

金屬製品業廢氣處理技術

吳厚明*

財團法人台灣產業服務基金會 技術經理 *

一、前言

金屬製品業依中華民國行業標準分類，凡從事金屬手工具、金屬模具、建築結構、鋁銅製品、粉末冶金、表面處理及其他金屬製造之行業均屬之。金屬製品業產品種類繁多，其製程大致可分為：

- 1.金屬機械加工，包括車、鑽、銑、磨、裁剪、切削、焊接、成型、鍛造等。
- 2.為達到預期材料使用目的及環境所施予之熱處理。
- 3.為達到防銹或美觀等目的所做的表面處理，包括前處理、塗裝(含刷、噴、浸等)、電鍍、無電鍍(化學鍍)、陽極處理、熱浸鍍鋅等。金屬製品的製造多需經過上述程序，但由於產業特性使然，鮮少工廠同時涵蓋所有製程，而多將熱處理及表面處理委託專業廠商外包加工。

以最常見的塗裝和電鍍為例，在金屬製品的表面塗裝作業過程，包含前處理、研磨、噴塗、乾燥，甚至加熱等步驟，因使用大量的清洗水與稀釋揮發性有機溶劑，而造成空氣污染、廢水處理及廢棄物清理等問題。以下謹針對該行業之空氣污染防治現況、常見問題及主要操作維護提出說明。

二、廢氣處理現況

1.機械加工

機械加工用油在加工過程中因高熱而易成汽化、霧狀或蒸氣態。以螺絲鍛造過程為例，在打頭及軋牙的過程中(稱冷鍛)，因快速磨擦產生油霧，應將機台加蓋，並在螺絲盛盤上方加裝局部排氣罩，將油霧引到靜電油霧處理設施處理後排放。但觀察國內這類工廠，多僅裝設局部排氣罩，將油霧廢氣抽取到廠外而未加裝靜電油霧處理設施。部分工廠甚至於擴廠後增加機台，但仍沿用原抽風設備，導致抽風量不足，無法發揮集氣功能，及管線太長致壓損過大的情況。

2.熱處理

熱處理的熱能多使用電力及瓦斯，故熱處理製程中主要的空氣污染物並非燃燒所產生的，而是淬火時所產生的油煙。對於此類型粒狀物空氣污染物，多於源頭加裝局部排氣罩，收集後以靜電集塵器處理。

3.表面處理

表面處理中可能產生空氣污染物的製程有酸洗脫脂、塗裝、電鍍等，其產生的污染物不盡相同，處理方式需依污染物種類及特性而定。

(1)電鍍作業

電鍍製程涵蓋酸洗及電鍍作業，會產生微酸氣體排放。針對此一污染源，乃就酸洗作業區設置廢氣收集系統，並設置濕式洗滌塔，以吸附除去廢氣中的酸性氣體(主要為鹽酸氣體) 後再排放。

A.廢氣收集系統

a.整體換氣系統

電鍍過程中採用吊鍍作業時，通常於電鍍槽邊設置側吸式集氣裝置，使鍍件於浸置時具有良好之抽排氣功能，但於上、下鍍件操作時，因對鍍液造成擾動現象且對抽引氣流具阻隔作用，使得來自酸鹼液揮發逸散之煙霧瀰漫整個製程區，進而影響作業環境之空氣品質。此類型電鍍作業，最佳換氣方式建議以整體圍封換氣系統為主。

整體換氣系統一般常用之換氣頻率約為 40~50 次 / 小時，以規格為長 15m×寬 4m×高 5m 之電鍍製程線而言，如採 45 次 / 小時之換氣頻率估算，排氣量約為 225m³/min。所需處理風量較高，為整體換氣系統之主要缺點。

b.改良型側吸式氣罩

為避免整體換氣方式之高處理風量，另有改良型側吸式氣罩可供參考，其主要特色係於長方型氣罩內裝置內隔板及導流板，且於狹縫開口部份外加突緣裝置，以改善進氣流線及提高氣罩後端之進氣效率，並將傳統式單一開口分隔成不同長度比例設計之三段式開口，以求得合理之分配氣流。經工廠使用證實，氣罩面之集氣風速較傳統側吸式氣罩為佳，且可有效改善尾端捕捉風速不足之缺失，同時亦能降低系統壓損以減少抽引動力，於提昇防制設備效率與降低操作費用之考量下，已廣為業界使用。

B.廢氣處理

電鍍製程酸鹼煙霧所含之主要污染物，包括鹽酸、硫酸及硝酸等酸性煙霧，以及

氨氣之鹼性污染物質。工廠目前大多已設置廢氣之收集及處理設備。但常見因抽氣速度不足（需達 0.5~1.5m/sec 以上）及橫風干擾之情況下，常造成廠內廢氣逸散，降低廠內之空氣品質。

部份已設置廢氣填充洗滌塔者，其洗滌液迴流槽未設 pH 檢測器，而單憑操作人員感覺決定加藥量，無法瞭解設備之操作狀況，難以控制其處理效率。

針對上述問題，建議處理方式如下：

- 脫脂槽及酸洗槽通常所使用之酸液濃度不高，可設置簡易防腐蝕槽蓋，除於置物及取物時，應隨時保持覆蓋，以減少酸氣之逸散量。
- 依工廠鹼、酸廢氣性質，考量排放情形是否符合法規之排放標準與工廠之經濟狀況，據以決定設置廢氣處理設施，如：噴霧洗滌塔、文氏洗滌塔、隔板式洗滌塔、填充式洗滌塔等。
- 為能有效控制廢氣洗滌塔洗滌液之 pH 值，循環水槽應設 pH 檢測器，並定期清洗、紀錄，以有效控制廢氣處理效率。

(2)塗裝作業

依輔導經驗顯示，塗裝作業常見廢氣處理問題如下：

- 多數塗裝廠之人工刷塗、浸漆塗裝及滾塗程序多為開放空間，致使其廢氣直接逸散於廠房內，僅噴漆製程設置水幕式氣罩，惟其僅能去除部份較大粒徑之固態漆粒，對於油漆所含之氣態揮發性有機物則效果有限，故逕排大氣造成環境污染；或雖然設有活性碳吸附塔處理揮發性有機廢氣，然未進行平時之維護工作，易因活性碳飽和而失效。
- 作業員工大多未配戴內含活性碳之口罩等有效防護用具，因此長期操作易影響員工之身體健康。
- 烘乾爐排放內含揮發性有機物之廢氣，多未經適當處理設備，而直接排放於大氣中。

針對上述問題，建議處理方式如下：

A.設置集氣設施

為避免作業人員曝露的濃度過高，影響作業人員健康，塗裝作業的空間使用集氣之通風系統，建議將逸散污染源所排放揮發性有機化合物以集氣罩收集排至廠區外或將廢氣引至處理設施進行處理，主要可採局部排氣及整體換氣系統。

B.採用水幕式噴漆台

水幕式噴漆台為塗作業時最常使用來減少漆粒的設備。以往塗裝作業採用乾式噴漆台，由於會造成漆粒外洩，因此目前大都使用濕式水幕式噴漆台，但只可以去除過度噴塗的漆粒，對於有機溶劑的處理效果不佳。後端亦有採靜電機及活性碳吸附等處理方式，惟採用靜電機須注意溶劑，如有可燃性氣體者，則須檢查其是否在爆炸限值內。

(3)溶劑回收系統

部份業者使用溶劑回收系統(如冷凝回收)，將使用過的有機溶劑予以回收或再利用，如清洗、塗裝、裝載操作等程序的有機溶劑，回收作為廠內再利用或提供溶劑回收廠純化。若所回收的有機溶劑因含雜質較多，無法與全新的溶劑相比，則可回收溶劑供清洗使用。

(4)設置廢氣防制設施

塗裝業所使用的廢氣防制設施常因產業及規模差異而有所不同，尤其對於揮發性有機化合物的處理，由於設備的效率、設置成本及操作維護成本皆不同，可考量使用焚化設施或觸媒氧化等較昂貴的處理技術；或設置洗滌塔或活性碳吸附設備。

另應有效控制污染源之產生。建議透過良好作業方式，可有效降低空氣污染物之逸散，以及無防制設備之現況，如混合桶(槽)使用密閉良好之槽蓋、儘量減少桶槽之入料與卸料次數、桶槽打開後儘速關閉、僅可能利用密閉方式進行設備零件之清洗及保持良好操作習慣等。

三、空污防制設備操作維護重點

有關金屬製品業廢氣處理最常用之洗滌塔或活性碳吸附設備，常見缺失及改善建議如下：

1.濕式洗滌塔

濕式洗滌塔較其他設備有更多的異常現象，主要問題大部分是由水所引起的。例如供水、排水設備的機件磨損、控制不良、水位不夠、排氣管之阻塞、腐蝕等問題。尤其是噴水或噴霧時，常會有噴嘴阻塞現象。此外，所收集之粒子以污泥狀態排除時需考慮污水及污泥的處理。由於本型式之設備費不高，但須操作費及污水處理費，所以在規劃前必須事先做好詳細的評估。

濕式洗滌塔阻塞的原因除了噴嘴、管線不適當以外，洗滌液中固體含量太高，不

良的操作與設計等均為問題的來源。此等問題可以由噴出液滴的形式觀察得知，另外液體量減少也是一種徵兆。所以應用時應選用適當的噴嘴及管線，並且經常清洗，同時適時地排放廢液。

固體顆粒的堆積係導因於物理沉澱或化學反應所產生，一般發生在紊流狀況較低的地方，如管線、導管或偵測儀器的管線上。改善方式，可以增加氣液比、控制 pH、增加停留時間、維持 6~8% 的固體物含量以及添加化學藥劑等方式來改善操作狀況。當氣體中含有酸性物質或電解質最易發生腐蝕，可用 pH 控制或選用適當材質來改善。若氣體中含有易引起磨擦的物質，當氣體在紊流狀態中或突然改變流動方向時易產生磨擦而磨損機件。這個現象常發生在文氏喉管、靠近離心收集器進口處的壁面以及彎管等地方。故應使用預處理設備和彎度較小的導管。此外，風扇和泵等旋轉設備亦較易磨損。

操作問題包括固體顆粒堆積、機件磨損、腐蝕、噴霧嘴堵塞、液體循環不順暢或桶槽洩出泡沫等問題，以下就濕式洗滌塔操作及維護重點分別敘述之：

- (1) 濕區及乾區形成：濕式洗滌塔可能設計不當而造成乾區，使含塵氣流與無法洗滌之內壁接觸而堆積。可延長導管至洗滌塔內或使塔內壁保持完全濕潤，並配置適當高度之填充層，濾材之粒徑酌予採較小。
- (2) 噴嘴堵塞：堵塞原因包括噴嘴選擇不當、噴嘴口大小、洗滌液太濃、接頭設計不良及原操作不正常、化學藥劑結垢及機件無法操作等問題。噴水頭堵塞係非常重要的缺失改善項目，噴水頭塞住會造成循環水無法正常運轉，流量計無法正常運轉及洗滌塔功能盡失等。噴嘴的堵塞通常可由噴嘴噴出液滴變化得知(噴淋角度變小或偏斜，流量變小等)，除此之外流量計流量不正常，壓降升高也是一種徵兆。因此，設計時應選用適當的噴嘴(可通過的液體量及顆粒的大小)及管線口徑，並且經常清洗，定時更換洗滌液。而在設計上，應增設閥及流量計的旁通(bypass)管線。並在循環水槽中增設柵欄以阻隔粒狀物被泵吸入。
- (3) 流量不穩定：受外界壓力影響導致流量不穩定。可以擋板及節流閥調整適當之流量解決。
- (4) 積垢：通常由於洗滌液之化學成分、溶解度、溫度及 pH 值等問題影響而內壁形成積垢現象。除非積垢產生於操作使用處，否則並無影響。結構可以在設計及程序上予以改良。
- (5) 局部腐蝕：腐蝕是降低洗滌塔操作壽命之主要因素。平常應避免凹槽處積水，同時有粉塵附著處應予以充分沖洗。

- (6)儀器配件阻塞：儀器配件阻塞情形是系統上最嚴重的問題。建議以特殊之設計配件與接頭取代一般之標準配備。
- (7)小液滴：液滴分離器操作不當時易產生小液滴，幾乎所有洗滌器都有此問題。建議以適量之設計使降低至最小程度。

2.活性碳吸附設備

活性碳吸附塔主要在於處理吸附揮發性有機污染物，在使用上活性碳吸附塔常發生的問題包括廢氣入口溫度太高、廢氣含水量太高、吸附塔壓降及溫度升高情形，以及再生系統設計不當、吸附塔廢氣入口部份常發生腐蝕現象等；故如何正確設計活性碳吸附塔，並定期檢查維護乃確保設備處理效率之最佳可行方式。

- (1)處理後之氣體應定期以手提式碳氫化合物偵測儀器檢測，以瞭解吸附操作是否已達貫穿點(break point)。適當的吸附循環時間通常定在發生貫穿時間的 90%。建議可自行以 FID 做經驗曲線，以評估適當的活性碳量和更換頻率。
- (2)活性碳吸附劑應定期檢視是否因過熱或磨擦而損壞。吸附床中毒(poisons)或被遮蔽程序亦應檢查。因多數工廠之空污設備僅設置 1 套無備援機制，依法若防制設備故障無法操作時，前端污染設備應一併停止操作，待防制設備維修後得正常操作時，前端污染設備才可進行操作，且注意現場設備應與許可證登載設備內容一致。
- (3)依系統之不同操作維護情形，活性碳吸附使用期限不定。建議操作人員應確實記錄操作項目及操作參數、條件與結果。防制設備之操作條件中，若有核定耗材之更換頻率(如濾袋更換、洗滌液更換、活性碳更換等)，應遵照核定時間內進行更換，並記錄更換時間及留存購買收據，以供後續查驗佐證。
- (4)檢查壓降情形，不能變動得太劇烈厲害。若設有前過濾器(prefilter)，更應注意其壓降變化，以確保氣體流量維持穩定，當壓降變化低於正常操作值 1 英吋水柱(錶壓力)時，即表示前過濾器可能發生阻塞、在風管中有阻礙物、風門開度設定不當、吸附塔或出口管線有破洞等。當壓降變化超過正常操作值 1 英吋水柱以上，可能之發生原因是風門未開至定位，吸附塔管路或吸附床發生阻塞，或入口至風車的風管中的破洞。

四、參考文獻

- 1.濕式洗滌塔之操作維護，財團法人台灣產業服務基金會，105年。
- 2.活性碳吸附塔之操作維護，財團法人台灣產業服務基金會，105年。
- 3.行業製程減廢及污染防治技術 - 金屬製品業行業說明，財團法人台灣產業服務基金會，105年。
- 4.塗裝業空氣污染特性及減量技術介紹，
<http://www.ctci.org.tw/public/Attachment/571917295071.pdf>，104年。
- 5.臭味及揮發性有機物控制，周明顯，93年度「環保署/國科會空污防制科研合作計畫」事業臭味防制技術及管制策略之探討。
- 6.電鍍業污染防治法規與處理技術手冊，工業局，103年。