



3D 掃描技術在連續製程生產線更新中的應用

新鼎系統股份有限公司智能服務部副總工程師 / 屠樹仁

關鍵字：連續製程、3D 掃描技術、非接觸式測量、設備更新、逆向工程、工業 4.0、數位化轉型、淨零排放

前言

在全球經濟持續發展與環境保護日益重要的背景下，製造業正面臨提高生產效率、提升產品品質、實現環境永續和創新能力等多重挑戰。生產線的連續性對企業維持市場競爭力和盈利能力至關重要。連續製程（Continuous Process）生產線，如鋼鐵、玻璃、石化、水泥和造紙等行業，由於其特殊的製程要求，一旦啟動便不易停機。停機不僅會導致設備損壞和生產效率下降，還可能引發安全風險和經濟損失。同時，全球對於淨零排放（Net Zero Emissions）的關注，使得製造業必須尋求更環保的生產方式，以達成減少碳足跡的目標。

隨著工業 4.0（Industry 4.0）和數位化

轉型（Digital Transformation）的推進，先進技術在製造業的應用逐漸普及。其中，三維（3D）掃描技術的興起，為連續製程生產線的更新與維護提供了新的解決方案。3D 掃描技術利用雷射（Laser）或結構光（Structured Light）等方式，對物體進行高精度的三維資料採集，生成數位化的模型。這項技術不僅能提高測量精度和效率，還能降低停機時間，提升安全性，並在實現淨零排放方面展現出潛力。

本文將探討 3D 掃描技術在連續製程生產線更新中的應用，分析其優勢，並深入案例研究，闡述其與淨零排放目標的關聯性。期望為製造業提供實用的參考，助力企業在競爭激烈的市場中保持領先地位，同時為環境保護作出貢獻。

一、連續製程的特點與現實考量

品質的一致性以及高投資成本。(圖1、圖2)

(一) 連續製程的定義與重要性

連續製程是指生產過程必須在穩定、連續的條件下進行，以維持特定的製程參數和產品品質。這種生產方式廣泛應用於需要高溫、高壓或連續化學反應的行業。其特點包括高連續性要求、生產製程的穩定性、產品

連續製程需要生產過程一旦啟動，就長時間不間斷地運行，以確保製程參數的穩定，如溫度、壓力和化學反應條件。這對於維持產品品質的一致性至關重要，因為任何中斷都可能導致產品品質的變異，進而無法滿足客戶的品質需求。

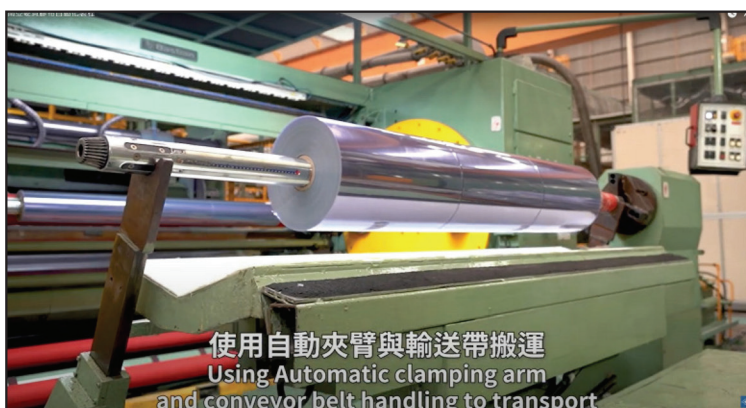


圖1 國內常見的連續製程 1: 塑膠布 (資料來源：南亞塑膠加工事業群頻道)



圖2 國內常見的連續製程 2: 鋼鐵加工 (資料來源：中鋼集團官方網站)



(二) 典型連續製程案例

以鋼鐵製程中的高爐煉鐵為例，高爐需要在高溫環境下，利用還原劑將鐵礦石還原成生鐵。這一過程需要持續維持高溫環境，停爐會導致爐內熔融鐵水和熔渣凝固，損壞爐襯，且重新啟動困難，需長時間預熱，耗費大量能源和時間。同時，高爐一旦停產，將影響鋼鐵供應鏈的穩定性。

玻璃製造中的玻璃熔窯也是如此，熔窯需維持高溫，以將石英砂等原料熔融成玻璃液。停窯會導致熔融玻璃凝固，損壞窯爐內襯，溫度波動也會影響玻璃的透明度和強度，進而影響後端產品的生產。

石化生產中的裂解爐，在高溫高壓下將重油等原料裂解成輕質化合物。突然停機可能導致壓力異常，引發爆炸等安全事故，且熱應力變化可能損壞爐管和內襯，造成經濟損失。

水泥生產中的旋窯需要在高溫下將石灰石等原料煅燒成熟料。停窯導致物料結塊，清理困難，重新啟動需要大量能源升溫至操作溫度。

造紙生產線需要紙漿經過一系列連續工序，最終形成紙張。停機會導致紙張厚度和品質不均勻，紙漿可能乾涸，造成設備堵塞。連續生產則能降低單位生產成本，提高

經濟效益。

(三) 連續製程停機的影響

連續製程的停機會帶來多方面的負面影響。當停機發生時，高溫熔融物質會凝固，可能損壞設備的內部結構，導致維修和更換成本高昂且所需時間長。此外，生產效率和產品品質也會隨之下降，因為生產中斷會導致產品品質不穩定，增加次品或廢品的產生，進而影響後續的加工流程與產品交付。環境中安全風險的增加也是不可忽視的因素，倉促的停機可能引發高溫高壓設備的安全事故，對人員和設施構成嚴重威脅。經濟損失方面，停機期間的產能損失以及設備維修和更換的直接成本，將對企業的整體經濟效益產生負面影響。

(四) 小結

綜上所述，連續製程生產線的不易停機性，對企業的生產管理和設備維護提出了嚴峻考驗。為了維持生產的連續性和穩定性，企業需要尋求新的技術手段，降低停機風險，提高維護效率。

二、傳統施工方式的局限性分析

(一) 傳統施工方式介紹

傳統的生產線更新與維護方式通常包括



圖3 傳統施工下的各種情境

現場測量、停機施工、設計、製造、現場安裝及試車等步驟。在現場手工測量階段，使用測量工具對設備和環境進行手動測量，此過程需要人員進入現場並停機以保障安全。施工階段同樣需要停機進行。設計與製造階段則根據手工測量的數據進行設計，繪製圖紙，製造新的設備或部件，可能需多次修改設計。最後，在現場安裝與試車階段，將新設備安裝到生產線上，並進行試車和驗證。(圖3)

(二) 傳統施工方式的局限性

傳統施工方式存在多方面的局限性。需要長時間停機，不僅影響生產連續性，還會造成產能損失。手工測量精度低，容易出現

誤差，導致設計不準確並增加重工風險。施工週期長，現場測量、設計、製造、安裝等環節耗時，進一步延長了停機時間。此外，這種方式的安全性較低，因為人員需進入高溫、高壓或有害環境，存在安全隱患。協同效率亦不高，多部門之間缺乏精確的資料共享，溝通不順暢，容易產生錯誤。成本增加也是一大問題，測量誤差導致設計錯誤，需要重新製造和安裝，手工測量和施工需要投入大量人力資源。

(三) 小結

傳統施工方式的局限性，使其難以滿足現代連續製程生產線高效、安全的更新與維護需求。企業亟需新的技術手段，提升施工

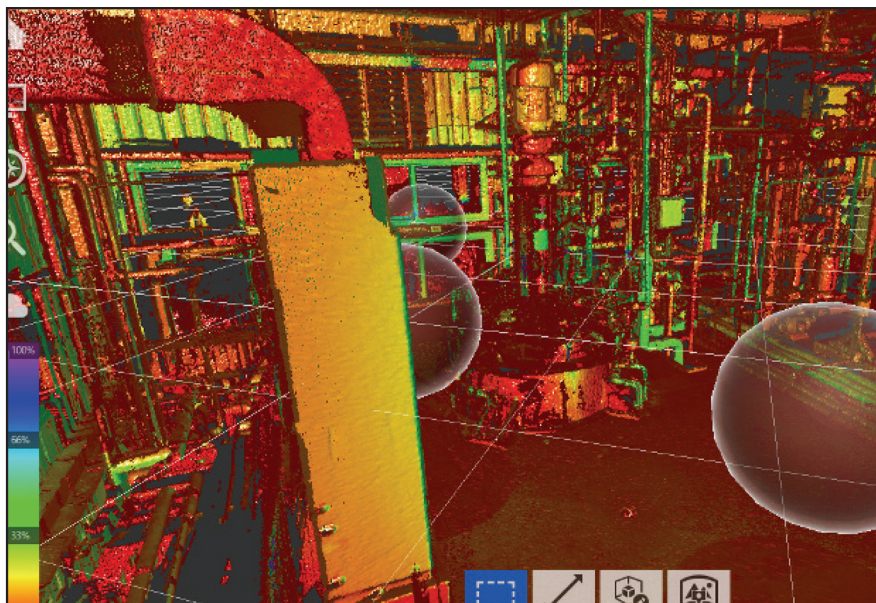


圖 4 3D 掃描技術應用於工廠

效率和精度，減少停機時間和工安風險，並在降低能源消耗方面取得進展。

三、3D 掃描技術在生產線更新中的應用優勢

（一）3D 掃描技術的原理與應用

3D 掃描技術 (3D Scanning Technology) 利用雷射、結構光或攝影測量技術，對目標物體進行高精度的三維資料採集，生成數位化的點雲模型。其應用包括非接觸式測量、高精度資料獲取、資料處理與建模以及數位化檔案管理。(圖4)

在非接觸式測量方面，3D 掃描技術可以

遠距離操作，在安全距離外對設備和環境進行測量，避免人員進入危險區域，並且不影響生產線的正常運行，保障生產連續性。高精度資料獲取方面，3D 掃描技術可達到毫米級甚至微米級的測量精度，全面覆蓋複雜結構和細微細節，形成完整的三維模型。

在資料處理與建模方面，利用掃描資料進行設備或環境的建模，為設計提供準確的參考，可以進行逆向工程 (Reverse Engineering)。在數位模型中進行設備安裝模擬，進行干涉檢查 (Interference Check)，提前發現潛在問題。數位化檔案管理方面，建立設備和設施的數位檔案，便於未來的維護和升級，資料可共享給多個部門和合作夥伴，提高協作效率。



（二）預製施工的流程與優點

預製施工的流程包括現場掃描、資料處理、設計與模擬、預製和現場安裝。

1. 現場掃描：使用 3D 掃描工具對現場設備和環境進行全面掃描，獲取高精度的點雲資料。
2. 資料處理：將掃描資料進行處理，生成精確的三維模型。
3. 設計與模擬：基於模型進行設備設計和安裝模擬，進行干涉檢查，確保設計的可行性。
4. 預製：根據設計圖紙進行設備或部件的預製，確保尺寸精確。
5. 現場安裝：在短時間內完成設備的安裝和試車。

預製施工的優點包括：

- 減少停機時間：企業可以在不停機的情況下完成測量和設計，僅需在安裝時短暫停機。
- 提高測量精度：3D 掃描技術提供高精度資料，減少設計和製造誤差。
- 提升安全性：非接觸式測量避免人員進入危險區域，降低安全風險。
- 加速設計流程：逆向工程加快了設計和製造流程，縮短專案週期。
- 降低成本：減少重工，縮短專案週期，降低人力和時間成本。

（三）小結

3D 掃描技術的應用，大幅度提升了生產線更新與維護的效率和安全性。預先掃描場地並進行預製施工，使企業能夠在最小化生產中斷的情況下，完成設備的更新與升級，同時減少能源消耗。

四、傳統施工方式與 3D 掃描技術應用的比較研究

（一）停機時間的比較

傳統施工方式需要長時間停機進行測量和施工，對生產造成較大影響，停機時間可能長達數日甚至數周，生產中斷對生產計劃和產品交付造成嚴重影響。相對而言，3D 掃描技術應用可以在不停機的情況下完成測量與設計，僅需在安裝時短暫停機，停機時間大幅縮短，對生產計劃影響最小。

（二）測量精度的比較

傳統施工方式中，手工測量精度受限，容易出現尺寸偏差，導致設計不準確，增加重工風險。3D 掃描技術應用則提供毫米級或更高的測量精度，確保設計準確性，精確的三維模型支持精確的設計和製造，降低了重工和試車時間。



（三）安全性的比較

傳統施工方式中，人員需進入高溫、高壓或有害環境，存在安全隱患，長時間的現場施工增加了意外事故的可能性。3D 掃描技術應用則透過非接觸式測量，避免人員暴露於危險環境，縮短現場施工時間，降低事故發生概率，提升了人員安全保障。

（四）協同效率的比較

傳統施工方式中，手工記錄的資料難以共享，部門之間溝通效率低，資訊傳遞不順暢，導致設計和施工錯誤。3D 掃描技術應用則提供了數位化協同的可能，數位模型可在多部門之間共享，提高協作效率，資訊透明，減少誤解和錯誤。

（五）成本效益的比較

傳統施工方式中，長時間停機、重工和人工成本增加了總體成本，生產中斷和效率低下影響企業盈利。3D 掃描技術應用則透過減少停機時間和重工，降低總體成本，生產效率提高，增強企業競爭力。

（六）小結

透過比較研究可以明顯看出，3D 掃描技術在停機時間、測量精度、安全性、協同效率和成本效益等方面，均優於傳統施工方式。這為企業的生產業線更新與維護帶來了顯

著的優勢。

五、案例分析

（一）生技製藥廠的應用案例

以國內台南某生技製藥廠區為例，該廠區生產的藥粉原料離心機運行時間以月份為單位排定，維修時間每次約2至5天，且由於訂單排程的變動，停機時間可能隨時取消或臨時調整以更換原料桶。此外，廠區環境複雜，缺乏紙本設計圖，並存在刺鼻異味與腐蝕性物質，增加了傳統施工方式的難度與安全風險。採用3D掃描技術中的點雲建置技術後，該廠區能在任意時間進行點雲掃描，而無需等待預定的停機時間。掃描後的3D點雲資料回傳至公司內進行建模、設計、點料與預製施工，最終僅需在預定的停機時間安排工班與工程師到現場進行施工測試。此技術的應用不僅使量測尺寸時間不受限制，重工機率降低，設計人員無需親自到場參與，且預製施工可通過預訓練提升安裝人員的工作速度，更透過縮短停機次數和提高施工效率。(圖5、圖6)

（二）塑化廠的應用案例

以台灣中部某塑化廠製程為例，該廠區主要產品為塑膠布膠捲，每次生產時間為20分鐘到15天不等。生產過程包括原料高溫攪拌混合後押出成塊狀，接著經過數個滾筒滾

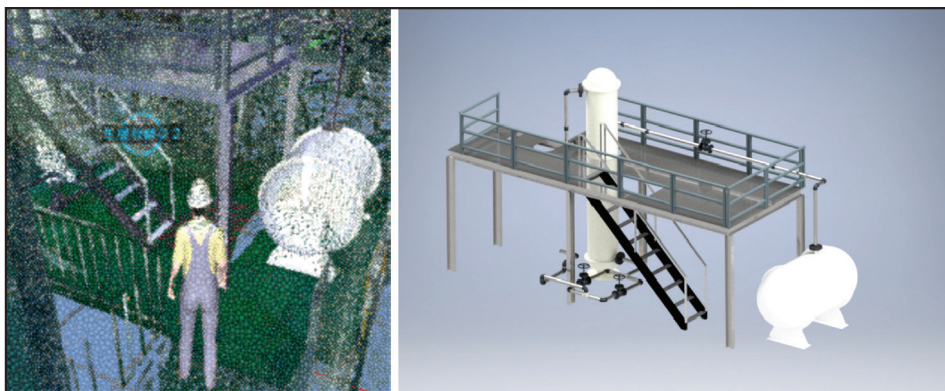


圖 5 運用點雲技術建模進行設計



圖 6 手動比對角度

動延展至極薄的布料，整個生產過程不能中斷，否則會導致布料斷裂。此外，生產過程中會產生塑化劑氣體與粉塵，環境高溫且汙染嚴重，增加了工作環境的危險性與設備維護的難度。

採用3D點雲技術後，塑化廠能夠在任意時間進行設備的點雲掃描，而無需等待預定的停機時間。透過點雲建置技術，量測設備角度可透過模擬計算完成，設計安裝模具時

不需在現場反覆進行安裝測試。由於生產環境高溫且汙染嚴重，傳統方法需等待停機進行測量，這不僅延長了停機時間，還增加了安全風險。使用3D點雲技術後，設計人員可以遠程進行設計工作，僅在必要時安排短暫的停機進行施工測試。此技術的應用使得量測尺寸時間不受限制，重工機率降低，設計人員無需親自到場參與，且預製施工可透過預先訓練以提升現場安裝人員的工作速度。(圖7)



圖 7 手動比對角度

（三）效益的量化分析

透過上述案例，可以看出3D掃描技術在環境效益方面的貢獻。我們以生技製藥廠和塑化廠的案例為例，進行分析：

減少產能降低：

產線須配合設計單位暫停生產，每次停機配合量測後再度開機時間約需要1~3個工作天估計，每多一次停機則損失3~10%的產能，且連續製程由於連續生產的特性，須配合停機時間調整產品類別(考量每次停機時間，安排合適生產長度的產品)，使得停機的損失進一步擴大。採用3D點雲掃描後可以避免停車，並且由施工單位配合排定於固定歲修時間進行長時間施工一次完成，將可避免維修、更新帶來的產能損失。

降低設計單位成本：

設計單位不需反覆前往現場，預製單位與組裝單位可以尋找當地廠商配合。

減少碳排放：

減少反覆啟動產線帶來的能量損耗，高溫製程不需反覆升降溫。

減少材料浪費：

由於測量精度提高，材料使用更精確，減少重工消耗材料，減少製程停機與開機時產出的廢料。

（四）小結

這些實際案例指出3D掃描技術在連續製程生產線的維護與更新中，不僅提高了效率和安全性，還為企業帶來了經濟和環境的效益。透過縮短停機時間、提高測量精度、提



升協同效率和降低總體成本，3D掃描技術也為企業實現淨零排放目標提供了有效的技術支持。

六、結論

本研究探討了3D掃描技術在連續製程生產線更新與維護中的應用，並通過具體案例分析了其帶來的多方面效益。隨著製造業數位化和智慧化轉型的推進，企業面臨著提升生產效率、確保產品品質以及實現環境永續的多重挑戰。連續製程生產線因其運行的連續性和高投資成本，使得停機維護成為一項複雜且高風險的任務。

傳統的施工方式雖然在過去長期被廣泛應用，但其在測量精度、施工效率、安全性及成本控制等方面存在顯著的局限性。長時間的停機不僅影響生產連續性，還帶來高昂的經濟損失和安全風險。此外，手工測量的不準確性和施工過程中的反覆修正，進一步增加了生產成本和時間消耗。

3D掃描技術的引入，為這些問題提供了有效的解決方案。通過非接觸式的高精度測量，企業可以在不停機的情況下完成設備和環境的資料採集，進行精確的設計和預製加工。這一技術不僅大幅縮短了停機時間，降低了生產中斷帶來的經濟損失，還提升了施工的精度和安全性，增強了團隊協作效率。同時，3D掃描技術在減少能源消耗和碳排放

方面也展現出顯著的成效，對實現環境永續目標具有重要意義。

參考文獻

1. [Author(s)]. (2021). Industrial Perspectives of 3D scanning: Features, Roles and its Analytical Applications. *Sensors International*, 2(1), 100114. DOI: 10.1016/j.sintl.2021.100114. License CC BY 4.0.
2. [Author(s)]. (2020). Application of 3D laser scanning technology in engineering field. *E3S Web of Conferences*, 233, 04014. DOI: 10.1051/e3sconf/202123304014. License CC BY 4.0.
3. [Author(s)]. (2024). Facilitation of the 3D Scanning Process of Industrial Sites using a Self-Moving Autonomous Robotic System. *Environment. Technology. Resources. Proceedings of the 15th International Scientific and Practical Conference*, 3. DOI: 10.17770/etr2024vol3.8131.
4. J.-F. Li, J.-H. Zhu, Qingsheng Tang, Qingsheng Tang, & Y.-K. Guo. (2007). Scanning method of robot-3D scanner system and its industrial application. *Guangdian Gongcheng/Opto-Electronic Engineering*, 34(2), 15-21.
5. [Author(s)]. (2022). Structural Stability Evaluation of Existing Buildings by Reverse Engineering with 3D Laser Scanner. *Remote Sensing*, 14(10), 2325. DOI: 10.3390/rs14102325. License CC BY 4.0.