

工業 4.0 的國際發展趨勢與台灣因應之道

汪建南、馬雲龍

摘要

「工業 4.0」指全球工業在歷經蒸汽動力、電力及資訊等三次革命後，由智慧製造所推動的第四波革命。以智慧工廠為核心，加上物聯網構成工業 4.0 之架構—智慧工廠可大規模生產差異化產品，生產設備間不但能藉物聯網相互溝通，更可透過大數據與雲端運算，進行自主管理與改善。軟體在此扮演重要角色。國際競爭激烈、勞力短缺與資源環保限制為各國當前亟欲突破的困境，工業 4.0 提供了最好的工具與轉機。

一、主要國家工業 4.0 的發展

德國：在面臨工業製程複雜化、美國網路巨頭跨入實體經濟之威脅下，以其製造業技術優勢，結合軟體與網路，首先推出工業 4.0。並已取得國內外學研單位及產業界的普遍認同。

日本：因應經濟長期不景氣與高齡化社會，領先發展智慧化無人工廠。發展人工智慧產業及網路資訊技術為日本工業智慧化（日本工業 4.0）主要策略。企業界更組成「產業價值鏈主導權」及「工業 4.1J」聯盟。

美國：歐巴馬上任後便提出一系列「再工業化」政策，吸引長期外移之製造業回流，其中最重要的是「工業網際網路」（美國工業 4.0）。欲藉網路經濟服務推動「先進製造業」。高端技術領導廠商亦成立工業互聯網聯盟，研發新技術。

中國：「中國製造 2025」為工業 4.0 方案，係實現製造業由大到強的第一步：企圖掌握重點領域關鍵技術，推動製造業數位化、網路化及智慧化，使兩化（工業化與資訊化）融合邁入新境界。許多企業利用互聯網由售後服務向工業 4.0 邁進。

韓國：「製造業創新 3.0」為具新成長動能的「工業 4.0」，藉強化傳統企業與資通訊產業的交流合作進行升級。政府並扶植引導大企業集團，以母雞帶小雞，帶動中小企業進入工業 4.0 階段。

二、台灣生產力 4.0

我國製造業面臨市場型態改變與前後夾擊之外在挑戰，及資源有限與高齡化/少子化

等內在問題，工業 4.0 的產業結構優化、智慧製造與聯網系統等是問題解決方案。由行政院推動之「生產力 4.0 發展方案」，除製造業外，並涵蓋農業與服務業。主要策略即是結合國內智慧機械及資通訊優勢，運用物聯網、智慧機器人及大數據等技術，再加上精實管理，使產業邁入 4.0 階段。

蔡英文總統提出以大台中地區為中心，打造智慧機械創新之都的國家級戰略，讓機械業結合物聯網，往工業 4.0 前進。如同產業大樹之根，可做為未來航太、精密醫療及醫材等多行業領域之發展基礎。新政府整合「生產力 4.0 發展方案」與新推動之「五加二創新產業」及數位經濟發展，於 2016 年 8 月底完成調整，去蕪存菁納入智慧機械、亞洲·矽谷、與新農業等創新產業之政策目標與相關推動措施。

三、本文主要建議

政府應由生產力 4.0 辦公室，尋求共識以

建立 4.0 標準與做法，推動實施生產力 4.0 方式的研發與技轉，並協助產、學、研加入國外工業 4.0 研發合作計畫，提升技術並參與 4.0 國際網絡。政府可協助大企業作 4.0 的火車頭，並效仿韓、日，要求大企業以母雞帶小雞方式，協助中小企業協力廠轉型。此外，4.0 著重跨領域人才，政府應協助產、學人才培訓與深造，並設法吸引國內外人才及先端企業。

企業在升級 4.0 時首需瞭解客戶需求，量身訂做升級方案，可由特定功能或流程漸進提升。而工業 4.0 需要員工對日益複雜的生產模式具掌控能力，日本與德國之人力轉換的模式值得參考。關鍵零組件及軟體模組仍為藍海市場，雖然台灣起步較慢，但可尋覓國外好的廠商合作，積極投入。國際工業 4.0 發展及政府資源投入尚有限，台灣 4.0 政策要後來居上，需把握時機更要能落實貫徹。

壹、前言

「工業 4.0」最早出現在 2011 年德國漢諾威工業展開幕典禮時，梅克爾總理宣布德國將進入「工業 4.0」時代，其後由博世（Bosch）於 2013 年 4 月 8 日向德國政府提出「工業 4.0」發展建議之最終報告而正式面世。「工業 4.0」指的是以智慧製造為主導的第四次工業革命，各國對此次工業革命的稱

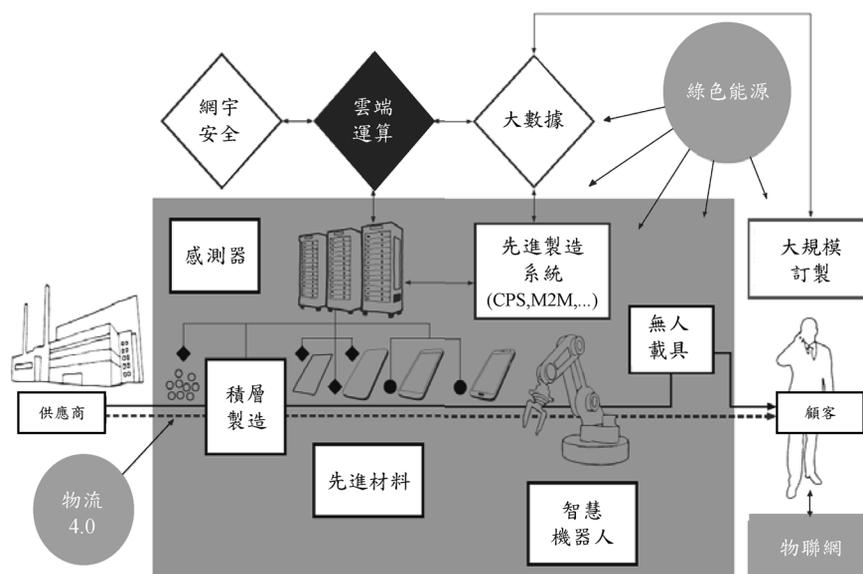
呼有所不同：美國表述為「再工業化」或「工業網際網路」，日本稱為「工業智慧化」，中國則規劃「中國製造 2025」，台灣提出「生產力 4.0」乃至蔡英文總統新政府的「智慧機械」及「物聯網」策略產業，實則殊途同歸。

第一次工業革命（工業 1.0）以水力與蒸

汽動力進行機械化生產；第二次工業革命（工業 2.0）使用電力進行大量與流水線式生產；第三次工業革命（工業 3.0）導入電子與資訊技術實現自動化生產；第四次工業革命（工業 4.0）建立網宇實體系統（CPS）（註 1），即以物聯網（註 2）資通訊系統，將實體智慧機械、工廠乃至客戶，連結成一體進行智慧化生產。



圖 1、工業 4.0 智慧工廠關鍵項目



資料來源：Roland Berger(2014/03)

註：詳細內容請參考附圖 1

（註 1）網宇實體系統（Cyber Physical Systems, CPS）是結合電腦運算領域、感測器和致動器裝置的整合控制系統，在物聯網基礎上、對物理實體(物件)進行實時（Real-Time）、動態的訊息控制與生產/服務。

（註 2）物聯網（Internet of Things, IoT）是指在物理世界的實體內，部署具有一定感知能力、計算能力和執行能力的嵌入式晶片和軟件，使之成為「智能物品」，通過網絡設施實現訊息傳輸、處理和協同，從而實現物與物之間的互聯（勤益科技大學（2016））。

工業 4.0 主導未來數十年的產業升級，具有以下特性：

一、智慧工廠中智慧機械的關鍵角色

智慧工廠為工業 4.0 策略之核心。智慧工廠將機械設備及企業管理數位化，可自動調整生產流程、預測及修復機械故障、降低庫存、以最有效率的方式製造彈性乃至即時的客製化產品。智慧機械可辨識產品上的數位晶片，依照不同的訂製要求予以加工；機械間可相互溝通，自主解決問題；並可用雲端平台提供的大量數據及資訊來自我管理與自

我改善，且提供有效的遠端服務。

二、全方位物聯網下的大數據分析與企業轉型

智慧工廠加物聯網才構成工業 4.0，智慧型網路連結物料、機械設備、生產線、產品、物流網、生產鏈及客戶，使企業內部所有因素密切連結，企業間也能全方位密切合作，且可無限貼近客戶。生產與行銷等部門與系統軟體互動，挖掘使用在雲端平台的大量數據，生成最符合客戶需求的產品設計與行銷方案，使企業由生產型製造轉型為服務

圖 2、工業 4.0 連結概念



資料來源：本文整理

型製造。

三、軟體在提升生產力的重要地位

工業 4.0 將數位化的虛擬世界與現實世界緊密融合，其中，軟體具有重要的功能。由軟體操控的“數位化企業平台”中，不同生產階段無縫銜接，並獨立於實際生產進行仿真與優化（註 3），產品生命周期管理軟體和自動化軟體技術可大幅減少上市時間達 50%，均大幅提升製造力。

企業需要不斷改進與創新工業流程：產品設計、生產規劃、生產工程、生產實施、生產物流以及生產服務。在每一個環節及整體的生命周期，需要軟體、軟體系統整合數據（註 4）及優化過程以維持競爭力。當環節與產品愈多，網路化及國際化愈廣，複雜性就愈高，優化的難度就愈大。提升軟體以克服這種複雜度，會反過來成為國際競爭的優勢（森德勒（2014），魯思沃（2014））。

貳、主要國家工業 4.0 的發展

工業 4.0 在全球掀起一股風潮，各國為了讓製造業取得領先地位，並解決刻不容緩的缺工、環保及資源限制等問題，紛紛考量自身優弱勢推出具特色的 4.0 升級策略。由於各國發展環境不同，製造業層次與強項有別，大抵皆就現有基礎做向上提升，先鞏固既有優勢，再拉開領先距離。

一、德國工業 4.0

（一）工業製程複雜化及網路巨頭擴張促成工業 4.0

過去 20 年間，德國堅持抵制「去工業化」的潮流（註 5），始終維持世界重要工業國的地位，且以機械與相關產業為重點。在 2010 年時，機械製造與汽車工業（含零配

（註 3）譬如軟體可模擬現有機器和處理設備，在電腦上進行生產線的規劃與改進。又如將機器運作數位化，由數據的錯誤報告立即修改製造過程的偏差，不需透過對實體的檢驗研究。此種仿真或虛擬化能力可大幅提升製造業生產力與競爭力。

（註 4）工業 4.0 發展趨勢是數位化，幾乎涵蓋所有生產流程。工程數據可直接轉化到生產過程中，生產信息也可用來提升研發及生產流程。因此，需將產品及產品生命周期的所有數據都整合進惟一的數據庫中。數位化生產流程所有環節可隨時進行測試，並根據需求進行重新設計，故需透過創新穩定的軟體工具。產品生命周期與研發周期愈來愈短，原本獨立的數據島如 PLM（產品生命週期管理）、MES（製造執行系統）、ERP（企業資源規劃）、SCM（供應鏈管理）需要融合，且智能聯網打破原有疆界下，形成對數據資料庫不斷提升的要求與挑戰（森德勒（2014），胡桉桐（2014））。

（註 5）相較於英國與美國等傳統工業化國家，德國製造業占 GDP 比重仍超過 20%。根據工研院產經中心(IEK)的調查，1991 年時德國製造業 GDP 占比約 27%，到 2000 雖減少至 23.1%，但自此至 2008 年皆維持在 23% 左右。而英國的占比則從 1991 年一路下滑，到 2008 年僅為 12.3%。此外，美國經濟分析局的數據顯示，美國製造業佔 GDP 的比重由 1980 年的 20 % 降到 2012 年的 12 %。

件)之營業額分別達約 7 兆及 10 兆新台幣。但近年德國面臨產品與系統的複雜性持續增加,以及美國網路巨頭不斷收購製造企業而跨入實體經濟的威脅,遂首先推出將虛擬網路及軟體與智慧生產設備融合成網宇實體系統(CPS)的工業 4.0,並強調人在此系統的角色(註 6)。

工業 4.0 將造成勞動力向高附加價值服務端的移轉。標準化低技術的活動會減少,高技術的活動會增加,包括計畫、控制和 IT 相關的工作;持續的學習、訓練和教育成為常態;研究方面則變得更為複雜,跨功能機構及跨公司夥伴網路的需要會不斷增加。至於勞動力人數的改變,Fraunhofer Institute 經由調查 518 家工業公司,認為德國整體勞動力會縮減(Bonekamp & Sure (2016));波士頓諮詢集團推測,迄 2025 年,61 萬個生產線普通勞工將被機器人取代,而新創出 96 萬個人機協作職位(BCG (2015));德國 Institute for Employment Research 之研究(Walter et al. (2015))指出,迄 2025 年,49 萬個工作將消失,43 萬個新創工作將產生。

(二)「工業 4.0」的策略及在民間的發展

德國製造業憑藉工業領域的技術優勢,將網路技術與崛起中的智慧製造技術相結合,建構與智慧工廠接軌的彈性物流,發展讓使用者可全程參與生產的模式。產業策略主軸為網路化生產與數位化製造(智慧工廠),使產品與服務借助互聯網、軟體、電子及智慧機械的結合,產生全新樣貌,並據此創造新生產組織與商業型態(林士蕙(2015))。

「工業 4.0」策略在德國已經取得學研單位及產業界的普遍認同。例如,Fraunhofer Institute 就將「工業 4.0」概念導入下轄的六、七間研究所中;西門子企業在生產控制器的過程中貫徹這個策略(參考附表 1),也提供許多「工業 4.0」軟體(註 7);博世汽車零件與巴斯夫化工產品的射頻識別碼也都能體現工業 4.0 而增加生產效率與充分客製化。

(三)政府政策

德國政府把「工業 4.0」列入《高科技策略 2020》大綱的十大發展專案之一,並投入 2 億歐元的經費。在民間企業高度配合下,預

(註 6) 工業 4.0 跳脫了自動化全面取代人的思維,重新強調人機協同合作,將人納入「智慧系統」的設計之中。因此人在未來的智慧工廠中並未被邊緣化、而是由勞力工作的操作者升級為生產過程的設計者、決策者與流程的管理者。

(註 7) 如西門子生命週期軟體產品 NX,為美國航空太空總署(NASA)用於模擬火星探測器的自然環境與虛擬配備,並為戴姆勒公司用於旗下汽車、卡車研發部門與最重要供應商。西門子自動化整合軟體 TIA 為東德玻璃製造商 f|glass 用來整合儀表、趨動、自動化及配電解決方案。西門子過程控制系統 Simatic PCS7 可視化控制著 700 米長設備上之 3,000 個測量點,實現了一年 365 天連續可靠的運作。西門子替大眾汽車改造沖壓生產線時,採用了仿真軟體與運動控制軟體,改造後實現節能 35%。西門子開發 TIA 博途軟體平台,使產品設計、生產實施和服務三個環節緊密相連,在打造膝關節植入體的應用上,降低工程成本達 30%(魯思沃(2014))。

期官方未來投入資源會持續增加。聯邦經濟能源部 2015 年的報告指出，在 2025 年時，物聯網、數位智慧、機器人及雲端智慧等產業將成為支撐德國的重點產業；重點技術為感測系統及資通訊技術等。且預估 2020 年時，即可透過工業 4.0 明顯提升經濟效益，整體製造業成長約 8.1%，其中汽車、機械、電子及資通訊等產業皆有高於 13% 之成長幅度（林葳均（2015））。

二、日本工業智慧化

（一）經濟不振及人口老化促成工業智慧化

日本經濟不景氣的困境由來已久，特別是高齡化社會的現實（現在 65 歲以上人口占總人口 26.7%），成為日本振興經濟的沉重負擔。日本遂領先發展智慧化的無人工廠，能大幅提升生產效率與節省人力；迄今平均 1 萬名工人中有 306 個機器人，居全球第一。第一線工人從簡單重複的體力勞動，轉變為監督者與維護者的角色。

（二）「工業智慧化」的策略及在民間的發展

在第三次工業革命中，日本資訊產業跳過繁瑣的基礎研究，直接吸收美國資訊技術再加以創新，成功發揮「後發優勢」，使資訊產業僅次於美國。因此，發展無人工廠等人工智慧產業（註 8）及網路資訊技術成為日

本工業智慧化的主要策略。

日本企業組成「產業價值鏈主導權」聯盟，主要議題為工廠與工廠、設備與設備互聯的通信技術和安全技術的標準化，以跨產業、跨公司模式，將包含中小企業的工廠連接起來，並且將產品生命週期各階段「互聯網化」。日本企業另組「工業 4.1J」聯盟，利用雲端系統監控世界各地工廠，找出異常運行狀況，安全等級高於工業 4.0（陳佳安（2015））。

（三）政府政策

日本政府並未提出發展工業 4.0 之整體性方案，但透過經濟產業省、厚生勞動省、文部科學省共同編撰的「日本製造業白皮書」中，不斷強調工業 4.0 之重要性。於 2014 年即開始建議企業善用機器人、資通訊技術與環保節能等工業 4.0 概念，加速發展創新製造模式。2015 年的白皮書更針對工業 4.0 提出大篇幅的分析，並建議「產業價值鏈主導權」聯盟應作為日本進入工業 4.0 之後援（中山淳史（2015））。

日本藉由民間自發性的工作小組作法，促進國內企業合作以共同壯大市場，再向政府提出建言作為政府擬定政策方向依據。政府正制定有利於工業智慧化建設的優惠政

（註 8）2015 年 2 月，日本機器人革命實現會議公布日本機器人發展策略：（i）傳統機器人因感測器及人工智慧的導入而進入新境界，使汽車、家電、行動電話或房子都可被視為一台機器人；（ii）機器人的使用範圍將從製造擴展到生活及社會各個層面；（iii）機器人的使用設計要簡單、彈性與創新，並依據國際標準，重點開發機器人核心軟體及感測、認知、控制技術。

策，如研究推廣人工智慧技術的高科技公司可獲得優惠稅率與貸款，以及對發展3D列印等先進製造技術的企業，推動並獎勵更多投資與社會各界的廣泛合作。

三、美國再工業化

(一) 掌握製造業回流趨勢，推動先進製造創新

美國製造業為追逐低廉的生產成本而長期外移，加上自動化製造之發展，使其國內減少許多就業機會。2008年金融海嘯後，政府更深切體認到網路等虛擬經濟與實體經濟脫節之嚴重性。

因此近幾年來，美國政府積極獎勵製造業回流，欲藉此增加就業、改善經濟狀況，並順勢提高製造業在產業結構的比例，建立先進製造技術的領導地位。由於其國內經營環境在頁岩氣開採及工會妥協下獲得改善，且新興市場國家工資不斷高漲，終促使製造業逐漸回流（註9）。美國政府與企業界便利用此回流趨勢，積極發展實體經濟，推動先進製造之創新。

(二) 「再工業化」策略及在民間的發展

德國工業4.0從「硬性」製造層次為出發點，以智慧製造與智慧工廠為發展目標。德國並未出現製造業空心化問題，但網路技術運用不足，故德國工業4.0多立足於製造業對網路技術的整合。美國再工業化的一個重要

環節是工業網際網路策略，係以網路經濟之軟性服務來啟動傳統製造業，進而推動「先進製造業」的發展。美國矽谷模式擁有領先全球的軟體技術優勢，其中頗早提出的「資訊物聯系統」，可用數據明白揭示製造過程每個因素，而生產線的透明化會提升智慧化，使企業得以實現預測型製造。工廠可在原有設備基礎上建立基於大數據分析與物聯網的新型生產資訊系統，與智慧化生產充分結合（韋康博（2015））。

高端技術領導廠商AT&T、思科、通用電氣、IBM和英特爾等互聯網巨頭宣布成立美國工業互聯網聯盟（IIC），協調成員開展新技術試驗，並分享試驗成果，而日本及德國等國之標竿企業亦為此聯盟成員。奇異也與康寧、輝瑞等當地企業，以及美國能源署、加州大學等機構，成立智慧製造領導產業聯盟，進行合作研發、應用及推廣。

(三) 政府政策

歐巴馬於2011年宣布「先進製造夥伴（AMP）計畫」，為美國「再工業化」的一個重點政策，包括：（1）強化國安產品的本土製造力；（2）縮短先進材料從開發至應用推廣的時程；（3）NASA等部會聯合開發下世代智慧機器人；（4）研發新製造技術與材料以削減製造成本與能源消耗。其中（3）為

（註9）波士頓諮詢集團（BCG）在2014年公開的一份報告中顯示，營收超過10億美元的美國公司中，已有一半以上的公司開始著手製造業的回流規劃。

工業 4.0 的設備，(1)、(2)、(4) 皆需要或得力於工業 4.0 的發展（註 10）。

美國的「再工業化」起步較早，並非呼應德國提出的工業 4.0，然而在後續研究計畫中，也有許多智慧製造的概念。從「再工業化」整體看，其長期目標是建立一套符合節能環保趨勢，同時又擁有高效率產出的全新工業化體系，企圖拾回全球製造業龍頭的地位。因之美國相關政策在加深擴大製造業的基礎，工業 4.0 作為製造業升級的重要策略，必然對「再工業化」有廣泛的助益。反之，「再工業化」將有助工業 4.0 的發展，擴大其影響力。

為培育創新的人才與技術，並促進在地生產，美國政府亦建立「國家製造創新網路」，預計在全國各地發展在地化的製造創新研究院和相關組織，匯集企業、大學以及社區大學資源，由公私合資開發領先技術與養成人力。

四、中國製造 2025

(一) 由工業大國邁向工業強國有待工業 4.0

中國歷經數十年跳躍發展，已具備完整的工業體系而成為工業「大國」。然而中國地域遼闊，各地區製造層次存有顯著差距，

加上以代工為主，技術水準與利潤較低，處於全球產業鏈的中後段，面臨著被其他開發中國家與新興市場國家掠奪市場的危險及資源消耗與污染排放嚴重等問題，因此，中國亟欲藉工業 4.0 突破困境，並邁向製造強國之列。

(二) 「中國製造 2025」的策略及在民間的發展

「中國製造 2025」是中國具有政府與民間共識的工業 4.0，為實現其製造業由大到強的第一步：力爭用十年時間，掌握一批重點領域關鍵核心技術，推動製造業數位化、網路化及智慧化，使兩化（工業化與資訊化）融合邁入新境界。總書記習近平指出創新決定著製造業的前途命運（註 11），在工業 4.0 的時代背景下，需充分把握此變革所帶來的創新機會。

中國工業多處於工業 2.0 階段，許多企業便利用互聯網技術，由售後服務向工業 4.0 邁進。例如生產農業機械的雷沃重工與生產機器人的青島寶佳都藉由遠程監控系統，即時監控產品之運作狀態，提前做故障預警，提升了用戶體驗並縮減售後服務成本。而監控平台會產生大數據，可用來分析及預測市場需求，為客

（註 10）前文提及工業 4.0 的軟體使用可大幅提升製造力與縮短上市時間，而以西門子改造大眾汽車沖壓生產線與打造膝關節植入體為例，可實現節能 35% 與降低成本 30%。

（註 11）習近平指出中國製造業的轉型升級在於三個轉變：「中國製造」向「中國創造」轉變、「中國速度」向「中國品質」轉變、「中國產品」向「中國品牌」轉變。這種轉變的核心就是「創造」，「創」指「創新」。他也指出突破發展瓶頸的根本出路在於創新，一個國家綜合實力的核心還是技術創新。

戶提供訂製服務（姜寧、劉帥（2015））。

中國智能製造雖處發展初期，但存在幾項工業 4.0 的潛在競爭優勢：中高階科技型人力資源充沛、是全球惟一囊括所有工業類別的國家、為全球最大的需求市場、具有大量生產的組織能力。且隨經濟結構的持續調整，各產業智慧化轉型升級需求將不斷顯現。中國企業熟悉當地市場需求，並具備成本與市場規模優勢，均有利工業 4.0 之發展（韋康博（2015），董偉龍、于清笈（2014））。

（三）政府政策

國務院於 2015 年 5 月公告「中國製造 2025」的十年行動綱領，包括推動製造業創新中心建設工程（註 12）、強化製造業基礎的工業強基工程、智慧製造工程、綠色製造工程及高端裝備創新工程等五大工程及十大重點領域（註 13）。2015 年 9 月發布重點領域技術路線圖，明定十大領域的發展方向與目標，並會動態的每兩年作滾動式修訂（行政院大陸委員會（2015））。

五、韓國製造業創新 3.0

（一）新成長動能有賴傳統企業與資訊業的結合

在韓國經濟發展歷程中，政府藉管理市場制度引導資源配置與產業架構調整，也建立起政府與財閥的特殊依存關係（柳熙汶

（2007））。在產業面臨獲利衰退與成長緩慢下，韓國政府欲透過財閥積極推動國家轉型，重點為「新成長動能」政策。希望加強傳統企業與資通訊產業之間的交流合作，提高現有產業的附加價值與升級，跳脫先進國家與新興市場的前後夾擊。

（二）「製造業創新 3.0」的策略及在民間的發展

產業通商資源部於 2014 年 6 月提出「製造業創新 3.0」，為具新成長動能的「工業 4.0」，包括發展創新產業及加強主力產業核心能量之兩個產業主軸策略。除了扶植本國大企業集團，發揮綜效以快速發動「創新 3.0」外，韓國政府也考慮中小企業生產效率低、研發實力不足等問題，期能透過大企業以母雞帶小雞的方式，帶動中小企業進入工業 4.0 階段，由試點地區逐步向全國擴散。

產業通商資源部提供 67.5 億韓元委由三星電子研發工業機器人，希望三星能製造生產線所需之精密型多關節機器人，並有能力自主開發關鍵零組件。此外，亦與三星電子共同出資 300 億韓元，支援 600 間中小協力廠商建構智慧工廠（嚴思涵（2015））。

三星電子為了提高智慧工廠擴張的執行力，設置「創造經濟支援中心」，由社長級高階主管負責，將智慧工廠優良範例推廣至

（註 12）預計到 2020 年時，成立約 15 個重點製造業創新中心（工業技術研究基地）；2025 年時，成立 40 個製造業創新中心。

（註 13）發展新一代信息技術、高檔數控機床和機器人、航太航空裝備、海洋工程裝備及高技術船舶、先進軌道交通裝備、節能與新能源汽車、電力裝備、新材料、生物醫藥及高性能醫療器械、農業機械裝備等十大重點領域。

南韓全境（蘇彙棻（2015））。截至 2016 年 4 月底為止，慶尚北道已有 140 家中小企業完成智慧工廠建造，這些企業的平均產能提高了 142%，不良率則降低 79%（陳柏蓁（2016））。

（三）政府政策

南韓政府動員 3-4 千專業人士，從 600 多項世界發展中技術，經 4 次篩選成 13 個適合南韓發展的創新動能產業（註 14），過程周延而嚴謹。南韓政府協助主力產業維持材料與關鍵零組件主導權與成長（註 15），與新

創產業均結合發展資通訊、軟體與服務軟實力，邁向「工業 4.0」。

「製造業創新 3.0」規劃在 2017 年前將投資 1 萬億韓元研發 3D 列印、大數據及物聯網等 8 項智慧製造核心技術。預計在 2020 年前打造 10,000 個智慧工廠（陳佳安（2015））。此外，提供國際一流定居條件與放寬簽證吸引具有創意與創業精神的外籍人才，並吸引國際先端企業至韓國設廠（註 16），或協助企業購併國外廠商。

表 1、主要國家製造業發展及推動政策

	工業發展概述	工業 4.0 的策略及在民間的發展	政府政策
德國	<ul style="list-style-type: none"> 德國堅持抵制「去工業化」潮流，維持世界重要工業國地位。 近年面臨產品與系統的複雜性不斷增加，及美國跨入實體經濟的威脅，遂首先推出工業 4.0。 	<ul style="list-style-type: none"> 德國「工業 4.0」憑藉製造業之技術優勢，結合網路科技與智慧製造，創造新的生產組織與商業型態。 工業 4.0 策略在德國已經取得學研單位及產業界的普遍認同。 	<ul style="list-style-type: none"> 德國政府把「工業 4.0」列入《高科技策略 2020》大綱的十大專案之一，並投入 2 億歐元經費。在民間企業高配合度下，預期官方未來投入資源會持續增加。
日本	<ul style="list-style-type: none"> 日本經濟不景氣由來已久，特別是高齡化社會為其沉重負擔。日本遂領先發展無人工廠，大幅提升生產效率與節省人力。 	<ul style="list-style-type: none"> 日本資訊產業僅次美國。發展人工智慧及網路資訊技術為其「工業智慧化」主要策略。 日本企業組成「產業價值鏈主導權」聯盟，以跨產業、跨公司模式將包含中小企業的工廠連接起來。 	<ul style="list-style-type: none"> 日本藉民間自發性的工作小組，促進企業合作，再向政府提出建言作為擬定政策依據。 政府正制定有利工業智慧化的優惠政策，並獎勵更多投資與社會各界的廣泛合作。

（註 14）13 項創新動能產業包括：可再生能源、LED 應用、綠色交通、綠色城市、IT 融合、廣電產業、軟體產業、節能減碳、生物製藥、機器人應用、醫療器械、水處理產業、食品產業。

（註 15）為解決韓國製造業缺乏關鍵原料與零件等問題，將積極以中國為目標市場，並以中韓 FTA 為誘因，吸引國際廠商前往韓國設廠，或購併國外企業。例如日本東麗設立韓國子公司生產碳纖維，比利時 Solvay 集團也於韓國投資矽膠等材料生產。

（註 16）在加強硬實力方面，主要為解決韓國製造業缺乏的關鍵材料與零組件；並積極地以中國為目標市場，並以中韓 FTA 為誘因，吸引國際廠商前往韓國設廠。例如，日本東麗就設立韓國子公司東麗先進材料生產碳纖維，比利時 Solvay 集團也於韓國投資矽膠等材料的生產。

美國	<ul style="list-style-type: none"> ● 美國國內經營環境改善及新興國家工資高漲，促使製造業逐漸回流。 ● 政府與企業界掌握此回流趨勢，積極推動先進製造之創新。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 美國「再工業化」係以網路經濟啟動傳統製造業。而生產線智慧化與預測型製造為其亮點。 ● AT&T 等和互聯網巨頭成立工業互聯網聯盟，奇異也與產官學成立智慧製造領導產業聯盟。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 「先進製造夥伴計畫」藉網路與軟體等優勢確保美國先進製造領導地位。 ● 為培育創新人才與技術，美國政府建立「國家製造創新網路」，在全國各地發展在地化的製造創新研究院和相關組織。
中國	<ul style="list-style-type: none"> ● 中國製造層次不高，面臨被其他開發中國家掠奪市場的危險及資源消耗與污染排放等問題，政府亟欲向工業強國邁進。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 「中國製造 2025」以智能製造為主要方向，深入融合「資訊化」和「工業化」。 ● 中國工業多處於 2.0 階段，許多企業利用互聯網技術，在故障預警、售後服務等方面向工業 4.0 邁進。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 「中國製造 2025」的十年行動綱領，包括五大工程及十大重點領域；並發布技術路線圖，明定十大領域的發展方向與目標，且每兩年作滾動式修訂。
韓國	<ul style="list-style-type: none"> ● 韓國在產業面臨獲利衰退與成長緩慢下，積極推動國家轉型，重點為「新成長動能」政策，希藉加強傳統企業與資通訊產業間的合作以達成。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 「製造業創新 3.0」結合軟硬實力，發展新興產業。 ● 產業通商資源部委由三星電子研發精密型機器人及關鍵零組件，並與其共同出資支援中小協力廠商建構智慧工廠。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 「製造業創新 3.0」規劃在 2020 年前打造 1 萬個智慧工廠，建立條件吸引國際創意人才與先端企業。以漸進方式扶植大企業集團，並帶動中小企業進入工業 4.0 階段。

資料來源：本文整理

參、台灣生產力 4.0

一、製造業面臨市場型態改變與前後夾擊之外在挑戰，及人力不足等內在問題，由此導入對生產力 4.0 的需求

(一) 國際挑戰

1. 為了配合市場之多樣化需求，生產方式從整廠整線自動化，進化為少量多樣之客製化系統。產業與服務之競爭，也由價格改變為創造顧客價值。
2. 開發中國家不斷搶入量產市場，工業國則搶占高端客製化市場，形成前後夾擊之困境。

(二) 國內問題

1. 我國人均產值成長趨緩，需協助勞工提升工作品質與效率，以支持較高薪資水準。
2. 生產資源有限（土地、人力、水電），產業發展面臨環保與永續壓力。
3. 高齡化與少子化下，預估 2020 年就業人力缺口高達 196 萬人，缺工問題亟待解決。
4. 傳統營銷模式無法大幅帶動生產力，

企業必須從「企業對企業」轉型為「企業對（企業+消費者）」客製化系統。

(三) 生產力 4.0 是解決方案

生產力 4.0 的彈性產線可快速回應日趨多變的客製化訂單；產業結構優化可搶占高階市場商機，使台灣在夾擊中突圍；智慧製造與減廢再生可使資源使用達到最佳化，以因應資源與環保壓力；機器人協同生產，能提高生產效率且補充人力之不足；透過製造、通路及消費之聯網系統可創新營銷模式並激發出新產業。

二、台灣生產力 4.0 的策略及在業界的發展

(一) 我國歷經三次產業變革，將隨世界發展趨勢邁入第四次革新
近三十年來，我國製造業歷經資本密

集、技術密集及創新密集，而進入智慧密集產業階段（圖 4）。

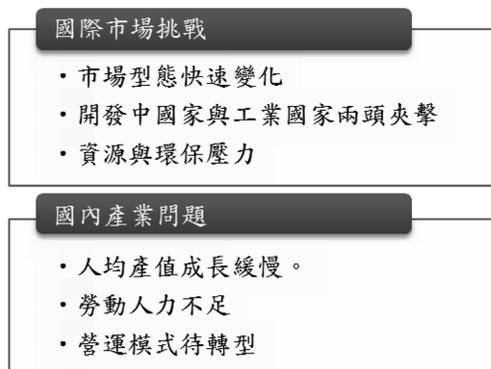
(二) 台灣產業 4.0 策略為擷取德美之長並加精實管理

因應全球趨勢並引導國內產業升級轉型，我國發展的「生產力 4.0」策略，為結合德國工業 4.0（智慧機械）及美國 AMP 計畫（資通訊）之優勢，運用物聯網、智慧機器人及大數據等技術，再加上精實管理。

(三) 部分台灣廠商已落實相當程度的工業 4.0

目前國內已有 180 多家廠商投入物聯網的感知層、網路層與應用服務層，產值約 1,150 億元。鼎新電腦與研華科技達成在物聯網層級的智慧工廠解決方案（參考附圖 1）。兩公司亦啟動智慧製造系統整合聯盟，參加企業將致力打造智慧製造之生態系統。研華

圖 3、製造業重大發展課題



資料來源：經濟部工業局

圖 4、我國製造業自動化發展歷程



程式化：	整線化：	電子化：	智慧化：
應用 PLC(程式化控制器)發展機械設備生產自動化。	應用 CNC(電腦數值控制)發展高精度機械設備整線自動化。	企業管理及製造 e 化，生產資訊電子化。	運用物聯網、智慧機器人、大數據及精實管理技術，推動聯網智慧製造及服務系統。

資料來源：經濟部工業局

的控制器替著重客製化的哈雷機車監控機床預防停機；全聯於觀音的物流中心運用智慧機器人，一小時可以準確處理一萬五千箱貨物（賀桂芬、黃亦筠（2015））。

三、政府政策

(一) 行政院核定生產力 4.0 發展方案

行政院於 2015 年 9 月核定兩個四年期「行政院生產力 4.0 發展方案」，預計於 2017 年啟動，執行至 2024 年。先期計畫已於 2015 年 10 月啟動，執行至 2016 年底。規劃九年內將投入 360 億元，且不排除再加碼。

生產力 4.0 方案有六項主軸策略，鎖定智慧製造、智慧服務與智慧農業等三大應用（行政院（2015））。由於大企業面臨國際激烈搶單已有意識轉型為 4.0 企業，故政策扶

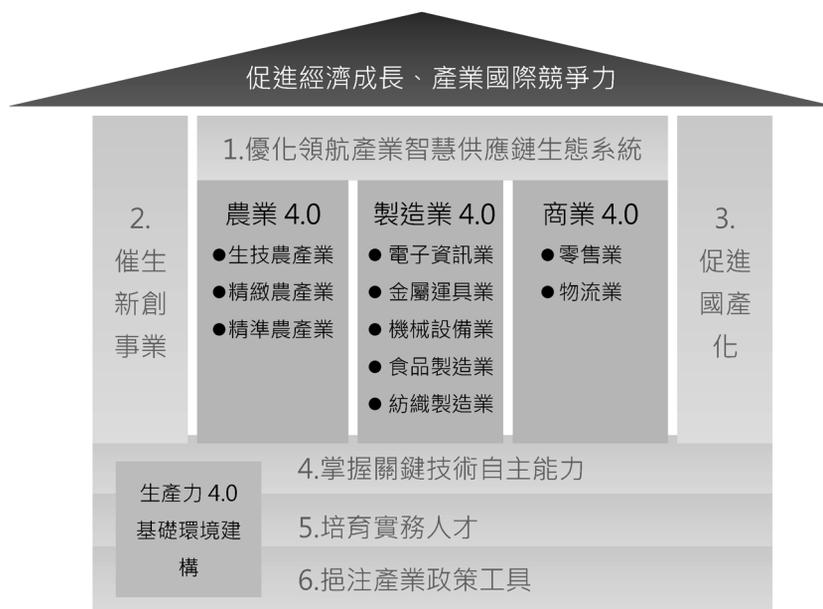
植重點在中堅、中小企業。

為發展物聯網應用技術，經濟部在 2015 年 10 月與微軟簽署合作備忘錄，聯合宏碁、聯發科、研華等國內 30 多家廠商，共同成立物聯網產業發展中心，聚焦於製造、醫療、居家、智慧零售及公共服務等五大產業。

(二) 新政府調整「生產力 4.0 發展方案」，聚焦納入「智慧機械」、「亞洲·矽谷」及「新農業」等推動政策

為加速製造業升級，蔡英文總統提出以大台中地區為中心，打造智慧機械創新之都。這項計畫被蔡英文視為國家級戰略計畫，希望透過工業自動化、智慧化的推動，如同產業大樹之根，可作為未來航太、精密醫療及醫材等多行業領域之發展基礎（余至浩（2016））。

圖 5、「行政院生產力 4.0 發展方案」六項主軸策略



資料來源：行政院科技會報辦公室

新政府整合「生產力 4.0 發展方案」與新推動之「五加二創新產業」（註 17）及數位經濟發展，於 2016 年 8 月底完成調整，去蕪存菁納入智慧機械、亞洲·矽谷、與新農業等創新產業之政策目標與相關推動措施。新 4.0 調整方案在智慧機械領域係應用智慧科技翻轉精密機械業生產服務方式，以減緩勞動人口結構變遷壓力、大幅提高生產力、創造產業新成長動能（行政院科技會報（2016））。

配合「亞洲·矽谷」及「商業服務」產業創新政策，新 4.0 調整方案係以消費者需求為核心，應用物聯網、大數據、自動化等科

技，整合臺灣既有軟硬體實力與創新團隊，自主研發並推動創新通路物流及消費服務模式，加速國內商業服務業升級轉型，並擴大服務輸出的規模。

新農業 4.0 調整方案係透過研發智能型禽舍環控及家禽智能餵飼管理系統，提升禽畜產品之品質，另研發自動記錄漁獲物特徵資料庫與即時傳輸系統，確保漁業資源永續經營，並推動智慧農業生產關鍵技術開發與應用，以發展智慧科技農業。並開發共通資訊平臺，結合生產面、運銷面、消費面等相關資訊，開創生產者與消費者溝通新模式，發揮智慧生產與數位服務創新能量。

（註 17）包括綠能產業、國防產業、智慧機械、生技醫藥、亞洲·矽谷、新農業、新材料循環園區。

肆、建 議

一、政府應積極落實推動工業 4.0，維續工業 4.0 動能，包括宣導、輔導，並支持國家隊及企業乃至學研界加強研發及國際化

- 台灣在生產力 4.0 是後進者，與先進國家實施工業 4.0 有技術落差。這造成中小企業不知如何著手，大型企業在 4.0 升級上亦難以達到先進國家水平（註 18）。再加上民間聯盟與備忘錄未必能發揮功能。故而政府的持續落實推動以維持工業 4.0 的動能十分重要。
- 政府宜在與產、官、學研溝通下，對工業 4.0 提出明確概念與特定作法，成為業界可依循的標準。為配合轉型，企業需改變既有營運模式、投入大量資源，並承擔失敗風險。以上述共同標準，納入個別企業的差異性，可取得企業決策高層的支持，並使企業內部形成共識，較易有成功機會（註 19）。政府已在經濟部設立生產力 4.0 推動辦公

室，宜加強實施工業 4.0 方式的策略研討，並對中小企業及大型企業進行恰當實施方式的輔導。

- 政府可由生產力 4.0 辦公室提供 4.0 平台服務，並建立多個具備足夠專業人員的生產力 4.0 服務團隊。可由中國生產力中心、工業局、工研院、大專院校、資策會（註 20）等組成聯合團隊，主動提供企業有關生產力 4.0 的診斷、做法、乃至國內外資源的諮詢，並提供正反案例與觀摩學習之機會（註 21）。鑑於各企業在 4.0 的進程不一，處於 2.0 階段可輔導進入 3.0，處於 3.0 階段可輔導進入 4.0 等。
- 政府可在供給端、需求端及有效激勵上採取策略性作法：
供給端：要產生相當數量的 4.0 廠商，可由培養大廠做為中心廠以整合協力廠入手，協力的零組件廠在精確度以及產能上也要升級。

（註 18）例如工具機連線以生產工業零組件，便有不同的自動化系統與技術層次。

（註 19）組織在實施變革過程中，成員的心理反應為影響變革內容、過程與成敗的主因之一（Summer & Webber, *Organizational Behavior and the Practice of Management*, 1987）。就組織成員的心理反應而言，組織實施變革必然激發其內心的衝突，因為在變革過程中，往往帶給員工不確定性與焦慮不安等壓力（Ashford, *Individual Strategies for Coping with Stress during Organizational Transitions*, 1988）。

（註 20）目前資策會已有編列預算，輔導廠商實施工業 4.0，但據說欠缺專業輔導人員。

（註 21）許多台灣企業對工業 4.0 有興趣但不知如何進行，工業 4.0 服務團可診斷企業的體質，譬如採用生產力中心發展的「生產力 4.0 成熟度評量體系」（張寶誠（2016））。進而建議企業如何進行，或提供國內外恰當的合作廠商與機構，乃至可能的優惠、資金來源、業師與專業人力來源等資訊。服務團亦可提供國內外工業 4.0 的成敗案例，及組團參訪國內外廠商、會展及機構。

需求端：可以資通訊產業為範疇，由大型系統整合廠商整合軟硬體公司，出國替客戶建立工業 4.0 工廠。如此可替國內 4.0 相關軟硬體廠商帶來大量商機。

有效激勵：鼓勵廠商向 4.0 走，要採取有效措施。譬如用設備投資抵減所得稅額，若獲利不高，則抵減金額有限。日本對先端設備直接補助可達 50%，具有最佳的激勵效果。

- 為促進先進領域的產業合作，特別是引進工業 4.0 前端技術，政府應協助企業進行海外併購或國際合作（林敬殷（2016））。國發會最近提出「促進民間投資的三駕馬車」（註 22），其中國家級投資貿易公司便是恰當的政府協助單位之一。
- 台灣資源較為有限，在科技研發上不易有前瞻領先思維與能量。為善用這股工業 4.0 技術發展的趨勢，政府應鼓勵國內大學與研究機構與美國及歐盟相關學校或研究機構合作研究，協助學研機構與企業加入美國 AMP 聯盟，以及與歐盟 FP7 及日本 NEDO 等計畫的參與廠商合作，獲得工業 4.0 領先技術，加入工業 4.0 網絡與美、歐、日相關供應鏈。

二、企業應深入瞭解需求，再量身訂做 4.0 升級方案及模組化發展，並重視創新之價值。

- 企業需先發掘連客戶有時都難以發

現的使用端價值需求（張寶誠（2015）），且做好精實管理、機器精度、品質、設施、成本管理等基本工作，再針對本身條件與發展目標量身訂做 4.0 升級方案。且在升級過程中，亦須依實際狀況不斷檢討修正。

- 企業可由特定功能（如供應鏈管理或企業資源規劃等）或特定流程（研發、生產、製造、或倉儲物流等）進行升級，不需一開始就全面推廣，較可控制成本並降低失敗風險。
- 中國製造業之 4.0 轉型升級靠創新，韓國也將企業創新與 4.0 結合，企業要以不斷創新來充分發揮 4.0 的功能。

三、企業界應群策群力互助轉型，需打群架也需國際合作

- 我國中小企業過去快速接單與彈性製造之優勢，在工業 4.0 之下需要轉型。可參考日本「產業價值鏈主導權」聯盟，或韓國規劃的大型企業以母雞帶小雞方式，協助中小企業協力廠轉型。亦可從生產廠商/客戶關係切入，如工具機大廠可協助客戶做工具機單機自動化、多機連線乃至遠端監控、最後形成智慧化。
- 中小企業必須清楚了解現狀，儘速找

（註 22）三駕馬車包括產業創新轉型基金、國家級投資貿易公司及五大創新產業，多以中小企業為主要服務對象。

出自己在產業價值鏈上的位階與未來發展方向，並做好被串聯的準備。

- 企業不能單打獨鬥，應分成不同區塊，打破大小企業區隔，大家各司其所分工打群架，且建立國際聯盟，有效發揮互補與互助。

四、應加速發展軟體並研發關鍵零組件，取得國際優勢地位

- 工業 4.0 的核心要素中，不論是智慧工廠的布建與管理、物聯網、雲端平台的大數據分析，乃至模擬操作與系統整合均需藉由軟體。4.0 的核心是軟體，政府政策過去偏向硬體，現應往軟體投入更多資源。政府可借鏡韓國以軟體產業作為創新動能產業。
- 台灣部分製造業技術雖仍處於工業 2.0 階段（註 23），智慧機械/機器人也仍在起步，但若能找到好的國外合作夥伴，便有希望上去。譬如與美國矽谷廠商合作發展物聯網相關軟體；在生產力相關軟硬體，可與德國廠商合作；功能複雜的機器人及多機器人系統可與日本合作。

此外，可發展關鍵零組件（如傳感器、驅動器等）。工業 4.0 之軟體模組（module）及關鍵零組件均仍為藍海市場。

五、工業 4.0 技術複雜度遽升，須積極吸引國內外人才投入，並著重跨領域培訓

- 工業 4.0 需要員工對生產模式日益增長的複雜性有一定的掌控能力，員工從服務者轉換成操縱者、協調者，日本與德國之機器人與人力轉換的模式值得參考。他們需提升多方的專業水平，包括讓仿真程序運轉，與評估代替方案。
- 政府應獎勵國內人才投入 4.0 領域，效倣德、日人機協同合作與人力升級的作法，並發展跨領域資訊科技人才（專業人才，橫向結合）。政府宜持續推動學校與訓練單位培育機、電、通訊、資訊整合人才。
- 政府宜獎勵年輕人到國外實習，並參考韓國改善國內生活、工作條件及移民簽證制度（註 24），吸引國外優秀人才，並以工業 4.0 相關領域為優先。

（註 23）據工研院資料（鄭詠仁（2015））顯示，台灣之機械人應用、大數據分析及製程模擬系統等技術仍位於工業 2.0 階段。

（註 24）韓國在 2014 年調整引進海外優秀人才方案，包括利用全球網路資源宣傳韓國人才政策及優秀中小企業、大力構建外國人和諧生活的社會文化基礎設施、放寬簽證頒發條件並改善發放簽證的制度，以擴展海外人才赴韓國就業與學習的規模。計畫將海外優秀人才規模從 2012 年的 2.48 萬人增加至 2017 年的 3.65 萬人。

- 長期而言，政府需進行系統性規劃，培育生產力 4.0 所需高階研究人力與先進製造人才，並加強產官學連結（註 25），盤點人力缺口，以制定職能基準、訓練課程與認證制度。

六、政府需善用政策資源，協助企業解決經費問題

- 台灣中小企業居多且其資源有限，政府在過去的轉型過程中皆扮演著相當重要的角色。然而政府可協助企業的資源卻愈來愈少（註 26）。台灣研發經費比重低於日本及韓國（註 27）之情況下，經費來源為主要問題之一（張建一（2015））。
- 政府可協助中小企業確認轉型 4.0 所需資源，並設立專責單位，以融資或獎勵補貼等方式提供資金。國發會最近提出產業創新轉型基金 1,000 億元，協助中小企業轉型、併購或升級，便是恰當的資金來源之一。
- 發展工業 4.0，大企業可扮演火車頭的角色。政府可參考韓國政府挹注資金協助大企業發展工業 4.0 乃至

4.0 關鍵零組件。並要求大企業與政府共同注資，協助與大企業往來的中小企業建立智慧工廠。

- 台灣「生產力 4.0」預計在 9 年投入 10.9 億美元，而南韓政府之「製造業創新 3.0」目的雖在誘發民間主導，但政府投入亦多，預計先期 3 年投入 8.3 億美元。新政府可考慮特別在早期投入更多資源。

七、政府 4.0 政策要後來居上，需把握時機更要能落實貫徹

- 台灣產業發展近年來追趕先進國家不太順利，宜學日本資訊產業迎頭趕上，採取最先進的作法－工業 4.0。
- 各國工業 4.0 才剛開始發展，政策資源投入有限。我國政府宜掌握時機全力投入，可為提升台灣經濟地位的契機。
- 行政院推出生產力 4.0 方案，政策架構不錯，但不能只求新，不求久，要能落實且持續貫徹。

（註 25）德國政府為了發展工業 4.0 所需的人才，規定企業必需依公司規模提供產學合作，如西門子一年需花費 1 億 8 千萬歐元在產學教育上，包括提供相關工程系學生到西門子實習訓練，透過學習和實務銜接，讓學生畢業後迅速與業界接軌。

（註 26）自 1961 年的獎勵投資條例、1991 年的促進產業升級條例，到 2010 年的產業創新條例，政府可以協助企業的資源愈來愈少。例如 2004 至 2012 年，全國研究發展經費與政府科技預算大致呈同步成長，但全國研發經費成長的速度高於政府科技預算。使政府科技預算占全國研究發展經費比重從約 25~26% 的水準逐年下滑。尤其在 2010 年產創條例實施後，比重更急速下滑至約 22%，顯示政府推動研發的能量下降。

（註 27）經濟部統計處公布資料顯示，台灣研發經費占 GDP 比重由 2009 年之 2.83% 升至 2013 年之 2.99%，明顯低於鄰近的韓國（2013 年為 4.2%）及日本（2013 年為 3.5%）。在研發經費成長率方面，台灣研發經費成長率在 2013 年為 5.5%，明顯低於中國大陸之 15.0% 及韓國之 6.9%。

附表 1、豐田生產管理方式(工業 3.0)與西門子智慧工廠管理方式(工業 4.0)

	豐田生產管理方式(3.0)(註 28)	西門子生產管理方式(4.0)(註 29)
相同點	<ul style="list-style-type: none"> ● 後拉式生產體系：以市場為導向，依據後端需求生產 ● 著重即時管理(Just in Time, JIT)(註 30)：提高生產效率，消除浪費(如待工待料的時間浪費、不良品的製造浪費、搬運貨品的移動浪費) 	
差異點	<ul style="list-style-type: none"> ● 大批量生產(Mass Production)：有效率且低成本的大量生產單一產品 ● 生產僅根據實際需求 ● 藉由「人」監督管理 ● 使用看板管理(註 31)、品管圈(註 32)等工具 <p>豐田生產方式工廠</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ● 大規模訂製(Mass Customization)：不同生產線藉數據交換，可依照顧客不同需求，變更供應來源與生產程序 ● 實際需求外，亦可作預測性生產 ● 機械互連與智慧化 ● 使用智慧製造、物聯網、大數據等工具 <p>工業 4.0 智慧工廠</p> 
評論	人為的操作與管理應該縮減與提升層級，智慧機械與軟體常更具效率	

(註 28) 豐田生產管理方式 (Toyota Management) 是日本豐田汽車副總裁大野耐一建立的模式，係透過著名的即時管理、看板管理與品管圈，並以大量自動化生產，降低生產成本、提高效率與品質。豐田生產管理方式為工業 3.0 之典範。然豐田汽車目前已導入無人工廠，朝工業 4.0 邁進。

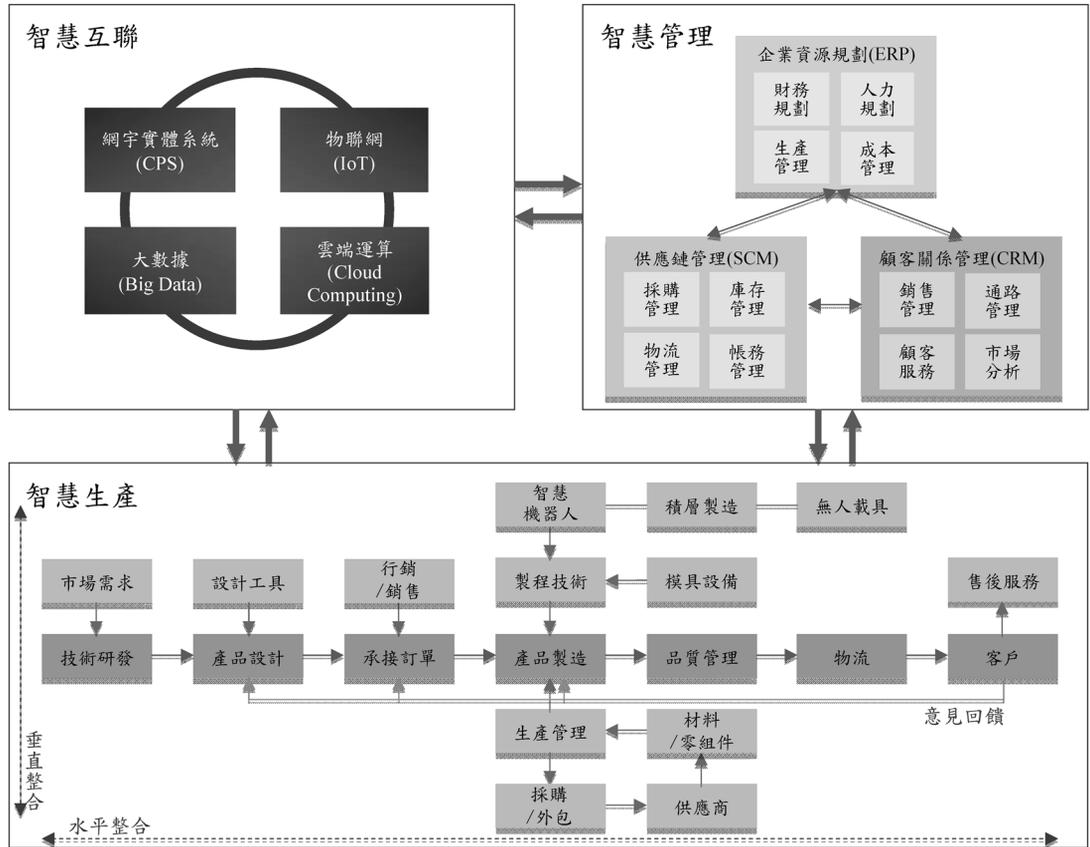
(註 29) 西門子位於德國工業小鎮 Amberg 的智慧型工廠每年生產超過 300 萬台 S7 系列控制器，大部分生產都實現了數位化、仿真和優化。工廠占地近 3,000 坪，廠房內 1,000 台生產設備透過網路互相溝通，從網路接单到產出客製化成品的過程達 75 % 自動化。員工僅 1,150 人，多數負責電腦控管而非生產線作業。生產系統允許在一分鐘內更改產品與工序，1000 多種產品在 24 小時內可配送到全球客戶。每天有一百萬個測量事件，不斷傳入中央系統，控制系統可以檢驗任一產品，品質良率達 99.99%。

(註 30) 即時管理 (Just In Time, JIT) 是一套能有效減少生產成本的管理系統，只保持適當的原料與成品在庫，並在恰當的時候生產恰當數量之成品。

(註 31) 由於 JIT 改變了傳統生產過程從原料開始的工序，改由產品向前規劃，在信息傳遞時，工作站與工作站間就需要透過「看板」(Kanban) 來溝通工作內容、產品流向、生產時間與放置場所等資訊。

(註 32) 品管圈 (Quality Control Circle, QCC) 指第一線工作人員由基層管理者領導，自動自發的進行產品、工程、業務、服務等品質的維實與改善所組成的小組，這些小組活用各種統計方法，自主的持續改善自己的工作活動。

附圖 1、智慧製造系統架構



參考資料

BCG (2015), "Man and Machine in Industry 4.0: How Will Technology Transform the Industrial Workforce Through 2025?", 2015/9/28.

Bonerkamp, Linda and Matthias Sure (2016), "Consequences of Industry 4.0 on Human Labour and Work Organisation", *Journal of Business and Media Psychology*, August.

Japan Ministry of Economy Trade and Industry (2015), "Through IoT, Japanese factories Connected Together", *METI Journal*, May, PP4-13.

PwC (2016), "Industry 4.0: Building the digital enterprise", April 13.

Roland Berger Strategy Consultants (2014), "Industry 4.0: The New Industrial Revolution. How Europe will Succeed", *Think Act*, March (www.rolandberger.com).

Stefan Heng (2014), "Industry 4.0: Upgrading of Germany's industrial capabilities on the horizon", *Deutsche Bank Research*,

April 23.

Sumit Passary (2015), "Samsung, South Korea Team Up To Build Robots That Will Replace Human Workers", Tech Times, October 21.

The White House (2012), "President Obama Issues Call to Action to Invest in America at White House "Insourcing American Jobs" Forum", January 1.

Wolter M. I., A. Mönnig, M. Hummel, C. Schneemann, E. Weber, G Zika, R. Helmrich, T. Maier, C. Neuber-Pohl (2015), "Industry 4.0 and the Consequences for Labour Market and Economy", project work of Institute for Employment Research, the Research Institute of the Federal Employment Agency, December.

行政院 (2015), 「生產力 4.0 發展方案」, 9 月。行政院 (2016), 「生產力 4.0 發展方案」調整報告, 8 月。

行政院大陸委員會 (2015), 「大陸發布中國製造 2025 概述」, 大陸與兩岸情勢簡報, 4 月 30 日。

經濟部統計處 (2015), 「產業經濟統計簡訊」, 7 月 15 日。

中山淳史 (2015), 「日本追趕德國工業 4.0」, 日本經濟新聞中文版, 7 月 1 日。

佐藤浩實 (2015), 「工業 4.0 不同於豐田生產方式」, 日經技術, 1 月 19 日。

林士蕙 (2015), 「工業 4.0 五大要素, 重繪未來製造業藍圖—專訪《工業 4.0》作者烏爾里希·森德勒」, 遠見雜誌 348 期。

林葳均 (2015), 「淺談工業 4.0 浪潮下的國際製造業政策」, 經濟前瞻 162 期。

余至浩 (2016), 「臺灣新科總統蔡英文未來 3 大科技政策, 將推綠能創新, 打造臺版矽谷, 加速邁向工業 4.0」, iThome 電腦報, 1 月 18 日。

馬仁宏 (2013), 「從國際智慧製造趨勢看台灣產業的機會與挑戰」, 工研院產經中心 (IEK), 3 月。

森德勒 (2014), 「通過系統生命周期管理控制工業的複雜性」, *工業 4.0—即將來襲的第四次工業革命*, 機械工業出版社, 7 月。

張建一 (2015), 「企業如何運用生產力 4.0 方案強化國際競爭力及進行產業加值升級」, 產業雜誌 548 期。

張寶誠 (2015), 「專家傳真—歸零思考顧客, 迎向生產力 4.0」, 工商時報, 2 月 18 日。

張寶誠 (2016), 「解開 4.0 迷思—生產力 4.0 與工業 4.0 之區別」, 余紀忠文教基金會, 6 月 17 日。

魯思沃 (2014), 「軟件: 工業的未來」, *工業 4.0—即將來襲的第四次工業革命*, 機械工業出版社, 7 月。

胡桉桐 (2014), 「數字化企業的目標: 實現生產與產品研發的數字可視化」, *工業 4.0—即將來襲的第四次工業革命*, 機械工業出版社, 7 月。

劉孟俊 (2015), 「《觀念平台》美國再工業化對臺灣產業政策啟示」, 工商時報, 8 月 1 日。

賀桂芬、黃亦筠 (2015), 「挾 IT 優勢, 台灣的大好機會來了」, 天下雜誌 564 期。

韋康博 (2015), *工業 4.0, 從製造業到智造業, 下一波產業革命如何顛覆全世界*, 商周出版, 12 月。

托馬斯·保爾漢森、米夏埃爾·騰·洪佩爾、布里吉特·福格爾—霍爾澤 (2015), *實施工業 4.0—智能工廠的生產、自動化、物流及其關鍵技術、應用遷移和實戰案例*, 電子工業出版社, 4 月。

日本智動產業應用觀摩交流團 (2015), 行政院及所屬各機關因公出國人員出國報告書, 12 月 24 日。

柳熙汶 (2007), 「韓國與台灣的經濟發展政策比較研究」, 7 月。

姜寧、劉帥 (2015), 「不離開“跑步機”, 跑步永遠在“2.0”原地踏步」, 齊魯晚報, 10 月 26 日。

勤益科技大學 (2016), *工業 4.0 翻轉技職*, 勤益科技大學發行, 6 月。

陳佳安 (2015), 「韓國製造業創新 3.0 對台灣傳產的啟示」, 金屬中心產業評析, 6 月 26 日。

陳佳安 (2015), 「日本 2011015 年製造業白皮書對台灣傳產的啟示」, 金屬中心產業評析, 8 月 26 日。

- 陳柏棻（2016），「三星推智慧工廠計畫，將從慶尚北道擴及全國」，DIGITIMES 中文網，5月6日。
- 聶建中（2015），「《中國製造 2025》啟動大國崛起的引擎」，展望與探索月刊第 13 卷 7 期。
- 董偉龍、于清笈（2014），「從中國製造到中國智造—中國智能製造與應用企業調查」，12 月。
- 劉一郎（2013），「美國「再工業化」政策對台灣製造業之啟示」，金屬中心產業評析，11 月 15 日。
- 蘇彙棻（2015），「三星設立創造經濟支援中心，在南韓擴大推廣智慧工廠」，DIGITIMES 中文網，10 月 14 日。
- 嚴思涵（2015），「三星電子與南韓政府合資推動智慧工廠」，DIGITIMES 中文網，8 月 31 日。
- 鄭詠仁（2015），「工業 4.0 趨勢—馬達動力機械產業挑戰與機會」，9 月 25 日。

（本文完稿於 105 年 8 月，作者為本行經研處研究員及辦事員）

