

機械工業 4.0

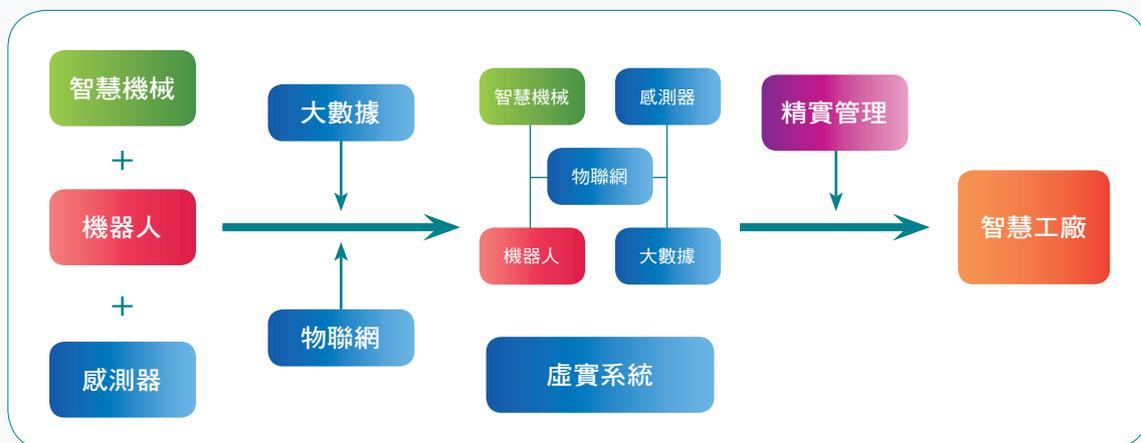
呂明山

工業 4.0 對機械產業的發展，應以智慧機械為基礎，結合感測器、機器人、物聯網、大數據、虛實系統、精實管理等技術，建構一個智慧製造系統（智慧工廠），以支援各項生產製造的活動及服務。

機械產業的內容可分為廣義與狹義兩種。前者包括一般機械、電氣機械、運輸工具、精密器械、金屬製品等；後者則指各產業用於生產的機械設備及輔助設備，包括金屬加工機械、產業機械、專用生產機械、電子生產設備、通用機械、輸送與自動化設備、金屬模具、其他機械與零組件等。根據工業技術研究院的統計，2015 年台灣機械產業的整體產值達新台幣 9,681 億元，是支撐台灣經濟的重要基石，也是台灣工業發展的重點，一直占有舉足輕重的地位。

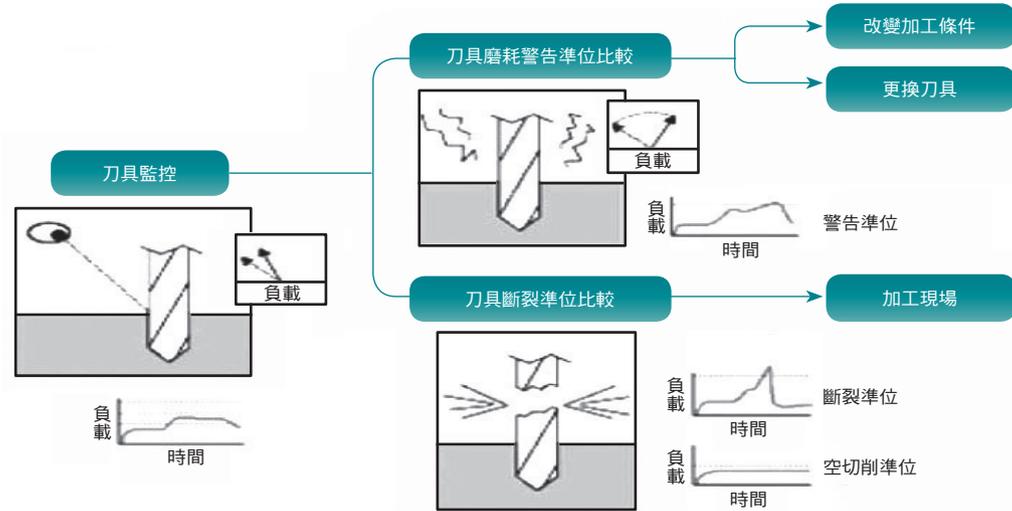
工業 4.0 一詞最早出現在 2011 年的漢諾瓦工業博覽會上，主張利用物聯網及網際網路服務，透過智慧整合感控系統發展成智慧工廠，期使每個機械單元都具備相互溝通的能力。除可經由即時環境的監控，找到問題予以排除外，並可改革生產流程，讓作業更靈活化及彈性化，以因應不同的市場需求。

機械設備是工廠生產的主要工具，隨著工業 4.0 的推行，機械設備務需致力於精密化、智慧化的發展，不但要強化單機的產能，更要利用遠端控制、智慧控制、人機介面、模組化，



工業 4.0 在機械產業上的發展應用

操作原理



日本某家公司的刀具監控與管理（圖片來源：陳政雄，機械月刊）

以及連線回饋等機制，研發更先進的機種，在結合大數據與物聯網的智慧浪潮下，推動智慧機械產業的發展。

工業 4.0 對機械產業的發展，應以智慧機械為基礎，結合感測器、機器人、物聯網、大數據、虛實系統、精實管理等技術，建構一個智慧製造系統（智慧工廠），以支援各項生產製造的活動及服務。以下就工業 4.0 在與機械產業相關的智慧機械、機器人、虛實系統、智慧工廠等應用實例做介紹。

智慧機械

大部分的機械設備原本都設計由人工操作，但隨著數位控制器、感測器、致動

器等技術的應用，逐漸發展成不需人工操作的自動化機械。

一般的自動化機械都是依照事先給定的指令執行，以機械產業中主要的自動化設備—電腦數值控制（computer numerical control, CNC）工具機為例，工程師先依照零件的幾何形狀編寫加工程式，或由電腦輔助製造軟體產生零件的加工程式，把它傳到 CNC 工具機，CNC 工具機再依據程式的程序加工。過程中如果發生故障，就必須停機排除後才能繼續作業，當然人力及時間的成本也因而增加。因此智慧機械的發展就應具備故障預測、精度補償、自動參數設定、自動排程等智慧化的功能，以改善前述的困擾。

機械產業是支撐台灣經濟的重要基石，也是台灣工業發展的重點。

再以智慧工具機為例，目前這項機器的設計以線上熱誤差的補償及切削監控為重點。因為機台在加工中各軸會因溫度的上升，造成機台變形而產生定位的誤差，因此須透過溫度的監控補償熱變位，以提高精度的穩定性。另在切削監控方面，可利用主軸馬達的電流監控，即時偵測刀具的破損及負載的異常，做為刀具的監控與管理。

以日本某公司的刀具監控與管理詳予說明：作業中，若主軸上的刀具在切削時斷裂或磨耗，刀具受力就會異常，主軸馬達的電流輸出也會不同。這時管理員只要比對電流輸出的準位，就可判別刀具的狀況，更換刀具或改變加工條件。另外，機台的過度振動也會減少主軸承的壽命，增加刀具的磨耗速度以及工件表面的粗糙度，這時可利用加速規監控切削的振動，調整最佳化切削參數，以避免過度振動影響了加工的品質。

除此之外，因工具機的切削參數包括主軸轉速、刀具進給率等，若分析不同環境下刀具使用狀況的紀錄，可預估刀具的壽命，並在最佳的時間點更換刀具，以避免斷刀或減少不良品的產生。

機械設備的智慧除了要能偵測環境的變異，自動調整程序或加工參數外，還需要與其他機械設備溝通的能力，一般稱為 machine to machine (M2M) 的能力；但目前工廠的機械設備都各自有自己的通訊協定，有如多個說著不同語言的人共處一室，彼此之間雞同鴨講無法溝通。因此規定一個共同的語言，即共同的通訊協定，就變得很重要。

目前，工業 PC (IPC) 或 PC-based 控制器由於具有可與外界溝通的連結介面，只要透過其 TCP / IP 的通訊協定，就能使機械設備之間溝通，甚為方便。



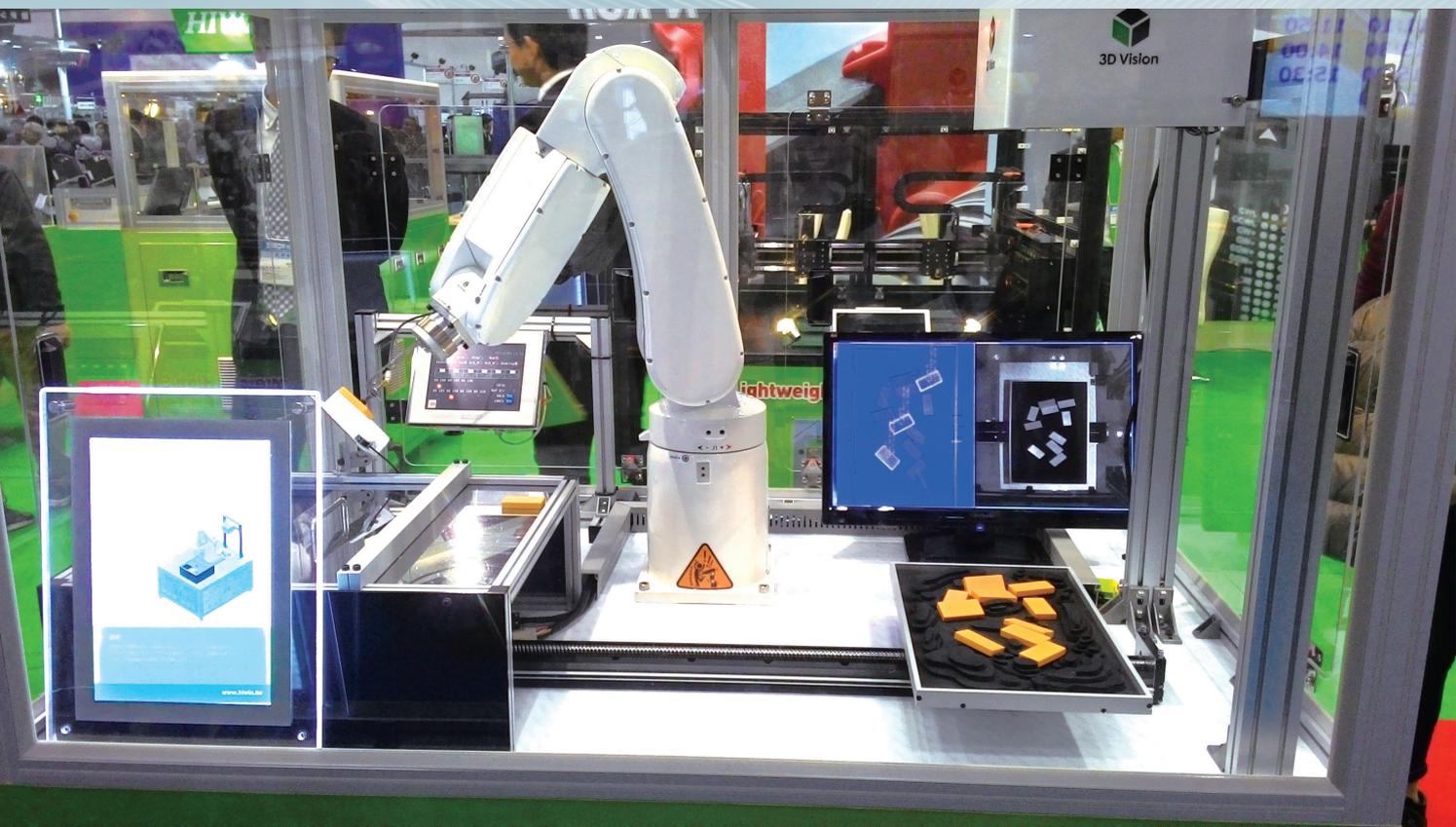
智慧工具機的發展應用

機器人

工業用的機器人主要是機械手臂，尤其是多關節型的機器人，可以替代人力從事較費力或繁雜的作業，例如搬運、組裝、加工等。現今工業用的機器人大都是被動式的，跟一般自動化的機械一樣，也是依據給定或教導的程式執行工作，能高度準確且不厭其煩地反覆執行特定的動作。

有些工廠雖已使用機器人提高自動化的程度，但並不能稱為已進入了工業 4.0，因為工業 4.0 強調的是能結合機器人的智慧化生產。舉例來說，一條由機器手臂取代人力的生產線，如果生產線上的生產規模因不同的需求而須擴張、縮減或更動作業流程時，不靈活且無法快速換線的機器手臂勢必影響成本及交貨的周期。若能把機器人系統的建置與產線結合，再連結多個製造單元而形成智慧化製造系統，將能提供更靈巧及彈性的生產。

另外，機器人也可是結合感測器、物聯網、人工智慧等開發成具有主動性的智慧



3D 智慧視覺導引的機器人（圖片來源：工業技術研究院）

型機器人。主動性的智慧型機器人可以依照作業需求及環境的變異，自動調整路徑及方位執行工作。例如具有視覺（攝影機）動態導引功能的機器人，可以精確地判別物件的顏色、形狀及位置，這些資訊若再藉由手眼整合的功能，便能更精確地完成揀選或組裝的工作。這一功能可運用於 3C 產業、金屬加工業與食品業，從事組裝、上下料、包裝、檢測的工作。

人機互動安全的機器人也是智慧型機器發展的重點。安全型觸覺機器人整機包覆碰觸感測元件，讓人機操作時有更安全的保障，安全感測的工作包括碰觸即停、警戒區域機器人動作調控等。

虛實系統

虛實系統是工業 4.0 的關鍵技術，它藉由電腦、感測器，並運用網路技術連結各

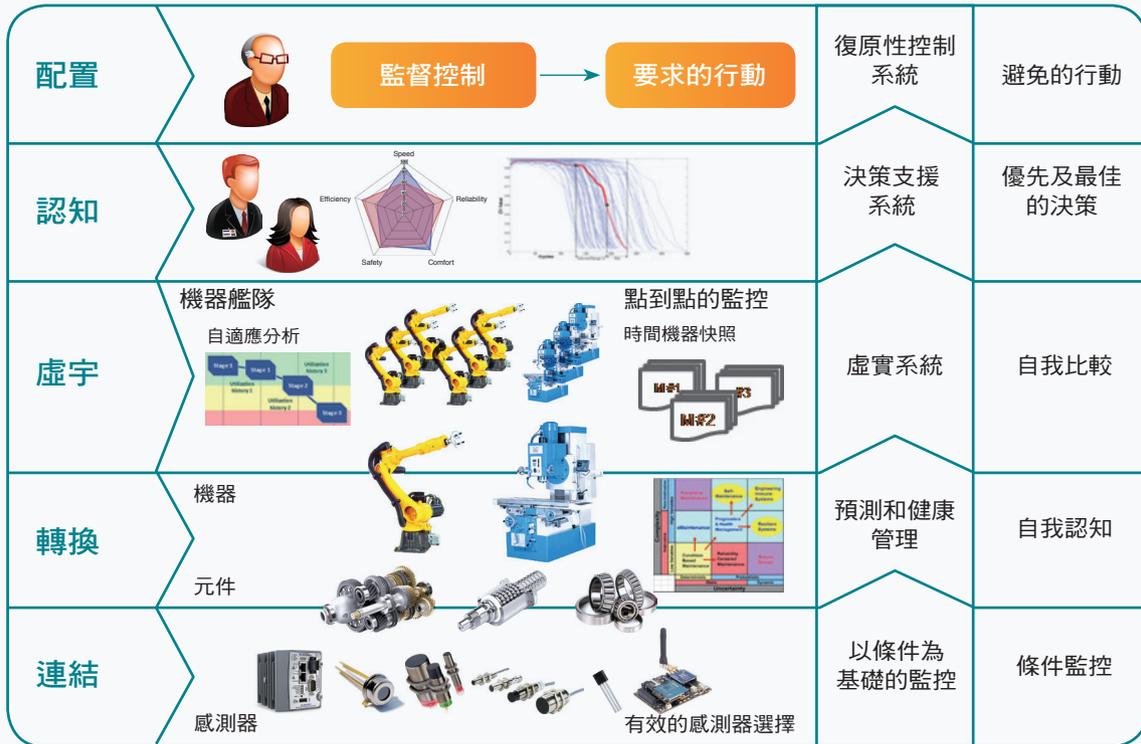
種設備、機器及數位系統，使它們能相互溝通以整合虛擬及實體的世界。虛實系統的內涵就是人、機、物的融合計算，又稱為人機物融合系統。虛實系統能夠從實體、環境及活動中做大數據的採集，並與對象的設計、測試和運行性能表徵結合，使網絡空間與實體空間深度融合，進而透過自感知、自記憶、自認知、自決策、自重構和智能，達成生產製造的全面智慧化。

虛實系統的構架可區分為 5 個層級，包括：

連結層—選用感測器監視機械設備的狀態。

轉換層—把監視的資料轉換成對應的機械設備的有用資訊，做為故障診斷、健康評估管理等用途。

虛字層—透過網路與數位電腦建立與機械設備對應的虛擬物件，進行機械設備



虛實系統 5 個層級設計的架構（圖片來源：李傑等人，2014）

的點到點的對應監督，以及各機械設備適應與效能的分析與比較。

認知層—主要功用是識別與決策，通過分析當前機械設備的任務目標和狀態，制定協同優化的決策。

配置層—把決策按照各機械設備的運行邏輯轉化為它們聽得懂的语言，並把指令發送至機械設備端的執行機構實施。

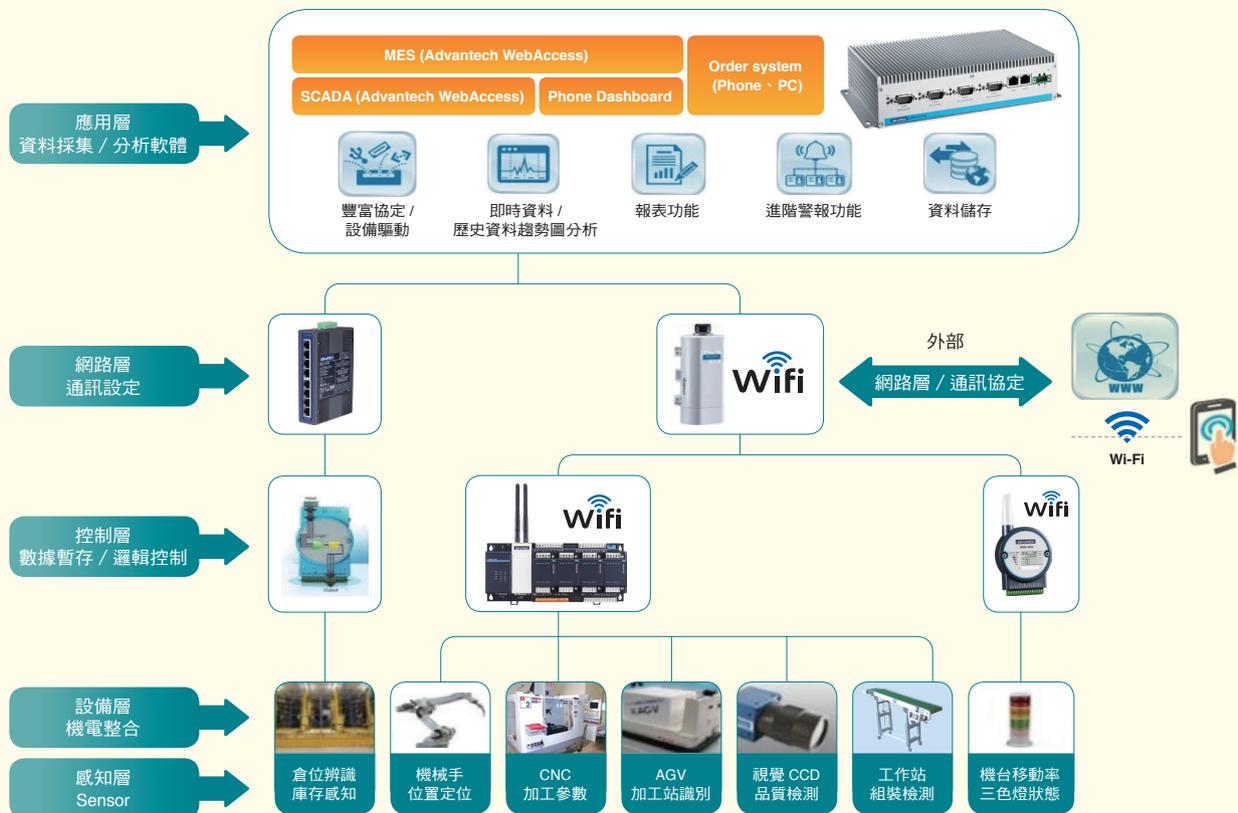
虛實系統打通了「自動化孤島」的經脈，可連結並整合自動化的實體設備，以及分析與決策的管理系統，是把製造系統打造成智慧工廠的關鍵技術。

智慧工廠

目前機械產業面臨的挑戰，包括供應鏈的效率與透明度、產量、品質及交期、設備的管理與維修，以及流程與設備的自動化等幾個問題。工業 4.0 智慧工廠結合了物聯網、大數據、機器人、虛實系統、精實管理、感測器等技術，更串聯設備、流程與科技，提升自動化與運作的洞察能力，可解決上述的各項挑戰。

例如，在供應鏈的效率與透明度上，透過即時生產資料的蒐集及物聯網的連

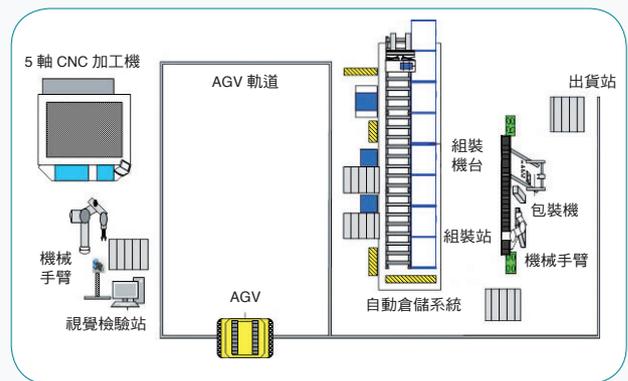
虛實系統是工業 4.0 的關鍵技術，它藉由電腦、感測器，並運用網路技術連結各種設備、機器及數位系統，使它們能相互溝通以整合虛擬及實體的世界。



智慧工廠廠區自動化層級的架構（圖片來源：林家名，能鉅科技）

結，可提供更透明的生產資訊給供應鏈上的合作伙伴，精準地調度資源，也提高供應鏈的效率。在提升產量、品質及交期上，智慧工廠藉由蒐集即時和歷史的生產、品質及設備使用狀況的資料，以精實管理為核心，在最少原物料、製品與成品存貨，以及最高品質的要求下，優化了生產流程及產品品質。

在設備的管理與維修上，工業 4.0 運用設備感測資料及維修日誌，找出設備發生異常的模式，監控並預測未來可能發生的故障，預先維修保養。在流程與設備的自動化上，工業 4.0 智慧工廠利用物聯網及網際網路服務改革生產流程，讓每個生產環節及操作設備都具備獨立自主的能力，且



智慧工廠的設備配置

能相互溝通、即時監控周遭環境，以完成生產線的自動化操作，也使生產流程更靈活有彈性。

工業 4.0 智慧示範工廠可以在現有的基礎架構下，進一步發展智慧雲，以蒐集生產流程中各階段的資料，再結合大數據的分析，回饋給各階段作調整。

智慧工廠應用實例

雲林科技大學工業工程與管理系協同廠商已建置了一個工業 4.0 的智慧示範工廠，用於教學研究及產學合作。這個智慧工廠以機械加工業為主，其生產流程如下：顧客經由手機或網路下訂單，企業資源規劃系統接到訂單後，經由生產排程及物料需求規劃產生工單，工單再下到現場的製造執行系統（manufacturing execution system, MES），進行現場派工及監督。

首先，自動倉儲會依工單上的產品出料，無人搬運車（automatic guided vehicle, AGV）把原料從自動倉儲搬運到五軸 CNC 加工站的進料暫存區。接著機械手臂把原料上載到 CNC 機台加工，完成後機械手臂下載這半成品至視覺檢驗站檢驗其品質，然後機械手臂再把半成品下載到出料暫存區。接著，AGV 把半成品搬運到組裝站組裝成成品，最後 AGV 把成品送至出貨站出貨。

智慧工廠廠區自動化層級的架構設計，是遵循上述的虛實系統，即第一層是感知層，用於機械設備運作的感測。例如：工作站的識別感測用於告知 AGV 到達的工作站，視覺攝影機用於告知半成品檢測結果，機台稼動率三色燈用於告知 MES 機台停機、待料、生產等不同狀態。

第二層是設備層，接到工作的指派後，機械設備會自動地完成工作。例如接到機

械手臂上載的原料後，CNC 加工機讀取 CNC 程式後自動完成加工。

第三層是控制層，主要設備是資料擷取與控制系統，其工作是現場作業流程順序的邏輯控制，以及生產、機械設備狀態、品質等資料的蒐集及暫存。

第四層是網路層，透過乙太網路、WiFi、3G / 4G / GPRS 等，以及 TCP / IP 的通訊協定，連結各機械設備及上層的應用層，以溝通訊息及傳輸資料。另外，透過外部網路也可以與手機及其他雲端電腦連結，或執行遠端的監控及維護。

第五層是應用層，藉由蒐集即時及歷史的資料，執行機械設備狀態的監控、生產效能的分析、加工履歷、排程管理、異常診斷、製程優化等工作，並把生產、維護保養及製程相關的決策回饋給機械設備進行調整。

工業 4.0 智慧示範工廠也可以在現有的基礎架構下，更進一步發展智慧雲，以蒐集生產流程中各階段的資料，再結合大數據的分析，回饋給各階段作調整，這個進階版能更快速地回應客戶及市場的需求。

呂明山

雲林科技大學工業工程與管理系
