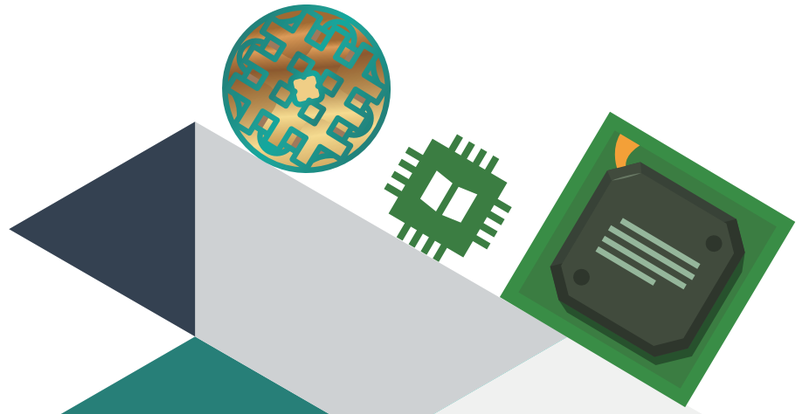


INDUSTRIAL DEVELOPMENT BUREAU,
MINISTRY OF ECONOMIC AFFAIRS
經 濟 部 工 業 局

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

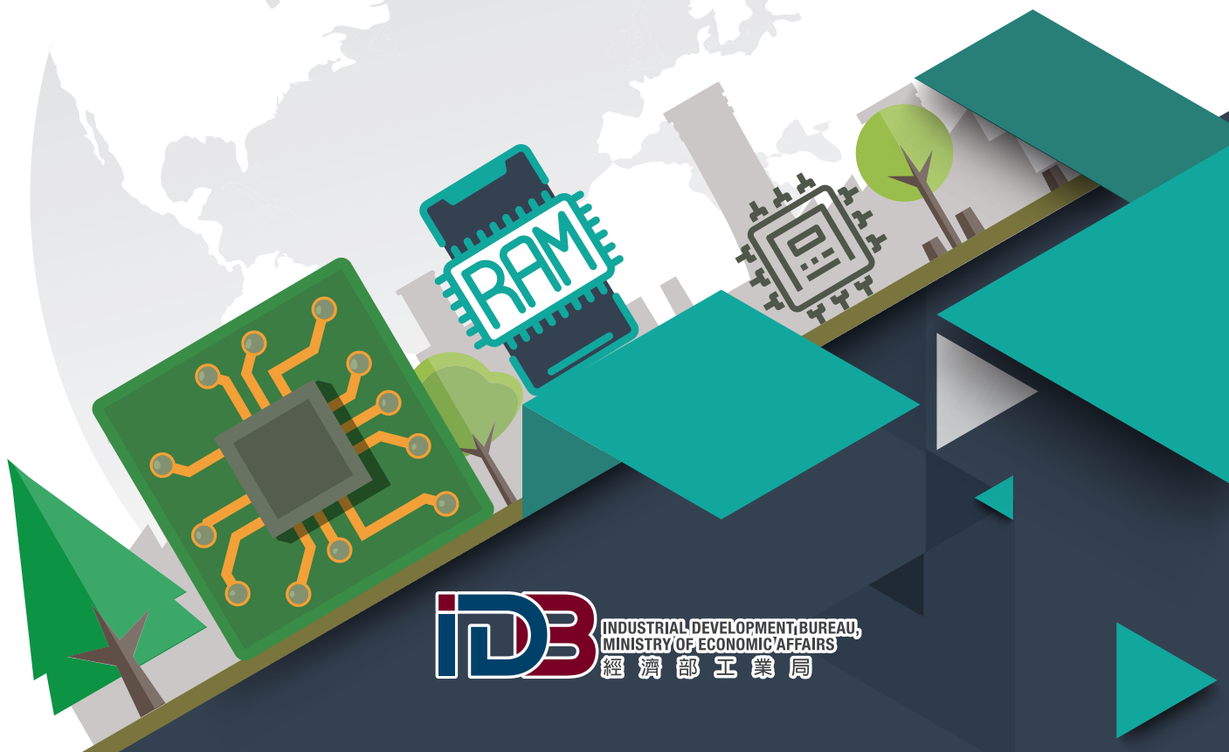
經濟部工業局廣告

半導體業 低碳製程技術彙編

經濟部工業局 編印

經濟部

半導體業
低碳製程技術彙編



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

半導體業
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 ---- 13
2.3 未來發展方向及面臨問題 ---- 15
三、低碳製程技術及設備 ---- 21
3.1 製程冰水系統運用 AI 節能最佳化控制技術 ---- 21
3.2 製程空調系統節能技術 ---- 24
3.3 冷卻水塔散熱風扇效率提升技術 ---- 27
3.4 不斷電系統（UPS）節能技術 ---- 30
3.5 熱泵熱回收技術 ---- 33
3.6 空壓系統節能技術 ---- 36
四、低碳製程技術及設備實務應用案例 ---- 43
4.1 製程冰水系統運用 AI 節能最佳化控制技術案例 ---- 43
4.1.1 案例廠應用簡介及技術概要 ---- 43
4.1.2 改善方案執行過程 ---- 43
4.1.3 成效分析與節能減碳效益 ---- 45
4.2 製程空調系統節能技術案例 ---- 47
4.2.1 案例廠應用簡介及技術概要 ---- 47
4.2.2 改善方案執行過程 ---- 48
4.2.3 成效分析與節能減碳效益 ---- 48
4.3 冷卻水塔散熱風扇效率提升技術案例 ---- 50
4.3.1 案例廠應用簡介及技術概要 ---- 50
4.3.2 改善方案執行過程 ---- 51
4.3.3 成效分析與節能減碳效益 ---- 52
4.4 不斷電系統（UPS）節能技術案例 ---- 55
4.4.1 案例廠應用簡介及技術概要 ---- 55
4.4.2 改善方案執行過程 ---- 55
4.4.3 成效分析與節能減碳效益 ---- 56
4.5 熱泵熱回收技術案例 ---- 57
4.5.1 案例廠應用簡介及技術概要 ---- 57
4.5.2 改善方案執行過程 ---- 57
4.5.3 成效分析與節能減碳效益 ---- 59
4.6 空壓系統節能技術案例 ---- 61

4.6.1 案例廠應用簡介及技術概要 ---- 61
4.6.2 改善方案執行過程 ---- 63
4.6.3 成效分析與節能減碳效益 ---- 64

結語 ---- 69

參考文獻 ---- 73

圖目錄

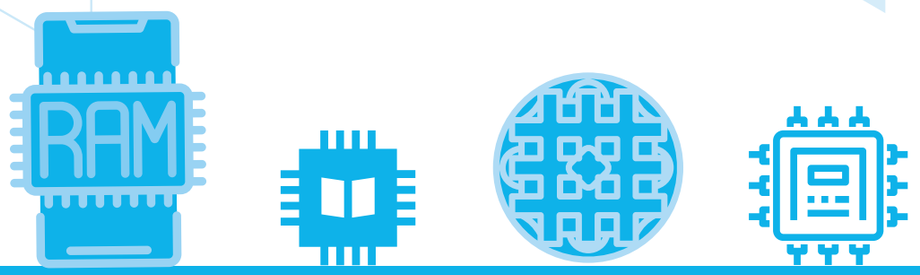
圖 2.1-1 台灣 IC 產業鏈 ---- 7
圖 2.1-2 台灣 IC 產業區域聚落現況 ---- 9
圖 2.1-3 台灣 IC 產業結構 ---- 10
圖 2.1-4 2016 年電機電子業能源大用戶電力消費結構 ---- 11
圖 2.1-5 電機電子業電力密集度與電力生產力變動趨勢 ---- 12
圖 2.1-6 電機電子業歷年節能量與節能率變動趨勢 ---- 13
圖 3.1-1 製程冰水系統運用 AI 節能最佳化控制技術示意圖 ---- 22
圖 3.2-1 空調系統流程圖 ---- 24
圖 3.2-2 典型潔淨室空調系統循環示意圖 ---- 25
圖 3.2-3 空調氣側之改善分析圖 ---- 25
圖 3.2-4 空調系統節能流程示意圖 ---- 26
圖 3.4-1 UPS 節能模式 ---- 31
圖 3.4-2 UPS 節能 / 非節能效率比較 ---- 31
圖 3.5-1 大氣取熱式熱泵示意圖 ---- 34
圖 3.6-1 典型空壓系統示意圖 ---- 36
圖 3.6-2 典型空氣需求示意圖 ---- 37
圖 4.1.2-1 冰水系統流程 ---- 44
圖 4.1.3-1 製程冰水系統改善前後數值迴歸 ---- 45
圖 4.2.1-1 製程空調系統熱整合示意圖 ---- 47
圖 4.3.1-1 FRP 高效節能扇葉與傳統 FRP 或鋁合金扇葉比較 ---- 51
圖 4.3.2-1 扇葉量測位置示意圖 ---- 52
圖 4.3.3-1 冷卻水塔節能風扇圖片 ---- 54
圖 4.5.2-1 水平式水洗機改善前運作示意 ---- 58
圖 4.5.2-2 水平式水洗機改善後 ---- 58
圖 4.5.3-1 熱泵改善圖片 ---- 59
圖 4.6.1-1 變頻控制與其他控制方式比較圖 ---- 61
圖 4.6.1-2 變頻空壓機工作流程圖 ---- 62
圖 4.6.1-3 特性曲線示意圖 ---- 63
圖 4.6.3-1 空壓系統節能技術之節能量 ---- 64
圖 4.6.3-2 空壓系統節能技術圖片 ---- 64

表目錄

表 2.1-1 中華民國行業標準分類 - 半導體產業 ---- 8
表 2.1-2 台灣半導體產業之各細項產值 ---- 10
表 3.3-1 一般常用材料性質比較 ---- 28
表 3.5-1 不同熱源產生熱水之熱值比較 ---- 34
表 4.1.3-1 製程冰水系統運用 AI 節能最佳化控制技術之節能量 ---- 45
表 4.2.3-1 製程空調系統熱整合之節能量 ---- 48
表 4.3.1-1 FRP 高效節能扇葉與傳統 FRP 或鋁合金扇葉比較 ---- 50
表 4.3.2-1 改善前後扇葉盤面積及有效通風面積 ---- 52
表 4.3.3-1 改善前後實際測量計算結果 ---- 53
表 4.3.3-2 冷卻水塔散熱風扇效率提升技術之節能量 ---- 53
表 4.4.2-1 導入節能技術前的不斷電系統損耗 ---- 55
表 4.4.2-2 導入節能技術後的不斷電系統損耗 ---- 55
表 4.5.3-1 熱泵熱回收技術之節能量 ---- 59

半導體業低碳製程技術彙編

一、前言



一、前言

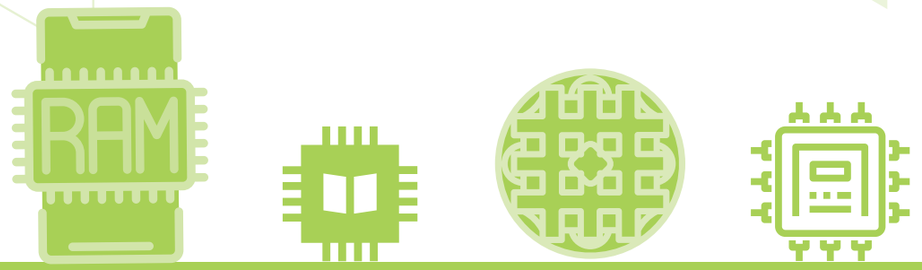
《溫室氣體減量及管理法》已於民國 104 年 7 月 1 日總統令公布施行，明定「國家溫室氣體長期減量目標為民國 139 年溫室氣體排放量降為民國 94 年溫室氣體排放量百分之五十以下。」及以 5 年為一期的階段管制目標。同年，行政院核定我國「國家自定預期貢獻」(Intended Nationally Determined Contribution, INDC) 書，揭示我國 INDC 設定民國 119 年溫室氣體排放量為依現況發展趨勢推估情境 (Business as Usual, BAU) 減量 50%，該目標相當於民國 94 年排放量再減 20%，亦為前述溫管法要求的階段性目標「在民國 139 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。

本彙編針對半導體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。

半導體業低碳製程技術彙編

▶二、產業特性與發展趨勢

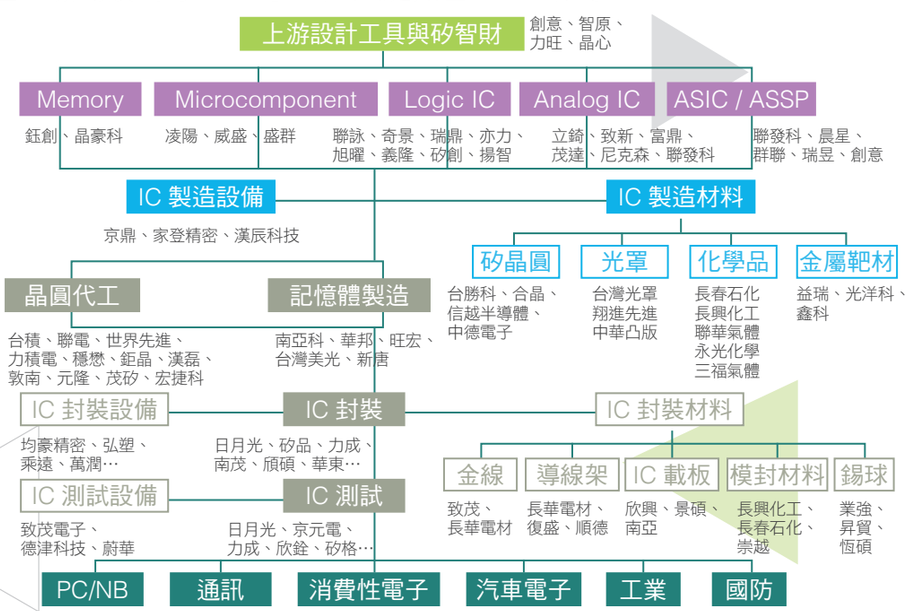


二、產業特性與發展趨勢

2.1 產業簡介

1. 半導體產業範疇

台灣擁有全球最完整的半導體產業聚落及專業分工，積體電路 (Integrated Circuit, IC) 設計公司在產品設計完成後，委由專業晶圓代工廠或整合型半導體廠 (Integrated Design and Manufacture, IDM，部分自行生產部分委外代工) 將晶圓材料製作成晶圓半成品，經由前段測試，再轉給專業封裝廠進行切割及封裝，最後由專業測試廠進行後段測試，測試後之成品則經由銷售管道售予系統廠商裝配生產成為系統產品。除上述之 IC 設計、製造、封測，產業結構亦包含上游晶圓材料、光罩、化學品、導線架、基板與周邊支援性產業如製程、檢測設備等。台灣 IC 產業鏈如圖 2.1-1 所示。



資料來源：2019 半導體產業年鑑，工研院產業科技國際策略發展所，2019 年 7 月
2019 年台灣產業地圖，工研院產業經濟與趨勢研究中心，2018 年 10 月

圖 2.1-1 台灣 IC 產業鏈

根據行政院主計處的中華民國行業標準分類，「半導體製造業」（261）下細類產業包括積體電路製造業、分離式元件製造業、半導體封裝及測試業，而積體電路設計產業屬「工程服務及相關技術顧問業」（7112），相關行業標準分類如表 2.1-1 所示。

表 2.1-1 中華民國行業標準分類 - 半導體產業

分類編號 - 行業名稱及定義	
小類	**細類**
261 半導體製造業： 從事半導體製造之行業，如積體電路（IC）及分離式元件製造；半導體封裝及測試亦歸入本類。	2611 積體電路製造業： 從事晶圓、光罩、記憶體及其他積體電路製造之行業。
	2612 分離式元件製造業： 從事分離式元件製造之行業，如二極體、電晶體、閘流體、積體電路引腳架、二極體及電晶體專用導線架等製造。
	2613 半導體封裝及測試業： 從事半導體封裝及測試之行業。
711 建築、工程服務及相關技術顧問業： 從事建築、工程服務及其相關技術顧問之行業。	7112 工程服務及相關技術顧問業： 從事工程服務及相關技術顧問之行業；測量及非建築工程製圖服務亦歸入本類。

資料來源：行政院主計處，行業標準分類第 10 次修訂

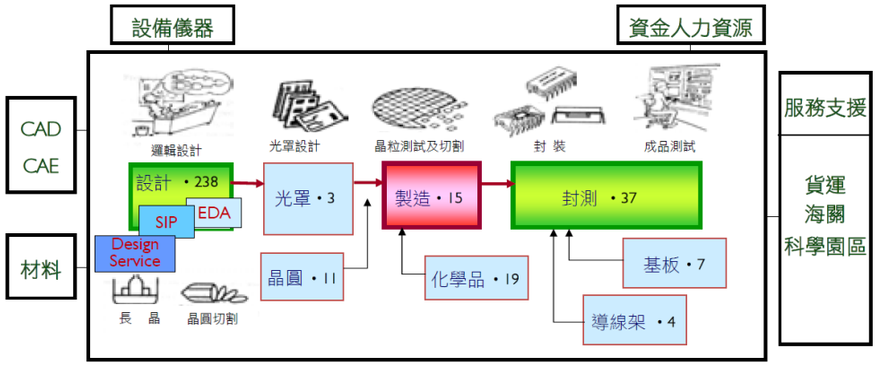
2. 半導體產業現況

台灣電子產業發展迄今已近 40 年，從 1970 年間政府全力主導半導體技術引進，以及早期推動個人電腦（PC）組裝和周邊零組件標準化，衍生出完整電子產業生態鏈，在產業高度群聚效應推動下，已在全球電子產業站穩關鍵性地位，並累積堅強原始設備生產商（Original Equipment Manufacturer, OEM）／原始設計製造商（Original Design Manufacturer, ODM）研發與製造實力。

台灣半導體 IC 產業聚落分布聚集於西部一帶，如圖 2.1-2 所示，我國 IC 製造產業總部或公司多集中於新竹、桃園兩地，其中尤其以新竹科學工業園區占最大比重，而公司位於台北市、新北市、竹北市地區之公司類型以 IC 設計為主。雖然我國主要 IC 製造公司的總部位於竹科，但在晶圓廠的分布上，逐漸增加在中科及南科的產能規模，可分散因天災受損而造成的潛在風險，平衡用電量並促進北、中、南均衡發展及人才開發。另外，高雄市之廠商多以 IC 封裝業務為主。統計 2018 年台灣半導體 IC 產業的廠家分布，IC 設計業者有 238 家、晶圓製造公司 15 家、封測公司 37 家、光罩公司 3 家、基板廠商 7 家、導架生產廠商 4 家、晶圓材料廠商 11 家。台灣 IC 產業結構如圖 2.1-3 所示。

資料來源：2019 半導體產業年鑑，工研院產業科技國際策略發展所，2019 年 7 月

圖 2.1-2 台灣 IC 產業區域聚落現況



資料來源：2019 半導體產業年鑑，工研院產業科技國際策略發展所，2019 年 7 月

圖 2.1-3 台灣 IC 產業結構

2019 年半導體業產業在產品終端應用市場需求轉弱、中美貿易戰陰霾未除、消費行為改變、半導體供應鏈調整時間拉長、行業競爭程度加劇等因素左右之下，導致我國半導體業產值年增率由 2018 年的 6.40% 減緩至 0.06%，近乎為持平的態勢，但表現依舊高於全球明顯衰退的格局。台灣半導體產業之各細項產值如表 2.1-2 所示。

表 2.1-2 台灣半導體產業之各細項產值

單位：億元、%

項目	2017 年	2018 年			2019 年（E）		
	金額	金額	比重	年增率	金額	比重	年增率
IC 設計業	6,171	6,413	24.48	3.92	6,711	25.60	4.65
IC 製造	13,682	14,856	56.70	8.58	14,547	55.49	-2.08
晶圓代工	12,061	12,851	49.05	6.55	13,060	49.82	1.63
記憶體及其他製造	1,621	2,005	7.65	23.69	1,487	5.67	-25.84
IC 封裝業	3,330	3,445	13.15	3.45	3,443	13.13	-0.06
IC 測試業	1,440	1,485	5.67	3.13	1,513	5.77	1.89
IC 產業產值	24,623	26,199	100.00	6.40	26,214	100.00	0.06

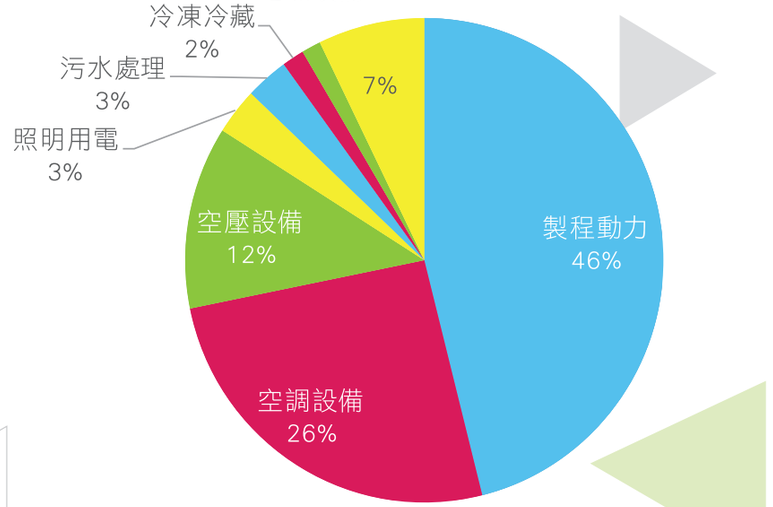
註：（E）表示預估值（Estimate）。

資料來源：國內外半導體市場分析與前瞻之探討，台灣經濟研究院產經資料庫，2019 年 10 月 23 日

3. 產業能源結構及能源效率

依據經濟部能源局能源查核申報歸類，半導體產業屬「電機電子業」之類別中，產業的能源耗用主要以電能為主，約占行業整體能耗的 95.3%。以能源局「生產性質行業能源查核申報系統」資料庫之樣本為估算基礎，2017 年我國電子業（僅含電子零組件業、以及電腦與電子產品業，不包括電機業）的電力總消費量約達 477 億度電，約占工業部門 33.8%，全國的 18.3%，為工業部門最大電力消費產業。若從次行業觀之，以晶圓代工業的用電占比最高（約占 29.9%），其次依序為 TFT LCD 面板業（23.4%）、IC 封測業（9.3%）、記憶體（DRAM 與 Flash 7.9%）、印刷電路板業（7.8%）。

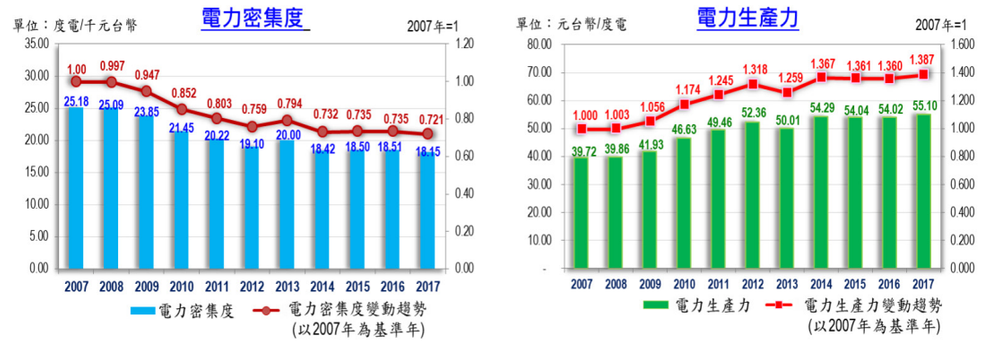
根據能源局「2017 生產性質能源查核年報」統計，2016 年 825 家電機電子業能源大用戶用電共 478 億度，其電力消費結構如圖 2.1-4 所示，耗能較多之設備為首要節能目標。



資料來源：2017 生產性質能源查核年報，經濟部能源局，2017 年 12 月

圖 2.1-42016 年電機電子業能源大用戶電力消費結構

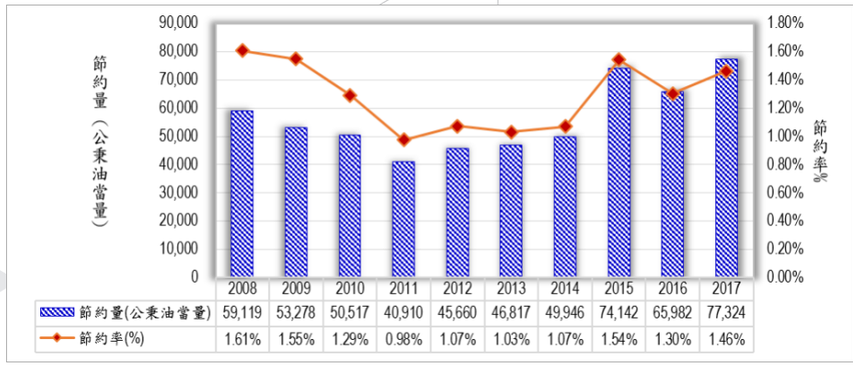
在電力使用效率方面，因電機電子業能源用戶積極且持續推動節電措施奏效下，行業用電量雖逐年成長，但電力使用效率大幅改善。如圖 2.1-5 所示，2017 年電力密集度 (以 GDP 為基底) 為 18.15 度 / 仟元台幣，較前一年下降 2.0%；綜觀 2008 年 ~2017 年間 (以 2007 年為基準年) 電力密集度年均下降 3.2%，改善幅度達 28%。此外，2017 年電力生產力為 55.1 元台幣 / 度，較 2016 年上升 2%，主要因素是 IC 晶圓廠的 10 奈米 (或少量 7 奈米) 先進製程產品，在營收與獲利的貢獻度或增強力道上已漸顯著，因而使得每單位用電量所產生的附加價值已逐漸展現亮麗成績。長期而言 (2008 年 ~2017 年)，電子業電力生產力則有 3.3% 的年均複合成長幅度。



資料來源：107 工業部門能源查核與節能輔導推廣計畫，經濟部能源局，2019 年 1 月

圖 2.1-5 電機電子業電力密集度與電力生產力變動趨勢

依據「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，2008 年電機電子業能源用戶各類能源節約量達到 5.9 萬公秉油當量後，至 2014 年皆呈現量縮的情形。主要是因為金融海嘯之後帶動的景氣復甦，促使業者轉而投注在先進製程的導入與擴廠計畫，因此對節能投資轉趨保守所致。後隨著 2014 年、2015 年陸續公告與實施節能相關法規，廠商積極配合進行設備汰舊換新或操作調整，使得 2015 年至 2017 年的年度節能量有一波成長。2016 年因天災 (台南大地震) 導致南科部分節能工程延宕執行。而 2017 年電機電子業的節電量再達 7.7 萬公秉油當量 (年成長率 17%)，年度節電量為 7.7 億度電。根據能源局「2017 年生產性質能源查核年報」統計，電機電子業能源大用戶於 2015 年及 2016 年實際投資 57.6 億元及 35.7 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。



	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
節約量(公秉油當量)	59,119	53,278	50,517	40,910	45,660	46,817	49,946	74,142	65,982	77,324
節約率(%)	1.61%	1.55%	1.29%	0.98%	1.07%	1.03%	1.07%	1.54%	1.30%	1.46%

資料來源：107 工業部門能源查核與節能輔導推廣計畫，經濟部能源局，2019 年 1 月

圖 2.1-6 電機電子業歷年節能量與節能率變動趨勢

2.2 主要製程特性

半導體產業涵蓋範圍包含材料、設備、周邊技術、設計、製造、封裝、測試及相關服務支援等，產業鏈範圍相當廣。以下簡述說明半導體產業上、中、下游之製程特性。

1. 半導體產業鏈上游

半導體產業鏈上游包含智財 (Intellectual Property, IP) 設計、IC 設計業，及晶圓材料、光罩、化學品、導線架、基板與周邊支援性產業如製程、檢測設備等。

IC 產品的源頭來自 IC 設計，IP 為 IC 設計的智慧財產權，IP 開發流程包

含 IP 設計與 IP 驗證，在 IC 設計中，共用 IP 核心可以有效縮短產品開發週期並降低成本，因應需求的多變性，現今 IC 設計大幅增加了許多功能，因此必須運用既有的驗證有效 IP 元件，以滿足縮短上市前置時間的要求。但是，由於功能要求與技術製程的差異，各公司必須提供的 IP 種類太多，因此產生專門提供 IP 設計服務之公司。IC 設計使用 CAD 等輔助工具，將客戶或自行開發產品的規格與功能，藉由電路設計由 IC 表現出來，就是如何將一片晶片的功能從邏輯設計到晶圓設計之流程。IC 可簡單區分為類比 IC 與數位 IC 兩大類。全球 IC 設計產業重心已轉向行動裝置領域，主要由美國、台灣與中國為大宗。

2. 半導體產業鏈中游

IC 製造的流程是將晶圓廠所做好的晶圓，以光罩印上電路基本圖樣，再以氧化、擴散、化學氣相沉積 (Chemical Vapor Deposition, CVD)、蝕刻、離子植入等方法，將電路及電路上的元件，在晶圓上製作出來。由於 IC 上的電路設計是層狀結構，因此還要經過多次的光罩投入、圖形製作、形成線路與元件等重複程序，才能製作出完整的積體電路。台灣 IC 製造業者在台積公司先進製程技術上的發展下，仍領先群雄。

3. 半導體產業鏈下游

IC 封裝是將加工完成的晶圓，經切割過後的晶粒，以塑膠、陶瓷或金屬包覆，保護晶粒以免受污染且易於裝配，並達成晶片與電子系統的電性連接與散熱效果。IC 測試則可分為兩階段，一是進入封裝之前的晶圓測試，主要測試電性。另一則為 IC 成品測試，主要在測試 IC 功能、電性與散熱是否正常，以確保品質。台灣 IC 封裝與測試產業，穩坐全球之冠，隨著 IoT 應用興起，台灣 IC 封裝與測試業者持續布局高階封裝與異質整合技術，拉大與競爭業者之差距。

2.3 未來發展方向及面臨問題

1. 產業發展動向

2020 年我國半導體製造業銷售值年增率將可擺脫 2019 年的衰退態勢轉為小幅成長格局，除了記憶體市場供過於求的情況將獲得改善，使得記憶體價格優於 2019 年之外，主要是受惠於新興科技領域拉抬半導體需求動能將漸趨顯著，同時台積公司 7 奈米及 5 奈米將進入量產階段，可持續拉抬我國先進製程的接單狀況；但受限於美中貿易戰打亂半導體供應鏈及對半導體所造成需求下滑的間接衝擊隱憂，加上中國實現半導體行業的國產替代依舊是中國中長期的戰略目標，代表政府對半導體領域投入和支持將有增無減，同時韓國政府也積極發展系統半導體策略與願景，其中目標之一即是積極搶攻晶圓代工版圖，故預計 2020 年我國本產業銷售值成長力道仍相對有限。

2. 未來發展趨勢

半導體產業對全球及台灣節能減碳效益有很大的效益，由人工智慧（Artificial Intelligence,AI）、物聯網（Internet of Things,IoT）、以及 5G 無線通訊所開啟的智慧導向經濟模式，如智慧交通、智慧製造、智慧建築等，核心均為半導體元件。由端、網、雲、系統整合、應用服務所組成的智慧系統領域，可顯著提升製造業與服務業資源生產力並降低能源密集度。台灣藉由半導體及製造業所奠定的硬體優勢，加上掌握 AI、巨量資料、物聯網等軟性發展商機，進而建構完整的軟硬整合系統服務或 Total Solution 模式，是台灣迎合全球循環經濟與永續發展趨勢的契機。

在微縮技術的持續發展下，半導體元件大幅提升運算效能，搭配著雲端科技、行動裝置、高速運算與演算法則，各種智能應用產品充斥於生活之中。半導體產業不僅於產品生產製程積極推行著各項節能減碳等措施，盡可能達到綠色製造與綠色供應鏈的綠色產業，也因先進技術使得資通訊科技產品的的低能耗特性，進而產出提升能源使用效率的終端綠色產品，促使各行各業朝向低碳化發展。面對氣候變遷與環境永續的挑戰，半導體業持續推行綠色

製造，並以綠色產品帶動各產業朝向低碳永續的未來邁進。

3. 產業面臨問題

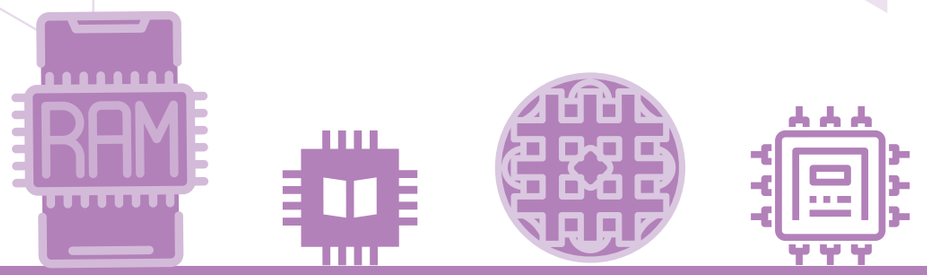
半導體製造是高度依賴電力的產業，在產業蓬勃發展的同時尋找各種節能方法來提升能源使用效率。由源頭減少用電需求，並且讓運轉的能源使用效率最佳化，利用最先進的科技，攜手上下游廠商持續努力尋找節能機會、投資節能設備，目前台灣半導體業的單位產品面積耗電量相較於製程技術相仿的美國、韓國、日本是最低的，未來期望以推動建置能源管理系統（ISO 50001）、安裝含氟溫室氣體排放削減設備，與供應商合作開發節能設計之設備，達成全面性自主節能減碳目標。

依據政府制訂包含節電要求與促進再生能源發展等能源政策，考量我國地理環境及土地面積所能建置之綠能發電設備，目前再生能源發電量遠低於電子業之需求，如何在發展的同時朝向低碳綠色製造與環境永續發展的目標前進，成為產業未來關注之重點。

NOTE

半導體業低碳製程技術彙編

三、低碳製程技術及設備



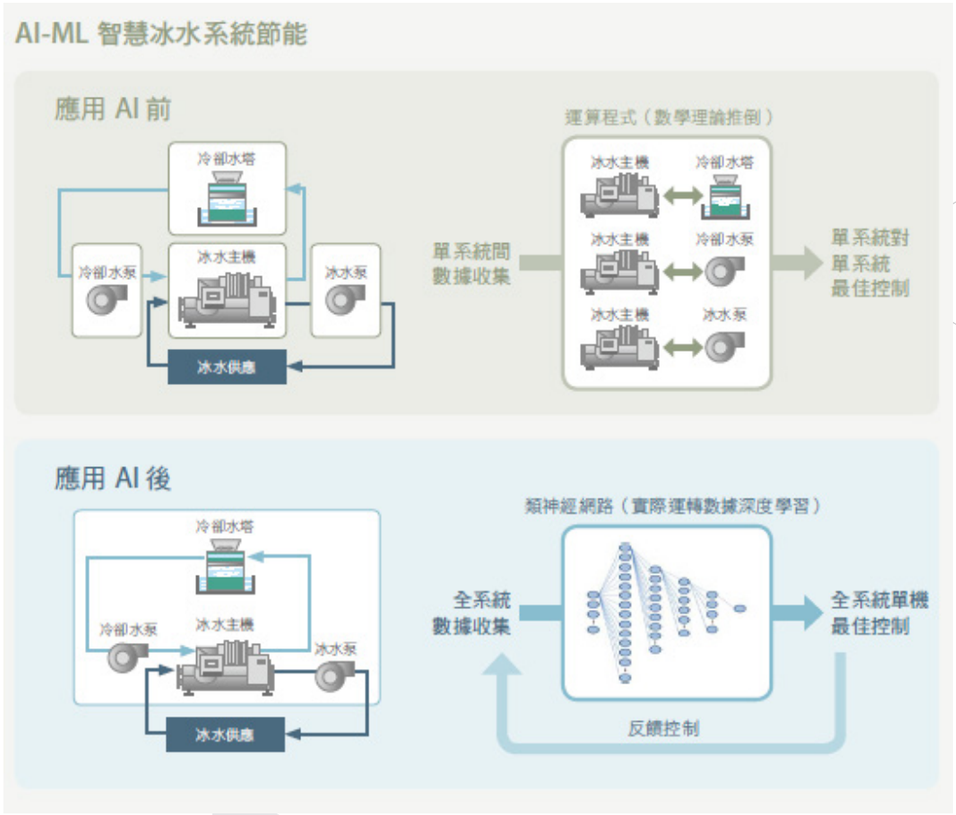
三、低碳製程技術及設備

3.1 製程冰水系統運用 AI 節能最佳化控制技術

冰水系統的功能在於穩定且有效率的循環冰水主機與負載間的循環冰水，以維持廠房及製程設備的正常運作。對於半導體產業而言，製程冰水系統運作之能耗占整廠用電很大的比例，如何有效提升其能源效率為非常重要的一環。應用大數據分析可分析出全系統最佳效能運轉機制，並運用人工智慧（Artificial Intelligence, AI）與機器學習（Machine Learning, ML）之技術，使得理論與實際運轉之誤差最小化，進一步開發 AI 節能最佳化控制技術，達到整體能源效率再提升，並可快速複製模式擴散強化企業競爭力。

1. 技術應用原理方式

冰水系統由冰水主機及冰水泵、冷卻水泵、冷卻水塔、熱回收等基礎設備所組成，各設備運轉能耗及其效率受溫度變化而影響。除了單一設備改善的傳統方式，應用大數據分析可運算出「冰水系統最佳化節能控制程式」，進一步考量了整體冰機系統、動態調整冰水與冷卻水溫度，並依據不同的外氣狀況及現場負載自動調整至「最佳節能點」。而為了再次突破節能效益，運用「冰水系統最佳化節能控制程式」所產生的巨量運轉資料，透過機器學習的類神經網路演算法建立全新的模型架構，自數千個相關參數找到數十個關鍵參數，在數百萬筆數值模型訓練期間，反覆不斷探索參數之間的交互關係與權重，可依據機台運轉老化年限、管路配置差異、非線性系統等因素動態調整參數，根據當下關鍵參數即時決定最佳省能溫度的新版冰水系統能耗預測模型，精準管控系統最佳效能。製程冰水系統運用 AI 節能最佳化控制技術如圖 3.1-1 所示。



資料來源：台灣積體電路製造股份有限公司

圖 3.1-1 製程冰水系統運用 AI 節能最佳化控制技術示意圖

2. 技術特點與優勢

AI 節能最佳化控制技術有下特點：

(1) 節省時間：AI 演算法架構開發定型後，每個廠區可根據本身的關鍵參數訓練出適合該廠區 AI 節能模型，演算法不須重新開發，且每個廠區訓練模型時間不超過 1 小時。

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

3. 應考慮因素與限制

本技術規劃設計應考慮因素包括：

(1) 確認感測器（sensor）所收數值正確；

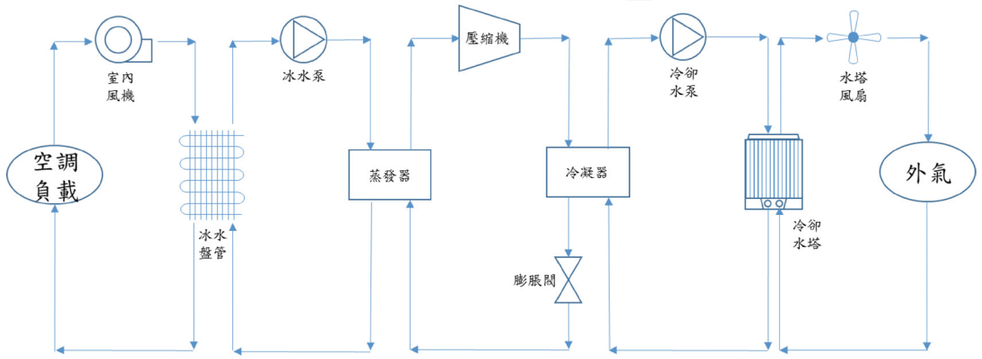
(2) 確認資料流的流暢（網路暢通）；

(3) 中央伺服器的計算能力要能負荷模型大量的計算以及即刻性，否則冰水系統無法即時最佳；

(4) 完善的系統失效處理程序。

3.2 製程空調系統節能技術

空調系統以機械力（馬達）推動空氣、水與冷媒，相互熱交換進行能量（熱能）搬運，達到合適之溫、濕度條件，其系統由眾多組件如空調箱、水泵、冰水主機與冷卻水塔組合而成，如圖 3.2-1 所示。然而因能量交換與傳遞皆會損耗，如管路保溫逸散、電能與熱能轉換等，其熱負載於循環中逐漸放大。因此越靠近室內空調負載的環節進行改善，其連帶效益越發顯著。

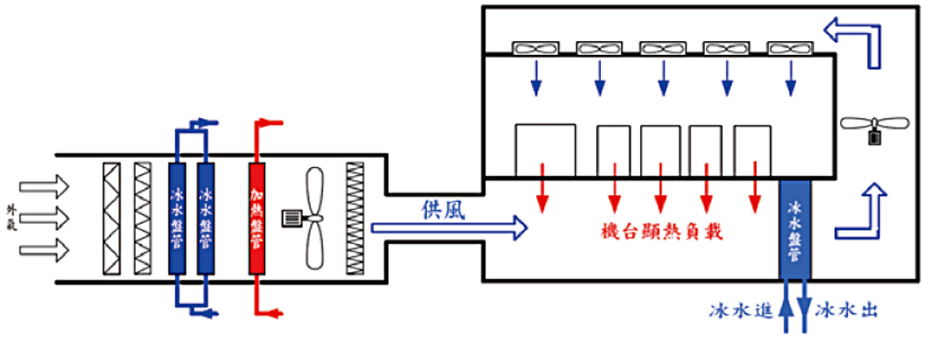


資料來源：空調系統空氣側節能應用技術指引，2017 年

圖 3.2-1 空調系統流程圖

1. 技術應用原理

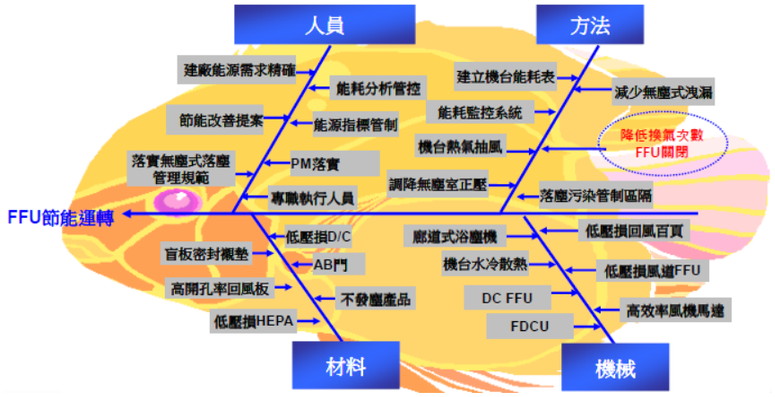
以一般半導體業常見之無塵室空調為例，其操作流程為空氣於進入無塵室後，先吸收室內之熱負載（以機台之顯熱負荷為主），而後通過冰水乾盤管降低溫度，再透過風扇濾網機組（Fan Filter Unit,FFU）供應至室內使用，如圖 3.2-2 所示。因此其節能之重點集中於空氣側及水側系統簡述說明如下：



資料來源：電機電子業節能應用技術

圖 3.2-2 典型潔淨室空調系統循環示意圖

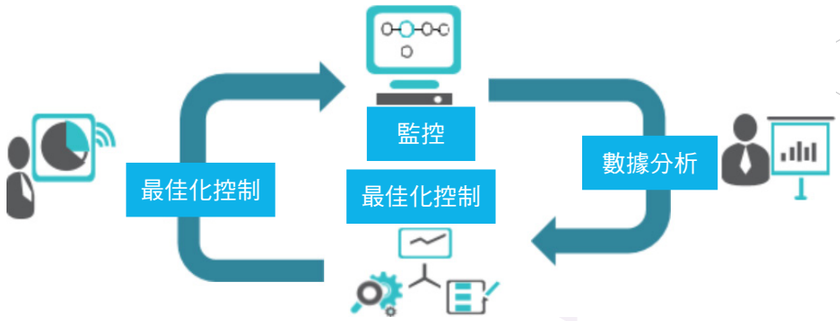
(1) 空調氣側之供應改善：檢視廠區無塵室落塵等級需求，評估現場實際 FFU 運轉需求並測試調整出風量，尋找機台顯熱偏低之區域，進行風速調整，其中須注意無塵室（Clean room, CR）內部氣流流向，如有關閉之 FFU 其上方風扇需進行氣密，防止氣流短流。另透過空壓機冷卻水取代電熱器進行回溫之熱能再利用達到節能效果。空調氣側之改善分析如圖 3.2-3 所示。



資料來源：日月光半導體製造股份有限公司

圖 3.2-3 空調氣側之改善分析圖

⑵ 空調水側之供應系統優化：執行裝設溫度計與壓差計、確認檢測系統供應極限、設備操作參數設定、模擬測試驗證、提高冰水供應溫度、監控數據收集比對與回推驗證，空調系統節能流程示意如 3.2-4 所示。



資料來源：日月光半導體製造股份有限公司

圖 3.2-4 空調系統節能流程示意圖

2. 技術特點與優勢

空調能耗佔比高其減量績效相對大，若以 PLC 與設備 / 現場環境調整其所需投入成本不高，從操作與控制管理尋求改善機會，以投資回收成本考量下具有優勢。

3. 應考慮因素與限制

本技術規劃設計應考慮因素包括：現場環境（如無塵室之溫濕度）需求。

3.3 冷卻水塔散熱風扇效率提升技術

高科技半導體產業是相當耗能的產業，國內半導體業蓬勃發展使用電量屢創新高，在不影響生產的前提下，設備節能以降低運轉成本的工作相當重要。冰水系統占半導體廠耗電分佈高，且冰水系統包含了冰水主機與冷卻水塔，因為冷卻水溫度高低會影響冰水主機效率，冷卻水溫度升高 1℃會造成冰水主機耗電量增加 2 %；若冷卻水溫度下降 1℃則冰水主機耗電量減少 2 %，但對於冷卻水塔而言，降低冷卻水出水溫度勢必增加冷卻水塔的耗電量，如何使冷卻水塔出水溫度達成要求，又可有效降低冷卻水塔的耗電量，為應用冷卻水塔散熱風扇效率提升技術的契機。

1. 技術應用原理

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。

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。一般常用材料性質比較如表 3.3-1 所示，影響風扇能耗與效能之因素簡述如下：

⑴ 扇葉設計：扇葉數量、形狀及尺寸、厚度、弧度、扭曲度及葉片切入角度，均會影響風量及風壓；

⑵ 扇葉重量：重量越輕馬達負荷越小，但需考慮扇葉強度是否符合運轉所需；

(3) 材質鏽蝕程度與表面摩擦損耗：扇葉表面鏽蝕及扇葉摩擦損失較大時會產生風阻增加馬達負荷。

表 3.3-1 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℃ + 45℃ 50：50 with Vf=60%	CFRP laminated as GRP with Vf=60%	
						HT	HM
抗張強度（N/mm^2）	100	350	800	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

2. 技術特點與優勢

冷卻水塔散熱風扇效率提升技術有下特點：

(1) 節能：在不影響現有設備之風量輸出情況下，採用高效率複合材料葉片，可提升風扇運轉效率，能耗降低達 15% 以上；

(2) 降低變速箱的負荷：扇葉對變速箱的負荷低於鋁合金風扇，可沿長變速箱的運轉年限；

(3) 提升風扇效率：依空氣動力學設計可達成至 86% 運轉效率；

(4) 保養容易：風扇之設計可降低保養周期，減少關機時間及保養成本，且扇葉角度可調整；

(5) 降低噪音量：有良好的平衡及抗震動特性，材質表面密合度佳故表面摩擦力非常小，扇葉旋翼設計可降低所產生之噪音。

3. 應考慮因素與限制

本技術規劃設計應考慮因素包括：

(1) 設備操作環境（溫溼度）；

(2) 現有設備規格、扇葉尺寸、風罩結構形式；

(3) 需求風量、風壓、轉速、馬力值；

(4) 風扇葉片外型、角度、數量、強度等。

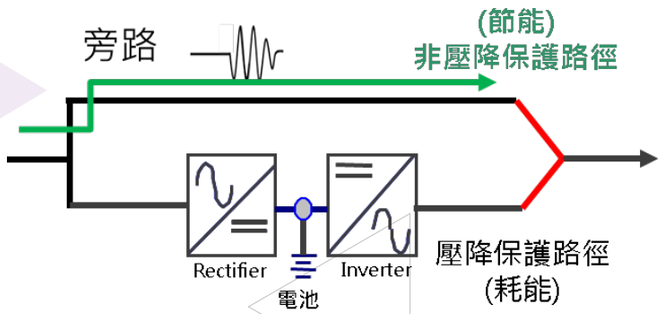
3.4 不斷電系統（UPS）節能技術

隨著半導體製程快速成長，半導體設備對於供電品質的要求益發嚴峻，不斷電系統（Uninterruptible Power System, UPS）在廠務供電中的重要性與日俱增。然而，UPS 為了維持不間斷的穩定電源供應，部分的能量在 UPS 內部轉換過程中損失，造成額外的能源浪費，即便各廠區已使用高效率的 UPS，但仍約有 5% 左右的進步空間。在不影響 UPS 供電可靠度與安全性的前提下，若將現有 UPS 運轉於節能模式，可將 UPS 轉換效率由原本約 94% 提升至 99%，換算起來每台 450KVA 的 UPS 可節省 15kW 的功率損耗。以一個標準 12 吋半導體廠為例，啟用 UPS 節能模式後，每年約可節省 19 百萬度電相當於廠區用電的 4%，並約減少 10,604 公噸排碳量，對於節能減碳計畫之貢獻不容小覷。

1. 技術應用原理

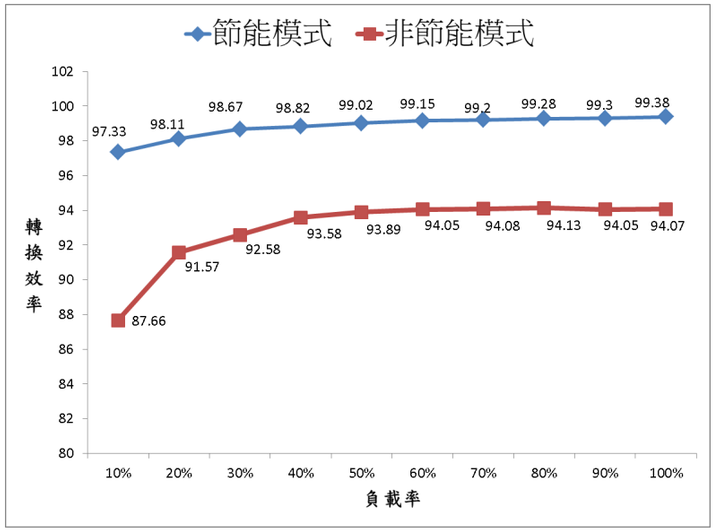
不斷電系統（UPS），顧名思義，即持續提供穩定電力給受保護的主機台設備，此為廠務的重要使命，讓電力品質維持相當程度可靠度及不受外力影響，避免受到電力波動影響。UPS 原理是將台電端交流電透過整流器（Rectifier）將其轉至直流電，同時將轉換來直流儲存於電池模組中，再透過逆變器（INV）將直流轉換成交流電，提供給設備端穩定電源使用。然而，UPS 為維持穩定電源供應，部分的能量在 UPS 內部轉換過程中損失，造成額外的能源浪費。

因此，在導入 UPS 節能模式後 （圖 3.4-1），當台電正常供電時 UPS 運作於非壓降保護路徑，不經過 UPS 內部整流器及逆變器，可減少因轉換過程所造成的損失。在 UPS 運轉於節能模式下，UPS 轉換效率將由原本約 94% 提升至 99% （圖 3.4-2）；並且希望在台電壓降發生時，仍可立即切換至壓降保護路徑，提供設備端穩定電源使用。



資料來源：台灣積體電路製造股份有限公司

圖 3.4-1 UPS 節能模式



資料來源：台灣積體電路製造股份有限公司

圖 3.4-2 UPS 節能 / 非節能效率比較

不論是在外部市電供應不穩、電壓異常，或是 UPS 內部原件故障造成的電壓異常情形，UPS 的功能就是提供穩定的電壓供應。故從節能模式切換至不斷電模式，並維持不斷電保護下游負載不受壓降影響；以及因 UPS 內部故障造成 UPS 需從節能模式避開不斷電模式直接轉跳至旁路模式，隔離 UPS 內部故障點並維持輸出供電等的功能可靠度是非常重要的。因此，UPS 在節能模式下，準確判斷壓降的驗證極為重要，也是半導體電子業是否能廣泛使用此節能模式的關鍵。

UPS 壓降測試項目通過國際半導體標準壓降測試、非線性負載壓降測試、歷年廠區失效案例加嚴測試等項目共計 116 項，部分項目並於國際壓降標準驗證項目中引入第三方驗證權威 UL 實驗室參與驗證，提升對於 UPS 驗證結果之信心，依此結果全面啟用 UPS 節能模式，來積極響應節能環保政策。

2. 技術特點與優勢

不斷電系統節能技術有下特點：

(1) 提供設備端穩定電源使用，不受台電壓降影響；

(2) 通過國際半導體標準的壓降測試項目共 18 項；

(3) 通過非線性負載壓降測試項目共 14 項；

(4) 通過公司歷年失效案例加嚴測試項目共 84 項；

(5) 首次引入第三方驗證權威 UL 實驗室參與驗證。

3. 應考慮因素與限制

本技術規劃設計應考慮因素包括：

(1) UPS 型號是否能安裝壓降判斷邏輯；

(2) UPS 負載使用率（竹科等區域負載率高節能成效大）。

3.5 熱泵熱回收技術

半導體產業鏈之製程有熱水需求，傳統以電或瓦斯、柴油等燃料加熱，若以大氣熱能或回收製程系統廢餘熱加以利用，能有效提升能源使用效率，並減少原有加熱系統之能源使用，達到節能減碳之目的。

3.5.1. 技術應用原理

依熱源之型態，可分成空氣源、水源、地熱源及太陽輻射源等四種，熱源說明如下：

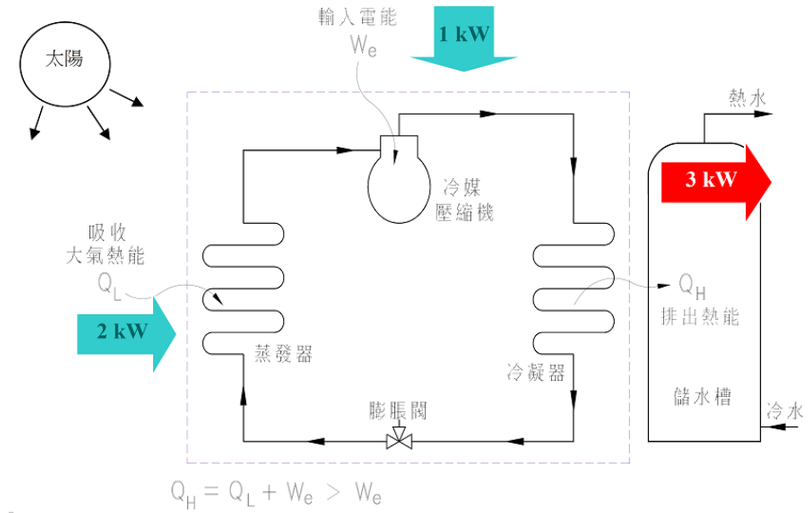
(1) 空氣對空氣取熱型：如大氣、冷房；

(2) 水對水取熱型：如空調系統冷卻水（冰水機廢熱）、製程廢熱水（無塵室）、空調冰水（冷房）等；

(3) 地熱源型：如地下水、地底；

(4) 雙熱源型：太陽輻射源與大氣熱源型

由能量不滅原理，熱泵在移出熱能（QL）的過程中，最後被排出並收集應用的熱能（QH）會高於輸入電能（We）的好幾倍（約三到六倍）。以大氣取熱式熱泵為例，輸入 1kW 電能並吸收大氣熱能 2kW，可以獲得 3kW 的熱能，如圖 3.5-1 所示。



資料來源：熱泵熱水系統 Q&A 節能技術手冊

圖 3.5-1 大氣取熱式熱泵示意圖

熱泵是吸取大氣熱能或回收系統廢熱加以利用，產生熱水的低碳節能技術，與不同熱源產生熱水熱值比較如表 3.5-1 所示。一般應用之熱泵制熱效率之性能係數（Coefficient of Performance,COP），視其機型、設備大小有所差異，COP 值以空氣對水熱泵及水對水熱泵為例大致如下：

(1) 空氣對水熱泵製熱效率 COP 約 3.5~6.3， 受外在空氣溫度影響變化；

(2) 水對水熱泵製熱效率 COP 約 3.8~6.0，受熱水槽及冰水溫度設定變化。

表 3.5-1 不同熱源產生熱水之熱值比較

加熱設備	熱值		平均 COP	產出熱值	
電熱水器	860	仟卡 / 度	0.9	774	仟卡 / 度
液化瓦斯熱水器	12,000	仟卡 / 公斤	0.75	9,000	仟卡 / 公斤
柴油鍋爐熱水器	8,816	仟卡 / 公升	0.75	6,612	仟卡 / 公升
天然瓦斯熱水器	8,942	仟卡 / 度	0.75	6,707	仟卡 / 度
小型熱泵熱水器	860	仟卡 / 度	2.6	2,236	仟卡 / 度
大型熱泵熱水器	860	仟卡 / 度	3.6	3,096	仟卡 / 度

資料來源：熱泵熱水系統 Q&A 節能技術手冊

2. 技術特點與優勢

熱泵熱回收技術有下特點：

(1) 熱泵 COP 高，可大幅降低加熱設備能源使用量。一般估計節約率在 50~75% 左右，能源之轉換氣溫只要高於 5℃就能製造熱水；

(2) 耗電量小，節省原設備較高之燃料及操作保養（如鍋爐）等費用；

(3) 製熱水同時能提供冷氣、除濕、空氣之濾清；

(4) 安全性高無燃燒，不造成空氣污染且減少二氧化碳排放。

3. 應考慮因素與限制

本技術規劃設計應考慮因素包括：

(1) 系統整合：與原系統如何做結合，設置位置及材質選用，取熱及排冷是否容容易、是否平衡，保溫桶之噸數、數量是否影響建築結構，壓差如何，施工障礙與安全性等；

(2) 取熱來源：熱源來源及條件，是否可擷取現有之廢餘熱氣或水；

(3) 熱水需求：需求溫度、流量、壓力設計等，以冬季需求量較多為基準；

(4) 排冷利用：可利用於機房、冷凍空調之吸風端或其他需要改善溫度之處，徹底使用餘冷；

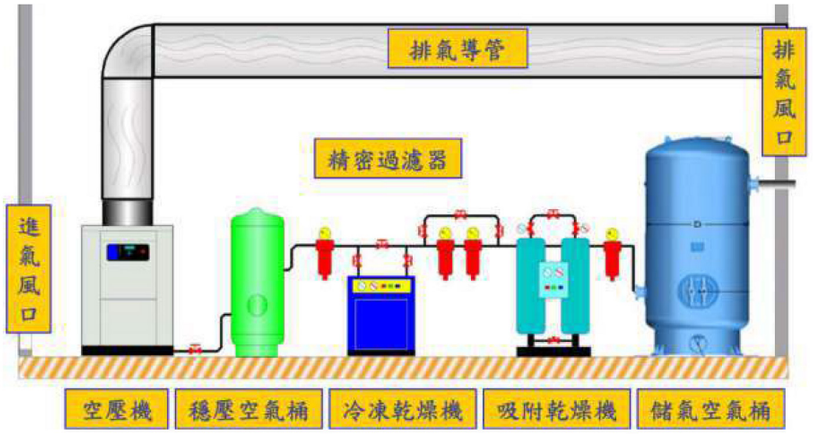
(5) 水質：不良的水質容易產生水垢影響系統製熱效能，水分之石灰質超過限度時需考慮加裝水質處理裝置。

3.6 空壓系統節能技術

在半導體產業運用上，空壓系統是製程中相當重要的一環，根據不同製程需求與環境條件設計之空壓系統，控制調整系統最佳化，以穩定的壓力、合理的系統壓降與適當的品質，提供製程端需求並達到節能之目的。

1. 技術應用原理

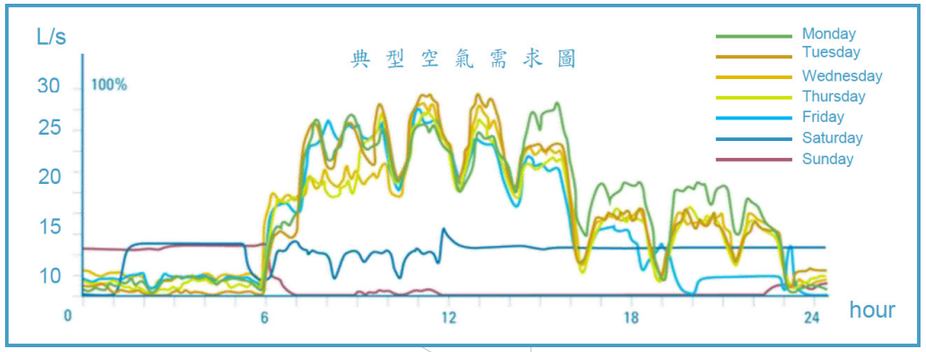
為提供氣動設備及製程所需之高壓空氣，通常需設置空壓系統，其主要元件包含空氣壓縮機、冷卻器、儲氣槽、乾燥設備及輸送管線等，典型空壓系統如圖 3.6-1 所示。空壓系統節能技術簡述如下：



資料來源：壓縮空氣系統能源查核及節約能源案例手冊

圖 3.6-1 典型空壓系統示意圖

(1) 壓縮空氣系統控制最佳化：典型空氣需求示意圖如 3.6-2 所示，傳統定頻空壓機使用加載（Load）/ 卸載（Unload）控制壓力造成能源浪費，若空壓系統以多機連鎖控制，並採用變頻空壓機來取代多機連鎖後僅剩的空車副機，可使系統壓力穩定，達到節能的效果；



資料來源：Atlas copco 公司

圖 3.6-2 典型空氣需求示意圖

(2) 最佳化運轉效率調整：建立空壓系統之監控，隨時掌控空壓系統實際耗能狀況及各主機性能效率，並可依負載狀況，調配以高效率之空壓機優先運轉方式，降低空壓機系統整體耗能（機台效率以 0.11 kWh/m^3 較佳）；

(3) 現場操作壓力合理化：現場操作壓力建議依使用情形，於合理情況下逐步調降供氣壓力，藉以降低空壓系統耗能 （調降 1kg/cm^2 約可減少 6~8% 耗電量）；

(4) 汰換無耗氣式乾燥機：多數電機電子業採無熱式吸附乾燥機，相關乾燥機在再生時排放（purge）壓縮空氣量理論上約在 17%，唯現場排放量通常高達 25%~40%。建議以加熱式或熱回收式零排放吸附乾燥機取代，以有效減少壓縮空氣排放量，並可降低壓力之波動；

(5) 空壓機之洩漏調整：空壓系統產生空氣洩漏之主要原因，通常為冷凝水排放方式不當、快速接頭與噴嘴處接合不良、以及排放管線之閥件直接以全開排放冷凝水等，建議選擇無耗氣式祛水器，使在排水時而不會排氣，降低非必要的洩漏損失；

(6) 空壓機冷卻水系統調整：大部分空壓機之冷卻均使用冰水進行冷卻，於溫度為 6℃進水情況下，易造成過冷之現象，對空壓機本身或管線

會產生腐蝕現象。以一般常溫冷卻水進行冷卻即可；

(7) 空壓機冷卻系統廢熱回收：可加裝空壓機廢熱回收設備（回收溫度約為 40℃），作為外氣空調箱或其他需要熱水之設備使用；

(8) 配管調整：部份電機電子業因產能增加，進而增設空壓機，造成原使設計管徑不足，導致管路壓損增加，進而降低空壓機效率，可進行管徑調整改善；

(9) 進氣品質改善：可於機房外建置「自潔式進氣室」，將冷空氣直接供給空壓機作為入氣口，進而降低進氣溫度並減少壓差，提高空壓機進氣之空氣質量。

2. 技術特點與優勢

正確的診斷評估並利用節能技術改善製程空壓系統，達到精確的壓力控制、減少無效之耗能及轉換損失等以提高空壓系統能源使用效率，在提供製程端需求同時達到節能之目的。

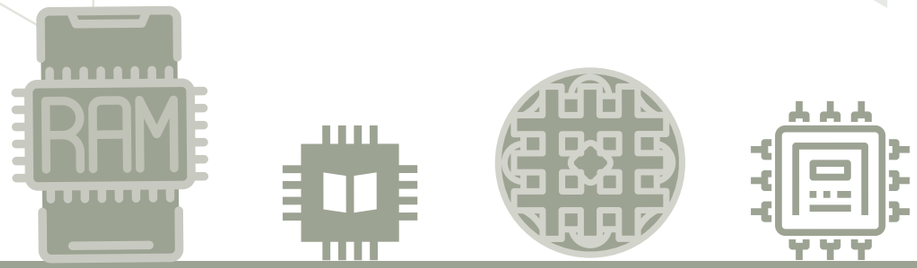
3. 應考慮因素與限制

本技術規劃設計時應檢視各製程負載需求，由專業規劃人員評估調整，才能達到運轉節能最大效益。

NOTE

半導體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 製程冰水系統運用 AI 節能最佳化控制技術案例

4.1.1 案例廠應用簡介及技術概要

1. 案例廠應用簡介

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

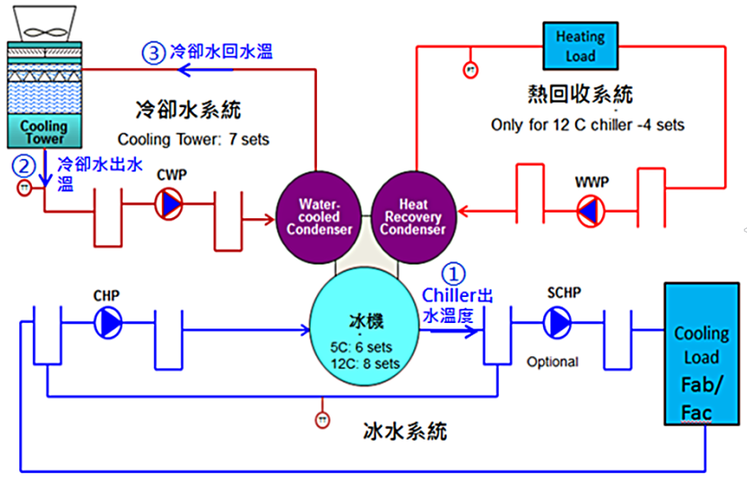
2. 技術概要

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

4.1.2 改善方案執行過程

1. 單元改善前情境說明

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



資料來源：案例廠提供

圖 4.1.2-1 冰水系統流程

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

2. 單元改善後情境說明

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

4.1.3 成效分析與節能減碳效益

1. 導入製程冰水系統運用 AI 節能最佳化控制技術之節能量

改善前後數值迴歸如圖 4.1.3-1 所示。節能量如表 4.1.3-1 所示。

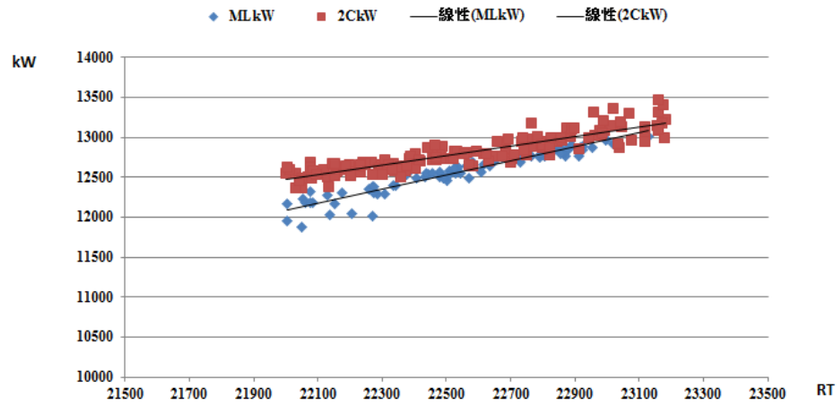


圖 4.1.3-1 製程冰水系統改善前後數值迴歸

表 4.1.3-1 製程冰水系統運用 AI 節能最佳化控制技術之節能量

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

註 1：正負 2℃模式時 Y / X = 0.5713(所有 kW 值加總 / 所有 RT 值加總，如圖 4.1.3-1 中紅點)
註 2：AI-ML 模式時 Y / X= 0.5591 (所有 kW 值加總 / 所有 RT 值加總，如圖 4.1.3-1 中藍點)

節能率：（0.5713-0.5591）kW/RT÷ 0.5713kW/RT×100% = 2.13%

2. 投資效益

案例廠製程冰水系統運用 AI 節能最佳化控制技術之改善

- 投資金額：約 300 萬元。
- 每年節電量：約 3,300 萬 kWh。
  （以年運轉時數 8,000 小時 / 年計算）
- 節電率：約 2.13%。
- 節能績效：約 9,900 萬元 / 年。
- 減碳量：17,424 公噸 CO_2/ 年。
- 回收年限：約 0.03 年。
  （1kWh= 3 元計，以經濟部能源局 104 年公告電力排放係數 0.528 kg-CO_2e/ kWh 計）

4.2 製程空調系統節能技術案例

4.2.1 案例廠應用簡介及技術概要

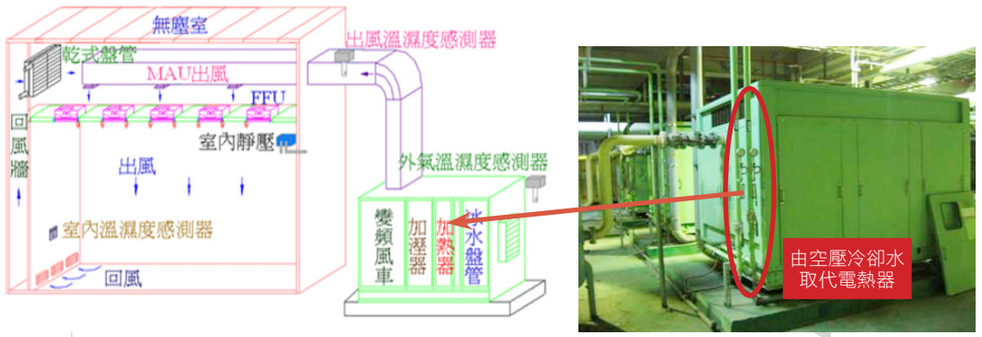
1. 案例廠應用簡介

案例廠從事半導體封裝，主要以生產覆晶封裝產品為主，其產品廣泛被用於 PC 周邊、行動通訊與車用電子等。應用廠務空壓熱源循環利用降低能源使用，可有效將低製程空調系統能耗。

2. 技術概要

由外氣空調箱（Make up Air Unit, MAU）透過送風系統來管控無塵室濕度，但因為除濕過程中會造成溫度下降，過冷的空氣又會連帶影響化學濾網失效，以及溫濕度異常的情況發生。故在作業流程中，會有一段利用電加熱的方式來管控送風溫度，此再加熱過程造成了能源的浪費。

盤查評估廠內空壓機在壓縮的過程中產生大量熱能，透過水冷方式將熱源帶出達到降溫之目的。以其熱源提供給空調系統使用，可達到加熱需求，取代空調系統之加熱器，能源整合結果可將整體系統運作效率達到最高並減少能源耗用。製程空調系統熱整合如圖 4.2.1-1 所示。



資料來源：案例廠提供

圖 4.2.1-1 製程空調系統熱整合示意圖

4.2.2 改善方案執行過程

1. 單元改善前情境說明

改善前案例廠內的無塵室，都是由 MAU 空調箱透過送風系統來管控溫濕度，並利用電加熱的方式來管控送風溫度；而空壓機熱能透過冷水方式降溫，過程的能量轉換皆會造成能源的浪費。

2. 單元改善後情境說明

評估可將廠內空壓系統的熱能供應給空調系統使用，並進行詳細的熱負荷計算，包含熱回收系統跟空調熱量需求評估，尤其注意冬天溫度較低時空壓機冷卻水的溫度是否足夠，或需要另外再導入電能加熱，以避免溫度不足造成製程作業停擺。

以案例廠 13 樓作為改善示範標的，透過更改線路將空壓機冷卻後所排出的高溫熱水，直接取代原先空調箱所使用的電熱器，不僅可以節省加熱電力使用，同時也減少冷卻水塔散熱所產生的能耗。

4.2.3 成效分析與節能減碳效益

1. 設置製程空調系統熱整合之節能量

改善後之節能量如表 4.2.3-1 所示。

表 4.2.3-1 製程空調系統熱整合之節能量

13F 空調總用電	13F 電熱外用電	13F 電熱用電
4,250,857 kWh / 年	3,552,805 kWh / 年	698,052 kWh / 年
1 年節省電費 =1 年電熱電量 × 平均電力單價（$2.7）		$1,884,740 元 / 年
設備投資金額		$1,562,152 元

2. 投資效益

案例廠製程空調系統熱整合之改善

- 投資金額：156 萬元。
- 每年節電量：698,052kWh。
- 節能績效：約 188 萬元 / 年。
- 減碳量：372 公噸 CO_2/ 年
- 回收年限：約 0.83 年。

（1kWh= 2.7 元計，以經濟部能源局 107 年公告電力排放係數 0.533kg-CO_2e/ kWh 計）

4.3 冷卻水塔散熱風扇效率提升技術案例

4.3.1 案例廠應用簡介及技術概要

1. 案例廠應用簡介

案例廠為 ROM 唯讀記憶體、NOR 型快閃記憶體以及 NAND 型快閃記憶體製造廠商，廠區冷卻水塔總計 28 台，因應生產需求冷卻水塔全年度運轉不停機，原有水塔扇葉為鋁合金材質，冷卻水塔扇葉建廠至今已使用 20 年，扇葉本體已有鏽蝕狀況，經評估後引進 FRP 高效節能扇葉技術，並逐年進行更新作業。

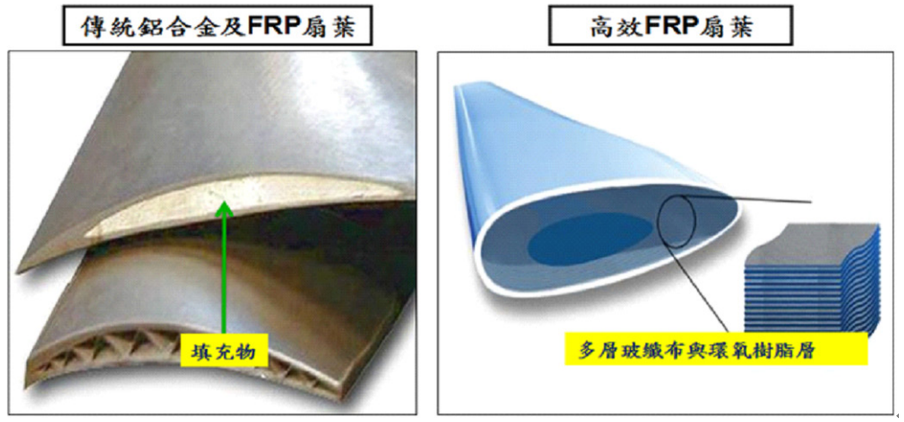
2. 技術概要

在不影響現有設備之風量輸出情況下，採用高效率複合材料葉片，提升風扇運轉效率，FRP 高效節能扇葉與傳統 FRP 或鋁合金扇葉比較如表 4.3.1-1 及圖 4.3.1-1 所示，其輕量化特殊結構及流體力學設計，可使風扇效能提升。

表 4.3.1-1FRP 高效節能扇葉與傳統 FRP 或鋁合金扇葉比較

項目	高效扇葉	一般扇葉 FRP	鋁合金扇葉
風扇效能	81%-90%	56%~70%	56%-65%
設計原理	依流體力學專案製作	固定模具開模鑄入	固定壓模製鑄
扇葉結構	高質料玻纖布及環氧樹脂	樹脂與玻纖絲或玻纖布混合	鋁合金
扇片內部設計	中空（較輕）	中空設計及內部填充物	全部實體（較重）
變速箱負荷	輕度	一般	重度
節能保證	至少 15% -25%	無	無
耐用度	至少 10 年	視原料等級及運轉環境	2-3 年即有邊際蝕損
表面磨擦	低摩擦係數（因表面塗佈技術）	視表面塗佈原料等級	材質氧化鏽蝕後即產生
熱變形抗力	高（至少 180 度以上）	視樹脂等級而定	無
扇葉前緣保護	經由加強環氧樹脂塗佈達成	視有無前緣加強塗布而定	無
磨蝕 / 抗氧化	高	換視原料等級而定	低
扇葉替換	僅需置換單葉	大部份為成對置換	大部份為成對置換

資料來源：案例廠提供



- 傳統 FRP 扇葉結構為樹脂層混入玻纖絲。
- 葉片為發泡填充物。
- 葉片表面無塗佈處理。

- 高效 FRP 扇葉結構為多層玻纖布與環氧樹脂熱固膠合成。
- 葉片為中空結構。
- 葉片表面特殊塗佈處理。

資料來源：案例廠提供

圖 4.3.1-1 FRP 高效節能扇葉與傳統 FRP 或鋁合金扇葉比較

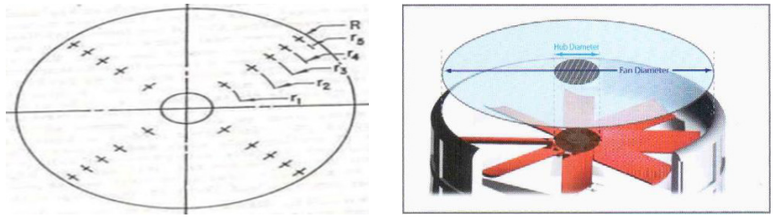
4.3.2 改善方案執行過程

1. 單元改善前情境說明

原有水塔扇葉為鋁合金材質，冷卻水塔扇葉建廠至今已使用 20 年，扇葉本體已有鏽蝕狀況。

2. 單元改善後情境說明

風扇葉片材質由鋁合金材質改善為 FRP 高效節能扇葉，量測改善前後冷卻水塔出風面積及扇葉盤面積量測平均風速計算風量。風量量測方式及量測位置依據美國冷卻水塔協會（Cooling Technology Institute, CTI） PAPER# TP62-06 “FIELD TESTS OF FAN PERFORMANCE ON INDUCED DRAFT COOLING TOWERS”所建議之說明進行量測，每個扇葉量測 20 個點，其量測位置如圖 4.3.2-1 所示。



資料來源：案例廠提供

圖 4.3.2-1 扇葉量測位置示意圖

其中 At 為出風面積，Ah 為扇葉盤（HUB）面積，將所量測之風速平均值後，乘上有效出風面積可得總出風量。At=11.09 m^2，改善前後扇葉盤面積及有效通風面積如表 4.3.2-1 所示。

表 4.3.2-1 改善前後扇葉盤面積及有效通風面積

扇葉材質	扇葉盤面積	扇葉盤直徑	扇葉有效通風面積
舊有鋁合金	Ah= 0.46 m^2	0.765m	11.09 -0.46 = 10.63 m^2
新設高效 FRP	Ah= 0.44 m^2	0.75m	11.09 -0.44 = 10.65 m^2

4.3.3 成效分析與節能減碳效益

1. 設置冷卻水塔散熱風扇效率提升技術之節能量

改善前後實際測量計算結果如表 4.3.3-1 所示，更換前平均耗電量約為 58.16kW、更換後平均耗電量 42.84kW （@60Hz）。案例廠自 2015 年引進 FRP 高效扇葉至今已更換 15 台，改善後之節能量如表 4.3.3-2 所示，改善後之照片如圖 4.3.3-1 所示。

表 4.3.3-1 改善前後實際測量計算結果

10-1(60HZ)

更換前

風速測試

	P1	P2	P3	P4
R1	5.4	6.2	0.6	3.9
R2	11.5	11.1	5.1	7.7
R3	14.5	15	8.9	13.2
R4	13.8	14.9	13.4	14.7
R5	10.2	8.9	12.6	10

通風面積：10.63m^2
平均風速：10.08sec
風量總計：385,741CMH

耗電量測試

耗電量　58.16 kW，電流值　70.8A

更換後

風速測試

	P1	P2	P3	P4
R1	7.2	6.7	4.2	4.9
R2	11.3	9.9	8.9	8.6
R3	13.6	13.3	14.9	14.5
R4	13.8	14.2	13.3	14.5
R5	7.3	6.9	9	7.9

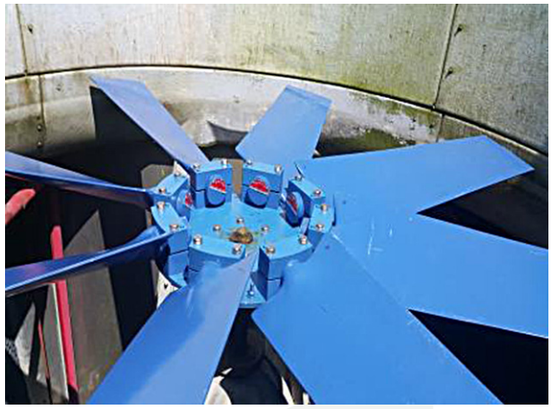
通風面積：10.65m^2
平均風速：10.245sec
風量總計：392,793CMH

耗電量測試

耗電量　42.84 kW，電流值　52A

表 4.3.3-2 冷卻水塔散熱風扇效率提升技術之節能量

施工年份	機台編號	60HZ 改善後 耗電量下降（%）	40HZ 改善後 耗電量下降（%）
2015	CT 12-1	22.62%	20.43%
	CT 12-2	25.67%	23.74%
	CT 13-2	25.03%	26.99%
	CT 12-1	20.84%	24.24%
	CT 14-2	29.35%	28.12%
2016	CT 6-1	23.05%	23.30%
	CT 6-2	27.25%	21.74%
	CT 7-1	20.18%	23.76%
	CT 8-1	22.40%	24.13%
	CT 8-2	20.93%	25.66%
	CT 10-2	20.53%	20.69%
	CT 11-1	22.56%	20.63%
2017	CT 13-1	22.53%	22.54%
2018	CT 9-2	37.87%	37.51%
	CT 10-1	26.30%	23.62%
平均耗電量下降		24.67%	24.47%



資料來源：案例廠提供

圖 4.3.3-1 冷卻水塔節能風扇圖片

2. 投資效益

案例廠冷卻水塔散熱風扇效率提升技術之改善

- 投資金額（單台）：37.5 萬元。
- 每年節電量（單台）：約 131,400 kWh。
  （以年運轉時數 8,760 小時 / 年計算）
- 節電率：約 24.67%。
- 節能績效（單台）：約 31.8 萬元 / 年。
- 減碳量（單台）：70 公噸 CO_2/ 年。
- 回收年限（單台）：約 1.2 年。
  （1kWh= 2.369元計，以經濟部能源局107年公告電力排放係數0.533 kg-CO_2e/ kWh 計）

4.4 不斷電系統（UPS）節能技術案例

4.4.1 案例廠應用簡介及技術概要

1. 案例廠應用簡介

案例廠主要從事半導體製程，一個標準 12 吋晶圓廠約使用 145 台不斷電系統維持生產設備供電品質，每日以 24 小時運作，耗電量相當可觀。

2. 技術概要

半導體廠內 145 台不斷電系統，隨機台年度保養時機，依序導入不斷電系統節能技術，以降低運轉成本。

4.4.2 改善方案執行過程

1. 不斷電系統改善前情境說明（以單台 UPS 舉例說明）

原不斷電系統損耗如表 4.4.2-1 所示。

表 4.4.2-1 導入節能技術前的不斷電系統損耗

UPS 容量（kVA）	輸入功率（kW）	輸出功率（kW）	損耗（kW）	效率（%）
450kVA	245.38	228.71	16.67	93.2

2. 不斷電系統改善後情境說明（以單台 UPS 舉例說明）

導入節能技術後，不斷電系統損耗如表 4.4.2-2 所示，可看出此 UPS 效率由 93.2% 提升到 98.9%。

表 4.4.2-2 導入節能技術後的不斷電系統損耗

UPS 容量（kVA）	輸入功率（kW）	輸出功（kW）	損耗（kW）	效率（%）
450kVA	231.83	229.21	2.62	98.9

4.4.3 成效分析與節能減碳效益

以案例廠（一個標準 12 吋晶圓廠）為例，其節能效益與成本分析如下：

1. 應用不斷電系統節能技術之節能量

全廠共 145 台不斷電系統執行該節能技術，每台執行節能效益有些許不同，因此節能量以整體系統計算。

改善前 145 台不斷電系統損耗功率：2,465.9kW

改善後 145 台不斷電系統損耗功率：280.8kW

年運作時數：8,760 小時

年節能量：（2,465.9–280.8）kW× 8,760 小時 / 年 = 19,141,476 kWh/ 年

年節能效益：19,141,476 kWh / 年 × 2.5 元 / kWh= 47,853,690 NTD/ 年 （ 1 kWh = 2.5 NTD）

2. 投資效益

案例廠不斷電系統節能技術之改善

- 投資金額：382.8 萬元。
- 每年節電量：19,141,476kWh/ 年。
  （以年運轉時數 8,760 小時 / 年計算）
- 節能績效：約 4,785.3 萬元 / 年。
- 效率提升：效率由 93.2% 提升到 98.9%。
- 減碳量：10,604 公噸 CO_2/ 年。
- 回收年限：約 0.08 年。
  （1kWh= 2.5 元計，以經濟部能源局 106 年公告電力排放係數 0.554kg-CO2e/ kWh 計）

4.5 熱泵熱回收技術案例

4.5.1 案例廠應用簡介及技術概要

1. 案例廠應用簡介

案例廠從事半導體封裝，主要生產覆晶封裝（Flip chip）產品，其產品廣泛被用於 PC 周邊與行動通訊等。藉由導入雙效熱泵至製程清洗流程，將水洗機的清洗熱水，由原本電熱加溫，改由雙效熱泵供應支援。在製程生產方面，其產線製程水洗機加熱所消耗的能源成本相當可觀，透過雙效熱泵導入的執行，能有效的節省產線製程水洗機加熱的能耗，與空調系統冰水用量。

2. 技術概要

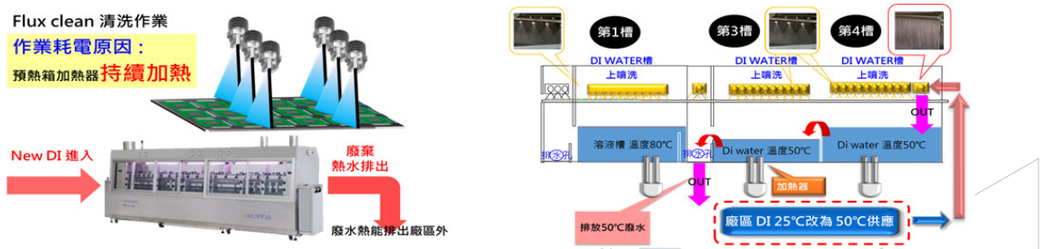
雙效熱泵加熱性能係數（COP）可達到 3 以上，導入後除供應製程產線水洗機熱水外，亦提供冰水至空調系統使用，節省冰水用量，以取代傳統電力加熱系統，節省能源及運轉費用達 1/2 以上，有效提升其運作效率，達到節能減碳之目的。

應用時因配合製程產線產品出貨的不確定性，及取得熱泵最佳操作條件，在運轉參數調整上，由原本的供冷 / 供熱模式改為供熱優先，供冷為輔，以延長熱泵運轉時間。

4.5.2 改善方案執行過程

1. 單元改善前情境說明

製程清洗機原採用電熱加熱其能耗大。運作流程如圖 4.5.2-1 所示。

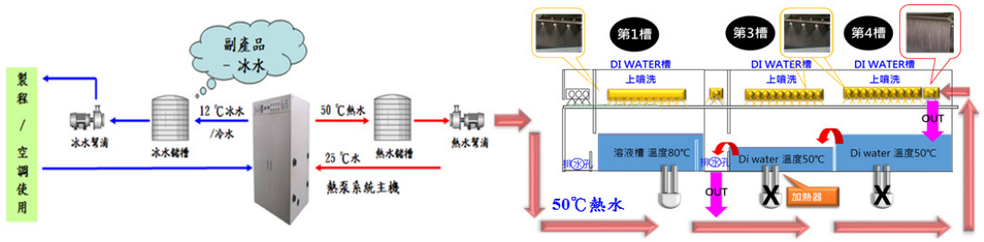


資料來源：案例廠提供

圖 4.5.2-1 水平式水洗機改善前運作示意

2. 單元改善後情境說明

水洗機由熱泵供應熱水，以降低電熱能耗，在熱泵運轉參數調整期間，為通過 DI 純水品質品保查核，及配合製程產線產品出貨，透過氮封過程以確保水質的穩定度，並將熱泵運轉模式改為供熱模式優先，以延長熱泵運轉時間，取得熱泵最佳操作條件，提供製程產線穩定清洗熱水使用。如圖 4.5.2-2 所示。



資料來源：案例廠提供

圖 4.5.2-2 水平式水洗機改善後

4.5.3 成效分析與節能減碳效益

1. 熱泵熱回收技術之節能量

改善後之節能量如表 4.5.3-1 所示。改善後之照片如圖 4.5.3-1 所示。

表 4.5.3-1 熱泵熱回收技術之節能量

水洗機電熱耗電	3,453 kWh / 日
熱泵耗電	1,083 kWh / 日
水泵耗電	107.8 kWh / 日
導入雙效熱泵節能量計算	
水洗機省電（水洗機電熱耗電 - 熱泵耗電 - 水泵耗電）	3,453kWh / 日 -1,083kWh / 日 -107.8 kWh / 日 = 2,262.2 kWh / 日 2,262.2 kWh / 日 ×364 日 / 年 = 823,440 kWh / 年
空調冰水年節省電力	28.1RT×0.6 kW / RT×24 時 / 日 ×364 日 / 年 = 147,289 kWh / 年
總節電度數（熱水 + 冰水）	823,440 kWh / 年 +147,289kWh / 年 = 970,729 kWh / 年
總減碳量	970,729 kWh / 年 ×0.528 $kgCO_2e$ / kWh ÷ 1,000kg / T= 513 TCO_2e / 年

資料來源：案例廠提供

圖 4.5.3-1 熱泵改善圖片

2. 投資效益

案例廠熱泵熱回收技術之改善

- 投資金額：約 595 萬元。
- 每年節電量：約 970,729kWh
  （以年運轉時數 8,736 小時 / 年計算）。
- 節能績效：約 233 萬元 / 年。
- 減碳量：513 公噸 CO_2/ 年。
- 回收年限：約 2.5 年。
  （1kWh= 2.4 元計，以經濟部能源局 105 年公告電力排放係數 0.528kg-CO_2e/ kWh 計）

4.6 空壓系統節能技術案例

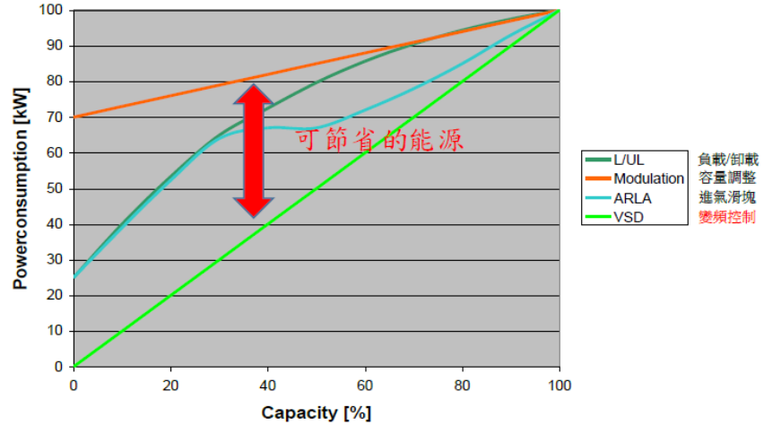
4.6.1 案例廠應用簡介及技術概要

1. 案例廠應用簡介

案例廠為半導體專業晶圓製造整合服務廠商，為 IC 產業各項主要應用產品生產晶片。廠內空壓機原先採用定頻式空壓機，經評估改善方案為將一台定頻空壓機汰換更新為變頻空壓機，以提升能源效率、減少能源耗用。

2. 技術概要

廠內空壓機原先採用傳統定頻式，為減少能源耗用評估改善方案，空壓機控制方式比較如圖 4.6.1-1 所示，評估方案為將一台定頻空壓機汰換更新為變頻空壓機，可依照實際用氣需求做可變動式負載。



資料來源：Atlas copco 公司

圖 4.6.1-1 變頻控制與其他控制方式比較圖

變頻空壓機工作方式由控制電腦設定需求壓力，利用壓力感應器偵測現場負載端用氣變化，再由變頻器控制馬達調節轉速，來達到所需壓力，如圖 4.6.1-2 所示。

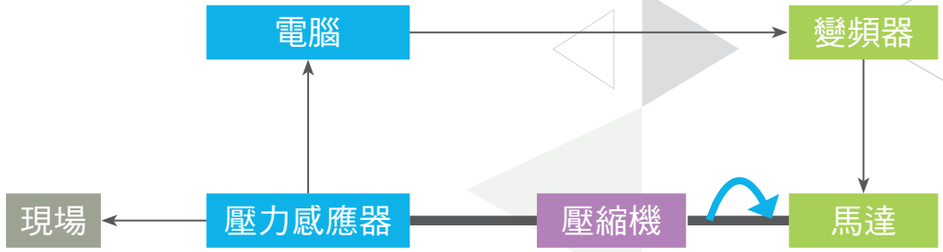
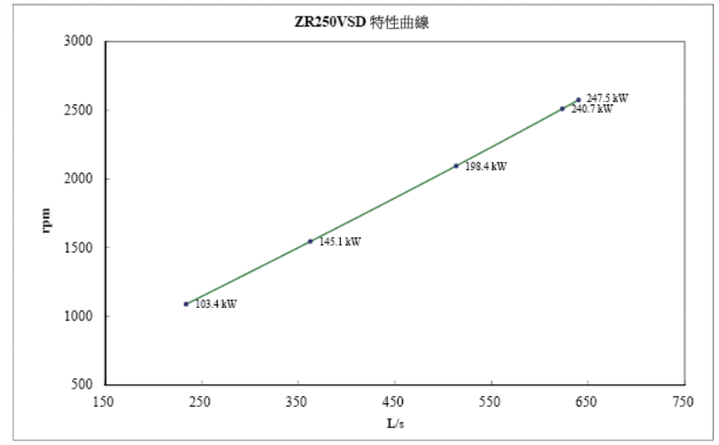


圖 4.6.1-2 變頻空壓機工作流程圖

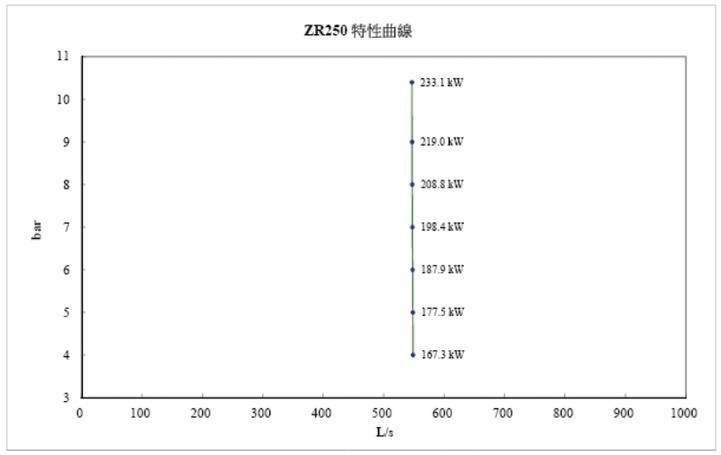
定頻空壓機（機型 ZR250）由 Load/Unload 控制，卸載仍消耗約 1/3 電力；如選用變頻空壓機（機型 ZR250VSD）可依不同流量（scmm）改變馬達轉數（rpm），耗電量可大幅降低。定頻空壓機與變頻空壓機性能曲線圖比較圖如 4.6.1-3 所示。

Working pressure at 9 bar

L/s	rpm
234	1088
362.5	1544
513.4	2094
623.4	2510
640.2	2575



L/s	bar
548.5	4
548.2	5
547.8	6
547.5	7
547.2	8
546.9	9
546.7	10.4



資料來源：Atlas copco 公司

圖 4.6.1-3 特性曲線示意圖

4.6.2 改善方案執行過程

1. 單元改善前情境說明

原採用定頻空壓機流量固定，主要因應目標來調控供氣壓力，但因為機器在卸載時馬達仍舊在運作、會持續消耗 1/3 電力，如頻繁起停不僅易造成設備零組件損壞，浪費不必要耗能且供應壓力變化大。

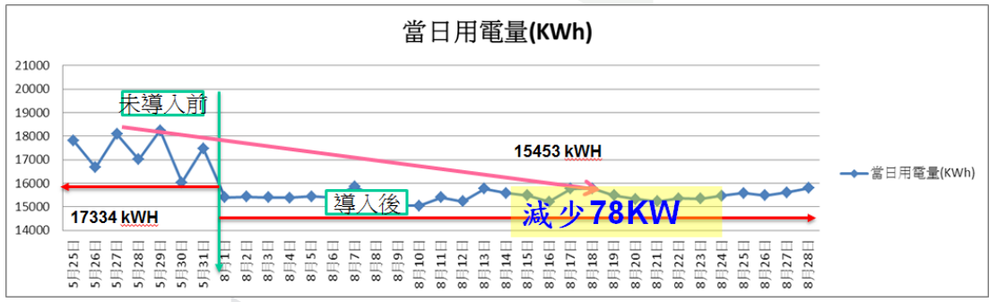
2. 單元改善後情境說明

評估將一台定頻空壓機汰換為變頻空壓機，變頻機（機型 ZR250VSD）則可依照不同流量改變馬達轉數，供氣壓力穩定且提升設備妥善率，可大幅減少耗電量，有效降低運轉費用。

4.6.3 成效分析與節能減碳效益

1. 設置空壓系統節能技術之節能量

改善後之節能量如圖 4.6.3-1 所示。改善後之照片如圖 4.6.3-2 所示。變頻空壓機運轉後平均一天可節省 1,881 kWh 之用電量。



資料來源：案例廠提供

圖 4.6.3-1 空壓系統節能技術之節能量

資料來源：案例廠提供

圖 4.6.3-2 空壓系統節能技術圖片

2. 投資效益

案例廠空壓系統節能技術之改善

- 投資金額：約 370 萬元。
- 每年節電量：約 686,565kWh。
  （以年運轉時數 8,760 小時 / 年計算）
- 節電率：約 0.44%。
- 節能績效：約 158 萬元 / 年。
- 減碳量：380 公噸 CO_2/ 年。
- 回收年限：約 2.3 年。
  （1kWh= 2.3 元計，以經濟部能源局 106 年公告電力排放係數 0.554kg-CO_2e/ kWh 計）

半導體業低碳製程技術彙編

結語

結語

本彙編收錄之技術及案例，可應用於半導體產業耗能占比較高之系統或設備，多項技術不僅可單一方面運用，亦可應用在其他節能手法（如熱泵可提供熱水亦可冰水回饋）；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。

半導體業低碳製程技術彙編

參考文獻

參考文獻

[01] 產業價值鏈資訊平台，半導體產業鏈簡介，2019 年。
https://ic.tpex.org.tw/introduce.php?ic=D000
[02] 行政院主計處，行業標準分類第 10 次修訂。
[03] 2019 半導體產業年鑑，工研院產業科技國際策略發展所，2019 年 7 月。
[04] 2019 年台灣產業地圖，工研院產業經濟與趨勢研究中心，2018 年 10 月。
[05] 2017 生產性質能源查核年報，經濟部能源局，2017 年 12 月。
[06] 107 工業部門能源查核與節能輔導推廣計畫，經濟部能源局，2019 年 1 月。
[07] 國內外半導體市場分析與前瞻之探討，台灣經濟研究院產經資料庫，
2019 年 10 月 23 日。
[08] 半導體製造業之現況與展望，台灣經濟研究院產經資料庫，2019 年 10
月 4 日
[09] 台灣半導體產業協會官網 https://www.tsia.org.tw/index
[10] James W. Furlong & Frank T. Morrison. Optimization of Water – Cooled Chiller – Cooling Tower Combinations CTI Journal, Vol. 26 No. 1 2016.
[11] Retrieved from https://machinelearningmastery.com/.
[12] Jim Gao. Machine Learning Applications for Data Center Optimization. 2017.
[13] Retrieved from https: //www.google.com/about/datacenters/efficiency/internal/.
[14] Andrew Ng. “Regularization (Week 3).” Machine Learning. Retrieved from https://class.coursera.org/ml2012002
[15] Jonathan Koomey. Growth in Data center electricity use 2005 to 2010. Analytics Press, Oakland, CA, 2011.
[16] Google’ s Green Data Centers: Network POP Case Study. 2011.

[17] Andrew Ng. “Regularization (Week 3).” Machine Learning. Retrieved from https://class.coursera.org/ml2012002. 2012. Lecture.
[18] Andrew Ng. “Neural Networks: Representation (Week 4).” Machine Learning. Retrieved from https: //class.coursera.org/ml2012002. 2012. Lecture.
[19] D. Kingma, J. Ba, Adam: a method for stochastic optimization, International conference on learning representations arXiv:1412.6980 (2014).
[20] Theano Development Team, Theano: a Python framework for fast computation of mathematical expressions, arXiv:1605.02688 (2016).
[21] P. Bashivan, I. Rish, M. Yeasin, N. Codella, Learning Representations from EEG with Deep Recurrent-Convolutional Neural Networks. International conference on learning representations (2016).
[22] 台灣積體電路製造股份有限公司 2017 年 CSR 報告書。
[23] 台灣積體電路製造股份有限公司 2018 年 CSR 報告書。
[24] 空調系統空氣側節能應用技術指引，2017 年。
[25] 電機電子業節能應用技術，2016 年。
[26] 高分子複合材料上冊 (修訂本)，馬振基教授，2009 年。
[27] 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
[28] 熱泵熱水系統 Q&A 節能技術手冊。
[29] SEMI F47-0706, Specification for Semiconductor Processing Equipment Voltage Sag Immunity
[30] IEC 61000-4-34: Testing and Measurement Techniques - Voltage Dips, Short Interruptions and Voltage Variations Immunity Tests (>16 A)
[31] IEC 62040-3: Uninterruptible power systems (UPS)–Method of specifying the performance and test requirements
[32] 壓縮空氣系統能源查核及節約能源案例手冊。
[33] Atlas copco 變頻節能技術資料。

NOTE

NOTE

NOTE