



# 光 | 電 | 業

## 低碳製程技術彙編





# 光電業

## 低碳製程技術彙編

經濟部工業局 編印  
中華民國一〇九年十一月



<b>一、前言</b>	<b>3</b>
<b>二、產業特性與發展趨勢</b>	<b>7</b>
2.1 產業簡介	7
2.2 主要製程系統及特性	14
2.3 未來發展方向及面臨問題	17
<b>三、低碳製程技術及設備</b>	<b>23</b>
3.1 製程空調主機側節能技術 - 冰水系統最佳化	23
3.2 製程空調風側節能技術 - 風扇過濾機組 (FFU) 效率提升	25
3.3 冷卻水塔風扇節能技術 - 扇葉角度最佳化	29
3.4 製程空壓系統節能技術 - 空壓設備群控	33
3.5 製程壓縮乾燥空氣 (CDA) 系統節能技術 - 乾燥機效能提升	36
3.6 熱回收技術 - 空壓系統廢熱應用	40
3.7 真空系統節能技術 - 變頻式真空機調載	46
<b>四、低碳製程技術及設備實務應用案例</b>	<b>51</b>
4.1 製程空調主機側節能技術 - 冰水系統最佳化案例	51
4.1.1 案例廠應用簡介及技術概要	51
4.1.2 改善方案執行過程	53
4.1.3 成效分析與節能減碳效益	54
4.2 製程空調風側節能技術風扇過濾機組 (FFU) 效率提升案例	57
4.2.1 案例廠應用簡介及技術概要	57
4.2.2 改善方案執行過程	57
4.2.3 成效分析與節能減碳效益	58
4.3 冷卻水塔風扇節能技術 - 扇葉角度最佳化案例	60
4.3.1 應用製程簡介及技術概要	60
4.3.2 改善方案執行過程	61
4.3.3 成效分析與節能減碳效益	61
4.4 製程空壓系統節能技術 - 空壓設備群控案例	63
4.4.1 案例廠應用簡介及技術概要	63
4.4.2 改善方案執行過程	64
4.4.3 成效分析與節能減碳效益	66
4.5 製程壓縮乾燥空氣 (CDA) 系統節能技術 - 乾燥機效能提升案例	68



4.5.1	案例廠應用簡介及技術概要	68
4.5.2	改善方案執行過程	68
4.5.3	成效分析與節能減碳效益	70
4.6	熱回收技術 - 空壓系統廢熱應用案例	72
4.6.1	案例廠應用簡介及技術概要	72
4.6.2	改善方案執行過程	73
4.6.3	成效分析與節能減碳效益：	75
4.7	真空系統節能技術 - 變頻式真空機調載案例	77
4.7.1	案例廠應用簡介及技術概要	77
4.7.2	改善方案執行過程	77
4.7.3	成效分析與節能減碳效益	80

結語 ----- 85

參考文獻----- 89

### 圖目錄

圖 2.1-1	台灣液晶顯示器產業鏈圖	8
圖 2.1-2	台灣液晶顯示器產業區域聚落現況圖	10
圖 2.1-3	2017~2020 年全球顯示器產業市場規模趨勢分析圖	11
圖 2.1-4	電機電子業歷年電力消費變動趨勢	12
圖 2.1-5	電機電子業能源密集度變動趨勢	13
圖 2.1-6	電機電子業歷年節能量與節能率變動趨勢圖	14
圖 2.2-1	TFT-LCD 構造圖	15
圖 2.2-2	TFT-LCD 製造之電力消費結構圖	16
圖 3.1-1	冰水系統相關設施圖	24
圖 3.2-1	FFU 系統應用流程示意圖	25
圖 3.2-2	FFU 外觀示意圖	26
圖 3.3-1	冰水系統熱交換示意圖	29
圖 3.3-2	冷卻水塔圖說	30
圖 3.3-3	冷卻水塔風筒現場照片	31
圖 3.3-4	冷卻水塔風機及扇葉現場照片	31
圖 3.4-1	離心式空壓機流程示意圖	34
圖 3.4-2	空壓機負載容調示意圖	35
圖 3.5-1	無熱吸附式乾燥機流程示意圖	37
圖 3.5-2	加熱吸附式乾燥機流程示意圖	38

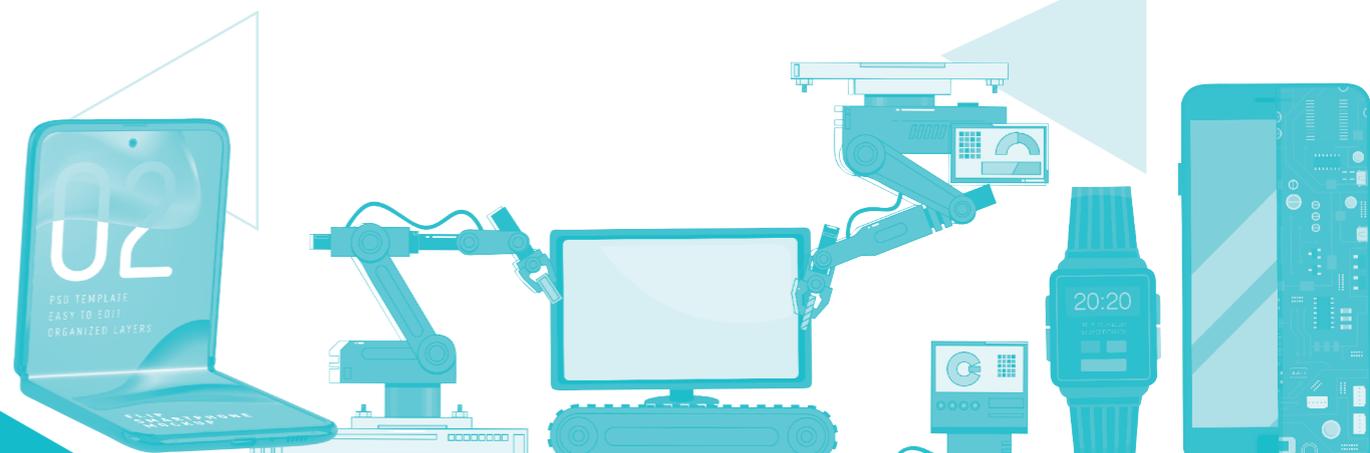
圖 3.6-1	廢熱加熱行程示意圖	41
圖 3.6-2	二次乾燥空氣加熱行程示意圖	42
圖 3.6-3	冷卻行程示意圖	43
圖 3.6-4	加熱式與熱回收式乾燥機空壓系統配置示意圖	44
圖 3.7-1	定頻與變頻真空機耗電特性示意圖	47
圖 4.1.1-1	自動化架構示意圖	52
圖 4.1.2-1	冰機運轉最佳化系統示意圖	54
圖 4.1.3-1	冰機運轉最佳化 - 運轉效益驗證	55
圖 4.2.1-1	FFU 各型過濾器壓損比較	58
圖 4.3.1-1	扇葉角度調整量測位置示意簡圖	61
圖 4.3.3-1	以不同扇葉角度運轉之頻率對應單耗散佈圖	62
圖 4.4.1-1	離心式空壓機單機出口壓力控制示意圖	63
圖 4.4.1-2	離心式空壓機容調示意圖	64
圖 4.4.2-1	改善前空壓機控制通訊架構示意圖	65
圖 4.4.2-2	改善後空壓機群控通訊架構示意圖	66
圖 4.4.3-1	製程空壓設備單位能耗情形	67
圖 4.5.2-1	無熱吸附式乾燥機能耗評估	69
圖 4.5.2-2	改善前系統架構示意圖	69
圖 4.5.2-3	改善後系統架構示意圖	70
圖 4.6.1-1	應用熱回收吸附式乾燥機系統示意圖	73
圖 4.6.2-1	改善前系統架構圖	74
圖 4.6.2-2	改善後系統架構圖	75
圖 4.7.2-1	改善前真空機系統示意圖	78
圖 4.7.2-2	改善後真空機系統示意圖	79

### 表目錄

表 2.1-1	中華民國行業標準分類 - 液晶顯示器產業	9
表 3.2-1	高效空氣過濾器標準 EN 1822:2009 之過濾等級	27
表 3.2-2	FFU 可行之節能方式及其限制整理表	28
表 3.5-1	無熱 / 加熱吸附式乾燥機優缺點	39
表 4.1.3-1	製程冰水系統最佳化效益計算	55
表 4.2.3-1	使用低壓損 HEPA 之 FFU 與舊型比較	58
表 4.5.3-1	製程壓縮空氣乾燥 (Dryer) 系統節能技術之節能量	70
表 4.6.3-1	熱回收式乾燥機技術之節能量	76
表 4.7.2-1	高效率變頻真空機設備規格	79
表 4.7.3-1	真空機節能技術之節能量	80

# 光電業 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 2015 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 2050 年溫室氣體排放量降為民國 2005 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 2030 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 2005 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 2050 年降至民國 2005 年排放量 50% 以下」之重要參考。依據行政院環境保護署「2019 年中華民國國家溫室氣體排放清冊報告」顯示，在 1990 至 2017 年間，工業製程及產品使用部門溫室氣體排放量已增加 40.62%，年平均成長率 1.27%，顯示製造部門之溫室氣體排放量仍逐年成長，預期未來所面臨減碳要求及壓力亦將與日俱增。

經濟部工業局為協助產業落實減碳工作，輔導企業低碳升級轉型與永續發展，期能協助產業因應日趨劇烈變化的氣候與經營環境，以確保產業競爭力。由於製程技術或設備導入須考量之因素眾多，為協助工廠順利進行低碳製程新技術或設備導入之前期規劃，遂著手編纂「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。

本彙編針對光電業中薄膜電晶體液晶顯示器 (Thin Film Transistor Liquid Crystal Display, TFT-LCD) 產業鏈中游面板、模組廠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。

# 光電業 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

廿一世紀，顯示器席捲而來、無所不在，輝印人類史上最光彩燦爛的新紀元。在高速脈動的新時代中，顯示器前瞻技術不斷推陳出新，從 LCD, e-Paper, Flexible OLED, AR/VR/MR, Smart signage, Transparent, Magic Mirror, FF (Free Form) Display, Metal Oxide, Quantum Dot LCD, Mini LED, Micro LED 等一連串技術創新應用，研發具備輕薄、透明、對比、色飽和度、省電、柔性折疊、反應速度、防窺、解析度、拼接、大型化、異形等符合人性需求、多功能應用的特性。智慧顯示應用也將邁入新紀元，隨著 5G、人工智慧物聯網 (AIoT)、雲端及大數據等爆發性科技變革驅動下，廣泛與醫療、育樂、移動、零售等產業跨域異業合作，串起新一波智慧生活網，為人類共譜智慧生活的嶄新體驗！

#### 1. 產業範疇

我國顯示器產業發展的主流為薄膜電晶體液晶顯示器 (Thin Film Transistor Liquid Crystal Display, TFT-LCD)，液晶顯示器產業鏈包含上游材料及關鍵零組件如：玻璃、氧化銦錫 (ITO) 導電基板、背光模組、光罩及驅動 IC 等零組件，與周邊支援性產業如：生產製程、檢測設備；中游液晶面板生產 (Array + Cell) 及顯示器模組組裝；下游顯示終端系統應用產品，如：醫療、育樂、零售及移動四大領域應用。台灣液晶顯示器產業鏈及代表性廠商彙整如圖 2.1-1 所示。



資料來源：中華民國台灣薄膜電晶體液晶顯示器產業協會（TTLA），2020 年 7 月。

圖 2.1-1 台灣液晶顯示器產業鏈圖

根據行政院主計處的中華民國行業標準分類，液晶顯示器領域涉及三大類，包含電子零組件製造業下細項「液晶面板及其組件製造業」（2641）、電腦及其週邊設備製造業下細項「顯示器及終端機製造業」（2712）、以及其他專用機械設備製造業下細項「電子及半導體生產用機械設備製造業」（2712），相關行業標準分類及說明如表 2.1-1 所示。

表 2.1-1 中華民國行業標準分類 - 液晶顯示器產業

分類編號 - 行業名稱及定義		
中類	小類	細類
26 電子零組件製造業	264 光電材料及元件製造業	2641 液晶面板及其組件製造業 從事液晶面板及其組件製造之行業，如液晶面板、背光模組、彩色濾光片等製造。
27 電腦、電子產品及光學製品製造業	271 電腦及其週邊設備製造業	2712 顯示器及終端機製造業 從事顯示器及終端機製造之行業。
29 機械設備製造業	292 其他專用機械設備製造業	2928 電子及半導體生產用機械設備製造業 從事電子及半導體生產專用機械設備製造之行業，如電子生產設備、半導體生產設備、印刷電路板生產設備、液晶顯示器生產設備等製造。

資料來源：行政院主計處，行業標準分類第 10 次修訂。

## 2. 產業聚落

全球顯示器產業發展從早期日本、台灣、韓國到近 10 年崛起的中國大陸，主要聚集於亞太地區，其中台灣顯示器產業以產能持續投入，帶動上游關鍵零組件本土化發展，擁有最完整的產業聚落及精密的專業分工。台灣顯示器產業聚落分布於西部一帶，如圖 2.1-2 所示，以面板廠為核心來建構一個個衛星供應體系為其特性，而面板廠則配合政府區域均衡發展，坐落於北、中、南三大核心科學園區所形成的高科技產業創新走廊，分散因天災受損可能造成的潛在風險，平衡用電量及促進人才發展。



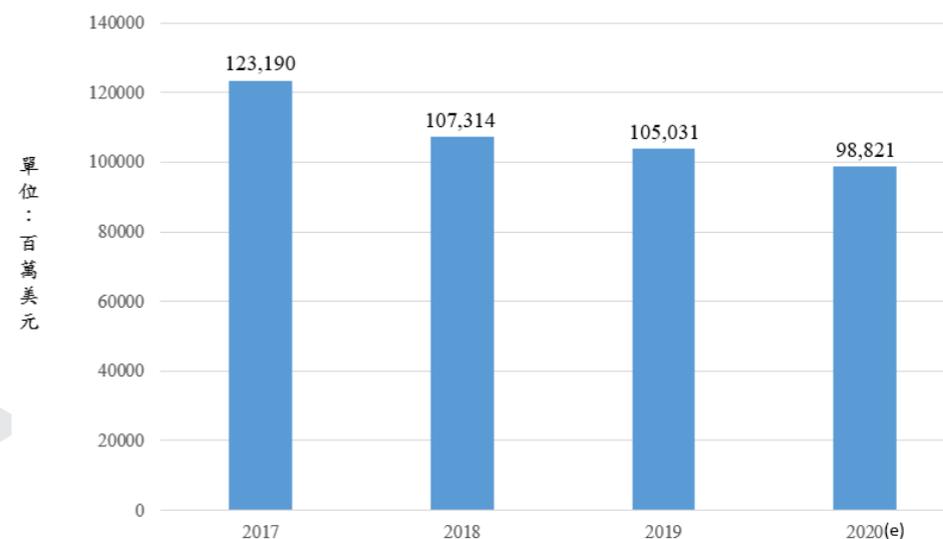
資料來源：中華民國台灣薄膜電晶體液晶顯示器產業協會（TTLA），2020年7月。

圖 2.1-2 台灣液晶顯示器產業區域聚落現況圖

### 3. 產業現況

台灣顯示器產業從 1990 年代發展迄今屆滿 30 年。根據臺灣顯示器產業聯合總會（TDUA）資料，2019 年我國顯示科技產業產值達 1.4 兆元、占全台灣 GDP 8%、就業人口 15 萬人，大尺寸、中小尺寸、TV/IT 面板及車用面板出貨均高居全球第二。惟顯示器產業規模及耗資巨大，其他國家均傾國力來發展，特別是 2006 年起中國大陸十一五綱要中，將大型顯示列入發展策略以來，持續以國家政策補貼顯示器產業，導致顯示器價格跌幅動輒超過 30%，產能供過於求成新常態，驅使產業由規模經濟進入價格競賽。而近年

來中美貿易摩擦、經濟不確定性加劇、消費模式改變、新冠肺炎疫情肆虐等因素，全球終端應用產品市場需求逐年轉弱，也導致顯示器產業市場呈現衰退趨勢，2017 ~ 2020 年產業市場規模趨勢分析圖如圖 2.1-3 所示。



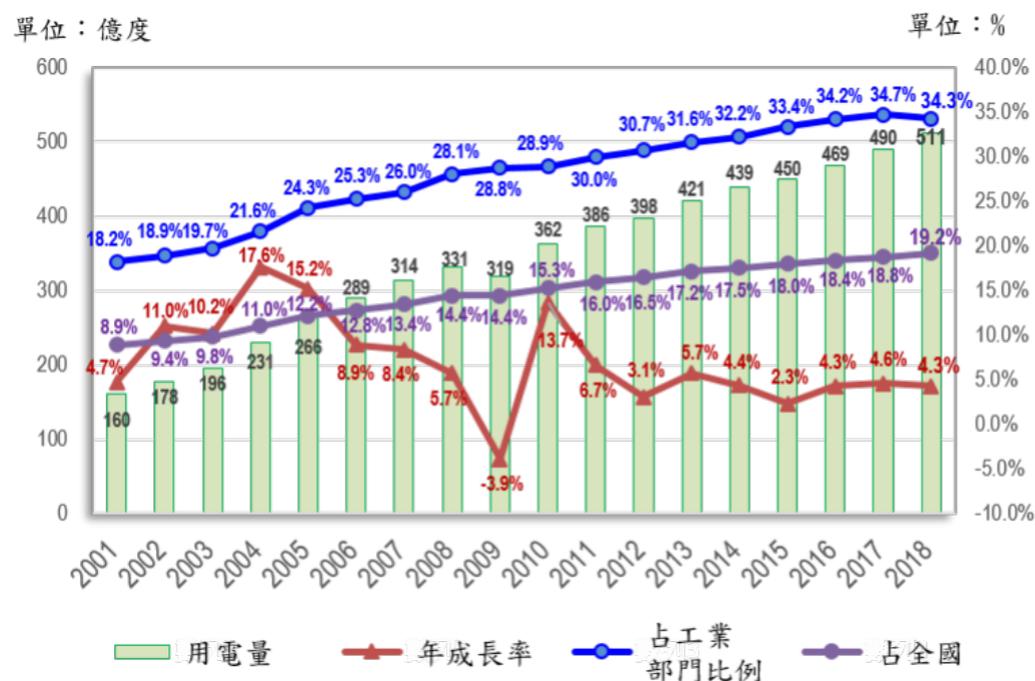
註：(e) 表示預估值 (Estimate)。

資料來源：2019 電子零組件暨顯示器產業年鑑，工研院產科國際所，2020 年 5 月。

圖 2.1-3 2017~2020 年全球顯示器產業市場規模趨勢分析圖

### 4. 產業能源使用情形

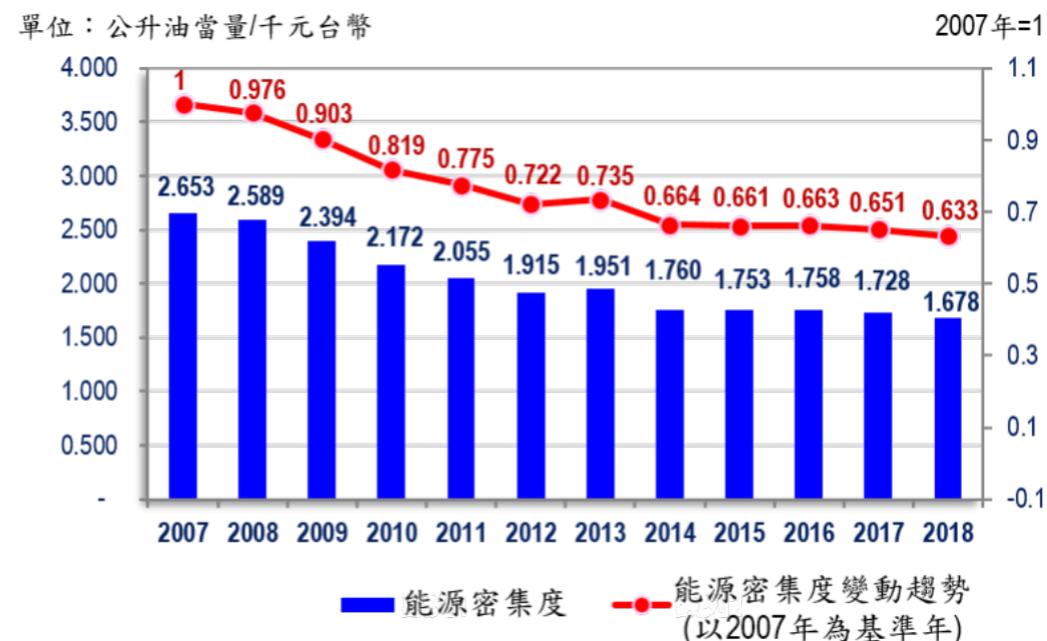
顯示器產業在經濟部能源局能源查核申報歸類屬「電機電子業」類別，產業的能源耗用主要以電能為主，超過產業整體能耗 90% 以上。依能源局「2019 生產性質能源查核年報」統計資料，2018 年生產性質行業能源大用戶共 3,372 家，其中，電機電子業能源大用戶 813 家電力消費共 510 億度，約占工業部門 40.7%、全國整體用電約 19.8%，為工業部門最大電力消費產業，若從次行業而論，顯示器產業約占 23%。而隨著電子相關產業蓬勃發展，2018 年度電機電子業電力使用較前一年成長 4.3%，綜觀 2001~2018 年電機電子業電力消費量的年均複合成長率為 6.9%，如圖 2.1-4 所示。



資料來源：108 工業部門能源查核與節能輔導推廣計畫，經濟部能源局，2020 年 2 月。

圖 2.1-4 電機電子業歷年電力消費變動趨勢

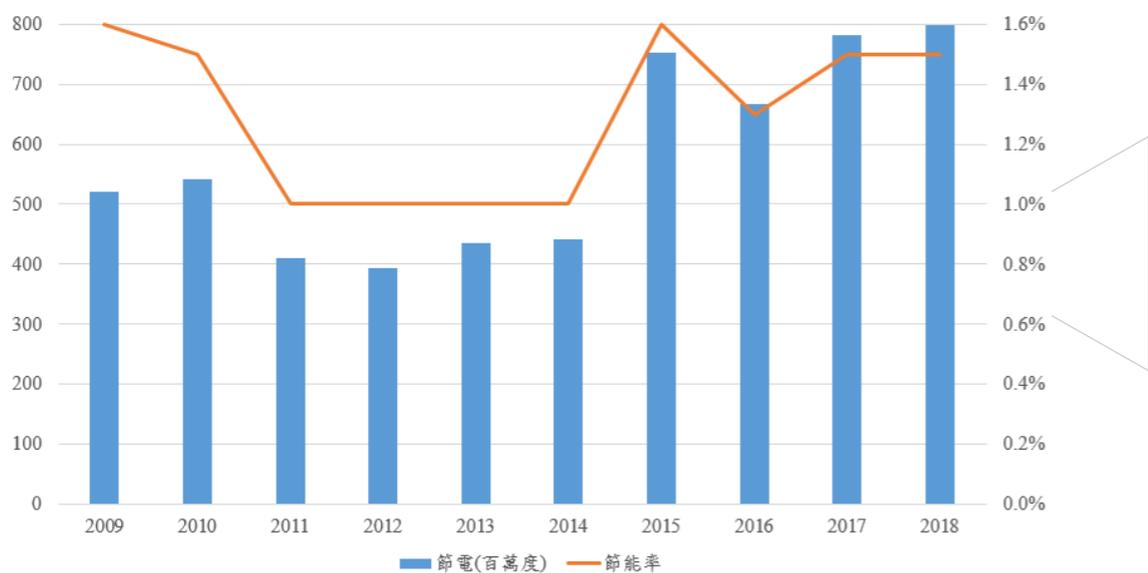
在能源使用效率方面，2018 年因上下游終端創新應用（如 AI、5G 等）持續帶動下，促使我國電機電子業實質 GDP 較前一年成長 4.0%，而在產業積極且持續推動節能措施下，能源使用量僅微幅成長 1.0% 左右，2018 年電機電子業能源密集度（以 GDP 為基底）為 1.678 公升油當量 / 仟元台幣，較 2017 年下降幅度近 3%，如圖 2.1-5 所示。若以 2007 年為基準年，2008~2018 年電機電子業能源密集度年均下降幅度達 4.1%，相較於 2007 年，2018 年改善幅度達 37%，足見近年來廠商致力提升能源使用效率，仍具一定成效。



資料來源：108 工業部門能源查核與節能輔導推廣計畫，經濟部能源局，2020 年 2 月。

圖 2.1-5 電機電子業能源密集度變動趨勢

依據能源局「生產性質行業能源查核申報系統」資料庫之節能統計結果如圖 2.1-6 所示，2009 年電機電子業能源用戶各類能源節約量達到 5.3 萬公秉油當量後，至 2014 年則呈現量縮情形，主因是金融海嘯後帶動景氣復甦，業者轉投注導入先進製程及投資擴廠計畫，對節能投資轉趨保守。後隨著 2014 ~ 2015 年在政府陸續公告與實施節能相關法規，廠商積極進行設備汰舊換新或操作調整，促使 2015 ~ 2018 年節能量大幅上升。2016 年因地震導致南科部分節能工程延宕執行，而 2018 年電機電子業節電量再達 7.6 萬公秉油當量，年度節電量為 8 億度電。根據能源局「2019 年生產性質能源查核年報」統計，電機電子業能源大用戶於 2018 年實際投資約 38.5 億元於節能方案中，顯示產業大力支持並積極達到政府的節電要求。

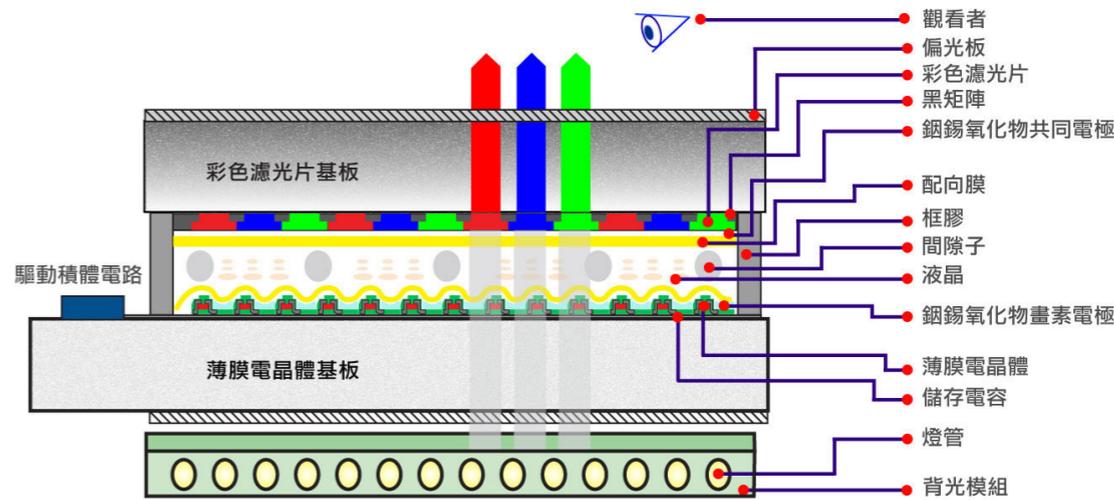


資料來源：2019 生產性質能源查核年報，經濟部能源局，2019 年 12 月。

圖 2.1-6 電機電子業歷年節能量與節能率變動趨勢圖

## 2.2 主要製程系統及特性

我國顯示器產業之主流顯示技術為薄膜電晶體液晶顯示器 (TFT-LCD)，產品以輕薄、低耗電、高壽命、柔和畫面等特性廣為發展，其主要構造如圖 2.2-1 所示，製程主要分為三階段，即前段 Array (薄膜電晶體) 製程→中段 Cell (面板組裝) 製程→後段 Module (模組) 製程，分別敘述如下：



【圖一】薄膜電晶體-液晶顯示器結構

資料來源：[http://www.innolux.com/Pages/TW/Technology/TFT\\_LCD\\_TW.html](http://www.innolux.com/Pages/TW/Technology/TFT_LCD_TW.html)

圖 2.2-1 TFT-LCD 構造圖

### 1. 前段 Array (薄膜電晶體) 製程

前段 Array 製程與半導體製程相近，惟薄膜電晶體是製作於玻璃基板而非矽晶圓上。Array 段主要製程依序先洗淨玻璃基板，並於其上沉積薄膜，將光阻均勻塗佈於基板表面，使用紫外線曝光過佈有圖案的光罩，光罩上圖案轉移至塗有光阻的基板，在基板上噴灑顯影劑，將曝光於紫外線下的光阻溶解於顯影劑後用去離子水沖洗帶走，再進行未受光阻保護之薄膜層的蝕刻後，滴入有機溶劑，光阻產生化學反應，反應後的有機溶劑沖離基板表面，至此完成一道程序，而完整的薄膜電晶體通常需要五道程序。

### 2. 中段 Cell (面板組裝) 製程

Cell 段是將前段的 TFT 玻璃基板與彩色濾光片的玻璃基板結合。首先，在透明導電膜 (ITO) 的玻璃基板上進行配向膜印刷，以配向膜材料聚醯亞胺 (Polyimide, PI) 於溶液狀態塗佈於基板上，使印刷與基板間 PI 膜開出紋路，液晶能一致性排列，並利用環氧樹脂及壓克力樹脂提供彩色濾光片 (Color



Filter, CF) 側基板和 TFT 側基板組合，防止液晶外流，再於基板上注入液晶，將兩片基板座高精度貼合，最後將組合熱壓完成的大基板組切割最終尺寸，貼附上下偏光片後，完成 Cell 製程。而目前大尺寸面板產品之液晶注入多改為液晶滴入製程 (One drop filling, ODF)，製作程序為先滴入液晶後再進行面板貼合組裝之製程，可有效縮短時間並減少液晶的損失。

### 3. 後段 Module (模組) 製程

Module 段是將 Cell 段的玻璃和其他如背光板、電路、外框等多種零組件組裝的生產作業，貼附異方性導電膠 (Anisotropic Conductive Film, ACF) 進行驅動 IC 或軟性電路板壓合，並完成印刷電路板壓合，再將背光源及外框組裝後，即完成面板模組的製程。

TFT-LCD 製造之電力消費結構如圖 2.2-2 所示，電力耗用以製程動力、空調系統、空壓系統之用電占比最高，分別為 39.3%、24.2% 及 20.2%，占 TFT-LCD 製造之電力總能耗 83.9%。顯示此三部份製程能耗需求大，為產業首要節能重點目標。



資料來源：2016 年能源查核資料。

圖 2.2-2TFT-LCD 製造之電力消費結構圖

## 2.3 未來發展方向及面臨問題

### 1. 產業發展動向

如前述所提，近年來全球終端商品需求下滑以致顯示器面臨價格激烈競爭，原寄望 2020 年幾項國際重要大賽事活動，如東京奧運、世界博覽會等，能引爆大型顯示器終端產品需求、推升產能，然於新冠疫情蔓延下紛紛順延，造成產業出海口嚴重萎縮，迫使韓國退出 LCD 市場，台灣則致力轉型突破。多年來台灣顯示器產業藉由不斷投入次世代創新技術開發，有效提升各項功能特性如透明、對比、色飽和度、省電、柔性折疊、反應速度、防窺、解析度、拼接、大型化、異形等。而順應物聯網興起，顯示器應用也更加多元發展，顯示器以客製化特定應用、垂直市場，提供完整解決方案迎合新趨勢產品技術需求，維持利基產品競爭力，如採 Mini-LED 背光技術的車用顯示器與電競顯示器，以及公共顯示、商業陳列和醫療診斷顯示等多元應用。

行政院於 2020 年 6 月 11 日宣布推動「台灣顯示科技與應用行動計畫」，為繼 2002 年「兩兆雙星」產業策略後，再次匡列顯示器產業為重點產業，期待透過高品質的製造與相關產業之系統整合，塑造台灣成為全球顯示科技與應用創新的重要樞紐。

### 2. 未來發展趨勢

隨著中美貿易戰，台灣顯示器產業亦順勢進行升級計畫，包括擴大 AI 智能製造自動化等高端技術，賦予舊廠新價值，藉此擴大投資重建台灣供應鏈競爭力，加速顯示器產業升級轉型，以鞏固台灣關鍵零組件戰略地位。同時，產業也持續導入高階智慧化產線、生產巨大尺寸、Mini-LED、車用曲面異型、智慧家庭應用、電競顯示器、VR/AR、手機屏下指紋辨識與智慧零售長條屏貨架等新興領域之高附加價值產品。

我國於 2016 年 5 月起推動能源轉型政策，其中再生能源發電占比期由 2016 年之 4.8%，逐步達成於 2025 年提高至 20% 之目標，也期望帶動國內相關綠能產業發展。台灣顯示器產業除自行建設再生能源發電設備以響應政



府政策，也朝多角化經營發展，進軍太陽能及循環經濟等產業，建立從模組供應、電廠建置、營運維護到能源管理的高效率且高整合服務範疇，提供即時的電廠發電資訊、即時偵測異常狀況等多樣功能，建構完整的軟硬整合系統服務模式，有效在產品設計及生產製程逐步整合供應鏈，實踐節能減碳的終極目標，也是台灣顯示器產業迎合全球永續發展與循環經濟的另一契機。

而於 2015 年 7 月 1 日總統令公布施行之《溫室氣體減量及管理法》中，明定「國家溫室氣體長期減量目標為民國 2050 年溫室氣體排放量降為民國 2005 年溫室氣體排放量百分之五十以下。」之情形下，台灣顯示器產業以投入智慧製造進行製程改善、建構綠色供應鏈、擴大投資再生能源等方式，積極強化製程減碳作為，並落實綠色設計開發低耗能產品；且在應用大數據分析及 AI 應用機器學習等智慧製造發展下，對於未來低碳製程及低碳產品之發展將更有助益。

### 3. 產業面臨問題

隨著《電業法》與《再生能源發展條例》相繼修法推動，行政院以綠電先行為原則，啟動一連串國家能源轉型政策，如全面開放再生能源透過直供、轉供及再生能源售電業自由買賣，即開啟我國全新的再生能源交易模式。而經濟部能源局於 109 年 8 月 24 日預告訂定「一定契約容量以上之電力用戶應設置再生能源發電設備管理辦法」，規劃契約容量 5,000 kW 以上之電力用戶，應於用電場所或適當場所，自行或提供場所設置其契約容量 10% 以上之再生能源發電設備、儲能設備或購買一定額度之再生能源電力及憑證，以達國家「2025 年綠電占比 20%」目標。未來再生能源需求量大成長及市場投入等評估，將成為產業未來面臨挑戰之重點。

有鑑於顯示器製程高度耗能，產業唯有不斷投資低碳節能設備，利用先進科技讓能源使用效率最佳化、要求供應鏈廠商投入綠色製造與供應商合作開發節能設計之設備等，以期降低產品碳足跡。而建置能源管理系統、廣設綠電、應用低碳製程技術等方式，也都將是產業未來發展綠色低碳的關鍵項

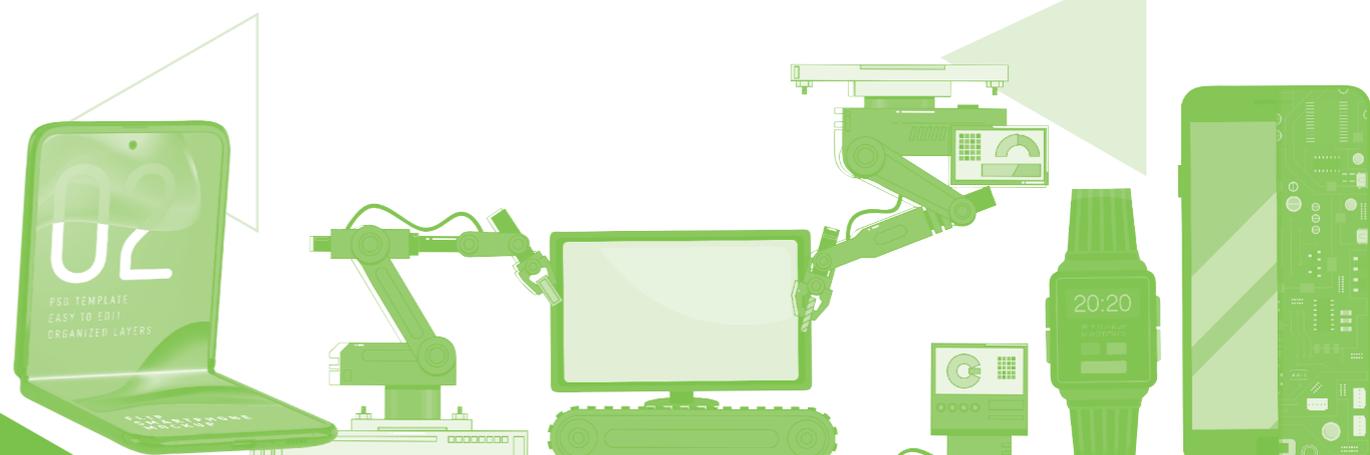
目。在配合國家政策及保有競爭力的同時，投資回收年限與減排量如何達成平衡，是企業後續要面對的問題；未來在投資差異不大或投資年限較長之工程改善評估中，選擇減碳量較大之方案將為最佳選擇。



# 光電業

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

如前章製程能源耗用情形所述，TFT-LCD 製造之電力消費結構中，以製程動力、空調系統、空壓系統三部分為主要能源使用，即為本彙編編撰之改善重點項目。本章節所列係因其耗能占比高、節能減碳效果佳或多數廠可仿效之成功案例供各界參考。以下以空調系統、空壓系統、熱回收技術、真空機等部分進行低碳製程技術設備介紹。

### 3.1 製程空調主機側節能技術 - 冰水系統最佳化

製程冰水系統在 TFT-LCD 面板製造中，占了相當大的能源耗用，若欲提升系統能源效率，導入管理手段並進一步建構最佳化的節能模型，可達到最佳化的節能操作。

#### 1. 技術應用原理

冰水系統由冰水主機、冰水泵、冷卻水泵、冷卻水塔等附屬設備所組成，相關設施如圖 3.1-1 所示。各裝置間的能耗會因環境溫度及負載率的變化而異，一般既有運轉模式的缺點為每台冰水主機的負載及供應溫度都相同，無法做機台差異的調整，讓整個系統發揮最大的效益。透過大數據（Big data）的彙整與分析，可得出最佳化的節能設定模式與運轉條件。



資料來源：案例廠提供

圖 3.1-1 冰水系統相關設施圖

## 2. 技術特點與優勢

產業過去多以穩定運轉為主要考量，較少針對單機的運轉數據及效率進行差異比對。隨著資料收集的便利性提升，建立資料庫進行資料的收集與儲存，再利用大數據的彙整與分析後，建構一個最佳化的節能模型，將即時的運轉數據代入模型進行運算後自動輸出設定值，進行單機的負載分配調整（如冰水主機調整出水設定溫度），再經由即時分析驗證，確保整體系統為最佳化的節能操作。

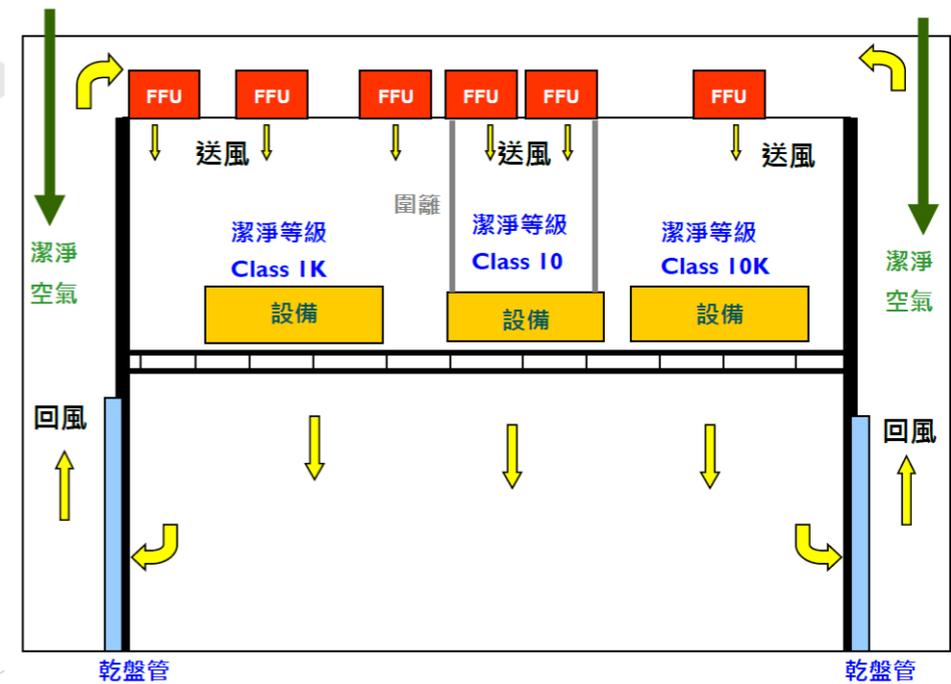
## 3. 應考慮因素與限制

本技術規劃設計應考慮因素包括：

- (1) 如何選擇優先導入之廠區：大數據的重點是要能提供即時的數據做分析，可優先考量感測元件完整、較無須投入成本之廠區進行規劃；
- (2) 讓全體團隊了解系統的運作原理：分析大數據的資訊人員對於冰機及空壓機系統之實際操作狀況通常較為陌生，使大數據分析人員對各系統之運作熟悉了解，對於工作的進展及成效有很大助益。

## 3.2 製程空調風側節能技術 - 風扇過濾機組 (FFU) 效率提升

為使生產環境或受控環境在所要求的空氣潔淨等級內，空調通風循環系統為重要的一環。重要的空調通風措施是需要送入足夠且經過處理的潔淨空氣，以替換或稀釋受控環境中所產生的受污染空氣，經由風扇過濾機組 (Fan Filter Unit, FFU) 過濾於室內送、回風系統中之空氣，以維持室內空氣品質。FFU 是無塵室維持潔淨度的重要設施，雖然單機功率極低但量體龐大，如何有效維持空氣品質並提升能源效率，為產業努力之方向。液晶顯示器面板製造廠之無塵室空氣循環作用流程如圖 3.2-1 所示意。



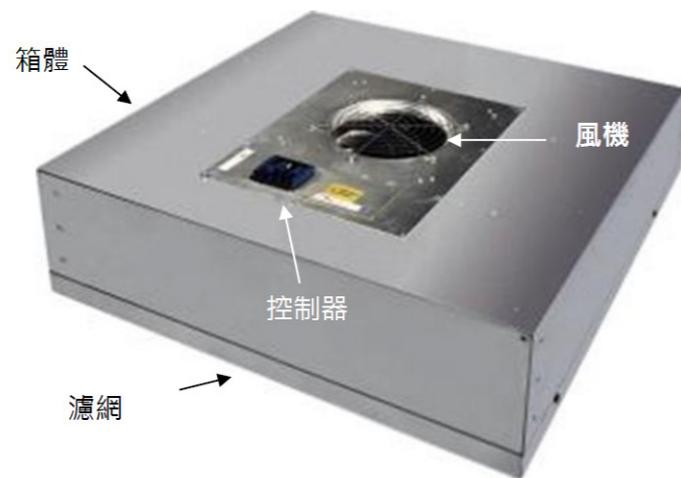
資料來源：案例廠提供

圖 3.2-1 FFU 系統應用流程示意圖



### 1. 技術應用原理

FFU 主要組成單元為控制器、風機（包含馬達及扇葉）、箱體與高效過濾網（High-Efficiency Particulate Air filter, HEPA）或超低穿透過濾網（Ultra Low Penetration Air filter, ULPA），利用控制器可遠端設定馬達轉速，達到維持無塵室環境氣流場符合標準，其外觀如圖 3.2-2 所示。



資料來源：案例廠提供

圖 3.2-2 FFU 外觀示意圖

濾網效率是影響無塵室潔淨度重要參數，過濾器效率不達標，將無法提供足夠潔淨的循環空氣，便無法達到潔淨等級要求。目前業界空氣過濾一般採用歐洲 G1~U17 共 17 等級之分級標準，其中 E10 ~ E12 為亞高效過濾（Efficiency Particulate Air Filters），H13 ~ H14 為高效過濾（High Efficiency Particulate Air Filters），U15 ~ U17 為超低穿透過濾（Ultra Low Penetration Air Filters），高效空氣過濾器標準 EN 1822:2009 之過濾等級如表 3.2-1 所示。對於設置組合為外氣空調箱（Smart Make-up Air Unit, MAU）、風扇過濾機組（Fan Filter Unit, FFU）、乾盤管（Dry Cooling Coil, DCC）類型的無塵室廠房，FFU 高效濾網通常依潔淨度等級要求採用 H14~U17 級別。

表 3.2-1 高效空氣過濾器標準 EN 1822:2009 之過濾等級

等級	總值		局部值	
	捕集效率 (%)	滲透率 (%)	捕集效率 (%)	滲透率 (%)
E10	≥ 85	≤ 15	--	--
E11	≥ 95	≤ 5	--	--
E12	≥ 99.5	≤ 0.5	--	--
H13	≥ 99.95	≤ 0.05	≥ 99.75	≤ 0.25
H14	≥ 99.995	≤ 0.005	≥ 99.975	≤ 0.025
U15	≥ 99.9995	≤ 0.0005	≥ 99.9975	≤ 0.0025
U16	≥ 99.99995	≤ 0.00005	≥ 99.99975	≤ 0.00025
U17	≥ 99.999995	≤ 0.000005	≥ 99.9999	≤ 0.0001

資料來源：EN 1822:2009 High efficiency air filters, 2009.

而 FFU 運轉所受之風壓是用來克服空氣循環過程中的阻力，由下述公式可得知，只要能降低阻力即可在不降低風量的條件下達到降低功率的目的。

$$W = (Q \times P / 6,120) / (\eta_f \times \eta_m)$$

W = 風機功率 (kW)

Q = 風量 (CMM)

P = 風機全壓 (Pa)

$\eta_f$  = 風機效率 (%)

$\eta_m$  = 馬達效率 (%)

### 2. 技術特點與優勢

FFU 是無塵室維持潔淨度的重要設施，雖然單機功率極低但量體龐大，面板廠單一廠裝設數量甚至高達上萬台，故如何在維持製程需求及節能減碳之間取得最佳平衡點是一個值得鑽研的議題，其節能可行方向及限制整理如表 3.2-2 所示。



表 3.2-2 FFU 可行之節能方式及其限制整理表

節能方式	限制
降低濾網壓損	可行，較無其他副作用
提高風機馬達效能	可行，但小馬力馬達效能提升空間有限
降低 FFU 覆蓋率	可能降低無塵室潔淨度及微粒去除能力
降低 FFU 出風速度	可能降低無塵室潔淨度及微粒去除能力
提高高架地板開孔率	可能影響動線承載力及整體氣流流向
降低乾盤管阻力	可能影響熱交換能力，受限於環境空間條件

資料來源：案例廠提供

### 3. 應考慮因素與限制

目前市面上濾網材質包括低硼 / 低有機物之玻璃纖維、鐵氟龍 (Polytetrafluoroethylene, PTFE)、化學濾網 (Chemical Filter) 等，建議應依製程條件及潔淨度需求等情況進行評估規劃。

### 3.3 冷卻水塔風扇節能技術 - 扇葉角度最佳化

冰水系統為光電產業重要系統，主要供應製程機台使用、維持製程環境溫濕度及部份廠務設備冷卻。設備包含冷卻水塔、冰水主機 (含高、低溫) 及冰水泵 (含一、二次) 等，冰水主機製冷供應製程機台生產使用，並經由冷卻水塔進行散熱，其間冷卻水塔與冰機、冰機與製程機台則分別透過一、二次泵循環進行熱交換，冰水系統熱交換流程如圖 3.3-1 所示。其中冷卻水塔為冰水系統重要設備單元，新建廠建議選用高效能葉片配合變頻減速機以達節能需求，而既設廠可檢核調整風機葉片至最佳角度，保持需求風量條件，降低葉片風阻並減少運轉軸功，進而達到節能效果。以下係針對風扇之扇葉角度進行節能調整說明。

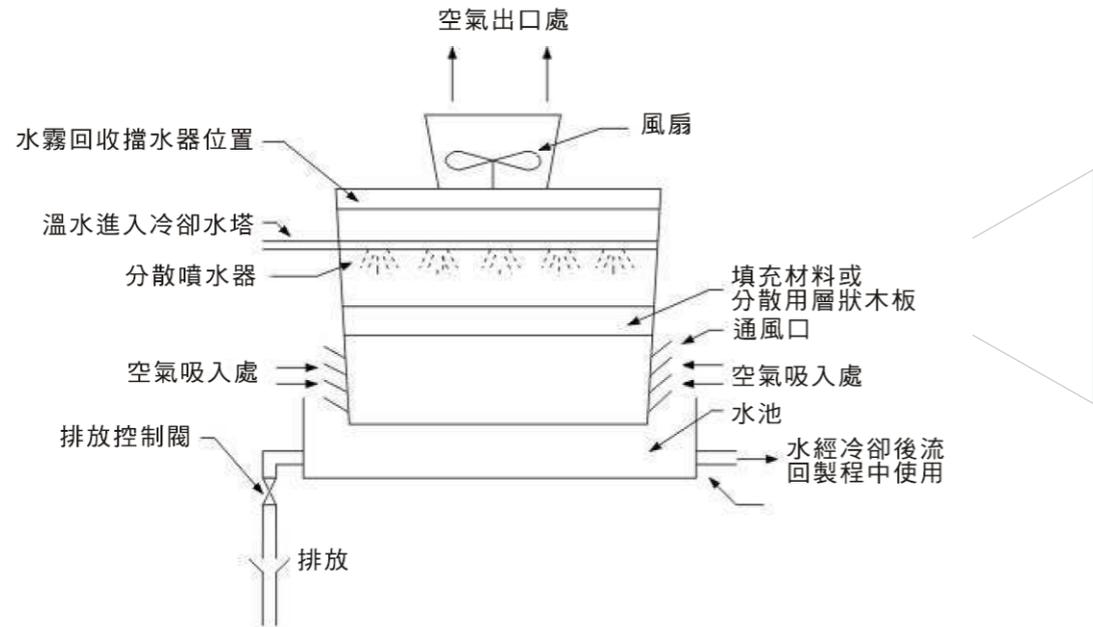


資料來源：案例廠提供

圖 3.3-1 冰水系統熱交換示意圖

#### 1. 技術應用原理

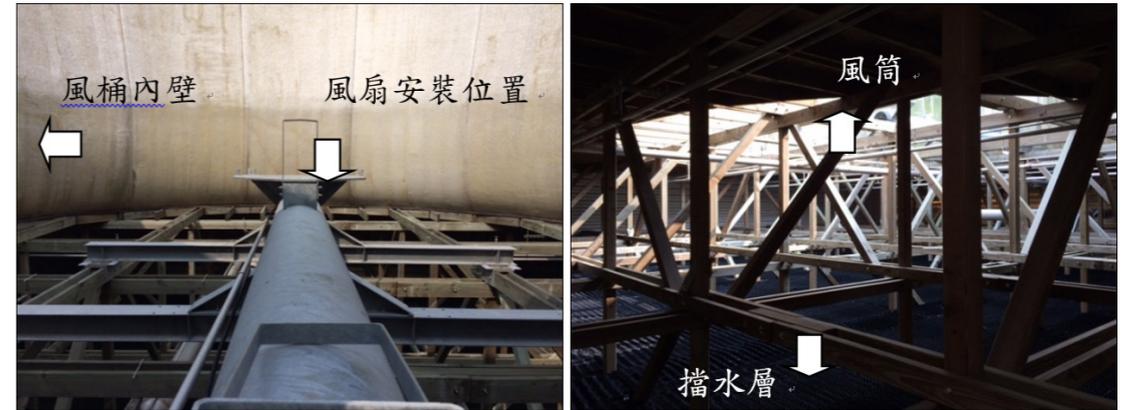
冷卻水塔係屬大型設備，常見應用尺寸每塔高度約 5~6 公尺、長寬各約 12~15 公尺，樓板設計載重約 2~2.5 t/m<sup>2</sup>，塔與塔之間通常並聯使用，另配置隔板與閥件可單塔關閉，利於保養與維修作業之執行。冷卻水塔圖說如圖 3.3-2 所示。



資料來源：能源查核與節約能源案例手冊 - 冷卻水塔，經濟部能源局，2005 年 11 月。

圖 3.3-2 冷卻水塔圖說

冷卻水塔出水情形（即冰機入水）影響冰機之單機效率，且水塔運轉狀態可能因長時間運行產生變化，以致建廠所選最佳化扇葉角度之設計基準條件改變。定期經由現場風扇扇葉角度的調整與測試（包含量測風速、風量、靜壓、電流等），可量化紀錄並分析結果調整扇葉角度至最佳化，必要時需清潔或更換擋水層與散水層填充材料。冷卻水塔風筒照片如圖 3.3-3 所示。

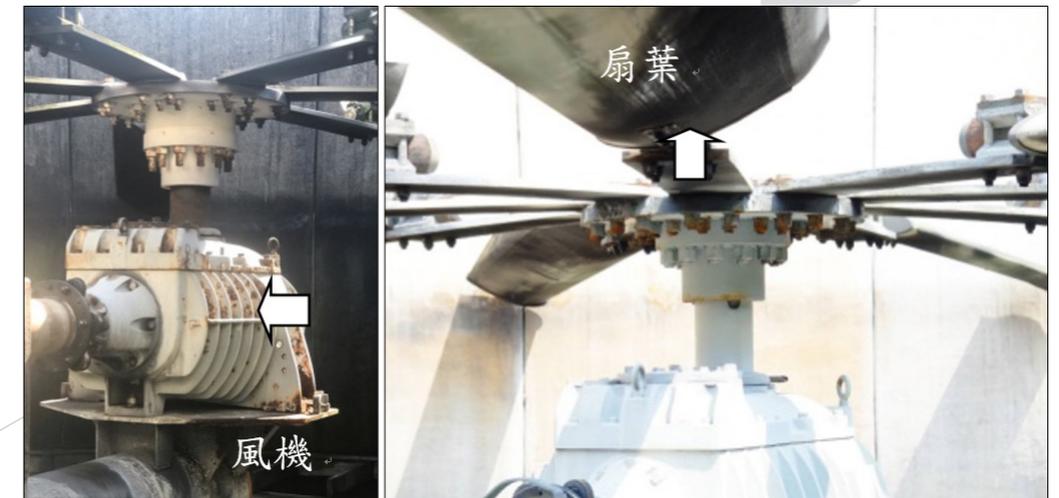


資料來源：案例廠提供

圖 3.3-3 冷卻水塔風筒現場照片

## 2. 技術特點與優勢

冬季外氣低溫可測試調降水塔風扇轉速以達節能目的，夏季則可採用最佳扇葉角度，於符合穩定供應製程需求條件下，達成節能之高效運轉。冷卻水塔風機及扇葉照片如圖 3.3-4 所示。



資料來源：案例廠提供

圖 3.3-4 冷卻水塔風機及扇葉現場照片



### 3. 應考慮因素與限制

本技術規劃設計應考慮因素包括：依廠內製程空調設置系統及製程機台使用需求等條件來做整體考量，並留意冷卻水塔長時間運轉後，因開放水系統循環導致擋水層與散水層之壓損增加；常見原因如水質結垢、生物膜滋長等因素，將影響風扇進氣條件。冷卻水塔需落實排水控制參數檢討、定期（月/季/年）保養與填充層耗材更換等作業，配合實測確認壓損情形，必要時再微調扇葉角度，以維護保養管理及改善措施達到最佳節能應用。

### 3.4 製程空壓系統節能技術 - 空壓設備群控

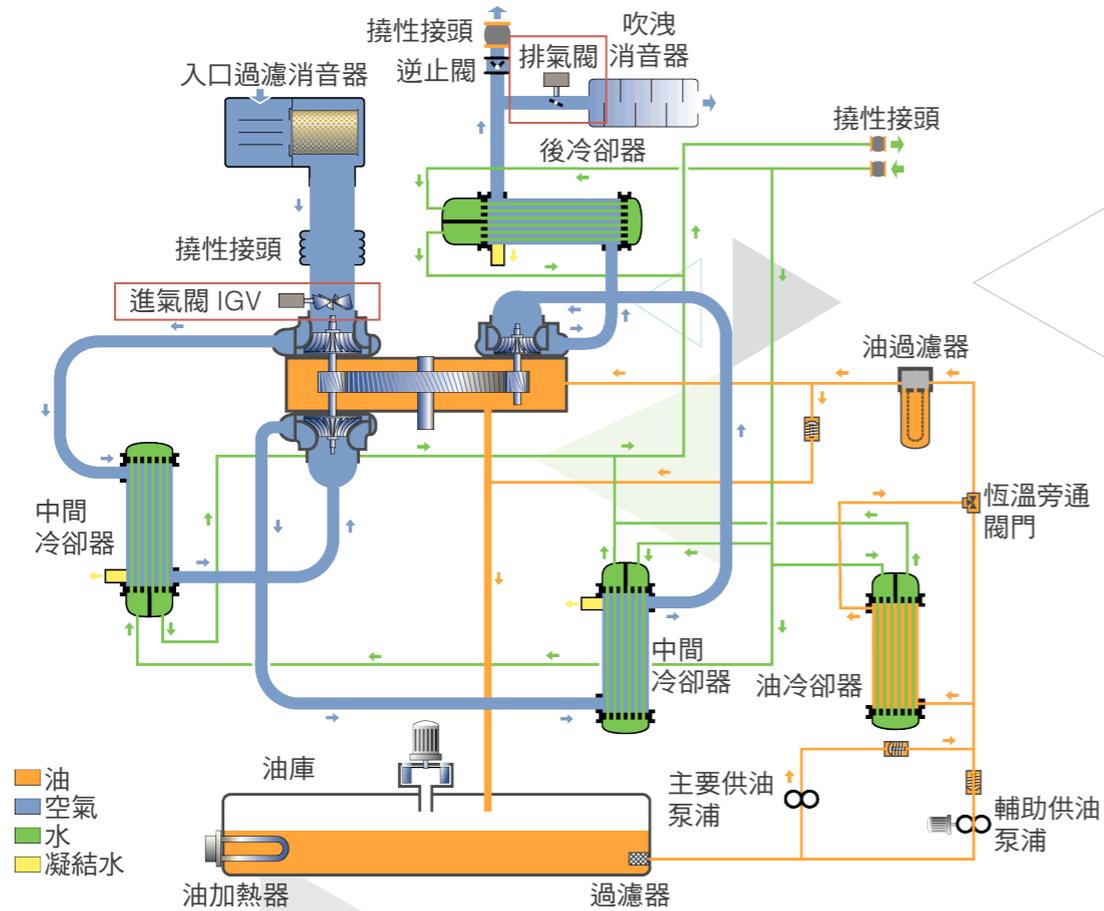
就光電產業鏈而言，製程所需的壓縮空氣變化量大，最高可達全廠用氣量之 20% 以上，為提供符合製程所需的壓縮空氣品質，製程空壓系統的電能使用約占整廠用電的 16 ~ 20%，故如何提升空壓系統的能源使用效率，一直是光電產業持續努力改善的目標。

空壓系統節能手段包含空壓機群控、空壓機房冷熱分離、採用變頻螺旋式空壓機及汰換為較高效率之離心式空壓機等，以下說明製程空壓設備群控節能技術。

#### 1. 技術應用原理

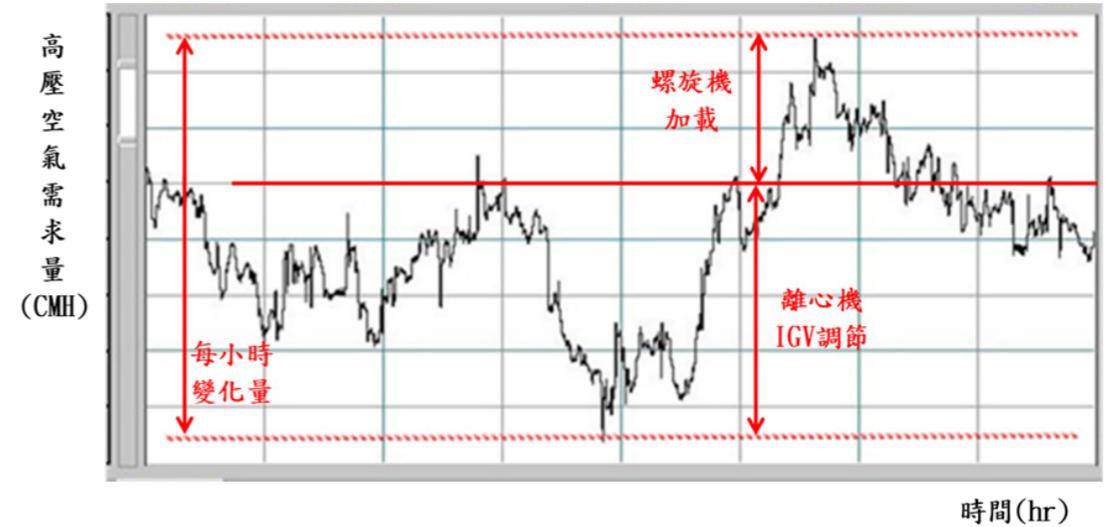
為提供製程所需的壓縮空氣，空壓機控制調整可區分為基礎負載之空壓機與變動負載之空壓機，一般設置離心式空壓機作為基礎負載，而螺旋式空壓機可快速啟動與關閉，適合做容調控制進行變動負載，故其控制模式設定為空 / 重車（Loading/Unloading）模式，可由空車狀態下快速切換至重車狀態運轉以利支援系統用量供應，避免系統壓降造成製程機台當機。但螺旋式空壓機在空車狀態下運轉仍需消耗 15%~50% 之滿載耗電量，且此時完全不輸出壓縮空氣，故若減少螺旋式空壓機在空車狀態下之運轉時間可達節能效益。

而隨著大世代面板廠投入生產，壓縮空氣變化量也已超過螺旋式空壓機所能容調之範圍，故需加開離心式空壓機以滿足製程所需之壓縮空氣量。為確保供應至製程所需之壓縮空氣不至中斷，作為基礎負載之離心式空壓機控制皆為單機出口壓力控制，當製程需求壓縮空氣量減少時，離心式空壓機會減小進氣閥（Inlet Guide Vane, IGV）開度來調節產氣量，當 IGV 開度關至最小開度時排氣閥（Blow -Off Valve, BOV）會開啟，將多餘的壓縮空氣排至環境，因此造成能源浪費。離心式空壓機流程如圖 3.4-1 所示意，空壓機負載容調情形如圖 3.4-2 所示意。



資料來源：<https://www.atlascopco.com/>

圖 3.4-1 離心式空壓機流程示意圖



資料來源：案例廠提供

圖 3.4-2 空壓機負載容調示意圖

將離心式空壓機由單機出口壓力控制改為群組控制，由單一壓力感測器控制多台離心式空壓機，依照製程需求之壓縮空氣量進行多台容調，可穩定系統壓力，提升空壓機能源使用效率。

## 2. 技術特點與優勢

製程空壓設備群控節能技術，可增加離心式空壓機可容調量，避免離心式空壓機 BOV 開啟造成浪費，亦可減少效率較低之螺旋式空壓機空 / 重車模式所產生之能耗，進而達到節能效果。

## 3. 應考慮因素與限制

本技術規劃設計應考慮群控主機及控制之壓力感測器之穩定性，通訊協定需於群控主機及壓力感測器異常時，將空壓機即時回復單機控制；於建置完成後需確實進行失效模式測試，以確保不會因群控連鎖控制異常而影響壓縮空氣供應。



### 3.5 製程壓縮乾燥空氣（CDA）系統節能技術 - 乾燥機效能提升

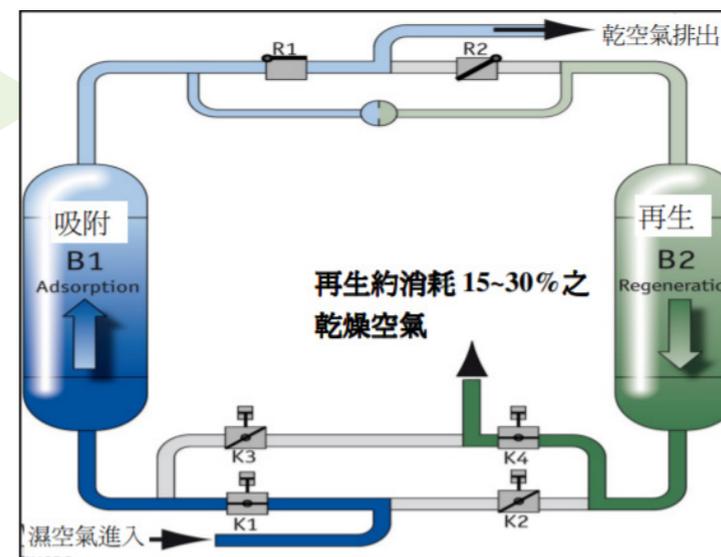
壓縮乾燥空氣（Compression Dryer Air, CDA）系統，在 TFT-LCD 面板業是不可缺少之設備，在整廠運轉能耗上也亦佔有相當高比例的用電量，故透過壓縮乾燥空氣系統節能技術改善，可降低因能源損耗所產生之碳排放。

空氣在經過壓縮機壓縮後會含有凝結水、油漬及微粒，為提供電子製程使用清潔之壓縮乾燥空氣，須設置過濾器及空氣乾燥系統，其中乾燥系統主要利用吸附材將壓縮空氣中水分吸附去除，並利用外部能量將吸附材中水分移除於乾燥機中。

#### 1. 技術應用原理

一般來說乾燥機的種類以其作動原理來區分，主要分為冷凍式及吸附式乾燥技術。目前業界常見之吸附式乾燥機主要可分為下列兩種形式：

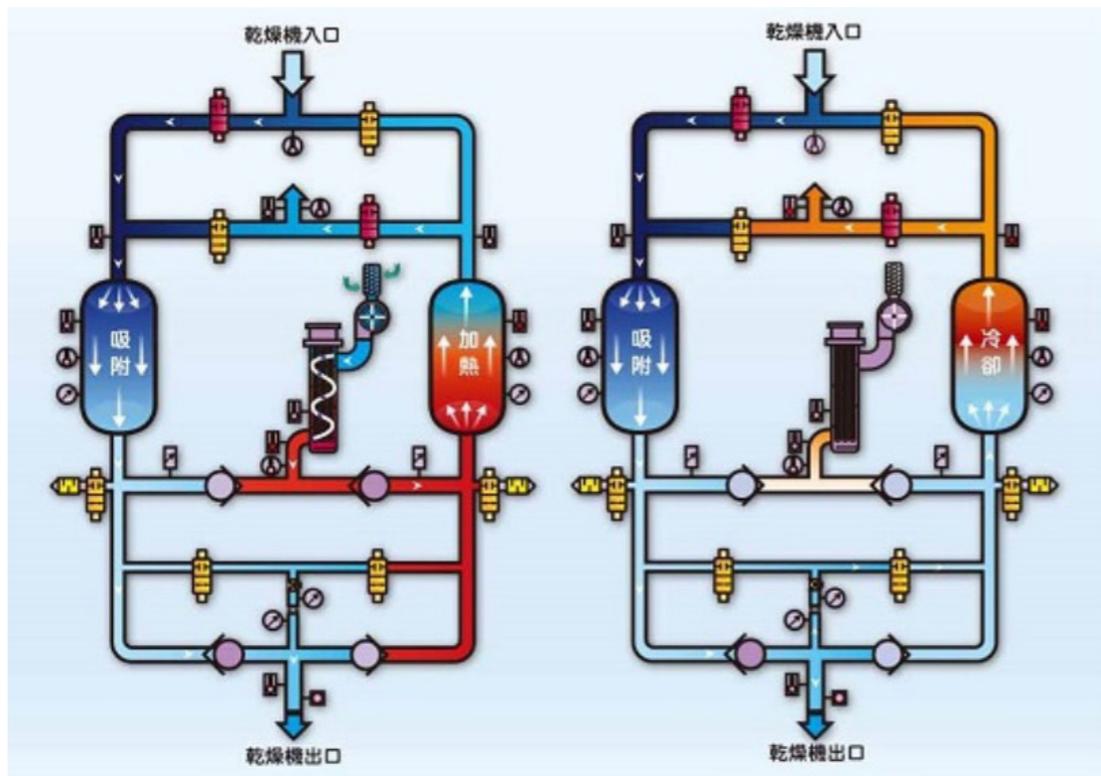
- (1) 無熱吸附式乾燥機：利用吸附材填充於桶槽中，壓縮空氣通過吸附材時，壓縮空氣中水分被吸附於吸附材中，達到降低壓縮空氣濕度，稱之為吸附行程；當吸附材飽和時須進行再生行程，必須提供外部能量來將吸附材中水分移出乾燥機外。無熱吸附式乾燥機是利用乾燥後之壓縮空氣回吹吸附材，達到乾燥吸附材之再生。通常吸附式乾燥機會設置雙桶槽，使吸附行程及再生行程分開進行，達到連續供氣之功能，如圖 3.5-1 所示。



資料來源：<https://proj.ftis.org.tw/eta/epaper/PDF/ti081-2.pdf>

圖 3.5-1 無熱吸附式乾燥機流程示意圖

- (2) 加熱吸附式乾燥機：有別於無熱吸附式乾燥機，壓縮空氣之吸附行程皆相同，但是吸附材之再生行程則是利用加熱器將外部空氣加熱後，導入乾燥機吸附材桶槽中，利用高熱空氣將飽和吸附材中水分蒸發移出乾燥機，達到吸附材乾燥再生目的，如圖 3.5-2 所示。



資料來源：<http://www.qym.com.tw/webc/html/product/show.aspx?num=16&page=1&>

圖 3.5-2 加熱吸附式乾燥機流程示意圖

以上兩種乾燥機進行再生行程之方式有所差異，無熱吸附式乾燥機係利用乾燥後之壓縮空氣進行吹洩，將吸附材中水分移出；而加熱吸附式乾燥機係利用外部鼓風機及加熱器，對外氣進行加熱導入吸附材中將水分蒸發移出。兩者相較之下，無熱吸附式乾燥機再生行程消耗壓縮乾燥空氣量大，能源消耗較高，故選用加熱吸附式乾燥機能達到節省能源耗用之效益。

## 2. 技術特點與優勢

製程壓縮乾燥空氣系統中乾燥機之最大能源消耗為吸附材的再生行程，需要使用能量移除吸附材所吸附之水分，使乾燥機可以連續吸附。無熱吸附式及加熱吸附式優缺點如 3.5-1 表所示。

表 3.5-1 無熱 / 加熱吸附式乾燥機優缺點

項目	無熱吸附式乾燥機	加熱吸附式乾燥機
優點	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 初設成本低</li> <li>- 構造簡單、維護容易</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 露點穩定</li> <li>- 可提供較低露點需求</li> </ul>
缺點	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 耗氣量大</li> <li>- 能源消耗高</li> <li>- 露點較不穩定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 初設成本高</li> <li>- 能源消耗較低</li> <li>- 使用外氣作為再生氣源，再生過程吸附材易受污染</li> </ul>

資料來源：案例廠提供

## 3. 應考慮因素與限制

本技術規劃設計應考慮因素包括：

- (1) 製程需求：乾燥機出口露點需求與吸附材填充的重量及數量；
- (2) 加熱電源：加熱器所需電源需消耗較大能量，現場需具備高功率電能來源供應；
- (3) 排熱需求：需要有排熱管出口，使再生水分可以排出；
- (4) 操作訓練：需要時常觀察壓縮空氣出口露點狀況，依乾燥機內部吸附材之狀態，進行加熱時間週期操作。



### 3.6 熱回收技術 - 空壓系統廢熱應用

工廠製程、機械設備在運作時皆會產生熱能，若能有效回收廢熱並加以應用，可使能源使用更有效益。空壓系統在 TFT-LCD 面板製造中，主要供應生產線每天 24 小時潔淨壓縮空氣使用，為使製程維持最高品質、安全、可靠，同時兼具極低的能耗，如何回收廢熱來進行運用，成為光電產業的課題。

#### 1. 技術應用原理

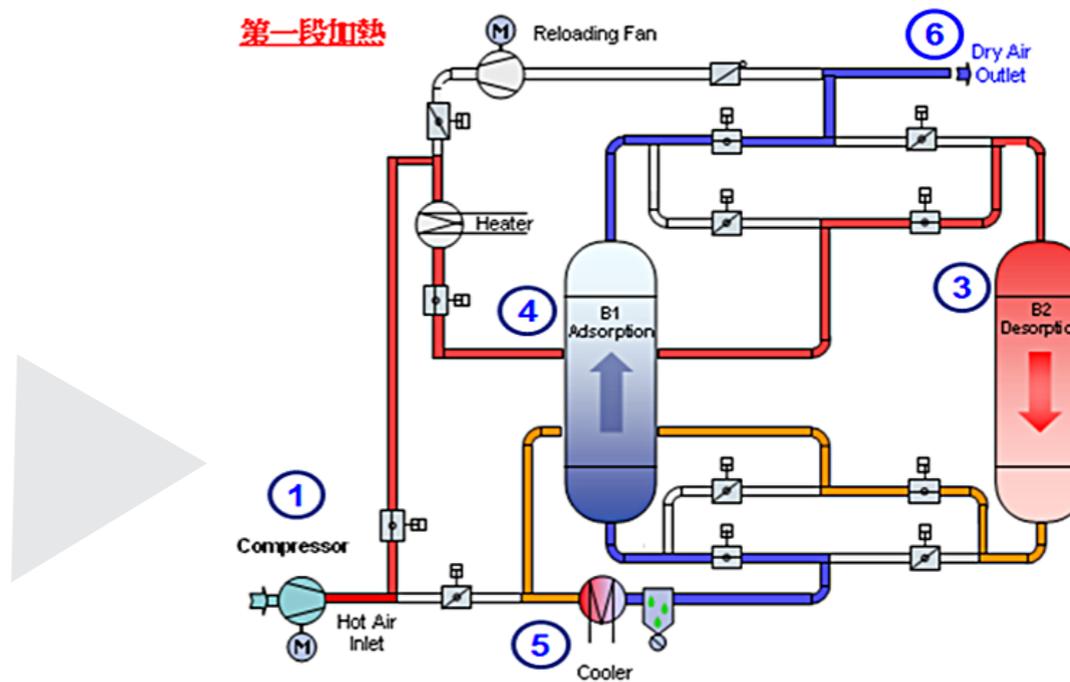
空壓機在壓縮空氣的過程中會產生高熱，兩段壓縮無油螺旋式空壓機的出口溫度，在後部冷卻器之前溫度可達 160~180°C，三段壓縮無油離心式空壓機在後部冷卻器之前溫度可達 100~120°C，因此，空壓機必須配置後部冷卻器，將壓縮後的高溫壓縮空氣冷卻。然而加熱吸附式乾燥機在脫附的過程中，又必須將空氣加熱至 180~210°C，將吸附劑內之水分去除，因此整體乾燥機作動流程，一方面需要用到空壓機後部冷卻器的冷能冷卻，另一方面又要用到外部鼓風機及加熱器之電能耗用，造成能源之重複損耗。

熱回收式乾燥機技術係利用壓縮後的高溫空氣作為熱源，減少乾燥機本身再生行程所需的電能，且系統流程無須任何對外排放管路，不會排放壓縮空氣之零耗氣系統，達到節能的目的。傳統熱回收式乾燥機一般應用僅止於 -20°C 的壓力露點，限制了乾燥機使用範圍；經技術提升後熱回收式乾燥機之露點可穩定達到 -70°C 以下，若製程露點僅需求 -40°C 且空壓機熱源足夠，則乾燥機無須其他熱能需求。以下說明系統運作方式。

#### (1) 空壓機廢熱加熱行程 (如圖 3.6-1 所示) :

利用空壓機壓縮後所產生的廢熱，100°C ~180°C 於空壓機之後部冷卻器之前①引出，進入 B2 桶槽③加熱再生，加熱後之熱空氣再進入中間冷卻器⑤冷卻，冷卻後之壓縮空氣進入 B1 桶槽④吸附，乾燥後之壓縮空氣由出口⑥供應至現場使用。整個再生加熱的過程中，由於使用空壓機的廢熱全量加熱，此階段加熱所需的時間僅需約 60 分鐘。根據空壓機廢熱溫度條件，內

建之電加熱器可依需要開啟，一般搭配兩段式無油空壓機時，由於廢熱溫度極高約 160~180°C，再生時無需使用電加熱器。



資料來源：<https://www.ftis.org.tw/active/hsct-002/002-1e.pdf>

圖 3.6-1 廢熱加熱行程示意圖

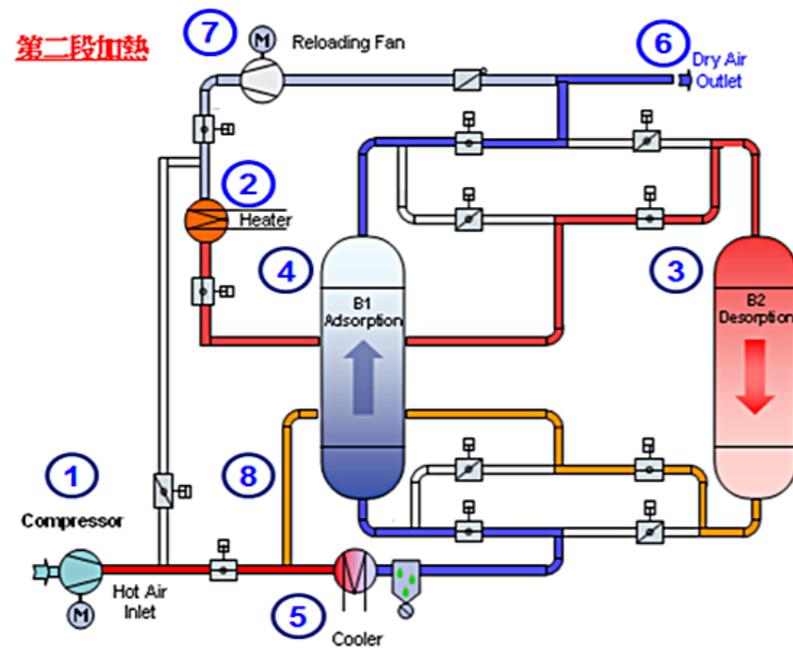
#### (2) 二次乾燥空氣加熱行程 (如圖 3.6-2 所示) :

基於空壓機廢熱的溫度不同及出口壓力露點的需求，通常若為 -40°C 的乾燥空氣出口壓力露點條件下，搭配兩段式無油式空壓機時，不需進行乾燥機的第二段加熱，可直接跳入下一行程進行冷卻。若乾燥空氣出口壓力露點需求 -70°C 或空壓機廢熱溫度較低，可進行第二階段加熱行程。

進行第二段加熱時，以增壓機⑦回抽出口小量乾燥壓縮空氣⑥，經過加熱器②增溫，再進入 B2 桶槽③再加熱再生，經過第二階段加熱後的吸附劑，由於使用非常乾燥的空氣再加熱，可將吸附劑內的水分幾乎完全去除，達到最佳的吸附能力，加熱後的熱空氣⑧，再與入口之空壓機高溫壓縮空氣匯流，



引入中間冷卻器⑤冷卻，冷卻後之壓縮空氣進入 B1 桶槽④吸附、乾燥後之壓縮空氣由出口⑥供應至現場使用。

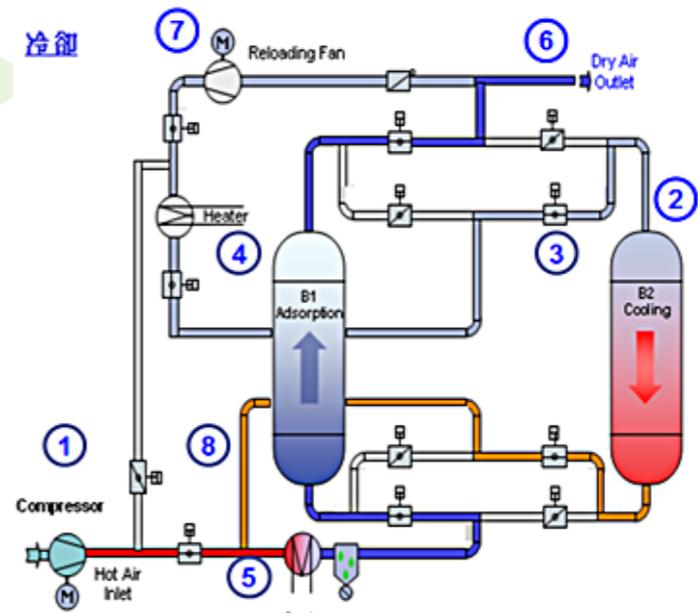


資料來源：<https://www.ftis.org.tw/active/hsct-002/002-1e.pdf>

圖 3.6-2 二次乾燥空氣加熱行程示意圖

(3)冷卻行程（如圖 3.6-3 所示）：

進行冷卻行程時，關閉加熱器，以增壓機⑦回抽出口小量乾燥壓縮空氣⑥，進入 B2 桶槽②進行冷卻，冷卻後出口的熱空氣⑧，再與入口之高溫壓縮空氣匯流，引入中間冷卻器⑤冷卻，冷卻後之壓縮空氣進入 B1 桶槽④吸附，乾燥後之壓縮空氣由出口⑥供應至現場使用。

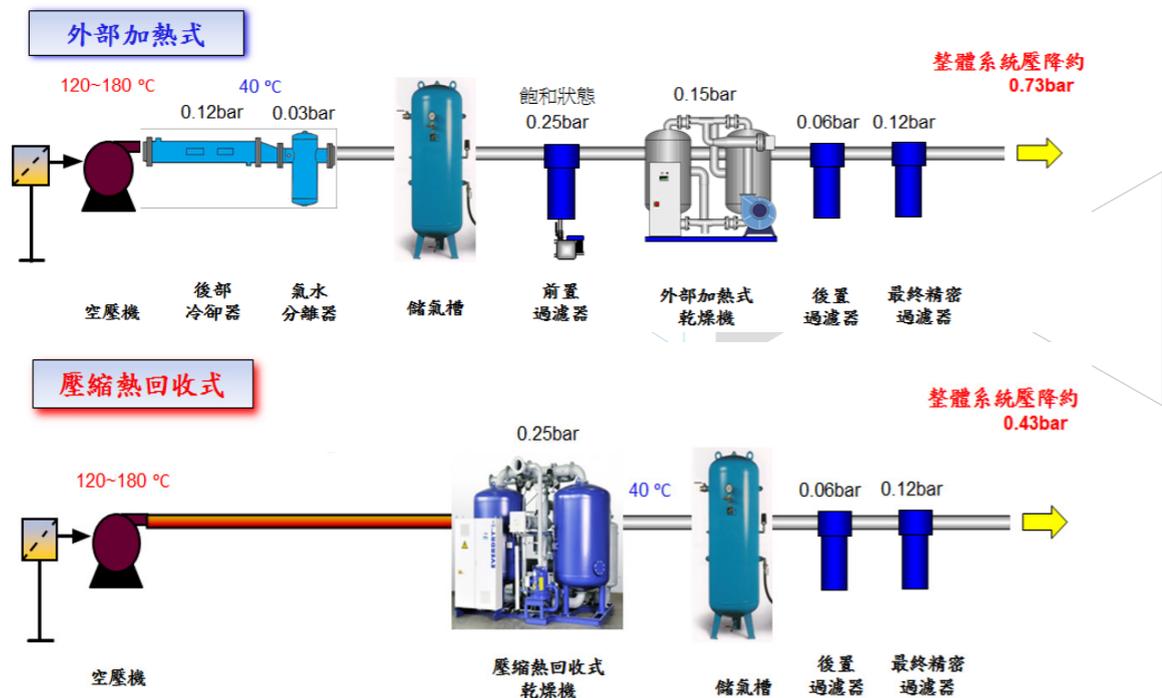


資料來源：<https://www.ftis.org.tw/active/hsct-002/002-1e.pdf>

圖 3.6-3 冷卻行程示意圖

2. 技術特點與優勢

- (1) 充分利用空壓機廢熱：以空壓機在壓縮過程中所產生的高溫廢熱作為乾燥機再生加熱的熱源。有別於無熱式或加熱式乾燥機，必須先將空壓機產生的廢熱，用額外的冷能降溫，再進入吸附式乾燥機吸附；再生的時候使用外加電熱器加熱空氣至 185~210℃，造成二次能耗。
- (2) 整體空壓系統壓損較低：無熱式及加熱式乾燥機系統之空壓機均需配置後部冷卻器及前置過濾器，因過濾器內部纖維材吸收濕空氣膨脹而導致過濾器之壓差上升，故系統配置上整體壓損較高。熱回收式乾燥機之系統配置不需要空壓機的后部冷卻器及前置過濾器，與加熱式乾燥機系統相較為例，整體配置減少約 0.3 bar 的壓損。空壓機每多出力 1 bar 壓力，需要多出約 6%~8% 耗能，故可節省壓差損失能耗約 1.8%~2.4%。兩者系統配置如圖 3.6-4 所示意。



資料來源：<https://www.ftis.org.tw/active/hsct-002/002-1e.pdf>

圖 3.6-4 加熱式與熱回收式乾燥機空壓系統配置示意圖

- (3) 再生所需耗能較低：一般無熱式或加熱式乾燥機系統充填之吸附劑為活性氧化鋁或分子篩，其再生溫度約 170~250°C；熱回收式乾燥機充填之吸附劑為矽膠，其再生溫度約 120~155°C，再生耗能較少。
- (4) 進氣溫度需求耗能較低：為使吸附式乾燥機能達到 -70°C 露點之需求，一般進氣溫度不可高於 20°C ~30°C，前端冷卻器需使用約 16~22°C 的冰水作為冷卻水，冷卻水需求有其能耗；或者於前端增設冷凍式乾燥機，因出口相對溼度一般低於 30%，而低相對濕度時活性氧化鋁的吸附能力較低，因此所需耗能亦相對提高。熱回收式乾燥機使用矽膠作為吸附劑，應用時進氣溫度 37°C 內均可達到出口壓力露點的需求，冷卻水需求約為 32°C，可節省能耗。

- (5) 運轉耗材壽命較長、系統穩定度較高：無熱式或加熱式乾燥機系統必須配置再生洩壓閥及管路，受應力影響較大，當閥件故障洩漏時，可能造成系統瞬間壓降進而影響生產；熱回收式乾燥機運作時無須洩壓，系統沒有配置連接至大氣之管路閥件，因此整體設備的應力影響較小，壽命較長運轉成本較低。

### 3. 應考慮因素與限制

本技術規劃設計應考慮因素包括：熱回收式乾燥機為利用空壓機壓縮熱來達到節能目的，故空壓機出口溫度不足時應用之效益較差。本技術需搭配無油螺旋式空壓機或無油離心式空壓機系統。



### 3.7 真空系統節能技術 - 變頻式真空機調載

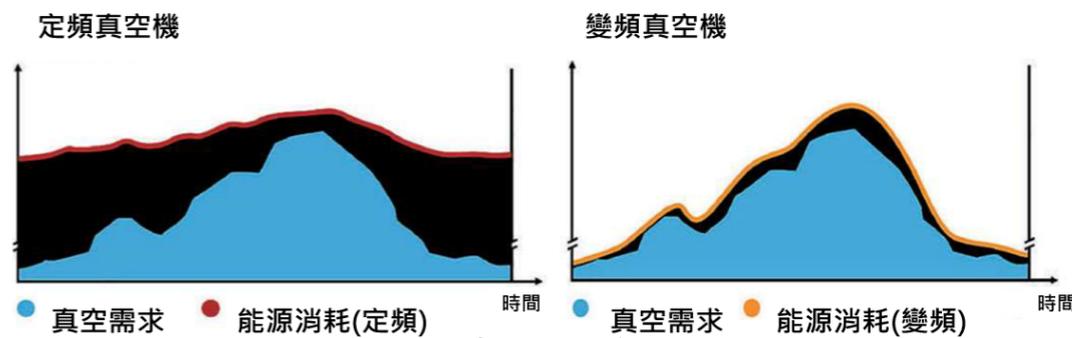
真空機為提供光電產業製程所需真空環境之重要設備，占有一定之耗電比例，若能於維持製程穩定真空條件下提升真空系統的能源使用效率，對於節能減碳有相當大的助益。

就光電廠製程真空採傳統定頻真空機於壓力達到時，仍然以全速運轉，消耗相當大之電力；若採用變頻真空機於壓力到達時，會降低轉速，消耗之電力相對於傳統定速真空機為低，節能可達 10~50%。

#### 1. 技術應用原理

光電廠一般以 100 mbar 粗略真空作為製程使用，真空系統由多台真空機組成，運用可程式邏輯控制器（Programmable Logic Controller, PLC）依據空氣桶之壓力感測器回授信號控制，依真空抽氣量需求循序啟動或關閉真空機，使系統真空壓力維持在需求範圍。系統設計多以最大抽氣量需求加上備用抽氣量計算，故一般設置容量皆大於實際運轉需求。而當抽氣需求小於真空機最大抽氣能力時，由定頻式真空機改為使用變頻式真空機，藉由變頻控制、轉子技術、進氣調控閥控制改善等作法，配合前端製程需求控制負載，可有效地改變轉速以降低耗電。

變頻式真空機根據負載變化，控制輸入的電壓頻率，圖 3.7-1 為傳統定頻式真空機與變頻式真空機之耗電特性示意，Y 軸為真空需求與耗電，一開始真空需求（藍色區塊）小，定頻真空機仍全速運轉；而變頻真空機則依真空需求調控負載，降低轉速。兩者耗電差異比較如黑色區塊，變頻真空機耗電相對較少。



資料來源：<https://www.atlascopco.com/zh-tw/vacuum-solutions/products/oil-sealed-vacuum-pumps/oil-sealed-screw-pumps-with-vsd-technology>

圖 3.7-1 定頻與變頻真空機耗電特性示意圖

#### 2. 技術特點與優勢

應用變頻式真空機調載之節能技術包含以下特點：

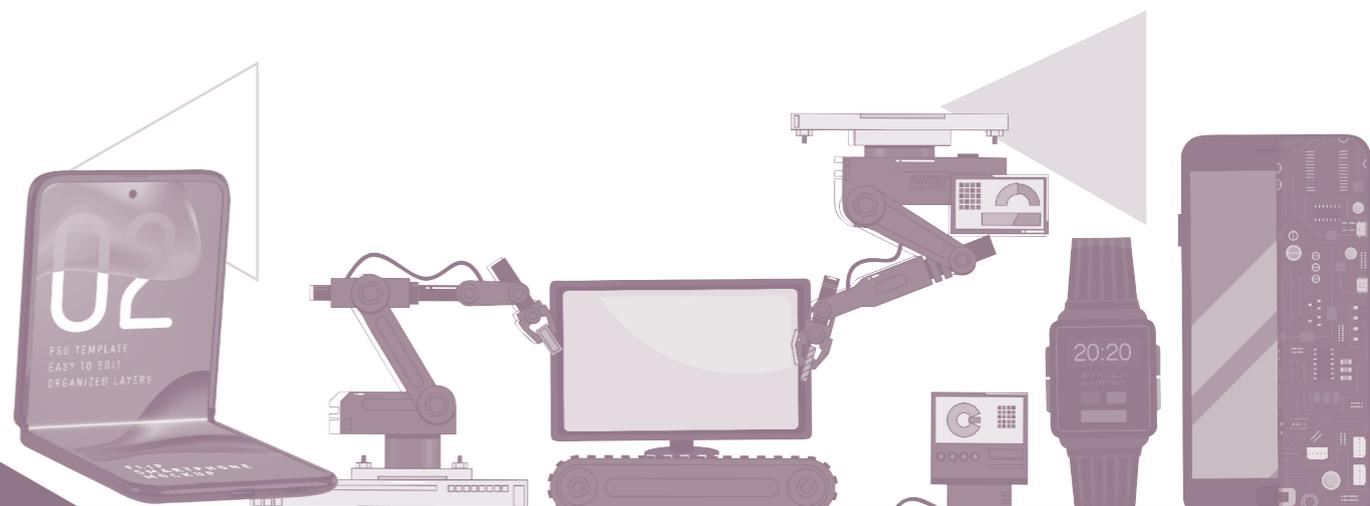
- (1) 可依製程真空壓力需求調整真空機轉速，具有彈性的運作使變頻真空機有節能優勢；
- (2) 採用變頻控制，當真空壓力達到需求時，真空壓力值較穩定，不會過度真空；
- (3) 變頻式真空機可調載運轉，與系統共管並加裝壓力計以調整控制，可增加系統壓力穩定性，並使真空系統有最佳之運轉效益。

#### 3. 應考慮因素與限制

本技術規劃設計應考慮因素包括：應事先檢視各製程負載需求，再進行整體規劃評估，以達到最佳運轉效益。並留意使用變頻器時產生電磁干擾（Electro Magnetic Interference, EMI）、電流諧波（Harmonic）等問題，造成電力、負載等系統穩定度之影響，需以裝設諧波抑制器等方式進行改善。

# 光電業 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

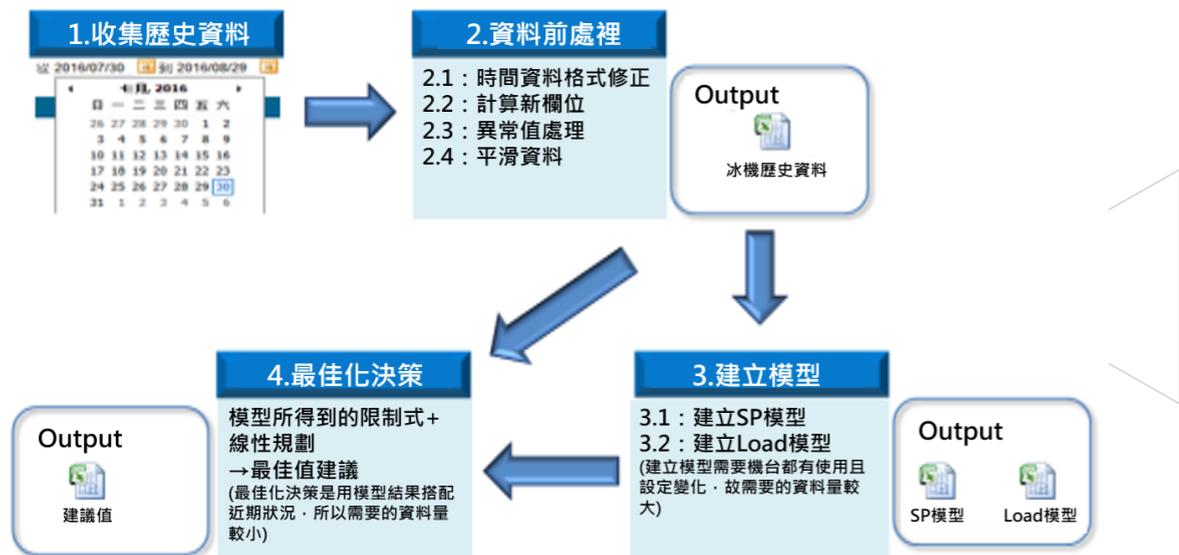
### 4.1 製程空調主機側節能技術 - 冰水系統最佳化案例

#### 4.1.1 案例廠應用簡介及技術概要

##### 1. 案例廠應用簡介

案例廠生產產品涵蓋各類顯示器應用之面板，長期來對於推動邁向低碳社會的綠色願景一向不遺餘力，支持政府節能減碳的政策，運用綠色科技創造全方位低碳生活，盤查廠務高耗能設備導入先進管理手段。目前廠內推動冰水系統最佳化 6 個階段任務說明如下，自動化架構如圖 4.1.1-1 所示意。

- (1) 建立系統架構圖：依系統流程及各單元的功能及重要性，檢討每個單元的機會及風險，討論出可調整的因子。
- (2) 收集資料：將系統的運轉因子如冰水主機、冰水泵、冷卻水泵、冷卻水塔風扇、外氣溫度、冷凍噸等數據進行收集，提供大數據分析的最原始資料，資料的數量越多其分析的可靠度越高。
- (3) 模型架構建立：收集重要因子的資料，建立運轉的耗能及冷凍噸的模型，進行數據收集及分析作為效益驗證的依據。
- (4) 實驗設計：設計可調整的因子並調整其參數，對於不同的因子（如冰水主機出水溫度、冰水泵、冷卻水泵、冷卻水塔溫度）及參數進行調整驗證。
- (5) 成效驗證：依據實驗設計的組合，重要的因子逐一調整參數測試驗證，實測節能效益。
- (6) 自動化導入：將 AI 的軟體植入控制系統，依據現場的冷凍噸需求進行機台的負載最佳化調控。



資料來源：案例廠提供

圖 4.1.1-1 自動化架構示意圖

## 2. 技術概要

冰水系統經最佳化量測驗證及評估節電之執行，以 PDCA 循環管理說明如下：

- (1) 規劃 (Plan)：冰機系統多台並聯運轉且設備運轉相關性高，規劃利用既有歷史運轉紀錄及大數據分析統計手法找出設備機台差異，利用機台差異效能調配設備不同負載以達最佳能耗。
- (2) 執行 (Do)：模型建立，與電腦整合製造 (Computer Integrated Manufacturing, CIM) 現場會勘、討論，建立耗能模型及冰水出水溫度模型，再利用迴歸模型、線性規劃等統計手法，確立目標函數及限制式，建立基本模型預測能力。
- (3) 查核 (Check)：反覆經由實驗、對照組的模式驗證，不斷的修正資料與分析，實證冰機參數設定最佳化，即在相近的冷凍噸需求及外氣條件下，進行冰水系統各單元的調整使整體耗能最低。

(4) 行動 (Act)：智慧自動化導入實施，智慧訓練程式持續優化，正式導入全自動化運算控制。經運轉後即時送出調整設定訊號修正冰機設定溫度，可自動化訓練程式並更有效達到冰機穩定運轉最佳化效益。

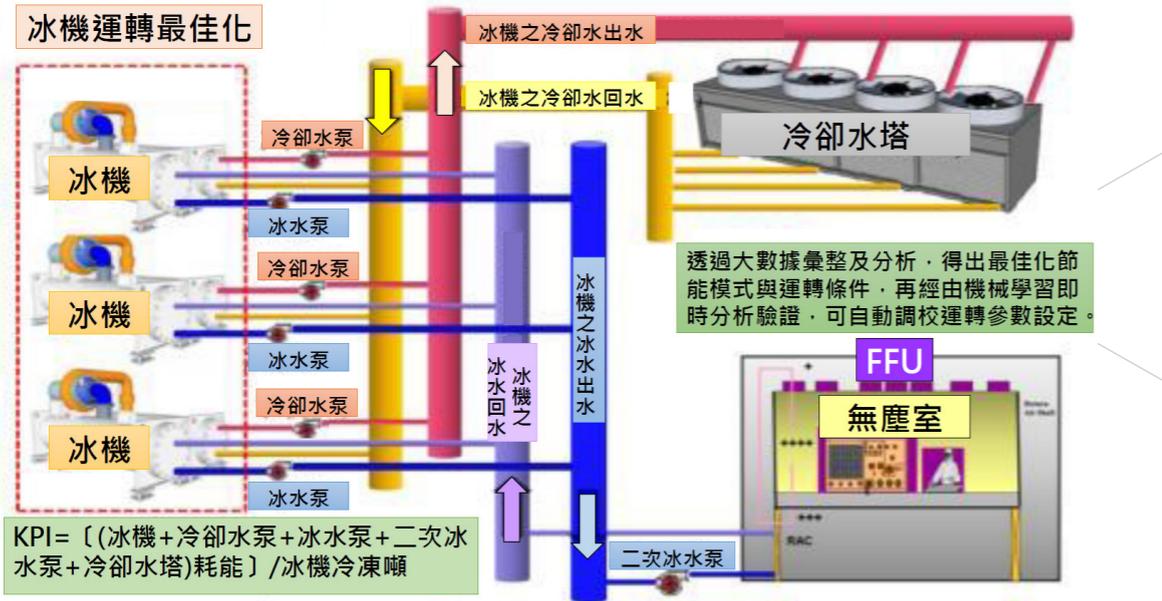
### 4.1.2 改善方案執行過程

#### 1. 單元改善前情境說明

既有運轉模式為每台冰水主機的負載及供應溫度都相同，無法做機台差異的調整，讓整個系統發揮最大的效益。

#### 2. 單元改善後情境說明

冰水系統最佳化運轉達節能目的，透過大數據 (Big data) 的彙整與分析，得出最佳化的節能設定模式與運轉條件，再經由機械學習即時分析驗證，進行冰水主機負載率的動態調整，確保整體冰水系統運轉在最佳節能點，且不影響冰水供應系統的穩定性下達到節能的效益；最佳化控制系統同時具有模擬學習能力，可自動調校運轉參數設定 (如冰水主機出水溫度)，取代人員手動調整，利用機台差異效能調配冰水主機的不同負載以達最佳節省能耗。冰機運轉最佳化系統如圖 4.1.2-1 所示意。



資料來源：案例廠提供

圖 4.1.2-1 冰機運轉最佳化系統示意圖

### 4.1.3 成效分析與節能減碳效益

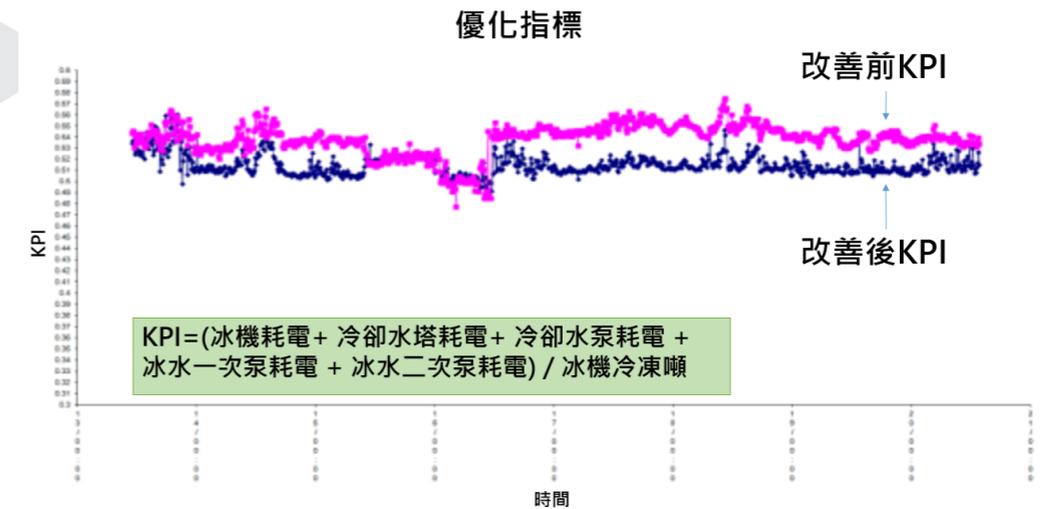
#### 1. 導入製程冰水系統最佳化之節能量

改善效益的計算規範包含 3 個運轉條件，分別為相近的外氣焓值、相近的冷卻水塔下水溫、相近的冰水冷凍噸，效益計算方式如表 4.1.3-1 說明。導入冰水系統最佳化運轉後效率提高 1.79%，年效益達約 85 萬度電，其運轉效益驗證如圖 4.1.3-1 所示意。

表 4.1.3-1 製程冰水系統最佳化效益計算

項目	計算方式
節電效益	自動化運轉耗電 - 未自動化手動操作運轉耗電
自動化運轉耗電 (Auto kWh)	Auto KPI × Auto avg RT
手動運轉耗電 (Manual kWh)	Manual KPI × Manual avg RT
KPI	(冰機耗電 + 冷卻水塔耗電 + 冷卻水泵耗電 + 冰水一次泵耗電 + 冰水二次泵耗電) / 冰機冷凍噸

資料來源：案例廠提供



資料來源：案例廠提供

圖 4.1.3-1 冰機運轉最佳化 - 運轉效益驗證



## 2. 投資效益

案例廠製程冰水系統最佳化之執行

- 投資金額：約 50 萬元。
- 每年節電量：約 850,000 kWh。  
(以年運轉時數 8,000 小時 / 年計算)
- 節電率：約 1.79%。
- 節能績效：約 188 萬元 / 年。
- 減碳量：432 公噸 CO<sub>2</sub>e / 年。
- 回收年限：約 0.26 年。  
(1 kWh=2.22 元計，減碳量以經濟部能源局公告 108 年電力排放係數 0.509 kg-CO<sub>2</sub>e / kWh 計)



## 4.2 製程空調風側節能技術 - 風扇過濾機組 (FFU) 效率提升案例

### 4.2.1 案例廠應用簡介及技術概要

#### 1. 案例廠應用簡介

案例廠生產產品涵蓋各類顯示器應用之面板，長期來對於推動邁向低碳社會的綠色願景一向不遺餘力，支持政府節能減碳的政策。風扇過濾機組 (FFU) 是無塵室維持潔淨度的重要設施，雖然單機功率極低但量體龐大，以案例廠 G8.5 代面板廠為例，FFU 裝設數量高達 37,882 台，若能進一步節省能耗，其節能量不容小覷。

#### 2. 技術概要

應用低壓損、高風量、高品質及高捕集效率之濾網，達成維持製程需求及 FFU 節能減碳之目的。

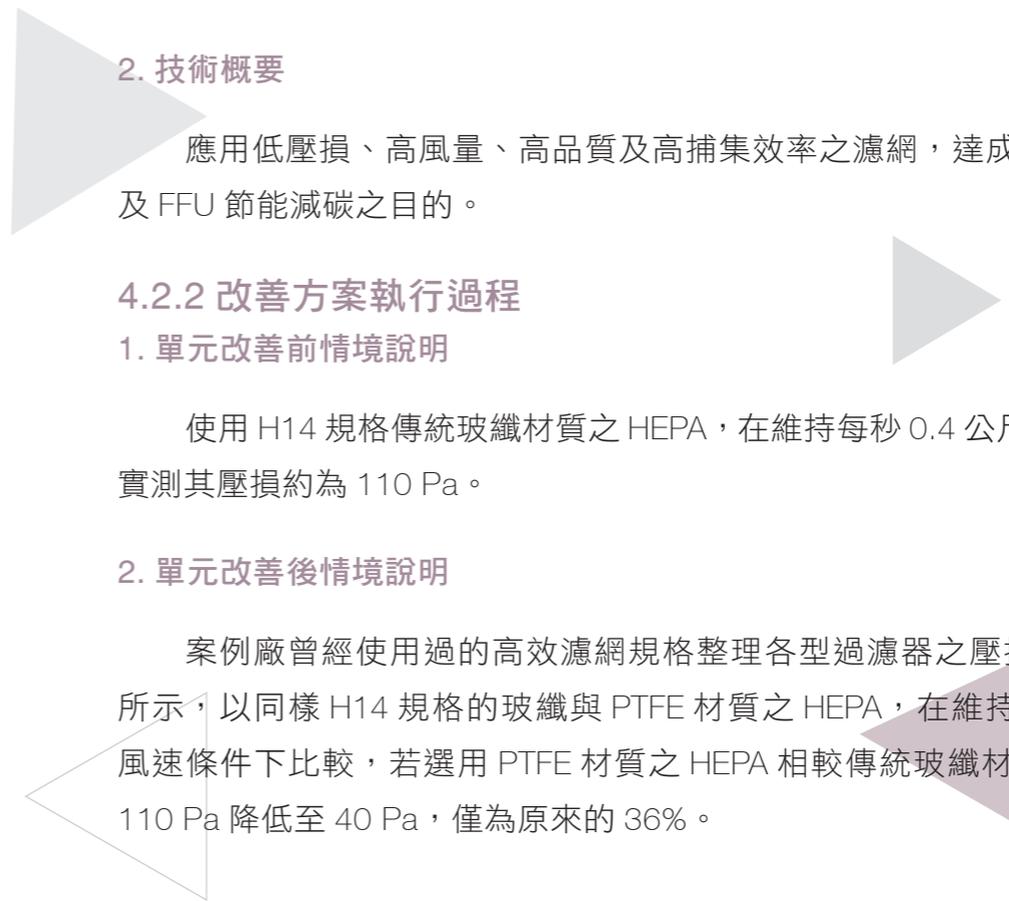
### 4.2.2 改善方案執行過程

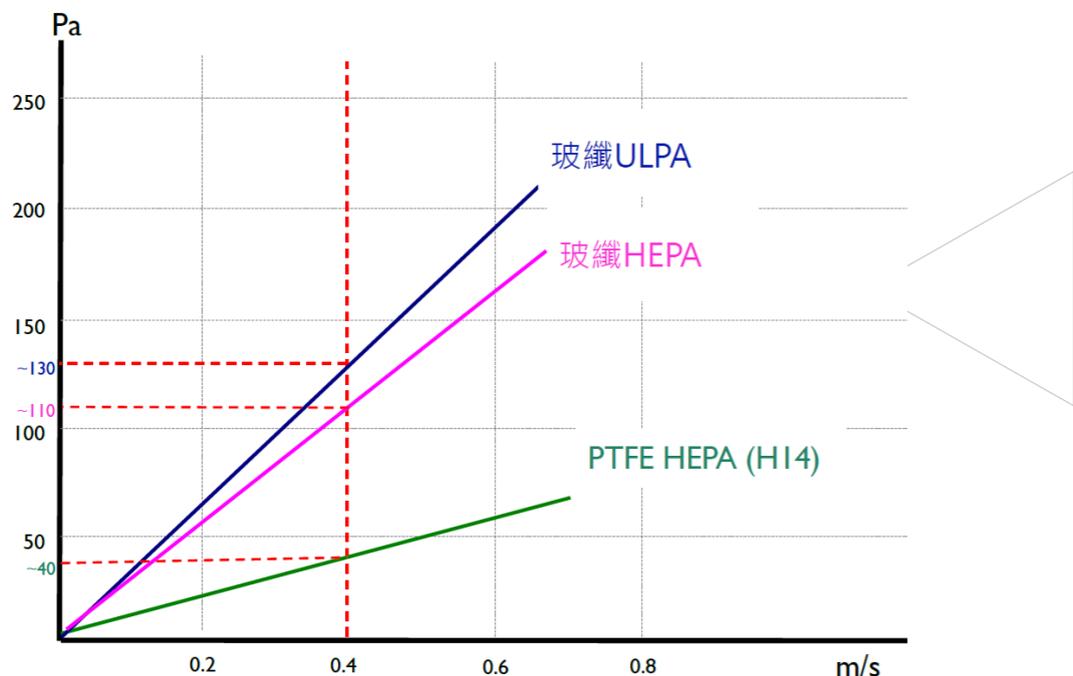
#### 1. 單元改善前情境說明

使用 H14 規格傳統玻纖材質之 HEPA，在維持每秒 0.4 公尺風速條件下，實測其壓損約為 110 Pa。

#### 2. 單元改善後情境說明

案例廠曾經使用過的高效濾網規格整理各型過濾器之壓損如圖 4.2.1-1 所示，以同樣 H14 規格的玻纖與 PTFE 材質之 HEPA，在維持每秒 0.4 公尺風速條件下比較，若選用 PTFE 材質之 HEPA 相較傳統玻纖材質其壓損可由 110 Pa 降低至 40 Pa，僅為原來的 36%。





資料來源：案例廠提供

圖 4.2.1-1 FFU 各型過濾器壓損比較

## 2. 投資效益

案例廠風扇過濾機組 (FFU) 效率提升之執行

- 投資金額：約 15,152 萬元。  
(玻纖材質 HEPA 與 PTFE 材質 HEPA 之價差)
- 每年節電量：約 24,556,627 kWh。  
(以年運轉時數 8,760 小時 / 年計算)
- 節電率：約 57%。  
(以風速 0.38 m/s 推估)
- 節能績效：約 5,451 萬元 / 年。
- 減碳量：12,500 公噸 CO<sub>2</sub>e / 年。
- 回收年限：約 2.78 年。  
(1 kWh = 2.22 元計，減碳量以經濟部能源局公告 108 年電力排放係數 0.509 kg-CO<sub>2</sub>e / kWh 計)

## 4.2.3 成效分析與節能減碳效益

### 1. 應用低壓損 HEPA 濾網之節能量

選用低壓損 HEPA 濾網搭配選擇合適風機，經由實際量測相較舊型僅消耗低於約 51~57% 功率即可達到相同的出風量，其差異如表 4.2.3-1 所示。

表 4.2.3-1 使用低壓損 HEPA 之 FFU 與舊型比較

項目	舊型 FFU (玻纖材質之 HEPA)			新型 FFU (PTFE 材質之 HEPA)		
	0.44	0.37	0.31	0.56	0.38	0.3
風速 (m/s)	0.44	0.37	0.31	0.56	0.38	0.3
功率 (W)	165	130	90	104	56	44
節能率 (%)	—			不適用	約 57%	約 51%

資料來源：案例廠提供



### 4.3 冷卻水塔風扇節能技術 - 扇葉角度最佳化案例

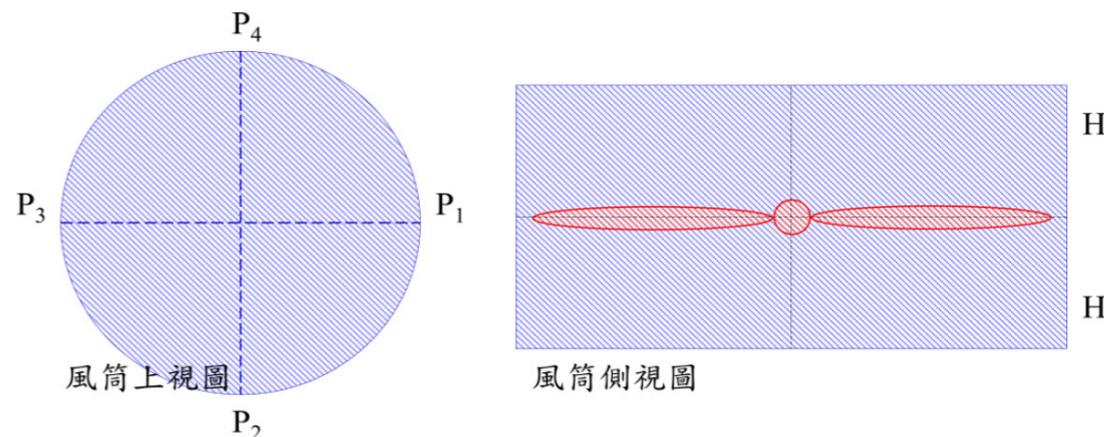
#### 4.3.1 應用製程簡介及技術概要

##### 1. 應用製程簡介

案例廠為專業面板製造商，冷卻水塔建置於中央公用設備廠屋頂，共計 9 座均投入常態運轉，以出水溫度作為控制，其中 7 座供應冰水系統散熱，餘 2 座則為空壓機系統散熱使用，其下水盤可相互連通，於維修或保養時可相互備援，維持系統穩定。

##### 2. 技術概要

以檢核調整風機葉片至最佳角度，保持需求風量條件，降低葉片風阻並減少運轉軸功，進而達到節能效果。一般而言扇葉角度越平緩葉片風阻越低，其對應運轉軸功越小（風量也越小），以皮托管量測既有角度各運轉頻率下之風量對應其耗電量做為能耗基準值，再調整扇葉角度後重覆上述步驟完成紀錄。其中風量量測取風扇上、下各 1 層（H1, H2），每間隔 90°（P1~P4）量測 1 點共計 8 點，如圖 4.3.1-1 所示意，並分別於不同濕球溫度（冬、夏季）條件下執行測試複核結果，綜合比較可得符合需求之最佳扇葉角度。如各座冷卻水塔設置條件相近，可直接進行同步調整，必要時須再針對差異較大之單座實施測試，達成平展應用。



資料來源：案例廠提供

圖 4.3.1-1 扇葉角度調整量測位置示意簡圖

#### 4.3.2 改善方案執行過程

##### 1. 單元改善前情境說明

冷卻水塔因長期運轉且製程需求改變，以致建廠所選最佳化扇葉角度之設計基準條件改變。經量測改善前該冷卻水塔扇葉角度為 12.5°。

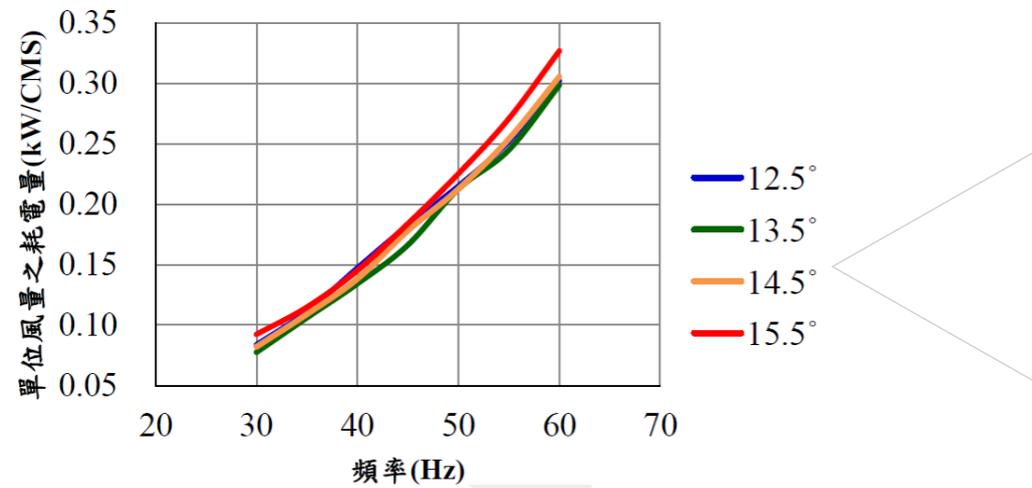
##### 2. 單元改善後情境說明

經量測及綜合比較可得符合需求之最佳扇葉角度，該冷卻水塔扇葉角度調整為 13.5° 以達最佳能效。

#### 4.3.3 成效分析與節能減碳效益

##### 1. 應用冷卻水塔扇葉角度最佳化之節能量

經前述實測完成後，可得不同扇葉角度於不同頻率下之耗電量與風量數據，彙整如圖 4.3.3-1 所示。分析結果得知扇葉角度為 13.5° 較原 12.5° 節能，此為案例廠運轉 13 年後之現況最佳扇葉角度，並可依風扇單位風量之耗電量、運轉頻率及運轉時數，推估節電量約為 138,758 kWh/ 年。



資料來源：案例廠提供

圖 4.3.3-1 以不同扇葉角度運轉之頻率對應單耗散佈圖

## 2. 投資效益

案例廠冷卻水塔扇葉角度最佳化之執行

- 投資金額：約 10 萬元。
- 每年節電量：約 138,758 kWh。  
(以年運轉時數 7,884 小時 / 年計算)
- 節電率：約 13.6%。
- 節能績效：約 30 萬元 / 年。
- 減碳量：70 公噸 CO<sub>2</sub>e / 年。
- 回收年限：約 0.33 年。  
(1 kWh = 2.2 元計，減碳量以經濟部能源局公告 108 年電力排放係數 0.509 kg-CO<sub>2</sub>e / kWh 計)

## 4.4 製程空壓系統節能技術 - 空壓設備群控案例

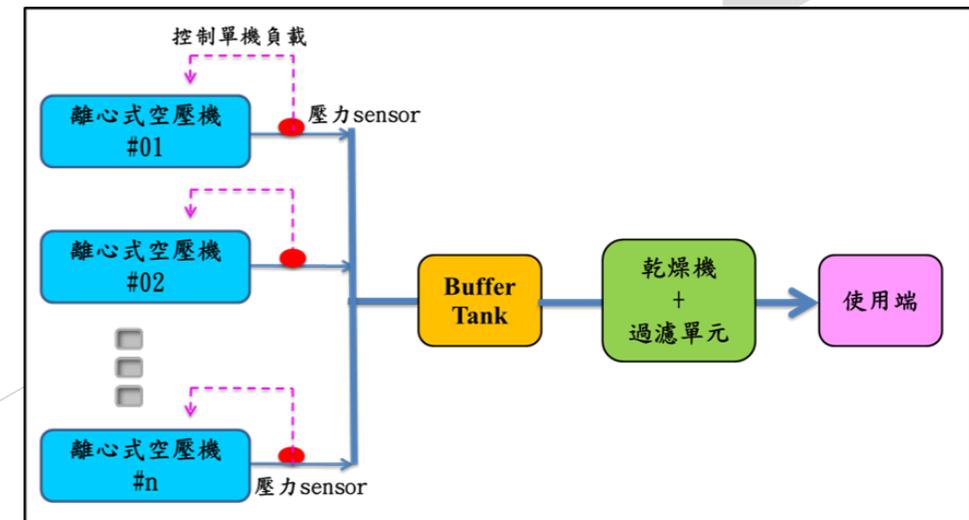
### 4.4.1 案例廠應用簡介及技術概要

#### 1. 案例廠應用簡介

案例廠為專業面板製造廠，廠內離心式空壓機原為單機出口壓力控制，螺旋式空壓機為工廠內壓縮空氣主管路管末壓力控制，經評估改善方案為將離心式空壓機負載由單機各別控制改為群組控制，以提升空壓機能源效率。

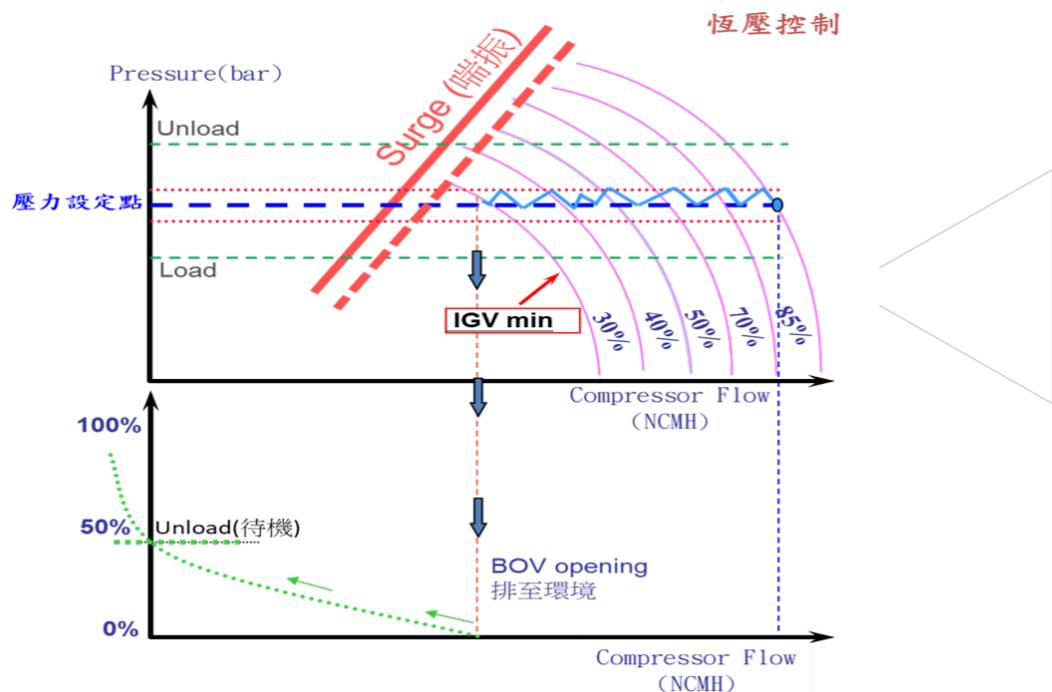
#### 2. 技術概要

廠內離心式空壓機原以單機出口壓力各別控制單機之負載，如圖 4.4.1-1 所示，當單機出口壓力高於系統壓力，該台離心式空壓機即會逐漸限縮進氣閥 (IGV) 直到出口壓力等於系統壓力，但進氣閥限縮有其極限，否則會造成空壓機喘振現象 (Surge) 造成損壞風險；故當進氣閥無法再限縮後出口壓力仍高於系統壓力，則會開啟排氣閥 (BOV)，將多餘的壓縮空氣排放至環境，即造成浪費，如圖 4.4.1-2 所示。



資料來源：案例廠提供

圖 4.4.1-1 離心式空壓機單機出口壓力控制示意圖



資料來源：<https://www.atlascopco.com/>

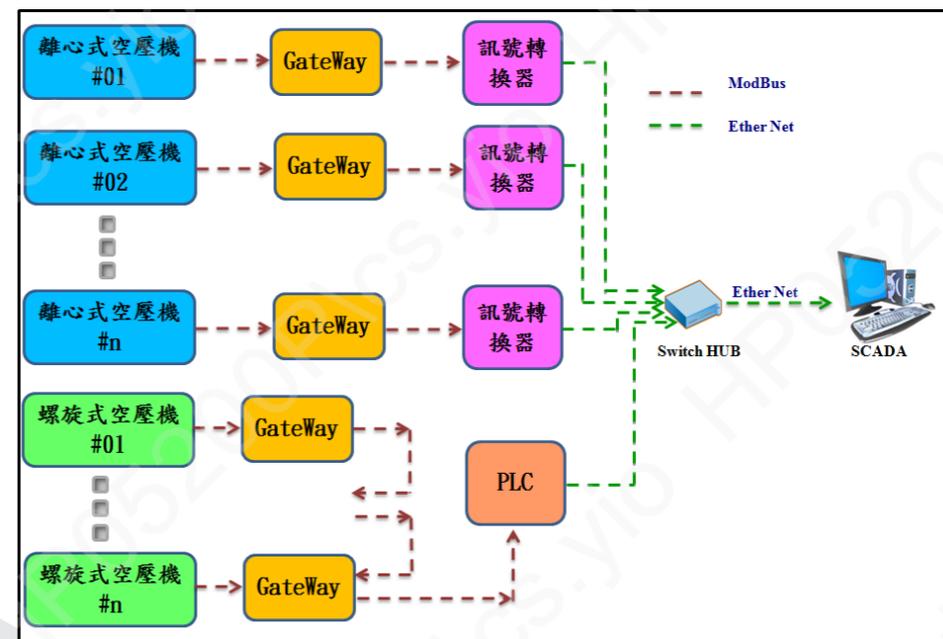
圖 4.4.1-2 離心式空壓機容調示意圖

大世代面板廠壓縮空氣需求變化量遠高於 1 台離心式空壓機進氣閥可容調之量，以案例廠之經驗至少需 4 台離心式空壓機進行容調，若以單機各別控制則易有排氣閥開啟造成浪費情形，故評估以單一系統壓力控制多台離心式空壓機，可改善排氣閥開啟，以提升離心式空壓機能源使用效率。

#### 4.4.2 改善方案執行過程

##### 1. 單元改善前情境說明

案例廠最初以離心式空壓機為基礎負載，搭配定頻螺旋式空壓機作為變動負載。為提升能源使用效率，進行修改螺旋式空壓機控制，由單機控制改為群組控制，通訊架構如圖 4.4.2-1 所示，定頻螺旋式空壓機透過可程式邏輯控制 (PLC) 由使用端的管末壓力來作啟停及空 / 重車之控制。系統運作後亦積極分析能耗使用，並評估進一步能效提升之可行性。

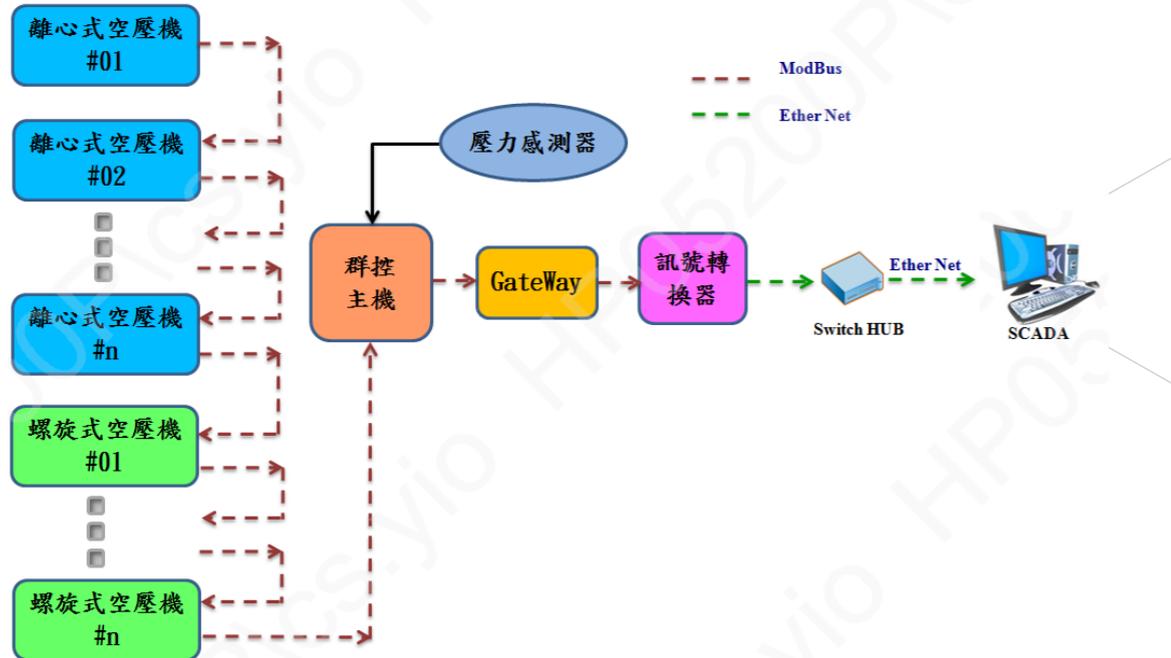


資料來源：案例廠提供

圖 4.4.2-1 改善前空壓機控制通訊架構示意圖

##### 2. 單元改善後情境說明

增設一台空壓機群控主機及壓縮空氣系統壓力感測器，修改通訊架構，將空壓機由單台出口壓力控制改為系統壓力控制多台空壓機，依照製程端壓縮空氣使用量來調節空壓機負載，群控通訊架構如圖 4.4.2-2 所示。



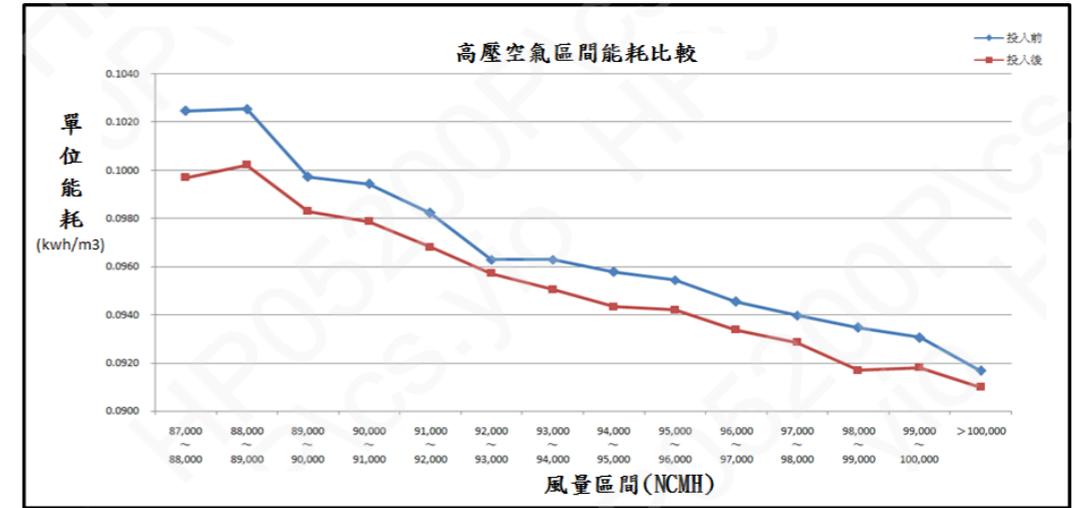
資料來源：案例廠提供

圖 4.4.2-2 改善後空壓機群控通訊架構示意圖

### 4.4.3 成效分析與節能減碳效益

#### 1. 導入製程空壓設備群控之節能量

改善後之單位能耗紀錄如圖 4.4.3-1 所示。以全系統群控控制後，壓縮空氣平均單位能耗下降 1.51%，平均每日減少 3,265 kWh 之用電量。



資料來源：案例廠提供

圖 4.4.3-1 製程空壓設備單位能耗情形

#### 2. 投資效益

案例廠製程空壓設備群控之執行

- 投資金額：約 120 萬元。
- 每年節電量：約 1,191,725 kWh。  
(以年運轉 365 天 / 年計算)
- 節電率：約 1.51%。
- 節能績效：約 262 萬元 / 年。
- 減碳量：606 公噸 CO<sub>2</sub>e / 年。
- 回收年限：約 0.46 年。

(1 kWh= 2.2 元計，減碳量以經濟部能源局公告 108 年電力排放係數 0.509 kg-CO<sub>2</sub>e / kWh 計)



## 4.5 製程壓縮乾燥空氣（CDA）系統節能技術 - 乾燥機效能提升案例

### 4.5.1 案例廠應用簡介及技術概要

#### 1. 案例廠應用簡介

案例廠從事光電製程，主要以液晶及觸控面板產品為主，其產品廣泛利用於汽車、醫療、航太及娛樂等。壓縮乾燥空氣（CDA）系統汰換運作較節能之乾燥機（Dryer），以達到降低系統能耗之目的。

#### 2. 技術概要

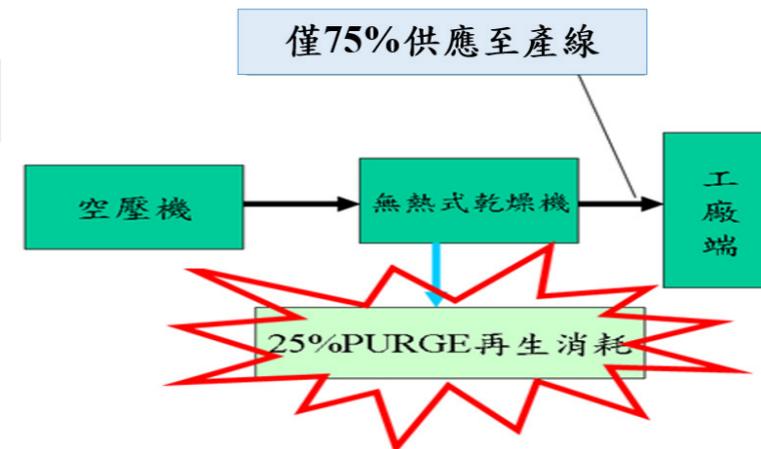
無熱吸附式乾燥機於再生吸附材時，係利用乾燥後之壓縮空氣進行吹洩，將吸附材中水分移出乾燥機中，其每次再生行程所消耗之氣量相當可觀，且由於壓縮空氣由空氣壓縮機運轉壓縮而來，其壓縮乾燥空氣（CDA）製造成本相當高，用來做為乾燥機吸附材吹洩再生，非常消耗能源。

而加熱吸附式乾燥機於再生吸附材時，係利用外部鼓風機及加熱氣，對外氣進行加熱導入吸附材中將水分蒸發移出，相對於無熱吸附式乾燥機較為節能。

### 4.5.2 改善方案執行過程

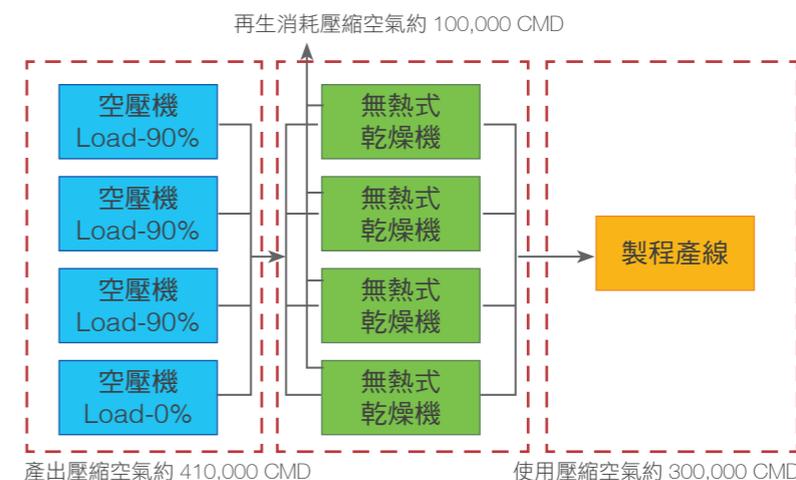
#### 1. 單元改善前情境說明

改善前所設置之無熱吸附式乾燥機經運轉觀察發現，吸附材之再生行程係利用空氣壓縮機所製造之壓縮空氣，來移除吸附材所吸附之水分，所消耗之壓縮乾燥空氣量為系統總氣量 25%，換算成電能相當可觀，如圖 4.5.2-1 所示。改善前系統架構如圖 4.5.2-2 所示。



資料來源：案例廠提供

圖 4.5.2-1 無熱吸附式乾燥機能耗評估



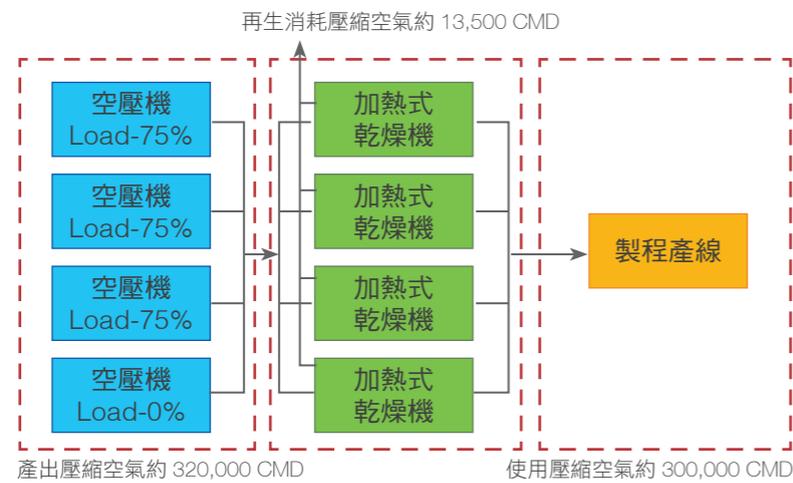
資料來源：案例廠提供

圖 4.5.2-2 改善前系統架構示意圖



## 2. 單元改善後情境說明

改善後之加熱吸附式乾燥機，係利用吸入環境空氣經加熱器加熱至 200°C，使其將再生行程中吸附材水分移出乾燥機，達到壓縮空氣乾燥目的，且再生行程能耗相較於無熱吸附式乾燥機低。乾燥機汰換後，系統之空壓機無需再提供更多的壓縮空氣進行再生行程，空壓機自動降載達到雙節能目的。改善後系統架構如圖 4.5.2-3 所示。



資料來源：案例廠提供

圖 4.5.2-3 改善後系統架構示意圖

## 4.5.3 成效分析與節能減碳效益

### 1. 導入加熱吸附式乾燥機之節能量

改善後之節能量如表 4.5.3-1 所示，整體節能率達 67%。

表 4.5.3-1 製程壓縮空氣乾燥 (Dryer) 系統節能技術之節能量

項目	能耗 (kWh/年) (含空壓機能耗)	節能量 (kWh/年)	節能率 (%)
改善前 無熱吸附式乾燥機	1,671,040	1,125,089	約 67%
改善後 加熱吸附式乾燥機	545,951		

資料來源：案例廠提供

## 2. 投資效益

案例廠製程乾燥機效能提升之執行

- 投資金額：約 400 萬元。
- 每年節電量：約 1,125,089 kWh。  
(以年運轉時數 8,760 小時 / 年計算，並含空壓機能耗)
- 節電率：約 67%。
- 節能績效：約 281 萬元 / 年。
- 減碳量：573 公噸 CO<sub>2</sub>e / 年。
- 回收年限：約 1.42 年。  
(1 kWh = 2.5 元計，減碳量以經濟部能源局公告 108 年電力排放係數 0.509 kg-CO<sub>2</sub>e / kWh 計)



## 4.6 熱回收技術 - 空壓系統廢熱應用案例

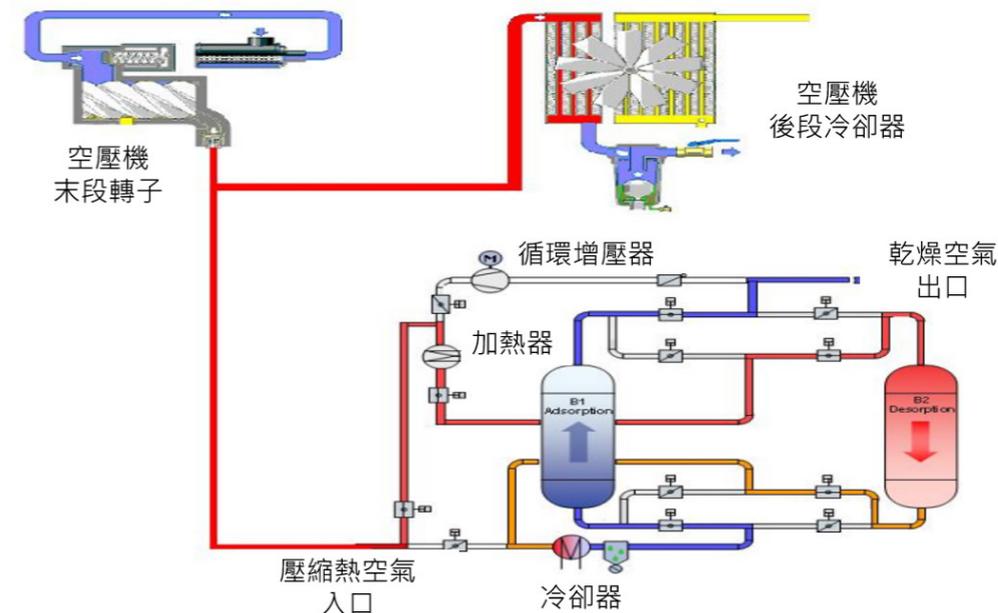
### 4.6.1 案例廠應用簡介及技術概要

#### 1. 案例廠應用簡介

案例廠為 TFT 面板廠，廠務設備極早建立，本著「環保優先、安全至上、全員參與、永續經營」的精神下，汰換較耗能之舊有技術設備。廠內壓縮乾燥空氣（CDA）系統原使用無熱吸附式乾燥機，以永續經營角度評估改善投資效益，雖本改善案評估之加熱吸附式乾燥機價格僅為熱回收式乾燥機的 1/2，惟兩者回收年限僅相差 2 個月，經彙報爭取變更預算，最終選用零耗氣 -70℃ 壓縮熱回收式乾燥機取代廠內既設之無熱吸附式乾燥機。

#### 2. 技術概要

以無熱吸附式乾燥機汰換為熱回收式乾燥機技術，其空壓系統規劃之再生所需要的熱量，是利用空壓機壓縮空氣的過程中所產生熱能，可同時節省空壓機之後部冷卻器之設置及能源耗損，降低初期投資成本與操作運轉時之冷卻水消耗，此外另設計一組低耗電之循環增壓機與加熱器，作為加強乾燥與冷卻之效果。系統如圖 4.6.1-1 所示。



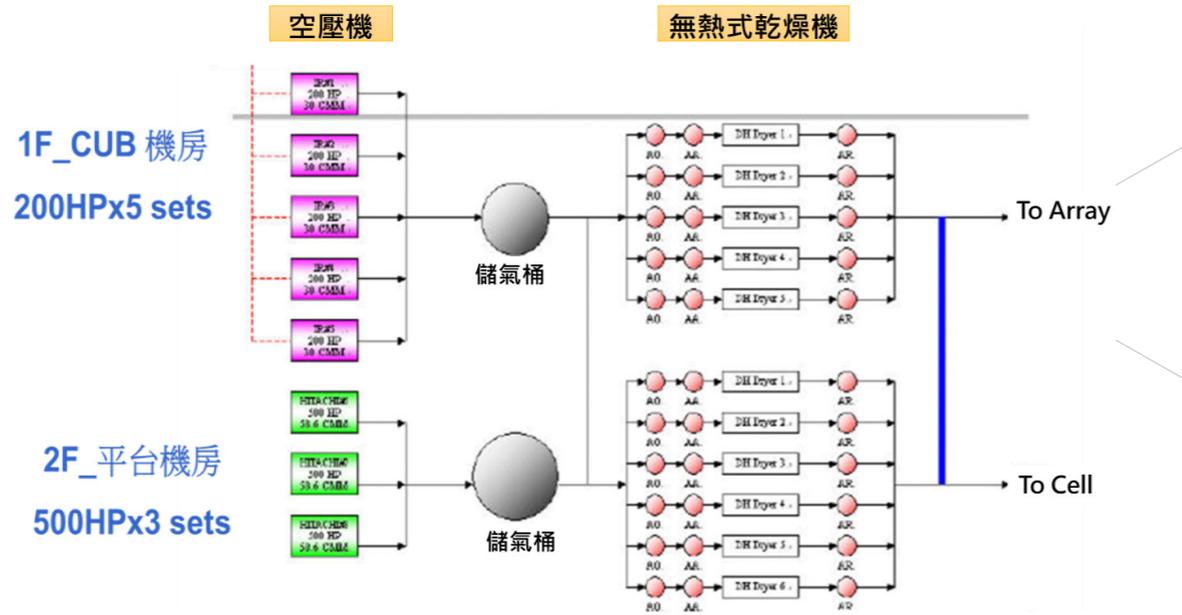
資料來源：中華民國台灣薄膜電晶體液晶顯示器產業協會「低碳節能技術成功案例分享及現場觀摩會」，2020 年 10 月

圖 4.6.1-1 應用熱回收吸附式乾燥機系統示意圖

### 4.6.2 改善方案執行過程

#### 1. 單元改善前情境說明

改善前使用無熱吸附式乾燥機，其系統架構圖如 4.6.2-1 所示。

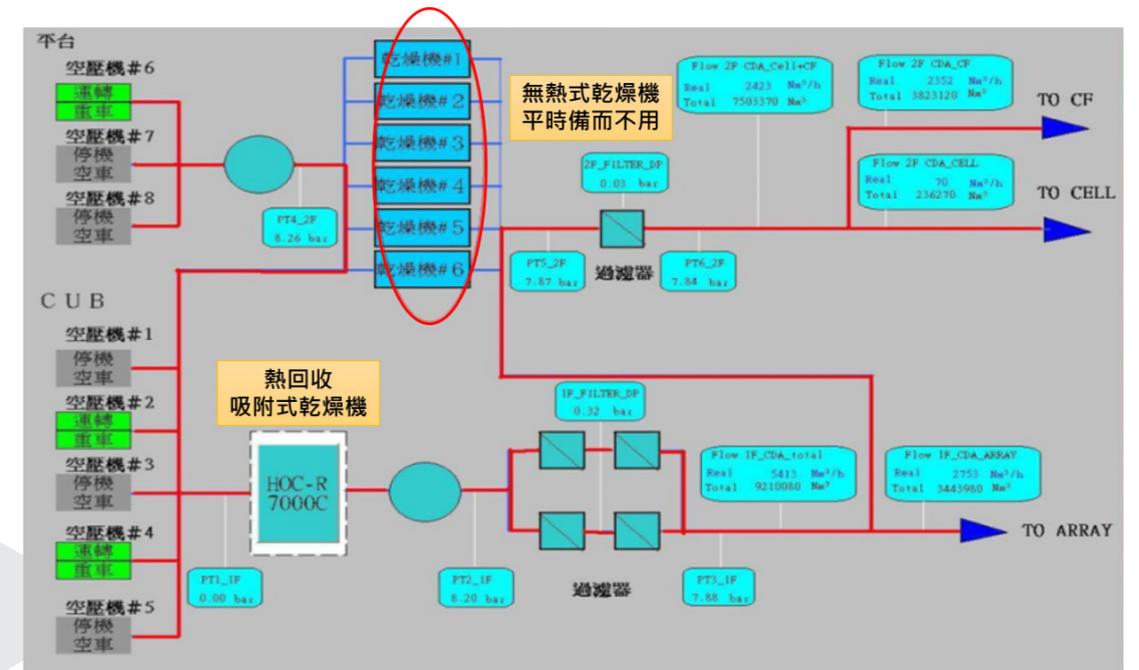


資料來源：案例廠提供

圖 4.6.2-1 改善前系統架構圖

## 2. 單元改善後情境說明

改善後使用熱回收式乾燥機，改善後系統架構如圖 4.6.2-2 所示。根據空壓機廢熱溫度條件，內建之電加熱器可依需要開啟。依案例廠實際運轉經驗，電加熱器迄今從未啟動，即可達到  $-70^{\circ}\text{C}$  的露點，如需再降低露點可依設定系統自動進入二次乾燥空氣加熱行程。



資料來源：案例廠提供

圖 4.6.2-2 改善後系統架構圖

## 4.6.3 成效分析與節能減碳效益：

### 1. 導入熱回收式乾燥機之節能量

導入熱回收式乾燥機可大幅節省空壓機電能，改善後之節能效益如表 4.6.3-1 所示。



表 4.6.3-1 熱回收式乾燥機技術之節能量

項目	CDA 總流量	驗證時數	每小時平均用量	CDA 單位成本	節省度電	節能效益
	(M <sup>3</sup> /月)	(Hr)	(CMH)	(NTD/M <sup>3</sup> )	kWh	%
改善前	8,416,429	1,464	5,656	0.4688	-	-
改善後	667,480	120	5,562	0.3246	44,061	30.76%
改善後	4,173,260	744	5,609	0.3699	188,938	21.10%
改善後	3,927,750	720	5,455	0.3594	196,702	23.34%
改善後	1,741,140	336	5,182	0.3635	83,929	22.46%

資料來源：案例廠提供

## 2. 投資效益

### 空壓系統廢熱應用之執行

- 投資金額：約 1,650 萬元。
- 每年節電量：約 275 萬 kWh。  
(以年運轉時數 8,760 小時 / 年計算)
- 節電率：約 26%。  
(以全年度平均值計算)
- 節能績效：約 688 萬元 / 年。
- 減碳量：1,400 公噸 CO<sub>2</sub>e / 年。
- 回收年限：約 2.4 年。  
(1 kWh = 2.5 元計，減碳量以經濟部能源局公告 108 年電力排放係數 0.509 kg-CO<sub>2</sub>e / kWh 計)

## 4.7 真空系統節能技術 - 變頻式真空機調載案例

### 4.7.1 案例廠應用簡介及技術概要

#### 1. 案例廠應用簡介

案例廠為專業面板製造商，建廠之製程真空機均為定頻機型，若達加載需求全數啟動運轉時常會供過於求；經評估改善方案新增變頻真空機調載，以提升系統能源使用效率。

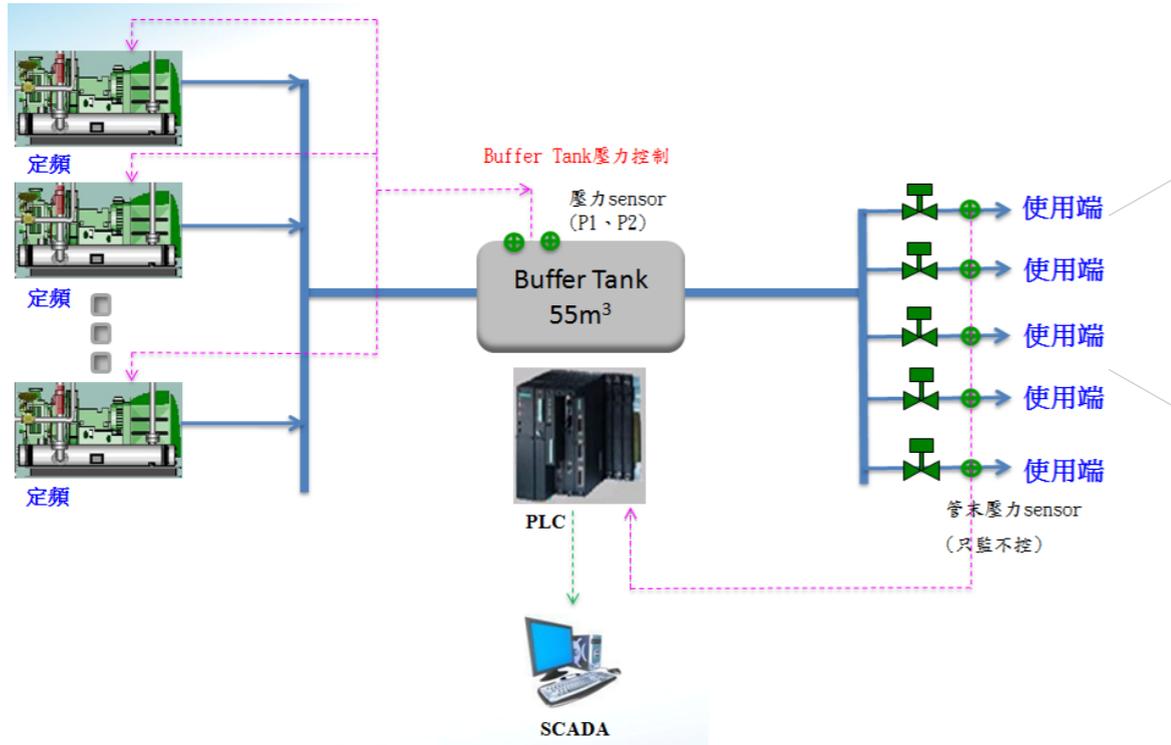
#### 2. 技術概要

原製程真空系統驅使真空機多台全載運轉滿足最大需求，然依現場不同需求的波動有能源浪費之虞。變頻式真空機根據實際負載變化需求，控制輸入的電壓頻率，並保持穩定的系統壓力，以提供高品質真空需求並避免能源浪費。

### 4.7.2 改善方案執行過程

#### 1. 單元改善前情境說明

案例廠原有 6 台 200 hp 定頻式真空機（型號 QSVI-200），每台抽氣量為 5,000 CMH。平時使用 5 台常態運轉、持壓在 -26.5 inHg 條件下，5 台抽氣量共為 25,000 CMH；當製程用量增加 1,000 CMH 時，需再啟動第 6 台定頻式真空機投入，則抽氣量高達 30,000 CMH 供過於求。改善前真空機系統如圖 4.7.2-1 所示意。



資料來源：案例廠提供

圖 4.7.2-1 改善前真空機系統示意圖

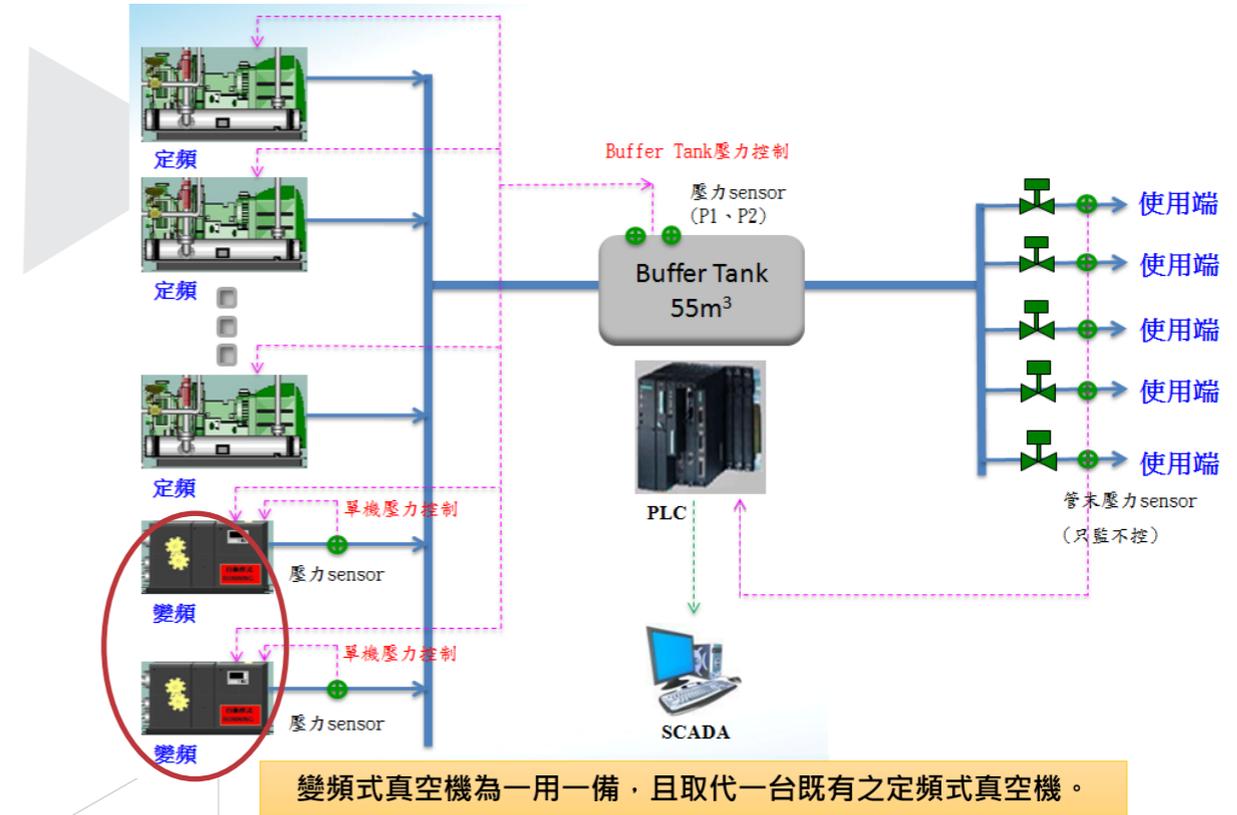
## 2. 單元改善後情境說明

新增變頻真空機進行調載，購入 2 台（採 1 用 1 備）功率 50 hp 高效率變頻真空機（型號 GHS 1900VSD+），設備規格如表 4.7.2-1 所示。平時運作 5 台定頻真空機抽氣量共為 25,000 CMH、持壓在 -26.5 inHg 條件下，當製程用量需增加 1,000 CMH 時，即可啟動 50 hp 變頻真空機，抽氣總量為 25,000 CMH 加上可調載之 1,810 CMH。改善後真空機系統如圖 4.7.2-2 所示。

表 4.7.2-1 高效率變頻真空機設備規格

Type	標稱抽氣速率 (Nominal displacement)	極限壓力 (Ultimate pressure)	允許環境溫度 (Permissible ambient temperature range)	軸功率 (Shaft power)
	(M³/Hr)	mbar	°C	hp
GHS 1900 VSD+	1,810	0.35	0~48	50

資料來源：<https://www.atlascopco.com/zh-tw/vacuum-solutions/products/oil-sealed-vacuum-pumps/oil-sealed-screw-pumps-with-vsd-technology>



資料來源：案例廠提供

圖 4.7.2-2 改善後真空機系統示意圖



### 4.7.3 成效分析與節能減碳效益

#### 1. 應用變頻式真空機調載之節能量

導入變頻式真空機改善前後之節能量如表 4.7.3-1 所示。

表 4.7.3-1 真空機節能技術之節能量

項目		改善前	改善後	
真空機	型式	定頻 QSVI-200	定頻 QSVI-200	變頻 GHS 1900VSD+
	額定風量	CMH	5,000	1,810
	額定功率	kW	149	37
	數量	台	6	1
真空系統	持壓	inHg	-26.53	-26.53
	總額定抽氣量	CMH	30,000	26,810
	總額定功率	kW	894	782
	平均每日耗電量	kWh	23,104	19,648

資料來源：案例廠提供

#### 2. 投資效益

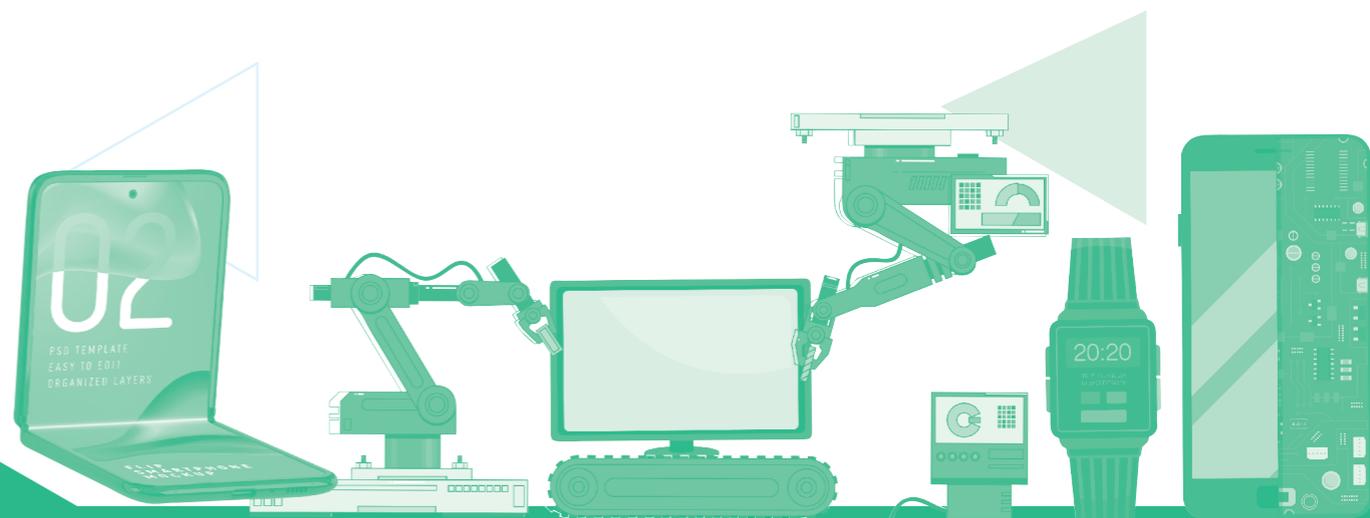
案例廠變頻式真空機調載之執行

- 投資金額：約 237 萬元。  
(2 台變頻式真空機，採 1 用 1 備)
- 每年節電量：約 1,261,440 kWh。  
(以年運轉時數 365 天 / 年計算)
- 節電率：約 14.9%。
- 節能績效：約 278 萬元 / 年。
- 減碳量：642 公噸 CO<sub>2</sub>e / 年。

- 回收年限：約 0.85 年。  
(1 kWh = 2.2 元計，減碳量以經濟部能源局公告 108 年電力排放係數 0.509 kg-CO<sub>2</sub>e / kWh 計)

# 光電業 低碳製程技術彙編

## ▶ 結語





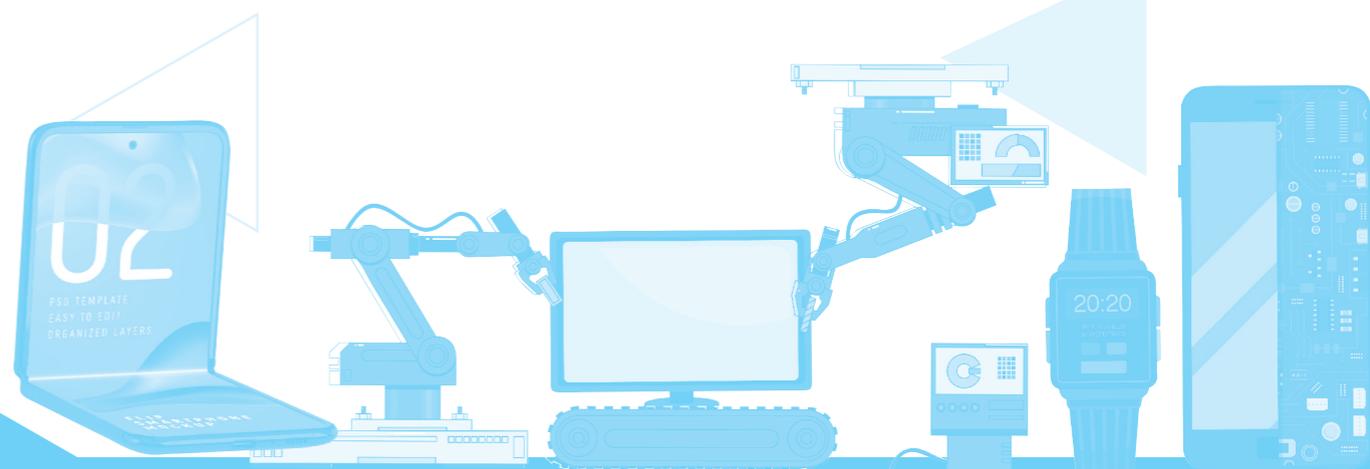
## 結語

本彙編收錄之技術及案例，可應用於光電產業溫室氣體排放量比重高之系統或設備，多項技術不僅可單一方面運用，其節能手法亦可應用在其他系統或設備（如設備群控、變頻設備調載、熱回收應用等）；惟參採時仍須考量個案適用性，應依廠內整體系統現有設備運轉情形及製程需求等條件，進行經濟層面、技術層面及工程層面上之改善規劃與效益評估，並考慮大數據收集及 AI 應用機器學習等方式，讓 AI 最佳化運轉更順暢，同時達到節能目的。

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

# 光電業 低碳製程技術彙編

## ▶ 參考文獻

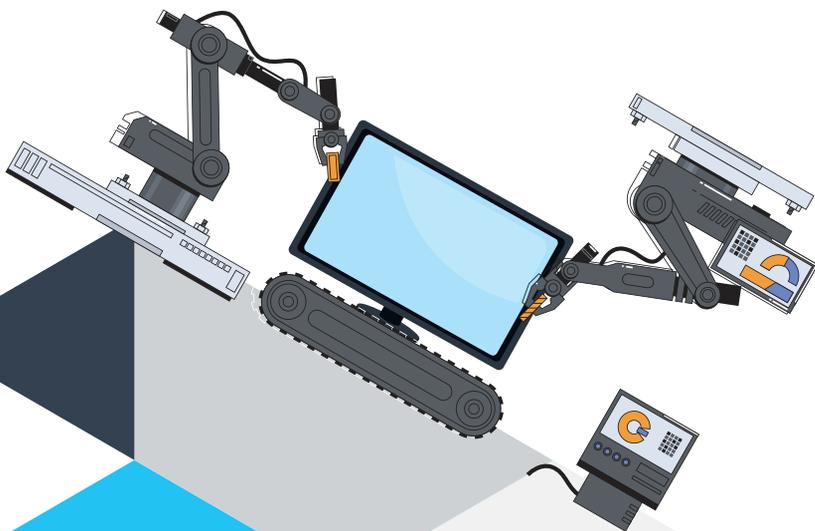




## 參考文獻

- [01] 行政院主計處，行業標準分類第 10 次修訂。
- [02] 2019 生產性質能源查核年報，經濟部能源局，2019 年 12 月。
- [03] 108 工業部門能源查核與節能輔導推廣計畫，經濟部能源局，2020 年 2 月。
- [04] 李傑 (Jay Lee)，工業人工智慧，2019 年。
- [05] 葉憶陳，電子廠房無塵室氣流組織模擬及實踐，2018 年。
- [06] 賴永貞，半導體廠 CDA 系統節能對策與分析，2015 年。
- [07] 沈宗福等，電子廠廠務真空機變頻節能實務，2009 年。
- [08] 2019 電子零組件暨顯示器產業年鑑，工研院產業科技國際策略發展所，2020 年 5 月。
- [09] EN 1822:2009 High efficiency air filters, 2009.





**IDB** 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