

出國報告（出國類別：開會）

參加 2014 洛杉磯環境論壇
【2014 Los Angeles Environmental Forum】

服務機關：臺灣中油公司探採研究所

姓名職稱：林舜隆／研究員

派赴國家：美國

出國期間：103 年 8 月 6 日至 8 月 15 日

報告日期：103 年 10 月 23 日

2014 洛杉磯環境論壇

【2014 Los Angeles Environmental Forum】

摘 要

本出國案係依據臺灣中油公司探探研究所 103 年度研究計畫執行，參加「2014 Los Angeles Environmental Forum」研討會，參與研討地下環境改善及環境工程領域創新研究成果及法規管理趨勢，以精進相關實務及研發能力。

「2014 Los Angeles Environmental Forum」會議係由南加州華人環境保護協會 (Southern California Chinese American Environmental Protection Association, SCCAEP) 所主辦，為美國及全球華人環境科學家，工程師和專業人士的重要交流平台，研討議題除了與本所研發相關之土壤及地下水污染整治、褐地再開發和土地使用管理外，另有廢水處理及廢水回收、廢水污泥處理與管理、海洋環境保護和海岸環境管理、空氣品質管理與氣候變化、空氣污染控制和空氣品質監測、低碳經濟、綠色產業、改善舊能源、固體廢物管理和回收利用等多方面與產業環保工程及管理相關議題。藉由研討會議各項議題之專家學者新穎研究成果的發表與專題培訓課程，與相關領域之政府管理者、學者及產業專家，學習、研討環境工程領域之研究與新興技術、政策趨勢，並將新穎技術、策略及思維引進本公司，以為日後污染防制與技術需求開發參考，與會之實際收穫豐碩。

2014 洛杉磯環境論壇

【2014 Los Angeles Environmental Forum】

目次

摘要.....	I
目次.....	II
壹、目的.....	1
貳、過程.....	2
參、心得.....	3
肆、建議.....	23
伍、附錄.....	25

壹、目的

爲因應日益嚴峻的環境品質保護要求，提昇企業經營責任，臺灣中油公司探採研究所多年來積極研究發展環境污染防治技術。本出國案係依據臺灣中油公司探採研究所 103 年度研究計畫執行，參加「2014 Los Angeles Environmental Forum」研討會，與會研討地下環境改善及環境工程領域創新研究成果及法規管理趨勢，以期精進相關實務及研發能力。

「2014 Los Angeles Environmental Forum」會議係由南加州華人環境保護協會 (Southern California Chinese American Environmental Protection Association, SCCAEP) 所主辦，爲美國及全球華人環境科學家，工程師和專業人士的重要交流平台。本案參與會議之主要目的在聽取產業界、政府主管單位與專家學者近年之研究成果論文、實際經驗發表以及政府部門環境保護政策等，其中包括美國、台灣及中國大陸相關環保法規、政策發展現況與未來趨勢；本案出國期間也參加專題會議及培訓講座：「Soil and Groundwater Contamination Cleanup Technologies and Government Regulation」。藉由研討會議各項議題之專家學者新穎研究成果的發表與專題培訓課程，與相關領域之政府管理者、學者及產業專家，學習、研討環工程領域之研究與新興技術、政策趨勢，並將新穎技術、策略及思維引進本公司，以爲日後污染防制與技術需求開發參考。

貳、過程

本案出國期間由民國 103 年 8 月 6 日至 8 月 15 日返抵國門。行程於 103 年 8 月 6 日自桃園機場搭機至美國洛杉磯(到達當地時間為 8 月 6 日)，會議議程 8 月 7 日起至 8 月 9 日為論壇大會，會議地點於 Los Angeles San Gabriel Hilton Hotel 舉行，參與會議期間，聽取相關專家學者近年之研究成果論文、實際經驗發表，其中亦包括美國、台灣及中國大陸相關環保法規、政策發展現況與未來趨勢；而 8 月 11 日起至 8 月 14 日期間，則參加專題會議及培訓講座：「Soil and Groundwater Contamination Cleanup Technologies and Government Regulation」。行程於 8 月 14 日下午搭機返國(抵台時間為 8 月 15 日)。本計畫出國行程如附表 1 所示。

表 1. 本案出國行程表

日期	地點	工作內容
8 月 6 日	桃園機場— 洛杉磯	啓程
8 月 7 日 至 8 月 9 日	洛杉磯	註冊報到 參加「2014 Los Angeles Environmental Forum」論壇會議
8 月 10 日	洛杉磯	假日
8 月 11 日 至 8 月 14 日	洛杉磯	參加「Soil and Groundwater Contamination Cleanup Technologies and Government Regulation」 專題會議及培訓講座 現地參訪
8 月 14 日 至 8 月 15 日	洛杉磯—桃 園機場	返程

參、心得

「2014 Los Angeles Environmental Forum」(2014洛杉磯環境論壇)會議係由南加州華人環境保護協會(Southern California Chinese American Environmental Protection Association, SCCAEP)所主辦，參與會議成員主要為來自美國、台灣及中國大陸各地從事污染防治、環境保護與資源管理相關領域的專家學者、政府官員及產業界、環保工程公司、顧問公司等專業人員。本次會議於美國加州洛杉磯聖蓋博市希爾頓酒店舉行，會議期程包括論壇大會與專題會議及培訓講座(會議議場及開幕紀錄照片如圖1及圖2)。論壇大會議題內容包括：

- 1.空氣品質管理和氣候變化探討、空氣污染控制和空氣品質監測（如PM2.5控制和監測）；
- 2.水資源保護及水處理，廢水處理和廢水回收，廢水污泥處理與管理，湖泊和水庫優養化管理；
- 3.政府部門在環境保護方面的管理政策，美國國家污染物排放消滅系統計畫（US National Pollutant Discharge Elimination System，NPDES）；
- 4.土壤及地下水污染整治，褐地再開發和土地使用管理；
- 5.固體廢物管理和回收利用、低碳經濟、綠色產業和原生能源的改變；
- 6.海洋環境保護和海岸環境管理。

論壇會議期間，有6場專題演講及各界成果發表共43篇。開幕主題演講包括台灣環保署 魏國彥署長專題演講「Management of Contaminated Sediments」，介紹說明台灣的污染底泥管理現況(開幕專題演講紀錄照片如圖3)，加州南海岸空氣品質管理區的Elaine Chang博士，演講「Emerging Air Quality Issues and Challenges」

探討空氣新興污染物問題，AECOM顧問公司Dora Chiang 博士演講「Complex chlorinated VOC Sites – US Experiences」，以美國實場案例介紹含氯揮發性有機化合物污染場址污染清理狀況，而中國人民大學Zhong Ma博士也以「Water Pricing: Cost or Benefit」為題，闡述說明中國大陸乃至於全世界，當前及未來所面臨的污染、水質及水量需求等各種水資源維護挑戰。此外，台灣土壤及地下水污染整治基金管理委員會蔡鴻德執行秘書也專題演講介紹台灣的污染場址評估和整治現況以及未來策略(Current Status and Future Strategy of Contaminated Site Assessment and Remediation in Taiwan)。

會議主辦單位於8月11日至8月14日舉辦「Soil and Groundwater Contamination Cleanup Technologies and Government Regulation」專題會議及培訓講座，其中包括於8月13日安排二個地下水污染整治場址參觀。專題會議講師成員包括：Rebecca Chou博士 (加州環保署洛杉磯地區水質管理局處長)、Weixing Tong博士 (加州環保署洛杉磯地區水質管理局)、Yue Rong博士 (加州環保署洛杉磯地區水質管理局處長)、Chawn Y. Jeng博士(加州環保署有害物質控制局毒物學家)、Jeff Kuo 教授 (加州州立大學Fullerton分校土木與環境工程系)、Zhong Xiong 博士(Harley Aldrich 環境諮詢公司)、Miao Zhang 博士(美國GSI環境諮詢公司副總裁)、Xihong Zhai博士 (美國AECOM環境諮詢公司)、Jun Lu博士(AECOM環境諮詢公司)及Max Pan先生 (Accord工程公司副總裁)等專業人員，分別針對美國聯邦政府、加州政府環保署及洛杉磯區域等主管機關目前地下污染管理政策與法案、新近策略方向以及各種地下環境污染調查、整治技術、地下水文及污染模擬等專業議題進行教學、專題演講與研討。茲將參加專題會議相關重要議題及個人心得分項摘要敘述如下：



圖1 2014 Los Angeles Environmental Forum會議場



圖2 2014 Los Angeles Environmental Forum會議開幕合照



圖3 2014 Los Angeles Environmental Forum會議開幕專題演講

(1)加州低風險地下儲槽場址解除列管政策方針

根據2012年的調查，加州地區約有43876個地下儲槽洩漏，數量在全美國排名第二，以加州為例，這些案場解除列管平均需要20年的時間。然而根據相關研究報告，受到地下儲槽洩漏，如苯污染物影響的水源總量，大約只佔加州水資源總量的0.0005%。基於在美國各州之間，並沒有解除列管的統一標準數值，而相關的科學證據顯示，自然衰減被動式處理方式對芳香族污染物是有效的，因此配合污染物的風險評估，以風險基準決策進行清理措施是必要的。同時在經濟考量上，由於加州現行短期污染清理基金(如California UST Cleanup Fund)的侷促、2008年經濟危機等因素，2009年，加州環保署主管委員會議決議要求相關部門更有效地管理清理基金，並且促進解除更多列管場址，因此加州環保署水質管理局經多方研究及評估，於2012年五月正式公布低風險地下儲槽場址解除列管政策方針(Low-Threat UST Case Closure Policy)。

低風險地下儲槽場址解除列管政策主要目標在保護水質、人體健康和環境基本前提下，建立各種污染的風險數值標準，並據以決策清理方案。污染風險基準主要是以健康風險評估(Health Risk Assessment)，其方法是估算相關環境數據，藉對人體健康的潛在危害評估過程界定出污染存在狀況、污染的大小，確認污染存在什麼風險因素？風險在哪裡？如何造成危害？並進一步決定污染是否需要清理，若需要清理，清理目標、標準要到怎樣的程度。根據美國加州環保署毒性物質控制局（Department of Toxic Substances Control，DTSC）2011所公布，地下燃油儲槽洩漏風險管理方案，其彙整如表1。按風險基準管理方案中，對於致癌風險小於 1×10^{-6} 的狀況可不必採取任何措施，而致癌風險大於 1×10^{-4} 或慢性病風險大

於1的狀況，應立即採取適當的降低風險措施，進行污染源整治以及將污染物與公眾、環境隔離；至於風險值介於 1×10^{-4} ~ 1×10^{-6} 之間者，則依據風險決策判斷進行監測、緩解措施、污染源整治或關閉場址等不同方案。風險標準考慮包括三個介質：地下水、室內廢氣入侵(Vapor Intrusion to Indoor Air)、直接接觸和室外空氣曝露。

其中健康風險值包括致癌風險及非癌症罹病風險，其計算概要如下：

癌症風險Risk：在整個壽命期間罹癌機率

$$\text{Risk} = \text{Dose (or Conc)} \times \frac{\text{ET} \times \text{EF} \times \text{ED}}{\text{AT}} \times \text{SF (or IUR)}$$

非癌症/慢性病危害：參考標準比率

$$\text{HQ} = \text{Dose (or Conc)} \times \frac{\text{ET} \times \text{EF} \times \text{ED}}{\text{AT}} \div \text{RfD (or RfC)}$$

ET：曝露時間(exposure time)； EF：曝露頻率(exposure frequency)

ED：總曝露期間(exposure duration)； AT：平均曝露時間(averaging time)

SF：致癌斜率因子(slope factor)；

RfD：慢性病危害參考劑量(reference dose)

表 1 LUFT Risk Management Response Options

Estimated Risk/Hazard	Response	Action(s)
Risk $\leq 1 \times 10^{-6}$	None	■ No Further Action
$1 \times 10^{-6} < \text{Risk} \leq 1 \times 10^{-4}$ or Hazard Index > 1	Risk Management Decision	■ Possible Monitoring ■ Possible Mitigation ■ Possible Source Remediation ■ Possible Site Closure
Risk $> 1 \times 10^{-4}$ or Hazard Index > 1	■ Mitigation ■ Source Remediation ■ Land Use Covenants ■ Capping Site	■ Appropriate risk mitigation ■ Source Remediation ■ Isolation of constituents of concern from public and environment

資料來源：Department of Toxic Substances Control(DTSC) California Environmental Protection Agency (CalEPA) 2011.

(2)美國聯邦政府及加州環保署針對地下儲槽的安全管理和污染治理措施

美國聯邦政府及加州環保署針對地下儲槽的安全管理和污染治理措施，始於1984年聯邦法案要求建立地下儲槽管理部門，依此1984年美國聯邦環保署成立地下儲槽處，並在1988年起陸續頒佈相關各項法規，規範地下儲槽強化預防洩漏措施以及污染治理措施，包括聯邦地下儲槽信貸基金、地下儲槽安裝、洩漏檢測、防蝕和洩漏造成的環境污染清理等法規。目前聯邦環保署10個區域都設有地下儲槽專案管理部門，而全美國大約有10萬個地下儲槽污染場址持續進行污染調查和清理工作。

而對於污染處理重要的資金來源，美國聯邦政府及加州環保署制訂有地下儲槽清理基金（Underground Storage Tank Cleanup Fund），地下儲槽清理基金計劃係依據1989年的Barry Keene 地下儲槽清理基金法案(The Barry Keene Underground Storage Tank Cleanup Fund Act) ，1989年SB299法案制訂，在1990年修改為SB2004，

同時其他相關法案據此陸續立法。該基金法規要求每一個石油地下儲槽業主必須依據健康和 safety 代碼(Health and Safety Code)的分類規定，支付費用以做為資金主要來源。

加州地下儲槽清理基金的成立宗旨在針對石油地下儲槽業主和操作者建制財務責任需求制度，並對於因石油儲槽洩漏所造成土壤和地下水污染，補償適當的矯正措施費用。其協助石油地下儲槽業者和操作者符合聯邦和州政府的財務責任要求。更重要的是地下儲槽清理基金可協助地下儲槽業主和經營者提供因石油儲槽洩漏所造成土壤和地下水污染的清理成本，除此之外，聯邦財政責任規定也要求清理基金提供相當程度的第三方責任信貸給予由於地下儲槽洩漏造成的石油污染處理場址，以供執行污染清理施作。

以加州地下儲槽清理基金為例，基金由州水資源局負責管理，基金來源由汽油稅中徵收(目前每加侖收1.6美分)，加州基金每年徵收約\$2.3億美元至\$2.5億美元。基金的使用僅限於土壤與地下水污染清理用途，對於符合資格的場址責任人，按業主規模分為A、B、C、D優先順序，每個場址清理措施費用最高允許報銷金額為150萬美元，基金申請採先施工後核定報銷方式。加州自從地下儲槽清理基金建立以來，符合資格場址責任人已報銷約25億美元，目前全美國有43個州設有地下儲槽清理相關基金。

加州政府水質管理局針對儲槽污染案件處理流程，在接收由地方主管部門轉入的案件後，會先審核相關資料，包括洩漏報告(URF)、場址污染初步調查報告(土壤、地下水)，經初步審核後要求進一步必要的場址特徵確認，包括場址的水文地質條件、污染物濃度、污染團範圍界定(水平方向和垂直方向)。場址如發

現有浮油，應充分清除、處理浮油，若污染程度達到必須處理風險，則要求進行土壤和地下水清理行動措施，而污染場址經充分清理後也必須經過相當時間的清理後監測驗證，確認驗證達到標準則予以核准結案(No Further Action)。其間，針對污染場址結案依據，主要標準有下列條件：

- 污染源是否去除(浮油、受污染的土壤、確認正在使用中的儲槽沒有洩漏…)
- 完整瞭解場址特徵(最少3口地下水監測井，一個連續土壤採樣…)
- 完成清理工程(濃度反彈驗證，土壤和地下水採樣確認)
- 清理後地下水監測(清理完成後連續四季採樣，如有必要進行監測自然衰減)
- 確認沒有浮油

而結案依據的其他次要參考標準有：

- 樣品分析資料(歷史資料和最新資料)
- 污染場址和最近的飲用水水井距離資料
- 地下水的用途
- 場址目前及未來可能的用途
- 人類健康危害評估(HHRA)，評估介質包括：土壤(參考US EPA Soil screening levels)、廢氣(參考CHHSLs)、地下水(參考Johnson & Ettinger model)
- 現行的各種標準(土壤和地下水)

(3) 土壤揮發性廢氣入侵-健康風險評估、風險管理和減緩技術

在某些情況下，少量的土壤氣體可通過建築物地板裂縫和開口進入建築物室內，若在受到污染的土壤或地下水區域，入侵室內的揮發性有害土壤氣體可能影響到人體健康(參考圖4示意)，然而以往這個領域層面並沒有受到太大關注。近年來美國聯邦及部分州政府逐漸注意到隨著土壤或地下水污染而揮發入侵到室內的廢氣，對人體健康所造成的影響。起於2002年，美國環保署初步建立地下揮發性廢氣入侵指引草案，並持續到2010年審議揮發性廢氣入侵指引規範，預計將於2014年或2015年定案相關指引手冊，以提供政府部門、業主、專業人員和公眾參考。而目前可供參考的技術文件除了美國環保署的Subsurface Vapor Intrusion Guidance草案外，可參考利用Johnson and Ettinger (1991) Model進行揮發氣體入侵建築物評估，同時美國環保署也初步建立揮發性廢氣入侵資料庫，可參考進行特定場址揮發氣體衰減量測，減少從土壤及地下水中的揮發性污染物進入到室內空氣中。在資料庫中，建立從測量土壤氣體、地下水、室內空氣揮發性污染物濃度衰減案例步驟，進行模型驗證預測，幫助相關評估和改善。

初步的指引中，針對揮發氣體入侵的評估與處理，逐步的程序包括：場址特徵鑑定、完整的入侵路徑調查、立即危害評估、基本初步技術篩選、特定場址技術篩選、室內空氣採樣以及污染緩解處理等步驟。而揮發氣體入侵建築物調查，必須要有多重證據佐證，如土壤氣體數據、建築物地板下揮發氣體數據、地下水數據、土壤基質數據、室內/室外空氣數據、建築物相關參數、氣候因子、宿命/傳輸模式、隨空間和時間變化的數據以及化學物質種類、比例濃度等。目前針對揮發氣體入侵污染的減緩工程技術(Vapor Intrusion Mitigation)有地板下通氣(Sub-slab ventilation)、地板下降壓(Sub-slab depressurization)、地下阻隔膜降壓

(Sub-membrane depressurization)、建築物增壓(Building pressurization)、室內空氣處理(Indoor air treatment)及更換替代建築物類型(Alternate building types)。

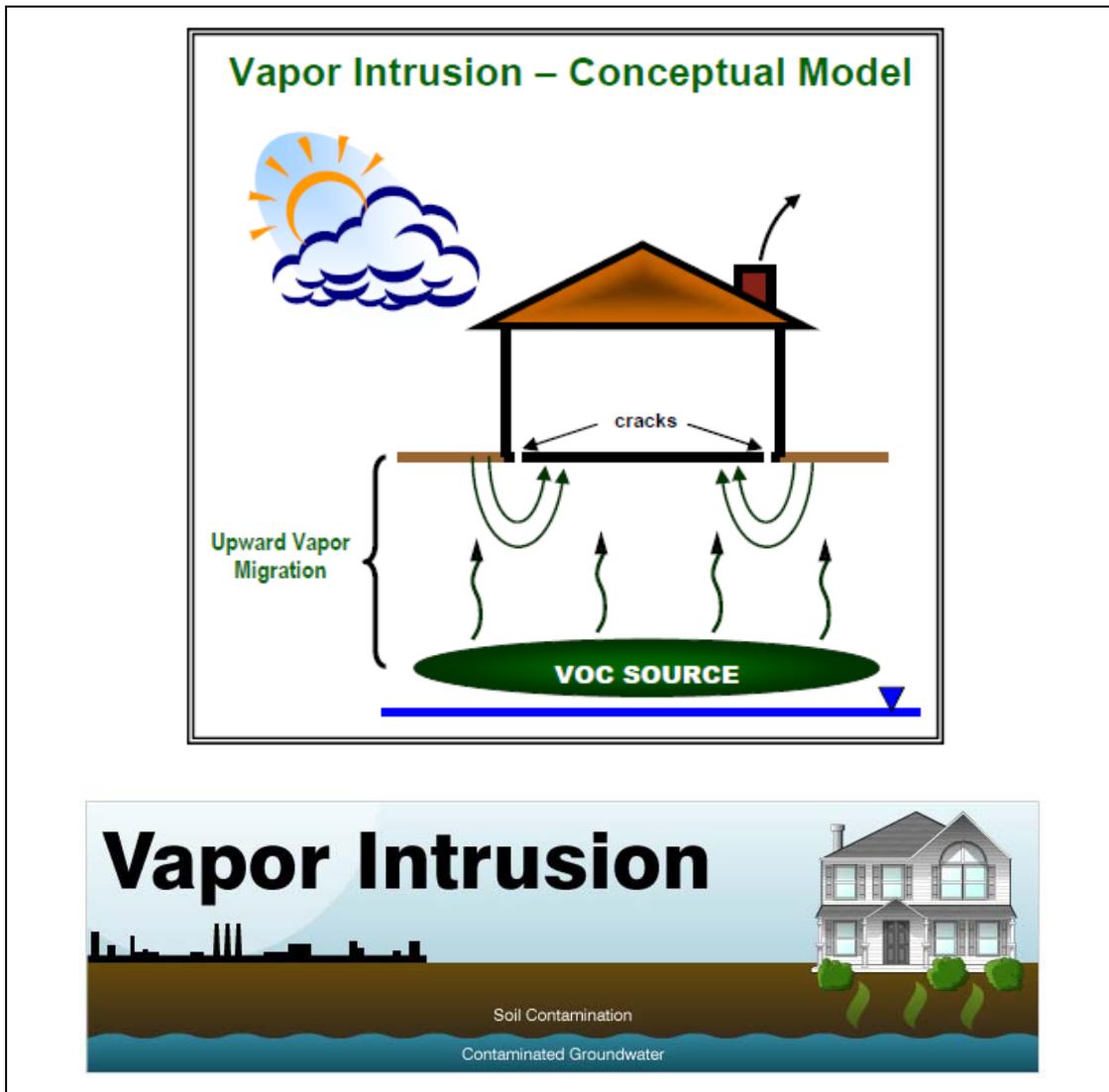


圖 4 揮發性廢氣入侵室內污染示意圖

資料來源：會議資料、USEPA 網站 <http://www.epa.gov/oswer/vaporintrusion/>

“揮發氣體入侵室內污染”是較為新近受到矚目的議題，其驗證、案例與相關技術研究仍不是很充分成熟，有待持續發展。在加州，目前以收集多方面的

證據，減少其不確定性，並利用風險評估管理等保守的方法。由於在石油碳氫化物多屬揮發氣體，一旦發生洩漏，污染地下環境，甚易形成揮發氣體入侵，因此日後的研究發展，”揮發氣體入侵室內污染”是否會成爲另一項標準驗測領域，是值得注意的議題。

(4) 地下環境調查與整治技術

Accord Engineering公司副總裁Mr. Max Pan則根據該公司實務經驗，介紹近年運用動態即時的方法進行環境調查和清理的方法概念。這種動態方法稱爲“Triad approach”（三元法），可以很快速的確認場址特徵資料，並靈活決定未來的行動方針，使得調查或清理過程可以更快速、有效的進行，減少決策的不確定性和節省資金的花費。“三元法”包括三個主要元素：系統化專案規劃(Systematic Project Planning, SPP)、動態的工作計畫策略(Dynamic Work Strategies, DWS) 以及使用即時測量技術(Real-time measurement technologies)以更加精確的建立場址概念模型(conceptual site model)，形成有效的決策流程，用來管理環境整治計畫的不確定性。

利用新型快速的即時(real time)採樣方法來收集檢測結果，是三元法的關鍵元素。即時檢測技術的優點在可以密集採樣檢測，產生大量現地即時的資料，根據這些即時資料，可以獲得充分而正確的場址概念模型，包括三維特徵，確認資料缺失並進一步的修正調查範圍，以針對特定區域的整治行動和相關利益者進行溝通交流，促使清理計畫達到“更好、更快、更經濟”的目標。“三元法”的三個基本元素必須因應以下相關條件要求，並配合更新調查和整治各個階段的場址概念模型：

一、系統化專案規劃

- 1.確保資料品質目標(data quality objectives)
- 2.獲得利益相關者(stake holders)的認同
- 3.制訂退場方案策略(exit strategy)

二、動態的工作計畫策略

- 1.修訂” 如果/然後” 決策選項機制
- 2.靈活修正可變/適應性強的策略方針
- 3.修訂退場方案策略

三、即時測量技術

- 1.最佳化場址採樣檢測工作
- 2.建立即時支援技術

目前已商業化，成熟可用的即時測量方法大約有以下數種：

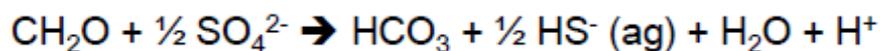
- 現場生化免疫檢測(Immunoassay)，係利用特定抗體對目標污染物的結合反應，以比色或發光法，來判定濃度；此類技術一般可用於多氯聯苯(PCBs)，總石油烴(TPH)，多環芳烴(PAHs)、殺蟲劑、爆炸物質、汞、六價鉻和三嗪類除草劑等污染物檢測。
- X射線螢光分析探測器(X-Ray Fluorescence, XRF)，此方法可應用於檢測土壤和沉積物介質，分析污染物種類包括重金屬、砷、硒、溴、碘等。
- 薄膜介面探測器(Membrane Interface Probe, MIP)，係針對VOCs(或SVOCs)類型的污染物，可進行現場污染物定性(qualitative)/定量(quantitative)檢測的設備。

- 鐳射誘發螢光光譜探測器(Laser-Induced Fluorescence, LIF) – 主要是對於 VOCs種類污染物的現場定性/半定量偵測設備。

Harley Aldrich環境顧問公司的Dr. Xiong專題介紹了” In Situ Biogeochemical Transformation for Groundwater Remediation” (利用現地生物地質化學轉化整治地下水污染技術)，該工法主要是藉由現地天然存在的氧化物(礦物)，例如Fe(III) 進行” 生物地化反應” (biogeochemically)，轉化高反應性的礦物質，將含氯化合物污染染物進行脫氯作用程序，以達到分解污染物質或降低污染毒性的方法，該方法又稱Biogeochemical Reductive Dechlorination, 簡稱BiRD。

與BiRD方法相似的機制，如增強式厭氧生物整治(Enhanced Anaerobic Bioremediation, EAB)、零價鐵(Zero Valent Iron, ZVI) 整治等。在地層中，BiRD反應程序主要會經歷三個階段：

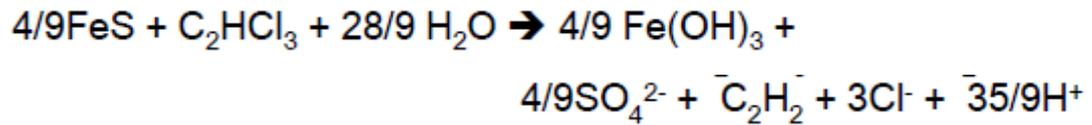
第1階段，生物反應步驟：提供有機質和硫酸鹽，激發現地一般常見的土壤硫酸鹽還原菌



第2階段，地化反應步驟：硫酸鹽還原菌與現地自然存在的Fe(III)礦物或額外供應的Fe(III)進行呼吸反應，與HS反應生成硫化亞鐵



第3階段，脫氯反應步驟：具高反應性的硫化亞鐵將含氯有機化物進行還原
脫氯反應



天然地質環境中，常見具反應活性的含鐵礦物有：硫化鐵，如四方硫鐵礦(FeS)和黃鐵礦(FeS₂)；氧化鐵礦物，如磁鐵礦(magnetite)；綠鏽礦(Green Rust)以及含鐵黏土等。三種天然含鐵礦物，比較反應活性，硫鐵礦的反應性最好，磁鐵礦次之，綠鏽礦則較差。

曾經任職於加州毒物控制局的Scarlett Xihong Zhai博士，根據其研究與實際現地模場試驗成果，說明Application of In-Situ Biodegradation in Environmental Remediation (生物降解在污染場址現地整治中的應用，簡稱ISB)相關理論機制與研究成果。依據現地生物降解整治工法，其機制主要可概分好氧(氧化)生物整治(包括共代謝生物整治)、厭氧氧化(缺氧)生物整治、厭氧還原生物整治及生物地質化學還原整治。好氧生物整治主要機制是微生物使用氧氣作為電子受體，直接氧化代謝污染物，由於微生物是無處不在的，所以此工法通常不需要額外添加微生物；共代謝好氧生物整治主要機制也是使用氧氣作為電子受體，但是過程必須提供微生物食物來源(碳源，例如甲烷或丙烷)，此外，對於某些污染物，共代謝好氧生物整治工法可能需要額外添加微生物；厭氧生物整治主要機制需要提供碳源和電子提供者，過程主要以污染物為電子接受者，但自然存在的電子接受者(例如O₂、NO³⁻、Fe³⁺、SO₄²⁻等)會與目標污染物競爭，一般厭氧微生物並不普遍存在，

所以通常需要額外添加微生物。ISB技術廣泛用於環境污染整治，其優點及應用時相關注意要件包括：

- ISB法可以透過場址地質化學狀況的不同而有不同的施作設計，主要目標在營造出適於細菌生存的土壤和地下水環境；
- 在進行處理技術施作之前，應先該瞭解場址的概念模型；
- 不同的污染物，可藉由不同的生物降解機制達到整治效果；
- 可以因應現場環境使用不同的佈局、配置設計來增進改善效果：例如PRB或網格配置；
- 在進行實場施作之前，最好先測試實驗室規模和模場尺度的可處理性研究，取得相關最佳化操作參數，藉以節省成本；

Scarlett Xihong Zhai博士的團隊曾經研究地下水中炸藥污染物以增強式現地生物整治法的實場處理可行性，其模場施作方式是設置生物透水牆(BioBarrier)，並在污染熱區灌注DPT，研究試驗使用三種不同的碳源，比較其效果，包括：SRSTM-乳化植物油 (Terra Systems, Inc.產品)、HRC-XTM (Regenesis公司產品)，及LactOilTM (JRW公司產品)。試驗過程曾進行土壤滯留試驗以確定適當足夠的灌注液濃度，進行微水試驗確認水力傳導性和地下水流速，研究區域進行灌注碳源試驗期間，進行基本採樣分析，採樣點包括九口井和四個滲漏地點，灌注後第一年採樣頻率以每季一次，第二年則每半年採樣一次。

增強式現地生物整治法(Enhanced In Situ BioremediationEISB)是對於現地微生物建立還原環境，以達到污染物減毒或分解的程序方法，其工法程序在初始，添

加額外碳源注入含水層後，提供現地微生物足夠的能源，隨著碳被消耗，氧氣持續減少，直到系統變成厭氧狀態，當氧氣被消耗後，厭氧發酵作用開始，而氫被釋放到系統。反應末期，氫氣在電子接受者還原和硝基芳烴還原的競爭反應中逐漸消耗。Scarlett Xihong Zhai博士的團隊在現地試驗結果證實，EISB可以有效的處理地下水中硝基芳族化合物污染(爆炸性物質)。試驗期間，前兩季的採樣分析觀察，SRS灌注區下游並沒有濃度下降的趨勢，而在HRC-X處理區下游，靠近BioBarrier 的洩漏點位置可觀察到顯著的濃度下降趨勢，模場規模的現場試驗結果獲取非常有價值的資料，提供實場整治規劃時碳源的選擇和相關的設計參數。

根據其試驗結果建議，灌注碳源的選擇可參考水力梯度、地下水流速、污染物濃度等因素，而適當的碳源灌注速率、劑量設計，能夠創造灌注區域內成爲最合適的還原條件，其中可參考呈現的現象包括：負ORP值、DO和硫酸鹽減少、甲烷和其代謝酸增加、污染物下降到低於檢測極限。

(5) 現地參訪

在本次專題會議及培訓講座中，主辦單位特別安排了二個地下水污染處理場址現勘參訪觀摩，其中一者爲美國Shell石油公司的加油站場址，場址位於加州洛杉磯Tuller Avenue(現勘記錄照片如圖4)，處理污染物主要爲地下水中石油碳氫化合物TPH、MTBE，而地下水原本存在的硒(Se)，因抽出處理程序要求而一併進行處理。整個地下水處理系統由WaynePerry公司設計建造，處理單元主要包括氣提塔，加藥系統，熱再生氧化器(regenerative thermal oxidizer)，粒狀活性碳(GAC)吸附處理，以及生物反應槽硒清除系統。整個系統還區分多個的地下儲藏室，污

染區，控制室，馬達控制中心，輸送泵，程控控制器(Programmable logic controllers, PLC)，電腦數據收集和具集成控制功能的人機界面(human-machine interface, HMI)。該系統初始設計最大處理容量為每分鐘300加侖。整治系統經加州環保署洛杉磯地區水質管理局核放NPDES許可（National Pollutant Discharge Elimination System）後進行操作，而其他相關監督及許可還包括SVE系統、氣提系統和RTO經過South Coast Air Quality Management District (SCAQMD)許可，暴雨逕流排放須經洛杉磯郡公共工程部許可、危害物質儲存由Culver City消防處許可，以及洛杉磯郡消防局核可廢棄物報告。

第二個參訪場址為Santa Monica水處理廠，該場址主要係因自來水水源(Charnock Well地下水水源)遭受甲基三丁乙醚(MTBE)污染，而必須進行水源前處理。水處理廠處理流程如圖6，水源自400英尺深的Charnock Well抽汲至地面後，經由”綠砂”(Greensand)移除鐵、鎂成份，再以活性炭過濾，將大部分MTBE濃度去除，經前處理後的原水，再利用管線輸送到Santa Monica水處理廠，在Santa Monica水處理廠的原水會再經過”綠砂”、活性炭二次處理，最後再以逆滲透設備過濾達到三級處理水質。現場參訪記錄照片如圖7。

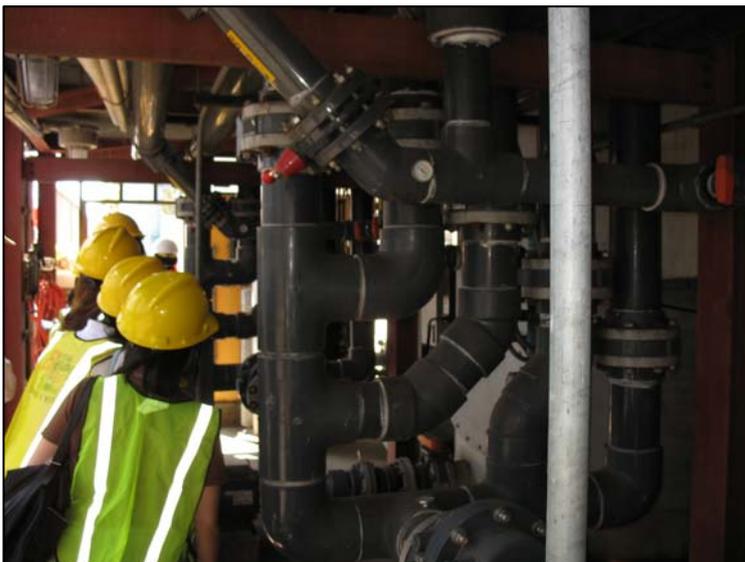


圖5 Shell石油公司加州洛杉磯Tuller Avenue加油站場址參觀記錄照片

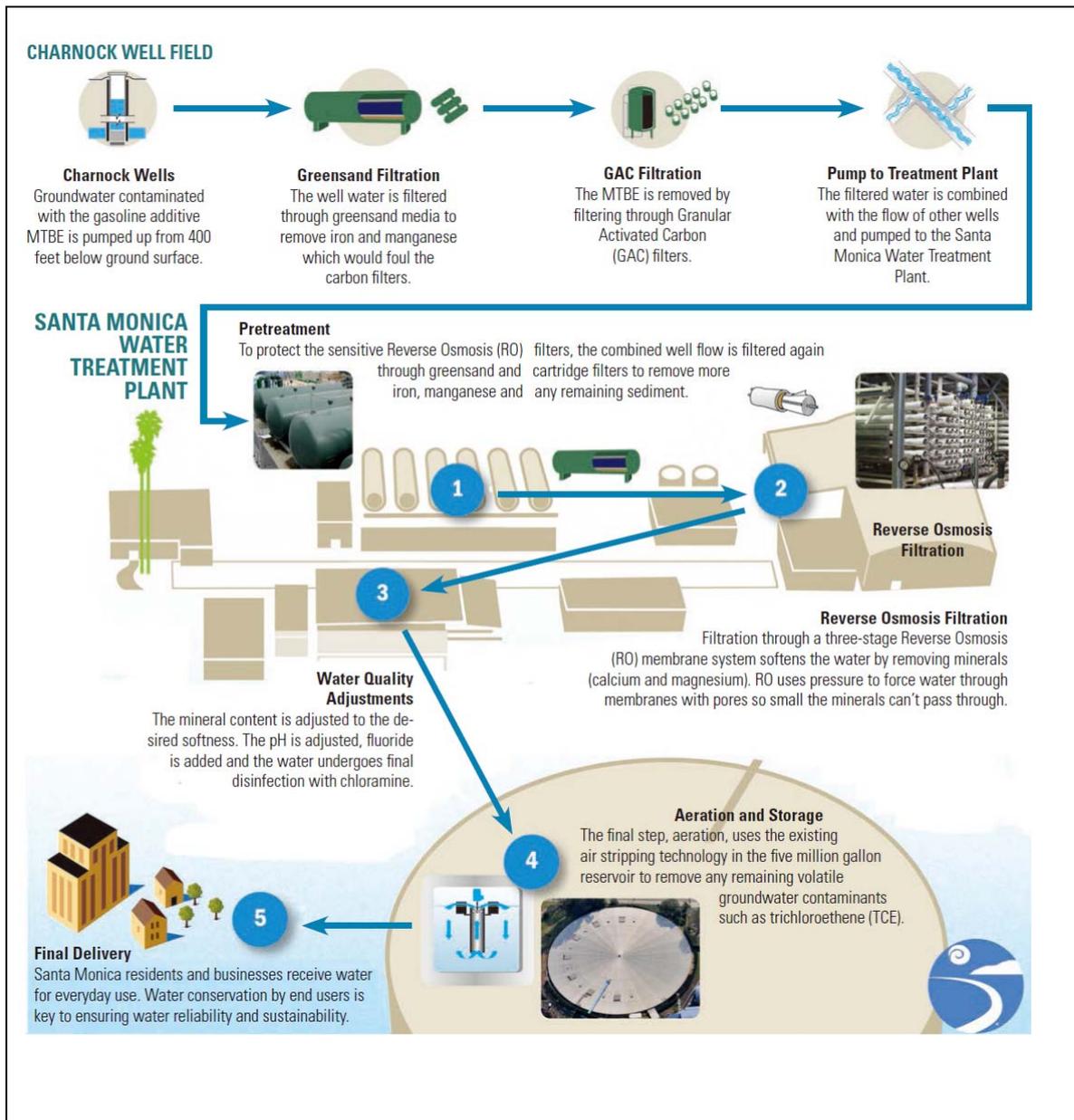


圖6 Santa Monica水處理廠處理流程示意

資料來源：City of Santa Monica Public Works/Water Resources Division
Annual Water Quality Report(June 2014)



圖7 Santa Monica水處理廠參觀記錄照片

肆、建議

1.中油公司為國內最大石油探採、煉製及銷售事業，擁有數量甚為龐大的油品煉製設備、儲槽、管線、供油中心以及加油站等各類設施，對於環境品質的維護有不可懈怠的責任，應以最嚴謹的態度及最大心力面對污染防治。因應公司日益增加的潛勢場址及污染場址，隨著新興技術的發展與法規的修改，各現場對相關技術支援需求甚為殷切，積極參與相關國際研討會議，引進新穎技術，瞭解先進國家及全球發展趨勢，提昇公司自有技術與因應策略，是公司從事污染防治不可忽略的課題。

2.由本次出國參與會議研討瞭解，美國加州由於水資源的缺乏，水源依賴地下水比重甚高，因此在地下環境保護方面，不論技術或法規制度亦相對嚴謹，許多甚值得引藉、參考，其中若干政策制度面，在台灣常致使責任人產生窒礙之處。依據筆者心得提出拙見，或以提供公司建請相關機關建立制度參考：

(1)以美國加州環保署洛杉磯地區主管機關為例，地下污染場址不論自調查、改善、控制計畫、整治計畫等各階段，皆由主管機關具專業能力之官方團隊進行實質審核、核發許可，並維持一貫立場方向；而目前台灣則由臨時組成之學者專家進行審核，然改善和整治期間，常因時間冗長而更迭審核委員團隊，並對施作、措施及方向多有轉變，造成責任人手足無措，無所依循，導致處理方案及規劃的延宕，徒然耗費過多時間與資源。

(2)因應不同場址環境狀況所形成的污染威脅風險，以”風險基準”作為污染清理目標的考量，跳脫僅考慮單一的標準值(管制值)是加州環保署目前持續檢討的方向。主管機關對於地下污染改善/整治計畫，在”保護人體健康、維護自然資

源”前提下，對於場址污染改善、污染控制…，許可核發，具有高度彈性，兼具考量工程技術與經濟成本各方面，其目標在促使改善作為確實可執行，不會有過多約束、窒礙。此以”風險基準”作為污染清理策略，已成主要趨勢，甚可為臺灣政策之參考。

(3)目前美國有超過一半的州政府設有地下儲槽污染清理相關基金，而類似性質基金的主要建置宗旨在針對業主和操作者建立清理財務責任制度，徵收基金功能似於保險信託，基金的用途主要用於污染清理施作，以協助業主和經營者因洩漏造成污染時，具有履行清理責任的財務能力；而在臺灣，類似的土壤及地下水污染整治基金應參考相似機制，提撥專款提供並鼓勵責任人進行污染清理申請，以落實污染清理責任財務保險精神，提昇污染清理責任執行意願。

3.對環境品質提昇的要求，是世界的趨勢，全球對於環境議題的矚目程度日益著重，本公司為台灣石化產業之龍頭，正面、積極、遠瞻的面對、處理環境問題，提升環境友善技術，不只在企業形象，也會是未來企業降低生產成本，增加獲利的重要途徑之一。參與該類型研討會，學習相關技術並應用於實際場址，可協助擴展研究體系的視野，建議公司同仁可多參與類似產業、政府及學界共同合作發展類型的研討會，藉以提升研發技術與多元化思維。

伍、附錄

研討會收錄論文一覽表

序次	論文名稱/作者
1	A Comprehensive Study of the Impact of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Contamination on Salt Marsh Plants Youwei Hong, Dan Liao, Jinsheng Chen Institute of Urban Environment, Chinese Academy of Sciences, Xiamen, China Southern California Coast Water Research Project, Costa Mesa, CA. USA
2	A New Perspective on Sustainable Urban Landscapes and Development Jason J. Wen, Utilities Superintendent, City of Downey, California, USA
3	A Self Contained, PV Powered Domestic Toilet and Waste Water Disinfection System Michael R. Hoffmann, Yan Qu, Asghar Aryanfa, Clement Cid, Hao Zhang, Kangwoo Cho, Daejung Kwon California Institute of Technology
4	Accumulation of Veterinary Antibiotics and Resistance Genes from Swine Wastewater in the Constructed Wetlands Soils Jie Liao, Xian Xu, Lin Liu, Chaoxiang Liu College of Environ. Sci. and Engin., Xiamen university of Technology, China
5	An Brief Overview of the Waste -to -Energy Application in the Western and Asian Countries and An Introduction of the Program for the Complete and Comprehensive WTE Knowledge and Technology Training Seminar with Demonstration of Ready-to-Use Computer Software Abraham Shu President, Abraham Shu & Associates, CA, USA
6	Behavior of Veterinary Antibiotics with Corresponding Resistance Genes from Swine Wastewater in Pilot-scale Constructed Wetlands Chaoxiang Liu, Lin Liu, Jiayu Zheng, Xu Huang Institute of Urban Environment, Chinese Academy of Sciences, China
7	Beneficial Use of Landfill Gas as a Green Energy Source Ming Zhu Senior Engineer, Geosyntec Consultants, Kennesaw, Georgia
8	California Regulatory Update: In-situ Groundwater Remediation Regulatory Permitting and New UST Closure Policy (2012) Yue Rong California Regional Water Quality Control Board - Los Angeles Region
9	Comparison of In Situ Chemical Reduction to Enhanced Reductive Dechlorination to

	Treat TCE Daniel Leigh PeroxyChem Environmental Solutions, Walnut Creek, CA
10	Degradation of Hexahydro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazine (RDX) Using Platinum and Gold Catalysts in Hydrogen-saturated Water Rice(Ru) Xiao
11	Effect of the Coexistence of Chlorobenzene Homologue on Anaerobic Degradation of Hexachlorobenzene Qi Wang Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection, China
12	Effect of Surface Morphology on Mass Transfer and Fouling Behavior of Reverse Osmosis Membranes Processes Yuming Fang, Steven J. Duranceau Department of Civil, Environmental and Construction Engineering, University of Central Florida, USA
13	Estimation on the Distribution of Heterogeneous Hydraulic Properties through the Influence between River Water Level and Groundwater Table Ko-Wei Lin, Shao-Yang Huang, Jet-Chau Wen Graduate School of Safety Health and Environmental Engineering, National Yunlin University of Science and Technology, Taiwan
14	Formation Kinetics of Trichloronitromethane and Dichloroacetonitrile from Chloramination Yi-Hsueh Chuang and Hsin-hsin Tung Graduate Institute of Environmental Engineering, National Taiwan University, Taiwan
15	Forward Osmosis- An Innovative Application to Water Purification and Desalination Peng-Fei Chao Principal Engineer, ELS, Inc.
16	Groundwater Salinity Management Program in the Santa Ana Region Xinyu (Cindy) Li California Regional Water Quality Control Board - Santa Ana Region
17	Historical Industrial Emissions of Non-methane Volatile Organic Compounds in China for the Period of 1980-2010 Kaiqiong Qiu, Lixian Yang, Daiqi Ye College of Environment and Energy, South China University of Technology, China
18	Indium Removal from Aqueous Solution using Chitosan-Coated Bentonite Beads Chi-Chuan Kan, Mary Jane C. Calagui, Delia B. Senoro, Jonathan WL Salvacion, Meng-Wei Wan

	Institute of Hot Spring Industry, Chia Nan University of Pharmacy and Science, Taiwan
19	Innovative Use of TarGOST® Screening Technology to Delineate Distribution of Groundwater Remediation Amendment Zhong (John)Xiong Haley & Aldrich, Inc
20	Interactive Evolution between Treatability Study and Remedial Investigation for Remediation of a Methylene Chloride Plume Xihong (Scarlett) Zhai AECOM, Inc
21	Kinetic Study of the Removal of Dimethyl Phthalate from an Aqueous Solution Using an Anion Exchange Resin Zhengwen Xu, Jing Shi School of Environmental Science & Engineering, Nanjing University of Information Science and Technology, China
22	Low Energy Treatment Systems for Stormwater Management: Southern California Case Studies Jian Peng Chief, Water Quality Planning, OC Watersheds, OC Public Works
23	National Pollutant Discharge Elimination System and Public Health: An Update Renjie Hu Supervising Public Health Biologist, California Department of Public Health, CA
24	Numerical Simulation for Groundwater Contaminant Remediation Yanqing Wu School of Environmental Science and Engineering, Shanghai Jiao Tong University, China
25	Open Burning/Backyard Burning/Uncontrolled Burning Baoqiang Yuan Jackson State University
26	PAHs Thermal Desorption Behavior of Coking Plant Soil and its Effect on Soil Characteristics Tianxiang Xai Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection, China
27	Partition Sludge Discharge Strategy for the Stability of Aerobic Granular Sludge Process Liang Zhu, Xiangyang Xu, Xin Dai, Jiaheng Zhou Department of Environmental Engineering, Zhejiang University , China
28	Phenol Tolerance and Degradation by <i>Spirulina maxima</i>

	Hui-Chun Lee, Mengshan Lee, Walter Den Department of Environmental Science and Engineering, Tunghai University, Taiwan
29	Photocatalytic Degradation Study of C-N-S Tridoped TiO₂ Pengwan Chen, Chunxiao Xu, Naifu Cui National Key Laboratory Explosion and Safety Science, Beijing Institute of Technology, China
30	Pilot Studies on Ecological Restoration in Gonghu Bay, Lake Taihu, China Xin Qian, Hailong Gao, Zhe Liu, Rui Ye School of the Environment, Nanjing University, China
31	Prevention of Cross Contamination during Installation of Groundwater Monitoring Well Weixing Tong, California Regional Water Quality Control Board – Los Angeles Region
32	Soil Gas Sampling and Analysis with Quality Assurance and Quality Control (QA/QC) Yue Rong California Regional Water Quality Control Board – Los Angeles Region
33	The Occurrence and Phototransformation of Controlled and Chemotherapeutic Drugs in Aqueous Environments in Taiwan Angela Yu-Chen Lin Graduate Institute of Environmental Engineering, National Taiwan University, Taiwan
34	The Study of Land Subsidence Disaster Prevention by Groundwater Resources Management-the Case of Groundwater Level Management in Changhua and Yunlin Regions, Taiwan Chi-Feng Lin, Shao-Yang Huang, Chia-Chen Hsu, Chiung-Ling Liu, Jet-Chau Wen Graduate School of Safety Health and Environmental Engineering, National Yunlin University of Science and Technology, Taiwan
35	The Transformation of Organic Phosphorus by NO₃- Photo-induced in Eutrophication Lakes Guanglong Liu, Li Gong, Duanwei Zhu, Xiuyun Cao, Chunlei Song, Yiyong Zhou Institute of Hydrobiology, the Chinese Academy of Sciences, China
36	Toluene Removal via Plasma Catalysis System with Nickel Oxide Catalysts on Different Supports Junliang Wu, Mingli Fu, Daiqi Ye, Zhong Li School of Environment and Energy, Guangdong Provincial Key Laboratory of Atmospheric Environment and Pollution Control, South China University of Technology, China

37	Water Consumption and Management Analysis for High-Tech Industries in Taiwan Mengshan Lee and Walter Den Department of Environmental Science and Engineering, Tunghai University, Taiwan
38	Water Quality Testing in the Age of Molecular Microbiology Yiping Cao Southern California Costal Water Research Project, Costa Mesa, CA
39	Watershed Management by Developing Total Maximum Daily Loads (TMDLs) Chihsien Eric Wu California Environmental Protection Agency, Regional Water Quality Control Board, Los Angeles
40	High Sensitive Optical Spectroscopy Studies of Key Molecules in Tropospheric Chemistry and Secondary Organic Aerosol formation Yingdi, Liu. Jet Propulsion Lab (JPL), California Institute of Technology, CA
41	臺灣遠洋船舶岸電之推動 許真瑜，葉雨松，邱永芳 瑩諮科技股份有限公司,臺灣
42	中國環境保護“費改稅”研究 買亞宗，馬中，石磊 中國人民大學環境學院, 中國
43	Introduction of the Current Situation of China Field Remediation and Case Studies Wei Sun Beijing GeoEnviron Engineering&Technology, Inc