

運用系統動態學探討陸軍直升機妥善狀況影響政策

筆者/盧柏諺

提要

- 一、陸軍航空特戰指揮部直升機部隊為兵力整建重點單位，若要維持直升機部隊可恃戰力必須要有穩定的妥善率，而影響妥善率的良窳，後勤維護作業是重要關鍵因素。
- 二、然而，隨著操作時數的累積，故障狀況隨之增加，再加上零附件短缺及延遲交貨等因素，使備份件籌補數量難以滿足維護作業需求，常導致裝備停用與封存情形，進而影響妥善率。
- 三、本研究運用系統動態學，以陸航直升機部隊維護系統為研究對象，找出關鍵因素及其互動影響關係，據以建構動態分析模式，並進行政策分析與模擬，探討軍售採購預算滿足率及安全存量政策調整，對於妥善率、封存機之影響趨勢，希望透過研究，提出相對較佳之政策，提供管理者做為政策制定參考。

關鍵詞：系統動態學、直升機、妥善率、封存

壹、前言

我國軍事戰略原則循「防衛固守、重層嚇阻」的構想，主要採取守勢作戰，並強化地空整體作戰、特戰與後勤支援等能力，建構機動快速打擊戰力、遠距、精準、高效等武器。而陸軍航空特戰指揮部（以下簡稱陸航）轄屬單位有直升機部隊及特種作戰部隊，其中直升機部隊計有AH-1W、OH-58D、CH-47SD、TH-67、AH-64E及UH-60M等直升機，尤其直升機機動性高可配合地空整體作戰，遂行空中攻擊、偵搜與人員裝備運輸等多種任務，且直升機無需跑道起降，對基地設施依賴程度較定翼機低，具有快速集中與疏散之特性，可藉廠庫、山區等地區實施戰力保存。基於我國軍事戰略原則，陸航戰力能否有效發揮則顯得重要。

若要維持直升機部隊可恃戰力必須要有穩定的妥善率，而影響妥善率的良窳，後勤維護作業是重要關鍵因素。然而陸航多數直升機服役已超過20年，隨著操作時數的累積，故障狀況隨之增加，再加上零附件短缺及延遲交貨等因素，使備份件籌補數量難以滿足維護作業需求，進而影響妥善率。觀察陸航某型直升機機隊某5年妥善率情況，發現有逐年下降趨勢，由於妥善率屬於機敏性數據，故本研究將妥善率數值隱置，圖形以趨勢如圖1所示。因此，如何制定適當的維護政策以改善該型直升機妥善率是值得探討的議題。

圖1、妥善率趨勢



資料來源：筆者自行整理製作

國防年度預算區分「人員維持」、「軍事投資」及「作業維持」等費用，但在國防預算資源有限情況下，可發現維持武器裝備妥善的「作業維持」費近年有逐年下滑趨勢，如表1所示，近年作業維持費從2012年的708億元，下降至2015年的667億元，¹在近年不斷採購新式武器裝備的同時，作業維持費下降加重了維護作業的困難度。例如現役某型直升機的主旋翼葉片等關鍵性料件因預算因素，導致籌補不足，進而使多架機產生封存與妥善率下降之情事。

¹ 國防部，《104年國防報告書》（臺北市：國防部，西元2015年10月），頁124~127。

表1、近四年作業維持費比較表

項次	預算年度 (單位：億)			
	2012	2013	2014	2015
年度國防預算	3173	3127	3111	3128
作業維持費比例	22.31%	22.61%	21.99%	21.32%
作業維持金額	708	707	684	667

資料來源：筆者參考104年國防報告書整理製作

影響陸航直升機妥善率面向甚多，包含備份件管理、零附件採購、預算及保修人力運用等，例如：直升機故障時需要備份件供應維護，若備份件不足將使直升機停用甚至封存，若實施封存則加重人力負荷，且零附件採購數量、獲得時程及採購預算均影響備份件能否滿足維護需求。因各環節間相互影響，因果關係無法切割獨立，若要瞭解完整的相互關係，從整體系統角度探究，較能看清問題全貌。²

綜觀武器裝備維護有關文獻，大多個別由備份件管理(郭有能, 2013)、³維護管理(褚志鵬、孫惠民、黃亭凱、莊筱敏, 2009; 何鵬萬, 2011)、⁴ ⁵可修件商維(游金珍, 2014)⁶及保修人力運用(張亦蹟, 2015)⁷等單面向探討，較少由整體系統的角度來研究，因此，本研究以系統觀點，同時包括備份件管理、可修件商維及保修人力等面向，分析探討陸航直升機維護系統，幾項關鍵因素對於妥善率、封存機之影響，希望透過研究，提出相對較佳之政策。

貳、系統動態學理論

由於直升機維護體系各環節間相互影響，因果關係無法切割獨立，需從整體系統角度探究，系統動態學(System Dynamics; SD)即是合適之方法。

系統動態學係由美國麻省理工學院(M.I.T.) Jay W. Forrester教授在1956年運用回饋控制系統原理與技巧，發展出來的一門學科，系統動態學是一種方法論、一種工具，更是一種概念。⁸ Forrester教授採用系統思考的哲學來定義問題，⁹從宏觀角度去描述問題與研究問題的邊界，探討因果回饋環路並詮釋變數間環環相扣的因果關係，再利用資訊回饋理論建構動態流程圖(Dynamic

² Sterman, J. D., "All models are wrong: reflections on becoming a systems scientist," System Dynamics Review, Vol. 18, No. 4, (October 2002), p.501~531.

³ 郭有能,〈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系碩士論文,西元2013年1月),頁3。

⁴ 褚志鵬、孫惠民、黃亭凱、莊筱敏,〈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》,第30卷1期,西元2009年5月,頁43~54。

⁵ 何鵬萬,〈以維修紀錄推估裝備系統可靠度建構維護政策之研究-以海軍艦艇柴油發電機為例〉(國立高雄第一科技大學機械與自動化工程系碩士論文,西元2011年7月),頁24~29。

⁶ 游金珍,〈國軍武器設備維護之問題與對策:採用成效式契約之可行性分析〉(國立中央大學營建管理研究所碩士論文,西元2014年6月),頁4。

⁷ 張亦蹟,〈武器系統修護人員職能素養與修護績效關聯性之研究〉(朝陽科技大學企業管理系碩士論文,西元2015年6月),頁5。

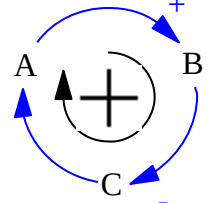
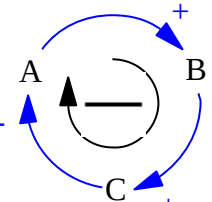
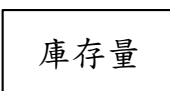
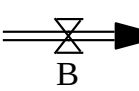
⁸ 謝長宏,《系統動態學—理論、方法與應用》(台北市:中興管理顧問公司,西元1980年),頁16。

⁹ Forrester, J. W., Industrial Dynamics, (MIT Press, Cambridge, MA, 1961), p.21~36.

Flow Diagram)，來描述系統內部資訊與實體流動的基底機制（Underlying Structure），最後建構動態量化模式，以電腦之高速運算能力模擬系統的歷史行為，再分析各種政策之長期發展趨勢，找出有效改善系統績效的政策。^{10 11}

系統動態學運用在管理決策系統最基本與關鍵的動態控制概念，是以數學語言一階或多階導函數，呈現系統複雜問題的回饋結構、因果關係及滯延效果；而系統動態學模式的基礎正是以因果回饋圖（Causal-Loop Diagram）表達出系統變數間的因果關係。動態模式建模元件包含率量（流量；Rate）、積量（存量；Stock）及輔助變數（內、外生變項；Auxiliary）等，有關元件及說明如表2所示。^{12 13}

表 2、系統動態學主要元件圖示說明表

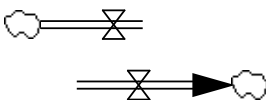
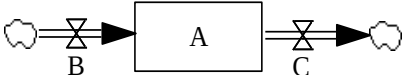
名稱	符號	說明
因果鏈		系統內兩變數間的因果關聯性，一般以箭頭符號表示，A 為因，B 為果。
正性因果鏈		若 A 變數增加時，則 B 變數增加，即為正性因果鏈。
負性因果鏈		若 A 變數增加時，則 B 變數減少，即為負性因果鏈。
時間滯延		若 A 變數與 B 變數間的動態關係，需有時間的延遲，則以兩條橫線加註在因果鏈上。
正性因果回饋環路		當因果回饋環路中，負鏈（-）符號為偶數時，該環路為正性因果回饋環路，具有自我增強變動的效果。
負性因果回饋環路		當因果回饋環路中，負鏈（-）符號為單數時，該環路為負性因果回饋環路，具有自我調節變動的效果。
積量		「積量」係在任一時間點，流入量與流出量的差額累積。
率量/流量		指單位時間內積量之改變量（單位量/單位時間），可因方向性不同使積量增加或減少。
輔助變數 /常數		C 係指變數或要素，可以實體或抽象表示，以問題的狀況界定型態

¹⁰ Coyle, R. G., System dynamics modeling: a practical approach. Chapman and Hall, New York, 1996 , p.1~17.

¹¹ Sterman, J. D., Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world. (Boston: Irwin McGraw-Hill, January 2000).

¹² 韓釗，《系統動力學-探索動態複雜之鑰名》（台中市：滄海書局，西元 2009 年 2 版），頁 2~5。

¹³ 劉培林，《國防管理與決策分析-系統動態觀點》（台北市：智知學術出版社，西元 2015 年 1 月），頁 18~19。

名稱	符號	說明
源頭/淵池		流量起源於某處，也終止於某處。有時流量起源會被認為是無限制的，這種流量起源稱為源頭（source）；當流量終點並不會產生影響，則稱為淵池（sink）。這二種表示法均以「雲狀圖」呈現。
流程圖		變數予以量化為積量及率量後，串連為動態關係，即為流程圖。

資料來源：《系統動力學-探索動態複雜之鑰名》，《國防管理與決策分析-系統動態觀點》

參、直升機維護體系與模式建立

系統動態學已廣泛應用在各領域及武器裝備維護管理等相關議題，包括高階管理、¹⁴武器研究、¹⁵料件籌補，¹⁶本研究透過陸航直升機部隊後勤維護作業之現行運作模式，以及相關文獻探討分析來增進對維護政策問題的瞭解與特性歸納。另透過研究者實務工作經驗、領域專家的研討(包括資深保修業務參謀、保修工廠資深幹部、高階補給業務主管等)及相關資料蒐集，進而找出互為因果的影響因素。採用系統動態學模擬軟體Vensim DSS，針對陸航直升機維護系統特性，先建構質性因果回饋環路圖，再依質性因果回饋環路圖建構量化模式，接續進行模擬與相關政策分析。

一、直升機維護階層

陸航機隊維護作業主要係支援各項任務遂行，透過維護制度與計畫，訂定裝備維護需求、維護方式、維護分級及責任區分，使飛機能迅速回復到妥善狀態。陸航維護階層區分單位段(Organizational Level Maintenance, O級)、野戰段(Intermediate Level Maintenance, I級)、基地段(Depot Level Maintenance, D級)三個階層，如將維護階層對照單位名稱，維護階層O級為各型機使用單位與帳籍所屬單位，簡稱作戰隊；I級為飛機保修工廠；D級為航空基地勤務廠。

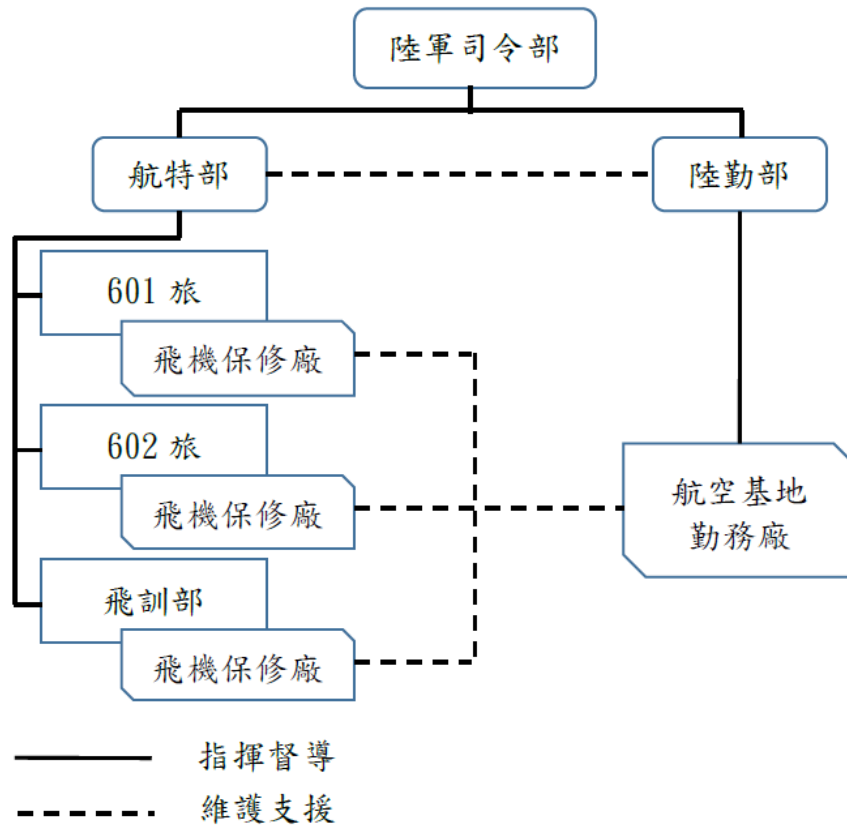
在陸航維護單位組織架構中（如圖2），陸軍司令部為督導單位，負責督導航特部及陸勤部維護作業落實情況。陸勤部為後勤維護及補給相關政策與制度之策頒單位。各航空旅（飛訓部）所屬飛機保修廠與航空基地勤務廠相互維護支援。本研究在陸航維護單位組織架構圖中從航特部與陸勤部層面，瞭解直升機維護系統中相關的維護政策；從飛機保修廠與航空基地勤務廠之作業執行面，瞭解飛機狀態與維護作業流程之關係。

¹⁴ 陳美智，〈高階管理政策研議：系統動力學方法論〉《組織與管理》，第2卷1期，西元2009年2月，頁145-196。

¹⁵ 詹秋貴，〈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，西元2000年6月)，頁1~3。

¹⁶ 劉培林、方顯光、鍾曉玉，〈以系統動態學探討我國外購非現役武器系統備份件籌補政策之研究〉《華人經濟研究》，第11卷2期，西元2013年9月，頁47-62。

圖2、維護制度階層劃分



資料來源：筆者自行整理繪製

二、直升機維護系統

直升機在正常維護情況下，非妥善機會於一定期間內實施維護以恢復為妥善機，但是若關鍵性料件（例如主旋翼葉片等）長期短缺，或籌補時程過長而影響到飛機修護。當長期待料使飛機停用時間大於14天，為避免各機件受腐蝕及油管內部墊片變質等現象，故須實施封存（Storage）作業。封存期間需依技術手冊規範執行維護工作，以維持飛機良好防護，¹⁷本研究某直升機屬於美國海軍陸戰隊使用之機種，依據美國海軍航空系統指揮部（Naval Air Systems Command, 2007）技令NAVAIR 15-01-500規範的封存作法，分為短期（Level I）「90天以內」、中期（Level II）「超過90天不及365天」及長期（Level III）「超過365天」等三階段；¹⁸前兩階（365天以下）段對於封存環境設備投入成本較低，但封存過程中維護成本較高，且需投入較多人力；若要實施第三階段（365天以上）之長期封存，要考量初始設備成本以及飛機或飛機零附件的退化成本，由於須有良好的防護設備（除濕型棚廠或除濕型罩布等設備），故初期投入成本非常高。此外，停用過久也可能產生無法預測的故障，造成額外的成本。

若零附件可以透過維修使其恢復可用性，稱為「可修件」。因可修件

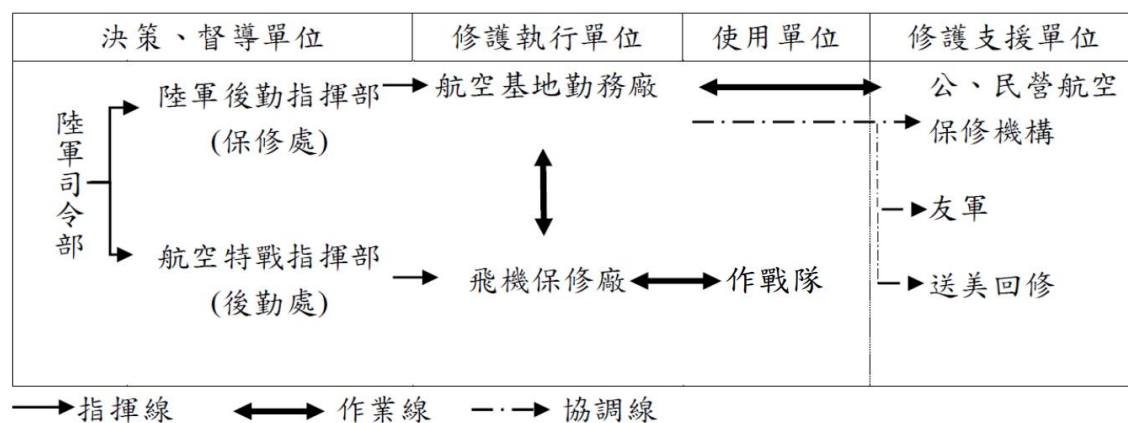
¹⁷ Department of the Army, TM 1-1500-204-23-1, Aviation unit maintenance (AVUM) and aviation intermediate maintenance (AVIM) manual for general aircraft maintenance. (Washington, DC: Department of the U. S. Army Headquarters, July 1992), p.2-213.

¹⁸ Naval Air Systems Command. Navair 15-01-500, Preservation of Naval Aircraft. (Patuxent River, MD: Naval Air Systems Command, August 2007), p.1~13.

需帳籍管制，維保單位可修件申補一律採「先領後繳」方式辦理，亦即可修件須先獲得後始可辦理繳回修復再利用。¹⁹

現今國防資源釋商政策下，將國軍不具機敏性、戰備時效低及非核心之能量，釋出由民間承接，進而提升民間研發、產製及維修軍品能力。零附件可依據可修復性代碼(Source Maintenance and Recoverability, SMR codes)得知該零附件之維修層級，通常維修作業主要由陸航所屬各修護工廠執行，若超過陸軍自行維修能量，則轉由相關公、民營合約商、友軍或送美執行修護工作，有關維修作業支援系統如圖3所示。

圖 3、維修作業支援系統圖



資料來源：筆者自行整理繪製

三、質性模式建立

（一）操作時數與直升機狀態之關係

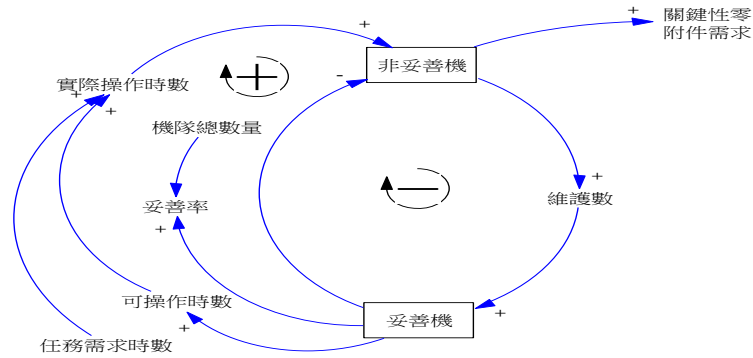
從現行國軍戰備觀點及後勤支援來看，陸航直升機部隊戰力以直升機妥善率為衡量指標，妥善率受到機隊總數量與妥善機數量的影響。當陸航某型直升機配賦總數為一固定值，妥善機越高則妥善率越高。

由於主旋翼葉片為當時影響該型直升機妥善率相當重要之關鍵性零附件，此零附件缺料將使直升機無法執行任務。故本研究假設其餘零附件供給無虞的情況下，探討主旋翼葉片與直升機妥善率之影響關係。

該型直升機每年的例行性訓練及任務，包括駐地訓練、漢光演習、空用武器射擊、三軍聯合測考、長泰操演、神鷹操演及救災支援等任務，當任務需求時數越高將使實際操作時數越高。隨著實際操作時數的累積，主旋翼葉片損壞率亦隨之提高，所發生的故障及屆期更換情形就越多，導致非妥善機越多。非妥善機越多須進廠執行維護作業，故使維護數增加，透過維護作業使直升機恢復妥善狀態，又使妥善機增加。妥善機越高則非妥善機越少，形成一個負向的因果回饋環路。另外妥善機增加亦使可操作時數增加，進而使實際操作時數增加。此外非妥善機越高相對地產生關鍵性零附件需求會越高。上述有關操作時數與直升機狀態之關係，如圖4所示。

¹⁹ 陸軍司令部，《陸軍零附件補給作業手冊》（台北市：國防部陸軍司令部，西元 2020 年 6 月），頁 355。

圖 4、操作時數與直升機狀態因果回饋環路圖



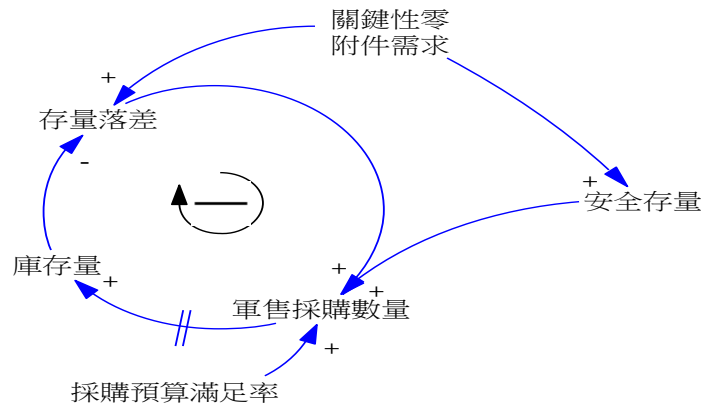
資料來源：筆者自行整理繪製

(二) 庫存量與軍售採購數量之關係

庫存量是指用來因應武器系統維護時儲存於庫房零附件的數量。隨著主旋翼葉片使用年限增加，屆期更換或是故障需求亦將增加，通常各航空旅保修單位會向補給部門提出關鍵性零附件需求，補給部門於接獲保修單位之需求後，將檢討其供需狀況，若關鍵性零附件需求（作業需求）較庫存量大時會產生差距，本研究定義為存量落差。在關鍵性零附件需求不變的情況下，庫存量增加會使存量落差減少；此外，在庫存量不變的情況下，關鍵性零附件需求增加亦會使存量落差增加。存量落差增加時為了滿足後續維護作業需求，通常會以軍售採購方式使數量增加。當軍售採購數量增加，因向國外採購以及各種行政程序存在時間滯延，需經過一段時間後才會增加庫存量，形成一個負向的因果回饋環路。

此外安全存量及採購預算滿足率亦會影響軍售採購數量。安全存量可因應補給作業運補時間內受到阻斷或需求量徒增時的最低存量，因此安全存量會依照關鍵性零附件需求與運補時間估算律定出所需之數量，通常關鍵性零附件需求越高則安全存量越高，安全存量增加後則軍售採購數量增加。採購預算滿足率本研究定義為採購預算核撥費佔採購預算需求費之比率，採購預算滿足率對軍售採購數量獲得成正向影響關係，採購預算滿足率越高則軍售採購數量越高。上述有關庫存量與軍售採購數量之關係，如圖5所示。

圖 5、庫存量與軍售採購數量因果回饋環路圖



資料來源：筆者自行整理繪製

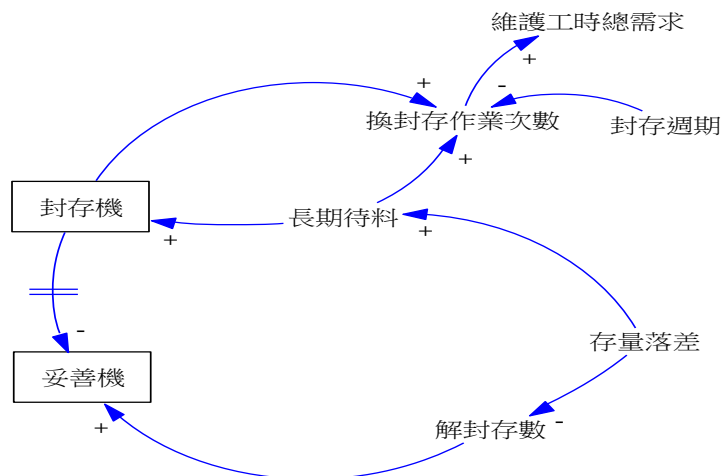
(三) 存量落差與封存之關係

由於庫存量不足時會產生存量落差，存量落差將使裝備無法執行正常維護進而造成裝備停用。若停用後所需關鍵性零附件超過14天時仍無法獲得，則必須執行封存作業，其目的是為避免停機長期無法運轉導致內部鏽蝕及其他不正常損壞之作法。

當存量落差越大時，原製造商須重開生產線或其他原故造成延遲交貨，因此，長期待料問題將增加。當長期待料增加將使封存機數量增加，在直升機總數量不變的情況下，封存機增加則妥善機減少。因封存機恢復成妥善機時必須實施相關解封存程序，會存在時間滯延現象，由於料件並非可以及時籌補，故當存量落差越大則解封存數越少，解封存數越少則妥善機數量也越少。

封存週期為同一架機從進入封存狀態至解封存出廠的時間，若待料時間超過規定之封存週期，則需安排另一架非妥善機與封存機執行封存替換作業，亦即讓原先封存之飛機出廠恢復妥善，由另一架非妥善機取而代之，本研究定義為換封存作業次數。當封存週期不變時，封存機數量與長期待料時間越多則換封存作業次數也將越多；此外，當封存機數量與長期待料時間不變時，封存週期越短則換封存作業次數越多。換封存作業次數越多因為增加相關作業程序所需工時，故維護工時總需求亦將增加。上述有關存量落差與封存之關係，如圖6所示。

圖 6、存量落差與封存因果影響圖

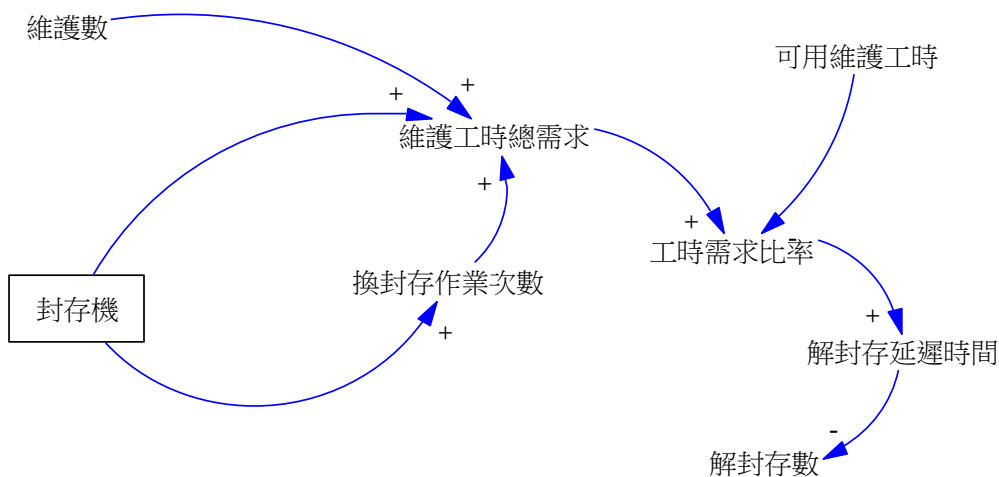


資料來源：筆者自行整理繪製

(四) 封存與修護工時之關係

封存機增加時，因必須執行相關封存作業等勤務工作，故將增加維護工時總需求。維護工時總需求與可用維護工時之比率本研究定義為工時需求比率，在可用維護工時不變的情況下，當維護工時總需求大於可用維護工時，則工時需求比率將增加，表示人力供不應求，將使解封存延遲時間增加，進而導致解封存數減少。此外，由一架非妥善機與封存機執行封存替換作業(即換封作業)亦會產生諸多勤務工作，當維護數與換封存作業次數增加時，將增加維護工時總需求。上述有關封存與修護工時之關係，如圖7所示。

圖 7、封存與修護工時因果影響圖



資料來源：筆者自行整理繪製

(五) 可修件再生納補與庫存量之關係

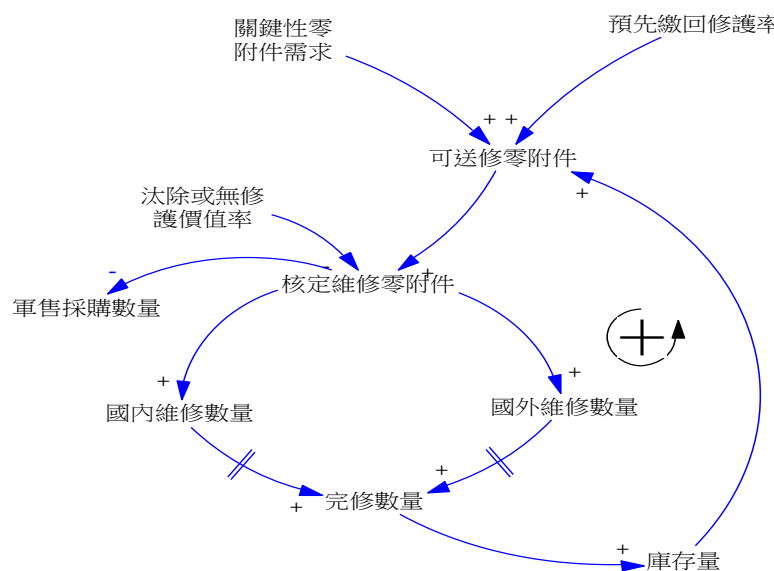
直升機上若先將故障可修件拆除送修，有帳籍不易管制等問題產生，故現行陸軍針對可修零附件申補一律採「先領後繳」方式辦理，在正常情

況下，依規定須先由庫存量撥補新（勘）品後，以一換一方式始可將故障可修件辦理繳回修護。但實務上，若研判故障可修件過多恐嚴重影響妥善率時，可循指揮體系由陸勤部綜合考量後，來核准預先繳回修護之數量。本研究將核准預先繳回修護數量佔故障可修件數量之比率定義為預先繳回修護率。

當關鍵性零附件需求增加時，可送修零附件亦會增加。在關鍵性零附件需求不變時，依據先領後繳的原則，庫存量越高則可送修零附件越高；另循指揮體系核定之預先繳回修護率越高時則可送修零附件亦將越高。當可送修零附件越高則核定維修零附件越高。然而主旋翼葉片在陸軍自修與友軍協修部分之維修能量較為欠缺，故未納入探討，主要係以國、內外委商修為主。核定維修零附件越高則送交國內維修數量及國外維修數量越高，無論國內維修或國外維修，由於須透過相關行政程序執行送修及接收作業，故有時間滯延情形產生。而完成維修之零附件經過入庫檢驗無虞後增加完修數量，進而增加庫存量。

通常屬於汰換件或超出成本無修護價值的零件可依程序直接進行報廢，報廢零附件佔可送修零附件之比率本研究定義為汰除或無修護價值率，故汰除或無修護價值率越高將使核定維修零附件的數量越低。核定維修零附件特性是已核定交修，可於一段時間修復納入庫房的零件，當核定維修零附件越高，則軍售採購數量將越低。有關可修件再生納補與庫存量之關係，如圖8所示。

圖 8、可修件再生納補與庫存量因果回饋環路圖



資料來源：筆者自行整理繪製

四、量化模式建立

依前段直升機維護供需系統質性模式，運用Vensim DSS軟體建構動態流程圖（Stock and Flow Diagram），以發展量化模式，本節區分「直升機狀態流」、「庫存量存量流」、「維護工時流」及「可修件再生納補

流」四個主要環路，針對模式中變數實施數值輸入，以下針對主要環路進行說明。

(一) 直升機狀態動態量化分析

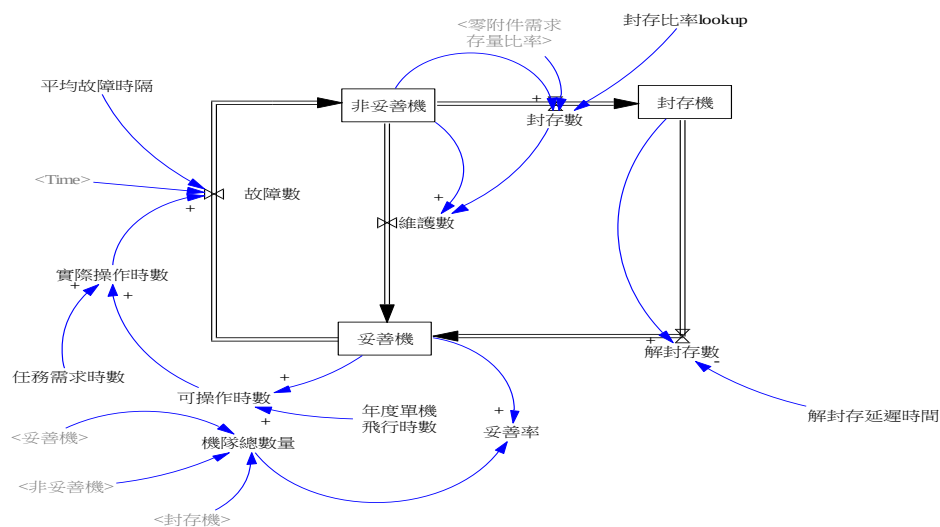
任務需求時數為直升機在年度內執行各項任務時數加總，經與資深機隊管制參謀及訓練業務承辦參謀研討，得知某直升機每年度的例行性訓練及重大任務，任務需求時數約為12000小時；另可操作時數係以妥善機數量乘以年度單機飛行時數計算。

國軍該型直升機機隊總數為妥善機、非妥善機及封存機之總和，妥善率計算方式本研究係參照國軍主要武器裝備標準妥善率作業規定的計算方式，以現有裝備妥善數除以機隊總數量之百分比來進行估算。

直升機故障狀態部分，藉由歷史工單彙整，得知其在飛行任務結束後主旋翼葉片難免因震動、鏽蝕及外物撞擊等情況造成故障，或因定期翻修而需更換，其平均故障時隔隨著使用時間逐漸縮短。

本研究經統計2012年至2016年間有關飛機狀態資料，封存機2012年初始量約為9架機。非妥善機扣除封存數為維護數，亦即可正常執行維護作業之直升機。封存機數量除以解封存延遲時間為解封存數，解封存延遲時間本研究定義為「從進入封存狀態至解封存恢復為妥善機過程」的平均時間。有關直升機狀態動態流程圖如圖9所示。

圖 9、直升機狀態動態流程圖



資料來源：筆者自行整理繪製

(二) 庫存量量化分析

本研究經參考歷史備份料件採購資料並與資深航材庫主管研討，得知計畫管制單位在製作年度備料計畫時會同時考量計畫性及非計畫性料件數量需求。單機配賦數為乙架機某零件最大裝置數量，例如：主旋翼葉片有兩片，單機配賦數即設定為2。軍售採購數量為存量落差（關鍵性零附件需求數與庫存量之差）與安全存量之總和，並扣除核定維修零附件。零附件需求存量比率本研究定義為關鍵性零附件需求佔庫存量之比率，用以對封存數與解封存延遲時間做影響關係之計算。

安全存量係指用以維持作業最低儲存數量，有關安全存量之計算本研究依據陸軍航空裝備保修作業手冊律定的計算方式進行模式設定，有關公式如下。

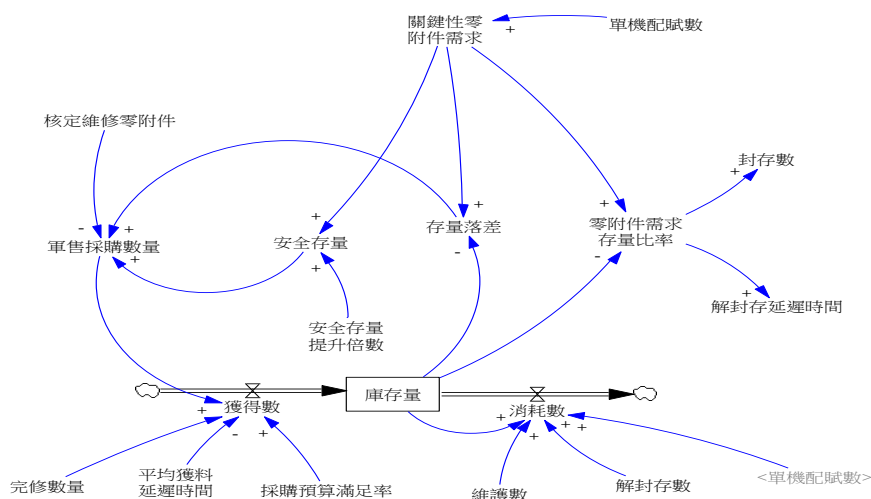
$$x=(11y+10)/8$$

其中x為安全存量，y為零附件年平均故障數，此公式是假設籌獲時間為一年的前提下所推得的近似公式，²⁰但因零附件獲得來源（軍售、國內維修及國外維修）不同，其籌獲時間也有所差異，籌獲時間與安全存量具有正向關係。

核定維修零附件係指已送交國內、外維修，在補給系統產生待收資訊的品件，通常需經一段時間後修復回庫房增加庫存量，故軍售採購數量扣除核定維修零附件數量可得到實際採購需求數量。

獲得數為完修數量加上軍售採購數量，軍售採購數量受到採購預算滿足率的影響，透過陸勤部航保科及零補科資深參謀研討得知，由於預算有限，設定當時主旋翼葉片採購預算滿足率約為50%。現行政策為目標年度前2年製作軍售採購需求計畫，因主旋翼葉片屬於長交期料件，交貨期平均為4年，綜合上述時間故本研究將平均獲料延遲時間設定為6年。另庫存量消耗數係由維護數加解封存數之需求數量，再乘以單機配賦數得知。有關庫存量動態流程圖如圖10所示。

圖 10、庫存量動態流程圖



資料來源：筆者自行整理繪製

(三) 維護工時之量化分析

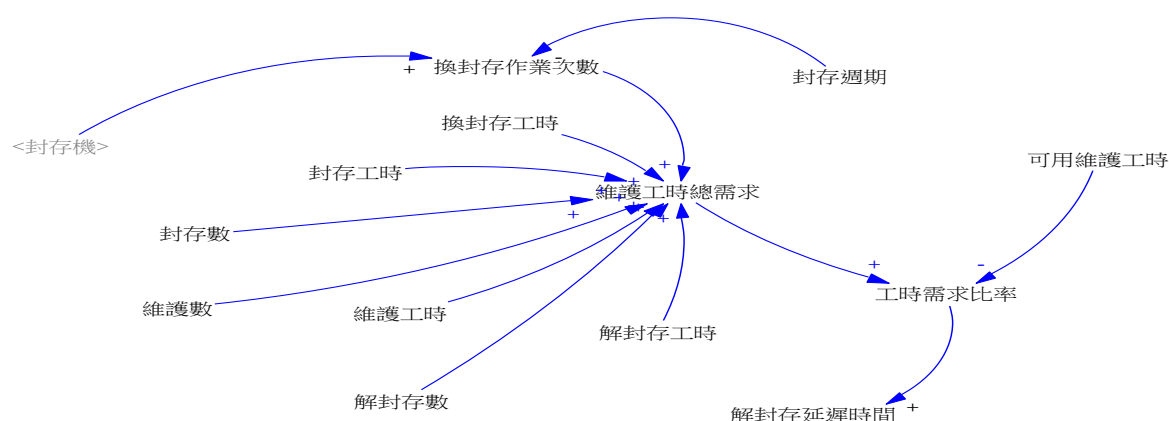
直升機操作後所產生的故障，由保修人員執行一系列的維護作業，包含發工、補給作業、保修作業及工作前中後檢驗。在無封存機的情況下，保修人力可執行常態性保修工作。但當封存機產生後，保修人力須額外執行封存、換封及解封存等保修勤務，經與飛保廠廠長研討後，得知每年從事該型機旋翼系統及封存作業的可用保修人力工時約23000小時。

²⁰ 陸軍司令部，《陸軍航空裝備保修手冊》（台北市：國防部陸軍司令部，西元2016年6月），頁536。

維護作業可透過後勤資訊管理系統(Logistics Information Management System, LIMS)實施資訊面管理，在系統內每一項維護作業賦予一筆工令管制，進而瞭解工時需求。藉由2012年至2016年歷史資料得知，一般維護機的維護工時、封存工時、解封存工時及換封存工時，合計平均每年約兩萬餘小時。另由於現行封存政策規範同一架機不可超過1年，因此本研究將封存週期設定為1。

工時需求比率本研究定義為維護工時總需求除以可用維護工時，當工時需求比率大於1表示工時供不應求，將影響解封存延遲時間。有關維護工時動態流程圖如圖11所示。

圖 11、維護工時動態流程圖



資料來源：筆者自行整理繪製

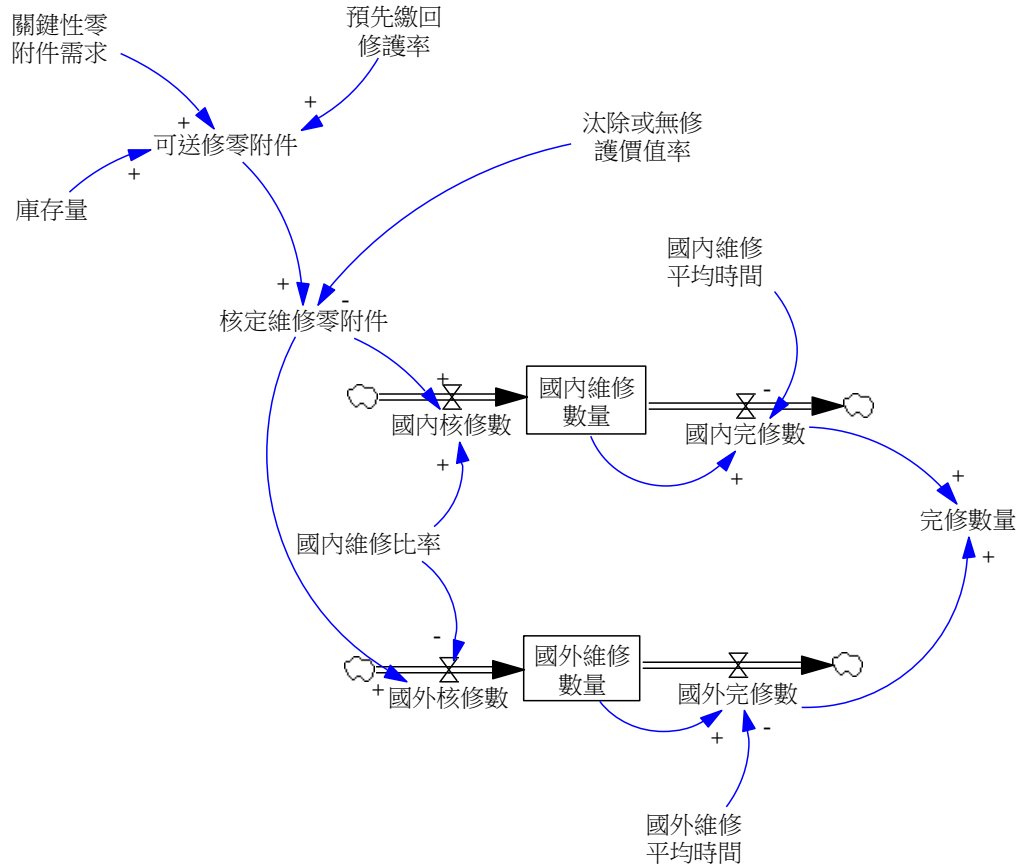
(四) 可修件再生納補之量化分析

本研究探討之可修件原則上申補採「先領後繳」方式辦理，因此依規定在新（堪）品料件獲撥前，不可將故障可修件尋補給體系辦理繳回，但可透過指揮體系由權責單位核准預先繳回數量。依據2012年至2016年飛保廠預先繳回修護歷史資料瞭解，平均值約為0.54，關鍵性零附件需求乘以預先繳回修護率可求得可送修零附件數量。

可送修零附件並非全數進廠維修，須扣除報廢件才為實際之核定維修零附件數量。根據航勤廠修護工單歷史資訊得知主旋翼葉片汰除或無修護價值比例約為35%。

國內維修比率本研究定義為國內維修數量佔核定維修零附件數量之比率，目前主旋翼葉片國內與國外維修數量比例約為6：4，故國內維修比率設定為0.6。由於送交國內合約商修無論運輸、協調及履約監督相較國外更為省時，國內平均維修時間約為1年，而國外維修平均時間約為3年。完修數量為國內完修數與國外完修數量之總和，有關可修件再生納補動態流程如圖12所示。

圖 12、可修件再生納補動態流程圖



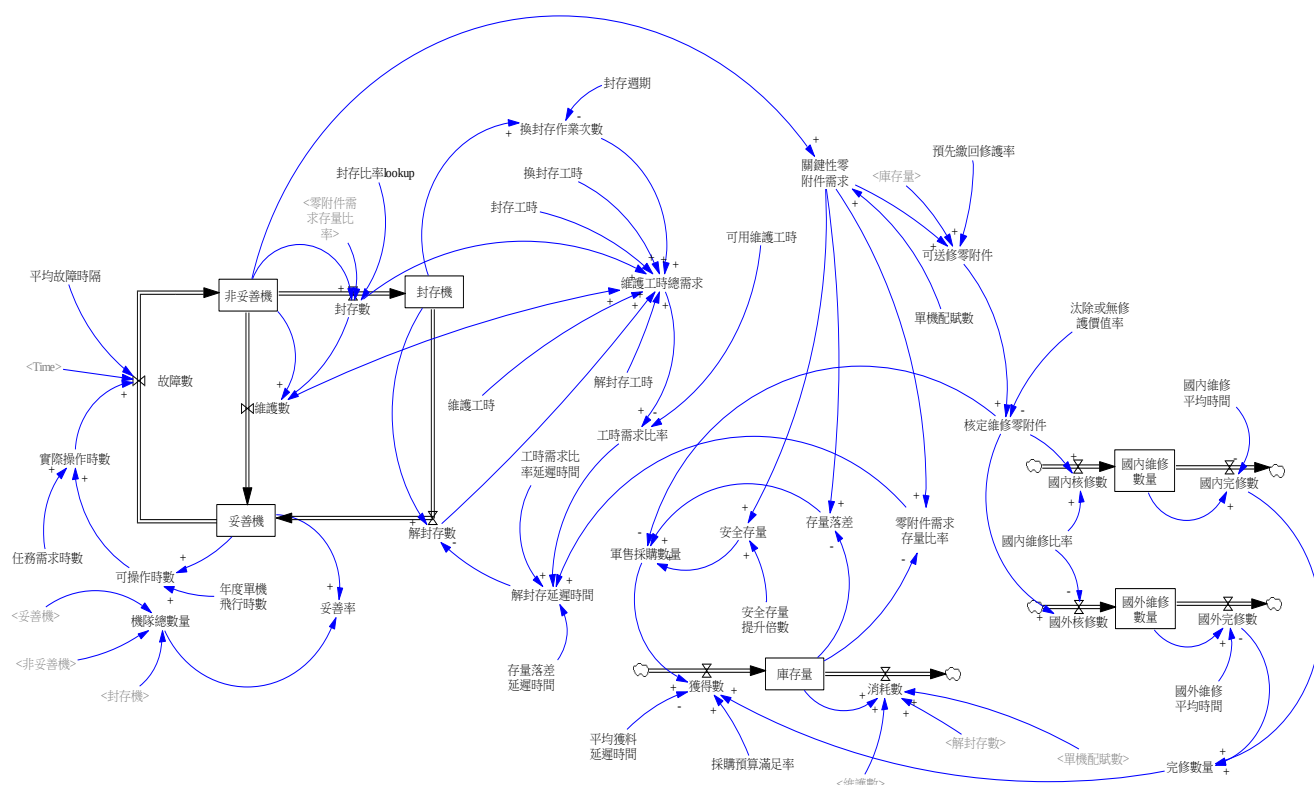
資料來源：筆者自行整理繪製

(五) 直升機維護系統動態流程分析

綜合上述模式及陸航直升機維護系統現況所探討出之運作環路，包含直升機狀態環路、庫存量環路、維護工時環路及可修件再生納補環路等，建構出本整體系統動態流程圖(如圖13)，包括妥善機、非妥善機、封存機、庫存量、國內維修數量及國外維修數量等6個積量變數(Level Variable)，消耗數、獲得數、故障數、封存數、解封存數、維護數、國內核修數、國外核修數、國內完修數及國外完修數等10個率量變數(Rate Variable)，安全存量、妥善率、換封存作業次數、存量落差、關鍵性零附件需求、可送修零附件、核定維修零附件、完修數量、零附件需求存量比率、軍售採購數量、工時需求比率、解封存延遲時間、維護工時總需求、機隊總數量、可操作時間、實際操作時間等16個輔助變數(Auxiliary Variable)，封存比率、平均故障時隔及工時需求比率延遲時間等3個表函數(Table Function)，採購預算滿足率、任務需求時數、年度單機飛行數、預先繳回修護率、單機配賦數、汰除或無修護價值率、國內維修比率、國內維修平均時間、國外維修平均時間、平均獲料延遲時間、安全存量提升倍數、可用維護工時、換封存工時、封存工時、封存週期、解封存工時、維護工時、存量落差延遲時間等18個常數(Constant)，共計53個變數。

藉由Vensim DSS軟體建構動態流程圖，將率量變數、輔助變數、表函數、常數變數等輸入歷史數值後，調整輔助變數即可觀察積量變數之變化。

圖 13、直升機維護系統動態流程圖



資料來源：筆者自行整理繪製

肆、模擬與政策分析

本研究藉由電腦軟體Vensim建構質性與量化模式，透過歷史資料比對及領域專家檢視，並依據Forrester與Senge (1980)²¹及Sterman (2000)²²提出有系統動態模式驗證的方法進行效度測試，主要包括結構測試(Tests of Model Structure)及行為測試(Test of Model Behavior)，另藉由Lewis (1982)²³平均絕對值百分比誤差(Mean Absolute Percentage Error, MAPE)分析方法，進行實際值與模擬值數據之差異分析，模擬結果顯示本模式已具備一定之效度。

近年中共對我國的威脅日益增加，飛機妥善格外顯重要，而封存機難以於短時間恢復妥善，如何增加妥善數與減少封存機數量值得探討，於第參章觀察到採購預算滿足率及安全存量為重要的影響變數，因此本研究政策模擬分析區分兩部分，第一部分調整採購預算滿足率，第二部分調整安全存量倍數，自西元2017年開始調整，模擬分析至西元2026年期間探討其對妥善率及封存機之影響趨勢。

²¹ Forrester J. W. and Senge P. M., Tests for building confidence in system dynamics models. (In: System Dynamics, TIMS Studies in the Management Sciences. New York, NY: North-Holland, 1980), p.209-228.

²² 同註 11。

²³ Lewis, C. D., Industrial and business forecasting methods: a practical guide to exponential smoothing and curve fitting. (London: Butterworth Scientific, August 1982), p.40-43.

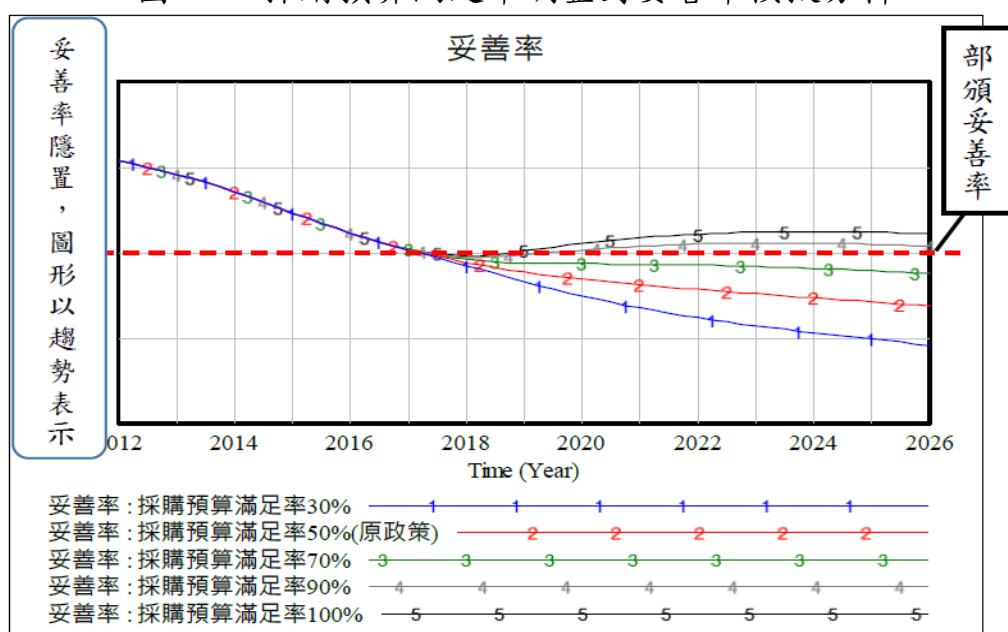
一、採購預算滿足率分析

採購預算滿足率對於零附件採購有正向影響，因此針對採購預算滿足率進行調整，從原政策(50%)調降至30%，再分別提升至70%、90%及100%的情況下，探討對妥善率及封存機之影響趨勢。

(一) 妥善率影響分析

當採購預算滿足率改變後，對妥善率模擬結果如圖14所示。由分析結果可看出，若維持原政策（採購預算滿足率50%），妥善率會呈持續遞減趨勢，至2026年時，其整體妥善率較部頒妥善率（紅色虛線）低3.2%；假設採購預算滿足率調降至30%，到了2026年整體妥善率較部頒妥善率低5.4%，將降低整體戰力；假設採購預算滿足率提升至100%，則到2026年整體妥善率將高於部頒妥善率1.1%。

圖 14、採購預算滿足率調整對妥善率模擬分析

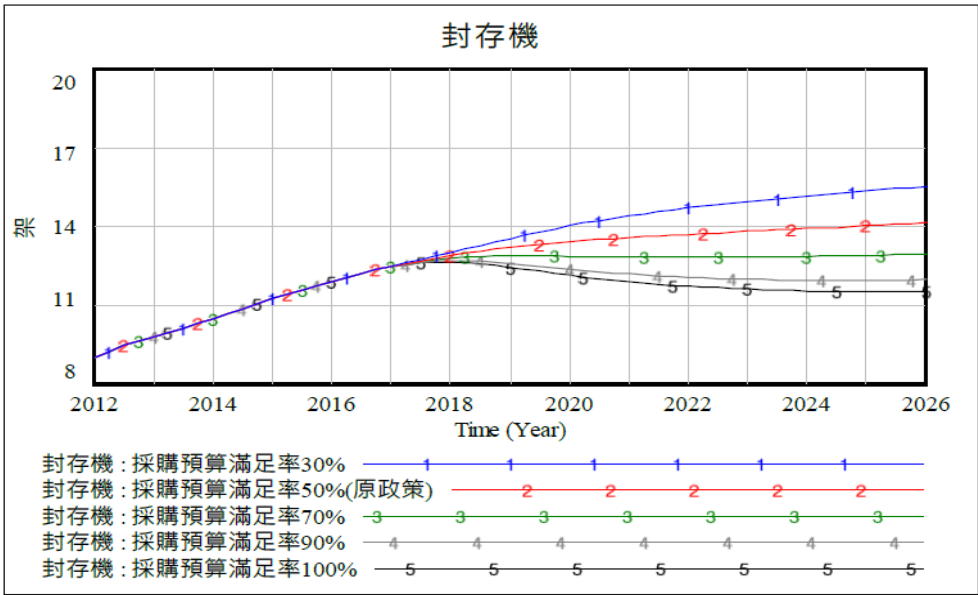


資料來源：筆者自行整理繪製

(二) 封存機影響分析

當採購預算滿足率改變後，對封存機模擬結果如圖15所示。由分析結果可看出，若維持原政策（採購預算滿足率50%），封存機會呈持續遞增趨勢，在2026年時，封存機將平均增加至14.1架機；假設採購預算滿足率調降至30%，到了2026年將平均增加至15.5架機；假設採購預算滿足率提升至100%，則到2026年平均可降至11.5架機，因此增加採購預算滿足率，可降低封存機的數量。

圖 15、採購預算滿足率調整對封存機模擬分析



資料來源：筆者自行整理繪製

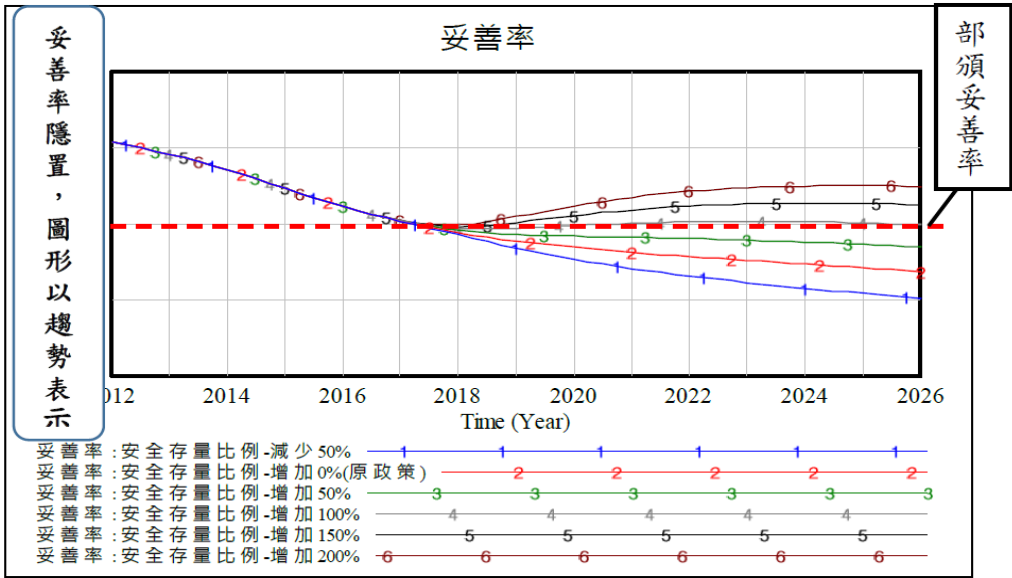
二、安全存量調整分析

本研究探討之關鍵性零附件屬於長交期品項，因此適當的安全存量對直升機系統運作有重要的影響，針對安全存量從現行政策調降減少0.5倍，及增加0.5倍、1倍、1.5倍、2倍的政策下，探討對妥善率及封存機之影響趨勢。

(一) 妥善率影響分析

當安全存量改變後，對妥善率模擬結果如圖16所示。由結果可看出，若維持原政策，妥善率會呈持續遞減趨勢，至2026年時，其整體妥善率較部頒妥善率（紅色虛線）低3.2%；假設安全存量減少0.5倍，到了2026年整體妥善率較部頒妥善率低4.1%；假設安全存量增加2倍，則到2026年整體妥善率將高於部頒妥善率2.4%，有較佳的改善趨勢。

圖 16、安全存量影響妥善率模擬分析

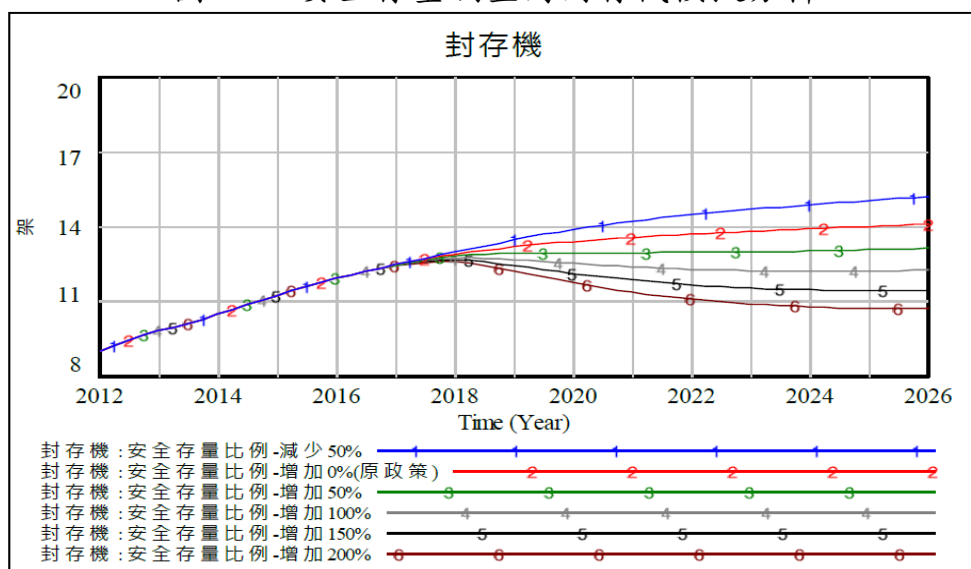


資料來源：筆者自行整理繪製

(二) 封存機影響分析

當安全存量改變後，對封存機模擬結果如圖17所示。由結果可看出，若維持原政策，封存機會呈持續遞增趨勢，在2026年時，封存機平均將增加至14.1架機；假設安全存量減少0.5倍，到了2026年將平均增加至15.2架機；假設安全存量增加2倍，則到2026年平均將降至10.7架機。因此由此可知，針對長交期關鍵性零附件適度增加安全存量，可有效降低封存機的數量。

圖 17、安全存量調整對封存機模擬分析



資料來源：筆者自行整理繪製

伍、結論

在有限的預算下，提供決策者對於投入資源所產生的結果實施分析。調整採購預算滿足率及安全存量等投入之不同，分析對妥善率與封存機數量等觀察變數之發展趨勢及影響，有效的政策調整可使妥善率增加，並減少封存機數量，使飛行員有足夠直升機執行各項戰演訓任務與維持作戰能力。

維持武器裝備妥善及後勤維護之「作業維持」費應視裝備需求及特性適當調整，在機齡逐漸增加，零附件需求有增無減的情況下，適度調整採購預算滿足率從原政策(50%)調整至100%時，在2026年整體妥善率可提升高於部頒妥善率1.1%；封存機平均可降至11.5架機以下。陸航直升機部隊維護所需零附件多數來自向美採購，交貨期較難控制，從主旋翼葉片此類長交期品項觀察到，隨著交貨期程滯延將現行安全存量計算模式做適度增加，則可改善妥善率等趨勢，當安全存量從原政策再增加2倍時，到了2026年整體妥善率可提升高於部頒妥善率2.4%；封存機平均可降至10.7架機以下。

另可觀察到妥善率不見得隨著某種零附件採購投入的成本呈現等比例的線性增加，而是隨著投入的成本增加而成長趨緩，此時可以將資源做適當的調整運用。本研究建構之系統動態模式雖然僅著眼於主旋翼葉片此項關鍵性零附件對該型直升機妥善率之影響，未來決策者可據此模式進行其他機種與關鍵性零附件分析預判妥善率的趨勢。

參考文獻

中文書籍

1. 國防部，《104 年國防報告書》（臺北市：國防部，西元 2015 年 10 月）。
2. 謝長宏，《系統動態學－理論、方法與應用》（台北市：中興管理顧問公司，西元 1980 年）。
3. 韓釗，《系統動力學-探索動態複雜之鑰名》（台中市：滄海書局，西元 2009 年 2 版）。
4. 劉培林，《國防管理與決策分析-系統動態觀點》（台北市：智知學術出版社，西元 2015 年 1 月）。
5. 陸軍司令部，《陸軍零附件補給作業手冊》（台北市：國防部陸軍司令部，西元 2020 年 6 月）。
6. 陸軍司令部，《陸軍航空裝備保修手冊》（台北市：國防部陸軍司令部，西元 2016 年 6 月）。

英文書籍

7. Forrester, J. W., Industrial Dynamics, (MIT Press, Cambridge, MA, 1961) .
8. Coyle, R. G., System dynamics modeling: a practical approach. Chapman and Hall, New York, 1996 .
9. Sterman, J. D., Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world. (Boston: Irwin McGraw-Hill, January 2000).
10. Department of the Army, TM 1-1500-204-23-1, Aviation unit maintenance (AVUM) and aviation intermediate maintenance (AVIM) manual for general aircraft maintenance. (Washington, DC: Department of the U. S. Army Headquarters, July 1992).
11. Naval Air Systems Command . Navair 15-01-500, Preservation of Naval Aircraft. (Patuxent River, MD: Naval Air Systems Command, August 2007).
12. Forrester J. W. and Senge P. M., Tests for building confidence in system dynamics models. (In: System Dynamics, TIMS Studies in the Management Sciences. New York, NY: North-Holland, 1980) .
13. Lewis, C. D., Industrial and business forecasting methods: a practical guide to exponential smoothing and curve fitting. (London: Butterworth Scientific, August 1982).

期刊論文

14. 郭有能，〈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系碩士論文，西元 2013 年 1 月）。

15. 何鵬萬，〈以維修紀錄推估裝備系統可靠度建構維護政策之研究-以海軍艦艇柴油發電機為例〉(國立高雄第一科技大學機械與自動化工程系碩士論文，西元 2011 年 7 月)。
16. 游金珍，〈國軍武器設備維護之問題與對策：採用成效式契約之可行性分析〉(國立中央大學營建管理研究所碩士論文，西元 2014 年 6 月)。
17. 張亦疇，〈武器系統修護人員職能素養與修護績效關聯性之研究〉(朝陽科技大學企業管理系碩士論文，西元 2015 年 6 月)。
18. 詹秋貴，〈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，西元 2000 年 6 月)。
19. 陳美智，〈高階管理政策研議：系統動力學方法論〉《組織與管理》，第 2 卷 1 期，西元 2009 年 2 月。
20. 劉培林、方顯光、鍾曉玉，〈以系統動態學探討我國外購非現役武器系統備份件籌補政策之研究〉《華人經濟研究》，第 11 卷 2 期，西元 2013 年 9 月。
21. 褚志鵬、孫惠民、黃亭凱、莊筱敏，〈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》，第 30 卷 1 期，西元 2009 年 5 月。
22. Sterman, J. D., "All models are wrong: reflections on becoming a systems scientist," System Dynamics Review, Vol. 18, No. 4, (October 2002).

作者簡介



姓名：盧柏諺

級職：中校主任

學歷：空軍航空技術學院二技 94 年班、空軍後勤參謀軍官班 102 年班。

經歷：組長、所長、飛機管制官、現任陸軍航空第六〇二旅飛機保修廠主附件工場主任。

電子信箱：軍網：lu711021@webmail.mil.tw

民網：lu711021@gmail.com