經濟部

石化業

經濟部工業局108年度
能源密集產業低碳製程典範案例彙編
Petrochemical Industry

INDUSTRIAL DEVELOPMENT BUREAU,
MINISTRY OF ECONOMIC AFFAIRS
經 濟 部 工 業 局

目錄 Content

一、前言

二、公司簡介及低碳製程典範案例

4 2.1 長春石化麥寮廠：全台首創回收 CO_2 綠色製程

12 2.2 台灣氯乙烯林園廠：以節能永續為目標

20 2.3 中石化小港廠：追求卓越綠色永續

28 2.4 台塑化烯烴二廠：綠色製程領航前行

36 2.5 南亞公司乙二醇廠：全盤思考能資源效率極大化

44 2.6 台化化二部合成酚廠：從源頭管理落實減碳

52 2.7 台塑林園聚丙烯廠：老廠節能減碳拚永續

一、前言

產業執行低碳生產除了節能減碳外，還可以降空污，可謂一舉數得，石化產業過去推動低碳生產不遺餘力，且產生之成果豐碩，尤其石化產業配合經濟部工業局推動各項溫室氣體減量計畫，是各產業中最積極投入之一，在推動產業溫室氣體自願減量之努力有目共睹，各廠在推動低碳製程改善中有其獨特之改善技術及累積豐富之技術經驗，因此將石化業各廠推動製程改善中具減量效益大、創新性、推廣效益等之績優案例，透過典範案例報導方式進行編輯，將各廠之低碳減量技術無私分享給其他廠，亦可彰顯石化業推動節能減碳之努力。

石化業低碳製程典範案例彙編依據行業代表性包括一貫作業石化、煉油、化工、塑膠等領域等，共計篩選 7 家工廠，並針對此 7 家工廠進行採訪及報導，績優案例報導編輯方式以專業文字工作者現場採訪方式進行，利用生動之筆觸撰文以貼近社會大眾，較為專業技術部分以穿插文章方式進行，提供工廠或相關領域之技術人員或學生使用，如此可兼顧及滿足廣大閱讀群眾及石化業專業人士之需求。

編製之石化產業低碳製程典範案例彙編，將置於「產業節能減碳資訊網」提供各界瀏覽下載，以進一步宣導推廣及分享成功案例之經驗與模式，提供其他企業借鏡學習，進而發揮計畫資源投入之最大效益。

二、公司簡介及低碳製程典範案例

石化業低碳製程典範案例彙編 7 家工廠，績優案例如下表：

小節	優良事蹟	典範節能技術
2.1 長春石化麥寮廠	第一家回收 CO_2 開發綠色製程	1. 醋酸廠 CO 製程 2. VAM（醋酸乙烯）熱整合 3. 永磁聯軸器應用
2.2 台灣氯乙烯林園廠	105 年度 自願減量績優廠 106 年度 節能標竿獎銀獎	1. 冷卻水泵浦（P-6010A/B）塗佈陶瓷複合材料 2. 裂解爐廢熱回收工程 3. 4K 冷凝水回收熱能
2.3 中石化小港廠	107、104、103 年度 自願減量績優廠商	1. 跨場區熱整合 2.DeNOx 尾氣熱整合 3. 尾氣壓能回收系統 4. 低溫熱能回收技術 5. 智能化工廠 DSC/PLC 系統控制
2.4 台塑化烯烴二廠	107、104 年度 自願減量績優廠商 103、99 年度 節約能源績優優等獎	1. 過剩燃料氣外送 2. 製程水循環系統能源整合再利用 3. 新增小容量空氣壓縮機 4. 高階製程控制系統 - 自動學習及時調整控制模型
2.5 南亞公司乙二醇廠	106 年度 自願減量績優廠商	1. 提升 EG-1/2/3/4 廠冷卻水泵（P813）泵浦效率 2. EG-1/2/3 廠冷卻水塔更換高效能 FRP 葉片 3. 改善 EG-3 廠反應器進料預熱器運作效 4. 空氣分離廠 自動負載系統
2.6 台化化二部合成酚廠	107 年度 節能標竿獎銀獎 101 年度 節約能源績優優等獎	1. 冷卻水塔風車夏季節電改善 2. 高溫氧化器引風車使用永磁調速機 3. 燃料熱能取代電能 4. 增設低壓發電機組及低溫反應熱回收 5. 智能設備開發及智慧監控技術
2.7 台塑林園聚丙烯廠	107 年度 節能標竿獎銀獎	1. PPI B 列製粒機更新改善工程 2. PPII B 列製粒機更新改善工程 3. PPI 庚烷回收區泵浦沖洗液改善 4. 自動光學檢測（AOI）影像辨識

Chapter 1

長春石化麥寮廠

全台首創回收 CO_2 綠色製程

長春集團是國內第二大民營石化集團，僅次於台塑集團，旗下有長春人造樹脂廠股份有限公司（簡稱長春樹脂）、長春石油化學股份有限公司（簡稱長春石化）、大連化學工業股份有限公司（簡稱大連化工）等三大公司，產品橫跨工程塑膠、電子材料化學品、塑料添加、黏著劑、藥用中間體、工業中間體及樹脂類等。採用回收高濃度二氧化碳（CO_2）作為醋酸原料，成為國內第一家回收二氧化碳開發綠色製程的業者。

為落實循環經濟、邁向低碳永續未來，長春集團各工廠致力於投資製程改善及污染防治等設備，以提升生產效能、減少生產過程中的污染量。近年較具代表性的三大低碳製程技術，包括長春石

化麥寮醋酸廠的 CO 製程，以及大連化工的 VAM（醋酸乙烯）熱整合、永磁聯軸器應用。

綠色製程產品

長春集團以成為高值化的綠色產業供應者為使命，全力創新研發高值化產品，改善既有產品製程技術。目前，各廠皆導入環境管理系統（ISO 14001），以確保工廠在生產過程的排放及廢棄物處置均符合法令規範，並針對重大環境議題進行管理及因應。另於 2017 年海內外廠區皆已全面導入綠色會計。

近年來，在全球抗暖化及改善空氣品質趨勢下，長春集團做好源頭管理，以減少能資源消耗，同時降低能源價格波動及供給風險。例如，長春石化開發全國唯一的製程碳捕捉技術，回收二氧化碳，製造一氧化碳，作為合成醋酸的原料。

面對氣候變遷及節能減排的議題與風險，長春集團採取積極管理、主動因應的態度，每月定期召開節能減碳會議，調整節能減碳的執行方向，持續追蹤執行成效。另外，環安衛本部定期掌握及追蹤相關法規變化，並提出因應對策，每年進行溫室氣體盤查，確認當年度的節能減碳成效，並提出下一年度計畫據以實施，充分展現長春集團永續經營的決心。

增加環保專案投資

為貫徹永續經營的理念，長春集團不惜每年增加環保支出（見表），提高資源生產力，以減少生產過程對環境的衝擊。2018 年，環境保護相關經費支出為 18.8 億元，主要種類包含污染防治與廢棄物管理，兩種類別占整體環境保護相關經費支出比例分別為 48.1%、45.0%。

2018 年，針對 100 萬元以上環保專案投資費用，支出總金額共計 6.7 億元。自 2018 年

當天採訪情形

2016 年至 2018 年長春集團環保相關經費支出			
年度	2016	2017	2018
污染防治	209.53	263.04	904.39
廢棄物管理	121.67	579.54	846.47
節能減碳	12.43	41.94	11.49
其他環保	36.14	323.24	119.92
合計	379.77	1,225.75	1,882.28

單位：新台幣佰萬元
資料來源：長春集團 2018 年企業社會責任報告書
備註：自 2017 年起開始加入海外廠數據。

長春集團麥寮廠區推動低碳製程技術團隊成員

起，環保專案投資費用每年預定增加 5%以上。

2018 年，由總管理處規劃長春集團節能減碳推動機制，訂定集團目標每年節能、節水原單耗量降低 3%，同時成立「總部節能減碳推動小組」。執行期間，每月由董事長親自主持會議，定期檢討各廠用水、用汽、用電減量措施，建立減碳、減量績效管理，並進行追蹤查核，以落實節能減碳政策。

回收 CO_2 生產醋酸

在三大低碳製程技術中，尤其是以採用回收高濃度二氧化碳（CO_2）作為醋酸（AA）原料，對於減緩氣候變遷的貢獻最為顯著。這也使長春集團成為國內第一家回收 CO_2 開發綠色製程的業者。

長春集團麥寮廠區葉總廠長表示，早在 10 年前，長春石化麥寮醋酸廠成立時，採用 CO_2 還原為 CO 來生產醋酸。此醋酸製程，係將大連化工麥寮廠區已運轉的醋酸乙烯（VAM）一、二廠，及丙烯醇廠排放的二氧化碳，再加上南亞塑膠麥寮乙二醇（EG）三、四廠所排放的二氧化碳，收集後製造一氧化碳（CO），作為醋酸的原料，同時減少廠區二氧化碳及空氣污染物排放。

「營運上，我們希望先做好源頭管理，以減少能資源浪費。」葉總廠長指出，2017 年，該製程使用回收的二氧化碳突破新高，達 103,000 公噸，實踐循環經濟的目標。2018 年，受到美中貿易戰影響，二氧化碳回收再利用量為 98, 000 公噸。

長春石化所生產的醋酸，主要是供應大連化工製造醋酸乙烯、醋酸乙酯（EA）之用，除大連化工麥寮廠區外，也運送至位於高雄市大社區的高雄廠以及新加坡廠，生產醋酸乙烯。另外，長春石化生產的聚乙烯 - 乙烯醇（EVOH），其一原料也是醋酸乙烯。

使用醋酸製造醋酸乙烯，生產過程會產生二氧化碳，再將二氧化碳回收，作為醋酸原料。葉總廠長強調，如此一來，形成原物料與成品循環，而且在長春集團麥寮廠區內即可完成循環再利用，不但可節省運輸成本，更能達到運

輸安全、循環經濟等效益，可說是一舉數得。

減少溫室氣體排放量

「這次我們提出的三大低碳製程技術中，以 CO 製程對環保節能減碳、溫室氣體排放量減少的貢獻最為顯著。」葉總廠長直言，剛開始推動 CO 製程，目的是為了減少二氧化碳排放量，後來成立醋酸廠後，藉由此製程，把原本要排放出去的二氧化碳回收再利用，當作醋酸原料，不僅大大減少溫室氣體排放量，也節省外購成本。

究竟，長春石化的醋酸製程與其他家業者有何差異，為何能對環境保護有巨大貢獻？負責 CO 製程的謝副廠長一語道破：「我們的製程最大不同點，在於以二氧化碳為原料。」

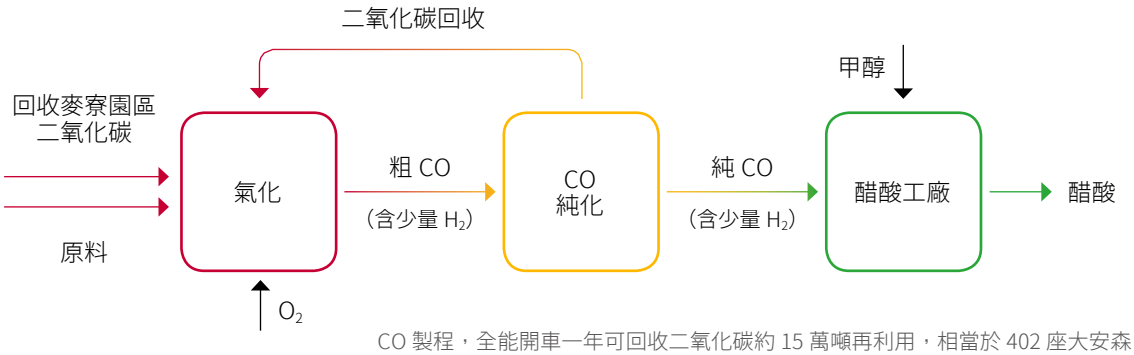
他進一步說明，生產醋酸，需要以 CO 為原料。基本上，生產 CO 的方式很多，例如利用水蒸汽氣通過熾熱煤炭進行反應，產生一氧化碳和氫氣，但這種作法不會消耗掉二氧化碳。

「我們 CO 製程的特色是可以利用 CO_2 來生產醋酸。」謝副廠長解釋說，CO_2 比 CO 多一個 O，運用氧化還原的原理，把 CO_2 還原成 CO。長春石化把麥寮廠區各製程中所產生的副產品 CO_2 蒐集起來，還原成 CO，再用來生產醋酸，「唯有我們這種方式，才可以讓 CO_2 減量，並生產出 CO。」

左：葉總廠長分享 CO 製程推動過程
右：謝副廠長說明長春石化如何利用 CO_2 來生產醋酸

整合廠區跨製程熱能

長春集團致力推動節能減碳措施，改善能源使用效率，透過能源及溫室氣體管理減少氣候變遷的衝擊。除了推動各廠用水、用汽、用電減量措施外，長春集團近年來也持續推動製程熱整合改善，以更有效率的方式使用蒸汽，使 2017 年能源消耗用量較 2016 年減少



CO 製程，全能開車一年可回收二氧化碳約 15 萬噸再利用，相當於 402 座大安森林公園一年二氧化碳吸收量，減排效果明顯。

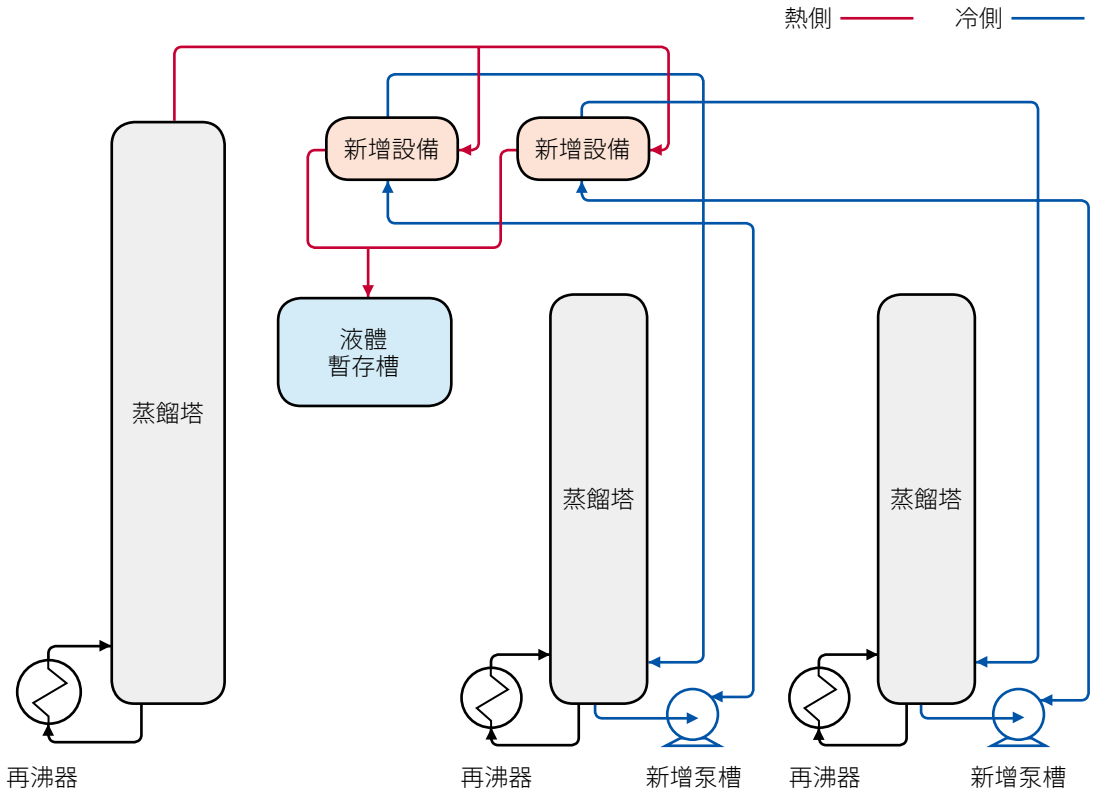
CO 製程示意圖

VAM 熱整合技術優點是可回收潛熱，提高熱能利用效益

約 1,000,000 千兆焦耳（GJ）。

負責 VAM 熱整合的林副廠長表示，2000 年，大連化工設立麥寮廠，生產醋酸乙烯，集團當時就已考量到能源整合問題。所謂熱整合，可分為兩大重點，一是藉由改為負壓操作，使得沸點降低，以減少所需熱源。從下圖可得知，將蒸餾塔 2 及蒸餾塔 3 操作壓力調降後，塔頂與塔底溫度也下降。因此，當操作塔壓調降後，其所需蒸汽也隨之降低。

二為回收蒸餾塔頂熱源，蒸餾塔 1 塔頂換熱器原本設計是利用冷卻水，作為冷側進行換熱。但 VAM 熱整合藉由物性特性，將蒸餾塔 2 及蒸餾塔 3 操作壓力調降後，使內容物沸點降低，進而取代蒸餾塔 1 塔頂換熱器的冷卻，



VAM 熱整合示意圖

以達到節約蒸汽使用量及二氧化碳減量等效益。

「簡單來說，有些流體需要使用冷卻水降溫，我們就把這些熱用來預熱其他流體。」林副廠長進一步說明，工廠內有些製程需要使用蒸汽加熱，透過 VAM 熱整合技術，可將多餘的熱能引導並用於需要蒸汽加熱的製程上。如此一來，可同時減少冷卻水和蒸汽的使用量。

比方說，假設蒸餾塔 1 塔頂上的熱能，超過攝氏 100 度，這些氣體若要轉變成液體，必須要使用冷卻水降溫。藉由 VAM 熱整合設備，可以把這些多餘的熱能用來加熱蒸餾塔 2 和蒸餾塔 3 的流體。至於如何換熱，則牽涉到技術問題。

大連化工麥寮廠 VAM 熱整合分成兩套執行，分別是 2015 年 2 至 5 月及同年 10 至 12 月，總投資費用約 2.86 億元，主要用於熱交換器和配管等設備採購，預計 5 或 6 年內可回收投資效益。執行迄今，一年節省成本約 5 千萬元，而且每年可減少約 15,000 噸二氧化碳排放量，一年可節省 75,000 噸蒸汽量（約每小時省下 9.4 噸），大大提升熱能利用的效率。

提高熱能利用效益

「其實，當初推動 VAM 熱整合，並非只考慮投資效益的回收，也為了節能減碳，主要是希望我們的製程對環境友善，並為保護地球盡一份心力。」林副廠長表示，光是 VAM 熱整合技術，一年可減少約 15,000 噸二氧化碳排放量，相當可觀，足見減排效果顯著。

VAM 熱整合技術的優點，在於可回收潛熱，提高熱能利用的效益。不過，要使用 VAM 熱整合技術，必須先衡量工廠內部製程是否有多餘的熱能，而且溫度要夠高。

林副廠長解釋說，假如溫度不夠高，有些工廠會使用機械式蒸氣再壓縮系統（MVR）來處理，經壓縮機再壓縮，將壓力、溫度升高之後，當作加熱蒸汽使用。

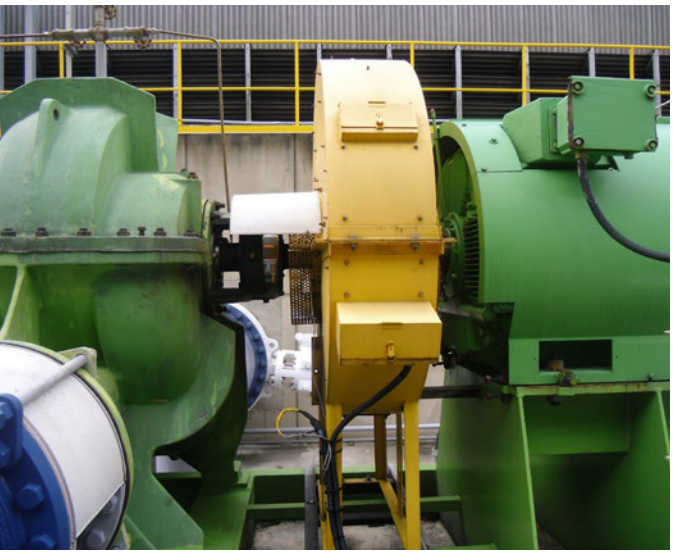
此外，後端冷卻水塔的水力分析，也必須重新評估，包括葉片尺寸改變、水輪機及永磁聯軸器應用等。冷卻水塔的節能方面，例如風扇轉速調降，即可達到節能效果。當冷卻水塔的循環水量變小時，可考慮調降循環泵浦轉速或減少葉片量。這些因素都必須先做研究分析，經過仔細評估後，才能決定要採取哪一種方式。

安裝永磁聯軸器調速

長春集團的另一項低碳製程技術為安裝永磁聯軸器。負責此技術的機械部許課長表示，永磁聯軸器的原理是利用調整轉速，使冷卻水塔循環泵浦的性能曲線位移，進而計算出實際需求流量，達到節省能耗的作用。

基本上，永磁聯軸器有兩項重要元件，一為銅導體，安裝在馬達上；二為強力磁鐵，裝設在循環泵浦上。當馬達未轉動時，因沒有速

林副廠長解釋 VAM 熱整合執行方式



永磁聯軸器有助於節省過剩能耗

度，銅導體靜止不動，磁力線也就沒有任何作用。

一旦馬達轉動並產生相對速差時，磁力線會在銅導體中移動，產生渦電流。渦電流在銅導體上產生感應磁場，而實現扭矩傳輸。銅導體越靠近強力磁鐵時，磁力線密度越密集，產生效應越強，扭矩越大。兩者相對運動越快時，效應越強，產生扭矩越大。

許課長指出，透過磁力線間隙調整，可使轉速產生變化。至於要如何調整間隙及須調整多少間隙，必須依現場狀況而定，「我們會先做完水力分析，並經過性能曲線換算後，再確認要調整永磁聯軸器的間隙，以產生所需要的轉速。」

例如，假設馬達是 1800 轉，經過水力分析後，換算結果只需要 900 轉。此時調整永磁聯軸器的間隙，使馬達傳輸出來的速度只有 900 轉，讓整個性能曲線往下調降，減少電流而達到節能效果。

調整性能曲線有兩種方式，一為轉速下降，二是循環泵浦的葉片縮小。葉片大小會影響循環量和壓力，雖然葉片縮小是最簡單的方式，成本較低且效果直接，可讓性能曲線馬上往下調降，卻是屬於不可逆的作法，日後若要再做調整，反而比較麻煩。

為調降轉速，「我們也曾考慮過變頻器，但造價高又需要接電源。」許課長說，安裝永磁聯軸器的成本較高，但調整上較有彈性，而且永磁聯軸器的構造簡單，本身無需電源，所以沒有額外的電力消耗。

冷卻水循環系統節能

安裝永磁聯軸器的目的是，有些設備當初設計過大，像是中高壓大功率設備如風機、水泵等。比方說，原本設計 100%容量，實際使用只有 80%，其中有 20%的空間，可透過永磁聯軸器把過剩能耗節省下來。

大連化工麥寮廠有 6 台冷卻水塔循環泵浦，目前已安裝 4 台永磁聯軸器，總投資金額共 416 萬元，2014 年 2 月開始運轉。執行迄今，一年節省成本約 727 萬元，而且每年可減少約 2,407 噸二氧化碳排放量，一年可節省用電量 2,798 千度，達到冷卻水塔循環系統節能效果。

事實上，長春集團的節能措施都是透過設備監測，然後統計、運算出來。例如現場安裝壓力表、流量計，以監測電流和壓力。如果現場電流量越大，代表耗電越多，藉由量測減少之電流量，再換算出可節能的空間還有多少。

監測儀表、控制元件和馬達也都有監測電流量，並連結到控制室。由控制室掌握現場操作情況，並依現場氣溫狀況來做調整，所以夏冬兩季操作條件不同。冷卻水塔主要是視水溫而定，例如冬天氣溫低，冷卻水塔無須做太多工，即可透過永磁聯軸器調降轉速，達到節能效果。

許課長表示，安裝永磁聯軸器前，必須要先量測備壓，評估和確認全部壓力後，再看是否需要做調整，並非想要安裝就可以。因此，各廠會先進行水力分析，評估是否有需要改善設備或安裝永磁聯軸器。

未來減碳願景和目標

2018 年，長春集團成立總部節能減碳推動小組，以各廠為單位，致力於節水、節汽和節電，並設定 2019 年節能目標為原單耗量降低 3%。為配合政府溫室氣體減量目標，集團也訂定 2025 年、2030 年及 2050 年減量目標，分別是 2025 年為 2015 年溫室氣體淨排放量減少 10%、2030 年為 2015 年溫室氣體淨排放量減少 20%、2050 年為 2015 年溫室氣體淨排放量減少 50%。

此外，長春集團每月召開節能減碳會議，召集海內外各廠節能減碳代表，由各廠輪流報告和檢討節水、節汽和節電情況，分享節能技術、措施和減碳製程，以及預計達成的目標和期程。

許課長表示，透過節能減碳平台，讓集團內各廠都能瞭解這些節能減碳技術，以及如何運用。

長春集團將持續推動製程熱整合改善

未來，集團內可能實施的低碳製程技術，包含熱整合、永磁聯軸器等。熱整合牽涉到要修改化工製程，以提升能資源整合鏈結量能，並鼓勵各廠將廠內過剩之能資源循環利用，期能降低生產成本並促進能資源永續利用。

同時，節能減碳推動小組也會定期檢視減碳成效是否達到減量目標，期使長春集團成為因應氣候變遷的標竿。

長春麥寮廠節能減碳技術案例推動效益

方案名稱	效益			
	投資額	節省成本（萬元 / 年）	效率提昇	減碳量（T-CO_2e/ 年）
CO 製程	130 億元	-	年產 27 萬噸 CO	150,000
VAM 熱整合	2.86 億元	5,000	節省蒸汽量：75,000 噸 / 年	15,635
永磁聯軸器	416 萬 /4 台	727	節省用電量：2,798 千度 / 年	2,407

Chapter 2

台灣氯乙烯林園廠

以節能永續為目標

台灣氯乙烯工業股份有限公司（簡稱台氯）為台聚集團子公司是國內第一家採用乙烯法製造氯乙烯單體（VCM）的石化業者，年產量為 45 萬公噸，主要供應華夏、華聚及大洋塑膠，用以產製聚氯乙烯（PVC），多餘部分則外銷至中國、印度及東南亞國家。另也生產工業級鹽酸，年產量為 4 萬公噸，以供應國內工業用鹽酸市場。

多年來，台氯致力於推動節能減碳，近期成效較顯著的低碳製程技術，包括冷卻水泵浦（P-6010A/B）塗佈陶瓷複合材料、裂解爐廢熱回收工程及 4K 冷凝水回收熱能。另投入不少資源於設備汰舊換新，以提升能源使用效率，達到節電、節能、減碳及水資源循環再利用的目標。

集團整合減碳目標

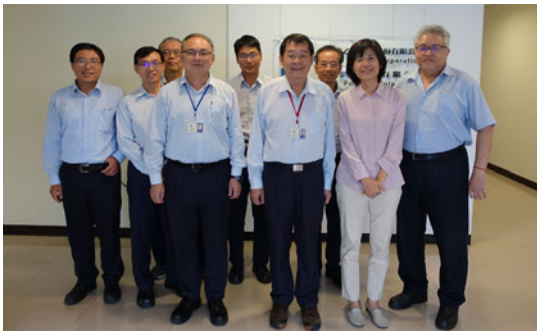
為有效實踐企業社會責任，台聚集團響應聯合國永續發展目標、巴黎協定的全球目標及我國能源發展政策，於 2016 年起自主性訂定每年節電 1%、節能 2%、減碳 1.5%的能源管理目標。

2018 年，台氯林園廠節能減碳實際達成率，分別是節電 0.71%、節能 3.94%、減碳 3.65%。節電設備大多數已完成汰換作業，近年可更新設備較少，以至於 2018 年未達節電 1%，但在節能及減碳部分持續改善並達成節能減碳目標。

台氯公司葉副總經理表示，台聚集團內設有「設備預保及環境風險控制處」（簡稱設環處），專門負責推動節能減碳、節水、節電、節汽、減廢、工安環保、設備預保等措施，並每半年召開一次會議，由各公司派專人分享廠內各項節能減碳案例，以及交流節能減碳創新技術。

除了透過集團整合方式召開「資源整合會議」及「技術交流會議」，台聚也持續以集團資源共享方式交流節能減碳專案實績，朝向全集團共同減量的目標前進。

例如，2018 年 9 月，台聚集團舉辦高雄廠區技術交流會議，由集團所屬高雄廠區分享節能、減碳、節水及減廢等專案績效，並由集團董事長及各公司總經理出席擔任指導委員，同時邀請北部廠區相關同仁與會討論，以達到增進廠區間相互學習成長的成效。



台氯林園廠節能減碳團隊成員

推動溫室氣體減量

自 2009 年起，台氯積極參與工業局產業溫室氣體自願減量計畫，致力於節能減碳管理，有效控制產品溫室氣體排放強度。因執行成效良好，台氯於 2016 年榮獲經濟部工業局產業溫室氣體自願減量績優廠商殊榮。2016 年至 2018 年，二氧化碳減量共計達 26,375 噸，同時平均節電率為 1.1%。

2016 年 -2018 年溫室氣體減量實績彙總

年度	節能案件數	節省能源量（全年）			CO_2e-公噸 / 年
		電力（kWh）	蒸汽（公噸）	天然氣（立方公尺）	
2016	4	1,156,789	24,000	1,204,000	8,292
2017	5	384,777	27,200	2,282,321	15,814
2018	5	844,127	5,984	0	2,269

資料來源：台氯公司

（左）台聚集團接受經濟部「節約能源服務團」授旗（右）葉副總經理代表台氯領取節能標竿銀獎

葉副總經理（右）和研發部謝主任說明台氯推動節能過程

榮獲節能標竿銀獎

事實上，台氯推動節能，始於 1998 年導入 ISO 14001，當時每年都會訂定減碳目標及節能減碳措施。「我們先針對製程進行節能，因為減碳效果最直接、明顯又快速。」葉副總經理以裂解爐廢熱回收工程為例，即屬於 ISO 14001 節能方案之一。

為有效推行 ISO 14001，台氯每年針對水、電、燃料等方面，提出節能減碳管理方案，逐一落實改善。在高層支持下，台氯成立節能小組，秉持全員參與的精神，積極參加政府部門活動及落實法規要求，並於 2017 年榮獲經濟部「節能標竿獎」銀獎。

2018 年 9 月，台氯通過改版驗證，取得 ISO 14001: 2015 版證書。該系統提供良好的環境保護架構，控制與減少對環境的衝擊，防止因事故所造成的環境影響，並確保符合法規。

此外，台聚集團響應經濟部能源局節約能源政策，參加工研院舉辦「2016 年度集團企業成立節能服務團」活動，並於 2016 年 8 月 1 日接受經濟部授旗典禮，宣誓「集團節電有信心、節能行動向前行」。台氯公司亦透過集團相關企業每季所進行的資源整合及經驗交流會議，作為檢視各項節能方案的成效。

除了製程節能外，台氯也持續汰換及改善設備，例如冷卻水泵浦（P-6010A/B）塗佈陶瓷複合材料、使用高效率馬達、更換照明設備等，以改善單位產品能耗。與 2016、2017 年比較，2018 年 VCM 單位產品能耗降低 3.2%。

台氯林園廠近三年 VCM 單位產品能耗（單位：GJ/ 噸）

年度	2016	2017	2018
VCM 單位產品能耗	5.79	5.68	5.5

資料來源：華夏海灣塑膠公司 2018 年 CSR 報告書

葉副總經理表示，早期觀念為故障保養，等到設備壞了再做保養。現在則是預先做好設備保養，可降低因設備故障而發生工安意外事件的機率。畢竟，對石化廠來說，一次設備故障，相當於一次工安風險，而且還會造成能源損失。

台氯也參考他廠節能減碳作法，以及財團法人台灣綠色生產力基金會建議的創新技術。「不論何種技術，只要有助於節能減碳，我們都會仔細研究，審慎評估投資。」葉副總經理強調，近 5 年來，台氯在工安環保方面的投資超過 6 億元，設備更新更達 13 億多元，其中也包含節能設備的投資。

塗佈陶瓷複合材料提升節能效益

台氯林園廠冷卻水循環泵浦共計 3 台（P-6010A/B/C），泵浦操作已超過 18 年，相關組件出現腐蝕或磨損現象。雖然經維修後，可達足夠出水量，但無形中仍損失許多能源，經量測相關數據，結果顯示運作效率已降至 76%。

鍾副總廠長表示，此 3 台冷卻水循環泵浦，皆為 1200HP 轉動設備，主要是提供冷卻水，移除製程熱量。一年 365 天，泵浦幾乎是天天運轉不停機。使用久後，除了葉片磨損外，泵浦亦出現腐蝕或生鏽等問題，導致運作效率逐年降低。

2015 年 7 月，台氯先進行 P-6010A/B 冷卻水循環泵浦的陶瓷複合材防蝕工程。「使用陶瓷複合材料塗佈，類似化妝作用，可讓泵浦的表面更加平順，亦使馬達電流降低、出口壓力提升，回復至過去的運作效率。」鍾副總廠長說，經比較塗佈前後差異，發現施工品質佳、成效良好，於是 P-6010C 也採用陶瓷複合材料塗佈，改善運轉效率。

提升泵浦運作效率

透過塗佈陶瓷複合材料後，冷卻水循環泵浦 P-6010A/B 的週期性維修費用降低，並延長設備操作壽命。經實際量測改善後的電流，結果顯示泵浦效率由 76%提升至 84%。

2016 年 9 月歲修時，亦進行另一台 P-6010 C 的冷卻水循環泵浦改善工程。完工後，經試運轉及記錄，P-6010C 馬達運轉電流由 2015 年同期平均 80.51（A）降至 74.82（A），減少 5.69（A），約 7.06%左右。出口壓力則由 5.3（kg/cm^2）提升至 5.7 （kg/cm^2），泵浦的整體運作效率提高 9%以上。

由左至右：鍾副總廠長說明冷卻水循環泵浦的陶瓷複合材防蝕工程、改善前的冷卻水泵浦、改善後的冷卻水泵浦

冷卻水泵浦（P-6010A/B/C）塗佈陶瓷複合材料節電績效

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)
P-6010A/B	134	48.2	120	254	1.12
P-6010 C	70	11.4	29	60	2.41

資料來源：台氯公司

台氯林園廠 3 台冷卻水循環泵浦

裂解爐廢熱回收設備

葉副總經理表示，陶瓷複合材料的耐用度較高，而且大馬力的泵浦皆可通用。尤其是泵浦越老舊，比如運轉超過 10 年、甚至 20 年之久，使用陶瓷複合材料塗佈後，改善效果越明顯。更重要的是，這種作法的好處是投資金額不高，投資回收時間短。

冷卻水泵浦塗佈陶瓷複合材料的另一項優勢是有助於省電。「根據我們統計，在台氯林園廠內可節電 15%，效果顯著。」葉副總經理說，這項低碳技術目前已廣泛運用於廠內，並推廣至台聚集團其他子公司，像是華聚 4 台 1200 HP 的冷卻水循環泵浦也有塗佈陶瓷複合材料。

回收裂解爐廢熱能

台氯有兩套 EDC 裂解爐，運轉過程中會排放燃燒廢氣。推動裂解爐廢熱回收工程，目的是希望將裂解爐的燃燒廢氣透過熱交換器，回收成 4K 蒸汽，供其他製程使用。

約 10 年前，台氯進行第一階段熱回收。當時原廠設計裂解爐的煙道廢氣排放溫度為 330°C，經廢熱回收裝置（蒸發器）後，產生約 5 噸蒸汽，供製程使用，最後煙囪排放氣溫度約 200°C。

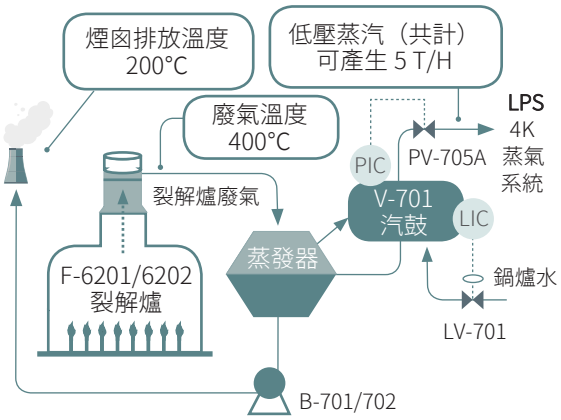
李廠長表示，因 VCM 產能提升，裂解爐廢

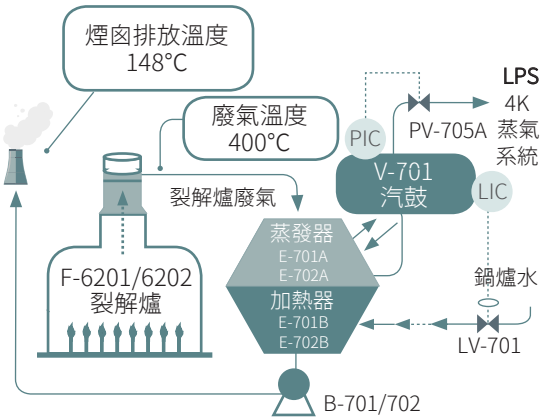
氣亦相對增加，透過熱交換器，「我們把原本要排放到大氣中的廢氣熱能回收做蒸汽，並讓廢氣排放溫度從 330°C降到 200°C，以符合法令規定，並達到節能減碳目標。」

4 年前，台氯著手第二階段熱回收，重新設計蒸發器並改為二段式，第一段為蒸發器（E-701A/E-702A），第二段為加熱器（E-701B/E-702B）。此設計不但可增加換熱效率，回收更多熱能，又降低廢氣排放溫度，符合法令規定，達到節能減碳目的。這次改善工程費用 2,000 萬元，年節能量為 2.4 萬噸蒸汽，年節能金額為 1,920 萬元，年減碳量為 5,177 噸。

李廠長指出，將燃燒廢氣第二次回收再利用，使廢氣排放溫度從 200°C降到 148°C。但因 148°C的廢氣仍有熱能，公司目前正在思考未來要做第三階段熱回收，將 148°C的廢氣溫度再降溫。

「我們希望可以回收再利用這股熱能。若以工廠內部自用，回收產生蒸汽，對我們來說是最方便，可以馬上用掉。」葉副總經理直言，目前第一、二階段都是回收成 4K 蒸汽，但因現有製程並不需要太低壓的蒸汽，所以公司內部正在評估裂解爐煙道氣經空氣預熱器（APH）方式，希望回收再利用此股熱能，並使煙囪排放溫度再次降低。





裂解爐廢熱回收工程第二階段流程圖 --(左) 改善前（右）改善後

裂解爐廢熱回收工程節能績效

節能案例	工程費用（萬元）	年節能量	年節電金額（萬元）	年減碳量（噸）	回收年限 (年)
裂解爐廢熱回收工程	2,000	2.4 萬噸蒸汽	1,920	5,177	1.04

資料來源：台氯公司

李廠長解釋爐管熱分布改善情況

改善爐管的熱分布

裂解爐最大的能源損耗，除了煙囪排放廢氣外，還有煙囪表面溫度、熱輻射散失熱能等問題。李廠長解釋說，因先前技術和設備老舊，隔熱材效果不佳，加上裂解爐使用天然氣燃燒，一年 365 天運轉不停工，造成熱輻射散失熱能嚴重。

為改善裂解爐爐管的熱分布狀況，台氯於 3 年前進行設備汰舊換新。首先，以前只有 48 個燃燒器（burner），現在改為 112 個燃燒器，數量增加 2.3 倍；燃燒器形式也可依所需火焰大小而調整。再者，更新爐管保溫材質，爐壁外層還塗上隔熱漆，使散熱更加平均。

「我們曾使用紅外線熱顯像儀（IR viewer）檢測，發現爐壁表面溫度從先前 140 °C、150°C，降到目前 60°C、70°C。」李廠長形容說，這種溫度是即使用手觸摸也不會被燙傷。

葉副總經理指出，台氯將兩座裂解爐的爐管材質提升至最高等級，改善火焰分布點，並使用耐火隔熱塗料，使爐管受熱均勻，比較不會出現高低溫和結焦等情形。在改造費用方面，一座台製裂解爐約 1.1 億元，加上工程費用，共計約 1.3 億元。國外進口的裂解爐要價 2.5 億元，還不含監造和工程費用。台氯購入台製裂解爐後，再依廠內需求自行加以改良，不僅支出費用不及外國進口的一半，而且效果非常顯著。

回收 4K 冷凝水熱能

台氯向台苯汽電共生廠外購蒸汽，最後產生的 4K 蒸汽冷凝水約 150°C。一般作法是把過剩的蒸汽冷凝水直接排至冷卻水塔回收，增加消耗冷能。台氯希望能將此股蒸汽冷凝水的熱能回收再利用，經熱交換後轉移到其他需要預熱的製程使用。

何課長表示，自 2016 年起，台氯開始執行此項低碳技術。改善前，製程反應器產生的尾氣，每小時 30 噸，溫度約負 10°C，原本是直接送到後段設備的尾氣分解爐燃燒處理。

「如果可以利用此股 4K 蒸汽冷凝水的溫度，並用來加熱製程反應器所產生的尾氣，就能減少後段設備尾氣分解爐的燃料油使用量。」何課長形容說，也就是先提升製程反應器所產生尾氣的溫度，讓後段設備可以省下加熱的能源。

經內部研究後，台氯決定增設一座熱交換器（E-6163），回收此股 4K 蒸汽冷凝水的熱能，用來加熱製程反應器尾氣，可將溫度提高至 100°C～ 120°C。

改善前製程尾氣溫度為負 17°C，改善後製程尾氣溫度為 120°C，所需工程費用 2,540 萬元，一年減少燃料油量為 878 公秉，年節能金額為 1,054 萬元，年減碳量為 2,734 噸。

除了熱能回收、節能減碳外，該項改善案首重操作安全的設計及保護措施，設備操作異常時，不但可立即偵測排除，還能快速回復原操作模式，完全不影響製程上運作。

4K 冷凝水回收熱能節能績效

節能案例	工程費用（萬元）	年節能量	年節電金額（萬元）	年減碳量（噸）	回收年限（年）
4K 冷凝水回收熱能	2,540	878(公秉) 燃料油	1,054	2,734	2.41

展望未來減碳願景

在推動低碳製程技術過程中，難免會遭遇困難和挑戰。鍾副總廠長坦言，台氯林園廠的腹地有限，若要做大幅度改善，需要有足夠空間。此外，有些製程技術改善，更換設備需耗時 2 至 3 個月，但製程和產銷上無法停工配合。

不過，為追求永續經營，台氯努力尋找各種節能方法，不論是從製程改善或設備更新上皆然。葉副總經理表示，明年將執行熱整合投資案，預計新設一座蒸餾塔，目前尚在設計規劃中。整體熱回收總投資金額約 4,000 萬至 5,000 萬元，其中蒸餾塔部分約 1,000 萬元，預計 2020 年歲修後可完成蒸餾塔增設工程。

台氯新設蒸餾塔，並納入廠內熱整合系統中，目的是為了善用多餘的熱能，提高節能效果。「我們的製程本來就會用到冷卻水，再反向用來加熱其他製程，等於是用製程來加熱製程，節能效果最佳，」葉副總經理肯定的說。

通常，石化廠都是利用歲修時進行裂解爐爐管除焦作業，在環保趨勢下，現今也會思考歲修時如何兼顧除焦與節能。以往，台氯採取蒸汽震盪的除焦方式，這種傳統作法利用天然氣燃燒，把結焦部分燒掉後再排出爐管外，費用超過 600 萬到 700 萬元，既浪費能源，又有噪音問題，而且還不一定能清除乾淨，甚至可能傷害爐管。

今（2019）年，台氯將改採噴砂（Sand Jet）除焦方式。這種技術引自美國，利用氮氣的壓力把細小的鋼珠噴入爐管內，再把結焦部分沖洗出來。「好處是省能（天然氣和蒸汽）、省時間、低噪音。」葉副總經理說，更重要的是，這種作法不僅可以清除乾淨、效率又高，也更節能環保，目前台氯尚與廠商洽談執行費用中。

由左至右：改善 4K 蒸汽冷凝水回收設備、員工節約能源教育訓練

低碳經濟的時代，因應能源議題已是企業必須面對的經營課題。在台聚集團內，華聚已率先於今年 5 月取得 ISO 50001 能源管理系統驗證，並採取循序漸進的作法，逐步推廣至集團其他子公司。台氯也預計今年底將推動 ISO 50001 能源管理系統，透過公司同仁上下一心的努力，期使台氯成為石化業的節能楷模。

Chapter 3

中石化小港廠

追求卓越綠色永續

中國石油化學工業開發股份有限公司（簡稱中石化）成立於 1969 年，總部位於高雄市大社區，另於台北市設有台北辦公室，在苗栗縣頭份鎮、高雄市大社區及小港區三處各設有生產工廠，簡稱中石化三廠。

中石化主要產品為己內醯胺（CPL）、丙烯腈（AN）、尼龍粒等三種，不僅為台灣唯一己內醯胺生產者、全球前五大己內醯胺製造商，也是台灣兩大丙烯腈業者、全球前十大丙烯腈製造商。2018 年銷售比重，分別為己內醯胺及其附屬產品 60.14%、丙烯腈及其附屬產品 31.20%、其他部門 8.66%。

中石化小港廠位於高雄市臨海工業區，鄰近中鋼、中油及洲際碼頭。這座具高度能資源整合優勢的己內醯胺工廠，節能減碳策略可分為新製程開發、製程熱整合、低階熱能回收等三大方向。自 2013 年起陸續推動方案，包括新環己酮製程、醯胺工場 / 硫銨工場 / 硫酸工場的跨場區熱整合、DeNOx 尾氣熱整合、尾氣壓能回收系統及低溫熱能回收技術等。

積極參與能源區域整合

為降低工廠營運對環境衝擊，中石化於 1999 年導入環境管理系統（ISO 14001），確保工廠在生產過程排放及廢棄物處置均符合法令規範，並針對重大環境議題進行管理及因應。2015 年，更導入 ISO 50001 能源管理系統，提高能源管理效率。

繼 2014、2015 年，2018 年小港廠再次獲頒經濟部工業局溫室氣體自願減量績優廠商，以及蟬聯高雄市環保局企業認養空品淨化區績優廠商。小港廠高廠長表示，中石化在製程改善上不斷持續精進，而且減碳可帶來節能、節省成本等好處。現今在台灣，石化廠要維持競爭力，最好的方法就是降低能源耗用率、物料耗用率，讓製程更精緻化、產品更高值化。

小港廠為善盡環境保護責任，積極配合政府政策，參與溫室氣體盤查與減量工作，規劃能源整合與製程改善，提高能源使用效率，以減少溫室氣體排放。2004 年成立節能小組，並參與「工業局產業溫室氣體自願減量計畫」。2007 年參與能源局溫室氣體盤查與查證輔導計畫，經由外部查證取得 2005 年基準年的查證聲明書。

過去小港廠積極與中鋼進行區域能源整合，透過夥伴關係共同提升能源使用效率。該廠技術部李經理指出，2007 年底，小港廠停用汽電工場，減少燃料油使用量，2008 年減碳量約 479,712 公噸。停用汽電工場後，電力購自台電，蒸汽來源則逐步由自產改為向中鋼採購廢熱回收產製的蒸汽，再陸續透過節能減碳規劃，使蒸汽年用量降至現況約 30 萬噸。「小港廠蒸汽冷凝水，除了內用外，也會回送給中鋼」李經理笑說，由此可見雙方彼此互動良好。

小港廠並設有廢氣鍋爐，全廠燃料氣主要來自於環酮工場和酮肟工場，送至氫氣工場當蒸汽重組的燃料使用，大多數燃料氣都是廠內自用，少數部分則送至中鋼，年售量 214 萬立方公尺。至於氫氣，主要是自產自用，不足部分再以外購補足使用量。

小港廠獲經濟部工業局溫室氣體自願減量績優廠商

中石化小港廠高廠長說明節能減碳歷程

小港廠與中鋼進行區域能源整合

訂定節能減碳目標

為配合我國溫室氣體減量目標，中石化三廠每年節能與減碳目標，定為減少其基準年排放量的 2%，減碳基準年設為 2005 年，節能基準年則為 2008 年。中石化節能減碳小組每季定期召開季報會議，追蹤並檢討三個廠區能源消耗、溫室氣體排放及減量效益。

三廠自 2005 年即致力於節能減碳。2017 年時，中石化在節能改善技術上遭遇瓶頸，節約率逐年減少，僅小港廠達成節能 2%目標。但技術瓶頸無法停止中石化節能的決心，2018 年頭份廠與小港廠節能量均大幅超越 2%節能目標，大社廠雖未達標，但成果亦遠高於前一年度的節能量。

2018 年，頭份廠共推行 8 項節能減碳措施，

2016 ～ 2018 年中石化三廠實際節能減碳量

廠別	項目	2016	2017	2018
頭份廠	節能量（GJ）	36	37	152
	減碳量（Tone-CO_2e）	5,027	2,875	11,962
大社廠	節能量（GJ）	8	32	38
	減碳量（Tone-CO_2e）	1,348	1,711	2,180
小港廠	節能量（GJ）	51	114	206
	減碳量（Tone-CO_2e）	8,629	45,764	11,938

資料來源：中石化 2018 年企業社會責任報告書
備註：此節能、減碳成效為 2018 年實際績效，所有專案皆經上線後追蹤一年

年減碳量 11,962 公噸；小港廠共推行 17 項節能減碳措施，年減碳量 10,337 公噸；大社廠共推行 12 項節能減碳措施，年減碳量 1,403 公噸。

中石化持續監測單位產品的溫室氣體排放量。以產品別區分，近 5 年來，兩大主力產品 CPL 及 AN 的單位溫室氣體排放量皆呈現下降趨勢。尤其是 CPL 每噸溫室氣體排放自 2014 年 6.905 公噸 CO_2e，下降至 2018 年 5.53 公噸 CO_2e，降幅達 20%。

高廠長表示，小港廠每年二氧化碳減量 2% 目標，主要是配合政府政策，由於中石化推動節能減碳專案今年已邁入第 14 年，「隨著節能減碳的技術與設備陸續投入，近年來發現愈來愈難達成此目標，儘管挑戰及壓力都不小，但我們還是堅持要繼續做下去。」

李經理指出，中石化三廠、工環中心、台北辦公室及中國各廠等同仁，每季都會召開節能減碳會議，由總經理親自主持，透過視訊會議方式，檢討節能減碳推動成效、分享相關技術及互相學習成長。

開發新環己酮製程

呼應全球綠色環保趨勢，中石化自行研發酚氫化產製環己酮技術，取代原有高能耗、高污染及高風險的環己烷氧化製程，不僅提升產率，更大幅減少副產物、蒸汽、用電及需焚化的廢液，達到從源頭減廢的目標。

新環己酮製程已於 2013 年全面上線，投資額為 7.6 億元，效益 19.5 億元，年節蒸汽量 369,516 公噸，年節電量 26,376,377 千瓦，年節天然氣量 1,399,272 立方公尺，每年總能源節約 35,513.8 公秉油當量，年減碳量 103,578 公噸。

高廠長說，小港廠所處的臨海工業區距離居民很近，向來重視安全環保的中石化，持續精進製程技術與提升設備效能，力求減少空氣污染物排放量，讓廠區周邊居民可以住得安心與放心。

「新環己酮製程是我們近年來所做的最大改變。」高廠長強調，採用酚來製造環己酮，以氫化製程取代氧化製程，好處是產能更高、能

2018 年中石化各廠新推行的節能減碳專案及預估年化績效

廠別	專案件數	投入金額（仟元）	節能量（MJ）	減碳量（CO_2 公噸）	節水量（公噸）
頭份廠	8	111,980	152,002	11,962	-
大社廠	12	517,831	26,132	1,403	493
小港廠	17	85,377	179,544	10,337	76,884
合計	37	715,188	357,678	23,702	77,377

資料來源：中石化 2018 年企業社會責任報告書
備註：此為 2018 年各廠完成節能減碳專案件數，與預期未來產生的年化效益

源耗用更少，廢棄物產出也減少，相對安全性更高。

李經理解釋說，原本的環己烷氧化製程轉化率僅 4%，但酚氫化製程的反應效率非常高，一開始設計的轉化率為 98%，目前實際轉化率已遠超過 98%。此外，生產每噸環己酮所需蒸汽僅有原先之 5%。且環己烷氧化製程的中和反應會產生廢液，必須再焚化處理；酚氫化製程則無此問題，不論是主產品環己酮或副產物環己醇，都具有可用價值。

「2012 年，為準備酚氫化製程上線，我們全部同仁都待在控制室，緊盯試車過程。」李經理形容說，大家一起度過難忘的農曆春節，也讓他留下深刻的印象。

三工場跨廠區熱整合

2013 年到 2017 年間，小港廠開始進行醯胺工場、硫銨工場及硫酸工場的跨廠區熱整合。醯胺工場原有一製程冷凝水，採用冷卻水降溫，後來新增一台換熱器，硫銨母液當冷源以回收熱量。除了可減少醯胺工場純化段蒸汽使用量外，高溫的硫銨母液再換熱，供硫酸工場鍋爐水加熱，使硫酸工場能產製更多的蒸汽。

三工場的跨廠區熱整合，投資金額 407.5 萬元，效益 1,256.3 萬元，年節蒸汽量 15,333.3 公噸，年節能量 1,167 公秉油當量，年減碳量 8,252 公噸。

李經理表示，2018 年，小港廠運用狹點分析法（Pinch Analysis），先找出並分析可熱整合的空間。透過狹點分析法所模擬出來的結果發現，冷卻水部分可節省空間有限，但在蒸汽方面仍有 32%到 43%節省空間，將成為小港廠未來持續節能的重點。

由左至右：新環己酮工場、小港廠李經理說明新環己酮製程

DeNOx 尾氣熱整合工程

另一節能減碳專案是 DeNOx 尾氣熱整合工程。酮肟工場的系統尾氣中，含有氮氧化物，必須藉由脫硝（DeNOx）反應去除後始能排放。為提高污染防治設備去除效率，將原有 DeNOx 系統放大，同時以蒸汽加熱進口溫度至 265°C，再將出口尾氣以冷卻水降至 220°C 至下游製程。

由於 DeNOx 為放熱反應，反應熱可回收再利用。因此，設計兩台熱回收換熱器，以 DeNOx 反應器出口熱物流預熱進口尾氣，節省原系統中蒸汽使用量，剩餘熱量則以蒸汽冷凝水進行換熱，並產製蒸汽，達到熱整合效果。該案投資金額 1,950 萬元，效益 1,654.7 萬元，年節蒸汽量 22,680 公噸，年節能量 1,726 公秉油當量，年減碳量 4,488 公噸。

高廠長表示，小港廠剛興建時，僅就符合當時法規排放標準規劃，原本設計是在低溫下脫硝。後來隨著環保意識提高，我們的自我要求也愈來愈高，「為了要提高脫硝的削減率，就必須提高入口溫度。如此一來，多出來的餘熱，得再另投資、購買設備，把餘熱回收再利用。」

「為了做熱能整合，我們投資必要設備，包括發電機、換熱器、冰水機等。」高廠長強調，企業要維持市場競爭力，必須要持續精進，不斷推動節能減碳措施。但更重要的是，要能進行結構性改變，才能有大幅度的節能減碳成效。

李經理回憶說，10 年前，他剛進入小港廠工作時，就知道廠內已規劃推動 DeNOx 尾氣熱整合，但因受限空間不足而暫時作罷。直到 2018 年，高廠長下定決心克服困難完成此專案，並親自試車完成。

全場熱整合

製程尾氣壓能回收

為善盡環境友善的企業社會責任，中石化積極配合環保署推動的「高屏地區空氣污染物總量管制計畫」，大社廠與小港廠採取源頭減量與管末處理雙頭並進的策略，將重油鍋爐更改為天然氣鍋爐外，並進行製程尾氣回收工程與防制設施效能的提升，有效降低空氣污染物的排放量。

在製程尾氣壓能回收方面，小港廠酮肟工場尾氣處理後原逕排至大氣中，但因該股尾氣具有壓力能，所以新增一台膨脹透平發電機，將尾氣壓能回收。該設備投資額 1.3 億元，效益 4.34 億元，年節電量 6,921,600 千瓦，每年總能源節約 1,720 公秉油當量，年減碳量 3,835 公噸。

高廠長表示，小港廠以往每小時要使用 150 公噸到 160 公噸蒸汽，經過推動節能減碳各項技術和專案後，現今已縮減至每小時 30 公噸蒸汽用量，「節能是我們很喜歡做的項目，既可讓製程更精緻化，又能看到效率增加和節能減碳的效益。」

其實，能源不外乎是熱能和壓力。因此，節能減碳團隊努力在製程中尋找可再被回收利用的熱能進行整合或發電。例如尾氣的壓力能，藉由膨脹透平機把動能轉變成電能，然後回收。2018 年，硫酸工場更換一台蒸汽透平機，汰換已使用 40 年之久的舊機，設備更換成本約 3 千多萬元，單耗量減少，操作效率提高。

DeNOx 尾氣熱整合

另外，小港廠廢氫氣原本是直接用做燃氣，亦投資購買壓縮機，把廢氫氣回收再利用。

近期，冷卻水塔節能亦是改善重點，除了新增變頻器外，冷卻水塔的風扇亦更新材質，控制模式由開機後不斷運轉改為溫控式，可依季節、天候狀況來控制風扇的運轉。

低溫熱能回收技術

小港廠竭盡所能推動節能減碳，包含低階難回收之能源，其一典型案例為低溫熱能回收技術。全場蒸汽冷凝水經熱整合後，僅餘 95°C 蒸汽冷凝水採冷卻水降溫。為充分利用此低階熱能，設置一台有機朗肯循環機組（Organic Rankine Cycle，簡稱 ORC）發電，以冷凝水加熱冷媒，汽化推動膨脹透平發電後，冷媒以冷卻水冷凝後重複循環。此專案投資額 1,678 萬元，效益 280 萬元，年節電量 1,400,000 千瓦，每年總能源節約 348 公秉油當量，年減碳量 745 公噸。

ORC 發電減碳專案，令高廠長印象最深刻。這項專案投資回報率約 10 年，「就連 95 度°C 蒸汽冷凝水都回收發電，發電效率實在是很差，但我們還是投資下去，純粹是為了減碳，而非考量投資效益。」高廠長形容說，足見中石化對節能減碳的堅持與義無反顧。

他坦言，有些節能改善案，譬如裝設換熱器、廢熱鍋爐，受限於空間只能往上安裝，為此還須補強基樁，施工費所費不貲，「我們一路走來是『關關難過關關過』，工程人員努力研究、想辦法克服問題，現在習以為常的事很多是過去我們覺得很難，甚至不可思議的。」

中水回收再利用系統

近年來，環保署將循環經濟概念導入廢棄物管理。小港廠也不落人後，於 2018 年完成硫酸銨廢水回收利用工程，將製程廢水經薄膜生物處理系統（MBR）與 RO 系統，產製中水回收再利用，省水兼減廢。

李經理表示，當廢水流出硫酸銨工場，先會經過中和池調整進料廢水的酸鹼值。接著流經生物污泥池，透過生物處理方式，分解水中的化學需氧量（COD）。再來經過 MBR 薄膜池，過濾水中懸浮固體。最後，經由 RO 系統降低水中導電度，完成再生水的製程，並將再生水引導回製程區，作為冷卻水塔補水之用。

智能化工廠

2017 年起，中石化小港廠投入 2 億 5 千萬積極推動智能化工廠。2018 年底已達到全廠數據化之目標，主產線與公用系統，皆全數以 DSC/PLC 系統進行控制，數據亦全數收集並進行大數據分析，分析結果提供操作同仁操作指引，協助工務同仁進行預知保養。未來預計導入 APC(Advanced Process Control) 與 AI 控制，優化生產程序，達到最佳生產排程、最

由左至右：K-6605 壓能發電機、尾氣壓能回收系統、新增膨脹透平機推動發電

低生產成本及最穩定操作等經濟效益。

在工安環保上，廠區已裝設 136 支攝影機收集影像數據，以機器學習建立 AI 模型，針對洩漏、人員違規、人員安全等異常進行自動預警，預防工安、環保事件發生，朝「產品零缺點、安全零災害、環境零汙染」的目標邁進。

朝零污染零排廢邁進

隨著氣候變遷和能源稀缺問題加劇，許多必須與市場機制結合的全球性環保標準或規範因應而生，為中石化帶來綠色創新機會及新的商業模式。中石化致力於推動綠色工廠，逐一檢視各個環節，將綠色概念融入新的產品設計，重塑新的製造流程。

2019 年，中石化邁入第五十年，在追求低耗能、零污染、零排廢之際，將持續深化能源節約、綠色製程創新、生質塑料、零廢水排放、廢棄物循環利用及循環經濟等議題，期望逐步降低對石化原料的依賴，為全球永續發展盡一份心力。

綠色石化業為中石化 2025 年的願景。展望未來，中石化將致力於發展高值化產品，進行綠色創新研發，降低碳排與節能，提升產品的綠色意識，並取得綠色工廠認證，以及推動節水與中水回收方案，持續朝向減碳、減耗、減排的目標邁進。

低溫熱能回收系統

小港廠節能減碳技術案例推動效益

方案名稱	投資額（仟元）	效益（仟元 / 年）	節能量（KLOE/ 年）	減碳量（MT-CO_2e/ 年）
新環已酮製程	766,435	1,958,657	35,513	103,578
醯胺工場 / 硫銨工場 /SA 工場之跨廠區熱整合	4,075	12,563	1,167	8,252
DeNOx 尾氣熱整合	19,500	16,547	1,726	4,488
尾氣壓能回收	130,000	434,112	1,719	3,835
低溫熱能回收技術	16,780	2,800	348	745

資料提供：中石化小港廠

Chapter 4

台塑化烯烴二廠

綠色製程領航前行

台塑石化股份有限公司（簡稱台塑化）成立於 1992 年，烯烴事業部共設 3 座輕油裂解廠，乙烯年產能合計達 2,935 仟噸。其中，台塑化烯烴事業部烯烴二廠（OL-2）位於雲林麥寮六輕廠區，占地約 46 公頃，東、南兩側分別為南亞異壬醇廠（INA）及台化芳香烴二廠（ARO-2），主要產品包括乙烯、丙烯、丁二烯、裂解汽油等。

台塑化以追求「工安環保與經濟雙贏」為目標，從溫室氣體管理、空氣污染防制、水資源及廢水處理、廢棄物管理等四大面向，推動跨廠、跨公司的節能減排、資源整合及循環經濟。近期成效較顯著的低碳製程技術，包括過剩燃料氣外送、製程水循環系統能源整合再利用，以及新增小

容量空氣壓縮機等。未來，台塑化將於高階製程控制導入人工智慧（AI），期能成為石化業綠色製程領航者。

由上而下推行節能

為追求永續發展，讓能資源有效循環利用，台塑企業於 2007 年 4 月 23 日成立「節能減碳專案小組」，針對企業內所屬各公司及工廠開始設定每年單位產品能耗及溫室氣體排放量目標。另每月召集各公司針對麥寮及寧波廠區節能減碳推動作業執行情形進行檢討，並研討各項減量技術，彼此交流與學習。

「我們的節能減碳政策，全都是由上而下推動。」台塑化烯烴二廠顏廠長說，台塑集團總管理處訂定一系列節能減碳政策後，由上往下推行到台塑、南亞、台化、台塑化等四大公司，再由四大公司推展到各事業部及第一線生產廠。各事業部和各廠也都成立節能減碳小組，參加節能減碳競賽評比，展現上下一心的共同努力成果。

烯烴二廠的「節能小組」，由顏廠長擔任組長。小組主要有三大工作目標，一為遵循企業方針，配合公司推動節能減碳相關事務，致力達成年度目標。二是定期召開會議，研擬具體改善方案，檢討與追蹤節能執行績效。三為監控各項能源耗用量，進行異常的追查及排除。自 2015 年起，總管理處更將節能減碳與績效獎勵結合，鼓勵廠內同仁一同參與，集思廣益以爭取佳績。

在管理查核推動方面，烯烴二廠利用每日晨報會議，檢討各項能源耗用的合理性。經由製程即時監視系統（IP-21 軟體），隨時監控能耗差異。藉由公司 MIS 系統，進行節水節能案件的新增立案，及改善進度管制。

烯烴事業部則是每月定期召開跨廠會議，共

事業部定期開會檢討節能減碳成效

同檢討節能減碳成效及可行推動方案。各廠及各事業部節能減碳工作執行成效，每季於公司週會中向董事長或總經理報告。

台塑企業總管理處安衛環中心也設立網路平台，推動節能節水教育宣導。另外，台塑企業配合經濟部能源局推動集團企業成立「節約能源服務團」，針對各項節水節能議題，研擬建立改善指引，並透過舉辦觀摩研討會及各種輔導計畫等活動，將企業內各部門間資源與知識分享傳播，藉以擴大節能成效。

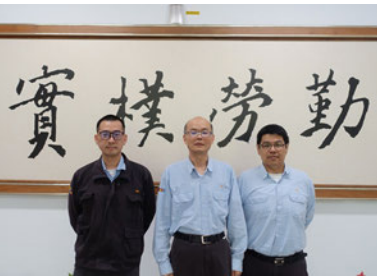
烯烴二廠獲獎肯定

除了烯烴事業部各廠各製程區定期技術交流、每月召開會議分享節能績效外，總管理處每月也會召集四大公司分享節能績效，每半年舉辦優良案例選拔及觀摩。對外的節約能源技術交流方面，台塑化透過經濟部能源局、財團法人台灣綠色生產力基金會（簡稱綠基會）等國內團體輔導查核，並與國外相同製程的企業，包括南韓三星漢華等，進行定期與不定期的技術交流。

在全廠同仁共同努力下，烯烴二廠自 2008 年以來多次榮獲節約用水績優單位、節約能源績優廠商、溫室氣體自願減量等獎項。

自 2005 年起，台塑化烯烴二廠即依循 ISO

台塑化烯烴二廠榮獲 2018 年溫室氣體減量績優廠商



由左至右：台塑化烯烴二廠節能減碳團隊成員、顏廠長簡述輕油裂解製程

烯烴二廠歷年節能減碳獲獎紀錄

年度	獲獎事蹟	頒發單位
2008	節約用水績優單位	經濟部水利署
2010	節約能源績優單位	經濟部能源局
2012	節約用水績優單位	經濟部水利署
2014	節約能源績優單位	經濟部能源局
2016	節約用水績優單位	經濟部水利署
2018	溫室氣體減量績優廠商	經濟部工業局

資料來源：台塑化烯烴二廠

2016 年至 2018 年溫室氣體減績彙總

	年度	2016	2017	2018
	件數	9	16	11
能源節約量（每小時）	用汽節省量（噸 / 時）	1.30	3.75	3.92
	用電節省量（度 / 時）	1,118.9	139.3	89.4
	燃料節省量（噸 / 時）	0.025	0.910	0.002
	CO_2 抑制量（噸 / 年）	11,401.9	24,551.9	9,638.9

資料來源：台塑化烯烴二廠

14064-1 進行溫室氣體的盤查，並委由 BSI 英國標準協會台灣分公司（BSI Taiwan）進行相關查證。為推動循環經濟，台塑化於 2018 年響應經濟部工業局「產業溫室氣體自願減量查核」，2018 年度節能措施減量 9,639 噸 CO_2e，展現台塑化對節能減碳的重視與決心。

建廠製程考量周全

事實上，台塑化於建廠設計時，即以最佳可行技術（Best Available Technology，簡稱 BAT）及最佳可行控制技術（Best Available Control Technology，簡稱 BACT）的理念，採用當時最先進及能源效率最佳的污染防制設備。運轉後，更嚴格控管水資源及能源耗用，不斷檢討改善。

顏廠長表示，烯烴二廠在建廠設計即已考量製程能源整合，將前段（裂解）製程的副產品（氫氣、甲烷）、低階能源及廢熱等充分整合

與循環再利用，以發揮資源及能源的最佳使用效率。

烯烴二廠的主要原料為輕油。將輕油以蒸汽混合稀釋後，先進入裂解爐，於常壓高溫下（約 830°C）進行裂解反應。裂解氣瞬間驟冷降溫後，先分離出五碳以上餾份的裂解汽油及燃料油，其餘的較輕成份以裂解氣壓縮機升壓至 39.2kg/cm^{2}G，再經冷箱的乙烯、丙烯冷媒激冷至 -161°C後，流經各分餾塔依序分離出乙烯、丙烯、丁二烯、芳香烴油等石化工業基本原料，以及氫氣、甲烷等副產物。

「830°C的溫度很高，可用來當熱源，產生高壓蒸汽。加熱到 830°C經熱回收後再降溫，重成分先冷凝液化，與輕成分的氣體，也可容易進行分離。」顏廠長解釋說，在裂解爐以熱交換器換熱後，裂解爐溫度從 830°C降到 400°C，產生蒸汽，可做熱回收；接著在驟冷罐注加驟冷油降溫，再降到 200°C，驟冷油吸熱後經換熱產生蒸汽，再次做熱回收。

整個製程前中後段的熱能回收再利用，當初建廠時都已有充分考量和完整設計。他坦言，由於原本的製程已考量很周全，後續要再做大幅度改善，持續節能、節水和節電，頗具挑戰性，「但我們還是盡量努力節能減碳，提出適當的改善案，為永續環保盡一份心力。」

將過剩燃料氣外送

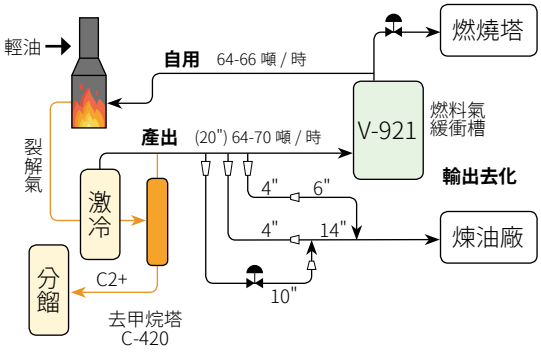
輕油裂解廠可使用輕油、液化石油氣（LPG，成分為丙烷或丁烷）作為進料。經由裂解反應後，除可產製乙烯、丙烯等主要產品外，尚有氫氣及甲烷等副產物，稱之為燃料氣，主要用途包括送回裂解爐作為燃料，或送往下游廠作為燃料。

台塑化自 2000 年正式商轉後，針對燃料氣過剩問題陸續規劃各項改善措施，譬如放大廠內既有管線以去除輸出瓶頸、增配 14”燃料氣管線至煉油廠，以及開發新的下游用戶等。

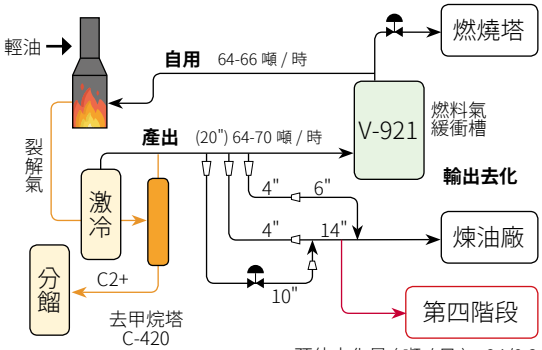
烯烴二廠原料多仰賴進口，2006 年面臨新一波能源危機，為能永續運轉，並因應原料市場行情波動，在既有設計基礎上，規劃提高液化石油氣的進料比例，以增加進料選擇的彈性，保有市場競爭力。

自 2006 年開始，LPG 進料量呈現逐年上升的趨勢，目前進料比例已超過 10%。當 LPG 進料比例提高，或是輕油中所含的低碳數組成較多時，裂解反應後氫氣及甲烷等產出量也隨之增加，燃料氣過剩情形將更為明顯。燃料氣經裂解爐使用及提供下游廠使用後，如仍有過剩狀況，在無法儲存下只能排放至燃燒塔。

過剩燃料氣外送改善前



過剩燃料氣外送改善後



預估去化量 (噸 / 日)：24/0.3

完成四階段去化改善

輕油進入裂解爐，可用甲烷當燃料。「甲烷是從製程中裂解產出，我們廠內會回收甲烷作為燃料氣。以前因氣體無法儲存，過剩的甲烷只能排到燃燒塔，但很浪費能源，又會增加空氣污染物的排放量。」顏廠長形容說，甲烷氣的優點是不含硫，屬於輕質乾淨的燃料，且熱值高，燃燒過程也比較不會造成燃燒器阻塞。

他進一步說明，有些下游廠商以往可能是使用燃料油，後來透過總管理處協調下游廠商，改為使用甲烷當燃料氣，讓過剩的甲烷可經由配管輸送到下游有需求的工廠運用，一來可發揮跨廠區能資源整合的功效，二來也有助於降低溫室氣體排放量。

自 2000 年到 2014 年，台塑化已完成三階段的燃料氣減量改善措施，廠內燃料氣過剩排放情況已大幅下降。不過，隨著 LPG 進料比例提升，以及下游用戶因製程調整或定檢等因素減少用量，導致燃料氣仍有過剩排放狀況，所以必須再尋求其他去化管道，解決此問題。

林高級工程師表示，2014 年起，台塑化開始執行第四階段過剩燃料氣去化改善案。2014 年送至下游廠的過剩燃料氣為每年 48,288 噸，2017 年送至下游廠的過剩燃料氣為每年 67,959 噸。完成第四階段的改善之後，廠內燃料氣排放量已趨近於零。

製程水循環整合再利用

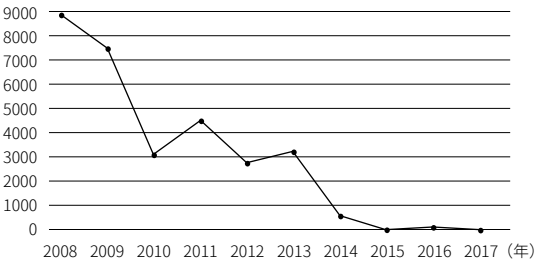
另一節能改善案為製程水循環系統能源整合再利用，回收低階餘熱加熱其他製程水進水，原設計用來加熱的蒸汽用量可減少。

在改善前，製程水汽提塔（C-260）的原製程水進料溫度 83°C，原設計是以 3.5K 蒸汽加熱到 118°C來汽提製程水，考量驟冷油塔（C-210）的盤油循環系統，上有低階餘熱（138°C），以及稀釋蒸汽產生器（C-270）的高溫排放水為 168°C，經冷卻後排放，仍有餘熱，評估均可回收餘熱來加熱 C-260 製程水進料。

提列改善專案新增設兩座換熱器 E-262、E-263 與配管，分別回收 C-210 盤油與 C-270 排放水餘熱，加熱提高汽提塔進料水溫度。改善後，進料水溫度從 83°C提高到 93°C，上升 10°C，減少蒸汽來加熱水溫，蒸汽量每小時可節省 5.1 噸。稀釋蒸汽產生器排放水溫度從 168°C下降到 132°C，降低 36°C，可減少冷卻水蒸發損失為每小時 1.2 噸。

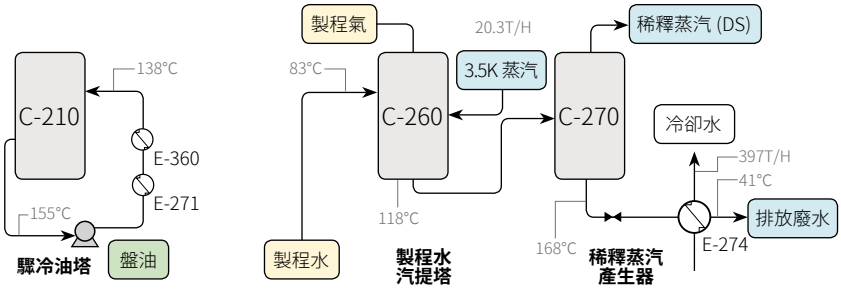
顏廠長表示，推行製程水循環系統能源整合再利用，關鍵在於驟冷區製程中仍有一些低階餘熱可以回收再利用。因此，增設兩座換熱器，用於換熱及回收。由於新增換熱器，加上配管，整合不同的塔槽操作，對原先製程設計變動較大，事前規劃評估也較謹慎，但回收效

由左至右：6”燃料氣管線、3”燃料氣管線



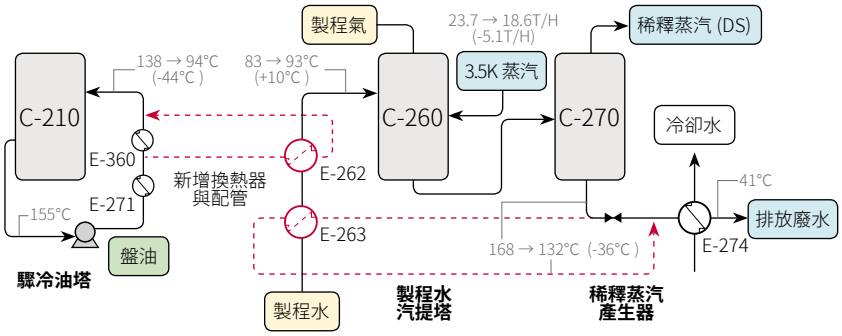
改善後燃料氣排放趨勢圖 - 經四階段改善後，燃料氣排放量逐年降低，且已趨近於零

製程水循環系統能源整合再利用改善前



盤油循環示意圖　　製程水系統示意圖

製程水循環系統能源整合再利用改善後



盤油循環示意圖　　製程水系統示意圖

新增設兩座換熱器 E-262、E-263 與配管

益也較高，為整合不同製程系統的節能改善成功案例。

新增小容量空壓機，減少大容量空壓機之使用

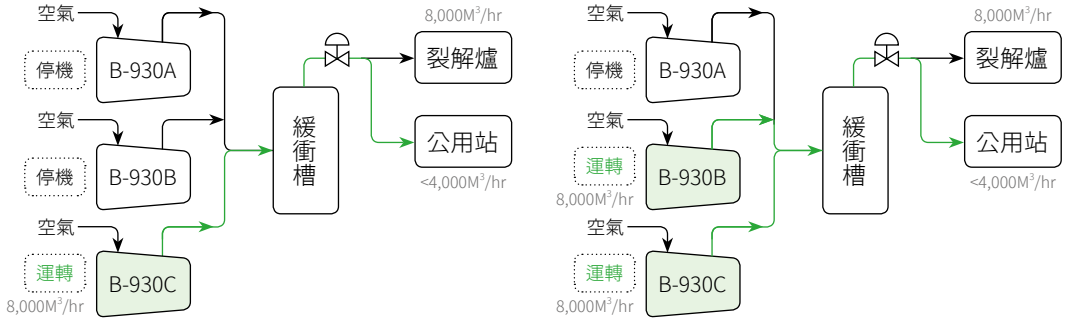
台塑化烯烴二廠原先規劃設計 3 台空氣壓縮機，主要供應乙烯廠裂解爐定期除焦空氣使用。平時未除焦時，僅需啟動一台空氣壓縮機，可提供 8000Nm^3/ 小時的 7KG/CM^2 壓縮空氣（約 10 噸 / 小時），供應給廠內公用站等使用。而裂解爐進行除焦時，需要額外再增加每小時 10 噸的空氣量，所以必須啟動兩台空氣壓縮機運轉。

林高級工程師表示，當裂解爐不進行除焦的時間，廠內空氣使用量較低，每小時 10 噸左右的廠用空氣已超出公用站等空氣使用需求量。因此，評估增設一台小容量空氣壓縮機，於平時運轉（裂解爐未除焦時），適合實際工廠空氣用量；當除焦時，再開啟另一台空壓機，改為可一大一小運轉模式，進而達到節電效益。

改善前空氣壓縮機電流約 202.8 A，改善後空氣壓縮機電流降為 148.56 A，節省用電量為每小時 263.52 度。

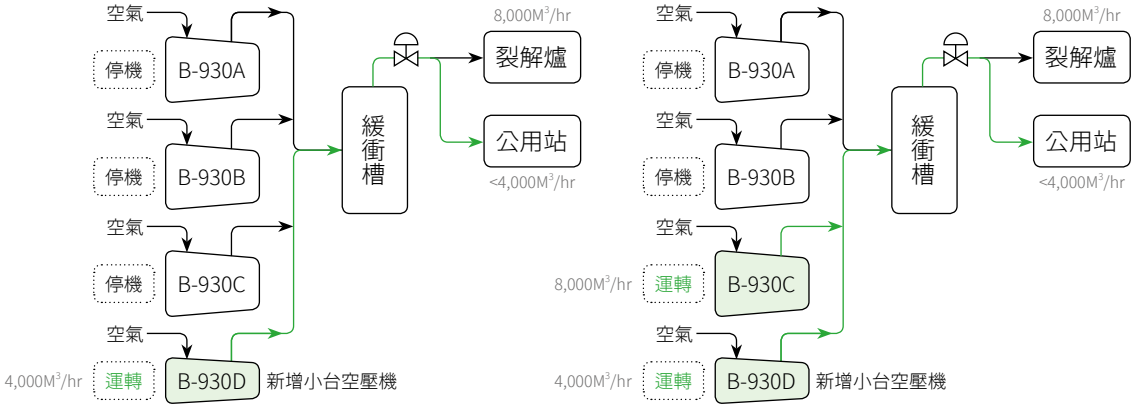
因爐管內部會附著碳氫化合物，有了焦碳後，就必須要除焦。一座裂解爐約 50 天要除焦一次，廠內平時有 12 座液體裂解爐，加上 2 座氣體裂解爐一起操作。換句話說，每 3 至 4 天就有一座裂解爐要除焦，空壓機使用頻

新增小容量空氣壓縮機改善前



裂解爐未除焦，運轉 1 台　　裂解爐除焦時，運轉 2 台

新增小容量空氣壓縮機改善後



裂解爐未除焦，運轉 1 台小空壓機　　裂解爐除焦時，運轉 1 大 1 小台空壓機

繁。未來採用能延長裂解爐操作週期的不同型式爐管，以減少除焦次數，進一步節省裂解爐能耗。

採用高階製程控制

因應工業 4.0 時代，台塑化不斷投入技術研發，導入高階製程控制進行製程改善，整合經濟、環境與風險控管，提升自身競爭力，同時也能為石化產業轉型設立新典範。

顏廠長表示，因美國頁岩油開採技術出現革命性的突破，開採成本大幅下滑，刺激美國油氣產量雙雙大幅成長。頁岩油可提煉頁岩氣，主要成分是乙烷、丙烷，乙烷可裂解產生乙烯。「美國業者生產乙烯的乙烷原料價格只有 200 到 300 美元，我們輕油原料成本 1 噸 500 到 600 美元，原料成本結構差異，對我們極為不利。」顏廠長坦言，頁岩氣革命將對台塑化經營帶來不小的壓力，必須努力降低進料成本、提高生產效率。

由於烯烴事業部 3 座輕油裂解廠（OL-1/2/3），在商轉後，陸續採用高階製程控制（Advanced Process Control，簡稱 APC）進一步提高生產績效。顏廠長指出，烯烴三廠

於 2018 年開始試行新一代的高階製程控制系統，其特點為除了原有前饋精確控制外，還有能自動學習及時調整控制模型類似人工智慧（AI）的功能，若試行在產品收率與節能減碳有改善成效，烯烴一、二廠也會參照應用，為工廠提供節能減碳改善另一途徑。

不過，改善製程和提升績效的前提為先確保「製程穩定運轉，安全生產」。AI 應用在石化業製程上的案例，目前還不多，加上石化業製程都是高溫高壓，及危險性較高的流體，製程涉及物理、化學等各種反應較複雜，與現行一般 AI 應用的領域差異較大。因此，一切都要以安全穩定運轉為優先考量，先確保安全，再求績效提升。

低碳製程不遺餘力

為實踐對環境保護與防治污染的承諾，台塑化採用最先進製程設備與技術及管理方式。顏廠長直言，因烯烴二廠建廠時已採用較完整先進的設計，節能減碳也推行十幾年，若要再進一步大幅節能改善，頗具挑戰性，除了遵循企業節能減碳推行政策，也希望尋求綠基會等外界專業單位輔導協助。

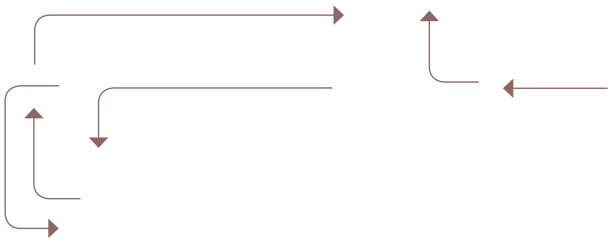
明年，烯烴二廠將邁入第 20 年，將逐步針對部分已停產的舊設備汰換，除了提升設備可靠度，若汰換為低能高效率新型設備，也可獲得節能改善的附加效果。例如廠內有 400 多台馬達，將檢討哪些馬達的原先設計與現有操作具節能潛力，評估改用變頻式馬達，或把馬達的葉片縮小。

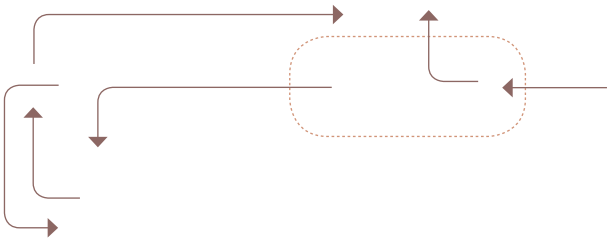
展望未來，煉油、石化產業要永續發展，氣候變遷及能源議題仍是重要的核心議題。因此，低碳製程推動、能資源循環再利用、循環經濟、高階製程控制的應用，將成為台塑化未來持續成長的重要利器。

由左至右：林高級工程師說明新增小容量空壓機改善效益、新增設小容量空氣壓縮機

台塑化烯烴二廠節能減碳技術案例推動效益

方案名稱	效益				
	投資額（萬元）	投資效益（萬元 / 年）	回收年限（年）	效率提昇	減碳量（T-CO_2e/ 年）
過剩燃料氣外送	728.7	17,810	0.04	每年減排燃料氣量達 19,671 噸	52,697
製程水循環系統能源整合再利用	1,171.4	3,235.4	0.36	節省蒸汽：5.1 T/H	12,126
新增小容量空氣壓縮機	1,666.2	464.45	3.59	節省用電量：263.52 度 /H	1,864.04





Chapter 6

台化化二部合成酚廠

從源頭管理落實減碳

台灣化學纖維股份有限公司（簡稱台化）創立於 1965 年，初期以纖維、紡織產品為主，後來轉型並跨入石化、塑膠業。台化化工第二事業部（簡稱化二部）合成酚廠位於麥寮園區，主要從事苯乙烯、苯酚、丙酮的生產與銷售，提供企業內下游產品作為主要原料，以減少進口依賴度及穩定價格。

為提升能源使用效率，降低二氧化碳排放量，合成酚廠積極投入節電、節水及節能減碳各項改善工作。近期成效較為顯著的低碳製程技術，包括冷卻水塔風車夏季節電改善、高溫氧化器引風車使用永磁調速機、燃料熱能取代電能、增設低壓發電機組及低溫反應熱回收等。

獲節能標竿獎肯定

合成酚廠配合公司節能減碳政策，以每年水、汽、電單位用量降低 5%為目標，持續進行製程優化與節能改善。例如，配合夏月電力供給吃緊，增設低壓蒸汽發電機，使用低階廢熱蒸汽發電；減少電力使用需求。以燃燒熱能取代電能，使用熱媒鍋爐提供熱能至廢水濕式氧化單元，整合使用後，可停用熱媒電加熱器，有效節省電力使用。增設熱交換器，回收烷化反應低階廢熱能量，增加低壓蒸汽之產出。

由於節電、節汽績效顯著，合成酚廠榮獲經濟部頒發「2018 年節能標竿獎銀獎」。得獎關鍵在於，合成酚廠於 2017 年達成各項節能指標，包括節省 6,053 千公秉油當量、減少二氧化碳排放量 19,130 公噸、節能效益達 5,635 萬元、節省電力 1,522 千度、能源節約率 4.68%。

合成酚廠也致力於推動循環經濟，台化化二部何協理表示，麥寮園區是國內循環經濟發展的典型範例，在麥寮園區內，公司採由上而下推行方式，不但可達到跨廠區能資源互用，節能效益也較為可觀。譬如合成酚廠回收低階反應熱後，可輸送至園區內其他廠使用。

合成酚廠循環經濟歷年執行成果，若依農委會每公頃森林一年可吸碳 15 公噸換算，一座大安森林公園（25.8 公頃）每年吸碳 387 公噸。合成酚廠歷年減碳量相當於 2,269 萬棵樹木年吸收量，亦相當於 459 座台北大安森林公園。若依一座奧運標準游泳池蓄水量為 2,500 噸，合成酚廠用水減量年效益，則相當於 104 座奧運標準游泳池。由此可見，合成酚廠推動節能減碳成果豐碩。

台化合成酚廠節電改善案 - 增設低階蒸汽膨脹機

2018 年經濟部節約能源表揚大會由化二部簡副總代表領獎

節能重點在於蒸汽

目前，合成酚廠內各項能源使用占比，以蒸汽占比 74%最多，其中 46%為外來蒸汽，28%為製程回收熱。其餘電力占 23%（包含外來電力 21%、自產電力 2%），以及燃油占 3%。另外，30%能耗是由製程回收，其中回收蒸汽占 28%、電力占 2%。

「廠內節能重點在於蒸汽，」何協理一語道破。以往廠內餘熱都只回收到溫度 150°C的冷凝水，但事實上，60°C到 150°C的冷凝水或是低壓蒸汽具有回收價值和節能效果，應該要回收再利用，以免浪費。

他表示，如果前段未做回收，到了後段製程，就必須使用冷卻水進行冷卻，最後大部分的水資源都耗用在冷卻水塔的蒸發損失。不過，要做好冷凝水或低壓蒸氣回收，必須挖空心思。

過去，合成酚廠內有多餘低壓蒸汽，因壓力過低，加上各廠之間距離太遠，要往外輸送並不容易。因此，只能把蒸汽升壓或廠內使用，若還有過剩，則降壓發電。何協理指出，有些生產廠採用有機朗肯循環（ORC）發電技術降壓，台化合成酚廠則利用蒸汽直接降壓，推動渦輪機發電。

台化化二部何協理說明如何節省蒸汽

當初原本設計每小時產生 218 度電，經試車運轉並調整兩、三次後，每小時實際產電僅 182、183 度，實際效能只達到 68%。何協理解釋說，後續檢討發電效率偏低的原因，是此次使用 1.5K 低壓蒸汽發電，但委外廠商過去只使用過 3.5K 低壓蒸汽發電，在電發效率估算有高估之處。

這次改善案成效雖不如預期，但也讓何協理留下深刻印象，更說明了蒸汽系統平衡的複雜度。尤其是在不能影響製程產能和品質的前提下，不同壓力等級的蒸汽如何互補，製程人員必須通盤考量，否則多餘的蒸汽最後只能排放或靠冷卻水冷卻，形成能源耗損。

上行下效推動減排

台化公司節能推動小組由洪副董事長擔任召集人，採取由上而下的方式，來推動節能工作。廠長則是廠內推動節能減碳的核心人物，並透過獎勵機制，激勵全員參與提案改善，提高節能成效。

何協理表示，每項節能改善案都是經過大家共同努力，包括製程、保養、環工、廠務等各單位的投入。一開始，大家先腦力激盪出想法，再由委外廠商提供建議書，包含節電、節水、節省蒸汽等改善效益，並配合現場製程，共同執行與檢討專案推動成果。

「公司百分百支持廠內推動節能減碳和循環經濟。」何協理說，台化推行節能減碳已逾十幾年，洪副董事長每月親自主持公司內部的節能減碳會議，檢討節能節水及污染防治改善成效、交流新的減碳技術，再將推動模式及優良案例延伸到其他各廠區。

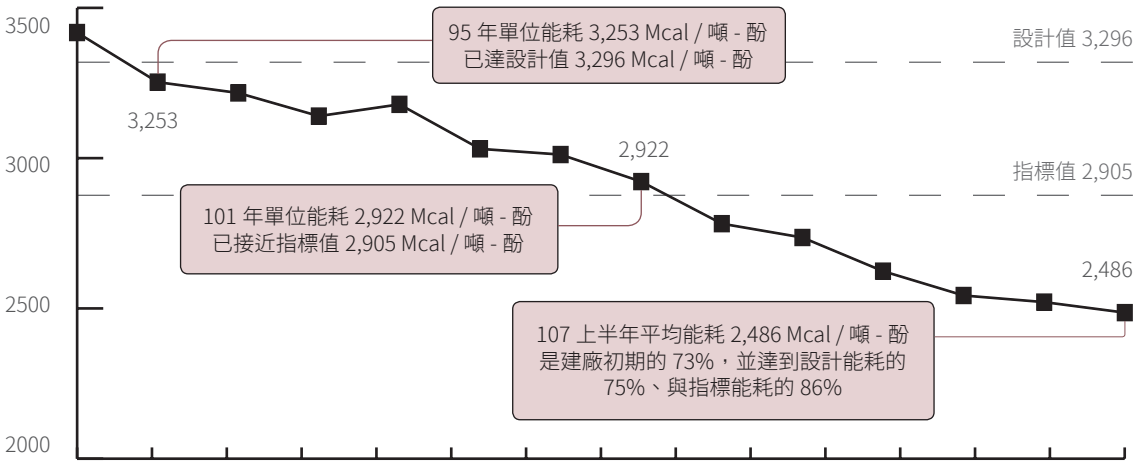
在全體同仁上下一心努力下，合成酚廠的溫

室氣體排放量展現具體成果，單位能耗也逐年下降（見表 2）。2006 年，年單位能耗 3,253 Mcal/ 噸 - 酚已達設計值 3,296 Mcal/ 噸 - 酚；2012 年，單位能耗 2,922 Mcal/ 噸 - 酚已接近指標值 2,905 Mcal/ 噸 - 酚；2018 年上半年，平均能耗達 2,486 Mcal/ 噸 - 酚是建廠初期的 73%，並達到設計能耗的 75%、與指標能耗的 86%。

2016 年至 2018 年溫室氣體減績彙總

年度	節能案件數	節省能源量（全年）			CO_2 減量公噸 / 年
		電力（kWh）	蒸汽（公噸）	燃料氣（公噸）	
2016	20	7,662,720	0	131.4	4,461
2017	37	1,506,180	61,539	0	19,084
2018	49	8,294,844	27,830	0	15,012

合成酚廠歷年能耗趨勢



94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107
3,418	3,253	3,217	3,140	3,179	3,031	3,012	2,922	2,782	2,736	2,624	2,543	2,521	2,486

冷卻風車節電改善

合成酚二期冷卻水系統共有 4 座冷卻風車（B861E/F/G/H 四極風車），每座風車處理循環水量 5,000 M^3/hr，二期冷卻水塔設計循環總水量為 12,441 M^3/hr。經多年來製程調整及改善後，實際循環總水量降為 9,430 M^3/hr，所以僅需啟動 2 台冷卻水循環泵浦及風車運轉。

合成酚廠王廠長表示，廠內用電中，冷卻水塔用電量占比高，「若要節電，必須先找源頭著手改善。」為配合季節溫度變化操作，2016 年將風車 B861E 增設永磁式調速機（PMD），風車 B861F 亦更換為變極馬達，以利進行高低頻切換降低電力耗用，共節電 117 kWh/hr。

然而，當氣溫降低時，水塔風車仍需人員進行高低頻切換，除增加製程操作負荷外，電力亦無法達到最佳的節能操作，經檢討仍有改善空間。另 2 台水塔無須運轉，閒置過久未入水，易造成結構木材被真菌類破壞，影響水塔支撐強度。

改善案增設兩台變極馬達，配合冬夏季環境溫度進行調整，以達到最大操作彈性，風車 B861G/H 變極馬達與支撐座修改費用合計約 530 萬元。節電效益方面，以夏季為例，改善前，冷卻水塔風車啟動 2.5 台，平均耗電 359kWh/hr。改善後，以 3 台變極風車搭配 1 台永磁式調速機來配合環境溫度調控轉速，可滿足最大操作總風量需求，平均耗電 240.7kWh/hr，節省電力 118.3 kWh/hr。改善案已於 2018 年 6 月完成，年節電效益為 75 萬元，回收年限 7.1 年，年減碳量 287 公噸。

合成酚廠王廠長認為減碳要從源頭做起

調整引風車轉速

另一改善案則於高溫氧化器引風車（B8214）入口增設永磁式調速機（PMD），調整引風車轉速。此次改善亦擷取他廠節能減碳作法，有助於合成酚廠減少摸索時間。

引風車用以抽引爐內煙道氣，並控制燃燒室爐壓於 -80mmH_2O，設計風量約 30,000NM^3/

由左至右：冷卻水塔風扇改用高效率 FRP 葉片、變極馬達（4P/8P）

hr。高溫氧化器經長時間運轉後，產生的飛灰導致爐管換熱效率下降，並使煙道氣溫度上升，由 180°C最高達到 230°C，引風車入口壓力則由 -280mmH_2O 降低至 -400mmH_2O。為保留鍋爐鹽類累積時操作裕度，在正常運轉下，引風車入口風門開度偏低，僅有 23%，動能損失在控制閥上，有節能改善空間。停車清洗爐管後，初開車升溫階段（低風量），風門控制閥開度僅約 5%至 10%，產生的壓損造成引風車振動大，使用壽命降低。

後來在引風車入口增設永磁式調速機，調整引風車轉速，使入口開度由 25%提升至 65%，降低控制閥動能損失；電力耗用可由 228 kWh/hr 減至 195kWh/hr，節省電力 33kWh/hr。

王廠長表示，增設永磁式調速機在平時運轉降低轉速，可減少非必要動能損失及省電，且鹽類異常累積時，也能保有原操作裕度，「因塔底油用鹼來清洗，會產生鹽類，卡在爐管內，導致阻力增加。做好源頭管理，才能降低鹽類累積。」

此改善案已於 2017 年 5 月完成，裝設永磁式調速機、電氣配管及基座基礎修改費用合計 233.5 萬元，節電年效益 58 萬元，回收年限 4 年，年減碳量 223 公噸。

燃料熱能取代電能

各項改善案中，以燃燒熱能取代電能的節電效益最高。原濕式氧化單元處理廢水時，須達 270°C、75kg/cm^{2}G 高溫高壓條件，利用觸媒催化，降低廢水中化學需氧量（COD）含量，以降低下游生物處理負荷，但因反應溫度高而無法以蒸汽加熱，所以改採電加熱，採用電加熱耗電 900kWh/hr。

而廠內異丙苯區熱媒油鍋爐（K811）經

燃燒熱能取代電能節電效益最高

改用燃料氣，可降低空氣污染排放量，並達到循環經濟。

多年節能改善後負載降低，有多餘能力，評估熱媒油鍋爐可取代電加熱器，整合兩個系統，直接以燃燒熱取代電力，提高能源使用效率，達到減少用電目的。改善後，電力少用 900kWh/hr，燃料增用 0.085KL/hr。此案已於 2018 年 6 月完成，配管工程、控制閥及熱媒油添加費用合計 616.2 萬元，總年效益為 767.3 萬元，回收年限 1 年，年減碳量 4,376 公噸。

王廠長指出，熱媒鍋爐重油用量雖會增加，但濕式氧化電熱器（E7114）及其熱媒油循環泵浦（P7114）可停止使用，降低電力耗用，對整體操作成本仍較有利。而原電熱器仍可留用，作為熱媒鍋爐異常時的備用加熱系統。

「目前，熱媒鍋爐以重油燃燒對熱媒油加熱，燃燒效率為 90%，未來打算改用燃料氣，

（左）配合夏季節電，增設低壓蒸汽發電機組（右）設低壓蒸汽發電機組，為廠內未來降低煙囪排氣溫度預做準備

預估今年底完成。」他解釋說，改用燃料氣，不但可提升廢氣價值，降低空氣污染物排放量，因燃燒效率提升進而減少二氧化碳排放，更符合循環經濟的概念。

增設低壓發電機組

因夏季電力供給易吃緊，合成酚廠配合政府政策，並秉持點滴不浪費的原則，進行能源調整，增設低壓蒸汽膨脹發電機組。此改善案除配合夏季節電外，在鄰廠定檢期間，也能避免蒸汽外排，回收發電使用。

增設低壓蒸汽發電機組，主要是配合夏季節電啟動運轉。非夏季期間，精餾單元重廢燃料進行儲放，累積上升液位。夏季期間，利用鍋爐還有餘力，進行升載，多產 2 噸 / 時蒸汽，透過 Thermo-Compressor 回收 123°C常壓蒸汽冷凝水能量，產生 4 噸 / 時蒸汽，供膨脹機組發電。

王廠長表示，回收低階能源用以發電，其實效率不高，「但如果低壓蒸汽不用來發電，直接排放到大氣中，也是浪費能源。」正常運轉下，廠內產製蒸汽不但可自給自足，也能外送到他廠使用。若他廠因製程操作修改或定檢而少用蒸汽時，合成酚廠可利用低壓蒸汽發電機組來調解使用。另一用意則是預留彈性空間，為合成酚廠未來要降低煙囪排氣溫度預做準備。

此改善案已於 2018 年 6 月完成，實際投資金額為 2,257.6 萬元，夏月節電效益為 164.6 萬元，回收年限 13.7 年，年減碳量 662 公噸。

製程低溫反應熱回收 E-112C

烷化反應熱經廢熱鍋爐（E-112A/B）回收 1.6K 蒸汽 27 噸 / 時，但因組成關係，烷化反應器的部分反應熱無法回收熱能，須以冷卻水移除，形成浪費。經增設 E-112C 後，雖可產出更低壓的 0.6K 蒸汽 8 噸 / 時，將大部分反應熱回收。不過，既有低壓冷凝水系統背壓為 0.8K，需進一步改善。

經評估後，將預熱器 E-212 移至 25M 高程，冷凝水即可藉由重力回收，改以 0.6K 蒸汽加熱。預熱器 E-212 溫度需求 100°C，低於 0.6K 蒸汽飽和點 113°C，所以有潛在使用 0.6K 加熱空間。

此改善案預計 2019 年 10 月完成，投資金額為 5,470 萬元，蒸汽節省量為 8 噸 / 時，蒸汽節省年效益為 4,553.6 萬元，回收年限 1.2 年，年減碳量 20,374 公噸。

積極導入 AI 技術

繼節能減碳、循環經濟後，台化下一步將積極推動工業 4.0，利用人工智慧（AI）處理大數據，以既有的龐大生產管理數據資料，作為 AI 發展基礎，優先發展智慧製造技術、設備異常預警、智能設備開發及智慧監控技術等，再逐步擴大產業製程應用範圍。

何協理表示，過去 10 年來，台塑集團聚焦於節能減碳，推動成效顯著且成熟。自 2018 年 1 月起，台塑開始導入 AI，並將去年訂為「AI 元年」。台化也陸續派員參加台灣人工智慧學校技術領袖班及經理人班，學習石化業要如何運用 AI，使操作條件最佳化，以減少能耗。

台化化二部投入 AI 技術發展過程中，在進行數據探勘時常會遇到數據廣度、現場分析檢測資料量與時間軸對齊問題，為了提升 AI 模型的適用廣度，採用理論模型加上數據模型複合方式，理論模型除了可增加數據訓練資料的廣度與變異度，現場分析檢測數據進行補值與時間對齊，最後再以理論模型作為 AI 模組驗證的虛擬工廠，大幅提升 AI 模組可靠度。

王廠長補充說，目前台化正在執行製程廢棄物減量、廢減回收、蒸汽最優化、廢液回收等改善案，並與工研院、明志科技大學、長庚大學合作，結合 AI 技術，利用建廠以來所蒐集和保存的製程大數據，對製程進一步優化，將不必要能耗降至最低。

他以降低能耗為例，目前能耗已降至原始製程設計的 80％以下，節省近 27％，「從 100％降到 90％很很容易，但要從 90％降至 80％以下，就會愈來愈困難。因此，如果要持續節能，端視 AI 技術能否提供助益。」

「合成酚廠是應用 20 年前技術的老廠，在努力節能減碳下，加上位於麥寮園區有跨廠區整合、循環經濟等優勢，我們的能耗與新建廠相當接近。」王廠長強調，台化未來希望借助 AI 力量，提升競爭力，使廠內製程與能耗與新建廠並駕齊驅。更重要的是，做好源頭控管，才能藉由 AI 導入，找出最有利和最佳化的改善作法。

持續節能永續經營

自建廠以來，合成酚廠以嚴謹的能源管理與持續堅持節能減碳，落實增效、減排、循環等策略，15 年來已減少 27％的能源使用。除減碳外，亦致力於污染物減量與水資源回收，歷年來投資 5.03 億元於污染防治上，每年減廢 5,679 噸，每天回收水資源回收 1,486 噸。

在目標設定上，廠內將以 2018 年實際單位用水降低 2％、單位能耗降低 3％及廢棄物減量降低 1％，作為 2019 年減量目標。另預計 2020 年前，針對各廠區現有熱媒鍋爐的燃料，由燃料油改以製程氣替代，減少污染物排放，提升燃燒效率，減少溫室氣體排放。

展望未來，合成酚廠將遵循公司節能政策，持續推動冷卻水塔扇葉節電改善、降低高溫氧化氣排氣溫度等措施，並利用六輕廠區優勢，進行跨廠整合，甚至跨公司能源整合，以貫徹節能減碳、永續經營理念。

(上) 何協理與王廠長為合成酚廠推動節能減碳的靈魂人物
(下) 合成酚廠團隊成員持續落實公司節能政策

INDUSTRIAL DEVELOPMENT BUREAU,
MINISTRY OF ECONOMIC AFFAIRS
經 濟 部 工 業 局

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

經濟部工業局廣告