



低碳生產技術彙編

製程冷卻系統

節能技術應用篇

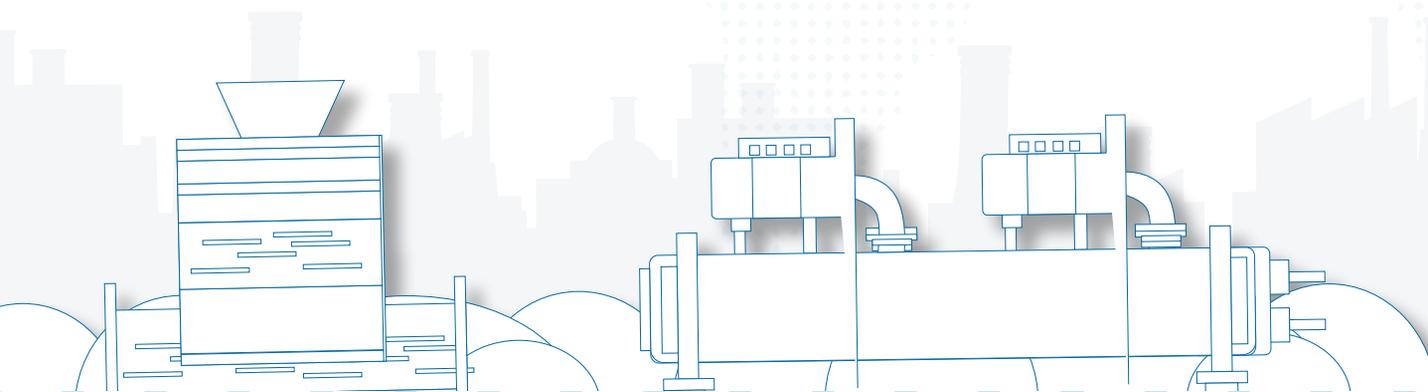


低碳生產技術彙編

製程冷卻系統

節能技術應用篇

經濟部工業局 編印
中華民國一一〇年十一月



一、前言	3
二、產業概況	7
2.1製造部門冷卻系統耗能概況	7
2.2產業低碳轉型	10
三、製程冷卻系統節能技術設備彙整	17
四、製程冷卻系統節能技術設備與實務案例	23
4.1製程冷卻系統運用AI節能最佳化控制技術	23
4.1.1技術設備概述	23
4.1.2技術設備實務案例	26
4.2磁懸浮冰水主機技術	30
4.2.1技術設備概述	30
4.2.2技術設備實務案例	34
4.3永磁傳動器技術	38
4.3.1技術設備概述	38
4.3.2技術設備實務案例	43
4.4陶瓷複合塗料防蝕技術	50
4.4.1技術設備概述	50
4.4.2技術設備實務案例	52
4.5冷卻水塔散熱風扇效率提升技術	55
4.5.1技術設備概述	55
4.5.2技術設備實務案例	60
五、結語	67
參考文獻	71

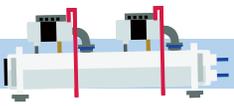


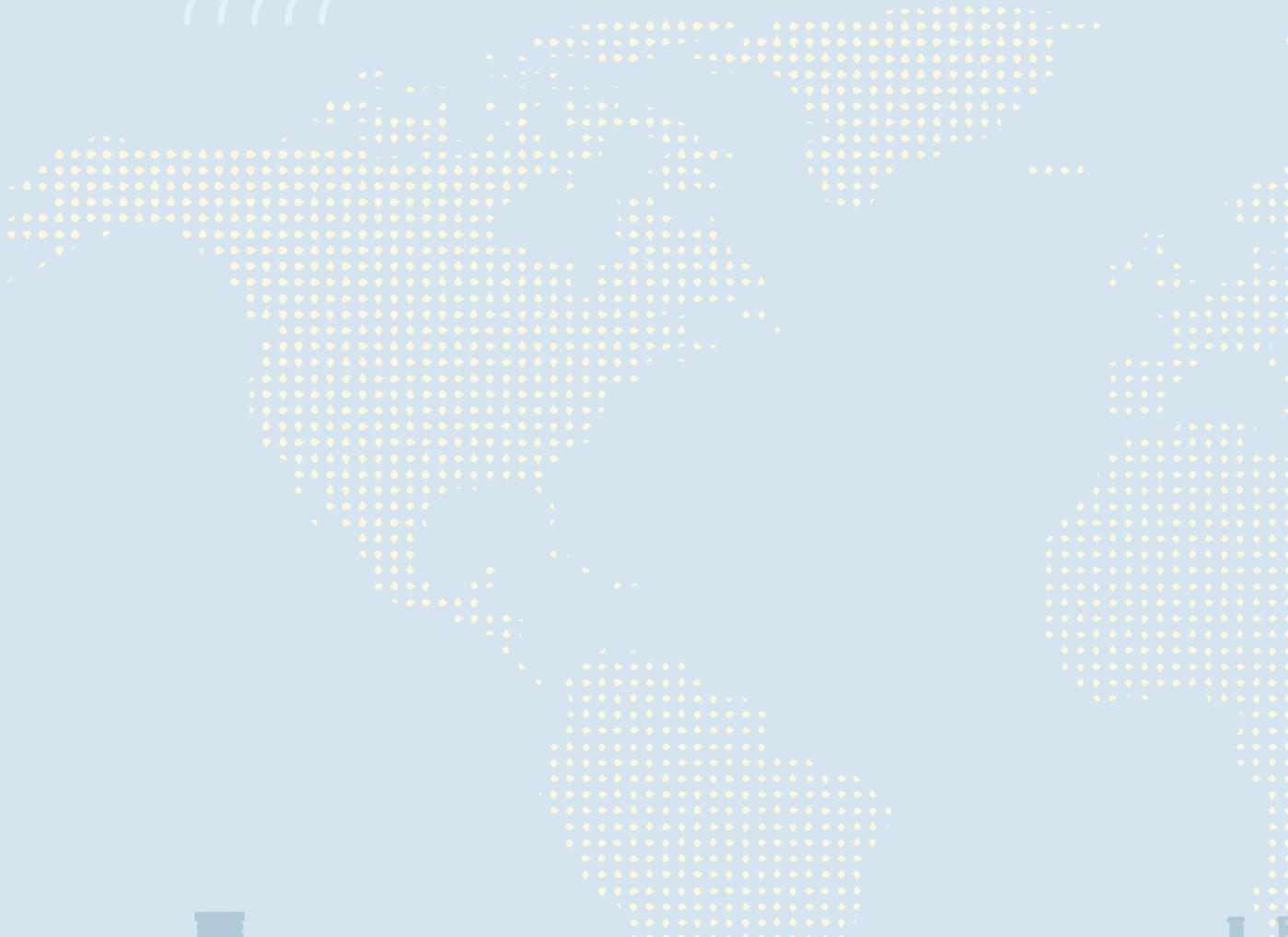
圖 目 錄

圖2.2-1 2020~2050 NZE情境中排放減量措施 -----	10
圖4.1.1-1 製程冷卻系統運用AI節能最佳化控制技術示意圖 -----	24
圖4.1.2-1 案例廠冰水系統流程 -----	27
圖4.1.2-2 案例廠製程冰水系統改善前後數值迴歸 -----	28
圖4.2.1-1 磁懸浮冰水主機的壓縮機結構圖 -----	31
圖4.2.1-2 磁懸浮軸承系統的特點 -----	31
圖4.2.1-3 傳統冰機與磁懸浮冰水主機管路配置差異 -----	32
圖4.2.2-1 案例廠磁懸浮冰水主機改善情形照片 -----	36
圖4.3.1-1 永磁傳動器結構示意圖 -----	39
圖4.3.1-2 永磁傳動器技術運轉示意圖 -----	40
圖4.3.1-3 永磁聯軸器(PMC)設備示意圖 -----	41
圖4.3.1-4 永磁調速器(PMD)設備示意圖 -----	41
圖4.3.2.1-1 案例廠循環泵改善前設備示意圖 -----	44
圖4.3.2.1-2 案例廠循環泵以永磁聯軸器改善後示意圖 -----	45
圖4.3.2.2-1 案例廠冷卻水塔風機改善前設備示意圖 -----	47
圖4.3.2.2-2 案例廠冷卻水塔風機以永磁調速器改善後示意圖 -----	48
圖4.4.1-1 受沖蝕之冷卻水泵浦底座及葉輪示意圖 -----	50
圖4.4.1-2 以陶瓷複合塗料塗覆之冷卻水泵浦底座及葉輪示意圖 -----	51
圖4.4.2-1 案例廠改善前冷卻水泵浦示意圖 -----	52
圖4.4.2-2 案例廠改善後冷卻水泵浦示意圖 -----	53

圖4.5.1-1 散熱風扇組成示意圖 -----	55
圖4.5.1-2 碳纖維及金屬材料之鹽霧測試防蝕能力示意圖 -----	56
圖4.5.1-3 纖維編紗束、編織布之各種編法示意圖 -----	58
圖4.5.1-4 風扇運轉氣流示意圖 -----	59
圖4.5.2-1 案例廠改善前鋁合金風扇組示意圖 -----	61
圖4.5.2-2 案例廠冷卻水塔散熱風扇轉動方式示意圖 -----	61
圖4.5.2-3 案例廠冷卻水塔散熱風扇改善前後示意圖 -----	62

表 目 錄

表2.1-1 能源大用戶電力流向申報資料統計(2019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 ----	9
表2.2-1 製程冷卻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4.1.2-1 製程冰水系統運用AI節能最佳化控制技術之節能量 -----	29
表4.2.2-1 案例廠改善前後設備狀況說明 -----	35
表4.2.2-2 案例廠改善後系統之節能量 -----	37
表4.3.2.1-1 案例廠熱媒油循環泵設備參數參考-----	44
表4.3.2.1-2 案例廠改善後試車紀錄及節能量 -----	46
表4.3.2.2-1 案例廠冷卻水塔風機設備參數參考 -----	47
表4.3.2.2-2 案例廠改善後試車紀錄及節能量 -----	49
表4.4.2-1 案例廠陶瓷複合塗料防蝕技術之節能量 -----	53
表4.5.1-1 各種纖維性質比較 -----	57
表4.5.1-2 碳纖維與一般常用材料性質比較 -----	57
表4.5.2-1 案例廠改善前後各項實測數據與節能量比較表 -----	62



低碳生產技術彙編

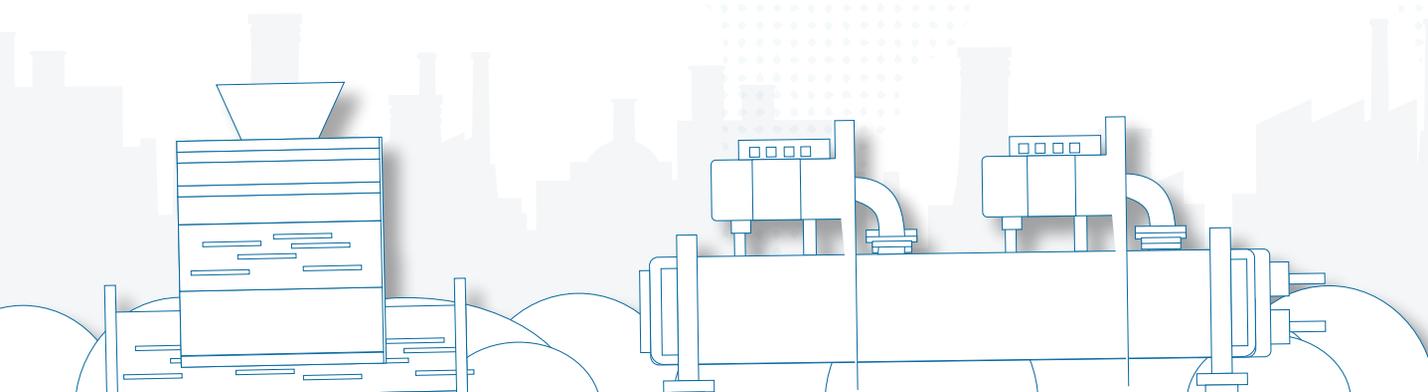
製程冷卻系統

節能技術應用篇



一、前言



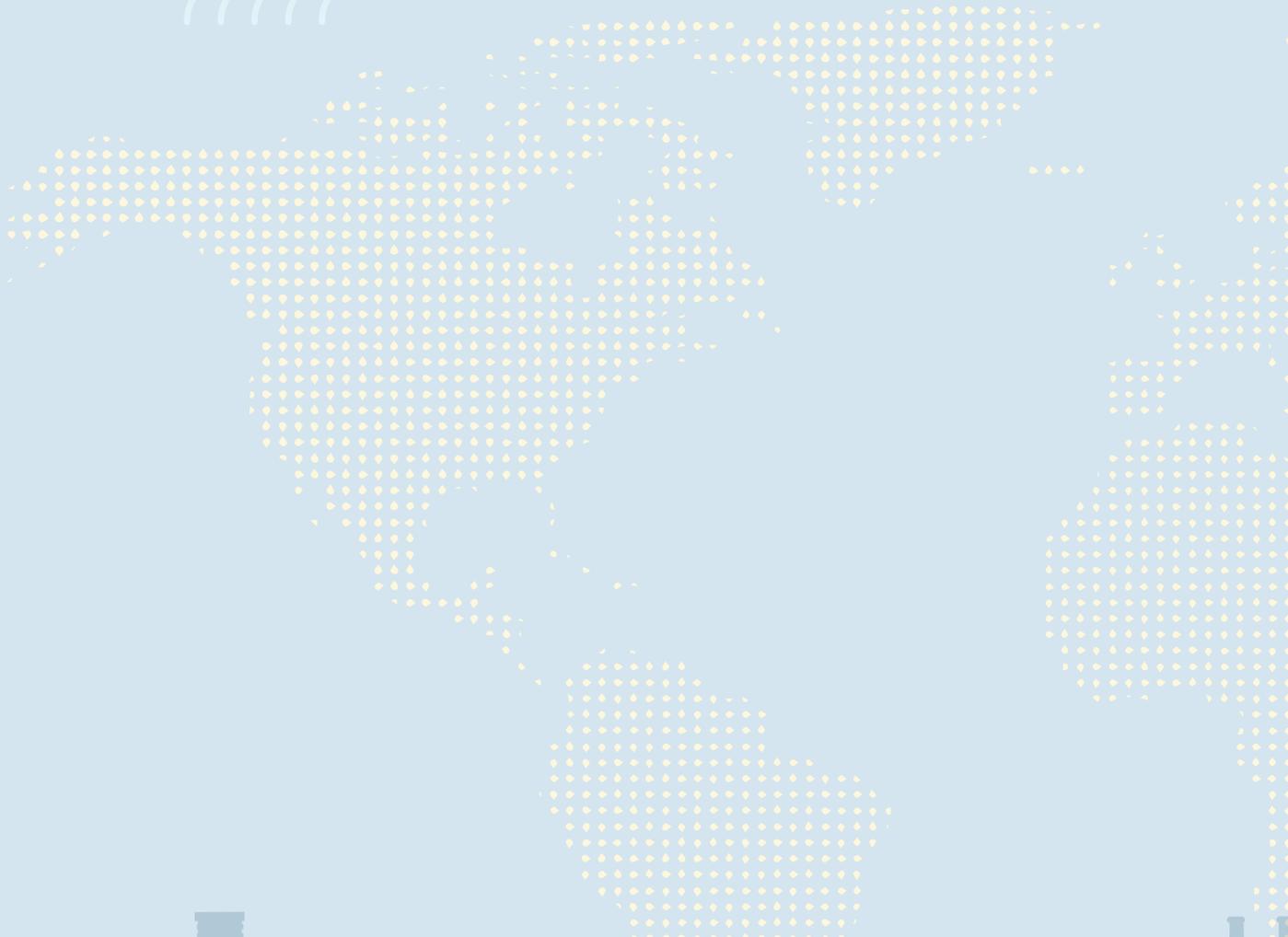


一、前言

《溫室氣體減量及管理法》已於民國 104 年 7 月 1 日總統令公布施行，明定「國家溫室氣體長期減量目標為民國 139 年溫室氣體排放量降為民國 94 年溫室氣體排放量百分之五十以下。」及以 5 年為一期的階段管制目標。同年，行政院核定我國「國家自定預期貢獻」(Intended Nationally Determined Contribution, INDC) 書⁽¹⁾，揭示我國 INDC 設定民國 119 年溫室氣體排放量為依現況發展趨勢推估情境 (Business as Usual, BAU) 減量 50%，該目標相當於民國 94 年排放量再減 20%，亦為前述溫管法要求的階段性目標「在民國 139 年降至民國 94 年排放量 50% 以下」之重要參考。行政院環保署並於 110 年 10 月 21 日預告修正《溫室氣體減量及管理法》為《氣候變遷因應法》草案，將 139 年溫室氣體淨零排放目標入法，以宣示我國減量決心。依據行政院環境保護署「2020 年中華民國國家溫室氣體排放清冊報告」⁽²⁾顯示，在民國 79 至 107 年間，工業製程及產品使用部門溫室氣體排放量已增加 50.37%，年平均成長率 1.47%，顯示製造部門之溫室氣體排放量有逐年成長趨勢，預期未來所面臨減碳要求及壓力亦將與日俱增。

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。

本彙編針對製程冷卻系統彙集收錄工業製程冰水機、空調系統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。製程冷卻系統之節能技術尚有其他可採用之部分，例如主機群控、變流量、能源(冷)回收、雙效熱泵應用、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

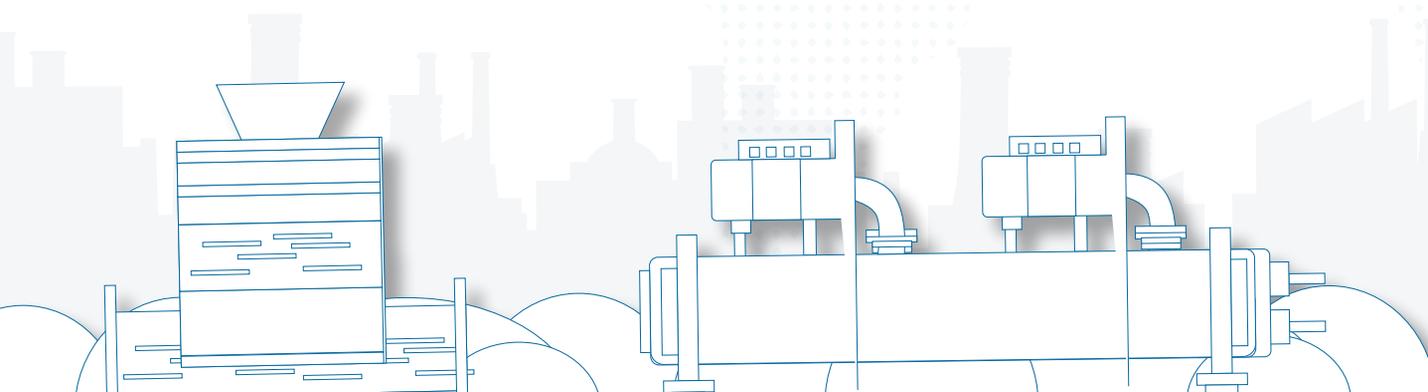
製程冷卻系統

節能技術應用篇



二、產業概況





二、產業概況

2.1 製造部門冷卻系統耗能概況

我國能源仰賴進口，依據能源局「中華民國 109 年能源統計手冊」⁽³⁾指出，進口能源依存度高達 97.8%，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 31.47%，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「2020 生產性質能源查核年報」⁽⁴⁾統計資料，2019 年生產性質行業能源大用戶共 3,397 家，其中，工業部門電力消費共 1,243 億度，其電力流向如表 2.1-1，統計結果空調及冷凍冷藏用電占總用電量之 15.7%，且依歷年總能源消費量及電力流向統計其占比逐年攀升（如表 2.1-2 所示），用電量由 2010 年 157.47 億度電增加至 2019 年 208.08 億度電，顯示冷卻系統耗能需求大且逐年增多，為耗電較高之設備，故為重要節能目標。



表2.1-1 能源大用戶電力流向申報資料統計(2019資料年)

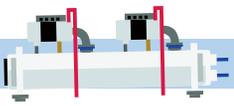
行業名稱		製程動力	空調	空壓機	冷凍冷藏	汙水處理	電熱	照明	集塵設備	其他
工業部門	電機電子業	46.5%	25.8%	11.7%	1.1%	3.0%	1.5%	2.6%	1.3%	6.3%
	化工業	63.1%	3.8%	12.6%	3.6%	1.4%	2.6%	1.3%	0.7%	11.0%
	金屬基本工業	58.9%	2.0%	4.6%	0.0%	2.6%	24.4%	1.1%	1.8%	4.4%
	非金屬礦物製品製造業	58.1%	12.6%	9.7%	0.7%	1.5%	9.4%	2.6%	3.1%	2.3%
	紡織業	60.1%	8.1%	18.0%	3.9%	2.6%	1.5%	2.1%	0.9%	2.8%
	造紙業	84.6%	1.8%	3.3%	0.2%	3.2%	2.9%	1.0%	1.2%	1.7%
	其他行業	52.9%	9.4%	9.8%	5.9%	2.2%	12.4%	3.6%	1.5%	2.4%
工業部門平均		55.0%	13.6%	10.7%	2.1%	2.4%	6.3%	2.1%	1.3%	6.5%
能源部門		79.1%	1.4%	6.0%	0.0%	5.6%	0.1%	4.7%	0.0%	3.2%
全部平均		55.7%	13.3%	10.6%	2.0%	2.5%	6.1%	2.1%	1.3%	6.4%

資料來源：經濟部能源局，2020 生產性質能源查核年報，2020 年。⁽⁴⁾

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	其他
2010	3,069	1,184	58.4%	11.2%	10.9%	2.1%	2.2%	4.6%	2.4%	1.2%	7.0%
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	54.5%	12.2%	10.6%	3.7%	2.3%	5.0%	2.4%	1.3%	6.4%
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%	2.2%	1.3%	6.4%

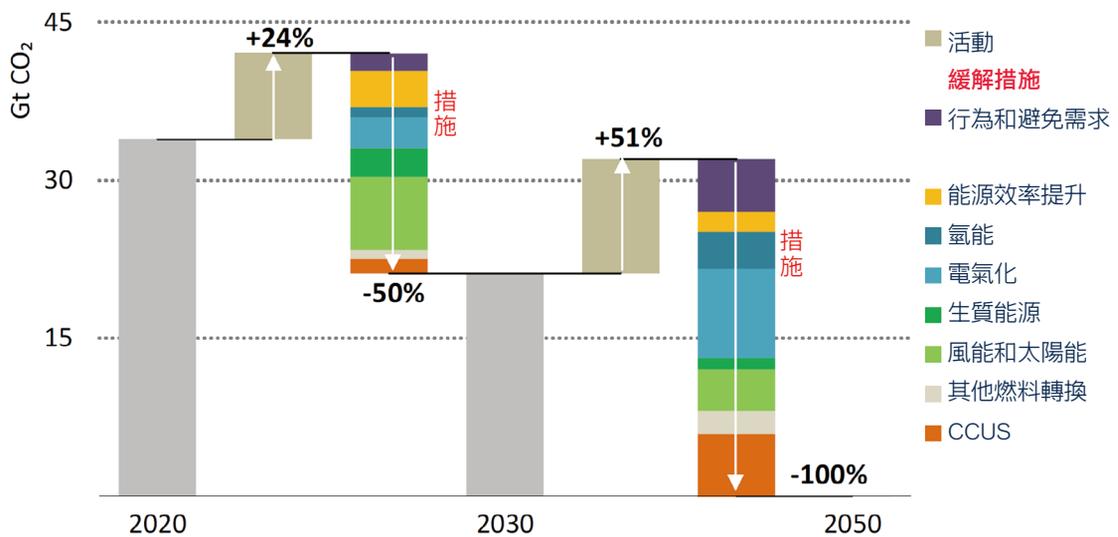
資料來源：經濟部能源局，2020 生產性質能源查核年報，2020 年。⁽⁴⁾



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 110 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) ⁽⁵⁾，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. ⁽⁵⁾

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，其中冷卻系統效能提升即為能源效率提升重要的一環。

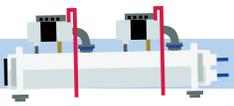
2050 年正好是工業設備投資的另一個循環開始，現在到 2030 年間是達成 2050 年淨零排放的關鍵與機會，企業進行設備汰舊換新的投資決策時，順勢導入低碳生產設備或創新技術，才可大幅降低工業 CO₂ 排放。表 2.2-1 彙整已商業化之冷卻系統節能技術設備，本彙編針對較完整之冷卻系統節能應用案例進行收錄，提供產業規劃及執行低碳轉型之參考。

表2.2-1 製程冷卻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
製程冰水系統運用AI 節能最佳化控制技術	電力	2~17%
磁懸浮冰水主機技術	電力	30~60%
永磁傳動器	電力	10~35%
高效率節能永磁馬達技術	電力	約10%
陶瓷複合塗料防蝕技術	電力	8~15%
冷卻水塔散熱風扇效率提升技術	電力	10~30%

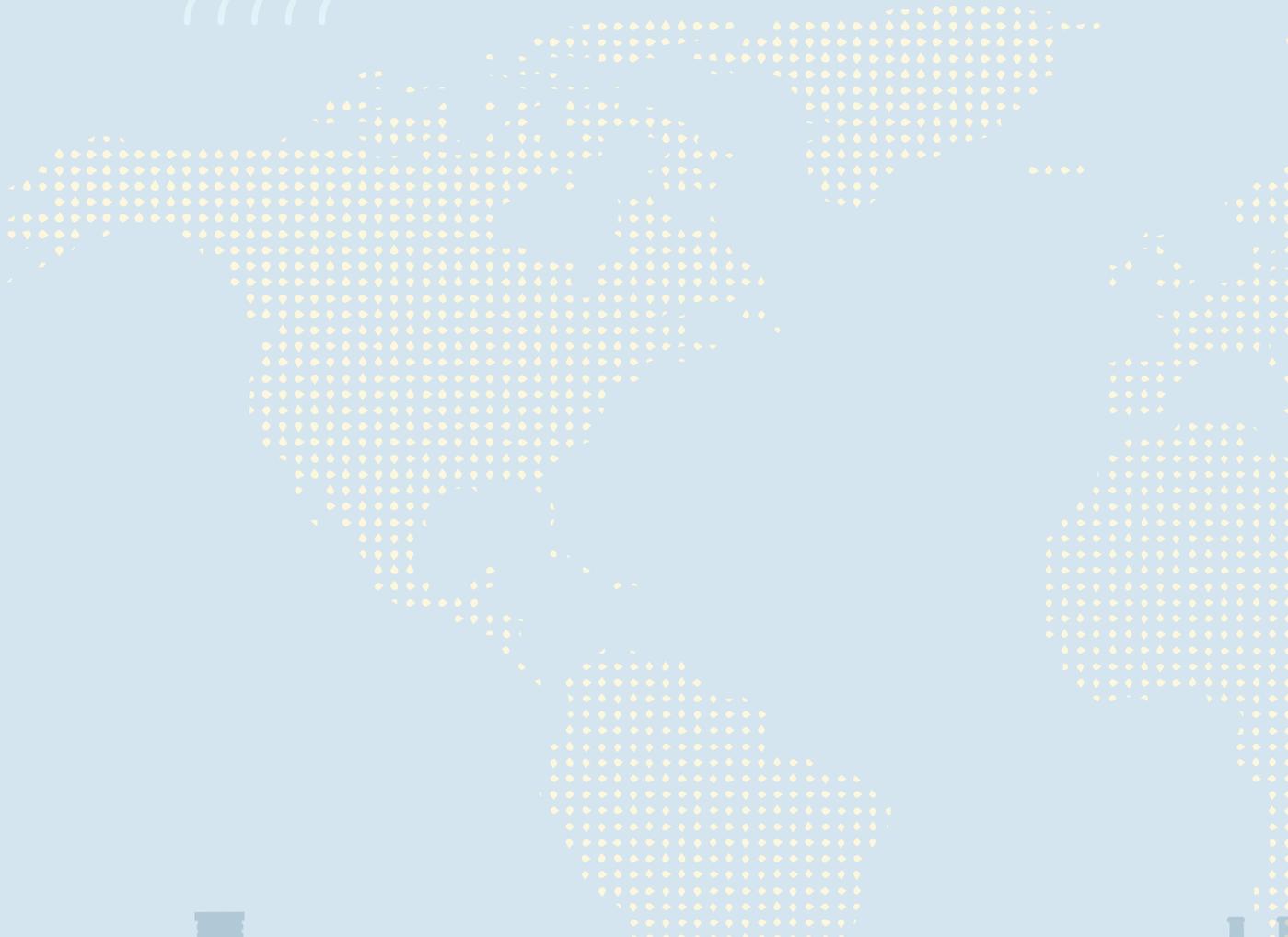
註：冷卻系統節能技術之節能效益，會受其所應用製程（或設備）之條件、操作參數、規模大小及運轉時數等因素而影響。

資料來源：本彙編依製造部門低碳生產推廣計畫調查結果彙整。



我國擬將「溫室氣體減量及管理法」修法，納入「2050 淨零排放」目標，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。在產業蓬勃發展的同時，如何朝向低碳綠色製造與環境永續發展的目標前進，成為未來關注之重點。





低碳生產技術彙編

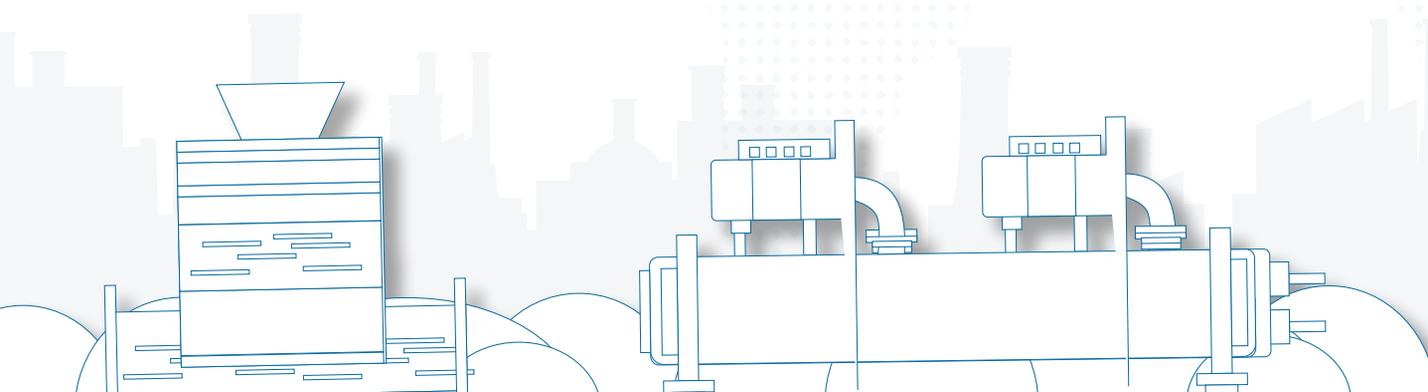
製程冷卻系統

節能技術應用篇



三、製程冷卻系統 節能技術設備彙整





三、製程冷卻系統節能技術設備彙整

本彙編針對工業部門能耗比重高之冷卻系統設備，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，期能提供業界參考進而順利導入低碳生產。包含製程冷卻需求量大之電子業及主要能源密集產業均可參採應用；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。

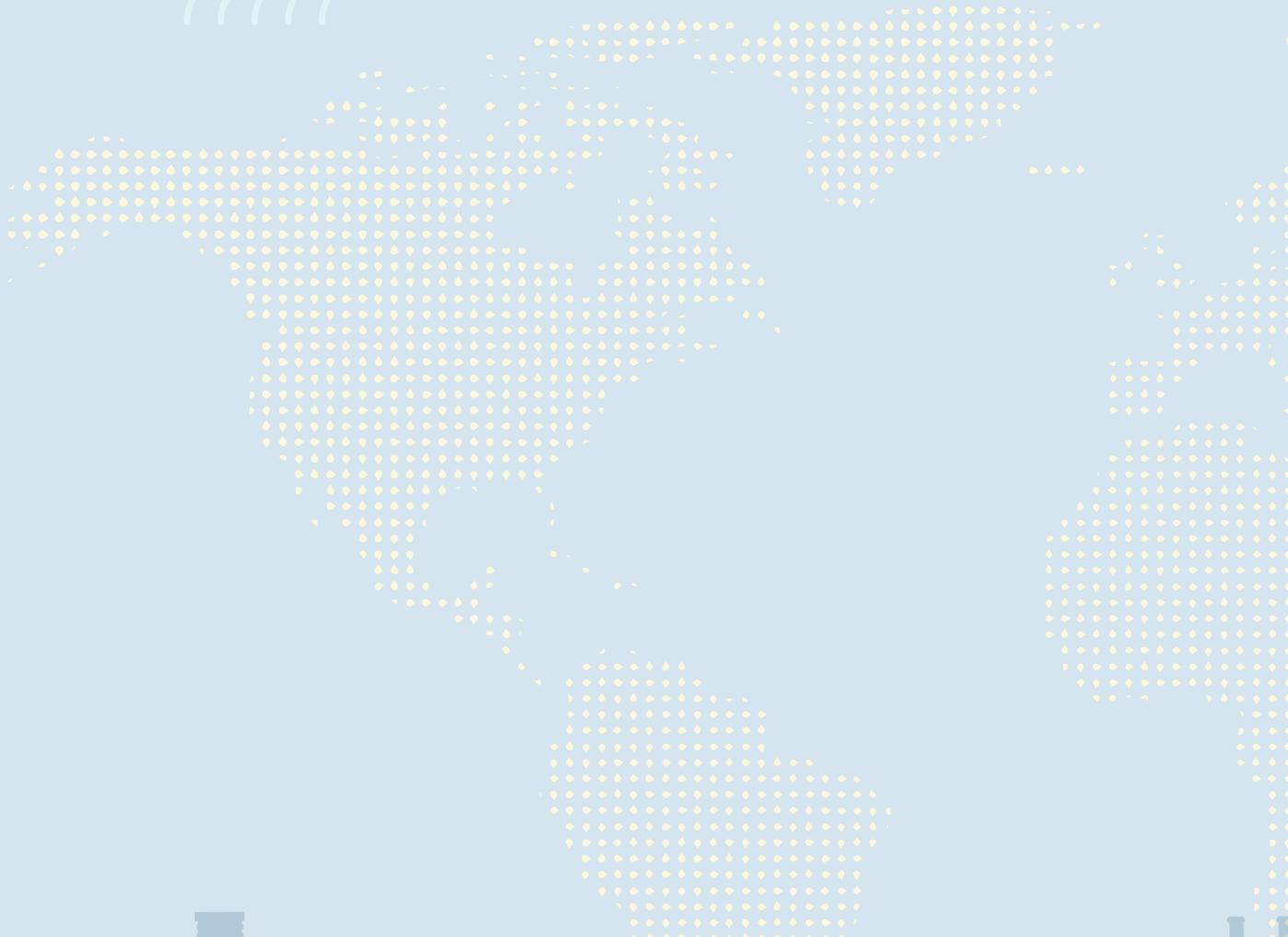
表3-1 低碳生產技術特點及適用範圍

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	製程冷卻系統運用AI節能最佳化控制技術	應用大數據可彙整分析出系統最佳化的效能運轉機制，並運用人工智慧結合機器學習法類神經演算法，建立製程冷卻系統最低能耗預測模型，即時且精確挖掘最佳化能源效率參數，達到整體能源效率再提升。	應用大數據分析系統最佳化效能運轉機制，並運用人工智慧結合機器學習法類神經演算法，建立製程冷卻系統最低能耗預測模型，即時且精確挖掘最佳化能源效率參數，達到整體能源效率再提升。	<ol style="list-style-type: none"> ① 確認感測器所收數值正確； ② 確認資料流的流暢(網路暢通)； ③ 中央伺服器的計算能力要能負荷模型大量的計算以及即刻性，否則無法即時最佳化； ④ 完善的系統失效處理程序。 	半導體業 光電顯示器業
2	磁懸浮冰水主機技術	磁懸浮冰水主機應用無摩擦磁浮軸承技術，消除了金屬間接觸和表面磨損，提升運轉效率及更長的使用壽命，且無冷凍油系統可大幅降低操作維護成本。以高效率、低重量、小體積、低噪音振動等優勢，來達到更低碳節能之生產模式。	磁懸浮冰水主機設置與傳統冰機無特殊限制，惟因磁懸浮軸承控制系統較為精密，通常搭配不斷電系統或設備自身保護裝置，以因應突發狀況下之轉子降速需求。	磁懸浮冰水主機設置與傳統冰機無特殊限制，惟因磁懸浮軸承控制系統較為精密，通常搭配不斷電系統或設備自身保護裝置，以因應突發狀況下之轉子降速需求。	半導體業 光電顯示器業 石化業 紡織業

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
4	陶瓷複合塗料防蝕技術	設備工作時間內葉生蝕情事，若備運轉流質部輪生或況相計利、耐瓷塗使其能 等時或轉體，組表鏽磨造成較低用高耐瓷塗使其能 浦長或特使件面、損成原落高耐瓷塗使其能 等時或轉體，組表鏽磨造成較低用高耐瓷塗使其能 設工殊其或發腐等效，硬度的塗面防節 時間作性內葉生蝕情事，若備運轉流質部輪生或況相計利、耐瓷塗使其能	依工作流體性質 選用之塗覆材料，粗糙亦腐 合於組件減少阻力的 適用範圍總直徑：11Ft~33Ft。	① 設備腐蝕狀況、粗糙度及設備修護情形； ② 製程需求、工作流體情形； ③ 防腐蝕、防沖蝕的延緩需求等。	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
5	冷卻水塔散熱風扇效率提升技術	碳纖維密度低，以扇能片化生可運增命。 高、以扇能片化生可運增命。 維密度低，以扇能片化生可運增命。 強度低，以扇能片化生可運增命。 度低，以扇能片化生可運增命。	目前應用範圍總直徑：11Ft~33Ft。	① 環境/製程溫度、腐蝕、粉塵、壓力值、噪音要求、耐熱溫度； ② 散熱風量、轉速、馬力值、風罩大小、風罩外型設計等。	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

註 1：製程冷卻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：製程冷卻系統節能技術應用產業範圍不局限於此表範圍。

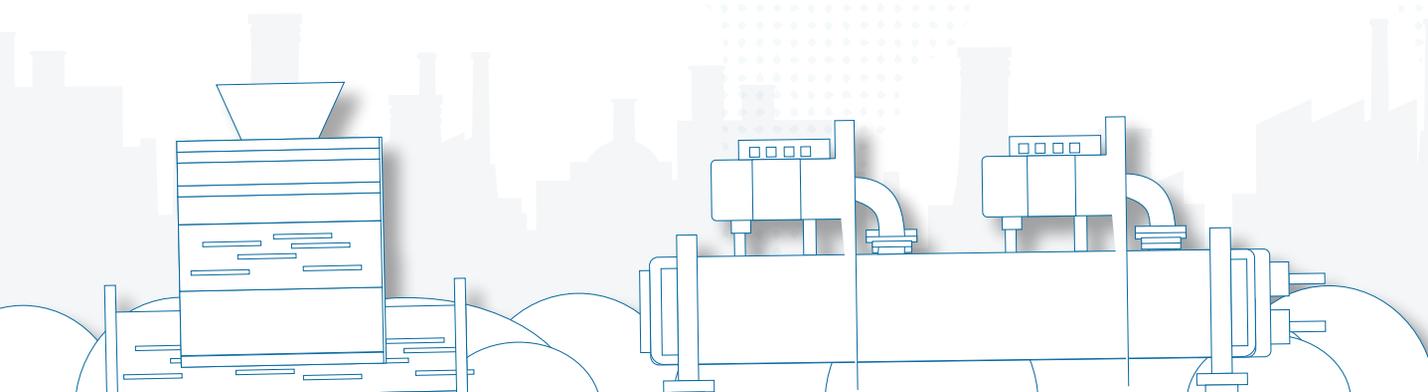


低碳生產技術彙編

製程冷卻系統

節能技術應用篇

▶ 四、製程冷卻系統節能 技術設備與實務案例



四、製程冷卻系統節能技術設備與實務案例

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，冷卻系統耗能占比高，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，以下進行製程冷卻系統節能技術設備與實務案例介紹。

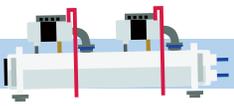
4.1 製程冷卻系統運用 AI 節能最佳化控制技術

4.1.1 技術設備概述

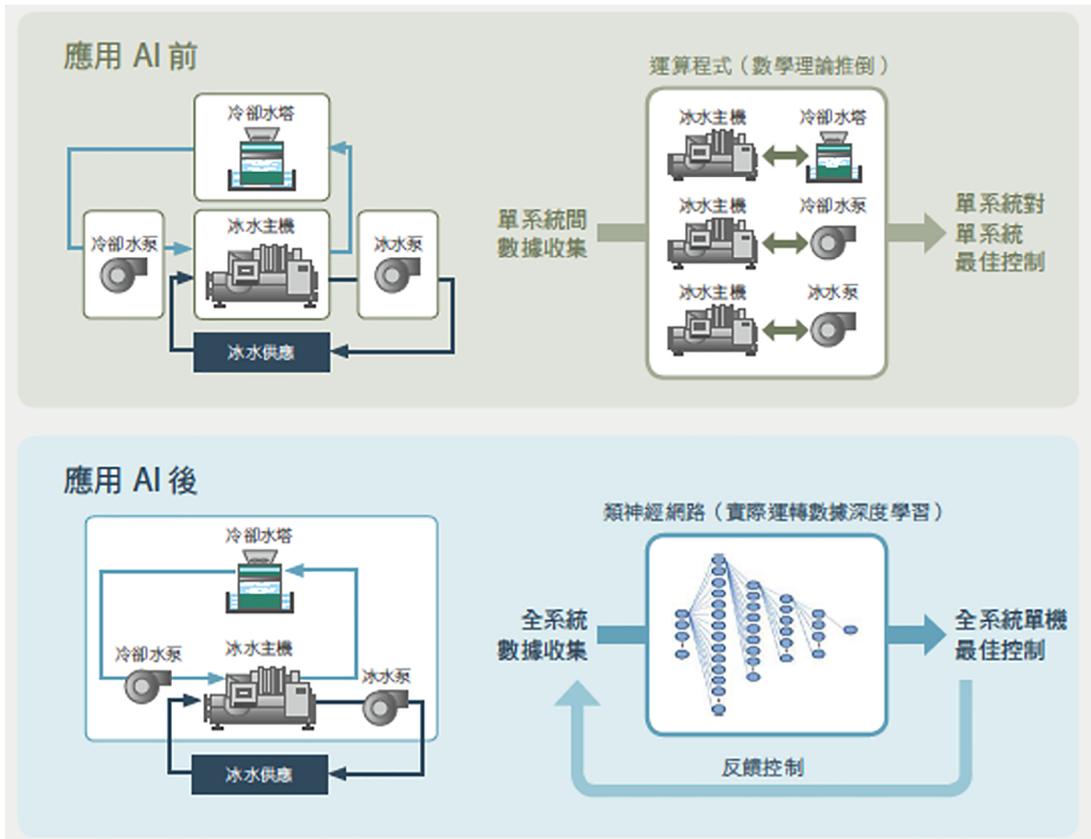
製程冷卻系統主要為供應冰水將生產設備或產品進行冷卻，避免生產設備溫度過高而發生故障或損壞或維持產品品質，以維持廠房及製程設備與生產的正常運作。對於產業而言，製程冷卻系統運作之能耗占整廠用電很大的比例，如何有效提升其能源效率為非常重要的一環。應用大數據可彙整分析出系統最佳化的效能運轉機制，並運用人工智慧 (Artificial Intelligence, AI) 結合機器學習 (Machine Learning, ML) 類神經演算法，建立製程冷卻系統最低能耗預測模型，即時且精確挖掘最佳化能源效率參數，達到整體能源效率再提升。

1. 技術應用原理方式

冷卻系統由冰水主機、冰水泵、冷卻水泵、冷卻水塔及熱回收等附屬設備所組成，各設備間能耗因環境溫度及負載率的變化而相互關連。除了單一設備改善的傳統方式，應用大數據分析可運算出系統最佳化節能控制程式，進一步考量了整體製程冷卻系統、動態調整冰水與冷卻水溫度，並依據不同的外氣情況及現場負載需求，自動調整至「最佳能源效率點」。



而為了再次突破節能效益，運用系統最佳化節能控制程式所產生的巨量運轉資料庫，透過機器學習的類神經網路演算法建立全新的模型架構，找出各主要影響因子，並反覆探索參數之間的交互關係與權重，可依據機台運轉老化年限、管路配置差異、非線性系統等因素動態調整參數，根據當下關鍵參數即時決定最佳省能溫度的製程冷卻系統能耗預測模型，精準管控系統最佳效能。製程冷卻系統運用 AI 節能最佳化控制技術如圖 4.1.1-1 所示意。



資料來源：台灣積體電路製造股份有限公司

圖4.1.1-1 製程冷卻系統運用AI節能最佳化控制技術示意圖

2.技術特點與優勢

AI 節能最佳化控制技術有下特點：

(1) 節省時間：

AI 演算法架構開發定型後，公司集團各廠區可根據本身的關鍵參數找出適合該廠區 AI 節能模型，演算法不須重新開發。

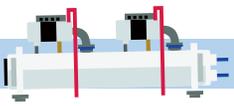
(2) 節省成本：

模型本身具有自我學習的功能，每一次的最佳節能控制點預測的同時也將新資訊加入學習資料庫，節能量會隨模型每次更新而增加。

3.應考慮因素與限制

本技術規劃設計應考慮因素包括：

- (1) 確認感測器 (sensor) 所收數值正確；
- (2) 確認資料流的流暢 (網路暢通)；
- (3) 中央伺服器的計算能力要能負荷模型大量的計算以及即刻性，否則冰水系統無法即時最佳；
- (4) 完善的系統失效處理程序。



4.1.2 技術設備實務案例

1. 案例廠應用簡介

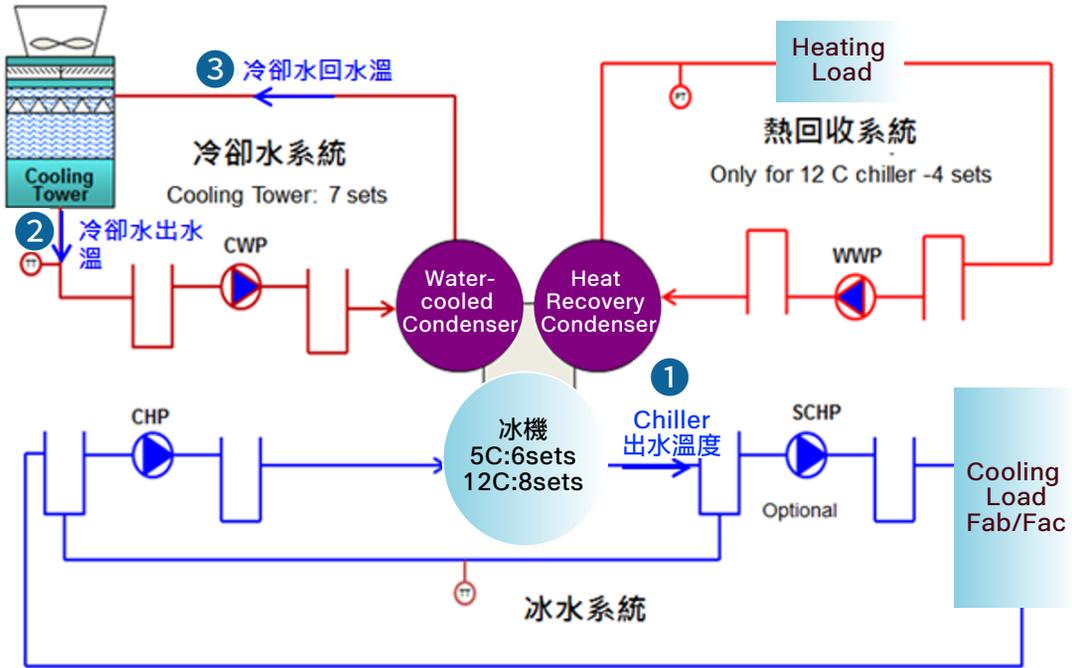
案例公司為積體電路製造服務公司，製程冰水系統運用 AI 節能最佳化控制技術先於案例公司晶圓廠試運轉半年，追蹤 26 萬筆空調參數，確保 100% 無異常後，才正式導入生產。目前該系統已應用至案例公司製程中。

應用大數據分析及結合冰水系統找到全系統最佳效能運轉機制，開發「冰水系統最佳化節能控制程式」，相較於僅著重單一設備能源效率改善的傳統方式，進一步考量了整體冰機系統、動態調整冰水與冷卻水溫度，並依據不同的外氣狀況及現場負載自動調整至「最佳節能點」，提升運轉效率達 9%。但因機台管路老化等因素，使得理論與實際運轉依然存在差異。後續運用人工智慧（Artificial Intelligence, AI）與機器學習（Machine Learning, ML），案例廠自創 AI-ML 智慧冰水系統節能手法，建立冰水系統最低能耗預測控制模型，進一步再提升能源效率 2%。

2. 改善方案執行過程

(1) 單元改善前情境說明

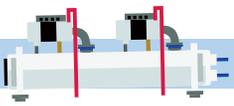
冰水系統流程如圖 4.1.2-1 所示，冰水由冰水主機產生後透過冰水泵送到廠端，再回到主機。冰水主機產生的熱一部分送到熱回收系統，另一大部分則透過冷卻水泵循環冷卻水協助冰水主機降溫，再經由冷卻水塔散熱。



資料來源：案例廠提供

圖4.1.2-1 案例廠冰水系統流程

改善前冰水系統以數學理論推導運算程式，將系統數據收集後僅進行單系統對單系統之最佳控制，「冰水系統最佳化節能控制程式」以正負 2°C 為控制數據基礎。



(2) 單元改善後情境說明

運用「冰水系統最佳化節能控制程式」所產生的巨量運轉資料，透過機器學習的類神經網路演算法建立全新的模型架構，成功自數千個相關參數中，找數十個關鍵參數。善用這些關鍵參數，廠務團隊在為期 15 個月、共 415 萬筆數值模型訓練期間，反覆探索參數之間的交互關係與權重，順利納入原先無法解決的機台老化、非線性系統過於複雜所衍生的效率問題，完成可根據當下關鍵參數即時決定最佳省能溫度的新版冰水系統能耗預測模型。以 AI-ML 智慧冰水系統節能手法，建立冰水系統最低能耗預測控制模型。

3.成效分析與節能減碳效益

(1) 導入製程冰水系統運用 AI-ML 節能最佳化控制技術之節能量

改善前後數值迴歸如圖 4.1.2-2 所示。節能量如表 4.1.2-1 所示。⁽⁶⁾

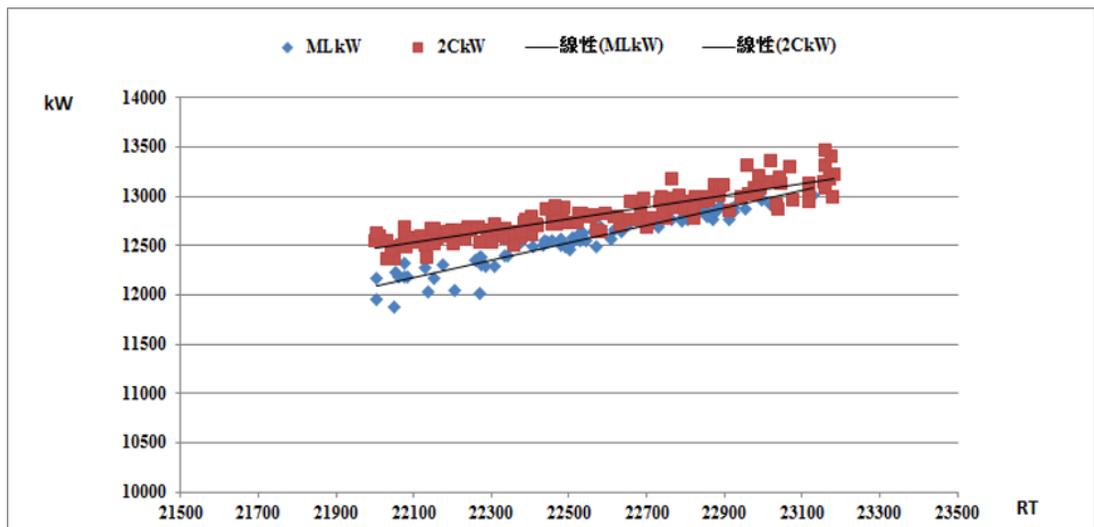


圖4.1.2-2 案例廠製程冰水系統改善前後數值迴歸

表4.1.2-1 製程冰水系統運用AI節能最佳化控制技術之節能量

驗證區間	相同冷凍噸區間		Saving %
	正負2C(kW/RT)	AI-ML導入(kW/RT)	
5C	0.6963	0.6872	1.31%
12C	0.5350	0.5218	2.45%
Total	0.5713 ^{註1}	0.5591 ^{註2}	2.13%

註1：正負 2°C 模式時 Y / X = 0.5713 (所有 kW 值加總 / 所有 RT 值加總，如圖 4.1.2-2 中紅點)

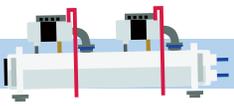
註2：AI-ML 模式時 Y / X = 0.5591 (所有 kW 值加總 / 所有 RT 值加總，如圖 4.1.2-2 中藍點)

節能率： $(0.5713 - 0.5591) \text{kW/RT} \div 0.5713 \text{kW/RT} \times 100\% = 2.13\%$

(2) 投資效益

案例廠製程冰水系統運用 AI 節能最佳化控制技術之執行

投資金額	約300萬元。
節能量	約 3,300萬kWh/年。 (以年運轉時數8,000小時/年計算)
節能率	約2.13%。
節能績效	約9,900萬元/年。 (以電力單價3元/kWh計算)
減碳量	16,566公噸CO ₂ e/年。 (以經濟部能源局公告109年電力排放係數0.502 kg-CO ₂ e/ kWh 計算)
回收年限	約0.03年。 (若軟硬體設備已有相當程度設置且資料可蒐集之情況下，回收年限可因此降低)



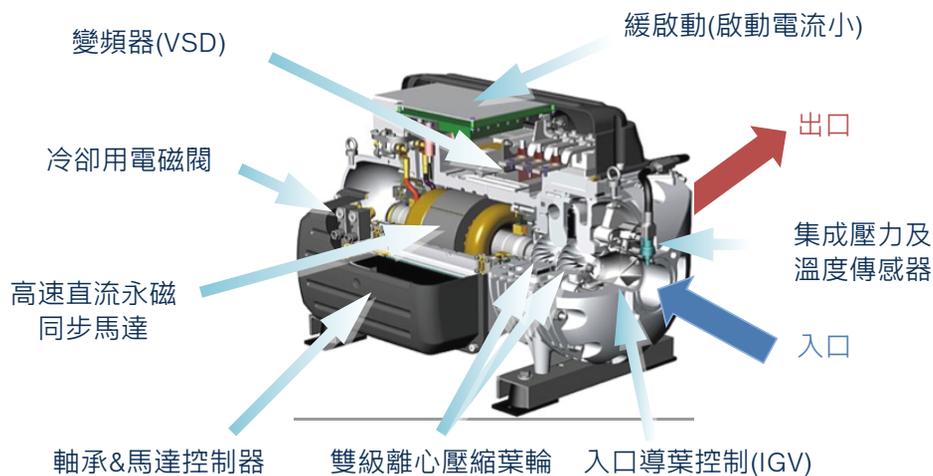
4.2 磁懸浮冰水主機技術

4.2.1 技術設備概述

磁懸浮冰水主機應用無摩擦磁浮軸承技術，消除了金屬間接觸和表面磨損，提升運轉效率及更長的使用壽命，且無冷凍油系統可大幅降低操作維護成本。磁懸浮冰水主機以高效率、低重量、小體積、低噪音振動等優勢，來達到更低碳節能之生產模式。

1. 技術應用原理

磁懸浮冰水主機為無油變頻之離心式冰水主機，其核心技術為壓縮機，運轉方式以永磁磁鐵及電磁磁力使壓縮機轉子產生浮力，其結構如圖 4.2.1-1 所示意。此項技術可以免除壓縮機轉子與軸承間之機械損失，減少壓縮機運轉的摩擦損失，降低其運轉耗電量；且因不需填充冷凍油，故可避免冷凍油滯留在蒸發器，提高冰水主機的熱交換效率。



資料來源：承隆能源科技股份有限公司

圖4.2.1-1 磁懸浮冰水主機的壓縮機結構圖

無接觸的磁懸浮軸承系統省去了過去傳統油式冰水主機的齒輪傳動、機械軸承、潤滑油系統、冷凍油的使用，使傳統油式冰水主機常見的問題都得以避免，其特點如圖 4.2.1-2 所示。



無齒輪傳動



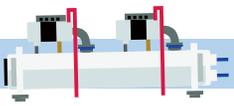
無機械軸



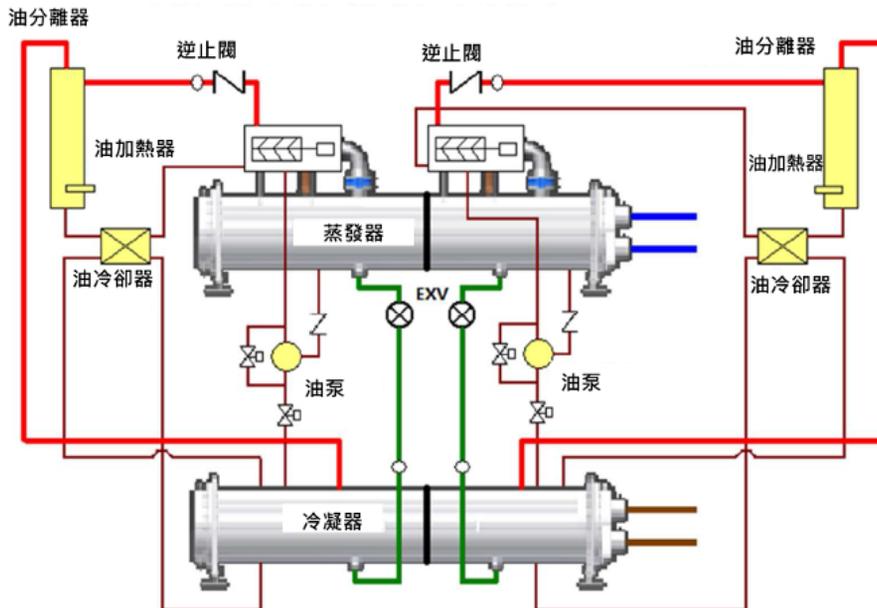
無潤滑油系

資料來源：承隆能源科技股份有限公司

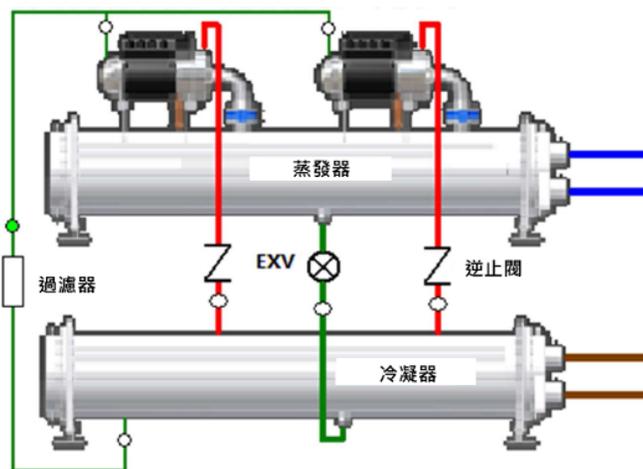
圖4.2.1-2 磁懸浮軸承系統的特點



傳統油式冰水主機因考慮冷凍油系統時，其管路配置相對複雜，故增加系統故障風險；磁懸浮冰水主機因無冷凍油系統，其管路配置單純，且大幅降低冷凍油系統維護成本。兩者管路配置差異比較如圖 4.2.1-3 所示意。



(A) 傳統冰機的管路配置示意



(B) 磁懸浮冰水主機的管路配置示意

資料來源：承隆能源科技股份有限公司

2.技術特點與優勢

磁懸浮冰水主機既可適用於新系統建置，同時也適用於既有廠房系統之冰水主機節能改造，本技術設備特點如下：

(1) 更高能源效率：

磁懸浮軸承無摩擦高速運轉，並可依負載需求變頻調整省去不必要之能耗，能效相較傳統冰機可高出約 30 ~ 50%；

(2) 環保友善環境：

設備運轉低噪音、低震動達到環境友善；

(3) 降低運轉成本：

無油技術使運轉維護更簡易，減少系統運轉維護成本；

(4) 確保持續供冷不中斷：

多台壓縮機備援系統與不斷電維修設計，達到供冷不中斷；

(5) 安裝空間更小、更有彈性：

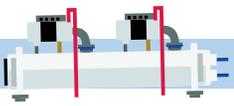
設備重量體積更輕巧、可直立或臥躺，且可分體；

(6) 冰水主機使用壽命更長：

無油設計使用壽命較相較傳統冰水主機長。

3.應考慮因素與限制

本技術設備設置與傳統冰水主機相較無特殊限制，惟因磁懸浮軸承控制系統較為精密，通常搭配不斷電系統或設備自身保護裝置，以因應突發狀況下之轉子降速需求。



4.2.2 技術設備實務案例

1. 案例廠應用簡介

案例廠為紡織產業，原設置 1 台 1,000 RT 定頻離心式冰水主機及 1 台 750 RT 定頻離心式冰水主機，平日運轉 1,000 RT 冰水主機供應全廠區製程及空調使用，並搭配 6 台 50 hp 冰水泵及 6 台 50 hp 冷卻水泵；該系統為一次泵系統從地下冰水桶直接供水至現場空調箱使用，冰水主機開機時間為每日 24 小時。

2. 改善方案執行過程

(1) 單元改善前情境說明

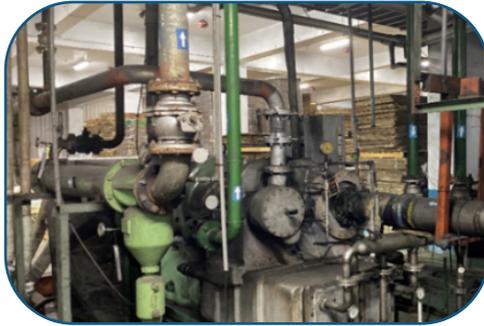
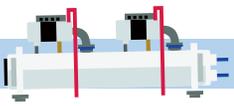
案例廠原系統之 1,000 RT 冰水主機已使用逾 29 年，效能遠低於國家效率標準；冰水泵及冷卻水泵無變頻控制，6 台冷卻水泵已使用逾 27 年效能差，另冰水泵須以手動控制啟停，整體系統運轉效能低、耗電量高。

(2) 單元改善後情境說明

本案例主要將既有 1 台 1,000 RT 冰水主機汰換為磁浮式及增設最佳化控制，能因應現場負載及冰水溫度變化調整壓縮機啟停及頻率，達到系統效率最佳化；此外並進行系統優化，汰換 1 台冷卻水泵並針對改善之冷卻水泵及 1 台冰水泵增設變頻器與自動控制，達到提升系統效率及節能成效。改善前後情況比較如表 4.2.2.-1 所示，改善情形照片如圖 4.2.2-1 所示。

表4.2.2-1 案例廠改善前後設備狀況說明

改善措施	改善前情況	改善後情況
冰水系統	<ul style="list-style-type: none"> ① 冰水主機1台，已使用逾29年，效能差，遠低於國家效率標準。 ② 冰水泵6台無變頻控制，依據壓力使用手動方式做冰水泵啟停操作。 	<ul style="list-style-type: none"> ① 將既有1,000 RT冰水主機汰換為磁浮冰水主機1台，提升系統效率。 ② 冰水主機包含最佳化控制1套，能因應現場負載及冰水溫度變化調整壓縮機啟停及頻率，達到系統效率最佳化。 ③ 新增冰水泵自動控制，並於1台冰水泵新增變頻器，使用出水壓力自動調配冰水泵啟停及變頻頻率，達到節能成效。 ④ 新增相關儀表及圖控系統，使節能效益可視化，並做為後續節能驗證之依據。
冷卻水系統	冷卻水泵6台，已使用逾27年，效能差且無變頻控制。	<ul style="list-style-type: none"> ① 汰換1台冷卻水泵為節能形式，提升水泵效率。 ② 將本次改善的1台冷卻水泵另增變頻器，並增加相關感測元件依據出水壓力作冷卻水泵變頻控制，自動調整水泵起停及頻率，達到系統效率最佳化。 ③ 新增相關儀表及圖控系統使節能效益可視化，並做為後續節能驗證之依據。



改善前傳統離心式冰水主機



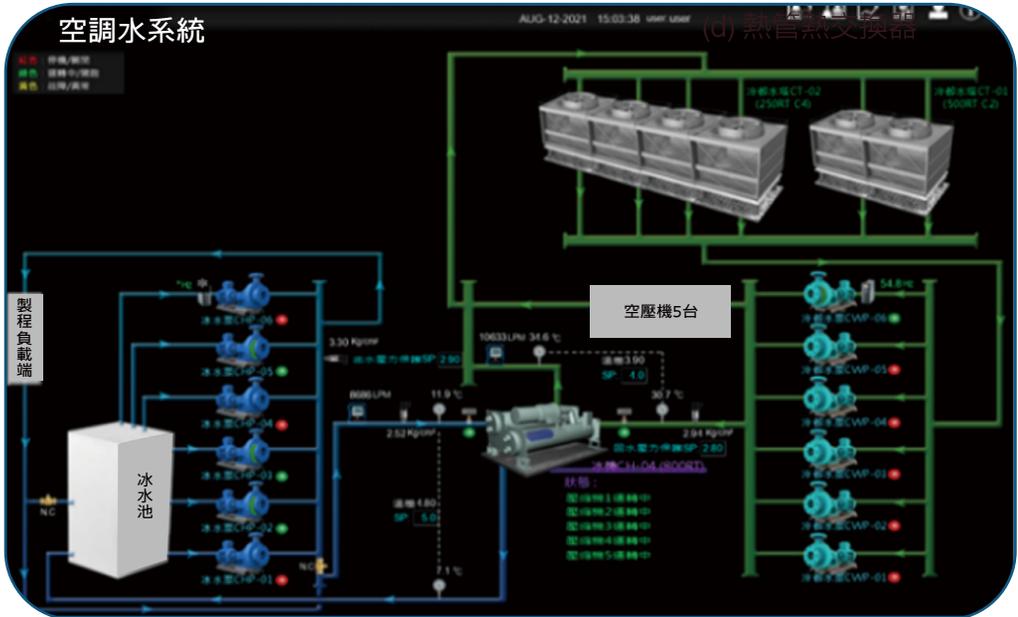
新增冰水泵變頻器



改善後磁懸浮冰水主機



改善後 5 顆磁浮壓縮機共用換熱器



新增中央空調監控系統 (可遠端控制及監視冰機系統運轉狀態)

資料來源：案例廠之設備廠商提供

圖4.2.2-1 案例廠磁懸浮冰水主機改善情形照片

3.成效分析與節能減碳效益

(1) 應用磁懸浮冰機技術之節能量

改善後系統之節能量如表 4.2.2-2 所示，其中冰水主機改善效能值由 1.058 kW/RT 提升至 0.378 kW/RT，冰水主機節能率可達 64%。

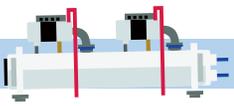
表4.2.2-2 案例廠改善後系統之節能量

改善系統	冰水系統	冷卻水系統	合計
節電量(kWh/年)	4,376,146	805,570	5,181,716
節省金額(元/年)	10,152,657	1,868,923	12,021,580
系統節能率(%)	58.34%	60.22%	58.62%
CO ₂ 減量(噸/年)	2,197	404	2,601

(2) 投資效益

本案例磁懸浮冰機技術及系統改善之執行

投資金額	約1,420萬元。 (主體設備約1,200萬元，其中磁懸浮冰機約1,120萬元(不含貨物稅)；其他土木工程、管材閥件、電力供應系統、安裝工程等約220萬元)
節能量	約5,181,716 kWh/年。 (以年運轉時數8,760小時/年計算)
節能率	約58%(磁懸浮冰機為64%)。
節能績效	約1,202萬元/年。 (以電力單價2.32元/kWh計算)
減碳量	2,601公噸CO ₂ e/年。 (以經濟部能源局公告109年電力排放係數0.502 kg-CO ₂ e/ kWh 計算)
回收年限	約1.2年。



4.3 永磁傳動器技術

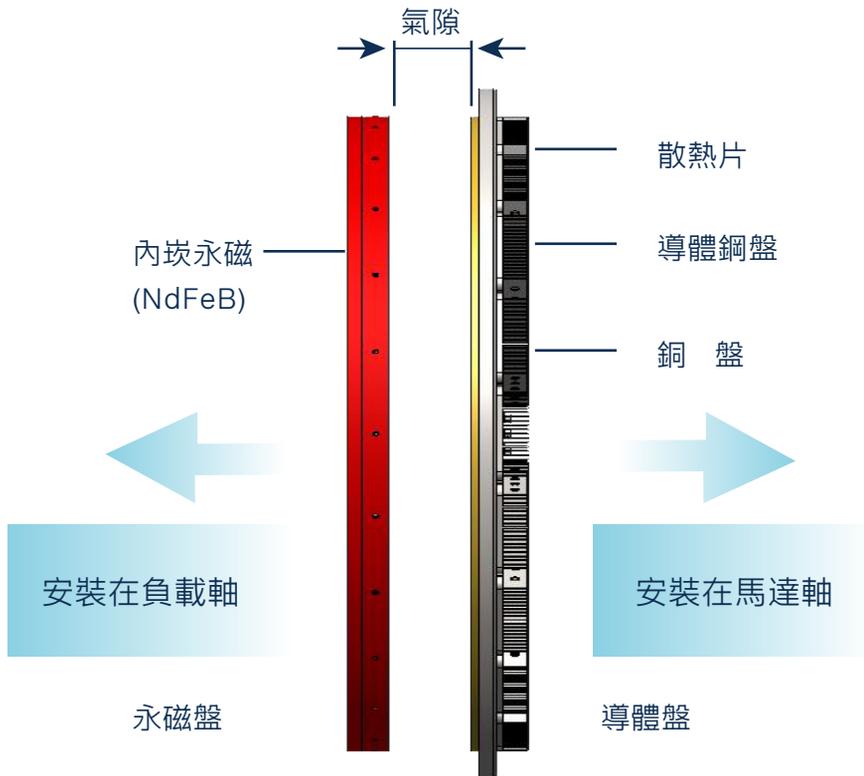
4.3.1 技術設備概述

永磁傳動器技術是一種機械式的調速裝置，安裝於馬達及離心式設備中間，除了可調速之外也同時兼具聯軸器的功能，把原先的實體聯結改為非接觸式的聯結，具有構造簡單、無諧波、減少設備振動、對心容忍度高和延長系統維護使用壽命等優點，可依負載需求調降轉速達到節能的效益。而其他調速之節能方式如變頻式節能應用上可適用於多台聯控，本章介紹之永磁傳動器相較下則適用於功率較大、調速頻率較低之單機設備形式。

1. 技術應用原理

永磁傳動器是透過磁感應原理，藉由永久磁石與導體盤間的相對運動在導體盤中產生渦電流並感應磁場，感應磁場與磁石之間產生力的作用而達到扭矩的傳遞。它是一種純機械式的調速節能設備，應用於泵、風機等離心式轉動機械。永磁傳動器結構示意如圖 4.3.1-1 所示，內部結構說明如下：

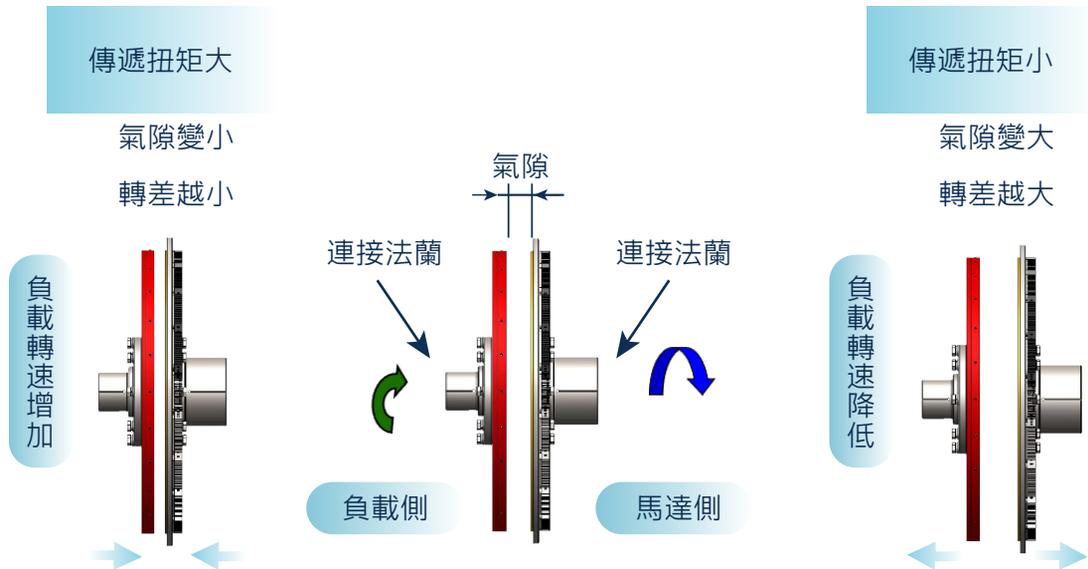
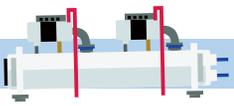
- (1) 由導體盤和永磁盤部件兩個獨立部件組成，兩部件之間沒有實體連接；
- (2) 以一個帶銅 / 鋁盤的導體盤連接到馬達軸上；
- (3) 以內含有高強度永久磁鐵之永磁盤，安裝在負載軸上。



資料來源：中興電工機械股份有限公司

圖4.3.1-1 永磁傳動器結構示意圖

永磁傳動器可透過改變導體盤與永磁盤之間的氣隙來傳遞不同的扭矩，當氣隙最小時，傳遞扭矩最大；若氣隙變大時，傳遞扭矩則變小，以此達到調節負載端轉速的目的，運轉情形如圖 4.3.1-2 所示意。



資料來源：中興電工機械股份有限公司

圖4.3.1-2 永磁傳動器技術運轉示意圖

2. 永磁傳動器技術的特點與優勢

永磁傳動器技術依其設備形式分為永磁聯軸器 (Permanent Magnet Coupling, PMC) 及永磁調速器 (Permanent Magnet Drive, PMD) 兩種，永磁傳動器之特點如下說明：

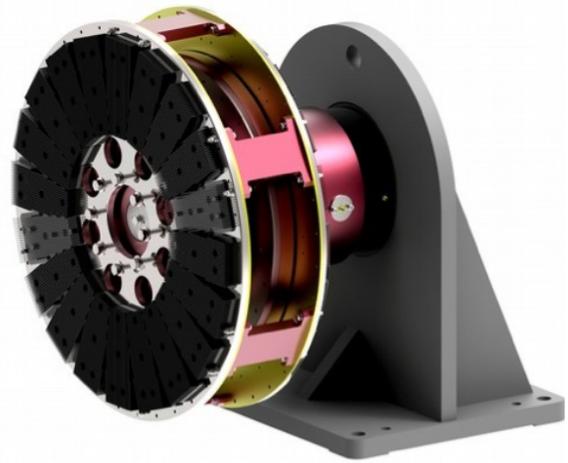
- (1) 與其他調速設備相比，動力的傳遞本身不需要外加任何能源，即可達到降速節能的效果；
- (2) 因傳動構造全為機械結構，無諧波干擾等問題，維護保養較為直觀簡單，另可減少設備振動傳遞，且對心容忍度較一般聯軸器為高；

- (3) 永磁聯軸器 (PMC) 為停機調整氣隙型，調速範圍通常介於 60%~95%(依設備選型而定)；使用功率廣泛，一般而言功率 100 ~3,000 hp 之設備可匹配選用，常用於長時運轉之大功率流體機械，且調速頻率較低之設備 (不調整或每半年調整)，例如冷卻水泵、排送風機及送料泵等，永磁聯軸器設備示意如圖 4.3.1-3 所示；
- (4) 永磁調速器 (PMD) 為線上調整型，調速範圍通常介於 50%~90%(依設備選型而定)。可運用之設備功率約為 100~600 hp，常用於長時運轉之設備如冷卻水塔風機、製程風機、鍋爐飼水 / 脫氧水泵等，且調速頻率較高之設備 (每週調整或每日調整)，永磁調速器設備示意如圖 4.3.1-4 所示。



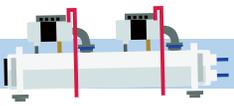
資料來源：中興電工機械股份有限公司

圖4.3.1-3 永磁聯軸器(PMC)設備示意圖



資料來源：中興電工機械股份有限公司

圖4.3.1-4 永磁調速器(PMD)設備示意圖



3.應考慮因素與限制

本技術規劃設計應考慮因素包括以下各點：

(1) 節能評估：

原先設備設計的容量須有餘裕量可調節，且須考量實際系統的需求及影響，才能進一步規劃節能的空間。

(2) 改造時程：

永磁聯軸器改造時程約為 1~3 天，可直接取代既有聯軸器；而永磁調速器通常需要連基座一併改造，改造時程受土木設計變更而增加，時程約需要 14~28 天 (視剛性基座更換及水泥養護時間而異)。

(3) 改造設備型式：

改造之離心式流體機械設備須為臥式設備，目前並無立式機型。

(4) 空間裕度：

永磁調速器之軸端距離 (Distance Between Shaft Ends, DBSE) 需求約 56~76 cm(依照型號而異)。

(5) 永磁傳動器選用：

因永磁聯軸器可直接取代既有聯軸器，具備改造工序少、時程快、改造總成本較低之優勢；相對永磁調速器改造時需要後移馬達，工序較多、耗時且總成本較高，依待改造之設備規格不同，永磁調速器每 kW 之改造價格約為永磁聯軸器之 2~2.5 倍。

(6) 適宜溫度及安全監控：

過熱的環境溫度 ($>60^{\circ}\text{C}$) 會影響設備的散熱，此外，連結永磁盤之運轉軸溫應低於 80°C ；永磁傳動器 (含永磁聯軸器及永磁調速器) 建議搭配溫度監控，以避免傳動器盤組過熱，可確保導體不致加速劣化，並搭配平時維護保養，可確保系統可靠度。

(7) 維護保養：

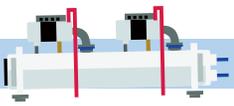
永磁聯軸器無耗損零件，維護保養為定期檢視外觀、量測振動值及量測溫度 (確保合理運轉溫度)；而永磁調速器除了定期檢視外觀、量測振動值及溫度外，每 3 個月加一次潤滑油脂於注油孔內，並建議每 3 年檢查軸承、油封及內部磨耗件是否正常。

4.3.2 技術設備實務案例

4.3.2.1 永磁聯軸器(PMC)案例

1. 案例廠應用簡介

案例廠為紡織產業以生產尼龍粒、尼龍絲及長纖梭織布為主之製造廠商，廠內熱媒油主要以循環泵來運行；該廠有二台熱媒油循環泵在運作，因設計循環量遠大於實際需求量，於 2018 年將二台設備加裝永磁聯軸器。該廠在了解加裝永磁聯軸器後對鍋爐吸熱條件與流率的影響程度後，便著手進行修改作業，透過試運轉測試聯軸器的間隙對於實際系統的影響，以此調整運轉的轉速，透過此種方式來改變流體的輸送量，當流體輸送量降低時，馬達的電功率也隨之降低，因此達到能源節省的目的。



2.改善方案執行過程

(1) 單元改善前情境說明

原設置循環泵的容量經評估尚有餘裕量，故進行永磁聯軸器改造，改造前設備參數參考如表 4.3.2.1-1 所示意，改善前設備如圖 4.3.2.1-1 所示意。

表4.3.2.1-1 案例廠熱媒油循環泵設備參數參考

馬達功率	132 kW	額定電流	244 A
馬達轉速	1,760 rpm	實際運轉電流	189 A
電壓	380 V	實際流量	835 m ³ /h (兩台流量)
入口/出口開度	100%	最小需求流量	700 m ³ /h (兩台流量)
實際壓力	7.5 kgf/cm ²		

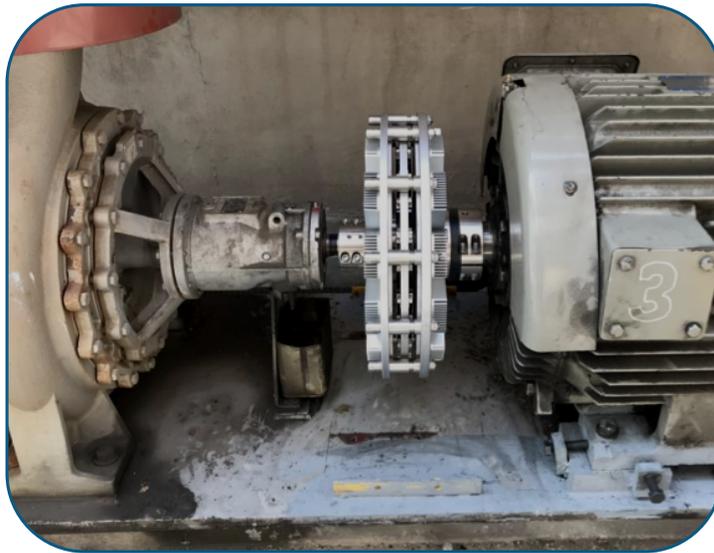


資料來源：案例廠之設備廠商提供

圖4.3.2.1-1 案例廠循環泵改善前設備示意圖

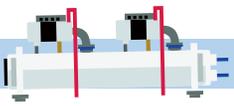
(2) 單元改善後情境說明

經安裝永磁聯軸器改變流體的輸送量，當流體輸送量降低，馬達的電功率也隨之降低，以達到節能的目的，改善後設備之照片如圖 4.3.2.1-2 所示。



資料來源：案例廠之設備廠商提供

圖4.3.2.1-2 案例廠循環泵以永磁聯軸器改善後示意圖



3.成效分析與節能減碳效益

(1) 應用永磁聯軸器技術後，其試車紀錄及節能量如表 4.3.2.1-2。

表4.3.2.1-2 案例廠改善後試車紀錄及節能量

改造前數值		試車紀錄	備註
轉速(rpm)	1,760	1,478	降速16%
流量(m ³ /h)	835	745	兩台並聯
壓力(kgf/cm ²)	7.5	6.5~6.7	
單台電流值(A)	189	126	節能約33%

$(189A-126A) \times 0.38 \text{ kV} \times \sqrt{3} \times 0.8 \times 8,760 \text{ 小時/年} \times 2 \text{ 台} = 581,178 \text{ kWh/年}$

(2) 投資效益

案例廠永磁聯軸器技術之執行

投資金額	約43萬元。
節能量	約581,178 kWh/年。 (以年運轉時數8,760小時/年計算)
節能率	約33%。
節能績效	約134萬元/年。 (以電力單價2.3元/kWh計算)
減碳量	292公噸CO ₂ e/年。 (以經濟部能源局公告109年電力排放係數0.502 kg-CO ₂ e/ kWh計算)
回收年限	約3.9月。

4.3.2.2 永磁調速器(PMD)案例

1. 案例廠應用簡介

案例廠為石化產業之丙烯酸酯 (AE, 又稱為壓克力酸) 製造廠商, 在製程過程中, 需要將廢熱排除以調節反應物溫度, 故設有冷卻水系統。因日夜及季節等外氣狀態 (空氣焓值及濕球溫度) 有顯著差異, 經評估冷卻水塔風機具有節能潛力, 可依日夜溫差、外氣溫度、製程負載及季節變化等情形調整減速, 可使之降載節能, 亦符合製程散熱能力需求。

2. 改善方案執行過程

(1) 單元改善前情境說明

原冷卻水塔風機採用啟停控制, 啟動之風機尚有節能之空間, 且為同時達到改善水霧污染之功效, 故選擇設置位置臨近屋頂邊緣之 1 台風機進行改造。改造前設備參數參考如表 4.3.2.2-1 所示意, 改善前設備如圖 4.3.2.2-1 所示意。

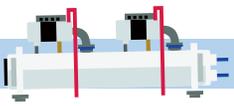


資料來源：案例廠之設備廠商提供

圖4.3.2.2-1 案例廠冷卻水塔風機改善前設備示意圖

表4.3.2.2-1 案例廠冷卻水塔風機設備參數參考

馬達功率	80 kW	額定運轉電流	17.0 A
馬達轉速	1,180 rpm	實際運轉電流	15.5 A
電壓	3.3 kV		



(2) 單元改善後情境說明

經安裝永磁調速器改變風機的風量，當風量降低同時也減緩馬達的供電率，以達到節能的目的，改善後設備之照片如圖 4.3.2.2-2 所示。



資料來源：案例廠之設備廠商提供

圖4.3.2.2-2 案例廠冷卻水塔風機以永磁調速器改善後示意圖

3.成效分析與節能減碳效益

(1) 應用永磁調速器技術之節能量

改善後之節能量如表 4.3.2.2-2 所示。

表4.3.2.2-2 案例廠改善後試車紀錄及節能量

改造前數值		試車平均紀錄	備註
轉速(rpm)	1,180	867	降速26.5%
單台電流值(A)	15.5	11.5	節能約25.8%

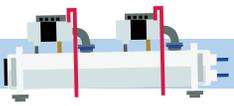
註：永磁調速器可依日夜溫差、外氣溫度、製程負載及季節變化等情形調整減速，本案例以試車紀錄估算節能量。

$$(15.5A-11.5A) \times 3.3 \text{ kV} \times \sqrt{3} \times 0.8 \times 8,760 \text{ 小時 / 年} = 160,224 \text{ kWh / 年}$$

(2) 投資效益

案例廠永磁調速器技術之執行

投資金額	約98.4萬元。 (主體設備約75萬元，其他土木工程、管材閥件、電力供應系統、安裝工程等約23.4萬元)
節能量	約160,224 kWh/年。 (以年運轉時數8,760小時/年計算)
節能率	約25.8%。
節能績效	約36.9萬元/年。 (以電力單價2.3元/kWh計算)
減碳量	80公噸CO ₂ e/年。 (以經濟部能源局公告109年電力排放係數0.502 kg-CO ₂ e/ kWh計算)
回收年限	約2.7年。



4.4 陶瓷複合塗料防蝕技術

4.4.1 技術設備概述

陶瓷複合塗料防蝕技術在各行業應用廣泛，若泵浦等設備因長時間運轉或工作流體特殊性質，使其內部組件或葉輪表面發生生鏽、腐蝕或磨損等情況，造成效率相較原始設計低落；有上述情況發生時可利用高硬度、高密度、耐高溫的陶瓷複合塗料塗覆於表面使其平滑防蝕，無須花費高額成本汰換設備即可改善其能效，達到提高動力效率及節能效果。

1. 技術應用原理

動力設備傳統使用的塗料、烤漆，表面易受到酸鹼等物質的侵蝕，且不耐高溫更無法保護基材；經長期運轉受沖蝕之冷卻水泵浦底座及葉輪如圖 4.4.1-1 所示。依工作流體性質選用合適材質特性之塗覆材料，如以高黏著力、高硬度、高密度之陶瓷複合塗料塗覆於組件上，使其減少粗糙度降低阻力，不僅有效的阻絕外在環境的侵蝕，達到有效的防腐蝕效果；以陶瓷複合塗料防蝕塗覆改善之冷卻水泵浦底座及葉輪如圖 4.4.1-2 所示。依陶瓷複合塗料耐高溫、耐腐蝕、耐磨之特性，可進一步延長設備使用年限並提高其運轉效率。



受沖蝕之冷卻水泵浦底座



受沖蝕之冷卻水泵浦葉輪

資料來源：案例廠提供

圖4.4.1-1 受沖蝕之冷卻水泵浦底座及葉輪示意圖



以陶瓷複合塗料防蝕塗覆改善
之冷卻水泵浦底座



以陶瓷複合塗料防蝕塗覆改善
之冷卻水泵浦葉輪

資料來源：案例廠提供

圖4.4.1-2 以陶瓷複合塗料塗覆之冷卻水泵浦底座及葉輪示意圖

2.技術特點與優勢

陶瓷複合塗料防蝕技術主要利用陶瓷塗料塗佈於設備元件表面，改善效率降低的設備，其特點如下：

- (1) 改善設備表面平整度及硬度，減少流道粗糙問題，提高表面光滑度；
- (2) 耐高溫、防腐蝕、耐磨；
- (3) 提高生產效率、降低維修頻率、延長設備使用年限；
- (4) 投資金額不高，回收時間短。

3.應考慮因素與限制

本技術規劃設計需全面性考量，不單是機械方面的維修，需了解設備特性及現場操作之條件，做好全面的評估，才能以最有效及最低的成本進行施作，考慮因素包括：

- (1) 設備腐蝕狀況、粗糙度及設備修護情形；
- (2) 製程需求、工作流體情形；
- (3) 防腐蝕、防沖蝕的延緩需求等。



4.4.2 技術設備實務案例

1. 案例廠應用簡介

案例廠為石化產業之氣體製造廠商，應用技術之設備為兩台 1,200 hp 冷卻水循環泵浦 (A、B)，設備主要提供冷卻水並移除製程熱量；因其使用 18 年除了葉片磨損外，泵浦亦出現腐蝕及生鏽問題，運作效率已降低至 76%；利用陶瓷複合材料塗佈，使泵浦運轉更加平順且防蝕，回復至以往的運作效率改善運轉效能。此作法的投資金額不高、回收時間短，並有助於節電減碳。

2. 改善方案執行過程

(1) 單元改善前情境說明

案例廠原冷卻水循環泵浦已使用多年，相關組件已出現腐蝕或葉片磨損現象，雖經維修後，可達足夠出水量但無形中已損失許多能源，經量測結果顯示運作效率逐年降低，改善前冷卻水泵浦如圖 4.4.2-1 所示意。



資料來源：案例廠提供

圖4.4.2-1 案例廠改善前冷卻水泵浦示意圖

(2) 單元改善後情境說明

經評估將老舊泵浦使用陶瓷複合塗料塗佈後，讓表面更加平順、防腐蝕，亦可使馬達電流降低、出口壓力提升，改善其運轉效率。改善後冷卻水泵浦如圖 4.4.2-2 所示意。



資料來源：案例廠提供

圖4.4.2-2 案例廠改善後冷卻水泵浦示意圖

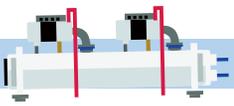
3.成效分析與節能減碳效益

(1) 應用陶瓷複合塗料防蝕技術之節能量

冷卻水泵浦改善後，依據案例廠統計約可提升泵浦整體效率 8%，效果相當顯著。改善後之節能量如表 4.4.2-1 所示。⁽⁷⁾

表4.4.2-1 案例廠陶瓷複合塗料防蝕技術之節能量

泵浦	工程費用 (萬元)	年節電量 (萬度)	年節電金額 (萬元)	年減碳量 (萬噸)	回收年限 (年)	效率提升 (%)
A、B	134	48.2	120	254	1.12	8%



(2) 投資效益

案例廠陶瓷複合塗料防蝕技術之執行

投資金額	約134萬元。
節能量	48.2萬 kWh/年。 (以年運轉時數8,760小時/年計算)
節能率	約8%。
節能績效	約120萬元/年。 (以電力單價2.5元/kWh計算)
減碳量	242公噸CO ₂ e/年。 (以經濟部能源局公告109年電力排放係數0.502 kg-CO ₂ e/ kWh 計算)
回收年限	約1.12年。

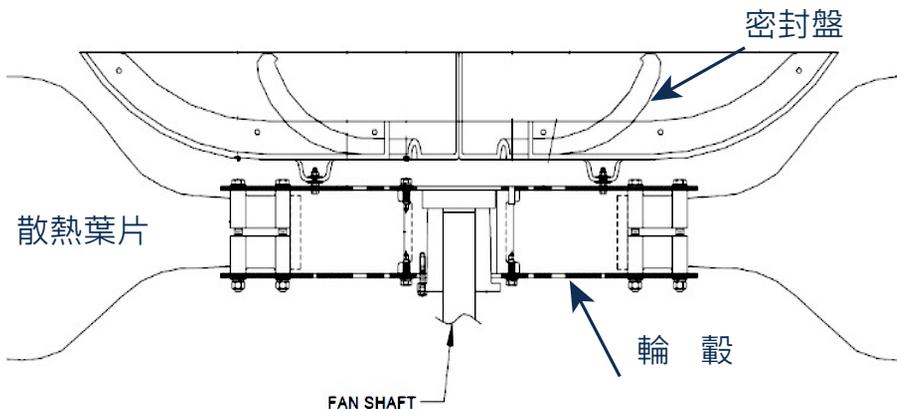
4.5 冷卻水塔散熱風扇效率提升技術

4.5.1 技術設備概述

散熱風扇是各產業不可或缺的重要元件之一，舉凡使用到冷卻水塔、空氣冷卻器、冷凝器等設備都需要藉由散熱風扇來達到降溫的作用，使用的產業相當廣泛。散熱風扇可利用變頻器或永磁調速器，以減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無法採用此方式。而最直接使散熱風扇效率提升的方式主要包含材質的改變、結構的穩定性、葉型的設計、減少擾流的損失…等，使同樣的環境壓力與轉速耗能下輸出相同的風量，即可提升整個散熱風扇的效率。

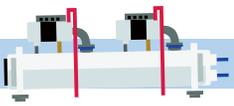
1. 技術應用原理

散熱風扇組主要組成有三項，分別是風扇葉片、輪轂、密封盤，組成示意圖如圖 4.5.1-1 所示。每個元件有不同的設計需求，以葉片來說，風扇葉型設計、風扇強度、輕量化為主要訴求；而對輪轂而言，防銹蝕與輕量化則是其中較重要的課題。

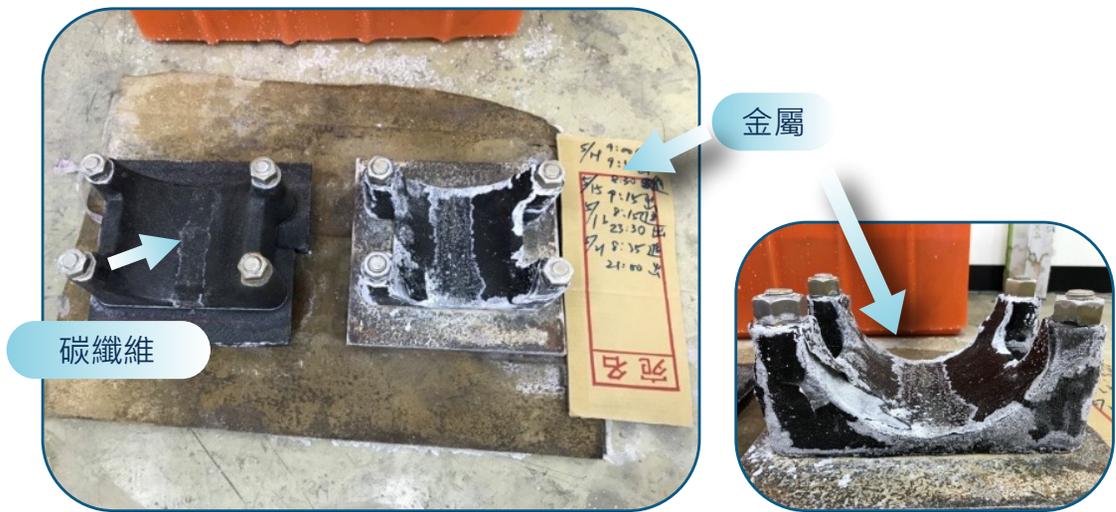


資料來源：又禾興國際有限公司

圖4.5.1-1 散熱風扇組成示意圖



傳統風扇葉片及輪轂之材質重量重，可將材質改善為強度高且輕量之複合材料，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，利用材料的特性來增加運轉的穩定性並降低擾流的頻率，並可達到風扇組的輕量化，進而達到增加效率的目的；且由金屬材質改以複合材料取代較無銹蝕的問題，以碳纖維及金屬材料之輪轂鹽霧測試防蝕能力比較如圖 4.5.1-2 所示意。



資料來源：又禾興國際有限公司

圖4.5.1-2 碳纖維及金屬材料之鹽霧測試防蝕能力示意圖

根據材料力學撓曲量計算如下所示，模數與撓曲量成反比，應用高模數之材質，可降低風扇葉片運轉中產生之形變，使氣流穩定避免擾流所造成的流量損失。各種纖維性質比較如表 4.5.1-1 所示，碳纖維與一般常用材料性質比較如表 4.5.1-2 所示，顯示碳纖維材質密度小、模數高、不易形變，適合作為風扇葉片材料。另纖維編紗束、編織布之各種編法如圖 4.5.1-3 所示意。

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

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4.5.1-1 各種纖維性質比較

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)

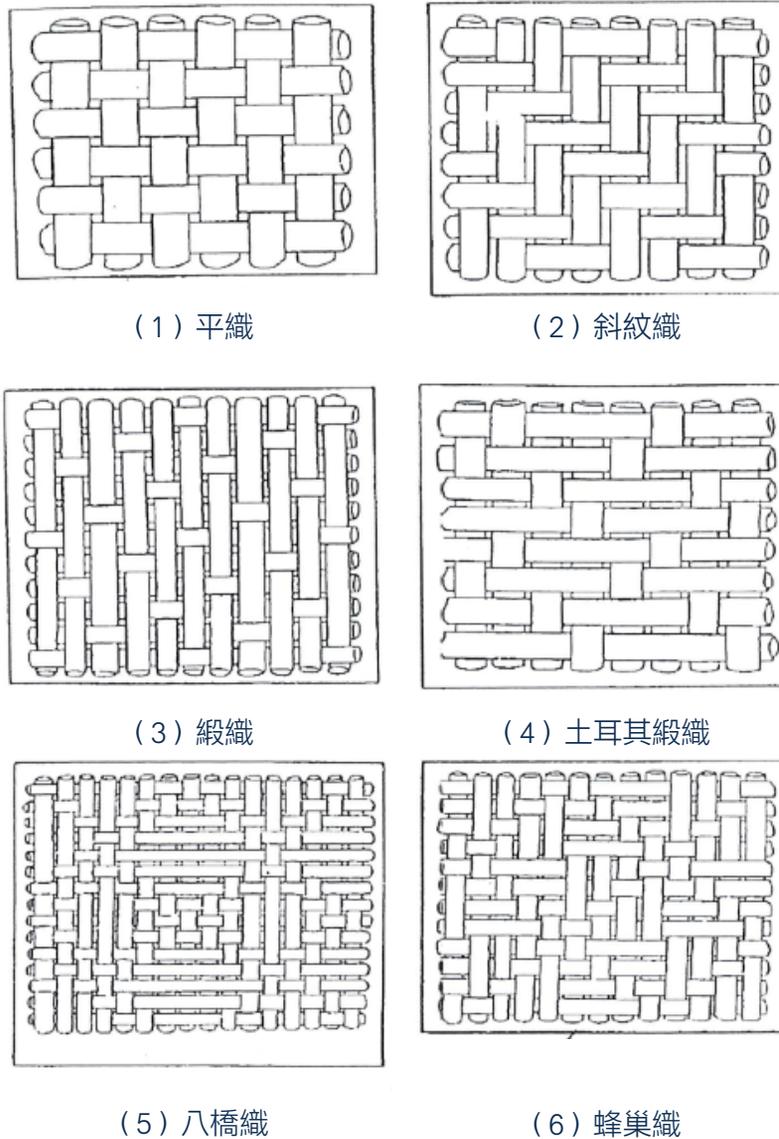
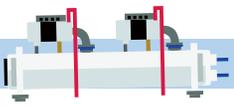
Note : The strength units KN/ mm² are Kilonewtons per square millimeter : one Newton is close to 102 gramme force.

資料來源：高分子複合材料上冊 (修訂本)，馬振基教授，2009年⁽⁸⁾

表4.5.1-2 碳纖維與一般常用材料性質比較

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

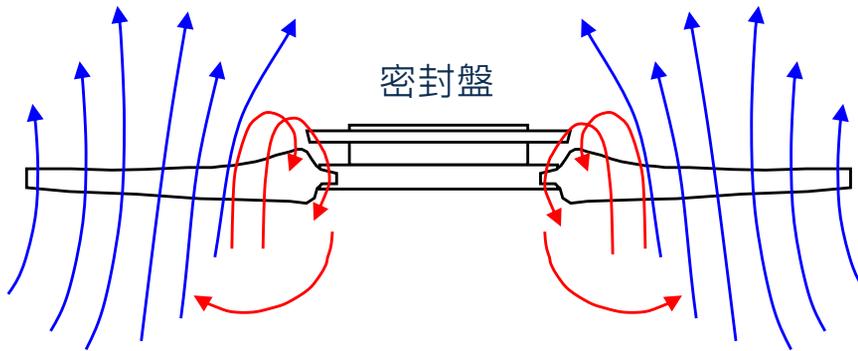
資料來源：高分子複合材料上冊 (修訂本)，馬振基教授，2009年。⁽⁸⁾



資料來源：高分子複合材料上冊（修訂本），馬振基教授，2009年。^{〔8〕}

圖4.5.1-3 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，更可減低風扇組運轉時因受力產生的擺盪，從而讓氣流運轉更順暢，減少虛功的產生，進而降低運轉所產生的耗功。風扇運轉氣流示意如圖 4.5.1-4 所示。



資料來源：又禾興國際有限公司

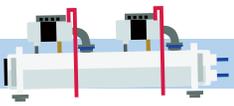
圖4.5.1-4 風扇運轉氣流示意圖

2.技術特點與優勢

以碳纖維材質應用於散熱風扇提升設備運轉效率，有下特點：

- (1) 碳纖維材質葉片只需要更少的材料即可實現玻璃纖維葉片相同的強度，並使葉片的重量降低，提高運轉能效；
- (2) 輪轂的碳纖維化，同樣大幅度減輕重量，且避免了金屬銹蝕的產生，增加整體設備長期運轉的妥善率；
- (3) 整體碳纖維風扇組的輕量化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，可降低使風扇達到運行速度所需的扭矩，從而提高操作效率；
- (4) 風扇組重量減輕可降低運輸成本，且使得安裝及維護更簡單安全，其使用年限相較一般玻璃纖維風扇組約增加 4~7 年（依經驗玻璃纖維風扇組約為 7~10 年，碳纖維風扇組約 14 年）。

以總直徑 10 m、葉片數 12 片、實測轉速為 118 rpm 之風扇組改善比較為例，風扇葉片材質以碳纖維相較於玻璃纖維，其重量降低約 22%、耗用功率降低約 10%（玻璃纖維為 171.7 kW、碳纖維為 154.1 kW）、成本增加約 70 萬元/座（玻璃纖維為 110 萬元、碳纖維為 180 萬元），兩者價差之回收年限約 2.3 年（以 1 kWh= 2.0 元計），顯示應用碳纖維材質風扇葉片之效率提升改善具節能效益。



3.應考慮因素與限制

碳纖維材質風扇組目前應用的範圍為總直徑 11~33 Ft。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、腐蝕或粉塵等條件，可依需求於外層塗覆或加裝防侵蝕材料；
- (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。

4.5.2技術設備實務案例

1.案例廠應用簡介

案例廠為化學纖維產業廠商，本案例將風扇組之葉片與固定輪轂由原本的鋁合金風扇組改為全碳纖維風扇組，利用碳纖維高強度、輕量化、不易腐蝕的特性，來讓轉動設備穩定運轉，如此即可降低傳動組件的老化與磨耗，更同時達到節能的效果。

2.改善方案執行過程

(1) 單元改善前情境說明

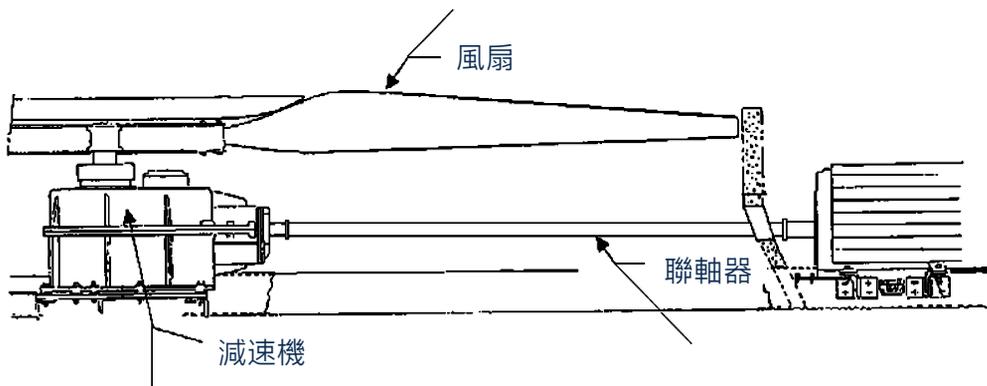
案例廠冷卻水塔風扇組運轉主要為製程區降溫，原採用風扇組總直徑 7.62 m、葉片數 8 片、轉速約為 150 rpm、葉片材質為鑄造鋁合金，其葉片短、固定輪轂大，因此重量重且運轉效率差。改善前鋁合金風扇組示意如圖 4.5.2-1 所示，其轉動方式如圖 4.5.2-2 所示。



尺寸單位：mm

資料來源：案例廠之設備廠商提供

圖4.5.2-1 案例廠改善前鋁合金風扇組示意圖

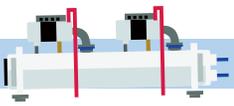


資料來源：案例廠之設備廠商提供

圖4.5.2-2 案例廠冷卻水塔散熱風扇轉動方式示意圖

(2) 單元改善後情境說明

整組風扇組材質由鋁合金改善為全碳纖維材質 (葉片與輪轂)，改善後整組風扇組大幅降低重量及耗用功率。



3.成效分析與節能減碳效益

(1) 應用冷卻水塔風車葉片改善之節能量

以美國冷卻水塔協會 (Cooling Technology Institute, CTI) 文獻進行改善前後各項數值之實測，改善前後之重量及各項實測數據與節能量如表 4.5.2-1 所示，設備改善前後之照片如圖 4.5.2-3 所示。

表4.5.2-1 案例廠改善前後各項實測數據與節能量比較表

風扇組材質	重量	實測風量	風扇靜壓	耗用功率
鋁合金	大於1,000 kg	268 CMS	0.792 inwg	80.4 kw
碳纖維	352 kg	268 CMS	0.533 inwg	57.0 kw
比較	降低60+ %	近似		-29.1 %



改善前



改善後

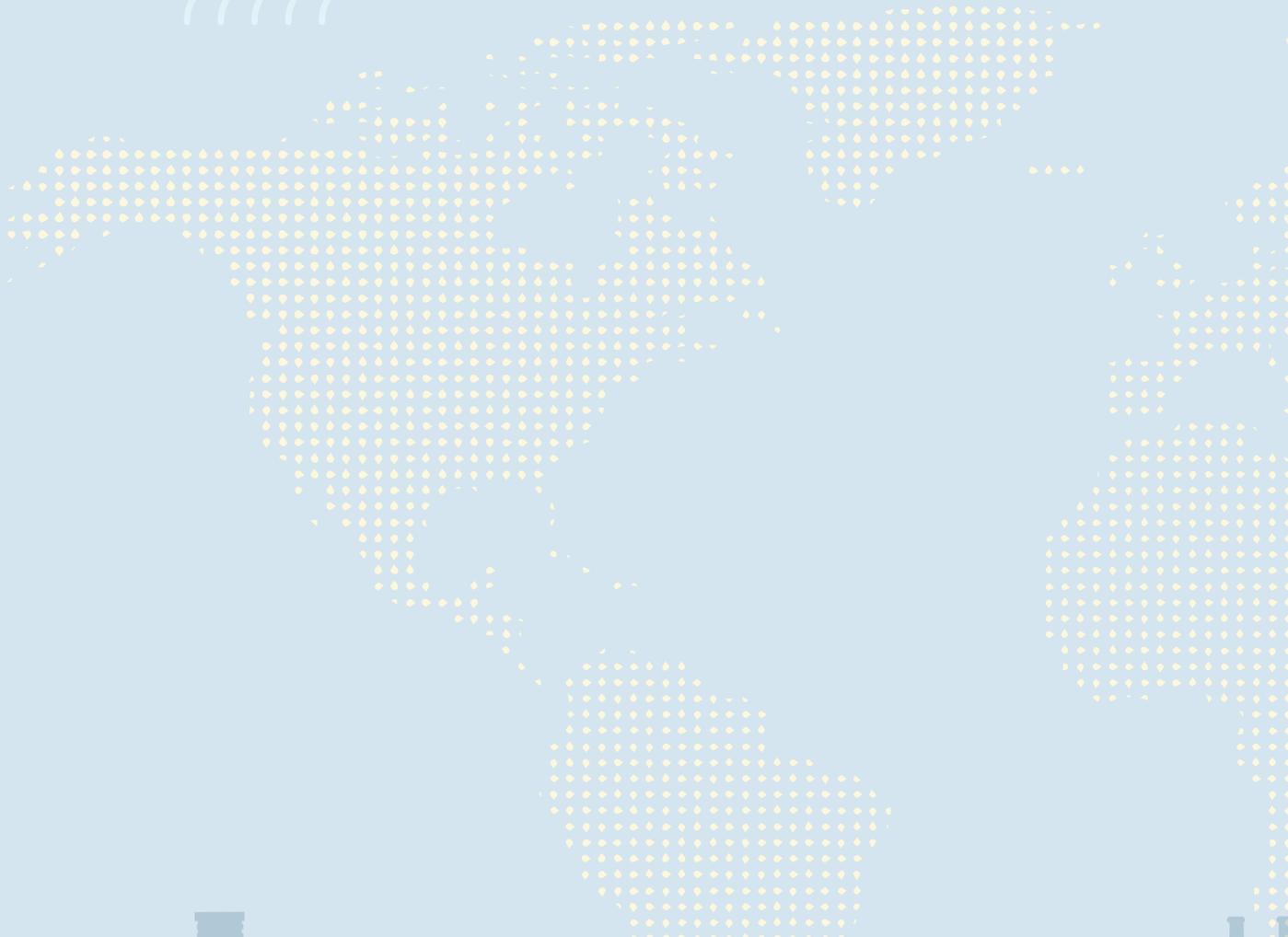
資料來源：案例廠之設備廠商提供

圖4.5.2-3 案例廠冷卻水塔散熱風扇改善前後示意圖

(2) 投資效益

案例廠冷卻水塔散熱風扇之改善

投資金額	碳纖維風扇約150萬元。
節能量	約204,984 kWh/年。 (以年運轉時數8,760小時/年計算)
節能率	約29%。
節能績效	約45萬元/年。 (以電力單價2.2元/kWh計算)
減碳量	103公噸CO ₂ e/年。 (以經濟部能源局公告109年電力排放係數0.502 kg-CO ₂ e/ kWh 計算)
回收年限	約3.33年。



低碳生產技術彙編

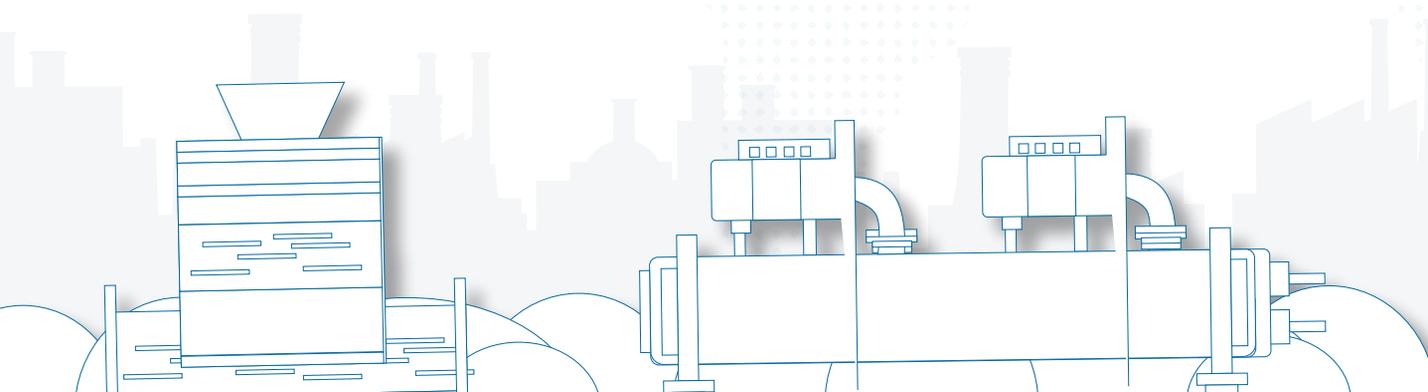
製程冷卻系統

節能技術應用篇



五、結語



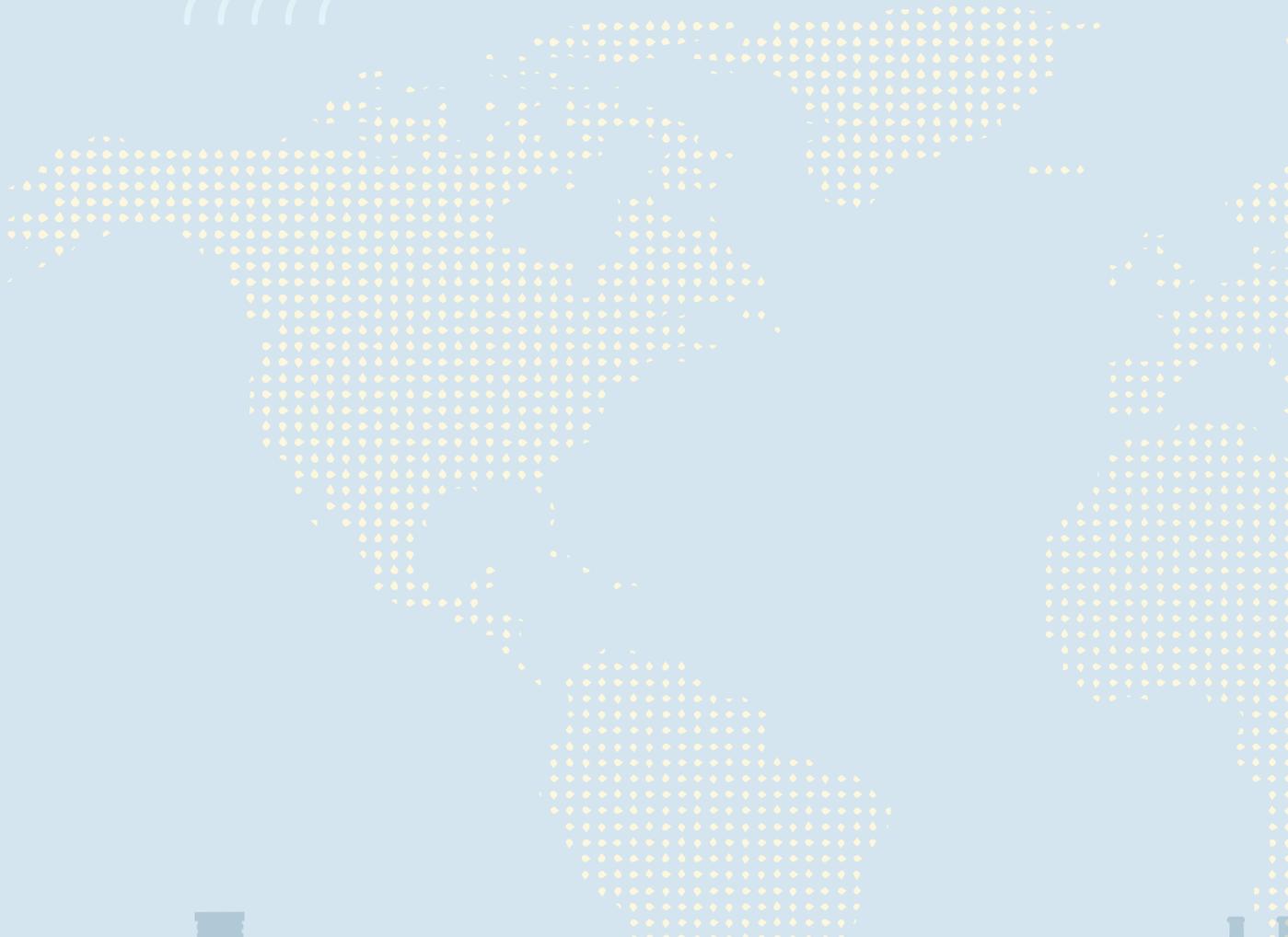


五、結語

本彙編收錄之技術及案例，可應用於製程冷卻系統或其設備，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 (如運用 AI 節能最佳化控制、永磁傳動器技術、陶瓷複合塗料防蝕技術等)；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

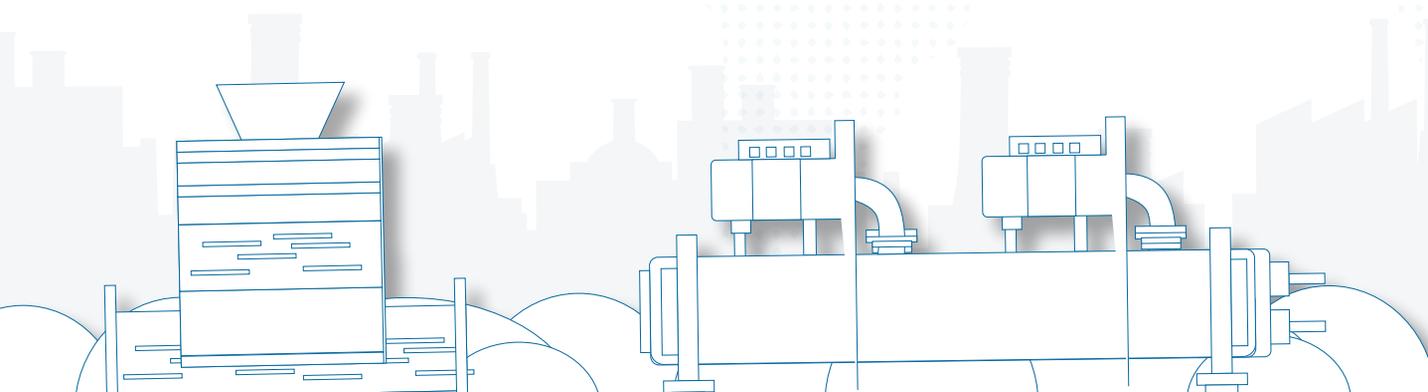
製程冷卻系統

節能技術應用篇



參考文獻





參考文獻

1. 行政院，國家自定預期貢獻 (Intended Nationally Determined Contribution, INDC)，2015 年。
2. 行政院環保署，2020 年中華民國國家溫室氣體排放清冊報告，2020 年。
3. 經濟部能源局，中華民國 109 年能源統計手冊，2021 年。
4. 經濟部能源局，2020 生產性質能源查核年報，2020 年。
5. IEA, Net Zero by 2050- A Roadmap for the Global Energy Sector, July 2021.
6. 經濟部工業局，半導體業低碳製程技術彙編，2019 年。
7. 經濟部工業局，能源密集產業低碳製程典範案例彙編 - 石化業，2019 年。
8. 高分子複合材料上冊 (修訂本)，馬振基教授，2009 年。



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>