

# 污染場址整治決策面面觀

李佳欣、梁栢瑋

中興工程顧問股份有限公司計畫主任

## 摘要

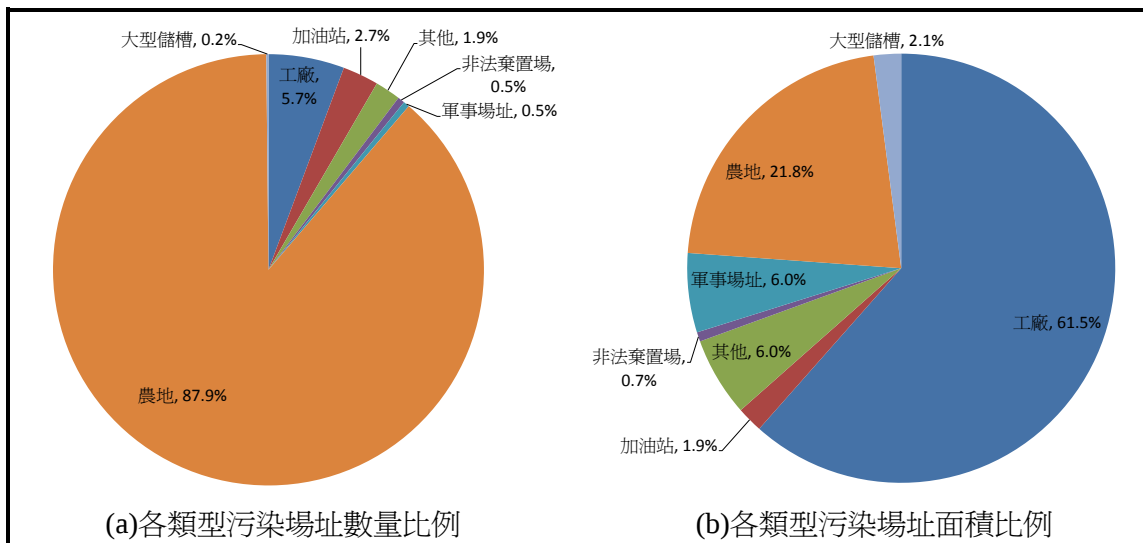
我國自土壤及地下水污染整治法(以下簡稱土污法)於民國 89 年正式發布實施後，環保署持續推動各類型場址土壤及地下水污染調查工作，結果發現不同類型的重金屬、油品、含氯有機物污染場址，為有效改善污染問題，整治決策顯得格外重要。污染場址整治決策應包含確實掌握污染範圍及場址特性，透過必要之先導試驗後，規劃者應審慎地整合現地各項調查資料、整治經費及期程，選取規劃合理適切之整治工法或整治序列組合，整治過程中除定期監測評估，並依據改善成效持續檢討修正整治工法，必要時訂定分階段整治目標，協助污染行為人或土地關係人儘速完成整治作業。除以污染管制標準為剛性整治目標外，亦可考量透過風險評估選取技術、經濟及社會可行的較彈性整治目標與污染整治策略，理性務實地提升土地整治的成本有效性，解決環境問題並獲取更高的土地價值。

關鍵字：污染場址整治決策、整治序列組合、整治目標

## 一、前言

自土污法發布實施後，愈來愈多土壤及地下水污染案件被環保主管機關調查揭露，由環保署土壤及地下水污染資訊管理系統統計資料得知，目前國內污染場址類別主要可分為農地、加油站、儲槽、工廠、非法棄置場址、軍事場址及其他類型等，以農地及工廠類型場址數量及面積為最多，各類型污染場址數量及面積比例分布情形如圖 1 所示。而污染物質則可分為油品、含氯有機物、重金屬及其他類型污染物，其中又以油品污染、含氯有機物污染、重金屬污染為最大宗，其他污染物質，如農藥、戴奧辛、多氯聯苯，出現比例非常小，僅占約 0.2%。

檢視已成功解除列管之工廠類型重金屬污染，在土地具有利用價值的情形下，高污染土壤離場處理配合低污染土壤的翻轉稀釋為最常使用之工法。整治中場址則以含氯污染物場址困難度相對較高，尤其污染物一旦進入地下水，整治工作顯得更為複雜及重要。目前國內污染整治技術趨於成熟，如對場址污染範圍及土壤質地調查不夠確實，將可能延長整治時程或需進行工法變更。本文將說明國內污染場址整治術選取概況，提出整治決策須具備的觀念與思維供環保主管機關、污染行為人及整治業者參考，茲分項說明如后。



資料來源：行政院環境保護署土壤及地下水污染資訊管理系統  
統計時間：截至民國 104 年 7 月 31 日

圖 1 國內各類型污染場址數量及面積比例

## 二、國內污染場址整治概況

截至 104 年 7 月 31 日止，歷年來各類型曾公告污染場址數(整治場址、控制場址及地下水限制區域)累計多達 3,056 處，已解除列管數 2,634 處，解除列管比例達 86%，並以農地污染場址成功解除列管數量及比例為最高，2,721 處農地污染場址中，有 2,495 處已解除列管，比例達 92%，其原因可歸納為污染程度及場址複雜性較低，一般可透過酸洗法(Soil Acid Washing)快速完成污染改善，但近年來因有地力回復問題，現在較少使用而多採用翻轉稀釋法(Soil Blending and Dilution)，目前已有學術模場專案計畫進行生物復育(Bioremediation)及植生復育(Phytoremediation)相關研究，該類技術對環境較為友善、處理效率高且價格低廉，俟技術發展成熟，未來有待推廣使用。

國內其餘類型污染場址整治作業多以整治序列組合或整治列車(treatment train)概念進行整治方案規劃，即選擇 2 至 4 種整治技術搭配使用，少數場址因污染範圍較局部或受限於場址現況，只使用單一技術。由目前可蒐整到的統計資料彙整出國內各類型污染場址採用之土壤及地下水整治技術規劃及數量如表 1 所示。

表 1 國內污染場址採用之整治技術規劃及數量彙整表

| 土壤整治技術        |        |       | 地下水整治技術       |         |       |
|---------------|--------|-------|---------------|---------|-------|
| 主要            | 搭配     | 使用場址數 | 主要            | 搭配      | 使用場址數 |
| 開挖處理          | 排客土    | 155   | 現地化學<br>氧化法   | —       | 64    |
|               | 生物復育   | 18    |               | 抽出處理法   | 6     |
|               | 化學氧化   | 6     |               | 雙相抽除法   | 4     |
|               | 土壤清洗   | 14    | 空氣注入法         | —       | 10    |
|               | 熱脫附法   | 7     |               | 土壤氣體抽除法 | 46    |
|               | 生物堆法   | 1     | 抽出處理法         | —       | 42    |
|               | 翻轉稀釋法  | 46    |               | 電動力法    | 1     |
|               | 離場固化處理 | 10    | 雙相抽除法         | —       | 29    |
|               | 離場熱處理  | 7     | 加強好氧<br>生物整治法 | —       | 26    |
|               | 離場再利用  | 3     | 生物曝氣法         | —       | 10    |
| 土壤氣體<br>抽除法   | —      | 40    |               | 抽出處理法   | 3     |
|               | 空氣注入法  | 43    |               | 雙相抽除法   | 1     |
|               | 生物曝氣法  | 8     | 現地地下水<br>生物整治 | —       | 1     |
| 現地化學<br>氧化法   | —      | 49    |               | 土壤氣體抽除法 | 5     |
| 雙相抽除法         | —      | 30    | 界面活性劑<br>沖排法  | —       | 5     |
|               | 空氣注入法  | 2     | 地下水<br>循環井法   | —       | 2     |
| 加強好氧<br>生物整治法 | —      | 28    | 現地電熱法         | 雙相抽除法   | 1     |
| 界面活性劑<br>沖排法  | —      | 4     |               |         |       |
|               | 抽出處理法  | 2     |               |         |       |
|               | 雙相抽除法  | 2     |               |         |       |
| 生物曝氣法         | —      | 1     |               |         |       |
| 現地電熱法         | —      | 1     |               |         |       |
|               | 雙相抽除法  | 1     |               |         |       |

資料來源：行政院環境保護署「全國土壤及地下水污染整治策略旗艦領航計畫」

僅有土壤污染時，主要以開挖處理(Excavation)，並搭配其他離地整治技術作使用，包括生物復育(Bioremediation)、化學氧化及生物堆法(Biopile)等；其他技術另包含土壤氣體抽除法(Soil Vapor Extraction, SVE)、空氣注入法(Air



Sparging, AS)或生物曝氣法(Bio-Sparging, BS)、現地化學氧化法(In-situ Chemical Oxidation, ISCO)、加強好氧生物整治法(Enhanced Aerobic Bioremediation, EAB)、熱處理法(Thermal Treatment)、固化處理(Stabilization)、現地電熱法(Electric Heating)等。

若污染情形擴及地下水時，大多會選用現地化學氧化法、空氣注入法並搭配土壤氣體抽除法、抽出處理法(Pump and Treat)、雙相抽除(Dual-phase Extraction, DPE)、加強好氧生物整治法、現地地下水生物整治(In-situ Groundwater Bioremediation, ISGB)或生物曝氣法等技術。另有部分場址採用地下水循環系統(Groundwater Circulation Wells, GCW)或是抽水進行水力控制，防止污染物隨地下水流移動至場址外。近年來生物復育、監測式自然衰減法(Monitored Natural Attenuation)、綠色整治(Green Remediation)逐漸獲得注意及採用，如屬含氮有機物之地下水污染案，影響範圍較廣且污染源可能短期內無法掌握、移除，技術面可考量採用現地、被動式及生物處理為主的整治系統，並積極思考如何進行有效率之整治行動，減少環境足跡，降低社會影響，且有效節約能源及經濟成本的最適方案。

### 三、成功整治決策要素

綜觀現有國內污染場址整治案例，歸納成功完成整治之關鍵因素，包括：

#### (一) 確實掌握污染情形與範圍

進行整治規劃時，首先應建立正確的污染場址概念模型，確認污染物種類及污染源是否持續洩漏，以決定污染整治的優先順序，若確認污染源持續洩漏時，應先將污染源移除，再進行污染整治工作。若發現有浮油或殘留相存在時，必要時亦需優先移除。此外，規劃者常因未實際辦理污染範圍細密調查，僅依環保機關少數查證數據勾勒或自行限縮污染範圍，於整治一段時間後才發現污染範圍遠比當初推估為大，導致後續整治工作的失敗與整治費用的浪費。

#### (二) 確實掌握場址水文地質條件

除污染狀況外，同樣應確實掌握場址與週遭地下環境之水文地質狀況與條件，必要時應進行相關探測作業或模場試驗，以確保規劃設計之整治技術，能於實場運作時，發揮應有之處理功能。



### (三) 周全考量選取整治技術

所有的整治技術皆有其限制與優缺點，單一整治技術不一定適用於同一類型污染物的所有場址，應接受整治技術有其限制或瓶頸，扣除技術與污染物特性無法改善之處，須以「開挖處理」方式辦理外，整治技術的選取建議以現地整治為導向。「場址現況」為整治技術選取及規劃的重點之一，例如場址是否仍為營運中，是否有足夠空間進行整治，建物內是否允許直接開挖移除污染物等，考量如何在不影響既有營運操作的條件下，進行污染整治作業。

有部份案例未確實依場址特性及模場試驗結果進行整治工法細部設計，導致誤判污染狀況，或規劃者對於各項技術使用限制不明瞭、現場操作參數的設定不正確、整治工法成效不清楚等，錯誤選取不合適之整治工法，因此熟稔整治技術規劃設計及施作工法、具豐富執行經驗的顧問公司或整治工作從業人員是非常重要的。而污染場址的整治技術亦非一成不變，應隨整治過程中的監測結果，適當地調整或搭配其他的技術一起執行。必要時應訂定分階段整治目標，並給予嚴謹之評估及整治工法檢討修正機制。

## 四、整治決策須有的觀念與思維

研擬土壤及地下水整治計畫時，顧問公司或整治工作從業人員的考量往往專注於場址特性、污染物質的特性及濃度、整治目標、整治經費(含設置、操作、維護)及技術成熟度等；而污染行為人或土地關係人則著重在整治所需時程、經費及土地未來用途，尤其當污染場址的土地價值看好，再開發利用具吸引力，自然希望能儘速完成整治作業以解除列管，但相對可能要花費巨額整治費用，因此，顧問公司應協助業主於經費與時程兩項因素平衡考量下，規劃出合適之整治技術組合，以順利達成整治目標；環保主管機關另需因應健康風險及民眾接受度等因素要求檢討修正整治工法，整治決策考慮因素環環相扣，惟有透過全盤縝密的評估，方能擇定污染整治最適方案。

除上述整治決策須有的觀念之外，應跳脫傳統工程制式作法的舊有思維，逐步導入以下思考邏輯：

### (一) 積極誠信的正面心態

污染行為人或土地關係人宜採全程參與、尊重專業及充分授權之原則，與委託廠商或顧問建立良好的夥伴關係，例如積極參與主管機關執行之污染場址巡查及每半年整治改善成果報告，瞭解主管機關意見及整治成效，檢視



整治廠商執行成果，並可適時調整及要求改善，避免整治進度延宕。同時，顧問公司或整治廠商亦須協助業主以主動、積極、誠實的態度，與環保主管機關建立良好的互信基礎及溝通管道，將有助於整治工作順利推展。

## (二) 合理務實的契約發包方式

目前國內污染整治案例常採統包工程一次發包，整治業者為爭取業務機會而多以低價搶標，直接壓縮業者利潤空間，造成施工品質良莠不齊，往往並未如實依照核定計畫執行，或為節省成本以維持利潤而省去現場必須執行之工作，例如模場試驗，導致整治成效受到影響。建議針對污染程度通常較為複雜的地下水含氯有機物污染場址可採用分階段契約取代統包方式，並保留彈性擴充空間(應有合理上限)，確保整治工程品質。

## (三) 導入風險評估及褐地再利用概念

改善污染場址的策略，要能符合技術、經濟及社會等面向的可行性，為使整治工作得以順利推展，土地資源亦可得到更適當與彈性之運用，現行法令規定已適度調和污染整治與健康風險、土地利用之目標。完成場址特性調查及整治技術可行性評估後，如因地質條件、污染物特性或污染整治技術等因素，無法整治至污染物濃度低於土壤、地下水污染管制標準，即整治技術不可行者，依土污法第 24 條第 2 項及第 3 項規定，可依環境影響與健康風險評估結果，提出土壤、地下水污染整治目標。另為鼓勵及加速褐地再利用，依土污法第 24 條第 4 項規定，整治場址之土地因配合土地開發而為利用者，得由中央主管機關會商有關機關核定土壤、地下水污染整治目標。以經濟誘因取代嚴格管制，提升土地整治的成本有效性，在符合土污法相關規定的前提下，讓污染行為人看得到願景，帶動自願性的整治行動，應可使土地污染問題儘速改善，加速都市整體發展。

# 五、結論與建議

成功的污染場址整治決策必須包含確實掌握污染範圍及場址特性，建立正確的污染場址概念模型，透過必要之先導試驗後，顧問公司或整治工作從業人員應審慎地整合現地各項調查資料，並考量業主所能支應的經費及期程，專業適切地選取規劃合理之整治工法或整治序列組合，整治過程中除定期監測評估污染物濃度變化趨勢，並依據改善成效持續檢討修正整治工法，必要時訂定分階段整治目標，協助業主達成環保主管機關列管要求。

相較於現行以污染管制標準為整治基準的剛性通則，我國土污法已明定在特定條件下，得採納應用風險評估於污染整治決策，選取採納較為經濟及技術可行的整治方法。目前國內以較彈性整治目標提出的整治計畫仍不多見，為突破實際執行的困難，建議由政府部門推動建立示範案例，加強與民眾的風險溝通與教育，逐步接受「可容許的風險」概念或「成本與風險效益」考量，並建立專責單位，確保風險評估及審查程序與結果之正確與公信。期望透過技術、經濟及社會可行的污染整治策略，理性務實地提升土地整治的成本有效性，帶動污染行為人或土地關係人自願性的整治行動，解決環境問題並獲取更高的土地價值。

## 參考文獻

1. 行政院環境保護署，土壤及地下水污染整治法，2010。
2. 行政院環境保護署，土壤及地下水污染整治法施行細則，2010。
3. 行政院環境保護署，「全國土壤及地下水污染整治策略旗艦領航計畫」，2013。
4. 林威州，「加油站土壤及地下水污染整治工程實例探討」，中興工程季刊，第 106 期，第 45~51 頁，2010。
5. 吳先琪，「以風險為基礎之土壤與地下水污染整治方案決策現階段—現階段之困難與建議」，財團法人中技社土壤管理議題研討群組，2009。
6. 行政院環境保護署，「102 年度土壤及地下水污染整治年報」，民國 103 年 7 月。

參考網址：

1. 行政院環境保護署土壤及地下水資訊管理系統：<http://sgw.epa.gov.tw/SGM>
2. FRTR, Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide, Version 4.0, <http://www.frtr.gov/matrix2/section1/toc.html>