

PCB廠務設施與製程設備 節能減碳指引

2024年版



低碳轉型

- 廠務設施：空調/冰水、空壓、集塵、照明、鍋爐
- 製程設備：電/化鍍、線路、鑽孔、壓合

目錄

壹、	前言.....	3
貳、	PCB 產業廠務節能減碳	5
一、	工廠廠務定義範疇.....	5
二、	本文低碳廠務範圍.....	6
三、	廠務節能減碳常見實施手段	6
四、	實際導入遭遇困難點	7
五、	政府法規以及相關補助資源	7
六、	PCB 廠務節能減碳路線與建議	9
	(一) 從零開始的低碳策略.....	9
	(二) 廠務節能減碳執行手段.....	9
	(三) 追蹤結果及量化數據指標	10
七、	系統節能減碳方式.....	10
	(一) 空調及冰水系統.....	10
	(二) 空壓系統	16
	(三) 集塵系統	22
	(四) 照明系統	25
	(五) 鍋爐系統	28
參、	PCB 製程設備節能減碳	32
一、	電/化鍍製程：電/化鍍設備	33
二、	線路製程：蝕刻設備	36
三、	鑽孔製程：機鑽、雷鑽設備	39
四、	壓合製程：壓合、加熱設備	42

圖目錄

圖 1：PCB 設備耗電熱點分析.....	4
圖 2：台灣用電排碳相關獎勵與罰責	8
圖 3：台灣低碳相關補助資源	9
圖 4：空調及冰水系統循環示意圖.....	11
圖 5：空壓系統圖	16
圖 6：彈匣式集塵機.....	22
圖 7：小型風機	23
圖 8：垂直連續電鍍銅設備.....	34
圖 9：濕式蝕刻機.....	37
圖 10：六軸線馬數控鑽床.....	39
圖 11：PCB 真空熱壓機	43

表目錄

表 1：空調及冰水系統節能矩陣.....	15
表 2：空壓系統節能減碳矩陣	21
表 3：集塵設備節能減碳矩陣	24
表 4：照明系統節能減碳矩陣	28
表 5：鍋爐設備節能減碳矩陣	31
表 6：電鍍設備節能減碳矩陣	34
表 7：蝕刻設備節能減碳矩陣	37
表 8：鑽孔設備節能減碳矩陣	40
表 9：壓合設備節能減碳矩陣	44

壹、前言

台商 PCB 企業憑藉著靈活的韌性，整體產值高居全球第一。然而面對挑戰，永續治理為企業經營的不變目標，淨零碳排為全球競爭開啟了新賽局，如何保持領先，為台灣 PCB 產業不得面對的課題。雖然 PCB 產業用電，僅占台灣境內總用電的 2%，換算成碳排量並非重點的耗能產業；然而未來的國際貿易趨勢，勢必以低碳製造的產品為主流，除了碳關稅蓄勢待發外，品牌客戶也開始推動供應鏈的碳減量。由此可見，PCB 產業需立即著手相關低碳營運的推動。市場競爭不會因為減碳而暫停；誰能愈早進行低碳革新，誰就能更加地鞏固其在全球供應鏈中的地位。

為回應國際的淨零趨勢，台灣電路板協會 (TPCA) 於 2023 年 3 月所發佈的「台灣 PCB 產業低碳轉型策略」報告書，除了盤查台灣 PCB 產業溫室氣體排放、分析 PCB 設備耗電熱點之外、並提出產業低碳轉型的三大策略，以達到 2050 年 PCB 產業淨零排放的目標。其中三大低碳轉型策略分別為：自主節能、再生能源、及負碳/碳交易。透過分階段評估、導入與施行，以落實產業的淨零永續，惟再生能源的使用受限於市場供需，碳交易與負碳技術的施行取決於法規、市場成熟度及技術發展，這兩項策略除了產業的努力外，更取決於外部環境的完備，因此企業的自主節能為 PCB 低碳轉型的基礎，並具備立竿見影的積極性。

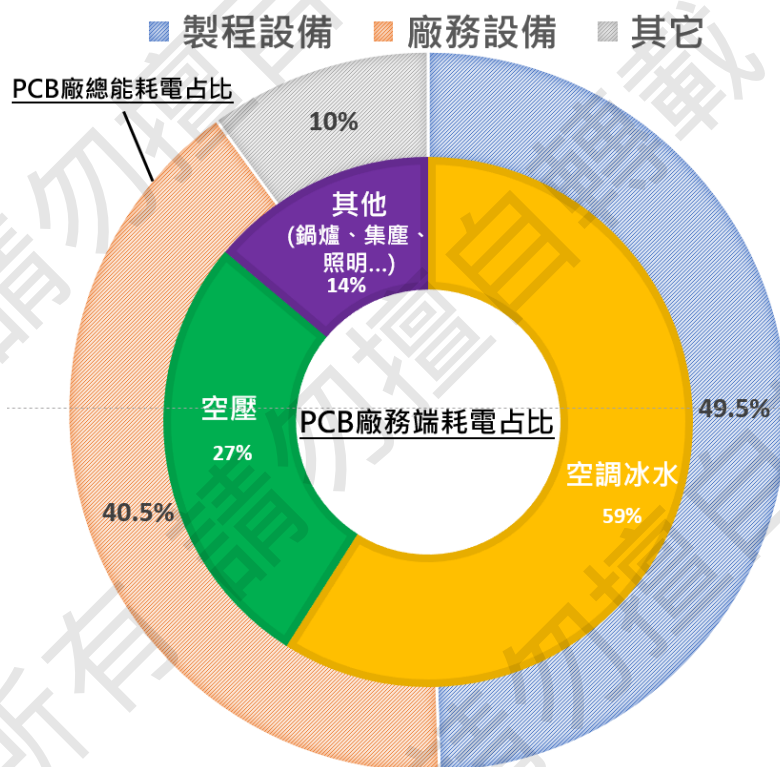
為此台灣電路板協會與工研院機械所、工研院產科所合作，實際走訪產業中代表性廠商，在「低碳、節能、高效、循環、減廢」之低碳定義範疇中，了解廠商對低碳轉型的需求，探討現有的節能減碳機制及做相關的成本效益分析。企業的自主節能減碳包括能源效益改善、製程優化、新材料研發等範疇：

1. 能源效益改善：投入研究提升能源使用效益，包括製程和廠務設備的節能技術，以及智慧能源監控系統的發展，實現更節能環保的生產。
2. 製程優化技術：PCB 產業致力於研究新一代製程優化技術，以減少能源消耗並提高生產效率，推動低碳轉型。
3. 新材料研發：透過對低碳材料的研發，PCB 產業致力於替代高能耗材料，提升製造過程的環保性，邁向更可持續的未來。

細究「台灣 PCB 產業低碳轉型策略」調查，台灣電路板產業（此為台灣地區生產）的溫室氣體排放，製程/廠務的直接排放占 10%（類別一）、能源使用的間接排放占 90%（類別二），其中類別二的能源使用又以電力使用占多數。在能源使用的設備上又再分為製程、廠務、與其它設備，用電占比分別為 49.5%、40.5%與 10%（圖 1）。因為製程優化與新材料研發，皆需得到客戶認證與長時間的投入，秉持 80/20 法則，本指引將著重於廠務與製程設備的節能減碳作法。在廠務設備方面，空調/冰水、空壓、集塵、照明與鍋爐系統是主要的能耗來源，在製程中，電鍍、壓合、蝕刻、鑽孔（雷鑽、機鑽）為主要的耗能設備，因此本報告將著重於上述部分。

本指引能順利發表，得益於多家企業的協助與提供寶貴的意見，在此感謝下述廠商的參與（依筆畫順序）：大量科技、立吉科技、宇泰和、杜邦、亞智科技、亞碩、東台精機、欣興電子、

泛皓企業、杰鈦企業、協磁、阿托科技、南亞電路板、連結機械、富莉企業、復盛、揚博科技、景碩科技、華通電腦、新武、達航科技、鈦億熱能科技、耀華電子、瀧澤科技、顯威。



資料來源：台灣 PCB 產業低碳轉型策略、工研院產科國際所整理，2023

圖 1：PCB 設備耗電熱點分析

貳、台灣 PCB 產業廠務節能減碳

一、工廠廠務定義範疇

廣義的工廠廠務意指在工廠裡發生的所有行為事務，凡是涉及到工廠運作、維持工廠產能、針對工廠的管理均可定義在其中；狹義的工廠廠務為針對工廠性質衍生的製程行為，為了順利達成最後產品產出，必須執行的種種行為，包含設備儀器、能源使用、人員管理...等，以下為其分類進行說明：

(一) 能源廠務：要保證製程得以進行需依賴各種動力來源的輸入，主要為油氣水電四項：

1. 油動力源：靠著高壓縮比有著高輸出功率的特性，舉凡撐起作業用的千斤頂、吊掛重物的起重機、輸送油路用油泵等等。油經過長時間的使用或是溫度的變化而劣化，廠務端需針對各式使用情境場合使用油壓輔助，從油的選用到比例調和，接著經油路管線的輸送，最後到劣化油的廢棄管理，皆須一套良好的油壓管理系統才能確保工廠的生產線順利運作。
2. 氣動力源：流體流經閥件、搬運部件用的氣壓缸、除塵的氣槍等皆需要氣體作為驅動單元，工廠須規劃能夠穩定提供氣體的空壓機並設計管路通道給各個廠房來使用，氣體的潔淨度會影響到使用單元的壽命甚至製程產品的良率，因此氣體流經通道前亦需要設置相關模組對其做潤滑、過濾、乾燥的處理，前期將設備建置之後，需要定期偵測健康狀況並加以維護保養，必要時可由軟體數據感測進行輔助預知診斷。
3. 水動力源：可用於製程用水、冷卻用水、清潔用水等應用。廠務端需要將管線架設至每個需要水源的地方，並監測當前水壓與水溫，以免製程遇到水壓不足或是設備需降溫時，系統尚未熱交換完畢；另一方面，不同國家對排放水均有相關法規進行管制，因此廠務端需建置汙水處理系統，惟有將水內部的顆粒、有機雜質、生物體、有毒金屬等分離過濾才能藉由管路排放至外界。
4. 電動力源：電為工廠最主要、最倚賴的動力源，工廠內通常最多的標準單元就是馬達。為了符合各種電的使用需求工廠須在各個廠房規劃配電盤，裡面含有各式電力元件如變壓線圈、保護裝置、繼電控制等。廠務端需強化相關電源管理，因相對油氣水而言，電是危險因數較高的種類，需對廠務各個負載用電資訊（包含瓦數、電流安培數、配電線徑等）有深入的了解。若是在電力輸送有所誤解，輕則負擔額外的電費或是導致設備損壞，重則電線起火釀成災害。

(二) 安全廠務：

目前工廠維持運作大多仍需要人力介入，關燈無人自動化工廠以現今科技而言仍寥寥可數。在人員穩定生產作業的前提下必須提供安全的空間，例如大型器具操作的行走路線、人操作機台的燈具亮度、合理的生產方式與排程數量等。

(三) 環境廠務：

每個製程對於環境有不同的要求，如一些需真空的環境就需要抽真空的泵浦；對於需恆溫、濕度限制的場域需要冰水機與空調進行環境的調控，廠房外面則需要建置大型風機來對內部排出的熱源進行熱交換；一些針對有加熱需求的製程則需要高溫鍋爐進行熱水、熱氣的輸送。另一方面，人對空氣品質亦有相對應的要求，若是區域充滿懸浮粒子或是有毒氣體將無法正常工作，設備也有吸入這些粒子導致損害的風險，要解決這部分問題需要集塵設備的導入。

(四) 生產廠務：

此項目主要為生產的管理，包含機台操作的稼動率、生產良率與排程，因為考慮機台在可允許不間斷運轉的情形下，公司為追求最大利潤會希望將產能拉至最高。廠務端會管理人員的出勤狀況、記錄產品的 NG 數量、追蹤機台的閒置情形等，最後再決策最佳化生產方案。

低碳廠務定義即為在上述廠務過程執行時，如何做到在作業/工程/管理/能源上，皆以最低碳成本完成任務，工廠以此行為模式做長時間維運，且產能亦能保持穩定，必需在質與量的表現上均展現出相關成效，方能稱得上是已實施低碳廠務的工廠。

二、本文低碳廠務範圍

執行廠務各個分項所產生的碳排放不盡相同，為符合國際淨零碳排趨勢，針對 PCB 工廠實施廠務的節能減碳，秉持著捉大放小的原則，可以發現在能源廠務、安全廠務、環境廠務這三塊有可推行低碳廠務的施力點，統整出以下出五大廠務系統為「冷凍系統（空調、冰水）」、「空壓系統」、「鍋爐系統」、「照明系統」、「集塵系統」，將於後面章節進行詳細的節能介紹。

三、廠務節能減碳常見實施手段

工廠投入生產及維持營運需要各項資源的投入，這些資源的投入都是公司成本的支出，使用資源效率的優劣會直接影響公司的淨利潤；其實早在碳議題興起以前，許多業者就已積極投入如何瘦身廠務端的費用開銷，自然而然會把目標鎖定在占成本最高的電費項目上，針對每項廠務行為盡量用最少的電能去達成，打造最大的產能/用電比。每項手段難易度與效益皆不盡相同，業者多朝著折衷方案去做取舍，以下為常見的低碳實施手段：

1. 動力驅動單元汰換：工廠最常使用馬達作為動力來源，一般而言，更換經過能效認證的產品即會有立即見效的節能改善。
2. 廠務設備智慧化：在彈性生產方面，要想減少如排程漏單、參數失誤、瑕疵報廢等目的就需要軟體以及感測器的介入，意即有無智慧化的導入與節能息息相關。
3. 定期維護保養設備、管線：傳輸方面，老舊管路會讓設備運作額外耗電，也可能增加維修、汰換、製程延宕的風險。
4. 員工內化節能觀念教育：教育訓練員工從根本宣導節能觀念，因個人用電行為亦會影響能耗表現，此為成本相對較低方式，但成效往往相較有限。

四、實際導入遭遇困難點

因每家工廠適合的低碳切入項目不盡相同，縱使前期耗費心力完整規劃出欲執行的項目，也會因工廠的運作性質、製程特性、企業文化等多方因素而遭遇到各種挑戰。不加以重視可能會導致無謂的金錢的損失與時間虛耗，以下為常見業者在進行低碳廠務的問題點：

1. 過多依賴人工處理：例如關閉閒置用電、偵測管線清潔度、是否開啟省電模式等，由人判斷比起機器相對較為主觀，能帶進來的節能效果浮動較大；乍看可以用很少的成本達到廠務的節能效果，但隨著時間、人員的異動、標的物更換，皆將使結果成效不一。
2. 無法穩定輸出效益：對導入的標的掌握度不足，例如節能效果與稼動率息息相關，卻錯估了該項目在整體廠務的稼動率不高，如此一來就會使減節能貢獻大打折扣。
3. 工廠生產端韌性不足：即使業者一開始對綠製程、綠管理保持開放態度，但往往會考慮其自身產品特性（如良率、產能、品質）可能因此受到影響，缺乏相關專業與足夠時間評估，最後無疾而終。
4. 政府資源申請不易：國內熟稔政府資源與擅於文件撰寫的業者相對較少，政府需要時間方能釋出補助資源，若又在申請的環節占據大量時間，可能將會錯失產業競爭黃金時間。

五、政府法規以及相關補助資源

台灣因為極度仰賴能源進口（97%以上），因此在使用額度上一直是政府關心的議題，在2021年公布的政策中，明確定義與台電用電契約容量超過5000千瓦以上的業者，即為用電大戶。全台約有300間企業係屬於其中，多數為傳統產業與電子產業。條款、規範要求於五年內設置至少契約容量達10%以上的綠能；至於排碳部分，2022年計算方式為直接排碳、間接排碳合併加總年達2.5萬噸的業者為排碳大戶，全台約有500家企業係屬於其中，以電力燃氣供應者為首，其次為化肥業、鋼鐵業，這些排碳大戶最快會於2024年開始逐步徵收碳費。政府也針對法規對用電及排碳推出了相關獎勵與罰則措施，為得就是使民間企業逐步上軌道，一同加入台灣低碳淨零的行列。

規範條款	條款內容	相應賞罰	影響對象	執行期間	備註
用電大戶條款	<ul style="list-style-type: none"> 5,000kW為列管 五年內10%綠能 非營利組織除外 	<ul style="list-style-type: none"> 3年內提早建置可獲得減免折抵容量 	<ul style="list-style-type: none"> 電子產業 鋼鐵產業 水泥產業 紡織產業 	<ul style="list-style-type: none"> 2019年頒布條例 2021年開始實施 	四大履行方案 <ul style="list-style-type: none"> 再生能源發電設備 設置儲電設備 購買再生能源憑證 繳納代金
 衍生	批次生產時間電價	<ul style="list-style-type: none"> 優化尖峰離峰時段 提高時段費率差距 	<ul style="list-style-type: none"> 尖離峰時間用電差距可來到4倍電價 	<ul style="list-style-type: none"> 尖峰需用電業者 	<ul style="list-style-type: none"> 2023年11月實施 台電新訂電價方案
 子法	義務儲能設備供電	<ul style="list-style-type: none"> 對象為用電大戶 儲能設備放電義務 每日尖峰2小時 	<ul style="list-style-type: none"> 達到義務時數即可扣減每度的電費 	<ul style="list-style-type: none"> 自願選擇參與 	<ul style="list-style-type: none"> 預計2024年實施 台電優惠電價方案
氣候變遷因應法	<ul style="list-style-type: none"> 2050淨零入法 2024碳費徵收 碳費專款推動負碳 公正科學強化韌性 	<ul style="list-style-type: none"> 參考相關子法 	<ul style="list-style-type: none"> 參考相關子法 	<ul style="list-style-type: none"> 2023年02月發布 	來自溫室氣體減量及管理法
 子法	自願減量專案	<ul style="list-style-type: none"> 根據排放基線超出多寡可獲得減量額度 	<ul style="list-style-type: none"> 可額外獲得碳權 	<ul style="list-style-type: none"> 自願選擇參與 	<ul style="list-style-type: none"> 2023年10月發布 折抵自身事業碳費 碳交所交易轉讓 開發案環評抵減
 子法	增量抵換專案	<ul style="list-style-type: none"> 逐年10%增量抵換自身所排放之碳量 	<ul style="list-style-type: none"> 未達抵換目標罰鍰10萬元至100萬元 	<ul style="list-style-type: none"> 工廠設立達2.5萬公噸二氧化碳 高樓建築開發案 	<ul style="list-style-type: none"> 2023年10月發布 開發案環評抵減

資料來源：工研院產科國際所整理，2023

圖 2：台灣用電排碳相關獎勵與罰責

相對其他國家淨零發展而言，台灣處於必須加緊腳步跟上的後段位置，加上許多企業對於碳相關知識是陌生的，這時需要政府導入資源佐以輔導，才能使企業在低碳淨零的過程中不至於有太大的間隙需要跨越。政府方面主要以經濟部為主幹，架構下的執行單位為台灣各法人單位，以下為政府主要提供的資源種類：

1. 工廠低碳轉型：提供廠區內耗能設備、製程，以及能源使用方式進行節能化。
2. 碳盤查、節能顧問服務：提供廠區內全面性的碳排計算，並提供節能可行方案。
3. 綠色技能培養人才訓練：提供企業員工對於碳相關的知識教育訓練以及綠色證照取得。

補助案源	案源性質	案源金額	案源對象	案源時程	主辦單位
以大帶小製造業 低碳及智慧化升 級轉型補助	<ul style="list-style-type: none"> 加速低碳化 智慧化轉型 	低碳案每案上限3,000萬元；智慧化每案上限2,000萬元	<ul style="list-style-type: none"> 製造業 中心廠需員工10人以上 	自公告日起執行時程不超過114年10月31日為止	主辦單位:經濟部產發署 執行單位:中小企業聯合輔導基金會
中小型企業個案 補助	<ul style="list-style-type: none"> 加速低碳化 智慧化轉型 	每案上限500萬元	<ul style="list-style-type: none"> 製造業 中小型製造業 員工10人以上 	自112年12月18日起執行時程不超過12個月為原則	主辦單位:經濟部產發署 執行單位:中國生產力中心
納管工廠基礎轉 型個案補助	<ul style="list-style-type: none"> 工廠生產 防災、污染防治 低碳化 	每案上限150萬元	<ul style="list-style-type: none"> 製造業 申請納管之工廠 	自112年12月1日至113年11月29日止	主辦單位:經濟部產發署 執行單位:中國生產力中心
中小型製造業低 碳輔導計畫	<ul style="list-style-type: none"> 碳盤查輔導 節能診斷輔導 能源監視管理建置輔導 	免費提供診斷輔導服務	<ul style="list-style-type: none"> 製造業 非環境部公告第I、II批應盤查登錄溫室氣體排放源對象 	自公告日起至113年11月30日止	主辦單位:經濟部產發署 執行單位:台灣產業服務基金會
人培再充電低碳 化及智慧化在職 培訓課程	<ul style="list-style-type: none"> 智慧製造 綠色技能 	免費提供受訓課程	<ul style="list-style-type: none"> 製造業員工 取得產發署核發證書在職員工 	課程公告開始受理	主辦單位:經濟部產發署 執行單位:工業技術研究院
節能績效保證專 案示範推廣補助	<ul style="list-style-type: none"> 加速節能效益保證： 節能效益驗證，推動整體能源使用效率 	單一廠商每案上限500萬元 集團每案上限1,500萬元	<ul style="list-style-type: none"> 依法設立登記之法人(製造業、服務業)、醫療機構、學校 單一：用電契約容量達100仟瓦以上者 集團：自身及所屬單位累積契約容量達500仟瓦以上者 	前年度8月開始受理，執行期程1月1日至12月15日為止，次年度追蹤成效	主辦單位:經濟部能源署

資料來源：工研院產科國際所、機械所整理，2023

圖 3：台灣低碳相關補助資源

六、PCB 廠務節能減碳路線與建議

(一) 從零開始的低碳策略

低碳廠務並非一蹴可幾，許多理論與實施手法皆需要深思熟慮，建議業者可以將低碳策略分為前中後三個時期，按部就班完成每個階段該完成的細項作業，並確實做好階段與階段之間的橋接，如此一來不僅可以對每個待辦項目有充分的了解，也可以在執行過程中能即時檢討前期末完善的部份與是否要修訂後期的方向，增加低碳廠務專案成功的機率。

前期首先要對自身廠務有充分的了解，如果不知道廠務的運行狀況，就沒有辦法預測分析哪環節是排碳的主要來源；這部分可以借助一些工廠感測器的架設與智慧化軟體的導入，包含數據的蒐集、文件的數位化、工廠通訊協定等，此期目標為掌握廠務在實際生產時所發生的種種資訊，有助於後續低碳發展的指引路線判斷，也可以提前預測有哪些技術困難點發生，為影響最終成效最重要的部分。以下為實際例子分享：

1. 盤點馬達額定效率分級：根據國際間馬達效率標準（IE）盤點廠內 IE1（Standard, 標準）到 IE4（Super Premium, 超優級）各馬達數量的比例多寡。
2. 數位化數據資料：在耗電大型設備架設智慧量測設備，透過工業通訊協定（如 PCBEI、OP-SCUA、MQTT）來即時撈取資料傳輸上載，為後期管控最佳化能耗做前置準備。
3. 生產排程透明化：透過 MES、ERP 等系統，可視化工廠對於接獲訂單、人力配置、機台稼動等生產資訊，減少未來廠務設備閒置的機會。

(二) 廠務節能減碳執行手段

中期內部可以成立專門小組或是外聘顧問專家，將手握的資料數據一同討論並進行決策，秉持著捉大放小的原則，去分析每個低碳手法性質如技術難易度、製程影響性、工程時間、節能效益等。特別注意的是，這部分可以將外部資源納入做一併討論，接著針對標的項目挑選適合的手段著手改善，如此就不會在想法上有侷限性。以下為實際例子分享：

1. 適當引入政府資源：可配合政府補助案（如汰舊換新、尾氣熱循環、綠色能源等），搭配欲執行的標的追求以達到 $1 + 1 > 2$ 的效果。
2. 針對痛點全面投入：製成品管、行政採購、企業文化都需要從旁協助，以利低碳廠務的深化，多方角度可以提供更宏觀的多方考量，較不容易落入顧此失彼的現象。
3. 追求性價比的低碳廠務：在資源有限下，即使有納入政府的補助，推動低碳依舊是一筆不小的開銷；因此建議從工程時程、技術難度、金錢成本上考量並找尋著立竿見影的專案。

(三) 追蹤結果及量化數據指標

來到執行後期，除了必需監督所有低碳工程均穩定運行，可配合原工廠的生產流程之外，可定期舉辦能效評估檢討會議，視前期定下的量化目標是否與結果的數據吻合，若是吻合，是否有類似案例可延伸至其他廠務或是廠區；若是沒有，是否有相關的理論可以支持哪個環節尚未執行到位或是預測失真。以下為實際例子分享：

1. 定期追蹤成效：工廠生產每天都可能浮動變化，不論是訂單的金額數量、人力的管理調度、設備機台的歲修狀況等，因此導入低碳廠務之後需定期開檢討會議，以方便追蹤每個時間成效的變化，才能推導出整個廠務的營運模型，與低碳相輔相成。
2. 量化評第效能指標：可參考國際相關標準規定，訂定各式評分量表，藉以彰顯低碳廠務的優劣性質比較。例如能源使用的基準線、第三方認定機構碳盤查、加入科學方法論的計算模型，如此一來不論是自身參考用途，還是產業之間合作，甚至是國際市場交易均能有背後真實數字做為立基點，加速商業模式推動的進程。

七、系統節能減碳方式

(一) 空調及冰水系統

1. 系統架構與組成：

廠務空調及冰水系統包含了冰水主機及冰水泵、冷卻水泵、冷卻水塔及空調箱等設備，而空調及冰水系統為廠務設備耗電量最大的一環，針對各系統之主要運轉能耗設備，找出具有節能潛力的設備，如外氣空調箱（MAU）、冰水系統及冷卻水塔等，提供有效的節電技術及手法，達到低碳節能的目的。

整個空調及冰水系統，可分為冷卻水側、冰水側、空調箱側及現場負載區，冷卻水側主要功能是帶走冰水主機冷凝器的熱量，藉由冷卻水泵將熱交換後的熱水帶至冷卻水塔，利用大氣進行冷卻；冰水側的功能則是將冰水主機蒸發器所產生的冰水，經由冰水泵將冰水輸送到空調箱或製

程設備使用；空調箱側主要功能是控制負載區域的溫、溼度，包含補充新鮮空氣、預熱、降溫、加溼、除溼、過濾空氣及維持室內正壓等功用。

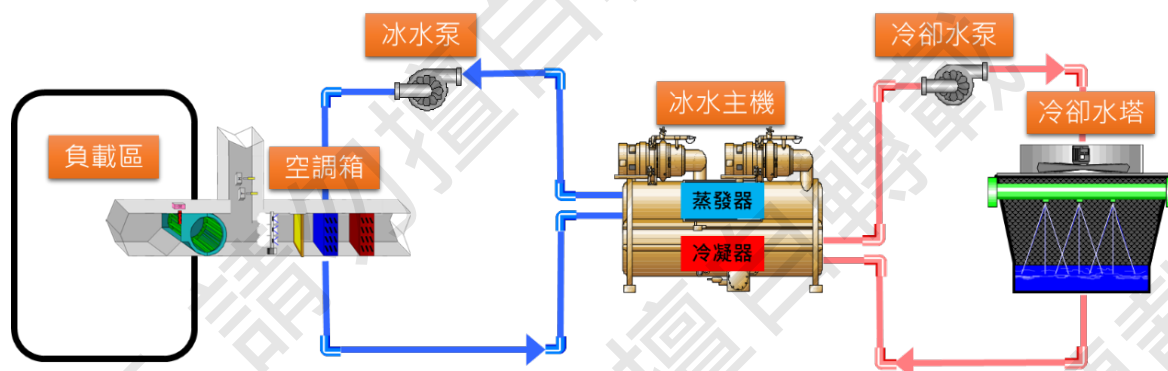


圖 4：空調及冰水系統循環示意圖

2. 減碳關鍵與手法：

節能減碳最直接的做法就是更換高能效設備，以冰水系統中耗電的設備冰水主機為例，冰水主機效率的評估，可透過三種數值來進行評估，分別為能源效率比值（EER）、性能係數（COP）、每冷凍噸所消耗的電功率（kW/RT），其中 EER 及 COP 越高越省電，kW/RT 則是越低越好。

目前廠內設備大多以螺旋式或離心式為主，若更換為磁浮離心式主機，以 kW/RT 效率值來看，螺旋式約 0.72、離心式約 0.57、磁浮離心式約 0.43，若以 500RT 冰水主機 1 年的耗電量比較，螺旋式： $500\text{RT} \times 1 \text{ 台} \times 0.72\text{kW/RT} \times 3,200\text{hr/年} \times 80\% = 921,600\text{kWh/年}$ ，離心式： $729,600\text{kWh/年}$ ，磁浮離心式： $550,400\text{kWh/年}$ ，磁浮離心式比離心式節能 24.6%，更比螺旋式節能 40.3%。

(1) 水泵變頻節能：

水泵之運轉特性可以依照泵浦定律（Pump Affinity Laws）得知水量（Q）、揚程（H）、轉速（N）以及制動馬力（BHP）之間的關係如下： $Q_1/Q_2 = N_1/N_2$ ，水量與轉速成正比。 $H_1/H_2 = (N_1/N_2)^2$ ，揚程與轉速平方成正比。 $BHP_1/BHP_2 = (N_1/N_2)^3$ ，制動馬力與轉速三次方成正比。依據現場負載調控，若減少 10% 的運轉水量，水泵約可節能 27.1% 的耗能。

泵浦的能效標準看 MEI 等級， $MEI \geq 0.4$ 以上為高能效（0.4 意思為該泵浦的效能領先市面上 40% 相同規格的泵浦）。台灣雖在 2023 年將開始要求使用 MEI 0.4 等級的泵浦，但用在 PCB 產業的化工泵浦尚不在規範中（因為化工用的泵浦，其使用的藥水種類多，不同藥水下的能效表現難以在同基準評定，故仍無法制定統一的能效標準），缺乏政策強制力是當前推廣之阻礙。因此有廠商建議以水當作標準驗證的流體，方便制定統一的規範，加速高效節能泵浦導入產業使用。

(2) VWV（Variable Water Volume）變流量控制：

多使用於冰水系統二次側水泵，依據現場負載所造成的壓差改變，來控制水泵變頻運作來改變流量，水泵的消耗功率與馬達轉速三次方成正比，可預期會有很大的節能效果。一般定流

量的方式，現在壓差若有變化，則是會開啟旁通閥門，讓多餘的流量往回送，造成能源浪費。

(3) 冰機群控管理：

冰水機群控管理通常涉及到多臺冰水機的協同運作，需整合現場使用情況，減少冰水主機低負載運轉，調配高效運轉機組組合，可分為以下幾個操作：

- A. 負載均衡調配：使用智能監控技術，配備各種感測器，即時監測現場負載及製程的冷卻需求，以調整冰水機的運行狀態。根據即時需求調整冰水機的運行，確保各機群之間的負載均衡，防止單臺機器長時間超負荷運行。
- B. 效能最佳化：部分負載控制方面，減少低載運作，在低負載時，啟用部分機組運行，提高單臺冰水機的效能。或使用變頻機組，根據實際需求調整冰水機的運行頻率，確保在任何時刻都以最佳效能運行。
- C. 生產排程：在製程的生產週期可能有變化，可根據不同的生產階段調整冰水機群的運行模式。
- D. 優化能源成本：在電力成本較低的夜間進行部分或全面運行，以節約能源成本。

(4) 冰水主機熱回收：

將冷凝器產生約 40°C 熱水，供給需要低溫熱水的製程設備使用，減少鍋爐及加熱設備能源耗損，也可以減低冷卻水塔負載。

(5) 儲冰系統：

基本概念是在電力需求較低的時期（通常是夜間或電力成本較低的時候）使用電力來製冰，然後在高峰時期使用這些儲存的冰來提供冷卻效果，這有助於平衡電網負載，降低能源成本，提高能源使用效率。

(6) 焓差控制：

利用室內、外空間之焓值差異以控制進排氣設備之風門開度，經由進、排風以達到不同空間之溫度、溼度能量轉換，利用自動焓差控制引用外氣調節室內空間溫度及溼度，以達到降低室內空間熱負載而節省大量空調用電之目的，簡單的來說，假設室溫、溼度需求為 24°C 及 58%，當外部氣溫、溼度低於室內，此時就可以利用空調箱將外氣導入，減少冰水主機及空調箱的能耗，其建置成本遠比每年無謂之空調用電成本低，故 ROI 投資回報率（Return On Investment）回收年限很快。

(7) VAV（Variable Air Volume）變風量控制：

是一種常見的供暖、通風和空調（HVAC）系統，此系統通過調整送風系統中的風量，以滿足工廠內不同區域的溫度和空氣品質需求。以下是 VAV 變風量系統的一些重要特點和運作原

理：

- A. 風機變頻：在主要的送風設備，如 MAU、AHU、FCU 等，需要有變頻器控制風機的轉速，以實現對風量的細緻調節，同時維持系統的穩定性。
- B. 變風量控制：可以根據各負載區域的需求調整風量，依據負載區內的溫/溼度為主要參數，風量為輔助參數，按溫/溼度傳感器檢測到的實際數值，與設定值比較差值，以此輸出所需風量的調整信號，調節變風量末端的風機轉速，改變送風量，使室內溫度保持在設定範圍，同時，壓力傳感器可檢測風道內的壓力變化，通過變頻控制風機的轉速，消除壓力波動的影響，維持送風量，以避免在低負載時高風量的浪費，實現更靈活的風量調節，精確地滿足不同區域的溫度需求，這有助於避免不必要的能源浪費，提高系統的效能。

(8) EC 風扇導入：

EC 風扇比傳統 AC 風扇具有更高的能效表現，由於使用電子換相技術，能夠根據實際需求調整轉速，不需要變頻器，從而最小化能源浪費，以及低噪音、長壽命的優點，與 AC 風扇相比整體可節能 40%以上，在空調箱的部份，也可採用陣列式的組合，可模塊化的進行維護，減少風機故障停機，並提供可調整性及靈活性，以及穩定且均勻的流場。

(9) 智慧冰水閥：

閥件本身具有溫度、壓力及自體校正及故障診斷功能，可藉由溫度或壓差的變化，自動調整閥開度，達到節能功效。一般系統是利用回水溫度的變化，來控制冰水主機的負載或是水泵的轉速，控制的反應速率較慢，利用智慧冰水閥能夠自動調節流量的功能，有更高的響應速度，對現場負載變化可以更即時的調整，減少水泵或冰水主機的耗能，確保系統在各種條件下都能夠保持最佳效能。

(10) 冷卻水塔風車馬達變頻控制：

多數冷卻水塔系統還是保持定頻馬達操作，只能啟停的操作，而且過多的啟動運作，易造成馬達或減速機的損傷，降低設備的使用壽命。在控制的調配上，無法依據大氣溼球溫度及製程變化，做更靈活及精細的調整，則會喪失可榨取的節能空間。

(11) 冷卻水塔效能最佳化：

大多冷卻水塔的調整全憑操作人員經驗，沒有量化標準，而為求謹慎，大多調整保守，或依照經驗調整，而冷卻水塔各項運轉數據（溫度、水流量、壓力、電流、振動等），無法即時掌握冷卻水塔健康狀態及運作效率，做有效之管理。目前已有業者針對冷卻水塔的數據建置最佳化模型，即時蒐集各項運轉數據、監測及分析設備狀況，透過大數據 AI 建模及計算，可設定製程或空調可容許的目標冷水溫度，AI 模型會判斷各水塔的冷卻能力及效率，提供最佳的操作

參數，以達節能減碳成效，但多數冰水系統的操作會耗費冷卻水塔的能耗，來節省冰水主機的耗能，冷卻水塔與冰水主機的調配也是一門重要的課題。

3. 空調及冰水系統設備減節能碳矩陣

針對空調及冰水系統設備的節能減碳方式整理表格如下，將以節能潛力、投資成本、實施難易度、對製程影響及對安全影響來評鑑綜合推薦指數，各個項目的評分各別以高、中、低來代表改善過程的困難度及影響，最後綜合推薦★星星指數為 1~3 顆星，越多代表越推薦，此表用作改善評估的參考。但因相關驗證尚缺乏統一的方法學，故評分為專家依經驗所產生的相對量表，僅為參考使用，實際運作仍須考量場域狀況而有所不同。

各項目評比影響說明					
程度	節能潛力	投資成本	實施難度	對製程影響	對安全影響
高	大量節能潛力	大量或長期	較複雜的變動或硬體安裝，於現有裝置汰換、損壞時實施	製程參數或條件的重大改變，需要進行長時間測試和調整	製程安全風險大，可能發生設備損壞、產線停擺等
中	中等節能潛力	中量	因對運作有潛在影響，需要在實施前謹慎計畫	製程參數或條件的輕微改變，需要進行適當調整	安全風險有一定程度的增加，可能發生輕微設備損壞事故
低	少量節能潛力	少量或無	可隨時進行的改善措施，不會導致運作中斷	製程參數或條件的影響甚微，無需進行調整	對製程安全風險影響甚微，不致發生事故

綜合推薦說明		
綜合推薦為上述因子透過權重計算所得，計算公式： $(3*節能潛力+3*投資成本+2*實施難度+1*對製程影響+1*對安全影響)/5$ ，得分 4-6 為★★★、3-4 為★★、2-3 為★。		
備註：因各企業在意項目不同，加權比重也會有所不同，造成不同的計算結果。		
程度	節能潛力	投資成本、實施難度、對製程影響、對安全影響
高	3	1
中	2	2
低	1	3

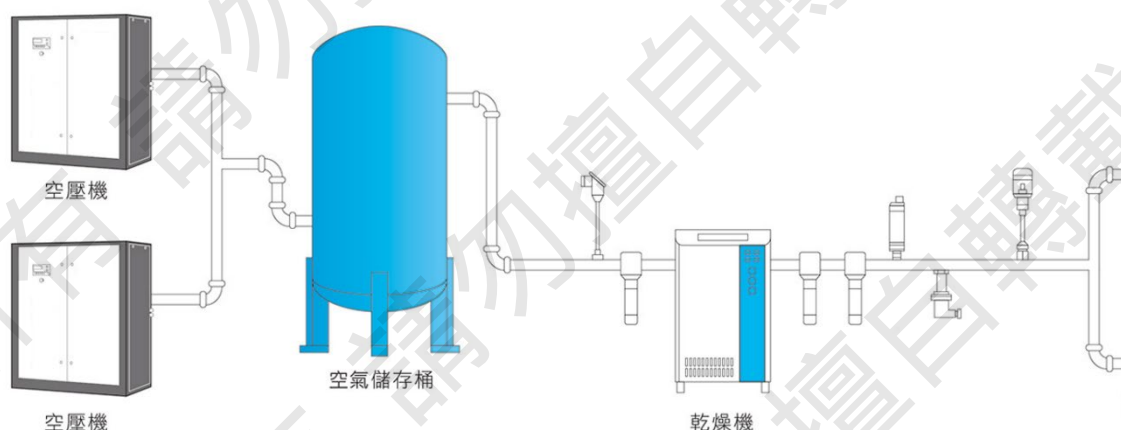
表 1：空調及冰水系統節能減碳矩陣

節能減碳措施	方法說明（簡述）	節能潛力	投資成本	實施難易度	對製程影響	對安全影響	綜合推薦
冰水系統節能							
高效率設備汰換	磁浮變頻離心式的效率比螺旋或離心式更高	高	高	低	低	低	★★★★
水泵變頻節能	冰水泵更換為變頻，可依據現場需求調整	低	低	低	低	低	★★★★
VWV 變流量控制	二次側冰水流量依據現場負載壓差進行變頻控制	中	中	高	中	低	★★
冰機群控管理	整合現場使用情況，減少冰水主機低負載運轉，調配高效運轉機組組合	中	中	中	中	低	★★★★
冰水主機熱回收	將冷凝器熱水提供給需要的製程設備，減少鍋爐負載	低	中	中	低	低	★★
儲冰系統	利用離峰時段儲冰，抑制尖峰用電	低	高	中	低	低	★
空調系統節能							
焓差控制	利用自動焓差控制引用外氣調節室內空間溫度及溼度，以達到降低室內空間熱負載而節省大量空調用電之目的。	低	低	低	中	低	★★★★
VAV 變風量控制	依據現場負載及製程需求，調整風量	中	高	高	中	低	★★
EC 風扇導入	取代空調箱內傳統鼓風機	高	高	中	中	低	★★★★
智慧冰水閥	更換具有溫度、壓力及自體校正及故障診斷功能的閥件，可藉由溫度或壓差的變化，自動調整閥開度，達到節能功效	低	中	高	低	低	★★
冷卻水塔系統節能							
風車馬達變頻控制	將定頻馬達變更為變頻馬達	低	低	低	低	低	★★★★
冷卻水塔效能最佳化	利用歷史數據建模，建議目標冷水溫度的最佳操作參數	低	高	高	中	低	★

(二) 空壓系統：

1. 系統架構與組成：

由壓縮機、儲存槽、乾燥機、控制閥等單元組成。工作原理為利用空氣可壓縮的特性，由馬達旋轉做功壓縮氣體，經過一連串的处理如過濾雜質、水分乾燥、潤滑注油使之變成純淨、大於常壓的氣體，然後儲存至鋼瓶以供各設備或工具做使用。



資料來源：復盛

圖 5：空壓系統圖

台灣 PCB 廠通常擁有完整的空壓系統，包括空壓機、空氣過濾器、冷卻器、空氣儲罐等，這些組件協同工作，提供穩定的高壓壓縮空氣，以支持生產線上的各種工藝和設備運作：

- **空壓機**：是整個系統的核心，通過吸入大氣中的空氣，將其壓縮成高壓的壓縮空氣。舊有的 PCB 廠可能使用固定速度的空壓機，其運轉通常是根據最大生產需求而設定的。選擇具有高效率的空壓機是減碳的首要步驟，考慮壓縮機的類型（如螺旋式、往復式）、能源效率和負載特性。其次，強化負載管理是提高效能的關鍵，可以透過使用先進的控制系統，根據實際需求調節空壓機的運行，避免不必要的運轉和能源浪費。
- **空氣過濾器**：用於過濾壓縮空氣中的固體顆粒和液體水分，確保輸送到生產線的空氣乾淨。
- **冷卻系統**：負責冷卻壓縮空氣，以確保穩定的溫度。冷卻系統有助於提高空壓機的效能和延長設備壽命，多級壓縮製程每降低 4°C 的空氣進氣溫度，約減少 1% 的壓縮能耗，系統之能源消耗在空壓系統中佔有重要地位，因此應選擇節能型冷卻系統並定期清潔冷卻系統和檢查水流量，以確保冷卻效果和系統效率。
- **空氣儲存桶**：用於儲存高壓壓縮空氣，以應對生產瞬間需求的變化，平滑空氣供應。選擇適當尺寸的儲氣桶：儲氣桶應該能夠滿足系統峰值需求，同時避免過大的容量造成能源浪費。儲氣桶位置和配置：合理安置儲氣桶，減少管道長度和壓力損失，以提高系統效率。

PCB 廠使用空壓技術的應用範疇涵蓋了生產方面：

- **氣動工具**：PCB 廠需要大量的氣動工具，例如氣動螺絲刀、氣動鑽孔機等，這些工具的動力

來自於壓縮空氣。因此，空壓技術的穩定性直接關係到生產效率和工作品質。

- 機械設備動力：一些自動化機械設備，如自動鑲嵌機、焊接機，也需要穩定的壓縮空氣作為動力。空壓技術的可靠性直接影響到生產線的正常運作。
- 氣動控制系統：在一些精密製程中，需要對氣動元件進行細緻控制，例如氣缸的運動或閥門的開關。這就要求空壓系統具備高精度和穩定性，確保製程的準確性。

儘管空壓技術在生產中不可或缺，但舊有的空壓系統通常存在能源效益較低的問題。傳統的空壓機可能設計為在最大生產需求時運行，這導致在生產低峰期或暫停時仍保持較高運轉速度，從而浪費能源。

為了解決這個問題，一些 PCB 廠開始導入可變頻空壓機。這種技術允許空壓機根據實際生產需求調整運轉速度，以達到最佳效能。可變頻空壓機的優勢在於能夠實現能源的即時節約，減少不必要的能源消耗，提高整個空壓系統的效能。為了更好地應對能源效益的挑戰，PCB 廠開始引入先進的能源管理和監控系統。這些系統可以實時監測空壓機的運行狀態、能源消耗情況，並進行數據分析，以優化系統運行，降低能源浪費。這種監控系統通常與自動控制系統結合，使得空壓技術能夠更智能地根據實際需求調整運作模式。

能源管理系統的導入有助於 PCB 廠全面了解能源使用情況，定位能源浪費的來源，制定有效的節能策略。這也使得企業能夠更具彈性地應對市場變化，實現節約成本、提高競爭力的目標。透過精細管理，PCB 廠能夠實現在不降低生產效率的情況下減少能源消耗，達到環境和經濟的雙重效益。

2. 減碳關鍵與手法：

空壓系統中主要耗電在於壓縮機內馬達的運轉，因此選擇馬達的功率密度以及機構傳動效率極為關鍵。相關法規已有一些相對應機種分類不同能效指標，政府也有針對相關汰換程序提供補助，若能針對原先舊機組進行更新，在電費反饋方面可以得到立竿見影的成效。

廠務應用方面，因空壓機每調升 1 公斤壓力，就會多耗損 6-8% 的電能，除了使用高效率節能的機組外，也需要引入智慧節能的軟體進行節能控制（如 AI），如此能對整個廠務進行系統識別，根據啟動的時機與需要的多寡予以啟動及更應相對應的氣體量至關重要。另一方面，安裝感測器搭配先進的演算法以解決：如何偵測廠區有無漏氣源、有無最適宜冷卻系統、設備的空間配置與通風、甚至使用後的保養與廢棄回收，都是能夠左右空壓設備總耗電量的關鍵因素，扣合近年來全球環保意識的提高，推動的循環經濟的理念也在台灣的 PCB 廠中逐漸得到應用。循環經濟的目標是將資源的使用最大程度地優化，減少浪費，同時降低對環境的衝擊。因此，循環經濟的概念主要體現在能源的再利用和廢熱的回收方面，如下舉例：

(1) 能源再利用

PCB 廠在空壓技術中可以通過能源再利用實現能源的循環使用。能源再利用的核心概念是將一次使用後的能源進行回收，再次應用於生產過程中。舉例而言，空壓機在壓縮空氣的過程

中會產生一定量的廢熱，而這部分廢熱可以被有效地回收。在能源再利用系統中，將空壓機產生的廢熱收集起來，通過熱交換器轉換為能源供應，例如加熱空調系統、暖氣系統等。這樣不僅能夠降低對外部能源的需求，同時也減少了對環境的熱排放，實現了能源的有效再利用。

(2) 廢熱回收

除了能源的再利用，廢熱回收也是循環經濟的一個重要方向。在空壓技術中，空氣冷卻器通常用於降低壓縮空氣的溫度，同時這也意味著冷卻器會吸收一定量的熱量。這種熱量被視為廢熱，而傳統上，這部分廢熱可能會被直接排放到環境中。

透過引入廢熱回收系統，PCB 廠可以將這些冷卻器中的廢熱收集起來，用於加熱生產線或其他需要溫暖的區域。這不僅節省了能源成本，同時也減少了環境的熱污染，實現了資源的有效回收再利用。

(3) 減少碳足跡與資源節約

傳統的空壓系統在運行中可能產生大量的二氧化碳排放，這對環境造成了不小的負擔。然而，通過引入節能型的空壓技術，如可變頻空壓機和能源管理系統，PCB 廠能夠減少能源的浪費，降低碳足跡。這不僅有助於企業實現綠色生產，同時也符合全球對於減少溫室氣體排放的呼籲。

能源是珍貴的資源之一，而空壓技術的高效應用有助於節約這一有限的資源。通過先進的空壓機和能源管理系統，PCB 廠能夠更加智能地使用能源，達到最佳的效益。這種資源的節約不僅體現在能源的使用上，同樣也包括空氣、水資源等在生產過程中的合理利用，從而實現整體資源的可持續發展。

(4) 廢物減量

循環經濟的概念要求最大限度地減少廢物產生，使生產過程更為環保。在空壓技術中，透過先進的監控系統，可以實現更加精確的空氣供應，避免過度壓縮和浪費，從而減少空氣中的廢氣排放。同時，在能源再利用和廢熱回收方面的應用，也進一步減少了生產過程中的廢棄物，達到了減廢的效果。

為了進一步提升台灣 PCB 廠的空壓技術，實現更為高效、節能和環保的生產模式，有必要探討未來的技術創新方向。以下是一些可能的發展趨勢：

(1) 智能控制系統

未來，PCB 廠可以更加智能地應用控制系統，實現空壓技術的自動化和智能化。透過先進的感應技術和即時數據分析，空壓系統可以實現根據實際生產需求的自動調整，進而提高能源利用效率。智能控制系統還可以提供預測性維護功能，及時檢測設備狀態，預防性地進行保養，降低設備故障率，進一步提升生產效益。

(2) 高效能能源儲存系統

為了應對生產過程中的能源需求變化，未來的空壓技術還可以發展高效能的能源儲存系

統。這包括更先進的空氣儲罐技術、高效能的能量轉換裝置，以及更具容量和效率的儲能系統。這樣的系統可以更靈活地應對生產線的變化，實現能源的即時調配。

(3) 無人化生產和能源管理

隨著人工智慧和機器學習技術的進步，未來的 PCB 廠可以朝著無人化生產方向發展。透過自動化系統的應用，包括無人化的空壓技術操作和生產線的自動監控，能夠實現更高的生產效率和資源利用效率。同時，能源管理系統的智能化管理也能夠更加靈活地調配能源，實現動態能源管理。

(4) 綠色材料的應用

除了改進空壓技術本身，未來的 PCB 廠還可以探索使用更環保的材料。例如，在空壓機的製造中使用更綠色、可回收的材料，同時減少對有害物質的依賴，以實現生產的可持續發展。

(5) 節能減排的實際案例分享

台灣 PCB 廠在空壓技術方面的升級和應用，取得了一些實際的節能減排效果。例如，某 PCB 廠在引入可變頻空壓機後，實現了能源消耗的顯著下降。這種空壓機能夠根據實際需求自動調整運轉速度，確保生產線穩定運行的同時最小化能源浪費。透過對空壓系統進行全面的監控和管理，這家廠商不僅降低了能源成本，同時還減少了碳排放。在另一實例中，一家 PCB 廠利用廢熱回收系統，將空壓機和冷卻器產生的廢熱轉化為電鍍製程的所需能源。這不僅提高了能源的利用效率，還實現了在冷卻過程中產生的熱能的再利用，最終達到節能減排和資源回收的目標。這些案例顯示，透過先進的空壓技術和全面的能源管理，PCB 廠能夠在實際生產中取得實質的環保效益，同時實現經濟效益。

3. 空壓系統節能減碳矩陣

針對空壓系統的節能減碳方式整理表格如下，將以節能效益、投資成本、實施難易度、對製程影響及對安全影響來評鑑綜合推薦指數，各個項目的評分各別以高、中、低來代表改善過程的困難度及影響，最後綜合推薦★星星指數為 1~3 顆星，越多代表越推薦，此表用作改善評估的參考。但因相關驗證尚缺乏統一的方法學，故評分為專家依經驗所產生的相對量表，僅為參考使用，實際運作仍須考量場域狀況而有所不同。

各項目評比影響說明					
程度	節能潛力	投資成本	實施難度	對製程影響	對安全影響
高	大量節能潛力	大量或長期	較複雜的變動或硬體安裝，於現有裝置汰換、損壞時實施	製程參數或條件的重大改變，需要進行長時間測試和調整	製程安全風險大，可能發生設備損壞、產線停擺等
中	中等節能潛力	中量	因對運作有潛在影響，需要在實施前謹慎計畫	製程參數或條件的輕微改變，需要進行適當調整	安全風險有一定程度的增加，可能發生輕微設備損壞事故
低	少量節能潛力	少量或無	可隨時進行的改善措施，不會導致運作中斷	製程參數或條件的影響甚微，無需進行調整	對製程安全風險影響甚微，不致發生事故

綜合推薦說明		
綜合推薦為上述因子透過權重計算所得，計算公式： $(3*節能潛力+3*投資成本+2*實施難度+1*對製程影響+1*對安全影響)/5$ ，得分 4-6 為★★★、3-4 為★★、2-3 為★。		
備註：因各企業在意項目不同，加權比重也會有所不同，造成不同的計算結果。		
程度	節能潛力	投資成本、實施難度、對製程影響、對安全影響
高	3	1
中	2	2
低	1	3

表 2：空壓系統節能減碳矩陣

節能減碳措施	方法說明（簡述）	節能潛力	投資成本	實施難易度	對製程影響	對安全影響	綜合推薦
空壓機							
選用合適的空壓機	依廠內需求，選用合適的空壓機。	高	中	低	高	中	★★★★
空壓機負載管理	依系統用氣需求量，藉由容調、變頻或空重車操作模式提供系統所需求的風量。	高	低	中	低	低	★★★★
多機控制	導入多機連鎖控制架構	高	高	高	低	低	★★★★
待機降載	停止使用時啟用待機模式。	高	低	中	中	高	★★★★
廢熱回收	空壓機之廢熱可回收用於其他液體介質的加熱或中央空調系統的供暖使用...等。	高	高	高	高	低	★★
儲氣桶							
安裝儲氣桶	避免空壓機 Loading/Unloading 的時間太頻繁，延長機體壽命，降低維護成本。	低	中	低	中	中	★★
壓縮空氣品質規範							
定期清潔空氣過濾器	檢視過濾器維修週期。	低	低	低	高	高	★★★★
乾燥機							
壓力露點溫度檢測	依照 ISO8573.3 之檢測方式進行壓力露點檢測。	低	低	低	低	中	★★★★
乾燥機的選用	依壓力露點溫度的檢測結果，選用合適的乾燥設備。	低	低	低	低	中	★★★★
設備自動降載或關停	長時間不使用設備依設計級距，可自動降載或關停。	低	高	高	低	高	★
系統管路的設計與監控							
清理洩漏處	檢視管線洩漏處	高	高	高	中	高	★★
蒐集能源數據	在界定的期間內審查並更新能源數據資料蒐集。	高	高	高	低	低	★★★★
壓縮空氣管理監視平台	氣流監控與補償、參數最佳化等，提高空壓設備之效率。	高	高	高	中	中	★★

(三) 集塵系統

PCB 產品其製程過程中伴隨著粉塵和有害氣體的產生。為了確保生產環境的衛生和員工的健康，台灣 PCB 廠積極引入集塵技術。本文針對廠務集塵技術包括目前的應用狀況、面臨的挑戰以及未來的發展方向。

在台灣 PCB 廠的生產過程中，機械鑽孔、雷射鑽孔、切板等都會產生大量粉塵。為了減少粉塵對生產環境和員工健康的不利影響，PCB 廠普遍引入集塵技術，這些集塵系統通常包括吸塵機、集塵器和過濾裝置，能夠有效捕捉和過濾空氣中的粉塵和有害氣體。常見的集塵技術包括機械過濾、靜電過濾、高效空氣過濾（HEPA）、活性碳過濾等。這些技術可以根據不同的粉塵特性和生產工藝的需要進行選擇，從而實現高效的集塵效果。

集塵系統通常配置在生產區的關鍵位置，適當的配置可以最大程度地減少粉塵在空氣中的擴散，確保整個生產環境的清潔。PCB 製造過程中產生的粉塵種類多樣，包括金屬粉塵、樹脂粉塵、玻璃纖維等。不同的粉塵對集塵系統的要求和效果也不同，因此需要針對性地選擇和調整集塵技術。

集塵系統的運行需要消耗相當的能源，高能耗不僅增加了生產成本，同時也不符合綠色製造的理念。如何在確保高效集塵的同時，降低能耗成為一項具有挑戰性的問題。



資料來源：顯蕨

圖 6：彈匣式集塵機

1. 減碳關鍵與手法：

台灣 PCB 廠的廠務集塵技術有望實現更加先進的應用，新型的濕式集塵技術、奈米材料過濾技術等將有助於更高效地捕捉微細粉塵和有害氣體，提升集塵效果。另外，系統中風機的選用，亦是一考量重點，風機是一種空氣機械，它的用途主要是用來克服管路及設備因氣體流動產生的摩擦阻抗，將需求的風量或氣體送至指定地點，選用合適之風機則是根據排氣系統的需求來決定需要的風量及壓力，然後再增加一些裕度就是風機的規格。



資料來源：聯策

圖 7：小型風機

風機的構造依製作方式可分為鑄造型及鋼板焊接型，需求的靜壓更高時，可選擇多段式風機；一般風機多為單吸式，需求風量較大時，為取得較佳的比速率(specific speed)或節省空間，通常採用雙吸式風機。接著選擇合適的馬達(防爆&能效等...)、材質(外殼&葉輪等...)、傳動方式(聯軸器&皮帶&馬達軸直結)以及所需的風機配件(橡膠避震墊等...)。透過優化風機系統的能源效率，亦有助於減少電力消耗，從而減少碳排放。

隨著物聯網 (IoT) 技術的發展，未來 PCB 廠的集塵系統有望實現智能化，這包括感測器的應用，實現對生產環境的實時監測，根據實際情況調整集塵系統的運行模式，達到更加精準的集塵效果。集塵技術將更加緊密地與綠色製造理念相整合。優化集塵系統的同時，注重材料的可循環使用、集塵系統的能源效益，實現更加環保和可持續的生產。

考慮到不同 PCB 廠的生產工藝和生產環境的差異，未來的發展方向之一將是更為客製化的集塵方案。通過深入了解每個廠的實際需求，定制化集塵系統，可以最大程度地提高效率、降低成本，同時確保符合當地環保標準。

透過數據分析技術，收集並分析生產過程中的粉塵產生數據，廠內的集塵系統將更具預測性，預測何時需要做集塵器更換、過濾器清理等維護操作，這將提高系統的可靠性和可維護性。

未來，PCB 廠有望進一步推進協同集塵技術，這種技術可以實現多個集塵點之間的資訊共享，達到最優的整體集塵效果。協同集塵技術也有助於減少設備之間的沉澱不均勻，提升系統整體效能。廠務集塵技術有望實現更加智能、高效、客製化和綠色的發展。這將有助於提升生產環

境的潔淨度，確保員工的健康，同時符合環保標準。

然而，實現未來發展目標還需面對一系列挑戰。首先，是技術的不斷更新和升級。PCB 廠需要不斷跟進集塵技術的最新進展，尋求更高效、智能的解決方案。其次，是成本和投資的平衡。儘管現代化的集塵技術能夠提升效益，但相應的投資也需要謹慎考慮。在面對挑戰的同時，PCB 廠應該持續投入研究和發展。通過與研究機構和相關企業的合作，PCB 廠能夠分享經驗、學習新技術，共同推動集塵技術的不斷創新。

集塵技術作為確保 PCB 廠生產環境衛生的關鍵技術，在現代製造業中發揮著重要作用。通過對台灣 PCB 廠的廠務集塵技術進行全面的分析，我們看到了企業在粉塵控制和環保方面所取得的成就，同時也認識到了一些需要克服的挑戰。未來，PCB 廠可透過引入先進技術、實現智能化集塵、客製化解決方案等方式，進一步提升集塵技術的效能。同時，通過數據分析和協同集塵技術的應用，實現更加預測性和整體性的集塵效果。在此過程中，PCB 廠需要不斷注重研發、合作和提升管理水平，以應對未來的發展挑戰，實現更為綠色和可持續的生產。

2. 集塵設備節能減碳矩陣

針對集塵設備的減碳方式整理表格如下，將以節能潛力、投資成本、實施難易度、對製程影響及對安全影響來評鑑綜合推薦指數，各個項目的評分各別以高、中、低來代表改善過程的困難度及影響，最後綜合推薦★星星指數為 1~3 顆星，越多代表越推薦，此表用作改善評估的參考。但因相關驗證尚缺乏統一的方法學，故評分為專家依經驗所產生的相對量表，僅為參考使用，實際運作仍須考量場域狀況而有所不同。

各項目評比影響說明					
程度	節能潛力	投資成本	實施難度	對製程影響	對安全影響
高	大量節能潛力	大量或長期	較複雜的變動或硬體安裝，於現有裝置汰換、損壞時實施	製程參數或條件的重大改變，需要進行長時間測試和調整	製程安全風險大，可能發生設備損壞、產線停擺等
中	中等節能潛力	中量	因對運作有潛在影響，需要在實施前謹慎計畫	製程參數或條件的輕微改變，需要進行適當調整	安全風險有一定程度的增加，可能發生輕微設備損壞事故
低	少量節能潛力	少量或無	可隨時進行的改善措施，不會導致運作中斷	製程參數或條件的影響甚微，無需進行調整	對製程安全風險影響甚微，不致發生事故

綜合推薦說明

綜合推薦為上述因子透過權重計算所得，計算公式： $(3*節能潛力+3*投資成本+2*實施難度+1*對製程影響+1*對安全影響)/5$ ，得分 4-6 為★★★、3-4 為★★、2-3 為★。

備註：因各企業在意項目不同，加權比重也會有所不同，造成不同的計算結果。

程度	節能潛力	投資成本、實施難度、對製程影響、對安全影響
高	3	1
中	2	2
低	1	3

表 3：集塵設備節能減碳矩陣

節能減碳措施	方法說明 (簡述)	節能潛力	投資成本	實施難度	對製程影響	對安全影響	綜合推薦
高效集塵設備							
使用更節能的風機、馬達和控制系統	升級和優化集塵系統的能源效率，有助於減少電力消耗，從而減少碳排放。	高	高	中	中	高	★★
選擇高效的集塵設備	藉此提高收集效率，減少固體顆粒逸散，進而減少生產過程中的碳排放。	高	高	高	低	中	★
定期維護和監測及排放控制技術							
保持集塵系統的良好運作狀態	定期進行維護，清潔濾芯和檢查設備，以確保其效率最大化。這有助於避免能源浪費和碳排放的增加。	高	中	低	高	高	★★★
運用先進的排放控制技術	使用高效的排放過濾設備，以確保從集塵系統排放的氣體中的污染物達到符合標準的水平，減少對環境的不良影響。	低	高	高	低	中	★

(四) 照明系統

系統架構與組成主要由燈具模組、配線迴路、配電盤等單元組成，照明技術在 PCB 廠的生產環境中作為一個基礎性的支援設備，關乎員工的工作效率和生活品質，同時也影響到生產線的品質和效益。本文將探討台灣 PCB 廠的廠務照明技術。照明技術不僅應用於辦公區域，更在生產車間、檢測實驗室等不同區域發揮著重要作用。常見的照明設備包括螢光燈、LED 燈、高強度氣體放電燈等。這些照明設備的選擇和配置直接影響到工作環境的亮度、色彩還原度以及能源消耗。

廠務面通常無法立即知道量化的照明需求，通常設計僅為預估（採取方式為多抓容忍值），直到開工生產時再依實際需求進行更換或是妥協。如此一來無法針對需要照明度的區域提供亮度，也會在一些無意義的場域過度提供照明，結果導致每年需繳納虛增的照明系統的電費。

1. 減碳關鍵與手法：

PCB 廠照明系統的能源效益是一個重要的考量因素。傳統照明系統在能源利用上存在著較大的浪費，例如螢光燈的啟動和關閉需要較長的時間，而在此期間可能並不需要高強度的照明。這種能源浪費不僅增加了能源成本，同時也對環境造成不必要的負擔。目前，LED 照明技術因其高效能、長壽命和色彩調節的特點而逐漸成為主流。相對於傳統螢光燈，LED 燈具有更低的能耗和較長的使用壽命，有助於減少能源消耗和燈具更換的成本。現代 PCB 廠照明系統通常搭配智能化的照明控制系統。這些系統能夠根據不同區域的使用需求，實現照明亮度和色溫的智能調節。例如，在無人的區域自動降低照明亮度，從而進一步節省能源。

PCB 生產過程中對於光線的要求可能因工作區域的不同而有所區別。例如，在檢測和測試區域，需要準確的色彩還原度。傳統照明技術難以滿足這種需求，這就需要在新的照明技術中更好地應用可調光、可變色溫等功能。其次，良好的照明環境對員工的工作效率、注意力和工作態度有著直接的影響。不合適的照明系統可能導致眼睛疲勞、頭痛等問題，進而影響到工作品質。因此，提高照明系統的人性化和人體工學設計是一個亟待解決的課題。

未來 PCB 廠在照明技術上的發展趨勢將主要體現在先進技術的應用。智能感測技術、人工智慧等將更加普及，實現更精確的照明控制。同時，可調光、可變色溫的 LED 技術將進一步提高照明系統的適應性和能效。

照明系統的未來發展趨勢之一是更加注重人性化。透過先進的感測技術，照明系統可以實現對員工的個性化照明調節，考慮到每個人的視力差異、生活習慣和工作需求，提供更為舒適和個性化的照明環境。這不僅有助提升員工的工作效率，同時也促進了工作場所的幸福感和滿意度。

未來 PCB 廠照明系統有望更廣泛應用無線照明控制技術。透過無線通信技術，照明系統可以實現更靈活的遠程控制和監測。這使得管理人員能夠實時調整照明參數，達到最佳的節能效果。同時，無線照明控制還能夠更方便地進行系統升級和維護。技術提升後的照明系統可能會更加強調環境感知，透過整合各種感測器，例如光線感測器、存在感測器、溫濕度感測器等，照明系統可以實現對環境變化的察覺，並根據實際需求自動調整照明參數。這種智能環境感知的照明系統不僅節省能源，還有助於創造更加宜人的工作環境。

環保意識的提升將推動 PCB 廠朝著生態友好照明發展。使用無毒材料、可回收的照明元件，以及低碳排放的生產工藝，將是未來 PCB 廠照明技術的一個重要方向。同時，減少光污染、優化光學設計，保護生態環境，也是未來發展的目標之一。

2. 照明系統節能減碳矩陣

針對照明系統的減碳方式整理表格如下，將以節能潛力、投資成本、實施難易度、對製程影響及對安全影響來評鑑綜合推薦指數，各個項目的評分各別以高、中、低來代表改善過程的困難度及影響，最後綜合推薦★星星指數為 1~3 顆星，越多代表越推薦，此表用作改善評估的參考。但因相關驗證尚缺乏統一的方法學，故評分為專家依經驗所產生的相對量表，僅為參考使用，實際運作仍須考量場域狀況而有所不同。

各項目評比影響說明					
程度	節能潛力	投資成本	實施難度	對製程影響	對安全影響
高	大量節能潛力	大量或長期	較複雜的變動或硬體安裝，於現有裝置汰換、損壞時實施	製程參數或條件的重大改變，需要進行長時間測試和調整	製程安全風險大，可能發生設備損壞、產線停擺等
中	中等節能潛力	中量	因對運作有潛在影響，需要在實施前謹慎計畫	製程參數或條件的輕微改變，需要進行適當調整	安全風險有一定程度的增加，可能發生輕微設備損壞事故
低	少量節能潛力	少量或無	可隨時進行的改善措施，不會導致運作中斷	製程參數或條件的影響甚微，無需進行調整	對製程安全風險影響甚微，不致發生事故

綜合推薦說明		
綜合推薦為上述因子透過權重計算所得，計算公式： $(3*節能潛力+3*投資成本+2*實施難度+1*對製程影響+1*對安全影響)/5$ ，得分 4-6 為★★★、3-4 為★★、2-3 為★。		
備註：因各企業在意項目不同，加權比重也會有所不同，造成不同的計算結果。		
程度	節能潛力	投資成本、實施難度、對製程影響、對安全影響
高	3	1
中	2	2
低	1	3

表 4：照明系統節能減碳矩陣

節能減碳措施	方法說明 (簡述)	節能潛力	投資成本	實施難易度	對製程影響	對安全影響	綜合推薦
使用高效率照明設備							
選用高效率照明設備	1. 降低電源轉換過程的損失。 2. 提高光源體的發光效率。	高	高	中	中	中	★★★★
使用電子式的電源轉換裝置	具有較高的電源端電流功率因數，目前電子式搭配主動式功因校正器，其電源端電流功率因數通常達 0.95 以上。	低	高	中	低	低	★★
節能的照明設計							
適當的照明設計	使用兩個指標衡量照明燈有無裝置過量。 1. 空間平均照度 2. 空間照明用電密度 (LPD)	高	低	低	高	高	★★★★
智慧型照明管理系統應用							
增設照明管理系統	導入照明管理系統，透過感測、通訊、決策等機制的應用，可進行照明系統自動化操作、資料儲存與狀態回報...等。	低	高	高	低	低	★
調光							
降低原系統中過高的照度	透過調光將照度降至原預定值，將會有二成的節電空間。	低	中	中	中	低	★★
降低未被使用的空間照度	降低無人區域的亮度，即可節省照明用電，並兼顧照明環境的舒適度。	低	中	中	低	低	★★
配合晝光照明調整燈具亮度	在有晝光照明的區域，根據晝光照明所能提供的照度，適度調降該區域燈具的亮度，以達到節能的效果。	高	高	高	中	中	★★

(五) 鍋爐系統

1. 系統架構：

主要由輸送管道、鍋爐本體、燃燒器、控制系統、集塵設備等單元組成。常見由化學能、電能轉換為熱能的方式，製造大量高溫的蒸氣以提供廠務水蒸氣、熱水、乾燥的等各種的熱量來

源。燃料鍋爐一般可以達到較為經濟實惠的利用率，但是會產生如煙氣、灰渣等副產物，需要額外的集塵設備來處理廢棄；電加熱鍋爐則是較為純淨且發熱效率良好，但過程中需耗費大量的電力。其燃燒過程中排放的二氧化碳等溫室氣體是企業面臨的環境挑戰之一。為因應全球對氣候變遷的關切，台灣 PCB 廠積極尋求鍋爐低碳技術的應用，以減少碳足跡，提高能源利用效率。

2. 減碳關鍵與手法：

生產過程中，傳統鍋爐使用化石燃料，例如煤炭或天然氣，這將產生大量的二氧化碳排放。為了降低碳排放，PCB 廠開始引入各種低碳技術，這包括能源效益改進、燃氣混燒技術、廢熱回收等，以提高鍋爐的能源利用效率並降低碳排放。

未來 PCB 廠的鍋爐低碳技術發展將主要集中在先進的燃燒技術上。例如，超低排放燃燒技術、氣體化燃燒技術等將有助於減少二氧化碳排放，同時提高能源利用效率。鍋爐低碳技術將更加智能化。透過導入先進的感測技術和數據分析，建立智能化管理系統，實現對鍋爐運行狀態的實時監測和精準控制，進一步提升能源利用效率。

另外，氫能作為一種清潔能源，未來在鍋爐低碳技術中的應用有望成為一個關鍵方向。像是先進半導體製程在極紫外光微影（EUV）曝光機台上將會產生大量廢棄氫氣，若將此廢棄氫氣引入氫氣替代傳統燃料，不僅能減少碳排放，還有助於轉向更為綠色的生產。未來鍋爐低碳技術還將注重資源綜合利用。透過廢熱回收、廢氣利用等方式，最大程度地提高能源的綜合利用效率，實現節能減排。

最後，是技術的可行性和成熟度。一些新型的鍋爐低碳技術可能還處於實驗室階段，其商業應用的可行性有待實際驗證。在這方面，企業可以進行詳細的技術評估和實地測試，以確保技術的實用性和可靠性。

鍋爐低碳技術在台灣 PCB 廠的生產中扮演著關鍵的角色，直接影響到企業的能源消耗和碳排放水平。透過導入各種先進的低碳技術，包括能源效益改進、綠色能源應用等，PCB 廠將可以實現更加清潔和綠色的生產。

3. 鍋爐系統節能減碳矩陣

針對鍋爐系統的減碳方式整理表格如下，將以節能潛力、投資成本、實施難易度、對製程影響及對安全影響來評鑑綜合推薦指數，各個項目的評分各別以高、中、低來代表改善過程的困難度及影響，最後綜合推薦★星星指數為 1~3 顆星，越多代表越推薦，此表用作改善評估的參考。但因相關驗證尚缺乏統一的方法學，故評分為專家依經驗所產生的相對量表，僅為參考使用，實際運作仍須考量場域狀況而有所不同。

各項目評比影響說明					
程度	節能潛力	投資成本	實施難度	對製程影響	對安全影響
高	大量節能潛力	大量或長期	較複雜的變動或硬體安裝，於現有裝置汰換、損壞時實施	製程參數或條件的重大改變，需要進行長時間測試和調整	製程安全風險大，可能發生設備損壞、產線停擺等
中	中等節能潛力	中量	因對運作有潛在影響，需要在實施前謹慎計畫	製程參數或條件的輕微改變，需要進行適當調整	安全風險有一定程度的增加，可能發生輕微設備損壞事故
低	少量節能潛力	少量或無	可隨時進行的改善措施，不會導致運作中斷	製程參數或條件的影響甚微，無需進行調整	對製程安全風險影響甚微，不致發生事故

綜合推薦說明		
<p>綜合推薦為上述因子透過權重計算所得，計算公式：$(3 \times \text{節能潛力} + 3 \times \text{投資成本} + 2 \times \text{實施難度} + 1 \times \text{對製程影響} + 1 \times \text{對安全影響}) / 5$，得分 4-6 為★★★、3-4 為★★、2-3 為★。</p> <p>備註：因各企業在意項目不同，加權比重也會有所不同，造成不同的計算結果。</p>		
程度	節能潛力	投資成本、實施難度、對製程影響、對安全影響
高	3	1
中	2	2
低	1	3

表 5：鍋爐設備節能減碳矩陣

節能減碳措施	方法說明 (簡述)	節能潛力	投資成本	實施難易度	對製程影響	對安全影響	綜合推薦
鍋爐的選用							
選用合適的鍋爐	依基本之構造、氣體流向或燃料...等，選用合適的鍋爐於所需的場所。	高	高	中	中	中	★★★★
待機降載	設備不使用時，啟用待機模式。	高	高	中	低	高	★★★★
燃料							
燃料選用	使用天然氣作為主要燃料來源，天然氣燃燒相對乾淨，相較於煤炭和油，燃燒時的二氧化碳排放較少，且幾乎無硫排放，在環境保護上有優勢。混氫燃燒為可期待之發展，惟安全性仍需謹慎評估與驗證。	高	高	高	中	中	★★
符合政策要求							
符合規範	使用合適之鍋爐幫助企業能更輕鬆地達到這些排放標準，避免可能的罰款。	高	中	中	低	高	★★★★
廠房空間規劃	使用天然氣瓦斯鍋爐就無需存儲大量的重油，這為使用鍋爐的工廠節省了不少空間。	高	高	高	低	高	★★★★
遠端智能監控系統							
安裝遠端智能監控系統	能夠隨時瞭解鍋爐的運作狀態，即時調整參數，達到鍋爐最佳之運作狀態。	中	高	高	中	高	★
高效率給水預熱器	大幅減少能源的浪費，並提高整體的能源利用效率。	中	高	高	中	高	★

參、PCB 製程設備節能減碳

PCB 為電子產業之母，其製程複雜涉及多項設備，包括乾、濕製程、檢測等。這些設備在運作中會消耗大量能源，因此，PCB 產業應著手從高耗能之設備，投入節能減碳措施，以達能源的有效使用。以下針對耗能熱點的電/化鍍、蝕刻、鑽孔、壓合等製程設備，提出節能減碳之投入方向。

1. 電/化鍍製程設備節能減碳

電/化鍍製程是 PCB 製造中填鍍金屬材料的重要步驟，其主要耗能來源為電力、加熱器和藥液。在電力消耗方面，可透過更換高效率馬達或變頻馬達來提高效率。在加熱器消耗方面，可透過保溫棉包覆、熱回收系統等措施來減少熱能逸散。在藥液消耗方面，可透過藥液再生或回收系統來減少藥液浪費。

2. 蝕刻製程設備節能減碳

蝕刻製程是 PCB 製造中形成銅線路圖形的重要步驟，其主要耗能來源為電力、加熱器和藥液。在電力消耗方面，可透過更換高效率馬達或變頻馬達來提高效率。在加熱器消耗方面，可透過保溫棉包覆、熱回收系統等措施來減少熱能逸散。在風乾製程上，可採用紅外線（冷風）乾燥設備，取代高耗電的加熱器設備。在藥液消耗方面，可透過藥液再生或回收系統來減少藥液浪費。

3. 鑽孔製程設備節能減碳

鑽孔製程是 PCB 製造中製孔的步驟，其主要耗能來源為主軸馬達、高壓空氣和周邊設備。在主軸馬達消耗方面，可透過採用高效率馬達來提高效率。在高壓空氣消耗方面，可透過關閉待機時的高壓空氣來減少浪費。在周邊設備消耗方面，可透過採用高效能冰水機、空壓機等設備來提高效率。

4. 壓合製程設備節能減碳

壓合製程是 PCB 製造中疊板的步驟，其主要能源消耗來源為熱源和加壓馬達設備。在熱源供應方面，通常採用直接電加熱或者使用鍋爐供應的熱煤油。為了實現節能減碳，可以考慮使用燃燒係數高的潔淨燃料以及提高鍋爐的燃燒效率。至於加壓馬達，則可以通過使用變頻馬達來提高電力的有效利用率。

綜合以上分析，PCB 設備節能減碳可從以下幾個方面進行：

1. 設備設計優化：

在設備設計階段，可考慮採用高效率馬達、變頻馬達、保溫棉包覆等設計，以提高能源效率。

2. 製程優化：

在製程優化方面，可透過製程流程優化、設備自動降載或關停等措施來減少不必要的能源消耗。

3. 智慧化生產：

在智慧化方面，可透過智慧生產監控平台、預保養機制等措施來提高生產效率和設備運作可靠性，從而減少能源消耗。

建議 PCB 設備節能減碳可採取以下建議：

1. 在電/化鍍、蝕刻等製程設備的選擇上，優先考慮引入高效率馬達、變頻馬達等設備，以增進能源使用效能。
2. 鑽孔製程設備的選定上，應首選高效率馬達等裝置，同時減少高壓空氣的不必要浪費使用。
3. 壓合製程設備，可選用潔淨燃料和高效率鍋爐系統以及採用變頻馬達，以提高設備效能。
4. 在設備設計階段，應該思考使用保溫棉包覆、熱回收系統等方案，以減低熱能的散失。
5. 在製程優化層面，透過製程流程的優化、設備自動降載或停機等措施，來降低不必要的能源耗用。
6. 在智慧化方面，透過建構智慧生產監控平台，導入預防性保養機制等手段，提高生產效率和設備運作的可靠性，進而提高能源的利用率及降低能源無謂的浪費。

PCB 產業是全球重要的電子產業，其節能減碳具有重要意義。透過上述建議，PCB 產業可有效減少能源消耗，降低碳排放，為環境保護做出貢獻。但仍須留意，因元器件的更換牽涉到成本、品質驗證、工廠排程、預留空間等等限制，需做綜合的考量。後續將對電/化鍍、蝕刻、鑽孔等製程進行分項的詳述，若有新的製程設備加入，將陸續補於後續章節。

一、電/化鍍製程：電/化鍍設備

在 PCB 製造中，電/化鍍製程是一個關鍵步驟，然而，由於傳統製程中電鍍消耗大量能源，如何進一步採取節能措施成為當前發展的重要課題。現今隨著各界對低碳或淨零碳排的重視，也促使廠商投入低碳電鍍的相關技術研究。

電/化鍍的主要目的是在 PCB 的樹脂材料表面鍍上銅、鎳、金、銀，以建立電子元件的導電連接，流程大致分成前處理、電/化鍍、後處理三個主要步驟。在電鍍製程中，可採用無需通電的化學鍍膜製程，採用化學沉積的方法，通過化學氧化還原反應，將鎳、金、銀等材料鍍膜在 PCB 板上。另外可採用通電的電鍍製程，以磷銅球或鈦板為陽極、PCB 板為陰極，浸泡在含有硫酸銅與電鍍添加劑的電解液中，通以直流電將銅沉積於板材表面上；最後再進行酸洗、清洗、烘乾等後處理流程。

從製程面與材料面的改善，有廠商提出直接電鍍、低溫電化鍍、超填孔電鍍 (super filling) 與脈衝電鍍等技術，但製程的改變牽涉到客戶與板廠間的認證、規格、與成本間的平衡，較難有一致的做法，設備的改善則屬於共通性可一同努力的目標。設備面的低碳化著重於節能設備模組及零組件的替換，以及生產過程中的即時監測與校正，藉由軟硬體的提升以提高生產效率，與優化能源

的使用效率，以達到節能減碳，並促進 PCB 製造從「三高」(高廢棄物、高耗水、高耗電) 轉型成「高階」智慧生產。未來，隨著技術的不斷進步，PCB 製程將更趨向於綠色、低碳的方向發展，提高產業的可持續性。



資料來源：亞碩科技

圖 8：垂直連續電鍍銅設備

針對電鍍設備的減碳方式整理表格如下，將以節能效益、投資成本、實施難易度、對製程影響及對安全影響來評鑑綜合推薦指數，各個項目的評分各別以高、中、低來代表改善過程的困難度及影響，最後綜合推薦★星星指數為 1~3 顆星，越多代表越推薦，此表用作改善評估的參考。但因相關驗證尚缺乏統一的方法學，故評分為專家依經驗所產生的相對量表，僅為參考使用，實際運作仍須考量場域狀況而有所不同。

各項目評比影響說明					
程度	節能潛力	投資成本	實施難度	對製程影響	對安全影響
高	大量節能潛力	大量或長期	較複雜的變動或硬體安裝，於現有裝置汰換、損壞時實施	製程參數或條件的重大改變，需要進行長時間測試和調整	製程安全風險大，可能發生設備損壞、產線停擺等
中	中等節能潛力	中量	因對運作有潛在影響，需要在實施前謹慎計畫	製程參數或條件的輕微改變，需要進行適當調整	安全風險有一定程度的增加，可能發生輕微設備損壞事故
低	少量節能潛力	少量或無	可隨時進行的改善措施，不會導致運作中斷	製程參數或條件的影響甚微，無需進行調整	對製程安全風險影響甚微，不致發生事故

綜合推薦說明

綜合推薦為上述因子透過權重計算所得，計算公式： $(3 \times \text{節能潛力} + 3 \times \text{投資成本} + 2 \times \text{實施難度} + 1 \times \text{對製程影響} + 1 \times \text{對安全影響}) / 5$ ，得分 4-6 為★★★、3-4 為★★、2-3 為★。

備註：因各企業在意項目不同，加權比重也會有所不同，造成不同的計算結果。

程度	節能潛力	投資成本、實施難度、對製程影響、對安全影響
高	3	1
中	2	2
低	1	3

表 6：電鍍設備節能減碳矩陣

節能減碳措施	方法說明 (簡述)	節能潛力	投資成本	實施難度	對製程影響	對安全影響	綜合推薦
馬達							
高效率馬達更換	更換 IE3 或 IE4 高效率馬達	高	中	低	高	低	★★★
變頻器加裝	傳統馬達變更為變頻馬達	高	中	低	高	低	★★★
小馬達更換	結合流場優化，減少管路揚程與折彎，將大馬達換為小馬達	中	低	中	中	中	★★★
待機降載	設備不使用時，馬達運轉狀態從 60Hz 變為 20Hz	低	低	低	低	中	★★★
整流器							
高效能整流器	更換高效能整流器，提高電壓轉換效率，降低轉換損耗	高	中	中	低	低	★★★
不溶解性陽極	鈦網結構調整，提高電鍍效率	低	中	低	中	低	★★
加熱器							
熱回收系統	熱氣回收、以及冷凝藥水回收	中	中	高	中	中	★★
保溫棉	加熱管路包覆保溫棉	中	低	低	低	低	★★★
蒸氣加熱	利用蒸氣取代電加熱	低	中	中	高	高	★★
冷熱交換器	採用冷熱交換器，避免採用加熱器	高	高	低	低	低	★★★

節能減碳措施	方法說明 (簡述)	節能潛力	投資成本	實施難易度	對製程影響	對安全影響	綜合推薦
紅外線風乾	採用紅外線風乾製程取代加熱器烘乾製程	高	中	中	低	低	★★★★
設備設計與再生材料使用							
陰陽極距離調整	3~5 公分內以不卡板為原則	中	中	高	中	中	★★
藥液再生	透過活性碳過濾等方式提高鍍液壽命、或高錳酸鉀藥液回收再生	高	中	高	高	中	★★
線邊金屬離子回收等	回收銅、鎳等材料	高	中	低	低	低	★★★★
智慧化							
電/化鍍之鍍液監控系統	包含金屬離子、酸濃度與氯離子濃度等監控，提高製程穩定性與良率	高	中	中	中	低	★★★★
添加劑自動分析系統	電鍍液中的光澤劑、抑制劑等監控，提高電化鍍製程穩定性與良率	中	中	中	中	低	★★★★
設備自動降載或關停	長時間不使用設備依設計級距，可自動降載或關停，如：馬達降載、加熱器與周邊配備降載或關停	中	中	中	高	中	★★
智慧製造優化系統	電流監控與補償、參數最佳化等，提高生產良率與效率，減少報廢品產生	低	低	高	低	低	★★

二、線路製程：蝕刻設備

在 PCB 製造中，蝕刻是一個線路圖形化的關鍵步驟，但這個製程需要大量的能源。首先得預處理電路板表面，然後通過化學方法去除不需要的部分，這過程會用上大量的電力和化學藥劑。製程中會如遇到均勻性問題，將會增加浪費。清潔和維護蝕刻設備是另一個重要的面向，因為阻礙或污垢會使蝕刻不均勻，這將導致更多的浪費。

為了提高效率和降低浪費，我們需要引入節能措施。這可能包括改進噴嘴設計，確保蝕刻設備處於良好地工作狀態，並減少能源消耗。簡而言之，蝕刻的優化需要更環保的方法，以減少能源浪費和提高製程效率。



資料來源：亞智公司

圖 9：濕式蝕刻機

針對蝕刻設備的減碳方式整理表格如下，將以節能效益、投資成本、實施難易度、對製程影響及對安全影響來評鑑綜合推薦指數，各個項目的評分各別以高、中、低來代表改善過程的困難度及影響，最後綜合推薦★星星指數為 1~3 顆星，越多代表越推薦，此表用作改善評估的參考。但因相關驗證尚缺乏統一的方法學，故評分為專家依經驗所產生的相對量表，僅為參考使用，實際運作仍須考量場域狀況而有所不同。

各項目評比影響說明					
程度	節能潛力	投資成本	實施難度	對製程影響	對安全影響
高	大量節能潛力	大量或長期	較複雜的變動或硬體安裝，於現有裝置汰換、損壞時實施	製程參數或條件的重大改變，需要進行長時間測試和調整	製程安全風險大，可能發生設備損壞、產線停擺等
中	中等節能潛力	中量	因對運作有潛在影響，需要在實施前謹慎計畫	製程參數或條件的輕微改變，需要進行適當調整	安全風險有一定程度的增加，可能發生輕微設備損壞事故
低	少量節能潛力	少量或無	可隨時進行的改善措施，不會導致運作中斷	製程參數或條件的影響甚微，無需進行調整	對製程安全風險影響甚微，不致發生事故

綜合推薦說明

綜合推薦為上述因子透過權重計算所得，計算公式： $(3 \times \text{節能潛力} + 3 \times \text{投資成本} + 2 \times \text{實施難度} + 1 \times \text{對製程影響} + 1 \times \text{對安全影響}) / 5$ ，得分 4-6 為★★★、3-4 為★★、2-3 為★。

備註：因各企業在意項目不同，加權比重也會有所不同，造成不同的計算結果。

程度	節能潛力	投資成本、實施難度、對製程影響、對安全影響
高	3	1
中	2	2
低	1	3

表 7：蝕刻設備節能減碳矩陣

節能減碳措施	方法說明（簡述）	節能潛力	投資成本	實施難度	對製程影響	對安全影響	綜合推薦
馬達							
高效率馬達更換	更換 IE3 或 IE4 的高效馬達	高	低	中	低	低	★★★★
變頻器加裝	傳統馬達變更為變頻馬達	高	低	中	低	低	★★★★
待機降載	設備不使用時，馬達運轉狀態從 60Hz 變為 20Hz	低	低	低	高	中	★★★★
加熱器							
熱回收系統	熱氣、及冷凝藥水回收	中	中	中	中	中	★★
保溫棉	加熱管路包覆保溫棉	低	低	低	高	低	★★★★
冷熱交換器	採用冷熱交換器，避免採用加熱器	中	中	中	中	低	★★★★
紅外線風乾	採用紅外線風乾製程取代加熱器烘乾製程	高	中	中	低	低	★★★★
智慧化							
蝕刻液監控系統	包含金屬離子、酸濃度等監控，提高製程穩定性與良率	低	中	中	低	低	★★
設備自動降載或關停	長時間不使用設備依設計級距，可自動降載或關停，如：馬達降載、加熱器與周邊配備降載或關停	中	低	低	中	中	★★★★
智慧製造優化系統	參數最佳化等，提高生產良率與效率，減少報廢品產生	高	高	高	高	低	★★

三、鑽孔製程：機鑽、雷鑽設備

在全球日益重視節能減碳的趨勢下，PCB 產業設備中，在鑽孔需求所採用的機鑽及雷鑽設備應該積極投入節能措施，以應對能源效率和環境責任。首先，機鑽的主軸是能源消耗的主要來源之一。透過選用高效率的主軸和馬達，機鑽能夠實現更優越的能源利用率，降低功耗並減少能源浪費。此外，設定自動啟停功能，能夠降低設備能耗並提高生產效率，避免長時間待機的無效運轉。

更進一步，優化生產流程的設計也是節能的重要途徑。透過工程轉換時的優化處理，機鑽能夠更有效地運行，減少不必要的能源消耗。此外，考慮機台材料在溫度敏感性所影響精度問題，可降低機台設備對於空調的依賴，使其更符合節能要求。再者，採用再生材料或減少能耗高的周邊設備（如冰水機和空壓機）也是減少整體能源消耗的有效手段。

這些措施不僅可以降低能源消耗和成本，更能減少碳足跡，對環境產生更小的負擔。透過機鑽設備的節能改善，能夠在保證生產效率的同時，向綠色和永續的生產方向邁進，為行業的可持續發展做出貢獻。



資料來源：東台精機公司 (2023)

圖 10：六軸線馬數控鑽床

針對鑽孔設備的減碳方式整理表格如下，將以節能潛力、投資成本、實施難易度、對製程影響及對安全影響來評鑑綜合推薦指數，各個項目的評分各別以高、中、低來代表改善過程的困難度及影響，最後綜合推薦★星星指數為 1~3 顆星，越多代表越推薦，此表用作改善評估的參考。但因相關驗證尚缺乏統一的方法學，故評分為專家依經驗所產生的相對量表，僅為參考使用，實際運作仍須考量場域狀況而有所不同。

各項目評比影響說明					
程度	節能潛力	投資成本	實施難度	對製程影響	對安全影響
高	大量節能潛力	大量或長期	較複雜的變動或硬體安裝，於現有裝置汰換、損壞時實施	製程參數或條件的重大改變，需要進行長時間測試和調整	製程安全風險大，可能發生設備損壞、產線停擺等
中	中等節能潛力	中量	因對運作有潛在影響，需要在實施前謹慎計畫	製程參數或條件的輕微改變，需要進行適當調整	安全風險有一定程度的增加，可能發生輕微設備損壞事故
低	少量節能潛力	少量或無	可隨時進行的改善措施，不會導致運作中斷	製程參數或條件的影響甚微，無需進行調整	對製程安全風險影響甚微，不致發生事故

綜合推薦說明	
綜合推薦為上述因子透過權重計算所得，計算公式： $(3*節能潛力+3*投資成本+2*實施難度+1*對製程影響+1*對安全影響)/5$ ，得分 4-6 為★★★、3-4 為★★、2-3 為★。	
備註：因各企業在意項目不同，加權比重也會有所不同，造成不同的計算結果。	
程度	節能潛力 投資成本、實施難度、對製程影響、對安全影響
高	3 1
中	2 2
低	1 3

表 8：鑽孔設備節能減碳矩陣

機械鑽孔機							
節能減碳措施	方法說明（簡述）	節能潛力	投資成本	實施難易度	對製程影響	對安全影響	綜合推薦
主軸馬達							
採用高散熱線性馬達	線性馬達，線圈採用管型環狀的散熱方式設計，與一般採用扁平式設計的線性馬達相較，有較佳的散熱能力	高	高	高	中	低	★★

節能減碳措施	方法說明 (簡述)	節能潛力	投資成本	實施難易度	對製程影響	對安全影響	綜合推薦
選擇適當轉速與低電流的主軸	依孔徑需求採用適當轉速的主軸，並採用低電流驅動之主軸，以降低主軸功耗	中	中	中	中	低	★★★★
關閉高壓空氣	機台換料及待機時，關閉高壓空氣，可節省約 10% 高壓空氣	高	低	低	中	低	★★★★
鑽針							
表面鍍膜鑽針	鑽針表面進行高強度鍍膜，提高鑽孔數 25%	高	中	中	中	中	★★★★

雷射鑽孔機

減碳措施	方法說明 (簡述)	節能潛力	投資成本	實施難易度	對製程影響	對安全影響	綜合推薦
雷射發光源							
高效率雷射源	採用高效率雷射源，有效利用輸入電力。	高	高	高	低	高	★★
定期清潔透鏡	定期清潔雷射源及光路上的光源透鏡，維持雷射有效輸出功率	低	低	低	中	中	★★★★
雷射源分光	採用雷射輸入光源分光架構，以多組雷射光束，同時進行相同雷射製程，提升製程產出量	中	中	中	低	中	★★★★
平台							
減輕平台重量	較輕的平台，可以採用低電流的馬達推動平台	中	中	中	中	中	★★
低膨脹率的金屬材料	溫差變化 2 度內，平台及光學尺固定座仍可維持設定之精度，可減少環境空調用電	中	高	高	低	中	★★
人造花崗岩平台	採用膠合的人造花崗岩平台，可回收再利用，以降低碳排放	低	低	低	低	低	★★★★

機台智慧化與周邊供應系統

減碳措施	方法說明（簡述）	節能 潛力	投資 成本	實施難 易度	對製程 影響	對安全 影響	綜合推薦
智慧化							
設備自動降載或 關停	長時間不使用設備依設計 級距，可自動降載或關 停，如：馬達降載、加熱 器與周邊配備降載或關停	中	低	低	中	低	★★★★
預保養機制	監控機台上各模組、主 軸、風量、鑽針的穩定 性，建立預先保養機制， 避免後續大額支出	高	高	中	低	中	★★★★
智慧製造優化生 產效率	裝設獨立智慧電錶、氣壓 流量錶，將設備資訊回 傳，建構智慧生產監控平 台，優化生產流程，提高 生產良率與效率，減少報 廢品產生	高	高	高	低	低	★★
周邊供應系統							
高效能空壓機	採用變頻馬達之空壓機	高	高	中	低	低	★★★★
高效能集塵設備	採用渦輪式的鼓風機，轉 換效率可從 50%提升至 80%	高	高	中	低	中	★★★★
DC 風扇	採用 DC 散熱風扇馬達， 提高轉換效率 採用熱交換式冰水機，可 省去冷卻機的耗電	中	中	低	中	低	★★★★
高效能冰水機	採用直流變頻壓縮機，提 升冷凍效率	高	高	中	低	低	★★★★

四、壓合製程：壓合、加熱設備

壓合分為機體系統、加熱系統、冷卻系統、抽真空系統、回流線。壓合主要耗能來源為加熱系統的鍋爐，其餘設備耗能不高，鍋爐系統大至歸類於廠務所管理，本指引於廠務設施章節，已進行鍋爐節能減碳之探討。下文將針對壓合機台可進行之節能措施進行探討。

壓合節能措施包括改善機體系統和抽真空系統。在機體方面，可考慮改伺服馬達和變頻泵

浦。同時，在保溫方面使用保溫棉和金屬板隔熱，以及在壓合機內放置隔熱磚阻隔熱源外溢。對於抽真空系統，可將油式泵浦改為水封式，可減少相關耗材之開支。另外，PCB 疊板回流自動化可透過搬運系統和 AGV（無人搬運車）實現，以提高生產效率，進而減少相關碳排。



資料來源：連結機械公司（2024）

圖 11：PCB 真空熱壓機

針對壓合設備的減碳方式整理表格如下，將以節能潛力、投資成本、實施難易度、對製程影響及對安全影響來評鑑綜合推薦指數，各個項目的評分各別以高、中、低來代表改善過程的困難度及影響，最後綜合推薦★星星指數為 1~3 顆星，越多代表越推薦，此表用作改善評估的參考。但因相關驗證尚缺乏統一的方法學，故評分為專家依經驗所產生的相對量表，僅為參考使用，實際運作仍須考量場域狀況而有所不同。

各項目評比影響說明					
程度	節能潛力	投資成本	實施難度	對製程影響	對安全影響
高	大量節能潛力	大量或長期	較複雜的變動或硬體安裝，於現有裝置汰換、損壞時實施	製程參數或條件的重大改變，需要進行長時間測試和調整	製程安全風險大，可能發生設備損壞、產線停擺等
中	中等節能潛力	中量	因對運作有潛在影響，需要在實施前謹慎計畫	製程參數或條件的輕微改變，需要進行適當調整	安全風險有一定程度的增加，可能發生輕微設備損壞事故
低	少量節能潛力	少量或無	可隨時進行的改善措施，不會導致運作中斷	製程參數或條件的影響甚微，無需進行調整	對製程安全風險影響甚微，不致發生事故

綜合推薦說明

綜合推薦為上述因子透過權重計算所得，計算公式： $(3 \times \text{節能潛力} + 3 \times \text{投資成本} + 2 \times \text{實施難度} + 1 \times \text{對製程影響} + 1 \times \text{對安全影響}) / 5$ ，得分 4-6 為★★★、3-4 為★★、2-3 為★。

備註：因各企業在意項目不同，加權比重也會有所不同，造成不同的計算結果。

程度	節能潛力	投資成本、實施難度、對製程影響、對安全影響
高	3	1
中	2	2
低	1	3

表 9：壓合設備節能減碳矩陣

壓合機

節能減碳措施	方法說明（簡述）	節能潛力	投資成本	實施難度	對製程影響	對安全影響	綜合推薦
壓合主機節能							
高效率馬達	採用使用 IE4 馬達或伺服馬達和變頻控制，可進行降載控制，有效利用電力。	中	低	低	低	低	★★★
保溫系統	使用保溫棉和金屬板進行加壓區域的隔熱，以及在壓合機內放置隔熱磚，阻絕熱源外溢。	高	低	低	低	低	★★★
真空系統	將油式泵浦改為水封式，可節省相關維修保養之耗材費用。	低	中	低	低	低	★★
智慧化							
自動化生產	可透過自動搬運系統和使用 AGV（無人搬運車），以達到 PCB 疊板回流自動化，提高生產效率。	中	高	高	中	低	★★

PCB 廠務設施與製程設備節能減碳指引 — 2024 年版

發行單位：台灣電路板協會(TPCA)

編審單位：台灣電路板協會 永續發展委員會

研究單位：工研院機械與機電系統研究所、工研院產業科技國際策略發展所

執行單位：台灣電路板協會 產業推動處

電話：+886-3-3815659

傳真：+886-3-3815150

網址：<http://www.tPCA.org.tw>

地址：33702 桃園市大園區高鐵北路二段 147 號

Email：service@tpca.org.tw

出版日期：2024 年 4 月

著作權聲明:此文件電子版本將於 TPCA 官網開放下載，著作權所有，請勿擅自轉載或翻印。



提升產業競爭力
共創永續新價值

337002桃園市大園區高鐵北路二段147號
No.147, Sec. 2, Gaotie N. Rd., Dayuan Dist., Taoyuan
City 337002, Taiwan
TEL : 886-3-3815659 <https://www.tpca.org.tw>

TPCA 台灣電路板協會
Taiwan Printed Circuit Association