

地勤人員勤務指派模式之研究¹

AN OPTIMIZATION MODEL FOR AIRPORT GROUND STAFF TASK ASSIGNMENT

陳俊穎 Chun-Ying Chen²

吳宛蓉 Wan-Jung Wu³

(108 年 1 月 29 日收稿，108 年 8 月 7 日第 1 次修改，108 年 12 月 26 日定稿)

摘 要

近年來，航空產業日益蓬勃，航空公司所提供的航班數量也日益增加，因此對於航勤公司地勤人員的勤務負擔也越來越大，航班與可使用的人員有可能會隨時產生變化。當可用資源或需求發生變動時，規劃人員必須不斷地調整規劃結果以符合規劃需求，若再加上考量地勤人員工作負擔的公平性，更增加規劃時的困難程度。目前勤務指派仍是採用人工方式，常發生決策誤差亦或是低效率的情況。因此，本研究以系統最佳化的觀點，利用網路流動技巧配合數學規劃方法，構建一勤務指派最佳化網路模式。該模式將考量工作負擔的公平性，並以滾動規劃的方式進行勤務指派。最後，為了評估各演算法之實際求解績效，本研究以國內某航勤公司的營運資料為基礎，進行測試分析以及敏感度分析，結果顯示本研究模式可提供給決策單位作為地勤人員勤務指派之規劃輔助工具。

關鍵詞： 地勤人員；勤務指派；網路流動技巧；數學規劃

ABSTRACT

In recent years, the aviation industry is booming and the number of flights

-
1. 本研究承科技部專題計畫 (MOST 106-2221-E-424-001) 補助，特此致謝。
 2. 開南大學空運管理學系副教授 (聯絡地址：33857 桃園市開南路 1 號 開南大學空運管理學系；電話：03-3412500#6032；E-mail: cychen@mail.knu.eud.tw)。
 3. 開南大學空運管理學系大學四年級學生。

is increasing. Therefore, the burden for ground staff service is also growing. Besides, the flight and available employee could fluctuate at any time. Therefore, planner could constantly modify the planning results to conform planning requests. If the ground staff workload is considered, it will increase the degree of difficulty. In practice, duty assignment results are still being obtained by manual approach, which may possibly result in an inferior solution. Therefore, we employ network flow techniques and mathematical programming to construct a duty assignment optimal network model. The propose model consider the fair workload for each staffs and use rolling wave planning method to assign the duty. The propose model is considered the fairness of workload and used rolling plan to decide duty assignment. Finally, Numerical tests are performed using the data associated with an airport service company and sensitivity analysis. The test results are good showing that the model could be useful references for practices.

Key Words: *Ground staff; Duty assignment; Network flow techniques; Mathematical programming*

一、緒 論

臺灣的地理條件優渥，對於航空業而言是相當適合發展的國家。近年來在國際貿易的快速發展以及海外旅遊的興旺下，使臺灣整體的航空需求量逐年提升，像是近幾年來臺觀光的旅客大幅增長，加上許多國家陸續推動入境免簽，也讓國人出國意願增高。近期，國內各航空公司更是引進大量新機來解決暴增的旅客人數，對於地勤工作人員的招募也不斷的增加。政府今年來也給予拓展航空產業相當之協助，猶如最近之「桃園航空城」、「開放兩岸直航」等政策，在政府積極推動航空業務的發展以及桃園國際機場民營化的影響之下，國內航空業者也在拓展航線，因此地勤人員在過去數十年間的需求也逐漸提升。

地勤人員可區分為：(1) 勤務地勤：協助航空公司於機坪內之作業，工作地點大多在機場空側端，例如：桃勤、臺勤及榮勤；(2) 運務地勤：提供協助旅客或貨物進行飛航服務的人員，工作地點大多在航站大廈，例如：機場劃位人員、登機人員或櫃檯票務人員，一般由航空公司提供服務；(3) 航務地勤：班機聯繫、飛航計劃與提示人員，工作地點大多在航空公司的聯合管制中心；(4) 機務地勤：提供飛機維護維修工作，例如：長榮航太、中華航空飛機修護中心，工作地點大多在機場修護停機坪。而本研究是以「勤務地勤」為研究對象，因此後續所稱之地勤人員均是指勤務地勤人員。所謂勤務地勤主要服務對象為航空公司，根據民用航空法第 2 條將其定義為「航空站地勤業」，所謂航空站地勤業是指於機坪內從事航空器拖曳、導引、行李、貨物、餐點裝卸、機艙清潔、空橋操作及其有關勞務之事業。一般來說，工作區域多在空側端，且工作內容繁多，工作內容大致可區分為：(1) 機坪服務；(2) 旅客服務；(3) 清艙服務；(4) 裝卸服務。勤務地勤人員之工作內容具有專業性，不同種類間之人員難以互相支援。其中，以「清艙服務」所需人力最多，時間最

為緊迫，與航班到離時間關聯性強，且班機常會因各種原因與預先班表不同，更造成勤務指派人員在規劃上的困難度。再者，「清艙服務」勤務內容之工作負擔差異性大，若連續時間做相同且負擔程度高之勤務，將造成員工感到不公平且疲勞，因此，本研究以清艙服務之勤務指派規劃為研究範圍。

一般來說，除宵禁的機場外，大多數機場 24 小時均需要有地勤人員的協助。再者，大多數地勤人員的勤務多是伴隨著班機到來而產生，因此，地勤人員的工作時間，往往需要配合飛機航班來做安排，與一般固定時間上下班之方式不同。以航勤公司的立場而言，為了期望能達到人員能夠配合航班時間靈活調度，班別之種類會比一般半導體與電子業的兩班制輪班，或製造業、醫療保健與社會服務業三班制更為複雜，其班別數量可能數十種。航勤公司之人員排班規劃也必須嚴格遵守政府所頒布之勞動基準法，例如：每日、每周、每月之工時上限等等。再者，由於工作上疲勞度可能會對員工之健康、社交和家庭生活有嚴重影響，為減低此情況，規劃人員也會將較人性化的勤務分配納入考量，例如：考量每名員工之工作負擔相近。此外，雖然地勤員工調度靈活，工作內容不盡相同，但某些勤務需要受過特別訓練或領取相關執照，因此各勤務所需要的員工，又必須考量員工是否取得相關職能。由上述說明可知，地勤人員之勤務安排規劃是一個重要且複雜的問題。

經過訪談後得知，目前勤務指派是先取得排班相關的資料與限制後，以主管過去的經驗法則或個人主觀經驗，在考量相關人力供給、勤務需求以及相關限制條下，以人工手寫至表格協助規劃。但此種規劃方式，未必能周全考量工作現場的所有限制因素，非常容易造成排班安排失當或工作分配不均等結果。因此，在實際運作時往往還要花費相當多的時間與精神進行調整，以確保各項勤務均有足夠人員，以及達成各個人員工作內容公平。此外，現有規劃過程繁複，易耗費規劃人員大量時間且缺乏效率，徒增規劃人員之工作負荷，降低員工士氣。再者，當規劃完成後，又可能因為班機變動，勤務必須重新指派，此時由於時間的緊迫，更可能增加規劃人員的壓力。最重要的是，規劃結果的良窳也將會影響到公司經營的成本。

緣此，本研究以航勤公司勤務指派規劃人員為立場，利用網路流動技巧及數學規劃方式，構建機艙清潔勤務指派網路，以零壹整數流動方式定式 (formulate) 地勤人員之勤務指派，並以缺工最小、總加班時數最小、工作負擔差異最小為規劃目標，構建地勤人員勤務指派規劃模式。最後，為驗證模式之實用性，本研究參考某航勤公司之相關資料建立實務問題，並進行敏感度分析，期望透過系統性的規劃，能有效地協助航勤公司進行勤務指派規劃。本文後續內容如下：第二節現況分析與文獻回顧，第三節建構勤務指派模式，第四節進行範例測試，最後，第五節提出結論與建議。

二、現況分析與文獻回顧

本研究主要是運用網路流動技巧構建地勤人員勤務指派模式，以下針對現況以及相關文獻進行探討。

2.1 現況分析

經過訪談後，地勤人員勤務指派大致可分類成 3 個面向進行討論：規劃時間面、規劃結果面以及法規／人性面。

首先，就規劃時間層面而言，目前實務上勤務分配規劃作業，均是依照規劃者過去經驗進行主觀指派，其所耗費的時間長短會因為規劃人員的能力或經驗而有所不同。若能適當提供規劃人員一個勤務指派輔助工具，將可減少規劃人員工作負擔，亦能節省原本需要花費在派工上的時間，改運用在妥善管理組員並提升工作品質，將人力資源做更有效的運用。

就規劃結果面而言，由於現行規劃方式所產生的勤務分配僅為一區域最佳解，並非是以系統最佳化的觀點進行最貼近公平性的規劃。若規劃不當，可能會產生缺工的情況，在實際操作上，為將會臨時指派員工以加班的方式，來滿足各項勤務的人力需求，但此做法將會增加員工每日下班時間的不確定性，此外，也可能因為規劃不當，導致即使透過加班也無法滿足人力需求。因此，人工勤務指派的作法不但會導致人力資源不必要的浪費，更會產生不必要的加班費用。

就法規／人性面而言，在完善的公司制度下，規劃結果多期望除能滿足勞工相關法規限制外，更期望能滿足員工心理層面的需求。因此，在規劃上會增加公司因體恤員工的規劃限制，例如：勤務指派的公平性。但目前人工指派的作法，在考量相關法規限制、避免勤務缺工以及減少加班數後，往往難以考量勤務指派的公平性。若在公平性上令員工不滿，部分工作負擔較重的員工，可能因此降低向心力，甚至產生離職潮，在無形中將會增加公司之營運成本。

2.2 文獻回顧

航空地勤人員勤務繁雜，過去有許多學者針對不同領域進行人員排班之相關研究，顏上堯與陳玉菁^[1]對純檢修資格的航機修護人力供給問題，構建一整數規劃模式，並運用 CPLEX 套裝數學規劃軟體求解模式，以期幫助航空公司的修護部門有效率地規劃修護人員之排班。陸以國^[2]以國內 D 航空公司航線修護一般人員為對象，建立一套從航班到離資訊，轉換成航線修護需求工時，推展出各式排班的模式，最後，依各排班模式計算出其成本與風險、實際所需航線修護總人數的探討。蘇啟超^[3]針對飛安查核人員提出一個工作排程與人員排班模式，該模式依據民航局之查核作業程序，以國內 4 家航空公司年度查核任務進行實例驗證。透過案例測試可知，該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。陳榕真^[4]依國內某地勤公司現行之裝卸人員，依照其需求及限制建構一 0-1 整數規劃模式，使用 LINGO 套裝數學規劃軟體求解。Chu^[5]針對地勤組員勤務指派提出數個目標規劃 (goal programming) 模式，並以香港機場行李服務部門員工為對象，結果顯示可提出一個可行且滿足不同情境的班表。王偉楓^[6]則是針對維修人員進行規劃，利用兩階段處理方式進行模擬實驗，第 1 階段利用基因演算法進行群組

排班，第 2 階段使用基因演算法與反覆式限制處理進行人員休假分派。柯國川^[7]則是針對航管人員的排班，利用最佳化觀點產生可平均分攤疲勞程度的輪班班表，以達到降低最大疲勞值的目標；首先是建立數學模型量化以及表示航管人員的疲勞程度與變化曲線，目標函數為盡可能降低航管人員的最大疲勞值；限制條件方面則考慮休假、人力需求及其他輪班規定，並使用整數規劃法對排班問題求解。

至於在空勤人員排班問題上，過去有相當多學者進行相關研究，例如：David^[8]、Day 與 Ryan^[9]、張傑智^[10]、翁偉棟^[11]、杜宇平與顏上堯^[12]、王國琛^[13]、錢文俊^[14]、Kohl 與 Karisch^[15]、鄧廣豐^[16]、Guo 等人^[17]、Panta 與 Dusan^[18]、Broosa 與 Mario^[19]、Deng 與 Lin^[20]、Broosa 與 Mario^[21]等。空勤人員的排班問題除了需考量時間的因素外，還需要考量人員空間的移動，一般為了簡化問題，多將空勤組員的排班問題分成兩階段問題，一為組合產生問題 (pairing problem)，另一為人員指派問題 (rostering problem)，前者明顯與本研究問題不同，後者問題本質雖然接近，但因排班對象不同，因此考量限制也會有所差異，因此難以將其所發展的模式直接用於本研究問題上。

綜合以上的文獻回顧可發現，空運人員排班之文獻，大多針對空勤組員之排班，地勤人員則有針對航管人員、維修人員、裝卸人員…等，尚未發現有學者針對清艙人員排班進行探討。在研究方法方面，數學規劃方法以及網路流動技巧已應用在非常多的領域上，因此，本研究運用數學規劃及網路流動技巧，構建一考量勤務負擔公平性下勤務指派最佳化模式。

三、勤務指派模式

3.1 問題描述

最理想之勤務指派方式為預先獲得每隔日航班與可用員工資訊，進行隔日勤務指派規劃，並於前一天公布各員工所需執勤之勤務。但在實務上，由於每日航班資訊變動甚大 (班機到離時間)，人員也可能會有臨時請假的情況發生，再者，在每日 24 小時中均可能有班機抵達。因此，本研究將採用滾動式規劃，如圖 1 所示。首先收集規劃所需之資料並進行資料更新 (例如：可指派之員工資料、航班資料、指派規定與其他相關資料等)，接著將資料輸入至本研究之數學規劃模式，並予以求解。求解之結果需再透過領班或相關主管做勤務上的人工微調，此部分可稱為後最佳化處理，此作法可使規劃結果更為實用，最後再予以公布。而此流程不斷地進行滾動式運作，並在每次規劃時均參考前一次規劃結果，考量員工過去的勤務負擔，使規劃結果更具公平性。

本研究是以缺工數最少、加班總時數最少以及勤務負擔差異最小為規劃目標。一般來說，公司為了維持正常營運，會聘請足夠員工來滿足勤務需求，若勤務安排妥當，並不會有缺工的情形發生。在不可能發生缺工的前提下，模式設計可將人數需求直接設為限制

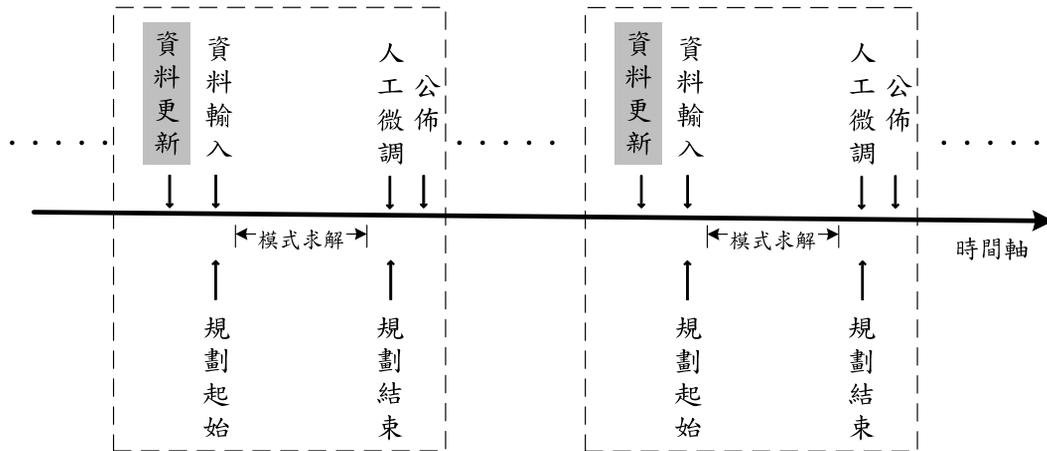


圖 1 規劃時機與時間之關係圖

式，不需設置缺工變數（若設置，缺工變數必為 0），也不需以最少缺工為目標（若設置，用來代表缺工之目標函數值必為 0）。但在實務操作上，常常可能會發生月班表安排不當、員工請假或是受訓等臨時性狀況，而導致某日員工數量過少，而此情況則可能會產生缺工，若模式當中未設置缺工變數，則會發生無解。若模式未能提供相關資訊，規劃人員將無所適從，因此，本研究設定一變數用來表示缺工，並將其置於目標式，若發生缺工的情況，可藉此了解何項勤務缺工，提供規劃者進行臨時人力調派時之參考。因此，本研究以最少缺工人數為主要目標。再者，由於成本的考量，規劃者亦期望員工加班總時數最少，因此，本研究以最少加班數為次要目標。最後，由於本研究期望排班結果可呈現每人勤務負擔之公平性，因此以勤務負擔差異最小為最後考量之目標。

本研究提供一個勤務指派規劃決策輔助工具，該工具所需輸入資料與輸出資訊如圖 2 所示，輸入資料可分為員工資料、勤務資料以及相關規定等 3 個部分。其中，員工資料可由人事單位供給資料，可視為人員供給資料，其內容包括：(1) 各員工所具備之職能：透過此資訊可了解該名員工可值勤哪些勤務，例如：駕駛專業車輛需領有相關證照；(2) 規劃期間可執勤之員工：透過月班表可得知每日實際到班人員，以及各人員之上下班時間；(3) 過去已承受之工作負擔：為使指派結果更為公平，每次派工需記錄每位員工所承受之工作負擔。

勤務資料可視為派工需求資料，其內容包括：(1) 各勤務所需要人數：各勤務均有作業人數規定，包含至少需求人數以及最多人數；(2) 勤務開始時間與結束時間：一般來說，勤務開始與結束時間會因航班到離而有所變化；(3) 勤務負擔之工作量：不同勤務間有不同工作負擔，有些勤務較為輕鬆，有些較為辛苦。在本研究中，將不同勤務設定為 1 至 3 不同等級之工作負擔，規劃者可依需求自行設定調整；(4) 各勤務所需之職能：部分勤務具有其專業性，因此需具有專業執照才可執勤。相關規定，可視為排班之相關限制條件，

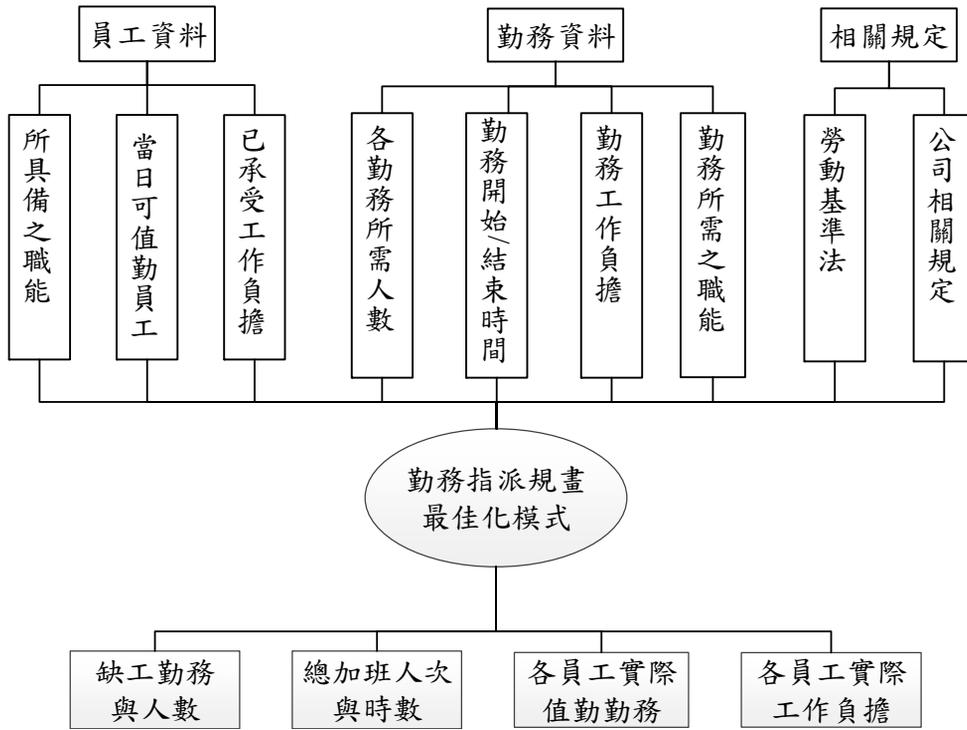


圖 2 勤務指派問題之輸入與輸出資訊

其內容包括：(I) 勞動基準法：日班表的規劃結果不可違反勞動基準法之相關規定，例如：上班時間與加班時間；(II) 公司相關規定：班表結果除了滿足勞動基準法相關規定外，根據員工狀況，公司可能設置相關人性化安排，例如：懷孕女性，則分派較簡易的勤務。

所有輸入資料，經由勤務指派規劃最佳化模式計算後，獲得輸出資訊。而輸出資訊則包括：(1) 缺工勤務與人數；(2) 總加班人次與時數；(3) 各員工實際執勤勤務；(4) 員工實際工作負擔。簡言之，資料輸入經過模式運算後所獲得之輸出資料，除了可提供勤務指派參考外，亦可提供管理單位進行長期人力調整規劃。

3.2 模式架構

本研究模式是利用網路流動技巧，以有效地定式員工在各勤務間值勤的情形，以輔助模式之構建。以下分別針對勤務指派網路以及勤務指派數學定式，作詳細的說明。

3.2.1 勤務指派網路

勤務指派網路主要用來呈現各員工值勤各勤務的情形，每一層網路用來表示每一名員工。勤務指派網路主要是由節點與節線兩個元素所組成，如圖 3 所示。節點的部分可區分為網路起始節點、網路結束節點、勤務開始節點以及勤務結束節點，分別用來表示該員工

於規劃期間值勤的起始與結束，以及各個勤務的開始與結束。網路中所有節點均為轉運點，不設供給點以及需求點，而是將每個勤務透過包裹限制 (bundle constraint) 使網路具有流量，詳細作法將於數學定式中說明。至於節線部分，每條節線均代表一個變數，可分為勤務節線、勤務接續節線、匯集節線以及循環節線，詳細說明如下：

1. 勤務節線

此節線為勤務起始節點 (節線尾點) 與勤務結束節點 (節線頭點) 間的連線。節線尾點的時刻代表勤務開始時間，節線頭點的時刻代表勤務開始時刻加上勤務執勤時間再加上勤務接續的緩衝時間。換言之，節線頭點的時刻即代表勤務結束時刻。至於節線的構建方式為，若勤務之開始時刻與結束時刻均在該員工值勤的班別內，而且該員工可值勤該勤務 (具有值勤該勤務的職能)，該勤務所代表之節線則會被構建。換句話說，每一層網路的勤務節線數量，即等於該員工在值勤班別內可能執行勤務的候選數量。在此網路設計上，節線流量上限為 1，代表該員工必須值勤該勤務；流量下限為 0，表示該員工未值勤該勤務。

2. 加班勤務節線

此節線用來表示員工是否透過加班的方式執行該勤務。設計方式與勤務節線類似，不同之處在於此節線上設計一加班成本，並加此成本至於目標式，用來確保員工會優先執行正常班別內之勤務，若所有員工均無法透過正常班別執行該勤務，且造成缺工的情況下，將會挑選適合的員工以加班的方式值勤，以減少整體缺工數。至於節線的構建方式為，勤務結束時刻在該員工正常班別以外，但可透過加班值勤的勤務所代表之節線需被構建。換句話說，每一層網路的加班勤務節線數量，即等於該員工可透過加班執行勤務的候選數量。至於成本的設計方式，則是該員工正常班下班時間與該勤務結束時間之差，例如圖 3 中勤務 m-2 之成本為 30 分鐘、勤務 m-1 之成本為 40 分鐘、勤務 m 之成本為 60 分鐘。

3. 勤務接續節線

每名員工於單日內均依序服務多個勤務，而接替執勤的可能性即以勤務接續節線表示。此節線建立係以勤務節線中的尾點與頭點所代表的時刻進行接續與否之邏輯判別。勤務接續節線的流量若為 1，代表此節線所連接之兩條勤務節線所代表的勤務，將先後由同一個員工所值勤，且間格內並無其他的勤務可被該員工執勤，若流量為 0 則上述情況不成立。網路設計上，此類節線於程式透過各勤務之起始時刻與結束時刻判斷產生。節線流量上限為 1，流量下限為 0。

4. 起始／結束節線

此節線連接於網路起始／結束節點與勤務起始／結束節點間的連線，用來表示當日勤務的起始與終了，節線的流量上限為 1，下限為 0。

5. 循環節線

此節線連接於網路起始節點與結束節點，主要用途為表示勤務的循環連續性，將網路起始與結束兩節點轉為流量守恆，可使本網路轉化為一無供需節點之循環網路。循環節線上的流量即代表該員工於規劃期間是否具有勤務。節線的流量上限為 1，下限為 0。

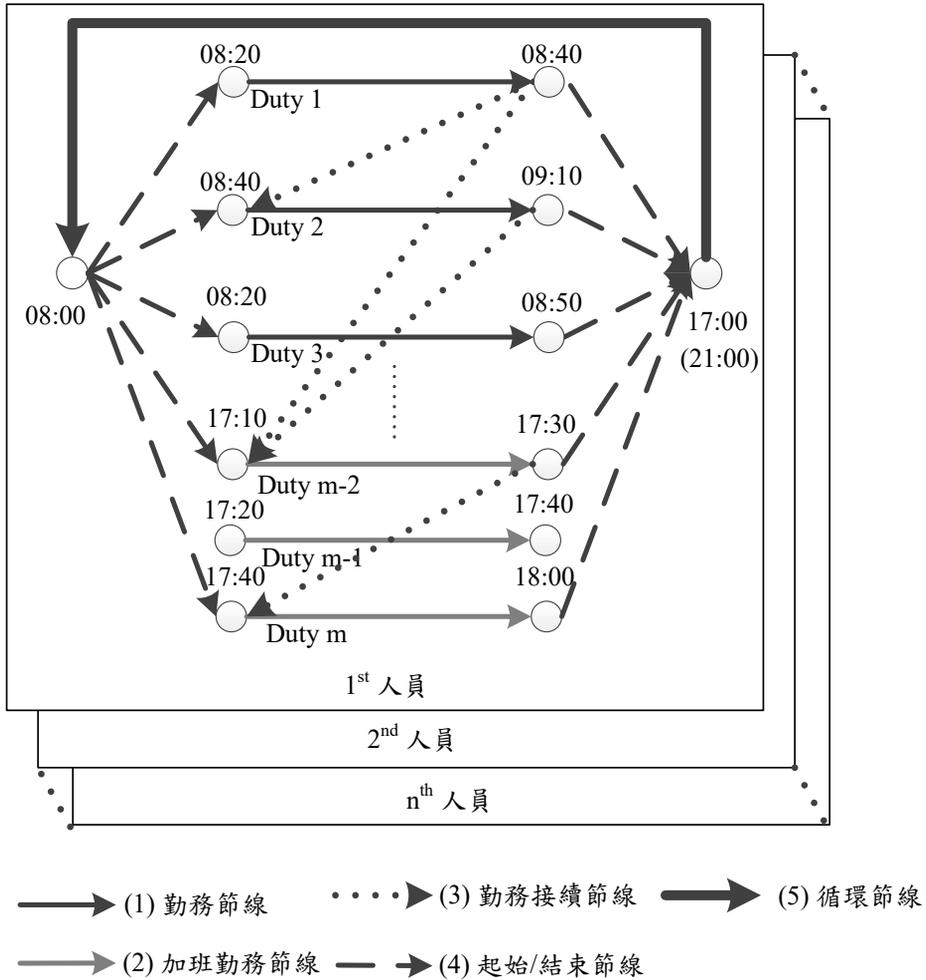


圖 3 勤務指派網路

3.2.2 數學定式

在模式定式前，茲定義模式所使用之集合、參數及決策變數如下。

集合定義：

- K ： 所有網路 (員工) 的集合；
- D ： 所有勤務的集合；
- A^d ： 所有用來表示勤務 d 的勤務節線集合；
- AD^k ： 第 k 層網路中所有加班勤務節線的集合；
- N^k ： 第 k 層網路中所有節點的集合；
- K^d ： 所有可執勤勤務 d 的員工集合；

A ： 所有節點的集合。

參數定義：

lp^d ： 勤務 d 至少需要的員工數量；

up^d ： 勤務 d 最多可值勤的員工數量；

w^d ： 勤務 d 的工作負擔；

at ： 本研究將代表加班勤務之工作量，乘上一個加班工作量乘數 at ，此參數為一個大於 1 的值，用來反應當此勤務為加班勤務時，其所代表的工作量將比不加班勤務高，此參數可依規劃者需求進行調整；

pw^k ： 員工 k 先前已經承受之工作量；

c_{ij}^k ： 第 k 層網路中，加班勤務節線 (i, j) 的加班成本。亦指員工 k 執行節線 (i, j) 所表示之加班勤務的加班成本；

α ： 加班權重。

決策變數定義：

x_{ij}^k ： 表示第 k 層網路中，節線 (i, j) 的流量，用來表示第 k 名員工是否執行節線 (i, j) 所代表的勤務。

z^d ： 表示勤務 d 的缺工人數；

$b1$ ： 所有員工工作量中最大之工作量；

$b2$ ： 所有員工工作量中最小之工作量。

由於本研究是以最少缺工人數為主要目標，其次為最少總加班時數，最後再考量勤務負擔差異最小。為確保各目標之獨立性，本研究依據目標特性建置兩個不同數學模式，詳細說明如下：

模式 I - 缺工人數最小化

$$\text{Min. } \sum_{d \in D} z^d \quad (1)$$

s.t.

$$\sum_{j \in N^k} x_{ij}^k - \sum_{h \in N^k} x_{hi}^k = 0 \quad \forall i \in N^k, \forall k \in K, \quad (2)$$

$$\sum_{k \in K^d} x_{ij}^k + z^d \geq lp^d \quad \forall (i, j) \in A^d, \forall d \in D, \quad (3)$$

$$\sum_{k \in K^d} x_{ij}^k \leq up^d \quad \forall (i, j) \in A^d, \forall d \in D, \quad (4)$$

$$x_{ij}^k \in 0 \text{ or } 1, \quad \forall (i, j) \in A, \forall k \in K, \quad (5)$$

$$z^d \in Z^+, \quad \forall d \in D \quad (6)$$

模式 I 是以最少缺工人數為規劃目標，目標式 (1) 為所有代表缺工總變數的加總；限制式 (2) 為流量守衡限制式；限制式 (3) 為各勤務最少需求人數限制；限制式 (4) 為該勤務

最多可值勤的人數限制，此限制式可避免值勤人數超過需求上限；限制式 (5) 為零一整數限制；限制式 (6) 為正整數限制。

模式 II—總加班時數與勤務負擔差異最小化

$$\text{Min } \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in AD^k} \alpha \times c_{ij}^k \times x_{ij}^k + (b1 - b2) \quad (7)$$

s. t.

(2)、(3)、(4)、(5)、(6)

$$pw^k + \sum_{(i,j) \in D} w^d \times x_{ij}^k + \sum_{(i,j) \in AD^k} at \times w^d \times x_{ij}^k \leq b1 \quad \forall k \in K, \quad (8)$$

$$pw^k + \sum_{(i,j) \in D} w^d \times x_{ij}^k + \sum_{(i,j) \in AD^k} at \times w^d \times x_{ij}^k \geq b2 \quad \forall k \in K, \quad (9)$$

$$\sum_{d \in D} z^d = s \quad (10)$$

$$b1, b2 \geq 0. \quad (11)$$

模式 II 之目標式分為兩個部分，第 1 個部分是以最小化總加班時數，是所有代表加班節線與其所對應成本乘積的加總來表示，其中 α 為加班權重，用來確保目標優先考量總加班時數最小化。第 2 個部分是最小化勤務負擔差異，須配合限制式 (8)、限制式 (9)，這兩條限制式為勤務負擔公平性限制式，每一員工的勤務負擔均會在 $b1$ 與 $b2$ 範圍值之內。透過最小化勤務負擔差距使規劃結果具有公平性。其他限制式除包含原有的限制式(2)–(6)，另外再加上限制式(10)，其中之參數 s 代表至少會存在的總缺工數，可由模式 I 之目標值獲得；限制式(11)為非負限制。

由於本研究是採用滾動式的規劃，部分員工指派的結果在上一次規劃時就已經確定。因此在進行勤務指派網路建構時，應注意在此規劃期內該勤務與員工於上階段是否已經被指派勤務。若已經被指派勤務，在此規劃期就不再納入規劃。以圖 4 為例，所有與第 n 次規劃相關的勤務包含有：勤務開始時間在第 $n-1$ 次規劃，但結束時間在第 n 次規劃的 a 種勤務；務勤務開始與結束時間均在第 n 次規劃中的 b 種勤務；以及勤務開始時間在第 n 次規劃期，但結束時間在第 $n+1$ 次規劃期的 c 種勤務。在人員方面包含：上班時間在第 $n-1$ 次規劃，但下班時間在第 n 次規劃的 d 與 d' 種員工；上班與下班時間均在第 n 次規劃中的 e 種員工；以及上班時間在第 n 次規劃期，但下班時間在第 $n+1$ 次規劃期的 f 種員工。

在進行網路構建時，勤務資料較為單純，由於 a 種勤務已經於上個規劃期中被指派，因此，僅需將 b 與 c 種勤務納入模式中進行規劃，所有 b 與 c 種勤務均需要構建相對應之勤務節線。至於人員資料部分，由於 d 、 d' 、 e 、 f 種員工均需要在此規劃期指派勤務，因此，所有 d 、 d' 、 e 、 f 種員工均需要構建相對應之勤務指派網路。但要特別注意的是，在代表 d 類型員工之勤務指派網路中，由於在上個規劃期已經被指派到勤務，因此網路起始節點所代表的時間，設定為上規劃期值勤最後一個勤務的結束時間，網路結束節點所代表的時間，則是加上加班時間後的時間。在代表 d' 類型員工之勤務指派網路中，由於在上個

規劃期被指派到之勤務並未延續到此次規劃期，因此，此類型員工之網路起始節點所代表的時間設為規劃開始時間，網路結束節點所代表的時間與 d 類型員工相同，也是設為加上加班時間後的時間。在代表 e 類型員工之勤務指派網路中，其網路起始節點所代表的時間，是上班開始時間，網路結束節點則是加上加班時間後的時間。在代表 f 類型員工之勤務指派網路中，其網路起始節點所代表的時間，是上班開始時間，其網路結束節點所代表的時間，則是加上加班時間後的時間，要特別說明的是，由於 f 類型員工在值勤跨週期的勤務後(c 種勤務)不會有任何勤務，因此網路結束節點也可設為所有 c 種勤務最後的結束時間。

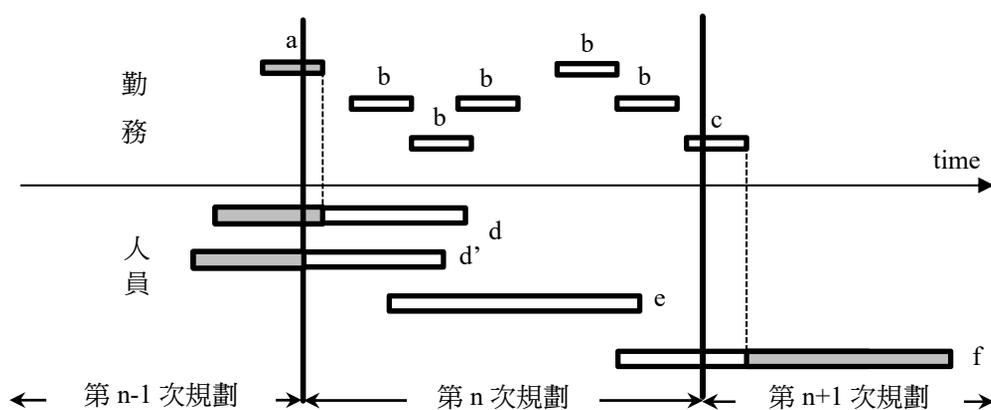


圖 4 勤務與人員規劃範圍示意圖

總而言之，在第 n 次規劃中，不論是勤務與人員均需要將圖 4 中白色部分納入規劃，並產生相關變數。至於左邊灰色的部分，則是上一次規劃已經確定的結果，在此次規劃並不會變更決策，因此不產生變數。而右邊灰色的部分，則是下一次才要進行指派的工作，在此次階段不會進行決策，因此也不產生變數。

3.3 模式應用

在模式應用方面，本研究之模式構建是以勤務指派規劃人員的立場，考量最小缺工以及公平性的情況下，進行勤務指派規劃。在實務上應用之相關程序詳細說明如下：

Step 0 設定初始值：在利用此模式進行電腦排班時，規劃人員需先行設定每個勤務之工作負擔，例如：低、中、高 3 種程度。參數 w^d 則依據規劃人員的設定分別給定 1、2、3 不同之參數值。至於先前已經承受工作量之初始參數 pw^k ，規劃人員可利用先前人工排班之結果（每個員工執勤的勤務），對應先前已設定完成的參數 w^d 計算得知（累加先前透過人工排班所得的執勤勤務工作量得知）。

Step 1 更新勤務與員工資料：依據最新航班以及員工班表，判斷需要納入此次規劃的勤務與員工，並依據 Step 0 / Step 5 之結果給予參數 pw^k 。

- Step 2 兩階段模式求解：依據 Step 1 之相關資料與參數，建構兩階段數學模式，並透過數學規劃求解軟體 CPLEX 12.6.3 求解。
- Step 3 微調後公布執勤表：模式求解結果經由規劃人員進行微調，在確認無誤後則公布執勤表。
- Step 4 依據公布執勤表值勤：由於在實際值勤期間可能會有班機延誤/取消的情況，規劃者可依實際情況進行即時調整。
- Step 5 更新已承受工作量參數 pw^k ：要特別說明的是，由於兩階段模式之規劃結果在 Step 4 可能已經被修改，因此參數 pw^k 要依據實際執勤勤務之工作量累加得知，而非採用模式規劃之結果。接著，回到 Step1 準備進行下次規劃。

在此滾動式規劃中，每個規劃期的長度可依據規劃者實際需求而設定，但要特別注意的是，雖然以系統最佳化的觀點，較長的規劃期，可讓指派結果更趨於最佳解，但若規劃期太長，班機發生變動（延誤或取消）的機率較大，如此一來將造成規劃結果需不斷調整。再者，若規劃期太長，也可能使模式規模增大，求解時間增長。本研究後續測試是參考每日最長工時加上休息時間，每日以 13 小時作為規劃長度，決策者可依實際需求進行調整。至於滾動規劃的啟動時間，在考量模式求解以及結果微調所需的時間，建議在規劃期開始前兩小時即要完成資料更新並開始求解，決策者亦依實際求解時間與資料蒐集時間來進行調整。

要特別說明的是，本研究模式是每個員工班別已經確定的情況下，進行各員工的勤務指派。因此，各員工值勤班別的公平性（時段或長短）並不在本研究範圍內。但一般來說，為了讓人員調度具有彈性，所有員工均可能執勤各種班別，並非只是單一班別，而本研究模式是在此前提下進行公平性的模式建構。舉例來說，假設某員工先前班表多為長班，一般來說，長班被分配到的勤務數量較短班多，因此，該員工累加之工作量也會較多，在考量公平性下，後續的指派結果將趨向勤務負擔較低的勤務。另外，假設某員工常常被安排到深夜時段，深夜時段勤務之工作負擔較大，因此，往後被指派結果也將趨向勤務負擔較低的勤務。

四、範例測試

為測試本研究之正確性與了解在不同情境下之規劃結果，以下針對測試資料、基本範例測試與分析以及敏感度分析分別進行說明。

4.1 基本範例測試

本研究之模式透過數學規劃求解軟體 CPLEX 12.6.3，於個人電腦上執行程式運算，該電腦以 Microsoft Window 10 為作業平臺，CPU 為 i7-8550U CPU @ 1.8GHz，記憶體為 8Gb。本研究以國內某一航勤公司中清艙服務之勤務指派為對象，規劃時間為 8 小時，於規劃期

內可用員工數量為 43 人，此期間共計有 70 個航班，340 個勤務。清艙服務之專業職能種類較少，僅有駕駛勤務需要專業證照，勤務內容為載運人員與工具至機上後，接續簡易之清艙工作。具有駕駛執照之員工共計 22 人，各項勤務至少需要人數為 1-2 之間，最多可值勤人數為 2-4。

在其他參數設定方面，各勤務之工作負擔設定為 1-3 之間，分別表示工作負擔低、中、高，加班工作量乘數設為 1.5，加班策略成本設定為 100，至於各員工先前已經承受之工作量，設定為規劃期前 5 天。要特別說明的是，由於實際即時資料的取得有其困難性，為了讓模式指派與人工指派在同一比較基礎上，此測試是經過實務訪談後，以合理的假設隨機產生相關資料後，再進行測試。兩者均是在獲得相同資料後開始求解，但此測試僅是針對單一次規畫進行比較。換言之，此測試僅是針對「3.3 模式應用」章節中的 Step 2 進行測試比較。

本研究之求解結果如表 1 所示，在模式 I 之變數數量為 1,778,775 個，限制式數量為 23,929 條；模式 II 之變數數量為 1,778,777 個，限制式數量為 24,016 條限制式。求解時間模式 I 為 17.8 秒，模式 II 為 475.5 秒，兩模式總構建時間（包含資料讀取與數學式產生）為 146.6 秒。經檢視細部解後發現，求解結果共有 0 個勤務有缺工的情況，總缺工人次為 0 人；共計有 10 人加班，加班總時數為 735 分鐘。所有勤務中最高工作負擔為 44，最低工作負擔為 27，兩者間之差異值為 17。

此外，為了解此模式的績效，本研究更深入與人工指派結果進行比較。為了讓模式指派與人工指派在同一比較基礎上，此測試均是在獲得相關資料後開始求解。比較後發現，最佳化模式之指派結果明顯優於人工指派結果，人工指派結果耗時約 10,800 秒（約 3 小時），共計有 69 個勤務缺工，缺工人次為 73 人，加班人次有 29 人，加班總時數為 1,120 分鐘，工作量差異為 25，人工指派結果明顯劣於最佳化模式之指派結果。

4.2 敏感度分析

由於模式中各項輸入資料，在數值不同的情形下，可能造成不同的規畫結果與績效，故為評估輸入數值的不同對於模式之影響，本研究針對勤務下限人數、勤務數量以及可用員工數量進行敏感度分析。

4.2.1 勤務下限人數之敏感度分析

勤務下限人數是指每項勤務至少需要的人數，在清艙作業中，不同的勤務所需的人員數量可能有所不同，而勤務下限人數為地勤人員勤務指派是否缺工的重要因素，因此本研究除基本範例外，另外增加測試減少 1 人、增加 1 人以及增加 2 人，共計測試 4 題。情境 1 之測試例為各勤務下限人數均減少 1 人，為確保各勤務均具有人數需求，因此測試資料中並沒有需求為 0 人之勤務。要特別說明的是，由於在基本範例中，各項勤務下限人數為

1~2 之間，在不可有勤務需求為 0 人的原則下，各勤務減少 1 人後，各勤務下限人數均為 1 人，若減少 2 人，各勤務下限人數也會是 1 人，因此不進行減少 2 人之測試。

表 1 求解結果比較

項目	模式指派結果	人工指派結果
模式 I		
變數數量	1,778,775 個	-
限制式數量	23,929 條	-
求解時間	17.8 秒	-
模式 II		
變數數量	1,778,777 個	-
限制式數量	24,016 條	-
求解時間	475.5 秒	-
總模式構建時間	146.6 秒	-
總求解時間	493.3 秒	約 10,800 秒
缺工勤務數量	0 個	69 個
缺工人次	0 人	73 人
加班人次	10 人	29 人
加班總時間	735 分鐘	1,120 分鐘
工作量差異 (b1-b2)	44-27=17	36-11=25

測試結果如表 2 所示，由於此敏感度分析僅改變勤務下限人數之參數，因此，兩個模式之問題規模並不會改變，變數與限制式數量均與基本範例相同。由於模式規模相同，因此模式構建時間均相近。本研究深入分析其細部結果後發現，當勤務下限人數減少時，缺工人次以及缺工勤務數量均維持為 0，但加班人次減少為 2 人，加班總時數減少為 80 分鐘，工作量的差異減少為 1 單位，其主要原因為當每個勤務下限需求人數減少時，代表各勤務之人力需求減少，因此，員工加班數量以及時數均會隨之減少，至於工作量的部分，由於員工充足，勤務選擇增加，因此勤務較有公平指派的機會。

本研究深入分析其細部解後發現，當各勤務下限人數增加到 2 人時，缺工人次則由 0 人增加到 40 人，缺工勤務數量由 0 個增加到 19 個。其主要原因為當各勤務人力需求增加時，若人力供給不改變則會有缺工的情況發生。在加班的部分，加班人次均維持在 24 人，但加班時數由 2,470 分鐘減少到 2,440 分鐘。其原因為當每個勤務的需求人數均增加時，

原本需加班之員工，有機會指派到不需加班之值勤，進而導致加班總時數減少。在工作量差異方面，會因為勤務需求人力增加而增加，主要因為，當勤務需求人力增加時，各員工可指派之勤務數量減少，因此，難以考量工作量之公平。至於在求解時間方面，在此系列測試範例中最大求解時間為 1,126.5 秒，為可接受範圍內。

表 2 勤務下限人數之敏感度分析

	情境 1 (-1)	情境 2 (基本範例)	情境 3 (+1)	情境 4 (+2)
缺工人次	0	0	30	40
缺工勤務數量	0	0	19	19
加班人次	2	10	24	24
加班總時間 (分)	80	735	2,470	2,440
工作量差異 (b1-b2)	1	17	51	70.5
模式構建時間 (秒)	148.8	146.6	145.3	147.0
總求解時間 (秒)	1,126.5	493.3	452.8	259.7

4.2.2 勤務數量之敏感度分析

勤務數量為地勤人員勤務指派是否缺工以及是否加班的重要因素，本研究除基本範例外，另外以基本範例減少 30%、減少 15%、增加 15% 以及增加 30% 分別進行測試，包含基本範例共產生 5 個情境。測試結果如表 3 所示，兩個模式之變數與限制式數量均隨著勤務數量增加而增加，當勤務數量由 238 個增加到 442 個時，模式 I 之變數由 885,104 個增加到 3,082,077 個，模式 II 之變數由 885,106 個增加到 3,082,079 個，模式 I 之限制式由 16,789 條增加到 31,296 條，模式 II 之限制式則由 16,876 條增加到 31,383 條。其主要原因為，當勤務數量增加時，每一層指派網路中的勤務節線、勤務加班節線、勤務接續節線與起始／結束節線均會增加，而每個節線均代表一個變數，因此變數以及限制式數量均會隨之增加。隨著問題規模的增加，模式構建時間由 74.8 秒增加至 279.5 秒。

深入分析其細部結果後發現，當勤務數量由 238 個增加到 442 個時，缺工人次由 0 人增加到 7 人，缺工勤務數量由 0 個增加到 6 個，加班人次由 2 人增加到 17 人，加班總時數由 80 分鐘增加到 2,075 分鐘，工作量差異也由 3 增加到 27.5，其主要原因為當勤務數量增加時，同時也會反應人力供給不足，因此缺工數量以及加班情況隨之增加。在缺工的情況下，勤務指派也更難趨於公平。至於求解時間方面，最大問題規模 (情境 5) 花費 1,357.9 秒，在可接受範圍內。

表 3 勤務數量之敏感度分析

	情境 1 (-30%)	情境 2 (-15%)	情境 3 (基本)	情境 4 (+15%)	情境 5 (+30%)
勤務數量	238	289	340	391	442
模式 I					
變數數量	885,104	1,292,285	1,778,775	2,375,994	3,082,077
限制式數量	16,789	20,323	23,929	27,480	31,296
模式 II					
變數數量	885,106	1,292,287	1,778,777	2,375,996	3,082,079
限制式數量	16,876	20,410	24,016	27,567	31,383
缺工人次	0	0	0	4	7
缺工勤務數量	0	0	0	2	6
加班人次	2	8	10	15	17
加班總時間 (分)	80	475	735	1,645	2,075
工作量差異 (b1-b2)	3	8.5	17	16	27.5
模式構建時間 (秒)	74.8	124.1	146.6	175.1	279.5
求解時間 (秒)	205.6	682.5	493.3	885.8	1357.9

4.2.3 可用員工數量之敏感度分析

可用員工數量也是地勤人員勤務指派是否缺工以及是否加班的重要因素，本研究除基本範例外，另外以基本範例減少 30%、減少 15%、增加 15% 以及增加 30% 分別進行測試，包含基本範例共產生 5 個情境。測試結果如表 4 所示，兩個模式之變數與限制式數量，均隨著可用員工數量增加而增加，當員工數量由 31 個增加到 55 個時，模式 I 之變數由 1,294,457 個增加到 2,287,836 個，模式 II 之變數由 1,294,459 個增加到 2,287,838 個，模式 I 之限制式由 17,570 條增加到 30,442 條，模式 II 之限制式則由 17,633 條增加到 30,553 條。其主要原因為，在勤務指派網路中，一層網路即代表一名員工之值勤狀況，因此當員工數量增加時，網路層數將隨之增加，也會使得變數以及限制式數量隨之增加。隨著問題規模的增加，模式構建時間由 95.5 秒增加至 181.6 秒。

深入分析其細部結果後發現，當員工數量由 31 人增加到 55 人時，缺工人次由 4 人減少到 0 人，缺工勤務數量由 3 個減少到 0 個，加班人次由 14 人減少到 6 人，加班總時數由 1,585 分鐘減少到 240 分鐘，工作量差異由 51 減少到 7，其主要原因為可用員工數量增加時，代表人力供給增加，因此缺工數量以及加班情況將隨之減少。當人力充足時，各員工可選擇勤務數量較多，因此勤務指派也會越趨於公平。在求解時間方面，最耗時之情境為 1,417.24 秒，在可接受範圍內。要特別說明的是，近年來勞工意識抬頭，不論是勞

動基準法的修法，亦或是近來經常發生的罷工事件，均會造成可用員工數量的變化。透過此系列分析結果可發現，當可用員工數量減少時，不論是缺工人次、缺工勤務數量、加班人次、加班總時間以及員工間之工作量差異均會隨之增加。反之，當可用員工數量增加時，加班人次、加班總時間以及員工間之工作量差異均會隨之減少。因此規劃人員在面對勞工數量變化時，可透過此測試方式進行事前分析。

表 4 可用員工數量之敏感度分析

	情境 1 (-30%)	情境 2 (-15%)	情境 3 (基本範例)	情境 4 (+15%)	情境 5 (+30%)
可用員工數	31	37	43	49	55
模式 I					
變數數量	1,294,457	1,544,018	1,778,775	2,036,268	2,287,836
限制式數量	17,570	20,795	23,929	27,205	30,442
模式 II					
變數數量	1,294,459	1,544,020	1,778,777	2,036,270	2,287,838
限制式數量	17,633	20,870	24,016	27,304	30,553
缺工人次	4	2	0	0	0
缺工勤務數量	3	2	0	0	0
加班人次	14	13	10	7	6
加班總時間 (分)	1,585 分	1,400 分	735 分	400 分	240 分
工作量差異 (b1-b2)	51	24	17	11	7
模式構建時間 (秒)	95.5	126.7	146.6	167.1	181.6
求解時間 (秒)	240.14	357.13	493.3	1,417.24	1,173.44

五、結論與建議

本研究是以航勤公司勤務指派人員之立場，應用網路流動技巧配合數學規劃方法，構建地勤人員勤務指派規劃模式，該等模式與過去研究最大之差異為本研究將地勤人員職能以及執勤工作量之公平性同時納入排班考量，並以網路流動技巧協助數學定式。構建完模式後，本研究利用數學規劃軟體 CPLEX 求解模式。為評估此模式之績效，本研究以國內某航勤公司的勤務指派作業為例，進行範例測試，測試結果顯示本研究之模式具有良好的運用效果，明顯較人工排班為佳，應可作為航勤公司進行勤務指派時之參考。此外，本研究亦針對勤務下限人數、勤務數量以及可用員工數量進行敏感度分析，以了解此等參數值調整對於模式結果之影響。

本研究針對航勤公司清艙服務進行勤務指派規劃，未來可嘗試其他組別之勤務指派，例如：機坪服務、裝卸服務…等。此外，由於本研究僅採用先前規劃結果以及單一規劃期間的資料來進行驗證，建議未來研究可以本研究所發展的兩階段模式為基礎，針對各種不同的即時狀況，以及不同滾動式的規劃方式（例如：不同的間隔時間或啟動條件），進行更詳細的測試。亦可嘗試取得大量歷史資料或是取得更詳細的重要參數（例如：航班與人員變動機率），以系統模擬的方式進行更深入的測試。本研究所發展之模式若要在實務上運作，相關參數設定必須在使用前進行測試，例如：各勤務之工作負擔、加班乘數、加班策略成本等。再者，模式僅可作為勤務指派系統之運算核心，若要建置完整勤務指派系統，仍需要其他介面或系統配合，例如：建置友善的操作介面、人事管理系統、航班到離資訊系統…等，而此等均可作為未來研究的方向。

參考文獻

1. 顏上堯、陳玉菁，「純檢修資格航機修護人力供給模式之建立」，*運輸學刊*，第 31 卷，第 4 期，民國 91 年，頁 817-839。
2. 陸以國，「航空維修人員排班最佳化之探討-以國內 D 航空公司於桃園國際機場航線維修人員為例」，中原大學企業管理研究所碩士論文，民國 109 年。
3. 蘇啟超，「飛安查核工作排程與人員排班模式建立」，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國 93 年。
4. 陳榕真，「機場地勤裝卸人員排班問題」，開南管理學院航運與物流管理系碩士論文，民國 94 年。
5. Chu, S. C. K., "Generating, Scheduling and Rostering of Shift Crew-Duties: Applications at the Hong Kong International Airport", *European Journal of Operational Research*, Vol. 177, No. 3, 2007, pp. 1764-1778.
6. 王偉楓，「智慧型飛機維修人員排班決策輔助系統」，元智大學資訊管理學系碩士論文，民國 99 年。
7. 柯國川，「利用整數規劃法求解航管人員排班問題」，國立成功大學航空太空工程學系碩士論文，民國 99 年。
8. David, L., "Application of a Hybrid Genetic Algorithm to Airline Crew Sheduling", *Computers & Operations Research*, Vol. 23, No. 6, 1996, pp. 547-558.
9. Day, P. R. and Ryan, D. M., "Flight Attendant Rostering for the Short-Haul Airline Operation", *Operations Research*, Vol. 45, 1997, pp. 649-661.
10. 張傑智，「民航駕駛員排班最佳化之研究」，國立中央大學土木工程學系碩士論文，民國 87 年。
11. 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系碩士論文，民國 88 年。
12. 杜宇平、顏上堯，「空服員排班網路模式與求解演算法之研究」，*運輸學刊*，第 14 卷，第 2 期，民國 91 年，頁 15-29。
13. 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

- 學運輸科技與管理學系碩士論文，民國 91 年。
14. 錢文俊，「空服員之雇用及排班整合研究」，輔仁大學管理學研究所碩士論文，民國 92 年。
 15. Kohl, N. and Karisch, S. E., “Airline Crew Rostering: Problem Types, Modeling, and Optimization”, *Annals of Operations Research*, Vol. 127, No. 1, 2004, PP. 223-257.
 16. 鄧廣豐，「應用蟻群最佳化演算法求解空勤組員排班問題」，佛光人文社會學院資訊學研究所碩士論文，民國 94 年。
 17. Guo, Y., Mellouli, T., Suhl, L., and Thiel, M., “A Partially Integrated Airline Crew Scheduling Approach with Time-dependent Crew Capacities and Multiple Home Bases”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 171, No. 3, 2006, pp. 1169-1181.
 18. Panta, L. and Dusan, T., “Metaheuristics Approach to the Aircrew Rostering Problem”, *Annals of Operations Research*, Vol. 155, No. 1, 2007, pp. 311-338.
 19. Broosa, M. and Mario, V., “A Hybrid Scatter Search Heuristic for Personalized Crew Rostering in the Airline Industry”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 206, No. 1, 2010, pp. 155-167.
 20. Deng, G. F. and Lin, W. T., “Ant Colony Optimization-based Algorithm for Airline Crew Scheduling Problem”, *Expert Systems with Applications*, Vol. 38, No. 5, 2011, pp. 5787-5793.
 21. Broosa, M. and Mario, V., “An Integrated Nurse Staffing and Scheduling Analysis for Longer-term Nursing Staff Allocation Problems”, *Omega*, Vol. 41, No. 2, 2013, pp. 485-499.