



引領淨零與智慧雙軸轉型： AI賦能石化與化工產業新紀元

技術主編：郭信良 S. L. Kuo

現職：工研院材化所(ITRI) 化工技術組 高分子混成實驗室 經理

學歷：台灣大學(NTU) 化學工程學系 博士

專長：奈米材料合成、化學回收製程技術、反應模型技術

面對全球淨零碳排的嚴峻挑戰、國際市場的激烈競爭以及勞動力結構的老化，傳統以人力經驗為主導的化工與石化產業操作模式，已面臨難以突破的瓶頸。近年來，人工智慧(Artificial Intelligence; AI)已成為全球化工與石化產業推動數位轉型的重要核心驅動力。國際化工巨擘如BASF、Dow、SABIC、Shell、ExxonMobil，以及Siemens、AspenTech、Emerson等軟體與工業自動化供應商，均積極將AI導入製程設計、設備監測、智慧操控與營運管理。AI應用已由早期的設備預知保養擴展至製程安全、製程與能源最佳化、先進製程控制、生產排程、供應鏈管理及品質預測等多元面向，顯著提升了生產效率並強化工安風險管控。隨著生成式AI (Generative AI)與大型語言模型(Large Language Models; LLMs)的突破性發展，AI的應用情境更進一步延伸至智慧助理、知識管理、材料開發、製程流程圖生成、HAZOP分析輔助及工程決策支援等高知識密集領域，AI正從單一的數據分析工具，演化為能協助工程師進行設計、決策與研發的智慧夥伴。在淨零碳排、高能效及製程韌性成為全球化工產業共識的當下，AI儼然從輔助分析逐步發展為支撐智慧工廠的重要核心。

相較於半導體、電子組裝等離散製造產業，化工製程具有高度非線性、多尺度耦合及長時間動態演變等特性，使AI的導入面臨更高的技術門檻。化工製程通常包含大量物質與能量傳遞、複雜反應動力學、熱力學平衡及多重單元操作，各設備之間具有高度交互影響，且製程長期受到原料波動、設備老化、環境條件及操作策略等因素影響，加上許多關鍵品質變數無法透過線上儀器直接量測，需仰賴實驗室分析，而批次與半批次製程更須考量整體操作軌跡及歷史資訊，增加品質預測與智慧控制的困難度。因此，AI在化工產業的應用已不再侷限於傳統資料驅動模型，而是朝向整合製程機理、物理模型與數據分析的混合建模發展，透過代理模型(Surrogate Model)、軟感測器及模型預測控制(Model Predictive Control; MPC)等技術，提升模型的可解釋性、泛化能力與實際佈署效益。

然而，石化產業的智慧化並非一蹴可幾，而是需要深厚的基礎建設與長期迭代。本期專題精心匯集五篇來自產學研界的文章，從企業整體的數位轉型戰略，到生成式AI的實務落地；從第一原理與AI混合建模、AI動態操控至隨機模型預測控制等尖端技術開發，並進一步延伸至新材料研發與HAZOP危害分析輔助等應用潛力評估。透過多維度的剖析，為讀者勾勒出AI驅動化工產業邁向智慧化升級的宏觀藍圖。🔗