

系統動態模式應用於陸軍 八輪甲車妥善率維持之探討

呂益豪、林正益

提要

- 一、國軍防衛作戰以創新不對稱之作戰思維及「防衛固守，重層嚇阻」軍事戰略指導，阻敵登島進犯，在國土防衛階段，需配合我國的地形及機動性高的裝備，發展出「CM32指揮車」及「CM33裝步戰鬥車」（以下簡稱：八輪甲車），並於2011年至2018年部署於部隊，成為聯合兵種營的主要裝備。
- 二、裝備撥交後，車輛可用度（妥善率）應隨使用時間的增長而下降，整體後勤支援的良窳，將直接影響裝備的使用狀況。本研究針對八輪甲車的妥善狀況實施研析，運用系統動態學，建立因果關係圖，找出影響妥善率之關鍵因素並建構動態分析模型，針對逐年妥善率趨勢、安全存量及獲料時間等三方向研析，對未來維保策略及方向提出建議。
- 三、經由研究結果顯示，該裝備逐年老化，若料件循以往供補模式，裝備的妥善率將低於部頒標準，最佳方案為安全存量基準因應任務適時調整，且獲料時間縮短1個月，可以獲得較佳之妥善率，以符合節省國防資源。

關鍵詞：可用度、整體後勤、安全存量

圖片來源：青年日報



壹、前言

國軍的兵力結構，依「打、裝、編、訓」之思維，規劃三軍部隊之類型及組織，¹其中「打」的需求來自於「國軍十年建軍構想」，展望未來作戰需求以及國防科技發展趨勢，進而發展出符合未來作戰需求之武器裝備，而國人研發的八輪甲車，由軍備局生產製造中心、中山科學研究院及工業技術研究院等國內研究及產業機構共同研製而成，展現我國防科技成果。自2011年起撥交部隊使用，後續將如何維持較高的可用度將是本研究的重點。

依近代戰爭型態的發展，高科技武器的運用已是未來的趨勢，國防部依《國防法》第22條及行政院「5+2產業創新計畫」之指導，積極自力研發、產製及維修所需武器裝備；另制定《國防產業發展條例》，鼓勵國內具產製能力廠商投入國防產業供應鏈，達成振興國防產業、促進經濟發展及堅實國防自主之目標。²陸軍持續量產新一代的輪型甲車，部署在各聯兵旅，

未來將以輪型甲車取代大部分的履帶型甲車，目前八輪甲車從第一批接裝單位起算，使用已逾10年，裝備的妥善率仍訂於90%，³如何在不影響單位任務及戰備演訓中維持高妥善率，值得探討與研究。

貳、文獻探討

一、可靠度浴缸曲線

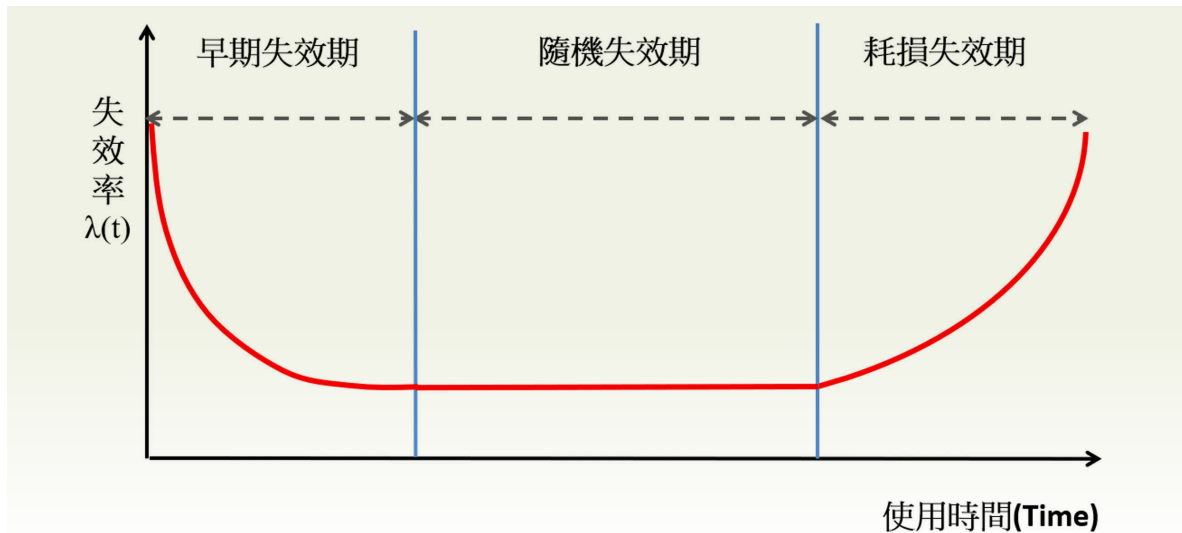
當武器裝備部署成軍後，會隨著使用時間的增長，而影響失效率，以武器裝備整個壽期的失效率作區別，在出廠後失效率會隨時間變化，可區分3個時期，第1個時期為早期失效期，其失效率函數隨使用時間呈現遞減狀態，第2個時期為隨機失效期，其使用時間概為武器系統的中期，失效率固定，第3個時期為耗損失效期，為武器系統之後期，其失效率會隨時間逐漸上升。⁴因為失效的曲線類似浴缸形狀，故稱為浴缸曲線（Bathtub Curve），也稱為標準的失效率曲線，如圖一所示。特別適用於電子系統失效情形，這兩者關係又可

1 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62-63。

2 同註1，頁87-89。

3 呂昭隆，〈國防部：雲豹甲車妥善率高於標準〉，中時新聞網，<https://www.chinatimes.com/realtimenews/20151008005829-260407?chdtv>，檢索日期：民國109年10月5日。

4 張起明，《可靠度工程與管理手冊》（臺北：中華民國品質學會，西元2011）。



圖一 浴缸曲線

資料來源：註6

稱為可靠度浴缸曲線；⁵失效率在浴缸曲線中，會隨著時間的變動而有所改變，相關說明如下：

(一) 早期失效期

此時期發生於武器裝備壽命初期，從生產線製成後，於短時間內所造成失效次數較高，隨著時間增加會逐漸穩定，此區域失效率函數呈遞減狀態，造成早期失效的原因，多為先天性工藝不良、製造裝

配不正常與生產缺陷等問題，故隨著時間增加，不良品的維修或更換，使其失效率下降，而趨於正常之設計失效率。⁷針對武器裝備在早期失效期中，測試評估人員仍需監控武器裝備的使用狀況，利用環境應力篩選出隨機失效期的設計缺陷，予以更換及修正。⁸

(二) 隨機失效期

在浴缸曲線的中間部分，失效率最低

- 5 Georgia, A. K., Peter, C. K., M, A. Wortman., A Critical look at the bathtub curve. IEEE transactions on reliability (United States of America), Vol. 52, No.1 (2003, March), 125-129.
- 6 呂益豪、林正益〈以系統動態學觀點探討陸軍八輪甲車妥善率維持之研究〉《2021年第29屆國防管理學術暨實務研討會論文集(中)》(桃園：國防大學管理學院，2021年6月)。
- 7 徐銘鴻，〈液晶顯示器產品電子元件可靠度預估方法與試驗之研究〉(臺南：國立成功大學工學院工程管理在職專班碩士論文，西元2008年)，頁19-20。
- 8 胡家榮，〈運用系統化可靠度方法評估軍用裝備妥善率〉(臺中：逢甲大學工業工程與系統管理學系在職專班碩士論文，西元2018年)，頁6-8。

且幾乎保持為常數。武器裝備失效原因大多不是因裝備設計的缺陷所致，而是來自於意外事故所發生，如突然的過大負荷（高強度）造成機械故障、電子設備瞬間電流過載所造成的系統失效或因天候等自然外力產生失效，如雷擊、地震、溫度及濕度等變化，所引起之負載超過設計強度而引發之失效。⁹

（三）耗損失效期

此時期位於浴缸曲線右側，失效率隨時間的增加而遞增，主要是受老化或累積損耗的影響，如腐蝕、疲勞及磨耗等，造成機械零件強度或硬度的退化，所造成之失效，在武器系統中，此時期通常為不定期發生失效。¹⁰

二、武器裝備失效判別

本研究主要在構建八輪甲車妥善率維持之動態模式，故首先針對妥善率相關之文獻進行回顧，引用國內學者提到，可靠度技術在先進工業國家而言，是伴隨航太工業發展而一起成長的技術。從1945年起，航空工業開始走向噴射時代，各種相關技術開始突破發展，對於可靠度的要求逐漸提高。可靠度技術發展約於1950

年代，美國為解決前線戰場之極低的裝備開箱存活率與過高的維修備份零件需求，使得美國國防部開始重視裝備可靠度的問題，並於1952年特別成立電子系統可靠度顧問小組（Advisory Group on the Reliability of Electronic Equipment, AGREE）處理軍品的可靠度問題，¹¹而AGREE對「可靠度」的定義為裝備於既定的時間內，在特定的工作與環境條件下，執行特定性能或功能，圓滿成功達成任務的能力或機率。可靠度主要是確定一個系統在一個特定的運行時間內有效運作的概率與標準，可靠度是要求系統在長期反覆使用過程中不發生或少發生失效，且處於高可用的時間長；其需求在以工程分析方法和歷史統計數據提出系統性能建議，而其中有三種最為廣泛衡量可靠性的參數，分別為平均故障間隔時間（Mean Time Between Failure, MTBF）、平均修復時間（Mean Time To Repair, MTTR）與故障前平均時間（Mean Time to Failure, MTTF），但我們主要探討MTBF與MTTR，在既定時間可操作系統的數量。¹²

國軍針對可靠度與維護度的定義，

9 同註7。

10 同註7。

11 彭鴻霖，〈可靠度技術手冊-可靠度管理技術〉，bzxzk，<http://bbs.bzxzk.net/attachment.php?aid=19139&down=1>，檢索日期：110年3月1日。

12 同註8，頁12。

可以引述依「國軍○○後勤支援教則」，可靠度 (Reliability) 係指在任意指定的時間點及運作條件下，此系統不會發生故障且能發揮其正常功能的機率，稱為瞬間 (Instantaneous) 可靠度；在任意指定的一段時間內及相同運作條件下，此系統不會發生故障且能發揮其正常功能的機率，稱為累積 (Cumulative) 可靠度。實務上，可靠度通常指累積可靠度，以百分比表示。可靠度是需要被預估與分析，其結果為進行「後勤支援分析」所需之必要輸入資訊，而後勤支援分析則是決定系統支援度之主要工作。任何系統裝備，若缺少「可靠度設計」，則必然缺乏後勤支援之有效配合，而使系統設計，製造難以達成原預期目標。就整體後勤支援的觀點而言，系統可靠度乃是決定「維修頻率」的主要因素，可靠度的統計數值，通常以平均故障間隔時間 (MTBF) 表示，泛指可維修之裝備，其兩次相鄰故障點，平均工作時間。而維護度 (Maintainability) 又稱維修度，其定義為執行維修行動的容易、準確、安全及經濟的能力、程度或度量標準，其武器系統不定期損壞時，在既定之維修層級，由合格之專業人員，經律定之作業程序與後勤資源，維護修復至所要求之程度，通

常以平均修復時間 (MTTR) 表示。¹³

可用度 (Availability)，亦稱妥善率 (Readity)，是一種用比例或機率來評估度量當執行任務時某個系統備用的程度，與系統的可靠度及維護度的設計有密切關係，根據國外學者 John, W. P. 提到，妥善率代表儀器設備，可以被使用的時間比例，與產品可靠度 (Reliability) 有關，可靠度越高，MTBF 就越高，可用度亦越高。¹⁴ 一般以固有可用度 A_i (Inherent Availability) 表示，其計算方式為： $A_i = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR})$ ，然而， A_i 代表的是在維修的時候，沒有後勤延遲時間 (如缺料、人力不足等) 與行政延遲時間 (如技術探討、公文傳遞、開會延誤等)，是一個理想的支援環境，所以另須考量運作可用度 A_o (Operational Availability)，其計算方式為： $A_o = \text{MTBM} / (\text{MTBM} + \text{MDT})$ ，其中 MTBM 為平均維修時間 (Mean Time Between Maintenance)，MDT 為平均維修進行與停頓時間 (Mean Down Time)，表示執行有效維修及消耗於無效維修 (如後勤等待及行政延遲等) 的平均時間。上述可用度，以運作可用度受支援度規劃的影響最大；在武器部署服役階段，因整體後勤支援體系的運作效能受主客觀環境影響，如人為操作或維修時間等，實際運作可

13 國軍○○後勤支援教則 (國防部)，民國104年12月29日，頁4-2-25-26。

14 John, W. P., *Engineering Design for Producibility and Reliability* (United States of America: CRC Press, 2001)

用度往往會低於規劃的運作妥善率，¹⁵綜上所述，本研究蒐整方向為八輪甲車某項功能無法正常運作，影響操作及任務執行之維修資料，其妥善率計算方式為：妥善率＝（八輪甲妥善車數/八輪甲車總車數）×100%。

三、陸軍後勤維修階層

國軍保修支援體制架構原採行美軍三段五級設計，專業分工、體制龐大為其特點，然而在政策的演變下，為達到精進補保作業效率，陸軍於1994年「精實後勤體制」案中，將原專業化保修編組調整為地區職能化編組，即現行的三段式保修體制：單位階層（O-LEVEL）、野戰階層

（I-LEVEL）及基地階層（D-LEVEL）。¹⁶單位階層的執行單位（一、二級）為各裝備所屬的單位（一級）及二級廠，依陸軍的相關規定，須針對裝備實施定期及不定期的維保任務；¹⁷另野戰階層維修的執行單位為各聯兵旅級所屬的保修連以及各地區聯保廠，針對二級廠無法執行項目實施修護，也就是說，二級廠執行維護時，如維修項目已逾二級廠修護權責，則交由野戰階層實施；基地階層是由陸勤部所下轄的基地廠庫單位負責，執行任務針對裝備翻修任務或逾野戰階層修護權責項目實施，如表一所示。

在陸軍○○教範中，明確定義基地階

表一 陸軍三段式保修體制

保修階層	級別	保修（養）單位	備考
基地階層 D-LEVEL	五級	基地廠	兵整中心 汽基廠 通基廠 飛勤廠 航勤廠
野戰階層 I-LEVEL	四級	聯保廠	
	三級	保修連或聯保廠	
單位階層 O-LEVEL	二級	二級廠	
	一級	連級	車屬單位

資料來源：同註6

15 同註13，頁4-2-29-31。
16 蔡榮暉，〈國軍三段式保修體制簡併為二段式保修體制之研究〉《聯合後勤季刊》（桃園）第29期，民國101年5月，頁54。
17 陸軍○○駕駛操作手冊（國防部陸軍司令部），民國100年11月8日，頁4-1-7。

層保修其任務係藉完善工廠設備與高級技術人員，翻修主要裝備軍品，並製造部分零配件以修成繳庫之原則，承接部隊及循補給系統繳回之主要裝備及零附件予以納補，並對下級保修支援單位予以技術協助及輔導訪問。¹⁸就各式輪、履車裝備而言，其基地階層，分別由汽基廠及兵整中心實施維修，而八輪甲車屬於輪車，惟就其特殊性來說，其基地階層包含了汽基廠及兵整中心。根據本研究蒐整資料，八輪甲車維修狀況，大部分於野戰階層即可修復，故本研究將針對野戰階層-聯兵旅級所屬的保修連，執行八輪甲車不定期修護執行情形實施探討。

四、裝備保修管制流程

依照國軍補給作業規定，新式武器裝備籌購階段，計畫部門皆應採購二年的初次備份料件，支應裝備維持保養所需，爾後的保修用料，應由後續維持部門檢討籌獲。初次備份料件的採購項量，係依循原廠或美軍提供的組件平均故障間隔時間（MTBF）、使用經驗，而後續採購料件的項量，則由需求單位，依照消耗經驗常數、定期保養料件需求及裝備組件平均失效率等資訊計算，充分考驗需求單位料件需求的預估作業能力。初次備份件用罄

後，應依「陸軍○○補給手冊」作業規定，料件申補由需求單位，以補給資訊系統依程序向上提出申請，如野戰階層維修單位因庫房沒有存量，向上提出料件申請，基地廠庫接收相關資訊後，有存量則立即撥發，若無存量則循採購程序辦理採購事宜，¹⁹另有部分料件，礙於經濟成本考量，通常要累積一定數量才辦理採購，顯現出裝備故障後，無法及時完修，而延長待料的時間。上述經由使用單位提出維修申請，直到接收到料件所需的時間外，交貨驗收的程序與運輸的期程亦會影響待料的時間，進而影響裝備妥善率。

以飛機為例，飛機的檢修尤重於飛安，因此在維修上有一定的嚴謹程度，經國外學者Oliver等4人提出，部分飛機故障是無法預期的，故未能建立足夠數量的備用料件及維修能力，因此，會有延遲修復的狀況發生，須尋求獲料或建立維修能力。另造成飛機零件短缺的原因有：可靠度、需求、存量、維修時間、申請與撥補時程，同時說明能夠掌握料件的可靠度，便可預先建立存量或維修能量來因應，而有效降低停飛待料的狀況，縮短料件的籌補時效。²⁰

18 陸軍○○教範（國防部陸軍司令部），民國104年8月6日，頁1-55。

19 陸軍○○補給手冊（國防部陸軍司令部），民國109年6月3日，頁5-107-133。

20 Oliver, S. A., Johnson, A. W., White, E. D. III & Arostegui, M. A., Forecasting readiness: Regression analysis techniques. Air Force Journal of Logistics (Gunter AFS), Vol. 25. (2001).

參、研究假設

本研究以八輪甲車為對象，該裝備大部分布署於陸軍聯兵旅級單位使用，相關的研發人員或單位使用人員，均期望能掌握裝備使用資訊，如裝備性能是否達到設計標準？裝備的後勤補保與妥善狀況是否滿足使用需求等。這些資訊的蒐整及建立，均需要經過長期時間的資料蒐集、分析。本研究為將關鍵因子聚焦，並區分二個階段分析，第一階段藉由文獻探討，歸納出關鍵因子，第二階段將歸納出來的關鍵因子實施專家訪談，以確認關鍵因子，

所訪談之「專家」以負責裝備維保及妥善率管制為主，均具有資深業務執行經驗之人士，另訪談單位層級區分三個層級，其中政策業管單位為陸軍司令部及陸勤部；管制單位為軍團、地支部及聯保廠；執行單位為G單位業管保修業務相關人員（如表二），均具有一定的年資及專業，有助於本研究分析出影響妥善率之關鍵因素。

第一階段：就裝備的檢修而言，Oliver等4人提出，故障是無法預期的，需尋求獲料或建立維修能力；²¹就支援（維修）單位而言，葉智瑤（2017）²²提出，保修作業成功的關鍵因素以零件庫存不缺料為首

表二 訪談專家背景資料

項次	服務單位	職務	年資
1	陸軍司令部後勤處	中校參謀	20年至24年
2	陸軍司令部後勤處	少校參謀	16年至20年
3	陸勤部保修處	中校參謀	20年至24年
4	陸勤部保修處	上尉參謀	10年至15年
5	○軍團後勤處	少校參謀	10年至15年
6	○支部	少校參謀	16年至20年
7	○聯保廠	中校主管	20年至24年
8	G單位	少校參謀	16年至20年
9	G單位	士官長業務士	16年至20年

資料來源：本研究整理

21 同註20。

22 葉智瑤，〈保修作業關鍵成功因素之研究—以六軍團所屬保修連為例〉《陸軍後勤季刊》（桃園），106年第1期，民國106年2月，頁56。

重，修護士的熟練度次之，收工時打掃環境再次之；就客戶（送修）單位而言，劉世琪（2003）²³提出，車主在汽車維修過程中較在意保養廠是否有充足的料件，接待人員能和顧客溝通。

第二階段：將第一段文獻歸納後，實施專家訪談，訪談後得知，在相關業管單位、維修單位及送修單位，均認同能夠迅速修復裝備，才能因應國軍的任務遂行，而影響裝備修復的主要因素，均表示維修的「料件」佔最大的成因，而人員的技術層

面次之，其他因素再次之，其中以料件的獲得及存量能左右裝備修復的時效（如表三）。本研究認為保養技術及其他因素均有替代方案得以解決，惟保養所需用料如未獲得，影響裝備妥善甚鉅，因此，將重點置於料件的獲得與存量來探討，並將政策完整、料件籌補經費、核撥速度、維修人力及維修技術列為本研究限制因素，列入後續探討研究方向，以縮小研究範圍。探討維修單位從不定期維修至獲料系統的因果關係，並運用模式模擬的建構，透

表三 八輪甲車妥善率維持質性分析

關鍵因素		訪談結論
料件獲得		攸關裝備恢復妥善時效，能左右裝備完成修復的時間，料件獲得時間越短，修護人員維修越快，即越快恢復妥善；本項因素與料件存量、核撥速度、採購程序、預算獲得及上級政策息息相關，考量層面較廣泛。
保養技術		裝備修護時，維修人員必備之技能，年資較資深之維修人員，可立即瞭解損壞之處，正確實施檢修作業，並迅速申請需求料件，另在單位修護技術能力不足時，可透由基地廠或地區聯保廠實施支援，以提升維保能量。
其他因素	存放地點	裝備的存放地點大致上區分兩類，一為露天儲放，一為室內儲放，前者因無遮避物，故在裝備保養上須留意保養檢查出來的結果，惟露天並無相關數據顯示較易損壞，但潮濕環境有機會使機油進水氣並造成乳化，惟可透過定期保養予以處理；另室內儲放可停放於鋼棚或水泥建物，可以給予裝備適當保護，提高可用度。
	廠房設備	裝備進廠實施定期保養或不定期保養所需要之設施（備），當維修廠房之設施（備）及工具充足時，能提供完善之維修品質，以目前使用之一般工具及設備，可藉由民間賣場獲得，在特種工具部分，由陸勤部協助獲得，在未獲得料件之單位，可協調鄰近單位調借，以完成維保任務。

資料來源：本研究整理

23 劉世琪，〈應用資料挖掘探討顧客價值—以汽車維修業為例〉（臺中市：朝陽科技大學工業工程
管理系碩士論文，西元2003年），頁78。

過電腦資訊軟體的運算，可建立一近似的資料庫，只要建立的模型及輸入的參數，越能接近實務，其研究結果越能仿真，應能提供管理者決策之參考。

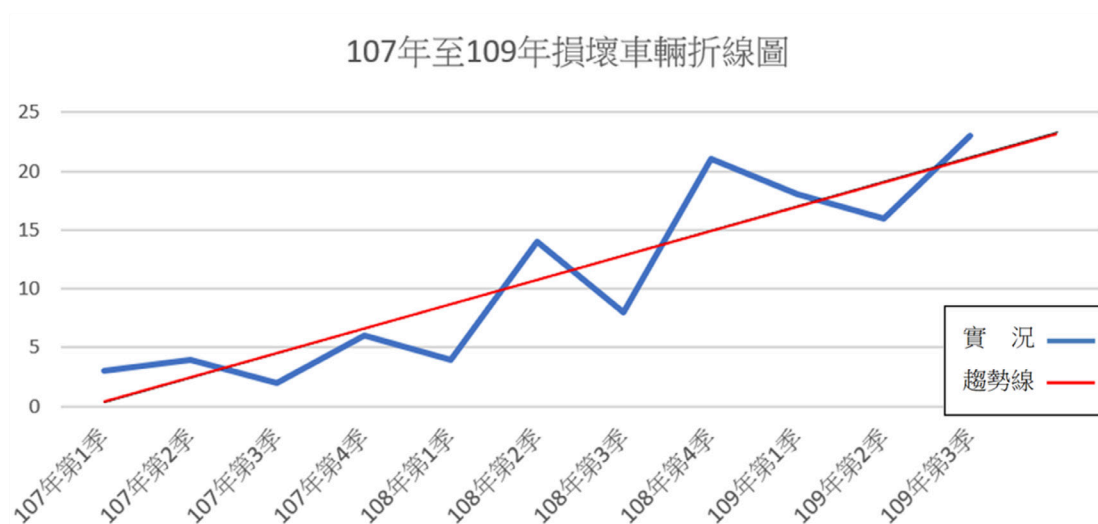
以北部地區G單位為例，取樣G單位50輛八輪甲車相關料件申請情形，得知可使裝備某部分功能失效，造成停用之料件概為50項，本研究視為關鍵性料件，當使用乙輛八輪甲車之車號，所申請關鍵性料件達1件（含）以上，即視為非妥善車輛。但是實況中，部分車輛申請關鍵性料件不全然代表非妥善，其原因有料件屆壽期預

先提出申請，或因任務需求申請等因素，為求嚴謹，本研究認定申請關鍵性用料即為非妥善車輛，另因故障車輛用料需求數不一，經分析相關數據，進廠裝備平均更換2點多件，因此，本研究軟體採隨機申請1至4件，平均亦為2點多件，以模擬情境，所申請之料件，約有70%為一般料件（延遲3個月獲料），另30%為經濟批量採購料件（延遲6個月獲料），因此在模型中設定申購的料件，70%為一般料件，30%為經濟批量採購料件，以下為本研究案例單位之分析如表四：

表四 研究案例車輛進廠分析表

年份	季別	進廠車次	合計
107年	第1季	3	107年共累積進廠15筆（車次）資料，平均每月進廠1.25車次
	第2季	4	
	第3季	2	
	第4季	6	
108年	第1季	4	108年共累積進廠47筆（車次）資料，平均每月進廠3.92車次
	第2季	14	
	第3季	8	
	第4季	21	
109年	第1季	18	109年共累積進廠57筆（車次）資料，平均每月進廠6.33車次（本研究資料蒐整至109年第3季，故平均值以前3季計算）
	第2季	16	
	第3季	23	
	第4季		

資料來源：同註6



圖二 107年至109年損壞車輛統計折線圖

資料來源：本研究繪製

設定取樣數為50輛，將近3年關鍵性料件申請狀況（定期保養及不影響整體性功能維修不列計）篩選後，得出故障車輛數，將系統失效的統計數據，輔以Excel的計算函數轉成公式，可以得到一個一次的線性趨勢線（如圖二），以獲得損壞車數上升率的變數設定。

肆、研究方法

一、系統動態學

系統動態學（System Dynamics，簡稱SD；又稱為系統動力學），可以視為一種研究工具或理論，它是由美國麻省理工學院（Massachusetts Institute of Technology，

M.I.T.）Jay W. Forrester教授於1956年應用回饋控制理論，所創造出來的科學方法，經由分析系統內部變數間的關聯與情資回饋，並建立有正、負因果關係的回饋環路，藉電腦運算實施動態量化模擬，以處理隨著時間變化的複雜問題。²⁴

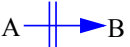
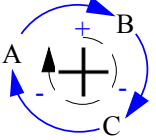
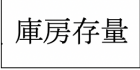
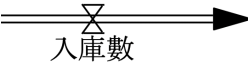
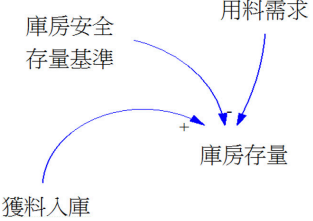
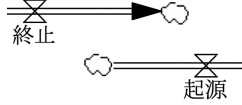
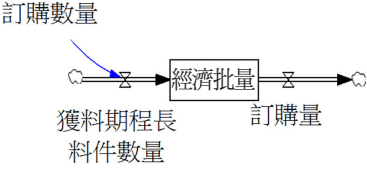
系統動態學運用在管理決策系統最基本與關鍵的動態控制概念，是以數學語言一階或多階導函數，呈現系統複雜問題的回饋結構、因果關係及滯延效果；而系統動態學模型的基礎正是以因果回饋圖（Causal-Loop Diagram）表達出系統變數間的因果關係。動態模式建模元件包含率量（流量；Rate）、積量（存量；Stock）及輔助變數（內、外生變項；Auxiliary）等，²⁵

24 劉培林，《國防管理與決策分析—系統動態觀點》（新北市：致知學術出版社，西元2015年1月）。

25 陶在樸，《系統動態學》，（臺北：五南圖書，西元2008年）。

有關元件及說明如表五所示。武器裝備維護管理等相關議題，包括產業研究、²⁶國軍的人力管理、後勤政策、科

表五 系統動態學主要元件圖示說明表

名稱	符號	說明
因果關係		A、B為有因果關係的變數，中間以箭頭符號表示關聯。
時間延遲		A至B為有因果關係的變數，需要有時間的延遲，中間以箭頭加上兩條橫線符號表示。
因果關係環路		A與B間的因果關係為正相關，即給予「+」的符號，B與C間的因果關係為負相關，即給予「-」的符號，環路中「+」及「-」的符號加總為偶數為增強環路，若「-」的符號加總為奇數時，則為穩定環路。
積量		積量 (Level) 為在某一個時間點，由率量之流入量與流出量的差額累積。
率量或流量		率量 (Rate) 指單位時間內積量之改變量 (單位量/單位時間)，具有方向性，可使積量增加或減少。
輔助變數或常數		輔助變數 (Auxiliary) 為積量與流量的輸入參數，能將某種輸入值轉化某種輸出值。
源頭及淵池		流量的起源以及終止處，均以「雲狀圖」表示。流量起源稱為源頭 (Source)；流量終點稱為淵池 (Sink)。
流程圖		將變數給予量化後，與積量及率量相互連結的關係圖，作為建立模型的基礎。

資料來源：本研究整理

26 蕭志同、戴俞萱、柳淑芬，《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，西元2010年）。

技、安全與財務政策等，²⁷因此本研究採用系統動態學，並針對八輪甲車維護系統特性，建構系統動態分析模式，進行相關之研究。

二、因果關係環路

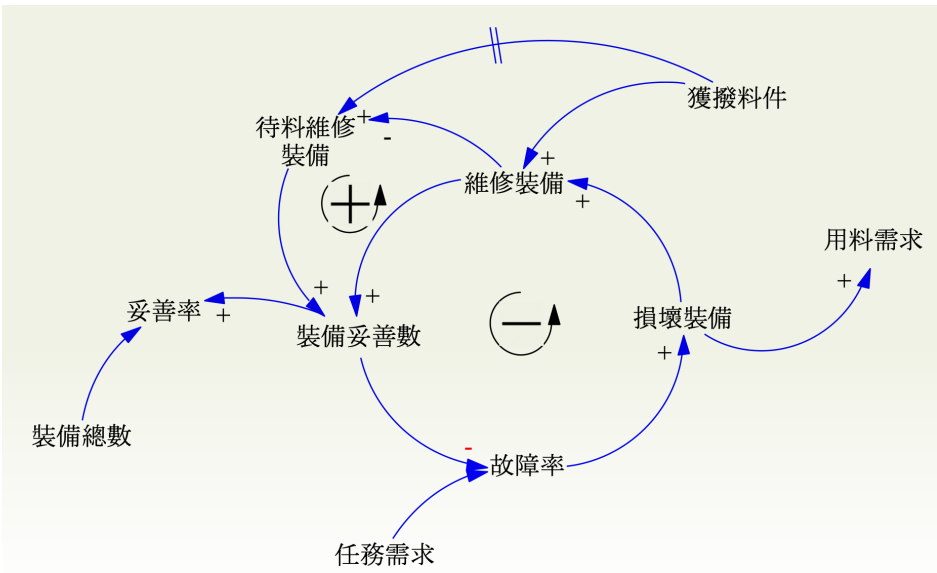
(一) 故障裝備因果關係環路

近期國軍重大演訓（如：漢光演習、聯勇操演或救災支援）參演狀況，屢屢可從電視媒體上了解其演訓成果，而畫面上看到的就是人員及裝備平時精勤訓練所展現出來的情形，就後勤而言，參演裝備的妥善率為最重要的一環，當八輪甲車總數量為一固定值，妥善車數越高則妥善率也越高。任務需求時數越高，隨著實際操作時數的累積，裝備的損壞程度亦隨之

提高，所發生的故障零附件情形就越多，導致故障車輛越多。故障裝備無法執行任務，因此必須進廠執行維修作業，透過料件申補及維修作業，使八輪甲車恢復妥善狀態，進而增加妥善裝備，亦使故障率降低，而形成一個負向環路圖。另維修裝備越多，料件申請數則隨之增加，料件庫房撥發用料如無法滿足維修裝備，則維修裝備將會形成待料維修裝備，故維修裝備好的越多，累積的待料維修裝備越少，如同一個滾雪球的方式越來越大，形成一個正向的因果關係環路。上述相關狀態之關係，如圖三所示。

(二) 庫房存量因果關係環路

隨著損壞裝備的發生，由維修人員檢修後，發現料件故障情形，即向料件庫房申請用料，而用料需求申請的越多，庫房的存量就越少，產生了負向的相互影響關係，另外庫房存量不足時，透過各種獲料的手段（如採購），使庫房的存量提升，進而可以核定更多的撥發數，以滿足維修單位的需求，形成一個正向的相互影響關係。



圖三 故障裝備因果關係環路圖

資料來源：同註6

27 同註24。

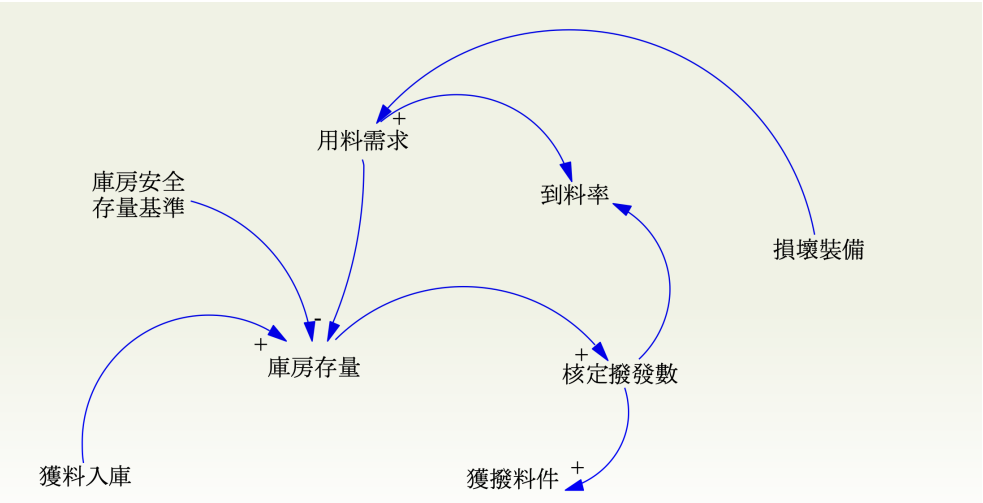
上述相關狀態之關係，如圖四所示。

(三) 訂購數量因果關係環路

當料件持續滿足部隊需求時，庫房存量將隨之下降，存量採購差異也越大，反之，庫房存量越多，存量採購差異越小，訂購數量就越少，因此，庫房存量與存量採購差異存在著負向的相互影響關係，而隨著存量採購差異的發生，即產生訂購數量，本研究將一般料件設定為延遲3個月交貨，另經濟批量之貨品，則因廠商僅接受大量訂單或是相關零件獲料困難等因素，須先行累積至一定需求量後，再辦理下訂交貨事宜，本研究將累積經濟批量設定為延遲6個月交貨，當上述的料件採購越多，獲料入庫亦越多，不同之處僅限於獲料時間長短，而訂單下的越多，獲料入庫的存量就增加，並進入庫房存量管制撥發，為一個正向的相互影響關係，整體環路形成一個負向的因果關係環路，如圖五所示。

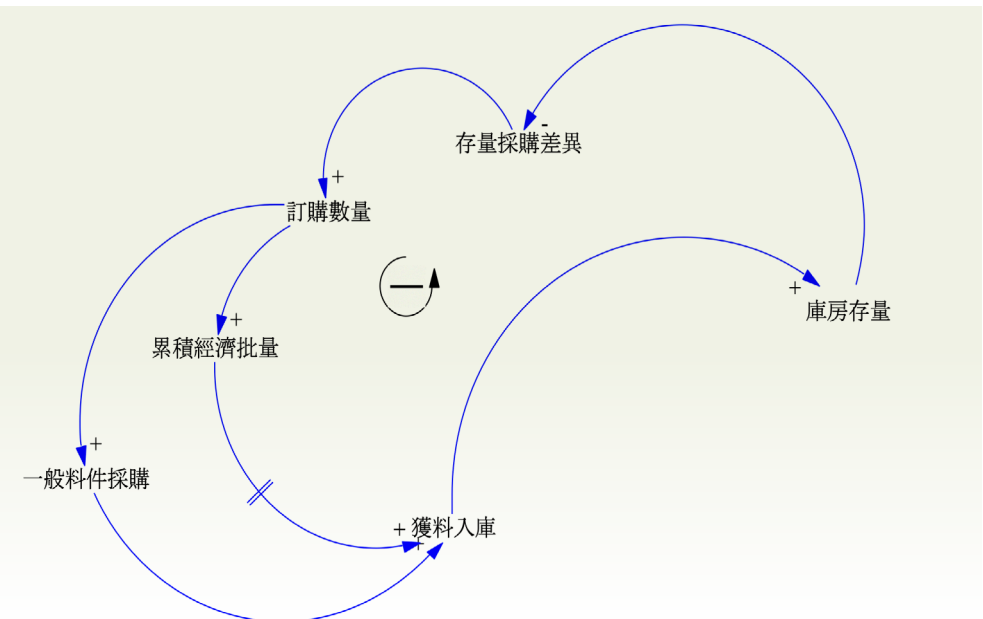
(四) 裝備維修系統因果關係環路

綜合前述，當裝備反映故障時，代表裝備上的零件須實施檢修及更換，由補保人員獲得料件實施修復，庫房存量將隨之下降，且存量下降到達一定基準值後，即



圖四 庫房存量因果關係環路圖

資料來源：同註6



圖五 訂購數量因果關係環路圖

資料來源：同註6

辦理採購作業，廠商交貨後補充到庫房，如此周而復始，形成系統動態學的因果循環關係環路圖（如圖六）；其中包含故障裝備因果關係環路圖，由維修裝備構成負向環路圖及待料裝備構成正向環路，另加上庫房存量因果關係環路圖構成負向環路與負向的訂購數量因果關係環路圖。由下圖可知，裝備故障產生用料需求，納入維修程序後，用料需求與核定撥發數形成到料率，而到料率與裝備妥善率是正向關聯。

三、量化模式

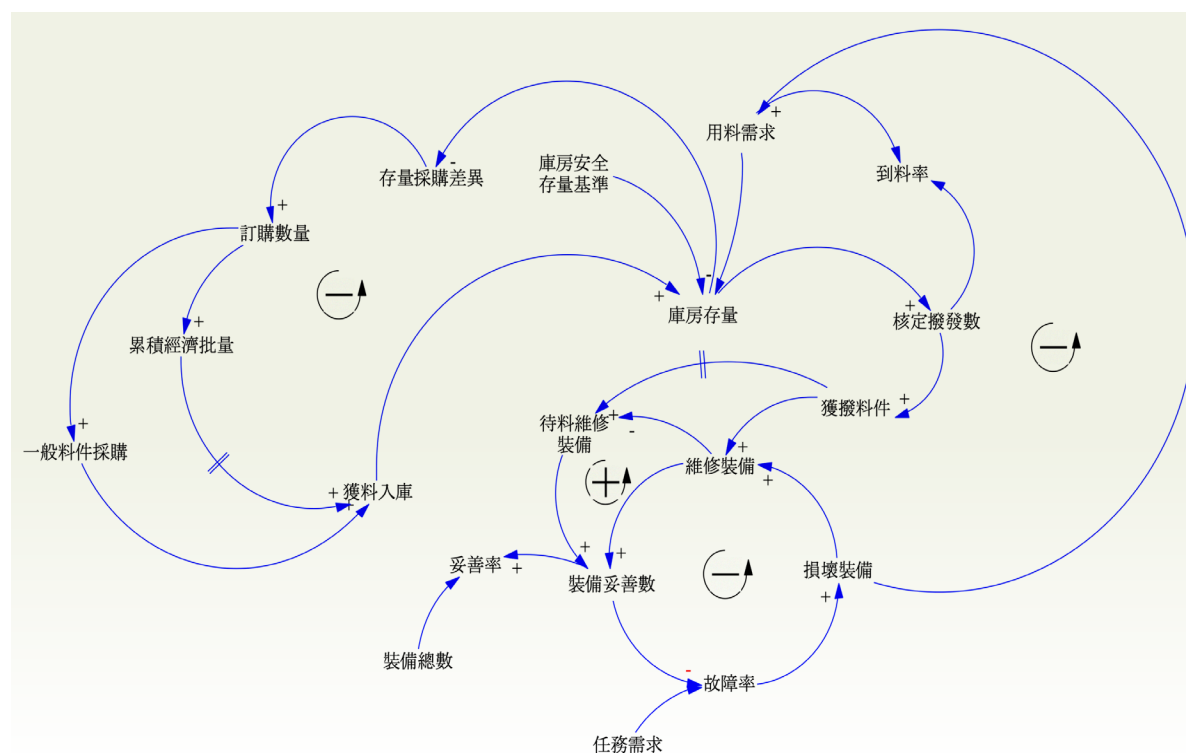
根據上述的質性模式，得以建立動態

模型，包含「故障裝備」、「庫房存量」及「訂購數量」等三個環路圖，針對模式中相關變數實施量化設定，分述如后。

（一）故障裝備之量化分析

損壞車數上升率為107年至109年統計之損壞率（如圖二），可得一斜率乘以妥善裝備的損壞量。

裝備的總數設定為50輛，而妥善率之算法以妥善裝備除以裝備總數之百分比來計算。裝備損壞量與到料率之乘積為維修量，修妥裝備之數據，則自動加總到妥善裝備，而到料率在下一單元實施說明。



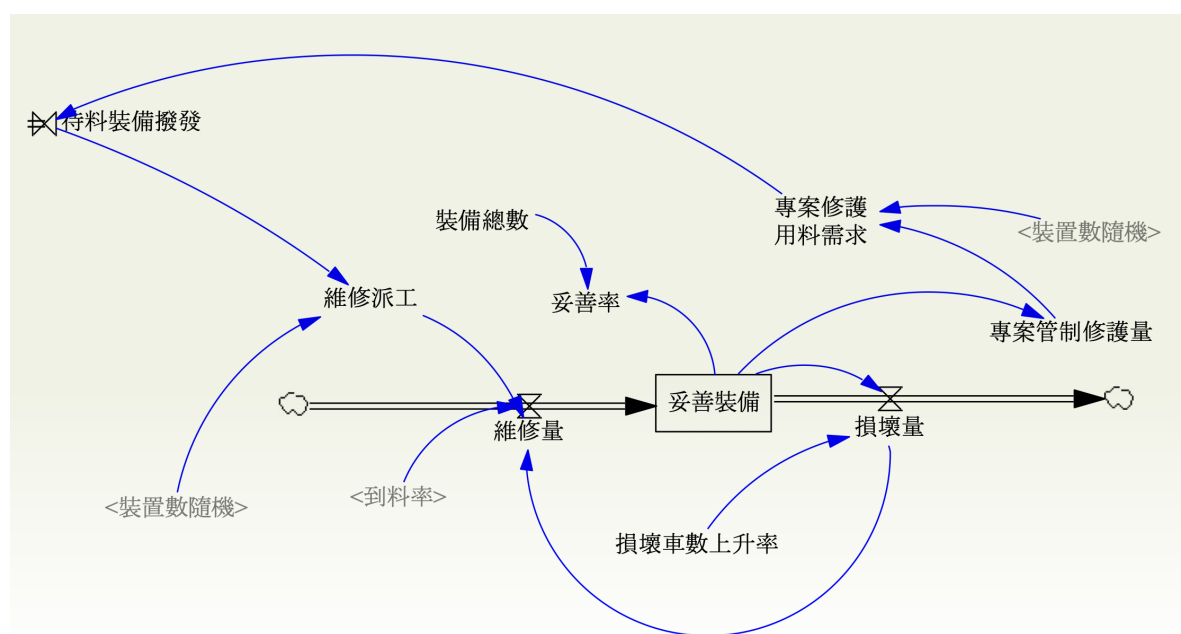
圖六 裝備維修系統因果關係環路圖

資料來源：同註6

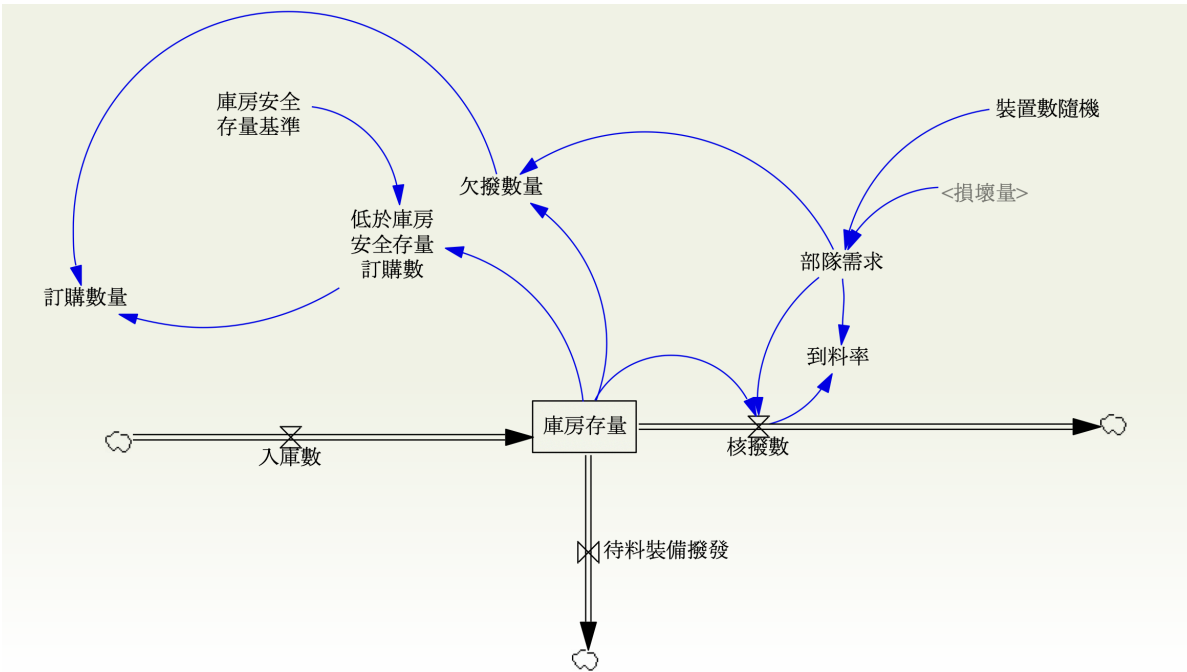
當裝備損壞時，產生損壞量，其零件需求為裝置數隨機，二者之乘積即為部隊需求；若庫房存量可以提供，則依部隊需求的數量撥發，如無法滿足，則依庫房現存數量撥發，再將核撥數除以部隊需求數，產生到料率，到料率為1，則零件可百分之百滿足部隊，如不足即產生欠撥數量，後續進行採購事宜。

(三) 訂購數量之量化分析

當產生欠撥料件之時，須向外進行採購，經本研究向G單位訪談知悉，短期獲利時程約為3個月，佔訂購數量的七成，長



資料來源：本研究繪製



圖八 庫房存量動態模型

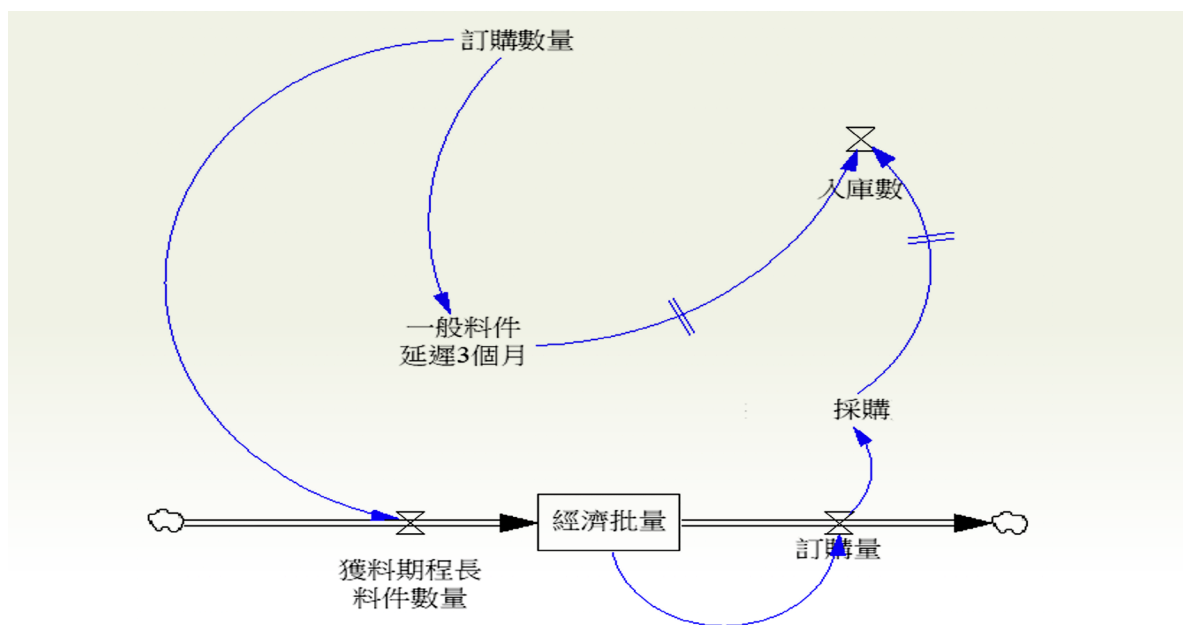
資料來源：本研究繪製

期獲料時程約為6個月，佔訂購數量的三成，故本研究將訂購數量區分「一般料件延遲3個月」及「獲料期程長料件數量」，前者設定延遲3個月獲料，獲料數量以訂購數量乘以0.7；後者設定延遲6個月獲料，獲料數量以訂購數量乘以0.3。

獲料期程長料件數量因受廠商製程及原料獲得之影響，須累積達一定數量後始得訂購，此一訂購數量為經濟批量，本研究設定達50件時即辦理訂購事宜，訂購後依上述說明，延遲6個月獲料。訂購數量辦理訂購作業後，依獲料時程所獲得之料件，均進入「入庫數」，有關訂購數量之動態模型如圖九所示。

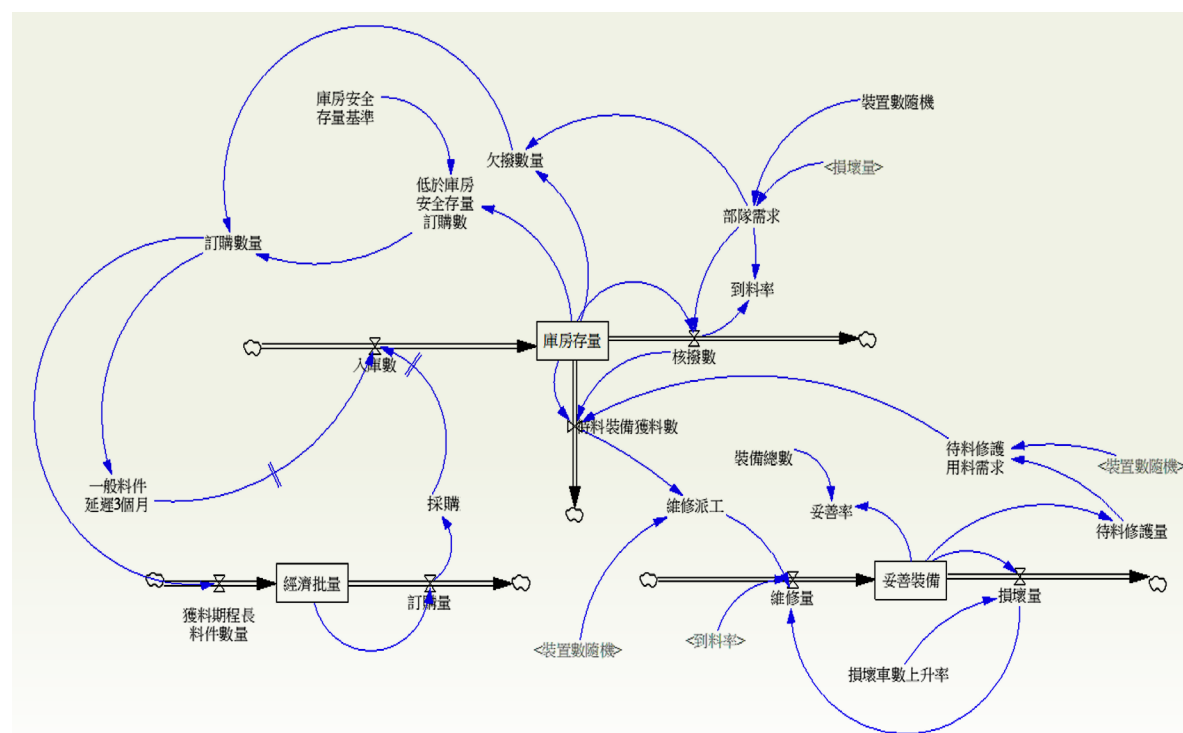
四、裝備維修系統動態模式

依據前述所建立之量化模式，整合因果環路圖中相關變數，並運用Vensim 8.2版模擬軟體建構量化模式之系統動態流程圖（如圖十），其中包含3個積量變數分別為「庫房存量」、「經濟批量」及「妥善裝備」，7個率量變數分別為「入庫數」、「核撥數」、「待料裝備獲料數」、「獲料期程長料件數量」、「訂購量」、「維修量」及「損壞量」，此外亦包含「庫房安全存量基準」、「低於庫房安全存量訂購數」、「欠撥數量」、「部隊需求」及「裝置數隨機」及其他等15個輔助變數，由上述各變數構成裝備維修系統之動態結構，以



圖九 訂購數量動態模型

資料來源：本研究繪製



圖十 裝備維修系統動態模型

資料來源：同註6

下章節進行模型驗證及量化模擬與差異分析。

伍、資料分析

經整理G單位近3年(11季)所申請之關鍵性料件，統計出每季非妥善裝備數量，以推估出損壞車數上升率的變數設定，經模擬後，擷取非妥善裝備數量，發現非妥善裝備數量的結果與實況概同，輔以Excel軟體完成折線圖(如圖十一)，其中差異較大為民國108年第2季，因單位執行專案任務，經常性使用裝備，致損壞數提升，又修復速度較慢，造成非妥善裝備數量下降趨緩，另108年第4季單位亦因專案任務，造成相同結果；因此，該單位因專案任務，造成模擬結果有些許差異，尚屬

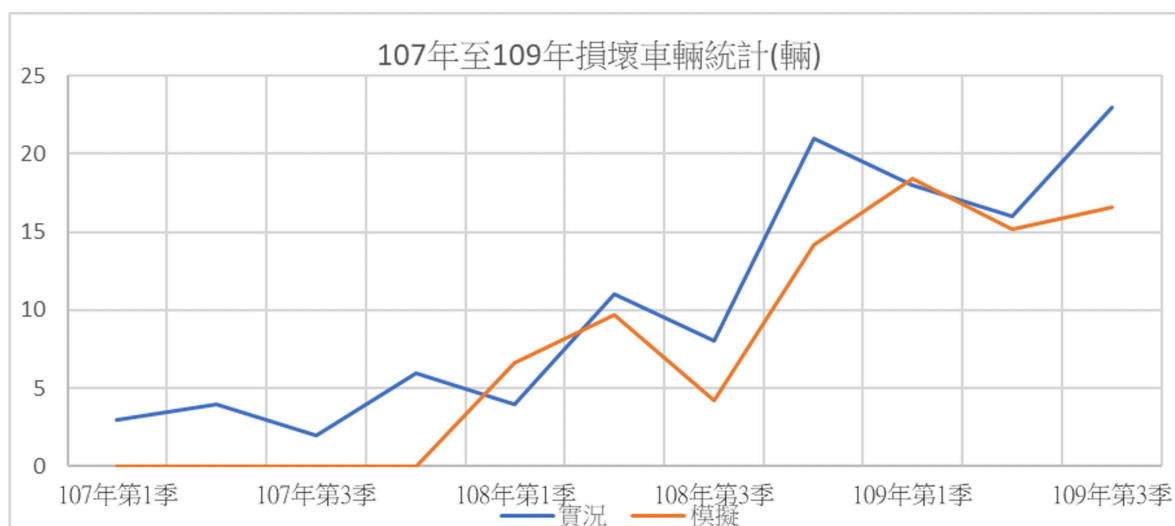
模擬中不可預期之外力干擾，經本研究模型驗證，已達仿真程度之預期目標。

藉由上述近3年系統分析結果，輔以Vensim模擬軟體，模擬出往後5年妥善率走勢，模擬時間共設定為8年(96個月)，並調整安全存量基準及料件獲得時間，以模擬出每月裝備妥善率情形及平均值。

一、安全存量基準分析

經庫房存量之量化分析單元得知，關鍵性料件存量應為50件，平時存量概略為三分之一，因此，本研究設定安全存量基準為17件，後續模擬基準將採倍數增加至34件(增加100%)、51件(增加200%)及68件(增加300%)，均為合理範圍。

模擬的對照組為安全存量基準不變，經動態模擬後，8年妥善率平均值為60.7%；為提升妥善率達90%之水準，針對



圖十一 非妥善裝備折線圖

資料來源：同註6

安全存量基準實施調整，將安全存量基準分別增加100%、200%及300%等三種狀況下，可分別提升至81.79%、85.7%及89.23%（如表六、圖十二），故可得一小結：僅提升安全存量基準，仍無法達到90%的部頒妥善標準。

二、安全存量及一般料件延遲時間分析

經由上述研究結果顯示，調整安全存量基準無法達到妥善率平均值90%之目標，故將一般料件的獲料時間，由原延

遲3個月獲料，調整成延遲2個月獲料，96個月平均妥善率可分別提升至79.15%、90.73%及92.65%（如表七、圖十三），模擬結果部分可達到90%的部頒妥善標準。小結：將安全存量基準提升至200%及300%，且一般料件延遲時間縮短1個月，平均妥善率可達到部頒之標準。

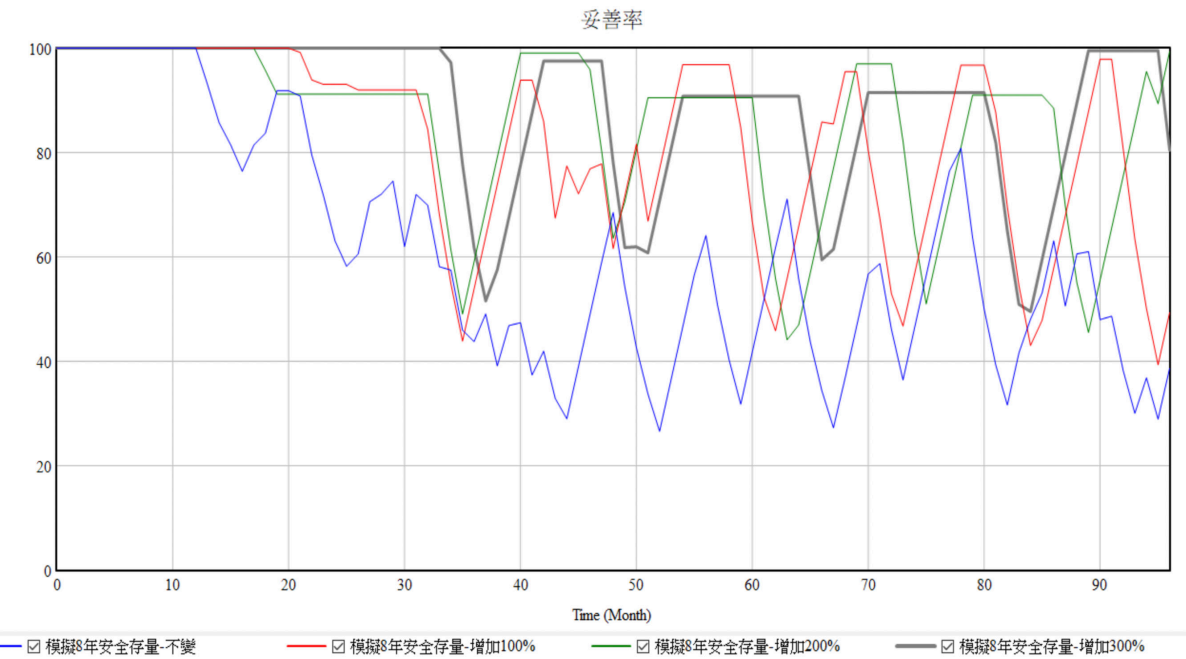
三、安全存量、一般料件及經濟批量延遲時間分析

為再提升妥善率，本研究將以上述

表六 調整安全存量基準妥善率平均值

安全存量基準	不變	增加100%	增加200%	增加300%
平均妥善率%	60.70202	81.7994	85.70987	89.23322

資料來源：同註6



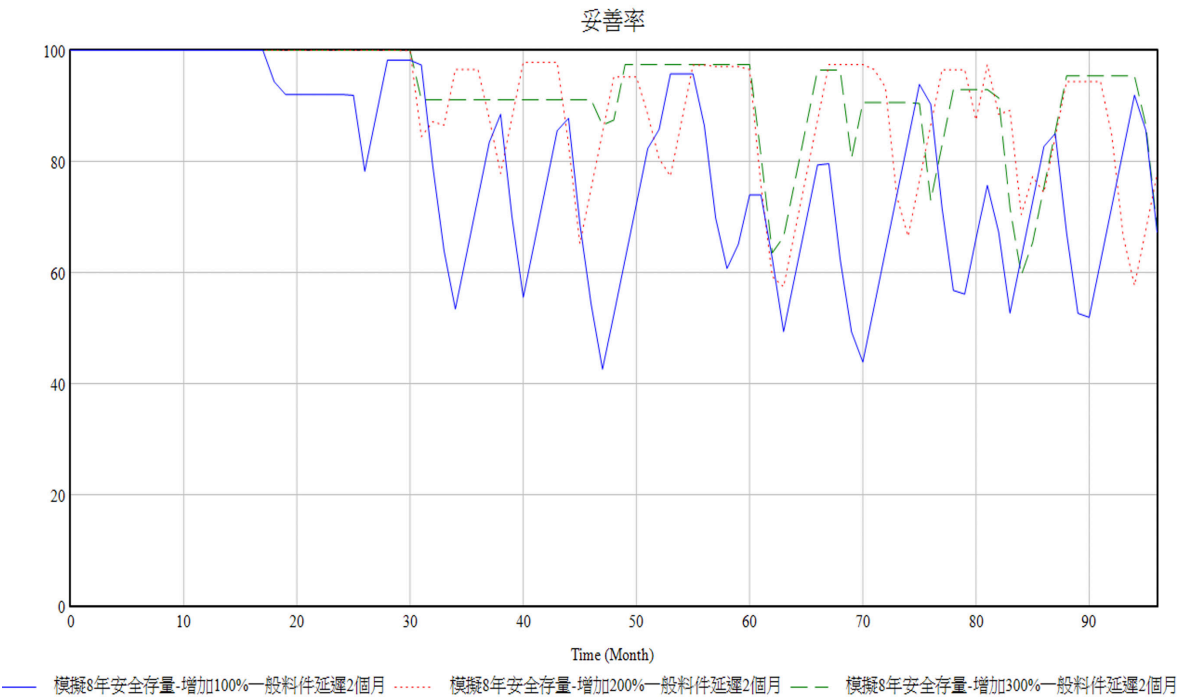
圖十二 調整安全存量基準妥善率模擬圖

資料來源：同註6

表七 調整安全存量基準及一般料件妥善率平均值

安全存量基準	增加100%	增加200%	增加300%
一般料件延遲時間	延遲2個月	延遲2個月	延遲2個月
平均妥善率%	79.15679	90.73904	92.6584

資料來源：同註6



圖十三 調整安全存量基準及一般料件妥善率模擬圖

資料來源：同註6

模擬結果再調整經濟批量獲料時間，由延遲6個月獲料，縮短至延遲3個月獲料，96個月平均妥善率可分別提升至78.11%、88.23%及90.99%（如表八、圖十四），模擬結果少部分可達到90%的部頒妥善標準。

僅佔三成的經濟批量料件仍是少數，當經濟批量調整為延遲3個月獲料時，妥善率比不調整為低，已不符合預期成效，故得一小結：加速經濟批量的獲料時間，

提升妥善率效果有限，反而因庫房存量滿足，當有大量料件需求時，低於安全存量基準時再實施訂購時，將會花費許多時間。

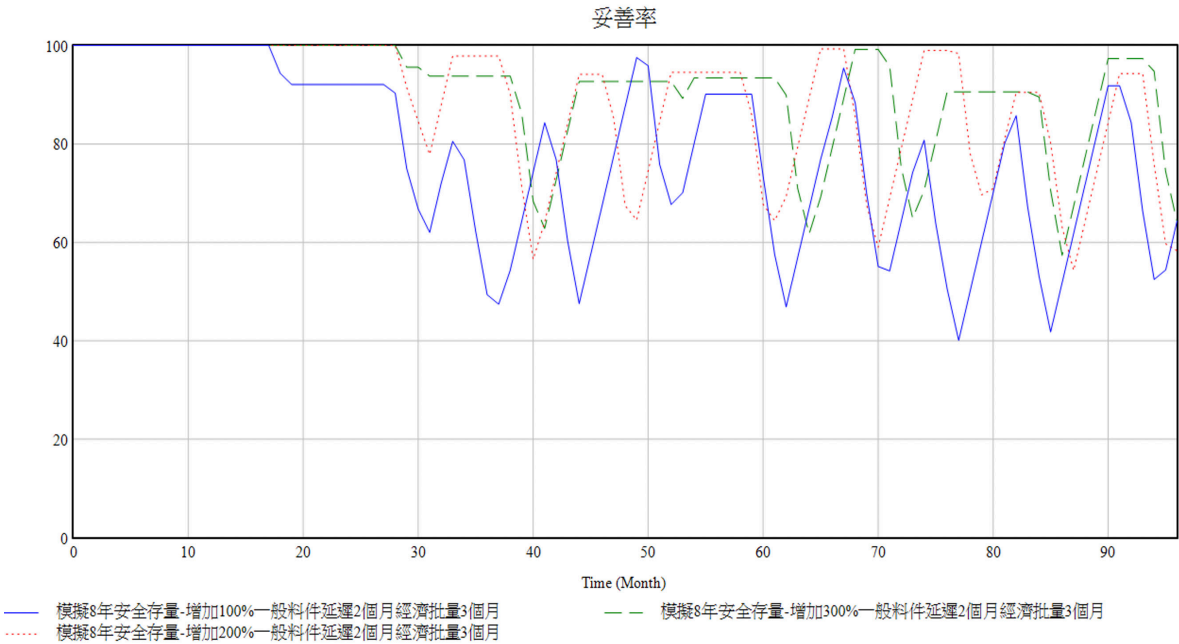
四、調整安全存量及一般料件延遲時間分析

綜合上述研究結果，八輪甲車妥善率能夠達到90%之目標的條件，計有3組，第1組為增加安全存量基準200%，一般料件

表八 調整安全存量、一般料件及經濟批量延遲時間妥善率平均值

安全存量基準	增加100%	增加200%	增加300%
一般料件延遲時間	延遲2個月	延遲2個月	延遲2個月
經濟批量延遲時間	延遲3個月	延遲3個月	延遲3個月
平均妥善率%	78.1123	88.23559	90.99895

資料來源：同註6



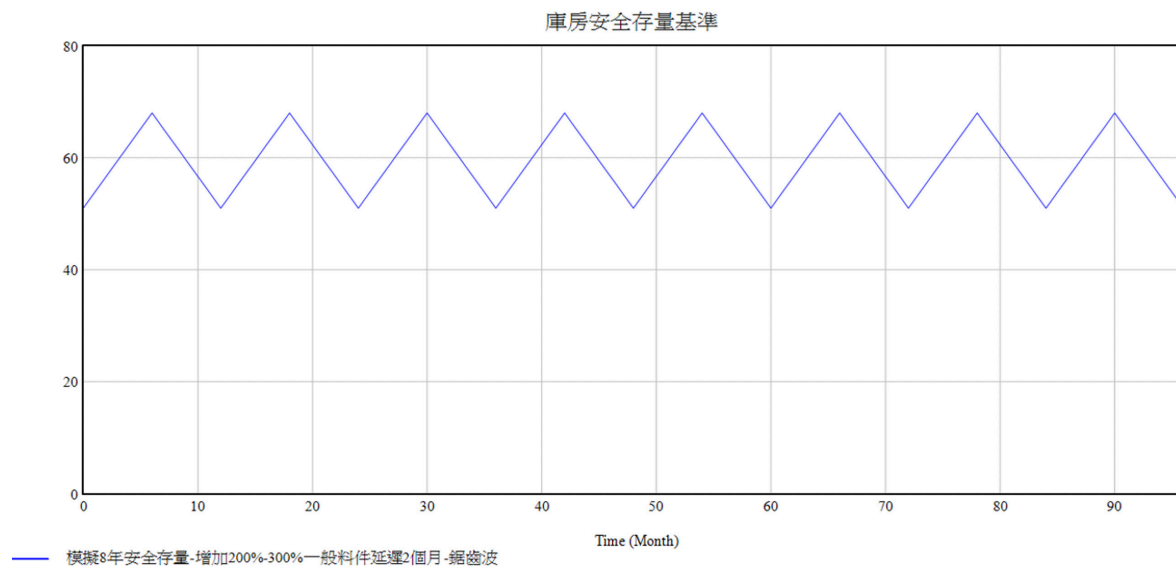
圖十四 調整安全存量、一般料件及經濟批量延遲時間妥善率模擬圖

資料來源：同註6

獲料縮短至2個月內獲得，其平均妥善率可提升至90.73%；第2組條件係將第1組的安全存量基準增加300%，其平均妥善率可提升至92.65%；第3組為調整經濟批量獲料時間，由延遲6個月獲料，縮短至延遲3個月獲料，餘條件同第2組，可獲得90.99%的平均妥善率。

經比較3組條件後，第3組條件將經濟批量採購時間縮短3個月，但平均妥善

率卻沒有增加，故縮短經濟批量的獲料時間，暫不予考慮。較佳方案應為第1、2組，但部隊是任務導向，裝備的使用時間，應視任務性質而有所不同，本研究增加第4組模擬，將安全存量基準採浮動方式實施調整，以每6個月為週期，安全存量以增加200%至300%為區間，在區間內每6個月實施來回調整，以因應任務，如圖十五所示，其安全存量因來回調整，圖形呈現為鋸齒



圖十五 浮動調整安全存量基準模擬圖

資料來源：本研究繪製

波狀。

將安全存量基準浮動調整的參數帶入模型後，可以得到92.19的平均妥善率（如表九、圖十六），優於部頒妥善標準。故可得一小結：將安全存量基準因應任務適時調整，且獲料時間縮短1個月，可以獲得較佳的平均妥善率。

始下降，針對模擬後獲得之最佳方案為獲料時間縮短1個月，另將安全存量增加200%至300%，亦即安全存量基準因應任務適時調整，可以獲得較佳的平均妥善率（92.19%），相關結論如下：

（一）機動調整存量

隨著時間增長，裝備的損壞率會逐漸提升，相關的料件存量亦應隨時間有所更動，以因應不斷提升的料件需求，研究顯示，浮動調整安全存量基準可提高妥善率，而單位執行專案任務期間，為裝備使用高峰期，應預先調整料件的庫存量，以因應獲料時間拉長，產生備料不足的問題。

（二）縮短獲料期程

研究中設定一般料件與經濟批量料件各佔所有料件的七成與三成，並將一般

陸、結論與建議

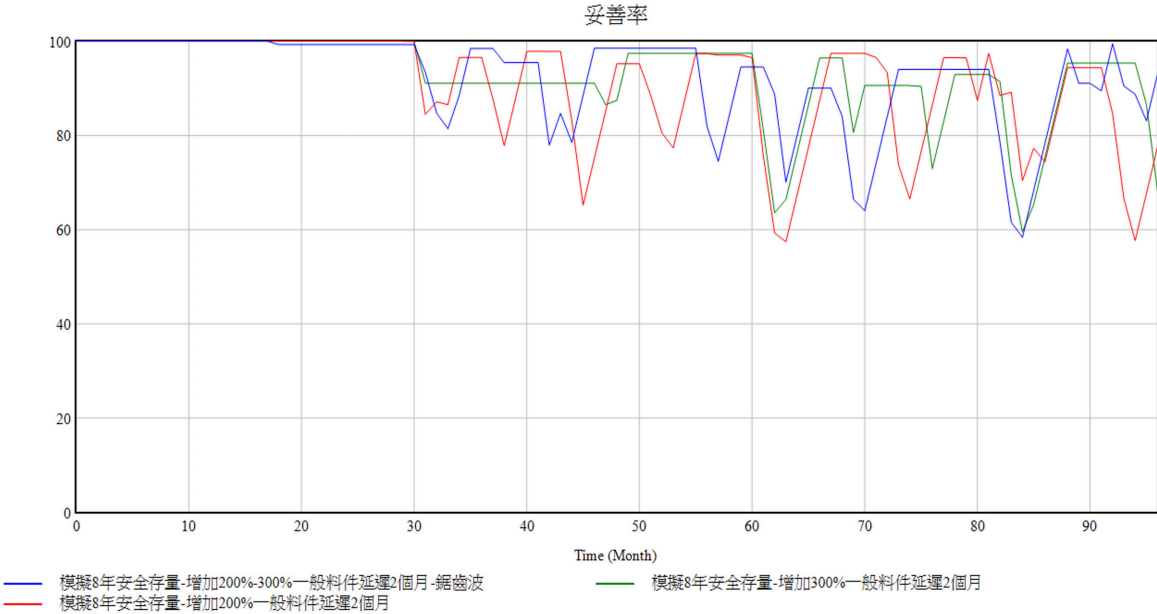
一、結論

研究發現裝備不定期進廠維修集中於108年第2季及第4季，為部隊執行專案任務期間，即操作時數需求提高，不定期修護件數比例亦相對提高，必然增加料件需求，等到料件撥發後，裝備可靠度可暫時維持，直至庫存用罄，可靠度開

表九 浮動調整安全存量基準及一般料件延遲時間妥善率平均值比較

組別	第1組	第2組	第3組	第4組
安全存量基準	增加200%	增加300%	增加300%	增加200%至300%
一般料件延遲時間	延遲2個月	延遲2個月	延遲2個月	延遲2個月
經濟批量延遲時間	-	-	延遲3個月	-
平均妥善率%	90.73904	92.6584	90.99895	92.19425
備考			有利條件增加，但平均妥善率無提升，本組模擬不予列入比較。	

資料來源：本研究整理



圖十六 浮動調整安全存量基準妥善率模擬圖

資料來源：本研究繪製

料件獲料時間由延遲3個月，縮短至延遲2個月獲料時，妥善率平均值較延遲3個月高，故縮短一般料件的獲料時間，確實可大幅提高妥善率，其關鍵因素應縮短獲料期程，而非僅提高存量，惟縮短之天數仍與上級獲料政策有關。

(三) 提升同型裝備

料件採購因受限於種種因素（如保修計畫、預算額度等），故須累積達一定經濟批量之後實施採購，此種一次性滿足單位需求的方法，存在著時間（交貨期程）延滯的風險。研究發現，經濟批量佔

總需求料件的三成，將獲料時間由延遲6個月，縮短至延遲3個月，妥善率平均值未如預期中提升，故僅縮短少數料件獲料時間，仍無法改善妥善率，若能汰換舊型裝備，充實新式同款裝備的數量，靠大量的採購需求，提升料件的採購數量，以降低經濟批量的採購問題。

二、未來的研究與建議

武器裝備各系統均需正常運作，才能獲得高妥善的結果，因此，本研究著重在失效零件的更換，於此提供下列建議，以作為後續研究參考。

（一）精進資訊作業

鑑於三級保修單位料件存量數更動，須於每半年實施需求申請，俟陸勤部同意調整後，再異動補保系統存量數，除調修作業時間冗長外，行政作業亦因公文來往延遲；後續應致力於資訊系統改良，如線上簽證等作為，除可縮短核定時間外，亦可於執行任務期間，快速調整關鍵性料件存量；後續可探討調整安全存量與撥發料件的數量實施深入研究。

（二）增加周轉車輛

增加備用車輛或總成更換周轉數量，損壞車輛直接以車換車方式，與單位實施更換，周轉車輛平時可提升妥善數，戰時因應戰況需求，可成立預備隊；另增加總成更換數量，可縮短平均維修進行與停頓時間（MDT），並提升運作可用度（ A_0 ）。

當庫房存量能有效率的供料後，未來可將人員技術及裝備維修時間納入研究參數設定，使研究程序更為嚴謹。

（三）發展同型載具

配合陸軍「可恃戰力」專案，「聯合兵種」營編成，部署於各地面部隊，八輪甲車現為聯合兵種營機步單位的主要裝備，並已陸續配合CM34八輪甲車（30公厘機砲車型）的量產撥發部隊使用，後續八輪甲車同載具搭載不同武器系列車輛會持續增加，可大量採購同型車輛所需料件，有助於改善經濟批量料件的採購期程，未來仍須透過長期蒐集資料與數據分析，以獲得更為仿真之模擬結果。

作者簡介

呂益豪中校，指職軍官91年班，國防管理學院後勤管理正規班98年班，國防大學理工學院碩士班104年班，國防大學戰略班110年班，現任職於陸軍兵工整備發展中心檢校科科长。

作者簡介

林正益上校，空軍機械學校82年班，空軍學院指參班98年班，國防大學戰研所103年班，現任職國防大學管理學院國管中心後勤管理組主任教官。