

---

# 石化/化學既設工廠智慧安全技術指引 (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 .....	6
一、目的與適用對象 .....	6
二、全世界石化/化學產業面臨的結構性問題 .....	6
三、數據能力的提升與重要性 .....	9
(一)數據蒐集 .....	9
(二)數據儲存 .....	9
(三)數據分析 .....	9
四、石化/化學產業如何從安全智慧化中受益 .....	10
(一)提升設備維護和管理效率 .....	10
(二)強化安全和風險控制 .....	11
(三)降低運營成本和提高生產效率 .....	12
第二章、智慧管理基礎 .....	14
一、虛實整合 .....	14
(一)感知層 ( Perception Layer ) .....	15
(二)傳輸層 ( Transmission Layer ) .....	15
(三)數據層 ( Data Layer ) .....	16
(四)應用層 ( Application Layer ) .....	16
二、石化與化學產業智慧化應用與助益 .....	17
(一)資產端資訊數位化 .....	18
(二)現場端進行即時監控 .....	18
(三)決策端輔助複雜判斷 .....	19
(四)營運端規劃營運管理 .....	19
三、石化/化學工廠智慧應用技術 .....	19
(一)物聯網 .....	20
(二)人工智慧 .....	21
(三)雲端技術 .....	23
(四)延展實境 .....	25
(五)無人載具 .....	27
(六)數位孿生 .....	28
第三章、石化/化學工廠智慧化技術與案例 .....	30
一、石化與化學產業智慧化應用範疇 .....	30
(一)人員管理 .....	30
(二)製程管理 .....	31
(三)設備管理 .....	31
二、欲解決問題之應用技術與案例 .....	32

(一)人員管理 .....	36
(二)製程管理 .....	56
(三)設備管理 .....	67
三、現有基礎技術與進階技術 .....	80
<b>第四章、智慧安全管理轉型方針</b> .....	<b>83</b>
一、基線審查 .....	83
(一)盤點企業現況與需求 .....	84
(二)確立智慧化技術導入的優勢 .....	85
(三)與最佳實務做法或標準之差異比較 .....	85
(四)學習行業最佳實務 .....	86
(五)應用案例的學習與借鑑 .....	86
二、訂定企業智慧化轉型方針 .....	86
(一)從基礎到進階應用之規劃 .....	86
(二)優先處理高風險作業、關鍵設備 .....	87
三、智慧轉型規劃的核心要素 .....	93
(一)風險評估 .....	93
(二)技術整合 .....	93
(三)智慧化推動小組的設立與管理 .....	93
(四)員工教育訓練 .....	94
(五)強化管理流程 .....	94
(六)網宇安全 .....	94
(七)技術成熟度評估 .....	97
(八)成本考量 .....	97
(九)導入門檻 .....	98
四、智慧轉型中的潛在風險管理 .....	98
(一)數據偏差與不穩定性 .....	98
(二)模型複雜度與可解釋性不足 .....	98
(三)數據與模型安全性問題 .....	99
(四)人員與 AI 系統互動 .....	99
(五)現有風險管理架構不足 .....	99
(六)企業文化與組織適應性 .....	99
五、智慧技術管理系統 .....	100
(一)政策和領導力 .....	101
(二)訂定職責權責 .....	101
(三)風險和機會管理 .....	102
(四)資源管理 .....	102
(五)智慧安全系統生命週期管理 .....	102

(六)與利害關係人溝通 .....	102
(七)持續改進 .....	102
六、交付供應商承攬智慧化技術 .....	103
(一)評估選擇適當供應商 .....	103
(二)核心能力考量 .....	104
(三)執行與績效評估 .....	105
<b>第五章、結論 .....</b>	<b>106</b>
一、應用智慧化技術的主要好處 .....	106
(一)應對石化產業挑戰 .....	106
(二)強化安全管理與風險控制 .....	106
(三)提升設備或管線管理與預測維護 .....	107
(四)數位技術輔助與可持續發展 .....	107
二、可優先採用的智慧化技術 .....	107
(一)氣體偵測數據分析管理 .....	108
(二)人車環境管制影像辨識 .....	108
(三)人員異常辨識或定位 .....	108
(四)設備與管線監測系統 .....	108
(五)工廠營運管理平台 .....	109
(六)智慧巡檢系統 .....	109
三、全面評估與規劃 .....	110
四、人才培養的重要性 .....	110
<b>參考資料 .....</b>	<b>112</b>

## 圖目錄

圖 1、我國 65 家大型石化廠工廠年齡分布圖 .....	7
圖 2、日本國內乙烯生產工廠年齡高齡化 .....	8
圖 3、設備失效機率與運轉時間關係圖 .....	8
圖 4、虛實整合各層之意涵與相對應關係 .....	17
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 .....	39
圖 6、應用影像辨識技術進行防護衣辨識圖 .....	39
圖 7、應用影像辨識技術對高空作業進行防護具辨識圖 .....	40
圖 8、虛擬實境訓練模組體驗圖 .....	45
圖 9、巴斯夫公司應用 MR 技術進行教育訓練範例圖 .....	46
圖 10、消防無人載具應用於塑膠工廠火災 .....	49
圖 11、消防無人載具系統 Scrum Force 示意圖 .....	50
圖 12、消防無人載具系統 Scrum Force .....	50
圖 13、日本三菱化學株式會社工廠設備巡檢 .....	53
圖 14、殼牌公司自動巡檢無人載具 .....	55
圖 15、三菱重工自動巡檢無人載具 .....	56
圖 16、ENEOS 石油公司化工廠蒸餾塔 .....	59
圖 17、艾克森美孚石油公司人工智慧助理 Sofia 示意圖 .....	60
圖 18、殼牌公司數位孿生示意圖 .....	63
圖 19、氣體洩漏 AI 辨識圖 .....	66
圖 20、管線銹蝕 AI 辨識圖 .....	66
圖 21、Honeywell GCI 系統偵測示意圖 .....	67
圖 22、Puma™ AE 型無人飛行載具 .....	79
圖 23、石化產業智慧安全發展策略藍圖 .....	92
圖 24、NIST 網路安全框架六大功能 .....	97
圖 25、ISO 42001 整體架構圖 .....	100

## 表目錄

表 1、欲解決問題之應用技術與案例重點彙整 .....	33
表 2、基礎技術項目之可應用範例與效益 .....	81
表 3、進階技術項目之可應用範例與效益 .....	82
表 4、智慧安全管理轉型基線審查檢核表範例 .....	88

# 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，並提出既設石化工廠應採用的智慧化技術與管理策略，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，全面提升既設石化/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。

本指引適用對象為國內所有欲進行智慧化轉型之石化/化學工廠，協助業者瞭解目前國內外應用趨勢並簡介其應用技術之基本內容，希望業者可導入並進行應用，以提升工廠之安全管理能力。同時，業者可以本指引做為推動方向參考，根據各工廠的製程特性與工作環境，制定相關標準作業程序或規範，以落實推動智慧應用。

指引內相關內容若經各主管機關認定，其智慧技術對於提升工業安全、環境保護及消防管理具有明確效益，未來可作為法令修訂之參考。

## 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。

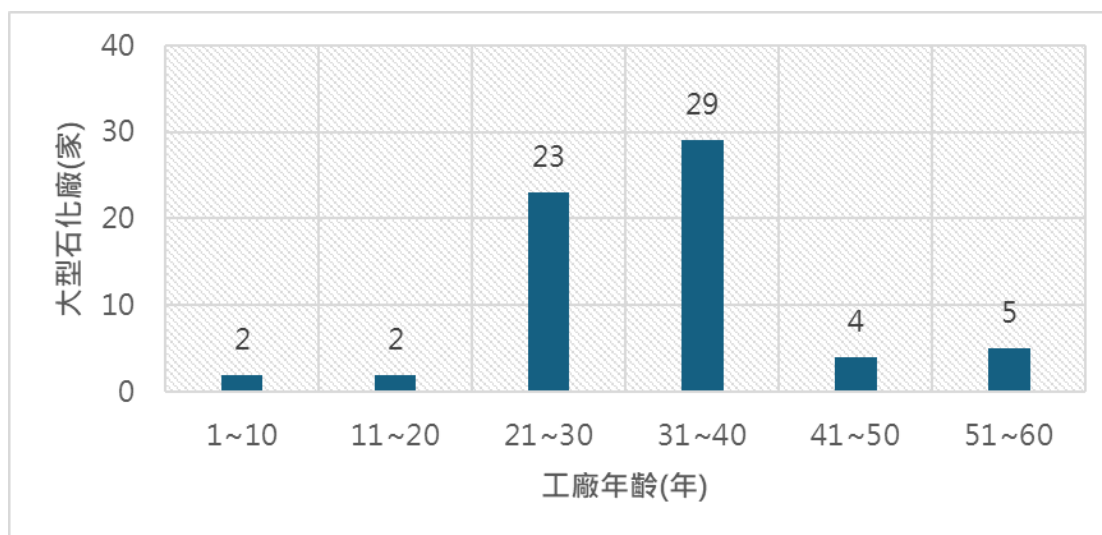


圖 1、我國 65 家大型石化廠工廠年齡分布圖

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]。

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。

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。

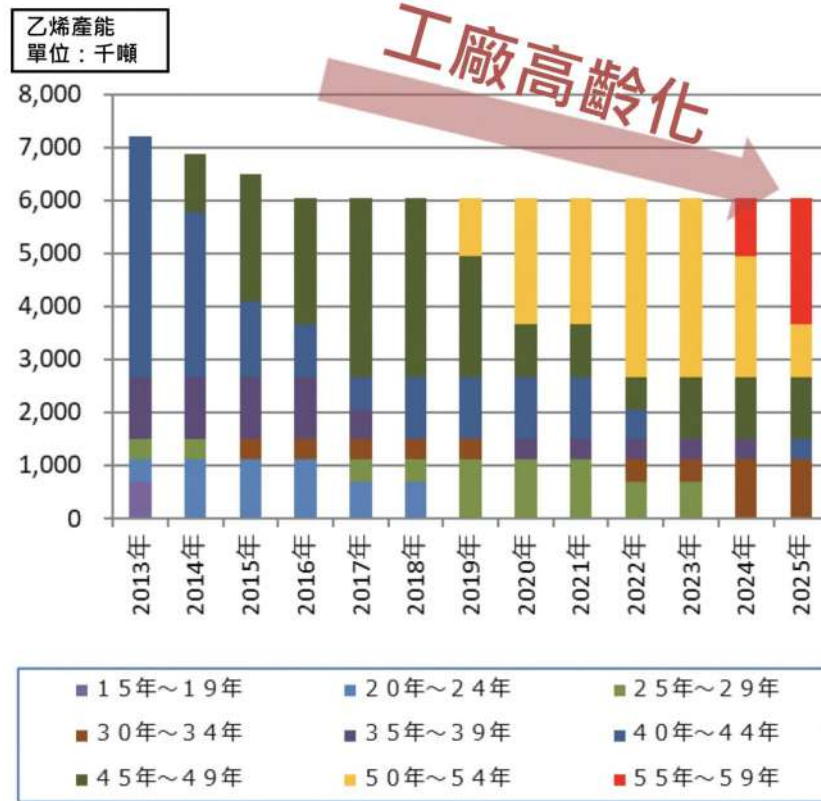


圖 2、日本國內乙烯生產工廠年齡高齡化[1]

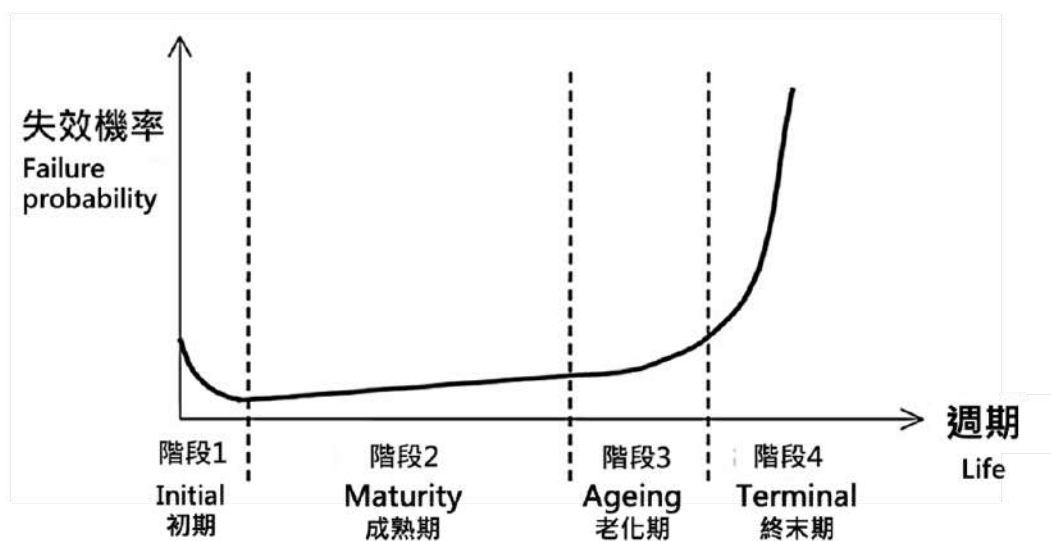


圖 3、設備失效機率與運轉時間關係圖[2]



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、數據能力的提升與重要性

在智慧化轉型中，數據能力的提升至關重要。企業必須建立強大的數據收集、儲存和分析能力，以便即時監控設備狀況和環境變化，藉以鑑別安全風險，進行預測性維護，並降低設備故障率。藉由數據輔助決策能提升運營效率與安全管理效果。

#### (一)數據蒐集

數據收集是智慧轉型的基礎，目標是獲取可靠數據來支持決策。方式包括安裝感測器及使用物聯網（Internet of Things, IoT）技術，並從企業資源規劃（Enterprise Resource Planning, ERP）和製造執行系統（Manufacturing Execution System, MES）中獲取數據。不同來源的數據需整合和標準化，以確保一致性和可用性。

#### (二)數據儲存

數據儲存涉及有效、安全地保存和管理收集到的數據，確保其安全性和完整性。石化工廠通常將數據儲存在內部伺服器 and 硬碟中，需管理大量數據並減少冗餘以節省空間，同時保護數據免受未授權訪問和攻擊。

#### (三)數據分析

數據分析將收集到的數據轉化為有用資訊，輔助企

業做出判斷與決策。透過數據分析，管理層可以更清楚地了解運營狀況，提前辨識設備故障，強化安全管理、減少能源和原材料浪費，並提升效率。

#### 四、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（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。

而這些智慧化技術的導入，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。以下是國際上智慧化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

智慧化技術透過物聯網（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，然而智慧化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

在智慧化技術應用於安全和風險控制中，影像辨識技術和電子圍籬技術也發揮著關鍵作用。影像辨識技術能夠透過攝影機對工作環境進行即時監測，辨識出可能的危險行為或異常狀況，例如未佩戴安全設備或進入危險區域的行為。例如，影像辨識系統被用來監控員工是否正確佩戴安全帽和防護裝備，並在發現違規情況時自動傳送警告，進而有效降低了人為疏忽導致的風險。影像辨識技術能夠大幅減少由於人為疏忽導致安全事故，並及時發出警報，以便管理人員立即採取措施。最為基礎之應用為電子圍籬技術，其可以由人員自由設立虛擬邊界，當有人或物體越過此邊界時，系統會自動發出警告，以管控進出特定區域的風險，增強安全管理的效果。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。這些技術能夠快速地從過去的經驗中學習，找出隱藏的風險因素，並優化安全策略。此外，它們還能夠即時分析現有情況，及早發現潛在問題，從而有效減少事故發生的可能性。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，確保企業在面臨突發事件時能夠快速反應，減少損失與風險。AI技術還能協助自動化安全檢查流程，通過自動監控和數據分析來確保所有安全標準都得到遵守，並及時發現任何偏差。設備故障而引發之製程安全事件眾多，為有效降低

事故發生機率，透過 AI 和機器學習，設備故障診斷技術能夠對設備運行數據進行即時監測和分析，提前鑑別出可能的故障徵兆，並預測設備的故障時間。這樣企業就可以及時進行維護和檢修，避免因設備故障導致的生產中斷和安全風險。

此外，智慧化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。VR 技術能夠讓員工在虛擬環境中體驗不同的危險情境，從中學習應對技巧和安全知識。這不僅提高了員工的參與感和學習效果，還能讓他們更好地理解如何在實際情況下應對各種潛在的安全挑戰。這些訓練可以反覆進行，直到員工熟練掌握應對措施，從而降低因人為失誤引發的安全風險。

### （三）降低運營成本和提高生產效率

智慧化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，然而智慧化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，智慧化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。

智慧化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。在此背景下，日本《高壓氣體保安法》的新認定制度將智慧科技納入審查要件，強調企業需導入診斷設備劣化狀態的技術、優

化營運管理的技術，以及提升安全管理運作複雜性與效率的技術。同時，要求企業制定引入前後的評估與效果驗證流程，並妥善管理相關風險，包含即時監控氣體數據、建立自動化預警機制，以及透過數據分析預測設備維修需求，降低事故風險、減少生產中斷，並全面提升經營效益與管理。

我國可借鏡這類智慧化管理的先進經驗，在全球經濟壓力與環境挑戰日益增長的背景下，智慧化升級與轉型已成為石化與化學產業實現可持續發展的關鍵策略。透過參考相關成功案例，不僅能加速台灣石化產業的智慧化進程，還可進一步提升國際市場競爭力，為未來的永續經營奠定穩固基礎。

## 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下。

#### (一) 感知層 (Perception Layer)

工業 4.0 的發展過程包含了自動化、電子化與數據化三大核心階段, 而在邁向智慧化之前, 數據化是不可或缺的基礎條件, 因此, 實現 RAMI 4.0 的前提是完善數據收集與處理, 才能持續向智慧化系統發展。在虛實整合系統中, 感知層是最底層、最基礎的一環, 主要功能是將實體世界的資訊轉換成數位數據, 為整體系統提供即時、準確的基礎資訊。感知層透過各種感測器、攝影機及其他監測設備, 持續收集並記錄物理環境中的數據, 例如溫度、壓力、流量、氣體濃度等製程參數, 或設備運行狀態相關數據, 如震動、音頻與影像資訊等。

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(MES)、企業資源規劃(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。

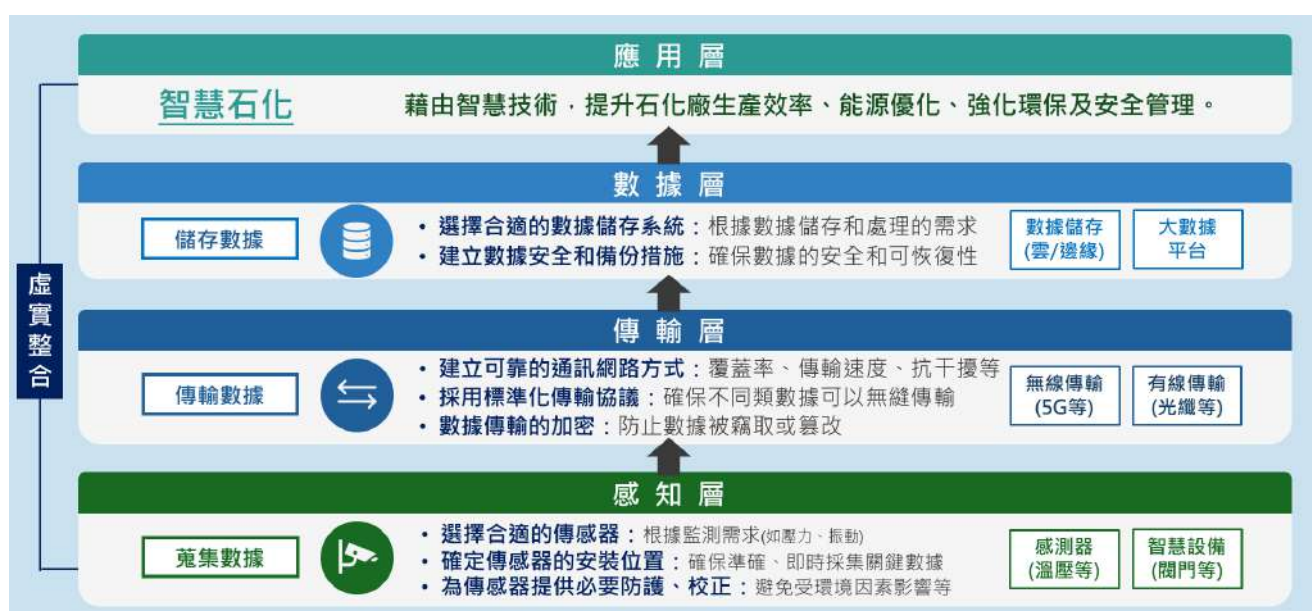


圖 4、虛實整合各層之意涵與相對應關係

## 二、石化與化學產業智慧化應用與助益

採用石化工廠智慧化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。

由於既設工廠多已設置多年，相關設備、儀器、儀錶可能為非數位式的設備，對於短期內尚無適當設備可供替代或設置有困難者，可採用監視攝影設備透過影像辨識來蒐集儀表資訊之折衷方式將資訊數位化。

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。

採用智慧化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

藉由智慧化技術之虛實整合，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），該名詞於西元 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化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/化學工廠智慧化技術與案例

為使讀者能更加瞭解相關技術之實際應用情形，並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與化學產業面臨之亟待解決問題，對照石化與化學產業智慧化三大關鍵：人員管理、製程管理與設備管理應用範疇中之技術與應用情境，提供相關智慧化技術項目，並藉由國際與國內業者已採用之智慧化應用案例進行相關說明，提供給石化業者進行了解，將相關智慧化技術導入至工廠中。

石化與化學產業智慧化三大關鍵與前述所提之六大技術應用非常密切且眾多，單項技術可能可單獨存在，而多項不同技術亦可組成不同技術類型。本章將從人員管理、製程管理與設備管理之範疇進行介紹，並帶出目前石化產業對於三大領域之欲解決問題、可導入之應用技術案例等進行說明。

#### 一、石化與化學產業智慧化應用範疇

利用先進之智慧化技術來提升工廠安全性與營運效率，對於石化與化學產業而言，人員管理、製程管理與設備管理是不可或缺的三大關鍵，以下將針對三大關鍵面臨之欲解決問題、可導入技術、應用情境與技術導入時應注意之事項進行簡易說明供業者參考。

##### (一)人員管理

透過導入智慧化技術，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。智慧化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，不僅提升管理效率更確保安全。隨著技術的進步，企業能夠預測並預防潛在的危害，藉此有效避免洩漏、火災、爆炸等意外事故的發生。此外，這些智慧系統還能降低化學品洩漏於環境中的風險，從根本上減少對環境的負面影響，為企業的可持續發展奠定堅實的基礎。

除了安全衛生管理，業者透過智慧化技術即時監控制程，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，也能隨著生產流程的優化，企減少能源的消耗與碳排放，這不僅符合現今環保的需求，還能在全球對可持續發展的呼籲中，展現出企業的社會責任與前瞻性。

## (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。且透過相關智慧化技術的導入，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。這類智慧化技術不僅可提高設備與管線可靠度，還能延長其使用壽命，提升整體運營效率及穩定性。透過智慧化的設備管理，企業能夠更以高效率地進行運營與管理，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，並將相關智慧化技術導入至工廠。表 1 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：欲解決問題可應用之技術多樣，本章節僅將常用之技術列出，並不僅限於中所述之技術類別，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	可導入技術與應用情境	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 (第 36 頁)	電子圍籬影像辨識：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"> <li>• 攝影機應具備防爆性能和高解析度</li> <li>• 應具足夠網路傳輸與儲存空間</li> <li>• 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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 奇○實業-影像辨識槽車作業 (第 38 頁)</li> <li>• 台○企業-影像辨識個人防護具 (第 39 頁)</li> </ul>
	人員位置與 狀態不易掌握 (第 40 頁)	人員位置與狀態監測：藉由穿戴設備、健康監控系統如智慧手環，即時追蹤人員位置，監測人員生理狀態	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 設備應具備防爆性能</li> <li>• 應具足夠網路傳輸與儲存空間</li> <li>• 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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 台○企業-人員定位技術 (第 42 頁)</li> </ul>
	知識傳承與 人員訓練效率低 (第 42 頁)	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"> <li>• 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</li> <li>• 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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 環境部化學署-虛擬實境訓練 (第 44 頁)</li> <li>• 德國巴斯夫公司-混和實境訓練 (第 45 頁)</li> </ul>
	緊急應變能量 不足 (第 46 頁)	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"> <li>• 無人載具應具備防爆性能與網路傳輸</li> <li>• 操作人員應具備相關證照並接受足夠的教育訓練</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 高雄市消防局-消防無人載具 (第 48 頁)</li> <li>• 日本總務省消防廳-消防無人載具系統 (第 49 頁)</li> </ul>
	巡檢耗費人力 (第 50 頁)	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"> <li>• 應具備防爆性能和高續航力</li> <li>• 應具足夠網路傳輸且數據儲存空間容量應足夠</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 日本三菱化學株式會社工廠設備巡檢 (第 52 頁)</li> </ul>
	巡檢時間較長 (第 53 頁)	無人載具：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"> <li>• 裝置應具備防爆性能和高續航力</li> <li>• 應具足夠網路傳輸且數據儲存空間容量應足夠</li> <li>• 系統偵測到異常時，應可即時發出警告</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 殼牌公司-自動巡檢無人載具 (第 55 頁)</li> <li>• 日本三菱重工-自動巡檢防爆無人載具 (第 55 頁)</li> </ul>

應用範疇	欲解決問題	可導入技術與應用情境	應注意事項	國內或國際應用案例
製程管理	製程最佳化與異常檢測困難 (第 56 頁)	製程控制與即時監測系統：控制系統即時監控關鍵參數並自動調整，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"> <li>• 應部署足夠數量之關鍵參數感測器</li> <li>• 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</li> <li>• 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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 日本 ENEOS 石油公司-自動控制精餾塔 (第 58 頁)</li> <li>• 美國 ExxonMobil-Sofia 人工智慧助手 (第 59 頁)</li> </ul>
	即時監控與診斷 (第 60 頁)	數位孿生：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"> <li>• 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</li> <li>• 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</li> <li>• 選用合適 AI 演算法</li> <li>• 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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 殼牌 (Shell) 公司-人工智慧與數位孿生 (第 62 頁)</li> <li>• 印度 Tata 化學-數位孿生 (第 63 頁)</li> </ul>
	化學物質洩漏 (第 63 頁)	氣體洩漏影像辨識：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"> <li>• 相關設備應具備防爆性能</li> <li>• 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</li> <li>• 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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 台○公司-管線洩漏及銹蝕 AI 辨識 (第 65 頁)</li> <li>• Honeywell-氣體雲成像系統 (第 66 頁)</li> </ul>
設備管理	缺乏設備性能與狀態監測 (第 67 頁)	設備狀態預警：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"> <li>• 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</li> <li>• 應選用合適 AI 演算法且持續使用相關數據進行模型訓練</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 殼牌公司-振動感測器監控關鍵設備 (第 69 頁)</li> <li>• 台○企業-線上即時監測技術 (第 70 頁)</li> </ul>
	缺乏失效模式與故障部位診斷 (第 70 頁)	設備預測與異常檢測系統：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"> <li>• 應建立設備階層結構</li> <li>• 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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 美國奇異電氣-發動機失效模式診斷 (第 73 頁)</li> </ul>

應用 範疇	欲解決問題	可導入技術與應用情境	應注意事項	國內或國際應用案例
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• 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</li> <li>• 應選用合適 AI 演算法且持續使用相關數據進行模型訓練</li> </ul>	
	<p>無設備與管線腐蝕預測 (第 73 頁)</p>	<p>數據預測分析：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"> <li>• 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</li> <li>• 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</li> <li>• 選用合適 AI 演算法</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 殼牌 (Shell) 公司-預測腐蝕 (第 76 頁)</li> <li>• Honeywell-腐蝕預測軟體 (第 76 頁)</li> </ul>
	<p>現場巡檢效率不彰 (第 77 頁)</p>	<p>巡檢無人載具：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"> <li>• 應具備防爆性能和高續航力</li> <li>• 應具足夠網路傳輸且數據儲存空間容量應足夠</li> <li>• 應確認無人載具失效時對應用場域的影響性及關鍵程度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 英國石油 (BP) 公司-油田管線無人飛行載具巡檢 (第 79 頁)</li> </ul>

## (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。故可導入智慧化技術進行監控，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，較為細微之部分，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。

#### E. 其他注意事項

影像辨識技術雖帶來便利，但也可能引發隱私問題，包括未經授權的數據收集、個人資料濫用、持續監控與跟蹤，以及因駭客攻擊或管理不善導致的數據洩漏，甚至被用於過度監控或不當用途。由於系統操作不透明，用戶難以掌握數據的收集與使用方式，加劇隱私風險。

### (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]。

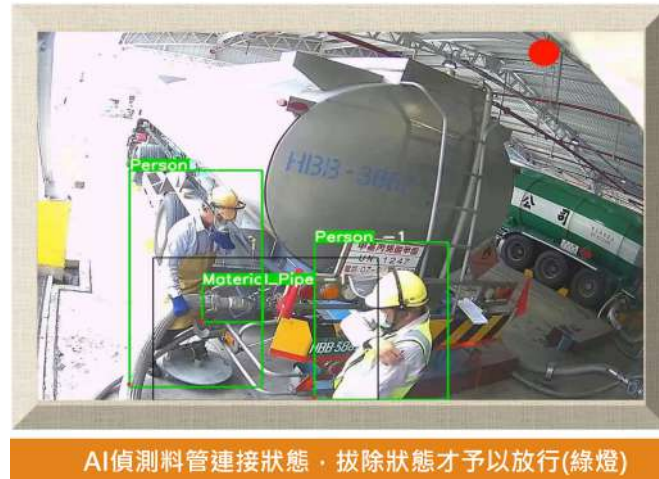


圖 5、應用影像辨識技術進行槽車洩料作業實際運作狀況圖

#### 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[7]



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，以處理大量且即時之定位資訊。此外，應有足夠之儲存空間，以利人員於未來欲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，可導入以下智慧化技術。

##### (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，且需注意如訊號中斷也可能造成其他安全問題，如碰撞或墜落等可能。

### 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某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[12]

#### 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[13]



圖 12、消防無人載具系統 Scrum Force[14]

#### 5. 欲解決問題：巡檢耗費人力

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-智慧巡檢系統

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[15]。

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[16]

#### 6. 欲解決問題：巡檢時間較長

石化業的巡檢工作通常涉及大量設備與設施的檢查，範圍廣泛且環境複雜。由於巡檢項目繁多且需要記錄設備運行狀況，加上部分設備可能位於危險區域或不易接近的位置，導致巡檢時間較長。此外，巡檢過程依賴人工操作，易受人員經驗不足或環境因素影響，可能造成巡檢效率低下，使得有異常狀況時無法及時發現與處理，影響整體工廠安全及生產效率。因此，亟需針對性的智慧化技術來解決此一問題。

##### (1) 可導入技術與應用情境-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，且需注意如訊號中斷也可能造成其他安全問題，如碰撞或墜落等可能。

### (3) 國內或國際應用案例

#### A. 殼牌公司-自動巡檢無人載具

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[17]（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，比對傳統人力耗費數小時檢查，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[17]

#### 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[18]（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靠安全進行巡視，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。

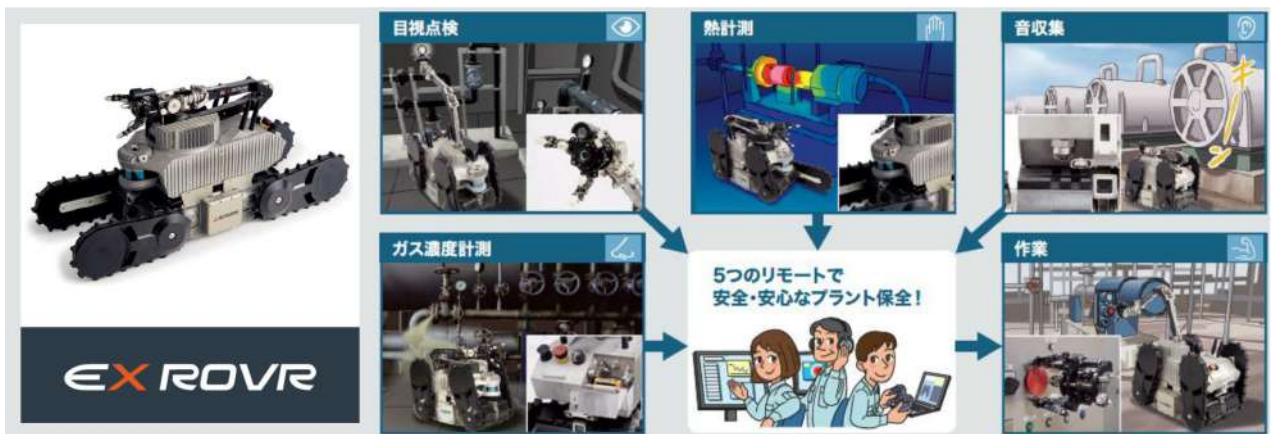


圖 15、三菱重工自動巡檢無人載具[18]

## (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分。

#### 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[19]

#### 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]。

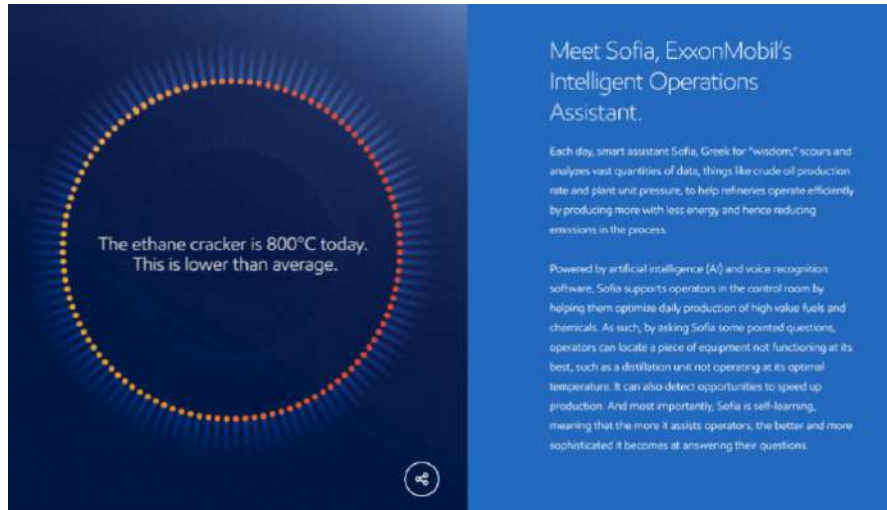


圖 17、艾克森美孚石油公司人工智慧助理 Sofia 示意圖[20]

## 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，且必須建立與工廠相同之數位模擬分身，此也為智慧化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

建立高容量之數據存儲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. 英國殼牌公司-人工智慧與數位孿生

英國殼牌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[17]，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[17]

### 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[21]，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，再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-管線洩漏及外部銹蝕 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外部腐蝕與保溫監測，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[22]



圖 20、管線銹蝕 AI 辨識圖[22]

### 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的位置與自動報告事件規模，將數據以視覺化方式呈現，並快速製成事件分析報告。目前該系統已受到英國 BP 公司、殼牌、陶氏 (Dow) 化學等大型石化企業採用。

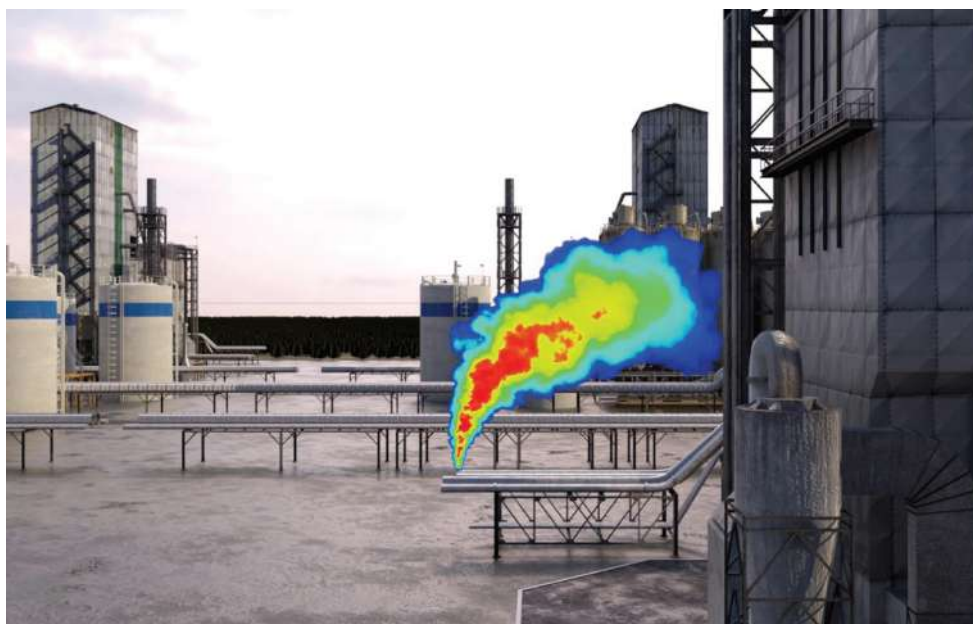


圖 21、Honeywell GCI 系統偵測示意圖[23]

### (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-設備狀態預警

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可能為出現在高頻狀況者，採樣頻率應至少兩倍該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。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，數據層中亦包含該設備之歷史資訊以及其基線資訊。此平台應可長期記錄（至少五年）運作數據，且該平台經降頻所取得的數據，可還原成原始數據。該平台宜獨立於分散式系統（Distributed Control System, DCS）。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進行整合，如 SCADA、ERP 等。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，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，無法從過去的故障中獲取經驗，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 標準建立設備階層結構[24]，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 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（Non-Destructive Testing, NDT）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. 英國殼牌公司-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[25]，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，使相關洩漏成本最小化，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[26]。

#### 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，且需注意如訊號中斷也可能造成其他安全問題，如碰撞或墜落等可能。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 [27]。當時所使用的手投式無人飛行載具是 Puma™ AE 型（如圖 12 [27][28]），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

因上述所提之智慧化技術及案例眾多，且導入之成本、規模、深度可能皆有不同，為避免讀者混淆，於下列表格將目前現有智慧化技術與未來工廠於設計階段可導入之基礎技術（如表 2）與進階技術（如表 3）與其考量進行簡要應用範例敘述與說明，提供給石化業者進行了解，使業者能更加瞭解相關技術之實際應用面、技術基本條件與可能預期效益。

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，因智慧化技術發展快速，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化技術的潛力和應用。



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、維護或救災	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，或是藉由相關設備進行救災。	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、智慧安全管理轉型方針

在石化業推動智慧安全管理轉型時，需要建立智慧管理基礎，並按照感知層、傳輸層、數據層和應用層逐步建構相關設施。但僅有技術是不夠的，有效的管理措施才是成功的關鍵。因此，導入智慧化技術前，需了解工廠需求並評估影響，確保技術符合標準並根據實際需求進行調整。智慧安全管理轉型需要全面的設計和規劃，從設計到導入階段，應考慮如何將智慧化技術整合到現有系統中，減少後續變更的浪費。例如，在導入階段，應進行風險評估，找出優先改善的位置，並針對這些風險設計監測和預警措施。導入智慧化技術後，工廠可收集作業人員、設備和環境的數據，利用數據進行分析，幫助改進安全管理。

智慧安全管理轉型還需將技術應用與管理結合，確保技術數據能與現有管理制度融合，形成數據驅動的管理模式。透過感知層收集數據，並結合雲端儲存和邊緣運算技術，可對工廠進行監控，並在異常時發出警報，並利用分析結果強化管理流程。選擇和配置技術也很重要，應採用標準化通訊協議，避免數據孤島問題。另外，數據安全也變得更重要，需在數據傳輸和儲存中採取加密措施，防止訊息洩露，因此也需注重員工的訓練，讓員工學會正確使用技術，避免不當操作帶來風險。

### 一、基線審查

基線審查作為智慧安全管理轉型的第一步，目的為確認現狀、盤點資源，為未來的轉型策略提供支持。智慧化轉型不僅是技術升級，更是對工廠運營模式、資源配置和組織管理能力的革新。基線審查需全面考量工廠在資源、人力、資料現況、AI 導入必要性、國際標準符

合性及行業現況等方面。透過審查，工廠可清楚掌握技術基礎與運營能力，並據此制定合適的轉型路徑。

### (一)盤點企業現況與需求

基線審查的第一步是全面盤點企業現況，了解核心需求。企業需明確經營目標，這不僅限於短期的產能提升或成本控制，還包括長遠的法令趨勢、發展方向等。智慧安全管理轉型的應用範圍需根據這些目標確定，例如重點放在減少職業災害與製程事故、設備維護智慧化或強化決策支援系統等，並參考基線審查結果，制定智慧工廠方針和轉型目標，根據資源、技術基礎和人員能力設置具體目標等。

工廠端需優先確認改善項目如：預防職災、提升設備可靠性、提高生產效率、減少污染、降低人力成本等，透過確認目標，工廠可確立智慧化技術導入的必要性，是否需數據整合以實現全方位的監控和預警。以下是一些需確認的部分：

#### 1. 資源盤點

資源盤點針對包括生產設備、基礎設施和數據整合平台等，盤點之目的是了解現有資源是否足以支援智慧化技術的導入，並找出需要升級或補強的部分，確保資產和數據能用於未來技術需求。

#### 2. 數位化程度

數位化程度直接影響智慧化技術的應用深度與廣度。企業需調查生產設備的數據監測功能和數據標準化程度，以確保數據能夠無縫整合，以進行智慧預測或自動化。例如，設備數據是否能夠即時互通並傳送至集中系統進行分析？數據的標準化程度如何？如果數據來自不同系統或來源，能否實現無縫整合？這些問題都是評估數位化程度的重要環

節。

### 3. 資料品質

資料品質決定智慧化技術的應用效果，需確保數據的準確性、完整性和即時性。檢查製程與設備之運行數據、維護記錄和安全監控等數據品質，確保能運用於分析處理。

### 4. 軟體與硬體系統

盤點現有的管理資訊系統（MIS）、企業資源規劃系統（ERP）和維修管理系統（CMMS），確認軟體系統的可擴展性和整合能力，以及其能否支援數據收集和分析需求，並評估是否需要升級或引入新系統；確認硬體性能是否足以支撐智慧化技術需求，如是否需部署邊緣計算（Edge Computing）或利用雲端運算提升算力。

## (二) 確立智慧化技術導入的優勢

企業應全面評估智慧化技術作為解決方案的必要性，考量技術的可行性與導入成本，確保其能有效解決業務痛點而不增加管理負擔。同時需思考智慧化技術是否能達到預期目標、是否有更低成本且更簡單的替代方案，以及導入是否會過度複雜化運營流程並增加管理挑戰等。

## (三) 與最佳實務做法或標準之差異比較

需與行業標杆企業或國際或國內領先企業進行比較，以了解自身差距並確定改進領域。透過學習標竿企業的技術應用，制定具體的技術提升計畫。

除行業標杆外，企業應對比自身與國際或國內標準的技術應用差異，如參考國際標準如 ISO/IEC，可以確保技術應用的安全性和合規性，同時提升轉型效率。企業可根據差異制定具體的技術升級計畫，學

習標竿企業的成功經驗。例如，現有的數據平台是否遵循國際規範？是否使用符合 ISO 標準的設備？這些問題有助於找出差距並制定改進策略。

#### (四)學習行業最佳實務

企業應學習行業最佳實務，特別是技術應用經驗，避免資源浪費或技術整合不良。標準化管理流程與技術應用有助於提升智慧轉型效果。

#### (五)應用案例的學習與借鑑

企業可參考其他企業的成功案例，學習如何利用智慧化技術進行設備監控、風險管理和決策優化。例如，透過設備即時監控和 AI 風險分析，降低事故風險，提高設備可靠性。

## 二、訂定企業智慧化轉型方針

工廠需要一個具體而可行的計畫來實現智慧化轉型。這個計畫應該能幫助提升安全性、生產效率、降低成本，並更加環保。計畫中應包含短期和長期目標，並且需要能夠根據實際情況進行靈活調整。以下是智慧化轉型方針制定過程：

### (一)從基礎到進階應用之規劃

智慧工廠轉型的第一步是設定明確且具體的目標。短期目標可以包括設備的聯網、數據的收集和使用。例如，企業可以在半年到一年內完成主要設備的數據收集和整合，安裝感測器和攝影機，並利用平台實現數據的可視化，讓管理層可以查看工廠的即時狀況。應用技術如表 2 中所提之目前已成熟基礎項目：人員定位、電子圍籬、影像辨識等，可以有效降低事故發生率。

在中期與長期目標則是使用智慧化技術進行設備的

預防性維護，引入自動化監控和決策系統，以實現自動化生產。例如，透過智慧化技術進行安全關鍵設備的預測性故障診斷與維護，逐步導入長期之數位孿生系統以落實自動監控與決策；在人員部分操作，則可藉由穿戴式裝置進行即時指導或是進行教育訓練，有關進階技術詳見表 3，整體發展可參考以下石化產業智慧安全發展策略藍圖（如圖 23）。

## （二）優先處理高風險作業、關鍵設備

導入智慧化技術應根據風險等級來排序，優先針對高風險作業和關鍵設備，以確保轉型的有效性。企業應進行成本效益分析，確保每項技術的投資都有明顯回報，例如減少事故、降低停機時間和提高生產效率。建議先小範圍試驗新技術，確認效果後再逐步擴大應用。

為使讀者更明確瞭解智慧安全管理轉型調查項目，表 4 提供智慧安全管理轉型檢核表範例供業者參考，其中包含智慧化轉型過程中的多個關鍵領域，以全面評估企業在智慧安全管理轉型、數據管理、軟硬體、經驗學習、人力資源與組織架構等方面的現況與需求。調查內容聚焦於企業是否設定智慧安全管理轉型的短、中、長期目標，以及績效指標的制定與可量化程度，並探索技術與管理上的需求。同時，深入檢視數據管理與數位化程度，分析數據的完整性、即時性、標準化與整合能力，以及對智慧化應用的支援程度。

在軟硬體方面，盤點現有系統是否能滿足智慧化技術的應用需求，並針對運算能力、雲端或邊緣計算需求及關鍵系統的升級需求進行評估。此外，透過分析行業標竿企業的成功與失敗案例，為企業提供可參考的智慧化經驗與管理模式並確認轉型方向。人力資源與組織架

構部分則針對員工對智慧化技術的接受度、技能提升需求及教育訓練計畫，並評估跨部門合作的順暢性與現有組織架構的適配性。

此檢核表範例目的在全面盤點工廠於智慧化轉型中的機會與挑戰，為制定有效的智慧化轉型策略提供目標方向與參考。

表 4、智慧安全管理轉型檢核表範例

調查項目	調查問題	現況調查結果
企業現況及 設立智慧目標	人員管理  是否有以下問題？	<input type="checkbox"/> 1.1 工作場域安全管理困難 <input type="checkbox"/> 1.2 人員位置與狀態不易掌握 <input type="checkbox"/> 1.3 知識傳承與人員訓練效率低 <input type="checkbox"/> 1.4 緊急應變能量不足 <input type="checkbox"/> 1.5 巡檢耗費人力 <input type="checkbox"/> 1.6 巡檢時間較長
	是否有基礎智慧化技術規劃？	<input type="checkbox"/> 數據管理平台（對應問題 1.1） <input type="checkbox"/> 人員定位系統（對應問題 1.2） <input type="checkbox"/> 電子圍籬（對應問題 1.1、1.2） <input type="checkbox"/> 基礎影像辨識（對應問題 1.1、1.2） <input type="checkbox"/> 智慧巡檢（對應問題 1.5、1.6）
	是否有進階智慧化技術規劃？	<input type="checkbox"/> 延展實境 XR（對應問題 1.3、1.4） <input type="checkbox"/> 進階影像辨識（對應問題 1.1） <input type="checkbox"/> 無人載具（對應問題 1.4、1.5、1.6） <input type="checkbox"/> 工廠智慧助理（對應問題 1.3）
	製程管理  是否有以下問題？	<input type="checkbox"/> 2.1 製程最佳化與異常檢測困難 <input type="checkbox"/> 2.2 即時監控與診斷 <input type="checkbox"/> 2.3 化學物質洩漏
	是否有基礎智慧化技術規劃？	<input type="checkbox"/> 數據管理平台（對應問題 2.2） <input type="checkbox"/> 基礎影像辨識（對應問題 2.3） <input type="checkbox"/> 氣體偵測（對應問題 2.3） <input type="checkbox"/> 設備、管線狀態監測（對應問題 2.1）
	是否有進階智慧化技術規劃？	<input type="checkbox"/> 進階影像辨識（對應問題 2.3） <input type="checkbox"/> 設備、管線故障診斷及預測（對應問題 2.1） <input type="checkbox"/> 工廠智慧助理（對應問題 2.1）



調查項目	調查問題	現況調查結果
		<input type="checkbox"/> 製程參數最佳化與自動控制（對應問題 2.1） <input type="checkbox"/> 數位孿生（對應問題 2.2）
	設備管理 是否有以下問題？	<input type="checkbox"/> 3.1 缺乏設備性能與狀態監測 <input type="checkbox"/> 3.2 缺乏失效模式與故障部位診斷 <input type="checkbox"/> 3.3 設備與管線腐蝕預測 <input type="checkbox"/> 3.4 現場巡檢效率不彰
	是否有基礎智慧化技術規劃？	<input type="checkbox"/> 數據管理平台（對應問題 3.1） <input type="checkbox"/> 基礎影像辨識（對應問題 3.3） <input type="checkbox"/> 智慧巡檢（對應問題 3.4） <input type="checkbox"/> 設備、管線狀態監測（對應問題 3.1）
	是否有進階智慧化技術規劃？	<input type="checkbox"/> 延展實境 XR（對應問題 3.4） <input type="checkbox"/> 進階影像辨識（對應問題 3.3） <input type="checkbox"/> 無人載具（對應問題 3.4） <input type="checkbox"/> 設備、管線故障診斷及預測（對應問題 3.3） <input type="checkbox"/> 工廠智慧助理（對應問題 3.1） <input type="checkbox"/> 數位孿生（對應問題 3.1、3.2、3.3）
	是否有其他管理問題？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
數位化程度與數據管理	基礎數據 目前是否有數據收集、儲存和管理制度	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
	數據是否具備完整性和即時性？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
	數據的格式和品質是否符合分析要求？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
	資料是否有統一標準？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
	是否需要進行數據標準化、數據整合和分析？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
	進階數據 是否已經建立集中數據儲存來支援智慧化應用？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
	數據儲存系統是否可讓多部部門數據共享與整合？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
	數據管理 數據的缺少或不一致是否影響智慧化應用？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
	目前的數據管理和收集流程是否能達到智慧化轉型？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否

調查項目	調查問題	現況調查結果
軟體與硬體系統	現有硬體是否能滿足智慧化技術的應用？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否，建議應購設備。
	是否需要額外增加運算能力，如同服務器和網路設備的升級？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
	是否存在硬體設備無法即時處理大量數據的問題？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
	是否有需要部署邊緣計算或雲端計算的需求？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
	現有的軟體系統是否能滿足數據整合、即時監控和分析的需求？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
	是否能夠整合生產、維護和管理等不同環節的數據？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
	新增 是否需要新增、升級或更換管理資訊系統（MIS）？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
	升級 是否需要新增、升級或更換企業資源規劃系統（ERP）？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
	規劃 是否需要新增、升級或更換維修管理系統（CMMS）？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
	經驗學習	是否參考了行業內標竿企業的智慧化經驗？
在技術應用和管理模式上，這些標竿企業是否有值得學習的地方？		<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
行業內標竿企業經驗中，是否有技術或管理上可學習導入？		<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
是否有注意失敗的智慧化應用案例以避免重蹈覆轍？		<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
符合標準或規範	技術應用是否符合國際或國內標準如 ISO、IEC、NIST、CNS 等？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
人力資源與溝通	員工是否能接受智慧化技術導入？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
	員工是否能夠快速適應新技術和新流程？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否

調查項目	調查問題	現況調查結果
	員工是否具備足夠的技術知識來落實智慧化轉型？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
	是否有制定激勵機制來提升員工學習新技術的積極性？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
	員工在數據分析、智慧化技術操作等方面是否有技能提升的需求？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
	是否有計畫對員工進行技能提升教育訓練？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
	員工教育訓練內容有哪些？	<input type="checkbox"/> AI 技術應用 <input type="checkbox"/> 設備操作 <input type="checkbox"/> 自動化系統管理 <input type="checkbox"/> 其他：_____
	是否需要聘用新的技術人才來支援智慧化技術的導入？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
	新人才的核心技能需求是什麼？	<input type="checkbox"/> AI 技術應用 <input type="checkbox"/> 數據管理 <input type="checkbox"/> 智慧監控系統維護 <input type="checkbox"/> 其他：_____
	是否有促進員工之間的經驗分享和技術交流管道？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
組織架構與跨部門合作	各部門之間的數據共享是否順暢？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
	是否能滿足跨部門、跨系統的數據共享與分析？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
	是否需要進行跨部門教育訓練，以加強部門之間的合作？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
	現有的組織架構是否足以支援智慧化技術的應用？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
	是否有需要設立新的部門或職位來支援智慧化轉型？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
	是否存在因組織結構造成的合作問題？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
	是否需要進行組織重組，以適應智慧化的需求？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否



圖 23、石化產業智慧安全發展策略藍圖

### 三、智慧轉型規劃的核心要素

成功實現智慧石化工廠的轉型需要全面的風險管理、技術整合、員工教育訓練、強化管理流程與網路安全措施等。本節將說明智慧轉型的核心要素供業者參考，以利規劃未來之智慧轉型。

#### (一)風險評估

風險評估是智慧石化工廠安全運營的基礎。此過程涵蓋設備故障、製程安全及環境風險等方面。工廠需要定期檢查設備的老化、磨損情況，並確保維護充分，以保持設備運行穩定性。針對易燃、易爆、有毒物質的製程，工廠需進行持續監控，並建立自動控制系統及應急停機機制，以降低事故風險。此外，還需對廢氣、廢水等排放物進行環境風險評估，確保其符合環保法規，減少對環境的負面影響。

#### (二)技術整合

智慧工廠轉型過程中，技術整合不可或缺，因目前工廠內可能已經部署了大量感測器和儀表，但數據分散且未得到有效利用。為了解決資訊孤島問題，工廠應利用先進的傳輸技術將數據整合到集中式資訊平台，確保各系統間的數據同步一致。這樣的數據整合能夠做為智慧化技術的應用，有助於提升整體管理效率，並為決策提供精確的數據支援。

#### (三)智慧化推動小組的設立與管理

智慧化轉型需要一個專門的小組來負責技術的引進和實施，此小組應由具備技術與管理經驗的成員組成，負責推進技術進度、解決技術挑戰等，並協助不同部門之間的合作。跨部門合作對智慧化技術的成功應用至關重要，特別是在設備管理、資訊技術

和生產管理之間。此外，管理層的支持也很重要，小組需要向管理層解釋技術的必要性，幫助推動整體計畫。如企業自身因人力或成本考量，也可尋求引進外部專業人員來支援智慧化技術的導入。

#### (四)員工教育訓練

智慧化技術的應用需仰賴具備相關技能的員工，因此工廠應先評估現有員工在數據分析、智慧化技術操作及系統維護方面的能力。若發現技能不足，應提供內部或外部教育訓練課程予以提升，訓練內容應涵蓋數據分析工具的應用、智慧化技術或設備的操作，以及雲端平台和遠程監控系統的使用。同時，強化員工的網宇安全意識，使其能辨識和應對潛在威脅，降低風險，確保系統穩定可靠。

#### (五)強化管理流程

智慧轉型過程中，標準化的操作流程非常重要。應制定明確的作業標準程序(SOP)，以確保操作的一致性與智慧化技術的有效應用，在引入智慧化技術時，應盡可能使用自動化系統來減少重複性工作，降低人為錯誤風險。為確認轉型之後各項技術之持續改善，應定期收集員工與管理層的回饋，以針對流程中的問題進行分析與改善，增加員工對整體系統最佳化的參與感與責任感，並運用PDCA循環持續改善智慧管理流程。

#### (六)網宇安全

隨著智慧工廠面臨的網宇安全威脅日益增加，如駭客攻擊、勒索軟體和數據洩漏等，建立完善的網路安全管理系統顯得尤為重要。工廠應採用身份驗證、數據加密和入侵檢測等技術，確保關鍵數據的安全。確保網宇安全(Cybersecurity)不僅是生產順暢運行

的基本條件，更是維護企業競爭力、保護商業機密及防範資產損失的關鍵。為此，所有硬體與軟體的資訊安全配置必須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 2022 年發布的《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]，網宇安全被定義為：「為防止關鍵系統或資訊資產遭受未經授權的使用、服務中斷、竄改、洩露或破壞，以及防範上述行為所造成的損失而採取的行動」。在當今網路高度發展的環境下，所有類型和規模的工業設施都可能遭受網路安全攻擊，這些攻擊可能導致嚴重的財務損失、環境影響以及製程安全風險。

在軟硬體方面，工廠應建立充分的網路安全架構，包括網路分區隔離（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。此外，數據保護與加密亦不可忽視。使用先進的加密技術（Data Encryption）保護靜態和傳輸中的敏感數據，防止未經授權者訪問或讀取；並採取多因子驗證及強密碼策略（Secure Authentication）以阻止未經授權的用戶存取。

在管理層面，建立與維持網宇安全管理系統（Cyber-Security Management System, CSMS）至關重要。根據 IEC 62443-2-1[30]的定義，網宇安全管理系統包含三大核心任務：風險評估、風險解決以及監控與改善。風險評估應系統性地識別、分析並排序潛在

安全威脅、漏洞及其可能後果，以便優先處理。風險解決則需透過制定安全政策、強化組織與意識，並實施安全對策來處理重大風險。此外，監控與改善著重於持續監督並更新網宇安全管理系統，確保其符合最新法規和合規要求，例如 ISO 27001《資訊科技 - 安全技術 - 資訊安全管理系統 - 要求》（Information technology - Security techniques - Information security management systems - Requirements）之相關規範，並定期修補已知漏洞，確保所有系統和設備的軟體與韌體始終保持最新狀態。

此外，網宇安全措施還應涵蓋防火牆、入侵偵測、網路分段、傳輸私密性、存取控制（Access Control）以及設備與雲端安全管理（包括邊緣設備安全與雲端數據保護）。這些措施可有效防止未經授權的存取和網路攻擊，並確保工廠內外部數據的安全性和完整性。技術防護之外，員工的網路安全教育與培訓也不可或缺。員工需了解如何防範安全威脅，以及面對潛在網路攻擊時應採取的正確應對措施。

美國國家標準技術研究院（National Institute of Standards and Technology, NIST）於 2024 年發布之網路安全框架（Cybersecurity Framework, CSF）[31]，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），所有功能在網路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 24 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 24、NIST 網路安全框架六大功能[31]

#### (七)技術成熟度評估

智慧化技術的導入應考慮技術的發展成熟度，並分階段進行實施。技術可分為基礎型和進階型（詳見表 2 與表 3）。影像辨識技術為例，這種技術已相對成熟，能有效預防操作錯誤或未使用防護具等問題。然而，在導入前需要根據工廠的實際需求和管理文化進行基線審查，以確保技術的實施能帶來顯著成效。

#### (八)成本考量

導入智慧化技術的成本是工廠和企業需要重視的因素。初期投資可能包括硬體設備、軟體授權和專業服務費用。企業應將初期成本與長期收益進行比較，評估智慧化技術帶來的實際效益。例如，透過氣體或火災的早期偵測，可以有效降低事故規模，減少由災害擴大而導致的成本。此外，設備管線腐蝕預測也可以提早發現問題，避免設備損壞帶來的生產中斷和高昂維修費用。

### (九) 導入門檻

智慧化技術的導入門檻主要體現在技術能力和人力資源上。在導入新技術之前，企業需評估內部的技術能力和專業知識，必要時可考慮外部顧問或專業服務的協助。此外，員工的技能訓練是關鍵，企業應確保員工能夠熟練使用新技術並理解相關政策。對於資源有限的中小型工廠，可以考慮模組化的解決方案，逐步升級，以降低導入的難度和風險。

## 四、智慧轉型中的潛在風險管理

智慧化轉型雖然能帶來諸多益處，但其過程中也潛藏著多種風險。根據美國國家標準技術研究院 NIST 於西元 2023 年發佈之《人工智慧風險管理架構》(AI Risk Management Framework) [32] 內容所述之原則，於石化使用人工智慧時可能面臨以下風險存在：

### (一) 數據偏差與不穩定性

AI 系統高度依賴訓練數據，如果數據存在偏差或不夠準確，AI 系統就會產生不可靠甚至錯誤的結果。此外，AI 模型訓練過程容易受到數據和參數的影響，這些變動可能大幅改變模型的效能，增加預測結果的不確定性。在石化工廠中，如果 AI 模型無法正確預測製程中的偏差，可能會引發重大事故。

### (二) 模型複雜度與可解釋性不足

深度學習等 AI 模型通常非常複雜，難以理解其內部運作機制。AI 的決策邏輯和人類不同，這會讓人員在使用 AI 生成的結果時感到困惑，難以信任 AI 的決策。例如，在工廠中使用 AI 助理時，如果 AI 做出錯誤的判斷，很難確定誰該負責，這是許多工廠目前不敢完全依賴 AI 的原因。

### (三)數據與模型安全性問題

AI 系統需要大量數據進行訓練，這些數據的儲存和處理可能帶來隱私和安全風險。如果訓練數據中包含敏感資訊，數據外洩將對隱私造成威脅。此外，AI 模型可能存在安全漏洞，讓攻擊者能透過對抗式攻擊等手段干擾模型的判斷，造成錯誤。例如，攻擊者可以透過投毒或規避攻擊使模型失效。

在模型訓練過程中，如果企業無法自行開發 AI 系統，可能會依賴第三方資源。而這些外部資源可能存在安全漏洞或風險管理標準不同，增加風險。此外，使用預訓練模型（例如影像辨識）雖然可提升效能，但也可能增加不確定性。

### (四)人員與 AI 系統互動

如果人員過度依賴 AI 系統，可能會忽視自己的判斷，導致錯誤決策。由於 AI 系統運作過程缺乏透明度，使用者可能無法理解 AI 的決策過程，也難以對其結果建立信任。另外，若人機介面設計不良，使用者可能會誤解 AI 提供的資訊，進一步增加操作錯誤的風險。

### (五)現有風險管理架構不足

目前針對 AI 系統的風險管理方法仍不完善，傳統的風險管理架構難以應對 AI 帶來的新型風險，例如算法偏見和數據安全問題。AI 系統的不確定性和潛在的偏見可能導致管理失誤，進一步影響生產和安全。因此，企業需要建立新的風險管理策略，以針對 AI 技術的特點進行風險監測和控制，並確保在發生異常時能快速應對，將損失降到最低。

### (六)企業文化與組織適應性

智慧轉型涉及的不僅是技術，更是企業文化的變革。

如果企業文化不支持技術變革，員工可能不願學習新技能或改變既有工作方式，因此削弱風險管理的有效性。此外，如果企業缺乏開放的溝通氛圍，部門之間缺乏合作，則可能導致資訊不對稱，影響風險管理決策。因此，建立鼓勵學習和持續改善的企業文化至關重要，不僅可促進員工積極參與智慧化技術的應用，還能提升風險管理的效率，應對智慧化技術帶來的挑戰。

### 五、智慧技術管理系統

本節參考國際標準組織 ISO 42001 之整體架構[33]，提供石化工廠建立、實施、維護和持續改進智慧安全管理系統，其目標是協助組織以負責任的方式開發、提供或使用智慧系統，並滿足適用的規範、利害關係人的相關義務和期望。而建立負責任的智慧安全管理系統包含以下幾個關鍵方面，其採用 PDCA 之循環模式，藉由不斷的滾動修正，持續精進廠內智慧安全技術之應用，使工廠/公司/企業可邁入永續經營。



圖 25、ISO 42001 整體架構圖

## (一)政策和領導力

最高管理層應制定智慧化技術推動政策，以設立明確的目標並確保系統持續改進。該政策應涵蓋數據隱私、安全性、公平性和透明度，並闡明處理問題的程序。此外，管理層需將智慧化技術要求融入日常業務流程，確保提供必要資源，並鼓勵員工主動報告任何疑慮。

## (二)訂定職責權責

明確的職責與權責劃分有助於生產過程的有效運行。各不同部門簡要說明如下：

### 1.高層管理者：

負責制定營運策略，確保工廠符合安全、環保及生產效率要求，滿足法律法規和行業標準，並制定資本投資與資源分配計畫。

### 2.生產部門

負責執行生產計畫，監控生產過程，確保產品品質達到標準。操作員需操作和監控設備，檢查設備狀況並通報異常，智慧化技術的引入可降低操作人員操作負擔。

### 3.維護部門

負責檢查和保養設備，確保其正常運行，利用智慧化技術預測故障，減少人力投入和停機時間。

### 4.品質管理部門

監控產品品質，利用監測數據進行分析，確保產品符合規範，智慧化技術可自動控制品質，減少人力需求。

### 5.資訊技術部門

建立和維護安全系統，防範網路攻擊，對員工進行安全意識教育訓練，避免不安全行為導致系統受損。

## 6.安環部門

確保工廠符合職業安全與環保法規，管理作業人員、監控污染物處理，提升安全性並降低環境影響。

### (三)風險和機會管理

企業應識別並評估智慧化技術推動系統中的風險和機會，建立標準來區分可接受與不可接受的風險，並制定風險處理計畫。應持續監控風險管理措施的有效性，並在必要時調整策略，以降低負面影響並提高系統效能。

### (四)資源管理

企業應為智慧技術管理系統提供必要的資源，包括數據、工具、技術系統和人力資源。應記錄這些資源的能力及其對系統效能的影響，以便有效管理和追蹤，確保智慧安全管理目標的實現。

### (五)智慧安全系統生命週期管理

企業應在智慧安全管理系統的整個生命週期中進行管理，從設計、開發、部署到操作、維護，直至最終停用。每個階段都應建立標準來管理風險和機會，確保系統在每個階段都符合設計需求並持續改進。

### (六)與利害關係人溝通

企業應識別智慧安全管理系統的利害關係人，並建立有效的溝通管道，讓利害關係人能夠提出問題和接收系統相關資訊。應根據不同目標受眾調整溝通內容，並建立回饋機制以處理利害關係人的意見，並在必要時採取適當的行動。

### (七)持續改進

企業應持續改進智慧安全管理系統的適宜性、充分性和有效性，包含監控系統效能、進行內部審核及管理評審，並根據評估結果採取具體的改善措施，

如調整政策目標、強化操作流程、更新維護策略等。透過數位孿生技術進行模擬和測試不同的管理策略，幫助管理者做出最佳決策。而改善措施應持續監測其效果，若未達到預期目標，則需重新分析並調整策略，以最終提升生產效率、降低成本並增強企業競爭力。

## 六、交付供應商承攬智慧化技術

多數之石化業者因任務編制關係，並未有專門設計與設置智慧化技術之部門，因此常以交付承攬之方式委託技術供應商協助建置。在合作建置系統前，選擇合適的供應商和確保系統的穩定性及安全性是成功的關鍵。透過有效的系統整合、資訊安全管理和定期的績效評估，工廠能夠最大化地利用智慧化技術的優勢，提升生產力和安全標準。同時，強化技術支援、故障排除和應變計畫，能有效應對各類突發情況，確保工廠的安全性和穩定性。在與智慧化技術供應商合作建置系統或設備時，必須確保以下幾個關鍵領域的有效性與穩定性：

### (一) 評估選擇適當供應商

在選擇供應商時，應全面評估其信譽、技術成熟度、技術解決方案的普及性和售後服務的品質。應優先選擇具有豐富經驗並能提供長期穩定合作的供應商。供應商的財務穩定性、過往合作案例和客戶回饋都是評估的重要依據。供應商應具備靈活應對突發事件的能力，如保證設備交付和技術支援的穩定性，確保系統生命周期內的有效性和持續改進。

## (二)核心能力考量

### 1.系統整合與數據準確性

智慧系統需能與現有設備及自動化系統無縫整合，進行相容性測試以避免數據錯誤或系統故障，應選擇高精度且耐用的感測器，並設計冗餘系統以確保數據的準確性和完整性。整合過程中需進行多次驗證，確保系統間數據一致，並建立數據流監控機制，防止數據遺失或異常。

### 2.環境適應性與資訊安全

設備需具備適應石化工廠中高溫、腐蝕和爆炸等嚴苛環境的能力，因此所有硬體必須經過耐高溫、耐腐蝕、抗爆炸的測試。針對數據安全，應確保所有數據傳輸加密，並設置多層防火牆和入侵檢測系統。實施嚴格的存取控制，僅授權人員可訪問關鍵資料，並定期進行安全審查與稽核來修補漏洞，提高網路安全性。

### 3.故障排除與應急方案

系統需具備即時監測和預警功能，以便在故障發生時能迅速反應。應設計冗餘方案應對電力或通訊故障，配備不間斷電源( Uninterruptible Power Supply, UPS )和雙重通訊鏈路( Communication Link )，確保系統穩定性。應提供遠端技術支援和應急操作手冊，幫助工廠人員在第一時間進行有效應對，減少故障對安全與生產的影響。

### 4.技術支援與維護

供應商應提供技術支援服務，定期對系統進行更新以保持其穩定性與安全性。支援應包括遠端和現場支援，確保緊急情況下能迅速應對。此外，供應商需為工廠技術人員提供專業訓練，增強故障排除和



日常維護的能力，且應建立知識庫，記錄常見問題與解決方案，便於技術人員快速查找。

#### 5. 合規性、成本效益與擴展性

確保系統符合國際或國內安全標準，並提供檢驗報告與認證文件。選擇具成本效益的解決方案，並設計可擴展的系統架構，支援未來功能擴展與感測器增設。

#### (三) 執行與績效評估

為確保智慧化技術達到預期效果，應建立定期的績效評估機制，量化系統運行、設備性能和數據準確性。根據評估結果，及時調整運行策略，並與供應商共同探討改善方案。此外，應邀請第三方機構進行定期審查，從客觀角度評估系統運行情況，確保其符合標準。

## 第五章、結論

在本石化/化學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，石化與化學產業重大事故風險較高，一旦發生事故，後果極為嚴重，可能造成大規模人員傷亡和環境污染；其次是人員斷層的問題，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，進一步加劇了這一問題；最後，目前大多數石化/化學工廠的智慧化程度不足，仍然依賴傳統的人工操作和管理方式，限制了工廠的運營效率和應變能力。

為了解決這些問題，本指引提出了一系列智慧化技術和管理策略，旨在推動石化工廠實現全面的智慧安全管理，提升其在安全管理、環境保護、設備管理和生產效率等多方面的能力。建議整合物聯網、大數據分析、人工智慧等先進技術，以促進智慧化轉型的實現，並全面增強工廠的風險管控能力。

### 一、應用智慧化技術的主要好處

#### (一) 應對石化產業挑戰

當石化產業面臨設備老化、人員退休及技術傳承困難等多重挑戰，透過導入智慧化技術如人工智慧和自動化管理系統，能夠強化安全及管理模式，減少人力依賴並節省人力成本，並促進經驗的傳承，有助於企業面對這些挑戰，維持安全且高效率的生產運作。

#### (二) 強化安全管理與風險控制

智慧化技術能夠基於歷史數據和即時數據進行風險預測與評估，有效預防高風險事故發生，同時亦可

幫助工廠/公司/企業制定更精準的安全管理計畫，並藉由人工智慧分析並提前辨識潛在的安全問題，藉以提升工廠安全管理、風險管理與應變能力。

### (三)提升設備或管線管理與預測維護

傳統的設備或管線維護模式依賴於定期檢查，但此方式較難充分預防設備故障，透過安裝感測器並結合 AI 技術，工廠能夠落實設備或管線的即時監控，辨識設備異常並進行預測性維護，提前進行檢修，以避免嚴重故障的發生，此不僅減少了非計畫性停俾的風險，降低製程設備或管線之維修成本並延長設備或管線的使用壽命。

### (四)數位技術輔助與可持續發展

透過數據為基礎進行安全生產管理，石化工廠能夠使製程流程持續最佳化，提升生產效率以降低能源消耗與碳排放，藉此面對更加嚴峻之環保相關議題及法令要求。因此，如工廠可以在虛擬環境中進行製程模擬，提早進行製程預測，或是藉由人工智慧進行學習並進行各項數據預測，除可增強管理決策信心外，也可以更高之效率進行管理，以應對產業之挑戰並持續發展。

## 二、可優先採用的智慧化技術

為了幫助工廠更有效地解決安全問題並導入智慧化技術，本指引建議優先考慮以下 6 項技術，這些技術大多屬於基礎技術（如第 80 頁表 2 所示），技術成熟度較高且導入成本相對較低，目前亦有許多技術供應商可提供相關軟硬體服務，這些技術能顯著提升工廠的整體效益，因此應優先導入，不僅能夠顯著提升工廠的安全性、運營效率及整體競爭力，還可為工廠的智慧化轉型

奠定堅實基礎。建議優先採用的智慧化技術項目如下：

(一) 氣體偵測數據分析管理

利用氣體偵測器、火焰電離檢測器 (Flame Ionization Detector, FID)、光離子化偵測器 (Photo Ionization Detector, PID)、氣體影像辨識等偵測技術監測氣體洩漏並收集數據，透過數據分析技術建立正常狀態的基線，當偵測到氣體濃度異常時，系統會發出警報。同時運用人工智慧化技術分析氣體洩漏的來源或模式，確認洩漏風險。

(二) 人車環境管制影像辨識

利用影像辨識技術確認人員是否進入管制區域或危險區域，並確認是否按照規定使用了個人防護裝備，例如安全帽、防護衣和防墜裝置等，以確保人員的安全。此外，系統還能對人員和車輛的進出進行管理，包括辨識車輛類型、車牌號碼和人員身份，確保進出許可符合規定。影像辨識系統也能使用紅外線或可見光技術辨識環境中的火災和煙霧，有異常時進行通報，提升整體的環境安全。

(三) 人員異常辨識或定位

利用人員定位技術，可以即時追蹤人員位置，結合感測器和 AI 技術，系統還可以監測人員的生理狀態，如心跳和體溫，以及人員狀態如墜落、倒臥、靜止等，並在異常時發出警報。此外，系統可設定人員跨區警示，當人員進入未經授權的區域時，會立即通報管理人員。

(四) 設備與管線監測系統

利用手持式或固定式感測器收集設備與管線相關數據，建立正常基線並監測，如有異常時可即時發出偏離預警；設備監測系統利用手持式或固定式蒐集

數據，如振動檢測、紅外線檢測、電流檢測、電阻率量測結果等，確認異常與故障的發生；腐蝕監測系統則透過手持式非破壞檢測（NDT）技術，如放射檢測（Radiographic Testing, RT）、超音波檢測（Ultrasonic testing, UT）等檢測之結果，搭配 AI 判讀確認設備和管線的腐蝕狀況，預測剩餘壽命，以制定恰當的檢查計畫。

#### (五) 工廠營運管理平台

使用數據管理平台來收集及整合數據，例如人員、設備監測、製程控制和化學品管理、環保管理等。透過數據分析與可視化技術，將數據可以轉化為有用的資訊如安全指標或報表等，幫助工廠了解工廠營運情況與異常，以進行優化與改善。

#### (六) 智慧巡檢系統

系統藉由現場巡檢使用手持裝置檢測儀錶、設備、管線、製程環境等實際狀況，結合影像辨識技術、紅外線熱成像儀和氣體偵測器，可以有效收集設備和環境的數據，可幫助系統及早發現可能的異常情況，並且將巡檢結果即時更新到管理平台系統中，以便進一步分析和追蹤，確保工廠的運營安全和穩定。

在智慧化轉型過程中，技術選擇應優先基於技術的可行性、投資成本的合理性進行評估。而這些基礎技術因其成熟度高、短期內可見的成果，以及其在多方面帶來的運營效益，成為工廠實施智慧化轉型的重要一步。在此基礎上，工廠還可以逐步引入更先進的智慧化技術，逐漸使工廠邁向智慧化。

### 三、全面評估與規劃

除了上述之六項可優先導入之技術外，如要導入其他更加深入之技術，則在實際導入這些技術時，具體順序應根據工廠的實際需求及本指引第四章所述的評估方法（如基線審查）進行規劃，以達到最佳的智慧化轉型效果。

為使石化/化學工廠能評估自身智慧化程度，本指引於第四章中提出了檢核表範例供業者參考，幫助工廠進行資源盤點和詳細評估，以確定智慧轉型的具體目標和範圍。評估內容涵蓋資源配置、設備狀況、技術應用現況等，使工廠能夠明確自身的優勢與不足，為後續的智慧化轉型奠定基礎。藉由評估不僅有助於工廠了解自身在智慧化技術應用中的現狀，還能夠為制定實際可行的發展計畫提供明確的依據。

### 四、人才培養的重要性

除智慧化技術導入外，人才能力的養成是石化工廠智慧轉型成功的重要部分。智慧化技術的導入需要員工具備一定的技能，特別是在數據分析、技術操作和網路安全方面的知識。因此，企業應為員工提供專業的教育訓練，幫助員工熟悉新技術的應用（如智慧設備操作、數據分析工具的使用、網路安全知識等），以確保智慧化技術的順利推行。此外，企業還應激勵員工積極參與智慧化技術的應用和改善過程，讓員工在其中獲得成就感，進一步提高員工對智慧系統的適應能力與接受程度。

本指引目的為幫助石化與化學工廠應對目前的挑戰，透過智慧化技術的導入和全面管理策略的應用，實現生產的智慧化與安全化。優先引入六項智慧化技術，並配合全面的評估與人才培養，工廠將能顯著提升運營效率、安全性和可持續發展能力，為未來的智慧化轉型奠定堅實基礎。這些技術的應用將促使工廠運作更加高效，提升其競爭力，並在面對日益嚴格的安全與環保法規時保持合規性。此外，智慧化技術還能幫助工廠在生產過程中更靈活應對突發狀況，減少因設備故障或操作失誤而導致的意外發生，確保生產的連續性與穩定性。隨著工廠智慧化技術的不斷發展，這些措施將成為提升企業長期可持續發展的重要基礎，使石化與化學工廠更能夠面對未來的挑戰與變革，實現更加穩定與創新的成長。

## 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](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](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](https://fdkc.kcg.gov.tw/News_Content.aspx?n=EF5454228AD21A21&sms=6BCA88A6633BE86E&s=467A5ADFEF9D281B)
12. 佛光山人間通訊社. (2023, July 15). 高雄壓克力廠大火 派機器



- 人滅火. 人間福報. <https://www.merit-times.com.tw/NewsPage.aspx?unid=850588>
13. National Research Institute of Fire and Disaster. (2019). Retrieved from [https://nrifd.fdma.go.jp/public\\_info/library/kenkyu\\_kaihatsu/files/robot\\_1\\_keika.pdf](https://nrifd.fdma.go.jp/public_info/library/kenkyu_kaihatsu/files/robot_1_keika.pdf)
  14. 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>
  15. 日本經濟産業省(2022). 産業保安グループスマート保安先進事例
  16. 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
  17. 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>
  18. 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](https://www.khk-syoubou.or.jp/pdf/magazine/199/199_all.pdf)
  19. Yokogawa. (2023, March 30). *News Release*. Retrieved from <https://www.yokogawa.com/tw/news/press-releases/2023/2023-03-30/>
  20. ExxonMobil. (2021). *Smart Technologies & Intelligent Operations*. Retrieved from <https://corporate.exxonmobil.com/who-we-are/technology-and-collaborations/smart-technologies-intelligent-operations>
  21. 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>
  22. 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.
  23. Honeywell. (2020). *Gas Rebellion – Gas Cloud Imaging Brochure*. Retrieved from <https://pmt.honeywell.com/content/dam/pmt/e>

- [n/documents/Gas-Rebellion-Gas-Cloud-Imaging-Brochure.pdf](#)
24. International Organization for Standardization. (2016). *ISO 14224: Petroleum, petrochemical, and natural gas industries – Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment*.
  25. 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>
  26. 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](https://process.honeywell.com/content/dam/process/en/documents/document-lists/doc-list-onshore-production/Brochure_Predicting_Corrosion.pdf)
  27. 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.
  28. 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/>
  29. 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：資產擁有人*.
  30. International Electrotechnical Commission. (2010). *IEC 62443-2-1: Network and system security – Part 2-1: Establishing an industrial automation and control system security program*.
  31. National Institute of Standards and Technology. (2024). *The NIST Cybersecurity Framework (CSF) 2.0*.
  32. National Institute of Standards and Technology. (2023). *Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0)*. U.S. Department of Commerce.
  33. International Organization for Standardization. (2023). *ISO 42001:2023, Information technology - Artificial intelligence - Management system*.