

# 航空公司短期維修計畫之人員勤務指派<sup>1</sup>

## AIRLINE PERSONNEL ASSIGNMENT FOR SHORT-TERM MAINTENANCE PLAN

楊大輝 Ta-Hui Yang<sup>2</sup>

賴奕維 Yi-Wei Lai<sup>3</sup>

(93年5月4日收稿, 93年8月30日第一次修改, 93年4月26日  
第二次修改, 94年11月3日定稿)

### 摘要

航空業的人員支出費用龐大, 各航空公司皆致力於更有效率的利用人力資源, 人員的排班及指派問題也成為航空公司重要的課題。其中維修人員排班的良窳不僅影響營運成本, 更直接關係到飛航安全, 如此更突顯維修人員排班指派問題的重要性。本研究針對航空公司短期維修計畫的人員勤務指派問題, 建立系統性的求解架構, 將勤務指派問題分為兩步驟來求解: 第一步驟先選派各時段各機型所需的人員, 其問題可定式為網路最小成本流量問題, 接著再以自行發展之演算法調整部分網路模式未考慮到的相關規定及限制; 第二步驟則將所選派的人員, 按實務上所考量的因素, 進行維修功能的編組。最後以一國內主要航空公司的實際修護資料為例, 對所發展的模式進行測試與分析, 所得結果合理良好, 運算效率亦符合實用。

**關鍵詞:** 維修人員排班; 人員勤務指派; 維修資格認證; 最小成本網路問題

- 
1. 本研究部分研究承國科會專題補助 (NSC 91-2218-E-415-001), 謹此致謝。作者感謝論文審查委員提供之寶貴意見。
  2. 國立嘉義大學運輸與物流工程研究所副教授 (聯絡地址: 600 嘉義市學府路 300 號嘉義大學運輸與物流工程研究所; 電話: 05-2717987)。
  3. 國立嘉義大學運輸與物流工程研究所碩士。

## ABSTRACT

*The expense in personnel for airline companies is relatively large among various airline operational costs. Effectively managing the human resource can significantly save operational costs. In particular, the maintenance personnel schedule directly relates to aviation safety and timetable punctuality. Therefore, it becomes an important issue for airline companies. The purpose of maintenance personnel assignment is to assign the technicians into the corresponding work-shifts and maintenance jobs. This study proposed a systematic framework to address the airline short-term maintenance personnel assignment problem. A two-phase model is used to solve the problem. Phase I aims to match the technicians into the working-shifts in different time slots. Phase II pairs the technicians into different squads under functional consideration. Phase I is formulated as a minimum cost flow problem, while Phase II is formulated as a nonlinear integer program. To evaluate the proposed models and solution algorithms, a case study based on the real data from an airline company in Taiwan is used to test the performance of the models and algorithms. The results showed that the proposed models and algorithms are effective and efficient.*

**Key Words:** *Maintenance personnel scheduling; Crew assignment; Maintenance certificates; Minimum cost flow problem*

## 一、前言

航空業為資本密集的產業，需投入相當的固定成本方能維持正常營運。在各項龐大的營運成本中，人員費用支出通常約占總營運成本 10%至 15%，為僅次於油料的第二大支出<sup>[1]</sup>。因此各航空公司皆致力於更有效的應用所屬人力資源，人員的排班派遣也成為航空公司重要問題之一。航空公司的人力可分為行政人員、空服員、飛行員及維修人員等不同類型。由於不同類的人員有不同的特性及考量，實務上對於不同類型的人員通常是分開排班。在各類人員排班問題中維修人員的派遣直接關係到飛航安全，而飛航安全在航空公司的營運中為最重要的課題，因此不可有任何妥協。另外飛航意外事故發生不僅使航空公司人員士氣低落，財務額外支出，對於聲譽影響及整個社會付出的潛在成本更是難以估算。而高品質、高效率的飛機維修計畫為維護飛航安全的首要關鍵。因此，維修人員排班調度得當不僅可降低航空公司的人力成本，還能落實飛機維修計畫，降低因機械故障而產生的飛安事故，確保飛航安全。

飛機的維修計畫依照機齡、哩程數、飛行次數等眾多因素下，常須做不同程度之維修，通常可分為長期、中期、及短期維修計畫。長期及中期維修計畫，因維修的項目較多、且時間較長，須在停機坪或基地機場中進行。而短期維修計畫較為簡單且有時間上的限制，常就飛機所在處進行。實務上航空公司維修工廠之飛機檢測維修工程，因專業及分工詳細，且有嚴格的維修認證資格制度，不同維修計畫所需的人員及訓練皆不相同。因此，不

同的維修計畫有專門的人員負責，人員排班通常也是分開進行，不會混在一起來派遣。本研究所言之短期維修計畫專指機場滯留修護工作，其為飛機起降前後線上的即時維修檢查工作，主要包括行前檢修 (preflight check)、轉機檢修 (transit check)、每日檢修 (daily check)。行前檢修係指飛機在執行航次起飛前之例行檢查，必須在營運班表 (timetable) 的預訂起飛時點前完成。轉機檢修係為飛機連續執行兩航次間，中途滯地停留時之例行檢查。每日檢修則指飛機當日完成飛行，在機場過夜時，所進行之例行檢查。本研究參考實務上短期機場滯留修護計畫的需求及作法，建構數學規劃模型來解決此類的修護人員排班問題。實務上處理短期修護人員排班派遣問題，通常分成三階段進行，第一階段先統計估算各時段各機種所需的維修項目及工作量。其次，將估計的維修需求轉成各時段所需的執勤班次人次。最後階段，將所屬可用維修人員指派到各個時段的各執勤班次。第一階段為修護需求估計，通常可利用統計方法整理求得；第二階段稱為勤務產生；第三階段則稱為勤務指派。所謂完整的人員排班問題則包括勤務產生及勤務指派兩部分。完整的航空公司人員排班問題 (第二及第三階段) 通常都相當困難且複雜，尤其在面臨實際的大型問題時，實難以一次從頭到尾解決整個問題，因此，大部分的研究多配合實務上的程序，將人員排班問題分成勤務產生及勤務指派兩階段，再分別建構模式，並依序求解。以下就針對航空公司人員排班問題做一探討與回顧。

以往的研究對於航空公司的人員排班問題都著重在空服員及飛行員上，關於空服員勤務產生問題方面，顏上堯及林錦翌<sup>[2]</sup>曾對空服員排班問題發展一組員勤務組合最佳化模式，其模式建構成主問題 (master problem) 及次問題 (sub problem)，主問題為集合涵蓋問題，次問題為最短路徑問題。Yan 及 Chang<sup>[3]</sup>針對飛機前艙組員的勤務產生問題，建立一集合涵蓋模式，並發展一變數產生法來求解最佳的前艙組員之勤務組合。Yan 及 Tu<sup>[4]</sup>則以網路流動方式建構空服員勤務組合排班模式，其問題定式為含額外限制式之多重物流網路問題 (multi-commodity flows network)。而解法上則以拉氏鬆弛法 (Lagrange relaxation)，及其自行發展的啟發式解法求解。

空服員或飛行員勤務指派問題上，Ryan<sup>[5]</sup>將航空公司人員勤務指派問題以一集合分割模型來表示，並以線性鬆弛法 (LP relaxation) 利用單體法 (simplex) 輔以分枝界限法 (branch-and-bound) 來求解。Dawid 等人<sup>[6]</sup>延伸 Ryan<sup>[5]</sup>的模式，發展一降級演算法 (downgrading method) 幫助求解，以克服找不出可行解的困難。Teodorović 及 Lučić<sup>[7]</sup>使用模糊集合理論 (fuzzy set theory) 來決定偏好的指標，以組員勤務公平性為目標來建構模式，並利用逐日指派啟發式解法 (day-by-day heuristic algorithm) 及近似推論演算法 (approximate reasoning algorithm) 來求解。Lučić 及 Teodorović<sup>[8]</sup>採用與 Teodorović 及 Lučić<sup>[7]</sup>相同公平性指標來建構模式目標式，然後以逐員指派啟發式演算法 (pilot-by-pilot heuristic algorithm) 求得一起始可行解，再利用模擬退火法 (simulated annealing algorithm) 來改善之。國內研究公平性空服員指派則有陳立欣<sup>[9]</sup>以組員勤務的公平性為考量，利用四個公平性指標 (差旅時間、飛行航段數、飛航時間、休假日)，建構一個公平性目標函數，求解上則以自行發展的啟發式解法，把勤務組合依照飛行天數區分為三類，分別進行指

派，以降低問題的複雜度。

相對於空服員排班問題，航空公司維修人員排班問題則較少有人提及，然而維修人員工作的特性與空服員及飛行員有所不同，因此所須考量的因素也有所不同。在勤務產生問題上，顏上堯及陳玉菁<sup>[10]</sup>曾針對航空維修人員執勤班次排班作深入研究，目標函數為總維修人力浪費最小化，發展出航機維修人力供給規劃模式與求解方法。至於航空維修人員勤務指派問題，就筆者所蒐集資料而言，文獻上並未有人提及。因此本研究就以下其他相關人員指派問題做一整理與回顧，Lau<sup>[11]</sup>對一般性的組員指派問題進行探討，考慮排班班次變動時的影響，將此類問題重新定式成變動班次指派問題 (changing shift assignment problem)，並發展一貪婪式演算法 (greedy algorithm) 求解。Caprara 等人<sup>[12]</sup>針對已知鐵路列車班表，構建一個集合涵蓋問題與最小成本網路流動問題，以求解最佳組員指派，在問題規模較小時可一次求解。Bianco 等人<sup>[13]</sup>研究公車人員指派問題，利用數學規劃方法，考量工作量之公平性，且以啟發式演算法求解。Ftulis 等人<sup>[14]</sup>發展公車人員指派的專家系統軟體，將人員指派所需考量的限制式轉換為系統中判斷的規則與邏輯，其系統稱為 BUSDRIVER。蘇昭銘及張靖<sup>[15]</sup>以捷運系統站務人員為對象，構建出兩階段整數規劃模式的人員指派模式，第一個模式在於決定人員的上班日與休假日，第二階段則決定人員上班日及時段。

## 二、問題描述

如前所述，實務上航空公司通常將飛機維修計畫區分為短期、中期及長期。由於不同維修計畫不論工作內容、認證制度及組員訓練均不相同，為求維修工作之專業性，各不同計畫及維修工作皆有專屬之維修人員，彼此間通常不會交互調派來進行非本身專業之維修工作。因此，實務上不同維修計畫的人員調度及排班皆分開進行。本研究參訪國內一主要航空公司，以了解短期機場滯留維修人員排班的實際流程、規則及考量因素，藉以作為本研究建構模式的基礎，以求模式符合實務運作情形。以下針對實務運作情形作一說明。

航空公司維修工廠為便於管理及經驗傳承等因素，常將編制之組員分派成維修群及維修小班，維修群由數個小班所組成。航空公司將短期機場滯留維修工作分為 4 大類。第一類：機體結構；第二類：航電儀器；第三類：客艙裝備；第四類：視訊器材。第一類及第二類攸關航空器本身之飛航安全，維修人員必須擁有認證資格方能進行維修，通常須指派較資深的人員；第三類及第四類則較偏向於機艙裝備器材，因與飛航安全無直接關係，並沒有嚴格的認證要求，實務上通常派遣較資淺的組員負責。上述維修工作的分類乃為配合航空公司內部之維修計畫所需，與我國「航空人員檢定給證管理規則」中所指的地面機械員檢定項目分類 (第 63 條) 有所不同。「航空人員檢定給證管理規則」僅對地面機械員檢定項目，做上層概略性規範，共分為三類：(1) 航空器發動機維護；(2) 航空器通信電子維護；(3) 航空器機體維護。而航空公司實際執行維修計畫時，則必須將所有項目做細項規

劃。由於維修計畫有長、中、短期，因此地面機械員三大類檢定項目下又各自細分為長、中、短期不同計畫下對應的維修項目。例如：發動機之維護，在短期機場滯留維修計畫中，可能僅針對發動機進氣出氣孔是否有異物的簡單項目進行檢查，而發動機內部維修或有需拆裝發動機之工作則會被編列為中、長期的維修計畫中。因此本研究短期機場滯留維修計畫的四種工作分類，乃依據航空公司實際執行維修時的分類，這與法規中定義之認證檢定項目並不全然一致。由此可知，短期機場滯留維修工作中的第一類（機體結構）及第二類（航電儀器）屬於「航空人員檢定給證管理規則」中所規範的項目，檢修人員必須通過認證檢定。而第三類（客艙裝備）及第四類（視訊器材）則不在規定範圍內，並無嚴格的認證檢定要求。

維修人員編組亦配合上述 4 類維修工作，以小班為基礎，每小班 4 人，其中 1 人為班長。維修小班為進行維修工作的最小單位。4 人中包括有資深及資淺者，資歷較深者職務較高，負責維修第一或第二類工作，資歷較淺者負責第三或第四類工作。而班長為資歷較深或職務較高者，負責協調及指揮小班之運作，並監督維修工作之執行與簽證，所以班長都必須具備第一及第二類維修認證資格。值得注意的是，簽證人員必須通過認證檢定，然持有認證資格者，並不一定就有權限執行所有的簽證作業。按「航空器飛航作業管理規則」的規定，簽證權限在航空器維護能力手冊中有詳細的界定。在此實務上的作法是，若小班負責的維修工作是有關於第一類（機體結構）或第二類（航電儀器）的項目者，班長必須對該維修工作具有簽證的權限。依此指派原則，班長對小班中所有須要簽證的維修工作，都必須要有權限簽證。此 4 人小班資深資淺的編組方式，不僅為配合維修工作分類亦方便管理，並考量到技術傳承的需要。維修工作的指派以小班為單位，視小班為一整體來進行各維修任務的指派，並不會將維修工作指派給個人執行。

造成航空維修人員排班問題複雜的地方主要在於嚴格飛行器的維修認證制度，認證制度不但對各不同飛機機型作專業的維修資格區分，更針對各不同機型下的不同維修類別及項目作專業的資格認證。維修人員必須持有該機種對應的維修項目認證資格，才能進行該飛機該項目的維修。由於飛航安全為所有航空業務的第一要務，因此飛行器維修認證制度必須嚴格的遵守，決對不可違反。小班的編組須考慮認證資格，其成員須擁有上述 4 類的維修能力及資格，並同時將資深、資淺平均分配，以求各小班之間能力的均等，減少工作分配的不公，兼顧經驗的傳承及線上工作訓練 (on-the-job training)。而維修群分派必須配合各不同執勤時段內各不同機型下的各種不同維修項目的需求量。因此，在維修人員排班時須同時考慮人員的資格、飛機機型、維修項目、編組需要、維修需求等多項因素，造成維修人員排班的複雜度及困難度。由於無認證資格者無法進行大部分的維修，實際上大部分的組員皆有第一或第二類認證，只有少數資淺者才無任何認證資格，因此維修工廠通常依照組員資歷深淺作為分級重要依據。本研究所訪談的航空公司，在現行做法上，限定所屬維修人員最多只能擁有三種不同的認證資格。由於班長為小班中最資深者，並負責監督維修工作之執行與簽證，因此通常在小班中為擁有最多認證資格者。所以在指派維修工作時，因為是以小班為指派的單位，對於整個小班的維修認證是以班長所擁有的維修認證來

代表，而不考慮組員個別擁有的認證資格。

航空公司為執勤輪替的方便，將多個維修小班編成維修群。維修群內的所有維修人員於同一時段內執勤，負責此一時段所有短期機場滯留維修工作，因此小班數須符合此時段內所有飛機的維修需求。現行之輪替方式為 1 天 3 個值勤班次 (shift) 由 4 個維修群輪替，早班為 6 時至 14 時，中班由 14 時至 22 時，夜班從 22 時至 6 時，一天至少須有 3 個群待命執勤，第四群則安排輪休或訓練。現行的做法將所有組員均分成 4 個維修群，並未考慮配合不同執勤時段內有不同的需求工作量。

以現行的作法而言，小班內的成員通常維持相同的人員，因此在人員的調派上缺乏彈性，4 人中若有 1 人休假或訓練，其他成員便無法執勤，但事實上若與其他組員合併成一新小班，即可執行任務。目前勤務排班表的產生是以人工經驗法則對維修組員進行派遣及分組，造成缺乏系統性做法，調整過程耗時，缺乏應變能力，亦難以對整個問題有周詳完整的考量。由於採人工方式使得勤務排班有可能因人而異，一旦負責排班的人員有所變動，他人難以立刻接手，需要一銜接適應時期，如此有可能造成排班維修系統的混亂，所付出的成本實難估計。由於上述原因，現行做法容易造成部分人力資源的浪費。本研究根據實務的流程及作法為基礎，建構一系統性的模式架構，以解決短期機場滯留維修人員排班問題，希望能更有效的運用維修人力資源。

### 三、模式建立

為使所建立的模式符合實務上的做法並適當簡化問題，本研究對模式做以下的假設：

1. 本研究不對值勤班次勤務產生階段進行研究，只對組員勤務指派的部分進行探討，勤務產生的結果假設為已知。
2. 各種機型的不同維修項目所需之勤務班次量為已知，不考慮臨時突發的維修需求。
3. 配合實務上的做法，規劃週期為 1 週 7 天。
4. 每天固定早、中、晚 3 個工作值勤班次，每個值勤班次固定為 8 小時，現行的執勤起始時點為 6 時、14 時、22 時。
5. 一星期中每天的三個班次的起始執勤時間均須相同，此乃實務上之需求。因為如果早、中、晚 3 班每天的執勤起始時點都不同，維修員工對上班時間容易感到混淆，在執行上有所困難。
6. 每人 1 天最多只執勤 1 班。
7. 該航空公司目前只允許維修人員最多只能有三種認證，因此本研究亦假設每位人員最多只能有 3 種認證。
8. 修護工作的最小單元為小班，其人數固定為 4 人。
9. 班長所擁有的維修認證即代表小班整體的維修認證資格，不考慮個別組員擁有的認證資

格。以因應現行實務上的作法。

10. 不考慮彈性上下班時間。

觀察實務上維修人員勤務指派的做法，主要分為兩步驟：其一分派人員到各對應的執勤班次時段；其二將同一執勤班次時段內的人員按資歷及能力分組成維修小班。本研究所提出的系統性人員指派求解架構亦依此兩步驟，分別建立一組員選派模式及一組員分組模式。由於若以單一模式來定式整個維修人員勤務指派問題，問題將複雜且龐大，甚至有些排班規則或考慮因素實難以用數學模式表示，可能造成求解上困難。本研究提出兩步驟的求解架構，除符合實務上作法外，亦可適當的簡化問題，使模式更接近實用。圖 1 為本研究提出的整體模式求解架構，其輸入資料為短期機場滯留維修人力需求 (即勤務產生階段的結果)，包括每天各時段所需的執勤班次數。接著，第一步驟的組員選派模式旨在選派適當的維修人員去執行各時段的勤務班次，裡面有包括兩個子模式—網路配對子模式及工時調整子模式。第二步驟的組員分組模式利用第一步驟所選派出來各時段的組員進行小班的分組，其分組方式必須符合實務上執行任務所需的要求。最後的結果為所有維修人員各不同時段的執勤時間表及所隸屬分配到的三班。以下將各步驟模式分述如下。

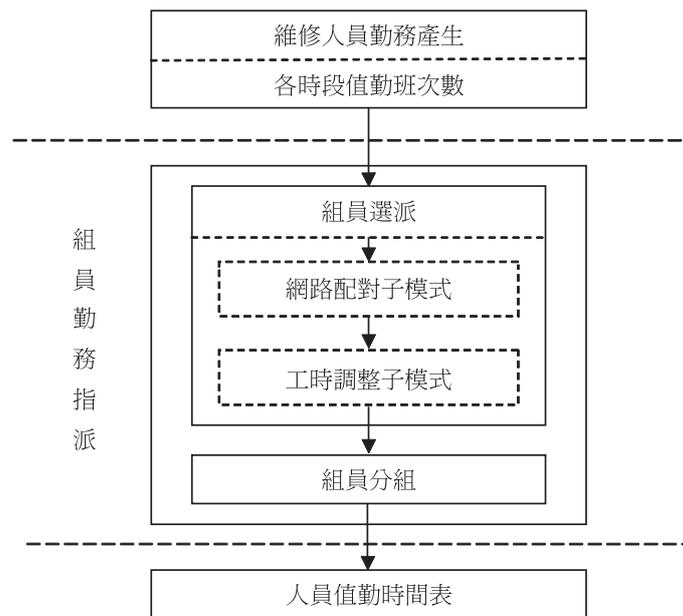


圖 1 航空公司維修人員勤務指派程序

3.1 第一步驟—組員選派

本研究所發展的組員選派步驟包含兩個子模式，其一為網路配對子模式，主要將候選

的維修人員分配到每天不同時段的執勤班次，由於此網路配對子模式並未將維修人員工作時數限制的法規列入模式考量中，因此，第二個工時調整子模式將網路配對子模式所得的結果進行改善，找出違反維修工作時數限制的人員班次，再利用對調交換執勤班次的方式將所有人員都調整成合乎法規所定的工作時數。理論上，可將兩個子模式合而為一，本研究決定將其分離的原因是網路配對子模式所得的結果僅有少數的人員違反工作時數限制，因此工時調整子模式並不須大量的運算，加上網路配對子模式為一純網路問題，求解時有相當的優勢，所以整個第一步驟可相當迅速的完成。但是，若將兩個子模式合而為一，則可能成為一有額外限制式的網路問題，增加求解上的困難及運算的負擔。以下首先介紹網路配對子模式，再介紹工時調整子模式。

### 3.1.1 網路配對子模式

網路配對子模式主要將維修組員分配到每天各不同時段的執勤班次上，本研究將其定義為最小成本網路流量問題，以下先對網路上各節點節線的定義加以說明。

#### 1. 節點定義

- $r$  : 為一虛擬的節點，其上的供給量 (supply) 為  $R$ ，代表所有值勤班次量、休假及訓練天數之總合。
- $P$  : 代表所有維修組員的集合。
- $p_i$  : 代表第  $i$  個組員， $i \in P$ 。
- $D$  : 為規劃週期內所有工作天之集合，本研究配合實務上之作業將規劃週期設為 1 週，故共有 7 個工作天， $D = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$ 。
- $d_{ij}$  : 表組員  $i$  在第  $j$  天的勤務活動， $j \in D$ 。舉例說明， $d_{11}$  為 1 號組員在第 1 工作天的勤務活動。
- $S$  : 一天中值勤班次之集合。值勤班次可分成早、中及晚共 3 班，本研究定義早班編號為 1，中班編號為 2，夜班編號為 3， $S = \{1, 2, 3\}$ 。
- $s_{ijk}$  : 表組員  $i$  在第  $j$  天被指派至第  $k$  個值勤班次。故  $k \in S$ 。舉例說明之， $s_{121}$  為組員編號 1 被指派至第 2 工作天之值勤班第 1 班。
- $v_i$  : 組員  $i$  於規劃週期內之休假總和節點，其上之需求量  $V_i$  代表組員  $i$  於規劃週期內被安排到之休假天數。
- $s_{ijv}$  : 表組員  $i$  在第  $j$  天被安排到休假。
- $t_i$  : 組員  $i$  於規劃週期內之訓練總和節點，其上之需求量  $T_i$  代表組員  $i$  於規劃週期內被安排之訓練天數。
- $s_{ijt}$  : 表組員  $i$  在第  $j$  天被安排去接受訓練。
- $Q$  : 所有維修認證資格組合的集合，目前該航空公司總共有 6 種不同機型，由於每位組員最多僅能有 3 種不同的認證資格，因此共有 42 種不同的認證資格組合 ( $C_3^6 + C_2^6 + C_1^6 + 1 = 42$ )。

- $q_{il}$  : 表組員  $i$  擁有第  $l$  種維修認證資格組合,  $l \in Q$ 。
- $w_{jkl}$  : 第  $j$  天第  $k$  個班次需要第  $l$  種認證資格組合之值勤班次, 其上的需求量 (demand) 為  $W_{jkl}$  代表第  $j$  天第  $k$  個班次第  $l$  種認證資格組合下所需要的總值勤班次人次。舉例說明  $w_{111}$  上之需求量  $W_{111}$  表第 1 天之第 1 班次第 1 種認證資格組合所需執勤班次的總人次數為  $W_{111}$ 。

## 2. 節線定義

- $(r, p_i)$  : 其上的流量代表組員  $i$  在規劃週期內之總值勤班次量, 在此採用的規劃週期為一週 7 天, 因此流量上限為 7, 下限為 0。 $(r, p_i)$  的節線成本應視航空公司實際需要來設定, 本研究採用潛在成本的作法是為求達到最佳維修品質的目標, 因此以下述的潛在成本為  $(r, p_i)$  的節線成本。如果航空公司設定目標為最小人事支出, 則可將  $(r, p_i)$  節線成本設為每個人的薪資, 得出的結果則為最少薪資支出的人員排班表。在此本研究將  $(r, p_i)$  上的節線成本設為組員  $i$  的維修潛在成本, 維修潛在成本的設置與維修能力成反比, 因為維修能力愈強的組員愈能在指定時間內完成工作, 維修品質亦較高, 因此對航空公司而言, 因維修工作延誤或維修未達標準所須付出額外成本的機會較小, 所以潛在成本較小。反之, 能力較差的組員, 因維修工作延誤或維修未達標準所須付出額外成本的機會較高, 所以潛在成本則相對較高。藉此潛在成本設置, 反映出維修人員的不同能力及資歷。根據本研究訪談的航空公司對人員維修能力的評估, 僅概略將人員分為三級: 資深、中等、資淺。以該公司的分類方式, 資深等級的人員皆擁有 3 個不同維修認證並具有擔任班長的能力, 中等一級至少需擁有 1 個維修認證, 未有維修認證者則歸類為資淺一級。因此潛在成本也按此三級來推估, 僅有三種不同的潛在成本, 資淺者潛在成本最高, 中等者次之, 資深者擁有最低的潛在成本。由於潛在成本僅區分為三級, 因此設置時只須將三種不同層級的潛在成本給予三種不同高低的值, 其值大小並不會影響到所得結果。如果航空公司未來將人員的維修能力等級再進一步細分成更多等級, 則本模式的潛在成本只需依對應反比的關係, 設置不同等級對應的潛在成本。
- $(p_i, d_{ij})$  : 節線流量代表組員  $i$  於  $j$  天所被指派到的勤務班次量, 因每人每天只能執勤 1 個班次對應至前述 (假設 6), 因此流量上限設為 1, 下限為 0。本研究假設組員對一週中各天的偏好相同, 因此其上的節線成本設為 0。
- $(d_{ij}, s_{ijk})$  : 流量為 1 表組員  $i$  被指派至第  $j$  天的第  $k$  個值勤班次, 否則流量為 0。本研究假設組員對一天內不同執勤班次的偏好相同, 因此其上的節線成本設為 0。
- $(d_{ij}, s_{ijv})$  : 流量為 1 表組員  $i$  在第  $j$  天被排定休假, 否則流量為 0。本研究假設組員對休假的日期並無特定偏好, 因此其上的節線成本設為 0。
- $(s_{ijv}, v_i)$  : 流量 1 表組員  $i$  於第  $j$  天為休假, 否則流量為 0。其上的節線成本設為 0。此節線與  $(d_{ij}, s_{ijv})$  性質雷同, 其主要用於控管該組員的總休假天數。

- $(d_{ij}, s_{ijt})$  : 流量為 1 表組員  $i$  在第  $j$  天被排定訓練，否則流量為 0。本研究假設組員對受訓的日期並無特定的偏好，因此其上的節線成本設為 0。
- $(s_{ijt}, t_i)$  : 流量為 1 表組員  $i$  於第  $j$  天被排定訓練，否則流量為 0。其上的節線成本設為 0。此節線與  $(d_{ij}, s_{ijt})$  性質雷同，其主要用於控管該組員的總訓練天數。
- $(s_{ijk}, q_{il})$  : 流量為 1 表組員  $i$  擁有第  $l$  種認證資格組合，並被指派到相對應的維修工作；反之為 0。其上的節線成本設為 0。
- $(q_{il}, w_{jkl})$  : 流量為 1 表組員  $i$  在第  $j$  天被指派去執行第  $k$  班次須擁有第  $l$  種認證資格組合  $w_{jkl}$  之維修工作，否則流量為 0。其上的節線成本設為 0。

完整的網路配對模式如圖 2 所示。左邊的  $p_i$  各點代表航空公司的維修人員，右邊的  $w_{jkl}$  各點則代表各天各時段的維修值勤班次，模式目的是要將左邊的組員以流量對應方式連接到右邊的維修勤務班次，亦即表示該組員被指派至該天該時段進行維修勤務工作。模式中一個完整的鏈結 (chain) 定義為由節點  $r$  起始延續至節點  $w_{jkl}$  的一組連結節點、節線，其代表將組員指派至一特定的班次。舉例說明，鏈結  $(r - p_1 - d_{12} - s_{121} - q_{11} - w_{211})$  表組員編號 1 ( $p_1$ ) 被指派至星期二 ( $d_{12}$ )，第一班次 ( $s_{121}$ )，擁有認證組合型態 1 的認證資格 ( $q_{11}$ )，執行維修工作  $w_{211}$ ；鏈結  $(r - p_3 - d_{35} - s_{35v} - v_3)$  表組員編號 3 ( $p_3$ ) 被排定星期五 ( $d_{35}$ ) 時休假 ( $s_{35v}$ )。鏈結  $(r - p_2 - d_{21} - s_{21t} - t_2)$  表組員編號 2 ( $p_2$ ) 被排於星期一 ( $d_{21}$ ) 接受訓練 ( $s_{21t}$ )。所建構的網路配對模式可以下述的數學規劃模型 M1 表示之：

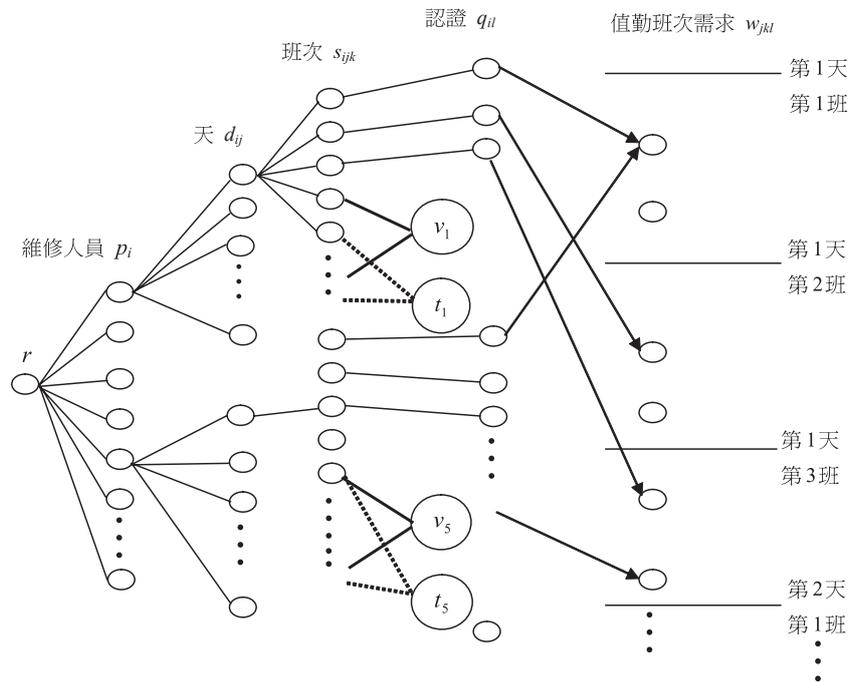


圖 2 網路配對子模式

$$\text{Min } Z = \sum_i c_i x_{rp_i} \quad (\text{M1-1})$$

Subject to

$$R = \sum_{i \in P} x_{rp_i} \quad (\text{M1-2})$$

$$x_{rp_i} = \sum_{j \in D} x_{p_i d_{ij}} \quad , \forall i \in P \quad (\text{M1-3})$$

$$x_{p_i d_{ij}} = \sum_{k \in S} x_{d_{ij} s_{ijk}} + x_{d_{ij} s_{ijv}} + x_{d_{ij} s_{ijt}} \quad , \forall i \in P , \forall j \in D \quad (\text{M1-4})$$

$$x_{d_{ij} s_{ijk}} = x_{s_{ijk} q_{il}} \quad , \forall i \in P , \forall j \in D , \forall k \in S \quad (\text{M1-5})$$

$$x_{s_{ijk} q_{il}} = x_{q_{il} w_{jkl}} \quad , \forall i \in P , \forall j \in D , \forall k \in S \quad (\text{M1-6})$$

$$x_{d_{ij} s_{ijv}} = x_{s_{ijv} v_i} \quad , \forall i \in P , \forall j \in D \quad (\text{M1-7})$$

$$x_{d_{ij} s_{ijt}} = x_{s_{ijt} t_i} \quad , \forall i \in P , \forall j \in D \quad (\text{M1-8})$$

$$\sum_{j \in D} x_{s_{ijv} v_i} = V_i \quad , \forall i \in P , V_i \text{ 為整數常數} \quad (\text{M1-9})$$

$$\sum_{j \in D} x_{s_{ijt} t_i} = T_i \quad , \forall i \in P , T_i \text{ 為整數常數} \quad (\text{M1-10})$$

$$\sum_{i \in P} x_{q_{il} w_{jkl}} = W_{jkl} \quad , \forall j \in D , \forall k \in S , \forall l \in Q \quad (\text{M1-11})$$

$$R = \sum_{j \in D} \sum_{k \in S} \sum_{l \in Q} W_{jkl} + \sum_{i \in P} V_i + \sum_{i \in P} T_i \quad (\text{M1-12})$$

$$0 \leq x_{rp_i} \leq 7 \quad (\text{M1-13})$$

$$x_{rp_i} \in \text{整數} \quad (\text{M1-14})$$

$$x_{p_i d_{ij}} \in \{0, 1\} \quad (\text{M1-15})$$

$$x_{d_{ij} s_{ijk}} \in \{0, 1\} \quad (\text{M1-16})$$

$$x_{d_{ij} s_{ijv}} \in \{0, 1\} \quad (\text{M1-17})$$

$$x_{d_{ij} s_{ijt}} \in \{0, 1\} \quad (\text{M1-18})$$

$$x_{s_{ijk} q_{il}} \in \{0, 1\} \quad (\text{M1-19})$$

$$x_{q_{il} w_{jkl}} \in \{0, 1\} \quad (\text{M1-20})$$

$$x_{s_{ijv} v_i} \in \{0, 1\} \quad (\text{M1-21})$$

$$x_{s_{ijt} t_i} \in \{0, 1\} \quad (\text{M1-22})$$

## 3. 變數之定義：

- $x_{rp_i}$ ：對應到節線  $(r, p_i)$ ，表示組員  $i$  於一週內進行維修工作及勤務活動之天數。屬於整數變數且值介於 0 至 7 之間。若為 0，表示無需該組員進行維修工作；若不為 0，表示該組員一週內所工作之天數。
- $c_i$ ：組員  $i$  的維修潛在成本。
- $x_{p_i d_{ij}}$ ：對應到節線  $(p_i, d_{ij})$ ，為 0、1 整數變數。若為 1 表示組員  $i$  於第  $j$  天被指派進行維修工作或其他活動；若為 0 表示組員  $i$  於第  $j$  天並未被指派。
- $x_{d_{ij} s_{ijk}}$ ：對應到節線  $(d_{ij}, s_{ijk})$ ，為 0、1 整數變數。若組員  $i$  於第  $j$  天被指派至第  $k$  值勤班次則為 1；否則為 0。
- $x_{d_{ij} s_{ijv}}$ ：對應到節線  $(d_{ij}, s_{ijv})$ ，為 0、1 整數變數。若組員  $i$  於第  $j$  天排定休假則為 1；否則為 0。
- $x_{d_{ij} s_{ijt}}$ ：對應到節線  $(d_{ij}, s_{ijt})$ ，為 0、1 整數變數。若組員  $i$  於第  $j$  天排定訓練則為 1；否則為 0。
- $x_{s_{ijk} q_{il}}$ ：對應到節線  $(d_{ij}, q_{il})$ ，為 0、1 整數變數。組員  $i$  擁有第  $l$  認證資格組合，若於第  $j$  天第  $k$  值勤班次被指派去執勤則為 1，否則為 0。
- $x_{q_{il} w_{jkl}}$ ：對應到節線  $(q_{il}, w_{jkl})$ ，為 0、1 整數變數。組員  $i$  擁有第  $l$  認證資格組合，若於第  $j$  天第  $k$  值勤班次被指派去執勤維修工作  $w_{jkl}$  則為 1，否則為 0。
- $x_{s_{ijv} v_i}$ ：對應到節線  $(s_{ijv}, v_i)$ ，為 0、1 整數變數。若為 1 表組員  $i$  於第  $j$  天休假；否則為 0。
- $x_{s_{ijt} t_i}$ ：對應到節線  $(s_{ijt}, t_i)$ ，為 0、1 整數變數。若為 1 表組員  $i$  於第  $j$  天訓練；否則為 0。

目標式 (M1-1) 為最小化被指派組員的總潛在成本。限制式部分主要為網路問題的流量守恆。限制式 (M1-2) 描述流出端點  $r$  之流量等於其上之總供給量  $R$ 。同樣地，限制式 (M1-3)、(M1-4)、(M1-5)、(M1-6)、(M1-7)、(M1-8) 依次代表節點  $p_i$ 、 $d_{ij}$ 、 $s_{ijk}$ 、 $q_{il}$ 、 $s_{ijv}$ 、 $s_{ijt}$  上之流量守恆。限制式 (M1-9)、(M1-10)、(M1-11) 表節點  $v_i$ 、 $t_i$  及  $w_{jkl}$  流進之流量分別等於其上之需求量。限制式 (M1-12) 代表總人力供給量 (執勤班次數) 等於總維修需求量 (執勤班次數)。其餘限制式 (M1-13) 至 (M1-22) 為變數之上、下限及整數限制。值得一提的是，所提出的模式經簡單修正，亦可考量組員對不同值勤日期或時段有不同的偏好，其方法是按照偏好的程度，在各相對於代表日期或時段的節線上設置不同成本。

由上述模式 M1 可知其為一標準的最小成本流量問題，而網路規模大小與可用維修人員、規劃週期及每日的班次數有關，每一節點對應到模式 M1 的一限制式，而每一節線則對應到模式 M1 中的一個變數。假設總維修人員為  $n$ ，規劃週期 7 天，每天有 3 班，有  $m$  種不同認證組合，節點 (限制式) 及節線 (變數) 估算如表 1 所示。

模式 M1 的建構主要配合航空公司週期為一週七天的班次表，因此在實例部分亦以一週排班來測試，實際上如果要考量較長規劃週期，如：一個月時，可直接將模式 M1 節點、

節線直接延伸到一個月的問題規模。然而問題規模的加大亦會增加求解時的運算時間。

表 1 網路配對子模式問題規模估算

	名稱	數量
節點 (限制式)	$r$	1
	$p_i$	$n$
	$l$	$m$
	$d_{ij}$	$7n (n \times 7)$
	$s_{ijk}$	$21n (n \times 7 \times 3)$
	$q_{il}$	$21n (n \times 7 \times 3)$
	$s_{ijv}$ 及 $s_{ijt}$	$14n (n \times 7 \times 2)$
	$v_i$ 及 $t_i$	$2n$
	$w_{jkl}$	$21m (m \times 7 \times 3)$
	總計	$1 + 66n + 21m$
節線 (變數)	$(r, p_i)$	$n$
	$(p_i, d_{ij})$	$7n$
	$(d_{ij}, s_{ijk})$	$21n (n \times 7 \times 3)$
	$(s_{ijk}, q_{il})$	$21n (n \times 7 \times 3)$
	$(q_{il}, w_{jkl})$	$21n (n \times 7 \times 3)$
	$(d_{ij}, s_{ijt})$	$7n$
	$(s_{ij4}, v_i)$	$7n$
	$(d_{ij}, s_{ijt})$	$7n$
	$(s_{ij5}, t_i)$	$7n$
	總計	$120n$

由於模式 M1 只限定每人 1 天最多只執勤 1 班 (假設 6)，因此實際應用時可能會發生人員於不同天中大量換班的情形。若要避免此現象的發生可事先將人員按輪值班次分類，如第一類組人員星期一至星期四僅能輪值早班及小夜班，不能輪大夜班，第二類組人員星期一至星期四僅能輪值小夜班及大夜班，不能輪早班。然後在相對應的日子上的值勤班次節線 ( $d_{ij}, s_{ijk}$ )，將上述不能輪值的班次流量上限設為 0，強迫不能指派人員到此班次。由於事先將人員分類且限定在特定日子只能輪值特定的班次，因此可以避免不同天有大量換班的情形。此外，模式也未對休假分配做任何的限制與調整，可能發生休假分散的情形，對此將維修人員想要連續休假日所對應的休假節線 ( $d_{ij}, s_{ijv}$ ) 的流量上下限設為 1，強迫這些日子一定要休假，即可解決此一問題。

由於網路配對子模式 (M1) 為一典型最小成本流量問題，本研究以網路單形法 (network simplex) 進行求解。如前所述網路配對子模式將維修人員指派到對應的執勤班次上，但並未考慮到維修人員工作時數上的限制。本研究未將工作時數的限制考量直接納入網路配對子模式中的原因有二：其一，因工作時數限制條件複雜，不易以數學式來表達；其二，即使成功的將工作時數條件以限制式列出，亦徒增模式的複雜度，問題將變成含有許多額外限制的網路問題，造成求解上的困難，失去將問題定式成網路問題的優勢。在實際測試時，平均而言，網路配對子模式的解造成違反工作時數限制的情形並不多。因此本研究在權衡後，決定不將工時限制直接納入網路配對子模式中，而以自行發展的演算法對網路配對子模式所得結果有違反工時的部分進行微調修正。以下針對本研究發展的工時調整子模式進行說明。

### 3.1.2 工時調整子模式

由於網路配對子模式的結果會有少部分的員工，自指派時間起 24 小時內，工作時數會超過 8 小時，調整工時演算法係針對所有違反工時限制之組員，藉由與其他組員交換執勤班次的方式，達成所有組員皆能符合工時限制條件。本研究提出的工時調整演算法，步驟詳述如下：

- Step 1、找出所有違反工時限制人員。工時限制定義為：自指派時間起 24 小時內工作時數不超過 8 小時。若有人員違反工時限制，則進入 Step 2；否則結束。
- Step 2、針對違反限制組員，釋出組員連續工作超過 8 小時之部分。如此會造成部分執勤班次空缺及某些在該天已指派的組員變成未被指派到工作。
- Step 3、對每一空缺執勤班次尋找該天該時段未被指派工作的組員。將未被指派的組員填入空缺的班次。若所有人員皆已交換過班次，表人力不足，須再加派維修人員，增加總維修人數後，再重新執行工時調整子演算法；否則回到 Step 1。

### 3.2 第二步驟—組員分組

第二步驟的組員分組旨在將第一步驟所選出各時段執勤的維修人員，進行任務功能性分組，以符合航空公司實務的維修編組需求。如前所述，根據國內一主要航空公司實務上的作法，目前維修工作的執行是以小班為基本單位。每一小班有 4 人，其中一人為班長，負責管理小班的運作。如前所述，第三類 (客艙裝備) 及第四類 (視訊器材) 維修工作並不須要簽證，有關第一類 (機體結構) 或第二類 (航電儀器) 的維修項目則要有嚴格的簽證作業。依實務上的要求，必須對該小班要簽證的維修項目具有簽證權限者，方能指派為班長，因此通常為資歷較深及能力較強者。其餘組員則盡量按資歷及能力來平均分配，以求維修工作的順利進行，並兼顧經驗技術傳承及人員訓練。本研究根據實務上的做法，以小班組員資歷能力之公平性為目標，來建構組員分組模式。針對同一值勤時段內各種不同認證資格組合，分別建構之組員分組模式 M2 如下：

$$\text{Min} \sum_{q=1}^{n_q} \left( \frac{1}{m_q - \sum_{i=1}^{n_p} z_{iq}} \sum_{i=1}^{n_p} y_{iq} I_i + \frac{1}{\sum_{i=1}^{n_p} z_{iq}} \sum_{i=1}^{n_p} z_{iq} I_i - \bar{I} \right)^2 \quad (\text{M2-1})$$

Subject to

$$\sum_{i=1}^{n_p} z_{iq} \geq 1, \quad \forall q \quad (\text{M2-2})$$

$$n_q = \frac{n_p}{m_q} \quad (\text{M2-3})$$

$$\bar{I} = \frac{\sum_{i=1}^{n_p} I_i}{n_p} \quad (\text{M2-4})$$

$$y_{iq} \in \{0,1\} \quad (\text{M2-5})$$

$$z_{iq} \in \{0,1\} \quad (\text{M2-6})$$

決策變數：

$y_{iq}$ ：為 0、1 整數變數，專指屬於能力未達班長資格之組員，若組員  $i$  被指派至小班  $q$ ，其值為 1，否則為 0。

$z_{iq}$ ：為 0、1 整數變數，專指屬於有能力當班長之組員，若組員  $i$  被指派至小班  $q$ ，其值為 1，否則為 0。

其他變數：

$I_i$ ：組員  $i$  之維修能力指標，此一指標由航空公司提供。本研究假設維修能力與每位組員的潛在成本  $c_i$  成反比。

$n_p$ ：總維修組員人數，為一已知給定值，由第一步驟組員選派模式所選出的組員數為輸入值。

$m_q$ ：每小班人數，為一給定常數，在此設為 4 人以符合目前實務上作法。

$n_q$ ：總小班數，可由總維修組員人數除以每小班人數  $m_q$  求得。

$\bar{I}$ ：組員平均能力，可由所有組員能力加總除以總維修組員人數求得。

根據本研究所訪談的航空公司對人員維修能力指標評估，僅將人員的維修能力概略分為三級：資深、中等、資淺。資深等級的人員擁有 3 個不同維修認證並具有擔任班長的能力，中等一級至少需擁有 1 個維修認證，未有維修認證者則歸類為資淺一級。因此本研究再設置維修能力指標僅給予三種不同高低的值，以代表資深、中等、資淺不同等級的維修能力，以模式的設計而言，其值的大小並不影響所得結果。往後若航空公司將維修能力再細分成更多等級，本模式將可根據航空公司所提供的資料，設置不同等級指標。實務上每

班設置班長一名，協調指揮該小班的維修工作，並監督負責維修項目之檢查及簽證，通常為較資深的組員，必須具備第一類及第二類維修工作的認證資格。因此，建構模式時將組員分為兩類，一類為有能力當班長之組員 ( $z_{iq}$ )，另一類則屬於能力未達班長資格之組員 ( $y_{iq}$ )。

目標式 (M2-1) 中第一項  $\frac{1}{m_q - \sum_{i=1}^{n_p} z_{iq}} \sum_{i=1}^{n_p} y_{iq} I_i$  為小班  $q$  中所有未具班長資格人員的平均

均維修能力指標，第二項  $\frac{1}{\sum_{i=1}^{n_p} z_{iq}} \sum_{i=1}^{n_p} z_{iq} I_i$  為小班  $q$  中所有具班長資格人員的平均維修能力指

標， $\bar{I}$  按定義為全部維修人員的平均維修能力指標。因此目標式 (M2-1) 在求每一小班的平均維修能力指標盡量能接近總體平均維修能力指標，讓各班間組員的能力差異最小化，即尋求小組人員總能力的公平性。限制式 (M2-2) 在於確保每小班至少有一位夠資格的人員可擔任該小班班長。限制式 (M2-3) 及 (M2-4) 為定義限制式，依次定義小班數  $n_q$  及組員平均能力  $\bar{I}$ 。限制式 (M2-5) 及 (M2-6) 為 0、1 變數限制式，分別定義  $y_{iq}$  及  $z_{iq}$  變數值之範圍。

值得注意的是，當所有維修人員皆具有班長資格，沒有人為非班長資格的情況下，

$\sum_{i=1}^{n_p} y_{iq} I_i$  會等於 0，因此  $\frac{1}{m_q - \sum_{i=1}^{n_p} z_{iq}} \sum_{i=1}^{n_p} y_{iq} I_i = 0$ ，目標式 (M2-1) 變成

$$\text{Min} \sum_{q=1}^{n_q} \left( \frac{1}{\sum_{i=1}^{n_p} z_{iq}} \sum_{i=1}^{n_p} z_{iq} I_i - \bar{I} \right)^2$$

。此時模式 (M2) 只針對有班長資格的人員進行編組 (因為沒有

非班長資格的人員)。然而實務上，航空公司為顧及人員訓練、經驗傳承、人力管理及人事成本，通常會將班長資格與非班長資格的人員維持在合理比率範圍內，因此上述情形鮮有發生。因為如果全部人員皆為班長資格，人事成本必將提高，且因為每個人都具有班長的領導資格，人事管理上反而較為不易。

假設由第一步驟所選出的組員共有  $n_p$ ，則模式 M2 產生的問題規模大小估算如表 2 所示。

由上述模式 M2 可知，其屬於非線性之整數規劃問題，在求解上相當困難，目前尚未有迅速有效的方法來求解此類問題。尤其實務上的問題皆相當龐大，更造成求解上的困難。因此本研究提出一啟發式演算法來輔助模式 M2 的求解。其基本概念為盡量將各小班人員的維修能力以公平方式分派，以尋求小班人員總維修能力差異最小。先將有資格當班長人員與無資格當班長的人員分成兩個群組，再將能力較強者搭配能力相對較差者，以減少每一小班總維修能力的差異，步驟詳述如下：

表 2 組員分組模式問題規模估算

	名稱	數量
變數	$y_{iq}$ 及 $z_{iq}$	$n_p \times \frac{n_p}{m_q}$
	$p_i$	$n_p$
	$n_q$	1
	$\bar{p}$	1
	總計	$n_p \times \frac{n_p}{m_q} + n_p + 4$
限制式	M2-2	$\frac{n_p}{m_q}$
	M2-3	1
	M2-4	1
	總計	$\frac{n_p}{m_q} + 2$

Step 1、步驟一所選出各天、各不同時段、各不同認證組合的人員為輸入資料，將不同時段、不同認證組合下值勤的人員分開。針對同一時段、同一認證組合的執勤人員執行下列步驟。

Step 2、計算所需小班數  $n_q$ ，小班數為同一時段內總人數除以小班成員數目，即  $n_q = \frac{n_p}{m_q}$ 。

在此本研究採用現行實務上的編組方式，採每一小班固定 4 人，即  $m_q = 4$ 。

Step 3、對同一值勤班次內所有人員，按每人所對應的維修能力指標 ( $I_i$ )，由小到大，進行排序。排序後再將所有人員依序分成  $m_q$  個等級，在此  $m_q = 4$ 。因此每一等級有  $n_q$  人，第一等級為能力最佳者，具有當班長的資格。第二及第三等級之維修能力則次之，第四等級則為資歷能力較差者。

Step 4、隨機選取第一等級之第  $r_1$  名人員任命為班長，再搭配一名第四等級倒數第  $r_1$  名人員。同理，隨機選取第二等級之第  $r_2$  名人員，再搭配一名第三等級倒數第  $r_2$  名人員。以此 4 名人員組成一個小班，以此類推，重複至產生全部  $n_q$  小班為止。

圖 3 說明上述演算法的概念，先將所有從第一步驟組員選派模式選出的維修組員 ( $n_p$ ) 按維修能力排序，能力強者在後，較差者在後。將所有人員均分成 4 級 ( $m_q = 4$ )。選取第 1 級的第 1 名 ( $r_1$ ) 為班長，搭配第 4 級之倒數第 1 名人員；再選取第 2 級第 1 名 ( $r_2$ ) 搭配第 3 級倒數第 1 名；將此 4 名維修人員合組成一小班。以此類推，重複至所有小班產生。

以此機制下組成的小班成員可將小班整體維修能力的差異降低，以達到公平性要求。本研究提出的分組方式與現行航空公司採用方法最大不同點在於：實務上為求人員調派排

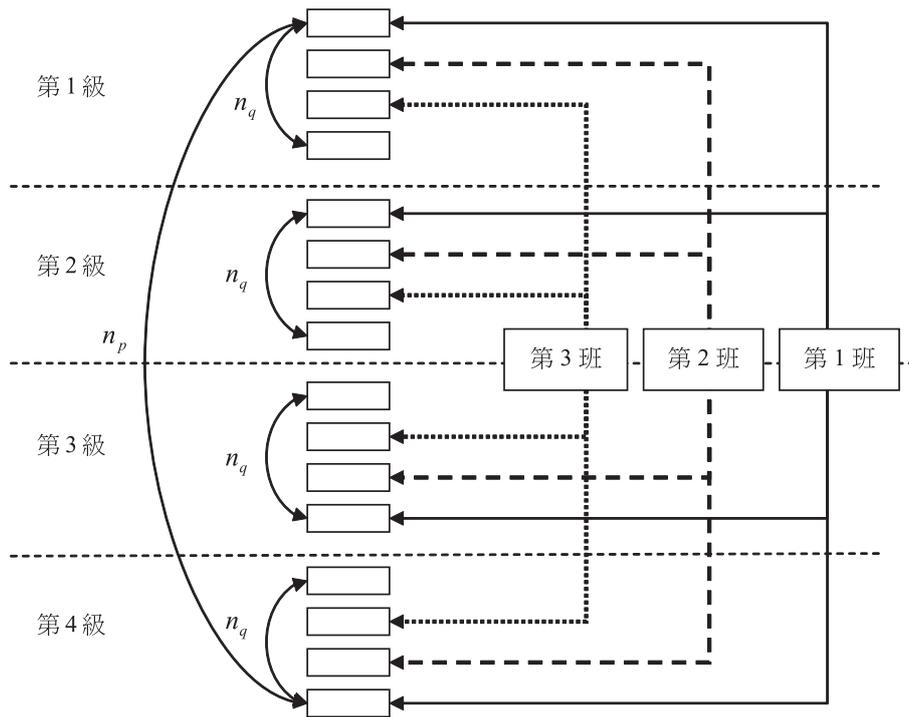


圖 3 組員分組演算法示意圖

班之方便，將小班中的 4 名成員固定，因此其休假或訓練儘量安排 4 人同時。然而，由於按小班編組原則，小班須包含資深與資淺人員，而資深與資淺者的休假數目與規則、訓練項目與時間，皆不相同，如此作法缺乏彈性，常會有某小班因部分成員休假或訓練，以至於整個小班皆無法值勤。事實上，只要剩下的成員再跟其他別班的組員合併，組成一新小班，即可執行維修工作。本研究做法則對同一值勤時段的所有人員作全盤的考量來分組，其每一小班的成員並不固定，不會有缺少部分成員而導致整個小班無法運作的情形發生，因此更能有效運用所有的人力資源。其缺點為可能有部分人員在工作默契上較難配合。解決的方法可針對這些難以搭配合作的人員，在分組前先將不能搭配的人員關係定義出來，限定不能分配在同一小班內，因此分組時遇到此類人員則跳過，安排與下一位人員同一小班。如此便可解決工作默契不合的問題。

#### 四、實例分析

本研究以國內一航空公司的維修人員資料為例，測試所發展之模式，目的在測試所發展模式的實用性，穩定性及求解的效率。部分資料因關係到航空公司內部營運上的機密問題，以推估方式取得，測試所得之結果雖無法完全與實際營運資料相同，但仍可作為參考。

對模式特性測試、趨勢相關分析及敏感度分析所得的結論，其正確性及有效性仍然成立。

在網路配對子模式部分，由 C 語言撰寫自動產生數學規劃模型，再利用最佳化軟體 CPLEX 7.1 版中的網路問題求解模組 (solver) 求解。而工時調整及組員分組部分，則按本研究發展之求解演算法，利用 C 語言自行撰寫程式求解。作法上將各步驟模式產生、對應之求解模組及資料輸出，利用批次作業指令 (batch) 一次完成，以增進實用的效率。測試平台為 Microsoft Windows 2000 作業系統，在配有 Pentium 4、1.4GHZ 及 256 MB SDRAM 之個人電腦上執行與運算。

#### 4.1 資料分析

本研究以國內一家主要航空公司 2000 年 6 月 5 日至 2000 年 6 月 11 日之短期機場滯留修護工作，為實例測試的資料。目前該公司短期機場滯留修護工作的運作方式是將一天分成 3 個值勤班次，分別為 6 時、14 時及 22 時開始，組員一周須輪休或接受訓練共 2 天。如前所述維修工作以 4 人為一組的小班為主，編組時須考量執勤時段所需維修的飛機類型及維修項目所對應的認證資格，此亦造成維修勤務指派問題複雜的主要因素。該航空公司現行維修工廠有組員共 700 人，然而由於該航空公司以往機種較單純且機隊規模相對較小，再加上維修人力的短缺，此 700 人並未按長期、中期、短期維修工作之專業做明顯區分。反觀國外大型的航空公司由於飛機維修工作具有高度專業性，因此將其維修人員按長期、中期、短期來區分，彼此人力亦不互相調用。此乃因長期、中期及短期維修工作的認證資格並不互相通用，將人力按不同維修計畫區分，不但易於管理也方便對人員訓練及用人政策做完整的規劃。本研究採用資料的國內航空公司有意將機隊規模擴大，並考慮增購不同機種，而目前未將長期、中期、短期維修人員區分的管理方式，將造成往後擴大規模時維修工作計畫的瓶頸及困難。因此該航空公司希望事先對未來的維修人力資源作一有效規劃。

就如在前言一節所述，航空公司的人員排班問題通常都分為勤務產生及勤務指派兩階段來進行。本研究發展之勤務指派模式，需要有勤務產生階段的結果來當輸入資料，以現行該航空公司傳統人工經驗的方式，缺乏系統性的作法，並無法取得此類資料。本研究參考過去維修組員排班文獻資料，利用以往研究的模式產生，在此採用顏上堯及陳玉菁<sup>[10]</sup>發展之維修人力資源規劃模式，輸入不同執勤時點，以求得各天各時段勤務需求量，作為本研究勤務模式的輸入資料。

在網路配對模式中對每位維修人員有一對應的潛在成本，其與維修能力成反比。根據本研究對該航空公司維修部門的訪談，該航空公司對組員能力的判定主要根據所擁有的認證資格，維修人員要取得某一維修項目的認證，須在此一維修項目領域持續工作一定時間後，經線上工作訓練，才有資格參加認證考核，待考核通過後，始擁有此項維修工作的認證資格。然而認證資格有一固定的有效期限，並非永久有效，經過一段時間後，維修人員須再次訓練考核才能繼續持有此一資格。因此認證制度的使用，通常擁有多種維修認證資

格的人員，其資歷相對較久，經驗亦相對較多。以該航空公司而言，由於班長須負責整個小班維修工作的簽證，因此要求班長必須具有三種的維修認證資格。按此，該航空公司對人員維修能力指標的評估，主要根據擁有維修認證及年資經驗，分為三級：資深、中等、資淺。資深等級的人員皆擁有 3 個不同之維修認證並具有擔任班長的能力，中等一級至少須擁有 1 個維修認證，未有維修認證者則歸類為資淺一級。因此潛在成本也按此分為三個等級，資淺者潛在成本最高，中等者次之，資深者擁有最低的潛在成本。目前該航空公司維修人員依資深、中等、資淺三個等級的人數比率分別為 43%、26%、31%。

將本研究所訪談的國內航空公司現況資料彙整成表 3。

表 3 實例測試現況資料彙整

項 目	現況資料
可用組員人數	700 人 (未區分長期、短期維修)
一週所需小班數	490 班*
一週總值勤班次數	1960 班次*
維修人員分級人數比率	43:26:31 (資深：中等：資淺)
規劃週期	一週 7 天
每日值勤班次	一天 3 班
值勤班次始點	6 時、14 時及 22 時
一週休假及訓練天數	2 天

\*：應用顏上堯及陳玉菁<sup>[10]</sup>之維修人力規劃模式所得之結果。

## 4.2 現況分析

根據表 3 所列之現況資料，輸入本研究所發展的維修人員勤務指派模式，結果顯示所需維修人員 475 人，目標值為 352870 (潛在成本)。目前該航空公司將長期、中期及短期的維修人員混合運用共有 700 人，此一結果可幫助規劃未來將長期、中期及短期維修人員區分的參考。模式各步驟的求解亦相當有效率，由表 4 可知，網路配對子模式的運算時間最長，但也在 2 秒鐘以下，其他工時調整及組員分組子模式分別都在 1 秒鐘以下，全部過程只使用 2.652 秒的 CPU 運算時間。

表 4 現況實例各步驟電腦運算時間

現況(單位:秒)	組員選派		組員分組	總合
	網路配對	工時調整		
運算時間(CPU)	1.25	0.808	0.594	2.652

### 4.3 敏感度分析

本研究發展的模式主要針對短期機場滯留修護人員的勤務指派，維修工作主要發生在飛機起降的前後，由於飛機到達及起飛的情形並非均一的分布在一天中各時點，通常有明顯的尖峰、離峰的情形。因此可推論人員執勤時間配合維修需求的尖峰、離峰趨勢，應該可以增進維修人員運用的效率。在顏上堯及陳玉菁<sup>[10]</sup>所發展的勤務產生模式研究中，驗證此一推論，該研究發現變化值勤班次的起始時點，將可有效增進人員使用效率，減少整體人力需求。本研究變動值勤班次起始的時點，藉以分析此變化是否對人員勤務指派有所影響。為求能有一相同的比較基準，本研究在敏感度分析的部分，採用與顏上堯及陳玉菁<sup>[10]</sup>完全一樣的維修需求當作本節敏感度測試資料。以此一相同的維修需求，對不同的值勤班次起始時點進行敏感度分析，並可藉以與顏上堯及陳玉菁<sup>[10]</sup>所得的結果作一交叉驗證及分析。目前該航空公司所採行的班次起始點為 06：00，14：00 及 22：00，此乃根據以往經驗所歸納的結果，簡稱現況時點組合。本研究產生另外兩組不同的值勤起始時點，其一為產業界採三班制最常使用的方式 00：00，08：00 及 16：00，簡稱傳統時點組合；其二是利用顏上堯及陳玉菁<sup>[10]</sup>發展之模式所求得的最佳時點組合為 04：00，12：00 及 19：00，簡稱最佳時點組合。觀察此最佳時點組合的班次起始點可知，03：00 至 04：00 並無人員值勤，而 19：00 至 20：00 則有兩組人員同時值勤。此乃因所採用的維修需求輸入資料在 03：00 到 04：00 時並無任何需求，而 19：00 至 20：00 時則為需求尖峰，因此最佳時點組合的執勤方式，乃將人員執勤時間盡量順應維修需求的趨勢，輪班方式並不限於傳統三班制的方式。所得結果如表 5 所示，以傳統時點測試實例所需要的人員最多，共需要 479 人；現況的時點組合次之，需 475 人；而最佳時點組合所需維修人數最少，僅需 353 人。此一結果與顏上堯及陳玉菁<sup>[10]</sup>研究所得結果符合，其勤務產生模式所得之最佳時點組合，有最少的執勤班次數及人力工作小時 (man-hours)。本研究所發展的勤務指派模式在此一時點組合下，則求得最少的維修人員，此結果進一步驗證本研究所發展模式之正確性。然而該航空公司捨棄傳統三班制的時點組合 (00：00，08：00，16：00)，而改採 06：00，14：00，22：00 的時點組合，乃根據以往經驗調整結果，必然有其優點，本研究的結果也驗證其所需維修人員確實少於傳統時點組合方式。由上述結果，更印證本研究所發展模式的正確性及實用性。由此可知，執勤班次起始點的組合是影響人力使用效率相當重要的因素。若能將執勤班次始點調整成符合維修需求的趨勢，則可明顯改進人力資源的運用，減少於執勤時的閒置人力。

表 5 各測試實例結果比較

實例	值勤班次始點	目標值	所需維修人數
現況	06：00, 14：00, 22：00	352870	475
傳統	00：00, 08：00, 16：00	355950	479
最佳	04：00, 12：00, 19：00	313520	353

運算效率方面，表 6 將 3 種實例測試的總運算時間及各子模式的運算時間分別列出。由結果可知模式求解效率良好，各實例的總運算時間皆在 3 秒內。網路配對子模式占用較多的時間，大約接近總運算時間的一半，工時調整子模式次之，組員分組模式占用最少運算時間。由結果可知運算時間與所需維修人員成正相關，所需人員愈多，運算時間則愈長。圖 4 將其趨勢結果以長條圖表示之。

表 6 各測試實例運算時間比較

運算時間 CPU(秒)	組員選派		組員分組	總合
	網路配對	工時調整		
現況	1.25	0.808	0.594	2.652
傳統	1.28	0.826	0.578	2.684
最佳	1.25	0.735	0.578	2.563

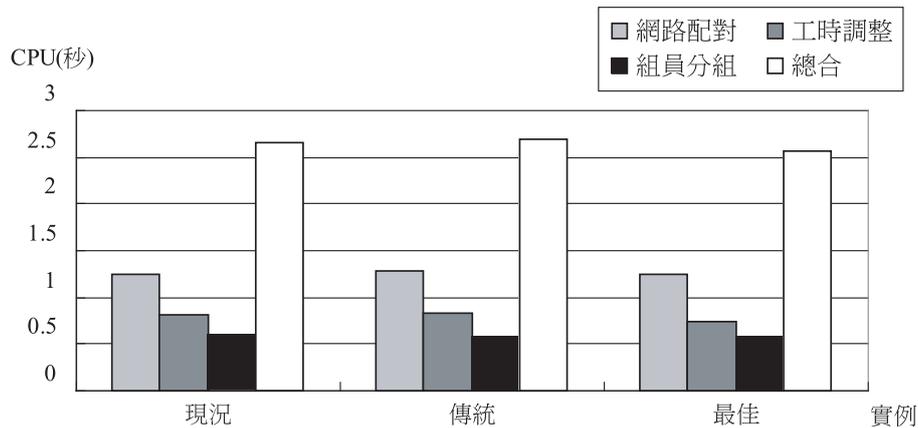


圖 4 不同測試實例之各求解步驟的運算時間

## 五、結論與建議

人員勤務指派問題普遍存在於許多不同的產業界中，由於不同產業所具有的特性及對人員指派時需求皆有所不同，因此有不少研究針對不同領域人員指派問題進行探討。在航空公司的人員排班問題方面，大部分的研究都著重在飛行員或空服員的排班及指派問題，鮮有人探討維修人員的排班指派。然而，飛機的維修計畫攸關到飛航的安全，並可能影響飛機是否能按時出勤，因此在實務上維修計畫及其人員的勤務指派為一重要的課題。本研究針對航空公司短期維修人員勤務指派問題進行探討，根據國內一航空公司實務上的作

法，提出一系統性的架構，以改善目前實務上以人工經驗的排班方式。所研擬的模式分為兩步驟求解：第一步驟稱為組員選派，目的在將人員分派到各執勤時段及對應維修工作，其內又包含網路配對及工時調整兩個子模式；第二步驟為組員分組，旨在將同一時段值勤的人員按勤務的需求來進行功能性的分組。網路配對子模式可被定式成一最小成本流量問題，以網路單形法求解。工時調整子模式則依航空公司的規定及勞基法規定，以自行發展的演算法來求解。而組員分組問題為一非線性整數規劃問題，直接求解相當困難，本研究亦發展一啟發式演算法將組員按所要求之原則來分組。

本研究以一國內主要航空公司的實際營運現況資料，來當做實例測試的輸入資料，測試結果良好，各步驟運算具有效率，可迅速求得合理之結果。由於短期維修勤務需求有明顯的尖峰、離峰的差異，由此推論組員值勤起始時點，若能符合勤務需求之趨勢及分佈，勢必更能有效運用現有人力，減低值勤的人員。因此，本研究提出兩組不同於現況的執勤起始時點，對不同執勤的起始點作比較及分析。結果顯示較佳的執勤起始點組合，可明顯降低閒置的維修人員，減低人力的浪費。

本研究主要針對短期維修計畫，建立人員勤務指派的模式架構，由於不同等級的航空維修計畫有不同的特性及需求，未來可進一步探討中、長期的維修人員排班問題。在管理策略的運用上，未來亦可考慮將各種不同的彈性策略，應用到人員勤務指派中，如：彈性上班時間、全職及半職人員的交互使用…等。

## 參考文獻

1. Teodorović, D., *Airline Operations Research*, Gordon and Breach Science Publishers, New York, 1988, pp. 282-383.
2. 顏上堯、林錦翌，「空服員排班組合最佳化之研究」，*中國土木水利工程學刊*，第九卷，第二期，民國八十六年，頁 303-314。
3. Yan, S. and Chang, J. C., "Airline Cockpit Crew Scheduling", *European Journal of Operational Research*, Vol. 136, 2002, pp. 501-511.
4. Yan, S. and Tu, Y. P., "A Network for Airline Cabin Crew Scheduling", *European Journal of Operational Research*, Vol. 140, 2002, pp. 531-540.
5. Ryan, D. M., "The Solution of Massive Generalized Set Partitioning Problems in Aircrew Rostering", *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 43, 1992, pp. 459-467.
6. Dawid, H., Konig, J., and Strauss, C., "An Enhanced Rostering Model for Airline Crews", *Computer and Operations Research*, Vol. 28, 2001, pp. 671-688.
7. Teodorović, D. and Lučić, P., "A Fuzzy Set Theory Approach to the Aircrew Rostering Problem", *Fuzzy Sets and System*, Vol. 95, 1998, pp. 261-271.
8. Lučić, P. and Teodorović, D., "Simulated Annealing for the Multi-Objective Aircrew Rostering Problem", *Transportation Research Part A*, Vol. 33, 1999, pp. 19-45.

9. 陳立欣，「考慮公平性之後艙組員派遣模式－以座艙長為例」，國立交通大學運輸科技與管理學系碩士論文，民國九十一年。
10. 顏上堯、陳玉菁，「純檢修資格航機修護人力供給模式之建立」，*運輸計劃季刊*，第三十一卷，第四期，民國九十一年，頁 817-839。
11. Lau, H. C., "On the Complexity of Manpower Shift Scheduling", *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 23, 1998, pp. 261-271.
12. Caprara, A., Focacci, E., Lamma, P., Mello, M., Milano, P., and Vigo, D., "Integrating Constraint Logic Programming and Operations Research Techniques for the Crew Rostering Problem", *Software-Practice and Experience*, Vol. 28, 1998, pp. 49-76.
13. Bianco, L., Bielli, M., Mingozzi, A., Ricciardelli, S., and Spadoni, M., "A Heuristic Procedure for the Crew Rostering Problem", *European Journal of Operational Research*, Vol. 58, 1992, pp. 272-283.
14. Ftulis, S. G., Giordano, M., Pluss, J. J., and Vota, R. A., "Rule-Based Constraints Programming: Application to Crew Assignment", *Expert Systems with Applications*, Vol. 15, 1998, pp. 77-85.
15. 蘇昭銘、張靖，「捷運系統站務人員排班模式之研究」，*中華民國運輸學會第十三屆論文研討會論文集*，民國八十七年，頁 613-622。