

國立交通大學
交通運輸研究所
碩士論文

飛安查核工作排程與人員排班模式建立

Models for Work and Manpower Scheduling of
Airline Safety Audit



研究生：蘇啟超

指導教授：汪進財

中華民國九十三年六月

飛安查核工作排程與人員排班模式建立

Models for Work and Manpower Scheduling of
Airline Safety Audit

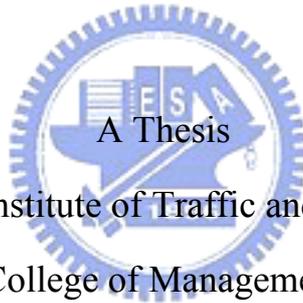
研 究 生：蘇啟超

Student：Chi-Chau Su

指導教授：汪進財

Advisor：Jinn-Tsai Wong

國立交通大學
交通運輸研究所
碩士論文



Submitted to Institute of Traffic and Transportation
College of Management

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Engineering

in Traffic and Transportation

June 2004

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十三年六月

飛安查核工作排程與人員排班模式建立

研究生：蘇啟超

指導教授：汪進財

國立交通大學交通運輸研究所

摘要

本研究針對民航局飛安查核工作排程與檢查員排班問題進行探討，由於查核人員排班與一般的人員排班問題具有不同特性，因此本研究在現有查核人力、查核作業需求及排班法規等限制下，考量排程班表之公平性與合理性，分別建立查核任務排程之限制規劃模式，及檢查員排班二階段求解演算流程之結合限制規劃與數學規劃模式，以解決查核任務排程與查核人員排班之組合最佳化問題與限制滿足問題。

在工作排程部分，本研究是以資源限制專案排程之專案網路結構為基礎，於 OPL Scheduling 排程系統中使用限制規劃方法，在現有檢查人力資源限制下，針對各家航空公司航務查核任務進行組合最佳化排程模式構建，以獲得規劃期之工作排程日程表；在檢查員排班部份，應用限制列舉式勤務組合產生架構，設計結合限制規劃與數學規劃之二階段求解演算流程，第一階段限制規劃模式在於產生符合排班法規限制的可行工作班集合，第二階段則應用集合涵蓋模式選擇最佳工作班組合，其間透過 OPL Script 程式將第一階段限制滿足問題的求解結果傳遞給第二階段的集合涵蓋模式，再透過第二階段集合涵蓋模式求解，得出滿足作業人力需求之最佳工作班組合。

本研究依據民航局之查核作業程序，以國內四家航空公司年度查核任務進行實例驗證。查核任務排程模式之問題規模為變數個數 3,636 個，限制式個數 7,152 條，求解運算時間為 30 秒；檢查員排班則分別對各家航空公司每月的查核任務進行排班求解，求解運算時間介於 80~180 秒，求解結果顯示各月份需由 12~13 位檢查員執行查核作業，平均檢查員每月總查核時數約為 80 小時。透過案例測試可知，本研究設計之求解模式，能有效協助排程管制人員快速獲得較佳且可行的工作班表。

關鍵字：飛安查核、工作排程、檢查員排班、限制規劃、集合涵蓋問題

Models for Work and Manpower Scheduling of Airline Safety Audit

Student : Chi-Chau Su

Advisor : Jinn-Tsai Wong

Institute of Traffic and Transportation
National Chiao Tung University

ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate the work and manpower scheduling problems of aviation safety audit of the Civil Aeronautics Administration. The characteristics of scheduling aviation safety audit are different from those of the general scheduling problem. Therefore, this study is aimed to design an algorithm which takes fairness and adequacy into consideration for solving this problem under constraints of the existing manpower, auditing operation, and the constraint of inspector pairing regulation. The work scheduling problem is formulated as a constraint programming problem and the manpower scheduling problem as a combinatorial optimization problem.

For work scheduling, a resource-constrained project scheduling problem (RCPS) model is applied. For manpower scheduling, a constraint satisfaction problem (CSP) model is employed to generate the feasible pairings that satisfy the inspector pairing regulation. Then, a set covering problem (SCP) model is applied to find out the minimum-cost pairings from the feasible solutions. Between the CSP and the SCP models, OPL Scripts is used as a bridge.

The model is tested with the case of the four domestic airlines. According to the operation procedure of aviation safety audit, the problem size of the work scheduling (RCPS) model has 3,636 variables and 7,152 constraints and it takes 30 seconds to solve. The manpower scheduling algorithm searches the solution of the inspector scheduling problem for every airline and it takes 80~180 seconds. The result shows that 12~13 inspectors are needed to execute the audit and each has about 80 working hours monthly. The result also suggests that the developed models can be applied effectively to obtain an improved work schedule.

Keywords : Aviation Safety Audit, Work Scheduling, Inspector Scheduling, Constraint Programming, Set Covering Problem.

致 謝

本論文得以順利完成，首先要感謝恩師 汪進財老師的悉心指導與鼓勵，於研究所求學兩年期間，無論在課業、研究與生活各方面均受到恩師的提攜與照顧，恩師在課業與研究上不辭辛勞的認真教導，在生活上的身教與言教，對學生有相當深遠的影響，在此致上最深的敬意與謝意。

在口試期間，感謝戴佐敏老師與顏上堯老師不吝指教，及提供種種寶貴意見，使本論文能更臻完備；感謝系上馮正民老師與曾國雄老師在論文進度審查期間撥冗細閱，使本論文更加嚴謹充實。求學期間受到所上徐淵靜老師、黃承傳老師、藍武王老師、馮正民老師、黃台生老師、許鉅秉老師、黃寬丞老師及澎湖技術學院李穗玲老師等悉心指導，在此由衷感謝。

在兩年的日子裡，感謝一起奮鬥的班上同學在求學過程中互相鼓勵與扶持；感謝諸位學長姐在各方面給予的指導與協助；也要感謝各位學弟妹在學校生活上的互相照顧。最後感謝家人的支持與關心，讓我得以全心全力的投入在學校的研究工作。在此，誠心的感謝在這段日子的所有人事物，也與大家一同分享論文完成的喜悅，感謝大家。

蘇啟超 謹誌

2004年6月27日

目錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
致謝.....	III
目錄.....	IV
圖目錄.....	VI
表目錄.....	VII
第一章 緒論.....	1
1.1 研究動機.....	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 研究範圍.....	3
1.4 研究方法.....	5
1.5 研究內容與流程.....	5
第二章 文獻回顧.....	8
2.1 排程問題文獻回顧.....	8
2.1.1 工作排程問題.....	8
2.1.2 資源分派問題.....	11
2.1.3 結合排程與資源分派問題.....	14
2.2 限制規劃文獻回顧.....	17
2.2.1 限制滿足問題.....	17
2.2.2 組合最佳化問題.....	18
2.2.3 限制規劃系統說明.....	19
第三章 飛安查核作業.....	24
3.1 民航局飛安查核作業.....	24
3.2 飛安查核工作排程.....	26
3.2.1 查核任務系統層級.....	27
3.2.2 查核任務選取.....	28
3.2.3 查核任務分派至查核系統層級.....	28
3.3 查核工作排程考量因素.....	31
3.4 檢查員排班.....	37
3.5 檢查員排班考量因素.....	37
第四章 工作排程與人員排班模式建立.....	42
4.1 問題描述.....	42
4.2 查核任務排程模式.....	45
4.2.1 模式假設.....	47
4.2.2 模式構建.....	48
4.2.3 模式說明.....	50

4.2.4 模式測試.....	51
4.3 檢查員排班模式.....	53
4.3.1 模式求解架構.....	54
4.3.2 第一階段模式：工作班產生問題.....	54
4.3.3 第二階段模式：檢查員排班問題.....	58
4.3.4 二階段模式演算流程控制.....	59
第五章 案例分析.....	60
5.1 資料分析.....	60
5.1.1 工作排程資料.....	60
5.1.2 人員排班資料.....	63
5.2 資料輸入.....	65
5.2.1 工作排程模式資料輸入.....	65
5.2.2 工作班產生模式參數設定及資料輸入.....	67
5.2.3 集合涵蓋模式參數設定及資料輸入.....	68
5.3 案例測試求解.....	69
5.3.1 工作排程模式求解.....	69
5.3.2 檢查員排班模式求解.....	72
5.4 求解結果說明.....	75
第六章 結論與建議.....	77
6.1 結論.....	77
6.2 建議.....	78
參考文獻.....	79
附錄 A—工作排程模式任務參數值輸入.....	82
附錄 B—檢查員排班模式輸出結果.....	84
附錄 C—OPL Script 程式.....	87
附錄 D—檢查員排班求解結果.....	88

圖目錄

圖 1.1 研究流程.....	7
圖 2.1 零工式生產排程網路圖形.....	9
圖 2.2 形成循環網路問題.....	10
圖 2.3 專案網路(PERT/CPM).....	14
圖 2.4 RCPS P 專案網路 (4 項活動與 2 種資源)	15
圖 2.5 決策變數值域集合.....	21
圖 2.6 刪除不可行的分枝-1	22
圖 2.7 刪除不可行的分枝-2	22
圖 2.8 獲得一組可行解.....	22
圖 3.1 航務查核系統架構[25].....	27
圖 3.2 查核任務系統層級[25].....	31
圖 3.3 查核任務執行順序.....	34
圖 4.1 兩種資源限制下之工作排程.....	46
圖 4.2 查核任務排程結果.....	52
圖 4.3 檢查員排班問題名詞定義示意圖.....	54
圖 4.4 人員排班模式求解架構.....	54
圖 4.5 檢查員排班二階段模式演算流程.....	59
圖 5.1 一月份 A 航空公司查核任務排程甘特圖.....	71
圖 5.2 一月份 B 航空公司查核任務排程甘特圖.....	71
圖 5.3 一月份 C 航空公司查核任務排程甘特圖.....	71
圖 5.4 一月份 D 航空公司查核任務排程甘特圖.....	71
圖 5.5 一月份 A 航空公司檢查員排班結果.....	75

表目錄

表 1.1 航務與適航查核任務(Job Function)	4
表 3.1 航務查核任務選定表	28
表 3.2 查核任務說明與系統層級關係	29
表 3.3 查核工作與飛行時段關係	36
表 3.4 一般檢查員之能力資格說明[26]	38
表 3.5 查核任務之作業地點	40
表 4.1 選定之查核任務、查核工時與查核頻次	42
表 4.2 查核任務所需之檢查員資格限制	44
表 4.3 優先排序限制式之設定種類	46
表 4.4 查核任務排程模式驗證輸入資料	52
表 4.5 查核任務排程求解結果	52
表 4.6 查核人員排班之相關名詞定義	53
表 4.7 工作班組合產生模式之限制條件	55
表 4.8 工作班組合產生模式之輸入資料	55
表 4.9 工作班組合產生模式之任務資料參數說明	56
表 4.10 工作班組合產生模式之法規資料參數說明	56
表 4.11 工作班組合產生模式之變數說明	56
表 4.12 工作班組合產生模式限制式說明	57
表 5.1 任務之工作時數與執行頻次	61
表 5.2 任務關連性參數值設定	62
表 5.3 任務作業地點參數值設定	62
表 5.5 任務人力需求參數值設定	63
表 5.4 航務檢查員人數參數設定值	63
表 5.6 任務工作時間參數輸入資料	64
表 5.7 時薪成本參數值設定方式	65
表 5.8 工作排程模式參數設定	66
表 5.9 工作班產生模式參數值設定	67
表 5.10 集合含蓋模式參數值設定	68
表 5.11 排程模式—案例測試求解績效	70
表 5.12 一月份查核任務排程求解結果	70
表 5.15 每月份查核任務分布	72
表 5.16 排班模式測試求解結果	73
表 5.13 工作班產生模式求解績效	74
表 5.14 一月份 A 航空公司排班求解結果	75

第一章 緒論

1.1 研究動機

運輸安全為運輸服務的重要目標之一，為確保運輸服務的安全性，民航局必須制定完善的飛安查核作業程序，以監督航空運輸業者的作業品質，保障飛航的順利安全。飛安查核工作的執行，是藉由查核員對整體飛航作業以檢查航、機務各項查核任務的方式，確保航空公司在符合安全的標準規範下進行飛航活動，然而不同的查核任務會有不同的查核內涵，為促進查核監督全面性預防之效果，民航局須依據航空公司之營運績效與歷年飛安之紀錄狀況，調整安排該年度的查核活動及頻次，由於近年來航空公司的營運航線及航機規模不斷擴充，實務上執行飛安查核任務是一連串複雜且繁瑣的工作，因此如何使飛安查核工作能確實且有效率的執行，並能妥善運用查核人力，對於民航局的飛安查核部門而言，是一項重要且急迫解決的課題。

飛安查核作業程序分為三個階段：工作預劃、實際執行以及結果分析；妥善的預劃作業能提升飛安查核品質並促進查核員之查核績效。查核計畫的擬訂是在查核任務實際執行前的工作預劃階段，民航局對於各項查核任務預先進行安排規劃，以期使查核任務中的查核項目在規定期限內確實執行，進而提升飛航安全，此外當查核任務排程制定後，亦可作為人員指派之依據，以提高查核人力之執行效率。在工作預劃階段，其主要內容包括查核計畫制定（工作任務選定、查核頻次計算）、查核任務排程、查核人力指派等過程；民航局是根據「航務檢查員手冊」及「適航檢查員手冊」之資料，同時參考業者營運環境（風險指數）之影響，來訂定合適的查核計畫，主任檢查員（查核排程管制人員）並依據查核計畫制定各項檢查之查核任務排程，此過程是希望針對不同業者進行必要的查核，再以現有人力資源考量下將排定的查核任務指派給各個查核人員，以完成查核人力指派工作。

在查核計畫制定部分，何慧珍[25]針對飛安查核量之推估與分析模化進行研究，其做法是建立系統層級關係之查核系統架構，透過如實(As-is)工作展現方法來分析檢查手冊之整體查核任務(Job Functions)，並釐清查核活動之內涵，以選定必須執行的查核任務。在工作排程與人員排班部分，劉鈺鈴[26]對於查核任務排程與查核人員指派問題進行探討，該研究使用 ILOG Solver 模式語言建立限制規劃求解模式，最後求得一可行之查核任務排程與查核人員班表，該研究雖在實例測試中證明比實務的做法為佳，但模式的求解效率仍具改善空間。因此本研究將設計一結合限制規劃與數學規劃之求解演算法，期能為民航局之飛安查核作業開發一套有效率的工作排程與人員排班求解模式。

1.2 研究目的

民航局負有確保航空運輸安全之職責，其主要的工作項目為：制定飛航安全之策略、監督與維護飛航安全、認證與檢核航空人員及設施、及查核監督運輸業者、機場及地面作業是否符合安全之標準規範。在查核監督部分，民航局目前對於飛安查核工作的人員指派方式是針對各航空公司分配專屬之主任檢查員及一般檢查員，查核工作的安排則是以檢查員手冊中之工作任務（Job Function）做為執行查核工作之依據，由各公司專屬之主任檢查員根據該公司歷年的查核紀錄及其自身的專業判斷，選定該公司當年度應執行之查核任務，並安排訂定初步之查核時程，而確實的查核時程則由實際執行查核任務的查核員決定。

透過上述程序可知，目前國內對於查核任務排程與查核人員指派問題是以人工作業方式完成，然而排班工作之班次型態數量繁多，若僅憑經驗考慮多個工作任務執行之先後順序或人員之派遣，將無法判斷何種排班組合方式較佳，且亦為主任查核員之負擔。

因此本研究擬以民航局飛航查核作業為研究主題，考慮查核任務特性與查核人員資格能力等限制，使用數學規劃與限制規劃方法，設計有效率之工作排程與人員排班求解模式，並透過電腦運算期能獲得較佳之排程結果。在模式建構過程中，除考慮查核工作之層級屬性，將查核任務合理的安排至年度查核計畫外，同時配合查核人力運用之彈性，建立公平之查核人員排班計畫，以提升查核人員之工作績效，及確保執行查核任務之作業品質，保障飛航活動之順利安全。

本研究之目的在於：

1. 探究飛安查核工作之作業流程與問題特性，釐清實務上飛安查核工作排程及檢查員排班等相關限制條件。
2. 希望在各項相關法規限制下，藉由民航局現有查核人力完成該年度之查核任務，查核任務之安排必須配合查核系統層級之作業順序，同時考量檢查員能力資格限制，確保查核人力公平與有效的運用。
3. 建立飛安查核工作排程與人員排班之數學規劃與限制規劃模式，使用OPL Script程式語言設計求解的演算法，針對飛安查核工作排程與人員排班問題進行模式求解運算。
4. 希望藉由本研究設計之求解模式，協助飛安查核作業排程管制人員快速獲得較佳且可行之工作排程日程表及查核人員班表。

1.3 研究範圍

本研究將針對查核任務內容、查核人力類別、查核對象選定，及查核工作地點等各項主題進行研究範圍界定，其內容說明如下。

1. 查核任務內容

飛安查核作業包含航務查核與機務查核兩項工作。航務查核是在確保航空公司之航務相關作業，如營運規範、各類操作手冊、訓練手冊、飛航組員資格、訓練及簽派、航機操作及管制等項目，皆能符合航務相關法規之基本要求，航務檢查員手冊中的查核任務共計 26 項，附加職掌 14 項（表 1.1）；而機務查核是在確保航空公司之機務相關作業，如航機維護是否達到適航標準、航機之適航簽放是否符合規定程序等項目，均能符合機務相關法規之規範，適航檢查員手冊中的查核任務共計 37 項，附加職掌 14 項（表 1.1）。由於考慮到問題規模的大小，本研究暫不考慮機務部門之查核任務，僅以航務部門之常態性查核任務進行探討。

2. 查核人力類別

由於查核任務涉及不同的專業領域，因此查核任務須由合適的專業人員執行查核工作。民航局將查核人力分為航務檢查員、適航檢查員、航電檢查員、危險品檢查員及客艙安全檢查員等五個類別，其中航務檢查員是屬於航務查核工作之人力，適航檢查員與航電檢查員是屬於機務查核工作之人力，另外，民航局目前仍缺乏危險品檢查員及客艙安全檢查員。由於本研究是以航務部門之查核任務進行探討，因此查核人力主要為航務檢查員。在研究模式中是將航務檢查員區分為主任檢查員及一般檢查員兩類。

3. 查核對象選定

國內飛航安全檢查主要是由民航局之飛航標準組執行，其檢查對象包括民用航空運輸業、普通航空業、適航航空器、航空器維修廠及其他單位等；其中，一般民眾對於民用航空運輸業之使用機會較高，因此航空公司營運作業是否能符合安全之標準規範，是民眾關心的課題。本研究將以民用航空運輸業作為主要研究對象，針對航空公司進行查核任務排程與查核人員指派工作。國內的民用航空運輸業包括中華、長榮、遠東、復興、立榮、華信等六家國籍航空公司。

4. 查核工作地點

航空公司之作業範圍包含多個地點，如公司、主要場站、過境場站、訓練機構等，依據查核作業執行地點進行區分，可分為主要作業基地(航空公司本部)、航廈、模擬機、停機坪、航空器、簽派中心以及過境場站等七大類；此外，各航空公司部份之查核地點可能是設於相同的地方，例如航空公司所使用之機場相同，其檢查位置如航廈及停機坪都是在相同的機場中。在研究模式中，各項查核任務的查核地點以實際作業地點進行設定。

表 1.1 航務與適航查核任務(Job Function)

航務	適航
<ol style="list-style-type: none"> 1. 主要基地檢查 2. 場站設施檢查 3. 過境場站檢查 4. 停機坪檢查 5. 駕駛艙航路檢查(含水上航路及航線考驗檢查) 6. 手冊檢查 7. 訓練計畫檢查 8. 航務管制檢查—簽派中心 9. 航空人員檢查 10. 能力與適職性考驗及檢查航空人員檢查 11. 機場檢查 12. 指定考試員之管理 13. 使用人飛航記錄檢查 14. 組員記錄檢查 15. 簽派員記錄檢查 16. 客艙航路檢查 17. 最低裝備需求手冊核准 18. 航空運輸業管理效能(自我督察)計畫檢查 19. 地面除冰/防冰檢查 20. 機長操作經驗觀察 21. 航空器租賃契約評估 22. 第二/三/類儀降作業檢查 23. 雙渦輪引擎延程航程作業(包含加速核准流程) 24. 航空公司申請開闢新航線、現有航線變更機種飛航審核 25. 執行運渡飛航之持續授權特種許可 26. 航空公司深度評估檢查 27. 航空器駕駛員訓練機構檢查 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 主要基地設施檢查 2. 次要基地設施檢查 3. 過境場站檢查 4. 工作場檢查 5. 航空器維護現場檢查 6. 停機坪檢查 7. 航路(駕駛艙及客艙)檢查 8. 手冊檢查 9. 訓練計畫檢查 10. 重量與平衡檢查 11. 結構檢查計畫檢查 12. 適航指令檢查 13. 特殊工具/測試裝備檢查 14. 維護及檢查計畫 15. 最低裝備需求手冊/主最低裝備需求手冊檢查 16. 委託維護廠所檢查 17. 機組員/檢驗員之檢查 18. 檢查員記錄檢查 19. 飛航/維護記錄檢查 20. 加油設備檢查 21. 公司自我督察計畫檢查 22. 可靠性計畫檢查 23. 加速雙渦輪引擎航空器延程航程作業流程檢查 24. 重大修理與改裝檢查 25. 地面除冰/防冰檢查 26. 航空器租賃契約評估 27. 進場類別 I / II / III 計畫檢查 28. 短期維護時距展寬檢查 29. 保養困難報告系統 30. 維修廠所介紹 31. 執行運渡飛航之持續授權特種許可 32. 委託維護及國外修理要求檢查 33. 民用航空器後續適航檢查 34. 航空公司申請開闢新航線、現有航線變更及機種飛航審核 35. 發動機試車台檢查 36. 航空公司深度評估檢查 37. 地面機組員訓練機構課程、師資及設施檢查表 38. 航空器駕駛員訓練機構檢查
<p>附加工作任務：</p> <ol style="list-style-type: none"> A. 緊急逃生與水上迫降之展示 B. 訓練核准 C. 使用人手冊及程式 D. 首次機型驗證飛航檢查 E. 航空器適航試飛檢查 F. 正式申請函範本及符合之陳述範本 G. 檢查員之行為 H. 航空人員檢定給證作業程序 I. 航空器事故(失事/重大意外)調查處理 J. 督導模擬機委託檢查 K. 飛安檢查業務督導檢查 L. (保留) M. 飛安事件調查檢查 N. 垂直高度隔離縮減檢查 O. (保留) P. 全球定位系統(GPS)作業核准 Q. 航空公司合併作業檢查 R. 導航性能需求(RNP)作業核准 S. 極地飛航運作檢查 	<p>附加工作任務：</p> <ol style="list-style-type: none"> A. 正式申請函範例及符合之陳述 B. 檢查員之行為 C. 航空人員檢定給證作業程序 D. 飛安檢查業務督導檢查 E. 航空器失事調查工作檢查項目 航務—適航檢查員工作檢查項目 F. 飛安事件調查檢查 G. 運航任務執行檢查(適航部分) H. 首次機型驗證飛航檢查 I. 極地飛航運作檢查 J. 航空器適航試飛檢查表 K. 垂直高度隔離縮減適航作業 L. 合併作業檢查 M. 全球定位系統(GPS)作業核准 N. 導航性能需求(RNP)作業核准 O. (保留) P. 航空器產品及零組件委託檢定業務檢查 Q. 適航管制通知委託業務檢查 R. 檢定工程師審查與管理檢查 S. 營運規範第四、五章範例

資料來源：交通部民用航空局，航務檢查員手冊及適航檢查員手冊，民91

1.4 研究方法

本研究將針對民航局飛安查核工作排程與檢查員排班問題進行探討，由於查核人員排班與一般的人員排班問題具有不同特性，因此本研究擬開發合適的演算法來對問題加以求解。研究中的模式架構是希望在現有查核人力限制下，滿足查核作業需求及排班法規等限制條件，及考量排程班表之公平性與合理性，解決查核任務排程與查核人員排班之組合最佳化問題與限制滿足問題。

研究中將分別建立查核任務排程之限制規劃模式及檢查員排班之結合限制規劃與數學規劃模式。在查核任務排程部分，排程模式以資源限制專案排程之專案網路結構為基礎，並於 ILOG OPL 排程系統中使用 Scheduler C++ Library 及運用限制規劃方法，針對飛安查核工作排程進行組合最佳化模式構建，並藉由模式求解產生出查核工作排程日程表；在檢查員排班部份，本研究設計一結合限制規劃與數學規劃之求解演算法，演算法之第一階段將問題定式為限制規劃模式，其功能在於產生符合排班限制的可行工作班組合，並將產生的工作班組合傳遞給第二階段模式作為模式輸入資料之用，第二階段人員排班求解模式定式為集合涵蓋之數學規劃型式，其功能在於選取能夠包含所有任務的工作班組合集合，並獲得最小成本的班表，在此階段之模式建構以 ILOG OPL 語法建立限制規劃與數學規劃模式，以 OPL Script 語法建構求解演算法，然後使用 CPLEX 線性規劃及 Solver 限制規劃函式庫進行演算法求解。

1.5 研究內容與流程

本研究之研究內容如下：

1. 蒐集飛安查核作業相關資料

首先針對民航局飛安查核作業之相關資料進行蒐集，並藉由飛安查核系統層級來分析飛安查核作業之流程與程序，接下來整理實務上飛安查核工作排程及檢查員排班之相關資訊，以獲得工作排程與人員排班之法規規範與限制要求，最後建立飛安查核工作排程與檢查員排班之求解模式。

2. 工作排程與人員排班之相關文獻回顧

本研究將針對國內外之工作排程及人員排班文獻進行回顧，希望能深入瞭解排程作業之問題特性、模式類型，與各種求解方法。在模式說明部分主要針對限制規劃方法進行整理，其內容包括限制規劃模式的構建方式(限制滿足問題、組合最佳化問題)、模式求解架構，及邏輯推理之空間搜尋及運算程序。

3. 建立飛安查核工作排程之限制規劃模式

本研究將藉由限制規劃方法進行飛安查核工作排程之模式構建，並使用程式求解元件為查核任務排程之工作順序與檢查員之資格限制進行邏輯推理運算，以快速獲得飛安查核工作排程之求解結果。

4. 建立檢查員排班之求解模式

檢查員排班模式構建是依據上一階段所獲得的查核工作排程日程表，及考量滿足相關排班法規限制下，產生可行的工作班以提供每位檢查員執行查核作業，當進行人員排班模式建構時，其考量檢查員作業之相關規定、證照、訓練、每日工時限制等條件須否符合法規之基本要求，以確保檢查員之作業品質及工作效率，本研究將發展結合限制規劃與數學規劃方法之模式架構，來解決飛安查核人員排班問題。

5. 查核工作排程與檢查員排班模式求解

本研究之飛安查核工作排程是以OPL語法進行模式建構，並以限制規劃軟體ILOG Solver之Scheduler模組進行求解。在檢查員排班部份則是以OPL Script 語法建構限制規劃與數學規劃之求解演算法，再以ILOG Solver為求解限制規劃模式之函式庫、ILOG CPLEX為求解數學規劃模式之函式庫進行模式求解運算。

6. 模式求解結果分析與探討

針對本研究建立之查核工作排程模式進行求解，以獲得查核作業之工作排程日程表，接著使用工作排程日程表作為檢查員排班之模式輸入資料，及考量相關排班法規等限制，進行下一階段檢查員排班模式之求解運算，以獲得一可行檢查員工作班表。研究中將以查核工作排程與檢查員排班之實務資料進行模式求解測試，再將求解結果與實際查核作業情況進行比較，以驗證求解模式之可行性。

7. 結論與建議

最後將說明研究成果，及對未來需要改善之處提出建議。

本研究之流程如圖 1.1 所示：

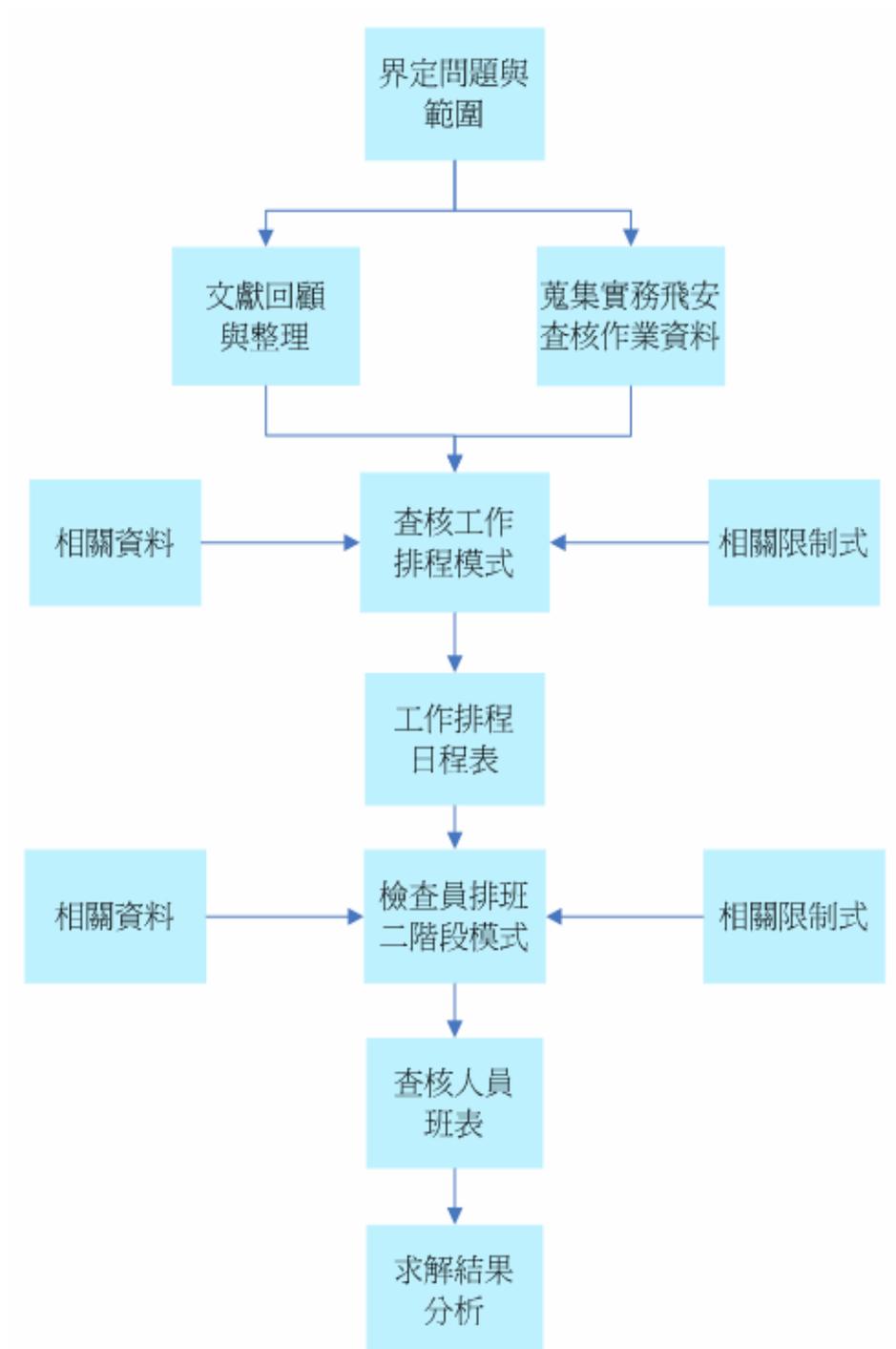


圖 1.1 研究流程

第二章 文獻回顧

首先對於排程問題之相關文獻進行蒐集與整理。依據排程問題類型區別，其主要可分為工作排程問題、資源分派問題，及結合工作排程與資源分派問題等類型；歸納整理排程問題的相關求解方法，過去研究一般均使用作業研究方式來對問題分析求解，因此在文獻說明部分，將深入瞭解作業研究求解各種排程問題之數學背景與模式意義，以作為飛安查核工作排程與人員排班模式構建之參考。由於本研究將查核工作排程問題定義為資源限制下之組合最佳化問題型式，並將檢查員工作班產生問題定義為需能符合排班法規要求之限制滿足問題型式，對於此兩種問題型式，若藉由限制規劃方式進行求解，將能增進模式之求解品質與運算效率，因此在 2.2 節部分，將針對限制規劃之理論基礎及相關求解概念進行說明與回顧。

2.1 排程問題文獻回顧

排程問題是將有限的資源分派給各項活動的最佳化過程。自 1950 年代起排程問題即被廣泛的探討，在各領域的決策過程中，如交通運輸、工業工程、營建工程、後勤補給等，排程作業一直扮演著相當重要的角色，有效的排程計畫除能促進作業的執行更有效率外，亦可減少資源的閒置時間、降低作業成本，及有效控制工作於預定的期限內完成。本節將依基本排程問題類型進行說明與回顧。

排程問題的類型及應用

排程問題是將可用資源，如時間、機器、人力等，分派給活動的最佳化過程，在分派的過程中需考慮活動對資源的需求及可用資源數量的限制，以達成資源使用最佳化之目標。由於排程問題之種類繁多，因此文獻上[1]主要將排程問題區分為工作排程問題、資源分派問題及結合排程與資源分派問題等三種類型，其說明如下。

2.1.1 工作排程問題

工作排程問題是指在預定的規劃期間內，為各項工作安排合適的執行時間，Thomas E. Morton[2]對於工作排程問題給予明確的定義，工作排程問題為「當資源數量有限，且在各項工作對於資源需求量已知的情況下，安排所有工作的工作開始時間與結束時間的規劃程序」。工作排程問題其典型的範例為零工式生產排程問題，以下將針對零工式生產排程問題進行說明。

- 零工式生產排程問題 (Job-Shop Scheduling Problem)

零工式生產排程問題於 1963 年在工業排程領域被提出後，即有許多作業研究學者投入研究，但此問題至今仍被認為是困難解決的問題。依據許淑芬[27]對於此問題的定義「零工式生產排程包含了 n 個工作(jobs)，其需經過 m 部不同功能種類的機器作業，每個工作中之各項作業需由不同的機器來完成，且有不同的機器加工順序，每個機器在同一時間只能操作一個作業 (Operation)，當一作業開始被處理時，則必須依序加工完畢，加工時間不可分割及各作業的加工時間為已知的實數，問題之目標是要尋求最短工期的工作排程」。

零工式生產排程問題具有以下特性：

- (1) 同一機器同一時間只能有一個工作加工。
- (2) 工作在機器加工的程序稱為一個作業。
- (3) 工作在各機器加工的順序已知。
- (4) 機器對各工作的加工順序未知。
- (5) 各作業的加工時間為已知定值。

零工式生產排程問題通常以網路圖形表示，網路圖形包含有連結節線及分離節線兩部分，在 $G(X,U)$ 之連結圖形(Conjunctive Graph)中， X 表示作業之節點， U 表示連接作業節點加工順序的節線，由於同一機器上加工的作業在生產環境中會產生同一時間競爭機器的現象，因此加上 $g(G,D)$ 之分離圖形(Disjunctive Graph)，以 D 表示資源競爭的分離節線(Disjunctive Arc)，若分離節線存在於同一機器操作的作業節點 a 、 b 間，則以虛線 $[a,b]$ 表示之。網路圖形的起始節點 s 和匯集節點 t 為二空節點(Dummy Node)，起始節點和每一工作的起始作業以連結節線相連，方向由起始節點到所有工作的起始作業；匯集節點和每一工作的最後順序作業以連結節線相連，方向為工作的最後順序作業到匯集節點。以下圖例表示一零工式生產排程問題以網路圖形模式描述的情況：

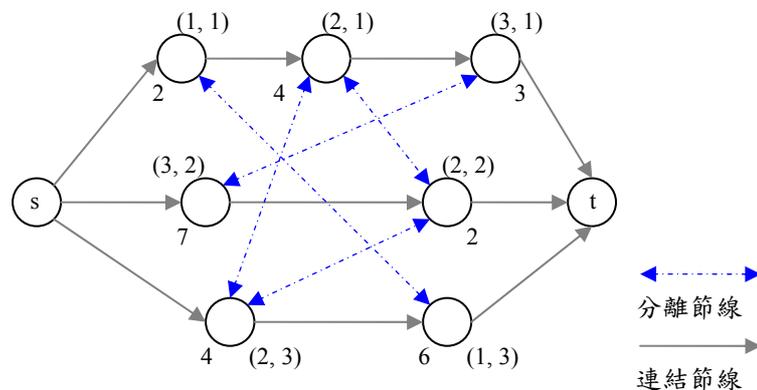


圖 2.1 零工式生產排程網路圖形

在圖 2.1 中，作業節點 (i, j) 表示工作 j 在機器 i 上操作，而作業節點下的

數值表示其作業時間，當目標函數為極小化最大完工時間(Makespan, C_{max})時，一般是利用運算方式將所有分離節線方向確定，即為確定所有機器上加工的作業順序，然後以起始節點到匯集節點的最長路徑為一可行解。當進行工作排程時，作業的加工順序要避免鎖死(Dead-lock)現象發生，此現象除了可能在同一機器作業之分離節線形成循環(Cycle)外，其亦可能在不同機器作業節點間的節線方向形成一循環網路。如圖 2.2 所示：

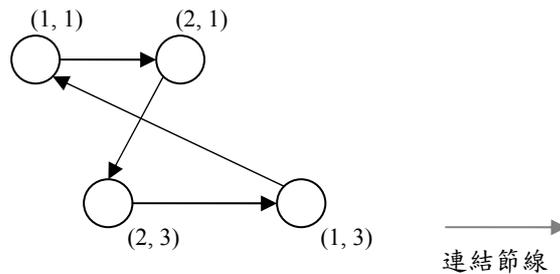


圖 2.2 形成循環網路問題

由於網路圖形模式能清楚地表示作業間的先後順序及同一機器作業間的資源競爭情形，因此對於零工式生產排程文獻上多建立網路模式以進行模式求解，其解題法有分枝定界法、鄰近解搜尋法、移動瓶頸法等主要三種方式；依據 Carlier [3]指出，零工式排程問題屬於 NP-hard 的問題，一般多採用啟發式演算法求得近似解，或由列舉所有作業排程的方式，再經由定界原則(Bound Scheme)和刪除原則(Elimination Criteria)，刪除不適宜的排程方式，而得到符合問題目標值的可行解。何惠雯[28]針對零工式生產排程的各種求解方法進行整理，其說明如下。

(一) 分枝定界法

分枝定界法的觀念在於把所有可能配置(Allocation)或排序(Sequence)的情形都列舉出來，依序驗證而得解。在分枝定界法中，分枝法則 (Branching Scheme)、定界法則 (Bounding Scheme) 和刪除法則 (Eliminate Scheme) 為其輔助法則；在網路模式中採用分枝定界法，傳統是以分離節線的兩個方向作為分枝的依據，但若將所有的分離節線方向情形都考慮進來，會使得演算過程太過龐大而降低求解效率，因此可先利用刪除法則去除不需考慮的節線，剩下未被決定方向的分離節線再建立分枝搜尋樹。

(二) 鄰近區域搜尋法

鄰近區域搜尋法常用於尋找近似最佳解，其程序為先找到一個起始解 (例如使用 greedy method 或其他方法)，再以此解為基礎產生一些細微的變動當作此解

的鄰近解，通常鄰近解會有一個以上，從鄰近解中挑其一，檢視此鄰近解是否較基礎解為佳，若是的話則以此鄰近解當成基礎解繼續搜尋新的鄰近解，否則檢驗原基礎解的其他鄰近解。若所有的鄰近解都無法比原基礎解佳，刪去所有的鄰近解留下原基礎解為所要的解答，其搜尋策略包含深度搜尋及廣度搜尋。

(三) 移動瓶頸法

移動瓶頸法在於尋找對整個生產線影響較大的機器，將之視為瓶頸機器，先對此機器作單機排程，之後再尋找下一個瓶頸機器，同樣的對下一個瓶頸機器作單機排程，反覆進行直到所有機器的作業都被排定為止。

2.1.2 資源分派問題

資源分派問題是將資源分配給各項活動的最佳化過程，其問題的描述為「在各項活動進行時間已知的情況下，每一時間點的資源供給應大於或等於活動進行所需的資源需求，並依活動對資源的需求量分派資源」。資源分派問題常見的範例為人員排班問題，例如航空公司組員排班或鐵路人員排班問題等問題型式。

■ 人員排班問題 (Manpower Scheduling Problem)

人員排班問題是在「達成生產目標之限制下，於規定的期間內，將所有工作任務分派給需要的人員，並由這些人員完成所有工作任務的規劃程序」。學者 Beasley 與 Cao[4]依產業特性將人員排班問題區分為：航空公司組員排班、大眾運輸人員排班及一般人員排班等三種主要型態。

(一) 航空公司組員排班 (Airline Crew Scheduling Problem)

航空公司組員排班通常分為勤務組合產生與組員派遣等兩個子問題。勤務組合產生問題是在航段、值勤規則、飛行班表及組員相關成本已知的情況之下，以總成本最小為目標組成連續性的任務組合，使得所有的航段至少被連續性的任務服務一次，同時組員能夠回到原出發地點；而組員派遣問題則是將所有的勤務組合分派給所有的組員，使組員獲得符合工作法規的工作任務指派。

1. 勤務組合產生問題 (Crew Pairing)

Lavoie 與 Minoux[5]採用變數產生法求解勤務組合產生問題，研究中先以人工方法產生可行變數，以作為主問題集合涵蓋模式之起始解，然後使用單體法自現有變數集合中找出主問題模式之最佳解，而子問題定義為最短路徑問題模式，其利用標籤修正法找到對主問題目標值有貢獻的可行勤務組合變數，再將其加入主問題中重新求解，然後以此程序改善目前解，直到無法改善為止。

沈志展[29]是在給定班表下，應用國外發展之勤務組合產生問題之求解模

式，以 C 航資料作為範例求解測試，在考量航機之飛行時間及人員工作時間、休息時間等法規限制之下，共產生 256 種可行之勤務組合，然後將所有可行組合之成本算出，再使用集合涵蓋問題(SCP)之模式求解出最佳的 18 個勤務組合。

林錦翌[30]與湯敦台[31]針對在混合機型接續、不同艙位等級空服員資格限制及多基地型態下，進行空服員排班問題之探討，此研究中為提高大規模問題之求解效率，其採用變數產生進行求解，若所得的解為非整數解，則利用分枝定限法暨變數產生方法繼續求得最佳整數解，並以空服員操作成本最小為目標，在已知班次表、機隊排程、民航法規、工會工作限制及公司內部規定等條件下，發展有效之求解方法。

顏上堯與杜宇平[32]以拉氏鬆弛法暨次梯度法的演算法架構進行求解，其作法將原問題的額外限制式鬆弛成為最小成本之純網路流動問題加以求解，此解即為原問題之下限解，並運用其研究發展之啟發式解法求得一符合原問題額外限制式之可行解，即為問題之上限解，然後以次梯度法修正拉氏乘數值，重複求解上限值及下限值，直到上下限收斂至一許可值為止。

韓復華、王國琛[33]針對空勤組員排班問題提出之求解架構，係在已知草擬班次表、機隊排程、民航法規、工會規定、航空公司人事派遣規則等條件下，以最小化空服員營運成本為目標，發展結合限制規劃(CP)與數學規劃(MP)方法之執行架構，建立一套以限制規劃為基礎之變數產生法，求解航空公司之大規模後艙組員排班問題。

2. 組員指派問題 (Crew Rostering 或 Crew Assignment)

在組員指派方面，翁偉棟[34]對於組員班表指派問題是採用學者 Day and Ryan 所提出公平性系統(Equitability System)之分析方式，其由組員的觀點考量，依組員對不同行程之偏好，構建一公平性成本函數，並在總公平性成本最小情況下，建構一公平性排班模式，並利用啟發式解法求解，以達成組員指派工作。

陳立欣[35]是將後艙組員派遣問題定式為一集合分割模式，研究中所建構之啟發式解法，分為三個階段來求解此問題；第一階段為長勤務指派，將飛行天數大於於 3 天的勤務組合，在滿足各種限制以及最小公平性成本的目標下，全數指派給後艙組員；第二階段為短勤務指派，其將所有飛行天數為 2 天的勤務組合，同樣在法規限制與最小公平性成本的目標下指派給組員。

唐依伶[36]將公平性組員派遣定式為限制滿足問題 (CSP)，其應用限制規劃 (CP) 方法，經由問題變數與限制式之設計，將航空公司組員派遣所考量的各項限制模式化，並進行求解，研究中為提升求解效率，其使用「以最小累積飛行時數者優先指派」之搜尋策略，並以「分階段指派」之啟發式方法求解公平性組員派遣問題。

(二) 大眾運輸人員排班(Mass Transit Crew Scheduling)

大眾運輸特性的人員排班問題，如公車駕駛員、捷運系統司機員及鐵路運輸司機員等，這類的人員排班問題特性與航空公司組員排班問題類似，一般在求解上也是將大眾運輸組員排班問題分為組員排班(Crew Scheduling)與組員派遣(Crew Rostering)兩個階段。由於公車與捷運排班主要的作業時間為日間，考量工作時間與休息時間限制下，對於一連串的乘務連接所形成的工作班；而鐵路排班規模通常較大，有時需考慮過夜班以及貨物列車，其排班之複雜度較公車與捷運高。

Desrochers and Soumis[6, 7]利用變數產生法求解 Montreal City 之公車人員排班問題，其將主問題定式為一集合涵蓋問題，利用單體法求解，子問題為限制性的最短路徑問題，利用動態規劃方法(Dynamic Programming)來求解對目前受限制主問題目標值有貢獻之新變數，並將變數加入受限制主問題中重新求解，依此步驟逐步改善以獲得最佳解，最後再配合分枝定限法以獲得最佳整數解。

盧宗成[38]針對捷運司機員之排班問題，發展一套捷運司機員排班模式，並運用變數產生法求解，其求解方式是將主問題定式為一集合涵蓋問題，子問題定式為資源受限制之最短路徑問題，並利用單體法與資源受限制之最短路徑演算法分別求解主、次問題。

謝欣宏[39]與張育彰[40]對於台鐵司機員之人員排班與輪班問題進行探討；在人員排班部份，將問題分為(1)可行工作班產生，與(2)工作班選擇兩個子問題處理，前者使用基因演算法以網路產生啟發式解法來產生合法的工作班集合，後者則視為一集合涵蓋問題，從可行工作班集合中選擇能涵蓋所有乘務的工作班解組合，在人員輪班問題部份，則是將指派問題定義為不對稱的推銷員旅行問題，以系統總週期最小為目標，最後獲得排班表與輪班表。

(三) 一般人員排班(Generic Crew Scheduling)

一般人員排班問題的產業泛指上述兩種產業以外之類型，此類問題不論在排班部份或是人員指派部份，其排班的班次型態或休假規定大多為已知或固定，若與航空公司人員排班問題的龐大程度相比，此類問題則是屬於中、小型之人員排班問題，因此，於文獻上亦較少使用航空公司人員排班之求解程序，大多使用啟發式解法或其他適合的演算法直接求解。

陳玉菁[41]針對航空公司停機線修護人力供給之問題，發展一啟發式三階段求解架構之數學規劃模式，第一階段是以不分機型最佳化之觀點進行系統最佳排班班次規劃，第二階段則進行各單機型之排班人力供給規劃，第三階段對於單機型之人力供給規劃結果加以改善，進行混合機型之排班人力供給規劃，以幫助航空公司修護部門解決修護人員排班問題。

林詩芹[42]將客服人員排班問題定式為限制滿足問題(CSP)，並以限制規劃(CP)方法進行求解。此研究將問題分為二階段求解，第一階段排班模式，其產生滿足各條件限制及各時段人力需求之可行班次，及考慮人力成本最小化；第二階段為「派遣」模式，為將第一階段產生之班表指派給人員，除考慮各項限制條件外，亦考慮班表之公平性。

2.1.3 結合排程與資源分派問題

結合工作排程與資源分派問題能決定各項活動的執行時間及各項可用資源的分派。早期關於結合排程與資源分派問題的研究包括單機排程、平行機器排程，和工作中心排程等問題分析，其模式求解結果均可獲得規劃期內機器的使用情形，及各項活動的作業開始時間與結束時間，近年來，更複雜的結合工作排程與資源分派問題陸續被提出，此類型問題多應用於專案排程領域，如資源限制的專案排程問題，其詳細說明如下。

- 資源限制專案排程 (Resource-Constrained Project Scheduling)

專案排程問題之求解方法主要為計畫評核術(PERT)及要徑法(CPM)等專案網路模式，這兩種方法均由時間導向過程決定專案中各項活動的排程時間，其中 PERT 與 CPM 之主要差異在於作業時間的估計，計畫評核術中的作業時間是屬於機率性，而要徑法的作業時間則是屬於確定性。PERT 或 CPM 之專案管理技術均包含規劃、排程及管制等三階段程序；在規劃階段是將專案計畫區分為不同的活動(或稱作業)，然後估計各項活動所需作業時間，及繪出專案網路圖形，以表示各項活動相互關連的情形(如圖 2.3 所示)，在圖中的每一節線代表一項活動，數字 δ_{ij} 為活動時間，節點表示活動的開始或結束，專案網路圖形建立之優點是讓排程管制人員可針對工作順序加以探討，在計畫實際執行前提出改進意見，並且利用專案網路圖形進行下一階段的排程作業；排程階段的目的是建立工作排程時間表，其表示每個活動的開始時間與結束時間，當進行排程工作時需特別注意要徑時間，以期計畫可以如期完成，對於非要徑上的活動，於圖中可標明寬裕時間(Slack Time)，當活動發生延遲時可加以利用；而最後的管制階段，則依據專案網路圖形及排程時間表製作分析報告，以充分掌握及控管專案進度。

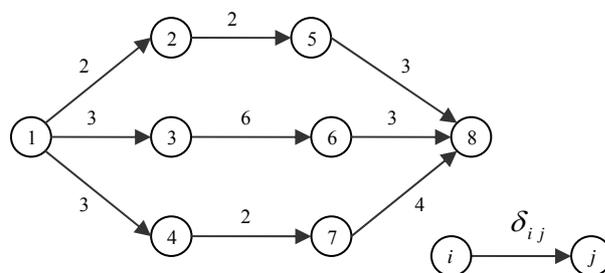


圖 2.3 專案網路(PERT/CPM)

由於PERT/CPM技術對於資源的使用均假設為充足，然而此過程可能造成排程結果與真實的情況有所差異，因此其後的研究大多對於資源限制列入排程考慮，稱為資源限制專案排程問題(RCPSP)。

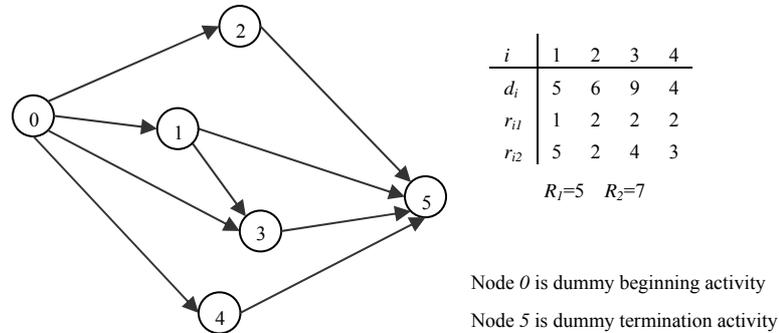


圖 2.4 RCPSP 專案網路 (4 項活動與 2 種資源)

Tomas E. Morton [2]對於資源限制專案排程問題之定義為「給定 n 個活動 $i=1 \dots n$ ，與 r 種類型資源 $k=1 \dots r$ ， R_k 為資源 k 的總供給量， d_i 為第 i 個活動的作業時間， r_{ik} 為第 i 個活動對於資源 k 的需求數量，而先行限制(precedence constraints)表示活動間具有先後順序之關係，如 $i \rightarrow j$ 為活動 j 的開始時間需大於或等於活動 i 的結束時間，此外各項活動對於資源型態及需求數量均不相同，當進行工作排程時，同一時間資源需求不能超過可用資源的最大數量，最後在達到總處理時間最小的目標下，決定各項活動的作業開始時間 s_i 與結束時間 $s_i + d_i$ 」，資源限制專案排程一般化數學規劃模式如下：

$$\begin{aligned}
 &\text{minimize} && \text{Max } \{s_i + d_i\} \\
 &\text{subject to} && s_i \geq s_j + d_j, \text{ for all } i; j \in P_i \\
 &&& R_k \geq \sum_{i \in A_t} r_{ik}, \text{ for all } t; \text{ for all } k \\
 &&& s_i \geq 0, \text{ for all } i \\
 &&& r_{ik} \geq 0, \text{ for all } i; \text{ for all } k
 \end{aligned}$$

s_i ：為第 i 個活動的開始時間

d_i ：為第 i 個活動的作業時間

- P_i ：為第 i 個活動之前的所有活動集合
- R_k ：專案中第 k 種資源的供給數量
- A_t ：在時間 t 活動正在進行的集合
- r_{ik} ：為第 i 個活動對於資源 k 的需求數量

對於資源限制專案排程問題，求解方式包括數學規劃、啟發式解法及限制規劃等方法，在數學規劃方面，其應用(1)整數規劃、(2)周界列舉、(3)分枝定界、(4)窮舉法等方式進行最佳化求解，但由以上的數學式之可知，資源限制專案排程是屬於NP-Hard問題，其問題規模會隨著專案中的活動數量增加呈指數成長，劉自強[43]指出若以數學規劃方式求解，其僅適用於50個活動及3種資源限制以下的專案排程問題，當問題規模較大時，文獻上多建議使用啟發式解法進行求解，如學者Khattab[8]所提出之啟發式解法，其依PERT/CPM的時程分析方法，及決定專案網路的要徑及各項活動的寬裕時間、最早開始時間、最晚時間，再藉由權重法則決定活動安排的先後順序，逐次將各項活動加入專案排程中。

在資源限制專案排程之啟發式解法中，常運用的權重法則如下[8]：

- (1) 最小工作寬裕法則：其是以各項活動的寬裕時間作為權重依據。
- (2) 資源排程法則：以增加總工期越小的活動其權重越大。
- (3) 最小完成時間法則：以最早完成時間為權重法則，完成時間越早其權重越大。
- (4) 最大需求資源法則：其權重決定之公式為 $priority = d_i \sum_k r_{ik}$ ，其中 d_i 為活動 i 的作業時間， r_{ik} 為第 i 個活動對於資源 k 的需求數量。
- (5) 最短工作時間法則：活動的作業時間越短其權重越大。
- (6) ACTIM法則：ACTIM時間為要徑時間減去活動最晚開始時間，當ACTIM的值越大其權重越大，ACTIM為各項活動至網路中點的最長路徑時間，路徑時間越長其影響專案完成時間的重要性越大。
- (7) 最晚完成時間法則：最晚完成時間越小的活動其權重越大。
- (8) 隨機法則：隨機選擇活動項目加入專案排程中。

此外，Peter Brucker[9]使用限制規劃方法對資源限制專案排程問題進行求解，亦獲得不錯的求解效果，Peter Brucker在文章中提到「資源限制專案排程之目標式除了有基本型態的最小處理時間 $C_{\max} = \max_{i=1}^n C_i$ 外，對於不同問題類型之目標函數 $f(C_1, \dots, C_n)$ 亦可加以修正，例如：給定流程時間權重之 $\sum_{i=1}^n w_i C_i$ 、延遲時間權重之 $\sum_{i=1}^n w_i T_i$ ，和最大延遲時間之 $\max_{i=1}^n L_i$ 等目標函數類型，然而在限

制規劃的模式中並沒有提供設定其他類型目標函數的相關限制增長規則，因此僅能設定關於總處理時間makespan的目標函數」。而RCPSP問題在實務上也有許多應用，例如高中排課問題[10]、審帳人員排班問題[11]，和生產排程[12]等問題。

2.2 限制規劃文獻回顧

限制規劃其使用程式語言設計搜尋演算法，使電腦在有限的值域集合中藉由縮小值域搜尋空間方式，求解限制滿足問題或是組合最佳化問題。限制規劃由求解限制滿足問題演化而成，限制滿足問題是「在滿足所有限制條件下，於決策變數的值域空間內搜尋是否存在可行解」，限制滿足理論自1970年代起開始發展，當時進行研究的學者包括Waltz[13](1972)、Montanari[14](1974)、Mackworth[15](1977)等，1978年Lauriere[16]使用程式語言ALICE求解組合問題(combinatorial problem)，到了1980年代有更多學者投入研究，如Jaffar and Lassez [17] (1987)、Van Hentenryck[18](1989)等，其多使用邏輯程式語言(如Prolog)進行演算法設計以求解限制滿足問題，但是由於邏輯程式語言之求解運算過程過於複雜，因此到了1990年代邏輯程式語言逐漸被高階程式語言所取代(如Lisp之Pecos)。而一般求解CSP問題需使用程式語言輔助求解，文獻上對於使用邏輯程式語言方式求解稱之為限制邏輯規劃(Constraint Logic Programming, CLP)，對於使用高階程式語言輔助求解CSP的方式稱為限制規劃(Constraint Programming, CP)。近年來，由於電腦運算速度的進步與企業運用限制規劃來求解實務問題的技術逐漸成熟，因此已有物件導向的限制規劃程式庫的開發作業環境，例如：ILOG公司的 Solver (C++)、Jsolver (JAVA)、Scheduler(C++)、Dispatcher(C++)。

2.2.1 限制滿足問題

限制滿足問題是描述「給定一組決策變數 $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ ，其決策變數具有相對應之有限值域集合 $\{D_1, D_2, \dots, D_n\}$ ，及一組限制式 $\{C_1, C_2, \dots, C_m\}$ 之條件下，尋找滿足所有限制式之一組或多組可行解」，其中， n 表示CSP中的決策變數個數， m 表示CSP中的限制式個數，有限值域(Finite Domain)為各種可能之集合，例如：介於0~100的整數集合、區間 $[1, 100]$ 的實數值集合、元素集合(如人名之 $\{Tom, Judy, Jim, Ann\}$)等，由於決策變數的型態沒有限制，因此決策變數可為整數值、實數值、元素集合，或是集合中的部分集合。對於其限制式，可由數學函式定義為 $f: D_1 \times D_2 \times \dots \times D_n \in \{0, 1\}$ ，若且唯若限制式 $C(X_1, X_2, \dots, X_n)$ 滿足，則 $f(X_1, X_2, \dots, X_n) = 1$ ，否則為0，因此對於CSP之完整數學表示方式如下：

給定 n 個值域 D_1, D_2, \dots, D_n ，與 m 條限制式 f_1, f_2, \dots, f_m

Find values of X_1, X_2, \dots, X_n

Such that

$$f_k (X_1, X_2, \dots, X_n) = 1, \quad 1 \leq k \leq m$$
$$X_j \in D_j, \quad 1 \leq j \leq n$$

在CSP問題之求解模式中，限制式 f_k 並非僅能由數學函數型態來表示限制關係，其亦可由邏輯型態進行宣告表示。藉由以上的數學式可知，限制滿足問題之解題架構中，並沒有目標函式的存在，而是由一群限制式及可行值域所構成，藉由程式運算而求得一組或多組可行解。在實務應用上有許多問題之特性是屬於限制滿足問題，例如：班表設計問題、勤務組合產生問題、組員派遣等問題。

2.2.2 組合最佳化問題

限制規劃最初的發展是用來解決限制滿足問題，然而其求解演算法卻也適用於最佳化問題上，對於求解組合最佳化問題，限制規劃系統亦允許目標函式的設定，若在限制規劃模式中加入目標函式，在其運算過程中會將目標函式設定為 $g: D_1 \times D_2 \times \dots \times D_n \in \mathbb{R}$ ，因此對於可行的目標函數值 $g(X_1, X_2, \dots, X_n)$ 將能進行評估。使用限制規劃方式求解組合最佳化問題，是由限制滿足問題中加入目標函式，其描述為「給定一目標函式 $g(X_1, X_2, \dots, X_n)$ ，及一組決策變數 $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ 組成，決策變數具有相對應之有限值域集合 $\{D_1, D_2, \dots, D_n\}$ ，且一組限制式 $\{C_1, C_2, \dots, C_m\}$ 之條件下，尋找滿足所有限制式之最佳解」，其中， n 表示決策變數個數， m 表示限制式個數，而決策變數對應之值域為離散型態之有限集合。在限制規劃中對於組合最佳化問題之數學表示方式如下：

$$\text{Max(or Min)} \quad g(X_1, X_2, \dots, X_n)$$
$$\text{Subject to}$$
$$f_k (X_1, X_2, \dots, X_n) = 1, \quad 1 \leq k \leq m$$
$$X_j \in D_j, \quad 1 \leq j \leq n$$

目前對於變數值域集合屬於離散型態的組合最佳化問題，一般可使用作業研究及限制規劃兩種方式進行求解，但由於這兩種方式之求解運算模式不同，因此其適用的問題類型亦不同。由於限制規劃之運算特性是藉由限制求解演算法之限制增長，使得值域空間逐漸縮減，進而求得最佳解，因此限制規劃較適合限制程度高的組合最佳化問題，例如含時間窗限制的車輛排程問題、具有容量限制的車輛排程問題等，若對於限制程度低的組合最佳化問題而言，其決策變數的值域空間可能縮小有限，一般還是使用作業研究之求解效率較佳。

2.2.3 限制規劃系統說明

(一) 限制規劃系統架構

Van Hentenryck[19]指出，限制規劃具有二層式的系統架構，其第一層是提供使用者輸入問題的限制元件，第二層是用來解決問題的程式求解元件，以下將介紹組成限制規劃系統之限制式元件與程式求解元件。

1. 限制式元件(Constraint Component)：

限制規劃系統能提供使用者輸入模式化語言之介面，而其限制式元件則是讓使用者於此元件中宣告決策變數、限制式，及設定求解演算法，其具有資料儲存及資料連結之功能，由於限制規劃可輸入之限制式種類相當多，所以對於各種問題可能使用之限制式規則，均存在與其對應的限制元件以提供使用者進行模式構建。

2. 程式求解元件(Programming Component)：

程式求解元件是由求解演算法之相關元件組成，其包含限制系統邏輯推理元件與空間搜尋元件兩部分，當進行模式求解運算時，藉由這二組元件相互配合運作，以達成限制規劃的模式求解功能，以下對於邏輯推理元件及空間搜尋元件進行說明。

(1) 限制系統邏輯推理元件(Reasoning Component of Constraint System)

限制系統邏輯推理元件所使用之限制求解演算法，可針對由限制元件構成之限制系統進行邏輯推理運算。相關的演算法主要包含決策變數值域與限制式間的一致性檢驗技術(Consistency Checking Techniques) 及值域縮小(domain reduction)、限制增長等兩類運算求解機制(Constraint Propagation)。

(2) 空間搜尋元件(Tree-Search Component)

空間搜尋元件所使用之搜尋演算法，主要是以搜尋樹—換枝檢驗法(BT)作為搜尋運算之核心，其配合限制式系統邏輯推理元件之變數值域縮減演算法，形成有效率的空間搜尋演算法。在空間搜尋策略方面，限制規劃中的空間搜尋元件除了提供預設之 Depth-first、Best-First 等搜尋策略外，其亦允許使用者自行定義合適的搜尋方式。

(二) 限制式宣告方式

在限制規劃中，其限制式之宣告方式包含以下幾種類型：

□ Logical constraints

宣告方式	說明
$(x = 4) \Rightarrow (y = 5)$;	If x is equal to 4, then y is equal to 5
$(a.end \leq b.start) \vee (b.end \leq a.start)$;	Either "Activity A" precedes "Activity B" OR "Activity B" precedes "Activity A"

□ Global constraints

宣告方式	說明
<code>alldifferent(x)</code> ;	All of the values in the array x are different
<code>distribute(card,value,base)</code> * <code>card[i]</code> is the number of times <code>value[i]</code> appears in base;	Element i of the array card is the number of times that the ith element of the array value appears in the array base

□ Meta constraints

宣告方式	說明
<code>sum (i in S) (x[i] < 5) = 3</code> ;	The number of times that the array x has the value 5 is exactly 3

□ Element constraint

宣告方式	說明
$z = y [x [i]]$;	The cost of assigning person i to job j is <code>cost[job[i]]</code> , when <code>job[i]</code> is j

(三) 演算法求解程序

1. 值域縮小與限制增長(Domain Reduction and Constraint Propagation)

限制規劃之求解演算法，主要是透過宣告決策變數的值域集合，並依序檢查限制式是否滿足，然後進行決策變數可行空間的樹狀搜尋，進而刪除不可行的解。其求解的兩個基本機制為值域縮小及限制增長之運算技術，值域縮小是指求解模式由原始限制式進行邏輯推論運算，將值域集合中之不可行變數值移除的過程，在值域集合刪除不可行的變數值後，記憶體中的決策變數值域集合將會立即更新，此時求解模式繼續加入新的限制式以進行下一次的邏輯推論運算，則此過程稱為限制增長，限制規劃即是透過值域縮小和限制增長的交替作用以進行模式運算求解。以下為CSP問題之基本求解演算法。

▪ 限制規劃 CSP 問題之求解演算法[19]

CSP solver(Problem)

1. Create CSP For Problem
2. **while not** (solved or infeasible)**do**
3. Remove Inconsistent Values
4. Select Decision Variable
5. Select Value For Variable
6. **end**

2. 以下對於演算法求解限制滿足問題之運算過程提出範例說明[1]：

Find integer values for x , y and z such that:

$$x \in [1,3], y \in [1,3], z \in [1,3]$$

$$x-y=1, y < z, \text{ and } y=2.$$

限制規劃是以搜尋樹演算法進行模式運算求解，因此可使用樹狀圖來表示決策變數的值域空間，此問題的樹狀圖共有三層，每一層的節點是表示一個決策變數，而分枝節線則表示該決策變數可能的值，圖形最後一層所有分枝可表示決策變數值域集合之所有可能組合(即CSP中的搜尋空間)，其共有27種組合。由限制規劃的求解程序，在宣告變數值域集合後，依序加入限制式將不可行的值移除，以縮小搜尋空間，最後找出決策變數可行值域集合。

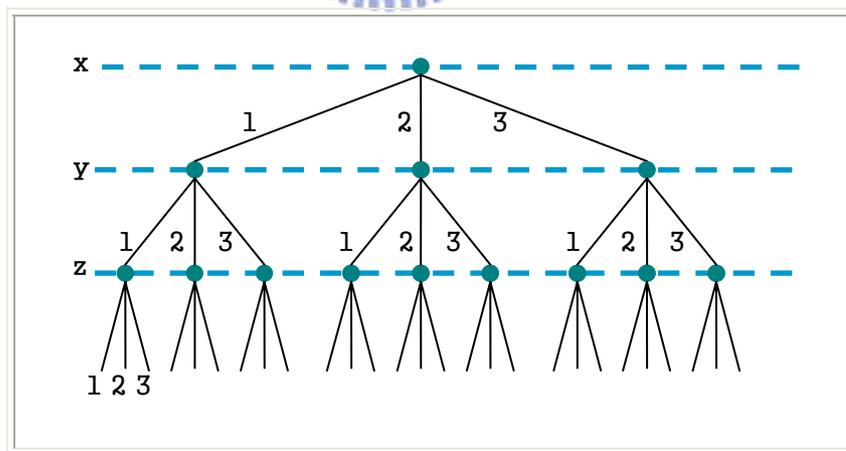


圖 2.5 決策變數值域集合

原來的 X 變數及 Y 變數之值域皆為1~3的整數，先考慮限制式 $X-Y=1$ ，當 $X=1$ 時，在 Y 的值域中找不到任何一個對應的 Y 解，因此 $X=1$ 無法滿足，移除 $X=1$ ，同時當 $Y=3$ 時，找不到對應的 X 解，所以移除 $Y=3$ 。當刪掉這些不可行的值，則 X 的值域縮減成2、3兩個值， Y 的值域縮減成1、2兩個值。

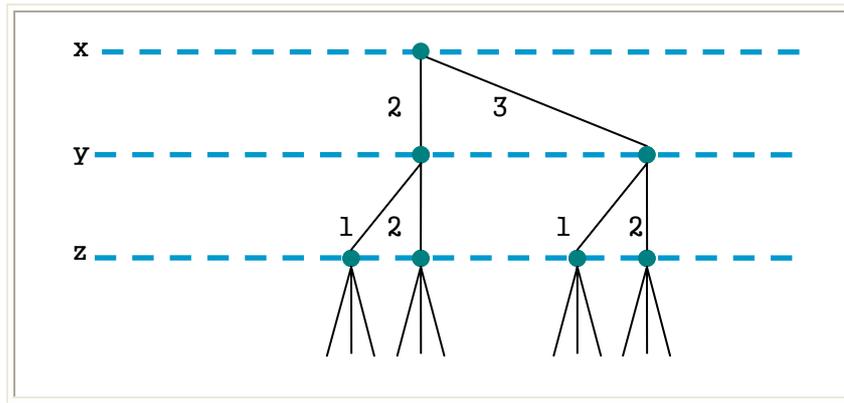


圖 2.6 刪除不可行的分枝-1

考慮第一個限制式 $X - Y = 1$ 後，接著繼續考慮第二個限制式 $Y < Z$ ，現在Y的值域值為1、2，當 $Z = 1$ 時，在Y的值域中找不到任何一個對應的Y解滿足 $Y < Z$ ，因此移除 $Z = 1$ ，則X的值域保持2、3兩個值，Y的值域保持1、2兩個值，Z的值域縮減成2、3兩個值。

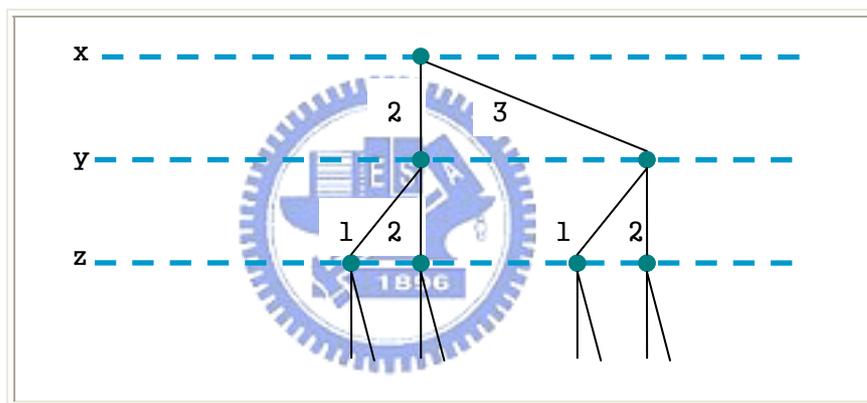


圖 2.7 刪除不可行的分枝-2

最後考慮第三個限制式 $Y = 2$ ，現在Y的值域值為1、2，所以移除 $Y = 1$ ，而X的值域為2、3，因 $Y = 2$ 且 $X - Y = 1$ ，所以移除 $X = 2$ ，而Z的值域為2、3，因 $Y = 2$ 且 $Y < Z$ ，所以移除 $Z = 2$ ，最後得到一組解： $X = 3$ ， $Y = 2$ ， $Z = 3$ 。

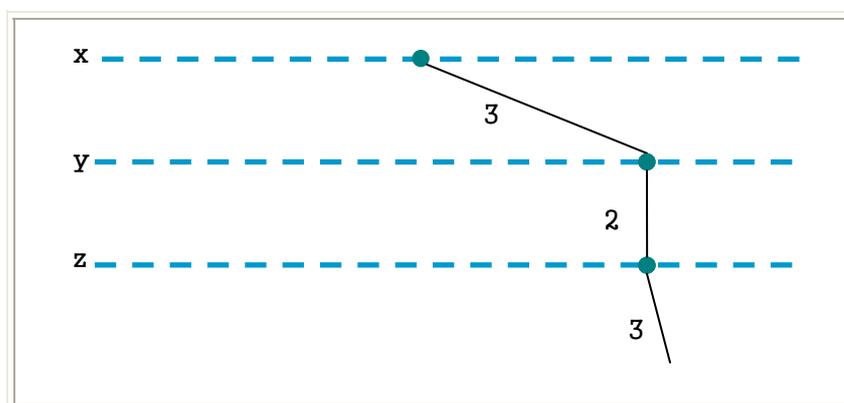


圖 2.8 獲得一組可行解

當變數值被修改時(如第三個限制式指定 $Y = 2$)，將此限制式($Y = 2$)新增到原始的限制式($X - Y = 1$, $Y < Z$)，此過程為限制增長，再由原始限制式將值域集合中不滿足限制式的變數值移除，為值域縮小。而求解機制設計的目的，是藉由問題的限制式來縮小搜尋空間，以提升模式之求解速度。

小結：

傳統作業研究方法多針對最佳化問題發展有效的數學規劃模式，但是實務上還有許多問題，並不需要追求最佳化的結果，而是希望找出滿足所有限制條件的答案，因此近年來，用來求解限制滿足問題的限制規劃方法逐漸受到重視。國內有關限制規劃的研究，包括：王國琛[26]以限制規劃結合數學規劃方法求解大型後艙組員排班問題；唐依伶[29]依據公平性組員排班限制，將組員派遣問題構建為限制滿足問題，及使用限制規劃方法產生個別組員月勤務組員班表；林詩芹[34]根據客服人員服務單位之排班規定與班表公平性之原則，使用限制規劃方法建立人員排班求解模式。



第三章 飛安查核作業

本章針對民航局飛安查核作業、飛安查核工作排程，及檢查員排班等主要內容，進行整理說明。在飛安查核作業部分將依序介紹國內之查核組織、查核人力、查核工作內容、及查核作業程序等項目；在查核工作排程部分則說明飛安查核系統層級、查核任務選取，及進行查核任務排程之考量因素；在檢查員排班部分，將說明人員排班之目的、排班作業之規定，及確保檢查員之作業品質與工作效率，最後考量人員排班之公平性與合理性，以進行下一階段排班模式建立。

3.1 民航局飛安查核作業

整體飛航安全系統之參與者包含政府組織(交通部、民航局、航空器飛航安全委員會)、航空業者、民間團體、民眾(旅客與機場鄰近居民)、軍方等層面，而各個層面彼此間相互合作，且各有其權責及相互影響，其中民航局為全國最高之飛安管理單位，其負責整體航空紀律之安全督察，施行飛安相關之國際標準與建議措施、認證與審核民航業者之營運能力，及監督航空公司之營運作業是否符合安全標準規範，使得國內整體飛航環境達到安全標準。為確保飛航作業品質，民航局針對航空運輸業者、機場及地面等相關作業定期執行飛安查核工作，其制訂查核作業標準程序與建立健全之組織結構，以善盡飛安督導職責，當進行飛安查核任務執行時，其運用合格之技術人員與標準之指導手冊，依循規定之作業程序進行檢查工作，並給予查核人員充足之訓練及擬定嚴謹之作業規範，以提升飛安查核作業之工作品質與效率，進而消除造成飛安問題之潛在因素。

為瞭解民航局執行飛安查核作業實際情況，以下就查核組織、查核人力、查核工作內容，以及查核作業程序等構成飛安查核作業之各項要素進行整理說明。

(一) 查核組織

民航局依據「交通部民用航空局組織條例」之第14條訂定「交通部民用航空局辦事細則」設立飛航標準組以負責飛安查核相關業務並規範其相關權責。飛航標準組之主要工作包括航務查核、機務查核、飛航測試、適航認證、航空人員訓練及檢定給證，與制定飛航安全政策等項目，而飛安查核作業則包含航務查核與機務查核兩項查核作業。

(二) 查核人力

查核人力為執行查核工作之主體，檢查員必須對飛行過程、法規手冊以及航機機械原理等各項相關領域均極為專業且熟悉才得以勝任，例如：執行「機長操

作經驗觀察」之航務查核任務時，檢查員必須擁有長期駕駛經驗才能具備對機長操作是否符合標準程序之評估能力，當執行「結構檢查計畫檢查」之機務查核任務時，檢查員則必須對航空器之機械結構深入瞭解才能具備航空器是否達到適航要求之判斷能力，因此民航局依據檢查員之專業領域，將查核人力區分為航務檢查員、適航檢查員、航電檢查員、危險品檢查員及客艙安全檢查員等五類。由於查核人力素質關係到整體飛安查核之施行成效，為確保查核人力素質之維持，民航局定期安排檢查員接受專業訓練並於訓練後進行測驗，以確保查核人員能持續具備達成職務所需之能力，且對最新飛航資訊能有所接觸，以促進查核人員素質的提升。

（三）查核工作內容

飛安查核工作包含航務查核與機務查核等兩項查核作業，航務查核及機務查核之執行是以「航務檢查員手冊」及「適航檢查員手冊」所訂定之查核工作項目為主要依據，且檢查員手冊亦可作為查核人員執行查核任務時之工作指導與作業規範。

航務查核是在確保航空運輸業者進行飛航作業時能符合標準程序與法規要求，包括營運規範、各類操作手冊、訓練手冊、飛航組員資格、訓練及簽派、航機操作及管制等項目，其對於初次申請或公司合併之業者需進行五階段之審查，對於營運中之業者，則依據航務檢查員手冊定期執行查核工作，以監督其營運作業是否符合標準規範。

機務查核則是在確保航機維護達到適航標準，並檢查航空公司對於航機之適航簽放是否符合規定之程序，其所遵循之法規有：航空器適航檢定給證規則、航空器修理廠設立檢定規則、計畫維護、維護簽證、機務检查工作手冊等規範；機務查核分為航空器適航查核、航空器工廠維護查核、航空器停機線查核、航空器修理場所檢定查核等查核類別。

民航局目前執行飛安查核工作是依據航務檢查員手冊與適航檢查員手冊中所訂定之查核任務(job functions)作為檢查員進行各項檢查之工作單位，其各項查核任務所包含之工作項目(checklists)數量、性質不盡相同，在實際執行飛安查核作業，各項查核任務所需之工作時間及頻次會隨著查核任務內容之重要程度而有所改變。

（四）查核作業程序

飛安查核作業程序分為工作預劃、實際執行以及結果分析等三階段。

1. 工作預劃階段：

工作預劃之目的，是希望在現有資源限制下有效運用查核人力及妥善安排查核任務確實執行，預劃程序之主要內容包括查核計畫制定（工作任務選定、查核頻次訂定）、查核任務排程及查核人力指派等過程。其中民航局對於查核計畫制定之工作任務選取與查核頻次訂定，需根據航空公司歷年營運紀錄所呈現之飛安風險指標，決定查核工作應針對航空公司哪些部門或活動作業進行加強監督，當查核計畫初步擬定時，需先經飛航標準組主任核定後送陳交通部審查，查核計畫經交通部核可後，下一年度再由主任檢查員按查核計畫內容指導演、機務檢查員實際執行查核任務，此外為提升實際執行查核任務之整體作業品質及工作效率，主任檢查員（查核排程管制人員）需依據查核計畫制定各項查核任務之工作排程，並在現有人力資源考量下，將排定的查核任務指派給查核人員，以完成查核人力指派工作。

2. 實際執行階段：

檢查員在執行航空公司的查核活動時，執执行程序主要分為工作準備階段、實際執行檢查階段。在工作準備階段，查核員於執行查核任務前，必須做好預先準備工作，以熟悉查核作業的執执行程序，準備工作包括資料蒐集、資料研讀、及熟悉相關設備和系統運作方式等步驟，經過充分的準備作業後，則進入實際執行檢查階段，檢查員在實際執行檢查階段依據檢查員手冊中制定的查核內容及作業規範要求，在規定的查核時數內，針對查核任務中的工作項目(checklist)進行查核作業，以確認航空公司的營運活動是否遵守民航局所訂的法規以及國際上之飛安相關規定，而形成一完整之查核過程。

3. 結果分析階段：

在結果分析階段是由檢查員將實際執行查核作業時收集到的檢查資料與各項紀錄進行解讀分析，並研判各項活動發生問題的詳細原因，及找出實際飛航作業上之缺失，然後再將發生問題的訊息傳送回查核資料分析系統，其透過詳細的資料處理及完善分析過程，可進一步將後續如何修正的建議資訊，提供給民航主管機關及航空業者，使政府組織及相關業者能就問題缺失部分進行改善及補救；此外各種發生問題之研判資訊亦可回饋給更上層之飛機設計或製造商，以供其設計或製造航空器時，能有較多方面之思考而提供更合適及更安全之航機。

3.2 飛安查核工作排程

飛安查核工作排程為「民航局執行飛安查核作業時，所應建立之一套排程模式，支援檢查員依據檢查員手冊確實執行查核任務」。進行飛安查核工作排程，除應確保遵守檢查員手冊之查核內容及作業規範要求外，並須考量民航局本身查核能

量(查核人力、檢查員資格)是否滿足查核任務(工作項目及查核頻次)之查核需求，以進行工作預劃及安排。由於查核工作的釐清有助瞭解各項查核任務的工作性質及深入探討其查核項目所須達成之任務要求，因此，對於查核任務與航空公司的作業活動進行分析以建構「查核系統架構層級」，將能呈現各查核任務對應於航空公司整體作業之層級關係，而此架構層級亦可作為飛安查核工作排程之參考依據。本節將針對查核任務對應至系統架構之所屬層級及飛安查核工作排程之考量因素進行說明。

3.2.1 查核任務系統層級

民航局執行飛安查核作業是依據航空公司的相關活動進行查核，透過系統性的查核系統架構分析[25]，將航空公司的查核活動分成六個層面；在組織系統層面：查核重點在於航空公司之管理系統與組織架構、相關人員的責任界定，以及上層的相關手冊以及計劃的制定與審核。在能力資格層面：其查核重點在相關人員必須符合資格的要求以及能力與適職性的具備。在實際作業層面：其查核的重點則觀察在實際執行飛航活動時，是否提供適當的人員以及適當的工具，再依照適當的程序執行其任務。在作業績效層面：查核的重點則在強調是否產生適當的記錄。而在自我監控層面：因為一個運作良好的飛安組織需要內部不斷的進行回饋與修正，才能有效果的確保飛安執行運作狀況，因此查核重點在於航空公司的內部控制部分。而最後整體運作層面：其查核重點在於監督航空公司整體運作狀況。查核系統架構層級如圖3.1所示。

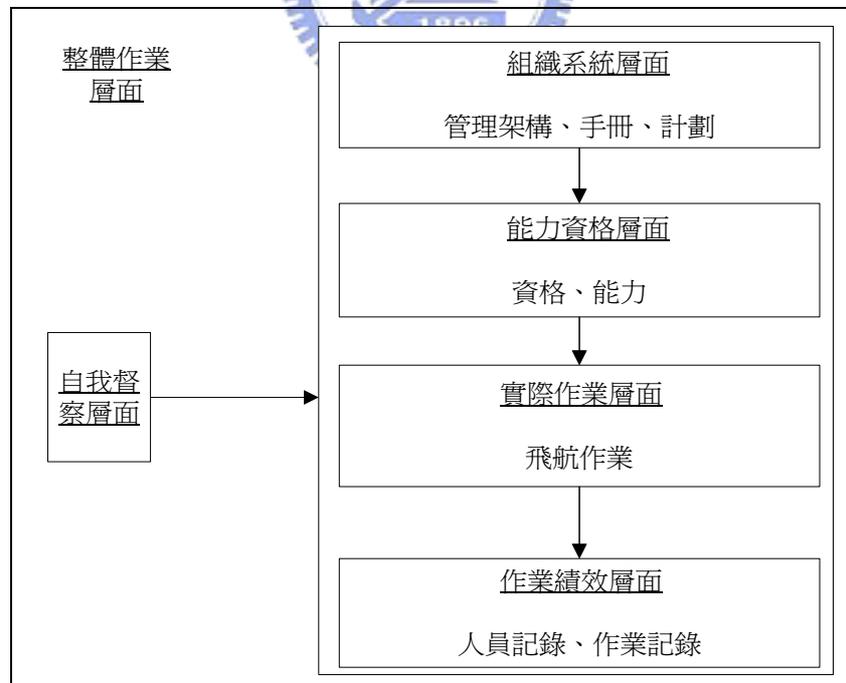


圖 3.1 航務查核系統架構[25]

3.2.2 查核任務選取

依據航務檢查員手冊查核任務計有航務查核27項，附加職掌17項。當進行選定查核任務時，其可藉由查核對象與執行條件加以進行分類，其中航務查核所針對的查核對象包含航空公司、機場、維修棚場及其他等，因本研究是以航空公司飛安查核作業為研究對象，所以將不考慮航空公司以外之查核任務；若依執行條件進行分類，查核任務可分為「常態性查核任務」，其為年度例行性之查核工作，及「事件導向查核任務」，其為特定事件發生時執行之查核工作；由於事件導向查核任務執行須配合事件之產生，因此研究中將不考慮事件導向查核任務。此外，另有部分查核任務是研究中暫不考慮之項目，包括正式申請函範本及符合之陳述範本、檢查員之行為及飛安檢查業務督導檢查等查核任務。經由上述整理，選定航務查核19項，附加職掌1項，共20項查核工作任務。表3.1為本研究選定之航務查核任務。

表 3.1 航務查核任務選定表

查核任務 (Job Functions)	
job 1.	主要基地檢查
job 2.	過境場站檢查
job 3.	場站設施檢查
job 4.	停機坪檢查
job 5.	駕駛艙航路檢查(含水上航路及航線考驗檢查)
job 6.	手冊檢查
job 7.	訓練計畫檢查
job 8.	航務管制檢查—簽派中心
job 9.	航空人員檢查
job10.	能力與適職性考驗及檢查航空人員檢查
job12.	委任檢定考試官之管理
job13.	使用人飛航記錄檢查
job14.	組員記錄檢查
job15.	簽派員記錄檢查
job16.	客艙航路檢查
job18.	航空運輸業管理效能（自我督察）計畫檢查
job19.	地面除冰／防冰檢查
job20.	機長操作經驗觀察
job26.	航空公司深度評估檢查
A.	緊急逃生及水上迫降之展示

3.2.3 查核任務分派至查核系統層級

為瞭解各項查核任務對應至查核系統架構之所屬層級關係，依據作業特性將查核任務與航空公司查核系統架構進行結合，表3.2為航務查核之查核任務說明及相對應之系統層級。在組織系統層面，其所涵蓋之查核任務包括：job6.手冊檢查、job7.訓練計畫檢查、job26.航空公司深度評估檢查。在能力資格層面，其涵蓋證照部分之job9.航空人員檢查，及能力部分之job10.能力適職考驗及檢查航空人員檢查、job12.委任考試官檢查、job20機長操作經驗檢查」在實際作業層面其涵蓋：job4.停機坪檢查、job5.駕駛艙航路檢查、job16.客艙航路檢查。在作業績效層面其涵蓋：job14.組員紀錄檢查、job13.飛航紀錄檢查、job15.簽派員紀錄檢查。在整體作業層面其涵

蓋：job1.主要基地檢查、job3.場站設施檢查。在自我監控層面其涵蓋：job18.自我督察計畫。此外，部分查核作業其涵蓋的層級可能包含數個以上，研究中將此類型查核任務歸屬於個別作業層面，如：job2.過境場站檢查、job8.航務管制檢查—簽派中心、job 19.地面除冰/防冰檢查。

表 3.2 查核任務說明與系統層級關係

JOB FUNCTION	說明	系統層級
手冊檢查 Manuals inspections Job 6.	主任航務檢查員及其他合格的檢查員必須審查航空器使用人的手冊，以確認手冊有適當的內容並符合所適用之法規、安全操作實施及航空器使用人之營運規範(Op Specs)。	組織系統
訓練計畫檢查 Training program inspections Job 7	確認使用人之訓練計畫是否符合法規要求及授課方法是否有效。	組織系統
航空公司深入評估檢查 Operation in-depth inspections Job 26.	深度督查之目標是確定航空業者或維修廠 *符合 ICAO 和民航法規需求 *符合業者自己內部指導書和程序 *發展和充分使用公司系統和程序，以符合法規或必要時改正缺失。此檢查可補充例行監督程序之不足，俾能深入分析航空公司的主要系統與次要系統，以判定是否達成其系統目標。	組織系統
使用人飛航記錄檢查 Operator trip records inspections Job 13.	確認航空器使用人對飛航記錄的適當使用、文件填寫和保持等是否符合法規要求。檢查員可藉由檢查飛航計畫、簽派或簽放、載重及重量文件、氣象文件及其它航空器使用人所保有的相關飛航資料來評估飛航記錄，並以重構一特定的飛航或一系列的飛航。飛航記錄檢查包含記錄資料的品質、檢查計算之正確性及檢查航空器使用人是否遵守法規和公司程序。	作業績效
組員及簽派員記錄檢查 Crew and dispatcher records inspections Job 14 & 15.	提供航務檢查員檢查組員及簽派員之訓練和資格有效性(適時、適地、或適用於某些狀況等)(currency)之記錄。	作業績效
航空運輸業管理效能(自我督察) Air carrier management effectiveness(self audit) Job 18.	此查核任務說明航空運輸業之管理責任及所必需之計畫施行方法。	自我監控
航空人員檢查 Airman inspection Job 9.	判定飛航組員、機械員及其它必須持有執照之人員是否持有有效的執業證書及檢定證，及須符合所有時效要求，並持有有效的體檢及格證。	能力資格(資格)
停機坪檢查 Ramp inspections Job 4.	停機坪檢查供檢查員能於即將飛航之前或緊接於飛航之後，觀察及評估使用人所使用的例行方法和程序，並判斷是否符合法規和安全作業實施之要求。	實際作業
委任考試官之管理 Administration of designated examiners Job 12.	委任考試官對使用人之航空器為符合資格且經授權以執行檢定任務。	能力資格(能力)

JOB FUNCTION	說明	系統層級
能力與技術考驗及檢定航空人員之檢查 Proficiency and competency check & check airman inspection Job 10.	對航空器使用人能力及技術考驗之檢查提供了民用航空局有關航空器使用人訓練及資格考評計畫有效性的資訊，主任航務檢查員或檢查員檢查能力及技術考驗之目的包括： *個別航空人員執行其職務與責任之評估。 *個別檢定駕駛員執行其職務與責任之評估。 *評鑑航空器使用人訓練計畫的有效性。 *識別出飛航程序、手冊及檢查表的缺失。 *評鑑航空器使用人模擬機及裝備的有效性。 *評估航空器使用人的趨勢分析、標準化及品質管制計畫的有效性。	能力資格 (能力)
機長操作經驗觀察 Pilot-in-command(PIC) operating experience observations Job 20.	當一駕駛員正在爭取機長資格時，如初聘用、或新裝備時或包含模擬訓練的升等課程時，民航局檢查員應對此駕駛員進行觀察。檢查員必須在駕駛員執行沒有人監督，而有收入之服務之前，觀察駕駛員執行所被指定的機長職務。此項觀察只有在候選人正在獲取操作經驗，且在駕駛員於航空交通服務中開始承擔指揮飛航前執行。此觀察的目的為確認從模擬器至航空器的學習移轉已成功達成，及候選人已取得有效執行指揮責任所必需的技術及判斷力。	能力資格 (能力)
駕駛艙航路檢查 Cockpit en route inspection Job 5.	提供檢查員觀察及評估一作業許可證持有者在空中運輸系統整體作業環境下的飛航中作業，為民用航空局達成檢查目的及責任之最有效方法之一。	實際作業
客艙航路檢查 Cabin en route inspection Job 16.	確認航空器使用人之客艙安全程序及作業實施均符合民航局及國際民航組織 (ICAO) 要求；提供民航局有關客艙組員訓練計畫及航空器緊急裝備及內裝之情況及維護狀況。	實際作業
主要基地檢查 Main base inspections Job 1.	基地檢查為一重要之檢查任務，可提供民用航空局對航空器使用人所有的作業與活動進行全面性的檢視，以確保航空器使用人能保持與原檢定給證相同之最低標準。	整體作業
場站設施檢查 station facilities inspections Job 3.	場站設施檢查為於航空器使用人起始和重新飛航之每一地點執行。場站設施檢查項目包含作業和設施檢查。場站設施作業之定義是為起始、回轉(turn around)或結束飛航所需的支援活動。	整體作業
過境場站檢查 Line inspections Job 2.	為航機在中途場站時，檢查員為確保航機本身的適航，以及支援飛航的周邊資源(人員、文件、設備、管理系統)是否處於最佳狀態下所進行的檢查。	個別作業
航務管制檢查—簽派中心 Operational control inspections-dispatch center Job 8.	提供檢查員或小組確認航空器使用人是否遵守民航法規的最低要求，及確認航空器使用人的管制系統是否能保障大眾安全，航空器使用人需符合這兩項才能取得或繼續保有民用航空運輸業許可證。	個別作業
地面除冰/防冰檢查 Ground deicing/anti-icing inspections Job 19.	判定使用者是否已有除冰/防冰之實施和程序，並符合其適用之法規要求，為了能充分判定使用者已有此類之程序並有效的使用這些程序，主任航務檢查員將檢查地面除冰/防冰程序之特定範圍。若飛機之機翼、控制面、引擎或螺旋槳上有霜、冰或雪附著時，駕駛員不可將航空器起飛。	個別作業

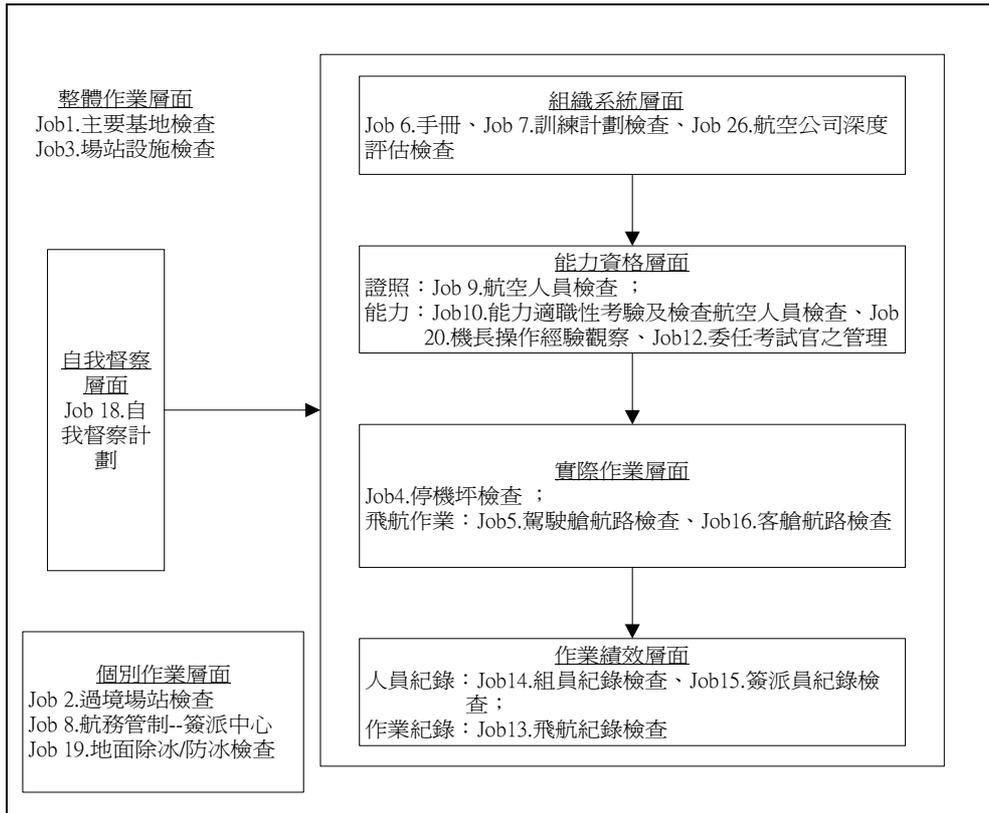


圖 3.2 查核任務系統層級[25]

3.3 查核工作排程考量因素

針對飛安查核作業程序進行分析，本研究將飛安查核工作排程所需考量之因素歸納為五項，其分別為(一)查核任務整併；(二)查核任務排序；(三)作業人力需求；(四)查核頻次訂定；(五)查核時間安排等。以下將詳細說明進行查核工作排程時，必需考慮的各項要素內容。

(一) 查核任務整併

為減輕檢查員之工作負擔，及增加工作安排之彈性，其可透過查核任務整併方式，以減少執行查核任務所需之總時數；查核任務整併是指不同查核任務可在同一項查核作業中執行，由於將查核任務合併執行可能會影響檢查員之工作量及實際執行檢查時間，所以應將可合併之查核作業整併成一項查核任務，並重新設定該項查核任務之工作量及所需作業時間。

查核任務整併類型

查核任務整併可依據查核任務之查核內容相互涵蓋及查核活動類型相同區分為兩類，其說明如下：

(1) 任務內容相互涵蓋之查核任務整併

由於某一查核任務其內容可能涵蓋其他查核任務之檢查活動或對象，因此將任務內容相互涵蓋之查核任務進行整併，則能減少檢查員之工作量及工作時數。例如查核任務「job2.場站設施檢查」，其檢查範圍包含該航空公司設置於場站之所有單位及活動，若航空公司將航務管制中心(簽派中心)設於場站，則檢查內容將包含航務管制中心的檢查，但在檢查手冊中對於航務管制中心亦訂有「job8.航務管制檢查－簽派中心」之查核任務，這兩項查核任務雖涵蓋相同之檢查範圍，但其執行查核作業之精細度卻有不同，因此研究中將這兩項查核任務進行合併時，新合併之查核任務仍是以「job2.場站設施檢查」之標準執行大部分之檢查，唯對航務管制中心查核時，需進一步依據檢查手冊中「job8.航務管制檢查－簽派中心」之標準執行檢查，而藉由將任務內容相互涵蓋之查核任務進行合併，將能提高執行查核作業之工作效率。研究中，因任務內容相互涵蓋而合併之查核任務計有一組，「job2.場站設施檢查」及「job8.航務管制檢查－簽派中心」。

(2) 任務活動類型相同之查核任務整併

部分查核任務其查核內容雖不相同，但執行該項查核任務時均需在某特定活動中進行檢查，因此當不同的查核任務需在同一項特定活動中進行查核作業時，則可將這些查核任務進行合併，再由檢查員同時對合併之查核任務進行查核，以增進查核作業執行之效率。例如「job10.能力與適職性考驗及檢查航空人員檢查」與「job12.委任考試員之管理」等查核任務，檢查員在觀察駕駛員訓練考核的同時，亦可觀察委任考試官之作業情形。研究中，因任務活動類型相同而相互合併之查核任務計有一組，「job12.委任考試官之管理」及「job10.能力與技術考驗及檢定駕駛員之檢查」。

(二) 查核任務排序

民航局藉由執行各項查核任務以監督航空公司之作業程序是否符合法規之基本要求，為確保作業流程之完善，查核任務中包含對公司政策、人員資格能力、設施合格、實際作業、工作紀錄等系統層級之查核項目進行檢查，因此部分查核工作任務間具有順序關係。以查核任務「job7.訓練計畫檢查」及「job10.能力與適職性考驗及檢查航空人員檢查」為例，假使航空公司之訓練計畫有所缺失，則依循訓練計畫所執行之能力與適職性考驗也會隨之錯誤，故在檢查之順序上，「訓練計畫檢查」應較「能力與適職性考驗及檢查航空人員檢查」先執行，以確保上游作業之正確，因此查核作業應遵循查核任務內容特性之順序性由上而下進行查核工作，進而完成整體飛安查核作業程序。

1. 查核任務排序方式

查核系統架構可清楚表示查核任務之層級關係，然而因查核工作其作業性質不同，即使分屬兩層級之查核任務，彼此之間可能並無直接層級關係，或是屬於同一層級之查核任務，彼此間卻具有執行之先後順序關係。因此研究中針對查核任務執行順序分為兩階段排序，第一階段是依據查核系統架構

進行排序，第二階段藉由查核工作之作業性質進行排序，說明如下。

(1) 第一階段排序

在查核系統架構中共分組織系統、作業基礎、實際作業、作業績效、自我監控及整體運作六大項。其中「整體運作層面」之查核工作主要乃查看公司整體運作之狀況，此類檢查並不會直接影響其他作業之績效，因此並無查核之順序關係。除「整體運作層面」外，其餘查核任務皆具有執行之先後關係，其中「組織系統之管理架構層面」為公司作業最上游之指導，為確保下游作業之正確，故管理架構中的查核任務應優先執行，而「自我監控層面」之查核工作的目的乃確保公司自我督察的機制，故執行順序僅次於「組織系統之管理架構層面」。

(2) 第二階段排序

查核系統層面中的查核任務會依據屬性之不同而有不同順序關係，因此第二階段排序作業主要是依據個別查核工作為主軸探討其上下游相關作業為何。以航務「機長操作經驗觀察」為例，若將此檢查視為查核之實際作業，則其上游之指導計畫包含「訓練計畫檢查」、作業基礎包含「航空人員檢查」及「委任考試官檢查」，下游作業則為「組員紀錄檢查」。藉由此類方式對查核系統架構中「組織系統之計畫層面」、「作業基礎層面」、「實際作業層面」及「作業績效層面」之所有查核任務進行分析，則可得知各查核工作之順序關係。

2. 查核任務之順序關係

透過查核系統架構層級分析，查核任務之執行順序應依循下列幾點原則：

- (1) 「整體運作層面」之查核任務，並無特定順序之關係。
- (2) 「組織系統之管理架構層面」的查核任務應為最優先執行之查核任務，其次為「自我監控層面」之查核任務。
- (3) 「組織系統之計畫層面」、「作業基礎層面」、「實際作業層面」及「作業績效層面」查核任務之相互關係可藉由個別分析以決定各查核任務之順序關係。

藉由上述原則，航務查核其各項查核任務之執行優先順序整理如圖 3.3 所示，圖中不顯示與其他查核任務無執行順序關係之查核任務。

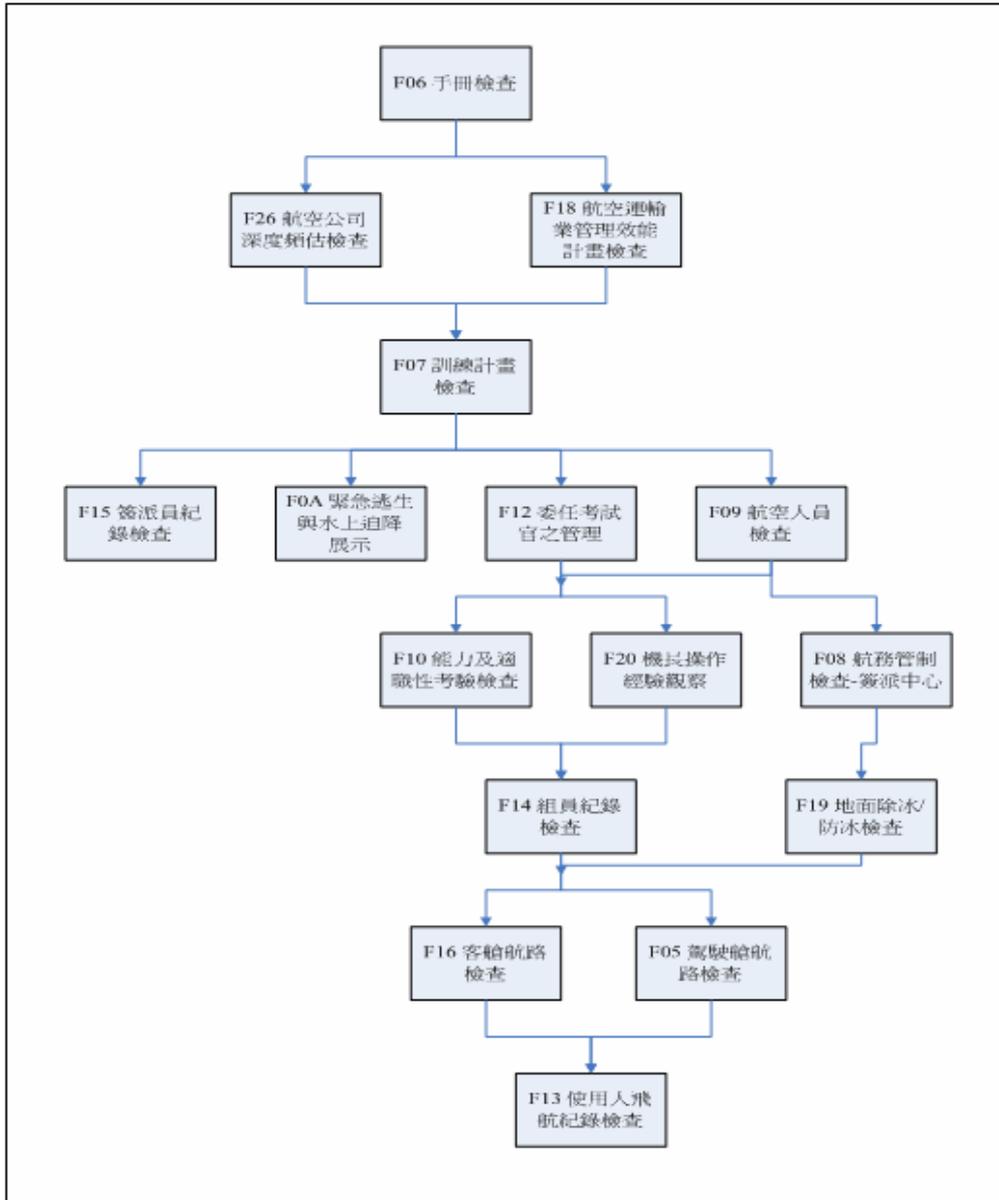


圖 3.3 查核任務執行順序

(三) 作業人力需求

為提高飛安查核工作排程之彈性，部分查核任務可藉由人力增加，以減少該項查核任務之檢查時間，然而透過此種方式，雖無法減少該查核任務所需之總人力小時，但對於排程作業卻能增加工作安排之效率及減少人力資源的閒置。此外，並非所有查核任務均能藉由人力增減以換取檢查時間，其必須具備工作切割性之查核任務才可做人力與檢查時間之替代。針對查核工作任務是否具有工作切割性，將查核任務分為以下四類。

1. 工作切割性

查核任務分為「具備工作切割性」與「不具備工作切割性」等類型：

- (2) 具備工作切割性：此類型之查核任務可由單人或多人同時執行，而執行查核作業之人數，會影響實際查核所需之時間。依據工作切割方式不同可分為以下兩種類型。
- a. 工作內容包含多單位之檢查：在單一查核任務中，其查核內容包含對許多不同工作單位進行檢查，由於各單位具獨立性，因此可由不同檢查員同時對不同工作單位進行檢查，或由單一檢查員逐項檢查。例如：查核任務「job2.場站設施檢查」中包含對停機坪、加油作業、紀錄及航務管制中心等多單位進行檢查工作，由於各單位均獨立，因此「job2.場站設施檢查」為具備工作切割性之查核任務。
 - b. 工作內容可分割：在單一查核任務中，其查核內容僅包含一種類型之查核作業，且此類型查核作業可進行分割。例如：查核任務「job6.手冊檢查」，其檢查包含航空公司各類型之手冊，但手冊可以冊數為單位進行工作切割，因此「job6.手冊檢查」亦為具備工作切割性之查核任務。
- (3) 不具備工作切割性：查核任務之內容具有連續性，或查核任務不可藉由執行查核作業之人數調整來影響實際查核所需之時間。
- a. 工作內容具連續性：單一查核任務中，其查核內容僅包含一種類型之查核作業，且此類型查核作業具連續性，若將此作業分割由不同檢查員執行，會造成檢查員執行上之困難。例如查核任務「job13.使用人飛航紀錄檢查」，其紀錄本身具有連續性，若將紀錄切割由不同檢查員進行檢查，則無法找出紀錄之問題所在。
 - b. 工作內容具時間僵固性：單一查核任務中，雖查核內容可能不具連續性，但由於查核作業之工作性質具有時間僵固之特性，因此即使指派多位檢查員進行查核作業，亦無法減少檢查所需時間。例如「job5.駕駛艙航路檢查」，其主要觀察駕駛艙執行飛航作業之情況，雖查核任務之工作內容並不具連續性，但由於檢查員一旦開始執行此項檢查，就必須直到飛航作業完成才能結束，若同時指派多位檢查員進行檢查，其仍需花費相同之工作時間，而造成人力之浪費。

(四) 查核頻次訂定

民航局對於各項查核任務之查核頻次訂定，必須根據航空公司歷年營運紀錄所呈現之飛安風險指標，以決定查核工作應針對航空公司哪些部門或活動作業進行加強監督，由於國內對於飛安風險指標之制度尚未建立，因此目前查核頻次主要是依據主任檢查員之專業判斷，來訂定航空公司每一年度的查核頻次需求，但因考量依此方式制定各家航空公司之查核頻次，其可能較缺乏明確之計算標準，且基於目前國內尚無可依循之查核頻次制定原則，因此在基本頻次的考量上，是以民航法規所規定的要求為主，其次對於常態性須維持監督的查核任務，則參考澳洲民航局(CASA)提供的相關資料為輔，由於澳洲民航局對於確保飛安查核品質具有相當優良的查核績效，且其對於查核任務頻次的訂定隱含有查核工作量的概念，因此本研究將參考澳洲民航局所訂定之定期航班基本查核頻次作為本研究訂定查核頻次之標準。

(五) 查核任務時間安排

大多數的查核任務是由民航局決定實際執行檢查時間，並於查核任務執行前預先通知航空公司，且在預定的日期進行查核。而部分查核任務則需要配合航空公司之作業時間以制定實際執行檢查時間，此類作業包括使用模擬機之作業及與飛行時間相關之作業。少數查核任務之執行是採取不定期之方式進行查核，此類作業包括航務管制檢查—簽派中心、地面除冰/防冰檢查。

1. 查核時間特殊之查核任務

(1) 使用模擬機之作業

使用模擬機之作業多為訓練、考核等目的，並不是航空公司每日例行性執行的作業活動，因此在進行與模擬機相關作業之查核任務時，需先確認各航空公司使用模擬機之時間。相關之查核任務包括「job10.能力與技術考驗及檢定駕駛員之檢查」、「job12.委任考試官之管理」等。

(2) 與飛行時間相關之作業

在查核系統架構之能力資格層面及實際作業層面中，部分查核任務的執行時間會與飛行的時段相關，主要包括飛行前、飛行中與飛行後等時段，而也有可能同一項查核任務跨越一至三個時段。在航務檢查任務中，有五個查核任務與飛行時段相關，其說明如表3.3查核工作與飛行時段之關係。

表 3.3 查核工作與飛行時段關係

航務查核任務	飛行時段
Job 4. 停機坪檢查 Ramp inspections	飛行前、後
Job 5. 駕駛艙航路檢查 Cockpit en route inspection	飛行前、中、後
Job 20. 機長操作經驗觀察 Pilot-in-command (PIC) operating experience observations	飛行中
Job 16. 客艙航路檢查 Cabin en route inspection	飛行前、中、後
Job 19. 地面除冰/防冰檢查 Ground deicing/anti-icing inspections	飛行前

一般航機除早上出場及晚間進場外，其餘停留在停機坪的時間都是介於進場及離場之間，若查核工作的執行時段為飛行前及飛行後，則可連續檢視此航空器前次飛行後及本次飛行前之作業，故無論是執行於飛行前或飛行後的查核工作任務，都可相互合併。但檢查若涉及航空器飛行中之作業，則須另行討論。查核作業如涉及飛行中之作業，則表示檢查員需親自跟飛，所以必需配合航空公司之班次時間進行檢查。相關之查核任務包括「job5.駕駛艙航路檢查」、「job20.機長操作經驗觀察」。

2. 不定期檢查之查核任務

航務檢查員手冊上規定少數查核任務是採不定期檢查之查核方式，因為執行此類型查核任務必須配合特殊的環境因子特性；以「job8.航務管制檢查－簽派中心」為例，執行該項查核任務除針對簽派中心作業活動進行查核外，由於考量簽派作業對於天氣狀況的改變相當敏感，因此就民航局查核監督的角度而言，其希望能在天候環境較惡劣之狀況下，確認各航空公司簽派中心的作業能力。但由於天候狀況並無法預先得知，因此這類查核任務一般是採行不定期之查核方式。相關之查核任務包括「job8.航務管制檢查－簽派中心」、「job19.地面除冰/防冰檢查」。

3.4 檢查員排班

飛安查核人員指派是藉由建構人員排班模式，以確認各個檢查員所需執行之查核任務及實際進行查核作業之工作時間，人員排班之目的是希望透過預先規劃程序，使得查核工作確實且有效率的執行，並能妥善運用查核人力，達到整體查核系統人力運用最佳化之目標。在進行排班模式建構時，必須考量各檢查員之資格、能力與可用時間，以及檢查員作業之相關規定，例如證照、訓練、每日工時限制等條件是否符合法規之基本要求，以確保檢查員之作業品質及工作效率。

3.5 檢查員排班考量因素

目前民航局對於各家航空公司採取固定指派檢查員之方式，固定指派方式能增進檢查員對其所屬航空公司營運作業具熟悉度，但相對而言，查核工作之排程彈性與查核人力之調度彈性卻可能因此而降低；此外，由於各家航空公司規模及飛安風險程度不盡相同，其年度飛安查核作業時數可能有所差異，若採取固定指派方式，可能造成檢查員查核工時差距過大，而有薪資不公平的現象發生；另一方面，進行檢查員指派時亦需考量檢查員專業能力之保持及減少檢查員額外工作負擔等問題，以確保檢查員之作業品質。本研究將上述進行查核人員指派所需考量因素歸納為：(一)檢查員分類；(二)指派之彈性；(三)薪資公平性；(四)查核作業品質等四項，其分別探討如下。

(一) 檢查員分類

1. 檢查員類別

民航局對於查核人力資源依據查核工作性質不同，將檢查員區分為航務檢查員及適航檢查員，此外根據檢查員之查核經驗及工作資歷，再將航務及適航檢查員分為主任檢查員及一般檢查員等兩類。基於檢查員之專業領域及

其所屬類別，航務檢查員包括航務檢查員、客艙安全檢查員及危險品檢查員，適航檢查員包括適航檢查員及航電檢查員。其說明如下：

(1) 主任檢查員

主任檢查員依工作性質區分為主任航務檢查員及主任適航檢查員，為被指定之航空運輸業者/航空人員/其他被指定人員或單位與民用航空局之主要作業介面，其負有確保被指定之機構或單位航務（適航）計畫符合民航局之規定與政策之責任，及判斷相關作業之查核需求並擬訂查核計畫，以確保受檢機構或單位切實遵循相關適用法規。

(2) 一般檢查員

一般檢查員其職責為輔助主任檢查員執行飛安查核作業。各類檢查員其能力資格與說明，如表3.4所示。

表 3.4 一般檢查員之能力資格說明[26]

一般檢查員	資格說明	類別
航務檢查員	曾持有或現在持有相關機型檢定證，為固定翼航空器正駕駛（其中含檢定證正駕駛）飛航總時間 2,500 小時以上，及具飛航相關經歷十年以上且最近五年曾從事飛航或航務、飛安相關工作。	航務
危險品檢查員	具有國際航空運輸協會危險品法規訓練合格證明書，及按該協會危險品運輸條例複訓規定，定期複訓之證明，最近三年內曾從事危險品航空安全運輸相關工作，且有危險品航空安全運輸工作三年以上經歷。	航務
客艙安全檢查員	曾任職航空公司客艙組員飛航經歷三年(含)以上，近五年具有飛安室工作或客艙安全管理、客艙安全督導或訓練工作二年經驗(含)以上。	航務
適航檢查員	具地面機械員或飛航機械員執照，及民航機實際機體、發動機維修督導七年以上經歷，有現有民用航空器一種(含)以上機型含儀電全系統訓練證明文件。	適航
航電檢查員	具地面機械員或飛航機械員執照，及民航機實際機體、發動機維修督導七年以上經歷，有現有民用航空器一種(含)以上機型含儀電全系統訓練證明文件。	適航

2. 檢查員資格限制

不同查核任務對於檢查員所具備之技術專長及經驗資歷的需求並不相同，對於不同查核任務需指派合適的檢查員來負責執行查核工作。對於檢查員之資格限制，將由以下兩方面進行討論：

(1) 檢查員之專長

部分查核任務之執行可能相當重視檢查員的專業能力，並非所有查核任務均可由任一類檢查員來執行。例如，執行「job20.機長操作經驗觀察」的檢查員，其必須具備飛行之操作經驗，因此僅可由航務檢查員負責執行該項查核任務。

(2) 檢查員之替代性

主任檢查員之查核經驗及資歷通常較一般檢查員完整，主任檢查員可替代一般檢查員執行查核工作，但一般檢查員不可替代主任檢查員執行查核工作。

(二) 指派之彈性

由於各家航空公司對於飛安查核作業所設定之標準不同，因此檢查員在執行飛安查核工作時常需注意各層面之細節，目前國內查核人員派遣方式主要是將檢查員固定指派至各航空公司，以確保檢查員對航空公司作業之熟悉度，並減輕檢查員之檢查執行前準備之工作負荷，及降低檢查員因對航空公司作業不熟悉而產生錯誤檢查之可能性。然而，將檢查員固定指派至各家航空公司，在查核人力之運用上卻較缺乏彈性，也忽略對於部分查核任務若採用多人指派方式可提升查核工作效率之特性；研究中考量檢查員對於查核作業之熟悉程度，在模式的設計上對於檢查員指派仍將依循現有方式，而為顧及可進行多人指派之相關查核任務，亦將針對檢查員執行作業設定優先權，以兼顧檢查員之作業熟悉度及應用多人指派提升查核作業效率。檢查員彈性指派之原則為：航空公司之查核工作如需多人執行，則可由同小組之檢查員優先支援；若同小組之檢查員無法支援，則由其他小組之檢查員支援。

(三) 薪資公平性

民航局決定檢查員之薪資是依據各檢查員實際執行查核作業之工作時數來計算，但各家航空公司的規模及飛安風險程度不同，因此其年度查核時數亦會不同，若採用檢查員固定指派之方式，將導致各家航空公司其所屬之檢查員可能因年度工時不同而造成薪資上的差異，為降低檢查員因薪資差異而產生之公平性問題，研究中是希望藉由調整各檢查員的總檢查時數以減少各檢查員間之薪資差異，及增進人員指派之公平性。

(四) 作業品質

對於確保查核工作之作業品質，其可藉由檢查員之「訓練」、「額外工作負擔」及「工作量均分」等三方面進行探討：

1. 訓練

依據民航局飛安查核檢查員之資格規定，各類檢查員需具備執行所屬類

別查核工作之專業能力，而為保持檢查員之適職性及因應飛航技術之更新，檢查員必須定期接受複訓，以確保其執行查核工作之作業品質。關於檢查員之訓練計畫，其應於年度查核作業執行前，確認各檢查員應接受之複訓項目、複訓時間，由於檢查員之定期複訓一般是安排以國外訓練為原則，因此檢查員在接受訓練期間將無法執行飛安查核工作，當進行檢查員指派時，需排除檢查員之受訓期間（無法執行查核作業之時間），再進一步安排檢查員實際查核時間與準備分析時間。由於查核前準備分析時間及查核員受訓期間對於排班模式建構之影響是屬於較細節部分，對於此部分研究中將暫不考慮。

2. 額外的工作負荷

航空公司之作業地點其分布範圍相當廣泛，如公司基地、主要場站、過境場站、訓練機構等，由於這些地點常在不同的位置，檢查員在執行查核工作時，常因查核作業需要必須往來不同的地點，因此除需花費額外的旅行時間外，亦增加檢查員之負擔。研究中將檢查員往來不同作業地點進行查核工作定義為「檢查員額外的工作負荷」，在航務查核任務中，有多項查核任務其執行檢查時間僅需半個工作日或數小時即可完成，若單為某一作業時間不長之查核任務花費數小時的旅行時間，其將造成查核人力的浪費，因此若能針對單一檢查員，將地點相近且工作時間合適之查核任務集中於單日內執行，則能有效減少檢查員執行任務之旅行時間，及增進查核人力之作業效率。

查核任務之作業地點分為：航空公司、航廈、模擬機、停機坪、航空器、簽派中心以及過境場站等七類，如表3.5所示。由於各航空公司作業地點配置方式不同，但其所使用之機場或許相同，因此各航空公司部份之查核地點其實是設於相同的地點。以長榮航空為例，其主要作業基地與簽派中心均設於桃園長榮航空公司，而若以四家國內航空公司為例，其航廈及停機坪均設在台北松山機場。

表 3.5 查核任務之作業地點

查核地點	查核任務	查核地點	查核任務
航空公司	Job18.航空運輸業管理效能 (自我督察)	模擬機	Job10.能力與適職性考驗及 檢查航空人員檢查
	Job1.主要基地檢查		Job12.委任考試官的管理
	Job6.手冊檢查	航空器	Job20.機長操作經驗觀察
	Job7.訓練計劃檢查		Job5.駕駛艙航路檢查
	Job9.航空人員檢查		Job16.客艙航路檢查
	Job13.飛航記錄檢查	停機坪	Job4.停機坪檢查
	Job14.組員記錄檢查		Job19.地面除冰/防冰檢查
	Job15.簽派員記錄檢查	航廈	Job3.場站設施檢查
	Job26.航空公司深度評估檢查	過境場站	Job2.過境場站檢查
		簽派中心	Job8.航務管制檢查—簽派中心

經由整理，國內查核作業之地點可分為航空公司、主要機場、模擬機、簽派中心、航空器及過境場站等，說明如下。

- 航空公司：包含台北中華航空公司、立榮航空公司、華信航空公司、遠東航空公司、復興航空公司及桃園長榮航空公司。
- 主要機場：包含航廈及停機坪，主要為桃園中正機場及台北松山機場。
- 模擬機：國內六家航空公司，部份航空公司內部設有模擬機，部分航空公司並無模擬機，故使用中華航空發展基金會之模擬機，其乃位於台北松山機場。
- 簽派中心：簽派中心依據航空公司之安排可能位於航空公司或機場。
- 航空器：各航空公司有關航空器之檢查多會以各航空公司主要機場為起始地點進行查核。
- 過境場站：過境場站並無限定特定之機場。

3. 工作量均分

就單一檢查員而言，其工作量應平均分散至每月中。若檢查員之工作大多集中在某個時段，則容易造成檢查員工作負擔過大，進而降低檢查員執行查核工作之品質，當進行檢查員之工作安排時，應將各檢查員之工作量分散至各個月份，以減輕查核員之工作負荷。



第四章 工作排程與人員排班模式建立

本研究擬將飛安查核工作排程與人員指派問題定義為資源限制專案排程問題，並應用限制規劃方法分別建構工作排程與人員指派求解模式，以獲得可行的查核工作排程與查核人員班表。本章首先針對查核員執行查核工作與檢查手冊之查核任務作一簡單介紹，之後將詳細說明研究中所建構之限制規劃求解模式。

4.1 問題描述

飛安查核工作排程及人員指派之目的，是希望在各項相關法規限制下，藉由現有查核人力完成該年度之查核任務，查核任務之執行必須配合查核系統層級做合理之安排，同時考量查核工作屬性之檢查員資格限制、查核人力公平與有效的運用，以確保飛安查核作業品質。當進行查核工作排程時，需考量查核任務選取、各項查核任務之查核工時與查核頻次、查核系統層級之查核作業順序，及檢查員之能力資格條件是否符合查核作業需求等項目，此外由於民航局之查核能量固定，因此本研究之查核任務排程將以實際檢查員可用數量作為資源限制來進行專案排程模式構建。

在查核任務選取部份是以涵蓋航空公司作業之查核任務為主，當查核任務選定後針對個別查核任務之查核特性進行探討，以決定查核員執行檢查工作之查核工時與查核頻次，並以此作為工作排程之模式輸入資料，表4.1為選定之查核任務、各項任務查核工時的決定因素，及查核工作頻次訂定等內容。

表 4.1 選定之查核任務、查核工時與查核頻次

查核任務	查核任務所需工時決定因素	年度查核頻次 (Frequency)
主要基地檢查&航空人員檢查 Job1. & Job9. (可合併執行)	航空公司的規模： (1)航空公司擁有的人員數量 (2)擁有的航空器機型種類和數量 (3)經營的航線數和服務的航班數。	1次/年
過境場站檢查 Job 2.	航空公司的規模： (1)航空公司擁有的人員數量 (2)擁有的航空器機型種類和數量 (3)經營的航線數和服務的航班數。	1次/2年
場站設施檢查 Job 3.	航空公司的規模： (1)航空公司擁有的人員數量 (2)擁有的航空器機型種類和數量 (3)經營的航線數和服務的航班數。	1次/2年
停機坪檢查 Job 4.	查核時間固定，由以前的經驗得知： 2小時/次	$F=(3 \text{次/機型}) * \text{機型數}$ F：查核次數 (盡量優先選定某一時段中班次較密集的時段予以觀察)

查核任務	查核任務所需工時決定因素	年度查核頻次 (Frequency)
駕駛艙航路檢查 Job 5.	1. 選定的航路 2. 飛航計劃所劃定的飛行時間 (航段的選擇上應儘量優先選擇具有獨特的天候狀況或特殊的氣候環境等進行航路觀察)。	* 超過一天時間的航線(長程)：1 次/年 * 一天之內的航線：扣掉該次長程的飛行時數，其餘時數平均分配在一天以內的航線中
手冊檢查 Job 6.	航空公司的規模： 1. 航空公司擁有的人員數量 2. 擁有的航空器機型種類和數量 3. 經營的航線數和服務的航班數。	1 次/3 年
訓練計畫檢查 Job 7.	1. 航空公司的規模： (1)航空公司擁有的人員數量。 (2)擁有的航空器機型種類和數量 2. 模擬機數 3. 教材：33% 不同機型各類受訓人員教材數 4. 課程：10%不同機型各類受訓人員課堂數	1. 訓練計劃：1 次/年 2. 模擬機：1 次/機型/年 3. 教材：33%教材數 4. 課程(實際上課狀況)：10%課堂數
航務管制檢查— 簽派中心 Job 8.	航空公司經營的航班數	F：>4 次/年(三個月至少一次) F：查核次數 (查核時機應儘量選在氣候狀況不好的情形下進行觀察，可觀察其簽派作業對於突發狀況的應變措施)
能力與適值性考驗及檢查航空人員檢查& 指定考試員之管理 Job10.& Job12.	1. 選定的航路 2. 航路中進行的考驗科目 (1)特殊的天候狀況 (2)特殊狀況：發動機失效、接近失速等 (3)其他	A%之飛航組員總人數 A 依據 CASA 的訂定基準，並參考我國國情應當 >1.5%的量 (觀察委任考試官的次數已隱涵在飛航組員考驗次數當中)
使用人飛航記錄檢查 Job 13.	在特定時間內查核相關紀錄，由以往相關資料得知： 4 小時/次	(X%N)/n 依飛航紀錄數取量的斟酌予以調整。 X%：取量的比例 N：飛航紀錄總數 n：查核員每次查核可完成檢查的飛航紀錄數
組員記錄檢查 Job 14.	在特定時間內查核相關紀錄，由以往相關資料得知： 4 小時/次	N/n N：組員紀錄總數 n：查核員每次可完成檢查的飛航紀錄數
簽派員記錄檢查 Job 15.	在特定時間內查核相關紀錄，由以往相關資料得知： 2 小時/次	N/n N：簽派員紀錄總數 n：簽派員每次查核可完成檢查的飛航紀錄數
客艙航路檢查 Job 16.	1. 人員飛航執行的能力觀察：參考駕駛艙航路觀察。 2. 航空器內裝設備和緊急裝備總數	(1)人員執行：參考駕駛艙航路觀察。 (2)設備： F=(3 次/機型)*機型數。F：查核次數
航空運輸業管理效能 Job 18.	航空公司的規模： (1)航空公司擁有的人員數量。 (2)擁有的航空器機型種類和數量	1 次/年
地面除冰/防冰檢查 Job 19.	擁有的航空器機型種類和數量	國內線：F=1 次 國際線：F>1 次 F：查核次數
機長操作經驗觀察 Job 20.	1. 選定的航路 2. 航路中進行的考驗科目 (1)特殊的天候狀況 (2)特殊狀況：發動機失效、接近失速等 (3)其他	候選機長人數
航空公司深入評估檢查 Job 26.	1. 航空器數量 2. 各類航空人員人數 3. 相關作業和人員的紀錄總數 4. 搭配航空公司內部的自我評估計劃	1 次/3 年

在查核系統層級之查核作業順序方面，依據2.2.1節之查核系統架構分析指出，航空公司的查核活動分為組織系統、作業基礎、實際作業、作業績效、自我監控及整體運作等六個層面，「組織系統層面」之查核重點在於航空公司之管理架構、手冊審核與計劃制定；「能力資格層面」在於審核相關飛航作業人員的資格以及能力是否符合作業需求；「實際作業層面」在於觀察整體飛航作業其運作程序是否正確；「作業績效層面」之查核重點在於是否產生適當的記錄；「自我監控層面」則是觀察組織內部的修正與回饋，以確保飛安執行運作狀況；「整體運作層面」之查核重點在於監督航空公司整體運作狀況。由於「整體運作層面」之查核重點在於監督航空公司整體的運作狀況，因此執行此類查核作業並不會影響其他作業的查核績效，與其他查核作業沒有順序上之關係，而除了「整體運作層面」外，其餘不同層面的查核任務皆具有執行之先後順序關係，其中「組織系統之管理架構層面」為航空公司作業最上層之指導，為確保下層作業之正確，管理架構中的查核任務應具備優先執行順序，而「自我監控層面」是在查看航空公司的自我督察機制，以確保飛安執行運作狀況，其執行順序應僅次於「組織系統之管理架構層面」。

在檢查員能力資格方面，由於航空公司上層之組織系統層面其整體運作方針與營運策略規劃均會影響航空公司對於飛安品質的控管，所以在此類相關查核作業上需由具有足夠經驗與專業知識的主任查核員來進行查核以及提供必要地協助，依據查核系統架構層級，屬於航空公司上層管理部分包含組織系統與自我督察等兩個層面，組織系統層面的查核任務有 Job6.手冊檢查、Job7.訓練計畫檢查和 Job26.航空公司深度評估檢查，以及自我督察層面之 Job18.航空運輸業管理效能(自我督察)等查核任務。而其他不同層面的查核任務則可由主任檢查員執行或一般檢查員執行。

表 4.2 查核任務所需之檢查員資格限制

查核系統層級	查核任務	檢查員資格
組織系統層面	Job 6.手冊檢查	主任檢查員
	Job 7 訓練計畫檢查	主任檢查員
	Job 26.航空公司深入評估檢查	主任檢查員
能力資格層面	Job 9.航空人員檢查	主任或航務檢查員
	Job 10.能力與技術考驗及檢定航空人員之檢查	主任或航務檢查員
	Job 12.委任考試官之管理	主任或航務檢查員
	Job 20.機長操作經驗觀察	主任或航務檢查員
實際作業層面	Job 4.停機坪檢查	主任或航務檢查員
	Job 5.駕駛艙航路檢查	主任或航務檢查員
	Job 16.客艙航路檢查	主任或航務檢查員
作業績效層面	Job 13.使用人飛航記錄檢查	主任或航務檢查員
	Job14.組員及簽派員記錄檢查	主任或航務檢查員
	Job15.簽派員記錄檢查	主任或航務檢查員
整體作業層面	Job 1.主要基地檢查	主任或航務檢查員
	Job 3.場站設施檢查	主任或航務檢查員
個別作業層面	Job 2.過境場站檢查	主任或航務檢查員
	Job 8.航務管制檢查—簽派中心	主任或航務檢查員
	Job 19.地面除冰/防冰檢查	主任或航務檢查員
自我監控層面	Job 18.航空運輸業管理效能(自我督察)	主任檢查員

4.2 查核任務排程模式

飛安查核工作排程為民航局針對國內各航空運輸業者所做之年度監察計畫，查核工作之執行需藉由檢查員對飛航作業以檢查航、機務各項查核任務的工作方式，以確保航空公司能在符合法規要求標準下進行安全的飛航活動；本研究是以航空公司之航務查核作業為主要研究對象，所以暫不考慮機務類別查核任務及航空公司作業以外之查核任務。研究中所建構的工作排程模式，其考慮 L 家航空公司及其各包含 I 項查核任務，由於各家航空公司規模及飛安風險程度不同，因此不同航空公司查核任務的查核工時與查核頻次可能並不相同，對於檢查員能力資格部分，模式中將考量兩種資格類別之檢查員，其分別為主任檢查員與航務檢查員，當查核任務之系統層級屬於組織系統層面與自我督察層面時，查核任務需由主任檢查員負責執行检查工作，而分屬其他層級的查核任務則由主任檢查員或一般檢查員執行均可，由於查核系統層級中的部分查核作業具有相互影響關係，因此在查核任務的安排上亦須考量查核任務之先後順序。為達到實務方面的應用性考量，研究中藉由限制規劃方法進行模式構建，將可使用程式求解元件為查核任務之順序關係與檢查員需求進行邏輯推理運算，以快速獲得飛安查核工作排程與人員指派之求解結果。

ILOG Scheduler 限制規劃系統可將問題模式定義為限制滿足問題或是組合最佳化問題，當模式目標設定為求解符合所有限制式條件的排程結果，其為限制滿足問題模式，當模式的目標設定為求解最佳解或是給定最佳化準則的近似最佳解的排程結果，則其為組合最佳化問題模式，最佳化準則通常是關於時間(總工作處理時間)、資源使用、及工作排序等設定方式。其中活動(activity)是構成 Scheduler 排程架構的主要項目，其代表達到排程目標所必須完成的工作或任務，活動具有開始時間、工期、結束時間、排列順序、資源需求等各項基本要素。

活動是由三個數值變數所定義的時間區間(time interval)函數，其包括工作開始時間、工作處理時間、工作結束時間等數值變數，各項活動的工作處理時間稱為工期(duration)，工作處理時間的定義為從活動開始到結束的時間區間長度，對於進行排程的 n 項活動 $i = 1 \dots n$ ，當系統安排第 i 項活動的工作開始時間為 S_i ，及進行該活動所需的處理時間為 p_i ，則活動開始時間加上工作處理時間等於活動結束時間(表示為 $S_i + p_i = C_i$)；限制規劃的工作排程是由活動的時間區間函數加入時間限制式(優先排序限制式、時間界限限制式)及資源限制式以進行模式求解運算。進行排程的各項活動可能須依特定的時間順序完成，在模式中藉由時間限制式(temporal constraint)可將排程系統的所有活動進行連結，時間限制式具有優先排序限制式與時間界限限制式等兩種設定方式，不同活動間的安排可能具有執行上的先後順序關係，若活動 i 的結束時間優先於活動 j 的開始時間，則活動 i 稱為前置活動(predecessor)、活動 j 稱為後續活動(successor)，活動間的關聯性是使用

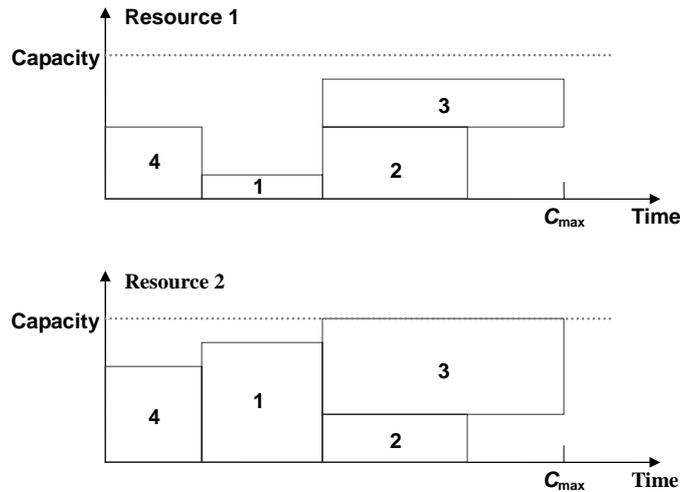


圖 4.1 兩種資源限制下之工作排程

優先排序限制式(precedence constraint)進行排程控制，透過 activity-on-node graph $G=(V, E)$ 之說明： V 為排程系統中所有活動的集合， $E = \{(i, j) \mid i, j \in V; i \rightarrow j\}$ 表示活動間的順序關係，此數學式說明活動 j 的工作開始時間需大於、等於活動 i 的工作結束時間，若優先排序限制式以下列方式進行設定：

$$\text{pred}(i) := \{j \mid (j, i) \in E\} \quad \text{and} \quad \text{succ}(i) := \{j \mid (i, j) \in E\} \quad (4.2.1)$$

則 $\text{pred}(i)$ 表示為活動 i 的前置活動集合， $\text{succ}(i)$ 為活動 i 的後續活動集合；表 4.3 為優先排序限制式之設定種類。而時間界限限制式(time-bound constraint)可設定各項活動 i 的允許開始時間 $\text{startafter}(i)$ 及最後完成期限 $\text{endbefore}(i)$ ，此限制式提供將活動安排於預定時間內執行之功能。

表 4.3 優先排序限制式之設定種類

設定種類	\forall Activity $a[1], a[2]$
Precedence Relation	$a[1]$ precedes $a[2]$
Equivalent Relation	$a[1].\text{end} \leq a[2].\text{start}$
Using Variables Relation	$a[1].\text{end} \leq a[2].\text{start} + 5$
Using Logical Relation	$(a[1].\text{end} \leq 10) \Rightarrow (a[2].\text{star} \geq 15)$

在進行各項活動時，所需投入的人力、設備，或材料，系統中均視為資源(resource)，資源具有數量上的限制稱為資源可用量，其中以 R_k 表示第 k 種資源的可用數量，各項活動 i 對於第 k 種資源的需求是透過資源限制式(resource constraint)以進行活動與資源間的連結，以 r_{ik} 表示完成活動 i 對於資源 k 的需求數量，並由資源限制

式控制同一時間內分派給資源的總工作量不超過資源的最大可用數量，模式中以下列方式進行控制：若 $w_i := r_{ik} p_i$ 表示資源 k 處理活動 i 之作業， I_k 為各項活動 i 對於資源 k 之需求量為 r_{ik} (其中 $r_{ik} > 0$) 的所有活動集合， J 為 I_k 的子集合 $J \subseteq I_k$ ，則可定義：

$$W(J) = \sum_{i \in J} w_i \cdot R_k (t_2 - t_1) \quad (4.2.2)$$

為資源 k 於時間區間 $[t_1, t_2]$ 內所允許執行的作業集合 ($t_1 < t_2$)，而排程系統即使用此函式(4.2.2)於運算過程中確保同一時間資源執行作業集合之合理性。圖 3.1 表示在兩種資源限制下的小型專案排程工作。若排程作業不為各項活動分派資源，則系統將只會加入與時間限制式相關的資訊進行排程模式運算。

本節將以資源限制專案排程之專案網路結構為基礎，並於 ILOG OPL 排程系統中使用 Scheduler C++ Library 及運用限制規劃方法，針對飛安查核工作排程與人員指派問題進行組合最佳化模式構建。模式中將進行排程的各項查核任務設定為活動，查核任務間的先後順序關係是以優先排序限制式進行設定，查核時間特殊之查核任務則由時間界限限制式加以設定，對於具有能力資格區別之檢查員設定為各類別的人員資源及輸入其資源可用量，並透過資源限制式為資源分派至查核任務以滿足查核任務對於檢查員之需求。



4.2.1 模式假設

本研究之模式假設如下：

1. 查核能量限制：民航局其所屬各類檢查員人數固定。本研究考慮之檢查員包含兩種類別，其分別為主任檢查員及航務檢查員(模式中假設為 R_1/R_2)。
2. 查核需求限制：個別查核任務均具備可選擇性的順序關係、允許工作開始時間、查核所需工時、完成工作期限、年度查核頻次、各頻次間之查核時距，及查核任務對於主任檢查員需求、航務檢查員需求。
3. 假設各家航空公司其任務內容相互涵蓋及任務活動類型相同之查核任務已完成整併工作。
4. 假設航務查核之各項查核任務，經由查核系統架構進行詳細分析後，其執行的先後順序已知。
5. 假設相同資格類別之檢查員其生產力均相同，即檢查員執行查核任務之工作效率均為相同。
6. 假設檢查員執行每一次查核任務均於查核所需工時內完成，檢查員執行查核任務沒有延遲的情況發生。

7. 查核人力彈性指派，檢查員可針對不同航空公司的查核任務進行查核，避免固定指派方式人力不足的情況發生。
8. 假設查核時間特殊之查核任務其需配合航空公司之作業時間已知，如使用模擬機相關之查核任務及與飛行時間相關之查核任務，其作業時間已和航空公司進行確認。

4.2.2 模式構建

組合最佳化工作排程模式

Minimize

$$\text{Makespan} \quad (4.2.2.1)$$

Subject to

$$a[i].\text{start} + a[i].\text{duration} = a[i].\text{end} \quad \forall i \in I_p \quad (4.2.2.2)$$

$$\text{if } (a[i].\text{sequence} > a[j]) \text{ then } a[i].\text{start} \geq a[j].\text{end} \quad \forall i, j \in I_p \quad (4.2.2.3)$$

$$\text{if } (a[i] \text{ preced } a[j]) \& (a[i].\text{place} == a[j].\text{place}) \text{ then} \quad (4.2.2.4)$$

$$(a[j].\text{start} - a[j].\text{end} \geq \text{Travel_Time1}) \quad \forall i, j \in I_p$$

$$\text{if } (a[i] \text{ preced } a[j]) \& (a[i].\text{place} \neq a[j].\text{place}) \text{ then} \quad (4.2.2.5)$$

$$(a[j].\text{start} - a[j].\text{end} \geq \text{Travel_Time2}) \quad \forall i, j \in I_p$$

$$a[i] \text{ requires resource}[i, k] \quad \forall i \in I_p, \forall k \in K \quad (4.2.2.6)$$

$$\text{Resource}[k] \geq \sum_{i \in A_t} \text{resource}[i, k] \quad \forall i \in I_p, \forall k \in K, \forall t \in T \quad (4.2.2.7)$$

$$a[i].\text{start} \geq a[i].\text{start after} \quad \forall i \in I_p \quad (4.2.2.8)$$

$$a[i].\text{end} \leq a[i].\text{end before} \quad \forall i \in I_p \quad (4.2.2.9)$$

$$a[i].\text{start_time} \in T \quad (4.2.2.10)$$

$$a[i].\text{end_time} \in T \quad (4.2.2.11)$$

$$a[j].\text{start_time} \in T \quad (4.2.2.12)$$

$$a[j].\text{end_time} \in T \quad (4.2.2.13)$$

參數說明

Makespan : 總工作時間 (完成所有查核任務的工作時間總長度)

Activity $a[i]$: 查核任務 i

Activity $a[j]$: 查核任務 j

$a[i].duration$: 工期 (查核任務 i 的工作處理時間)

$a[i].startafter$: 對於查核任務 i , 其允許最早開始工作時間

$a[i].endbefore$: 對於查核任務 i , 其完成工作最後期限時間

$a[i].sequence$: 查核任務 i 的排序設定參數值

$a[i].place$: 查核任務 i 的工作地點代號

$a[j].place$: 查核任務 j 的工作地點代號

Resource $[k]$: 第 k 種類別檢查員的總人員數量

resource $[i,k]$: 第 k 種類別檢查員執行查核任務 i 的人員數量

TravelTime1 : 相同地點接續任務之旅行時間

TravelTime2 : 不同地點接續任務之旅行時間

I_p : 第 p 家航空公司該年度必須執行之查核任務集合

K : 檢查員類別個數集合

T : 工作時間集合

A_t : 時間 t 查核任務正在進行的集合

變數說明

$a[i].start_time$: 查核任務 i 的開始工作時間

$a[i].end_time$: 查核任務 i 的工作結束時間

$a[j].start_time$: 查核任務 j 的開始工作時間

$a[j].end_time$: 查核任務 j 的工作結束時間

4.2.3 模式說明

式(4.2.2.1)為本模式之目標式，為使檢查員於規定期限內完成年度各家航空公司之所有航務查核任務，因此希望達到極小化排程模式之總工作時間，以確保查核任務如期完成。此式Makespan為 OPL 模式化語言之總工作時間宣告方式，由於各項任務*i*的完成時間為 $C_i := S_i + p_i$ ，因此排程系統中最小化總工作時間之基本函數定義為： $\min\{C_{\max} = \max_{i=1}^n C_i\}$ 。

式(4.2.2.2)為查核任務排程之基本運算限制式，對於模式中各項查核任務*i*，其工作開始時間加上任務工期即等於查核任務之工作結束時間。每一個查核任務均是由工作開始時間 S_i 、工作處理時間 p_i 、工作結束時間 C_i 所組成的時間區間函數 $a[i]$ (工作開始時間與工作結束時間組成時間區間函數的範圍，工作處理時間為時間區間函數的長度)，排程系統將透過此基本運算限制式再加入其他相關限制式以進行模式求解運算。

式(4.2.2.3)為優先排序限制式，此限制式能約束查核任務間的執行順序關係，在模式中藉由任務間的關連性設定，排程系統即可限制任務的開始或結束依據另一個任務的工作開始時間或工作結束時間以進行安排，此時優先排序限制式會開啟關聯性任務的基本運算限制式以進行限制式連結及運算。本式是以邏輯限制式方式進行構建，查核任務間的排序輸入資料需經查核系統架構分析後而確定，若查核任務*i*之 $a[i].sequence$ 輸入資料參數值設定為0，其表示任務*i*與其他任務間不具有執行上之順序關係，若查核任務*i*之 $a[i].sequence$ 輸入資料參數值設定為 $a[j]$ ，則限制式表示任務*i*之工作開始時間需大於或等於任務*j*的工作結束時間(即為任務*j*為前置活動，任務*i*為後續活動)。

式(4.2.2.4)、式(4.2.2.5)為工作接續限制式。式(4.2.2.4)表示當查核任務間具有執行的先後順序，且其前置活動與後續活動的查核作業地點相同，則前置活動的結束時間至後續活動的開始時間，其間隔一段較短的檢查員旅行時間 $Travel_Time1$ 。式(4.2.2.5)表示若前置活動與後續活動的查核作業地點不同，則前置活動的結束時間至後續活動的開始時間，其間隔一段較長的檢查員旅行時間 $Travel_Time2$ 。

式(4.2.2.6)為資源使用限制式，此限制式表示對於各項查核任務*i*其須由第*k*種類別檢查員執行檢查工作的檢查員人數需求；排程系統藉由此限制式進行檢查員與執行查核任務間的連結工作。其中 $resource[i,k]$ 為查核任務*i*對於第*k*種類別

檢查員的人員需求數量，若 $resource[i,k]$ 之輸入資料參數值設定為 0，其表示查核任務 i 不需由第 k 種類別檢查員執行檢查工作，若輸入資料參數值設定為整數 $l(l > 0)$ ，則查核任務 i 需由 l 位第 k 種類別檢查員執行檢查工作。

式(4.2.2.7)為資源能量限制式，此限制式是確保在時間點 t ，分派給各項查核任務的類別 k 檢查員人數加總，不超過該類別檢查員的最大可用數量；其中 $Resource[k]$ 表示類別 k 檢查員總人數。排程系統中進行此限制式運算的基本函數為式(4.2.2)： $W(J) = \sum_{i \in J} w_i \cdot R_k(t_2 - t_1)$ ，當任務 i 的執行具有類別 k 檢查員之需求，系統將使用此函數計算任務由開始時間 S_i 到結束時間 C_i 內對於檢查員的使用情況 $resource[i,k]$ ，此時資源能量限制式將與排程任務的基本運算限制式進行連結與運算，以確保同一時間內檢查員不被正在進行的查核任務過度使用。限制式(4.2.2.7)之 A_i 表示時間 t 正在進行的查核任務集合，式(4.2.2)之 $W(J)$ 表示時間區間內類別 k 檢查員執行查核任務 i 之作業集合。

式(4.2.2.8)、式(4.2.2.9)為時間界限限制式，此限制式能規範時間區間函數 $a[i]$ 的任務開始時間與結束時間在給定的時段內進行排程工作。式(4.2.2.8)為設定查核任務 i 的開始工作時間需大於或等於 $a[i].startafter$ 時間參數、式(4.2.2.9)為設定查核任務 i 的工作結束時間需小於或等於 $a[i].endbefore$ 時間參數。當進行模式運算時，時間界限限制式將與查核任務的基本運算限制式進行連結。

式(4.2.2.10)、式(4.2.2.11)、式(4.2.2.12)、式(4.2.2.13)為宣告變數值域集合，此數學式表示變數值域均設定於工作時間集合 T 的時間區間。在 OPL 模式中，對於安排工作排程的時間集合必須進行初始值設定，使得 $T \in [time_origin, time_horizon]$ 時間區間，其中參數 $time_origin$ 為設定工作排程的起始時間，參數 $time_horizon$ 為設定工作排程的結束時間。

4.2.4 模式測試

依據上述模式，本節使用 OPL 模式化語言建構飛安查核工作排程模式，並以限制規劃軟體 ILOG Solver 之 Scheduler 模組進行小規模問題求解，以測試模式之正確性。

測試使用之問題以虛擬三家航空公司為主，自行假設各家航空公司之查核任務、查核任務間執行順序的關連性、查核任務執行頻次、查核任務工作時數，及查核任務對於各類檢查員之需求，並假設共有 7 位檢查員可執行查核任務，其中有主任檢查員 2 位及一般檢查員 5 位，由於此工作排程假設處理 6 天共 17 項查

核任務，因此預期各工作間的密集度較低。模式測試輸入資料範例如下：

表 4.4 查核任務排程模式驗證輸入資料

航空公司代號	任務編號 job function	查核頻次	任務工期 (小時)	任務間關 連性設定	任務允許 開始時間 (小時)	任務完成 期限 (小時)	主任檢查 員	一般檢查 員
A 航空公司	1	1	8	0	0	48	0	2
	2	1	5	0	0	48	0	3
	3	1	5	1	0	48	0	2
	4	1	2	2	0	48	1	2
	5	1	5	2	0	48	0	1
	6	1	2	3	0	48	1	1
B 航空公司	1	1	12	0	0	48	0	2
	2	1	3	0	0	48	0	3
	3	1	2	0	0	48	1	1
	4	1	2	2	0	48	0	3
	5	1	3	3	0	48	0	1
	6	1	5	2	0	48	1	1
C 航空公司	1	1	3	0	0	48	0	2
	2	1	5	1	0	48	0	2
	3	1	2	2	0	48	0	2
	4	1	4	2	0	48	0	3
	5	1	6	1	0	48	1	0

測試結果發現，模式求解時間為 3.75 秒，17 項查核任務於 6 天內均能由 7 位檢查員執行完成，結果符合預期想法。表 4.5 與圖 4.2 表示此範例之查核任務排程求解結果。

表 4.5 查核任務排程求解結果

航空公司 任務編號	任務工期 (小時)	任務執行 時間	航空公司 任務編號	任務工期 (小時)	任務執行 時間	航空公司 任務編號	任務工期 (小時)	任務執行 時間
A-1	8	0-8	B-1	12	5-17	C-1	3	15-18
A-2	5	0-5	B-2	3	18-21	C-2	5	21-26
A-3	5	8-13	B-3	2	24-26	C-3	2	32-34
A-4	2	13-15	B-4	2	30-32	C-4	2	42-46
A-5	5	18-23	B-5	3	36-39	C-5	6	25-31
A-6	2	36-38	B-6	5	38-43	--	--	--

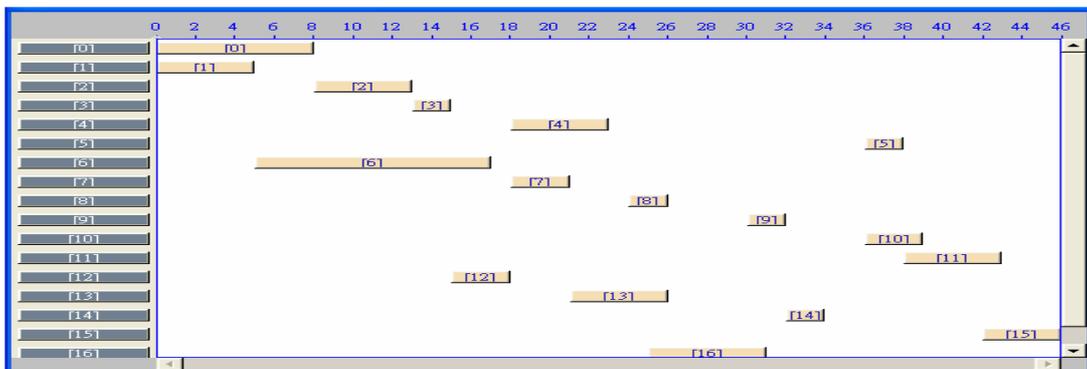


圖 4.2 查核任務排程結果

4.3 檢查員排班模式

飛安查核人員排班是依據上一階段所獲得的查核工作排程日程表，及考量滿足相關排班法規限制下，產生多組可行工作班組合，再將可行的工作班分派給查核人員以執行查核作業，其中每個可行工作班是由一組連續的勤務所構成。檢查員排班的目的是在於使執行查核作業人員之負荷與工作時間達到平衡，當進行排班模式建構時，必須考量各檢查員之資格、能力，以及檢查員作業之相關規定、證照、訓練、每日工時限制等條件是否符合法規之基本要求，以確保檢查員之作業品質及工作效率。本節將針對飛安查核人員排班問題建構求解模式，期能產生較佳之檢查員執行任務排班表，及考量查核人員排班之公平性與合理性。表4.6說明檢查員排班問題之相關名詞定義。

表 4.6 查核人員排班之相關名詞定義

名詞	定義
查核任務 (job function)	查核任務為檢查員執行查核作業之工作量，每一查核任務具備各項工作項目(checklists)，當檢查員執行查核任務中的所有的工作項目，即完成該項查核任務之工作。
勤務 (duty)	檢查員一天內合法執行的查核任務，其須符合每日工作長度限制，在勤務中的兩連續任務間相隔一段旅行時間。
工作班 (pairing)	由一組連續的勤務所構成，其中兩連續勤務間相隔一段較長的休息時間，工作班為一個月內個別檢查員所需執行的勤務組合集合。
旅行時間 (travel time)	包含兩個以上查核任務之勤務中，兩連續任務間需相隔一段旅行時間，其包括相同地點間的旅行時間、不同地點間的旅行時間。
休息時間 (rest time)	在一工作班中，兩連續勤務間的時間間隔，當檢查員完成一勤務其可獲得一段較長的休息時間。
工作班之總休息時間 (total rest time in pairing)	在一工作班中，所有休息時間之加總。
工作班之總工作時間 (total work time in pairing)	在一工作班中，所有查核任務之作業時間加總。
工作班之總歷時時間 (total time of pairing)	工作班之總工作時間時間、總旅行時間與總休息時間之時間加總。

圖4.3為一可行工作班之示意圖，此一可行工作班(pairing)包含三個勤務，第一個勤務含有兩個查核任務(Job01、Job02)，第二個勤務含有三個查核任務(Job03、Job04、Job05)，而第三個勤務內只包含一項查核任務(Job06)，同一勤務內之連續兩查核任務間的時間為旅行時間，而工作班連續兩勤務間的時間為休息時間，時間軸的總長度為工作班之總歷時時間。

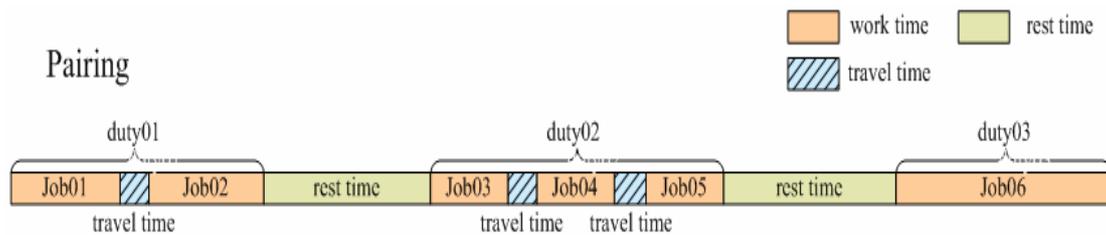


圖 4.3 檢查員排班問題名詞定義示意圖

4.3.1 模式求解架構

本研究採用王國琛[33]提出限制列舉式勤務組合產生求解架構以進行查核人員排班模式建立，模式中依據年度查核任務選定、查核任務排程、民航法規、民航局人事派遣規則等條件下，結合限制規劃與數學規劃方法建構排班模式。此排班模式將以檢查四家航空公司之查核任務為求解範例，當各家航空公司之查核任務選定及各項查核任務之查核頻次訂定後，該年度可能會有近千個查核任務 (job function) 需被執行，要將這些任務組合成每個檢查員每月所執行之工作班 (pairing) 是相當複雜的工作，因此本研究設計二階段演算法流程進行求解，演算法之第一階段是將工作班產生問題定式為限制規劃模式，其功能在於產生符合排班限制的可行工作班集合，然後將產生的工作班集合傳遞給第二階段模式作為模式之輸入資料，第二階段人員排班求解模式則定式為集合涵蓋數學規劃模式，其功能在於選取一組最佳的工作班組合，並獲得最小成本的班表。檢查員排班模式求解架構如圖4.4所示。

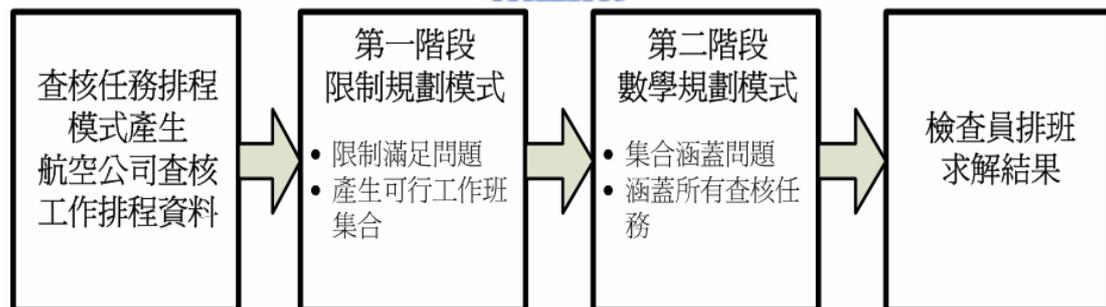


圖 4.4 人員排班模式求解架構

4.3.2 第一階段模式：工作班產生問題

檢查員之工作班產生問題，是希望在遵守各項法規限制下，將民航局現有人力作妥善的運用，以安排出滿足各時段查核任務需求之工作班組合。在本階段考慮之限制條件，其內容包括：每位檢查員執勤班表之公平性、每日工作長度限制、每月工作時數限制、同一日內之任務接續規則，及滿足具有能力、資格條件限制之各項任務作業人力需求。工作班產生問題考慮的限制條件，如表4.7 所示。

表 4.7 工作班組合產生模式之限制條件

限制條件	內容
滿足需求	滿足查核任務排程之各時段查核人力需求
日工作時數限制	檢查員每日工作時數不可超過法規限定
月工作時數限制	檢查員每月的工作天數不可超過法規限定
每日之任務接續	每日接續的任務組合為一勤務，任兩連續任務間相隔一段旅行時間
每月之勤務接續	每月接續的勤務組合為一工作班，任兩連續勤務間相隔一段休息時間

(一) 模式說明

本研究將檢查員排班之工作班產生問題定式為限制規劃模式，並使用限制滿足問題(CSP)之方法，建立符合實際查核作業規定的相關限制式，包括：排班法規規範(工時、休時)與人員排班規則(作業地點、任務接續)等考量因素，及使用排程模式產生之工作排程日程表作為輸入資料，藉由模式求解運算產生可行的工作班集合。

(二) 模式輸入資料

本研究整理工作班組合產生問題模式所需之輸入資料，根據資料特性可將資料分為查核任務資料、檢查員資料、法規資料等三種類型資料。工作班組合產生問題限制規劃模式之輸入資料類型，如表4.8所示。

表 4.8 工作班組合產生模式之輸入資料

資料類型	資料內容
查核任務資料	任務編號、任務工作地點、任務開始時間 任務結束時間、任務對於各類別檢查員之人力需求
檢查員資料	各類別檢查員人數資料、各類別檢查員能力資格限制
法規資料	檢查員之每日工時限制、每月工時限制 每一勤務內之任務接續規則 每一工作班之勤務接續規則

(三) 模式參數與變數

在確認工作班組合產生模式所需之輸入資料後，首先進行參數與變數設定，模式之相關參數與變數分為：任務資料參數、排班法規參數、模式決策變數等三種類型，其說明如表4.9、表4.10、表4.11所述。

表 4.9 工作班組合產生模式之任務資料參數說明

任務資料參數	說明
N_a	工作排程日程表之總任務個數
Day_Job_Set	每日任務集合
Month_Job_Set	每月任務集合
$a[i].start_time, \forall i=0 \sim N_a$	$\forall i=1 \sim N_a, a[i].start_time$ 表示任務 i 之工作開始時間 $\forall i=0, a[i].start_time$ 表示虛擬任務 i 之工作開始時間
$a[i].end_time, \forall i=0 \sim N_a$	$\forall i=1 \sim N_a, a[i].end_time$ 表示任務 i 之工作結束時間 $\forall i=0, a[i].end_time$ 表示虛擬任務 i 之工作結束時間
$a[i].duration, \forall i=0 \sim N_a$	$\forall i=1 \sim N_a, a[i].duration$ 表示任務 i 之工作時間長度 $\forall i=0, a[i].duration$ 表示虛擬任務 i 之工作時間長度
$a[i].place, \forall i=0 \sim N_a$	$\forall i=1 \sim N_a, a[i].place$ 表示任務 i 之工作開始時間 $\forall i=0, a[i].place$ 表示虛擬任務 i 之工作地點

表 4.10 工作班組合產生模式之法規資料參數說明

法規資料參數	說明
Pair_nb	一個工作班中，最多能包含之任務個數
Duty_nb	一個勤務中，最多能包含之任務個數且 $Duty_nb \leq Pair_nb$
Max_DayTime	每日最長工作時數
Max_MonTime	每月工作時數上限值
Min_MonTime	每月工作時數下限值
Max_RestTime	一個工作班中，連續任務間之最長休息時間
Min_RestTime	一個工作班中，連續任務間之最短休息時間
Travel_Time1	一個勤務中，相同地點連續任務間之間隔時間
Travel_Time2	一個勤務中，不同地點連續任務間之旅行時間

表 4.11 工作班組合產生模式之變數說明

變數	值域	說明
$X[i], \forall i=1 \sim (Pair_nb)$	$0 \sim N_a$	$X[i]$ ，表示工作班 X 中第 i 個任務的值， $X[i]=Job_ID$ 變數值域 $0 \sim N_a$ 分別代表一個真實任務，變數值域 0 代表一個虛擬任務 $\forall i=1 \sim Pair_nb$ ，對任務 $X[i]$ 之下一個任務為 $X[i+1]$ $X=(X[1], X[2], \dots, X[Pair_nb])$ 表示一個完整工作班 $\forall i=1 \sim Pair_nb$ ，若 $X[i]=0$ ，則表示工作班 X 中，第 i 個任務為虛擬任務
$T[i], \forall i=1 \sim Pair_nb$	自然數 N	$T[i]$ ，表示工作班 X 中，第 i 個任務結束後至第 $i+1$ 個任務開始的間隔時間 工作班 X 中，若 i 任務與 $i+1$ 任務為虛擬任務時，則 $T[i]=0$ 工作班 X 中，若 i 為真實任務且 $i+1$ 任務為虛擬任務時，則 $T[i]=0$
Total_Work_Time	自然數 N	每月工作班之總工作時間
Total_Duty_Time	自然數 N	每日勤務之總工作時間
Total_Rest_Time	自然數 N	工作班之總休息時間

(四) 模式限制式

本研究將工作班產生問題定義為限制滿足問題(CSP)型式，模式中將以任務排程資料作為模式輸入資料，並依據相關排班法規規則建立模式限制式，然後透過限制規劃方式求解運算，得出符合人員排班規定的所有可行工作班集合。模式之限制式如表4.12所示。

表 4.12 工作班組合產生模式限制式說明

每日勤務限制式	
任務時間限制式	
$X[i].end_time < X[i+1].start_time$	$X[i] \in Day_Job_Set$ $\forall i=1 \sim Duty_nb$
每日工作時間限制式	
$\sum_{i=1}^{Duty_nb} X[i].duration \leq Max_Day_Time$	$X[i] \in Day_Job_Set$ $\forall i=1 \sim Duty_nb$
任務接續之相關限制式	
工作地點相同之旅行時間限制式	
If $(X[i].place == X[i+1].place)$ Then $(X[i+1].start_time - X[i].end_time) \geq SamPlace_TraTime$	$X[i] \in Day_Job_Set$ $\forall i=1 \sim Duty_nb$
工作地點不同之旅行時間限制式	
If $(X[i].place \neq X[i+1].place)$ Then $(X[i+1].start_time - X[i].end_time) \geq DifPlace_TraTime$	$X[i] \in Day_Job_Set$ $\forall i=1 \sim Duty_nb$
每月工作班限制式	
任務時間限制式	
$X[i].end_time < X[i+1].start_time$	$X[i] \in Month_Job_Set$ $\forall i=1 \sim Pair_nb$
每月工作時數限制式	
$Min_MonTime \leq \sum_{i=1}^{Pair_nb} X[i].duration \leq Max_MonTime$	$X[i] \in Month_Job_Set$ $\forall i=1 \sim Pair_nb$
虛擬任務之相關限制式	
虛擬任務只能出現在一工作班之尾端	
$X[1] \neq 0$	$\forall i,j=1 \sim Pair_nb,$

若任務 i 為虛擬任務，則其後續任務 j (j>i)均為虛擬任務 If(X[i]=0)⇒(X[j]=0)	1<i<j
時間計算公式	
總工作時間計算公式	
Total_Work_Time = $\sum_{i=1}^{Pair_nb} X[i].duration$	X[i] ∈ Month_Job_Set ∀ i=1~ Pair_nb

4.3.3 第二階段模式：檢查員排班問題

本研究將第二階段人員排班求解模式定式為集合涵蓋之數學規劃型式，其功能在於：希望由第一階段產生的可行工作班集合中，選擇一組最佳且涵蓋所有查核任務需求之工作班組合，並獲得最小成本的班表。第二階段檢查員排班模式之數學式表示如下：

Minimize

$$\sum_{j \in J} C_j X_j \quad (4.3.3.1)$$

Subject to

$$\sum_{j \in J} a_{ij} X_j \geq b_i \quad \forall i \in N \quad (4.3.3.2)$$

$$X_j = 0, 1 \quad \forall j \in J \quad (4.3.3.3)$$

在此集合分割問題中，變數 X_j 表代表一可行之工作班(pairing)，其屬於 0-1 二元變數，J 為所有工作班之集合。如果 $X_j=1$ 表示工作班 j 有被選入排班表中，如果 $X_j=0$ 則表示工作班 j 沒有被選入班表中。 C_j 為檢查員執行工作班 j 之成本，工作班成本之計算方式為：(每小時工資率)×(每一工作班之總工作時數)，檢查員排班的目標即在於求解使總成本最小的所有工作班組合，如目標式(4.3.1)所示。

限制式(4.3.2)為集合涵蓋限制式(Set Covering Constraints)，每一條限制式 i (第 i row)代表一個查核任務(job function)，N 為所有查核任務所成之集合個數，如果任務 i 包含於第 j 個工作班，則 $a_{ij}=1$ ，如果任務 i 不包含於第 j 個工作班，則 $a_{ij}=0$ ，此一限制式之作用在於限制每一任務對於查核員之需求需符合作業規範。由(4.3.2)與二元變數限制式(4.3.3)，可知在集合涵蓋問題模式中，每一任務

應由數個工作班執行，以滿足檢查員排班問題之查核任務作業人力需求。

4.3.4 二階段模式演算流程控制

本研究設計之檢查員排班二階段演算流程，是以 OPL Script 程式控制限制規劃與數學規劃模式的執行，其先將第一階段限制滿足問題之求解結果傳遞給第二階段的數學規劃模式作為模式基本輸入資料，再透過第二階段集合涵蓋問題求解，得出滿足作業人力需求之最佳工作班組合；演算流程如圖 4.5 所示。

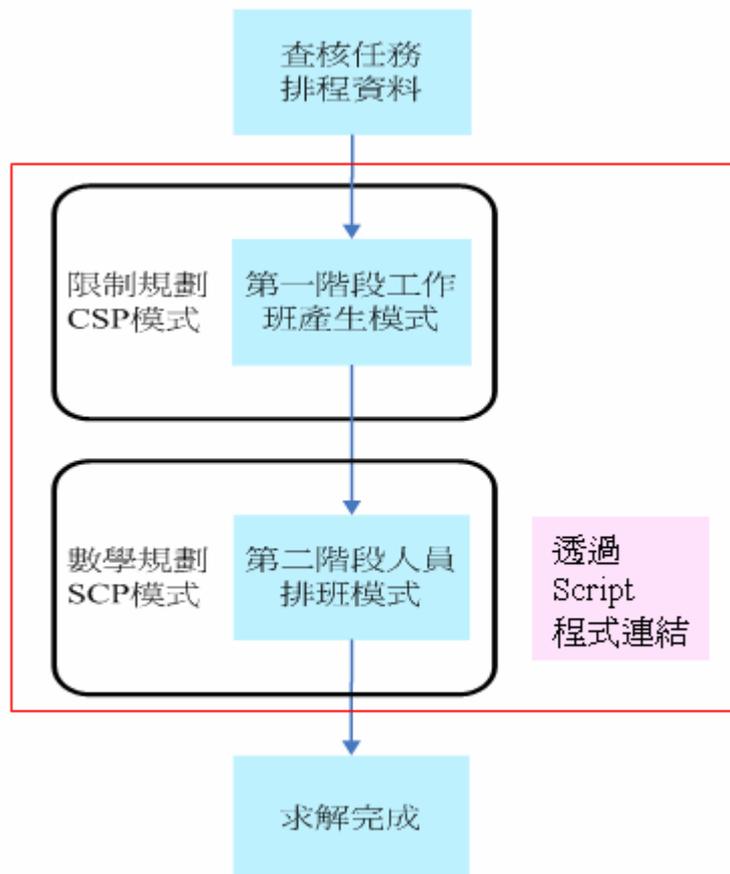


圖 4.5 檢查員排班二階段模式演算流程

第五章 案例分析

為測試飛安查核工作排程與人員排班模式之求解績效，本章將以民航局執行飛安查核作業為實證對象，並蒐集實務查核作業流程、相關程序，以獲得工作排程與人員排班問題之模式輸入資料。在工作排程部分，研究中使用限制規劃方式求解查核任務排程之組合最佳化問題；在檢查員排班求解演算法部份，則使用結合限制規劃(CP)與數學規劃(MP)之兩階段模式進行人員排班問題之求解測試，演算流程之第一階段是以排程模式輸出資料及檢查員排班法規資料作為工作班產生模式之基本輸入資料，其應用限制規劃之 CSP 方式，找出符合排班法規的可行工作班集合，第二階段再使用集合涵蓋模式求解出一組最佳的工作班組合。以下各節將相繼說明資料分析、資料輸入、案例測試求解。

5.1 資料分析

本研究參考民航局查核預劃資料，以國內四家航空公司年度查核任務進行查核工作排程與人員排班問題之求解測試，並以實務查核作業程序及人員排班法規進行相關參數設定，再藉由資料分析、整理及輸入，及使用電腦運算求解，以獲得查核任務排程與檢查員排班結果。其分別針對工作排程與人員排班兩部份資料進行整理說明。

5.1.1 工作排程資料

(一) 查核任務資料

航務查核是以「航務檢查員手冊」所制定之查核任務作為檢查員執行飛安查核作業的工作項目，依據「航務檢查員手冊」規定，航務查核共有 27 項任務及附加職掌 17 項。本研究之查核任務排程是針對航空公司的航務查核作業為主，其中「job10.能力與適職性考驗」及「job12.委任考試官評估」因任務活動類型相同進行合併，及刪除航空公司以外之任務，因此進行排程之查核任務共有 18 項及附加職掌 1 項。在研究中所選定的規劃期內，將四家航空公司之各項查核任務乘上查核任務該年度之查核頻次之加總，總共預定執行 904 項查核任務。航務查核任務之工作時數與執行頻次，整理如表 5.1 所示。

表 5.1 任務之工作時數與執行頻次

JOB	查核任務	每次工作時數 (小時/次)	執行頻次 (次/年)
F010.	主要基地檢查	16	3
F020.	過境場站檢查	8	3
F030.	場站設施檢查	8	3
F040.	停機坪檢查	2	24
F050.	駕駛艙航路檢查	5	24
F060.	手冊檢查	6	6
F070.	訓練計畫檢查	4	12
F080.	簽派中心檢查	4	12
F090.	航空人員檢查	2	12
F100.&F120.	能力與適值性考驗&委任考試官評估	5	6
F130.	使用人飛航記錄檢查	4	24
F140.	組員記錄檢查	4	48
F150.	簽派員記錄檢查	2	12
F160.	客艙航路檢查	5	12
F180.	自我督察檢查	4	12
F190.	地面除冰/防冰檢查	2	2
F200.	機長操作經驗觀察	4	6
F260.	航空公司深入評估檢查	6	4
A	緊急逃生與水上迫降之展示	4	2

查核任務執行必須考量查核任務選取、各項查核任務之工作時數、查核頻次(參考表 5.1)、查核系統層級之查核作業順序,及檢查員之能力資格條件是否符合查核作業需求等項目,以下針對航務查核作業整理出各項任務基本資料,包括:(1) 任務執行順序;(2) 工作地點接續;(3) 作業人力需求。

1. 任務執行順序

民航局藉由執行查核任務以監督航空公司之作業品質,查核任務包含對公司政策、人員資格能力、設施合格、實際作業、工作紀錄等各項檢查,檢查員應依據查核系統架構層級,在查核系統上游作業完成後,方可執行系統下游作業;查核工作若屬於相同之系統層級,則必須根據作業內容特性之順序性,依序執行查核任務。本研究根據查核系統架構分析[2],及參考圖 2.3 查核任務執行順序關係圖,進行排程模式優先排序限制式之任務關連性參數值設定,並以參數 $a[i].predecessor$ 表示任務 $a[i]$ 之前置任務編號,查核任務排序之參數值設定方式,如表 5.2 所示。

表 5.2 任務關連性參數值設定

Job[i]	F010	F020	F030	F040	F050	F060	F070	F080	F090
a[i].predecessor	0	0	0	0	14	0	18	9	7
Job[i]	F010/12	F130	F140	F150	F160	F180	F190	F200	F260
a[i].predecessor	7	5	20	7	14	6	8	10	6
Job[i]	A								
a[i].predecessor	7								

2. 工作地點接續

由於部份查核任務間具有執行的先後順序，當前置任務與後續任務的查核作業地點相同，則前置任務的結束時間至後續任務的開始時間，其間隔一段較短的檢查員旅行時間 $Travel_Time1$ ；若前置任務與後續任務的查核作業地點不同，則前置任務的結束時間至後續任務的開始時間，其間隔一段較長的檢查員旅行時間 $Travel_Time2$ 。經由整理，航務查核工作之作業地點主要可區分為航空公司與機場兩地，在排程模式中，查核任務 $a[i]$ 之作業地點以參數 $a[i].place$ 表示，當任務作業地點位於航空公司， $a[i].place$ 之參數設定值為 0，當任務作業地點位於機場， $a[i].place$ 之參數設定值為 1。另一方面，相同地點工作接續之旅行時間 $Travel_Time1$ 參數設定值為 1 小時，而不同地點工作接續之旅行時間 $Travel_Time2$ 參數設定值為 2 小時；各項任務之作業地點參數值設定方式如表 5.3 所示。

表 5.3 任務作業地點參數值設定

Job[i]	F010	F020	F030	F040	F050	F060	F070	F080	F090
a[i].place	0	1	1	1	1	0	0	1	0
Job[i]	F010/12	F130	F140	F150	F160	F180	F190	F200	F260
a[i].place	1	0	0	0	1	0	1	1	0
Job[i]	A								
a[i].place	1								

3. 作業人力需求

當進行查核作業時，各項任務需由主任檢查員或一般檢查員來負責執行檢查工作，不同的任務對於各類別檢查員具有不同的需求人數，本研究依據檢查員之實務查核經驗以進行各項查核任務之作業人力需求設定。模式中以參數 $resource[i,k]$ 表示第 i 項任務對於第 k 種類別檢查員的需求人數，各項任務對於主任檢查員及一般檢查員之人力需求參數值設定，參考表 5.5 所示。

表 5.5 任務人力需求參數值設定

Job[i]	F010	F020	F030	F040	F050	F060	F070	F080	F090
resource[i,1]	0	0	0	1	0	1	0	0	0
resource[i,2]	2	3	2	2	1	1	3	3	2
Job[i]	F010/12	F130	F140	F150	F160	F180	F190	F200	F260
resource[i,1]	1	1	0	1	1	1	1	0	1
resource[i,2]	2	2	1	2	2	1	2	1	1
Job[i]	A								
resource[i,1]	0								
resource[i,2]	1								

(二) 檢查員資料

根據檢查員之查核經驗及工作資歷，航務檢查員分為兩種能力資格類別—主任檢查員及一般檢查員，主任檢查員能執行分屬查核系統層級之所有查核任務，一般檢查員則執行組織系統層級或自我督察層以外之查核任務；民航局實際航務檢查員人數共 17 人，包括：主任檢查員 3 人、航務檢查員 14 人。模式中以 Resource[k]表示第 k 種類別之檢查員人數(當 k=1 時為主任檢查員/k=2 時為一般檢查員)，表 5.4 為主任檢查員與一般檢查員人數參數設定方式。

表 5.4 航務檢查員人數參數設定值

航務檢查員		
主任檢查員	Resource[1]	3
一般檢查員	Resource[2]	14

5.1.2 人員排班資料

本研究針對人員排班問題建立一兩階段求解模式，在第一階段工作班產生模式部份，依據航務查核作業之任務資料、工作排程模式產生之各項任務作業時間、工作班之每日勤務產生規則與每月勤務組合產生規則，及成本資料，以進行限制規劃模式的參數資料設定；在第二階段排班求解模式部分，則使用第一階段模式產生之可行工作班集合，作為排班數學規劃模式之輸入資料，再求解出滿足查核作業人力需求之工作班組合。

(一) 任務相關資料

首先針對四家航空公司查核任務，輸入該月份的工作排程資料，作為工作班產生模式的起始資料，所需資料為：(1) 任務代號；(2) 任務工作地點；(3) 任務

工作時間，包含任務作業開始時間、所需工時、作業結束時間等；(4) 各項任務所需檢查員人數。其中任務代號、任務工作地點、任務工作時數、作業人力需求等資料與工作排程輸入資料相同(參考 5.1.1 小節)，任務工作時間資料則由工作排程模式輸出資料取得；表 5.6 為工作排程模式產生之 A 航空公司一月份查核任務工作時間資料(工作時間以小時為單位)，並以此作為工作班產生模式之任務基本輸入資料。

表 5.6 任務工作時間參數輸入資料

Job[i]	F010	F020	F030	F040	F041	F050	F051	F060	F070
a[i].start_time	60	52	61	72	93	45	80	0	12
a[i].end_time	76	60	69	74	95	50	85	6	16
a[i].duration	16	8	8	2	2	5	5	6	4
Job[i]	F080	F090	F010/12	F130	F131	F140	F141	F142	F143
a[i].start_time	37	33	26	54	87	38	75	96	110
a[i].end_time	41	35	31	58	91	42	79	100	114
a[i].duration	4	2	5	4	4	4	4	4	4
Job[i]	F150	F160	F180	F190	F200	F260	A		
a[i].start_time	17	44	7	42	32	7	21		
a[i].end_time	19	49	11	44	36	13	25		
a[i].duration	2	5	4	2	4	6	4		

(二) 排班法規資料

在第一階段工作班產生模式中，經由任務基本資料輸入後，必須依據排班法規資料建立限制規劃模式之限制式，然後產生可行的工作班集合，其考量項目包括：檢查員之資格、能力限制、檢查員作業相關規定，以及每日工時限制、每月工時限制等條件，均需能符合相關法規要求。其中關於檢查員之資格、能力及檢查員作業相關規定等資料與工作排程所需資料相同，對於每日勤務產生規則、每月工作班產生規則等排班資料，其詳細內容說明如下。

1. 每日勤務產生規則

基於檢查員作業品質及工作效率之考量，排班法規通常規定「一個勤務中所包含的查核任務不能超過每日查核數量限制、每個勤務的總工作時間不能超過法定時數上限，而相同勤務中的連續任務必須相隔一段最短休息時間或旅行時間」，關於每日勤務產生規則其資料內容如下：

- (1) 每人每日工作勤務中，最多能連續執行三項查核任務。
- (2) 原則上每人每日工作時數小於等於8小時，至多不得超過10小時。
- (3) 一勤務中，相同地點連續工作之兩任務間，檢查員最少需休息1小時，才能執行下一個任務。
- (4) 一勤務中，若連續兩任務之工作地點不同，則檢查員在不同地點間的移動時間，最少需大於等於2小時，才能執行下一個任務。

2. 每月工作班產生規則

每月工作班之相關排班法規通常規定「每個工作班最多可包含的勤務數、工作班中任兩個勤務間的時間必須大於等於一法定之最小休息時間、每個工作班的總工作時間必須小於等於某一最大的法定值」，此部份資料內容如下：

- (5) 每人每月工作班中，最多可執行的勤務數為15個。
- (6) 每人每日工作8小時後，需休息16小時，才能執行下一個勤務。
- (7) 每人每月總工作時數不得超過120小時。
- (8) 各人連續工作天數至多為5天。
- (9) 公平性要求：每月工作班之總工作時數盡量平均分攤，使得檢查員的工作負荷大致相同。

(三) 成本資料

本研究在人力成本考量上，是以薪資成本作為檢查員執行查核作業之任務成本，其計算方式為：任務工作時數乘上每小時工資率(薪資成本)；在第二階段集合涵蓋模式中，對於工作班成本之計算方式，則以單一檢查員之每月總工作時數乘上檢查員時薪成本。由於每位檢查員之時薪成本固定，因此研究中以每小時1單位成本作為檢查員時薪成本之設定方式。

表 5.7 時薪成本參數值設定方式

成本項	成本計算方式	參數	參數值
時薪成本	1 單位成本/小時	Cst	1
勤務成本	1 單位成本/小時	dutyCst	$\sum_{i=1}^{\text{Duty_nb}} X[i].\text{duration}$
工作班成本	1 單位成本/小時	pairCst	$\sum_{i=1}^{\text{Pair_nb}} X[i].\text{duration}$

5.2 資料輸入

本研究設計的工作排程與人員排班模式，是以國內四家航空公司的年度航務查核任務作為模式輸入資料，模式求解主要分為三部份執行：(1) 查核任務排程；(2) 產生可行工作班集合；(3) 選擇最佳工作班組合。各部份模式之參數設定與輸入資料分別說明如下。

5.2.1 工作排程模式資料輸入

(一) 參數設定

首先針對年度 904 項查核任務進行工作排程，工作排程模式之輸入參數設定如表 5.8 所示，其中對於各項任務 a[i] 之相關參數值必須依據任務資料進行設定，如：a[i].place 參數需依據任務作業地點進行設定，a[i].predecessor 參數需依據作業順序進行值設定，a[i].duration 參數需依據作業時間進行設定，a[i].startafter 與 a[i].endbefore 參數則需依據排程月份時間進行參數值設定，以 1 月份的排程任務 a[i] 為例，a[i].startafter 為 1 月份的排程起始時間，a[i].endbefore 為 1 月份的排程結束時間；此外，關於排程時間參數、檢查員人數參數，及任務接續旅行時間參數之參數設定值可由使用者自行定義，研究中以民航局實務資料進行設定。

表 5.8 工作排程模式參數設定

排程時間參數		
參數	參數設定值	參數說明
Time_Origin	0	工作排程起始時間
Time_Horizen	3600	工作排程結束時間
檢查員參數		
參數	參數設定值	參數說明
Resource	R1/R2	檢查員資格類別
R1	3	主任檢查員人數
R2	14	一般檢查員人數
任務接續參數		
參數	參數設定值	參數說明
Travel_Time	Travel_Time1/Travel_Time2	任務接續旅行時間
Travel_Time1	1(小時)	相同地點任務接續旅行時間
Travel_Time2	2(小時)	不同地點任務接續旅行時間
任務資料參數		
參數	參數設定值	參數說明
Aline_Index	A/B/C/D	航空公司代碼
Job_Index	a[i]	任務代碼
i	1~N	任務編號
a[i].place	0/1	任務工作地點
a[i].predecessor	Job_Index	任務關連性設定
a[i].duration	自然數	任務工作時間
a[i].startafter	自然數	任務允許開始時間
a[i].endbefore	自然數	任務最後完成期限
resource[i,1]	視任務而定	任務對主任檢查員需求人數
resource[i,2]	視任務而定	任務對一般檢查員需求人數

(二) 資料輸入

依據 5.1 節查核任務相關資料說明，工作排程模式之任務基本輸入資料包

括：(1) 航空公司代碼、(2) 任務編號、(3) 任務工作地點、(4) 任務關連性設定、(5) 任務允許開始時間、(6) 任務工作時間、(7) 任務最後完成期限、(8) 作業人力需求(主任檢查員人數、一般檢查員人數)等項目，使用者必須依據各家航空公司實際查核任務資料進行任務參數值輸入；任務相關資料如以下方式進行輸入。(附錄 A 中說明以該年度一月份四家航空公司實際查核任務資料模式輸入方式)

```
Job_Data = [<Airline_Index, Job_Index>,<a[i].place, a[i].predecessor,
           a[i].start_time, a[i].end_time, resource[i,1], resource[i,2]>]
```

5.2.2 工作班產生模式參數設定及資料輸入

工作班產生模式求解需使用工作排程的輸出結果，來獲得各項任務的工作開始時間與工作結束時間，在輸入任務執行時間之前，需將排程模式輸出的連續工作時間轉換為每日工作時數，以進行工作班產生模式之任務基本資料輸入，再依據相關排班法規資料，建立工作班產生模式之限制式，及藉由限制規劃 CSP 方式求解，最後得出符合排班法規的可行工作班。模式的參數設定及資料輸入方式如下。

(一) 參數設定

工作班產生模式之參數資料，主要是針對勤務產生規則及工作班產生規則進行參數設計；在參數值輸入部分，一勤務中任務接續的旅行時間與排程模式中設定之參數值相同，而其他參數值則必須依據排班規則進行設定，參數值設定如表 5.9 所示。為達到公平性排班之目的，使用者可調整每月工作時數上限值與下限值參數，使 CSP 模式產生工作時數相近的可行工作班集合。

表 5.9 工作班產生模式參數值設定

參數	參數設定值	參數說明
Duty_nb	22	一個工作班中，最多能包含之勤務個數
Job_nb	3	一個勤務中，最多能包含之任務個數
Max_DayTime	10	每日最長工作時數
Max_MonTime	視每月任務數而定	每月工作時數上限值
Min_MonTime	視每月任務數而定	每月工作時數下限值
Max_RestTime	16	一個工作班中，連續勤務間之最長休息時間
Min_RestTime	12	一個工作班中，連續勤務間之最短休息時間
Travel_Time1	1	一個勤務中，相同地點連續任務間之間隔時間
Travel_Time2	2	一個勤務中，不同地點連續任務間之旅行時間

(二) 資料輸入

在工作班產生之限制規劃模式中，所需之輸入資料為任務排程資料，以及檢查員排班法規資料。任務排程資料包括任務工期、任務工作地點，此部分資料與工作排程模式的輸入資料相同，而各項任務的工作開始時間與結束時間資料，則由工作排程模式之求解結果獲得；在排班法規資料方面，主要包括：勤務的工作時間、休息時間、勤務內任務接續的旅行時間等資料，其輸入方式係依據上述排班法規進行參數值設定；任務排程資料則以下列方式對個別任務進行輸入。

```
Job_Data=[<a[i].start_time, a[i].duration, a[i].end_time, a[i].place >]
```

5.2.3 集合涵蓋模式參數設定及資料輸入

此部份為工作班選擇階段，其主要以上一階段產生的可行工作班集合作為集合涵蓋模式的輸入資料，在滿足各項任務的人員需求限制下，藉由數學規劃方式求解，得出一組成本最小的工作班解集合，工作班的成本資料是根據檢查員的時薪成本進行設定，模式的參數設定及資料輸入說明如下。

(一) 參數設定

集合涵蓋模式之參數資料包括：可行工作班個數、各工作班成本、任務之作業人力需求、工時成本等資料。工時成本之參數設定值是以每小時 1 單位成本計算，任務之作業人數需求是根據任務資料進行參數值設定；其中工作班個數與工作班成本資料是由工作班產生模式所獲得，由於工時成本之參數設定值為 1 單位成本，因此各工作班之成本參數與該工作班之工作時數相同，以一月份 A 航空公司之排程任務為例，藉由限制列舉法所產生符合排班規則的可行工作班個數為 550 個，並以此作為可行工作班個數之參數值設定。

表 5.10 集合含蓋模式參數值設定

參數	參數設定值	參數說明
Pair_nb	550	可行工作班個數
Cst	1 單位成本/小時	工時成本
PairCst	視產生的工作班而定	工作班成本
a[i].demand	視任務而定	任務 i 對檢查員之需求人數

(二) 資料輸入

由於本研究使用 OPL Script 語法建構結合工作班產生模式及集合涵蓋模式之人員排班求解演算法，因此在集合涵蓋模式之資料輸入部分，是將工作班產生

模式之輸出資料暫存於動態隨機存取記憶體中，並以此作為集合涵蓋模式之輸入資料，再進行集合涵蓋模式求解運算，此部分資料包括所有符合法規限制之可行工作班集合資料與各工作班的成本資料。求解模式使用動態隨機記憶體暫存陣列的程式碼如下，其中 [1..0]表示起始值為 0 的動態陣列宣告方式。

```
Open set jobsPerPairing[1..0]; //工作班陣列資料
Open int pairCst[1..0]; //工作班成本資料
// Loop over all solutions, which will become columns for the math program
while cp.nextSolution() do {
    jobsPerPairing.addh();
    pairCst.addh();
}
```

5.3 案例測試求解

為測試各階段模式於目前飛安查核預劃工作之執行績效，本研究依據前節資料分析與資料輸入方式，並使用 ILOG 最佳化軟體進行求解，以獲得最終的輸出結果。在各個階段的求解測試中，工作排程階段的求解結果將作為工作班產生階段的輸入資料，而工作班產生階段的輸出結果，將作為工作班選擇階段的輸入資料，當完成三個階段模式之執行求解，將可得到查核任務每月的工作排程日程表及檢查員每個月的執勤班表。

5.3.1 工作排程模式求解

第一階段模式是利用資源限制專案排程及限制規劃方法進行預劃作業之任務排程規劃。依據本研究發展之工作排程模式求解架構，模式將包含模式檔(.mod)與資料檔(.dat)兩部分，模式檔為將問題模式化的程式語言，資料檔則可針對任務資料參數及檢查員人數參數進行設定，因此關於查核任務間的順序關係、任務作業地點、任務對於各類檢查員之作業人力需求，及各類檢查員人數，均可由使用者依據查核資料自行調整設定。以下針對檢查員未來一年的飛安查核實際作業情況進行模式求解測試，本測試案例之變數個數及限制式個數如下表所示，模式所使用的參數設定值包括：4 家航空公司 908 項查核任務之任務資料參數，及檢查員人數參數 (主任檢查員 3 人、一般檢查員 14 人)等，參數設定方式請參閱 5.2 節說明。對於測試案例進行模式求解運算，第一階段排程模式的求解時間為 30 秒，模式求解效率良好。

表 5.11 排程模式－案例測試求解績效

分析項目	CP-組合最佳化求解
變數個數	3,636
限制式個數	7,152
OPL Studio求解時間(Sec)	30
Solver使用記憶體	6,461,712

工作排程模式考量各項任務之查核工時與查核頻次、查核系統層級之查核作業順序、相同地點與不同地點間的查核任務接續，及查核任務之作業人力需求等項目；透過模式求解運算，可獲得十二個月的查核任務排程結果，模式輸出資料為各項任務的執行時間，表 5.12 為一月份查核任務排程求解結果，圖 5.1、圖 5.2、圖 5.3、圖 5.4 為一月份各家公司查核任務排程甘特圖。

表 5.12 一月份查核任務排程求解結果

Airline	Job	Day	Time												
A	F010	11	8~18	B	F010	12	8~18	C	F010	13	8~18	D	F010	13	8~18
A	F010	12	8~14	B	F010	13	8~14	C	F010	14	8~14	D	F010	14	8~14
A	F020	10	8~16	B	F020	10	8~16	C	F020	10	8~16	D	F020	10	8~16
A	F030	14	9~17	B	F030	12	8~16	C	F030	12	8~16	D	F030	11	8~16
A	F040	13	8~10	B	F040	14	8~10	C	F040	15	8~10	D	F040	15	8~10
A	F041	15	14~16	B	F041	16	14~16	C	F041	17	14~16	D	F041	17	8~10
A	F050	9	8~13	B	F050	9	8~13	C	F050	8	11~16	D	F050	9	12~17
A	F051	14	8~13	B	F051	15	8~13	C	F051	16	8~13	D	F051	16	8~13
A	F060	1	8~14	B	F060	1	8~14	C	F060	1	8~14	D	F060	2	8~14
A	F070	3	8~12	B	F070	3	13~17	C	F070	4	8~12	D	F070	3	13~17
A	F080	7	8~12	B	F080	8	8~12	C	F080	7	12~16	D	F080	8	8~12
A	F090	6	14~16	B	F090	7	14~16	C	F090	7	8~10	D	F090	7	14~16
A	F10/12	5	8~13	B	F10/12	6	8~13	C	F10/12	5	13~18	D	F10/12	6	8~13
A	F130	9	14~18	B	F130	11	8~12	C	F130	11	8~12	D	F130	12	8~12
A	F131	15	8~12	B	F131	16	8~12	C	F131	17	8~12	D	F131	16	14~18
A	F140	7	14~18	B	F140	4	12~16	C	F140	6	14~18	D	F140	8	14~18
A	F141	13	11~15	B	F141	14	12~16	C	F141	15	12~16	D	F141	15	12~16
A	F142	16	8~12	B	F142	17	8~12	C	F142	18	8~12	D	F142	17	12~16
A	F143	16	14~18	B	F143	17	14~18	C	F143	18	14~18	D	F143	18	8~12
A	F150	4	8~10	B	F150	4	8~10	C	F150	4	14~16	D	F150	5	8~10
A	F160	8	12~17	B	F160	9	8~13	C	F160	9	8~13	D	F160	9	11~16
A	F180	2	8~12	B	F180	3	8~12	C	F180	2	8~12	D	F180	3	8~12
A	F190	8	8~10	B	F190	8	13~15	C	F190	8	8~10	D	F190	9	8~10
A	F200	6	8~12	B	F200	7	8~12	C	F200	6	8~12	D	F200	7	8~12
A	F260	2	8~14	B	F260	2	8~14	C	F260	3	8~14	D	F260	4	8~14
A	FA	4	12~16	B	FA	5	8~12	C	FA	5	8~12	D	FA	5	12~16

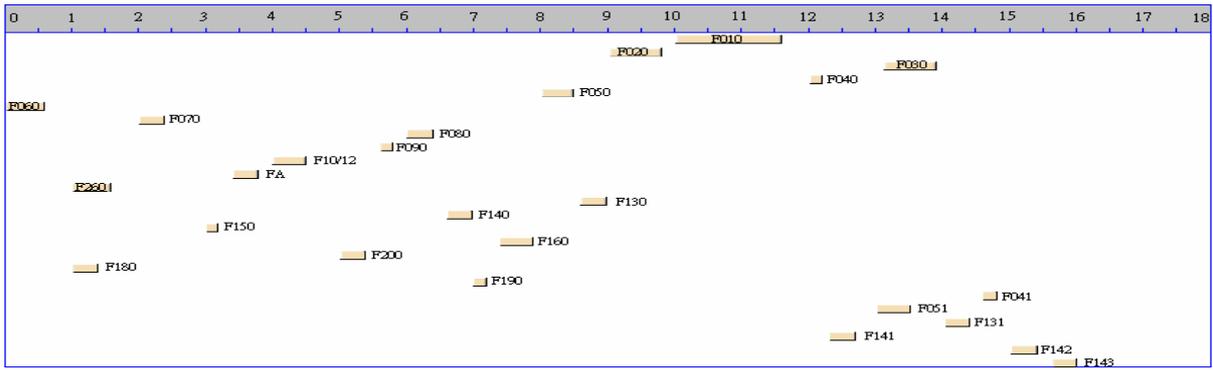


圖 5.1 一月份 A 航空公司查核任務排程甘特圖

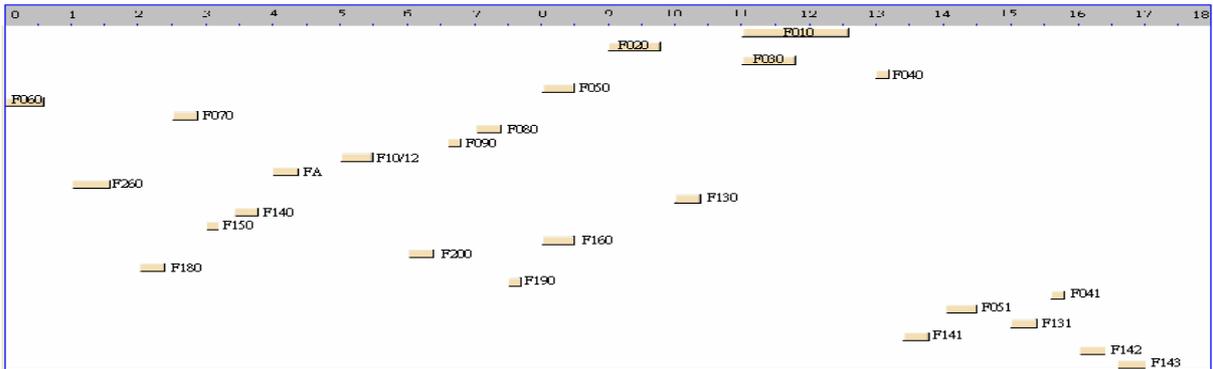


圖 5.2 一月份 B 航空公司查核任務排程甘特圖

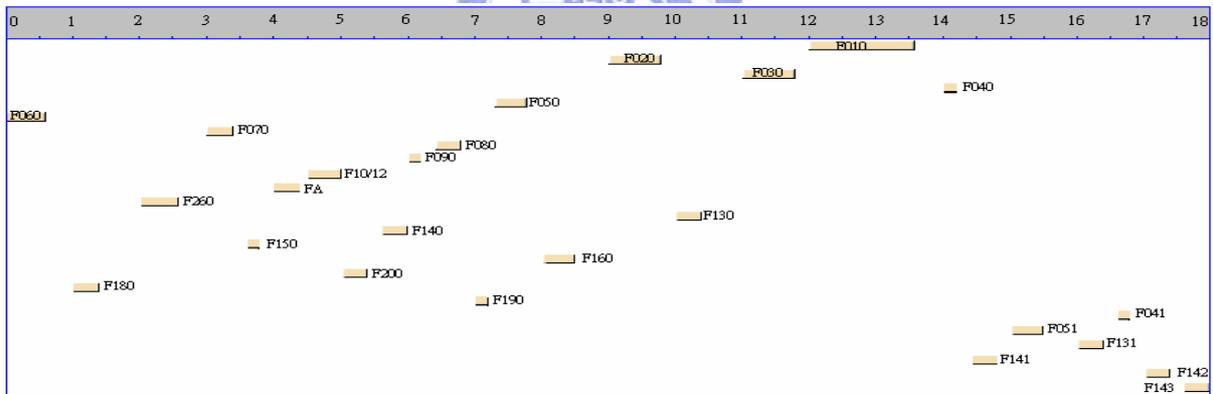


圖 5.3 一月份 C 航空公司查核任務排程甘特圖

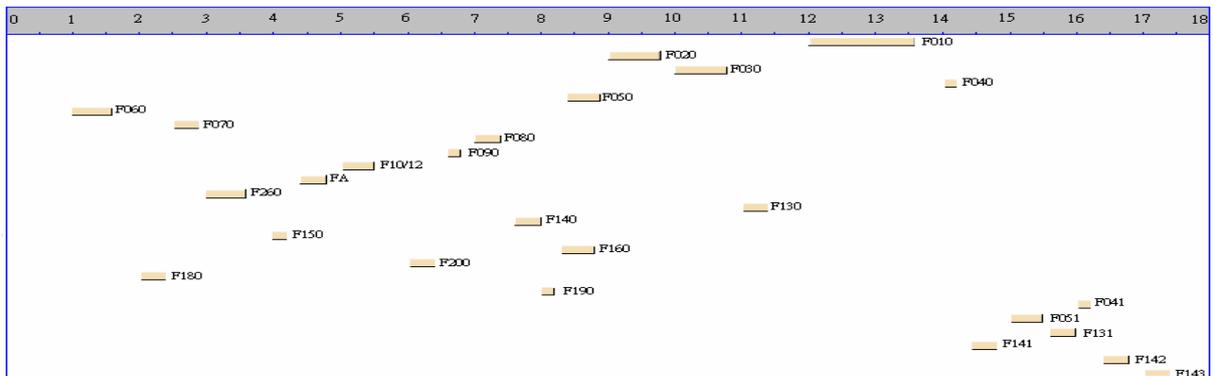


圖 5.4 一月份 D 航空公司查核任務排程甘特圖

5.3.2 檢查員排班模式求解

本研究之人員排班部份，分別對各家航空公司進行每月的檢查員排班求解測試。工作班產生階段應用工作排程結果作為模式基本輸入資料，產生可行的工作班集合，工作班選擇階段是由產生的可行工作班集合中找出一組成本最小的工作班解，以獲得各月份的檢查員班表。茲將測試例題之各月份查核任務分布整理如表 5.15 所示，並依據查核任務排程資料、每日勤務產生規則、每月工作班產生規則、工作班成本計算公式，依序進行規劃期間查核任務排程與人員排班模式求解。每月份各家公司航務檢查員排班求解結果如表 5.16 所示，最佳解工作班之查核任務資料請參見附錄 B、附錄 C。

表 5.15 每月份查核任務分布

NB	Job Function	Duration (hours)	Frequency (times)	Month	Month											
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
F101	主要基地檢查	16	3	1/5/9	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
F201	過境場站檢查	8	3	1/5/9	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
F301	場站設施檢查	8	3	1/5/9	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
F401	停機坪檢查	2	24	1~12 / * 2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
F501	駕駛艙航路檢查	5	24	1~12 / * 2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
F601	手冊檢查	6	6	1/3/5/7/9/11	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
F701	訓練計畫檢查	4	12	1~12 / * 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
F801	簽派中心檢查	4	12	1~12 / * 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
F901	航空人員檢查	2	12	1~12 / * 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
F1001	能力與考試官評估	5	6	1/3/5/7/9/11	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
F1101	緊急逃生/水上迫降	4	2	1/7	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
F1201	深度評估檢查	6	4	1/4/7/10	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
F1301	使用人飛航記錄檢查	4	24	1~12 / * 2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
F1401	組員記錄檢查	4	48	1~12 / * 4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
F1501	簽派員記錄檢查	2	12	1~12 / * 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
F1601	客艙航路檢查	5	12	1~12 / * 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
F1701	機長操作經驗觀察	4	6	1/3/5/7/9/11	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
F1801	自我督察檢查	4	12	1~12 / * 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
F1901	地面除冰/防冰檢查	2	2	1/7	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Summation			227	--	25	16	19	17	22	16	22	16	22	17	19	16

表 5.16 排班模式測試求解結果

一月				
航空公司	可行工作班集合數目	求解時間(Sec)	最佳解工作班數目	工作班平均工作時數
A	550	83	3	100
B	570	72	4	97
C	728	85	3	105
D	625	92	3	103
二月				
航空公司	可行工作班集合數目	求解時間(Sec)	最佳解工作班數目	工作班平均工作時數
A	1360	122	3	45
B	1616	129	3	45
C	1240	125	3	45
D	1325	124	3	45
三月				
航空公司	可行工作班集合數目	求解時間(Sec)	最佳解工作班數目	工作班平均工作時數
A	6318	182	3	50
B	4236	152	3	50
C	4330	146	3	50
D	5274	159	3	50
四月				
航空公司	可行工作班集合數目	求解時間(Sec)	最佳解工作班數目	工作班平均工作時數
A	2367	137	3	50
B	2558	142	3	50
C	1892	126	3	50
D	2590	135	3	50
五月				
航空公司	可行工作班集合數目	求解時間(Sec)	最佳解工作班數目	工作班平均工作時數
A	5349	155	3	80
B	3805	147	3	80
C	4261	153	3	80
D	3675	145	3	80
六月				
航空公司	可行工作班集合數目	求解時間(Sec)	最佳解工作班數目	工作班平均工作時數
A	1360	122	3	45
B	1616	129	3	45
C	1240	125	3	45
D	1325	124	3	45
七月				
航空公司	可行工作班集合數目	求解時間(Sec)	最佳解工作班數目	工作班平均工作時數
A	2439	139	3	70
B	2538	135	3	70
C	2728	138	3	70
D	2622	141	3	70
八月				
航空公司	可行工作班集合數目	求解時間(Sec)	最佳解工作班數目	工作班平均工作時數
A	1360	122	3	45
B	1616	129	3	45

C	1240	125	3	45
D	1325	124	3	45
九月				
航空公司	可行工作班集合數目	求解時間(Sec)	最佳解工作班數目	工作班平均工作時數
A	5349	155	3	80
B	3805	147	3	80
C	4261	153	3	80
D	3675	145	3	80
十月				
航空公司	可行工作班集合數目	求解時間(Sec)	最佳解工作班數目	工作班平均工作時數
A	2367	137	3	50
B	2558	142	3	50
C	1892	126	3	50
D	2590	135	3	50
十一月				
航空公司	可行工作班集合數目	求解時間(Sec)	最佳解工作班數目	工作班平均工作時數
A	6318	182	3	50
B	4236	152	3	50
C	4330	146	3	50
D	5274	159	3	50
十二月				
航空公司	可行工作班集合數目	求解時間(Sec)	最佳解工作班數目	工作班平均工作時數
A	1360	122	3	45
B	1616	129	3	45
C	1240	125	3	45
D	1325	124	3	45

以航務檢查員執行A航空公司一月份查核作業之工作班產生為說明範例。其藉由第一階段限制規劃模式運算求解，獲得符合排班法規之可行工作班共550個，求解時間為83秒，模式測試績效於表5.13。

表 5.13 工作班產生模式求解績效

分析項目	CP-組合最佳化求解
變數個數	250
限制式個數	96
OPL Studio求解時間(Sec)	83
Solver使用記憶體	628,080

當獲得符合排班法規之可行工作班集合與各工作班成本後，則進行第二階段排班模式運算，研究中以OPL Script程式控制兩階段模式的執行，Script將第一階段求解結果傳遞給第二階段的集合涵蓋模式，透過集合涵蓋模式求解，得出一組滿足作業人力需求之最佳工作班組合；其中，第一階段工作班產生模式之550個可行工作班為第二階段集合涵蓋模式的變數組合，第二階段模式使用CPLEX之分枝定限法求解，得到工作班最佳解，表5.14、圖5.5為檢查員排班輸出資料，求

解結果之總工作時數目標值為300小時，並藉由3個工作班可執行完該月份之查核任務。

表 5.14 一月份 A 航空公司排班求解結果

工作班	查核任務 (Job Function)	工作時數
Pair-01	F101 F201 F401 F501 F601 F701 F801 F901 F1001 F1101 F1301 F1401 F1501 F1601 F1701 F1801 F1901 F402 F502 F1302 F1402 F1403	100(hour)
Pair-02	F101 F201 F301 F401 F601 F701 F801 F901 F1001 F1101 F1201 F1301 F1401 F1501 F1601 F1701 F1901 F402 F1302 F1402 F1403	100(hour)
Pair-03	F101 F201 F501 F601 F701 F801 F901 F1001 F1101 F1201 F1301 F1401 F1501 F1601 F1701 F1901 F402 F502 F1402 F1403 F1404	100(hour)

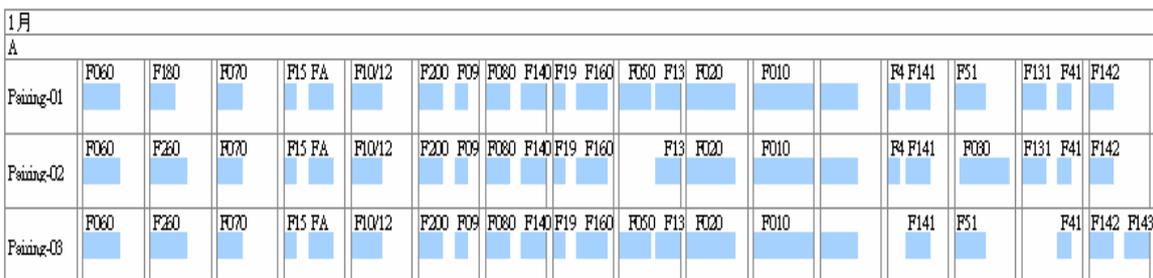


圖 5.5 一月份 A 航空公司檢查員排班結果

5.4 求解結果說明

案例探討之查核任務執行頻次係依據何慧珍[25]飛安查核量推估與分析模化所計算之年度查核次數作為頻次設定標準，如查核任務job8.簽派中心檢查，航務檢查員手冊中規定該項任務年度查核次數應大於等於四次，每三個月至少執行一次檢查工作，然而實際頻次訂定由於考量航空公司航班數目，因此該任務的查核頻次係依據航空公司規模而設定為12次；各月份查核任務分布由上述方式安排：一月份執行的查核任務共有25項、二月份16項、三月份19項、四月份17項、五月份22項、六月份16項、七月份22項、八月份16項、九月份22項、十月份17項、十一月份19項、十二月份16項，各家航空公司於規劃年度預計執行227項查核任務。

在工作排程求解部份，排程模式同時對四家航空公司之查核任務進行求解，總計908項查核任務，變數個數共3,636個，限制式個數為7,152條，求解運算時間約30秒即獲得工作排程結果。由於本研究使用資源限制專案排程模式進行各項查核任務之作業時間求解，因此得出的查核任務作業時間為一連續的工作時數，研究中考量航空公司之作業時間及檢查員之過夜休息時間，則必須將連續工作時數轉換為每日的查核工作時數，以獲得工作排程日程表之最終結果，並以此作為檢查員排班模式之基本輸入資料。

在人員排班求解部分，分別對各家航空公司每月查核任務進行檢查員排班求解，當第一階段模式產生的可行工作班集合數目越多，排班模式的求解時間越長，求解時間約介於80~180秒。執行結果獲得一月份四家航空公司共需由13個工作班(變數)以執行所有查核任務，其他月份各需使用12個工作班(變數)以執行每月的查核任務，由於模式產生的工作班為檢查員該月份之每日勤務組合，因此一月份需由13位檢查員執行查核工作，其他月份需由12位檢查員執行查核工作，求解結果滿足目前民航局航務檢查員的編制人數14人。

此外，工作班時間長度為檢查員該月份執行查核作業之總工作時數，藉由排班模式求解之每月份工作班總工時計算公式得出一月、五月、七月、九月工作班之工作時數較長，是由於這些月份必須執行的查核任務數目較多，因此檢查員於該月份的總工作時數較其他月份多。在班表公平性方面，一月份各家航空公司工作班平均工作時數為97~105小時不等，但同一公司內各工作班的查核時數均為相同，而其餘十一個月份，模式求解各家公司之工作班平均查核時數相同，同一公司內之工作班總工作時數亦均為相同，因此排班模式求解獲得之檢查員每月查核時數相當平均。



第六章 結論與建議

本研究將飛安查核工作排程定義為資源限制專案排程問題，資源限制專案排程在學術領域中被歸類為組合最佳化之問題型式，文獻中對於此類型問題求解大致可分為最佳解方法及啟發式解法，最佳解方法是在限制條件已知情況下，對於問題的目標求取可行空間內之最佳解，若問題規模較大，其所需的求解時間較長，啟發式解法則在尋求可以接受的近似最佳解，以縮短問題的求解時間，並增進模式的求解效率。

近年來由於電腦運算速度的進步，對於組合最佳化問題，國外已有學者使用限制規劃方式進行求解，此方法適用於限制程度較高的問題類型，由於查核任務排程(RCPSP)模式考量的限制條件繁多，包括任務工作時數、任務工作順序、作業人力需求、查核人力限制，及相同作業地點與不同工作地點之任務接續等各項因素，其可歸類為限制程度較高的組合最佳化問題，因此研究中使用限制規劃方法進行資源限制專案排程模式求解，經實證分析結果得知，限制規劃方法能確實有效的輔助排程管制人員快速獲得飛安查核工作排程結果。

就人員排班之工作班產生方式而言，文獻上通常使用變數產生法求解，其求解觀念為將主問題定式為集合涵蓋或集合分割問題，子問題為資源受限制之最短路徑問題，並使用單體法與資源受限制的最短路徑演算法分別求解主、子問題，變數產生法在子問題求解部份，由於資源受限制的最短路徑演算法需在路網中的每個節點設定標籤來紀錄各種資源限制於不同路徑上的使用狀態，其需耗費大量記憶體空間且求解效率不佳，因此國內、外學者開始應用數學規劃結合限制規劃方法求解人員排班問題。本研究對於檢查員排班問題，依據排班問題之限制條件與相關排班法規限制，建立結合限制規劃與數學規劃之二階段演算流程，經案例測試求解，其獲得到良好的排班績效。

6.1 結論

經本研究之案例求解測試後，可歸納出下列幾點結論：

1. 綜觀國內限制規劃相關文獻，其大多用於求解限制滿足問題，雖然部分文獻中提出應用限制規劃方式亦可求解最佳化問題，但實際使用限制規劃方法求解組合最佳化問題之相關研究並不多見。在本研究建構之飛安查核工作排程模式中，嘗試使用限制規劃方式進行組合最佳化問題之求解測試，經實證分析得出對於組合最佳化問題，例如本研究之資源限制專案排程問題，限制規劃方法能有效的獲得排程結果。
2. 本研究之檢查員排班模式，使用限制列舉式勤務組合產生架構進行求解，藉

由本研究之測試結果得知，限制規劃對於求解限制滿足問題具有相當良好之求解績效，其可快速產生符合排班法規之可行工作班集合，再透過數學規劃方式求解，即能找出最佳之工作班組合。

3. 本研究在檢查員排班之二階段演算流程中，建立串連數個模式的OPL Script程式，使得求解系統自動連結限制規劃與數學規劃兩階段模式並進行參數傳遞與控制模式求解，可避免以手動方式將第一階段求解結果輸入至第二階段模式，方便排班人員使用。
4. 排班模式求解結果得出各月份需由12~13位檢查員執行查核作業，檢查員平均每月總查核時數約為80小時，所有月份中檢查員最長的工作天數為18天，最短工作天數為14天，而民航局航務檢查員的編制人數為14人，顯示目前人力可負擔航務查核作業之工作數量。
5. 限制規劃提供使用者輸入模式化語言之作業系統介面，由於限制規劃語言屬於程式語言中的宣告式語言，因此使用者可以容易的運用手冊提供之模式化語言來宣告問題的決策變數、限制式，及設定相關求解演算法。在建立限制規劃模式過程中分別建立模式檔與資料檔，模式檔用來儲存模式之目標式、限制式，及定義相關搜尋程序，資料檔提供使用者輸入參數資料，此方式可增進使用者進行模式修正與資料管理之實用性與方便性。

6.2 建議

本研究提供下列幾點建議，以作為後續研究之參考：

1. 本研究分別建立查核任務工作排程之限制規劃模式，及檢查員排班二階段求解演算流程。在工作排程求解部份是以民航局現有編制人數為資源限制，並同時對四家航空公司之查核任務進行求解，因此檢查員可對不同航空公司的查核任務進行查核工作；在人員排班求解部分，由於考量若同時對各家航空公司查核任務進行整體人員排班求解，其問題規模將高達 1.8×10^{20} ，因此本研究分別對各家航空公司進行人員排班求解以降低問題規模，模式產生的工作班為同一公司內查核任務之勤務組合，此方式可能減低查核人力指派彈性。未來研究可嘗試使用高速處理大量資料計算之分散處理系統同時對各家航空公司查核任務進行人員排班求解，以增進人力指派彈性。
2. 測試案例中，本研究設定各家公司之查核任務工作頻次均為相同，因此求解結果之各月份檢查員工作時數相當平均，建議未來研究可嘗試調整各家航空公司的查核任務工作頻次，測試其對於班表公平性是否產生影響。
3. 本研究僅針對查核任務工作排程與檢查員排班問題進行研究，未來相關研究可詳細分析檢查員之實際工作時間（包括：執行查核作業前之工作準備時間、檢查後之資料輸入與資料處理時間、人員訓練時間、假日休息時間等），針對檢查員派遣問題繼續探討，使得飛安查核人員排班模式更加完備、更具實用價值。

參考文獻

1. ILOG OPL Studio : The Optimization Language User's Manual, 2002.
2. Heuristic Scheduling Systems: With Applications to Production Systems and Project Management, Thomas E. Morton, Carnegie Mellon University, David W. Pentico, Duquesne University, 1993.
3. Carlier, J., and Pinson, E., "An Algorithm for Solving the Job-shop Problem," *Management Science*, 35, pp 164-176, 1989.
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, pp. 517-526, 1996.
5. Lavoie, S., M. Minoux and E. Odier, "A new Approach for Crew Pairing Problems by Column Generation with an Application to Air Transportation" *European Journal of Operational Research*, Vol. 35, pp. 45-58, 1998.
6. Desrochers, M. and F. Soumis, "A Column Generation Approach to the Urban Transit Crew Scheduling Problem," *Transportation Science*, vol. 23, no. 1, pp. 1-13, 1989.
7. Desrochers, M., J. Gilbert, M. Sauve, F. Soumis, "Crew-Opt : Subproblem Modeling in a Column Generation Approach to Urban Crew Scheduling," IN: DADUNA e WREN (Eds.) *Computer-Aided Transit Scheduling*, pp. 395-406. Lecture Notes in Economics and Mathematical System 386. Springer-Verlag, Berlin, 1992.
8. Khattab, Mostafa M, Soyland, Ketil, "Limited-resource allocation in construction projects," *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 31, Iss. 1, pp. 229-233, Oct 1996.
9. Peter Brucker, "Scheduling and constraint propagation," *Discrete Applied Mathematics*, Vol. 123, pp. 227-256, 2002.
10. A. Schaerf, "Tabu search techniques for large high-school timetabling problems," Proceedings of the 13th National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-96), AAAI Press/MIT Press, pp. 363-368, Portland, USA, 1996.
11. Peter Brucker, Schumacher D., "A new tabu search procedure for an audit-scheduling problem," *Scheduling 2*, pp. 157-173, 1999.
12. D. Applegate, W. Cook, "A computational study of the job-shop scheduling problem," *ORSA J. Comput.* 3, pp. 149-156, 1991.
13. Waltz, D., "Generating semantic descriptions from drawings of scenes with shadows," *Technical Report AI271*, MIT, MA, 1972.
14. Montanari, U., "Networks of constraints: fundamental properties and applications to picture processing," *Information Science* 7, pp. 95-132, 1974.
15. Mackworth, A.K., "Consistency in networks of relations," *Artificial Intelligence*

- 8, pp. 99-118, 1977.
16. Lauriere, J.L., "A language and a program for stating and solving combinatorial problems," *Artificial Intelligence 10*, pp. 1, 1978.
 17. Jaffar, J. and Lassez, J. L., "Constraint logic programming," In Proceedings of the ACM Symposium on Principles of Programming Languages, ACM, New York, 1987.
 18. Van Hentenryck, P., "Parallel constraint satisfaction in logic programming," In International Conference on Logic Programming (Lisbon, Portugal June), MIT Press, Cambridge, MA, 165-180, 1989.
 19. Van Hentenryck, P., "The OPL Optimization Programming Language," 1999.
 20. 交通部民用航空局，航務檢查員手冊，V3.0，民國 91 年 1 月。
 21. 交通部民用航空局，適航檢查員手冊，V3.0，民國 91 年 1 月。
 22. 交通部民用航空局，交通部民用航空局航空安全檢查員調派作業要點，民國 88 年。
 23. 汪進財等，「建立航空公司飛航安全評鑑制度之研究」，交通部民用航空局委託研究案，民國 91 年。
 24. 林維宏，「國內民用航空安全查核制度之研究」，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國 91 年。
 25. 何慧珍，「飛安查核量之推估與分析模化」，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國 92 年。
 26. 劉鈺鈴，「飛安查核工作排程與人員指派之研究」，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國 92 年。
 27. 許淑芬，「具等候時間窗口限制之零工式生產排程問題」，國立中央大學工業管理研究所碩士論文，民國 87 年。
 28. 何惠雯，「具等候時間窗口限制之零工式生產排程工作順序之決定」，國立中央大學工業管理研究所碩士論文，民國 90 年。
 29. 沈志展，「民航空運排程分析模式之應用」，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國 80 年。
 30. 林錦翌，「空服員排班組合最佳化之研究」，國立中央大學土木工程學系碩士論文，民國 85 年。
 31. 湯敦台，「空服員混合策略排班模式之研究」，國立中央大學土木工程學系碩士論文，民國 87 年。
 32. 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。
 33. 王國琛，「結合限制規劃與數學規劃求解大型後艙空勤組員排班問題」，國立

- 交通大學運輸工程與管理學系碩士論文，民國 91 年。
34. 翁偉棟，「空勤組員公平性排班模式之研究」，國立交通大學運輸工程與管理學系碩士論文，民國 88 年。
 35. 陳立欣，「考慮公平性之後艙組員派遣模式—以座艙長為例」，國立交通大學運輸工程與管理學系碩士論文，民國 91 年。
 36. 唐依伶，「以限制規劃求解公平性後艙組員派遣問題—以座艙長為例」，國立交通大學運輸工程與管理學系碩士論文，民國 92 年。
 37. 游雅惠，「捷運列車排班問題之研究—以台北捷運淡水-新店線為例」，國立交通大學運輸工程與管理學系碩士論文，民國 88 年。
 38. 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。
 39. 謝欣宏，「台鐵司機員排班與輪班問題之研究—以基因演算法求解」，國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文，民國 91 年。
 40. 張育彰，「應用基因演算法於台鐵列車駕駛員排班與輪班整合問題之研究」，國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文，民國 92 年。
 41. 陳玉菁，「航空公司修護人員供給規劃之研究」，國立中央大學土木工程學系碩士論文，民國 90 年。
 42. 林詩芹，「以限制規劃構建全年無休服務人員排班模式—以客服人員排班為例」，國立交通大學運輸工程與管理學系碩士論文，民國 92 年。
 43. 劉自強，「以限制理論為基礎之專案排程及執行控制研究」，國立交通大學工業工程與管理研究所碩士論文，民國 88 年。

附錄 A—工作排程模式任務參數值輸入

```
//  
Job Data = {[<Airline_Index, Job_Index>,  
<a[i].place,a[i].predecessor,a[i].start_time,a[i].end_time,resource[i,1],resour  
ce[i,2]>},]  
//
```

```
Job Data = {[<A,F010>,<0,0,0,16,300,0,2>},],[<A,F020>,<1,0,0,8,300,0,3>},]  
[<A,F030>,<1,0,0, 8,300,0,2>},],[<A,F040>,<1,0,0, 2,300,1,2>},]  
[<A,F041>,<1,F131,0, 2,300,1,2>},],[<A,F050>,<1,F140,0, 5,300,0,1>},]  
[<A,F051>,<1,F141,0, 5,300,0,1>},],[<A,F060>,<0,2,0, 6,300,1,1>},]  
[<A,F070>,<0,F180,0, 4,300,0,3>},],[<A,F080>,<1,F090,0, 4,300,0,3>},]  
[<A,F090>,<0,F070,0, 2,300,0,2>},],[<A,F100>,<1,F070,0, 5,300,1,2>},]  
[<A,F110>,<1,F070,0, 4,300,0,1>},],[<A,F120>,<0,F060,0, 6,300,1,1>},]  
[<A,F130>,<0,F050,0, 4,300,1,2>},],[<A,F131>,<0,F051,0, 4,300,1,2>},]  
[<A,F140>,<0,F200,0, 4,300,0,1>},],[<A,F141>,<0,F040,0, 4,300,0,1>},]  
[<A,F142>,<0,F041,0, 4,300,0,1>},],[<A,F143>,<0,F142,0, 4,300,0,1>},]  
[<A,F150>,<0,F070,0, 2,300,1,2>},],[<A,F160>,<1,F140,0, 5,300,1,2>},]  
[<A,F170>,<1,F100,0, 4,300,0,1>},],[<A,F180>,<0,F060,0, 4,300,1,1>},]  
[<A,F190>,<1,F080,0, 2,300,1,2>},],
```

```
[<B,F010>,<0,0,0,16,300,0,2>},],[<B,F020>,<1,0,0,8,300,0,3>},]  
[<B,F030>,<1,0,0, 8,300,0,2>},],[<B,F040>,<1,0,0, 2,300,1,2>},]  
[<B,F041>,<1,F131,0, 2,300,1,2>},],[<B,F050>,<1,F140,0, 5,300,0,1>},]  
[<B,F051>,<1,F141,0, 5,300,0,1>},],[<B,F060>,<0,2,0, 6,300,1,1>},]  
[<B,F070>,<0,F180,0, 4,300,0,3>},],[<B,F080>,<1,F090,0, 4,300,0,3>},]  
[<B,F090>,<0,F070,0, 2,300,0,2>},],[<B,F100>,<1,F070,0, 5,300,1,2>},]  
[<B,F110>,<1,F070,0, 4,300,0,1>},],[<B,F120>,<0,F060,0, 6,300,1,1>},]  
[<B,F130>,<0,F050,0, 4,300,1,2>},],[<B,F131>,<0,F051,0, 4,300,1,2>},]  
[<B,F140>,<0,F200,0, 4,300,0,1>},],[<B,F141>,<0,F040,0, 4,300,0,1>},]  
[<B,F142>,<0,F041,0, 4,300,0,1>},],[<B,F143>,<0,F142,0, 4,300,0,1>},]  
[<B,F150>,<0,F070,0, 2,300,1,2>},],[<B,F160>,<1,F140,0, 5,300,1,2>},]  
[<B,F170>,<1,F100,0, 4,300,0,1>},],[<B,F180>,<0,F060,0, 4,300,1,1>},]  
[<B,F190>,<1,F080,0, 2,300,1,2>},],
```

```
[<C,F010>,<0,0,0,16,300,0,2>},],[<C,F020>,<1,0,0,8,300,0,3>},]  
[<C,F030>,<1,0,0, 8,300,0,2>},],[<C,F040>,<1,0,0, 2,300,1,2>},]  
[<C,F041>,<1,F131,0, 2,300,1,2>},],[<C,F050>,<1,F140,0, 5,300,0,1>},]  
[<C,F051>,<1,F141,0, 5,300,0,1>},],[<C,F060>,<0,2,0, 6,300,1,1>},]  
[<C,F070>,<0,F180,0, 4,300,0,3>},],[<C,F080>,<1,F090,0, 4,300,0,3>},]  
[<C,F090>,<0,F070,0, 2,300,0,2>},],[<C,F100>,<1,F070,0, 5,300,1,2>},]  
[<C,F110>,<1,F070,0, 4,300,0,1>},],[<C,F120>,<0,F060,0, 6,300,1,1>},]  
[<C,F130>,<0,F050,0, 4,300,1,2>},],[<C,F131>,<0,F051,0, 4,300,1,2>},]  
[<C,F140>,<0,F200,0, 4,300,0,1>},],[<C,F141>,<0,F040,0, 4,300,0,1>},]  
[<C,F142>,<0,F041,0, 4,300,0,1>},],[<C,F143>,<0,F142,0, 4,300,0,1>},]  
[<C,F150>,<0,F070,0, 2,300,1,2>},],[<C,F160>,<1,F140,0, 5,300,1,2>},]  
[<C,F170>,<1,F100,0, 4,300,0,1>},],[<C,F180>,<0,F060,0, 4,300,1,1>},]  
[<C,F190>,<1,F080,0, 2,300,1,2>},],
```

```
[<D,F010>,<0,0,0,16,300,0,2>},],[<D,F020>,<1,0,0,8,300,0,3>},]  
[<D,F030>,<1,0,0, 8,300,0,2>},],[<D,F040>,<1,0,0, 2,300,1,2>},]  
[<D,F041>,<1,F131,0, 2,300,1,2>},],[<D,F050>,<1,F140,0, 5,300,0,1>},],
```

```

[<D,F051>,<1,F141,0, 5,300,0,1>,],[<D,F060>,<0,2,0, 6,300,1,1>,],
[<D,F070>,<0,F180,0, 4,300,0,3>,],[<D,F080>,<1,F090,0, 4,300,0,3>,],
[<D,F090>,<0,F070,0, 2,300,0,2>,],[<D,F100>,<1,F070,0, 5,300,1,2>,],
[<D,F110>,<1,F070,0, 4,300,0,1>,],[<D,F120>,<0,F060,0, 6,300,1,1>,],
[<D,F130>,<0,F050,0, 4,300,1,2>,],[<D,F131>,<0,F051,0, 4,300,1,2>,],
[<D,F140>,<0,F200,0, 4,300,0,1>,],[<D,F141>,<0,F040,0, 4,300,0,1>,],
[<D,F142>,<0,F041,0, 4,300,0,1>,],[<D,F143>,<0,F142,0, 4,300,0,1>,],
[<D,F150>,<0,F070,0, 2,300,1,2>,],[<D,F160>,<1,F140,0, 5,300,1,2>,],
[<D,F170>,<1,F100,0, 4,300,0,1>,],[<D,F180>,<0,F060,0, 4,300,1,1>,],
[<D,F190>,<1,F080,0, 2,300,1,2>,],}

```



附錄 B—檢查員排班模式輸出結果

1~12 月份人員排班執行結果

月份	公司	任務班次	任務																									
			F010	F020	F030	F040	F050	F060	F070	F080	F090	F10/12	FA	F260	F130	F140	F150	F160	F200	F180	F190	F041	F051	F131	F141	F142	F143	
1	A	136	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	
1	A	494	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	
1	A	511	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	
1	B	185	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	
1	B	508	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
1	B	535	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
1	B	583	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
1	C	2	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
1	C	8	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	
1	C	68	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	
1	D	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	
1	D	46	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	
1	D	72	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	
2	A	17	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	
2	A	328	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	
2	A	356	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	
2	B	15	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	
2	B	281	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	
2	B	900	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	
2	C	15	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	
2	C	736	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	
2	C	900	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	
2	D	25	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	
2	D	385	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	
2	D	699	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	
3	A	614	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	
3	A	1458	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
3	A	5998	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1
3	B	169	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	
3	B	368	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
3	B	526	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1
3	C	28	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	
3	C	361	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
3	C	549	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	
3	D	36	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	
3	D	275	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
3	D	624	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	
4	A	445	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1
4	A	813	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	
4	A	814	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	
4	B	8	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	
4	B	198	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	
4	B	1533	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1
4	C	27	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	
4	C	185	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	
4	C	1326	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	
4	D	348	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	
4	D	688	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	
4	D	2244	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	
5	A	73	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	
5	A	1846	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1
5	A	2274	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1
5	B	352	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	
5	B	2100	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1
5	B	3614	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	
5	C	430	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	
5	C	2856	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1
5	C	3805	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1

月份	公司	任务 班次	F010	F020	F030	F040	F050	F060	F070	F080	F090	F10/12	FA	F260	F130	F140	F150	F160	F200	F180	F190	F041	F051	F131	F141	F142	F143
			5	D	271	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0
5	D	645	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1
5	D	2675	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1
6	A	17	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1
6	A	328	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0
6	A	356	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0
6	B	15	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1
6	B	281	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
6	B	900	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1
6	B	15	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1
6	C	736	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
6	C	900	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1
6	C	25	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1
6	D	385	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
6	D	699	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1
6	D	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	A	1830	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1
7	A	1833	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1
7	A	549	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	B	723	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
7	B	744	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1
7	B	328	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	C	645	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
7	C	649	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1
7	C	240	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
7	D	770	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1
7	D	867	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1
7	D	17	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1
8	A	328	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0
8	A	356	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0
8	A	15	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1
8	B	281	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
8	B	900	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1
8	B	15	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1
8	C	736	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
8	C	900	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1
8	C	25	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1
8	D	385	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
8	D	699	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1
8	D	73	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
9	A	1846	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1
9	A	2274	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1
9	A	8352	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1
9	B	15100	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1
9	B	23614	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0
9	B	3430	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1
9	C	5856	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
9	C	7805	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1
9	C	271	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1
9	D	645	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1
9	D	8675	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1
9	D	445	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1
10	A	813	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1
10	A	814	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
10	A	8	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1
10	B	198	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1
10	B	1533	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1
10	B	27	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1
10	C	185	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1
10	C	1326	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1
10	C	271	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1

月份	公司	任务 班次	F010	F020	F030	F040	F050	F060	F070	F080	F090	F10/12	FA	F260	F130	F140	F150	F160	F200	F180	F190	F041	F051	F131	F141	F142	F143
			10	D	348	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1
10	D	688	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1
10	D	2244	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1
11	A	614	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1
11	A	1458	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1
11	A	5998	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1
11	B	169	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1
11	B	368	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1
11	B	526	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1
11	B	28	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1
11	C	361	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1
11	C	549	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1
11	C	36	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1
11	D	275	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1
11	D	624	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1
11	D	614	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1
12	A	17	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1
12	A	328	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0
12	A	356	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0
12	B	15	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1
12	B	281	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
12	B	900	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1
12	C	15	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1
12	C	736	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
12	C	900	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1
12	D	25	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1
12	D	385	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
12	D	699	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1



附錄 C—OPL Script 程式

```
// PART 1: DETERMINE Pairings via Constraint Programming
Model cp("A1.mod", "A1.dat");

// Setup two sparse sets to contain results, indexed by rows (Jobs)
// and columns (Pairings). jobsPerPairing uses an Open array because
// the pattern count is not initially known.
struct pairStr { int pair; int number; };
struct jobStr { int job; int number; };
Open setof(jobStr) jobsPerPairing[1..0];
    setof(pairStr) pairingsPerJob[cp.Jobs];

Open int pairCst[1..0];

// Loop over all solutions, which will become columns for the math program
int pairnb := 0;
while cp.nextSolution() do {
    jobsPerPairing.addh();
    pairCst.addh();
    pairnb := pairnb + 1;
    jobsPerPairing[pairnb] := {<i,cp.x[i]> | i in cp.Jobs : cp.x[i] > 0};
    pairCst[pairnb]:=cp.pairCst;
}
// Build sparse row representation of pattern set
forall (i in cp.Jobs)
    pairingsPerJob[i] := {<p,n> | p in 1..pairnb, <i,n> in jobsPerPairing[p]};
cout << "PAIRINGS: " << pairnb << " generated" << endl;



// PART 2: DETERMINE MINIMUM COVERING via Math Programmin
Model mp("cover.mod", "cover.dat");
//Model mp("cover.mod", "chvatal.dat");
if not mp.solve() then {
    cout << "Infeasible, quitting" << endl;
    break;
}

// PART 3: PRINT RESULTS
// Print solution
cout << "SOLUTION:" << endl;
forall (j in mp.Pairings)
    if mp.qty[j] <> 0 then {
        cout << "Select " << " pairing " << j << endl;
        cout << "contain: " << endl;
        forall (i in jobsPerPairing[j])
            cout << " the" << " job " << i.job << endl;
    }

// PART 4: PRINT OBJ
// Print summary*/

cout << endl;
cout << "SUMMARY:" << endl;
cout << "Obj Value : " << mp.total << " hours " << endl;
```

附錄 D—檢查員排班求解結果(一月)

JANUARY																		
A																		
Psiring-01	F060	F180	F070	F15 FA	F10/12	F200 F09	F080 F140	F19 F160	F050 F13	F020	F010		F4 F141	F51	F131 F41	F142		
Psiring-02	F060	F260	F070	F15 FA	F10/12	F200 F09	F080 F140	F19 F160	F13 F020	F010			F4 F141	F080	F131 F41	F142		
Psiring-03	F060	F260	F070	F15 FA	F10/12	F200 F09	F080 F140	F19 F160	F050 F13	F020	F010		F141	F51	F41	F142 F143		
B																		
Psiring-01	F060	F260	F180 F070	F140	FA	F10/12	F200 F09		F160	F020	F13	F010		F4 F141	F051	F131 F41	F142 F143	
Psiring-02	F060	F260	F180 F070	F15 F140	FA	F10/12	F200 F09	F080 F19	F160	F020	F13	F080		F4 F141	F051	F131 F41	F142 F143	
Psiring-03	F060	F260	F180 F070	F15 F140	FA	F10/12	F200 F09	F080 F19	F050		F13	F010		F4 F141	F051	F131 F41	F142 F143	
Psiring-04	F060	F260	F180 F070	F15 F140	FA	F10/12	F200 F09	F080 F19	F080	F020	F13	F080		F4 F141	F051	F131 F41	F142 F143	
C																		
Psiring-01		F180	F260	F070	FA F100	F200 F140	F9 F080	F19	F160	F020	F130	F080	F010		F4 F141	F051	F131 F41	F142 F143
Psiring-02		F180	F260	F070 F150	FA	F200 F140	F9 F080	F19 F050	F160	F020	F130	F080	F010		F4 F141	F051	F131	F142 F143
Psiring-03	F060		F260	F070 F150	FA F100	F200 F140	F080	F19	F160	F020	F130	F080	F010		F141	F051	F131 F41	F142 F143
D																		
Psiring-01			F070	F260	F150 FA	F100	F200 F9	F080 F140	F19 F050	F020	F080	F130	F010		F4 F141	F051 F131	F41 F142	F143
Psiring-02			F180 F070	F260	F150 FA	F100	F200 F9	F080 F140	F19 F160	F020	F080	F130	F010		F141	F051 F131	F142	F143
Psiring-03		F060	F070	F260	FA	F100	F200	F080 F140	F160	F020	F080	F130	F010		F4 F141	F051 F131	F41 F142	F143

檢查員排班求解結果(二月)

FEBRUARY																	
A																	
Pairing-01		F180	F070		F140	R080	F160	F130		F141	F131	F051	F142	F143			
Pairing-02	F040	F180	F070	F15	F090	F140	R080	F160	F130		F041	F141	F131		F142		
Pairing-03	F040	F180	F070	F15	F090	F140	R080	F050	F130		F041	F141	F131		F142		
B																	
Pairing-01			F070			R080	F160	F050	F130	F041	F141	F131	F051	F142	F143		
Pairing-02		F040	F070	F15	F090	F140	R080		F130	F041	F141	F131	F051	F142	F143		
Pairing-03	F180	F040		F15	F090		R080	F160	F050		F141	F131	F051	F142	F143		
C																	
Pairing-01			F070			F080	F050	F160	F130	F041	F141	F131	F051	F142	F143		
Pairing-02	F040		F070	F15	F090	F140	F080		F130	F041	F141	F131	F051	F142	F143		
Pairing-03	F040	F180		F15	F090		F080	F050	F160		F141	F131	F051	F142	F143		
D																	
Pairing-01			F070			F080	F050		F130	F041	F141	F131	F160	F051	F142	F143	
Pairing-02			F040	F070	F15	F090	F140	F080		F130	F041	F141	F131		F051	F142	F143
Pairing-03		F180	F040		F15	F090		F080	F050		F141	F131	F160	F051	F142	F143	

檢查員排班求解結果(三月)

MARCH																		
A																		
Scenario-01			PI80	PO70	PI0Y12	PO00	PO80	PO90	PI60	PI30	PO41	PO51		PI31	PI43			
Scenario-02	PO40	PO60				PI50	PO90	PO80	PI40		PI60	PI30	PI41	PO51	PI42	PI31	PI43	
Scenario-03	PO40	PO60		PO70	PI0Y12	PI50	PO90	PO80	PO90	PI60		PO41	PO51		PI31	PI43		
B																		
Scenario-01			PI80	PO70	PI0Y12	PO00	PO80	PO90	PI60	PI30	PO41		PO51		PI31	PI43		
Scenario-02	PO40	PO60				PI50	PO90	PO80	PI40		PI60	PI30		PI41	PO51	PI42	PI31	PI43
Scenario-03	PO40	PO60		PO70	PI0Y12	PI50	PO90	PO80	PO90	PI60		PO41		PO51		PI31	PI43	
C																		
Scenario-01				PI80	PO70	PI0Y12	PO00	PO80	PO90	PI60	PI30	PO41		PO51		PI31	PI43	
Scenario-02	PO40	PO60					PI50	PO90	PO80	PI40		PI60	PI30	PI41	PO51	PI42	PI31	PI43
Scenario-03	PO40	PO60			PO70	PI0Y12	PI50	PO90	PO80	PO90	PI60		PO41		PO51		PI31	PI43
D																		
Scenario-01				PI80	PO70	PI0Y12	PI70	PO80	PO90	PI60	PI30	PO41	PO51		PI31	PI43		
Scenario-02	PO40		PO60				PI50	PO90	PO80	PI40		PI60	PI30	PI41	PO51	PI42	PI31	PI43
Scenario-03	PO40		PO60		PO70	PI0Y12	PI50	PO90	PO80	PO90	PI60		PO41	PO51		PI31	PI43	

檢查員排班求解結果(四月)

APRIL																
A																
Paixing-01	F180	F260	F070	F09C F140	F080	F050	F160			F141	F131		F142	F143		
Paixing-02	F040		F070 F150	F09C F140	F080		F160	F130	F041 F141	F131	F051	F142	F143			
Paixing-03	F040		F070 F150	F09C F140	F080	F050		F130	F041 F141	F131	F051	F142	F143			
B																
Paixing-01			F260 F150	F09C F140	F080		F160	F130	F041	F141	F131	F051	F142	F143		
Paixing-02	F040	F070		F150 F09C F140	F080		F160	F130	F041	F141	F131	F051	F142	F143		
Paixing-03	F180	F040	F070	F260		F080	F050	F160	F130		F141	F131		F142	F143	
C																
Paixing-01				F260 F150	F09C F140	F080	F050	F160		F041	F141	F131	F051	F142	F143	
Paixing-02	F180		F070	F260 F150	F140	F080	F050	F160		F041	F141	F131	F051	F142	F143	
Paixing-03	F180	F040	F070	F260	F09C F140			F160	F130		F131	F051	F142	F143		
D																
Paixing-01			F070	F04C F15	F090	F140	F080		F130	F041 F141	F131	F160	F051	F142	F143	
Paixing-02	F180			F04C F15	F260		F080	F050	F130	F041 F141	F131	F160		F142	F143	
Paixing-03	F180	F070		F04C F15	F09C F260	F140	F080		F130	F041 F141	F131			F142	F143	

檢查員排班求解結果(五月)

MAY																					
A																					
Pairing-01		F180	F070	F10/12	F200	F090	F080	F140	F050	F160	F020	F130	F030		F141	F051	F131	F041	F142	F143	
Pairing-02	F04		F070	F15	F200	F090	F080	F140	F050	F160	F020	F130	F030	F010		F131		F142	F143		
Pairing-03	F04	F060		F10/12	F15	F090	F080	F140		F160	F020	F130	F030	F010		F131		F041	F142	F143	
B																					
Pairing-01		F060	F180	F070	F15		F080	F050		F160	F020		F030	F010		F141	F131	F041	F142	F143	
Pairing-02	F04		F070	F10/12	F15	F200	F090	F080	F140		F020	F130	F030	F010		F051	F131		F142	F143	
Pairing-03	F04	F060		F070	F10/12	F15	F200	F090	F080	F140		F160	F020	F130	F030	F010		F131	F041		
C																					
Pairing-01		F060	F180	F070	F10/12		F080	F140	F160	F020	F130	F030	F010		F141	F131				F143	
Pairing-02	F040			F10/12	F15	F200	F090	F080		F050	F160	F020	F130	F030	F010		F051		F041	F142	F143
Pairing-03	F040	F060		F070	F15	F090	F080		F050	F160	F020		F030	F010		F141	F131	F041	F142	F143	
D																					
Pairing-01				F180	F070	F10/12	F200	F080	F140	F160	F020	F130	F030	F010		F141	F131	F041		F143	
Pairing-02			F040		F10/12	F15	F090	F080		F050	F160	F020	F130	F030	F010		F051	F131	F041	F142	F143
Pairing-03		F060	F040	F070	F10/12	F15	F090	F080		F050	F160	F020		F030	F010		F051			F142	F143

檢查員排班求解結果(六月)

JUNE																	
A																	
Pairing-01		F180	F070		F140	F080	F160	F130		F141	F131	F051	F142	F143			
Pairing-02	F040	F180	F070	F15	F090	F140	F080	F160	F130		F041	F141	F131	F142			
Pairing-03	F040	F180	F070	F15	F090	F140	F080	F050	F130		F041	F141	F131	F142			
B																	
Pairing-01			F070			F080	F160	F050	F130	F041	F141	F131	F051	F142	F143		
Pairing-02		F040	F070	F15	F090	F140	F080		F130	F041	F141	F131	F051	F142	F143		
Pairing-03	F180	F040		F15	F090		F080	F160	F050		F141	F131	F051	F142	F143		
C																	
Pairing-01			F070			F080	F050	F160	F130	F041	F141	F131	F051	F142	F143		
Pairing-02	F040		F070	F15	F090	F140	F080		F130	F041	F141	F131	F051	F142	F143		
Pairing-03	F040	F180		F15	F090		F080	F050	F160		F141	F131	F051	F142	F143		
D																	
Pairing-01			F070			F080	F050		F130	F041	F141	F131	F160	F051	F142	F143	
Pairing-02			F040	F070	F15	F090	F140	F080		F130	F041	F141	F131		F051	F142	F143
Pairing-03		F180	F040		F15	F090		F080	F050		F141	F131	F160	F051	F142	F143	

檢查員排班求解結果(七月)

JULY																					
A																					
Pairing-01		F180	F070	FA	F10/12	F200	F090	F080	F140	F190	F160	R050	F130	F041	F141	R051	F142	F131	F143		
Pairing-02	F040 F060	F260	F070	F150	F10/12			F080	F140	F190	F160	R050	F130		F141	R051	F142	F131	F143		
Pairing-03	F040 F060	F260	F070	F150	F10/12		F090	F080		F190	F160	R050	F130	F041	F141	R051	F142	F131	F143		
B																					
Pairing-01		F060	F180	F070		F10/12	F200	F080	F140	F190	F050	F160	F130	F041	F141	R051	F142	F131	F143		
Pairing-02	F040		F260		F150 FA	F10/12	F200	F090	F080	F140		R050	F160	F130	F041	F141	R051	F142	F131	F143	
Pairing-03	F040		F260	F070	F150	F10/12	F200	F090	F080	F140	F190	F050	F160	F130		F141	R051	F142	F131	F143	
C																					
Pairing-01		F060	F180	F070		F10/12	F200	F080	F140	F190	F160	R050	F130		F041 F141	R051	F142	F131	F143		
Pairing-02	F040		F260		F150 FA	F10/12	F200	F090	F080	F140	F160	R050	F130		F041 F141	R051	F142	F131	F143		
Pairing-03	F040		F260	F070	F150	F10/12	F200	F090	F080	F140	F190	F160	R050	F130		F141	R051	F142	F131	F143	
D																					
Pairing-01		F060	F180	F070	F260		FA		F200		F080	F140	F190	F160	R050	F130	F041	F141	F142	F131	F143
Pairing-02	F040		F070	F260		F150 FA	F10/12	F200	F090	F080	F140	F160	R050	F130	F041	R051	F142	F131	F143		
Pairing-03	F040	F060		F260		F150	F10/12	F200	F090	F080	F140	F190	F160	R050	F130	F041	R051	F142	F131	F143	

檢查員排班求解結果(八月)

AUGUST																	
A																	
Pairing-01		F180	F070		F140	F080	F160	F130		F141	F131	F051	F142	F143			
Pairing-02	F040	F180	F070	F15	F090	F140	F080	F160	F130		F041	F141	F131		F142		
Pairing-03	F040	F180	F070	F15	F090	F140	F080	F050	F130		F041	F141	F131		F142		
B																	
Pairing-01			F070			F080	F160	F050	F130	F041	F141	F131	F051	F142	F143		
Pairing-02		F040	F070	F15	F090	F140	F080		F130	F041	F141	F131	F051	F142	F143		
Pairing-03	F180	F040		F15	F090		F080	F160	F050		F141	F131	F051	F142	F143		
C																	
Pairing-01			F070			F080	F050	F160	F130	F041	F141	F131	F051	F142	F143		
Pairing-02	F040		F070	F15	F090	F140	F080		F130	F041	F141	F131	F051	F142	F143		
Pairing-03	F040	F180		F15	F090		F080	F050	F160		F141	F131	F051	F142	F143		
D																	
Pairing-01			F070			F080	F050		F130	F041	F141	F131	F160	F051	F142	F143	
Pairing-02			F040	F070	F15	F090	F140	F080		F130	F041	F141	F131		F051	F142	F143
Pairing-03		F180	F040		F15	F090		F080	F050		F141	F131	F160	F051	F142	F143	

檢查員排班求解結果(九月)

SEPTEMBER																							
A																							
Pairing-01		F180	F070	F10/12	F200	F090	F080	F140	F050	F160	F020	F130	F030		F141	F051	F131	F041	F142	F143			
Pairing-02	F04		F070		F15	F200	F090	F080	F140	F050	F160	F020	F130	F030	F010		F131		F142	F143			
Pairing-03	F04	F060		F10/12	F15		F090	F080	F140		F160	F020	F130	F030	F010		F131	F041	F142	F143			
B																							
Pairing-01		F060	F180	F070		F15		F080		F050	F160	F020		F030	F010		F141	F131	F041	F142	F143		
Pairing-02	F04		F070	F10/12	F15	F200	F090	F080	F140			F020	F130	F030	F010		F051	F131		F142	F143		
Pairing-03	F04	F060		F070	F10/12	F15	F200	F090	F080	F140		F160	F020	F130	F030	F010			F131	F041			
C																							
Pairing-01		F060	F180	F070	F10/12			F080	F140	F160	F020	F130	F030	F010			F141	F131			F143		
Pairing-02	F040			F10/12	F15	F200	F090	F080		F050	F160	F020	F130	F030	F010			F051		F041	F142	F143	
Pairing-03	F040	F060		F070		F15	F090	F080		F050	F160	F020		F030	F010			F141	F131	F041	F142	F143	
D																							
Pairing-01				F180	F070	F10/12	F200		F080	F140	F160	F020	F130	F030	F010			F141	F131	F041		F143	
Pairing-02				F040		F10/12	F15	F090	F080		F050	F160	F020	F130	F030	F010			F051	F131	F041	F142	F143
Pairing-03		F060	F040	F070	F10/12	F15	F090	F080		F050	F160	F020		F030	F010				F051			F142	F143

檢查員排班求解結果(十月)

OCTOBER															
A															
Pairing-01	F180	F260	F070	F09C F140	F080	F050	F160		F141	F131		F142	F143		
Pairing-02	F040		F070 F150	F09C F140	F080		F160	F130	F041 F141	F131	F051	F142	F143		
Pairing-03	F040		F070 F150	F09C F140	F080	F050		F130	F041 F141	F131	F051	F142	F143		
B															
Pairing-01			F260 F150	F09C F140	F080		F160	F130	F041	F141	F131	F051	F142	F143	
Pairing-02	F040	F070		F150 F09C F140	F080		F160	F130	F041	F141	F131	F051	F142	F143	
Pairing-03	F180	F040	F070	F260		F080	F050	F160	F130		F141	F131		F142	F143
C															
Pairing-01				F260 F150	F09C F140	F080	F050	F160	F041	F141	F131	F051	F142	F143	
Pairing-02	F180		F070	F260 F150	F140	F080	F050	F160	F041	F141	F131	F051	F142	F143	
Pairing-03	F180	F04C	F070	F260	F09C F140			F160	F130		F131	F051	F142	F143	
D															
Pairing-01			F070	F04C F15	F090	F140	F080		F130	F041 F141	F131	F160	F051	F142	F143
Pairing-02	F180			F04C F15	F260		F080	F050	F130	F041 F141	F131	F160		F142	F143
Pairing-03	F180	F070		F04C F15	F09C F260	F140	F080		F130	F041 F141	F131			F142	F143

檢查員排班求解結果(十一月)

NOVEMBER																		
A																		
Person-01			P180	P070	P100 12	P200	P080	P050	P160	P130	P041	P051		P131	P143			
Person-02	P040	P060				P130	P090	P080	P140		P160	P130	P141	P051	P142	P131	P143	
Person-03	P040	P060		P070	P100 12	P130	P090	P080	P050	P160		P041	P051		P131	P143		
B																		
Person-01			P180	P070	P100 12	P200	P080	P050	P160	P130	P041		P051		P131	P143		
Person-02	P040	P060				P130	P090	P080	P140		P160	P130		P141	P051	P142	P131	P143
Person-03	P040	P060		P070	P100 12	P130	P090	P080	P050	P160		P041		P051		P131	P143	
C																		
Person-01				P180	P070	P100 12	P200	P080	P050	P160	P130	P041		P051		P131	P143	
Person-02	P040	P060					P130	P090	P080	P140		P160	P130	P141	P051	P142	P131	P143
Person-03	P040	P060			P070	P100 12	P130	P090	P080	P050	P160		P041		P051		P131	P143
D																		
Person-01				P180	P070	P100 12	P170	P080	P050	P160	P130	P041	P051		P131	P143		
Person-02	P040		P060				P130	P090	P080	P140		P160	P130	P141	P051	P142	P131	P143
Person-03	P040		P060		P070	P100 12	P130	P090	P080	P050	P160		P041	P051		P131	P143	

檢查員排班求解結果(十二月)

DECEMBER																	
A																	
Psuing-01		F180	F070		F140	R080	F160	F130		F141	F131	F051	F142	F143			
Psuing-02	F040	F180	F070	F15	F090	F140	R080	F160	F130		F041	F141	F131		F142		
Psuing-03	F040	F180	F070	F15	F090	F140	R080	F050	F130		F041	F141	F131		F142		
B																	
Psuing-01			F070			R080	F160	F050	F130	F041	F141	F131	F051	F142	F143		
Psuing-02		F040	F070	F15	F090	F140	R080		F130	F041	F141	F131	F051	F142	F143		
Psuing-03	F180	F040		F15	F090		R080	F160	F050		F141	F131	F051	F142	F143		
C																	
Psuing-01			F070			R080	F050	F160	F130	F041	F141	F131	F051	F142	F143		
Psuing-02	F040		F070	F15	F090	F140	R080		F130	F041	F141	F131	F051	F142	F143		
Psuing-03	F040	F180		F15	F090		R080	F050	F160		F141	F131	F051	F142	F143		
D																	
Psuing-01			F070			R080	F050		F130	F041	F141	F131	F160	F051	F142	F143	
Psuing-02			F040	F070	F15	F090	F140	R080		F130	F041	F141	F131		F051	F142	F143
Psuing-03		F180	F040		F15	F090		R080	F050		F141	F131	F160	F051	F142	F143	