

經濟部工業局
111 年金屬材料及製程優化計畫
規劃建置表面處理產業優化用電管理模組報告

主辦單位：經濟部工業局

承辦單位：財團法人台灣產業服務基金會

中 華 民 國 1 1 1 年 1 0 月

目 錄

一、前言	4
二、國內表面處理業現況	6
2.1 表面處理產業範疇與關連性	6
2.2 表面處理產業結構	8
2.3 表面處理產業發展概況	9
2.4 金屬表面處理製程	9
3.1 產業碳排調查與推估	11
3.3 建置表面處理產業優化用電管理模組	18
3.3.1 建置表面處理產業優化用電管理模組流程(節能診斷導入 SOP)	20
四、節能診斷與優化評估	26
4.1 節能重點探討	26
4.1.1 電能系統	26
4.1.2 照明系統	28
4.1.3 壓縮空氣系統	29

4.1.4 空調系統	32
4.1.5 泵浦系統	38
4.1.6 鍋爐系統	39
4.1.7 智慧化能源管理系統.....	39
4.1.8 工廠常見節能措施手法彙整	40
4.2 節能改善方案介紹.....	41
五、常用公式與係數	65
六、參考文獻	65

一、前言

氣候變遷是全球共同面臨的挑戰，IPCC（聯合國政府間氣候變遷專門委員會）於 2022 年 2 月發布最新氣候報告，呼籲全球各界積極應對氣候變遷衝擊，並立即展開因應政策與調適行動。「淨零碳排」一詞從《巴黎協定》（Paris Agreement）而來。為了有效降低氣候變化風險與影響，第廿一屆氣候變遷締約國大會（COP21）於 2015 年通過《巴黎協定》，其中第 2.1.(a)條約定「將全球平均氣溫升幅控制在不超過工業化前水平之 2°C 以內，並致力於控制在 1.5°C 內目標」。截至目前，全球已有 128 個國家，宣示 2050 年達成淨零碳排。

2020 年 7 月，Apple 宣布整個製造供應鏈要在 2030 年達到碳中和，也展現出比 IPCC（聯合國於 1988 年成立負責研究和評估變遷的組織）設定在 2050 年更積極的目標，最終要達到零氣候衝擊。同一時間，微軟串連 NIKE、星巴克、聯合利華、賓士汽車、達能等各產業龍頭，成立「Transform To Net Zero」聯盟，致力於推動各個產業往淨零碳排轉型。

台廠早已在全球供應鏈體系當中，為國際知名品牌代工，台灣有高達 98% 是中小企業，現在跨國企業透過供應鏈提出落實永續作為要求，面對如此強大的力道，中小企業只能正面迎戰。

我國在 104 年訂定「溫室氣體減量及管理法」（以下簡稱溫管法），是國際少數將國家長期減量目標入法的國家。惟全球氣候變遷現象嚴峻，為加速我國減碳作為並強化氣候變遷調適，行政院環保署於 2021 年提出「溫室氣體減量及管理法」修正草案，並且擬將法案名稱修改為「氣候變遷因應法」。此法案擬將 2050 淨零排放（Net-Zero Emission）目標入法，現行溫管法明定國家溫室氣體長期減量目標為 139 年溫室氣體排放量降為 94 年溫室氣體排放量 50% 以下，此次將修正為 139 年溫室氣體淨零排放，以宣示我國減量決心；為達成此目標，我國政府擬與國民、事業、團體共同推動溫室氣體減量、發展負排放技術及促進國際合作。

國家發展委員會於 2022 年 3 月正式公布「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」，提供至 2050 年淨零之軌跡與行動路徑，以促進關鍵領域之技術、研究與創新，引導產業綠色轉型，帶動新一波經濟成長，並期盼在不同關鍵里程碑下，促進綠色融資與增加投資，確保公平與銜接過渡時期。我國 2050 淨零排放路徑將會以「能源轉型」、「產業轉型」、「生活轉型」、「社會轉型」等四大轉型，及「科技研發」、「氣候法制」兩大治理基礎，輔以「十二項關鍵戰略」，就能源、產業、生活轉型政策預期增長的重要領域制定行動計畫，落實淨零轉型目標，如圖 1 所示。其中能源轉型是必要性，產業需透過提升能源效率及結構轉型，加速設備汰舊更新與建置智慧化能源管理系統、導入智慧化能源監控系統，以數位管理技術減少 CO₂ 排放。

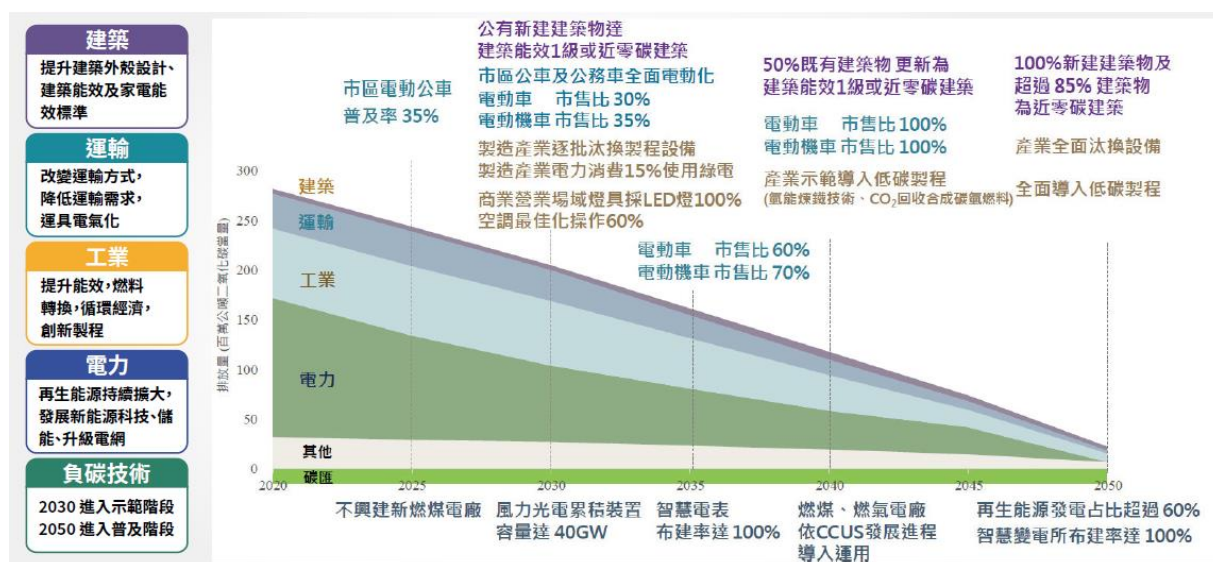


圖 1 我國 2050 淨零路徑規劃階段里程碑

二、國內表面處理業現況

2.1 表面處理產業範疇與關連性

表面處理為各種加工製造工業不可或缺的，從傳統工業到近代高科技，表面處理技術一直扮演非常重要的角色。從以前的金屬表面到現在的塑膠非金屬表面，它使材料更耐腐蝕、更耐磨耗、更耐熱，亦使材料之壽命延長，能改善材料表面之特性，增加光澤美觀等提高產品之附加價值；表面處理也常用來提升金屬材料的表面性質，例如抗蝕性、耐磨耗性、塗裝性與絕緣性。化成處理常用來提升金屬材料的抗蝕性並提升後續塗裝層的附著性；電鍍常用來提升金屬基材抗蝕性、耐磨耗性和錫鍍性。

表面處理的目的可以分四大類：(1)美觀(appearance)：提高製品之附加價值，賦予製品表面美觀，例如裝飾性電鍍。(2)防護(protection)：為了延長製品的壽命，在製品表面披覆(coating)耐腐蝕之材料。(3)特殊表面性質(special surface properties)：提高製品之導電性、焊接性、提高光線之反射性、減小接觸阻抗，例如在電子組件之金(Au)及鈀(Pd)上作電鍍。(4)機械或工程性質(mechanical or engineering properties)：提高製品之強度、潤滑性，增加硬度及耐磨性，提高製品之耐熱性、耐候性及滲碳、氮化之防止，例如鋼鐵表面硬化時，在不要硬化部分鍍銅。

「表面處理」係產品在商品化前之加工技術之一，無法獨立創造產品；只能依附在各類產品之表面。加工的對象從傳統產業到高科技工業、從以前金屬表面到現在的塑膠、非金屬產品的表面。因此，表面處理工業向來有「產品美容師」的美稱，也是支持製造業蓬勃發展重要的基礎工業之一。相關產品定義及範圍如圖 2.1-1 所示。

工業產品施行「表面處理」主要是為達成下列目的：

- (1)裝飾性：增加產品的美觀性與獨特性等，多用於民生用品上。
- (2)功能性：附加或提昇產品性機械性質及物理化特性(如耐蝕、耐磨耗)，亦可使材料具有特殊表面性質如導電性、光學性、焊接性等，多用於工業

製品上。

名稱	定義/範圍
金屬製品電鍍	金屬製品以電解方式，於工件上析出高附著性的金屬皮膜，以獲取特殊性質的表面層或改變基材的尺寸之加工工程。包括電鑄，但不包括噴烤漆、噴敷、噴鋅之加工業。
金屬製品噴烤漆	於金屬製品上塗敷噴漆或烤漆之作業統稱，包括汽機車、家具之噴、烤漆均屬之。凡金屬製品的噴、烤漆、塗敷、噴鋅作業均包括於此範圍。
其他金屬製品表面處理	不屬於上列項目之各種金屬製品表面處理
非金屬製品表面處理	於各種非金屬製品上之電鍍、噴漆、烤漆或表面處理作業

圖 2.1-1 台灣金屬表面處理產業定義及範圍

目前我國表面處理產業大致可分為：電鍍業、防鏽處理業、熱處理業及化成處理業等，其中以電鍍產業居多，由於表面處理是加工製程中的加工服務，應用表面處理技術的廠商除了專門以表面處理加工為主的工廠外，另包含附屬於工廠內的表面處理部門，因此並無法在政府的統計上得知確切家數，要明確定義表面處理業有其實際的困難。此次以主要的表面處理，進行耗用處理的統計及調查，由於每間廠商所處理的元件不一，經歷的作業過程也可能不只一項，較難依不同的系統訂定專一的標準，此範圍僅供參考用。

金屬表面處理產業主要涵蓋範圍包括有接單生產的獨立專業加工廠 (Job shop)，如協順、福業、美上鎂等，以及依附在產品大廠的內製單位 (Captive shop)，如鴻海、成霖等。從價值鏈的觀點來觀察金屬表面處理產業，表面處理業是位居於金屬冶煉業及應用產品製造業的中間地帶，圖 2.1-2 所

示即為典型的金屬表面處理產業價值鏈。

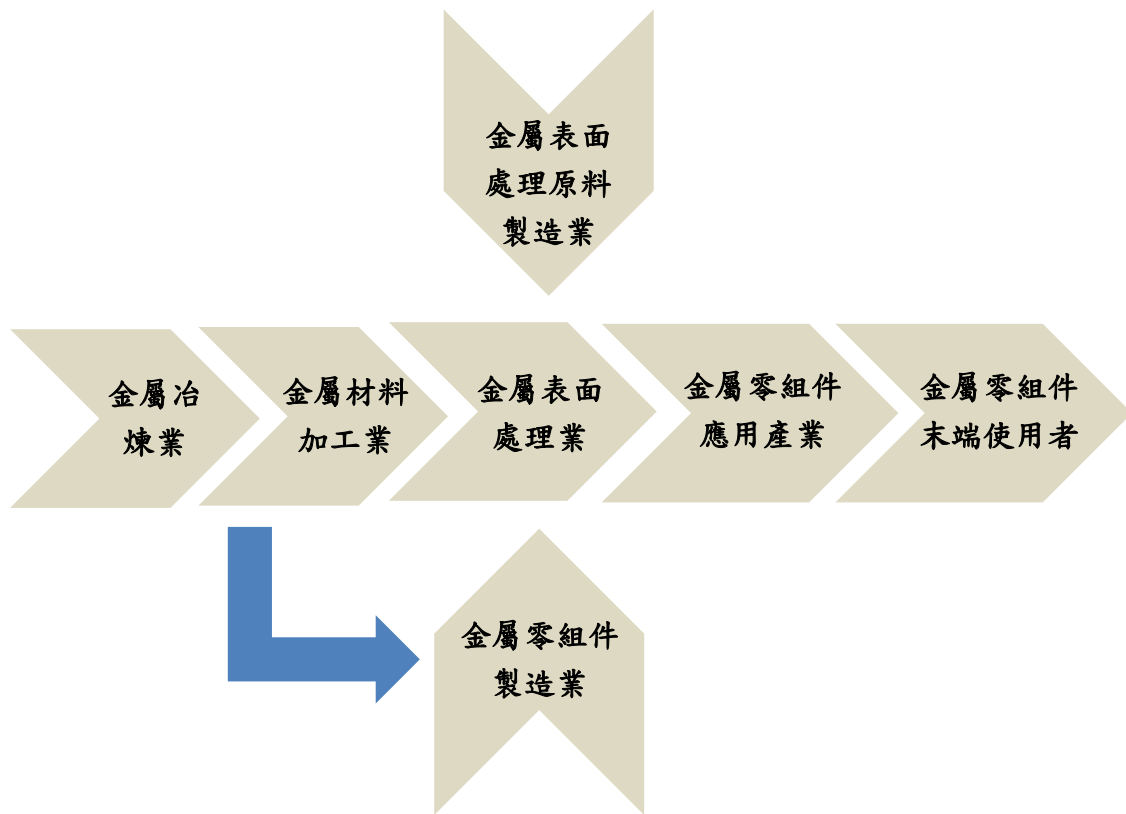


圖 2.1-2 金屬表面處理產業價值鏈

2.2 表面處理產業結構

根據經濟部 2020 年工廠營運調查資料來看，我國金屬表面處理相關廠商數約為 1,534 家，從業人數約 3.6 萬人，年產值達 1,135 億元。除鋼捲片表面處理以大型企業為主外，金屬製品表面處理廠多為平均員工 20 人以下的中小企業，資本額在新台幣 4 仟萬以下者即占 70%，廠商主要集中於新北、彰化、台中等縣市。

表面處理產業對於產品別之依存度相當高，聚落色彩濃厚。以目前台灣高值產品之廠商分佈，北部為電子資訊業，中部為工具五金業，南部則為扣件業，表面處理代工業亦分別以此三大產業為主軸分佈，分佈尚稱平均。

根據臺灣區表面處理公會的調查指出，臺灣整體內外銷產品中約有五分之一以上的商品，必需經過表面處理，而臺灣高科技產品與精密零組件出口量日益攀升，無論在光電、半導體與資通訊等高科技及其週邊基礎元件上都

有需求，更凸顯出表面處理工業的重要性，所以表面處理工業不但支援了高科技產業，在傳統產業的發展上亦佔有無可取代的地位。我國歷經多年的發展，迄今已建立一相當規模之表面處理工業體系。

2.3 表面處理產業發展概況

早期我國的表面處理工業絕大部份是供應日用五金、家電、交通器材等產業之所需，加工的方式較國外落後很多，資金方面更談不上規模。1970年代我國現代化工業產品的發展百花齊放，與產品發展息息相關的表面處理產業技術，在產官學研共同努力下，完成許多重大變革，使得表面處理產業以飛快的腳步向前邁進。

經過 1970 年代的蓬勃發展，到 1980 年代以後，表面處理業招募工人漸漸困難，工資逐漸提高，採用自動化設備比例日漸增加，於是表面處理的從業人口呈緩慢乃至停滯成長。1987 年以後政府執行公害法規日趨嚴格，於是電鍍業者銳減至 1,800 餘家，再加上很多往海外發展，致使電鍍人口不斷減少。然而，電鍍工業的萎縮不表示表面處理業的萎縮，實質上是轉型蛻變，如塗裝工業則隨工業轉型而增加；或者是對裝飾性工作轉為機能性工作，由初級加工改為高級加工，進而改善獲利空間。

自 1997 年開始，由於上游產業西進，表面處理業者為配合上游產業亦不得不跟進。2000 年以後，面對環保訴求持續發酵及前瞻應用產品效能要求等兩大議題來勢洶洶的衝擊，迫使傳統表面處理業界必需打破舊有的思維模式。2008 年，為促成國內表面處理業界更緊密的連結以強化競爭力，另一方面，亦順應世界潮流，我國「電鍍工業同業公會」更名為「表面處理工業同業公會」，至此，進一步期許我國表面處理產業能積極轉型朝向高科技技術、綠色供應鏈領域，及加強整合工安環保等方向發展，扮演高值化工業的火車頭。

2.4 金屬表面處理製程

金屬表面處理係指利用各種方法來保護金屬製品，在經過初步加工成型

後使其表面變光亮、平滑，以達美化效果，甚至進一步改變金屬表面的機械性質、物理與化學特性(如耐磨耗、耐高溫、耐腐蝕等)。

一般而言，表面處理可分為機械法(珠擊法、切削、搪磨、撒砂、精磨、研磨等)、冶金法(表面硬化，包含淬火、滲碳、氮化、擴散皮膜法)、電化學法(電解研磨、酸洗、化學研磨等)、表面披覆(電鍍、無電鍍、熱浸鍍、真空蒸鍍、陰極噴濺等)、無機披覆(陽極處理、化成處理、著色、琺瑯處理等)、有機披覆(塗裝、橡膠加襯、塑膠加襯等)等技術，其中電鍍法為最常見之金屬表面處理方式，其製程流程如圖 2.4-1 所示，製程主要可分為前處理、電鍍及後處理等 3 個程序。

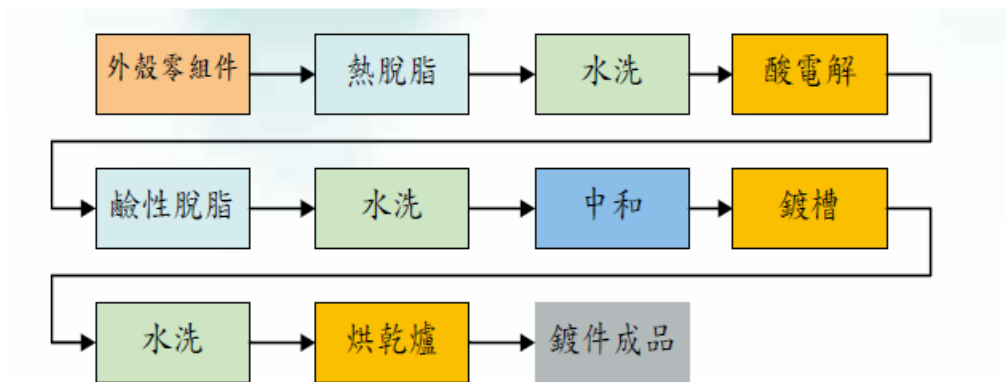


圖 2.4-1 粉末冶金、表面處理及金屬熱處理之生產流程

三、國內表面處理產業能耗分析

3.1 產業碳排調查與推估

為初步掌握表面處理產業能耗現況，目前針對 6 家表面處理業者進行主要能源、設備及使用現況調查，各家分析結果如下。

(1) 偉順電鍍工業股份有限公司

主要能源使用為電力，尖峰經常契約容量為 274 kW，推估近一年年用電量約 74 萬度，平均電價每度 3.5 元(NT\$/kWh)。廠內主要用電設施包括電力系統、空調系統、壓縮空氣系統、照明系統以及製程系統等，能源使用情形說明如下：

- A. **電力系統**：經常契約容量 274kW，未另訂離峰契約容量，為二段式時間電價計費，功率因數 100%，未進行電力需量管理。
- B. **壓縮空氣系統**：廠內設有往復式 3 hp×1 台、5 hp×2 台，壓縮空氣的用途為製程生產機械動力，用氣壓力約 6~7kgf/cm²，負載控制方式為起/停控制，機房與外氣溫差小於 5°C，未設廢熱導風管，設有穩壓用空氣桶，使用浮球式祛水器。
- C. **空調系統**：辦公室裝設分離式冷氣機，提供一般空調使用。
- D. **照明系統**：廠內使用 LED 燈具，作為廠內作業區及辦公室照明設備，平均照度於基準值以上，依使用區域劃分照明開關。
- E. **製程系統**：廠內主要製程系統為電鍍製程區、倉儲區等，平均作業時間約 12~15 小時/天。
- F. **熱能系統**：設有 1 台 1 噸貫流式鍋爐，產生蒸氣提供製程使用。

溫室氣體排放現況：最近一年度廠內間接(外購電力)所產生之溫室氣體排放量約為 376 公噸 CO₂e。

(2)辰鉅表面處理股份有限公司

主要能源使用為電力，尖峰經常契約容量為 250 kW，推估近一年年用電量約 47 萬度。廠內主要用電設施包括電力系統、空調系統、壓縮空氣系統、照明系統以及製程系統等，能源使用情形說明如下：

- A. **電力系統**：經常契約容量 250kW，未另訂離峰契約容量，為二段式時間電價計費，未進行電力需量管理。
- B. **空調系統**：辦公室裝設分離式冷氣機，提供一般空調使用。
- C. **照明系統**：廠內使用 LED 燈具，作為廠內作業區及辦公室照明設備，平均照度於基準值以上，依使用區域劃分照明開關。
- D. **製程系統**：廠內主要製程系統為電鍍製程區、倉儲區等，作業時間 8 小時/天。

溫室氣體排放現況：最近一年度廠內間接(外購電力)所產生之溫室氣體排放量約為 240 公噸 CO₂e。

(3)福業電子股份有限公司

主要能源使用為電力，尖峰經常契約容量為 999 kW，推估近一年年用電量約 340 萬度，平均電價每度 3.2 元(NT\$/kWh)。廠內主要用電設施包括電力系統、空調系統、壓縮空氣系統、照明系統以及製程系統等，能源使用情形說明如下：

- A. **電力系統**：經常契約容量 999kW，未另訂離峰契約容量，為二段式時間電價計費，功率因數 100%，未進行電力需量管理。
- B. **壓縮空氣系統**：設有螺旋式 100 hp×1 台、50 hp×2 台，壓縮空氣的用途為製程生產機械動力，用氣壓力約 5~6 kgf/cm²，負載控制方式為加卸載控制，機房與外氣溫差小於 5°C，未設廢熱導風管，設有穩壓用空氣桶，使用浮球式祛水器。

C. **空調系統**：設有 50 RT×1 台、40 RT×2 台冰水機共 130RT，冰水用途為製程(說明)及一般空調，冰水泵非為變頻控制，冷卻水塔非為變頻控制，冷卻水泵為非變頻控制。

D. **照明系統**：廠內使用傳統式 T8 及 LED 燈具，作為廠內作業區及辦公室照明設備，平均照度於基準值以上，依使用區域劃分照明開關。

E. **製程系統**：廠內主要製程系統為電鍍製程區、倉儲區等，作業時間 24 小時/天。

溫室氣體排放現況：最近一年度廠內間接(外購電力)所產生之溫室氣體排放量約為 1,730 公噸 CO₂e。

(4) 慶圖金屬開發股份有限公司

主要能源使用為電力，尖峰經常契約容量為 2,410 kW，推估近一年年用電量約 1,250 萬度，平均電價每度 2.7 元(NT\$/kWh)。廠內主要用電設施包括電力系統、空調系統、壓縮空氣系統、照明系統以及製程系統等，能源使用情形說明如下：

A. **電力系統**：經常契約容量 2,410 kW，未另訂離峰契約容量，為三段式時間電價計費，功率因數 94%，未進行電力需量管理。

B. **壓縮空氣系統**：廠內設有螺旋式 50 hp×3 台，壓縮空氣的用途為製程生產機械動力，用氣壓力約 6~7 kgf/cm²，負載控制方式為加卸載控制，機房與外氣溫差小於 5°C，未設廢熱導風管，設有穩壓用空氣桶，使用浮球式祛水器。

C. **空調系統**：設有 80 RT×3 台、50 RT×8 台、30 RT×2 台冰水機共 700RT，冰水用途為製程(說明)及一般空調，冰水泵非為變頻控制，冷卻水塔非為變頻控制，冷卻水泵為非變頻控制。

D. **照明系統**：廠內使用 T5 及 LED 燈具，作為廠內作業區及辦公室照明設備，平均照度於基準值以上，依使用區域劃分照明開關。

E. **製程系統**：廠內主要製程系統為電鍍製程區、倉儲區等，平均作業時間 24 小時/天。

F. **熱能系統**：設有 2 台 1 噸貫流式鍋爐，產生蒸氣提供製程使用。

溫室氣體排放現況：最近一年度廠內間接(外購電力)所產生之溫室氣體排放量約為 6,363 公噸 CO₂e。

(5)美上鎂科技股份有限公司

主要能源使用為電力，尖峰經常契約容量為 1,250 kW，推估近一年年用電量約 274 萬度，平均電價每度 3.9 元(NT\$/kWh)。廠內主要用電設施包括電力系統、空調系統、壓縮空氣系統、照明系統以及製程系統等，能源使用情形說明如下：

A. **電力系統**：經常契約容量 1,250 kW，未另訂離峰契約容量，為三段式時間電價計費，功率因數 97%，未進行電力需量管理。

B. **壓縮空氣系統**：廠內設有螺旋式 30 hp×3 台，壓縮空氣的用途為製程生產機械動力，用氣壓力約 6~7 kgf/cm²，負載控制方式為加卸載控制，機房與外氣溫差小於 5°C，未設廢熱導風管，設有穩壓用空氣桶，使用浮球式祛水器。

C. **空調系統**：設有 100 RT×2 台、60 RT×2 台、50 RT×1 台冰水機共 370RT，冰水用途為製程(說明)及一般空調，冰水泵非為變頻控制，冷卻水塔非為變頻控制，冷卻水泵為非變頻控制。

D. **照明系統**：廠內使用 T5 及 LED 燈具，作為廠內作業區及辦公室照明設備，平均照度於基準值以上，依使用區域劃分照明開關。

E. **製程系統**：廠內主要製程系統為電鍍製程區、倉儲區等，平均作業時間約 18 小時/天。

F. **熱能系統**：設有 2 台 1.5 噸貫流式鍋爐，產生蒸氣提供製程使用。

溫室氣體排放現況：最近一年度廠內間接(外購電力)所產生之溫室氣體排放量約為 1,395 公噸 CO₂e。

(6) 翌勤工業股份有限公司

主要能源使用為電力，尖峰經常契約容量為 165 kW，推估近一年年用電量約 39 萬度，平均電價每度 3.6 元(NT\$/kWh)。廠內主要用電設施包括電力系統、空調系統、壓縮空氣系統、照明系統以及製程系統等，能源使用情形說明如下：

- A. **電力系統**：經常契約容量 165 kW，未另訂離峰契約容量，為二段式時間電價計費，功率因數 85%，未進行電力需量管理。
- B. **壓縮空氣系統**：廠內設有往復式 10 hp×1 台，壓縮空氣的用途為製程生產機械動力，用氣壓力約 5~6 kgf/cm²，負載控制方式為起/停控制，機房與外氣溫差小於 5°C，未設廢熱導風管，設有穩壓用空氣桶，使用浮球式祛水器。
- C. **空調系統**：辦公室裝設分離式冷氣機，提供一般空調使用。
- D. **照明系統**：廠內使用 LED 燈具，作為廠內作業區及辦公室照明設備，平均照度於基準值以上，依使用區域劃分照明開關。
- E. **製程系統**：廠內主要製程系統為電鍍製程區、倉儲區等，平均作業時間 8 小時/天。
- F. **熱能系統**：設有 1 台 1 噸貫流式鍋爐，產生蒸氣提供製程使用。

溫室氣體排放現況：最近一年度廠內間接(外購電力)所產生之溫室氣體排放量約為 198 公噸 CO₂e。

3.2 表面處理用電趨勢與電鍍產線能耗分析

為進一步了解 6 家表面處理業者整廠用電趨勢與電鍍產線之能耗，本團隊分析廠內用電資訊，及於 7~8 月間於工廠電鍍產線裝設電力分析儀紀

錄其耗電，並搭配工廠生產製程紀錄，期望分析各廠電鍍產線實際用電量與產品關係，本次紀錄時間約 7~10 日不等，彙整結果如下。

建議事項：

- (1)表 3.2-1 統計分析，工廠最高需量建議應定期檢討，應避免與契約容量差異過大，多則有超約罰款，少則多繳基本電費。
- (2)表 3.2-2 統計分析，由於各家產線製程條件不同以及產量統計單位有所差異，單位產品耗電僅供初步參考，無法作為比較之依據。

表 3.2-1 工廠用電現況

廠商名稱	契約容量(kW)	最高需量(kW)	年用電度數(萬度)	電單價(元/度)
偉順電鍍工業(股)公司	274	142~277	74	3.5
辰鉅表面處理(股)公司	250	-	47	-
福業電子(股)公司	999	-	340	3.2
慶圖金屬開發(股)公司	2,410	1,784~2,240	1,250	2.7
美上鎂科技(股)公司	1,250	1,046~1,302	274	3.9
翌勤工業(股)公司	165	109~130	39	3.6

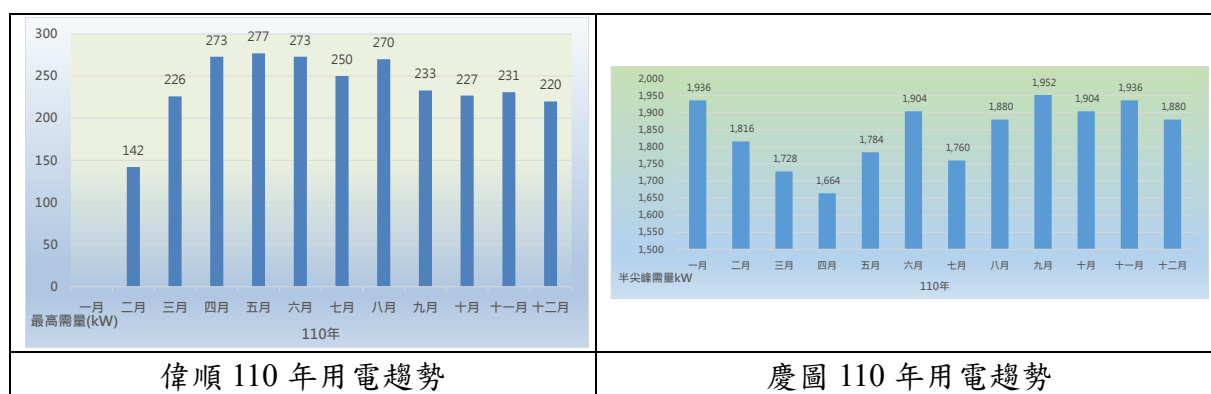


圖 3.2-1 工廠用電趨勢

表 3.2-2 工廠單位產品耗電

廠商名稱	掛表紀錄時間	電鍍作業時間	單位產品耗電
偉順電鍍 工業(股)公司	06.22~06.30	8 小時	0.05~0.92 度/件
			平均 0.2 度/件
辰鉅表面 處理(股)公司	07.13~07.22	8 小時	0.02~0.06 度/件
			平均 0.04 度/件
福業電子 (股)公司	07.13~07.22	8 小時	0.08~6.3 度/件
			平均 2.1 度/件
慶圖金屬 開發(股)公司	06.28~07.07	24 小時	0.13 度/公斤
美上鎂 科技(股)公司	08.02~08.12	8 小時	0.001~0.004 度/面積
			平均 0.002 度/面積
翌勤工業 (股)公司	08.01~08.09	8 小時	0.01~0.03 度/件
			平均 2.1 度/件



圖 3.2-2 電鍍產線掛錶

3.3 建置表面處理產業優化用電管理模組

為協助廠商降低能源使用成本及減少溫室氣體排放，並提升國際競爭力，本項工作由金屬中心、表面處理公會及台灣產業服務基金會合作進行，由表面處理公會推薦--美上鎂科技、慶圖金屬開發、福業電子(800KW 以上)及偉順電鍍、翌勤工業、辰鉅表面處理(800KW 以下)等 6 家表面處理業者進行相關輔導，執行流程如圖 3.3-1。輔導模式以結合基線調查及現場診斷之方式，針對工廠內高耗能、高溫室氣體排放之設備或系統，進行全方位(Total Solution)診斷、製程改善及溫室氣體減量潛力分析，並提出改善措施建議，以協助工廠有效降低能源消耗及溫室氣體排放。

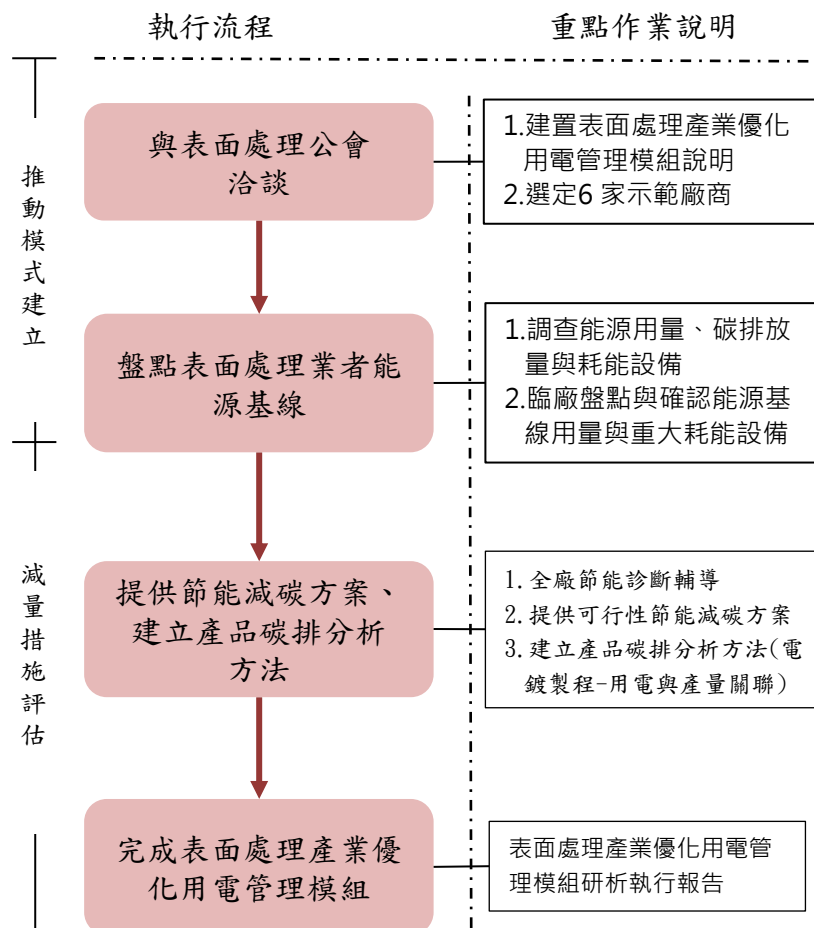


圖 3.3-1 表面處理產業優化用電管理模式執行流程圖

本項輔導工作由專業輔導團隊赴廠(如圖 3.3-2)進行基線調查及現場勘查，收集、評估改善潛力，在兼顧工廠生產需求及經濟效益、減量潛力評估之原則下，提出符合貴廠需求之改善措施建議，並追蹤改善成效。主要工作內容說明如下：



圖 3.3-2 臨廠輔導

➤ 公用系統/製程診斷服務

(1) 公用系統診斷：評估主要公用系統如鍋爐、壓縮空氣、空調、電力

及照明、馬達等系統之節能改善空間。

- (2) 製程/其他診斷：視廠商需求，提供製程改善、燃料轉換或替代、原物料轉換或替代、減少燃料/電力及蒸汽使用量、用水減量等節能減碳潛力評估協助。

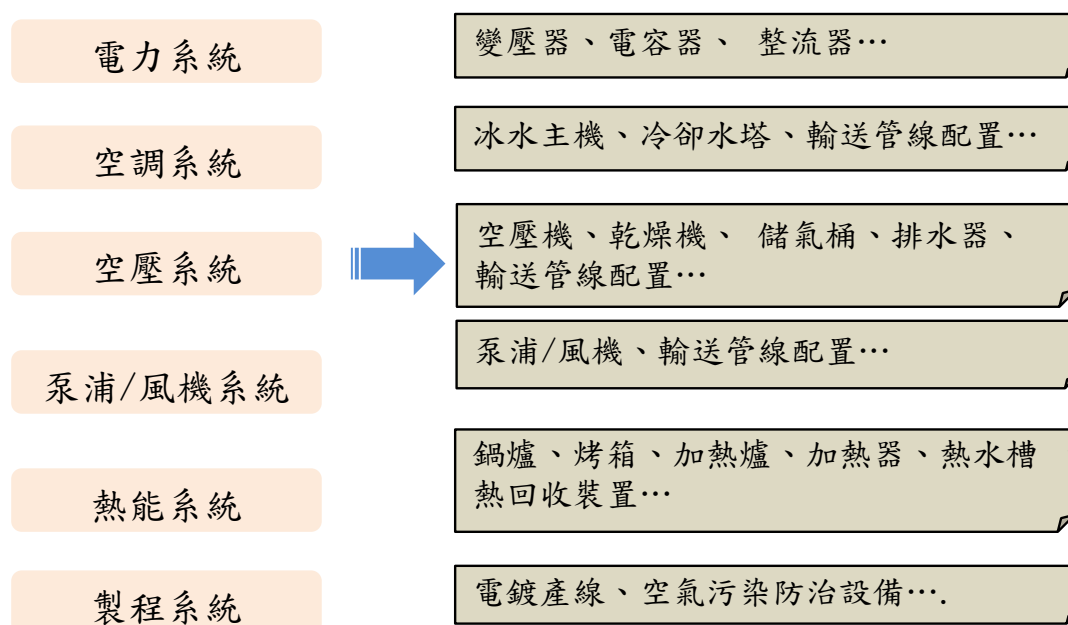


圖 3.3-3 進行調查系統與設備項目

➤ 提供建議改善方案

現場輔導後，依據貴公司設備能耗、溫室氣體排放情況以及現場諮詢訪視所發現之問題，在兼顧廠內生產需求及經濟效益、預期減量潛力規模之原則下，提出契合貴公司需求之改善措施建議，以作為未來公司推動節能減碳改善工作之規劃參考。

3.3.1 建置表面處理產業優化用電管理模組流程(節能診斷導入 SOP)

公司可依循上述輔導模式，自我進行廠內能源、設備基線調查與記錄，在兼顧工廠生產需求及經濟效益、減量潛力評估之原則下，找尋符合廠內需求之改善措施，建議可先以能耗大、衰退率高、運轉時數多等面向進行評估，最後再透過定期追蹤改善成效(可利用導入智慧監控系統)，評估整體效益，進而水平展開推廣，執行流程可依循如下：

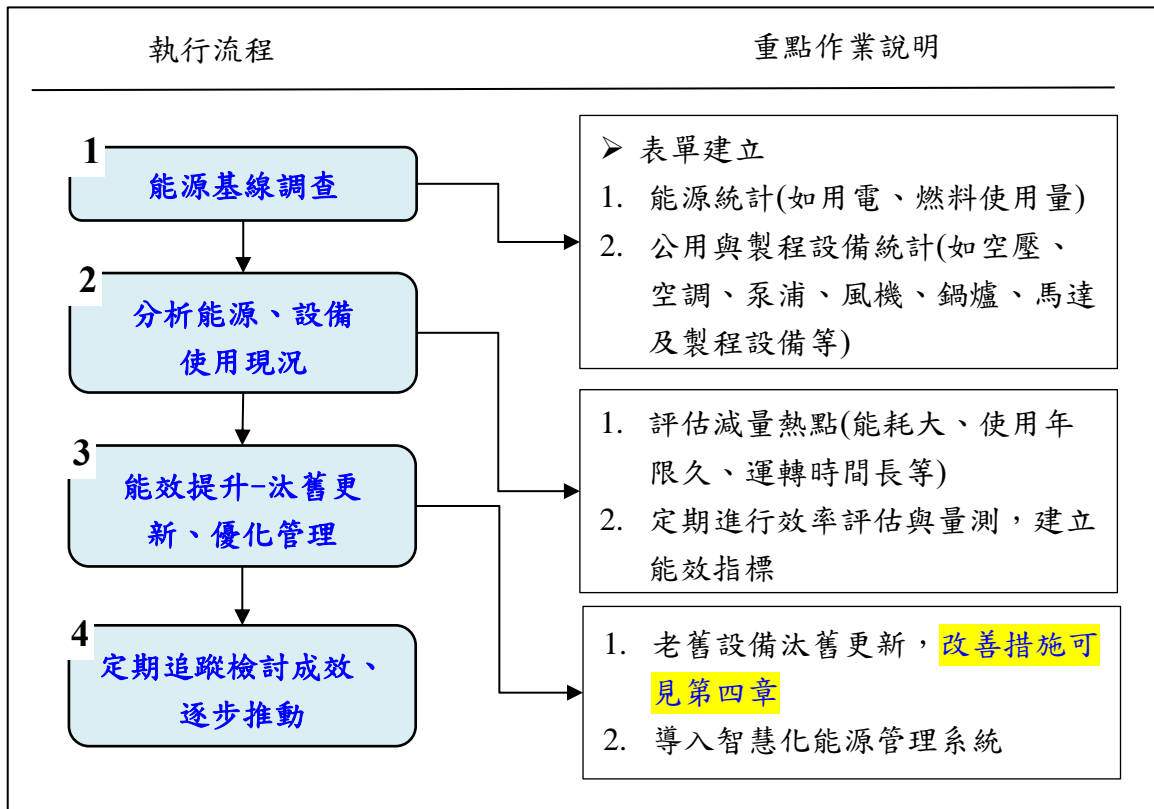


圖 3.3.1-1 執行用電優化推動流程

1. 能源基線調查：

建立廠內使用能源用量如電力、燃料、蒸氣及熱能等，及設備使用現況資訊表單(參考例)如表 3.3.1-1~4。

- (1) 電力資訊：由電費單資訊取得契約容量、最高需量，尖、半尖峰、離峰用電度數、功率因數、電單價等。
- (2) 燃料資訊：燃料使用量、單價等。
- (3) 蒸氣資訊：蒸氣使用量、單價等。
- (4) 熱能資訊：熱能使用量。
- (5) 設備資訊：設備規格(功率、電壓、電流、頻率等)、效率、年限、運轉時數等。

表 3.3.1-1 冰水主機與熱泵基本資料

一、冰水主機/熱泵基本資料							
項次	項目	1	2	3	4	5	6
1	設備額定冷凍能力(RT)						
2	設備數量						
3	型式 (A.離心式 B.螺旋式 C.往復式 D.其他)						
4	壓縮機數量						
5	運轉時數(hr/yr)						
二、冰水主機/熱泵(銘牌)基本資料							
項次	項目	1	2	3	4	5	6
1	設備廠牌						
2	設備型號						
3	製造年份						
4	冷卻能力(kcal/hr)						
5	額定電壓(V)						
6	額定電流(A)						
7	耗電量(kW)						
8	功率因數(%)						
9	馬達效率(%)						
10	能源效率比值(EER)(kW/RT)						
11	冷媒種類						
三、現場測試資料							
項次	項目	1	2	3	4	5	6
1	冰水流量(LPM)						
2	冰水進水水溫(°C)						
3	冰水出水水溫(°C)						
4	冷卻水流量(LPM)						
5	冷卻水進水水溫(°C)						
6	冷卻水出水水溫(°C)						
7	冷凍能力(RT)						
8	電壓(V)						
9	電流(A)						
10	功率因數(COS θ)						
11	功率(kW)						
12	耗電比(kW/RT)						
13	負載率(量測耗電/銘牌耗電)						

表 3.3.1-2 空氣壓縮機基本資料

一、空氣壓縮機基本資料							
項次	項目	1	2	3	4	5	6
1	型式 (A.離心 B.螺旋式 C.往復式 D.其他)						
2	設備數量						
3	壓縮段數						
4	運轉時數(hr/yr)						
5	負載控制方式						
6	冷卻方式 (A.水冷式 B.氣冷式 C.其他)						
7	祛水方式(A.手動 B.浮球型 C.計時型 D.點放行 E.其他)						
8	空氣乾燥方式 (A.冷凍式 B.吸乾式 C.其他)						
9	通風情況(A.與外氣溫差<5°C B.與外氣溫差>5°C)						
二、空氣壓縮機(銘牌)基本資料							
項次	項目	1	2	3	4	5	6
1	設備廠牌						
2	設備型號						
3	製造年份						
4	設備馬力(hp)						
5	額定風量(m ³ /min)						
6	額定壓力(kgf/cm ²)						
7	額定電壓(V)						
8	額定電流(A)						
9	耗電量(kW)						
10	功率因數(%)						
11	馬達效率(%)						
12	馬達轉速(RPM)						
三、現場測試資料							
項次	項目	1	2	3	4	5	6
1	設定壓力(kgf/cm ²)						
2	電壓(V)						
3	電流(A)						
4	功率因數(COSθ)						
5	量測耗電量(kW)						
6	負載率(量測耗電/銘牌耗電)						
7	空重車比例%						

表 3.3.1-3 泵浦基本資料

一、泵浦基本資料							
項次	項目	1	2	3	4	5	6
1	型式(A.離心泵 B.螺旋葉泵 C.往復動泵 D.旋轉泵 E.其他)						
2	設備數量						
3	運轉時數(hr/yr)						
4	馬達是否變頻控制						
5	出口閥有無節流						
6	冰水主機容量(RT)						
二、泵浦(銘牌)資料							
項次	項目	1	2	3	4	5	6
1	設備廠牌						
2	設備型號						
3	製造年份						
3	設備馬力(hp)						
4	水機銘牌流量(CMH)(LPM)						
5	水機銘牌揚程(M)						
6	馬達額定電壓(V)						
7	馬達額定電流(A)						
8	馬達耗電量(kW)						
9	功率因數(%)						
10	馬達效率(%)						
11	馬達轉速(RPM)						
三、現場測試資料							
項次	項目	1	2	3	4	5	6
1	入口壓力(kg/cm ²)						
2	出口壓力(kg/cm ²)						
3	電壓(V)						
4	電流(A)						
5	功率因數(COS θ)						
6	現場測試流量(CMH)(LPM)						
7	現場管路管徑(英寸)						
8	泵浦入口 口徑(英寸)						
9	泵浦出口 口徑(英寸)						

表 3.3.1-4 能源使用現況

能/資源使用現況 ^{註1} 及溫室氣體排放現況 ^{註2}						
可參考 貴廠「能源查核中報表」中的電能與熱能平衡圖資料填寫，或提供能源查核中報等相關資料，由服務團代為轉填；若無實際測量紀錄，請服務團協助廠商，依照經驗估算。						
能源種類	前一年用量		單位價格		能源使用費用 (萬元/年)	溫室氣體排放量 (tCO ₂ e/年)
電力		kWh/年		元/kWh		
燃料油		kL/年		元/kL		
柴油		kL/年		元/kL		
燃料煤		噸/年		元/噸		
天然氣		m ³ /年		元/m ³		
液化石油氣		kg/年		元/kg		
蒸汽用量		公噸/年		元/噸		
用水量		公噸/年		元/噸		
其他	說明：					
					合計：	

2. 分析能源、設備使用現況：

建立與統計廠內各系統如製程、空調、空壓、泵浦、風機、照明等能源使用量占比，設備實際運轉相關參數如操作功率、壓力、溫度、流量及使用年限等，從而建立各設備運轉能效指標，並定期與新機比較，能效不彰時列入評估標的進行改善。

3. 能效提升-汰舊更新、優化管理：

針對廠內設備使用年限久、運轉時數長、運轉效率低，優先進行改善效益評估，可透過汰舊更新、維護管理、參數調整、台數控制等，提升使用能效。最後可藉由導入智慧化能源管理系統，減少人工抄表與數據管理作業時間。**改善措施可見第四章，工廠可視既有之設備評估導入效益。**

4. 定期追蹤檢討成效、逐步推動：

定期追蹤改善成效，規劃設備汰舊更新時程，且應考量運轉成本而非購置成本，如此將可在淨零碳排的趨勢下，提早布局取得領先之契機。

四、節能診斷與優化評估

4.1 節能重點探討

4.1.1 電能系統

A. 定期檢討用電資訊

電費單是當月用電之總體檢表，因此逐月收集電費單針對其內容進行契約容量(kW)、各時段尖峰用電需量(kW)、各時段用電量度數(kWh)、較同期增減度數(kWh)、功率因數(%)、基本電費、流動電費、功因調整費、超約罰款、電費(元)及平均電價(元/kWh)等，逐項比對平日抄錶記錄統計，分析檢討如下列五項是否合理，是推行電能節約管理之第二步。

- I. 訂定契約容量合理值：契約容量訂定 kW 值應逐月檢討，契約容量訂定偏高，會多繳基本電費，偏低則造成尖峰超約罰款。
- II. 抑低尖峰用電需量 kW：量測並控制因耗電大機台或空調短暫 15 分鐘累計之尖峰開機用電，產生尖峰超約罰款。
- III. 多利用離峰用電：當離峰用電比例增加時，則二段式電價改採用三段式電價計費，可降低流動電費支出。
- IV. 提高功率因數(%)：功因應改善提高至 95%，可獲得更高功因調整費，及減少功因落後線路損失。
- V. 檢討合理平均電價：平均電價(元/kWh)是總電費(元)除以總用電量(kWh)之結果，若平均電價偏高，則代表用電有上述(1)~(4)項中之不合理現象。

B. 加強電力系統日常抄表記錄及用電合理化管理

欲進行電能節約首先須了解電能計算公式：

$$\text{kVA} = \sqrt{3} \times \text{kV} \times \text{A} \text{ (三相)}, \text{ kW} = \sqrt{3} \times \text{kV} \times \text{A} \times \cos\theta, \cos\theta = \text{kW} \div \text{kVA},$$

$$\text{kWh} = \text{kW} \times \text{h}$$

計算因子：視在功率(千伏安 kVA)、電壓(千伏特, kV)、電流(安培,

A)、功率因數($\cos\theta$)、有效功率(千瓦特, kW)、耗電量(度, kWh)、時間(小時, h)、電價(元/kWh)、電費(元)

單位換算：1 kWh=熱值 860 kcal、1hp(馬力)=0.746 kW(千瓦特)、1 kW=1,000 W

減碳量(tCO_2e)= kWh \times 0.509 kg CO_2e /kWh \div 1,000 kg/t

能源局公告 110 年電力排放係數 0.509 kg CO_2e /kWh。

以上電能計算公式之各計算因子，顯示電能節能減碳，簡單說就是要降低耗電 kW 及使用時間 h，來減少用電量 kWh，達到減少基本電費及流動電費支出目的，因此電能節能管理起步要從日常電氣抄表作業中，確實紀錄電壓、電流、功因、耗電、運轉時間及每月電費單等數據中，檢討出節能機會。

C. 功率因數(PF)改善益處：

I. 減少電費支出：依據台灣電力公司的電費計價基礎下，功率因數條款中規定，當功率因數低於百分之八十時，每低 1% 當月份電費增加千分之 3。當功率因數超過百分之八十時，每超過 1%，當月份電費減少千分之 1.5。

II. 功因改善方法：於變壓器二次側採用功因自動調整器，自動控制電容器投入量改善功因，提高全廠功因至 95%。

D. 變壓器節能管理：

I. 檢討老舊油式變壓器改採用高效率非晶質變壓器：改善後，效率可提升約 1% 及減少鐵損損失 85%。(如 1,000 kVA 老舊變壓器效率 98.3%，鐵損 4,375 W，非晶質變壓器效率 99%，鐵損 660W，減少鐵損約 85%)。

II. 加強變壓器溫度管理：油式變壓器溫度約為 55 $^{\circ}C$ (油溫)，乾式變壓器溫度約為 70 $^{\circ}C$ (線圈溫度)。溫度偏高銅損增加，絕緣油易劣化，因此需注意變壓器負載高低、環境通風及冷房改善，若採空調冷卻需注意電氣室溫度過冷之空調損失。

4.1.2 照明系統

以照明用電而言，各行業工廠都是必備之設備，用電量高者如電機電子業、食品業占總用電之5%，低者紙業、非金屬業、化工業則僅占1.2%。欲進行照明如何節能須先了解照明平均照度計算公式，掌握照明影響耗能因子加以改善。

➤ 平均照度 $E=(N \times F \times U \times M) \div A$ ；

➤ 用電量(kWh/年)=N(具)×(W/具)×h/年；

➤ 年電費(元/年)=用電量(kWh/年)×平均電價(元/kWh)

E：照度(Lux)、N：光源數量(支或具)、F：光源輸出流明數(lm)、U：照明率(0.4~0.65)、M：維護係數(0.6~0.8)、A：面積(長 m×寬 m)。

照明設計各種場所所需之照度基準，須依據台灣 CNS 工廠照度標準規定，如表 4.1.2-1 所示，一般設計檢查作業，細緻視力作業照度約 750~1000 Lux，製造工程普通視力作業照度約 500~750 Lux，較粗及極粗視力作業如電氣室、走道照度約 300~75 Lux 等。

表 4.1.2-1 CNS 照度標準規定

附錄 1. 「CNS 12112 照度標準」之工廠照度規範

照度	場所	作業
3000~1500	◎控制室等之儀表盤及控制盤	<精密機械、電子零件製造、印刷工廠極細之視力作業如：◎裝配(a) ◎檢查(a) ◎試驗(a) ◎篩選(a) ◎設計◎製圖
1500~750	設計室，製圖室	纖維工廠之選別、檢查、印刷工廠之排字、校正，化學工廠之分析等細緻視力工作，如◎裝配(b) ◎檢查(b) ◎試驗(b) ◎篩選(b)
750~300	控制室	一般之製造工程等之普通視力作業如：◎裝配(c) ◎檢查(c) ◎試驗(c) ◎篩選(c) ◎包裝(a) ◎倉庫內辦公
300~150	電器室、空調機械室	較粗之視力工作如：◎可限定之工作◎包裝(b) ◎物品製造(a)
150~75	進出口、走廊、通道、樓梯、化妝室、廁所、內具作業場之倉庫	較粗之視力工作如：◎可限定之工作◎包裝(c) ◎捆紮(b)(c)
75~30	安全梯、倉庫、屋外動力設備	◎裝貨、卸貨、存貨之移動等諸作業
30~10	室外(通道、警備區)	—

註：1. 有關相同作業名稱以所看對象物及作業性質之不同而有 3 種分別。

(1) 表中之 (a) 乃細小物件、深暗色物件、對比不明顯之物件尤其具高增值產品、衛生嚴謹場合高精密度作業工作時間長久者等事項。

(2) 表中之 (c) 乃粗物件、亮麗物件、對比明顯物件、環狀物件尤其不具高價值物件等事項。

(3) 表中之 (b) 乃屬 1 與 3 之間之諸事項。

2. 具危險性之作業，應有兩倍之照度。

3. “◎” 記號之作業場所可用局部照明取得該照度。

附錄 2. 「CNS 12112 照度標準」之辦公室照度規範

照度	場所	
2000~1500	—	
1500~750	辦公室(a)(2)、營業所、設計室、製圖室、正門大廳(日間)(3)	
750~500	—	辦公室(b)、主管室、會議室、印刷室、總機室、電子計算機室、控制室、診療室、◎服務台
500~300	禮堂、會客室、大廳、餐廳、廚房、娛樂室、休息室、警衛室、	書庫、會客室、電器室、教室、機械室、電梯、雜物室
300~200	電梯走廊	
200~150	—	盥洗室、茶水間、浴室、走廊、樓梯、廁所
150~100	飲茶室、休息室、值夜班、更衣室、倉庫、入口(靠車處)	—
100~75	—	
75~30	安全梯	

註：1. 關於室內停車場請參照「CNS 12112 照度標準」之附表 6。

2. 辦公室如做精細工作，且日間因光線之影響而室外明亮，室內黑暗之感覺希望能選擇(a)之標準。

3. 為避免日間已適應屋外數萬 lux 的自然光，自進入屋內正門大廳時呈現昏暗之情形，正門大廳之照度應予提高，正門大廳日夜間照度可分階段點減調光。

- A. 檢討照度合理化 E(Lux)：如需將辦公室照度 1,000 Lux 降至 500~750 Lux，可採行拆減燈管、調整燈具距離、降低燈管瓦特(W)規格等任一方式，一般而言，可節省照明用電 25%。
- B. 採用高效率照明光源燈具(lm/W)：如(1)改採 LED 或 T5 日光燈；(2)水銀燈改採陶瓷複金屬燈；(3)出口指示燈改採 LED 燈。
- C. 檢討照明率 U(%)值：改善照明場所(長、寬、高)及牆面地板反射率，選擇高照明率之燈具，可減少燈具數量及提高照度。
- D. 加強燈具維護：定期清潔擦拭燈管燈具，維持燈具光輸出效率、照度及美觀，避免靠增加燈具來提高照度，進而耗電。
- E. 檢討照明使用時間：(1)挑高廠房多利用自然採光，減少開燈數量；(2)人員進出少之場所如倉庫、機房，多設自動點減開關；(3)大面積廠房採分區控制開關，配合加班作業需求照明點減管理。

4.1.3 壓縮空氣系統

在化工業、非金屬礦業、及紡織人纖業等行業之製程用「空壓系統」耗能占約 11~16%。一般而言，送風壓力 1 kgf/cm² 以上稱為壓縮空氣，空壓系統由空壓機→空氣桶→冷凍式乾燥機→吸附

式乾燥機→精密過濾器→管路系統等六大部份組成。目前各不同型式及規格大小之空壓機，每立方米(m^3)空氣成本約 0.2~0.4 元。空壓系統節能管理目標及措施如下：

- A. 汰換低效率空壓機：常態運轉的空壓機機齡超過 10 年以上，應執行效率檢測，但多數廠商並未建立設備效率觀念，只要設備堪用則會繼續使用，本團隊分析 10 年以上單機效率量測結果，普遍機齡 10 年以上之螺旋式空壓機，設備效率衰退 20% 以上，有的甚至衰退比例高達 49%，建議適時評估進行設備汰換，以節約能源。
- B. 將空壓機汰換為高效率機組：一般機組效率而言，離心機>螺旋機>往復機，新型空壓機效率較舊型提高約 6~11%。
- C. 多台低效率小往復式空壓機運轉合計超過 50 hp，可改採高效率螺旋機，提高運轉效率。
- D. 空壓機運轉最適化：廠方對壓縮空氣實際需求量並不了解，因此設備更新時，時常未能選用到合適機種，建議廠方導入日負載量測，確認需求後再選購符合需求之設備，並且不宜留用過大裕度，造成能源浪費。
- E. 使用壓力與設定壓力比較，出口壓力設定，每降 $1\text{kgf/cm}^2(1\text{MPa} \cdot \text{G})$ 可省電約 5~8%。
- F. 空壓管路採環狀配管及改善空壓機進氣室壓損，每減少 2 psig(0.14kg/cm^2) 表壓壓損約相當於 1% 空壓機耗能損失。
- G. 空壓機房排水不佳或靠近冷卻水塔，空氣濕度高，增加排水排氣及冷凍乾燥機耗電。
- H. 加裝無耗氣式自動祛水器，只排水不排氣，可節約電能約 5~6%。
- I. 壓縮空氣洩漏檢查：洩漏點多位於快速接頭、管路、排水等，由於壓縮空氣洩漏並無任何危害，且作業環境相當吵雜不易察覺，建議運用超音波測漏儀進行定期洩漏檢查，並確實更換漏氣元件，廠內常見壓縮空氣洩漏點，如圖 4.1.3-1 所示。

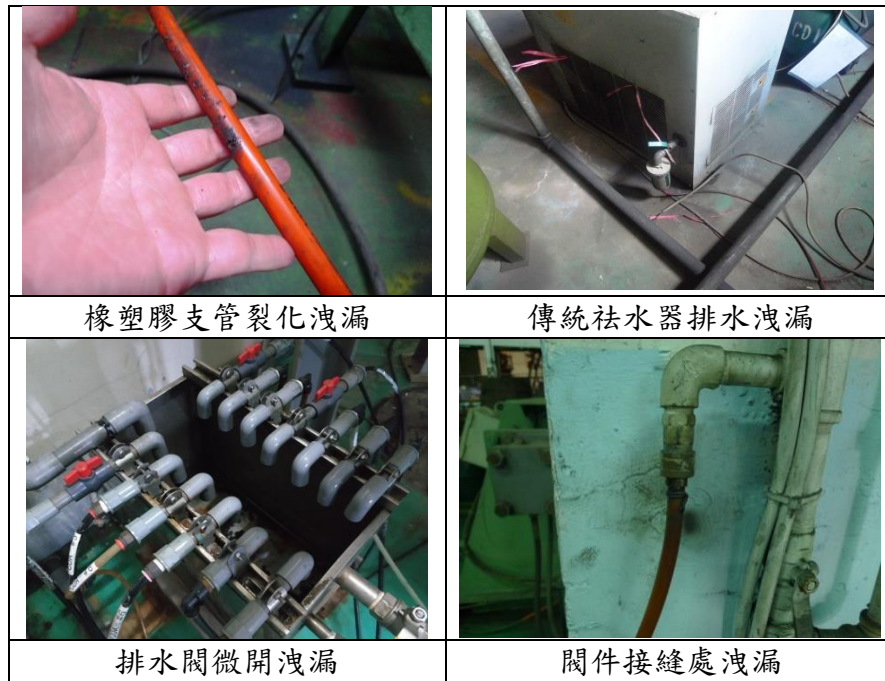


圖 4.1.3-1 廠內常見壓縮空氣之洩漏點

- J. 機房溫度升高至 35°C 以上，螺旋機應裝排熱氣風管並改善通風降低溫度，提高產氣效率。空壓機房溫度每降 1°C，節約用電能約 2~3%。進氣環境溫度，每升高 1°C 電力增加 0.33% 如圖 4.1.3-2(b) 所示；進氣環境相對濕度，每升高 10% 電力增加 0.3%，如圖 4.1.3-2(c) 所示。

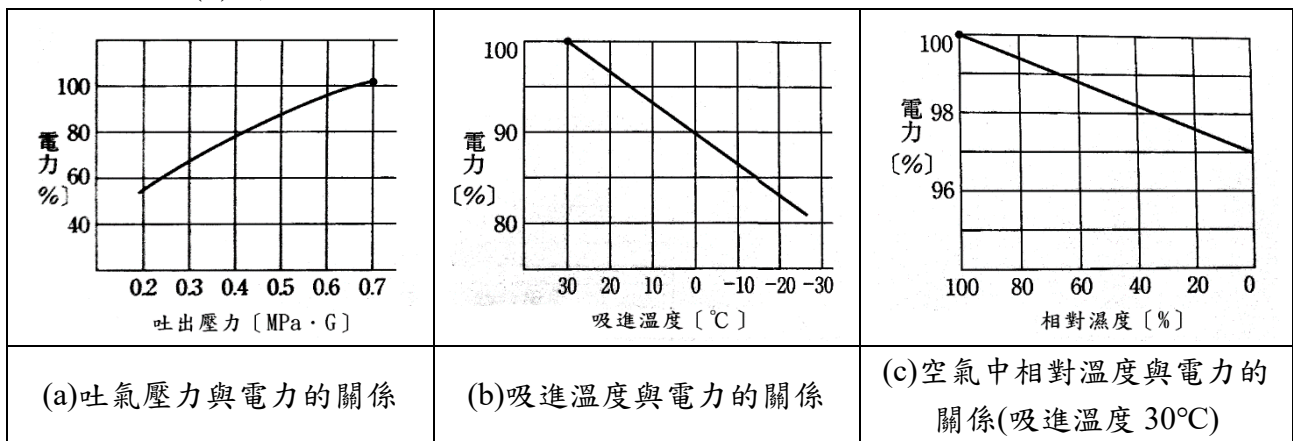


圖 4.1.3-2 空壓機吐出壓力、吸進溫度°C 及空氣中相對濕度與電力的關係圖

4.1.4 空調系統

➤ 箱型冷氣機

A. 如何選購箱型冷氣機

- I. 請選購符合政府公告之箱型冷氣機能源效率等級之值，能源效率比(W/W)值如下表 4.1.4-1 所示。
- II. 依室內大小及隔熱效果選擇適當容量(噸數)，辦公室每 6~7 坪約需 1 冷凍噸(相當 3,024 kcal/h 或 12,000Btu/h)，冷凍噸太大則壓縮機停開頻繁，比較耗電。

表 4.1.4-1 箱型冷氣機能源效率分級基準表

機種 \ 能源效率比 (W/W)	各等級基準				
	5級	4級	3級	2級	1級
氣冷式	低於3.15	3.15以上， 低於3.37	3.37以上， 低於3.59	3.59以上， 低於3.81	3.81以上
水冷式	低於4.25	4.25以上， 低於4.55	4.55以上， 低於4.85	4.85以上， 低於5.14	5.14以上

註：上表適用範圍為冷氣能力在 26kW 以下氣冷式或水冷式冷氣機。

B. 如何安裝箱型冷氣機

- I. 在冷氣機送風及回風口周圍，不宜放置妨礙氣流之障礙物。
- II. 安裝須牢固，以免增加振動和噪音。

C. 如何使用箱型冷氣機

- I. 溫度調節器須設定適當溫度值，以免過冷或過熱。冷氣機的溫度設定範圍以 26-28°C 為宜，每調高溫度設定值 1°C 約可節省冷氣用電 6%。對於經常進出的房間，室內溫度不要低於室外溫度 5°C 以上，以免影響身體健康。
- II. 冷氣區域應與外氣隔離且門窗應緊閉，以免增加空調負載。
- III. 為提高冷氣效果，最好裝置百葉窗或窗簾以免日光直接照射。

D. 如何保養箱型冷氣機

- I. 過濾網每 2~3 週至少清洗一次。

II. 熱交換器遭受污染時，會使冷氣能力降低，並引起故障，在開始使用空調時應清洗水垢或灰塵。

III. 氣冷式箱型機應定期清洗散熱鰭片，水冷式箱型機應定期清洗冷卻水塔。

IV. 溫度感測控制異常時，應即時請廠商修復。

➤ **窗型冷氣機**

A. **如何選購窗型冷氣機**

I. 請選購符合政府公告之窗(壁)型冷氣機或箱型冷氣機所訂之能源效率等級，能源效率比(W/W)值如下表 4.1.4-2 所示。

表 4.1.4-2 窗(壁)型冷氣機能源效率分級基準表

機種		冷氣冷卻能力	能源效率比(W/W)				
各等級基準		5級	4級	3級	2級	1級	
單體式	2.2以下	低於2.95	2.95以上， 低於3.10	3.10以上， 低於3.25	3.25以上， 低於3.40	3.40以上	
	高於2.2，4.0以下						
	高於4.0，7.1以下						
	高於7.1，10.0以下						
分離式	4.0以下	低於3.45	3.45以上， 低於3.69	3.69以上， 低於3.93	3.93以上， 低於4.17	4.17以上	
	高於4.0，7.1以下	低於3.20	3.20以上， 低於3.42	3.42以上， 低於3.65	3.65以上， 低於3.87	3.87以上	
	高於7.1	低於3.15	3.15以上， 低於3.37	3.37以上， 低於3.59	3.59以上， 低於3.81	3.81以上	

註：上表適用範圍為消耗電功率 3kW 以下之單體式窗(壁)型冷氣機及分離式窗(壁)型冷氣機。

II. 冷氣機之容量以每小時能自室內移走的熱量表示，1 冷凍噸為每小時自室內移出熱量 3,024kcal(相當 12,000Btu)，以此推算，每坪房間約需 0.15 冷凍噸 (相當 450kcal/h)，選用的冷氣機冷凍噸太大，壓縮機會頻繁啟動，比較耗電，而且減損壓縮機壽命。

B. 如何安裝窗型冷氣機

- I. 冷氣機應裝在通風良好，不受日光直射的地方，或者裝配遮陽棚。
- II. 冷氣吹出口以人身高度為宜，室外部份離地面至少 75 公分，以免塵土揚入，污染散熱片，增加耗電量。
- III. 室外熱氣排出口在 50 公分以內應避免有阻礙物，冷氣機室內側回風吸入口與牆壁保持 50 公分以上，以提高冷氣機效率。
- IV. 冷氣機底盤應稍傾斜，以免積水。冷氣機安裝後，窗口週圍間隙宜完全密封，可減少噪音並節省電力。
- V. 分離式冷氣機之室外機應儘可能接近室內機，其冷媒連接管宜在 10 公尺以內，並避免過多彎曲，否則會大幅降低冷氣機能源效率。

C. 如何使用窗型冷氣機

- I. 冷氣機的溫度設定範圍以 26-28°C 為宜，每調高溫度設定值 1°C，約可節省冷氣用電 6%。對於經常進出的房間，室內溫度不要低於室外溫度 5°C 以上，以免影響身體健康。
- II. 冷氣房內配合電風扇使用，可使室內冷氣分佈較為均勻，不需降低設定溫度即可達到相同的舒適感，並可降低冷氣機電力消耗。
- III. 冷氣房內避免使高熱負載之用具，如熨斗、火鍋、炊具等。
- IV. 停用冷氣機前 5-10 分鐘可先關掉壓縮機（由冷氣改為送風或調高溫度設定），維持送風換氣，則下次再開冷氣時較為省電。

D. 如何保養窗型冷氣機

- I. 每兩週清洗空氣過濾網一次，空氣過濾網太髒時，容易造成電力浪費。

- II. 依室外空氣污濁程度，每 1-3 年應請廠商清洗散熱片一次。
- III. 溫度感測控制器異常時，較為耗電，應及時請廠商修復。
- IV. 不明原因造成冷氣機不冷時，不宜勉強使用，避免浪費電力，並造成機件故障。

➤ **空調系統**

空調系統組成概分為五個熱交換循環(1)空氣側循環、(2)冰水側循環、(3)壓縮冷熱循環、(4)冷卻水循環、(5)冷卻水塔散熱循環。經統計空調系統耗能流向百分比，平均冰水主機占約 60%、冷卻水泵約 11%、冰水泵約 13%、冷卻水塔約 3%、空調箱室內送風機約 13%。由空調系統耗能流向%及檢測效率分析點，便可知節能重點方向及潛力。

A. 空氣側節能：

一般辦公室節能舒適空調環境條件為溫度不低於 26°C、相對溼度(RH)50~60%及風速 0.3m/s、二氧化碳濃度 1,000ppm。

空氣側可行節能方法及效益為：

- I. 強化溫控開關管理，例如室溫設定不低於 26°C，管控風速(或增設節能循環風扇)在 0.3m/s，則每調高 1°C之溫度設定，大約會有 6%之整體省能效果。
- II. 夏月調整外氣之引入量，以減少熱負荷，非夏月外氣低於 26°C時，則可多利用外氣冷房。
- III. 定期檢視小型冷風機(F/C, Fan-Coil)，或 AHU(Air Handling Unit)空調箱冷卻盤管之進出水溫，建議分別設定為 7°C及 12°C(溫差 5°C)；出風溫度建議為 16°C，並確定冷卻盤管無污染，以達成高效率運轉。

B. 冰水側節能：

一般冰水泵設計流量每冷凍噸 2.4GPM，標準進出水溫度建議分別設定為 7°C及 12°C(溫差 5°C)；若溫差小於 3°C，則

代表負載低或冰水流量太大，若可加裝變頻調降流量約 10% 以上，則水泵可節省 30% 耗電；另經驗顯示，如果將冰水主機冰水溫度 7°C 調高至 9°C，每調高冰水溫度 1°C，可降低冰水主機 2% 耗電。

C. 冰水主機節能：

- I. 定期檢測空調主機運轉效率：依據經濟部能源局公告之空調系統冰水主機、箱型冷氣機、氣冷式冷氣機能源效率標準，適時進行高效率空調主機之汰換。空調機選用原則：水冷式效率比氣冷式高、大機台效率比小機台高、機型效率高低順序為冰水機(離心機>螺旋機)、箱型機(水冷式>氣冷式)、窗型機(分離式>單體式)。

- II. 加強主機操作壓力溫度管理：冰水主機蒸發器及冷凝器之對數平均溫差(LMTD Log Mean Temperature Difference)不得高於 5°C。

$$LMTD = (\Delta T1 - \Delta T2) / \ln (\Delta T1 / \Delta T2)$$

蒸發器： $\Delta T1 = \text{冰水回水溫度}(^{\circ}\text{C}) - \text{蒸發溫度}(^{\circ}\text{C})$ ；

$$\Delta T2 = \text{冰水出水溫度}(^{\circ}\text{C}) - \text{蒸發溫度}(^{\circ}\text{C})$$

$$LMTD = (\Delta T3 - \Delta T4) / \ln (\Delta T3 / \Delta T4)$$

冷凝器： $\Delta T3 = \text{冷凝溫度}(^{\circ}\text{C}) - \text{冷卻水入水溫度}(^{\circ}\text{C})$ ；

$$\Delta T4 = \text{冷凝溫度}(^{\circ}\text{C}) - \text{冷卻水出水溫度}(^{\circ}\text{C})$$

- III. 一般空調冰水主機之蒸發及冷凝溫度與壓力條件運轉管理：
冷媒蒸發壓力對應之溫度與冰水出水溫度°C 差 3°C 左右。
冷媒冷凝壓力對應之溫度與冷卻水出水溫度°C 差 3°C 左右。
因此冰水主機之蒸發及冷凝溫度與壓力條件管理目標值，見(冷媒 R22)表 4.1.4-3 所示。
冰水進出溫度 7°C~12°C；低壓蒸發壓力 4.56 kgf/cm²(3°C)~5.3 kgf/cm²(7°C)；

冷卻水進出溫度 27°C~32°C，高壓冷凝壓力 11.2 kgf/cm²(30°C)~14.6 kgf/cm²(40°C)；

表 4.1.4-3 冰水機之蒸發及冷凝溫度與壓力條件

冷媒		R-134a	R-123	R-22
低壓側	壓力	0.32614 MPa (2.296 kg/cm ² G) (32.6 PsiG)	0.374 MPa (280 mmHg) (11.04 inHg)	0.54863 MPa (4.564 kg/cm ² G) (64.86PsiG)
	溫度	3°C	3°C	3°C
高壓側	壓力	1.0166 MPa (9.332 kg/cm ² G) (132.75 PsiG)	0.1544 MPa (0.541 kg/cm ² G) (7.694 PsiG)	1.5336 MPa (14.6 kg/cm ² G) (207.7 PsiG)
	溫度	40°C	40°C	40°C
備註：冷媒蒸發溫度 3°C，冷凝溫度 40°C 冰水入水 12°C，出水 7°C 冷卻水入水 32°C，出水 37°C 為運轉基準 當設計條件不同時，溫度及壓力讀數須作相應之校正				



螺旋冰水主機 R22 冷媒高低壓壓力表

依螺旋式冰水機特性：冷凝高壓增高 1 kgf/cm² 主機耗電增加約 5%；冷卻水水溫增高 1°C，主機耗電增加約 3%。冰水出水溫增高 1°C，主機耗電減少約 2%。因此冰水主機節能管理首重高壓增高至 16.7 kgf/cm² 以上時，冷凝器及冷卻水塔則應清洗；另非夏月時，則應檢討主機開機台數及冰水出水溫度是否調升到 9°C 之溫度，以利於節約用電。

D. 冷卻水側節能：

一般冷卻水泵設計流量為每冷凍噸約 3 GPM，隨冰水主機運轉台數或大小，減少冷卻水泵運轉台數，可節約用電。

E. 冷卻水塔節能：

I. 冷卻水塔近似效率 $=\frac{(T_i-T_o)}{(T_i-T_w)}\times 100\%$ ；接近值 $T=T_o-T_w$

T_i ：入口水溫； T_o ：出口水溫； T_w ：大氣溼球溫度

建議標準值：冷卻水塔效率 50~70%；接近值=3°C(或 5°F)以下。

II. 冷卻水塔效率改善方式：

- 加強清洗，減少散熱片污染，提高散熱能力。
- 定期換水及排水，減少水中雜質污染，減輕結垢產生。
- 調整風葉片角度，過小造成排熱能力不足，過大則增加用電。
- 冷卻水容量較冰水主機容量稍大。

一般冷卻水塔散熱容量大於冰水主機製冷能力之 1.25 倍，建議設定最佳進出水溫各為 27°C 及 32°C(溫差 5°C)，若溫差小於 3°C，則代表負載低，可在冷卻水塔風扇馬達可加裝變頻器及溫濕度控制器，依外氣溼球溫度適當調控運轉風扇轉速，則可降低整體冷卻水塔風扇耗電。冷卻水塔的散熱能力在其他條件固定的情形下與風扇風量大小約呈正比關係，如果讓所有冷卻水塔同時啟動一起運轉，則在相同負載下每個冷卻水塔的風量可以減少。因此根據風車定律每一冷卻水塔的風扇耗電量大致為風量的三次方成比例變化，而達到節能之目的。如再以變頻控制，馬達啟動平緩，更可延長馬達皮帶之壽命，減少維修保養費用。

4.1.5 泵浦系統

工廠空調系統耗能百分比，冷卻水泵約佔 11%、冰水泵約佔 13%。以鋼鐵、化工、染整、造紙業製程設備或產品而言，因為需要大量冷卻水或冷凍液體，不管是冷卻水或冷凍液，都有賴泵浦系統來輸送，泵浦節能措施如下。

- A. 安裝變頻器節約低負載電能：工廠大多使用冷卻水卻製程設備及產品溫度，以防過熱損毀，但水泵皆有過大設計之現象，建議可增設變頻器控制合理流量大小節約用電。
- B. 汰換低效率泵浦：常態運轉的泵浦機齡超過 10 年以上，應執行效率檢測，本團隊分析 10 年以上單機效率量測結果，普遍機齡 10 年以上之泵浦，設備效率衰退 2% 以上，有的甚至衰退比例高達 20%，建議適時評估進行設備汰換以節約能源。

4.1.6 鍋爐系統

鍋爐系統在台灣化工業、染整、紡織人纖、造紙、橡膠、食品等行業需求較大。鍋爐系統概分熱水鍋爐、蒸汽鍋爐及熱媒鍋爐。使用燃料分為燃料油、天然氣(LNG)、液化石油氣(LPG)及煤碳，鍋爐節能措施如下。

- A. 蒸汽壓力控制：一般鍋爐操作壓力約 6~7 kgf/cm²，壓力增高 1 kgf/cm²，相對加上鍋爐損失，消耗燃料量將大於 3%。
- B. 排氣含氧量控制：空氣比控制在 1.2，相對排氣含氧量約 3~5% 合理。一般而言，鍋爐之操作是希望於高負載時，調整空氣比在 1.16~1.3 之間，其排氣含氧量於 3~5% 之間，若超過 5% 則應該馬上調整。排氣含氧量每減少 3% 約可節省 1% 燃料。
- C. 排氣溫度控制：蒸汽溫度(°C)與尾氣(°C)相差約 35°C，經排氣熱回收熱交換後排氣溫度考慮腐蝕性不低於 130~150°C。一般排氣溫度提高 10°C，鍋爐效率降低 0.6~0.7%。

4.1.7 智慧化能源管理系統

節約能源與提高能源使用效率，此與溫室氣體減量密切相關，企業導入 ISO50001(歐盟 EN 16001)能源管理系統 (Energy Management System, EnMS)，建立能源管理機制，為一落實溫室氣體減量之重要策略。該系統在於導入 ISO9001 品質管理系統、ISO14001 環境管理系統及 PDCA「規劃(Plan)-執行(Do)-檢查(Check)-

行動(Act)」的行動方法，藉以鑑別出兼容性及整體性提升能源效率之機會。主要系統特點包括降低成本、改善企業績效、符合法律規範、減少溫室氣體排放、賦予明確能源政策和績效目標，是一個可獲得高階管理人支持之整合管理系統。

降低能源成本與管理溫室氣體排放已成為當前企業發展的必要策略。國際標準組織積極發展 ISO 50001 能源管理系統，以引導企業系統化落實能源管理工作。依 ISO 標準組織預期，該標準未來預期可影響全球能源需求達 60% 以上。企業如欲有效建制 ISO 50001 能源管理系統，宜及早進行工作項目如下：

- 整合國際標準/能源查核/節能趨勢，進行完善系統建制與訓練。
- 加強企業整合能源查核作業、節能減碳實務，以建立能源管理系統。
- 依循國際標準建立管理程序，健全能源規劃、監測、管理與改善機制。
- 建置完備程序/文件，通過驗證以展現成效。

4.1.8 工廠常見節能措施手法彙整

➤ 設備維護管理(非保證節能潛力，視現場狀況而有所差異)

系統別	系統設備節能措施	節能潛力
電力	檢點供電品質(電壓、功因、三相平衡、及諧波)，維持設備高效率及安全	約1~10%
照明	生產線作業區照明採用採用自然採光、局部照明及減光措施	約10%
空調	冰水主機合理調高冰水出水溫度°C(夏天7°C，冬天9°C)	調高1°C，可節省主機耗電約2%
	冰水主機定期清洗冷凝器，並冷卻水塔保養	降低水溫1°C，可節省主機耗電約3%
空壓	空壓機合理控制出氣壓力設定	調低1 kg/cm ² ，可節約耗電約6%
	多台空壓機合理控制開機台數及減少加卸載空轉損失	約20%
	空壓機定期保養祛水器及定期檢點管路接頭	每減少1/7壓力降，可節省耗能損失約1%
風車/泵浦	風車及水泵加強配合負載合理調整流量及設備保養維護	可節省耗電約10~20%
	轉動設備應定期檢點馬達保養、傳動效率改善、機件潤滑及控制設備調整，維持高效率運轉及減少當機空轉	約5~10%
製程	製程加熱設備應定期校正溫控器，合理設定控制加熱溫度°C及減少恆溫待機時間	約5~10%

4.2 節能改善方案介紹

空壓系統-空壓主機汰舊更新

方案類型	方案名稱	本項之能/資源耗用量	型式(單位)	預期改善成效		降低成本(萬元/年)
				能/資源節約量(年)	溫室氣體減量(tCO ₂ e/年)	
空壓系統	提升空壓機運轉效率	3,055,616	電力(kWh/年)	458,342	233.3	137.5

現況說明

廠內設有 5 台 200hp 螺旋式空壓機，其中 4 台空壓機使用年限超過 15 年，建議應透過檢測現行運轉效率評估其汰舊更新之效益。

改善措施

壓縮空氣系統在 7bar 及每天 24 小時連續運轉 5 年後，能源費用約佔總費用的 70~80%、購置費用約佔 10~20%、正常保養約佔 5~10%、異常維修約佔 2~5%。換言之，能源費用約為購置費用的 5 倍之多。然而，根據美國能源部(DOE)對能源費用的調查與分析，得知真正用於生產有關的只有 60%，其餘 25% 起因於洩漏、15% 根本是假性需求。

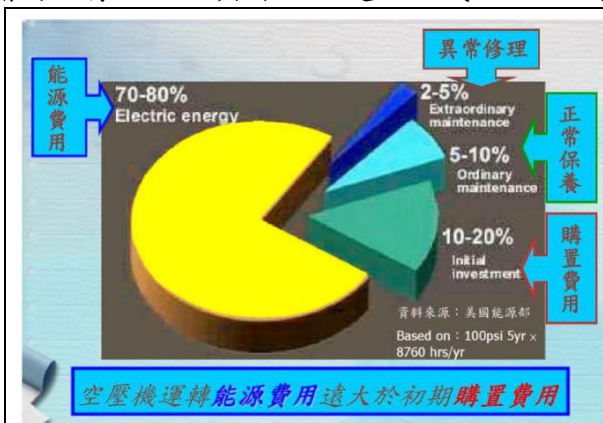


圖1 壓縮空氣運轉成本分析

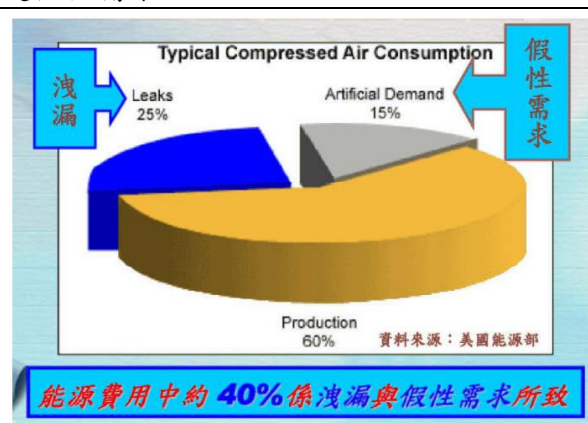


圖2 壓縮空氣運轉能源成本分析

(資料來源：工研院能環所，壓縮空氣系統能源查核及節約能源案例手冊 P21~P22)

空壓機設備本身為消耗性設備，使用長達 10 年以上之空壓機設備，均有效率衰退之問題。使用 10~15 年之空壓機，螺旋式主機效率約衰退 15%，離心式主機效率約衰退 10%；使用 15~20 年之空壓機，螺旋式主機效率約衰退 30%，離心式主機效率約衰退 15%。建議應配合空壓機維護廠商，建立空壓機效率驗證機制，管制大修前後的軸徑向間隙，並驗證風量、馬力、單位能耗、洶湧點(surge point)與 FAT 值差異，適時汰舊更新。

表1 永磁變頻空壓機與感應變頻空壓機比較

空壓機型式	使用永磁馬達變頻空壓機	一般感應馬達變頻空壓機
馬達型式	永久磁石式馬達與油電車同型式專為變頻空壓機設計	一般效率感應式馬達
馬達效率	永磁馬達效率高於IE3等級	IE2或IE3等級馬達，且馬達需加裝強制風扇，耗電增加
傳動能耗	直接傳動，不經由皮帶、聯軸器+齒輪傳動零件，能耗節省3~5%	使用皮帶或聯軸器+齒輪傳動，有傳動損耗
低振動低噪音	直接傳動，有效減少振動、噪音產生	使用聯軸器或齒輪傳動，校正度不好，容易有傳動振動產生
傳動零件更換	無傳動耗材更換成本	聯軸器或齒輪傳動耗材，定期更換費用高達上萬元
體積	機組體積較比一般變頻空壓機小約10%~30%	體積較大、佔空間
馬達排熱量	排熱量較一般變頻空壓機小5~10%，減少空壓機吸氣熱短循環	馬達排熱量較大，機組內部溫度較高

(資料來源：漢鐘精機網頁)

如圖3所示，50HP變頻式空壓機，使用永磁式馬達與感應式馬達，運轉耗電比較，最多差異約11%耗電

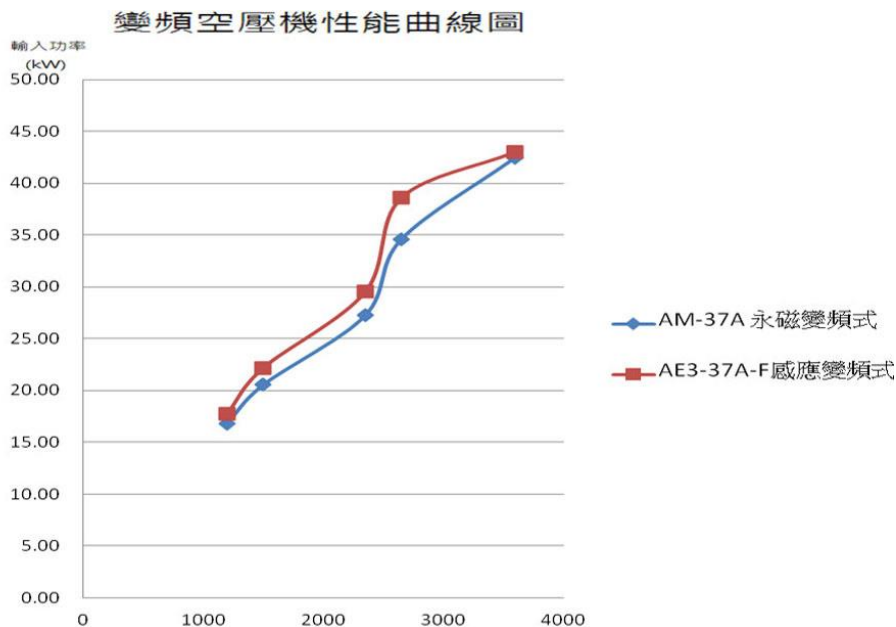


圖3 變頻空壓機性能曲線

效益分析

舊空壓機更新約有 10-30%的效率提升空間，但實際節電量會依各廠使用與維護情況而有所增減。

表2空壓機預估節能表

空壓機形式	使用年限	預估節能比例
螺旋式	10~15年	15%
	15~20年	30%
離心式	10~15年	10%
	15~20年	15%

1. 節能效益

空壓機年用電量(kWh/年)

=總馬力數(hp)×平均負載(%)×0.746(kW/HP)×年使用時間(hr/年)×稼動率(%)

200 hp/台×4 台× 80%× 0.746 kW/hp× 8,000 h/y× 80%=3,055,616 kWh/y

進行空壓機汰舊更新，15 年空壓機約有 30%節能空間(參照上表)

年節約電量(kWh/年)=3,055,616 kWh/y× 15%= **458,342 kWh/y**

2. 減碳效益

每年可減少溫室氣體排放約233.3公噸CO₂e：

458,342 kWh/y× 0.509kgCO₂e/kWh ÷ 1,000kg/ton = 233.3tCO₂e/y

(依據經濟部能源局公告110年電力排放係數0.509kgCO₂e/ kWh)

3. 投資報酬

458,342 kWh/y× NT\$3.0/kWh (過去 12 個月平均單價) = 137.5 萬元/年

空壓系統-空壓機設定壓力調降

方案類型	方案名稱	本項之能/資源 耗用量	型式(單位)	預期改善成效		降低成本 (萬元/年)
				能/資源節約量(年)	溫室氣體減量 (tCO ₂ e/年)	
空壓系統	空壓機設定 壓力調降	2,864,640	電力(kWh/年)	171,878	87.5	51.6

現況說明

目前廠內設有5台200hp螺旋式空壓機，廠內應定期做洩漏檢查，以降低設定壓力。

改善措施

1.減少空壓機的內部壓力損失：

除了空壓機的能源效率之外，空壓機的內部壓力損失同樣對能源的消耗也有一定程度的影響。泛用的經驗值為每1kg/cm²的壓力損失將有4-8%的能源耗損。因此，如何管理並降低空壓機的內部壓力損失也是壓縮空氣節能中另一個重要的課題。許多用戶甚至空壓機業者，在系統壓力過低時，到底是風量不足與/或壓降過大常常混淆不清。風量不足可能是用量增加、可能是洩漏擴大、可能是效率降低所引起；壓降過大則可能是阻塞增大或洩漏變大等因素。兩者的肇因不同解決方案也不同，不可混為一談。分就三種常用空壓機的壓損原因說明如下：往復式空壓機的壓損主要產生在活塞環的必要洩漏、空氣通過進排氣閥時的壓降、進氣過濾器、油水分離器、機油過濾器、內部管路、各壓縮段中間冷卻器及後部冷卻器等阻塞及/或洩漏的壓降等。螺旋式空壓機的壓力損失包含進氣過濾器、油細分離器、機油過濾器、各壓縮段中間冷卻器及後部冷卻器等阻塞與進氣控制閥容調時的壓損，及因各壓縮段卻水器排水、空車洩載排放的洩漏，及內部管路阻塞或洩漏造成的壓力損失等。離心式空壓機的壓力損失除上述螺旋式空壓機的壓損原因外還包含減壓閥失等。(資料來源：1.工研院能環所，壓縮空氣系統節能手冊P.39-P.40，2財團法人中技社節能技術發展中心，壓縮空氣供氣系統節能手冊P.24-P.25。)




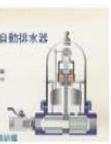




空壓機的壓力損失管理綱要如下：

- (1) 選擇空重車壓力範圍較小(±0.5 kg/cm²內)的空壓機(傳統機械式壓力開關的空重車壓力範圍接近2 kg/cm²，會造成多餘的電能損失)
- (2) 選擇全罩、預濾式箱體的空壓機，可以減少進氣過濾器及冷卻器阻塞的機會，延長進氣過濾器及冷卻器的壽命。
- (3) 裝置壓差計並有效監測進器過濾器的壓差，大於6吋水柱時應更換。
- (4) 有效監測空壓機內部壓損(油氣分離器、機油過濾器及內部洩漏等)保持壓損經常小於0.5 kg/cm²，適時更新。
- (5) 採取有效的控制，減少空車及減壓閥排氣的損失。
- (6) 選用黏度較高的合成潤滑機油，可避免潤滑油碳化阻塞內部管路產生額外壓差，減少機件磨擦損失。

2.改用無耗氣式祛水器：

台灣屬於海洋性氣候，在壓縮空氣的使用上，因入氣空氣含有較高的濕氣，以致壓縮後的空氣含有大量的水氣，此水氣若不排除即會造成後端用氣設備的故障率，因此在排水器之選擇運用上不可不慎。大多數產業界在使用壓縮空氣排水器上，以為水氣量不多，所以只是早晚使用手動排放，而未能將壓縮溫昇後的水氣排除，以致造成大量水氣經由空壓管路逕行至用氣點，而造成用氣端的設備故障；又或者因祛水器極易故障，故以手動開啟排放而造成大量的能源浪費。為使用戶確實瞭解真正的水氣含量及適當的排除，並且因正確的使用排水器而使現場設備品質良率提昇，更使得壓縮空氣因適當的排放而不浪費壓縮空氣。傳統卻水器排水時，易造成壓縮空氣之洩漏，新式無耗氣式祛水器排水時卻不會造成壓縮空氣之浪費，可有效降低排水時之壓縮空氣洩漏。祛水器比較如下表所示。(資料來源：CompAir，空壓機祛水器技術手冊)。

祛水器比較表

	無耗氣式				耗氣式			
	電子式液位控制		浮球式液位控制		流孔式	手動	時間控制	
	節能5%		節能1~3%			無節能		
								
優點	依收集水量，決定排放時機 不浪費壓縮空氣 有故障顯示，並提供乾接點 不易堵塞 維修需求少 操作可靠度高		不需電源 低投資成本 依收集水量，決定排放時機		不需電源	不需電源 低投資成本		空間需求小 投資成本低
缺點	需外接電源 專業技術需求高 初期投資成本稍高		動作零件較多 易受汙染影響 需經常定期巡檢，維護成本高 無故障顯示，安全性較低			噪音大 無故障顯示 大量浪費壓縮空氣 易受汙染作動不良		

貴廠應儘速維修現行的祛水器，定期維護保養，並可考慮採用無耗氣式祛水器，以減少浪費壓縮空氣，節省電費支出。



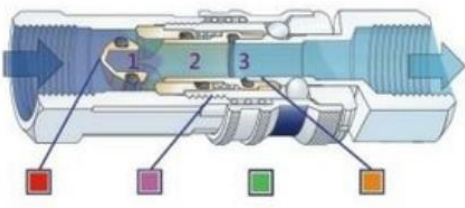
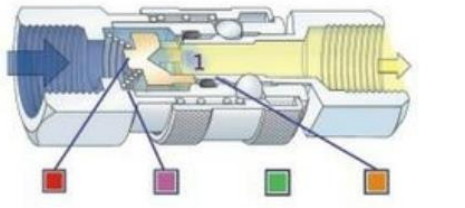
無耗氣式祛水器(參考例)



無耗氣式祛水器(參考例)

3.減少管路接頭洩漏：

(1) 建議快速接頭可汰換為不易洩漏型氣動式快速接頭。

氣動快速接頭	一般氣壓快速接頭
	
■ 錐形閥門，切割氣流 = 氣流無阻礙、無壓降	■ 平座閥門，產生氣旋 = 氣流阻礙，壓降發生
■ 雙層閥門結構，隔離氣流與彈簧 = 超高耐用度	■ 氣流直接通過彈簧 = 彈簧易劣化，造成閥門密封力不足
■ 三道O-ring密封 (123) = 零洩漏	■ 一道密封 (1) = 閥門與公接頭共用，損壞率高，洩漏發生
■ 公接頭以【點】接觸密封環 = 連接力小，密封環壽命長	■ 公接頭穿過【摩擦】密封環 = 連接力大，密封環易破壞

(2) 依據文獻，壓縮空氣系統中的能量損失，來自於空壓設備到終端氣動工具間，氣壓迴路所發生的洩露問題。迴路中只要有1mm的孔，會造成一年20880Nm³洩漏量，孔越大，洩漏則越大，金錢損失也越大！

Air leakage volumes on the basis of the diameter of the hole and the number of hours worked per year, at 7 bars.		
	4 000 h/year	6 000 h/year
• Ø 1 mm	13 920 m ³ /year	20 880 m ³ /year
• Ø 2 mm	55 880 m ³ /year	83 520 m ³ /year
• Ø 3 mm	125 280 m ³ /year	187 924 m ³ /year



(3) 根據統計產生1Nm³壓力7bars的壓縮空氣，約需花費US\$0.03/Nm³，以台灣平均電價約NT\$2/度計算約NT\$0.6/Nm³。

4.採用高效能空氣噴嘴

廠內押出機出口利用壓縮空氣去除表面殘留液體，現採用一般軟管提供壓縮空氣吹清，壓縮空氣流量大壓力小，吹清效果不佳，且間接造成壓縮空氣浪費。建議可選用適合之高壓空氣噴嘴，可減少壓縮空氣用量並改善氣體噴射性能。



市售各類型空氣噴嘴

5.建立洩漏檢查機制

一般空壓機使用空氣壓力範圍，皆設定在 4~7kg/cm² 之間，如果發現空壓機在未使用壓力空氣的情況下，其壓力表數值卻會慢慢下降，即表示空壓機系統內有洩漏的情形發生，工廠最常發現的洩漏源為快速接頭，當距離洩漏源一公尺遠處，若隱約可聽到空氣洩漏的聲音，這些聽得到的洩漏源，對於落實工業減廢及有心杜絕空壓機系統洩漏之工廠，可輕易察覺並適時給予修復，然而令工廠困擾的卻是「聽不到聲音」的洩漏源，因為這些洩漏量已造成不可忽視的能源損耗，又不易由傳統的測漏技術與工具檢查出來。且壓力空氣的能源費用與管理費用非常昂貴，所以如何節約壓力空氣的能源費用與管理費用，是工廠廠務工程師與主管人員急待解決的問題，如能確實降低空壓機系統漏氣率，便能大大降低空壓機運轉費用。空壓管路若採用軟管易水解脆化造成洩漏，硬管則容易在管路連接處發生洩漏。建議可定期於廠內交班時間，執行洩漏檢查活動。在交班前由現場人員自行檢查空壓管路洩露情況，可利用肥皂水作測漏總體檢，以檢查出些微洩漏處。

效益分析

若進行上述相關洩露問題點進行改善，建議可逐步調降空壓機設定壓力，假設改善後設定壓力可由 7.0 kgf/cm² 調降至 6.0 kgf/cm² 計算

1.節能效益

空壓機年用電量(kWh/年)

=總馬力數(hp)×平均負載(%)×0.746(kW/HP)×年使用時間(hr/年)×稼動率(%)

200 hp/台×5 台×80%×0.746 kW/hp×8,000 h/y×60%=2,864,640 kWh/y

年節約電量(kWh/yr)

=空壓機年用電量(kWh/年)×[改善前設定壓力-改善後設定壓力](kgf/cm²)×6%

=2,864,640 kWh/y×(7.0-6.0) kgf/cm²×6%

=**171,878 kWh/y**

2.減碳效益

每年可減少溫室氣體排放約87.5公噸CO₂e：

171,878 kWh/y×0.509 kgCO₂e/kWh÷1,000 kg/ton=87.5 tCO₂e/y

(依據經濟部能源局公告110年電力排放係數0.509 kgCO₂e/kWh)

3.投資報酬

171,878 kWh/y×NT\$3.0/kWh(過去12個月平均單價)=51.6萬元/年

空調系統-空調主機汰舊更新

方案類型	方案名稱	本項之能/資源耗用量	型式(單位)	預期改善成效		降低成本(萬元/年)
				能/資源節約量(年)	溫室氣體減量(tCO ₂ e/年)	
空調系統	提升冰水主機運轉效率	1,244,160	電力(kWh/年)	261,274	133	78.4

現況說明

目前廠內設有 2 台螺旋式冰水主機 180 RT，運轉時數 1 年 4,320 小時。

改善措施

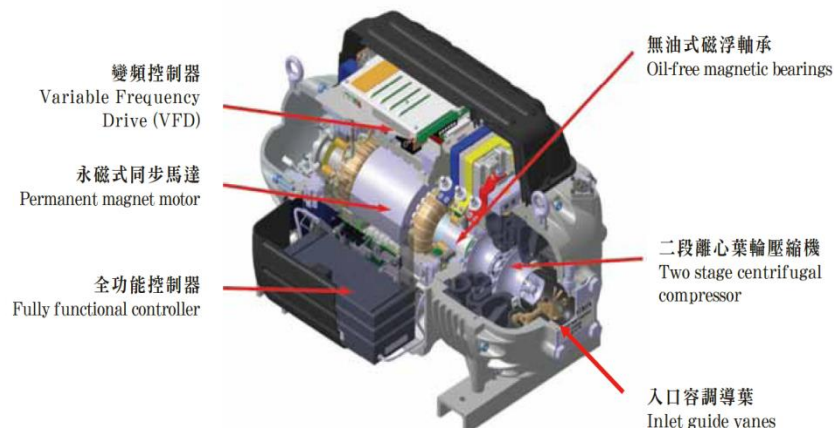
利用精密磁浮軸承技術的無油式磁浮離心機為近來空調市場發展方向，因為它克服了軸承損失、齒輪傳動損失和系統冷凍油的熱交換效率損失，不僅提升壓縮機的壓縮效率和馬達效率，使其年運轉效率較既有技術產品節電 20~30%以上；又因離心機的高轉速運轉優點，換得體積僅有傳統機種 1/4~1/5，由地球永續資源的觀點為非常環保的產品，國際冰水機業者已紛紛投入磁浮技術的研發和應用。

1. 高效率磁浮無油離心式冰水主機之壓縮機主要元件：

- (1) 無油磁浮軸承(Oil-free magnetic bearings)：由於磁浮軸承無油、無摩擦、低耗損之特性，可使離心式壓縮機於高速運轉時更為穩定、可靠。
- (2) 永磁同步馬達(PM motor)：可藉由馬達設計之尺寸及重量，提高運轉效率。
- (3) 兩級葉輪：透過葉輪之高速旋轉，帶動葉片間之空氣，藉由離心升壓作用和降速擴壓作用，使得葉輪於高速旋轉時，其中心呈現近似於真空狀態，達到吸氣之作用。

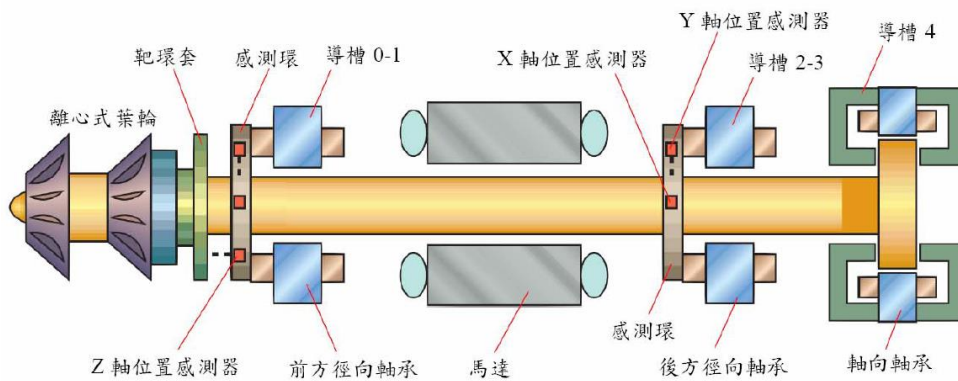
壓縮機結構 Compressor structure

資料來源：荃霖冷凍空調型錄



高效率磁浮無油離心式冰水主機之壓縮機主要元件

2.磁浮高速轉軸動作原理：



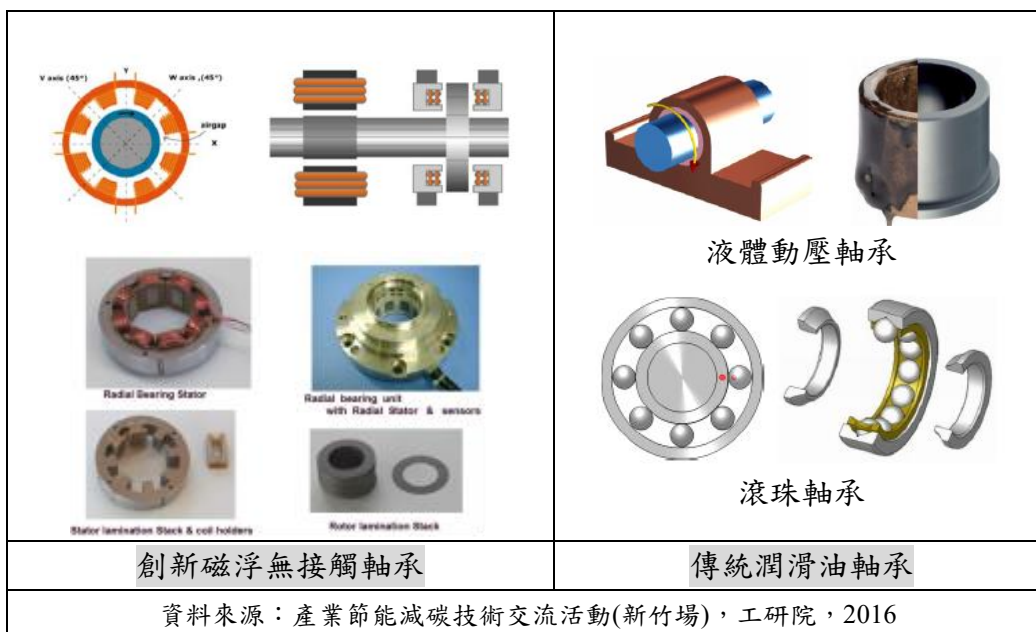
磁浮磁浮高速軸承設計(資料來源：荳霖冷凍空調型錄)

- (1) 壓縮機之轉子軸承與葉輪由磁浮軸承支撐，利用磁浮軸承產生磁力將高速轉軸浮起後才由馬達開始旋轉。
- (2) 三個軸方向(X,Y 及 Z)由鄰近的渦電流線圈(eddy current coils)感測並將訊號傳回控制迴路以進行控制決策。
- (3) 旋轉過程中當負載變化時軸位置將持續監測與重新定位於正確位置。
- (4) 利用各感知器調整位置，軸間隙可靠地維持在 $0.0005\mu\text{m}$ 以內。
- (5) 直接傳動，不需齒輪變速箱，結構簡單減少故障因素。
- (6) 耗能約 180W 遠低於齒輪箱機械損 10kW 以上，節能 98.2%以上。
- (7) 磁浮高速旋轉，無摩擦運轉不需更換軸承節省保養費用，機組壽命長，滿載運轉噪音 70dB(A)，遠低於螺旋機 88dB(A)。
- (8) 冷媒系統不須充灌冷凍油，可以提升主機能力約 8~9%與增加可靠度、節省更換冷凍油保養費用。

磁浮軸承離心機	傳統離心機
<p>無潤滑油路 (磁浮軸承功率消耗 0.3%)</p>	<p>複雜的潤滑油路 (油循環相關功率消耗 8%)</p>
<p>資料來源：產業節能減碳技術交流活動(新竹場)，工研院，2016</p>	

磁浮離心機與傳統離心機的潤滑油路系統差異

(9)多壓並聯運轉無回油問題可獲得更好的部分負載效率突然斷電會自動減速停機，不會因無冷凍油而造成機械摩擦損壞。



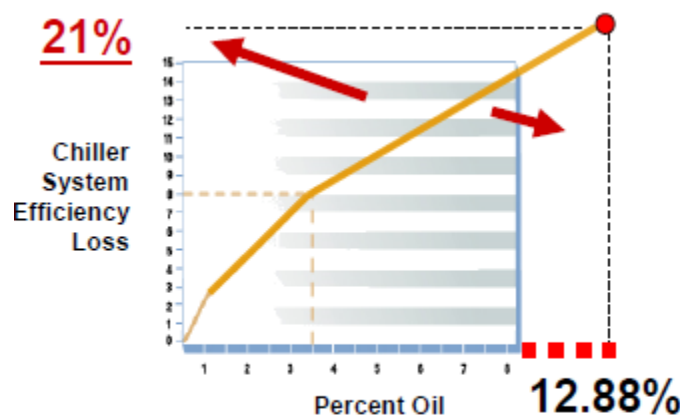
離心機磁浮軸承與傳統油軸承的差異

3.變頻運轉特色：

- (1)壓縮機之轉子可以依據負載大小調整運轉轉數，轉速 15,000~37,000 RPM。
- (2)部分負載能源效率非常顯著，與傳統螺旋壓縮機相比節能超過 30%。優秀的部份負載效率 IPLV=0.34kW/RT~0.43kW/RT，大幅降低運轉電費。
- (3)壓縮機內置直流變頻裝置，不需額外設置於配電盤內。緩衝啟動與停機，啟動電流只有 2A 不到螺旋機的 1%，維持穩定的電源品質。
- (4)主電源突然斷電時，壓縮機變成發電機會自動減速後停止，無須額外設置緊急電源系統與供油迴路。

4.冷凍潤滑油對冰水機之影響：

- (1)舊機蒸發器潤滑油濃度平均值 12.88%，造成效率衰退 21%。



資料來源：產業節能減碳技術交流活動(新竹場)，工研院，2016

ASHRAE 對於冷凍潤滑油對於主機效率損失之研究

(2)為使潤滑油系統正常運作，冰水機在操作上增加了許多限制，包含：

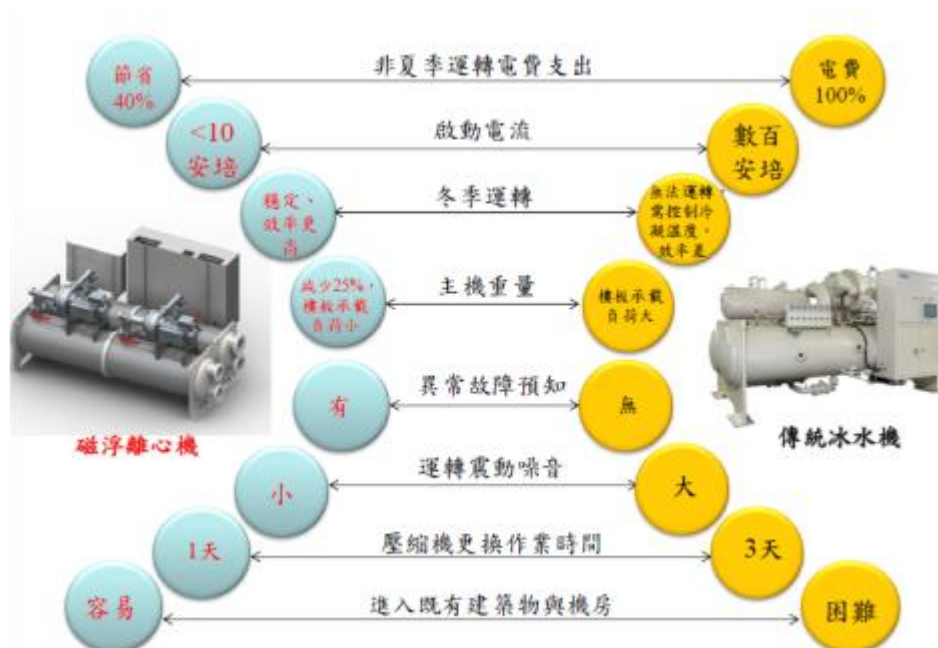
- A. 不宜長時間低載運轉；
- B. 不宜起停過於頻繁；
- C. 不宜於過低冷卻水溫度運轉(排氣壓力不足以帶動噴射泵回油、排氣過熱度不足使油溶入過多冷媒)；
- D. 油系統需定期保養

(3) 潤滑油使用壽命：

- A. 合成油具強吸水性，長時間暴露在空氣中即無法使用；
- B. 冷媒中的水分使油酸化變質。

(4) 產生之廢潤滑油，需增加處置之成本。

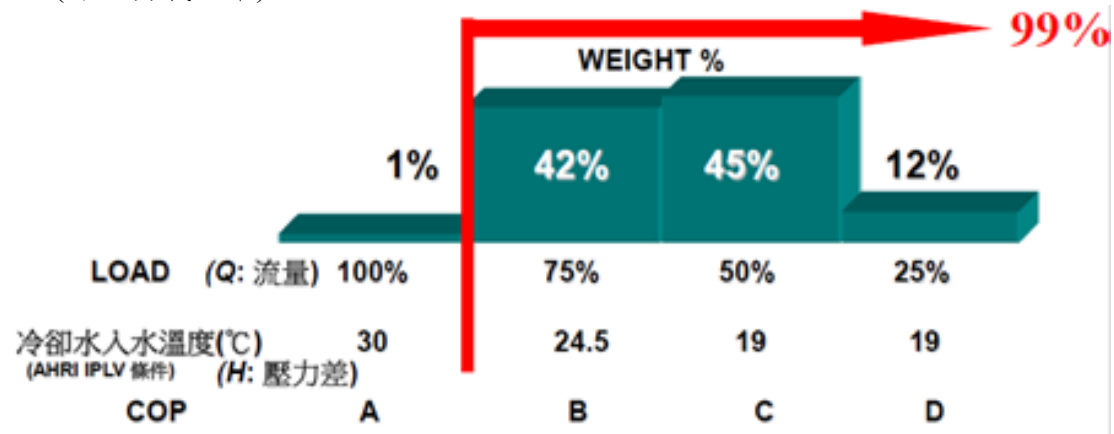
5.磁浮離心機之優勢：



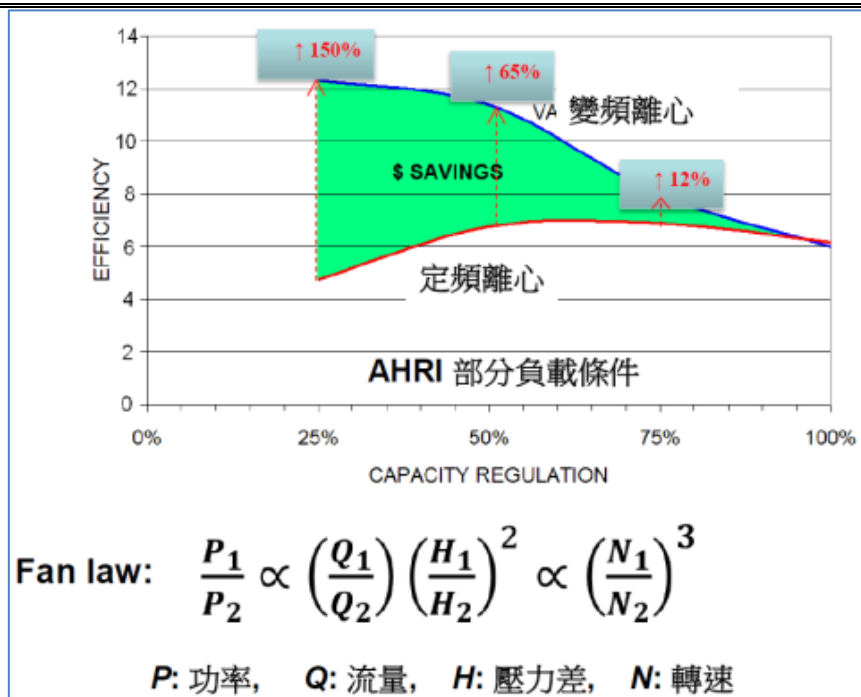
資料來源：產業節能減碳技術交流活動(新竹場)，工研院，2016

6.磁浮離心機節能效益估算：

$$IPLV(\text{部分負載效率}) = 0.01A + 0.42B + 0.45C + 0.12D$$



AHRI 551-591 部分負載效率定義



變頻離心機與定頻之效率差異

Standard 90.1 – 2013, Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings VS 我國空調系統冰水主機能源效率標準-2005

機型	能力範圍	Standard 90.1 – 2013 (2015/1/1生效)				2005/1/1
		Path A*		Path B*		我國標準
		全載COP	IPLV	全載COP	IPLV	全載COP
水冷 容積式	< 75 RT	4.694	5.867	4.513	7.041	4.45
	75 RT ≤ 能力 < 150 RT	4.889	6.286	4.694	7.184	
	150 RT ≤ 能力 < 300 RT	5.334	6.519	5.177	8.001	4.90
	300 RT ≤ 能力 < 600 RT	5.771	6.770	5.633	8.586	
	≥ 600 RT	6.286	7.041	6.018	9.264	
水冷 離心式	< 150 RT	5.771	6.401	5.065	8.001	5.00
	150 RT ≤ 能力 < 300 RT			5.544	8.801	5.55
	300 RT ≤ 能力 < 400 RT	6.286	7.041	5.917	9.027	6.10
	400 RT ≤ 能力 < 600 RT			6.018	9.264	
	≥ 600 RT					

•無論選擇何者Path，須同時滿足該Path中之全載與IPLV效率

冰水機效率標準

※資料來源：工研院綠能所、堃霖空調股份有限公司、恆煒工程股份有限公司

效益分析

以汰換 2 台 1989 年購置之 180RT 冰機為例，改善前冰水機效率以*1.0 kW/RT 估計。

1. 節能效益

(1)改善前冰水主機年用電量(kWh/年)

=冰水主機冷凍能力(RT)×平均負載率(%)×改善前冰水機效率(kW/RT)×運轉時數(h/y)

=180 RT/台×2台×80%×1.0 kW/RT×4,320 h/y=1,244,160 Wh/y

(2)改善後冰水主機年用電量(kWh/年)

=冰水主機冷凍能力(RT)×平均負載率(%)×改善後冰水機效率(kW/RT)×運轉時數(h/y)

=180 RT/台×2台×80%×0.79 kW/RT×4,320 h/y = 982,886 Wh/y

(3)年節約電量(kWh/年)=1,244,160 kWh/y - 982,886 Wh/y= **261,274 kWh/y**

2. 減碳效益

每年可減少溫室氣體排放約133公噸CO₂e：

261,274 kWh/y×0.509 kgCO₂e/kWh ÷ 1,000kg/ton = 133 tCO₂e/y

(依據經濟部能源局公告110年電力排放係數0.509 kgCO₂e/ kWh)

3. 投資報酬

261,274 kWh/y×NT\$3.0/kWh (過去 12 個月平均單價)=78.4 萬元/年


泵浦系統-泵浦汰舊更新

方案類型	方案名稱	本項之能/資源 耗用量	型式(單位)	預期改善成效		降低成本 (萬元/年)
				能/資源節約量(年)	溫室氣體減量 (tCO ₂ e/年)	
泵浦系統	泵浦汰舊更新	137,520	電力(kWh/年)	61,920	31.5	15.9

現況說明

目前工廠內辦公大樓250RT冰水機搭配25hp冷卻水泵，水泵銘牌規格及當日量測之實際運轉電流，另外運轉時間及電單價則由廠方提供，整理如下表所示。

工廠空調冷卻水泵 Pump Audit 現場基本資料	
水機銘牌流量(CMH)	188.6
250RT冰機所需水量(CMH)	170.5
水機銘牌揚程(m)	20
現場實際揚程(m)	16.5
泵浦廠牌	永大
泵浦型式	端吸直結式
數量(台)	2
功率(kW)	18.5
馬達額定電壓(V)	380
馬達額定電流(A)	35.8
現場量測電壓(V)	378.3
現場運轉電流(A)	34.28
實測功率(kW)	19.1
每天運轉時數(h)	24
每年運轉天數	300
每度電費用(NTD)	2.57

	
現場 25hp 水泵	水泵銘牌及馬達資訊

織廠空調250RT冰機-冷卻水泵
出口壓力



泵浦入口壓力: 冷卻水塔水盤距離泵入口
約3m, 揚程以 3m計

泵浦出口壓力: 1.95kg/cm²
揚程 = 19.5m

實揚程 = 19.5 - 3 = 16.5m

冷卻水泵出口壓力 1.95kg/cm²

織廠空調250RT冰機-冷卻水泵
電壓、電流及消耗功率(P1)



操作電壓: 378.3V

功率因數以 0.85 計

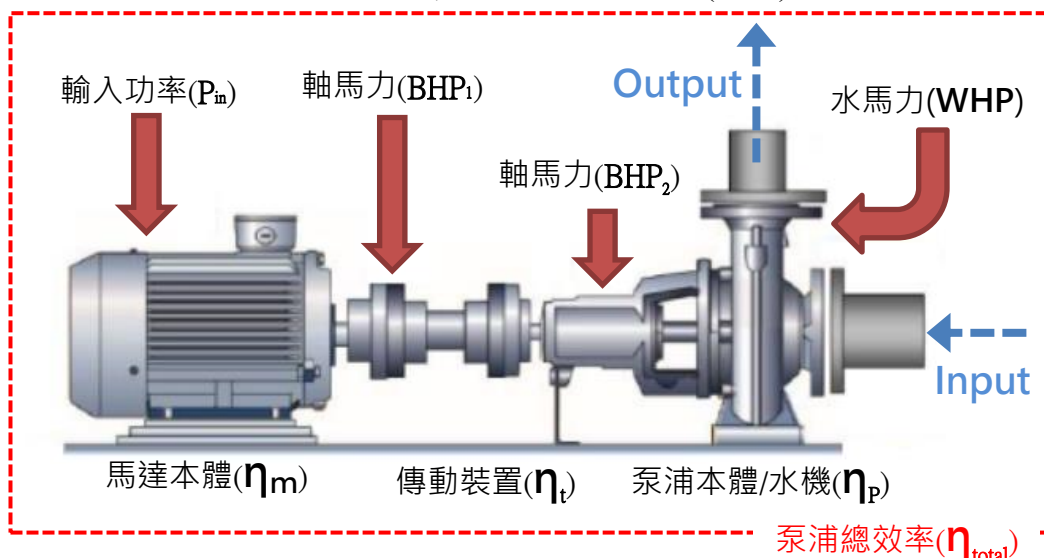
操作電流: 34.28A

➤ 消耗功率(P1) : $V * I * \cos\theta * \sqrt{3}$
 $= 378.3 * 34.28 * 0.85 * 1.732 / 1000$
 $= 19.1 \text{ kW}$

改善措施

泵浦是一種應用非常廣泛的通用機械，舉凡有流體流動之處，幾乎都有泵浦在工作。而隨著科技的發展，泵之應用領域正迅速的擴大當中，據調查目前泵浦設備的用量是僅次於馬達的用量，可見泵浦設備所帶來之能源消耗亦不容忽視，因此有效提高泵浦設備的能源使用效率對節能工作上也是具有重要意義。

一個良好的泵浦系統架設，首先除了應對系統的實際需求進行設計規劃(包含控制方式)與計算之外，泵浦設備的選取也是會影響到整個系統的能源使用。而說到泵浦設備的選取，除了應配合系統需求選取適當的類型與規格外，設備本體所具有的效率，也是一個重要而且必須考量的一項因素。目前在泵浦的效率上，主要包含有泵浦本體的效率、帶動馬達的效率，以及泵浦本體與馬達連結之傳動效率，這些效率的好壞是會直接影響到泵浦系統的能源使用。為進一步瞭解這些效率對能源使用上的影響，我們就需要瞭解泵浦的能源使用計算方式。泵浦系統的組成包含3個部分，分別為馬達本體、傳動裝置與泵浦本體(水機)，如下圖，各部件說明如下：



泵浦系統各部件說明

1. 泵浦的水馬力(WHP)-泵浦輸出功率：

所謂泵浦的水馬力(又稱理論馬力、水功率或流體功率)，主要是表示泵浦欲推動液體流動所須作的有效功率，一般是與泵浦的流量、總揚程，以及該液體的密度與重力加速度有關，可應用以下公式計算：

$$WHP(W) = \rho(\text{kg/m}^3) \times g(\text{m/s}^2) \times H(\text{m}) \times Q(\text{m}^3/\text{s})$$

- $\rho(\text{kg/m}^3)$ ：表示所欲推動液體的密度($1\text{g/cm}^3 = 1000\text{ kg/m}^3$)。
- $g(\text{m/s}^2)$ ：重力加速度。
- $H(\text{m})$ ：泵浦的總揚程，又稱水頭或落差，代表由泵浦吸引端噴嘴法蘭至排出端嘴法蘭間，泵浦葉輪作用於單位泵之淨功。
- $Q(\text{m}^3/\text{s}, \text{CMS})$ ：泵浦的流量，表示每單位時間排出之泵液體積。

有些業者為了計算上的方便，會將上述公式進行簡化，各項簡化方式如下：

$$\text{WHP(kW)} = 0.163 \times \text{SG} \times \text{H(m)} \times \text{Q(m}^3/\text{min, CMM)}$$

$$\text{WHP(kW)} = 0.00278 \times \text{SG} \times \text{H(m)} \times \text{Q(m}^3/\text{hr, CMH)}$$

$$\text{WHP(kW)} = (1.63 \times 10^{-4}) \times \text{SG} \times \text{H(m)} \times \text{Q(l/min, LPM)}$$

$$\text{WHP(kW)} = (6.17 \times 10^{-4}) \times \text{SG} \times \text{H(m)} \times \text{Q(Gallon/min, GPM)}$$

- SG：表示所欲推動液體的比重。

2. 泵浦的軸馬力(BHP)：

泵浦的軸馬力(又稱軸功率)，主要是表示為提供泵浦運作之水馬力，於泵浦的軸端所施加之功率。但因泵浦轉動係葉輪在泵殼中轉動，液體與葉輪及泵殼會發生摩擦損失動力，軸與軸承及軸封間亦有摩擦損失，故轉動泵浦所需之動力，除需產生水動力外尚需克服摩擦力。此項由泵軸輸出之動力稱為軸馬力，水馬力與軸馬力之比為泵浦本體(水機)效率。軸馬力由馬達本體提供動力後，經傳動裝置輸送至泵浦本體(水機)，傳動裝置亦會產生摩擦，造成能量損失，馬達端的軸馬力定義為 BHP_1 ，泵浦本體端的軸馬力定義為 BHP_2 ，泵浦本體/水機效率與傳動效率定義如下：

$$\eta_p = \text{WHP(kW)} / \text{BHP}_2(\text{kW})$$

- η_p ：泵浦本體/水機效率。

$$\eta_t = \text{BHP}_2(\text{kW}) / \text{BHP}_1(\text{kW})$$

- η_t ：傳動裝置效率，亦稱做驅動效率，各傳動裝置效率可參考下表。

傳動裝置	η_t 參考值
平皮帶	0.87~0.90
三角皮帶	0.92~0.95
正齒輪	0.92~0.95
螺旋齒輪	0.95~0.98
渦旋齒輪	0.90~0.95
直接連接	0.98~1

資料來源：川源泵浦

3. 泵浦馬達輸入功率(P_{in})：

所謂泵浦的馬達輸入功率，主要就代表著此泵浦在運作時所須消耗的總功率，而此功率是與幫浦的本體效率、馬達的本體效率，以及連結傳動效率有關，下式所示為其所用之計算式：

$$\begin{aligned} P_{in}(\text{kW}) &= \text{WHP(kW)} / \eta_{\text{total}} \\ &= \text{WHP(kW)} / (\eta_p \times \eta_t \times \eta_m) \\ &= \text{BHP}_2(\text{kW}) / (\eta_t \times \eta_m) \\ &= \text{BHP}_1(\text{kW}) / \eta_m \end{aligned}$$

- η_m ：馬達本體效率。

4. 泵浦總效率(η_{total}):

依 CNS663 水泵動力及效率檢驗法公式，泵浦總效率可定義為泵浦本體輸出功率(WHP)與泵浦馬達輸入功率(P_{in})之比值，公式如下：

$$\eta_{total} = \text{WHP(kW)} / \text{Pin (kW)}$$

5. 高效率泵浦：

由泵浦系統圖，可知泵浦本身系統內之動能傳輸，會受馬達本體、傳動設備與泵浦本體的設計效率所影響，泵浦系統效率比較舉例如下表：

效率影響因子	高效率泵浦系統		一般泵浦系統	
1. 馬達本體	高效率馬達	94%	一般馬達	90%
2. 傳動設備	一般聯軸器	98%	一般聯軸器	98%
3. 泵浦本體/水機	高效率泵浦設計	80%	一般泵浦設計	68%
-	泵浦效率	74%	泵浦效率	60%

效益分析

1. 節能效益

依現場實際數據估算，既有泵浦實際揚程16.5m、流量需求170.5CMH、實測功率為19.1kW，泵浦系統總效率計算如下：

$$\begin{aligned} \text{WHP(kW)} &= 0.00278 \times \text{SG} \times \text{H(m)} \times \text{Q(m}^3\text{/hr, CMH)} \\ &= 0.00278 \times 1 \times 16.5 \times 170.5 = \mathbf{7.8(kW)} \end{aligned}$$

$$\eta_{total} = \text{WHP(kW)} / \text{Pin (kW)} = 7.8(kW) / 19.1(kW) = \mathbf{40\%}$$

更換為高效率泵浦，可提升泵浦效率至74%以上，輸入功率可降低至11.1kW

$$\begin{aligned} \text{Pin (kW)} &= \text{WHP(kW)} / \eta_{total} \\ &= 7.8(kW) / 74\% \\ &= \mathbf{10.5kW(約 14HP)} \end{aligned}$$

節約用電量(kWh/年)

$$= (19.1kW - 10.5kW) \times 24 \text{ 小時/天} \times 300 \text{ 天/年} = \mathbf{61,920 kWh/年}$$

2. 減碳效益

每年可減少溫室氣體排放約31.5公噸CO₂e：

$$61,920 \text{ kWh/y} \times 0.509 \text{ kgCO}_2\text{e/kWh} \div 1,000 \text{ kg/ton} = 31.5 \text{ tCO}_2\text{e/y}$$

(依據經濟部能源局公告110年電力排放係數0.509 kgCO₂e/kWh)

3. 投資報酬

節省電費：61,920 kWh/y × NT\$2.57/kWh (過去 12 個月平均單價) ÷ 15.9 萬元/年

鍋爐系統-採用高效率貫流式鍋爐

方案類型	方案名稱	本項之能/資源耗用量	型式(單位)	預期改善成效		降低成本(萬元/年)
				能/資源節約量(年)	溫室氣體減量(tCO ₂ e/年)	
鍋爐系統	採用高效率貫流式鍋爐	240	燃料油 kL/y	24.3	42.6	30.6

現況說明

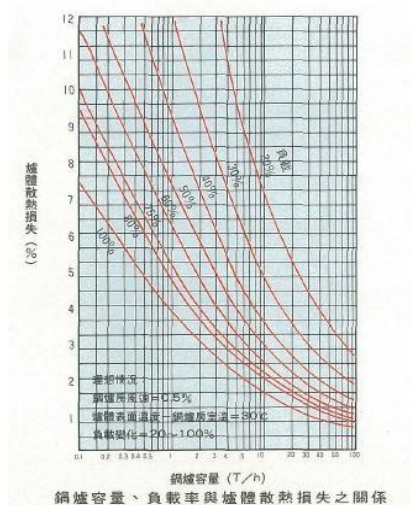
廠內設有6T/H蒸汽鍋爐1台，使用年限已久，負載率低(30~40%)且效率差。

改善措施

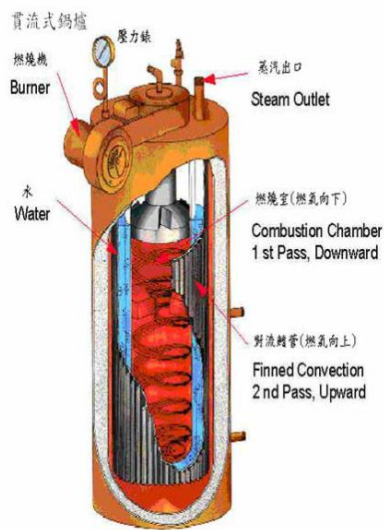
大部分工廠於選購鍋爐時，除了需滿足實際蒸汽尖峰(最大)需求量，同時也考慮未來可能擴充設備，增加生產所需，以致鍋爐設計蒸發量遠高於實際需求蒸發量。而由於鍋爐表面熱散失率隨表面積成正比，鍋爐越大蒸發量越大，爐體面積也相對增加，其散熱損失較高，以致當鍋爐運轉在低負載時，鍋爐熱散失率亦較大。此外，鍋爐於低負載操作狀態下，燃燒器一般處於小火狀況，燃燒機霧化條件多半不佳、燃燒狀況不容易穩定，燃燒損失大，影響鍋爐效率。

依據國內經驗得知，保持鍋爐於最佳效率的負載下運轉，其能源節約潛力約在2~5%。因此，在理想情況下(排氣溫度、排氣含氧量、爐體表面溫度均符合標準範圍內時)，鍋爐負載提升可獲得較佳的鍋爐效率(如下圖所示)。**鍋爐平均負載若低於60%**，便應考量以下措施：

- (一)對於單一鍋爐，可從穩定現場蒸汽需求著手，透過生產程序調整、用汽設備運轉的調配等，避免蒸汽需求變化過大。另可考慮更換容量較小之燃燒機或是更換較小的噴油嘴。
- (二)對於多台並聯鍋爐，可依現場實際蒸汽需求量，自動/手動控制鍋爐啟動運轉及停機，合理調配負載(開機台數)，以避免多台鍋爐同時於低負載運轉。



貫流式鍋爐與水管鍋爐的原理相似，其操作是利用爐水在管路中流動，氣體在燃燒室產生燃燒後經水管外壁，傳熱給管內的水加熱成蒸汽，如下圖所示。小巧的貫流式鍋爐是水管式鍋爐的一種，蒸發壓力也可以很高。貫流式鍋爐由於沒有汽鼓，體積相當小，熱爐時間通常只需十數分鐘，不過也因此無法應付突然的大量蒸汽需求，更令人困擾的是，狹小的儲水空間會因快速的蒸發速度，使得水份很容易伴隨蒸汽進到蒸汽輸送管路內，造成換熱效率變差。但貫流式鍋爐因爐體較小型精巧、組裝方便及供汽起動迅速等優點，所以隨著近年來加設熱回收裝置、改善水質處理方法和自動控制儀器的精進，已廣泛的普及到各中小型工廠和住商部門商家，是經濟實用的鍋爐之一。



效益分析

1. 節能效益

既有燃重油鍋爐效率88%，改為燃LPG貫流式鍋爐效率95%，約可省7%燃料
 $240\text{kL/y} \times 9,600\text{Mcal/kL} \div 6,639\text{Mcal/ton} \times 7\% = 24.3\text{ ton/y}$

2. 減碳效益

每年可減少溫室氣體排放約42.6公噸CO₂e：

$$24.3\text{ ton/y} \times 1.7529\text{ tCO}_2\text{e/ton} = 42.6\text{ tCO}_2\text{e/y}$$

(依據溫室氣體排放係數管理表6.0.4版LPG為:1.7529 tCO₂e/ton)

3. 投資報酬

經濟效益：24.3 公噸/年×12,594 元/公噸(106 年平均價格)= 30.6 萬元/年

鍋爐系統-排氣熱回收

方案類型	方案名稱	本項之能/資源耗用量	型式(單位)	預期改善成效		降低成本(萬元/年)
				能/資源節約量(年)	溫室氣體減量(tCO ₂ e/年)	
鍋爐系統	排氣熱回收	240	燃料油 kL/y	12	37.3	15.1

現況說明

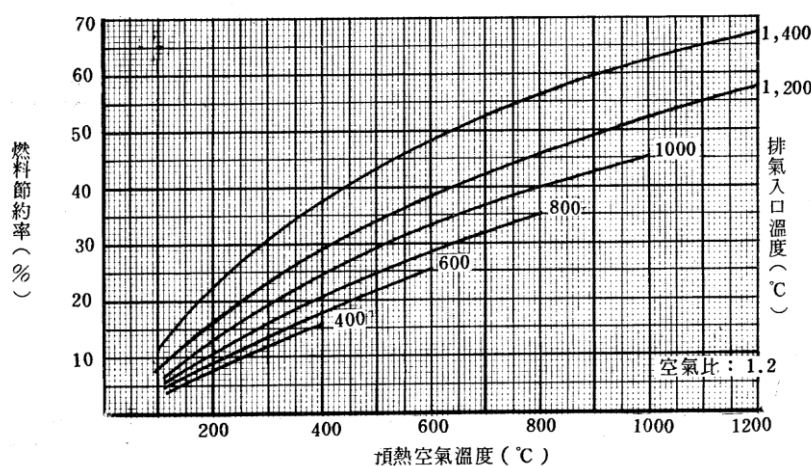
廠內設有6T/H蒸汽鍋爐1台，排氣溫度約為263°C，使用中油公司之低硫燃料油作為燃料，年耗用量約為240公秉，目前未進行任何熱回收。

改善措施

鍋爐若利用其排放高溫與空氣換熱，可提升燃燒空氣溫度，降低排器溫度達到回收廢熱目的。最終排氣溫度須顧及酸露點，避免腐蝕影響設備使用壽命。以燃料油1%硫份而言，換熱器(預熱器)冷端管壁溫度不得低於110°C，硫份0.5%，管壁溫度不得低於80°C。此處需強調的是管壁溫度非排氣溫度。

以大型化纖廠為例，一般鍋爐所設熱交換器(AHP)，排氣廢熱回收後可預熱進氣空氣至140~150°C，排棄之尾氣溫度可達120~130°C。依據我國經濟部能源局編撰「節約能源技術手冊」，預熱進氣每提高20°C，鍋爐效率可提昇1%(如圖所示)，且目前國內對於空氣對空氣熱交換器之裝設，已有成熟且精良之技術及服務。

燃用燃料油



資料來源：經濟部能源局(77)，節約能源技術手冊

圖工業爐排氣廢熱預熱空氣之燃料節約率

效益分析

1. 節能效益

以目前空氣進氣溫度為30°C，假設裝置排氣熱回收(如板式熱交換器)後，可將空氣溫度預熱至 130°C，則相當於節約燃料使用5%或12公秉/年(以106年度用量為依據)：

$$\text{燃料節約率} : (130^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}) \times 1\% \div 20^{\circ}\text{C} = 5\%$$

$$\text{燃料節約量} : 240 \text{公秉} \times 5\% = 12 \text{公秉/年}$$

2. 減碳效益

每年可減少溫室氣體排放約37.3公噸CO₂e：

$$12 \text{公秉/年} \times 3.111 \text{公噸CO}_2\text{e/公秉} = 37.3 \text{公噸CO}_2\text{e/年}$$

(依據環保署溫室氣體排放係數管理表6.0.4版，燃料油排放係數為3.111公噸CO₂e/公秉)

3. 投資報酬

$$\text{經濟效益} : 12 \text{公秉/年} \times 12,594 \text{元/公秉(106年平均價格)} \div 15.1 \text{萬元/年}$$

鍋爐系統-燃料替代

方案類型	方案名稱	本項之能/資源 耗用量	型式(單位)	預期改善成效		降低成本 (萬元/年)
				能/資源節約量(年)	溫室氣體減量 (tCO ₂ e/年)	
鍋爐系統	鍋爐燃料替代	240	燃料油 kL/y	N/A	140.7	-

現況說明

廠內設有6T/H蒸汽鍋爐1台，鍋爐系統使用重油約計240kl/年。

改善措施

廠內設有煙管式鍋爐，目前以重油為燃料，除燃料費用之外，尚需空間儲存重油，且需繳交空污費。近來國際油價上漲，國內油價隨之波動，重油費用節節高升，為節約廠內能源成本，並響應節能減碳，建議以天然氣取代重油，做為替代燃料。

與重油相比，天然氣不但價格較為低廉，且來源穩定，價格不若重油般，受國際油價波動影響；在空污方面，天然氣為潔淨能源，燃燒後只排出水及二氧化碳，對大氣之污染度大幅降低，不需繳交空污費；在溫室氣體減量方面，天然氣之單位CO₂排放量約是重油的75%，此燃料替代對於溫室氣體減量，有相當之助益；此外，重油需要儲槽空間及相關維護設備，如使用天然氣，管線直接進入廠區，經減壓後即可供現場使用，大大縮減使用空間及維護成本。並可減少點火預熱系統的燃料需求。

但因工業區未設有天然氣管路，且貴廠現有製程已使用LPG燃料，現已採購雙燃料點火系統及預備擴大LPG接收站及儲存區，故可評估減少CO₂排放量。

各種燃料單位價格之熱值及單位熱值之溫室氣體排放量如表1所示。

表1 燃料CO₂排放係數比較表

	液化天然氣	重油	液化石油氣(LPG)	柴油
熱值	9,000 kcal/m ³	9,600 kcal/L	6,635kcal/kg	8,400 kcal/L
排放係數	2.1139kg/ m ³	3.121kg/L	1.7529kg/kg	2.606kg/L

效益分析

1. 節能效益

燃料更換在鍋爐效率未提高的情況下，未有節能效益。其換算LPG用量如下：

$$240\text{kL/y} \times 9,600\text{Mcal/kL} \div 6,639 \text{ Mcal/ton} = 347.04\text{ton/y}$$

2. 減碳效益

每年可減少溫室氣體排放約140.7公噸CO₂e：

$$240\text{kL/y} \times 3.111\text{tCO}_2\text{e/kL} - 347.04\text{ton/y} \times 1.7529\text{tCO}_2\text{e/ton} = 140.7\text{tCO}_2\text{e/y}$$

(依據溫室氣體排放係數管理表6.0.4版，燃料油排放係數為3.111公噸CO₂e/公秉，LPG為1.7529 公噸CO₂e/公噸)

五、常用公式與係數

➤ 用電與碳排放量計算：(kWh=度)

設備用電量(kWh/年)=設備功率(kW)×設備每天運轉小時×一年運轉天數

例：燈具年用電量(kWh/年)=10W×8小時/天×250天/年÷1,000=20度/年

燈具年碳排放量：20度/年×0.509公斤CO₂e/度=10.18公斤CO₂e/年

➤ 燃料碳排放量計算：

燃料年碳排放量：燃料用量×燃料溫室氣體排碳係數

能源產品(單位)	熱值(千卡)	溫室氣體排碳係數	來源
電力(kWh(度))	860	0.509 公斤 CO ₂ e/度	1.熱值來源自能源局「1110 能源統計手冊」 2.溫室氣體排碳係數： 電力溫室氣體排碳係數每年由能源局公告，2021年電力排碳係數為0.509公斤CO ₂ e/度。 燃料溫室氣體排碳係數，於環保署「溫室氣體排放係數管理表(6.0.4版本108年6月)」查得。
(進口)液化天然氣(m ³)	9,000	2.1139 kgCO ₂ /m ³	
燃料油(L)	9,600	3.1110 kgCO ₂ /L	
柴油(L)	8,400	2.6060 kgCO ₂ /L	

六、參考文獻

製造業節能減碳輔導成功案例彙編

經濟部能源局，壓縮空氣系統節能技術手冊

經濟部能源局，蒸汽鍋爐高效率作業技術手冊

跨步邁向高值永續的表面處理業 2020-04-13，金屬中心 MII-ITIS 研究

團隊整理



經濟部工業局

地址：台北市大安區信義路三段 41-3 號

電話：(02)2754-1255

傳真：(02)2704-3753

網址：<http://www.moeaidb.gov.tw>



財團法人台灣產業服務基金會

地址：台北市大安區四維路 198 巷 41 號 2 樓之 10

電話：(02)2784-4188

傳真：(02)2784-4186

網址：<http://www.ftis.org.tw>