

介紹

1. 使用範圍：霧滴（Mist）亦即在工業的製程或儲存設備產生的微小液體，能夠懸浮於空氣中，可能會經由呼吸作用，而進入人體的呼吸器官導致危害。
2. 存在之行業：工業製程中會導致霧滴產生之行業甚多，如電鍍工業、化學工業、石化工業等，皆有可能在某種製程中產生重金屬霧滴、酸性霧滴、有機霧滴等，在此僅就電鍍工業做一探討。
3. 作業之內涵：依據行政院環境保護署公告，電鍍工業之定義係指從事以化學、電化學等方法，將金屬鍍著於它類金屬或塑膠表面之事業。電鍍工業為產品商品化前之表面處理業，工業產品或零件經過電鍍處理後，不但可增加其光澤、美觀，而且可藉以達到防銹、耐用、增加其特性、延長其使用期限，並可大幅提高產品之附加價值，在工業生產上扮演重要角色。

一般電鍍工廠所需之設備較為簡單，操作容易，投資金額少，所以造成國內電鍍工廠林立，而且大都為小型工廠。由經濟部工業局工業污染防治技術服務團的調查，台灣的電鍍工廠有極高之比例屬於非法營業之違章工廠，在管制污染、安全管理上產生漏洞，而電鍍業必須使用大量的酸和鹼，若無適當的控制與管理，不僅易引起工廠附近環境污染問題，且由於多數小型電鍍工廠規模較小，缺乏完善的安全衛生設施，更易造成作業勞工健康的危害。

電鍍乃利用直流電將金屬離子在電極上還原成金屬，而使在電極上的被鍍物件表面形成一層均勻的金屬表面鍍層。電鍍業種類除一般之鍍鋅、鍍鉻、鍍鎳、鍍銅、鍍金、鍍銀等一般金屬電鍍外，合金電鍍可鍍出各種的顏色外表。除傳統電鍍液電鍍外，真空電鍍可用於電子半導體、印刷電路板、及塑膠電鍍等高科技產品電鍍。

電鍍業產生霧滴之製程：在電鍍工業中，由於鉻金屬性質適於耐磨、抗腐蝕，在工業上用途十分廣泛，但因具有較高之毒性，更是形成工業安全衛生上的隱憂。如在電鍍鉻、鎳金屬時，沒有適當防制設備容

易產生大量霧滴及蒸氣，鉻酸霧滴飄散在整個作業場所，造成對勞工的危害。

鍍鉻作業時不管在陽極產生的氧氣，或同時在陰極產生的氫氣，這些大量的氣體必須排出電鍍槽，氣體由電極處形成氣泡，氣泡由電極處上昇至鍍槽的液面，由於壓力降低，使得氣泡變大，特別是比較深的鍍槽，氣泡將變得非常大。氣泡在液面破裂，可能將鍍液激濺出來，形成懸浮於空氣中的霧滴。這除了會損失鍍液，這散佈在作業場所空氣中的鉻酸霧滴是一種高腐蝕性物質，會造成勞工危害，並且污染工作環境。

一般金屬物品之電鍍程序，請參見圖 1。鉻酸霧滴主要因電鍍所產生的氣泡，造成電鍍工廠中的危害，即圖 1 中製程「電鍍 1」及製程「電鍍 2」所產生的鉻酸霧滴。

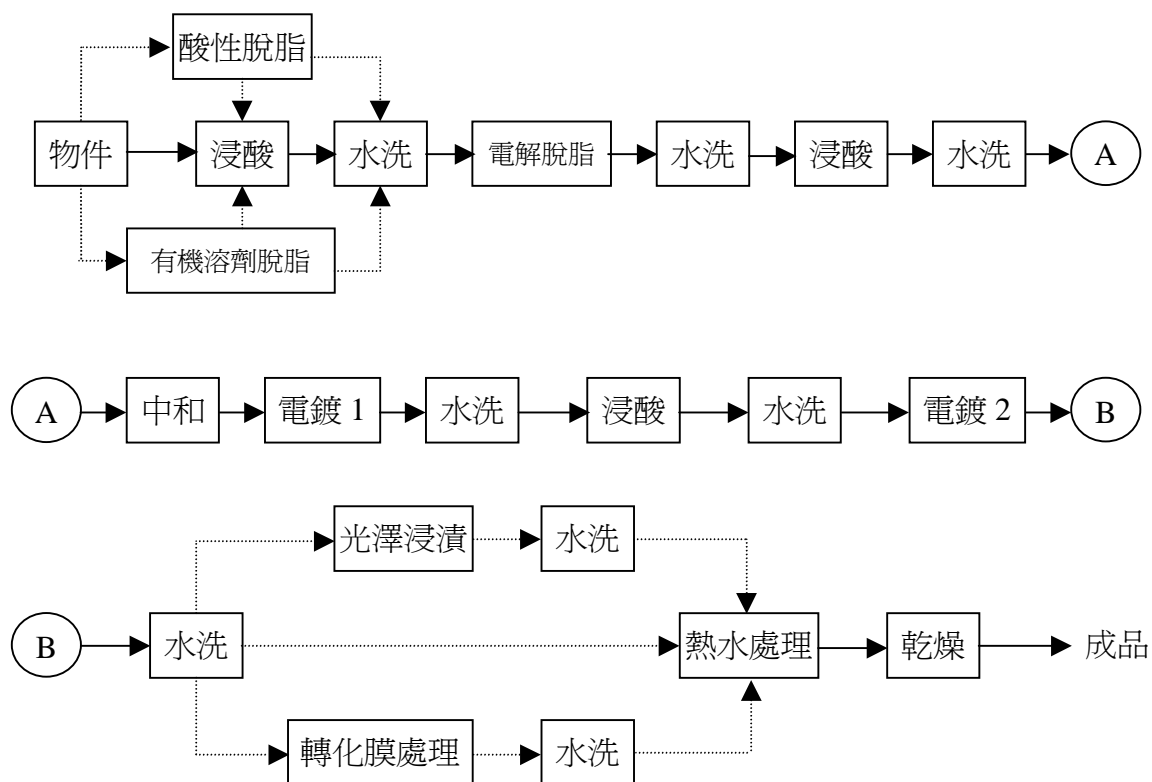


圖 1 一般金屬之電鍍程序

危害

在台灣由於中部地區的電鍍工廠分佈密集，一直缺乏有效的管理，常導致附近居民環境的污染，尤其部分地下工廠在電鍍鉻、鎳金屬後，沒有適當防治設備容易產生大量霧滴及蒸氣，倘若勞工在工廠暴露於這種的環境，會造成其鼻腔黏膜鼻竇炎、潰瘍、鼻中膈穿孔、支氣管炎、氣喘等徵候。鍍鉻工廠中所產生之六價鉻，已經由流行病學家及動物的試驗，被證實可能會引起人體肺癌。

1. 鉻之特性及容許濃度

鉻氧化物一般以二價、三價及六價鉻三種形態為最常見；其中二價鉻相當地不穩定，易氧化成三價鉻存在。鉻金屬常被用於鉻電鍍、觸媒的處理、皮革熱處理製作、乾洗與汽車零件業製造鉻合金、油漆和墨水與橡膠和陶瓷之顏料、鉻酸鹽製造等多用途。

我國法規「特定化學物質危害預防標準」中，鉻酸（ CrO_4^{2-} ）為丙類第三種物質；而在「勞工作業環境空氣中有害物容許濃度標準」中規定，鉻(VI)化合物(以鉻計)的八小時日時量平均容許濃度為 0.1 mg/m^3 ，而鉻(II)及鉻(III)化合物，其容許濃度均為 0.5 mg/m^3 。

美國職業安全衛生檢查署（Occupational Safety and Health Administration, OSHA）規定鉻酸（Chromic Acid）及鉻化物（Chromates 及 CrO_3 ）最高容許之濃度為 0.1 mg/m^3 。美國職業安全衛生研究所（National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH），建議溶解性鉻酸鹽，時量平均容許濃度 0.025 mg/m^3 ，最高容許濃度為 0.2 mg/m^3 ，致癌性鉻酸化合物為 0.001 mg/m^3 。而美國政府工業衛生專家協會（ACGIH）基於保護作業員工免於呼吸道的刺激，及可能的肝臟、腎臟破壞，建議六價鉻八小時日時量平均閾限值（TLV-TWA）為 0.05 mg/m^3 。

2. 鉻之毒性

毒性物質進入人體的途徑最常見可分為下列三種，分別為自口食入、皮膚吸收及空氣吸入。在食入部分，如果口服鉻鹽後，鉻很快即完全排出；但若吸入鉻鹽時則有部份的鉻存留在肺內，至於其存留的量，因化合物之不同而稍有差異。經肺吸收的鉻均經由小便排出。皮膚吸收方面，皮膚表面之角質層能抵抗機械性外傷及細菌或化學性刺激，

一旦暴露六價鉻時，則易刺激皮膚而引起潰瘍症狀。空氣吸入部份，造成人體危害程度的因素是由於粒徑大小、價數、溶解度和呼吸黏膜反應而決定。一般粒徑若大於 $5\ \mu\text{m}$ 會沈積在鼻腔、氣管、支氣管黏膜表面，藉絨毛運動而帶至喉部嚥入，粒徑小於 $2\ \mu\text{m}$ 霧滴易至肺泡。倘若這些不易溶解的鉻化合物累積在肺臟時，可經由巨噬細胞吞食後清除，一旦清除機轉失靈時，則使鉻化物易對肺泡產生影響。

進入體內之鉻化物，因對生物膜之穿透性不同會影響其分佈。血液中的六價鉻易穿透細胞膜進入紅血球及其它組織，變成三價鉻，除非遭受到人體細胞影響，否則會一直停留在該組織內。各器官如網狀內皮系統、肝、腎、骨髓、睪丸等皆可能有鉻金屬滯留，除肺外，其它器官鉻濃度隨年齡增加而降低。

六價鉻過去被認為是一種致癌物，對生物體易造成危害，若六價鉻與皮膚接觸時則會產生鉻潰瘍，嚴重接觸時更可穿透受傷的皮膚至深部，甚至深入人體關節處。若鉻酸沈積在鼻腔則會導致潰瘍。嚴重時可能會不自覺地引起鼻中膈的穿孔。鉻酸對人體之影響包括急性刺激性皮膚炎，過敏性濕疹皮膚炎、急性呼吸道疾病等，而對全身之影響，在呼吸系統會引起支氣管氣喘較常見。若人體食入 $5\ \text{g}$ 或更多鉻酸時會導致腸胃道出血及大量體液流失、心臟血液性休克，可能會致死，亦可能會引起人體肌肉抽筋或痙攣現象。另外過量的鉻酸亦會造成血液系統及其它器官組織之影響，若食入 $2\ \text{g}$ 或更少會導致腎小管及肝細胞壞死。

3. 鉻對人體健康之影響

人體若暴露在鉻酸鎘下，可能導致其皮膚炎的發生，當六價鉻化合物接觸破損皮膚時，則會造成一個深的穿透性圓洞傷口。大量暴露鉻酸鹽會導致人體蛋白尿出現及細胞剝落現象，腎臟發炎，發生脂肪變性及壞死情形發生。另外暴露鉻化合物，亦會對人體呼吸道及鼻中膈刺激，並造成紅血球之增加、白血球減少、單核球增加、嗜酸白血球增加、眼睛受損、結膜炎、皮膚潰瘍及過敏性皮膚炎。鉻金屬對人體影響器官包括血液、肺、呼吸系統、肝、腎、眼睛，及皮膚等。

西元 1983 年 Lindberg 和 Vesterberg 測量暴露在時量平均濃度 $\leq 2\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 電鍍工人發現尿中鉻濃度為 $\leq 5\ \text{mg}/\text{L}$ ，作者亦指出尿中鉻可當職業暴露偵測指標，但須事前考慮員工的運動量、過去工作史（鉻暴露）、喝

酒、糖尿病有無等，因為這些變項會影響到尿中鉻的濃度。根據 1973 年美國職業安全衛生研究所的報告，大多數美國電鍍廠暴露鉻濃度平均約為 $0.1\sim 0.2\text{ mg/m}^3$ ，但亦有高至 5 mg/m^3 者。

我國規定鉻酸之容許濃度為 0.1 mg/m^3 。根據 Langard 的推估若暴露在 $1\text{ }\mu\text{g/m}^3$ 六價鉻化合物空氣中，則得癌症風險性是 1.2×10^{-2} ，因此可將六價鉻列在致癌物評估類別 (carcinogen assessment group) 四大部分的第一部分，表示有可能為致癌物質。

作業安全事項

在電鍍工廠的操作安全中如何防止鍍鉻槽鉻酸霧滴的危害，當然最好就是減少鉻酸霧滴的產生，接著才是避免霧滴擴散（如加蓋、局部排氣等）、行政管理、衛生防護具之使用。增加電鍍效率減少氣體產生是最好的方法，但也是最難的方法，必須從電鍍基本原理研究，否則不容易再有所突破；另外可以考慮氣體排出時不要攜帶鍍液，也就是使氣體順利的排出，應該是比較可行，也是電鍍工廠可能使用的方法。

電鍍工廠常用的控制方法就是局部排氣、加蓋，以及自動化以減少人員暴露的危害，短時間使用效果良好的呼吸防護具，也都可以防止鉻酸霧滴的危害。因此鍍鉻槽的工程控制，主要仍舊以設置局部排氣裝置為主，另外再搭配加蓋與霧滴抑制劑的應用。分別於以下各小節討論。

1. 局部排氣裝置概述

在台灣地區目前電鍍工廠所採用局部排氣裝置之氣罩多是「外裝型側邊吸引式」及「上向吸引型式者」，而「雙邊側吸型」或「吹吸型」就比較少，由於局部排氣的設置目的就在於將鍍槽所產生的霧滴吸引並排出，因此最重要的就是其排除效果。由於鍍槽為標準的開放槽，電鍍過程中必須將鍍件掛上、浸入或取出，因此設計上必須考慮不能妨礙鍍件上下的工作，無法於鍍槽上加裝較有效固定式的局部排氣裝置，此為局部排氣設計時值得考慮的地方。

一般開放槽的局部排氣氣罩裝置，最好使用側吸型，並且應該考慮其效果，依槽寬不同而應設置單邊側吸型、雙邊側吸型、或吹吸型。由於單邊側吸的效果最多大概只有 50 cm ，因此氣罩操作時氣流經過之

有效寬度，應該低於 51 cm；而雙邊側吸型的效果並不是加成，一般只考慮應用於少於 91 cm 者，若適度超過 91 cm 最好使用吹吸型氣罩的局部排氣裝置，甚至於鍍槽中間加局部排氣裝置。參見圖 2。

2. 局部排氣裝置之操作安全

局部排氣裝置之操作安全以排氣機為最重要，其在操作前、操作中相關事項需予注意執行，在平日亦需進行相關維護管理工作，以確保排氣機之正常運轉。就以下各點分述之：

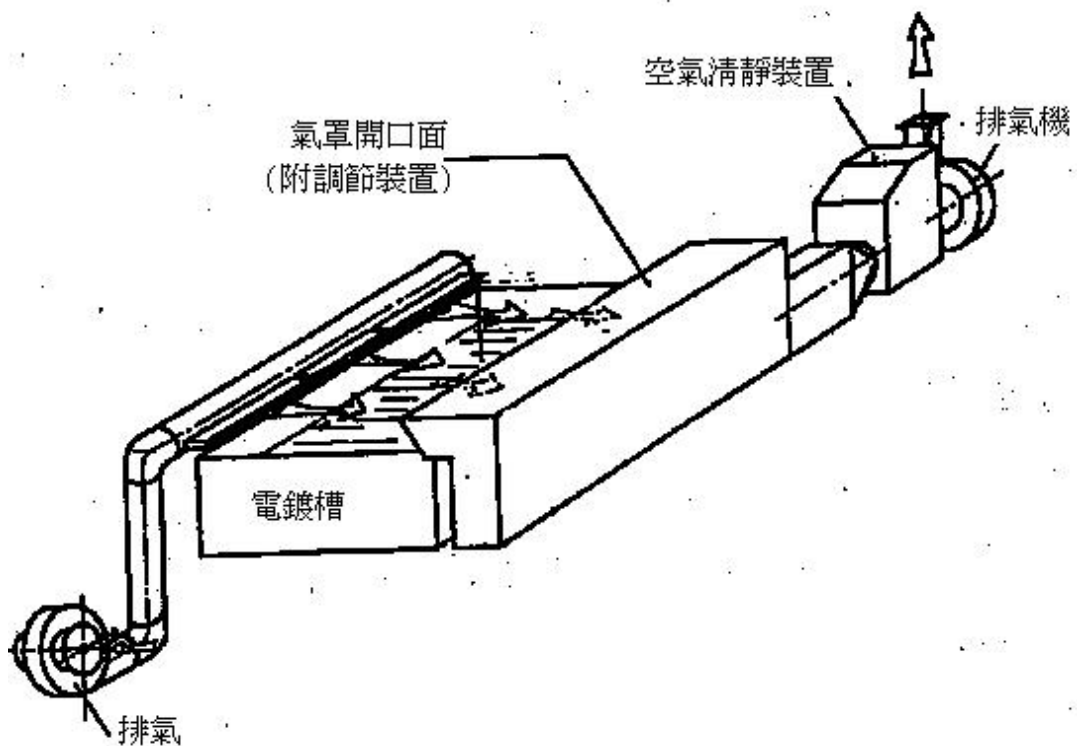


圖 2 吹吸型氣罩局部排氣裝置之工程控制

(1) 排氣機操作前之安全事項

- A. 新安裝的排氣機要先檢查能否用手輕易轉動主軸，確定排氣機的軸封部及入口錐與葉輪的間隙部份，未因受外力變形而造成磨擦。
- B. 新安裝的排氣機應檢查基礎、安裝、配管是否照供應商規定之注意事項辦理，並確認各組件的裝配位置及方向。
- C. 調整皮帶張力或將聯結器對準。

- D. 檢查軸承潤滑油、滑脂是否適量，是否定期保養。
- E. 打開冷卻水閥，檢查通水是否流暢，並保持入口處之冷卻水在 25℃ 以下。
- F. 以上各項確實檢查、修正後，將排氣機出入口開關全閉，再按下電氣開關啓動運轉。
- G. 按下電氣開關啓動運轉後馬上關掉，確認轉向是否正確，機殼內部或軸承部有無異常聲音，並檢視排氣機有否異常振動（本項為排氣機試運轉）。

(2) 排氣機操作中安全事項

- A. 啓動後先檢視電流，如未過載則可徐徐打開入口開關至所需風量的位置，但須注意電流不可過載。如未裝出入口開關則啓動時間會較長，須更注意電流是否過載。
- B. 經常注意振動及噪音情形，如有異常應即停機檢查。
- C. 排氣機入口開放於大氣時，除應加裝安全護網外，也要避免人員的隨身物品被吸入，且出入口應分離，以避免排出之空氣由入口再進入作業環境。
- D. 應避免酸性物質腐蝕排氣機組件。

(3) 排氣機平日之安全管理

- A. 軸承之潤滑保護
 - (A) 滑脂式軸承潤滑：潤滑油脂充填量約為軸承殼空間的 30 ~ 50%，若過分強制充滿則反而易使軸承發熱，請多留意。
 - (B) 油浴式軸承潤滑：絕對不可使用滑脂代替。新品使用 300 小時及以後每 1,000 小時更換新油一次，並隨時保持油面於上下油位線之間。若停機一星期以上再開機時應請更換新油。
- B. 水冷卻式者應注意冷卻水之流暢，並保持入口處之冷卻水在 25℃ 以下。
- C. 粉塵易進入排氣機時，應定期徹底清掃葉輪上之塵垢，以免使

已經過動平衡校正之葉輪發生不平衡之現象。

D. 應指派專人負責定期檢查，以確保正常運轉。

3. 防止霧滴物質

鍍鉻時會產生的大量的氣體，此不必要的氣體排出鍍槽時，會帶出鉻酸，懸浮於空氣中形成鉻酸霧滴，假若我們能使氣體平順的由鍍槽跑出，也就是平順的由鍍液表面脫離，將可以減少帶出鉻酸霧滴的量，降低作業環境鉻酸霧滴的濃度，一般考慮若減低鍍槽液面的表面張力，將可以使氣體平順的脫離鍍槽，達到減少鉻酸霧滴的目的。為達到降低表面張力的目的，一般電鍍工廠會使用鉻霧抑制劑或懸浮的塑膠或保麗龍球來達到降低表面張力的目的，也就是避免鍍液中的氣體脫離液面時爆裂跳躍，降低氣泡破裂的高度，可以達到防止鉻酸霧滴產生的目的。

一般鉻酸霧滴抑制劑為含氟系列的界面活性劑，亦可使用陰離子或非離子的界面活性劑，雖各工廠情況而不同，但都必須適合強氧化劑的鍍槽，不會受鍍液影響，其目的在減少表面張力，使氣體逸散時不會跳動太大，減少鉻酸霧滴帶出量。

相關法令、標準及解釋令

1. 勞工安全衛生法

第五條：雇主對左列事項應有符合標準之必要安全衛生設備：

- A. 防止機械、器具、設備等引起之危害。
- B. 防止爆炸性、發火性等物質引起之危害。
- C. 防止電、熱及其它之能引起之危害。
- D. 防止採石、採掘、裝卸、搬運、堆積及採伐等作業中引起之危害。
- E. 防止有墜落、崩塌等之虞之作業場所引起之危害。
- F. 防止高壓氣體引起之危害。
- G. 防止原料、材料、氣體、蒸氣、粉塵、溶劑、化學物品、含毒性物質、缺氧空氣、生物病原體等引起之危害。

2. 勞工安全衛生法施行細則

第十二條：本法第七條第一項規定應有標示之有害物，係指致癌物、毒性物質、劇毒物質、生殖系統致毒物、刺激物、腐蝕性物質、致敏感物、肝臟致毒物、神經系統致毒物、腎臟致毒物、造血系統致毒物及其他造成肺部、皮膚、眼、黏膜危害之物質，經中央主管機關指定者。

3. 特定化學物質危害預防標準

第三十八條：雇主依本標準規定設置之局部排氣裝置及空氣清淨裝置應每年定期就左列事項實施自動檢查一次以上；發現異常時，應即採取必要之措施。但超過一年未使用，而於未使用期間，不在此限。

- A. 氣罩、導管、排氣機及空氣清淨裝置之磨損、腐蝕、凹凸及其它損害之狀況及程度。
- B. 導管、排氣機及空氣清淨裝置之粉塵堆積狀況。
- C. 排氣機之注油潤滑狀況。
- D. 導管接觸部份之狀況。
- E. 連接電動機與排氣機之皮帶之鬆弛狀況。
- F. 吸氣及排氣之能力。
- G. 其它為保持性能之必要事項。

雇主對前項規定之局部排氣裝置及空氣清淨裝置於開始使用、改造、修理之際，應依同項規定實施重點檢查。

主要參考資料

1. A.W. Cox., F.P. Lees and M.L. Ang,1993; "Classification of Hazardous Locations", ISBN 0-85295-258-9, Institution of Chemical Engineers, UK.
2. F. P. Lees,1996; "Loss Prevention in the Process Industries", 2nd Edition, ISBN 0-7506-1547-8, Butterworth-Heinemann, Oxford, UK, Vol. 1: 3/12-16.
3. American Society for Testing and Materials, 1983; "A Guide to the Safe Handling of Hazardous Materials Accidents", USA.
4. Barbara A. Plog, MPH, CIH, CSP, "Fundamentals of Industrial Hygiene", 3rd Edition, National Safety Council: 769-805.

5. 空氣污染防制專責人員訓練教材，1996；“逸散性污染源控制”，第六冊： 5-6, 20-28, 58-66。