

地下油槽污染漫談

許益源

中臺科技大學環安系

一、前言

加油站的地下油槽（USTs）洩漏是土壤與地下水的主要污染源之一。國內環保署自民國 91 年起，對全國 2600 多座加油站依設置的年份先後分批展開全面性調查，目前（民國 99 年 12 月）共有 55 座加油站被公告為控制場址，15 座加油站為整治場址，另有 11 座加油站已完成整治解除列管。美國自 1984 年起也開始對加油站所造成的地下污染展開整治與管理，到 2010 年 3 月止共有 49 萬的 UST 發現有洩漏，其中約 39 萬個完成整治（80%），在現有 60 萬個使用中油槽中預估 2010 年的漏油在 9 千座以下（USEPA, 2010），所以應已累積相當經驗，適逢加州州政府在 2010 年 10 月發布一份地下油槽洩漏指引手冊草稿（SWRCB, 2010），內容含蓋行政管理面與技術面，故筆者於閱讀完此手冊後，加上一些其他資料，整理一些淺見供諸先進參考。

關鍵字: 地下儲油槽、土壤污染、地下水污染

二、行政管理面

我國環保署目前除積極調查加油站是否有污染外，也依水污染防治法第三十三條規定修定「加油站防止污染地下水體設施及監測設備設置管理辦法」，規定地下儲槽系統須定期執行監測並申報監測紀錄，以收事先預防之效果。加州針對地下儲油槽（UST）有一專門法規（Underground Storage Tank Regulation），部分重點包括：(1) 發生洩漏或溢流須在 8 小時內通報主管當局；(2) 發生洩漏 24 小時內通報緊急的處置結果，包括止漏、圍堵漏油或移除槽內油品等；(3) 五天內提交完整的書面報告給主管當局，並通知消防局、緊急應變中心等相關單位；(4) 網路上提報初步土壤地下水分析與設井等的電子資料給主管當局的資料庫



(GeoTracker)；(5) 通知場址旁受影響的鄰居。加油站業者此時多半會開始僱用專業的顧問公司或技師介入後續的行政與技術工作，顧問業者扮演一個非常重要的角色，除實際進行污染場址的調查、風險評估、整治與結案 (site closure) 外，也協助污染者如何達到法規的種種要求，以及保護污染者不要花不必要的經費，所以污染者如何找到一個專業且值得信賴的顧問業者是整個案件中最為關鍵的步驟。

(一) 地下油槽整治基金

加州自 1989 年開始徵收地下石油儲槽的整治基金 (UST Cleanup Fund)，這基金的目的是協助加油站業者能符合聯邦政府對地下油槽的財務保證要求，對業者所花的整治費用提出補助，以及對無主廢棄場址進行整治。依照 40 CFR (Code of Federal Regulations) part 280 (H) 的要求，一般的加油站業者需提出 100 萬美金的財力證明以因應地下儲油槽一旦發生洩漏的整治經費與第三人理賠 (third party) 的人身傷亡或財產損失的費用。加州的基金從 1991 年開始徵收，一開始每加侖油品須繳 0.006 元美金，逐漸調整到 2009 年的 0.014 美金，自 2010 年 1 月起調整為 0.02 美金 (相當於每公升 0.16 元台幣)，基金規模每年約徵收 2.2 億美金，其中約 1.5 億回饋補貼加油站業者作為整治的經費，目前基金預定徵收到 2016 年止。基金對每個發生事件的補助上限可達 150 萬美金，州政府有專門審核單位，所以加油站業者花在先前的緊急應變、場址調查與整治等工作都可以先支出，事後再向州政府請求補助的方式拿回全部或部分的花費。反觀國內目前加油站業者在此方面大多採取閃躲的態度，美國這種將繳交的費用使用於業者作法，有點類似保險的做法，或許可以收到讓業者勇於面對污染問題的效果。

(二) 現場作業安全衛生

我國在控制計畫書中有一章是要求工地安全衛生管理，但一般國內顧問公司在撰寫此章節時著墨並不多。加州在這方面考慮一般工安的注意事項，或許可作為參考：(1) 現場工作人員須有「有害廢棄物操作與緊急應變的訓練」(40 小時訓練) 經驗以及適當的個人防護裝備；(2) 現場「粉塵」與「噪音」的控制；(3) 開挖時的安全圍籬與警戒；(4) 現場的地下管線與上方的高壓電線考慮；(5) 開挖土壤的蒸氣逸散問題；(6) 現場發生火災或爆炸危害的預防；(7) 場址調查所衍生廢水、廢氣、與廢棄物的處理處置；(8) 列出現場可能遭遇到的所有有害化學物質；(9) 現場工作的

危害分析，鑑定出可能發生危害的因子；(10) 緊急應變方法；(11) 緊急通報系統。

(三) 整治計劃書

加州在整治計畫書的要求與國內現行對控制計畫書的要求類似，業者必須得到主管當局許可後才可進行整治。另有一些差異如下：(1) 整治目標，加州是依不影響該處土地與地下水現在以及未來規劃的使用狀況的原則下，以層次性風險評估 (tiered risk assessment) 的方式，個案決定該場址的所需達到的整治目標；(2) 整治方案的探討，明訂業者須提供至少三種整治方法的比較，並提出實驗室或現地可行性評估的數據、預期整治時間與經費；(3) 建議整治方法，從上述的整治方案中挑出最適合的方法，並對此預定的方法提出細部的設計數據；(4) 整治終點，業者提出須整治的範圍、未來整治終點的判斷方式、整治成效的監測及一旦無法達成時的應變方式。其他細部的要求包含硬體的規格、整治井的規格、現場廢棄物、廢水、廢氣的處置等等，上述的排放與設置須取得相關許可。

(四) 移除地下儲油槽

關閉 UST 有兩種方法，一種是將槽體與管線全部由地底下移除，另一種是在槽內填充固體物，然後永遠留在現址。一般作法以前者為主，後者僅在少數特殊考量下進行。UST 在被移除前須先確認地下所有儲槽與管線的位置，並取得主管當局的許可，由於 UST 內含油料，所以須先擬定現場的安全衛生計畫，例如槽內殘存的油料或油泥須先抽除、在 UST 內灌氮氣或乾冰 (二氧化碳) 以防止爆炸等措施；在移除前先將管線與油槽上方的土先移除，在相關主管單位的監督下，以天車或其他重機具將 UST 自地底移出，送往專門的處理場。

(五) 整治成效

加州主管當局 (Water Resources Control Board) 在自 2009 年 7 月到 2010 年 6 月這一年中，新發現 UST 洩漏的有 32 處 (1%)，完成整治而解除列管的有 515 處 (12%)，仍在整治中的有 3723 (87%) 處，這數據除代表整治的市場仍非常活躍之外，新發生的洩漏數量遠小於完成整治的數量，表示地底下的環境遭受 UST 污染的情形已逐漸好轉，且政府對 UST 的管理也逐漸看到成效。



三、技術面

(一) 浮油

一般在監測井內觀測到的浮油厚度與位置和地層中實際的浮油分佈有很大的差距，圖 1 為一個理想化的示意圖，監測井內的浮油與空氣的接觸面可以視為井外地層中浮油的地下油相面（定義為壓力等同大氣壓力），此位置的油相飽和度為最大，由於毛細作用，油相會由此再被向上吸（如同地下水面的毛細管區）；油相面以下為地下水位面，整個連續相的浮油宛如冰山，浮在地下水位面上只是一部分，許多是在地下水位面下，其飽和度會隨深度而漸減；砂質土壤由於孔隙較大，其所挾帶的油量會多於微小孔隙的砂土地質。另外由於地下水位面會有季節性的高低變化，浮油也隨之升降，造成地下水位面的上下區間內都會有連續相與非連續相的浮油，這也造成地層中實際的漏油量很難由監測井內觀測到的浮油厚度去做準確的推估。

一般抽除地層中的浮油是抽取連續相的油，當較大孔隙中的浮油被抽除後，由於毛細作用力的關係，油品會滯留在土壤的縫隙中，也就是一般所謂的「殘留油相」(residual oil)，為不連續相的油滴 (blobs)，此被認為是水力抽油所能達到的極限。一般浮油而能被抽除的浮油量有限，很難超過一半。換言之，除直接將受污染土挖除 (excavation) 外，都無法真的將油抽乾淨，美國的 40 CFR§280.64 中規定地底下的浮油必須先抽至「最大可行程度」(maximum extent practicable)，各州對上述的「最大可行程度」也有不同的解讀，加州是以井內浮油小於 1/8 英吋作為標準 (SWRCB, 2010)。對粗砂而言，汽油與柴油的「殘留油相」分別約為 3,000 與 8,000 mg/kg；但不同地質而言，粗礫石與砂土的汽油殘留油相分別為 1,000 與 10,000 mg/kg (SWRCB, 2010)。一般浮油的抽除最多也只能抽到殘留油相濃度就無法有進一步效果。

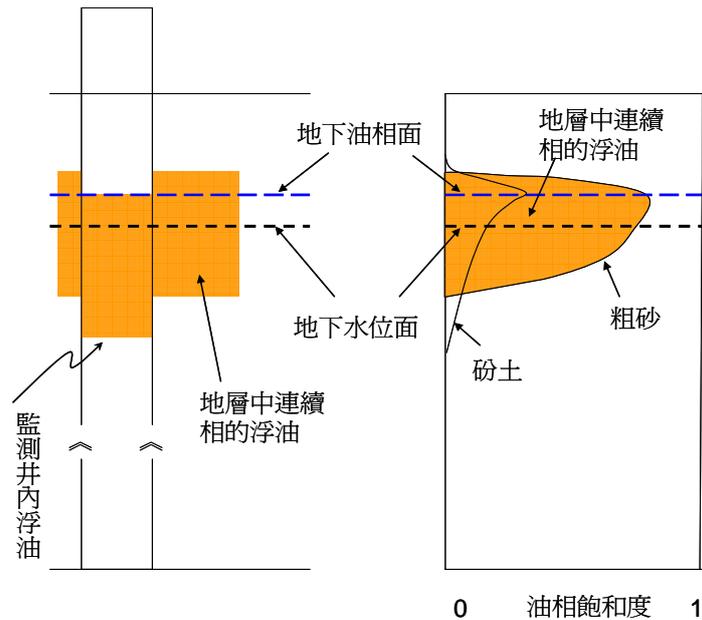


圖 1 地下水監測井中浮油與井外地層中浮油分佈示意圖
(參考 API (2003) 及 API (2002) 重新繪製)

(二) 污染團濃度

污染物在地下水中的濃度基本上遵循勞特定律 (Raoult's Law)，即水中的濃度等於該化合物的溶解度乘上其在油相中的莫爾分率，因此若苯占新鮮汽油的 1%，則水中的苯最高濃度應該不會超過 17.8 mg/L (飽和溶解度 1780mg/L@20°C)，若萬一有超過，則代表油相中可能有純苯的油相存在；另外，由於苯為揮發性高的物質，若洩漏時間夠久，則因氣候化 (weathered) 的關係，苯這類高揮發性物質有許多已經被揮發了，因此在油相中高揮發性物質的組成比例就會降低，以加州的統計而言，已氣候化的漏油其地下水中的總溶解相有機物濃度鮮少超過 1mg/L。由美國 Florida 的加油站統計數據顯示受污染場址中苯的最高濃度的中間數 (median) 為 0.36 mg/L，總揮發性有機物 1.7 mg/L，MTBE 為 0.088 mg/L (Groundwater Services, Inc., 1997)。

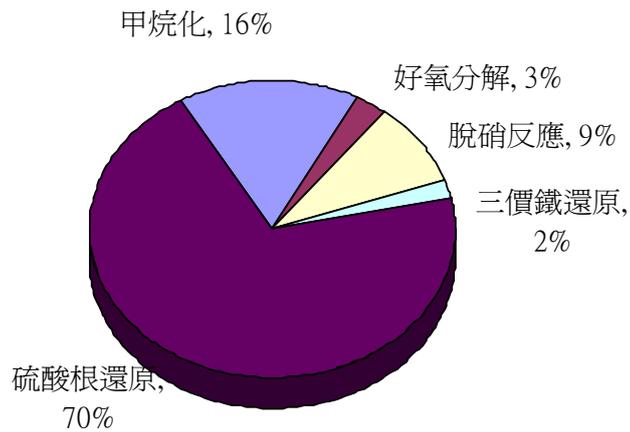


圖 2 不同微生物機制分解 BTEX 的相對容量 (依 Wiedemeier et al. (1999) 重繪)

(三) 整治技術

加州是由降低風險的角度來決定整治技術，除直接對污染源作整治外，也容許對污物傳輸路徑 (pathway) 進行圍堵或切斷，以及將受體 (receptors) 移到別處。最常被所使用的整治技術都是大家都耳熟能詳的，如未飽和層的「挖除」、「土壤氣提」與「生物通氣」等，以及飽和層的「地下水通氣」、「生物通氣」、「現地化學氧化—臭氧」、「現地生物分解」、「抽出處理」、「雙相抽除」與「天然衰減」等。

參考文獻

- 1.API. 1998. Characteristics of Dissolved Petroleum Hydrocarbon Plumes, Results from four studies. API Soil/Groundwater Technical Task Force, Vers. 1.1. December.
- 2.API. 2002. Evaluating Hydrocarbon Removal from Source zone and its effect on Dissolved Plume Longevity and Magnitude, no. 4715.
- 3.API. 2003. Soil and Groundwater Research Bulletin, no. 18.
- 4.Groundwater Services, Inc. 1997. Florida RBCA Planning Study – Impact of RBCA Policy Options on LUST Site Remediation Cost.
http://www.gsi-net.com/files/papers/FL_REPT.pdf
- 5.Interstate Technology & Regulatory Council (IRTC). 2005. Overview of groundwater remediation technologies for MTBE and TBA. Technology Overview.

- February. <http://www.irtcweb.org/Documents/MTBE-1.pdf>
6. Mace, R.E., R.S. Fisher, D.M. Welch, and S.P. Parra. 1997. Extent, mass, and duration of hydrocarbon plumes from leaking petroleum storage tank sites in Texas. Bureau of Economic Geology, Geological Circular 97-1.
 7. Newell, C. J., Hopkins, L. P., and Bedient, P. B., 1990, A hydrogeological database for groundwater modeling, *Groundwater*, vol. 28, 5, pp. 703-714.
 8. Rice, D.W., R.D. Grose, J.C. Michaelson, B.P. Dooher, D.H. MacQueen, S.J. Cullen, W.E. Kastenberg, L.G. Everett, M.A. Marino. 1995. California leaking underground fuel tank (LUFT) historical case analyses. Lawrence Livermore National Laboratory. UCRL-AR-122207. November.
 9. Shih, T., Y. Rong, T. Harmon, and M. Suffet. 2004. Evaluation of the impact of fuel hydrocarbons and oxygenates on groundwater resources. *Environmental Science & Technology*. Vol. 38, No. 1: 42-48.
 10. SWRCB (California State Water Resources Control Board), 2010. Draft for public comment – Leaking Underground Fuel Tank Guidance Manual, ver. 2.0. http://www.swrcb.ca.gov/ust/luft_manual.shtml
 11. USEPA, 2010. http://www.epa.gov/oust/cat/ca_10_12.pdf
 12. Wiedemeier, T. H., Rifai, H. S., Newell, C. J., Wilson, J. T., 1999, *Natural Attenuation of Fuels and Chlorinated Solvents in the Subsurface*, John Wiley & Sons, New York.