

## 本月專題

### 淺談「工業 4.0」對我國推動「綠色製造」之啟示

陳竣璿<sup>1</sup>

#### 摘要

「工業 4.0」是德國於 2012 年所提出之發展計畫，旨在整合資通訊軟硬體，建置智慧整合感控系統(Cyber-Physical Systems, CPS)，繼而以此為核心，輔以智慧工廠(Smart Factory)為精髓，促使製造產業邁向高值化及永續生產<sup>2</sup>。中國大陸國務院亦借鏡德國工業 4.0，於 2015 年 5 月頒布「中國製造 2025(Made in China 2025)」，以「從製造業大國變強國」為目標，而工信部(工業和信息化部)更於 2016 年 4 月正式發布「綠色製造 2016 專項行動實施方案」，同時通過「工業節能管理辦法」<sup>3</sup>，實施傳統製造業綠化改造，全面推行、建構綠色製造體系，以加速落實中國製造 2025。面對工業 4.0 掀起的第四次工業革命<sup>4</sup>，我國行政院於 2015 年 9 月核定「生產力 4.0 發展方案(Taiwan Productivity 4.0 Initiative)」，並於 2016 年 6 月表示，物聯網(Internet of Things, IoT)、智慧城市、工業 4.0 為臺灣經濟發展之重要方向<sup>5</sup>，更加確立聚焦工業 4.0 相關領域為發展目標。該兩國經驗與相關政策值得我國作為參考借鏡。

<sup>1</sup>財團法人台灣綜合研究院 高級助理研究員

<sup>2</sup>永續生產是工業 4.0 希望達成的願景，包含智慧生產、綠色生產與都市生產。

<sup>3</sup>「工業節能管理辦法」，強制中國工業實施節能作為，於 2016 年 6 月 30 日實施。

<sup>4</sup>德國認為，第四次工業革命即為以人工智慧、清潔能源、機器人技術、量子信息技術等為代表的全新技术革命。

<sup>5</sup>行政院之發展方向，重點為物聯網及大數據管理，以綠色生產力、精實管理與新時代智慧技術完善發展進程。

## 一、「工業 4.0」發展背景及概況

依照德國機器製造業公會(VDMA)於 2015 年 5 月提出的最新「工業 4.0」定義為：「工業 4.0 係以智慧連結(Connected Intelligence)、超越數位化(Much More than Digitalization)、『典範轉移，全新觀點(Paradigm Shift, New Perspective)』、以人為本，並以發展智慧製造能力為重心」(黃琮芳，2016)。

針對工業 4.0 之起始與發展進程，最初為 2006 年時德國發佈「德國高科技戰略」，當時提出航太等 17 項高科技領域之研究創新<sup>6</sup>；在 2010 年續發佈「2020 高科技戰略」，將前者整合聚焦為能源、交通運輸及資通訊等五大需求領域<sup>7</sup>，2012 年時更明確提出以「工業 4.0」作為應用導向未來計畫(預算 2 億歐元)<sup>8</sup>之一，藉以落實解決「通訊」領域之挑戰；2014 年時發佈「新高科技戰略-德國創新」，聚焦六大優先未來任務<sup>9</sup>，並以「數位化經濟與社會」及「創新的工作環境」回應工業 4.0 計畫(IEK, 2016)；2015 年時公布了 4.0 新平台架構與落實建議及白皮書。

關於工業革命歷史，即從最早的第一次工業革命(1760 年代-1840 年代)，開創了以機器替代手工勞動，並使用蒸氣作為動力；第二次工業革命(1870 年代-1910 年代)，以電力的大規模應用為代表，並運用於汽車量產；第三次工業革命(1940 年代至今)又稱為數位化革命，例如使用 IT 電子技術、發明機械手臂等，提高工廠生產效率；關於第四次工業革命，雖尚未有定論，但有專家學者認為可從能源、物聯網、智慧工廠或生物科技的角度認定，故亦可視工業 4.0 掀起了第四次工業革命。綜上所述，工業 4.0 不只引領了德國近年工業之發展，其影響亦遍及全球。

### (一)工業 4.0 之基礎

奠定「工業 4.0」之基礎，包含「智慧整合感控系統(CPS)」、「智慧工廠」與「以人為本」，說明如下：

<sup>6</sup>17 項高科技領域研創：健康研究與醫技、安全、植物學、能源、環保、資通訊、汽車和交通技術、航空技術、航太科技、海洋科技、邁向知識經濟道路的服務業、奈米、生技、微系統、光學、材料與生產科技。

<sup>7</sup>五大需求領域及關鍵科技：氣候/能源、健康、交通、安全與通訊。

<sup>8</sup>在「氣候/能源」領域中，包含 3 項應用導向未來計畫，分別為「能源供應體系的智慧改造」(預算 37 億歐元)、「再生能源作為石油的替代選項」(預算 5.7 億歐元)與「二氧化碳排放平衡、能源高效益與適應氣候變遷的未來城市」(預算 5.6 億歐元)。

<sup>9</sup>六大優先未來任務：永續經濟與能源、數位化經濟與社會、創新的工作環境、健康生活、智慧交通移動、全民安全。

## 1. 智慧整合感控系統(Cyber-Physical Systems, CPS)

「智慧整合感控系統(CPS)」(又稱「虛實整合系統」)是「工業 4.0」之核心技術，藉由電腦、感測器與網路，橫向連結感測裝置、設備與資訊系統等，達到「人-機-物」互動目標，亦即「虛擬」與「實務」結合的情境。此技術不僅改善工廠生產流程，還影響供應鏈執行與產品生命週期管理，進一步塑造了新形態工業化模式。

## 2. 智慧工廠(Smart Factory)

「智慧工廠」應用 CPS 之全新生產流程進行運作，稱為「智慧整合感控生產系統(Cyber-Physical Production Systems, CPPS)」。以往生產線之整合只能由人工修正，如今智慧工廠運用 ICT(Information and communication Technology)硬體、軟體與系統整合技術，使工廠的生產具有物聯網(IoT)、大數據(Big Data)、人工智慧(AI)與智慧整合感控系統(CPS)，以進行人機協同，具有可自主調整廠區與產線之產能配置、整合上下游供應配送、優化生產環境能資源配置、輔助人員完成操作組裝以及即時追蹤生產進度與履歷等特色。智慧工廠包含 3 大主要架構，分別為「製造綠色化」、「製程管控可視化」與「全方位系統監管」：

- (1)「製造綠色化」：除製造過程多加利用環保材料並避免污染外，整個供應鏈從資源、材料、設計、製造、廢棄物回收到再利用，皆必須符合產品綠色生命週期循環，甚至透過上下游廠商與客戶共同合作，生產符合綠色製造的產品。例如導入「電子工單系統」，將工單模板管理、派發管理、流程管理等涵蓋，取代傳統人工發送工單，達到綠色電子製造。
- (2)「製程管控可視化」：透過即時的、直接的展示工廠產品製程(包括原物料管控與流程)，讓企業掌握完整製程情況。例如控制者以電子看板(eKB)，實現即時掌握系統機具現況，以利減少因系統故障所造成的生產偏差。

(3)「全方位系統監管」：以感測器做連結，使系統可依資料庫進行識別、分析、預判、決策與控制功能，完整監管製造設備。當製程出現異常時，管理者可迅速反應，提升工廠有效運轉與生產，並提供客戶即時服務。



資料來源：石漢華(2016)。

圖 1 智慧工廠三大主要架構

### 3.以人為本

智慧工廠的組成要素除了機械設備與技術，還有最重要的「人」。人在「工業 4.0」中並未被邊緣化，反而需承擔大部分的責任，從「操作者」晉升為「控制者/管理者」。從業人員透過不同技術提供問題解決方案，並靈活地完成工作任務。

### (二)工業 4.0 之願景

「工業 4.0」希望透過「智慧生產」、「綠色生產」與「都市生產」，達成永續生產願景，說明如下：

#### 1.智慧生產(Smart Production)

藉由各種智慧製造技術、設備、程序，滿足客製化、個人化與智慧化產品生產；並創造有別於傳統、更舒適、更人性化的工作環境。

#### 2.綠色生產(Green Production)

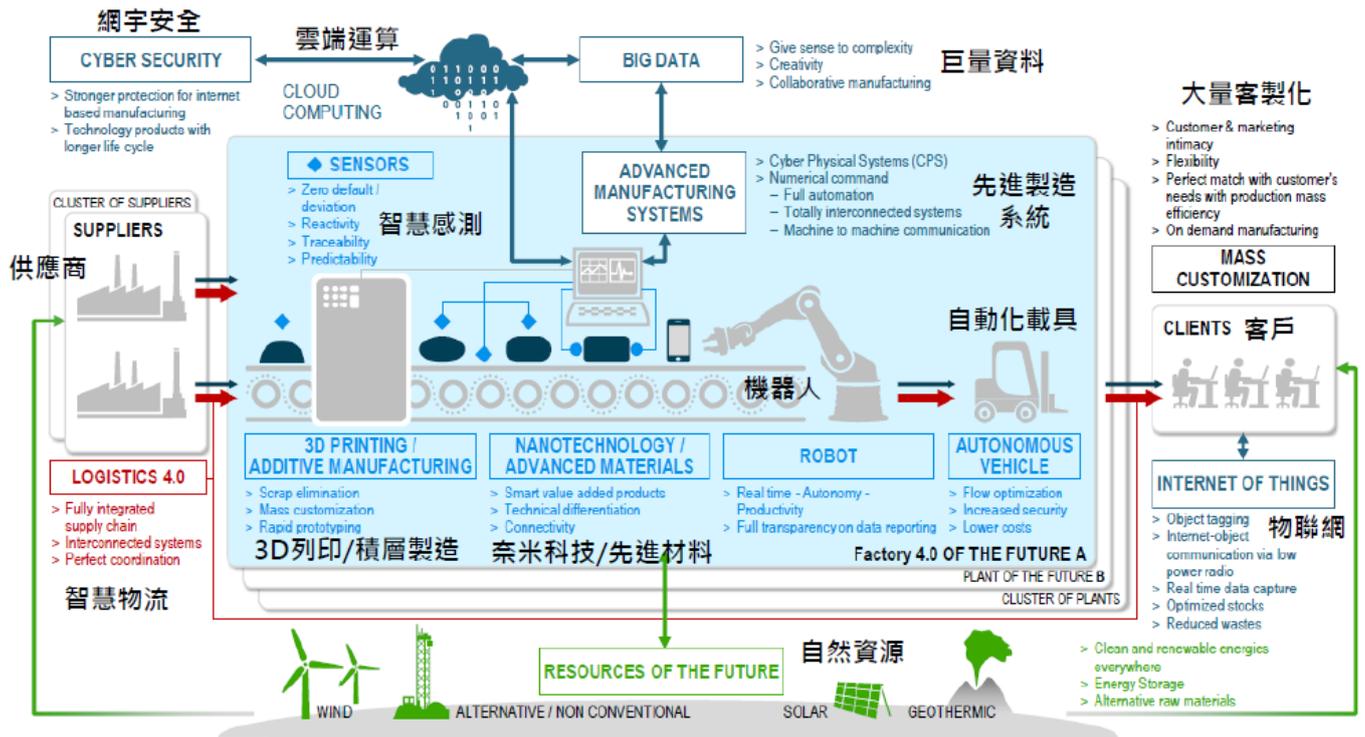
以智慧製造實現綠色生產，提高能源與資源使用效率，維護國內整體生活環境，達到環境永續發展。

### 3.都市生產(Urban Production)

以智慧生產實現分散式製造與都市內製造情境，提高工業區資源使用效益，及滿足廠商持續發展需求。而智慧工廠的運作模式，讓工廠不再需要大規模的流水產線，減少佔地面積，因此工廠將能夠設置於都會地區，增加更多的就業機會。

#### (三)工業 4.0 建構之未來工廠經濟體系

基於工業 4.0 之運用，未來工廠之經濟體系將以物聯網(IoT)、大數據(Big Data)、網宇安全(Cyber Security)與雲端技術擷取來自供應商、客戶與企業本身的資料並加以評估分析，最後與實際生產流程相結合。配合智慧物流(Logistics 4.0)，運用製造程序中的各項新技術(機械人、無人車、3D 列印技術、先進製造系統、智慧感測器、奈米與先進材料等)，建構優化且靈活的新形態產線，以滿足大量客製化(Mass Customization)需求；利用節能監測系統加強未來能資源(Resources of the Future)的使用(如各種再生能源電力)，將大幅提升工廠製程效率與能源效率，並以此建構完善綠色製造體系。「工業 4.0」未來工廠經濟體系架構如圖 2 所示。



資料來源：IEK(2016)。

圖 2 「工業 4.0」未來工廠經濟體系架構

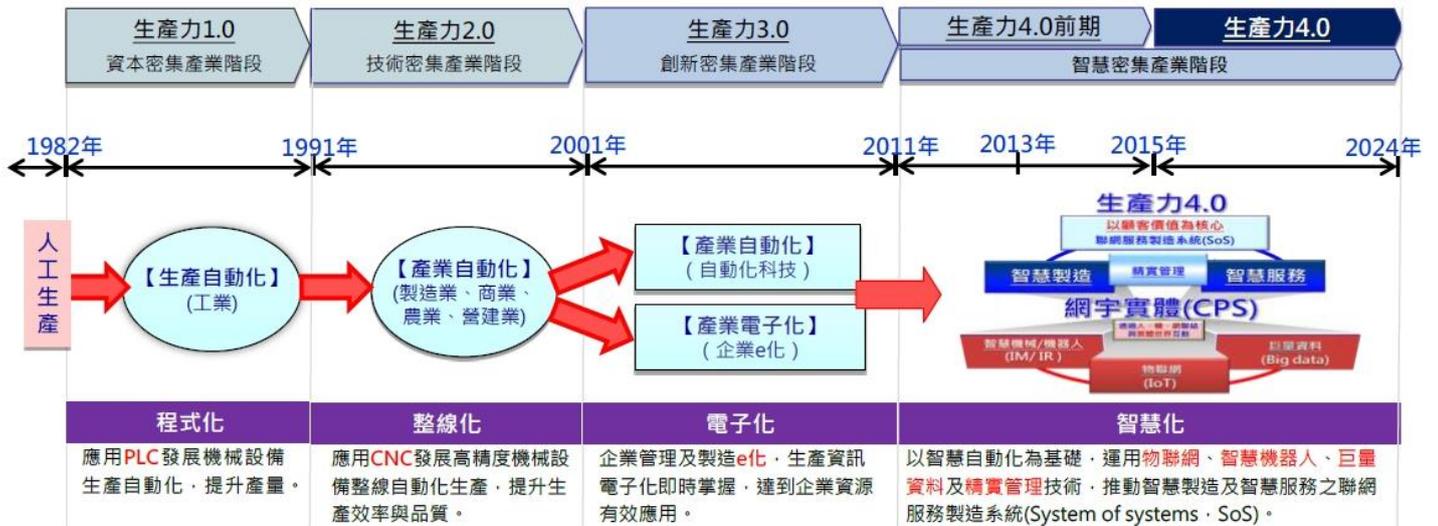
## 二、我國與中國大陸因應工業 4.0 政策

「工業 4.0」目標並非創新的製造業技術，而是整合所有現行技術、銷售與產品檢驗，建立具有適應性、能資源效率的智慧工廠，以快速反應或預測市場需求；其次，為因應就業人口數下降趨勢，推動數位製造、CPS 發展，也是逆轉人口危機為轉機的重要手段。我國與中國大陸為順應工業 4.0 趨勢，同時提升製造業競爭力，各自提出因應政策，分別為「生產力 4.0」與「中國製造 2025」。

### (一)我國因應工業 4.0 政策概況

德國對於工業 4.0 的實踐，證明製造業對一國的經濟成長仍具有重要影響力。關於臺灣製造業，同樣地面臨工作年齡人口縮減、人力成本上升、產品生命週期縮短、受開發中國家搶占量產市場、工業國搶佔中階客製化市場等挑戰。爰此，行政院於 2015 年 9 月核定「生產力 4.0 發展方案(Taiwan Productivity 4.0 Initiative)」，並由經濟部工業局設置「生產力 4.0 推動辦公室」，期能開發智慧機械、物聯網、巨量資料、雲端運算等技術來引領製

造業、商業服務業、農業產品與服務附加價值提升，同時，發展人機協同工作的智慧工作環境，以因應高齡化社會工作人口遞減的勞動需求(行政院，2015)。所謂生產力從 1.0 到 4.0，就是臺灣製造業發展歷程，從最早 1.0 的生產製造程式化；到 2.0 生產製造整線電腦化；目前的 3.0 模式更導入企業資源規畫系統(ERP)及製造系統數位化。我國製造業發展歷程如圖 3 所示。



資料來源：行政院(2015)。

圖 3 我國製造業科技化發展歷程

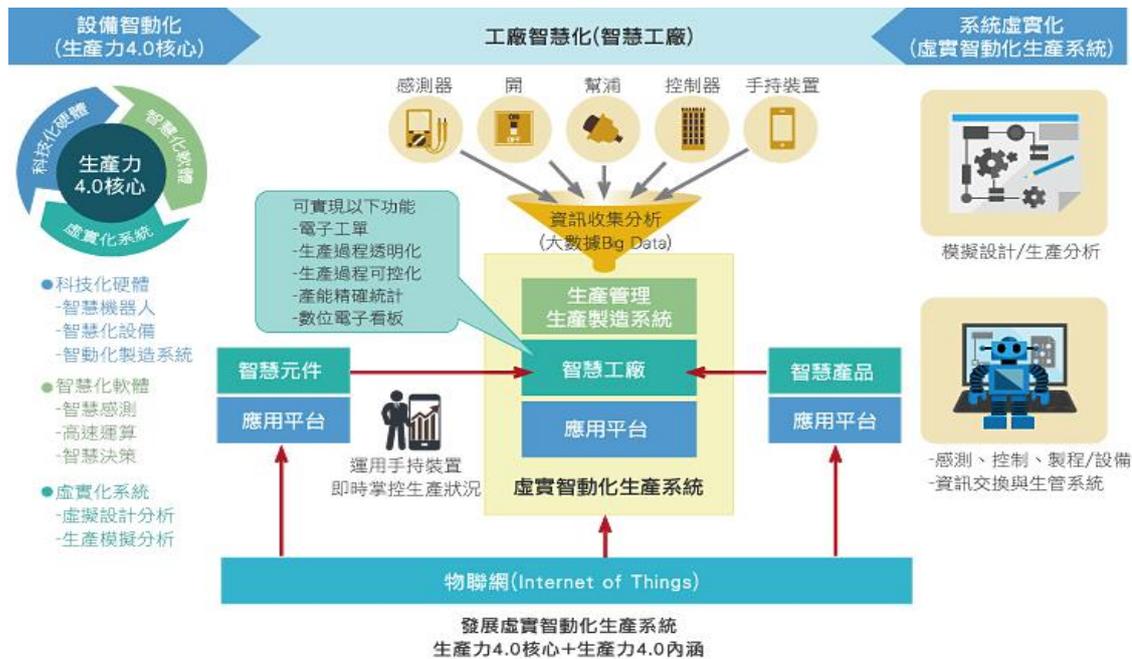
依據行政院生產力 4.0 發展方案，規劃 2 個 4 年期行動計畫，再加上 2016 年之 1 年前置期，共執行 9 年；將自 2017 年起調整自動化預算資源，並全面啟動生產力 4.0 計畫。生產力 4.0 方案重點簡述如表 1。

表 1 我國生產力 4.0 發展方案重點

期程	全程：2016 年-2024 年。 1.2016 年前置期。 2.2017 年-2020 年第一個四年期「生產力 4.0 發展方案」行動計畫。 3.2021 年-2024 年第二個四年期「生產力 4.0 發展方案」行動計畫。
預期目標	臺灣 2024 年達到： 1.製造業人均產值達到 1,000 萬元，較目前水準提升 60%。 2.商業人均產值目標是 230 萬元，較去年提升 40%。 3.農業人均產值 200 萬元，較去年提升 40%。
七大應用領域	電子資訊業、金屬運具業、機械設備業、食品業、紡織業、物流及零售服務業、農業等，作為「擴散」的起點，協助更多中小企業晉升 4.0 企業。
三大科技方向	智慧機械、工業大數據、產業價值鏈互聯網。

資料來源：本研究整理。

臺灣在進化到生產力 4.0 階段的過程中，必須結合智慧工廠、大數據分析與物聯網感測技術，並納入現有資通訊科技，以及智慧化客製生產系統在內，才能突破現階段生產製造瓶頸，帶動製造業、服務業與農業重新創造產業價值，升級為先進製造。推動生產力 4.0 的核心內涵如圖 4 所示。

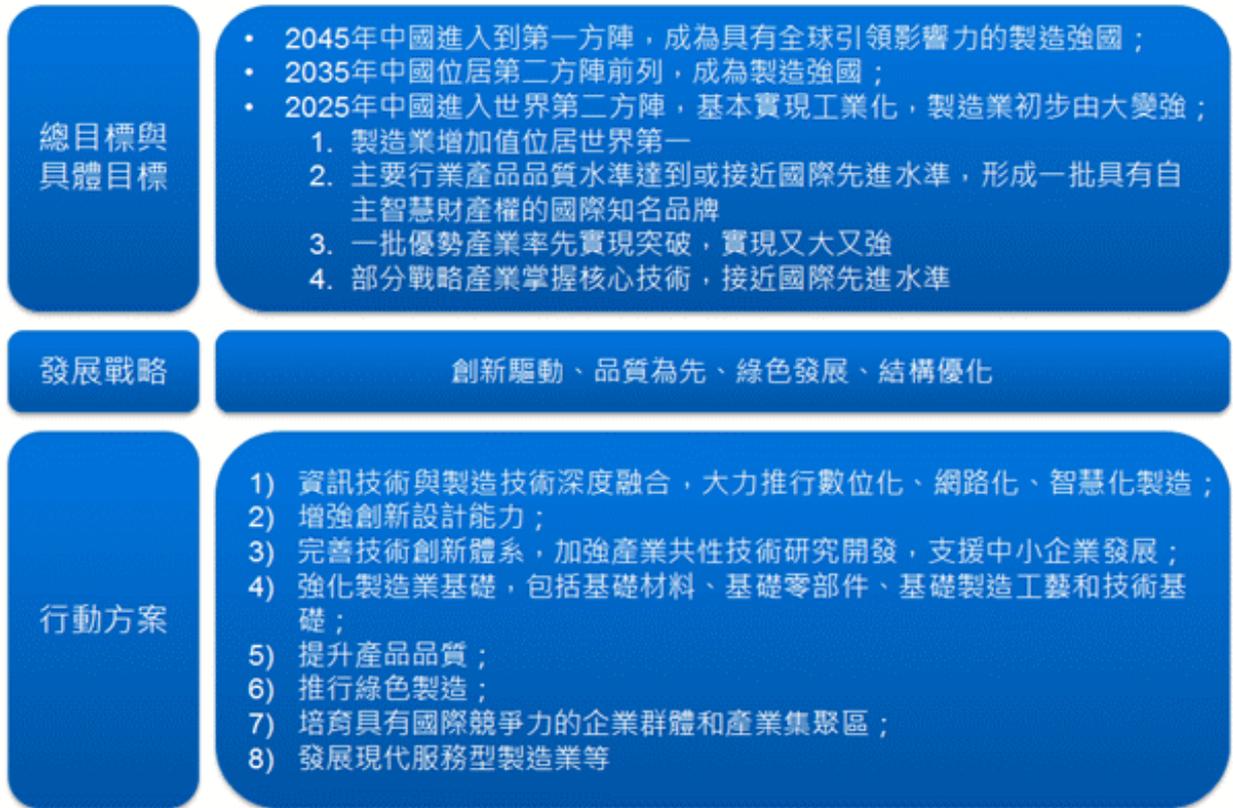


資料來源：石漢華(2016)。

圖 4 我國推動生產力 4.0 核心內涵

## (二)中國大陸因應工業 4.0 政策概況

中國大陸由於一部份製造業仍處於工業 2.0，為縮短落差，國務院亦借鑒德國工業 4.0，於 2015 年 5 月發布「中國製造 2025(Made in China 2025)」，以「2025 年從製造業大國變強國」為目標，圍繞工業部門有待加強的領域進行強化，實施「製造強國戰略下第一個十年行動綱領」，內含國家製造業創新中心建設、智慧製造、工業強基、綠色製造、高端裝備創新等五大重點工程。同時搭配國家技職體系教育政策，培養企業界所需各種物聯網與工業 4.0 相關技術整合人才。中國製造 2025 之目標戰略如圖 5 所示。



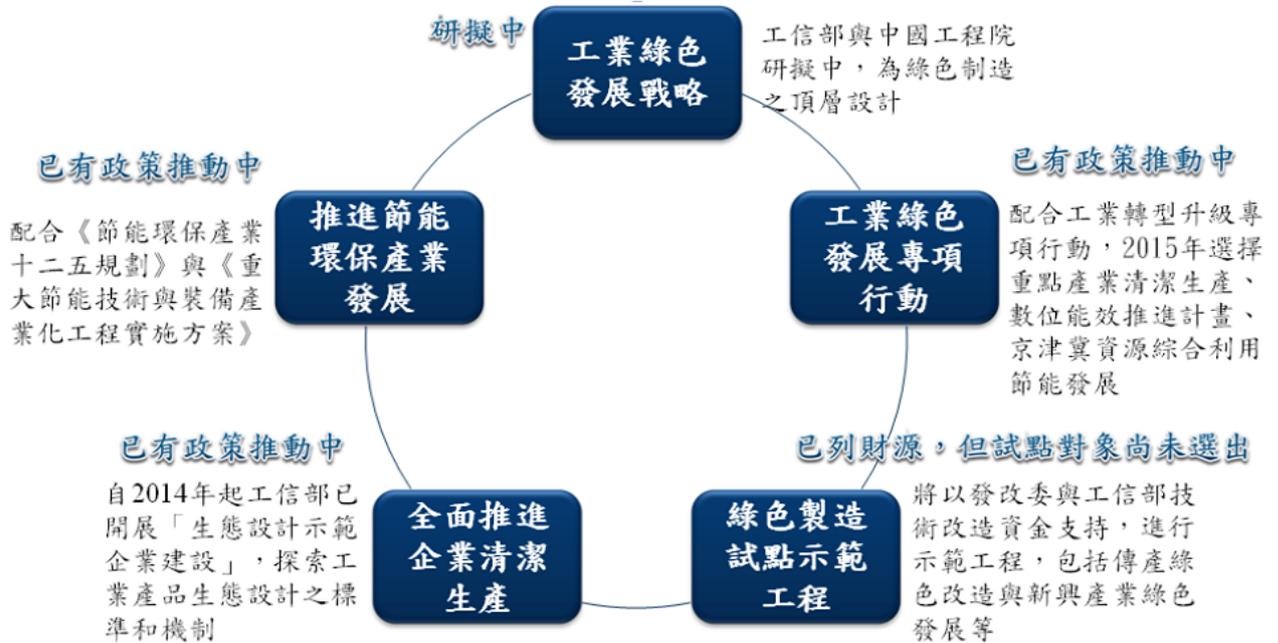
資料來源：STPI(2015)。

### 圖 5 「中國製造 2025」目標與戰略

工業已成為中國大陸經濟之主體，大陸雖為製造業大國，但以 2015 年為例，能源消費總量達到 43 億噸(標準煤)，煤炭消費量占 64%，工業生產占能源消耗比例約為 70%，顯示工業仍具有高投入、高消耗、高污染的特性。因此，「中國製造 2025」已將「綠色發展」(例如節能減碳、提高資源效率等)，列為主要戰略之一，全面落實推動「綠色製造」。而工業和信息化部(簡稱工信部)，已於 2016 年 4 月正式發布「綠色製造 2016 專項行動實施方案」(簡稱實施方案)，加快實施綠色製造工程，建構綠色製造體系。關於綠色製造五大重點工作(工業綠色發展戰略、推進節能環保產業發展、工業綠色發展專項行動、全面推進企業清潔生產與綠色製造試點示範工程)之推動情形如圖 6。實施方案 2016 年之目標設定如下：

1. 進一步提升部分行業清潔生產水準，預計全年削減化學需氧量 8 萬噸、氮氮 0.7 萬噸。

- 2.建設資源綜合利用重大示範工程和基地，形成京津冀及周邊地區資源綜合利用產業區域協同發展新機制。
- 3.會同財政部啟動綠色製造試點示範，發佈綠色工廠創建實施方案或綠色工廠標準。



資料來源：經濟部工業局(2016)。

圖 6 「綠色製造 2016 專項行動實施方案」五大工作重點推動情形

同時，為落實綠色發展及依法治國理念，工信部於 2016 年 4 月審議通過「工業節能管理辦法」(簡稱節能辦法)，強制大陸工業實施節能作為，自 2016 年 6 月 30 日實施，如表 2。節能辦法係鼓勵工業企業加強節能技術創新和技術改造，並著重對重點用能工業企業的節能管理作出了具體要求。

表 2 中國大陸「工業節能管理辦法」概要

面向	內容
工業節能概念及管理職責	依據中國 2007 年修訂之「節約能源法」於節能之定義，對工業節能作出新的界定。工業節能指的是在工業領域實施節約資源和保護環境之策略，加強工業耗能管理，採取技術、經濟、環境及社會可以承受的作法，在工業領域各個環節降低能源消耗，減少污染物排放，高效合理地利用能源。並明確規範工信部各主管部門旗下之工業進行節能管理，並對所管理單位負責。
節能管理	要求工信部各主管部門之提出節能管理方案並執行，如： <ul style="list-style-type: none"> <li>• 編制節能組織專職執行節能方案</li> <li>• 利用價格差異推動綠色產品及節能產業，如電價差異等</li> <li>• 公布高效節能設備目錄，淘汰較耗能之設備</li> <li>• 設立獎懲規則，如懲罰性電價等</li> <li>• 限制產業耗能總量，設立耗能預警機制</li> <li>• 宣傳及培訓相關人才或企業</li> <li>• 鼓勵地方政府制定更嚴格之標準以管理地方企業組織</li> </ul>
節能監察	監察機制為政策執行上，提高效率之必要手段，節能辦法明確指引各地方單位執行節能監察，並定期向大眾公布各單位之節能執行績效。
企業節能	提出企業節能之作法，包括： <ul style="list-style-type: none"> <li>• 加強節能工作組織領導</li> <li>• 建立完善能源管理制度</li> <li>• 建立完善獎懲及考核制度</li> <li>• 對能源使用進行分級</li> <li>• 禁止購買已淘汰之耗能設備或產品</li> <li>• 對員工定期實施相關教育訓練</li> </ul>
重點耗能企業管理	節能辦法對國內主要耗能產業作出規範，要求企業設立能源管理單位、能源審計單位、定期提出能源使用報告、企業社會責任報告等。

資料來源：工信部(2016)。

綜上所述，茲將德國、臺灣與中國大陸依據「工業 4.0」所提出的先進製造政策，比較整理如下表 3：

表 3 德國、臺灣與中國大陸先進製造政策比較

國家	德國		臺灣		中國大陸	
推動政策	<u>工業 4.0</u>		<u>生產力 4.0</u>		<u>中國製造 2025</u>	
執行單位	政府+ 產官學組成工作小組		政府+ 產官學界組成生產力 4.0 輔導團		政府領導 企業輔助	
開始時間	2013 年		2015 年		2015 年	
結束時間	預計 10-20 年		2024 年		2025 年	
涵蓋領域	九大關鍵技術	跨產業融合	三大科技方向	七大應用領域	五大工程	十大重點領域

國家	德國		臺灣		中國大陸	
	1.擴增實境(AR)/虛擬實境(VR) 2.模擬(Simulation) 3.大數據(Big Data) 4.自主性機器人(Autonomous Robot) 5.雲端運算(Cloud Computing) 6.工業網際網路(Industrial Internet) 7.網宇安全(Cyber Security) 8.水平垂直整合/3D 列印(3D Printing) 9.增進系統智慧化	1.製造業 2.商業 3.服務業 4.物聯網帶動 IT 產業融合 (如電腦業、自 動化與通訊業 等)	1.智慧機械 2.工業大數據 3.產業價值鏈互聯網	1.電子資訊業 2.金屬運具業 3.機械設備業 4.食品業 5.紡織業 6.物流及零售服務業 7.農業	1.國家製造業創 新中心建設 2.智慧製造 3.工業強基 4.綠色製造 5.高端裝備創新	1.新一代資訊通信技術產業 2.高檔數控機床和機器人 3.航空航太裝備 4.海洋工程裝備及高技術船 舶 5.軌道交通裝備 6.節能與新能源汽車 7.電力裝備 8.新材料 9.生物醫藥及高性能醫療器 械 10.農業機械裝備
預算金額	2 億歐元		每年 40 億 9 年共 360 億台幣		8 兆人民幣 (約 40 兆台幣)	
發展基礎	德國已普遍處於工業 3.0 向 4.0 的過渡階段，擁有強大的機械與設備製造業，在自動化工程領域已具有高度技術水平。		擁有成熟的 ICT 創新密集產業，電子化生產流程推展至智慧化彈性換線生產。		中國製造業發展水平參差不齊，一部分還在工業 2.0 階段。因此需要推進工業 2.0、3.0 及 4.0 並行發展。	
核心理念	以 CPS、智慧工廠、人機協同，滿足產品的高品質需求，亦保有		以智慧自動化做基礎，加入工業 4.0 的 CPS、智慧工廠、人機協同等概		以智慧製造為主，且在全球化、創新、品質品牌建設、綠色製造提出	

國家	德國	臺灣	中國大陸
	生產製造的高效率，並以「綠色生產」回應德國能源轉型(Energiewende)政策。	念，並強調掌握關鍵技術來提高製造業附加價值，促使製造業轉型升級。	具體要求，使製造業轉型升級。提升製造業的產品品質、技術水平與商業模式。
戰略目標	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.標準化和參考架構</li> <li>2.製造業 ICT 基礎建設</li> <li>3.工業技術安全的保護</li> <li>4.創新工作組織與型態</li> <li>5.職業訓練與終身教育</li> <li>6.完善法律架構</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.資源使用最佳化</li> <li>2.友善人機協同</li> <li>3.彈性敏捷生產</li> <li>4.預測製造管理</li> <li>5.大量客製化高附加價值/品質產品</li> <li>6.創新製造服務網絡</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.創新驅動</li> <li>2.品質優先</li> <li>3.綠色發展</li> <li>4.結構優化</li> <li>5.人才為本</li> </ol>
願景目標	成為世界工業主導國。	製造業附加價值提升 15%，達到美國、德國、日本的水準。	從製造業大國到製造業強國，建國 100 年時達到世界一流製造強國。

資料來源：黃琮芳(2016)、STPI(2015)、本研究整理。

### 三、德國、我國與中國大陸工業 4.0 應用案例

德國政府針對其製造業未來發展，提出「工業 4.0」計畫，希望成為世界工業主導國。此一戰略計畫也引起世界各國相繼提出自身先進製造業發展政策。由前述資料，可知兩岸已將工業 4.0 列為國家產業轉型關鍵政策，並分別提出「生產力 4.0」與「中國製造 2025」作為因應，且由於兩岸關係特殊，政策間亦可能相互影響。

#### (一)德國工業 4.0 應用案例

製造業在依循德國工業 4.0 的轉型過程中，普遍面臨 4 項挑戰，包含生產線效率提升、產品上市時間極小化、增加生產彈性與能資源環境議題，相關說明如下：

##### 1.提升生產線效率

如何有效提升製造效能，是首要面臨的挑戰。隨著工業的演進，會有許多不同的新製程技術，亦伴隨不同的生產效率。生產過程主要重點即在於效率、品質與良率，提升品質與技術層次，是同步提升整體競爭力的關鍵。

##### 2.極小化產品上市時間

因為市場的快速變化，產品生命週期已大幅縮短。以手機的生產為例，常隨客戶對於產品想法的改變與設計的不同，而必須盡可能縮短產品上市時間。為滿足客戶需求，則必須調整供應鏈生產的過程。

##### 3.增加生產彈性

因為客戶對於產品需求的差異性，故生產過程也必須要「因物制宜」，以滿足不同需求，透過智慧化營運模式，增加生產線彈性，才能達成大量客製化生產。

##### 4.兼顧能資源與環境發展

最後，在工業進化的過程中，企業越來越重視節能減碳、

綠色低碳與環境永續等課題，而德國對於環境與能源議題的重視也體現在工業 4.0 計畫當中。例如透過互聯網，根據生產過程中實際運作狀況進行能源供給調整，不只提升生產效率，也提高能源效率，減少能源消耗與碳排量。

關於「工業 4.0」的應用案例，茲將波士頓諮詢公司(BCG)以及德國聯邦教育與研究部(BMBF)發布之案例整理如下表 4：

表 4 工業 4.0 應用案例

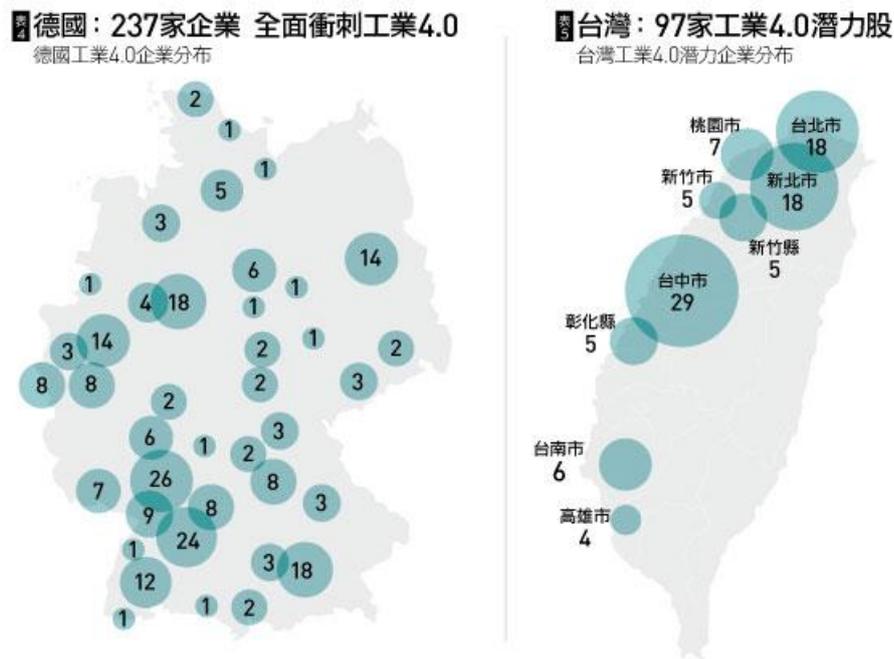
發布機構	應用領域		應用概述
波士頓諮詢公司 (BCG)	1	大數據導向品質控制	半導體業透過大數據分析得出最佳參數，進而控制產品品質提高良率。
	2	機器人輔助生產	塑橡膠製造業使用機械手臂(內建感測器及照相機安全機制)執行生產作業。
	3	自動駕駛物流車	食品和飲料製造業於工廠部署智能導航和獨立自動運輸系統(智動運輸車)。
	4	生產線模擬系統	消費性電子產品製造商運用新軟體，透過電腦模擬生產線佈置規劃分析。
	5	智慧供應鏈網絡	跨國企業透過系統監控供應鏈相互協調生產過程，優化、智慧化生產流程。
	6	預防性維修	風力渦輪機製造業提供客戶遠端監控設備與診斷服務，啟動即時預警提示。
德國聯邦教育與研究部 (BMBF)	1	減少生產線能源消耗	汽車裝配產線將機器人保持「網絡喚醒模式」待命狀態，解決生產間歇、周末或輪班未進行生產時之能耗問題。
	2	價值鏈端到端系	透過 CPS 完成端到端、模擬數

		統工程	據，實現生產鏈整合，從客戶需求、產品結構、加工製造、成品完成的配置確認等。
	3	客製化生產	汽車製造進化為動態生產線，透過 CPS 可重新配置混裝零件，協調產品設計、配置、訂貨、物流等，滿足客戶需求。
	4	遠距平台控制	透過生產系統整合，減少中斷與當機，並可自動連結平台，尋找合適專家，以通訊系統進行有效遠距服務，亦可控制通風設備速度，解決能浩問題，技術人員不再需要手動連接設備。

資料來源：吳佩靜(2015)、本研究整理。

## (二)我國工業 4.0 應用案例

雖「工業 4.0」已蔚為風潮，但其實臺灣目前還處於摸索與實踐的階段，大多數人甚至還認為「工業 4.0」僅是自動化、無人化。根據工業 4.0 權威—《工業 4.0：即將來襲的第四次工業革命》作者桑德勒(Ulrich Sendler)表示，全德國對工業 4.0 已有共識為：「系統全生命週期管理和服務」的革命(賀桂芬、辜樹仁，2016)。事實上，工業 4.0 並非只是工廠內的自動化，而是終端客戶與生產者、供應商之間，整條價值鏈無時差、無誤差地全部串連，並進行雙向互動，以提升效率、彈性與降低成本。根據天下雜誌報導，目前德國有 80% 的企業知道工業 4.0，但工業 4.0 企業約只有 25%(共 237 家)；臺灣則更僅有 97 家的工業 4.0 企業。臺德 4.0 企業分布如圖 7 所示。



資料來源：賀桂芬、辜樹仁(2016)。

圖 7 臺德工業 4.0 企業分布情形比較

雖然德國的成果讓德國工業 4.0 平台秘書長邦廷(Henning Bantien)感到「非常不滿意」，卻已讓世界艷羨，反觀我國則更該急起直追。以下試舉 3 案國內工業 4.0 應用案例。

#### 案例一、台塑石化「FORMOSA-FX 工業物聯網」

台塑運用 FORMOSA-FX 工業物聯網，提升製程效率與安全，並將智慧製造方案運用在工廠的關鍵製程與相關設備上，整合即時監測、分析、預測與智慧導引機制，透過巨量資料分析技術，讓運轉人員與保養人員可預先偵測到可能發生的設備故障與製程異常行為，以預防無預警的異常故障所造成的作業停頓，並及時採取相對應的措施，藉以降低工廠產能及工安環保的衝擊，同時提升工廠的整體運作效率。

#### 案例二、宏遠興業「幸福臺灣 EverSmile」

紡織業智慧生產先驅宏遠興業，為能跳脫低成本競爭模式，朝向以創新研發為導向的高科技紡織廠商發展，自創「幸福臺

灣 EverSmile」無毒環保低碳機能服飾品牌。宏遠透過精簡產線運作，持續研發高機能性布料，實現環保的理念，成為紡織界智能綠色企業；在製造流程結合自動化與智慧化，於每一段生產系統中，導入智慧感測裝置並連結設備與 ERP 系統，有效促進生產最佳化與營運效能，打造智慧工廠。

### 案例三、信邦電子「自動倉儲搬運機器人」

連接器大廠信邦電子逐步朝向高端自動化智能設備電子零組件廠方向邁進，看準物聯網、機器人與綠能商機，已接獲美國亞馬遜自動倉儲搬運機器人線束、中國大陸某大物流廠訂單與風力發電產品訂單。除搬運機器人之連接線組外，並已切入發電廠用的電源監控、穿戴式手錶模組、智慧醫療、製造機器人、高階動力電纜連接線組與控制模組等眾多新產品線，搶佔龐大的工業 4.0 商機。

### (三)中國大陸工業 4.0 應用案例

大陸的 3 個應用案例，主要皆依循「中國製造 2025」推動：

#### 案例一、洛克威爾自動化公司(Rockwell Automation)夥伴計畫

洛克威爾是提供工業自動化、電源、控制及資訊方案的公司。在工業自動化領域的品牌包括 Allen-Bradley 及洛克威爾軟體(Rockwell Software)。產品有 PLC、變頻器、HMI、馬達控制器等產品。該公司在 2015 年參與「中國製造 2025」，聯合其「合作夥伴計畫(Partner Network)」於蘇州啟動「洛克威爾自動化產品展示(RAOTM)及洛克威爾自動化大學(RAU)蘇州活動」，並倡導「互聯企業」，在中國推動智慧製造。

#### 案例二、推動「泉州製造 2025」

福建泉州為「中國製造 2025」首個地方試點，2015 年通過「泉州製造 2025」，係採 1+3 結構，協同「泉州市發展智能

製造專項行動計畫」、「泉州市提升質量品牌專項行動計畫」與「泉州市發展服務型製造專項行動計畫」，明確未來十年(2015年-2025年)泉州製造業的總體戰略、發展目標、主要任務與對應措施。預計 2025 年，泉州將成為知名先進製造業基地、品牌之都、民營經濟創新發展之城和製造業轉型升級典範，海峽西岸經濟區最重要的工業城市，中國大陸沿海重要的進出口貿易與科技合作窗口，21 世紀海上絲綢之路先行區，躋身中國製造業綜合水平 10 強城市之列，工業總產值達到 2.5 萬億元人民幣。

### 案例三、全面落實「綠色製造 2016 專項行動實施方案」

根據「綠色製造 2016 專項行動實施方案」，工信部編制《綠色製造工程實施指南(2016-2020 年)》，在「十三五」期間<sup>10</sup>，工信部將全面推行綠色製造，加快構建高效、清潔、低碳、迴圈的綠色製造體系。三大主要重點工作如下：

#### 1. 實施傳統製造業綠色化改造

提升製造業清潔生產水準，發布「水污染防治重點行業清潔生產技術推行方案」，實施重點流域中，部分行業水污染防治清潔化改造。並與財政部共同支持「高風險污染物」削減項目，從源頭減少汞、鉛、高毒農藥等高風險污染物產生與排放。在鋼鐵、造紙等高耗水產業，篩選推廣先進適用的節水技術。組織開展節能監察與跨區域專項督查，在重點行業實施高效節能低碳技術改造示範項目。

#### 2. 開展京津冀及周邊地區資源綜合利用產業協同發展示範

在尾礦、煤矸石、粉煤灰、脫硫石膏等重點領域，開展資源綜合利用重大工程示範，推廣應用先進適用技術裝備。並與

---

<sup>10</sup>「中華人民共和國國民經濟和社會發展第十三個五年規劃綱要」(簡稱「十三五」規劃綱要或十三五)，是指中國大陸制定的從 2016 年到 2020 年發展國民經濟之規劃。

財政部合作，實施水泥窯協同處置城市生活垃圾示範工程建設。支援固體廢物工程技術研究機構、固體廢棄物資源綜合利用與生態發展創新中心等技術創新平臺建設。

### 3. 推進綠色製造體系試點

統籌推進綠色製造體系建設試點，發布綠色製造標準體系建設指南、綠色工廠評價導則與綠色供應鏈管理試點方案。與財政部共同在京津冀、長江經濟帶、東北老工業基地等區域，選擇部分城市開展綠色製造試點示範，創建一批特色鮮明的綠色示範工廠。

最後，實施方案中提出要依法構建「綠色製造管理體系」，強化環保執法監督、節能監察、清潔生產審核和生產者責任延伸，形成綠色發展長效激勵約束機制。

#### (四) 臺灣與中國大陸工業 4.0 應用之比較

兩岸製造業生產應用模式，同樣為因應工業 4.0 而發生改變，茲將相關改變之比較整理如下表 5：

表 5 臺灣與中國大陸生產應用模式改變比較

項目	「生產力 4.0」	「中國製造 2025」
經費 期程	<p>「生產力 4.0 經費補助輔導案」，規劃 9 年內投入政府經費 360 億。</p> <p>1. <u>先期計畫執行期程</u>：2015 年 10 月 1 日至 2016 年 12 月 31 日止。</p> <p>2. <u>第一期計畫執行期程</u>：2017 年 1 月 1 日至 2020 年 12 月 31 日止。</p> <p>3. <u>第二期計畫執行期程</u>：2021 年 1 月 1 日至 2024 年 12 月 31 日止。</p>	<p>「中國製造 2025 專項基金」，花旗集團預測將投入 8 兆人民幣，以扶持中小企業發展為重點，設立專項基金、發展基金、融資體系、建構微信體系、建設創業基地、鼓勵科技研發資源共享以及完善綜合服務體系。</p> <p>1. <u>第一階段目標</u>：2025 年邁入製造強國行列。</p> <p>2. <u>第二階段目標</u>：2035 年達到世界製造強國陣營中等水準。</p> <p>3. <u>第三階段目標</u>：2045-2049 年實力進入世界製造強國前列。</p>
技術面	<p>推動利基建設/材料/關鍵零組件/軟體/整合系統自主，建置產業轉型所需的「共通技術基礎(common infrastructure)」與軟硬體(包括智慧機械聯網、大數據、雲端運算。</p>	<p>1. 「中國製造 2025」與「互聯網+」融合發展。</p> <p>2. 推進數位化、網路化、智慧化製造為核心，培育製造業新模式、新型態與新產品。</p>
產業面	<p>提升中小企業競爭力。優先選定具備 IT 及自動化基礎的中堅企業及其供應鏈，並協助建立 CPS 系統。推動生產力 4.0 推動產業輔導團，整合工業局相關單位及能量：</p> <p>1. 生產力 4.0 專家團。</p>	<p>1. 建設製造業創新中心(工業技術研究基地)，展開技術研究和產業化應用示範。</p> <p>2. 供給側結構性改革，製造消費者需要的高品質中高階產品。</p> <p>3. 建立中外中小企業合作園區示範，引導大企業與中小企</p>

項目	「生產力 4.0」	「中國製造 2025」
	2.重點產業跨域服務團。	業以專業分工、服務外包、訂單生產等多元方式合作。 4.加強產學研合作，推動技術成果產業化。
人才 培育	希望達成以人為本，人機協同的工作模式，推動跨部會合作人才培育，引導企業培育技術人才： 1.在職培訓。 2.扎根正規教育。 3.國際人才培育及延攬。	1.國家科技計畫(專項、基金)支持技術研發，建立產業創新聯盟。 2.加強製造業人才發展統籌規畫和分類指導，完善培養體系。 3.實施企業經營管理人才素質提升與中小企業銀河培訓工程。 4.實施專業技術人才知識更新工程和先進製造卓越工程師培養。 5.強化職業教育和技能培訓，展開「現代學徒制試點示範」。 6.鼓勵企業與學校合作。 7.進行人才管理，建立製造業人才服務機構，引進國外優秀人才。
代工生 產模式	從 OEM、ODM 轉型為 OBM。	從 OEM 中國製造，到 ODM 中國製造，再到 OBM 中國創造。
綠色	對應方案：暫無行動方案 <sup>11</sup> 。	對應方案：2016 年 4 月發布「綠色製造 2016 專項行動實

<sup>11</sup>相關方案：經濟部工業局自 2012 年 4 月推行「綠色工廠標章制度」至今。

項目	「生產力 4.0」	「中國製造 2025」
製造	對應法規：暫無法規訂定 <sup>12</sup> 。	施方案」。 對應法規：2016 年 4 月通過「工業節能管理辦法」。
德國合作計畫	經濟部生產力 4.0 推動辦公室與德國西門子(股)公司於 2016 年 5 月 30 日共同簽署「台德工業 4.0 合作備忘錄」。	中德雙方政府於 2014 年 10 月 10 日共同簽署發表「中德合作行動綱要：共塑創新」，並將「工業 4.0」納入雙邊合作課題 <sup>13</sup> 。
預期成效	邁向服務型製造，保持產品品質穩定，維持良好國際口碑，達成客製化製造以及發展企業聯網。預計 2024 年使臺灣具備智慧製造能力之製造業總家數超過 1,800 家，人均產值達到 1,000 萬元(相較 2014 年提升 60%)。	邁向服務型製造，掌握創新技術、提升產品品質，進而發展客製化製造、企業聯網、專業服務外包與電子商務。並選擇部分城市開展綠色製造試點示範，創建綠色示範工廠。 預計 2020 年成立 15 家製造業創新中心(工業技術研究基地)；2025 年成立 40 家。預計 2020 年全國單位工業增加值 CO <sub>2</sub> 排放量較 2015 年下降 22%；規模以上單位工業增加值能耗下降 18%；工業固體廢物綜合利用率達到 73%；綠色低碳能源占工業能源消費比重達到 15%。

資料來源：黃琮芳(2016)、本研究整理。

備註、OEM(Original Equipment Manufacturer)：接受客戶完全指定，按原圖設計代工製造。

ODM(Original Design Manufacturer)：為客戶提供設計、製造代工的服務。

OBM(Original Brand Manufacturer)：發展出自己的企業形象，進而獲得最大經濟利益。

<sup>12</sup>相關法規：2015 年 7 月 1 日總統令公布施行「溫室氣體減量及管理法」，已納入工業部門溫室氣體減量管制。

<sup>13</sup>大陸已在 2015 年 6 月發布「中德(瀋陽)裝備製造產業園」總體規劃，建設「中國製造 2025 與德國 4.0 合作試驗區」，發展智慧製造等四大產業聚落。

#### 四、我國後續推動工業 4.0 建議

綜上所述，不論是德國「工業 4.0」、中國大陸「中國製造 2025」或是臺灣「生產力 4.0」，其核心均為「智慧化」，並確實改變了以往製造業的營運與服務模式。而「工業 4.0」與「中國製造 2025」都將「綠色生產/製造」，列為主要願景與目標，反觀「生產力 4.0」目前對此卻並未強調。因此，強烈建議我國未來重點應為製造業技術面以及能資源面的「整合」，並朝向智慧化、服務化與綠色化發展，而非偏重新技術開發。以下提出 2 項我國後續加強推動「綠色製造」之建議，包含「納入『綠色製造』願景目標」與「加強雙邊合作」：

##### (一) 納入「綠色製造」願景目標

「綠色製造」旨在保證產品功能、質量及成本前提下，綜合考量環境影響與資源效率的現代製造模式，透過技術創新及系統優化，在產品生命週期(設計、製造、物流、使用、回收、拆解與再利用等)過程中，選擇對環境最友善、能資源效率最高、人體健康危害最小，且兼顧企業經濟與社會效益之方式。

德國「工業 4.0」著重以智慧生產、綠色生產與都市生產達成「永續生產」願景，最終目的，是還給人們一個乾淨的空間。因此，工業 4.0 示範企業特別強調綠色節能，並參考各先進國家推動經驗，積極推廣使用再生能源與提升能源效率，以此建構完善綠色製造體系。另一方面，中國大陸工業整體雖尚處於高投入、高消耗、高排放的發展方式，但已宣布將透過「綠色製造 2016 專項行動實施方案」以及「工業節能管理辦法」，全面實施「綠色製造」，進一步拓深「中國製造 2020」關於工業部門綠色發展的各项措施。在「十三五」期間，大陸將緊緊圍繞提升能資源利用效率與清潔生產能力，以推進傳統工業綠色化轉型。此外，還將統籌構建綠色製造體系，以綠色產品、綠色工廠、綠色工業園區與綠色供應鏈為重點，並打造綠色製造

服務平台，提升綠色製造的基礎能力。

故建議我國應參考德國與中國大陸，將「綠色製造」納入願景目標，提出相關行動方案，並以「綠色製造」回應我國「溫室氣體減量及管理辦法」，一併規劃考量相關部門溫室氣體減量階段管制目標，並遵循「再生能源發展條例」與「能源管理法」規範。具體作法例如獎勵建置綠色工廠、協助改善耗能設備效率、導入行動節能監測程式、提供節能設備優惠貸款與增修/訂定相關節能法規等，配合落實我國節能減碳政策願景。

## (二)加強雙邊合作

德國向來是我國對歐盟的第一大貿易夥伴，有鑒於「工業 4.0」浪潮趨勢，雙方已於今(2016)年度 5 月由經濟部生產力 4.0 推動辦公室與德國西門子(股)公司簽署民間版「台德工業 4.0 合作備忘錄」，期攜手合作，解決能源效率以及人口結構改變等挑戰。該合作備忘錄(MOU)內容包含三層面：

1. **人才面**：促進臺德人才技術商機交流。例如引進西門子原廠虛實整合課程、規劃未來國外派訓培育種子師資等，將工業 4.0 技術擴散至產業界。
2. **技術面**：促進我國產業邁向生產力 4.0。例如由德國協助，合作建置融合臺灣本土科技元素，具備教育功能並可實際營運的全方位示範產線。
3. **商機面**：合作建構臺德雙方長期交流機制，創造雙方的生產力/工業 4.0 溝通平台，共同協助我國業者拓展亞太地區新興市場。

展望未來，臺德官方合作時機已趨成熟，建議提升雙邊的合作高度，以現有民間版 MOU 為基礎，德國「綠色生產」為借鏡，持續加強、深化臺德在工業 4.0 領域的合作，並建立暢通的溝通平台，以朝向簽署官方版工業 4.0 合作備忘錄為目標。

至於兩岸亦建議可針對工業 4.0 發展過程中相關問題加強合作，發揮各自優勢共同解決。如倚重臺灣在節能技術、工業廢水處理、工廠廢氣管理與電子廢棄物回收利用之經驗，就材料、防治設備、監控系統與生產流程改造等措施，整合雙方技術特點，建立兩岸共同的綠色標準與認證機制，成為綠色夥伴；亦可藉由在特定區域建置共同平台與試點，打造兩岸共生的產業生態體系，進而開拓國際市場。以綠色製造為主軸，建立產業聯盟，促成我國技術端與中國大陸應用端企業對話，共同競逐全球市場。

## 參考文獻

1. DIGITIMES (2015), 工業 4.0 熱潮延燒 驅使製造業搶建智慧工廠。取自 [http://www.digitimes.com.tw/tw/iac/shwnws.asp?cnlid=19&cat=20&cat1=25&id=0000465476\\_TJU5Y5PX677ITS7UOEWS6](http://www.digitimes.com.tw/tw/iac/shwnws.asp?cnlid=19&cat=20&cat1=25&id=0000465476_TJU5Y5PX677ITS7UOEWS6)
2. 中華人民共和國工業和信息化部(2016),《工業節能管理辦法》解讀。取自 <http://www.miit.gov.cn/n1146295/n1652858/n1653018/c4776456/content.html>
3. 中華人民共和國工業和信息化部(2016),「關於印發《綠色製造 2016 專項行動實施方案》的通知」。取自 <http://www.miit.gov.cn/n1146290/n4388791/c4719303/content.html>
4. 吳佩靜(2015), BCG 研究：德國推動工業 4.0 對製造業勞動力之影響(2015-2025)。經濟部人才快訊電子報 12 月號。取自 <http://itriexpress.blogspot.tw/2015/12/bcg4020152025.html>
5. 國家實驗研究院科技政策研究與資訊中心 STPI (2015),《中國製造 2025》重點推動領域觀察。取自 <http://iknow.stpi.narl.org.tw/post/Read.aspx?PostID=10933>
6. 國家實驗研究院科技政策研究與資訊中心 STPI(2015), 台灣製造業注意”中國版工業 4.0”來了。取自 <http://iknow.stpi.narl.org.tw/Post/Read.aspx?PostID=10532>
7. 壹讀(2016),「工程機械行業綠色製造體系建設加速」。取自 <https://read01.com/KOkm6B.html>
8. 壹讀(2016),「綠色製造：未來製造技術的發展方向」。取自 <https://read01.com/3Axazm.html>
9. 工研院產業經濟與趨勢研究中心 IEK (2016), 工業 4.0 趨勢與石化產業應用案例。新竹：工業技術研究院。
10. 每日頭條(2016), 到 2020 年中國綠色製造業產值將達 10 萬億元。取自 <https://kknews.cc/finance/bqegl6.html>
11. 產業永續發展整合資訊網(2016), 亞洲—中國工信部印發實施『綠色製造 2016 專項行動實施方案』。取自 <https://proj.ftis.org.tw/isdn/News/Detail/BBA7CFD6FF79CFD0?dataIndex=5>
12. 石漢華(2016), 效率、速度、靈活性 決定製造業未來-借鏡工業 4.0 台灣製造業下一步?。取自

- [http://tw.digiwin.biz/newsListDetail\\_6801.html](http://tw.digiwin.biz/newsListDetail_6801.html)
13. 經濟部工業局 (2016),【他山之石】中國大陸推《綠色製造 2016 專項行動實施方案》。取自  
<https://www.facebook.com/moeaidb/photos/a.301170933380386.1073741828.300923396738473/622569904573819/?type=3>
  14. 維基百科 (2016), 工業 4.0。取自  
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%B7%A5%E6%A5%AD4.0>
  15. 行政院 (2015), 生產力 4.0 發展方案。台北：行政院全球資訊網。
  16. 譚瑾瑜 (2015), 《中國製造 2025》對台灣產業的影響。載於兩岸經貿月刊 284 期, 2015 年 8 月號 (頁 6-9)。台北：海峽交流基金會。
  17. 賀桂芬、辜樹仁 (2016), 工業 4.0, 58 秒的競爭。天下雜誌 2016 年第 601 期。台北：天下遠見。
  18. 黃琮芳 (2016), 德國先進製造業計畫『工業 4.0』對兩岸製造業生產模式之啟示與影響 (為出版之碩士論文)。淡江大學, 新北市。
  19. BCG(2015), *Man and Machine in Industry 4.0: How Will Technology Transform the Industrial Workforce Through 2025?*. Retrieved from <http://www.bcg.it/documents/file197250.pdf>
  20. Jay Lee, Behrad Bagheri, Hung-An Kao. (2015), A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, Vol.3, (pp.18–23).
  21. PWC(2014), *The new hire:How a new generation of robots is transforming manufacturing*. Retrieved from <http://www.pwc.com/us/en/industrial-products/assets/industrial-robot-trends-in-manufacturing-report.pdf>