

—鄧國雄、林逸鮮—

運用系統動態學探討主力戰機飛行人力供需之研究

提要

- 一、空軍的戰力來源，除了戰機優異的性能外，飛行員則是將戰機戰力發揚的靈魂所在，故高素質的飛行人力是建構空軍戰力之重要關鍵因素。近年來，空軍飛行人力招募（生）需求逐年上升，顯見空軍的飛行人力現況，是呈現需求大於供給之情形。
- 二、根據波音公司最新報告：「未來20年全球將浮現79萬名機師缺口，臺灣每年至少需要新添300名飛行員」，使得國軍與民間航空公司對於飛行人力需求，正朝向招募競爭的趨勢。空軍將面對未來飛行人力來源的挑戰，如何調整人力政策，確保空軍戰力所需人力優勢，值得探討。
- 三、本研究僅以空軍主力戰機（F-16、幻象2000及IDF三類機種）飛行人力作為主要研究對象，其內容探討飛行人力供給、飛行人力需求、飛行工作負荷及飛行人力素質的互動與影響，所產生主力戰機飛行人力供需的因果回饋循環關係，以建構系統動態模型，藉以找出最適的飛行人力政策，穩定維持飛行人力素質，以發揮戰機優異性能，確保空軍主力戰機戰力。

關鍵詞：系統動態學、空軍、主力戰機、人力供需

圖片來源：青年日報



壹、前言

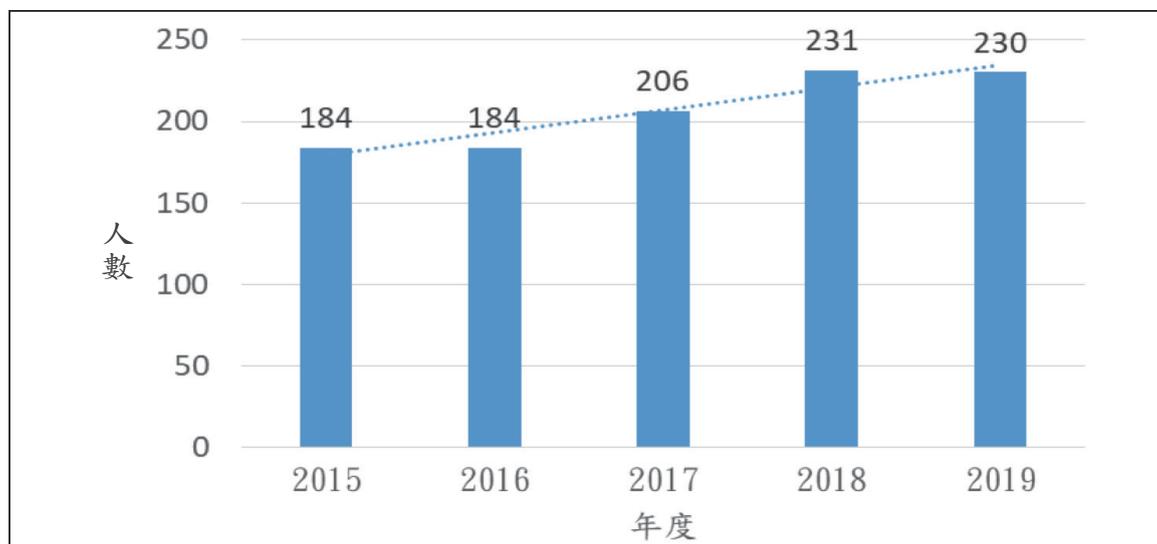
空軍的戰力來源，除了戰機優異的性能外，飛行員則是將戰機戰力發揚的靈魂所在，故高素質的飛行人力是建構空軍戰力之重要關鍵因素，近年來，空軍飛行人力招募（生）需求逐年上升（如圖一），藉由不同飛行人力招募（生）來源，尋找最佳的補充配比，並穩定飛行人力素質，是一值得研究的議題。

根據波音公司最新報告：「未來20年全球將浮現79萬名機師缺口，臺灣每年至少需要新添300名飛行員」；另安捷飛行訓練中心（2018）觀察，臺灣有志學飛的年輕人不在

少數，其中極具飛行潛力的優秀人才也大有人在，要解決飛行員短缺的隱憂，根本的癥結點在學飛資金的短缺。¹

在國防預算支持下，空軍對於飛行人力的培育，有穩定的養成規劃，但面臨未來民間航空業者的人力需求競爭威脅下，使得國軍飛行人力政策與民間航空公司招募，正朝向競爭的趨勢。如何在最適的人力政策基礎上，有效穩定現役飛行人力的供需，確保空軍戰力所需人力優勢。

空軍所擔負的任務，平時負責臺海偵巡、維護空域安全及主動協助地區災害防救；戰時全力爭取空優，並協同陸、海軍遂行各類型聯合作戰。²



圖一 近五年空軍飛行人力招募（生）員額趨勢圖

（資料來源：本研究整理）

- 1 張佩芬，〈飛航訓練成本高 機師培訓有待政府給助力〉，中時電子報，<https://www.chinatimes.com/newspapers/20181029000366-260207>，檢索日期：西元2019年1月13日。
- 2 中華民國108年國防報告書編纂委員會，《中華民國108年國防報告書》（臺北：國防部，民國108年9月），頁49。

目前飛行人力的獲得，由國軍四年制大學教育（含空軍官校及航技學院二技軍官班）正期畢業生（以下簡稱正期生）、飛行常備軍官班（以下簡稱飛常班）、大學儲備軍官訓練團（以下簡稱ROTC）及後備戰士等四種來源管道，其中正期生、飛常班及ROTC屬於初級飛行少尉軍官人力補充，後備戰士屬已退伍飛行員志願短期再入營的成熟飛行人力，對現役飛行部隊而言，這四種人力來源，並非即時提出需求，即可獲得的人力，需經過人員招募及培訓等時間延遲特性（不同招募班隊，所需培訓時間長短不同，導致不同人力來源，在招募員額申請至部隊實際獲員之間，產生不同的時間延遲效果，如表一所示）。本研究運用系統動態學的立論基礎，以「系統」的觀點，探討主力戰機飛行員供需間的因果回饋循環影響關係，藉以找出最適的飛行人力政策，穩定維持飛行人力素質，以發揮戰機優異性能，確保空軍主力戰機戰力。

貳、系統動態學理論

系統動態學（System dynamics, SD）起源於1960年，由美國麻省理工學院佛瑞斯特（Jay W. Forrester）教授，運用回饋控制系統原理所發展出來的一門學科。³ 此門學科主要用以解決企業及社會組織中具有動態複雜性的問題，是一種方法論、一種工具，更是一種概念。系統動態學主要以宏觀的角度來解決問題，避免因使用微觀的面向看待問題而局限於片段的思考。⁴

系統動態學是一種政策分析，透過建模者的實務經驗定義問題與界定範圍，描述對問題有影響的關鍵因素及相互關係，建構質性模式（即因果回饋環路），並依據質性模式的變數關係，轉換發展為量化的動態模擬模式（即動態流程圖），將模擬結果與歷史資料進行比較後，實施模型結構修正接近真實狀態而符合建模的目的，並藉由不同政策的介入，產生不同的模擬結

表一 飛行人力各招募來源培訓時間及任官階級對照表

招募來源	培訓時間	畢業（結訓）任官階級
正期生	4年	少尉
飛常班	2年	少尉（軍職生為中、上尉）
ROTC	1-3年	少尉
後備戰士	無	依退伍階級

註：各招募員額申請，均需於培訓時間前一年申請（如正期生申請時間為5年前）

資料來源：本研究整理

3 Forrester, J. W., *Industrial Dynamics* (Massachusetts: MIT Press, 1961), p. 3306-3309.

4 謝長宏，《系統動態學—理論、方法與應用》，第3版（臺北市：中興管理顧問公司，民國76年），頁12。

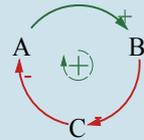
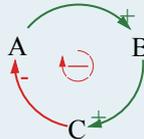
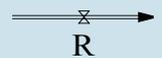
果，提供高階管理者評估最佳政策的有效分析工具。⁵

本研究使用之系統動態學模型表示及繪製方式，經彙整後相關圖示說明如表二。

參、空軍主力戰機相關特性描述

一、主力戰機介紹

表二 系統動態學模式圖示說明表

系統動態元件	符號	定義
因果鏈	A  B	系統內變數間的因果關聯性，一般以箭頭符號表示，如A為因，B為果。
正性因果鏈	A  B	若A變數增加時，則B變數增加，即為正性因果鏈。
負性因果鏈	A  B	若A變數增加時，則B變數減少，即為負性因果鏈。
時間滯延	A  B	若A變數與B變數間的動態關係，在因果鏈上作「 」標記，表示系統隨著時間滯延。
正向因果回饋環路		因果回饋環路中，負鏈「-」為「偶數」時，該環路為正向因果回饋環路，具有自我增強變動的效果。
負向因果回饋環路		因果回饋環路中，負鏈「-」為「奇數」時，該環路為負向因果回饋環路，具有自我調節平衡的效果。
系統邊界		假設模型邊界外的「來源」及「流出」有無限的容量，非本模型探討範圍。
積量		指系統動態過程所累積的數量。
率量/流量		單位時間內積量之改變量（單位量/單位時間）。
輔助變數/常數	C	係指變數或要素，可以實體或抽象表示，以問題的狀況界定形態。
動態流程圖		變數予以量化為積量與率量後，串連為動態關係圖表示。

資料來源：1.摘修自劉培林(2015)⁶及許文琦、劉培林、劉達生(2018)⁷

2.本研究整理

5 劉培林，《國防管理與決策分析—系統動態觀點》（臺北：致知學術出版社，民國104年1月），頁14-20。

6 同註5，頁18-19。

7 許文琦、劉培林、劉達生，〈運用系統動態觀點探討海軍反潛直升機維修模式〉《海軍學術雙月刊》，第52卷第6期，西元2018年12月，頁135。

本研究以空軍二代戰機飛行人力供需為主，區分為F-16、幻象2000及IDF三類機種，並參考《World Air Force 2018》⁸之紀錄，總計322架，⁹納入評估所需飛行人力需求，作為建構人力模型基礎（如表三）。

二、空軍飛行員人力供需所面臨的挑戰

空軍為維護中華民國領空安全及遂行

各項戰、演訓及搜求任務，飛行軍官員額及素質對空軍戰力維持極為重要，屬於高風險及高壓力的工作，然而薪資、待遇卻相較民間航空公司飛行機師低，造成續留服役意願普遍不高的主因（陳品云，2009¹⁰；趙志達，2017¹¹）。

長榮航空航本部執行總機長王心平說

表三 我國主力戰機數量及性能介紹

機種	F-16 型戰機	幻象2000 型戰機	IDF戰機
任務機數量	114	46	101
訓練機數量	27	9	25
小計	141	55	126
合計	322		
最大載重	10,915kg	13,800kg	4,000kg
推力	64.9kN	64.3kN	54kN
最大速度	2馬赫	2.2馬赫	1.8馬赫
實用升限	15,240m	17,060m	16,760m
最大航程	3,870km	3,335km	1,100km
作戰半徑	900km	1,200km	600km
推重比	0.91	0.7	0.94
爬升率	254m/s	285m/s	239m/s

資料來源：1.同註8、註9，頁41

2.本研究整理

- 8 “World Air Force 2018,” FlightGlobal, <https://dl.cypc.fr/Documents/Aviation/General/World%20Air%20Forces%202018.pdf>, 檢索日期：西元2019年3月20日，頁32。
- 9 張良政、董進如，〈因應中共空軍戰力發展分析我國空軍戰機提升方案〉《危機管理學刊》（高雄），第14卷第1期，西元2004年12月，頁39-52。
- 10 陳品云，〈飛行員工作滿足知覺對離職傾向之研究—以專業承諾中介效果以及人格特質為調節預測效果〉（桃園：元智大學管理研究所碩士論文，西元2009年），頁1-63。
- 11 趙志達，〈空軍飛行軍官離職因素之研究〉（臺北：淡江大學公共行政學系公共政策碩士在職專班學位論文，西元2017年），頁1-93。

「培訓1位飛行員到最後能飛行大飛機，至少需要花費800萬元」¹²。自2018年起，政府陸續提出政策支持，包括針對在地的飛行訓練減免40%的降落費及鼓勵年輕人即早投入飛行訓練，並將考照年齡調降至18歲等。根據安捷飛航訓練中心創辦人高健祐的觀察，飛航訓練在國內仍是新興產業，且有志學飛的年輕人不在少數，其中極具飛行潛力的優秀人才也大有人在，要解決飛行員短缺的隱憂，根本的癥結點在學飛資金的短缺。¹³

根據2018年波音機師與技師展望(2018 Boeing Pilot & Technician Outlook)預測，亞太區未來10年機師退休人數將達到高峰，加上未來20年亞太區新客機需求居全球之冠，有4成將交付予亞太區的航空公司，這也代表各家業者急需新血加入，直到2037年，亞太地區將浮現26萬名機師缺口，¹⁴全球更高達79萬名機師需求，¹⁵各家航空公司對人力的需求

無疑是必須面對的壓力，而空軍飛行人力每年約招募230人，而國內各航空公司飛行員，每年約需180人，¹⁶而空軍飛行人力需求大於國內各航空公司，並朝向招募競爭的趨勢。

三、飛行時數造成飛行疲勞的原因探討

飛行疲勞是飛安事故的「催化劑」，將會損害他們的判斷和操作能力，軍機飛行員的疲勞多來自長時間的持續工作和夜間執行作戰任務(溫德生, 1998)。¹⁷根據美國FAA規定，飛航執勤時間上限為14小時，一名機師的實際飛行時間為8小時至多9小時，兩名機師的實際飛行時間為10小時至多12小時，同時規定，飛行前後的休息時間至少要有10小時。如果是跨時區的飛行必須達14小時，歐盟規定飛航值勤時間最高為13小時，休息時間，盡可能要和前一段的飛航值勤時間一樣長，或至少10小時以上，這段時間中必須有8小時的睡眠。¹⁸

12 呂淑美，〈培訓1位飛行員 要花800萬〉，工商時報，<https://www.chinatimes.com/newspapers/20150623000049-260202>，檢索日期：西元2019年3月22日。

13 張佩芬，〈飛航訓練成本高 機師培訓 有待政府給助力〉，工商時報，<https://www.chinatimes.com/newspapers/20181029000366-260207>，檢索日期：西元2019年3月22日。

14 陳致宇，〈亞太區機師荒，波音：未來20年缺26萬人〉，今日新聞，<https://www.nownews.com/news/20180830/2807881/>，檢索日期：西元2019年3月22日。

15 同註13。

16 游筱燕，〈飛行員大缺貨 台灣首家航駕班招手，未來20年需求46萬人，亞洲市場最大〉，財訊，<https://www.wealth.com.tw/home/articles/4116>，檢索日期：西元2019年8月19日。

17 溫德生，〈飛行疲勞的認識與預防〉《中華民國航空醫學會刊》(臺中)，第12卷第1期，西元1998年12月，頁16-34。

18 彭惠筠，〈不只限制「飛行工時」歐美也詳訂休息時數〉，TVBSNEWS，<https://news.tvbs.com.tw/world/1080857>，檢索日期：西元2019年3月22日。

而民航飛航組員飛航時間限度，在「航空器飛航作業管理規則」第282條第1項內，有相關規範如下：

- (一) 連續24小時內，其飛航時間不得超過8小時，且於執勤完畢後，應至少給予連續10小時之休息。
- (二) 連續7日內，應給予連續24小時之休息。
- (三) 連續7日內，總飛航時間不得超過32小時。
- (四) 連續30日內，總飛航時間不得超過100小時。
- (五) 連續12個月內，總飛航時間不得超過1,000小時。

反觀軍事行動經常使人類的身心受到巨大壓力挑戰，例如多時區飛行、迅速進行部署，和緊急完成戰備等。美國陸軍航空醫學實驗室曾以實際飛行和模擬機探討飛行員飛行疲勞的忍受能力，結論區分持續作戰（指每日睡眠時數小於3小時）極限為2-3日，連續作戰極限為數日-1週（指完全沒有睡眠的機會）。¹⁹飛行員因座艙不舒適（噪音、振動、熱壓力）、飛行時間長（長達3小時）、夜航任務多（違反晝夜節律）和低空地貌飛行（危險性

高）等因素，易罹患飛行疲勞。²⁰綜上所述，飛行時數的長或短為造成飛行疲勞的重要肇因之一。

四、飛行員素質探討

空軍培養一位具備主力戰機（F-16、幻象2000及IDF三類機種）基本作戰能力飛行員，從基本組受訓6個月、戰鬥組6個月、部訓練隊10-12個月，到主力戰機換裝訓練10-12個月，合計概需3年的時間，²¹而培養具備「兩機領隊」、「四機領隊」、「前座教官」、「後座教官」及「試飛官」²²等多項資格的飛行員至少還要7年的時間，因此培養一位成熟的飛行員往往需要10年的時間（如圖二）。

五、小結

綜合上述國內外學者及相關文獻資料，來解構主力戰機飛行人力供需的模式，步驟如下：

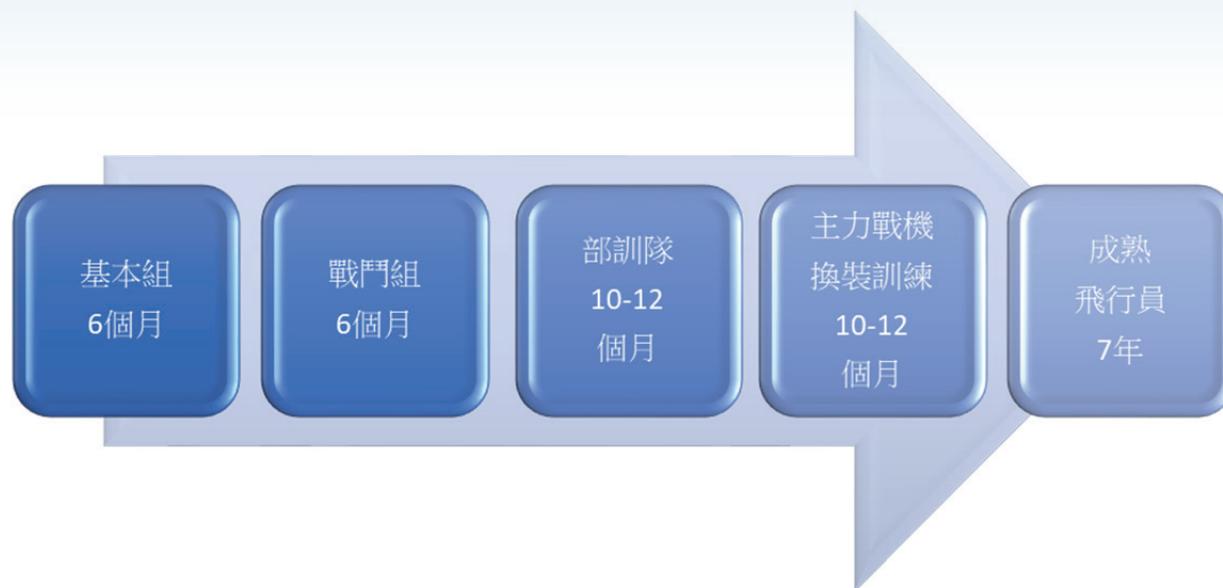
- (一) 以系統觀點，從主力戰機飛行人力供給、需求、飛行時數負荷及人力素質等面向，探討主力戰機飛行人力供需模式及關鍵變數。
- (二) 尋找系統結構，探討各相關變數間之因果關係以建構系統動態模式。
- (三) 運用系統動態模式進行政策分析，探

19 同註17，頁29。

20 同註17，頁32。

21 林秉融，〈以系統動力學探討空軍戰機戰力之研究〉（高雄：國立高雄應用科技大學資訊管理系碩士在職專班學位論文，西元2016年），頁15。

22 劉文祥，〈翱遊天際不是夢〉《科學發展》，第376期，西元2004年4月，頁42-49。



圖二 主力戰機飛行員培訓流程圖

(資料來源：本研究繪製)

討飛行人力供給政策調整（正期生、飛常班、ROTC及後備戰士招募[生]員額比例調整），對系統趨勢變化（飛行負荷及人員素質）之影響，進而提出相關改善建議。

肆、建構主力戰機飛行人力供需系統動態模式

飛行員是空軍戰力最重要的人力資源，空軍培養一位飛行員成本約2億餘元，一名飛行員從空軍官校畢業後，要接受體能檢測，合格後接受基本組、戰鬥組、部訓練等階段飛行訓練，受訓合格才會被分發到F-16、幻象2000或IDF等部隊，²³而成熟的飛行人力培

育時間長達10年之久，具培養不易、培育成本龐大及養成時間長等特性，且主力戰機飛行人力素質良窳程度，直接影響空軍戰力，故其飛行人力供需情形，殊值探討。

藉助目前戰爭（略）學院及空軍學院學員，挑選空軍主力戰機飛行員、飛行訓練教官、空軍官校教育行政業管及戰鬥機聯隊人事業管等四類專長領域計12人（如表四所示），實施訪談，採系統動態模式探討主力戰鬥機飛行人力從招募（生）來源開始至人員離退過程，並納入相關影響因素及輔助變數，模擬政策調整後，觀察相關人力系統趨勢變化，以提出相關改善建議。茲就系統動態模式分析，主要包括：主力戰機飛行人力供給、需求、飛行時數負荷及人力素質等四項，

23 徐宇威，〈體能+重重訓練 戰機飛行員養成不易〉，聯合影音網，<https://video.udn.com/news/674129>，檢索日期：西元2019年3月24日。

表四 受訪專長領域人員資料

專長領域	職稱	訪談人數	研討重點
空軍主力戰機飛行員	少校飛官	6	影響飛行員招募(生)、離退、飛行負荷及人力素質等相關影響因素及因果關係。
空軍飛行訓練教官	中校教官	1	飛行員培育過程、訓練時數及人力素質等相關影響因素及因果關係。
空軍官校教育行政業管	上校副處長	1	空軍官校飛行員招募(生)人數及飛行員訓練成效現況。
戰鬥機聯隊人事業管	中校科長、少校人事官	4	飛行人力各班隊招募(生)期程及目標與執行情形。

資料來源：本研究整理

分述如后：

一、主力戰機飛行人力供給

空軍飛行人力的獲得，由正期生、飛常班、ROTC及後備戰士等四種來源管道，其中正期生、飛常班及ROTC屬於初級飛行少尉軍官人力補充，後備戰士屬已退伍飛行員志願短期再入營的成熟飛行人力補充，就主力戰機飛行人力供給區分主力戰機新進飛行員及資深飛行員兩類供給（如圖三、圖四所示），分述如后：

（一）新進飛行員供給

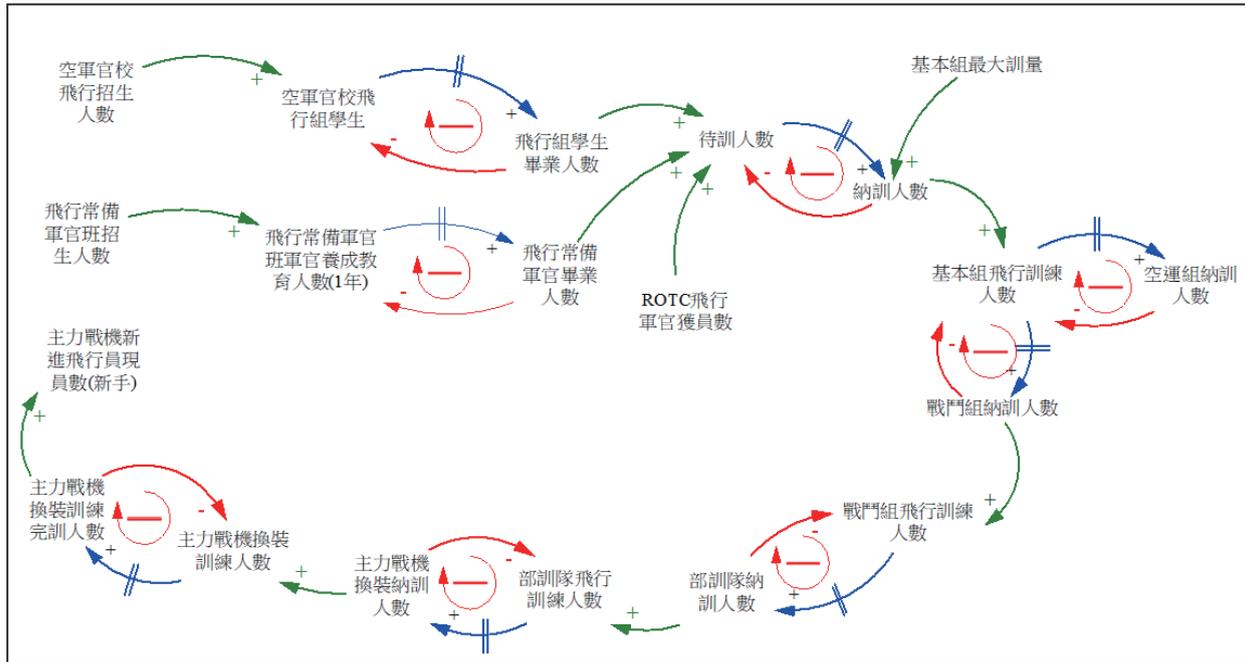
空軍飛行人力由正期生、飛常班及ROTC等招募(生)管道獲得後，經過1-4年相關學校教育學程後，從基本組受訓6個月，合格後，依意願及成績分流「戰鬥」及「空運」兵

科，空運兵科完訓後便分發至屏東、松山專機隊及嘉義基地救護隊；另戰鬥兵科人員於戰鬥組6個月，完訓後分發至部訓隊10-12個月，學習更高深之戰鬥技巧，²⁴結訓後，實施主力戰機換裝訓練10-12個月，合計概需4-7年的時間，故正期生、飛常班及ROTC招募(生)愈多，則主力戰機新進飛行員現員數愈多。而軍官養成及飛行培訓時間、退訓、分流空運兵科等均有時間延遲及平衡效果。

（二）資深飛行員供給

主力戰機資深飛行員，除了由新進飛行員經過7年的培訓獲得外；另外可由退役飛官招募後備戰士，可即時補充資深飛行人力。故新進飛行員現員數及後備戰士愈多，則資深飛行員現員數愈多。而新進飛行員培訓時

24 〈飛行訓練－學員飛行訓練〉，中華民國空軍官校，<https://www.cafa.edu.tw/content/index.asp?Parser=1,19,440>，檢索日期：西元2019年4月1日。



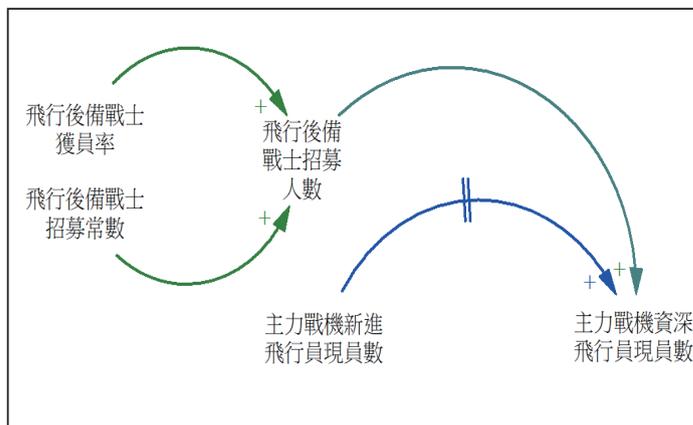
圖三 主力戰機新進飛行人力供給因果回饋環路圖

(資料來源:本研究繪製)

間、退訓及招募人數等均有時間延遲及平衡效果。

二、主力戰機飛行人力需求

「人機比」為各國空軍評估作戰能力的簡單比較，即為飛行員人數與機隊座艙數的比例，參考美軍飛行員的「人機比」高達2.5:1(每架飛機有2.5位飛行員)，²⁵並參考《World Air Force 2018》之紀錄，作為主力戰機飛行人力補充上限(如圖五)；另綜整國防部全球資訊網近五年(104~108年)空軍官校正期生、飛常班、ROTC(自106年開始招募在校大學生，另107年起畢業任官至部隊服務)及後備戰士



圖四 主力戰機資深飛行人力供給因果回饋環路圖

(資料來源:本研究繪製)

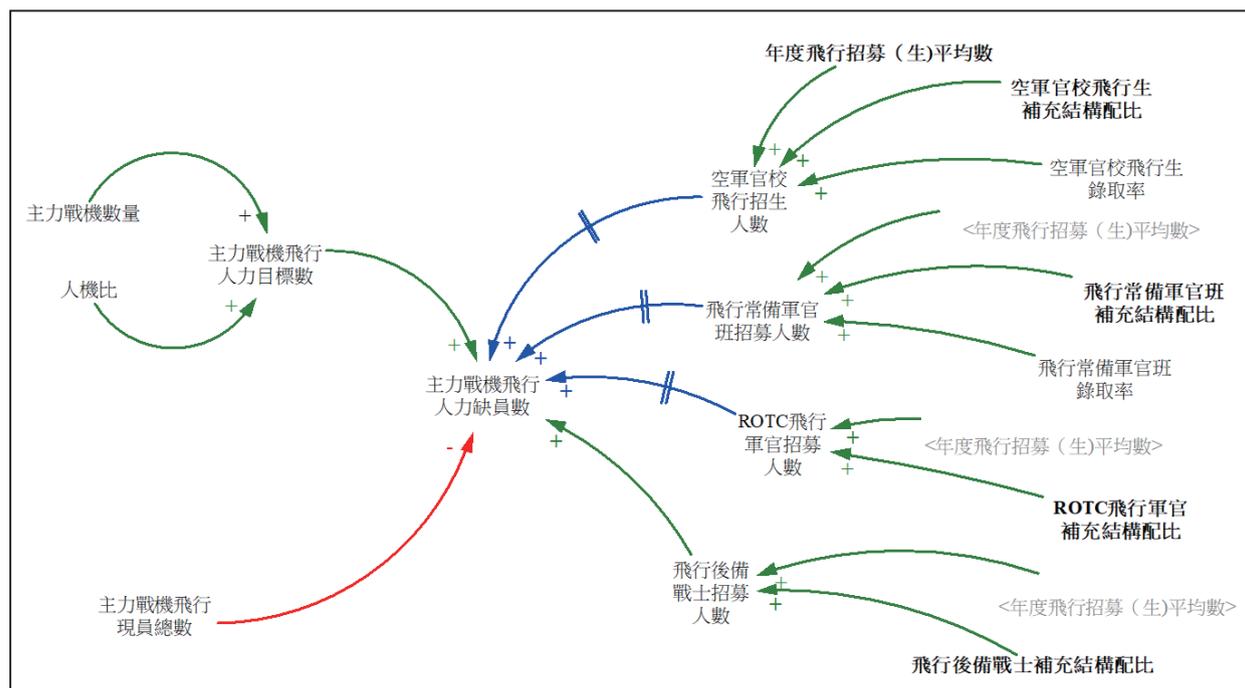
25 allstop, 〈飛行員「不知為何而戰」〉, 普世價值, http://4sacca.blogspot.com/2011/09/blog-post_8768.html, 檢索日期: 西元2019年4月2日。

²⁶、²⁷ (自107年開始招募已退飛行員) 的招生[募]簡章員額, 推估每年飛行員平均招生常數約230員(平均補充結構配比為77%:10%:9%:4%, 如表五所示), 並藉由正期生、飛常班、ROTC及後備戰士結構配比調整, 並運用系統動態模型, 推估不同「年度招募(生)人數」與「飛行人力補充結構配比」關鍵因素組

合, 觀察「飛行工作負荷」及「飛行人力素質」等兩項績效指標, 以找出最適的飛行人力招募來源比例。

三、主力戰機飛行工作負荷

戰鬥機的使用年限區分「使用小時」及「限定年限」來表示, 一般戰機壽命期限在8,000小時,²⁸使用年限是30年,²⁹故推論本研



圖五 主力戰機飛行人力需求因果回饋環路圖

(資料來源: 本研究繪製)

- 26 謝孟哲、游家瑋, 〈黑手變飛官! 後備戰士出任務, 退役教官鄧德謹再飛F-16〉, 三立新聞網, <https://www.setn.com/News.aspx?NewsID=390072>, 檢索日期: 西元2019年4月14日。
- 27 〈後備戰士〉, 後備指揮部, <https://afrc.mnd.gov.tw/afrcweb/Content.aspx?ID=&MenuID=702>, 檢索日期: 西元2019年4月14日。
- 28 利刃軍事, 〈一架戰鬥機的“壽命”是多久? 有什麼依據嗎?〉, 頭條資訊, <https://dnews.cc/>, 檢索日期: 西元2019年4月26日。
- 29 政治中心, 〈法國刁難? 幻象戰機19年未升級 恐提前除役〉, 三立新聞網, <https://www.setn.com/e/News.aspx?NewsID=204335>, 檢索日期: 西元2019年4月26日。

表五 近五年空軍飛行人力招募(生)人數統計表

年度	正期生	飛常班	ROTC	後備戰士	合計
104	164	20			184
105	170	14			184
106	176	30			206
107	190	20	20	1	231
108	192	30	20	16	258
平均數	178	23	20	9	230
平均補充結構配比	77%	10%	9%	4%	100%
註：ROTC及後備戰士均為107年開始，新的人力補充政策，僅能以近二年獲員現況輸入補充結構配比，故為本研究限制之一。					

資料來源：參考國防部全球資訊網104-108年招生簡章整理

究每架戰機每年可使用的飛行時數為267小時，以322架戰機，假設每年可使用的飛行時數為85,974小時為每年飛行目標時數。

透過相關專長領域人員訪談，在年度執行作戰任務、飛行訓練及換裝訓練等飛行任務時，主力戰機新進飛行員(簡稱新手)年度平均飛行時數包含任務、訓練等兩項；另主力戰機資深飛行員(簡稱老手)年度平均飛行

時數包含任務、訓練、換裝訓練等3項。其中老手與新手有不同的配比—在執行作戰任務時，老手及新手比例約為3:1，而飛行訓練之老手及新手比例約為3:2；另換裝訓練則由老手與飛訓人員共乘實施。藉由換算飛行員每年的飛行時數(如表六)，以評估新手及老手飛行員每年的飛行負荷指數。

飛行員的飛行負荷，若以中共飛行員每

表六 年度執行作戰、訓練、換裝任務飛行時數分配比例表

區分	作戰任務	飛行訓練	換裝訓練	合計
老手	3	3	1	7
新手	1	2		3
小計	4	5	1	10

資料來源：本研究整理

年平均訓練飛行時數150小時為基準，³⁰國軍每位飛行員每年飛行訓練基準概約180小時，為中共飛行員的1.2倍；³¹另以IP (Instructors Pilot, 教官飛行員) 教官朱偉民每年飛行時數400小時為上限基準，為一般飛行員的2至3倍（飛行時數概約134至200小時）。³²另老手尚需負責主力戰機換裝訓練飛行時數，每位換裝人員概約12小時。³³故參考上述相關數據，以新手及老手年度飛行訓練及換裝訓練飛行時數為基準，訂定新手180小時，老手192小時，為飛行負荷指數起始值1，至400小時為上限指數值10（如表七）。

當每位飛行員的飛行時數增加時，造成飛行工作負荷比率增加，影響飛行員的離退率增加，亦減少主力戰機飛行人力總數，增加

每位飛行員平均年度飛行時數，長期下來形成飛行人力工作負荷較重的正性因果回饋環路（如圖六）。

四、主力戰機飛行人力素質

每位戰鬥機飛行員完成累積400小時的飛行時數後，依各型戰機人力需求、飛訓成績與志願，分發至各主力戰機聯隊，接受新一代戰機（F-16、幻象2000與IDF）換裝與戰備精練訓練。³⁴

當主力戰機飛行訓練合格人數（意指換裝合格人數）增加，影響新進飛行員現員數（簡稱新手）增加，新進飛行員歷經7年飛行技術累積取得試飛官的資格，則成為主力戰機成熟飛行員（簡稱老手），除提升主力戰機飛行員現員總數外，並能提升飛行人員素質

表七 飛行時數轉換飛行負荷指數表

區分	小  大									
新手飛行時數(小時)	180	205	230	255	280	305	330	355	380	400
老手飛行時數(小時)	192	215	238	261	284	307	330	353	376	400
飛行負荷指數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

資料來源：1.如註29-32

2.本研究整理

30 白虎堂，〈美軍王牌飛行員飛行超6,000小時，中國飛行員平均飛多久？〉，每日頭條，<https://kknews.cc/zh-tw/military/59o2kkl.html>，檢索日期：西元2019年4月3日。

31 同註9，頁43。

32 軍聞社，〈單一機種飛行時數破萬 朱偉民空軍第一人〉，青年日報，<https://www.ydn.com.tw/News/249443>，檢索日期：西元2019年4月3日。

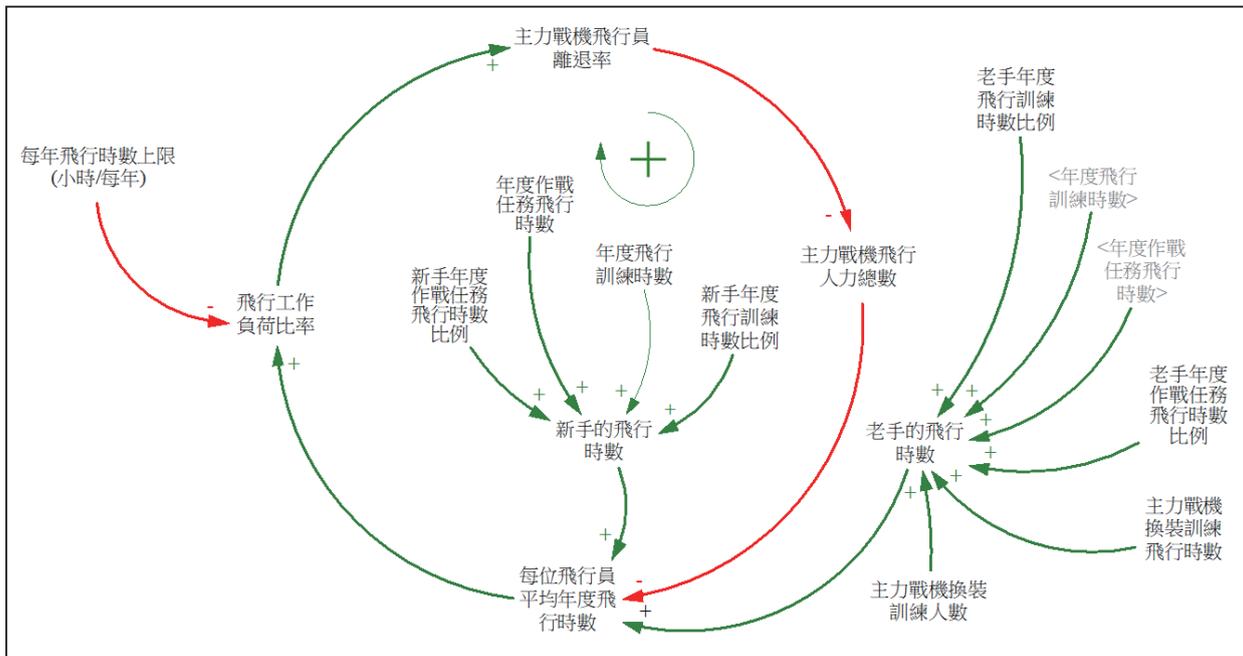
33 吳明杰，〈要飛二代機 須先飛訓250小時〉，自由時報，<https://news.ltn.com.tw/news/focus/paper/681140>，檢索日期：西元2019年4月3日。

34 同註22，頁45。

(如圖七)。

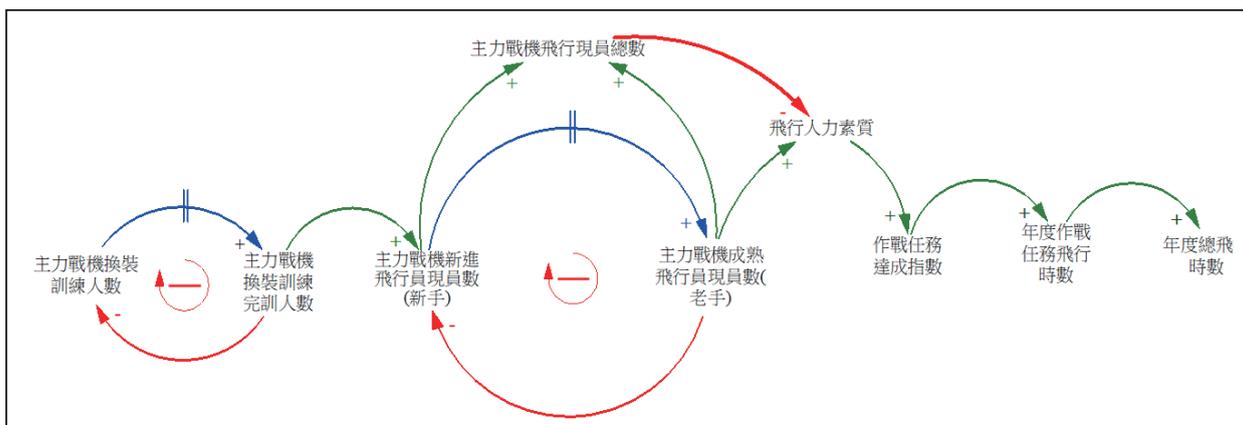
由前述的飛行任務中，新手及老手以飛行訓練及換裝訓練為基本的飛行時數負荷，對於作戰任務將視敵情狀況、飛機妥善率及飛行人力素質等因素而有所增減調整，本研

究將以飛行人力素質高低程度，調整作戰任務可達成率，假設飛行人力素質指數最高為0.75時（老手與新手所需飛行時數配比为3：1），可百分之一百達成作戰任務，作戰任務達成指數以10表示最高，並依飛行人力素質指



圖六 主力戰機飛行時數負荷因果回饋環路圖

(資料來源：本研究繪製)



圖七 主力戰機飛行人力素質因果回饋環路圖

(資料來源：本研究繪製)

數遞減後，相對作戰達成指數最低以1表示。

另飛行訓練達成率，假設飛行人力素質指數最高為0.6時（老手與新手所需飛行時數配比為3：2），可百分之一百達成作戰任務，飛行訓練達成指數以10表示最高，並依飛行人力素質指數遞減後，相對飛行訓練達成指數最低以1表示，並透過飛行員訪談後，有關飛行人力素質與飛行訓練關係假設具一定效度（如表八）。

五、小結

綜合上述分析，並反覆調整因果關係及參數後，轉換建構主力戰機飛行人力供需系

統動態流程圖（如圖八），此圖顯示飛行人力供需模式的各重要變數，藉由關鍵且可控的變數調整，便可對整個系統造成影響。本模型最終之目的，藉由「年度招募（生）人數」、「飛行人力補充結構配比」（正期生、飛常班、ROTC及後備戰士）模擬調整，找出飛行工作負荷最小化，飛行人員素質最大化的招募（生）政策，以準確鎖定人力來源，強化空軍飛行戰力。

六、模型效度測試

為評估系統建立的模式是否符合現況，本研究依據Forrester and Senge³⁵與Sterman³⁶

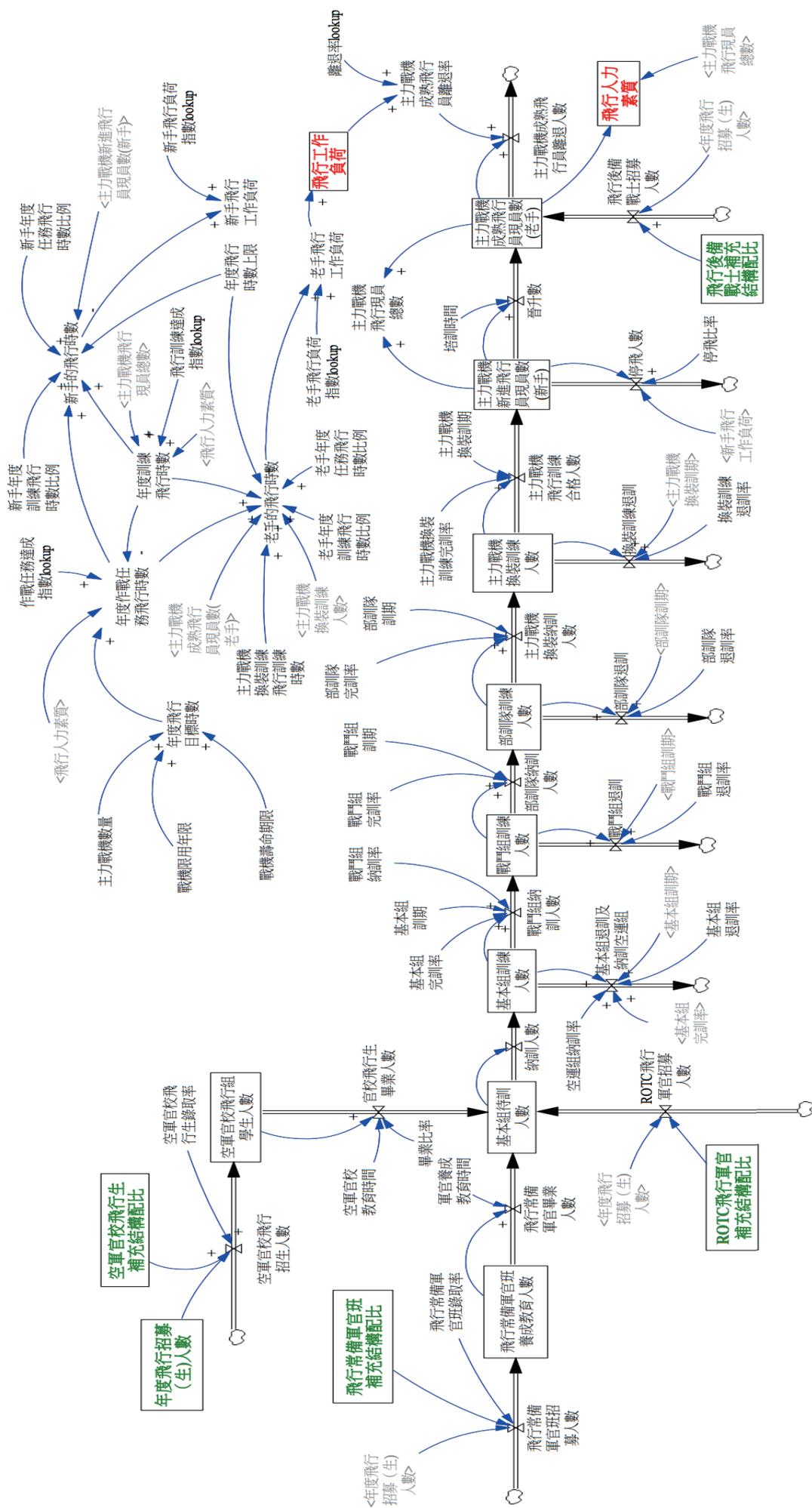
表八 飛行人力素質轉換作戰任務與飛行訓練達成指數表

區分											
		低									高
作戰任務達成指數											
飛行人力素質指數		0.08	0.15	0.23	0.3	0.38	0.45	0.53	0.6	0.68	0.75
作戰 任務	達成率(%)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	達成指數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
飛行訓練達成指數											
飛行人力素質指數		0.06	0.12	0.18	0.24	0.3	0.36	0.42	0.48	0.54	0.6
飛行 訓練	達成率(%)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	達成指數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

資料來源：本研究整理

35 Forrester J. W. and Senge P. M., "Tests for building confidence in system dynamics models. In: System Dynamics, TIMS Studies in the Management Sciences, (NY: North-Holland, 1980), p. 209-228.

36 Sterman, J. D., Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world, (Boston: Irwin McGraw-Hill, 2000).



圖八 主力戰機飛行人力供需系統動態流程圖

(資料來源：本研究繪製)

所提出關於系統動態學模式驗證之方式來進行「模式結構測試」及「模式行為測試」。本模型結構透過文獻探討、研究者實務工作經驗與領域專長人員研討等方式，確認研究目的所需的結構關係及相關重要變數已納入模型中，符合「結構範圍適當性測試」，並利用Vensim Dss軟體檢查「結構驗證」及「單位一致性」等三項測試，均符邏輯合理性，完成「模式結構測試」步驟。另對2014年至2019年空軍主力戰機飛行現員總數之歷史值與模擬值比較趨勢大致相符，表示本模型具一定效度，完成「模式行為測試」。經上述的測試程序，可證明所建構之主力戰機飛行人力模型具有一定的精確性。

伍、研究結果

本研究運用Vensim Dss所建構的主力戰機飛行人力供需模型，藉由不同的「年度招募(生)人數」與「飛行人力補充結構配比」關鍵因素的政策組合實施模擬，獲得「飛行工作負荷」及「飛行人力素質」等兩項績效

指標的反應值後，再運用Minitab軟體運算進行實驗設計(包含全因子實驗、變異數分析[ANOVA]及主效果分析)及政策分析，以發現「年度招募(生)人數」與「飛行人力補充結構配比」關鍵因素影響趨勢及最佳政策組合(如圖九所示)。

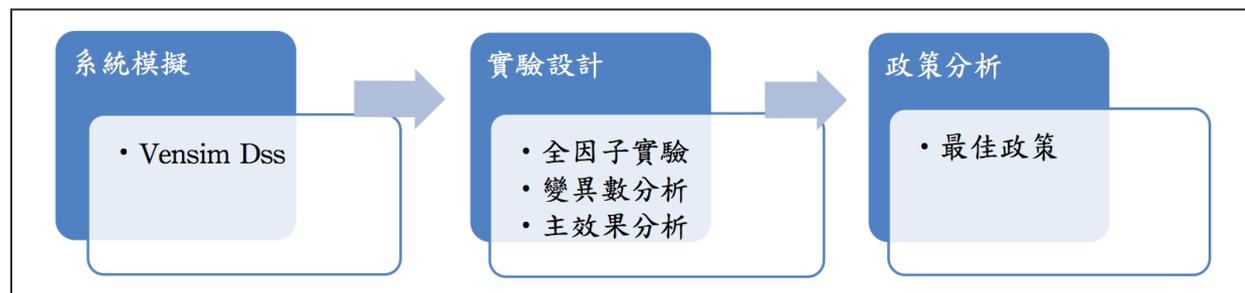
一、系統模擬

本研究假設在主力戰機飛行人力需求不變的情形下，為了解「年度招募(生)人數」與「飛行人力補充結構配比」等兩項關鍵因素對「飛行工作負荷」及「飛行人力素質」等兩項績效指標之影響程度，關鍵因素以前述近五年相關招(募)生公開數據之平均值為輸入資訊(如表五所示)，模擬所獲得平均績效指標，即為空軍主力戰機「飛行工作負荷」及「飛行人力素質」之現況模擬，如表九。

二、實驗設計

(一) 全因子實驗設計

本研究將「年度招募(生)人數」與「飛行人力補充結構配比」關鍵因素為空軍政策指導下較可控制之因素，故視為控制因子，依前述近五年空軍飛行人力招募(生)情形及筆者



圖九 政策模擬分析流程圖

(資料來源：本研究繪製)

人事領域經驗，將「年度招募(生)人數」之水準以150、200、300及400設定，另「飛行人力補充結構配比」之水準，以水準1：(0.6, 0.15, 0.15, 0.10)、水準2：(0.70, 0.15, 0.10, 0.05)、水準3：(0.80, 0.10, 0.05, 0.05)設定。

運用Minitab統計軟體進行全因子實驗，

分別對7種「年度招募(生)人數」與8種「飛行人力補充結構配比」以隨機方式產生12種政策組合，並運用Vensim Dss所建構的主力戰機飛行人力供需模型，模擬週期以30年為單位(2019年至2049年)，得到績效指標反應值，全因子實驗結果如表九。

表九 空軍主力戰機飛行人力現況模擬及實驗設計

空軍主力戰機飛行人力現況模擬分析				
區分	關鍵因素		績效指標	
	近五年空軍飛行人力招募(生)平均數	近五年空軍飛行人力補充結構平均配比 (正期生、飛常班、ROTC、後備戰士)	平均飛行工作負荷	平均飛行人力素質
模擬資訊	230	(0.77, 0.10, 0.09, 0.04)	7.8453	0.1634
控制因子與水準				
水準	年度招募(生)人數(控制因子)		飛行人力補充結構配比(控制因子) (正期生、飛常班、ROTC、後備戰士)	
1	150		(0.60, 0.15, 0.15, 0.10)	
2	200		(0.70, 0.15, 0.10, 0.05)	
3	300		(0.80, 0.10, 0.05, 0.05)	
4	400			
全因子實驗設計反應值彙整				
實驗編號	政策組合(控制因子)		績效指標(反應值)	
	年度招募(生)人數	飛行人力補充結構配比	平均飛行工作負荷	平均飛行人力素質
1	200	70	7.7820	0.16567
2	400	80	7.0010	0.19423
3	300	70	7.3870	0.17992
4	400	70	7.0010	0.19430
5	300	80	7.3870	0.17992
6	150	80	9.5516	0.15067
7	150	70	9.4733	0.15097
8	200	60	7.0010	0.19430
9	400	60	5.5791	0.25241
10	150	60	9.2786	0.17166
11	200	80	7.7837	0.16567
12	300	60	6.2467	0.22355

資料來源：本研究整理

(二) 變異數分析

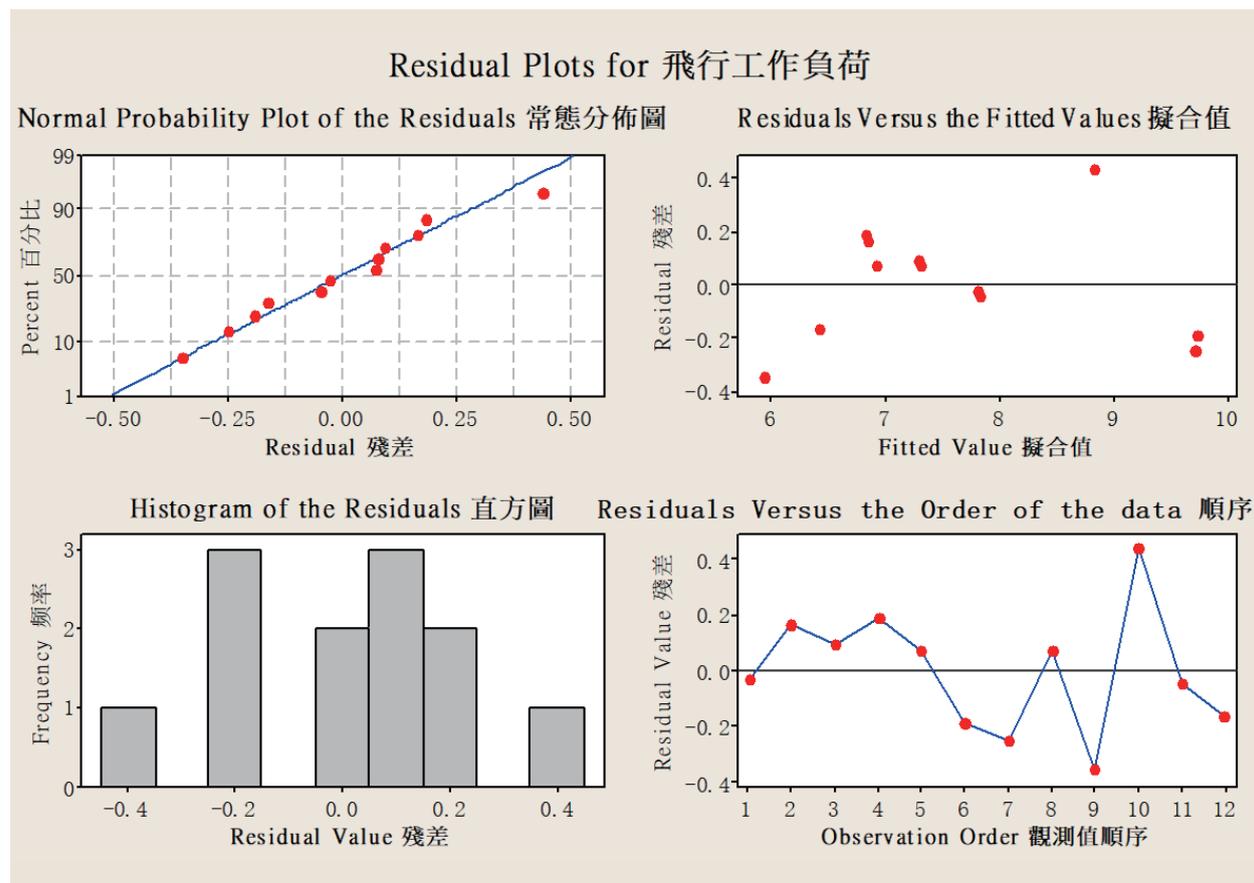
本實驗進行變異數分析，探討2個因子（政策組合）對反應值（平均飛行工作負荷與平均飛行人力素質），彼此之間是否有顯著性的影響關係變化，以決定最佳政策，研究結果如下：

1. 飛行工作負荷變異數分析

由飛行工作負荷殘差分析（如圖十），右上圖內殘差值均勻分布於中心線之兩側，則表示變異數齊一性假設成立，而右下圖的殘差值在中心線形成隨機跳

動，所以符合具有獨立性的假設，而由左上圖來看，其數據具有直線趨勢，左下圖來看符合常態分布。

根據上述殘差分析結果，本研究資料屬常態分布，可實施變異數分析。由變異數分析結果（如表十），「年度招募（生）人數」P值為0.000與「飛行人力補充結構配比」P值為0.008，顯示兩項關鍵因素均顯著影響飛行工作負荷（ $\alpha < 0.05$ ）；此外，調整後的R-Sq達94.40%，換句話說，兩項關鍵因素對於飛行工作負荷變



圖十 飛行工作負荷殘差分析圖

(資料來源：本研究繪製)

表十 飛行工作負荷之ANOVA表

	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
年度招募(生)人數	3	14.6171	14.6171	4.8724	12.14	0.000***
飛行人力補充結構配比	2	2.1343	2.1343	1.0672		0.008**
誤差	6	0.5274	0.5274	0.0879		
合計	11	17.2788				
S = 0.296474 R-Sq = 96.95% R-Sq(調整) = 94.40%						

註: *: $P \leq 0.05$ 顯著、**: $P \leq 0.01$ 非常顯著、***: $P \leq 0.001$ 極顯著

資料來源: 本研究整理

化的解釋力高達九成以上。

2. 飛行人力素質變異數分析

由飛行人力素質殘差分析(如圖十一), 右上圖內殘差值均勻分布於中心線之兩側, 則表示變異數齊一性假設成立, 而右下圖的殘差值在中心線形成隨機跳動, 所以符合具有獨立性的假設, 而由左上圖來看, 其數據具有直線趨勢, 左下圖來看符合常態分布。

根據上述殘差分析結果, 本研究資料屬常態分布, 可實施變異數分析。由變異數分析結果(如表十一), 表內「年度招募(生)人數」P值為0.002與「飛行人力補充結構配比」P值為0.002, 顯示兩項關鍵因素, 均顯著影響飛行工作負荷($\alpha < 0.05$)。此外調整後的R-Sq達89.58%, 換句話說, 兩項關鍵因素對於飛行人力素質變化的解釋力將近九成。

(三) 主效果分析

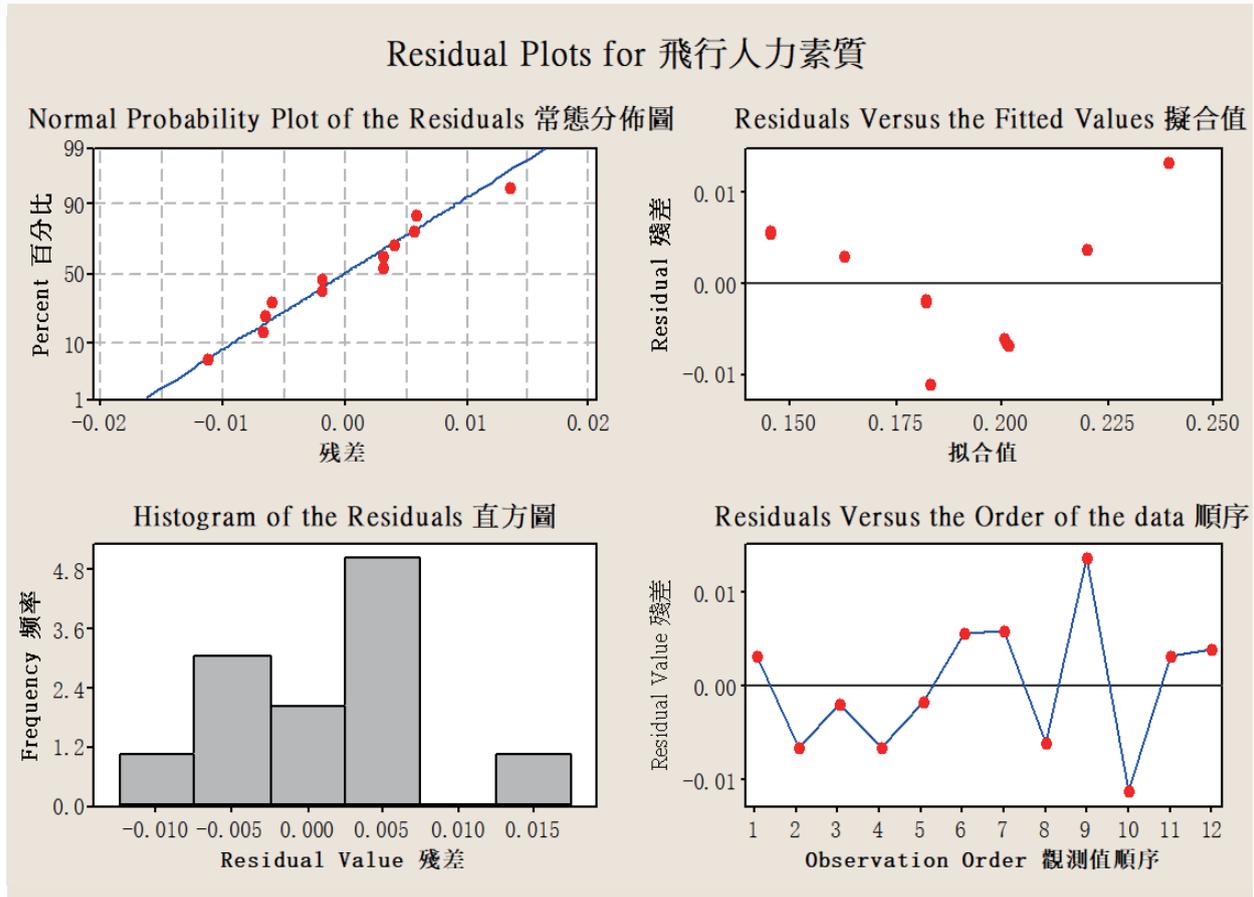
本節透過主效果分析探討「年度招募(生)人數」與「飛行人力補充結構配比」對「飛行工作負荷」與「飛行人力素質」之影響, 分述如下:

1. 飛行工作負荷主效果分析

對飛行工作負荷而言, 年度招募(生)人數越多, 則飛行工作負荷越低, 飛行人力補充結構配比中正期生比例越低, 則飛行工作負荷越低。其中飛行工作負荷最低點, 分別出現於年度招募(生)人數為400人及飛行人力補充結構配比为60的水準(如圖十二)。

2. 飛行人力素質主效果分析

對飛行人力素質而言, 年度招募(生)人數越多, 則飛行人力素質越高, 飛行人力補充結構配比中正期生比例越低, 則飛行人力素質越高。其中飛行人力素質最高點, 分別出現於年度招募(生)人數為400人及飛行人力補充結構配比为60的水準(如圖十三)。



圖十一 飛行人力素質殘差分析圖

(資料來源:本研究繪製)

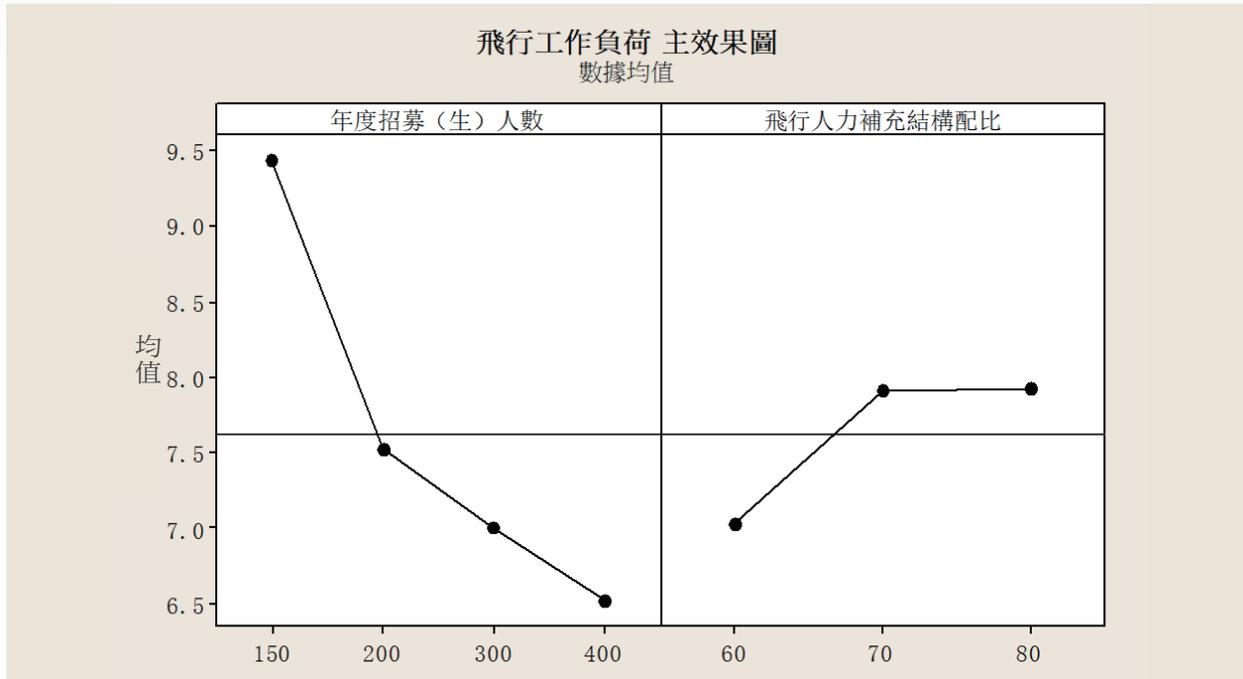
表十一 飛行人力素質之ANOVA表

	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
年度招募(生)人數	3	0.0052451	0.0052451	0.0017484	19.22	0.002**
飛行人力補充結構配比	2	0.0038106	0.0038106	0.0019053	20.94	0.002**
誤差	6	0.0005459	0.0005459	0.0000910		
合計	11	0.0096016				

S = 0.00953837 R-Sq = 94.31% R-Sq(調整) = 89.58%

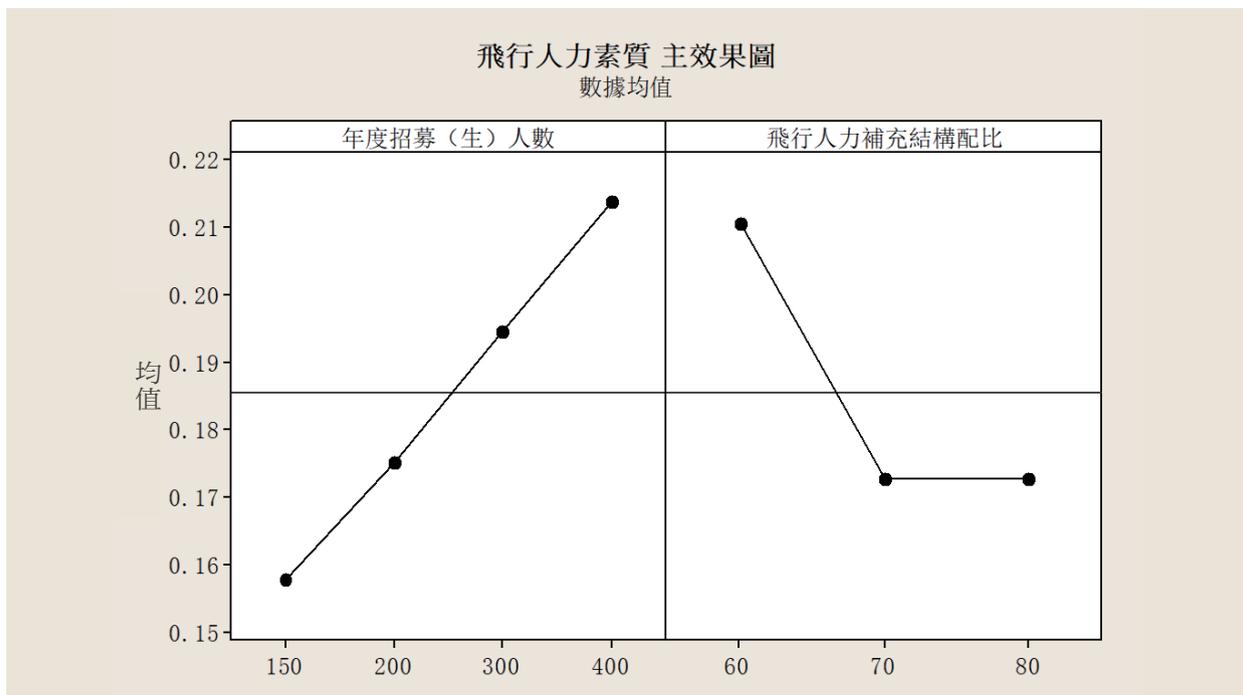
註: ** : $P \leq 0.05$ 顯著、* : $P \leq 0.01$ 非常顯著、*** : $P \leq 0.001$ 極顯著

資料來源:本研究整理



圖十二 飛行工作負荷主效果圖

(資料來源:本研究繪製)



圖十三 飛行人力素質主效果圖

(資料來源:本研究繪製)

三、政策分析（如圖十四）

（一）政策一：空軍飛行人力招募（生）人數調整

空軍近五年平均飛行人力招募（生）數為230人，有逐年攀升的趨勢，本研究模擬以現行政策230人，分別調整為300及400人的政策情境下，分析對空軍主力戰機飛行工作負荷及人力素質之影響。

1. 空軍飛行人力招募（生）人數對飛行工作負荷之影響

經上述情境模擬，當飛行人力招募（生）人數增加，則飛行工作負荷會降低。由此可知，年度飛行招募（生）人數對於飛行工作負荷為重要影響因素，依現行政策發展，飛行工作負荷在2029年降至9.977，而在其他條件不變的情況下，年度飛行招募人數增加為300或400人時，在2029年時空軍飛行工作負荷將降至9.799或9.466的水準。

2. 空軍飛行人力招募（生）人數對飛行人力素質之影響

經上述情境模擬，當飛行人力招募（生）人數增加，則飛行人力素質會提升。由此可知年度飛行招募（生）人數對於飛行人力素質為重要影響因素，依現行政策發展，飛行人力素質在2029年上升至0.1449，而在其他條件不變的情況下，年度飛行招募人數增加為400人，在2029年空軍飛行人力素質將上升至0.1627的水準。

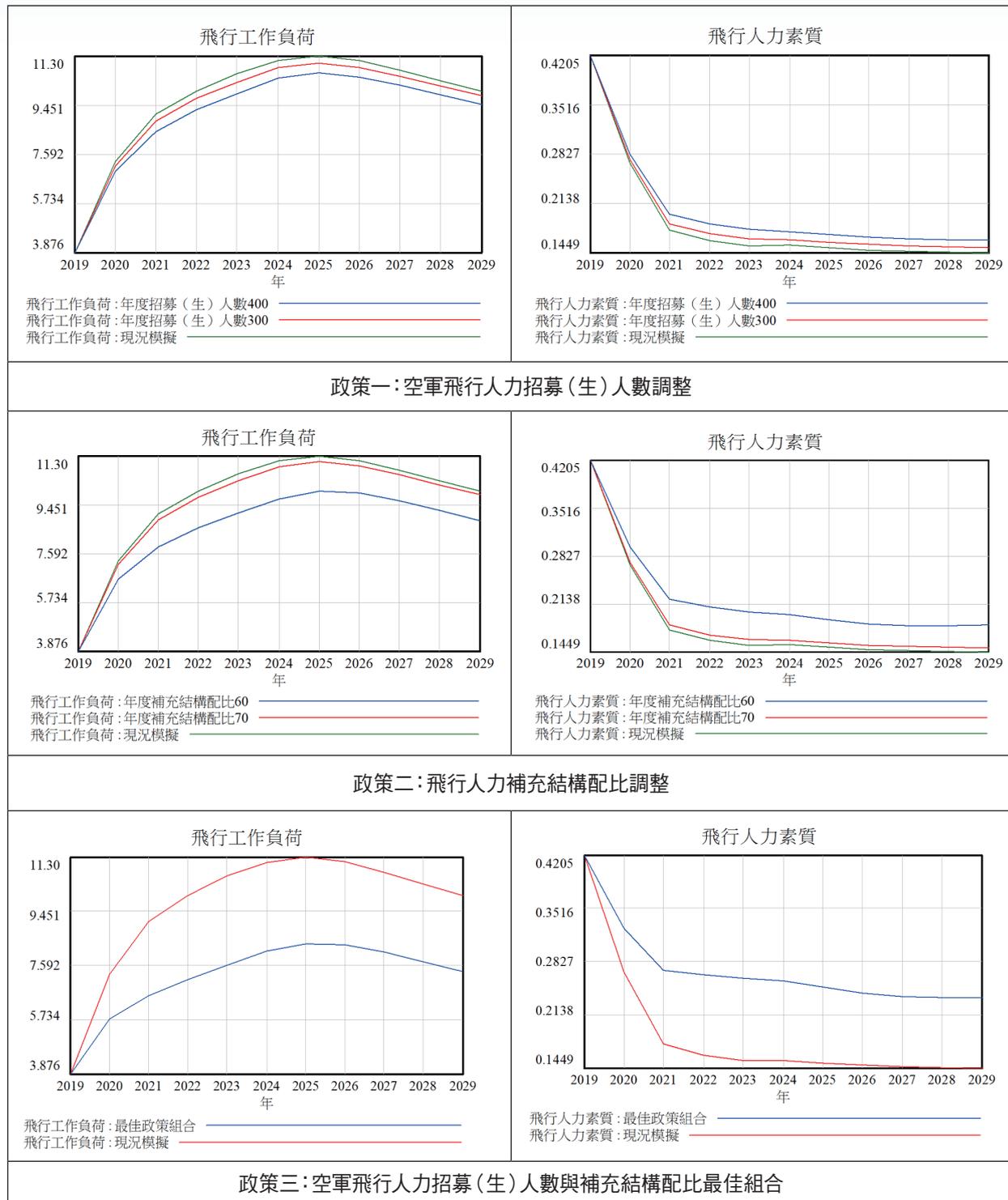
（二）政策二：飛行人力補充結構配比調整

空軍飛行人力補充來源，分別透過正期生、飛常班、ROTC及後備戰士等四種管道招募（生）所需飛行人力，前三種人力來源需經歷學校教育、飛行培訓、換裝訓練及成熟飛行人力培育，約需9至14年時間，佔約9成以上的飛行人力補充來源；另飛行後備戰士約佔1成以下。前述人力補充來源，因學校教育時間及飛訓時間較長，具有延遲性及不確定性等影響因素。而後備戰士招募獲得，雖為即時飛行戰力補充，但具有招募不易的影響因素。在前述因素的影響下，如能調整上述4種人力補充管道的配比，分散各管道招募（生）壓力，可改善人力補充成效。

本研究模擬空軍飛行人力補充結構，以現行正期生、飛常班、ROTC及後備戰士為77（0.77, 0.10, 0.09, 0.04）的結構配比，分別調整為60（0.6, 0.15, 0.15, 0.10）及70（0.70, 0.15, 0.10, 0.05）的政策情境下，分析對空軍主力戰機飛行工作負荷及人力素質之影響。

1. 空軍飛行人力補充結構對比對飛行工作負荷之影響

經上述的情境模擬，當飛行人力補充結構對比降低，則飛行工作負荷會降低。由此可知飛行人力補充結構對比對於飛行工作負荷為重要影響因素，依現行政策發展，飛行工作負荷在2029年下降至9.977，而在其他條件不變的情況下，飛行人力補充結構對比降低為60，在



圖十四 政策模擬分析圖

(資料來源：本研究繪製)

2029年空軍飛行工作負荷將降至8.848的水準。

2. 空軍飛行人力補充結構配比對飛行人力素質之影響

經上述的情境模擬，當飛行人力補充結構配比降低，則飛行人力素質會上升。由此可知飛行人力補充結構配比對於飛行人力素質為重要影響因素，依現行政策發展，飛行人力補充結構配比在2029年上升至0.1449，而在其他條件不變的情況下，飛行人力補充結構配比降低為60，在2029年空軍飛行人力素質將上升至0.1837的水準。

(三) 政策三：空軍飛行人力招募(生)人數與補充結構配比最佳組合

前述7種「年度招募(生)人數」與8種「飛行人力補充結構配比」以隨機方式產生12種政策組合，以飛行工作負荷最小化及人員素質最大化為擇優條件，經系統動態模擬後，獲得「年度招募(生)人數」為400與「飛行人力補充結構配比」為60(0.6, 0.15, 0.15, 0.10)之組合，達到最佳政策組合的水準。

本研究最佳政策組合模擬結果，在2029年空軍飛行工作負荷由9.977降至7.383的水準；另飛行人力素質將由0.1449上升至0.2366的水準。

陸、結語及建議

一、結語

空軍逐年提升的飛行人力需求，造成招募(生)的壓力上升，而面對未來航空公司在人才招募的競爭下，成熟飛行人力的離退率將上升，此現況如持續不變下，必然造成空軍飛行人力供需失衡情形，對於空軍戰力造成負面的影響。因此本研究運用系統動態學探討空軍「年度招募(生)人數」及「飛行人力補充結構配比」等關鍵變數，分析空軍「飛行工作負荷」及「飛行人力素質」在未來所造成的影響，並找出最佳的招募(生)政策組合，以瞄準適合的人力市場，發揮招募(生)資源最大效益，俾提供高階管理者納入政策運用參考，穩定空軍飛行人力供需系統，以維持空軍戰力無罅隙，堅實捍衛領空安全。

研究結果顯示：「年度招募(生)人數」越多與「飛行人力補充結構配比」越低，造成「飛行工作負荷」越低，「飛行人力素質」越高的因果關係結果。

故考量上述結果，實施相關政策模擬，當空軍「年度招募(生)人數」為230人及「飛行人力補充結構配比」為77(0.77, 0.10, 0.09, 0.04)時，現況模擬在2029年「飛行工作負荷」為9.977及「飛行人力素質」為0.1449的水準。經政策調整後，再訪問飛行專長領域人員，考量空軍機隊數量、妥善率、空勤尉級軍官編制、各接訓班隊容訓量、考生人數、國家生育率、經濟環境及敵情威脅等相關因素實施政策選擇，以「年

度招募(生)人數」為300-400人及「飛行人力補充結構配比」為60(0.6, 0.15, 0.15, 0.10)之最佳政策組合時,實施模擬在2029年「飛行工作負荷」下降為7.383及「飛行人力素質」上升為0.2366的水準,可滿足空軍主力戰機飛行人力補充之目標。

二、建議

- (一) 根據研究之模擬結果發現,調增「年度招募(生)人數」,雖可降低「飛行工作負荷」及增加「飛行人力素質」之效果,但招募(生)人數達200人以上時,飛行工作負荷降低的效果較低,且飛行人力的培訓時間較長,人力成本(薪資、學費、訓練費用等)較高。因此建議管理者,應提升年度招募(生)人數,並在訂定招募(生)目標時,除依人力供需現況實施預判,避免大退大補情形外,應提升學校教育及飛行訓練的成效,降低飛行培育期間人力流失情形,有效補充空軍飛行人力。
- (二) 在飛行人力補充結構配比調整部分,發現正期生比例調整在60-70間,對於「飛行工作負荷」調降及「飛行人力素質」提升,有較明顯效果,因此建議管理者,可將正期生招生比例降低,一方面可降低飛行人力的教育成本及延遲補充的時間,另一方面可廣拓民間大學青年及後備成熟飛行人力,以

縮短初官及成熟飛行人力的補充時間。

- (三) 本研究的結果除提供空軍人事管理單位管理者參考外,對於其它機種或跨軍種飛行人力亦可套用,以增加運用範圍與效益,期能藉由人力來源的解構,能將國防資源有效的投入,以發揮人力補充最佳效益。
- (四) 在後續研究上,可將行政工作、飛機妥善率、地勤人力及財務成本等因素一併納入考量,將使空軍主力戰機飛行人力供需之研究面向更加完整、研究內容更臻周延。

作者簡介

鄧國雄中校,中正理工學院專85年班、國防大學管理學院指參班98年班、國防大學管理學院戰略班103年班,現任國防大學管理學院國管中心人力資訊組中校教官暨國防大學管理學院資源管理與決策研究所在職二年級研究生。

作者簡介

林逸鮮中校,空軍官校90年班、義守大學碩士103年班、國防大學空軍指揮參謀學院108年班,現任空軍戰術管制聯隊中校科長。