

污染防治技術

處理技術

機械加工業的污染防治

胡世昌*

摘要

1. 工廠佈局設計
 - 1.1 合併選擇製造設備與污染防治設施
 - 1.2 中央防治污染佈局
 - 1.3 發散物引致化學反應
2. 污染來源之管制
 - 2.1 檢討製程，尋覓代用品
 - 2.2 編製空氣污染資料
3. 空氣污染
 - 3.1 空氣污染界限
 - 3.2 通風
 - 3.3 切削加工
 - 3.4 輪磨
 - 3.5 热處理
 - 3.6 金屬焊接
 - 3.6.1 焊接污染物
 - 3.6.2 煙霧控制
4. 廢水處理
 - 4.1 重力撇清槽
 - 4.2 可溶性油脂之處理
 - 4.3 分批處理廢水
 - 4.4 連續處理廢水
 - 4.5 分批處理自動化
 - 4.6 系統規模
5. 結論

機械加工活動為產品製造之一環。由於涉及原料、製程與成品範圍至為廣泛，所產生之污染物可為單一性或具複雜性。機械加工之範圍包括鐵類金屬與非鐵類金屬原料之基本尺寸，形狀與形態（configuration）之各種操作與處理以及表面精製，以配合成品或組合達最佳境界。所指金屬加工不外下列數項：

- 金屬切削：如車鑽銑；
- 金屬造形：如鍛造；
- 金屬焊接：如電焊、錫焊、銅焊；
- 金屬精製：如溶劑除油，塗底漆、面漆。

廣義之污染防治並涉及工廠中僱主與員工衛生環境之維持。衆多情形，此一問題之解決亦可達致工廠外圍環境污染問題之大為減少或全部清除。基於此一觀點，廠內問題應多注意解決。一般言之，機械加工業之主要污染問題為空氣污染。

* 金屬工業發展中心協理
本小組委員

1. 工廠佈局設計 (Plant layout design)

機械加工廠之佈局設計對於所產生之廢水或廢氣及於此類污染物之防治系統尋常具有深邃影響。換言之污染防治與工廠佈局設計兩者問題間顯然互有關聯。

由於污染物之產生係工作製程之後果，故任何污染防治之研究必須包括研究如何改變或減低污染來源之方法在內。

機械加工廠之佈局，製程之安排，以及製造順序，必須在計畫階段時即行考慮到由於工廠運轉結果產生廢氣與污水問題。此原則適用於新廠建造以及現有工廠之擴建。

1.1 合併選擇製造設備與污染防治設施

選擇工廠內製造設備訂定規範時，廠務工程師應會同污染防治顧問公司人員洽商，一併採購當時最有效之污染防治設施。否則，由於不注意或無知，任意採用污染防治設備將無法達成所期望之目的。

1.2 中央防治污染佈局 (centralized contamination control layout)

產生共同廢棄物之機械或操作宜趨於集中式污染物蒐集與處置系統。就若干小型操作編組而成立之機械佈局，尚有其優點存在，諸如供應水電瓦斯及維護便利即是。

如採行中央式污染防治佈局，則對未來需要甚易作寬裕準備。諸如設置管系上供給約束連接用有蓋支栓管，以及估量集塵器之集管箱以配合最大需要。如缺少中央式污染防治系統，則需要個別之污染發散物防治設施，結果設備龐大，裝置費用較多，污染防治成效較差，最後費用必大增。

自廢棄物發散立場論，在工廠內以圍繞構成界限範圍方式將設備孤立作法可減少所影響面積，減少所需要稀釋通風之量，以及污染防治設施之規模。但如須在金屬造型或切削操作時有效應用噴洒滑潤劑，則將該項機器藉頂罩掩蓋以擋獲局部性噴洒，並無效果。此係因為工作場所圍繞方式僅屬於一種可防止發散污染物之大肆擴散方法而已。

集中所有塵埃產生設備便於集塵，同時控制工廠空氣品質尚可成為一項生產財。例如有九台產生塵埃之機器原分散裝置在三處不同地點，經重新遷移，改配屬於一共同防治污染系統。對此項原配屬於個別機器以蒐集塵埃及積聚於容器缺乏效率之個別風扇而言，即為一項改善。在製造馬達時，切削整流子與集流環所發生之塵埃中含有雲母、銅屑與塑膠，係馬達、刀具與工具機過度磨蝕之原因所在。在集塵器周圍裝置中央集塵系統即可省却裝設管道費用，以及藉隔間獨立操作防止塵埃擴散之隔間費用，結果可減少必需調整刀具工人之費用。此項減低塵埃之設備僅包括一具祛除大顆粒之旋風分離器，輔以一具祛除次顆微顆粒之小型空氣過濾器而已。而帶有塵埃之空氣在過濾後仍可再送回工廠。

1.3 發散物引致化學反應

工廠佈局設計須關切發散物與周圍操作間是否會發生化學反應。蒸汽脫脂使用三氯乙烯與過

氯乙烯，如非在附近焊接區域內有積極空氣流動，脫脂設備不應與焊接操作位置於同一廠房內。脫脂工作限於自身圍繞區域內，且給予較廠房內其餘部份較低壓力空氣方屬得計。

2. 污染本源之管制

2.1 檢討製程，尋覓代用品

控制污染本源旨在消除原料中潛在之污染體。所謂本源控制係謂檢討製程，換言之即以一項元素代替有害材料。例如以毒害性較低之氯化物溶劑代替四氯化碳，或剔除原油中大部份之硫以防止污染物發散於空氣中。

控制本源包括蒐求製程要素，化學品或步驟之代替物，以解決污染問題。金屬輪磨操作時，天然砂磨輪僅在人造磨料發展以前時期方有使用。人造磨料如碳化矽與熔凝鋁氧不僅磨削效率甚高，更重要者不會引致矽砂肺病。此項人造磨料之代用即屬於控制污染本源之一例。以人造磨料代替天然砂，加上採行磨輪罩之標準措施，以及蒐集磨料屑之排氣系統，三者合併遂將污染問題置於控制之下。燃爐操作情形，降低爐溫可大為減低察看爐火工人之兩眼紅腫發炎，進而改善產品品質。尋求最佳爐溫操作亦為在本源控制污染之例。

噴漆情形，有機溶劑為摻入漆中之首要原料。噴漆操作時有機溶劑即進入空氣中，最後係攜獲在發散物控制設施如後燃器中，以防止污染空氣。此為使用一種材料經三項不同步驟需要特別考慮者。靜電附着原理噴漆方法之發展已免除使用有機溶劑，即為在本源控制發散物。此一基本原則可作為一項引導方針，污染問題之解決可利用科學與技術尋覓代用品達成。

2.2 編製空氣污染資料

依工廠現有情況或將來對所使用污染防治設施之要求情況，空氣污染資料應依下列要項編製：

- (1)產生污染物之製程；
- (2)污染物之性質；
- (3)污染物之數量；計包括積塵量之等級與空中污染體之濃度兩項；
- (4)毒害性；
- (5)藉改變製程以控制污染來源之可能性；
- (6)由於物料回收而銷售副產品之可能性；
- (7)環境管制機關等管制環境污染之標準與其協助解決問題之潛力；
- (8)合併熱再生設備以求節省設備費用之可能性；
- (9)採購人員、操作人員認知污染防治措施之教育事項。

以上資料應加編製，以供工廠佈局設計與以後運轉之參考。

3. 空氣污染 (air pollution)

機械加工業之空氣污染物可依來源或形成方式劃分下列三類：

空中固態物體 (solid particulate matter)，如塵埃、煙；空中液態物體，(liquid particulate matter) 如霧；非空中固有物體，(Non-particulate matter)’如蒸汽、瓦斯。

此外，空氣污染物尚可依化學性質區分為有機性或無機性；依光學性質區分為顯見性或不可見性；依顆粒尺寸區分為次顯微性、顯微性、與肉眼可見者；依物理狀態區分為定形或氣體狀態；以及對人類之影響區分為有毒性或無害性。

機械加工業空氣污染物之顆粒之平均尺寸，金屬煙塵者 0.7 micron，稱為超微性 (ultramicroscopic)，輪磨工作 (grinding) 產生者 100 micron，稱為顯微性 (microscopic)，機械加工業與基本金屬工業有關污染物之空中物體尺寸 (particulate size)、濃度 (concentration) 及所用各種集塵器之績效 (collector performance)，各製造廠已編列資料可供參考。

3.1 空氣污染界限值

空氣污染物如未加以防治將擴散至工廠內各處，可能產生毒害效果。工廠如裝設防治設施，縱罕能達致廠內空氣淨化，但由於人體中生理中過濾沖洗、分泌排洩、以及新陳代謝生理恢復修補過程之較高功率，高出空氣中經過防治處理之污染物之有害基準，故每一工廠員工尚可吸收少量之污染物，不致發生永久性傷害。

人體生存在有害職業環境中，既能發展適應性機能以維持活力，故生化醫學界乃多努力以期確定人體暴露於空氣污染物之容忍限度如何方屬無害。此一基準稱為界限值 (threshold limit value)，係代表由工業毒物學者依據在機械加工業以及其他工業中活動所蒐集之一組經驗數值。此界限係指在一個正常工作天內論時間衡量之空氣污染物平均濃度數值，並非最大可容許濃度。此數值係數來自經驗，經過研究之醫學數據，經常在校訂中。所代表者為空氣污染物濃度之近似值之界限情況，人體暴露於該情況下尚不致引起不適。此類界限值不僅適用於金屬加工業，其他任何工業或空氣環境之可能遭受污染物者亦適用。

3.2 通風 (ventilation)

工廠通風系統之目標在控制空中污染物或改善不適當之溫度條件，或兩者兼備。其用意可能主要在祛除不適當或有毒害空氣污染物，於是消除有損於健康之危險。全面通風 (general ventilation) 系統係指以戶外潔淨空氣沖洗工廠內部，稀釋污染物至預定可忍受之濃度。戶外所供應之潔淨空氣清掃工廠內令人不愉快之污染物遠離位於每一工作崗位之工人，藉通風扇排除已稀釋廢氣 (exhaust) 至戶外。為平衡空氣供需，所供給之補充空氣係與所排除空氣兩者容量相等。一般情形亦有設計令供給排除率 (supply exhaust rate) 兩者不平衡，而給予輕度過量供應 (slight oversupply) 或所謂加壓 (pressurization) 者。加壓情況常令排氣扇 (exhaust fan) 操作更有效力，有助於消除廠房門戶敞開處之冷氣流 (cold draft)，可改善燃燒設備之操作。

除上述全面稀釋通風 (general dilution ventilation) 外，另一項方法為局部排氣 (local exhaust) 方式，在污染物侵入工廠以前在其本源予以祛除。循局部排氣方式，污染物係在靠近發

散處 (point of emission) 加以擄獲，經管道系統 (ductwork) 引導至排氣扇或污染防治設施。此項為污染防治目的之局部排除污染物實務，比較全面稀釋通風，由於僅需要遠為少量空氣，在寒冷天氣自然形成熱量之保持。此外，局部排氣系統並可將污染物在排洩於空氣中以前加以擄獲。局部排除通風之操作可力求密閉完整，或在污染本源處使用密切配合之頂罩亦可。

局部排氣系統之成功設計端視對空氣至排氣罩之流速之估計是否正確而定。所需流速則依污染性製程之特性，排氣罩之型式與尺寸，及其對於製程之相對裝置位置，所產生污染物之量，以及其毒性而定。

通風系統之最後設計係受與空氣污染物有關之性質、分佈、強度等各項考慮而決定。設計利用稀釋方式以防治空氣污染之通風系統，其總體通風可簡單估計如下例：

某一製程產生蒸汽 0.03 cbm/min ，其在空氣中之濃度不得超過 100 ppm (即萬分之一)，則所需全部風率為 300 cbm/min 。如此一製程係分佈於全廠均採用，則使用局部排氣以防治污染當屬更為有效。但如整個污染物之量甚少，足夠藉全面通風系統有效稀釋，則全面通風方式當屬比較經濟。

3.3 切削加工 (machining operations)

傳統方式金屬切削使用高速鋼刀具，必然應用冷卻劑、切削油與滑潤劑，此等物料即為潛在之水污染物或空氣污染物本源，或兩者兼具。

滑潤油可在工廠中在分離器內撇除頂層輕質污穢予以分離。金屬屑與碎末可自沉澱室底部排除。

冷卻劑如水溶性油，應儘量保留，避免過度廢棄，力求減低工廠對廢棄物污染控制之規定。惟期繼續重複使用冷卻劑，亦須防患由於無氧細菌 (anaerobic bacteria) 作用而產生之變質崩壞。藉透氣方式注射空氣進入儲存槽，可延長冷卻劑之壽命，防止腐化。黏附於切屑上之冷卻劑可藉離心分離器分離，重行輸入冷卻劑系統。

切削油、滑潤油、冷卻劑在切削過程中易於變質崩壞，發生煙霧。一般情形，此類煙霧並不產生特別問題，可在緊靠切削操作位置添加頂罩，蒐集甚易。但如使用含硫氯類礦物油作為滑潤劑或冷卻劑，則將發散有毒性含氯或含硫蒸汽。此則須使用除霧器與過濾器加以擄獲。重要者，任何含油空氣或水流必須經過分離過程，以防止由於油脂在管道內聚積引致火災危險，及摒除工廠內房屋架構頂層之可能損壞。

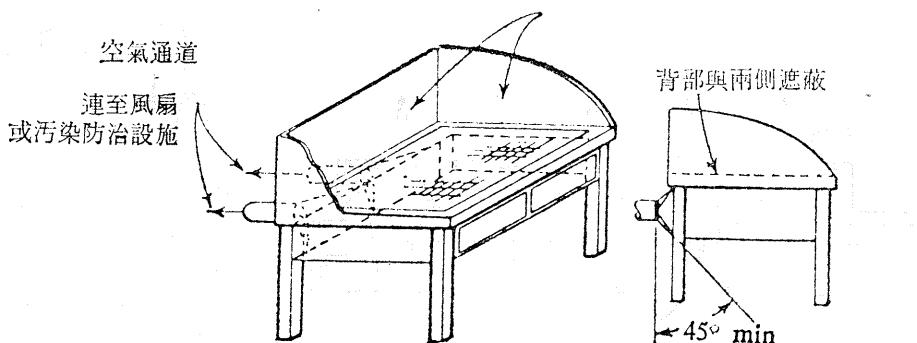
切削鑄鐵所產生切屑為片狀，以及纖細不及 5 micron 之碎粉。此外並產生石墨炭聚積於整個排氣系統上。為求有效防治污染，切削操作應予一律嚴密加罩。排氣通道一般並為凸緣連接構造 (flanged construction)，以便清理與拆換。一般情形所使用集塵器為高效率乾式離心型式；濕式集塵器與袋型過濾器亦偶有採用者。旋風式集塵器 (cyclone collector) 使用甚少，係因所能達到之效率不適於祛除纖細塵埃。

3.4 輪 磨

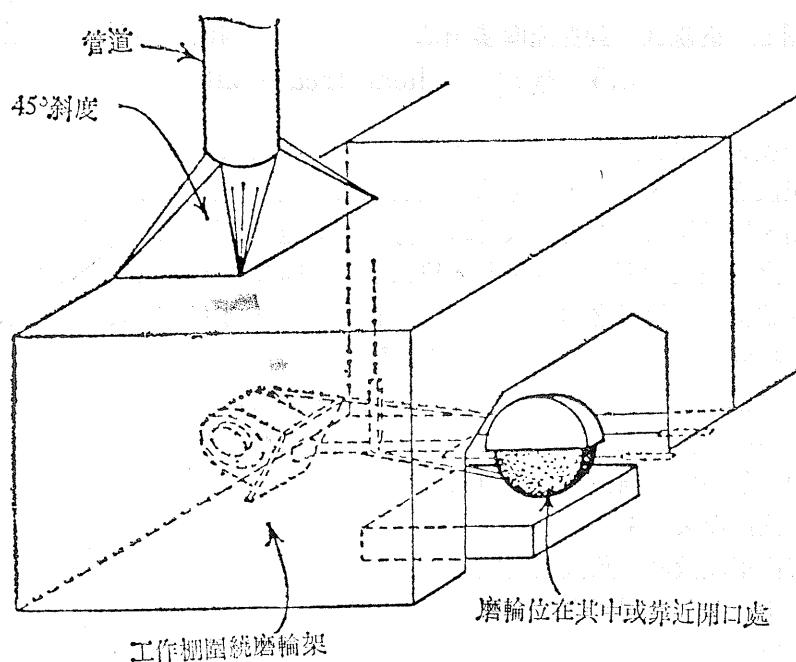
大規模生產之輪磨 (production grinding)，鋼絲刷拭 (scratch brushing)，以及沙輪切斷 (

abrasive cutoff) 工作均產生碎屑，在 15 micron 以上之輕濃度空氣污染。目前已有多種頂罩蓋之設計，可配合各種可想像在裝置中之設備，以供擴獲此類塵埃。通風管道中輸送擴獲此項粗粒塵埃之速度應達 1,400 m/min 以上，以確保塵埃不致在管道上沉澱聚積。由於大部份塵埃顆粒頗大，須使用旋風集塵器方能達致相當良好之集塵效率。反之旋風集塵器對於纖細顆粒塵埃效率較差，則需要使用最後過濾器以防止金屬塵埃排放於工廠以外。金屬塵埃之聚積，附帶產生銹斑，令員工與鄰近居民均感不適，故值得投資裝設高效率之集塵設備，如濕式集塵器或袋式集塵器。

進行移動式手工輪磨 (portabe hand grinding) 宜儘可能採用頂罩蓋，自工作台下方吸取空氣進入後方管道，見圖一。有擺動架之磨輪 (swing frame grinder) 見圖二。通常係完全密封於頂罩蓋以內。此類輪磨工作產生之塵埃顆粒尺寸一般較細，約在 5-15 micron 之間。因此須採



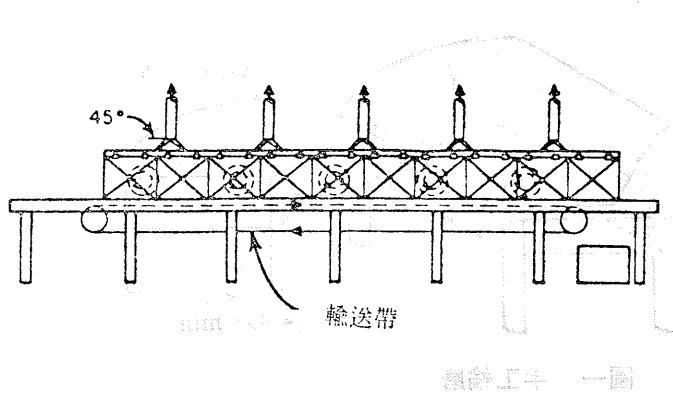
圖一 手工輪磨



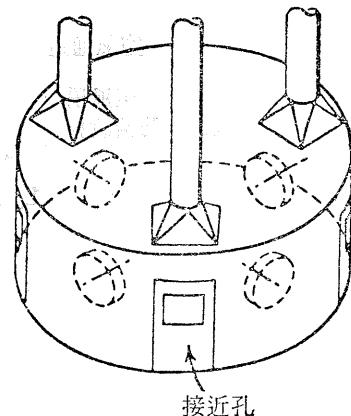
圖二 摆動磨輪用集塵罩

用較高效率之過濾器，基於此項理由，罕有採用旋風集塵器者。尋常多採用濕式集塵器或袋式集塵器代替。

擦光工作 (buffing) 除產生上述金屬塵埃外，並產生新污染物，引起特別問題。擦光輪係由布片盤組合而成，在高速下旋轉。為祛除金屬產品上之搔痕必須使用磨料，間歇藉棒狀之切削劑，摩擦抵住旋轉中之布輪而進行。乃自擦光布輪構成棉結，黏性擦光劑與金屬塵埃遂拋射於空氣中。整個擦光工作必須完全加以掩蓋，但為清理便利計仍須設置進入孔，否則擦光劑與棉結結合聚積易肇致嚴重火災。故國外各工程學會與保險公司規章均要求頂罩與排氣系統必須附有自動防火裝置。圖三與圖四分別示直線式自動擦光塵埃頂罩設計與圓形自動擦光塵埃密閉室設計。由於棉結可能堵塞，通常均不使用離心式集塵器。又由於有火災危險，亦宜不採用袋式過濾器。反之常採用濕式集塵器，或不致堵塞之旋風集塵器亦可。



圖三 直線式自動擦光塵埃頂罩



圖四 圓形自動擦光塵埃密閉室

3.5 热處理 (heat treatment)

熱處理係指一項或一組加熱與冷卻步驟，循之令固體金屬或合金獲致一定物理性能。此類物理性能係藉金屬組成之性質、形狀、與分佈發生變化而達致。即溫度對於相之平衡產生效果，如晶粒成長、再結晶、原子擴散或移動、或材料成份變化均是，例滲碳或滲氮。在熱處理過程中金屬係承受明確一定之時間溫度循環，約可劃分為三部份，即加熱、保溫、冷卻。在加熱期間週遭環境之化學效果甚為重要，換言之即加熱爐室內部設法加以控制，成為氧化、還原、或中性氣氛。進行冷卻係在保持溫度經一段時候將金屬浸入液體如空氣、水、油、或融鹽或其他藥品中，以達致所期望性能。熱處理方法包括鐵類金屬之淬硬退火、消除應力、迴火、調質等。鋼料之表面變化尚包括滲碳、滲氮、滲碳氮化、氰硬化、火焰淬硬、感應淬硬、滲矽等。

熱處理過程中空氣污染本源係來自下列五方面：

- (1) 爐之燃燒系統操作失常；
- (2) 由於工件表面不潔致發散蒸汽或發煙；
- (3) 冷却時由於所用冷卻劑關係致產生油霧或油汽；
- (4) 融鹽罐中發煙；
- (5) 爐中特別氣氛發散有毒瓦斯。

進行油淬時所發生情況一如切削加工，發散油霧，但其量遠較切削加工時為大，增加此項污染控制之困難。有毒害危險之主要發生本源却為稱為瓦斯氰化（gas cyaniding）之滲碳氮化法（carbonitriding）。氧化鹽類分解成碳酸鹽，如不加防治，任令發散於空氣中，將與空氣中潮濕水分結合構成有毒性化合物。

一般均認為熱處理爐實為發散多項有毒害污染物之主要構成來源，諸如氰化鹽、一氧化碳、氮、甲烷、以及金屬氧化物均是。

有效防止及控制熱處理爐發散物之技巧如下：

- (1) 訂正熱處理操作步驟，同時選擇適當燃料與燃燒器，以消除煙霧；
- (2) 在進行熱處理以前藉脫脂步驟（degreasing）以祛除附着於工件上之有機物；
- (3) 選擇適當油類與控制油溫，可在油淬時大量減少所產生之油霧；
- (4) 利用袋型過濾室（baghouse）中布質集塵器（cloth arrester）祛除融鹽罐所散發之油煙。

由於融鹽煙潮濕且引致銹蝕性能，過濾室需要不停操作；

- (5) 使用煙幕掩蔽熱處理爐之兩端，防止特別氣氛逸入熱處理室；
- (6) 在熱處理爐上方使用設計適當之天幕式頂罩，以擴獲熱空氣對流上升。

3.6 金屬焊接

3.6.1 焊接污染物

在進行各類金屬焊接工作，諸如電焊，電弧切斷、錫焊等，必須具備適當通風，以保護操作人員之呼吸器官。焊接時由於使用各類不同焊條基材與面層材，乃產生污染物。除非操作人員個人在長時間內過量吸入此類材料，通常並不致有實際危險或傷害。有毒害材料是否產生端視焊接之方式，電焊條，待焊接本體金屬，本體金屬上存在之污物，或易揮發及有反應溶劑進入空氣而定。表一示各種焊接方法所產生之污染物：

表一 各種焊接方法所產生之污染

焊接方式	焊 條 種 類	產 生 之 汚 染 物	
罩弧熔焊	碳素鋼、低合金鋼焊條 低氫銅焊條	氧化鐵與淨劑煙霧 氟化物淨劑煙霧	本體金屬如覆蓋有毒性物質，如 Cd, Pb, Hg 或有毒油漆，亦屬極具危害性，之焊接能產生極劇烈毒性。
潛弧熔焊	不銹鋼、高合金鋼焊條	鉻化物與氟化物淨劑煙霧	
電阻塑焊	焊條面層含氟化物 2-5%	有毒害煙霧 視金屬剝落與其性質而定，一般並無嚴重空氣污染	
瓦斯電弧焊	使用二氣化碳為保護氣層 使用二氣化氮為保護氣層	產生臭氧 接觸時引起三氯乙烯分解或過氯乙烯煙霧產生光氣	

銀焊、銅焊	<p>銀焊合金如含 Cd 銀焊、鋁與鎂之銅焊常使用含氟化物之淨劑</p> <p>或鹽酸 二氧化碳化解，產生一氧化碳 則二氧化氮濃度增加 由於溫度較高，產生金屬性煙霧 需加熱超出熔點以上，則 Cd 可能揮發，所產生棕黃色煙霧極為有害，短時期暴露下可引起嚴重肺傷害或死亡。Cd 煙霧之量主要視溫度而定，如使用瓦斯空氣噴嘴則濃度低，如使用氧乙炔者濃度則高。含量 2-5 % 者產生有毒煙霧</p>	
-------	---	--

3.6.2 煙霧控制

3.6.2.1 全部通風

焊接軟鋼時，如焊條附着面層不含氟化物，工作場所容積在每一焊工合 300 cbm 以上，室頂高度在 5m 以上，交互流通風 (cross ventilation) 不受隔屏或其他設備阻塞時，自然通風通常即足夠防止過量煙霧之聚積。如操作場所無法符合此一要求，則每一焊工有 60cbm/min 之通風率亦可防止煙霧之過量聚積。焊條附着面層含氟化物或其他有毒害物質之存在，則視個別情況而異，需要更嚴格安全規定。

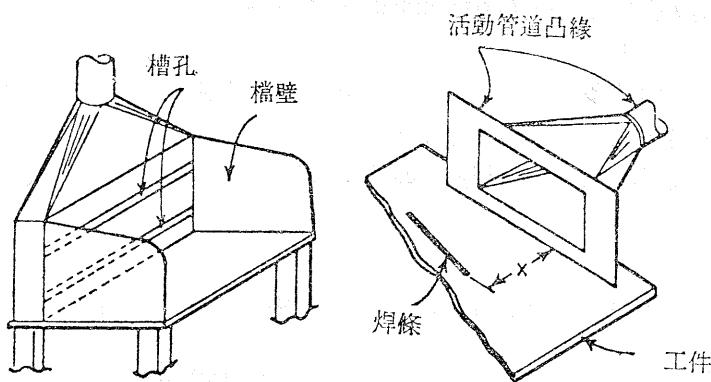
有時可使用活動風扇稀釋在焊工呼吸區內之煙霧，在半封閉區域，或焊工位置恰在工作上方時，此方式特別有效。

3.6.2.2 局部排氣

如需要以煙霧控制代替煙霧稀釋情形，則應使用局部排氣措施。此一措施並非時時可用，但如能採用，則為控制煙霧之最有效與最經濟措施，其方式如下：

頂罩固定，連同上面及至少兩側面包圍焊工之工作空間，且有足夠氣流，以 15m/min 風速吸離焊工，見圖五。

或頂罩活動，附有可扭轉通風管道，以便焊工可儘量拉近焊接工作，且在焊接區域有足夠風速 30m/min。此一情形在頂罩焊接工作 100~150mm 時所需風量為 5cbm/min，距離 250~300mm 的風量為 20cbm/min。此一方式尤其適宜於抬上焊接 (bench welding)，但如移動頂罩，亦可應用於任何焊接工作。在瓦斯罩弧焊情形使用正常瓦斯流速，則風速 30m/min 並不妨



圖五 電焊與錫焊用工作台附煙塵蒐集器

瓦斯罩作用，但如在 30m/min 以上則須注意。

3.6.5.3 保護呼吸設施

如局部排氣通風不適用，或毒性劇烈，則可使用保護呼吸設備以資補充。與空氣管系相連之

表二 金屬表面處理操作所產生空氣污染物

方 式	方 法	產生空氣污染之原溶	空氣污染物之性質	氯化率	溫度°C
金屬清洗	燒鹼清洗	鈉鹽	鹼性霧、蒸汽	中高	70~100
	脫脂	三氯乙烯與過氯乙烯	三氯乙烯與過氯乙烯 蒸汽	高	90~120
	乳劑清洗	石油膏溶劑	石油膏蒸汽	低中	20~ 60
		氯化燈	氯化燈蒸汽	中	20~ 60
	鋁陽極化	鉻酸、硫酸	酸霧	中	35 min
	發黑處理	鹼性氧化劑濃液	鹼霧、蒸汽	高	130~180
	磷酸防銹漆前處理 (鎂染色，陽極化 ，鋁陽極化着色)	沸水	蒸汽	中高	60~100
	化學着色		—	—	20~ 30
	不鏽鋼銹色	硝酸、硫酸、鹽酸	酸霧、氟化氫、蒸汽	中高	20~ 70
	鎂之陽極化	氫氧化銨	氨、蒸汽	低	60
	鋁硬面附着	鉻酸硫酸	酸霧	高	50~ 80
	鎂之預染浸漬	氫氧化銨、醋酸銨	—	低	20~ 80
	磷酸鹽防銹處理 (鎂染色，陽極化 ，鉛陽極化染色)	沸水	蒸汽	中高	60~100
	鋅液浸鋁	—	—	—	20~ 30

呼吸罩 (respirator) 或稱皮管面罩 (hose mask) 可防止各類污染物，適當保護呼吸器官，亦為常用設備。

通風焊接頭盔，市面甚多出售，但焊工使用者不多。不如過濾式呼吸罩，尤其經各國礦務局認可供防制金屬煙霧者，如使用與維護適當，應屬有效。但其應用非供防護鉛以外更毒蒸汽。又過濾式呼吸罩或藥筒式呼吸罩 (cartridge respirator) 亦不能防護任何汞汽，一氧化碳或二氧化氮毒害。

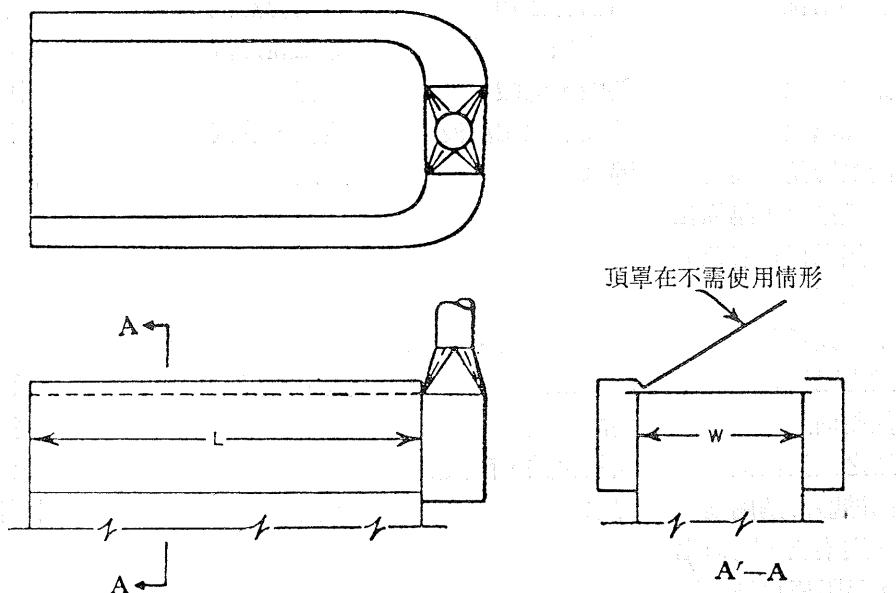
3.7 金屬精製完成 (metal finishing)

金屬精製完成操作計包括清洗、表面準備、附着面層 (coating)、與油漆等各步驟。附表二示由於金屬表面處理 (surface treatmeat) 與清洗所產生之空氣污染物一覽。

3.7.1 脫脂溶劑 (Solvent degreasing)

金屬加工業常使用溶劑脫脂法，供電鍍油漆或其他金屬精製完成前清洗金屬，脫除油垢。配合此目的常用不燃性氯化烴為過氯乙稀及三氯乙稀。應選擇何種溶劑端視該項工作所需溫度而定。三氯乙稀沸點為 88°C ，過氯乙稀為 120°C 。

在脫脂槽中或取出工件時有輕微性毒害蒸汽發生，產生空氣污染。此項蒸汽比重頗大，故對容槽掩蓋並無實際意義。但兩側有狹縫之頂罩有時亦可用以擄獲及阻止少量蒸汽逸入空氣中。有狹縫頂罩中所用空氣之量不多，如是用以擄獲蒸汽進入氣流中之控制設施不致過載。目前常用之控制設施為活性炭吸收器，可減少溶劑用量達90%，既符合經濟，亦可有效減低空氣污染。近時經驗，裝置蒸汽吸收系統以控制脫脂時產生之溶劑蒸汽，已證明自經濟立場及為員工健康觀點着眼均屬需要。又簡單掩蓋敞開之脫脂槽亦可大量減低溶劑損失與空氣污染量。圖六示使用脫脂槽



圖六 溶劑脫脂槽

擄獲溶劑之基本概念。

使用脫脂槽通風排氣，應遠離電焊工作，以防止溶劑蒸汽分解，構成有毒害光氣 COCl_2 (plosgeue, 100 ppm) 與腐蝕性鹽酸。在工作場所使用強勁交流通風將引致溶劑更多蒸發，在此情況下溶劑損失更多。故自經濟與安全觀點着眼，脫脂工作應全部予以隔離為佳。

3.7.2 油漆 (Painting)

表面附着 (Surface coating) 係在工件承受清洗工作後之繼續步驟，包括上底漆 (priming) 與油漆 (painting) 工作。

油漆方式計有浸漬 (dipping)、滾筒附着 (roller coating) 噴射 (spraying)、流動附着 (float coating)、與靜電上漆 (electrostatic painting) 數項，各種方式完成之面層在組成上與物理性能上差異甚大。使用浸漬法，工件穿過刮漆板或經懸掛在漆槽上，浸漬後多餘油漆均滴回漆槽。滾筒上漆之操作，無論機械方式或手工方式均如印刷機情形，漆滾之一係浸於油漆中，與另一平行漆滾接觸後即將油漆傳遞至第二漆滾，工件係穿過第二與第三漆滾完成上漆。噴漆情形，使用壓縮空氣操作噴鎗。隔離之噴漆棚，使用風扇通風，可防止溶劑蒸汽過濃爆炸，並提供合於健康之工作環境。浮動附着法係置工件於運輸帶上經過油漆溢流，多餘油漆滴回油漆槽，經過循環回到油漆溢流噴嘴 (flood nozzle)；此方法主要供上底漆或保護性面層，可減少溶劑在空氣中蒸發之量。浸漬浮動附着與滾着上漆產生之空氣污染物，未構成特別空中污染體 (particulate)，僅為有機溶劑蒸汽形式。此三類上漆系統操作時通常不需通風頂罩。如進行局部通風，可裝置天幕式頂罩。

噴漆操作之污染物包括有機溶劑蒸汽以及空中污染體，在噴水式噴漆棚 (water wash spray booth) 中由於噴漆操作之固有本性，加上必須在工件上適當附着，故結果為過量噴射，多達30~60%。噴漆棚中之空中污染體可藉擋板、過濾襯墊、或噴水簾加以控制。擋板用於祛除噴磁漆 (enamel) 之空中污染體有效，但在收集洋漆 (lacquer) 之空中污染體，由於洋漆快乾，因此輕微附着於擋板，故幾乎完全無效。噴水簾可擄獲過量噴漆，將漆與水分隔成三層。較乾之浮面層包括溶劑，較重下層包括顏料，中層主要為水，可予再循環使用。為水簾擄獲之污染體則須視為水性工業廢棄物處理。乾燥式噴漆棚 (dry type spray booth) 情形，空中污染體必須藉過濾方法祛除，以防止漆斑干擾及周圍物體。噴漆棚設備製造廠商已擴大工作範圍，供應整套自備設備，(package self-contained equipment) 計包括空氣供應設施、空氣過濾與濕化設施，以及各項必需風扇，作為噴漆棚附件。兩式噴漆棚通風扇用馬達均為防爆式，扇輪則為防火花式或為有附着面層型式。

調漆配方時所用有機溶劑，有時可能蒸發散逸至空氣中。噴漆棚中溶劑濃度約為 100~200 ppm。此類溶劑並不受過濾器、擋板或噴水簾控制，由於光化反應 (photo-chemical reaction)，產生有毒煙霧 (smog)，將刺激眼部引起發炎。使用活性炭吸收為唯一可行控制溶劑方法，但其污染體在進行吸收前須先自己污染氣流中祛除。活性炭吸收劑可為固定式或活動型式。固定炭層可置於立式或臥式圓筒容器中，或為多層裝置。此項吸收機構之裝置應配合應用情況，以使必要時可再生利用。

噴漆棚內噴漆橫過表面速度平均大於 30m/min ，此速度方適於積極將噴漆顆粒移向排氣扇

。噴水簾、噴漆、以及過濾器祛除噴漆污染體之效率最高可達95%。

調漆配方用油漆混合場通常具備試驗室設施，以便經常辦理所施用油漆之品質管制操作。由於使用有機溶劑原因，此區域應就通風與防火給予特殊處理。通風方面應了解溶劑較空氣為重之性能，自高處供應空氣，及藉靠近地面開始之通風管道系統排氣，以吸收較重溶劑蒸汽。所用溶劑既屬危險性質，故必須使用防火系統如二氧化炭以補充自動室頂洒水塞設施。由於大規模全面通風之需要，排出空氣中溶劑蒸汽之濃度通常够低，故不須再藉液體沖洗集塵（scrubbing）步驟。

靜電上漆係使用由靜電荷產生之霧化面層，形似霧化器，但係對準位在連送帶上之工件，以產生靜電堆積作用，結果構成物質整體化面層。此一方法不致噴射過量。

3.7.3 烤漆脫漆 (paint baking)

在施用各種油漆方式在工件表面構成附着面層後，工件即置入烤爐中承受乾燥與硬化過程，結果發生有機溶劑之蒸發。此一過程之空氣污染與安全方面必須就下列觀點加以觀察：

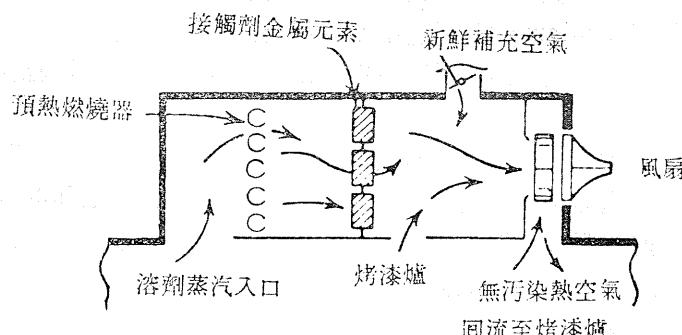
(1)有機溶劑之蒸發不可超越下爆炸界限 (lower explosive limit)。此下爆炸界限與一定圍繞範圍內之容許蒸汽濃度有關，通常並遠較人體暴露於空氣污染物之可容忍界限值為高。在計算決定所需稀釋通風之量時，可就下爆炸界限值使用安全因數 4-12 倍或更高。

(2)在工件裝爐與卸爐時，爐中氣氛必須低於毒害基準。

(3)爐中不得有煙及未完全燃燒產物。

(4)由於有機溶劑與樹脂部份氧化與聚合作用生成霧劑 (aerosols) 自嗅覺與眼部刺激觀點論均屬於極端可厭，應予避免。

控制有機溶劑之蒸汽，臭味與霧劑可使用操作溫度在 760° 以上直接生火之蒸汽燃燒設施。烤漆爐用接觸劑燃燒系統如圖七所示可完全氧化油漆煙霧，大量節省費用。油漆溶劑蒸汽吸入該接觸劑燃燒系統係承受氧化。燃燒後氣體與來自烤漆爐之循環空氣以及控制溫度之新鮮補充空氣混合，成為無污染之熱空氣回流至烤漆爐。此一系統之優點不僅在可消除污染物，其燃燒並提供烤漆爐所需之額外熱源。通常如溶劑蒸發率在 $40\ell/b$ 以上，熱回收即屬經濟。特殊情形，如漆包線爐，溶劑僅有小量蒸發率亦值得採用。若干小型爐情形，由溶劑燃燒發散之熱量亦足夠自行維持爐本身使用。



圖七 烤漆爐用燃燒系統

各大火險公司對於烤漆爐之裝設，就下爆炸界限值與達成此項界限值所需稀釋通風規定均訂有標準，應加注意。

3.7.4. 脫漆 (paint stripping)

脫漆係指脫除聚積在吊鈎、吊架、面罩、以及其他在噴漆時工件支持物上之油漆殘餘。脫漆將聚積油漆分離，俾各項支持物可供繼續使用。今日工業用脫漆方法計有機械式、化學式、融鹽式數種。機械脫漆係藉砂布擦拭，或噴砂、氣鑿、刮刀完成。化學式或稱漆劑式可為加熱式或常溫式。常溫化學式視所用材料分別為有機溶劑、乳劑、酸類、以及混合式。融鹽脫漆法，操作溫度 450°C ，即為加熱脫漆方式之一例。鹽浴槽之加熱係使用瓦斯，浸入式燃燒器裝設有自動火焰保險系統與自動點火設施。漆具浸入鹽浴之後取出即使用熱水清洗。精拭與冷水沖洗可分批或在運送帶上進行。操作時所產生之煙霧可使用氣動擦洗器 (air scrubber)祛除。通常係在單獨廠房或操作工廠之單獨隔間內進行，通過擦洗劑之用水可在製程廢棄物處理室中處理。

3.8 空氣污染防治設備費用

空氣污染控制設備費用，雖可依據已裝置基準，亦常難加以估計。通常集塵裝置如係建造在已有工廠中，其費用將較工廠擴充或新建工廠時新設者為昂，費用之決定與比較工作需要經過仔細分析與評估各項構件與所能提供之操作特徵而後確定。污染控制設施計有排氣風扇、驅動馬達與起動器，在設計時採購人須確定此等項目及其支架之供源。同樣，儲存漏斗常附屬於若干設施為整體部份，不另行供應。各構件間之管道連繫有時包括在內，有時則否，循環水罩，以及沉澱槽有時亦屬需要，在一般報價中可能未包括在內。

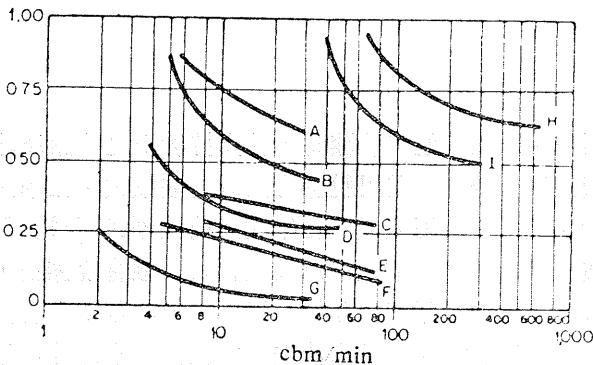
供應商之報價應包括各項設施之操作效率，以便可在競爭項目間作公平比較。增加於控制設施中污染體入口載荷之實有或假定基準資料，一如污染體出口載荷必須加以說明。在準備污染防治設備規範時宜就請教於有經驗之污染防治工程公司，則採質人能否裝置有適當功能之設備方有保障。有關污染防治公私機構所提供之資料應採用納入，引為設備設計特徵。如決定裝置某項污染控制設備可適應工廠之未來擴充，由於超出現有裝置需要以外，有額外費用自屬較高。

設備之裝置費用是否即等於或超出設備之製造費用，視在工廠組合 (shop assembly)程度而定，例如有為全部組合完成，部份組合或全部分解成另件者，與視地點而定，是否需要昂貴索具以便安裝定位，及是否需要改建廠房，如裝設鋼架、接近用台座、或在屋頂或牆上開孔。又由於需要供水或排水、特殊電路、為蒐集廢棄物之昂貴搬運設備等亦相當影響費用增加。蒐集廢棄物之單位成本係與所搬運之體積成反比，無庸贅言。

通常污染控制設備費用係依據設定之標準或基本建造費用。由於使用防銹材料，特殊耐高溫紡織品，戶外裝置所需絕緣及耐風雨裝配而增加之費用可能為標準建造費用之 1~4 倍。

圖八示各種不同集塵設備按通風率 cbm/min 之費用，依 $$/\text{cbm}/\text{min}$ 計。各項資料僅適用於新裝置，且僅包括說明中所臚列項目。

調查資料顯示空氣污染控制設備之每年平均操作費用係由下列因數組成，即動力、燃料、用水量、保養另件與材料、保養人工、所處理廢棄物之體積等。其中最主要項目厥為所處理廢棄物



- A 漸漸性高溫集塵器
 - B 連續性逆式噴射集塵器
 - C 濕式集塵器（最大值）
 - D 高效率離心集塵器
 - E 濕式集塵器（最小值）
 - F 高電壓落塵器
 - G 高電壓落塵器（最小值）
 - H 高電壓落塵器
 - I 高電壓落塵器（最小值）
- (裝塵速度 100~200m/min 態形，
冶煉廢煙塵情形較高)

圖八 集塵設備之費用估計（僅指集塵器本身，不包括管道、用水、用電及獨立排氣扇）
之體積。顯然對所處理廢棄物如能廢物利用方能減低此項異常高昂費用。

4. 磨削處理

一般情形機械加工業之廢水無論在小廠或大廠其本源均屬相似。在大多數情況下機械加工廠之廢水均包含少量之金屬屑，可溶性 (soluble oils) 及游離油脂 (free oils)，以及清洗產品或廠房本身所使用之各類化學清潔劑。若干工廠之廢水且有源自油漆操作時採用空氣污染控制設施者。此類殘餘物之處理一如施於游離油脂者。正常情形之廢水略帶酸性或鹼性，尋常為乳白色，不透明，並含有若干不溶性游離油脂。

4.1 重力撇清槽

處理此類廢水之最簡單方式為使用重力撇清槽 (gravity skimming tanks)。甚多情形撇清槽已足夠處理，釋放工業廢水至下水道，符合規定。應屬最佳重力撇清槽通常已由著名工程學會，如美國石油學會 (American petroleum institute) 納為標準，依廢水中廢屑顆粒尺寸、油脂上升速率、顆粒稽延時間、所需撇清油脂之種類而制訂槽之各項尺寸。如注入流體速度有一定，且為等速，則此類撇清槽之操作當為應屬最佳 (optimal)。故宜依 API 標準設計此類撇清槽，及在主撇清槽上游利用大型容槽及均衡槽，以便水幫可將廢水按固定設計速率輸送至重力撇清槽，以達應屬最佳境地。重力撇清槽之作用在摒除游離性油脂。金屬顆粒則沉澱於槽底，可視情況不定時用人工清除，或在金屬顆粒沉澱數量衆多時藉拖曳輸送帶 (drag conveyor) 自動清除。

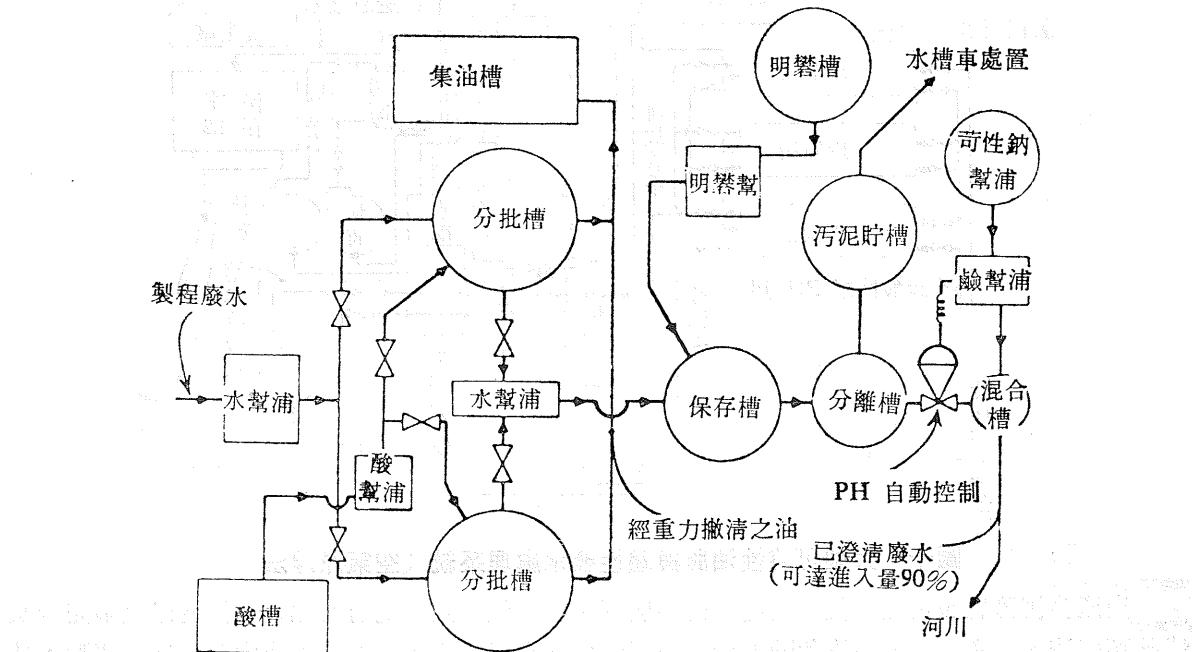
4.2 可溶性油脂之處理

一般情形機械加工廠使用大量可溶性油脂，作為切削冷卻劑，以致後者進入廢水中，則除重力撇清槽外，尚須作進一步處理。通常機械加工廠廢水多有可溶性油脂污染，縱令製程中不使用可溶性油脂，但由於可溶性油脂與金屬清潔劑或乳化劑混合，一當進入廢水蒐集系統，亦將發生此一污染情況。

4.3 分批處理廢水

在考慮分批處理方式時，應先作基本決定，廢水之質與量是否宜採用連續性流動系統之撇清法或其他油脂清除法。一般而論每日廢水在 8 噸以下之少量廢水可藉分批處理方式，而較大廢水量者則宜使用連續系統。但遇有毒性污染物情形，如電鍍廢水，則分批處理方式甚為重要。分批處理系統便於試驗廢水，有需要時並可施以額外處理。若干清潔劑化合物可與可溶性廢油脂混合，構成膠狀物，一般處理方式對之無可奈何。此類複雜情況僅可藉分批處理予以適應。

圖九示含有分批蒐集與撇清槽之並行處理系統。在廢水量聚集在任一具分批槽中够多時，即可在撇清游離油脂後，輸送至廢油蒐集槽。砂礫與金屬顆粒係聚集於分批槽底部，在需要時予以人工清除。含有可溶性油脂之剩餘廢水則繼續在分批槽或單獨之保存槽中予以分裂 (crack)，以分解油脂乳化狀態。添加酸類或明礬 (alum) 可降低 pH 值至引致油脂乳化之分解。游離性油脂於是予以撇清，或自一分離器中令緩緩流出，剩餘廢水再加苛性鈉或生石灰予以中和。如使用苛性鈉，則已澄清廢水中可能含有多量自中和作用而生成之可溶性鈉鹽固體。通常此一廢棄物不能直接排放於河川，但可為市地下水道系統接受。如使用生石灰進行中和，則由於所產生之鈣鹽之溶解性較差，則廢水中將含有少量此類不溶性鈣鹽固體。但藉生石灰中和將沉澱出酸性鈣鹽污泥，處置此項污泥將發生問題。圖九系統中此項污泥可予以蒐集，儲存在收容槽中，以便最後處置。惟含污泥水量多，以及沉澱物之儲存與處置均有困難，故亦常藉真空過濾器將污泥加以乾燥者。清除大量廢水以後，則污泥之體積減少，處置較易。以生石灰中和酸廢水固比較以苛性鈉者費用為低，但污泥處置或乾燥費用可能還超出使用生石灰所能節省之費用。故在進行比較性經



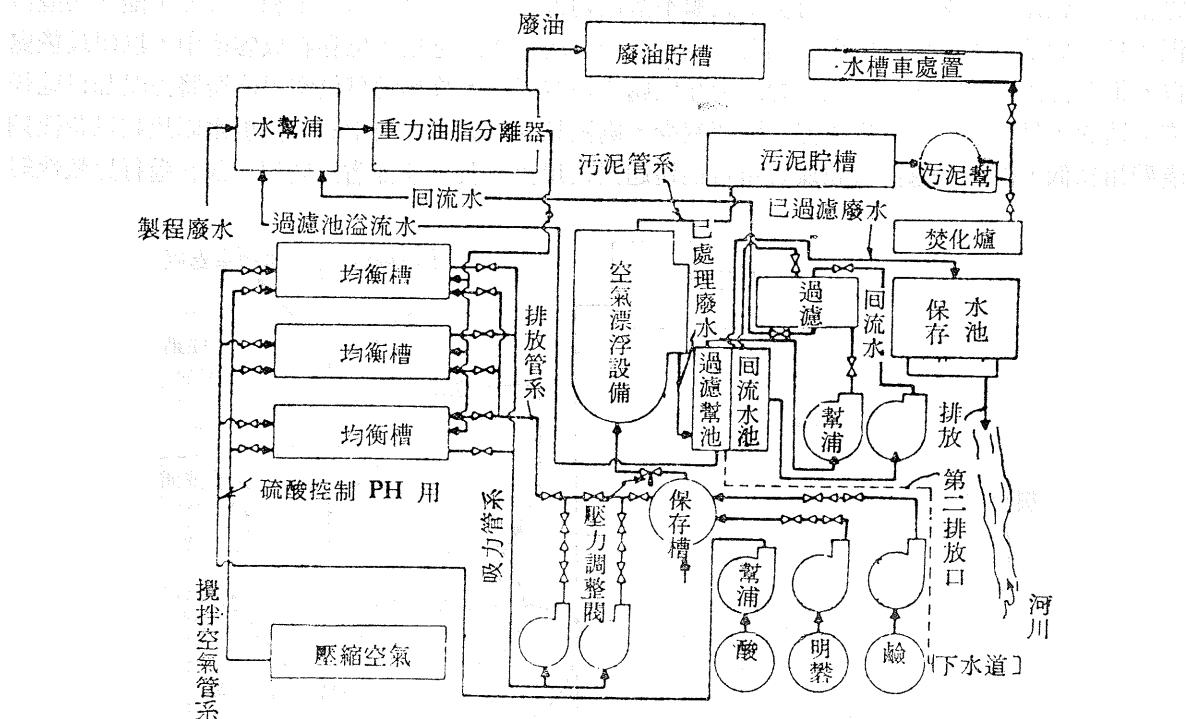
圖九 小型可溶性油脂與鹼性廢水處理系統

濟探討以前，廢水之量與濃度必須先了解，可能產生之污泥量必須加以計算。

分裂油脂乳化狀態除使用苛性鈉與生石灰外，尚有市售若干有專利之新型化合物可加利用。此類化合物常不需事後對可能產生之污泥再進行中和。

4.4 連續處理廢水——空氣浮除法

機械加工廠所用各類連續處理廢水系統中最有效者厥為空氣浮除法 (air floatation)。圖十示此一系統概要。在此系統過程中含有可溶性油脂之廢水係蒐集在大型容槽或均衡槽中。如流入速率固定，則空氣浮除設置可以一班時間操作。容槽較小，固須三班時間操作，但廢水在質與量兩方面之均衡可能不足。廢水經蒐集後；即由輸送幫輸送至保存槽。於是添加酸類、鹼類、及氯氧化鈉，保存槽在空氣壓力下足夠將空氣吸收，槽中乃留下廢水。開放通至空氣漂浮設置之壓力調整器之閥後，已分解之可溶性油脂於是連同少量之絨毛狀物漂浮至頂層，並經刮板或梯板輸送帶清掃進入污泥容槽。稍見清澈之流出水可加以處置，而含重油之絨毛狀物則係藉焚化或容槽車搬運處置，流出水則視河川排放規定需要另加過濾或在保在池中加以沉澱。衛生下水道要求較寬，則其排放物不需過濾或經保存池沉澱步驟。



圖十 大型可溶性油脂與鹼性廢水處理系統（空氣漂浮法）

所產生沉澱物或污泥之焚化為處置此類廢棄物之最佳方式。現有焚化爐其溫度已足夠完全焚燒此類殘渣，所產生空氣污染危險亦低。污泥中如含有毒物質，例如電鍍液中含金屬鹽情形，焚化法最屬適當。

餵入焚化爐中污泥中油含量通常本身足夠維持燃燒，但仍須供給補充燃料如瓦斯或油料，以便第一次與污泥餵入爐中開始點火，俾燃燒至高溫度足夠燒燬此類廢棄物。如污泥中水份高或油含量低，則需連續使用補充性燃料。

藉焚化爐處置污泥與類似廢棄物之燃料成本，係按廢水每單位體積論金額計，如分離污泥後之廢水可在工廠中重複使用供非飲水用途，如洗手間及製程用水。自可節省整個操作成本，但應了解熱處理之流出物中含有微量之污染物亦屬可能。

4.5 分批處理自動化

機械加工廠連續清除廢水中污染物之另一方法為將分批處理系統加以自動化，即依次沉澱出金屬顆粒，撇清游離油脂，以化學方式分裂可溶性油脂及再撇清，使用苛性鈉或生石灰中和不含油脂之廢水，排放已澄清之廢水至下水道或河川。此係總括前述圖中所示分批系統之連續流動與增加儀器控制之一項方式，此則可能需要在分批槽中裝設 pH 感測器 (sensing device) 以調節送酸幫。及在分批槽中可能需要液面開關 (level switch) 以啟動保存槽之水幫及明礬水幫。此外自動偵察與記錄最後流出水性能之設施亦屬需要。此一類型系統在若干處所尚須裝置儀表以達使用 pH 感測與液面感測設施所需之自動控制操作，因此欲求操作可靠可能有困難。又油渣或污染緊黏依附於 pH 感測器之電極上，不明物質侵入系統，致令化學處理作用及感測設施失效，在均難免除此一自動化系統經常保持無障礙狀態。

因此，大多數機械加工廠之最實際自動化系統仍為空氣浮除系統。現有經驗此一系統亦屬令人滿意。惟應注意不可令空氣浮除設備負荷過重。通常些許之過載已足令污染物之清除效率大量減低。例水量過載達10%將令除油效率降低50%，結果帶油絨毛將隨同已澄清流出水一併流出。總之各類自動化或分批處理系統應就闊，管系材料、槽、塗面、襯壁加以檢查，確定是否能適用於廢水處理過程中使用之油脂，pH 變化與化學藥品。此項考慮對於設施成本具重要影響。

4.6 系統規模

工業廢水處理方面，預測廢水之量與性質以配合新廠廢水處理設施，此問題比較就現有工廠設施測定已知廢水之量與質遠為困難。結果，新設機械加工廠用廢水處理設施之設計必須更為保守。一項勉強可行之答案，係逕依新設施生產，在廢水量確定以後，再行設計廢水處理設備。此一方面須取得環境管理機構之合作，在工廠運作最初數月可能需要水槽車處置包商清除服務。由於廢水處理一般視為經常性管理費用，各種可能帳務處理方式均須考慮，機械加工業廢水情形有數項可能性。例回收之廢油可再使用，至少出售供作築路用，已處理廢水可再使用，以供工廠製程，冷卻用途，或其他非飲用水需要。

就最後處置論，重複利用可大量減低工廠廢水排放，因此避免廢水管制機構之干涉。結果不須置備廢水處理操作記錄以供管制機構檢查，不須獲得准許，亦不須洽商廢水處理廠商委託。

論結

基本上機械加工業之工廠佈局與計畫上各項考慮繫於主持當局之態度，即工廠污染問題之解決爲工廠操作不可避免之整體附帶事項之觀念必須事前給予嚴肅明白陳述。污染問題之解決其重要性正如製造所需之設備與人力，必須針對處理。空氣污染等管制問題之重要性與優先地位必須提升至與工廠生產直接有關之各項因素等量齊觀，如廠內整潔之維護，適當安全實務之推行，材料之有效運送、生產過程、機械加工操作。主持當局之想法與計畫必具備污染朝向態度 (pollution-oriented attitude)，爲工廠，爲工業，以及爲所服務之社會，必須認清目前空氣與水污染管制與減緩之短期與長期目標，屬於整體性工業生產之一環，亦爲對社會應盡之義務。