



低碳生產技術彙編

製程動力系統

節能技術應用篇

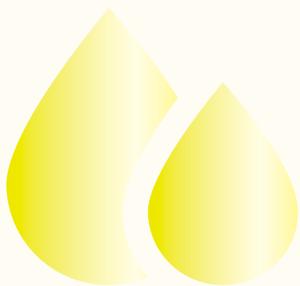


低碳生產技術彙編

製程動力系統

節能技術應用篇

經濟部工業局 編印
中華民國一一年十一月



一、緒言	3
二、產業概況	7
2.1 製造部門動力系統耗能概況	7
2.2 產業低碳轉型	10
三、製程動力系統節能技術設備	17
四、製程動力系統節能技術設備應用與實務案例	25
4.1 永磁馬達技術	25
4.1.1 應用場域	25
4.1.2 實務案例介紹	28
4.2 製程空壓節能技術-螺旋式雙段壓縮技術	31
4.2.1 應用場域	31
4.2.2 實務案例介紹	34
4.3 氣浮式鼓風機技術	38
4.3.1 應用場域	38
4.3.2 實務案例介紹	42
4.4 製程真空節能技術-永磁變頻螺旋式真空泵	50
4.4.1 應用場域	50
4.4.2 實務案例介紹	56
4.5 壓縮機葉輪改善技術	61
4.5.1 應用場域	61
4.5.2 實務案例介紹	66
4.6 動能回收發電技術	75
4.6.1 應用場域	75
4.6.2 實務案例介紹	79
五、結語	89
參考文獻	93



圖 目 錄

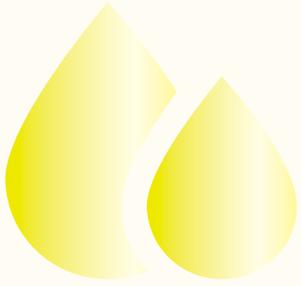
圖2.2-1 2020~2050 NZE情境中排放減量措施	10
圖2.2-2 臺灣2050淨零排放製造部門推動措施	12
圖4.1.1-1 感應馬達及永磁馬達轉定子結構示意	26
圖4.1.1-2 永磁馬達外觀	26
圖4.1.2-1 案例廠設備改善前示意圖	28
圖4.1.2-2 案例廠設備改善後示意圖	29
圖4.2.1-1 微油螺旋式空壓機單段壓縮示功圖	32
圖4.2.1-2 微油螺旋式空壓機雙段壓縮示功圖	32
圖4.2.2-1 改善前壓縮空氣系統流程示意圖	34
圖4.2.2-2 案例廠設備改善前示意圖	35
圖4.2.2-3 案例廠設備改善後示意圖	35
圖4.3.1-1 魯式鼓風機與氣浮式鼓風機之設備能量傳遞比較	38
圖4.3.1-2 氣浮式鼓風機永磁同步馬達剖視圖	39
圖4.3.1-3 氣浮式鼓風機剖視圖	39
圖4.3.1-4 氣浮式軸承技術運轉示意圖	40
圖4.3.2.1-1 案例廠設備改善前魯式鼓風機	42
圖4.3.2.1-2 案例廠設備改善後氣浮式鼓風機	43
圖4.3.2.2-1 案例廠設備改善前魯式鼓風機	46
圖4.3.2.2-2 案例廠設備改善後氣浮式鼓風機	47
圖4.4.1-1 傳統真空泵長期運轉狀況示意圖	51
圖4.4.1-2 永磁變頻微油螺旋式真空泵組成示意圖	52
圖4.4.1-3 真空泵定頻與變頻之比較示意圖	53
圖4.4.1-4 永磁變頻微油螺旋式真空泵監測聯控系統示意圖	54

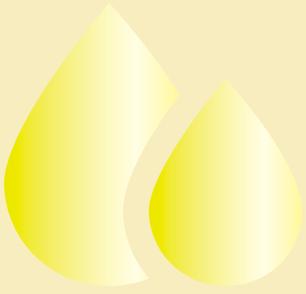
圖4.4.2-1 改善前真空系統示意圖	56
圖4.4.2-2 案例廠設備改善前示意圖	57
圖4.4.2-3 改善後真空系統示意圖	58
圖4.4.2-4 案例廠設備改善後圖	58
圖4.5.1-1 常見之動力設備葉輪或葉片形式	61
圖4.5.1-2 葉輪優化設計性能模擬示意圖	63
圖4.5.1-3 葉輪優化設計示意圖	64
圖4.5.1-4 葉輪製作過程示意圖	64
圖4.5.1-5 葉輪動平衡測試示意圖	65
圖4.5.2.1-1 空氣壓縮機原始葉輪CFD分析示意圖	67
圖4.5.2.1-2 空氣壓縮機第一段葉輪改善後CFD分析模擬圖	67
圖4.5.2.1-3 空氣壓縮機第二段葉輪改善後CFD分析模擬圖	68
圖4.5.2.1-4 空氣壓縮機第三段葉輪改善後CFD分析模擬圖	68
圖4.5.2.1-5 案例廠葉輪改善加工照片	69
圖4.5.2.2-1 案例廠改善前後速度向量圖	72
圖4.5.2.2-2 案例廠葉輪改善後示意圖	73
圖4.6.1-1 動能回收發電技術示意圖	76
圖4.6.1-2 冷卻水塔餘壓發電改造管路示意圖	78
圖4.6.2-1 改善前流程示意圖	80
圖4.6.2-2 案例廠設備改善前示意圖	80
圖4.6.2-3 改善後流程示意圖	81
圖4.6.2-4 案例廠設備改善後示意圖	82



表 目 錄

表2.1-1 能源大用戶電力流向申報資料統計(2020資料年) -----	8
表2.1-2 能源大用戶歷年總能源消費量及電力流向申報資料統計 ---	8
表2.1-3 經濟部能源局動力系統能源效率相關規定彙整表 -----	9
表2.2-1 製程動力系統節能技術設備彙整 -----	11
表3-1 低碳生產技術特點及適用範圍 -----	17
表3-2 國內節能減碳及技術設備資訊相關資訊網站 -----	21
表4.2.2-1 案例廠改善後系統之節能量 -----	36
表4.3.2.1-1 改善前後設備規格 -----	43
表4.3.2.1-2 案例廠改善前後檢測數據 -----	44
表4.3.2.1-3 案例廠改善後之節能量 -----	44
表4.3.2.2-1 改善前後設備規格 -----	47
表4.3.2.2-2 案例廠改善前後檢測數據 -----	48
表4.3.2.2-3 案例廠改善後之節能量 -----	48
表4.4.2-1 案例廠改善後系統之節能量 -----	59
表4.5.1-1 不同類型壓縮機運作原理 -----	62
表4.5.2.1-1 案例廠改善後系統之節能量 -----	69
表4.5.2.2-1 案例廠改善後系統之節能量 -----	73
表4.6.2-1 管道餘壓水輪發電機組設計 -----	83
表4.6.2-2 水輪發電機組節能效益估算 -----	83





低碳生產技術彙編

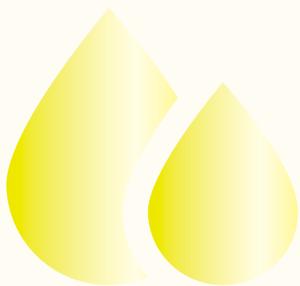
製程動力系統

節能技術應用篇



一、緒言





一、緒言

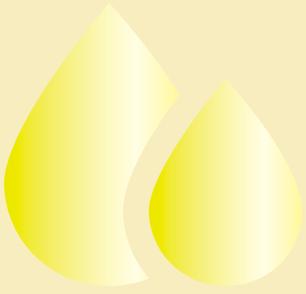
《溫室氣體減量及管理法》已於 2015 年 7 月 1 日總統令公布施行，為因應氣候變遷作為奠定法制基礎。惟全球氣候變遷現象嚴峻，為加速我國減碳作為並強化氣候變遷調適，行政院環境保護署修正《溫室氣體減量及管理法》為《氣候變遷因應法》草案⁽¹⁾，行政院會於 2022 年 4 月 21 日通過行政院環境保護署擬具之法案並函請立法院審議⁽²⁾。草案內容將國家溫室氣體長期減量目標為 2050 年淨零排放與分階段徵收碳費入法，以宣示我國減量決心，並呼應國際碳排放管理趨勢及歐盟碳邊境調整機制 (Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM)，期能藉此加速國內廠商推動 2050 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。

為因應全球淨零排放趨勢，行政院國家發展委員會於 2022 年 3 月 30 日公布「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」⁽³⁾，提供至 2050 年淨零之軌跡與行動路徑，以促進關鍵領域之技術、研究與創新，引導產業綠色轉型。依據行政院環境保護署「2022 年中華民國國家溫室氣體排放清冊報告」⁽⁴⁾顯示，2010 年工業製程及產品使用部門溫室氣體排放量為 19,794 千公噸 CO₂e，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。

面對國內溫室氣體減量及管理法修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。經濟部工業局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，期能協助產業因應日趨劇烈變化的氣候與經營環境，以確保產業競爭力。

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生產新技術或設備導入之前期規劃，遂著手辦理「低碳生產技術彙編」，藉由各產業專家所建議低碳生產技術設備之技術介紹及實務案例，以協助企業排除技術篩選之困擾與障礙，順利導入低碳生產製程技術。

本彙編針對製程動力系統彙集收錄相關低碳技術及實務案例，皆為產業先進經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、工程層面及現場操作條件等，選用時宜多加評估各方面之可行性。製程動力系統之節能技術尚有其他可採用之部分，例如主機群控、監控管理系統…等，而本彙編所收錄之節能技術係針對較不普遍、較新且已實際成功應用於產業之節能技術為主，提供企業參考應用。



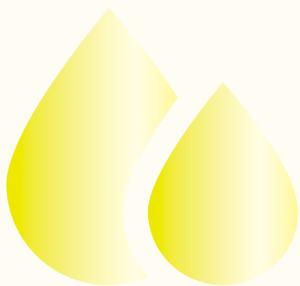
低碳生產技術彙編

製程動力系統

節能技術應用篇

▶ 二、產業概況





二、產業概況

2.1 製造部門動力系統耗能概況

我國能源仰賴進口，依據能源局「中華民國 110 年能源統計手冊」⁽⁵⁾指出，進口能源依存度高達 97.7%，因此除了持續進行能源開源（如再生能源）以外，亦需要積極執行節流。透過檢視全國能源消費結構發現，工業部門耗能占 32.36%，約為全國耗能的三分之一，能源消耗量大排碳量高，為因應國家減碳目標，產業低碳轉型勢在必行。

依能源局「2021 生產性質能源查核年報」⁽⁶⁾統計資料，2020 年生產性質行業能源大用戶共 3,381 家，其中，工業部門電力消費共 1,256 億度，其電力流向如表 2.1-1，統計結果製程動力及空壓機用電占總用電量之 65.8%，且依歷年電力流向統計其占比均逾 65% 以上（如表 2.1-2 所示），用電量由 2011 年 853.24 億度電增加至 2020 年 905.41 億度電，顯示使用電力之製程動力系統耗能需求大且逐年增多，為耗電較高之設備，是重要節能減碳熱點。



表2.1-1 能源大用戶電力流向申報資料統計(2020資料年)

行業名稱		製程動力	空調	空壓機	冷凍冷藏	汙水處理	電熱	照明	集塵設備	其他
工業部門	電機電子業	46.6%	25.0%	11.7%	1.7%	2.8%	1.2%	2.6%	1.5%	7.0%
	化工業	62.8%	3.8%	12.3%	3.7%	1.6%	2.8%	1.3%	0.8%	11.0%
	金屬基本工業	58.7%	2.0%	4.7%	0.0%	2.8%	25.8%	1.1%	2.0%	3.0%
	非金屬礦物製品製造業	61.5%	10.1%	9.9%	0.6%	1.0%	10.7%	2.1%	1.9%	2.4%
	紡織業	59.4%	8.0%	17.3%	3.9%	2.7%	2.0%	2.1%	0.9%	3.6%
	造紙業	82.8%	2.2%	3.8%	0.1%	3.1%	2.6%	1.4%	1.6%	2.4%
	其他行業	52.9%	9.2%	10.7%	5.6%	2.1%	12.2%	3.3%	1.6%	2.4%
工業部門平均		54.5%	13.8%	10.7%	2.3%	2.4%	6.2%	2.1%	1.4%	6.6%
能源部門		80.3%	1.3%	5.1%	0.0%	6.0%	0.1%	3.6%	0.0%	3.7%
全部平均		55.2%	13.5%	10.6%	2.2%	2.5%	6.1%	2.1%	1.4%	6.6%

資料來源：經濟部能源局，2021 生產性質能源查核年報，2021 年 12 月。⁽⁶⁾

表2.1-2 能源大用戶歷年總能源消費量及電力流向申報資料統計

年度	大用戶/ 家數	總用電量 (億度電/年)	製程 動力	空調	空壓機	冷凍 冷藏	汙水 處理	電熱	照明	集塵 設備	其他
2011	3,261	1,233	56.4%	11.2%	12.8%	1.9%	2.6%	4.9%	2.4%	1.2%	6.7%
2012	3,242	1,237	57.4%	11.9%	10.6%	2.1%	2.3%	4.7%	2.5%	1.4%	7.1%
2013	3,324	1,283	58.4%	11.8%	10.3%	2.0%	2.3%	4.9%	2.4%	1.4%	6.5%
2014	3,272	1,276	55.4%	12.4%	10.7%	3.8%	2.3%	5.0%	2.4%	1.4%	6.5%
2015	3,346	1,264	56.7%	12.7%	10.8%	2.0%	2.6%	5.1%	2.4%	1.3%	6.4%
2016	3,384	1,296	55.7%	13.0%	11.1%	2.1%	2.5%	5.4%	2.4%	1.2%	6.7%
2017	3,326	1,348	56.7%	12.7%	10.4%	2.1%	2.5%	5.2%	2.3%	1.2%	6.9%
2018	3,372	1,377	56.5%	12.7%	10.4%	2.1%	2.5%	5.7%	2.1%	1.2%	6.8%
2019	3,397	1,360	55.7%	13.3%	10.6%	2.0%	2.5%	6.1%	2.1%	1.3%	6.4%
2020	3,381	1,376	55.2%	13.5%	10.6%	2.2%	2.5%	6.1%	2.1%	1.4%	6.6%

資料來源：經濟部能源局，2021 生產性質能源查核年報，2021 年 12 月。⁽⁶⁾

為推動節能減碳政策，經濟部能源局公告動力系統相關能源效率要求及標示，並訂定「動力與公用設備補助作業要點」，鼓勵能源用戶使用高效率動力設備並加速汰換老舊設備，以提升產業生產效能及整體能源使用效率。另為促使能源大用戶掌握並進一步提升壓縮空氣系統之能源效率，經濟部能源局於 2021 年 11 月 23 日發布修正「能源用戶應申報使用能源之種類、數量、項目、效率、申報期間及方式」⁽⁷⁾，於工業及其他生產性質行業 800 瓩以上能源大用戶之能源查核制度申報表中，明訂單一壓縮空氣系統（包含空壓機、冷凍式乾燥機及吸附式乾燥機）總功率超過 500 馬力者，2022 年間應於各空壓機、乾燥機裝設電力計記錄每小時耗電量，且總供氣側出口應加裝流量計記錄每小時供氣量，並於隔年起申報每月耗電量 (kWh)、供氣量 (m³) 及效率值 (kW/CMM) 等資訊。能源大用戶應掌握廠內系統或設備之能源效率，並進一步找出節能改善的機會，逐步提高生產效率以達政府各階段節能減碳目標。經濟部能源局動力系統能源效率相關規定項目彙整如表 2.1-3。

表2.1-3 經濟部能源局動力系統能源效率相關規定彙整表

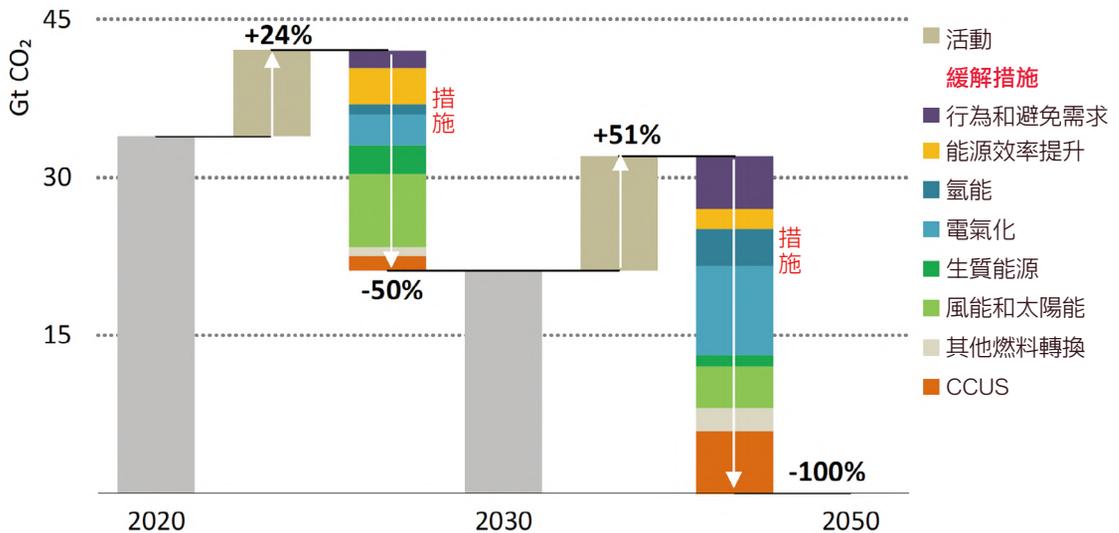
類別	項目	最新異動日期	發文字號
使用能源設備或器具容許耗用能源標準	迴轉動力水泵容許耗用能源基準、標示事項及檢查方式 (2023年1月1日生效)	2021年12月02日	經能字第11004605700號
	低壓單相感應電動機能源效率標準	1999年12月31日	經(八八)能字第 八八四六三二四六號
	低壓三相鼠籠型感應電動機 (含安裝於特定設備之一部者)能源效率基準、效率標示及檢查方式	2014年12月22日	經能字第10304606310號公告修正
使用能源設備或器具能源效率分級標示	空氣壓縮機容許耗用能源基準與能源效率分級標示事項、方法及檢查方式 (2022年1月1日生效)	2019年01月08日	經能字第10704607600號
動力與公用設備補助作業要點	動力與公用設備補助作業要點	2022年09月29日	經能字第11103815170號
綜合類表	能源用戶應申報使用能源之種類、數量、項目、效率、申報期間及方式	2021年11月23日	經能字第11004605550號修正發布



2.2 產業低碳轉型

因全球暖化問題嚴重，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，各國企業也陸續推動淨零排放，加入減碳行列。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，歐盟執委會於 2021 年 7 月 14 日提出碳邊境調整機制 (Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM) 計畫，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。

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)⁽⁸⁾，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、碳捕獲再利用與封存 (Carbon Capture, Utilization and Storage, CCUS) 等 7 大項，如圖 2.2-1 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. ⁽⁸⁾

圖2.2-1 2020~2050 NZE情境中排放減量措施

在 NZE 情境中，能源效率提升是最先被導入的措施，主要是因為從現在到 2030 年期間，能效提升在減少能源需求與排碳量上，扮演最重要的角色。雖然目前工業生產使用效率不錯，但仍有進一步提升能源效率的空間，譬如高效率工業設備、製程整合（餘熱回收）及建置能源管理系統等，在 NZE 情境中必須發揮其最大的應用潛力，其中動力系統效能提升即為能源效率提升重要的一環。

2050 年正好是工業設備投資的另一個循環開始，現在到 2030 年間是達成 2050 年淨零排放的關鍵與機會，企業進行設備汰舊換新的投資決策時，順勢導入低碳生產設備或創新技術，才可大幅降低工業 CO₂ 排放。經濟部工業局「製造部門低碳生產推廣計畫」（106 年度至今）針對電子業及主要能源密集產業，蒐集彙整國內外商業化應用或具推廣應用價值之節能技術資訊，經蒐集、分類與彙整後鍵入「產業低碳製程技術資料庫」中，並置於「產業節能減碳資訊網」（<https://lgiptd.tgpf.org.tw/page/TechnologyList.aspx>）提供工廠技術查詢使用，或作為改善工程規劃時之參考。表 2.2-1 彙整已商業化之動力系統節能技術設備，本彙編針對較完整之動力系統節能應用案例進行收錄，提供產業規劃及執行低碳轉型之參考。

表 2.2-1 製程動力系統節能技術設備彙整

低碳技術名稱	節省能源類型	節能比例
永磁馬達技術	電力	約10%
永磁傳動器技術	電力	約10~35%
螺旋式空壓機雙段壓縮技術	電力	約8~15%
永磁變頻螺旋式空壓機技術	電力	約30%
氣浮式鼓風機技術	電力	約20~40%
多段/單段高效能離心式鼓風機技術	電力	約30%
永磁變頻離心式鼓風機技術	電力	約30%
永磁變頻螺旋式真空泵技術	電力	約20~50%
壓縮機葉輪改善技術	電力	約10~15%
陶瓷複合塗料防蝕技術	電力	約8~15%
動能回收發電技術	電力	創能

註 1：動力系統節能技術之節能效益，會受其所應用製程（或設備）之條件、操作參數、規模大小及運轉時數等因素而影響。

註 2：永磁傳動器技術、陶瓷複合塗料防蝕技術內容，請參考 2021 年編製之低碳生產技術彙編 - 製程冷卻系統節能技術應用篇⁽⁹⁾。

資料來源：本彙編依製造部門低碳生產推廣計畫低碳技術資料庫彙整。



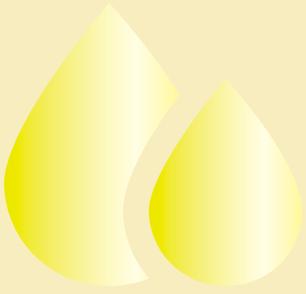
我國行政院國家發展委員會於 2022 年 3 月 30 日公布「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」，提供至 2050 年淨零之軌跡與行動路徑，提出「能源 - 產業」與「低碳 - 零碳」的 2 × 2 推動架構，產業部門將以「先減少排放，再淨零排放」為推動策略，並著手推動 3 大面向、11 項措施 (如圖 2.2-2 所示)，依循大企業帶小企業的模式逐步實施，同時以結合產業公協會及供應鏈中心廠作法，驅動上、下游廠商，進行綠色採購、綠色生產等合作減碳，形成綠色供應鏈，創造我國淨零轉型競爭力。



資料來源：行政院國家發展委員會，臺灣 2050 淨零排放路徑，2022 年 3 月。⁽³⁾

圖2.2-2 臺灣2050淨零排放製造部門推動策略

有鑑於能源密集產業製程高度耗能，企業應儘早評估其風險找出製程中需要減碳的階段，並研擬及落實低碳轉型策略，例如可透過應用投資低碳技術設備、推動建置能源管理系統(ISO 50001)、利用先進科技讓能源使用效率最佳化、透過原料供應鏈之管理或要求進行減碳措施、採用再生能源設備或提高生質燃料應用等方式來進行，並進一步掌握產業創新技術資訊趨勢，儘早規劃及執行低碳轉型。在產業減碳壓力日漸增加，如何朝向低碳製造與環境永續發展的目標前進，將成為未來關注之重點。



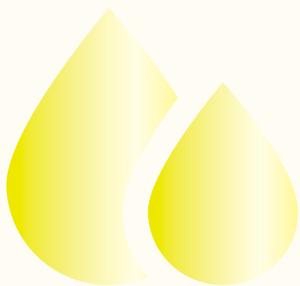
低碳生產技術彙編

製程動力系統

節能技術應用篇

▶ 三、製程動力系統 節能技術設備





三、製程動力系統節能技術設備

依我國 2050 年淨零之軌跡與行動路徑，產業部門「先減少排放，再淨零排放」之推動策略中，製程改善能源效率提升為最優先執行的措施。如 2.1 節所述，製程動力系統設備占工業部門能耗比重高且逐年增多，顯示為重要節能減碳熱點。本彙編針對較完整之動力系統節能應用案例進行收錄，彙集目前國內產業使用較不普遍、較新之低碳技術，或產業能耗多而尚有應用空間之技術設備進行介紹，並提供實際應用於製造業之節能改善實例，期能提供業界參考進而順利導入低碳生產。

本彙編彙集之技術設備可供製程動力需求量大之電子業及主要能源密集產業參採應用，惟參採技術時須考量個案適用性，包括經濟層面、技術層面、工程層面及現場操作條件等，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第 4 章內容，另彙整國內節能減碳、高效率設備、技術資訊介紹等相關網站如表 3.2，提供業界參考。

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	永磁馬達技術	永磁馬達技術具有高效率、高精度、高響應、低速度等特點，符合 IE4 等級，轉速範圍效率均高於感應馬達，節能潛力高。	可應用產業為風機、水泵、空壓機、送料機械、裁切機械、傳動機構等動力輸出設備。	<ol style="list-style-type: none"> ① 須先確認馬達安裝尺寸及重量，安裝室內外、環境溫度高低等現場條件，並委由相關專業人員執行； ② 永磁馬達不適用於含有大量鐵屑之製程現場，另高溫環境會使其磁鐵磁力與抗磁場能力下降，故不建議應用於製程環境有大量鐵屑(如鋼鐵業煉鋼製程)或高溫之區域(一般永磁馬達適用環境溫度約為 -15~40°C)； ③ 永磁馬達可搭配許多市售驅動器運轉，應用時可詢問廠商意見。 	半導體業 光電顯示器業 石化業 鋼鐵業 (不適用煉鋼製程) 水泥業 紡織業 造紙業 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
2	螺旋式空壓機雙段壓縮技術	<ol style="list-style-type: none"> ① 相較單段壓縮，雙段壓縮更接近等溫壓縮，可減少壓縮熱的產生，進而減少作功； ② 於相同的排氣壓力及輸出風量下，理論上雙段壓縮較單段壓縮可減少約15%作功，其產氣效率可提升約8~15%。 	使用微油式製空壓機之製造業均可評估。	<ol style="list-style-type: none"> ① 安裝位置距海平面高度、環境溫濕度、安裝位置空間大小等； ② 需求壓力、風量； ③ 是否有變頻節能控制需求； ④ 冷卻方式為水冷式或氣冷式； ⑤ 電源電壓別/頻率別。 	半導體業 光電顯示器業 石化業 鋼鐵業 水泥業 紡織業 造紙業 玻璃相關產業
3	氣浮式鼓風機技術	採用變頻控制的空氣軸承高速渦輪鼓風機，與傳統魯式鼓風機相比約可節能 20~40%，與傳統多段離心式鼓風機相比約可節能 15~20%，與傳統齒輪單段高速渦輪鼓風機相比約可節能 10~15%。	舉凡有物料輸送、氣體升壓或類輸送等處理之均可評估。	<ol style="list-style-type: none"> ① 依出風口風量/風壓、製程條件等需求項目進行規劃設計及本體材料選用； ② 應考量現場環境溫度，建議評估使用環境溫度低於 40~45℃； ③ 應考量入風口空氣品質，若環境含腐蝕性氣體需經設備製造商評估後方可使用； ④ 本技術無法達到防爆設計，目前尚無法設置於防爆區使用。 	半導體業 光電顯示器業 石化業 (不適用防爆區) 鋼鐵業 水泥業 紡織業 造紙業 玻璃相關產業

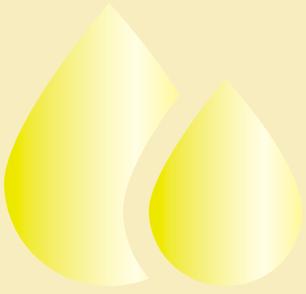
項次	低碳生產技術及設備	技術特點	適用範圍	考量因素	應用產業
6	動能回收發電技術	將管網中富透置轉一創 餘的轉換機械能、 過把為電能、 種節能手 能手段。	最常應用於冷卻循環水系統管末餘壓、冷卻循環水旁通系統、大型污水系統收集系統之管末餘壓、海水淡化系統管末餘壓、自來水管網餘壓、原水處理池管網餘壓及各類大型儲槽受料管線管末餘壓等。	<p>① 可利用的餘壓及水介質流量大小，係到投資報酬及應用可行性，依設備廠商經驗，一般而言蘊藏餘壓動能最小建議達50kW以上且可用揚程大於0.8 kg/cm²則較具有可行性；</p> <p>② 現場管道改造可行性與成本評估；</p> <p>③ 若案場經審查認定為再生能源發電設備，發出的電力可併入廠內電網自用或售電業者。</p>	<p>半導體業 光電顯示器業 石化業 鋼鐵業 水泥業 紡織業 造紙業 玻璃相關產業</p>

註 1：製程動力系統節能技術之回收年限及節能減碳等效益，與其應用條件及運轉時數有關，可依各廠製程條件評估最適技術應用。

註 2：製程動力系統節能技術應用產業範圍不局限於此表範圍。

表3-2 國內節能減碳及技術設備資訊相關資訊網站

網站名稱	網址	
 <p>INDUSTRIAL DEVELOPMENT BUREAU MINISTRY OF ECONOMIC AFFAIRS 經濟部工業局</p>	節能減碳資訊網	https://ghg.tgpf.org.tw/
	節能減碳資訊網-產業低碳製程技術資料庫	https://lgiptd.tgpf.org.tw/page/TechnologyList.aspx
	高效率節能產品與設備廠商交流平台	https://eslc.ftis.org.tw/index
 <p>經濟部能源局 Bureau of Energy, Ministry of Economic Affairs</p>	能源技術服務業資訊網	https://escoinfo.tgpf.org.tw/Page/Home.aspx
	工業節能服務網	https://emis.itri.org.tw/Home
	能源知識庫	https://km.twenergy.org.tw/
	節約能源園區-節能標竿網	https://top.energypark.org.tw/topfirm
 <p>行政院環境保護署 Environmental Protection Administration Executive Yuan, R.O.C.(Taiwan)</p>	國家溫室氣體減量法規資訊網	https://ghgrule.epa.gov.tw/
	溫室氣體減量抵換資訊平台	https://ghgtransaction.epa.gov.tw/Index
	事業溫室氣體排放量資訊平台	https://ghgregistry.epa.gov.tw/ghg_rwd/Main/Index



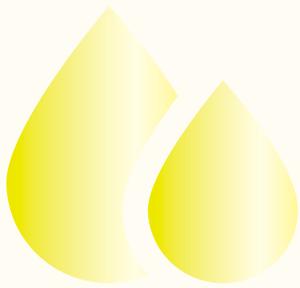
低碳生產技術彙編

製程動力系統

節能技術應用篇

▶ 四、製程動力系統節能 技術設備應用與實務案例





四、製程動力系統節能技術設備應用與實務案例

如第 2 章產業能源耗用情形所述，工業部門電力消費結構中，動力系統耗能量占比高，即為本彙編編撰之改善重點項目。本章節所列係因其節能減碳效果佳或多數廠可仿效之成功案例供各界參考，以下進行製程動力系統節能技術設備與實務案例介紹。

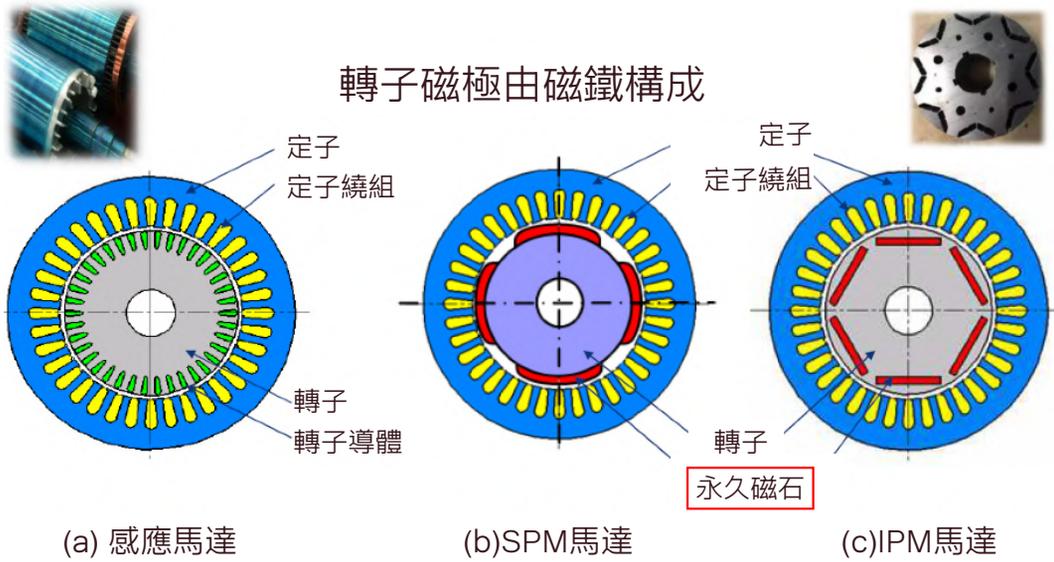
4.1 永磁馬達技術

4.1.1 應用場域

馬達為驅動動力系統及設備最主要的核心之一，可應用領域也非常廣，若產業能使用高效率動力設備並加速汰換老舊設備，可提升生產效能及整體能源使用效率。相較於感應馬達，永磁馬達技術具有高效率、高精度、高響應及低速高扭力等特點，可應用產業為具有風機、水泵、空壓機、送料機械、裁切機械、傳動機構…等動力輸出設備之製造業，若其他產業具有相同或類似設備者亦得斟酌參考與應用，惟含有大量鐵屑及高溫環境如鋼鐵業之煉鋼製程現場較不建議使用。

1. 技術應用原理

永磁馬達與感應馬達的基本結構，最主要的不同處在於轉子部。感應馬達的轉子是由鼠籠或繞線型式的銅或鋁等導電材質所構成，而永磁馬達的轉子則是有永久磁石，依磁石放置型式可分為表面型 (Surface-mounted Permanent Magnet, SPM) 及內藏型 (Interior Permanent Magnet, IPM) 轉子馬達，馬達轉定子結構如圖 4.1.1-1 所示，永磁馬達外觀如圖 4.1.1-2 所示。因永久磁石可在轉子建立磁場，不需如感應機需由二次導體感應電流建立，故無二次銅損且具有效率高、溫升低、體積小、重量輕等優勢。此外，依應用所需，若選配位置回授元件如編碼器 (encoder)、解角器 (resolver) 等，將非常適用於省能源、高響應及高精度的各式應用。



資料來源：東元電機股份有限公司提供

圖4.1.1-1 感應馬達及永磁馬達轉定子結構示意



資料來源：東元電機股份有限公司提供

圖4.1.1-2 永磁馬達外觀

2. 技術特點與優勢

製程動力系統運用永磁馬達技術節能效果顯著，與感應馬達相比主要特點有：

- (1) 高效率：馬達效率符合 IE4 等級，全轉速範圍效率均高於感應馬達，節能潛力高；
- (2) 高精度：適合做定位定速控制；
- (3) 高響應：為同步馬達，反應速度快；
- (4) 低速高扭力：變頻應用時低速也可產生最大力矩。

3. 應考慮因素與限制

本技術規劃設計應考慮因素包括：

- (1) 永磁馬達相較於感應馬達，重量輕且體積小，因此在原來已安裝感應電機的機械設備中，汰換成永磁馬達並無問題，惟因相關安裝仍具有專業性，須先確認馬達安裝尺寸及重量，並委由相關專業人員執行；
- (2) 永磁馬達安裝時與一般感應馬達無異，應考量環境為室內或室外、環境溫度高低等現場條件；
- (3) 永磁馬達不適用於含有大量鐵屑之製程現場，另高溫環境會使其磁鐵磁力與抗磁場能力下降，故不建議應用於製程環境有大量鐵屑（如鋼鐵業煉鋼製程）或高溫之區域（依各廠商使用之磁鐵等級及馬達設計而有所差異，一般永磁馬達適用環境溫度約為 $-15\sim 40^{\circ}\text{C}$ ）；
- (4) 驅動器：永磁馬達可搭配許多市售驅動器運轉，應用時可詢問永磁馬達設備廠商或相關驅動器廠商意見。



4.1.2 實務案例介紹

1. 案例廠應用簡介

案例廠為紡織產業之紡織製造廠商，原設有數百台定速感應馬達，主要驅動製程動力設備，因永磁馬達節能成效良好，具有降低能源成本及減少二氧化碳排放等多重實質效益，故陸續將廠內 100 多台的送風動力設備全面替換為永磁馬達。

2. 改善方案執行過程

(1) 單元改善前情境說明

原採用 100 多台定速感應馬達設備，因整廠所用馬達規格眾多，本案在計算效益時，以一台輸出功率 22 kW 之實際應用馬達作為計算基礎，改善前之照片如圖 4.1.2-1 所示。



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) 單元改善後情境說明

經規劃評估後，將廠內 100 多台的送風動力設備全面替換為永磁馬達，以規格為 22 kW 風機為例，將既有定速感應馬達汰換為永磁馬達，經量測功率為 20.32 kW，其改善後節能率約 9%，案例廠可依製程風量需求進行風機之台數調控及變速控制。改善後之照片如圖 4.1.2-2 所示。



資料來源：案例廠之設備廠商提供

圖4.1.2-2 案例廠設備改善後示意圖



3. 成效分析與節能減碳效益

(1) 應用永磁馬達技術之節能量

依案例廠電力分析儀量測值估算全年節能量，改善後量測功率為 20.32 kW，改善後之節能量為 12,579 kWh/年，節能率約 9%。

(2) 投資效益

案例廠永磁馬達技術之執行

投資金額	單台22 kW設備價格約6.3萬元。
節能量	約12,579 kWh/年。 (以年運轉時數7,488小時/年計算)
節能率	約9%。
節能績效	約3.79萬元/年。 (以電力單價3.02元/kWh計算)
減碳量	6.4公噸CO ₂ e/年。 (以經濟部能源局公告110年電力排放係數0.509 kg-CO ₂ e/ kWh計算)
回收年限	約1.7年。 (依既有設備效能及規格大小而有所差異，一般回收年限約1.5~2年)

4.2 製程空壓節能技術-螺旋式雙段壓縮技術

4.2.1 應用場域

一般工廠提供動力的來源有兩種，其一為利用電力來驅動相關的轉動設備或元件，其二為利用壓縮空氣來推動相關氣動元件，如氣壓缸、電磁閥...等，因此，有工廠生產的地方就會有空壓機的使用。空壓機之能源耗用占製造業生產相當大的一部分，若能降低其能源使用，可達到降低能源成本及節能減碳之多重效益。

空壓系統節能方法包含空壓機群控、空壓機房冷熱分離、降低管路壓力損失、修復管路洩漏、調適最佳使用系統壓力、廢熱回收、採用變頻空壓機及汰換為較高效率之空壓機...等；此外，為了有效率的管理其能源使用，建置能源管理系統或監控平台可讓能源用戶更了解空壓系統的能源使用效率，並從能源管理平台中找出節能改善的機會點，甚至掌握大數據進一步發展以AI智慧技術控制空壓系統，逐步精進能源使用效率。

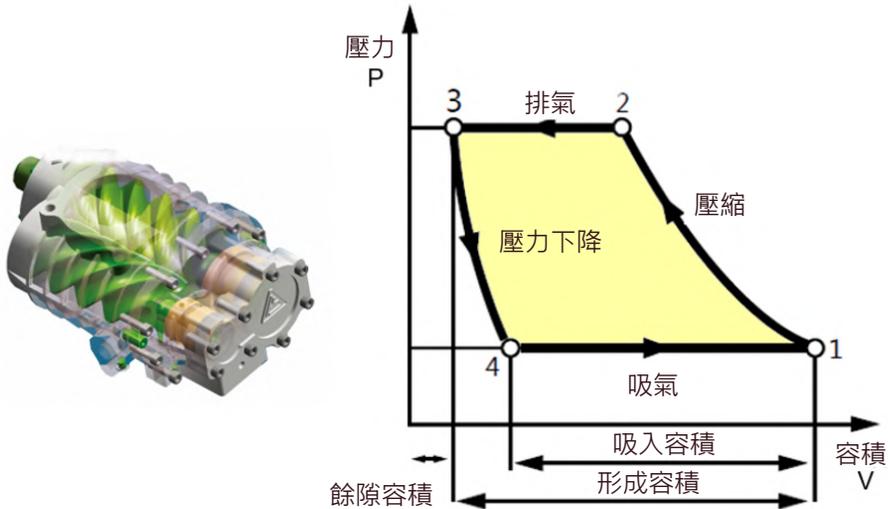
空壓系統節能方法中，將效率較低的空壓機汰換為效率較高之設備，可以達到節能方法中相對較高的節能效益。目前市售的微油螺旋式空壓機中，以雙段壓縮技術運行的空壓機效率普遍優於傳統單段壓縮的空壓機；本節針對微油螺旋式空壓機雙段壓縮節能技術進行技術及案例介紹，主要可應用產業為使用微油式空壓機之製造業，若其他產業具有相同或類似設備者亦得斟酌參考與應用。

1. 技術應用原理

傳統微油螺旋式空壓機為單段壓縮設計，當空氣被壓縮的過程中，其所產生的流體功如圖 4.2.1-1 微油螺旋式空壓機單段壓縮示功圖中 P-V 所包圍的面積。為了提高微油螺旋式空壓機的效率，改良研發的雙段壓縮技術可減少壓縮熱的產生以提高運轉效率，微油螺旋式空壓機雙段壓縮示功圖如圖 4.2.1-2 所示，其中每一段壓縮 P-V 所包圍的面積即代表每一段壓縮時所需要的功。

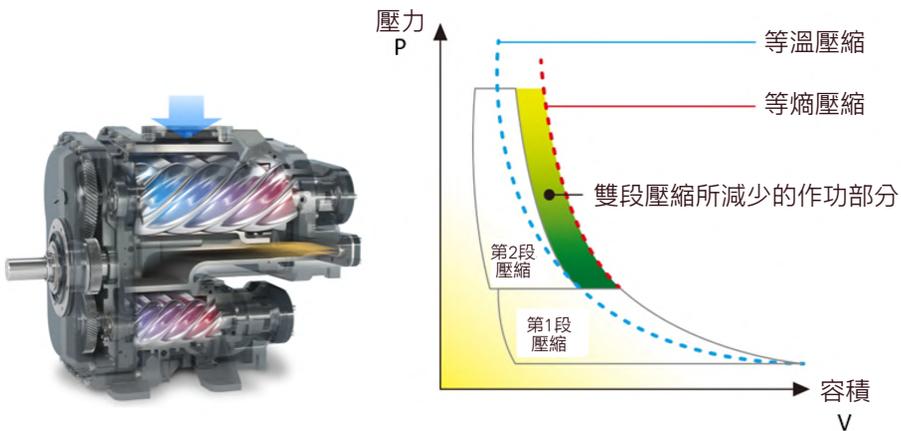


而等熵壓縮 (Isentropic Compression) 為絕熱壓縮其過程中無熱量之傳遞，等溫壓縮 (Isothermal Compression) 指氣體在壓縮過程中溫度保持不變；圖中顯示雙段壓縮相較單段壓縮可減少壓縮熱的產生，等熵壓縮曲線往等溫壓縮曲線接近，進而減少作功。



資料來源：復盛股份有限公司

圖4.2.1-1 微油螺旋式空壓機單段壓縮示功圖



資料來源：復盛股份有限公司

圖4.2.1-2 微油螺旋式空壓機雙段壓縮示功圖

微油螺旋式空壓機雙段壓縮技術說明如下：

- (1) 將第一段壓縮單元和第二段壓縮單元集成在一個機體內，通過齒輪驅動，使每段壓縮單元的轉子都能獲得最佳的線速度。
- (2) 第一段和第二段壓縮單元均引入了部分軸向進氣設計，並充分利用螺旋轉子的有效長度，使壓縮效率最佳化；且進一步減少軸向不平衡力，提高主機及軸承壽命，更顯著地降低了運轉噪音。
- (3) 於第一段與第二段壓縮單元之間，噴入霧狀冷油進行中間冷卻，實現了最佳的段間冷卻效果；顯著提升效率的同時，透過油量的控制確保了壓縮空氣始終在壓力露點之上，杜絕了液態水的形成，避免了二段壓縮單元的鏽蝕和系統的油乳化問題。並且減少獨立的中間冷卻器使用，同時也減少了獨立的中間冷卻器所造成的壓力損失。

2. 技術特點與優勢

相較單段壓縮，製程空壓設備運用螺旋式雙段壓縮技術有下特點：

- (1) 高效節能，降低用戶在空壓機生命週期的付出成本；
- (2) 雙段壓縮更接近等溫壓縮，可減少壓縮熱的產生，進而減少作功；
- (3) 於相同的排氣壓力及輸出風量下，理論上雙段壓縮較單段壓縮可減少約 15% 作功，其產氣效率可提升約 8~15% (依各廠設計效率不同而有所差異)；
- (4) 降低洩漏、提高容積效率；
- (5) 零部件所受的壓差小、熱負荷低；
- (6) 維護保養便捷、安全環保。

3. 應考慮因素與限制

本技術規劃設計應考慮因素包括：

- (1) 安裝位置距海平面高度；
- (2) 環境溫、濕度；
- (3) 需求壓力、風量；
- (4) 是否有變頻節能控制需求；
- (5) 冷卻方式為水冷式或氣冷式；
- (6) 電源電壓別 / 頻率別；
- (7) 安裝位置空間大小…等。



4.2.2 實務案例介紹

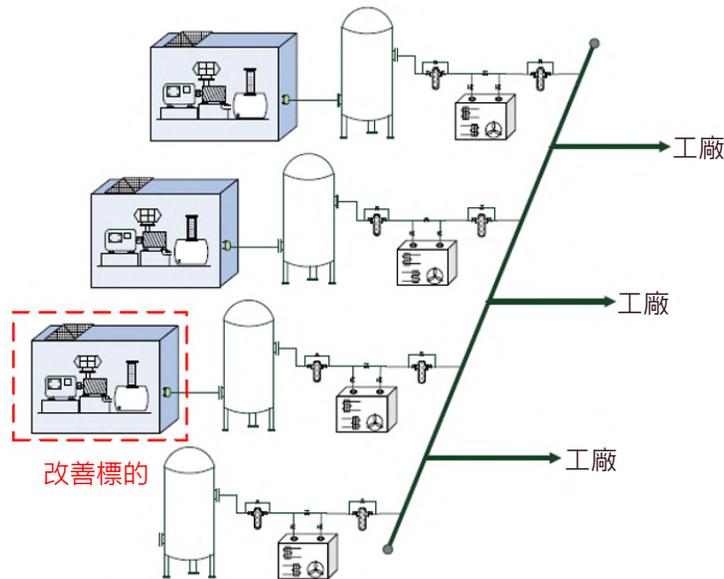
1. 案例廠應用簡介

案例廠為電子產業之印刷電路板製造廠商，生產產品包含單面、雙面、多層印刷電路板，及各種軟性印刷電路板及軟硬性混合印刷電路板；廠內原設有 3 台單段微油螺旋式空壓機，設備主要供應製程使用，因有節能需求故評估進行製程空壓節能技術改善。

2. 改善方案執行過程

(1) 單元改善前情境說明

案例廠原採用 3 台規格為 350 hp 之單段微油螺旋式空壓機，並以 2 台定頻式空壓機及 1 台變頻式空壓機搭配運轉；本次改善標的為其中 1 台運轉達 20 年的定頻式空壓機，改善前壓縮空氣系統流程如圖 4.2.2-1 所示意，改善前空壓機設備之照片如圖 4.2.2-2 所示。



資料來源：案例廠之設備廠商提供

圖4.2.2-1 改善前壓縮空氣系統流程示意圖



資料來源：案例廠之設備廠商提供

圖4.2.2-2 案例廠設備改善前示意圖

(2) 單元改善後情境說明

經規劃評估製程用氣需求，採用 1 台規格為 270 hp 之微油螺旋式雙段壓縮空壓機進行汰舊換新，新機風量輸出可超越改善前舊機 350 hp 的壓縮空氣量且單機效率也大幅提升；改善後空壓系統流程不變如圖 4.2.2-1 所示意，改善後之照片如圖 4.2.2-3 所示。



資料來源：案例廠之設備廠商提供

圖4.2.2-3 案例廠設備改善後示意圖



3. 成效分析與節能減碳效益

(1) 應用製程空壓節能技術之節能量

改善後之節能量如表 4.2.2-1 所示，其中效率值(比功率)由 6.63 kW/(m³/min) 提升至 5.60 kW/(m³/min)，顯示設備汰換為雙段壓縮空壓機節能率可達 15.5%。

表4.2.2-1 案例廠改善後系統之節能量

項 目	風量 (m ³ /min)	功率 (kW)	效率(比功率) (kW/(m ³ /min))	年用電度數 (kWh)
改善前	36.76	243.66	6.63	2,134,462
改善後	36.76	205.85	5.60	1,803,246
節能量	-	-	-	331,216

註 1：依滿載之風量及耗電量計算出效率值。

註 2：改善前後之節能量以相同風量 36.76 m³/min 計算。

(2) 投資效益

案例廠製程空壓節能技術之執行

投資金額	約470萬元。 (主體設備約350萬元，其他管材閥件、安裝工程等約120萬元)
節能量	約331,216 kWh/年。 (以年運轉時數8,760小時/年計算)
節能率	約15.5%。
節能績效	約96萬元/年 (以電力單價2.9元/kWh計算)
減碳量	168.6公噸CO ₂ e/年。 (以經濟部能源局公告110年電力排放係數0.509 kg-CO ₂ e/ kWh 計算)
回收年限	約4.9年。



4.3 氣浮式鼓風機技術

4.3.1 應用場域

鼓風機應用領域廣泛，常用於氣體、物料之輸送，因其運轉時間長，若能採用高效率設備並盡量減少耗電量，可獲得相當可觀之節能減碳效益。本節針對高效率之氣浮式鼓風機進行技術及案例介紹，舉凡有物料輸送、氣體類之升壓或輸送等製程需求之產業均可評估，主要可應用場域如粉狀物料（如水泥、乙烯粉等）輸送、風刀需求（如半導體製程、LCD 生產製程等）、電廠脫硫設備氧化用之空氣輸送、污水廠生物池曝氣等，若其他產業具有相同或類似需求者亦得斟酌參考與應用。

1. 技術應用原理

傳統魯式鼓風機能量傳遞較複雜導致耗能，而氣浮式鼓風機馬達芯軸直接傳動葉輪，一體化構造，故能使能量損失降至最低，效能極大化，且芯軸藉由無接觸式氣浮式軸承之運轉，大幅降低維護需求。傳統魯式鼓風機與氣浮式鼓風機之設備能量傳遞比較如圖 4.3.1-1 所示。氣浮式鼓風機主要由高速永磁同步馬達、氣浮式軸承、葉輪、鋁合金外殼、變頻控制器、觸控顯示螢幕、外箱、排放閥、空氣過濾器等組合而成，主要元件剖視圖如圖 4.3.1-2 及圖 4.3.1-3 所示。其關鍵之氣浮式軸承技術，採用永磁式同步馬達轉動芯軸並直接驅動葉輪，其間空氣流通於芯軸和線圈中，使芯軸懸浮於空氣中，達成氣浮式軸承潤滑和自體散熱之功效，運轉情形如圖 4.3.1-4 所示意。

傳統魯式鼓風機能量傳遞需7階段

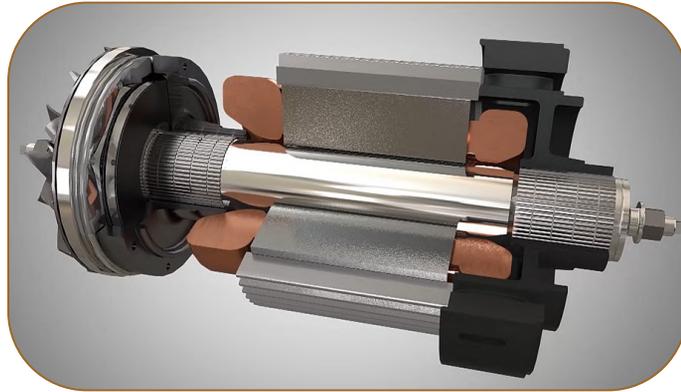


氣浮式鼓風機能量傳遞僅4階段



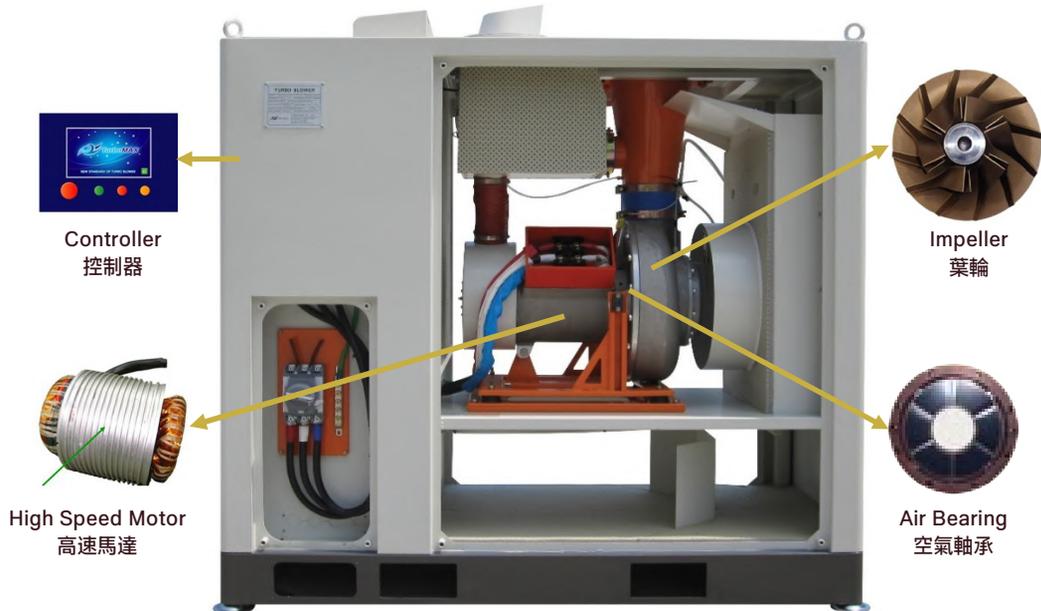
資料來源：今日水處理設備有限公司

圖4.3.1-1 魯式鼓風機與氣浮式鼓風機之設備能量傳遞比較



資料來源：今日水處理設備有限公司

圖4.3.1-2 氣浮式鼓風機永磁同步馬達剖視圖



資料來源：今日水處理設備有限公司

圖4.3.1-3 氣浮式鼓風機剖視圖



資料來源：今日水處理設備有限公司

圖4.3.1-4 氣浮式軸承技術運轉示意

氣浮式鼓風機之核心技術及節電技術說明如下：

- (1) 採用氣浮式軸承，沒有摩擦，無振動；
- (2) 採用高效高速永磁同步馬達，芯軸與葉輪採直接連結，使機械能量損失降至最低；
- (3) 採用高效離心式葉輪，並以變頻器控制轉速、風量、風壓、電功率等，達最適化輸出控制；
- (4) 出風口溫度因出口壓力需求而改變，相較傳統鼓風機約低 15~17°C (於任何出口壓力條件時)，若應用於曝氣池則更有利微生物生長；
- (5) 相較於傳統鼓風機，體積小、重量輕、噪音低、運轉無振動，安裝空間較小且無需特別施做基礎台工程；
- (6) 可獨立將馬達散熱以管線方式銜接至鼓風機房外部，能大幅降低鼓風機房內部溫度，減少空氣壓縮之能耗。

2. 技術特點與優勢

製程動力系統運用氣浮式鼓風機技術有以下特點：

- (1) 節能省電：採用變頻控制的空氣軸承高速渦輪鼓風機，與傳統魯式鼓風機相比約可節能 20~40%，與傳統多段離心式鼓風機相比約可節能 15~20%，與傳統齒輪單段高速渦輪鼓風機相比約可節能 10~15%；
- (2) 友善環境：無振動、噪音低（約 65~85 分貝）、使用壽命長（可超過 15 年）、不需使用潤滑油（脂）潤滑，沒有添加及處理廢棄油脂的問題；
- (3) 容易操作維護：使用變頻控制及人機介面操作，具有多種自動操控模式，維護方式只需定期更換空氣吸入過濾網，保養維護費用約只有傳統鼓風機的 10% 左右；
- (4) 具有節能及操作維護簡便之優勢，反應於總操作維護成本之降低，與採購傳統鼓風機的價差回收年限約 1~3 年。

3. 應考慮因素與限制

本技術規劃設計應考慮因素包括：

- (1) 依出風口風量 / 風壓、製程條件等需求項目進行規劃設計及本體材料選用；
- (2) 應考量現場環境溫度，系統入口溫度保護設定為 60°C（建議評估使用環境溫度低於 40~45°C），系統馬達溫度保護設定為 170°C；
- (3) 應考量入風口空氣品質，設備對於二氧化硫 (SO₂)、硫化氫 (H₂S)、氯氣 (Cl)、氯化氫 (HCl)、氟化氫 (HF)、氨 (NH₃)、臭氧 (O₃)、二氧化氮 (NO₂) 等氣體設有平均濃度及最高濃度上限值，若環境含腐蝕性氣體需經設備製造商評估後方可使用；
- (4) 因氣浮式鼓風機技術，採用永磁式同步馬達轉動芯軸並直接驅動葉輪，其中氣浮式軸承為達成本身軸承潤滑和馬達本體散熱之設計，即是利用吸入之空氣產生空氣膜讓芯軸轉子懸浮之技術，故無法隔離芯軸轉子與馬達線圈中的空氣；因此，需避免安裝於含有高濃度腐蝕性氣體及高溫環境製程之現場使用，且本技術無法達到防爆設計，目前尚無法設置於防爆區使用。



4.3.2 實務案例介紹

4.3.2.1 單機節能案例

1. 案例廠應用簡介

案例廠為電子產業之印刷電路板 (PCB) 製造廠商，生產產品包含傳統 PCB 板、高密度連結板 (HDI)、軟硬結合板等，其製程廢水處理程序生物曝氣池設置鼓風機，供應曝氣池適當之空氣量以維持微生物的好氧性分解污染物質之能力。原設有 1 台 40 hp 之魯式鼓風機，因有節能需求故評估另設 1 台氣浮式鼓風機，而原有魯式鼓風機則作為備用機台。

2. 改善方案執行過程

(1) 單元改善前情境說明

案例廠原採用 1 台規格為 40 hp、額定風量 $29.4 \text{ m}^3/\text{min}$ 、額定風壓 5,000 mmAq 之魯式鼓風機，改善前之照片如圖 4.3.2.1-1 所示。



資料來源：案例廠之設備廠商提供

圖4.3.2.1-1 案例廠設備改善前魯式鼓風機

(2) 單元改善後情境說明

經規劃評估後新增 1 台規格為 40 hp、額定風量 35.2 m³/min、額定風壓 3,500 mmAq 之氣浮式鼓風機；改善前後設備規格如表 4.3.2.1-1，改善後之照片如圖 4.3.2.1-2 所示。

表4.3.2.1-1 改善前後設備規格

設備形式	額定功率 (hp)	額定風量 (m ³ /min)	額定風壓 (mmAq)
魯式	40	29.4	5,000
氣浮離心式	40	35.2	3,500



資料來源：案例廠之設備廠商提供

圖4.3.2.1-2 案例廠設備改善後氣浮式鼓風機



3.成效分析與節能減碳效益

(1) 應用氣浮式鼓風機技術之節能量

以調整水池曝氣閥約至相同排氣量下作為計算基礎，檢測 2 種形式鼓風機的風速及運轉功率，並以風速及出風口截面積計算鼓風機排風量，相關檢測數據如表 4.3.2.1-2 所示，改善後之節能量如表 4.3.2.1-3 所示，其中效率值 (比功率) 由 1.502 kW/(m³/min) 提升至 1.147 kW/(m³/min)，顯示改善為氣浮式鼓風機之節能率可達 24%。

表4.3.2.1-2 案例廠改善前後檢測數據

設備形式	出風口截面積 (m ²)	平均風速 (m/s)	風量 (m ³ /min)	耗電量 (kW)	電壓 (V)	電流 (A)	功率因數 (%)
魯式	0.034	13.48	27.5	41.3	370	75	86
氣浮式	0.034	13.40	27.3	31.3	372	49	99

表4.3.2.1-3 案例廠改善後之節能量

項目	風量 (m ³ /min)	耗電量 (kW)	效率(比功率) (kW/(m ³ /min))	年用電度數 (kWh/年)
魯式	27.5	41.3	1.502	361,788
氣浮式	27.5	31.5	1.147	275,940
節能量	-	-	-	85,848

註 1：依檢測之風量及耗電量計算出效率值。

註 2：以相同風量 27.5 m³/min 計算改善前後之節能量。

(2) 投資效益

案例廠氣浮式鼓風機技術之執行

投資金額	約70~80萬元。 (依管材閥件、訊號配置、安裝工程等條件而有所差異)
節能量	約85,848 kWh /年。 (以年運轉時數8,760小時/年計算)
節能率	約24%。
節能績效	約25.8萬元/年。 (以電力單價3元/kWh計算)
減碳量	43.7公噸CO ₂ e/年。 (以經濟部能源局公告110年電力排放係數0.509 kg-CO ₂ e/ kWh 計算)
回收年限	約2~3年。



4.3.2.2 系統節能案例

1. 案例廠應用簡介

案例廠為造紙業廠商，生產產品包含工業用紙、紙器等，其製程廢水處理程序生物曝氣池設置鼓風機，供應曝氣池適當之空氣量以維持微生物的好氧性分解能力。原設有 3 台 275 hp 之魯式鼓風機，因有節能需求，故評估另設 2 台氣浮式鼓風機以取代原有設備。

2. 改善方案執行過程

(1) 單元改善前情境說明

案例廠原採用 3 台 275 hp、總額定風量 $105 \text{ m}^3/\text{min}$ 、額定風壓 8,000 mmAq 之魯式鼓風機，改善前之照片如圖 4.3.2.2-1 所示。



資料來源：案例廠提供

圖4.3.2.2-1 案例廠設備改善前魯式鼓風機

(2) 單元改善後情境說明

經規劃評估後新增 2 台規格為 350 hp、額定風量 195 m³/min、額定風壓 8,000 mmAq 之氣浮式鼓風機；改善前後設備規格如表 4.3.2.2-1，改善後之照片如圖 4.3.2.2-2 所示。

表4.3.2.2-1 改善前後設備規格

設備形式	額定功率 (hp)	額定風量 (m ³ /min)	額定風壓 (mmAq)
魯式	275	105	8,000
氣浮離心式	350	8,000	



資料來源：案例廠提供

圖4.3.2.2-2 案例廠設備改善後氣浮式鼓風機



3.成效分析與節能減碳效益

(1) 應用氣浮式鼓風機技術之節能量

以調整氣浮式鼓風機變頻約至原魯氏鼓風機相同排氣量下作為計算基礎，檢測 2 種形式鼓風機排風量及運轉功率，相關檢測數據如表 4.3.2.2-2 所示，改善後之節能量如表 4.3.2.2-3 所示，效率值 (比功率) 由 1.952 kW/(m³/min) 提升至 1.424 kW/(m³/min)，顯示改善為氣浮式鼓風機之節能率可達 27%。

表4.3.2.2-2 案例廠改善前後檢測數據

設備形式	數量 (台)	單台風量 (m ³ /min)	單台耗電量 (kW)	總風量 (m ³ /min)	總耗電量 (kW)
魯式	3	105	205	315	615
氣浮式	2	160	227.9	320	455.8

註：以相同規格單台鼓風機量測之風量及耗電量推估系統總量。

表4.3.2.2-3 案例廠改善後之節能量

項目	總風量 (m ³ /min)	總耗電量 (kW)	效率(比功率) (kW/(m ³ /min))	年用電度數 (kWh/年)
魯式	315	615	1.952	5,387,400
氣浮式	315	449	1.424	3,933,240
節能量	-	-	-	1,454,160

註 1：依檢測之風量及耗電量計算出效率值。

註 2：以相同總風量 315 m³/min 計算改善前後之節能量。

(2) 投資效益

案例廠氣浮式鼓風機技術之執行

投資金額	約350~400萬元。 (依管材閥件、訊號配置、安裝工程等條件而有所差異)
節能量	約1,454,160 kWh /年。 (以年運轉時數8,760小時/年計算)
節能率	約27%。
節能績效	約436萬元/年。 (以電力單價3.0元/kWh計算)
減碳量	740公噸CO ₂ e/年。 (以經濟部能源局公告110年電力排放係數0.509 kg-CO ₂ e/ kWh 計算)
回收年限	約1年。



4.4 製程真空節能技術-永磁變頻螺旋式真空泵

4.4.1 應用場域

在工業 4.0 及 AI 智慧技術控制的趨勢下，設備自動化已成為各工業製程中優先考量的改善項目。而真空泵為提供工業自動化製程所需真空條件之重要設備，占整體廠房能耗具有一定比例，若能於維持製程穩定真空條件下提升系統的能源使用效率，對於永續營運有相當大的助益。

真空系統節能方法包含洩漏點量測與改善、工作壓力區間最適化、轉子效率與馬達性能提升及採用變頻設計汰換為較高效率之真空泵…等，其中，將老舊且效率低下的真空泵汰換為效率高且智能變頻設備，可以達到節能方法中相對較高的節能效益；若搭配監測聯控系統再經由演算法找出多台設備併聯運轉的最適點，可確保真空系統穩定與能耗最佳化。

論及真空泵效率，普遍使用抽氣效率公式計算恆壓下單位能耗所提供的抽氣效率，即維持在相同真空度的前提下，抽氣效率 (m^3/h) 與馬達能耗 (kW) 之比值，作為比較基礎。目前市售的真空泵形式中，相較於傳統定頻或感應馬達之螺桿式真空泵、水封式真空泵、旋片式真空泵、鈎爪式真空泵等形式，永磁變頻螺旋式真空泵效率佳且能耗較低。本節針對永磁變頻微油螺旋式真空泵進行技術及案例介紹，主要可應用產業為製程需求真空度約 40 torr~400 torr 及單台抽氣速度約 $500 \text{ m}^3/\text{h}$ ~ $2,000 \text{ m}^3/\text{h}$ (可併聯至 $25,000 \text{ m}^3/\text{h}$ 以上) 之製造業；本技術廣泛適用於半導體業晶圓製程、光電業面板製程、自動化吸放、塑膠成型、玻璃製瓶、金屬製罐、除氣脫泡、真空保鮮、印刷裝訂、紙塑造紙、真空包裝等不同製程需求，若其他產業具有相同或類似設備者亦得斟酌參考與應用。惟含有大量鐵屑及高溫環境如鋼鐵業之煉鋼製程現場，則需考量安裝環境與條件，選擇合適的前置過濾系統，以確保設備運轉風險可降至最低。

1. 技術應用原理

真空的形成，是為了創造低於大氣壓力的環境，作為控制真空系統之氣體密度、成分及氣體分子之物理行為，以達到生產目的。而真空系統中不可或缺的要角即為真空泵，故依據不同的真空壓力需求及應用，需選擇合適的真空泵，實為設計真空系統中最重要的課題之一。在工業製造領域中，傳統真空泵長期運轉容易產生下列狀況 (如圖 4.4.1-1 所示意)：

- (1) 馬達老舊效率差，外掛式變頻控制因設計不良，未考量傳統馬達散熱問題，導致高溫風險，且若強制安裝不合規的變頻控制系統容易導致火災等工安事件發生；
- (2) 水封式真空泵所需能耗極高，抽氣效率亦極度仰賴水溫與水質，長期生成的水垢嚴重影響設備性能；
- (3) 旋片式真空泵因使用的碳纖維葉片直接接觸真空腔體，持續運轉易產生葉片破損或真空腔壁刮損的情況，需頻繁進行葉片更換保養，且噪音刺耳，破裂的葉片會磨損真空腔體，無法達到工作壓力。



外掛式變頻控制模組需每 1~2 個月
手動清除記憶體避免系統當機

水封式真空泵長期生成的
水垢嚴重影響設備性能



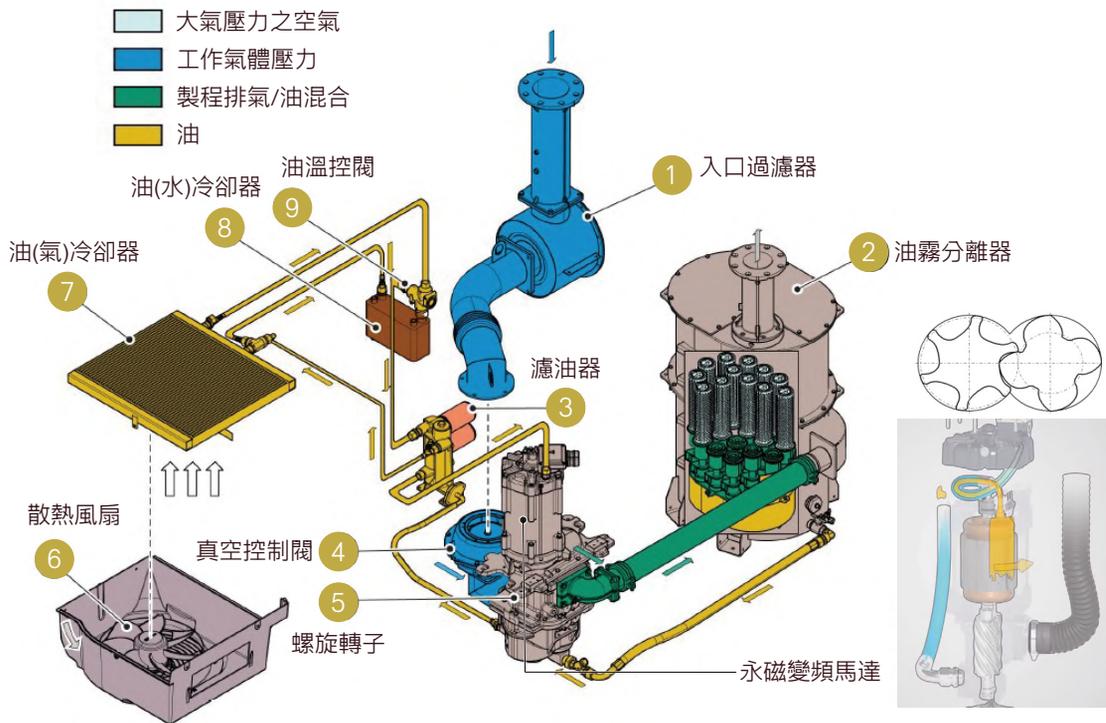
旋片式真空泵因葉片破裂導致真空腔體磨損而無法達到預計真空度

資料來源：阿特拉斯科普柯股份有限公司 (Atlas Copco)

圖4.4.1-1 傳統真空泵長期運轉狀況示意圖



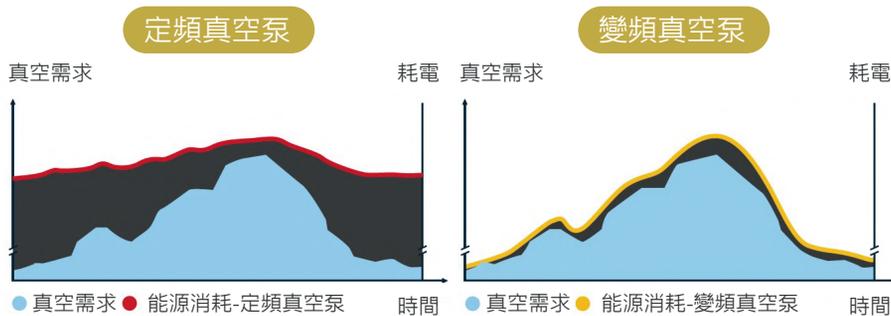
永磁變頻微油螺旋式真空泵組成如圖 4.4.1-2 所示意，其螺旋轉子的設計以相反方向運轉做為真空泵的本體結構，非接觸式油潤轉子且無旋片結構，因此不會發生旋片顫振及磨損，可降低長期運轉後抽氣效率衰退的風險。本技術採用永磁變頻馬達，本身具有效率高、啟動電流小、材積小重量輕等多項特性，再藉由變頻調控，可於負載低時降低運轉噪音與油氣排放、改善作業環境。另搭配智慧觸控面板，以參數進行演算法運算，再透過多樣化的連線通訊模式能精準反映與回傳真空設備的運行狀況，確保設備效能極大化。



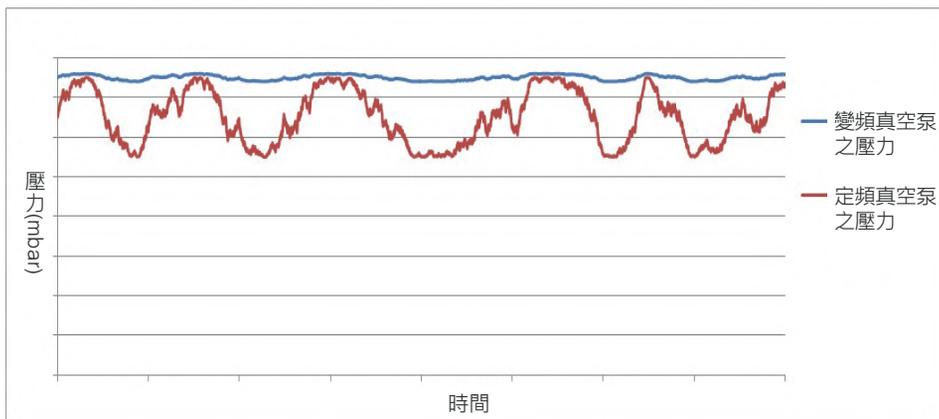
資料來源：阿特拉斯科普柯股份有限公司 (Atlas Copco GHS VSD+)

圖4.4.1-2 永磁變頻微油螺旋式真空泵組成示意圖

永磁變頻微油螺旋式真空泵可根據負載控制頻率，調整轉速以減少不必要的能源耗用。傳統定頻式真空泵與變頻式真空泵之耗電特性及真空壓力比較如圖 4.4.1-3 所示意，圖 4.4.1-3(a) 垂直軸為真空需求與耗電，可見無論真空需求高低（藍色區塊），定頻真空泵仍全速運轉；而變頻真空泵則依真空需求調控轉速。兩者耗電差異比較如黑色區塊，顯示變頻真空泵可減少無謂的能源浪費。永磁變頻真空泵在全頻率範圍內有高抽氣效率，優於 IE4 能耗表現的永磁式變頻馬達與變頻控制，平均能耗比傳統定頻式真空泵少 20~50%^{〔10〕}。而圖 4.4.1-3(b) 呈現真空壓力之表現，圖中垂直軸為真空壓力，顯示無論負載如何變化，相較於定頻真空泵之真空壓力呈現波動，變頻真空泵可維持穩定之真空壓力提供製程所需。



(a) 定頻式真空泵與變頻式真空泵之耗電特性比較



(b) 定頻式真空泵與變頻式真空泵之壓力特性比較

資料來源：阿特拉斯科普柯股份有限公司 (Atlas Copco GHS VSD+)

圖4.4.1-3 真空泵定頻與變頻之比較示意圖



在邁入工業 4.0 與導入智慧製造的趨勢下，工廠可進一步藉由中央真空系統管理，提供穩定的真空源。工業真空製程一般以 40 torr ~ 400 torr 的真空範圍作為製程使用，真空系統由多台真空設備組成，運用聯控系統或可程式邏輯控制器 (Programmable Logic Controller, PLC) 依據管路末端或真空桶槽之壓力感測器回授信號，依真空需求循序啟動或關閉設備，使系統真空壓力維持在需求範圍。而永磁變頻微油螺旋式真空泵取代傳統設備加減啟停的設計，藉由變頻控制動態改變運轉頻率而精準維持製程壓力，滿足製程所需。永磁變頻微油螺旋式真空泵監測聯控系統如圖 4.4.1-4 所示意。



資料來源：阿特拉斯科普柯股份有限公司 (Atlas Copco Hex@Grid)

圖4.4.1-4 永磁變頻微油螺旋式真空泵監測聯控系統示意圖

2. 技術特點與優勢

製程動力系統運用永磁變頻微油螺旋式真空泵技術及監測聯控系統有以下特點：

- (1) 永久磁鐵輔助型同步馬達是永久磁石代替繞線設計，具體積小、重量輕、啟動電流低等特性，屬變頻設備中最有效率的技術；其油冷式馬達可避免定頻馬達外掛變頻器時散熱效果受限的缺點，冷卻機油也可同時用於潤滑軸承，減輕保養負擔。
- (2) 以變頻器搭配智慧監測系統，可藉由不同轉速維持製程真空度；視覺化的控制系統與演算邏輯，依據參數進行自我調整與運轉最適化，因應需求降低能耗，達到智慧製造與環境友善的雙重目的。
- (3) 永磁變頻微油螺旋式真空泵可藉由聯控系統統一調整運轉狀態，以單點壓力回授再由演算法找出多台設備併聯運轉的最適點，確保真空系統穩定與能耗最佳化。

3. 應考慮因素與限制

本技術規劃設計應考慮因素包括：

- (1) 真空系統負載需求與主備機的運轉考量，以整體性規劃達到最佳運轉效益；
- (2) 因應不同製程時所吸入氣體或粉塵特性，須選用合適的前置過濾器（如旋風分離桶、氣液分離罐），良好有效的設計可再延長設備運轉生命週期；
- (3) 現場安裝需預留合適的保養空間，正確的冷卻方式與工作環境都可以確保設備效能不衰退；
- (4) 使用變頻器時可能會產生電磁干擾 (Electro Magnetic Interference, EMI)、電流諧波 (Harmonic) 等問題，建議選用符合 IEC 規範 (如 61800-3) 的設備；若造成電力、負載等系統穩定度之影響，需以裝設諧波抑制器等方式進行改善。



4.4.2 實務案例介紹

1. 案例廠應用簡介

案例廠為半導體封測廠，建廠之製程真空泵均為定頻水封式真空泵，若有加減載需求則啟動或停止運轉設備，時常會供需不均、系統壓力波動大且能耗高。經評估改善方案為新增永磁變頻微油螺旋式真空泵進行調控，以提升系統能源使用效率。

2. 改善方案執行過程

(1) 單元改善前情境說明

案例廠原有 6 台額定功率 60 hp 之定頻水封式真空泵，平時使用 4 台常態運轉，每台額定抽氣量為 $1,320 \text{ m}^3/\text{h}$ ，持壓在 -26 inHg 條件下，4 台抽氣量共為 $5,280 \text{ m}^3/\text{h}$ ；因廠內製程需求增加，需常態性地再啟動第 5 台定頻式真空泵投入，則總抽氣量高達 $6,600 \text{ m}^3/\text{h}$ 供過於求導致系統壓力波動大。改善前流程如圖 4.4.2-1 所示意，改善前之照片如圖 4.4.2-2 所示。



資料來源：案例廠之設備廠商提供

圖4.4.2-1 改善前真空系統示意圖



資料來源：案例廠之設備廠商提供

圖4.4.2-2 案例廠設備改善前示意圖

(2) 單元改善後情境說明

經規劃評估，新增 3 台額定功率 50 hp 之永磁變頻微油螺旋式真空泵進行調節，每台額定抽氣量為 $2,002 \text{ m}^3/\text{h}$ ，平時真空系統運作僅開啟 1 台定頻真空泵並搭配 3 台變頻真空泵，當製程用量需增減時，即可隨即調整運轉頻率，符合製程所需。持壓在 -26 inHg 條件下，系統的額定總抽氣量為 1 台定頻式真空泵 $1,320 \text{ m}^3/\text{h}$ 加上 3 台變頻式真空泵額定抽氣量 $6,006 \text{ m}^3/\text{h}$ ，共為 $7,326 \text{ m}^3/\text{h}$ 。改善後真空系統如圖 4.4.2-3 所示意，改善後之照片如圖 4.4.2-4 所示。



資料來源：案例廠之設備廠商提供

圖4.4.2-3 改善後真空系統示意圖



資料來源：案例廠之設備廠商提供

圖4.4.2-4 案例廠設備改善後圖

3. 成效分析與節能減碳效益

(1) 應用永磁變頻微油螺旋式真空泵技術之節能量

改善後之節能量如表 4.4.2-1 所示，其中在系統真空值穩定的條件下，系統年耗電量由原先的 1,971,000 kWh/ 年降至 1,074,852 kWh/ 年，顯示改善後真空系統節能率可達 45%。

表4.4.2-1 案例廠改善後系統之節能量

項 目		改善前	改善後	
單機設備	型號	定頻水封	定頻水封	永磁變頻螺旋
	設備運轉數量(台)	5	1	3
	額定抽氣量(m ³ /h)	1,320	1,320	2,002
	額定功率(kW)	45	45	37
真空系統	系統壓力(inHg)	-26	-27.1	
	額定總抽氣量(m ³ /h)	6,600	7,326	
	額定總耗電量(kW)	225	156	
	實際總耗電量(kW)	225	122.7 (變頻真空泵用電負載70%註)	
	年耗電量(kWh/年)	1,971,000	1,074,852	
	節能量(kWh/年)	-	896,148	

註：改善後經電錶實際量測，變頻真空泵用電負載為 60%~80% 區間，本案例變頻真空泵以平均負載 70% 計算節能量。



(2) 投資效益

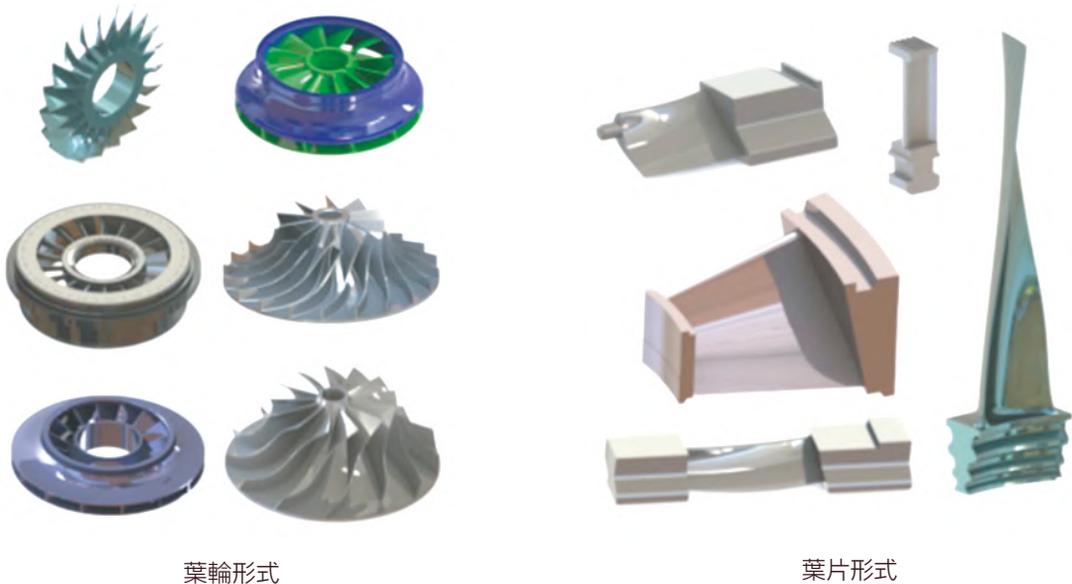
案例廠永磁變頻微油螺旋式真空泵技術之執行

投資金額	約450萬元。 (含主體設備、土木工程、管材閥件、電力供應系統、安裝工程等項目)
節能量	約896,148 kWh/年。 (以年運轉時數8,760小時/年計算)
節能率	約45%。
節能績效	約260萬元/年。 (以電力單價2.9元/kWh計算)
減碳量	456公噸CO ₂ e/年。 (以經濟部能源局公告110年電力排放係數0.509 kg-CO ₂ e/ kWh計算)
回收年限	約1.7年。

4.5 壓縮機葉輪改善技術

4.5.1 應用場域

製程動力系統中能源效率的關鍵之一在於轉動葉輪或葉片的流場設計，若能持續精進以更小的機械動力產生更大的功，可使單位產品生產能耗持續降低。流場設計優化可應用於具有葉輪或葉片之動力設備如泵浦、真空機、膨脹機、渦輪機 (turbine，又稱透平機)、壓縮機等均可評估改善，改善方式為汰換成能效較佳之動力設備，或針對葉輪或葉片進行汰換。常見之動力設備葉輪或葉片形式如圖 4.5.1-1 所示意。



資料來源：克瑪里能源科技股份有限公司

圖4.5.1-1 常見之動力設備葉輪或葉片形式



國內產業中製程壓縮機耗電量占生產之能源成本極高，若能提高壓縮機效率勢必可大幅降低能源消耗，對於工廠而言具有相當大之改善潛力。壓縮機視其所接受之機械能之不同，而可分為離心式壓縮機 (centrifugal compressor)、往復式壓縮機 (reciprocating compressor) 及螺旋式壓縮機 (screw compressor) 三大類，其運作原理簡介⁽¹¹⁾ 如表 4.5.1-1，本節針對離心式壓縮機葉輪改善進行技術及案例介紹，主要可應用產業為石化業、鋼鐵業、紡織業、半導體業、光電顯示器業等，若其他產業具有相同或類似設備者亦得斟酌參考與應用。

表4.5.1-1 不同類型壓縮機運作原理

類 型	原 理
離心式壓縮機	離心式壓縮機用於壓縮空氣的主要工作部件是高速旋轉的葉輪和通流面積逐漸增加的擴壓器，其工作原理係通過葉輪對空氣作功，在葉輪和擴壓器的流道內，利用離心升壓作用和降速擴壓作用，將機械能轉換為氣體壓力能。
往復式壓縮機	往復式壓縮機的工作原理此係利用活塞在氣缸來回移動吸入氣體並加以壓縮，使單位體積內氣體分子的密度增加以提高壓縮空氣的壓力。
螺旋式壓縮機	螺旋式壓縮機在機器運轉時二轉子的齒互相插入對方齒槽，通過二個被齒隔開的空間，先在吸氣端吸氣且隨著轉子的旋轉向排氣端傳輸移動，使被對方齒所封閉的容積逐步縮小，將空氣壓縮，壓力逐漸提高，直至達到所要求的壓力時，此齒槽方與排氣口相通，實現了排氣。

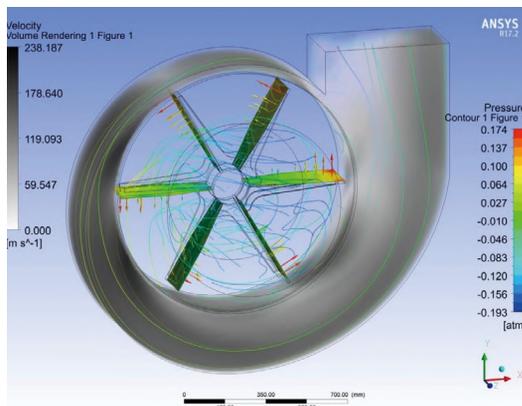
1. 技術應用原理

受惠於設計分析軟體與製造加工技術不斷精進提升，壓縮機葉輪優化改善為提升壓縮機效率的有效手段之一，葉輪改善可由以下兩大面向來著手：

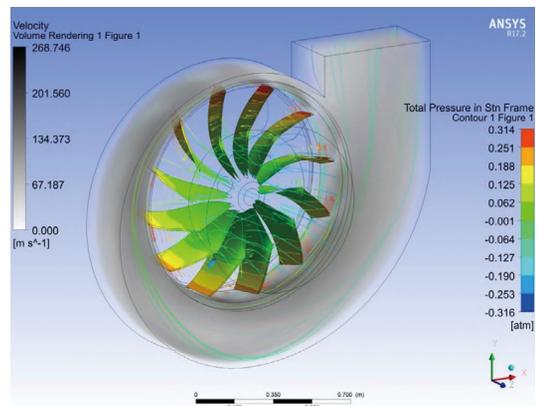
- (1) 優化葉輪加工方式如五軸精密加工，預估可提升約 1%~3% 效率；
- (2) 重新設計高性能葉輪，並且以五軸精密加工方式製作，依專業廠商經驗約可提升 3%~10% 效率；若既有設備因製程操作條件改變或葉輪已受磨損等因素導致其壓縮機能效較低，經葉輪優化改善後壓縮機效率可提升約至 10% 以上。

以離心式空氣壓縮機能效提升為例，因壓縮機產生流體壓力的重點核心為葉輪，若將其進行改善即有相當大之節能效益。葉輪改善優化流程說明如下：

- (1) 將葉輪重新分析設計優化氣流之速度壓力，經分析後若有節能效益者可評估執行葉輪汰換，市面上可應用之流體模擬軟體如 Ansys；
- (2) 改善前先依據工廠既有設備轉子、製程操作條件及流體相關原理如材料力學、流體力學、熱流等進行分析 (如圖 4.5.1-2 所示)，並以葉輪前端的入口角度與出口角度的相對關係進行高性能葉輪設計，圖 4.5.1-3 為葉輪優化設計示意圖；
- (3) 葉輪製作過程以鍛造素材進行五軸精密加工 (如圖 4.5.1-4 所示)，並將完成後之葉輪以平衡機及相關檢測設備進行測試及量測，依據 ISO 1940-1:2003 機械振動—剛性轉子平衡品質要求進行葉輪動平衡測試如圖 4.5.1-5 所示；
- (4) 完成葉輪製作後，可於工廠歲修時進行葉輪汰換。



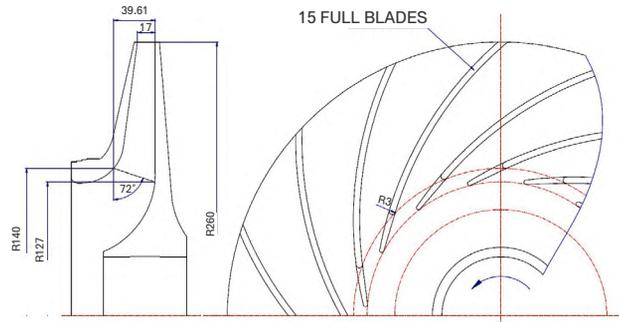
原機組性能模擬



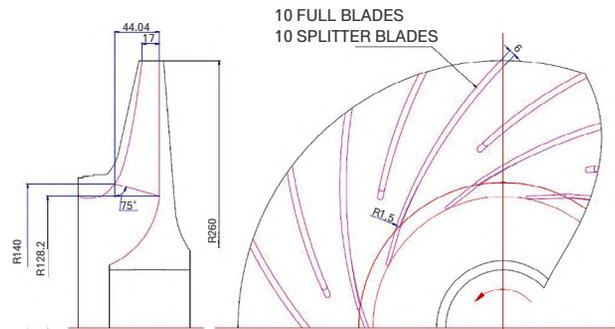
優化後葉輪性能模擬

資料來源：克瑪里能源科技股份有限公司

圖4.5.1-2 葉輪優化設計性能模擬示意圖



原始葉輪設計



優化後葉輪設計

資料來源：克瑪里能源科技股份有限公司

圖4.5.1-3 葉輪優化設計示意圖



鍛造素材



五軸精密加工

資料來源：克瑪里能源科技股份有限公司

圖4.5.1-4 葉輪製作過程示意圖



資料來源：克瑪里能源科技股份有限公司

圖4.5.1-5 葉輪動平衡測試示意圖

2. 技術特點與優勢

壓縮機葉輪改善技術有下特點：

- (1) 因大型壓縮機建置經費達上億元，若僅改善重點核心之葉輪可大幅降低改善成本；
- (2) 相較一般葉輪材質為不鏽鋼，若汰換為鈦合金材料或依流體性質進行表面防蝕塗覆，可改善葉輪強度、提高抗衝蝕與腐蝕性，以延長設備使用壽命；
- (3) 以壓縮機葉輪進行流場優化改善可提升設備效率，達節能減碳效益，並降低能源成本；
- (4) 若有產能擴充需求且現場無法增設產線，可於既有設備及能源耗用情況下提高壓縮機產出效率，達到產能效率提升效益。

3. 應考慮因素與限制

本技術規劃設計應考慮因素包括：

- (1) 依流體條件進行設計，並考量流體腐蝕情形選擇葉輪材質，如葉輪本體材質選用不鏽鋼或鈦合金、表面是否進行防蝕塗覆；
- (2) 改善前建議評估壓縮機系統相關元件如軸承、軸封、轉子等強度及使用壽命，若有需求可一併進行改善。



4.5.2 實務案例介紹

4.5.2.1 符合負載需求降低能耗案例

1. 案例廠應用簡介

案例廠為面板顯示器製造廠商，原設有 7 台額定功率 800 hp 之三段離心式空氣壓縮機，設備主要供應製程使用，其額定出口壓力為 10 kg，惟目前現場需求壓力為 7 kg，因設備高壓低用故評估進行空氣壓縮機改善。本案例進行 1 台空氣壓縮機葉輪優化改善，重新設計其葉輪使機組出口壓力 7 kg 並達最佳效率，以期在維持製程需求條件下降低能耗使用；而葉輪材質依案例廠需求由原先不鏽鋼升級為鈦合金，可延長空氣壓縮機組使用壽命。

2. 改善方案執行過程

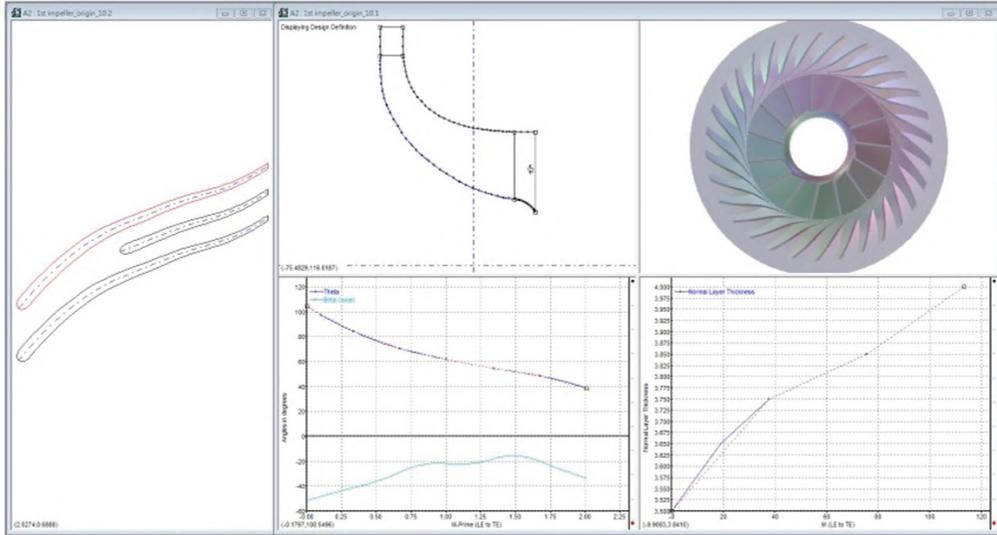
(1) 單元改善前情境說明

原採用額定功率 800 hp、出口壓力 10 kg 之三段離心式空氣壓縮機，惟現場需求條件為 7 kg，故設備高壓低用。空壓系統為 7 台空氣壓縮機併聯調控，依製程需求調整設備開啟台數，經量測改善前單台設備功率為 433 kW。

(2) 單元改善後情境說明

經規劃評估後，將其中 1 台空氣壓縮機葉輪進行葉形重新設計，使三段葉輪各級的出入口達最佳壓縮比至出口壓力 7 kg。原始葉輪之軟體分析流體動力學計算 (Computational Fluid Dynamics, CFD) 如圖 4.5.2.1-1 所示意，葉輪經重新優化設計後，其 CFD 分析模擬如圖 4.5.2.1-2 至圖 4.5.2.1-4 所示，顯示空氣壓縮機每段葉輪符合最佳壓縮比達最高效率時，預估之軸功率合計為 340 kW，相較改善前 433 kW 可提升約 21% 效率。本案例因現場製程操作等原因無法將並聯管線盲封進行單機測試，故節能效益計算以改善 1 台空氣壓縮機且於並聯調控狀況下，經案例廠以既有電力監測設備實際量測系統改善前後之耗電量，經案例廠分析整體系統耗電量可降低 10% 以上。葉輪製作加工之照片如圖 4.5.2.1-5 所示。

原機組葉輪CFD分析

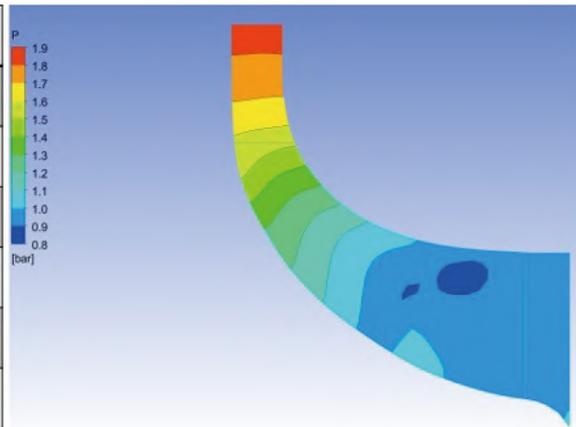


資料來源：案例廠之設備廠商提供

圖4.5.2.1-1 空氣壓縮機原始葉輪CFD分析示意圖

1st葉輪CFD數據

轉速	37426	RPM
風量	1.2	Kg/s
入口風量	3695	CMH
壓縮比	2.3	
軸功	130	kW
入口全壓	1.0134	Bar(a)
出口全壓	2.32	Bar(a)
出口靜壓	1.85	Bar(a)



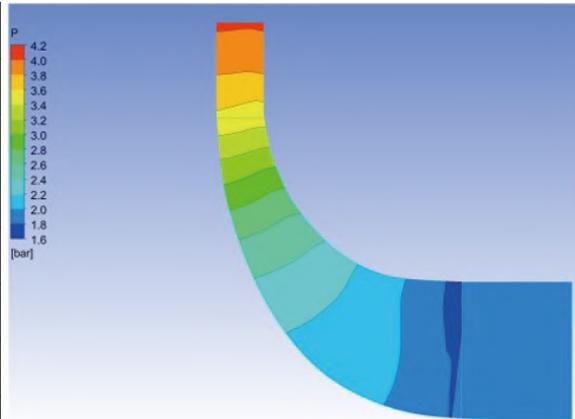
資料來源：案例廠之設備廠商提供

圖4.5.2.1-2 空氣壓縮機第一段葉輪改善後CFD分析模擬圖



2nd葉輪CFD數據

轉速	52071	RPM
風量	1.2	Kg/s
入口風量	3695	CMH
壓縮比	2.4	
軸功	110	kW
入口全壓	2.1	Bar(a)
入口靜壓	1.87	Bar(a)
出口全壓	5.08	Bar(a)
出口靜壓	4.02	Bar(a)

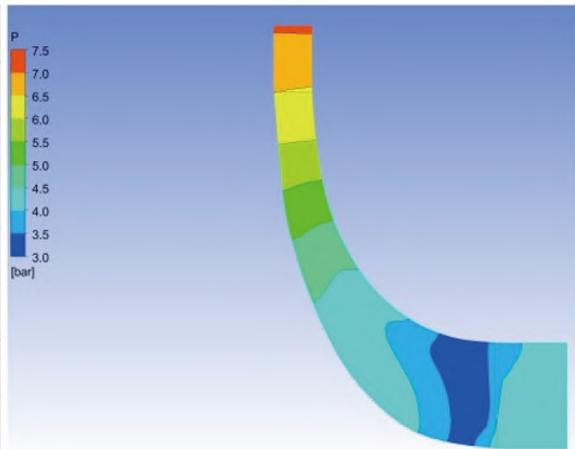


資料來源：案例廠之設備廠商提供

圖4.5.2.1-3 空氣壓縮機第二段葉輪改善後CFD分析模擬圖

3rd葉輪CFD數據

轉速	52071	RPM
風量	1.2	Kg/s
入口風量	3695	CMH
壓縮比	2.03	
軸功	100	kW
入口全壓	4.50	Bar(a)
入口靜壓	4.08	Bar(a)
出口全壓	9.1	Bar(a)
出口靜壓	7.06	Bar(a)



資料來源：案例廠之設備廠商提供

圖4.5.2.1-4空氣壓縮機第三段葉輪改善後CFD分析模擬圖



資料來源：案例廠之設備廠商提供

圖4.5.2.1-5 案例廠葉輪改善加工照片

3. 成效分析與節能減碳效益

(1) 應用壓縮機葉輪改善技術之節能量

改善後之節能量如表 4.5.2.1-1 所示，本案例因現場製程操作等原因無法將並聯管線盲封進行單機測試，經案例廠以既有電力監測設備實際量測系統改善前後之耗電量，經案例廠分析整體系統耗電量可降低 10% 以上，故節能效益計算以系統節能 10% 為依據進行估算，1 台空氣壓縮機葉輪改善每年可節省用電約 363,720 kWh。

表4.5.2.1-1 案例廠改善後系統之節能量

項 目	改善前	改善後	備 註
額定出口壓力(kg)	10	7	-
機組耗電(kW)	433	389.7	以系統能耗降低10% 估算改善後用電量



(2) 投資效益

案例廠壓縮機葉輪改善技術之執行

投資金額	約250萬元。 (包含改善原材質由PH-17-4不鏽鋼提升為鈦合金葉輪並優化設計、製作等項目)
節能量	約363,720 kWh/年。 (以年運轉時數8,400小時/年計算)
節能率	約10%。 (以整體系統耗電量降低10%為依據進行估算)
節能績效	約105萬元/年。 (以電力單價2.9元/kWh計算)
減碳量	185公噸CO ₂ e/年。 (以經濟部能源局公告110年電力排放係數0.509 kg-CO ₂ e/ kWh計算)
回收年限	約2.4年。

4.5.2.2 產能效率提升案例

1. 案例廠應用簡介

案例廠為石化產業之化學品製造廠商，原設有 1 台多段離心式空氣壓縮機，設備主要供應製程使用，因產能效率提升需求評估進行壓縮機葉輪改善，並透過流量計等設備作為測量及統計改善前後之壓縮機葉輪流量。

2. 改善方案執行過程

(1) 單元改善前情境說明

原採用 1 台規格為 3,000 hp 壓力為 8 kg 之多段離心式空氣壓縮機，改善前流量運轉狀態質量流率為 26 T/h。

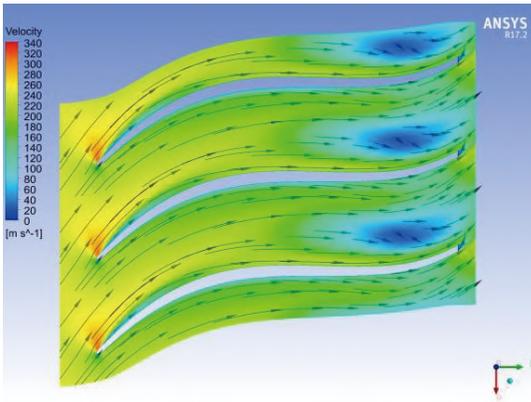
(2) 單元改善後情境說明

經規劃評估後，改善方式為透過葉輪之葉形改善以提升機組最大流量。與原始葉形相比，經軟體 (本案例採用 Ansys) 設計測試預估可提升約 10% 的最大質量流率，改善前後之速度向量圖如圖 4.5.2.2-1 所示，顯示改善葉形後流速明顯提升。後經上機實測，以案例廠既設製程監控系統顯示，在可運轉範圍內 (不影響馬達額定電流)，最大質量流率可由 26 T/h 提升至 29 T/h，約可提升 12% 的空氣流量。改善後之照片如圖 4.5.2.2-2 所示。

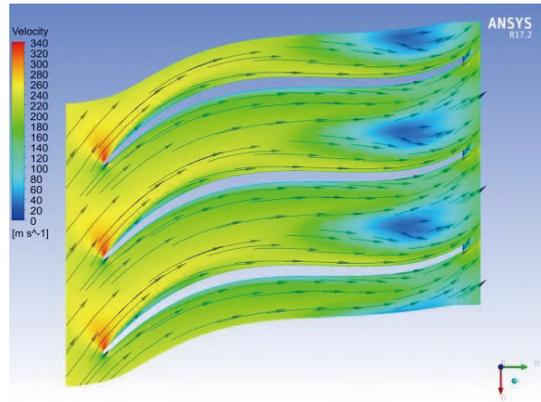


改善前 - 速度向量圖 (Shroud)

設計流量運轉狀態

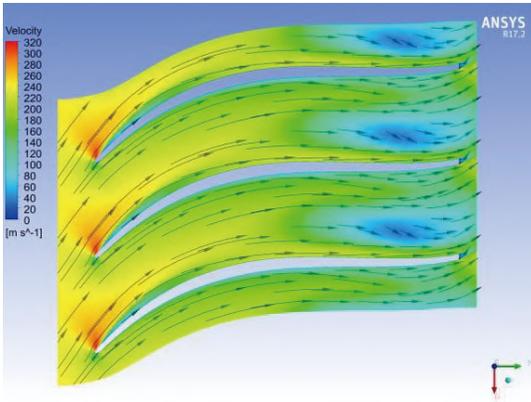


最大流量狀態

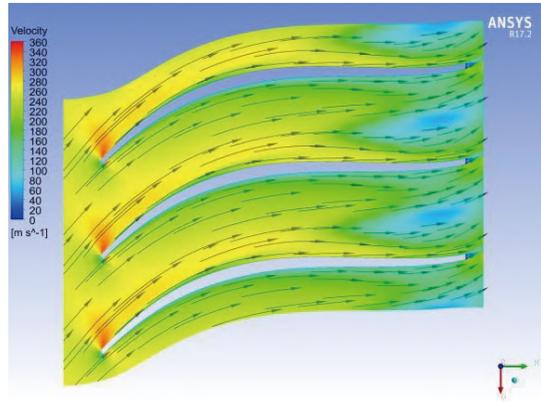


改善後 - 速度向量圖 (Shroud)

設計流量運轉狀態



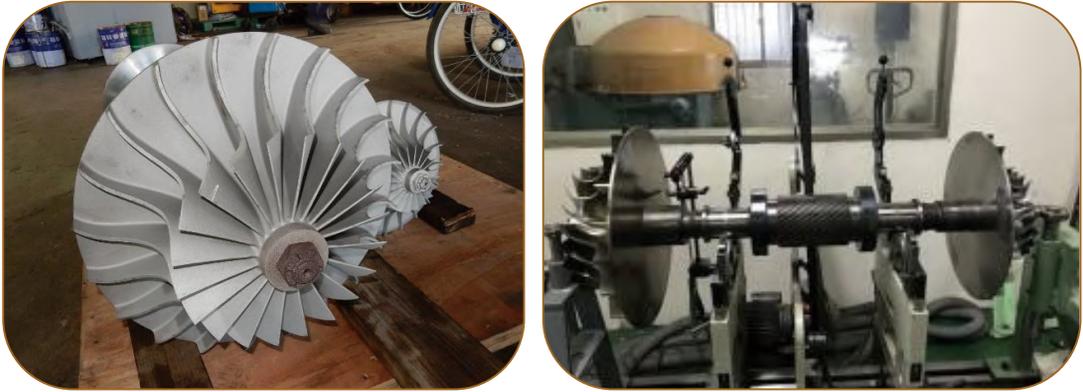
最大流量狀態



註：圖中顏色差異為速度值，紅色區域可達 300 m/s 以上。

資料來源：案例廠之設備廠商提供

圖4.5.2.2-1 案例廠改善前後速度向量圖



資料來源：案例廠之設備廠商提供

圖4.5.2.2-2 案例廠葉輪改善後示意圖

3. 成效分析與節能減碳效益

(1) 應用壓縮機葉輪改善技術之節能量

改善後之節能量如表 4.5.2.2-1 所示，以案例廠既設製程監控系統顯示，在可運轉範圍內（不影響馬達額定電流），最大質量流率可由 26 T/h 提升至 29 T/h，約可提升 12% 的空氣流量。以單位耗能估算每年可節省用電約 2,255,904 kWh。

表4.5.2.2-1 案例廠改善後系統之節能量

項 目	改善前	改善後	備 註
質量流率(T/h)	流量運轉狀態	實測最大流量狀態	-
	26	29	提升約12%

註：最大質量流率依每天空氣溫溼度不同而有所差異，改善後數值最高可測得 31 T/h 以上，本案例以平均 29 T/h 進行節能計算。



(2) 投資效益

案例廠壓縮機葉輪改善技術之執行

投資金額	約1,000萬元。 (包含葉輪優化設計、製作、安裝工程等項目)
節能量	約2,255,904 kWh/年。 (以年運轉時數8,400小時/年、機組效率提升12%計算)
節能率	約12%。
節能績效	約654萬元/年。 (以電力單價2.9元/kWh計算)
減碳量	1,148公噸CO ₂ e/年。 (以經濟部能源局公告110年電力排放係數0.509 kg-CO ₂ e/ kWh 計算)
回收年限	約1.5年。

註：以上計算是以提高機組效率角度進行節能分析，本案例是將節能的效率來產生更多的風量，進而提升約 12% 的產能。

4.6 動能回收發電技術

4.6.1 應用場域

於任何系統管網中，壓力控管絕對是必要之舉，壓力過高或過低都會對後續製程造成影響，甚至造成工安意外。一般來說，管道壓力控管可透過多種手段達成，例如在設計時以合理或進行高低壓分流，使管道壓力避免過高，這是最理想的；或是透過減壓（控制）閥、或閥門開度進行壓力調節以符合需求壓力，此種方式相當於是透過閥門來消耗過高的壓力，這不僅是一種浪費，且在壓差較大的情況下，閥門的損壞會加劇且產生巨大噪音。因此，如何將管道中過高壓力回收發電來取代於閥門開度操作方式進行減壓，不僅可以減少閥門損壞，更可以有效為企業節能、創能。

（管道）動能回收發電技術是將管網中富餘的壓力透過轉換裝置把機械能轉為電能的一種節能、創能手段，技術可應用於多種介質，本節以最常見之介質水為應用說明。經評估管網（管道）具有改造管道餘壓回收發電潛力後，一般會在原管道進行增設旁通管至水輪發電機組進行發電後再回接原管道中。評估重點：1. 管道具備可利用的餘壓則可規劃進行改造，若不具備足夠可利用餘壓或是流量過小，則不建議採行此方式；2. 工程可行性及投資報酬率。

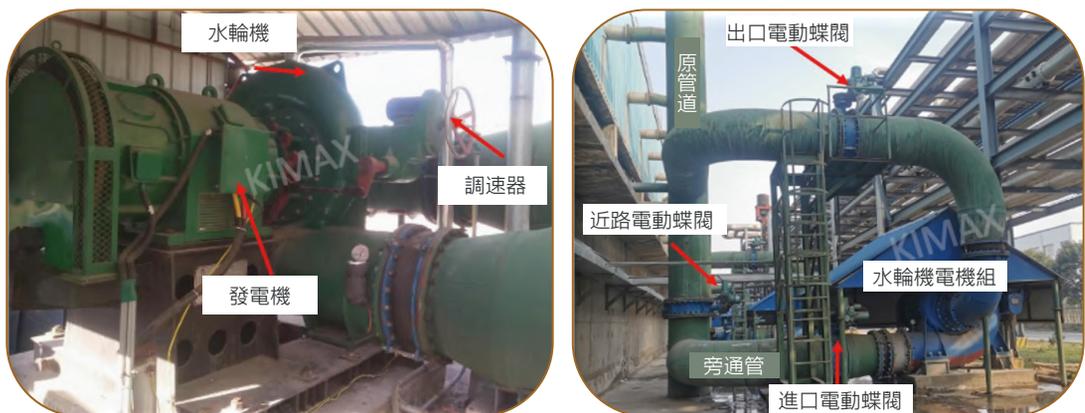
動能回收發電技術最常應用於：冷卻循環水系統管末餘壓、冷卻循環水旁通系統、大型污水系統收集系統之管末餘壓、海水淡化系統管末餘壓、自來水管網餘壓、原水處理池管網餘壓及各類大型儲槽受料管線管末餘壓等，或是具備大型冷卻水塔、輸水專管，也就是用水量大的產業都具有應用潛力^{〔12〕}，例如：石化業、鋼鐵業、化纖業、半導體業等。另外，針對自來水的輸水管網，一般在水庫、淨水廠與配水點通常具備一定的地勢位差，亦為壓力差，為避免輸水管網水壓過高而爆管，減壓閥是必備的，此時應用水輪發電機組來擔任減壓工作，即可確保管道壓力在承受範圍又可額外創能。若其系統符合能源局「再生能源發展條例」^{〔13〕}所定義之小水力發電（指利用圳路或既有水利設施，設置未達二萬瓩之水力發電系統），可依「再生能源發電設備設置管理辦法」^{〔14〕}申請再生能源發電設備認定，經審查通過後認定為再生能源發電設備，則可根據「再生能源憑證實施辦法」^{〔15〕}規定申請再生能源憑證。



1. 技術應用原理

傳統管道餘壓多直接釋放或透過閘門進行調節減壓，動能回收發電技術係將此餘壓回收進行發電，示意圖如圖 4.6.1-1。主要技術應用說明如下：

- (1) 在量測及評估後確認管道可用餘壓以及流量具備回收發電之效益後，於該管道上進行配置旁通管接入水輪機，水輪機利用通過出口導葉閘進行餘壓調節並擷取動能後，水介質再以旁通管道再次接入主管，確保滿足後端流量與壓力需求。改造保留原管路配置，在緊急狀況時可透過旁通管閘切換確保系統仍可正常運行。
- (2) 水輪發電機組由水輪機、發電機、四合一控制櫃、主機 (Host Computer) 所組成，再加上相關位置電動閘門來實現整體併網 (電網) 控制。
- (3) 系統透過聯合控制方式，串接入水閘門、旁通閘門以及水輪機導葉閘門來執行系統安全保護，在發生異常狀況時透過聯動方式切換以避免系統產生水垂效應。
- (4) 完善的設備控制與自檢系統，實現開停車保護、發電機保護、供水保護、發電機負功率保護等。



資料來源：源達機電科技有限公司

圖4.6.1-1 動能回收發電技術示意圖

以下以工廠常見冷卻水塔回水蘊藏餘壓動能進行說明，冷卻水塔作為一般工廠常見可能具備餘壓利用處，最好的做法應對系統進行高低壓分流（通常在工廠設計初期規劃），使得壓力在循環水末端剛好消耗完畢；但考量工程介面複雜度以及對工廠運作影響，回收餘壓的節能方式也是具備效益的方法。相關說明如下：

(1) 理論水力 $P = 9.81 \times Q \times H$

P 為理論水力 (kW)， Q 為流量 (m^3/s)， H 為水頭 (m)， g 為重力加速度 (9.81 m/s^2)。

(2) 預估年發電量 $E = P \times \eta \times t$

E 為預估年發電量 (kWh)， P 為水輪機理論水力 (kW)， η 為水輪發電機組效率 (%)， t 為年運轉小時。

(3) 估算方式：以一案場進行範例說明，系統共有 5 座冷卻水塔串聯，其餘壓發電規劃如圖 4.6.1-2 所示，於 3 號冷卻水塔上塔支管引出旁路連接水輪發電機組，利用從循環水餘壓能發電（對系統運行參數無影響），回收能量後循環水返回 3 號和 4 號冷卻水塔進行冷卻。循環水泵站常年以兩大一小方式組合運行，總循環水量約 $10,000 \sim 11,000 \text{ m}^3/\text{h}$ ，出水母管壓力為 4.8 kg/cm^2 。系統 5 座冷卻水塔中已有兩座做過冷卻塔水輪機驅動風扇改造，因此系統可利用水量剩餘約 $4,100 \sim 5,100 \text{ m}^3/\text{h}$ ，上塔支管壓力約 23.5 kg/cm^2 ，冷卻塔上塔支管距地面淨高度約 6.8 m ，上塔支管通徑為 30 英吋 (DN750mm)。以年發電時間 8,760 小時進行計算，本範例冷卻水塔蘊藏餘壓動能概估如下：

A. 可回收餘壓估算：

估算系統可回收餘壓 $H = 23.5 \text{ m} - 6.8 \text{ m} = 16.7 \text{ m}$ ，考慮到管損與噴嘴壓力以 14 m 作為設計水頭。

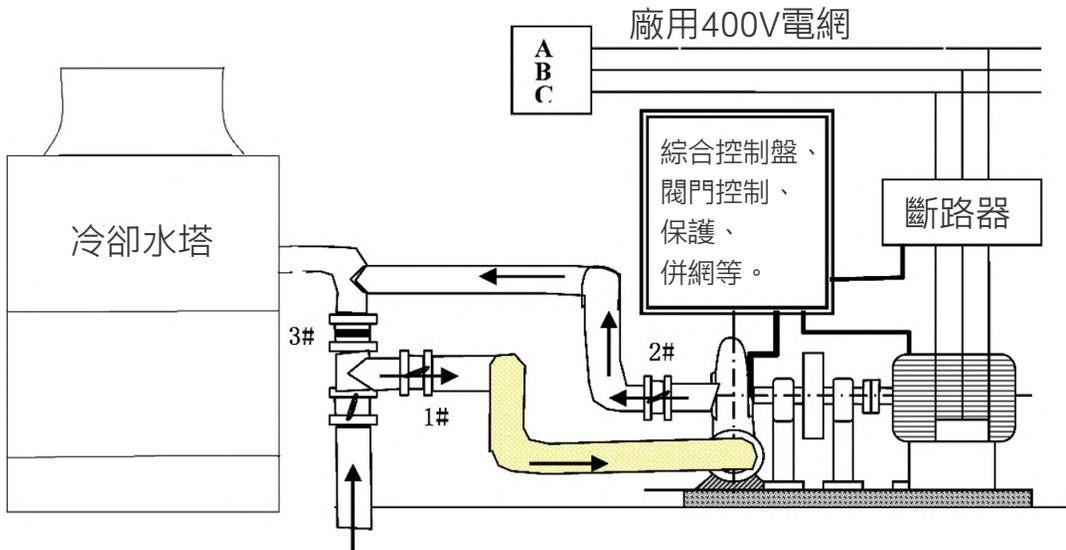
B. 蘊藏餘壓動能估算：

$$P = 9.81 \text{ m/s}^2 \times [(4,100 + 5,100) \div 2] \text{ m}^3/\text{h} \div 3,600 \text{ s/h} \times 14 \text{ m} = 175.49 \text{ kW}$$

C. 年發電量估算：

$$E = 175.49 \text{ kW} \times 80\% \text{註}^1 \times 8,760 \text{ 小時} / \text{年} = 1,229,834 \text{ kWh} / \text{年}$$

註 1：水輪發電機組系統效率依據水輪機大小、發電機形式、現場水利條件而不同，本範例以 80% 進行估算。



資料來源：源達機電科技有限公司

圖4.6.1-2 冷卻水塔餘壓發電改造管路示意圖

2. 技術特點與優勢

製程動力系統運用動能回收發電技術具備以下特點：

- (1) 利用水輪機回收管道餘壓動能發電；
- (2) 取代原系統作為減壓消能之設備，透過簡單管路改造除了額外創能，更減少該位置的維護保養成本；
- (3) 若案場符合「再生能源發電設備設置管理辦法」並經審查通過認定為再生能源發電設備，則可根據「再生能源憑證實施辦法」規定申請再生能源憑證，將對於企業減碳以及 ESG 報告有相當助益。

3. 應考慮因素與限制

本技術規劃設計應考慮因素包括：

- (1) 「可利用的餘壓^{註2}」，以及「水介質流量」大小，兩因素直接關係到投資報酬及應用可行性，一般而言蘊藏餘壓動能最小建議達 50 kW 以上且可用揚程大於 0.8 kg/cm² 則較具有可行性；
- (2) 現場管道改造可行性與成本評估；
- (3) 若案場符合「再生能源發電設備設置管理辦法」並經審查通過認定為再生能源發電設備，發出的電力可評估併入廠內電網自用或躉售電能予公用售電業者。

註 2：可利用餘壓應扣除後端壓力需求、並考慮管損、閘門開關…等等會影響可用的壓力因素。

4.6.2 實務案例介紹

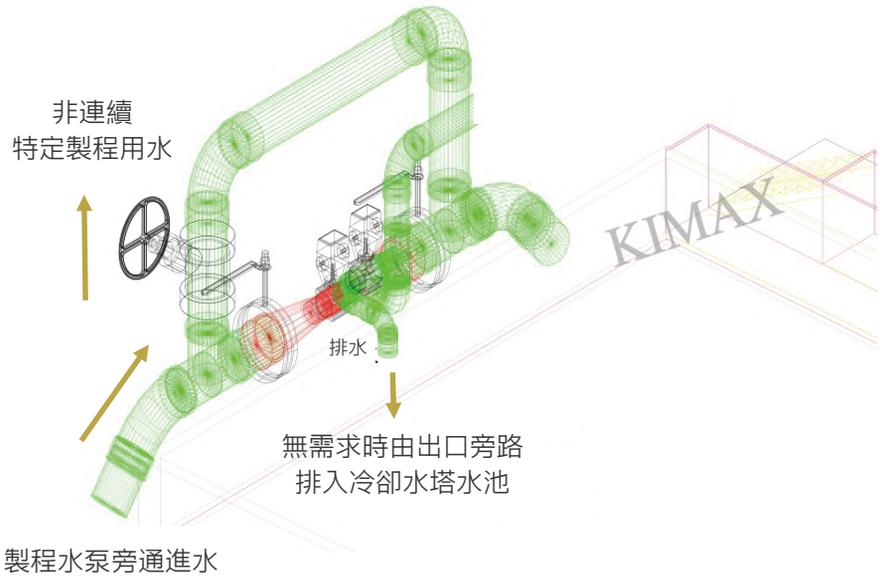
1. 案例廠應用簡介

案例廠為一石化廠，生產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。本次案例原設有一製程泵專供給後端特定製程用水需求，但此用水非連續性，係根據製程排程在無需使用時會直接通過出口旁路排入冷卻水塔水池。由於此處排水口距離水泵位置不遠，仍有較高的揚程，意味本處具備較高管道餘壓具有回收發電條件，以下就以本案例進行動能回收發電技術案例介紹。

2. 改善方案執行過程

(1) 單元改善前情境說明

原設有 1 台揚程 40 m、流量 1,500 m³/h 之水泵，提供非連續之特定製程給水需求，於製程無需給水或使用較小水量時直接排放入冷卻水塔水池中；改善前流程如圖 4.6.2-1 所示意，改善前之照片如圖 4.6.2-2 所示。



資料來源：案例廠之設備廠商提供

圖4.6.2-1 改善前流程示意圖

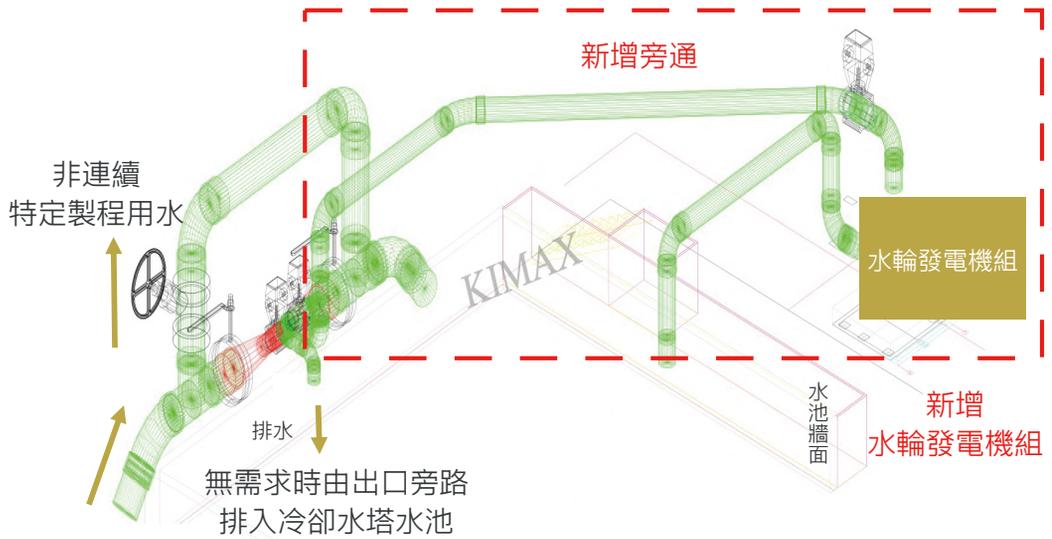


資料來源：案例廠之設備廠商提供

圖4.6.2-2 案例廠設備改善前示意圖

(2) 單元改善後情境說明

經量測及評估，當該製程未完全使用該水泵供給之水量時，於排放口處仍具備 37~40 m 的水頭壓力、800~1,500 m³/h 的過流量，蘊藏的最大水能高達 163.5 kW。因此，評估規劃於原排水管路上配置旁通管連結至水輪發電機組（因安裝位置與空間考量，機組設置處距離原排水處較遠），並於擷取其動能後再行排入水池中，利用水輪發電機組進行餘壓發電為該廠額外創能，發出之電力供給廠內設備使用。改善後流程如圖 4.6.2-3 所示意，改善後之照片如圖 4.6.2-4 所示。



製程水泵旁通進水

資料來源：案例廠之設備廠商提供

圖4.6.2-3 改善後流程示意圖



資料來源：案例廠之設備廠商提供

圖4.6.2-4 案例廠設備改善後圖

3. 成效分析與節能減碳效益

(1) 應用動能回收發電技術之發電量

本案採用臥軸混流式機組，設計流量為 $1,100 \text{ m}^3/\text{h}$ ，設計水頭為 38 m，設計方案發電功率約 90 kW，考慮機組水頭、水量波動，發電功率約 90~131 kW，選用 110 kW 異步發電機組，管道餘壓水輪發電機組設計如表 4.6.2-1 所示。年操作以 8,000 小時計，年發電量達到 72~104.8 萬 kWh，管道餘壓水輪發電機組評估如表 4.6.2-2 所示。

表4.6.2-1 管道餘壓水輪發電機組設計

水能參數	可利用水頭	37 ~ 40 m
	流量	800~1,500 m ³ /h
機組參數	水輪機型號	XFHL912-WJ-33.5
	轉輪直徑	D ₁ =335 mm
	流量	800~1,500 m ³ /h
	發電機型號	SWF125-6
	同步轉速	1,200 r/min
	電壓等級	380V、3相
	頻率	60Hz

表4.6.2-2 水輪發電機組節能效益估算

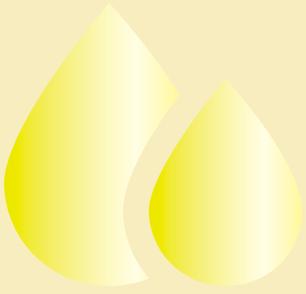
系統狀態	系統流量	系統壓力
優化改造前	Q	P
優化改造後	Q(無影響)	P(無影響)
優化改造前浪費的水能	≐ 163.5 kW	
優化改造後回收的水能	90~131 kW	
機組年發電量	72~104.8萬kWh	
<p>蘊藏餘壓動能計算公式：</p> <p>(1)理論水力$P = 9.81 \times Q \times H$ P為理論水力(kW)，Q為流量(m³/s)，H為水頭(m)，g為重力加速度(9.81 m/s²)。</p> <p>(2)預估年發電量$E = P \times \eta \times t$ E為預估年發電量(kWh)，P為水輪機理論水力(kW)，η為水輪發電機組效率(%)，t為年運轉小時。</p>		



(2) 投資效益

案例廠動能回收發電技術之執行

投資金額	約910萬元。 (包含主體設備、其他土木工程、管材閥件、電力供應系統、安裝工程等)
發電量	約72~104.8萬 kWh/年。 (以年運轉時數8,000小時/年計算)
節能績效	約209~304萬元/年。 (以電力單價2.9元/kWh計算)
減碳量	36~53公噸CO ₂ e/年。 (以經濟部能源局公告110年電力排放係數0.509 kg-CO ₂ e/ kWh計算)
回收年限	約3~4.4年。



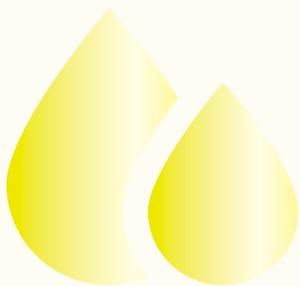
低碳生產技術彙編

製程動力系統

節能技術應用篇

▶ 五、結語



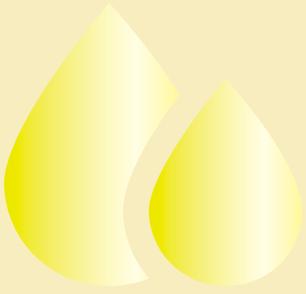


五、結語

本彙編收錄之技術及案例，可應用於製程動力系統或其設備，多項技術不僅可單一方面運用，其節能手法亦可應用在其他系統或設備（如永磁馬達技術、壓縮機葉輪改善技術、動能回收發電技術）；惟參採時仍須考量個案適用性，應依廠內整體系統現有設備運轉情形及製程需求等條件，進行經濟層面、技術層面、工程層面及現場操作條件之改善規劃與效益評估，並考慮大數據收集及 AI 應用機器學習等方式，讓 AI 最佳化運轉更順暢，同時達到節能目的。

各耗能系統或設備可應用之節能方式相當廣泛，本彙編收錄較完整之節能應用案例分析及說明，期對於相關產業或技術領域之從業人員有參考與應用之價值，並有助於國內推動節能減碳之工作。

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（如碳邊境稅、碳費等）納入回收年限等效益評估中才能反映其價值，在碳有價化的時代，企業進行低碳甚至零碳之轉型才能實現永續營運目標。



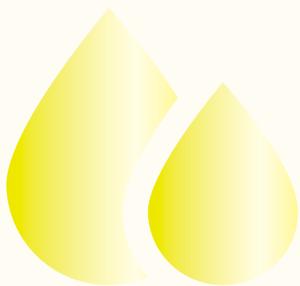
低碳生產技術彙編

製程動力系統

節能技術應用篇

▶ 參考文獻





參考文獻

1. 行政院環保署，預告修正「溫室氣體減量及管理法」為「氣候變遷因應法」，2021 年 10 月。
<https://enews.epa.gov.tw/page/3b3c62c78849f32f/de5ace9a-814a-47cb-8273-342ec0664511>
2. 行政院，政院通過「溫室氣體減量及管理法」修正草案，名稱並修正為「氣候變遷因應法」，2022 年 4 月。
<https://www.ey.gov.tw/Page/9277F759E41CCD91/93478f1b-503e-4129-9e73-70478a1eef68>
3. 行政院國家發展委員會，臺灣 2050 淨零排放路徑，2022 年 3 月。
https://www.ndc.gov.tw/Content_List.aspx?n=FD76ECBAE77D9811
4. 行政院環保署，2022 年中華民國國家溫室氣體排放清冊報告，2022 年 8 月。
5. 經濟部能源局，中華民國 110 年能源統計手冊，2022 年 6 月。
6. 經濟部能源局，2021 生產性質能源查核年報，2021 年 12 月。
7. 經濟部能源局，能源用戶應申報使用能源之種類、數量、項目、效率、申報期間及方式，2021 年 11 月。
8. IEA, Net Zero by 2050- A Roadmap for the Global Energy Sector, July 2021.
9. 經濟部工業局，低碳生產技術彙編 - 製程冷卻系統節能技術應用篇，2021 年 11 月。
10. 沈宗福等，機械工業雜誌，Vol. 439, pp.70-74，電子廠廠務真空泵變頻節能實務，2019 年 10 月。
11. 簡坤煌，空壓系統節能技術簡報，2014 年 7 月。
12. 經濟部水利署，既古老又現代的小水力發電，2021 年 6 月。
13. 經濟部，再生能源發展條例，2019 年 5 月。
14. 經濟部，再生能源發電設備設置管理辦法，2022 年 5 月。
15. 經濟部，再生能源憑證實施辦法，2020 年 4 月。



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.moeaidb.gov.tw>