

# 航機維護工廠年度停機排程調整最佳化 模式之研究<sup>1</sup>

## AN OPTIMIZATION MODEL FOR ANNUAL SCHEDULE ADJUSTMENTS IN AN AIRCRAFT MAINTENANCE TERMINAL

顏上堯 Shang-Yao Yan<sup>2</sup>

郭俊志 Jyun-Jhih Guo<sup>3</sup>

蕭妃晏 Fei-Yen Hsiao<sup>4</sup>

(101 年 4 月 13 日收稿，101 年 7 月 6 日第一次修改，101 年 9 月 10 日定稿)

### 摘 要

本研究基於航機維護工廠業者之立場，考量實務營運目標與相關的限制條件，建構一年度停機排程調整模式。本研究模式可定式為一零壹整數規劃，且配合 CPLEX 數學規劃軟體求解。本研究並發展一模擬方法以評估規劃的停機排程在實際營運的績效。為評估此模式的實用績效，本研究以一國內航空公司所屬之航機維護工廠的實際維護資料為例，進行範例測試與分析。測試結果良好，顯示本研究模式可為一有效的規劃工具，以輔助航機維護工廠業者每年重新調整最佳的航機進廠維護排程。

**關鍵詞：** 航機維護工廠；年度排程調整；零壹整數規劃問題；模擬評估

- 
1. 本研究承國科會專題計畫 (NSC-98-2221-E-008-076-MY3) 補助，特此致謝。作者亦感謝二位審查委員提供寶貴的修正意見，使本文更為嚴謹。
  2. 國立中央大學土木工程學系教授（聯絡地址：32001 桃園縣中壢市五權里 2 鄰中大路 300 號；電話：03-4227151 轉 34141；E-mail：t320002@cc.ncu.edu.tw）。
  3. 國立中央大學土木工程學系博士候選人（聯絡地址：32001 桃園縣中壢市五權里 2 鄰中大路 300 號；電話：03-4227151 轉 34155；E-mail：t 943402010@gmail.com）。
  4. 國立中央大學土木工程學系博士候選人。

## ABSTRACT

*Based on the carrier's perspective, this research tries to develop an optimization model for annual schedule adjustments in accordance with the objectives and related constraints of actual operations. The model is formulated as a zero-one integer program that is solved using the mathematical programming solver, CPLEX. A simulation-based evaluation method is also developed for assessing the planning schedules. To evaluate the model in practice, we perform a case study using real operating data from a major aircraft maintenance center in Taiwan. The test results are positive, showing that the model would be a useful planning tool for aircraft maintenance centers to annually choose their optimal aircraft maintenance schedule adjustments.*

**Key Words:** *Aircraft maintenance center; Annual schedule adjustment; Zero-one integer program; Simulated evaluation*

## 一、緒 論

定期維護航機為飛航安全之必要條件，航空公司的航機維護工廠必須要在有限的人力、資源及既定的時間內，正確無誤地完成維護工作，才能使航空公司的航次營運順利並確保航機的飛行安全。由於機隊飛航與定期維護為營運階段不斷循環的過程，因此如何安排正確且有效率的航機維護工作，使維護成本降低並提高營運績效，對於航空公司而言是一項重要的管理課題。

吳國賓<sup>[1]</sup>曾指出，國籍航機維護工廠執行航機維護排程的種類，可分為長期排程 (long term scheduling)、中期排程 (medium term scheduling)、短期排程 (short term scheduling) 等 3 種，其中長期排程係年度維護排程，由修護部門提供未來 5 年必須執行重大定期修護工作，主要是安排航機每年執行停機時間超過 10 天甚或數 10 天之大型維護工作 (例如 C-/D-Check 等，以下簡稱大修) 的進廠時程。因長期排程長達 5 年，故為確保停機定期維護計畫的正確性，需配合實務營運變化每年調整 1 次。中期排程的週期是 1 個月，主要是以航機長期排程及飛航季班表規劃結果為基礎，再加入臨時的每週檢查 (Weekly Check)、1 天至數天的定期停機維護 (例如 A-Check)、發動機更換、一般性顧客委託或其他特別維護工作。至於短期排程的週期是 3 天，主要是依據中長期維護排程結果，規劃週期內每日需進行之例行性進廠維護工作。在實務上，排程人員每年必須執行下一個連續 5 年 (或數年) 長期排程的更新規劃，且在接近下一年時檢視下一年的規劃排程並做適當地調整，以銜接下一年的排程，此可稱之為滾動式的年度調整。具體作法上，首先，依航空公司維護策略及機隊更新配合等政策更新 5 年的長期排程；其次，在已完成更新規劃的 5 年長期排程基礎之下，截取未來下一年度 (為決策年度) 的新規劃排程，並隨著當年度營運過程的變化更新規劃參數，以人工調整方式逐步調整該排程。本研究的目的主要是希望能找到一有效率的方法以協助提升實務人工調整的效率。Yan 等人<sup>[2]</sup>曾以每年規劃的週

期性作法來建構長期排程，唯這樣的作法與修護部門現行每年的調整作法不同，不但很難考量機隊整體維護策略需求亦與實際作業較不相符。此外，由於目前航空公司營運多採用利潤中心制，因此航機維護工廠除自有的機隊維護外，會利用多餘的維護能量承接契約及臨時客戶機的維護業務。傳統上安排契約客戶機維護方式大致有二種作法，一是契約客戶利益優先考量，如陳俊汝<sup>[3]</sup>曾研究客戶進廠時窗不另安排自有之航機維護之課題，唯如此作法會占用自有航機維修時窗，易產生資源過緊或不足；二是先安排自有航機維護，再依剩餘維護能量承接契約或臨時客戶機維護業務，唯如此作法可能造成承接維護業務有限。綜合上述，考量公司的策略排程變化及長期維修項目的修正，長期排程在每年度需做適當的調整，並非一次規劃而成（如 Yan 等人<sup>[2]</sup>的作法），因此本研究將以長期排程年度的調整規劃作為研究範圍。

實務上，航機定期維護的排程規劃作業是相當繁雜的，除須依據航機維護相關規定，考量廠棚使用情形、人力資源、維護時距、機隊計畫、維護工作種類與維護時間、淡旺季營運需求等基本限制條件外，還須考量其他如維護排程公告前評估營運可行性、人力調動、航機調度、零件庫存等相關部門配合之作業時間。傳統航機維護排程確定性規劃研究進行範例測試時（如陳俊汝<sup>[3]</sup>及 Yan 等人<sup>[2]</sup>研究）為了簡化模式規模，在設定部分模式參數（例如航機飛時、維護時間、進廠維護時窗、維護人力等具隨機性參數）時，係採用固定值或平均值處理。由於某些參數在現實世界中具隨機性，原規劃排程會受擾動而需經常調整，而以往國內航機維護工廠在年度調整時，是以人工指派方式處理，缺乏有效率的指派工具，因此可能會導致指派困難的情形發生，且當維護作業逐漸達到飽和維護能量時，此人工指派方式難度勢必隨著提高。由於排程人員依經驗所完成的人工指派作業，就數學規劃而言僅屬一組可行解，雖能運作但難以評估其成效之良窳，且甚無效率，因此本研究考量機隊（含自有及契約客戶航機）維護時距使用率最大化及提高維護能量使用率（例如設法降低機庫使用時窗限制、增加可承接臨時客戶航機業務等）的對策，來發展更能配合實務及更有效率的長期排程年度調整模式，以提供排程決策者參考。

綜合上述，本研究參考一國籍航機維護工廠（簡稱 F 廠）的實務運作流程，以系統最佳化觀點，考量實務的營運目標與相關限制條件，構建一長期維護停機排程年度調整模式，並利用 CPLEX 數學規劃軟體進行求解。為評估模式的實用績效，本研究並以 F 廠的實際維護資料為例，進行範例測試與分析。本文其餘的內容如下：第二節回顧國內外相關文獻，第三節構建模式及模擬評估方法，第四節則進行範例測試，第五節提出結論及建議。

## 二、文獻回顧

本研究首先針對國內航機維護相關法規、國外航機製造廠及航空公司規定進行回顧，以了解航機維護基本觀念、法令規定與排程考量限制；其次，針對航機維護排程、結合航機維護與航機指派調度問題以及其他航機維護或其他運具維護等相關文獻進行回顧；最

後，回顧模擬評估之相關文獻，以為本研究之參考。

在國內航機維護相關法規方面，國籍航機維護所依循的國內法規主要為民用航空法<sup>[4]</sup>等相關規定，該法於中華民國 42 年 5 月 30 日總統令制定公布全文一百零一條，最新是中華民國 101 年 1 月 4 日總統華總一義字第 10000299641 號令修正公布，共有一百二十三條條文；此外，國際間通用之適航標準適於國內使用者，經民航局核定後援用。

在國外飛機製造廠及航空公司的規定方面，Pontecorvo<sup>[5]</sup>及王書凡<sup>[6]</sup>曾提及飛機製造廠飛機維護計畫手冊 (maintenance planning data/document, MPD) 及航空公司飛機維護計畫 (aircraft maintenance program, AMP) (以下簡稱 AMP) 的編製流程。當飛機在研發與製造過程，飛機製造廠會成立指導委員會 (industry steering committee, ISC)，而其中的維護工作小組即依據飛機之設計與維護指導小組 (maintenance steering group, MSG) 制定的維護程序，建立航機必需的維護項目並定期審查，最後彙整成維護計畫綱要，再提交給民航主管機關所屬之維護審查委員會 (maintenance review board, MRB) 審核後即成該型飛機的維護大綱 (maintenance review board report, MRB Report)。飛機製造廠商再將核可的 MRB Report、技術修正，或各附件製造廠的需求項目彙編成飛機維護計畫手冊，提供給航空公司做為編製維護計畫參考。航空公司的飛機維護計畫係由總工程師室、相關單位及維護工廠的各部門依權責分工，來建立、修訂並據以實施。制訂後的 AMP 會依各種相關資訊，例如不定期由飛機製造商與民航管理當局所頒佈的服務通告 (service bulletin, SB)、服務信函 (service letter, SL) 與適航指令 (airworthiness directive, AD) 等不斷進行更新或修正。

在航機維護排程方面，Tedone<sup>[7]</sup>曾提出一 5 年期的大型維護工作與平行機具 (parallel machines) 排程模式，其目標是希望更有效率地管理維護能量。Radhika<sup>[8]</sup>曾針對航機大型維護工作進行排程規劃研究，以提早進廠而損失飛行時間的最小化為目標，並同時考量維護能量限制，建構一排程模式。劉世德<sup>[9]</sup>曾指出要節省維護成本，首要為精確的預估飛行使用率，其次考慮航機飛行時數。陳俊汝<sup>[3]</sup>曾以航空公司排程人員立場，利用貪婪式演算法 (greedy algorithm) 為基礎，以最大化自有航機維護期限使用率為目標，規劃航空公司自有機隊 (含兩種機型) 最佳進廠維護時機。吳國賓<sup>[1]</sup>曾以最少修護人力閒置時間為目標，從減少人為疏失造成的回航及轉降、合理縮短航機進廠維護時間及有效率地使用維護資源等三方向發展工作排程模式。Yan 等人<sup>[2]</sup>曾以最大化自有航機維護期限使用值與最大化客戶機維護利潤為目標，考量實務的營運目標與相關限制條件，發展為期一年之長期排程模式。顏上堯等人<sup>[10]</sup>曾以最大化航機維修效益為目標，考量實務的營運目標與相關限制條件，發展為期 1 個月之中期排程模式。

考量航機維護的航機指派調度問題的研究主題主要在機隊的飛航排程，與本研究有關維修中心的停機修護排程的課題不全相同，茲舉部分文獻說明如下。Holst 與 Sorensen<sup>[11]</sup>曾針對 A-Check 規定，以未使用之飛行時數最小化為目標，發展一套航機調度演算法。Feo 與 Bard<sup>[12]</sup>曾提出以最小成本為目標，同時考量維護基地的設置與飛航班表的排程模式。Kabbani<sup>[13]</sup>曾以每架航機有足夠的維護機會為目標，規劃 1 週內每日之基本排程，並視各

排程銜接時間的適當性給不同成本，再利用航線交換方式調整排程。顏上堯、羅智騰<sup>[14]</sup>曾針對單機種於營運時班次表受擾動問題，構建含額外限制式 (side constraints) 之多元商品時空網路流量飛航排程模式。陳春益等人<sup>[15]</sup>曾針對短期航機調度問題，考量 A 級檢修與多機型方式並假設維護基地無維護能量限制且一定會有可行解之條件下，構建放射型飛航路網模式。Hane 與 Clark<sup>[16]</sup>曾以美國國內航線之軸幅式 (huband spoke) 路網為基礎，考量組員調度與維護時窗等限制，以構建最小化作業成本之航機指派模式。陳春益等人<sup>[17]</sup>曾以 A 級檢修為探討對象，利用放射型飛航網路加入機流和時間流兩組時空網路維護限制，求得一定期維護之排程。Chellappan 與 Ali<sup>[18]</sup>曾提出以維護費用最小化為目標，利用航機班次來決定維護檢查項目與維護地點條件，建構一飛航排程模式。值得一提的是，此等研究的主題主要在機隊的飛航排程，與本研究有關維修中心的停機修護排程的課題不同。

至於其他航機維護相關的文獻頗多，但不全同於本研究主題，故舉部分文獻為例說明如下：Wagner 等人<sup>[19]</sup>曾提出以特定數週內的維護需求人員數平均分配為目標，考量每個工作計畫的起始時間及相關維護資源，建立定期執行維護工作之人力需求模式。Alfares<sup>[20]</sup>曾以 7 天為一週期、每週工作 5 天及每日兩班的條件及維護需求，規劃最佳的維護人員班表。Samaranayake 等人<sup>[21]</sup>曾指出維護工廠若能了解每個工作執行時機與前後關係，並結合後勤補給，有效率地備妥所需之零組件，即可避免庫存過剩。顏上堯、陳玉菁<sup>[22]</sup>曾針對停機線修護人力供給問題，以系統總人力浪費最少化為目標，求得最佳修護人員之排班。賴奕維<sup>[23]</sup>曾以航空公司之短期機廠停留維護計畫為對象，考量維護組員與能力、維護勤務、訓練及休假日期等需求，進行勤務指派問題之研究。陳伯錚<sup>[24]</sup>曾指出各公司航機維護工作內容未必完全相同。在合理縮短航機進廠維護時間方面，則有賴於維護人員之妥善安排與運用。

相關其他運具維護排程的文獻，雖有部分類似飛機維護的排程，但因規定內容不同，故仍不相同，例如 Striskandarajah 等人<sup>[25]</sup>以車廂維護最小成本為目標，利用基因演算法求解香港捷運 (Hong Kong Transit Railway Corporation, MTRC) 車廂的維護排程。Deris 等人<sup>[26]</sup>以戰艦保持最大的可運作數量為目標，利用基因演算法求解馬來西亞皇家海軍 (Royal Malaysian Navy) 作戰艦的維護排程。張仲銓<sup>[27]</sup>以基因演算法求解捷運車廂的維護排程。

最後，在模擬評估相關文獻方面，羅敏綺<sup>[28]</sup>曾利用捷運系統列車特性與旅運資料，模擬營運時段內各站旅次之產生模式。游俊雄與丁國樑<sup>[29]</sup>曾利用物件導向 (object-oriented program ,OOP) 模擬技術，建構一需求反應旅次的運載模式；另以非固定式卜瓦松分配 (non-stationary Poisson) 決定旅客隨機到達時間之間距，並建構另一隨機模擬模式，並以不同亂數執行了 30 次模擬實驗。Yan 等人<sup>[30]</sup>曾深入探討可能影響機門指派作業整體績效之因素，進而提出一套系統性的模擬架構，此有別於傳統研究多著重在改善靜態機門指派之績效。Yan 等人<sup>[31]</sup>曾針對航空公司營運意外事件與排程擾動之相關性進行研究，並以擾動確定性規劃所得最佳班表為基礎，透過模擬探討在營運中有隨機誤差的調

整方法。Yan 等人<sup>[32]</sup> 參考 Yan, Shieh 與 Chen<sup>[30]</sup> 之模式，進一步修正此模式中之固定平均需求值為隨機需求值，發展隨機性需求排程模式，並發展一模擬評估方法以評估模式績效。張恭文<sup>[33]</sup> 曾發展隨機旅行時間下拌合廠的生產排班與拌合車的運送排程模式。為評估模式與演算法之實際求解績效，發展一模擬評估方法。陳聖鈺<sup>[34]</sup> 曾以總運送成本最小為目標，考量實際營運時旅行時間的隨機變動狀況與實務的營運限制，建立一隨機旅行時間下物料後勤補給排程模式，並發展一模擬評估方法以評估其在實際營運環境中之績效。

綜合上述文獻可知，目前少有針對航機維護工廠內之維護停機排程做實務探討，僅 Radhika<sup>[8]</sup>、陳俊汝<sup>[3]</sup> 及 Yan 等人<sup>[2]</sup> 曾做過類似確定性規劃研究，然而對於已規劃的排程在營運階段受隨機事件擾動後，實務運作上需逐年調整的問題，尚未發現有類似研究。其中，陳俊汝<sup>[3]</sup> 之研究並未考量維護人力上限、棚廠機型及營運限制等實務的條件，且未考慮以固定時窗限制客戶航機進廠維護，可能排擠自有航機維護時段與資源，進而造成自有航機維護期限使用率下降等影響，故較難以有效地應用於實務運作。Yan 等人<sup>[2]</sup> 雖考量實務的營運目標與相關限制條件較為完整，但仍有限制契約客戶機進廠時窗不得指派作法影響資源有效運用及未考量已指派契約客戶航機之排程調整（模式中契約客戶機可不指派）問題；此外，該模式未進行模擬評估，無法証實模式在實務隨機環境運用時的績效。Radhika<sup>[8]</sup> 僅針對航機需停機約 3 週之大型維護工作進行排程規劃研究，且未考量機庫適用機型，故較難以有效地應用於臺灣的實務運作。至於其他運具的維護排程文獻，因為問題與本研究航機維護工廠之維護停機排程問題不同，故無法直接應用於本研究。

### 三、模式構建及模擬評估方法

本研究參考 Yan 等人<sup>[2]</sup> 所提及 F 廠的實務作業，以航機維護工廠業者為立場，構建一長期航機維護排程年度調整模式（以下簡稱為 LMSYA\_CM）。本節首先描述長期維護停機排程及需要每年重新調整之問題，接著說明本研究模式之假設與基本條件，之後進行數學定式，最後說明模式之應用與使用時機。

#### 3.1 問題描述

本研究茲針對航機預防性定期維護之工作項目及內容、維護時間的不確定性、進廠時窗及維護時距使用率計算、維護資源限制及營運配合作業等方面，分別說明如下：

1. 在定期維護工作項目及內容方面：劉世德<sup>[9]</sup> 曾介紹航機定期維護工作，大致可區分為 A、B、C、D-Check、Structure Check、Landing Gear Change、Painting 等，而相鄰兩次進廠定期維護之間，可使用的固定飛行小時（以下簡稱飛時）數或日曆天數（以下稱為維護時距），視何者先到（which come first）所必須執行週期性的預防維護工作，以下逐一介紹各級定期維護工作：

(1) A-Check：工作內容包含有潤滑、保養（service）、操作性檢查（operation）、功能性檢

查 (function)、檢驗 (inspection)、回復可用 (restoration)、報廢 (discard) 等 7 種基本工作。一般都利用各航次間的空檔實施作業，其維護時間約為 9 至 10 小時。

- (2) B-Check：除了 A-Check 應執行的維護項目外，再加上與發動機相關的維護，亦利用各航次間的空檔實施，維護時間約為 1~2 天。某些航空公司為了減少停機維護，將 B-Check 較 A-Check 需增加的維護項目，併入 A-Check 實施。
  - (3) C-Check：除了 A 與 B-Check 應執行的維護項目外，加上各次系統的管線、發動機、起落架等詳細維護，另外包含機體結構檢查，各油箱的燃油補充，裝備的定期更換等作業。其維護時間較 A-Check 來得長，一般為 5 至 10 天。
  - (4) D-Check：其工作項目及內容較 C-Check 為多，主要是增加機體結構內的內部檢查及防鏽處理，包含各系統檢修、測試、機體塗裝及大規模的改裝，為定期維護等級中最繁重的作業。維護時間較 C-Check 更長，一般約為 3 至 4 週。
  - (5) Structure Check：主要針對航機結構方面，包含前述各等級維護項目均無法直接進入 (access) 檢測，而必須拆移某些蓋板、管線等方能執行之結構維護工作。
  - (6) Landing Gear Change：航機結構中最大且需要定期更換的元件應屬航機之起落架，維護時距以累計飛行小時數或起降次數 (可轉換日曆天數) 計算。
  - (7) Painting：此項工作在航機製造廠制訂之 MPD 內並無硬性規定，大多依航空公司政策、航機製造廠建議或以往航機外觀防鏽狀況，適時加入航機維護計畫。
2. 在維護時間的不確定性方面：由於檢查、拆修結果、人員技術、熟練度、效率差異及零組件備妥與否的不確定性，會造成維護時間延長或縮短，導致出廠日延後或提前，進而造成其他航機延後進廠。陳俊汝<sup>[3]</sup>曾深入探討維修工時，吳國賓<sup>[1]</sup>曾以新飛機為例，每小時的計畫性工時大約會產生 1.2 小時的非計畫性工時，大部分都是來自於結構檢查後，產生的額外改正工作。Samaranayake 等人<sup>[21]</sup>亦曾指出，維護時間的管制應結合後勤補給。
3. 進廠時窗及維護時距使用率計算方面：航空公司為減少維護次數並增加可使用飛航時數，會設法充分運用 AMP 所規定的維護時距，因此，本研究參考 Holst 與 Sorensen<sup>[11]</sup>最小化維護時距未使用總飛行時數及 Radhika<sup>[8]</sup>最小化提早進廠維修為目標的做法，以航機維護時距使用率最大化為模式目標值。以下說明航機維護時距使用率之計算方式如下：

$$(1) \text{以飛時計算：使用率} = \frac{\text{2次維護間實際使用飛時}}{\text{AMP規定的維護時距(以飛時計)}}$$

舉例來說，假設一架 747-400 型航機之 C-Check 維護時距為 7500 飛時或 500 日曆天，當該航機因故於飛行 6000 小時後即進廠保養 (非為日曆天先達到規定期限)，則視為維護時距損失 (縮短) 1500 飛行小時，使用率為 80% ( $\frac{6000}{7500} \times 100\%$ )。

$$(2) \text{以日曆天計算：使用率} = \frac{\text{下次停機維護進廠日} - \text{上次完成維護出廠日}}{\text{AMP規定的維護時距 (以日曆天計)}}$$

以圖 1 所示為例，假設一航機在 2005/06/01 (第 0 天) 執行維護工作，其規定之維護時距是 150 日曆天，若下次執行時間恰巧在規定之維護期限到期日 2005/10/28 (第 150 日曆天)，則其使用率為 100% ( $\frac{(150 - 0)}{150} \times 100\%$ )。若提早在 2005/09/28 (第 120 天) 進廠維護，則使用率將降低為 80% ( $\frac{(120 - 0)}{150} \times 100\%$ )。此使用率值可以反映出個別航機的維護時距使用多寡。

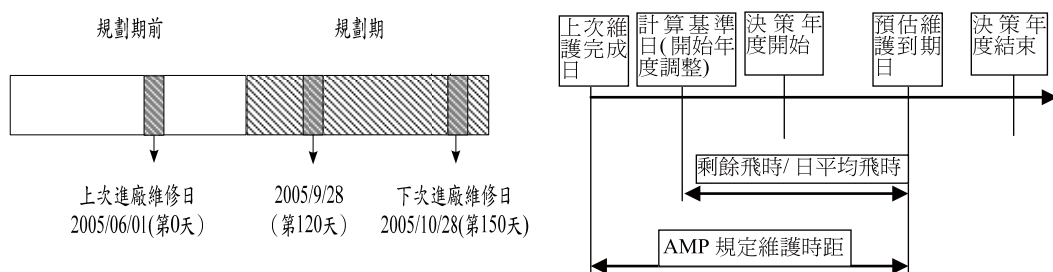


圖 1 航機維護時距使用率計算示意圖(Yan 等人<sup>[2]</sup>)

圖 2 維護時程 (以飛時計算) 關係示意圖

在實務上，為了預估停機維護到期日 (以下簡稱到期日) 計算方便，必須設定一計算基準日做為參考時間點。到期日計算方式可概分為以飛行小時數或以日曆天數為基準兩種，以下分別說明：

#### (1) 以飛時為基準之到期日

由圖 2 維護時程關係示意圖可得知上次維護完成日、計算基準日與到期日間的相關性。剩餘飛時等於自計算基準日起至到期日前仍可使用飛時，在計算基準日之後，剩餘飛時會隨著飛時使用增加而逐漸減少。因此，到期日=計算基準日+(剩餘飛時/日平均飛時)。

#### (2) 以日曆天為基準之到期日

以日曆天數為基準之到期日=計算基準日+剩餘可飛行日曆天數。值得說明的是，其他的管制規定，例如有起落架更換係以起降次數為管制基準、金屬疲勞檢查係以飛行次數為管制基準、發動機維修係以運轉時數為管制基準等，為規劃方便，此等管制規定亦可轉換成日曆天管制。例如，以起降次數為基準之到期日=計算基準日+(剩餘起降次數/日平均起降次數)，同理其他管制規定亦可轉換。上述到期日的設定，係視 AMP 規定需要管制條件估算結果並以日期先到者為到期日。

4. 在維護資源限制方面：長期排程年度調整作業在規劃階段所需考量的相關限制，主要有廠棚容量、維護人力及營運配合作業 3 部分，以下進一步說明：

#### (1) 廠棚容量

為了維護作業管制與便利，航機定期維護必須在廠棚 (hangar) 中的機庫內進行，維護工廠亦會針對機隊中特定機型或維護特性，在某些廠棚架設固定機型使用之設備。依「維



修廠設立檢定管理規則」<sup>[35]</sup> 規定，各項維修必須在檢定核可的情況下進行，因此不能隨意更動。此外，個別機庫不可有 2 架飛機以上同時進行維護。

## (2) 維護人力

本研究經由實務訪談後，將航機停機維護工作計畫人力（簡稱維護人力）組織與管制情況，整理如圖 3 所示。所謂維護人力是指民航法上所稱的「地面機械員」，是在地面上擔任維護工作的機務人員，其工作有內外勤之分。外勤工作係指在航空公司（或其他航空公司）所飛航各航空站（外站），從事停機線維修（大部分在戶外停機坪，依「維修廠設立檢定管理規則」<sup>[35]</sup> 定義：係指不需要特殊訓練、裝備或設施之日常保養或檢查，或飛航中及日常檢查產生之非定期維修）作業，其中包含每日起飛前、落地後檢查、過境維護、故障排除及過夜航機檢查等。內勤工作係指航機定期停機維護工作，主要做預防性檢查及必要維護，其中包含運轉系統檢視與維修、儀表檢測或校準、電腦系統檢測、結構非破壞性檢測、系統組（零）件之翻修與更新、結構體翻修等。依「航空器適航檢定維修管理規則」<sup>[36]</sup> 規定，為保障飛航安全，各項維護作業執行、檢測或複核都要有適格人員簽名並取得民航局適航簽證。

吳國賓<sup>[1]</sup> 曾提及維護工廠執行維護作業管制的流程，本研究整理如圖 4 所示。當維護工廠場修中心主管接到來自工作計畫組的航機維護工作包後，指派該航機維護工作管制長，並交付維護工作單位指派維護工程師負責該航機維護工作進度的掌握，各分項維護作業則由維護副工程師負責率領 3~4 位維護組員執行，維護組員可以視作業安排互相支援。維護組員可透過進度會議（proceeding meeting）向維護工程師回報維護作業情形，維護工程師則依人員值班表及困難狀況，向管制長報告該航機次日之維護作業預定進度，管制長再依原訂工作流程計畫（work flow plan）及現況，判斷維護作業進度是否有延誤並做增派人力、作業順序調整、延長工時等處置措施。若需要增派人力支援，則於管制進度的主管會議中提出協調。

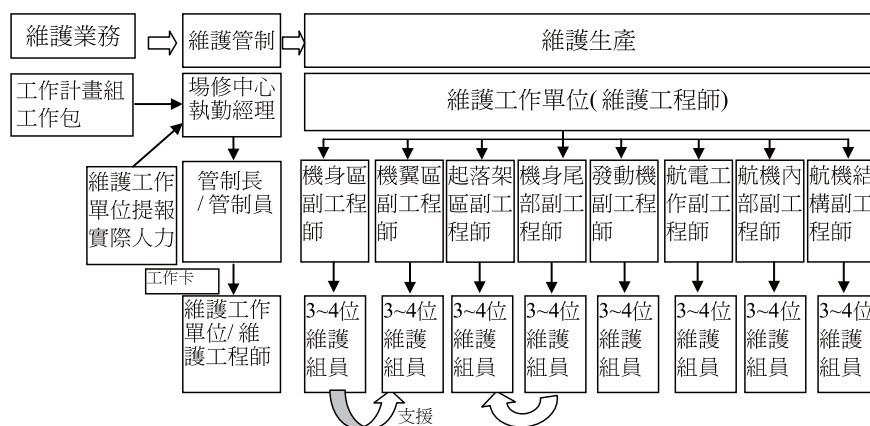


圖 3 維護工作計畫人力組織與管制示意圖

### (3) 營運配合作業

為避免影響同航線航班營運調度，本研究參考 Yan 等人<sup>[2]</sup>及 Radhika<sup>[8]</sup>考量同型機不同時進行定期大型 (C/D check) 維護的做法納入規劃。此外，還考量機庫維修、臨時任務、跨年度維護、營運旺季等特定時窗限制及契約客戶航機業務營運需求。

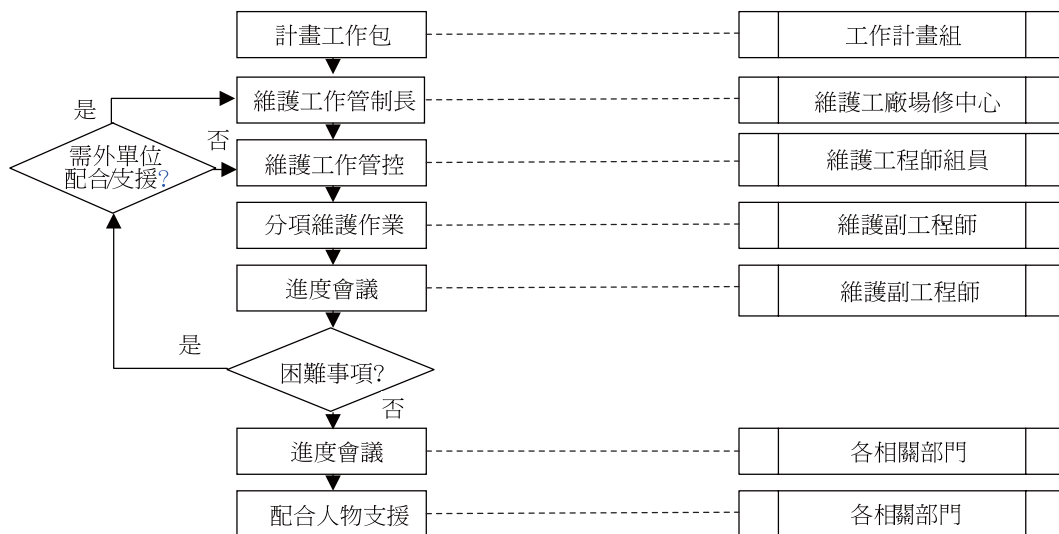


圖 4 維護作業管制流程圖

## 3.2 模式基本條件與假設

為確保模式架構合理且能符合實際應用，本研究透過專家訪談及了解 F 廠維護排程年度調整實務運作後，基於下列基本條件及假設構建模式：

### 1. 維護工作項目、數量、時間及 AMP 規定方面

在決策年度內所有需進廠維護之自有及契約客戶航機（包含機型、航機編號）、所需執行之 C/D-Check 等級以上維護工作項目、維護時距及維護時間，均為已知。此等已知資料係指已依航空公司滾動式長期（指未來 5 年）規劃策略更新後，在下一年度（為決策年度）排程調整中已更新的各項規劃參數。值得注意的是，維護時間估算是根據機型、項目、機齡、拆檢修報告等資訊，並參考 AMP 及過去經驗概估，因此，相同維護項目所需時間亦不一定相同。

### 2. 航機維護進廠時窗的參數方面

#### (1) 在決策年度內航機進廠維護的到期日已知

自有航機到期日可由計算基準日、日平均飛時、剩餘飛時或維護時距與使用率等資料求得，已訂契約客戶航機應提供符合其 AMP 規定之最早及最晚進廠日（以下簡稱最早進

廠日及最晚進廠日)。

## (2) 最晚進廠日

為求維護時距使用率能達到最大，一般係以到期日做為最晚進廠日。然而，為避免資源規劃過緊而導致在營運過程發生航機進廠日超逾維護時距或排程調整困難情況，本研究研擬適當降低最大維護時距使用率做法，並轉換成最晚進廠日作為緩衝對策，以規劃較具可靠性排程。因此，本研究參考 F 廠以往在營運過程各次調整排程後的機隊維護時距使用率平均值，作為初始規劃之各航機維護使用率  $P_L$ ，並轉換成最晚進廠日。可求得最晚進廠日與  $P_L$  之關係如下式：

$$\frac{\text{最晚進廠日} - \text{上次維護完成日}}{\text{維護時距}} = \text{最大維護時距使用率 (具緩衝)} = P_L (\%) \quad (\text{A})$$

移項可得：最晚進廠日 =  $P_L \times \text{維護時距} + \text{上次維護完成日}$

## (3) 最早進廠日

由於在航機維護時距使用率達成一定標準及維護系統滿足安全及可靠度要求下，可向民航局申請維護時距展延寬（詳民航通告維護計畫管理<sup>[37]</sup>）。因此，本研究參考排程專業人員以往經驗及可展延寬申請標準，訂出適當的最小維護時距使用率  $P_E$  值，並轉換成最早進廠日。可求得最早進廠日與  $P_E$  之關係如下式：

$$\frac{\text{最早進廠日} - \text{上次維護完成日}}{\text{維護時距}} = \text{最小維護時距使用率 (可展延)} = P_E (\%) \quad (\text{B})$$

移項可得：最早進廠日 =  $P_E \times \text{維護時距} + \text{上次維護完成日}$

$$\text{由 (A) 及 (B) 可得，最早進廠日} = \text{最晚進廠日} - (P_L - P_E) \times \text{維護時距} \quad (\text{C})$$

## (4) 假設已訂契約客戶航機視同自有航機可給予進廠時窗緩衝

本研究考量契約客戶航機維護仍不可超逾最晚進廠日（為客戶機到期日）及維護工廠須依民航法規規定維護後才能簽字放行等條件下，應可協調契約客戶航機自訂之最晚進廠日給予適當提前做為維護系統緩衝，在模式做法上應屬合理。

## 3. 廠棚維護資源限制方面

### (1) 假設維護工廠內之機庫數量固定

除非新建機庫或受損無法使用，否則機庫數量在決策年度內不會有變化。因此，本研究設定機庫數量為固定值且為已知，此項假設應屬合理。

### (2) 機庫適用機型或特殊維護項目已知

本研究在機庫適用機型或特殊項目限制上，係參考 F 廠實務資料，並考量長期排程資源較充裕的情形下，為避免規劃過緊導致中期及短期規劃或調整作業困難，在機庫適用機型的停機維護數量上係以總架數估算，即不細分大小型航機，均設定為 1 架。

#### 4. 維護人力資源限制方面

##### (1) 假設維護人力數量為固定值

維護工廠為符合「航空人員檢定給證管理規則」<sup>[38]</sup> 簽證人員規定及降低人力成本要求，維護人力必須機動調整，為簡化問題規模，本研究以每架航機維護工作包視為一組維護人力需求，此假設應屬合理。

##### (2) 不考慮維護人力加班成本

顏上堯、陳玉菁<sup>[22]</sup> 曾提及目前修護人員的排班方式為每日固定三大班的人員輪班排班法。此外，除非工作量突然增加或限期完成，原本輪班休息人員或正常上班制人員才可能會被要求加班。因此，本研究在規劃模式時並不納入加班成本。

#### 5. 特定進廠時窗限制方面

由於營運部門會有航機維護排程儘量避開季節性營運尖峰時期、政策專機或延續上一年度維護作業的業務需求等，因此，在上述的時段及機庫必須列為不可規劃或特定使用限制，故此項假設應為合理。

#### 6. 假設同一航機相同類型 C/D-Check 以上維護項目 1 年內最多只執行 1 次

實務之 C/D-Check 以上維護項目之維護時距皆大於 1 年，故此假設應為合理。

#### 7. 假設每項維護工作均不可分割

依 AMP 及「航空器適航檢定維修管理規則」<sup>[36]</sup> 的規定，除了與安全無關的項目外，必須將該次之工作完成，即每項維護工作均不可分割。若部分維護事項尚未完成，維護管制人員已簽字放行，不但可能影響航機安全，且一經查獲，航空公司及相關人員也會受依法遭到鉅額罰款或停飛等嚴重懲罰，故此項假設應為合理。

#### 8. 以本航站之維護能量進行維護排程，不考慮外站之維護支援。

### 3.3 數學定式

在數學定式前，先定義本研究模式 (LMSYA\_CM) 之相關參數與變數如下：

決策變數：

$x_{ijk}$ ：表示自有或已訂契約客戶的第  $i$  架航機在第  $j$  天是否被指派至第  $k$  機庫進行維護？如果求解結果是指派，則為“1”，否則為“0”。

參數定義：

$i$ ：第  $i$  架自有或已訂契約客戶航機。

$j$ ：第  $j$  天進廠日。

$k$ ：第  $k$  個維護機庫。

$m_{ij}$ ：第  $i$  架自有或已訂契約客戶航機在第  $j$  天進廠之維護時距使用率（單位：%）。

$w_i$ ：第  $i$  架自有或已訂契約客戶航機的座位數權重值。由於每架航機的維護時距使用率最大值均為 1，且在實務訪談時得知，政策上大航機的重要性優先

於中小型機，中型機又優於小型機，因此為儘量符合實務的政策需求，以訂出合理的模式目標值，本研究參考 Yan 等人<sup>[2]</sup>做法，以座位數最少之機型 Boeing 737-800 為基準，依各機型不同座位數之相對比值訂定各機型的權重值。

- $e_i$  : 第  $i$  架自有或已訂契約客戶航機最早進廠日。
- $l_i$  : 第  $i$  架自有或已訂契約客戶航機最晚進廠日（為到期日提前某些日數做為緩衝）。
- $r_i$  : 第  $i$  架自有或已訂契約客戶航機進廠維護之維護時間（即停機維修天數）。
- $q_{sk}$  : 第  $s$  天第  $k$  個維護機庫因機庫大小或維護設備支援能力最多可同時停放的航機總架數（不論大小機型均設為 1 架）。
- $p_s$  : 第  $s$  天所有的維護機庫因人力限制最多可同時維護的航機總架數。
- $p_s^{o\_type}$  : 自有航機  $o\_type$  同型機種第  $s$  天最多可停機維護的架數。
- 集合定義：
- $T$  : 決策年度內所有規劃天數。
- $H_{is}$  : 第  $i$  架自有或已訂契約客戶航機涵蓋所有第  $s$  天（含）以前進廠日之集合。  
 $H_{is} = \{j \mid j \leq s \leq j + r_i - 1\}$ 。
- $I$  : 應於決策年度內進廠維護之自有及已訂契約客戶航機集合。
- $I^o$  : 應於決策年度內進廠維護之自有航機集合。
- $I^{cr}$  : 維護作業由決策前一年度跨越至決策年度或因政策需求特定維護時窗的自有及已訂契約客戶航機航機集合。
- $S_i^{cr}$  : 自有及已訂契約客戶航機中，第  $i$  架航機因維護排程跨越至決策年度或政策需求，已排定機庫及進廠維護時窗之集合。
- $K$  : 航機維護工廠內所有機庫之集合。
- $IK^f$  : 因機型限制無法調整至機庫或無法使用機庫之自有及已訂契約客戶航機暨機庫集合。
- $I^{o\_type}$  : 屬於  $o\_type$  機型之自有航機集合。
- $TP^o$  : 自有航機之所有機型集合。

本研究模式(LMSYA\_CM)可定式為一零壹整數規劃問題如下：

Maximize

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in T} \sum_{k \in K} m_{ij} \cdot w_i \cdot x_{ijk} \quad (1)$$

Subject to

$$\sum_{j=e_i}^{l_i} \sum_{k \in K} x_{ijk} = 1, \quad \forall i \in I; \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in H_{is}} x_{ijk} \leq q_{sk}, \quad \forall k \in K, \forall s \in T; \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in H_{is}} \sum_{k \in K} x_{ijk} \leq p_s, \quad \forall s \in T; \quad (4)$$

$$\sum_{(i,k) \in IK^f} \sum_{j=e_i}^{l_i} x_{ijk} = 0; \quad (5)$$

$$\sum_{(j,k) \in S_i^{cr}} x_{ijk} = 0, \quad \forall i \in I^{cr}; \quad (6)$$

$$\sum_{i \in I^{o-type}} \sum_{j \in H_{is}} \sum_{k \in K} x_{ijk} \leq P_s^{o-type}, \quad \forall^{o-type} \in TP^o, \forall s \in T; \quad (7)$$

$$x_{ijk} = 1 \text{ or } 0, \quad \forall i \in I, \forall j \in T, \forall k \in K; \quad (8)$$

目標式(1)表示所有自有及已訂契約客戶的航機維護時距使用值最大化，其中模式目標值為機隊維護時距使用值，等於（個別航機維護時距使用率×個別航機權重）的總和。此目標除可節省航空公司航機維護成本外，亦能使航機營運飛行時數（天數）充分利用。由於不同機型航機的重要程度不同，故分別給予不同之權重值。本研究與 Yan 等人<sup>[2]</sup>研究不同的是，將已訂契約客戶的航機一併納入規劃，使模式更貼近整體維護系統的實務運作方式。限制式(2)表示所有自有及已訂契約客戶的航機須在維護時距內維護限制，代表決策年度內所有應進廠維護航機必須在進廠時窗（即最早（ $e_i$ ）及最晚（ $l_i$ ）進廠日之間）內進廠執行 1 次維護工作。本研究與 Yan 等人<sup>[2]</sup>研究不同的是，在最晚進廠日設定上，Yan 等人<sup>[2]</sup>研究係以預估到期日做為最晚進廠日，本研究之最晚進廠日較預估到期日提前一緩衝天數，此緩衝比例設定為過去數年度之維護時距使用率之平均值；在最早進廠日之設定上，本研究先考量以能滿足航機可展延寬的基準做設定（詳 3.2 節 2.(3)最早進廠日說明）。若初始規劃結果造成營運階段無解時，Yan 等人<sup>[2]</sup>研究是給予一虛擬機庫，本研究則以小幅逐步降低（降低做法說明詳 4.1「資料分析」）整體機隊之最小維護時距使用率（對應等於最早進廠日逐步提前）的做法，漸漸擴大進廠時窗，再重覆進行求解測試，直至模擬營運過程求解均有解為止，並取得初始規劃用之最早進廠日之設定參數（機隊整體最小維護時距使用率）。值得注意的是，本研究在進行模擬評估比較時，Yan 等人<sup>[2]</sup>研究之最早進廠日之參數係設定相同，因此，本研究在進廠時窗設定上較 Yan 等人<sup>[2]</sup>研究更緊。此外，Yan 等人<sup>[2]</sup>研究是每架客戶航機年度內最多維護 1 次，亦即在利潤最大之前提下容許不維護，然而此作法有可能導致維護中或應維護的航機無法指派，而違反客戶的契約。綜上所述，本研究的作法較能因應未來營運階段隨機擾動的年度調整需求。限制式(3)為個別機庫單日使用架數限制：代表在第  $s$  天，第  $k$  個維護機庫最多可停放的航機總架數不得超過  $q_{sk}$  架， $q_{sk}$  值由排程人員視機庫大小或維護設備支援能力做彈性決定。本研究考量長期排程資源較充裕的情形下，在機庫的停機維護數量以總架數估算，不細分大小型航機，均設定為 1 架。若機庫於第  $s$  天有航機執行維護中，則該航機可能在第  $s$  天（不含）以前已進廠或第  $s$  天才進廠，故其集合可如表 1 所示：

表 1 個別機庫使用時間與進廠時間關係說明表

第 $s$ 天機庫有 停機維護	第 $i$ 架航機第 $s$ 天 開始進廠日之集合	集合及元素	說明（假設 $r_i$ 大於 2）
$s=1$	$H_{i1} = H_{i1} = \{j   j \leq 1 \leq j + r_i - 1\}$	$\{1\}$	第 1 天開始進廠維護
$s=2$	$H_{i2} = \{j   j \leq 2 \leq j + r_i - 1\}$	$\{1, 2\}$	第 1 或第 2 天開始進廠維護
$s=3$	$H_{i3} = \{j   j \leq 3 \leq j + r_i - 1\}$	$\{1, 2, 3\}$	第 1、2 或第 3 天開始進廠維護
$s=n$	.....	$\{n-r_i+1, n-r_i+2, \dots, n\}$	第 $n-r_i+1$ 、 $n-r_i+2$ 、 $n-r_i+3$ ....或第 $n$ 天開始進廠維護（假設 $n$ 大於 3）

限制式(4)為維護工廠單日維護人力限制：考量維護工廠人力資源有限，將每日最多可提供之維護人力轉換成第  $s$  天最多允許維護航機總架數為  $p_s$  架。Yan 等人<sup>[2]</sup>研究在本項限制提供若有客戶航機維修時，維護人力可增加，唯如此較難評估維護航機利潤是否超逾增加常態人力所需人力成本，因此，本研究仍以常態人力為維護人力限制，如有臨時加班需求，則在短期排程做即時的調整處理。另外，值得一提的是，本研究模式並不納入臨時的航機維修需求，原因是此等需求較屬中期的臨時需求，在長期的規劃上通常未出現，因此不宜放在長期的排程規劃內。限制式(5)為機庫有機型或使用限制：實務上限制某些機庫僅供特定機型或維護作業使用。以後續 F 廠範例測試資料為例，1 號機庫僅供線上維護使用，故所有航機在 1 號機庫均不得進入大修；4 號機庫只限 744、74Y 機型使用，故自有及契約航機中非屬該 2 機型均不得進入大修；3 號機庫不能停放 744、74Y 機型，故自有及契約航機中屬該 2 機型均不得進入大修。此外，本研究考量在契約客戶預定進廠時窗，保留該機型 1 適用機庫，故該時窗其他自有航機不得進入使用，唯維修中之航機不受影響。與 Yan 等人<sup>[2]</sup>研究以自有及契約客戶航機使用不同機庫的作法比較，上述作法較能有效利用維護資源。限制式(6)為特定時窗限制：本研究考量跨越年度或政策需求排定之日數與機庫（包含自有及契約客戶航機）不得再指派給其他航機進行維護；此外，Yan 等人<sup>[2]</sup>研究對跨越年度限制不考量契約客戶航機的作法，亦較難適用於年度調整作業。限制式(7)為同型機庫日維護數量限制：為配合營運考量，限制自有航機同型  $o\_type$  機種，於第  $s$  天最多可停放的總架數不得超過  $p_s^{o\_type}$  架；此外，當  $p_s^{o\_type} = 1$  時，意指各同型航機維護作業時窗均不可重疊。值得注意的是，在盡量滿足顧客的前提下，本研究模式並不對已訂契約客戶航機做此項限制。限制式(8)為變數是零壹整數的限制式。

本研究所構建之規劃模式可定式為一零壹整數規劃問題，其模式之計算複雜度 (computational complexity) 為  $C_n^N$ ，其中  $N = |I| \times |T| \times |K|$ ， $n = |I|$ 。由此可知模式的問題規模隨航機數量、規劃期天數或維護機庫數的增加，呈階層數（非多項式）增加。由 F 廠目前之維護能量及實務作業資料得知，本模式的問題規模約 63,820 個決策變數（包含 109,500 個決策變數，再扣除 45,680 個已設定為 0 之決策變數）及 4,451 條限制式，但在

電腦功能較以往提升之情形下，可直接利用 CPLEX 數學規劃軟體求解。

### 3.4 模擬評估方法

本研究參考 Yan 等人<sup>[30]</sup>及 Yan 等人<sup>[31]</sup>研究，發展一模擬評估方法，以比較本研究模式 (LMSYA\_CM) 與傳統的確定性模式所規劃的停機排程，在未來決策年度實務營運時所產生可能的績效差異。茲說明模擬評估方法如下：首先，找到具傳統代表性的確定性模式，並適當篩選其模式與限制條件，使其與本研究模式具相同的比較基準；其次，以相同測試範例，再對選取之傳統代表性的確定性模式求解排程；最後，分別針對二模式之求解結果，以相同的隨機事件，模擬求解所得規劃排程在營運階段遭受各次隨機事件影響後，維護工廠專業排程人員執行人工調整排程的過程，並進行結果評估。以下再詳細說明：

#### 1. 傳統的確定性代表性模式研究選取與基準設定

依前述文獻回顧結論可知，目前僅 Radhika<sup>[8]</sup>、陳俊汝<sup>[3]</sup>及 Yan 等人<sup>[2]</sup>曾做過類似航機維護工廠內之停機維護排程確定性規劃研究，然而對於已規劃的排程在營運階段受隨機事件擾動後，需逐年調整的問題，尚未發現有類似研究。其中，以 Yan 等人<sup>[2]</sup>考量實務的營運目標與相關限制條件較為完整，也最接近現今維護工廠的運作模式。因此，本研究以 Yan 等人<sup>[2]</sup>研究模式（以下簡稱 LMS\_TCM）為傳統的確定性模式代表性案例。

為使上述選定的研究之模式與本研究模式具相同的比較基準，對於二者之目標式及限制式必須深入了解差異後做適當的篩選與設定。首先，在目標值方面，由於 LMS\_TCM 為多目標式，包含第一目標式（屬自有航機部分，目標值為最大化自有航機維護使用值）及第二目標式（契約客戶航機部分，目標值為最大化契約客戶航機維護營運利潤），故截取其第一目標式；其次，在限制式方面，由於 LMS\_TCM 中，含有契約客戶機可增額的人力限制，應改為不可增額的人力限制；最後，在長期排程架構下，二模式均不納入臨時客戶機維修業務。此外，相同測試範例可視為航機規模、維護能量相同。值得注意的是，由於契約客戶航機的排程決策是本研究與 LMS\_TCM 的差異之一，故比較基準之一須設定二模式之契約客戶航機於相同進廠日維護。經由上述做法，二模式在比較之基準上可視為相同的。

#### 2. LMS\_TCM 修正後的求解

依前述比較基準修正 LMS\_TCM 並求解，作法如下：首先執行 LMSYA\_CM，並依 LMSYA\_CM 所求解之契約客戶機排程，先在 LMS\_TCM 中固定契約客戶機之排程，之後，再求解此修正過之 LMS\_TCM 的剩餘自有航機排程。

#### 3. 模擬二模式之規劃解在營運階段受隨機擾動及人工調整過程

以下說明此模擬人工調整步驟及其中所需之隨機事件次數如下：

- (1) 輸入本研究模式 LMSYA\_CM 及 LMS\_TCM 的需求相關參數資料與求解結果。
- (2) 利用隨機抽樣方式，在符合機率分配函數下，模擬各次隨機事件產生各航機最早、最晚進廠日及維護時間的隨機值，並建立 EXCEL 資料庫欄位及各欄位之儲存格小程



式備用。小程式具各項模式限制計算及違反限制時之顯示功能。

- (3) 令  $m=1$ 。 $m$  為隨機事件模擬計數值， $M$  為設定的模擬總次數。
- (4) 結合運算 EXCEL 資料庫中第  $m$  次模擬之隨機需求值及原規劃值資料，並更新各航機最早、最晚進廠日及維護時間。
- (5) 比較原規劃進廠日（以下簡稱規劃進廠日）與更新後最晚進廠日（以下簡稱新最晚進廠日）之差異，並做進廠時窗調整。
  - A.傳統的 LMS\_TCM：通常最晚進廠日設定等於到期日，若規劃進廠日晚於新最晚進廠日者，則須將規劃進廠日提前等於新最晚進廠日。
  - B.本研究 LMSYA\_CM：由於最晚進廠日設定（有緩衝值）小於到期日，因此，若規劃進廠日晚於更新後之到期日者，須調整提前等於新的到期日。
- (6) 參考 F 廠維護工廠人工的決策做法，調整各航機進廠日至滿足限制要求，求得各航機進廠維護排程日期及模式的目標值，並做為下一次隨機事件模擬的規劃排程基礎（此同實務的作法，即在該年度內重複人工調整停機維護排程）。
- (7)  $m$  是否達模擬次數  $M$ ？若是，進行步驟(8)，若否， $m = m+1$  回到步驟(4)。
- (8) 記錄並統計各次模擬求解所得 LMSYA\_CM 及 LMS\_TCM 之各航機各排程進廠時點、目標值及內部解。

本研究在模擬步驟(6)所述之人工調整做法上，係參考 F 廠排程專業人員的經驗做法，依下述原則進行調整：

- (1) 各航機進廠日需調整，延後優於提前。
- (2) 各航機進廠日需調整延後，LMS\_TCM 不可超逾最晚進廠日，LMSYA\_CM 不可超逾到期日。
- (3) 各航機進廠日需調整提前，需先考量是否可調整機庫（需注意適用機型），且小型機先於大型機（指 744、74Y 型）。若同時需調整，則小型機延後或提前相對於應同時調整的大型機提前或延後天數應比較二型航機的權重，舉例來說，738 小型航機（權重為 1）延後 3 天所提升之目標值可視為大於 74Y 型大型機（權重 2.53）提前 1 天所減少的目標值；同樣地，738 小型航機提前 3 天所減少的目標值可視為大於 74Y 型大型機（權重 2.53）延後 1 天所提升的目標值，因此，前者的排程調整所增加的目標值較後者為佳，故決策取前者。另外，調整提前的原則是除非無解，否則不可早於最早進廠日。契約客戶機最後調整。
- (4) 調整後，每日應儘量有 1 架次以上維護工作，以儘量滿足資源之拉平。

另外，在模擬步驟(2)所述之隨機抽樣作法上，本研究根據實務訪談結果，在營運階段的隨機事件會影響排程，主要係航機的維護時間、最早及最晚進廠日等三項參數受擾動，由於最早與最晚進廠日間有一定的比例關係且無實務資料可供使用，因此，為簡化模式，本研究參考實務的訪談建議，設二者的擾動值產生的範圍相同。此外，本研究依 F 廠的實務資料，對隨機事件造成各航機預定維護排程中有關最晚進廠日、維護時間擾動值，分別

設定約介於+4 (延後 4 日) ~ -4 (提前 4 日) 及+15 (增加 15 日) ~ -9 (減少 9 日) 間，再對照各日期擾動值所對應的隨機事件累計次數，統計擾動值累積機率，並據以求出擾動值累積機率密度函數圖。之後，以隨機方式選取隨機值，並對照擾動值累積機率密度函數圖，分別求得對應的維護時間、最晚進廠日之排程日期擾動值，再加上原始排程規劃日期，即可決定各次隨機事件擾動後更新的進廠時窗。

在隨機事件次數設定上，本研究依實務問題特性選擇一適當之隨機事件次數，以合理且有效率地模擬未來實際營運狀況。由於實務上已完成年度調整的規劃排程，在決策年度營運階段運作時，可能需要再以人工調整或多或少的次數，因此本研究參考常態分配下，樣本數超過 30 組且樣本愈多愈能代表母體的理論，最後設定 40 次的人工模擬次數進行評估。

#### 4. 模擬結果之評估

由統計資料分析結果，比較傳統的 LMS\_TCM 與 LMSYA\_CM 之原規劃解與目標值在經過營運階段維護排程調整模擬後的差異並分析。

### 3.5 模式應用

F 廠排程人員通常於決策年度開始前 3 ~ 6 個月，開始進行決策年度（下一年度）長期停機維護之排程調整作業，圖 5 係本研究參考維護工廠在實務上的規劃作業模式，發展並整理出停機維護長期排程之年度調整規劃作業流程圖。流程簡要說明如下：在年度調整開始時，首先，取得決策年度起之 5 年期長期排程更新後的參數資料，接著，再搜集已知營運變化影響原規劃排程相關參數資料，並以本研究確定性模式規劃，求得未來決策年度更新之最佳化初始規劃排程草案；之後，將該草案送交維護工廠其他相關部門審視配合作業是否可行？若可行則定案；若不可行則協商調整參數資料，再重新求解初始規劃排程。重覆上述流程直至完成定案為止。最後，再經未來決策年度營運可行性評估後，即可公布（須公布定案之期限，依各航空公司作業規定，例如決策年度開始前 1 個月）提供未來決策年度航運季班表及中期排程使用。此時本研究模式所規劃之初始規劃排程已具備到期日緩衝等功能，有助於未來決策年度人工調整作業之用。詳細說明如後：

#### 1. 建立長期排程決策年度調整參數資料庫

首先，蒐集長期排程中決策前一年度及決策年度之相關原始排程參數資料；其次，再蒐集決策前一年度計算基準日前已實際更動、基準日之後及決策年度預定更動之相關資料；最後，以 EXCEL 表建立長期排程決策年度調整參數資料庫。

#### 2. 在資料輸入及模式求解方面

依長期確定性排程模式年度調整需求，選取或調整所需參數資料輸入上述 EXCEL 資料庫並重新計算後，更新 EXCEL 資料庫備用。以 C++ 程式軟體結合 EXCEL 資料庫編寫數學式程式碼並聯結 CPLEX 數學規劃軟體求解。

#### 3. 長期排程決策年度調整最佳化模式作業

當發生模式無解之情形，其原因可能是由於各項參數值設定不佳導致資源過緊所造成，可調整輸入資料或放鬆部分限制後重新求解。若模式有解，則需再與維護工廠協商適當調整參數並重新求解。經由重覆進行排程求解與實務討論的最佳化循環，一直至相關部門均同意接受後，才算完成初始的長期規劃維護排程。

#### 4. 在營運單位評估方面

初始的長期規劃維護排程完成後，需交由營運部門評估是否可接受或調整。重覆評估步驟直至營運單位及其他相關單位均同意接受後，才完成年度調整的初始規劃作業。

#### 5. 調整後排程公布

完成上述調整作業後，即可公布調整排程並獲知維護工廠人力需求、休假安排、維護資源過鬆或過緊及是否可承接臨時客戶機維修工作等資訊供決策者使用。

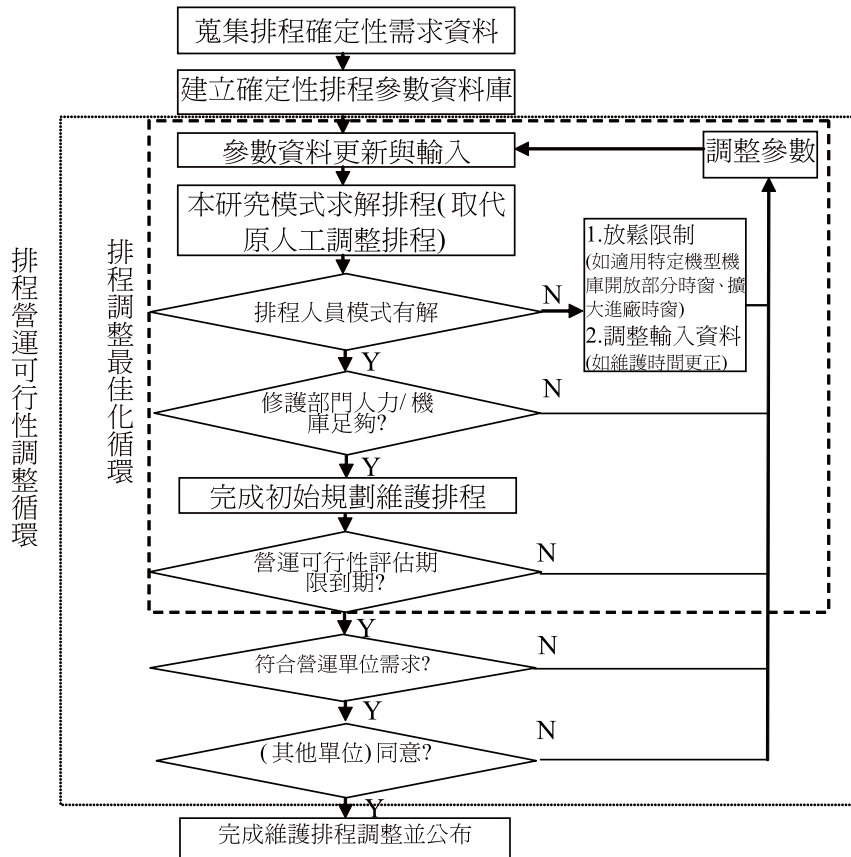


圖 5 長期停機維護排程年度調整之作業流程圖

此外，當模式發生無解之狀況，其原因可能是由於模式中之資源過緊或限制過多造成，如自有同型航機過多而僅容許每日 1 架維護、特定機庫機型限制過緊或機庫損壞、

AMP 資料錯誤導致無解、跨越年度維護占用機庫超逾 365 日等情況，可與相關單位協調後，放鬆部分限制（例如允許某些同型航機可重疊數日維護、原限制大型機使用之機庫可開放某些時窗允許小型機進入、假期安排原不可進廠航機可考量假期時窗縮短或開放部分航機可進廠、最早進廠日再提前以擴大進廠時窗等）或調整輸入資料（例如 AMP 資料錯誤或民航通告更新影響飛時或日曆天管制條件後，應更正資料重新求解；維護時間更正等）；若模式有解，則完成初始的長期規劃維護排程。

## 四、範例測試

為測試本研究模式 LMSYA\_CM 的實用績效，茲以 F 廠之營運資料為測試範例。此外，本研究將針對 LMSYA\_CM 及傳統的確定性模式 LMS\_TCM 求解結果進行模擬評估與比較，最後進行敏感度及方案分析。

本研究採用 Microsoft Windows 7 作業系統為作業平台，以 Microsoft Visual C++ 6.0 程式軟體為開發環境，結合 CPLEX callable library 程式語言撰寫原始程式，透過 Microsoft EXCEL 2010 軟體建立模式應用參數資料庫，並利用 CPLEX 11.0 線性最佳化軟體進行模式構建與求解。電腦硬體使用搭配中央處理器 Intel Core i7/2.70GHz 及記憶體為 8.00GB RAM 的個人電腦執行程式運算，以求得輸出結果並進行相關分析。

### 4.1 資料分析

本研究以 F 廠之 2006 年 1 月份維護預估資料進行範例測試。此範例包括 5 座維護機庫及 60 架航機（含契約客戶航機 8 架），共 6 種機型。各機型數量及權重值，如表 2 所示，其中權重值乃是以座位數最少之機型 Boeing 737-800 為基準，依各機型不同座位數之相對比值訂定。此外，自有航機 Boeing 747-400P 共有 3 種座位數，模式中依平均座位數設定平均權重為 2.53，實際應為 2.47/2.51/2.60，而契約客戶航機編號 53，雖其座位數為 397，仍設定其權重值為 2.53，實際換算應為 2.51。此外，貨機 Boeing 747-400F 權重設定與客機相同，均為 2.53。在實務應用時，規劃者可依其對各航機之重要性認知，重新設定此權重值。其他輸入資料說明如下：

#### 1. 最早進廠日及最晚進廠日資料

本研究模式設定航機進廠日應介於最早進廠日（對應等於最小維護時距使用率）及最晚進廠日（對應等於最大維護時距使用率）之間，亦即應於進廠時窗指派進廠日。其中，當最晚進廠日設定為 100%維護時距使用率時所得的規劃結果，在營運階段可能會有超逾到期日的風險；而當最早進廠日之設定超逾 70%維護時距使用率時（僅適用 F 廠實例測試結果，其他維護工廠可能有不同結果）所得的規劃結果，在營運階段求解時則可能會發生無解的風險。

表 2 各航機機型說明、數量及權重設定表

自有航機機型	簡稱	航機數量	航機編號	座位數	權重值
Boeing 747-400P	744	14	1 ~ 14	411/397/390	2.53
Boeing 747-400F	74Y	16	15 ~ 30	貨機	2.53
Airbus 330-300	333	4	31 ~ 34	265	1.67
Airbus 300-600	AB6	2	35 ~ 36	272	1.72
Boeing 737-800	738	12	37 ~ 48	158	1.00
Airbus 340-300	343	4	49 ~ 52	263	1.66
小計		52			
契約客戶航機機型	簡稱	航機數量	航機編號	座位數	權重值
Boeing 747-400P	744	1	53	397	2.53
Boeing 747-400F	74Y	1	54	貨機	2.53
Airbus 330-300	333	0	—	265	1.67
Airbus 300-600	AB6	4	55~58	272	1.72
Boeing 737-800	738	0	—	158	1.00
Airbus 340-300	343	2	59~60	263	1.66
小計		8			
合計		60			

在最早進廠日的設定上，為滿足機隊可申請展延寬的條件（詳 3.2 模式基本條件與假設 2.(3)最早進廠日之說明），原設定整體機隊的最小維護時距使用率為 90%，但因本 F 廠實例在進行模擬營運階段之人工調整過程，偶有無解情形產生（與排程人員訪談，實務上確曾發生類似無解情形）。因此，為求本研究模式在模擬營運階段之測試時一定有解，首先模擬 40 次隨機事件、更新模式需求參數並以本研究模式直接求解。接著，若求解過程產生無解，則將整體機隊最小維護時距使用率由原設定 90%，以小幅度（0.5%維護時距使用率）逐步降低（亦即逐漸擴大進廠時窗限制）後，再重覆進行求解測試，直至 40 次模擬求解均有解為止。由於在本 F 廠實例測試過程中發現，當最早進廠日之設定未超逾 70% 維護時距使用率時，本研究模式在 40 次模擬測試過程一定有解。因此，在最早進廠日初始規劃值的設定上，茲設最小維護時距使用率為 70%。在實務應用上，維修業者可自行依據以往維護系統營運後經驗值做設定。

在最晚進廠日設定上，本研究參考 F 廠以往在營運過程各年度調整規劃後的機隊維護時距使用率平均值（約為 97.5%），設定整體機隊的最大維護時距使用率為 97%（Yan 等人<sup>[2]</sup>研究設為 100%），作為避免因隨機事件影響而導致進廠日超逾到期日（對應等於 100% 維護時距使用率）的緩衝，亦可趨近於實務運作之結果。

值得一提的是，為求模擬測試結果公平性及 Yan 等人<sup>[2]</sup>研究在模擬營運階段測試亦一定有解，本研究設定 Yan 等人<sup>[2]</sup>研究的機隊進廠時窗為 70%至 100%維護時距使用率之間，相較於本研究模式設定機隊進廠時窗為 70%至 97%維護時距使用率之間，顯示本研究模式之限制較緊。

## 2. 計算自有航機維護時距使用率所需資料

包含維護時距、剩餘飛行小時數、航機每日平均飛行小時數、航機上次完工日期、維護時間等資料均依照 F 廠所提供之資料，分別採用飛時及日曆天來計算航機維護時距使用率並轉換成最早及最晚進廠日。

## 3. 契約客戶航機維護資料

參考 Yan 等人<sup>[2]</sup>研究所述，契約客戶自行提供航機進廠時窗及維護項目資料給維護工廠，唯與上述研究將該進廠時窗保留不讓自有航機使用的作法不同，本研究將契約客戶航機視同自有航機納入長期排程一併規劃，但仍保留客戶航機的進廠時窗有 1 適用其機型機庫的機制。然而，為求比較人工調整結果之公平，本研究先執行 LMSYA\_CM，再在 Yan 等人<sup>[2]</sup>的模式中固定 LMSYA\_CM 解之客戶機排程。

## 4. 機庫適用機型及使用限制資料

F 廠維護工廠共有 5 個機庫，其中 1 號機庫僅供線上維護使用、2 號與 5 號機庫不限機型，4 號機庫只限 744、74Y 機型使用，3 號機庫則不能停放 744、74Y 機型。另外，須執行大翻修及噴漆維護作業航機僅能在 5 號機庫進行。

## 5. 其他資料

### (1) 人力維護限制

實務上，設置的常態性維護人力數量是固定的，亦即每天最多可停機維護架數是有限的。本研究參考 F 廠實務資料，設定維護系統每天最多可維護 3 架航機。

### (2) 特定維護時窗限制

實務上，航機進廠維護時窗應盡量避開季節性營運旺季，測試資料為自有航機編號 1 至編號 4 屬 744 機型，專飛歐美航線，在耶誕假期間不可進廠維護；此外，測試資料包含第 1 至第 10 天在 2 號機庫、第 1 至第 5 天在 3 號機庫及第 1 至第 14 天在 4 號機庫，延續去年工作，所有航機不得進廠維護等。

### (3) 已實際變動之相關資料更新：

本研究在實例測試時假設並無此類情形，且其對排程的影響可視為隨機事件造成排程的擾動。

### (4) 預定變動之相關資料：

本研究在實例測試時假設並無此類情形，且此類情形對排程的影響，同(3)項，可視為隨機事件造成排程的擾動。

綜合上述，此測試之相關參數之設定值及數值範圍詳如附錄之附表 1~3 所示。

## 4.2 測試及模擬結果評估分析

本研究模式 (LMSYA\_CM) 及傳統 LMS\_TCM 之求解結果，以及分別對二者進行 40 次人工調整的模擬結果，如表 3 所示，以下針對各項測試結果進一步分析如下：

表 3 LMSYA\_CM 及 LMS\_TCM 求解結果及模擬營運階段人工調整結果

求解結果	傳統確定性排程模式 (以 LMS_TCM 為例)		本研究之確定性排程模式 (LMSYA_CM)	
	初始 規劃	模擬營運階段人 工調整結果	初始 規劃	模擬營運階段人 工調整結果
100%維護時距使用率之目標值上限*	119.919	—	119.919	—
初始規劃最佳目標值	117.675	—	114.727	—
GAP**	0%	—	0%	—
求解時間	5.89(秒)	—	1.94(秒)	—
模擬 40 次人工調整平均所需時間	—	120 ~240 分鐘	—	<60 分鐘
超出最早進廠時間(維護時距使用率 90%，以下省略)之航機平均架數	0	1.8	0	0.9
超出最早進廠時間之航機最多架數	0	5	0	3
單次模擬後航機進廠日超出最早進廠時 間達 1 架以上之模擬次數	0	38	0	25
單次模擬後航機進廠日超出最早進廠時 間達 2 架以上之模擬次數	0	19	0	8
單次模擬後航機進廠日超出最早進廠時 間達 3 架以上之模擬次數	0	11	0	2
安排 0~1 組停機維護人力平均日數	—	31.2	—	36.8
模擬 40 次人工調整平均目標值	—	116.9752	—	117.478
模擬 40 次人工調整平均維護時距使用率	—	97.5452%	—	97.9645%

\*：100%維修時距使用率之目標值係指每架航機均在預估到期日進廠所求得之最佳解目標值。

\*\*：上述二模式皆求得最佳解，即 GAP 為 0%。

### 1. 在外部解方面：

#### (1) 目標上限值及初始規劃目標值

表 3 中，本研究所發展之 LMSYA\_CM 及 Yan 等人<sup>[2]</sup> 研究之 LMS\_TCM 之目標值上限，係指若所有航機均可安排在其預估到期日當天進廠（即每架航機均達到 100%維護時距使用率）所求得之目標值（等於所有航機權重值之總和），此情況係當維護工廠資源相對於機隊維護需求過鬆，達到維護限制對進廠日不產生影響時才可能發生。此目標上限值可初步判斷上述二模式所求初始規劃目標值是否合理。

表 3 中，目標值之計算係等於各航機安排進廠日換算所得維護時距使用率\*航機相對權重值之總和，本研究所發展之 LMSYA\_CM 初始規劃目標值，係指若所有航機均安排在其預估進廠時窗（70%~97%維護時距使用率下計算而得）之內進廠所求得之最佳解目標值；Yan 等人<sup>[2]</sup>之 LMS\_TCM 初始規劃目標值，係指所有航機均安排在其預估進廠時窗之內（70%~100%維護時距使用率下計算而得）進廠所求得之最佳解目標值。至於本研究 LMSYA\_CM 初始規劃排程中各決策變數的具體結果詳如附錄之附表 4 所示。

## (2) 平均目標值

由表 3 中可看出，本研究所發展之 LMSYA\_CM 在初始規劃目標值為 114.727，雖然較 Yan 等人<sup>[2]</sup>之 LMS\_TCM 模式之初始規劃目標值 117.675 為低，但在經過 40 次模擬人工調整後，本研究所發展之 LMSYA\_CM 之平均目標值為 117.478、機隊平均維護時距使用率為 97.9645%，反而較 LMS\_TCM 模式之平均目標值 116.9752、機隊平均維護時距使用率為 97.5452%為佳。若以 F 廠平均年收入為 100 億估算，平均航機維護時距使用率提升近 0.42%，對於整體收入之影響即為 4200 萬，對於航空公司而言仍有相當之助益。

## (3) 求解時間

由表 3 中可看出，本研究所發展之 LMSYA\_CM 在初始規劃之求解時間為 1.94 秒，較 LMS\_TCM 模式之初始規劃求解時間 5.89 秒快。

## (4) 降低人工調整時間

人工調整排程所需時間，由已知更新參數資料建置完成並開始人工調整排程起算，至人工調整完全滿足各項限制為止，每次調整作業均包含航機編號 1 ~ 60 架。由表 3 中可看出，在經過 40 次模擬人工調整後，本研究所發展之 LMSYA\_CM 之人工調整平均所需時間<60 分鐘，較傳統 LMS\_TCM 之平均所需時間 120 ~ 240 分鐘大幅降低，顯示本研究設定緩衝值確實能有效改善人工調整的效率。

## 2. 在內部解方面：

### (1) 進廠日及機庫指派差異分析

本研究 LMSYA\_CM 求解結果與模擬人工排程結果比較，由表 3 中可以看出二者在排程的差異處，在進廠日指派方面，已變動的自有及契約客戶航機數量分別為 34 架及 4 架，在機庫指派方面，已變動的自有及契約客戶航機數量分別為 34 架及 6 架，進廠日及機庫指派均變更的自有及契約客戶航機數量分別為 21 架及 4 架。

傳統的 LMS\_TCM 求解結果與模擬人工排程結果比較，由表 3 中可以看出二者在排程的差異處，在進廠日指派方面，已變動的自有及契約客戶航機數量分別為 46 架及 5 架，機庫指派已變動的自有及契約客戶航機數量分別為 29 架及 3 架，進廠日及機庫指派均變更的自有及契約客戶航機數量分別為 25 架及 2 架。

由上述之排程差異比較可以看出，本研究發展的 LMSYA\_CM 除了在機庫指派變更較多外，其餘不論在自有或契約客戶航機，人工調整後排程與原始規劃排程差異均較傳統 LMS\_TCM 為小。由於機庫指派變更不論在實務上或本研究模式設定基本條件上係與目標



值無關，因此可以証實本研究發展的 LMSYA\_CM 較能配合營運階段的隨機事件擾動調整需求。

### (2) 提升維護系統的可靠度

在經過 40 次模擬人工調整後，本研究所發展之 LMSYA\_CM 在航機進廠日超出最早進廠時間（維護時距使用率 90%）之數據，由表 3 可以看出，針對 40 次模擬平均架數、單次模擬最多架數、單次模擬達 1 架以上之模擬次數、單次模擬達 2 架以上之模擬次數、單次模擬達 3 架以上之模擬次數之結果分別為 0.9 架、3 架、25 次、8 次、2 次，而傳統 LMS\_TCM 之人工調整結果則分別為 1.8 架、5 架、38 次、19 次、11 次。因此，可以証實本研究發展之 LMSYA\_CM 對整個機隊維護的可靠度較傳統 LMS\_TCM 為佳。

### (3) 增加維護能量餘裕

由於本研究引用實例之每日非線上作業常態人力設定為 3 組（最多可以同時維護 3 架飛機）及機庫 5 座，除 C/D Check 以上長期排程停機維護作業外，還需處理中期排程之 A/B Check，為節省人力加班成本及排休需求，原則上僅容許每日最多 1 組常態維護人力（3 組中之 1 組）加班（最多 4 小時）處理 A/B Check 或持續維護中的臨時客戶機業務。因此，當某日規劃有 3 架航機在執行 C/D Check 以上停機維護時，若須再執行 A/B Check，則需安排其中 1 組常態維護人力加班處理及 1 座機庫配合，此時，維護能量可供承接臨時客戶機業務之餘裕剩下 0 組常態維護人力、1 座機庫；依此類推，當某日規劃可能有 2 組或 1 組或 0 組常態維護人力執行 C/D Check 以上停機維護時，若須再執行 A/B Check（需再用掉 1 組常態維護人力），則維護能量餘裕分別剩下 1 組維護人力（1 組待命加班）與 2 座機庫、2 組維護人力（1 組常態／1 組待命加班）與 3 座機庫以及 3 組維護人力（2 組常態／1 組待命加班）與 4 座機庫。由上述說明可知，在本實例之維護人力限制及儘量不加班以控制成本前提下，當排程中某日規劃 0 架或 1 架航機在機庫中維護時，在中期排程中承接臨時客戶機維護較不易影響常態維護業務。因此，由表 3 可以看出，本研究之 LMSYA\_CM 及傳統 LMS\_TCM 在航機停機排程中需求 0 組或 1 組常態維護人力的 40 次模擬之平均日數，分別為 36.8 日及 31.2 日，顯示本研究發展之 LMSYA\_CM 較傳統 LMS\_TCM 更具臨時客戶機維護業務承接優勢。

## 4.3 敏感度／方案分析

為節省篇幅，本研究僅針對模式中數項重要之參數，如航機權重、單日維護人力上限值、自有同型航機停機維護架數限制值等參數，進行敏感度測試與分析。此外，本研究亦針對機隊規模擴大進行方案分析，以提供業者規劃時之參考。至於其他的參數，未來亦可依相同方式進行敏感度／方案分析。其內容整理如下：

### 1. 敏感度分析

#### (1) 航機權重

為了解航機機隊依座位數設加權對於測試結果之影響，本研究針對各機型有無加權值

進行測試（無加權係指各機型的權重值為 1），其結果如表 4 所示。其中，除 744/74Y 外之各機型（共 28 架）對目標值加權的影響總和為 9.38%，相較於 744/74Y（共 32 架）對目標值加權的影響為 68.86%，架次差 4 架，影響值卻僅約 1/8，顯示 744/74Y 對目標值而言相對重要。此外，由各機型單機設加權對目標值影響可以看出，744/74Y（權重 2.53）單機對目標值加權的影響為 2.15%，相較於其他各機型單機對目標值加權影響最大值者（AB6，權重 1.72）卻僅為 0.62%，換言之，設定權重 1.5 倍，影響值卻為 3.5 倍。其他機型亦有類似的放大效果（但不明顯）。由上述結果得知，當模式有航機加權設定時，權重值較大的之航機會優先提高其維護時距使用值，並犧牲權重值較小航機之使用值。此結果可供決策者設定航機權重之參考。由圖 6 顯示，隨著 744 系列航機權重值增加，本研究模式最佳化目標值亦隨著呈現穩定增加的趨勢。

表 4 機隊各機型依座位數設加權對目標值之影響

機型(權重)	架數	機隊某機型未設加權所得目標值	機隊各機型依座位數設加權所得目標值	機隊某機型設加權對目標值影響	某機型單機設加權對目標值影響
744/74Y(2.53)	32	67.94075	114.727433	68.86%	2.15%
AB6(1.72)	6	110.621534	114.727433	3.71%	0.62%
333(1.67)	4	112.147683	114.727433	2.30%	0.58%
343(1.66)	6	110.991578	114.727433	3.37%	0.56%
738(1.00)	12	114.727433	114.727433	0%	0%

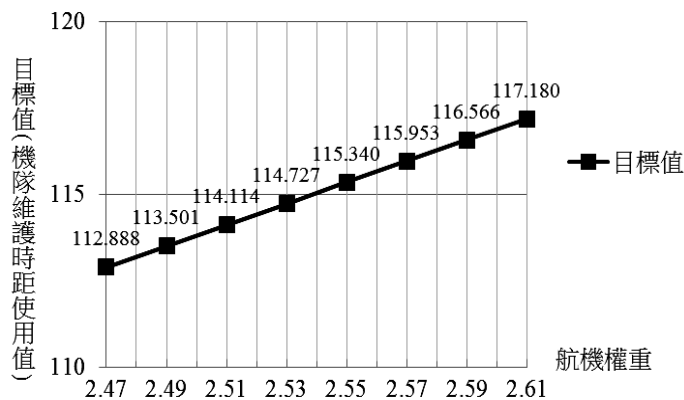


圖 6 744 系列航機權重值變化對目標值之影響

## (2) 單日維護人力上限值

由圖 7 顯示，隨著單日維護人力上限值由 3 組增加至 4 組，機隊維護時距使用值由 114.727 增加至 115.169，增加 0.39%，在達第 4 組以後，皆為固定值 115.169，不再增加。

因此，當單日維護人力上限值增加至 4 組後，已不影響機隊維護時距使用值（顯示維護時距使用值已受限於其他資源或條件）。換言之，對於實例上的機隊規模與維護能量而言，超出 4 組人力即屬人力資源浪費，此可供決策者在設置常態性維護人力時之參考。此外，Yan 等人<sup>[2]</sup>之 LMS\_TCM 模式在維護人力限制上，若有客戶航機維修時，維護人力可增加；而本研究發展之 LMSYA\_CM 在維護人力較緊（不能增加）的情況下，規劃結果之平均目標值及平均維護時距使用率反而更好。

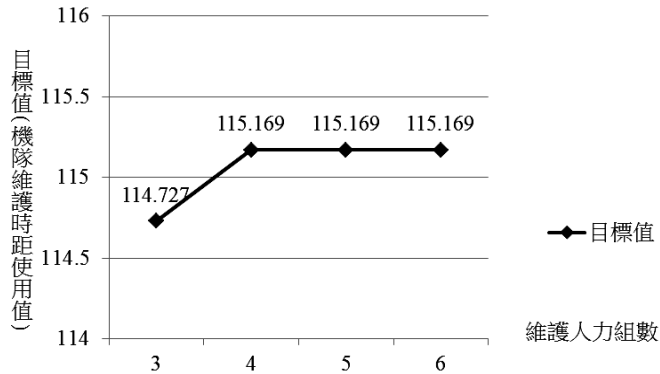


圖 7 單日維護人力組數變化對目標值之影響

### (3) 單日自有同型航機停機限制值

由圖 8 顯示，隨著單日自有同型航機停機維護架數限制值由 1 架增加至 2 架，機隊維護時距使用值由 114.727 增加至 115.716，增加 0.86%；再增加至 3 架時，機隊維護時距使用值再增加至 115.779，僅再增加 0.05%，且 3 架以上的機隊維護時距使用值皆為固定值 115.779。可以得知，在營運航班條件許可下，若單日自有同型航機停機維護架數限制值增加至 2 架，確實可以提高整體維護系統機隊維護時距使用值；但若再增加至 3 架以上，則對於提高機隊維護時距使用值之助益不大，卻可能對營運造成影響，此可供決策者在營運階段做即時調整考慮時之參考。

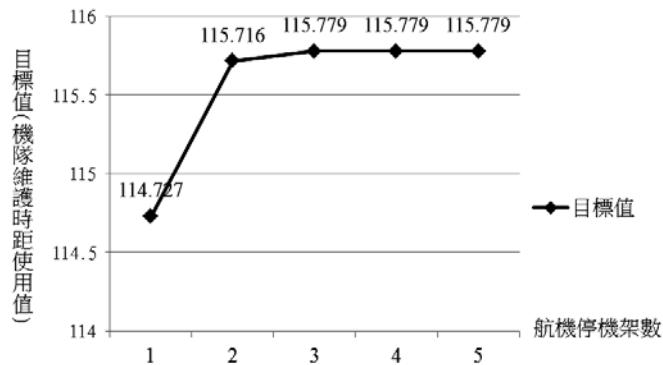


圖 8 單日自有同型航機停機限制值變化對目標值之影響

## 2. 方案分析

由於維護能量有餘裕的日曆天數並非持續，因此為使已進廠的臨時新增契約（指大型維護）客戶機可以持續維護並避免影響其他日常維護工作，須確認維護能量餘裕能承接客戶機維護業務並選擇適當的進廠時窗、機庫及考慮加班維護人力。本研究依原有 8 架契約客戶機工期（其中含 744 (27 日)、74Y (8 日)、AB6 (5 日、41 日、34 日、47 日)、343 (27 日、47 日)) 估算並依其中各機型大約組合比例及較少工期者（其中含 744 (27 日)、74Y (8 日)、AB6 (5 日、34 日)、343 (27 日)) 選用新增契約客戶機，合計 5 架及 101 架日，擴大機隊維護規模至 65 架做後續方案分析。為簡化測試，茲令新增契約客戶機的維護時間設定與同機型原契約客戶機相同且維護作業應持續至完成。本研究規劃排程之方案分析結果，如表 5 所示，其中，由於方案中之 AB6\_64 及 343\_65 之維護時間分別長達 34 日及 27 日，因此，其維護時窗有部分與原已規劃 3 架航機維護之維護時窗重疊（如決策年度第 178 ~ 184 日曆天、第 262 ~ 263 日曆天及第 268 ~ 274 日曆天），若當日需再排 A/B Check，則導致可能需提供 2 組加班人力（如表 5 中“2\*”註記）。值得一提的是，短期臨時客戶機的停機維護日數通常較新增契約客戶機短，但需在中期排程確定後，才可以考量該類客戶機的承接業務。

## 五、結論與建議

本研究考量停機維護長期排程年度調整問題，利用數學規劃方法構建一 LMSYA\_CM 模式，並參考國籍大型航空公司維護工廠實務營運資料進行實例測試，可於短時間（2 秒）內求得最佳可行解。此外，本研究模式已將契約客戶航機納入排程並給予契約顧客適當的優先對策，此不但可提高資源利用效率，使自有機隊維護時距可展延寬之航機數量增加並可改善人工調整效率，亦可滿足契約客戶需求並能增加臨時客戶機業務。經過模擬評估後，初步結果發現本研究 LMSYA\_CM 之平均目標值較傳統的 LMS\_TCM 佳，另外，人工調整過程亦能節省近一半的決策時間，效率頗佳。從模擬結果的內部解可以看出，在進廠日及機庫指派差異、機隊維護的可靠度及承接臨時客戶機維護業務三方面比較上，可以証實本研究所發展之 LMSYA\_CM 較傳統的 LMS\_TCM 為佳。

最後，本研究著重於長期排程的年度調整，承接短期臨時客戶機的維護業務需先考量預留中期排程維護人力及機庫，因此，如果能先整合後續的中期排程後再做承接臨時客戶機維護業務決策，會讓維護資源運用更有效率。此外，對於原規劃排程在經實務隨機事件擾動後，其內部解結果，如進廠日及機庫均有相當大的變動。因此，若能於未來研究之模式中納入隨機性參數以求解排程，將使整體維護系統更能滿足實務情況。

表 5 機隊維護規模擴大（承接新增契約客戶機維護業務）方案分析

決策年度 日曆天序	線上 維護	跨越 年度 占用	原規劃排程中 C/D Check 以上				可預留 A/B Check	新增契約客戶機 744_61(27 日)、74Y_62(8 日)、 AB6_63/64(5 日、34 日)、 343_65(27 日)		
預估有維 護能量餘 裕的排程	機庫 編號	常態人力 ／機庫編 號	已規劃 常態人力／ 機庫	尚可 維護架 數	適用 機庫	適用 機型	常態人 力組數	機號-機型- 機庫	停機 維護日 數	加班 人力組 數
1~5	1	3 組/2,3,4	0 組/-	0	5	全	0 組			1
6~10	1	2 組/2,4	1 組/3	0	5	全	0 組			1
11~13	1	1 組/4	1 組/3	1	2,5	全	1 組			
14	1	1 組/4	2 組/2,3	0	5	全	0 組			1
15~17	1		2 組/2,3	1	4,5	全	1 組			
42~44	1		2 組/2,3	1	4,5	全	1 組			
54~74	1		2 組/2,5	1	3,4	全	1 組	744-61-4	21	1
75~81	1		2 組/3,5	1	2,4	全	1 組	744-61-4	6	1
105~114	1		2 組/3,5	1	2,4	全	1 組	74Y-62-2	8	1
129	1		2 組/2,5	1	3,4	全	1 組			
161	1		2 組/2,4	1	3,5	全	1 組			
178~184	1		3 組/2,4,5	0	3	中小	0 組	AB6-64-3	7	2*
185~189	1		2 組/4,5	1	2,3	全	1 組	AB6-64-3	5	1
190	1		1 組/5	2	2,3,4	全	1 組	AB6-64-3	1	
191~200	1		2 組/2,5	1	3,4	全	1 組	AB6-64-3	10	1
201~202	1		2 組/2,4	1	3,5	全	1 組	AB6-64-3	2	1
203~206	1		1 組/4	2	2,3,5,	全	1 組	AB6-64-3	4	
207~208	1		2 組/2,4	1	3,5	全	1 組	AB6-64-3	2	1
215~216	1		2 組/4,5	1	2,3	全	1 組	AB6-64-3	2	1
217	1		2 組/2,5	1	3,4	全	1 組	AB6-64-3	1	1
248	1		2 組/2,3	1	4,5	全	1 組	343-65-5	1	1
249~254	1		1 組/2	2	3,4,5	全	1 組	343-65-5	6	
255~261	1		2 組/2,4	1	3,5	全	1 組	343-65-5	7	1
262~263	1		3 組/2,3,4	0	5	全	0 組	343-65-5	2	2*
264~267	1		2 組/2,3	1	4,5	全	1 組	343-65-5	4	1
268~274	1		3 組/2,3,4	0	5	全	0 組	343-65-5	7	2*
275~277	1		2 組/2,3	1	4,5	全	1 組			
278	1		1 組/2	2	3,4,5	全	1 組	AB6-63-3	1	
279~286	1		2 組/2,4	1	3,5	全	1 組	AB6-63-3	4	1
287	1		1 組/2	2	3,4,5	全	1 組			
288~293	1		2 組/2,3	1	4,5	全	1 組			
310	1		2 組/2,4	1	3,5	全	1 組			
313~314	1		2 組/2,5	1	3,4	全	1 組			
329~330	1		2 組/3,4	1	2,5	全	1 組			
346~348	1		2 組/3,5	1	2,4	全	1 組			
356~358	1		2 組/3,4	1	2,5	全	1 組			
359~361	1		1 組/3	2	2,4,5	全	1 組			
362~365	1		0 組/-	3	2,3,4,5	全	1 組			

## 參考文獻

1. 吳國賓，「航機高階修護最佳化模組之開發」，國立成功大學航空太空工程學系碩士論文，民國 93 年。
2. Yan, S., Chen, C.Y., and Yuan, J.H., "Long-Term Aircraft Maintenance Scheduling for an Aircraft Maintenance Center: A Case Study", *International Journal of Applied Management Science*, Vol. 1, No. 2, 2008, pp. 143-159.
3. 陳俊汝，「機隊維護排程最佳化之研究」，國立成功大學航空太空工程學系碩士論文，民國 92 年。
4. 交通部民用航空局，「交通部民用航空局網站－01-01A 民用航空法／法令規範及手冊指引／民用航空法規彙編第一冊」，<http://www.caa.gov.tw/>，民國 101 年。
5. Pontecorvo, J. A., "MSG-3 - A Method for Maintenance Program Planning", *SAE Technical Paper Series*, 1984, doi: 10.4271/841485.
6. 王書凡，「航空器後續適航驗證：管理體系與 ISO 9000 模式之探討」，私立淡江大學航空太空工程學系碩士論文，民國 91 年。
7. Tedone, M., "Decision Support for Aircraft Overhaul Maintenance Planning", Proceedings of the AGIFORS Symposium 31<sup>st</sup>, AGIFORS, 1991, Accession No: 00825486.
8. Radhika, "Strategic Planning and Scheduling of Aircraft Heavy Maintenance at Delta Airlines", Proceedings of the AGIFORS Symposium 33<sup>rd</sup>, the Airline Group of the International Federation of Operational Research Societies, 1993, pp. 151-168.
9. 劉世德，「航空機隊維護計畫預測與排程規劃」，私立元智大學工業工程管理學系碩士論文，民國 91 年。
10. 顏上堯、陳俊穎、袁瑞霞，「航機維修廠中期修護停機排程最佳化模式之研究」，*運輸學刊*，第 19 卷，第 2 期，民國 96 年，頁 121- 140。
11. Holst, O. and Sorensen, B., "Combined Scheduling and Maintenance Planning for an Aircraft Fleet", Proceedings of the Tenth International Conference on Operational Research, 1984, pp.735-747.
12. Feo, T. A. and Bard, J. F., "Flight Scheduling and Maintenance Base Planning", *Management Science*, Vol. 35, No. 12, 1989, pp. 1415-1432.
13. Kabbani, N., "Aircraft Routing At American Airlines", 32nd Annual Symposium of AGIFORS, the Airline Group of the International Federation of Operational Research Societies, 1992, pp. 11-28.
14. 顏上堯、羅智騰，「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，民國 85 年，頁 447-456。
15. 陳春益、李宇欣、葉進福，「以航線組合建立飛航排程模式之研究」，中華民國第一屆運輸網路研討會論文集，民國 85 年，頁 123-132。
16. Hane, C. A. and Clark, L. W., "Maintenance and Crew Considerations in Fleet Assignment",

- Transportation Science*, Vol. 80, No. 3, 1996, pp. 249-260.
17. 陳春益、李宇欣、盧華安，「飛機調度與定期維護整合模式之研究」，*運輸計劃季刊*，第 26 卷，第 1 期，民國 86 年，頁 69-94。
  18. Chellappan, S. and Ali, H., "An Optimization Model for Aircraft Maintenance Scheduling and Re-assignment", *Transportation Research Part A*, Vol. 37, No.1, 2003, pp. 29-48.
  19. Wagner, H. M., Giglio, R. J., and Glaser, R.G., "Preventive Maintenance Scheduling by Mathematical Programming", *Management Science*, Vol.10, No. 2, 1964, pp. 316-334.
  20. Alfares, H. K., "Aircraft Maintenance Workforce Scheduling: A Case Study", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 5, No. 2, 1999, pp. 78-88.
  21. Samaranayake, P., Lewis, G. S., Woxvold, E. R. A., and Toncich, D., "Development of Engineering Structures for Scheduling and Control of Aircraft Maintenance", *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 22, No. 7-8, 2002, pp. 843-867.
  22. 顏上堯、陳玉菁，「純檢修資格航機維護人力供給模式之建立」，*運輸計劃季刊*，第 31 卷，第 4 期，民國 91 年，頁 817-829。
  23. 賴奕維，「航空公司維護人員指派及小班分組」，國立嘉義大學運輸與物流工程學系碩士論文，民國 91 年。
  24. 陳伯錚，「航空公司地面維護人員訓練系統之探討」，國立成功大學交通管理科學系碩士論文，民國 93 年。
  25. Striskandarajah, C., Jardine, A. K. S., and Chan, C. K., "Maintenance Scheduling of Rolling Stock Using a Genetic Algorithm", *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 49, No. 11, 1998, pp. 1130-1145.
  26. Deris, S., Omatu, S., Ohta, H., Kutar, L.C.S. and Samat, P.A., "Ship Maintenance Scheduling by Genetic Algorithm and Constraint-Based Reasoning", *European Journal of Operation Research*, Vol. 112, No. 3, 1999, pp. 489-502.
  27. 張仲銓，「基因演算法於捷運車廂維護排程之研究」，私立輔仁大學管理學系碩士論文，民國 92 年。
  28. 羅敏綺，「隨機需求下捷運系統營運模擬模式之構建－以臺北市木柵線為例」，國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文，民國 87 年。
  29. 游俊雄、丁國樑，「需求反應旅次運載模擬模式應用於捷運營運班表之評估」，*運輸計劃季刊*，第 27 卷，第 3 期，民國 87 年，頁 489-508。
  30. Yan, S., Shieh, C., and Chen, M., "A Simulation Framework for Evaluating Airport Gate Assignments", *Transportation Research*, Vol. 36A, No. 10, 2002, pp. 885-898.
  31. Yan, S., Tang, C. H., and Shieh, C. N., "A Simulation Framework for Evaluating Airline Temporary Schedule Adjustments Following Incidents", *Transportation Planning and Technology*, Vol. 28, No. 3, 2005, pp. 189-211.
  32. Yan, S., Chi, C. J., and Tang, C. H., "Inter-City Bus Routing and Timetable Setting under Stochastic Demands", *Transportation Research Part A*, Vol. 40, No. 7, 2006, pp. 572-586.
  33. 張恭文，「隨機旅行時間下拌合廠臨時性故障之混凝土生產與拌合車派遣規劃之研究」，國立中央大學土木工程學系碩士論文，民國 97 年。

34. 陳聖鈺，「隨機旅行時間下災後工程搶修物料補給排程之研究」，國立中央大學土木工程學系碩士論文，民國 98 年。
35. 交通部民用航空局，「交通部民用航空局網站－06-02A 維修廠設立檢定管理規則/法令規範及手冊指引／民用航空法規彙編第一冊」，<http://www.caa.gov.tw/>，民國 101 年。
36. 交通部民用航空局，「交通部民用航空局網站－06-01A 航空器適航檢定維修管理規則/法令規範及手冊指引／民用航空法規彙編第一冊」，<http://www.caa.gov.tw/>，民國 101 年。
37. 交通部民用航空局，「交通部民用航空局網站－維護計畫管理(編號：AC120-17)／民航通告／法令規範及手冊指引」，<http://www.caa.gov.tw/>，民國 101 年。
38. 交通部民用航空局，「交通部民用航空局網站－05-01A 航空人員檢定給證管理規則／法令規範及手冊指引／民用航空法規彙編第一冊」，<http://www.caa.gov.tw/>，民國 101 年。

## 附 錄

附表 1 相關參數的設定值及數值範圍(自有航機\_飛時計算)

程式所需參數輸入值												參數調整欄				
編號	機型	機型代號	航機權重	剩餘飛時	維護時距	日平均飛時	剩餘飛時換算日曆天數	上次維護完成日	維護時間	最早進廠日	最晚進廠日	預估維護到期日	計算基準日	調整年度開始日	最小維護時距使用率	最大維護時距使用率
1	744	1	2.53	5000	5000	15.0	333	3572	47	155	245	255	3470	3650	70%	97%
2	744	1	2.53	4250	5000	15.0	283	3420	12	13	93	103	3470	3650	70%	97%
3	744	1	2.53	5000	5000	15.0	333	3476	12	59	149	159	3470	3650	70%	97%
4	744	1	2.53	5000	5000	15.0	333	3523	12	106	196	206	3470	3650	70%	97%
5	744	1	2.53	5000	5000	15.0	333	3541	12	124	214	224	3470	3650	70%	97%
6	744	1	2.53	7500	7500	15.0	500	3485	14	185	320	335	3470	3650	70%	97%
7	744	1	2.53	6380	7500	16.0	399	3400	8	92	205	219	3470	3650	70%	97%
8	744	1	2.53	6460	7500	16.0	404	3405	8	97	210	224	3470	3650	70%	97%
9	744	1	2.53	6924	7500	16.0	433	3434	8	126	239	253	3470	3650	70%	97%
10	744	1	2.53	6620	7500	16.0	414	3415	8	107	220	234	3470	3650	70%	97%
11	744	1	2.53	5000	5000	13.5	370	3484	15	93	193	204	3470	3650	70%	97%
12	74Y	2	2.53	7500	7500	15.0	500	3515	9	215	350	365	3470	3650	70%	97%
13	74Y	2	2.53	7500	7500	15.0	500	3502	7	202	337	352	3470	3650	70%	97%
14	74Y	2	2.53	6750	7500	15.0	450	3420	9	135	255	270	3470	3650	70%	97%
15	74Y	2	2.53	6435	7500	15.0	429	3399	9	114	234	249	3470	3650	70%	97%
16	74Y	2	2.53	5640	7500	15.0	376	3346	9	61	181	196	3470	3650	70%	97%
17	74Y	2	2.53	7440	7500	15.0	496	3466	12	181	301	316	3470	3650	70%	97%
18	74Y	2	2.53	5790	7500	15.0	386	3356	12	71	191	206	3470	3650	70%	97%
19	74Y	2	2.53	6030	7500	15.0	402	3372	8	87	207	222	3470	3650	70%	97%
20	74Y	2	2.53	6525	7500	15.0	435	3405	8	120	240	255	3470	3650	70%	97%
21	74Y	2	2.53	7335	7500	15.0	489	3459	7	174	294	309	3470	3650	70%	97%
22	74Y	2	2.53	6945	7500	15.0	463	3433	7	148	268	283	3470	3650	70%	97%
23	74Y	2	2.53	7500	7500	15.0	500	3504	7	204	339	354	3470	3650	70%	97%



附表 2 相關參數的設定值及數值範圍(自有航機\_日曆天計算)

程式所需參數輸入值									參數調整欄			
編號	機型	機型代號	航機權重	維護時距(日)	上次維護完成日	最早進廠日	最晚進廠日	維護時間(日)	預估維護到期日	決策年度開始日	最小維護時距使用率	最大維護時距使用率
24	744	1	2.53	548	3414	148	296	14	312	3650	70%	97%
25	744	1	2.53	548	3457	191	339	12	355	3650	70%	97%
26	744	1	2.53	549	3366	100	249	12	265	3650	70%	97%
27	74Y	2	2.53	531	3300	22	165	30	181	3650	70%	97%
28	74Y	2	2.53	500	3258	1	93	30	108	3650	70%	97%
29	74Y	2	2.53	546	3297	29	177	12	193	3650	70%	97%
30	74Y	2	2.53	549	3150	1	33	9	49	3650	70%	97%
31	333	3	1.67	549	3164	1	47	7	63	3650	70%	97%
32	333	3	1.67	547	3263	1	144	7	160	3650	70%	97%
33	333	3	1.67	548	3453	187	335	7	351	3650	70%	97%
34	333	3	1.67	549	3466	200	349	7	365	3650	70%	97%
35	AB6	4	1.72	457	3499	169	292	37	306	3650	70%	97%
36	AB6	4	1.72	457	3236	1	29	15	43	3650	70%	97%
37	738	5	1	364	3432	37	135	13	146	3650	70%	97%
38	738	5	1	365	3515	121	219	13	230	3650	70%	97%
39	738	5	1	365	3532	138	236	13	247	3650	70%	97%
40	738	5	1	365	3566	172	270	8	281	3650	70%	97%
41	738	5	1	365	3593	199	297	8	308	3650	70%	97%
42	738	5	1	365	3420	26	124	8	135	3650	70%	97%
43	738	5	1	365	3414	20	118	6	129	3650	70%	97%
44	738	5	1	365	3558	164	262	8	273	3650	70%	97%
45	738	5	1	365	3465	71	169	9	180	3650	70%	97%
46	738	5	1	365	3472	78	176	9	187	3650	70%	97%
47	738	5	1	365	3383	1	87	6	98	3650	70%	97%
48	738	5	1	365	3617	223	321	7	332	3650	70%	97%
49	343	6	1.66	455	3291	1	82	27	96	3650	70%	97%
50	343	6	1.66	455	3301	1	92	27	106	3650	70%	97%
51	343	6	1.66	455	3311	1	102	27	116	3650	70%	97%
52	343	6	1.66	457	3352	22	145	27	159	3650	70%	97%

附表 3 相關參數的設定值及數值範圍(契約客戶航機\_日曆天計算)

程式所需參數輸入值									參數調整欄			
編號	機型	機型代號	航機 權重	維護時 距(日)	上次維 護完成 日	最早進 廠日	最晚進 廠日	維護 時間 (日)	預估維 護到期 日	決策年 度開始 日	最小維 護時距 使用率	最大維 護時距 使用率
53	744	1	2.53	540	3345	73	219	27	235	3650	70%	97%
54	74Y	2	2.53	540	3405	133	279	8	295	3650	70%	97%
55	AB6	4	1.72	450	3305	1	92	5	105	3650	70%	97%
56	AB6	4	1.72	450	3222	1	9	41	22	3650	70%	97%
57	AB6	4	1.72	450	3229	1	16	34	29	3650	70%	97%
58	AB6	4	1.72	450	3286	1	73	47	86	3650	70%	97%
59	343	6	1.66	450	3356	21	143	27	156	3650	70%	97%
60	343	6	1.66	450	3528	193	315	47	328	3650	70%	97%

附表 4 本研究確定性排程模式(LMSYA\_CM)之初始規劃排程

初始最佳化規劃排程								
自有航機以飛時管制			自有航機以日曆天管制			契約客戶航機以日曆天管制		
機號	進廠日	指派機庫	機號	進廠日	指派機庫	機號	進廠日	指派機庫
1	245	2	24	296	5	53	209	5
2	93	4	25	338	5	54	279	4
3	149	5	26	225	4	55	88	2
4	189	5	27	137	4	56	6	3
5	177	5	28	92	5	57	14	2
6	318	4	29	169	4	58	45	5
7	201	4	30	33	4	59	122	5
8	209	4	31	47	3	60	315	3
9	237	4	32	130	3			
10	217	2	33	331	2			
11	162	5	34	349	2			
12	350	4	35	292	2			
13	332	4	36	18	5			
14	255	4	37	129	2			
15	231	2	38	218	3			
16	181	4	39	236	3			
17	301	4	40	270	3			
18	191	2	41	288	3			
19	207	2	42	121	2			
20	240	5	43	115	2			
21	294	4	44	262	3			
22	268	4	45	167	3			
23	339	2	46	176	3			
			47	82	2			
			48	311	5			
			49	75	3			
			50	48	2			
			51	102	3			
			52	142	2			