

金屬表面處理業土壤及地下水污染預防技術

莊倫綱*

一、前言

國內各項環保法規已趨完整，環保觀念亦趨於成熟，再加上民眾環保意識高漲，近年來除了少數不肖業者故意棄置或排放污染物至地下外，絕大部分的土壤及地下水污染事件均為業者在不知情的狀況下長時間累積，或因發生意外事件導致大量洩漏所產生，其中以地下儲槽或管線洩漏為最常發生。

土壤及地下水污染可能的來源包括「氣相」的空氣污染物、「固相」的廢棄物、及「液相」的廢液與廢水，因此做好空氣污染防治、廢水處理、廢棄物貯存與處置工作，並加強廠區工安管理以避免意外事件，同時強化監測土壤及地下水的品質，切斷污染物進入土壤及地下水的通道，可有效達到污染預防的目標。

工廠執行土壤及地下水污染預防工作，首先需由運作特性、潛在污染源及土地使用情形開始，進一步針對廠內可能具污染潛勢之區域，於平時就加以注意並記錄，亦即進行「自我體檢」，透過自我體檢將可減少可能污染之產生。

本文分別就污染預防管理原則、廠內管理及有害事業廢棄物貯存與地下貯槽與管線維護與監測等3個部分，說明如下：

【關鍵詞】金屬表面處理業、土壤及地下水、空氣污染物、廢水處理、廢棄物貯存、管線維護、工安管理、監測

*台灣產業服務基金會 工程師

二、污染預防管理原則

工廠執行土壤及地下水污染預防管理原則共可分6大項，分述如下：

(一) 收支平衡原則-工廠物料進出無法平衡，可能有污染之虞

工廠應對原物料進廠(收入)及離廠(支出)之情形詳細瞭解，若出現物質無法平衡之狀態，且其流向無法掌握，此時可能有發生污染事故之虞。工廠應記錄使用之物質流資料，以達到預防污染之目的。

(二) 環境清潔原則-環境髒亂場所，可能成為污染來源

通常髒亂環境較易有污染存在，需注意廢棄物、廢水、廢氣均為土壤及地下水污染之來源，故維持環境的清潔有助於減少可能的土壤及地下水污染。

(三) 環境整齊原則-物料、工具未歸定位，可能帶來污染

工廠運作過程中，難免有些物料、工具會放置於作業人員方便拿取的地方，但應於作業結束後，將相關物料、工具歸定位。例如置於室外之桶槽，作業人員以汲筒取用部分物料後，未將汲筒取出及蓋回蓋子，若出現大雨，雨水將可能灌滿桶槽導致內容物溢出，造成污染。

(四) 滴水不漏原則-操作不慎或習慣不良，易產生污染

工廠內經常使用各種溶液，若操作不慎或習慣不良，極易發生溶液滴漏或溢漏之情形，即使地表為水泥結構，日久亦可能產生裂隙，而導致滲漏污染之問題。易言之，任何的溶液或物質對於工廠均屬成本，若能減少其滴漏到地表，亦是節省成本的措施。做到滴水不漏，是一種雙重利益的措施。

(五) 快速處理原則-發生意外未快速處理，可能使污染擴大

廠內若發生意外事件，無論是洩漏或火災、水災等，可能導致土壤及地下水污染。因此在救災之後，快速的將災害現場恢復原狀或將災害物質及受災物質加以處理，是避免可能的土壤及地下水污染極為重要之步驟。

(六) 領域固守原則-空污、廢水、廢棄物未妥善處理，可能造成廠外污染

空氣污染防制設施、廢水處理設施、廢棄物處理設施區域，仍有可能會有逸散之粉塵、臭味、揮發性有機氣體、地表逕流等流出工廠。因此，將各項物質侷限在廠內，使其不會藉由地表逕流、粉塵逸散等方式

離開廠區，亦為土壤及地下水污染預防管理之方法。

金屬表面處理業所產生之污染物，主要為來自高濃度廢水、廢液及廢水污泥等，若未妥善處理，將造成環境之污染。一般而言，可能具土壤及地下水污染潛勢之區域包括製程槽區、廢水處理場區及污泥貯存區等，其中，製程槽及相關設施應儘量採用地上市，槽體應為抗蝕或設置玻璃纖維等防滲漏之披覆，並需設置滲漏警示裝置，以儘早發現滲漏情形。此外，生產過程中部分重金屬會隨著蒸氣逸散到空氣中，故需考量設置氣體抽除設施以確保人體健康。有關各區域之污染預防管理應注意事項彙整如表1所示。

表1 金屬表面處理業可能具污染潛勢之區域及應注意事項表

可能具污染潛勢區域	應注意事項
製程區	<ol style="list-style-type: none">1. 製程槽及相關設施應儘量採用地上市，若需設置於地下時，則應加強滲漏檢測。2. 製程槽及相關設施，槽體應為抗蝕或設置玻璃纖維等防滲漏之披覆，並需設置滲漏警示裝置，以儘早發現滲漏情形。3. 製程槽及相關設施區域，應設置槽液液與廢液滲漏收集設施。例如地上式製程槽下可設置採用抗蝕及不透水材料襯墊、構築或滲漏液承接盤，且可涵蓋製程槽全部範圍。4. 生產過程中部分重金屬會隨著蒸氣逸散到空氣中，除需考量設置氣體抽除設施以確保人體健康外，於清洗設備、設施以及牆面時，亦應注意所產生的廢水需納入廢水處理場處理，以維護環境清潔。
廢水處理場區	<ol style="list-style-type: none">1. 廢水處理場區地面宜採用抗蝕及不透水材料襯墊或構築，並設有防止地面水、雨水及地下水流入、滲透之設施。2. 地下貯存容器如使用混凝土材質，槽體內應為抗蝕或設置玻璃纖維等防滲漏之披覆，並應有液位檢查、防漏措施及偵漏系統，以避免滲漏。3. 廢水處理相關設施若非密閉式，則可能有廢水溢漏或廢氣逸散之風險，應考量加蓋。

	4. 場區內應經常巡查注意地面上是否有可視或曾經洩漏或逸散所造成之污染洩漏痕跡，是否有殘餘廢棄物(例如桶槽或太空包裝附近)遺留現場，一旦發現時，需快速處理及恢復原狀。
污泥貯存區	<ol style="list-style-type: none"> 1. 廢水污泥之固定容器或太空包，應注意容器或袋包是否破損，以避免發生污泥洩漏情形。 2. 污泥貯存區需有防止地面水、雨水及地下水流入、滲透之設備或措施，以避免造成區域附近之環境污染。 3. 廠區暫存之污泥，所承裝之容器或袋包應避免直接與地面接觸，以利觀察是否有滲漏情況。

三、廠內管理及有害事業廢棄物貯存

藉由廠內有效的管理，以達成土壤及地下水污染預防的目標，是最簡單且最有效的作法，金屬表面處理業者可朝物料管理、物料洩漏預防及有害事業廢棄物貯存等方向著手，分述如下：

(一) 物料管理

由於金屬表面處理業所使用的原物料種類極多，且有多數化學品原物料具毒性或危害性(如鉻酸、氰化物等)，所以若能有效管理化學品原物料，則為降低環境污染的關鍵。原物料管理要點彙整如下：

1. 廠區內化學品的存放，應有特定的場所或貯放方式，室外避免放置化學原料、廢棄物、空桶及閒置設備。
2. 化學品包裝應完整，且應有適當的標示(品名、保管人、危害性等)，並備妥相關之安全資料表(SDS)資料文件。
3. 人行通路不得置放化學物質，尤其具危害性化學物質、危害性氣體及易燃易爆物質等。
4. 氣體鋼瓶應予固定放置，尤其是危害性氣體鋼瓶或高壓性氣體鋼瓶，宜加強管理。
5. 開封過的原料應加蓋或袋口捆束，防止原料逸散、粉塵或揮發等。
6. 化學品貯存應注意相容性問題，不相容物質不可放在一起，以避免發

生爆炸、火災等意外事故；易燃物質應遠離火源。

7. 除正常情況下，應考慮在異常狀況發生時，原物料有傾倒、破裂、撞擊、震動等之可能性，以及發生該等情事時對環境可能的影響。

在工廠作業面的管理上，彙整管理要點如下：

1. 工作場區應力求整潔，地面上不可有散落的原物料、油污及廢棄物。
2. 工作場區內，原物料、廢棄物及中間產品應區隔放置，並進行妥善標示。
3. 工作場區內各類設備或裝置應能適當的維護，以防止異常操作，並避免不正常的廢氣、廢機油或其他污染情事發生。

(二) 物料洩漏預防

常見洩漏的地方大概可區分為：槽體、過濾機等附屬設備、廢水收集管線與處理系統、藥液貯存桶等4 大類，詳如表2所示。

表2 常見的預防洩漏方法

項目	預防方法
槽體	(1) 使用耐蝕材質，加強維修保養工作 (2) 避免槽體受損，並定期汰舊換新
過濾機等附屬設備	(1) 過濾機之水管接頭使用耐酸鹼材質套管 (2) 過濾機之水管高於製程浴槽以避免虹吸作用 (3) 儘量降低接頭數目，以減少洩漏機會 (4) 固定過濾機的軟管，避免洩漏 (5) 少量外洩之機油或過濾液需以桶子承接 (6) 設備定期維修保養
廢水收集管線與處理槽體	(1) 避免廢水收集管線受碰撞，於必要時加以覆蓋保護 (2) 減少管線接頭處 (3) RC、磚造處理槽體或收集水溝以環氧樹脂塗裝或內襯FRP等防蝕材質，以防止微細裂縫 (4) PE等槽體應加以補強，防止槽體變形而造成洩漏 (5) 儘量以明渠管線收集廢水，以避免管線破裂無法查覺

藥液貯槽(桶)	(1) 貯槽(桶)應減少接頭處，以減少洩漏 (2) PE 等材質之貯桶構造應適當補強，防止槽體變形而造成洩漏 (3) 選用適當貯存材質之貯槽(桶) (4) 應於貯槽外側設置防溢設施(如防溢堤、承接盤)
---------	---

(三) 有害事業廢棄物貯存

在廢棄物貯存方面，有害事業廢棄物與一般事業廢棄物必須分開貯存，且所有的貯存設備都要有明顯的中文標示，貯存的容器與廢棄物必須相容，以防發生容器破裂或廢棄物溢出的情形。

貯存設施必須考慮防止地表水入滲。如貯存設施不可避免會有廢水、廢氣、惡臭等污染的產生，必須妥善的收集並處理以防止對於環境的污染發生。有害事業廢棄物應注意該項廢棄物貯存期限以2 年為限，如果貯存時間會超過時限必須發函地方主管機關，取得其同意。

廢棄物的分類與貯存方式，需依照其特性與資源回收及清理方式來決定。最常使用的廢液貯存方式就是利用儲槽或容器貯存製程中所產生的廢溶劑、廢酸(鹼)液。貯存容器與廢棄物的相容性考量，主要為內襯的材質選擇，必須依照廢棄物的性質使用合適之容器或儲槽之材質。如果為大型儲槽，還必須考慮周圍環境與所受撞擊、地震等外力時會造成的損害，來決定儲槽之設計與材料。

防止廢液之洩漏液亦為十分重要之課題，大型儲槽應該設有液位量測、液位計與防止洩漏等裝置，以便能即時察覺異常或於意外發生時切斷廢液繼續流入。為了預防當儲槽發生洩漏時所可能造成的環境污染，一般都會於儲槽外設置洩漏液收集設施及超過總容量10%以上的暫存系統，且必需定期量測儲槽之壁厚，以防止洩漏之發生。

四、地下儲槽與管線維護與監測

工廠於規劃時，常囿於場地限制將部分製程、原物料或處理槽體及管線設置於地下，大幅提升土壤及地下水污染潛能，因此須藉由完善的管理及監測規劃，俾利於短時間內發現洩漏從而及時阻止污染的擴散。分述如下：

(一) 儲槽之維護與監測

1. 儲槽之維護項目

- (1)儲槽外部：外殼扭曲變形、基礎沉陷、腐蝕、油漆及其他附屬裝置。
- (2)儲槽內部：底板、壁板腐蝕與洩漏，基礎沉陷狀況。
- (3)基礎惡化原因：沉陷、龜裂、混凝土損壞、灰化。
- (4)維護項目：混凝土損壞修補作業、槽體測漏修補作業、排水情況檢查。
- (5)儲槽底板
 - A.底板損壞、洩漏原因：內部點蝕、焊道腐蝕、焊道龜裂。
 - B.底板維護項目：底板腐蝕、排水情況檢查。
- (6)儲槽壁板：應檢測及注意的項目有厚度、變形、缺陷、焊道等。
- (7)儲槽頂板：槽頂支撐系統、周緣防漏系統、附屬裝置及排水系統等修理或更換，準則如下：
 - A.頂板及浮橋發現龜裂或開孔情形時，必須立即鑿修或更換。
 - B.若有點蝕時，必須評估是否會在下次開放檢查前穿透，如果有穿透之虞時必須加以鑿修或更換。

2. 儲槽之監測實務

- (1)儲槽區巡查：應定期巡查，遇狀況立即通報處理。
- (2)自動檢查
 - A.外部檢查：每2年1次，測厚、變形、偏移。
 - B.內部檢查：每5年1次，槽底板及相關設備。
- (3)監測系統：應用洩漏偵測器，監測各儲槽狀況，監測訊號傳輸至控制室，遇洩漏時，發出警報。

(二)管線之維護與監測

1. 管線之維護檢查

(1)新建管線維護

- A.規劃：各廠因應業務需求之管線增建計畫，應事先加以考量：
 - (A)未來需求量、(B)以後成長空間、(C)路徑選定(審慎做地質調查，避開斷層區或地質不穩定區域等)，以做為未來施工、營運及維護的重要參考依據，降低維護檢查以及事故的疏失發生率。

- B. 設計：進行管線設計時，應參照美國國家以及中華民國國家標準(CNS)標準協會或美國機械工程師協會(ASME) 等相關規範。
- C. 管材選料：符合中華民國CNS 相關規範或參考美國材料試驗協會(ASTM)規範。
- D. 施工：管線施工時，應遵照下列處理原則，以降低可能的意外發生。包括：鋼管防銹處理(除銹、包覆)、焊接—參照API 1104標準焊接；焊道防鏽處理；管線之敷佈；試壓；回填。
- E. 監工：管線施工之督導與監造；要求承商確實依規範施工，以確保施工品質。
- F. 檢查：包覆檢查(目視及漏電試驗)；焊道檢查：通常採用X-ray照相檢查，或磁粒探傷、液滲探漏等非破壞性檢查。

(2)使用中管線之維護檢查：各工廠應配合工安活動，每日或定期巡查，注意管線週邊地形、地物之變化如新翻土、坍塌、決堤、土方流失及管線上方掘井、掘溝、修路挖土、築橋、建築物之改變、觀察管線經過地區及其附近民眾活動情形。

2. 管線監測實務：防範未然，預先檢知的預防監測措施。指派專人巡管，注意管線週邊地形、地物之變化如新翻土、坍塌、決堤、土方流失及管線上方掘井、掘溝、修路挖土、建築物之改變等。遇工程施工時，確認管線位置是否在施工或影響範圍內並告知施工單位，並觀察管線經過地區及其附近民眾活動情形。
3. 操作管理為維護操作及設備安全，應依作業情況及設備防範未然，預先檢知的預防維護監測措施特性，訂定各單位之標準作業程序，供現場人員操作遵循。要求有關人員對於地下管線之操作應依地下管線操作程序及在管線平常操作壓力範圍內作業，以確保管線使用安全。此外，於巡管時發現管線週邊有施工機具時應主動察明施工單位及施工範圍，並採防範措施。
4. 加強作業查核：實施各項設備自動檢查，並實施工安查核。

(三) 儲槽與管線監測/測漏方法

儲槽與管線監測/測漏方法有許多種，至少包括：氣體分析、土壤氣體調查、陰極防蝕調查、透地雷達調查、庫存管制與存量分析、自動量

液位計測漏、管線壓力測試、槽體密閉測試、追蹤劑測漏等。各種方法原理與說明可參考工業局於93年9月出版的「土壤及地下水污染整治技術手冊：評估調查及監測」中第6.3節之內容。

(四) 預防儲槽與管線洩漏之管理措施

1. 建立管線管理資訊系統

(1) 建立管線空間座標圖資及一般屬性資料，讓工廠管理者利用個人電腦即可即時查取管線相關資料。

(2) 經由儲槽與管線屬性資料將可查詢有關儲槽與地下管線之名稱、長度、口徑、完工年度、輸送物質種類、檢測報告、陰極防蝕電位、巡檢管理、異常應變、維修保養、管線故障排除等管線資料，協助工廠管理者與工安環保單位隨時掌握相關資訊。

2. 實施管線風險管理

各工廠無論是管理單位或操作維護單位，甚至工安環保單位均應了解管線之風險，並依風險高低，實施各種保護、防範、改善措施，進而降低管線風險，維持管線運輸暢通、保障工廠自身的安全、減少對工廠鄰近居民的潛在危害，間接降低工廠本身的營運成本。

3. 落實執行各項儲槽、管線洩漏之防範管理

各工廠營運單位應該做好儲槽與管線之維護與監測工作，期能有效防範儲槽與管線洩漏所造成之環境污染以及原物料的損失，避免工廠本身之財物損失與環境污染賠償問題。

五、結語

由於土壤及地下水污染調查與整治極為耗時與耗費成本，且將嚴重限制土地利用方式，甚至可能引發食安疑慮，因此解決此問題的最佳方案仍為做好污染預防工作，藉由較低成本之預防措施及設備，定期檢視更新維護，從源頭上管制污染物使其不進入土壤及地下水，避免後續造成事業龐大的負荷，從而衍生更多的民生社會問題。