

飛機派飛與修護限制之模式建立探討—以戰轟機為例

褚志鵬^{1*} 孫惠民¹ 黃亭凱² 莊筱敏¹

¹ 國立東華大學企業管理學系

² 銘傳大學傳播學院

摘 要

一個高品質的維護與檢修規劃及排程，對航空公司之服務品質、信譽及營運效益上有甚大的助益，適時適度的維護與檢修，不僅是飛航安全的信賴感及航班的準確度與航次規劃之彈性運用，更是營運中重要節約成本的方法。將數學模型及技術運用於飛航排程及修護管制規劃之研究，民航相關之研究文獻充裕。然而非營利用途之軍用機，相關之研究相對很少，由於軍事飛機排程之考量是以減少運作成本及人力而能快速達成各項任務及戰力需求，以及維持戰訓之完整為主要，與民航之研究文獻的規劃目標截然不同。本研究所探究之目標為發展出一套適合實務應用之最佳排程模式。以協助國軍在近年來國家政策不斷日漸緊縮國防預算與精簡人力狀況下，國際情勢及軍事環境威脅卻未見鬆懈，有效運用逐漸萎縮之資源，以為求戰力保持並發揮。

關鍵詞：飛航排程，多目標規劃，修護排程，任務指派。

An Optimization Model for a Combat Airplane Maintenance Schedule and Mission Assignment

Chih-Peng Chu^{1*} Whe-Min Sun¹ Ting-Kai Hwang² Hsiao-Min Chuang¹

^{1*} Department of Business Management, National Dong Hwa University, Taiwan, R.O.C.

² School of Communications, Ming Chuan University, Taiwan, R.O.C.

Abstract

High quality of plan and schedule of maintenance are the guarantee of the level of service, reputation, and efficiency of operation. A just-in-time and proper maintenance, not only provides the trust of flight safety and the accuracy of flight schedule but also could reduce the operation cost. There have been many studies on the issues of aircraft scheduling in past decades. Most of the researches focused on commercial airlines. The mathematical models are usually developed, and the objective tends to minimum the cost or maximum the operation profits. For scheduling of non-profitable military aircrafts, the studies are almost developed for the US Air Force. The adopted techniques had been broadly used on US Air Force to help decision making in the

* E-mail: chpchu@mail.ndhu.edu.tw

annually exercises and operations. Due to the budget cut and the requirement of keeping high performance level, operation cost reduction with prompt and efficient response to meet any kinds of missions become the major concerns for military training and operation. In this research, we developed a mathematical model and adopted optimization-based approach to increase the flexibility of non-profitable military aircraft scheduling and reduce the operation cost for mission assignment.

Keywords : Aircraft Scheduling, Multi-objective Programming, Maintenance Scheduling, Mission Assignment

壹、前言

飛機具有快速移動及輕易超越地形障礙的特性及能力，使用飛機為交通工具載運旅客及貨運時，不但可提供便捷省時的運輸功能，且能提供較舒適的旅途環境，但飛機亦有成本高、作業人員需求量大及機場設置條件的問題。

而飛機使用上的主要限制有：飛航易受機場設置、設備及容量、天候不良、維修及營運成本高之影響及限制，造成飛機無法按原預劃時間起飛等。近期國內、外各航空公司及機場不斷的擴張航空營運及飛航網路之下，有效率的飛航班次表建立及機隊排程規劃直接影響營利事業航空業者之營運成本、盈利、服務品質及資源使用效率。

而將作業研究及數學模型應用於飛航排程規劃，在國內、外已有許多學者研究，且已實際運用於實務作業中，而從中獲得良好之績效，亦為航空業者獲得相當的收益，在面對未來日益複雜的飛航網路及飛機系統管理中，如何提昇飛航營運及作業效率，並有效減少因人為作業疏失造成之飛地安事件損失，已非一般傳統半人工排程規劃所能勝任。

影響飛航排程的因素很多，Langerman & Ehlers (1997)提出影響飛航排程的主要因素有(1)飛機檢查排程(2)市場需求與開發(3)人員作業排程(4)飛機維修排

程。Fard & Melachrinoudis (1991)提出使用數學模式求飛機修護最佳排程，可有效提升飛行安全，並在維持低成本之下，控制飛機各系統之檢查、維修及零件更換於最佳排程狀態，在飛機系統（如液壓系統）功能失效、故障、銹蝕及物質疲勞、老化前，先期發現並予以修復，以避免發生重大意外事件。戴佐敏、林俊男（2001）認為，由於修護需求為法定限制，航空公司及組織均視為進行航程調度時之必要限制，修護需求包含各級檢修所需時距、工時、修護工廠容量、修護人力限制等。顏上堯、楊大輝（1994）認為在航空營運上，事件之發生有其必然性，此將造成既定飛航時間表的擾動，並導致航空業者與旅客額外的損失。顏上堯、林忠機（1997）認為建構機隊飛航排程模式，能幫助業者在機場暫時關閉時，有效地處理班次表擾動問題。

使用於商業用途之飛行器，因所擔負之任務穩定，飛機系統設計著重於安全、舒適與經濟上，在操作上均使用柔和之操縱模式，且飛行航線固定，故處於較穩定之環境中，而使用於軍事用途之飛機，其系統設計以功能為導向，系統較民航機複雜，且操作上均處於大動作、高速度及較為複雜的環境中，在安排飛機序列及排程係以滿足作戰任務及訓練需求為目標，飛機結構、系統檢修及零組件定期更換與疲勞、銹蝕的管制應更為嚴謹，故良好的軍

用機飛航排程為確保任務執行及飛機安全的基礎。

21 世紀，在各國國防上軍事戰力的競賽中，能擁有精良戰機數量之多寡、性能與其武器的精良與否，為影響其國際地位之重要因素。在作戰用途之飛機影響上，良好的任務序列安排及機隊指派規劃，將影響機隊的整體運用績效，並能周延飛行安全顧慮及作業效能提升，進而發揮預期戰力。尤其軍用飛機之武器性能及功能變化極快且複雜，良好且具前瞻性的飛航排程規劃，將可有效維持機隊戰力，且能以最快的速度完成及恢復單機作戰能力，並在最短時間內克服臨時干擾變項，重新規劃最佳作戰序列。

Mangel(1982)美軍早在 1940 年代，也就是第二次世界大戰時，即成立戰場操作計算小組(Operations Evaluation Group, OEG)，尤其在 1942 年 Philip Morse 集合科學與數學專家成立一反潛艇之戰場操作研究小組(Anti Submarine Warfare Operations Research Group, ASWORG)，將戰場規劃以數學模型呈現建立一套典範與規則。

貳、文獻回顧

飛機排程所顧慮的因素較一般交通工具複雜許多，考慮因素除飛航及地勤人員排班(crew scheduling)與人力問題外，尚需考慮飛機定期修護限制、機場運作與航路規劃限制及氣候、機件故障等臨時擾動因素等，相關因素精簡後可概分為「規劃階段」與「實際運作階段」，兩者所考慮之因素均互有差異，模式建立亦未必相同，但其間卻又有因果關係而相互影響，使排程問題更加複雜，以下針對國內、外相關文獻進行探討。

國內提出飛航排程研究成果之學者中，以顏上堯所提一系列的文獻居多，從初期顏上堯、楊大輝(1994)針對單機種

直航營運，因飛機機件故障而無法出航的情形時，發展一因應飛航排程策略的架構，以「動態網路(dynamic network)」建立一基本事件擾動排程模式，再由此基本模式發展出因應策略模式，此等策略模式可定式為「純網路問題(pure network flow problem)」，並以「網路簡捷法(network simplex method)」求解之，再利用「流量分解法(flow decomposition algorithm)」求得每一飛機的排程路線，至顏上堯、林忠機(1997)針對多機隊多停靠航次的營運方式，延伸單機隊飛航排程模式，建構多機隊飛航排程模式，以幫助業者能在機場暫時關閉時，有效地處理班次擾動問題，其方式為先建立一時空網路之基本模式，繼而以此網路發展不同的策略模式，從模式中新增兩種排程策略(變換機種及修正多停靠航次)，由 4 個單機隊模式，延伸並發展至 16 個多機隊策略模式；一般性排程至機種短缺及意外排程(Yan, Lo and Chen, 2005)等相關研究。

國內其他相關文獻尚有汪進財、劉德昌(1994)針對航空公司已知之飛航時刻表，在不考慮組員之限制條件下，採動態規劃法之概念建立一飛機與航段之指派模式，並以交談式概念加以運算說明，求解飛機與航段之指派結果。張有恆、劉昭榮(1996)定位在中長期單機種飛航營運排班之草擬班次表部分，將影響正常飛航排班最大之 A 級維修(民用航空器第一級維護，依等級可分為 A, B, C, D Check)因素納入考慮，並以航空公司每週長期營運總利潤及每週載運旅客數等為目標之飛航營運排班多目標規劃模式，以期望模式所決定之決策變數，能滿足不同之決策需求，另考慮目標函數及各限制式參數之不確定性，建立模糊環境下之飛航營運排班多目標規劃模式，將應用實務飛航網路採用模糊數學規劃法中之可能性規劃法加以求解，並與傳統多目標規劃法之 ε -限制

法做比較，同時研擬互動性決策運算架構，讓決策者實際參予決策程序，適切表達偏好，使模式結果更能符合決策之需要，並作為未來航空公司飛航排班及增加長期利潤與提高乘客數之參考。陳春益、李宇欣、盧安華（1997）探討飛機定期維修與飛機調度支互動關係，並利用「時空網路(time-space network)」據以建構一整合性模式，該模式以定期維修之A級檢修(A check)為探討對象，以累積飛行時數作為飛機是否進行檢修之判斷準則，每架飛機各對應兩時空網路，一者表示飛機調度結果（機流）；另者表示每架飛機受機流影響之未使用飛行時數（時間流），該整合模式為一「混合整數規劃問題(mixed integer programming)」，其目標函數除可考量飛機之直接成本外，亦兼顧維修時剩餘飛行時數的機會成本，就時空網路而言，由於每架飛機間，機流與時間流間都存有「額外限制 (side constraints)」，故為一個兩階式「多元商品流量問題 (multi-commodity flow problem)」。陳春益、李宇欣、葉進福（1997）為使飛機排程模式能納入飛航營運成本、飛機檢修需求、以及旅運需求等排程因素，乃採用航班組合作為決策變數建構模式，使用此方式建構飛機排程模式，將面臨如何解大型0-1整數規劃問題之課題，該研究利用飛航航線之特性，簡化飛航網路，大幅降低航班組合之產生，據以縮減模式之規模；此外，利用範例正確解之特性，發展出排序性、抽樣性與強迫性等變數篩選策略，以期篩選出「好的、有用的」航班組合，進而開發一啟發式演算法，以解飛機排程之數學式。吳泰熙、巫智斌（2000）同時納入營運成本最小化、航機使用時數差異最小化、航機使用時數最大化、及提供座位數最大化等四項決策目標，並考量多機種及含維修限制條件下之飛航排程問題，以求得一適合之解答。戴佐敏、林俊男

（2001）以數學規劃中之時間運具網路並考慮國籍航空公司之網路特性，以放射型路網結構建立模式，希望能夠發展出一套適合實務應用之模式，以解決當某架航機發生問題而無法執行原定任務時，如何利用剩餘有限之航機來滿足所有班次，另外由於修護需求為法定限制，航空公司均視為進行航機調度時之必要限制，該研究考慮之修護需求包含A級檢修時距與所需工時、修護工廠容量、修護人力限制等，以航機指派成本與檢修損失時間最小為目標式進行求解，此模式之功能應用為臨時事件發生後之航機安排、依公司調度需求重新擬定航機排程、預期某架航機修護之飛航排程與提出不同策略之隻航機調度建議。

國外近期相關文獻 Moudani & Mora-Camino(2000)使用電腦人工智慧技術，設計一最佳之飛航及修護排程，該研究以混合動態法處理操作上之各種限制因素；使用啟發式技術處理修護排程問題，並針對各航空公司特性提供有效率與即時的排程管理模式。Sriram & Haghani（2003）考慮飛機各類修護週期（A、B、C、D check）需求，為聯邦航空總署（Federal Aviation Administration, 以下簡稱FAA）規定必須遵循的作業程序，但因應各級維修廠可能設置於不同城市，故飛機於飛行時間或固定天數內需飛往該城市執行維修，而該研究提供一完全滿足所有修護需求程式，並以啟發式方式求最適解，以達成最小成本之目標。Fard, & Melachrinoudis (1991) 研究目的在針對有效提升飛行安全，並兼顧成本之考量下，發展一套數學模型，將飛機定期維護及其影響飛行安全之重要關鍵組件，以修護排程之最佳化為目標。其主要使用之方法為蒐集飛機各重要維護點及重要組件之損耗率、可靠度等資料，加以分析、計算其平均失效 (Mean Of Between Fault) 及平均維護 (Mean Of

Between Maintenance)時間，於飛安與成本兼顧之最佳狀態下，預測飛機及其關鍵組件之可靠度，並擬定各系統維護及零件之更換週期。Langerman & Ehlers (1997)以聯盟之合作模式，發展一套具規模之飛航與機場作業排程系統，結合各航空公司委任專業單位以Q型學習(Q-learning)方式，處理飛航管制之各項作業與排程問題，如飛機於機場之離、到場作業排程、飛航班次規劃、座艙管理及其他各項作業程序規劃，以達成全機場作業與管理均能一致，以便於機場管制單位對各航空公司飛機及其作業人員之管理，並能有效減少作業錯誤與衝突為目標。

在軍事用途飛機研究上有 Wohletz et al. (2001) 發展一套封閉迴路回饋系統(Closed-Loop Feedback)之數學模型，經由最佳任務指派模式，並結合飛機操作(Joint Air Operation)與空中對談命令(Air Tasking Order)，提供飛機即時目標與路徑規劃，另安排後續任務排程，以最佳效率與模式指派每架飛機任務並規劃最佳路徑，俾有效達成多目標任務及選擇風險最小之路徑。Mandel(1982) 提供 EA-6B 型電子偵察機及 A6 攻擊機於航艦操作非學術性（實際）之數學模型。本研究以各項戰演訓任務為場景，並依任務屬性攜掛所需莖艙(POD)及武器彈藥，結合雷達提供資訊執行空中多目標任務，自各項舢板操作至空中任務目標選擇及路徑規劃均以數學式計算其最佳模式，以滿足機隊運作之最佳化。

參、飛機排程模式之建立

本研究以「多目標規劃法」考量單一機種，執行多項任務及飛機與其重要組件檢修時程安排之限制，建構出一套輔助之計算工具，用以協助作戰飛機序列規劃及臨時任務指派。以下就任務、修護限制等問題與模式建構之相關基本假設、目標函

數及限制條件之數學式加以敘述說明。

一、每日飛行任務排序問題敘述

作戰與訓練需求係依據年度政策頒定之指導，規劃每月、每週、每日之飛行序列排程，排程中以作戰任務為首要考量，其次為訓練任務。作戰任務型態可區分戰鬥巡邏與警戒任務，其中以警戒任務主要為空中攔截為最緊急、密接及對海支援次之，而訓練任務亦區分空中機砲、短、中程飛彈射擊訓練、地、海面機砲、各類炸彈及飛彈射擊訓練，空中訓練限制較為單純，只要空域及空層氣候許可即可執行。而對地、海攻擊訓練，因近年來全球環保意識高漲，及海域漁場萎縮與季節因素，執行靶場射擊的限制性大增，再如與其他基地飛機共同使用一靶場，外加上天氣因素限制，所能使用之訓練時段將非常緊促。每日飛行規劃及限制問題中，如因該國處於地狹人稠，機場設置又靠近城市，為考量儘量不干擾附近民眾與學子重要作息，除作戰任務無限制外，訓練任務需配合環保時段起降，如發生飛機臨時故障或氣候變化等臨時干擾變項，均將取消該機當批飛行，因而有效率、重視飛安及彈性大的飛機排程規劃，將是考量各項限制與多目標達成的最佳途徑。

軍用飛機對飛安預防更是投注更大心力，因軍用機必須常置身於高風險動作及環境內，如發生重大飛安事件，將嚴重損失國防戰力，而作戰用途之飛機維護，除飛機本身之週期維護外，因經常操作於大馬力（甚至使用後燃器）、大速度、大g力及經常操作於跑道起落航線，因此發動機及某些重要組件尚需嚴格制定檢查維護週期，以避免飛安事件發生。飛機任務整備及例行性維護，可區分為飛行前、中、後整備及維護、如有外場落地則執行過境維護等，以上作業均於飛行線執行（機坪、機堡或機庫），而定期維修或臨時故

障超過飛行線維修能量時，需將飛機拖往棚場(hangar)內執行維修，而週期維修除遭遇真實作戰情況可視狀況延後外，一般情況僅能提前不可延後，但如提前量過多，也有成本及人力工時提高的問題，如此複雜的檢修調度及飛機排程與指派，如仍以人工規劃方式作業，將容易造成管制疏漏與無形成本之增加。

本研究目標在臨時指派時，求完成每一任務之整備作業時間之最小化為目標；長期規劃則使各機飛行時數最大化，及各飛機間之飛行時數差異最小化，因零附件籌補及飛機性能提升接替考量，同一機型組成之機隊大部分期望於同一期間採購、亦同時汰除，故依機隊管理概念，希望每架飛機均能達到最大經濟效益。

二、模式建立

(一)時空網路圖架構

時空網路圖具有同時表現時間延續與空間之特性（如圖1），橫軸代表飛行任務及維修站之分布，縱軸代表時間之延續，節點則代表某一任務及維修中之時間點（時間流），節點上之供給與需求代表

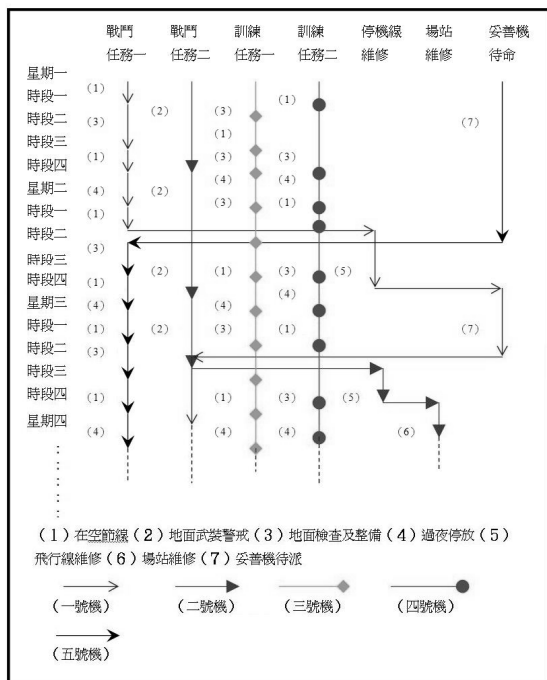


圖1 時空網路示意圖

進入或離開之飛機流量（機流）。

(二)飛機臨時干擾變項指派探討

當每日飛行任務需求序列完成後，需依照當時妥善可用之飛機外型及排程，以最有效率及安全模式指派最適當之飛機執行不同的任務，尤其當受到飛機臨時故障、天候突變等臨時干擾變項或警戒機緊急起飛(scramble)遞補時，飛機臨時調度之指派更需講求時效。而影響指派因素主要有飛機不同外型（彈藥、發射架、油箱及派龍等）的拆卸及裝掛所耗費之人力工時計算，及較長期執行同一任務之飛機，儘量指派距週期維護時間較長的飛機。

三、數學模式之建立

本研究同時考量飛機指派時之人力工時之作業成本最小化、飛機飛行時數差異最小化、飛機使用時數最大化，並依作戰需求滿足所有作戰任務等目標之達成，並配合每架飛機及其重要組件檢修時程限制等概念，發展一含檢修限制之多目標飛行序列排程。

(一)參數與變數

1. 指標變數

i ：表示飛機編號， $i \in \{1, 2, \dots, n\}$

其中單座 k 架，以 $1, \dots, k$ 表示；

雙座 $n-k$ 架，以 $k+1, \dots, n$ 表之。

d ：飛機指派日

m ：任務

f ：飛行時段

T_{id} ： i 機在 d 日終累積的時數

2. 外生參數

Z_{mfa} ：於 d 日任務 m 第 f 飛行時段對單座飛機之需求

Z_{mfb} ：於 d 日任務 m 第 f 飛行時段對雙座飛機之需求

M_{tid} ： i 機於 d 日算起的下次週期檢查

時數

- a_{id} : i 機於 d 日可允許飛行時間
 t_{mf} : 任務 m 第 f 時段的飛行時數
 k_{md} : 於 d 日任務 m 未執行之損失成本
 V_d : 於完成 d 日飛行指派後，所計算之全機隊飛時差異
 C_{imf} : 前日 (d-1 日) 飛機外型轉換為 d 日外型之成本

3. 決策變數

- X_{imfd} : i 機在 d 日是否可指派執行 m 任務飛 f 時段，供給大於需求之排程， $X_{imfd} \in \{0,1\}$
 Y_{imfd} : i 機在 d 日是否指派執行 m 任務飛 f 時段，供給等於需求之精確排程， $Y_{imfd} \in \{0,1\}$
 O_{imfd} : 提供單座機需求後之多餘飛機
 U_{imfd} : 提供單座機需求後之不足飛機
 O_{imfa} : 提供雙座機需求後之多餘飛機
 U_{imfa} : 提供雙座機需求後之不足飛機

4. 目標式

此目標函數意義為飛機於地面派飛時，依所負予之任務種類於執行機務整備及彈藥裝載時所使用之人力工時最小。為了節省維修機會成本，同批採購之同型飛機；為利機隊、飛機重要件壽期管理及便於各定期更換件之籌補，因此將每架飛機之飛行時數差異最小化，亦列為目標。

$$\text{Min} \sum_{f_1}^n \sum_{m_1}^m \sum_i Y_{imf_1} \times C_{imf(d-1)} + V_d + \left(\sum_m \sum_f U_{mfd} + \sum_m \sum_f U_{mfa} \right) \times k_{md} \quad (1)$$

另外如發生飛機供給無法滿足需求時，依任務之重要性減少需求，使任務未執行之損失降低至最小。此多目標式未賦予各目標權重，係因各目標均具相當之重要性，在正常支援情況下，賦予權重雖有影響，但對整體機隊管理之影響甚微。目標式計算之單位均以作業小時、飛行小時及損失飛行小時計算。

5. 限制式

(1) 任務可供給量限制式

在 d 日單（雙）座機之任務可供給量 = 單（雙）座機需求量 + 提供需求後之剩餘數量 - 需求之不足量

$$\sum_{i=1}^k X_{imfd} = Z_{mfd} + O_{mfd} - U_{mfd} \quad (2)$$

$$\sum_{i=k+1}^n X_{imfd} = Z_{mfd} + O_{mfd} - U_{mfd} \quad (3)$$

(2) 式為單座機之整體最佳排程，(3) 式為雙座機之整體最佳排程，為了考量整體任務之遂行，依任務需求將機隊所有飛機均列入最佳排程，以利先期挑選各任務之備選機。如發生飛機臨時故障等臨時干擾變項時，可依排程情況執行飛機調度，故本數學式係當提供每日飛行任務及時段需求後，規劃全機隊最佳支援狀態，供決策之最佳彈性運用與參考。

(2) 實際指派飛機數限制式

實際指派飛機數 = 可指派飛機數量 - 提供需求後之多餘飛機數量

$$\sum_{i=1}^k Y_{imfd} = \sum_{i=1}^k X_{imfd} - O_{mfd} \quad (4)$$

$$\sum_{i=k+1}^n Y_{imfd} = \sum_{i=k+1}^n X_{imfd} - O_{mfd} \quad (5)$$

(4) 式為單座機之精確指派排程、(5) 式則為雙座機規劃，於 d 日初必須依任務需求將飛機機號填入飛行序列內，故需執行精確之飛機指派，本數學式僅針對當日任務需求指派同數量之飛機執行飛行任務，其他飛機則維持前日外型不變。

(3) 可允許飛行時間限制式

第 i 機於 d 日飛行時數，必須小於 i 機可允許飛行時間

$$T_{id} - T_{i(d-1)} \leq a_{id} \quad (6)$$

$$\Rightarrow \sum_m \sum_f Y_{imfd} \times t_{mf} \leq a_{id}$$

飛機與汽車在維修觀念上之差異，在於飛機不容許在飛行過程中因飛機故障而影響飛行安全的情況，畢竟飛機發生故障時，無法如汽車一般可於路邊臨時停車；飛機如發生影響飛安之故障，必須即刻尋找最近機場實施迫降，甚至如因重大故障無法迫降時，將造成飛機撞地之意外事故。而避免發生空中故障之主要措施，就是定期（時）進廠執行週期維護，如此可先期將已磨損、功能低於限制或已屆使用壽期（定期更換件）之零附件予以更換，並經過各項潤滑、調校程序，將各系統之功能調整至最佳狀態，以確保飛機出廠後至下次週檢前之飛行安全。因此各國飛安組織均將飛機必須依手冊執行週檢列為法律條文，以避免飛安事件之發生。

第(6)數學式即表示 d 日所飛行之時數與 d-1 日止累積時數之和，為不可超越允許飛行（下次週檢飛時 - d-1 日累積飛時）時間。

(4) 函數

A. 每日終（飛行後）第 i 架飛機之累計飛行時間

$$T_{id} = T_{i(d-1)} + \sum_m \sum_f (Y_{imfd} \times t_{mf}) \quad (7)$$

當飛機每批飛行後，需將該批飛行時間予以累計，以作為週期維護之依據，依第(6)式在每日飛行前預劃階段就需計算飛機排程並考量相關限制因素執行飛機指派。而其中飛機指派之最重要依據之一就是每架飛機的飛行時間，然預劃與實際飛行時間會有差異，當然必須以完成飛行後之實際飛行時間為後續計算之精確值。

B. 第 i 架飛機於 d 日初（飛行前）之可允許飛行時數

$$a_{id} = M_{iid} - T_{i(d-1)} \quad (8)$$

每架飛機之可允許飛行時間，係以下次週期檢查時數減 d-1 日終 i 機的累計飛

時（如 8 式）。在 d 日始執行飛機指派時，必須將此項數據列為重要之計算限制，避免飛機累積飛時超越可允許飛行時間，而違反規定，並且影響飛行安全。

C. 當超越週期時間後，自動設定下次週檢時間

$$M_{iid} = \left(INT \left(\frac{T_{i(d-1)}}{mt} \right) + 1 \right) \times M_i \quad (9)$$

飛機之飛行時間到達規定之週檢時距後，必須進廠執行週期維護、保養，飛機進廠後工作資料表顯示 i 機下次週檢時間自動依(9)式計算至下次週檢時間。

週檢種類可分小檢 M_i 與大檢 MS_i ：一般大檢時距為小檢之整倍數

$$\frac{MS_i}{M_i} = N \times INT, \text{ 而大檢與小檢所需維護時間}$$

及項目也有所差異，大檢所需時間遠大於小檢所需時間 cm_b ，大檢檢查項目均涵蓋小檢項目。

D. 每架飛機飛時之差異

$$T_d = \text{Max}\{T_{id}, i=1, \dots, n\} \quad (10)$$

$$V_d = \sum_i (T_d - T_{id}) \quad (11)$$

為利於機隊維護及使用壽期管理，將每架飛行時數予以平衡是必要作為，(10)式中 T_d 為 d 日飛行時數最高的飛機，帶入(11)式計算 d 日飛機總差異時數 V_d 。

肆、實例研究

本實證研究係以某一戰轟機基地操作每日飛機指派為例，以 20 架飛機運作資料為運算範圍，編號 1 至 4 飛機為雙座，其餘編號 5 至 20 飛機為單座，內容依任務執行需求，須設定相關限制如飛機須區分單、雙座兩種機型、任務外型有五種類型，每種任務必須由特定一種對應外型執行，故飛機指派需依五種任務交互轉換外型執行，另每日有 6 個飛行時段，本研究

係以 Microsoft Excel 的規劃求解功能撰寫程式與建立工作表，並執行線性規劃及整數求解分析，以一週為規劃週期，將一週中之飛機每日數據變化予以研究，再與實際人工運作情況比對，以驗證本研究之可行性。

一、工作表建立與資料輸入

數學式之演算需使用一作業軟體或試算表計算，而線性規劃需使用電腦及作業系統經反覆演算、比較，直至得出最佳解為止，而本研究係使用 Microsoft Excel 計算數學式，故需依預畫研究期程、目標式及各項限制式建立工作表，並將相關觀察值先行輸入，完成輸入後，執行套裝軟體中之規劃求解功能，並採線性規劃與整數求解模式求得一最佳解為止。

表 1 飛機精確指派表

飛機編號	飛機外型					指派
	A	B	C	D	E	
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	1	1
4	0	1	0	0	0	1
5	0	0	0	1	0	1
6	1	0	0	0	0	1
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	1	0	0	1
9	1	0	0	0	0	1
10	0	0	0	0	1	1
11	0	0	0	0	1	1
12	0	0	0	1	0	1
13	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	1	1
15	0	0	1	0	0	1
16	0	0	0	0	1	1
17	0	1	0	0	0	1
18	0	0	1	0	0	1
19	0	1	0	0	0	1
20	0	1	0	0	0	1
單座指派	2	3	3	2	4	
雙座指派	0	1	0	0	1	

為明確依任務指派 d 日所需飛機，而建立精確之飛機指派表（如表 1）。本表依任務需求也就是以單座 14 架、雙座 2 架之任務需求指派最適合之飛機執行任務，而被指派的飛機於工作中表外型欄內依所選派之任務及外型以數值 1 表示，其他外型均以 0 顯示，其他未指派的飛機，其外型及任務數值均為 0。

本表尚有一限制為預畫飛行時間不可超越允許飛行時數，另外經過規劃求解運算後，可得一個最適解，也就是求作業成本及飛機飛時差異之最小值。

飛機經過每日任務指派及飛行後，資料均將有所變動，如飛機外型、累計飛時、妥善情況、飛機狀態等，若因屆週期時間需進廠維護時，將改變表內之下次週檢時間、妥善情況、週檢時距、飛機狀態及預畫出廠時距等（如表 2）。

表 2 每日飛行後之飛機資料表

飛機編號	飛機構型	飛機外型	累計飛時	妥善情況	下次檢查	週檢時距	飛機狀態	出廠時距
1	雙座	A	750	1	800	50	可派飛	0
2	雙座	A	1125	1	1200	75	可派飛	0
3	雙座	E	252	1	400	148	可派飛	0
4	雙座	B	502	1	600	98	可派飛	0
5	單座	A	651.5	1	800	148.5	可派飛	0
6	單座	A	991.5	1	1000	8.5	可派飛	0
7	單座	A	1255	1	1400	145	可派飛	0
8	單座	C	600	0	600	0	進廠	336
9	單座	D	454.5	1	600	145.5	可派飛	0
10	單座	E	562	1	600	38	可派飛	0
11	單座	E	791	1	800	9	可派飛	0
12	單座	D	565.5	1	600	34.5	可派飛	0
13	單座	A	1225	1	1400	175	可派飛	0
14	單座	E	462	1	600	138	可派飛	0
15	單座	E	791	1	800	9	可派飛	0
16	單座	C	886	1	1000	114	可派飛	0
17	單座	B	550	1	600	50	可派飛	0
18	單座	C	1000	0	1000	0	進廠	720
19	單座	B	387	1	400	13	可派飛	0
20	單座	B	1113	1	1200	87	可派飛	0

如工作表資料顯示第 8、18 架飛機均達到須進入週檢維護之飛行時數，故可發現妥善情況值已改變為 0、飛機狀態改變為進廠，而第 8 架飛機為執行 600 小時週檢，此項檢查屬一般檢查、維護，預畫需進廠一週而無法派飛，故預畫出廠時距定為 336 小時。第 18 架飛機為執行 1000 小時週檢，此項檢查屬高階檢查、維護，預畫需進廠一個月而無法派飛，故預畫出廠時距定為 720 小時。

依據 d 日飛行後各機資料之延續，建立次(d+1)日飛機指派前之資料表（如表 3）。在本表資料欄內顯示，除於 d 日受指派飛行之飛機比對 d 日指派前飛機資料有變動外，其餘未指派之飛機資料不變。

如飛機 1、2 於 d 日未指派飛行任務，於 d+1 日時仍保持原有之 A 外型，而已進場執行週檢之 8、18 號機，其下次

表 3 次日(d+1)日飛行前飛機資料表

飛機編號	飛機構型	飛機外型	累計飛時	妥善情況	下次檢查	週檢時距	飛機狀態	出廠時距
1	雙座	A	750	1	800	50	可派飛	0
2	雙座	A	1125	1	1200	75	可派飛	0
3	雙座	E	254	1	400	146	可派飛	0
4	雙座	B	504	1	600	96	可派飛	0
5	單座	D	651.5	1	800	148.5	可派飛	0
6	單座	A	994.5	1	1000	5.5	可派飛	0
7	單座	A	1255	1	1400	145	可派飛	0
8	單座	C	600	0	600	0	進廠	324
9	單座	A	457.5	1	600	142.5	可派飛	0
10	單座	E	564	1	600	36	可派飛	0
11	單座	E	793	1	800	7	可派飛	0
12	單座	D	565.5	1	600	34.5	可派飛	0
13	單座	A	1225	1	1400	175	可派飛	0
14	單座	E	464	1	600	136	可派飛	0
15	單座	C	790	1	800	10	可派飛	0
16	單座	E	889	1	1000	111	可派飛	0
17	單座	B	552	1	600	48	可派飛	0
18	單座	C	1000	0	1000	0	進廠	708
19	單座	B	389	1	400	11	可派飛	0
20	單座	B	1115	1	1200	85	可派飛	0

週檢時間均自動累加 200 小時各為 800 及 1200 小時，週檢時距轉為初期可用時間 200 小時，出廠時距由原 336 及 720 小時各減 12 小時為 324 與 708 小時。

二、演算結果分析

本論文研究結果為協助規劃人員建立最佳之飛機指派與管制表，結果呈現於表 1 至表 3，雖本工作表一次規劃一週的工作預畫，但依實際飛機操作之各項資料實證，每日正常排程會受多種干擾變項影響而有所異動，如天氣突變、飛機臨時故障等為最常見影響因素。

本研究僅以 20 架飛機作業為基礎，因戰鬥部隊運作均涉及機敏性，故以抽樣方式選取飛機資料，並以小機隊方式編成（以非制式組織運作）作業機隊。如增加飛機數量或增加限制因素，則可符合於實際之作業。

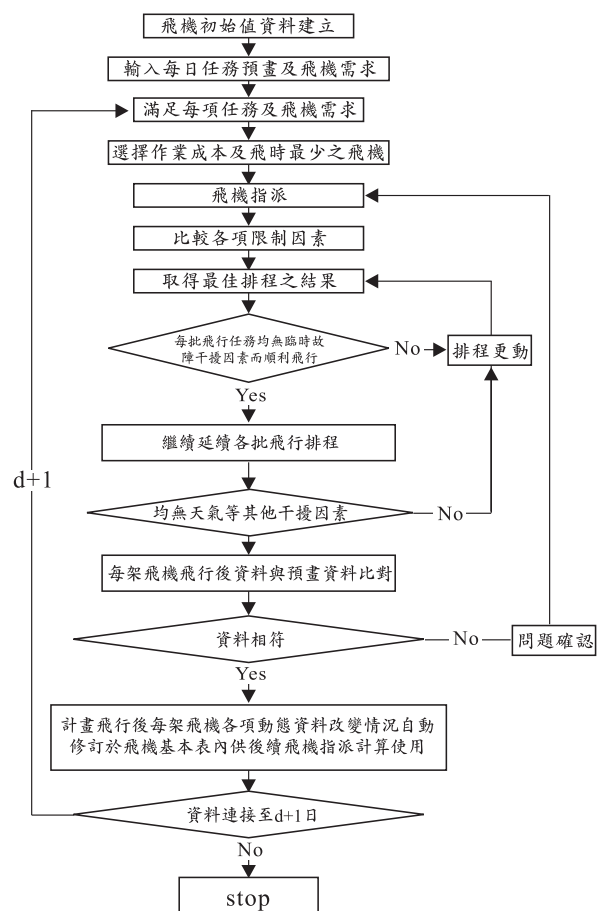


圖 2 動態任務排程流程圖

依動態任務排程流程圖（如圖 2）。將先期排程之飛機資料預期變動情況，與動態飛行及資料變動情況予以比對，並按臨時更改之飛行排程另計算動態最佳指派；俟每日完成飛行後，整理每架飛機動態資料，並給予正確資料之確認及修正，俾使後續（次日）飛行任務指派維持其精確度與正確性。本工作表係以桌上型個人電腦 (CPU Intel 3.0, RAM 512M)，使用 Microsoft Excel 計算，每日工作表須以規劃求解重複計算約 5 至 10 次，直至求得一最佳解為止，所需時間約 3 至 7 分鐘。

伍、結論與建議

維持機隊運作與管理需考慮的事項及作業流程繁多，本研究係探討有關作業成本與機隊飛時差異最小化之飛機排程為主要目標，在達成目標上可得以下三項成果分析如後：

一、作業成本最小化

軍隊的養成，除了求精良武器的配置、落實的訓練及深謀遠慮的參謀作業亦戰略構想外，尚須建立一套具高度效率的作業程序，也就是所謂的戰術作為。平日軍事的所有訓練與操作程序均模擬作戰環境而建立，而戰場經營、運作首重及時、效率，將有限資源以最短時間內支援作戰，並發揮其最大效果，另有效計算戰場資源供給與需求平衡，使持續戰得以確保。

本研究在飛機指派方面，考慮戰時戰場經營之嚴謹、靈活之作業概念，亦將平日作業模式與資源運用均不斷模擬、計算，期能以作業之資訊運算，求最佳排程及規劃，而求作業成本與操作時間最少。

二、飛機使用時數平衡之機隊管理策略

建立及維持一個機隊，係一項非常龐大而長期的投資，不論在裝備購置、設施

建制及人員維持上，均需耗費可觀經費，因此如何以最少成本維持機隊運作，並發揮機隊最大效益為研究之重要課題。

機隊為發揮其投資應有效益，均設定最大使用時數，又因飛機及其相關器材即使未使用，亦有折舊損耗，故亦設有壽期或架儲限制，而飛機製造一般數量有限，且飛機功能提升迅速，故器材籌補與供給須有計畫，方能有效節省預算並能確保器材效能，因此本研究使用時數差異及小機隊管理將有實質助益。

三、飛機維護及飛安限制管理

飛安管理係機隊運作中極為重要之項目，派飛管制必須遵守相關維修限制，如因為遵守各項限制而發生飛安事件，管制者將接受法律之責任，故本研究將飛機排程限制部分予以明確顯示，故可協助管制人員避免錯誤發生，並可預知飛機維護期程，而預先安排進廠維護之各項事宜。

機隊運作需考慮之事項繁多，本研究僅能將影響飛機派飛較重要之部分納入計算及管制，對整體管理仍有不足之處。後續將可針對飛機重要組件，如發動機、發電機、液壓泵等列入修、維護限制之管制；而在飛機指派方面，亦可將機場地形限制，如停機位置之規劃及人員裝備運送等，並擴及各專業人員排程之規劃，如飛行人員排程(crew manage)、飛行線作業人員及各場站之專業人員最佳排程等，而使各項作業成本最小化，並有效降低作業風險(risk)為目標。

參考文獻

- 汪進財、劉德昌，1994。動態班機排程方法，運輸計畫季刊，第 23 卷，第 3 期，327-348。
- 吳泰熙、巫智斌，2000。多目標、多機種飛航排程問題之研究，大葉學報，第 9 卷，第 2 期，29-45。

- 張有恆、劉昭榮，1996。航空公司飛航營運排班多目標規劃模式之研究，運輸計畫季刊，第 25 卷，第 4 期，625-664。
- 陳春益、李宇欣、葉進福，1997。以航班組合建立飛機排程模式之研究。運輸計畫季刊，第 26 卷，第 3 期，501-524。
- 陳春益、李宇欣、盧華安，1997。飛機調度與定期維修整合模式之研究。運輸計畫季刊，第 26 卷，第 1 期，69-94。
- 顏上堯、楊慧華，1995。多機種飛航排程與航次規劃，運輸計畫季刊，第 24 卷，第 2 期，195-220。
- 顏上堯、羅智騰，1996。因應預期性航具維修之系統飛航排程，中國土木水利工程學刊，第 8 卷，第 3 期，447-456。
- 顏上堯、何淑萍，1994。飛航排程暨班次之建立，運輸計畫季刊，第 23 卷，第 1 期，73-90。
- 顏上堯、林忠機，1997。機場暫時關閉時多機隊飛航排程模式，中國土木水利工程學刊，第 9 卷，第 4 期，679-685。
- 顏上堯、楊大輝，1994。航空運具故障時系統性飛航排程，運輸計畫季刊，第 23 卷，第 4 期，407-426。
- 戴佐敏、林俊男，2001。考慮修護需求之臨時擾動航機排程模式建立。2001 中華民國「燃燒學會 / 民航學會 / 航太學會」學術聯合會議，桃園。
- Fard, N.S. and E. Melachrinoudis, 1991. Maintenance scheduling for critical parts of aircraft. *1991 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, Northeastern University, Boston.
- Hanna, M.E., 2000。作業研究(Introduction to Management Science Mastering Quantitative Analysis) (李茂興譯)。台北市：揚智文化。(原著 1996 年出版)。
- Langerman, J. J. and E. M. Ehlers, 1997. Agent-Based Airline Scheduling. *Computers ind. Engng*, 33(3-4), 849-852.
- Moudani, W. E. and F. Mora-Camino, 2000. A dynamic approach for aircraft assignment and maintenance scheduling by airlines. *Air Transport Management*, 6, 233-237.
- Mangel, M., 1982. Applied mathematicians and Naval operators. *SIAM Review*, 24, 3, 289-300.
- Sriram, C. and A. Haghani (2003). An optimization model for aircraft maintenance scheduling and re-assignment. *Transportation Research Part A* 37, 29-48.
- Wohletz, J.M., D.A. Castanon, and M.L. Curry, 2001. Closed-loop control for joint air operations. *Proceedings of the American control conference Arlington, VA* (June 25-27, 2001), 4699-4704.
- Yan, S., C. T. Lo and C. H. Chen, 2005. Optimal Schedule Adjustment for Expected Aircraft Shortage in Multi-Fleet Operations, *International Journal of Operations Research*, 21, 71-81.