

工業4.0運用於在空軍航機 保修作業之研究

空軍中校 吳孟諺 空軍上校 劉吉祥

提 要

「工業4.0」源自德國於2011年所提出的一項資訊科技策略，其主要是結合前瞻數位科技、導入智慧創新技術，把原自動化製造推向智慧製造，以滿足時代需求；鑑於我國軍航空載具亦邁入中、後壽期階段，各項零組件均達衰退高峰期，進而導致航機保修作業負荷增加，而智慧製造應用於國防工業是具有發展潛力(如品質監管、智慧研析等特點)，我國軍航機保修部隊如何善用工業4.0管理模式之智能化科技力量完成先期故障判斷、主動預料之核心技術，是未來提升後勤作業整體效率之關鍵指標。

關鍵詞：工業4.0、智慧創新、航機保修

前 言

因應全球2020年受新型冠狀肺炎疫情(COVID-19)影響，許多國家均採取防護措施(如封城、隔離等)，影響各產業供應鏈之運作，而製造產業為首要衝擊之對象，甚至也影響到國防工業。此次疫情使許多國家之產業均重新針對生產模式不足之處加以檢視，並加速將產業轉型為智慧製造化，以降低對人工之需求，並同步優化製造流程。轉型智慧製造已是未來全球趨勢，而該作業用於國防工業是潛力無窮的，如何將智慧製造成果，有效轉化為智慧國防應用，是未來國軍重要課題之一，相信這除可倍增國防工業生產力，也能有效增長我國防不對稱戰力。¹

近幾年兩岸情勢劇變，為有效達成國防自主目標，政府自2016年已將國防產業做為五大創新研發計畫之一，且提出「潛艦國造、國機國造」等作業藍圖，並透過自主研發帶動國防升級，政府希望可藉由技術能量資助與民間力量之結合，更加落實國防自主政策，在兼顧國防安全與經濟脈動需求下，提供一個完善的工業4.0世界來建構國防科技產業，創造具有預測性、製程優化、效益庫存等優勢，並可激勵廠商投資意願的產業環境，使國防科研真正自主與技術提升，早日達成智慧科技化國防產業之願景，但在發展國防科技研發與產業發展的過程中，不可避免的會面臨技術與軍品交易、研發成果保護、技術合作與轉移等問題，這些都和智慧財

¹ 甯秋芳、杜中偉，「智慧製造於國防工業之應用」，新新季刊，第49卷，第2期(2021年4月)，頁12-13。

產權有密切關係，²因此，如何強化國防智慧財產權的制度與管理，將成為臺灣發展國防產業的重要課題之一。

本研究主要以蒐整民間企業運用工業4.0之成功案例及相關經驗，實施深入研討與分析，將研究內容評估導入空軍航機維修作業之策略進行可行性評估，並適時提出改善建議，期望後續國軍可階段性排除航機維修作業導入工業4.0所面對之種種障礙，以強化國軍整體修護能量及節約人力等作業。

工業4.0發展及運用現況

一、工業4.0緣起

「工業4.0」一詞最早出現在2011年德國漢諾威工業博覽會(Hannover Fair)，由德國學術界和產業界推動下形成，也成為了德國的國家策略。³自2013年「工業4.0」平台成立，藉此揭開智慧科技之序幕，也隨著網際網路及雲端計算的迅速發展，誕生了這波工業革命，其重點是把精密機械工廠提升成有彈性和效率的智慧製

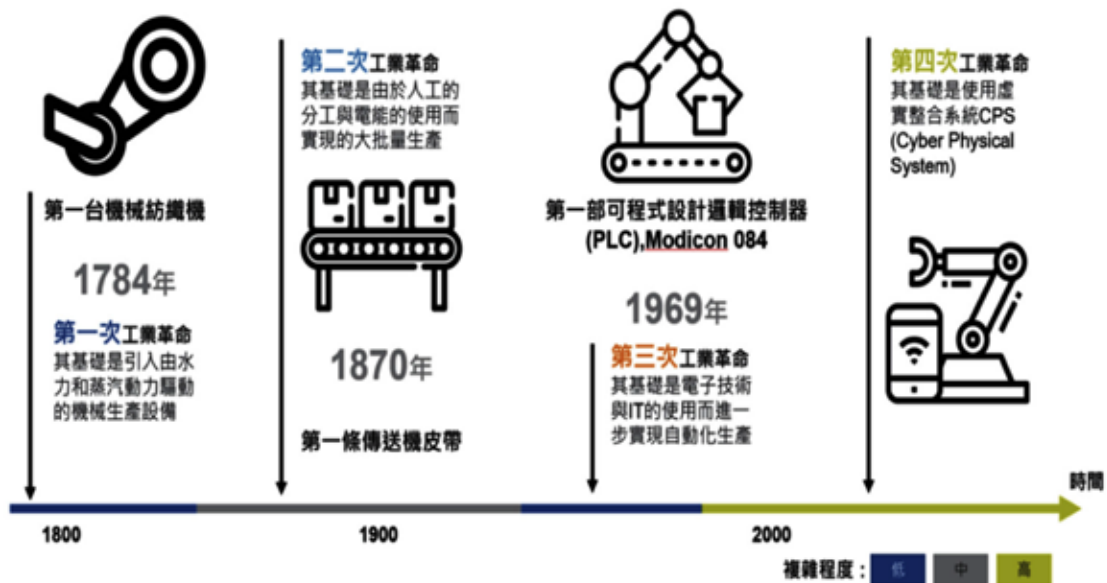


圖1 工業1.0~4.0各階段發展

資料來源：顏瑞雄，「智慧製造的過去與未來」，機械工業雜誌，第478卷(2023年1月)，頁4-6。

2 國家發展委員會，「五大創新研發計畫：以創新驅動台灣下一世代產業成長動能」，2016年6月，頁21，https://www.ndc.gov.tw/Content_List.aspx?n=9D024A4424DC36B9，檢索日期:2023年12月21日。

3 洪偉庭，「工業4.0看智慧製造對科技業影響」，(桃園：龍華科技大學企業管理系研究所碩士論文，2020年1月)。



造工廠，以解決原物料成本攀升、勞動力減少、產品和售服週期縮短及各項需求端變化等四大全球性難題。⁴

隨著資訊科技的發展，自1784年起迄今總共經歷了四次工業革命(又稱為工業1.0~4.0，如圖1)，每一次工業革命主要原因都是因為技術或科學有重大的突破，並產生了明顯的巨變(如增加產能、減少人力或提高效率等)，其演變階段說明如後：⁵

(一)第一次工業革命(簡稱工業1.0)：

為「機械製造化」時代(約18世紀60年代至19世紀中期)，主要為英國發明了蒸汽機，而執行第一次工業革命，由原傳統人力或獸力的製造模式改由機器動力取代，陸續出現機器工廠的營運概念，也帶動新模式的經濟發展。

(二)第二次工業革命(簡稱工業2.0)：

為「電氣化」時代(約19世紀後半期至20世紀初)，因應電動機發明啟動了第二次工業革命，由電力取代了原本蒸汽機的製造模式，且美國福特發明生產線概念，使製造工廠開始有大規模生產的能力，並且有效降低產業營運成本。

(三)第三次工業革命(簡稱工業3.0)：

為「自動化」時代(約從20世紀70年代)，主要為產品生產週期縮短、複雜及精密，於第二次世界大戰後，工廠將資訊

技術(IT：Information Technology)導入生產製造，邁入了「自動化工廠」，使製造業改變了執程序，至此定義為第三次工業革命。

(四)第四次工業革命(簡稱工業4.0)：

為「智能化」時代(約21世紀起)，為符合顧客需求，以「智慧製造」為主要核心，將實體物理世界與虛擬網路融合，主要利用智慧技術將製程優化及數位決策，使工廠於有效率及高品質的情況下，產製客製化之產品，該階段稱為第四次工業革命。

二、工業4.0之核心

工業革命每一次都是因應人類需求的改變、技術提升或生產模式變化而產生。在工業3.0係廣泛運用電子及資訊技術，使製造過程自動化，而工業4.0係以工業3.0為基礎，並且將物聯網(IoT：Internet of Things)、人工智慧及大數據分析等技術提升，使各產品以全生命之週期(包括產品設計、工程生產、生產規劃、量產與售後之服務等)之方式管理。⁶

工業4.0核心意義為「智慧製造」，主要係運用嵌入式感測/處理/存儲器和通信之模組，將產品、裝備、原/材料、軟體等系統連結在一起，使產品和不同之生產的設備可相互串聯和通訊，並且透過這些收集的資料進行深入的數據分析，⁷以

4 維基百科，〈工業4.0〉，2020年11月，<http://zh.m.wikipedia.org/wiki/工業4.0>，檢索日期：2023年12月21日。

5 王進德，工業4.0的物聯網智慧工廠應用與實作(新北：博碩文化，2021年)，頁286。

6 王進德，工業4.0的物聯網智慧工廠應用與實作，頁286。

有效瞭解工廠運作情況。

依照上述說明可瞭解工業4.0係藉由資訊數據之蒐集和電腦快速分析實施整合，並產出最佳決策方案，其主要技術係運用了「物聯網」、「雲端計算」、「大數據」、「人工智慧」、「3R技術」、「積層製造」及「系統整合」等七大科技，⁸同步透由數據鏈結之技術和網路執行整合，使各環節可有效配合，而因應全球科技進步趨勢，我國空軍要如何藉由工業4.0之智慧科技廣泛運用於航機保修之供應鏈上，使修護作業可有效提升整體效率及戰力，為我國刻不容緩的科技研究議題。

三、工業4.0七大核心技術

七大科技中的「物聯網IoT」是真正讓所有系統的有效整合在一起的，不過，要讓各科技可實際應用，並且有效發揮成效，關鍵因素在於彼此間要如何適時配合及運用下列各項技術，各科技說明摘要如後：

(一)物聯網IoT

物聯網將各種物品加上感測器(如無線射頻識別系統、環境感測器、全球定位系統等)，並具備通用唯一辨識碼(UUID：Universally Unique Identifier)，透過網際網路使計算裝置、機械、數位機器相互關聯的系統，無須由人與人或是人與裝置的互動物聯網；最簡單的說法就

是「透過網路連結了所有事物，而將這些事物串起來做系統和數據應用」，而這技術可應用在物流運輸、工業製造、醫療健康、個人或社會領域等。

(二)雲端計算

被稱為網路運算，是一種透過網際網路來傳遞伺服器、資料庫、軟體、分析、智慧功能等運算服務，讓企業可不需要投資大量金錢及時間去維護，且能更有效率的完成同樣之事物，以加快創新速度，確保資源之彈性，並實現規模經濟。

(三)大數據(Big Data)

大數據是由龐大的數據集組成的數據庫，其規模大到無法在可接受的時間內進行收集、管理和分析，因此通常會結合人工智能和機器學習(Machine Learning)來處理。這樣可以從中提取出有價值的資料並加以應用。大數據擁有五大特性：數據量大(Volume)、數據類型多樣(Variety)、處理速度快(Velocity)、數據準確性高(Veracity)、以及數據價值高(Value)，通稱為5V。這些特性能幫助企業做出更有效的決策、降低投資風險、削減成本、提升生產力、優化客戶體驗，從而增加整體收益。

(四)人工智慧(AI)

人工智慧(AI：Artificial Intelligence)是讓機器像人類一樣有思考模式、邏輯與行為之能力，且能自行透過數據分析的過

7 王泰裕，「工業4.0時代來臨」，科學發展，第544期(2018年4月)，頁4-5。

8 曾文昱、劉吉祥，「空軍航機保修導入工業4.0之研究」，空軍軍官雙月刊，第228期(2023年2月)，頁63-80。



程，持續自我校正，目前人工智慧多用於專家系統、自然語言處理(NLP：Natural language processing)、語音識別和機器視覺。

AI也稱為機器智慧，是人類製造的機器展現的智慧。它通常涉及在生產過程中透過電腦模仿人類的智慧行為，並能夠在無人或少人操作的狀況下根據需求運作。這項技術在多個領域中得到了廣泛應用，包括工業、農業、商業、科學研究、交通、軍事和醫療等。透過AI技術，可以顯著提升生產效率，縮短產品的生產周期，對製造業產生深遠的影響。

(五)3R技術(VR、AR、MR)

3 R 技術通常可分為虛擬實境(VR：Virtual Reality)、擴增實境(AR：Augmented Reality)及混合實境(MR：Mixed Reality)等三種技術，各意涵概述如後：

1.VR：利用電腦類比所產生的一個三度空間之虛擬世界，提供使用者視、聽、觸覺等不同感官感受，在沒有時間及空間之限制下，可觀察及體驗三度空間的情境，感覺彷彿身歷其境。⁹

2.AR：利用圖像分析技術與照相

機，將虛擬物件與場景添加到真實環境中，使虛擬與真實世界的場景、物件與知識可相互遞轉與連結，而民間最有名的例子即是近幾年最火紅的Pokemon Go這款寶可夢手機遊戲。¹⁰

3.MR：同時兼具VR與擴AR之特性，該技術已廣泛應用到醫療照護、軍事武器、工業工程與娛樂影視等領域，¹¹例如智能裝置可使用虛擬模擬找出特定的預測潛藏故障零組件及問題，並有效改善作業運作時間。

(六)積層製造(3D列印)

又稱為加法製造(AM：Additive Manufacturing)，也就是平常人家說的3D列印，利用一層一層堆疊的方式製造出一個完整品，技師只需要使用電腦輔助設計(CAD：Computer Aided Design)軟體來建構模型，並傳送檔案至積層製造機內，即能開始製作需求產品。¹²積層製造不僅解決過往模組初期成本昂貴而導致商品無法客製化、測試成本昂貴、新品上市速度慢等窒礙，同時也讓未來每個人都能實際參與設計，且盡可能符合顧客所需。

(七)系統整合

將公司、供應商和客戶各式各樣不

9 林詩淳，「虛擬互動實境輔助專科護理師批判性思考訓練之應用」，護理雜誌，第68卷第5期(2021年10月)，頁18-23。

10 陳奕璇，「擴增實境融入多媒體教材：視覺藝術互動電子書之研究」，教育傳播與科技研究，第122期(2020年4月)，頁57-70。

11 徐邵恩、高清漢，「MR混合實境的金屬3D列印教學與訓練研究」，(桃園：中原大學設計學院工業設計系碩士論文，2021年10月)。

12 邱國基，「積層製造技術之應用與市場概況」，微系統暨奈米科技協會會刊，第45期(2021年6月)，頁35-43。

同的系統、子系統、其他軟體或數據平台等各項資訊，透過整合至一個中央控管平台，以有效率的執行各項業務，且利用完整的數據來做更有效及準據的分析。¹³

四、工業4.0各國發展概況

(一)德國工業4.0之產業政策

2013年德國在「高技術戰略 2020」中訂定未來十大專案，並金額投資約 2 億歐元，¹⁴其主要目標係讓製造業電腦化、智慧化及數位化，並使相關能力有效提升。另2015年德國聯邦經濟能源部報告說明，預判 2025年以後，工業4.0最主要的支撐產業將為雲端智慧、數位智慧、機器人及物聯網等。¹⁵

(二)美國工業4.0之產業政策

美國於2011年實施「先進製造伙伴計畫(AMP：Advanced Manufacturing Partnership)」政策，並於當年6月由歐巴馬總統宣布，未來強化美國再工業化應包含「加速創新」、「人才保障」與「制定政策來改善商業環境」等三大主軸，其主要目的為使海內外製造業回流、振興美國的製造業及帶動就業機會，這計畫於美國前總統川普當選後，貫徹推行「美國製造業回流」的政策路線。¹⁶

(三)日本工業4.0之產業政策

「日本產業重振計畫」於2013 年係利用設備和研發促進投資來重振製造業，2014年製造業白皮書中鼓勵廠商運用外部經營資源及IT技術，並嘗試建構可創造獲利的新興產業，主要計有「3D列印技術」、「新一代環保車」、「再生醫療健康」、「機器人」、「改變現有製造方式」等產業。¹⁷

2015 年「機器人新戰略」主要重點為人與機共存的未來之工廠及人工智慧機器人，以有效支援日本高齡化的需求，並期望可重振日本製造業，其最終目的可讓機器人可以普及社會使用。¹⁸

(四)中國工業4.0之產業政策

2015 年 5 月中國國務院頒布「中國製造 2025」提案，並由國務院組成「國家製造強國建設領導小組」，負責統籌協調等工作，並期待帶動「由要素驅動向創新驅動轉變」、「由低成本競爭優勢向品質效益競爭優勢轉變」、「由資源消耗大、污染物排放多的粗放製造向綠色製造轉變」及「由生產型製造向服務型製造轉變」等四大重要轉變。¹⁹另根據中國國家製造強國諮詢委員會所提出「製造業強

13 王進德，工業4.0的物聯網智慧工廠應用與實作，頁286。

14 張瑞隆，「工業4.0使製造業升級」，科學發展，第544期(2018年4月)，頁17-20。

15 郭楚其、徐作聖，「工業4.0下製造業之轉型政策」，管理評論，第37卷，第3期(2018年7月)，頁1-13。

16 張瑞隆，工業4.0使製造業升級，頁17-20。

17 林葳均，「淺談工業4.0浪潮下的國際製造業政策」，經濟前瞻，第162期(2015年11月)，頁65-72。

18 張瑞隆，工業4.0使製造業升級，頁17-20。

19 林葳均，淺談工業4.0浪潮下的國際製造業政策，頁65-72。

國」的目標，將以「三步走」的方式，分為「邁入製造強國行列」、「達到世界製造強國中等水準」及「進入世界製造強國前列」等三階段。²⁰

(五)臺灣工業4.0之產業策略

我國行政院於2015年推出「生產力4.0發展方案」，針對臺灣製造業未來十年的轉型設定了遠景，此為臺灣版的「工業4.0政策」。該方案建立在「智慧型自動化產業發展方案」之上，結合了農業科技化與商業自動化的發展，期許透過智慧機械、物聯網、巨量資料和雲端運算等技術提升製造業、商業服務業和農業產品與服務的附加價值，並發展與機器協同的智慧工作環境，應對高齡社會和減少的勞動力需求。

2016年推動五大創新研發計畫，其目標為激勵產業提升能量及創新，並掌握「連結未來、連結全球、連結在地」等三大理念策略，以達「創新、分配、就業」之核心價值。²¹另政府已規劃下世代的成長目標，並提出5+2產業新創計畫(亞洲·矽谷、循環經濟、智慧機械、國防產業、綠能科技、生醫產業及新農業)，期盼可與全球創新能量持續接軌。

表1 各國發展工業4.0策略重點

國家	計畫名稱	目標
德國	高技術戰略 2020	製造業相關能力轉變為電腦化、智慧化及數位化，並結合雲端/數位智慧、機器人及物聯網等。
美國	先進製造伙伴計畫	使海內外製造產業回流美國，以振興製造業，並帶動相關就業機會。
日本	機器人新戰略	為有效支援日本高齡化社會需求，提倡人機共存之未來工廠及人工智慧機器人，並期望機器人可以普及社會使用。
中國大陸	中國製造 2025	帶動「創新驅動」、「品質效益競爭優勢」、「綠色製造」及「服務型製造」等四大重要轉變，並提出「製造業強國」的目標，將以「三步走」的方式推動各產業運作。
中華民國	生產力 4.0	整合農業科技化及商業自動化之發展進程，並激勵產業提升能量及創新，以達國家核心價值。

資料來源：本研究整理

空軍航機保修作業研討

一、空軍航機保修階層

為使空軍武器及裝備系統訂定維修循環之系統，並有效提供修(維)護單位之人員與物力需求，依照實際修護工作任務、能力與責任，將航機保修階層區分為「使用單位之維護」、「場站階層修護」及「工廠階層修護」等三種修護能量，²²說明摘重如後(如圖2)：

(一)使用單位階層之維護(O/L：O-Level Maintenance)

20 郭楚其、徐作聖，工業4.0下製造業之轉型政策，頁1-13。

21 國家發展委員會，「五大創新研發計畫：以創新驅動台灣下一世代產業成長動能」，2016年6月，頁21，https://www.ndc.gov.tw/Content_List.aspx?n=9D024A4424DC36B9，檢索日期:2023年12月21日。

22 李莒聲，「軍機維修組織領導者特質、安全文化對安全績效之關係-以北部某空軍基地為例」，(桃園：元智大學工業工程與管理學系研究所碩士論文，2007年4月)。

使用單位主要係負責單位所配賦之裝備系統的各项檢查作業，並且須執行基地之一般勤務。

(二)場站階層之維護(I/L：I-Level Maintenance)

在長期或臨時性之軍工廠，由多種專才人員，利用各項工具、設備及零件完成各項裝備之維修保養或直接支援基層單位修護工作。

(三)工廠階層之維護(D/L：D-Level Maintenance)

在固定基地之軍工廠，主要負責最高層級的裝備或零附件的修護維保工作。

²³另該工廠亦需協助各基層單位執行技術

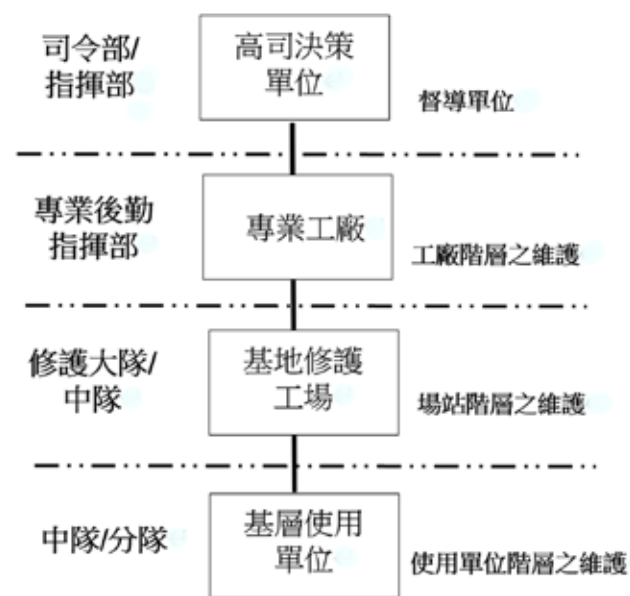


圖2 修護單位修護階層劃分圖

資料來源：國防部空軍司令部，「空軍修護管理作業手冊」，2018年7月，頁1162。

輔佐和深度修護需求評估等作業。

二、空軍修護制度

為使修護作業有效滿足戰訓需求，律定空軍修護之制度，以提供各單位遵循，俾充分發揮組織效能。空軍現行修護制度大致上可區分為「一般性修護制度」、「管理性修護制度」及「執行性修護制度」等三類，²⁴相關修護制度說明摘重如後：

(一)一般性修護制度

1.使用單位之維護(O/L)：由基層單位的人員對所屬裝備執行預期防護的修護行動。

2.場站階層之維護(I/L)：由基地修護工場的人員對所屬裝備執行改正或修正的修護行動。

3.工廠階層修護(D/L)：由專業工廠的人員對所屬裝備執行深度修理之修護行動。

(二)管理性修護制度

1.業務管理面：主要範疇為指導修護品質的提升，並透過標準作業系統，完成各項修護作業，使成本達到最小。

2.品質促進面：主要範疇係透過品質管理和可靠度提升等作為，制定各項品質指導目標，有效支援任務推展遂行。

3.技術督導面：主要範疇為制定修(維)護標準作業程序、人員修護技能提升、強化裝備管理措施等，以有效提高技術水平。

23 國防部空軍司令部，「空軍修護管理作業手冊」，2018年7月，頁1162。

24 國防部空軍司令部，空軍修護管理作業手冊，頁1162。

表2 空軍修護制度

制度	執行重點	備考
一般性修護制度	概分為使用單位階層之維護、場站階層之維護及工廠階層之維護等制度。	
管理性修護制度	概分為業務方面管理、品質促進方面及技術督導方面。	
執行性修護制度	使用單位之維護及場站階層維護：賦予案內階層人員各自的修（維）護責任，並遵相關標準作業程序完成檢修作業。 工廠階層維護：由專業工廠人員依各項修護制度執行維修作業，以預判及排除各項裝備潛在之故障因素。	

資料來源：本研究整理。

(三)執行性修護制度

1.使用單位之維護及場站階層維護：賦予案內階層人員各自的修(維)護責任，並遵相關標準作業程序完成檢修作業，確保各項裝備妥善。

2.工廠階層維護：由專業工廠人員依各項修護制度執行維修作業，以預判及排除各項裝備潛在之故障因素，避免裝備損失或戰備影響。

三、空軍修護作業之流程

修護作業流程大致上區分為計畫性修護及非計畫性修護等兩類型。為能有效支援各項戰訓任務，由修護管制單位統一運用基地修護管理系統(BMMS：Base Maintenance Management System)及相關規定處理程序完成工作派遣及管制等作業(如圖3)，²⁵摘要說明如後：

(一)影響軍機修護品質相關因素之探討計畫性修護

以定期與計畫性的工作為主，依照所估算之工作量，執行優先次序排列後，安排所屬人員執行相關修(維)護作業。修護流程係由各單位於年度開始前完成年度修護計畫制定，並由修護管制單位管制各單位依計畫辦理裝備週期性檢查等作業；另如屬專業工廠之修護範疇時，轉由專業指揮部或委商執行。

(二)非計畫性修護

以之前從未計畫的工作為主，為不可以預先判定之修(維)護需求。²⁶以戰機

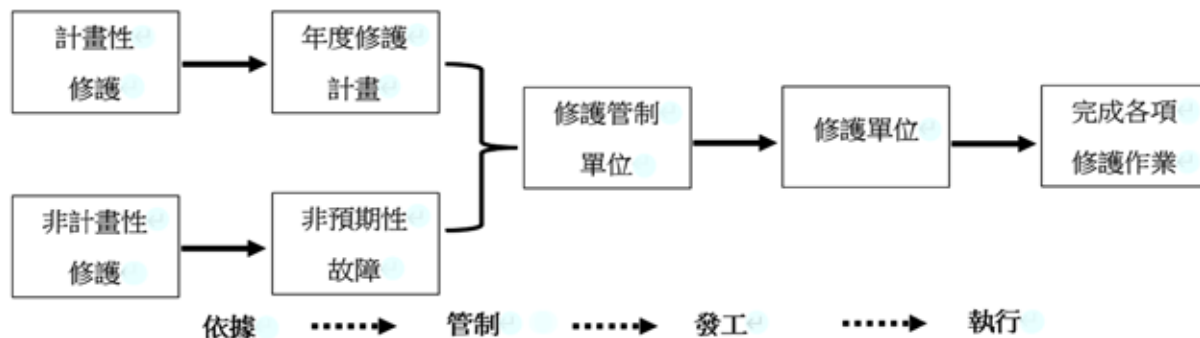


圖3 空軍修護作業流程圖

資料來源：本研究整理。

25 國防部空軍司令部，空軍修護管理作業手冊，頁1162。

飛後故障為例，其作業流程係由飛行員於飛前或後檢查發現戰機故障時，依程序填寫故障申請單，再由戰機管制員告知修護管制單位，修護管制單位再通知相關專業之修護人員檢試故障情況，並辦理修(維)護等作業。

四、工業4.0導入空軍修護作業之未來挑戰及窒礙

空軍現行修護作業已建置後勤資訊之管理系統(LIMS：Logistic Information Management System)，並運用雲端平台蒐集各型飛機、裝備等相關維保之大數據，惟全面導入工業4.0方面仍須面臨許多挑戰及窒礙，說明摘要如後：

(一) 缺乏 M2M 機聯網 (M2M：Machine-to-Machine)

M2M機聯網是工業4.0的重要基礎，可實現機器對機器的自動化溝通與協作。鑑於空軍多項飛機、裝備均向國外採購，修護作業之系統受限於美方原廠授權及資安管控等因素，使M2M機聯網尚未普及，制約了工業4.0技術的深入應用。

(二) 智慧技術應用不足

工業4.0的核心技術為大數據分析及人工智慧等技術。而我國國防工業現階段在智慧技術方面的應用仍處於起步階段，尚未足以達到「人機共做、資源共享」、「數位決策、虛實整合」、「客製服務、履歷可稽」及「智慧管理、優化研析」等

目標，²⁷無法有效發揮其潛力。

(三) 國防工業智慧化技術門檻高導入不易

鑑於國防工業各項產品技術門檻高、更新速度快、樣式繁多、介面整合多元、品保要求嚴謹、環境規格嚴苛。因此，國防工業必須具備精密度高、客製新穎、多元獨特和優化調整的生產製造能力，以滿足國防產業標準及需求。

空軍航機保修作業導入工業4.0之建議

工業4.0的發展是一個逐步演進之過程，從工業3.0的自動化製造開始，透過機械聯網和軟硬體協作，進入到工業3.5的階段，其中虛實整合和數位決策成為關鍵。工業4.0帶來的智慧製造則體現在智慧管理和優化研析上。這一轉變不僅是技術上的進步，更涉及到製造過程的標準化、網路化、自動化和系統化等各個方面。

在實現智慧製造的過程中，數位轉型和數據分析扮演著關鍵角色。它們使得製造業能夠從事後解釋轉向事前預測，從而實現決策的數位化、即時化和優化。這一過程需要依賴於先進的資訊系統，包括企業資源規劃(ERP：Enterprise resource planning)、製造執行系統(MES：Manufacturing Execution System)、顧客

26 尤福瑞，「影響軍機修護品質相關因素之探討」，(臺南：立德管理學院科技管理研究所碩士論文，2006年6月)。

27 甯秋芳、杜中偉，智慧製造於國防工業之應用，頁12-13。



關係管理(CRM：Customer Relationship Management)和供應鏈管理(SCM：Supply Chain Management)，這些系統共同構成了製造管理資訊平台，然而，實現這些變革需要時間，並受到許多因素的影響，包括設備、人才、專業知識、網路設施、工藝方法和管理制度等。因此，每個產業在推進工業4.0的過程中可能會有不同的路徑和步驟，但不變的是，達到自動化的能力是邁向智慧製造的前提，而數據驅動的決策則是實現智慧製造的核心。

工業4.0的技術運用對國防工業的發展至關重要，它不僅可有效提高生產效率、增加優化調整的靈活性和確保高品質管理，還能降低人力需求、工安風險和國防預算，並減少能源消耗。此外，智慧運用不僅局限於維修、生產和訓練，亦包括對武器系統或軍備產品之零件和製程進行數據蒐集和分析，從而為性能提升和系統精進提供重要之參考依據。因此，實施工業4.0技術是國防工業未來發展的關鍵所在。

一、民間醫療企業導入工業4.0之成功案例

民間企業為有效提升醫療服務的質量和效率，並能夠提供病人更客製化、便捷的醫療體驗，也陸續導入工業4.0之技術，如智慧診斷與治療、遠端監控與電子

健康紀錄、智慧藥物管理、客製化醫療裝置及醫療供應鏈管理等，運用情況說明如後：

(一)智慧診斷與治療

透過結合人工智慧和大數據分析技術革新醫療各項領域。醫療專業人員利用這些技術可以更精準的診斷疾病、制定客製化的治療方案，並預測疾病的發展趨勢。²⁸例如AI在醫療影像診斷中的應用已顯著提高了診斷的準確性和效率，而大數據分析則為病人提供了更加客製化的治療選擇，這些進步不僅提升了病人的治療效果，也為醫療系統帶來了更高的效率和成本效益。²⁹

(二)遠端監控與電子健康紀錄

醫療企業透過物聯網技術開發遠端監控設備，蒐集病人的各項生理數據，並將相關資料整合至電子健康紀錄系統中，使醫生可運用遠程監控方式，隨時掌握病人健康狀況，也為病人提供了更便捷的健康管理方式。

(三)智慧藥物管理

透過整合IoT和大數據技術，執行藥物生產、庫存管理和配送過程的自動化和可追蹤性。這不僅提高了藥物管理的效率，也增強了安全性。例如，物聯網技術可用於實時監控藥品製造過程，確保生產質量；大數據分析則幫助預測藥物需求，

28 Esteva, A., Kuprel, B., Novoa, R.A., Ko, J., Swetter, S.M., Blau, H.M., and Thrun, S., "Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks," *Nature*, February 2017, pp.115-118.

29 Obermeyer, Z., and Emanuel, E.J., "Predicting the future - Big data, machine learning, and clinical medicine," *New England Journal of Medicine*, September 2016, pp.1216-1219.

優化庫存水平；而在藥物配送過程中，適時追蹤系統確保運輸條件的符合性和問題的及時處理。

(四)客製化醫療裝置

依據病人的具體需求，透過3D列印技術，訂製生產醫療裝置和輔助工具(如假肢、矯形器等)，客製化的醫療解決方案能夠提供更符合個人需求的治療效果。

(五)醫療供應鏈管理

透過結合IoT和區塊鏈技術，實現了醫療物資的智慧追蹤和高效管理。物聯網技術通過在物資上安裝感應器和追蹤裝置，即時監控物資的位置和狀態，確保質量和有效性。區塊鏈技術則提供了一個透明且不可篡改的數據記錄平台，增強了供應鏈的安全性和可追溯性。這些技術的應用不僅提高了物資管理的效率，還降低了物流成本，為醫療機構和病人提供了更加可靠和高效的服務。³⁰

二、空軍航機保修導入工業4.0之應用

為使航機保修領域帶來了智慧創新，透過整合先進技術(如人工智慧、大數據分析、擴增實境、物聯網等)，改善傳統航機保修作業之流程，使飛機及裝備系統之可靠度及安全性有效提升，並且降低維修成本，以擷節國防預算，相關應用作為建議如後：

(一)修護即時監控作為

透過IoT、感測裝置和智慧平台的結合，執行修護作業的即時監控和全程可視

化，有助於即時掌握施工進度和窒礙困難排除，並提醒修護人員注意各項潛在風險，確保各項作業遂行及提高維修品質和效率。

(二)即時故障判斷與分析故障趨勢

現階段各項故障判斷和趨勢分析均由人員依照作業經驗實施，相關過程耗時且易受人為因素影響，可能造成修護誤判之情況。建立大數據資料庫，並結合人工智慧技術(如專家系統、遺傳演算法及類神經網絡等方式)，可自動執行故障碼分析和故障趨勢預測，即時發現修護潛在問題，並減少戰機故障率，提高飛行之安全。

(三)創新維修訓練思維

運用3R技術(如AR、VR及MR等)創造出沉浸式的訓練環境，提供多維度的感官體驗(如視覺、聽覺、觸覺等)。這種高度互動和擬真的訓練方式，有助於提升學習者的理解和記憶，減少操作錯誤，提高維修效能，惟缺點係需編列國防預算採購相關裝具。

(四)庫儲管理優化

利用AR及IoT等技術，結合最佳化路徑演算法，優化庫儲檢料作業，運用機器實現自動化檢料作業，並透過頭戴式顯示器或可攜帶式平板電腦，計算並指引庫管人員及目標料件的最佳路徑，減少檢料錯誤，有效節約人力耗用，提高庫儲整體效率。

30 Kamath, R., "Food traceability on blockchain: Walmart's pork and mango pilots with IBM," The Journal of the British Blockchain Association, January 2018, pp. 3712.

三、工業4.0導入航機保修作業之策略建議

隨著工業4.0時代的到來，各行各業正面臨著前所未有的變革，對於國防產業而言，這一波科技革命帶來了重大的挑戰。針對空軍而言，如何有效將先進的資訊技術與現有的軍事系統結合，以成為提升整體作戰能力和後勤支援效能之關鍵。空軍在後勤資訊化與航機保修方面已經累積了相當豐富的經驗，這為進一步導入工業4.0技術提供了堅實的基礎，而面對全球快速發展的科技趨勢和複雜多變的國際安全環境，空軍必須不斷地自我更新和創新，以保持其在國防領域的領先地位，說明摘要如後：

(一)從後勤資訊化的角度方面

前在85年空軍就已經完成了後勤資訊化模組的建置，並在105年啟動雲端平台計畫，發展成為空軍後勤管理資訊系統，這些努力顯示了空軍在資訊技術應用方面的先進性和領導力。

(二)在航機保修的角度方面

現階段已經建立了一套完善的教育訓練制度，並配備了相應的軟硬體設施及設備，已為未來導入更先進的工業4.0技術打下了堅實的基礎。

空軍在進一步推進工業4.0技術應用的過程中，也面臨一些挑戰，其中資通安全管理的限制是一大障礙，為了維護營區內的資訊安全，國軍對於所有民用通信資訊器材實施了嚴格控制，這在一定程度上限制了新技術的導入和應用。此外，科技

專才的缺乏和國防預算的限制也是空軍面臨的重要問題。另在國際上，關鍵技術的取得受到各國戰略考量的影響，而中國大陸的外交施壓更是給空軍的技術發展帶來了不小的壓力。

面對這些挑戰，空軍必須制定有效的對應策略，以確保能夠順利地實現工業4.0的轉型。這不僅需要充分利用現有的優勢，如豐富的後勤資訊化經驗和完善的航機保修訓練體系，仍需積極尋找外部合作機會，克服資通安全管理的限制，並透過產官學合作吸引和培養更多的科技專才。同時，應積極參與國家的5+2產業創新計畫，尋求政府支持，並與國內外的先進企業和研究機構建立合作關係，共同開發和引進關鍵技術。面對國際上的競爭和壓力，空軍還需加強外交努力，爭取國際合作夥伴的支持，共同應對技術封鎖和外交施壓的挑戰。透過這些策略的實施，空軍將能夠有效地推進工業4.0的轉型，提升國防科技水平，並在未來的安全挑戰中保持優勢地位。

結論與建議

一、結論

因應工業4.0時代來臨，全球各產業轉型智慧化工廠已是未來趨勢，若將智慧製造應用於國防工業將可有效提高軍事後勤能量，建議空軍應參照我國各民間企業導入工業4.0之成功案例，並有效將IoT、雲端計算、大數據、AI、3R技術、3D列印及系統整合等七大核心技術導入航機保

修作業運用，可提升維修整體效率及節約維修成本；另全球科技推展正步入機器與人類相互合作的新時代，善用科技力量，進行主動決策、預警、航機保修全視化、模擬和實境訓練，將可提升航機保修作為、訓練成效，強化戰備整備，並合理擷節國防預算開支及有效管控風險，體現工業4.0的關鍵核心價值，成就次世代航機保修部隊修護成功關鍵。

二、建議

為了適應工業4.0時代，空軍航機保修作業需要將IoT、雲端計算、人工智慧和大數據等核心技術執行整合，惟首要應優先解決資安限制、裝備購置和人員訓練等關鍵問題，以提高航機保修效率和戰備整備能力，相關具體建議如後：

(一)資通安全限制窒礙之解決

解決資通安全限制是實現航機保修作業工業4.0化的關鍵。首先，應制定嚴格的資安政策(包括資安風險評估、資安事件管理和資安培訓等)，並依據資料敏感度設定不同的存取權限。另強化身分認證與存取控制，採用多因素身分認證機制(如密碼、指紋或臉部識別等)，實施最小權限原則。同時，加強網絡邊界保護，部署防火牆、入侵檢測系統和入侵防禦系統等，定期進行網絡安全漏洞掃描和滲透測試。

此外，對敏感資料進行加密處理，保護在傳輸過程中和存儲時的安全，採用強大的加密算法和密鑰管理機制，並實施資安事件監控和響應機制，對異常活動進

行實時監控和分析，發現資安事件，立即採取行動進行處理。另定期對所有涉及航機保修作業的人員進行資安意識教育和培訓，提高他們對資安威脅的警覺性和自我保護能力。

最後，與供應商和合作夥伴建立資安合作機制，共同制定資安標準和要求，確保整個供應鏈的資安水平。透過上述這些具體建議，以解決資通安全限制問題，為航機保修作業導入工業4.0技術提供堅實的資安基礎，確保航機保修數據的安全性和可靠性。

(二)規劃採購智慧型人員訓練裝具

在裝具採購方面，依據實際需求和技術發展趨勢，檢討納入空軍五年施政計畫採購，其範圍不僅限於3R技術相關的設備，應考慮IoT感測器、數據分析工具、自動化維修裝置等。在未來新型戰機或裝備的採購過程中，除結合3R訓練技術外，應重視裝備的互通性和可擴展性，以確保其能夠與現有系統無縫整合，並適應未來技術的升級。此外，裝備的採購應與人員訓練計畫應相結合，未來新式裝備的具體維修需求應與3R訓練技術的導入相互匹配，且軟體升級的整體壽期規劃也是重要的考慮因素之一，以確保其能夠適應未來技術的發展，從而延長裝備的使用壽命，減少頻繁更換的需要，並擷節國防預算。

在人員訓練方面，為了有效整合工業4.0技術於航機保修作業，建議從3R技術(VR、AR和MR)著手，首先，在人員訓

練方面，應將該技術作為後續教育訓練之重點。透過VR技術，可模擬航機維修的各種情境，讓維修人員在沒有實際風險的環境中執行操作及訓練；AR技術可以在維修過程中提供即時的資訊支援，幫助維修人員準確的識別問題並執行修復作業；MR技術則結合VR和AR之優點，提供更加沉浸式的訓練體驗。透過這些技術的應用，可大幅提升維修人員的技能水平和工作整體效率。

(三)國防系統整合自主及共享化

為了滿足國防產業標準及需求，並同步提升國防科技能力，應積極參與5+2產業創新計畫，透過關鍵策略來強化國防技術發展。首先，應界定關鍵技術的引進與自主研發的比例，這有助於保障國防技術自主權，也能提升國內產業的競爭力。

其次，擴大國際合作範圍，尤其是在高端軍事設備和先進研究領域，通過與國際盟友的合作，共享技術資源，共同提升防禦能力。透過上述策略的實施，除提升空軍在國際競爭中維持優勢及推動國家整體科技進步外，亦可有效解決智慧化技術不易導入國防工業之窒礙。

作者簡介

吳孟諺中校，空軍航空技術學院二技98年班、航校國電班102年班、高雄應用科技大學工管系碩士班107年班。曾任飛修官、品管官、股長、飛參官、後參官。國防大學空軍指參學院113年班。

劉吉祥上校，空軍機校83年班、國防管理學院資管系碩士、空軍指參學院99年班。曾任修護官、品管官、分隊長、教官。現為國防大學空軍指參學院上校教官。



F-16戰鬥機(照片提供：于康寧)