車輛數目之決定，乃屬於場站長期規劃時之範疇，此階段僅應將長期規劃之結果納入模式限制即可，但從臺灣地區客運營運實務面而言，時刻表內班次數目與發車時刻資訊，常因地方民代的請託、地區性的特殊需求(學校上課、廟會盛事、觀光活動…等)、補貼款項不足等原因而進行調整，且調整頻率頗為頻繁，若此時仍將長期規劃之結果納入模式限制，將有可能產生前述所提此限制無效用或無可行解之情況發生；另就營運實務而言，若於單一場站中配置過多車輛數，除會造成車輛閒置成本增加外，亦會壓縮其他場站合理配置之車輛數目，若於單一場站中營運車輛配置過少時，則會造成無法執行該場站之所有班次，因此若將各場站所配置之營運車輛數目上限設為已知，將會造成客運公司決策者於營運決策上之困擾。

2. 相關營運成本被簡化為單一型式目標函數；

過去文獻對於車輛營運成本之處理，均將數學模式的目標函數定為固定成本(有時包含使用車輛數)與營運時變動成本兩項之總和，亦即表示在處理車輛營運排程時，須將所有相關成本合併成此兩項成本後，其數學模式方可發揮效用；就數學觀點而言，如此方式處理並無不妥，但實務上除不同客運的營運者對於各項營運成本之重視程度不盡相同外，將繁瑣的營運成本簡化合併為單一型式之目標函數，對營運者亦是高難度的挑戰，因此將相關營運成本被簡化為單一型式目標函數，則會造成數學模式於實務上使用之不便。

3. 對於車輛空駛之處理並未提供足夠彈性；

過去文獻對於車輛空駛於數學模式中之處理，均未詳加描述，此即表示文獻中數學模式之形成，多是建立在一個事先處理的網路上(pre-determined network) [28]，如果使用者可接受車輛空駛狀況之產生，則必須先將相關的節線放入此網路，若無法接受車輛空駛狀況，則必須先將相關節線移除，如此數學模式方可操作，此種處理方式就數學觀點上亦無不妥，但實務上此法卻侷限了使用者對於車輛空駛情況在車輛排程營運策略上之運用，因此若數學模式於車輛空駛能提供足夠之彈性，將有助於使用者對於車輛排程營運策略之掌握。

4. 對於勤務中車輛營運路線之轉換次數並未處理；

就車輛排程觀點而言，車輛營運路線之轉換次數對於車輛配置與執行班次的結果似乎並無關連，但實務上客運公司若想順利將此車輛排程結果應用於班次執行上時，則該客運公司所有司機員必須熟悉全部營運之路線才行，如此除將耗費公司極大的人事訓練成本外，亦會造成決策者對於車輛排程應用之困擾。過去文獻對於多場站車輛排程之數學模式構建，均是建立在全體司機員熟悉所有營運路線之假設上，若數學模式能考量車輛營運路線之轉換次數，將可更增加車輛排程結果之應用性。

因此，如何增加客運業者競爭力，並解決上述假設與限制對於處理實務問題時所造成之困難，產製出有效率之車輛排程勤務規劃，實為一大挑戰。基於上述分析，本研究之研究目的可歸納如下：

1. 針對多場站車輛排程問題 (Multiple-Depot Vehicle Scheduling Problem, MDVSP)，在固定時刻表(fixed-timetable)情況下，處理過去文獻中數學模式所建立之假設與限制，以找出滿足所有營運班次有效率被執行之車輛排程方式，並利用數學規劃之方法，構建符合臺灣地區汽車客運營運現況之多場站車輛排程模式。
2. 依據所提出多場站車輛排程模式之特性，提出一啟發式解法—變數固定法(variable fixing heuristic)，進行模式求解之工作。
3. 選取具有多場站多路線營運特性之金門縣公共車船管理處做為實例測試對

象，以驗證本研究所提出多場站車輛排程模式與求解演算法之完整性與實用性。測試內容除進行現況比較分析外，另將擴充現有測試資料，以測試演算法於中、大型問題之求解效率；此外並將針對目標函數中各項子成本分別進行敏感度分析，以增加決策者對於車輛排程時各項成本變化之掌握。

1.2 研究範圍與對象

依據游文松[41]針對臺灣地區汽車客運營運流程調查分析得知，目前客運業者對於固定時刻表下之班次營運規劃作業大多採用車輛與人員共同排班方式，亦所謂人車合一之排班方式進行勤務規劃，此法最大優點是可將車輛與人員共同規劃之結果，作為駕駛指定車輛初級保養之依據。但廖椿煜[44]針對當年臺汽國光號車種班次規劃研究得知，利用人車合一方式所規劃之結果，平均較人車分離方式所規劃結果每車每天少 1.08 班次，究其原因在於人車合一情況下，營運車輛安排將會受限於司機員每日的工作時數，在規劃結果上必會損失一些最佳性，由此可知先進行車輛排程規劃，再將所規劃出結果作為人員安排依據之兩階段規劃考量，較能提升班次排定之效率與降低班次執行之營運成本；此結論亦反應出車輛排程結果之重要性。

有鑑於此，本研究之研究範圍界定為：在人車分離之考量下，規劃出時刻表中所有營運班次均可被效率執行之車輛排程方式；而本研究之研究對象則為具有固定時刻表營運特性之汽車客運營運業者。

1.3 研究方法與流程

本研究係利用數學規劃方式，在時刻表固定情況下，考量實務上之營運特性，以最小車輛營運成本為目標，構建出符合臺灣地區汽車客運營運現況之多場站車輛排程模式。由於 MDVSP 屬於 NP-Hard 問題[5]，為增加模式求解效率、減少求解時間，本研究將配合模式特性，提出一有效率之啟發式解法—變數固定法(variable fixing heuristic)進行模式求解工作，此啟發式解法可視為貪婪式啟發式(greedy algorithm)解法之一種，其觀念為先將 MDVSP 依據場站個數切割成數個單一場站車輛排程問題(Single-Depot Vehicle Scheduling Problem, SDVSP)之集合，並依據演算法中所設計的選擇程序(selection procedure)選擇首先求解之 SDVSP 模式。在求解此 SDVSP 模式後，固定部分變數，使其問題規模縮小後，

持續逐步求解集合中剩餘 SDVSP 模式，直至所有 SDVSP 模式均求解完畢為止；最後彙整其相關結果，即可求得最小成本下之車輛勤務規劃組合。

本研究流程如圖 1.2 所示，首先界定多場站車輛排程問題之範圍，繼而蒐集及回顧國內外相關文獻；其次，配合實務上車輛排程之考量因素，構建出符合臺灣地區汽車客運營運之多場站車輛排程模式，並發展一有效率之貪婪式求解演算法，而後本研究將以具有多場站多路線營運型態之金門縣公共車船管理處做為實例測試對象。最後根據測試之結果，提出結論與建議。



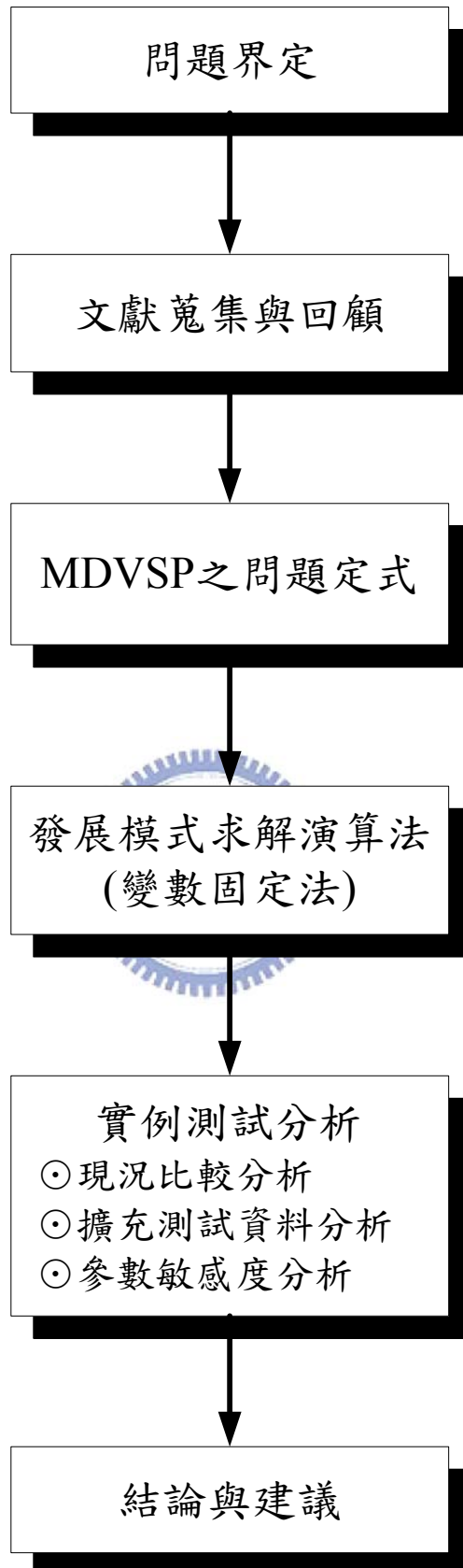


圖 1.2 研究流程圖

第二章 文獻回顧

由於車輛排程問題一直是運輸系統中重要的研究課題之一，亦有相當多的研究成果已發表於國際期刊上，因此本章文獻回顧部分將從 2.1 節模式構建方式、2.2 節 VSP 解決問題型態與 2.3 節求解演算法進行回顧與介紹，最後 2.4 節本章小結則針對前述文獻回顧部分，進行相關結論與分析。

2.1 模式構建方式

在多場站車輛排程問題中，除實務作業與學術研究之慣稱名詞有不二的情形外，若干不同的運輸業者，對於相同作業內容，其所慣用之名稱亦有所不同；為避免誤解，本研究將研究過程中所用之相關名詞定義如下：

- 1.場站(depot)：負責營運車輛停車管理與保養維修之車站，且為其所屬車輛執行發車與收車之動作；在成本降低與管理便利之考量下，運輸業者通常規定營運車輛於每日營運完畢後須返回該車所屬場站，亦即所屬於各場站之營運車輛，其發車與收車場站須為相同。
- 2.營運站(terminal)：僅負責查核營運車輛準點情況之車站；一般而言，營運站除提供乘客購票與乘車服務外，另一項工作即為查核營運車輛到站離站之準點狀況。
- 3.班次(trip)：車輛由營運站(或場站)出發，經特定路線行駛至另一營運站(或場站)即稱為一個班次。
- 4.班次行駛時間(trip time)：完成一個班次之所需行駛時間，此時間為客運業者事先所規劃排定。
- 5.時刻表(timetable)：包含所有班次起始時間與結束時間之班次規劃彙整表。
- 6.行車基本勤務(duty)：或稱為勤務表、仕業、運行表、工作表等，於本研究統稱行車基本勤務，簡稱勤務。係為時刻表中符合時間接續之可行班次集合，可由單一車輛執行完畢。
- 7.空駛班次(deadhead trip)：即表示行車基本勤務內兩連續班次無法於同一車站接

續執行，必須將車輛空車行駛至下一營運站後，才可繼續執行班次，則空車行駛於兩站間之班次，稱為空駛班次。

依據過去文獻得知，MDVSP 數學模式之構建方式多以 1.網路流量模式(Network flow formulation)；2.指派網路模式(Assignment network formulation)；3.時空網路模式(Time-space network formulation)以 4.集合分割/涵蓋模式(Set partitioning/ covering formulation)等四類模式構建而成，現分述如下：

2.1.1 網路流量模式(Network flow formulation)[3]、[4]

此類模式是利用網路表示之方式，將車輛排程問題以網路表示法轉變成網路流量模式，期使在給定固定班表情況下，找出最小成本下所有班次之車輛指派方式，使得所有班次能在滿足各場站車輛數上限之情況下，以最少的車輛數目執行完畢。模式中是以網路的節點做為班次，而兩節點間之連接節線則表示此兩班次可被同一輛車執行，通常節線之產生必須滿足班次間銜接之限制條件，亦即前一班次發車時間加上該班次營運時間必須小於後一班次發車時間後，此兩節點班次間之節線才會產生，也因如此，車輛排程問題受到時間軸之影響，故網路中所有節線均具有其方向性，亦即所有產生的勤務均屬於非循環性(acyclic)，每個勤務在網路中均不會產生迴圈(no cycle)；在節點上的班次資訊通常包含：營運開始車站、營運結束車站、營運開始時間以及班次營運時間等資訊，而各班次的營運成本在營運總班次數為固定之情形下亦可省略。

此類模式相關符號定義說明如下：模式中令 $N=\{1,2,\dots, n\}$ 表所有班次數， $p \in P$ 為所有場站， k^p 為場站 p 可使用的車輛數目，則可定義出 $G^p=(V^p, A^p)$ 表示一網路圖，其中節點 $n+p$ 表第 p 個場站， I 屬於 $N \times N$ 子集合，表示所有可互相連結的班次子集合，而 $V^p=N \cup \{n+p\}$ ， $A^p=I \cup (\{n+k\} \times N) \cup (N \times \{n+k\})$ ；此外節線成本可分為兩類： c_{ij} 表示車輛執行班次 i 與班次 j 間之車輛閒置成本， $c_{n+p,j}$ 則表示車輛購置成本或車輛使用成本，因此模式中決策變數可定義為： x_{ij}^p 表第 j 個班次緊接著在第 i 班次之後，可由第 p 場站派車執行(其路網架構如圖 2.1 所示)。其數學模式如下所示：

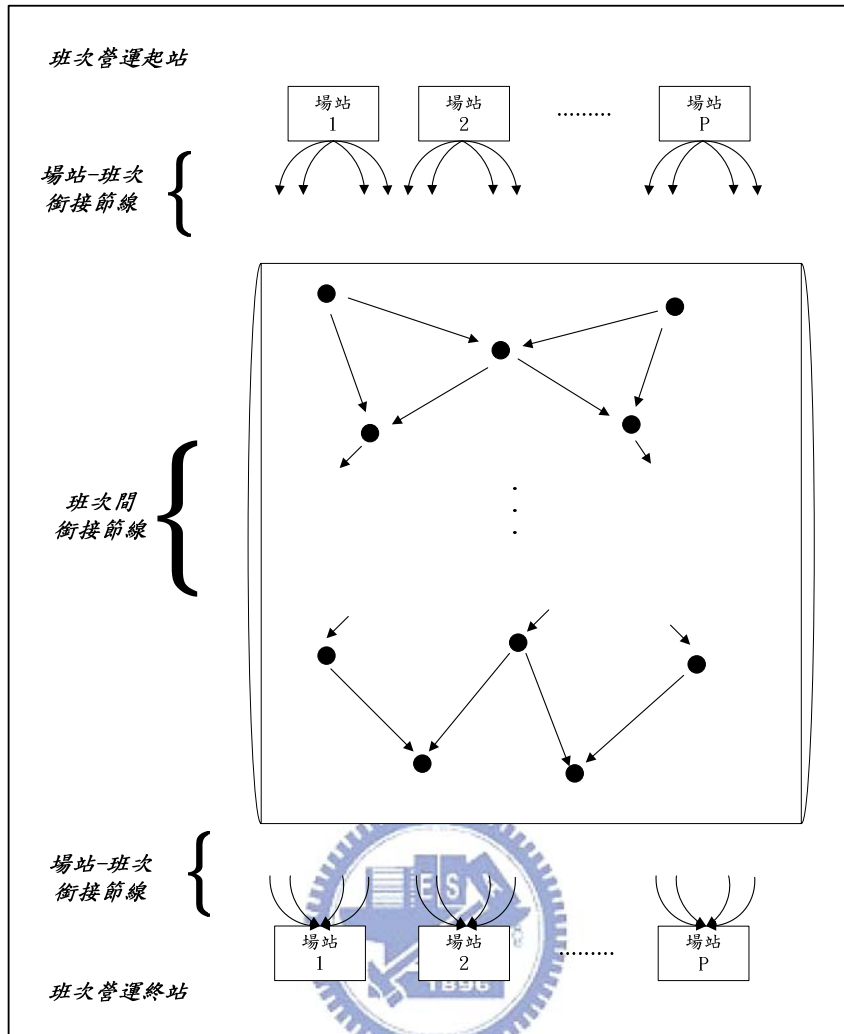


圖 2.1 多場站車輛排程問題之網路流量模式架構圖[3]

目標式：

$$\text{Min } \sum_{p \in P} \sum_{(i,j) \in A^p} c_{ij} x_{ij}^p + \sum_{p \in P} \sum_{j \in N} c x_{n+p,j}^p \quad (2-1)$$

限制式：

$$\sum_{p \in P} \sum_{j \in V^p} x_{ij}^p = 1 \quad \forall i \in N \quad (2-2)$$

$$\sum_{i \in V^p} x_{ij}^p - \sum_{i \in V^p} x_{ji}^p = 0 \quad \forall p \in P \quad \forall j \in V^p \quad (2-3)$$

$$\sum_{j \in N} x_{n+p,j}^p \leq k^p \quad \forall p \in P \quad (2-4)$$

$$x_{ij}^p \in \{0,1\} \quad \forall p \in P \quad \forall (i,j) \in A^p \quad (2-5)$$

模式中目標函數(2-1)為確定此車輛排程問題之總成本(車輛於場站閒置時間加上車輛購置/使用成本)為最小；限制式(2-2)確保每班次僅被執行一次；限制式(2-3)為流量守恆限制式；限制式(2-4)為各場站可使用車輛數目之限制，而限制式(2-5)則確保每個節線僅被使用一次。

2.1.2 指派網路模式(Assignment network formulation)

此類模式與前述網路流量模式類似，均是利用網路的表現方式以網路上節點做為班次，將車輛排程問題以網路表示法轉變成車輛指派模式，使其在給定固定班表情況下，找出最小成本所有班次之車輛指派方式。而此兩類模式最大不同點在於指派網路模式是以類似二元圖(bipartite graph)方式進行數學模式構建，亦即車輛排程問題在網路表現方式是先將所有代表班次的節點數增加變成兩倍，使節點分為班次起始節點(source node)與班次結束節點(sink node)兩類，而此兩類節點間可於滿足時間銜接限制之情況下產生節線，表示此兩班次可被同一輛車執行，而場站節點亦如同班次節點一樣分為兩類，一為場站發車節點，另一為場站回站節點；其節點上之班次資訊同樣包含：營運開始車站、營運結束車站、營運開始時間以及班次營運時間等資訊，而各班次的營運成本在營運總班次數為固定之情形下亦可省略。

指派網路模式可依據路網中不同的班次指派方式，分為純指派網路模式(Assignment network formulation)與多重貨物指派網路模式(Multi-commodity assignment network formulation)兩類，其相關模式說明分述如下：

a. 純指派網路模式(Assignment network formulation)[9]、[26]

在純指派網路模式中，可令 $N=\{1,2,\dots, n\}$ 表所有班次數， $p \in P$ 為所有場站， k^p 為場站 p 可使用的車輛數目，則可定義出 $G^p=(S^p, T^p, A^p \cup A^{*p})$ 表示一網路圖，其中 $S^p=(s_1^p, s_2^p, \dots, s_n^p)$ 表班次起始節點(source node)， $T^p=(t_1^p, t_2^p, \dots, t_n^p)$ 表班次結束節點(sink node)，節點 $n+p$ 表第 p 個場站； A 表路網中所有節線集合， $A^p=\{(s_i^p, t_j^p):$ 表班次可互相連結(compatible trips)的節線集合 $\}$ ，當 $i=j$ 時表該勤務內僅有一班次 i ，亦表示車輛在執行班次 i 完畢後即返回場站，而

$$A^{*p}=\{A/A^p\} \cup \{(s_i^p, t_z^p): i \in N, z=n+1, n+2, \dots, n+p\} \cup$$

$\{(s_z^p, t_j^p) | j \in N, z = n+1, n+2, \dots, n+p\}$; 節線成本分為兩類：若 $(s_i^p, t_j^p) \in \{A/A^p\}$ 時，節線成本 c_{ij} 則表示班次 i 與班次 j 間車輛閒置成本與車輛空駛成本(如果此兩班次之營運站不同)之和，若 $(s_i^p, t_j^p) \in A^*$ 時，節線成本 c_{ij} 則表示車輛固定營運成本加上場站與班次 i 之車輛空駛成本(如果班次 i 之營運起站與車輛發車場站不同)加上班次 j 與場站之車輛空駛成本(如果班次 j 之營運訖站與車輛回站場站不同)之總和；其路網架構圖如圖 2.2 所示。

此外，由於純指派網路模式無法依靠單一的網路流量變數($x_{ij}^p \in X$)使得所有勤務之起站與訖站均為相同，必須另增加一輔助變數($y_{ip} \in Y$)於限制式中，如此方可確保所有求得勤務之起站與訖站均為同一，其數學模式如下所示：

目標式：

$$\text{Min} \sum_{p \in P} \sum_{(i,j) \in A \cup A^*} c_{ij} x_{ij}^p \quad (2-6)$$

限制式：

$$\sum_{j \in J(i)} x_{ij}^p = y_{ip} \quad J(i) = \{j : (s_i, t_j) \in (A \cup A^*) / A^p\}, \quad \forall p \in P, \quad \forall i \in N \quad (2-7)$$

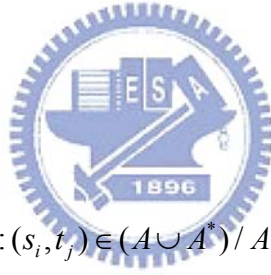
$$\sum_{i \in I(j)} x_{ij}^p = y_{jp} \quad I(j) = \{i : (s_i, t_j) \in (A \cup A^*) / A^p\}, \quad \forall p \in P, \quad \forall j \in N \quad (2-8)$$

$$\sum_{(i,j) \in A^*} x_{ij}^p \leq k_p \quad \forall p \in P \quad (2-9)$$

$$\sum_{p \in P} y_{ip} = 1 \quad \forall i \in N \quad (2-10)$$

$$x_{ij}^p \geq 0 \quad (i, j) \in (A \cup A^*) / A^p, \quad \forall p \in P \quad (2-11)$$

$$y_{ip} \in \{0, 1\} \quad \forall p \in P, \quad \forall i \in N \quad (2-12)$$



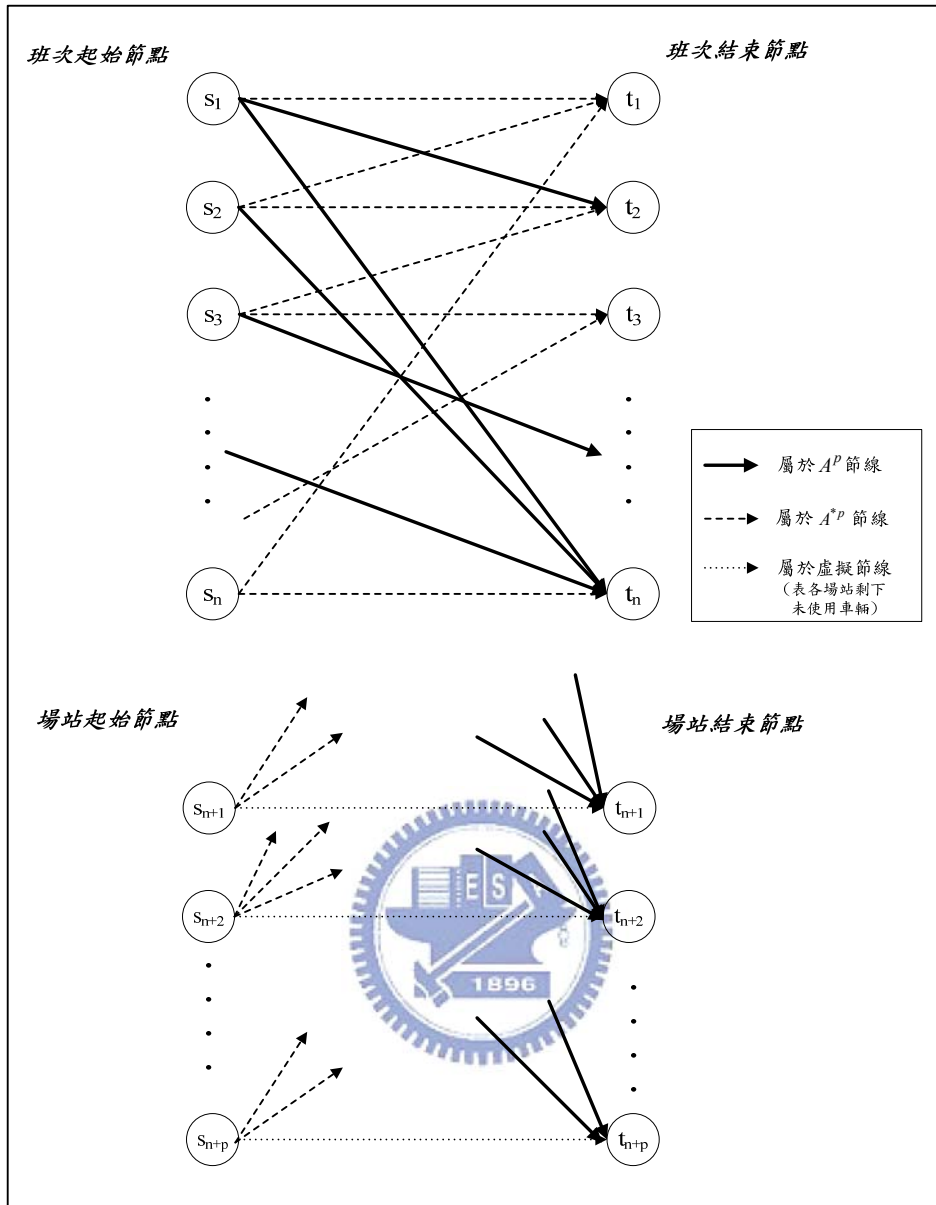


圖 2.2 多場站車輛排程問題之純指派網路模式架構圖[本研究整理]

而模式變數則依據節線屬性之不同而有不同的定義：

若 $(i, j) \in A / A^p$ ，則

$$x_{ij}^p = \begin{cases} 1, & \text{若第 } j \text{ 個班次接著在第 } i \text{ 班次之後，由第 } p \text{ 場站派車執行} \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

若 $(i, j) \in A^*$ ，則

$$x_{ij}^p = \begin{cases} 1, & \text{若第 } p \text{ 場站派車執行的勤務中，第 } j \text{ 班次為該勤務第一班} \\ & \text{次、第 } i \text{ 個班次為該勤務最後班次} \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

若 $j \in N$ ，則

$$y_{ip} = \begin{cases} 1, & \text{若 } i \text{ 班次被指派到由第 } p \text{ 場站的所屬車輛執行} \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

模式中目標函數(2-6)為確定此車輛排程問題之總成本為最小；限制式(2-7)、(2-8)與(2-10)為確保每班次僅能被指派一次，且勤務中的所有班次均由同一場站之車輛執行；限制式(2-9)為各場站可使用車輛數目之限制；限制式(2-11)為限制每條節線僅能被使用一次；限制式(2-12)為確保勤務中班次場站需相同之二元變數。

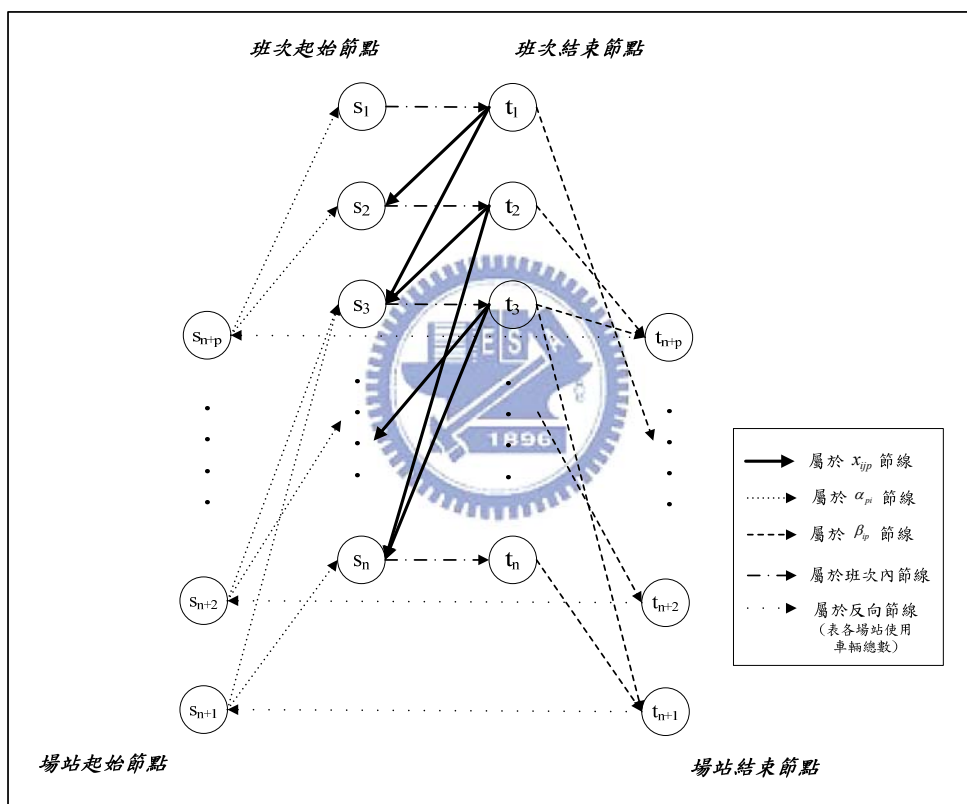


圖 2.3 多場站車輛排程問題之多重貨物指派網路模式架構圖[本研究整理]

b. 多重貨物指派網路模式 (Multi-commodity assignment network formulation)[12]、[17]、[18]

為改善純指派網路模式中，必須使用兩種變數才能使得勤務內營運車輛的起站與訖站均為相同之狀況，Forbes et al. [12]提出了多重貨物指派網路模式來解決此問題。如同純指派網路模式一樣，多重貨物指派網路模式仍是將所有代表班次與場站的節點數增加變成兩倍，使節點分為班次起始節點

(source node)、班次結束節點(sink node)、場站發車節點與場站回站節點，而此節點間均可在滿足時間銜接限制的情況下產生節線。但與純指派網路模式不同的是，Forbes 為了滿足多重貨物網路之定義，將每條節線流量之上限與下限均設定為一，亦即車輛僅能經過任一節線一次；此外，為有效解決勤務內營運車輛的起站與訖站必須相同之問題，Forbes et al. [12]將路網分為「場站至各個班次」、「班次間相互銜接」與「各個班次回到場站」三段分別描述，因此模式中可定義出三個決策變數，分別是： α_{pi} 表第 i 個班次為第 p 場站之營運車輛所執行的首班班次、 β_{ip} 表第 i 個班次為第 p 場站之營運車輛所執行的末班班次、 x_{ijp} 表第 j 個班次緊接著在第 i 班次之後，可由第 p 場站派車執行，此三個變數均為二元變數(其路網架構圖如圖 2.3 所示)，其他模式內相關符號定義說明如下： a_{pi} 表場站 p 至 i 班次營運起站之空駛成本(如果班次 i 之營運起站與車輛發車場站不同)與車輛固定營運成本一半之和； b_{ip} 表場站 p 至 i 班次營運訖站之空駛成本(如果班次 i 之營運起站與車輛發車場站不同)與車輛固定營運成本一半之和； c_{ijp} 表班次 i 與班次 j 間車輛空駛成本(如果此兩班次之營運站不同)與班次 i 營運成本之和； r_p 為指派模式中由場站回站節點至場站發車節點的反向節線流量，可表示由場站 p 所派出之車輛總數； k^p 為場站 p 可使用的車輛數目； w_{ip} 為一流量參數，其值為 0 或 1，若其值為 1 時則表示班次 i 是由場站 p 負責執行，其值為 0 則否；其數學模式如下所示：

目標式：

$$\text{Min } \sum_{p,i} a_{pi} \alpha_{pi} + \sum_{p,i} b_{ip} \beta_{ip} + \sum_{i,j,p} c_{ijp} x_{ijp} \quad (2-13)$$

限制式：

$$r_p - \sum_i \alpha_{pi} = 0 \quad \text{for all } p \quad (2-14)$$

$$\sum_i \beta_{ip} - r_p = 0 \quad \text{for all } p \quad (2-15)$$

$$\alpha_{pi} - \sum_j x_{jip} - w_{ip} = 0 \quad \text{for all } i,p, \quad (2-16)$$

$$w_{ip} - \beta_{pi} - \sum_j x_{ijp} = 0 \quad \text{for all } i,p, \quad (2-17)$$

$$r_p \leq k_p \quad \text{for all } p \quad (2-18)$$

$$\sum_p w_p = 1 \quad \text{for all } i \quad (2-19)$$

模式中目標函數(2-13)為確定此多重貨物指派網路模式之總成本為最小；限制式(2-14)、(2-15)、(2-16)與(2-17)為各種節點之流量守恆限制式、限制式(2-14)為場站發車節點流量守恆限制、限制式(2-15)為場站回站節點流量守恆限制、限制式(2-16)為班次起始節點流量守恆限制、限制式(2-17)為班次結束節點流量守恆限制；限制式(2-18)為反向節線流量之上限限制，可視為由場站 p 所派出之車輛總數上限限制；限制式(2-19)為班次內起始節點與結束節點間流量上限與下限之限制，可確保各班次僅能被唯一場站之車輛所執行，

2.1.3 時空網路模式(Time-space network formulation)[24]、[16]、[23]

基本上時空網路模式亦是利用網路表示方式，將車輛排程問題以網路表示法轉變成網路流量模式，在給定固定班表情況下，找出最小成本所有班次之車輛組合，使得所有班次能在滿足各場站車輛數上限之限制下全數執行完畢；但與前述指派網路模式跟網路流量模式最大差異在於：此類模式是以網路的節線做為班次，而以各班次之班次發車時間／發車營運站與班次結束時間／回站營運站做為網路中之節點。一般而言，車輛排程問題在時空網路圖的表現上，在節點方面有場站節點與時刻節點(time-space index)兩類，場站節點分為起站節點與訖站節點，其目的在方便計算勤務起迄時間、工作時間與控制發車數目等；時刻節點亦分為起始節點與結束節點，通常用以表示各種節線之起始與結束；而在節線方面通常包含：班次起始與結束節線(start/end arc)、班次節線(trip arc)、車輛閒置節線(waiting arc)、車輛空駛節線(deadhead arc)與循環節線(periodic arc)等五種節線，於各場站首班班次發車時刻節點與起站節點之連結節線，定義為班次起始節線，而各場站末班班次結束時刻節點與訖站節點之連結節線，定義為班次結束節線；為連結實際營運班次的起迄場站(或營運站)而產生之節線，則定義為班次節線；表示營運車輛於某一場站之停等閒置狀況，用連續兩時刻節點所連結成之節線定義為車輛閒置節線；若前一班次之結束場站與欲銜接班次之發車站不同，為表示車輛空駛於場站間之節線則定義為車輛空

駛節線；最後於迄點節點連接至起點節點之節線，可定義為循環節線，其目的表示此一場站所需之營運車輛總數，亦即表示此循環節線流量等於該場站所需之營運車輛數目；其路網架構如圖 2.4 所示。

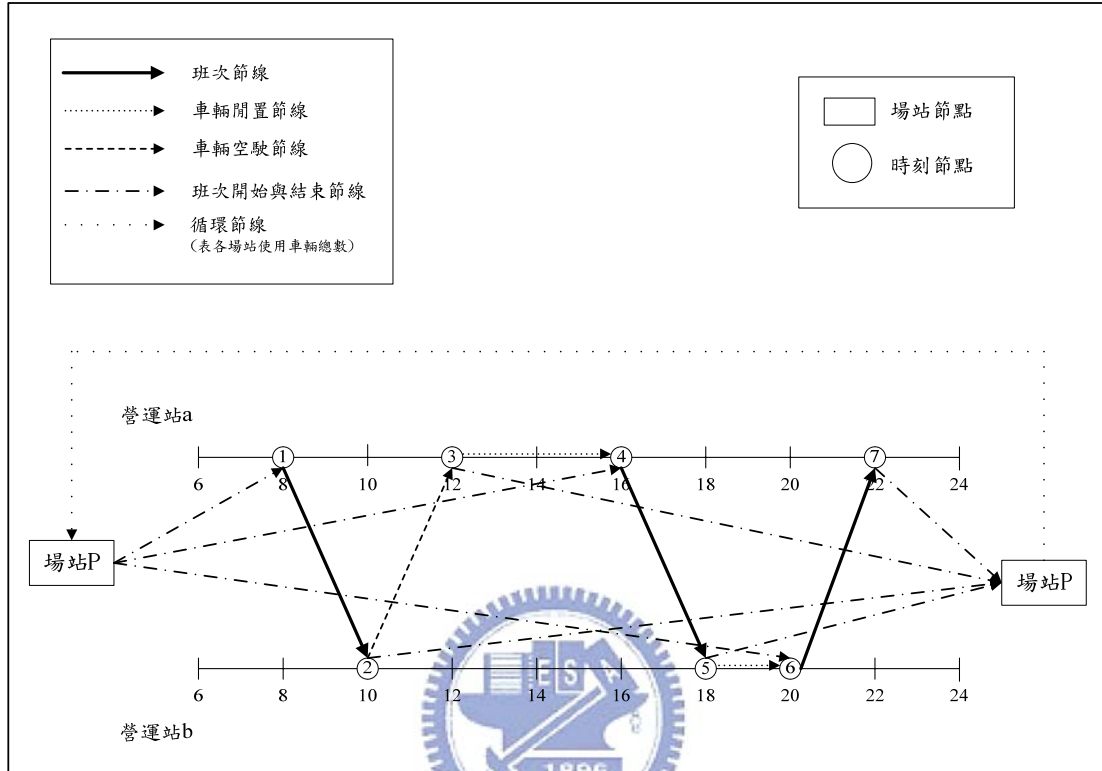


圖 2.4 多場站車輛排程問題之時空網路模式架構圖[本研究整理]

此類模式相關符號定義說明如下：模式中令 $p \in P$ 表所有場站， k^p 為場站 p 可使用的車輛數目，則可定義出 $G^p = (V^p, A^p)$ 表示一網路圖，其中 SF^p 表所有班次起始與結束節線集合， T 表所有班次節線集合， D 表所有空駛節線集合， W^p 表所有車輛閒置節線集合，則 $A^p = SF^p \cup D \cup T \cup W^p$ ；另令 S 表所有節線起始時間之集合， F 表所有節線結束時間之集合，則 $V^p = P \cup S \cup F$ ；因此節線成本 c_{ij}^p 會依據節線集合之不同而有其差異，若 $(i, j) \in SF^p$ ，則 c_{ij}^p 表場站 p 至 i 時刻節點空駛成本(如果班次 (i, j) 營運起站與車輛發車場站不同)與車輛固定營運成本之和，若 $(i, j) \in W^p$ ，則 c_{ij}^p 表車輛於場站 p 內時刻 i 至時刻 j 之間置成本，若 $(i, j) \in D$ ，則 $c_{ij}^p = c_{ij}$ 表前一班次至後一班次之車輛空駛成本(如果此兩班次之營運站不同)，故模式中決策變數可定義為： x_{ij}^p 表節線 (i, j) 由第 p 場站所派出之車輛所執行；其數學模式如下所示：

目標式：

$$\text{Min } \sum_{p \in P} \sum_{(i,j) \in W} c_{ij}^p x_{ij}^p + \sum_{p \in P} \sum_{(i,j) \in D} c_{ij} x_{ij}^p + \sum_{p \in P} \sum_{(i,j) \in SF^p} c_{ij}^p x_{ij}^p \quad (2-20)$$

限制式：

$$\sum_{(i,j) \in A^p} x_{ij}^p - \sum_{(l,i) \in A^p} x_{li}^p = 0 \quad \forall p \in P, \forall i \in V^p \quad (2-21)$$

$$\sum_{p \in P} x_{ij}^p = 1 \quad \forall (i,j) \in A^p \quad (2-22)$$

$$\sum_{(i,j) \in SF^p} x_{ij}^p \leq k^p \quad \forall p \in P \quad (2-23)$$

$$x_{ij}^p \in \{0,1\} \quad \forall p \in P, \forall (i,j) \in A^p \quad (2-24)$$

模式中目標函數(2-20)為確定此車輛排程問題之總成本(車輛於場站閒置時間+車輛固定成本+車輛空駛成本)為最小；限制式(2-21)為流量守恆限制式；限制式(2-22)為確保每種節線僅被執行一次；限制式(2-23)為各場站可使用車輛數目之限制，而限制式(2-24)則限制 x_{ij}^p 為二元變數。

2.1.4 集合涵蓋/分割模式(Set covering /partitioning formulation)[19]·[30]·[31]

此類模式是套用集合涵蓋或集合分割之形式，將車輛排程問題以網路表示法轉變成集合涵蓋或集合分割模式。此類模式與前三類模式最大不同在於決策變數之定義，一般而言，在車輛排程問題的集合涵蓋/分割問題上，變數 x_r^p 表示每一個可使營運車輛執行的勤務(即班次之組合)，若一個由場站 p 所執行之車輛勤務被選到時，則 x_r^p 為1，否則為0；模式中相關符號定義說明如下：模式中 $N=\{1,2,\dots, n\}$ 表所有班次數， $r \in R$ 表所有勤務之集合， $p \in P$ 為所有場站， k^p 為場站 p 可使用的車輛數目，而 c_r^p 表示執行第 j 個勤務所需花費之成本；故求解此問題即在於選取一組變數的集合，使其集合內之變數能夠包含所有的班次，以獲得最小成本之車輛勤務表。其模式形式如下所示：

目標式：

$$\text{Min } \sum_{p \in P} \sum_{r \in R} c_r^p x_r^p \quad (2-25)$$

限制式：

$$\sum_{p \in P} \sum_{r \in R} a_{ir} x_r^p \geq 1 \quad \forall i \in N \quad (2-26)$$

$$\sum_{r \in R} x_r^p \leq k_p \quad \forall p \in P \quad (2-27)$$

$$x_j^p \text{ is binary} \quad (2-28)$$

模式中目標函數(2-25)為確定此集合分割形式之車輛排程後勤務總成本為最小；限制式(2-26)為集合涵蓋限制式(covering constraints)，此限制式目的在限制每一班次至少會被執行一次，亦即每一限制式*i*代表一班次，若勤務*r*包含班次*i*，則 $a_{ir}=1$ ，反之則 $a_{ir}=0$ ，此外，若將限制式(2-26)改為等式，即形成集合分割形式，則表示每一班次只將被執行一次；限制式(2-27)為各場站可執行之勤務上限，亦可視為各場站可使用車輛數目之限制；而限制式(2-28)則確保每一場站之勤務僅能被使用一次。

2.2 VSP 解決問題型態

針對以數學規劃方式來解決車輛排程問題之問題型態方面，曾有 Bodin and Golden[6]、Bodin et al.[7]、與 Daduna and Paixão[10]相關學者進行整理與討論，其車輛排程問題型態經彙整後可分為下列五項因素：

1. 車輛閒置時間：

車輛排程問題的本質即是如何在最小成本考量下，找出最適合之班次銜接狀況，因此，在將此問題轉為網路流量方式或集合涵蓋/分割方式構建模式時，首先考量之問題點通常是：如何使得班次間銜接之空隙越少？此項問題點中之「空隙」越少即是「車輛閒置時間」越小；Bodin and Golden[6]曾指出若在滿足班次銜接之時間限制下($T_j - D_j > T_i + DH[E_i, S_j]$ ，其中 T_i 為班次到站時間、 D_i 為班次執行時間、 $DH[E_i, S_j]$ 為兩班次間之場站空駛時間)，車輛排程問題可轉變為一個具有方向性且非循環性之網路(a directed acyclic network)；一般而言，國外文獻在規劃班次銜接問題時，均將場站空駛之時間成本納入考量，而此項成本多轉入網路的節線成本上，此問題可視為 Dilworth decomposition problem[13]，此即為學

術上車輛排程問題之基本問題型態。

2.場站數量：

車輛排程問題基本上可分為單一場站與多場站兩大類，Lenstra and Rinnooy[25]證明若問題規模屬於單一場站之 VSP，其問題求解時間將為 polynomial time；而 Bertossi et al.[5]則證明若場站數大於 2 時，MDVSP 則成為一 NP-hard 問題，求解過程將變為困難且複雜許多，但 MDVSP 之規劃較能符合國內多數業者之營運生態[35]、[39]。

3.車隊規模：

由於營運車輛之固定成本(fixed vehicle cost)遠高於營運成本(operational cost)，因此在構建車輛排程模式時均會包含最小使用車輛數[16]，故多數文獻中車輛排程問題之數學模式均將此項因素納入考量，通常其做法於限制式中給定各場站所能使用之車輛數目上限，而於目標式中加入最小車輛購置成本、折舊成本或車輛使用成本(capital cost)之項目。此外，若此項因素為業者在進行車輛排程時之主要目標，其車輛排程問題亦可稱為最小車隊規模問題(minimum fleet size problem)[5]，由於營運車輛之購置成本(或折舊成本)與維修成本均非常昂貴，故此項因素將業者的投資規劃影響極大[1]。

4.車輛種類：

文獻中車輛排程問題對於車種之處理通常有兩種方式：第一種是依據各車型所適合執行之班次，將原問題根據班次分類之方式，切割成最多與車型種類數目相同之數個子問題分別進行求解[1]；另一種是在假設所有班次均適合所有車種執行之情況下，給定各車種一組可執行班次數目(稱之為勤務)之上限值與下限值 ($\underline{b} \leq \sum_{i,j \in N} x_{ij} \leq \bar{b}$ ，其中 \bar{b} 與 \underline{b} 分別表第 t 種車型所能執行班次之上限值與下限值)，並加入模式限制式中一併求解[6]。

5.勤務長度(length of duty constraint)：

此項因素通常在營運車輛受限於某些班次排定之特殊性，業者需特別考量補給油料或維修車輛之情形下，才會針對勤務之長度加以限制；文獻中對於此項因

素之處理多是將勤務規劃成為循環狀態(cycle)，亦即表示所規劃後之勤務必須滿足其勤務長度(考量油料)或時間(考量速度)之限制[17]；此外 Ball[2]證明出勤務長度限制問題(the path-length-constrained problem)為 NP-hard 問題。

2.3 VSP 求解演算法

Heurigon[19]利用集合分割模式之方式構建人員排程模式，並利用線性規劃鬆弛法與分支定限法求解集合分割模式。Shepardson and Marstem[31]亦是利用集合分割模式之方式構建人員排程模式，在模式求解部分則使用拉式鬆弛法(Lagrangian relaxation method)並配合分支定限法進行求解求解集合分割問題。

Carraresi and Gallo[9]首先利用純指派網路模式之方式構建多場站車輛排程模式，再以傳統的「先分群再排程」(Cluster first - Schedule second)、以及「先排程再分群」(Schedule first - Cluster second)兩種啟發式解法，求解純指派模式之多場站車輛排程問題。基本上「先分群再排程」方法是先將班次集合內之所有班次，依據場站個數分為數個子問題，此時每個子問題即成為單一場站車輛排程問題，再將每個子問題逐次求解後並彙整其結果，此結果即為原問題之近似最佳解。而「先排程再分群」方法則是先將原問題放鬆為單一場站車輛排程問題，求解後產生一組勤務解，之後將此勤務解與各場站節點，依據空駛成本最小化與滿足各場站車輛限制此兩項原則，產生一個最小成本網路流動問題，求解後答案亦為原問題之近似最佳解。

Carpaneto et al.[8]利用多重貨物指派網路模式之方式構建多場站車輛排程模式，並使用分支定限法直接對模式進行求解。

Mesquita and Paixão[26]利用純指派網路模式之方式構建多場站車輛排程模式。為方便模式求解起見，作者先將確保所求得勤務開始起站與結束訖站均為同一之輔助變數從模式中移除，再使用拉式鬆弛法(Lagrangian relaxation method)之技巧將其於限制式鬆弛至目標式後利用次梯度法(Lagrangian relaxation method with subgradient methods)進行求解，最後則利用一啟發式解法進行調整，使求得各個勤務中之開始起站與結束訖站均為同一。

Lammatsch[24]利用時空網路模式之方式構建多場站車輛排程模式，並使用

拉式鬆弛法暨次梯度法(Lagrangean relaxation method with subgradient methods)演算法找出原模式之下限解，再配合一演算法對此下限解進行調整，使得各場站之車輛使用數均能滿足其車輛容量限制。

Hoffman and Padberg[21]利用時空網路模式之方式構建航空公司人員排程模式，並使用分支切面法(branch-and-cut method)進行模式求解。此方法可視為分支定限法與切平面法(cutting plane method)之結合，由於單純使用切平面法之求解效率不甚理想[22]，因此本篇研究採用線性規劃鬆弛法與自行發展之上限可行解演算法，在配合分支定限法之架構下加入數個有效不等式(切平面法)，以加快問題求解效率。作者先將原問題放鬆為線性規劃鬆弛問題後，再使用傳統之分支定限法進行模式求解工作，並於利用每次分支端點子問題模式之係數矩陣轉化成為一個路網圖，並利用該路網圖配合 Clique 與 Odd Cycle 等技巧以產生數個有效不等式，藉以緊縮(tightening)模式之可行解區域以便加速子問題之求解效率(可視為產生一個新的分支點)，並再配合所發展上限可行解演算法，利用線性鬆弛所產生之下限解與上限解逼近最佳解之方式，以找出最後原模式之近似最佳解。

Forbes et al.[12]首先利用多重貨物指派網路模式之方式構建多場站車輛排程模式，並利用轉換技巧將多重貨物指派網路模式轉變為半指派模式(quasi-assignment formulation, QAP)，由於 QAP 模式是一個純網路流動問題(pure network flow problem)，因此首先對 QAP 模式進行求解，所求得之解即為原多重貨物指派網路模式之下限解，之後以此解做為原多重貨物指派網路模式之起始解，再配合對偶單體法(dual simplex algorithm)對原多重貨物指派網路模式進行求解，若求得之解整數解時，此解即為多場站車輛排程模式之最佳解，若此解非為整數解，則續用分支定限法進行求解，直至產生整數最佳解為止。

Ribeiro and Soumis[30]則利用集合分割模式之方式構建多場站車輛排程模式，並利用變數產生法(column generation methods)先將主問題之二元變數線性規劃問題鬆弛為線性規劃模式後，利用單體法(simplex method)求解現有變數之最佳解，並獲得每組勤務所對應之對偶變數；之而後利用最短路徑問題(shortest path problem)做為子問題求解之依據，以找出對主問題目標值有貢獻之變數，並加入模式中重新求解，直至無法產生新的變數為止，而此時求得之解，即為原問題之

近似最佳解。

Beasley and Cao[4]利用網路流量模式之方式構建一單場站人員排程模式，再使用拉式鬆弛法暨次梯度法(Lagrangian relaxation method with subgradient methods)之演算法架構進行求解，由於此模式是屬於單場站模式，構模後決策變數較多場站模式為少，因此作者除將「任一班次僅能被執行一次」之限制式鬆弛之目標式外，另將變數需為二元變數限制式放鬆為整數限制式，之後利用 k 條最短路路徑方式並配合次梯度法先找出問題之下限解，再依據樹狀搜尋法找出原問題最佳解。

Haghani and Banihashemi[17]除利用多重貨物指派網路模式之方式構建多場站車輛排程模式外，並於模式中加入勤務時間限制之考量(MDVS problem with route time, MDVSRTC)，在模式求解方面，作者先採用 Forbes[12]之求解方法找出不含勤務時間限制之模式之最佳解，此解即為 MDVSRTC 之下限解，再利用限制式加入法，將違反勤務時間之勤務變數組合加入至模式中重新求解，直至所有勤務均滿足勤務時間為止，此解即為 MDVSRTC 之最佳解。作者另在限制式加入法之架構下，提出兩個啟發式解法，以加快模式求解時間。

Gintner et al.[16]利用時空網路模式之方式構建多場站多車種車輛排程模式，作者有鑑於以時空網路模式之方式做為車輛排程模式將會產生大量的車輛空駛節線(deadhead arc)變數，因此提出 latest-first-matches 節線替代法，以同場站時間軸節線之車輛閒置節線(waiting arc)，替代可能產生的車輛空駛節線，因此經過此項轉換後，原二元變數線性規劃模式則變成具有二元變數與整數變數之混合整數規劃問題(mixed integer programming, MIP)；於求解演算法方面，文中提出 fix-and-optimize 之啟發式解法進行模式求解，此法是先將多場站之車輛排程問題依據場站個數簡化為數個單場站問題，並分別使用求解套裝軟體(CPLEX 8.0)進行 MIP 模式求解後，再針對車輛閒置節線變數為整數變數之問題，採用班次先進先出(first-in-first-out)與班次後進先出(last-in-first-out)兩種分解策略對各單場站之最佳解進行勤務分解(decomposition of the aggregated flows)，以確定所有變數之變數值非一即零，之後再將求解各單場站結果中出現相同勤務之變數均固定設為 1 後，再重複進行求解，直至所有班次均出現在求解結果中為止。

Kliewer et al.[23]亦是利用時空網路模式之方式構建構多場站多車種車輛排程模式，其模式內之空駛節線(deadhead arc)變數替代方式與混合整數規劃問題之處理方式均與 Gintner et al.[16]相同，其差異在於本篇研究於求解演算法上是直接使用求解套裝軟體(CPLEX 8.0)進行 MIP 模式之求解，因此模式之求解結果即為原問題之最佳解。此外，作者亦比較 CPLEX 求解軟體之三種參數設定(Network、Dual 與 Barrier)的求解效率。

2.4 本章小結

1. 模式構建方式方面

在歸納相關文獻後可得知，各類 MDVSP 模式之構建方式均有其特點，以集合涵蓋/分割模式而言，此種模式可清楚展現求解後各個勤務內之班次間銜接狀況，但在班次總數為 n 且場站個數為 p 之假設情況下，模式的可能候選勤務個數將高達近 2^{pn} 個(亦即模式內之決策變數個數最多可達 2^{pn} 個)，這對於候選勤務之產生與決定將不易處理；在時空網路模式方面，此種模式對於班次在各場站間之銜接情況可以清楚展現，但在空駛節線與車輛閒置節線間之產生方面則不易表現，必須額外進行處理；而網路流量模式則較容易表現上述時空網路模式不易處理之情況，但對於班次在各場站間之空駛時間成本則需建立一「各站距離矩陣」或「各站時間矩陣」另行表示，由此可知此兩種模式構建方式在優缺點的表現上是呈現互補狀態，至於在模式中決策變數個數部分，此二模式在完全性網路(complete network)之決策變數個數差異不大；最後，在指派網路模式方面，此種模式可清楚呈現所有班次間於網路圖形中之指派狀況，但此種方式之最大缺點則是須將所有的節點數乘以兩倍，不僅使得網路中之問題規模遽增，更造成節線(決策變數)數量之增加，因此，在班次個數相同之車輛排程問題中，指派網路模式所產生之決策變數個數通常較網路流量模式與時空網路模式為多。

此外，由過去文獻中亦可發現，文獻中所提出的各種 MDVSP 之模式，均包含「各場站所配置營運車輛數目之上限為已知」與「相關營運成本被簡化為單一型式目標函數」等假設與限制條件，誠如前述章節所言，如此之假設與限制雖使得 MDVSP 在問題定式與模式求解上較為容易，卻也限制了此模式於實務應用上之實用性。

表 2-1 解決車輛排程問題型態彙整表

作者	考慮因素	閒置時間	場站數量	固定車隊規模	車輛種類	班次長度限制	*空駛成本	勤務中路線轉換次數最少
Bodin & Golden (1983)		○	○	○	○	○	○	
Carraraesi & Gallo (1983)		○	○	○			○	
Mesquita & Paixão (1990)		○	○	○			○	
Ribeiro & Soumis (1994)		○	○	○			○	
Forbes et al. (1994)		○	○	○			○	
Haghani & Bamihashemi (2002)		○	○			○	○	
Gintner et al. (2005)		○	○	○	○		○	
Kliwer et al. (2006)		○	○	○	○		○	

*：車輛空駛成本併入節線成本中考量。[本研究整理]

2. 解決車輛排程問題型態方面

茲歸納文獻中車輛排程問題解決問題型態如表 2-1 所示，由表中可得知於過去文獻所考量之最小車輛閒置時間與多場站兩因素已成為車輛排程問題之基本考量；在固定車輛規模方面，臺灣地區客運業者時刻表之變動頻率頗為頻繁，因此由模式來決定業者之最適車隊規模（最小車輛數）較能滿足業者需求，本研究將於模式中放鬆此項限制；在車輛種類限制方面，由於在營運班次規劃階段已將各車種容量對於旅客需求之滿足狀況納入考量，因此實務上常採用依據根據班次分類方式，將原問題切割成最多與車型種類數目相同之數個子問題分別進行求解 [1]，故本研究於模式中僅考量單一車種之問題特性；至於在班次長度限制方面，由於國內營運班次均屬於相對短程班次，亦即在營運車輛油箱加滿情況下，均能至少執行完畢一個營運班次，因此本研究將不考慮此項限制。

此外由過去文獻中可發現，過去文獻均並未處理「勤務中車輛營運路線之轉換次數」之限制，此項限制肇因於：如所規劃之勤務能盡量屬於同一路線（或同一路線群）時，則可減少路線變更時所需花費之車輛調整時間，甚至可降低司機員訓練成本，故本研究會將此因素考慮於模式中。

最後，觀察過去文獻所提出的各種 MDVSP 模式，可發現除時空網路模式因其模式特性已將空駛節線表現於路網內，其餘模式對於車輛空駛之處理，均未提

供足夠之彈性，亦即此類模式是建立在一個事先預想的網路上[28]，對於所可能產生各場站(或營運站)間之空駛班次，已先將其空駛成本合併在車輛營運成本中，如此不僅降低模式之彈性，更增加模式反應實務問題之困難度，因此本研究將於模式目標式中考量此項因素，使得所提出之 MDVSP 模式，對於空駛節線成本之權衡取捨更具彈性。

3. 求解演算法方面

在歸納相關文獻後可得知，文獻中利用集合分割模式之方式來構建多場站車輛排程模式者，於求解演算法方面多是採用變數產生法，此法優點在於當問題規模變大、變數個數激增時，變數產生法可於子問題中先產生足夠數量之起始變數以供主問題求解使用，並可利用求解所得資訊，修改問題之參數，再於子問題中產生新增變數增加至原始問題變數集合中，重新求解，直至變數無法改善目前解為止；但此法是將原問題放鬆為線性規劃問題求解後，利用損失成本(reduced costs)判斷新產生之變數可否加入原始問題變數集合，因此對於原本是整數規劃的 MDVSP 而言，利用該演算法所找出的最佳可行解，多數存在一個問題本質上之間距(integrality gap)；此外利用此方式所可能產生的勤務個數非常龐大，如何找出合適的勤務進行判斷，亦為此類演算法之考驗。

文獻中利用指派網路模式方式構建多場站車輛排程模式者，均是將 VSP 問題轉為網路上的指派問題(the assignment problem)進行求解，因此該模式才會配合傳統的指派問題模式之定義，將所有代表班次的節點數增加變成兩倍，使節點分為班次起始節點(source node)與班次結束節點(sink node)兩類。此方法在求解 SDVSP 能產生非常好的效果，因為將 VSP 問題轉為網路上的指派問題後，此問題可視為最小流量成本問題(minimum cost flow problem)之特例，因此可利用許多已發表的求解最小流量成本問題之演算法(例如網路單體法)，針對 SDVSP 進行求解；但由於 MDVSP 已經被證明是一 NP-hard 問題[5]，因此利用指派網路模式方式所構建的 MDVSP 模式，在沒有任何演算法可以直接有效率進行求解的情況下，在面對指派網路模式所形成的龐大網路結構，其求解過程將變為困難且複雜許多。

而另外利用網路流量模式方式與時空網路模式方式來構建多場站車輛排程

模式者，則多是採用拉式鬆弛法(Lagrangian relaxation method)配合自行研發啟發式解法、分支定限法(branch-and-bound algorithm)或分支切面法(branch-and-cut algorithm)等演算法進行求解工作。一般而言，此類求解演算法多是在求解品質與求解時間兩衡量指標上進行權衡取捨，亦即若較強調求解時間者，則多採用拉式鬆弛法(對極小化問題而言，可產生品質較佳之下限解)配合所發展上限解演算法逼近最佳解，只要上限可行解與下限不可行解之誤差在可接受範圍內，即完成求解步驟；若是較強調求解品質時，則多採用線性鬆弛(LP relaxation)，配合分支定限法或分支切面法進行求解。一般而言，採用拉式鬆弛法進行求解較可快速的找出可接受的可行解，但其解多數仍存在對偶間距(duality gap)的問題；而利用分支定限法或分支切面法雖可產生較佳的可行解(或者最佳解)，但所耗費的時間亦為較多，因此如何找到良好的分支方式、問題之上(下)限與有效率的切面，是為此類演算法之考驗。

綜合上述分析，本研究針對客運業者於實務應用上之實用性、便利性與快速性考量下，擬以網路表現方式較簡單、產生決策變數個數較少之網路流量模式之方式，進行 MDVSP 之模式構建，並將涵蓋最小車輛閒置時間、最小車隊規模、最少勤務中更換路線次數與最小空駛成本等因素，提出符合臺灣地區客運業者營運現狀之多場站車輛排程模式，並應用切割與征服(divide-and-conquer)之技巧，提出一啟發式解法—變數固定演算法(variable fixing heuristic)做為模式求解之基礎，期能幫助客運業者針對實際之營運狀況，規劃出符合經濟效益之車輛勤務組合。

第三章 多場站車輛排程模式之建立

3.1 多場站車輛排程問題之特性

一般而言，臺灣地區汽車客運營運方式多具有時刻表固定之特性，亦即表示所有營運班次均由客運業者事先規劃出其發車場站與時間、及到站場站與時間，營運車輛僅需依時刻表內容按時發車執行班次即可，故多場站車輛排程問題之特性可歸納如下：

1. 共有 N 個班次必須於規定營運時間 D 分鐘(通常為一天 24 小時)內執行完畢；
2. 每一班次 t_i 均包含班次開始車站 s_i 、結束車站 e_i 、起始時間 τ_i 、營運時間 t_i 與營運成本 oc_i 等資訊，且每一班次僅能被一輛營運車輛執行一次；
3. 若兩班次 t_i 與 t_j 滿足時間限制 $\tau_j \geq \tau_i + t_i + \xi_{ij}$ (ξ_{ij} 表班次 t_i 結束車站與 t_j 起始車站不同時之空駛班次時間)，則表示營運車輛於執行 t_i 完畢後，可接續執行班次 t_j ；
4. 對任意兩班次 t_i 與 t_j 而言，若此兩班次均由同一營運車輛執行時，則表示班次 t_i 與 t_j 位於同一勤務中；
5. 對所有營運車輛而言，每輛車必須於每日營運完畢後返回其所屬場站，但可允許場站至營運站間空駛班次之情況發生(業者均盡量避免空駛班次之產生，以免造成營運成本之增加)；
6. 必須由最少車輛數與最低營運成本執行完畢所有的班次。

針對上述特性可得知，汽車客運之 MDVSP 是屬於一種結合時間性(temporal)與空間性(spatial)之最小化車輛成本排程問題，可用圖 3.1 簡單表示之。圖中可看出車輛一可執行班次二、班次四、班次五、...、至班次 N 等班次組合，車輛二可執行班次三、班次四、...、至班次 $N-1$ 等班次組合，各個班次組合稱為勤務，於此圖中兩個勤務之第一班次發車場站與最後一班次結束場站均為相同，即表示勤務中並無場站至營運站間之空駛班次產生，故此圖可表現出所有車輛執行勤務時之場站空間位置特性；此問題另一項重要特性為：因受限於時間軸之特性，所有勤務內之班次組合均屬於非循環性(acyclic)，亦即各個勤務將不會產生迴圈(no

cycle)情況；此外對於所產生之任何可行勤務解而言，其所有班次之營運成本

$\sum_{i=1}^N oc_i$ 均為定值，故於模式構建時此項成本可忽略不計。

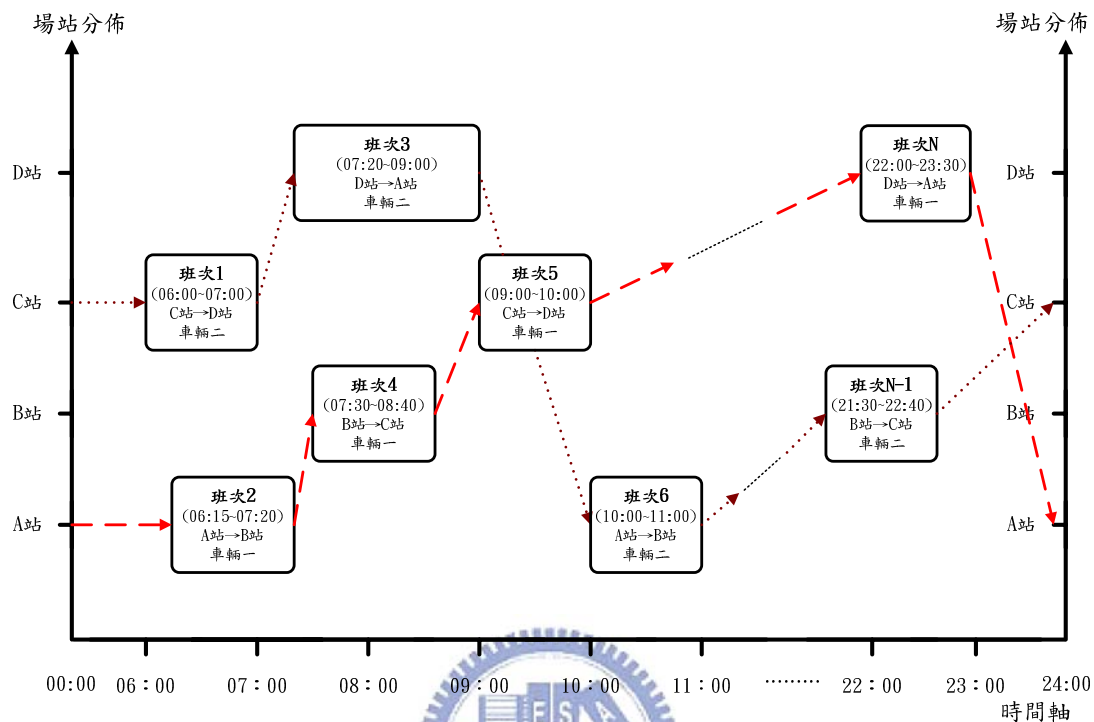


圖 3.1 多場站營運車輛排程示意圖

3.2 模式建立

依據 3.1 節所描述多場站車輛排程問題之特性，本研究將針對問題進行以下的定義：令 $N = \{1, 2, \dots, n\}$ 表所有班次數， $p \in P$ 為所有場站，則可定義出 $G^p = (V^p, A^p)$ 為一時空網路圖，其中 $n \in N$ 表路網中之班次節點，而節點 $n + p$ 則表第 p 個場站；另令 $I \subseteq N \times N$ 表所有可互相連結的班次子集合，故可得 $V^p = N \cup \{n + p\}$ ， $A^p = I \cup (\{n + p\} \times N) \cup (N \times \{n + p\})$ ，此外，節線成本由車輛閒置時間(此類成本與場站 p 之所在無關)、車輛於預估使用年限中各期折舊成本、勤務中營運路線轉換成本與車輛空駛成本等四項組成。故決策變數可定義為： x_{ij}^p 為二元變數在網路節線上之流量(binary flow)，其中 $(i, j) \in A^p$ 與 $p \in P$ ，因此決策變數對於多場站車輛排程問題之定義如下：若 $x_{ij}^p = 1$ ，則表示第 j 個班次緊接著在第 i 班次之後，可由第 p 場站所執行；若 $x_{ij}^p = 0$ ，則否。

依據上述定義，本研究採用網路流量模式(Network flow formulation)方式，構建一符合臺灣地區汽車客運業者營運現狀之多場站車輛排程模式，其問題定式如下所示：

目標式：

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & \alpha \left(\sum_{p \in P} \sum_{(i,j) \in I} c_{ij} x_{ij}^p \right) + \left(\sum_{p \in P} \sum_{j \in N} c x_{n+p,j}^p \right) + \lambda \left(\sum_{p \in P} \sum_{(i,j) \in I} \left[\frac{|\gamma_j - \gamma_i|}{(\gamma_j + \gamma_i)} \right] x_{ij}^p \right) \\ & + \omega \sum_{p \in P} \sum_{j \in N} (\xi_{n+p,j} x_{n+p,j}^p + \sum_{(i,j) \in I} \xi_{ij} x_{ij}^p + \sum_{i \in N} \xi_{i,n+p} x_{i,n+p}^p) \end{aligned} \quad (1)$$

限制式：

$$\sum_{l \in N} x_{jl}^p + x_{j,n+p}^p = \sum_{i \in N} x_{ij}^p + x_{n+p,j}^p \quad \forall p \in P, \quad \forall j \in N \quad (2)$$

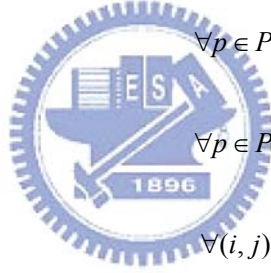
$$\sum_{p \in P} \sum_{j \in N} (x_{ij}^p + x_{i,n+p}^p) = 1 \quad \forall i \in N \quad (3)$$

$$\sum_{j \in N} (p - s_j) x_{n+p,j}^p = 0 \quad \forall p \in P \quad (4)$$

$$\sum_{j \in N} (p - e_j) x_{j,n+p}^p = 0 \quad \forall p \in P \quad (5)$$

$$\sum_{p \in P} (e_i - s_j) x_{ij}^p = 0 \quad \forall (i,j) \in I \quad (6)$$

$$x_{ij}^p \in (0,1) \quad \forall p \in P, \quad \forall (i,j) \in I \quad \text{and} \quad i \neq j \quad (7)$$



參數說明：

N ：總班次數；

p ：所屬場站；

c_{ij} ：班次 i 與 j 間之車輛閒置成本(分鐘)；

d_i ：班次 i 之營運里程(公里)；

γ_i ：業者自訂之營運路線 i 編號；

s_i ：班次 i 發車車站；

e_i ：班次 i 結束車站；

α ：車輛閒置站內單位時間價值(元/時間)；

c ：車輛於預估使用年限中之各期折舊成本(元/輛)；

λ ：勤務中路線轉換成本(元/次)；

ω ：車輛空駛時之單位時間耗油成本(元/時間)；

ξ_{ij} ：班次 i 結束車站與 j 起始車站不同時之空駛成本(分鐘)。

目標函數(1)表示車輛排程問題之營運成本最小化，共由「所使用車輛購置後之折舊成本」之固定成本，以及「營運車輛於場站內閒置成本」、「勤務中營運路線轉換成本」與「車輛空駛成本」等四項變動成本項目所組成，其詳細說明分述如下：第一項為營運車輛於站內之總閒置成本， α 表車輛閒置站內之單位時間價值(元/分鐘)，建議可由司機員之薪資單位成本決定，就車輛排程觀點而言，司機員薪水似乎與車輛空閒時間無關，但實務上不論車輛排程規劃結果為何，仍須由司機員駕駛車輛執行其勤務，如此方可將班次執行完畢，因此將本研究藉由司機員之薪資成本，衡量車輛於場站內閒置成本之總和；第二項為所使用車輛購置後之折舊成本， c 表單位車輛於勤務規劃時程內之當期折舊成本(元/輛)，表示於勤務規劃時程內所有使用車輛折舊成本之總和；第三項為勤務中營運路線轉換成本， λ 表勤務中單次路線轉換成本(元/次)，基本上汽車客運業者對於此項成本之要求在於，減少車輛因路線變動所必須增加之成本與準備工作時間，故此項成本除可包含營運時行車附支成本外，另亦可將駕駛員訓練成本，以及客運公司鼓勵車輛排程規劃結果必須盡量減少路線更換次數之激勵獎金(incentive cost)納入此項成本中；第四項為車輛行駛空駛班次之成本總和，其參數 ω 建議可由單位里程耗油成本除以法定行車速度（亦即每分鐘耗油成本）決定之（元/分鐘）此項成本目的在於避免車輛行駛過多空駛班次，造成業者成本增加。基本上模式中各項參數（ $\alpha, c, \gamma, \omega$ ）均為外生變數，可依業者實際營運情況設定之。

限制式(2)為流量守恆限制條件，限制式(3)表任一班次僅能被執行一次，不得重複執行之限制，限制式(4)、(5)分別代表禁止起站空駛與回站空駛之限制條件，限制式(6)表禁止班次銜接時產生空駛班次之限制條件(如圖 3.2 所示)，限制式(7)為二元變數限制式。

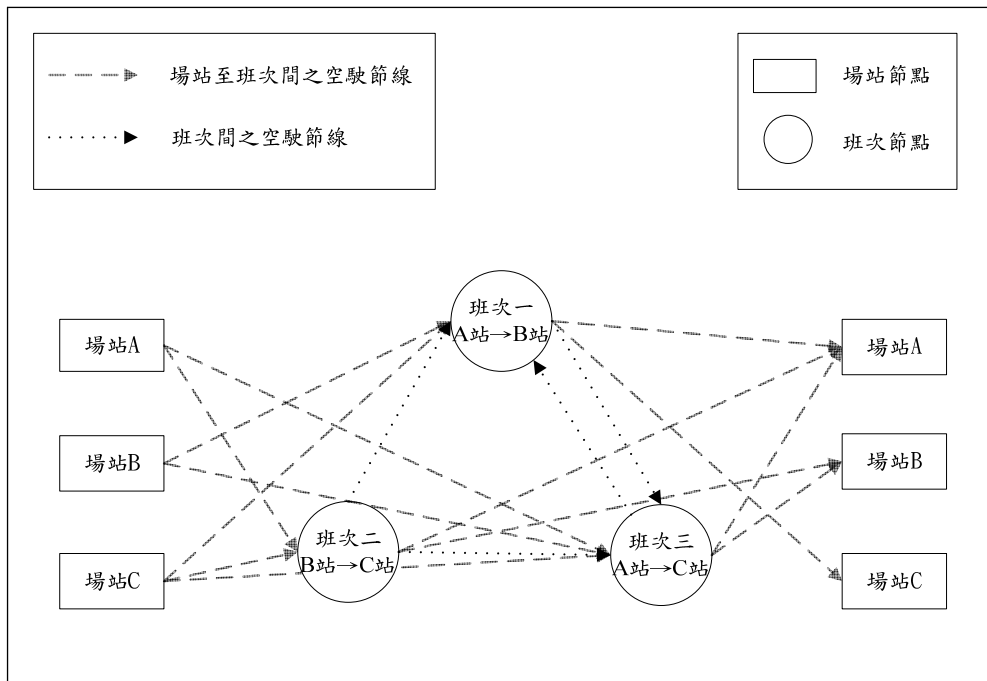


圖 3.2 車輛執行營運班次可能發生空駛種類示意圖

在分析目標式中各項成本組成後可發現，第一項最小車輛閒置時間成本與第四項車輛執行空駛成本為 MDVSP 中最基本之考量因素，同時本研究希望能由模式中求得 MDVSP 之最小車輛數，因此第二項車輛折舊成本最小化亦為必須加入模式中之考量因素；此外若 MDVSP 中如需考量勤務中路線轉換最少之限制時，則可加入第三項勤務中路線轉換成本。由此可知，第一項、第二項與第四項成本可視為 MDVSP 必須考量之因素，而第三項成本是否加入則須視業者實際需求而定。

另在多場站車輛排程問題型態下，車輛執行營運班次時所可能發生之空駛種類亦可分為起迄場站與班次間是否允許空駛（限制式 4、5）及班次銜接時是否允許空駛（限制式 6）兩類，並可組合成下列四種營運策略選擇：

1. 允許起迄場站與班次間空駛+允許班次間空駛：模式僅須加入目標式空駛成本項即可；
2. 允許起迄場站與班次間空駛+不允許班次間空駛：模式則須加入目標式空駛成本項與限制式(6)；
3. 不允許起迄場站與班次間空駛+允許班次間空駛：模式則須加入目標式空駛成

本項與限制式(4)(5)；

4.不允許起迄場站與班次間空駛+不允許班次間空駛：模式僅須加入限制式(4)(5)(6)三式即可。

一般而言，此四種營運策略之採用端視實務問題需求而定，其間並無優劣之比較，但若採用第四種營運策略時，則必須滿足所有班次於各場站之發車班次總和數目與結束班次總和數目相同(亦即需滿足 $\sum_{i \in N} x_{n+p,i}^p = \sum_{j \in N} x_{j,n+p}^p, \forall p \in P$ 限制)，否則將會造成班次無法銜接、問題無法產生可行解之情況。

此外對於多場站車輛排程問題而言，若能在相同之路網定義下產生較少決策變數，不僅可獲得較小的模式規模(model size)，亦可增加模式求解之效率，有鑑於此，本研究針對網路流量模式之構模方式，提出改良後之流量守恆限制式，以減少在相同問題規模下之模式規模與變數個數。其相關證明敘述如下：

命題 1：針對多場站車輛排程問題，在使用網路流量模式方式構建模式時，若

將流量守恆限制式以限制式(2) $\sum_{l \in N} x_{jl}^p + x_{j,n+p}^p = \sum_{i \in N} x_{ij}^p + x_{n+p,j}^p$ 取代以往文

獻所使用限制式(2-3) $\sum_{i \in V^p} x_{ij}^p - \sum_{i \in V^p} x_{ji}^p = 0$ 時(相關符號定義如前所

述)([3]、[4])，將可在不變更原問題特性情況下，使得數學模式中之變數個數減少 $2(|P|-1)|P| \times |N|$ 個。

證明：基本上此二流量守恆限制式最大差異在於場站至班次間之節線表現方式不同，以往文獻上流量守恆限制式表現在場站至班次間之節線數目(亦即模式變數個數)共有 $|P|(\text{場站個數}) \times |N|(\text{班次總數}) \times |P|(\text{場站編號個數})$ 個，此表現方式是假設各場站於變數符號中之場站符號(亦即 $x_{n+p,j}^p$ 之 p)與場站於節點中符號(亦即 $x_{n+p,j}^p$ 之 $n+p$)完全無關，因此在計算節線數目時，即以上述三項符號個數連乘將路網上所有的節線數表現出來；但對問題定義而言， p 場站於節點中符號(亦即 $x_{n+p,j}^p$ 之 $n+p$)的表現方式是以班次總數加上編號 p 而得，亦即 p 場站於節點中符號數字需靠其場站符號(亦即 $x_{n+p,j}^p$ 之 p)決定，因此在以往文獻上流量守恆限制式之表現方式將會產

生於實際問題中並不會發生的節線(如圖 3.3 所示)，有鑑於此，本研究修正以往流量守恆限制式之表現方式，以限制式

$$(2) \sum_{l \in N} x_{jl}^p + x_{j,n+p}^p = \sum_{i \in N} x_{ij}^p + x_{n+p,j}^p$$

取代以往文獻所使用限制式

$$(2-3) \sum_{i \in V^p} x_{ij}^p - \sum_{i \in V^p} x_{ji}^p = 0$$

，此表現方式在路網中場站至班次間之節線數目為

共有 $|P|(\text{場站個數}) \times |N|(\text{班次總數})$ 個，將可減少 $(|P|-1)|P| \times |N|$ 節線個數(模式變數)；若上班次返回場站間節線，本研究所提修正後流量守恆限制式，將可較以往文獻上之表現方式減少 $2(|P|-1)|P| \times |N|$ 個節線數(模式變數)。

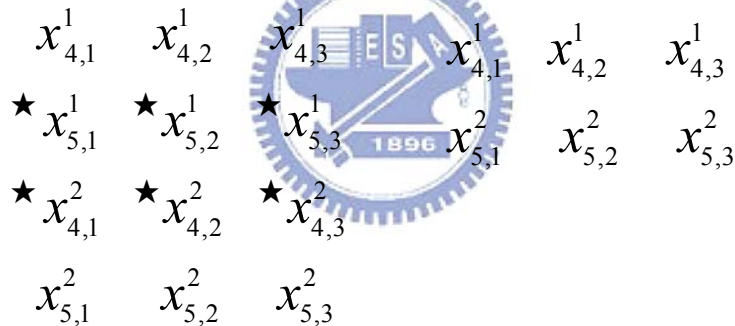
假設：

場站數目=2

班次數目=3

文獻上方式所產生之變數 $x_{n+p,i}^p$
(個數=2×3×2=12)

本研究方式所產生之變數 $x_{n+p,i}^p$
(個數=2×3=6)



★：於實務問題上並不會發生之變數

圖 3.3 修正前後流量守恆限制式之決策變數個數示意圖

3.3 參數分析

由於構成目標式之各項成本項均是以成本總和最小化作為 MDVSP 之求解方向，故各項成本間之相對重要性(α 、 c 、 λ 、 ω 值)，則可依客運業者之實際需求分別給定，但由於實務上大眾運輸營運車輛之購置成本所費不貲，新車成本動輒價值數百萬元，因此基本上經過計算後之車輛折舊成本參數 c 值將會遠大於其餘參數值，表示其重要性亦大於其他參數值，由此可知車輛折舊成本多寡，將會對 MDVSP 模式之求解結果造成影響。

有鑑於此，本研究根據 3.2 節所提 MDVSP 模式參數特性與上述分析結果，提出下列四項命題(proposition)，分別說明在各種參數極限值之情況下， c 值對於其他參數值之相關設定範圍，以作為求解實務問題時參數設定之參考(假設營運時間為 D 分鐘)。

命題 2：在僅考慮 α 值與 c 值之極限情況下，若 c 值之設定大於 $(\alpha \times D)$ ，則於模式求解時，車輛總閒置時間成本之多寡，將不會影響車輛數目之增減。

證明：一般來說，若時刻表中 N 個班次由 N 輛車執行時，將不會產生車輛於場站之閒置時間成本(但此時車輛折舊總成本將會極大)，因此閒置時間成本之極限情況為當 N 輛車於營運時間開始前即將所有 N 個班次執行完畢，則此時車輛閒置時間成本為 $(N \times \alpha \times D)$ ，而於此同時其車輛折舊總成本為 $(N \times c)$ 。若要求車輛總閒置時間成本值之大小不影響車輛數目增減時，則必須 $(N \times c)$ 大於 $(N \times \alpha \times D)$ ，化簡後可得 $c > (\alpha \times D)$ 。

命題 3：在僅考慮 λ 值與 c 值之極限情況下，若 c 值之設定大於 $[\lambda \times (N-1)]$ ，則於模式求解時，勤務中路線轉換總成本之多寡，將不會影響車輛數目之增減。

證明：勤務中路線轉換之值極限情況為：若 N 個勤務均由一輛車執行時，此時發生路線轉換之最大次數將為 $N-1$ 次，若車輛購置成本為 c ，則路線轉換成本總值為 $[\lambda \times (N-1)]$ ，因此要求勤務中路線轉換總成本之大小不影響車輛數目增減時，則必須 $c > [\lambda \times (N-1)]$ 。

命題 4：在僅考慮 ω 值與 c 值之極限情況下，若 c 值之設定大於 $[\omega \times (N+1)]$ ，則於模式求解時，車輛執行空駛總成本之多寡，將不會影響車輛數目之增減。

證明：車輛空駛成本之值極限情況為： N 個勤務均由一輛車執行時，此時發生空駛之次數將為 $N+1$ 次(包含起站時空駛與訖站時空駛)，則平均每次空駛時間則為 $\frac{D}{(N+1)}$ ，故可得知若車輛購置成本為 c ，則空駛成本總值為 $[\omega \times (N+1) \times (\frac{D}{(N+1)})] = [\omega \times D]$ ，因此要求車輛空駛總成本之大小不影響車輛數目增減時，則必須 $c > [\omega \times D]$ 。

命題 5：在同時考慮 α 值、 λ 值、 ω 值與 c 值之極限情況下，若 c 值之設定大於

$\max[(\alpha \times D), \lambda \times (N-1), \omega \times D]$ ，則於模式求解時，車輛總閒置時間成本、勤務中路線轉換總成本與車輛執行空駛總成本之多寡，將不會影響車輛數目之增減。

證明：由前述命題一、二與三可得知，若要求車輛總閒置時間成本、勤務中路線轉換總成本與車輛空駛總成本之大小不影響車輛數目增減時，則必須 $c > \max[(\alpha \times D), \lambda \times (N-1), \omega \times D]$ 。

依據上述命題二、三、四、五等四項命題可得知，若所構建之 MDVSP 模式均將此四項成本項考慮其中時，其 c 值可設定為 $\max[(\alpha \times D), \lambda \times (N-1), \omega \times D]$ ，則可確保於求解過程中不論其餘各項成本值如何變化，模式所求得之車輛數目，必定為該組參數設定下之最小車隊規模。



第四章 演算法之設計與求解

對於組合優化(combinatorial optimization)問題而言，尋找到最佳解通常是一項艱難(intractable)的任務，由於 MDVSP 屬於 NP-Hard 問題[5]，相關最佳解演算法必須耗費大量的求解時間，甚至可能在可接受時間內(reasonable time limits)亦無法獲得最佳解或較優的可行解，因此通常不會考慮以最佳解演算法來求解相關之多場站排程問題，取而代之的是能夠在可接受時間內快速獲得較佳可行解的啟發式解法；由於 SDVSP 已被證明可於多項式時間(polynomial time)內找到最佳解[25]，因此若能將原本的 MDVSP 模式切割成數個 SDVSP 模式，分別求解後彙整其解，其求解效率定比直接求解 MDVSP 來得高。有鑑於此，本章將針對上述所提求解觀念，發展一有效率的啟發式解法—變數固定法(variable fixing heuristic)進行模式求解；4.1 節將針對所提出變數固定演算法之特性進行說明、4.2 節針對演算法流程步驟進行詳細說明、4.3 節則為針對此變數固定法提出三種求解策略。

4.1 變數固定演算法(variable fixing heuristic)之特性

依據前述求解觀念可得知，若能利用演算法中之切割與征服(divide-and-conquer)技巧，將原複雜之 MDVSP 切割成數個 SDVSP 模式後，分別依序求解後彙整其解，相信其求解效率定比直接求解 MDVSP 模式來得高。因此本研究將採用貪婪式演算法之觀念，配合切割與征服之技巧，發展符合本研究提 MDVSP 模式特性之求解演算法。

基本上，貪婪式演算法是屬於一種經過逐步的選擇過程來求解問題答案之演算法，此演算法特性在於：在一連串的逐步求解過程中，於每一步求解時，必會選擇產生此步驟最佳狀況(最高利潤或最低成本)之作法，亦即於每一步選擇下所得到的結果，定為局部之最佳解；最後彙整所有局部最佳解之解集合，即為原問題之可行解。由於貪婪式演算法在面對許多複雜問題時，為一個既有效率又相當簡單的解決方案[27]，相當符合臺灣地區客運業者期望於短時間內完成車輛排程規劃之需求([35]、[39])，因此本研究依據貪婪式演算法之特性，提出一有效率之啟發式解法—變數固定法(variable fixing heuristic)進行模式求解之工作。

依據圖形理論的觀念，本研究提出的 MDVSP 模式包含 P 層網路(P 為場站

數目)，每層網路中共包含了 N 個節點 (N 為班次數目)，而此 P 層網路又對應到 P 個場站節點，故 MDVSP 模式於網路中共含有 $N \times P + P$ 個節點數目。因此變數固定演算法之作法為：首先設定一個空的解集合，並依據各場站所須執行之班次數目，由多至寡分別給予由小至大之次序編號(即決定變數 x_{ij}^p 之上標場站編號 p)，再將原 MDVSP 網路切割成 P 個 SDVSP 模式，並使得每個 SDVSP 模式均包含 P 個場站節點。之後依據所編列之場站編號，先選取編號數目最小之 SDVSP 模式進行求解，由於 SDVSP 可將問題定式為最小網路成本流量問題，因此可藉由過去文獻所提出之相關最佳解演算法(例如網路單體法)進行求解工作[25]；接著進行變數固定之工作，搜尋該 SDVSP 之求解結果，找出所有勤務內最早班次的發車場站編號與所選定的場站編號相同之勤務，將該勤務中所有變數放入解集合中，並將這些變數所表示之所有銜接班次與符合該 SDVSP 模式場站編號之場站節點，由所剩餘 SDVSP 模式之路網中移除，如此所剩餘 SDVSP 模式之問題規模將可逐漸縮小；然後選取下一個場站編號之 SDVSP 模式，持續上述演算步驟進行模式求解與變數固定之工作，直至所有 SDVSP 模式均被求解完畢為止；最後彙整解集合中之所有變數與其目標值，即為原 MDVSP 之可行解。

4.2 變數固定演算法之求解步驟

由 4.1 節所描述本研究所提出變數固定演算法之特性可清楚得知，本演算法之演算過程是由一個空的解集合開始，藉由一連串求解 SDVSP 模式的過程逐步中，加入新的變數至解集合中，直到所有 SDVSP 模式均被求解完畢為止。故此演算法相關之求解程序可說明如下：

1. 選擇程序(selection procedure)：首先依據各場站所須執行之班次數目，由多至寡分別給予由小至大之次序編號，並依據其場站編號由最小號者依序開始選取，其後逐一增加直至選到場站編號最大號者為止
2. 求解程序(solving procedure)：當場站選擇完畢後，即依其選定場站編號之 SDVSP 模式，進行模式求解之工作。
3. 停止條件檢查(stop check)：檢查是否所有 SDVSP 模式均被求解完畢，若是，則演算法即可停止。

依據上述三項求解程序，此變數固定演算法之具體步驟如下所述：

步驟 1：首先設定一空集合 S ，並依據各場站 ($p \in P$) 所須執行之班次數目，由多至寡分別給予由小至大之次序編號。

步驟 2：將 MDVSP 模式依據場站個數，切割成 P 個 SDVSP 模式，並使得每個 SDVSP 模式均包含 P 個場站節點。

步驟 3：選取 $p=1$ 之 SDVSP 模式。

步驟 4：判斷所選取 SDVSP 模式之場站編號，是否與最大編號 SDVSP 模式之場站編號數值加 1 相同(亦即是否為 $p=|P|+1$)：

若是，則進行步驟 10；

若否，則進行步驟 5。

步驟 5：利用相關有效率之演算法，求解此 SDVSP 模式。

步驟 6：搜尋 SDVSP 模式之求解結果，找出勤務中最早班次發車場站編號與 p 相同之所有勤務。

步驟 7：將搜尋出勤務內之所有變數放入解集合 S 中。

步驟 8：移除剩餘 SDVSP 模式網路內，符合解集合 S 中變數所表示之銜接班次與數值為 p 的場站節點。

步驟 9：令 $p=p+1$ ，並回到步驟 4。

步驟 10：彙整解集合 S 中之所有變數，並計算其目標值，此即為原 MDSVP 模式之可行解。

其求解流程圖如圖 4.1 所示。



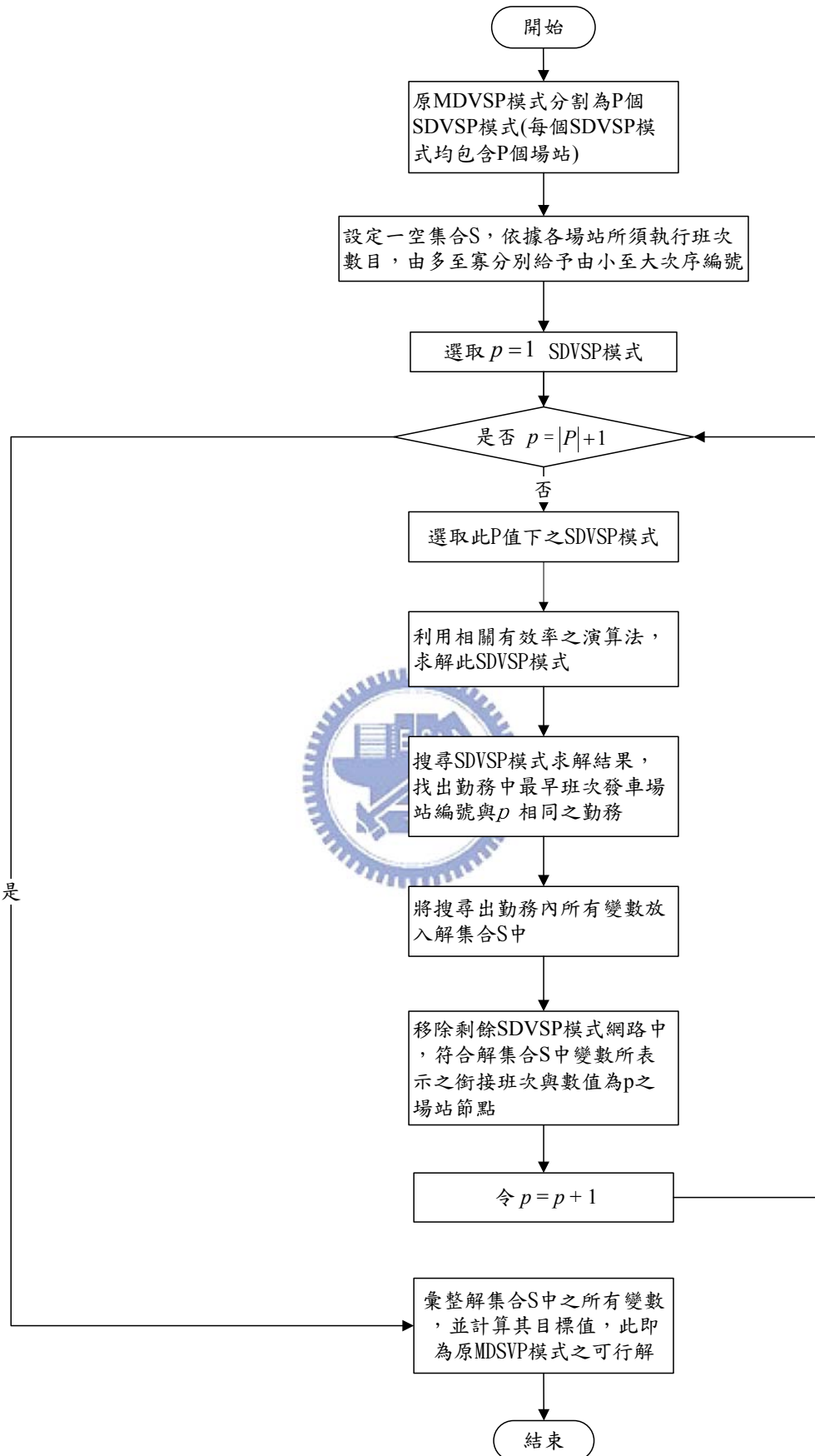


圖 4.1 變數固定演算法之求解流程圖

4.3 變數固定演算法之求解策略

一般而言，選擇程序的良窳將會影響貪婪式演算法的結果與成效[27]，故對於貪婪式演算法而言，如何決定一個良好的選擇程序，則是一個非常重要的步驟。由 4.2 節可得知，本研究所提出變數固定演算法中的選擇程序定義為：先依據各場站所須執行之班次數目，由多至寡分別給予由小至大之次序編號，並依據其場站編號由最小號者依序開始選取，其後逐一增加直至選至場站編號最大號者為止。雖然此作法是先處理班次較多的場站，符合貪婪式演算法的精神，但由於各場站所執行的班次數目組成，可能會受到與其他場站班次時間重疊程度、各場站空間距離之遠近…等因素有關；有鑑於此，本研究將依據 4.2 節已提出之選擇程序，研擬出另外兩個選擇程序，並以此三種選擇程序，做為所提出貪婪式啟發式解法之求解策略，以供決策者求解 MDVSP 時之參考。三種選擇程序之求解策略如下所述：

1. 求解策略一：定義選擇程序為依據各場站所須執行之班次數目，由多至寡分別給予由小至大之次序編號，並依據其場站編號由最小號者依序開始選取，其後逐一增加直至選至場站編號最大號者為止。此求解策略之求解步驟已於 4.2 節清楚說明。
2. 求解策略二：定義選擇程序為依據各場站所須執行之班次數目，由多至寡分別給予由小至大之次序編號，並依據其場站編號由最大號者依序開始選取，其後逐一遞減直至選至場站編號最小號者為止。此求解策略之求解流程與求解策略一類似，惟步驟 3、步驟 4、與步驟 9 不同，其修改後之步驟如下所示：

步驟 3：選取 $p = |P|$ 之 SDVSP 模式。

步驟 4：判斷所選取 SDVSP 模式場站編號之數字，是否等於零(亦即是否 $p = 0$)：

若是，則進行步驟 10；

若否，則進行步驟 5。

步驟 9：令 $p = p - 1$ ，並回到步驟 4。

求解策略二之求解流程圖如圖 4.2 所示。

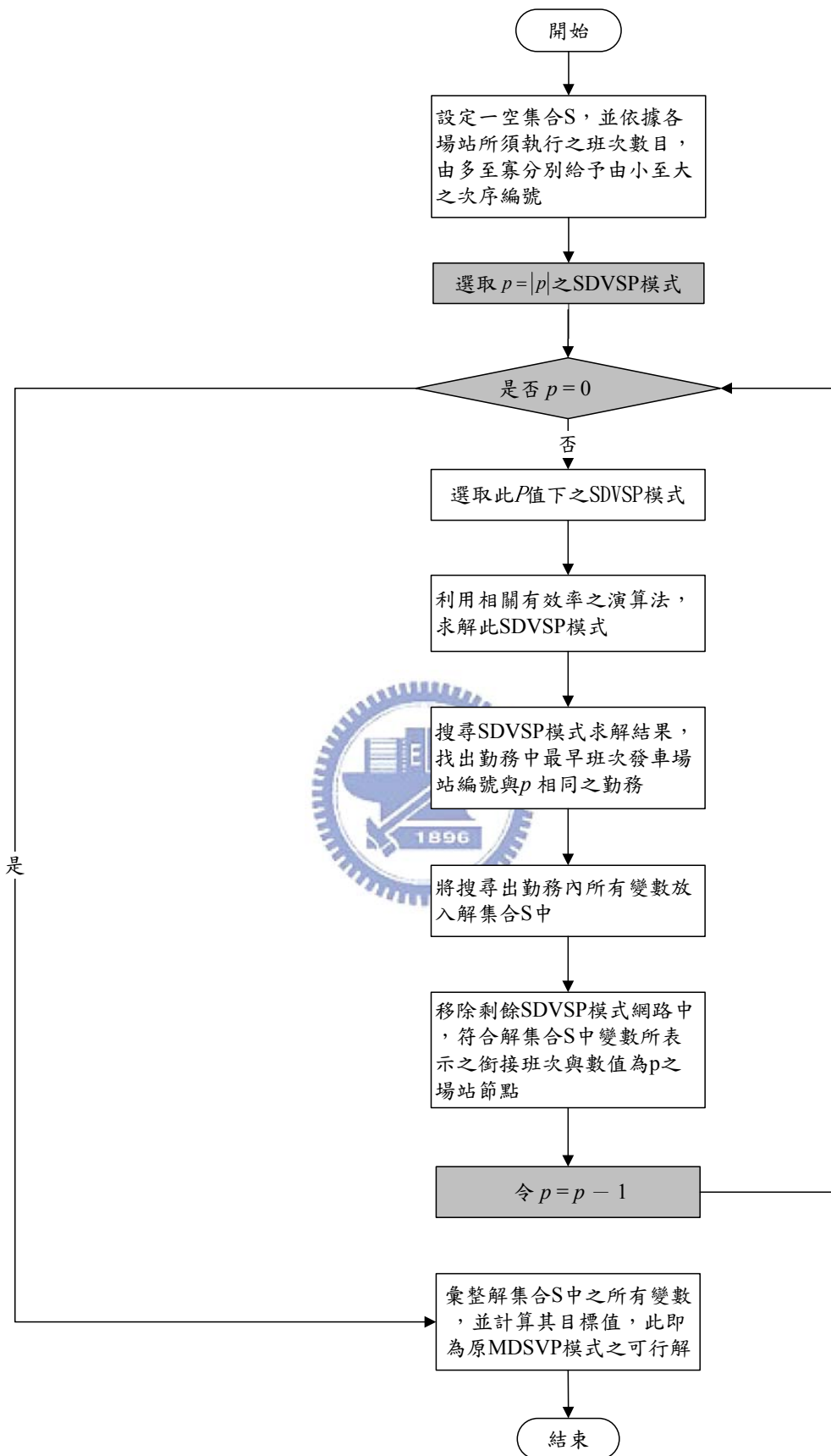


圖 4.2 求解策略二之求解流程圖(陰影部分為修改部分)

3. 求解策略三：定義選擇程序為依據各場站所須執行之班次數目，由多至寡分別給予由小至大之次序編號，並隨機產生其次序編號，並求解所對應之 SDVSP 模式，直至所有 SDVSP 模式均被選擇求解完畢為止。此求解策略之求解流程與仍求解策略一類似，惟步驟 2、步驟 3、步驟 4、與步驟 9 不同，其修改後之步驟如下所示：

步驟 2：另設定一集合 $U = P$ ，並隨機產生起始場站之編號 $p_i (p_i \in U)$ ，並令

$$U = U - p_i ;$$

步驟 3：選取 $p = p_i$ 之 SDVSP 模式。

步驟 4：判斷集合 U 中之所有 SDVSP 模式之場站編號，是否均已選擇求解完畢(亦即是否 $U = \emptyset$)：

若是，則進行步驟 10；

若否，則進行步驟 5。

步驟 9：隨機選取 $p_j \in U$ ，且 $U = U - p_j$ ，並回到步驟 4。

求解策略三之求解流程圖如圖 4.3 所示。



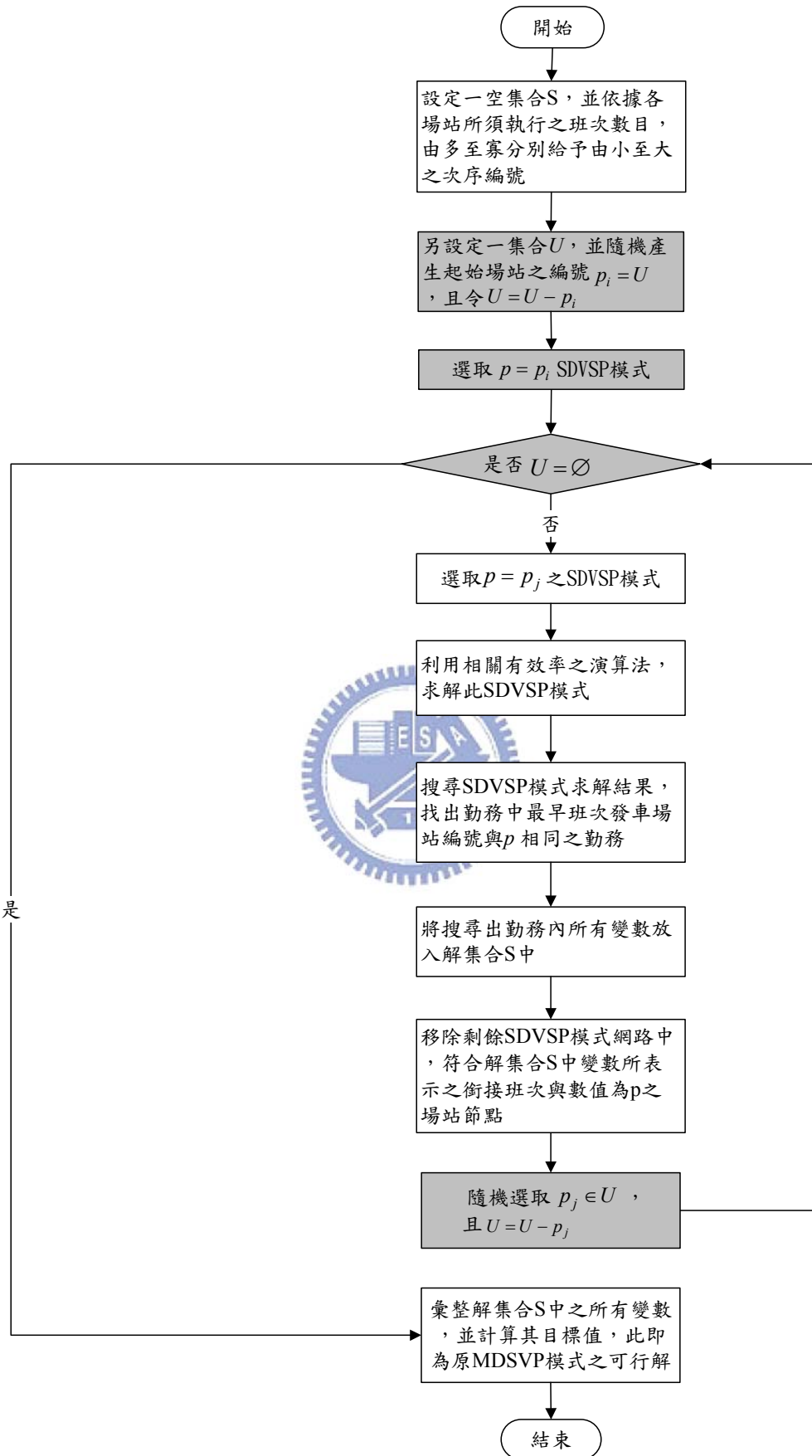


圖 4.3 求解策略三之求解流程圖(陰影部分為修改部分)

第五章 實例測試與分析

為了驗證本研究所提出多場站車輛排程模式與所發展變數固定演算法之可行性與效率性，本研究以具有多場站營運特性之金門縣公共車船管理處(以下簡稱金門縣車船處)做為實例測試之對象；其測試項目包含三部分：1.模式求解結果與現況比較之分析；2.擴充現有測試資料，以測試本研究所提出變數固定演算法於中、大型問題之求解效率；3.針對目標函數中各項子成本分別進行敏感度分析。最後就上述測試項目之測試結果，提出相關結果分析。

5.1 測試對象

金門縣車船處於大金門地區擁有山外站、沙美站、金城站等三個場站分別進行客運營運之工作，各場站均有各自負責之營運勤務表，經彙整後此三場站共有山外站-山外站、山外站-沙美站、山外站-金城站、沙美站-沙美站、沙美站-金城站、金城站-金城站等六條互開路線及每日總共 395 個營運班次(如附錄)，其中山外站與沙美站距離 38 公里、山外站與金城站距離 28 公里、沙美站與金城站距離 23 公里，而目前營運時刻表中里程最短為 7 公里、最長為 27 公里。該處目前是以每日 29 輛車依續執行所有 395 個班次。至於行駛於小金門的客運車輛，則因每日只有 3 輛車行駛，且營運之路線與大金門相互獨立，故不在本次測試範圍內。

目前該處勤務表製作方式完全是以人工方式編排。其流程為：先由各場站站長依實際需要排出可行之行車勤務表，然後交付審查修改後付諸實施。因製作勤務表時所考慮之因素十分繁雜，且又是以人力來進行勤務表之編定工作，依據過去經驗顯示，就算是有經驗的排班人員，亦需花費相當時間方能排出一個可行之勤務表，更遑論排出最佳狀況行車勤務表。若每次有需要修改勤務表時，在有限的時間內，排班人員僅能按照原來的行車勤務表稍加調整，無法尋求更好的勤務編排方式，因此所排定之行車勤務表是否還有改善空間，也就無暇顧及了。因此本次測試希冀藉由數學規劃與求解之方式，找出學理上較佳之勤務組合，以供業者改善參考。

關於實例測試時之參數值設定 $(\alpha, c, \gamma, \omega)$ ，經由業者訪談後給定，現說明如下： α 值(車輛於場站閒置時間)：以一位司機員平均月薪 48,000 元來計算，則其

每人每日薪資為 1600(元/天)，故可轉換成 3.33(元/分鐘)； c 值(車輛每日折舊成本)：新車成本平均約為六百萬(元/輛)，若折舊期間以十年期計算，則以直線攤提法(straight-line method)計算所得之攤提成本為 1644(元/每日每車)； γ 值(更換路線懲罰成本)：由於此項參數之計算除與營運時之行車附支有關外，另可能與駕駛員訓練成本，以及客運公司鼓勵其排程規劃結果盡量減少路線更換次數之激勵獎金(incentive cost)有其關連，故業者建議此參數值可給予 10(元/次)； ω 值(車輛空駛成本)：依據該公司資料顯示，其營運車輛每公里耗油成本約為 7(元/公里)，若以法律規定行車速率每小時 40 公里時速計算，則此項參數值可轉換成 4.67(元/分鐘)。

至於電腦演算環境，本次測試是使用 Microsoft Windows XP 作業平台及配備 Intel Pentium-IV CPU 3.2GHz，3.25GB RAM 個人電腦執行上述測試例題之運算工作。此外為了維持測試基準與結果比較之公平性，本次測試所有模式之求解(包含原 MDVSP 模式、或是 MDVSP 切割後所有 SDVSP 模式)，均是使用 ILOG CPLEX 7.0 軟體進行模式求解之工作。

5.2 測試結果分析

測試結果分析將以「與金門縣車船處營運現況比較分析」與「擴充現有測試資料分析」兩部分進行說明，其相關測試結果分述如下：

5.2.1 與金門縣車船處營運現況比較之分析

表 5-1 為原 MDVSP 模式最佳解、變數固定演算法(採用三種求解策略進行求解，採用策略一者為 H1、採用策略二者為 H2、採用策略三者為 H3，以下分別稱之)啟發解與金門縣車船處營運現況值之比較結果彙整表，由表中可發現利用變數固定演算法所產生的三個啟發解對於金門縣車船處現況之總成本改善率分別可達 19.96%(H1)、20.37%(H2)與 20.10%(H3)，至於最佳解對於現況之總成本改善率可達 21.8%，而對於營運車輛的節省 H1、H2 與 H3 均可節省三輛(成本改善率為 10.34%)，最佳解則可節省兩輛(成本改善率為 6.90%)，顯示原 MDVSP 模式最佳解與變數固定演算法啟發解均對於金門縣車船處營運現況具有良好的改善品質；細究各項成本之改善率，可發現現況改善率最高者為最佳解在車輛空駛成本上之表現，其改善率可達 50.23%，而最佳解與變數固定演算法啟發解於車

表 5-1 金門縣車船處營運現況比較結果彙整表

	車輛於場站 內閒置成本 (元)	車輛折舊成 本(元)	勤務中路 線轉換成 本(元)	車輛空駛成 本(元)	總成本 (元)	車輛數 (輛)	電腦運 算時間 (秒)	運算節 省率(%)	時與最佳 解之間 距(%)	各個模式之變數數目			
										第一 次SDVSP 模式	第二 次SDVSP 模式	第三 次SDVSP 模式	MDVSP 模式
^a 變數固定演算法 (H1)	14,006 (43.99%)	42,744 (10.34%)	740 (44.78%)	1,926 (-795.81%)	59,416 (19.96%)	26	7.15	98.61	2.35	69,473	28,240	893	
^b 變數固定演算法 (H2)	13,907 (44.39%)	42,744 (10.34%)	740 (44.78%)	1,725 (-702.32%)	59,116 (20.37%)	26	9.09	98.24	1.83	69,473	56,030	10,932	
^c 變數固定演算法 (H3)	13,907 (44.39%)	42,744 (10.34%)	740 (44.78%)	1,725 (-702.32%)	59,317 (20.01%)	26	5.54	98.91	2.18	69,473	16,012	691	
最佳解	12,799 (48.82%)	44,388 (6.90%)	760 (43.28%)	107 (50.23%)	58,054 (21.80%)	27	511.51						208,419
金門縣車船處營 運現況值	25,008	47,676	1,340	215	74,239	29			27.88				

^a: 採用求解策略一進行求解(依據場站編號由最小號者依序選取，逐一增加至場站編號最大號者止)；

^b: 採用求解策略二進行求解(依據場站編號由最大號者依序選取，逐一遞減至場站編號最小號者止)；

^c: 採用求解策略三進行求解(隨機產生場站求解之選擇順序，至所有場站均被求解完畢止)；

(): 圓括號內數字表示與金門縣車船處營運現況比較之成本節省率。

輛於場站內閒置成本與勤務中路線轉換成本等兩項成本改善率亦相當高，其成本改善百分比均高達 40%以上(43.99%至 48.82%)，但三個啟發解均在車輛空駛成本上較現況值為差，究其原因可能是啟發解在兼顧總成本最小之情形下，必須犧牲車輛空駛成本值以換取較低的總成本值所導致。

在最佳解與變數固定演算法啟發解比較上，H1、H2、H3 與最佳解總成本之差距分別僅為 2.35% (H1)、1.83% (H2)與 2.18% (H3)，此結果顯示變數固定演算法中三種策略啟發解之求解品質非常接近最佳解，而在電腦運算時間方面，可發現 H1、H2 與 H3 所耗費之電腦運算時間均非常短，分別為 7.15 秒(H1)、9.09 秒(H2)與 5.54 秒(H3)，且對於最佳解的運算時間節省率上均高達 98%以上(98.61% (H1)、98.24% (H2)與 98.91% (H3))，顯示本研究所提出變數固定演算法在求解 MDVSP 模式上不僅極具效率，且亦可兼顧求解品質。

至於在 H1、H2 與 H3 三者啟發解比較上，可以發現三個當中與最佳解最接近者為 H2(與最佳解之間距為 1.83%)，最差為 H1(與最佳解之間距為 2.35%)；又其電腦運算時間最佳者為 H3(5.54 秒)，最差者則為 H2(9.09 秒)，但不論是在對於最佳解之平均間距或平均時間節省率的表現上，基本上三者測試結果之差異並不大。

5.2.2 擴充現有測試資料之分析

為了測試本研究所提出變數固定演算法應用於中、大型問題之求解效率，此階段測試將擴充金門縣車船處之現有班表資料，使之成為數個規模較大問題後分別進行求解。其作法是先以金門縣車船處每日 395 班次為基礎，然後以隨機產生之方式依序產生原班次數目 1.5 倍、2 倍、2.5 倍、3 倍、3.5 倍與 4 倍等六個問題情境(scenarios)，其班次數目分別為 593、790、988、1185、1383、與 1580，並逐一求解此六個問題情境之最佳解與變數固定演算法之啟發解。表 5-2 即為此六個問題情境之測試結果彙整表。

由表 5-2 中可得知，當班次個數增加時，其網路規模亦將隨者班次個數之增加而增大(如圖 5.1 所示)，且網路規模增大之趨勢是呈現指數型態方式增加；當班次個數超過 1,383 時，其 MDVSP 模式最佳解已無法求出(電腦呈現「記憶體不足」訊息)，但是變數固定演算法卻可於短時間內求得啟發解，其啟發解對於最佳解之時間節省率均可達 98%以上，又在此六個問題情境中(包含現況 395 班次問題)，變數固定演算法之啟發解

表 5-2 六個情境問題之測試結果彙整表

班次數	目標值總成本(元)				電腦運算時間(秒)				變數個數				車輛數目(輛)			
	H1	H2	H3	最佳解	H1	H2	H3	最佳解	H1 ^a	H2 ^a	H3 ^a	最佳解	H1	H2	H3	最佳解
395 (現況)	59,416 (2.35%)	59,116 (1.83%)	59,317 (2.18%)	58,054	7.51 [98.61%]	9.09 [98.24%]	5.54 [98.92%]	511.51	69,473	69,473	69,473	208,419	26	26	26	27
593	100,298 (2.23%)	100,311 (2.24%)	99,873 (1.80%)	98,107	19.56 [99.02%]	26.10 [98.70%]	18.28 [99.09%]	2,003.07	155,870	155,870	155,870	467,610	42	42	42	42
790	136,409 (2.62%)	137,336 (3.32%)	136,448 (2.65%)	132,922	47.68 [99.03%]	72.03 [98.53%]	46.76 [99.05%]	4,907.12	275,747	275,747	275,747	827,245	59	59	59	61
988	172,372 (2.28%)	172,727 (2.49%)	171,574 (1.81%)	168,518	84.32 [99.19%]	120.12 [98.84%]	84.61 [99.18%]	10,354.84	430,383	430,383	430,383	1,291,149	72	73	74	76
1185	201,732 (2.23%)	201,886 (2.31%)	202,369 (2.56%)	197,313	139.73 [99.21%]	225.18 [98.74%]	156.57 [99.12%]	17,861.77	619,361	619,361	619,361	1,858,083	88	89	88	92
1383	228,361 (—)	229,526 (—)	228,405 (—)	b	230.31 [—]	384.75 [—]	250.76 [—]	b	843,164	843,164	843,164	2,529,492	97	97	99	b
1580	265,115 (—)	266,186 (—)	264,907 (—)	b	378.71 [—]	676.95 [—]	441.12 [—]	b	1,100,637	1,100,637	1,100,637	3,301,910	114	115	115	b

^a: 表示於三個 SDVSP 模式中所產生最多變數之個數;

^c: 表示此次測試之電腦設備無法求出 1,383 與 1,580 班次數之 MDVSP 模式最佳解(電腦顯示記憶體不足(out of memory));

(): 圓括號內數字表示與最佳解之間距百分比;

[]: 方括號內數字表示運算時間節省率。

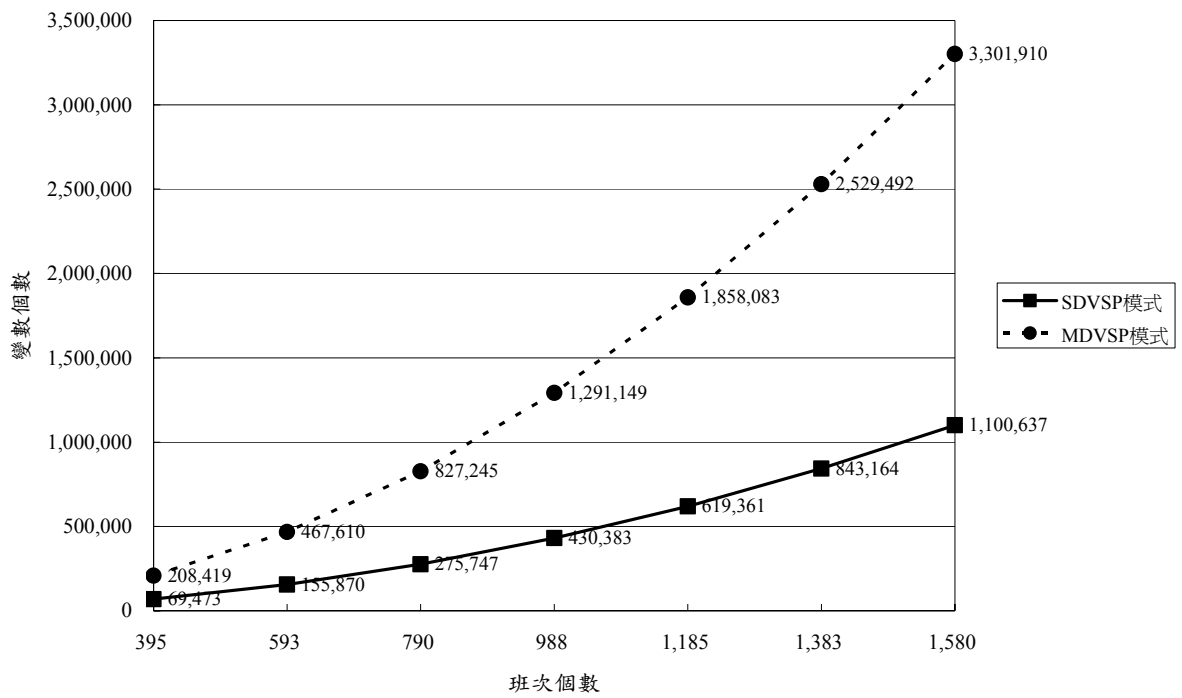


圖 5.1 班次個數與網路規模之變化趨勢圖

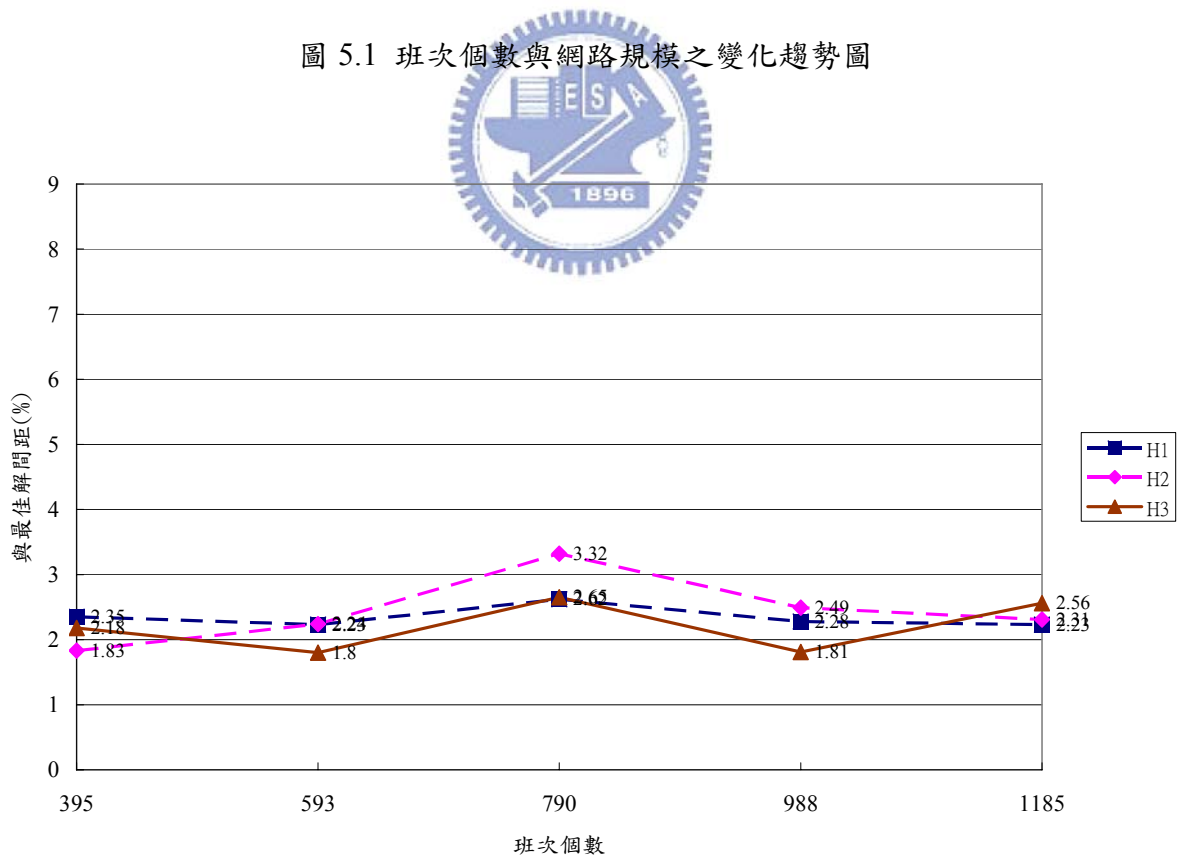


圖 5.2 班次個數與最佳解間距之變化趨勢圖

與最佳解之間距範圍僅在 1.80%到 3.32%間(如圖 5.2 所示)，此結果顯示本研究所提出變數固定演算法在處理較大型問題上，亦具有精確性及效率性。

至於在 H1、H2 與 H3 之啟發解比較上，可以發現三者對於最佳解之平均間距以 H3 表現最佳(H1(2.34%)、H2(2.44%)、H3(2.20%))，而三者對於最佳解之平均時間節省率亦以 H3 表現最佳(H1(99.01%)、H2(98.61%)、H3(99.07%))，但不論是在對於最佳解之平均間距或平均時間節省率的表現上，基本上三者測試結果之差異並不大。

5.3 目標函數中各項子成本之敏感度分析

本小節將針對目標函數中之「營運車輛於場站內閒置成本」、「所使用車輛購置後之折舊成本」、「勤務中營運路線轉換成本」與「車輛空駛成本」四項子成本進行敏感度分析，以探討模式內四個參數值(α 、 c 、 λ 、 ω 值)變動對總成本以及其他子成本之影響程度，其進行方式是以各項參數原始給定值為基準，每次以給定值 10 個百分點向上調整，共調整 10 次。其四個參數敏感度分析結果分述如下：

5.3.1 營運車輛於場站內閒置成本之變化

由表 5-3 可得知，當參數 α 值增加時，啟發解與最佳解之總成本亦隨之增加，且最佳解與啟發解之使用車輛數目亦隨著 α 值增加而有逐漸增加之趨勢。在車輛閒置成本項方面，車輛閒置成本之增加卻受到使用車輛數目之影響，呈現波浪型態之增加，亦即在 10 次的 α 值變化中，當車輛數目每增加一輛時，車輛閒置成本即會降低；若車輛數目維持不變時，則車輛閒置成本會隨 α 增加而增加，顯示使用車輛數目之多寡對於車輛閒置成本之增減具有相當之影響力；在勤務中路線轉換成本項方面，勤務中路線轉換成本隨者 α 值之增加呈現緩慢增加之趨勢，但此種趨勢並非線性增加或規則性增加，研判可能是因測試路線不多(彙整成六條)，而使得此項成本之變化較不顯著；在車輛空駛成本項方面，依測試結果顯示於啟發解結果中，車輛空駛成本有隨著 α 值增加而呈現緩慢增加之趨勢，但亦非線性增加或規則性增加，但在最佳解結果中，當 α 值增加至 3.99 後，空駛成本值將減至為 0，此結果顯示在最佳解結果中， α 值之增加不僅造成車輛數目之增加(因為要讓車輛於場站中間置時間變少)，也連帶的不會產生任何空駛班次。另當 α 值持續增加時，三個啟發解與最佳解間總成本之間距並無明顯規則變化(如圖 5.3 所示)。

表 5-3 營運車輛於場站內閒置成本之敏感度分析結果彙整表

單位：新台幣(元)

車輛閒置站內 單位時間價值 (元/分鐘)	總成本				場站內閒置成本				車輛折舊成本				勤務中路線轉換成本				車輛空駛成本			
	H1	H2	H3	最佳解	H1	H2	H3	最佳解	H1	H2	H3	最佳解	H1	H2	H3	最佳解	H1	H2	H3	最佳解
3.33	59,416 (2.35%)	59,116 (1.83%)	59,317 (2.18%)	58,054	14,006	13,907	13,907	12,799	42,744 [26]	42,744 [26]	42,744 [26]	44,388 [27]	740	740	740	760	1,926	1,725	1,725	107
3.66	60,516 (2.18%)	60,204 (1.65%)	60,687 (2.47%)	59,226	13,410	13,321	15,277	12,227	44,388 [27]	44,388 [27]	42,744 [26]	46,032 [28]	840	770	740	860	1,878	1,725	1,926	107
3.99	61,459 (1.91%)	61,960 (2.74%)	61,621 (2.18%)	60,307	12,679	14,553	12,579	13,308	46,032 [28]	44,388 [27]	46,032 [28]	46,032 [28]	870	770	870	860	1,878	2,249	2,140	0
4.33	63,188 (3.16%)	62,465 (1.98%)	63,189 (3.16%)	61,253	11,667	11,903	11,688	12,677	47,676 [29]	47,676 [29]	47,676 [29]	47,676 [29]	980	960	960	900	2,865	1,926	2,865	0
4.66	63,532 (2.25%)	63,784 (2.66%)	63,427 (2.09%)	62,131	12,535	14,704	12,722	13,555	47,676 [29]	46,032 [28]	47,676 [29]	47,676 [29]	980	860	950	900	2,341	2,188	2,079	0
4.99	64,518 (2.45%)	64,861 (2.99%)	64,785 (2.87%)	62,977	13,460	13,461	13,485	12,677	47,676 [29]	47,676 [29]	47,676 [29]	49,320 [30]	980	920	960	980	2,402	2,840	2,664	0
5.33	65,697 (3.03%)	65,391 (2.55%)	65,341 (2.47%)	63,766	12,420	12,472	14,575	13,466	49,320 [30]	49,320 [30]	47,676 [29]	49,320 [30]	1,000	1,000	950	980	2,957	2,599	2,140	0
5.66	66,446 (2.98%)	65,988 (2.27%)	66,116 (2.47%)	64,522	13,169	13,341	13,255	14,222	49,320 [30]	49,320 [30]	49,320 [30]	49,320 [30]	1,000	990	990	980	2,957	2,337	2,551	0
5.99	66,783 (2.24%)	66,999 (2.57%)	67,062 (2.67%)	65,319	13,969	14,029	13,939	14,989	49,320 [30]	49,320 [30]	49,320 [30]	49,320 [30]	1,000	990	990	1,010	2,494	2,660	2,813	0
6.33	67,765 (2.53%)	68,171 (3.14%)	67,965 (2.83%)	66,094	14,750	14,939	14,842	15,764	49,320 [30]	49,320 [30]	49,320 [30]	49,320 [30]	1,000	990	990	1,010	2,695	2,922	2,813	0
6.66	68,510 (2.51%)	68,143 (1.96%)	68,397 (2.34%)	66,835	15,495	15,697	15,597	16,505	49,320 [30]	49,320 [30]	49,320 [30]	49,320 [30]	1,000	990	990	1,010	2,695	2,136	2,490	0

(): 圓括號內數字表示與最佳解之間距百分比;

[]: 方括號內數字表示使用車輛數。

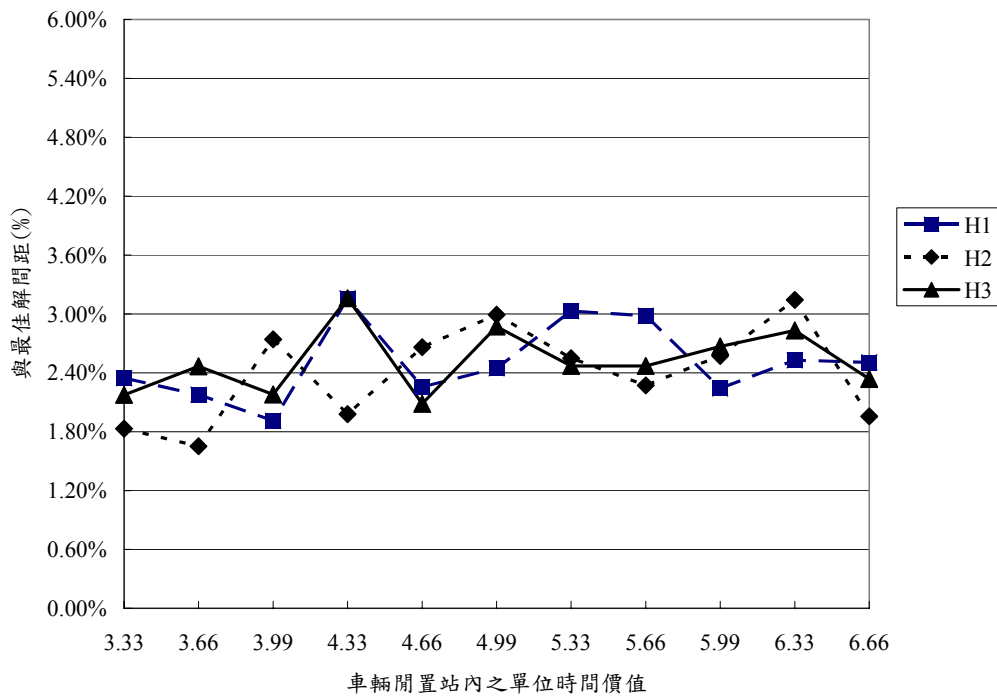


圖 5.3 α 值與最佳解總成本間距之變化趨勢圖

至於在 H1、H2 與 H3 之啟發解比較上(如表 5-4)，可以發現三者對於最佳解之平均間距以 H2 表現最佳(H1(2.52%)、H2(2.45%)、H3(2.55%))，而三者對於最佳解之平均運算時間則以 H3 表現最佳(H1(6.10 秒)、H2(9.26 秒)、H3(5.58 秒))，顯示 H2 於此項測試之求解品質雖較佳，但所花費電腦運算時間亦為最多，但不論是在對於最佳解之平均間距或平均時間節省率的表現上，基本上三者測試結果之差異並不大。

表 5-4 啟發解於 α 值敏感度分析之平均間距與運算時間表

	變數固定演算法之啟發解		
	H1	H2	H3
與最佳解之平均間距(%)	2.52	2.45	2.55
平均運算時間(秒)	6.10	9.26	5.58

5.3.2 車輛折舊成本之變化

由表 5-5 可得知，當參數 c 值增加時，啟發解與最佳解之總成本亦隨之增加，但可以發現啟發解與最佳解在總成本及車輛折舊成本表現上，只要超過特定的參數 c 值後，

表 5-5 車輛折舊成本之敏感度分析結果彙整表

單位：新台幣(元)

車輛於年限內 各期折舊成本 (元/車)	總成本				場站內閒置成本				車輛折舊成本				勤務中路線轉換成本				車輛空駛成本			
	H1	H2	H3	最佳解	H1	H2	H3	最佳解	H1	H2	H3	最佳解	H1	H2	H3	最佳解	H1	H2	H3	最佳解
1644.0	59,416 (2.35%)	59,116 (1.83%)	59,317 (2.18%)	58,054	14,006	13,907	13,907	12,799	42,744 [26]	42,744 [26]	42,744 [26]	44,388 [27]	740	740	740	760	1,926	1,725	1,725	107
1808.4	63,621 (2.02%)	63,420 (1.70%)	63,883 (2.44%)	62,360	15,734	15,734	15,734	14,455	45,210 [26]	45,210 [25]	45,210 [25]	47,018 [25]	690	690	690	710	1,987	1,786	2,249	177
1972.8	67,731 (1.66%)	67,469 (1.27%)	67,408 (1.18%)	66,622	15,734	15,734	15,734	16,258	49,320 [25]	49,320 [25]	49,320 [25]	49,320 [25]	690	690	690	690	1,987	1,725	1,664	354
2137.2	71,841 (1.57%)	71,579 (1.20%)	71,518 (1.11%)	70,732	15,734	15,734	15,734	16,258	53,430 [25]	53,430 [25]	53,430 [25]	53,430 [25]	690	690	690	690	1,987	1,725	1,664	354
2301.6	75,689 (1.13%)	75,951 (1.48%)	76,152 (1.75%)	74,842	15,734	15,734	15,734	16,258	57,540 [25]	57,540 [25]	57,540 [25]	57,540 [25]	690	690	690	690	1,725	1,987	2,188	354
2466.0	80,061 (1.40%)	79,864 (1.15%)	80,585 (2.07%)	78,952	15,734	15,734	15,734	16,258	61,650 [25]	61,650 [25]	61,650 [25]	61,650 [25]	690	690	690	690	1,987	1,786	2,511	354
2630.4	84,171 (1.34%)	83,647 (0.70%)	84,171 (1.34%)	83,062	15,734	15,734	15,734	16,258	65,760 [25]	65,760 [25]	65,760 [25]	65,760 [25]	690	690	690	690	1,987	1,463	1,987	354
2794.8	88,281 (1.27%)	87,757 (0.67%)	88,220 (1.20%)	87,172	15,734	15,734	15,734	16,258	69,870 [25]	69,870 [25]	69,870 [25]	69,870 [25]	690	690	690	690	1,987	1,463	1,926	354
2959.2	92,190 (0.99%)	92,129 (0.93%)	92,330 (1.15%)	91,282	15,734	15,734	15,734	16,258	73,980 [25]	73,980 [25]	73,980 [25]	73,980 [25]	690	690	690	690	1,786	1,725	1,926	354
3123.6	96,300 (0.95%)	96,239 (0.89%)	96,440 (1.10%)	95,392	15,734	15,734	15,734	16,258	78,090 [25]	78,090 [25]	78,090 [25]	78,090 [25]	690	690	690	690	1,786	1,725	1,926	354
3288.0	100,410 (0.91%)	100,611 (1.11%)	100,550 (1.05%)	99,502	15,734	15,734	15,734	16,258	82,200 [25]	82,200 [25]	82,200 [25]	82,200 [25]	690	690	690	690	1,786	1,987	1,926	354

()：圓括號內數字表示與最佳解之間距百分比；

[]：方括號內數字表示使用車輛數。

該兩項成本即會隨參數 c 值之增加而呈現線性增加，但在其他三項子成本及使用車輛數目之表現上，則是超過特定的參數 c 值後，該項成本值即維持一固定值；其詳細結果分述如下：

在車輛閒置成本項方面，三個啟發解在 c 值超過 1,808.4 後即維持在 15,734 定值，而最佳解是 c 值超過 1972.8 後即維持在 16,258 定值；在勤務中路線轉換成本項方面，三個啟發解在 c 值超過 1,808.4 後即維持在 690 定值，而最佳解是 c 值超過 1972.8 後亦維持在 690 定值；在車輛空駛成本項方面，三個啟發解與最佳解於此項成本維持定值之參數 c 值則均不相同，H1 在 c 值超過 2,952.2 後即維持在 1,786 定值，H2 在 c 值超過 3,288 後即維持在 1,987 定值，H3 在 c 值超過 2,794.8 後即維持在 1,926 定值，而最佳解是 c 值超過 1972.8 後即維持在 354 定值，在使用車輛數目方面，H1 在 c 值超過 1972.8，H2、H3 與最佳解在 c 值超過 1,808.4 後即維持在 25 輛定值，而此車輛數目經過本研究提出**命題五**之驗證後，發現 25 輛車輛數即為本次測試參數設定下之最小車隊規模(即是利用 c 值 = $\max[(\alpha \times D), \lambda \times (N - 1), \omega \times D] = \max[2997, 3940, 4203] = 4,203$ 帶入模式計算後，所求得車輛數目亦為 25 輛)，此結果顯示當 H1 在 c 值超過 1972.8，H2、H3 與最佳解在 c 值超過 1,808.4 後，使用車輛數目即達到該測試參數下之最小車隊規模。

在總成本項方面，三個啟發解與最佳解於總成本呈現線性增加之參數 c 值均不相同，H1 是在 c 值超過 2,952.2 後、H2 是在 c 值超過 3,288 後、H3 是在 c 值超過 2,794.8 後、最佳解則是在 c 值超過 1972.8 後、其各自之總成本即會呈現線性增加，且總成本固定增加值為 4,110(164.4(此參數 1,644 百分之十的向上調整率)*25(最小車輛規模)=4,110)。

此外依據結果顯示， c 值持續增加時，啟發解與最佳解之間距越來越小(如圖 5.4 所示)，在 c 值超過 2,630.4，其間距數列幾乎是等差數列，而經測試後發現在 c 值超過 3,288 後，間距即呈現等差數列型態。

至於在 H1、H2 與 H3 之啟發解比較上(如表 5-6)，可以發現三者對於最佳解之平均間距以 H2 表現最佳(H1(1.23%)、H2(1.00%)、H3(1.33%))，而三者對於最佳解之平均運算時間則以 H3 表現最佳(H1(5.69 秒)、H2(8.33 秒)、H3(5.16 秒))，顯示 H2 於此項測試之求解品質雖較佳，但所花費電腦運算時間亦為最多。但基本上三個啟發解不論是

在對最佳解之平均間距或平均時間節省率的表現上，均具有一定的水準。

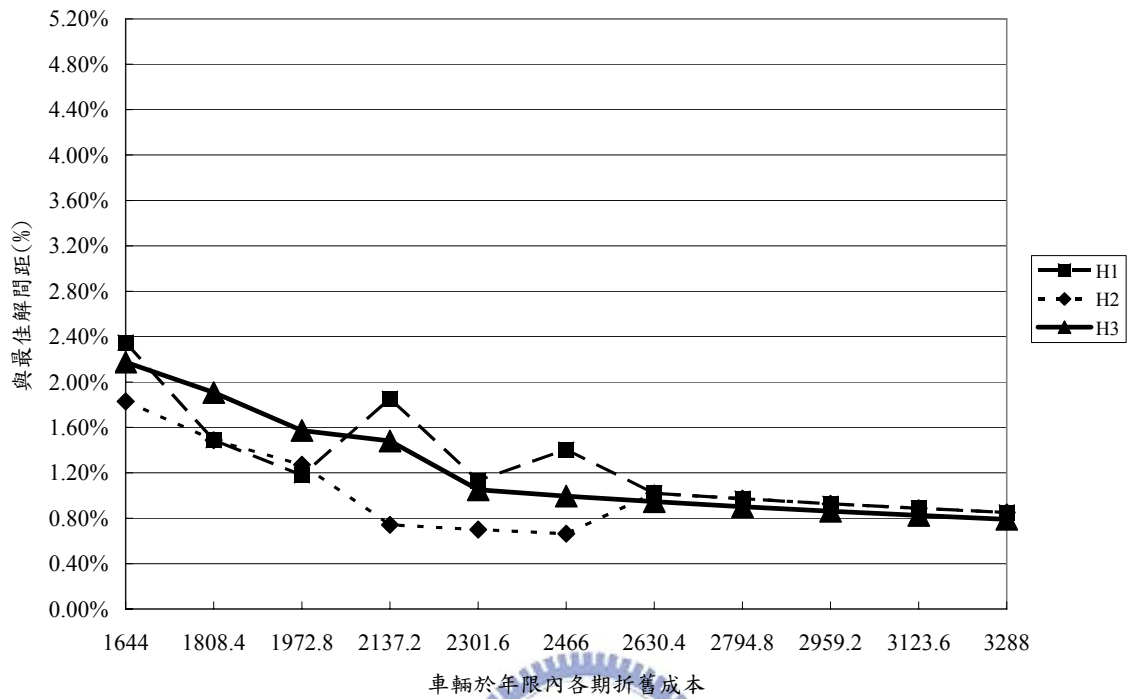


圖 5.4 c 值與最佳解間距之變化趨勢圖

表 5-6 啟發解於 c 值敏感度分析之平均間距與運算時間表

	變數固定演算法之啟發解		
	H1	H2	H3
與最佳解之平均間距(%)	1.23	1.00	1.33
平均運算時間(秒)	5.69	8.33	5.16

5.3.3 勤務中路線轉換成本之變化

由表 5-7 可得知，當參數 λ 值增加時，啟發解與最佳解之總成本與路線變換成本亦隨之增加；在車輛閒置成本項方面，啟發解與最佳解之車輛閒置成本有隨著 λ 增加而呈現緩慢增加之趨勢，顯示當 λ 值逐漸增加時，在滿足總成本最小化目標之前提下，車輛閒置成本項之增加將可減少路線更換次數，以避免總成本因 λ 值之增加而大幅增加；在使用車輛數目方面，測試結果幾乎均維持在 26 輛，且在車輛空駛成本項方面，結果顯示在三個啟發解法中， λ 值增加與車輛空駛成本之變化似乎無直接關連(車輛空駛成本值

表 5-7 勤務中路線轉換成本之敏感度分析結果彙整表

單位：新台幣(元)

勤務中路線 轉換成本 (元/次)	總成本				場站內閒置成本				車輛折舊成本				勤務中路線轉換成本				車輛空駛成本			
	H1	H2	H3	最佳解	H1	H2	H3	最佳解	H1	H2	H3	最佳解	H1	H2	H3	最佳解	H1	H2	H3	最佳解
10	59,416 (2.35%)	59,116 (1.83%)	59,317 (2.18%)	58,054	14,006	13,907	13,907	12,799	42,744 [26]	42,744 [26]	42,744 [26]	44,388 [27]	740	740	740	760	1,926	1,725	1,725	107
11	59,490 (2.34%)	59,452 (2.27%)	59,391 (2.17%)	58,132	14,006	13,907	13,907	12,801	42,744 [26]	42,744 [26]	42,744 [26]	44,388 [27]	814	814	814	836	1,926	1,987	1,926	107
12	59,564 (2.33%)	59,264 (1.82%)	59,727 (2.61%)	58,206	14,006	13,907	13,907	12,799	42,744 [26]	42,744 [26]	42,744 [26]	44,388 [27]	888	888	888	912	1,926	1,725	2,188	107
13	59,114 (1.43%)	59,600 (2.26%)	59,862 (2.71%)	58,282	14,006	13,907	13,907	12,799	42,744 [26]	42,744 [26]	42,744 [26]	44,388 [27]	962	962	962	988	1,402	1,987	2,249	107
14	59,974 (2.77%)	59,674 (2.26%)	60,137 (2.57%)	58,358	14,006	13,907	13,907	12,799	42,744 [26]	42,744 [26]	41,100 [25]	44,388 [27]	1,036	1,036	1,036	1,064	2,188	1,987	2,450	107
15	60,048 (2.76%)	59,023 (1.01%)	60,010 (2.70%)	58,434	14,006	13,907	13,907	12,799	42,744 [26]	42,744 [26]	42,744 [26]	44,388 [27]	1,110	1,110	1,110	1,140	2,188	1,262	2,249	107
16	59,598 (1.86%)	59,822 (2.24%)	60,346 (3.14%)	58,510	14,006	13,907	13,907	12,799	42,744 [26]	42,744 [26]	42,744 [26]	44,388 [27]	1,184	1,184	1,184	1,216	1,664	1,987	2,511	107
17	60,195 (2.75%)	59,897 (2.24%)	60,158 (2.69%)	58,583	15,768	13,925	13,924	14,472	41,100 [25]	42,744 [26]	42,744 [26]	42,744 [26]	1,139	1,241	1,241	1,190	2,188	1,987	2,249	177
18	59,537 (1.51%)	59,909 (2.14%)	60,169 (2.59%)	58,652	15,768	13,943	13,941	14,489	41,100 [25]	42,744 [26]	42,744 [26]	42,744 [26]	1,206	1,296	1,296	1,242	1,463	1,926	2,188	177
19	59,866 (1.95%)	60,242 (2.59%)	60,241 (2.59%)	58,721	15,768	13,942	13,941	14,489	41,100 [25]	42,744 [26]	42,744 [26]	42,744 [26]	1,273	1,368	1,368	1,311	1,725	2,188	2,188	177
20	60,134 (2.29%)	60,052 (2.15%)	60,313 (2.59%)	58,790	15,768	13,942	13,941	14,489	41,100 [25]	42,744 [26]	42,744 [26]	42,744 [26]	1,340	1,440	1,440	1,380	1,926	1,926	2,188	177

()：圓括號內數字表示與最佳解之間距百分比；

[]：方括號內數字表示使用車輛數。

呈現不規則變化)，而在最佳解中， λ 值增加幾乎不影響車輛空駛成本之變化(僅少量增加)，顯示路線變換成本之增加與使用車輛數目(車輛折舊成本)、車輛空駛成本似乎並不相關，研判可能是本次測試路線不多(彙整成六條)、組合變化較少之緣故。另當 λ 值持續增加時，三個啟發解與最佳解間之差距並無明顯規則變化(如圖 5.5 所示)。

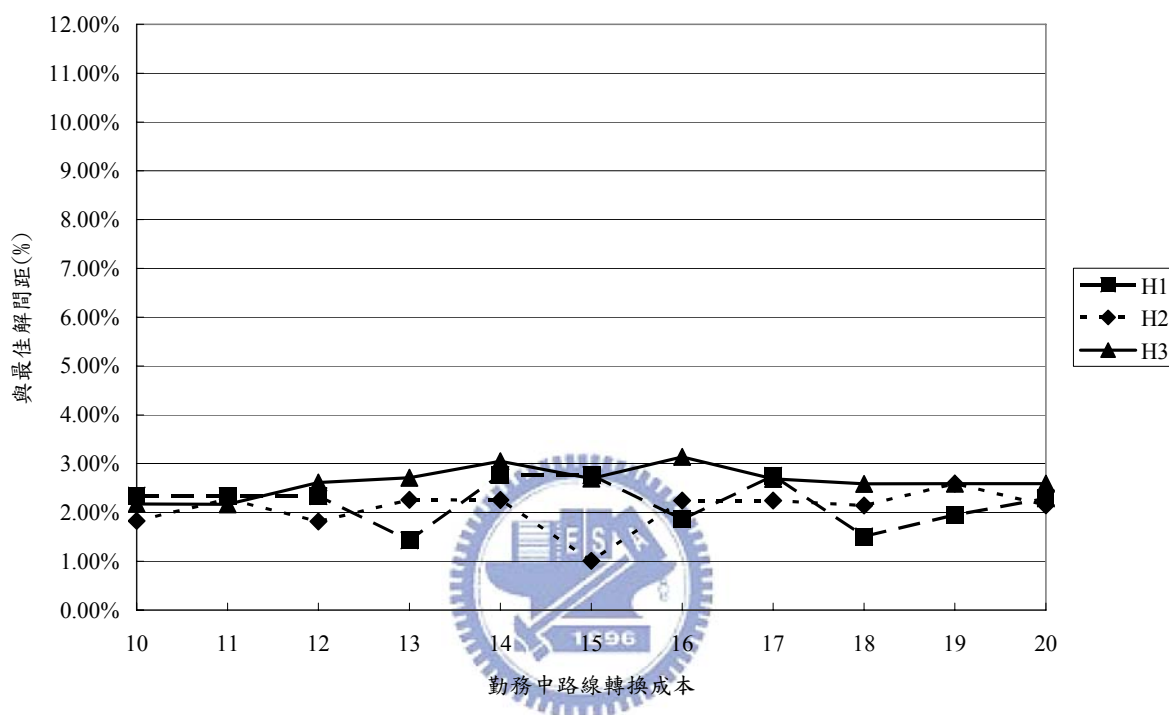


圖 5.5 λ 值與最佳解間距之變化趨勢圖

至於在 H1、H2 與 H3 之啟發解比較上(如表 5-8)，可以發現三者對於最佳解之平均間距以 H2 表現最佳(H1(2.20%)、H2(2.10%)、H3(2.68%))，而三者對於最佳解之平均運算時間則以 H3 表現最佳(H1(6.31 秒)、H2(9.11 秒)、H3(5.67 秒))，顯示 H2 於此項測試之求解品質雖較佳，但所花費電腦運算時間亦為最多。但基本上三個啟發解不論是在對最佳解之平均間距或平均時間節省率的表現上，均具有一定的水準。

表 5-8 啟發解於 λ 值敏感度分析之平均間距與運算時間表

	變數固定演算法之啟發解		
	H1	H2	H3
與最佳解之平均間距(%)	2.20	2.10	2.68
平均運算時間(秒)	6.31	9.11	5.67

5.3.4 車輛空駛成本之變化

由表 5-9 可得知，當參數 ω 值增加時，啟發解在總成本與車輛空駛成本呈現不規則變化之態勢，亦即在 ω 值增加過程中，啟發解於此項成本有時則會呈現遞減的狀況，但最佳解於此二項成本表現上，則是隨 ω 值增加而增大，且幾乎呈現穩定增加。在車輛閒置成本項方面，車輛閒置成本於三個啟發解均維持在一固定值；但於最佳解中，車輛閒置成本卻會隨著 ω 值之增加而增大，顯示於 ω 值增加時，三個啟發解已將部分成本反應在車輛空駛成本上，因此對於車輛閒置成本較無影響；此外，雖然車輛閒置成本在最佳解中是隨著 ω 之增加而增大，但其成本值仍較三個啟發解為小，但其差異不大。在車輛折舊成本項與路線變換成本項方面，啟發解與最佳解對於此二成本項似乎不會產生影響，因為此兩項成本於測試結果中，均維持在一固定值。另當 ω 值持續增加時，三個啟發解與最佳解間之差距有逐漸擴大之趨勢(如圖 5.6 所示)。

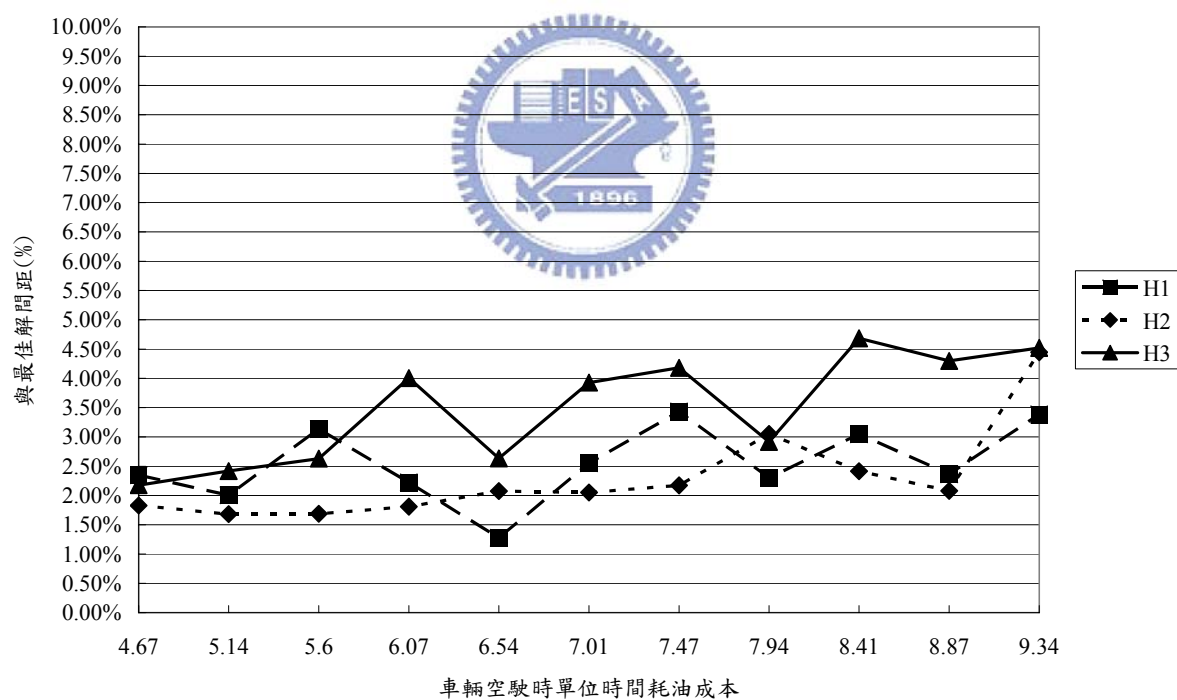


圖 5.6 ω 值與最佳解間距之變化趨勢圖

表 5-9 車輛空駛成本之敏感度分析結果彙整表

單位：新台幣(元)

車輛空駛時單位時間耗油成本(元/分鐘)	總成本				場站內閒置成本				車輛折舊成本				勤務中路線轉換成本				車輛空駛成本			
	H1	H2	H3	最佳解	H1	H2	H3	最佳解	H1	H2	H3	最佳解	H1	H2	H3	最佳解	H1	H2	H3	最佳解
4.67	59,416 (2.35%)	59,116 (1.83%)	59,317 (2.18%)	58,054	14,006	13,907	13,907	12,799	42,744 [26]	42,744 [26]	42,744 [26]	44,388 [27]	740	740	740	760	1,926	1,725	1,725	107
5.14	59,675 (2.67%)	59,576 (2.50%)	59,797 (2.88%)	58,122	14,006	13,907	13,907	12,856	42,744 [26]	42,744 [26]	42,744 [26]	44,388 [27]	740	740	740	760	2,185	2,185	2,406	118
5.60	59,245 (1.81%)	60,088 (3.26%)	59,847 (2.85%)	58,190	14,006	13,907	13,907	12,913	42,744 [26]	42,744 [26]	42,744 [26]	44,388 [27]	740	740	740	760	1,755	2,697	2,456	129
6.07	59,391 (1.95%)	59,292 (1.77%)	60,233 (3.30%)	58,258	14,006	13,907	13,907	12,970	42,744 [26]	42,744 [26]	42,744 [26]	44,388 [27]	740	740	740	760	1,901	1,901	2,842	140
6.54	59,620 (2.22%)	59,803 (2.53%)	59,803 (2.53%)	58,325	14,006	13,907	13,907	13,027	42,744 [26]	42,744 [26]	41,100 [25]	44,388 [27]	740	740	740	760	2,130	2,412	2,412	150
7.01	58,897 (0.86%)	60,366 (3.38%)	60,366 (3.38%)	58,392	14,006	13,907	13,907	13,083	42,744 [26]	42,744 [26]	42,744 [26]	44,388 [27]	740	740	740	760	1,407	2,975	2,975	161
7.47	60,148 (2.89%)	60,564 (3.60%)	60,982 (4.31%)	58,460	14,006	13,907	13,907	13,140	42,744 [26]	42,744 [26]	42,744 [26]	44,388 [27]	740	740	740	760	2,658	3,173	3,591	172
7.94	60,758 (3.81%)	61,103 (4.40%)	60,215 (2.88%)	58,528	14,006	13,907	13,907	13,197	42,744 [26]	42,744 [26]	42,744 [26]	44,388 [27]	740	740	740	760	3,268	3,712	2,824	183
8.41	60,950 (4.02%)	61,321 (4.65%)	61,321 (4.65%)	58,595	14,006	13,907	13,907	13,254	42,744 [26]	42,744 [26]	42,744 [26]	44,388 [27]	740	740	740	760	3,460	3,930	3,930	193
8.87	61,636 (5.07%)	61,156 (4.25%)	60,545 (3.21%)	58,662	14,006	13,907	13,907	13,310	42,744 [26]	42,744 [26]	42,744 [26]	44,388 [27]	740	740	740	760	4,146	3,765	3,154	204
9.34	61,344 (4.45%)	60,721 (3.38%)	61,769 (5.17%)	58,733	14,006	13,907	13,907	13,370	42,744 [26]	42,744 [26]	42,744 [26]	44,388 [27]	740	740	740	760	3,854	3,330	4,378	215

(): 圓括號內數字表示與最佳解之間距百分比;

[]: 方括號內數字表示使用車輛數。

至於在 H1、H2 與 H3 之啟發解比較上(如表 5-10)，可以發現三者對於最佳解之平均間距以 H1 表現最佳(H1(2.97%)、H2(3.37%)、H3(3.53%))，而三者對於最佳解之平均運算時間則以 H3 表現最佳(H1(6.30 秒)、H2(9.12 秒)、H3(5.68 秒))，但基本上三個啟發解不論是在對最佳解之平均間距或平均時間節省率的表現上，仍具有一定的水準。

表 5-10 啟發解於 ω 值敏感度分析之平均間距與運算時間表

	變數固定演算法之啟發解		
	H1	H2	H3
與最佳解之平均間距(%)	2.97	3.37	3.53
平均運算時間(秒)	6.30	9.12	5.68

5.4 本章小結

本章以金門縣車船處每日營運資料做為本次測試之實例比較對象，測試時之參數值設定($\alpha, c, \gamma, \omega$)，均經由業者訪談後統一給定，以反應業者於實際營運之運作狀況。本章測試分析結果彙整如下：

- 1.與金門縣車船處每日營運現況比較：在總成本改善率方面，最佳解與變數固定演算法所產生的三個啟發解對於現況之總成本改善率均可達 19.96%以上，且對於營運車輛的節省上，三個啟發解均可節省三輛，最佳解則可節省兩輛，顯示原 MDVSP 模式之最佳解與三個變數固定演算法之啟發解均對於金門縣車船處營運現況具有良好的改善品質。
- 2.擴充現有測試資料比較：在此六個問題情境中，當班次個數超過 1,383 時，測試電腦之設備已無法求得 MDVSP 模式之最佳解，但變數固定演算法卻可於短時間內求得啟發解，且啟發解對於最佳解之時間節省率均可達 98%以上；此外在與最佳解間距方面，變數固定演算法啟發解與最佳解之間距範圍僅位於 1.80%到 3.32%間，此結果顯示本研究所提出變數固定演算法在處理較大型問題上，頗具精確性及效率性。
- 3.敏感度分析：四個參數之敏感度分析結果彙整分述如下：
 - (1) α 值：最佳解對於四項子成本均呈現較規則性之變動，顯示最佳解在此參數之表現上較為穩定；而三個啟發解則在車輛空駛成本上呈現不規則變化，顯

示三個啟發解在車輛空駛成本上表現較不穩定；另當 α 值持續增加時，三個啟發解與最佳解間之差距並無明顯規則變化，顯示此參數增加對於啟發解與最佳解間差距之變化並無影響。

(2) c 值：最佳解與啟發解只要超過特定的參數 c 值後，車輛折舊成本即會隨參數 c 值之增加而呈現線性增加，而在其他三項子成本及使用車輛數目之表現上，則是超過特定的參數 c 值後，該項成本值即維持一固定值，顯示最佳解與啟發解在此參數之表現上均相當為穩定；此外當 c 值持續增加時，三個啟發解與最佳解之差距越來越小，經測試後發現在 c 值超過 3,288 後，差距即呈現調等差數列型態，且 c 值越大，其差距百分比越小，而本研究命題五所計算之 c 值門檻為 4,203，與測試 c 值門檻 3,288 差距為 915，由於此數值小於一輛車折舊成本(1644)之差距，顯示本研究所提出的 c 值門檻計算法於實務上仍有其參考之價值。

(3) λ 值：最佳解對於四項子成本均呈現較規則性之變動，顯示最佳解在此參數之表現上較為穩定；而三個啟發解亦是在車輛空駛成本上呈現不規則變化，顯示三個啟發解在車輛空駛成本上表現較不穩定；另當 λ 值持續增加時，三個啟發解與最佳解間之差距並無明顯規則變化，顯示此參數對於啟發解與最佳解間差距之變化並無影響。

(4) ω 值：最佳解對於車輛折舊成本與變換路線成本均不受影響，且對於車輛閒置成本與車輛空駛成本呈現近乎線性之增加，顯示最佳解在此參數之表現上較為穩定；而三個啟發解在車輛閒置成本、車輛折舊成本與變換路線成本上均不受影響，但在車輛空駛成本上仍呈現不規則變化，顯示三個啟發解在車輛空駛成本上表現亦不穩定；另當 ω 值持續增加時，三個啟發解與最佳解間之差距有逐漸擴大之趨勢，顯示此參數對於啟發解與最佳解間差距之變化具有相當之影響力。

4. 三個啟發解(H1、H2 與 H3)之比較：表 5-11 為本次測試之所有測試結果(包括與現況比較、擴充現有資料比較與敏感度分析共 176 次測試)彙總表，結果顯示三者對於最佳解之平均差距以 H2 表現最佳，而三者對於最佳解之平均運算時間則以 H1 與 H3 表現為佳，顯示於貪婪式啟發式解法中使用求解策略二可以獲得較佳求解品質，但所花費電腦運算時間亦為最多。雖然三者對於最佳解之平均差距是以 H2 表

現最佳，基本上三者差異並不大，顯示三個求解策略於本次測試之表現，其結果並無明顯之差別。

表 5-11 啟發解於本次測試所有測試結果之平均間距與運算時間表

	變數固定演算法之啟發解		
	H1	H2	H3
與最佳解之平均間距(%)	2.24	2.22	2.52
平均運算時間(秒)	6.13	8.96	6.13



第六章 結論與建議

近年來臺灣地區受到私人運具過度成長與使用影響，大眾運輸之經營環境逐漸惡化，在面對日益競爭的客運業者市場，客運業者除必須提高其服務水準以增加客源收益外，如何降低業者之營運成本支出，亦是業者所需關切的課題，因此對於客運業者而言，改善營運車輛之排程規劃於短期內較易掌握且易收到成效。此外，本研究亦從文獻回顧中發現，以往文獻對於多場站車輛排程問題(MDVSP)之處理，均是建立在不符實務的假設與限制上，這些假設與限制雖使得 MDVSP 在問題定式與模式求解上較為容易，卻也限制了此模式於實務應用上之實用性。

有鑑於此，本研究係利用數學規劃方法，在時刻表固定情況下，考量實務上之營運特性，以網路流量模式方式進行 MDVSP 之問題定式，並提出一變數固定演算法(variable fixing algorithm)與三種求解策略做為模式求解之基礎，期能幫助客運業者針對實際之營運狀況，規劃出符合經濟效益之車輛勤務組合。此外為驗證本研究所提出多場站車輛排程模式與所發展變數固定演算法之可行性與效率性，本研究以具有多場站營運特性之金門縣公共車船管理處進行實例測試，並以針對四項子成本進行敏感度分析，以供業者實際應用時之參考。本研究針對研究內容，整理並提出相關結論，同時提出建議以供後續研究參考。

6.1 結論

1. 本研究改善過去文獻於 MDVSP 模式存在「各場站所配置營運車輛數目之上限為已知」、「相關營運成本被簡化為單一型式目標函數」、「對於車輛空駛之處理並未提供足夠彈性」與「對於勤務中車輛營運路線之轉換次數並未處理」等四項假設與限制，利用網路流量模式方法進行 MDVSP 模式構建，並將最小車輛閒置時間、最小車隊規模、最少勤務中更換路線次數與最小空駛成本等因素涵蓋於 MDVSP 模式中，以符合臺灣地區汽車客運業者之營運現狀。
2. 為使本研究所提出之 MDVSP 模式在相同之路網定義下產生較少決策變數，因此針對網路流量模式之構模方式，提出改良後之流量守恆限制式，以減少在相同問題規模下之模式規模與變數個數(命題一)。
3. 由於在實務上 MDVSP 模式中之車輛折舊成本參數 c 值遠高於其餘參數值，其重要性亦大於其他參數值，因此本研究提出命題二、命題三、命題四與命題五

等四項命題，分別說明在各種極限值之情況下， c 值對於其他參數值之相關設定範圍，以找出該組參數設定下之最小車隊規模；亦即若所構建 MDVSP 模式將四項子成本項均考慮其中時，其 c 值可設定為 $\max[(\alpha \times D), \lambda \times (N-1), \omega \times D]$ ，則可確保於求解過程中不論其餘各項成本值如何變化，模式所求得之車輛數目，必定為該組參數設定下之最小車隊規模。

4. 由於 MDVSP 屬於 NP-Hard 問題，為增加模式求解效率、減少求解時間，本研究提出一有效率的變數固定演算法進行模式求解，此啟發式解法觀念為先將 MDVSP 依據場站個數切割成數個單一場站車輛排程問題(Single Depot Vehicle Scheduling Problem, SDVSP)之集合，並依據演算法中所設計的選擇程序(selection procedure)選擇首先求解之 SDVSP 模式；在求解此 SDVSP 模式後，固定部分變數，使其問題規模縮小後，持續逐步求解集合中剩餘 SDVSP 模式，直至所有 SDVSP 模式均求解完畢為止；最後彙整其相關結果，即可求得最小成本下之車輛勤務規劃組合。
5. 為了驗證本研究所提出多場站車輛排程模式與所發展變數固定演算法之可行性與效率性，本研究以具有多場站營運特性之金門縣公共車船管理處做為實例測試之對象；在經過「與金門縣車船處每日營運現況比較」與「擴充現有測試資料比較」測試後，結果顯示本研究所提出 MDVSP 模式與求解演算法不僅對於金門縣車船處營運現況具有良好的改善品質，而且在處理較大型之車輛排程問題時亦頗具效率，顯示本研究所提出車輛排程模式與求解演算法均可實際應用在臺灣地區汽車客運之車輛排程上。
6. 經由四個參數之敏感度分析後，可以發現最佳解對於此四個參數值之變化均較不敏感，而變數固定演算法則在 α 值、 λ 值與 ω 值之變化上，對於車輛空駛成本值均呈現不規則的變化，顯示車輛空駛成本對於變數固定演算法之啟發解具有高度敏感性；而變數固定演算法在 c 值變化上對於車輛空駛成本值表現不敏感是因為車輛折舊成本佔總成本之大多數，因此當 c 值超過本研究所提出之 c 值臨界值後，車輛空駛成本值即維持在一固定值。此外經由測試結果發現，變數固定演算法啟發解與最佳解在車輛空駛成本項之差距均較其他三項子成本為高，且差距非常大，顯示車輛空駛成本對於變數固定演算法啟發解與最佳解之間距，具有絕對之影響。另在 λ 值之變化上，由於本次測試對象之行駛路線僅有六條，其組合變化較少，故對於最佳解與變數固定演算法啟發解之影響效

果均不大。

7. 在三個求解策略之求解品質比較上，本次測試結果顯示對於最佳解之平均間距是以 H2 表現最佳，此結果與傳統貪婪式演算法中要求先將班次較多的場站先行處理之觀念相違背，究其可能原因在於各場站所有班次營運時間對於其他場站班次所有班次營運時間之時間重疊率似乎有其影響，另各場站於空間佈設之相對位置，亦有可能對於求解結果造成影響(產生空駛成本之多寡)，故以場站班次數目之多寡做為本研究所提出變數固定演算法求解策略之指標，似乎無法反應出傳統貪婪式演算法之特點。

6.2 建議

1. 本研究在模式與演算法之實例測試中，僅針對一家客運公司進行分析，建議未來能針對其他客運公司的實際營運資料，進行實例測試與敏感度分析，持續驗證模式的實用性。
2. 本研究僅針對多場站車輛排程問題進行研究，建議後續研究可針對司機員於值勤時之指派問題繼續探討，使得模式更加完備、更具實用價值。
3. 本研究所提出之 MDVSP 模式是在所有車種均一之假設前提下進行研究，建議後續可考量不同車輛折舊年限之特性，或加入多車種之規劃考量進行研究，使模式更能符合實際業者需求。
4. 由於本研究所提出變數固定演算法之選擇程序，是以各場站所須執行之班次數目做為選擇指標(selection index)，而經由本研究實例測試發現，其測試結果與傳統貪婪式演算法中要求先將班次較多的場站先行處理之觀念相左，建議後續可針對本演算法之選擇指標(selection index)進行深入研究，使得本研究所提出變數固定演算法能更具求解效率。
5. 雖然本研究所提出之變數固定演算法，於本次測試結果顯示具有良好之精確性與效率性，但考量臺灣地區汽車客運(包含市區公車與公路客運)業者於實務營運上之複雜性，建議後續可於演算法求解流程中，加入改善起始解之機制，使得本研究所提出之演算法更具求解品質與實用性。

參考文獻

- [1] Baita, F., Pesenti, R., Ukovich, W. and Favaretto, D., “A comparison of different solution approaches to the vehicle scheduling problem in a practical case”, *Computer & Operations Research*, Vol. 27, 2000, pp. 1249-1269.
- [2] Ball, M., “A Comparison of Relaxations and Heuristic for Certain Crew and Vehicle Scheduling Problems”, Presented at National ORSA/TIMS Meeting, Washington, D. C., 1980.
- [3] Ball, M. O., Magnanti, T. L., Monma, C. L. and Nemhauser, G. L., “Time Constrained Routing and Scheduling”, *Handbooks in Operation Research and Management Sciences Volume 8 : Network Routing*, 1995.
- [4] Beasley, J. E. and Cao, B., “A Tree Search Algorithm for the Crew Scheduling Problem”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 94, No. 3, 1996, pp. 517-526.
- [5] Bertossi, A. A., Carraresi, P. and Gallo, G., “On Some Matching Problems Arising in Vehicle Scheduling Models”, *Networks*, Vol. 17, 1987, pp. 271-281.
- [6] Bodin, L. and Golden, B. L., “Classification in Vehicle Routing and Scheduling”, *Networks*, Vol. 11, 1981, pp. 97-108.
- [7] Bodin, L., Golden B., Assad A. and Gall, M., “Routing and Scheduling of Vehicles and Crews – the State of the Art”, *Computers & Operations Research*, Vol. 10, 1983, pp. 63-211.
- [8] Carpaneto, G., Dell’Amico, M., Fischetti, M. and Toth, P., “A branch and bound algorithm for the multiple depot vehicle scheduling problem”, *Network*, Vol. 19, 1989, pp. 531-548.
- [9] Carraresi, P. and Gallo, G., “Network Models for Vehicle and Crew Scheduling”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 16, No. 3, 1983, pp. 139-151.
- [10] Daduna, J. R. and Paixão, J., “Vehicle scheduling for public mass transit – an overview”, *Computer-aided transit scheduling*, Springer, Berlin Heidelberg New York, 1995, pp.76-90.
- [11] Dantzig, G. B. and Fulkerson, D. R., “Minimizing the Number of Tankers to Meet a Fixed Schedule”, *Naval Res. Log. Quart.*, Vol. 1, 1954, pp. 217-222.
- [12] Forbes, M. A., Holt, J. N. and Watts, A. M., “An exact algorithm for multiple depot bus scheduling”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 72, 1994, pp. 115-124.
- [13] Ford, L. R. and Fulkerson, D. R., *Flows in Networks*, Princeton University Press, N. J., 1962.
- [14] Freling, R., Huisman, D. and Wagelmans, A. P. M., “Models and algorithms for integration of vehicle and crew scheduling”, *Journal of Scheduling* 6, 2003, pp. 63-85.
- [15] Gerard, S., *Linear and Integer Programming - Theory and Practice*, Second Edition, Marcel Dekker, Inc., 2002.
- [16] Gintner, V., Kliewer, N. and Suhl, L., “Solving large multiple-depot multiple-vehicle-type bus scheduling problems in practice”, *OR Spectrum* 27, 2005,

pp.507-523.

- [17] Haghani, A. and Banihashemi, M., "Heuristic approaches for solving large-scale bus transit vehicle scheduling problem with route time constraints", *Transportation Research Part A* 36, 2002, pp. 309-333.
- [18] Haghani, A., Banihashemi, M. and Chiang, K. H., "A comparative analysis of bus transit vehicle scheduling models", *Transportation Research Part B* 37, 2003, pp.301-322.
- [19] Heurigon, H., "Preparing duty roster for bus routes by computer", in *Preprint Workshop on Automated Technique for Scheduling of Vehicle Operations for Urban Public Transportation Service*, 1975.
- [20] Hillier, F. S. and Lieberman, G. J., *Introduction to Operation Research* 8e, McGraw-Hill, New York, 2005.
- [21] Hoffman, K. L. and Padberg, M., "Solving airline crew scheduling problem by branch-and-cut", *Management Science*, Vol. 39, No. 6, 1993, pp. 657-682.
- [22] Katta, G. M., *Linear and Combinatorial Programming*, Wiley, New York, 1976.
- [23] Kliewer, N., Mellouli, T. and Suhl, L., "A time-space network based exact optimization model for multi-depot bus scheduling", *European Journal of Operational Research*, Vol. 175, 2006, pp. 1616-1627.
- [24] Lamatsch, A., "An approach to vehicle scheduling with depot capacity constraint", In: *Proceedings of the Fifth International Workshop on Computer-aided Scheduling of Public Transit*, Montreal, Canada, 1990.
- [25] Lenstra, J. K. and Rinnooy Kan, A.H.G., "Complexity of Vehicle Routing and Scheduling Problem", *Networks*, Vol. 11, 1981, pp. 221-228.
- [26] Mesquita, M. and Paixão, J., "Multiple depot vehicle scheduling problem: a new heuristic based on quasi-assignment algorithm", In: *Proceedings of the Fifth International Workshop on Computer-aided Scheduling of Public Transit*, Montreal, Canada, 1990.
- [27] Neapolitan, R., and Naimipour, K., 2004, *Foundations of Algorithms-Using C++ Pseudocode*, 3rd ed, Jones and Bartlett Publishers, Massachusetts, USA.
- [28] Pepin, A., Desaulniers, G., Hertz, A., and Huisman, D., 2006, "Comparison of Heuristic Approaches for the Multiple Depot Vehicle Scheduling Problem", *Odysseus 2006*, Altea, Spain (23-26 mai).
- [29] Rayward-Smith, V. J., Osman, I. H., Reeves, C. R. and Smith, G. D., *Modern Heuristic Search Methods*, John Wiley and Sons, New York, 1996.
- [30] Ribeiro, C. and Soumis, F., "A Column Generation Approach to the Multiple Depot Vehicle Scheduling Problem", *Operations Research*, Vol. 42, 1994, pp. 41-52.
- [31] Shepardson, F. and Marsten, R. E., "A lagrangean relaxation algorithm for the two duty period scheduling problem", *Management Science* 26, 1980, pp. 274-281.
- [32] Wang, J. Y. and Lin, C. K., "A Network Model for the Multiple Depot Vehicle Scheduling Problems of Public Transit", In: *Proceedings of 86th Transportation Research Board Annual Meeting*, 2007.
- [33] Yan, S., and Tu, Y.P., "A Network Model for Airline Cabin Crew Scheduling",

European Journal of Operational Research, Vol. 140, No. 3, 2002, pp. 531-540.

- [34] 王晉元、林至康，「固定時刻表下之一般性車輛排程模式研究」，運輸計畫季刊，第三十五卷，第一期，頁 107-130，民國 95 年。
- [35] 王晉元、林至康等，大眾運輸車隊管理系統核心模組之規劃與建置，交通部運輸研究所，民國 90 年 7 月。
- [36] 杜宇平，「空服員排班網路模式之研究」，國立中央大學土木工程學系博士論文，民國 89 年。
- [37] 交通部運輸研究所，運輸經濟資料彙編第 20 期，民國 95 年。
- [38] 交通部運輸研究所，運輸營運手冊，民國 75 年。
- [39] 卓訓榮、王晉元、蘇昭銘、林至康，大眾運輸車隊管理系統核心模組之推廣應用，交通部科技顧問室，民國 91 年 1 月。
- [40] 夏萬春，「禁制搜尋法於車輛排班之探討」，國立高雄第一科技大學機械與自動化工程學系碩士論文，民國 90 年。
- [41] 游文松，「公路客運人員與車輛排班之研究」，中華大學科系管理研究所碩士論文，民國 93 年。
- [42] 黃俐嘉，「公車路網績效評估模式之研究」，國立台灣大學土木工程學系碩士論文，民國 86 年。
- [43] 蔡文昉，「大眾運輸排班系統之研究」，國立交通大學運輸工程與管理學系碩士論文，民國 90 年。
- [44] 廖椿煜，「公路客運車輛排班調度制度之研究—以臺灣汽車客運公司為例」，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國 74 年。
- [45] 盧宗成，「捷運司機員排班問題之研究—以台北捷運公司為例」，國立交通大學運輸工程與管理學系碩士論文，民國 88 年。

附錄 金門縣公共車船管理處之場站勤務表

表A-1 場站A與場站B之車輛勤務表

班表一	A→C	C→B	B→A	退勤	A→A	A→A	A→C	C→A	A→C	C→A
	11:30	12:05	12:50		14:25	15:25	16:10	17:00	17:40	18:15
	12:05	12:45	13:20		15:15	16:00	17:00	17:40	18:15	18:45
	A→C	C→A								
	19:15	19:55								
	19:55	20:35								
班表二	A→A	A→C	C→A	A→C	C→A	退勤	A→A	A→C	C→A	A→C
	06:00	06:20	07:00	07:35	08:10		14:35	15:10	15:45	16:35
	06:20	06:45	07:35	08:10	08:40		15:10	15:45	16:35	17:00
	C→A	A→B	B→A	A→C	C→A					
	17:05	17:55	18:25	18:45	19:15					
	17:55	18:15	18:45	19:15	19:55					
班表三	A→C	C→A	A→C	C→A	A→C	C→A	A→C	C→A	A→C	C→A
	06:00	06:30	07:00	07:30	08:30	09:05	09:45	10:25	11:15	12:05
	06:30	07:00	07:30	08:10	09:05	09:40	10:25	11:10	12:05	12:30
	退勤	A→A	A→A	A→C	C→A	A→C	C→A			
		16:05	16:40	17:10	17:45	18:20	18:50			
		16:35	17:10	17:45	18:20	18:50	19:20			
班表四	A→C	C→A	A→C	C→A	A→C	C→B	B→C	C→A	A→A	退勤
	06:00	06:50	08:00	08:50	09:40	10:25	11:10	11:50	12:45	
	06:50	07:45	08:50	09:40	10:25	11:10	11:45	12:20	13:15	
	A→C	C→A	A→C	C→A						
	16:30	17:20	17:40	18:10						
	17:20	17:40	18:10	18:50						
班表五	A→A	A→A	A→B	B→A	A→A	A→A	A→A	退勤	A→A	A→C
	08:10	08:40	09:15	09:45	10:10	10:40	11:30		13:15	13:55
	08:40	09:10	09:45	10:05	10:40	11:30	12:00		13:50	14:25
	C→A	A→C	C→A	A→A	A→A					
	14:25	14:55	15:45	16:15	16:50					
	14:55	15:45	16:15	16:45	17:50					
班表六	A→A	A→A	退勤	A→B	B→A	A→B	B→A	A→B	B→A	A→B
	06:00	07:00		11:35	12:05	12:35	13:10	13:35	14:05	14:30
	07:00	07:20		12:05	12:35	13:05	13:30	14:05	14:25	15:00
	B→A	A→B	B→C	C→B	B→B	B→B	B→A			
	15:00	15:35	16:10	16:50	17:35	18:05	18:35			
	15:20	16:05	16:45	17:20	18:05	18:35	19:05			

班表七	A→A 06:00 06:30	A→A 06:30 07:15	A→A 07:55 08:45	A→A 08:50 09:25	A→B 09:35 09:55	B→A 10:00 10:20	A→A 10:25 11:00	A→A 11:05 11:55	退勤	A→C 15:30 16:00
	C→A 16:00 16:30	A→A 16:40 17:10	A→A 17:20 17:50							
班表八	A→C 06:00 06:35	C→A 06:40 07:20	退勤	A→B 12:00 12:30	B→C 12:30 13:05	C→B 13:10 13:45	B→A 13:50 14:10	A→A 14:10 14:40	A→C 14:50 15:30	C→A 15:30 16:10
	A→A 16:20 16:55	A→B 16:55 17:25	B→C 17:30 18:00	C→B 18:10 18:40	B→B 18:50 19:25	B→A 19:25 19:45				
班表九	A→A 05:55 06:40	A→A 06:40 07:10	A→B 07:40 08:00	B→A 08:00 08:20	A→B 08:30 08:50	B→A 08:55 09:25	A→B 09:25 09:55	B→B 09:55 10:25	B→B 10:25 10:55	B→B 10:55 11:25
	B→A 11:30 11:50	A→A 12:00 12:45	退勤	A→B 16:30 17:00	B→A 17:00 17:20	A→C 17:20 18:10	C→A 18:10 19:00			
班表十	A→C 08:10 08:45	C→A 08:45 09:20	A→A 09:20 10:05	A→C 10:05 10:40	C→C 10:40 11:20	C→A 11:20 11:50	退勤	A→C 16:10 16:45	C→A 16:45 17:15	A→A 17:15 17:45
	A→A 17:45 18:30	A→A 19:10 19:40	A→B 19:40 19:55	B→C 19:55 20:30	C→A 20:30 21:10					
班表十一	A→A 06:00 06:40	A→B 06:40 07:00	B→A 07:00 07:20	A→A 07:50 08:30	A→A 08:30 09:15	A→A 09:20 10:10	A→A 10:10 10:40	退勤	A→A 14:35 15:05	A→A 15:20 15:50
	A→A 16:20 16:50	A→A 17:10 17:40								
班表十二	A→B 06:00 06:30	B→A 06:30 06:50	A→A 06:50 07:15	退勤	A→C 12:00 12:50	C→A 12:50 13:25	A→A 13:25 14:10	A→B 14:10 14:30	B→A 14:30 15:00	A→B 15:00 15:20
	B→A 15:30 16:00	A→B 16:10 16:30	B→A 16:30 16:50	A→A 17:05 17:35	A→B 17:35 18:05	B→A 18:10 18:30	A→B 18:30 18:55	B→A 18:55 19:15		
班表十三	A→B 06:00 06:40	B→B 06:40 07:00	B→B 07:00 07:25	退勤	B→C 12:00 12:30	C→A 12:30 13:00	A→C 13:00 13:35	C→A 13:35 14:05	A→C 14:05 14:35	C→B 14:35 15:10
	B→C 15:15 15:50	C→B 15:55 16:25	B→B 16:35 17:10	B→A 17:20 17:50	A→C 17:50 18:40	C→A 18:40 19:10				

班表十四	A→C 07:45 08:35	C→A 08:35 09:25	A→C 09:25 09:55	C→A 10:00 10:30	A→B 10:35 10:55	B→A 11:00 11:30	A→A 11:50 12:25	退勤	A→C 13:25 13:55	C→B 14:00 14:35
	B→C 14:45 15:15	C→A 15:25 16:10	A→A 16:10 16:45	A→A 16:45 17:15						
班表十五	B→B 06:00 06:30	B→B 06:30 07:00	B→B 07:00 07:30	B→A 07:30 08:05	A→B 08:30 09:05	B→B 09:10 09:45	B→A 09:45 10:05	A→B 10:10 10:40	B→A 10:40 11:10	A→B 11:10 11:30
	B→B 11:30 12:00	B→B 12:00 12:35	退勤	B→B 14:00 14:25	B→B 15:00 15:30	B→B 15:30 16:00	B→A 16:00 16:20	A→A 16:20 16:55		
班表十六	A→B 06:00 06:30	B→C 06:30 07:00	C→B 07:00 07:35	B→A 07:40 08:10	A→B 08:10 08:30	B→A 08:30 09:00	A→B 09:00 09:20	B→B 09:40 09:55	退勤	B→B 13:10 13:40
	B→B 13:40 14:10	B→C 14:10 14:50	C→A 14:50 15:25	A→A 15:25 16:10	A→A 16:15 17:00	A→A 17:00 17:35	A→C 17:35 18:05	C→A 18:05 18:45		
班表十七	B→C 06:00 06:30	C→B 06:35 07:10	B→C 07:20 07:50	C→B 08:00 08:30	退勤	B→C 13:00 13:30	C→B 13:40 14:10	B→C 14:25 15:05	C→B 15:10 15:50	B→C 15:50 16:30
	C→B 16:35 17:10	B→A 17:30 17:50								
班表十八	A→A 06:35 06:55	退勤	A→B 08:00 08:20	B→C 08:30 09:05	C→A 09:15 09:55	A→A 09:55 10:35	A→C 10:35 11:05	C→A 11:05 11:45	A→A 12:00 12:35	A→C 12:40 13:10
	C→A 13:10 14:00	A→C 14:15 14:45	C→A 15:00 15:30							

表A-2 場站C

班表十九	C→C 06:00 06:30	C→C 06:30 06:40	C→A 06:40 07:10	A→C 07:10 07:45	C→C 07:45 08:15	退勤	C→A 13:05 13:35	A→C 13:35 14:05	C→A 14:05 14:35	A→C 15:10 15:50
	C→C 15:50 16:30	C→C 16:30 17:00	C→C 17:05 17:45	C→C 17:50 18:30	C→C 19:00 19:25	C→A 19:25 19:55	A→C 19:55 20:45			

班表二十	C→A 06:00 06:50	A→C 06:50 07:40	C→A 08:00 08:50	A→C 08:50 09:40	C→B 09:40 10:15	B→C 10:20 11:00	C→C 11:00 11:40	C→C 12:10 12:50	退勤	C→C 16:20 16:50
	C→C 16:50 17:30	C→B 17:30 18:10	B→C 18:15 19:00							
班表二十一	C→A 06:00 06:30	A→C 06:30 07:00	C→A 07:00 07:30	A→C 07:30 08:00	C→A 08:25 09:00	A→C 09:00 09:35	C→C 09:35 10:15	C→A 10:15 10:45	A→C 11:25 12:00	退勤
	C→C 13:50 14:30	C→C 14:30 15:10	C→C 15:20 15:50	C→C 16:00 16:40						
班表二十二	C→C 06:00 06:25	C→A 06:25 06:50	A→C 06:50 07:15	C→C 07:15 07:45	退勤	C→A 11:45 12:35	A→C 12:35 13:20	C→A 13:20 13:50	A→B 14:15 14:50	B→A 14:50 15:10
	A→B 15:15 15:35	B→B 15:40 16:10	B→A 16:10 16:30	A→B 16:40 17:00	B→C 17:10 17:55	C→C 17:55 18:25				
班表二十三	C→C 06:00 06:35	C→C 06:35 07:05	C→C 07:05 07:35	C→C 07:35 08:00	C→C 08:00 08:40	退勤	C→A 16:10 17:00	A→C 17:00 17:55	C→C 18:05 18:45	C→C 19:15 19:45
	C→B 19:45 20:15	B→A 20:15 20:30	A→C 20:30 21:10							
班表二十四	C→A 06:00 06:30	A→C 06:30 07:10	C→B 07:10 07:40	B→C 07:50 08:25	退勤	C→C 12:00 12:35	C→C 12:35 13:05	C→C 13:50 14:20	C→C 14:25 14:55	C→C 15:00 15:40
	C→C 15:45 16:15	C→C 16:25 17:00	C→C 17:00 17:40							
班表二十五	C→C 09:30 10:00	C→C 10:00 10:40	C→A 11:10 11:40	A→C 11:40 12:20	退勤	C→C 14:00 14:40	C→C 14:40 15:15	C→A 15:15 15:45	A→C 15:45 16:15	C→A 16:20 16:50
	A→C 16:50 17:30	C→A 17:30 18:10	A→C 18:20 18:50							
班表二十六	C→C 06:30 07:00	C→A 07:20 07:50	A→C 08:20 09:00	C→B 09:00 09:30	B→C 09:45 10:15	C→C 10:30 11:00	C→A 11:00 11:50	A→C 11:50 12:20	退勤	C→A 13:50 14:20
	A→C 14:20 14:50	C→C 14:50 15:25	C→A 15:25 15:55	A→C 15:55 16:25						

班表二十七	C→C 06:00 06:25	C→C 06:25 06:55	C→C 07:00 07:40	C→C 07:40 08:05	C→C 08:40 09:15	C→C 09:15 09:55	C→C 10:00 10:40	退勤	C→C 14:25 15:15	C→C 16:05 16:35
	C→C 16:40 17:15	C→C 17:20 17:50								
	C→C 06:00 06:25	C→A 06:25 06:55	A→C 06:55 07:50	C→C 07:55 08:30	C→C 08:30 09:00	C→C 09:00 09:40	C→A 09:40 10:30	A→C 10:30 11:20	C→B 11:20 11:50	B→C 12:00 12:40
班表二十八	退勤	C→A 17:20 18:00	A→C 18:00 18:30	C→B 18:30 19:05	B→C 19:15 19:40					
	C→C 06:00 06:40	C→C 06:45 07:20	C→C 07:25 08:05	C→B 08:25 09:00	B→C 09:05 09:45	C→A 09:45 10:15	A→C 10:20 10:50	C→C 10:50 11:20	C→C 11:50 12:20	C→C 12:20 13:00
班表二十九	C→C 13:00 13:40									



簡 歷



姓 名： 林至康

出 生 地： 台北市

出 生 日 期： 民國 60 年 1 月 1 日

聯 絡 地 址： 台北市士林區中山北路六段 236 巷 17 號 2 樓

學 歷：

民國 98 年 6 月 國立交通大學運輸科技與管理學系博士

民國 86 年 6 月 國立臺灣海洋大學河海工程學系碩士

民國 84 年 6 月 私立逢甲大學交通工程與管理學系學士

電 子 郵 遞： john101@faculty.nctu.edu.tw

