

DOI:10.53106/230674382025051142001

後勤科普——需求、研發與後勤

作者/游玉堂

提要

- 一、造兵後勤最困難的是如何提出未來作戰需要的武器裝備。作戰部門必須先前瞻未來作戰場景，確定要解決什麼問題或反制什麼威脅？再類比先進國家尖端武器及科技發展現況，確認武器裝備基本及功（性）能，逐步向下展開完成需求定義，使研發機構依作戰需求研發武器裝備。
- 二、研發最困難的是產出有用的武器裝備。研發機構必須先瞭解作戰需求，再轉化為研發設計概念，並在建案後持續與需求單位溝通，直至完成研發。武器裝備部署後，應依「整體獲得規劃書」協助軍種建立後勤支援能量，另依使用及維修經驗完成備料檢討及研改，並持續深化修能，以降低維修成本。
- 三、用兵後勤最大的限制是武器裝備的功（性）能和整體後勤支援在研發階段就已經決定。需求單位必須跳脫傳統「黑手思維」，懂研發及後勤工程的基本知識，才能在研發早期，將後勤工程設計及後勤支援規劃植入武器裝備，部署後才能在預定作戰環境中順利地運作與支援，全壽期成本也能在可控的範圍內。

關鍵詞：需求、研發、生產（建造）、委製、後勤

圖片來源：國防部軍聞社



壹、前言

高科技戰爭的核心能力源自武器裝備能支持作戰，且能達成作戰目標。然而作戰部門要前瞻未來作戰場景及提出武器裝備研發需求並不容易，而後勤部門處於武器獲得流程下游，也不容易探索世界軍事科技趨勢，提出能結合作戰的武器裝備需求。此時，軍備部門及研發機構便扮演科技前瞻、啟發作戰需求、從事科技研究及規劃武器裝備全壽期後勤支援的重要整合角色。

觀察美國在兩次波斯灣戰爭及以色列面對阿拉伯世界的生存之戰，作戰需求是帶動軍事科技發展的驅動力，而科技能力是決定後勤支援成功的要素，三者密不可分。軍備部門依據科技發展趨勢及作戰需求提出反制未來威脅的武器裝備，建案後經由作戰、後勤部門及研發機構共同參與研發及測評，並同步規劃全壽期後勤支援，完成武器裝備開發。武器裝備部署後應依「整體獲得規劃書」協助軍種建立後勤支援能量，並重新檢視維修層級，依使用及維修經驗完成備料檢討及研改，並以降低維修成本及縮短維修期程為目標持續深化修能，維持武器裝備妥善。

本文介紹武器裝備從需求、研發到後勤的基本知識，並爰引必要的數學概念為例證，期使作戰及後勤部門會提出需求，並參與研發及測試評估，引導作戰需要實現成為武器裝備；軍備及後勤部門懂得研發管理及後勤支援規劃，使研發部署之武器裝備易於支援，能發揮效能，滿足作戰需求。

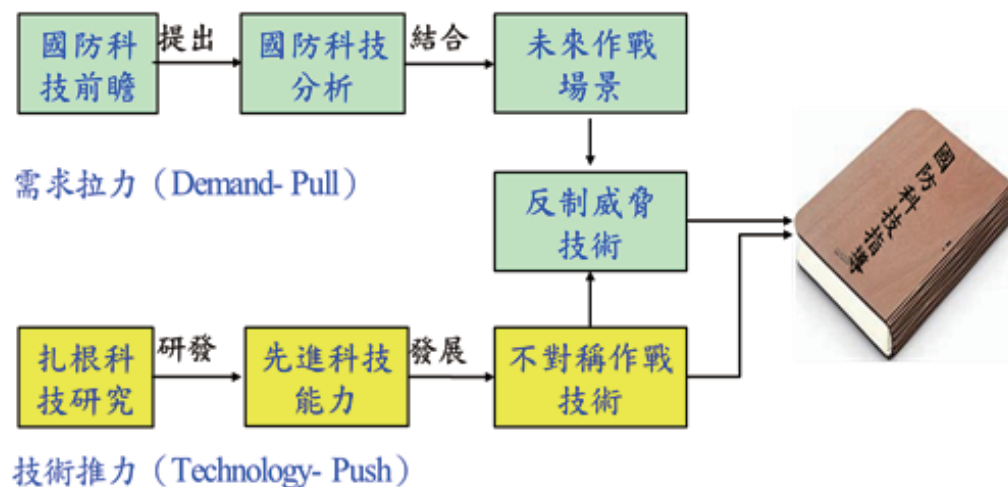
貳、武器裝備需求

武器裝備需求源自作戰部門的需要拉力(Demand-pull)及國防工業的技術推力(Technology-push)，¹兩者都是因應未來作戰威脅而產生的需要。作戰部門依據軍備部門及研發機構對長期軍事科技趨勢所進行的科技前瞻，探索世界軍事科技能力得到的未來作戰場景及反制未來威脅的能力需要，再由軍備部門完成「國防科技指導」，作為未來國防科技發展之依據(如圖一)。

一、提出武器裝備需求

(一) 作戰部門在提出武器裝備需求前，可參考軍備局每2年分發至各軍司令部的「國防科技分析」，再探索未來作戰場景，找出反制未來威脅的作戰能力需求。

1 國防科技發展教則(國防部)，民國108年7月18日，頁1-6。



圖一 武器裝備需求來源

資料來源：本研究繪製

(二) 需求單位要先確定想解決什麼問題或反制什麼威脅？再類比先進國家的尖端武器，確認系統基本功能（性）能，逐步向下展開，涉及技術性問題建議可洽中科院或軍備局所屬生產廠等專業研發生產機構研討，比較容易完成武器裝備的初始需求定義。

(三) 提出武器裝備功（性）能需求要注意達成功（性）能的條件。例如：引擎馬力在2,000轉達到250hp或在1350轉可達扭力50kg-m，如果沒有規範轉速，可能買到高轉速才能達成馬力或扭力的低效能引擎。又如車輛越野坡度45%，必須加訂速率大於30公里/小時，才能在45%越野坡度達成行駛速率30公里/小時

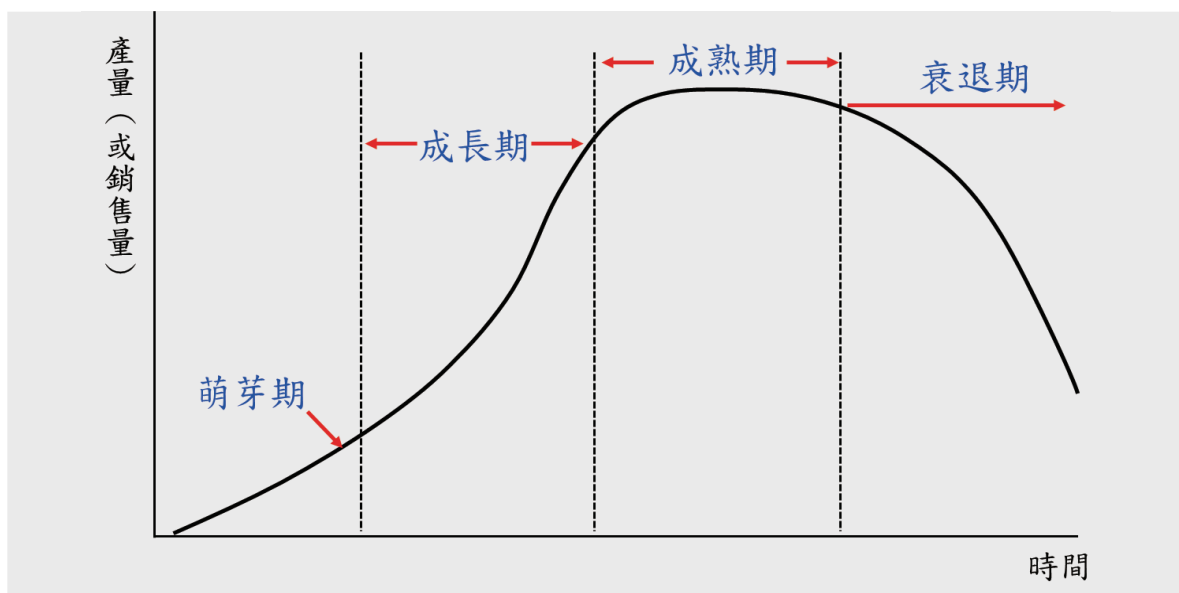
的作戰需求。

(四) 需求單位所提武器裝備需求必須考量未來數年的科技發展趨勢，以確認研發武器裝備之量產期程必須在技術生命週期衰退期之前。一般武器裝備研發大多需要5年以上，而技術生命週期包含萌芽期、成長期、成熟期及衰退期（如圖二），因此，研發至少應在成熟期前端就要開始，量產必須在技術生命週期衰退期之前，避免研發完成後武器裝備已經落伍。

二、轉化需求建案研發（或委製）

（一）需求轉化為設計概念

1. 研發機構與需求（建案）單位共同研討將武器裝備「能力」需要向下轉化為功（性）能參數，再將功（性）能參



圖二 武器裝備生命週期

資料來源：作者自行繪製

數轉化為研發設計需求（例如：輪型戰車包含目標獲得、火力、機動力、指通力、防護力、大小與高度外型、外觀設計及操作方便性、乘座舒適性、空調、燈光等人因工程設計）及測試評估的項目與標準。

2. 確認研發武器裝備之技術備便水準（Technology Readiness Level, TRL）可行，避免研發機構「先建案再說」的錯誤心態，造成日後專案期程延宕，甚至研發失敗現況結案。
3. 研發機構依技術發展規劃之研發期程應滿足作戰需求，並確認研發武器裝備可量產性、研發風險可控性及獲得成本可負擔，才能在適當的成本內

受需求單位支持順利量產。

4. 需求不要選用特殊規格，盡量採用通用規格及具備多商源，以利武器裝備後續支援能獲得料件，並降低獲料成本。
5. 需求單位應與研發機構訂定測試評估標準（包含研發測評、作戰測評、小批量先導生產、作戰測評及產品接收測試），避免需求單位隨著研發（產製）過程不斷新增測試條件，影響專案進度。

（二）建案階段

1. 研發需求：研發需求文件要清楚敘明當前情勢、敵情威脅、反制威脅的方案，導出研發武器裝備達成反制威脅

的需要，強化需要的必要性，並概略分析技術備便水準、預算、研發期程、可行性及風險。

2. 武器裝備功（性）能：研發需求文件要訂定武器裝備初步功（性）能，例如105輪型戰車的目標獲得、射控、精準度、射程、火力、機動力、指通力、防護力、大小與高度、外型、外觀設計及操作方便性、乘座舒適性、空調、燈光、空調等功（性）能參數及人因工程設計。

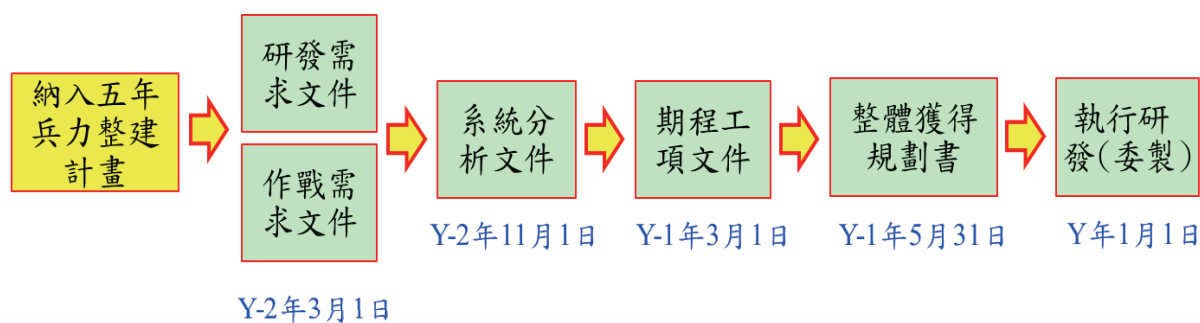
3. 後勤規劃

- (1) 武器裝備可用度應滿足至少執行一次任務之時間，盡可能拉長平均失效時隔（MTBF或MTBM），使武器裝備應耐用、易於維修支援。
- (2) 規劃全系統至最小修理單元之使用壽命，以利日後備料維護，並降低維持成本。

- (3) 研發處於武器裝備全壽期的前端，必須先與需求單位商議維修概念（包含可用度、維修策略、維修階層及支援規劃），以規劃武器裝備獲得及後續支援的概略需求及可負擔成本，作為後續編製整體獲得規劃書細部全壽期支援之依據。

- (4) 武器裝備部署後盡可能採軍維策略，或至少野戰段應採軍維策略，戰時才能利用既有維保體系有效支援作戰。

4. 節點管制：建案應先納入「5年兵力整建計畫」，從研發（作戰）需求文件開始，應於Y-2年3月1日前完成研發（作戰）需求文件核定，接續完成系統分析及期程工項文件審查，最後要在Y-1年5月31日前完成整體獲得規劃書（期程節點如圖三）。



圖三 武器裝備研發（產製）建案節點管制

資料來源：作者自行繪製

5. 建案時需求單位應與研發機構確認技術備便水準，如果技術備便水準只到達等級5，則進入「展示確認」，² 若需求急迫可直接進入「工程發展」，³ 可減少「展示確認」及「工程發展」間建案行政作業時間，惟應注意確認所提列關鍵技術難易，共並訂定「展示確認」進入「工程發展」測試評估之節點與通過之標準。
 6. 建案（需求）單位應注意建案文件因需求不明確、技術或功（性）能錯誤、整後規劃錯漏或看法不同等問題遭審退，應主動掌握修正進度，若涉及專業認定，應適切向國防部說明，以爭取支持。
- 測試能力，交貨後才能依委製方需求執行後勤支援及後續研改提升。
 3. 委製協議書應明訂交貨測試驗收方式，交貨期盡可能分批，必要時進行履約督導，盡早確認交貨品質，避免一次集中於年底交貨，造成預算支用高峰，一旦發生交貨延遲，可能造導致專案延宕與預算保留。
 4. 公務機關間之委託，委承雙方仍應將逾期或解約之罰則訂於協議書條文。
 5. 委製武器裝備或系統應有全壽期支援規劃（包含零件單價、工時及支援年限），並訂於委製協議書，以利後續維修。

（三）委製協議

1. 委製先決條件為承製方已具承製能力，因此必須先確認承製方技術備便水準達到8，且應於委製協議書明訂核心工項由承製方執行；另委方應一併確認承製方產製編組應包含相關專業之工程師，才能執行核心工項。
2. 委製方應於委製協議書中要求承製方至少應掌握設計、系統整合及整合

參、武器裝備研發與後勤

武器裝備研發源於作戰需要，首先要確認反制未來戰場的威脅，完成武器裝備需求定義；其次，進行概念設計、初步設計及細部設計與發展；完成研發，並通過測試評估後執行量產與部署，最後還要考慮武器裝備使用支援和汰除規劃。貫穿武器裝備研發全程應在系統工

- 2 展示確認指將研發需求依技術發展整合成系統雛型，通過測試評估後達成技術備便水準（TRL=6~7）。
- 3 工程發展指將研發需求依技術發展整合成較成熟接近實用的系統原型，通過測試評估後達成技術備便水準（TRL=8）。

程中進行取舍及優化（如圖四），⁴
說明如下：

一、需求定義階段

- （一）需求（建案）單位依據作戰需要，決定想解決什麼問題或反制何種威脅？據以分析武器裝備基本功能（性）能需要，確認武器裝備能在作戰環境中使用。
- （二）定義系統需求，包含維修與支援架構、技術資料（如規格藍圖、指令）、維修人力、訓練、機具、設備、設施、供應支援，使武器裝備易於維修和支援。
- （三）需求（建案）單位與研發機構必須從「需要」的觀點出發，討論出具有研發可行性、成本可負擔性、及在時限內量產（技術、設備和期程風險）的

可行性。

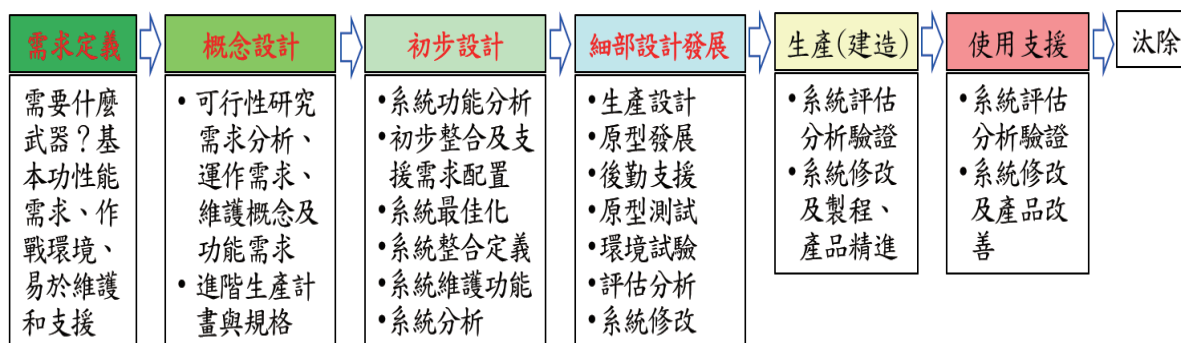
二、概念設計階段

（一）可行性研究

1. 研發機構將武器裝備需求轉化為設計概念，檢討技術備便水準是否成熟？並評估研發之可行性，尤其是關鍵技術必須自行開發或取得技術授權，後續才能依顧客需求修改設計，或進行縮裝與商品化（實用化），滿足作戰需要。
2. 需求單位與研發機構應充分研討武器裝備之功能需求、運作需求及維護概念，作為研發及後勤工程設計之基準與系統工程取舍之依據。

（二）風險分析

研發機構對建案研發（量產）計畫執行風險分析，確認執行研發（量產）計



圖四 武器裝備研發（產製）獲得程序

資料來源：參考註4重新繪製

4 Blanchard, B. S. (2004), Logistic Engineering and Management, (6th ed.) (Upper Saddle River, N.J. : Pearson Prentice Hall), p.18.

畫之風險等級，納入整體獲得規劃書。

(三) 訂定進階規格

需求單位與研發機構從初步功能向下訂定細部規格，作為研發設計依據；另外，必須在研發計畫中研討訂定量產、測試評估及接收測試之細部條件。

(四) 盡早規劃全壽期支援成本

圖五為研發過程中植入後勤工程時機的影響，綠色曲線是在武器裝備發展早期便考量後勤，問題多發生在武器裝備研發早期，並在早期改善，製造及部署階段問題較少；紅色曲線是在研發中期遇到問題才修改，沒有在早期考量後勤

設計，後勤支援問題多，能改善的卻很少。因此，後勤工程要盡早設計植入武器裝備，才能決定器裝備部署後的全壽期支援需求與成本。

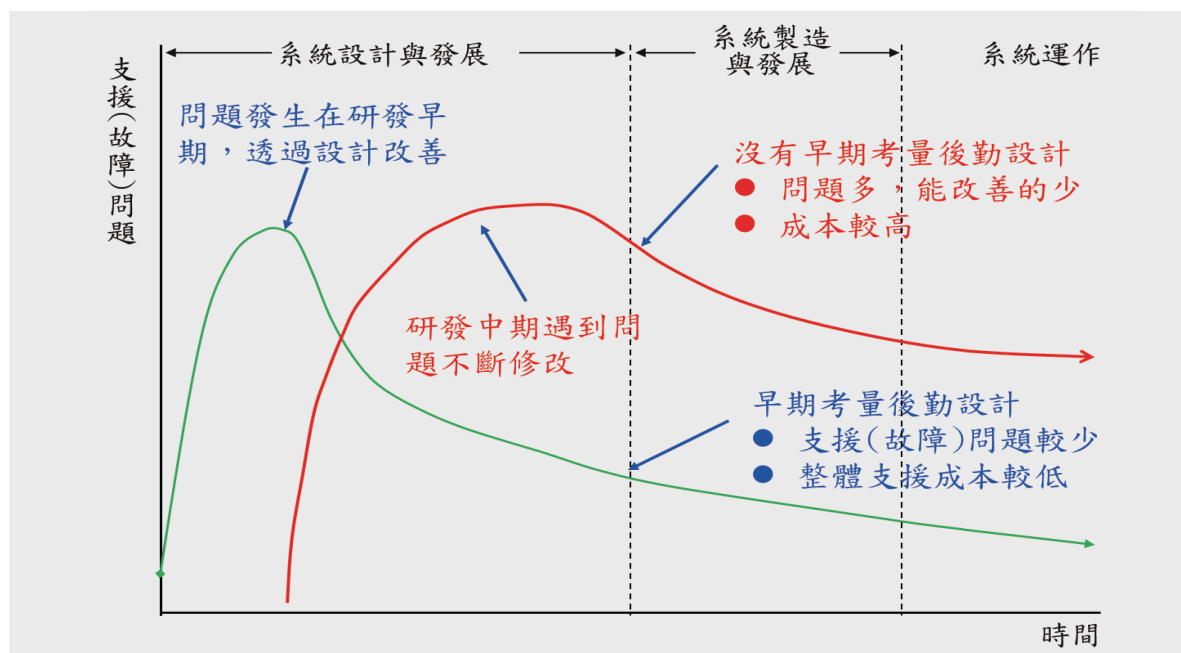
三、初步設計階段

(一) 功能展開與整合配置

研發機構依據概念設計結果執行系統功能分析，向下展開分系統、模組至元件之功(性)能，完成系統初步功(性)能整合配置。

(二) 研發設計研討與整合

研發機構要與需求單位研討系統型態、架構、介面、可靠度、系統維護需求、



圖五 研發過程中植入後勤工程時機的影響

資料來源：修改自Logistic Engineering and Management⁵

5 同註4, p.26.

運作環境及支援需求：

1. 產品功能、型態與系統介面：功能型態說明產品主要功能⁶與性能⁷；物體型態指產品之最大尺寸、形狀、重量、安全、人性因子、材料能力極限及武器裝備軟硬體之介面或人與武器裝備的介面；介面則包括功能介面、連接介面、交互作用介面及人機介面。
2. 設計功能與失效準則訂定：武器裝備的重要功能故障（停用）標準必須清楚定義，武器裝備在預定環境中成功運作的性能範圍、功能及操作模式也要明訂，而且必須是執行測試驗證時可量測的標準。
3. 壽命週期、操作環境與操作時間：以載重車為例，臺灣道路網發達，平時以行政或演訓前支運補為主要任務，戰時則以前支運補及戰力再整補為主。因此，載重與速度便成為主要考量，而越野便是次要因素；另外每日運作時間和預定使用壽命也是後勤支援規劃的重點，必須清楚定義。

4. 系統檢測能力需求：使用者對產品檢測能力的需求及維修保養措施應明確訂於在合約中，交貨時才能依據規範進行檢測，確認武器裝備功（性）能達到預定目標。
5. 系統維修政策：系統維修政策與可靠度息息相關，高可靠度產品不需要太多維修，反之，可靠度不足則需要較多維修，因此，需求單位可接受的維修策略必須先確定，再決定可靠度設計及維修階層分析⁸來配合維修策略訂定維修層級。
6. 定義容許的停機時間、頻次，確定可靠度（或可用度）。例如：CM34輪型戰鬥車野戰段容許平均維修時間為8小時，野戰段平均失效間隔為400小時，可用度為 $400 / (400 + 8) * 100\% = 98\%$ 。此例不難發現停用一次要8小時維修，要縮短維修時間並不容易，若將平維修時間拉長（可靠度提高），表示壽命週期停用減少，對作戰任務的影響比較小。

（三）如何訂定可靠度？

1. 需求（建案）單位不可漫無止境的要

6 功能：指功用，例如步槍的三發、連發、保險、槍托伸縮、滑軌可裝瞄準鏡等。

7 性能：事物發生作用的效能，例如步槍的初速、射程、精準度、後座力等。

8 游玉堂，〈後勤科普—後勤工程、後勤管理與後勤支援〉，陸軍後勤季刊，113年第4期，113年11月，頁22。（檢索日期：114年3月23日）

求高可靠度，因為總獲得成本並不會隨著可靠度提高降低，而研發（生產）者亦不應期望降低可靠度，因為較低可靠度並不意謂著總成本降低。因此在決定可靠度目標時，應在生產者最低製造成本、合理利潤及需求（建案）單位理想的最低壽命週期成本間進行敏感度分析，以期在各影響因素間完成取捨。

2. 武器裝備可靠度訂定，如停用將產生高度危害者（如戰機），可靠度要求很高，至少應滿足執行一次任務不能停用；停用將產生中度危害者（飛彈、火炮），平均失效時隔（MTBF）⁹或平均修護時隔（MTBM）¹⁰應考量可容許的停用頻次及停機時間，透過預測性維修、定期更換及定期檢查測試等性維修作為，確保武器裝備妥善；停用不致於產生人員傷損（如地面裝備），可採取檢測性維修或壞了才修的矯正性維修，可容許的停用頻次及停機時間不如前兩者嚴格，不過仍應考量維修人力、頻次及總成本。

3. 工程師常抱怨使用單位不正常損壞裝備。從作戰角度來看，必須考量武器裝備在作戰環境中能達成任務，操作並不應受到太多限制，所以設計理念必須是在作戰環境中能「防呆」和「耐操」。因此，在訂定可靠度時，應考量高可靠度和增加作戰環境適應性，使武器裝備零組件的強度在規定的範圍內，具有足夠的作戰安全邊際（Safety Margin）。

（四）武器裝備設計

1. 設計簡單化、模組化與標準化，越容易達成高可靠度，例如AK-47步槍機構簡單，不容易損壞。另外，也要減少工具或支援設備的需要。
2. 材料和零件選用必須同時考量高可靠度、易於加工及降低成本，例如選用強度過高的基材，加工速度、刀具耗用及成本較高，因此必須在滿足材料或零件功（性）能的條件下進行取捨。
3. 減額定設計，使零組件在適當負載下運作，容易維持其可靠度，例如想

9 平均失效時隔（Mean Time Between Failure, MTBF），指一不可修理系統在第一次失效、第二次失效至多次失效的平均時間，例如一系統在第60、110、174小時失效，則平均失效時隔為 $(60+50+64)/3=58$ 小時。

10 平均修護時隔（Mean Time Between Maintenance, MTBM），指一可修理系統在第一次失效修護、第二次失效修護至多次失效修護的平均時間，計算方式同上。

- 要引擎馬力200匹，卻選用1.5升渦輪增壓引擎，可能在高負載運作下造成引擎壽命縮短。
4. 高安全性需求可選擇並聯設計（也就是複式配置），避免系統停用造成危安。例如戰機雙發動機設計，技術容易達到，且一具引擎損壞，另一具還可接替飛行返回機場。
 5. 分析運作環境，預先設計防制環境因素造成的影響。例如針對極端地形強化八輪甲車轉向機構及拉桿設計，避免極端地形造成斷裂停用；另外在臺灣高濕度或外島高鹽度環境，要考量強化防濕氣及防鹽害設計。
 6. 可測試性設計，使系統能在預定的測試規劃下完成測試驗證，或在運作環境中在使用前後能透過測試儀表確認功（性）能正常。例如無人機在組裝完成出廠或飛行前後接上測試電腦測試全機功（性）能，又如飛彈射擊前能執行功（性）能及安全性檢測，降低射訓風險。
 7. 考量武器裝備運輸與儲存有適當的防護需求，使系統部署時有完善的運輸規劃與儲存條件。例如無人機運輸與儲存必須考量防高溫、防水、防撞、防震動、防潮等保護需求。
 8. 導入人因工程技術，使系統方便操作使用，以發揮應有之功（性）能。例如甲車必須考量面板要在人體自然視覺範圍內，操作的力量、行程、方便性，乘員的舒適性（照度、溫度、噪音、震動及空氣含氧量等）。
 9. 防呆與快速拆裝設計，防止操作錯誤損壞武器裝備或不容易維修。例如快拆接頭及有方向、形狀或卡榫的設計，防止人員因粗心裝錯而造成損壞。
 10. 強化安全性設計，確保武器裝備使用者不會因為操作不當或故障停用而造成傷損。例如加裝多道保險，使武器不會因操作不當而造成誤擊，又如車輛在行駛中防止排入倒車檔之設計，防止誤排倒車檔。

（五）研發設計說明

研發機構與需求單位及兵監完成武器裝備初步設計後，研發機構應就初步設計在系統工程程序下完成系統最適化，再向需求單位及兵監說明設計結果，以確認設計符合作戰需求。

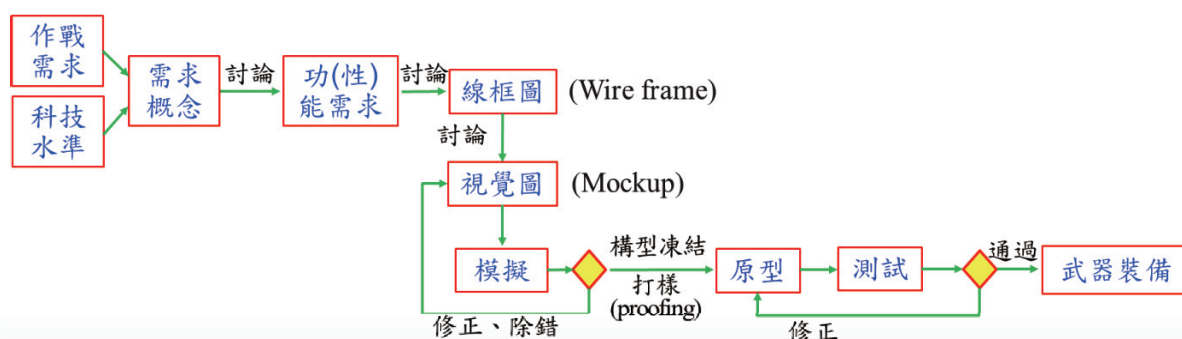
四、細部設計與發展階段

- （一）研發機構應與需求單位及兵監充分討論，將初步設計往系統下層發展至元件，在系統工程程序下完成系統功（性）能、可靠度與維護度等配置及人因工程設計，再依需求

重要性執行取捨，完成系統最佳化及後勤支援分析。

- (二) 系統設計組件（機構）越簡單越好，組件（機構）越複雜，停機風險可能越高，越不容易設計高可靠度；另外零組件選用應避免特殊規格，並有備選商源，部署後才能避免消失性商源。
- (三) 武器裝備盡可能選用相近或同樣之載臺，再依據任務完成不同功能與介面之全系統設計，使大部分零組件能通用，以利後續維保。
- (四) 人因工程設計首重使用安全，其次要注意人機介面、軟硬體介面是否便於操作，使用舒適性及武器裝備與環境，這些都會影響武器裝備的使用及功性能發揮。因此，人因工程設計必須由專業人因工程師參與研發設計與測試，以提升武器裝備效能及使用滿意度。

- (五) 武器裝備最佳化應以科學化研發方法執行（如圖六），其中視覺圖（Mockup）為繪製3D圖，是武器裝備製造的關鍵；另外在模擬程序中應透過研發軟體模擬3D圖組合運作，確認公差與組合公差，確認設計、應力等問題，不斷修正錯誤，避免傳統依設計圖直接打樣組裝的「土法煉鋼」式研發，一旦失敗必須重新設計打樣，影響研發進度及失敗衍生的成本。
- (六) 武器裝備設計要避免應力集中（例如直角或減重的孔洞），完成設計時要先模擬應力分布，修改應力集中之設計，打樣後亦應進行應力相關實驗及環境試驗。
- (七) 完成武器裝備最佳化後，要先凍結系統設計，才能繼續進行武器裝備生產設計。
- (八) 發展武器裝備原型時，需求單位及



圖六 科學化研究發展流程

資料來源：作者自行繪製

研發機構要完成測試評估計畫，經國防部（軍備局）核定後，依計畫執行原型測試及環境試驗，確認裝備可在預定環境中使用。研發機構要特別注意，設計文件對需求單位而言不易理解（尤其是大型系統），可先依細部設計結果，完成武器裝備原型後展示（大型系統打造1比1模型，確認後再建造原型），讓需求單位利用視覺、觸覺和感覺等綜合評估設計符合需求後，再決定進入初期作戰測試評估（Initial Operational Test and Evaluation, IOT&E）。

（九）執行初期作戰測試評估應同步執行環境試驗。環境試驗是在發展階段後、正式生產前，依據產品環境規格執行的環境試驗，目的在鑑定武器裝備是否符合運作環境標準，以作為可進行正式生產、設計定型之依據。常見的環境試驗如雨淋、防水、鹽霧、沙塵、溫度、壓力、磨耗、震動、衝擊、拉伸及疲勞等試驗。

（十）執行初期作戰測試評估時，需求（兵監）單位若在測試過程中提出更高或計畫外新的需求，此時仍應依整體獲得規劃書或委製協議書規範執行測試評估，性能提高或新增需求，經雙方討論可行後再納入

小批量先導生產（Low Rate Initial Production, LRIP）驗證，使武器裝備在研發過程中能隨科技進步提升功（性）能，發展提升型武器裝備。另外，研發機構要向需求單位溝通協調，對於不合理的測試需求要參引歐美先進國家的驗測方式，避免不斷新增不合理的需求，造成武器裝備研發專案延宕。

五、生產（建造）階段

（一）武器裝備在原型發展時一般被稱為「手工打造」，一般會在細部設計與發展階段完成規格藍圖（或標準）及測試規範審定，並進行產品生產設計，經過系統評估分析驗證及生產配置佈線後進行產線試運轉，完成製程驗證後核定製程，再依製程及交裝期程執行量產。

（二）武器裝備次系統、模組及元件的規格盡量參考經濟部標檢局的作法，以尺寸、公差、功（性）能及標準為主，給予製造商在製程、材料及工法的選用上的彈性，才容易降低成本，後續支援也能依技術發展選用新製程、新材料及新工法，避免受限於老舊規格，造成製造商卻步。

（三）武器裝備製程中應注意材料、機構、加工或焊接等殘留應力之消除，避

免交裝後因為使用而誘發應力集中，造成武器裝備損壞。

(四) 武器裝備生產過程仍應注意品質精進，確保武器裝備製造品質穩定是執行抽樣檢驗的先決要件。研發生產機構應在授權時一併提供產製廠商3D設計及製造knowhow，透過技術輔導確保製造品質，再以嚴謹的驗收確認零組件標準化，以利後續採購。

(五) 武器裝備在委製前，應由需求單位依作戰測評計畫與研發生產機構研討訂定接收測試標準，接收測試合格後交裝部署。需求單位應注意高標準必須確認技術可行（意味著將付出高成本），因此必須考量技術風險與成本可負擔性；另外，研發機構應注意在未具備提升功（性）能之技術時，不宜因搶單而逕行調高接收測試標準，避免日後測試不過造成接收測試爭議。

(六) 生產（建造）品質：

1. 武器裝備生產（建造）品質穩定是抽樣的先決條件。例如某單位在量產頭盔時，廠測各項數值差異過大，在品質不穩定的情形下根本無法抽樣，最後只能整批銷毀。
2. 武器裝備生產（建造）時為降低成本

將非核心項目外包是產業界常見的作法，生產機構和使用單位要注意外包項目驗收要依據規格（或標準）來執行。過去30機砲戰鬥車在產製時曾經發生外包產製項目品質不良，造成現場組裝人員必須執行擴孔、深孔、修毛邊等重工作業，徒增大量工時與成本。

3. 武器裝備生產（建造）之驗收，應以機具、測臺或儀表測試功（性）能及壽命是否符合規格（或標準），而試裝試用並不是科學的驗收方式，只能確定產品能運轉，不能證明產品功（性）能合格。
4. 產品抽樣係依據統計方法所訂定生產者與客戶都接受的良率（允收水準），需求單位應建立品質素養，與生產者共同訂定合理的品質規範，不能無理要求良率達百分之百。

(七) 減價收受的要件是「技術代表判定不減損預定效用」，並沒有考慮減價後接裝之後使用單位會損失更多（例如零組件干涉和組合公差問題，零組件疵病要花多少人工重工修改？），而且減價後武器裝備的使用壽命也不確定，因此，筆者不建議採用這種有高度後遺症的決定。

(八) 需求單位在武器裝備交裝後，如有武器裝備研改需求，應完成需求整

合後提出研改計畫，完成武器裝備研改提升，並通過後續作戰測評（Follow-on Operational Test & Evaluation, FOT&E）後再交裝部署。¹¹

六、運作與後勤支援階段

（一）商維？還是軍維？

1. 維修規劃一般在概念設計階段就要先考量，武器裝備在部署兩年內要完成野戰段或基地段維修能量建立。不論商維還是軍維，只要是在最適成本內能滿足支援作戰需求便是可考慮的方案。
2. 依陸軍歷年商維經驗，商維大多受限於預算，承商並不會大幅投入成本與人力，而既有維保體系只能鑑定轉廠或進行有限度維修。商維主要問題包含送修期程長，高耗或高單價項目無法維修至最小單元，成本較高，且使用經驗也未回饋原廠執行研改；另外，參考俄烏戰爭的經驗，戰時大量裝備戰損，承商將無法同時大量支援戰場搶修。因此，武器裝備維修規劃至少應包含野戰段維修及高耗項目翻修能量（建立適當週轉量，縮短維修時間），以便利用編制內維保體系與人力來維繫部隊持續戰力。

（二）建立後勤支援能量

1. 研發生產機構應依「整體獲得規劃書」附件「整體後勤支援計畫」協助軍種建立整體後勤支援能量，包括：維修規劃、補給支援、維修人力訓練、設施規劃、支援與測試裝備、包搬儲運、資訊支援、技術資料、部署安裝、維修能量建立及維修權責轉移等。建立野戰段能量前，建案及使用單位應依「整體獲得規劃書」要求原廠對武器裝備執行過渡時期支援，並研改高故障項目，以提升武器裝備可用度。

2. 研發生產機構可參考軍備局第209廠對CM34 輪型戰鬥車修能深化成功的案例，協助軍種重新檢視維修層級，完成計畫備料檢討，持續深化修能，並技轉建立高耗用週轉件之維修能量，以降低維修成本，提升武器裝備妥善。

（三）保固期計算方式

在民間產業產品保固視可靠度設計而定，不一定是2年，為什麼國軍一般都會將保固期訂為2年？主要因為需求及建案單位已習慣在「整體獲得規劃書」中訂定2年內建立野戰段及基地段維修能量，因此一般都已習慣將保固期訂為訂2年。其實保固可依據可靠度及廠商保固成本

11 國防科技發展教則，國防部，民國109年，頁4-39。

不大於預定獲利一定百分比來計算適當保固期，舉例說明如下：

假設某機械產品服從韋伯分配 $R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta}$ 其中 $\beta = 1.8$ ， $\theta = 10,000$ 小時， t 為使用時間，原廠執行一次保固的成本為 1,000 元，若該產品每年使用 1,600 小時，售出 2,000 臺產品，總利潤 1,000 萬元，若保固成本不超過利潤 5%，保固期應訂為幾年？

若為電子產品， $R(t) = e^{-\lambda t}$ 其餘計算方式相同。

$$\begin{aligned}
 R(t) &= e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \\
 5000 \times 10000 \times \lambda \times T &= 5 \times 10^7 \times \frac{R(0) - R(T)}{R(0)} \times T \\
 &= 5 \times 10^7 \times [1 - e^{-0.00017T}] \\
 2 \times 10^6 \times \left[1 - e^{-\left(\frac{T}{10000}\right)^{1.8}}\right] &\leq 0.05 \times (1.0 \times 10^7) \\
 \left(\frac{T}{10000}\right)^{1.8} &\leq 0.287682 \\
 T &\leq 5005 \text{ 小時} \quad 5005 \div 1600 = 3.1 \quad \text{保固取3年}
 \end{aligned}$$

(四) 審查備份件合宜性

備份件之目的是在尚無運作消耗經驗及野戰段能量未建立之前，由原廠依據可用度、維修階層或消耗經驗估算備料項目及數量，因此在審查備料清單時必須考量原廠備份件計算方式及各維修階層相對應之維修技術，還要考慮備份件儲存條件，避免將高價及高儲存條件的備份件儲存於單位段；另外要注意除定更件及耗材不在保

固範圍內，其餘保固責任內的料件不應列入備份件，避免圖利廠商。

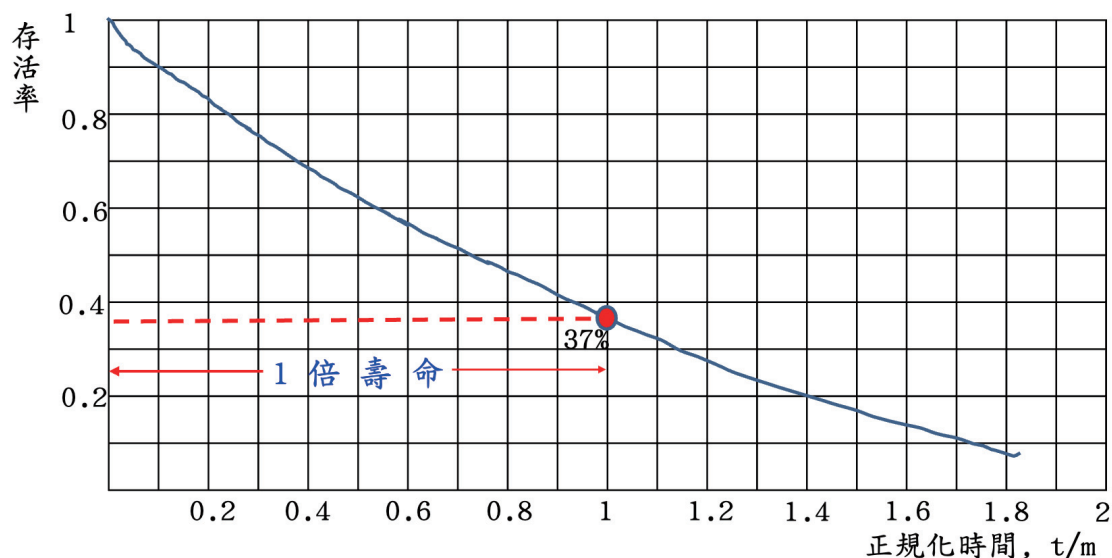
(五) 使用經驗回饋

武器裝備的後勤支援規劃是按照可靠度設計而來，是預估參數，因此，運作支援期間，維修與料件消耗是驗證可靠度設計的重要管道，研發（生產）機構應加強使用者對武器裝備使用及維修數據蒐集與資訊回饋，以持續追蹤分析使用經驗資料，供後續改進設計參考。

研發（生產）機構應注意使用單位的回饋意見為「需要」而非「想要」，並將使用者意見歸納分析成為群體研改意見，而非個人意見，才能達到研改的目的。

(六) 維修及備料方式

1. 圖七為武器裝備零組件在壽命週期前後的存活率曲線，其中橫軸為壽命倍數，縱軸為存活率。當零組件壽命來到 1 表示屆壽，也就是平均失效間隔（Mean Time Between Failure, MTBF），此時可能還有 37% 零組件存活。不過 MTBF 只是平均失效間隔，並不一定會在此時間間隔故障，有些可能更早或更晚。
2. 由圖七可知，若武器系統之零組件



圖七 武器裝備零組件在壽命週期前後的存活率曲線

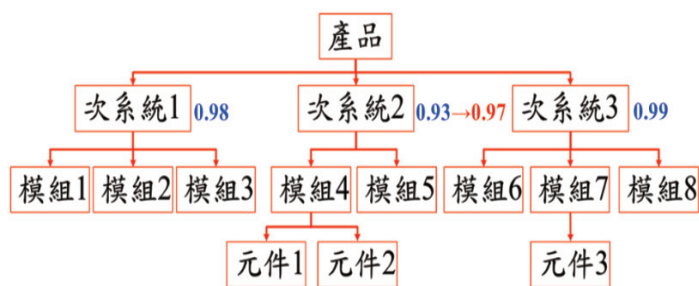
資料來源：參考Logistic Engineering and Management重新繪製¹²

停用可能造成危安，應考量零組件在偵測警示訊號出現時更換或維修；若零組件故障可能停用或間接導致其他組件惡化而停用，應納為定更件或定期翻修件，在屆壽（時間為1倍）前應定期更換；若零組件故障不會導致停用，則採用矯正性維修，等待零組件壞了再更換。

(七) 提高武器裝備可靠度作法

過去國內某研發機構曾發生誤以為增加實驗次數就可達到可靠度成長，

提升可靠度的作法。經過筆者以國防科技業管主管立場與研發機構高層阪1相關工程師研討後，確認增加實驗次數只能找到更接近可靠度原始設計的數值，要提高武器裝備可靠度必須經過工程修改，至少有以下四種工程修改作法：

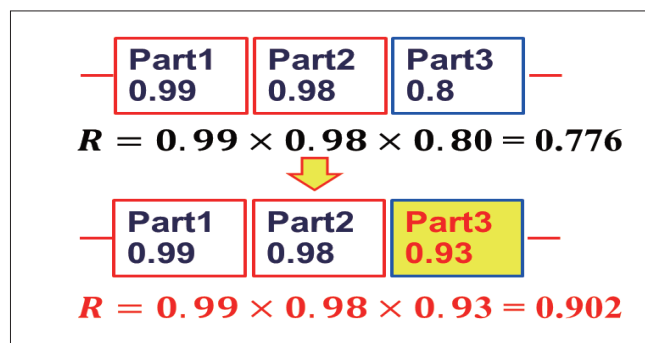


圖八 修改可靠度功能配置圖

資料來源：作者自行繪製

¹² 同註4, p.48.

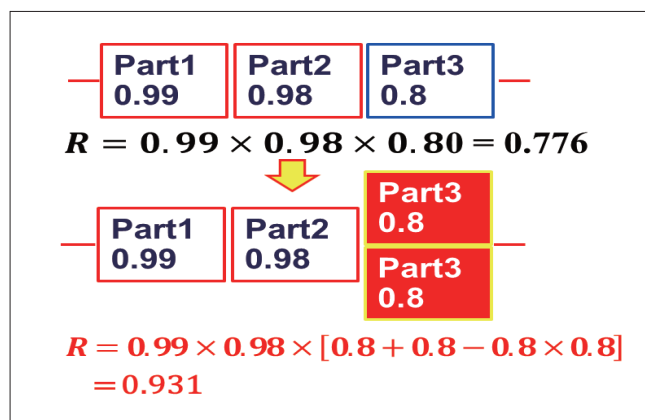
1. 修改系統可靠度功能配置：某一產品有3個次系統，只要其中1之系統故障，全系統便停用，如圖八，其全系統可靠度為 $0.98 \times 0.93 \times 0.99 = 0.9$ ，可靠度偏低，若修正次系統之可靠度功能配置，將次系統2更換，可靠度提升為0.97，則全系統可靠度可提升為 $0.98 \times 0.97 \times 0.99 = 0.94$ 。



圖九 更換高可靠度次系統、模組或元件可靠度成長圖

資料來源：作者自行繪製

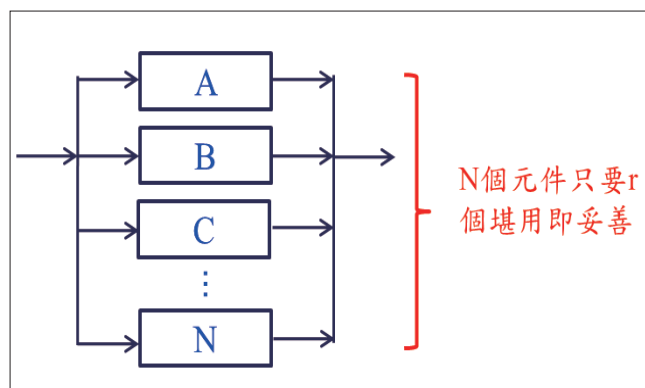
2. 更換可靠度較低的次系統（模組或元件）：假設一個由3個元件組成的武器系統，可靠度分別為0.99、0.98及0.8，則系統之可靠度為 $0.99 \times 0.98 \times 0.8 = 0.776$ 。對成熟的作戰系統而言可靠度過低，若現有技術可行，可採用更高可靠度的次系統（模組或元件），假設更換為次系統（模組或元件）之可靠度為0.93，則武器系統之可靠度可提升為0.902，如圖九。



圖十 次系統、模組或元件並聯後可靠度成長圖

資料來源：作者自行繪製

3. 並聯配置：假設武器系統現有技術水準無法生產更高可靠度的次系統（模組或元件），則可用兩個可靠度為0.8的次系統（模組或元件）並聯，則全系統可靠度可提升為 $0.99 \times 0.93 \times [0.8 + 0.8 - 0.8 \times 0.8] = 0.931$ ，如圖十。



圖十一 n/r表決系統示意圖

資料來源：作者自行繪製

- 多元件配置：當系統安全性高，採用多個次系統、模組或元件以確保安全性時，採多元件配置，只要n個系統中至少有r個可用，系統即妥善，也就是所謂的n/r表決系統，如圖十一。

例如汽車4個螺栓可固定一個車輪，但為增加安全裕度，實際設計採用5個螺栓，若每個螺栓故障鬆脫機率為0.002，只要1個鬆脫為不可靠，則此螺栓系統之可靠度為

$$\begin{aligned}
 R_s &= \sum_{i=4}^5 \binom{5}{i} R^i (1-R)^{5-i} \quad \dots\dots \text{公式一} \\
 &= \frac{5!}{4! (5-4)!} (1-0.002)^4 \times (0.002)^{5-4} \\
 &\quad + \frac{5!}{5! (5-5)!} (1-0.002)^5 \times (0.002)^{5-5} \\
 &= 0.9996
 \end{aligned}$$

(八) 構型管理

- 武器裝備開發可能因為需求改變或提昇品質、降低成本、解決設計與生產瓶頸等問題，必須依使用經驗回饋進行工程變更，使用單位及研發機構可採用構型管理提供管控工程改變的資訊，降低產品的變動風險，避免構型複雜不利後勤支援。
- 研發機構應考量各種不同構型間相同功（性）能的零組件通用，以利後

續維修支援。

(九) 消失性商源

- 武器裝備部署一段時間後，如果組件規格特殊、備選商源不足或已屆衰退期，容易因組件不再生產而成為消失性商源項目。此時若已無專利等智財權，可考量以新材料、新工法或新製程，委託軍、民產業開發功（性）能較高之零組件。
- 若零組件非最小維修單元時，應考量其內部更換件應為訂有規格藍圖之標準件，避免日後維修時同型組件內部零件型式複雜。

七、汰除階段

(一) 屆壽裝備該延壽？還是汰除換新？

- 在舊式的單位、野戰段維保廠房常見「保養重於修護；修護重於購置」的標語，在過去武器裝備不容易獲得，且系統以機械為主的年代這句話是對的。但是，國內科技已達先進國家之林，我國的科技能力已經可生產傳統武器和先進武器系統，武器裝備因為動力、導控及感測功（性）能需求而複雜化，不再是結構簡單的機械系統，這樣的觀念應該要修正。
- 武器裝備獲得成本約占全壽期成本35%，後續維持成本約佔65%，如果裝備使用超過預定壽命，老舊武器裝備

因為舊材料、舊技術及舊製造工法，維修成本勢必更高，甚至可能因消失性商源而無法維修。因此，必須考量其修護價值，如果維修時隔和維修後的壽命縮短，功性能不能達到應有的水準，武器裝備越修越糟或本體已屆疲勞，造成維持成本居高不下或不能再修，則必須考量隨著科技的進步採購新式裝備，提升功（性）能，並降低維持成本。近年陸軍M60A3戰車的引擎，就是因為修成效果不佳而採購新引擎更換便是最佳的實例。

（二）汰除作業

武器裝備汰除一般會在「整體獲得規劃書」規劃汰除的年限、做法和成本，如果延長壽命反而成本比較高，則使用軍種應案照原規劃納入五年汰除計畫，經國防部核定後在目標年度前編列作業維持費，依計畫期程辦理武器裝備汰除。

肆、結語

作戰需要是決定武器裝備研發的關鍵因素，不論是技術推力所推動或由需求拉力所拉動的研發需求都必須滿足作戰需求。因此，需求單位必須懂前瞻未來作戰場景，提出反制威脅或解決現存

問題的武器裝備需要，續由研發機構、需求及後勤單位共同將需要轉化為研發設計概念，逐步完成研發及全壽期後勤支援規劃。武器裝備運作支援期間，研發（生產）機構要協助使用單位建立合宜的保修能量，在合理的保固、備料、建立維保能量及使用經驗回饋下，不斷透過研改及全壽期管理，以提升武器裝備效能，並降低維持成本。

貫穿武器裝備研發全程，是需求、後勤單位及研發（生產）機構可合作持續提升武器裝備功（性）能、可靠度及品質的過程。因此，這些單位都要具備需求、研發和後勤的基本知識，透過密切溝通協調，以作戰需求主導研發，並早期完成後勤支援規劃，以利研發安全、方便使用、容易維修、全壽期成本適當，且能滿足未來作戰需求的先進武器裝備。

作者簡介

游玉堂少將，國防大學理工學院國防科學研究所兵器工程博士，曾任陸軍第269旅副旅長、國防部資源規劃司科技企劃處處長、國防部軍備局獲得管理處處長，現職為陸軍後勤指揮部少將副指揮官及國防大學理工學院動力系統工程學系兼任助理教授。