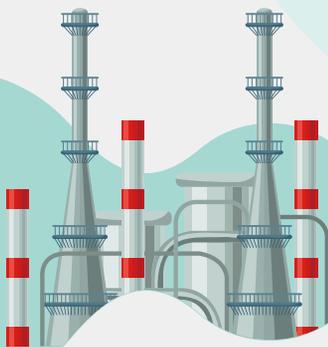




經濟部

Ministry of Economic Affairs

112 年度 石化業 低碳生產技術彙編



經濟部產業發展署

Industrial Development Administration
Ministry of Economic Affairs

112 石化業
年度 編
低碳生產技術彙編

經濟部產業發展署 編印
中華民國一一二年九月



一、緒言	1
二、產業概況	3
2.1 產業簡介	4
2.2 主要製程特性	5
2.3 未來發展方向及面臨問題	7
三、低碳生產技術設備	13
四、低碳生產技術設備應用與實務案例	19
4.1 螺旋式阻流板熱交換技術	20
4.1.1 應用場域	20
4.1.2 實務案例介紹	22
4.2 殼板式熱交換技術	27
4.2.1 應用場域	27
4.2.2 實務案例介紹	28
4.3 機械式蒸汽再壓縮技術	31
4.3.1 應用場域	31
4.3.2 實務案例介紹	34
4.4 永磁聯軸器PMC傳動技術	37
4.4.1 應用場域	37
4.4.2 實務案例介紹	39
4.5 3D葉輪泵	42
4.5.1 應用場域	42
4.5.2 實務案例介紹	45
4.6 吸收式冷凍機	49
4.6.1 應用場域	49
4.6.2 實務案例介紹	52

4.7 空氣懸浮式鼓風機 -----	56
4.7.1 應用場域 -----	56
4.7.2 實務案例介紹 -----	59
4.8 有機朗肯循環(ORC)發電技術 -----	62
4.8.1 應用場域 -----	62
4.8.2 實務案例介紹 -----	65
4.9 蒸汽壓差發電技術 -----	68
4.9.1 應用場域 -----	68
4.9.2 實務案例介紹 -----	71
4.10 纏繞管熱交換技術 -----	74
4.10.1 應用場域 -----	74
4.10.2 實務案例介紹 -----	76
4.11 高溫陶瓷保溫塗料 -----	80
4.11.1 應用場域 -----	80
4.11.2 實務案例介紹 -----	82
4.12 冷卻水塔散熱風扇效率提升技術 -----	87
4.12.1 應用場域 -----	87
4.12.2 實務案例介紹 -----	91
4.13 CO ₂ 再利用技術 -----	95
4.13.1 應用場域 -----	95
4.13.2 實務案例介紹 -----	97
結語 -----	99
參考文獻 -----	101
延伸閱讀 -----	105



圖 目 錄

圖2.2-1 石化產業上、中、下游產品與我國主要生產業者	5
圖2.3-1 2020~2050 NZE情境中排放減量措施	8
圖2.3-2 2010~2022 CCS項目產能增長情況	10
圖2.3-3 CCSU設置數量及二氧化碳捕捉量一覽	10
圖4.1.1-1 螺旋式阻流板熱交換技術示意圖	21
圖4.1.2-1 案例廠設備改善前示意圖	23
圖4.1.2-2 設備改善示意圖	25
圖4.2.1-1 殼板式熱交換技術示意圖	27
圖4.2.2-1 製程設備改造流程圖	29
圖4.2.2-2 設備入料區與12K蒸汽流量之曲線圖	29
圖4.3.1-1 單效、多效及機械蒸汽再壓縮系統之蒸發及冷凝原理	31
圖4.3.1-2 機械式蒸汽再壓縮(MVR)系統運作流程示意圖	32
圖4.3.1-3 機械式蒸汽再壓縮系統圖	33
圖4.3.2-1 案例廠設備改善後示意圖	35
圖4.4.1-1 PMC安裝示意(左)、典型PMC-F結構(中)、阿拉哥原理圖解(右)	37
圖4.4.1-2 氣隙變化示意圖(實際產品非單盤式結構)	38
圖4.4.2-1 案例廠設備改善前示意圖	39
圖4.4.2-2 案例廠設備改善後示意圖	40
圖4.5.1-1 3D葉輪泵模擬示意圖	43
圖4.5.1-2 3D葉輪泵模擬最適化示意圖	44
圖4.5.2-1 改善前設備效率檢測示意圖	46
圖4.5.2-2 改善後設備效率檢測示意圖	47
圖4.6.1-1 吸收式與傳統壓縮式冷凍機差異示意圖	49
圖4.6.1-2 蒸汽型吸收式冷凍機內部流體循環示意圖	50
圖4.6.2-1 案例廠吸收式冷凍機系統示意圖	52
圖4.6.2-2 案例廠改善前流程示意圖	53
圖4.6.2-3 案例廠改善設備圖	53
圖4.6.2-4 案例廠設備改善後流程示意圖	54
圖4.7.1-1 磁同步電機與葉輪示意圖	56
圖4.7.1-2 空氣懸浮式鼓風機示意圖	57
圖4.7.1-3 專利雙重冷卻系統示意圖	58

圖4.7.2-1 案例廠設備改善前示意圖	59
圖4.7.2-2 案例廠設備改善後示意圖	60
圖4.8.1-1 有機朗肯循環(ORC)發電技術示意圖	63
圖4.8.1-2 有機朗肯循環ORC熱效率	63
圖4.8.1-3 水冷式有機朗肯循環ORC發電方案	64
圖4.8.2-1 案例廠製造流程	65
圖4.8.2-2 有機朗肯循環ORC發電機組圖	66
圖4.9.1-1 蒸氣渦輪機運作原理	69
圖4.9.1-2 蒸汽膨脹熱力圖(T-S diagram)	70
圖4.9.1-3 螺桿膨脹機的進排過程示意圖	70
圖4.9.2-1 異丙苯及苯酚製程反應	71
圖4.9.2-2 案例廠改善後蒸汽壓差發電機組	72
圖4.10.1-1 纏繞管熱交換技術示意圖	74
圖4.10.2-1 芳香烴工廠原料、產品與製程關聯圖	76
圖4.10.2-2 纏繞管熱交換技術應用流程圖	77
圖4.10.2-3 纏繞管熱交換器設置圖	78
圖4.11.1-1 不同保溫塗料輻射率	80
圖4.11.1-2 耐火材料種類	81
圖4.11.2-1 苯乙烯SM製造流程	83
圖4.11.2-2 加熱爐改善前示意圖	84
圖4.11.2-3 高溫陶瓷保溫塗料改善前後操作參數	85
圖4.11.2-4 噴塗高溫陶瓷保溫塗料前後照片	86
圖4.12.1-1 纖維編紗束、編織布之各種編法示意圖	89
圖4.12.1-2 風扇運轉氣流示意圖	90
圖4.12.2-1 合成氣製程及正丁醇製程	91
圖4.12.2-2 冷卻水塔示意圖	92
圖4.12.2-3 冷卻水塔散熱風扇轉動方式示意圖	92
圖4.12.2-4 冷卻水塔散熱風扇改善前後照片	93
圖4.13.1-1 回收CO ₂ 作為原料合成之化學品及高分子材料	95
圖4.13.1-2 CO ₂ 再利用生產醋酸流程	96
圖4.13.2-1 醋酸製造流程圖	97
圖4.13.2-2 跨公司CO ₂ 整合回收再利用情境示意圖	98



表 目 錄

表3-1 低碳生產技術特點及適用範圍	14
表4.1.2-1 殼管式熱交換器設計規格	23
表4.1.2-2 螺旋式阻流板熱交換器設計規格	24
表4.1.2-3 案例廠改善後系統之節能量	26
表4.2.2-1 案例廠改善後系統之節能量	30
表4.3.2-1 案例廠改善前設備規格表	34
表4.3.2-2 案例廠改善前後系統之節能量	36
表4.4.2-1 案例廠改善前後系統之節能量	40
表4.5.2-1 改善前設備規格	46
表4.5.2-2 改善後設備規格	47
表4.5.2-3 案例廠改善前後主要系統參數比較	48
表4.6.2-1 案例廠改善後系統比較	54
表4.7.2-1 案例廠改善前後系統之節能量	60
表4.10.2-1 案例廠改善前後系統之節能量	78
表4.12.1-1 各種纖維性質比較(1)	88
表4.12.1-2 各種纖維性質比較(2)	88
表4.12.2-1 改善前後各項實測數據與節能量	93

112
年度 **石化業**
低碳生產技術彙編

一、緒言



一、緒言

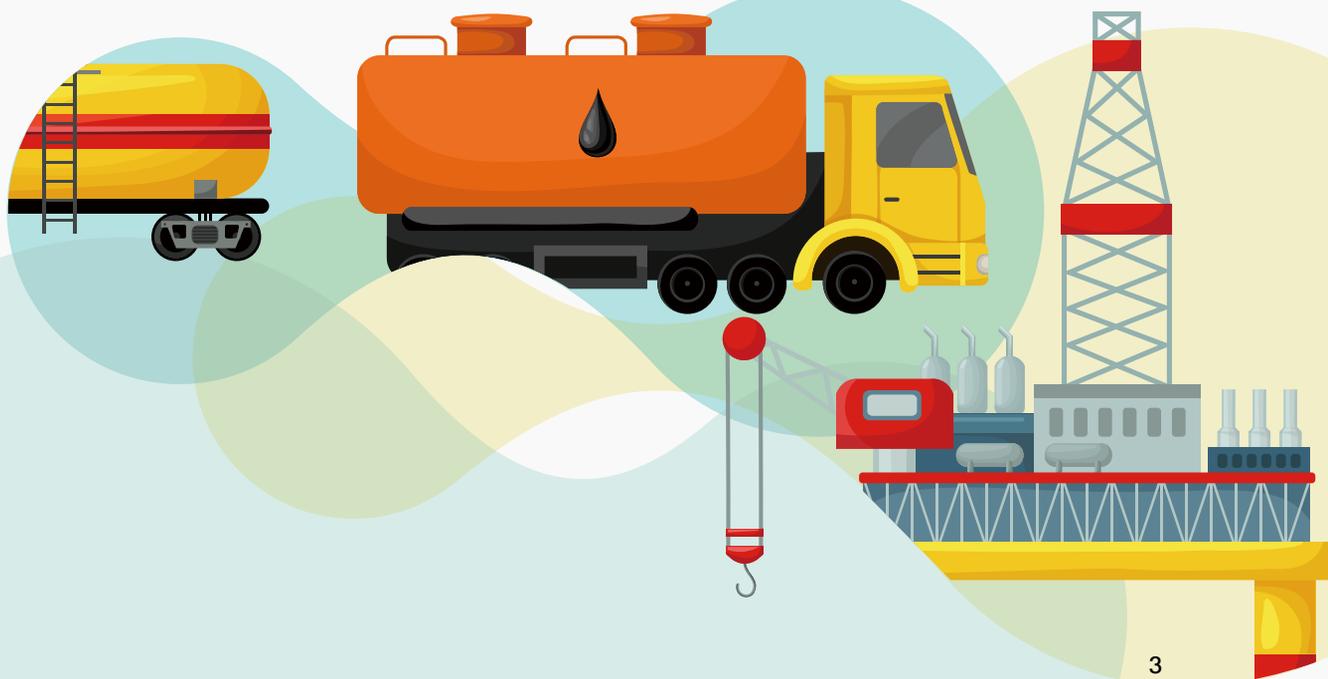
《溫室氣體減量及管理法》於 2015 年 7 月 1 日總統令公布施行，為因應氣候變遷作為奠定法制基礎。惟全球氣候變遷現象嚴峻，為加速我國減碳作為並強化氣候變遷調適，《氣候變遷因應法》^{〔1〕}已於西元 2023 年 2 月 15 日總統令公布施行，並將國家長期減量目標、提升氣候治理、推動碳定價、強化氣候變遷調適等納入法案中。國家溫室氣體長期減量目標為 2050 年淨零排放，為呼應國際碳排放管理趨勢及歐盟碳邊境調整機制 (Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM)，將分階段徵收碳費入法，期能藉此加速國內廠商推動 2050 淨零排放規劃，逐步落實低碳生產轉型，以確保產品外銷競爭力，避免遭受非關稅之貿易障礙。依據環境部氣候變遷署「2023 年中華民國國家溫室氣體排放清冊報告」^{〔2〕}顯示，2021 年工業製程及產品使用部門溫室氣體排放量為 22,156 千公噸 CO₂e(CO₂、N₂O、CH₄ 及含氟氣體)^{〔2〕}，顯示在全球淨零排放趨勢下，製造部門未來所面臨之減碳壓力將與日俱增。

面對國內 << 氣候變遷因應法 >> 與國際溫室氣體排放管制趨勢，推動製造部門溫室氣體減量刻不容緩。經濟部產業發展署（下稱產發署）為協助產業落實減碳工作，輔導企業低碳升級轉型與永續發展，以協助產業因應日趨劇烈變化的氣候與經營環境，確保產業競爭力。由於製程技術或設備導入須考量之因素眾多，為協助工廠順利進行低碳製程新技術或設備導入之前期規劃，遂著手辦理「低碳製程技術彙編」，藉由各產業專家所建議低碳技術設備之介紹及實務案例，協助企業排除技術篩選之困擾與障礙，順利導入低碳生產技術或設備。

產發署於 2019 年已完成「石化業低碳技術手冊彙編」，由於低碳生產技術發展日益更迭，本次彙集收錄相關低碳技術及實務案例，增補與更新低碳技術內容，以加速低碳技術之產業應用。本彙編相關案例皆為產業先進實際應用所得出之寶貴經驗，惟參採時仍須考量個案適用性，包括經濟層面、技術層面及工程層面，選用時宜多加評估各方面之可行性。

112 年度 石化業 低碳生產技術彙編

二、產業概況



二、產業概況

2.1 產業簡介

1.石化產業範疇

石化產業可大致分成上、中、下游，上游為石化原料的生產製造業者，主要利用煉油廠所生產的石油腦 (Naphtha) 作為原料，生產乙烯、丙烯、丁二烯、苯、甲苯、二甲苯等大宗石化原料；中游為石化中間原料製造業者，利用上游石化原料製造業者所生產的大宗石化原料，經氯化、氧化、聚合等化學反應，生產聚乙烯 (PE)、聚丙烯 (PP)、聚氯乙烯 (PVC)、ABS、工程塑膠、聚酯等塑膠原料或其他中間化學產品；下游則主要是塑膠製品、橡膠製品、複合材料、紡織品與一般生活用品的生產業者，利用聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯等塑橡膠原料，經射出、熱壓、押出、抽絲等加工製程，製造塑膠製品、橡膠製品、複合材料、紡織品與一般生活用品。

2.石化業基本發展趨勢

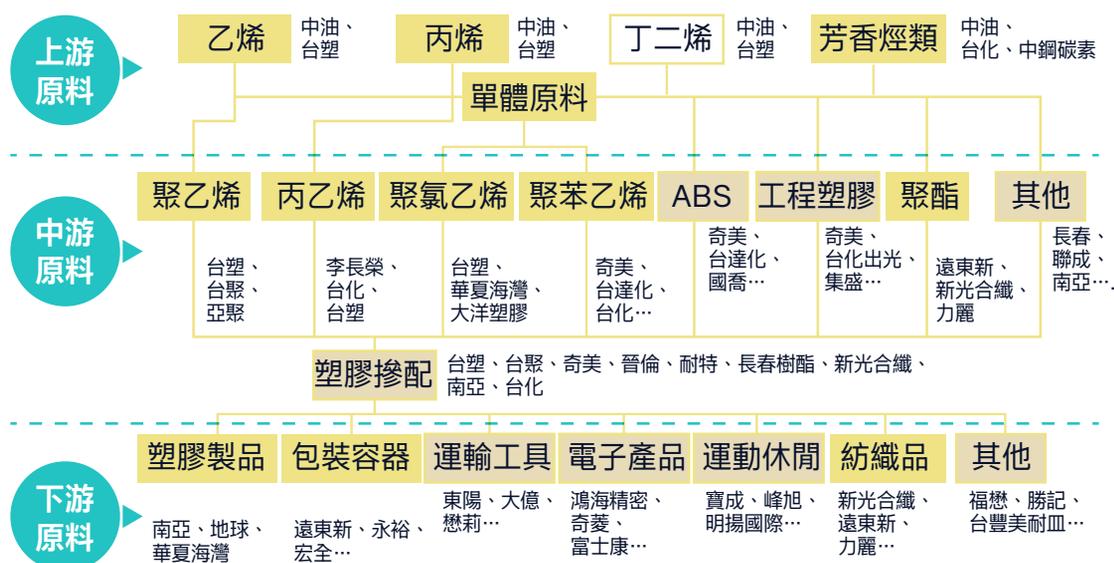
我國石化基本原料產業發展始於 1970 年代，1973 年台灣中油公司於苗栗頭份興建國內第一座裂解設備，爾後二輕至四輕陸續興建，逐漸提升我國石化基本原料之自給率，帶動我國下游塑膠、橡膠、纖維等產業之發展，創造經濟起飛之奇蹟。經歷 1980 年代與 2005 年代的兩次主要產能擴充期，約 10 年的穩定發展，後在環保意識抬頭下整體產業鮮少大型投資，呈現成長停滯的狀態。在未來部分，台灣中油公司擬啟動高雄四輕工廠汰舊換新，希望在林園廠區內就地更新。

我國塑膠原料產業主要集中在雲林麥寮與高雄地區 (仁武、大社與林園) 兩地。若以產品產能來看，雲林麥寮約占了我國塑膠原料產能的 32.5%；高雄地區約占了我國基本原料產能的 34.8%，其它地區占了 32.7%。⁽³⁾

我國塑膠原料產品之主要客戶多為我國塑膠加工、混練與製品業者，除了在提供國內下游業者應用外，亦提供製品業者海外生產之用，塑膠原料加工成型成為各種高附加價值之產品。

2.2 主要製程特性

由於石化產業上、中、下游產品的生產主要製程、系統及特性均不相同，石化產業上、中、下游產品與我國主要生產業者如圖 2.1-1 所示。以下進行石化產業上、中、下游代表性產品的主要製程與系統介紹。



資料來源：工研院產業科技國際策略發展所，2022 年 7 月⁽³⁾，本彙編更新

圖2.2-1 石化產業上、中、下游產品與我國主要生產業者

1.石化產業上游

石化產業上游廠商生產所使用的原料為輕油裂解廠之石油腦 (Naphtha)，石油腦經過觸媒裂解，轉化後產生烷烴類、烯烴類、芳香烴類、醇化合物、單體類及其他石油化工原料等，主要產品有乙烯、丙烯、丁二烯、苯、甲苯等。

2.石化產業中游

石化產業中游製造業者主要生產聚乙稀 (PE)、聚丙稀 (PP)、聚氯乙稀 (PVC)、ABS、PS 等五大泛用塑膠與紡織業，以及聚酯纖維製造業之乙二醇、丙烯腈、己內醯胺與純對苯二甲酸等主要原料。

3.石化產業下游

石化產業下游製造業者主要以生產塑膠膜、PVC 塑膠皮、PU 塑膠皮、PE 發泡板、輪胎等塑、橡膠製品為主。

塑膠膜種類繁多，用途也極廣，其目的可避免包裝物變質、防濕、防潮、保香及防氧化作用。自 1970 年包裝用膜由 EVA、PVC、LLDPE，發展到使用 mLLDPE 材料，開發多層結構技術及線上 MD 方向延伸設備。此種技術及設備可使塑膠膜延伸率由 200% 提高至 300%，且可避免添加劑浮於表面造成污染的問題。

PVC 塑膠皮以聚氯乙烯樹脂為主要原料，加上可塑劑、安定劑、顏料等配合劑，被覆在基布上製作而成。PE 發泡板則以聚乙烯樹脂為主要原料，可作為各種皮包、皮箱、隔板及各種瓶蓋墊片等。PP 塑膠皮以聚丙烯樹脂為主要原料，可使用於文具、玩具、五金器材等用途。PU 塑膠皮以聚胺絲為面層原料，採用乾式塗布或貼合法，將面層塗布黏貼於適當基材所製造之人造合成皮。

塑膠加工成型方法多元，主要有熱壓成型法、轉移成型法、射出成型法、押出加工法、壓延法等五種。

(1) 熱壓成型法：

為熱固性塑膠成型法的一種，將部分聚合之塑料填充模具，關模後再以加熱方式使之熔融並充滿整個模腔，待其固化後，便可取出完成製品，熱壓成型法為最簡單的一種成型加工方法。

(2) 轉移成型法：

為熱固性塑膠成型法的一種，將塑料置於模具上之加熱室中，加熱使之熔融，再藉由轉移衝柱的高壓，將塑料壓入另一封閉的模腔中，待固化作用完成後便可取出製成品，此法所生產的成型品精密度較熱壓成型法高。

(3) 射出成型法：

將熱固性或熱塑性塑膠在射出成型機的加熱筒內加熱，直到完全熔融並呈現流動狀態時，再藉由柱塞或螺桿注入閉合模具內，經過冷卻固化後，即可開啟模具取得製成品，射出成型法為塑膠成型技術中最廣泛使用的方法。

(4) 押出加工法：

將熱塑性塑膠於押出機中加熱、加壓，再用螺桿予以押出。衍生其他生產方法還包括：吹膜押出、中空成型、壓延加工、共押出加工及混練切粒等。

(5) 壓延法：

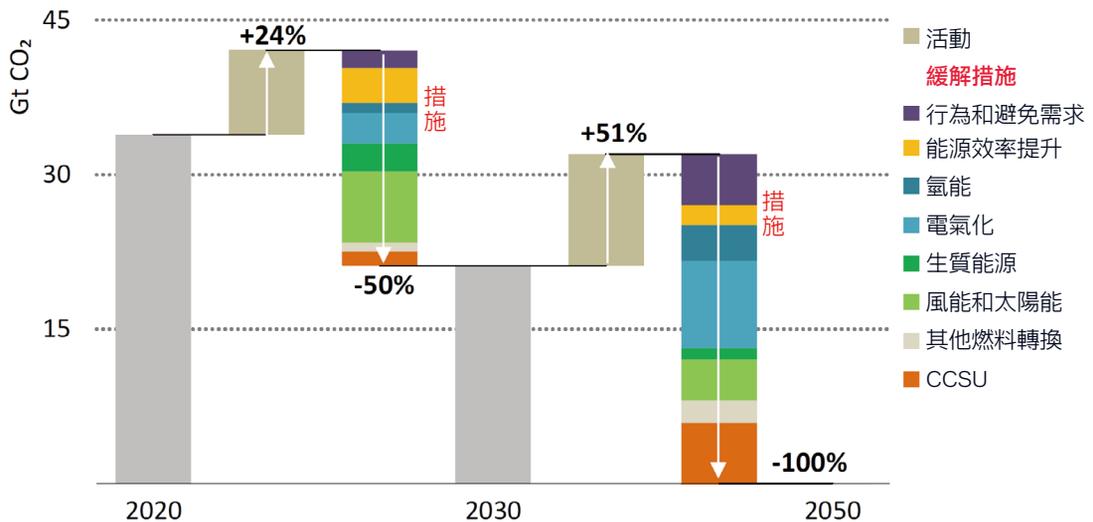
為熱塑性塑膠的成型法之一，常被用來製造膠布、膠皮產品。主要生產方式是先將熱塑性塑膠和各種添加劑進行混合混練，過濾掉雜質後，利用壓延機將材料成型為連續的薄層塑膠或將其塗布在紡織品、紙張等。

2.3 未來發展方向及面臨問題

2023 年石化產業有幾項重要趨勢：

1. 因應全球暖化，全球各國紛紛宣示以淨零與碳中和為目標，預定在 2050 年達到淨零排放，各國企業亦陸續推動淨零排放減碳技術。此外，歐盟為防止產業碳洩漏並促使全球產業往低碳製造轉型，已於 2023 年 5 月 16 日發布碳邊境調整機制 (Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM) 法規⁽⁴⁾，將於 2023 年 10 月 1 日起試行，要求進口商提交碳排放相關數據，尚不需繳納費用；2026 年 1 月 1 日過渡期結束，實施付費制，規範碳密集型產品若進口到歐盟，必須購買憑證 (CBAM Certificates) 才能將其產品銷往歐洲市場，降低碳洩漏風險。
2. 各國開始陸續推動節能減碳相關政策，美國亦不例外，已於 2022 年 6 月 7 日美國參議院提出了美國的碳關稅 (Clean Competition Act, CCA) 草案⁽⁵⁾，日前已完成二讀。若通過，美國將於 2024 年開始徵收碳稅，課徵的對象包含美國當地生產製造及從其他國家進口的產品，納管的產業包含煉油、石化、化肥、水泥、鋼鐵及鋁等行業。
3. 整體產業經濟處於景氣下行期，多數企業家認為產業景氣受「俄烏戰爭」、「物價通膨」及「中國新產能開出」等影響，2022 年台灣石化業產值衰退 8.3%⁽⁶⁾，預估 2023 年台灣整體市況仍顯低迷；另俄烏戰爭影響全球原油供給，造成全球原油及化學品價格上漲，此次能源危機使全球意識到能源轉型的重要性。

4. 依國際能源總署 (International Energy Agency, IEA)2050 淨零排放路徑規劃 (Net-Zero Emissions by 2050 Scenario, NZE)⁽⁷⁾，工業部門的 CO₂ 排放量在 2030 年必須下降 20%，2050 年下降 93%；未來 30 年達成全球能源系統脫碳的主要支柱為：能源效率提升、行為改變、電氣化、再生能源、氫及氫基燃料、生質能源、碳捕獲、儲存與再利用技術 (Carbon Capture, Storage and Utilization, CCSU) 等 7 大項，如圖 2.3-1 所示。



註：活動為能源服務需求因經濟和人口增長而變化；行為為用戶決策導致的能源服務需求變化，例如改變加熱溫度；避免的需求為能源服務需求因技術發展而發生的變化，例如數位化；其他燃料轉變為從煤炭和石油轉向天然氣、核能、水電、地熱、聚光太陽能或海洋。

資料來源：IEA, Net Zero by 2050- A Roadmap for the Global Energy Sector, July 2021.⁽⁷⁾

圖2.3-1 2020~2050 NZE情境中排放減量措施

5. COTC (Crude Oil To Chemical) 原油至化學品技術製程未來將成為影響煉製廠獲利與競爭力的重要技術

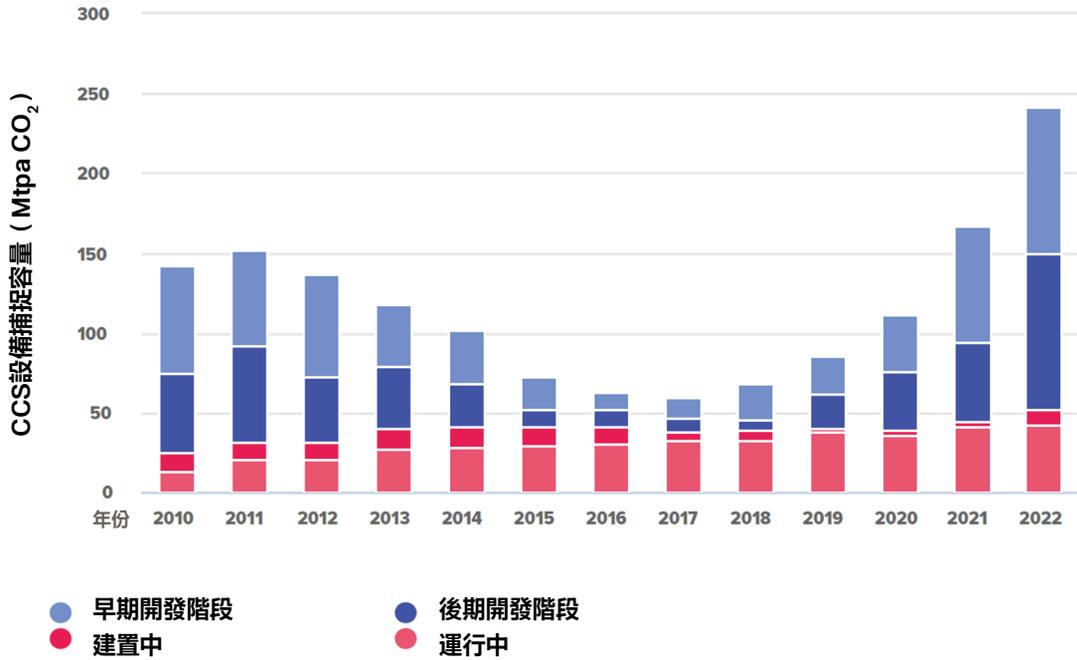
COTC 技術的全名為原油至化學品技術，早期 COTC 技術以整合煉油與石化相關製程為主，主要將煉油製程產出之石油腦 (Naphtha)、重組油 (Reformate) (主要成分為苯 (Benzene)、甲苯 (Toulene)、二甲苯 (Xylene) 等成分，合稱 BTX)、丙烯 (Propylene)、二碳成分 (C₂) 與液化石油氣 (LPG Gas) 等成分整合作為石化廠中的進料原料，用於產出乙烯、丙烯、丁二烯、苯、甲苯、二甲苯等石化上游所需的重要原料。同時也將

石化廠裂煉製程產生的氫氣 (Hydrogen) 與四碳成分 (C₄) 作為煉油廠的燃料、加氫製程原料與汽油產品的混合添加物等，這種將煉油與石化製程整合的工廠，國際上也將其稱為煉化一體廠 (Refining and Chemical Integrated plant)。

美國頁岩革命帶來的天然氣產量增加，不僅為美國帶來更多出口貿易，還為全球石化工業帶來衝擊。頁岩氣的主要成分甲烷可製成甲醇，乙烷可作為乙烯工廠的直接原料，且其生產成本較以石油腦為原料的乙烯生產成本便宜許多，而丙烷可經由脫氫製成丙烯。連帶使乙烯、丙烯衍生的產品如：聚乙烯、聚氯乙烯、聚丙烯等製造成本都可大幅降低。頁岩革命為基礎化學品提供了豐富廉價的原料，也帶給石化產業一波競爭衝擊。美國不僅是能源輸出大國，未來也將成為石化產品輸出大國。

6.CO₂捕獲再利用(CCSU)

CCSU 技術全名為 (Carbon Capture, Storage and Utilization) 碳捕獲、儲存與再利用技術，「捕獲」技術可分為燃燒後捕集、燃燒前捕集與富氧燃燒，以燃燒後捕集技術最為成熟且已商轉。「運輸」係將捕獲之二氧化碳運輸至封存 (再利用) 場址，可利用槽車、管線或船舶，前兩者較適合台灣現況。「儲存」是將捕獲的二氧化碳灌注到由不透水的岩石層覆蓋的多孔岩石深層地下密閉空間或岩層中的孔隙，從而封存與儲存二氧化碳，而覆蓋岩層扮演制止二氧化碳向上移棲的功能，可阻止二氧化碳洩漏至大氣中，「再利用」是指以二氧化碳作為具有潛在市場價值的產品或服務之原材料的過程，其應用範圍可視是否需經過化學變化，區分為轉化 (經過化學變化) 與非轉化 (未經過化學變化) 的程序。⁽⁹⁾ 根據全球碳捕獲與封存研究所 (Global CCS Institute, GCCSI) 於 2022 年報告指出，全球目前有 196 個 CCS 設備 (包含 2 個暫停使用)，其中 30 個 CCS 設備正式運轉，每年捕捉約 4 千萬公噸二氧化碳，另有 11 個在興建規劃中，如圖 2.3-2~ 圖 2.3-3 所示。⁽¹⁰⁾



資料來源：Global CCS Institute, Global-Report, 2022. ⁽¹⁰⁾

圖2.3-2 2010~2022 CCS項目產能增長情況

	運行中	建設中	後期開發階段	早期開發階段	暫停運作	合計
設施數量	30	11	78	75	2	196
捕捉能力 (Mtpa)	42.5	9.6	97.6	91.8	2.3	243.9

註：資料數據統計至 2022 年 9 月。

資料來源：Global CCS Institute, Global-Report, 2022. ⁽¹⁰⁾

圖2.3-3 CCSU設置數量及二氧化碳捕捉量一覽

7.廢棄塑、橡膠回收技術

廢棄塑、橡膠方面，目前產業界正在努力改變「消費後即廢棄」的模式，全球塑膠回收主要有三種技術，一是物理機械回收（機械粉碎或溶劑溶解）；另一是化學解聚回收；第三種是熱裂解回收。目前技術與市場都成熟的方法是物理機械回收法，化學解聚回收則尚在起步階段，熱裂解回收介於中間。將廢棄塑、橡膠轉化為再生料源，須仰賴各種降解技術，除了常見的熱能或溶劑降解，產業界最新技術係以微波輔助及生物降解，從 PET 中取得 BHET 等再生原料，再製為衣鞋服飾。

8.AI人工智慧與化工製造發展

隨著科技進步帶動傳統產業數位轉型變革，未來除了大數據即時資料蒐集與快速運算分析，更將進一步邁向高效能自動化 AI 智慧製造，利用人工智慧和機器學習技術，從大數據中尋找對決策有影響的關鍵數據，分析出最佳生產條件之程序控制，進行製程改善提升石化廠產能效率與產品品質，並快速複製模式擴散強化企業競爭力。

9.產業面臨的主要問題

COTC 相關技術大幅增加 BTX 產品比例是主要關鍵，而 COTC 技術所建之新廠又以中國大陸為首的亞洲地區廠商為主，BTX 未來大幅增產的情況下，相關產品市場恐面臨利潤大幅削減的劇烈競爭態勢。

CCUS 中碳捕獲基本上技術發展已成熟，但碳的封存與利用具有地域性問題，需有適合的封存場址與 CO₂ 使用的產業鏈配合，否則進行碳捕獲將無任何實際減碳效益可言。因此，各產業規劃碳捕獲技術進行減碳前，需先考量捕獲的碳是否有封存場址或使用管道，將碳捕獲、碳封存及碳利用納入整體性考量。

由於海洋塑膠廢棄物的問題日益嚴重，如何快速、大量的去化廢塑膠，並產出品質一致的塑膠回收原料成為解決塑膠廢棄物的核心技術，化學解聚回收方法可以達成上述目標，但技術與商業環境均未達到成熟階段，對於迫在眉睫的廢塑膠問題是否可以在短時間內開發出相關應用技術來解決問題，成為廠商關注的焦點。



112
年度 **石化業**
低碳生產技術彙編

三、低碳生產技術設備



三、低碳生產技術設備

本彙編針對石化產業鏈中造成溫室氣體排放量比重高之製程，彙集目前國內產業使用較不普遍、較新之低碳技術，或產業尚有很大應用空間之餘熱回收技術，期能提供業界參考進而順利導入低碳製程。參採技術時須考量個案適用性，包括經濟層面、技術層面及工程層面等，選用時宜多加評估各方面之可行性。低碳生產技術特點及適用範圍簡述如表 3-1 所示，詳細技術說明請參閱後續章節內容。

表3-1 低碳生產技術特點及適用範圍

項次	低碳生產技術及設備	技術特點	適用範圍	考量因素	應用產業
1	螺旋式阻流板熱交換技術	具有較高的可靠性和安全性。該設備的結構緊實，可以降低洩漏的風險，同時也擁有較長的使用壽命，並且易於進行維護和清潔。	① 設計溫度 - 200℃~750℃； ② 最大直徑：2,500 mm； ③ 最高設計壓力：200 kg/cm ² ； ④ 管徑：一般為 φ 19.05mm，常用的是 φ 25.4mm。	① 設計規劃及工期較長，故須留意改善期程； ② 需依使用端流體傳輸壓力、換熱面積、設置高度及面積專屬設計製造。	石化業 煉油業 鋼鐵業
2	殼板式熱交換技術	① 殼板式熱交換器相較於殼管式熱交換器，其熱傳效率高30%以上，且體積小、重量輕； ② 殼板式熱交換器相較於板式熱交換器，可符合耐高溫、高壓製程的條件需求； ③ 殼板式熱交換器相較於全焊接式熱交換器，可避免角落應力破裂的問題。	① 壓損較殼管式熱交換器大：於 100~200 kPa 壓損允許條件下最能發揮熱傳效果，如果在 50 kPa 壓損下，能效會比較差； ② 初期板片設計板片的通道為4.4 mm，因此不適合高黏度或大顆粒製程。	壓損較殼管式熱交換器大：於 100~200 kPa 壓損允許條件下最能發揮熱傳效果，如果在 50 kPa 壓損下，能效會比較差。	鋼鐵業 水泥業 石化業 造紙業 紡織業 光電業 半導體業 玻璃相關產業

項次	低碳生產技術及設備	技術特點	適用範圍	考量因素	應用產業
3	機械式蒸汽再壓縮技術	是一種開迴路工業熱泵(壓縮循環)，以系統內自身流體為冷媒加以壓縮循環，重新利用蒸發濃縮過程產生之二次蒸汽的冷凝潛熱，做為系統本身的加熱源，因而減少蒸發濃縮過程對外界蒸汽及冷卻資源的需求，大幅降低能耗。	此系統裝置隨操作條件之不同而迥異，有時需要補充少量之額外蒸汽，有時又需將剩餘的蒸汽冷凝來保持總體之熱平衡，故在設計MVR規格係依客戶需求及應用進行規劃設計。	<ol style="list-style-type: none"> ① 場地空間； ② 量體需求； ③ 液體特性； ④ 製程流程； ⑤ 材質選用； ⑥ 操作設計； ⑦ 能源運用。 	石化業 紡織業 光電業 半導體業
4	永磁聯軸器 PMC傳動技術	透過永磁聯軸器盤組間的氣隙(磁力)來調節負載端的轉速，當氣隙增加時馬達出力扭矩下降，耗電功率也隨之降低，以改變出力扭矩達到節能效果。	<ol style="list-style-type: none"> ① 馬達馬力：10 hp~3,000 hp。 ② 設備轉速：750 rpm~3,000 rpm。 	<ol style="list-style-type: none"> ① 需注意設計尺寸及參考馬達框號； ② 非滑動軸承； ③ 須為臥式機組。 	鋼鐵業 水泥業 石化業 造紙業 紡織業 光電業 半導體業
5	3D葉輪泵	泵浦3D葉輪技術原理採用渦流科技所開發之智慧型離心泵設計軟體，且考慮流體在3D葉輪及泵殼間產生的物理現象，並透過設定合適參數模擬最適化流體流速模型進行設備製造。	<ol style="list-style-type: none"> ① 馬達馬力：1 hp~250 hp。 ② 管路尺寸：1 英寸~12 英寸。 	<ol style="list-style-type: none"> ① 設備大小更新； ② 基礎座面積調整； ③ 工程改善時程； ④ 流體特性； ⑤ 材料選擇； ⑥ 系統相容性； ⑦ 維護和保養。 	鋼鐵業 石化業 造紙業 紡織業 光電業 半導體業
6	吸收式冷凍機	摒棄傳統高耗電冰水主機所需設置的冷媒壓縮機，改用廢熱水、廢蒸汽熱源當動力，可節省9成以上的電費支出。	適用於大樓空調或產業界有供冷需求等相關領域，且有廢熱熱源供應的區域。	<ol style="list-style-type: none"> ① 廢餘熱(熱水或蒸汽)之形式及條件，如：能源是否穩定足夠、連續供應，冷卻水塔負載量會增加需確認是否足夠； ② 製程所需冷凍水需求，其溫度是否低於吸收式冷凍機一般最低供水溫度5℃。 	鋼鐵業 石化業 造紙業 紡織業 玻璃相關產業



項次	低碳生產技術及設備	技術特點	適用範圍	考量因素	應用產業
7	空氣懸浮式鼓風機	採用空氣懸浮式鼓風機比傳統鼓風機節能20%~57%，具備防爆(IECEX)、分離式、空氣輸送或船用機型(ABS船級認證)，多樣化特殊機型及多項國際安全認證。	舉凡有物料輸送、氣體類之升壓或輸送等製程需求及廢水處理之產業均可評估使用。	依客戶曝氣或空輸應用之實際需求風量及壓力選擇適合機型。如：室外機型、控制分離機型及防爆機型。	鋼鐵業 石化業 造紙業 紡織業 光電業 半導體業
8	有機朗肯循環ORC發電技術	ORC發電技術廣泛應用於中、低溫廢餘熱發電，利用低溫沸點冷媒之蒸發冷凝循環，將冷、熱源間的溫差熱能轉換為電能。	<ol style="list-style-type: none"> 適用於 80 °C 以上熱水(液)、70 °C 以上蒸汽、100 °C 以上混合蒸汽、120 °C 以上煙氣； 單一機組發電容量 10 kW~1,200 kW。 	<ol style="list-style-type: none"> 熱源及冷源條件(流量、溫度)變動性、變異範圍、流體成分； 冷熱源與機組預定設置相對位置、空間，直接取熱或間接取熱等。 	鋼鐵業 水泥業 石化業 紡織業 造紙業 玻璃相關產業
9	蒸汽壓差發電技術	<ol style="list-style-type: none"> 蒸汽渦輪發電機：蒸汽壓力能轉換為蒸汽速度能，衝擊渦輪葉片產生軸功率，再透過發電機輸出電功率。 蒸汽壓降螺桿膨脹發電機：當水蒸汽進入膨脹機後，進行膨脹做功，膨脹機在高壓蒸汽推動下轉動，進而對外輸出機械功，帶動發電機發電。 	<ol style="list-style-type: none"> 入口蒸汽最高壓力：61 kg/cm²，蒸汽需量：3~50 t/h； 單一機組發電容量 50 kW~6,000 kW。 入口蒸汽壓力 2.5~30.6 kg/cm²；蒸汽需量：2.4~12 t/h； 單一機組發電容量 112 kW~3,000 kW。 	<ol style="list-style-type: none"> 來源蒸汽供應條件，如：蒸汽壓力、蒸汽量、蒸汽溫度等； 蒸汽壓差發電機系統所需場地空間及配管距離等； 出口蒸汽高於大氣壓力，或排出之低壓蒸汽需要供應給後端製程時，採用背壓式機組； 出口蒸汽低於大氣壓力，或排出之低壓蒸汽無其他製程應用時，採用凝汽式機組。 	鋼鐵業 石化業 紡織業 造紙業 玻璃相關產業
10	纏繞管熱交換技術	<ol style="list-style-type: none"> 特殊纏繞管結構，使流體在超過 100 公尺連續無縫換熱管中流動，與管外的流體進行換熱； 與傳統熱交換器比較效率多 40~50 %、安裝空間更小、配管與鋼構更精簡，並可降低流體洩漏率。 	<ol style="list-style-type: none"> 設計溫度：-196~610 °C； 最大直徑：5,600 mm； 最高設計壓力：260 kg/cm²； 最大換熱面積：30,000 m²。 	<ol style="list-style-type: none"> 製程流體必須相對乾淨，在現有設備使用上可長期運行，且可用化學清洗處理； 現有設備周邊空間需求。 	鋼鐵業 石化業

項次	低碳生產技術及設備	技術特點	適用範圍	考量因素	應用產業
11	高溫陶瓷保溫塗料	以高溫陶瓷保溫塗料噴塗於爐內耐火保溫材表面，能將爐牆內表面90%以上的輻射熱吸收後再輻射到爐膛內部，可減少爐體散熱損失，並有效提升耐火保溫材表面耐溫能力，降低收縮率減少隙縫產生，可提升隔熱效果並延長耐火保溫材使用壽命。	<ol style="list-style-type: none"> 各式加熱爐、裂解爐、廢氣、廢液焚化爐等設備使用之耐火保溫材皆可噴塗； 連續使用溫度可達1,700~1,750 °C； 最高可承受溫度\geq1,900 °C。 	<ol style="list-style-type: none"> 液態爐（如：煉鋼液的爐子）及爐壁會碰撞的區域不適合噴塗，塗層會被覆蓋或刮除； 高溫陶瓷保溫塗料噴塗後需經高溫燒結養成，故爐體操作溫度需500 °C以上。 	鋼鐵業 石化業 造紙業 紡織業
12	冷卻水塔散熱風扇效率提升技術	碳纖維強度高、密度低，以其作為風扇葉片材質能有效讓葉片本體輕量化且不易產生形變，可提高風扇運轉效率並增加使用壽命。	目前應用範圍總直徑：11 ft ~ 33 ft。	<ol style="list-style-type: none"> 環境 / 製程溫度、壓力值、噪音要求、耐熱溫度； 散熱風量、轉速、馬力值、風罩大小、風罩外型設計等。 	鋼鐵業 水泥業 石化業 紡織業 光電業 半導體業
13	CO ₂ 再利用技術	為一種循環經濟的方式，將原本直接排放到大氣環境中的CO ₂ 移除回收作為原料使用。	以回收 CO ₂ 作為原料，合成各種化學品及高分子材料，形成原物料與成品之上下游循環。	<ol style="list-style-type: none"> 各廠區或各製程尾氣 CO₂ 濃度、產出量、腐蝕性、供給情形等條件； 配管距離及其複雜程度，避免管線輸送時發生洩漏之情形等。 	石化業



112
年度 **石化業**
低碳生產技術彙編

四、低碳生產技術設備應用與實務案例



四、低碳生產技術設備應用與實務案例

如緒言所述，產發署於 2019 年已完成「石化業低碳製程技術彙編」，由於低碳生產技術發展日益更迭，此次新增七項技術，結合前期六項技術共計十三項低碳技術，期能加速低碳技術之產業應用。本章節所列為節能減碳效果佳或多數廠商可仿效之成功案例，提供各界參考。本章介紹的低碳生產技術設備之類別、應用產業與實務案例，其他產業有相同或類似製程、設備者，亦得斟酌參考與應用，以下進行石化業低碳技術設備與實務案例介紹。

4.1 螺旋式阻流板熱交換技術

4.1.1 應用場域

螺旋式阻流板熱交換器 (HELIXCHANGER[®]) 是一種常見於化工產業的高效熱交換器，適用產業為石化業及煉油業。HELIXCHANGER[®] 具有較大的適應性和靈活性，本設備可以適應多種流體和技術條件，包括高壓、高溫、高粘度等。此外，HELIXCHANGER[®] 的結構也可以進行靈活調整，以滿足不同的生產需求。HELIXCHANGER[®] 具有較高的可靠性和安全性，其設備的結構緊實，可以降低洩漏風險，同時也擁有較長的使用壽命，並且易於進行維護和清潔。

1. 技術應用原理

阻流板的設計是本設備的核心，螺旋式阻流板熱交換器中的阻流板設計為四分之一扇型，依90度方位交錯排列，並且設計傾斜角度，如同於殼體內部安裝多組螺旋葉片，使殼側流體以螺旋方向流動。這種設計可以改善流體在轉折處產生的渦流和死角，從而提高了傳熱效率。傳統板式(單片、雙片)阻流板皆可改為螺旋式阻流板設計，95%以上的殼管式熱交換器皆可採用HELIXCHANGER[®]設計，使用範圍廣泛。



資料來源：設備廠商提供

圖4.1.1-1 螺旋式阻流板熱交換技術示意圖

2.技術特點與優勢

石化業運用螺旋式阻流板熱交換技術有以下特點：

- (1) 平均可節省整體成本 20 %；
- (2) 減少設備停車保養時間；
- (3) 可避免傳熱管共振損壞；
- (4) 可降低殼側壓降，減少泵浦系統成本；
- (5) 製程流量負荷提升最高 40 %；
- (6) 減少傳熱管數量及節省管側成本；
- (7) 降低殼側積垢速率，增加操作時間 3~4 倍。

3.應考慮因素與限制

本技術規劃設計應考慮因素包括：

- (1) 需考量原殼管式熱交換器汰換為螺旋式阻流板熱交換器之尺寸是否合適，如有差異需增設異徑接頭或增加設備空間。
- (2) 螺旋式阻流板熱交換器規劃設計約 6 個月，製作螺旋式阻流板熱交換器時間約 6 個月；設備基座施工、設備吊裝、配管施工及試車調整等需配合整廠歲修為期約 50 天，螺旋式阻流板熱交換器總改善期程約 14 個月。
- (3) 需考量設備設計要依使用端流體傳輸壓力、換熱面積、設置高度及面積專屬設計製造。

4.1.2 實務案例介紹

1.改善緣由

案例廠為一家化工廠，既有熱交換器使用年久，製程中使用之溶劑使管殼側嚴重結垢，因此為有效提升熱傳效果，經評估以煙化製程進行優化改善，將原殼管式熱交換器汰換為熱傳效率更高之螺旋式阻流板熱交換器。

2.改善方案執行過程

(1) 改善前情境說明

該案例廠原製程殼管式熱交換器改善前能源基線之單位原料蒸汽用量為 0.1386 蒸汽 – 公噸 / 公噸產品，單位原料用電量為 14.0306 kWh/公噸產品，設計規格如下表 4.1.2-1 所示，案例廠設備改善前如圖 4.1.2-1 所示。

表4.1.2-1 殼管式熱交換器設計規格

項目	殼側	管側
行程(pass)數	1	1
設計壓力(kg/cm ² G)	34	36.3
設計溫度(°C)	400	375
操作壓力(kg/cm ² G)	26.83	30.45
操作溫度(°C) (入口/出口)	355.2/93.2	50.6/30.5
絕緣厚度(mm)	140	125
容量(m ³)	41	27
熱傳面積(m ²)	6,068	
管束外徑(mm)	19.05	
管束長度(m)	20	
管束數量(支)	5,157	
阻流板數量(片)	35	

資料來源：案例廠之設備廠商提供

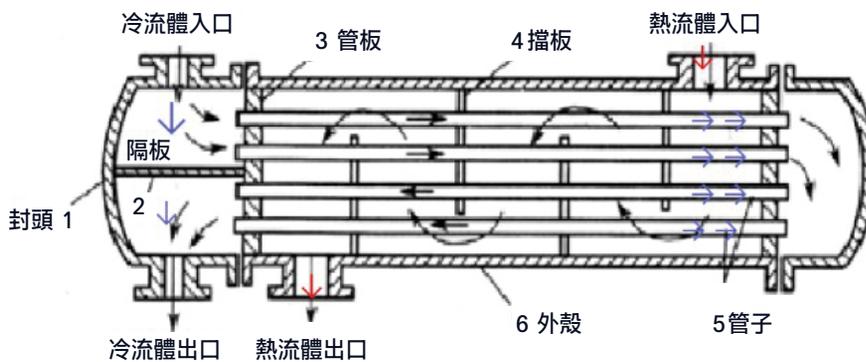


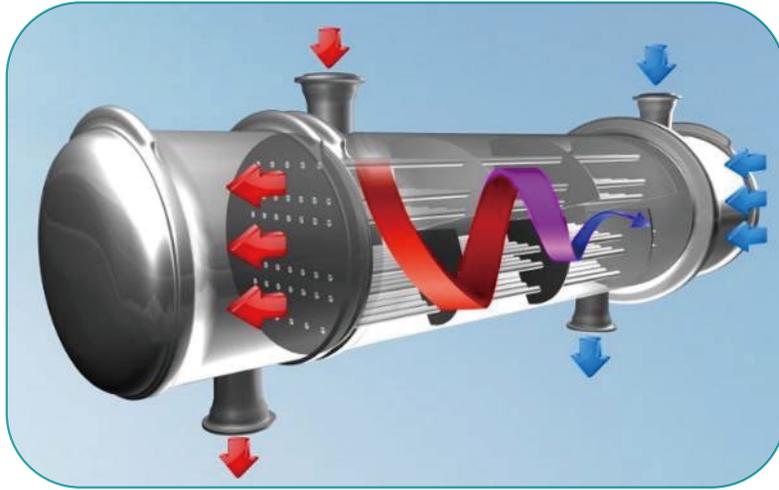
圖4.1.2-1 案例廠設備改善前示意圖

(2) 改善後情境說明

經規劃評估導入螺旋式阻流板熱交換器，改善後單位原料蒸汽用量為 0.1261 蒸汽 – 公噸 / 公噸產品，單位原料用電量為 8.476 kWh/ 公噸產品，設計規格如下表 4.1.2-2 所示，設備改善如圖 4.1.2-2 所示。

表4.1.2-2 螺旋式阻流板熱交換器設計規格

項 目	殼 側	管 側
行程(pass)數	1	1
設計壓力(kg/cm ² G)	34	36.2
設計溫度(°C)	400	375
操作壓力(kg/cm ² G)	26.83	30.45
操作溫度(°C) (入口/出口)	355.2/93.2	50.6/30.5
絕緣厚度(mm)	140	175
容量(m ³)	40.9	24.12
熱傳面積(m ²)	5,116.7	
管束外徑(mm)	20	
管束長度(m)	19.05 OD × 1.62 t	
管束數量(支)	4,344	
阻流板數量(片)	166	



資料來源：技術廠商提供

圖4.1.2-2 設備改善示意圖

3.成效分析與節能減碳效益

(1) 應用螺旋式阻流板熱交換技術之節能量

改善後之節能量如表 4.1.2-3 所示，煙化製程原殼管式熱交換器改為螺旋式阻流板熱交換器，單位蒸汽耗能改善前之基線為 0.1386 蒸汽 - 公噸 / 公噸產品，改善後蒸汽降為 0.1261 蒸汽 - 公噸 / 公噸產品；因將傳統板式阻流板變更為扇形設計，以 90 度方位交錯排列並依流體條件設計傾斜角度，如同於胴體內部安裝多組螺旋葉片，將胴側流場由傳統的直線流向變更為螺旋式流向，將可大幅提升熱傳效率，減少壓損與積垢，進而降低殼側壓降值，減少入料泵及壓縮機能耗，因此煙化製程用電設備之單位電力耗用改善前之基線為 14.0306 kWh/ 公噸產品，改善後減少為 8.476 kWh/ 公噸產品。

表4.1.2-3 案例廠改善後系統之節能量

項目	管殼式	螺旋式阻流板
單位蒸汽耗能	0.1386 蒸汽-公噸/公噸產品	0.1261 蒸汽-公噸/公噸產品
單位電力耗用	14.0306 kWh/公噸產品	8.476 kWh/公噸產品

(2) 投資效益

案例廠螺旋式阻流板熱交換技術之執行，其投資效益如下：

投資金額	約8,000萬元
節省蒸汽量	約9,550蒸汽-公噸/年
節省用電量	約4,243,714 kWh/年 (以入料量95.5公噸/小時；運轉時數8,000小時/年計算)
節能績效	約1,732萬元/年 (以蒸汽單價880元/公噸、電力單價2.1元/kWh計算)
減碳量	5,283公噸CO ₂ e/年 (排碳係數以0.3332公噸CO ₂ e/公噸蒸汽、經濟部公告之111年電力排碳係數0.495 kg-CO ₂ e/kWh計算)
回收年限	約4.6年

註：案例資料由本彙編進行彙整

4.2 殼板式熱交換技術

4.2.1 應用場域

殼板式熱交換技術應用產業相當廣泛，包含石化、發電、造船、鋼鐵、紡織、食品...等行業，舉凡有高壓 / 高溫之熱交換需求之製程皆可評估應用，特別是使用特殊材質需求行業，如：鈦、鎳、哈氏合金...等更能突顯其成效性。

1.技術應用原理

殼板式熱交換器是 1980 年代由芬蘭人發明，主要目的在於提升殼管式熱交換器 (Shell & Tube Heat Exchanger) 之熱傳效率，減少體積、降低重量並克服墊片式板式熱交換器 (Gasket type plate heat exchanger) 無法耐高溫 / 高壓的缺點，又同時避免全焊接式熱交換器 (Compabloc Heat Exchanger) 角落應力破裂的問題。殼板式熱交換器可以說是未來 50 ~100 年對於熱交換器使用上的一種革新。

殼板式熱交換器主要針對高溫 / 高壓及安全性使用條件下之熱交換為基礎，示意圖如 4.2.1-1 所示，殼板式熱交換器說明如下：

- (1) 將圓型的殼身與一體沖壓、經流體分析、雷射焊接的圓形波紋板片結合形成的熱交換器；
- (2) 透過均勻的板片流場分析，全方位的全面熱交換，提升熱傳效率。



資料來源：技術廠商提供

圖4.2.1-1 殼板式熱交換技術示意圖

2.技術特點與優勢

石化業運用殼板式熱交換技術具有下特點：

- (1) 殼板式熱交換器相較於殼管式熱交換器，其熱傳效率高30%以上，且體積小及重量輕；
- (2) 殼板式熱交換器相較於板式熱交換器，可符合耐高溫及高壓製程的條件需求；
- (3) 殼板式熱交換器相較於全焊接式熱交換器，可避免角落應力破裂的問題；
- (4) 因熱傳效率高，節能減碳助益大；
- (5) 因體積小及重量輕，製造所需使用的材料少，不僅是本產品生產時較節能，上游原材料的使用量減少亦具有節能及減碳效益。

3.應考慮因素與限制

本技術規劃設計應考慮因素包括：

- (1) 壓損較殼管式熱交換器大：於 100~200 kPa 壓損允許條件下最能發揮熱傳效果，如果在 50 kPa 壓損下，能效會比較差；
- (2) 生產週期長：因產品種類多，殼板式熱交換器之產量較無法提升；
- (3) 初期板片設計板片的通道為 4.4 mm，因此不適合高黏度或大顆粒製程。

4.2.2 實務案例介紹

1.改善緣由

案例廠為一家石化工廠，既有之製程 A 塔塔底透過塔底之冷卻器進行冷卻再送至出料塔，再以進料預熱器以 12K 蒸汽加熱後進入 B 塔作為進料，過程中能源重複使用導致浪費，為有效提升熱源之使用，經評估於製程設備可增設殼板式熱交換器將流體整合，餘熱進行回收使用，藉此以降低 12K 蒸汽之供應。

2.改善方案執行過程

(1) 改善前情境說明

原製程 A 塔塔底熱出料溫度約 140° C，直接以該製程塔底出料之冷卻器冷卻水進行冷卻散熱，第一級製程反應單位出料槽至預熱器以 12K 蒸汽加熱再進入製程 B 塔作為進料。

(2) 改善後情境說明

經規劃評估於 A 塔至 B 塔間增設殼板式熱交換器，兩股流體流至熱交換器進行流體整合與餘熱回收，再藉由預熱器加熱後送至製程 B 塔作為進料，以節省 12K 蒸汽用量，製程設備改造流程圖及設備入料區與 12K 蒸汽流量之曲線圖如圖 4.2.2-1~ 圖 4.2.2-2 所示。

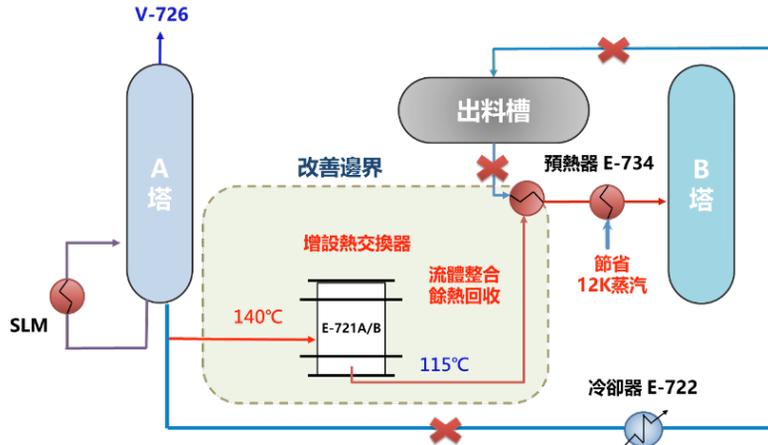


圖4.2.2-1 製程設備改造流程圖

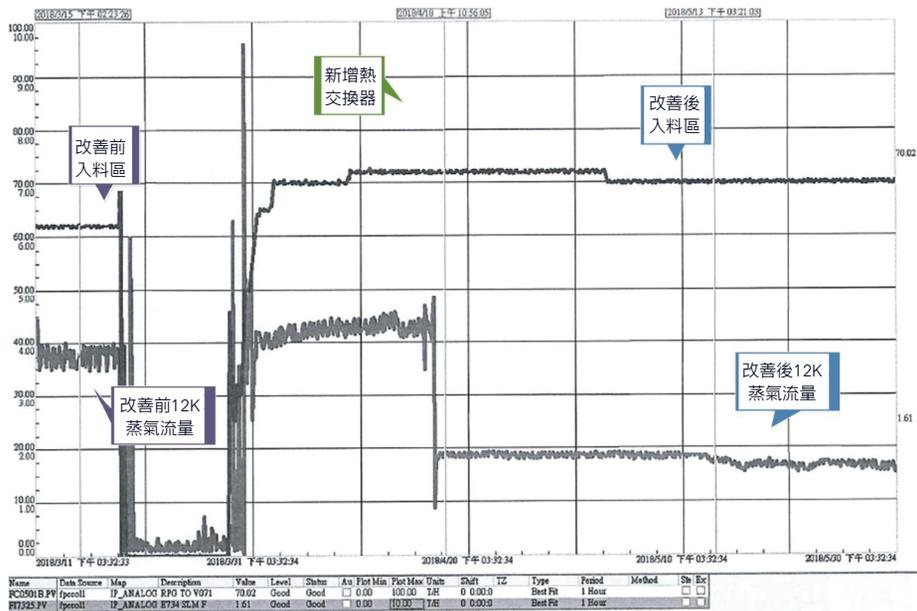


圖4.2.2-2 設備入料區與12K蒸汽流量之曲線圖

3.成效分析與節能減碳效益

(1) 應用殼板式熱交換技術之節能量

改善後之節能量如表 4.2.2-1 所示，單位進料蒸汽用量由 0.0633 蒸汽 – 公噸 / 公噸產品下降至 0.0249 蒸汽 – 公噸 / 公噸產品。

表4.2.2-1 案例廠改善後系統之節能量

項 目	改善前	改善後
殼板式熱交換器	未安裝	已安裝
單位進料蒸汽用量	0.0633 蒸汽-公噸/公噸產品	0.0249 蒸汽-公噸/公噸產品

(2) 投資效益

案例廠殼板式熱交換技術之執行，其投資效益如下：

投資金額	約578萬元
節能量	約21,224公噸/年 (以年運轉時數8,000小時/年計算)
節能率	約61%
節能績效	約2,063萬元/年 (以蒸汽單價972元/公噸計算)
減碳量	5,883公噸CO ₂ e/年 (以排碳係數0.2772公噸CO ₂ e/公噸蒸汽計算)
回收年限	約0.3年

註：案例資料由本彙編進行彙整

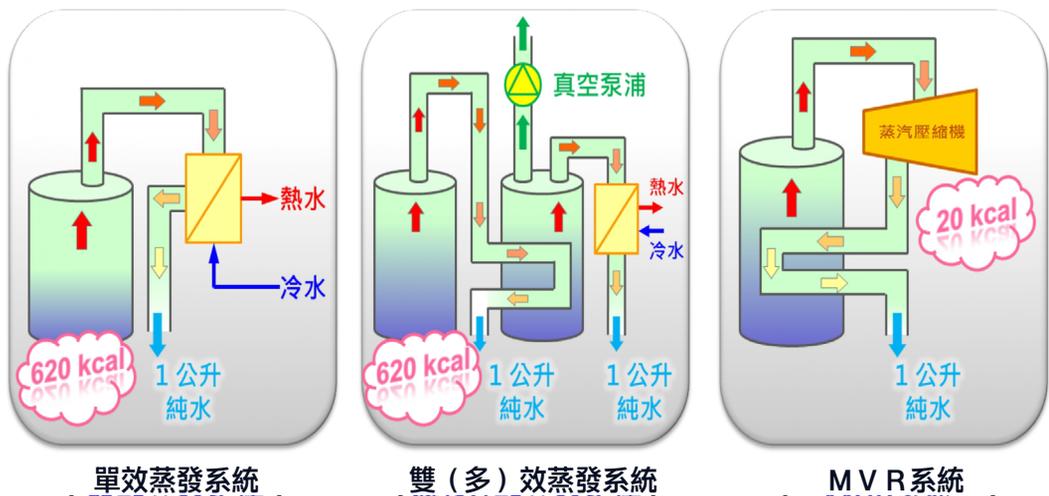
4.3 機械式蒸汽再壓縮技術

4.3.1 應用場域

機械式蒸汽再壓縮技術應用領域包含化工、電子、半導體、紡織、製酒、生技、食品、石化、回收處理...等行業，舉凡製程需大量使用蒸發 / 蒸餾之高耗能產業皆可評估應用。

1. 技術應用原理

一般蒸發單元利用原生蒸汽進行加熱、蒸發、濃縮、結晶等作業用途，且二次蒸汽不再利用而直接送至冷凝器去除，稱之為單效蒸發。為充分利用蒸汽熱能，多改採串聯數個蒸發器，使蒸汽熱能得以多次利用，從而提高熱能利用率，稱之為多效蒸發。串聯蒸發器依序命名為效數，例如：第2個蒸發器稱之為第2效。由於每一效之二次蒸汽熱能皆低於原生蒸汽，故機械蒸汽再壓縮系統(Mechanical Vapor Recompression, MVR)技術應運而生。上述單效、多效及機械蒸汽再壓縮系統之蒸發及冷凝原理如圖4.3.1-1所示。

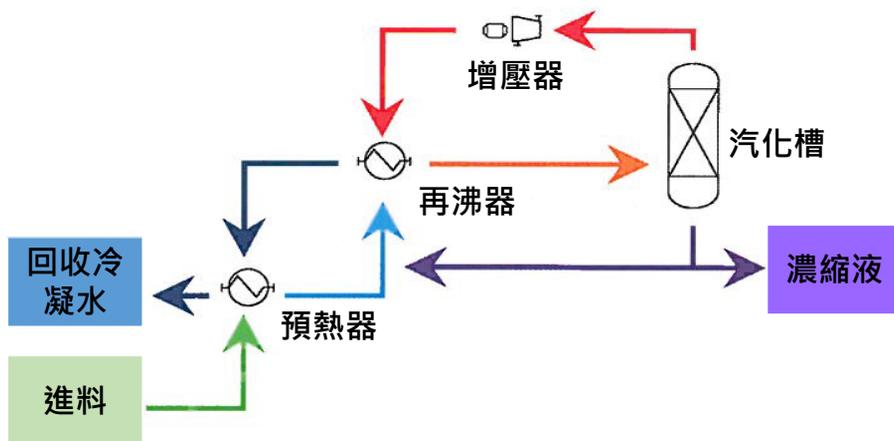


資料來源：107 年低碳製程技術研討會⁽¹¹⁾

圖4.3.1-1 單效、多效及機械蒸汽再壓縮系統之蒸發及冷凝原理

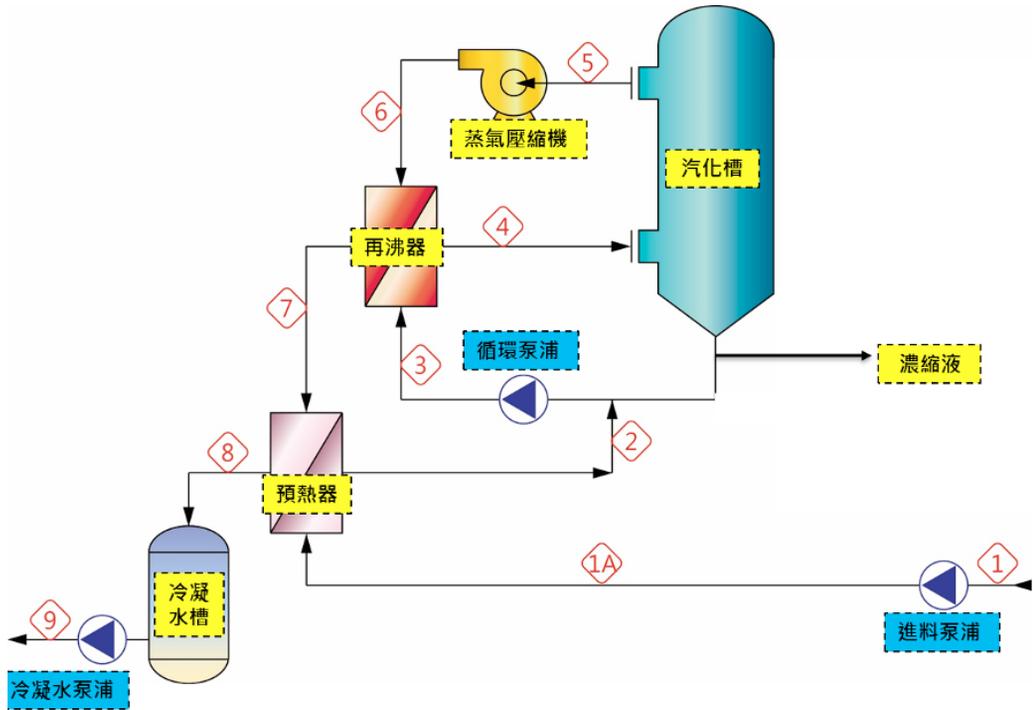
機械式蒸汽再壓縮系統(MVR)是一種開迴路工業熱泵(壓縮循環)，以系統內自身流體為冷媒加以壓縮循環，重新利用蒸發濃縮過程產生之二次蒸汽的冷凝潛熱做為系統本身的加熱源，因而減少蒸發濃縮過程對外界蒸汽及冷卻資源的需求，大幅降低能耗。

運作流程(如圖4.3.1-2)為二次蒸汽經壓縮機再壓縮後，將壓力、溫度升高、熱焓增加，送至蒸發罐做為加熱蒸汽使用而使料液汽化，而加熱蒸汽本身則冷凝成水，如此一來，原本需廢棄之蒸汽因潛熱充分利用，大幅提高加熱效率，其性能係數(Coefficient Of Performance, COP)高(COP值一般可達10~40)，運轉成本是傳統五效蒸發器的1/7~1/3，適用於蒸餾、蒸發、濃縮系統，可運用在煉油石化蒸餾系統、製程濃縮(取代傳統多效蒸發罐)、純水回收再利用、廢水減量及海水淡化產生純水等用途，機械式蒸汽再壓縮系統如圖4.3.1-3所示。



資料來源：107 年低碳製程技術研討會⁽¹¹⁾

圖4.3.1-2 機械式蒸汽再壓縮(MVR)系統運作流程示意圖



資料來源：107 年低碳製程技術研討會⁽¹¹⁾

圖4.3.1-3 機械式蒸汽再壓縮系統圖

2.技術特點與優勢

石化業運用機械式蒸汽再壓縮技術具有下特點：

- (1) 節省空間：相較於傳統處理方式，所需空間極小；
- (2) 操作簡單：不影響原本之製造流程或設備操作；
- (3) 熱能高效利用：回收潛熱，達到熱能較高效率之利用，能源耗損低；
- (4) 環保節能：清潔能源，無CO₂和SO_x排放污染，減少冷卻水耗用；
- (5) 運轉成本低：可達成廢水零排放之目的。

此系統裝置隨操作條件之不同而迥異，有時需要補充少量之額外蒸汽，有時又需將剩餘的蒸汽冷凝來保持總體之熱平衡，故 MVR 規格係依客戶需求及應用進行規劃設計。

3.應考慮因素與限制

本技術規劃設計應考慮因素包括：

- (1) 場地空間；(2) 量體需求；(3) 液體特性；(4) 製造流程；
- (5) 材質選用；(6) 操作設計；(7) 能源運用。

4.3.2 實務案例介紹

1.改善緣由

案例廠為一家化工廠，產品包含溶劑、甲醇、電子化學品等，原設有製程蒸發罐除水系統，該製程之化合物生產占全廠蒸汽使用量之 9.5%，因蒸發罐運轉時間長，易產生結垢進而導致效能衰退，經評估導入機械式蒸汽再壓縮技術進行改善。

2.改善方案執行過程

(1) 改善前情境說明

案例廠原採用 4 台蒸發罐，蒸汽用量為 150~1,500 kg/h；4 台真空泵浦，電力用量為 1.5 kWh~9.8 kWh，案例廠改善前設備規格如表 4.3.2-1 所示。

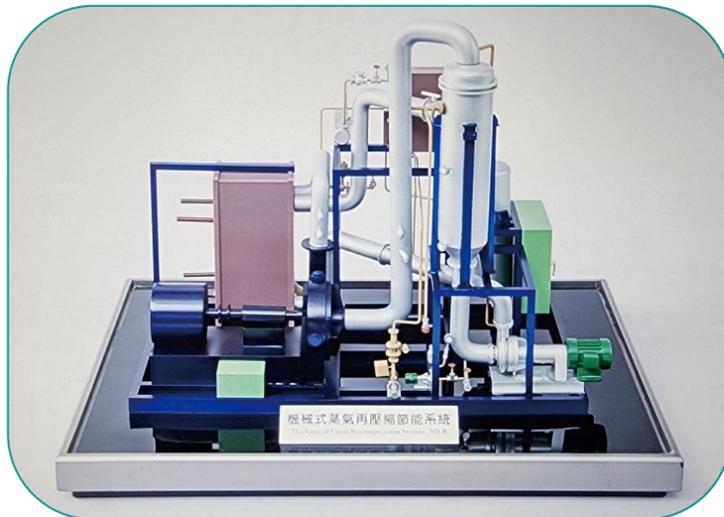
表4.3.2-1 案例廠改善前設備規格表

設備名稱	能源類型	設備規格
蒸發罐#1	蒸汽	蒸汽用量:1,000 kg/h
蒸發罐#2	蒸汽	蒸汽用量:500 kg/h
蒸發罐#3	蒸汽	蒸汽用量:1,500 kg/h
蒸發罐#4	蒸汽	蒸汽用量:150 kg/h
真空泵浦#1	電力	用電量:1.5 kWh
真空泵浦#2	電力	用電量:9.8 kWh
真空泵浦#3	電力	用電量:2.0 kWh
真空泵浦#4	電力	用電量:4.8 kWh

(2) 改善後情境說明

經規劃評估確認最佳設備配置後，採用 1 台 MVR 系統設備（包含蒸汽壓縮機、板式熱交換器及汽化槽等），案例廠設備改善後如圖 4.3.2-1 所示，MVR 設備導入後操作條件如下：

- A. 進料量：6,000 kg/h (water：75 wt%，化合物：25 wt%)
- B. 蒸發量：3,000 kg/h
- C. 濃縮量：3,000 kg/h
- D. 耗能量：壓縮機耗電量：98.5 kW(泵浦另計)；蒸汽量：250 kg/h



資料來源：設備廠商提供

圖4.3.2-1 案例廠設備改善後示意圖

3. 成效分析與節能減碳效益

(1) 應用機械式蒸汽再壓縮技術之節能量

案例廠化合物製程每公噸單位產品之蒸汽耗能，改善前之基線為 19.3 公噸，改善後降為 1.6 公噸。以 2018 年度該化合物產量 1,298 公噸計算，預估每年節省蒸汽量約 22,975 公噸 / 年；增加電力部分：單位電力耗用改善前之基線為 18.1 kW，改善後增加為 134 kW。以 2018 年度該化合物製程系統操作時數 8,000 小時計算，預估每年增加之電力為 927,200 kWh / 年，改善後之節能量如表 4.3.2-2 所示。



表4.3.2-2 案例廠改善前後系統之節能量

項 目	蒸發罐除水系統 (改善前)	MVR系統 (改善前)
單位蒸汽耗能	19.3公噸	1.6公噸
單位電力耗用	18.1 kW	134 kW

(2) 投資效益

案例廠機械式蒸汽再壓縮技術之執行，其投資效益如下：

投資金額	約4,600萬元 (主體設備約4,400萬元，其他鋼構、管材閥件、監控系統、安裝工程等約200萬元)
節約蒸汽量	約22,975公噸/年；增加之電力約927,200 kWh (以年運轉時數8,000小時/年計算)
節能績效	約1,395萬元/年 (以蒸汽單價700元/公噸；電力單價2.3元/kWh計算)
減碳量	4,088公噸CO ₂ e/年 (以排碳係數0.1979公噸CO ₂ e/公噸蒸汽、經濟部公告之111年電力排碳係數0.495 kg-CO ₂ e/kWh計算)
回收年限	約3.3年

註：案例資料由本彙編進行彙整

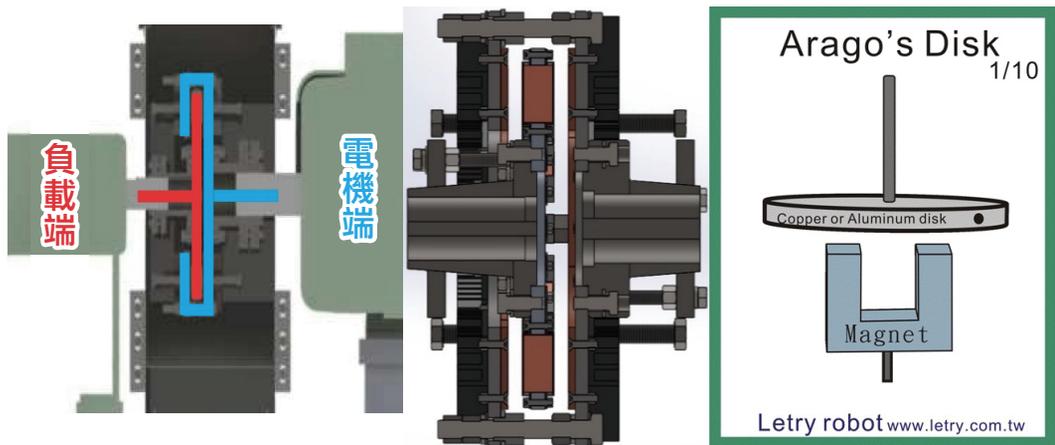
4.4 永磁聯軸器PMC傳動技術

4.4.1 應用場域

永磁聯軸器 PMC 傳動技術以公用設備為大宗，可應用產業廣泛，包含鋼鐵、水泥、石化、造紙、紡織、光電、半導體...等行業，永磁傳動器適用於離心泵、離心風機、皮帶傳動設備及各種變轉矩和恆轉矩設備。

1.技術應用原理

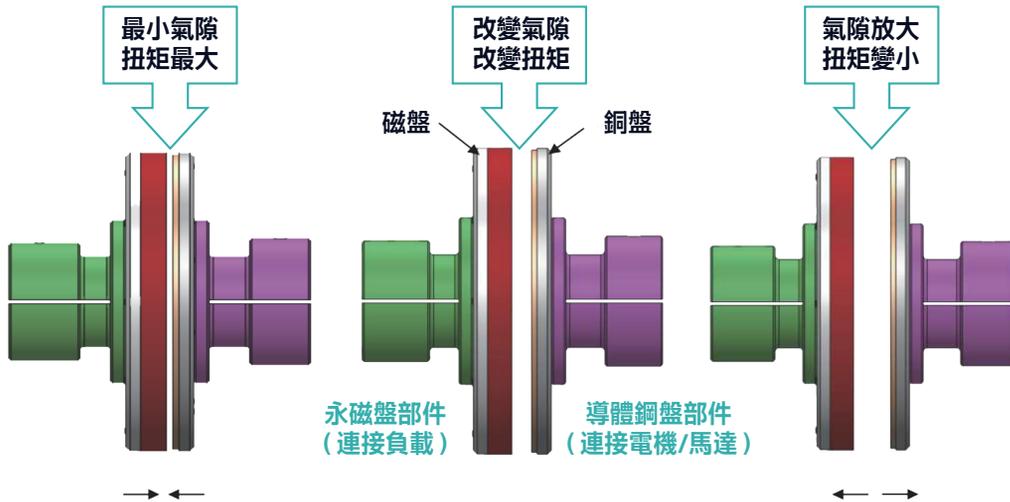
永磁傳動器係應用阿拉哥(Arago)原理，傳動器主要由銅盤或鋁盤所形成的感應盤，以及永磁盤兩大主要部件組成，當其中一方旋轉運動時，感應盤產生渦電流並形成相對運動，示意圖如4.4.1-1所示。



資料來源：設備廠商提供

圖4.4.1-1 PMC安裝示意(左)、典型PMC-F結構(中)、阿拉哥原理圖解(右)

藉由永磁傳動器，電機端可透過非接觸方式將動力傳遞至負載端，並可藉由調整盤組之間的距離(稱之為氣隙(Gap))來達到節能效果，如圖4.4.1-2所示。調整氣隙大小可改變馬達側的出力扭矩，當氣隙增加時馬達出力扭矩下降，耗電功率也隨之降低。不同於變頻器透過改變頻率來達到節能，永磁傳動器是透過改變出力扭矩來達到節能效果。



資料來源：設備廠商提供

圖4.4.1-2 氣隙變化示意圖(實際產品非單盤式結構)

2.技術特點與優勢

石化業運用永磁聯軸器 PMC 傳動技術具有下列特點：

- (1) 永磁聯軸器具有高可靠性，對現場變動影響最小；
- (2) 無剛性連接傳遞扭矩，機械降速節能，可在惡劣環境下應用；
- (3) 減少整體系統振動，減少系統維護和延長系統使用壽命；
- (4) 不產生高次電源諧波，不需額外佈纜佈線，不需安置於空調房；
- (5) 透過永磁聯軸器盤組間的氣隙(磁力)來調節負載端的轉速。

3.應考慮因素與限制

本技術規劃設計應考慮因素包括：

- (1) 非滑動軸承；
- (2) 須為臥式機組。

4.4.2 實務案例介紹

1.改善緣由

案例廠為石化業製造公司，主要產品包含塑膠原料製品、塑膠加工製品、纖維製品及特用化學品等，因目前製程風車入口檔板未全開，且歲修後管道阻力再次降低，風量過剩，經業主評估後將製程風車馬達安裝永磁傳動器進行節能改善。

2.改善方案執行過程

(1) 改善前情境說明

案例廠原採用 1 台製程風車，經檢測馬達運轉電流為 21.3A，改善前照片如圖 4.4.2-1 所示。



資料來源：設備廠商提供

圖4.4.2-1 案例廠設備改善前示意圖

(2) 改善後情境說明

經規劃評估製程風車馬達安裝永磁傳動器進行節能改善，改善後經檢測運轉電流為 19.6A，照片如圖 4.4.2-2 所示。



資料來源：設備廠商提供

圖4.4.2-2 案例廠設備改善後示意圖

3.成效分析與節能減碳效益

(1) 應用永磁聯軸器 PMC 傳動技術之節能量

改善前後之節能量如表 4.4.2-1 所示，改善前製程風車馬達量測電流值為 21.3A，改善後安裝永磁聯軸器 PMC 之製程風車馬達量測電流值為 19.7A，節能率約 7.5 %。

表4.4.2-1 案例廠改善前後系統之節能量

項目	改善前	改善後
永磁聯軸器	未安裝	已安裝
運轉電壓	6,000V	6,000V
運轉電流	21.3A	19.7A
年用電量	1,505,177 kWh/年	1,392,112 kWh/年

(2) 投資效益

案例廠永磁聯軸器 PMC 傳動技術之執行，其投資效益如下：

投資金額	約100萬元
節能量	約113,065 kWh/年 (以年運轉時數8,000小時/年計算)
節能率	約7.5%
節能績效	約36萬元/年 (以電力單價3.15元/kWh計算)
減碳量	56公噸CO ₂ e/年 (以經濟部公告之111年電力排碳係數0.495 kg-CO ₂ e/kWh計算)
回收年限	約3年

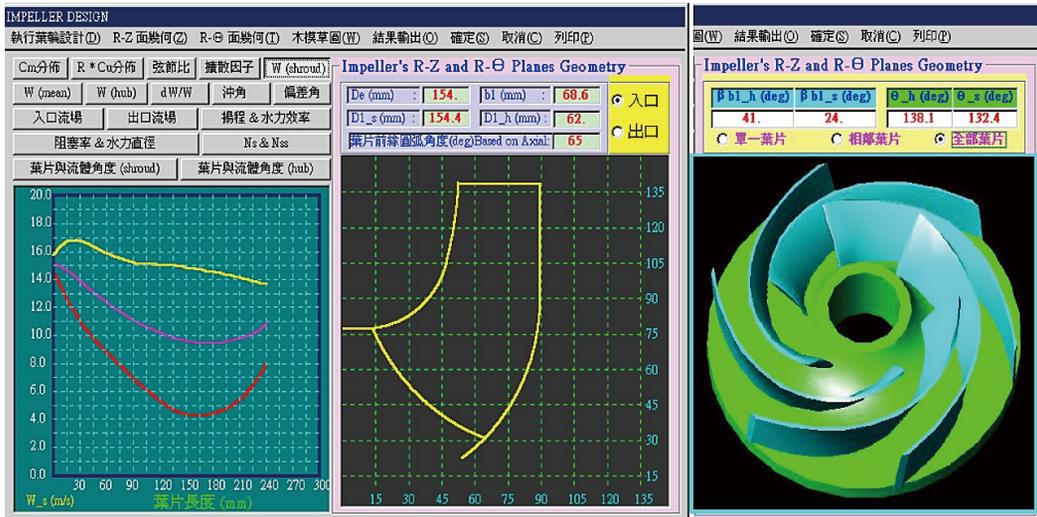
4.5 3D葉輪泵

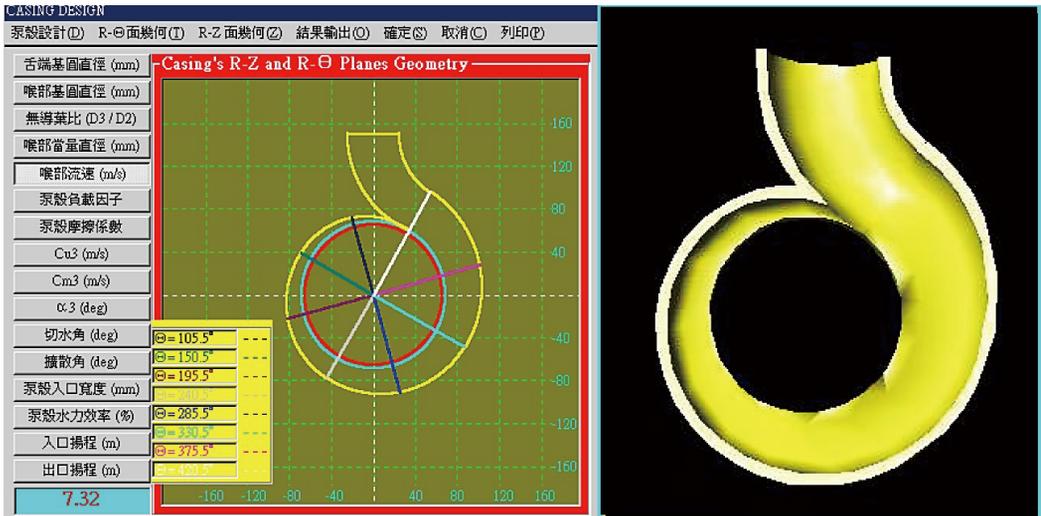
4.5.1 應用場域

3D 葉輪泵應用產業相當廣泛，包含鋼鐵、造紙、紡織、食品、石化、半導體、光電、醫院、大樓等需使用泵浦輸送作業之行業，可應用之泵浦種類繁多，如：臥式、立式、多級式、單吸式、雙吸式、混流式、軸流式等。

1. 技術應用原理

傳統五金泵浦僅以流體傳輸，無考慮泵浦效率問題，業界多為簡易 2D 葉輪設計，製造成本相對低廉(5%)，維護成本也不高(10%)，惟設備運轉電費支出占比最高(85%)。泵浦 3D 葉輪技術原理係採用渦流科技所開發之智慧型離心泵設計軟體，且考慮流體在 3D 葉輪及泵殼間產生的物理現象，並透過設定合適參數模擬最適化流體流速模型進行設備製造，3D 葉輪泵模擬如圖 4.5.1-1 所示。

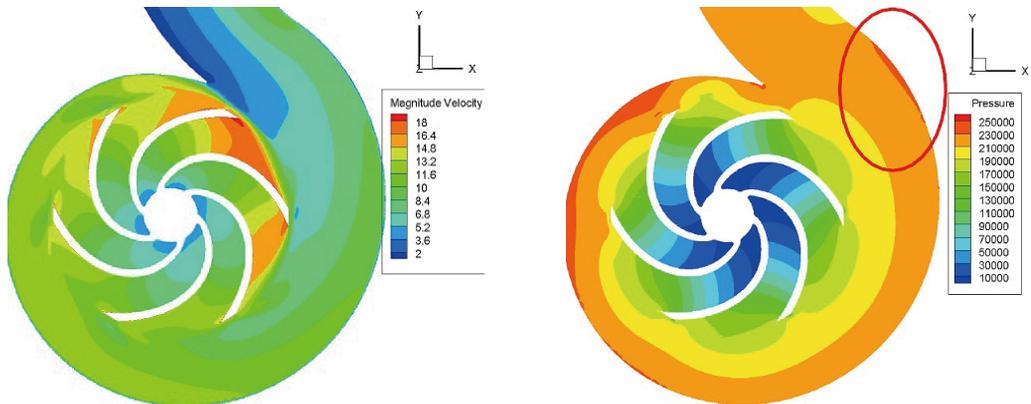


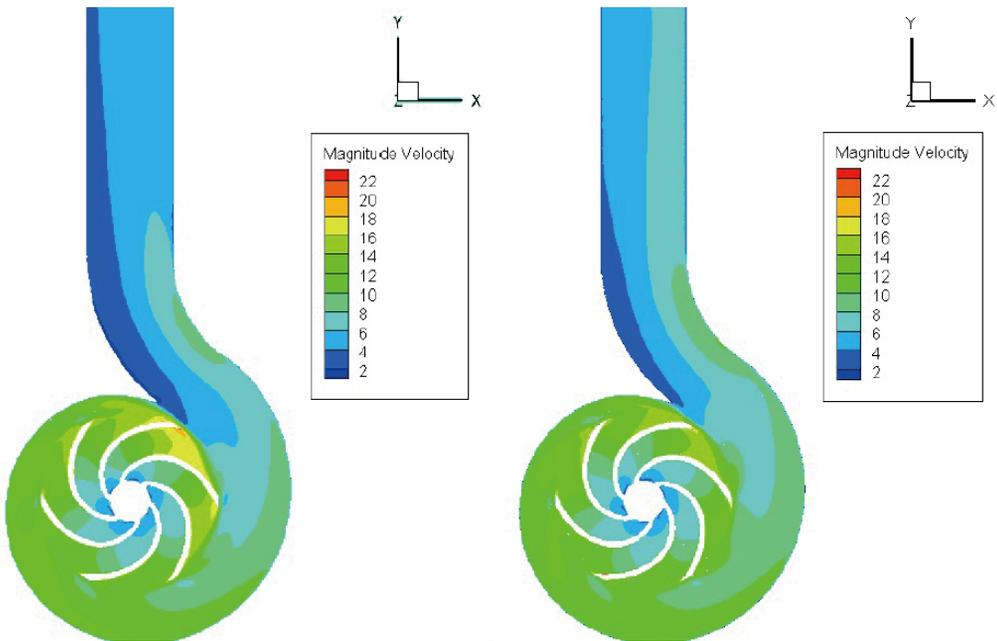


資料來源：設備廠商提供

圖4.5.1-1 3D葉輪泵模擬示意圖

- (1) 流體從泵浦入口開始→葉片進口尖端→葉片出口尖端→泵殼舌端→泵浦出口，流體經過這些觀察點過程中，可經由計算流體力學 Computational Fluid Dynamics (CFD)分析軟體，觀察及分析於各點之流速及壓力分布情形，提取可用的數據，作為設計依據，3D葉輪泵模擬最適化如圖4.5.1-2所示。
- (2) 以多次實體測試及CFD軟體分析驗證，進而修正軟體設定參數找出最適化模型，經多年研發已能符合歐盟C40最低能效標準之高效率泵浦。





資料來源：設備廠商提供

圖4.5.1-2 3D葉輪泵模擬最適化示意圖

2.技術特點與優勢

石化業運用3D葉輪泵技術具有提供高效率泵浦來改善高耗能之問題(第一段節能5~10%)，並搭配管路系統阻抗曲線的物理現象，透過量測得水路系統最佳操作點，降低過大設計耗能情況，且將高效率泵浦運用於管路系統上(第二段節能10~20%)，達到水系統運轉最佳化。

3.應考慮因素與限制

本技術規劃設計應考慮因素包括：

- (1) 設備大小更新：引入3D葉輪泵可能會改變泵浦的設計和結構，因此需要對現有的泵浦設備進行更新或調整，以適應新的3D葉輪泵。這可能涉及更換葉輪、泵殼或其他組件，並可能導致設備尺寸的變化。

- (2) 基礎座面積調整：由於3D葉輪泵可能需要更新設備大小，因此泵浦的底座可能需要進行調整，以確保新的泵浦穩固地安裝在基礎上，這可能涉及對現有基礎進行擴建或重新設計。
- (3) 工程改善時程：引入新技術通常需要一個合理的時程來規劃和實施相關工程改善，這包括從評估現有系統、設備調整、到安裝和調試新的3D葉輪泵等階段。工程改善時程的規劃應該綜合考慮工程的複雜性、停產時間、成本等因素，以確保順利實施。
- (4) 流體特性：不同的應用場景可能需要處理不同性質的流體，例如：液體的黏稠度、固體顆粒的大小等。在引入3D葉輪泵時，需要確保新泵浦能夠適應所處理流體的特性，以確保流體能夠順利通過泵浦。
- (5) 材料選擇：3D葉輪泵可能涉及使用新的材料，這些材料可能具有更好的耐腐蝕性或更高的耐磨性。在設計和製造新泵浦時，需要仔細選擇適合的材料，以確保泵浦能夠在特定應用環境下長期穩定運行。
- (6) 系統相容性：在引入新技術時，需要考慮新泵浦與現有系統的相容性，這包括管道連接、控制系統集成等方面，確保新的3D葉輪泵能夠與現有系統無縫集成，並能夠正確運行，是至關重要的。
- (7) 維護和保養：新的3D葉輪泵可能具有不同的維護需求和保養要求。在引入新技術時，需要對維護計畫進行評估和調整，確保維護工作能夠有效地進行，並確保泵浦的長期穩定運行。

4.5.2 實務案例介紹

1.改善緣由

案例廠為電子廠中水回收廠，主要製程都需要大量用水清洗，對於水之需求度高，然氣候變遷急遽使水情告急，案例廠開始逐年研究「把水收回來自己用」的理念，因此進行水系統泵浦效率檢測，經檢測後出口壓力過大，表示泵浦泵送量設計過大，須以閘門開度控制流量，故評估進行3D葉輪泵技術改善。

2.改善方案執行過程

(1) 改善前情境說明

廠內既有兩台泵浦 PU-210A 及 PU-2101C 並聯輸送 702.8 m³/h 廢水至三樓過濾桶槽淨水，惟出口閥開度僅 1/2，造成閥門處壓損大，出口壓力高達 6.39 kg/cm²，經檢測後兩台泵浦耗電量合計為 172.39 kW，改善前設備規格如表 4.5.2-1 所示、改善前設備效率檢測如圖 4.5.2-1 所示。

表4.5.2-1 改善前設備規格

設備編號	PU-201A	PU-2101C
泵浦品牌	PACO	PACO
產品型號	ELF-315S-4	ELF-315S-4
電壓頻率(Hz)	60	60
轉速(rpm)	1,775	1,775
運轉電壓(V)	460	460
運轉電流(A)	169	169
耗電量(kW)	110	110



資料來源：設備廠商提供

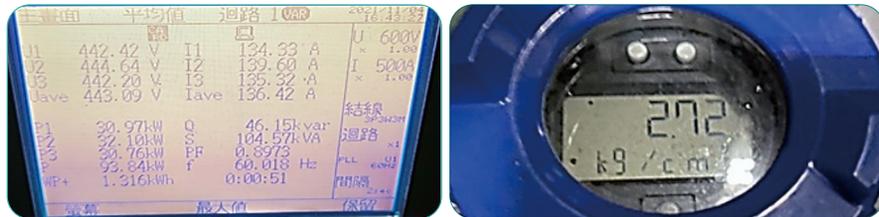
圖4.5.2-1 改善前設備效率檢測示意圖

(2) 改善後情境說明

經規劃評估導入 3D 葉輪泵，搭配既有管路阻抗曲線特性，將出口閥門全開，並搭配一台高效率泵浦，輸送 848 m³/h 廢水至三樓過濾桶槽淨水，出口壓力下降至 2.72 kg/cm²，經檢測後耗電量為 93.84 kW，改善後設備規格如表 4.5.2-2 所示、改善後設備效率檢測如圖 4.5.2-2 所示。

表4.5.2-2 改善後設備規格

項目	規格
電壓頻率(Hz)	60
轉速(rpm)	1,775
運轉電壓(V)	460
運轉電流(A)	169
耗電量(kW)	110



資料來源：設備廠商提供

圖4.5.2-2 改善後設備效率檢測示意圖

3.成效分析與節能減碳效益

(1) 應用 3D 葉輪泵之節能量

改善後之節能量如表 4.5.2-3 所示，其中泵浦耗電功由 172.39 kW 降至 93.84 kW，節能率達 45.5%。

表4.5.2-3 案例廠改善前後主要系統參數比較

項目	改善前	改善後
流量(CMH)	702.8	848.0
揚程(M)	70.8	32.9
耗電量(kW)	172.39	93.84

註：經由量測驗證 (M&V) 檢測改善前後用電資訊。

(2) 投資效益

案例廠 3D 葉輪泵之執行，其投資效益如下：

投資金額	約80萬元 (高效率泵浦50萬元，其它管材閥件、安裝工程等約30萬元)
節能量	約565,560 kWh/年 (以年運轉時數7,200小時/年計算)
節能率	約45.5%
節能績效	約141萬元/年 (以電力單價2.5元/kWh計算)
減碳量	280公噸CO ₂ e/年 (以經濟部公告之111年電力排碳係數0.495 kg-CO ₂ e/kWh計算)
回收年限	約0.6年

4.6 吸收式冷凍機

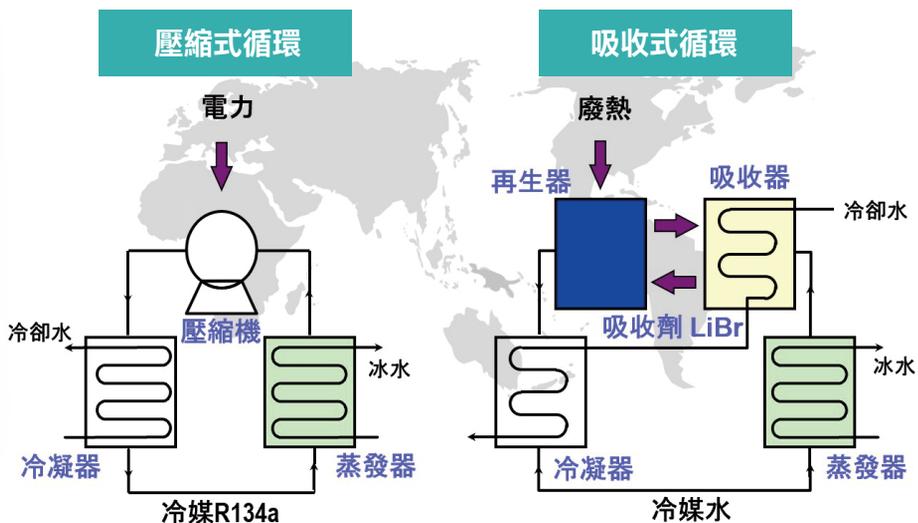
4.6.1 應用場域

現代石化產業的發展，大幅提升人類生活品質的同時，也產生製程廢熱，如不回收利用勢將導致大量的能源浪費，並對環境造成持續熱污染。蒸汽單效型溴化鋰吸收式冷凍機具備高效、環保、技術成熟、安全可靠等特點，為發展超過 60 年之成熟技術。藉由供熱源頭既有剩餘熱源（蒸汽與熱水）為空調或製程其它需要冷凍水的區域提供冷源，廣泛應用於石化、鋼鐵、水泥、造紙、紡織、半導體、光電及玻璃相關等產業，尤其適合以下場所：

- 使用發電廠廢熱的用戶；
- 具有餘熱鍋爐的工廠（如：鋼鐵、石化等行業）；
- 具有利用製程廢熱（製程反應熱）的工廠；
- 使用的蒸汽壓力在 0.1–8.0 kg/cm²(G)。

1. 技術應用原理

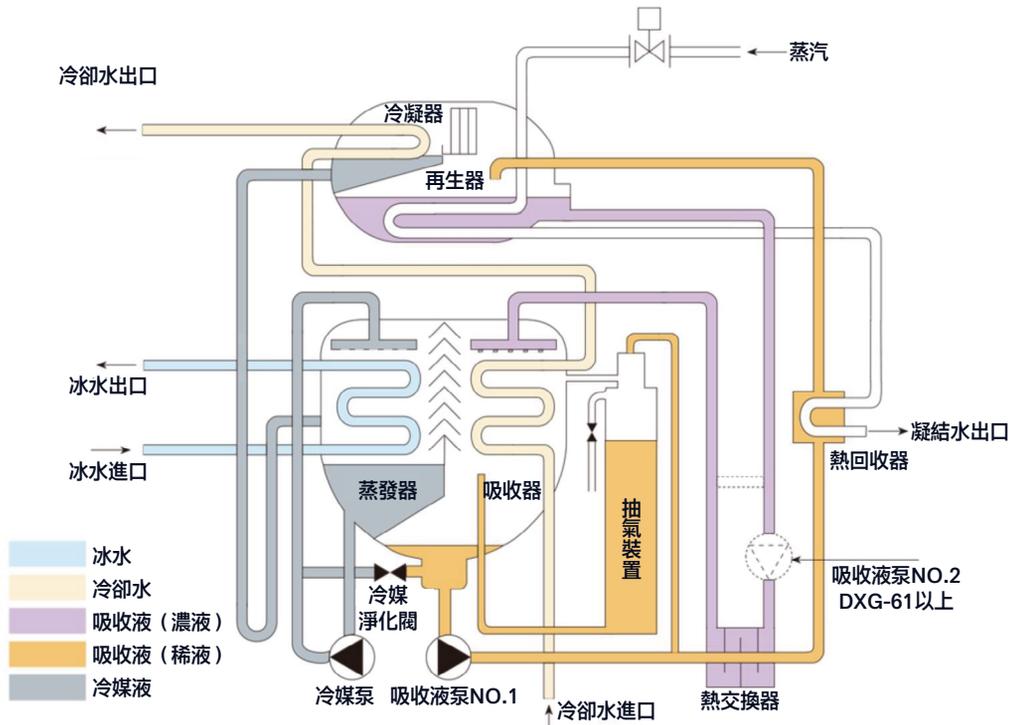
傳統氣體壓縮式冷凍機與吸收式冷凍機內部流體循環的比較示意圖如 4.6.1-1 所示，說明如下：



資料來源：設備廠商提供

圖4.6.1-1 吸收式與傳統壓縮式冷凍機差異示意圖

與傳統壓縮式冷凍機比較，最主要差異在吸收式冷凍機僅藉由再生器-吸收器的組合來取代高耗電的壓縮機，其主要以熱能驅動，而熱源可為蒸汽或熱水，故需增設熱源供應管路。主機內除冷媒外另需填充溴化鋰溶液，相關流體示意圖如4.6.1-2所示。



資料來源：設備廠商提供

圖4.6.1-2 蒸汽型吸收式冷凍機內部流體循環示意圖

工作原理為冷凍水在蒸發器內被來自冷凝器的減壓節流後的低溫冷媒水冷卻，冷媒水吸收冷凍水熱量後蒸發，成為冷媒蒸汽，在進入吸收器內被溶液吸收，溶液由濃變稀，於吸收器內之稀溶液，透過溶液泵送往熱交換器提高溫度，最後進入再生器，於再生器中稀溶液被蒸汽加熱，濃縮成濃溶液。濃溶液經熱交換器降低溫度，進入吸收器，滴淋在吸收器內的冷卻水管上，吸收來自蒸發器的冷媒蒸汽，成為稀溶液。另一方面，在再生器內，經外部蒸汽加熱溴化鋰溶液後產生的水蒸汽，進入冷凝器被冷卻水冷卻，經減壓節流，變成低溫冷媒水，進入蒸發器，滴淋在冷凍水管上，冷卻進入蒸發器的冷凍水。

2.技術特點與優勢

吸收式冷凍機有效利用製程廢熱資源並提供製程冷卻，能降低生產成本、提高企業競爭力，亦能減少廢熱的排放。石化業運用吸收式冷凍機技術之特點如下：

- (1) 以熱能為動力無需耗用大量電能，並利用低階熱能或廢餘熱；
- (2) 僅有耗電較低之液泵及真空泵，無其他轉動部件，振動小、噪聲低；
- (3) 以水於相變化傳熱的冷媒在真空環境運轉，無臭、無毒、無高壓力爆炸危險，符合環保且安全性高；
- (4) 製造簡單，操作、維修保養方便，機組多為熱交換器組成，持續保持主機內真空監控，並避免溴化鋰溶液造成內部腐蝕。

3.應考慮因素與限制

本技術規劃設計應考慮因素包括：

- (1) 餘熱(熱水或蒸汽)之形式及條件，例如：能源是否穩定足夠、連續供應，冷卻水塔負載量會增加故需確認是否足夠；
- (2) 製程所需冷凍水需求，其溫度是否低於吸收式冷凍機一般最低供水溫度 5 °C；
- (3) 設備體積稍大，安裝空間、搬運動線需事先確認；
- (4) 環境因素包含冷卻水溫度過低控制、蒸汽腐蝕性控制及是否需IECEx防爆認證等。

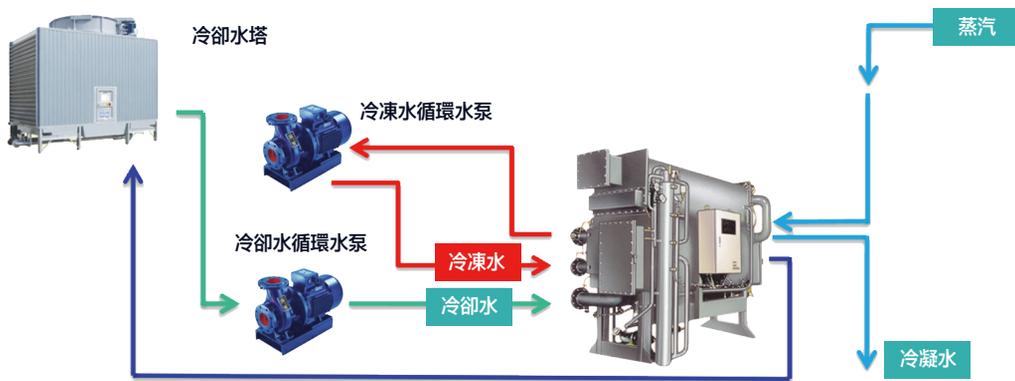
4.降低危害風險

吸收式冷凍機內冷媒與溴化鋰水溶液在負壓系統內循環運轉，僅蒸汽側會有高壓蒸汽作動，故需注意高壓蒸汽配管的相關安全考量措施。

4.6.2 實務案例介紹

1.改善緣由

案例廠為化工產業，為台灣前三大 SM 製造廠商。此次改善使用廠內剩餘之低壓蒸汽，引入總冷凍噸為 480 RT 的低壓蒸汽型吸收式冷凍機，提供製程生產所需要的冰水。除可節電、回收利用蒸汽（潛熱富含的大量工業剩餘廢熱），亦可降低冷卻水蒸發及飛散損失，達到節水節能之功效，其系統如圖 4.6.2-1 所示：



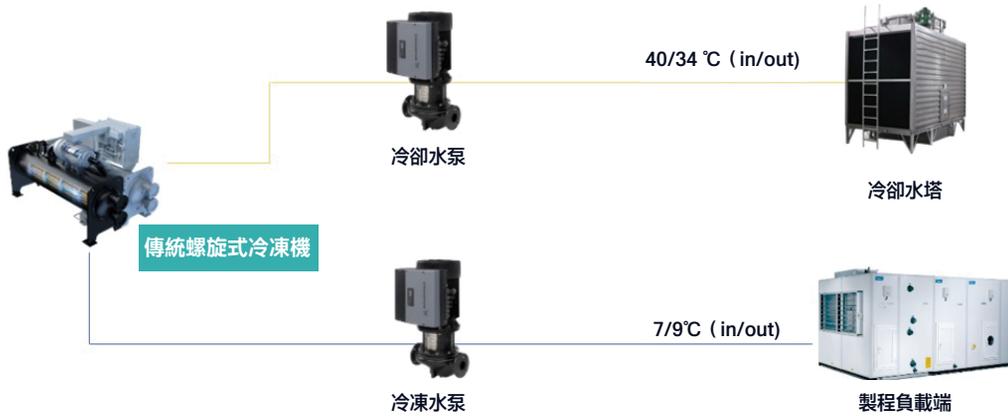
資料來源：設備廠商提供

圖4.6.2-1 案例廠吸收式冷凍機系統示意圖

2.改善方案執行過程

(1) 改善前情境說明

案例廠既有 400 RT 傳統螺旋式冷凍機，改善前流程如圖 4.6.2-2 所示，因製程進行熱回收改善，有多餘低壓蒸汽產生，為有效回收利用餘裕蒸汽，避免能源浪費，故決定導入吸收式冷凍機。



資料來源：設備廠商提供

圖4.6.2-2 案例廠改善前流程示意圖

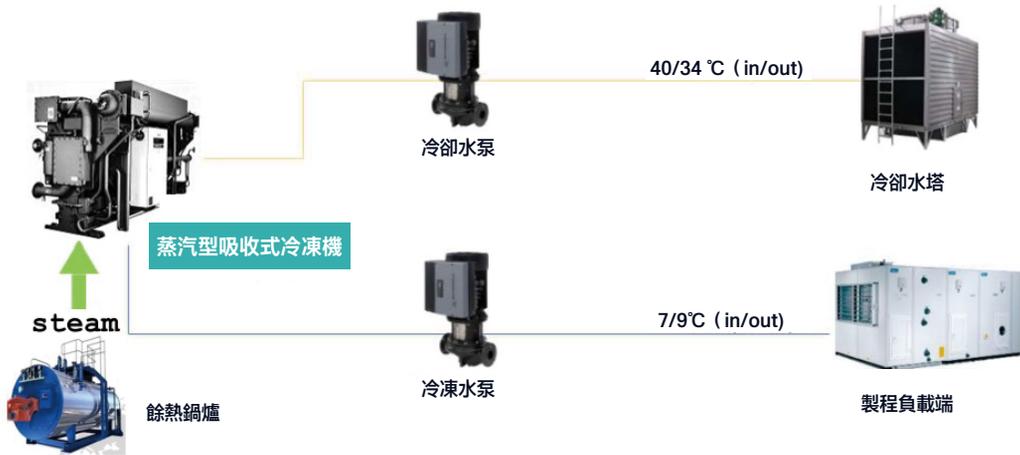
(2) 改善後情境說明

經規劃評估，採用 1 台低壓蒸汽驅動之吸收式冷凍機，既有冰水及冷卻水管路沿用，惟冷卻水需求量增加，需重新評估冷卻水量是否足夠，另增加蒸汽循環管路及減壓閥等相關設施，確保熱源供應穩定，設備如圖 4.6.2-3 所示、改善後流程如圖 4.6.2-4 所示。



資料來源：設備廠商提供

圖4.6.2-3 案例廠改善設備圖



資料來源：設備廠商提供

圖4.6.2-4 案例廠設備改善後流程示意圖

3.成效分析與節能減碳效益

(1) 應用吸收式冷凍機之節能量

改善後之節能量如表 4.6.2-1 所示，其中主機耗電量由 326 kW 螺旋式冷凍機降為 8 kW 吸收式冷凍機，蒸汽耗用量為 3.5 公噸蒸汽 / 小時。

表4.6.2-1 案例廠改善前後系統比較

項目	螺旋式冷凍機 (改善前)	吸收式冷凍機 (改善後)
冷凍噸	400 RT	480 RT
耗電量	326 kW1	8 kW
蒸汽耗用量	0	3.5 公噸蒸汽/小時

(2) 投資效益

案例廠吸收式冷凍機之執行，其投資效益如下：

投資金額	約1,300萬元 (主體設備約1,000萬元，其他土木工程、管材閥件、電力供應系統、安裝工程等約300萬元)
節能量	約1,665,684 kWh/年 (2022年運轉時數5,238小時計算)
節能績效	約450萬元/年 (以電力單價2.7元/kWh計算)
減碳量	825公噸CO ₂ e/年 (以經濟部公告之111年電力排碳係數0.495 kg-CO ₂ e/kWh計算)
回收年限	約2.9年



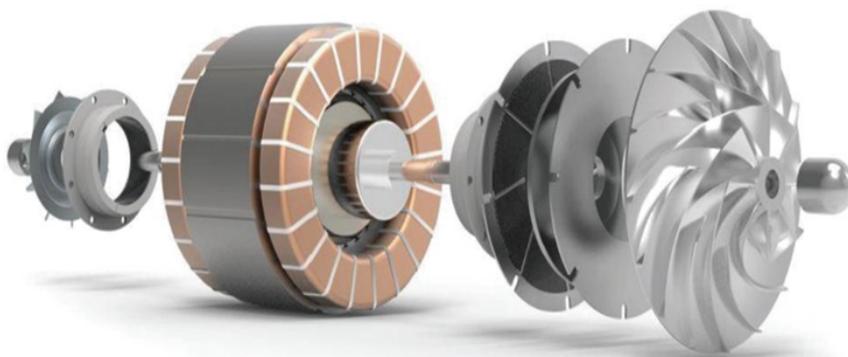
4.7 空氣懸浮式鼓風機

4.7.1 應用場域

空氣懸浮式鼓風機可應用於半導體、面板、化工、石化、鋼鐵、食品...等行業，常使用於空氣、物料輸送、生物曝氣系統或製程壓縮空氣系統之行業皆可使用，若其他產業具有相同或類似需求亦可斟酌參考應用。

1.技術應用原理

空氣懸浮式鼓風機設備內含永磁同步馬達 Permanent-Magnet Synchronous Motor (PMSM)、鋁合金葉輪、空氣軸承、變頻器及可編程邏輯控制器Programmable Logic Controller (PLC)，示意圖如4.7.1-1所示。箱體外之大氣經入風口之空氣濾片過濾後，再由葉輪離心加壓，可依照不同需求，提供0.2 bar~1.2 bar之出風壓力，空氣懸浮式鼓風機及其專利雙重冷卻系統示意圖如4.7.1-2~圖4.7.1-3所示。

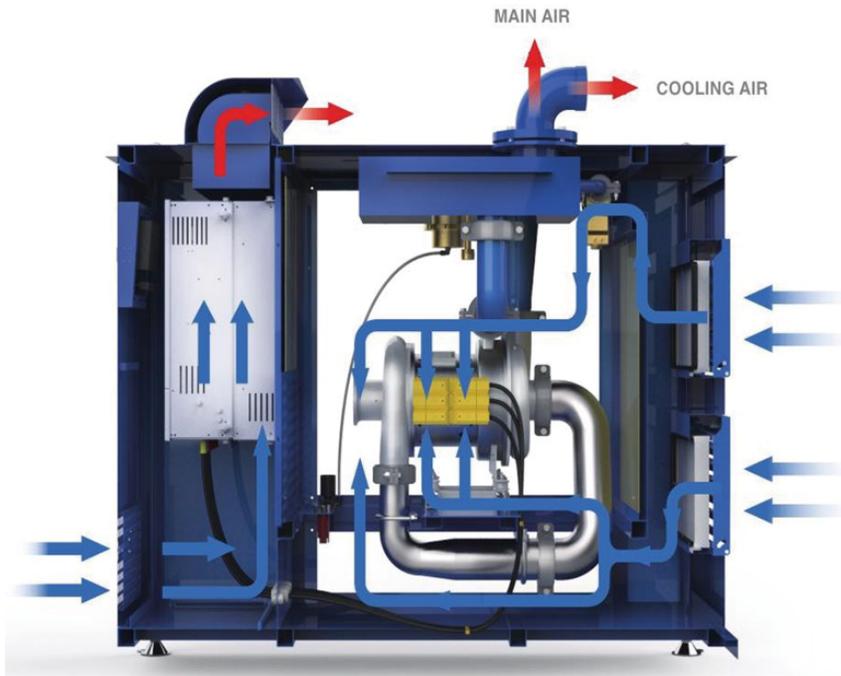


資料來源：設備廠商提供

圖4.7.1-1 磁同步電機與葉輪示意圖

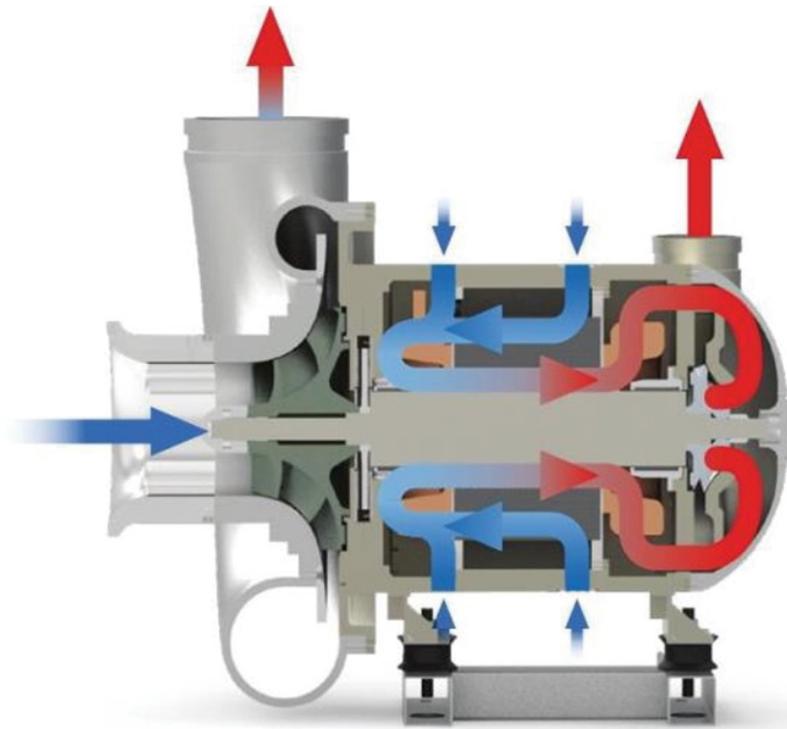
空氣懸浮式鼓風機之核心技術及省電技術說明如下：

- (1) 採用高效率永磁馬達，超過95%能源之轉換；
- (2) 100%無油空氣懸浮軸承，提供環保安全的運轉，無摩擦損失設計使噪音低於85dB；
- (3) 多循環冷卻系統，完全不需額外添加冷卻風扇或水冷系統，即可確保馬達不持續升溫，使用不中斷；
- (4) 即時流量感應供應 $\pm 0.5\%$ 流量偵測，隨時調整變頻，穩定輸出；
- (5) 出氣閥門不需要額外壓縮空氣即可控制，搭配感應器自動調整，同時可做為緊急逆止閥，保護設備；
- (6) 壓力自動偵測提醒，每三個月更換一次空氣濾片，可確保最佳效率與延長設備壽命。



資料來源：設備廠商提供

圖4.7.1-2 空氣懸浮式鼓風機示意圖



資料來源：設備廠商提供

圖4.7.1-3 專利雙重冷卻系統示意圖

2.技術特點與優勢

石化業運用空氣懸浮式鼓風機具有下列特點：

- (1) 節能高效：空氣軸承直聯技術，較傳統鼓風機/空壓機節電20%~57%不等；
- (2) 超低振動、低噪音、自帶風速流量計：空氣懸浮軸承超小振動，小於1 mm/秒，不需減震座、噪音低於85dB、內建±1 %錐形流量計；
- (3) 客製化：具備防爆(IECEX)、分離式、空氣輸送或船用機型(ABS船級認證)，多樣化特殊機型及多項國際安全認證；
- (4) 無繁重保養：沒有齒輪箱及油性軸承，100%完全不需要潤滑油，只需定期更換空氣濾片；
- (5) 運轉控制便利：可設定轉速、壓力、電流、流量及sensor控制；
- (6) 設備安裝空間小：不需額外尋找安裝空間。

3.應考慮因素與限制

本技術規劃設計應考慮因素包括：

- (1) 依客戶曝氣或空輸應用之實際需求風量、壓力及製程條件選擇適合機型，例如：室外機型、控制分離機型及防爆機型；
- (2) 應考量現場環境溫度；
- (3) 應考量入風口空氣品質。

4.7.2 實務案例介紹

1.改善緣由

案例廠為石化業廠商，於空氣輸送粉粒系統裝設魯式鼓風機，以空氣將成品推送至後方儲槽，因魯式鼓風機噪音大、震動大，馬達為機械軸承能量傳遞複雜導致耗能，基於企業節能減碳需求，評估進行空氣懸浮式鼓風機改善。

2.改善方案執行過程

(1) 改善前情境說明

原採用 1 台規格為 50 hp 之魯式鼓風機，改善前實際量測設備運轉電流為 53A，設備改善前示意如圖 4.7.2-1 所示。



資料來源：設備廠商提供

圖4.7.2-1 案例廠設備改善前示意圖

(2) 改善後情境說明

經規劃評估，採用 1 台規格為 50 hp 之氣浮式鼓風機，設備改善後示意如圖 4.7.2-2 所示。此空氣輸送系統專用氣懸浮鼓風機機型，配備專利自動控制閥門，可應付送料中途產生的壓力高低變化而不誤跳機，大大減少使用單位人力負擔。



資料來源：設備廠商提供

圖4.7.2-2 案例廠設備改善後示意圖

3. 成效分析與節能減碳效益

(1) 應用空氣懸浮式鼓風機之節能量

改善前後之節能量如表 4.7.2-1 所示，其中魯式鼓風機電流由 53.1A 降為氣懸浮鼓風機 30.7A，節能率約達 42.2 %。

表4.7.2-1 案例廠改善前後系統之節能量

項目	魯式鼓風機 (改善前)	氣懸浮式鼓風機 (改善後)
設備機種	定頻	變頻
額定馬力	50 hp	50 hp
運轉電壓	380V	380V
運轉電流	53.1A	30.7A
年用電量	306,147 kWh/年	177,000 kWh/年

(2) 投資效益

案例廠空氣懸浮式鼓風機之執行，其投資效益如下：

投資金額	約150萬元
節能量	約129,147 kWh/年 (以年運轉時數8,760小時/年計算)
節能率	約42.2%
節能績效	約38.7萬元/年 (以電力單價3元/kWh計算)
減碳量	64公噸CO ₂ e/年 (以經濟部公告之111年電力排碳係數0.495 kg-CO ₂ e/kWh計算)
回收年限	約4年



4.8 有機朗肯循環(ORC)發電技術

4.8.1 應用場域

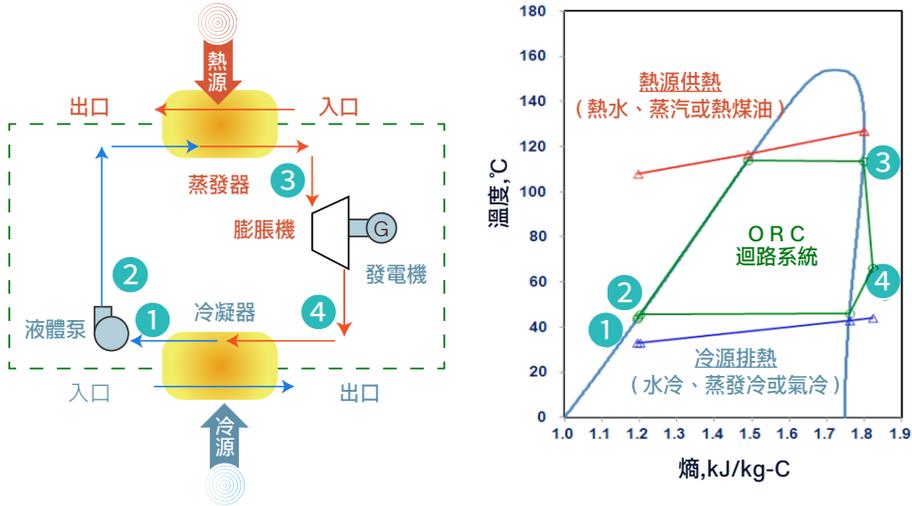
有機朗肯循環(Organic Rankine Cycle, ORC)為目前低溫餘熱、廢熱發電系統中，技術成熟且經濟實惠之技術方案，具備發電效率高、運轉可靠度佳、機組維修少等特性，可達節能減碳和經濟效益等多重成效。應用產業相當廣泛，包含鋼鐵、製鋁、造紙、紡織、食品、石化、水泥...等行業，舉凡製程具有排放廢氣熱源條件者皆可應用。

1.技術應用原理

有機朗肯循環ORC發電技術屬於熱機循環系統，機組由冷媒泵、蒸發器、膨脹機、發電機及冷凝器構成，利用低溫沸點有機工作流體(working fluid)轉換冷、熱源間的溫差熱能產生電力。ORC熱力循環工作原理如圖4.8.1-1所示，熱能轉換單元包含：

- (1) 取熱單元：利用熱交換器(蒸發器)擷取熱源熱能，以蒸發ORC廢熱發電系統的有機工作流體；
- (2) 熱功轉換單元：利用作功元件(例如：渦輪機、螺桿式膨脹機、渦卷式膨脹機等)轉換有機工作流體熱能為機械軸功，機械軸功再藉由發電機產生電力；
- (3) 排熱單元：有機工作流體流經作功元件降溫、降壓後，利用熱交換器(冷凝器)帶走氣態有機工作流體熱能，並將其冷凝為液態有機工作流體；
- (4) 升壓單元：利用泵浦汲取、升壓液態有機工作流體，並輸送至取熱單元，完成ORC廢熱發電系統循環。

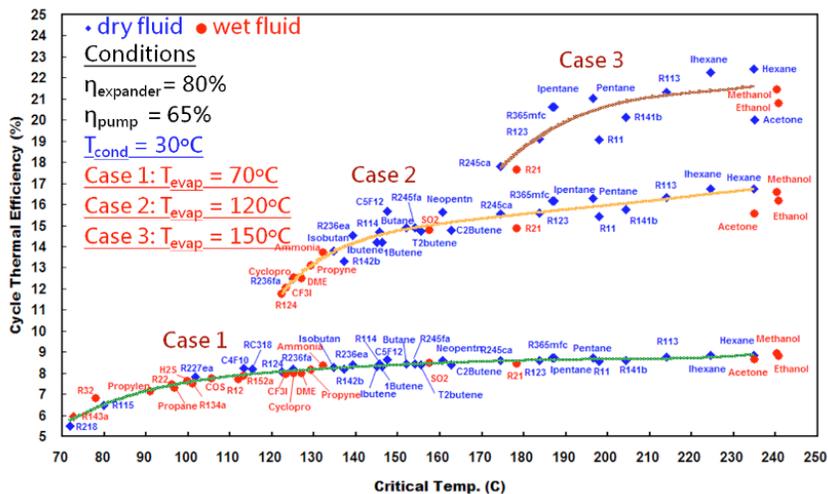
利用低溫沸點介質(冷媒)，將熱源、冷源溫差能轉換為電力輸出



資料來源：設備廠商提供

圖4.8.1-1 有機朗肯循環(ORC)發電技術示意圖

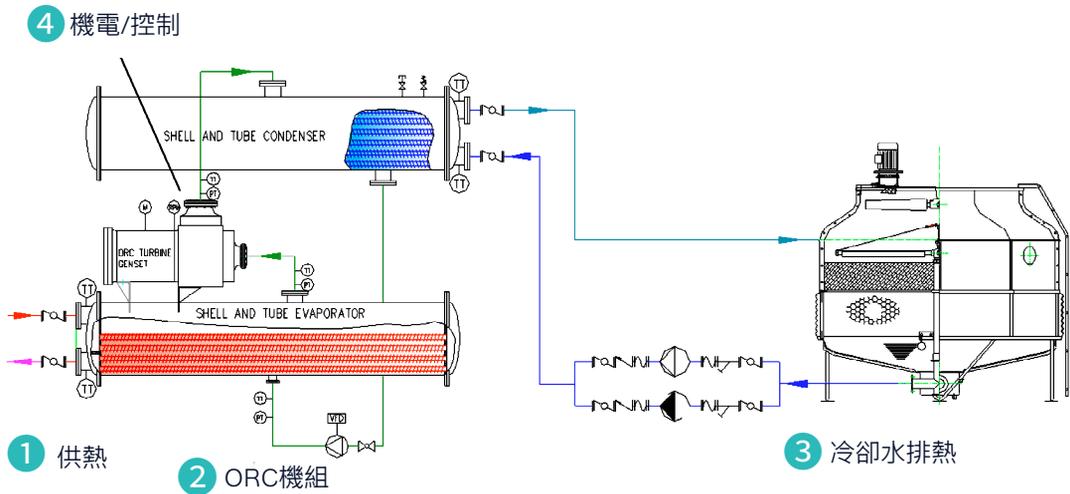
ORC系統熱效率受冷媒的蒸發溫度及冷凝溫度間的溫差影響，溫差愈大、熱效率愈高，反之亦然。茲以ORC循環系統冷媒的冷凝溫度30 °C為參考，圖4.8.1-2說明蒸發溫度在70 °C(Case 1)、120 °C(Case 2)及150 °C(Case 3)時的系統熱效率。



資料來源：107 年低碳技術研討會⁽¹¹⁾

圖4.8.1-2 有機朗肯循環ORC熱效率

以有機朗肯循環ORC發電技術回收製程之餘熱發電，發電系統現場建造方案主要取決於現場的冷源型態(水冷式、氣冷式、蒸發冷)及熱源型態(熱水/蒸汽、熱氣/煙氣)、電力特性(低壓電或高壓電)及是否建造於防爆區。若安裝現場可以供應冷卻塔循環冷卻水或汲取冷卻水(井水、河水等)，建議採用水冷式方案，因具備：(1)ORC機組熱效率佳、冷媒填充量少、壽命長、價格低；及(2)冷卻水系統清洗維修便利、費用低、使用壽命長等優勢。本案例廠冷源型態採水冷式，熱源型態以熱水/蒸汽式規劃發電方案，水冷式有機朗肯循環ORC發電方案如圖4.8.1-3所示。



資料來源：設備廠商提供

圖4.8.1-3 水冷式有機朗肯循環ORC發電方案

2.技術特點與優勢

依據多樣化的熱源、冷源參數及條件，ORC循環系統可選用不同的冷媒種類，運行於多種的熱源型態及溫度範圍，應用領域寬廣。ORC系統結構簡單、穩定性佳、可靠度高，發電效率亦較一般中、低溫熱能發電系統高，因此，ORC廣泛應用於中、低熱能發電，例如：工業製程餘熱(熱水、低壓蒸汽、煙氣等)、地熱/溫泉、生質/廢棄物熱能(農業廢棄物、沼氣等)、太陽熱能、海洋溫差發電等。ORC除了可應用於中、低溫熱能發電外，也可將低溫冷能(例如：液態天然氣或液態氮)和大氣環境間的溫差產生電力。

3.應考慮因素與限制

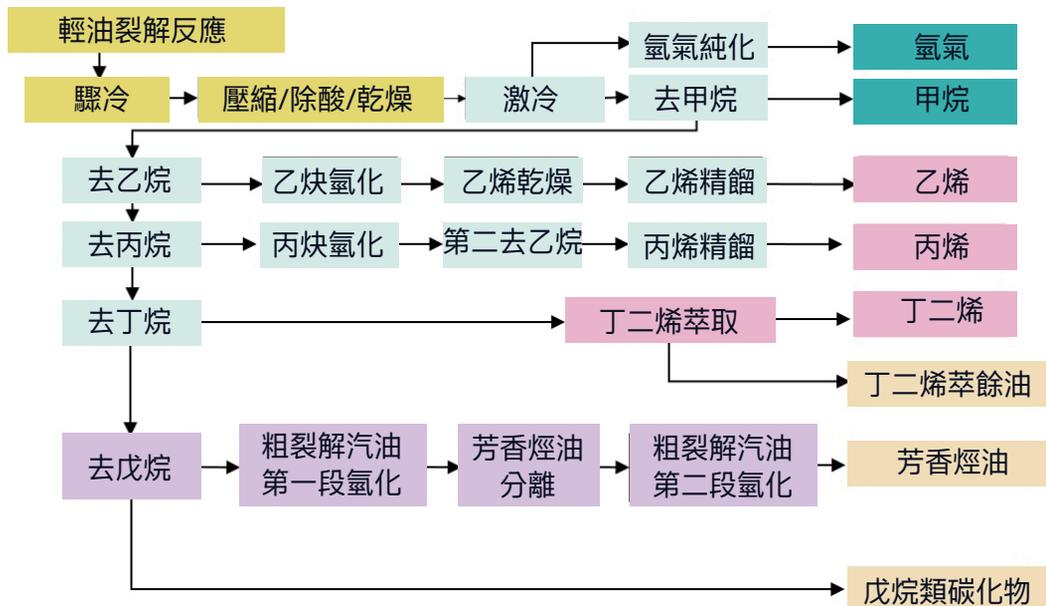
本技術規劃設計應考慮因素包括：

- (1) 熱源及冷源條件(流量、溫度)變動性、變異範圍、流體成分、腐蝕性；
- (2) 直接取熱或間接取熱；
- (3) 機組預定設置位置與冷熱源相對位置、空間；
- (4) 環境大氣是否具腐蝕性、機組安裝地點是否為防爆區等環境面考量；
- (5) 電力併網介面需求、產出電力規劃等。

4.8.2 實務案例介紹

1.案例廠應用簡介

案例廠生產產品為石化原料乙烯、丙烯、丁二烯等，製程流程如圖 4.8.2-1 所示。



資料來源：溫室氣體自願減量績優大會⁽¹³⁾

圖4.8.2-1 案例廠製造流程

2.改善方案執行過程

(1) 改善前情境說明

改善前製程暖管剩餘蒸汽 1.9 公噸蒸汽 / 小時，蒸汽壓力 2kg/cm²，溫度 210 °C，直接排至冷凝收集槽排放。

(2) 改善後情境說明

導入有機朗肯循環ORC發電機後，在操作上需留意操作參數如下：

- (1) 冷、熱源流量：1.9 公噸蒸汽/小時；
- (2) 冷、熱源溫度：32 °C/210 °C(過熱蒸汽)；
- (3) 冷卻塔冷卻水出水溫度33 °C及冷卻塔冷卻水回水溫度39 °C。

3.成效分析與節能減碳效益

(1) 應用有機朗肯循環 (ORC) 發電技術之節能量

以測試數據進行節電量計算，預估有機朗肯循環 ORC 廢熱發電機可發電 140.7 kW。因有機朗肯 (ORC) 廢熱發電機仍有元件需額外用電，扣除後之淨發電量為 126.6 kW，預估全年發電量約為 1,012,800 kWh，改善後之照片如圖 4.8.2-2 所示。



資料來源：設備廠商提供

圖4.8.2-2 有機朗肯循環ORC發電機組圖

(2) 投資效益

案例廠有機朗肯循環 (ORC) 發電技術之執行，其投資效益如下：

投資金額	約670萬元 (僅設備費用，不包括電力供應之電纜線)
節能量 (發電量)	約1,012,800 kWh/年 (以年運轉時數8,000小時/年計算)
節能績效	約211萬元/年 (以電力單價2.085元/kWh計算)
減碳量	501公噸CO ₂ e/年 (以經濟部公告之111年電力排碳係數0.495 kg-CO ₂ e/kWh計算)
回收年限	約3.2年

4.9 蒸汽壓差發電技術

4.9.1 應用場域

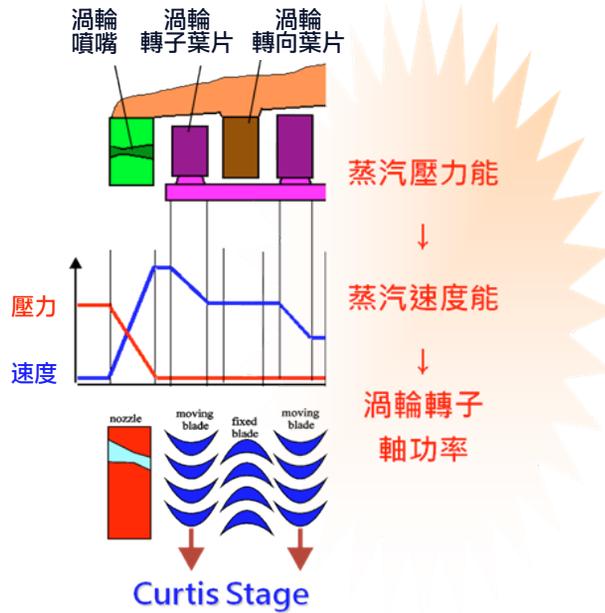
石化產業有相當大的蒸汽需求，如何有效應用達到節省能源使用，已成為各工廠關注之焦點。蒸汽用戶考量特定製程的壓力需求、傳輸配送及鍋爐效率，常提高產生端的蒸汽壓力，有些製程端需求的蒸汽壓力較低，常需串聯減壓閥以降低蒸汽壓力。而有些製程尾端還有低壓蒸汽無法使用，若直接排放會造成能源損失。蒸汽壓差發電技術可回收製程間壓差能或製程尾端的低壓蒸汽能，產生軸功率或電力供廠區利用，以提高廠內的能源使用效率，適用行業別包含石化、鋼鐵、造紙、化纖、紡織、食品等需使用蒸汽製程之行業。

1.技術應用原理

蒸汽壓差發電技術應用之設備有蒸汽渦輪發電機及蒸汽壓降螺桿膨脹發電機兩種，技術原理各說明如下：

蒸汽渦輪發電機：採用衝擊式(impulse type)渦輪構造，結構簡單。蒸汽壓降發生在渦輪噴嘴(nozzle)或靜子(stator)，渦輪轉子葉片(rotor blade)沒有壓降，因此渦輪轉軸的軸向推力小。茲就單級雙列式的衝擊式渦輪說明工作原理，示意如圖4.9.1-1：

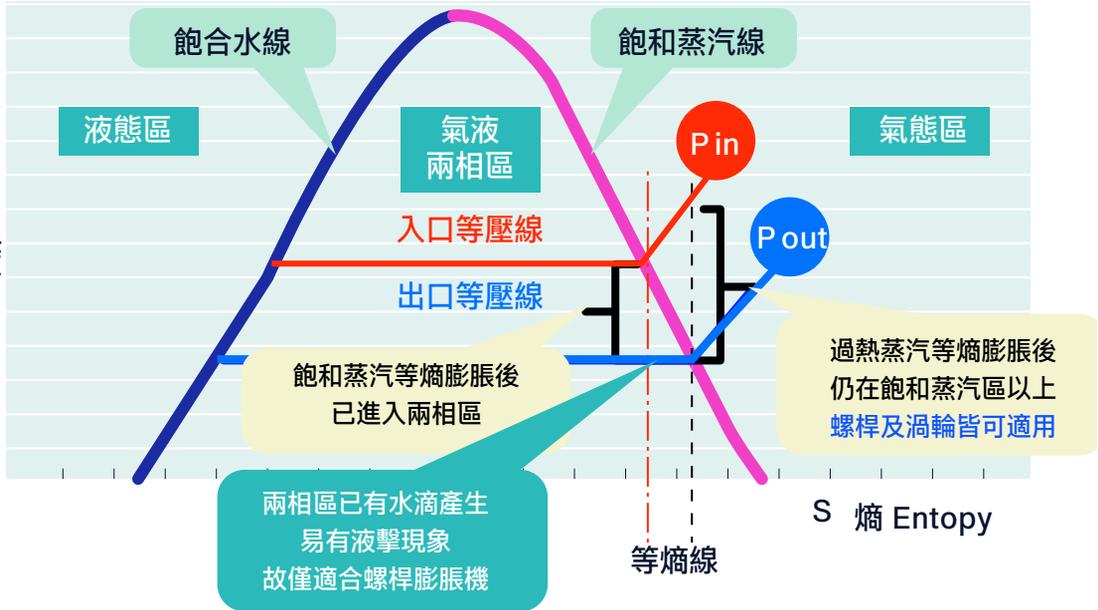
- (1) 高壓蒸汽進入蒸汽輪機的蒸汽室後，導引進入渦輪噴嘴，在渦輪噴嘴內，蒸汽壓力逐漸降低，蒸汽壓力能轉換為蒸汽速度能；
- (2) 高速蒸汽離開噴嘴後，直接衝擊渦輪轉子葉片，旋轉渦輪轉子產生軸功率。蒸汽衝擊渦輪轉子後若蒸汽速度還高，利用轉向葉片，調整蒸汽方向，再衝擊第二列渦輪轉子葉片，以提高軸功率及渦輪效率；
- (3) 渦輪轉子產生的軸功率，可直接拖動旋轉機械或透過發電機輸出電功率，經過渦輪轉子後的蒸汽，蒸汽渦輪機的蒸汽出口排入低壓蒸汽製程管網。



資料來源：設備廠商提供

圖4.9.1-1 蒸氣渦輪機運作原理

蒸汽壓降螺桿膨脹發電機係利用熱力學的正向循環實現將“熱”轉化為“功”，膨脹機使用帶一定壓力的水蒸汽(過熱、飽和或兩相區均可)工作流體，如圖4.9.1-2所示，當高壓水蒸汽進入膨脹機後，進行膨脹做功，最後變成低壓水蒸汽離開膨脹機。其技術應用原理為水蒸汽進入膨脹機，膨脹機在高壓蒸汽推動下轉動，進而對外輸出機械功，帶動發電機發電，蒸汽離開膨脹機後變成低壓、低溫蒸汽，進入下階段應用。螺桿膨脹機的進排過程示意如圖4.9.1-3所示。



資料來源：設備廠商提供

圖4.9.1-2 蒸汽膨脹熱力圖(T-S diagram)



資料來源：設備廠商提供

圖4.9.1-3 螺桿膨脹機的進排過程示意圖

2.技術特點與優勢

蒸汽壓差發電技術可將低壓餘熱資源充分利用，亦可依據蒸汽量及下游製程壓力需求調節流量及壓力，解決蒸汽能源浪費及額外獲得電力，可降低營運成本並達節能減碳之綜效。

3.應考慮因素與限制

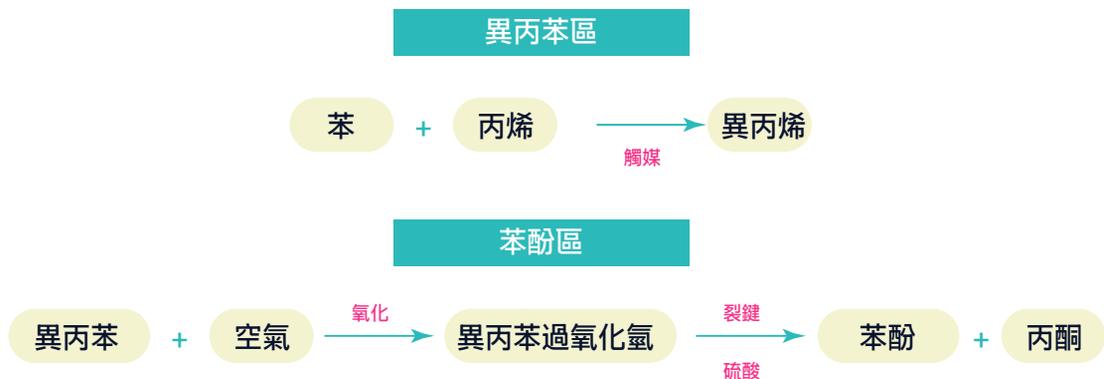
本技術規劃設計應考慮因素包括：

- (1) 蒸汽壓差發電機系統所需場地空間及配管距離；
- (2) 來源蒸汽供應條件，如：蒸汽壓力、蒸汽量、蒸汽溫度等；
- (3) 後端運用領域、電力系統等。

4.9.2 實務案例介紹

1.案例廠應用簡介

案例廠主要從事苯酚、丙酮的生產，主要有異丙苯及苯酚兩個製程單元。異丙苯製程首先烷化反應將苯及丙烯在觸媒催化下形成異丙苯及多異丙苯，多異丙苯再與苯經觸媒催化下轉烷化形成異丙苯。苯酚製程首先氧化反應將異丙苯及空氣反應成異丙苯過氧化物，然後在硫酸催化下裂鍵反應成苯酚及丙酮，製程反應如圖 4.9.2-1 所示。



資料來源：案例廠提供

圖4.9.2-1 異丙苯及苯酚製程反應



2.改善方案執行過程

(1) 改善前情境說明

工廠配合政府政策，秉持點滴不浪費的原則，因應夏季電力供給易吃緊情形，進行能源調整，增設低壓蒸汽膨脹發電機組來回收低階能源用以發電。此改善案除配合夏季節電外，在鄰廠製程操作調整或定檢期間，也能避免多餘蒸汽外排，可利用機組來調節回收蒸汽發電使用。回收低階能源用以發電效率不高，廠內盡量先把蒸汽熱能用盡，其餘再調節使用，並使未來廠區能源整合更有彈性。

(2) 改善後情境說明

主要配合夏季節電運轉，搭配鍋爐升載多產生2公噸蒸汽/小時，透過Thermo-Compressor回收123 °C常壓蒸汽冷凝水能量，產生4公噸蒸汽/小時，供蒸汽壓差發電機組發電，改善後之照片如圖4.9.2-2所示。



資料來源：設備廠商提供

圖4.9.2-2 案例廠改善後蒸汽壓差發電機組

3.成效分析與節能減碳效益

(1) 設置蒸汽壓差發電技術之節能量

748,400 kWh/ 年

(2) 投資效益

案例廠蒸汽壓差發電技術之執行，其投資效益如下：

投資金額	約2,258萬元
節能量 (發電量)	約748,400 kWh/年 (以年運轉時數4,000小時/年計算)
節能績效	約165萬元/年 (以電力單價2.2元/kWh計算)
減碳量	370公噸CO ₂ e/年 (以經濟部公告之111年電力排碳係數0.495 kg-CO ₂ e/kWh計算)
回收年限	約13.7年

4.10 纏繞管熱交換技術

4.10.1 應用場域

就石化產業鏈而言，為了因應節能減碳需求，許多製程需要多座熱交換設備才能達到足夠的熱能回收，也造成占地空間過大、管線進出口複雜容易洩漏、壓降過高造成壓縮機耗能、熱回收效益差等問題。而應用纏繞管熱交換技術能將多座舊式熱交換器濃縮成單座，使廠內空間能更有效運用並增加熱回收效益。

1. 技術應用原理

纏繞管熱交換器(Spiral Tubes Heat Exchanger, STHE)藉由間接加熱原理，加熱其它冷流體，更有效益的回收製程廢餘熱，達到節能減碳的目的。技術上流體可在超過100公尺連續無縫換熱管中流動，管中流體劇烈擾動增加效能，與管外的流體換熱，效率可比傳統熱交換器多40 %~50 %，示意圖如4.10.1-1所示。



資料來源：108 年低碳製程技術研討會⁽¹⁴⁾

圖4.10.1-1 纏繞管熱交換技術示意圖

2.技術特點與優勢

纏繞管熱交換器具有下特點：

- (1) 高熱能回收：具有高熱傳效能，可減少空間使用，提高熱能回收效益；
- (2) 耐製程波動：彈簧性結構，無壓力、溫度升降幅度上的限制，比傳統板式熱交換器更耐用，操作更便利；
- (3) 抗洩漏：彈簧性結構具有更好的耐用度，並且精簡配管可降低流體洩漏風險，可減少維修次數；
- (4) 精簡性：能將多台傳統熱交換器合併汰換成單台，精簡安裝空間、配管及鋼構複雜度；
- (5) 抗垢：無死角結構及特殊流體力學設計形成的亂流(Turbulence)效果，由眾多實績顯示比傳統的熱交換器更為抗垢。

3.應考慮因素與限制

本技術規劃設計應考慮因素包括：

- (1) 現有設備周邊需有空間可供纏繞管熱交換器預先安裝使用；
- (2) 製程流體必須相對乾淨，在現有設備使用上可長期運行，且可用化學清洗處理。

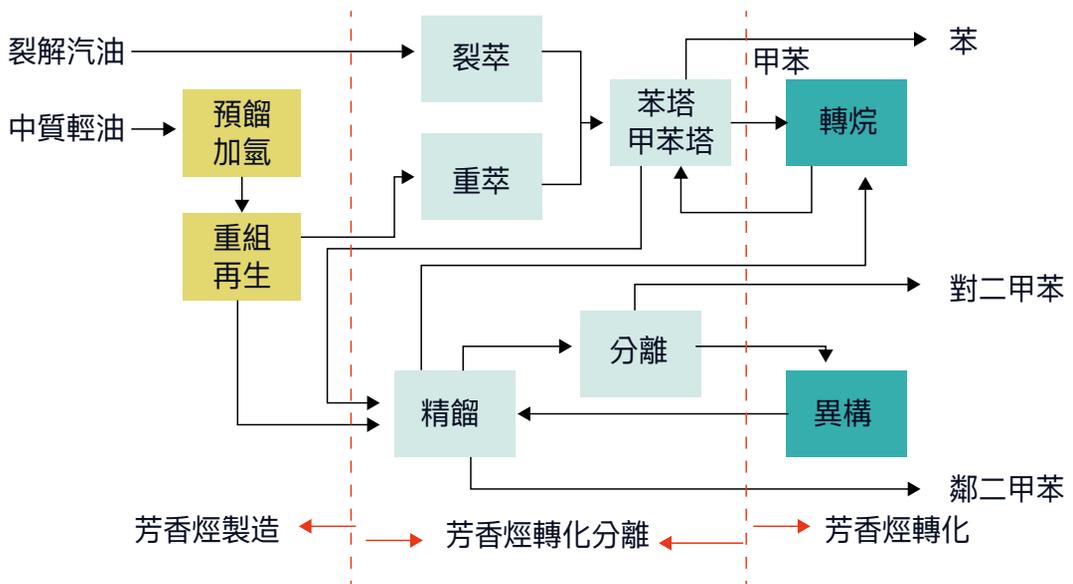
本技術適用時機如下：

- (1) 工廠中至少有3座串聯或並聯的熱交換器；
- (2) 傳統熱交換器(如：板式)洩漏問題無法解決。

4.10.2 實務案例介紹

1. 案例廠應用簡介

案例廠製程可分為芳香烴製造（包括預餾、加氫、重組與再生等單元）、芳香烴純化分離（包括萃取、精餾與分離等單元），以及芳香烴轉化（包括轉烷與異構單元）。中質輕油本身含苯、甲苯與二甲苯濃度只有約 12%，需經過加氫、重組製程加以轉化，藉以提升芳香烴濃度，其後再經萃取、轉烷、精餾、異構與分離等製程加以精製與純化，才能產出高純度的苯及對二甲苯。裂解汽油含苯、甲苯與二甲苯達 80%，可先經萃取製程處理，所萃取出來的高濃度芳香烴油則可併入前述中質輕油流程，產出苯與對二甲苯，其流程圖如圖 4.10.2-1。



資料來源：台塑企業節能資訊⁽¹⁵⁾

圖4.10.2-1 芳香烴工廠原料、產品與製程關聯圖

2.改善方案執行過程

(1) 改善前情境說明

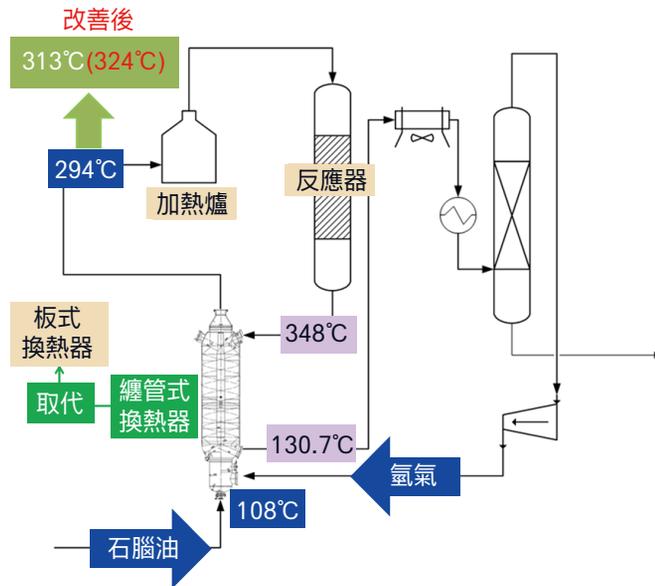
案例廠舊有板式熱交換器產生嚴重的結垢問題，導致效能下降及增加壓縮機能耗。此外，在不穩定的程序條件下，板式熱交換器相對較容易因瞬間壓力波動造成破損而洩漏。

原料石油腦與氫氣混合後溫度為 108 °C，與反應器出口溫度 348 °C 換熱，原始板式熱交換器更換前僅能將原料換熱至 294 °C。

(2) 改善後情境說明

纏繞管式熱交換器其彈簧結構固有的復原特性，能調節熱效應或壓力波動所造成的洩漏，亦即纏繞管熱交換器本質上更加安全，且有良好防漏功能。

板式熱交換器更換為纏繞管熱交換器後，能將原料出口溫度從294 °C提升至313 °C，實際運行時效率更好，可達到324 °C，對加熱爐等熱能回收帶來極大效益，圖4.3.2-1為纏繞管熱交換技術應用流程圖。



資料來源：設備廠商提供

圖4.10.2-2 纏繞管熱交換技術應用流程圖

3.成效分析與節能減碳效益

(1) 應用纏繞管熱交換技術之節能量

改善前後之節能量如表 4.10.2-1 所示，其中 41 K 蒸汽約節省 18 %、
燃氣約節省 57 %，纏繞管熱交換器設置如圖 4.10.2-3 所示。

表4.10.2-1 案例廠改善前後系統之節能量

項目	A.改善前	B.改善後	差異量(A-B)	節能率(A-B)/A
41K蒸汽用量(公噸/小時)	11.5	9.4	2.1	18 %
燃氣用量(公斤/小時)	748	318	430	57 %



資料來源：108 年低碳製程技術研討會⁽¹⁴⁾

圖4.10.2-3 纏繞管熱交換器設置圖

- 節省 41 K 蒸汽量：16,800 公噸 / 年。
- 節省燃氣量：3,440 公噸 / 年。

(2) 投資效益

案例廠纏繞管熱交換器技術之執行，其投資效益如下：

投資金額	約430萬美元，換算新台幣約1.5億元 (含修改鋼構及配管)
每年節省 蒸汽量	41K蒸汽約16,800公噸/年
每年節省 燃氣量	約3,440公噸/年 (以年運轉時數8,000小時/年計算)
節能率	41K蒸汽約節省18%、燃氣約節省57%
節能績效	約5,209萬元/年 (以41K蒸汽單價951元/公噸、燃氣10,500元/公噸計算)
減碳量	14,109公噸CO ₂ e/年 (排碳係數以41 K蒸汽0.2920071437公噸CO ₂ e/公噸蒸汽、燃氣 2.6753744557公噸CO ₂ e/公噸燃氣計算)
回收年限	約2.9年

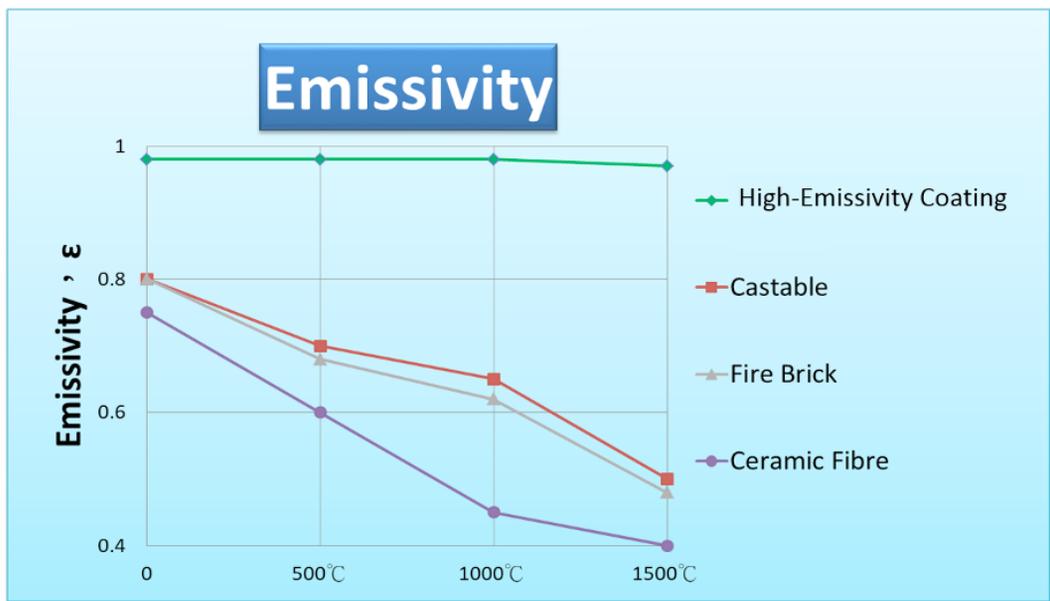
4.11 高溫陶瓷保溫塗料

4.11.1 應用場域

在石化、鋼鐵等行業製程中，主要的能耗來源為加熱爐等高溫設備。應用高溫陶瓷保溫塗料可提升爐內壁輻射率，減少爐內之能源損失、減少爐外壁溫度、減少燃料損耗，並可增加爐內耐火材抗高溫及耐酸鹼能力，大幅延長爐內耐火材的使用壽命提升設備運轉效率，達到降低燃料成本及節能減碳之目標。

1. 技術應用原理

一般加熱爐爐內耐火材輻射率(Emissivity, ϵ)為0.35~0.65，耐火材噴塗高溫陶瓷保溫塗料後，可將爐內輻射率提升至0.98左右，輻射率與溫度示意如圖4.11.1-1所示。輻射率的提升能減少燃料損耗及降低爐外壁溫度，高溫陶瓷保溫塗料具有抗高溫(塗料連續使用溫度為1,700~1,750°C)及耐酸鹼能力，可大幅延長爐內耐火材的使用壽命，減少每次停爐歲修更新耐火材所花費的時間及費用，同時達到節能減碳的目標。



資料來源：設備廠商提供

圖4.11.1-1 不同保溫塗料輻射率

2.技術特點與優勢

高溫陶瓷保溫塗料有下列特點：

- (1)可提升爐內輻射率達0.98，大幅減少熱散失，提升設備運轉效率；
- (2)阻隔耐火材隙縫熱滲透，降低耐火材收縮率及隙縫產生；
- (3)抵抗煙氣中酸鹼物質及風切沖蝕耐火材及其內部釘具；
- (4)增加耐火材耐高溫能力，降低爐外壁溫度，延長耐火材使用壽命；
- (5)施工快速工期短，能配合各廠歲修定檢時間完工；
- (6)各式加熱爐、裂解爐、廢氣、廢液焚化爐等設備使用之耐火材，例如：耐火磚、耐火泥、耐火棉毯、耐火棉磚、耐火澆鑄料等皆可噴塗，耐火材料種類示意如圖4.11.1-2。
- (7)高溫陶瓷保溫塗料噴塗後經500 °C以上溫度燒結養成硬殼，可避免耐火材脫落。使用狀況一般除人為因素(例如：歲修搭架碰撞爐壁)或焚化爐因焚化處理物不同，塗料壽命有所改變以外，實際案例於使用8年後塗料仍附著在耐火材表面上。



資料來源：設備廠商提供

圖4.11.1-2 耐火材料種類

3.應考慮因素與限制

本技術規劃設計應考慮因素包括：

- (1) 液態爐(如：煉鋼液的爐子)及爐壁會碰撞的區域不適合噴塗，塗層會被覆蓋或刮除；
- (2) 高溫陶瓷保溫塗料噴塗後需經燒結養成，故爐體操作溫度500 °C以下的爐子不適用。

4.11.2 實務案例介紹

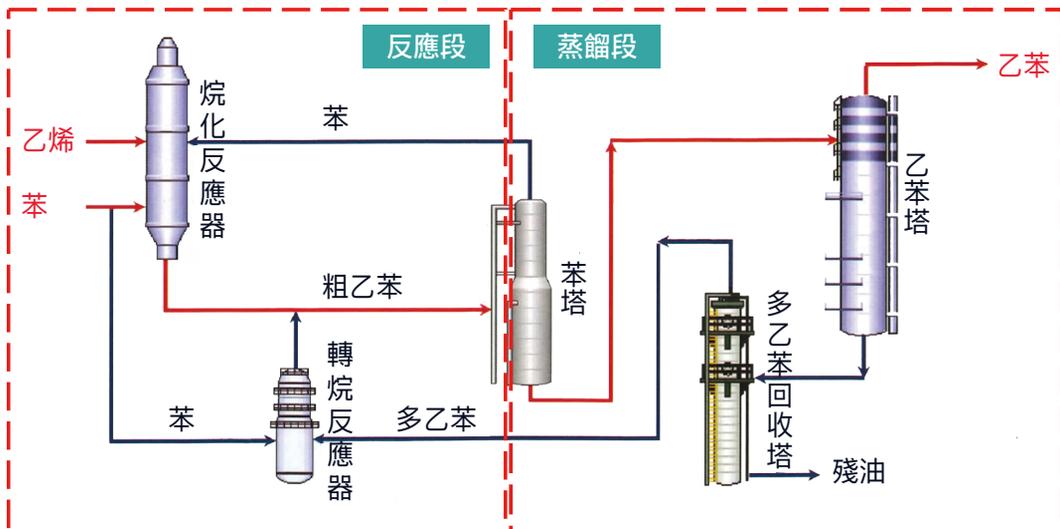
1.案例廠應用簡介

苯乙烯製程係由苯和乙烯兩種石化原料先經烷化反應形成乙苯，再經脫氫反應後形成產品苯乙烯，並有副產品甲苯及氫氣。製造流程如圖4.11.2-1所示。

乙苯區製程以乙烯及苯為原料製造乙苯。

乙苯區分2段：1.反應段有烷化反應器、轉烷反應器。

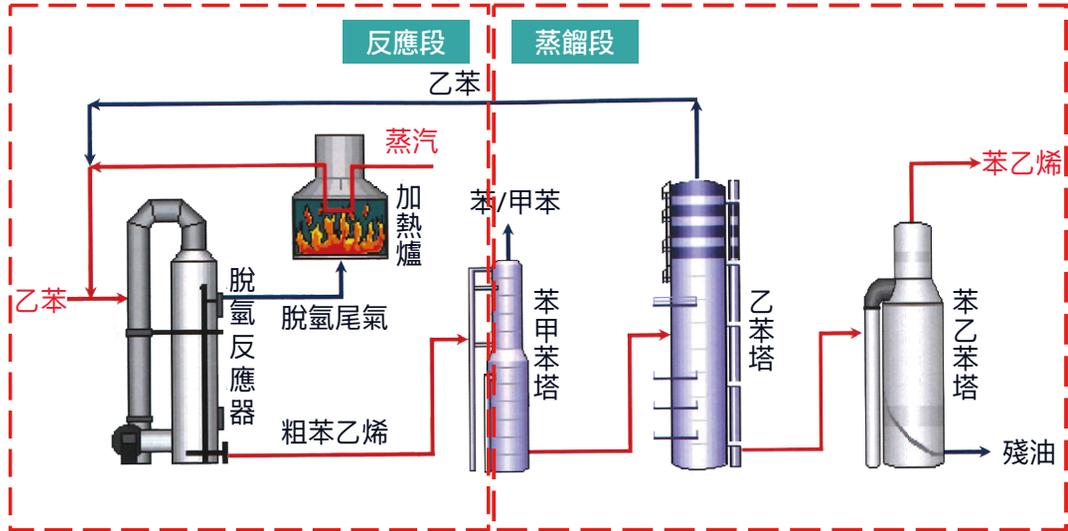
2.蒸餾段有苯塔、乙苯塔、多乙苯塔。



苯乙烯區製程係以乙苯區產出之以苯為原料製造苯乙烯。

苯乙烯區分2段：1.反應段有脫氫反應器、加熱爐。

2.蒸餾段有苯/甲苯塔、乙苯塔、苯乙烯塔。



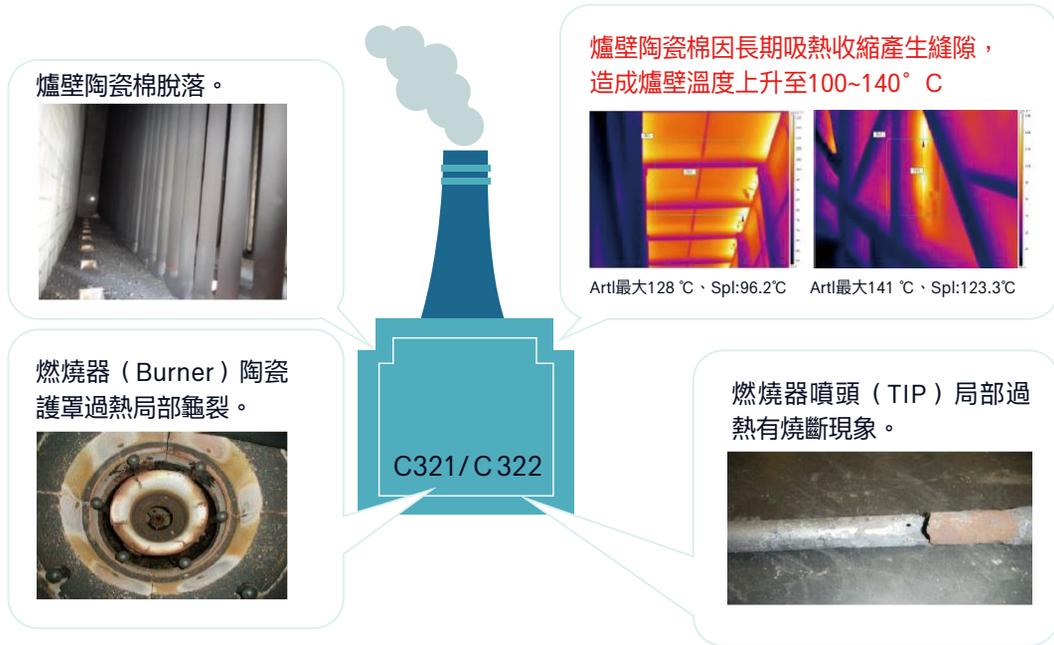
資料來源：台塑企業麥寮園區循環經濟執行成果發表會^[16]

圖4.11.2-1 苯乙烯SM製造流程

2.改善方案執行過程

(1) 改善前情境說明

案例廠的蒸汽加熱爐 C321/C322 為兩個箱型結構的加熱爐，主要用途為加熱脫氫反應所需的過熱蒸汽，以及高壓蒸汽產生槽的入料鍋爐水。因爐內操作平均溫度達 1,000 °C，於加熱爐輻射區內壁皆有被覆耐高溫的陶瓷棉作為保護層，但陶瓷棉因長期吸熱收縮產生隙縫，進而造成爐壁溫度上升。此外燃燒器 (Burner) 陶瓷護罩因直接受熱而導致陶瓷護罩龜裂情形發生，造成燃料耗用增加及爐內組件損壞，加熱爐改善前示意如圖 4.11.2-2。



資料來源：設備廠商提供

圖4.11.2-2 加熱爐改善前示意圖

(2) 改善後情境說明

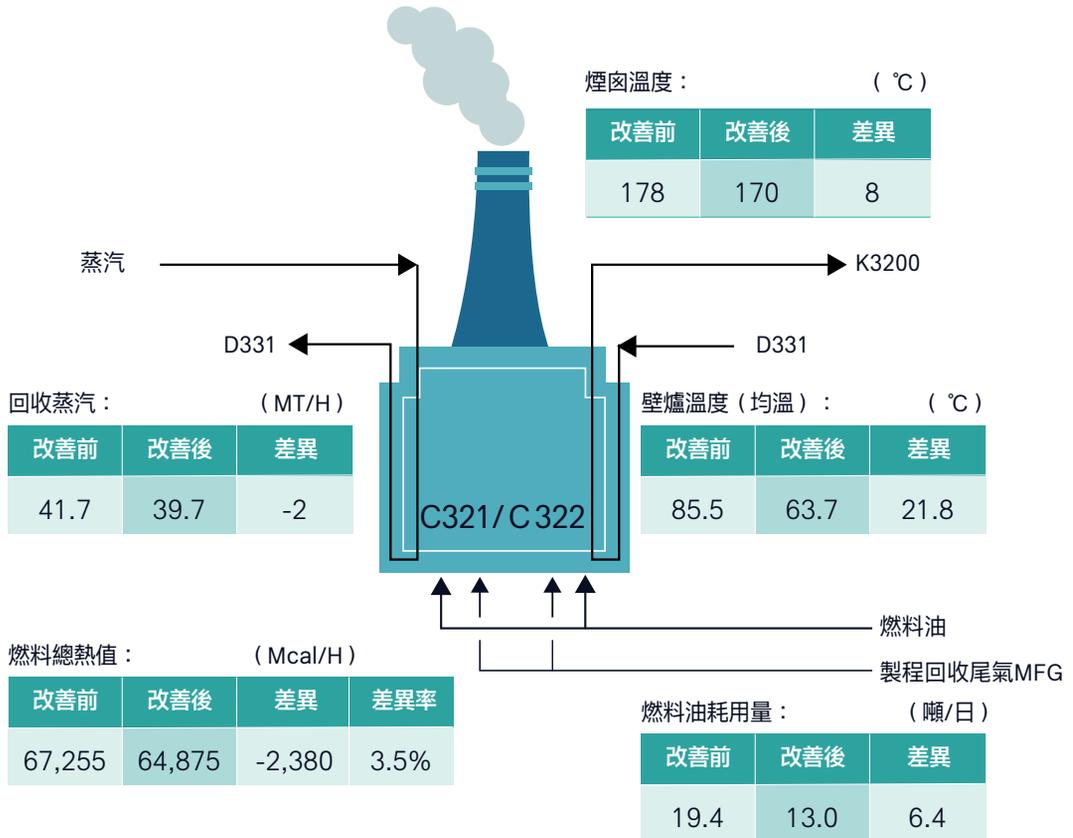
加熱爐內襯表面反射率一般介於0.35~0.65之間，噴塗高溫陶瓷保溫塗料後約可提升到0.98左右，且連續使用溫度可介於1,700~1,750 °C，最高可承受溫度 $\geq 1,900$ °C，大於目前爐內操作平均溫度1,000 °C，可有效提升隔熱材表面耐溫能力、降低收縮率減少隙縫產生及阻隔表面隙縫熱滲透，使隔熱效果更完整，亦避免加熱爐燃燒器噴頭(Tip)、陶瓷護罩(Tile)、爐壁耐火棉等組件損壞，提升其效能及使用壽命。

3.成效分析與節能減碳效益

(1) 應用高溫陶瓷保溫塗料之節能量

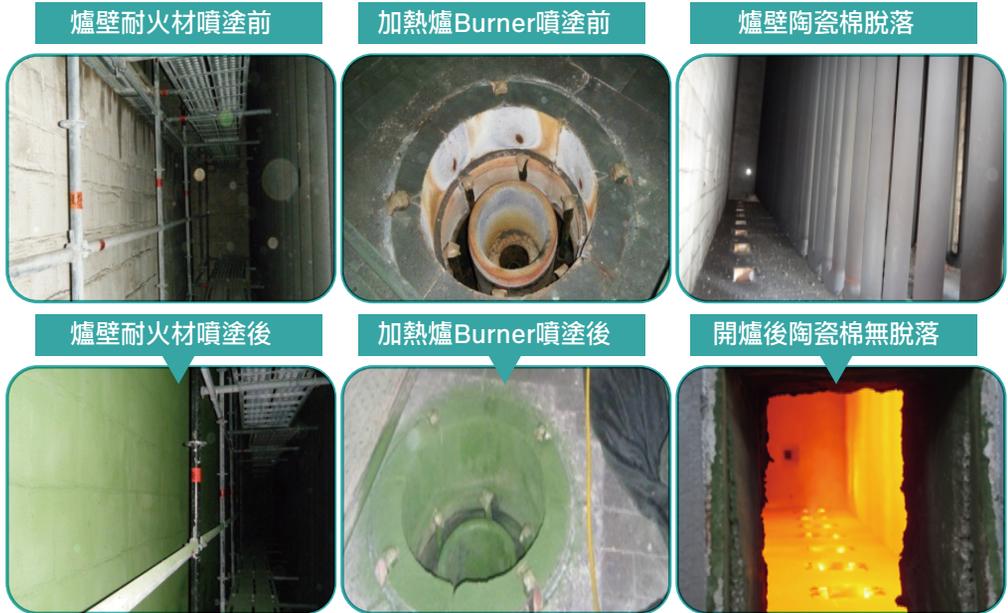
改善前後之操作參數如圖 4.11.2-3 所示、改善前後之照片如圖 4.11.2-4 所示。節能效益如下：

- 減少回收蒸汽量：16,000 公噸 / 年。
- 節省燃料油量：2,162 公秉 / 年。



資料來源：設備廠商提供

圖4.11.2-3 高溫陶瓷保溫塗料改善前後操作參數



資料來源：設備廠商提供

圖4.11.2-4 噴塗高溫陶瓷襖溫塗料前後照片

(2) 投資效益

案例廠高溫陶瓷保溫塗料之執行，其投資效益如下：

投資金額	約810萬元
每年節省燃料油量	約2,162公秉 (以年運轉時數8,000小時/年計算)
節能績效	約2,863萬元/年 (以蒸汽單價893元/公噸、燃油19,850元/公秉計算)
減碳量	1,880公噸CO ₂ e/年 (排碳係數以0.3029公噸CO ₂ e/公噸蒸汽、3.111公噸CO ₂ e/公秉燃油計算)
回收年限	約0.28年

4.12 冷卻水塔散熱風扇效率提升技術

4.12.1 應用場域

散熱風扇是各產業不可或缺的重要元件之一，舉凡使用冷卻水塔、空冷器、冷凝器等設備都需要藉由散熱風扇來達到降溫的作用，應用的產業相當廣泛，就石化產業鏈而言更是有非常大的需求。散熱風扇可利用變頻器或永磁調速器來降低設備負載，達到節能目的，惟轉速降低時風量與風壓也會依比例降低，若製程設備處於高負載需求狀況下則無法採用此方式。而最直接使散熱風扇效率提升的方法，主要包含材質的改變、結構的穩定性、葉片的設計、減少擾流的損失...等，使同樣的環境壓力與轉速耗能量輸出相同的風量，即可提升整體散熱風扇的效率。

1.技術應用原理

傳統風扇葉片材質重量重，近期材質改善為強度高且輕量之複合材料葉片，如：玻璃纖維強化塑膠(Fiberglass Reinforced Plastics, FRP 或 Glass Reinforced Plastic, GRP)、碳纖維強化塑膠(Carbon Fiber Reinforced Plastic, CFRP)等，利用材料特性來增加運轉的穩定性，並降低擾流頻率，進而達到增加效率的目的。尤其碳纖維材質密度小、模數高、不易形變，非常適合作為風扇葉片材料。各種纖維性質比較如表4.12.1-1所示、碳纖維與一般常用材料性質比較如表4.12.1-2、纖維編紗束、編織布之各種編法如圖4.12.1-1。

根據材料力學撓曲量計算，模數與撓曲量成反比，由於碳纖維高模數特性，所以運轉中產生的形變較低，因此氣流可穩定上升，避免產生擾流進而造成流量損失。

$$\delta = (W \times L^4) \div (8 \times E \times I)$$

δ : 撓曲量

W: 施予物件上的力量

L: 物件長度

E: 模數

I: 慣性矩力

表4.12.1-1 各種纖維性質比較(1)

纖維	Ultimate tensile strength 極限抗張強度 (kN/mm ²)	Breaking extension 斷裂伸長(%)	Density 密度(g/cm ³)	Stiffness (Young's modulus. 楊氏模數kN/mm ²)	Stiffness/ weight* 比模數 (kN/ mm ²)
碳	1.80-2.40	0.5	1.95	350-410	180-210
E-玻纖	1.70	3.0	2.5	70	28
銅	2.8-4.00	2.0	7.80	207	27
尼龍	0.90	14.0	1.14	7	6
聚脂	1.09	9.0	1.38	15	11
克維拉 (芳香聚酰胺)	3.16	6.5	1.44	57	40

*Young's modulus divided by density (specific Young's modulus)

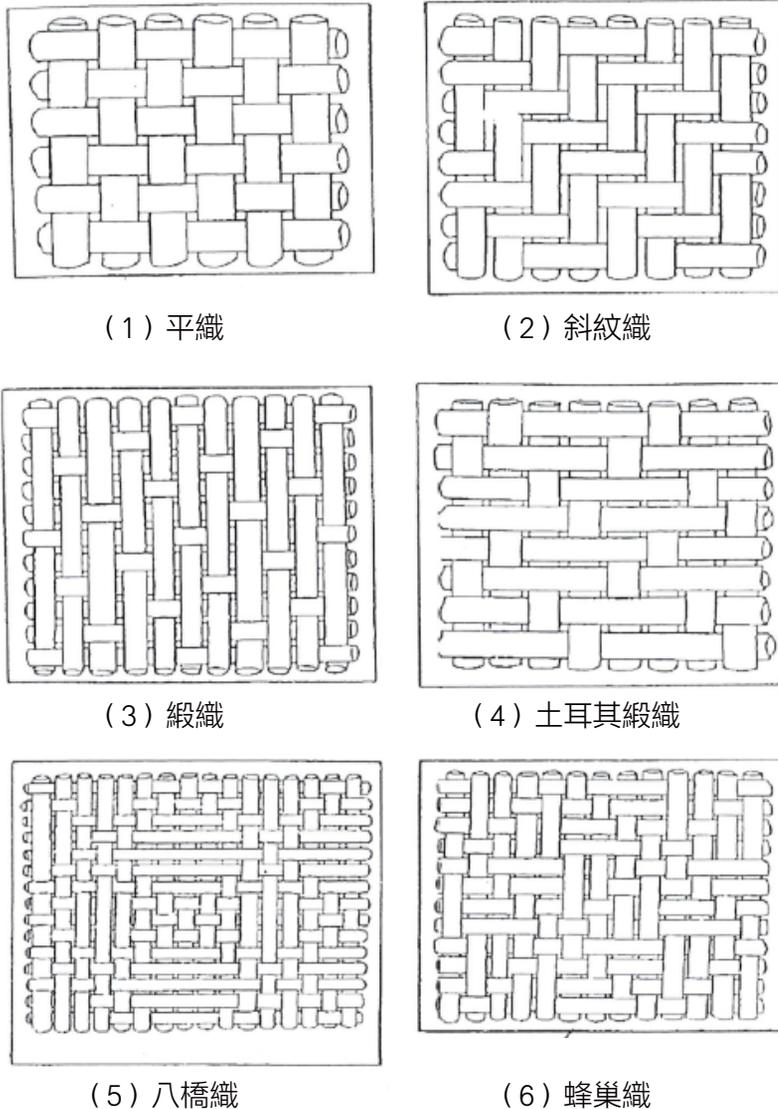
Note : The strength units kN/ mm² are Kilonewtons per square millimeter : one Newton is close to 102 gramme force.

資料來源：高分子複合材料上冊 (修訂本)，馬振基教授，2009年^[17]

表4.12.1-2 各種纖維性質比較(2)

機械性質	松木 (Pine)	鋁合金 (Dural)	鈦合金 (TiAl6V4)	鋼	GRP 0° +45° 50:50 with Vf=60%	CFRP Laminated as GRP with Vf=60%	
						HT	HM
抗張強度 (N/mm ²)	100	350	800	1,100	720	900	720
楊氏模數 (N/mm ²)	12 × 10 ³	75 × 10 ³	110 × 10 ³	210 × 10 ³	30 × 10 ³	88 × 10 ³	120 × 10 ³
密度 (g/mm ³)	0.5	2.8	4.5	7.8	2.1	1.5	1.6
比強度(km)	20	13	18	14	34	60	45
比模數(km)	24 × 10 ³	2.7 × 10 ³	2.4 × 10 ³	2.7 × 10 ³	1.4 × 10 ³	5.9 × 10 ³	7.5 × 10 ³
剪切模數 (N/mm ²)		28 × 10 ³	42 × 10 ³	81 × 10 ³	23 × 10 ³	23 × 10 ³	30 × 10 ³

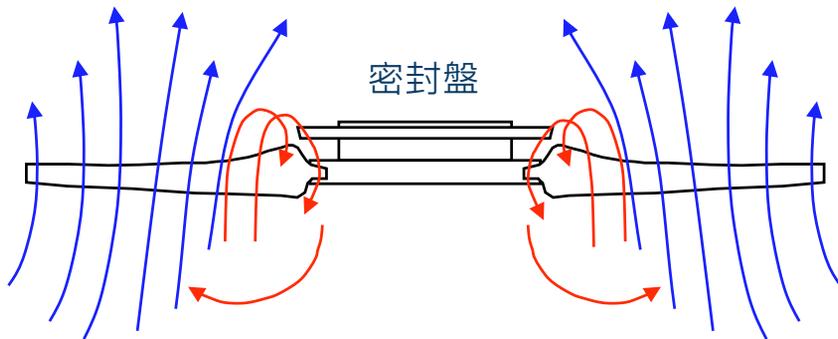
資料來源：高分子複合材料上冊 (修訂本)，馬振基教授，2009年^[17]



資料來源：高分子複合材料上冊（修訂本），馬振基教授，2009年^[17]

圖4.12.1-1 纖維編紗束、編織布之各種編法示意圖

由於碳纖維模數高、密度低，因此除了能有效讓葉片本體輕量化外，更可降低風扇組運轉時因受力而產生的擺盪，從而讓氣流運轉更加順暢，減少虛功產生，進而減少運轉所產生的耗功，風扇運轉氣流示意如圖4.12.1-2所示。



資料來源：設備廠商提供

圖4.12.1-2 風扇運轉氣流示意圖

2.技術特點與優勢

碳纖維材質葉片只需要更少的材料即可實現與玻璃纖維葉片相同的強度。碳纖維葉片重量的降低，亦降低了對齒輪箱和結構施加的振動，並且減小齒輪箱內的摩擦損失，降低了使風扇達到運行速度所需的扭矩，從而提高操作效率，另外也降低了運輸成本，且使得安裝和維護更簡單安全。

3.應考慮因素與限制

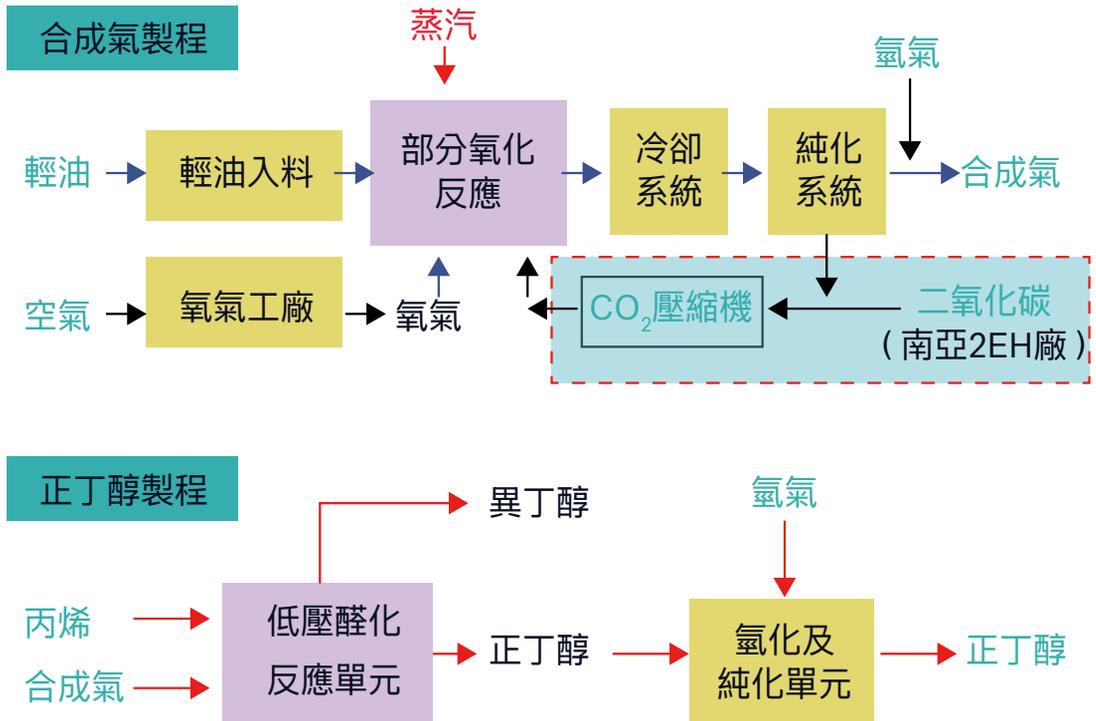
碳纖維材質葉片目前應用的範圍為總直徑11~33ft，而評估規劃時需要考慮靜壓及下列各參數，方能提高實測與評估的準確性：

- (1)環境/製程溫度；
- (2)散熱風量、轉速、馬力值；
- (3)壓力值、噪音要求、耐熱溫度；
- (4)風罩大小、風罩外型設計等。

4.12.2 實務案例介紹

1. 案例廠應用簡介

案例廠製程主要分為合成氣製程及正丁醇製程，如圖 4.12.2-1 所示。



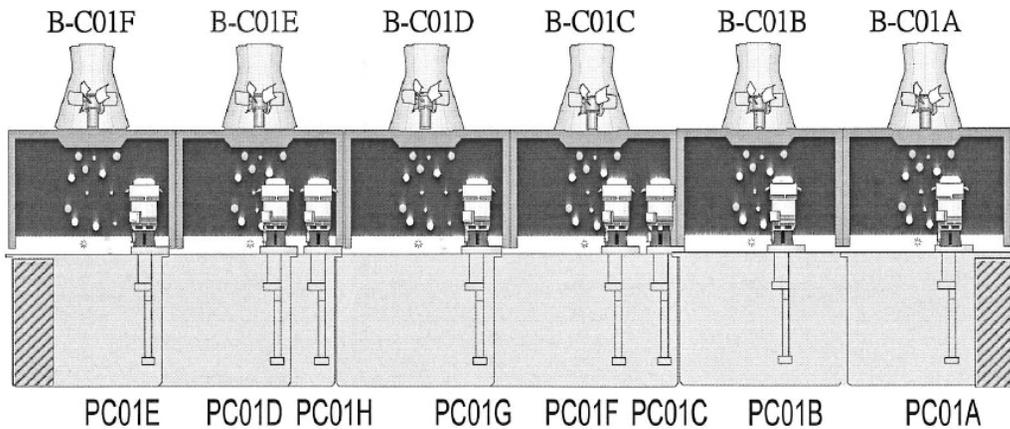
資料來源：台塑企業節能資訊^[15]

圖4.12.2-1 合成氣製程及正丁醇製程

2.改善方案執行過程

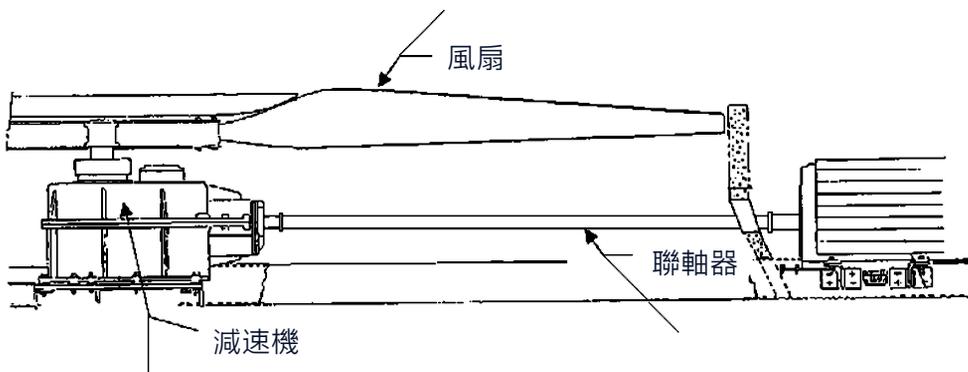
(1) 改善前情境說明

案例廠共有 6 座冷卻水塔，風扇組為總直徑 10m、葉片數 12 片、轉速 118 rpm、葉片材質玻璃纖維，冷卻水塔示意如圖 4.12.2-2 所示、每台玻璃纖維風扇組轉動方式如圖 4.12.2-3。



資料來源：設備廠商提供

圖4.12.2-2 冷卻水塔示意圖



資料來源：設備廠商提供

圖4.12.2-3 冷卻水塔散熱風扇轉動方式示意圖

(2) 改善後情境說明

風扇葉片材質由玻璃纖維改為碳纖維，改善後每支風扇葉片重量由125 lb降至97 lb，重量減少22%。以美國冷卻水塔協會(Cooling Technology Institute)文獻進行各項數值之實測，改善前後之實測數據與節能量如表4.12.2-1所示、改善前後之照片如圖4.12.2-4。

表4.12.2-1 改善前後各項實測數據與節能量

葉片材質	葉片重量	實測風量	風扇靜壓	震動值	耗用功率	靜壓效率
玻璃纖維	125 lb	605CMS	0.727 in.w.g	約2.6	171.7kW	79.7 %
碳纖維	97 lb	634CMS	0.661 in.w.g	約2.14	154.1kW	82.3 %
比較	-22 %	+4.8 %			-10.2 %	



改善前



改善後

資料來源：台塑企業節能資訊^[15]

圖4.12.2-4 冷卻水塔散熱風扇改善前後照片

3.成效分析與節能減碳效益

(1) 應用冷卻水塔散熱風扇效率提升技術之節能量

154,176 kWh/ 年

(2) 投資效益

案例廠冷卻水塔散熱風扇效率提升技術之執行，其投資效益如下：

投資金額	碳纖維風扇約180萬元 若以設備壽齡比較，玻璃纖維風扇組一座約110萬元，而碳纖維風扇組一座約180萬元，兩者費用相差約70萬元
節能量	約154,176 kWh (以年運轉時數8,760小時/年計算)
節能績效	約31萬元/年 (以電力單價2.0元/kWh計算)
減碳量	76公噸CO ₂ e/年 (以經濟部公告之111年電力排碳係數0.495 kg-CO ₂ e/kWh計算)
回收年限	約5.8年 若以設備壽齡比較，碳纖維風扇組較玻璃纖維風扇組成本增加約70萬元/座，因此兩者價差之回收年限為約2.3年

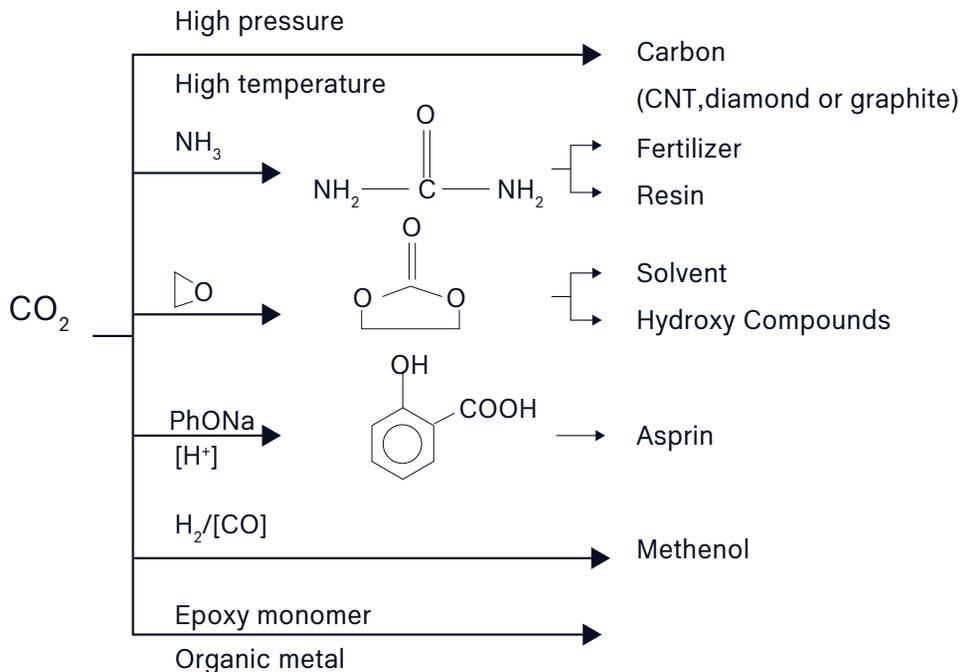
4.13 CO₂再利用技術

4.13.1 應用場域

就產業而言，節能減碳是目前很重要的議題，石化產業鏈各廠區能資源盤點與循環整合，將可用的能資源回收再利用，使整體投入最小化、利用最大化，以符合國際永續發展潮流。其中CO₂再利用技術為一種循環經濟的方式，將原本直接排放到大氣環境中的CO₂移除回收，作為原料使用。

1.技術應用原理

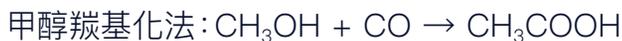
CO₂再利用技術的應用方式包含跨公司、跨場域回收高濃度CO₂作為原料，來合成各種化學品及高分子材料，例如：生產醋酸(Acetic Acid, AA)或聚碳酸酯樹脂(Polycarbonate, PC)的原料等，將原本預計排放至大氣之CO₂循環回收再利用，達成減碳之目的。利用CO₂作為原料合成之化學品及高分子材料如圖4.13.1-1所示，以下以回收CO₂作為醋酸原料為例進行說明。



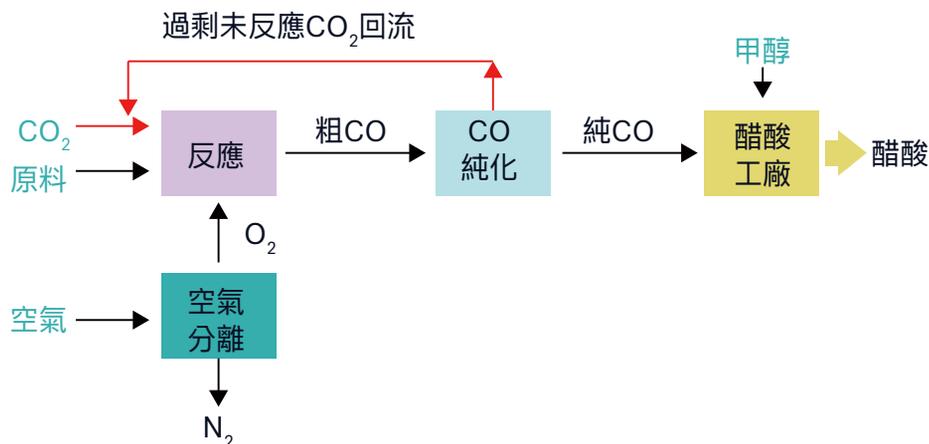
資料來源：溫室氣體二氧化碳減量技術研討會，2004年^[18]

圖4.13.1-1 回收CO₂作為原料合成之化學品及高分子材料

醋酸製備合成方式多元，目前商業化應用包含甲醇羰基化法及乙醛氧化法等，透過催化劑與適宜的溫度、壓力控制來反應生成醋酸，兩種方法之反應式如下：



其中甲醇羰基化法由甲醇和CO反應，其原料CO可由重油裂解而成或利用水蒸汽通過熾熱煤炭進行反應，過程中均不會消耗CO₂，故無法減少溫室氣體排放；若能整合回收其他場域製程之CO₂廢氣，再利用生成CO原料，則可達到減碳之目的，CO₂再利用生產醋酸流程如圖4.13.1-2所示。



資料來源：長春石油化學股份有限公司

圖4.13.1-2 CO₂再利用生產醋酸流程

2.技術特點與優勢

CO₂ 再利用為一項綠色技術，可回收再利用 CO₂ 合成醋酸原料 CO，如再將此 CO 製程產出之醋酸用於製造醋酸乙烯，並將過程所產生之 CO₂，再回收作為醋酸原料，即可不間斷的循環再利用，不僅形成原物料與成品之上下游循環，亦可跨廠區捕集及再利用各製程中產生的 CO₂，如此可同時達成 CO₂ 減量及產出原料或其他產品之最大效益，不但可減少工廠生產過程中的碳排放量、節省運輸成本，更能達到運輸安全、循環經濟等效益，對於減緩氣候變遷的貢獻相當顯著，可說是一舉數得。

3.應考慮因素與限制

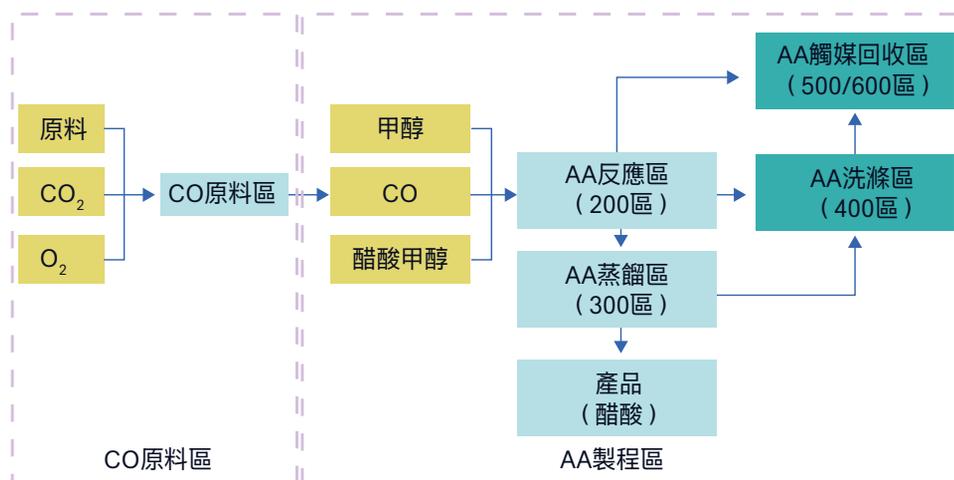
本技術規劃設計應考慮因素包括：

- (1) 各廠區或各製程尾氣CO₂濃度、產出量、腐蝕性、供給情形等條件；
- (2) 跨廠區配管距離及其複雜程度；
- (3) 避免管線輸送時洩漏情形發生。

4.13.2 實務案例介紹

1.案例廠應用簡介

本案例廠 CO₂ 再利用應用於醋酸產品製程，設計年產能為 60 萬公噸，主要供應集團子公司生產醋酸乙烯，基本設計及細部設計皆由該集團技術部規劃，自 2011 年 10 月運轉至 2019 年已有 8 年的安全及穩定操作實績。醋酸製程分為 2 大區域：CO 原料區及醋酸製程區，CO 原料區導入 CO₂、氧氣的混合氣，經氧化還原反應後產出粗 CO 混合氣，再純化成 CO 合格品後，送至醋酸製程反應區，繼續反應成粗醋酸成品，再至蒸餾區純化至 99.85 %，即可獲得冰醋酸成品，相關流程如圖 4.12.2-1 所示。



資料來源：案例廠提供

圖4.13.2-1 醋酸製造流程圖

2.改善方案執行過程

(1) 改善前情境說明

CO 來源為重油裂解而成，或利用水蒸汽通過熾熱煤炭進行反應而成，來源非 CO₂，故無法減少溫室氣體排放。

(2) 改善後情境說明

利用回收之 CO₂ 廢氣作為產製 CO 之原料，較重油裂解成 CO 或甲醇反應生成之醋酸製程更具減碳優勢。

案例廠 CO 製程全運轉時，醋酸廠每年可回收 15 萬公噸 CO₂ 當作為醋酸原料，跨公司 CO₂ 回收再利用情境如圖 4.12.2-1 所示。

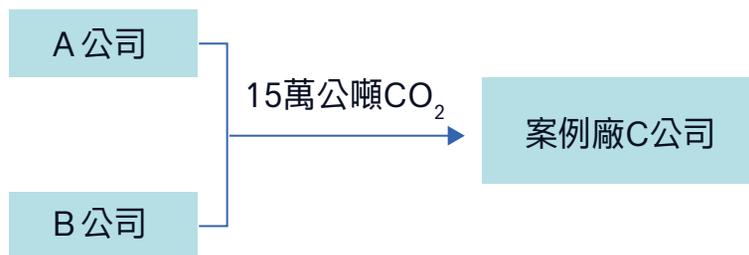


圖4.13.2-2 跨公司CO₂整合回收再利用情境示意圖

3.成效分析與節能減碳效益

(1) 應用 CO₂ 再利用技術之減碳量，其減碳量如下：

減碳量	150,000 公噸CO ₂ /年 (以案例廠CO製程全運轉計算)
-----	---

112 石化業 年度 石化業 低碳生產技術彙編

結語



結語

本彙編收錄之技術及案例可應用於石化產業鏈，各項技術（如：永磁聯軸器 PMC 傳動技術、殼板式熱交換器、3D 葉輪泵、冷卻水塔散熱風扇效率提升技術等）不僅可單獨運用，亦可搭配應用在製程其他系統，惟參採時仍須考量個案適用性，依廠內現有設備運轉情形及製程需求等條件，進行經濟面、技術面、工程面及現場操作條件之改善規劃與效益評估，同時考量後續慮大數據蒐集及 AI 應用機器學習等，讓 AI 智慧化運轉更順暢，同時達到節能減碳目的。

各耗能設備或系統可應用之節能技術相當廣泛，本彙編收錄及分析較完整之節能應用案例，期能對石化產業鏈或相關技術領域之從業人員有參考與應用價值，並有助於國內推動產業低碳生產工作。

在碳有價化及外部成本內部化的國內外趨勢下，未來企業在面對減碳措施之投資規劃時，應將碳排放相關費用（例如：碳邊境稅、碳費等）納入方案投資效益及回收年限評估中，才能真實反映碳資產價值，在碳有價化的時代，企業進行低碳甚至零碳轉型才能實現永續營運目標。

112
年度 **石化業**
低碳生產技術彙編

參考文獻



參考文獻

1. 環境部氣候變遷署，「氣候變遷因應法」，2023 年 2 月。
<https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?pcode=O0020098>
2. 環境部氣候變遷署，2023 年中華民國國家溫室氣體排放清冊報告，2023 年 8 月。
3. 工業技術研究院產業科技國際策略發展所，「2022 年石化暨特化產業年鑑」，2022 年 7 月。
4. Carbon Border Adjustment Mechanism，「歐盟碳邊境調整機制 - 背景說明與摘要」，2023 年 5 月。
https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism_en
5. Clean Competition Act, 「S.4355 - Clean Competition Act 117th Congress (2021-2022)」, 2022, 6.
<https://www.congress.gov/bill/117th-congress/senate-bill/4355>
6. 工業技術研究院產業科技國際策略發展所，「2023 年我國石化產業回顧與展望」，2023 年 2 月。
7. IEA, Net Zero by 2050- A Roadmap for the Global Energy Sector, 2021, 7.
8. 頁岩油氣在夾縫中茁壯，鄭益昌，科學發展 2019 年 4 月 556 期。
9. TUCA 台美碳捕捉、再利用與封存 (CCUS) 產業推動聯盟。
<https://tuca.tier.org.tw/xmdoc/cont?xsmsid=0N034557669951425770>
10. Global CCS Institute, Global-Report, 2022.

11. 107 年低碳製程技術研討會。
12. 經濟部產業發展署產業節能減碳資訊網 - 低碳製程技術資料庫。
<https://proj.tgpf.org.tw/LGIPTD/page/TechnologyList.aspx>
13. 溫室氣體自願減量績優大會。
14. 108 年低碳製程技術研討會。
15. 台塑企業節能資訊。
16. 台塑企業麥寮園區循環經濟執行成果發表會, 2017 年。
17. 國立編譯館, 高分子複合材料上冊 (修訂本), 馬振基教授, 2009 年。
18. 溫室氣體二氧化碳減量技術研討會, 2004 年。

112
年度 **石化業**
低碳生產技術彙編

延伸閱讀



延伸閱讀

- 低碳生產技術彙編 - 製程動力系統節能技術應用篇 (111 年)
- 低碳生產技術彙編 - 製程冷卻系統節能技術應用篇 (110 年)
- 低碳生產技術彙編 - 製程餘熱回收技術應用篇 (110 年)
- 造紙業低碳製程技術彙編 (109 年)
- 光電業低碳製程技術彙編 (109 年)
- 能源密集產業低碳製程典範案例彙編 - 紡織業 (109 年)
- 半導體業低碳製程技術彙編 (108 年)
- 石化業低碳製程技術彙編 (108 年)
- 能源密集產業低碳製程典範案例彙編 - 半導體業 (108 年)
- 能源密集產業低碳製程典範案例彙編 - 石化業 (108 年)
- 紡織業低碳製程技術彙編 (107 年)
- 玻璃相關產業低碳製程技術彙編 (107 年)
- 能源密集產業低碳製程典範案例彙編 - 造紙業 (107 年)
- 能源密集產業低碳製程典範案例彙編 - 鋼鐵業 (107 年)
- 鋼鐵業低碳綠色製程技術選用評估彙編 (106 年)
- 水泥業低碳綠色製程技術選用評估彙編 (106 年)
- 能源密集產業低碳製程典範案例彙編 - 水泥業 (106 年)





經濟部產業發展署

Industrial Development Administration
Ministry of Economic Affairs

106臺北市信義路三段41-3號

電話：(02)2754-1255

傳真：(02)2703-0160

網址：<http://www.ida.gov.tw>