

國立交通大學
運輸與物流管理學系

碩士論文

考量公平性與實務成本之客艙組員排班

An Airline Crew Scheduling Problem Considering Fairness and Empirical Costs

研究生：方昀雯

指導教授：蕭傑諭

中華民國一〇七年七月

考量公平性與實務成本之客艙組員排班

An Airline Crew Scheduling Problem Considering
Fairness and Empirical Costs

研究生：方 昀 雯 Student : Hsu-Wen Fang

指導教授：蕭 傑 諭 Advisor : Chieh-Yu Hsiao

國 立 交 通 大 學
運 輸 與 物 流 管 理 學 系
碩 士 論 文

A Thesis

Submitted to Department of Transportation and Logistics Management

College of Management

National Chiao Tung University

In partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of

Master

in

Transportation and Logistics Management

July 2018

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中 華 民 國 一 〇 七 年 七 月

考量公平性與實務成本之客艙組員排班

學生：方昀雯

指導教授：蕭傑諭

國立交通大學運輸與物流管理學系（研究所）碩士班

摘 要

近年來航空公司投入越來越多的資源於客艙組員排班，並希望盡可能的使客艙組員間工作量公平分配，但以往研究多重於航行勤務建立或僅單獨進行客艙組員排班，較少將航行勤務以及客艙組員排班同時規劃，然而將兩者一併考量，應有降低成本之機會。本研究即針對台灣航空公司進行探討，以最小化客艙組員排班總成本(含飛行加給、空載成本、外站津貼與外站宿費)為目標，並同時注重客艙組員間排班公平性，考量我國航空器飛航作業管理規則，以及航空公司實際排班規則，建立混合數學規劃模型以及啟發式演算法，並利用航空公司真實航班以及客艙組員資料進行實例測試。研究發現外站時數為影響航空公司排班總成本之主要項目；另將模型進行相關應用，建議航空公司可根據其成本與公平性之取舍進行客艙組員最適人數聘用。

An Airline Crew Scheduling Problem Considering Fairness and Empirical Costs

Student : Hsu-Wen Fang

Advisor : Chieh-Yu Hsiao

Department of Transportation and Logistics Management
National Chiao Tung University

ABSTRACT

In recent years, airlines have been devoting more resources in cabin crew scheduling because of a rising awareness of fair working time. Airline crew scheduling problem was often decomposed into two sub-problems-crew pairing problem and crew rostering problem, however, there should be an opportunity to reduce the cost by integrating both problem. Therefore, we propose an integer programming model and an algorithm to solve sub-problems simultaneously. The objective is to achieve minimum total scheduling cost, including flight cost, deadhead, hoteling cost and per diems, while ensure maximum fair working condition. For both models Taiwan's Aircraft Flight Operation Regulations and airlines' scheduling rules are considered. Computational test with real-life data from a Taiwan airline are presented. Our results shows the impact of per diems on the total cost are the most. Airlines should follow the company policy to make a trade-off between the cost and fairness.

誌 謝

本論文得以順利完成，首先要感謝蕭傑諭老師，無論於學術上的悉心指導或於生活中的經驗分享，確實讓我受益良多。於生活中，老師總是如朋友般的耐心傾聽，並以自身經驗提供寶貴建議；於學術上，老師所授予之專業知識、分析方法以及對於研究執著嚴謹的態度，深刻的影響我，於交通大學就讀的六年期間，真的非常感謝老師。而於研究期間給予建議及指導之汪進財老師、黃寬丞老師以及溫裕弘老師，感謝各位提供之寶貴意見，使本論文得以更臻完善。另外，非常感謝黃光浩學長給予本研究之大力協助，學長總是很有耐心地替我解惑，並以自身經歷提供許多意見及幫助，真的由衷感謝。

另外，也要謝謝於研究的路上共同努力的實驗室夥伴及朋友們，不論是互相加油打氣的話語，或是共同討論問題的時光，都非常感謝各位這段時間的幫忙及照顧，讓我的研究生生活過得多采多姿，難以忘懷。

最後，僅將這篇論文獻給我的家人，因為有你們的關心與支持，讓我的求學生涯毫無後顧之憂，全力向前邁進。

目 錄

中文提要.....	i
英文提要.....	ii
誌謝.....	iii
目錄.....	iv
表目錄.....	vi
圖目錄.....	vii
符號說明.....	viii
第一章、緒論.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 問題介紹.....	4
1.3 研究目的.....	6
1.4 研究流程.....	7
第二章、文獻回顧.....	8
2.1 勤務組合產生問題.....	8
2.2 機組人員派遣問題.....	10
2.3 成本衡量.....	11
2.4 公平性衡量.....	12
2.5 小結.....	12
第三章、模式構建.....	15
3.1 問題描述.....	15
3.2 網路排班模式.....	19
3.3 模型建立.....	21
3.4 模型測試.....	34
第四章、演算法設計.....	36
4.1 演算法目標.....	36
4.2 演算法流程.....	37
第五章、實例測試與應用.....	42
5.1 參數設定.....	42

5.2	例題測試.....	42
5.3	模式應用.....	46
第六章、結論與建議.....		49
6.1	研究結論.....	49
6.2	未來建議.....	50
參考文獻.....		51
中文參考文獻.....		51
英文參考文獻.....		51
自傳.....		53

表 目 錄

表 1.1 航空公司各項成本平均占比.....	1
表 1.2 美國各航空公司營運成本加總及總客座英里.....	2
表 2.1 文獻整理.....	13
表 3.1 參數設定.....	35
表 3.2 公平性參數調整比較.....	35
表 5.1 參數設定.....	42
表 5.2 演算法測試結果.....	43
表 5.3 各項成本分布.....	43
表 5.4 不同組員人數之各項成本分布.....	47

圖目錄

圖 1.1 每客座英里各項成本比例圖.....	2
圖 1.2 機組人員排班流程.....	4
圖 1.3 研究流程.....	7
圖 3.1 客艙組員排班流程圖.....	15
圖 3.2 時間定義.....	17
圖 3.3 網路排班模式.....	19
圖 3.4 資料編碼.....	23
圖 4.1 演算法流程.....	37
圖 4.2 基因編碼.....	38
圖 4.3 客艙組員位置.....	41
圖 4.4 客艙組員原行程.....	41
圖 4.5 客艙組員交換後行程.....	41
圖 5.1 總成本與平均外站時數.....	44
圖 5.2 總成本與外站時數標準差.....	44
圖 5.3 總成本與放假天數標準差.....	45
圖 5.4 總成本與平均放假天數.....	45
圖 5.5 總成本與平均總執勤時數.....	46
圖 5.6 總成本與平均總執勤時數、總飛航時數.....	47
圖 5.7 總執勤與平均外站日數、平均放假天數.....	48

符 號 說 明

$x_{f,k}^{d,w}$ 為二元變數，

$\begin{cases} = 1, & \text{表客艙組員 } k \text{ 於 } d \text{ 日之第 } w \text{ 個任務時，被指派至節線 } f \text{。} \\ = 0, & \text{其他。} \end{cases}$

$y_{f,k}^{d,w}$ 為二元變數，

$\begin{cases} = 1, & \text{表客艙組員 } k \text{ 於 } d \text{ 日之第 } w \text{ 個任務時，被指派至節線 } f \text{ 且為空載人員。} \\ = 0, & \text{其他。} \end{cases}$

$y_{f,k}^{d,w}$ 為二元變數，

$\begin{cases} = 1, & \text{表客艙組員 } k \text{ 於 } d \text{ 日之第 } w \text{ 個任務時，被指派至自基地出發之節線 } f \\ & \text{且為空載人員。} \\ = 0, & \text{其他。} \end{cases}$

z_k^d 為二元變數，

$\begin{cases} = 1, & \text{表客艙組員 } k \text{ 於 } d \text{ 日執勤完畢後，隔日須整天休息，直至 } d+2 \text{ 日} \\ & \text{才能夠指派航班節線。} \\ = 0, & \text{其他。} \end{cases}$

α_k^d 為二元變數，

$\begin{cases} = 1, & \text{表客艙組員 } k \text{ 於 } d \text{ 日時，並無被指派至任何飛航任務。} \\ = 0, & \text{其他。} \end{cases}$

$\beta_{O_f,k}^{d,w}$ 為二元變數，

$\begin{cases} = 1, & \text{表客艙組員 } k \text{ 於 } d \text{ 日之第 } w \text{ 個任務時，被指派至節線 } f \text{，且該任務之} \\ & \text{起點為組員所屬基地。} \\ = 0, & \text{其他。} \end{cases}$

$\beta_{D_f,k}^{d,w}$ 為二元變數，

$$\begin{cases} = 1, \text{表客艙組員 } k \text{ 於 } d \text{ 日之第 } w \text{ 個任務時, 被指派至節線 } f, \text{ 且該任務之} \\ \quad \text{迄點為組員所屬基地。} \\ = 0, \text{其他。} \end{cases}$$

δ_k^d 為二元變數,

$$\begin{cases} = 1, \text{表 } d \text{ 日為客艙組員 } k \text{ 之休假日。} \\ = 0, \text{其他。} \end{cases}$$

R_{14k}^d 為二元變數,

$$\begin{cases} = 1, \text{表客艙組員 } k \text{ 於 } d \text{ 日執勤完畢後, 應至少給予連續14小時之休息。} \\ = 0, \text{其他。} \end{cases}$$

R_{20k}^d 為二元變數,

$$\begin{cases} = 1, \text{表客艙組員 } k \text{ 於 } d \text{ 日執勤完畢後, 應至少給予連續20小時之休息。} \\ = 0, \text{其他。} \end{cases}$$

R_{24k}^d 為二元變數,

$$\begin{cases} = 1, \text{表客艙組員 } k \text{ 於 } d \text{ 日執勤完畢後, 應至少給予連續24小時之休息。} \\ = 0, \text{其他。} \end{cases}$$

t_k^d 為連續變數, 表客艙組員 k 於 d 日給予連續休息完畢後, 隔日能夠開始執勤之時間。

S_k^d 為連續變數, 表客艙組員 k 於 d 日開始執勤時間。

E_k^d 為連續變數, 表客艙組員 k 於 d 日結束執勤時間。

t_k^f 為連續變數, 表客艙組員 k 總飛航時數。

第一章、緒論

1.1 研究背景

隨著美國航空產業發展日趨成熟、穩定，搭乘飛機旅行之需求逐年上升，因此客座英里總數及機組人員需求也隨之增加，如表 1.2，顯示美國全年客座英里總數及所有航空公司營運成本之總額，其中 2016 年美國客座英里總數相較 2010 年成長約 28%，而所有航空公司機組人員薪資成本加總則於六年間成長高達 69%；圖 1.1 係將每客座英里成本假設為 100 美元，從中觀察各項成本占比變化可更清楚瞭解航空公司於每客座英里中投入之資源分配，其中，機組人員薪資成本具有每年穩定上升之情形，自 2010 至 2016 年增加約 3.5 美元，也就是說，美國各航空公司確實投入更多資源於機組人員項目。

表 1.1 航空公司各項成本平均占比

年份	成本				
	機組人員薪資成本	燃油成本	租賃成本	折舊成本	其他
2010	9%	24%	8%	6%	53%
2011	9%	29%	7%	5%	51%
2012	9%	28%	8%	5%	50%
2013	10%	26%	9%	5%	50%
2014	11%	26%	8%	5%	50%
2015	12%	19%	8%	6%	55%
2016	13%	15%	8%	6%	58%

資料來源：1. 美國交通運輸統計局(<https://www.bts.gov>，擷取日期：2017 年 6 月 27 日。) 2. 本研究自行計算。

根據美國交通運輸統計局(Bureau of Transportation Statistics, BTS)所公布之資料，經本研究計算後，航空公司各項營運成本中平均占比最高者為燃油成本，最高可達總營運成本之 29%，直至 2014 年下半年後受國際油價下跌之影響，燃料成本占比才有趨緩之勢；而機組人員薪資則為平均占比次高且有逐年成長趨勢之項目，2010 年時約占 9%，隨航空產業發展至 2016 年時占比已達 13%，為航空業各項成本中占比成長最多者，顯示客艙組員成本為一重要項目，且航空公司近年來有越趨重視之現象，如表 1.1 所示。

表 1.2 美國各航空公司營運成本加總及總客座英里

年份	美國各航空公司成本加總 (單位:千美元)					營運成本	總客座英里
	機組人員薪資成本	燃油成本	租賃成本	折舊成本	其他成本		
2010	10,810,784	32,194,980	8,272,006	6,383,854	77,910,707	135,572,331	1,301,020,119

2011	12,358,676	46,772,055	9,162,505	7,117,309	92,272,416	167,682,962	1,348,861,685
2012	12,241,647	47,617,135	8,456,085	7,005,657	89,514,706	164,835,231	1,366,805,996
2013	13,219,663	45,006,452	8,829,147	7,261,305	86,376,438	160,693,005	1,409,838,482
2014	13,417,747	42,279,104	7,601,232	6,937,370	76,399,216	146,634,670	1,472,920,632
2015	16,187,619	28,367,236	8,640,149	8,182,134	89,680,213	151,057,353	1,569,044,212
2016	18,278,406	23,793,370	8,810,124	9,533,722	99,611,256	160,026,878	1,664,158,142
2010-2016 成長率	69%	-26%	7%	49%	28%	18%	28%

資料來源：美國交通運輸統計局(<https://www.bts.gov>，擷取日期：2017年6月27日。)

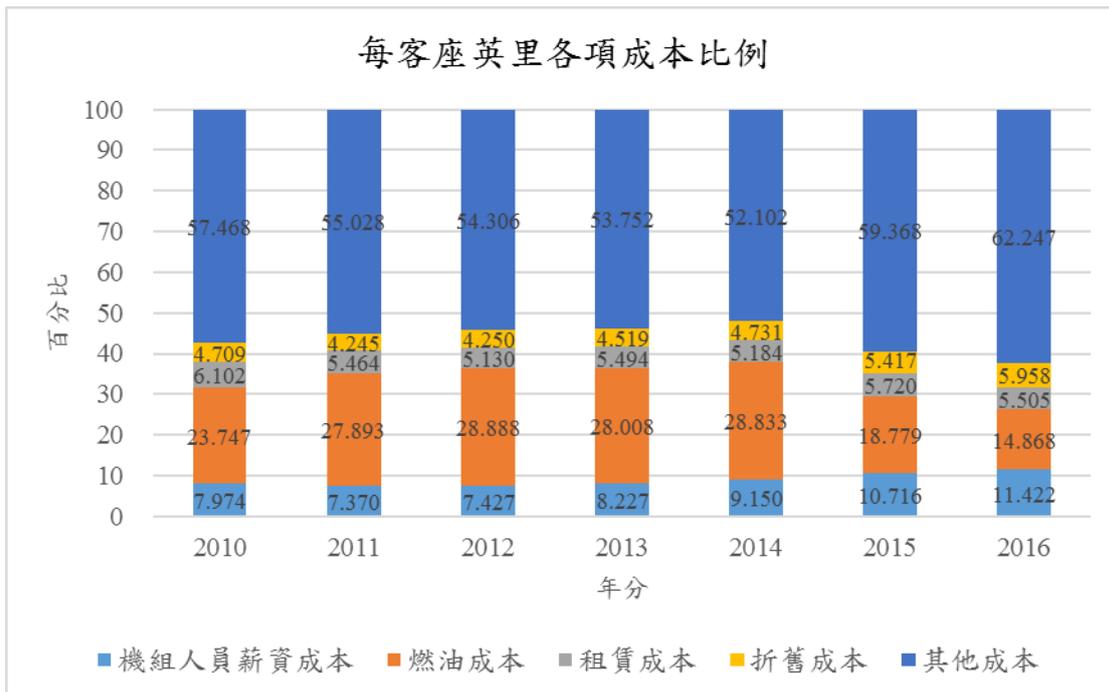


圖 1.1 每客座英里各項成本比例圖

資料來源：1. 美國交通運輸統計局(<https://www.bts.gov>，擷取日期：2017年6月27日。)
2. 本研究自行計算。

航空公司投入資源於機組人員之目的無不希望能夠為旅客帶來更良好的飛行體驗，為公司鞏固既有客群並吸引更多旅客搭乘，創造旅客與公司皆贏的局面，因此航空公司需要有效率且適當之機組人員排班，但進行機組人員排班時，會產生勤務成本、站外成本(包含住宿及零用金成本)、基本薪資成本等，以及因額外限制所產生之成本(如：艙位等級機組人員限制考量、基地限制考量等)，而當航空公司飛航網路擴大、限制增加時，機組人員成本也會隨之上升，因此如何在控制成本的情況之下進行有效率的排班為航空公司面臨之重要課題。且機組人員排班成本為僅次於燃油成本之第二大航空公司營運成本，又利潤為收益與成本之差，因此對於航空公司來說，如何有效率地安排機組人員係為航空公司之重要目標，即使是些微的成本改善均可替航空公司創造百萬美元成本之節省(Kohl & Karisch, 2004)。

除妥善運用資源以降低成本外，公平的分配機組人員任務近年來也成為多數航空公

司希望達到之目標。許多研究發現當公平的對待員工時，能夠加強管理者與員工間信任感並贏得尊重，但當管理者無法公平的對待員工時，不僅員工生產力下降、與管理者間關係變差，甚至會提高公司員工流失率。且航空公司希望為旅客創造良好的飛航經驗以提升旅客對其滿意度、忠誠度，因此服務旅客之機組人員為航空公司重要形象，若服務態度不佳、效率不彰，旅客便會對其失去信心轉而搭乘其他航空公司，那麼在競爭激烈的航空產業中便無法生存，因此除平時嚴格訓練機組人員及良好待遇、福利外，如何公平的排班使機組人員對其結果滿意、提升工作態度，進而提高服務品質是為航空公司一大目標。

整理過去文獻，多數論文主要探討勤務組合產生問題，機組人員派遣問題則受到較少關注，且討論機組人員派遣文獻中，考量公平性者多以啟發式演算法以確保其公平性(如：Guo et al., 2006、Maenhout & Vanhoucke, 2010)，但本研究認為上述方法皆無法驗證是否真正公平，卻少有論文將公平性以指標量化並衡量其價值。雖然多數文獻的目標為降低成本，但真正將機組人員成本詳細計算者甚少，多數僅考慮派遣組員成本、外站住宿成本、組員移轉成本等，因此認為應將成本仔細評估，如底薪、飛行加給、外站津貼等，才能更貼切的反應機組人員成本。

1.2 問題介紹

一般來說，機組人員排班問題(Crew scheduling problem)流程如圖 1.2 所示。航空公司排班規劃部門收到草擬之「班次表」(Flight)後，將其接續形成連續班次表，使一位機組人員能夠在一個工作天內執行完畢，稱為「航行勤務」(Duty)，而一航行勤務之起訖機場通常並不相同。接著再將航行勤務接續形成一橫跨多個工作天、由航行勤務及休息時間所組成之「勤務組合」(Pairings)，而同一勤務組合中第一個航行勤務之出發機場必須與組員行程中最後一個航行勤務之機場相同，皆須為該組員之基地。最後，多個勤務組合配合休假規定以及組員預排行程後(如健康檢查、事假、會議、訓練等)，派遣組員至不同勤務組合，即可形成組員之每月任務表(Monthly schedules)。

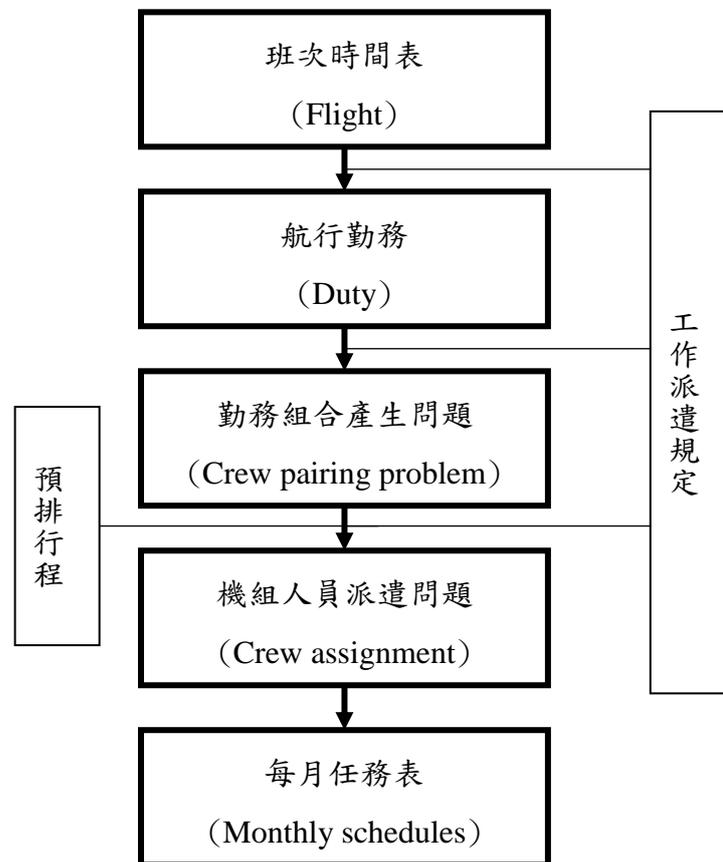


圖 1.2 機組人員排班流程

而在建立航行勤務、勤務組合及每月任務表時，皆須遵守各國飛航作業管理規則、公司與工會之工作限制，參考美國、新加坡、中國、香港等國家之規則後，整理出一般常見規則包含：1. 飛航時間與飛航執勤期間限制；2. 執勤完畢後休息時數限制；3. 總執勤時數限制；4. 總飛航時數限制；5. 休假天數限制；6. 值勤期間內任務數限制。(資料來源：1. Federal Aviation Administration 14 CFR Parts 117, 119, and 121；

2. CAA of Singapore-Air Operator Certificate Requirements ; 3. CAAR-大型飞机公共航空运输承运人运行合格审定规则；4. Hong Kong CAD-CAD371)

我國之航空器飛航管理規與上述大致相同，惟無休假天數限制且加入疲勞航班限制，因此本研究發展之機組人員排班模型實可適用於各國機組人員排班，僅於實例測試部分帶入我國規範之數值範圍進行模型證實。

航空公司機組人員排班問題可分為「勤務組合產生」(The crew pairing problem) 及「機組人員派遣」(The crew assignment problem 或稱 The crew rostering problem) 兩階段。考量客艙組員排班成本以及工作量公平性後，配合組員預排行程以產生組員個人任務表，考量客艙組員排班成本以及工作量公平性後，配合組員預排行程產生組員個人任務表，而過去文獻多將機組人員排班問題分為以上兩階段進行排班，但本研究認為若能夠將兩問題整合，同時進行排班規劃或許能夠為航空公司帶來更多成本上之效益。

1.3 研究目的

本研究為以航空公司客艙組員¹為研究對象之機組人員排班問題研究，而本研究之研究目的如下：

1. 建立符合法律規範且考量公平性與成本之機組人員排班模型。

由於航空公司目前使用之排班軟體所求得之結果有時不符預期，須以人力進行調整，過程不但耗時且無法確保為最佳解，因此本研究將以航空公司重視之兩大因素「成本」與「公平性」為目標，建立一同時考量兩者並符合法規之機組人員排班模型，並使航空公司能夠有效地控制成本與公平性。

2. 以機組人員角度建立公平性衡量標準，達到公平排班之結果。

本研究與航空公司人員進行訪談，了解公司以及機組人員欲達到之公平排班目標，以客艙組員飛航時數變異之觀念作為本研究之公平性衡量指標，使難以量化之公平性能夠以數值方式衡量。

3. 確實的反映機組人員成本項目。

由於過去文獻較少將機組人員排班總成本分項目討論，如此一來航空公司決策者便無法了解各項成本分布狀況，且無法進行成本調控與評估，因此本研究將以航空公司實際計算之成本項目建立成本函數，如飛行成本、外站津貼、外站宿費以及空載人員成本，使決策者掌握排班成本分布情形。

4. 進行機組人員數目與成本、公平性之敏感度分析，給予航空公司決策建議。

根據本研究之模型，能夠調整其中參數，如機組人員數量、成本參數、公平性參數等，使航空公司能夠進行成本與公平性間之權衡，給予航空公司不同考量下之排班結果，提供決策之參考依據。

¹ 客艙組員：係指由航空器使用人或機長指定於飛航時，在航空器內從事與乘客有關安全工作或服務之人員。但不能從事飛航組員之工作。(航空器飛航作業管理規則第二條)

1.4 研究流程

本研究首先了解航空公司機組人員排班現況，進而產生研究動機並蒐集相關文獻，與航空公司人員進行訪談後，了解相關法規以及業者對於機組人員成本真正想法與期望之目標，並由機組人員角度選出代表性指標衡量勤務派遣之公平性，接著根據法規建立以最小成本為目標並考量公平性之整數規劃模型，後以演算法求解並以實例問題進行測試，分析機組人員、公平性考量對成本之影響，最後提出本研究之結論與建議。本研究之完整流程如圖 1.2。

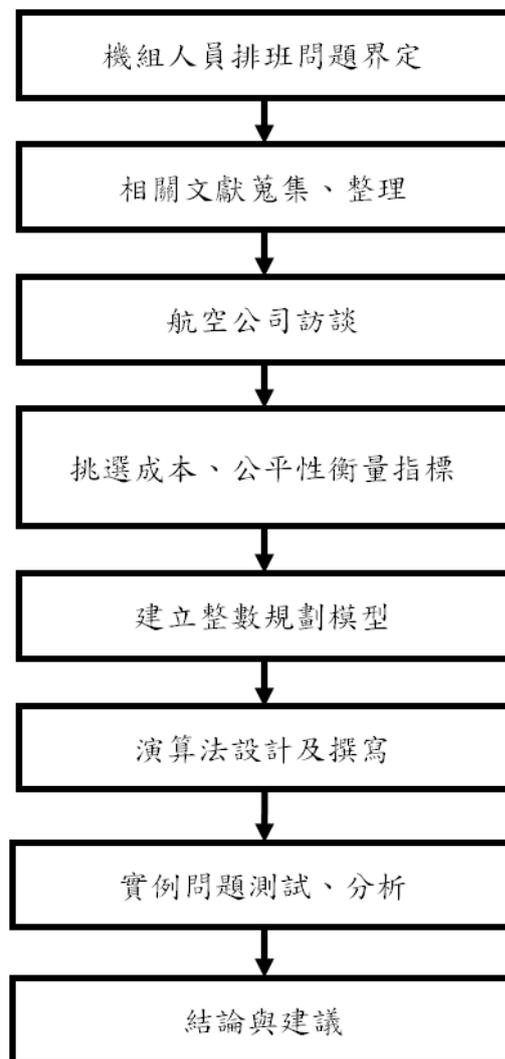


圖 1.3 研究流程

第二章、文獻回顧

以下之文獻回顧將分為四部分進行。首先，由於機組人員排班問題可分為「勤務組合產生」與「機組人員派遣」兩大部分，因此分別針對此兩部分之相關文獻進行回顧，了解過去進行相關研究之背景、目的與求解方法，以及與本研究相似、相異之處，接著再針對本研究之主要目標「成本」與「公平性」進行回顧，並參考過去文獻挑選之衡量指標與衡量方式幫助本研究之進行。

2.1 勤務組合產生問題

勤務組合產生問題多採「集合分割問題」(Set partitioning problem)建構，目的為建立最小化成本之勤務組合且每一班次表皆被一勤務組合包含，如下所示：

$$\begin{aligned} \text{Min } & \sum_{p \in P} C_p y_p \\ & \sum_{p: i \in P} y_p = 1 \quad i \in F \\ & y_p \in \{0,1\} \quad p \in P \end{aligned}$$

決策變數 $y_p = 1$ 表示勤務組合 p 涵蓋於最終解中，若為 0 則表其他，在限制式的矩陣中，若 p 欄 i 列為 1 則代表班次 i 涵蓋於勤務組合 p 中，若 0 則為其他。 F 為班次表之集合， P 為所有可行之勤務組合集合。

回顧過探討勤務組合產生之文獻中，可大致將求解方法分為啟發式解法、數學規劃方式兩大類，多數文獻利用啟發式解法。如 Desaulniers et al. (1997) 將問題建構為多重貨物非線性整數網路規劃模式，主問題定義為集合分割問題，同時次問題定為資源限制下之最短路徑問題，並以分枝定界法(Branch-and-bound)配合 Dantzig-Wolfe decomposition 之原則進行求解，並將其作法應用於法國航空，為率先將最佳化解法實現於大型航空公司之研究，結果顯示該作法相較於法國航空公司所使用之專業軟體帶來了實質性的改善。顏上堯、杜宇平(2000)則利用數學規劃方式並考量法規限制，並以最小空服員操作成本為目標發展一基本網路模式，並以拉氏鬆弛法暨次梯度法(Lagrangian relaxation with subgradient methods)演算法架構進行求解，針對不同勤務組合考量因素發展出不同組合策略模式，最後規劃最合適之勤務組合。

而 Guo et al. (2006) 則提出基於兩緊密耦合部件(Tightly coupled components)之部分整合方式，兩部件分別為：1. 建立「勤務組合鏈」(Crew pairing chains) 此法與傳統作法相異。其配合周休相關規定、考量機組人員工作狀態及多基地建立最小成本之勤務組合鏈。2. 利用多權重派遣演算法(Multi-weight based assignment heuristic)，將勤務組合鏈重新分配予不同機組人員，並達到飛行時間平均分配之目

的。Yildiz et al.(2017)建立了衡量機組人員疲勞程度之函數，將公式與資源限制下之勤務組合模型結合，以權衡成本與機組人員疲勞程度並達最小化之目標，利用應用變數產生法(Column generation algorithm)進行求解，並提出僅需增加些微成本投資即可明顯降低組員疲勞程度之結論。

利用數學規劃方式求解此問題之研究則如 Salazar-Gonzalez(2014)，針對西班牙某一小島之地區型航空公司排班問題進行研究，利用其問題特性(如航程較短、飛行時間僅限於早上七點至晚上十一點間)，因此將問題視為考量司機更換兩場站之車輛路徑問題，其中飛機視為車輛、司機視為機組人員，利用混合整數線性規劃(Mixed integer linear programming, MILP)構建問題，以最小化成本為目標，同時解決一日之機隊派遣(Fleet assignment)、飛機路線(Aircraft-routing)與勤務組合(Crew pairing)問題。

2.2 機組人員派遣問題

機組人員派遣基本模式如下：

$$\begin{aligned}
 & \text{Min} \sum_{k \in K} \sum_{s \in S^k} c_s^k x_s^k \\
 & \sum_{k \in K} \sum_{s \in S^k} \gamma_s^k x_s^k \geq n_p \quad \text{for all } p \in P \\
 & \sum_{s \in S^k} x_s^k = 1 \quad \text{for all } k \in K \\
 & x_s^k \in \{0,1\} \quad \text{for all } s \in S^k, \text{ for all } k \in K
 \end{aligned}$$

決策變數 γ_s^k 為 1 則代表勤務組合 $p \in P$ 已被涵蓋於人員 $k \in K$ 之行程 s 中，等於 0 則表示其他；決策變數 $x_s^k = 1$ 表示行程 $s \in S^k$ 被指派予人員 $k \in K$ ，等於 0 則表示其他； c_s^k 為行程 $s \in S^k$ 予人員 $k \in K$ 之行程成本； n_p 代表該勤務組合 $p \in P$ 最少需派遣之人數。

K 為指定機組人員類別之集合， S^k 為人員 $k \in K$ 可行之行程集合， P 為須被涵蓋之已指定日期勤務組合(Dated pairings)集合。

一般來說，機組人員派遣問題通常考量其排班公平性為主，常見之公平性指標為平均分配工作時間。韓復華、陳立欣(2002)以機組人員角度出發，挑選指標、發放問卷後建立公平性成本函數，問卷結果顯示各指標間權數相近，將論文列式為集合分割問題並建構三階段啟發式解法，以最小化公平性成本為目標派遣機組人員，並將其應用於台灣航空公司，結果顯示公平性得到明顯的改善，但該論文並無討論機組人員排班相關之成本項目。Iijima & Nishi(2016)則以平均分配機組人員工作時間為目標，將問題以整數規劃方式建構，配合應用變數產生法為基礎發展新求解方法，結果顯示較貪婪式演算法(Greedy Algorithm)、分枝定界法帶來更好的解。Salazar-Gonzalez(2014)利用混合整數線性規劃構建機組人員派遣問題，並最小化挑選之指標以達到公平分配任務量之目的，但如上一小節所提及，由於該模型僅適用於其問題特性，因此無法應用於較複雜之中、大型航空公司，但其所挑選之公平性指標仍可作為參考。

也有部分研究提出不同之公平性定義，如 Maenhout & Vanhoucke(2010)以最小化操作成本同時確保派遣之公平性與機組人員偏好為目標，同樣將問題列式為集合分割問題，使每位機組人員都能夠被派遣至一工作表中，子問題則建構為網路問題，目的為求解一位機組人員可行之工作表，利用分散式搜尋法(Scatter search)求解，並將結果與分枝定界法、最陡坡度變動鄰域搜尋法(Steepest descent variable neighbourhood search)進行比較，結果顯示該論文提出之啟發式演算法獲得較好的成果，但該研究並無明確衡量公平性之指標，僅計算每人平均可消耗資源。Chang, S.C. (2002)則針對短程航線設計一較傳統解法更有效率之演算法，以最小勤務成本為目標並以台灣為例。Klabjan et al.(2001)之目的除最小化成本外，額外新增最大化組員排班規律性，並以

每周為規劃週期發展創新之求解方法

Souai & Teghem(2009)則嘗試將勤務組合問題與機組人員派遣問題合併為一問題求解，以最小化成本為目標，發展出以基因演算法(Genetic algorithm)為基礎之啟發式演算法，過去文獻多由於問題龐大、計算費時，甚至會出現無法求解之情形，因此較少將兩問題合併求解。

2.3 成本衡量

多數研究將勤務組合問題之目標設定為最小化成本，將機組人員派遣問題之目標設定為平均分配勤務，因此以下分兩問題進行成本項目回顧。

1. 勤務組合產生問題

許多論文將該問題利用網路模式進行建構，因此成本僅計算使用節線、節點之成本，如 Desaulniers et al. (1997)將節點視為一航行勤務，因此計算拜訪該節點之成本；而顏上堯、杜宇平(2000)則將節線成本分類為空服員薪資成本及空載成本兩種，但客艙組員薪資成本實為飛行加給、外站宿費以及外站津貼計算而得，根據每月任務表而有不同，若以一固定薪資衡量，可能會使航公司無法掌握客艙組員薪資成本分布而導致決策失誤情形，舉例來說，客艙組員為滿足航班需求而於外站住宿為常見且必要之現象，若沒有將此成本納入排班總成本考量，則會使航空公司於成本評估時有低估之現象。而 Guo et al. (2006)利用時空網路模型建構勤務組合問題，考慮機組人員外站過夜成本(Overnight cost)與移轉人員回至基地之成本(Proceeding cost)。

2. 機組人員派遣問題

Maenhout & Vanhoucke(2010)於問題中不僅考量正職機組人員，將兼職(Freelance)與額外聘請之機組人員成本也一併納入，差別在於兼職機組人員成本是以其飛行時數計算。而 Gamache et al. (1998)、Chang, S.C. (2002)、Saddoune et al. (2011)與 Yildiz et al. (2017)等則於文中考量一勤務組合之成本，除此之外 Saddoune et al. (2011)將額外聘請一名飛行員之成本也加入懲罰值一併考量。Souai & Teghem(2009)考量之總成本為機組人員超時飛行成本。

2.4 公平性衡量

以下針對各文獻對於「公平性衡量」之方法與指標進行介紹。韓復華、陳立欣(2002)挑選「差旅時間」(Time away from base)、「飛航時間」(Block hour)、「飛行航段數」(Flight leg、Flight segment)以及「休假日」(Day-off)做為公平性指標，並以問卷

方式調查機組人員認為這些指標間重要度之關係，最後建立公平性成本函數。Iijima & Nishi(2016)以最小化實際與平均派遣予組員工作時數之差，使組員工作時間平均分配。Guo et al.(2006)則透過多權重派遣演算法達到公平派遣機組人員目的。Salazar-Gonzalez(2014)則認為最小化每一機組人員最大之「派遣路線總持續時數」(Time duration)、「派遣路線中航班次總量」(The number of flights)、「上、下午班數量差異」、「派遣路線數量」即能夠使機組人員間工作量平均分配。Nishi et al. (2014)也利用相似方法使工作量平均分配於員工，意即最小化每一人員最大之「每月平均工作時數」以及「總工作天數」。Yildiz et al. (2017)建立一疲勞程度函式，其目的為最小化與成本權衡後之機組人員疲勞程度；而 Klabjan et al. (2001)則透過自行提出之求解方法以創造最大化規律之機組人員排班結果。

2.5 小結

整理過去有關機組人員排班之研究，如下表 2.1，可發現不論「勤務組合產生」或「機組人員派遣」問題，多將目標設定為最小化成本並以數學規劃方式進行求解。考量成本項目時，常以「派遣人員至勤務之成本」計算，少有論文以較詳細的項目討論，但本研究認為若能夠準確地衡量成本項目，則能夠給予航空公司更明確之分析結果與決策建議。關於公平性部分，過去雖有多種作法處理，如演算法、限制式、最小化某目標值等，但上述方法之排班結果皆無法得知是否真正公平，因此本研究認為挑選正確、具代表性之公平指標，並建立函式將公平進行量化，是為有效表達派遣工作是否公平的方法之一。

表 2.1 文獻整理

作者	問題類型		成本衡量	公平性衡量	規劃週期
	勤務組合產生	機組人員派遣			
Desaulniers et al. (1997)	V		1. 使用節線成本 2. 拜訪節點成本 3. 補充變量成本	無	每周
Klabjan et al. (2001)	V	V	1. 勤務組合成本	1. 最大化排班規律性	每周
Yan & Tu (2001)	V		1. 使用節線成本	無	每周
Han & Chen (2002)		V	無	以下列四指標建立公平性成本函式 1. 差旅時間 2. 飛航時間 3. 飛行航段數 4. 休假日	每月
Guo et al. (2006)	V	V	1. 機組人員外站過夜成本 2. 移轉機組人員回基地成本	1. 平均分配飛行時數於基地 2. 平均分配飛行時數於組員	每周
Souai & Teghem (2009)	V	V	1. 超時飛行之成本	無	每周
Maenhout & Vanhoucke (2010)		V	1. 正職、兼職、額外機組人員成本	1. 最小化每位機組人員平均消耗資源	兩周
Santosa et al. (2010)		V	1. 組員排班成本	最小化以下兩項目 1. 平均每月飛行天數 2. 每月無飛行任務之天數	每月

Salazar-Gonzalez (2014)	V	V	1. 機組人員執行班次成本 2. 連續兩班次間隔時間 3. 機組人員與飛航器數量 4. 飛航器更換次數	最小化以下四項目最大值 1. 上、下午班數量差異 2. 派遣路線持續總時數 3. 派遣路線中航班次數 4. 派遣路線數量	每日
Yildiz et al. (2017)	V		1. 勤務組合之成本	1. 疲勞程度函式	每周

可以發現多數研究僅對勤務組合產生或機組人員派遣其中一主題深入研究，少有研究將兩者同時考量，且其中建立完整數學模型之研究又更為少數，多數研究僅建立基本網路模型後以演算法求解。而本研究認為若同時規劃勤務組合產生及機組人員派遣，於機組人員排班時將有更多調整空間，求得更符合理想的排班結果，且由於較少研究針對此主題設計完整數學模型，故將相關之法律規則、航空公司排班規則、成本計算方式以及公平性衡量模型化，並研提啟發式解法以進行問題求解。

成本項目除部分研究將成本分項計算外，以概略數字估計排班成本為主要成本計算方式，如此航空公司便無法得知各項目成本花費，便無法進行政策方面之調整，例如外站津貼費用調整對於排班總成本影響程度等，若能夠透過透過模擬分析得知，便能夠提出不同策略因應；公平性則有多種衡量方式，包含疲勞程度、排班規律性等，其中以飛行時數為主要衡量項目，經航空公司訪談後，了解機組人員真正在意工作量公平項目包含飛航時數、放假天數以及總執勤時數，故本文將以航空公司實際進行機組人員排班主要計算之成本項目，包含飛行加給、外站津貼、外站宿費以及空載成本進行模型設計，並選擇組員飛航時數變異作為衡量組員間工作量公平性之標準，使本研究更符合航空公司實際運作。

第三章、模式構建

3.1 問題描述

由於航空公司冬、夏季班表不同，因此航空公司多提前半年著手安排組員季班表行程草案，並根據客艙組員人力需求考慮因素，包含機種人力配置、地面任務、相關規範、季班表規劃、待命任務以及請假等情形，以預估下季需求組員人數與旅館需求。之後再因應部分班機異動情形，如時間異動、航路更改等，再行修正客艙組員行程表。而於客艙組員執勤前一個月，將會再次確認航班異動情形、客艙組員行程等因素調整組員班表，並檢查各站、艙等飛航時數與休息時數是否平均，若平均，則能夠發佈客艙組員次月班表，完整流程如下圖 3.1 所示。

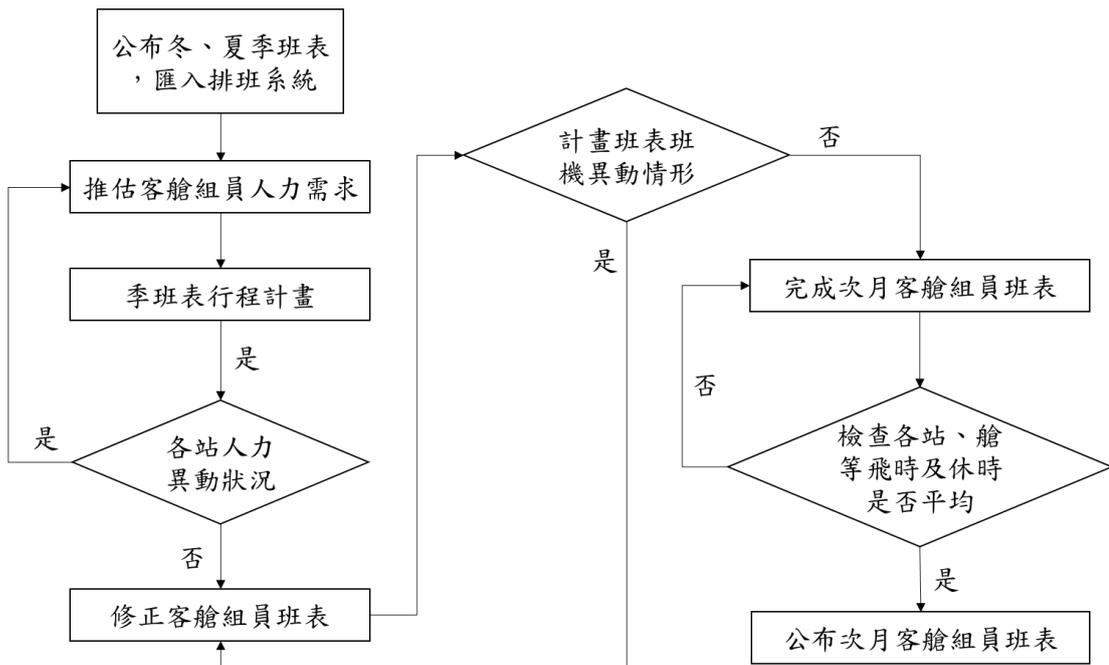


圖 3.1 客艙組員排班流程圖

為維持良好的飛航安全、客艙組員工作品質及其服務水準，客艙組員被指派至各飛航任務時，應遵守各國飛航作業管理規則、勞動基準法、工會與航空公司進行協商後之規範，誠如 1.2 小節所述，我國之航空器飛航作業管理規則(Aircraft Flight Operation Regulations, AOR)與各國大致相同，惟時間參數設定稍有不同，本研究參考 Barnhart et al. (2003)、Souai and Teghem(2009)以及我國航空器飛航作業管理規則對於客艙組員執行任務之時間定義，介紹如下：

1. 時間定義

航空公司客艙組員每日執行任務之流程如下，首先，客艙組員必須於航機後推前進行報到，了解今日任務指示與分配，並準備毛巾、飲料及餐點等，接著於旅客登機時、航機後推前，引導旅客至正確座位後，進行救生衣示範以及旅客安全檢查工作；而於航程中，客艙組員則須準備食物、飲料，並視旅客需求提供報章雜誌、簡單醫療服務等；航機降落並停止移動後，客艙組員引導旅客下機後，需進行客艙內清潔之整理工作，完成後才可進行報離程序，完成該次任務。以下列出客艙人員排班考量相關時間定義，並以圖 3.2 示意。

(1) 報到時間(Brief time)

指為航機後推前之客艙組員報到時間，係根據航班地點是否為客艙組員基地而決定，若為基地，則報到時間為航機後推前 140 分鐘，否則為航機後推前 60 分鐘。

(2) 整理時間

指組員自航機停止移動後所需之整理時間，整理結束即為客艙組員該次任務報離時間(Debrief time)，一般設定為 60 分鐘。

(3) 飛航時間(Flight time)

指為計算執行飛航任務及登錄飛航時間限度之時間，自開始移動時起至著陸後停止移動時止之時間。

(4) 執勤期間(Duty period)

指航空器使用人要求組員執行之各項勤務期間，包括飛航任務、飛航後整理工作、行政工作、訓練、調派及待命等時間。

(5) 飛航執勤期間(Flight duty period)

指組員自報到開始起算至完成所有飛航任務，飛機停止移動或直昇機旋翼停止旋轉之期間。

(6) 調派時間

航空器使用人為執勤需求，安排組員搭乘各類交通工具由一指定地點前往另一指定

地點之時間。飛航任務後之調派時間得不予合計飛航執勤期間限度，並應列入執勤期間。

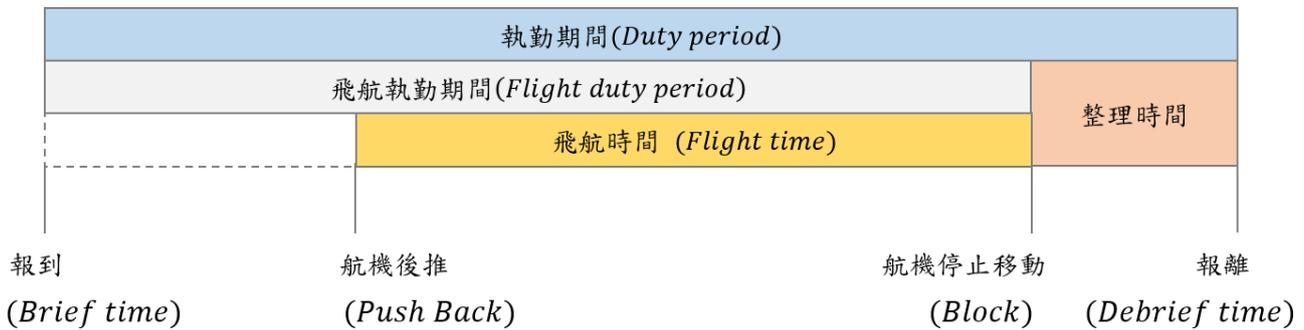


圖 3.2 時間定義

2. 航空器飛航作業管理規則

(1) 飛航時間與飛航執勤期間

- i. 連續二十四小時內，國際航線飛航時間不得超過十小時且飛航執勤期間不得超過十四小時。超過前項國際航線規定者，航空器內備有休息座椅或睡眠設備，則可調配客艙組員並安排飛航中輪休以延長其限度。延長之飛航時間不得超過十六小時且飛航執勤期間不得超過二十小時。
- ii. 飛航執勤期間限度內，國際航線起飛降落次數不得超過六次。

(2) 執勤完畢後之連續休息時間

- i. 組員於執行飛航任務或待命勤務前，應給予連續十小時以上之休息。
- ii. 飛航執勤期間未逾八小時，於執勤完畢後應給予連續九小時以上之休息；飛航執勤期間超過八小時未逾十二小時，於執勤完畢後應給予連續十二小時以上之休息；飛航執勤期間超過十二小時未逾十六小時，於執勤完畢後應給予連續二十小時以上之休息；飛航執勤期間超過十六小時，於執勤完畢後應給予連續二十四小時以上之休息。

(3) 總飛航時數

- i. 客艙組員於連續三十日內之總飛航時間，不得超過一百二十小時。

(4) 總執勤時數

- i. 組員執勤期間連續三十日不得超過二百三十小時。但因執行待命或調派勤務最多得採計三十小時之延長時間至二百六十小時。

(5) 疲勞航班

- i. 航空器使用人不得超過連續三日派遣組員執行飛航執勤期間跨及起飛地時間

午前二時至五時之飛航任務。連續二日派遣組員執行飛航執勤期間跨及起飛地時間午前二時至五時之飛航任務，執勤完畢後應給予連續三十四小時以上之休息。連續三日派遣組員執行飛航執勤期間跨及起飛地時間午前二時至五時之飛航任務，執勤完畢後應給予連續五十四小時以上之休息。航空器使用人派遣組員執行飛航執勤期間跨及起飛地時間午前二時至五時之飛航任務後，給予連續十四小時以上之休息者，得不受前二項規定之限制。

與航空公司人員進行訪談後，了解客艙組員目前排班情形，並些微調整上述 AOR 規則使其符合實際排班情形，並以航空公司於每月排班完成後，實際考量之因素建立公平性限制。

1. 調整連續休息時間

航空公司目前於執勤完畢後，均給予至少 14 小時之連續休息時間，因此符合部分 AOR 規則中執勤完畢後休息時間規則，因此將考量之規則根據排班現況調整為「飛航執勤期間未逾十二小時，於執勤完畢後應給予連續十四小時以上之休息；飛航執勤期間超過十二小時未逾十六小時，於執勤完畢後應給予連續二十小時以上之休息；飛航執勤期間超過十六小時，於執勤完畢後應給予連續二十四小時以上之休息」。

且由於每次執勤完畢後必給予連續休息 14 小時，因此疲勞航班規則也調整成為「不得超過連續三日派遣組員執行飛航執勤期間跨及起飛地時間午前二時至五時之飛航任務」。

2. 建立公平性規則

經訪談過後了解總休假天數、總飛航時數以及總執勤時數為客艙組員在意之公平因素，且也為現行客艙組員航空公司進行排班調整之考量因素，因此，本研究採用航空公司目前排班時制定之範圍建立公平性規則，如下所示：

- (1) 每位組員每月總休假天數至少 8 天。
- (2) 每位組員每月總飛航時數小於 85 小時。
- (3) 每位組員每月總執勤時數小於 140 小時。

且上述公平性限制均符合 AOR 規則中總飛航時數 120 小時、總執勤時數 230 小時之上限，因此本研究於建立排班模型時，將以本研究之公平性規則訂為總飛航時數、總執勤時數之考量基準。

3.2 網路排班模式

過去多數關於客艙組員派遣之研究多為階段性排班，係將草擬班次表組合形成航行勤務，再將各航行勤務接續形成勤務組合，而客艙組員分別派遣至各勤務組合，最後形成其每月任務表；而本研究進行之客艙組員排班，為將整個月份之草擬班次表同時進行優化後，產生每位組員之每月任務表，與過去研究有所不同。本研究根據航空公司之草擬飛航班次表、所需客艙組員人數、派遣客艙組員執行勤務之各項成本及其法律規範，建立一排班網路，以多基地之客艙組員進行各組員之每月任務派遣計畫，並設定每位客艙組員每日任務總數為三項。如下圖 3.3 所示。圖中之起點表示該組員基地所在位置，表示客艙組員必由基地出發執行飛航任務，終點則無限制，其餘節點皆表示飛航任務之起、迄地點。每一任務皆由兩節點與一節線構成，其中節線可分為三種類型，分別為：飛航任務節線、空載節線、休息節線，其各代表意義詳述如下。

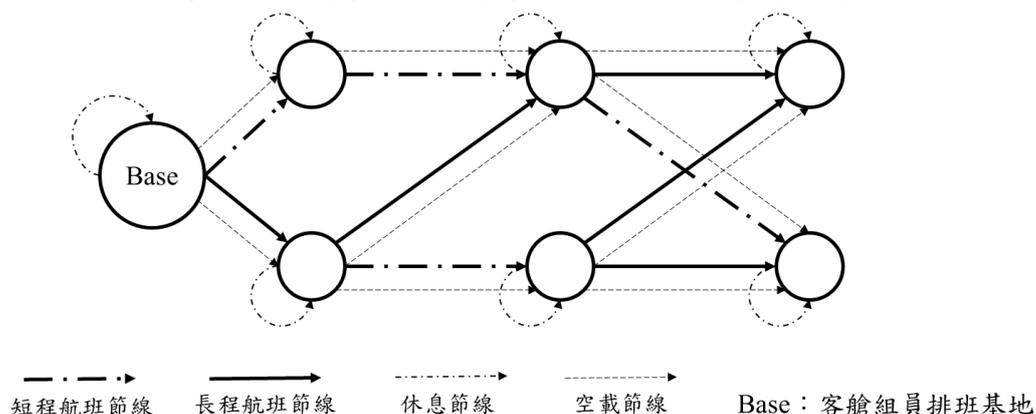


圖 3.3 網路排班模式

1. 航班節線

航班節線包含航空公司該月份所有草擬班次，此類型節線考量班次起、迄地點與時間以及飛航時數，且可根據飛航時數不同而分為短程航班、長程航班，若飛航時數超過八小時，即為長程航班，將會安排客艙組員於航程中進行輪休，而長、短程飛航任務須遵守不同飛航時間與飛航執勤期間之限制。建立模型時，節線流量下限設定為該班次所需客艙組員人數，上限則由於可能有客艙組員調派之需求而無進行限制，若該班次飛航中有輪休之安排，則將輪休時間納入飛航執勤時間以及飛行時數計算。節線成本則為求符合實務，因此根據該班次之飛航時數計算飛行加給成本。

2. 空載節線

為符合後續飛航任務所需客艙組員人數並使模型最佳化，而有組員調派之行為，使得該航班派遣組員人數多於所需人數，則將多餘組員視為空載人員(Deadhead)，即

為該名組員係以乘客身分派遣於該航班，而該次任務時間將視為調派時間而列入執勤期間計算，但不列入飛航執勤期間計算。節線成本則因航程不同而訂定不同空載成本。

3. 休息節線

休息節線為起、迄點相同之節線，係於每一節點皆設立之節線，表示組員停留於此地，此節線之用意為滿足模型建立時設定之條件，舉例來說，本研究設定每位組員每天任務數為三項，但又受制於飛航時間與飛航執勤時間規則，可能僅執行兩項飛航任務即達上限，因此設立一虛擬之休息節線，使客艙組員於第三項任務時被派遣至休息節線，表該名組員停留於該節點且不執行飛航任務。建立模型時，節線之流量下限設定為 0，上限則無限制，使模型進行優化時，可依需求將客艙組員不限人數派遣至此休息節線，且不計算任何成本。

而若客艙組員該日三項任務均被指派至休息節線，即表示該名組員當日休息；若客艙組員當日休息且地點為自身所屬基地時，則定義當日為該名組員之休假日。

3.3 模型建立

本研究將問題建構為混合整數規劃模式，並利用最佳化軟體 Gurobi 進行小型例題求解。本研究係透過由各成本項建構之目標函式，並參考航空公司實務規範而設定之公平性限制，以達最小化成本與最大化公平性之目的，並將相關法規、公司與工會之工作限制以數學函式表達，使模型符合實務情形，相關之集合、參數與變數介紹如下。

1. 集合介紹

根據我國航空器飛航作業管理規則，每位客艙組員於飛航執勤期間限度內，國際航線起飛降落次數不得超過六次，表示於限度內不得服務超過三飛航任務，因此本研究將每位組員每日任務數設定為三項。

A 為所有節線之集合，包含航班節線、休息節線、空載節線等，所有客艙組員每日之每一任務皆會被指派至一節線。而 A_F 則表示為所有航班之節線，包含飛航時間小於 8 小時之短程航班 A_s ，與飛航時間大於 8 小時之長程航班 A_l 。本研究之模型規劃期係以月份為單位，因此集合 D 代表該規劃月份之日期數集合，而本研究不考慮客艙組員位階，因此集合 K 為航空公司目前所有客艙組員集合。

A ：所有節線集合

A_F ：所有航班節線集合

A_s ：所有短程航班節線集合

A_l ：所有長程航班節線集合

W ：每日任務數集合

D ：規劃月份日期集合

K ：客艙組員總數集合

2. 參數介紹

(1) 網路模式參數

N_d^f : d 日之航班 f 所需客艙組員人數

O_f : 節線 f 之起點

D_f : 節線 f 之迄點

B_k : 客艙組員 k 之基地

(2) 時間參數

T_s^F : 短程航線每日總飛航時數上限

T_l^F : 長程航線每日總飛航時數上限

T_s^D : 短程航線每日總飛航執勤時數上限

T_l^D : 長程航線每日總飛航執勤時數上限

t_{1d}^f : d 日之節線 f 航機後推時間

t_{2d}^f : d 日之節線 f 航機停止移動時間

H : 客艙組員休假天數下限

FT : 客艙組員總飛航時數上限

DT : 客艙組員總執勤時數上限

(3) 成本參數

C_2 : 總飛航時數介於 61 小時至 75 小時間之飛行加給成本

C_3 : 總飛航時數大於 75 小時之飛行加給成本

C_{4d}^f : d 日航班 f 之空載成本

C_5 : 外站津貼之成本

Dev : 公平性參數

為建立排班網路模型，需要所有航班以及客艙組員之基本資訊，本研究將依據航空公司實務情形進行設定，包含航班起迄地點、時間設定、客艙組員需求數量以及每位客艙組員之基地，為區別不同地點並使其能夠納入模型中一併考慮，本研究將以數字進行地點之區別，如：TPE 為 1、HKG 為 2 等。由於航空公司所提供之航班日期以及起飛、降落時間資料均為依據該出發或到達地區之時區，但需將全數航班時間轉換成為統一標準以利後續計算，故本研究以台灣地區時區(GMT+8)為標準進行所有航班資料之轉換。

且本研究之節線時間皆以分鐘表示，若為上午八時，則時間為 480，表示為該日第 480 分鐘，且時間參數設定係根據是否為航班節線而有所不同，若為航班節線、空載節線，即依實際航班時間進行參數設定，但由於客艙組員報到時間依該地點是否為組員基地而地點有所不同，因此並無設定每航班報到時間；若為休息節線，則航機後推、飛航時數與飛機停止移動時間均為 0，如圖 3.4 所示，編號 1 至 29 之節線，均為航班節線(包含短程、長程航班)，而編號 30 至 32 之節線則為休息節線。

事實上，僅需透過航機後推以及航機停止移動時間，即可推算客艙組員執行該任務

之報到、報離、飛航、飛航執勤以及執勤時間，以圖 3.4 節線編號 1 舉例，若將基地為 TPE 之客艙組員指派至該航班，由於起點與基地地點相同，因此組員須於航機後推前 140 分鐘進行報到流程，因此其報到時間為 300，也就是當日上午五點；而該任務之飛航時間則為航機後推至停止移動所經時間，經計算可得為 120 分鐘；航機停止移動後，客艙組員需進行 60 分鐘之整理時間，因此報離時間訂為 660；而透過以上時間，可計算出該任務之飛航執勤以及執勤時間分別為 260 分鐘以及 320 分鐘。

而部分航班於飛航過程中會有換日情形發生，因此於數學模型以及演算法設計時，需放寬實務中每日僅 24 小時共 1440 分鐘之上限，使其符合航空器飛航作業管理規則，如下圖 3.4 編號 29 之節線，假設該航班於台灣時間 2018 年 3 月 1 日 21:00 起飛並於 2018 年 3 月 2 日 1:00 降落，那麼根據前述，本研究航班資料以分鐘為單位進行時間設定，因此該航班之資料紀錄如下：2018 年 3 月 1 日航班於 1260 起飛且於 2018 年 3 月 1 日 1500 降落。

1 : TPE , 2 : HKG , 3 : SIN

節線編號	1	2	...	29	30	31	32
節線起點	1	1	...	2	1	2	3
節線迄點	2	3	...	3	1	2	3
組員人數	7	8	...	5	0	0	0
航機後推時間	440	590	...	1260	0	0	0
航機停止時間	560	770	...	1500	0	0	0

圖 3.4 資料編碼

3. 變數介紹

本研究主要用於模型最佳化之變數有三，分別為 $x_{f,k}^{d,w}$ 、 $y_{f,k}^{d,w}$ 與 z_k^d ，其餘變數皆為因應以上三變數結果而決定之變數。 $x_{f,k}^{d,w}$ 為決定客艙組員被指派之航班任務及順序，使模型結果符合法規限制及計算組員排班成本； $y_{f,k}^{d,w}$ 則用於決定該組員被指派至航班任務時是否為空載人員之變數，且因空載組員任務時間列入執勤期間但不計入飛航執勤期間，因此 $y_{f,k}^{d,w}$ 用於計算客艙組員之執勤期間、飛航執勤期間；而 z_k^d 則用於判斷客艙組員於 d 日執勤完畢後是否跨日休息之變數。

其餘變數如 α_k^d ，表客艙組員於 d 日是否並無被指派至任何飛航任務，若是，則 α_k^d 為 1，若至少被指派至一飛航任務則 α_k^d 為 0。而 $\beta_{of,k}^{d,w}$ 與 $\beta_{Df,k}^{d,w}$ 為判斷組員執行該任務之起、迄點是否為其所屬之基地，並用於計算組員於外站時數以及判斷任務報到時間。 δ_k^d 則用於判斷 d 日是否為客艙組員 k 之休假日。變數 R_{14k}^d 、 R_{20k}^d 、 R_{24k}^d 係決定組員每日執勤完畢後之連續休息時間，分別表示應連續休息 14、20 或 24 小時。而變數 S_k^d 與 E_k^d 則為紀錄組員每日執勤開始、結束時間，兩者皆為連續變數。

$x_{f,k}^{d,w}$ 為二元變數， $\begin{cases} = 1, & \text{表客艙組員 } k \text{ 於 } d \text{ 日之第 } w \text{ 個任務時，被指派至節線 } f。 \\ = 0, & \text{其他。} \end{cases}$

$y_{f,k}^{d,w}$ 為二元變數，

$\begin{cases} = 1, & \text{表客艙組員 } k \text{ 於 } d \text{ 日之第 } w \text{ 個任務時，被指派至節線 } f \text{ 且為空載人員。} \\ = 0, & \text{其他。} \end{cases}$

$y_{f,k}^{d,w}$ 為二元變數，

$\begin{cases} = 1, & \text{表客艙組員 } k \text{ 於 } d \text{ 日之第 } w \text{ 個任務時，被指派至自基地出發之節線 } f \\ & \text{且為空載人員。} \\ = 0, & \text{其他。} \end{cases}$

z_k^d 為二元變數，

$$\begin{cases} = 1, \text{表客艙組員 } k \text{ 於 } d \text{ 日執勤完畢後，隔日須整天休息，直至 } d+2 \text{ 日} \\ \quad \text{才能夠指派航班節線。} \\ = 0, \text{其他。} \end{cases}$$

$$\alpha_k^d \text{ 為二元變數，} \begin{cases} = 1, \text{表客艙組員 } k \text{ 於 } d \text{ 日時，並無被指派至任何飛航任務。} \\ = 0, \text{其他。} \end{cases}$$

$\beta_{Of,k}^{d,w}$ 為二元變數，

$$\begin{cases} = 1, \text{表客艙組員 } k \text{ 於 } d \text{ 日之第 } w \text{ 個任務時，被指派至節線 } f, \text{ 且該任務之} \\ \quad \text{起點為組員所屬基地。} \\ = 0, \text{其他。} \end{cases} \quad \beta_{Df,k}^{d,w}$$

為二元變數，

$$\begin{cases} = 1, \text{表客艙組員 } k \text{ 於 } d \text{ 日之第 } w \text{ 個任務時，被指派至節線 } f, \text{ 且該任務之} \\ \quad \text{迄點為組員所屬基地。} \\ = 0, \text{其他。} \end{cases}$$

δ_k^d 為二元變數，

$$\begin{cases} = 1, \text{表 } d \text{ 日為客艙組員 } k \text{ 之休假日。} \\ = 0, \text{其他。} \end{cases}$$

R_{14k}^d 為二元變數，

$$\begin{cases} = 1, \text{表客艙組員 } k \text{ 於 } d \text{ 日執勤完畢後，應至少給予連續14小時之休息。} \\ = 0, \text{其他。} \end{cases}$$

R_{20k}^d 為二元變數，

$$\begin{cases} = 1, \text{表客艙組員 } k \text{ 於 } d \text{ 日執勤完畢後，應至少給予連續20小時之休息。} \\ = 0, \text{其他。} \end{cases}$$

R_{24k}^d 為二元變數，

$$\begin{cases} = 1, \text{表客艙組員 } k \text{ 於 } d \text{ 日執勤完畢後，應至少給予連續24小時之休息。} \\ = 0, \text{其他。} \end{cases}$$

t_k^d 為連續變數，表客艙組員 k 於 d 日給予連續休息完畢後，隔日能夠開始執勤之時間。

S_k^d 為連續變數，表客艙組員 k 於 d 日開始執勤時間。

E_k^d 為連續變數，表客艙組員 k 於 d 日結束執勤時間。

t_k^f 為連續變數，表客艙組員 k 總飛航時數。

4. 目標式

Min

$$\sum_{k \in K} f(t_k^f) + \sum_{d \in D} \sum_{f \in A_f} C_{4d}^f \sum_{k \in K} y_{w,f}^{d,k} + C_5 \sum_{k \in K} t_k + C_6 \sum_{k \in K} \left(D - \sum_{d \in D} \beta_{Df,k}^{d,3} - \sum_{d \in D} \delta_k^d \right) \quad (1)$$

本研究將目標函式設定為最小化客艙組員排班成本，並將航空公司實際計算成本項目納入考量，主要可分為飛行加給、空載成本、外站津貼以及外站宿費四部分，而客艙組員底薪則由於為一固定成本，與決策變數無關，因此於目標式計算完畢後，加入總客艙組員底薪即可得航空公司客艙組員排班總成本。

(1) 第一部分，飛行加給

此成本係根據每位組員總飛航時數不同而給予之津貼，航空公司將此成本分為三階段訂定，由於該公司基本飛航時數訂為 60 小時，因此若總飛航時數小於 60 小時則不給予任何飛行加給。若總飛航時數介於 60 小時至 75 小時之間，則超過之時數為每小時 500 元新台幣；若總飛航時數超過 75 小時，那麼以每小時 800 元台幣計算。

$$f(t_k^f) = \begin{cases} C_2 (t_k^f - 60) & \text{if } 60 < t_k^f \leq 75 \\ C_3 (t_k^f - 75) & \text{if } 75 < t_k^f \end{cases} \quad (1-1)$$

(2) 第二部分，空載成本

各航班空載成本會因為航程長短以及該航班承載率高低而不盡相同，將該航班之空載成本係數 C_{4d}^f 乘上該航班空載組員人數即可。

(3) 第三部分，外站津貼

外站時數係指客艙組員自基地出發後至返回基地所經過之期間，將外站時數與外站津貼 C_5 相乘，即為每為客艙組員外站津貼成本。但若要計算外站時數 t_k ，則需額外引入另一 0-1 變數 γ_k^d 協助計算。

$$(-\gamma_k^d M) + 1 \leq \sum_{w \in W} \sum_{f \in A_f} \beta_{Df,k}^{d,w} \leq (1 - \gamma_k^d) M, \quad \forall d \in D, k \in K \quad (1-2)$$

$$\sum_{d \in D} \sum_{w \in W} \sum_{f \in A_f} (t_{2d}^f \beta_{Df,k}^{d,w} - t_{1d}^f \beta_{Of,k}^{d,w}) + \sum_{d \in D} (1440 \gamma_k^d - 1440 \delta_k^d) = t_k, \quad \forall k \in K \quad (1-3)$$

(4) 第四部份，外站宿費

客艙組員於該日執勤完畢後，若非停留於所屬基地，那麼航空公司必須安客艙組員於該日執勤完畢後，若非停留於所屬基地，那麼航空公司必須安排該組員當日住宿，故本研究將規劃期內總天數扣除任務執行完畢後停留於基地之天數、放假天

數，即可得外站住宿天數，並將其與平均每日外站宿費相乘，即可得外站宿費。

5. 限制式

$$\sum_{f \in A} x_{w,f}^{d,k} = 1, \quad \forall w \in W, k \in K, d \in D \quad (2)$$

$$\sum_{k \in K} x_{w,f}^{d,k} \leq N_d^f, \quad \forall f \in A_f, d \in D \quad (3)$$

$$\sum_{f \in A} D_f x_{f,k}^{d,w-1} = \sum_{f \in A} O_f x_{f,k}^{d,w}, \quad \forall w \in W, k \in K, d \in D \quad (4)$$

$$\sum_{f \in A_f} x_{f,k}^{d,w-1} (t_{2d}^f + 60) \leq \sum_{f \in A_f} (t_{1d}^f x_{f,k}^{d,w} - 140 \beta_{of,k}^{d,w} - 60(1 - \beta_{of,k}^{d,w})) \quad (5)$$

, $\forall w \in W, k \in K, d \in D$

$$\sum_{w \in W} \sum_{f \in A_s} x_{f,k}^{d,w} (t_{2d}^f - t_{1d}^f) \leq T_s^F, \quad \forall k \in K, d \in D \quad (6)$$

$$\sum_{w \in W} \sum_{f \in A_s} \left\{ (x_{f,k}^{d,w} - y_{f,k}^{d,w}) (t_{2d}^f - t_{1d}^f + 60) + 80 (\beta_{of,k}^{d,w} - y_{f,k}^{d,w}) \right\} \leq T_s^D \quad (7)$$

, $\forall k \in K, d \in D$

$$\sum_{w \in W} \sum_{f \in A_l} x_{f,k}^{d,w} (t_{2d}^f - t_{1d}^f) \leq T_l^F, \quad \forall k \in K, d \in D \quad (8)$$

$$\sum_{w \in W} \sum_{f \in A_l} \left\{ (x_{f,k}^{d,w} - y_{f,k}^{d,w}) (t_{2d}^f - t_{1d}^f + 60) + 80 (\beta_{of,k}^{d,w} - y_{f,k}^{d,w}) \right\} \leq T_l^D \quad (9)$$

, $\forall k \in K, d \in D$

$$R_{14k}^d + R_{20k}^d + R_{24k}^d = 1, \quad \forall k \in K, d \in D \quad (10)$$

$$\sum_{w \in W} \sum_{f \in A_f} \left\{ (x_{f,k}^{d,w} - y_{f,k}^{d,w}) (t_{2d}^f - t_{1d}^f + 60) + 80 (\beta_{of,k}^{d,w} - y_{f,k}^{d,w}) \right\} \leq 720 R_{14k}^d + 960 R_{20k}^d + 1200 R_{24k}^d, \quad \forall k \in K, d \in D \quad (11)$$

$$E_k^d + (840 R_{14k}^d + 1200 R_{20k}^d + 1440 R_{24k}^d) - 1440 = t_k^d, \quad \forall k \in K, d \in D \quad (12)$$

$$t_k^d \leq 1440(1 + z_k^d), \quad \forall k \in K, d \in D-1 \quad (13)$$

$$\alpha_k^{d+1} \geq z_k^d, \quad \forall k \in K, d \in D-1 \quad (14)$$

$$S_k^d \geq t_k^{d-1} + z_k^{d-1} M, \quad \forall k \in K, d \in \{2, 3, \dots, D\} \quad (15)$$

$$S_k^{d+1} \geq t_k^{d-1} - 1440 - 1440(1 - z_k^{d-1}), \quad \forall k \in K, d \in \{2, 3, \dots, D-1\} \quad (16)$$

$$\sum_{d \in D} \delta_k^d \geq H, \quad \forall k \in K \quad (17)$$

$$t_k^f \leq FT, \quad \forall k \in K \quad (18)$$

$$\sum_{d \in D} \sum_{w \in W} \sum_{f \in A_F} \left\{ x_{f,k}^{d,w} (t_{2d}^f - t_{1d}^f + 60) + 140\beta_{O_f,k}^{d,w} + 60(1 - \beta_{O_f,k}^{d,w}) \right\} \leq DT, \quad \forall k \in K \quad (19)$$

$$\left| t_k^f - \overline{t_k^f} \right| \leq Dev, \quad \forall k \in K \quad (20)$$

$$x_{f,k}^{d,w} \geq y_{f,k}^{d,w}, \quad \forall f \in A_F, w \in W, k \in K, d \in D \quad (21)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{w \in W} x_{f,k}^{d,w} - N_d^f = \sum_{k \in K} y_{f,k}^{d,w}, \quad \forall f \in A_F, d \in D \quad (22)$$

$$(y_{f,k}^{d,w} - 1)M + 1 \leq y_{f,k}^{d,w} + \beta_{O_f,k}^{d,w} - 1 \leq y_{f,k}^{d,w} M, \quad \forall f \in A_F, w \in W, k \in K, d \in D \quad (23)$$

$$-\alpha_k^d M + 1 \leq \sum_{w \in W} \sum_{f \in A_F} x_{f,k}^{d,w} \leq (1 - \alpha_k^d)M, \quad \forall k \in K, d \in D \quad (24)$$

$$-\beta_{O_f,k}^{d,w} M + 1 \leq |O_f x_{f,k}^{d,w} - B_k| \leq (1 - \beta_{O_f,k}^{d,w})M, \quad \forall f \in A, w \in W, k \in K, d \in D \quad (25)$$

$$-\beta_{D_f,k}^{d,w} M + 1 \leq |D_f x_{f,k}^{d,w} - B_k| \leq (1 - \beta_{D_f,k}^{d,w})M, \quad \forall f \in A, w \in W, k \in K, d \in D \quad (26)$$

$$(\delta_k^d - 1)M + 1 \leq \alpha_k^d + \sum_{f \in A_F} \beta_{O_f,k}^{d,1} - 1 \leq \delta_k^d M, \quad \forall k \in K, d \in D \quad (27)$$

$$S_k^d = \text{Min} \left\{ \begin{array}{l} \sum_{f \in A_F} (x_{f,k}^{d,w} t_{1d}^f + 140\beta_{O_f,k}^{d,1} + 60(1 - \beta_{O_f,k}^{d,1})), \\ \sum_{f \in A_F} (x_{f,k}^{d,w} t_{1d}^f + 140\beta_{O_f,k}^{d,2} + 60(1 - \beta_{O_f,k}^{d,2})), \\ \sum_{f \in A_F} (x_{f,k}^{d,w} t_{1d}^f + 140\beta_{O_f,k}^{d,3} + 60(1 - \beta_{O_f,k}^{d,3})) \end{array} \right\}, \quad \forall k \in K, d \in D \quad (28)$$

$$E_k^d = \text{Max} \left\{ \begin{array}{l} \sum_{f \in A_F} x_{f,k}^{d,1} (t_{2d}^f + 60), \\ \sum_{f \in A_F} x_{f,k}^{d,2} (t_{2d}^f + 60), \\ \sum_{f \in A_F} x_{f,k}^{d,3} (t_{2d}^f + 60) \end{array} \right\}, \quad \forall k \in K, d \in D \quad (29)$$

(1) 基本網路限制

限制式(2)表示客艙組員於每日、每任務均必須指派於一節線，不論為航班節線、空載節線或休息節線；限制式(3)表示派遣於航班 f 之客艙組員總數不可少於該航班需求人數 N_d^f ；限制式(4)表示客艙組員前項任務 $w-1$ 之訖點 D_f 必為後一任務 w 之起點 O_f ；同理，限制式(5)表示客艙組員於前項任務 $w-1$ 結束後，方能執行後項任務 w ，而任務結束時間為航機停止移動後 60 分鐘 $(t_{2d}^f + 60)$ ，任務開始時間則依據各所屬基地而有航機移動前 60 或 140 分鐘之不同，因此藉由變數 $\beta_{O_f,k}^{d,w}$ 判斷起點是否為基地計算任務開始時間。

(2) 飛航時數、飛航執勤時數限制

限制式(6)與(7)則係依照 3.1 小節所述之規範，若客艙組員執行短程航班任務 ($f \in A_s$)，那麼於連續二十四小時之內，該組員之飛航時數、飛航執勤時數不得超過其規定時數上限，分別為 10 小時以及 14 小時；同理，限制式(8)、(9)限制客艙組員執行長程航班 ($f \in A_l$) 之飛航時數、飛航執勤時數，分別為 16 以及 20 小時。其中，由於報到時間係根據組員基地而有不同，但不論是否自基地出發，至少須於航機後推前 60 分鐘報到，因此限制式(7)及(9)以 $(t_{2d}^f - t_{1d}^f + 60)$ 為基準計算飛航執勤時數，再配合變數 $\beta_{O_f,k}^{d,w}$ 判斷是否需提前至航機後推前 140 分鐘報到。另外，空載人員任務時間不列入飛航執勤期間計算，因此若該組員被派遣至該航班且為空載人員，則需利用 $y_{f,k}^{d,w}$ 及 $y_{f,k}^{d,w}$ 將該任務時間扣除。

(3) 連續休息時間限制

根據法規，由於客艙組員每日飛航執勤時數不同，需於執勤完畢後給予相對應之連續休息時數，而變數 R_{14k}^d 、 R_{20k}^d 、 R_{24k}^d 即用於決定 d 日應給予客艙組員 k 連續至少 14、20 或 24 小時之休息，因此限制式(10)與(11)相互配合達到此效果，限制式(11)為計算組員該日飛航執勤時數，並依據法規標準，如「飛航執勤期間未逾十二小時，於執勤完畢後應給予連續十四小時以上之休息」，決定需給予多少休息時數。

而限制式(12)則為計算客艙組員於 d 日執勤完畢且給予足夠休息時數，隔日能夠開始執勤之時間，由於本研究以 d 日執勤完畢時數加上休息時數進行計算，又時間計算以分鐘為單位，每日為 1440 分鐘，因此需減去 1440 才能夠轉為隔日時間。

不論長、短程班次，皆有可能出現飛航過程中跨日之現象，導致隔日均為客艙組員休息時間，需於後天方能開始執勤，舉例來說，若客艙組員 k 於 d 日執行晚間十點報到、 $d+1$ 上午五時報離之任務，又由於該名組員 d 日飛航執勤時數為 14 小時，因此需給予至少連續二十小時之休息時數，也就是該名組員於 $d+2$ 上午一點才能開始執勤。因此需利用限制式(13)判斷是否遇此情形，若是，則 z_k^d 為 1，且 $d+1$ 日不能夠安排執行任何航班任務，因此限制式(14)配合變數 α_k^{d+1} 判斷。

計算完畢隔日能夠開始執勤時間 t_k^d 後，隔日真正開始執勤時間 S_k^{d+1} 便需於 t_k^d 之後，限制式(15)、(16)即為此意。值得注意的是，由於上述提及之跨日現象仍需納入考量，因此限制式(16)加入 z_k^{d-1} 變數，若於 $d-1$ 日發生此情形，則需扣除 1440 方為 $d+1$ 能夠開始執勤時間。以同一例子來說，組員於 $d+1$ 日上午五時報離，但時間需以 d 日為基礎計算，因此報離時間為 $1440+5\times 60=1740$ 分鐘，又給予連續二十小時之休息，因此 t_k^d 為 $1740+20\times 60=2940$ ，經過 $d+1$ 日之休息後， $d+2$ 日能夠開始執勤時間為 $2940-1440-1440=60$ 分鐘，也就是 $d+2$ 上午一時。

(4) 航空公司目標

限制式(17)至(19)皆為本研究之公平性限制，係與航空公司討論並依實務情形訂定，分別限制客艙組員於規劃期限內之總休假天數、總飛航時數以及總執勤時數之上、下限。限制式(17)透過變數 δ_k^d 計算每位客艙組員之休假日總數，而變數 δ_k^d 則於限制式(27)透過變數 α_k^d 、 $\beta_{Of,k}^{d,1}$ 判斷 d 日是否為組員 k 之休假日，若該名組員於 d 日並未被指派至航班節線且第一個任務於基地休息，則可推斷該名組員當日於基地放假。

(5) 公平性衡量

本研究認為若要衡量客艙組員間工作量公平性，那麼應衡量客艙組員間工作量的差異，若變異較大，即表示工作量較不平均，反之則較平均，因此可透過標準差的概念衡量。與航空公司進行訪談後，了解飛航時數為客艙組員較在意之項目，故挑選

飛航時數作為衡量指標，限制式(20)便為計算各組員規劃期內總飛航時數變異，將各組員總飛航時數($\overline{t_k^f}$)與平均飛航時數進行比較，控制其差異於一定範圍之內，進而控制組員間工作量差異。

(6) 變數判斷

限制式(21)為決定客艙組員是否為空載人員，由於僅有被至派至該航班之組員能夠成為此航班之空載人員，因此唯有 $x_{f,k}^{d,w}$ 為1時， $y_{f,k}^{d,w}$ 才有可能為1；而限制式(22)則為計算每一航班空載人員數目；變數 $y_{f,k}^{d,w}$ 為輔助計算空載人員飛航執勤時數，因此限制式(23)用於判斷空載人員被指派之航班起點是否為基地；限制式(24)計算客艙組員 d 日之三項任務中，是否有被指派至航班節線，若無，則 $\sum_{w \in W} \sum_{f \in A_f} x_{f,k}^{d,w}$ 加總為0，表示該客艙組員該日休息；由於本研究利用數字代碼區別各地點，因此若節線起點與客艙組員所屬基地相同時 $|O_f x_{f,k}^{d,w} - B_k|$ 為0，同理，若節線迄點與客艙組員所屬基地相同時， $|D_f x_{f,k}^{d,w} - B_k|$ 為0，因此限制式(25)及(26)即利用此原理決定變數 $\beta_{O_{f,k}}^{d,w}$ 與 $\beta_{D_{f,k}}^{d,w}$ ；最後，限制式(28)及(29)透過每任務開始執勤時間、執勤結束時間，判斷每日飛航任務開始執勤時間最小值、執勤結束時間之最大值以記錄客艙組員每天執勤開始時間 S_k^d 、結束時間 E_k^d 。

由於限制式(25)中絕對值的部分 $|O_f x_{f,k}^{d,w} - B_k|$ 為非線性函數，因此引入新變數 $O_{f,k}^{+d,w}$ 、 $O_{f,k}^{-d,w}$ 以及 $\omega_{O_{f,k}}^{d,w}$ 並配合限制式(25-1)至(25-7)進行線性規劃轉換；同理，限制式(26)也引入新變數 $D_{f,k}^{+d,w}$ 、 $D_{f,k}^{-d,w}$ 以及 $\omega_{D_{f,k}}^{d,w}$ 配合限制式(26-1)至(26-7)進行轉換。

$$|O_f x_{f,k}^{d,w} - B_k| = O_{f,k}^{+d,w} + O_{f,k}^{-d,w}, \quad \forall f \in A, w \in W, k \in K, d \in D \quad (25-1)$$

$$O_{f,k}^{+d,w} - O_{f,k}^{-d,w} = O_f x_{f,k}^{d,w} - B_k, \quad \forall f \in A, w \in W, k \in K, d \in D \quad (25-2)$$

$$O_{f,k}^{+d,w} \leq \omega_{O_{f,k}}^{d,w} M, \quad \forall f \in A, w \in W, k \in K, d \in D \quad (25-3)$$

$$O_{f,k}^{-d,w} \leq (1 - \omega_{O_{f,k}}^{d,w})M, \quad \forall f \in A, w \in W, k \in K, d \in D \quad (25-4)$$

$$O_{f,k}^{+d,w} \geq 0, \quad \forall f \in A, w \in W, k \in K, d \in D \quad (25-5)$$

$$O_{f,k}^{-d,w} \geq 0, \quad \forall f \in A, w \in W, k \in K, d \in D \quad (25-6)$$

$$\omega_{O_{f,k}}^{d,w} = \{0,1\}, \quad \forall f \in A, w \in W, k \in K, d \in D \quad (25-7)$$

$$|D_f x_{f,k}^{d,w} - B_k| = D_{f,k}^{+d,w} + D_{f,k}^{-d,w}, \quad \forall f \in A, w \in W, k \in K, d \in D \quad (26-1)$$

$$D_{f,k}^{+d,w} - D_{f,k}^{-d,w} = D_f x_{f,k}^{d,w} - B_k, \quad \forall f \in A, w \in W, k \in K, d \in D \quad (26-2)$$

$$D_{f,k}^{+d,w} \leq \omega_{D_{f,k}}^{d,w}M, \quad \forall f \in A, w \in W, k \in K, d \in D \quad (26-3)$$

$$D_{f,k}^{-d,w} \leq (1 - \omega_{D_{f,k}}^{d,w})M, \quad \forall f \in A, w \in W, k \in K, d \in D \quad (26-4)$$

$$D_{f,k}^{+d,w} \geq 0, \quad \forall f \in A, w \in W, k \in K, d \in D \quad (26-5)$$

$$D_{f,k}^{-d,w} \geq 0, \quad \forall f \in A, w \in W, k \in K, d \in D \quad (26-6)$$

$$\omega_{D_{f,k}}^{d,w} = \{0,1\}, \quad \forall f \in A, w \in W, k \in K, d \in D \quad (26-7)$$

而限制式(28)與(29)也為非線性函數，因此需利用限制式(28-1)至(28-6)及(29-1)至(29-4)，並引入新變數 $\tau_{Sk}^{d,w}$ 、 $\tau_{Ek}^{d,w}$ 進行線性規劃轉換。由於限制式(26)為判斷組員每日開始工作時間，係計算每任務開始執勤時間後挑選最小值，但若組員其中一任務並未被派遣於任一飛航任務，則根據計算該任務之開始時間為 0，會影響最小值之挑選，而為避免此類型錯誤，本研究加入一變數 $\sigma_k^{d,w}$ 用於判斷該任務是否為航班節線，若是，則於限制式(28-2)將其乘以 1440，使未被派遣於航班節線之開始時間計為 1440，即可於不影響其他限制式的情況之下，正確判斷組員該日開始工作時間。

$$-\sigma_k^{d,w}M + 1 \leq \sum_{f \in A_F} x_{f,k}^{d,w} t_{2d}^f \leq (1 - \sigma_k^{d,w})M, \quad \forall w \in W, k \in K, d \in D \quad (28-1)$$

$$1440\sigma_k^{d,w} + \sum_{f \in A_F} \left\{ x_{f,k}^{d,w} t_{1d}^f - 140\beta_{Of,k}^{d,w} - 60(1 - \beta_{Of,k}^{d,w}) \right\} \geq S_k^d \quad (28-2)$$

, $\forall w \in W, k \in K, d \in D$

$$1440\sigma_k^{d,w} + \sum_{f \in A_F} \left\{ x_{f,k}^{d,w} t_{1d}^f - 140\beta_{Of,k}^{d,w} - 60(1 - \beta_{Of,k}^{d,w}) \right\} \leq S_k^d + (1 - \tau_{Sk}^{d,w})M \quad (28-3)$$

, $\forall w \in W, k \in K, d \in D$

$$\sum_{w \in W} \tau_{Sk}^{d,w} = 1, \quad \forall w \in W, k \in K, d \in D \quad (28-4)$$

$$\sigma_k^{d,w} = \{0,1\}, \quad \forall w \in W, k \in K, d \in D \quad (28-5)$$

$$\tau_{Sk}^{d,w} = \{0,1\}, \quad \forall w \in W, k \in K, d \in D \quad (28-6)$$

$$\sum_{f \in A_F} (x_{f,k}^{d,w} t_{2d}^f + 60) \leq E_k^d, \quad \forall w \in W, k \in K, d \in D \quad (29-1)$$

$$\sum_{f \in A_F} (x_{f,k}^{d,w} t_{2d}^f + 60) \geq E_k^d - (1 - \tau_{Ek}^{d,w})M, \quad \forall w \in W, k \in K, d \in D \quad (29-2)$$

$$\sum_{w \in W} \tau_{Ek}^{d,w} = 1, \quad \forall w \in W, k \in K, d \in D \quad (29-3)$$

$$\tau_{Ek}^{d,w} = \{0,1\}, \quad \forall w \in W, k \in K, d \in D \quad (29-4)$$

3.4 模型測試

本研究使用台灣航空公司 2018 年三月份航班資料進行實際例題測試，將數學模型以 C++ 進行編寫，配合 Gurobi Optimizer 8.0 以及 Visual Studio 2017 求解。本模型為求貼近實際情形，數學模型較為複雜，因此無法將航空公司真實資料全數進行精確求解，僅以小例題進行測試，例題測試簡化如下，規劃一周七日、每日五航班，單一基地且客艙組員總數 100 人進行測試，測試航班選擇航班次數最頻繁的台灣(TPE)、香港(HKG)、東京(NRT)三地為例，航班組員人數需求係根據機型大小從 4 至 14 人不等，客艙組員基地均設定為台灣台北。

模型中所有參數皆根據航空公司提供之實際數值進行設定，如下表 3.1。由於客艙組員基本飛行時數為 60 小時，故當飛行時數未滿 60 小時則不提供飛行加給，超過 60 小時未滿 75 小時給予每小時 500 元飛行加給，超過 75 小時則提供每小時 800 元飛行加給；外站津貼則計算客艙組員規劃期內總外站時數，給予每小時 150 元之外站津貼；空載成本係根據航程長、短以及航班承載率而有不同，若承載率高，則犧牲一位旅客座位給予客艙組員調派使用之成本極高，反之，若承載率低，則將一位旅客座位供組員調派使用之成本極低，為取平衡，飛航時數五小時內空載成本設定為 2000 元，飛航時數每增加一小時，成本即上升 1000 元進行計算。

表 3.1 參數設定

名稱	飛行加給		外站津貼	外站宿費
參數	C_2	C_3	C_{4d}^f	C_5
單位	每小時	每小時	每小時	每日
新台幣	500	800	150	4500

下表 3.5 為透過公平性參數調整後，當參數自每分鐘 1200 降低至 1100 時，使得總成本上升 40500 元，表增加客艙組員間總飛航時數變異縮小 100 分鐘之價值為 40500 元，約變動 3.4%，且總執勤時數、總飛航時數以及放假天數之標準差確實縮小，表組員間工作量公平性增加。

表 3.2 公平性參數調整比較

Dev	總成本	總執勤時數(小時)		總飛航時數(小時)		放假日數(日)		求解時間(秒)
		平均	標準差	平均	標準差	平均	標準差	
1200	1189625	18.717	12.243	9.125	5.958	4.25	1.920	2397.06
1100	1230125	17.588	9.958	8.515	4.814	4.2	1.7436	1291.56

第四章、演算法設計

基因演算法(Genetic Algorithm)係基於生物界物競天擇之演化規律，每一中生物會依據生存環境不同，調整本身適應性以適應該環境生存型態，而基因演算法便將事物依其屬性進行如物種基因一樣的編碼，將起始解稱為初代染色體(Chromosome)，藉由編碼方式遴選出較佳的個體(或較適應環境的個體)後，將這些選中的個體交配(Crossover)、突變(Mutation)成為較佳的子代(Offspring)，產生之子代即成為新一代的個體，由於適應性高的個體有較大的機率保留，故經過多次世代交替後，保留下來的個體便為問題的最佳解。

由於基因演算法簡單易懂、具隨機性且被證實為有效求解之起發式解法，近年來受研究者重視並廣泛用運至各領域。Deb K. et al. (2002)以及 Abdullah K. et al (2006)之研究均表示基因演算法確實能夠被良好的運用於多目標問題，而本研究所提出之演算法除以基因演算法為基本概念外，另參考以及 Souai & Teghem (2009)提出之演算法，並配合航空器飛航管理規則、本研究參數設定以及欲達成之公平性目標，設計出能夠同時兼顧客艙組員排班成本與工作時數公平性之演算法。

4.1 演算法目標

演算法目標與前述數學模型目標均相同，不僅希望能夠降低客艙組員排班總成本外，也希望能夠提升客艙組員間工作量公平性，總成本之所有考量項目及計算方式均與數學模型相同，包含飛航時數、外站津貼、外站宿費與空載成本，並透過客艙組員間工作量變異作為公平性衡量指標。

4.2 演算法流程

本研究之演算法流程如下，首先，根據配適度將每日航班組成航行勤務後，依照航空器飛航管理規則以及本研究建立之篩選標準，將客艙組員依航行勤務組員需求數量逐一派遣，派遣完畢後再行修補未被滿足之航行勤務，完成上述步驟後，才能夠進行隔日之航行勤務建立，並重複上述步驟直至規劃期結束。當每日航行勤務規劃完畢、完成客艙組員規劃期行程派遣後，利用客艙組員行程交換方式改善排班總成本，完整流程如下圖 4.1。

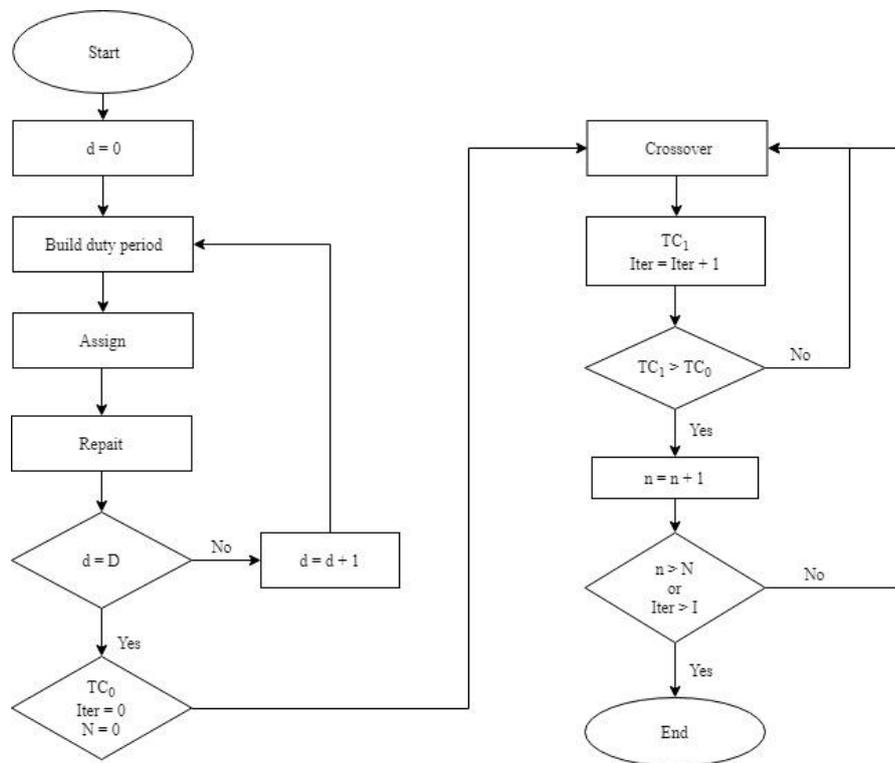


圖 4.1 演算法流程

1. 染色體(Chromosome)

由於過去論文多將航班接續形成一橫跨多個工作天之勤務組合後，再行分派至各客艙組員，但本研究認為若採此種作法，則會使得組員行程較無變動空間，無法有效降低航空公司客艙組員排班之總成本；而若以航班為單位進行客艙組員排班，則可能無法於有效時間內進行問題求解，且可能會因每航班所需客艙組員數不同而無法完全滿足條件。因此本研究欲將各航班組成以每一工作天為單位之航行勤務，再將各航行勤務分派予組員並改善，如此一來，於組員行程中便能夠有較多調整空間，

且問題不至於過大導致求解費時。

而為安排每位客艙組員規劃期內每日之航行勤務，故可將各組員規劃期內每日航行勤務視為該組員之基因，而所有基因便組合成為該組員的染色體，如下圖 4.2。

$$x_{kd} \begin{cases} =j, & \text{表客艙組員 } k \text{ 於 } d \text{ 日指派至航行勤務 } j \\ =0, & \text{其他} \end{cases}$$

	Day 1	...	Day d	...	Day $ D $
Crew 1	$x_{11} = 0$		9		7
⋮					
Crew k	$x_{k1} = 2$		0		4
⋮					
Crew $ K $	$x_{ K 1} = 7$		1		3

圖 4.2 基因編碼

2. 建立航行勤務(Duty)

航行勤務為同一日的數個航班串起行程連續的工作行程。建立航行勤務時，除須考慮前、後航班起迄點相同以及航班時間無衝突之外，尚須符合相關法規限制，包含飛航時數、飛航執勤時數以及起降次數上限，我國 AOR 明訂每一工作天，國際航線起飛降落次數不得超過六次，因此本研究將每一航行勤務航班數量上限訂為 3 航班；而飛航時數與飛航執勤時數則依航空器內是否備有休息坐椅或睡眠設備而有不同規範。

本研究建立航行勤務時，首先隨機選擇一航班成為該航行勤務中第一個航班，再依據第一個航班迄點、航班整理完畢時間，隨機挑選自該迄點出發且航班出發時間為航班整理完畢時間之後，再將前述相關法規限制納入考量，挑選符合規則之航班成為該航行勤務中第二個航班，第三個航班也利用相同方式篩選。若於篩選過程中無航班符合條件或已達到航班數量上限，則停止此航行勤務規劃，並計算此航行勤務配適度(Fitness)，若超過配適度標準，則將此航行勤務視為一有效的航行勤務，可供後續分配予客艙組員，若無，則須重新建立其他航行勤務。

3. 配適度

航行勤務 j 配適度可透過以下公式進行計算， β_1 、 β_2 以及 β_3 為各考量項目之比重。

$$Fit(j) = \frac{1}{\beta_1 Wait(j) + \beta_2 DV(j) + \beta_3 Arr(j)}$$

本研究認為航行勤務之優劣與以下項目有關，包含飛航任務間等待時間、航班間組員需求人數差異以及到達基地次數。

(1) 飛航任務間等待時間, $Wait(j)$

由於客艙組員每日飛航執勤時數有一定上限，自當日報到起開始計算，為一無法延長或更動之每日工作時數範圍，因此對於航空公司來說，於該時數內有效安排其他飛航任務實為節省成本且有效利用人力資源之方式，若期間內等待時間越多，視同浪費越多資源，且不論客艙組員於外站等待或執行飛航任務，航空公司均需支付客艙組員外站津貼，因此若航行勤務能夠減少等待時間、有效安排飛航任務則為較優良之航行勤務。

(2) 飛航任務間組員需求人數差異, $DV(j)$

航行勤務所需客艙組員人數是以其中各飛航任務需求人數最大值決定，舉例來說，某一航行勤務包含三項飛航任務，各飛航任務的客艙組員需求人數分別為 9 人、9 人、14 人，則該航行勤務所需客艙組員人數即為 14 人，共有 14 名組員將會被指派至此航行勤務，但由於前兩飛航任務僅需 9 名客艙組員，因此將有 5 名組員為多餘之人力，而為使航空公司能夠避免浪費人力資源之情形，故將飛航任務間組員需求人數差異納入判斷航行勤務優劣之考量。

(3) 到達基地次數, $Arr(j)$

客艙組員不論執勤與否，只要是因為工作原因而停留於非基地之國家，航空公司皆需支付外站津貼，因此若客艙組員工作行程於外站停留時間越多，對於航空公司於客艙組員排班成本部分即有越多的損失，因此本研究將航行勤務到達基地次數納入航行勤務配適度考量。

4. 指派客艙組員

當該日航行勤務建立完畢後，即可將各有效航行勤務根據客艙組員位置以及休息時數規範建立符合法規的客艙組員候選名單，而為使各組員間飛行時數公平，故將候選名單內客艙組員依照目前累積總飛行時數由小到大依序排列，並取時數較少的部分組員另根據放假天數由大至小再進行一次排列，成為最終組員候選名單，根據航行勤務所需組員人數自最終候選名單第一位組員開始指派，每一航行勤務均有不同的候選名單，且每位客艙組員每日僅能被指派至一航行勤務。

將客艙組員依照放假天數再次進行排序之原因除為降低客艙組員放假天數不公之情形外，也認為相較於航班固定之飛航時數，外站時數為航空公司能夠透過調整客艙組員行程而變動之項目，且放假天數又因客艙組員僅能於基地放假而與外站時數息

息相關，故本研究希望藉由調整放假天數，進而減少客艙組員外站時數，降低航空公司負擔之外站津貼及宿費成本。

如遇客艙組員於航行勤務執行完畢後有跨日情形，由於本研究於資料處理時將航班結束時間放寬至 1440 以後，為使航行勤務結束時間為最後一航班之結束時間，故同樣放寬每日時間上限，若以 2018 年 3 月 1 日某航行勤務結束時間 1560，並給予連續 14 小時休息時間為例，隔日能夠開始上班時間為 1560 加上連續 840 分鐘之休息時間之後，也就是 2018 年 3 月 1 日 2400 分鐘，將其扣除 1440 後得 960，便能夠使其成功由 2018 年 3 月 1 日 2400 分鐘轉換成為 2018 年 3 月 2 日 960 分鐘，即該名客艙組員 2018 年 3 月 2 日之航行勤務指派便僅能考量 960 分鐘後，也就是 16:00 後之航行勤務，符合我國航空器飛航作業管理規則。

5. 修復(Repair)

修復包含無法通過配適度標準的航班以及並未被指派客艙組員的航行勤務 j 。並無指派任何組員於航行勤務之可能原因為並無客艙組員位於該出發地，因此需尋找前一日 ($d-1$) 所有航行勤務之迄點，並記錄迄點與出發地相同之航行勤務，挑選飛行時間最短之航行勤務 j' ，將當日尚未被指派任何航行勤務且位置符合之客艙組員指派至該航行勤務 $x_{k(d-1)} = j'$ ，並將此客艙組員視為航行勤務 j' 之空載人員，如此便能夠於 d 日將此客艙組員指派至航行勤務 j ， $x_{kd} = j$ 。至於每日無法通過配適度標準的航班，於客艙組員指派完畢之後，尋找當日是否有客艙組員尚未被指派任何航行勤務且時間、位置等均符合法律規則，便將該航班指派於組員，成為該組員當日之航行勤務。

6. 交換(Crossover)

規劃期內完成上述所有流程便可得客艙組員排班初始解，即可進行交換步驟，此步驟目的為使航空公司排班總成本下降。由於外站時數為決定客艙組員排班成本高低之主要因素，故將所有客艙組員依總外站時數由大而小依序排列，挑選外站時數最大的前百分之十組員中隨機挑選任一組員 k ，並分析其待在外站最多連續天數，紀錄該連續天數起始日期後，挑選起始日期 d 位於相同位置但屬於不同基地之組員，建立候選名單，計算候選名單內所有組員後續行程到達組員 k 基地次數，選擇次數最多之組員 k' ，將其行程自 d 日開始至規劃期最後一日的行程與 k 之行程交換，如圖 4.3 至圖 4.5。

	Base	Day 1	...	Day d	...	Day $ D $
Crew k	1			pos = 10		
Crew k'	5			pos = 10		
Crew $ K $	1			pos = 5		

圖 4.3 客艙組員位置

	Base	Day 1	...	Day d	...	Day $ D $
Crew k	1	7		5		3
Crew k'	5	3		2 \updownarrow	\updownarrow	0 \updownarrow
Crew $ K $	1	0		1		8

圖 4.4 客艙組員原行程

	Base	Day 1	...	Day d	...	Day $ D $
Crew k	1	7		2		0
Crew k'	5	3		5		3
Crew $ K $	1	0		1		8

圖 4.5 客艙組員交換後行程

第五章、實例測試與應用

本研究使用台灣某航空公司 2018 年三月份完整航班資料進行實際例題測試，將演算法以 C++ 進行編寫，配合 Visual Studio 2017 求解。利用航空公司提供之 2018 年三月份真實航班資料進行演算法測試，組員總數為 3545 人、總天數 31 日、總航班數量為 5197 班次，並有 5 個基地、79 個航點，除整體規模外，所有相關參數設定均與數學模型測試時相同。

5.1 參數設定

根據航空公司提供之資料進行目標式參數設定，如下表 5.1 所示，航空公司飛行加給成本以三段式計算，每一位客艙組員基本飛航時數為 60 小時，因此若組員總飛航時數不達 60 小時，則航空公司不需給付任何飛行加給費用；若超過 60 小時且不滿 75 小時，則每一小時給付 500 元新台幣；若超過 75 小時，那麼每一小時須給付 800 元新台幣。另外，客艙組員不論執勤與否，只要於非休假日待在外站，那麼航空公司每一小時須給付 150 元新台幣，至於客艙組員於外站之住宿費用為平均每晚 4500 元新台幣。空載成本則由於航程長、短不同而有不同空載成本之設定，又考量空載成本實與航班承載率有高度相關，為求平均，於測試時將飛航時數五小時內空載成本設定為 2000 元，飛航時數每增加一小時，成本即上升 1000 元進行計算；而空載人員飛航時數則以航空公司實際作法將該趟航程二分之一飛航時數進行計算。

表 5.1 參數設定

名稱	飛行加給			外站津貼	外站宿費
參數	C_1	C_2	C_3	C_5	C_6
單位	每小時	每小時	每小時	每小時	每日
新台幣	0	500	800	150	4500

5.2 例題測試

測試結果如下表 5.2，每位客艙組員平均飛航時數為 70.64 小時、平均總執勤時數約為 110 小時、平均外站時數為 385.91 小時，約等於 16 天，平均放假日則為 9 天，達本研究當初目標平均飛航時數小於 85 小時、平均總執勤時數小於 140 小時、平均放假日 8 天之標準。

總成本約為四億五千萬元新台幣，平均每位客艙組員總成本為 13 萬 2367 元新台幣，改善之總成本約為 11 萬元新台幣，約等於一位客艙組員之總成本。

表 5.3 為各項成本佔比，可以發現外站津貼及外站宿費佔總成本比例高達 92 百分比且兩者為高度相關，表示航空公司若希望降低客艙組員排班總成本，那麼應以降低客艙組員外站時數為優先考量。

表 5.2 演算法測試結果

	總成本	平均 總執勤時數 (小時)	飛航時數(小時)		外站時數(小時)		放假日(日)	
			平均	標準差	平均	標準差	平均	標準差
起 始 解	469242200	110.005	70.64297	14.4252	385.9100	143.73913	9.0003	5.86717
最 佳 解	469131789	110.261	70.64297	14.4252	385.7446	143.42019	8.9990	5.86910

表 5.3 各項成本分布

	總成本	飛行 加給	佔比	外站 津貼	佔比	外站 宿費	佔比	空載 成本	佔比
起 始 解	469242200	31152200	6.639%	173468000	36.968%	247662000	52.779%	1696000	0.361%
最 佳 解	469131789	31152239	6.640%	173393550	36.961%	247626000	52.784%	1696000	0.362%

觀察圖 5.1 可發現外站時數變化與總成本變化趨勢一致，表外站時數確實為主要影響客艙組員排班總成本之因素，證實本研究設計之演算法改善步驟，挑選外站時數較高的組員，利用客艙組員行程交換的方式增加其回到基地的次數，確實能夠降低客艙組員排班總成本，而觀察圖 5.2 可以發現外站時數標準差的確有降低現象，表示進行多次交換後，確實使客艙組員位於基地之時數更加均衡。

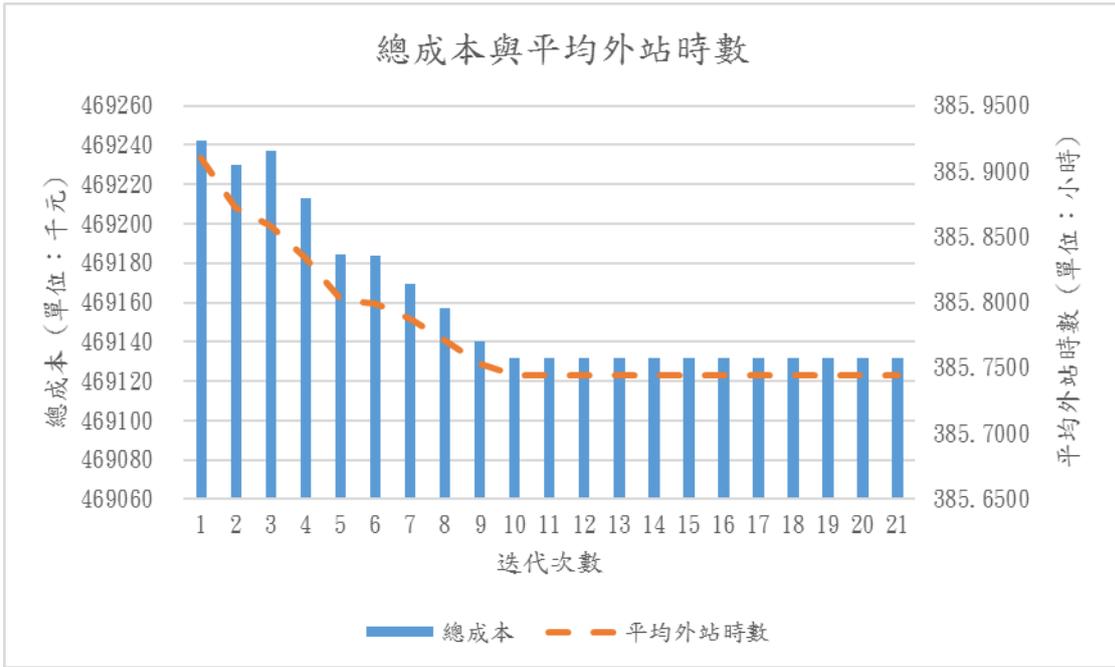


圖 5.1 總成本與平均外站時數

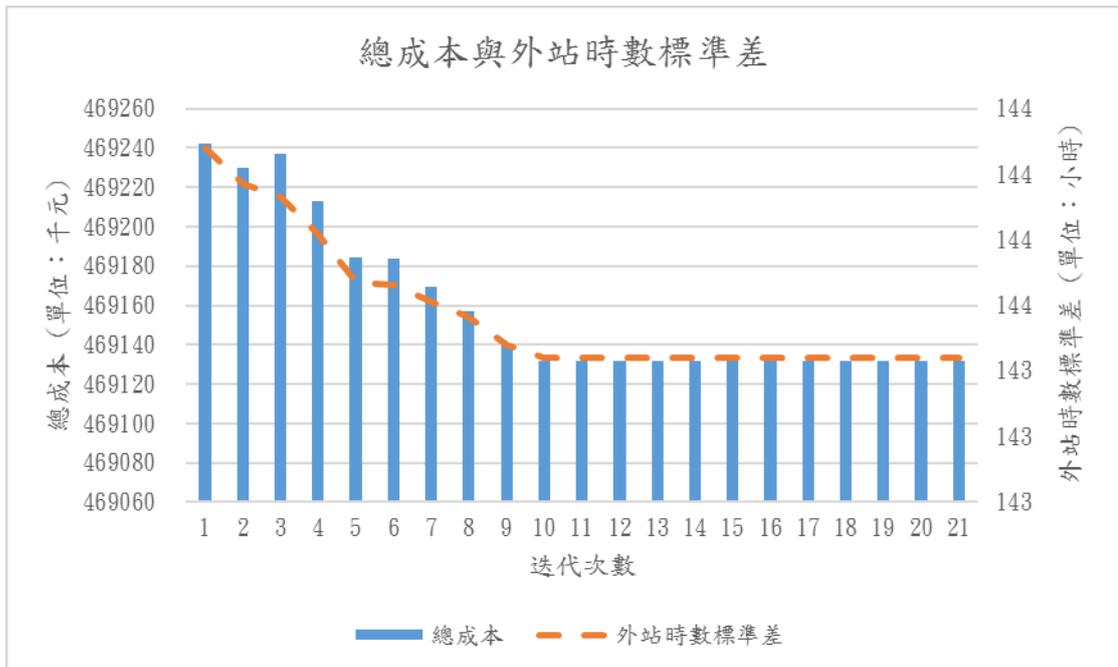


圖 5.2 總成本與外站時數標準差

圖 5.3 及 5.4 為放假天數平均、標準差與總成本變化情形，可以發現當增加部分客艙組員回至基地次數時，不僅會使得客艙組員間平均放假天數下降，更會造成客艙組員間放假天數不公平的現象；配合圖 5.5 更可以發現當放假天數逐漸減少時，客艙組員平均總執勤時數上升，客艙組員工作量增加之情形。

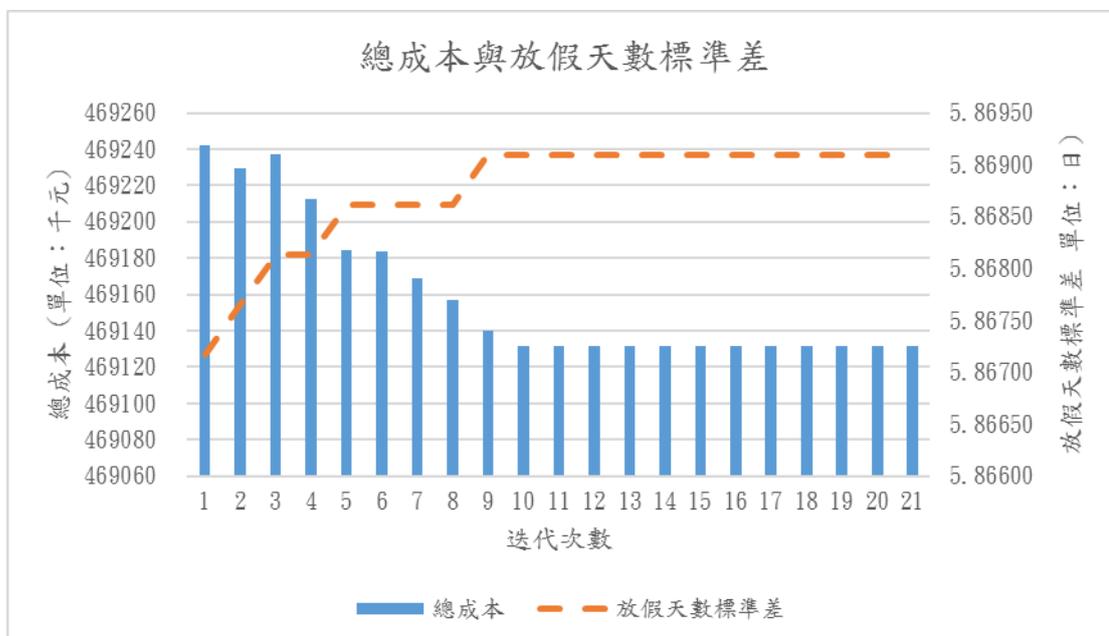


圖 5.3 總成本與放假天數標準差

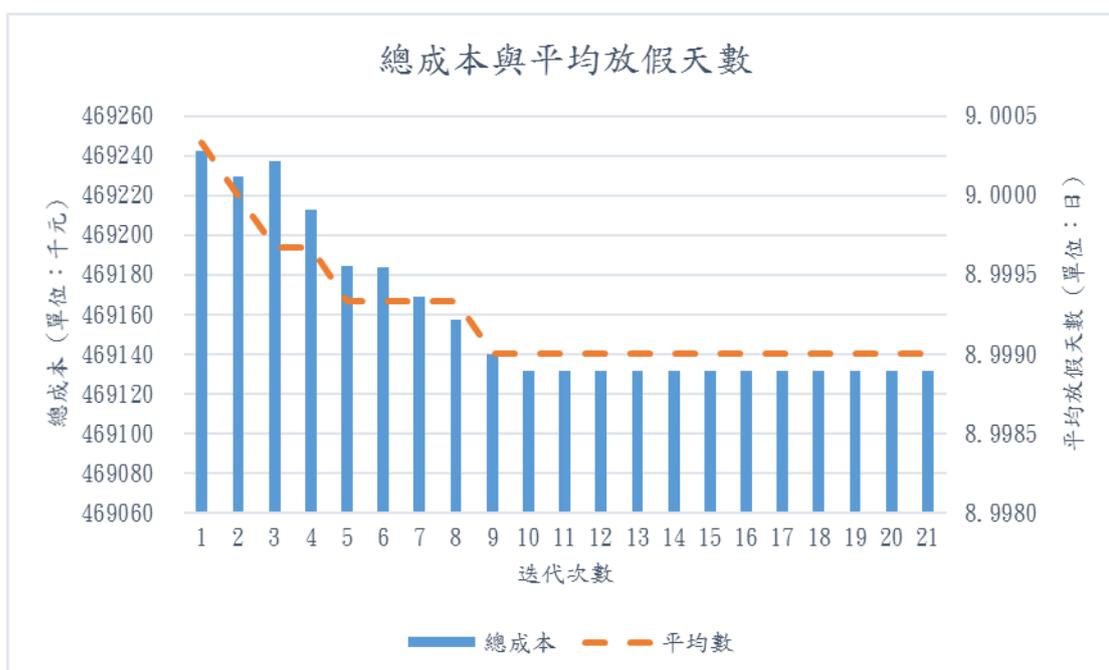


圖 5.4 總成本與平均放假天數

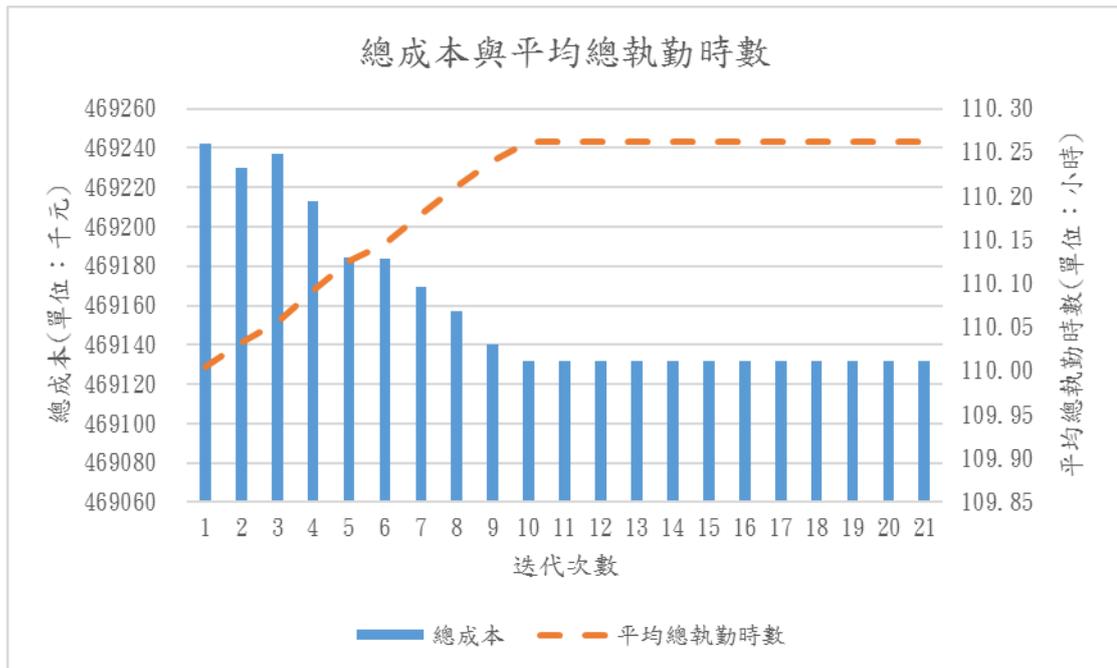


圖 5.5 總成本與平均總執勤時數

5.3 模式應用

根據測試結果可以發現，總成本會隨著客艙組人數增加而上升，下圖 5.9 為不同客艙組員人數下總成本及平均每位組員成本變化，當客艙組員人數為 3445 人時，有最低的平均客艙組員成本；組員人數為 3545 人時則有最高的平均客艙組員成本。圖 5.10 則為不同客艙組員人數下，平均總執勤時數及平均放假天數變化圖，隨著組員人數減少，平均每位組員總執勤時數不斷增加、平均放假天數減少，符合本研究預期。

航空公司行決策時，應根據總成本、客艙組員工作量、放假天數並配合公司政策進行客艙組員人數招募，舉例來說，若航空公司較注重總成本，那麼在本研究航班情形下，航空公司應聘用 3345 名客艙組員即可，但平均每位客艙組員負擔較多的工作量；若航空公司以客艙組員工作量为優先考量，可能會選擇招募平均總執勤時數最低的 3745 人。

此外，航空公司進行決策不僅需考量排班營運成本，人事成本尚須納入考量，如每位客艙組員基本薪資、訓練成本、請假等變動，客艙組員於服務一定的期間後，需進行訓練，而客艙組員也有可能因為家庭、身理等因素而請長假，這些情形都會導致人力短缺，航空公司可能需要多聘請組員因應這些情形。而客艙組員也會因為不同位階而有不同基本薪資，故航空公司尚須控制各位階客艙組員人數，以免有排班總成本過高之情形發生。

表 5.4 不同組員人數之各項成本分布

組員人數	總成本	平均總執勤時數 (小時)	平均總飛航時數 (小時)	平均 放假日(日)	飛航時數標準差 (小時)

3745	483181400	104.021	67.4190	9.5572	14.459
3645	472669000	107.483	69.0994	9.2139	12.650
3545	469131789	110.261	70.6430	8.9990	14.425
3445	440266220	112.293	72.5860	8.6641	16.496
3345	431718176	115.902	75.1499	8.5279	17.489

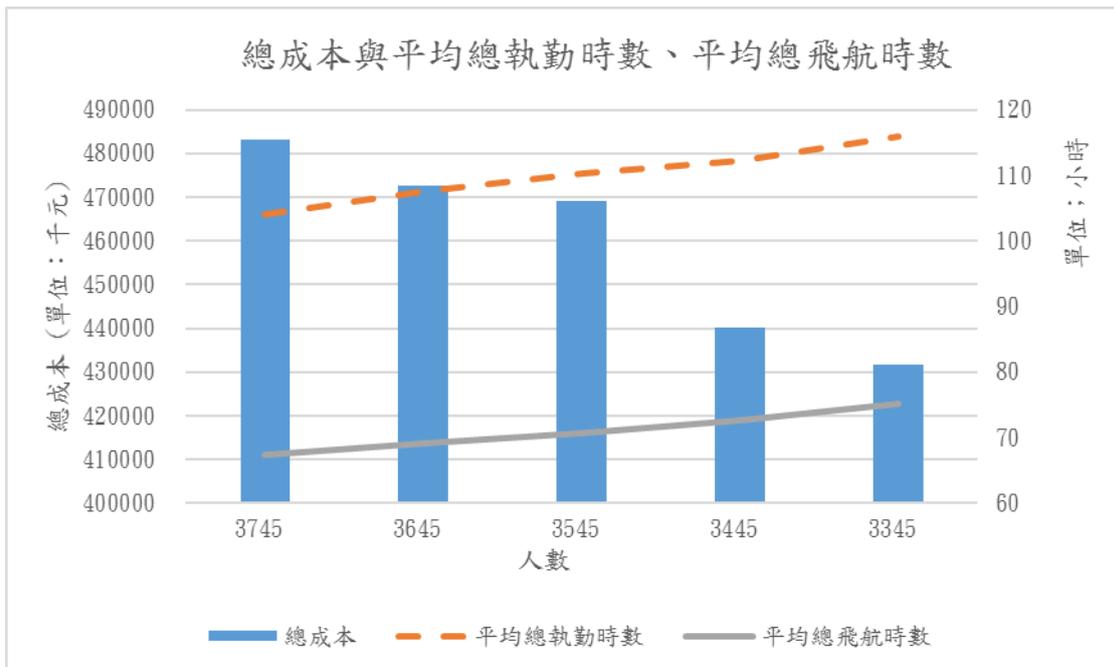


圖 5.6 總成本與平均總執勤時數、總飛航時數

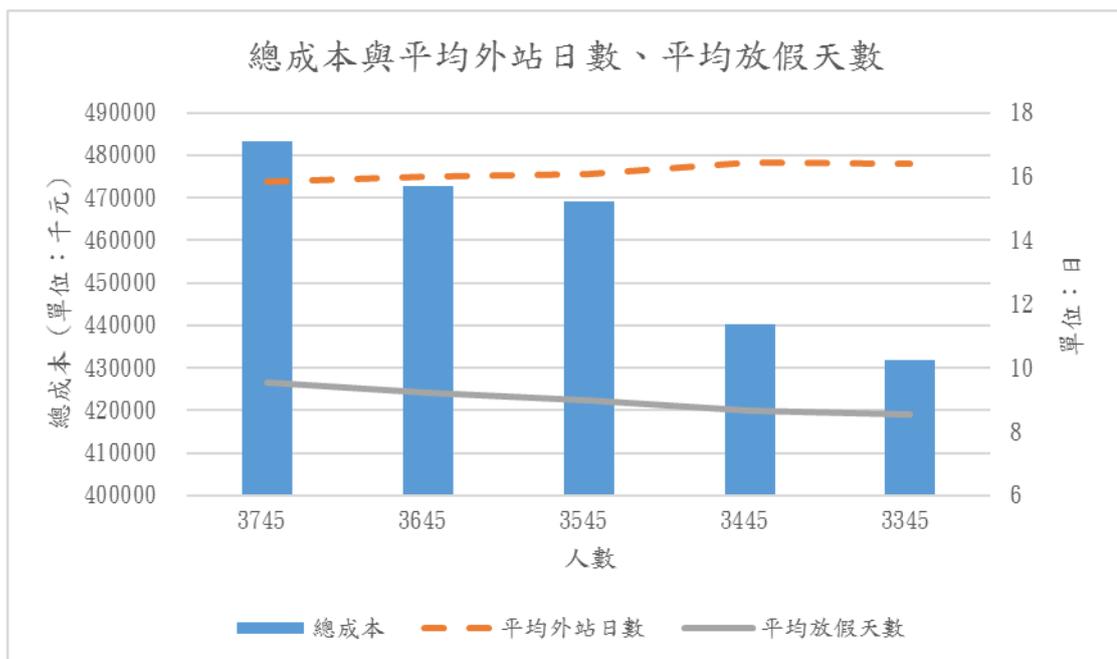


圖 5.7 總執勤與平均外站日數、平均放假天數

第六章、結論與建議

本研究主要針對航空公司機組人員排班為主，同時考量航行勤務建立以及客艙組員指派問題，並探討成本以及組員間工作公平性權衡問題，與航空公司合作以該公司實際航班資料進行測試，模型測試對象則為客艙組員。過去雖有多篇研究探討機組人員排班問題，但較少研究同時探討航行勤務建立以及客艙組員指派，其中，多數研究僅考量基本排班網路模型，並無將實際法律規則模型化，且成本項日常以概略數字估計，故本研究除將台灣航空器飛航作業管理規則中，客艙組員排班相關規則模型化之外，同時也考量航空公司實際進行客艙組員排班時所需考量之成本項目，並以客艙組員角度出發，設計多項公平性衡量指標，另外也以本研究數學模型設計之理念，提出以基因演算法為基礎，但加上成本與公平性權衡考量，如飛航時數、放假天數以及外站時數，使其符合本研究主題。

6.1 研究結論

利用本研究所提出之演算法，並套用航空公司實際航班資料測試所得出結果，可整理成為以下結論：

- (1) 外站時數與宿費為客艙組員排班主要成本花費，相較於飛航時數，外站時數為航空公司較能夠調整之項目，透過研究結果可以發現客艙組員排班總成本與平均外站時數有相同趨勢，證實外站時數確實為主要影響總成本變化，因此航空公司若希望節省總成本，那麼調整客艙組員行程、減少外站時數為可以採取之行動。
- (2) 進行多次迭代後，發現不僅放假天數標準差逐漸上升，平均放假天數也有減少的情形，表示當降低客艙組員排班總成本的同時，必須犧牲客艙組員間排班公平性，且平均總執勤時數上升即代表組員間工作量增加，降低客艙組員工作品質，故航空公司應在總成本以及客艙組員工作公平性間權衡，在維持客艙組員工作品質的情況之下盡可能的達到決策者期望之目標，使客艙組員仍然能夠提供旅客良好的服務品質。
- (3) 客艙組員人數增加、減少，確實會影響客艙組員工作量以及航空公司成本負擔，人數增加時會導致總成本上升、降低客艙組員工作量；相反的，人數減少時，總成本下降、客艙組員工作量增加，而航空公司應根據其公司政策，衡量總成本以及公平性間重要程度，並做出最符合公司政策之組員人數招募。

6.2 未來建議

由於本研究為使整數規劃模型符合航空公司實際排班情形，故將我國航空器飛航作業管理規則、航空公司排班限制以及公平性設定模型化，造成變數較多、求解不易的情形，後續研究可將變數利用更有效率之模型化方式設計，使其能夠透過最佳解軟體順利求解。

本研究以客艙組員為主要研究對象，故所有考量條件皆以客艙組員為主，但航空公司航班之人力之安排不僅只有客艙組員，尚有駕駛航空器的機師，而機師所適用之法規又與客艙組員不同，若能夠將機師的人力安排加以考量，則能夠將問題更完整的描繪。且本研究以台灣之法律規範為設計基礎，因此若要應用於不同國家、不同航空公司則需稍加調整。

且由於本研究以固定航班進行客艙組員排班，但由於每日之航班常因人為或天候因素導致航班無法如預期起降，經常需要臨時調整客艙組員班表，因此若能夠以本研究的想法但以動態的方式排班，則應能為航空公司帶來更多成本以及人力方面的節省。

參考文獻

中文參考文獻

1. 陳立欣(2002), 考慮公平性之後艙組員派遣模式—以座艙長為例, 國立交通大學運輸科技與管理研究所碩士論文。

英文參考文獻

1. Desaulniers, G., Desrosiers, J., Dumas, Y., Marc, S., Rioux, B., Solomon, M. M., Soumis, F. (1997). Crew pairing at Air France, *European Journal of Operational Research* 97, 245-259.
2. Gamache, M., Soumis, F., Marquis, G. (1998). A Column generation approach for large-scale aircrew rostering problems, *Operations research*, 247 - 263.
3. Klabjan, D., Johnson, E. L., Nemhauser, G. L., Gelman, E., Ramaswamy S. (2001). Airline crew scheduling with regularity, *Transportation Science* 35, 359-374.
4. Chang, S. C. (2002). A new aircrew-scheduling model for short-haul routes, *Journal of Air Transport Management* 8, 249-260.
5. Deb K, Agrawal S, Pratap A, Meyarivan T (2002). A fast and elitist multi-objective genetic algorithm: NSGA-II, *IEEE Trans Evol Comput* 6, 182 - 197.
6. Yan, S. Y., Tu Y. P., (2002). A network model for airline cabin crew scheduling, , *European Journal of Operational Research* 140, 531-540.
7. Barnhart, C., Cohn, A. M., Johnson, E. L., Klabjan, D., Nemhauser, G. L., Vance, P. H. (2003). Airline crew scheduling, *Handbook of Transportation Science*, 517-560.
8. Kohl, N., Karisch, S. (2004). Airline crew rostering: problem types, modeling and optimization, *Annals of Operations Research* 127, 223 - 57.
9. Abdullah K., David W. C., Alice E. S. (2006). Multi-objective optimization using genetic algorithms: A tutorial, *Reliability Engineering & System Safety* 91, 992 - 1007.

10. Guo, Y.F., Mellouli, T., Suhl, L., Thiel, M.P. (2006). A partially integrated airline crew scheduling approach with time-dependent crew capacities and multiple home bases, *European Journal of Operational Research* 171, 1169 – 1181.
11. Souai, N., Teghem, J. (2009). Genetic algorithm based approach for the integrated airline crew-pairing and rostering problem, *European Journal of Operational Research* 199, 674 – 683.
12. Santosa, B., Sunarto, A., Rahman, A. (2010). Using differential evolution method to solve crew rostering problem, *Applied Mathematics* 1, 316-325.
13. Maenhout, B., Vanhoucke, M. (2010). A hybrid scatter search heuristic for personalized crew rostering in the airline industry, *European Journal of Operational Research* 206, 155 – 167.
14. Saddoune, M., Desaulniers, G., Elhallaoui, I., Soumis F. (2011). Integrated airline crew scheduling: A bi-dynamic constraint aggregation method using neighborhoods, *European Journal of Operational Research* 212, 445 – 454.
15. Salazar-González, J. (2014). Approaches to solve the fleet-assignment, aircraft-routing, crew-pairing and crew-rostering problems of a regional carrier, *Omega* 43, 71-82.
16. Nishi, T., Sugiyama, T., Inuiguchi, M. (2014). Two-level decomposition algorithm for crew rostering problems with fair working condition, *European Journal of Operational Research* 237, 465-473.
17. Iijima, Y., Nishi, T. (2016). Column Generation Heuristics to Airline Crew Scheduling Problem for Fair Working Time, 2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics.
18. Yildiz, B.C., Gzara, F., Elhedhli, S. (2017). Airline crew pairing with fatigue: Modeling and analysis, *Transportation Research Part C* 74, 99-112.
19. Spark Hire (July 21, 2012). Why Treating Employees Fairly is Important? Retrieved September 28, 2017, from <http://hr.sparkhire.com/talent-management/why-treating-employees-fairly-is-important/>

自 傳

本人畢業於大學及研究所時期均就讀於國立交通大學運輸與物流管理學系，六年期間於理論及實作方面均受益良多，不僅是對於問題分析、邏輯思考，甚至模型建立、軟體操作均受到系所及學院老師之良好教導，此外，於這段時間之內，上台報告及解說內容也有相當之進步。除課業之外，於大學期間也加入系學會組織，與同學們共同為系上活動進行規劃，舉辦大大小小的活動，並曾經協助辦理全校畢業舞會，負責部分場地規劃，這些經驗除結交許多好友之外，也增加自己於活動規劃、人力分配、溝通協調之經驗。

積極進取、認真負責並樂於學習新知為本人的個性，故於課外時間安排韓文以及程式語言之學習，進而對程式語言產生興趣，並順利完成碩士論文研究。而為加強獨立自主的能力，於大學畢業後至美國進行為期三個月的打工換宿，期間除學習如何與各式各樣旅客溝通、協調，也與同事們齊心協力完成每一天的工作任務，並培養獨自生活之能力，同時也藉由此機會了解當地風俗民情及文化交流。

於未來職涯規劃除希望自己能夠多多累積實務經驗、了解市場運作規則外，也希望能夠將自身所學與實務進行結合，培養自身專業與能力，提升自身價值。

