

電鍍工廠實施節約能源之可行性研究

施 顏 祥*

一、前 言

近年來，由於傳統燃料的日趨缺乏，再加上產油國不斷地提高油價，對於世界經濟結構形成嚴重的打擊，因此，「開發新能源」與「如何有效地節約能源」成為各國全力以赴的目標。不論是已開發國家或開發中國家莫不以此工作為當務之急而不遺餘力地邁進着。然而事實不容否認的，「開發新能源」的工作，對已充分開發的國家而言，不論人力、財力、技術力及研究環境尙能指日可成；諸如太陽能收集、地熱利用、煤礦氣化、潮汐動力、氫融合技術甚至生質能等各方面，雖然尚未完全實現，唯突破瓶頸僅時間上的問題而已。但是，我等尙處於開發中的國家，與其承擔鉅額耗費在新能源的研究，不如多在節約方面下功夫來得更實惠些。當然經由節約這條途徑，不可能導致特別突破性的成就，但倘能充分發揮節約的功能，其成果仍屬可觀。目前以臺灣地區能源消耗的結構來看（按消費部門分類），其中工業占百分之十五，運輸業占百分之十，農漁業占百分之四，住宅及其他占百分之十七及原料方面占百分之十四。而工業消耗能源之中，化工業大約占其中的百分之四十，原料方面化工類亦可能占其中的百分之十以上，由是觀之，化工界的能源消耗占全部能源消耗的比例上約為百分之二十五左右。故節約能源若能由此行業着手，必有所得。

由於限於時間、人力及環境許可之因素，本文僅就化學工業中之電鍍工廠來作分析，略述理論上可行之措施；為了更使實際化，我們採取個案研究之方式，以臺北縣某電子工廠之電鍍部門為對象作定性方面之分析，以作為國內多達五百餘家的電鍍工廠推動能源節約的參考。

二、電鍍工廠在能源節約方面之概念

人類生活與化學工業關係之密切，已是衆所公認的。但是，化學工業却又是消費能源極大的一項投資。在能源缺乏情況嚴重的今天，這種事實使得化學工業必須努力去改變製造程序，或是提高效率，以免遭到淘汰。電鍍加工的早期只是以裝飾目的為主，當時與生活的關係可有可無；但是近年來電鍍加工製品已由原來可有可無之裝飾品進入到與人類生活息息相關的領域中了。今天的電子、電機工業與電鍍工業已成相依相存的局勢，缺之不可。早期的鋅（Zn）電鍍，進而銅（Cu）、鎳（Ni）、鉻（Cr）耐蝕電鍍，再演進到硬鍍工具電鍍，特殊電鍍以及稀有金屬及貴金屬電子零件之電鍍，這些方面的發展，已補足了材料的缺陷、環境耐力的不足，甚至在超導體、半導體等表面特性的驚人發現，由從來不可能達到的技術缺憾提昇到具有巨大經濟價值之製品。減低成本為目前各生產企業之重要課題，因而節約能源成為其中重要措施之一。當然，今天各種不同領域的工業其對於能源皆很重視，但對於策劃與推行方法則依各業而異，本文僅對電鍍工廠所使用到的單元程序如電解、過濾、加熱、運搬、電源配線、廢水處理等加以討論；雖然流程不

* 臺灣工業技術學院化工系主任

同，其變化亦十分複雜，不容易找出一定規律可循，然而以一般性及總體能源概念來討論改善全廠的能量流程及利用效率，未嘗不能收異曲同工之效用。

(一) 擬訂節約能源目標及方法

按照傳統的工廠設計方法，往往以產品的順利製出為其最終的原則，而能源之消耗情況僅在其次，這種現象是因為以往能源消耗所占的比例並不高之故，因此不太成為考慮之重點，然而今日能源價格節節上升，任何企業為了追求更合理之利潤，只有從能源節約方面下手，擬訂一個明確的數值作為目標，全力以赴。以電鍍產品而言，節約能源可採用「單位面積、單位膜厚所需消耗之電量及能量」來作計算，生產成本中之能源所占比例為能源費用總額除以總生產成本。

在採取適當方法之前，必須先認清製品最終目的為何，依其不同之品質要求，改變製造上之各種控制因子，彼此互相配合，以期消耗最低限之能量；譬如說，電鍍製品中有些僅作裝飾目的者如名牌或鉻板之類，只求光澤及耐紫外線性能稍好些，而不必要有太高之厚度及耐磨性；有如手握手等製品經常要用手觸及的，不但要外觀佳，且硬度及耐磨性均列入重點；有如工具機所用鑽尾、車刀等唯一要求的是硬度及密着性至於其外觀可不必加以太大的考慮；又有如電子積體電路等零件，要求鍍層內含有特定比率之鎘 (Cd) 或鎳 (Rh) 元素而硬度可忽略……。因而電鍍作業在浴溫、酸鹼度、時間、電流等各個控制因素，均有不同之條件，故先認清目標再採取有效控制條件，必能將能源控制在合理的情況下。最後再檢討工作進行之結果，對於預期目標是否符合，並是否合乎計劃之宗旨，有無尚待進一步的改善等等。這種檢討後再回饋之作法，對於製程錯誤的發現頗為有效。

(二) 節約能源的起點

一般說來，工廠設備一旦設計完竣後，這套設備將來運轉順利與否，或其消耗能源方面合理與否，大致上已經決定下來了，唯加上良好之控制系統，或精密之操作技術尚可多少再改善一些。因此，在設計與計劃的階段，倘有失誤，則將來要再改善必定事倍而功不及半，且困難重重，不但要再重新投入鉅額資金，且必需停工，影響生產至鉅，何況又往往無法收回所額外增加的再投資費用，故節約能源最應把握的時機，就是在建廠之初，從設計上就著手節約，如此才能有效地減低無謂的浪費，且可提高生產效率，減低生產成本。因此，在決定工廠佈置，設備機械及能源供應方式之初，就要具有長遠的眼光及慎重的設計，由總體能源之概念，事先設計最省能源的設備、方法及建築物等。

(三) 最經濟、最適當能源之選用

各種能量之間的轉換，必定受限於效率問題而使轉換之間無形地浪費掉很多寶貴的能源。選擇使用能源之形態，除了考慮作業方便之外，對於所使用之能源形式的成本估計宜多加顧慮，尤其在近年來能源成本日增的局面下，情況更不同於往昔。如果我們就各種能源每一卡洛里的熱作一比較，其價格高低之順序為：電力、蒸氣、瓦斯、石油；由於瓦斯及石油同屬天然產之一次能源，當然較經過轉換的電力及蒸氣等二次能源來得低廉。但一般在工業上使用，往往因講求方便及初期投資的節省，而忽略了經濟原則，故價格較貴電力與蒸氣反而較受歡迎，此點為今後務必改善之重點。如果能合理調整作業時間或配合鍋爐運轉效率的情形，靈活地改變能源之使用順序，譬如善用尖峯時刻之外的剩餘電力，或鍋爐廢熱等，亦不失為經濟有效之措施。要選用最適當

、最經濟之能源，吾人應事先了解單位生產的耗能量與生產成本中能源費用所占比例，再加上充分掌握運轉實況，並作能源價格之分析調查，以期作為選擇之依據。

四 其他相關事項

如就任一工廠深入地分析其製程中之能源消耗，吾人將會發現「運輸」所占的比例甚高，尤其是管線縱橫交錯的化工廠更甚。如就一自動化電鍍廠而言，加工製程上，被鍍物的運搬、上架，鍍程加工中之運動又成品包裝輸送等，難免將使用輸送帶、起重機及臺車或貨卡等輸送器具，其所消耗之能源亦相當可觀。因此，研究改善電鍍廠之能源消耗問題，首先應檢討製造程序及工廠佈置等問題。此外，本省的工廠，對於防止污染公害的經驗尚嫌不足，在這方面原設計時不够周詳，所採用安全標準不一，或預估將來擴廠程度之錯誤等，以致時常發生污染公害防止設備的不當，例如排煙機設計過大，凝結器噸位不足，或污水處理方法不經濟，徒增加能源消耗，這些瑣碎的事情，都應加以注意。

三、電鍍廠中電與熱的消耗

(一) 一般設備方面

電鍍工廠中所用之電源均為直流，電流往往在一千安培以上，電壓以6伏特至12伏特為多，由於電壓甚低，一般電鍍廠取得直流電的方法有(a) 直流發電機；(b) 整流器；(c) 蓄電池等。

直流發電機可由交流或直流之電動機來拖動使發電，在無電源處亦有採用內燃機或蒸氣為動力。整流器亦有各種不同類者，其中以金屬整流器較為合用。至於蓄電池供電之場合，只限於應用在少量貴金屬電鍍上。直流發電機與整流器在基本上就有許多不同之特徵，如整流器內除風扇外無其他運轉部份故較易於保養，而發電機之軸承需經常加油，電刷亦要經常調整及更換。又如整流器通常容量在100至500安培，6伏特，故應用並聯與串聯方法可得任意之容量及電壓，但直流發電機不易於並、串聯之應用。整流器之效率，在滿負載時雖較大型電動發電機小，但在輕負載時（約25%左右）則較電動發電機為佳，因電動發電機即使在無負荷下，其馬達亦需消耗在運轉上。唯整流器不能如電動機般地擔負極大負荷，或長期之超負載作業。

(二) 直流發電機

主要由一交流電動機與直流發電機組合而成，一般為6伏特及12伏特兩種，如需調節電壓時，只需用變阻器節制發電機磁場線圈內之電流大小即得。電鍍用直流發電機與普通直流發電機不同，前者電壓甚低而電流甚大；後者電壓較高而電流較小。因為電流過大，若整流子容量有限時，則需兩只整流子（每邊一只），兩只整流子發電機價格較同一輸出的兩只單獨發電機價格為廉，兩只整流子發電機經過適當聯接後可得6伏特及12伏特電壓。至於電流密度之表示法，即流入各槽內之電流數除以陰極面積（在此宜注意，不是陽極板之面積），若電壓為6伏特者，先得量取溶液之電阻（例0.01歐姆），則流入槽內電流 $6/0.01$ ，即600安培，此值或可直接由電錶上讀取，然後再除以陰極面積即為電流密度。發電機容量之計算：電鍍加工由於鍍層種類，工作容量及其他條件之不同，因此電流與電壓亦有許多不同之狀況，例如鍍鋅槽內所需電流密度為2安培/平方寸，槽內每次電鍍量為1,000平方寸，則所需電流為2,000安培，假若電壓維持在6伏特，根據此數值可求出發動機之容量至少為12千瓦，又因發電機有各種損耗，故實際輸入發電機中之電

能不只此數，倘若效率爲百分之八十，則實際應爲15千瓦之輸入（亦即20匹馬力）。又已知電動發動機爲電動機與發電機兩者之組合，因此全效率爲電動機之效率乘以發動機之效率，上例假設電動機之效率爲百分之八十五，則此組合之全效率爲0.85乘以0.8即0.68，換言之，由外界送入此直流發電機中之能量至少要在17.6千瓦（或23.5匹馬力）以上，如欲使該發電機不在超負載的情況下運行，設計時最好再適度放大。

(三) 整流器

電鍍廠使用整流器取代發電機之電源已日漸增多，因整流器管理與維護較爲簡單，且站在能源節約立場上看來，亦較爲有利（後述）。整流器中以金屬整流器較爲合用，其內部壓降甚低。通常分爲「半波整流」、「中心抽頭式全波整流」與「橋式全波整流」；一般採用氧化銅整流器及硒整流器，前者效率只達七〇%而已，且在廠內耐各種腐蝕性氣體之能力較差，不甚適用；而硒整流器效率可達九〇%，且耐蝕性高。採用此種方式之變壓較使用變阻器控制電壓來得有利，因爲採用變阻器來改變發電機之電壓徒然浪費了一部份電能成爲熱能而無一益處。

(四) 電鍍槽

站在能源消耗的觀點上來看鍍槽，其槽體體積應儘可能減小，因太大的槽體，不但所需藥品要多，而且爲使鍍液均勻循環所需攪拌動力亦隨之加大，同時加熱或冷卻時能量損失亦大，在不影響正常的生產量程度之下，體積愈小愈佳。唯若體積太小時，則要經常注意液內各成份變化情形並時時需加補充，增加管理上之麻煩。槽體之排列安置地位，視工作秩序先後及數量多寡而定，通常耗電量最大的鍍槽宜儘量靠近發電機之位置，以減少輸送電流時之能量浪費。

鍍槽一般分爲鋼板製、陶器製、塑膠製、玻璃製、碳材製、石墨槽及木桶，常見的是鋼製槽加以內襯。陶器抗酸鹼性雖佳，電氣絕緣性雖好，但不適宜局部加熱管之伸入，否則由於導熱不良而易破裂且耐衝擊性亦差。塑膠槽雖耐酸鹼性良好，但在溫度較高及強氧化酸液體接觸時亦不太理想。碳及石墨槽最好，唯價格太貴。除了材料選擇之外，爲了節約電的浪費，鍍槽的絕緣性亦十分重要。鍍槽邊緣上之滙流排需用良好絕緣物質加以支撐，尤其金屬製鍍槽更應注意，絕緣材料需不吸收鍍液及不爲鍍液所浸蝕爲原則，倘絕緣物內充有鍍液後，則成電液導體，結果不僅電流大量損失，而且對於滙流排亦會侵蝕，一般採用PVC片即可。

(五) 攪拌與過濾

鍍液加以攪拌後，可使陰極表面隨時有新鮮之金屬塗或離子圍繞着，並使電流效率升高，此外，由於溶液之流動可促使附着在上面之氣泡消除，避免鍍層發生針孔。如此不但可省電且鍍層均勻性亦佳，一般在達到最大之電流密度時，鍍液與陰極間相對運動至少要在三米／秒以上。

如使用空氣攪拌時，應注意壓縮空氣內不可有油質污染，因此要用油水分離器分開，否則被油質污染之鍍液處理上十分麻煩，有些鍍槽內不可用空氣作攪拌：如硫酸銅液中若打入空氣會使硫酸銅聚集在一齊而令電流密度立刻下降。鋅鍍液亦不可使用空氣，唯鎳液尚可。如果採用機械攪拌則可免以上之顧慮，此外尚有採取極板振動法及超音波攪拌，效果更佳。

鍍液長期使用後即易變成混濁或有沉澱，故需經常加以過濾攪拌，若不除去懸浮物則鍍層會粗糙化，同時亦難拋光，若在液中行攪拌，則這些污物不可能沉澱除去，反會在其中循環影響被鍍物表面之光滑性，亦減低電鍍效率，故鍍液若有攪拌時，要設法過濾之，尤其是光澤鍍液之配

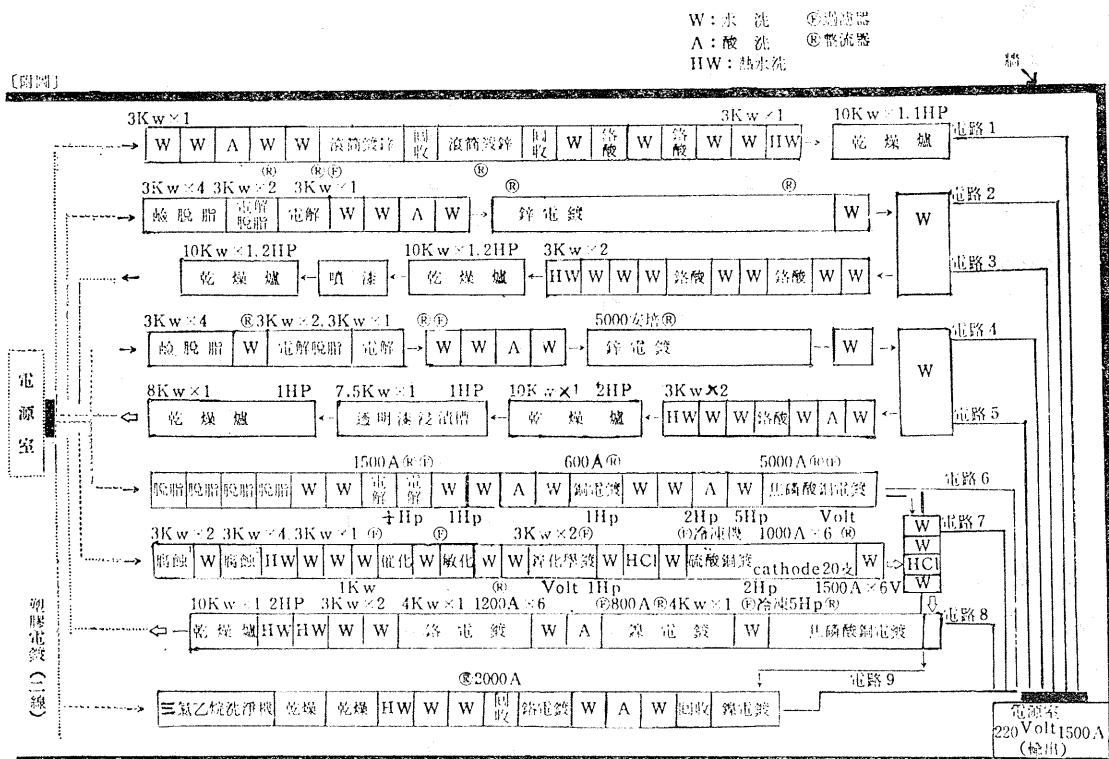
方尤然。過濾方面通常採用沉澱法、壓濾法、及重力過濾法三種，以節約能源的觀點來看，宜採用重力過濾法，但較需時，因此需要另備一沉澱用之桶子，於固定時間後抽出部份於鍍槽外令其自行沉積，澄清後再打回原槽內，唯時間間隔，抽出量等視各不同鍍液條件而異，全憑經驗得之。

(六)通風及排氣

這方面之電力消耗，占電鍍廠中電力總值不高，且所需通風排氣之程度視各廠之不同而有很大差別，無法一概而論。蒸氣比重較輕者固可由頂部抽出，通常比重大之蒸氣要採取側面抽除法，否則徒然浪費能量而效果不彰。

四、個案實例分析

檢討對象以臺北縣某電子廠之電鍍部門為例，作能源節約方面之定性研究，該廠之廠房配置如：附圖。



(一)配線方式上能源之消耗

電鍍廠配線中所輸送之電流數，往往高達數千安培以上，因此輸送時所消耗亦不在少，如公式所示：熱能之散失為電流平方乘以電阻 ($E=I^2R$)，電熱之損失為電流之平方關係，雖然銅之電阻不大，但計算出之損失亦相當可觀，若輸送距離太長，徒增電路上之發熱浪費，又溫度與電阻成正比關係，如此惡性循環下去，如果再加上設計上的錯誤，可能導致電線走火。如附圖中實

線為原電路配線，距離上較不利。如果改由左方中央輸出（虛線所示），則必可節省不少能源。

以往電鍍廠配線方法均沿牆作支架配線，再由上方向下引入槽內，如此亦增加距離，不甚恰當，若在建廠之初即行設計地溝埋線方式，則不但距離更可縮短且可防止配線受蒸氣腐蝕。使用導線如採用扁銅排則較圓形銅棒將更有利，因其表面積大，散熱易，且易於組成所需導線容量，尤其在導線之接合處，易於嵌合且緊密接觸，熱損失相對減低。

(二) 加熱方式之斟酌

鍍槽中以電熱線加熱固然方便，但如前述，由電能轉換成熱能之效率確實不經濟，因此儘可能地採用一次能源，該廠所採用之電熱器總計一七〇千瓦，如果能利用鄰近工廠之鍋爐餘（廢）熱來作熱的再吸收，必更具有經濟價值。此外，在工業限電較嚴格的區域，若能分散所用之電能，則可防止電費之累進增加額。

(三) 電鍍槽及乾燥爐之絕緣

若能在加熱的鍍槽外殼及乾燥爐的外殼多加上絕熱良好之材料，則將可節省若干的熱量散失到空氣中。

(四) 設備容量之合理化

工廠計時，往往為了將來擴廠之需要，而將現有之設備容量估計過高，亦可能在設計上預乘了太大之安全係數，導致於容量過大而浪費了能源，例如鍋爐之蒸氣量過大，帶動機構馬力過大，用電設備容量過大，變壓器與馬達等容量過高等。

此外良好之維護工作，提高工作效率及生產技術等均可能節省很多寶貴的能源。

五、結論

在能源日益缺乏而相對地人類生活水準日漸升高的今天，一個急待解決的問題就是「如何開創新的能源與如何有效地利用現有能源」。節約能源這件事已漸漸地顯出其重要性，由於人類不能不靠能源來維持其活動，因此為避免人類所將面臨的能源枯竭的威脅，也不得不從每一個可能的角落去實施節約。本省電鍍廠的規模一般說起來都不大，但總數已近五百家，其消耗之總能量亦不算少，以目前的情況來看，成長的趨勢已不大，因此節約能源的主要工作只有由目前現有之廠家負起這項任務，積極改善，以降低成本，增加市場之競爭力。在節約能源的同時，對於環境污染的防止亦應加強，以免顧此而失彼。此外，電鍍工廠的升級亦不失為節約能源的一個極有效的方法，因為傳統的鋅、銅、鎳、鉻等電鍍固然有其存在的必要，但若能以較高級的技術來提携目前之傳統電鍍作業，而製造電子、電機等方面所需之精密鍍件，將會使消耗較少之能量而創造出較高利潤之成品，這個分野將是此業界較具前途性的一面。