



石化業 低碳製程技術彙編

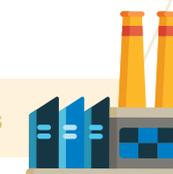




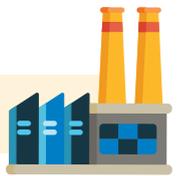
石化業

低碳製程技術彙編

經濟部工業局 編印
中華民國一〇八年十一月



一、前言	3
二、產業特性與發展趨勢	7
2.1 產業簡介	7
2.2 主要製程特性	8
2.3 未來發展方向及面臨問題	10
三、低碳製程技術及設備	21
3.1 多效蒸餾技術	24
3.2 有機朗肯循環 ORC 發電技術	31
3.3 蒸汽壓差發電技術	34
3.4 纏繞管熱交換技術	37
3.5 高溫陶瓷保溫塗料技術	40
3.6 冷卻水塔散熱風扇效率提升技術	43
3.7 吸收式冷凍機技術	48
3.8 CO ₂ 再利用技術	53
四、低碳製程技術及設備實務應用案例	59
4.1 朗肯循環 ORC 發電技術案例	59
4.1.1 應用製程簡介及技術概要	59
4.1.2 改善方案執行過程	60
4.1.3 成效分析與節能減碳效益	61
4.2 蒸汽壓差發電技術案例	62
4.2.1 應用製程簡介及技術概要	62
4.2.2 改善方案執行過程	63
4.2.3 成效分析與節能減碳效益	64
4.3 纏繞管熱交換技術案例	65
4.3.1 應用製程簡介及技術概要	65
4.3.2 改善方案執行過程	66
4.3.3 成效分析與節能減碳效益	68
4.4 高溫陶瓷保溫塗料技術案例	70
4.4.1 應用製程簡介及技術概要	70
4.4.2 改善方案執行過程	72
4.4.3 成效分析與節能減碳效益	74
4.5 冷卻水塔散熱風扇效率提升技術案例	76
4.5.1 應用製程簡介及技術概要	76
4.5.2 改善方案執行過程	77



4.5.3	成效分析與節能減碳效益	78
4.6	CO ₂ 再利用技術案例	80
4.6.1	應用製程簡介及技術概要	80
4.6.2	改善方案執行過程	82
4.6.3	成效分析與節能減碳效益	83

參考文獻----- 87

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	8
圖 2.3-1	全球油品市場的供應狀態	11
圖 2.3-2	全球各類小型汽車的市場規模	12
圖 2.3-3	全球油品市場的需求變化狀態	13
圖 2.3-4	2013~2023 年全球 PE 新增產能狀態	14
圖 3.1-1	三成份雙塔分離系統經熱整合之雙效蒸餾技術示意圖	25
圖 3.1-2	三成份分離多效蒸餾技術應用組合	26
圖 3.1-3	多效蒸餾技術應用於熱耦合預分離塔之程序簡圖	27
圖 3.1-4a	雙成份多效蒸餾之並聯程序架構演進	27
圖 3.1-4b	雙成份多效蒸餾之串聯程序架構演進	28
圖 3.1-5	乙二醇生產製程中之七效蒸餾程序流程示意	29
圖 3.2-1	有機朗肯循環 ORC 熱力循環工作原理	32
圖 3.2-2	有機朗肯循環 ORC 熱效率	32
圖 3.3-1	蒸汽輪機運作原理	35
圖 3.3-2	蒸汽膨脹熱力圖 (T-S diagram)	36
圖 3.3-3	螺桿膨脹機的進排過程示意圖	36
圖 3.4-1	纏繞管熱交換技術示意圖	37
圖 3.5-1	高溫陶瓷保溫塗料技術示意圖	40
圖 3.5-2	耐火材料種類	41
圖 3.6-1	纖維編紗束、編織布之各種編法示意圖	46
圖 3.6-2	風扇運轉氣流示意圖	47
圖 3.7-1	吸收式冷凍機熱能驅動示意圖	48
圖 3.7-2	單效蒸氣型溴化鋰吸收式冷凍機工作循環示意圖	50
圖 3.7-3	雙效熱水型溴化鋰吸收式冷凍機工作循環示意圖	50
圖 3.7-4	三效溴化鋰吸收式冷凍機工作循環示意圖	51
圖 3.7-5	溴化鋰吸收式冷凍機外觀圖	51

圖 3.8-1	回收 CO ₂ 作為原料合成之化學品及高分子材料	53
圖 3.8-2	CO ₂ 再利用技術生產醋酸流程示意圖	54
圖 4.1.1-1	案例廠製程流程	59
圖 4.1.1-2	水冷式有機朗肯循環 ORC 發電方案	60
圖 4.1.3-1	有機朗肯循環 ORC 發電機組圖片	61
圖 4.2.1-1	異丙苯及苯酚製程反應	62
圖 4.2.1-2	應用蒸汽壓差發電技術流程圖	63
圖 4.2.2-1	蒸汽壓差發電機組	64
圖 4.3.1-1	芳香烴工廠原料、產品與製程關聯圖	65
圖 4.3.1-2	纏繞管殼側流體示意圖	66
圖 4.3.2-1	應用纏繞管熱交換技術流程圖	67
圖 4.3.3-1	纏繞管熱交換器設置圖片	68
圖 4.4.1-1	苯乙烯 SM 製程流程	70
表 4.4.1-1	高溫陶瓷保溫塗料主要規範	71
圖 4.4.1-2	高溫陶瓷保溫塗料噴塗前後輻射率比較示意	72
圖 4.4.2-1	高溫陶瓷保溫塗料作業流程示意	73
圖 4.4.2-2	加熱爐改善前示意	73
圖 4.4.3-1	高溫陶瓷保溫塗料技術之節能量	74
圖 4.4.3-2	噴塗高溫陶瓷保溫塗料前後圖片	75
圖 4.5.1-1	合成氣製程及正丁醇製程	76
圖 4.5.2-1	冷卻水塔示意	77
圖 4.5.2-2	冷卻水塔散熱風扇轉動方式示意	77
圖 4.5.2-3	冷卻水塔散熱風扇改善前後圖	78
圖 4.6.1-1	醋酸製程流程圖	80
圖 4.6.1-2	CO ₂ 再利用技術流程圖	81
圖 4.6.1-3	CO ₂ 再利用過程說明示意圖	82
圖 4.6.2-1	跨公司 CO ₂ 整合回收再利用情境示意圖	83

表目錄

表 3-1	低碳製程技術特點及適用範圍	21
表 3.6-1	各種纖維性質比較	44
表 3.6-2	碳纖維與一般常用材料性質比較	45
表 4.3.3-1	纏繞管熱交換器之節能量	68
表 4.4.1-1	高溫陶瓷保溫塗料主要規範	71
表 4.5.2-1	改善前後各項實測數據與節能量	78



石化業 低碳製程技術彙編

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，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。依據行政院環境保護署「2016 年中華民國國家溫室氣體排放清冊報告」顯示，在民國 79 至 103 年間，工業製程及產品使用部門溫室氣體排放量已增加 62.61%，年平均成長率 2.05%，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。

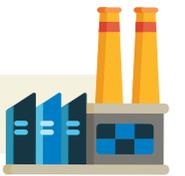
經濟部工業局為協助產業落實減碳工作，輔導企業低碳升級轉型與永續發展，規劃推動 4 年期程（民國 106 年～109 年）「製造部門低碳生產推動計畫」，期能協助產業因應日趨劇烈變化的氣候與經營環境，以確保產業競爭力。由於製程技術或設備導入須考量之因素眾多，為協助工廠順利進行低碳製程新技術或設備導入之前期規劃，遂著手辦理「低碳製程技術彙編」，藉由各產業專家所建議低碳製程技術設備之技術介紹及實務案例，以協助企業排除技術篩選之困擾與障礙，順利導入低碳生產製程技術。

本彙編針對石化產業鏈中造成溫室氣體排放量比重高之製程，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、技術層面及工程層面上，選用時宜多加評估各方面之可行性。

The background features a large, abstract geometric shape on the left side, composed of overlapping triangles and polygons in shades of olive green and light grey. Scattered throughout the white background are various smaller geometric shapes, including triangles and chevrons, some in solid olive green and others as thin outlines. At the bottom, there is a silhouette of an industrial site with a tall distillation column, a barrel, and an oil pumpjack.

石化業 低碳製程技術彙編

▶ 二、產業特性與發展趨勢



二、產業特性與發展趨勢

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 年中油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，經歷約 10 年的穩定發展期，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。在未來投資部分，台灣中油公司擬投資 500 億，開始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%。

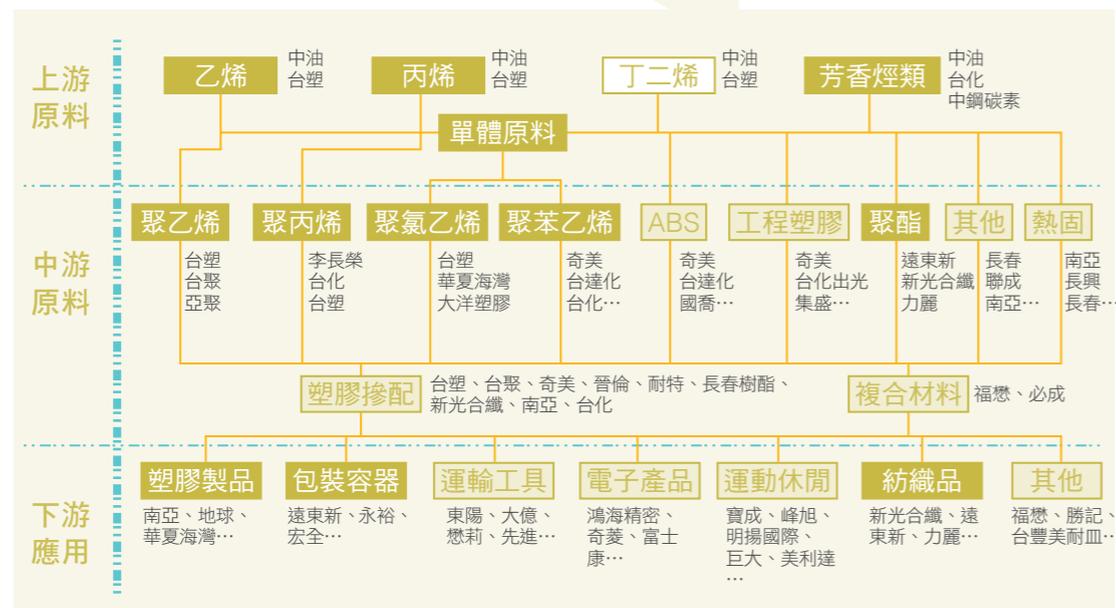
由上市櫃公司財務資料統計，2017 年我國塑膠原料產業的平均毛利率



約為 15.7%，與 2016 年相比稍高。我國塑膠原料產品之主要客戶多為我國塑膠加工、混煉與製品業者，除了在國內提供國內下游業者在國內應用外，亦提供製品業者海外生產之用，塑膠原料加工成形成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，2019 年 9 月，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，主要之產品有乙烯、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烯 (PE)、聚丙烯 (PP)、聚氯乙烯 (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為主。

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、橡膠等製品為主。

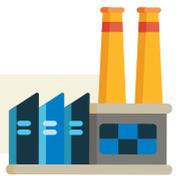
塑膠膜種類繁多，用途也極廣，其目的可避免包裝物變質、防濕、防潮、保香及防氧化作用。自 1970 年包裝用膜由 EVA、PVC、LLDPE，發展到使用 mLLDPE 材料，開發多層結構技術及線上 MD 方向延伸設備。此種技術及設備可使塑膠膜延伸率由 200% 提高至 300%，且可避免添加劑浮於表面造成污染的問題。

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。

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

(1) 熱壓成形法：

為熱固性塑膠成形法的一種，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



成形法為最簡單的一種成形加工方法。

(2)轉移成形法：

為熱固性塑膠成形法的一種，將塑料置於模具上之加熱室中，加熱使之熔融，在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品，此法所生產的成形品精密度較熱壓成形法高。

(3)射出成形法：

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，射出成形法為塑膠成形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、中空成形、壓延加工、共押出加工及混煉切粒等。

(5)壓延法：

為熱塑性塑膠的成形法之一，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煉，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佈在紡織品、紙張等。

2.3 未來發展方向及面臨問題

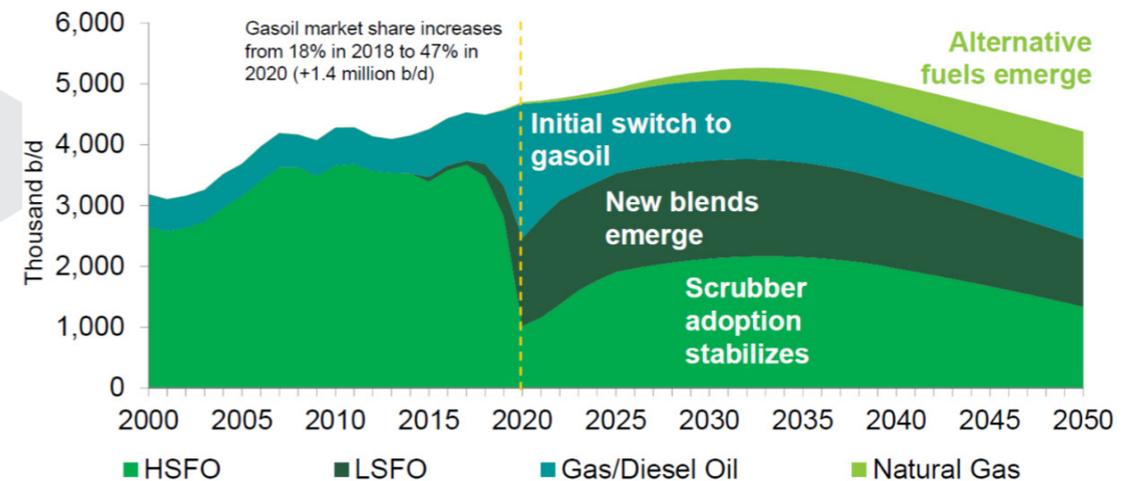
2019 年全球石化產業有幾項重要趨勢：

1. 整體產業處於產業景氣下行期，多數顧問公司認為來年產業景氣受「中美貿易戰」與「英國脫歐」時程的影響。受到中美貿易戰爭因素影響，中國大陸經濟成長將從 2018 年的 6.6% 降至 6.2%。歐盟地區則受到英國脫歐談判影響，地區出口與投資均下滑，歐元區在 2020

到 2021 年經濟成長率將在 1.4% 左右徘徊，雖有歐盟貨幣政策持續支持，但貿易與內需的持續疲軟將拖累經濟成長。

2. 「IMO 禁令」、「電動車」與「頁岩油」為影響原油市場的短期與長期供需的主要因素。

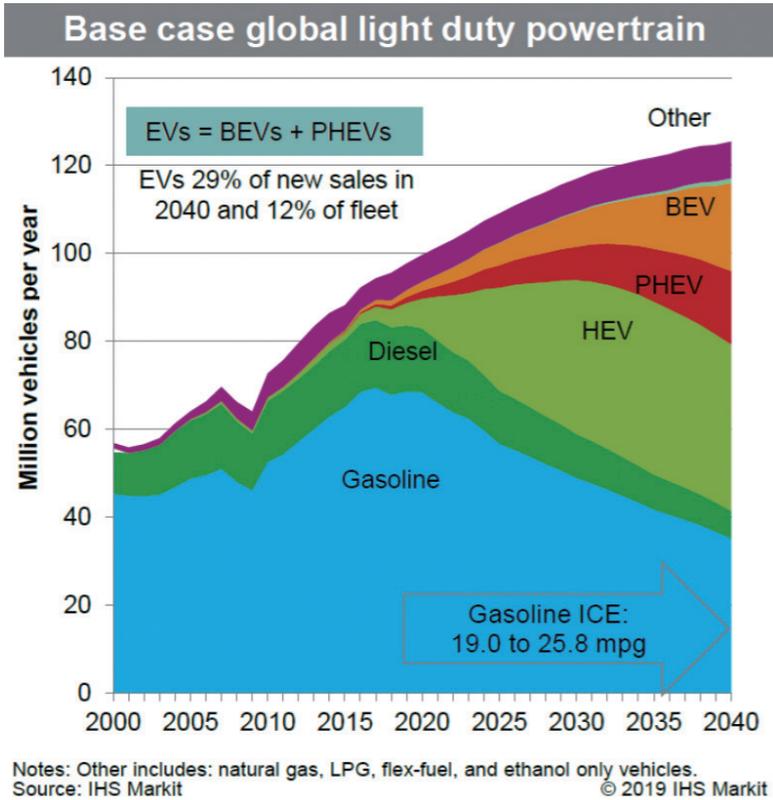
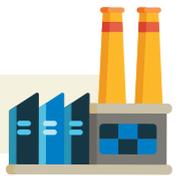
圖 2.3-1 顯示了 2000 年至 2050 年全球油品市場的供給狀態，其中 2020 年高硫燃料油（HSFO）市場受到國際海事組織（IMO）對高硫燃料油禁用的規範，預期將大幅縮減。



資料來源：APIC，2019 年

圖 2.3-1 全球油品市場的供應狀態

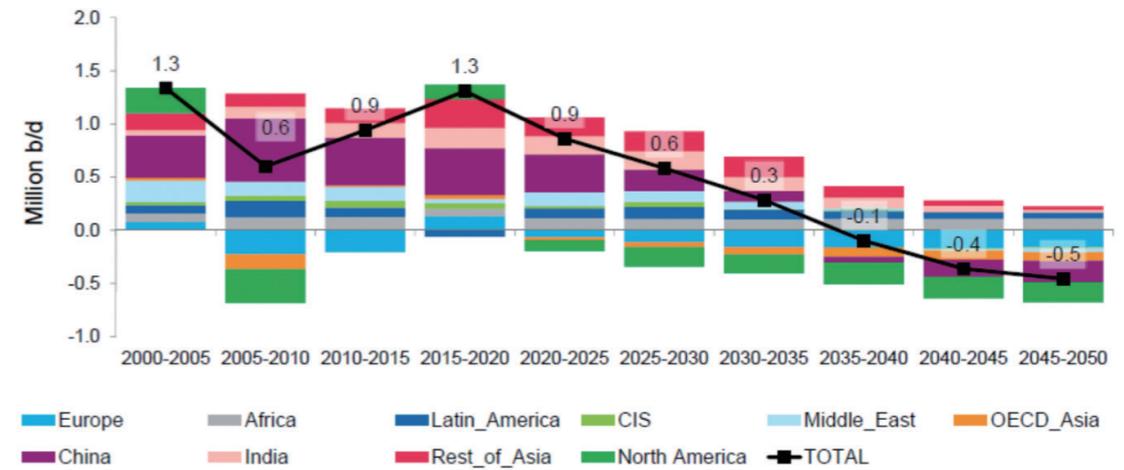
圖 2.3-2 為 IHS Markit 調查機構調查與預估全球各類小型汽車（房/轎車）的市場銷售規模，預期在 2019 年全球使用汽油與柴油引擎的小型汽車市場將達到頂峰的最大值，之後的銷售量預計將開始陸續受到電動車的影響。IHS Markit 預期從 2020~2030 年的十年間，將是油電混合車成長最為快速的時期，從 2030 年後純電動車的市場將逐漸開啟，預計到 2040 年時，純電動車與插電式油電混合車將可達到整體小型汽車市場的 29%。



資料來源：APIC，2019 年

圖 2.3-2 全球各類小型汽車的市場規模

HS Markit 同時預測全球的油品市場至 2030~2035 年期間全球油品市場規模達到最高峰後，油品市場規模不再每年成長而開始縮小，全球油品市場的需求量將開始下降。初期（2030~2040 年）以北美、歐洲的下滑量最大，後期（2040~2050 年）則中國大陸與生活水平較高的亞洲國家下降幅度最大，如圖 2.3-3 所示。



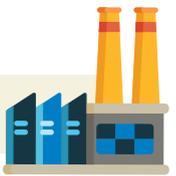
資料來源：APIC，2019 年

圖 2.3-3 全球油品市場的需求變化狀態

頁岩革命影響油氣供需發展，並衝擊能源價格及產業版圖，美國整體原油產量因頁岩油大幅增產，2019 年 4 月份的原油日產量達到 1,212 萬桶的高峰，並於 6 月份時超越沙烏地阿拉伯成為全球最大石油出口國，原油出口量突破每日 300 萬桶，美國成為全球油市的主導國家。且隨著美國頁岩油產量的提升，其對原油的進口需求和對中東原油的依賴度降低，中東的原油產能銷往亞洲市場的比重也會提高，美國頁岩油的出現相當於協同石油輸出國家組織（OPEC）為原油市場引入供應平衡機制。

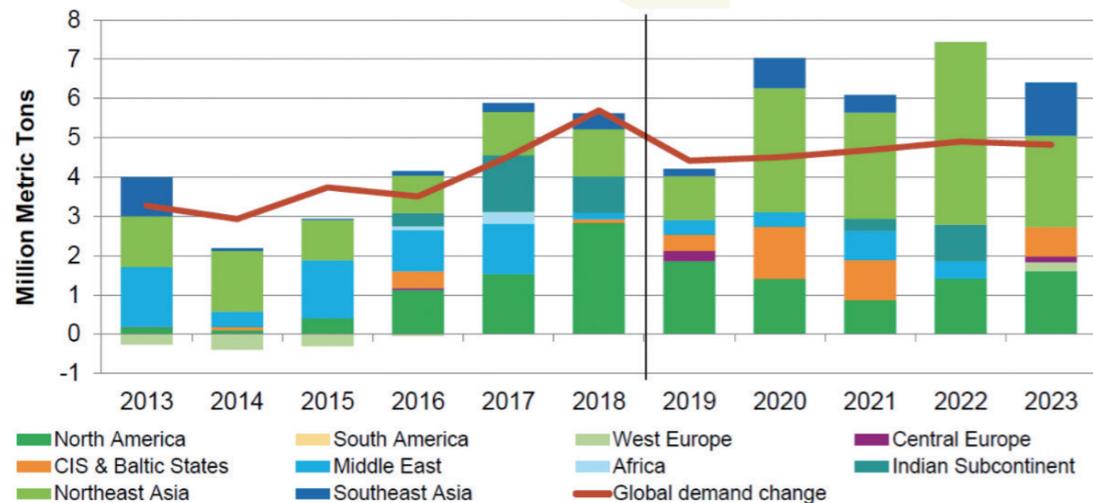
3. 乙烯新增產能集中在「東南亞」與「北美」，PE 市場未來三年呈現供過於求的狀態。

圖 2.3-4 為 2013~2023 年十年間全球 PE 新產能的增加狀態，紅線表示全球對 PE 的需求變化量，彩色長條表示各地區當年度增加的新產能。2013~2018 年期間，其中的 2014~2015 年間呈現需求變化量大於供給變化量的狀態，兩年間的供需差距約在 160 萬公噸的規模；2016~2017 年間則呈現需求變化量小於供給變化量的狀態，這兩年



間的供需差距約在 190 萬公噸的規模；而 2018 年則供給與需求變化大致呈現均衡的狀態，也就是說從 2013~2018 年期間的 6 年中，全球 PE 的供需大致維持在一個供給變化量較需求變化量多一些些的情況，大致算是供需平衡的市場狀態。

從 2019~2023 年的 5 年間，除 2019 年呈現供給變化量略小於需求變化量的狀況外（約 15 萬公噸），其餘四年都呈現供給變化量遠大於需求變化量的狀態，供給變化量遠超過需求變化量達 845 萬公噸，在這樣的供需狀態下，未來 5 年內的 PE 大致呈現一個供給遠超過需求的市場狀況。



資料來源：APIC，2019 年

圖 2.3-4 2013~2023 年全球 PE 新增產能狀態

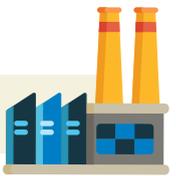
美國頁岩油產量持續提高後，隨即在下游掀起一波美國石化投資熱潮，帶動全球石化廠爭相在德州、路易斯安那州大舉投資乙烷裂解廠，2018 年下半年開出 400 萬噸乙烯新產能，未來 4 年，總計有 1,300 萬噸新增乙烯產能加入市場。美國石化業挾帶著高產能、低成本兩大優勢，利用低廉價格的頁岩氣生產出來的下游產品如乙烯，相較歐亞、台灣等依賴以石腦油為原料經輕油裂解生產的乙烯更具經濟競爭

力。

4. PP 市場未來供需大致平衡，亞洲應用 LPG 與 PDH 技術生產丙烯的廠商越來越多。主要原因是 2014~2018 年亞洲地區裂煉廠的 C2 產品為獲利高峰期，各家廠商將獲利投注於 2019~2023 年的新產能建設中。相對的，在新產能的挹注下，市場獲利狀況將大幅下滑，整體產業將進入景氣循環的下行階段。
5. COTC（原油製化學品技術）製程未來將成為影響煉製廠獲利與競爭力的重要技術。

COTC 技術的全名為原油製化學品（Crude Oil To Chemical）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）、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. 塑膠廢棄物對環境的影響與回收逐漸成為業界關注課題。

近期在中國大陸政府開始禁止垃圾含量高的塑膠洋垃圾進口政策推動下，全球塑膠垃圾的貿易出現失衡，歐美國家開始重視塑膠垃圾的問題。目前全球塑膠回收主要有三種技術，一是物理機械回收，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。

但如果從影響市場的觀點來評量，化學解聚回收方法由於是將回收回來的廢塑膠解聚成為單體化學品，將影響塑膠上游原料的乙烯丙烯市場，也將對下游塑膠市場供需產生結構性的廠商轉換影響。

7. 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。

8. 產業面臨的主要問題。

全球化工、化學、石化產業目前處於產業景氣循環的下行階段，亞洲 PE 市場未來三年又呈現供過於求的狀態，PP 市場勉強處於供需平衡，台灣專職生產 C2 與 C3 化學品的相關廠商須密切注意此一市場趨勢的發展狀態。

目前觀察 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。

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到上述目標，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，成為廠商關注的重點。

參考資料：

- [1] 亞洲石油化學工業會議 (Asia Petrochemical Industry Conference, APIC)，2019 年。
- [2] 鄭益昌，頁岩油氣在夾縫中茁壯，科學發展 2019 年 4 月 556 期。
- [3] 王淑麗，頁岩油氣的下游應用，科學發展 2019 年 4 月 556 期。
- [4] 工研院產業科技國際策略發展所，2019 年 9 月。



石化業 低碳製程技術彙編

▶ 三、低碳製程技術及設備





三、低碳製程技術及設備

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。低碳製程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 低碳製程技術特點及適用範圍

項次	低碳製程技術及設備	技術特點	適用範圍	考量因素
1	多效蒸餾技術	為運用程序熱整合的節能蒸餾技術，有別於常規蒸餾塔需要各自的冷凝器和再沸器，「多效蒸餾」藉由操作壓力的改變，使塔頂冷凝過程移作另一塔的塔底加熱使用，該熱交換器同時為冷凝器與再沸器。	一般可分為三成份分離系統與雙成份分離系統，對應用於相對揮發度小，所需理論板數多或蒸餾操作回流比高的分離物系，節能效益較顯著。	雙成份多效蒸餾的節能率，會隨著效數等比增加，惟礙於效數的增加也相當於硬體投資的等比增加，須以整體經濟性決定效數。
2	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。	(1) 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； (2) 單一機組發電容量 10kW~1,200kW。	(1) 熱源及冷源條件(流量、溫度)變動性、變異範圍、流體成分； (2) 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。



項次	低碳製程技術及設備	技術特點	適用範圍	考量因素
3	蒸汽壓差發電技術	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。	(1)入口蒸汽最高壓力：61kg/cm ² ，蒸汽需量：3~50T/hr； (2)單一機組發電容量50kW~6,000kW。	(1)來源蒸汽供應條件，如蒸汽壓力、蒸汽量、蒸汽溫度等； (2)蒸汽壓差發電機系統所需場地空間及配管距離等；
		蒸汽壓降螺桿膨脹發電機：當水蒸汽進入膨脹機後，進行膨脹作功，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。	(1)入口蒸汽壓力2.5~30.6kg/cm ² ，蒸汽需量：2.4~12T/hr； (2)單一機組發電容量12kW~3,000kW。	(3)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； (4)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。
4	纏繞管熱交換技術	(1)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； (2)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。	(1)設計溫度：-196~610℃； (2)最大直徑：5,600mm； (3)最高設計壓力：260kg/cm ² ； (4)最大換熱面積：30,000m ² 。	(1)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； (2)現有設備周邊空間需求。

項次	低碳製程技術及設備	技術特點	適用範圍	考量因素
5	高溫陶瓷保溫塗料技術	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腔內部，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。	(1)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； (2)連續使用溫度可達1,700~1,750℃； (3)最高可承受溫度≥1,900℃。	(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高溫燒結養成，故爐體操作溫度需500℃以上。
6	冷卻水塔散熱風扇效率提升技術	碳纖維强度高、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：11Ft~33Ft。	(1)環境/製程溫度、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。
7	吸收式冷凍機技術	以外來熱源為動力製造冷凍水，可將製程廢餘熱回收後驅動冷凍機，減少製程冰機負載，並可調節尖峰用電期間之供需。	(1)適用於製程有冷能需求之熱回收； (2)穩定連續性熱源如熱水（88~95℃）、蒸汽、煙氣等。	(1)廢餘熱型式（熱水或蒸汽）、條件，能源能階是否穩定足夠、連續供應、腐蝕性等； (2)驅動熱源方式可分為單效、雙效及三效（多效）型，需綜合評估節省能耗和設備投資選定最佳的效數。



項次	低碳製程技術及設備	技術特點	適用範圍	考量因素
8	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	(1) 各廠區或各製程尾氣 CO ₂ 濃度、產出量、腐蝕性、供給情形等條件； (2) 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。

註：餘熱回收技術之回收年限及節能減碳等效益，與回收之熱源條件及運轉時數有關，可依各廠製程餘熱條件評估最適技術應用。

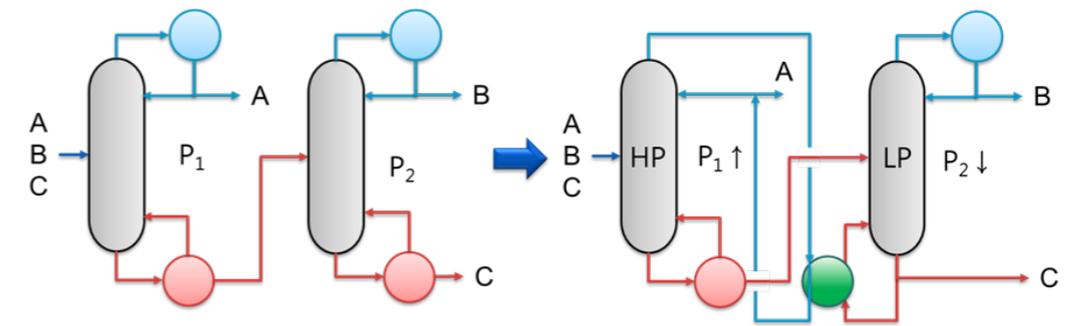


圖 3.1-1 三成份雙塔分離系統經熱整合之雙效蒸餾技術示意圖

3.1 多效蒸餾技術

1. 技術應用原理

多效蒸餾技術是一種運用程序熱整合 (heat integration) 的節能蒸餾技術，其原理是將兩座 (或以上) 蒸餾塔操作在不同壓力下，創造較高的溫度差以利進行熱交換，達到節省能源使用的目的。其程序操作原理在於設計兩塔的壓力使得高壓塔 (HP) 塔頂蒸氣的冷凝溫度高於低壓塔 (LP) 塔釜內的沸點溫度，將高壓塔頂部的高溫蒸汽流通過低壓塔煮沸底部物質，同時自身產生冷凝，即在同一個熱交換器內完成了沸騰與冷凝過程 (參見圖 3.1-1)，將高壓塔移出的熱能供給低壓塔加熱所用，完成了蒸餾塔間的程序熱整合。有別於常規蒸餾塔需要各自的冷凝器和再沸器，這樣的蒸餾程序布局稱為「多效蒸餾」。依據文獻典型的三成份雙效蒸餾程序能源成本可大約減少 50%。

2. 技術特點與優勢

多效蒸餾程序一般可分為三成份分離系統 (Ternary) 與雙成份分離系統 (Binary)，對應用於相對揮發度小，所需理論板數多或蒸餾操作回流比高的分離物系，節能效益較顯著。兩系統的技術特點與應用優勢分述如下：

(1) 三成份多效蒸餾

對於三成份的雙塔分離之多效蒸餾系統，其再沸器與冷凝器僅需分別設置在高壓塔的塔釜與低壓塔的塔頂，據理論推算這種類型熱整合設計具有高達 70% 的額外節能潛力 (包含加熱與冷卻所需的能量)，且不會有明顯的硬體設置成本增加。依據熱整合的程序組合，可分為兩種類型 (或方向)：正向整合 (Forward Integration) 與反向整合 (Backward Integration)，若再以蒸餾順序的直接或間接區分時，將會出現四種三成份多效蒸餾的程序，分別是正向整合直接序列 (Direct split with forward integration, DSF)、反向整合直接序列 (Direct split with backward integration, DSB)、正向整合間接序列 (Indirect split with forward integration, ISF) 與正向整合間接序列 (Indirect split with backward integration, ISB)，如圖 3.1-2 (a)(b)(c)(d)。根據文獻三成份多效蒸餾程序也可應用在熱耦合蒸餾系統 (Thermally coupled distillation)



之預分離塔 (prefractionator) 程序 (圖 3.1-3)，將使節能效益發揮至極致。

三成份多效蒸餾在工業上的應用主要以沸點相近、不容易分離的物系為主，例如正丁烷 / 異丁烷 / 正己烷的分離，或是甲醇 / 甲醛 / 水的分離等。

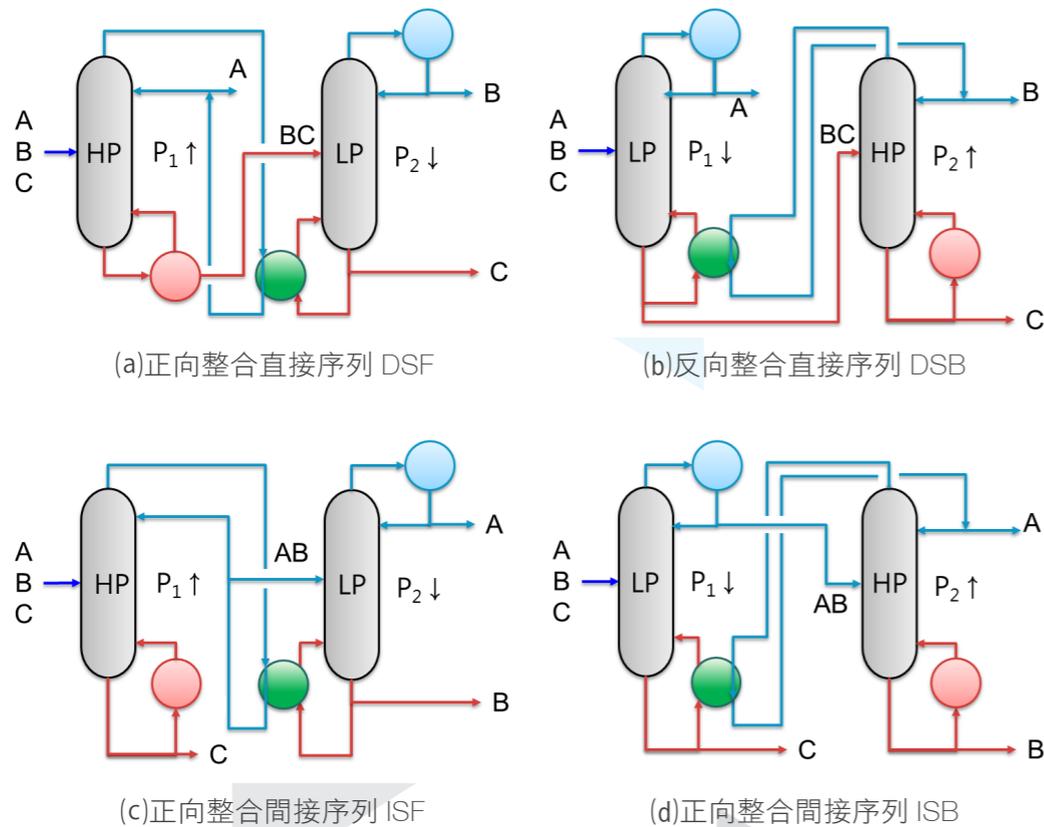


圖 3.1-2 三成份分離多效蒸餾技術應用組合

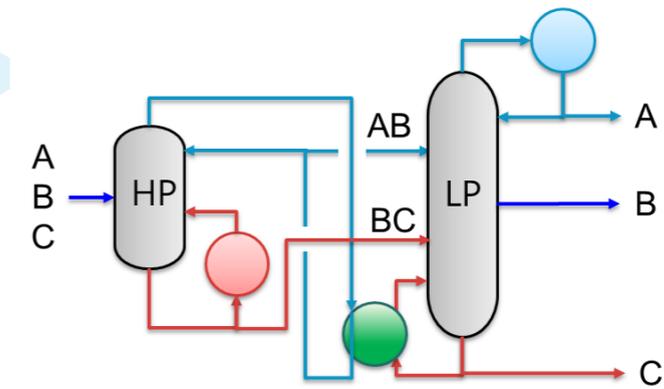


圖 3.1-3 多效蒸餾技術應用於熱耦合預分離塔之程序簡圖

(2) 雙成份多效蒸餾

相對於三成份多效蒸餾系統可利用原有的雙塔結構進程序整合設計，雙成份多效蒸餾則須由原來的單塔增加塔數至雙塔甚至多塔來達成熱整合節能操作的目的。但也因此在應用範圍上更具有彈性與多變性。典型的雙成份多效蒸餾在原有單塔架構上與新增的蒸餾塔形成並聯或串聯程序 (圖 3.1-4a, b) 來達成熱整合的操作。

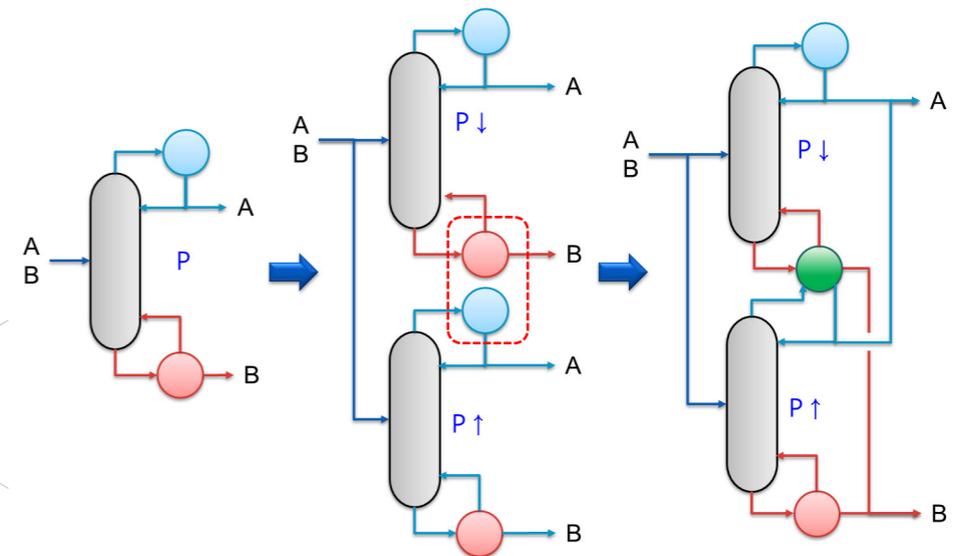


圖 3.1-4a 雙成份多效蒸餾之並聯程序架構演進

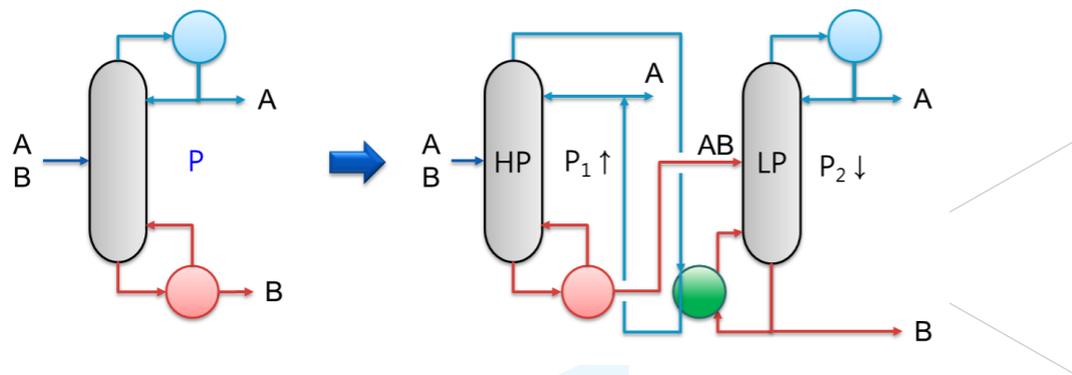


圖 3.1-4b 雙成份多效蒸餾之串聯程序架構演進

一般在並聯或串聯的選擇上，沸點相近採並聯操作、沸點差異較大且低沸點物質潛熱較高者（例如水或醇類物質）則採串連操作，且無論並聯或串聯都可以擴充塔數以增加熱整合效數。

在並聯操作上最據代表性的工業案例即是苯乙烯製程中的脫乙苯塔，其採用多效蒸餾的節能率大約可達 50%，國內主要的苯乙烯生產廠如台化、台苯或國喬等公司也已採用此技術改善蒸餾系統的耗能，成效顯著。而在串連多效蒸餾的工業應用上，最典型的工業案即是乙二醇生產製程的二醇類（glycols）除水程序，採用的效數可達七效甚至更高（圖 3.1-5）；其他在甲醇 / 水、乙醇 / 水或是高沸點低濃度溶劑（如 DMF, DMAc 等等）除水濃縮蒸餾分離系統上也可見到採用串聯式的多效蒸餾程序案例。

雙成份多效蒸餾的節能率，會隨著效數等比增加，按理論推算雙效蒸餾可節能 50%、三效可節能 67%，以此類推，效數越高則節能率越高。惟礙於效數的增加也相當於硬體投資的等比增加，須以整體經濟性決定效數。

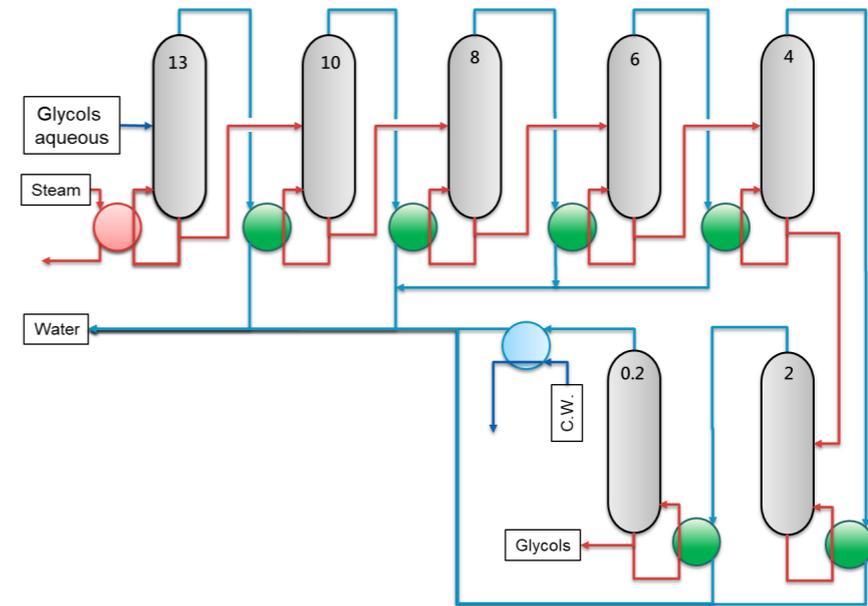


圖 3.1-5 乙二醇生產製程中之七效蒸餾程序流程示意

基於雙成份多效熱整合的原理簡單與可設計性，除了為數不少的多效蒸餾案例外，最大的應用場域則是在海水淡化之多效蒸發，不但文獻多，且工業應用案例也很常見。另外，多效蒸餾技術的原理也可應用在薄膜蒸餾（membrane distillation）可得到同樣的節能效果，甚至也搭配其他的工業節能技術整合運用發揮最大能源效率，例如與有機朗肯循環、熱泵或吸收式冷凍技術。有此可見得多效蒸餾或蒸發技術於工業節能技術應用上的重要性。

3. 應考慮因素與限制

多效蒸餾由於涉及物質分離過程間的潛熱回收，因此通常具有很大的節能效益，但實際節能多寡取決於如何在「程序安排」、「進料組成」和「物系分離難度」之間獲得最佳的平衡點；除此之外，物質的熱敏性、公用系統（加熱 / 冷卻）的搭配能力與硬體投資增加，也會限制多效蒸餾的程序設計與操作條件。一般來說，進行本技術規劃設計時應考慮因素與注意事項包括有：



- (1) 因涉及壓力與溫度改變，因此蒸餾塔與熱交換器設備負荷皆會改變，必須審慎設計，如沿用舊設備更必須仔細核算性能與容許操作範圍。
- (2) 若欲將三成份雙塔程序改為並聯雙效蒸餾，須考量相對揮發度的改變、塔器水力負荷、熱交換器能力狀況，兩塔進料量通常不會是 1:1。
- (3) 多效蒸餾塔的操有別於獨立操作的單塔，屬於雙塔或多塔耦合 (coupling) 操作，增加了操作複雜度，因此控制策略必須重新設計。
- (4) 基於操控穩定性或開車需求，某些多效蒸餾系統會考慮增設輔助的熱交換器 (包括再沸器或冷凝器)。
- (5) 雙成份的多效蒸餾或多效蒸發之效數，須依工廠實際狀況，謹慎進行經濟分析 (ROI) 決定。
- (6) 多效蒸餾程序設計理論簡單，不一定需要原廠技術提供者 (licensor) 進行設計，任何有經驗的製程工程師透過程序模擬設計軟體輔助應可勝任此技術之可行性評估工作；但進入工程基本設計階段時，仍建議透過專業的基本設計團隊或公司協助，方有助於改善專案的成功。

參考資料：

- [1] Robinson, C.S., Gilliland, E.R., 'Elements of Fractional Distillation', 4th. edn., McGraw-Hill Book Co., 1950, 168-191
- [2] King, C.J., 'Separation Processes', 2nd ed. McGraw-Hill Book Co., 1980
- [3] HK Engeliien, S Skogestad 'Minimum Energy Diagrams for Multieffect Distillation Arrangements' - AIChE journal, 2005
- [4] C. Cui et al., 'Towards energy efficient styrene distillation scheme From grassrootsdesign to retrofit', Energy 134 (2017) 193e205
- [5] 台化化工二部，'苯乙烯廠 (海豐) 多效蒸餾節汽改善'，台塑企業雜誌電子報 2012 年第 2 期 (43 卷第 2 期；2012.03)
- [6] D. Zhao et al., 'Theoretical analyses of thermal and economical aspects of multi-effect distillation desalination dealing with high-salinity wastewater', Desalination 273 (2011) 292-298
- [7] F. Kiefer et al., 'Multi-Effect Vacuum Membrane Distillation systems Model derivation and calibration', Desalination 438 (2018) 97-111
- [8] A. Baccioli et al., 'Thermodynamic and economic analysis of the integration of Organic Rankine Cycle and Multi-Effect Distillation in waste-heat recovery applications', Energy 161 (2018) 456e469
- [9] A. Chorak et al., 'Energetic evaluation of a double-effect LiBr-H₂O absorption heat pump coupled to a multi-effect distillation plant at nominal and off-design conditions', Applied Thermal Engineering 142 (2018) 543-554
- [10] 工研院材料與化工研究所，2019 年 9 月

3.2 有機朗肯循環 ORC 發電技術

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。

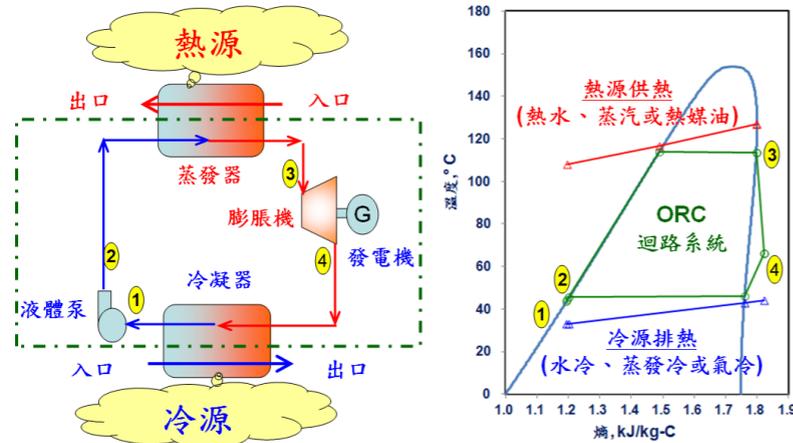
1. 技術應用原理

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 3.2-1 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。



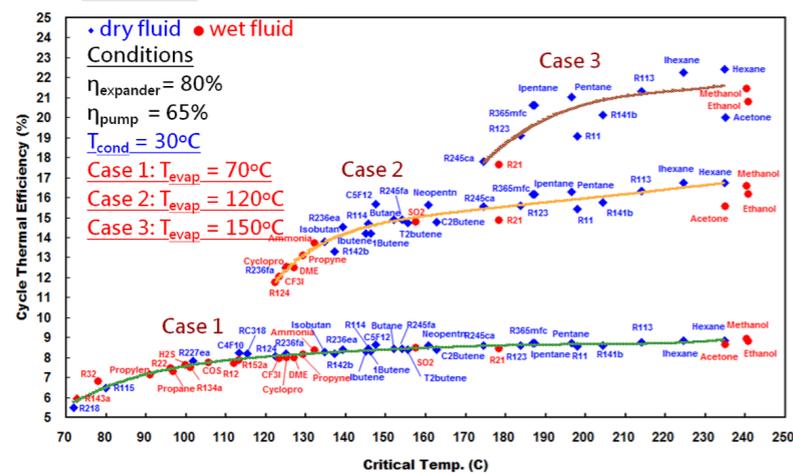
利用低溫沸點工質(冷媒)，將熱源、冷源溫差能轉換為電力輸出



資料來源：經濟部工業局產業節能減碳資訊網 - 低碳製程技術資料庫，漢力能源科技股份有限公司

圖 3.2-1 有機朗肯循環 ORC 熱力循環工作原理

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 3.2-2 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，漢力能源科技股份有限公司

圖 3.2-2 有機朗肯循環 ORC 熱效率

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。

參考資料：

- [1] 經濟部工業局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
- [2] 107 年低碳製程技術研討會。



3.3 蒸汽壓差發電技術

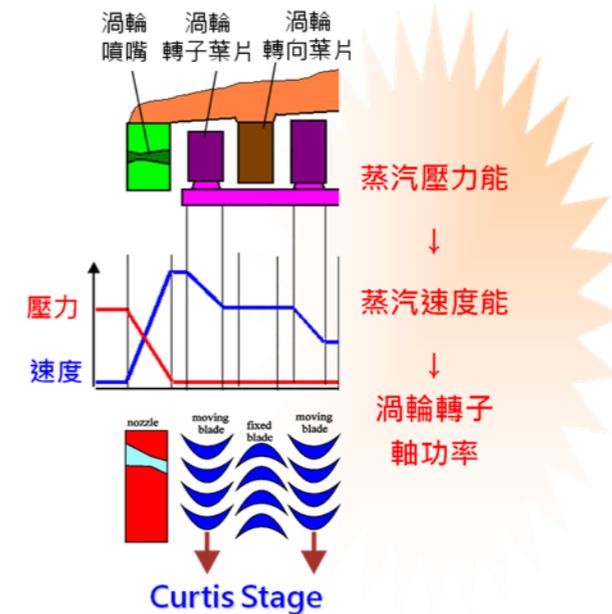
石化產業有相當大的蒸汽需求，如何有效應用達到節省能源使用成為各工廠關注之焦點。蒸汽用戶考量特定製程的壓力需求、傳輸配送及鍋爐效率，常提高產生端的蒸汽壓力。有些製程端需求的蒸汽壓力較低，常需串聯減壓閥以降低蒸汽壓力；而有些製程尾端還有低壓蒸汽無法使用，若直接排放會造成能源損失。而蒸汽壓差發電技術可回收製程間壓差能或製程尾端的低壓蒸汽能，產生軸功率或電力供廠區利用，提高廠內的能源使用效率。

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，技術原理各如下說明。

蒸汽渦輪發電機：採用衝擊式（impulse type）渦輪構型，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 3.3-1：

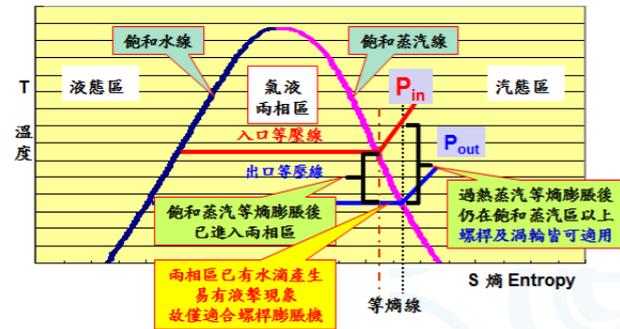
- (1) 高壓蒸汽進入蒸汽輪機的蒸汽室後，導引進入渦輪噴嘴。在渦輪噴嘴內，蒸汽壓力逐漸降低，蒸汽壓力能轉換為蒸汽速度能。
- (2) 高速蒸汽離開噴嘴後，直接衝擊渦輪轉子葉片，旋轉渦輪轉子，產生軸功率。蒸汽衝擊渦輪轉子後，若蒸汽速度還高，利用轉向葉片，調整蒸汽方向，再衝擊第二列渦輪轉子葉片，提高軸功率及渦輪效率。
- (3) 渦輪轉子產生的軸功率，可直接拖動旋轉機械或透過發電機輸出電功率。經過渦輪轉子後的蒸汽，由蒸汽輪機的蒸汽出口，排入低壓蒸汽製程管網。



資料來源：經濟部工業局產業節能減碳資訊網 - 低碳製程技術資料庫，漢力能源科技股份有限公司

圖 3.3-1 蒸汽輪機運作原理

蒸汽壓降螺桿膨脹發電機：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 3.3-2 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，蒸汽出膨脹機後變成低壓、低溫的蒸汽，進入下階段應用。螺桿膨脹機的進排過程示意圖如圖 3.3-3 所示。



資料來源：經濟部工業局產業節能減碳資訊網 - 低碳製程技術資料庫，開山安葆股份有限公司

圖 3.3-2 蒸汽膨脹熱力圖 (T-S diagram)



a. 進氣過程 b. 膨脹過程 c. 排氣過程

資料來源：經濟部工業局產業節能減碳資訊網 - 低碳製程技術資料庫，開山安葆股份有限公司

圖 3.3-3 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。

參考資料：

[1] 經濟部工業局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

3.4 纏繞管熱交換技術

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，使廠內空間更有效應用並增加熱回收效益。

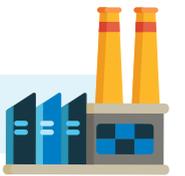
1. 技術應用原理

纏繞管式熱交換器 (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，管中流體劇烈擾動效能增加，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 3.4-1 所示。



資料來源：108年低碳製程技術研討會，立國工程股份有限公司

圖 3.4-1 纏繞管熱交換技術示意圖



2. 技術特點與優勢

纏繞管熱交換器有以下特點：

- (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，可降低維修次數。
- (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

本技術適用時機：

- (1) 工廠中至少 3 座串聯或並聯的使用位置。
- (2) 傳統熱交換器（如板式）洩漏問題無法解決。

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式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。

另在維護保養方面，纏繞管式換熱器運作後的清洗可分為中和清洗和除垢清洗，說明如下：

- (1) 中和清洗：可防止奧氏體不銹鋼設備的連多硫酸腐蝕。在裝置停工檢修期間，若設備參與檢修則進行中和清洗。若設備如果不進行檢查或維護，採用氮封形式密閉隔離即可，無需進行中和清洗。
- (2) 除垢清洗：可除去換熱管表面的垢物，恢復換熱器性能。除垢清洗並不是必需的，應分析評估換熱器的運行資料後決定：

- a. 若換熱管無完全堵塞，管、殼程均採用化學除垢清洗，管程和殼程需各自建立獨立的迴圈。
- b. 若換熱管出現單管完全堵塞，無法建立迴圈，需採用管內高壓水射清洗技術進行疏通，需先對管內垢物堵塞情況進行評估。

參考資料：

[1] 108 年低碳製程技術研討會。

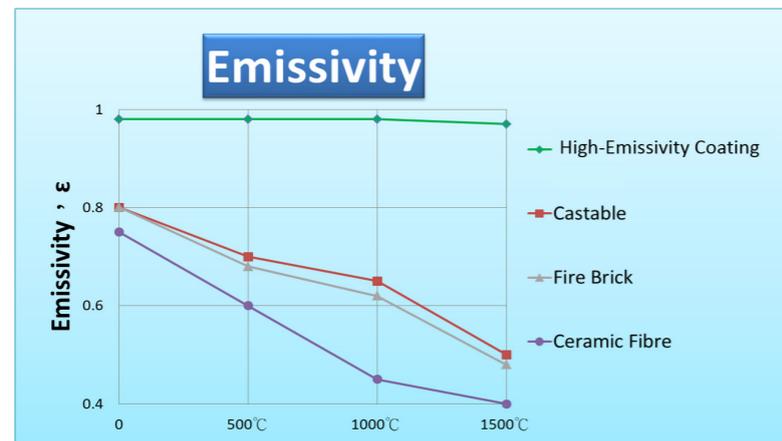


3.5 高溫陶瓷保溫塗料技術

在石化業、鋼鐵業等製程中，最主要的能耗來源為加熱爐等高溫耗能設備。應用高溫陶瓷保溫塗 可提升爐內壁輻射率，減少 內之能源損失、降低爐外壁溫度、降低燃料損耗，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，並達到降低燃料成本及節能減碳之最大目標。

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 後，可將爐內輻射率提升至 0.98 左右，輻射率與溫度的示意如圖 3.5-1 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 抗高溫 (塗料連續使用溫度為 1700°C ~1750°C) 及耐酸鹼能力，能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，並達到節能減碳的目標。



資料來源：柏榮工程企業有限公司

圖 3.5-1 高溫陶瓷保溫塗料技術示意圖

2. 技術特點與優勢

高溫陶瓷保溫塗 技術有下特點：

- (1) 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。耐火材料種類示意圖如 3.5-2。
- (7) 高溫陶瓷保溫塗 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 (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。



耐火磚

耐火泥

耐火棉毯



耐火棉磚

耐火澆鑄料

資料來源：柏榮工程企業有限公司

圖 3.5-2 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 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。

參考資料：

[1] 經濟部工業局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

3.6 冷卻水塔散熱風扇效率提升技術

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，使用的產業相當廣泛，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，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

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，利用材料的特性來增加運轉的穩定性並降低擾流的頻率，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 3.6-1 所示，碳纖維與一般常用材料性質比較如表 3.6-2 所示，纖維編紗束、編織布之各種編法如圖 3.6.1 所示。

根據材料力學撓曲量計算如下所示，模數與撓曲量成反比，由於碳纖維高模數的特性，所以運轉中產生的形變較低，因此氣流穩定上升，避免擾流所造成的流量損失。

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

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



資料來源：高分子複合材料上冊（修訂本），馬振基教授，2009年

表 3.6-1 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 ²)	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
鋼	2.80-4.00	2.0	7.80	207	27
尼龍	0.90	14.0	1.14	7	6
聚酯	1.09	9.0	1.38	15	11
克維拉（芳香 聚醯胺）	3.16	6.5	1.44	57	40

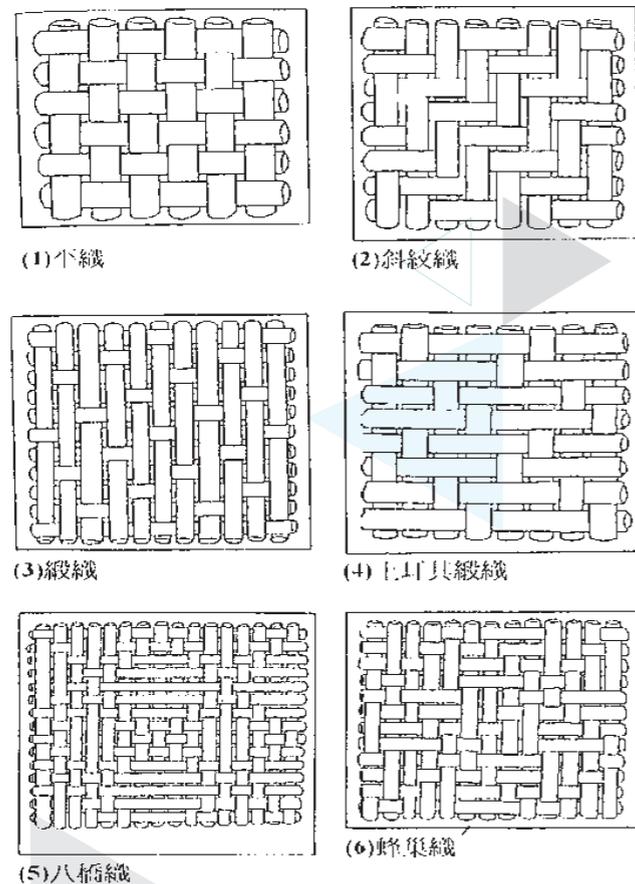
*Young's modulus divided by density (specific Young's modulus)

Note : The strength units (KN/mm²) are Kilonewtons per square millimetre ; 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

表 3.6-2 碳纖維與一般常用材料性質比較

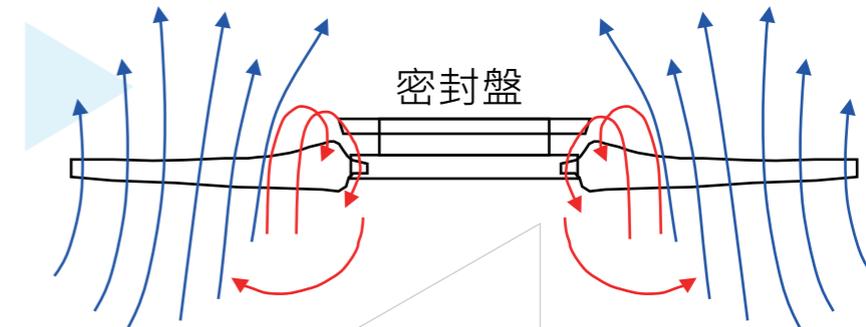
機械性質	松木 (Pine)	鋁合金 (Dural)	鈦合金 (TiAl6Va4)	鋼	GRP 0°C + 45°C 50 : 50 with Vf=60%	CFRP laminated as GRP with Vf=60%	
						HT	HM
抗張強度 (N/mm ²)	100	350	800	1100	720	900	720
楊氏模數 (N/mm ²)	12x10 ³	75x10 ³	110x10 ³	210x10 ³	30x10 ³	88x10 ³	120x10 ³
密度 (g/cm ²)	0.5	2.8	4.5	7.8	2.1	1.5	1.6
比強度 (km)	20	13	18	14	34	60	45
比模數 (km)	24x10 ³	2.7x10 ³	2.4x10 ³	2.7x10 ³	1.4x10 ³	5.9x10 ³	7.5x10 ³
剪切模數 (N/mm ²)		28x10 ³	42x10 ³	81x10 ³	23x10 ³	23x10 ³	30x10 ³



資料來源：高分子複合材料上冊（修訂本），馬振基教授，2009年

圖 3.6-1 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 3.6-2 所示。



資料來源：又禾興國際有限公司

圖 3.6-2 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玻璃纖維葉片相同的強度。碳纖維葉片重量的降低，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 11Ft ~ 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。

參考資料：

- [1] 高分子複合材料上冊（修訂本），馬振基教授，2009年。
- [2] 經濟部工業局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

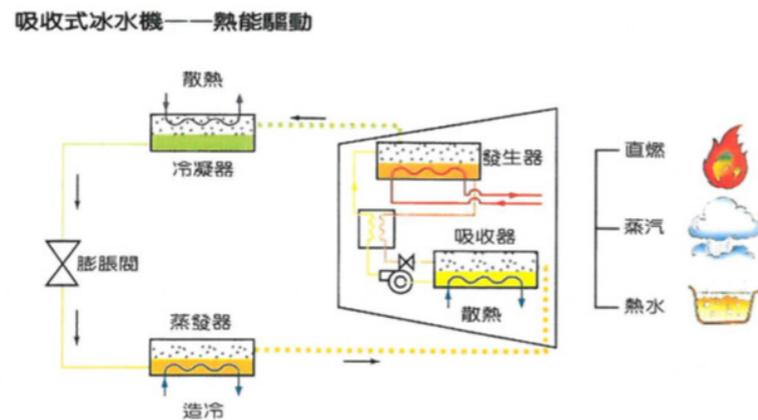


3.7 吸收式冷凍機技術

吸收式冷凍機是利用熱源來驅動的冷凍機，有別於一般利用機械能驅動之壓縮式冷凍機更為節能。舉凡需使用鍋爐或製程產生廢熱或餘熱之行業或是區域集中供蒸汽之工業區有剩餘或低壓無法再利用之蒸氣或熱水，皆可應用吸收式溴化鋰冷凍機之特性產出冷凍水供製程或空調使用，更可應用於熱泵系統……等。以吸收式冷凍機低耗電特性，在尖峰電力期間供需調節或變動性冷卻需求調節可達相當大的助益。

1. 技術應用原理

吸收式冷凍機與壓縮式冷凍機最主要的差異是吸收式冷凍機僅藉由發生器 - 吸收器的組合來取代高馬力的壓縮機。吸收式冷凍機是用「熱能來驅動」，而熱來源可能是瓦斯直燃、鍋爐蒸汽或熱水。吸收式冷凍機熱能驅動示意圖如 3.7-1 所示。



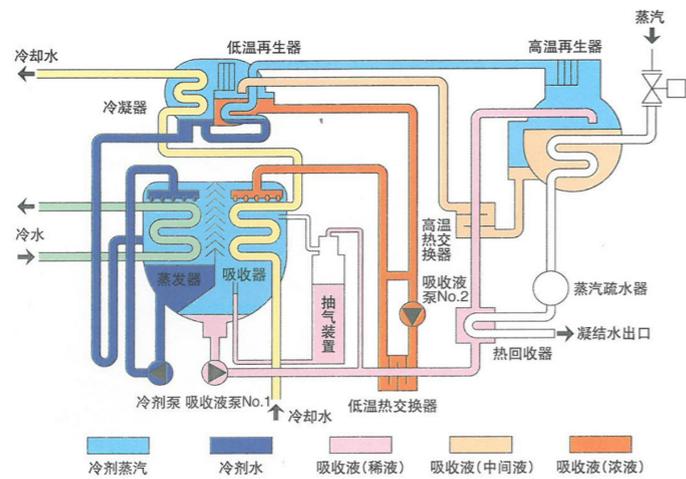
資料來源：台北科技大學能源與冷凍空調工程系柯明村副教授，吸收式冰水機簡報

圖 3.7-1 吸收式冷凍機熱能驅動示意圖

溴化鋰吸收式冷凍機工作原理為以外來熱源為動力製造冷凍水，水為冷媒、溴化鋰溶液為吸收劑，利用不同溫度下溴化鋰水溶液對冷媒的吸收與釋放來實現製冷循環。設備元件主要由發生器、冷凝器、蒸發器、吸收器、換熱器、循環泵等幾部分組成，功能說明如下：

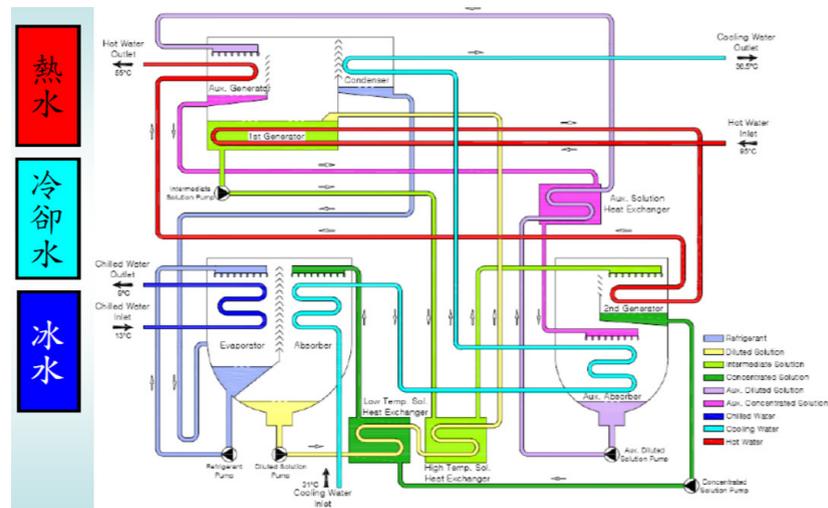
- (1)發生器：利用加熱使溴化鋰溶液中的冷媒（水）與溴化鋰分離，冷媒（水）蒸發，提高溴化鋰溶液濃度。
- (2)吸收器：利用蒸發器蒸發的冷媒（水）蒸汽給予吸收，維持蒸發器內的壓力在真空狀態。
- (3)蒸發器：利用冷媒（水）的蒸發潛熱把熱帶走，降低管內冰水溫度。
- (4)冷凝器：利用冷卻水將發生器內的冷媒（水）蒸汽冷凝為液態。

系統驅動熱源方式可分為單效、雙效及三效（多效）型，可綜合評估節省能耗和設備投資選定最佳的效數，其構造及運行過程如圖 3.7-2、圖 3.7-3 及圖 3.7-4 所示。當冷媒通過膨脹閥進入蒸發器內吸收水熱量製冷後，冷媒水不斷汽化；被吸收器內的溴化鋰吸收後，溴化鋰濃液濃度逐步降低，再由吸收液泵送至發生器，發生器的熱量將溴化鋰稀液內的冷媒蒸發出來，溴化鋰稀液逐步升高濃度，溴化鋰濃液經冷卻後回到吸收器。被蒸發出的冷媒水蒸汽進入冷凝器，被冷凝器內的冷卻水降溫後成為高壓低溫的液態水再通過膨脹閥進入蒸發器時，如此循環不息，連續製造冷量。由於溴化鋰稀溶液在吸收器內已被冷卻，溫度較低，為了節省加熱稀溶液的熱量，提高整個裝置的熱效率，在系統中增加了換熱器，讓發生器流出的高溫濃溶液與吸收器流出的低溫稀溶液進行熱交換，提高稀溶液進入發生器的溫度。溴化鋰吸收式冷凍機外觀如圖 3.7-5 所示。



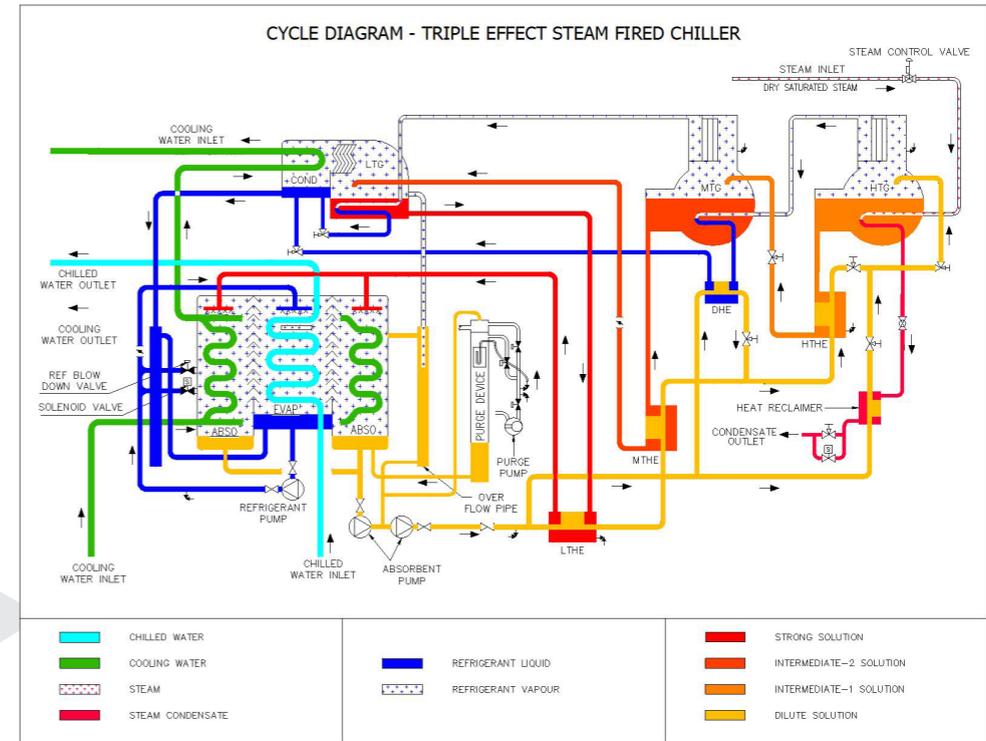
資料來源：大連松下制冷有限公司目錄

圖 3.7-2 單效蒸氣型溴化鋰吸收式冷凍機工作循環示意圖



資料來源：LG HVAC SOLUTION

圖 3.7-3 雙效熱水型溴化鋰吸收式冷凍機工作循環示意圖



資料來源：經濟部工業局產業節能減碳資訊網- 低碳製程技術資料庫，特邁斯冷熱工程股份有限公司

圖 3.7-4 三效溴化鋰吸收式冷凍機工作循環示意圖



資料來源：LG Absorption Chiller Steam Fired Type

圖 3.7-5 溴化鋰吸收式冷凍機外觀圖



2. 技術特點與優勢

溴化鋰吸收式冷凍機於廢餘熱回收方案中有如下特點：

- (1) 可利用廢熱能源驅動溴化鋰吸收式冷凍機；
- (2) 非常低的電力消耗、較低的運轉成本；
- (3) 機體無轉動機件、無震動及機台運轉安靜；
- (4) 無機體磨損、低程度保養需求及較低的停機期；
- (5) 採用環保友善的冷媒—水、無冷媒洩漏及冷媒不需要充填滿；
- (6) 零臭氧層破壞潛勢、零全球暖化潛勢等。

3. 應考慮因素與限制

本技術規劃設計應考慮因素包括：

- (1) 廢餘熱（熱水或蒸汽）之條件，如能源能階是否穩定足夠、連續供應、腐蝕性等。
- (2) 廢餘熱型式與設備安裝位置之邏輯關係是否正確？環境因素包含溫度、腐蝕性物質、潮濕、灰塵等。
- (3) 設備安裝之搬運動線、機房空間、更換熱交換器管路是否有預留抽換作業空間等。

參考資料：

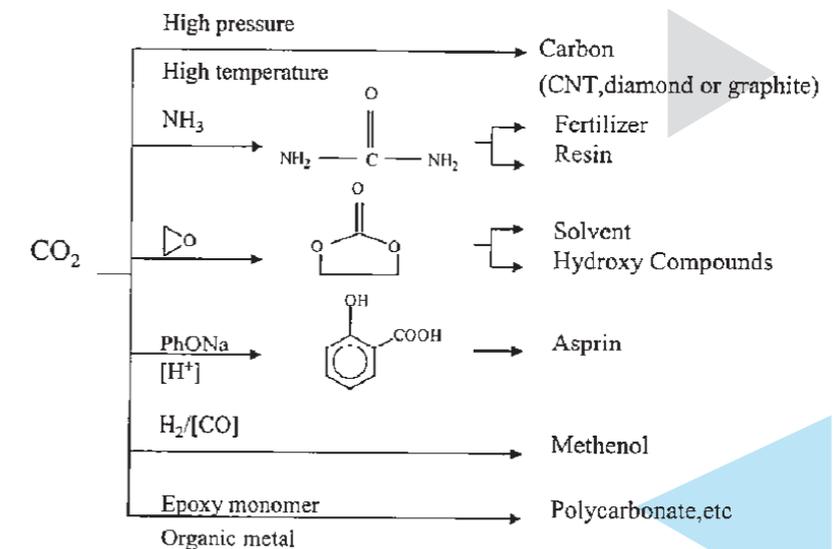
- [1] 台北科技大學能源與冷凍空調工程系柯明村副教授，吸收式冰水機簡報。
- [2] 經濟部工業局產業節能減碳資訊網 - 低碳製程技術資料庫。https://proj.tgpf.org.tw/LGIPTD/page/TechnologyList.aspx

3.8 CO₂ 再利用技術

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循環整合，將可用的能資源回收再利用，使其投入最小化、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、跨場域的回收高濃度 CO₂ 作為原料，來合成各種化學品及高分子材料，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 循環整合再利用，達成減碳之成果。可回收 CO₂ 作為原料合成之化學品及高分子材料如圖 3.8-1 所示。以下以回收 CO₂ 作為醋酸原料為例來做說明。



資料來源：溫室氣體二氧化碳減量技術研討會，2004 年

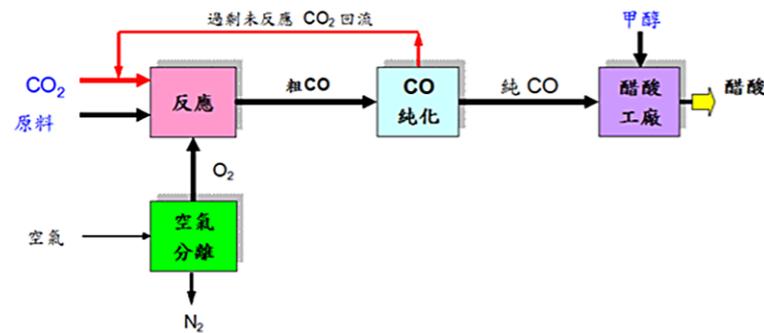
圖 3.8-1 回收 CO₂ 作為原料合成之化學品及高分子材料



醋酸製備合成方式多元，目前商業化有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，兩種方法之反應如下所示：



其中甲醇羰基化法由甲醇和 CO 反應，其原料 CO 如由重油裂解而成或利用水蒸氣通過熾熱煤炭進行反應，均不會消耗掉 CO_2 ，無法減少溫室氣體排放；若整合回收其他場域製程 CO_2 廢氣再利用生成為 CO 原料，即可達到減少碳排之目地。 CO_2 再利用技術生產醋酸流程如圖 3.8-2 所示。



資料來源：長春石油化學股份有限公司

圖 3.8-2 CO_2 再利用技術生產醋酸流程示意圖

2. 技術特點與優勢

CO_2 再利用技術為一綠色製程，回收再利用合成醋酸原料 CO，如再將由此 CO 製程產出之醋酸用於製造醋酸乙烯，其生產過程所產生之 CO_2 ，又可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，亦可跨廠區將各製程中所產生的 CO_2 蒐集起來再利用，以這種方式才可以同時達到 CO_2 減量並生產出其他原料或產品之最大效益。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 CO_2 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)避免管線輸送時發生洩漏之情形等。

參考資料：

- [1] 溫室氣體二氧化碳減量技術研討會，2004 年。
- [2] 長春石油化學股份有限公司。

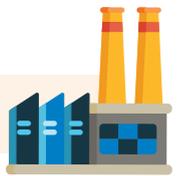


石化業

低碳製程技術彙編

▶ 四、低碳製程技術及 設備實務應用案例





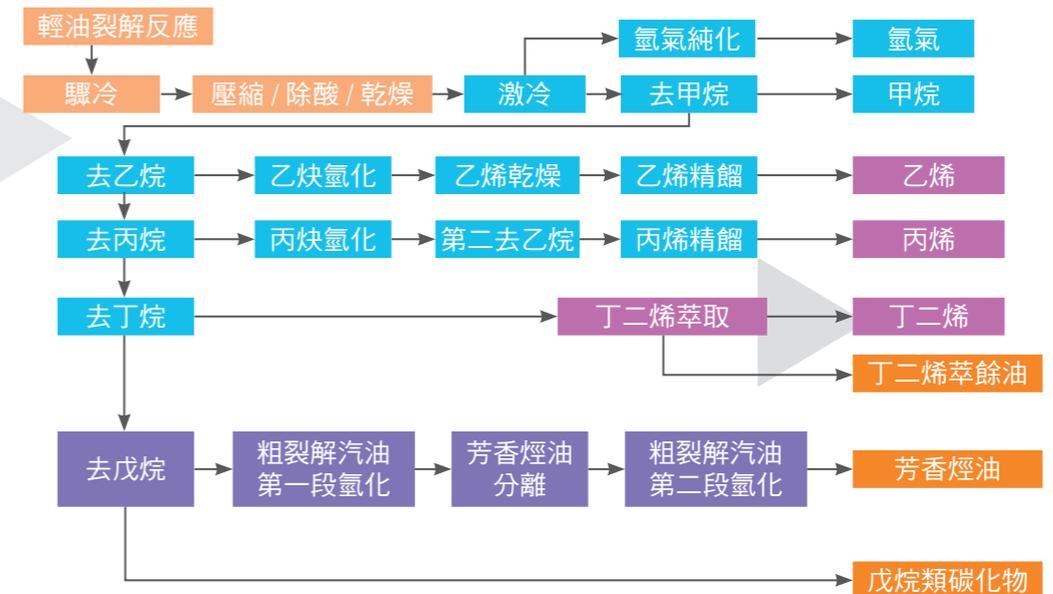
四、低碳製程技術及設備實務應用案例

4.1 朗肯循環 ORC 發電技術案例

4.1.1 應用製程簡介及技術概要

1. 應用製程簡介

案例廠生產產品為石化原料如乙烯、丙烯、丁二烯等，製程流程如圖 4.1.1-1 所示。

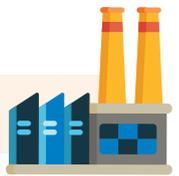


資料來源：溫室氣體自願減量績優大會

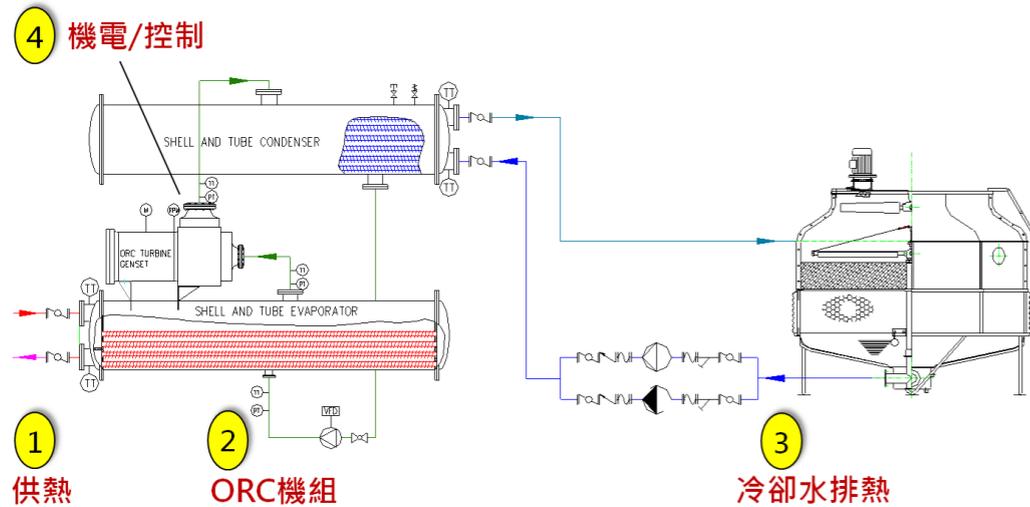
圖 4.1.1-1 案例廠製程流程

2. 技術概要

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、壽期長、價格低；及（2）冷卻水系統清洗維修便利、費用低、使用壽期長等優勢。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 4.1.1-2 所示。



資料來源：漢力能源科技股份有限公司官網 <http://hanpower.com.tw/>

圖 4.1.1-2 水冷式有機朗肯循環 ORC 發電方案

4.1.2 改善方案執行過程

1. 單元改善前情境說明

改善前製程暖管剩餘蒸汽 1.9 T/hr，蒸汽壓力 3.5 kg/cm²，溫度 210°C，直接排至冷凝收集槽排放。

2. 單元改善後情境說明

導入有機朗肯循環 ORC 發電機後，操作參數如下：

- (1) 冷、熱源流量：1.9T/hr。
- (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。

4.1.3 成效分析與節能減碳效益

1. 設置有機朗肯循環 ORC 發電技術回收餘熱之節能量

以測試數據進行節電量計算，預估有機朗肯循環 ORC 廢熱發電機全年可發 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 4.1.3-1 所示。



資料來源：案例廠提供

圖 4.1.3-1 有機朗肯循環 ORC 發電機組圖片

2. 投資效益

案例廠有機朗肯循環 ORC 發電技術回收餘熱之改善

- 投資金額：約 670 萬元（僅設備費用，不包括電力供應之電壓電纜線）。
 - 每年節電量（發電量）：約 1,012,800 kWh。
（以年運轉時數 8,000 小時 / 年計算）
 - 節能績效：約 211 萬元 / 年。
 - 減碳量：540 公噸 CO₂ / 年。
 - 回收年限：約 3.2 年（僅列入設備費用，不包括電力供應之電壓電纜線）。
- （1kWh= 2.085 元計，電力係數以 0.533 kg-CO₂e/ kWh 計）

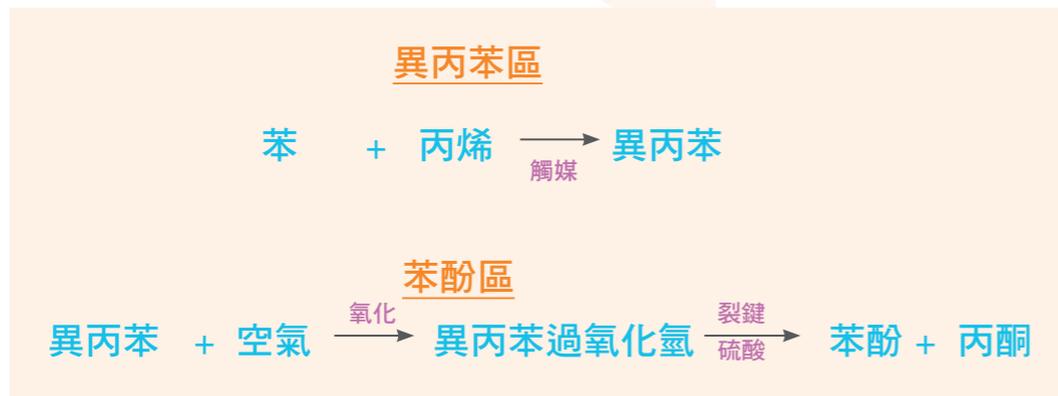


4.2 蒸汽壓差發電技術案例

4.2.1 應用製程簡介及技術概要

1. 應用製程簡介

案例廠主要從事苯酚、丙酮的生產，其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，後在硫酸催化下裂鍵反應成苯酚及丙酮。製程反應簡略如圖 4.2.1-1 所示。

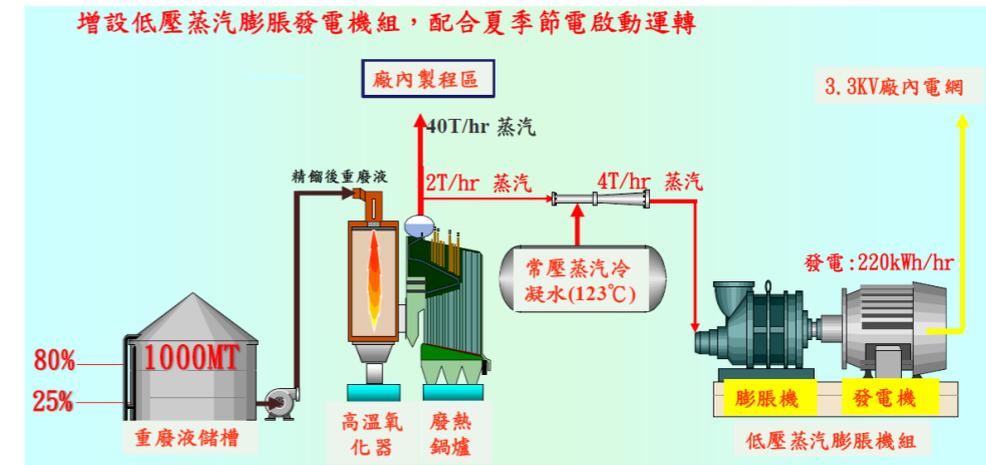


資料來源：案例廠提供

圖 4.2.1-1 異丙苯及苯酚製程反應

2. 技術概要

以往製程低壓蒸汽無處使用，直接排放到大氣中形成能源的浪費，且正常運轉下，廠內產製蒸汽不但可自給自足，也能外送到鄰廠使用。若因製程調整或定檢而減少使用蒸汽時，可利用蒸汽差壓發電機組來調解使用，回收低階能源用以發電，另可預留彈性空間，為未來降低煙囪排氣溫度預做準備。應用流程如圖 4.2.1-2 所示。



資料來源：案例廠提供

圖 4.2.1-2 應用蒸汽壓差發電技術流程圖

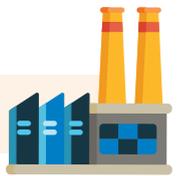
4.2.2 改善方案執行過程

1. 單元改善前情境說明

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，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，可利用機組來調解回收蒸汽發電使用。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. 單元改善後情境說明

主要配合夏季節電運轉，搭配鍋爐升載多產生 2T/hr 蒸汽，透過 Thermo-Compressor 回收 123°C 常壓蒸汽冷凝水能量，產生 4T/hr 蒸汽，供蒸汽壓差發電機組發電。改善後之照片如圖 4.2.2-1 所示。



資料來源：案例廠提供

圖 4.2.2-1 蒸汽壓差發電機組

4.2.3 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

$$187.1\text{kWh/hr} \times 4,000 \text{ 小時 / 年} = 748,400 \text{ kWh / 年}$$

2. 投資效益

案例廠蒸汽壓差發電技術之改善

- 投資金額：約 2,258 萬元。
- 每年節電量（發電量）：748,400 kWh。
（以運轉時數 4,000 小時 / 年計算）
- 節能績效：約 165 萬元 / 年。
- 減碳量：399 公噸 CO₂ / 年。
- 回收年限：約 13.7 年（僅運轉 4,000 小時 / 年計）。
（1kWh= 2.2 元計，電力係數以 0.533 kg-CO₂e/ kWh 計）

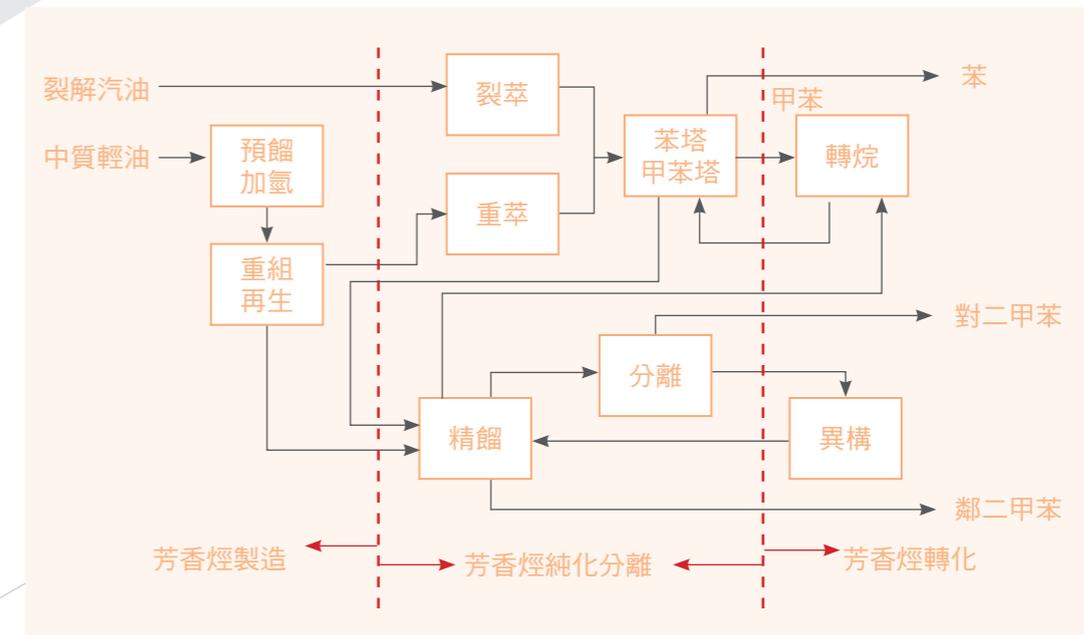
4.3 纏繞管熱交換技術案例

4.3.1 應用製程簡介及技術概要

1. 應用製程簡介

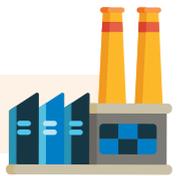
案例廠製程可分為芳香烴製造（包括預餾、加氫、重組與再生等單元）、芳香烴純化分離（包括萃取、精餾與分離等單元）以及芳香烴轉化（包括轉烷與異構單元）。

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%，可以先經萃取製程處理，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 4.3.1-1



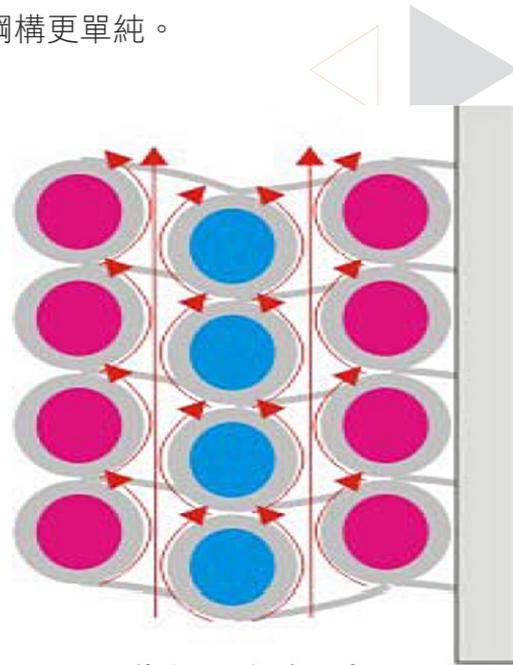
資料來源：台塑企業節能資訊

圖 4.3.1-1 芳香烴工廠原料、產品與製程關聯圖



2. 技術概要

纏繞管式熱交換器其內部特殊的纏繞管結構及其流體示意如圖 4.3.1-2 所示，高效纏繞管式熱交換器能將多座舊式熱交換器濃縮成單座，並優化溫度增加熱能回收（即 277°C 提高至 300°C）。相較於舊設備，設備安裝空間更小、配管更精簡、鋼構更單純。



資料來源：108 年低碳製程技術研討會

圖 4.3.1-2 纏繞管殼側流體示意圖

4.3.2 改善方案執行過程

1. 單元改善前情境說明

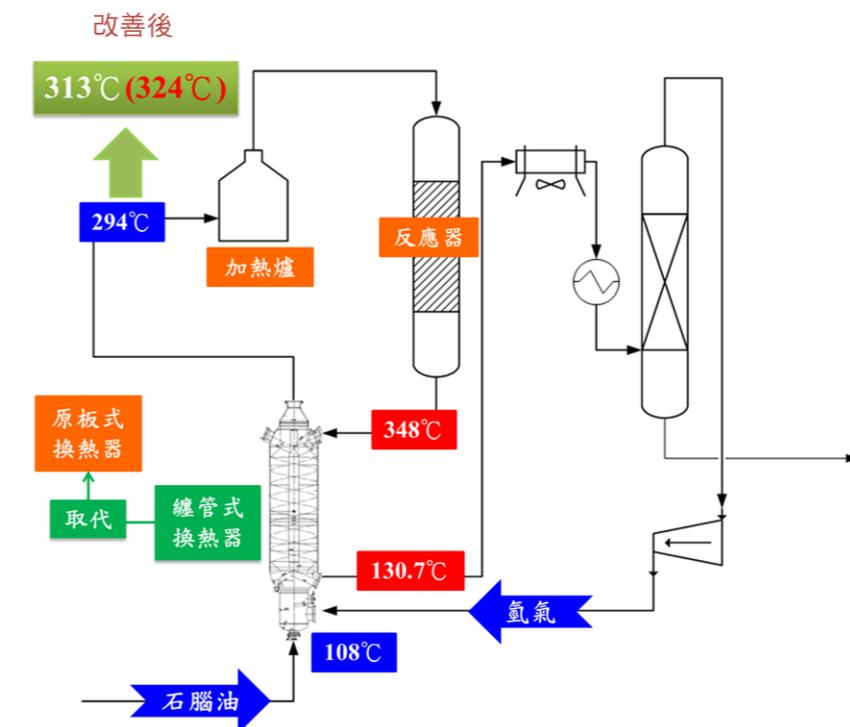
案例廠舊有板式熱交換器高熱能需求產生了嚴重的結垢，導致效能下降，以及增加壓縮機能耗。此外，在不穩定的程序條件下，板式熱交換器相對容易因瞬間壓力的波動，造成破損而洩漏。

原料石油腦與氫氣混合後溫度為 108°C，與反應器出口 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. 單元改善後情境說明

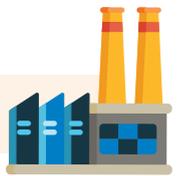
纏繞管式熱交換器其彈簧結構固有的復原特性，能調節熱效應或壓力波動所造成的洩漏。亦即，纏繞管式熱交換器為本質上更加安全，且擁有良好防漏功能的設備。

由原始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，如圖 4.3.2-1 應用纏繞管熱交換技術流程圖。



資料來源：立國工程股份有限公司

圖 4.3.2-1 應用纏繞管熱交換技術流程圖



4.3.3 成效分析與節能減碳效益

1. 設置纏繞管熱交換器之節能量

改善後之節能量如表 4.3.3-1 所示，其中 41K 蒸汽約節省 18%、燃氣約節省 57%。纏繞管熱交換器設置圖片如圖 4.3.3-1 所示。

表 4.3.3-1 纏繞管熱交換器之節能量

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

圖 4.3.3-1 纏繞管熱交換器設置圖片

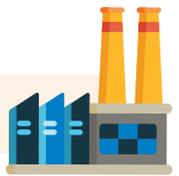
節省 41K 蒸汽量：2.1 公噸/小時 × 8,000 小時/年 = 16,800 公噸/年。

節省燃氣量：0.43 公噸/小時 × 8,000 小時/年 = 3,440 公噸/年。

2. 投資效益

案例廠纏繞管熱交換器之改善

- 投資金額：約美元 430 萬，約為新台幣 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。
- 每年節省燃氣量：約 3,440 公噸。
(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 CO₂/年。
(以 41K 蒸汽 0.2920071437 公噸 CO₂e/公噸、燃氣 2.6753744557 公噸 CO₂e/公噸之排放係數計算)
- 回收年限：約 2.9 年。



4.4 高溫陶瓷保溫塗料技術案例

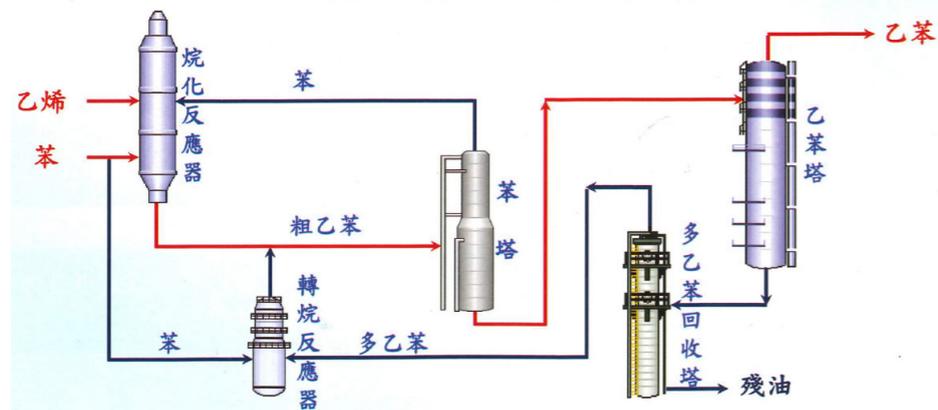
4.4.1 應用製程簡介及技術概要

1. 應用製程簡介

主要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。製程流程如圖 4.4.1-1 所示。

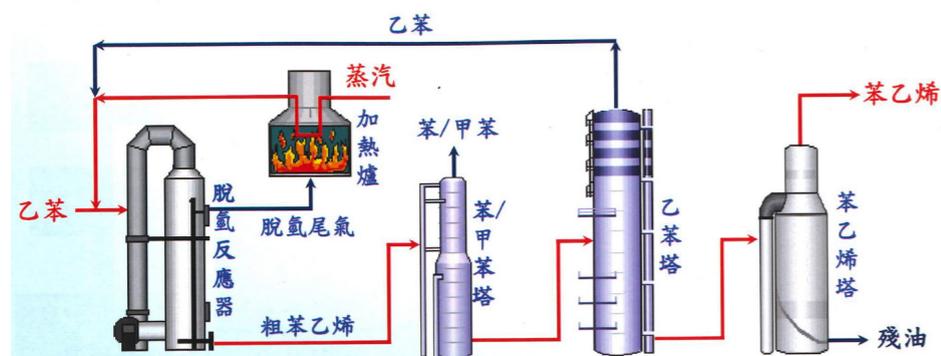
乙苯區製程以乙烯及苯為原料製造乙苯。

- 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乙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

圖 4.4.1-1 苯乙烯 SM 製程流程

2. 技術概要

高溫陶瓷保溫塗 主要規範請參考表 4.4.1-1 所示。以高溫陶瓷保溫塗料噴塗於爐牆內，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，降低爐牆外表面溫度。圖 4.4.1-2 為高溫陶瓷保溫塗料噴塗前後輻射率比較，剖面圖牆壁左側箭頭代表爐外壁熱損失，右側箭頭代表爐內熱輻射，噴塗高溫陶瓷保溫塗 後（右壁中綠色部分），加強了爐體輻射效率。

資料來源：柏榮工程企業有限公司

表 4.4.1-1 高溫陶瓷保溫塗料主要規範

(1)主要成分 SiO_2 及 Cr_2O_3
(2)熔點： $>1,900^\circ\text{C}$
(3)連續使用溫度： $1,700^\circ\text{C} \sim 1,750^\circ\text{C}$
(4)黏度 @ 18°C ： $12\text{mm}^2/\text{sec}$ 以上
(5)熱傳導係數： $\leq 0.089 \text{ W/m.K}$
(6)密度： $\geq 2.8 \text{ g/cm}^3$
(7)重量損失百分比 @ 750°C ： $< 0.1\%$
(8)抗熱震： $> 800^\circ\text{C} / \text{sec}$
(9)附著強度： $>40 \text{ Mpa}$ (ČSN EN 24624)
(10)抗磨性： $@ 20^\circ\text{C}$ (ml)： 3.8 (100%) (ASTM C 704-94) $@ 1,000^\circ\text{C}$ (ml)： 4.6 (105%)
(1)熱輻射反射率： 0.98

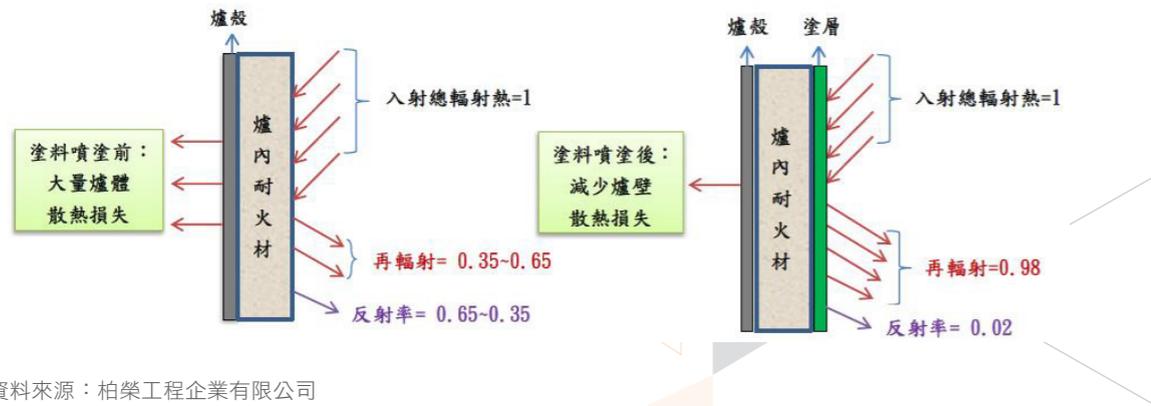
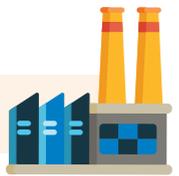


圖 4.4.1-2 高溫陶瓷保溫塗料噴塗前後輻射率比較示意

4.4.2 改善方案執行過程

塗料噴塗前先以空氣噴槍等方式進行爐壁耐火材料表面污物清除作業，高溫陶瓷保溫塗 及水依比例調配過濾後倒入送料機中，塗料經由送料管送入爐內給施工人員進行噴塗作業。一般會從爐子頂部最高處開始噴塗至輻射區，塗料噴塗於爐壁耐火材料表面時，範圍大約以 1m² 面積為基準均勻覆蓋噴塗區域。作業流程示意如圖 4.4.2-1。



1. 塗料 A 劑、B 劑、C 劑

2. 塗料依比例進行秤重



3. 塗料攪拌作業

4. 塗料爐內噴塗情形

資料來源：柏榮工程企業有限公司

圖 4.4.2-1 高溫陶瓷保溫塗料作業流程示意

1. 單元改善前情境說明

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披覆可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間隙，進而造成爐壁溫度上升，及燃燒器 (Burner) 陶瓷護罩直接受熱而導致燃燒器陶瓷護罩有龜裂情形發生，造成燃料耗用增加及爐內組件損壞。加熱爐改善前示意圖如 4.4.2-2。

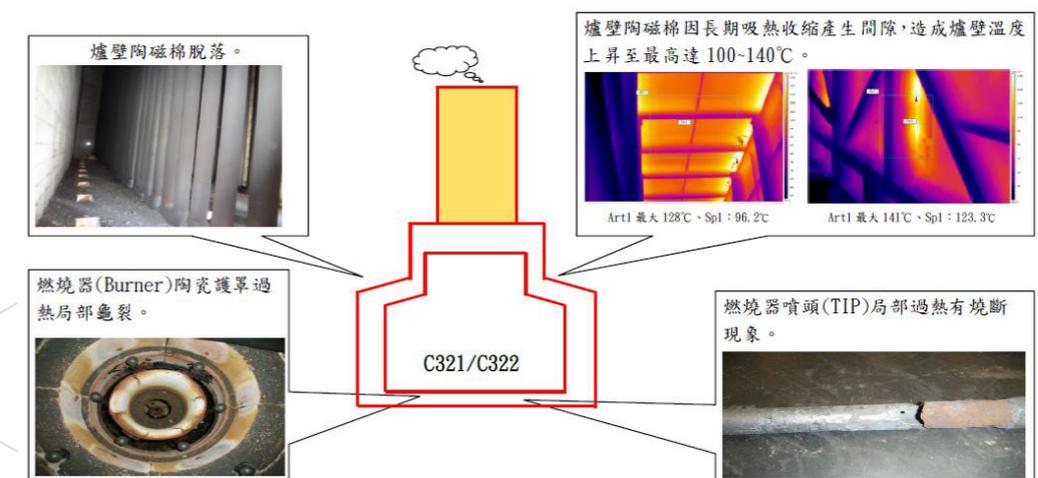
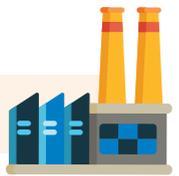


圖 4.4.2-2 加熱爐改善前示意



2. 單元改善後情境說明

加熱爐內襯表面反射率一般介於 0.35~0.65 之間，噴塗上高溫陶瓷保溫塗後約可提升到 0.98 左右，連續使用溫度介於 1,700~1,750°C，最高可承受溫度 $\geq 1,900^\circ\text{C}$ ，大於爐內操作平均溫度 $1,000^\circ\text{C}$ ，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。

4.4.3 成效分析與節能減碳效益

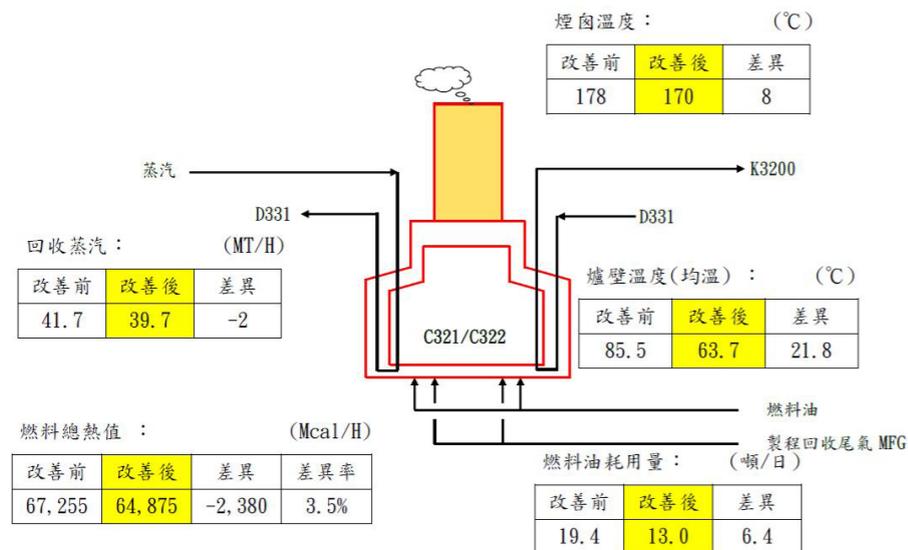
1. 應用高溫陶瓷保溫塗料技術之節能量

改善後之節能量如圖 4.4.3-1 所示。改善前後之照片如圖 4.4.3-2 所示。節能計算如下：

減少回收蒸汽量： $2 \text{ 公噸} / \text{小時} \times 8,000 \text{ 小時} / \text{年} = 16,000 \text{ 公噸} / \text{年}$ 。

節省燃料油量： $6.4 \text{ 公噸} / \text{日} \times 333 \text{ 日} / \text{年} = 2,131 \text{ 公噸} / \text{年}$

$2,131 \text{ 公噸} / \text{年} \div 0.9855 \text{ 公噸} / \text{公乘} = 2,162 \text{ 公乘} / \text{年}$ 。



資料來源：柏榮工程企業有限公司

圖 4.4.3-1 高溫陶瓷保溫塗料技術之節能量



爐壁耐火材噴塗前



加熱爐 Burner 噴塗前



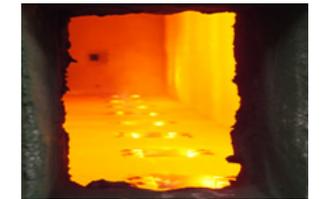
爐壁陶瓷棉脫落



爐壁耐火材噴塗後



加熱爐 Burner 噴塗後



開爐後陶瓷棉無脫落

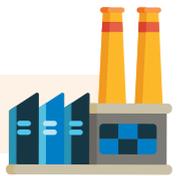
資料來源：柏榮工程企業有限公司

圖 4.4.3-2 噴塗高溫陶瓷保溫塗料前後圖片

2. 投資效益

案例廠高溫陶瓷保溫塗料技術之改善

- 投資金額：約 810 萬元。
- 每年節省燃料油量：約 2,162 公乘。
(以年運轉時數 8,000 小時 / 年計算)
- 節能績效：約 2,863 萬元 / 年。
 $2,162 \text{ 公乘} / \text{年} \times 19,850 \text{ 元} / \text{公乘} - 16,000 \text{ 公噸} / \text{年} \times 893 \text{ 元} / \text{公噸} = 2,863 \text{ 萬元} / \text{年}$
(以蒸汽單價 893 元 / 公噸、燃油 19,850 元 / 公乘計算)
- 減碳量：1,880 公噸 CO_2 / 年
 $2,162 \text{ 公乘} / \text{年} \times 3.111 \text{ 公噸} \text{CO}_2\text{e} / \text{公乘} - 16,000 \text{ 公噸} / \text{年} \times 0.3029 \text{ 公噸} \text{CO}_2\text{e} / \text{公噸} = 1,880 \text{ 公噸} \text{CO}_2\text{e} / \text{年}$
(以蒸汽 0.3029 公噸 $\text{CO}_2\text{e} / \text{公噸}$ 、燃油 3.111 公噸 $\text{CO}_2\text{e} / \text{公乘}$ 之排放係數計算)
- 回收年限：約 0.28 年。

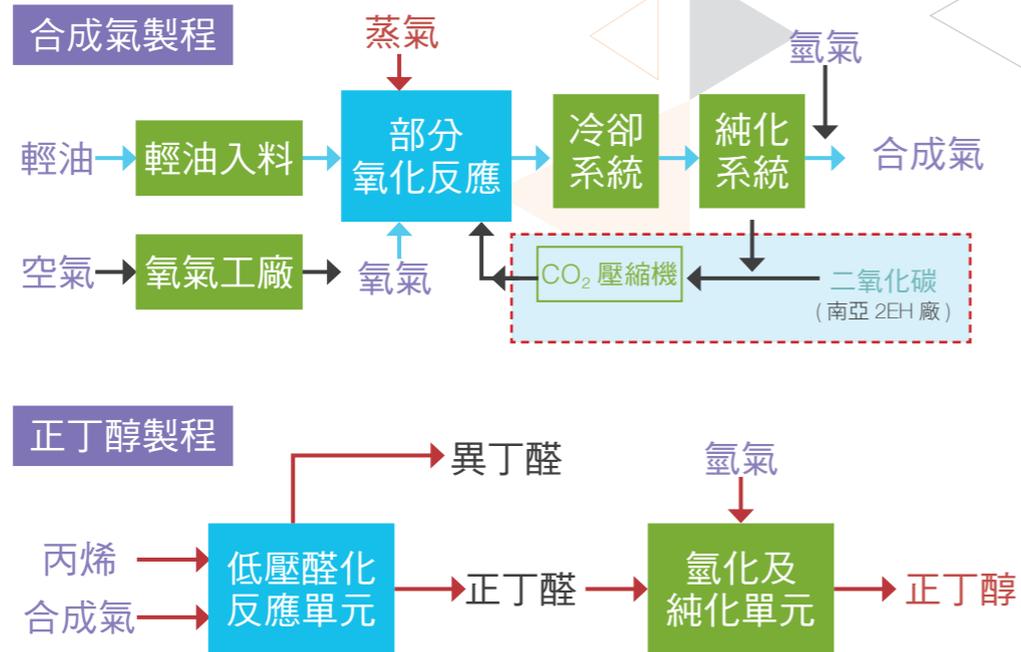


4.5 冷卻水塔散熱風扇效率提升技術案例

4.5.1 應用製程簡介及技術概要

1. 應用製程簡介

案例廠主要分為合成氣製程及正丁醇製程，製程如圖 4.5.1-1 所示。



資料來源：台塑企業節能資訊

圖 4.5.1-1 合成氣製程及正丁醇製程

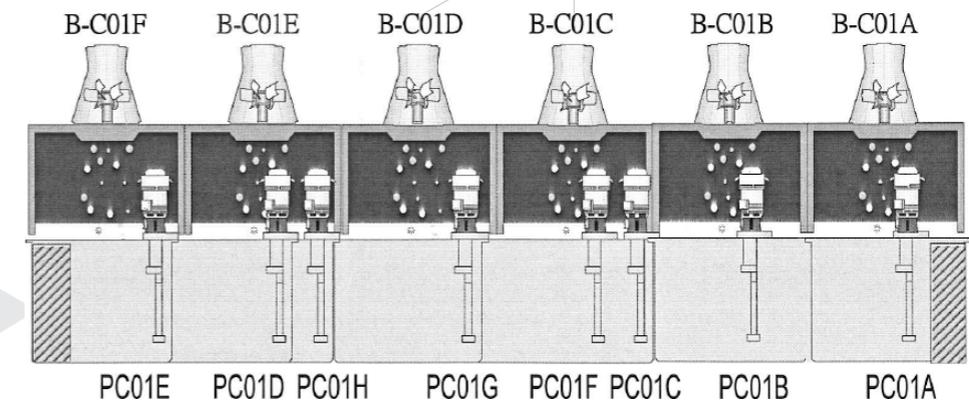
2. 技術概要

由於冷卻水塔散熱風扇需長時間運轉，且冷卻水塔內環境極為潮濕，故以提高風扇強度同時讓風扇輕量化，即可使運轉更加穩定、降低震動的產生，亦可降低傳動組件中軸承、撓性片、接合結構的老化與磨耗，更同時達到節能的效果。本案即是將原本的玻璃纖維風扇改為碳纖維風扇來符合以上的目標。

4.5.2 改善方案執行過程

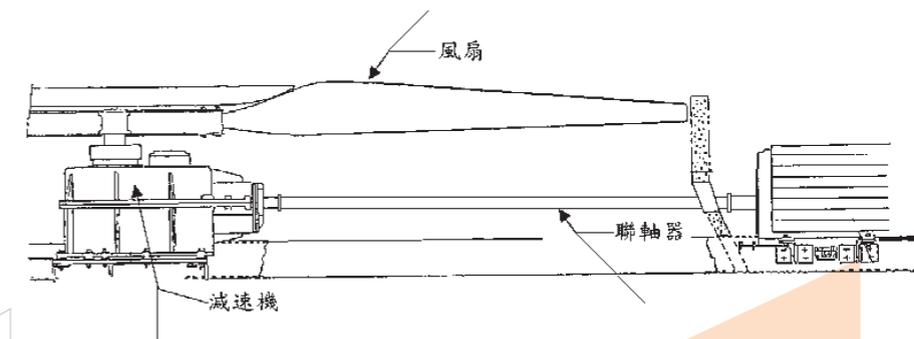
1. 單元改善前情境說明

案例廠共有 6 座冷卻水塔，風扇組為總直徑 10m、葉片數 12 片、轉速為 118RPM、葉片材質為玻璃纖維，用途為將經過製程區的水降溫。冷卻水塔示意如圖 4.5.2-1 所示，每台玻璃纖維風扇組轉動方式如圖 4.5.2-2 所示。



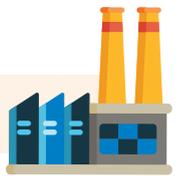
資料來源：又禾興國際有限公司

圖 4.5.2-1 冷卻水塔示意



資料來源：又禾興國際有限公司

圖 4.5.2-2 冷卻水塔散熱風扇轉動方式示意



2. 單元改善後情境說明

風扇葉片材質由玻璃纖維改善為碳纖維，改善後每支風扇葉片重量由 125LB 降至 97LB，重量降低 22%。以美國冷卻水塔協會（Cooling Technology Institute）文獻進行改善前後各項數值之實測，改善前後之各項實測數據與節能量如表 4.5.2-1 所示。改善前後之照片如圖 4.5.2-3 所示。

表 4.5.2-1 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	125LB	605CMS	0.727inwg	約 2.6	171.7Kw	79.7%
碳纖維	97LB	634CMS	0.661inWg	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

圖 4.5.2-3 冷卻水塔散熱風扇改善前後圖

4.5.3 成效分析與節能減碳效益

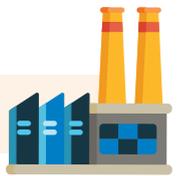
1. 冷卻水塔風車葉片改善之節能量

$$(171.7 \text{ kW} - 154.1 \text{ kW}) \times 8,760 \text{ 小時 / 年} = 154,176 \text{ kWh / 年}$$

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 180 萬元。
（玻璃纖維風扇組一座約為 110 萬元，而碳纖維風扇組約 180 萬元，兩者費用相差約 70 萬元。）
- 每年節電量：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。
- 減碳量：82 公噸 CO₂ / 年。
- 回收年限：約 5.8 年。
（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。）
（1kWh= 2.0 元計，電力係數以 0.533 kg-CO₂e/ kWh 計）
- 依設備廠商提供資訊，一般玻璃纖維風扇組使用年限約 7~10 年，碳纖維風扇組使用年限約 14 年。

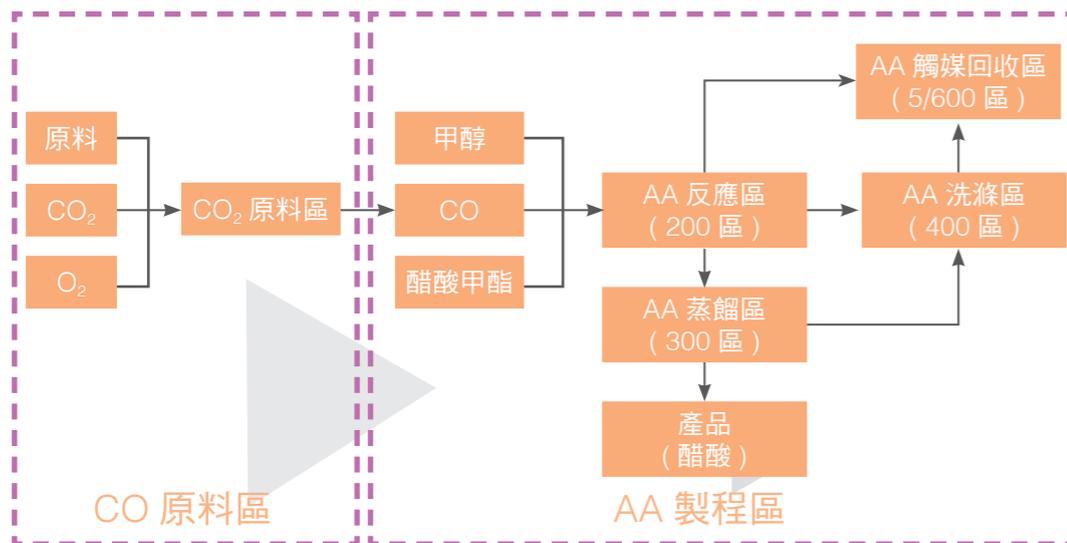


4.6 CO₂ 再利用技術案例

4.6.1 應用製程簡介及技術概要

1. 應用製程簡介

CO₂ 再利用技術應用於醋酸產品的製程，設計年產能為 60 萬噸。主要供應某集團自用生產醋酸乙烯，其基本設計及細部設計皆由該集團技術部規劃，自 2011 年 10 月運轉至今已有 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 原料區通入 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，送至醋酸製程區醋酸反應區）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。概要流程如圖 4.6-1 所示。

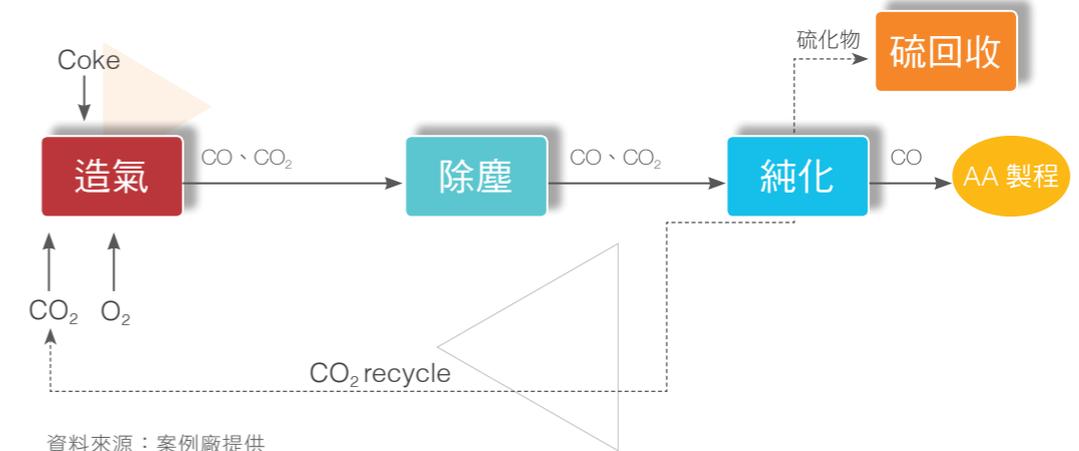


資料來源：案例廠提供

圖 4.6.1-1 醋酸製程流程圖

2. 技術概要

案例廠 CO 生產裝置是焦炭為原料，CO₂ 及純氧為氧化劑，以生產所需規模之粗 CO，後續藉由除塵設備移除粒狀物，純化技術移除硫化物及 CO₂，以得到符合醋酸製程所需規格之 CO。其概要流程如圖 4.6.1-2 所示。

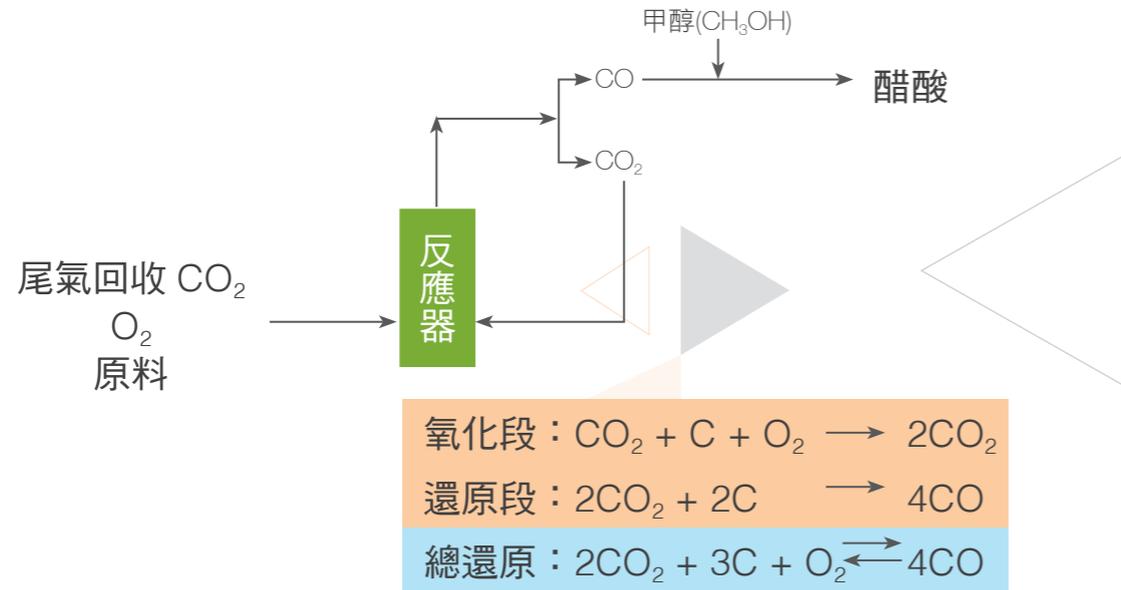


資料來源：案例廠提供

圖 4.6.1-2 CO₂ 再利用技術流程圖

CO₂ 再利用主要為 2 個來源。一為自身製程產出：原料進行氧化還原反應後會產出以 CO 及 CO₂ 為主的混合氣。其中的 CO₂ 會再進行吸收分離後再送回反應區，循環使用。另一來源則是收集 A 公司的醋酸乙烯 (VAM) 一、二廠，及丙烯醇廠排放的 CO₂，再加上 B 公司乙二醇 (EG) 三、四廠所排放的 CO₂。彙集後送入反應區製造 CO，作為醋酸的原料，可減少廠區 CO₂ 及空氣污染物排放。

回收尾氣 CO₂ 後，原料在反應器內透過適當比例控制，進行氧化及還原反應，並在反應器出口產出粗 CO₂/CO 的混合氣，再往下游進行分離純化。CO₂ 再利用過程說明如圖 4.6.1-3 所示。



資料來源：案例廠提供

圖 4.6.1-3 CO₂ 再利用過程說明示意圖

4.6.2 改善方案執行過程

1. 單元改善前情境說明

CO 來源由重油裂解而成或利用水蒸氣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. 單元改善後情境說明

利用回收之 CO₂ 廢氣，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。

若 CO 製程全運轉時醋酸廠每年可回收 15 萬噸 CO₂ 當做醋酸的原料。跨公司 CO₂ 回收再利用情境如圖 4.6.2-1 所示。

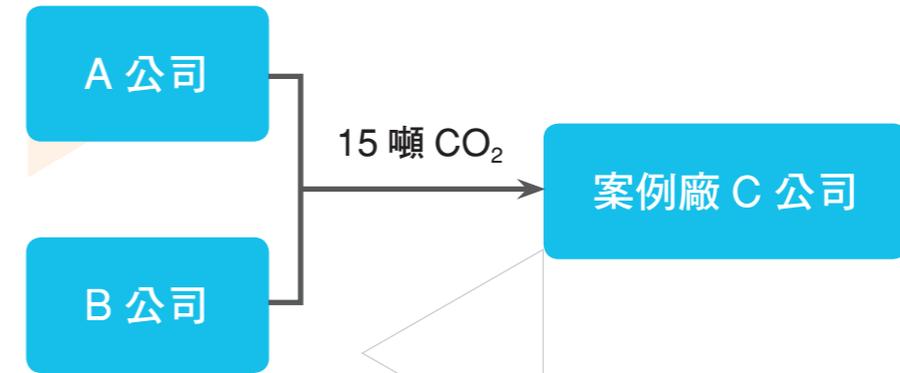


圖 4.6.2-1 跨公司 CO₂ 整合回收再利用情境示意圖

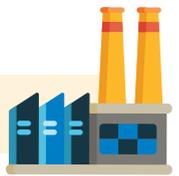
4.6.3 成效分析與節能減碳效益

1. 應用 CO₂ 再利用技術之減碳量
案例廠 CO₂ 再利用技術之改善
· 減碳量：150,000 公噸 CO₂/年。
(以 CO 製程全運轉計算)

The background features a large, abstract geometric shape on the left side, composed of overlapping triangles and polygons in shades of gold and grey. Scattered throughout the white background are various triangular shapes, some solid and some outlined, in different orientations and colors. At the bottom, there is a silhouette of an industrial site with a derrick, a barrel, and a pumpjack.

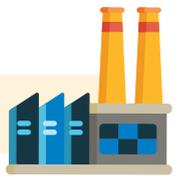
石化業 低碳製程技術彙編

▶ 參考文獻



參考文獻

- [01] 亞洲石油化學工業會議 (Asia Petrochemical Industry Conference, APIC) , 2019 年。
- [02] 鄭益昌, 頁岩油氣在夾縫中茁壯, 科學發展 2019 年 4 月 556 期。
- [03] 王淑麗, 頁岩油氣的下游應用, 科學發展 2019 年 4 月 556 期。
- [04] 工研院產業科技國際策略發展所提供, 2019 年 9 月。
- [05] 工研院材料與化工研究所提供, 2019 年 9 月。
- [06] Robinson, C.S., Gilliland, E.R., 'Elements of Fractional Distillation' , 4th. edn., McGraw-Hill Book Co., 1950, 168-191
- [07] King, C.J., 'Separation Processes' , 2nd ed. McGraw-Hill Book Co., 1980
- [08] HK Engelen, S Skogestad 'Minimum Energy Diagrams for Multieffect Distillation Arrangements' - AIChE journal, 2005
- [09] C. Cui et al., 'Towards energy efficient styrene distillation scheme From grassrootsdesign to retrofit' , Energy 134 (2017) 193e205
- [10] 台化化工二部, '苯乙烯廠(海豐)多效蒸餾節汽改善', 台塑企業雜誌 電子報 2012 年第 2 期 (43 卷第 2 期; 2012.03)
- [11] D. Zhao et al., 'Theoretical analyses of thermal and economical aspects of multi-effect distillation desalination dealing with high-salinity wastewater' , Desalination 273 (2011) 292-298
- [12] F. Kiefer et al., 'Multi-Effect Vacuum Membrane Distillation systems Model derivation and calibration' , Desalination 438 (2018) 97-111
- [13] A. Baccioli et al., 'Thermodynamic and economic analysis of the integration of Organic Rankine Cycle and Multi-Effect Distillation in waste-heat recovery applications' , Energy 161 (2018) 456e469



- [14] A. Chorak et al., 'Energetic evaluation of a double-effect LiBr-H₂O absorption heat pump coupled to a multi-effect distillation plant at nominal and off-design conditions', Applied Thermal Engineering 142 (2018) 543-554
- [15] 經濟部工業局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>
- [16] 高分子複合材料上冊 (修訂本), 馬振基教授, 2009 年。
- [17] 王啟川教授, 熱交換器設計。
- [18] 連續重整纏繞管換熱器的研製與工業應用, 中國分類號:
TQ051.5;TQ050.6。
- [19] 台北科技大學能源與冷凍空調工程系柯明村副教授, 吸收式冰水機簡報。
- [20] 107 年低碳製程技術研討會。
- [21] 108 年低碳製程技術研討會。
- [22] 溫室氣體二氧化碳減量技術研討會, 2004 年。
- [23] 長春石油化學股份有限公司。
- [24] 台塑企業麥寮園區循環經濟執行成果發表會, 2017 年。
- [25] 台塑企業節能資訊公告。
- [26] 經濟部能源局, 107 年度電力排碳係數。
https://www.moeaboe.gov.tw/ecw/populace/content/ContentDesc.aspx?menu_id=6989

NOTE

