

塗裝製程清潔生產改善技術實例介紹

財團法人台灣產業服務基金會 孫國書工程師、粘愷峻專案經理

清潔生產(Cleaner Production,CP)依據聯合國環境規劃署(United Nations Environmental Program,UNEP)的定義係指「持續地應用整合且預防的環境策略於製程、產品及服務中，以增加生態效益和減少對於人類及環境的傷害」。故清潔生產不僅具有污染預防的精神，也延長了生產者對產品、環境的責任，並以追求「生態效益」及「永續發展」為目標。藉由推動清潔生產，可協助產業有效提高能資源的使用效率、降低對環境的衝擊，並符合環保法規、國際標準/規範，提升產業競爭力，為解決環境問題的治本良方。

塗裝製程為各項工業之基礎工序，而噴塗之品質往往可以決定產品之價值及價格，也可藉由塗裝品質之提昇，降低被塗物之再製率、節省原物料及能源之耗用，進而獲得更多高品質要求之訂單，對於塗裝製程而言可稱得上是最具成本效益之清潔生產改善技術。塗裝技術之改善主要是針對製程設備技術方面，因此往往藉由安裝更有效率的製程設備，或改進現有的設備及製程，而使物料更為有效地利用，如此也可降低產品不良率或減少廢氣產生量，其改善的方法可由：(1)工程、裝置改善、(2)設備、管線及配置改善、(3)自動化的方向著手。

噴塗是各種塗裝方法中，較為普遍被工業界所採用的方式，包括手動及自動噴塗，因為其塗裝效果比刷塗要佳，而且速度較快，適合於量產或大面積的被塗物之噴塗作業。然而由於一般傳統有氣式的噴塗，需添加較大量的有機溶劑，而且其噴塗效率較低，產生過量噴塗及塗料浪費的情況較嚴重，不但造成浪費，也為害了人體健康及環境的污染，使其經濟效益也跟著降低。因此，有採用無氣式(airless)噴塗、靜電噴塗等塗裝法相繼推出，與傳統的空氣式噴塗比較起來，不但可節省了大量藉空氣霧化所浪費的塗料，而且塗裝效率也較佳，尤其是採高價高功能塗料時，所產的影響更大。

1.噴塗作業的種類

(1)有氣式噴塗：

有氣式噴塗是最傳統的噴塗方式，原理是藉壓縮空氣使塗料霧化的一種作業方式。然而，以整套的傳統噴塗裝備主要包括壓縮空氣的各式壓縮機及各式噴槍，以及油水過濾裝置、調壓閥與排氣之空氣輸送軟管(耐高壓耐溶劑型)等附屬組合才屬完整，而且每個配備對於噴塗最終效果而言，都具有無比的重要性，個別說明如下。

A.空氣壓縮機

若依冷卻及壓縮方式，空氣壓縮機可分為氣冷式、水冷式、無油式、螺旋式及渦捲式等不同型式，各業界可依作業供氣機具及清潔除塵、除水之需予以妥慎抉擇。水分的去除對於塗裝後塗膜的品質有絕對的影響，最常使用的方法是將壓縮空氣以水冷或氣冷方式冷卻，再經冷凍乾燥機及精密過濾器等裝置去除水分，以確保潔淨的供氣來源，應用在氣動設備等機具及作業環境上。

B.加熱設備(裝置)：各種紅外線乾燥裝置，可應用之技術如下：

- (A)紅外線乾燥器之燈泡要使用照射率高之燈泡。
- (B)反射板的反射性要良好，最近研究以鍍黃金者 IR 反射最佳。
- (C)有效地利用對流作用及反射板大小，控制適當的電燈所達成的溫度，並適時切斷，以節省大量電源。
- (D)利用最小限度的通風換氣，除去溶劑蒸氣和水蒸氣，確保塗裝品質與安全。亦有一種違犯線之裝置，其原理與紅外線相同，但利用其不同波長之熱幅射原理，且其熱效應較紅外線佳，國內不少廠家之乾燥裝置亦普遍使用。由於為不可見光，使用時要注意安全。
- (E)另有瓦斯紅外線裝置，效果相當不錯，且在電力能源上使用較節省，不少廠家亦相繼使用，以降低生產之成本。此種產品圍內已能自製，且品質亦相當不錯，欲大量使用之廠家，在成本上似可考慮以其代替，使電力利用上較為合算；甚至於將這些熱風回收，用於生產線之水洗乾燥或靜置區之昇溫用，可節省大量能源。

C.噴槍

噴塗依塗料供給的方式不同而有不同的作業方法，其施工對

象亦不同。一般而言，可將其分為重力式、吸上式、壓送式三種，噴槍各型式之功能特性大致如下：

- (A)重力式：塗料容器較小，機動性極強，用在少量多色或補修的場合，非常方便作業，但要常補充塗料。
- (B)吸上式：介於重力及壓送式之間，容器杯較大，歐美人士經常採用，東方人較不愛使用；可用於較大物品的噴塗作業。
- (C)壓送式：塗料供給量大，適用於不經常換色且量又大的生產線上；有些較刻苦的業界不利用氣壓供給塗料，直接將塗料置於高處，利用重力亦可將重力式變成類似壓送式，然而這終究不是真正的壓送式。此型甚至於可以結合流量控制計，使用在二液型自動混合的作業上，或者利用塗料衰，以管路閥控制，而成一循環供料及清洗系統，塗料並可集中配料及管理，提高工作效率與成品之品質。此法廣用在汽車、五金零件廠，或依各人所需，配合自動化系統以自動噴槍及機械手臂來進行噴塗作業，在節省人工、減少污染及避免危害上成效斐然。
- (D)高黏度噴槍：係使用於其它一般小型噴槍無法噴塗時，例如建築塗裝水泥砂漿，汽車底盤防鏽、防蝕塗料、遊艇不飽和聚酯高黏性塗料等噴塗，都少不了高黏度噴槍。由於它具有空氣調節鈕、塗料調節鈕、塗料加壓調節鈕等功能，可控制塗料粒子粗細，應用極廣。

(2)無氣式噴塗

無氣式噴塗並不需要靠壓縮空氣來協助，因此所需設備較為簡化，其主要原理是將塗料藉由壓力而噴出霧化，由於其噴射幅極為寬闊，並不適用在小型製品之作業上，卻廣用於船體、貨櫃、大的構形建物、新建物的牆面、地板等工程塗裝。作業量大及速度驚人為其特點，塗料之逸散也較有氣式噴塗低很多，惟無氣式噴塗裝置，需藉裊浦以高壓壓縮塗料使之霧化再噴出，與有氣式吹出霧化的原理不同。

一般無氣式噴塗裝置可分為電動、氣動及油壓縮驅動各型，亦有加熱式無氣噴塗循環裝置可供業界選用，採此種噴塗方式的優缺點如下：

A.優點包括：

- (A)塗料噴出量大，作業效率較高，附著效率可達 60~80%。
- (B)可噴塗較高黏度之塗料，並得到均勻的塗膜。
- (C)稀釋比較低，一次塗裝即可達到較高的膜厚。
- (D)不直接用壓縮空氣，故油分及水分不易滲入塗料中。
- (E)噴出之塗料較不易回彈，可節省塗料用量。

B.缺點則有：

- (A)無法如有氣噴塗般，任意調整塗料噴出量。
- (B)始噴和終噴階段壓力過低時，噴出之粒子較不均勻。
- (C)含多量體質顏料之塗料，容易導致噴嘴之阻塞。
- (D)塗料噴出量大，不適合小型物、少量物或形狀複雜之被塗物，否則不但操作不易更會造成浪費。
- (E)因高壓作業，必須加強作業人員教育。

(3)其它改良性噴塗

有氣式噴塗雖然其設備的價格最便宜，但是一般噴塗效率大約只有 30%~40% '因此容易產生超量噴塗的現象，不但造成塗料的浪費，也影響到週遭環境及現場操作人員的健康，因此才會陸續發展出許多高效率及低耗能的塗裝設備來取代傳統的噴塗方法。為了改善一個噴塗時塗料霧化所逸散出之塗料浪費，而研發出其他較高效率及省能源之噴塗方式。

- A.空氣混合補助式(air-mix-asistant)噴塗：此噴塗方法主要是讓塗料一方面藉由較低的壓力，另一方面仍以空氣壓力霧化塗料，藉以提高逐料之附著效率，一般而言，效率約可達 70%~85%左右。
- B.高流量低壓式(high volume low pressure；簡稱 HVLP)噴塗，與一般傳統噴槍塗著效率不同之處在於空氣的速度，兩種噴槍的空氣自氣帽中瞬間噴出時，幾乎一樣且皆在音速範圍；然而當距離噴槍 200mm 左右時，HVLP 噴槍的流速就與傳統噴槍有極大的不同，控氣速度較傳統噴槍少 3m/sec，因此噴塗距離較小時，其塗著效率較佳，一般效率約可達 80%~90%。
- C.另一種較新型噴槍為低流量中壓力(low volume medium pressure；稱 LVMP) 噴塗，此種噴槍即使塗料霧化壓力高於 HVLP 噴槍，也使

用較少量的空氣，但是速率同在 200mm 的距離時較低，其塗著效率則可比 HVLP 更勝一籌，一般效率約可達 90% 以上，且其對塗料微粒化效果也更好。LVMP 這類超微霧化所噴出的性能高之微粒化 (0.7kgf/cm²) 塗料，塗料之附著率佳，也改善了一般霧化所產生的回彈效應，的確是業界一大福音。世界各知名噴槍生產廠商，亦相繼推出功能類似的產品，皆能符合潮流並應業界所需；當然我們也希望業界使用這類能省料、省錢及降低污染的產品，惟價格稍貴，但以品質而言則是相當值得。其主要作用可分為兩個階段：

(A)在空氣帽和噴嘴之間的小空間，塗料與空氣在此充分混合，造成噴幅形狀，由空氣帽噴出。

(B)由側邊空氣帽所噴出之空氣撞上塗料之噴幅，而促使其更進一步霧化，使塗料形成高微粒化。

2.噴塗作業技巧改進

除了從提昇塗裝設備本身著手外，亦可視其需求由噴塗作業的技巧上著手，比如可採加熱型之熱噴塗方式，此方式可分為兩種改良方式，一種是將塗料預先加溫，以塗料溫度升高而黏度下降的特性取代有機溶劑之添加；另一種方式則是預先將被塗物件加溫至塗料最佳展開之溫度，一樣也可以有效提昇塗膜之展開性及增加塗膜的流動性，一般常應用在固成分小幅提昇的噴塗作業，但其應用範圍則需視塗裝產品及塗料本身的需求而定，其最佳操作參數往往也需要業者自行試驗，才可找出最佳化的操作點。

傳統之有氣式噴塗及各種高效率噴塗作業，雖然在塗料供給方式、霧化條件、塗料出量及作業速度上雖有不同，但施塗時之操作要領與技巧卻大同小異，正確的噴塗觀念及良好的塗裝技巧，往往也是造成塗裝品質好壞的重要關鍵，故不將其分開說明。正確的噴塗作業如圖 1 所示，而一般噴槍構造故障所生不良原因及其對策則彙整於表 1。

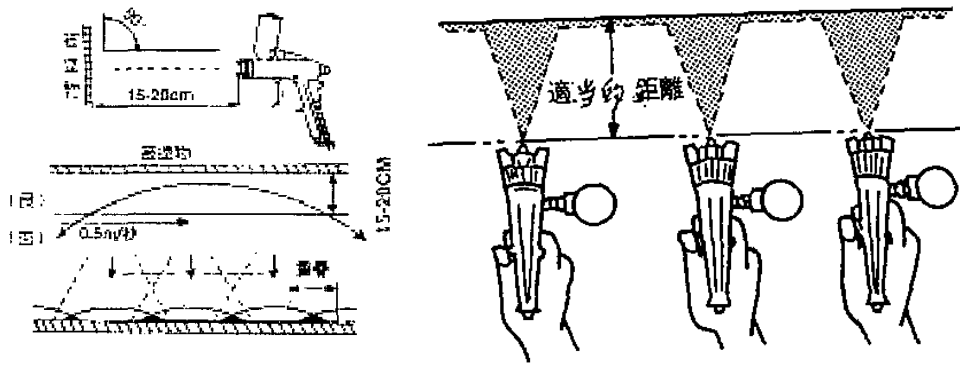


圖 1 正確的噴塗作業

表 1 噴槍構造故障所生不良原因及其對策彙整表

現象	原因	對策
塗料漏出	<ol style="list-style-type: none"> 1.塗料噴嘴錐度有塵埃或雜質硬塊。 2.噴嘴或針閥破損。 3.塗料容器的頭破損。 4.針及彈簧破壞。 5.襯墊鬆弛或斷油。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.分解清洗。 2.換新。 3.換新。 4.換新。 5.栓緊襯墊螺帽及塗油。
漏氣	<ol style="list-style-type: none"> 1.空氣閥襯墊太緊。 2.空氣閥及空氣閥室有雜物固著。 3.空氣閥或襯墊破損。 4.空氣閥的彈簧被破壞。 5.閥棒破損。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.放鬆。 2.清洗乾淨。 3.換新。 4.換新。 5.換新。
斷氣	<ol style="list-style-type: none"> 1.塗料的噴出路堵塞。 2.黏度過高或塗料不足。 3.杯蓋的氣孔堵住。 4.針的襯墊鬆弛。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.清洗接頭。 2.稀釋塗料或補給塗料。 3.開孔。 4.重詮緊。
噴霧不良	<ol style="list-style-type: none"> 1.空氣蓋堵住。 2.空氣蓋有雜物附著。 3.平噴時漆料擴展不開。 4.噴嘴出氣孔及塗料出孔損壞。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.以竹片或木片來清除。 2.以稀釋劑乾淨。 3.黏度過高或壓力過強。 4.換新。

3. 污染減量及省能方法

噴塗作業之污染減量，應以正確之噴塗設備選用及其正確操作為主要改善方向，其可行方案包括：

- ①以高效率的螺旋式代替傳統往復式壓縮機，以節省、能源。
- ②空氣壓縮機應設自動裝置，以節省不必要的電力耗費。
- ③經常保養機具設備，延長使用年限並確保塗裝品質。
- ④儘量採風 HVLP 噴槍代替傳統式噴槍，以節省材料及能源。
- ⑤儘量採用較高固成分的塗料來施塗，可減少塗布次數。
- ⑥清洗機具容器後之廢溶劑要進行回收再用。
- ⑦排氣後之粉塵或漆渣應進行處理，避免污染。
- ⑧工廠可規劃全自動作業系統，增加產量消除污染減少浪費。
- ⑨熟練機具操作及施塗技巧，能節省不必要的浪費，以及避免因操作不當帶來的危害及損失，如用手指搗無氣式噴嘴頭即為危險且須導正之習慣。

不論是採何種塗裝方式，其塗料、稀釋溶劑、輸送帶、周邊裝置、品質管理、作業安全、缺陷處理、保養維修等都具有同等的重要性及大同小異的互通性，應予正視。在此，將其分為塗裝前、塗裝時、塗裝後說明如下：

- (1)塗裝前：最重要的事莫過於檢查，只要是與整個作業有關的東西及事務都要仔細且認真的檢查，其內包括被塗物狀態、塗裝步驟、輸送帶系統、塗裝室狀態、往復驅動裝置、高壓電源裝置、塗料供給裝置、噴槍、空氣供給裝置、自動控制系統、照明系統、乾燥系統、安全配備等裝置是否正常，業界可視各人所需，將上列各項作一檢查表，每日作業前逐項檢視並予劃記管理，至於詳細的檢查項目可參考廠商提供之操作手冊。
- (2)塗裝中：在塗裝要進行時，若屬新塗料系統或新樣被塗物，應該做試噴的檢查工作，包括：
 - A. 包覆性試驗。可據以校正調整塗料及稀釋劑，以求得最佳的塗膜效果。

B.噴幅、塗型的調整：由噴嘴角度、大小及型式組合位置來加以妥善地調整，包括塗料黏度、出漆量、噴塗距離、噴嘴輔助構造等，均有所影響，最主要目的是要得到最佳的包覆塗裝效果。

(3)塗裝後：塗裝後所需注意的事，以調整及整理最為重要。不僅是作業場所、周遭環境的清潔打掃、機具、設備塗料及稀釋溶劑等也應注意維護，重點包括塗料應妥當保存並加蓋、加溫乾燥時溫度與時間之控制、塗裝室之確實清掃、關妥電源、檢視成品、所有器物歸定位及在必要時可繪製技術條件之管制圖或統計表，以利後續作業及管理工作。

(4)清潔生產：從整個系統而言，由於設備裝置大小的不同，其設計管制要點都不盡相同，但可從下面幾個方面來著手進行污染減量：

A.輸送帶：將單軌單向式輸送帶，更改為多功能用途之可調式輸送帶 (adjustable loop conveyer)可節省裝置費用。

B.整體裝置：選擇最需要、最適用、最自動化程度、最高級、最經濟的裝置，避免不必要的浪費。

C.換色裝置：具快速換色及清洗功能者，能節省大量因清洗造成的有機溶劑污染與人工浪費，對需做多色替換與操作，更需考慮採行。

D.霧化裝置：不任何形式的塗裝，可由改良其霧化效果，增進塗裝品質，減少塗料浪費著手。如：可採用改良型的溝紋渦輪圓杯(grooved turbo bell)以達上述效果。

2.現況及面臨問題-細項

工廠之製程概況主要為半開放式烤房，目前生產之產品良率不高，主要生產之自行車架及前叉經常發現塗裝品質上之瑕疵，進而須將不良品重新回到製程進行再製，造成原物料、人力、能資源、水電、廢棄物等浪費，導致生產成本增加，且無法提升產品品質。其中塗裝品質上最常發生之問題如下：

(1)塗裝後之產品產生不明油點。

(2)塗裝後之產品產生不明沙粒。

(3)產品經面漆、貼標、擦拭清洗及塗完金油後，仍然有黑色不明物。

(4)線上作業無正確 QA/QC 之「不生產不良品，不收不良品」的觀念。

3.改善建議方案

- (1)吊掛產品輸送帶之吊鉤清潔問題，由於與產品同時進入噴塗室同時進行噴塗作業，而當產品完成後，吊鉤會包覆相當厚度之塗膜，在欲進行下一樣產品之吊掛前，工廠委外利用高溫焚化方式進行表面清理，如此將另外產生其他空氣污染之問題。建議可利用液鹼浸泡，並設法回收工廠其他廢熱進行保溫，維持 60~70°C 之溫度浸泡 1 夜後，塗膜將會軟化除去，產生之漆渣易於固液分離並廢棄，液鹼可持續再利用，如此不但降低環境污染，減少溶劑費用，亦大大減少廢棄物產生及清運量。
- (2)前處理中以噴氣及棉布進行人工擦拭：製程中有噴入強力空氣，並以人工利用棉布進行產品胚胎之擦拭(如圖 2)，原來之用意為去除在經手持式砂輪機砂磨金屬產品表面後產生之粉塵，但卻忽略若以布片進行擦拭容易產生靜電，將導致更容易吸附浮游於空氣中之懸浮微粒，嚴重影響後續塗裝之品質。建議取消棉布人工擦拭，在砂紙砂磨過後改先以軟細毛之刷子(斜把刷、寸筒刷)進行刷除，同時以真空吸塵方式(如：採用較大型之吸塵槽，內接吸塵嘴；小型真空吸塵器。詳如圖 3)，進行金屬表面之清潔工作。
- (3)前處理中以壓縮空氣槍去除產品上之灰塵：製程中利用高壓吹氣進行產品胚胎上粒狀物及灰塵之清除，此一動作將使灰塵及塵埃飄揚在空氣中，雖然現場設有一集塵設施，但由於並未進行圍封，且天氣炎熱時作業人員利用風扇吹拂而使粉塵更為飛散，故導致空氣中懸浮微粒之數量及濃度升高，影響後續塗裝之品質。建議改採集塵研磨器，在研磨產品毛邊之同時進行真空吸塵(如圖 4)，進行金屬表面之清潔工作。真空吸塵器請參閱圖 5。



圖 2 現行產品胚胎表面前處理方式



資料來源：FESTOOL 公司產品目錄

圖 3 移動式吸塵器及真空集塵系統



資料來源：FESTOOL 公司產品目錄

圖 4 研磨機搭配真空集塵機



資料來源：FESTOOL 公司產品目錄

圖 5 常見工業用真空集塵器

- (4)塗料之採用應避免銀漿(鋁粉)之粒徑範圍過大以免分布不均，並且需混合均勻後再行使用。
- (5)塗料貯存及前處理：塗料之貯存應在陰涼處，並勿置放過久以免發生變質或膠化。在使用各式塗料前，建議進行過濾處理，可採用紙質濾芯(cartridge filter、cuno filter)過濾，以確保塗料之潔淨，並避免變質或膠化之塗料進入製程，因而影響產品品質。
- (6)輸送產品時儘量密閉輸送，建議設置微負壓隧道，以避免產品進入塗

裝前或塗裝完成後因接觸灰塵或靜電，造成產品表面附著微粒。

(7)廠內所有使用之空氣壓縮機，應固定放水及清油，以避免壓縮空氣含水或油點而造成產品表面附著懸浮微粒。

(8)應建立基本之塗料驗收檢驗機制，建議購置分散細度計(圖 6)、遮蓋力計(圖 7)及鉛筆式硬度計(圖 8)進行相關塗料之檢驗，並以此要求及確保廠商所供應塗料之品質。



資料來源：全華精密儀器公司產品目錄

圖 6 分散細度計



資料來源：全華精密儀器公司產品目錄

圖 7 遮蓋力計



資料來源：全華精密儀器公司產品目錄

圖 8 鉛筆式硬度計

(9)塗裝品質橘皮(orange peel)現象：一般在氣溫太高或過度還風的場所塗裝、被塗物的形狀複雜、使用乾燥太快的溶劑時或塗裝技術不佳，比較容易發生類似的現象。建議使用蒸發速度較慢的稀釋劑可以改善；另，加強人員塗裝技術的熟練，或使用較適合的塗裝設備均可以獲得改善。

(10)工廠之環境空氣中及置物架粉塵過多，容易因為人行或其他動作而揚起灰塵，進而飛散至原物料上，造成原物料沾塵而降低塗裝品質；建議應適當進行打掃及吸塵，並加強作業環境之整潔，以降低環境因素影響生產品質之機率。

(11)部分產品暫存區光線不足，將影響產品 QA/QC 之執行，使得產品瑕疵未能及時發現修補，建議產品 QA/QC 作業區應適當增加光源，以維品質作業。

(12)部分噴塗室內作業人員未戴口罩，可能因吸入過多漆粒及 VOCs 而影響身體，建議應該嚴格要求噴塗室內作業人員做好作業噪音及空氣防護措施以維身體健康。

3.(預期)執行成果

(1)製程良率提升至少 10%，進而得到產能之提升，並減少廢棄或重製量，提高原物料之使用率。

(2)因塗裝品質提升得到新訂單或較高利潤之代工產品。

4.成本效益評估

(1)假設工廠每月約生產 12 萬件機車零組件，每支車架產品之利潤約 50 元，如製程良率提升 10%，則原產能將能有 10%之擴充，效益如下：

$$12 \text{ 萬件機車零組件} \times 10\% \times 50 \text{ 元/件機車零組件} = 60 \text{ 萬元/月}$$

(2)假設工廠投入 1,000 萬元依前述建議進行改善及規劃，預期約 8 個月就能得到回收。計算如下：

$$1,000 \text{ 萬元} \div 60 \text{ 萬元/月} = 16.7 \text{ 月}$$