



從技術備便水準到 後勤備便水準

國防大學 任慶宗

新政府上任後提出五加二的策略產業發展方針，以期解決國內經濟的發展困境，其國防產業所受到的關注特別多，尤其國機國造與國艦國造更是國內業界引領企盼的寒冬春雨。作為軍備武器的籌獲單位，國防部必須審慎評估可能的潛在風險，規劃未來籌獲階段的各項風險因應作為，否則空有口號理想，但卻缺乏務實的評估分析，恐怕會加深國防建軍的負面效益。

武器系統研發籌獲階段的風險分析工具很多，其中最常被用來評估風險的工具之一，即是備便水準的觀念與方法。然而，過去國軍受限於軍售管道的便利性與制約性，往往以現貨採購為主要手段，欠缺研發籌獲常使用的技術備便水準分析經驗與工具。此外，受到美國觀念與思維的影響，我們真正了解的備便水準分析觀念，也僅止於技術層面的備便觀念，欠缺系統整合甚或壽命週期概念下的備便水準的認知與應用，導致武器系統籌獲階段的評估作業不夠完整。本文藉此專欄提出更多的備便水準觀念，期望藉由這篇文章的呼籲，能讓武器籌

獲專案人員，了解此一觀念技術的內涵，進而提升我國武器系統籌獲過程中應有的風險評估觀念，增加武器研發籌獲成功的機率。

技術備便水準

技術備便水準(Technology Readiness Level, TRL)或稱之為技術成熟度，為美國國家太空總署所提出的分析方法，主要目的是為科技計畫階段與發展程度提供一套有系統之技術量測指標。簡單而言，備便水準的意義是指針對特定項目或任務的準備程度、成熟程度。據此可知，技術備便水準便是用以衡量預定開發的系統或產品之某項關鍵技術（CTEs, Critical Technology Elements）目前所處的技術現況，藉由充分了解關鍵技術的備便程度，評估後續工程化或產品化之發展及規劃方向的可能性與進程。TRL機制是美國太空總署在1970年代首度提出，後逐漸演進並確立9個級別，並於1995年正式納入NASA管理指南中。美國國會審計辦公室於1999年調查23項軍、民用工業產品發展專案，發現技術不夠成熟是造成預

算超支與任務目標時程延遲的主要原因之一，因此建議國防部採用技術備便水準機制做為國防裝備採購的評估方式。據此，美國國防部後來即頒布「國防部技術成熟度指南」與「國防採購條例」等法規，要求國防部重大裝備採購案均需進行技術備便水準的評估作業。美國國防部隨後修改TRL定義及描述以發展其自身防禦計畫。這套評估工具後來被許多國家參考應用，如今，各先進國家發展新科技時，大都運用技術備便水準的觀念做法，以評估發展所需時程及可能面臨風險。我國政府在過去努力推動下，中科院、原能會核研所、工研院及部分國家型科技計畫亦相繼採用此制度。雖然TRL在定義上為線性發展，然而在實際應用上，部

分階段可能被略過。參考此標準時應自大方向著眼，以符合目標管理之精神為依歸，必要時各主軸/細部計畫可依其特性斟酌修改。

TRL評價的流程包括辨識達成研發產品／系統所需要的關鍵性技術、研發人員自我評估及專家小組的評估，藉此評估流程，能避免關鍵性的技術被遺漏，也能降低誤用新興或未經驗證的技術導致延誤了產品開發時程，對研發人員而言，藉由TRL的自評過程更瞭解技術研發狀況，進而預防與應變，以達成目標，降低任務的風險。對於計畫管理者而言，TRL評價能輔助風險的管理及團隊間的溝通，俾利及時達成任務。技術備便水準之分級定義說明請參考表一。

表一 技術備便水準分級定義說明

分級	定義	說明
TRL 9	系統商業化	系統成功通過試運轉並進入商業化階段。
TRL 8	真實系統展示	全尺度真實系統通過真實環境之測試。處商業化前置階段。
TRL 7	全尺度模型於相似環境測試	全尺度模型於相似環境下測試，系統已近似最終設計。
TRL 6	原型於相似環境測試	接近真實尺度之模型（原型）於相似環境下進行測試。此為技術展示階段。著重於測試並展示系統技術，並分析對最終系統有價值之重要實驗結果。
TRL 5	準系統於相似環境測試	系統由基本技術元件整合。此為高真實度系統，各方面皆已近似於最終系統，唯獨在尺度上為縮小版之實驗室尺度。此階段研發著重於相似環境下測試準系統之可靠程度，分析相似環境與真實環境對準系統所造成之差異，以及對最終系統有價值之重要實驗結果。
TRL 4	元件整合驗證	在實驗室環境下驗證由基本元件（技術）組成之小尺度模型。此模型僅包含少數重要元件，重點在於測試個別元件整合後是否可正常運作，並且評量模型與目標之差異性。
TRL 3	關鍵功能可行性測試	進入積極研究開發階段，此階段包含解析及實驗研究。著重各元件與個別技術之開發。目的為以實驗方法證明解析法之預測。
TRL 2	技術概念成型	基礎原理被驗證後，相關應用導向之概念被提出。此階段所提出之概念為創新發明但其可行性尚未有任何科學之驗證。
TRL 1	基礎原理發現	此階段為TRL最初等級。科學研究開始轉換至研究開發（R&D）階段。著重與科技相關基本性質之研究與探討。目標在於驗證相關技術之基礎原理。



介面整合備便水準

除了技術備便水準之外，另外一個容易被忽略的課題是組件之間的介面整合備便水準(Integration Readiness Level, IRL)。顧名思義，介面整合所關注的是零組件之間的銜接相容問題。前面提到的技術層次所關注的備便水準，最終都是反應在單一組件或總成的具體產出，但是系統的構造是由不同零組件或總成的組合而成，所以當系統介面的技術尚未達到一定水平時，介面整合就成為一個重要的課題，這個課題當然也可能變成一個風險，這就是介面整合技術備便水準的觀念。介面整合備便水準是2007年由Sauser等學者提出的觀念，他們認為介面整合備便水準重要性不亞於單一總成技術(Component Technology)的備便水準，因

為沒有一個系統是可以在單一總成技術成熟的情況下就可以服役部署。因此，Sauser等學者進一步提出介面整合備便水準的評估方法與分級定義。本文簡要介紹介面整合備便水準的定義分級如表二所示。

製造技術備便水準

Sauser等學者在2007年所提出的備便水準觀念中，除了介面整合備便水準之外，他們認為武器系統研發籌獲階段的風險評估，也應該考量製造水準的技術準備狀況，所以提出製造技術備便水準(Manufacturing Readiness Level, MRL)的觀念。事實上，製造技術備便水準是美國國防部自2005年就開始採行的評估工具，他被廣泛的運用在一般生產製造的技術評估作業上，對特定武器系統的籌獲專案，製造

表二 介面整合備便水準分級定義說明

分級	定義	說明
IRL 9	任務確認	系統成功整合同時展示實戰效益。
IRL 8	任務合格	在系統環境下，完全展示整合與任務合格。
IRL 7	驗證化	介面技術細部驗證與確認完成。
IRL 6	資訊化	介面技術資訊在應用組件之間可以傳輸、確認、結構化。
IRL 5	控制化	介面整合技術之間的管控機制已經完成。
IRL 4	品質保證	介面整合技術具備非常詳細的品質保證資料。
IRL 3	相容性	技術或零組件整合界面已達到相容性的水準。
IRL 2	特性化	技術或元件整合界面所包括的特性在此被明確的界定清楚。
IRL 1	確認化	此階段為IRL最初等級。不同技術或元件之間的界面整合需求在此階段被確認。

技術備便水準更是評估合約商能力的重要指標之一。從字面意涵不難理解，製造技術備便水準主要是關注成熟的技術轉化為實體組件或總成的生產技術與能力。評估製造技術備便水準的目的有二：一、從製造的角度評估技術、零件或總成的生產準備程度；二、評估武器系統研發籌獲可能的製造風險，進而統籌規劃風險管理機制。製造技術備便水準的定義與分類是由美軍聯合防衛製造技術小組主導，同時邀請軍工產業各方代表所擬定的。不同於前述技術備便水準與介面整合備便水準的九級分類定義，製造技術備便水準參考美軍武獲生命週期的概念，將此一備便水準區分為十個等級，相關定義與分級請參閱表三。

系統備便水準

系統備便水準(System Readiness Level, SRL)是綜合前述三個備便水準的整合評估觀念，Sauser等學者認為，武器系統的研發籌獲，牽涉到技術層面的備便水準、介面整合的備便水準與生產製造的備便水準，所以真正評估一個武器系統的研發籌獲風險，應該整合上述三者的備便程度，也就是系統備便水準。系統備便水準的計算公式是根據技術備便水準、生產備便水準加上介面整合備便水準而得到的一個概念化數值，而這個數值一樣可以透過分級定義的方式，區分系統的備便程度。有關係統備便程度與前述三個備便水準的計算公式，

表三 製造技術備便水準分級定義說明

分級	定義	說明
MRL 10	全批量製造	全批量產能力的展示。具備精實生產能力。
MRL 9	小批量製造	小批量製造能力的展示。具備大量生產能力。
MRL 8	先導製造	先導製造能力的展示。具備初期小批量生產能力。
MRL 7	原型製造	在類生產環境中，原型組件總成、次系統、系統的製造能力被確認。
MRL 6	原型次系統製造	在類生產環境中，原型系統或次系統的製造能力被確認。
MRL 5	原型組件製造	在類生產環境中，原型組件總成的製造能力被確認。
MRL 4	實驗製造	實驗室製造技術能力被確認。
MRL 3	概念發展驗證	概念發展的生產品能力被確認。
MRL 2	概念階段	生產製造的概念確認。
MRL 1	基礎階段	基礎生產製造的應用已經確認。



有興趣的讀者可以參考美軍武獲網站，本文不在此多作介紹。表四係根據Sauser等學者所提出來的系統備便水準分級定義與說明。

後勤備便水準

前述備便水準的觀念，大體上是依循武器系統研發階段所產生的風險評估工具。然而，值得注意的是，過去對於武器系統籌獲階段所關注的風險課題，大都集中在技術、系統層面，忽略武器系統生產部署之後的風險評估。所謂生產部署之後的風險評估，主要的重點乃在後勤維持階段的能力評估。據此，本文藉用前述備便水準的觀念做法，提出後勤備便水準(Logistics Readiness Level, LRL)的風險評估觀念，目的在提醒武器系統

籌獲階段，後勤維持單位也應同時啟動對於生產部署之後的風險評估機制。由於過去我們較少探討後勤備便水準，所以沒有一套完整評估後勤準備程度的標準與制度。再加上後勤維持階段所牽涉的範圍極其廣泛，如何界定一體適用的後勤備便水準評估機制，也是一個值得商榷的課題。但是，本文借用坊間的觀念做法，簡單的提出後勤備便水準評估框架的基本構想，除了引領讀者思考如何評估後勤運作的備便水準，也期望可以引起後勤幹部對這個議題的重視。

本文定義後勤備便水準是指「為達成武器系統正常運作所需人員、技術、流程、組織、管控機制的完備程度」。由於後勤所涵蓋的範圍極為廣泛，從水平範疇的角度觀

表四 系統備便水準分級定義說明

分級	定義	說明
SRL 9	作戰系統	系統在戰場操作、驗證與維修保養。
SRL 8	系統完整展示	代表性系統在實際戰場完成驗證。
SRL 7	系統實戰展示	整合原型系統在作戰與生產環境完成驗證。
SRL 6	系統原型展示	原型系統在作戰與生產環境完成驗證。介面控制可在部署環境中被追蹤確認。
SRL 5	系統總成	所有系統的總成在類似的生產與作戰環境完成製造與測試驗證。
SRL 4	系統總成驗證	所有系統的總成在實驗室環境完成製造與測試驗證。
SRL 3	概念驗證	實驗資料顯示系統發展與製造是具有可能性的。
SRL 2	系統技術	次系統的技術路徑明確包含特定技術方案。技術、製造、介面的主要驅力被確認。
SRL 1	系統概念	系統已明確包含次系統概念。所有系統功能需求都被明確的量化與理解。

表五 後勤備便水準分級定義說明

分級	定義	說明
LRL 6	成熟階段	完整的後勤組織運作與人員專業生涯發展。健全的績效評估機制與資訊回饋系統。
LRL 5	整合階段	組織建置、技術專長與作業流程完成整合。
LRL 4	構型階段	完整的後勤組織已經成立，技術與專業人力已稍具雛型。
LRL 3	發展階段	建立後勤運作程序及標準，但是僅適用於複雜的作業系統。臨時性的任務組織已經產生。
LRL 2	基礎階段	了解系統後勤的運作程序，同時清楚知道程序運作後的利弊。已經具備部分文件資料。
LRL 1	概念階段	具備概念性的系統後勤思維，但是具體方向尚未明確。

察，後勤涵蓋補給、保修、運輸、醫衛、彈藥、勤務等功能，從垂直範疇的角度，後勤則包含了需求、獲得、儲運、分配的四個功能。如何建構一個足以評估橫斷面與縱斷面後勤範疇的備便水準，可能需要更多的專業與分工。本文在此提出基本框架，如表五所示，以為後續建構個別功能備便水準的參考應用。

文末省思

長久以來，武器系統籌獲階段的風險評估，大部分都是參考美軍的技術備便水準，做為評估武器系統的籌獲風險工具。最近幾年來，美軍除了加強技術備便水準在軍事武器研發供應商的能力評估標準之外，介面整合技術備便水準、製造技術備便水準，乃至系統備便水準也都變成評估武器系統籌獲階段非常重要

的風險分析工具。這些觀念與作法都值得我們學習效法，尤其當前我國建軍規劃以國機國造與國鑑國造為策略目標，如何學習美軍在武器籌獲階段的風險評估機制，應是我們努力推動國防自主的同時所必須重視的課題。除此之外，我們過去對於武器籌獲階段的風險評估，過度集中在前期的技術、系統層次的考量，反而輕忽後勤維持階段的備便水準評估機制。本文藉此觀念，提出不同於以往的後勤備便水準，希望國防建軍規劃的同時，可應注重後勤整備的風險評估，如此一來，才能確保研發順利的武器系統，也可以有運作順利的後勤支援。