

空軍 Mirage 2000-5 型戰機修護政策探討

劉培林¹、李康璋²

摘要

回顧兩岸局勢發展，我們可以很清楚的認知中共國防預算及軍事發展與我國相形比較下，始終處於不對稱，面對日益嚴峻的敵情威脅，我們更應有前瞻的思維，整體的思考，站在國家安全角度來做規劃，其中捍衛臺海領空安全是一個重要的課題。而我國新竹空軍基地的Mirage 2000-5型機，由於距高空優及作戰能力強，現已成為空軍作戰的主要戰力。

然而該型機已服役逾20年，如何擬訂適當修護政策以維持戰機妥善，實為值得重視與探討的議題。影響戰機妥善率的因素眾多，如修護人力、零附件籌補及戰機環控存儲…等，彼此相互影響且具有環環相扣之因果關係。本研究以系統動態觀點，俾利政策制定，對影響Mirage 2000-5型機妥善率因素進行分析，分析結果及相關建議將於文內探討。

關鍵詞：系統動態學、妥善率、備份件、戰機環控防護

¹ 國防大學管理學院資源管理及決策研究所，副教授。

² 國防大學管理學院資源管理及決策研究所，碩士生。

1.前言

1.1 研究背景及動機

臺灣位處亞太地區極具重要之戰略位置，防禦縱身短淺，防空預警和作戰反應時間短（國防報告書，2017），而Mirage 2000-5型戰機所隸屬之新竹空軍基地位於新竹市，則為臺灣本島與大陸之間最近距離之城市，距離大陸福建僅130公里，共軍空軍戰機僅幾分鐘內即可到達本國領空，足顯新竹空軍基地位居國防戰略位置之重中之重（余永章，2005）。

回顧我國現今主力戰機採購歷史，尤以Mirage 2000-5型戰機採購最具代表性，民國81年法國政府在經濟利益下，宣布對我國出售60架Mirage 2000-5型戰機，使美國宣布對我國出售150架F-16A/B型戰機，自此，我國空軍開始同期進入擁有兩型第三代戰機及具高度空優的國家。

在本國各型戰機空中優勢評比上，具單一機種之新竹空軍基地Mirage 2000-5型戰機平時負責中、高空域戰鬥攔截及巡邏任務，防衛臺海領空，有別於F-16 A/B型戰機定位屬中、低空域戰機、IDF戰機屬低空域戰機，在這些年對岸軍演中，Mirage 2000-5型戰機仍是以最短時間進入高空域及占最有利戰術高空位置的主力戰機，然而，如何保持空中優勢，其中戰機「妥善率」則為影響空防戰力主要關鍵因素（唐仁俊、林文程，2007），就以本國空優之最Mirage 2000-5型戰機而言，其中高價維修及保養維護成本、缺乏零附件及關鍵性零組件，則嚴重影響著Mirage 2000-5型戰機妥善率（陳嘉生、沈明室，2010）。

因此，在國軍歷經精實案、精進案、精粹案及國防組織調整下，人力不斷精簡及國防資源分配受限於中央政府總預算(如圖 1及圖 2)，如何在有限的人力、物力資源及限縮國防採購預算期況下（楊駕人、唐文漢、陳華鼎，2010），擬訂適當的後勤維護政策，以維持Mirage 2000-5型戰機作戰能力，使戰機妥善率維持部頒妥善率之上，為本研究動機之一。

然而Mirage 2000-5型戰機戰力延續，以戰機妥善率趨勢圖來探究，只要有關鍵性器材損壞、零附件獲補期程延宕、國防採購預算縮減、飛行作戰人力及地勤修（維）護人力短缺等因素發生，整體Mirage 2000-5型戰機妥善率恐低於部頒妥善率，以兩岸現今局勢發展情況下，實乃嚴重影響國家安全亦深值得我們探究之議題（如圖 3）(由於Mirage 2000-5型戰機妥善率屬機敏性數據，故本研究將妥善率數值隱置，圖形以趨勢表示)，在空軍常聽到一句話，「捍衛領空，捨我其誰，無空防即無國防」，顯見戰機妥善率對國防安全之重要。



圖1：國防部主管預算與中央政府總預算
資料來源：國防部，2017。

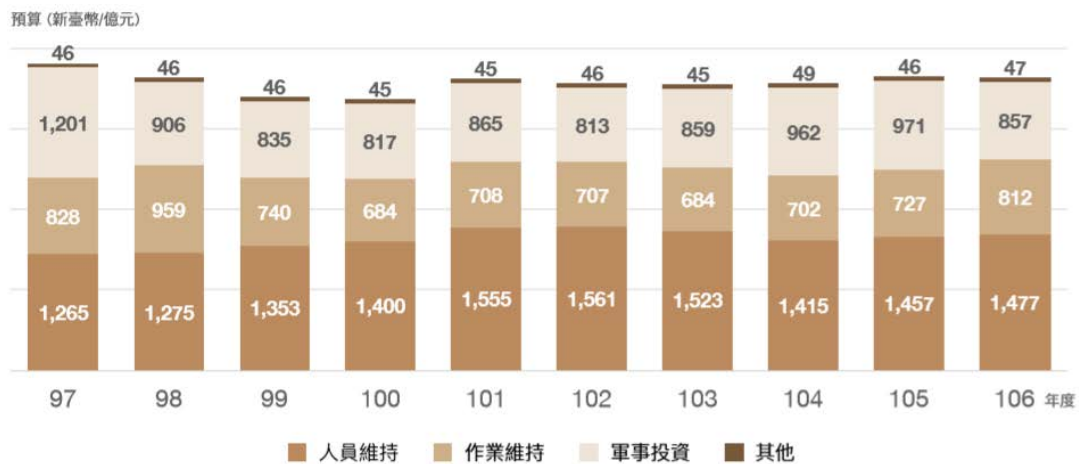


圖2：國防部主管預算配置
資料來源：國防部，2017

Mirage 2000-5型戰機戰力以妥善率為關鍵評估指標，其計算方式如公式(1)所示：

$$\text{妥善率} = \text{妥善戰機架數} / \text{戰機總架數} \times 100\% \quad (1)$$

再者影響Mirage 2000-5型戰機妥善率的良窳因素眾多，其中包含備份件管理，如國防採購預算、零附件購置、後勤維修人力運用及國際情勢等，舉例來說：戰機故障需零附件備份件供應修復，若備份件數量不足，則將迫使戰機停飛待件，戰機停飛待件有時間限制，待件時間過長，嚴重將啟動戰機環控存儲，以停計機身鐘點及將可用器材拆挪至他架戰機，若實施環控存儲則加重後勤維修人力工作負荷（劉培林、劉達生、盧柏諺，2017），且國防採購預算、零附件購置數量、器材獲得期程，皆影響戰機備份件能否滿足修（維）護需求，國防零附件採購預算如表1。（空軍司令部，2018）

表 1 我國三型主力戰機近 3 年零附件採購維持預算編列表

年度		103年	104年	105年	106年	107年
項次	機型					
1	F16	2,666,813	2,225,690	2,506,200	1,934,587	2,505,336
2	IDF	2,807,102	2,262,656	2,701,625	2,257,341	3,442,869
3	M2000-5	2,561,266	2,182,104	2,590,325	2,466,174	4,232,820
合計		8,035,181	6,700,450	7,798,150	6,658,102	10,181,025
單位：仟元						

資料來源：空軍司令部，2018。本研究整理

然而Mirage 2000-5型戰機服役致迄今已超過20年，隨著機齡增加及飛行操作時數累積，戰機故障亦隨之日趨增加，再加上所需零附件短缺、關鍵性器材材料及延遲交貨等因素，使庫存備份件數量難以滿足非計畫性修(維)護作業需求，致使戰機停飛待件，若待料情形嚴重，將戰機予以環控存儲，拆挪零附件復原他架戰機，此情形嚴重影響戰機妥善率，綜觀世界各國，無不確保各項裝備維持高妥善率，並以此作為評估國家戰力之依據(張世長，2005)。觀察Mirage 2000-5型戰機近5年妥善率情況，發現妥善率平均位於部頒妥善率邊緣值之上，稍有關鍵性零附件短缺，整體妥善率即不合格，更不用提及作戰時須提升妥善率至75%，因此如何有效率獲得所需零附件並加以管理，為本研究動機之二。

因影響Mirage 2000-5型戰機妥善率良窳考量因素層面較廣，各環節間環環相扣，互為因果及動態複雜關係，若要瞭解完整的相互關係，可從系統動態觀點探究，較能看清楚整體問題全貌(韓釗，2009；蕭志同、戴俞萱、柳淑芬，2010；劉培林，2015)。綜觀國內學者對戰機修護政策方面研究不多，大多僅個別由由備份件管理(郭有能，2013；陳振愷，2016；張宏榮，2018；Prasobh Narayanan, Wim J. C. Verhagen & V. S. Viswanath Dhanisetty, 2019)、修護管理(Raivio, T., Kuumola, E., Mattila, V. A., Virtanen, K., 2001；褚志鵬、孫惠民、黃亭凱、莊筱敏，2009)、修護人力供給(顏上堯、陳玉菁，2002；湯慶輝、徐翊珊，2016)及軍機商維(劉立民，2008)等單一面向探討，較少研究以系統動態學觀點探究Mirage 2000-5型戰機修(維)護政策，此為本研究動機之三。若將戰機妥善狀態視為一個系統，則它是有許多複雜因素所構成，例如：戰機操作時數、環控存儲架數、人力負荷量及零附件庫存量等，再加上整體兩岸國防武力發展及大環境的變動等因素，構成一個複雜且變動的系統。倘若同時以備份件管理、修護管理、修護人力供給等面向分析，對於戰機操作時數、環控存儲戰機、關鍵性零附件需求及人力負荷量等之影響，此即為本研究動機之四。

1.2 研究目的

Mirage 2000-5 型戰機在戰備任務上擔負防空攔截、空中戰鬥巡邏、攻勢作戰及守勢作戰等任務，致使戰機非計畫性故障損壞，或平時計畫性修護及週期性保養（修）必要更換戰機器材等，然而該型機已服役逾 20 年，如何策訂適當修護政策以維持戰機妥善，實為值得重視與探討的議題。影響 Mirage 2000-5 型戰機妥善率的因素眾多，包含修護人力、零附件籌補及戰機環控存儲...等，彼此相互影響且具有環環相扣之因果關係。

俄國著名革命家列夫·達維多維奇·托洛斯基曾說過：「你也許對戰爭不感興趣，但是戰爭對你卻深感興趣」，縱然現今兩岸局勢看似太平，但國家可以百年無戰事，但不可一日無國防、部隊更不可一日無戰備，國軍每日勤訓精練，目的不為求戰，但當戰爭來臨時，也絕不避戰，為了這個信念，戰鬥機飛行員日復一日訓練，只為了成為國家安全的保證。然而我國 Mirage 2000-5 型戰機飛行員飛行訓練時數乃依據年度計劃時數來分配，主要區分平日訓練時數及演習時數，Mirage 2000-5 型戰機妥善率的良窳都直接影響飛行訓練時數，甚至嚴重影響國防安全，簡單舉例來說：戰機故障，飛行員無戰機可供訓練及作戰，輕則影響飛行員訓練，重則於國家發生危難時，空有飛行員而無戰機可供作戰，足可顯見戰機妥善率的重要性。依據 108 年 5 月 2 日美國國防防衛新聞報導，美國為戰機強權國家，近年來因增加多處國家駐軍和多款戰機機型製造及戰機故障等影響，造成海、空軍軍種戰機妥善率（mission-capable rates）急速下降，如表 2 所示；前任美國國防部長 Jim Mattis 於 2018 年 9 月通令美國海、空軍，要求兩軍種擁有戰機群飛行部隊，於 1 年內，也就是 2019 年 9 月前提升所屬現役戰機 F/A-18E/F（F/A-18E/F Super Hornet）、F-16（F-16 Fighting Falcon）、F-22（F-22 Raptor）及 F-35（F-35 Lightning II）等 4 款現今第 4 代和第 5 代戰鬥機妥善率，必須達到 80% 妥善率（潘世惟，2018），同理可證，不僅我國 Mirage 2000-5 型戰機妥善率須有效提升，這更是全球化擁有先進戰機國家應正視之問題。

表 2 近 2 年美國空軍各型戰機妥善率

機型	2016 年	2017 年	差異	分析
A-10 雷霆二式	74.09%	73.76%	-0.33	下降
F-15E「攻擊鷹」	72.94%	75.26%	2.32	增長
F-16C「戰隼」	73.06%	70.22%	-3.04	下降
F-16D「戰隼」	69.06%	65.96%	-3.1	下降
F-22A「猛禽」	60.18%	49.01%	-11.17	下降
F-35A「閃電 II 式」	64.57%	54.67%	-9.9	下降
B-1B「槍騎兵」轟炸機	51.62%	52.79%	1.17	增長
C-130H「力士型」運輸機	73.04%	73.14%	0.1	增長
B-52H「同溫層堡壘」轟炸機	73.92%	71.82%	-2.1	下降

資料來源：潘世惟，2018。本研究整理

空軍各主力戰機服役至迄今，均進入中、後壽期，加上平日負擔訓練、戰備及演習等任務，戰機非計畫故障頻次增加及計畫性故障亦隨著戰機壽限需定期更換所需零附件，一般來說，Mirage 2000-5 型戰機平時飛行訓練產生故障戰機，依循戰機補給籌補料件程序進行戰機零附件申請，倘若庫存量無法滿足戰機零附件故障數量之申請量，補給料件申請系統則會產生戰機零附件欠撥及待料，亦是庫存量差。戰機零附件器材欠撥，責由器材籌補單位進行裝備及零附件採購，惟 Mirage 2000-5 型戰機器材有賴法國原廠，無法由本國購置、研製或其他型機種器材料件周轉，往往補給流程耗時，經由初始期申請料件、規劃評估、經費核算、申請核准到、器材運送及器材獲補，往往須經 48 個月等待期，再到最終階段修護專業人力，執行 Mirage 2000-5 型戰機器材復原、測試到完成戰機妥善，故在戰機等待器材期間，皆屬非妥善戰機。

依據臺灣國家防衛計畫，簡稱「固安作戰計畫」，於作戰時，Mirage 2000-5 型戰機器材備份件皆須有效滿足戰時所編訂標準，亦是零附件庫存量必須滿足需求，妥善率達作戰時標準，故本研究重點將置於 Mirage 2000-5 型戰機零附件數量滿足率，以求增加妥善率，達到戰機修（維）護時間需求最短目的，期使故障 Mirage 2000-5 型戰機能迅速完成修復，恢復妥善，以執行戰演訓任務。

綜上，本研究運用系統思考建構了修護人力短少及關鍵性零附件缺件兩種狀態，並據以發展質性因果環路回饋圖，從飛行任務時數需求、戰機狀態架構、零附件庫存量、環控存儲戰機數量及修護人力等面向探討。希冀透過系統思考以了解 Mirage 2000-5 型戰機部隊現況，進而提出政策改善建議，以供決策者選擇，期使降低戰機妥善率下降程度或增進妥善率，以維持國防戰力。

2.研究方法

系統動態學（System Dynamics），亦稱系統動力學，係由美國麻省理工學院史隆管理學院的佛瑞思特教授（Jay W. Forrester）在 1956 年所開始發展，主要用來解決企業與社會組織中，具複雜性及動態性、資訊回饋及時間滯延等問題，並透過系統性思考，了解系統內所有元素及元素彼此間之交互作用，再藉由相關電腦軟體模擬，顯示系統模擬後其各元素間的組織結構、策略及時間延遲等因素，如何相互地影響系統或是組織的發展與穩定，以增加對其複雜問題的了解，幫助我們找出徹底改善系統績效的政策（Forrester, 1961；Coyle, 1996；Sterman, 2000；蕭志同、戴俞萱、柳淑芬，2016）。

由於現代科技進步日新月異，新的科技技術及知識爆炸性發展，同日也形成了現今複雜的社會系統。現今社會複雜的程度與改變的速度，不僅在於包含龐大的組成要素，舉凡：政府機關、企業組織、工廠、銀行、學校，甚至小到人物等，更在於這些組成要素彼此間交錯複雜的關係（謝長宏，1987）。系統動態學主要就是以宏觀的角度來解決問題，避免因使用微觀的面向來分析問題而侷限於片段的思考，藉由分析組成因素及了解彼此間相互關係，針對所探究的問題建構

模型，最終運用電腦模擬的方式，操作不同的組成變數進而觀察及分析，以尋求問題的較佳解決方案（詹秋貴，2000）。




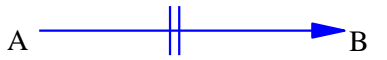
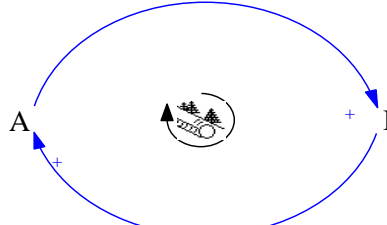
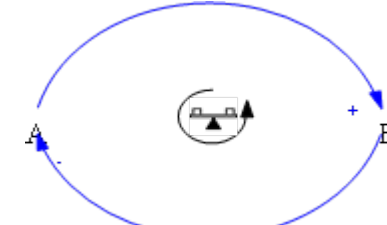
名稱	符號	說明
因果關鍵鏈		A 與 B 反饋關係。
正向因果鏈		當 A 到 B 時，A 增加，同時 B 增加，並以符號「+」表示。
負向因果鏈		當 A 到 B 時，A 增加，同時 B 減少，並以符號「-」表示。
時間滯延		表示當 A 需經過一段時間才會到達 B，產生時間滯延關係。
正反向因果迴路		顯示 A、B 彼此因果形成一個迴路，環路內負反饋為 0 個為偶數，則為正反饋環，結果趨向極大化或極小化。
負反向因果迴路		表示 A、B 互為彼此因果形成一個環路，環路內負反饋為 1 個為奇數，則為負反饋環，結果為彼此抑制。

圖 4 系統動態學符號說明圖

資料來源：陶在樸，2016。系統動態學。本研究整理

系統動態學發展至迄今，雖研究面相廣泛，如網路動力學、多時間尺度動態學、群體建模實驗研究、與運籌學結合見解、醫學應用、氣候變化、環境政策及組織變革等應用，然而在現今日益變化的時代裡，是否還有改變及精進的空間，實得我們運用系統動態學再一次的探究（Sterman，2018）。然而，空軍 Mirage 2000-5 型戰機現今面臨妥善率不易維持，從接機初期的全妥善到現今僅維持部頒妥善率，其日益衰減之嚴重程度不可同日而語，實得利用系統動態學方法，就修護政策方面，究其因果環環相扣關係，予以找出影響妥善率之關鍵因素。

3. 問題描述

3.1 Mirage 2000-5型戰機介紹及運作現況

代號「飛龍計畫」的空軍 M2000-5 型戰機 (Mirage 2000-5) 採購案，是臺灣在國際軍火市場上極受矚目的採購動作，不僅是總金額高達新台幣 1,676 億餘元，最重要，本項採購案是臺灣跨足歐洲軍火工業的里程碑。而其獨特的三角翼型 (DELTA WING) 設計，讓此款戰機從地面上看起來，別有一種韻味。Mirage 2000-5 型戰機為法國達梭 (Dassault) 公司產製之幻象機中，性能最佳且科技運用層次最高者。自 1980 年代末期，由於 Mirage 2000 的競爭對手美國 F-16 戰機持續推出新機型。為了維持軍火競爭力，當時仍為國營企業的法國湯姆森 CSF 公司投資改良 Mirage 2000 戰機，由 Mirage 2000-C 與 Mirage 2000-B 改裝成 Mirage 2000-5 的原型。但當年開發的過程並未得到法國空軍支持，而在 1992 年我國空軍以代號「飛龍計畫」循「商售」管道向法國採購 60 架 Mirage 2000-5 型全天候戰鬥攔截機 (EI/單座機 48 架、DI/雙座機 12 架)，因此中華民國是全世界第一個使用 Mirage 2000-5 型機的國家。

Mirage 2000-5 型機於民國 86 年接機至今已逾 20 年，依統計數據單座機平均已使用鐘點 2,072 小時及雙座機平均已使用鐘點 4,877 小時，Mirage 2000-5 型機使用鐘點如表 3 所示(由於 Mirage 2000-5 型戰機架數屬機敏性數據，故本研究將戰機架數數值隱置)。

表 3 Mirage 2000-5 型機使用鐘點現況表

	架數	最高使用鐘點	最低使用鐘點	平均使用鐘點
EI/單座機	隱置	2,646	1,705	2,072
DI/雙座機	隱置	5,433	4,478	4,877

資料來源：空軍司令部，2018。本研究整理

然而，Mirage 2000-5 型機機體結構評估，依據法國技術文件(1F-M2000-60) 規定，Mirage 2000-5 型機使用鐘點若到達 7,500 小時後，須經由法國原廠執行戰機結構安全檢查及評估，若以年度平均飛行時數約 7,385 小時估算，單座機每年平均使用 106 小時，約可再使用 40 年；雙座機每年平均使用 266 小時，約於 10 年內屆臨 7,500 小時結構安全評估點，Mirage 2000-5 型機壽限預判如表 4 所示(由於 Mirage 2000-5 型戰機架數屬機敏性數據，故本研究將戰機架數數值隱置)。

表 4 Mirage 2000-5 型機使用鐘點及壽限預判表

	架數	使用管制時數	單機平均累計鐘點	單機每年增加鐘點	評估尚可使用年限
EI/單座機	隱置	7,500	2,072	106 小時/架	40 年
DI/雙座機	隱置	7,500	4,877	266 小時/架	7 至 11 年

資料來源：空軍司令部，2018。本研究整理

綜上，現今國防政策以不購置新型戰鬥機狀態及兩岸局勢發展政策下，Mirage 2000-5 型機仍需最少維持 10 年以上，故 Mirage 2000-5 型機整體機隊戰力維持，仍需不斷精進，除了計畫性修(維)護外，因機齡過長且飛行任務繁重，故常因故障進棚廠維修，以進行所謂非計畫性維修。其中關鍵性器材因非計畫故障損壞頻次高居榜首，致使庫房無關鍵性器材庫存，即庫存量為零，經常性造成器材欠撥。然而，器材的欠撥，造成 Mirage 2000-5 型機整體妥善率低於部頒妥善率標準。關鍵性器材庫存量是依年度非計畫性故障及計畫性修(維)護工作，並經由近 5 至 10 年非計畫性故障趨勢預判戰機零附件需求而得知，依計修備料規範向法國逐年分批採購，但往往因飛行訓練需求提高與關鍵性器材交貨期長造成滯延的情況下，經常在器材運送至基地後，辦理工材入庫隨即撥發至需求單位，使得安全庫存量形同虛設，依舊造成器材欠撥，Mirage 2000-5 型機整體妥善率仍無法有效提升，至多妥善率持平。為避免器材欠撥，導致 Mirage 2000-5 型機妥善數不足以達成任務或年度訓練目標，現行 Mirage 2000-5 型機機隊多採取器材拆裝作業進行戰機器材更換。Mirage 2000-5 型機拆裝程序是針對正在棚廠內進行計畫性維護的戰機(在廠週期檢查戰機)，將其妥善戰機零附件與非計畫性損壞之零附件執行替換，將器材待料情形轉移至原在廠計畫性維護 Mirage 2000-5 型機上。若在廠非計畫性維護 Mirage 2000-5 型機的待料時間超過其已屆排定出廠時間，便會進行第二次拆拚程序，將非妥善零附件拆裝至另一架在廠維護戰機，依此類推。為維持 Mirage 2000-5 型機妥善機數且在零附件長期欠撥狀況下，拆裝作業始終無法避免，除了增加修護人員工作負荷外，多次拆裝則可能造成飛機零附件無法預期之維修性損壞，亦增加零附件需求量，反而肇致負面效果，而降低整體妥善率。然而這些從 A 機拆挪器材移至 B 機的修護性作為，亦大大增加了修護人力負荷，嚴重亦肇致專業修護人才離退及流失，實乃刻正之議題。

3.2 確定系統邊界

本研究以新竹空軍基地(國防部空軍司令部第二戰術戰鬥機聯隊)已服役之 Mirage 2000-5 型機妥善率作為研究標的，運用系統思考概念，以系統動態學的因果回饋環路，從 4 個構面：戰機狀態構面、庫存管理構面、修護人力構面及環控存儲機構面，探討分析 Mirage 2000-5 型機的機隊運作現況並推估機隊妥善率變化。戰機狀態構面包含「飛行任務需求時數」、「戰機妥善數」、「戰機非妥善數」、「戰機實際操作時數」、「戰機可操作時數」、「妥善率」及「維修架數」等變數建構因果回饋環路。庫存管理構面包含「零附件使用數」、「零附件庫存量」、「零附件籌補需求量」、「庫存量差」、「零附件獲得數」及「採購預算滿足率」等變數建構因果回饋環路，並探討關鍵性零附件的供需關係。修護人力構面包含「修護工作量」、「維修人力需求數」、「現有修護人數」、「維修人力離退率」、「人力負荷量」及「人員落差比例」等。環控存儲機構面的回饋環路由：「環控存儲機架數」及「解除環控存儲次數」等變數構成。

4.質性模型建構

本研究依現行的幻象戰機修護流程實施模型建構，透過系統動態學方法論，探究Mirage 2000-5型機修（維）護系統之作業模式；然而戰機修（維）護策略的制定會影響戰機妥善率、關鍵性零附件及修護人力等並產生不同的維修效益，因此藉由個人對問題的觀察、實務工作經驗、領域專家及文獻資料，進而找出相互因果影響因素，最終運用系統動態學軟體 Vensim 建構質性因果環路圖，尋找出主要影響的關鍵因素並提供決策者改善問題建議。

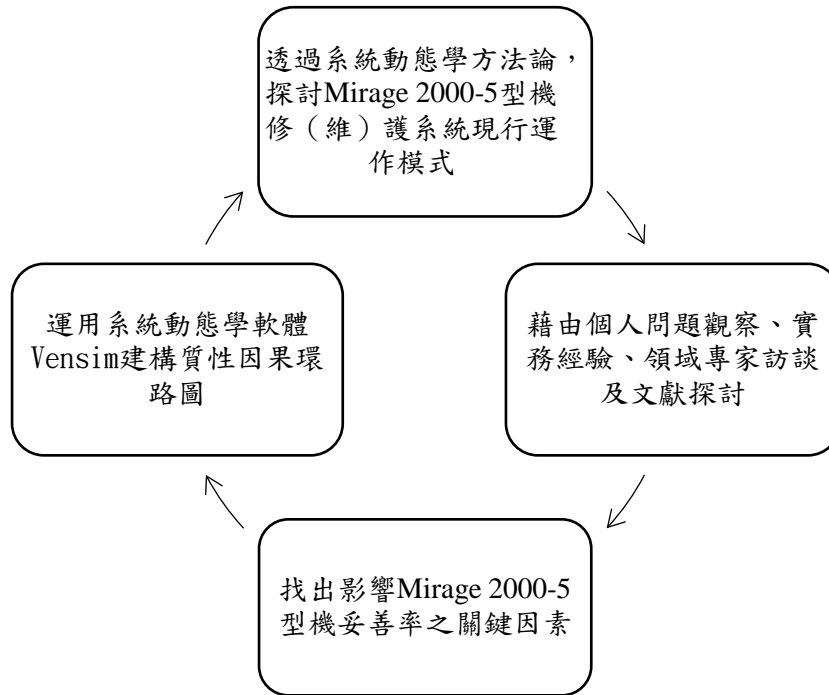


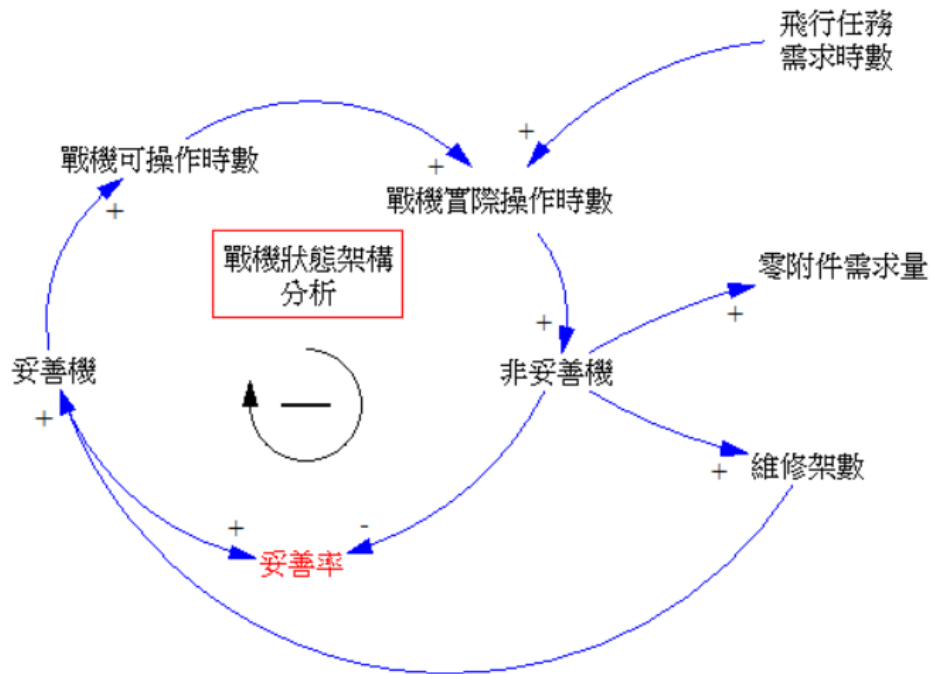
圖5：Mirage 2000-5型機質性模式建構圖

資料來源：本研究整理

為增加此質性模型效度，本研究係與Mirage 2000-5型機領域專家（空軍司令部後勤單位、基地飛行作戰單位、基地修補大隊、採購及補給單位及現行執行修護管制人員）研討後確認因果環路圖，研討對象包含：空軍司令部軍品整備組副組長、空軍司令部軍品整備組資深參謀、空軍司令部軍品整備組Mirage 2000-5型機系統官、新竹空軍基地作戰科上校科長新竹空軍基地作戰科資深參謀、新竹空軍基地修護補給大隊上校大隊長、修護管制科中校科長、品質標準訓練科中校科長、補給管理科中校科長、場修中隊中校隊長、支援中隊中校隊長、補給中隊副中隊長、發動機維修分隊分隊長、修護管制科上尉管制官、戰機環控存儲士官長組長等，研討內容包含Mirage 2000-5型機過去、現行及預判未來可能遭遇之修（維）狀況、修（維）人力供給及未來規劃、飛行任務時數規劃、環控存儲戰機現況及成長趨勢、關鍵性零附件現行狀況及室礙困難問題、關鍵性零附件獲補情形及交運（空運及海運）進度等各變數間之因果回饋關係適切性等問題。

4.1 戰機飛行任務時數與妥善率之關係

Mirage 2000-5型機每年例行性訓練及戰演訓任務，包括漢光演習、天龍操演、戰術總驗收、基地移防訓練及精準武器實彈射擊等任務，當飛行任務需求時數越



高，戰機可操作時數亦隨伴越高，則實際戰機操作時數的累積亦越高，經長期使用後戰機實際操作時數逐漸累積，隨伴而來Mirage 2000-5型機故障比例亦越高，驅使非妥善機增加。然而非妥善機的增加，使戰機進廠維修作業致增加維修架數。透過修（維）護作業恢復戰機妥善及可使戰機可操作時數增加，形成一個負向因果回饋環路。另外，非妥善機數增加相對性地將產生戰機零附件需求。有關戰機狀態架構因果圖，如圖4-1所示。

圖4-1 戰機飛行任務時數與妥善率因果圖

4.2 修（維）人力與妥善機之關係

因現有修護人數與維修人力需求數差異越大，人員落差比例亦越大，亦需透過修護人員招募，來增加修護人數，以提升專業修護人力。然而，修護工作量越高，維修人力需求數則越需即時補充。另一方面，修護工作量越高，所肇致人力負荷量亦越大，進而增加戰機維修專業人力退伍或調職非戰機修護專業，致使人員離退率增高。形成一個負向因果回饋環路。相反的，修護工作量的減少，代表需維修的戰機亦隨之減少，則反映在非妥善機亦減少，妥善機則增加，戰機妥善率亦提升。修護人力因果圖，如圖4-2所示。

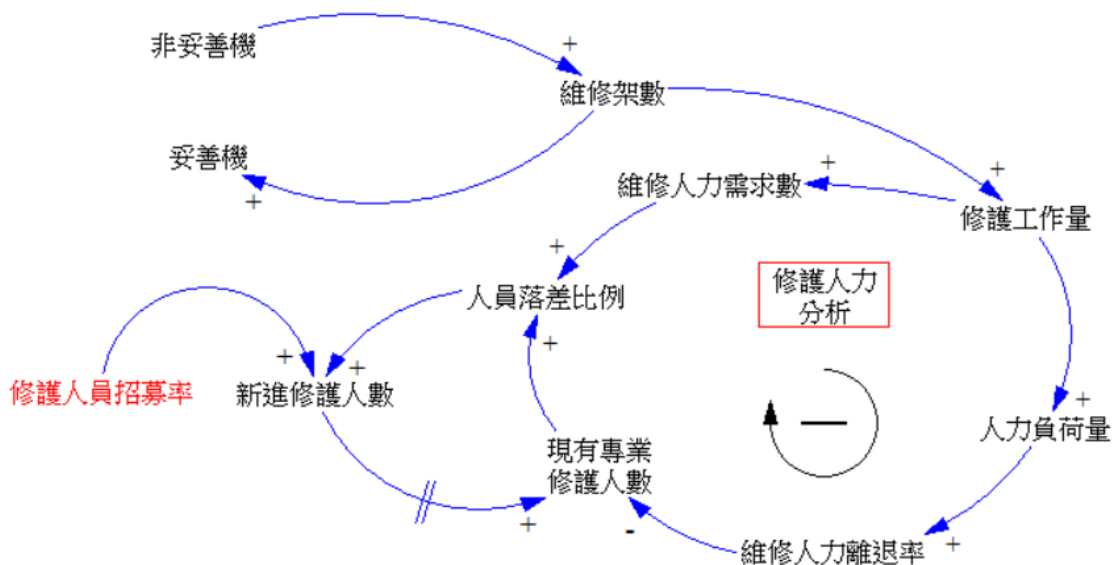


圖4-2 修（維）人力與妥善機因果圖

4.3 戰機環控存儲與修（維）人力之關係

戰機環控存儲即是利用特殊環境條件將戰機予以包覆，使其戰機存儲環境模擬沙漠環境狀態而執行存儲，臺灣位處四面環海，溼度較高，則容易肇致戰機銹腐蝕產生，而環控存儲是於乾燥空氣下存儲，目的是抑制在欲存儲之戰機四周環境的濕度，當存儲環境保持在絕對溼度率40%以下，可有效抑制銹腐蝕發展（空軍司令部，2004），倘若不執行戰機環控存儲，以臺灣潮濕環境下，戰機容易產生銹腐蝕，相對性則需額外人力來執行戰機銹腐蝕處理，且工作耗時，伴隨之影響戰機妥善，利用環控存儲可延緩銹腐蝕產生，經Mirage 2000-5型機原製造商法國達梭公司及法國空軍實例驗證，甚至零銹腐蝕，故經由環控存儲，我們可將戰機可用零附件予以拆裝周轉，讓飛行訓練或作戰任務之戰機因非計畫性故障產生，而需要零附件修復之戰機，給予立即修復，迅速恢復戰機妥善，惟進入環控存儲之戰機亦隨之成為非妥善機。然而修護工作量皆由執行環控存儲機架數多寡及解除環控存儲次數的多寡，而有所變動，形成一個正向因果回饋環路。其修護工作量增加亦造成維修人力需求數增加及人力負荷，因果關係環環相扣，密不可分。戰機環控存儲與修（維）人力因果圖，如圖4-3所示。

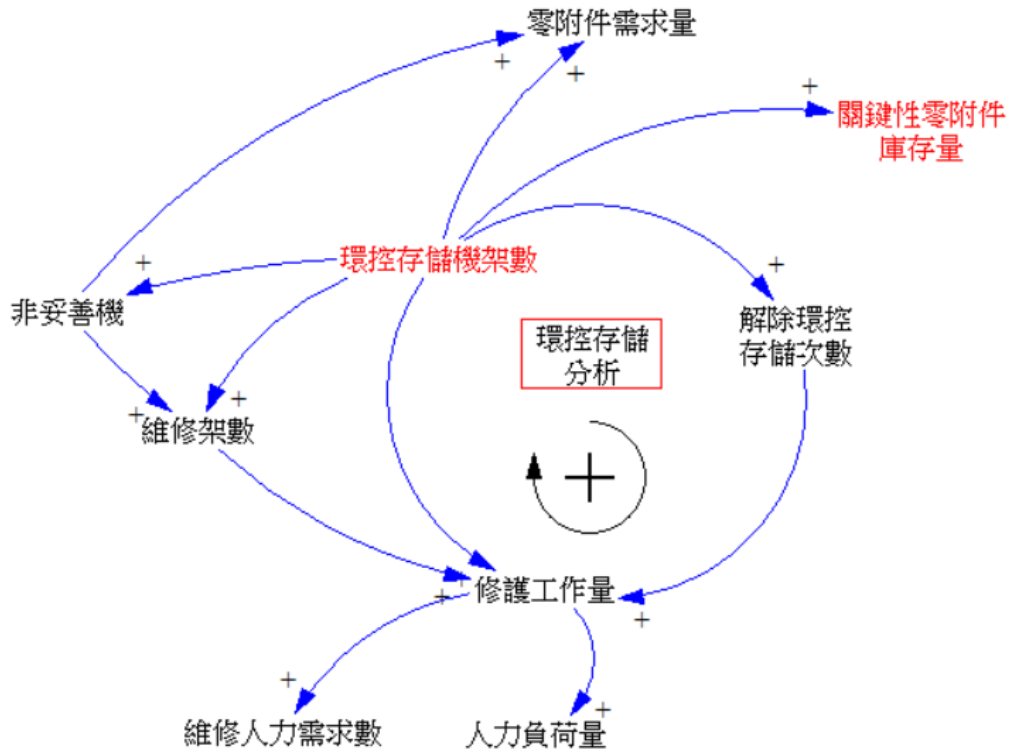


圖4-3 戰機環控存儲與修（維）人力因果圖

4.4 關鍵性零附件庫存量與採購數量之關係

所謂庫存量即是因應戰機裝備武器系統修（維）護時所需更換之零附件，而其存儲於庫房之數量，用以維持戰機裝備武器系統正常運作。而關鍵性零附件則是一架戰機影響其妥善率最主要零附件。本文Mirage 2000-5型機關鍵性零附件則是指法國賽峰集團旗下Snecma公司所生產的M53-P2渦輪風扇發動機，然而隨著戰機使用年限增加，M53-P2渦輪風扇發動機亦隨著使用年限增加而屆期更換或是故障更換，隨之由新竹空軍發動機維修單位向補給部門提出關鍵性零附件需求申請，補給部門於接獲發動機維修單位之需求後，立即檢討關鍵性零附件供給及需求狀態，若關鍵性零附件需求較庫存量大時，則產生落差，本研究定義為庫存量落差。產生庫存量落差後，需透過補給程序進行關鍵性零附件申請，補充關鍵性零附件庫存量。

因此，關鍵性零附件庫存量需求不變動情況下，庫存量的增加，將使庫存量落差減少；反之，在關鍵性零附件庫存量不變動情況下，關鍵性零附件需求量增加則會使庫存量落差增加。庫存量落差增加時，為滿足後續Mirage 2000-5型機修（維）護作業需求，關鍵性零附件採購數量將提高。當關鍵性零附件採購數量增加，因向法國原廠提出採購及各種採購流程行政程序存在著時間滯延效果，需經過一段時間後方得增加關鍵性零附件庫存量，因此形成一個負向因果回饋環路。另外，採購預算滿足率及年度計修備料越高，進而提升採購需求，也提高關鍵性零附件採購數量。然而採購預算滿足率，亦與國防年度編列預算息息相關，目前

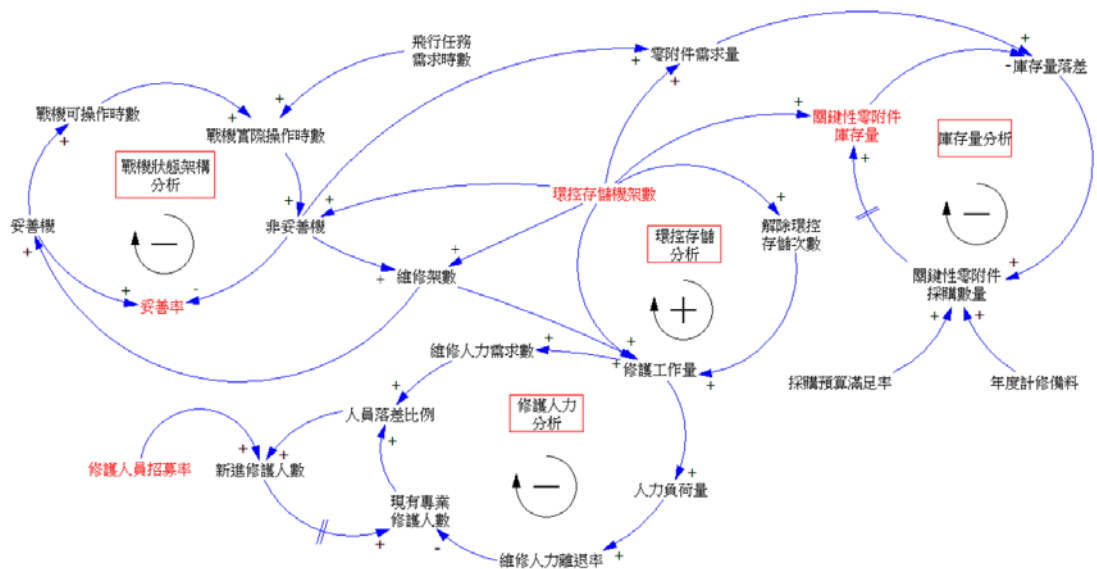


圖4-5 戰機維修策略因果圖

5. 結論

本研究以戰機狀態、庫存管理、修護人力及環控存儲為系統模型邊界，藉由個人實務經驗及Mirage 2000-5型機領域專家研討，運用系統動態思考的觀點，探討影響Mirage 2000-5型機整體系統運作各變數之間關鍵因子，以妥善率為核心；另針對飛行任務需求時數、非妥善機數量、維修架數、關鍵性零附件庫存量、零附件庫存量補充方式、採購預算滿足率、環控存儲機架數及維修人力需求數等因素相互變動關係，建構發展Mirage 2000-5型機之整體因果環路模式。未來將據以發展動態模型，針對整體因果環路進行系統運作政策模擬與分析，後續提供國防單位政策制定或決策者參考。

研究發現：戰機零附件採購受預算限制，採購預算有限額度及採購數量有限，甚至無法滿足戰機所需，且從法國原廠採購關鍵性零附件存在著時間滯延效果，需經48個月等待期限，肇致Mirage 2000-5型機妥善率無法維持。然而，國軍的主力戰機皆是由各種複雜零件以及次要零件組成，僅從單一零件或關鍵性零附件來評估妥善率略顯粗糙，未來建議可嘗試探究多樣零附件損壞狀態及其供補機制，進而統計戰機急缺待件前10名零附件，使模型更貼近真實景況，以臻研究完備。

參考文獻

中文部分

- 余永章 (2005)。從中共軍力成長論述臺海不對稱戰爭對我之威脅與省思。國防雜誌，20 (1)，97-108。
- 空軍司令部 (2004)。M2000-5 型機特殊維護程序教材 (中英對照)。新竹市：國防部空軍司令部第二戰術戰鬥機聯隊。
- 空軍司令部 (2018)。空軍三型主力戰機零附件採購預算內部文件。臺北市：國防部空軍司令部。
- 空軍司令部 (2018)。空軍 Mirage 2000-5 型機戰機機身結構狀態分析內部文件。臺北市：國防部空軍司令部。
- 唐仁俊、林文程 (2007)。中共空權：過去，現在與未來。國立中山大學大陸研究所博士論文。
- 張世長 (2005)。我國重大政策事件對國防預算編列影響之研究 (1995-2004 年)。國立中山大學高階公共政策所碩士論文。
- 張宏榮 (2018)。應用第三方物流管理方式精進空軍零附件補給管理。靜宜大學財務金融研究所碩士論文。
- 郭有能 (2013)。航空機隊維修之存貨預測與管理。國立高雄第一科技大學運籌管理研究所碩士論文。
- 陳嘉生、沈明室 (2010)。從美國 [台灣空防現況報告] 看台灣軍機採購。戰略安全研析，(59)，13-18。
- 陳振愷 (2016)。利用動態多準則決策探討消失性商源待修零附件解決方案之研究。國防大學管理學院運籌管理學系研究所碩士論文。
- 湯慶輝、徐翊珊 (2016)。隨機性人力需求下停機線修護人力供給模式。運輸學刊，28 (3)，267-293。
- 國防部 (2017)。國防報告書。臺北市：國防部。
- 褚志鵬、孫惠民、黃亭凱、莊筱敏 (2009)。飛機派飛與修護限制之模式建立探討-以戰轟機為例。國防管理學報，30 (1)，43-54。
- 詹秋貴 (2000)。我國主要武器系統發展的政策探討。國立交通大學經營管理研究所博士論文。
- 楊駕人、唐文漢、陳華鼎 (2010)。國防預算在總額度受限下最適額度配置之研究。國防管理學報，31 (2)，23-59。
- 劉立民 (2008)。以漢翔公司管理模式為例探討國軍零附件消失性商源問題。國防雜誌，23 (1)，97-111。
- 劉培林 (2015)。國防管理與決策分析：系統動態觀點。臺北市：致知學術出版社。
- 劉培林、劉達生、盧柏諺 (2017)。運用系統動態學探討直升機維護政策之研究—以陸軍航空部隊為例。國防大學管理學院資源管理及決策研究所碩士論文。
- 蕭志同、戴俞萱、柳淑芬 (2010)。決策分析與模擬：組織機構與企業產業發展

的途徑。臺北市：東華書局出版。

蕭志同、戴俞萱、柳淑芬 (2016)。全方位思維模式組織的決策分析與發展。臺北市：五南圖書出版有限公司。

謝長宏 (1987)。系統動態學—理論、方法與應用 (三版)，台北市，中興管理顧問公司。

顏上堯、陳玉菁(2002)。純檢修資格航機修護人力供給模式之建立。運輸計劃季刊，31(4)，817-839。

韓釗 (2009)。系統動力學 探索動態複雜之鑰 (第二版)。臺中：滄海書局。

陶在樸 (2016)。系統動力學入門，臺北市，五南圖書出版股份有限公司。

英文部分

Coyle, R. G (1996). *System dynamics modeling: a practical approach*. NY: Chapman and Hall.

Forrester, J. W. (1961). *Industrial Dynamics*, Massachusetts. *MIT Press*, 33, 3306-3309.

Narayanan, P., Verhagen, W. J., & Dhanisetty, V. V. (2019). *Identifying strategic maintenance capacity for accidental damage occurrence in aircraft operations*. *Journal of Management Analytics*, 1-19.

Raivio, T., Kuumola, E., Mattila, V. A., Virtanen, K., & Hämäläinen, R. P. (2001). *A simulation model for military aircraft maintenance and availability*.

Sterman, J. (2018). System dynamics at sixty: the path forward. *System Dynamics Review*, 34(1-2), 5-47.

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

網路部分

【8成妥善率門檻】恐僅「超級大黃蜂」達標，美防長：F-16、F-22和F-35戰機仍有困難。潘世惟。上網日期：108年5月2日，檢

自：https://www.upmedia.mg/news_info.php?SerialNo=62459。