

AI 機器人在土木建築工程之應用

蔡俊鏡 林同棧工程顧問股份有限公司 技術顧問／博士

人工智慧結合機器人 智能建造時代來臨

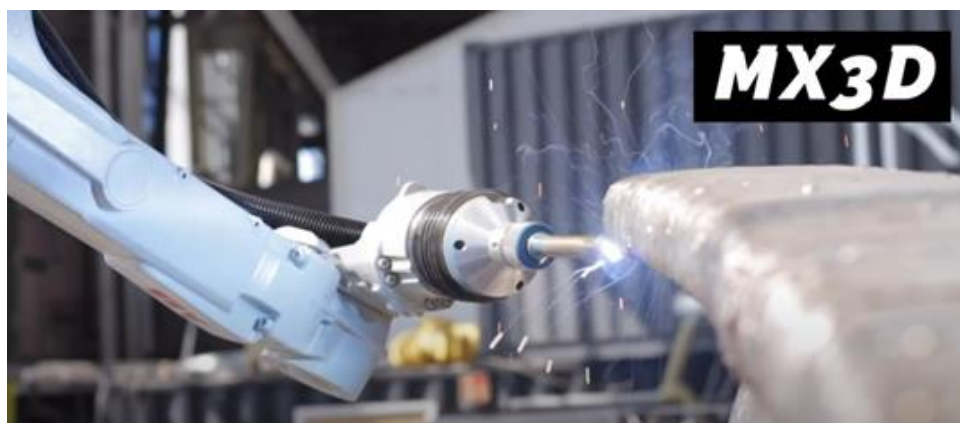
自從輝達 Nvidia、台積電 TSMC 陸續提出對 AI 機器人未來的願景，機器人已是科技業現階段的趨勢及顯學。2025 年輝達 Nvidia 執行長黃仁勳在美國消費電子展 CES 演講指出三大 AI 趨勢，包含人工智慧代理 Agentic AI、自動駕駛 Autonomous Vehicle 及人形機器人 Humanoid Robot，其中人形機器人 Humanoid Robot 未來將透過高效能 AI 與數位孿生技術全面展開應用。傳統土木建築工程如何搭上潮流應用 AI 機器人為本文介紹的重點。

2015 年 10 月荷蘭 MX3D 公司提出機器人結合 3D 列印直接在現場製造景觀人行橋 (圖一)，空間桁架拱橋造型意象同樹枝結構，橋梁造型為根據力學分布最佳化設計，橋體全部採用鋼材料，利用機器手臂焊接鋼橋，本橋是利用 AI 機器人完成特色人行橋。特殊造型橋具有個性化訂製的特點，採用傳統施工法困難度高，以人工智慧 AI (Artificial Intelligence) 結合機器人 Robot 的製造技術時代已經到來。2018 年 6 月荷蘭 MX3D 公司採用 6 軸機器人 (圖二) 3D 列印系統，在阿姆斯特丹以 3D 列印鋼自行車橋，長 12.5m，寬 6.3m，並安裝監測系統觀測橋體應力及變形，打造為智能橋梁。

《智能建造》



圖一 荷蘭 3D 列印人行橋 (參考 MX3D 網站)



圖二 6 軸機器人 (參考 <https://www.youtube.com/watch?v=2fmRejSRkss>)

AI 機器人適用高風險環境及重複性作業

AI 機器人是個廣義名稱，在土木建築工程中適合在高風險環境（高塔、高橋墩）、惡劣氣候環境（極冷、極熱）、重複性作業（綁鋼筋、砌磚）中執行施工及檢查等工作。目前已知的機器人種類，在陸上有人形機器人、機器狗、無人運輸車；在水上有無人船、水下無人潛水艇；空中有無人機，可搭載光學鏡頭及感應器、AI 晶片、敲除等設備，吊索機器人（圖三）還可爬吊索檢查，具有監測及維修土木建築構造裂縫、進行安全巡視、敲除構造障礙物等功能。

《智能建造》



圖三 吊索機器人可進行監測、維修及安全巡視。
(DYWIDAG 提供)

應用案例

一、人形機器人

日本 AIST (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)設計一款人形機器人(圖四)，執行建造辦公室活動隔間，從搬運隔板、定位組裝到噴釘槍固定，具備熟練工人應有的工藝技術，可取代真人工作。



圖四 人形機器人進行辦公室隔間施工作業。
(參考 <https://www.youtube.com/watch?v=2fmRejSRkss>)

二、綁紮鋼筋機器人

美國 TYBOT 設計一款綁紮鋼筋機器人(圖五、圖六)，以桁架工作車架設在兩側滑軌上移動，每小時可綁紮鐵絲 11,000 處，每天 24 小時不論風吹雨打都可運作，可應用在建築、橋梁及隧道工程鋼筋施工，相對人工綁紮快速很多，而且節省大量勞工，中國大陸則在工廠運用焊接機器人來完成點焊固定鋼筋的工作，完成的鋼筋籠再運至工地組裝。



圖五 綁紮鋼筋機器人可協助執行橋梁工程施工。

(參考 <https://www.youtube.com/watch?v=2fmRejSRkss>)



圖六 機器人進行綁紮鋼筋作業。

(參考 <https://www.youtube.com/watch?v=2fmRejSRkss>)

三、機器狗

美國 Boston Dynamics 機器狗 (圖七) 配置光學鏡頭及 AI 晶片，可水平行走、垂直爬樓梯、操作開關、開門關門，主要工作為進行工地檢查及操作開關設備。



圖七 機器狗 (參考 <https://www.youtube.com/watch?v=2fmRejSRkss>)

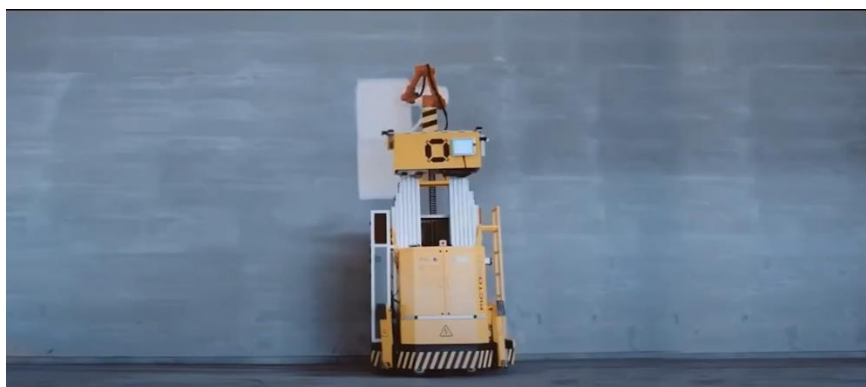
四、砌磚、噴漆機器人

澳洲 FBR 設計一款砌磚機器人 (圖八)，適合辦公室及廠房，不論內外牆建造皆施工快速。新加坡 Transforma Robotics 噴漆機器人 (圖九) 對大型廠房可自動調整高度及水平移動進行高牆噴漆，避免搭架及油漆工人高風險作業。



圖八 砌磚機器人 (參考 <https://www.youtube.com/watch?v=2fmRejSRkss>)

《智能建造》



圖九 噴漆機器人 (參考 <https://www.youtube.com/watch?v=2fmRejSRkss>)

五、無人機

2019 年法國 MuDD Architects 利用無人機結合噴塗設備，在義大利米蘭設計週建造 Terramia 房屋原型，面積約 27 m²，建築材料採用當地竹子為拱型支撐骨架，外噴當地泥漿在布料上形成膜狀屋頂，利用無人機噴塗泥漿 (圖十)，以節省人工搭架作業。



圖十 無人機噴塗泥漿 (參考 <https://www.youtube.com/watch?v=2fmRejSRkss>)

未來發展應用

土木建築工程應滿足安全、實用、經濟、美觀及耐久等要求，使用材料主要有混凝土及鋼材等，目前機器人應用仍在特定工程的概念工法，機器人雖是最佳協助作業的工具，但須先滿足安全及經濟要求，才有可能廣泛推廣應用。

《智能建造》

展望未來發展應用，少子化造成的缺工是永遠存在的問題，目前機器人除了協助一般土木建築構造外，如遇特殊造型採用傳統施工法困難時，也可運用機器人直接在現場協助完成。特殊局部複雜構件(如多向交點吊索錨座)可在工廠預製，一體成型後運至現場組裝施工。AI 機器人可以協助科研創新研究，在惡劣施工環境(如沙漠、極地、外太空、星球)以機器人直接在現場配合 3D 列印一體成型。3D 列印個性化及客製化的特點是未來推廣的利基，應先發展出 AI 機器人與智能 3D 列印機完美的結合，以迎接智能建造時代的來臨。