



品管運作如何轉換到智能製造

楊錦洲

中華台北品質學會理事長

摘要

美國與德國幾乎同時於 2010 年初，就開始推動「先進製造」及「再工業化」之戰略，尤其是德國開始發展工業 4.0 之後，智能製造或智慧工廠之發展就受到全球的重視。更由於近幾年來，先進的科技工具，如資通訊系統 (ICT)、物聯網 (IoT)、互聯網、雲端運算、人工智慧等的快速發展與運用，更促使先進國家快速的往智能製造發展。然而，到了智能製造的階段，傳統的品管運作方式已經行不通了。

所以，本研究就是要探討目前廣被接受的品管運作系統，如何轉換到智能製造。從最基本的製程步驟、機器設備之關鍵因素之挖掘、最佳參數設定，到整個製程的全面最佳化。且在智能製造的基礎系統上建立智慧化的品管運作系統，能在品質資訊處理上能做到數據的自動蒐集、整理、分析、判斷、及調整決策。而調整決策會透過虛實整合系統傳輸到機器設備的控制器，指揮機器設備的自我調整與控制。在此轉變過程中，品質工程師要扮演關鍵的角色，但須跟資通訊專家、及製造、工程、設備等工程師通力合作。

關鍵字：智能製造、工業 4.0、智慧化品管系統、品質資訊、品質工程師

1. 前言

品管運作的目的是為了生產出符合規格、具備應有功能的產品，從產品設計、製造到銷售，能夠做到品質保證，讓顧客滿意。品管運作的方法與系統會隨著品管專家的觀念想法，及企業所面臨的經營環境的改變而有所轉變(Yang 2014)。從早期的檢查品管、製程品管，進展到全面品管(TQC)，日本的全公司品管(Company-wide Quality Control, CWQC)。由於 CWQC 提升了日本企業的全球競爭力，於是歐美企業自八〇年代開始標竿學習 CWQC，並發展出全面品質管理(Total Quality Management, TQM)。與此同時，Six-Sigma 的改善系統，及 ISO 9000 國際品質標準，跟 TQM 一樣，造成全球性的熱潮。

德國於 2011 年之後開始發展工業 4.0，進而引領德國工業走向智能製造。美國也早在 2010 年，就開始推動「再工業化」之戰略，推動智能製造的計劃(楊錦洲, 2020b)。由於美國與德國幾乎同時發展「智能製造」，使得「智能製造」在全球受到極大的重視。智能製造指的是產品在整個生產過程中，生產指令、投料、半成品在製程中的移動均可透過互聯網及物聯網來下決策及執行。生產設備與機器會自動的控制及量測生產參數及條件，當有所偏離時，還會自動調整。當品質規格有所變異時，會自動分析及發掘影響因素，且立即加以調整，以



確保生產出百分百良品。

由此觀之，二十世紀所發展的品管方法與系統，及傳統上的運作方式，似乎難於在智能製造的系統中施行。確實如此，要做到智慧製造，則品質工程師要把原先的品管運作，內建到機器設備中。品質工程師需要藉由跟相關功能的工程師合作，完成機器設備中品管運作系統之建置，再經由數據驅動，讓機器設備自動執行、控制及調整。

2. 品管運作是為了確保產品品質

原則上，消費者都是要買品質好的產品，所以生產產品的製造者，在設計、生產的過程中，都會進行製程控制、品質管制的相關活動。從上世紀的初期開始，就不斷的發展出品管運作的方法與系統。由於品管專家與學者的觀念與想法會隨著產業環境的改變而轉變，因而帶動這些品管方法與系統跟著不斷的演變(楊錦洲，2018)。所以，品管工程師在工廠中所運作的品管運作方式也應與時精進。

早期的製造業是以“產品”為重心，所以早期的品管專家之品質觀念是：

「品質是適合於使用 (quality means fitness for use)」

(Edvard, 1968)。所以，在產品設計時是著重於“適合於使用者之目的所需之功能”，進而制定了產品的功能、標準與規格。製造廠商為了確保品質，達到產品的品質標準與規格，於是設定了標準化的生產流程(製程)，以及生產時的作業標準。也訂定了產品生產出來後的檢驗標準，以及品檢的執行方式及檢驗方法等等(Rao et al., 1996)。而品管人員就會檢查產品的規格是否符合所設定之標準，以及是否具備所需之功能。因此，早期的品管做法就是“檢驗品管”(Inspection quality control)，也就是俗稱的“品質是檢查出來的”。

隨著經營的環境越來越競爭，消費者也越來越在乎產品的價格，希望能買到價廉物美的產品。所以，企業界開始重視生產成本。由於檢查品管要付出極大的成本，在成本的壓力下，使得品管專家的觀念想法有所轉變：如果產品在生產過程中就能控制好品質，則就可以有效的降低成本。

於是，在三〇年代就開始推動“製程品管”(Statistic Process Control, SQC)，也就是要在生產過程中就要把品質控制好(Rao et al., 1996)。除了製程標準與作業標準需要落實之外，更需要控制製程參數的穩定性，以確保品質控制項目的變異小，品質才會好。所以說“品質是製造出來的”。由於製程品管會用到很多統計方法，故也稱之為“統計品管”(Statistic Quality Control, SQC) (Mitra, 1998)。

Armand V. Feigenbaum 博士更於 1956 年提出了全面品質管制(Total Quality Control, TQC)之觀念(Feigenbaum, 1956)，認為“產品需要從設計、投入、製造、成品到售後服務的各階段都要控制好品質，才能做到品質保證”。Feigenbaum 更於 1961 年出版了 Total Quality Control 一書，推動全面品質管制的運作系統(Dotchin & Oakland, 1992)。其中最關鍵的是設計階段，設計不當或失誤會造成後面各階段的額外的成本負擔，及品質問題(Juran 1986)。可以說設計階段決定了品質及成本的至少百分之七十。所以我們可以說“品質是設計出來的”。



TQC 大約在六〇年代導入到日本，日本的品管專家及企業界很認同 TQC 的運作系統，而且加以發揚光大。為了落實 TQC，日本企業做到全員參與及團隊合作，建立「顧客第一」及「持續改善」之理念與實踐。更進一步的做到全員品質教育，建立品質文化。於是，日本所精進的 TQC，稱之為“全公司品管”(CWQC) (Yang, 2014)。

日本企業因為成功的推行 CWQC，而在七〇、八〇年代有很強的全球競爭力，並引起歐美企業界及學術界的標竿學習，進而在八〇年代中期發展出全面品質管理(TQM)。TQM 涵蓋了 CWQC 的所有精髓，為了落實的運作 TQM，需要強化各階層主管的領導與管理，及對員工的激勵，以及建立及實踐優質的品質文化，所以說“品質是管理出來的”。TQM 強調的是追求全面性的品質，可說是品質管理的變革。TQM 自九〇年代起，風行於全球，不論是製造業、服務業，甚至各類型的組織，都積極的導入 TQM。

TQM 強調的是利用“持續改善”來追求顧客滿意，因而有些歐美企業導入日本的品管圈(Quality Control Cycle, QCC)。但是，Motorola 自 1987 年推動異於 QCC 的 Six-Sigma 改善專案，而且 GE 公司也在 1995 年導入 Motorola 的 Six-Sigma 改善，甚至加以發揚光大，因而自 2000 年起，造成全球大流行(Yang, 2004)。八〇年代可說是全球品質發展最興盛的年代，除了 TQM、Six-Sigma 廣泛的推行之外，國際標準組織(International Organization for Standardization, ISO)也在 1987 年開始在全球推動 ISO 9000 國際品質標準管理系統，且陸續地發表 ISO 9000 的修訂版，及各相關的國際標準管理系統。

3. TQM 落實推行之後

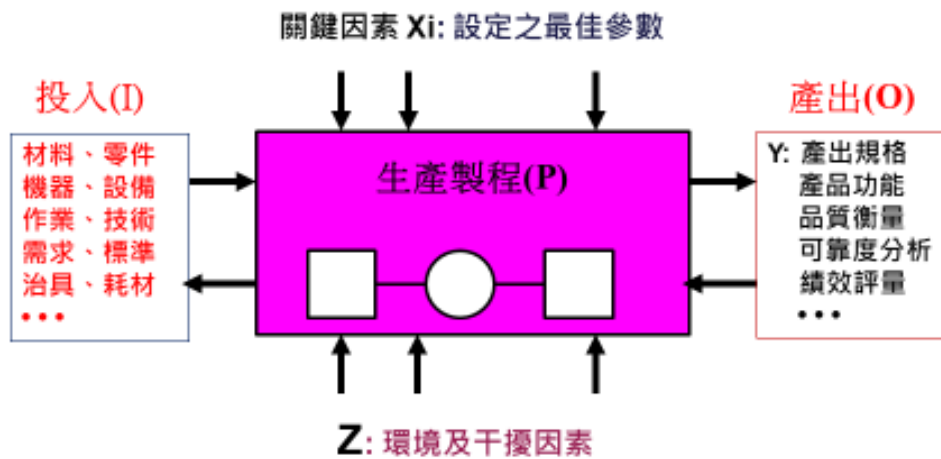
本文之所以花了不少篇幅來談品質管制(理)之方法與運作系統的演變與發展，說明了如何以更好、更有效的方法來確保產品品質，追求顧客滿意。TQM 推行至今已逾 30 年，是否 TQM 落實的推行，就可以不必再做檢查品管，甚至是製程品管？答案是否定的，檢查品管，SPC、SQC 及 TQC 還是必須的，只是落實 TQM 之後，會減少檢查品管，且會把 SPC 應用在源頭的控制上，TQC 也更能做到品質保證。再者，TQM 強調品質文化的建立，人人有品質責任、會做到第一次就做好，追求零缺點，且有預防觀念。如此一來品質問題會減少，不需大量檢查，也顯著地降低內外部損失成本。TQM 也強調顧客為先，為顧客設想，重視品質保證，及全面性的控管品質，使得 TQC 更能落實執行。更會運用 SPC 於生產參數及生產條件的控制上，就是做到先期指標的控管，著重於源頭管理。

為了不斷的追求顧客滿意，加上市場上的高度競爭，使得廠商不斷的增加產品的功能、精密度，甚至是創新元素。使得產品設計、製程規劃、製程參數的掌控、製造技術的開發、產品的生產、良率的控制等等越來越複雜，也越困難。如果只利用傳統的檢查品管、製程品管、甚至全面品管，是難以管控產品品質。就算落實的推行 TQM，也是不易做好品質保證。我們可以看到許多的高科技公司，雖然積極地落實 TQM，但還是要依賴首件檢查、參數調整、製程管制、製程改善，結果還是成效有限，良率難以達到理想水準。

其根本原因在於研發、製程、製造、品管等工程師仍然執著於原有運作系統，習慣於 trial and error 的做法。接到新的樣品訂單，在開發產品與製程時，仍然以原有的參數來生產，再一面量測相關的品質規格，針對未符合的項目，再試著調整可能影響該品質項目的參

數，如此週而復始。如果工程師經驗較豐富，且公司擁有較多的 know-how，則會較快的改善到客戶可接受的良率，運氣不好的話，可能連樣品都無法交給客戶。就算樣品達交，且接到量產的訂單，真正在量產時，也可能不會有很好良率。當然，有許多公司會再透過製程的改善來不斷的提升良率。

公司一定要改變這種作法，一切從源頭做起，平時就要積極的累積 know-how 與經驗，充實專業知識與能力。接到新的樣品訂單時，需要利用 I-P-O (Input-Process-Output)分析來規劃製程，分析關鍵投入、製程的關鍵影響因素(key factors)，見圖一。



圖一：I-P-O分析示意圖

編譯謝教授

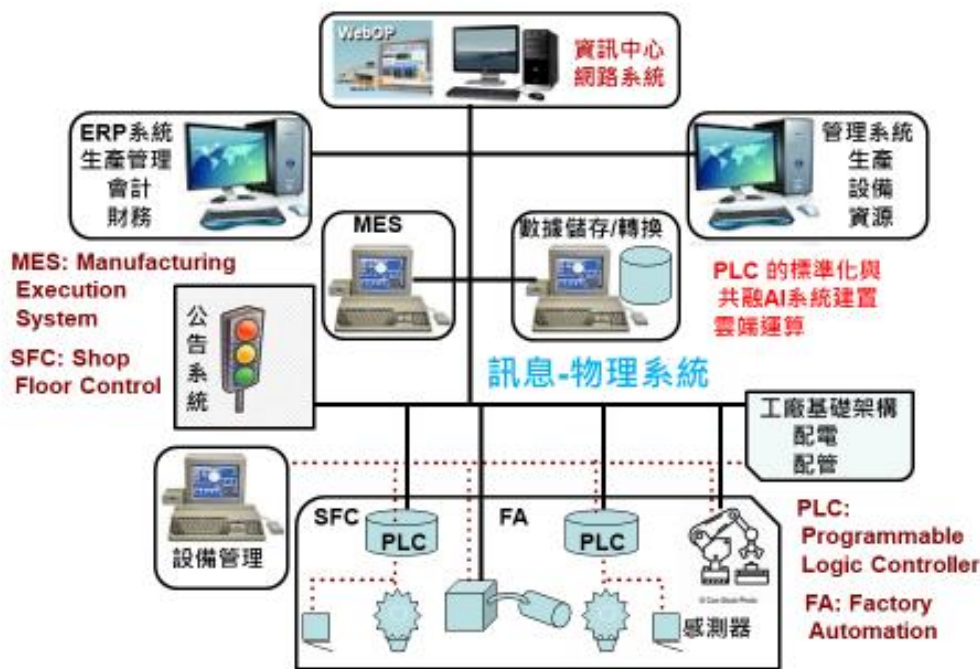
從產出的品質衡量項目之規格、可靠度分析項目回推到製程，分析出關鍵影響因素，以及利用 know-how、專業經驗，甚至利用實驗計畫法(Design of Experiment, DOE)或田口品質工程、模擬方式，來找出這些關鍵因素之最佳控制參數，或最佳控制條件。不可否認的，要找出真正、且完整的關鍵因素，確實是非常困難，如今，可利用大數據分析，但需要在生產線上蒐集足夠的 data。台積電就是充分的利用大數據分析，來找到關鍵因素，並利用 know-how、專業經驗，以及人工智慧(Artificial Intelligence, AI)來確認最佳控制參數。

對於高科技公司來說，產品越來越精密，功能也越來越多，材料不斷的更新，製程技術不斷的精進。所以，產品越來越難做，良率更不容易提升。如果還是以傳統的方式，只在原先的參數上做調整，不斷的試誤，則良率一定不會好，且會遭受很大的損失成本。因而，在產品規劃、設計之前，要針對產品規格、品質屬性、可靠度項目、材料特性、製程技術、設備能力等之關鍵要素，進行周延的分析。充分的利用公司的 know-how、專業經驗，甚至學術理論，以及善用上面所提到的分析工具。如果良率要達到理想的水準，則機器設備要

朝向智慧化，而且要善用科技工具，進展到智能製造才行。而在智能製造的層次上，品管的運作方式更會有很大的不同，在下一節，我們會加以說明。

4. 智能製造之品管運作

何謂智能製造，雖然學者專家可能會有不同的解釋，但相信差異不會太大。在此，我們對於智能製造先做簡要的闡述。美國的智能製造領導聯盟(Smart Manufacturing Leadership Coalition, SMLC)定義了“智能製造是強化先進智慧系統的應用，促使新產品的快速製造，動態及時的反應產品需求，以及生產線及供應網絡的即時(real-time)最佳化”(SMLC 2011)。其重心放在整個產品的製造生命週期中能夠產生及應用到數據-驅動製造之智慧系統，所以需要建置及應用尖端的、複雜的、高性能的工具及運作方式，如智慧整合控制系統，連結物聯網(Internet of Things, IoTs)、服務聯網(Internet of Service, IoS)、訊息-物理系統(Cyber-Physical Systems, CPS)，及大數據(Big Data)與雲端運算(Cloud Computing)，以及人工智慧(Artificial Intelligence, AI)、協作機器人等等，形成完全智慧化、全自動化的生產系統(Davis et al. 2015 ; Zhong et al. 2017 ; Yang et al. 2019 ; 楊錦洲, 2020c)，見圖二。



圖二：智能製造的簡易圖



我們可以約略的描繪“智能製造”的藍圖，說明如下(楊錦洲, 2020c)：

- * 智能製造系統有極高度的自治性及自主性(**autonomy**)，所有的原物料、零組件、加工件及成品都會在生產線上依設定的路徑來移動。
- * 製程的生產參數、生產條件均已進行最佳化及設定，當物件移動到各製程時，則 **M2M (machine to machine or material to machine)**系統會告知機台的控制中心，則機台會依設定的參數自動生產。
- * 各製程所生產的物品之品質都會自動量測。而且各製程的生產機台及設備之生產參數、製造條件都會良好控制，以確保各製程所生產的物品都是良品。
- * 在生產過程中，除了產出品質會自動量測之外，各製程之關鍵因素的參數值也會自動量測或感測，所有這些 **data** 會傳輸到雲端運算與邊緣運算，再利用計算以了解製程狀態。
- * 當品質量測有變異時，會透過大數據分析，立即找出生產參數或條件有所變動的關鍵影響因素，並加以調整，以確保生產之物品確實是良品。
- * 公司的生管部門可以由資訊系統上了解到各料號的生產狀況與進度，掌控對客戶的準時交期。客戶也能了解所下的訂單之生產進度及交期，且可透過服務聯網(**IoS**)之連線來變更其訂單之數量與交期。
- * 生產線上的原物料、零組件之使用狀況與數量會透過 **IoS** 連線到供應商，供應商可以即時的補料，做到原物料與零組件維持最低存量，且不會缺料。
- * 生產的機台及設備能夠即時的監控零組件的耗損狀態，且設有零組件損壞的預知系統，避免機台、設備無預警的損壞，達到全天候的全自動化生產。
- * 從產品全生命週期的全程自動化聯網掌控，從產品規劃、設計與開發、材料規格與供應、製程參數設定，直到生產的完全自動化及交貨。甚至跟客戶、供應商、設備廠商都能即時聯網與掌控。

廠商要能達到智能製造的這些條件，會有很長的路要走。其中跟品管運作最相關，也是智能製造最關鍵的條件，就是條件的第二點至第五點。在品管運作上跟目前的運作方式有極大的不同，智能製造的生產過程中，不可能在各重要的製程上，進行抽樣、量測，當品質不符時，再來尋找關鍵影響因素，再停機來調整參數。原則上，

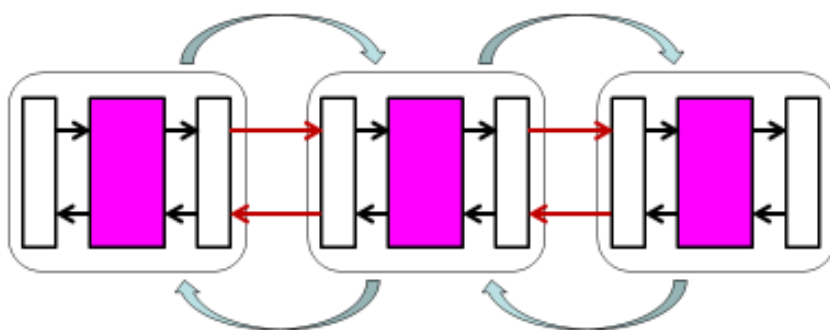
「各製程的關鍵影響因素，其最佳參數均已分析確定，且已設定好，機台也能自動精準地控制。在生產過程中，會自動蒐集數據，自動量測所需之品質規格，如有變異，會透過大數據分析及 **AI** 運用，找到關鍵影響因素，然後機台會自動調整此關鍵影響因素的參數，且加以控制，以確保生產出的物件符合所設定的規格。」

也就是說，要把目前的品管運作系統建置在機器設備中，由機器設備自行運作(楊錦洲, 2020a)。其中有幾個困難點：

- * 如何在各製程上找到關鍵影響因素？
- * 如何在關鍵影響因素上分析及設定最佳控制參數，或最佳控制條件？
- * 關鍵影響因素所設定之控制參數或條件，如何精準地控制？
- * 當品質規格有變異時，如何找到影響因素？
- * 所找到的影響因素，需要做調整，但是如何調整？且機台是否能自我調整？

當產品較為簡單、製程較為單純，則憑資深老師傅的經驗，及所累積的專業知識，是可以確定製程的關鍵影響因素，且能調整出其最佳參數。但對於高科技產品、製程極為複雜，要分析關鍵影響因素，及設定最佳參數，則老師傅就無能為力了。除了善用公司的 know-how、專業經驗，及參考學術理論之外，只有利用大數據分析與 AI 之深度學習，但其基本條件是要有足夠的數據(data)。所以，製程上及生產環境的可能影響因素，都要裝上自動量測器或感測器，及時地蒐集生產時的變動參數。然後藉由物聯網(IoTs)，儲存到雲端系統或邊緣系統，藉由大數據分析與 AI 運用，以找到關鍵影響因素。

至於在關鍵影響因素上分析及設定最佳參數，除了利用大數據分析之外，更要利用人工智慧(AI)，以及機器的深度學習。除此之外，我們還要擴大 I-P-O 分析的運用，因為生產線上的前製程之 outputs 是後製程的 inputs，所以前製程之 outputs 的品質會影響到後製程的品質。因此，在分析各製程之關鍵因素之參數時，需要由後製程的 inputs 之品質要求來決定前製程之 outputs 的品質規格，進而決定前製程的關鍵因素及其參數，見圖三。各製程的關鍵因素及參數確定之後，還要確認整條生產線的產出品質，是否完全符合產品的規格，以及產品的功能、可靠度也均能符合客戶的需求。



品質的影響是前製程影響到後製程
Key factors 及其參數的決定是由後製程往回推到前製程

圖三：製程跟製程之間的緊密關係之分析圖



這是極為複雜、棘手的分析問題，是品管工程師的重責大任，但又不是品管工程師能獨立完成的，更需要研發或/及產品工程師、製程工程師、製造工程師，以及設備工程師等通力合作才行。以集體的智慧、系統的分析、掌握 **know-how** 與專業技術，並善用分析工具，更要藉助科技工具，如物聯網、人工智慧、大數據分析、AI 等。但需要建立必要的基礎工程，如 IoT 與無線平台 (wire platform)、訊息-物理系統(CPS)、製造執行系統(Manufacturing Execution System, MES)、雲端運算與邊緣運算 (Edge Computing)、機器人系統(Robot Systems)等等，這些都是浩大的工程。

確定了整個製程的關鍵因素及其最佳參數的設定之後，還必須機器設備能夠精確的自我控制。如果是智能製造，則生產過程中的所有產出品質會自動量測，製程之關鍵因素的參數值也會自動量測或感測，所有這些 **data** 會自動蒐集，傳輸至雲端運算與邊緣運算系統，且會自動整理、計算及分析，然後判斷，如果某項製程關鍵因素的參數需要調整，則會有決策訊息傳送至機台的控制系統，此時，機台就需要能自動調整(楊錦洲, 2020a)。

智能製造是數據—驅動的智能化、數位化的生產系統，在智能製造的條件下，品質管理的運作更是數據—驅動的。原則上，生產線上的品質相關的數據(**data**)之蒐集、分析、決策可做到下列的層次，說明如下：

* 自動蒐集生產線上的品質相關 **data**

生產線上能夠自動蒐集各機台之 **key factors** 之參數值，及各製程之產出品質之規格量測值等 **data**。

* 整理及分析所蒐集之品質相關 **data**

生產線上所蒐集到的品質相關 **data**，會自動傳輸至雲端或邊緣運算系統，且能加以整理、分析，並與 **key factors** 之參數規格或產出之品質標準相比較。

* 根據分析結果來做判定

品質相關之 **data** 經過分析，及與參數規格或品質標準做比較之後，會對產出品質及 **key factors** 之製程參數做出精確的判定。如果產出品質有變異，則系統會發掘出影響因素。

* 根據判定結果來做決策

當產出品質及製程參數做出判定之後，能夠進一步做出決策，如果是生產參數或生產條件不符合，則會做出調整的決策。如果是產出品質有變異，則會做出影響因素之調整的決策。

* 機器設備會依據決策自動做調整

機器設備本身會依據控制系統所做出的調整決策，立即進行自我調整，以讓生產參數或生產條件會穩定的控制在規格內，進而生產出百分百的良品。

當智能製造達到理想的境界，則配合智能製造之發展而轉型的品質管理運作，即“智能品管運作系統”，在品質相關的數據(**data**)之處置上，上面所提到的各階段都能達成。

5. 結語

德國早在 2011 年就提出工業 4.0 之構想，而在 2013 年開始積極的推動工業 4.0 之計畫，且朝「智能製造」發展。而美國早在 2010 年，歐巴馬總統就簽署了「美國製造業促進法案」(Obama, 2010)，提出了「再工業化」戰略，及在 2012 年 3 月，提出了「國家製造業



創新網路」計畫。2013年美國的產學研組成了智能製造領導聯盟(Smart Manufacturing Leadership Coalition, SMLC)，提出了智能製造的完整推動計劃(楊錦洲, 2020b)。由於美國與德國幾乎同時的發展「智能製造」，使得「智能製造」在全球受到極大的重視。如今「智能製造」已是製造業必走的路，但卻是一條艱辛、長遠的路。

在發展智能製造的過程中，大家都把重心放在生產設備的自動化、智慧化、數位化，大量的使用機器人，以及在生產現場使用科技工具，如 AI、感測器與 IoT、雲端運算、大數據分析等。而忽略了，智能製造的過程中無法以目前的品管方式來運作，而必須把品管運作建置在機器設備中。而且，必須能做到生產線上之品質相關 data 能自動蒐集、分析、判定、調整決策、機器設備的自我調整等各階段之運作水準。這是品管工程師的主要責任，但必須跟各部門的工程師通力合作。在建置過程中，大家集思廣益，進行系統化分析、發揮集體智慧、掌握公司的 know-how 與專業技術，並善用分析工具，以及藉助科技工具，才有成功之可能。

6. 參考文獻：

1. Davis, J., Rengar, T., Graybill, R., Korambath, P., Schott, B., Swink, D. 2015, Smart manufacturing. *Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering*, 6, 141-160.
2. Dotchin, John A., & Oakland, John S. 1992. Theories and concepts in total quality management. *Total Quality Management*, 3(2), 133-145.
3. Edvard, C. D. 1968. The meaning of quality. *Quality Progress*, 1(10), 36-39.
4. Feigenbaum, Armand V. 1956. *Total Quality Control*. *Harvard Business Review*, 34 (6): 93-101.
5. Juran, J. M. 1986, The quality trilogy—A universal approach to managing for quality. 40th ASQC Annual Quality Congress, May 20, 1986, Anaheim, California, USA.
6. Mitra, Amitava 1998. *Fundamentals of Quality Control and Improvement Second edition*. London: Prentice-Hall International (UK) Limited.
7. Obama, Barack. 2010. Obama Signs Manufacturing Enhancement Act into Law. August 11, 2010, Real Clear Politics.
8. Rao, Ashok, Carr, Lawrence P., Dambolena, Ismael, Kopp, Robert J., Martin, John, Rafii, Farshad, & Schlesinger, Phyllis Fineman 1996. *Total Quality Management: A Cross Functional Perspective*. New York: John Wiley & Sons.
9. SMLC 2011. Implementing 21st Century Smart Manufacturing Report. https://smartmanufacturingcoalition.org/sites/default/files/implementing_21st_century_smart_manufacturing_report_2011_0.pdf.
10. Yang, Ching-Chow 2004. An integrated model of TQM and GE Six-Sigma. *Internal Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, 1(1), 97-111.
11. Yang, Ching-Chow 2014. The evolution of quality concepts and the related quality management. *58th EOQ Congress*, Gothenburg, Sweden, 11-12 June, 2014.



12. Yang, Hai, Kumara, Soundar, Bukkapatnam, Satish T. S., & Tsung, Fugee, 2019. The Internet of things for smart manufacturing: A review, *IISE Transactions*, 51(11), 1190-1216.
13. Zhong, Ray Y., Xu, Xun, Klotz, Eberhard, & Newman, Stephen T. 2017. Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A review. *Engineering*, 3, 616-630.
14. 楊錦洲 2018. 品質觀念的轉變帶來品質管理系統的改變, *品質月刊*, Vol. 54, No.5.
15. 楊錦洲 2020a. AI 時代品管工程師的挑戰, *品質月刊*, Vol. 56, No.3.
16. 楊錦洲 2020b. 智能製造單元 1: 工業 4.0 與智能製造, *品質月刊*, Vol. 56, No.7.
17. 楊錦洲 2020c. 智能製造單元 2: 智能製造之闡述, *品質月刊*, Vol. 56, No.8.