

目錄

發行人序文	04
人文、傳承與發展·創新突破與同舟共濟	蔡銘宏
推薦文	10
見證奇蹟，正在改變世界！	張榮語
突破現在，創新未來	王自軍
作者序	15
導 讀	17
第一章 洞察未來新思維：	19
工廠智慧化引領生產與服務的新高度	
前言	
「T 零量產」的高度	
傳統工廠的問題與挑戰 vs 現代工廠的效益與價值	
「智慧設計」x「T 零量產」x「高品質生產」	
工業大數據的價值，體現物聯網與服務互聯網融合的價值	
第二章 整合與融合，邁向成功：	41
模具智造 & 智慧射出 4.0 之價值體系融合與實踐	
模具智造 4.0	
智慧射出 4.0	

第三章 協同創新與成功實踐案例：	93
以智慧服務與智慧設備，完善智慧工廠的發展	
智慧服務	
智慧工廠	
智慧設備	
第四章 商業設計與策略地圖：	163
模具成型工廠智慧化之價值發展	
策略思維：企業是為何而戰，又如何作戰	
完善企業全流程資訊化管理，支援策略發展與目標	
制訂工廠第一層之關鍵管理指標，創建業務發展與營收目標	
持續優化模具成型技術與管理體系	
第五章 結語：	175
對產業未來之期許	
第六章 附件	179
企業如何啟動建設智慧工廠與維持發展？	
實際案例：智慧模具與成型工廠之整廠規劃與實踐	
人物與企業	

第一章

洞察未來新思維：工廠智慧化引領 生產與服務的新高度

前言

模具作為國民經濟的基礎工業，涉及精密機械、汽車、輕工業、食品、醫療、電子、化工、冶金與建材等之各行各業，應用範圍十分廣泛。模具技術是衡量一個國家製造水準的重要指標之一。

模具是促進工業產品以及生產品質提高、為社會創造極大的經濟效益以及產品轉換過程必要的工具設備。因此，模具是產品價值創造與人才發展的放大器。

工業 4.0 的趨勢下，工廠智慧化逐漸滲透到各行各業，影響人們的生活、工作及教育的等方面。智慧工廠的發展與過去工業發展路徑不同，幾乎所有人才技術都在時空中平行進行，而且大家的方向一致，例如 PLM-ERP-MES-CRM-SCM 等資訊軟體不約而同地朝著工業 4.0 方向發展，同時生產設備、機器人、產線自動化、物聯網等人機通信、工業協定在快速地連結整合，對於未來製造業的競爭力，是一股很大的推升力量。

隨著物聯網技術、大數據和工業互聯網等新一輪資訊技術發展與普及化，引領製造業創新轉型，已經進入了實質應用階段。這幾年模具與成型行業在「智慧製造」的努力更是不遺餘力，至今已有很好的發展成果。

不過，模具與成型工廠發展僅僅依靠「智慧製造」仍能無法解決「智慧」的問題。換句話說，企業需要在解決行業「預測型製造」及「高品質生產」基本課題的同時，必須擁有模具「智慧」設計前提下，配合「智慧製造」高精度的加工能力才能製造出理想之高品質產品。因此現在許多企業試著運用工業 4.0 全新概念來建設智慧工廠，結合精細分工及共協合作的系統，的確是一個可以實現的解決之道。

模具成型智慧工廠基本上是由——「智慧設計」、「智慧製造」及「智慧射出」三個部分所組成，每個部份是個別深度知識與技術的組合，且彼此數據是互聯互通的。

每一個企業經營者在這條變革的道路上都想著：我們為此新世代智慧工廠努力發展而投入資金人力的目的是甚麼呢？然而這個問題的答案可能很多，也可能一時無法回答這個問題，但是透過全球媒體與國家政策的推升之下，企業已經被此發展趨勢與事實所震撼，或者有所擔憂！？這就是我們想要幫助與大家一起探討的問題！

「T零量產」的高度

「T零量產」是我們模具成型行業多年追求的梦想，它不僅是創新定義，更是這個行業可以共同努力的新高度！

然而「T零量產的高度」，雖是模具與成型行業的一個創新定義，但它的實踐成功絕不是一種偶然！它是承載前輩與後進們多年積累下來的經驗，加上這時代賦予給它的能力與機會等種種所表現的成果。我們要感謝的人很多，透過這本書的引導與體驗過程，希望我們會有機會接觸到這些幕後的功臣。（見本書之「人物與企業」）

模具與成型智慧工廠從接單到交貨的承諾，所面臨的第一任務是成功的「試模與量產」。在傳統模具廠已經把試模任務定義在「多次的測試與調校」而視為理所當然；甚至認為多次試模調校是模具行業永遠無法改變的宿命，這是真實的嗎？

我們在參訪歐洲製作優質模具的知名企業的行程中，有機會地面對著一套128穴模具問起：「這套模具平均試模次數？」時，其工廠主管回答是「一次」，然後，回頭問我們「您們認為128穴的模具可以試幾次呢？」。哈哈，真是幽默！

高工資、高運營成本及強勢工會壓力的歐洲，每一次試模的成本是相當高，對於加班是昂貴且受嚴格管制的這件事，是完全可以理解的，而這的確給了我們的企業很大的啟示——原來模具是可以T零量產。

在全球在人口出生率下降及技術人員老化短缺的雙重壓力下，似乎模具行業未來面臨的問題更加複雜。模具是一門高度技術集成的行業，從高分子材料、產品設計、模具設計、精密加工、鉗工組立、試模量測、以及量產保養等等全生命週期與精細管理，要能成為優秀的模具企業是相當不容易，企業必須保持高度的創業心態之外，更要學習面對環境變化與接受新的改變。

為何T零量產對於傳統模具行業是遙不可及的梦想，若是沒有同行伙伴的齊

心合作，其困難程度可想而知。不過，它不是一個不可能的目標，只是我們有沒有認真地想過。

一個緣起

歐普照明集團的兄弟企業——誠模精密科技。在一次的企業年度會議上，朱清發總經理問到一個問題：「這一年有多少套的模具是試模一次就進入量產？」得到得答案是「大約有十幾個百分點」。接著，「我們試想著，即使是百分之一有一次試模而能成功量產，那麼代表著其他的百分之九十九就有成功的機會」。企業的領導者如此關注「試模次數」關鍵數字背後的意義，其追求改變的心思是非常了不起的。那一度會議上，在朱清發總經理及管理幹部的引領之下，定義了誠模精密科技——「全員邁向T零量產」的目標與決心。

讓我們一起啟動尋找這緣起的根源，它需從模具成型產業發展、技術、管理與科學發展開始，探索經驗數位化與智慧化的轉換歷程，應該是非常有意義的。

傳統工廠問題與挑戰 VS 現代工廠 效益與價值

我們在談到智慧工廠建設之前，我們先來談一下傳統工廠所面臨的問題與挑戰以及現代工廠所能帶來的效益及價值。

傳統模具與成型生產的作業流程，對人員的依賴程度是非常高，零件加工品質及效率更多依賴著經驗豐富的技工。雖然企業不斷優化作業流程與人員培訓，但是企業仍始終被人員流動性高、品質不穩定與效率不理想等諸多問題所困擾，造成工廠及行業的發展面臨瓶頸，成為行業普遍存在的問題。

因此，企業管理層多年來不停地思索著是否有完善的解決方案來推動模具成型工廠技術與管理改革，能大大提升人員與企業的價值。直到工業 4.0 的全新概念出現，似乎看到了曙光。

模具智慧化製造的發展情形，其模具製作理念指向全方位整合多系統軟硬體技術，開發出引導式、視覺化和自動化的模具智慧化製造系統。我們以放電加工為例，來描述場景如下：

1. 工程師借助 EDM 電極設計、CNC 編程及三座標自動程式設計的軟體集成，完成模具開發的各類程式設計。
2. 連接超級計算機中心與雲端大資料互聯互通，實現「雲計算」及「雲製造」概念。
3. 機器人按系統指令，自動掃描並取下料架上已入庫紀錄的電極胚料送到加工中心，並根據系統中預設的 NC 程式，精準地加工出每一支電極。
4. 緊接著系統自動調用電極夾具上的無線射頻 (RFID) 以及其對應的三次元座標檢測程式驅動三次元座標檢測設備 (3D CMM, Three Dimensional Coordinate Measuring Machine)，進行全 3D 自動檢測，其結果生成 3D 檢

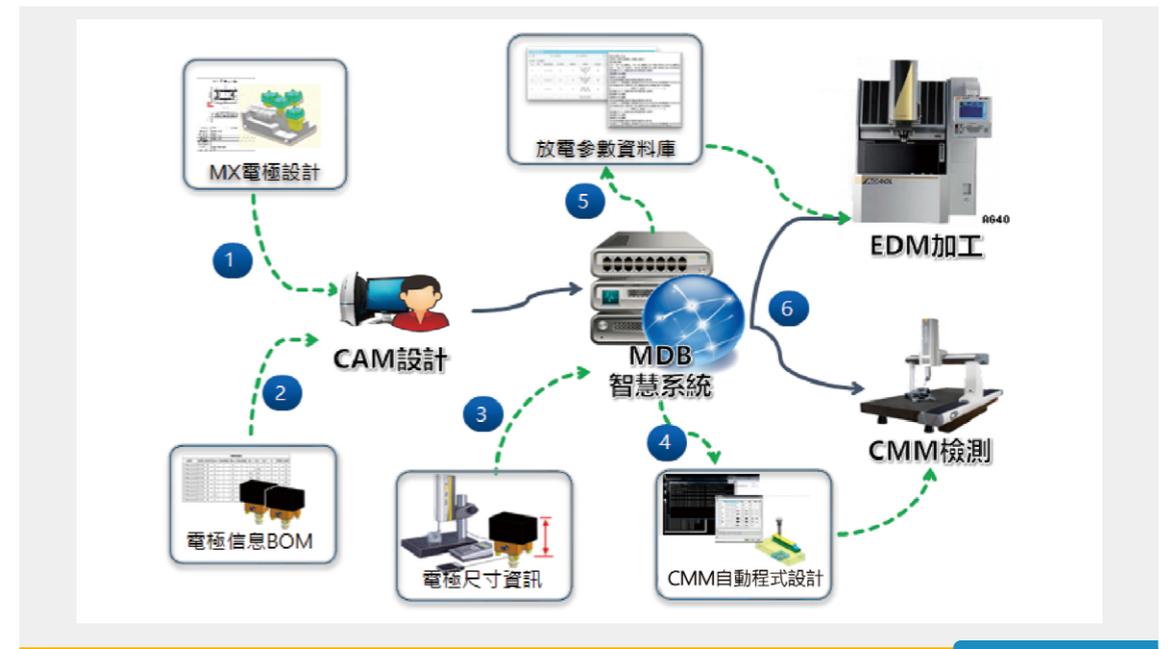


圖 1-1 放電加工信息流的場景

測報告上傳到中央系統並將資訊補償給放電加工機。電極加工及檢測的重複精度都可達到 0.005mm 以內，以確保模具零件高精度和品質穩定性。

5. 電極作為放電工具。機器人先將鋼件送至放電加工機，一個鋼件需要若干電極來加工，複雜的加工順序、位置和參數等資訊會被自動轉化成放電程式，上傳到機床執行電極放電作業。
6. 加工後的鋼件會放入自動物流車 (AGV, Automated Guided Vehicle) 送達下一個工序。最終系統會自動提供直觀精準的圖形化檢測報告作為品質確認，以及後續可能會用到的數據追溯與分析。

智慧製造能讓模具開發的週期大幅縮短，透過全面數位化資訊來確保產品開發生命週期百分之百的精準管控，以實現同步設計和並行作業過程，大幅提升了工作效率，通過無線射頻 (RFID) 自動識別、物聯網、柔性夾具定位系統及機器人自動化及自動排產 (APS) 等，實踐高效、靈活及穩定的模具智慧化製造，人員、

工藝、技術得以融合與沉澱，提升企業的行業領導格局。

推動傳統模具行業智慧化技術革新，潛移默化為我們模具與成型行業來積累諸多經驗與刻劃未來的願景。此願景，可以讓我們告別繁瑣無序的傳統模具製造時代，一方面可以引導想學習關鍵零部件開發之年輕人，更有興趣投入模具與成型技術的發展，為行業注入新的生命力。

表 1-1 傳統工廠的問題與挑戰 vs 現代工廠的效益與價值之對照表

	傳統工廠的問題與挑戰	現代工廠的效益與價值
作業流程	作業流程高度依賴人員，零件加工品質及效率更多依賴於經驗豐富的技工，人才培育不易。	作業流程透過全數位信息確保產品開發生命週期的百分之百精準管控，穩定模具與產品品質、交期與成本。
人才培訓	人員養成時間長，缺乏標準化與數據化而造成知識傳承的困難。	讓想學習先進技術之年輕人建立未來生涯發展的平臺，持續為企業及行業注入新力軍。
程序優化	企業推動標準化與執行管理的落實，仰賴持續不斷優化作業流程與人才培訓，管理者與執行人員在解讀與行動上常出現不一致現象，造成資源的浪費。	實現同步設計和並行作業，大幅提升工作效率，透過物聯網、柔性夾具定位系統及機器人自動化及自動排產(APS)等標準化、自動化與智慧化工具，實踐高效靈活及穩定的模具與產品對客戶的承諾。
經驗傳承	企業管理與技術的沉澱缺乏知識與經驗的載體，造成企業及行業的發展瓶頸。	人員工藝與技術借助智慧化載體的融合沉澱，透過每一張工單都可以進階式提升企業自身的核心競爭力。
總結	人員流動性高、品質不穩與效率不理想，對依賴高度技術整合的工廠造成極大障礙。	推動傳統模具行業智慧化技術革命，告別繁瑣無序的傳統模具時代。

「智慧設計」X「T零量產」X「高品質生產」

「工業 4.0 的核心在數據，是企業落實智慧工廠與虛實整合的核心元素。」

模具與成型全生命週期流程，會產生的大量工業數據，而且有其先後次序及關聯性，有經驗者是明白的這些數據的重要性，因此，善於運用數據所形成的行為與知識，其個人與企業都有所發展。不過為了有利於管理溝通及經驗傳承的方便，我們做了一些名詞的定義。

產品分析、模具設計、精密加工、鉗工組立及試模量產是模具開發與成型生產五個主要過程管理的元素及名詞定義。

這五個元素是現今模具成型的流程管理之主軸，它們不只是用於塑膠製品，同時也能完全體現在沖壓、壓鑄、鍛造等模具及工藝上，甚至用於自動化設備與檢測夾治具開發的流程；以現在模具的發展，模具結構也整合了水電汽、傳感器及自動化等，嚴格來說，模具也是智慧設備的一部分。

所以，這五個過程管理元素是非常重要的基礎模型，它包含模具成型企業組織的分工合作及各組織的職責狀態，通用於不同規模大小的企業，而且每一過程元素是缺一不可的。在本書中會不斷的重複出現，深入探討。

雖然各企業對名詞文字有些不同的稱呼與些許差異的定義，但總體上都依循這五個主要過程管理元素，是模具成型智慧化工廠的基本特徵。模具成型智慧工廠在推進「智慧設計」、「T零量產」及「高品質生產」的三個價值體現，都是從這五個主要過程管理元素出發。

一、「智慧設計」，促進模具設計到成型生產之百分之百可控

本質上，我們啟動模具開發製造是先從產品零部件的設計理解開始。模具設計任務包含了企業技術能力與產能負荷的商業評估與報價，透過最終用戶的品



圖 1-2 模具開發過程管理五元素與價值體現

質要求，然後得到了完整清晰資訊及商業合同之後才進行完整的模具設計。產品分析與模具設計在模具成型開發是第一環節，此環節將決定了模具及成型件的品質、交期及成本。公司的營收與獲利，從此任務開始。

「可精準模擬及預測模具與成型工藝」是由張榮語教授 1980 年在臺灣清華大學 CAE 實驗室提出，這間實驗室是臺灣高分子「成型預測技術」的創始，也是在全球推動智慧設計概念的重要推手。高分子，通稱為塑膠。高分子從射出成型機的料管加溫加壓之後，推送到模具模穴的流動變化的運算，包含在一個智慧軟體來進行模型建構及分析預測的計算工具，稱之為「模流分析」軟體。

模具設計從過去的 2D CAD 的點線架構的作業型態轉換成 3D CAD 實體作業型態已經行之有年。不過，現今仍有很多企業仍存在 2D 與 3D 並行作業的情況。完全 3D CAD 作業是建構參數化設計的基礎，有了參數化設計可以將設計標準化、流程化與專家經驗沉澱於企業知識系統之中，設計工程師可以從系統中調閱以加快設計速度之外，設計品質可以百分之百受到管控。因此，完全採用 3D CAD 進行模具設計對於推動智慧設計是非常關鍵的。

不僅如此，3D CAD 設計是打通 CAE 數據對接的唯一通道。智慧設計的概念是在產品設計及模具設計階段將模流分析與 3D CAD 參數設計「一體化融合」的

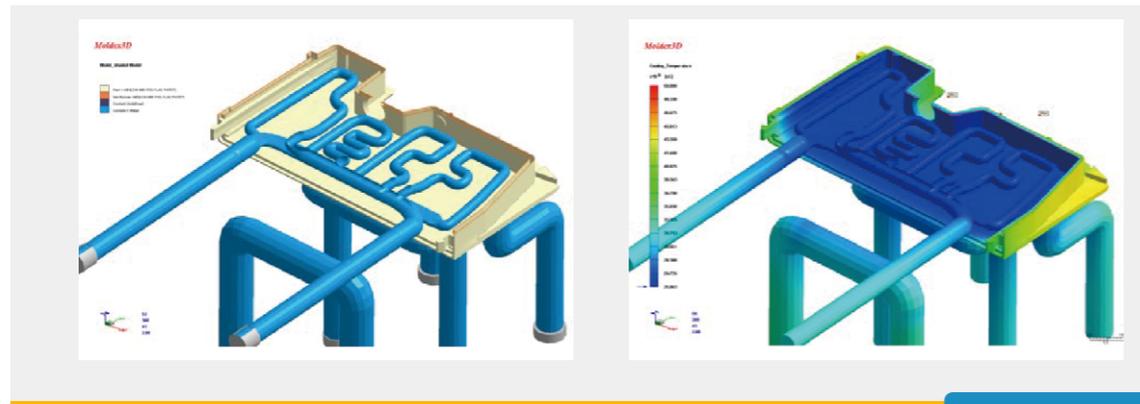


圖 1-3 高分子模流預測分析 (Moldex3D —— 異型水路案例)

系統工程，我們定義為「一鍵分析」，它為模具設計工程師帶來工作極大的效益，值得持續發展。我們在後面的章節，陸續介紹。

1. 透過「參數設計」及「CAD-CAE 一體化融合」的技術來完成產品或模具局部、全部設計自動化之外，模流分析為產品及模具設計搭起毫無障礙的溝通橋樑，使得產品設計在釋放模具開發的製造命令之前，可以得到最佳的設計優化而大幅度減少日後大量的設計變更 (ECN, Engineering Change Note)。
2. 優化後的產品數據傳達到模具設計，開始啟動「參數設計」及「CAD-CAE 一體化融合」作業，不僅能快速完成設計任務，並且提供精準零部件備料與加工數據等前期作業，作為模具進度排產所需的完整資訊。
3. 有了「CAD-CAE 一體化融合」，完成模具設計確認後，模流分析軟體即可同時產生此模具精準的射出成型之生產工藝參數，作為試模與量產參考，並且可以透過二次開發的方式，將模流分析的工藝參數報告轉換成相同於工廠成型機的操作畫面，更直觀與符合人性作業。

由模流分析軟體提供的「精準」生產工藝參數是可以直接使用在射出成型機的試模及生產監控，這是結合智慧設計、CAD-CAE 一體化融合及物聯網 (IoT) 的科技結晶，是前所未有的創新體驗。

二、「T 零量產」，系統工程整合與融合的完美表現

T 零量產所顯現的並不只是「T 零」本身的一種榮譽，它的產生不是偶然的運氣，而是模具開發過程運用了系統工程及科學管理的綜合表現。

在啟動「產品分析」的同時，工程師必須為試模結果提供成功保證，做好萬全準備，而工程師的責任不僅在試模，也包含模具量產的生命周期。

模流分析是促進 T 零量產成果展現的發動者，也是進入量化生產的守門者。

1. 產品設計決定了零件的材料和結構之後，透過模流分析得到材料選定與成型工藝的初步驗證。

通常產品工程師會在設計定案之前，製作手板樣品來驗證產品零件的性能及其他的組裝或使用者操作上的功能。目前手板樣品有極大部分已經被 3D 塑膠或金屬打印機所替代。

2. 在產品零件確認後，任務移轉到項目管理與模具設計的任務階段，透過 DFM (Design for Manufacture)，我們稱「製造設計或設計階段的製造驗證」模具設計工程師會根據產品各項需求來一層層地把模具分模線 (parting Line)、澆口位置 & 數量與型式 (location、number and type of gate)、模穴數 (number of cavity)、滑塊與頂出結構 (structure of slide and ejector)、可能性縮水 (shrinkage) 或產品厚度不平均所衍生的問題，在此 DFM 文件中將這些問題的建議修改方案與客戶進行討論。

傳統模具工廠決定產品品質或模具開發是否能成功的關鍵與其負責的工程師經驗有絕對的關係，因此充滿許多變數。

3. 模流分析幫助模具設計工程師將 DFM 文件中，困難的技術要求，如縮水、變形、流道與澆口尺寸及成型工藝條件等等，可以得到一個相當微觀而準確的電腦試模，其結果給品質工程師、產品工程師及射出成型工程師作為設計修正或開模的最後決策。這項任務，我們稱之為「分析設計或設計階段的分析驗證 (DFA, Design from Analysis)」。

4. 模具設計是表現模具動態結構與零組件相對位置全貌的重要階段，我們一般

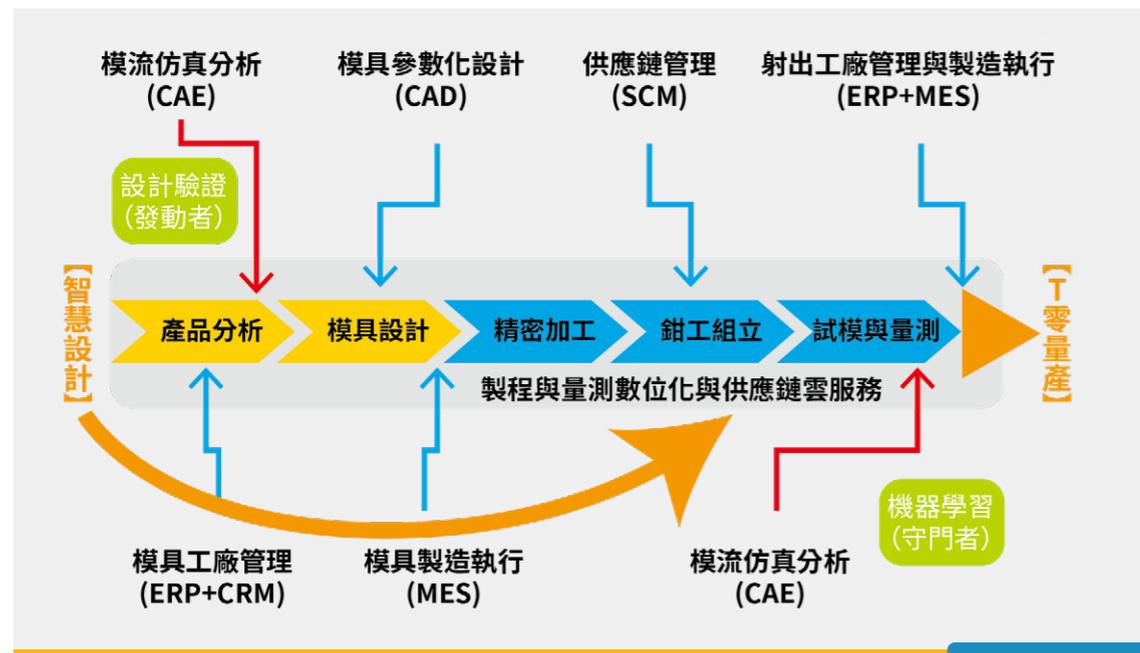


圖 1-4 T 零量產是模具全過程管理的系統工程

會運用 2D 或 3D CAD 軟體來實踐模具設計任務。

不過，如同前面我們提到，完全的 3D CAD 環境之產品設計與模具設計才能真正實現與 CAM 及 CAE 軟體數據打通的唯一手段，而且不會造成 2D 與 3D 數據轉換所造成的系統誤差及人物力的浪費。同時在設計變更 (ECN) 或版本管理時，檔案不會遺漏或錯用，可以完全實踐模具企業無紙化作業。

模具在 3D CAD 設計軟體中加入了參數式設計，不僅可以加快設計效率之外，更有利於積累設計經驗來完善傳承與設計標準化的落實。透過 3D CAD 和數據庫技術，實現材料清單 (BOM, Bill of Material) 自動導出，精準地為模具備料與採購作好前期工作。在本書的後面章節，我們會再詳述。

5. 進入模具企業資源管理 (ERP) 與製造執行 (MES) 系統，備料、作業人員、加工設備及品質檢驗等等的資源進行排配與調度。智慧製造系統的執行命令運行都在 ERP 及 MES 軟體系統涵蓋下，所有包含模具板塊、模仁零件、電

極或治夾具等在 MES 的調度指揮下，精準無誤進行半自動或全自動無人化加工生產；透過高精度檢測儀器，如三次元量測儀器 (3D CMM)，保證每一個零件的每一個尺寸都在公差範圍之內，然後把工件交給下一個工序。

6. 所有的零件精準加工及檢驗完成之後。進入鉗工組立的任務階段，在智慧製造嚴格管控之下，可以讓過去繁複調整及人工干預的模具裝配工作，更加輕鬆而有效率。組裝測試之後，我們就可進行試模任務。

在 DFM 及 DFA 階段，運用模流分析及 3D CAD 參數式設計系統所形成的智慧設計，已經作好解決模具開發的成型生產工藝不可預測的難點及準確完成模具設計的圖面數據，透過智慧製造系統的精準執行，大大提升「一次試模與量產」成功的機會。

三、「高品質生產」，實踐無憂生產的新業態

T 零量產並不是我們所追求的最終結果。在「高品質生產」的價值觀下，將產品與生產效益最大化，創造企業的最高價值與建立持續優化動能，才是我們真正的目標。

我們談到高品質生產，引用李傑教授在《工業大數據》著作的一段描述——「工業 4.0 的概念有三個支撐點：一是製造本身的價值化，不僅僅是做好一個產品，還要把產品生產過程做到浪費最少、實現製造過程與設計和客戶需求相配合；二是製造過程中根據加工產品和狀況的改變自動進行調整，在原有自動化的基礎上實現『自動察覺』(Self-Aware，對自身狀態變化的意識)的能力；三是在整個製造過程中達到零故障、零憂慮、零意外、零污染，這是製造系統的最高境界。」

評價企業的生產系統效益之關鍵指標是產量、品質、成本與零組件的精度，利用資料去分析和了解影響生產系統上述關鍵指標的因素變化，並對可能出現的風險進行預測和管控，是能否實現預測型製造的關鍵。

今天大多數工廠的生產系統較為普遍是運用商業化的管理軟體，輔助工廠管理者去獲取整體設備效率 (OEE) 等資訊，從而對生產系統中可見的影響因素和生

產的結果進行即時的掌握和應對。然而生產系統中更多的是不可見因素的影響，例如設備性能衰退、精度的缺失、資源（材料、人力、能源）的浪費等。而可見的影響因素往往是由不可見的影響因素累積到一定程度所引起的，例如模具水路堵塞造成生產週期變長或產品不良、環境因素使材料造成射出機塑化過程的溫差變化、熱流道溫控系統零件衰減、模溫機水質異常導致設備故障等等，最終引發品質偏差或生產效率降低等。因此對這些不可見影響因素進行預測和保養管理是避免可見因素影響的關鍵，其中模具與成型工廠經營管理的關鍵效益指標與不可見影響因素之對應，呈現如表 1-2。

智慧射出 4.0 的工廠，自動察覺和自我預測的功能成為監測和控制系統的新功能，這些新功能可以幫助用戶去了解模具、設備的健康狀態、剩餘可用的時間、精度的衰變以及各類因素對品質和成本的影響。例如，模具和設備的健康狀況可以透過零組件初始數據建立與過程變量比對來進行預測，這種預測能力能使工廠可以採取即時的維護措施而提高管理效率，優化模具與設備的正常運行。最後，這些資訊透過大數據分析可以回饋至模具與設備設計部門，從而形成閉環式生命週期知識、研發與決策系統，最終實現高品質的無憂生產 (High Quality & Worry-Free Productivity)。

模具與成型工廠經營管理之關鍵效益指標，我們可稱之為可見影響因素。不過在多年運用傳統管理及商業軟體的並行方式下，雖能達到一定的成效，但面臨競爭力的瓶頸與智慧製造對於產業發展的衝擊。不論是百年企業或新創企業都需與時俱進，引入促進企業升級的觀念、工具與體系，而工業 4.0 概念所帶來工業互聯網、大數據、物聯網的應用與發展之智慧工廠，更引發生態鏈的共協合作，給我們指引了正確方向。

如今，半導體、無線通訊（如 5G）、雲計算服務、人工智慧的快速發展，已經為智慧工廠的建設提供了絕佳的技術元素、平臺與共同語言，支持可持續發展。

表 1-2 模具與成型之關鍵效益指標與不可見影響因素對應表

可見的影響因素 (關鍵效益指標)	不可見的影響因素 (自動察覺和自我預測能力)
工單完成率與每小時產量 (Work-Order completion Rate & Production per Hour)	工單與品質的相對關係，影響每小時產量、實際入庫與交貨承諾。
成型生產週期 (Cycle Time, CT)	成型機調度或人為調整，影響成型週期的可靠性。
良品率 (Yield Rate) 與廢品率 (Reject Ratio)	良品率與廢品率的數據置後統計，影響每批工單計算的準確性及間接人員的工時浪費。
人員每月產值，人均產值 (Per-capita output)	企業人數變動，影響每月人均產值的準確性。
模具與設備稼動率 (Operation Ratio)	實際量產稼動與主軸轉動，影響稼動率的計算方式。
自動化與彈性製造程度 (Automation Rate)	自動化裝備故障與人工混合生產，影響製造程度能力的計算。
模具與設備故障率 (Equipment Failure Rate)	降低故障率與保養維護次數的自動察覺能力。
……其他	無限想像的創新能力。