



提升塑膠模具設計效率之AI輔助系統研究與實作 Research and Implementation of AI-Assisted System to Improve Plastic Mold Design Efficiency

陳姝芳

科盛科技股份有限公司

*E-mail: jillchen@moldex3d.com

摘要

隨著塑膠射出成型技術的進步與製造需求的多樣化，如何加速模具開發流程並提升成型品質，已成為當前產業關注的重點。本文提出一套結合資料庫比對與人工智慧模型的智慧化塑膠模具設計輔助系統，旨在協助工程師在模具設計初期能進行快速分析與成型參數預測，從而提升設計效率與生產良率。本系統由三大核心模組構成：模具設計分析、澆口設計建議及成型結果預測等。於模具設計階段，透過分析新專案模型的幾何特徵、尺寸與結構，並與歷史資料庫中已完成的專案進行相似度比對，找出最具參考價值的案例；而比對完成後，系統將進一步整合材料特性、模具參數等關鍵資料，提升預測模型的準確度。澆口設計方面，同樣透過模型比對技術，提供過去相似案例的澆口設計清單，協助使用者依據需求快速篩選出最適合的澆口類型位置，進而提升設計效率與準確性。成型結果預測方面則依據專案的上傳檔案進行 AI 訓練，建立對應的物理場預測模型。透過 3D 檢視平台，使用者可即時調整成型參數並觀察模擬結果，大幅降低試模次數與試誤成本。本文所提出之整合資料庫知識與人工智慧技術的整合，提供模具開發初期的決策支援，具備高實務應用潛力，有助於提升模具設計效率與射出成型品質。

關鍵詞：智慧製造、射出成型、模擬分析、人工智慧

Abstract

With the advancement of plastic injection molding technology and the increasing diversity of manufacturing demands, accelerating the mold development process and improving molding quality have become key focuses in the industry. This study proposes an intelligent plastic mold design assistance system that integrates database comparison with artificial intelligence models. The system aims to support engineers in performing rapid analysis and molding parameter prediction during the early stages of mold design, thereby enhancing design efficiency and improving production yield. The system is composed of three core modules: Mold Design Discovery, Gate Design Discovery, and Molding Window Explorer. During the mold design stage, the system analyzes the geometric features, dimensions, and structure of the new project model and compares them with completed projects in the historical database to identify the most relevant reference cases. Once the comparison is complete, the system further integrates key information such as material properties, and mold parameters to enhance the accuracy of the prediction model. For gate design, the system also utilizes model comparison techniques to provide a list of gate designs from similar past cases, assisting users in quickly identifying the most suitable gate type and position based on project requirements, thereby improving design efficiency and accuracy. Regarding molding result prediction, the system trains AI models based on the uploaded project files to establish corresponding physical field prediction models.



Through a 3D Viewer platform, users can adjust molding parameters in real time and observe the simulation results, significantly reducing the number of trial molds and the associated trial-and-error costs. The integration of database knowledge and AI technologies proposed in this study provides decision support in the early stages of mold development, demonstrating high practical application potential and contributing to improved mold design efficiency and injection molding quality.

Keywords: smart manufacturing, injection molding, simulation analysis, artificial intelligence

1. 前言

在現今高度競爭且瞬息萬變的製造業環境中，塑膠成型技術已成為支撐多數產業發展的核心技術之一，並廣泛應用於汽車、電子、醫療與日常生活用品等領域中。其中，模具設計作為塑膠成型流程中關鍵的前置作業，其設計效率與品質將直接影響產品的生產週期、製造成本與性能表現。然而，目前模具設計流程普遍仍高度依賴具備設計背景之人員的經驗，且需同時考量材料流動特性、冷卻系統配置與收縮率預測等多項變因，設計過程常需反覆修正。稍有差錯即可能導致試模次數增加、成品不良率上升，進而影響交期與產品品質穩定性。此外，加工產線亦多仰賴現場技術或操作人員的經驗，缺乏有效的數位化與智慧化管理機制，使得品質控制往往仍需仰賴反覆試模與調機來完成。此一現況不僅增加了生產時間與成本，也因個人判斷標準不一，導致品質穩定性難以掌控。

隨著市場需求的快速變化，產品趨向多樣化與客製化，少量多樣的生產模式日益成為主流。傳統模具設計方式已難以滿足縮短開發時程與降低生產風險的市場期待。而人工智慧技術的興起，為此提供了嶄新的解決契機，使模具設計智慧化與效率化成為產業升級轉型的關鍵方向。

基於此背景，本研究以模具設計與塑膠成型數據管理平台 Moldex3D iSLM (Intelligent Solution Lifecycle Management) 軟體為案例，探討人工智慧輔助系統於塑膠模具設計流程中的應用潛力，並透過實務驗證其導入成效，期能為相關產業提供具體可行之數位轉型解方。

2. 方法對策

人工智慧技術的應用，為模具設計流程中所面臨的低效率與高錯誤率問題，提供了嶄新的解決方向。透過建置模具設計資料庫，系統性彙整歷史設計案例與模流分析結果，作為 AI (Artificial Intelligence) 模型訓練與預測的基礎；再藉由模型學習與資料驅動方式，系統得以有效預測設計條件與製程參數，進而支援結構優化與成型工藝的初步決策。此方式不僅能協助具經驗的工程師快速完成建模作業，亦可讓缺乏專業背景的使用者參與設計流程，降低對個人經驗的依賴。進一步而言，AI 輔助設計能有效減少試模次數、縮短開發時程，並控制試誤成本。此外，透過標準化的模型預測與設計建議，有助於提升模具開發之效率與品質穩定性，推動整體流程向智慧化與標準化發展，實現產業數位轉型之目標。

2.1 模具設計

在模具設計領域中，為提升初期預測準確性與設計決策之科學性，系統導入人工智慧技術，進行多面向資料整合與分析。當使用者上傳塑件模型後，系統將自動與資料庫中的歷史專案進行模型相似度比對，並透過幾何特徵與尺寸分析演算，迅速辨識出最具參考價值之案例，作為設計初期的重要依據。

系統進一步整合底層資料庫中之材料特性、設計參數與歷史成型結果，進行成型參數預



測。此預測過程導入迴歸分析技術 (Regression Analysis)，建構塑件幾何與成型參數 (如射出壓力、鎖模力、縮水率與生產週期) 間之數學關聯模型。藉由線性與非線性迴歸方法，模型能準確擬合變數間的隱含關係，提升預測精度。

透過大規模歷史資料之訓練與交叉驗證，模型具備高度泛化能力，能於多樣設計條件下穩定預測結果。使用者可依據預測結果進行設備選型、模具尺寸補償與製程規劃等決策，提升設計效率、減少重工並強化永續製造能力。

2.2 澆口設計

在澆口設計方面，導入模型相似度比對與卷積神經網路 (Convolutional Neural Network, CNN) [1] 技術，以提升設計效率與準確性。當使用者上傳塑件模型後，系統將啟動相似度分析機制，結合 CNN 對模型三維形狀與區域幾何特徵進行多層次萃取，擷取其形狀輪廓與空間分布特性，並比對資料庫中歷史專案之特徵向量。CNN 具備優異的圖像特徵辨識能力，藉由在多層卷積 (Convolution) 與池化 (Pooling) 操作中學習空間階層資訊，以有效辨別不同模型在形體細節上的相似程度。透過此方式建立的相似度指標，不僅提升比對準確率，也為澆口設計提供更具依據的參考架構。完成比對後，系統將提供相似度高之歷史設計案例，並呈現其澆口類型、位置與尺寸配置等關鍵資訊，作為使用者設計決策之參考。此流程簡化了澆口設計前期的探索過程，有助於降低設計錯誤與重工風險，並促進知識再利用與經驗傳承。藉由深度特徵比對與模型相似度推薦機制的整合，使澆口設計工作流程更趨標準化與智慧化，進一步提升整體模具設計的效率與品質穩定性。

2.3 成型結果

在成型結果預測方面，透過成型視窗顧問 (Molding Window Advisor) 功能，使用者可自動在 Moldex3D 進行 CAE 科學試模流程，並快速找出最適合的成型參數，作為進一步優化與量產的基礎。而在獲得初步製程條件後，系統透過導入神經網路 (Neural Network, NN) [2] 技術，針對使用者上傳的專案自動抓取相關檔案並進行 AI 模型訓練，進而建構具備物理場預測能力之學習模型。模型透過參數設定 (如模溫、射壓、保壓時間等) 與對應成型結果 (如壓力分佈、體積收縮、冷卻效率等) 間之非線性關係進行深度學習，擷取變數間的關鍵交互作用，建立具備泛化能力的預測架構。

訓練完成後，系統將模型整合至 3D 模型檢視平台中，提供即時互動式的預測功能；使用者得以於視覺化環境下調整製程參數，並即時獲得對應成型結果的預測圖像。此做法不僅能顯著縮短現場試模所需時間，亦能有效降低試誤次數與耗材成本，強化製程參數選擇的科學依據。透過神經網路架構的導入，成型過程已逐步從仰賴經驗的傳統方式，轉型為以數據與演算法驅動的智慧化流程，加速模具開發與試模效率，並朝向自動化、高精度與可預測的方向邁進。

3. 問題解決

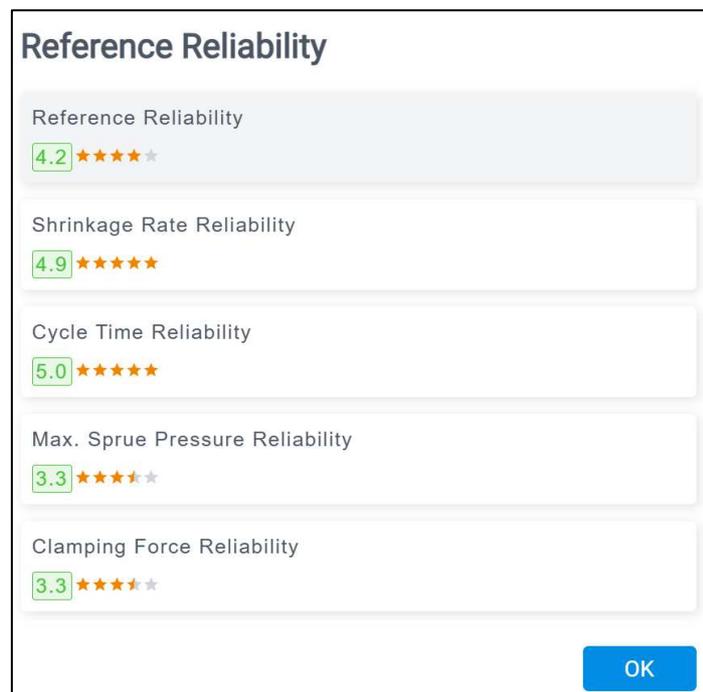
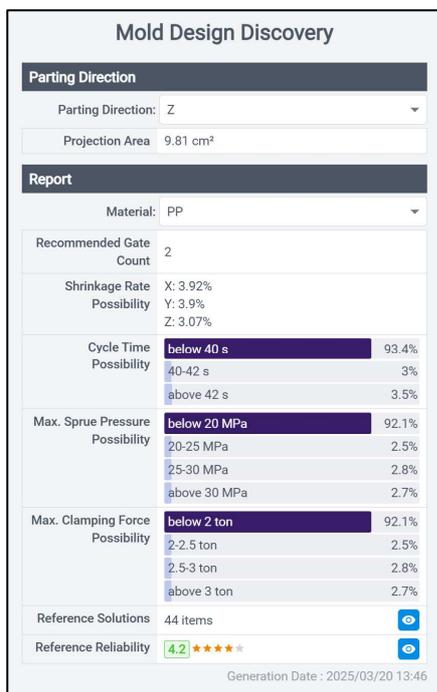
整合並實際應用前段方法對策所提到的相關技術，專案管理平台 Moldex3D iSLM 進一步打造三項人工智慧模組，分別為 AI Discovery 數據科學分析功能 - Mold Design Discovery、Gate Design Discovery 與成型視窗探索功能 Molding Window Explorer。此三大功能分別對應於模具設計、澆口配置與成型條件設定三個關鍵環節，旨在建構一套自動化且智慧化的決策支援機制，以強化設計初期之效率與準確性。

3.1 Mold Design Discovery

結合模型相似度比對與迴歸分析 (Regression Analysis) 技術，搭配底層資料庫中的關鍵設計參數，建構一套具備資料驅動能力的成型結果預測系統。資料庫涵蓋材料性質、幾何特徵與製程參數等多維輸入變數，藉由演算法建模，可有效擬合不同設計條件與其對應成型表現 (如射出壓力、鎖模力、縮水率與生產週期) 之間的複雜關聯。

當使用者上傳新設計之產品模型，Mold Design Discovery 功能將提供多維度的成型參數建議，包含體積縮水率、射出壓力、鎖模力與生產週期等重要指標，如圖1所示。這些預測結果不僅提供定量化之設計依據，更可應用於多項模具開發與製程規劃環節。例如:透過體積縮水率的預測結果，工程師可依據特定材料性質與產品結構，進行模穴尺寸的補償設計，降低成品的尺寸偏差與翹曲風險，以提升製品品質穩定性。澆口數量的預測則有助於優化澆口配置，確保熔膠能均勻填充於各區域，有效減少試誤次數與成型缺陷。此外，透過 AI 形狀辨識與過往案例比對，系統可於設計初期快速評估模具設計的複雜度、所需機台能力及潛在製程挑戰，作為可行性分析與報價評估的依據，進一步提升設計決策效率與準確性。

於成型特性方面，透過射出壓力與鎖模力之預測值，可有效評估設計方案是否符合現有設備之操作能力，避免後續發生設備負荷不足或資源錯配等問題，提升資源使用效率與產線彈性。再者，生產週期的預測亦具有高度應用價值；透過估算每一模次所需時間，不僅可協助排產計畫之優化，也有助於後續進行碳排放量 (Carbon Footprint) 之初步評估。尤其在當前日益重視環保與永續經營的產業趨勢下，將生產週期結合能耗模型可作為綠色製造指標之一，輔助企業於報價階段提出具透明度與競爭力的成本預估，進而強化整體生產管理策略之精準度與永續性。



(a) 透過與歷史專案的相似度比對，系統可針對上傳模型產出預測報告

(b) 五項個別指數的參考可靠性清單

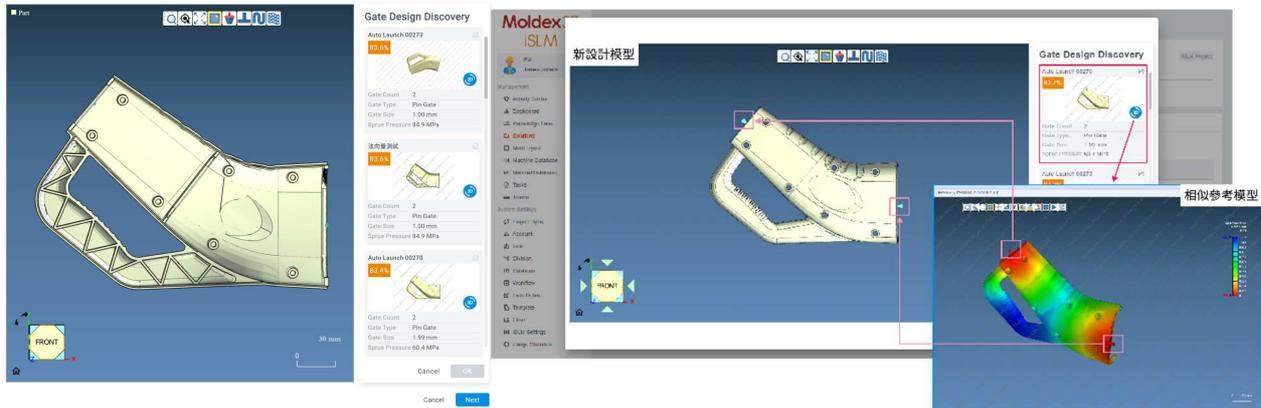
圖1 Mold Design Discovery功能示意

3.2 Gate Design Discovery

整合模型相似度比對技術與卷積神經網路 (Convolutional Neural Network, CNN)，建構一套基於資料驅動的智能化澆口設計支援機制。當使用者上傳塑件模型檔時，Gate Design Discovery 功能將自動與資料庫中已儲存之歷史專案進行幾何模型的相似度比對，如圖2所示。比對過程中，CNN 模型針對三維結構進行多層特徵萃取與比對，擷取塑件模型在形狀輪廓與區域幾何分布上的細節資訊，提升相似度判斷的準確性與辨識效能[3]。

完成比對後，系統將依據相似度排列出具高度參考價值之歷史澆口設計清單，內容涵蓋澆口類型、位置與尺寸配置等關鍵資訊。使用者可依據實際需求進行設計參考與篩選，並將相應的設計應用至新開發之塑件模型中，大幅縮短澆口設計的探索流程，並減少工程師於早期階段所需投入的時間與重工風險，有效提升澆口設計的準確性與一致性。

透過模型相似度比對與 CNN 特徵學習之結合，Gate Design Discovery 不僅協助使用者快速掌握過往設計經驗，實現知識庫案例的智慧化重用，亦進一步強化模具開發流程之智慧決策能力，如圖3所示。此功能模組不僅呼應本研究「協助工程師於設計初期進行快速分析與參數預測」的核心目標，同時展現資料庫知識與人工智慧技術整合於實務開發場域中的高度應用潛力，為模具設計導入標準化與數據驅動提供明確的實踐路徑。



(a) 以相似度為排序之澆口推薦清單

(b) 新設計模型與相似參考模型之建澆口比對

圖2 Gate Design Discovery 功能操作示意

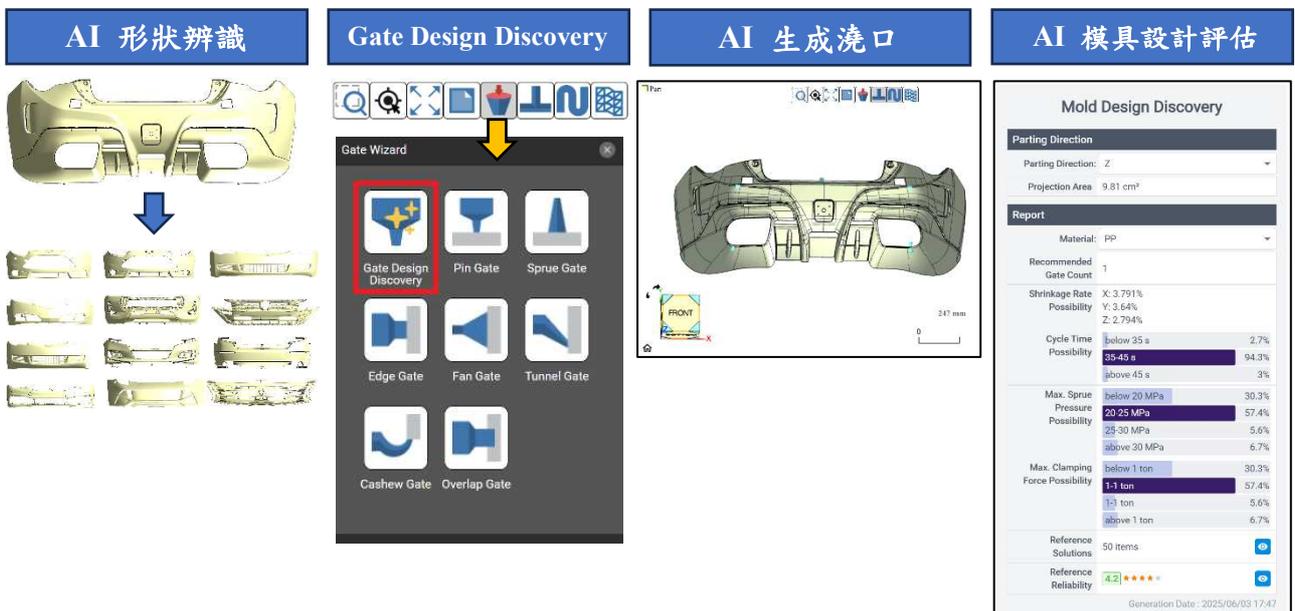


圖3 iSLM AI Discovery 應用 AI 形狀辨識技術，自動完成澆口設計生成與模具設計分析評估

3.3 Molding Window Explorer

結合成型視窗顧問 (Molding Window Advisor) 功能與神經網路 (Neural Network, NN) 技術所建構之成型視窗探索 (Molding Window Explorer) 功能模組，提供一套科學化、自動化及智慧化的製程優化方案。如圖4所示，使用者得以先行透過 Molding Window Advisor 執行 CAE 科學試模流程，包含設定測試參數、執行分析、讀取結果後再調整參數等步驟，全程皆可透過手機或平板等裝置完成操作，實現跨平台的靈活運用。當找到初步可行的製程條件後，可直接於現場試模進行微調，使用者僅需優化最終參數，即可進入量產階段，大幅縮短傳統試模所需的時間與人力成本，提升整體效率。

在此基礎上，當使用者選擇結合 DOE 實驗設計的成型單段分析模式，所產生的參數組別與模擬結果將進一步成為 Molding Window Explorer 的 AI 訓練資料來源。該模組運用神經網路技術對這些分析資料進行深度學習，針對關鍵製程參數 (如填充時間、模溫、射出壓力、保壓時間等) 與對應物理結果 (如壓力分佈、溫度場、體積收縮率等) 之間的非線性關係進行模型擬合，學習各變數間的動態交互作用，進而建構具備物理場預測能力的資料驅動模型。

整體訓練流程會於 Moldex3D iSLM 平台上即時顯示進度與訓練紀錄。當模型完成建構後，將自動整合至 3D 模型檢視平台，使用者可透過調整參數即時預測成型結果。此外，在平台的試模功能中，「射出速度驗證」、「保壓範圍驗證」與「成型條件」等頁面皆可啟動預測功能，使用者可透過圖形介面即時調整製程參數，以同步觀察成型結果的趨勢變化。此功能模組不僅提供設計階段的參數優化依據，更可於實際試模階段提供具參考價值的即時預測結果，協助現場快速完成調機，有效縮短試模時間、降低試誤次數，進而減少試模所需耗材與人力成本，提升整體開發效率與資源利用率。



圖4 成型視窗顧問 Molding Window Advisor 科學試模流程

4. 產業應用

隨著智慧製造與數位轉型浪潮席捲全球，塑膠製造業面臨前所未有的挑戰與轉機。為協助企業提升模具開發效率、優化製程品質並強化數據資產活用能力，科盛科技整合了旗下的 Moldiverse 雲端服務平台、Moldex3D 模流分析系統與 iSLM 數據管理平台，提出結合 Automation (自動化)、Optimization (最佳化) 與 Intelligence (智能化) 之「AOI 效率倍增



方案」[4]，以實現模具開發與製造流程之智慧化轉型。

在模具設計初期，iSLM 支援 CAD 模型上傳與 AI 形狀辨識功能，能自動從資料庫中搜尋相似案例，並透過 Gate Design Discovery 數據科學分析功能提供智慧化的澆口設計建議，再整合深度學習模型，快速比對塑件幾何特徵與歷史成功案例，推薦澆口類型、數量與位置配置，有效降低設計人員於早期階段的重工風險與時間投入。同時，設計人員亦可依據實際需求對自動生成的澆口設計結果進行參數調整，達到設計準確性與彈性之間的平衡。

進一步地，Mold Design Discovery 數據科學分析功能可將模型檔與資料庫中的歷史專案進行相似度比對，並依據歷史專案中的成型資訊進行成型結果預測。使用者可藉此參考新設計所需的射出壓力、鎖模力、澆口數量及材料建議等關鍵數據。此功能不僅協助設計人員進行快速初步設計，更提供報價與資源評估的重要依據。搭配材料篩選功能，企業可依據不同塑料材料快速檢索適用案例，進一步強化評估結果之準確性與實用性。

CAE 模流分析作為連結設計與製造的關鍵技術，能預測塑料在模具中的流動行為，助優化產品幾何形狀、流道設計及冷卻系統，有效避免充填不均和變形等問題。iSLM 平台導入自動化模流分析功能，如自動建立專案 (Auto Launch)，大幅簡化操作流程，降低人為錯誤風險。透過自動化模擬驗證與 AI 輔助分析，工程師得以在短時間內完成多組設計方案的比較與優化，有效縮短開發週期。

試模階段亦是模具開發最後且重要的關鍵，iSLM 平台透過 Molding Window Explorer 成型視窗探索功能與深度學習模型，提供即時製程條件預測。當使用者上傳相關製程資料後，系統即可建立對應之 AI 模型，學習填充時間、模具溫度、射出壓力等關鍵參數與物理場變化之間的關聯，進而預測最佳的成型條件範圍。

AOI 效率倍增方案，以 Moldex3D 模流分析為核心，串聯 iSLM 數據管理平台與 Moldiverse 雲端應用，打造涵蓋產品設計、模具開發、模流驗證至試模生產的智慧化流程。不僅大幅縮短開發週期、降低成本，更在標準化、透明化與自動化的基礎上，促進企業知識資產的積累與高效再利用。透過 AI 輔助設計與最佳化技術的導入，企業得以強化決策品質、提升設計準確性，並在快速變動的市場中取得技術與效率的雙重優勢，同時邁向永續、低碳的智慧製造新里程，最終落實智慧製造所追求的價值提升與效能最佳化。

5. 誌謝

承蒙科盛科技股份有限公司的支持，使本案例得以順利解決，特此致上感謝之意。

6. 參考文獻(非必要，但如有引用其他資料請註明出處)

1. LECUN, Yann, et al. Backpropagation applied to handwritten zip code recognition. *Neural computation*, 1989, 1.4: 541-551.
2. <https://www.tinytsunami.info/fully-connected-neural-network/>
3. <https://cinnamonaitaiwan.medium.com/%E6%B7%B1%E5%BA%A6%E5%AD%B8%E7%BF%92-cnn%E5%8E%9F%E7%90%86-keras%E5%AF%A6%E7%8F%BE-432fd9ea4935>
4. 簡錦昌，黃宗信，魏宇姍，蔡雅惠，林毓庭，2025. Moldex3D 2025 智造未來 精準成型，迎戰射出成型AI智慧革命，機械工業雜誌，新竹，台灣 pp.4-10