
石化/化學新設工廠智慧安全設置 技術指引（2024 版）

委託單位：經濟部產業發展署

執行單位：

社團法人中華民國工業安全衛生協會

國立高雄科技大學設備可靠度與系統安全技術研發中心

目 錄

第一章、前言	4
一、目的與適用對象	4
二、全世界石化/化學產業面臨的結構性問題	4
三、石化/化學產業如何從安全智慧化中受益	7
第二章、智慧管理基礎	9
一、虛實整合	9
二、石化/化學產業智慧安全應用與助益	12
三、石化/化學工廠智慧應用技術	14
第三章、石化/化學工廠智慧安全技術與案例	25
一、石化/化學產業智慧化應用範疇	25
二、欲解決問題之應用技術與案例	27
三、現有基礎技術與進階技術	75
第四章、智慧石化安全管理制度	78
一、評估與設計階段	79
二、施工安裝與試運轉階段	81
三、工廠運營階段	85
第五章、結論	94
參考資料	96
附件、相關法令與標準盤點	99

圖目錄

圖 1、我國 65 家大型石化廠工廠年齡分布圖	5
圖 2、日本國內乙烯生產工廠年齡高齡化	5
圖 3、設備失效機率與運轉時間關係圖	6
圖 4、虛實整合各層之意涵與相對應關係	12
圖 5、應用影像辨識技術進行槽車洩料作業實際運作狀況圖	34
圖 6、應用影像辨識技術進行防護衣辨識圖	34
圖 7、應用影像辨識技術對高空作業進行防護具辨識圖	34
圖 8、虛擬實境訓練模組體驗圖	40
圖 9、巴斯夫公司應用 MR 技術進行教育訓練範例圖	41
圖 10、消防無人載具應用於塑膠工廠火災	44
圖 11、消防無人載具系統 Scrum Force 示意圖	45
圖 12、消防無人載具系統 Scrum Force	45
圖 13、日本三菱化學株式會社工廠設備巡檢	48
圖 14、殼牌公司自動巡檢無人載具	50
圖 15、三菱重工自動巡檢無人載具	51
圖 16、ENEOS 石油公司化工廠蒸餾塔	54
圖 17、艾克森美孚石油公司人工智慧助理 Sofia 示意圖	55
圖 18、殼牌公司數位孿生示意圖	58
圖 19、氣體洩漏 AI 辨識圖	61
圖 20、管線銹蝕 AI 辨識圖	61
圖 21、Honeywell GCI 系統偵測示意圖	62
圖 22、Puma™ AE 型無人飛行載具	74
圖 23、NIST 網路安全框架六大功能	91

表目錄

表 1、欲解決問題之應用技術與案例重點彙整	28
表 2、基礎技術項目之可應用範例與效益	76
表 3、進階技術項目之可應用範例與效益	77

第一章、前言

一、目的與適用對象

本指引旨在解決石化與化學產業面臨的困境，並提出新設石化工廠應採用的智慧安全技術與管理策略，以面臨目前石化產業人才斷層、事故嚴重性高與智慧化程度低等問題。期盼透過導入先進的智慧化技術，全面提升新設石化/化學工廠的生產安全與環境保護績效；透過數據驅動的智慧決策，強化工廠的安全管理能力，進而使工廠整體效益最大化，並確保達成永續發展目標。

本指引適用對象為新建或擴建產線的石化/化學工廠，協助工廠於設計階段就將智慧安全技術納入考量，並於建廠或擴建過程中落實相關措施，以期從根本上提升這些工廠的安全管理能力。

二、全世界石化/化學產業面臨的結構性問題

全球石化與化學產業相關基礎設施正面臨工廠老化及相對高昂的設備維護成本、具豐富操作或緊急狀況應對經驗之人員屆齡退休且新進人員招募困難所引起的長期人力短缺、技術、技能與經驗傳承能力下降等結構性問題。此外，國際競爭加劇、新技術的快速迭代所帶來的數位社會發展、日益嚴苛的安全與環保法規等外在環境因素，使得傳統石化與化學產業逐漸難以適應現代生產和管理需求。

以工廠老化這一結構性問題來說，在臺灣，以資本額大於新台幣 1 億元之 65 家大型石化工廠來看，有 61 家 (94%) 工廠已運行超過 20 年，其中 38 家 (58%) 更是運行超過 30 年，詳如圖 1 所示。

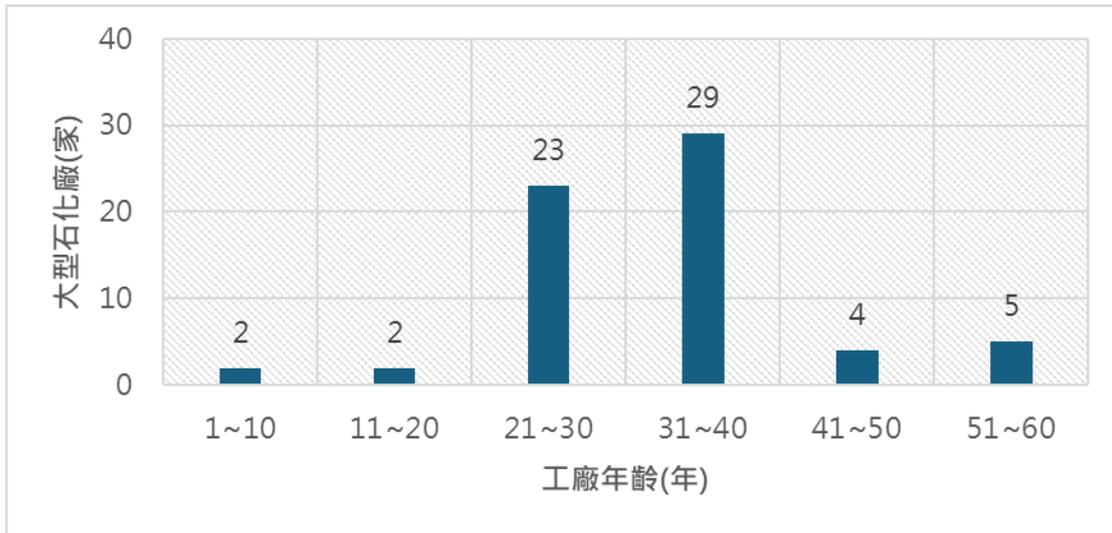


圖 1、我國 65 家大型石化廠工廠年齡分布圖

而以我國鄰近的日本來看，日本的主要設備多是在高度經濟成長期所建設，並使用至今。以乙烯生產相關工廠為例，至 2025 年，大部分設備的運行年數將超過 40 年，以有逐漸高齡化趨勢，詳如圖 2 所示[1]。

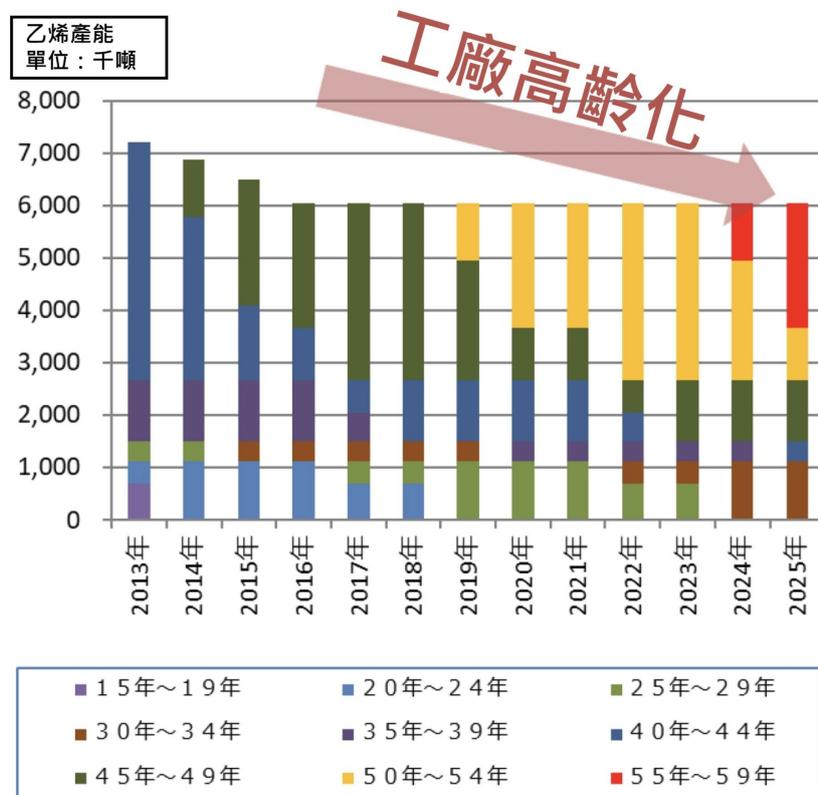


圖 2、日本國內乙烯生產工廠年齡高齡化[1]

一般而言，設備越老化，發生事故等異常的可能性越高。此外，頻繁的設備異常會導致運行不穩定，進而增加成本，並使產品品質與產量不穩定。有研究從設備運轉時間作為切入點，檢視運轉時間與發生失效機率的關係，依照設備的生命歷程，大致可分為四個階段，發現隨著設備運轉時間越高，失效機率越高，如圖 3 所示[2]。綜上可知，工廠老化實為全球石化與化學產業共同面臨的重要結構性問題。

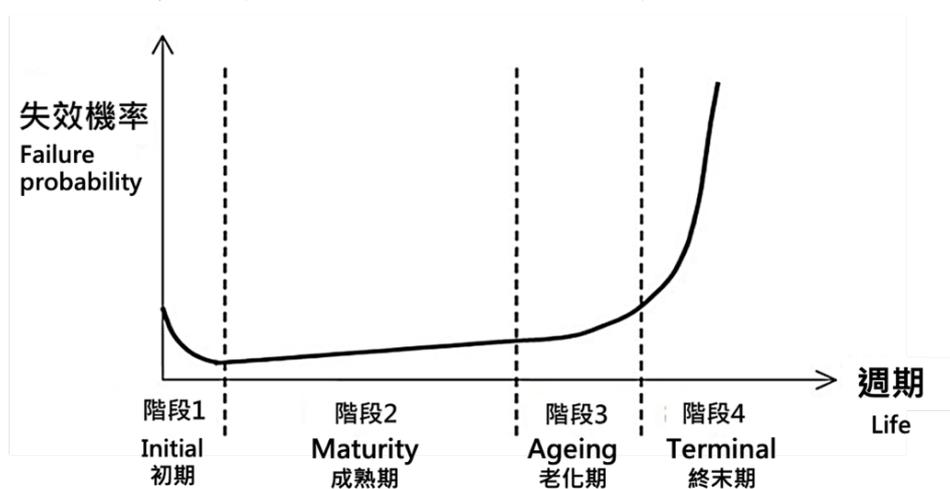


圖 3、設備失效機率與運轉時間關係圖[2]

此外，為了應對日益嚴格的安全與環保法規，石化與化學產業需要基於精確的風險評估進行設備維護和營運管理。這些法規要求企業採取更高標準的安全措施，進行更嚴密的監控，使得工廠運行及維護過程變得更加複雜且成本更高。

在石化與化學產業中，技術和技能的傳承至關重要，隨著資深技術人員的退休，以及招募新一代具有專業技能和經驗的技術人員與培養變得日益困難並面臨諸多挑戰，再加上工作方式的改變和勞動力成本的上升，企業不得不重新審視和調整現有的安全管理和運營模式，以適應這一變化。

三、石化/化學產業如何從安全智慧化中受益

雖然石化與化學產業面臨結構性問題（工廠老化、勞動力短缺等），但近年來，隨著物聯網（Internet of Things, IoT）、人工智慧（Artificial Intelligence, AI）與大數據（Big Data）分析等新技術逐漸發展，許多國家的石化與化學產業刻正將新技術應用至工廠的製程生產、設備運作、環保管理與緊急應變等全方位的監控和管理，以因應結構性問題，進而提升企業安全管理能力。

而這些「智慧安全技術」的導入，也為這些產業帶來了不少的效益，包含提升安全性、降低成本、提高效率及增強競爭力。以下是國際上智慧安全技術在石化與化學產業應用後所帶來的主要效益：

（一）提升設備維護和管理效率

智慧安全技術透過物聯網（IoT）、人工智慧（AI）與大數據分析（Big Data Analytics），可對製程設備進行預測性維護。傳統的設備維護多依賴於定期檢查，然而智慧安全技術可使企業即時監控關鍵設備狀況，根據數據預測設備可能故障模式或時間以提前進行維修，不僅降低了非計畫性停機的風險，還延長設備使用壽命。

例如，透過在設備上安裝感測器和攝影機，企業就可以即時獲取設備運行數據，並加以利用 AI 技術進行數據分析，進而辨識出設備的異常情況，並及時進行維護。此外，無人載具技術也可以用於檢查高處或危險區域的設備，減少人員暴露於高風險環境的機會，並提高檢查的準確度與效率。

（二）強化安全和風險控制

智慧安全技術在強化安全管理和風險控制方面

具有顯著優勢。AI 及機器學習 (Machine Learning, ML) 技術可以處理大量的歷史數據與即時數據，並進行風險評估和預測，幫助企業制定更精確的安全管理計畫。

例如，AI 可以分析大量數據，辨識潛在的安全隱憂，並提供預警系統。這些技術還可以用於模擬不同情景下的風險，幫助企業提前制定緊急應變計畫。此外，智慧安全技術還可以提高員工的安全教育訓練成效，透過虛擬實境 (Virtual Reality, VR) 技術進行模擬訓練，提高員工緊急狀況的應對能力。

(三)降低運營成本和提高生產效率

智慧安全技術的應用能降低運營成本並提高生產效率。傳統的設備維護和安全管理需要大量人力和時間，然而智慧技術可以自動化許多過程，減少人力需求，降低勞動成本。

例如，數位孿生技術可以在虛擬環境中模擬設備運行，進行故障診斷和維護計畫，減少實地檢查的次數和時間。此外，智慧技術還可以最佳化生產流程，透過數據分析發現生產瓶頸，作為精進生產流程之依據，以提高整體生產效率。

智慧安全技術為石化與化學產業帶來了顯著的益處，包含提升設備維護和管理效率、強化安全管理和風險控制、降低運營成本和提高生產效率等。這些技術的應用不僅幫助企業應對目前的挑戰，還為其長期發展提供了強有力的支持。在全球經濟與環境壓力下，智慧化升級或轉型將成為石化與化學產業可持續發展的重要途徑。

第二章、智慧管理基礎

石化與化學工廠的智慧管理基礎包含數據收集、數據傳輸系統技術、數據儲存，最終用於各類功能，如分析、模型建立等。透過感測器與物聯網技術，即時收集生產製程中的各類數據，並將數據儲存與備份，最後運用數據分析技術進行深入分析，以辨識潛在問題並提升石化廠安全管理與生產效率、強化設備、環保、能源等管理。

一、虛實整合

虛實整合（Cyber-Physical Integration），此一名詞來自於對於現代工業和科技發展的描述，主要來自德國在西元 2011 年提出的「工業 4.0」概念，隨著資訊科技的飛速發展，虛擬世界與現實世界之間的界線日益模糊，為了描述這種融合的趨勢，人們創造了「虛實整合」一詞，然而，虛擬世界和現實世界是兩個相對的概念，「整合」一詞則強調了它們之間的聯繫與互動，將抽象的概念具體化。

為將虛擬世界和現實世界進行聯繫與互動，藉由物聯網（IoT）、人工智慧（AI）和大數據分析等技術，使生產系統的高度互聯和智慧化，而智慧製造是工業 4.0 的重要組成部分[3][4]，透過最佳化生產流程和提高產品品質，提升整體生產效率；在石化與化學產業中，這些技術對於提高職業安全、製程安全和設備安全至關重要，透過即時監測危險物質的濃度、溫度和壓力等關鍵參數，可以及時發現並處理潛在的危險，避免事故的發生。同時，智慧系統能夠最佳化能源消耗，減少廢氣排放，實現更環保的生產方式。

本指引參考德國在 2011 年提出的「工業 4.0」架構與國際電工委員會（International Electrotechnical Commission, IEC）頒布智慧工廠參考架構模型（Reference Architecture Model Industry 4.0，簡稱 RAMI 4.0）（國際標準 IEC 63088）[3]，

從實體至數位化虛擬的階段進行簡化以利讀者明白，以下將虛實整合所應具備之各個層次：感知層、傳輸層、數據層、應用層進行簡要敘述，並將各層之意涵與相對應關係彙整如圖 4。

(一)感知層 (Perception Layer)

感知層是虛實整合的第一層，亦是虛實整合系統的基礎，主要負責收集實體世界中的數據。這一層包括各類感測器、攝影機和其他監測設備裝置，將物理世界的資訊轉換為數位訊號，用來即時監控環境和設備的狀態。感知層的數據來源可以是溫度、壓力、流量等製程參數，或是環境中之各項數據如氣體濃度、數位影像等，亦或是關鍵性設備之相關重要數據，如設備震動、音頻等。

透過這些數據，系統能夠獲取實體環境的真實訊息，為後續的分析和決策提供基礎，因此感知層之數據通常要求具高精度、高可靠性與即時性，以確保數據的準確性和完整性，因此，應根據監測需求（如壓力、振動、溫度等）選擇合適的傳感器以及確定傳感器的安裝位置，以確保能準確、即時的採集關鍵數據；為維持感知層完整性，為所有必要知傳感器提供防護、校正以避免受環境因素影響亦同樣重要。

(二)傳輸層 (Transmission Layer)

傳輸層負責將感知層收集到的數據傳送至數據層，傳輸層是感知層與數據層之間的橋樑，為使數據品質與即時性，確保數據能夠快速、穩定地傳輸就非常重要，通常涉及各種通訊技術。通訊應具備高頻寬、低延遲與具高可靠度的傳輸能力，如 Wi-Fi 無線網路、4G/5G 無線網路、Zigbee、LoRa、藍牙，

或是工業乙太網路與光纖等有線傳輸，因此傳輸技術之覆蓋率、傳輸速度、抗干擾能力等，可確保數據能夠快速且可靠地傳輸。

在傳輸層中，數據的安全性和完整性也非常重要，因此常會採用加密技術和數據驗證機制來保護資訊的安全。而採用標準化傳輸協議可確保不同類數據可以無縫傳輸，以避免系統間相連而造成延遲或缺漏，以確保數據的完整性。

(三)數據層 (Data Layer)

數據層是虛實整合的核心，負責儲存、處理和分析來自傳輸層的數據，是數據分析與決策的核心，提供應用層所需的所有數據。這一層通常需要強大的儲存與計算能力，能夠處理海量數據並提供即時分析與預測功能，而為達到此目的，通常會使用大數據平台技術或雲端平台，對大量數據進行高效的處理與分析。

在數據層通常還會運用機器學習及人工智慧技術，從數據中選取有價值的資訊，並進行預測性分析，以支持應用層所需。在數據層應注意須根據數據儲存和處理的需求選擇合適的數據儲存系統，此外，建立數據安全與備份措施，以確保數據的安全和可恢復性也同樣重要，以利於數據遺失時能向前回溯。

(四)應用層 (Application Layer)

應用層是虛實整合的最頂層，主要負責將分析結果轉化為具體的應用和服務，實現智慧化的管理與控制，通常以人機交互界面顯示，並支援各種業務應用與需求。應用層通常會由各種應用程式或軟體來供人員使用，如監控系統、預測維護系統、管

理系統，如製造執行系統（Manufacturing Execution System, MES）、企業資源規劃（Enterprise Resource Planning, ERP）系統、資料採集與監控系統（Supervisory Control And Data Acquisition, SCADA）、數位戰情室、數位孿生系統以及各項可視化工具等，幫助企業實現智慧化管理。

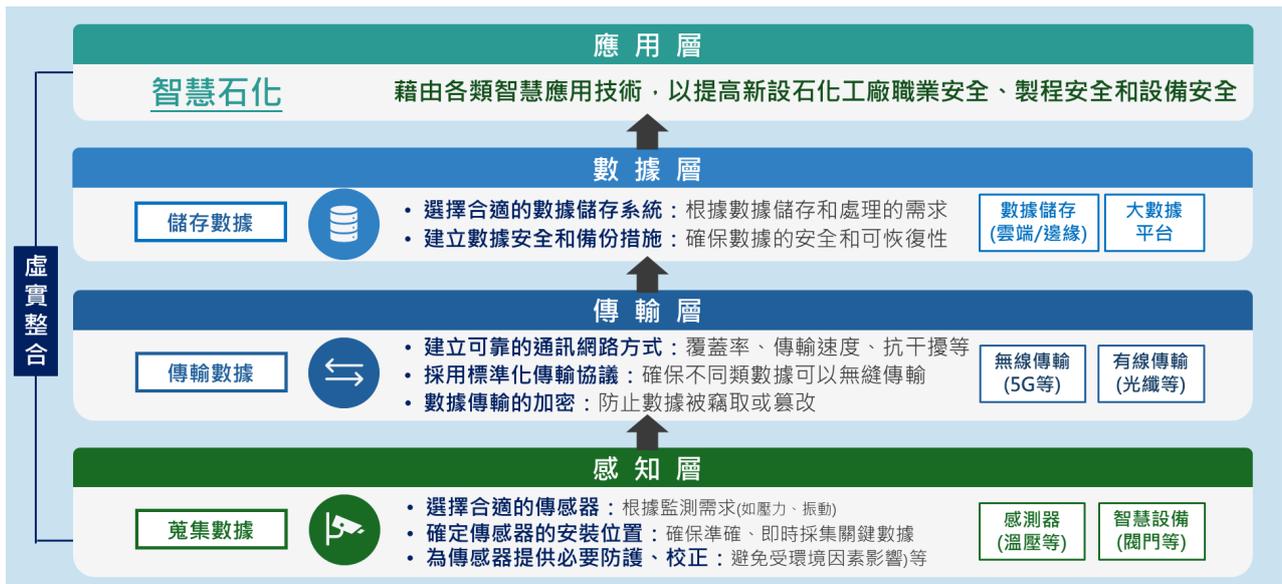


圖 4、虛實整合各層之意涵與相對應關係

二、石化/化學產業智慧安全應用與助益

採用石化工廠智慧安全技術之目的為建立一個更加安全、環保且高效率的生產製程環境，此將透過虛實整合感知層、傳輸層、數據層、應用層技術來達成，使石化工廠提升在人員管理、製程管理與設備管理能力，降低各類安全風險，為員工提供更安全的工作環境，並確保生產過程和設備運行的穩定性。

(一) 資產端資訊數位化

使用感知層中之各種傳感器與監控設備將實體資產狀態（如人、設備、環境、消防系統等）轉換為數據資訊，搭配傳輸層之物聯網或無線傳輸技術，收集工廠各個關鍵製程數據（如溫度、濕度、壓力、

流量等)、環境監測數據(如溫度、濕度、毒性氣體濃度、易燃氣體濃度等),或是影像、人員定位資訊等,將收集的數據即時上傳到數據層中央控制系統或數據平台,進行集中監控。

利用 AI 技術將收集之資訊進行分析,及早提出安全預警告知,或自動提出相對應緊急應變方案,可幫助管理人員進行決策,確保在緊急情況下能夠即時迅速反應,以減少損失。

(二)現場端進行即時監控

透過連續監測感測器之設備數據,因感測器已連網並進行傳輸,除了可使管理人員即時獲得異常數據通知以採取應對措施或維修,亦可藉由先前維修或保養歷史數據,訓練機器學習模型,預測設備可能的老化問題、故障模式或故障時間,以提前安排維護工作,避免計畫外停機或突發故障導致重大事故的發生。

採用智慧安全技術可用來檢查危險地點,使人員不必親赴現場,在安全區域內以遠端方式操作,可安全的進行相關檢查或巡視任務,例如採用爬行無人載具巡視儲槽壁面腐蝕情形,可免除搭架作業外,亦可使人員免於暴露在高處風險中。

(三)決策端輔助複雜判斷

透過連續監測感測器之設備數據,將製程中之設備、製程管線及地下管線進行異常辨識(如腐蝕、劣化等),此外,亦可延伸發展維護保養預測系統,將人工智慧預測結果,自動生成相對應之維修保養計畫,以維護成本與資源分配,並延長設備整體使用壽命。

除預防診斷外,亦可將相關數據進行分析演算,

並將其利用於製程參數的最適化分析，減少決策負擔，有效輔助相關人員進行決策，提升工作與生產效率。

(四)營運端規劃營運管理

藉由智慧技術之虛實整合，高階管理層可以迅速掌握情勢與環境的變化，從而更有效地規劃和實現企業願景，並在組織發展、人力資源和預算分配等方面做出明智決策。如數據層利用大數據和人工智慧技術進行深入分析，提供趨勢預測和風險評估；透過即時數據監控和分析，可以精確追蹤各項生產效率及成本，藉由分析生產數據、庫存數據，改善生產流程、降低成本、提高效率。

三、石化/化學工廠智慧應用技術

本指引參考國際標準組織（International Organization for Standardization, ISO）於 2021 年提出的《智慧工廠白皮書》（White paper on Smart Manufacturing）[4]及其他文獻資料，將石化產業為達智慧應用時應考慮之智慧化技術項目進行介紹，其中列出需考慮的技術主要包含物聯網（IoT）與人工智慧（AI），以及雲端與邊緣運算、延展實境、無人載具、數位孿生等六大技術，並將前述所提之各層次技術進行串聯，供讀者更容易理解，以下針對目前列出之各項技術做簡要說明。

(一)物聯網

物聯網技術（Internet of Things, IoT）根據 ISO/IEC 20924 定義為將實體/人員/系統，和資訊資源建立相互連結的基礎設施，並處理來自物理世界和虛擬世界的資訊，及對其做出反應的服務。屬前一節「虛實整合」中所提之「傳輸層」技術。物聯網

技術的核心在於能夠讓物理世界的對象具備智慧化的基礎，進而拓展了 AI 的應用範圍。

隨著感測器技術、無線通訊技術與大數據分析技術的進步，物聯網的應用正在不斷擴展。這些進步不僅推動了新技術的開發，也使得對製程或設備的異常監測，可變得更加高效與精確，例如工廠設備與生產製程的即時監控與故障預警、提高生產效率等。

1. 進行資料蒐集

透過各種感測器即時蒐集生產製程線上的各類數據，如設備運行狀態、環境參數、產品品質等，透過物聯網技術可將更多非製程資訊一同匯入。以現行之石化工廠而言，製程之控制室常僅有與該製程生產所需之資訊，並無整個工廠之資訊。透過物聯網技術，可取得其他關鍵資訊，並進行串連。

2. 即時監控與遠端控制

藉由高速網路可獲得即時的生產監控資訊，使得人員可即時發現異常並作出相關作為或緊急應變。透過物聯網技術，不僅可遠端監控與操控相關設備，同時也可彈性設置監控點位以達動態監督。儘管這部分與傳統石化產業之分散式系統（Distributed Control System, DCS）控制與監控之功能相同，但如同上述，製程之控制室常僅有該製程之資訊，並無將整個工廠資訊進行網路串連。因此，工廠宜以物聯網技術的建立視為第一優先，以利後續其他技術之發展與應用。搭建監控點位時，須同步注意資通訊安全疑慮。

(二)人工智慧

人工智慧 (Artificial Intelligence, AI) 根據目前歐盟所擬訂的《人工智慧法》(Artificial Intelligence Act, AIA) 內容，其定義為「一種機器為基本的系統，可以在不同程度上自主運作，並且在使用後會根據環境進行調整；它會根據收到的資訊來推斷，並生成預測、內容、建議或決策，這些結果能影響現實世界或虛擬環境」。

透過人工智慧 (AI) 與物聯網技術 (IoT) 結合，即為人工智慧物聯網 (The Artificial Intelligence of Things, AIoT)，該名詞於 2017 年被提出。其係結合感知層基礎設施，藉由人工智慧 (AI) 強化物聯網技術 (IoT) 以蒐集更完整之資料，同時也可做為後續人工智慧所用；而將人工智慧技術應用於物聯網設備中，使得物聯網設備能夠更加智慧化、自主化運行與進行交互，AIoT 不僅是技術的疊加，也是兩種技術間的深度融合，讓物聯網不再只是被動地收集數據，而是能主動學習、分析，並做出智慧決策。人工智慧 (AI) 依照機器能夠處理和判斷的能力，可以區分成不同的等級。分級描述如下呈現：

1. 第一級：自動控制

含有自動控制的功能，可以經由感測器偵測外界的訊號，並自動做出相對的反應，即為簡單的控制程式。

2. 第二級：探索推論、運用知識

可以探索推論、運用知識，利用知識庫或邏輯判斷推論、搜尋建立輸入資料和輸出資料之間的關聯，並做出判斷。

3. 第三級：機器學習 (Machine Learning, ML)

內建於搜尋引擎或根據大數據自動做出判斷的人工智慧，其推論機制與知識庫是根據數據學習而來的，通常會結合使用機器學習 (Machine Learning, ML) 演算法，可以根據資料學習如何將輸入與輸出資料產生關聯。

於人工智慧技術中，機器學習是一種模擬人類學習技術的先進計算方法，透過讓機器從數據中學習及改進，使機器能夠在沒有明確指令的情況下完成任務，機器學習的應用包括圖像識別、語音識別等。其中，圖像識別如電腦視覺 (Computer Vision) 技術，使電腦能夠理解與解釋數位圖片或影片中的內容，藉由模仿人類的視覺系統，透過分析及處理圖像數據來執行各種任務，例如辨識物體、動作辨識、臉部辨識等。於石化工廠最常使用之影像辨識技術應用為辨識作業人員動作、是否使用防護具、環境是否有異常情況等。而自然語言處理 (Natural Language Processing, NLP) 則結合了計算機科學、人工智慧和語言學，旨在讓計算機能夠理解、生成並處理人類語言。NLP 的目標是讓機器能夠像人類一樣理解和使用自然語言進行交流。常見使用情境為設計對話機器人，並詢問相關問題並獲得參考答案。

4. 第四級：深度學習 (Deep Learning)

電腦可以自行學習並且理解機器學習時用以表示資料的「特徵值」，應用包括圖像識別、語音識別，甚至創造資料或圖片等。深度學習技術利用類似人類腦神經網路的結構來進行自動特徵提取與模式識別，與傳統的機器學習方法不同，

深度學習可以自動從原始數據中學習到更深層次的抽象特徵，且無需人工進行特徵設計或標記。採用深度學習的生成式 AI 能夠分析大量歷史數據並預測設備的維護需求，進而降低停機時間和維護成本，應用生成式 AI 於石化工廠中，不僅能提升生產效率，還能增強安全性和可靠性。

(三) 雲端技術

雲端技術根據 ISO/IEC 22123-2 定義為「實體或虛擬的網路資源存放區，該區具可擴展性、彈性，且可依需求自配置和管理功能」，其包含雲端服務、雲端運算與邊緣運算。透過雲端技術，工廠可以將收集到的各種製程的設備運行數據、環境監測數據等上傳到雲端平台，以利用雲端強大的資料儲存能力，該技術屬前述所提之「數據層」技術，亦利用本節之「人工智慧」(AI) 技術。在目前石化工廠中，因數據孤島的問題，可能因此取得錯誤數據，例如：無法反應真實狀況的製程圖面資訊或不完整之資料，造成溝通或使用時有所誤解，可能使操作人員進行製程操作時，因誤判狀況而造成重大工安事故。

透過雲端技術，可將大量數據進行整合，其分析結果也可以幫助工廠最佳化生產流程、預測設備故障、提供遠端監控等，提升整體的生產效率與管理。而邊緣運算根據 ISO/IEC TR 30164 定義為「將資料處理、儲存放在物聯網邊緣側的架構」，其屬另一種資料儲存方式，以可減輕雲端運算的負擔，同時也可增加資訊傳輸效益，相關技術說明如下：

1. 雲端服務

雲端服務 (Cloud Service) 是一種網路服務模式，其關鍵在於企業或消費者隨選所需，使用服務商

所提供的運算資源。透過雲端技術可使多維度的資料進行整合，強化資料間的串連性，降低資訊孤島與資料衝突的狀況。前述雲端服務模式包含三種：軟體即服務（SaaS, Software as a Service）、平台即服務（PaaS, Platform as a Service），及基礎架構即服務（IaaS, Infrastructure as a Service）雲端服務可以透過公有雲（Public cloud）、私有雲（Private cloud）或混合雲（Hybrid cloud）等幾種不同的方式運作。以石化產業來說，最適用之技術即為私有雲，私有雲即為將雲端基礎設施與軟硬體資源建立在防火牆內，以供機構或企業內各部門共享雲端資源，不僅可進行資訊蒐集外，亦可使工廠內各項數據保有隱私。除此之外，設置虛擬化和多戶架構的方式，以使資料具權限獨立性。

2. 雲端運算

雲端運算（Cloud Computing）是一種通過網路提供計算資源的技術，其中包含處理器、儲存空間、軟體等計算資源，雲端運算資源的共享，可使多個用戶可以同時使用。工廠可充分利用雲端運算提供的強大計算能力與儲存空間，集中儲存與分析生產製程中產生的大量數據，進行製程生產管理與決策。因此，雲端運算亦是達到智慧安全不可或缺的重要技術。

以石化產業來說，如採用私有雲雲端運算，由企業透過內部防火牆私人專線或資料中心內建立的平台，資料儲存於在企業內部，控管自主性高，且可提供內部所需的 IT 資源，擁有更多控制權與私密性。

3. 邊緣運算

邊緣運算（Edge Computing）與雲端運算並非對立的概念，而是互補的關係。邊緣運算採用分散式計算架構，將原本完全由中心處理的資料切割分散，在靠近資料源頭的邊緣設備上進行處理和儲存，而不是完全集中在雲端或遠端伺服器上，這種方式可以減少雲端執行運算的負荷，提高整體系統的效率。

邊緣運算擅長處理延遲敏感和私密性高的任務。將資料處理和分析的工作分散到邊緣節點，更接近用戶終端裝置，可以加快資料的處理和傳送速度，減少延遲，更適合即時性的數據分析及服務。相比之下，雲端運算則更適合處理大量的數據儲存和複雜的分析計算任務。透過與雲端運算平台串接，可以充分發揮各自的優勢，實現更高效、更靈活的分佈式計算架構，滿足不同應用場景的需求。

(四) 延展實境

延展實境（Extended Reality, XR）是一個涵蓋虛擬實境（VR）、擴增實境（AR）與混合實境（MR）等多種沉浸式技術的概括性稱呼，屬前一節「虛實整合」中所提之「應用層」技術，亦利用本節之「物聯網」（IoT）技術。石化工廠於採用延展實境技術前應先確認三大面向，分別為：(1)優先應用高危害或高風險作業類型、(2)操作內容包含高消耗性、(3)無法從實體重複操作，藉此發揮最佳效益。VR、AR、MR 技術說明如下：

1. 虛擬實境（Virtual Reality, VR）

虛擬實境是一種完全沉浸式的體驗，使用者透過

專門的頭戴式顯示器進入一個完全由電腦生成的虛擬世界，在這個虛擬世界中，使用者可以進行互動，感覺自己身處其中，可將 VR 技術應用於教育訓練中，使人員能藉由沉浸式體驗加深印象。

2. 擴增實境 (Augmented Reality, AR)

擴增實境將數位資訊與物體疊加於現實世界之上，使用者可以透過智慧手機或平板電腦來看到這些擴增元素。在石化工廠中，擴增實境 AR 可使人員於遠端提供操作人員裝配說明、故障診斷等維修支援，提升作業效率並將低錯誤機率，也可用於教育訓練、或提示維護保養步驟等應用。

3. 混合實境 (Mixed Reality, MR)

混合實境結合了 VR 和 AR 的特點，將虛擬物體與現實環境無縫融合，讓使用者在現實世界中與虛擬物體進行互動，MR 設備可以理解並反應現實環境狀況，並根據環境進行即時調整。藉由沈浸式的學習環境與體感互動，使作業人員可不必真實操作實際製程，同樣也可以虛擬呈現與體驗以瞭解操作錯誤帶來的後果，但不會使參與者處於真正的危險之中，藉此達到訓練成效。此外，操作人員可以透過 MR 眼鏡與遠端監視人員配合以提供裝配說明、故障診斷等維修支援，與擴增實境 AR 非常相似。

(五) 無人載具

無人載具廣義上為不需要駕駛員登機駕駛的各式遙控載具，透過遠端控制、引導或自動駕駛來控制與運行，其通常具備遙控技術、感測技術、定位技術、監控技術、決策及控制技術。於本指引中所

指之無人載具包含自主式移動機器人（Autonomous Mobile Robot, AMR）、無人航空載具（Unmanned Aerial Vehicle, UAV）等陸上行走或空中飛行等各式載具設備。

在當今科技迅速發展的時代，無人載具已經成為各行各業不可或缺的工具之一，屬前一節「虛實整合」中所提之「應用層」技術，亦利用本節之「物聯網」（IoT）與「人工智慧」（AI）技術。無人載具之所以能夠發揮重要作用，主要是由於其靈活性，無人載具可代替人類到達難以或無法到達的位置進行作業，以避免作業人員暴露於高風險之危害中，例如使用無人載具進行局限空間檢測作業、儲槽或管線高處檢測、災害現場評估等。

為使其功能符合目的，無人載具通常裝配有先進的攝影或感測裝置，使得無人載具能快速有效收集高品質的數據。此外，亦有其他功能之模組可進行更換，因此，無人載具可視為具低成本效益之載具，亦為取代人員靠近危險源之優先選項方案之一。因石化工廠區域特殊，下列將使用無人載具應確認事項進行簡要說明：[5]

1. 規範與使用計畫

應建立使用規範，確認無人載具的使用目的、操作流程、安全規範、資料管理等，使用無人載具前應制定計畫。

2. 風險評估與應對措施

應識別無人載具使用過程中可能發生的意外與潛在風險，並分析風險原因，如碰撞製程設備、通訊中斷、環境因素、定位失敗、操作失誤、功能安全等，並針對可能發生之風險制定相對預防

措施。

3. 事前確認與協調事項

石化工廠通常為防爆區域，因此在使用無人載具前，應確認其是否符合防爆規範，亦避免成為引火源導致事故發生。此外，使用無人載具之情境也需多加考慮，因石化工廠之管線與設備複雜，如使用行走無人載具就應先規劃行走路線，避免誤闖入造成碰撞，使得設備元件損壞。

使用前應事先與廠房內相關部門告知計畫，如為飛行無人載具，則應考慮與鄰近廠區告知，同時需遵守相關法規規範進行註冊或事前申請許可等。

4. 檢查與確認

每次使用前後，應按照無人載具的操作手冊進行檢查，無人載具於使用過程中應持續監控與確認其運作狀態，並與相關人員保持溝通。

5. 目前技術限制與注意事項

目前無人載具技術尚無法完全取代傳統的人工檢查，例如無法使用深度尺規等工具對設備或管線損傷、腐蝕、變形等進行定量評估，因此在使用無人載具前應先確認其相關限制，為使無人載具使用能以最大效益完成任務，故在決定使用無人載具前，應評估其成本效益，包含設備購買、人員訓練、以及與傳統人工檢查相比所能節省的時間和成本等。

(六) 數位孿生

數位孿生 (Digital Twin) 根據 ISO 技術規範定義為「具有資料連接的特定實體或流程的數位表示，能夠以適當的同步速率實現物理狀態和數位狀態之

間的融合，具有連接、整合、分析、模擬、可視化及最佳化的功能，且能提供實體或流程整個生命週期的整合視圖」。該技術在虛擬世界中創建一個與真實世界實體相同的數位對應體，此數位對應體能夠預測並動態反應實體狀態與性能的模擬器，屬前一節「虛實整合」中所提之「應用層」技術，數位孿生技術的發展亦依賴於本節前述之「物聯網」(IoT)、「人工智慧」(AI)、「雲端技術」等。透過物聯網設備，真實世界的實體可以持續收集各種數據，這些數據被傳輸到雲端進行儲存與處理，再透過人工智慧技術進行分析及模擬，最終形成數位孿生模型。數位孿生技術的核心在於它能夠通過持續的數據來源，即時獲取與更新真實世界中實體的資訊，使虛擬模型與實體保持同步，工廠管理者可透過模擬分析可以在實際更改生產參數之前，虛擬測試不同的參數配置與作業程序，確定最佳的生產策略。

然而，因化工製程特性，如操作參數偏離則可能造成重大災害發生，因此，將製程危害分析之結果納入數位孿生模型中就極為重要，不僅可於虛擬世界中明確瞭解偏離造成之危害演變過程，亦可於過程中確認防護措施之可行性，並確認災害演變過程中各項緊急應變之可行性（如警報響起後人員可處理之時間是否足夠等），以落實製程安全管理。

第三章、石化/化學工廠智慧安全技術與案例

為了有效協助石化業者導入智慧化技術應用，本指引盤點目前石化/化學產業面臨之問題，對照石化/化學產業智慧化三大關鍵：人員管理、製程管理與設備管理。針對三大範疇中的技術與應用情境，本章將提供國際與國內業者已採用之智慧化應用案例，說明石化產業可能面臨之問題以及可導入之應用技術，以期石化業者於建廠時的設計階段即考慮未來智慧化技術的應用，並將相關基礎設施與設備納入考量。

一、石化/化學產業智慧化應用範疇

本節針對人員管理、製程管理與設備管理三大關鍵簡要地說明石化業者可能面臨之問題、可導入技術、應用情境與注意事項。

(一)人員管理

透過導入智慧技術，企業能夠以更全面之智慧化管理方式保障人員（包括員工與承攬商）安全，並解決產業人力短缺等問題。智慧技術能夠透過監測系統與數據分析，確保業者遵守安全衛生標準，保障工作者安全健康、防止人員發生災害，進而提升工作環境的安全性。以下以無人載具與智慧監控系統為例。

導入無人載具可取代人員進行例行巡檢與檢測，避免人員於危險區域作業，如局限空間作業、高處管線作業、儲槽內外部檢查作業等，亦可減少人力成本與時間，以及提升作業效率。

在防災與緊急應變方面，採用智慧監控系統可即時檢測並通知潛在的風險，並迅速採取有效措施防止災害的發生，降低人為誤判的可能性。同時，藉由智慧化技術提供正確的應變流程，供人員快速

決策以避免事故惡化。若災害不幸擴大，採用無人載具進入災區亦可避免人員暴露於危險環境。

(二)製程管理

透過導入智慧化技術，企業能即時監控制程中的每一環節，預測並預防潛在的危害，以有效避免洩漏、火災、爆炸等意外事故發生，以及降低化學品洩漏於環境中之風險，避免對環境的負面影響。

除了安全衛生管理，業者透過智慧技術即時監控制程，並進行參數調整與最佳化，不僅能提升生產效率、提高產品品質與降低運營成本，也能減少能源消耗與碳排放，促進產業之可持續發展。

(三)設備管理

預測診斷保養系統能分析設備與管線之各項重要運行數據，提前發現潛在問題，例如，設備故障或管線劣化等時間，並安排最佳的維修保養時機，以減少非預期故障所帶來的意外事故或生產損失。且透過相關智慧技術的導入，可不間斷且即時蒐集設備與管線（含地下管線）之各項數據，如設備運轉紀錄、內容物溫度壓力等，以供預測診斷保養系統進行分析。

除此之外，透過智慧化技術於例行性檢查及巡檢使用，可有效且快速辨識管線或設備腐蝕之情形，並建立資料庫，以持續進行監控，避免洩漏事故發生。

這類智慧技術不僅可提高設備與管線可靠度，亦能延長其使用壽命，提升穩定性。透過智慧化的設備管理，企業能夠以更高效率進行運營與管理，降低維修成本與人力成本，確保製程生產的連續性與可靠性。

二、欲解決問題之應用技術與案例

本指引中將目前石化/化學產業於人員管理、製程管理、設備管理中所遭遇之欲解決問題，以及相對應的智慧化技術進行案例敘述與說明，以期業者能更加瞭解相關技術之實際應用情形，並將相關智慧技術導入至工廠。下表為問題之應用技術與案例的重點彙整，相關敘述與說明細節請參閱各節內容。

註：可應用於欲解決問題的技術相當多樣，本節僅將常用之技術列出，並不僅限於表中所述之技術類別，讀者可斟酌使用。

表 1、欲解決問題之應用技術與案例重點彙整

應用範疇	欲解決問題	可導入技術、應用情境	應注意事項	國內或國際應用案例
人員管理	工作場域安全管理困難	落實標準作業程序、確認個人防護具使用、危險區域辨識、危險動作辨識	<ul style="list-style-type: none"> 攝影機應具備防爆性能和高解析度 應具足夠網路傳輸與儲存空間 應連結至人員管理平台，或連結警報通報系統供人員瞭解異常狀況 	<ul style="list-style-type: none"> 奇○實業-影像辨識槽車作業 台○企業-影像辨識個人防護具
	人員位置與狀態不易掌握	藉由穿戴設備、健康監控系統如 GPS、智慧手環，即時追蹤人員位置，監測人員生理狀態	<ul style="list-style-type: none"> 設備應具備防爆性能 應具足夠網路傳輸與儲存空間 應連結至人員管理平台，或連結警報通報系統供人員瞭解異常狀況 	<ul style="list-style-type: none"> 台○企業-人員定位技術
	知識傳承與人員訓練效率低	延展實境 XR 技術(如 VR、AR、MR)用於製程現場或教育訓練	<ul style="list-style-type: none"> 用於製程現場之穿戴裝置應具備防爆性能且應具足夠網路傳輸 模擬訓練系統中的程序應與真實作業之操作程序完全一致，並適時更新 	<ul style="list-style-type: none"> 環境部化學署-虛擬實境訓練 德國巴斯夫公司-混和實境訓練
	緊急應變能量不足	透過無人載具或救災無人載具安全、準確地執行救災任務，深入災害現場探查以提供災區資訊	<ul style="list-style-type: none"> 無人載具應具備防爆性能與網路傳輸 操作人員應具備相關證照並接受足夠的教育訓練 	<ul style="list-style-type: none"> 高雄市消防局-消防無人載具 日本總務省消防廳-消防無人載具系統
	巡檢時間較長且耗費人力	智慧巡檢系統：利用防爆手機、防爆平板等，對設備和管線進行巡檢	<ul style="list-style-type: none"> 裝置應具備防爆性能和高續航力 應具足夠網路傳輸且數據儲存空間容量應足夠 系統偵測到異常時，應可即時發出警告 	<ul style="list-style-type: none"> 日本三菱化學株式會社工廠設備巡檢
		無人載具自動巡檢：透過無人載具執行日常巡檢工作，且每日 24 小時不間斷	<ul style="list-style-type: none"> 應具備防爆性能和高續航力 應具足夠網路傳輸且數據儲存空間容量應足夠 	<ul style="list-style-type: none"> 殼牌公司-自動巡檢無人載具 日本三菱重工-自動巡檢防爆無人載具
製程	製程最佳化與	控制系統即時監控關鍵參	<ul style="list-style-type: none"> 應部署足夠數量之關鍵參數感測器 	<ul style="list-style-type: none"> 日本 ENEOS 石油公司-自

應用範疇	欲解決問題	可導入技術、應用情境	應注意事項	國內或國際應用案例
管理	異常檢測困難	數並自動調整，以確保品質穩定、提升安全性和製程效率，並降低人為錯誤和資源浪費。	<ul style="list-style-type: none"> • 應具足夠網路傳輸且可儲存歷史數據及即時數據的數據庫系統 • 應連結相關管理平台或警報通報系統供人員瞭解異常狀況 	動控制精餾塔 <ul style="list-style-type: none"> • 印度 Tata 化學-數位孿生 • 美國 ExxonMobil-Sofia 人工智慧助手
	缺乏即時監控與診斷	專家藉由數位孿生模型及協同作業平台遠端診斷，對現場設備進行即時監控與診斷，以制定出有效的處理對策	<ul style="list-style-type: none"> • 大量感測器應安裝在能有效蒐集關鍵數據的位置且具足夠網路傳輸 • 應有可儲存歷史與即時數據及檢測結果數據之數據庫系統 • 選用合適 AI 演算法 • 應連結相關管理平台或警報通報系統供人員瞭解異常狀況 	<ul style="list-style-type: none"> • 殼牌 (Shell) 公司-人工智慧與數位孿生
	化學物質洩漏	利用紅外線熱成像儀檢測或可見光影像辨識技術監測氣體洩漏	<ul style="list-style-type: none"> • 相關設備應具備防爆性能 • 應具足夠網路傳輸且可儲存數據及檢測結果數據之數據庫系統 • 應連結相關管理平台或警報通報系統供人員瞭解異常狀況 	<ul style="list-style-type: none"> • 台○公司-管線洩漏及銹蝕 AI 辨識 • Honeywell-氣體雲成像系統
設備管理	缺乏設備性能與狀態監測	監控及分析數據基線，當設備偏離基線出現異常時，系統即時發出預警	<ul style="list-style-type: none"> • 感測器應具備防爆性能且具足夠網路傳輸，並可長期記錄運作數據 • 應選用合適 AI 演算法且持續使用相關數據進行模型訓練 	<ul style="list-style-type: none"> • 台○企業-線上即時監測技術
	缺乏失效模式與故障部位診斷	透過大數據學習正常或異常運轉模式，預測設備可能發生的故障和異常	<ul style="list-style-type: none"> • 應建立設備階層結構 • 感測器需要安裝在能夠有效蒐集關鍵數據的位置且具足夠網路傳輸，並確保收集的數據足夠全面且準確 • 應有可儲存歷史與即時數據及檢測結果數據之數據庫系統 	<ul style="list-style-type: none"> • 美國通用電氣-發動機失效模式診斷

應用 範疇	欲解決問題	可導入技術、應用情境	應注意事項	國內或國際應用案例
			<ul style="list-style-type: none"> 應選用合適 AI 演算法且持續使用相關數據進行模型訓練 	
	<p>無設備與管線 腐蝕預測</p>	<p>數據預測分析如 UT、PT 等：透過大數據監控腐蝕狀況，並依腐蝕速率預測設備管線剩餘生命週期</p>	<ul style="list-style-type: none"> 感測器需要安裝在能夠有效蒐集關鍵數據的位置且具足夠網路傳輸，並確保收集的數據足夠全面且準確 應有可儲存歷史與即時數據及檢測結果數據之數據庫系統 選用合適 AI 演算法 	<ul style="list-style-type: none"> 殼牌 (Shell) 公司-預測腐蝕 Honeywell-腐蝕預測軟體
	<p>現場巡檢 效率不彰</p>	<p>利用無人載具進行難以接近區域之巡檢，並即時更新資訊至平台進行分析</p>	<ul style="list-style-type: none"> 應具備防爆性能和高續航力 應具足夠網路傳輸且數據儲存空間容量應足夠 應確認無人載具失效時對應用場域的影響性及關鍵程度 	<ul style="list-style-type: none"> 英國石油 (BP) 公司-油田管線無人飛行載具巡檢

(一)人員管理

1. 欲解決問題：工作場域安全管理困難

為了預防作業時發生事故，除工程控制外，業者常採取管理手段，常見的方式為制定相關規範管理員工或承攬商。然而，並非所有人員皆落實規範，例如，未依照標準程序進行作業、未正確使用個人防護具等，導致意外發生。故可導入智慧技術進行監控，並即時進行矯正，以降低職災風險，以下將進行簡要說明。

(1) 可導入技術與應用情境

A. 電子圍籬

透過影像辨識之電子圍籬技術，可辨識人員是否進入管制區域、區域內是否有危險。以目前的技術而言，電子圍籬技術已有多家業者採用，屬於成熟技術。

B. 確認個人防護具使用

採用影像辨識確認人員作業時依照標準作業程序規範使用個人防護具，並即時確認人員使用防護具之狀態，異常時立即通知以避免事故發生。然而，該技術根據目標設定的不同，較為細微之部份，如偵測安全帽扣是否正確扣上等，則可能需要較為進階之演算法或高畫質之攝影機。因此以技術面來看，若僅單純確認人員身上是否有防護具屬成熟技術，然而，確認防護具的正確使用則有待發展。

C. 辨識標準作業程序

採用影像辨識確認人員作業時依照標準作業程序規範執行，並即時確認人員異常操作

狀態，進行通知以避免事故發生。依照目前技術發展，對於確認較為簡單且同一場景之石化工廠標準作業程序是較為容易的，但因操作可能涉及不同場景變換，且操作動作可能較為複雜或細微，仍有諸多辨識技術需要進行強化與發展，在短期內要立即至作業現場使用則具有較高難度。總結來說，技術方面仍要視使用情境而定。

(2) 應注意事項

A. 感知層技術

為蒐集畫面資訊，最成熟之技術為攝影機，屬於基礎技術中的感知層技術。應考量製程區域選用具備防爆性能之攝影機，且設置時應考量拍攝角度、解析度等。影像識別應有足夠分辨率。舉例來說，在距離 10 公尺內，能辨識 1027*768 解析度影片內的異常缺失已是極限，若要辨識更為細小之物件，則需要更高解析度之攝影機。

B. 傳輸層技術

應具足夠傳輸速度以傳輸攝影機紀錄之影像以及影像辨識結果，達到低延遲與即時性。可依照製程區域的需求採用有線或無線傳輸方式。若採用高解析度之攝影機，則數據傳輸量就越高，換言之，其傳輸速度可能變慢。假使傳輸速度有延遲的問題或無法達到要求，則可採用具邊緣運算之攝影機進行數據初步處理和分析，減少數據傳輸量，並降低對核心網路的負擔。有關傳輸技術及對應的傳輸速率相關資訊，可參考 ISO/IEC TR

30164。

C. 數據層技術

應具數據分析能力，以辨識與分析大量且即時之影像數據。若有數據層負荷較大之困境，可同上述所提，採用具邊緣運算之攝影機，以降低雲端運算負荷。此外，應有足夠之儲存空間，以利未來需要時可重播影像。

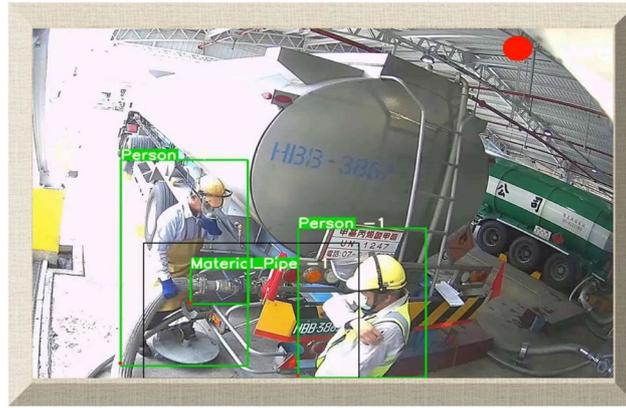
D. 應用層技術

為使管理人員由影像辨識結果進行後續之處理，如通報、搶救、應變等，上述之系統應進行整合以利使用者與管理者使用，如連結至人員管理平台確認該人員資料，或是連結警報通報系統，供管理人員可即時瞭解異常發生之狀況。

(3) 國內或國際應用案例

A. 奇○實業股份有限公司-影像辨識槽車作業

採用影像辨識確認槽車作業時進行洩料作業管制。停車後駕駛應將車輛鑰匙交予廠內管理人員，管理人員於檢查後進行卸料作業，同時確認洩料管連接正常，於卸料管連結之狀態下連鎖柵門以防止車輛駛離。卸料作業完成後，確認卸料管拆除，管理人員再將鑰匙交還給槽車駕駛。其系統實際運作狀況如圖 5 所示[6]。



AI偵測料管連接狀態，拔除狀態才予以放行(綠燈)

圖 5、應用影像辨識技術進行槽車洩料作業實際運作狀況圖

B. 台○企業-影像辨識個人防護具

台○企業已在部分廠區導入應用影像辨識技術檢測個人防護具，包含進入製程區人員是否佩戴安全帽、特殊作業時人員是否穿著防護衣、高空作業人員是否使用防墜器或安全帶等，以降低作業風險。[7]

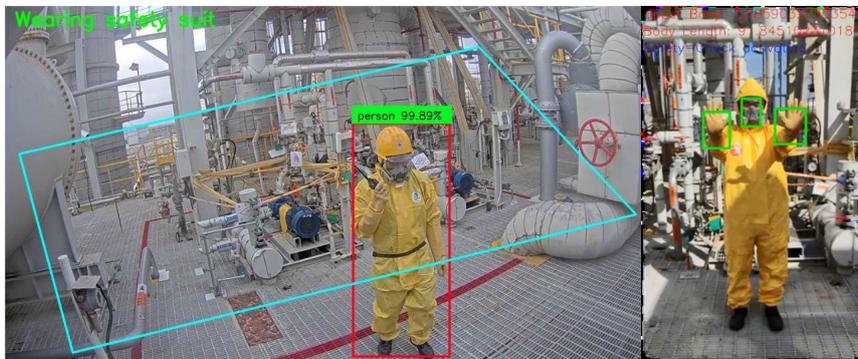


圖 6、應用影像辨識技術進行防護衣辨識圖[6]

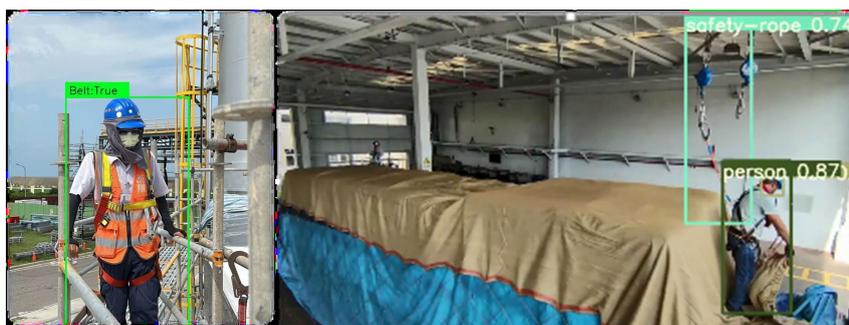


圖 7、應用影像辨識技術對高空作業進行防護具辨識圖[7]

2. 欲解決問題：人員位置與狀態不易掌握

石化工廠設備與管線錯綜複雜，製程區域廣大，不易掌握員工或承攬商在廠區之位置。在人力資源愈來愈缺乏的將來，廠內作業人數可能變少，尤其是在夜間跟假日時段，廠內出現人員單獨作業的情形將增加，此時若有意外事故發生，將無法即時進行救援，故導入人員定位與狀態監控有其必要性，以下將進行說明。

(1) 可導入技術與應用情境

A. 人員定位

對人員位置進行監控，使用穿戴設備如智慧手環、智慧安全帽等，即時追蹤人員位置，甚至可監測人員生理狀態，於異常時發出警報並迅速定位。以目前技術而言，定位技術已為發展成熟之技術，但若加入偵測生理狀態的穿戴裝置則要視現場作業需求(如是否具有防爆性能)而定，屬於發展中技術。

B. 人員跨區警示

除異常狀態外，亦可確認人員是否位於被授權之區域作業，如有跨區行為或闖入禁止進入的區域時，可即時通報管理人員，使其採取後續作為，同上述，定位裝置屬於發展成熟之技術。

(2) 應注意事項

A. 感知層技術

應考量人員穿戴設備以及裝設於製程區之感應器均具備防爆性能，同時亦應考量其電力續航性。

B. 傳輸層技術

應評估製程現場區域是否有訊號干擾、訊號遮蔽之問題，並應選用合適之傳輸技術以避免傳輸效率不佳。定位技術傳輸包含 5G 網路、Wi-Fi 無線網路、藍牙和超寬頻等。亦可藉由在現場的邊緣運算設備進行數據初步處理和分析，減少傳輸數據的量，並降低對核心網路的負擔。有關傳輸技術及對應的傳輸速率相關資訊，可參考 ISO/IEC TR 30164。

C. 數據層技術

應具數據分析能力處理大量且即時之定位資訊。此外，應有足夠之儲存空間，以利未來進行軌跡或區域確認時可進行回溯。

D. 應用層技術

為使管理人員由定位資訊進行後續處理，如通報、搶救、應變等，故上述之系統應進行整合以利使用者與管理者使用，如連結至人員管理平台確認該人員資料，或是連結警報通報系統，供管理人員可即時瞭解異常發生之狀況。

(3) 國內或國際應用案例

台○企業已在部分廠區導入人員定位技術，讓員工隨身攜帶本質安全防爆智慧手錶、防爆定位卡和防爆手機等設備。此外，廠區內也部署了本質安全防爆定位器，這些技術可應用於現場人員及承攬商的作業，並將定位資訊整合至圖資系統，以協助監控現場安全。在緊急事件發生時，如人員靜止不動或主動

按下求救按鍵後，系統能迅速通知其他人員前往事發地點進行救援。同時，監控系統也能將緊急訊號傳送至攜帶設備的員工，進行召回。此外，該系統亦能查詢人員的歷史定位軌跡，並設定電子圍籬，若有員工進入禁止進入或未經授權的區域時，系統將發出警報通知。

3. 欲解決問題：知識傳承與人員訓練效率低

智慧化技術可用於解決知識流失問題，並提升教育效率，以降低安全風險、人員流動性大以及持續學習需求等主要問題。可導入技術與應用情境如下說明。

(1) 可導入技術與應用情境-延展實境技術 XR

透過延展實境技術 XR（含 VR、AR、MR）針對未遵守標準作業程序可能會發生之場景與後果進行模擬，藉由沈浸式的學習環境與體感互動，使作業人員不必真實操作實際製程，因此不會將參與者置於真正的危險之中，即可瞭解操作錯誤帶來的後果，使業者透過虛擬演練即可達到訓練成效。在技術成熟面上，雖已經有部分開發完成，然而在應用上屬於較多通用場景，且對於現場模型之建立技術層面較高，屬於發展中技術。

除模擬之教育訓練外，混和實境 MR 技術亦可使遠端人員藉由作業人員之攝影鏡頭視角瞭解其即時狀況，進行遠端支援並提供現場作業人員相對應的操作建議及指導。在硬體技術層面，此牽涉到裝置防爆性能、續航力、以及網路傳輸等問題，國內較少相關技術產品，屬發展中技術。

(2) 應注意事項

A. 感知層技術

於作業期間使用混和實境 MR 眼鏡、擴增實境 AR 手機或平板等手持裝置，其裝置必須搭配攝影技術，以利遠端指導人員可清楚看見現場作業人員之視角。同時，所選用之器材應具備防爆之性能，以符合製程區之防爆區域規劃。

人員教育訓練部分，其感知層同樣需要攝影鏡頭，無論是穿戴式眼鏡之攝影鏡頭，亦或是用於辨識人員手勢或動作之鏡頭，其為模擬訓練系統最基礎之感知技術。

B. 傳輸層技術

用於作業期間遠端指導之系統，應有足夠之無線網路傳輸速度，如使用 5G 網路將影像畫面回傳給遠端指導人員，接著將遠端指導人員的指導說明傳給現場作業人員。

用於教育訓練之系統，因其多位於固定之訓練場域，且多數位於室內、距離較近處，故常見的傳輸技術為藍牙、Wi-Fi 無線網路等。

C. 數據層技術

用於作業期間遠端指導之系統，經過傳輸後將匯集於雲端伺服器中，將相關資訊進行整合與紀錄。

用於教育訓練之系統，經過傳輸後將匯集於控制主機之中，在此須注意，如建立擬真模型進行訓練，其應依照實際製程現場狀況進行更新，且操作程序必須與實際現場相同，以避免人員訓練後至現場操作錯誤。

D. 應用層技術

用於作業期間遠端指導之系統須與多項技術與資訊進行整合，例如人員位置、操作現場之影像辨識系統等，提升該系統之使用效率。

用於教育訓練之系統須經過需求設計，以符合欲訓練之情境與內容。為使訓練內容更充實，可加入合適之訓練腳本，腳本之程序應與真實作業之操作程序完全一致。為了從過去的錯誤中改進，業者可依照曾經發生之事故進行模擬，以利人員加深印象。

(3) 國內或國際應用案例

A. 環境部化學署-虛擬實境訓練

環境部化學署與工業技術研究院合作，打造裝置在車輛移動載具上，突破場地限制，可機動提供業者毒化災應變實場專業訓練及測試，提升業者因應危害性化學物質災害事故的應處能力[8]。運用 MR、AR、VR 技術之「虛擬實境訓練模組」內建科技廠、石化廠、倉儲及運輸等多種不同樣態的事故場所，導入火災、爆炸、管線洩漏情境，多元情境可交互組合貼近實際事故，提供業者毒化災應變實場專業訓練，強化訓練，提升專業應變人員的技能。



圖 8、虛擬實境訓練模組體驗圖[8]

B. 德國巴斯夫公司-混和實境訓練

巴斯夫公司（BASF）運用混和實境 MR 技術大幅提升了生產過程中的效率和安全性，透過混和實境 MR 技術，操作員能夠即時獲取設備的詳細資訊，快速進行故障診斷和維修，不僅縮短了停機時間，還降低了維護成本，並確保了生產線的穩定運行[9]，此外，遠端專家或資深員工亦可透過 MR 眼鏡看到現場實際情況，並以虛擬標注等方式提供即時指導，避免人員操作錯誤，同時提高設備故障排除與維修的效率。

此外，MR 技術亦用於巴斯夫的員工教育訓練，提供沉浸式學習體驗，使其能快速掌握複雜的操作流程。MR 技術可以虛擬地呈現操作錯誤帶來的後果，且不會讓參與者處於真正的危險之中，增強員工的工作技能和安全意識，亦提升整體運營效率 [10]。



圖 9、巴斯夫公司應用 MR 技術進行教育訓練範例圖[10]

4. 欲解決問題：緊急應變能量不足

在石化工廠中，緊急應變面臨兩個主要問題。首先，應變反應速度至關重要，但由於資訊收集和傳遞狀況不佳，常導致反應延遲，進而使災情惡化、增加損失，甚至造成傷亡。其次，災情發生時，現場可能充滿煙霧、火焰或有毒氣體，讓人員難以安全進入收集情報。這些問題使得傳統手段無法快速獲取資訊，加劇在應變上的困難。為了有效解決這些問題，可導入以下智慧技術。

(1) 可導入技術與應用情境-救災無人載具

第一時間之緊急應變人員在救災現場資訊及狀況不明的情況下，可先行運用無人載具或救災無人載具等科技，深入災害現場探查火場或洩漏地點之情況，偵測危害氣體濃度或提供最新的災區影像，如可見光影像或紅外線影像，供指揮中心作為決策參考。此外，搭配射水裝置之無人載具可接近災區進行初步滅火，以阻止火災擴大。在技術方面，已獲得國內外消防機關或少部分石化工廠採用，且其技術整合已完備。然而，因災區或危險區域環境複雜，可能有通訊問題須克服。救災無人

載具因使用環境嚴苛，且因性能要求使得其造價較高，加上火災事故發生機率低等緣故，較少業者購置，多屬政府消防主管機關所有。

(2) 應注意事項

A. 感知層技術

現階段常見之救災用無人載具常搭配氣體偵測器、紅外線熱顯像或可見光鏡頭等進行環境感知之資訊蒐集。

B. 傳輸層技術

現行主流的無人載具之傳輸技術包含類比訊號、4G 網路、5G 網路、Wi-Fi 等，且可同步應用全球定位系統（Global Positioning System, GPS）進行精準定位。如飛行無人載具，因其具飛行功能與特性，且需即時操控以閃避障礙物之需求，故導入高速之 5G 網路系統可有效減少延遲之情形。

C. 數據層技術

當無人載具透過感測器蒐集資訊時，這些數據可透過網路即時傳輸至雲端做儲存。具備邊緣運算功能的無人載具能夠捕捉並分析影像資訊，立即偵測各類目標，如熱源、火源和洩漏源。在資訊安全方面，資料傳輸過程可能遭駭入而造成隱憂。

D. 應用層技術

無人載具的攝影鏡頭可以結合低延遲的第一人稱視角（First Person View, FPV）數位傳輸、混合實境（MR）和定位技術，使駕駛者能夠以更真實的方式進入災區，執行複雜任務。目前，許多無人載具也採用了人工

智慧技術，不僅能自動導航，還能自主做出決策，選擇最佳移動路線，靈活應對各種情況，例如，迅速變化的災害環境或工廠內的障礙物。無人載具亦可搭載緊急通訊系統，作為機動式防救災行動的通訊平台，提供緊急通訊服務。

E. 其他注意事項

為了進入災區並滿足救災需求，無人載具應具備防爆性能和高續航力。如為飛行無人載具，則必須注意無人載具的飛行管理、管制及相關法規，例如，民用航空法規範的禁航區和限高區等。同時，操作人員應具備相關證照並接受足夠的教育訓練，以避免在救災過程中因無人載具的使用反而引發更多災害。

(3) 國內或國際應用案例

A. 高雄市消防局-消防無人載具

高雄市消防局與業者聯合研發消防無人載具，其出水量每分鐘 4,800 公升、有效射程 80 公尺，以及遙控距離 300 公尺，並具備最高可拖 30 噸重物的能力。其能攀爬超過 35 度的階梯，並搭載可見光及紅外線熱顯像鏡頭，偵測溫度範圍為 -20°C 至 550°C ，以及配置有五用氣體偵測警報器，能偵測可燃性氣體、一氧化碳、氧氣、硫化氫以及有機揮發性氣體。此無人載具還具備 IoT 智慧聯網功能，能將災難現場資訊回傳至指揮平台和戰情室，提供遠端監看和決策依據。主要配置在工業區、工廠及危險物品場所較密集

之區域，藉由新式科技搶救器材可減少消防人員暴露高危險之火災環境，降低發生意外之可能性，同時兼顧火災搶救之任務需求 [11]，消防無人載具真實用於高雄塑膠工廠火災之應用如下圖所示。



圖 10、消防無人載具應用於塑膠工廠火災[11]

B. 日本總務省消防廳-消防無人載具系統

日本政府為解決能源與工業基礎設施如液化石油氣儲存設施發生爆炸與火災時，人員無法接近災害現場等問題，由消防廳消防大學校研究並發展「消防無人載具系統 Scrum Force」，並部署至千葉縣市原市，以因應東日本大地震發生時可能導致之災害。

他們應用飛行與地面之偵查/監視無人載具對災害現場進行移動觀測，將所蒐集之情報透過無線中繼站傳送至指揮車輛系統中，再

經由指揮系統遠端控制射水無人載具進行滅火，達到同步與合作救災之模式。



圖 11、消防無人載具系統 Scrum Force 示意圖[12]



圖 12、消防無人載具系統 Scrum Force[13]

5. 欲解決問題：巡檢時間較長

石化工廠日常巡檢仰賴人工巡檢，不僅需要大量人力，亦可能因人員疲勞而影響效率。石化工廠的大面積廠區亦使巡檢耗時，亦有漏檢的風險。巡檢時間的安排需與正常生產作業協調，可能導致生產效率下降。因此，應藉由有效的解決方案來縮短巡檢時間，以提高工作效率。

(1) 可導入技術與應用情境-智慧巡檢

在目前國內外石化與化學工廠中，巡檢為必須之日常作業，目的為確認製程設備、環境等是否有異常之處，並藉由巡檢記錄進行確認，然而，因工廠面積大且設備管線數量錯綜複雜，人員日常巡檢時間耗費大量人力。同時，巡檢結果可能因人員誤判而有錯誤，且巡檢紀錄若未加以分析以評估相關趨勢，可能導致重要趨勢被忽略。利用防爆手機、防爆平板等進行巡檢時，裝置上之鏡頭可自動判讀與記錄，可有效提升巡檢速度並降低錯誤機率。依照目前技術來看，此類影像辨識技術及巡檢結果之記錄與分析已屬成熟技術。

(2) 應注意事項

A. 感知層技術

為蒐集畫面資訊，應採用裝置之攝影鏡頭，其屬於基礎技術中的感知層技術，應考量製程區域選用具備防爆性能之裝置，且記錄資訊時應考量拍攝角度、解析度等。

B. 傳輸層技術

應具可傳輸功能之設備將紀錄影像以及影像辨識結果傳至平台並留存。一般而言，此類手持裝置均依賴無線網路傳輸功能，且根據使用目的，可能不需要即時傳輸，人員於巡檢後帶到有網路之室內環境再自動上傳即可。因此，相較於其他技術，對傳輸層技術之部署較無傳輸速度之要求，但仍需確認其傳輸之穩定性以避免數據遺失。

C. 數據層技術

應具數據分析能力以處理與分析大量巡檢結果，且應有足夠之儲存空間，以利未來進行資料確認時可回溯。

D. 應用層技術

為使巡檢人員或管理人員由巡檢結果得知相關資訊，並確認製程或設備運作趨勢，必要時應有警示通知，因此，應進行資料庫整合以利使用者與管理者使用。

(3) 國內或國際應用案例

日本三菱化學株式會社-製造設備巡檢

人員每天進行 3 次現場檢查記錄工作，但由於每班人數少，因此，巡檢和異常處理的工作量很大，加上人員訓練困難，且檢查結果仍需手動抄寫、記錄在紙本表格上，使工作時間長。抄寫之紙本文件因無電子化，業者難以利用過去的數據來確認相關製程趨勢。[14]

將巡檢記錄方式改為智慧型設備，透過語音、手動輸入以及搭配智慧眼鏡將影像輸入（如圖 13），直接將抄表內容填入，不僅節省巡檢工作人力，且記錄到異常時可快速通知，以提升維修保養品質。



圖 13、日本三菱化學株式會社工廠設備巡檢[15]

6. 欲解決問題：人力不足

在新聘員工上，由於石化工廠對操作、維護人員的專業技能要求較高，加上高溫環境、化學品危害特性、或噪音等因素使得招聘及留任變得困難。在既有的員工上，從業人員高齡化導致員工不斷減少，加上新進員工訓練時間長，進一步加劇了人力資源的緊張，不僅影響生產效率，還可能對安全管理造成潛在風險。因此，亟需針對性的智慧技術來解決此一問題。

(1) 可導入技術與應用情境-巡檢無人載具

石化產業之人力已逐漸缺乏，然而，目前尚有多數作業為常態、固定週期且有執行必要，其中最常見之作業即為巡檢。利用無人載具進行智慧巡檢，透過無人載具執行日常巡檢工作，且每日 24 小時不間斷，如此一來可減少人力支出，也可使人員進行其他更高級之任務。在技術層面，因石化工廠所要求之防爆性能問題，且因環境複雜，對於自主行走之無人載具（如機器狗等）是一大考驗，是為目前技

術應突破之重點，甚至是待開發之重點技術。

(2) 應注意事項

A. 感知層技術

現階段常見之巡檢無人載具常搭配氣體偵測器、紅外線熱顯像或可見光鏡頭進行環境感知蒐集相關巡檢資訊。

B. 傳輸層技術

現行主流的無人載具之傳輸技術包含類比訊號、4G 網路、5G 網路、Wi-Fi 無線網路等，且可同步應用 GPS 系統以進行精準定位。亦可藉由在現場的邊緣運算設備進行數據初步處理和分析，減少傳輸數據的量，並降低對核心網路的負擔。

C. 數據層技術

巡檢無人載具透過網路即時將數據傳輸至雲端；具備邊緣運算功能的無人載具能夠捕捉並分析影像資訊，立即偵測遠端的各類目標，如熱源、火源和洩漏源。在資訊安全方面，無人載具於資料傳輸時可能帶來資訊風險，甚至可能被駭入成為其他安全隱憂。

D. 應用層技術

目前巡檢無人載具也採用了人工智慧技術，不僅能自動導航，還能自主做出決策，選擇最佳移動路線，靈活應對各種情況。而搭配有機械手臂之無人載具甚至可於異常時協助簡易排除。

E. 其他注意事項

無人載具應具備防爆性能和高續航力，以滿足巡檢需求。

(3) 國內或國際應用案例

A. 殼牌公司-自動巡檢無人載具

殼牌公司於荷蘭鹿特丹能源化學園區設置自動巡檢無人載具於設施周圍行駛[15] (如圖 14)，收集高畫質影片數據，並透過影像辨識系統在雲端進行分析，該系統可以讀取儀表數據、評估潤滑劑液位、自動辨識管線腐蝕或設備損壞等情況並追蹤，亦可偵測設備安全缺失或人員不安全工作行為等問題。透過無人載具、雲端傳輸、人工智慧等技術檢查 19 座大型儲槽浮頂僅花費 20 分鐘，相較傳統人力需耗費數小時進行檢查，顯示其效率超群且同時保障人員安全。



圖 14、殼牌公司自動巡檢無人載具[16]

B. 日本三菱重工-自動巡檢防爆無人載具

日本三菱重工業株式會社開發自動巡檢防爆無人載具[17] (如圖 15)，使其可應用在石油或氣體廠內的危險區域進行巡檢。確保例行與事故發生時的可安全進行巡視，並解

決勞動人力短缺問題。其防爆無人載具配備的四種氣體探測器以進行連續監控，且配有高自由度之機械手臂來拍攝巡檢時應檢查之設備儀器。

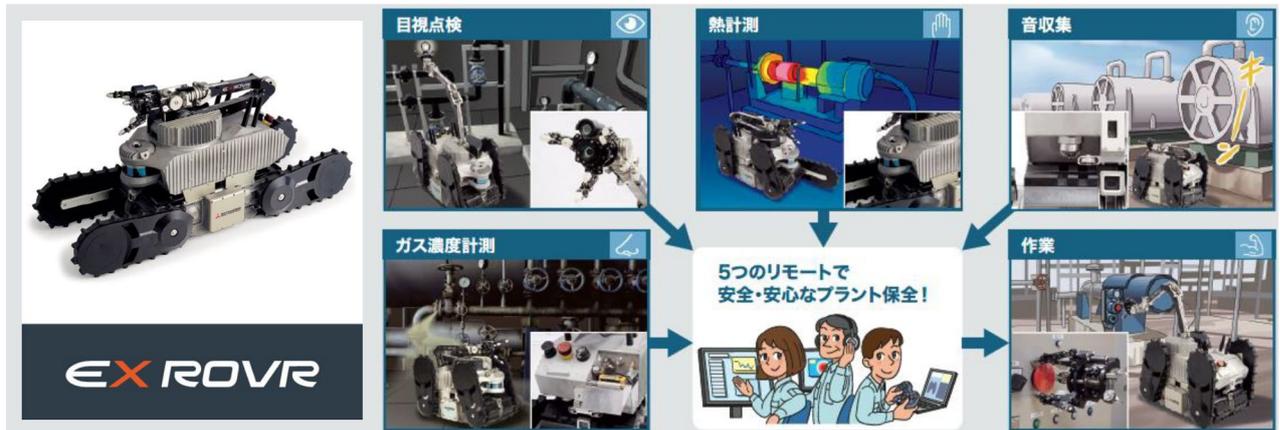


圖 15、三菱重工自動巡檢無人載具[17]

(二)製程管理

1. 欲解決問題：製程最佳化與異常檢測困難

石化工廠在製程最佳化與異常檢測方面可能面臨多重困難。首先，因製程複雜且涉及多個變數與參數，這使得人員在即時調整與最佳化過程中，難以迅速找到最佳操作條件。其次，異常往往依賴人工監控及分析，這不僅效率低下，還容易受到人為因素影響，導致遺漏或誤判。此外，依靠人員進行數據分析可能使得異常情況無法即時發現，而增加了潛在安全風險。因此，亟需引入自動化與智慧化技術，以提升製程最佳化與異常檢測的效率與準確性。

(1) 可導入技術與應用情境

A. 製程參數最佳化

在化工製程中，導入自動調整參數的控制系統能顯著提升安全性和製程效率，透過技術

如比例積分微分控制器（Proportional-Integral and Derivative Control, PID）、機器學習與演算法，以及 SCADA 系統，能即時監控關鍵參數並自動調整，確保產品品質穩定，降低人為錯誤和資源浪費。此外，這些系統能快速反應變化的市場需求，提升生產靈活性，最終達到更高的運營效益製程最佳化。

應所需處理之資料量龐大，且須有可取代人員之判斷能力，又因石化工廠之特性，需要有極高可靠度之製程調整系統能力，以避免重大危害發生，此為目前國內外技術仍須突破之部份。

B. 人工智慧助理

在工廠中導入人工智慧助理，藉由語音或文字辨識技術，理解人員問題並提供對應解決方案，如同一位熟悉工廠的資深員工回應人員的各種問題。在技術層面，要達到完全正確則需要大量模型與資訊進行訓練，且如同上述，必須確認其回答為正確，以避免人員誤信而造成錯誤，同時，生成式語言技術尚未完善，因此屬於發展中技術。

C. 數位孿生

利用數據和模擬技術，建立實體工廠虛擬模型，藉由整合工廠即時數據、物聯網（IoT）感測器和人工智慧（AI），使得工廠的運行狀態、設備性能和生產流程能夠在虛擬環境中進行即時監控和分析。因數位孿生所需之資料量非常龐大，且必須建立與工廠相同之

數位模擬分身，目前國內外技術仍有進步空間，屬於發展中技術。

(2) 應注意事項

A. 感知層

感知層部分，應於製程工廠中部署足夠數量之溫度、壓力、流量、pH 值等感測器，已確認目前製程之狀態。且應有相關之執行設備如閥件、泵浦、加熱器等控制設備。

B. 傳輸層

應建立高速且可靠之網路基礎設施，如以乙太網路、光纖網路、無線網路等，用於連接感測器與控制系統以及傳輸數據層資料；亦可藉由在現場的邊緣運算設備進行數據初步處理和分析，減少傳輸數據的量，並降低對核心網路的負擔。

C. 數據層

應有可儲存歷史數據及即時數據的數據庫系統，並同時包含用於數據處理與分析的軟體，如機器學習模型和統計分析工具。

D. 應用層

藉由串聯 SCADA 系統或 DCS 系統，即用於即時監控及控制製程，同時亦應有決策系統，可基於數據分析之報告與預測結果，有效幫助管理階層做出決策；如有異常亦可提早於極早期徵兆出現時進行預防通知甚至進行控制。

(3) 國內或國際應用案例

A. 日本 ENEOS 石油公司-自動控制精餾塔

JSR 株式會社與橫河電機株式會社

(YOKOGAWA) 合作，將生產製程單元導入人工智慧 AI 技術，並利用自動控制技術，自動控制閥件開度並進行調節，連續 35 天對 ENEOS 石油公司之丁二烯精餾塔進行了自動控制，此方案能夠使人員減少進入製程區之風險、減輕作業人員負擔，不僅減少了工作量，有助於防止人為錯誤，還降低人員的精神壓力並改善安全性。此外，亦控制維持產品品質所需的複雜狀態，並確保蒸餾塔中的液體保持在適當水準，同時充分利用廢熱作為熱源。這種方法穩定了品質，獲得高產量並節省了能源。



圖 16、ENEOS 石油公司化工廠蒸餾塔[18]

B. 美國 ExxonMobil-Sofia 人工智慧助理

美國艾克森美孚石油公司 (ExxonMobil) 運用人工智慧之生成式 AI 技術來提升操作安全，該公司開發名為 Sofia 的人工智慧助理，每日分析大量數據，協助煉油廠提高生產效

率，同時減少能源消耗。Sofia 亦可透過語音識別技術，幫助操作員最佳化高價值燃料與化學品的日常生產[20]。

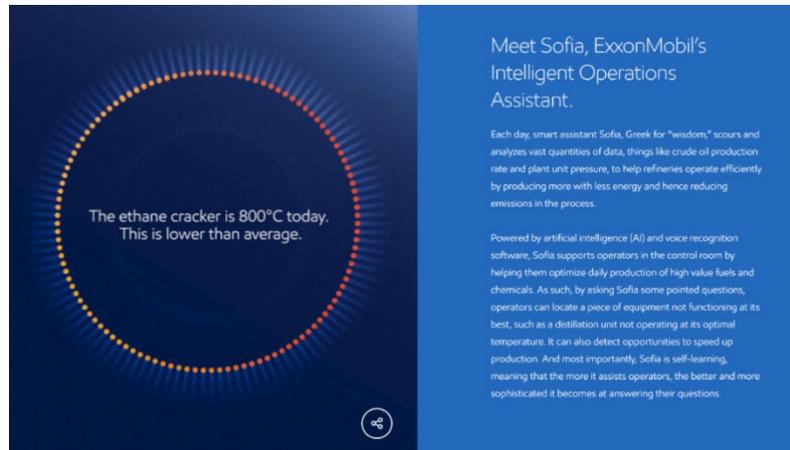


圖 17、艾克森美孚石油公司人工智慧助理 Sofia 示意圖[20]

2. 欲解決問題：缺乏即時監控與診斷

石化工廠設備的多樣性與複雜性使得統一的診斷平台難以適用於所有設備，增加了整合難度。再者，許多工廠缺乏有效的數據管理系統，導致數據品質參差不齊，影響診斷的可靠性。因此，石化工廠需要加強基礎設施建設與數據收集與管理能力，以提高設備維護的效率和準確性。

(1) 可導入技術與應用情境-數位孿生

隨著工業 4.0 的推進，現場維修操作的遠端診斷已成為提升設備維護效率和降低成本的重要手段。數位孿生模型 (Digital Twin) 是現實世界設備或系統的數字化複製體，能夠模擬和反應實體設備的運轉狀態，數位孿生與協同作業平台的導入，使得專家能夠藉由遠端診斷工具，對現場設備進行即時監控與診斷，以制定出有效的處理對策。

如同前述，因數位孿生所需之資料量非常龐

大，且必須建立與設備相同之數位模擬分身，此也為智慧技術推動智慧石化工廠之終極目標，然目前國內外技術仍有進步空間，故屬於發展中技術。

(2) 應注意事項

A. 感知層

感知層是數位孿生系統中最接近物理世界的一層，負責即時偵測與收集各種參數與狀態資訊，感測器類型如下說明：

- a. 安裝大量感測器在化工廠的各個關鍵點或設備管線，用於監測壓力、溫度、流量、液位、濕度、振動等參數。
- b. 裝設氣體探測器以檢測有毒氣體和易燃氣體的洩漏。有即早期偵測效應，應根據化學品設置警報濃度
- c. 設置各類型影像攝影機如紅外線影像、或可見光攝影機，以蒐集設備、管線與廠區畫面進行即時監控。影像識別應有足夠分辨率，例如距離 10 公尺下，能辨識 1027*768 解析度影片內的異常缺失。

B. 傳輸層

應建立高速且可靠之網路基礎設施，如以乙太網路、光纖網路、無線網路等，用於連接感測器與控制系統以及傳輸數據層資料；亦可藉由在現場的邊緣運算設備進行數據初步處理和分析，減少傳輸數據的量，並降低對核心網路的負擔。有關傳輸技術及對應的傳輸速率相關資訊，可參考 ISO/IEC TR 30164。

C. 數據層

建立高容量之數據儲存系統以儲存化工廠運行中的大量歷史數據與即時數據以利後續使用或回溯。

D. 應用層

選擇合適的 AI 演算法（如機器學習、深度學習、回歸分析等）對大量數據進行快速且準確的分析，以建立數位孿生模型並執行遠端診斷，提高診斷的準確性與反應速度，並用於預測性分析、故障診斷、製程最佳化建議等。相關演算方法之詳細技術說明可參考國際標準，如：ISO/IEC TR 24372、ISO 23053。應用層面包含了多項系統，如設備監控與管理系統、製程最佳化系統、遠端診斷系統、安全管理系統、環境監測系統、可視化與模擬工具等，藉由一系列之系統整合，將工廠之分身建立出來，供管理人員進行工廠監視、參數調整試驗等，落實化工廠的智慧化管理，並提高生產效率、降低運營成本、確保符合安全規範。因此，前述系統應開放通道，讓系統間可相互串聯資料。

(3) 國內或國際應用案例

A. 殼牌公司-人工智慧與數位孿生

殼牌（Shell）公司在推動數位轉型的過程中，已創建整合數位生態系統，將人員、製程和技術融為一體[16]，並最大程度降低製程安全與可靠性風險，並採用人工智慧 AI 於檢測到異常情況時向工程師發出警報，此外，過程中可獲得大量有價值的數據，透過機器

學習監控營運中的 10,000 多台設備，幫助殼牌公司最大限度地提高利用率並防止意外停車狀況出現。透過數位孿生技術，可提供資產在其生命週期內的實體元素與虛擬動態行為。數位孿生能夠透過數位方式來複製與模擬實體資產的條件，進而使員工能夠在虛擬環境中採取行動並做出決策，而虛擬環境可以快速反應在現實世界中。



圖 18、殼牌公司數位孿生示意圖[16]

B. 印度 Tata 化學-數位孿生

Tata 化學有限公司在其米塔普爾工廠的碳酸化塔與鍋爐中採用了數位孿生技術[19]，因數位孿生技術減少製程參數變異並提高生產率，以減少了顯著的成本（每年節省約 60 萬美元的成本），數位孿生系統可即時調整參數以提升鍋爐效率，並確保碳酸化塔的最佳操作狀態。

3. 欲解決問題：化學物質洩漏

由於石化工廠存在有大量化學物質，若發生洩漏事件可能對環境與人員安全造成重大威脅，若洩

漏監測系統不夠完善，無法即時檢測洩漏情況，導致事故未能及時發現與處理。為了降低洩漏風險，石化工廠亟需加強洩漏管理，完善監測系統，以確保生產安全和環境保護，以下是可應用之智慧化技術項目。

(1) 可導入技術與應用情境-影像辨識氣體洩漏

利用攝影機之成像技術捕捉可見光譜與紅外線光譜探測廠區遠距離之氣體洩漏現象，以影像辨識技術監測氣體洩漏。攝影鏡頭可以安裝在高塔上以及可轉動之平移機座上，使得可監視的範圍高達 360 度，確認到有洩漏之情況出現時，立即檢測出氣體洩漏位置和洩漏濃度並立即通知與評估洩漏情況，以防止人員暴露在潛在危險的環境中。該技術為軟硬體之整合，目前均已有國內外石化工廠導入且成熟商品應用案例，屬於成熟技術。

(2) 應注意事項

A. 感知層

使用高解析度且具備防爆性能之攝影機用於拍攝製程現場環境，並捕捉潛在的洩漏情況；或是利用紅外線熱成像儀檢測氣體洩漏時的溫度變化，如氣體洩漏後因絕熱膨脹導致吸熱，如氣體雲成像（Gas Cloud Imaging, GCI）。同步搭配區域之氣體檢測器配合影像辨識系統，可提供即時的氣體濃度數據。

B. 傳輸層

應建立高速且可靠之網路基礎設施，如以太網路、光纖網路、無線網路等，用於連接

感測器與控制系統以及傳輸數據層資料；亦可藉由在現場的邊緣運算設備進行數據初步處理和分析，減少傳輸數據的量，並降低對核心網路的負擔。

C. 數據層

應有可儲存歷史與即時影像數據及檢測結果數據之數據庫系統，並同時包含用於數據處理與分析的軟體，如機器學習模型和統計分析工具。

D. 應用層

包含人員監控界面、報告生成工具與緊急應變通報系統，其中監控界面與緊急應變系統可用於即時顯示影像，並藉由檢測結果自動啟動應變計畫，並通知相關人員，確保及時處理潛在的洩漏事件，供操作人員能夠快速應變。而報告生成工具則可自動生成洩漏事件以及數據分析報告，作為管理決策與事件紀錄之依據。

(3) 國內或國際應用案例

A. 台○公司-管線洩漏及銹蝕 AI 辨識

台○公司仁武 VCM 廠、電子組與保養中心共同合作開發 AI 辨識系統，對於視線遮蔽、不易到達或是高風險製程的管線運用 AI 影像辨識技術進行全天候自動監測。以 360 度旋轉式攝影機來監測腐蝕與保溫監測，另亦採用解析度 1080p 之固定式攝影機對氣體洩漏進行偵測，將兩類影像上傳至管線安全影像監測系統，運用 AI 影像模型進行辨識，如有異常則即時通報以立即檢修或規劃修

繕保養作業，實際影像辨識圖如下圖所示。



圖 19、氣體洩漏 AI 辨識圖[21]



圖 20、管線銹蝕 AI 辨識圖[21]

B. Honeywell-氣體雲成像系統

Honeywell 公司針對石油和天然氣、石化和電力行業發展光譜氣體雲成像（Gas Cloud Imaging, GCI）系統，用於對氣體洩漏以及煙流的大小及方向進行快速辨識。該系統不僅可隨時不間斷的即時自動監控、辨識及進

行量化，亦可快速啟動安全系統警報與自動報告事件規模，將數據以視覺化方式呈現，並快速製作事件分析報告。目前該系統已受到英國石油（BP）公司、殼牌（Shell）公司、陶氏（Dow）化學公司等大型石化企業採用。

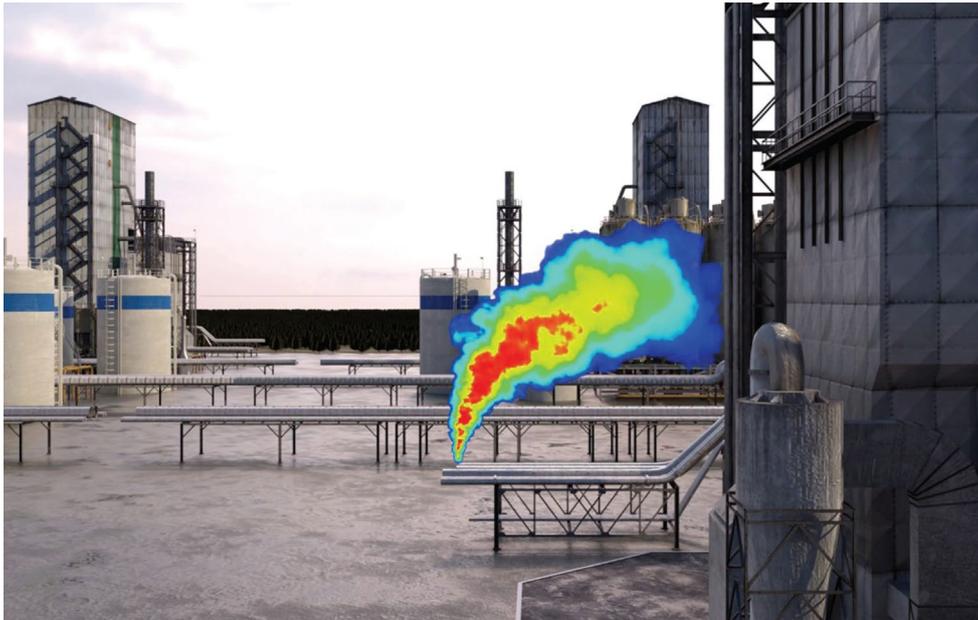


圖 21、Honeywell GCI 系統偵測示意圖[22]

(三)設備管理

1. 欲解決問題：缺乏設備性能與狀態監測

石化工廠在設備性能狀態監測方面面臨多重挑戰。首先，工廠內設備種類繁多且運行環境複雜，使得監測系統的設計與運作變得困難。其次，傳統的監測方法往往依賴人工檢查，效率低下且容易受到人為因素的影響，導致數據準確性不足。此外，數據收集的延遲及分析能力的不足，使得無法及時發現設備異常，導致故障風險與維護成本增加。再者，缺乏先進的預測性維護技術，導致設備潛在問題無法即時辨識與處理。因此，引

入智慧化監測技術可提升數據收集與分析能力，以實現更高效的設備性能狀態監測，確保生產安全和穩定運行。

(1) 可導入技術與應用情境-設備狀態監測

設備性能狀態監測技術透過持續監控設備數據，建立正常運行的數據基線。當設備偏離基線出現異常時，系統會即時發出預警。例如，振動感測器能監測設備振動，確認軸承損壞、不平衡等問題，此技術可應用於各種轉動機械如壓縮機、泵浦或馬達中，使工廠能夠在設備故障問題更加嚴重前進行維護或維護，避免停機或事故發生。對於設備量測技術確認設備即時狀態，屬於已成熟技術。

(2) 應注意事項

A. 感知層

感測器需要安裝在能夠有效蒐集關鍵數據的位置，例如：軸承、動力源等。同時，因感測器使用於製程區中，因此必須確保這些設備具備防爆性能，以避免導致火花引發爆炸事故。除此之外，感測器之採樣頻率，宜以可顯示設備失效模式之特徵。如，轉動設備的失效模式為可能出現在高頻狀況者，採樣頻率應至少兩倍頻率作為感測器之採樣頻率。

B. 傳輸層

感測器安裝時需確認傳送訊號無干擾，故須依照需求要選擇有線或無線傳輸技術，並確保傳輸路徑不會受到其他設備或環境因素的干擾。且應確保網路傳輸速度可達到即時

監測之功能，如果網路速度或穩定性不足，可能導致數據延遲，影響監測系統的即時性和準確性。因此亦可藉由在現場的邊緣運算設備進行數據初步處理和分析，減少傳輸數據的量，並降低對核心網路的負擔。有關傳輸技術及對應的傳輸速率相關資訊，可參考 ISO/IEC TR 30164。

C. 數據層

藉由感測器蒐集之資料，將設備資訊匯集於儲存平台中，該平台宜獨立於 DCS 系統。此平台應包含該設備之歷史資訊以及其基線資訊，因此須具備可長期記錄(至少五年)運作數據之容量，且經降頻所取得的數據，應可還原成原始數據此外，透過訓練完成之模型，亦可於數據層中比對其故障模式，並藉由可視化面板提供相關資訊供管理人員瞭解設備現況。同時，能針對各別不同之系統如 SCADA、ERP 等進行整合。因此於設計時應考慮未來擴展的需求。

D. 應用層

設備性能診斷，應能反應設備真實狀況，可採用燈號或百分比來呈現總體結果。此外，應根據實際模型診斷的正確性，不斷調整應用模型及策略，且應持續使用相關數據進行機器學習模型訓練，以提高異常檢測的準確性。

(3) 國內或國際應用案例

A. 殼牌公司-振動感測器來監控關鍵設備

殼牌公司在其位於德國的一座煉油廠中，安

裝了數百個振動感測器來監控關鍵設備的運行狀況，該振動感測器為加速規，其採樣頻率超過 1kHz。這些感測器即時監測設備的振動數據如振動總量、頻譜分析、包絡線分析等，並將數據傳輸到中央控制室進行分析，如果檢測到異常，系統會自動觸發警報，並通知維護人員進行檢查和修復。

B. 台○企業-線上即時監測技術

在國內，台○企業已開始將線上即時監測技術應用於其化工生產設施中。台○企業的多個生產基地已經部署了振動感測器（該振動感測器為加速規，其採樣頻率超過 1kHz）與溫度感測器，並用於監控壓縮機和大型泵等設備的運行狀況。這些設備的數據被整合到企業所屬之雲端平台上，並且利用人工智慧進行故障預測分析，顯著提升了設備運行效率與安全性。

2. 欲解決問題：缺乏失效模式與故障部位診斷

石化工廠設備結構複雜，且故障模式多樣，這使得準確辨識與故障診斷變得困難。其次，傳統的診斷方法往往依賴人員經驗與判斷，容易導致經驗不足誤判或遺漏而延誤維修時間。此外，數據收集和分析不足，使得無法即時獲得設備關鍵運作參數，降低故障預測的準確性。再者，許多工廠缺乏有效的故障數據庫和學習機制，無法從過去故障中獲取經驗，影響未來的維護策略。因此，需要採用先進的診斷技術與數據分析方法，以提升失效模式辨識與故障部位診斷的效率，確保設備穩定運行和生產安全。

(1) 可導入技術與應用情境-故障診斷及預測

在化工製程設備運行中，失效模式與故障部位診斷技術是確保設備可靠性的關鍵工具。此技術透過數據驅動分析以鑑別潛在故障並確定具體故障部位，而機器學習和大數據分析在此過程中扮演重要角色，其可從歷史數據中建立模型並預測未來故障。例如分析轉動機械的振動信號可識別軸承損壞、齒輪磨損等失效模式，及時發現問題並預警，以便進行維修。在技術成熟度方面，應其牽涉大量數據與機器學習，且應可提供準確之預測，其技術發展仍有進步空間，因此屬於發展中技術。

(2) 應注意事項

A. 前置作業

為了實現有效的故障診斷，企業應根據國際標準組織所頒布之 ISO 14224 標準[23]建立設備階層結構，藉由結構化的方法，可以更好地分析故障模式，並確定故障的具體位置。

B. 感知層

感測器需要安裝在能夠有效蒐集關鍵數據的位置。同時，因感測器使用於製程區中，因此必須確保這些設備具備防爆性能，以避免導致火花引發爆炸事故。防爆規格應滿足 CNS 3376（或 CNS 15591）系列、國際標準 IEC 60079（或 IEC 61241）。除此之外，感測器之採樣頻率，宜以可顯示設備失效模式之特徵。如轉動設備的失效模式為可能出現在高頻狀況者，採樣頻率應至少選擇兩倍頻率作為感測器之採樣頻率。

C. 傳輸層

感測器安裝時需確認傳送訊號無干擾，故須依照需求要選擇有線或無線傳輸技術，並確保傳輸路徑不會受到其他設備或環境因素的干擾。且應確保網路傳輸速度可達到即時監測之功能，如果網路速度或穩定性不足，可能導致數據延遲，影響監測系統的即時性和準確性。亦可藉由在現場的邊緣運算設備進行數據初步處理和分析，減少傳輸數據的量，並降低對核心網路的負擔。有關傳輸技術及對應的傳輸速率相關資訊，可參考 ISO/IEC TR 30164。

D. 數據層

診斷系統的效果很大程度上依賴於可用的數據品質，包含詳細的設備運行紀錄、維護歷史、過去的故障模式等。任何數據誤差或不完整都可能導致錯誤的診斷結果，因此應確保收集的數據足夠全面且準確，因此必須定期進行數據清理和驗證。

另外，可導入資訊管理平台（Data Management Platform, DMP）、電腦化維修管理系統（Computerized Maintenance Management System, CMMS），蒐集整理相關資訊以彙整設備運作期間的檢查測試維修保養資料。

E. 應用層

診斷模型應能依照 ISO 14224 [23]或海陸可靠性數據（Offshore and Onshore Reliability Data，縮寫為 OREDA）提出的設備架構，

提前診斷設備的失效模與故障部位。此外，應根據實際模型診斷的正確性，不斷調整應用模型及策略，且應持續使用相關數據進行機器學習模型訓練，以提高異常檢測的準確性。

不同的設備和故障模式可能需要不同的 AI 演算法來進行分析，以確保故障診斷的準確性。常見的演算法包含支持向量機 (Support Vector Machine, SVM)、決策樹、神經網路等，演算法的選擇還應考慮到運行效率和模型的可解釋性，特別是在需要即時診斷的應用中。相關演算方法之詳細技術說明可參考國際標準，如：ISO/IEC TR 24372、ISO/IEC 23053。

(3) 國內或國際應用案例

在美國，奇異電氣公司 (General Electric Company, GE) 利用機器學習技術來進行航空發動機的失效模式診斷。該公司收集了大量的歷史運行數據，並通過數據分析識別出各種失效模式，如燃油系統故障、渦輪葉片損壞等。這些分析結果不僅提高了發動機的可靠性，還顯著降低了維護成本。

3. 欲解決問題：無設備與管線腐蝕預測

石化工廠之設備與管線腐蝕型態之多樣性，使得傳統檢測方法難以及早發現問題。此外，複雜的腐蝕環境和缺乏系統性的數據收集與分析，進一步影響了腐蝕風險的預測準確性。因此，石化工廠亟需引入先進的診斷技術和數據分析工具，以提高腐蝕狀態的檢測與預測能力，進而制定更有

效的維護策略，確保設備與管線的安全可靠運作。

(1) 可導入技術與應用情境-腐蝕診斷及預測

化工廠設備常年暴露於製程高溫、高壓、甚至腐蝕性介質等環境下，設備出現腐蝕之情況是不可避免的。傳統的腐蝕檢測方法(如拆保溫、搭架、非破壞檢測等)往往需要停機檢修，不僅耗時耗力，且必須中斷生產，造成經濟損失石化製程和設備複雜，難以全面取得製程各點腐蝕狀態數據。因此先建立線上腐蝕監測系統並將參數量化，且須累積數據，在經過數據分析處理後，最後建立腐蝕狀態之預測模型。透過 AI 模型判斷並準確預測大量腐蝕參數和數據，可省去專業人力耗時分析判斷和預測腐蝕狀態，實現製程腐蝕快速預測、預警、反應控制。

在技術成熟度方面，同前述之故障診斷，應其牽涉大量腐蝕數據與機器學習，且應可提供準確之預測，因此其歸類為發展中技術甚至是待開發技術。

(2) 應注意事項

A. 感知層

藉由安裝腐蝕傳感器(如電化學傳感器、超聲波傳感器)以檢測設備或管線的腐蝕狀況；蒐集對腐蝕速率有直接影響之環境參數(如溫度、壓力、濕度等)，也應一併納入數據收集。此外，也可藉由攝影或監控進行視覺檢查，辨識出可見的腐蝕損傷。感測器所裝設的位置，應能反應腐蝕劣化機制的好發位置。有關感測器部屬位置之決定，可參考美

國石油協會所公布的各類良好工程實務做法，如：美國石油學會（American Petroleum Institute, API）所發行之 API 510 等。

B. 傳輸層

應建立高速且可靠之網路基礎設施，如以乙太網路、光纖網路、無線網路等，用於連接感測器與控制系統以及傳輸數據層資料；亦可藉由在現場的邊緣運算設備進行數據初步處理和分析，減少傳輸數據的量，並降低對核心網路的負擔。有關傳輸技術及對應的傳輸速率相關資訊，可參考 ISO/IEC TR 30164。

C. 數據層

應有可儲存歷史與即時數據及檢測結果數據之數據庫系統，並同時包含用於數據處理與分析的軟體，如機器學習模型和統計分析工具，常見的演算法包含回歸分析、時間序列分析、神經網路等。

D. 應用層

應有用於數據處理與分析軟體，如機器學習模型和統計分析工具，常見的演算法包含回歸分析、時間序列分析、神經網路等。相關演算方法之詳細技術說明可參考國際標準，如：ISO/IEC TR 24372、ISO 23053。

根據歷史數據與即時數據，建立腐蝕預測模型，提供預測結果。而預測結果可提供維護與決策建議，幫助管理層制定相關設備管線維修保養計畫。前述預測方向如腐蝕劣化機制、發生原因說明、建議非破壞檢測方法、

預防機制。

(3) 國內或國際應用案例

A. 殼牌公司-預測腐蝕

殼牌公司 (Shell) 已推動人工智慧進行腐蝕風險建模與分析[24]，利用數據分析技術來預測內部腐蝕與侵蝕，以做為檢查與維護保養優先考量參考，其透過使用各種收集的現場數據，並藉由人工智慧的幫助，以預測腐蝕與侵蝕並在洩漏發生之前辨識出劣化情況。透過分析結果，操作員可以降低檢查成本與安全風險，使相關泄漏成本最小化，並進行安全生產。此外，殼牌公司人工智慧對腐蝕進行風險建模與分析，降低了對人力資源、繁瑣的現場檢查的需求，顯著的降低時間與成本。

B. Honeywell-腐蝕預測軟體

Honeywell 旗下專業軟體開發商 Honeywell Forge 開發之腐蝕預測軟體名為 Honeywell's Predict® Corrosion Suite，其功能為預測合金材料在不同製程環境的量化腐蝕數據。該軟體可將製程條件數據（如溫度、壓力、流速和化學成分等）、材料特性（如材料類型、合金成分和抗腐蝕性能等）、歷史腐蝕數據（如過去的腐蝕記錄及維護歷史等）建立預測模型，且可模擬不同製程操作條件下對腐蝕的影響[25]。

4. 欲解決問題：現場巡檢效率不彰

石化工廠巡檢效率及成效受到工廠環境複雜或危險性、巡檢人員的專業知識等影響，可能使得

無法發現設備的潛在問題，影響檢查的全面性和準確性。再者，巡檢頻率不足可能導致一些安全問題未能及時發現和排除，因此，石化工廠可藉由導入先進的巡檢技術，以提高巡檢效率及設備安全性。

(1) 可導入技術與應用情境-巡檢無人載具

定期巡檢是工業設施中確保設備運行穩定和安全的重要一環。隨著科技的進步，無人載具已經成為巡檢工作的理想工具，特別是在難以接近或對人員有潛在危險的區域中。

無人載具智慧巡檢系統能夠在預定的時間內自動進行巡檢，並將收集到的影像和數據即時傳輸至雲端平台進行分析。例如，在石化廠中，飛行無人載具可以進行高空管線、煙囪等難以到達區域的巡檢，透過高解析度攝影鏡頭或紅外線感測器來檢測設備是否存在異常，如裂痕、腐蝕或溫度異常等。無人載具還可以攜帶多種感測器，如氣體探測器，來檢測洩漏或其他危險情況。

在技術層面，因石化工廠之安全要求，且因環境複雜，對於自主行走之無人載具是一大考驗，而對於飛行無人機則有防爆性能問題上無法有效解決，均是目前技術突破之重點，故將其訂為發展中技術。

(2) 應注意事項

A. 感知層技術

現階段常見之巡檢無人載具常搭配氣體偵測器、紅外線熱顯像或可見光鏡頭進行環境感知蒐集，蒐集相關巡檢資訊。相關應用無

人載具進行檢查的標準參考 ASME B30.32。
對於數值差異的解析，應有足夠的分辨率。

B. 傳輸層技術

現行主流的無人載具之傳輸技術包含類比訊號、4G 網路、5G 網路、Wi-Fi 無線網路等，且可同步應用 GPS 系統以進行精準定位。有關傳輸技術及對應的傳輸速率相關資訊，可參考 ISO/IEC TR 30164。

C. 數據層技術

巡檢無人載具透過網路即時將數據傳輸至雲端；具備邊緣運算功能的無人載具能夠捕捉並分析影像資訊，立即偵測遠端的各類目標，如熱源、洩漏源、火場等溫線分布等。

D. 應用層技術

目前巡檢無人載具也採用了人工智慧技術，不僅能自動導航，還能自主做出決策，選擇最佳移動路線，靈活應對各種情況。除此之外，亦須考慮無人載具的功能安全，如通訊功能、控制功能、預防碰撞功能，如為飛行無人載具，則應注意其飛行功能、迫降功能、閃避危險功能等。

E. 其他注意事項

無人載具應具備防爆性能和高續航力，以滿足巡檢需求。使用飛行無人載具則須確認其飛行路徑並擬定飛行計畫，並確認相關法令規範；操作人員須有相關操作資格方可進行操作。除此之外，應針對無人載具實施失效模式、關鍵性與影響性分析 (FMECA)，以確認該無人載具失效時，對應用場域的影響

性及關鍵程度。

(3) 國內或國際應用案例

英國石油公司-油田管線無人飛行載具巡檢
西元 2014 年 6 月，英國石油公司（British Petroleum, BP）與美國加州 AeroVironment 公司簽署協議，在阿拉斯加普拉德霍灣（Prudhoe Bay）油田地區進行飛行無人載具商業應用，這是美國首次獲得政府核准的大規模商業無人飛行載具應用案例。AeroVironment 公司的無人飛行載具操作員進行了可見光、紅外線以及光學雷達數據採集和分析，監測普魯代灣的基礎設施，其中包含 1,900 公里的管線 [26]。

當時所使用的手投式無人飛行載具是 Puma™ AE 型（如圖 12）[26][27]，採用鋰離子電池，翼展 2.8 米、重 6.1 公斤。最長飛行時間為 3.5 小時，其防水性能良好且可緩慢低空（約 120 至 150 米）飛行，最大航程達 20 公里。這款無人飛行載具使 BP 獲得了高精度的位置地圖，有助於管理普拉德霍灣油田。



圖 22、Puma™ AE 型無人飛行載具

三、現有基礎技術與進階技術

前述內容是以智慧技術的應用範疇進行衍生，以欲解決問題為主軸，提供智慧技術的選擇，並同時說明應用時應注意事項；下列表格，則是將目前現有智慧安全技術，依據技術發展成熟程度，分為基礎技術（如表 2）與進階技術（如表 3）進行簡要應用範例敘述與說明，提供石化業者瞭解目前相關技術開發度，作為後續推動導入之實務參考。

基礎技術通常指的是那些已經成熟且廣泛應用的技術，這些技術的導入相對簡單，成本較低，適合初步提升安全防護能力的企業。相對地，進階技術則是指那些仍在發展中或需要較高技術門檻的技術，進階技術能提供更深層次與更高等級的應用，但其導入成本和技術要求也相對較高。在此要注意的是，其基礎與進階技術之區分可能會隨著技術項目導入深度與應用技術項目多寡而有所分別，實際之導入仍要視各企業/公司/工廠之規劃而訂。

此外，因智慧安全技術發展快速，且其具有大量未知可開發之領域範圍，隨著科技的進步，新技術不斷湧現，這也意味著企業在選擇導入技術時，需保持靈活性，隨時調整其技術路線和實施策略。故表中僅列出部分應用範圍，實際內容並不侷限於表內容所列。在此僅提供範例供讀者參考，以幫助業者更全面地理解智慧安全技術的潛力和應用。

表 2、基礎技術項目之可應用範例與效益

技術項目	應用範例	基本條件	預期效益
數據管理平台	人員管理、化學品管理、設備管理、環保管理等。	透過由數據層所建立之平台收集數據並搭配可視化功能。	提供即時資訊、整合資料、減少資料遺失等。
人員定位系統	當人員有異常狀況時，系統可自動發出警告	透過物聯網 (IoT) 即時收集人員位置進行追蹤和定位，或收集生物特徵以確認人員生理狀態。	降低管理負擔、異常時可及早進行搶救等。
電子圍籬	危險管制區域 (如局限空間、吊掛作業等)、禁止進入區域 (如危險性工作場所、製程區等) 等。	利用物聯網 (IoT) 與具人工智慧 (AI) 之攝影機辨識關注物體是否位於設定區域內。	降低管理負擔、減少事故發生等。
基礎影像辨識	防護具管制、區域環境監視等。	利用物聯網 (IoT) 與具人工智慧 (AI) 之攝影機辨識關注物體之樣態與種類。	降低管理負擔、減少事故發生等。
智慧巡檢	日常例行巡檢、設備管線巡檢等。	透過手持裝置取得資訊並藉由雲端技術進行儲存與分析。	減少人力及時間成本、降低人員失誤等。
氣體偵測	廠區周界監測、重點製程區域監控。	透過感知層 (氣體感測器和攝影機等) 串聯物聯網 (IoT) 即時收集可燃性、毒性氣體等危險物質並即時監控。	落實早期洩漏處置、避免大量洩漏、提早應變時間等。
設備、管線狀態監測	監測高風險管線 (含地下管線) 或關鍵設備。	透過物聯網 (IoT) 即時收集感知層 (感測器、攝影機等) 測量參數。	減少人力成本、降低事故發生等。

表 3、進階技術項目之可應用範例與效益

技術項目	應用範例	基本條件	預期效益
延展實境 XR (AR/VR/MR)	用於製程現場遠端支援或人員教育訓練	利用延展實境 XR (AR/VR/MR) 技術	提升訓練效果、減少人員失誤等。
進階影像辨識	確認防護具穿戴或使用正確性、辨識人員操作等。	結合物聯網 (IoT)、雲端技術、人工智慧 (AI) 技術，以確保目標辨識的高準確性 (90% 以上) 和異常監控的高效性，並可辨識關注物體符合管理標準規範。	降低管理負擔、減少事故發生等。
無人載具	於高空或危險區域，對設備和管線進行自動巡檢與維護	利用可搭載感測器 (如紅外線熱像儀、超聲波探頭等) 之無人載具與物聯網 (IoT) 技術，並透過 AI 技術自動辨識、分析與診斷異常情況。	提升巡檢效率、減少人員進入危險區域的風險等。
設備、管線故障診斷及預測	進行設備與管線管理並藉此安排維修保養工作	利用物聯網 (IoT)、雲端技術、人工智慧 (AI) 等技術，對設備或管線的運行狀況進行即時監控，並達到預測目標。	降低維護保養成本、及早發現問題、預防事故發生等。
工廠智慧助理	工廠資料庫管理回答問題或分析工廠日誌與操作數據	連結數據資料庫、運用人工智慧 (AI) 技術進行分析，輔助決策。	增加資訊管道、減少知識斷層等。
製程參數最佳化與自動控制	製程操作、產能提升	利用物聯網 (IoT)、雲端技術、人工智慧 (AI)、技術結合自動控制系統，對關鍵參數進行即時監測和自動控制。	降低營運成本、提升製程產能、降低能耗等。
數位孿生	戰情室、製程調整與模擬試驗	利用物聯網 (IoT)、雲端技術、人工智慧 (AI) 與數位孿生技術，將工廠或設備以 3D 數位模型呈現，即時串流現場數據，達到虛擬模擬、測試並改善。	減少管理負擔、降低營運成本、提升製程產能、降低能耗等。

第四章、智慧石化安全管理制度

為建立一完整且落實管理之智慧石化工廠，應考量之面向包含目標訂定、資源盤點、組織規劃與制度建立。在規劃和設計智慧石化/化學工廠的過程中，需全面考慮工廠的基本需求、生產能力、產品種類及法令規範。首先，在我國之石化工廠應努力推動製程安全管理，落實以安全為優先之管理，以避免化學品災難性洩漏所導致之重大事故危害，如火災、爆炸、毒性物質外洩等。

為了實現智慧工廠願景，首先，必須先全面盤點工廠之潛在風險並進行風險評估，確認相關之風險是否可藉由智慧化技術解決，同時亦須考量使用相關技術是否會帶來更多新的潛在風險。其次，建置所需的各類軟硬體設備，確保資金、人力成本和導入時間得到最佳化管理，同時也應確保所有平台系統與數據管理系統之間的高度整合。不僅需要技術層面展現，還需組織結構上的支持，如建立專責組織負責規劃和執行建廠工作。最後，為確保相關人員具備足夠的專業知識和智慧技術導入的觀念，應針對相關人員進行教育訓練，以提升整體執行效率與品質。

企業應建立完善的制度，確保施工建設和營運有明確的原則。在制定相關制度前，需先確認是否已進行環境影響評估、職業安全衛生法、消防法、環保法規等，以避免與法令衝突。建廠過程中應遵循國際標準，如 API 標準、IEC 標準、品質標準、防爆性能標準等，以保障安全性能與生產品質。最後，應建立各類程序，使營運階段時各部門人員能依程序執行業務，確保各項業務順利進行。為使智慧化全面導入，以下將從新設工廠初期之**評估與設計階段**、**施工建設階段**以及**運營階段**共三大階段進行內容說明。

一、評估與設計階段

(一)需求分析

在規劃和設計智慧石化工廠時，首先，需要全面考慮未來工廠之基本具體需求，涵蓋生產能力、產品種類、行業標準及法令規範（如安全、環保、消防等）。同時，應針對公司治理與製程特性來評估導入智慧技術如何提升企業的競爭力。接著，再選擇合適的智慧化技術，如傳感器的種類與數量、工業物聯網架構、大數據分析平台、無人載具、人工智慧等，並確保未來各項平台系統與數據管理系統能夠高度整合，並滿足預設的需求與標準。

(二)製程安全管理與風險評估

在石化產業中，製程安全管理強調維持製程的條件與安全狀態為宗旨，以防止或減少毒性、反應性、易燃性或爆炸性高危害化學品的災難性洩漏，進而保護人員生命、財產等安全。因此，石化工廠在進行製程安全管理時，必須完整且有效地彙整、分類和掌握相關安全資訊。對工廠而言，這一階段應建立平台系統，以確保各項製程安全資訊的完善。

於設計與規劃階段時應執行全面之風險評估，盤點工廠內所有潛在風險，並確認相關風險是否可藉由智慧化技術解決，同時亦須考量使用相關技術實是否反而帶來更多新的潛在風險。其評估內容包含製程流程技術、製程安全設計等，以鑑別出重大潛在安全危害。例如，引入人工智慧於製程方面時，需考量人工智慧風險管理，相關資訊可參考美國國家標準技術研究院（National Institute of Standards and Technology, NIST）所頒布的人工智慧風險管理框架（AIRMF 1.0），以及 ISO/IEC 23894。此外，

應同時評估如何最有效應用智慧化技術作為預防或削減危害之控制與防護措施，並將其技術規劃於工廠設計與規劃內容之中。

本指引適用於新建或擴建產線的石化或化學工廠。為確保工廠的安全管理，當遇到新增技術時，應在此階段執行變更管理，以符合製程安全管理的各項要求，並確認相關潛在危害。

除評估如何用智慧化技術解決相關危害之外，必須要評估智慧化技術是否有可能導致其他相關危害，以避免為減少眼前危害發生卻導致更多潛在風險，相關設備應有防爆性能等，如滿足 CNS 3376、國際標準 IEC 60079 等。

(三) 評估智慧技術導入與目標設定

應設定智慧安全目標及政策，其政策應明確定義目標內容，如未來工廠營運、數據管理、技術應用、網路安全、投入資源、預期效益等。同時設定相關原則與實施步驟，以有效推動智慧工廠之建設與未來營運方向。

由於企業、公司或工廠的需求、資源和風險承受能力各不相同，因此在選擇導入的技術時，必須進行全面的評估與規劃，有關技術導入之深度與範例可參考上述之表 2(基礎技術)與表 3(進階技術)。在此提醒業者，於規劃階段必須提前考慮進階技術導入所需的基礎技術，以避免後續出現額外設備導致數據格式不一致、整合困難以及硬體不足等問題。

二、施工安裝與試運轉階段

(一)基礎設施設備

為能夠蒐集工廠內所有數據，因此佈署感知器（如設備、環境、製程等）為第一優先，且其亦為必要之基礎建設，即為感知層項目內容。這樣的數據資料量將非常龐大，為了能夠快速、穩定地傳輸，應建立高頻寬、低延遲與具高可靠度的傳輸能力，假使沒有具備快速且可靠的傳輸層技術，對於後續之數據應用可能大打折扣，如數據傳輸過慢而出現延遲。

前述所提之數據進行蒐集後，應有足夠大容量之數據層，以確保數據收集、數據儲存能夠完整，同時進行資料分析與處理，數據層通常需要強大的儲存與計算能力，能夠處理海量數據並提供即時分析與預測功能，並對大量數據進行高效的處理與分析，因此通常還會運用機器學習及人工智慧技術，從數據中選取有價值的資訊，並進行預測性分析，以作為應用層所需。

除智慧技術之感知層、傳輸層與數據層技術外，亦應針對製程設備管線等嚴格按照相關規範標準與設計圖面進行建造與安裝。應選擇有經驗且信譽良好的供應商和承包商，制定詳細的施工安全計畫，並確認規劃之各項智慧化基礎設施能完成安裝，例如，委外建造之承攬商是否可達到目標要求、且應建立完善之驗收標準等，以確保未來工廠營運時智慧化技術能正常運作。

(二)系統性能與整合

為使各項設備、系統能夠有效串連與應用，因此對於自動化設備、控制系統等於裝設完成後應進

行全面測試，確認各個子系統間的相容性與整合性。對各子系統進行測試，確認系統間的資訊交換與數據準則與共享功能，例如 ISO 14224 為《石油、石化和天然氣工業－設備可靠性和維護資料的收集和交換標準》；最後對系統進行整體性能測試，確保達到設計要求。

系統整合和互相聯通亦是需要考慮的重點問題，以確保各子系統如 ERP、MES、SCADA 等能夠全數整合，使生產各階段的資訊數據互通。此外，利用數字化孿生技術進行工廠設計和模擬，確保設計方案的可行性和效率。

(三) 網宇安全配置

工廠已不再是單純的生產線，而是高度整合的智慧系統，其運作仰賴於複雜的資訊網路，因此，確保工廠的網宇安全 (Cybersecurity)，不僅是保障生產順暢的必要條件，更是維護企業競爭力、保護商業機密、防範資產損失的關鍵，因此必須確認所有硬體與軟體的資訊安全配置是否符合設計規範與需求。

根據台灣資通產業標準協會 (Taiwan Association of Information and Communication Standards, TAICS) 於西元 2022 年出版之《智慧製造工業自動化控制系統資安指引－第一部：資產擁有者》[28] 定義「網宇安全」為「用以排除關鍵系統或資訊資產遭受未經授權的使用、阻絕服務、竄改、揭露、破壞或是防範前述項目所引發損失而必須採取的行動」，在網路發達的今天，各種類型和規模的工業設施都容易受到網路安全攻擊，這些網路攻擊可能會造成重大的財務、環境與製程安全相關的

後果。

在軟硬體方面，應設立足夠之網路安全架構，如網路分區隔離（Network Segmentation）、防火牆（Firewalls）、入侵偵測系統（Intrusion Detection System, IDS）、入侵防禦系統（Intrusion Prevention System, IPS）、即時監控系統（Real-Time Monitoring Systems）等，並進行安全監控與偵測。同時，必須對資料進行保護與加密，資料加密（Data Encryption）使用先進的加密技術保護靜態和傳輸中的敏感數據，確保未經授權者無法訪問或讀取；安全身份驗證（Secure Authentication）實施多因子驗證和強密碼策略，以防止未經授權的用戶訪問。

在管理面，為落實網宇安全，建立與維持網宇安全管理系統（Cyber-Security Management System, CSMS）有其必要性，根據 IEC 62443-2-1[29]定義網宇安全管理系統應包含三大項目：風險評估、解決風險、監控與改善，其中風險評估指的是應透過使用系統性的方法，識別、分析、評估潛在的安全威脅、漏洞與後果並進行排序，以優先採取措施進行處理；解決風險則可以採用安全政策、組織與意識並選定安全對策來執行，用以處理風險評估中具重大風險之弱點或目標；監控與改善則是強調應持續監督網宇安全管理系統（CSMS），持續監控和更新安全配置，以滿足最新的法規和合規要求，如 ISO 27001 標準，以確保其有效運作，並隨著時間的推移，管理對系統的所有必要更新，確保所有系統和設備的軟件及韌體保持最新狀態，及時修補已知漏洞。

(四) 施工安全評估與管理

透過施工前安全評估以及時發現並預防施工風險發生，確保施工人員安全。藉由現場環境評估瞭解施工現場環境等相關條件，以評估潛在的安全問題；工程風險評估則分析施工方法、設備使用及材料運輸等環節安全風險；而安全防護措施則是確定必要的個人防護裝備及臨時設施，以降低安全風險。

在施工安裝階段，應制定詳細的施工安全計畫，落實各項安全防護措施，加強對施工人員的危害告知與安全教育訓練，落實對工程承攬商進行管理與管制，做好現場安全監督，以避免建造階段發生職業災害。於本階段，可考慮導入智慧安全技術進行管理，如採用影像辨識確認人員施工時是否正確穿戴防護用具、施工機具與人員於施工場域之定位、施工人員出入施工場域之管理等，從施工階段即開始執行智慧安全管理，落實職業安全並保障人員生命安全。

(五) 危害告知與教育訓練

針對即將或已進廠執行施工之人員，以及未來將進廠工作之員工進行危害告知，並將未來將進行系統操作與維護等有關人員進行全面教育訓練，確保所有相關人員掌握所需的知識和技能。

(六) 技術轉移交接

制定詳細的技術轉移交接計畫，確保未來營運方能夠獨立接手系統，同時應建立完善的製程資訊（如製程流程圖、製程設計圖說、連鎖系統邏輯、安全系統設計）與智慧安全系統等技術文件，以維持後續的系統運作。相關文件可藉由建立於電子化平台或數位系統之中，除可以有效管理外，亦可避

免圖資資料遺失。

(七)變更管理

製程資產如果進行變更，則相關資訊可能會無法反映真實狀況。為避免智慧技術的基礎資訊不完整造成後續輸出結果有所偏頗，企業應建立並執行變更管理制度，以確保資料都有被更新，並且被妥善保存。

(八)試運轉與驗收

本指引之範疇為新建或擴建產線的石化/化學工廠，在製程安全管理中啟動前安全審查必不可少，其目的為：「透過一系列的審查工作確保停俾裝置處於安全重開狀態」，因此，對新製程或現有製程變更後的重新開俾前，應有開俾前的審查，以確保製程之安全性，並制定詳細的試運轉方案，分階段驗證系統各功能模組，確保各子系統能夠協調運行。

此外，應對所有智慧安全系統進行全面測試，確保其正常運行並達到設計要求、符合網宇安全需求。其次，邀請相關單位參與驗收，確保整個系統能夠達到設計要求及實際需求。最後，在試運轉過程中做好詳盡數據記錄與分析，為後續的系統最佳化提供依據。

三、工廠運營階段

(一)訂定職責權責

訂定明確職責分工及權責劃分將有助各生產環節有效運行。在智慧工廠中，技術及管理人員的角色與職責應明確界定，使每人瞭解自己的工作範疇與責任。此外，應建立有效合作機制，促進部門間溝通合作，確保各環節可無縫銜接，共同實現智慧

工廠目標。各不同部門簡要說明如下：

高層管理者需負責制定整體營運策略，確保工廠的運營符合安全、環保及生產效率的要求，同時符合滿足所有法律法規和行業標準，確保工廠的運營符合公司願景與長期目標，高層管理者應制定資本投資與運營計畫，決定關鍵資源的分配。

生產部門則需具體執行生產計畫，監控生產過程，確保產品品質達到標準，其中生產操作員工作內容包含操作與監控生產設備，按照既定的操作流程進行操作，確保產品品質與生產效率。操作員需定期檢查設備運行狀況，通報任何異常情況或潛在的問題，並在可能的範圍內進行基本的故障排除。通常這需要具有經驗之資深人員較易達成，但於智慧石化工廠內，藉由智慧技術之幫助，此相關之工作項目與負擔可能會逐漸降低。

維護部門的職責在於定期檢查和保養設備，確保其正常運行，並及時處理故障，以減少停機時間，其故障情況之判斷與處理，在導入設備診斷後，人員可能不必投入大量人力與時間進行分析，藉由智慧技術之導入，可自行診斷未來可能之故障時間、故障部位或故障模式，以減少人員成本及負擔。

品質管理部門則需負責監控產品品質，進行檢測和數據分析，確保產品符合相關規範，在智慧石化工廠中，品質管理部門可藉由以安裝監測儀回傳之數據，以及分析資訊來判斷品質狀況，甚至可能因智慧化自動控制品質，使需求人力大幅減少。

在網宇安全方面，資訊技術部門需要建立和維護安全系統，防範潛在的網路攻擊，針對新出現之潛在威脅進行應變，以及時防止系統受到攻擊，此

外，應對員工進行安全意識訓練與宣導，以避免人員遭到釣魚等不安全行為成為弱點，使工廠遭到攻擊而停擺甚至是引發更嚴重之後果。

安環部門則需確保工廠的運營符合職業安全與環保法規，以保障員工於作業之安全，並監控污染物或廢棄物處理及排放，以提升工廠安全性並降低對環境的影響，使智慧石化工廠可持續營運。

(二) 風險評估

在智慧石化工廠的營運階段，風險評估是一個關鍵步驟，用以識別、分析和控制可能影響工廠安全運營和效率的各種潛在風險。這一過程需要考慮從設備故障、製程安全到數據安全等多方面因素，以確保工廠能夠在高度自動化和數位化的環境中持續穩定地運行。

首先，設備故障風險評估是重中之重，智慧石化工廠內部擁有大量高度自動化和精密的設備，如反應器、壓縮機、泵浦和蒸餾塔等。這些設備如果發生故障，不僅會中斷生產流程，還可能導致嚴重的安全事故。因此，工廠必須進行設備的全面風險評估，包括分析設備老化、磨損、維護不足和操作錯誤等潛在問題。同時，還需要評估設備之間的相互影響，確保某一台設備的故障失效不會導致整個系統的崩潰或大規模停機。預測性維護技術（如利用感測器和數據分析來預測故障）在這個過程中扮演著重要角色，可以及時預警和排除設備風險，此與製程安全管理中設備完整性之精神相同，均為透過設備預防預知保養來防止設備管線元件失效所帶來之重大後果。

其次，製程安全風險是另一個需要重點評估的

領域，石化工廠處理的原材料和產品通常具有易燃、易爆、有毒等特性，稍有不慎就可能引發嚴重的事務。因此，石化工廠應定期進行製程安全管理之風險評估，評估製程中可能存在的操作危險、物料反應不穩定性以及突發事故的可能性。包含對溫度、壓力、化學反應速率與物料流速等持續監控，確保製程持續位於安全範圍內。對於可能存在的製程異常，應設置自動化控制系統與緊急停機機制，確保在異常情況下能夠快速反應與應變。藉由風險評估之結果，制定或調整實施風險管理策略，確保工廠營運過程中的安全性與穩定性，在執行風險評估過程中，應保留有關執行、風險評估等過程所有文件資訊。因此，此與製程安全管理之製程安全資訊與製程危害分析有關，藉由風險評估之結果進行延伸，確認製程危害並選擇相關措施使風險降低為可接受之程度。

環境風險評估則著眼於工廠運營對周邊環境的影響。智慧石化工廠需要對其生產過程中可能產生的廢氣、廢水和廢棄物進行全面的環境風險評估，確保這些排放符合環保法規和標準。此外，工廠應制定環境事故的應變計畫，如化學品洩漏或爆炸等情況，並設置環境監測系統以即時監控排放情形與周圍環境狀況。

在智慧化管理部分，應定期執行智慧技術的風險評估，以確認目前廠內之智慧化技術導入應用情形，及是否有效解決危害，如未達到設定之目標成效，是否需進行調整。此外，如同前述，除評估如何用智慧化技術解決相關危害之外，必須要評估智慧化技術是否有可能導致其他相關危害，以避免為減

少危害發生卻導致更多潛在風險，如相關設備應有防爆性能、使用無人載具進行檢查或巡檢是否有可能在設備管線損壞潛在風險等。例如，應針對無人載具實施失效模式、關鍵性與影響性分析(FMECA)，以確認該無人載具失效時，對應用場域的影響性及關鍵程度。

(三)教育訓練

在智慧石化工廠的營運階段，教育訓練涵蓋多個方面，以確保員工具備必要的技能與知識來維持工廠的運作。首先，生產操作與流程的訓練是不可或缺的，員工需要熟悉工廠中各類設備的操作方法，包含反應器、泵浦、壓縮機、蒸餾塔等核心設備，掌握如何進行日常操作、設備維護以及故障排除，以及如何控制和監測製程參數，以提高產品品質及生產效率。在設備維護和檢修方面，員工需接受預防性維護的訓練，學會如何檢查和保養設備，藉以減少非計畫性停機的風險。此外，故障診斷與修復的訓練幫助員工掌握處理智慧設備與自動化系統常見故障的方法和技術。

除了著重於生產外，如何安全生產也是不可或缺之議題，定期對員工進行法令要求或工作有關之各項教育訓練，以確保並提升人員於工廠作業期間之職業安全與製程安全意識，因此必須對員工進行全面且整體之職業安全與製程安全教育訓練，使員工瞭解化學品、機械與作業環境之風險，並學會如何辨識、預防及應對各類安全問題，因此緊急應變訓練將教導員工如何處理火災、化學品洩漏或設備故障等緊急情況，包含使用消防設備、人員疏散以及提供搶救急救等。上述之內容與製程安全管理要

向中之教育訓練、操作程序、緊急應變等精神相同。

隨著智慧化工廠的推進，工廠員工還需要具備數位技能，員工應接受資料分析及數位工具的使用訓練，以學會如何利用大數據分析、人工智慧工具及數位孿生技術，進行預測性維護與最佳化生產流程。同時，員工還需掌握如何使用工廠的雲端平台、遠程監控系統以及其他數位化工具，以提升工廠運營效率。此外，亦應對所有人員進行網宇安全意識的教育訓練與宣導，提高其對潛在威脅的警覺性，並可進行網宇安全事件的模擬演練，讓員工熟悉應對流程，以應對未來可能日益嚴峻之資訊安全攻擊事件。

(四) 網宇安全

如同前述，未來工廠面臨的網路安全威脅將日趨複雜，包含駭客入侵控制系統、勒索軟體加密數據、內部人員操作不當等；若工廠資通訊系統防護不足，缺乏有效身份驗證、訪問控制和加密機制，則容易遭受外部和內部安全威脅，而員工如缺乏安全意識、管理人員技能不足，將難以及時應對不斷變化的安全風險。

因此，營運中之工廠必須高度重視網宇安全，建立完善的網宇安全管理體系，包含制定安全策略、組建專業團隊，以及對員工進行安全教育訓練。同時，應採用身份認證、數據加密、入侵檢測等先進安全技術，並定期評估更新。只有將網宇安全納入全面管理，才能確保生產活動的穩定可靠，降低安全風險。

美國國家標準技術研究院 (NIST) 於 2024 年發布之網路安全框架 (Cybersecurity Framework, CSF) [30], 包含六大功能: 治理 (Govern)、識別 (Identify)、防護 (Protect)、偵測 (Detect)、回應 (Response) 與復原 (Recover), 所有功能在網宇安全事件方面都扮演著至關重要的角色。如治理、識別和保護成果有助於預防事件發生, 而治理、偵測、回應和復原成果則有助於發現與管理事件, 架構如圖 23 所示。建議事業單位可透過 NIST CSF 附件 B. 中之 CSF 四個層級的成熟度評估, 進行企業資安診斷, 並評估後續作為。



圖 23、NIST 網路安全框架六大功能[30]

(五) 監控分析與預測模擬

智慧石化工廠藉由已安裝之大量感測器 (感知層) 與物聯網設備 (傳輸層), 將製程中之大量參數或數據如溫度、壓力、流量、製程成份等集中到數據平台 (數據層) 之中, 然而, 收集到的原始數據無

法立即使用，這些數據通常包含雜訊或其他干擾數據，因此需要進行預處理，包括數據清洗、填補缺少值、異常值檢測等，之後需要進行特徵工程，將原始數據轉換，比如特徵提取等，將數據變成可用之資料，其最終目的即為利用數位孿生技術（應用層）技術來進行監控、分析和預測模擬，實現更高效的工廠運營。

透過數位孿生技術，能夠即時進行異常檢測和診斷系統或工廠狀態，當系統檢測到工廠潛在的問題或異常狀況時，它會使用機器學習和人工智慧演算法來分析問題根源，並提供可行的解決方案。此外，數位孿生技術也可以進行「假設測試」，例如模擬製程參數調整或原材料變更對整個製程或產品品質的影響；藉由設備或管線目前狀態預測設備維護所需的最佳時間點；藉由目前製程狀況預測碳排放、污染物排放、可能之能源消耗等。這些模擬結果不僅能幫助工廠制定更有效的生產計畫，減少停俾時間以降低運營成本，同時也可降低因調整而帶來之潛在風險。

(六)持續改進與最佳化

根據前述之各階段，智慧石化工廠各階段執行之結果，應採取具體的改善措施。以管理面而言，其可能包含調整政策目標與計畫、強化人員操作流程、更新設備維護保養策略，甚至是重新對員工進行教育訓練，工廠應定期進行內部審核和評估，檢視現有的流程和標準作業程序，不僅有助於確保操作的一致性，還能促進員工的參與，鼓勵員工提出改善建議。其目的是透過不斷改善來提升安全，並確保工廠能夠應對市場需求變化與技術快速進步。

在風險評估方面，應注意調整參數或使用新的原物料時，是否可能有新的危害出現，此部分必須不斷更新風險評估結果，並擬訂相對應之策略，以避免製程中重大潛在危害發生；在軟硬體方面，如同前述提到之網宇安全重要性，是否有新的威脅出現需進行漏洞修補，而在科技日新月異的未來，新的智慧化技術、具有更高演算能力之設備將不斷推陳出新，工廠應評估是否進行更新或導入。

在生產製程方面，應持續調整並進行模擬，測試不同的操作策略和參數設定，在此過程中，數位孿生能夠預測每一個變化可能帶來的影響，藉此讓管理者能夠提前瞭解和評估不同策略的效果。藉由持續的模擬測試和數據驅動的決策過程，工廠將不斷調整和更新操作方案，以應對市場需求變化、原材料價格波動和技術進步等外部環境因素。

在實施各類改善措施後，工廠應持續監測其效果，評估改善是否達到預期目標，如果效果不如預期，則需重新分析數據並調整策略，以形成一個良性循環。藉由持續改善與最佳化過程，不僅能提升工廠生產效率，還能降低成本，提高產品品質，除增加企業的競爭力，讓智慧化技術強化石化產業之各項技術與發展，以達到產業永續發展之目標。

第五章、結論

在本石化/化學新設工廠智慧安全設置指引中，點出了目前石化與化學產業所面臨的困境。首先是人才斷層的問題，行業缺乏系統的自動化和智慧化管理技能；其次是事故嚴重性高，一旦發生意外事故，可能造成嚴重的人員傷亡和環境污染；最後則是智慧化程度較低，目前多數化工廠仍依賴傳統人員操作與管理模式。

為解決上述問題，本指引提出了在新設石化/化學工廠中應採用的智慧安全技術和管理策略。透過整合物聯網、大數據分析與人工智慧等先進智慧化技術，新建工廠有基礎可全面的執行智慧安全管理，例如：

- 建立全面的智慧化製程監控系統，即時監測製程參數，如有異常可預警並自動處理異常情況，並朝向數位孿生工廠之目標前進。
- 應用自動化控制系統，可精準控制製程參數，確保製程穩定運行不致發生偏離而造成意外。
- 藉由廠內智慧安全預警系統與無人載具應用，可即時發現安全問題或取代人員於難檢處進行檢測並自動通報結果，如配備智慧消防或洩漏處理設施，可快速應變各類突發火災或化學品洩漏事故。
- 於教育訓練部分，提供模擬之結果與人員有更深刻之體會，並提升安全意識；此外，為使經驗傳承，可提供移動裝置與資深員工經驗搭配，提高人員操作技能。

除了智慧安全技術之導入外，人才能力的養成是智慧石化工廠成功的關鍵，隨著技術的快速發展，工廠需要具備先進技能的人才來應對複雜挑戰，推動創新與效率提升。受過良好訓練的人才能更有效地操作設備，降低資源浪費，並提高生產力，以推動智慧石化工廠技術進步、提升生產效率、

確保安全和促進可持續發展。

此外，石化產業應重視之製程安全管理亦同樣重要，藉由本指引提供新設置石化工廠時應著重之智慧安全技術，並針對各領域進行彙整與簡要說明，以期未來石化產業可有效強化製程安全管理以及預防與應對各類型之潛在安全隱憂與威脅，期待未來新設之石化/化學工廠能夠提供全面安全保障的智慧化技術，進而有效降低事故風險，並提升工廠的整體效益與可持續發展性。然而，僅有部份之技術屬於既有成熟技術，目前仍有發展中技術或甚至是待開發技術，相信在科技日新月異的將來，藉由新一代之智慧安全系統的應用，將大幅提升石化/化學工廠安全管理能力，為企業創造更穩定的生產環境，最終實現更高效的經營成果，保障人員與周圍居民安全並與產業共存共榮。

參考資料

1. 經濟產業省. (2020). 高圧ガス保安分野スマート保安アクションプラン. Retrieved from https://www.meti.go.jp/shingikai/safety_security/smart_hoan/koatsu_gas/pdf/action_plan.pdf
2. Wintle, J., Moore, P., Henry, N., Smalley, S., & Amphlett, G. (2006). *Plant ageing: Management of equipment containing hazardous fluids or pressure* (Health and Safety Executive Report No. RR509). UK HSE.
3. International Electrotechnical Commission (2017). *PAS 63088: Smart manufacturing—Reference architecture model industry 4.0 (RAMI4.0)*.
4. ISO Smart Manufacturing Coordinating Committee. (2021). *White paper on smart manufacturing*.
5. 日本総務省消防庁、厚生労働省、経済産業省(2020). プラント保安分野における目視検査の代替可能性に関する考察（点検におけるドローン活用について）.
6. 奇○實業股份有限公司. (2024). 石化産業智慧安全推動服務說明【1會：奇○實業智慧安全管理之應用案例分享簡報.
7. 台○塑膠工業股份有限公司電子材料部. (2024). 雲端運算專案組台○智慧工安管理分享簡報.
8. 環境部化學署. (2023, September 5). 化學署推出虛實整合全方位訓練 完備危害性化學物質災防整備. Retrieved from <https://www.cha.gov.tw/cp-23-6183-f5bfc-1.html>
9. BASF. (2017). *Smart manufacturing*. BASF. Retrieved from https://www.basf.com/global/en/who-we-are/digitalization/smart-manufacturing#accordion_v2-40c049cdec-item-68a575f9dc
10. Hololight. (2020). *Augmented reality training at BASF*. Hololight. Retrieved 2024, March 1, from <https://hololight.com/augmented-reality-training-at-basf/>
11. 高雄市政府. (2023, March 10). 高市消防機器人超猛戰力領先全國，林欽榮：朝智慧安全城市更進一步. Retrieved from https://fdkc.kcg.gov.tw/News_Content.aspx?n=EF5454228AD21A21&sms=6BCA88A6633BE86E&s=467A5ADFEF9D281B
12. National Research Institute of Fire and Disaster. (2019). Retrieved

from

https://nrfid.fdma.go.jp/public_info/library/kenkyu_kaihatsu/files/robot_1_keika.pdf

13. 日本千葉縣市原市八幡消防署 (2022). Retrieved from <https://www.city.ichihara.chiba.jp/article?articleId=637ec5690ae3aa080704f656>
14. 日本経済産業省(2022). 産業保安グループスマート保安先進事例
15. 日刊工業新聞社(2023). 三菱ケミカル・三井化学・旭化成…デジタル技術磨くそれぞれの人材育成策
16. Jeavons, D. (2022, May 10). *Creating integrated digital ecosystems*. Shell. <https://www.shell.com/what-we-do/digitalisation/digitalisation-in-action/creating-integrated-digital-ecosystems.html>
17. 大西献. (2021). 自動走行ロボットを利用した監視・点検について — プラント自動巡回点検防爆ロボット “EX ROVR ”をご紹介します . *Safety & Tomorrow*, 199, 12–17. https://www.khk-syoubou.or.jp/pdf/magazine/199/199_all.pdf
18. Yokogawa. (2023, March 30). *News Release*. Retrieved from <https://www.yokogawa.com/tw/news/press-releases/2023/2023-03-30/>
19. Tata Consultancy Services. (2023). *Tata Chemicals power plants digital twin*. Retrieved from <https://www.tcs.com/what-we-do/services/data-and-analytics/case-study/tata-chemicals-power-plants-digital-twin>
20. ExxonMobil. (2021). *Smart Technologies & Intelligent Operations*. Retrieved from <https://corporate.exxonmobil.com/who-we-are/technology-and-collaborations/smart-technologies-intelligent-operations>
21. 台○塑膠工業股份有限公司. (2021). 台○企業所屬工廠總體檢成果發表會簡報.
22. Honeywell. (2020). *Gas Rebellion – Gas Cloud Imaging Brochure*. Retrieved from <https://pmt.honeywell.com/content/dam/pmt/en/documents/Gas-Rebellion-Gas-Cloud-Imaging-Brochure.pdf>
23. International Organization for Standardization. (2016). *ISO 14224*:

- Petroleum, petrochemical, and natural gas industries – Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment.*
24. Jeavons, D. (2022, May 10). *Creating Integrated Digital Ecosystems*. <https://www.shell.com/what-we-do/digitalisation/digitalisation-in-action/creating-integrated-digital-ecosystems.html>
 25. Honeywell. (2018). *Predicting Corrosion Brochure*. Retrieved from https://process.honeywell.com/content/dam/process/en/documents/document-lists/doc-list-onshore-production/Brochure_Predicting_Corrosion.pdf
 26. Gómez, C., & Green, D. R. (2017). Small unmanned airborne systems to support oil and gas pipeline monitoring and mapping. *Arabian Journal of Geosciences*, 10(1), 1-17.
 27. Mercury News. (2016, December 13). *Can drones help almond growers save water? We are about to find out*. Retrieved from <https://www.mercurynews.com/2016/12/13/can-drones-help-almond-growers-save-water-we-are-about-to-find-out/>
 28. 台灣資通產業標準協會(2021). *智慧製造工業自動化控制系統資安指引-第一部：資產擁有者*.
 29. International Electrotechnical Commission. (2010). *IEC 62443-2-1: Network and system security – Part 2-1: Establishing an industrial automation and control system security program*.
 30. National Institute of Standards and Technology. (2024). *The NIST Cybersecurity Framework (CSF) 2.0*.

附件、相關法令與標準盤點

新設之石化/化學工廠必須確保符合相關合規性，例如法令標準及工程標準等，如此一來石化/化學新設工廠之建設與運營才能達到預期效果，並持續保持競爭力。本節提供石化/化學新設工廠於設廠之前應確認之國內設置、安全、消防等相關領域法令，供業者參考，法令依領域分類如下。

- (一)工廠登記、設置相關法令：工廠管理輔導法、工廠管理輔導法施行細則、產業創新條例、科技產業園區設置管理條例等。
- (二)石化工廠相關法令：如石油管理法、石油業儲油設備設置管理規則等。
- (三)職業安全衛生相關法令：如職業安全衛生管理辦法、職業安全衛生設施規則、危險性工作場所審查既檢查辦法、危險性機械及設備安全檢查規則、高壓氣體勞工安全規則等。
- (四)環保相關法令：環境影響評估法、空氣污染防制法、揮發性有機物空氣污染管制及排放標準、毒性及關注化學物質管理法等。
- (五)消防相關法令：如消防法、公共危險物品及可燃性高壓氣體製造儲存處理場所設置標準暨安全管理辦法、各類場所消防安全設備設置標準、災害防救法、災害防救法施行細則等。
- (六)建築安全：建築法、建照許可申請等。
- (七)地方性法規與條例：如雲林縣設備元件揮發性有機物管制及排放標準、高雄市既有工業管線管理自治條例等。

除相關法令外，本指引亦提供相關國際標準供業者參考，請注意，此處僅列出方向與有關標準，實際之設置所需標準

仍須請深入確認並同步參考國際上公認和普遍接受的良好工程實務（Recognized and Generally Accepted Good Engineering Practices, RAGAGEP），主要國際安全標準包含：

- (一)美國石油學會（American Petroleum Institute, API）標準：API 標準是全球最具權威的石化產業安全標準之一，涵蓋了石化工廠的設計、操作、維護等各個方面，如 API 521 安全排放與洩壓系統、API 581 基於風險的檢查規範等。
- (二)國際電工委員會（International Electrotechnical Commission, IEC）標準：涉及電氣設備的設計和操作，尤其是 IEC 60079 系列，關於爆炸性環境中的電氣設備選用；IEC 61511 系列則屬石化產業安全儀控系統功能安全性規範。此外，本指引亦採用大量國際電工委員會 IEC 所發布與智慧化技術相關之標準（如 IEC 62443 工業自動化和控制系統安全等），請詳見附件。
- (三)國際標準組織（International Organization for Standardization, ISO）標準：ISO 標準是國際通用的標準，包括了石化工廠的安全管理、風險評估、緊急管理等方面的要求，常見如 ISO 45001 職業安全衛生管理系統、ISO 14001 環境管理系統等。此外，本指引亦採用大量國際標準組織 ISO 所發布與智慧化技術相關之標準，請詳見附件。
- (四)美國國家消防協會（National Fire Protection Association, NFPA）標準：NFPA 標準是美國最權威的消防安全標準之一，提供關於防火、防爆的設計和操作標準，包含石化工廠的消防設施、消防管理等方面的要求，常見如 NFPA 704 危險品緊急處理系統鑑別標準等。

- (五)美國機械工程師學會 (American Society of Mechanical Engineers, ASME) 標準：ASME 標準為石化工業提供了設計、製造、安裝等方面的技術要求，包含鍋爐、壓力容器、管線、閥件等設備與元件規範。
- (六)其他國際標準：因設置石化與化學工廠所牽涉之層面廣，且對應之標準規範不同，本指引僅將常見且重點之規範列出，如有需參考其他國際規範者則應依據實際需求或國際上公認和普遍接受的良好工程實務 RAGAGEP 進行。