

出國報告（出國類別：開會）

**參加美國 Battelle 「第 11 屆含氯有機物和
難分解化合物修復國際會議**

**(Eleventh International Conference on
the Remediation of Chlorinated and
Recalcitrant Compounds) 」**

服務機關： 行政院環境保護署土污基管會

姓名職稱： 陳世偉 執行秘書

派赴國家： 美國

出國期間： 107 年 4 月 9 日至 4 月 15 日

報告日期： 107 年 7 月 4 日

摘 要

「綠色及永續導向型整治 (Green and Sustainable Remediation, GSR)」為污染場址管理的一種觀念，從永續的觀點出發，在土地利用、整治工法選取、施工與操作，到後續的開發，均考慮環境、社會與經濟的影響，為國際間近年大力發展與拓展的觀點。本署自 101 年引進此一觀點，並朝向引進新穎的綠色技術為發展目標，期透過新穎綠色技術的引進，增加本土技術多元性的發展，提升國內場址整治與管理的知識與技術能力，因此本署長期關注及持續參與國外重要技術研討會，將新觀念帶回國內。

本次行程為參與美國 Battelle 紀念研究中心 (Battelle Memorial Institute, 以下簡稱 Battelle) 每 2 年舉辦之「含氯及難分解污染物整治技術國際研討會」，瞭解美國及全世界目前土壤及地下水污染技術與永續整治發展現況與趨勢。Battelle 研討會中，可以觀察美國政府、學術單位、工業界、顧問公司、設備廠商及藥劑廠商的技術應用與發展，並學習如何在整治管理過程整合 GSR 觀點。本次 Battelle 研討會發表主題以新興污染物研究、污染整治技術發展、綠色及永續導向型整治、石化污染物整治策略、技術轉移與利害相關者溝通等議題，其中則有 1 主題的專項討論 GSR 相關推動情形，足以顯示目前國際間土壤及地下水污染整治技術發展及管理脈絡。

Battelle 研討會結束後，於 4 月 13 日參加南加州華人環保協會(SCCEPA)主辦之南加州地區地下水污染整治參訪活動，參訪 Glendale、Culver 及 Santa Monica 等 3 處地下水污染整治設施，蒐集相關技術與經驗，以供本署未來於國內推動之參考。

目 次

壹、目的	1
貳、行程	3
參、成員	4
肆、工作內容	5
伍、心得及建議	37
附件一 Battelle 研討會議程	
附件二 Battelle 研討會發表海報	

壹、目的

我國受面積與地形限制，土壤與地下水為我國重要的資產，隨著都市的擴張、工業發展需求，我國社會在土地開發利用的衝突與水資源競爭越來越頻繁。在面臨極端氣候的衝擊下，土地與地下水資源價值更顯重要。土壤及地下水的污染，通常都是隱而未見的，往往發生問題後，需要龐大的資源投入，才能讓土地與地下水恢復原本的功能，這些資源的投入，需要考慮環境、社會與經濟的影響，才能讓資源有效的被利用，並且減少不必要的衝擊。有鑑於此，本署於 2012 年起推動綠色及永續導向型整治（Green and Sustainable Remediation, GSR）的觀念，並逐步建立我國 GSR 執行架構、評估工具與推廣方案。近年更積極尋找符合 GSR 精神的調查與整治技術或方法，期望為國內土壤及地下水污染調查與整治技術市場提供新的思路。

本署於 103 年執行「污染場址綠色及永續導向型整治試辦及推廣計畫」，其間引進較為環境友善的植物環境污染調查技術 - 透過植物快篩（phytoscreening）的方式，利用植物傳輸水分及污染物的特性，瞭解地下水中污染物可能分布的情況；而隨著樹木生長，年輪中所累積的特定元素變化，則可以協助回顧污染的歷史，稱之為年輪化學法。此方法為對環境較友善的調查方式，以不進行侵入性的土壤及地下水採樣方法，達成縮短調查時間、找出污染範圍、污染熱點，並協助建構污染發生歷程與時間。

基於 103 年計畫成果，本署於 105 年辦理「土壤及地下水綠色整治技術發展計畫」，擬延續 103 年計畫經驗完善植物環境污染調查技術，並持續推廣 GSR 觀念，同時積極尋找新穎的調查與整治觀念、技術及方法。今年(107 年)則透過 Battelle 研討會的參與，發表我國技術發展成果，同時尋找符合綠色及永續精神的新穎技術，期望藉由技術的介紹與引進，刺激國內土水技術發展。

Battelle Memorial Institute 每 2 年於北美舉辦「含氮有機物和難分解化合物修復國際會議」，為北美境內極為重要的整治研討會，其內容涵蓋各類污染物的調查技術、整治技術、

監測分析方法，並為美國政府單位、學術單位、顧問公司、藥劑廠商及設備廠商發表新穎技術及整治成果的重要盛會，亦吸引世界各國的參與，在研討會過程中同時有商展及海報時間，透過參與及評析 Battelle 研討會的內容及發表主題，可掌握目前北美及世界土壤及地下水污染調查與整治技術發展趨勢，並可從中尋找可引進的技術。

為瞭解及掌握目前北美及世界土壤及地下水污染調查與整治技術發展方向與趨勢，本署規劃持續參與 Battelle 每 2 年於美國東岸所舉辦之國際性的生物修復與可持續性環境技術國際研討會（單數年）與西岸的含氯有機物和難分解化合物修復國際會議（雙數年），一方面瞭解目前北美及世界土水市場與技術的發展趨勢，另一方面透過發表我國植物污染調查技術發展成果，宣傳我國技術發展現況。

另外，於訪美期間受邀參加 4 月 13 日參加南加州華人環保協會(SCCEPA)主辦之南加州地區地下水污染整治參訪活動，並參訪 Glendale、Culver 及 Santa Monica 等 3 處地下水污染整治設施，可提供後續我國地下水污染處理技術參考，加入多元思考觀點，強化我國土壤及地下水污染整治技術發展。

貳、行程

日期	工作內容概要
107 年 4 月 9 日 (一)	<ul style="list-style-type: none"> • 啟程臺北－洛杉磯 • 由洛杉磯前往棕櫚泉
107 年 4 月 10 日 (二)	<ul style="list-style-type: none"> • 由洛杉磯前往棕櫚泉，研討會註冊報到 • 參加 2018 Battelle 研討會 <p>(1)創新及最佳化傳輸方法(Innovative and Optimized Delivery Methods)。</p> <p>(2)石油碳氫化合物現地整治技術(In Situ Remediation of Petroleum Hydrocarbons)。</p> <p>(3)參訪 Poster Session，參觀 Ziltek、Isotec、Geoprobe 等公司新技術。</p>
107 年 4 月 11 日 (三)	<ul style="list-style-type: none"> • 參加 2018 Battelle 研討會 <p>(1)現地化學還原技術(In Situ Chemical Reduction)。</p> <p>(2)可注入活性炭整治技術(Injectable Activated Carbon Amendments)</p> <p>(3)界面活性劑強化整治技術(Surfactant-Enhanced Remediation)。</p> <p>(4)參訪 Poster Session，會晤美國地質調查所(USGS) Dr. James Landmeyer 博士，討論本年度臺美技術交流事宜。</p> <p>(5)進行本署 Poster 發表，主題為「臺灣運用植物環境污染調查含氯有機物案例研究」(A Case-Study of Phytoforensics at a PCE Contaminated Site)。</p>
107 年 4 月 12 日 (四)	<ul style="list-style-type: none"> • 參加 2018 Battelle 研討會，會後由棕櫚泉返回洛杉磯 <p>(1)現地化學氧化技術(In Situ Chemical Oxidation)。</p> <p>(2)植物復育及植物萃取(Phytoremediation/Mycoremediation and Plant Uptake)。</p>
107 年 4 月 13 日 (五)	<ul style="list-style-type: none"> • 參加南加州華人環保協會(SCCEPA)南加州地區地下水污染整治參訪活動 <p>(1)參訪 Glendale Water Treatment Plant。</p> <p>(2)參訪 Tuller Avenue Treatment System。</p> <p>(3)參訪 Santa Monica Water Treatment Plant。</p>
107 年 4 月 14 日 (六)	<p>返程洛杉磯－臺北</p>
107 年 4 月 15 日 (日)	<p>返程洛杉磯－臺北</p>

參、成員

單位	職稱	姓名
環保署土污基管會	執行秘書	陳世偉
業興環境科技股份有限公司	總經理	潘時正
業興環境科技股份有限公司	工程師	陳政斌

肆、工作內容

本次行程包含出席 107 年 4 月 9-12 日由 Battelle 於美國加州棕櫚泉舉辦之「第 11 屆含氯有機物和難分解化合物修復國際會議」(Eleventh International Conference on the Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds) 與南加州華人環保協會(SCCEPA) 主辦之南加州地區地下水污染整治參訪活動。茲說明本次行程重要工作內容如下：

一、第 11 屆含氯有機物和難分解化合物修復國際會議 (Eleventh International Conference on the Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds)

(一) 研討會介紹

由 Battelle 主辦的第 11 屆含氯有機物和難分解化合物修復國際會議(Eleventh International Conference on the Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds，以下簡稱 2018 Battelle 研討會)，為全球規模最大且最權威之土壤及地下水污染整治專門研討會，於本會議發表各式創新調查、評估、監測、管理與整治技術以因應含氯污染或複雜場址，

本屆研討會於 107 年 4 月 8 日 - 107 年 4 月 12 日，假美國加州棕櫚泉(Palm springs) 的 Palm Springs Convention Center 舉行。研討會議程主要分為 9 大類別，內容分為 14 個主題(如表 1-1)，共 81 個專題會議(section) 與 7 場座談會(panel)，超過 500 篇口頭報告及海報發表，研討會與會人員包括產官學研各界專家學者、工程師、學生、政府人員等總計 1,600 人，本署亦於 4 月 11 日 Poster Session 進行論文發表，主題為「臺灣運用植物環境污染調查含氯有機物案例研究 (A Case-study of phytoforensics for a PCE Contaminated Site in Taiwan)」。此外研討會場另有 114 家廠商和機構展示最新污染調查評估及整治技術，為本研討會另一項重要特色。

本次研討會主題主要是探討含氯有機物與難分解有機物的整治技術，包含生物

性、化學性與物理性等技術。在生物整治部分，有部分的主題探討監測生物整治成效及監測式自然衰減成效的新穎工具，特別是分子生物技術的發展及應用，會議中並有許多顧問公司及學術單位發表新穎藥劑應用案例以及複雜場址、極端環境、破碎母岩等不同場址之生物整治經驗。另有部分的主題探討新興污染物的調查、分析與整治技術，如全氟烷基物質（Per-and Poly Fluorinated Alkyl Substance, PFAS）及 1,4-二氧陸園（1,4-dioxane）。研討會共分 9 個會場同時進行，每場次的口頭發表約 25 分鐘，時間為每日 8:00-17:00，16:30 - 18:30 則是海報發表時間。

（二）Battelle 公司簡介

Battelle 世界最大的非營利研究發展組織(創立於西元 1929 年)，全球超過 22,000 名員工及 60 個辦公室，全球設立多處科技研究中心與實驗室，主要從事工業、能源、環境、醫藥、健康與安全等領域開發研究，服務客戶包含政府機關與企業，主要服務項目包含：工業消費產品品質改良、經濟性與技術策略分析、能源開發與環境管理、公眾健康與安全分析、海洋與海岸開發服務、水資源與系統設備整合。

（三）展場廠商概要說明

本屆含氯整治論壇共計 113 間廠商參展，參展廠商以工程顧問公司、儀器設備廠商、藥劑製造商、檢測公司為主要展出單位，展場配置圖如圖 1-1 所示，相關照片如圖 1-2 所示，主要展場技術分類如下：

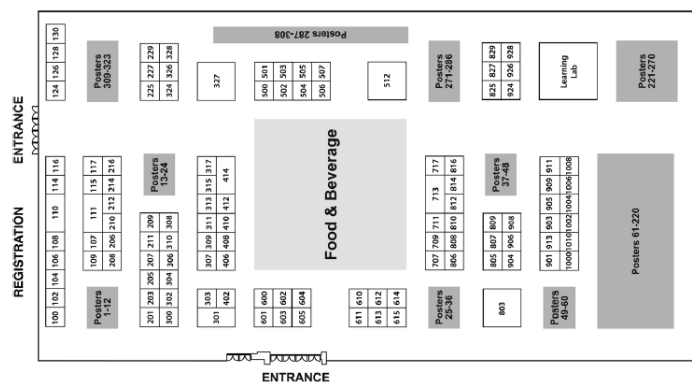


圖 1-1 展場配置圖

- 工程顧問公司

參展廠商包含主辦廠商 Battelle 外，包含全球性的顧問公司如 AECOM、ERM 等，介紹各新穎技術及場址案例等，包含參與之案例探討，並提供專業場址評估及顧問說明，

- 設備廠商

主要包含整治設備如水文地質分析工具、鑽機、開挖設備、熱處理技術及設備等，主要分類及說明如下：

1. 水文地質分析工具

常見水文地質分析工具如自記式水位計、水質分析儀器、即時分析工具(如 HPT、MIP)、篩測儀器(如 XRF、TVA 及 TPH 快篩分析儀器)等，提供快速且準確的現場判識。

2. 鑽機設備

國內常見鑽機廠商 Geoprobe 公司也參與展覽，介紹新型鑽機及鑽機套件，包含即時分析套件及注藥套件等，搭配鑽機以直接灌入之方式，即時採樣及整治工作等。

3. 離地開挖設備

另包含許多離地開挖設備廠商，搭配挖掘機篩分及混拌工具、打樁及擋土設備等，提供快速且安全之設備，提升離地整治技術之成效。

4. 熱處理技術廠商

熱處理為國外常見之整治技術之一，本屆許多熱處理設備廠商參與展覽，主要形式包含直接接觸熱處理、電阻加熱處理、蒸氣熱處理等，各廠商提供相關熱處理

技術模型及技術說明，另包含其他熱處理配件、閥件廠商參展，提供相關熱處理材料及配件。

- 藥劑製造商

本屆參展藥劑廠商許多，其中藥劑廠商 PeroxyChem 及 Regenesis 為主要參展之藥劑廠商，另外還包含許多藥劑廠商參與展覽。主要藥劑主要分類包含生物藥劑、氧化藥劑(如 Persulfate)、零價鐵、複合型活性碳等，主要針對含氯污染處理相關藥劑。

- 檢測公司

參展之檢測公司包含 SGS 及 ALS 等，主要針對污染物分析提供相關服務，其中本屆研討會更針對 PFAs 議題進行探討，並針對相關之檢測及快篩技術進行建議。

- 其他

針對其他國外常見議題亦有許多廠商參展，如蒸氣入滲、即時雲端數據分析、水文及污染模擬等、即時監測系統等，提供各種相關資料及內容參考。

(四) 第 11 屆含氯整治研討會介紹

本屆含氯整治研討會於 2018 年 4 月 7 日至 4 月 12 日於加州棕櫚泉(Palm Springs)舉辦，主要參加人員以工程與顧問公司、藥劑與設備製造商、儀器商、學術研究單位、政府機關、企業主，超過 1,600 位專家學者與會(超過 30 個不同國家)，共計超過 100 個廠商及政府機構參加盛會。本屆會議詳細議程詳附件一，我國則以「臺灣運用植物環境污染調查含氯有機物案例研究 (A Case-study of phytoforensics for a PCE Contaminated Site in Taiwan)」為題，在 Group 2 於 4 月 11 日進行海報張貼，並接受與會專家提問，討論回響熱烈，發表之海報與摘要詳附件二。表 1-2 為本次研討會口頭發表內容摘要。

表 1-1 研討會主題

主題	議程	場次
A	新興污染物 Emerging Contaminants	A1 – A10
B	整治技術 Remediation Technologies	B1 – B9
C	整治技術發展 Remediation Technology Developments:	C1 – C10
D1	整治成效評估 Assessing Remediation Effectiveness	D1 – D6
D2	綠色及永續整治 Green and Sustainable Remediation	D7 – D9
E1	裂隙岩體 Fractured Rock	E1 – E3
E2	具有挑戰性的場址之因應對策 Addressing Challenging Site Conditions	E4 –E10
F	石化污染物與重質碳氫化合物場址因應對策 Petroleum and Heavy Hydrocarbon Site Strategies	F1 – F8
G1	蒸氣入侵 Vapor Intrusion	G1 – G4
G2	技術轉移與利害相關人溝通 Technology Transfer and Stakeholder Communications	G5 – G7
G3	重金屬 Metals	G8 – G10
H1	污染物特性、宿命與傳輸機制 Characterization, Fate, and Transport	H1 – H6
I1	國際環境整治技術市場 International Environmental Remediation Markets	I1 – I3
I2	新穎調查/診斷工具 Advanced Diagnostic Tools	I4 – I9



圖 1-1 Battelle 研討會會場照片

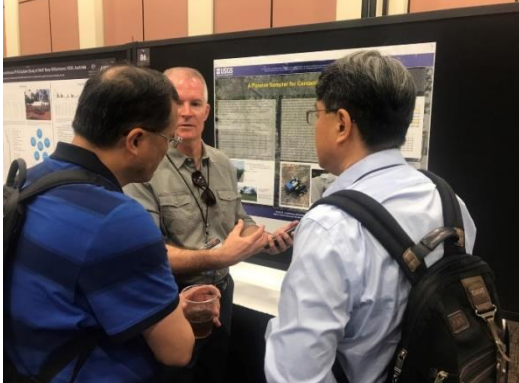
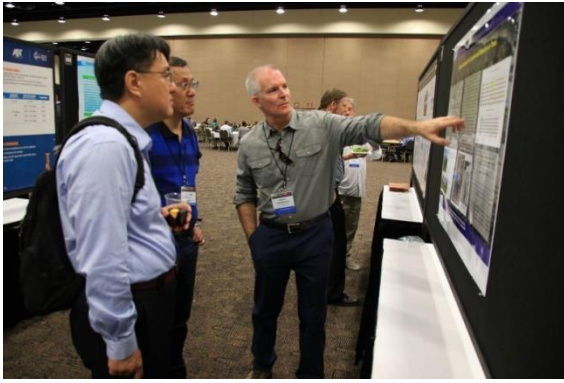
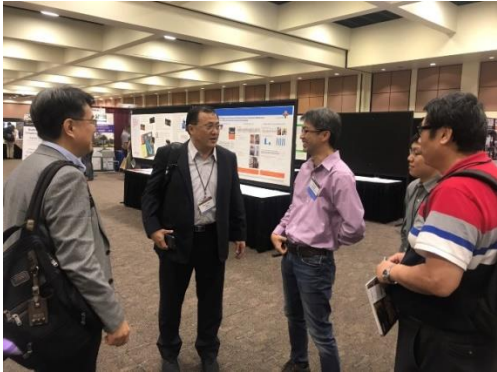
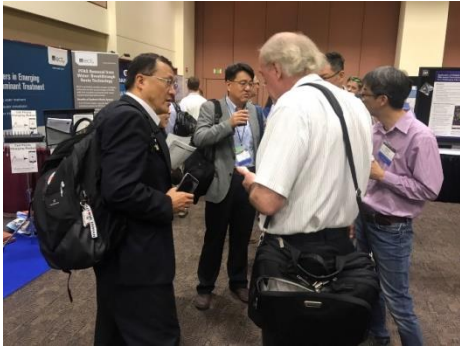
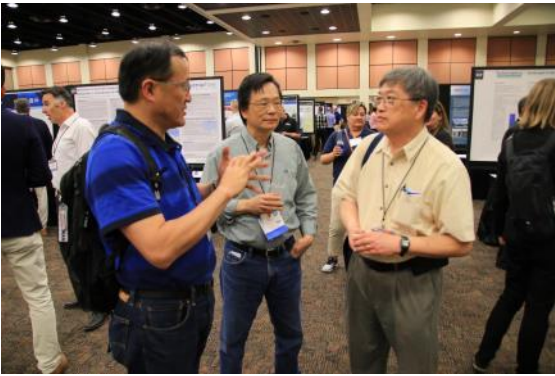

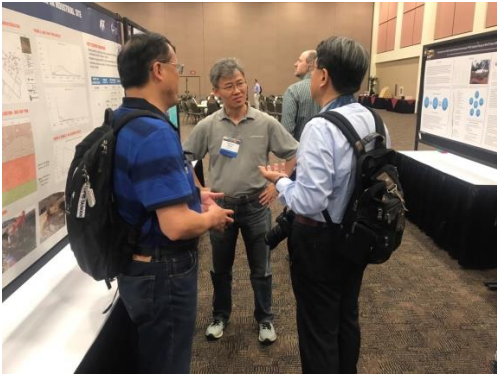
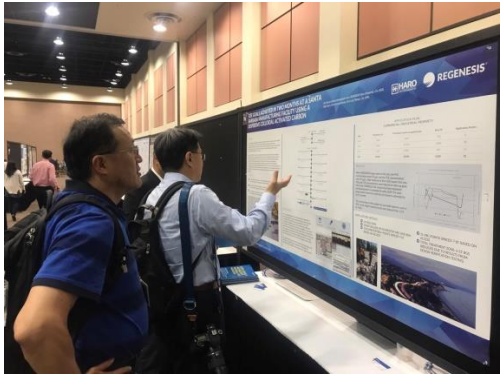
<p>(g) 與 USGS Dr. James Landmayer 技術交流</p> 	<p>(h) 與 USGS Dr. James Landmayer 技術交流</p> 
<p>(i) 與中興大學梁振儒教授 技術交流 (1)</p> 	<p>(j) 與中興大學梁振儒教授 技術交流 (2)</p> 
<p>(k) 與加州環保局張寧武博士 技術交流(右 1)</p> 	<p>(l) 與中國東北農業大學資源與環境學院張穎教授 技術交流</p> 
<p>(m) 論文技術交流</p> 	<p>(n) 論文技術交流</p> 

圖 1-1 Battelle 研討會會場照片 (續 1)

表 1-2 Battelle 研討會口頭發表重點摘要

項次	題目	作者	重點摘要
1	<p>Field Test of Electrokinetically-Delivered and Thermally Activated Persulfate (EKTAP) for Remediation of Chlorinated Solvents in Clay</p> <p>運用電動力傳輸和熱活化過硫酸鹽程序 (EKTAP) 於整治黏土中含氯溶劑的現場試驗</p>	<p>Nicholas A. Head, Jason I. Gerhard, Ahmed I.A. Chowdhury, Ainsley M. Inglis, Ariel Nunez Garcia, Jennifer Hayman, Jake Eimers, David Reynolds, Dave Hogberg, Marlaina Auger, Leanne Austrins, Audrey Sidebottom, Denis M. O'Carroll</p>	<p>透水系數的土壤層整治含氯有機化合物，例如 1,2-二氯乙烷，一直被認為是相當困難的項目，並且需要運用多種技術於整治場址。灌注過硫酸鹽的現地化學氧化法已被證實為一個具有潛力的整治工法，然而，在低透水系數的土壤層中，液壓注射對於添加物的傳輸並無效果。最近，電動力傳輸和熱活化過硫酸鹽程序 (EKTAP) 的方法已被提出，並於小型試驗中證實可在低透水系數的土壤層中傳輸化學添加物。此研究探討如何以 EKTAP 的方法加強過硫酸鹽在黏土層中的傳輸及成效。試驗場址為一處位於加拿大薩尼亞市中，受含氯溶劑污染的黏土層之下。</p> <p>試驗方法為，每 3 公尺設置兩組電極，通以直流電，在電動力傳輸的輔助下，於 57 天中灌注 37 公斤的過硫酸鹽，並於注射後的 139 天內，通交流電於兩組電極間，以熱活化過硫酸鹽。試驗結果有兩個對照組，一為利用電動力傳輸方法，另一個為空白組。</p> <p>結果顯示，使用電動力傳輸可有效的增加過硫酸鹽於黏土層的傳輸，而運用熱活化法可明顯增加現地土壤溫度。另外，分析結果中的含氯有機化合物也大量的減少，證明利用電動力傳輸的方式可加強過硫酸鹽的傳輸。未來對於 EKTAP 系統的設計還需要達到在熱活化的程序中，能穩定一致的傳輸熱和過硫酸鹽。此試驗證明利用 EKTAP 方法可以加強在低透水系數土壤中的氧化劑傳輸，並營造適合降解含氯化合物的環境。</p>
2	<p>Long-Term Anaerobic Bioremediation of Petroleum Contaminants by Iron and Sulfate-Reducing Bacteria following Combined Cement-Persulfate Treatment</p> <p>合併鐵硫酸鹽還原菌於水泥-過硫酸鹽程序後處理石油污染物的長期厭氧生物整治法</p>	<p>Daniel P. Cassidy, Vipul J. Srivastava</p>	<p>此研究對 10 種不同碳氫污染物的土壤中進行合併現地化學氧化法、現地固化法及厭氧生物整治法的單一試驗。利用矽酸鹽水泥和其他的固化添加物，以活化過硫酸鹽並氧化碳氫化合物污染物。這些研究的主要目的是研究自然環境中的鐵還原菌 (IRB) 和硫酸鹽還原菌 (SRB) 在透過水泥-過硫酸鹽程序後的高氧化、高酸鹼度及高鹼度環境中的存活能力，並觀察殘餘的碳氫化合物污染物的增長及降解。</p> <p>10 個測試的土壤來自煤氣製造廠或石油儲存建設。污染物為多環芳烴 (包括萘，最可溶的 PAH)，總石油烴 (TPH) 和苯，甲苯，乙苯和二甲苯 (BTEX)。透過偵測異化亞硫酸還原酶基因以監測自然環境中的硫酸還原菌 (SRB) 豐富度。因考慮到在土壤中的微生物在未活化的情況下，豐富度仍相當可觀，因此也一併監測由硫酸還原菌 (SRB) 降解污染物所產生的代謝產物，例如，由硫酸還原菌 (SRB) 利用硫酸鹽當作電子接受者並產生的硫化物。通過 IRB 和 SRB 的降解的特定指標 2-萘甲酸的產生也隨著時間而定量和監測。</p>

項次	題目	作者	重點摘要
			<p>另外，由鐵還原菌和硫酸鹽還原菌降解萘而產生的指標產物--2-萘甲酸，也在監測和定量項目中</p> <p>結果顯示，IRB 和 SRB 在第一周試驗後豐富度明顯下降，原因來自 ISCO/ISS 的程序後環境中的氧化狀況及高酸鹼度。然而，在 10 至 30 周之內，IRB 和 SRB 的豐富度恢復為原始值，甚至超過。硫化物的濃度有暫時性增加，但之後又和鐵及其他金屬的沉澱而濃度下降。PAHs 和 BTEX 的濃度在監測兩三年期間有明顯的被 IRB 及 SRB 降解。不僅如此，相對於用氫氧化鈉活化過氯酸鹽的系統，在搭配矽酸鹽水泥的系統中，可在更短的時間內看見 IRB 和 SRB 數量的消退與增長。此研究證實，在單一試驗的情況下，利用活化過硫酸鹽、現地穩定法以及厭氧生物整治，可使自然環境中的厭氧細菌長期降解污染物。</p>
3	<p>Characterization of the Microbially-Driven Fenton Degradation of Chlorinated Compounds Using a Modeling Approach</p> <p>透過建構模型以探討微生物在 Fenton 系統中降解含氯化合物的機制</p>	<p>Martial Taillefert, Nan Xie, Yael Toporek, Ramanan Sekar, Thomas J. DiChristina</p>	<p>以微生物在 Fenton 系統中降解含氯及非含氯地下有機污染物為相當具潛力的生物整治策略。此過程利用微生物的呼吸作用產生過氧化物及還原固體氧化鐵基質中的 Fe(III)為 Fe(II)，因此不需持續添加過氧化物及 Fe(II)以驅使羰基自由基的生成。從之前的批次試驗中以得知，兼性厭氧菌 <i>Shewanella oneidensis</i> 搭配檸檬酸鐵 (III)、乳酸鹽、以及污染物，並交替打入空氣及氮氣使之轉換好氧及厭氧環境下，<i>Shewanella oneidensis</i> 可完全降解 TCE、PCE 以及 1,4-二噁烷。此研究的目的是描述微生物在 Fenton 系統中的機制以及透過模型建構以降解污染物。</p> <p>此研究建立了一個數學模型以偵測此批次試驗中 <i>S. oneidensis</i> 在氧化還原變化中所可能發生的反應。反應包括 Fe(III)水解、(ROS)最終反應、厭氧狀態下以乳酸鹽、Fe(III)檸檬酸鹽和 Fe(III)氧化物礦物為電子供給者的微生物呼吸作用、好氧狀態下以乳酸鹽及乙酸作為電子供給者的微生物呼吸作用，以及有機物污染物降解反應。</p> <p>結果顯示，模型模擬可以很好的呈現單一或是混合的污染物在批次試驗中的無氧好氧環境，並藉由調整動力參數至微生物轉化乳酸和乙酸的好氧呼吸以及轉化檸檬酸鐵的厭氧呼吸反應。檸檬酸鹽在加入反應器後的 24 小時內完全被還原，而 Fe(II)在厭氧-好氧的模擬中被推論出，在第一次厭氧狀態後的好氧狀態下，會被氧化成不同結構的 Fe(III)。另外，模型結果顯現出，ROS 在氧化階段的生產和消耗動力學要比文獻中預測的要小得多。因此推測，在單一批次之降解含氯污染物的試驗中，ROS 的副反應為相當重要的角色。</p>
4.	<p>Enhanced Degradation of TCE on a Superfund Site Using Endophyte-Assisted</p>	<p>John L. Freeman, Sharon L. Doty, Christopher Cohu,</p>	<p>TCE 為工業製造業常見的地下水環境污染物，在之前的研究已在白楊樹中分離出可快速代謝 TCE 為氯離子的腸桿菌屬 PDN3 株的內生菌。此研究旨在測試此白楊樹內生菌在一處 TCE 污染的超級基</p>

項次	題目	作者	重點摘要
	<p>Poplar Tree Phytoremediation 利用內生菌輔助的白楊樹植物整治技術加強降解一處超級基金場址內的 TCE 污染</p>	<p>Michael J. Blaylock</p>	<p>金場址的降解表現。</p> <p>此研究位於加州矽谷的 Middlefield-Ellis-Whisman 超級基金研究區域進行為期三年的內生菌輔助植物整治技術之現場試驗。所量測的參數會受到樹木生長速率、TCE 在樹木內的濃度、土壤中的氯化物，以及地下水中 VOC 的上升及下降梯度的影響。</p> <p>結果已刊登在 ES&T(http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.est.7b01504)。與模擬接種的對照白楊樹相比，接種過的白楊樹有明顯的增長，除了樹幹直徑增加 32%，也降低了 TCE 植物毒性效應。另外，在有接種的植物根部中可偵測到約排出 50% 的氯離子，顯示可提高 TCE 在植物內部的代謝。而從樹芯細胞的分析資料中，更提出了有利的證據說明接種內生菌可加強降解含氯溶劑。</p> <p>測試井的地下水分析顯示，TCE 及其衍生物在樹木相關的地下水污染團中濃度顯著降低。TCE 濃度從在種植區域的上游的 300 $\mu\text{g/L}$ 降至下游區域的 5 $\mu\text{g/L}$。TCE 衍生物的濃度呈現類似的下降趨勢，例如，順 1,2-二氯乙烯從 160 $\mu\text{g/L}$ 降至小於 5 $\mu\text{g/L}$；反 1,2-二氯乙烯從 3.1 $\mu\text{g/L}$ 降至小於 0.5 $\mu\text{g/L}$；1,1-二氯乙烯和氯乙烯則從 6.8 和 0.77 $\mu\text{g/L}$ 降至小於 0.5 $\mu\text{g/L}$。</p> <p>這些結果都顯示接種內生菌的植物可以有效地移除受 TCE 污染後的地下水。且結合可自然分解污染物的內生菌以及可快速生長的白楊樹於同一系統中，提供了一個穩定又成本經濟的 TCE 降解方法，且可有助於減緩污染物在食物鏈的轉移、及揮發至空氣中，也可減少用於整治的植物體內中其污染物毒性的影響。</p>
5	<p>Bioaugmentation for Remediation of Aerobic Vinyl Chloride Plumes 生物強化於好氧氯乙烯污染團的整治技術</p>	<p>Timothy Mattes, Patrick Richards, Jeff Roberts, Jennifer Webb, Phil Dennis, Sandra Dworatzek, Peter Dollar, Neal Durant</p>	<p>氯乙烯為現地生物厭氧整治法中較難降解的含氯污染物，尤其是在電子供給者不足夠的情況下。雖然在加入富含電子供給者的添加物後，氯乙烯可轉換成乙烯，但研究氯乙烯氧化菌如何應用在現地整治仍有相當具潛力的整治策略，尤其是在場址已進入監測自然衰減期。氯乙烯氧化降解法的最大優點為完全不需要添加外源性的電子供給者於系統當中。</p> <p>甲烷和乙烯為氯乙烯污染團中常被甲烷菌及厭氧還原脫氯作用所產生的氣體，而甲烷菌和乙烯氧化菌也是氯乙烯氧化作用的重要微生物族群。在現地整治中最佳化運用這些好氧氯乙烯氧化劑，例如，以乙烯氧化菌的生物強化法於濃度極低的氯乙烯污染團中，可能有利於污染物的降解。</p> <p>首先，於實驗室中測試好氧情況下氯乙烯氧化微生物菌群的成效，通過測定標準化的 VC 氧化速率並根據環氧烷烴：輔酶 M 轉移酶基因 (etnE) 豐度標準化生物量來評估有效性。並藉以改變環境參</p>

項次	題目	作者	重點摘要
			<p>數以評估 VC 氧化菌群在生物強化法的表現，例如，低溶氧狀態。另外，研究也在不同的場址中運用分子生物工具描述及監測重要的 VC 降解菌群，以了解主流菌群以及生物強化後監測其增長和活性。</p> <p>此研究已在阿拉斯加、夏威夷以及加州的氯乙烯污染場址中的地下水樣品中培養出具有分解氯乙烯能力的微生物菌群，這些菌群在完全好氧的情況下展現出約為 0.3-17 $\mu\text{mole/day}$ 的氯乙烯氧化速率。另外，已建立由分子生物工具監測之參與氯乙烯好氧分解的功能性基因，例如 <i>etnE</i>。並開始對場址的初步篩選建立其場址條件和 VC 氧化劑的豐富度之間的關聯。其結果將會製作成指引報告，列出氯乙烯氧化的最佳條件及菌群在不同場址條件下的表現，並擴大研究規模於試驗規模。</p>
6	<p>Thermal In Situ Sustainable Remediation (TISR™): Linking Renewable Energy to Sustainable Site Restoration</p> <p>現地永續熱處理法:結合再生能源和永續場址修復</p>	<p>Davinder Singh Randhawa, Cullen Flanders, Derek Rosso, Philip Visser</p>	<p>在中溫範圍內，每上升十度可增加三倍的微生物動力學反應及有機污染物降解。由於此附加的優點在傳統的高溫熱處理整治中已被特別提出，因此學者們開始對發展較低溫的類似應用產生興趣。此研究旨在探討 TISR™ 程序可達成相似的目標，其利用替代能源(太陽能)分三次增加地下水周圍的溫度於 20-30°C，以增強生物降解污染物的速率。TISR™ 程序不需大量的公共建設，不用污染物處理及處置，以及微乎足道的效用成本。因此，預測與傳統整治方案相比，TISR™ 程序有更快的清理時間和顯著的成本降低。</p>
7	<p>In Situ Thermal Remediation of a DNAPL Source Zone Program Challenges and Post-Treatment Findings</p> <p>現地熱處理整治對 DNAPL 來源區的困難點及後處理結果</p>	<p>Jeffrey Levesque, C. Lee McIlvaine, Nick DiMarcello, William Norris</p>	<p>此研究選用現地熱處理法(ISTR)整治一處受覆蓋層和基岩影響的含氯溶劑污染地區，場址調查顯示此地區含有多種含氯化合物、芳香化合物、氯苯、CFC-113。</p> <p>這篇演講著重在實施 ISTR 時所面臨的困難點及後續發現，例如，以考慮 ISTR 的空氣處理系統而言，共同污染物存在於污染來源區是一個重大的操作議題。加熱操作過程中的快速調查和系統評估將這些化合物鑑定為矽氧烷，並實施一種修改後的操作方法，以有效地管理整治措施。</p> <p>在 ISTR 整治區域之下的結晶破碎基岩的存在對加熱期間的地下水採樣結果以及何時停止加熱操作的決策產生很大的挑戰。因此，以迭代法將“熱”地下水取樣結果與“熱”土壤取樣數據和其他證據結合使用，以評估處理狀態並管理停止操作的順序。</p> <p>即使由實施 ISTR 而降解的總污染物的質量仍少於程式設計的預估值，但在加熱操作後的地下水採樣資料分析顯示此整治方法仍有達成減少污染物質量的目標。</p>
8	<p>Performance, Cost, and Emissions Optimization Using Solar- Powered ISB</p>	<p>Michael G. Sweetenham, Friedrich J.</p>	<p>此研究針對一處先前為工廠用地且受含氯溶劑污染的地下水區域進行整治，因為此地區偏遠且在當地無水無電可使用，所以使用太陽能地下水抽取系統(GWES)於現地操作，抽出的地下水則送至附</p>

項次	題目	作者	重點摘要
	<p>System 利用太陽能 ISB 系統使整治成效、成本以及排放最佳化</p>	<p>Krembs, P.E., P.G., Stephen Lombardo, P.G., Gerhard Risse, P.E., George E. Mathes, P.E.</p>	<p>近的水處理廠處置。並且實施現地好氧生物整治及現地化學氧化法以加強整治效果。最初整治目標為維持污染物濃度於最大污染度濃度(MCLs)之下。在2015後半年，此地區開始進行現況及整治策略的潛力評估。</p> <p>本研究針對其操作方法提出最佳化操作策略，以將強自然衰減的整治成效且減少成本支出。</p> <p>最佳化的過程中，首先要做一個詳細的現況評估，包括傳輸、衰減速率、地質化學，以及之前實施的整治技術所得到的成效。此評估可決定厭氧還原脫氯作用是否已穩定進行，且這些過程是否之後能夠被ISB系統加強。一旦決定使用ISB系統，下一階段工作將著重在發展一個有成效且高效能的傳輸過程。</p> <p>ISB系統安裝於2016年夏天，並搭配注射井及改造太陽能抽水公共設施。這個系統配置為同時注入八口井，按比例將乳化植物油生物添加劑和水混合。試驗結果顯示，地下水中的標定污染物已減少90%，所有操作成本、建設費都小於2016的GWES，直到2017年，成本甚至小於原本的一半。而因為使用ISB系統，可省去7,500英里的卡車運輸量和4M加侖負荷的當地污水處理量。</p>
9	<p>Sulfidation of ZVI for Degradation of Chlorinated Ethenes: A New Approach to In Situ Biogeochemical Transformation 利用硫化零價鐵以降解含氯乙烯化合物之現地生化整治技術</p>	<p>Syful Islam, Andrew Murray, Kayleigh Millerick, Weile Yan, Yanlai Han</p>	<p>運用活性礦物鐵，如硫化鐵和磁鐵礦，的非生物還原反應是降解在地下環境中含氯乙烯化合物的重要途徑。然而，生成具穩定且可預測特徵的活性礦物是使用現地生化過程的整治技術中面臨的挑戰。零價鐵（ZVI）是一種工程材料，廣泛用於整治受含氯乙烯化合物影響的場址。最近的幾項研究表明，在ZVI中控制硫的劑量可顯著提高ZVI在加氫脫氯作用中轉換TCE為良性最終產物的活性和選擇性。</p> <p>本研究旨在解決三個與硫化ZVI有關的問題：i) 控制硫化ZVI的還原脫氯效率的關鍵因素是什麼；ii) 硫化ZVI對不同含氯乙烯化合物的反應性和特異性有何影響；iii) 以生物硫酸鹽還原過程硫化ZVI的可行性。</p> <p>本實驗控制四個商用ZVI產品和實驗室合成奈米ZVI(nZVI)於多項硫化處理程序。以TCE為標的污染物的批次反應器評估硫化鐵的活性，並進行生成物的表面和固態分析以闡明其結構和表面化學，所得的表面化學結果是用來控制硫化處理粒子的重要硫化參數。將鐵暴露於微生物硫酸鹽以評估透過生物化學擾動增強硫化鹽活性的可行性。</p> <p>一般而言，硫化處理在稀釋的液體環境中，可大大加強TCE的還原速率。研究發現，硫化前驅物的選擇以及硫化前驅物和ZVI的接觸時間對於生成物的活性會稍加影響。然而，四個商用ZVI產品之中，有三</p>

項次	題目	作者	重點摘要
			<p>個必須以酸進行先處理才能得到最佳活性，指出天然的氧化層的存在可能是硫突破鐵表面的顯著障礙。少量的硫劑量足以保持加強TCE還原的最佳速率。以硫處理能稍微改善TCE、PCE、順二氯乙烯的降解速率。從表面化學的調查說明，部分ZVI產品中的金屬雜質的存在，對cis-DCE的轉化具有不尋常的催化作用。最後，ZVI浸在普通硫酸鹽還原劑，Desulfovibrio desulfuricans，的培養基中，TCE反應速率顯著增加。此研究仍在努力研究生物衍生的硫陰離子是否可用於改善或恢復現場條件下的ZVI反應性。</p>
10	<p>Redevelopment of Treasure Island: Overcoming Long-lasting Remedial Challenges Treasure Island 的重建：克服長期的整治挑戰</p>	<p>Elizabeth Kimbrel, Christopher Glenn, Dorinda Shipman ,Robert Beck</p>	<p>此研究旨在將舊金山的Treasure Island，重建為一個全新的居民區並且標榜永續及可負擔的起的房子。此演講將討論，1.環境整治的重建階段和產權轉移的時間。2. 克服與城市機構商量有關持續發展的環境條件的困難點。3.提供重建計畫的輔助，包括，和居住環境影響有關的地上活動。4.如何得到和重建金銀島有關的規範證明以管理正在進行的環境議題。</p>
11	<p>Tracking Cleanup of Chlorinated Solvents: Development of Benchmark Decay Rates 追蹤含氯溶劑的清除:基準衰減率的發展</p>	<p>Kenneth Walker, Travis McGuire, David Adamson, Charles Newell</p>	<p>這項研究的目的是利用對整治地點的“大數據”評估，擴展之前的特定地點研究，並評估：(1).含氯揮發有機物(CVOC)的長期趨勢。(2).含氯溶劑及其產物，例如，TCE 和 cis-1,2-DCE，的內部關係。(3). 發展基準衰減率以評估永續處理及監測自然衰減。相關的大數據資料庫也以用在 BTEX、MTBE、1,4-dioxane、含氯乙烯化合物和含氯溶劑的應用上。</p> <p>場址的選取依據 2006 年後的電子濃度紀錄以及偵測到的PCE/TCE 和其降解物的濃度初步資料分析將各場址依據假設的含氯有機物母產品進行分類。透過評估場址各化合物在監測時期的最大濃度，以計算來源衰減率。隨時間的濃度趨勢計算則是從對兩個假設的含氯有機物來源之區域的長期監測資料，以及獨立監測井的資料所得出。並利用一種與監測及整治最佳化系統（MAROS）一致的方法，以追蹤含氯溶劑總質量的趨勢及污染物中心質量的趨勢。最後，在分析參數之間進行統計比較，並評估採樣參數之間的相關性。</p> <p>初步分析指出，PCE、 TCE、 cis-1,2-DCE 和 vinyl chloride 之間有著微妙的關係。例如，在許多場址裡，cis-1,2-DCE 最大濃度超過 vinyl chloride 最大濃度的一個數量級，表明順式-1,2-DCE 可生物降解成氯乙烯或好氧降解氯乙烯。除此之外，少數場址的氯乙烯最高濃度超過 10 倍的 cis-1,2-DCE 最高濃度。在 507 個場址中的 TCE 衰減率結果指出，衰減率約為 0.11，相當於半衰期為 6.3 年。而發展衰減率用於各項解析，作為用於評估永續整治以及含氯溶劑及衍生物之自然衰減的基準衰減率。</p>

項次	題目	作者	重點摘要
12	<p>Linking Acetylenotrophs to Microbial Remediation of Chlorinated Solvents</p> <p>結合乙炔降解微生物於含氯溶劑之微生物整治法</p>	<p>Denise M. Akob, Yesha Shrestha, Shaun S. Baesman, Ronald S. Oremland</p>	<p>含氯溶劑的整治策略包括如何使生物及非生物降解最佳化。非生物降解 PCE 和 TCE 的過程包括中間產物乙炔(C₂H₂)，此過程發生於催化生物降解中的脫氯微生物菌群。兩種策略皆與 C₂H₂ 的存在有關，非生物降解可被 C₂H₂ 的消耗而隱藏，微生物還原脫氯作用則會被 C₂H₂ 抑制。因此，需要相關研究以評估乙炔降解微生物，例如，acetylenotrophs，對含氯溶劑降解的影響。此研究探討一處被 TCE 污染破碎的岩層地下水中的厭氧乙炔降解菌的特色、活動以及身分。</p> <p>實驗室工作包括收集兩場址的地下水，73BR 和 36BR，並於 1:1 混合無菌、厭氧基質、營養物(氮、磷、維生素及微量元素)，並以 C₂H₂ 當作唯一的碳源及能量來源。培養後的微生物菌群透過 Illumina 次世代 16 S rRNA 定序分析其身分，並利用 Pelobacter-AH 特定引子放大乙炔水合酶的基因，再以 Sanger 定序法進行定序分析。</p> <p>在 20-45 天後，皆可在 73BR 和 36BR 的地下水菌群中發現乙炔的消耗，指出有乙炔營養菌的存在。C₂H₂ 的消耗會因為額外添加的 C₂H₂ 而上升。微生物菌群分析顯示兩個地下水菌群明顯不同。地下水 73BR 中主要為 Deltaproteobacteria、Betaproteobacteria 和 Actinobacteria，而 36BR 主要為 Deltaproteobacteria、Actinobacteria 和 Spirochaeta。儘管在厭氧培養的情況下，沒有任何已知的厭氧乙炔營養菌(Pelobacter 屬)被偵測到。然而，好氧乙炔營養菌群，例如，Nocardioideae 和 Mycobacterium，則被偵測到少量豐度。令人意外的是，Pelobacter-AH 基因只在地下水 36BR 被偵測到。此研究認為，在污染的地下水中存在未知的乙炔營養菌群。最後，在已知 C₂H₂ 會影響整治含氯溶劑的策略前提下，此研究點出了對於了解可控制乙炔轉換的微生物菌群仍需進一步的研究。</p>
13	<p>Prospects that Abiotic Degradation of TCE by Naturally Occurring Magnetite Can Be Important for Monitored Natural Attenuation</p> <p>天然存在的磁鐵礦對 TCE 的非生物降解對於監測自然衰減的重要性</p>	<p>John T. Wilson, Barbara Wilson, Dora Taggart, David Freedman, Diana Cutt, Lorenzo Thantu</p>	<p>地下含水層中存在大量的磁鐵礦，在這些含水層中，透過磁鐵礦的 TCE 非生物降解是自然衰減中非常重要的機制。磁鐵礦的數量和磁化力呈現正相關。許多方法可用來判定沉積岩含水層的質量磁化力，並已發展出和降解 TCE 和 cis-DCE 的速率常數之間的經驗關係。</p> <p>在各種好氧的鬆散砂質含水層中，磁化力範圍從 2 × 10⁻⁷ 到 2 × 10⁻⁶ m³ /kg。TCE 或 cis-DCE 的生物還原脫氯作用並不會在這些含水層中出現。但是，場規模的 TCE 或 cis-DCE 降解的整體速率常數則由每年 0.1 至 0.7，中位數每年 0.3。</p> <p>此研究比對了磁化力在 312 個樣品中的分布，並已先由 Microbial Insights 分析確定這些樣品適合以非生物整治法處理。但是，磁化力在某一個範圍內無法證明 TCE 的非生物降解在特定的場址中是扮演非常重要的角色。另外，此研究也已發展出利用化驗 14C-TCE，可</p>

項次	題目	作者	重點摘要
			<p>直接測輻 TCE 的非生物降解速率常數。此化驗可以用來驗證並確認磁化率測量結果。</p> <p>在 312 個樣品中，有 118 個的磁化力大於 $2 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{kg}$。大約有 38% 的磁化力數值，落於和每年 0.1 至 0.7 的場規模整體速率常數的場規模污染團之相同範圍內。許多法規團體將考慮以自然衰減的方式執行，當最大的 TCE 濃度為 $100 \mu\text{g/L}$ 或更少。以每年 0.1 的速率常數來看，將需要 30 年的時間將 $100 \mu\text{g/L}$ 的濃度降至 $5 \mu\text{g/L}$，每年 0.3 則為 10 年，每年 0.7 則為 4.3 年。14C-TCE 化驗的速率常數平均比場規模的比例常數高出 4 倍。透過此化驗可證明，場規模的速率常數是歸因於磁鐵礦的非生物降解。</p>
14	<p>Reusing and Revitalizing a Contaminated Former Production and Testing Facility in a Rust Belt City</p> <p>在美國鐵鏽地帶的一個前生產和檢測工廠於城市中再利用和振興</p>	<p>Thomas M. Kinney, Michael J. Coram,, Grant Trigger</p>	<p>此研究場址的土壤及地下水受到從 1906 年開始的汽車製造和檢測設施影響。主要污染物包括 LNAPL、可溶性 VOC 污染團和土壤中的 PCBs，美國環保署要求劃定地下水中的 VOCs 範圍，消除潛在的 LNAPL 和 VOC 傳輸路徑，並且整治受 PCB 影響的土壤。</p> <p>首先，更新概念性場址模型並且劃定影響及非影響範圍，此過程透過傳統土壤採樣和監測井設置完成，並透過 LIF 鑽孔、指紋分析及透射率測試，調查 LNAPL 的範圍。從 LNAPL CSM (LCMSM) 認為 LNAPL 可恢復性是最小的。之後，依照 EPAs 核定的整治工作執行。工作項目包括，消除影響區內的 LNAPL 及溶解相 VOC 污染的潛在傳輸途徑。最後，土壤中的 PCB 則以 GSR 的方式做整治過程的監測，包括使用 PCB test kit，提高了開挖活動的即時性，並減少了實驗室樣品的數量，從而實現了極具成本效益的操作。</p> <p>經過了一系列的整治工作，此片污染場址很快地就被售出及再次發展起來。該場址被重新開發為 87 英畝的汽車愛好者遊樂場，包括汽車公寓和 1.5 英里的藝術賽道。</p>
15	<p>Successful In Situ Pilot-Scale Test Design and Implementation to Treat Groundwater Impacted with PCE and TCE through Organic Carbon and Soluble Iron Injections</p> <p>利用有機碳及可溶性鐵注入處理受 PCE 和 TCE 影響的地下水模場試驗設計及實施</p>	<p>Jim Claffey, Reinhard Ruhmke, Jim Nguyen, Kevin White, Karnam Ramanand</p>	<p>此研究選用一地含 PCE、其他含氯揮發有機化合物(CVOCs)、及石油碳氫物的污染場址作為試驗。此試驗建立於 2016 年的四月，用以評估潛在加強現地厭氧生物及非生物降解以控制污染物的在現地內的遷移及其下游的影響。而由試驗結果顯示此整治方法可達成整治目標，因此考慮運用至全面的整治範圍。其關鍵的設計元素包括，選用適當的電子供給者，決定適當的灌注量，採用適當的鑽孔和灌注方法，並且設計一個可以快速分布灌注液的系統。</p> <p>研究結果顯示，灌注 EHC-Liquid® 混合液可以增強還原脫氯作用在地下水中的活性，此可從 PCE 和 TCE 濃度的下降，以及其衍生物穩定地增加濃度進而判斷。六個月的試驗期間內。EHC-L 的影響半徑被推測將會成長至 10 英尺，此數據和脫氯作用的數據則持續的在收集。經過一個月後的灌注後，在距離 EHC-L 注入點 10 英尺處的</p>

項次	題目	作者	重點摘要
			<p>成效監測井中，其（cis -1,2DCE + VC）與（PCE + TCE）的平均摩爾比約為灌注前的基準濃度的 25 倍大，顯現出全面現場處理的潛力。在大部分的試驗監測井中，這個比例的下降是隨著衍生物（cis-1,2-DCE and VC）持續脫氯至乙烯及乙烷，指出 PCE 和 TCE 脫氯至無害的最終產物有一定順序。</p> <p>還原性脫氯受到相關生物化學作用的支持，例如，硫酸鹽被還原為硫化物，觀察到亞鐵的增加；大量產甲烷的活動；和約 2 個數量級增加的 <i>Dehalococcoides</i> sp 數量。</p>
16	<p>Green and Sustainable Remediation of Contaminated Land in China: Perception, Progress, and Path Forward</p> <p>中國綠色永續整治之應用於受污染之土地：看法、進展、未來發展</p>	Deyi Hou and Yinan Song	<p>綠色永續整治在整治工業上已經成為一個新的議題，也吸引到了來自全世界的學界、工業界、和監察機構的大量關注。</p> <p>越來越多的國家開始應用了 GSR 的所發表的行動程序在本身的法規上以及技術指引上。GSR 與整治的市場整合目前在中國並沒有被正視，也並未被正式的研究。</p> <p>全球的永續行動帶動了多國政府與從業者的參與，包含了中國，世界上成長速度最快的市場，也預期會成為第二大或是最大的整治市場，另一方面，整治的專業與永續整治在真實是建上的應用也是一大挑戰，特別是像中國這國家，整治市場正在起步的階段。為了符合這樣的需求，由三個中國研究單位，兩個整治公司共同研擬出中國第一部國家級 GSR 技術標準程序，研究數據以及過去的經驗證據都會被使用在目前的分析上。</p> <p>在中國對 GSR 的看法進展以及未來展望上將會被討論在這個專題裡，在撰寫 GSR 的標準程序所面臨的議題也會一併的分享給聽眾。</p>
17	<p>Sustainable Remediation of Polluted Agricultural Land in China</p> <p>中國永續整治於受污染之農地</p>	David O'Connor, Deyi Hou	<p>中國目前正面臨著整治的難題，有將近五分之一的農地是被污染的，中國政府野心勃勃的預計在 2020 年要整治至少 700,000 公頃的污染農地，也要在 2030 年前將 95% 國土污染場址已安全的原則上再做應用。去探討各個行動的永續性成為了手要面對的問題與挑戰，特別在是乾燥以及半乾燥地區退化土地的復原更成為了棘手的挑戰。越多越多的發表在解決永續整治在工業場址但是在農業場址的整治中包含了不同的永續力的面相以及不同的指標，農地整治需要考慮社會以及經濟面，生命周期以及附帶的環境影響以及農業永續。</p> <p>基於越來越多有關綠色永續整治科學知識，永續農地管裡的文獻也越來越多，目前的研究也首次出現了對於農地永續整治架構的探討，提出的架構包含了四個影響的類別（社會、經濟、環境、農業），11 個副類別與 32 項指標，對於永續的探討包含了五個農地整治場址案例分析，以及一個生命周期評估包含了一個在中國北部乾燥的地區場址。提出的架構中在傳統的環境、社會以及經濟支柱增加了農</p>

項次	題目	作者	重點摘要
			<p>地永續力因為很多的理由。首先，我們把與農業生產相關的永續性視為非常重要的一項指標卻也常常被中國的整治工作所忽視，因此將可持續發展性之順序往前放以提高大家對其之關注也是非常重要的。第二，有些農業指標比如說土壤品質，土壤生產力視為一個總體，換言之，同時具有環境、社會以及經濟影響三個面向若是將其納入同一個特定類別中，就將會失去一些信息想傳達的意思。第三，現有的永續力相關理論提出了在實行永續力的評估應該要參照前後關係以及全面的評估。</p> <p>評估的結果指出，很多的案例分析顯了計劃更需要增加社區參與以及農民之滿意度，長遠的考慮若是必須要增進長遠的整治的功効，以緩和在生命週期中所排放的次要污染物，也為了確保在整治的過程中維持土壤的肥力。很多的考量都與未考慮到基於傳統的人類健康風險為考量的決策過程之外部因素，更多的科學研究和政策指引發展以及提高中國農地整治生命週期可持續性是必需的。</p>
18	<p>Incorporating Climate Change into Long-Term Remedies and Operation and Maintenance Plans</p> <p>將氣候變化結合長期整治操作與維護計畫</p>	<p>Lucinda Pype, Melissa Harclerode</p>	<p>氣候變遷已影響了監管機構對於長期整治操作與維護(O&M)的想法，在美國東北地區因氣候變遷預期會造成的影響包含了，極端氣溫、地下水面異常極端、大量降雨伴隨著水災，海平面上升，海洋酸化等等。因此氣候變遷有著潛在的驚人影響，包含整治的性能、有效性和保護性。弱點評估和持續的追蹤流速和水位已提供相關的資訊以整合整治設計、預防措施和 O&M 以緩和洪災日益增加的爆發頻率和強度，這次的報告將會討論 EPA 的氣候變化相關政策以及紐約與賓州這兩個地區是如何將連續的氣候變遷監測和長期整治計畫結合。第一個案例分析將會涵蓋長期的 EPA 清除計畫在 BoRit Asbestos Superfund 場，其河岸邊的土壤因為石棉的覆蓋而受到影響。第二個案例分析為 NYSDEC 聚氨酯場址，其 LNAPL 的滲漏率受到水位波動與降水影響。</p> <p>USEPA 的氣候變遷計畫提出了將 100 年的暴雨事件都加以考慮，以及其他可靠的事件(例如一百年的洪氾區以及長期的乾旱)，以區別以百年來的暴雨歷史。為了判斷是否這些歷史性(或現今) 100 年氣候相關之事件的特徵會經過時間改變，流速的基線監測，水位和降雨數據將會在 O&M 執行的期間被收集。數據會被應用在發展”目前”場址連續的基線以斷定趨勢走向，更新靜態條件以反映水流速以及洪災頻率的增加。監測數據將會與現場檢察觀測結合使用以判定氣候變化的影響是否與”蓋帽完整性”和 LNAPL 產生有直接的關係，然而預防措施引發的考慮去確認現存的遏止系統是否基於合理的天氣事件預期。</p> <p>聯邦機構正在將氣候變遷計畫超越補救設計與選擇，現正正在</p>

項次	題目	作者	重點摘要
			<p>剛開始將這項計畫納入 O&M 之活動。被確認的漏洞正在被用來查明當地的氣候資料以協助確認長期的補救措施之有效性也能夠保持人類和環境的安全健康。這種預防的方法可以實現防災的計畫也能夠更彈性的適應不斷變化的氣候，對 NYSDEC 場址的監測會在 2016 年秋天開始，BoRit 場址則會在 2017 年開始。所有的監測數據和氣候變化弱點評估都會在 O&M 季度中提供相關報告也會將此份報告做總結。</p>
19	<p>ASTM E2893-16 Greener Cleanup Self-Declaration at Marine Corps Base Camp Lejeune ASTME2893-16 海軍陸戰隊基地-Legeune 營更綠的清理自我宣言</p>	<p>Monica Fulkerson, P.E., Betsy Collins, Paul Favara, Matt Louth, David Cleland, Charity Delaney</p>	<p>自從 2009 年，海軍設施工程指揮部 (NAVFAC) 以及 CH2M 共同致力於能源，空氣、廢棄物、原料等核心元素，以及海軍陸戰隊基地-Lejeune 營每個階段的土地和生態系統之環境足跡減少的計畫。紀錄下 MCB 營地 Lejeune' s 的安裝回復計畫(IRP)，軍事彈藥回應計畫(MMRP)，以及資源保護和恢復法案(RCRA)符合更綠的標準指南 (ASTM international;2016) 和綠色清潔自我申報 (ASTM E2893-16)都於 2017 年完成。</p> <p>以下有五個步驟在執行更綠的整治的自我申報流程，第一步：在八個類別底下(建築、材質、動力與燃料、計畫與團隊管理、殘餘固體與廢液、場地籌備與土地恢復、表面與暴雨降水、車輛和設備)總共列 31 個最佳管理措施被選定為可能適用的，進而步入第二步驟。</p> <p>第二步：被選擇的 BMPs 會以進行優先排序基於每個相對執行可能性去減少環境足跡。在優化的過程中，會有 7 個較低的設計，18 個中等的設計以及六個高的設計。</p> <p>第三步：從優先順序的表單上會包含了 20 個 BMPs，被排除的理由則會包含對環境潛在環境影響減少，以及可執行性、有效性、可靠性、短期風險、社區優先和成本。</p> <p>第四步：20 個 BMPs 會在評估期間在基地的所有地點實施，補救選擇、補救設計、實施、操作、保養、監測以及優化。</p> <p>第五步：這些過程將會被紀錄在更綠的整治自我申明中，變成大眾也能夠取得的資料。</p> <p>這份報告裡面會詳細的紀錄更綠的整治自我申明中的五個步驟也會包含及提供 BMPs 選擇、優化評分機制、排除 BMPs，BMPs 實行的範例，更多的細節以及 BMPs 實行所造成的環境足跡以及 SiteWise™如何利用在 BMPs 的評估和執行步驟也會被提供。</p>
20	<p>Seven Remediation and Mitigation Techniques in Use at One Active Brownfield Redevelopment Site</p>	<p>Jessica Yeager, Alice Blayney, Julianna Connolly, Chapman Ross, Douglas G. Larson</p>	<p>在大約兩年以前，一家保密的褐地重建者與 Geosyntec 顧問公司簽約，在波士頓進行場址調查，此地是受到多氯聯苯(PCBs)、氯化溶劑、和石油成份的影響。cVOCs 主要存在在地下水和非飽和土壤中，地下水的影響主要位於在黏土層中，大約有 30 到 45 英尺(bgs)。建築以下的土壤氣體所測出的三氯乙烯(TCE)與四氯乙烯(PCE)濃度遠</p>

項次	題目	作者	重點摘要
	<p>褐地再開發場址中影用之七種整治與減緩技術</p>		<p>高於蒸氣入侵篩選值。從 2017 年 6 月開始場址再開發計畫，在場址中設置了一個大型 14 孔土壤蒸氣萃取系統(SVE)和 6 之亞板減壓系統(SSD)。此外，Geosyntec 進行了全面性的空氣監測與土壤管理行動。</p> <p>Geosyntec 為了該場址開發的監管關閉方式，包括蒸氣緩解、來源整治、契約限制以及基於風險的關閉。以 SVE 系統去除建築物底下不飽和烴中氯化溶劑的期間，發現了含有 TCE 影響的混凝土覆蓋物。由於健康和安全性問題使得開挖變的複雜，但這些混凝土物質的移除，會與污染物減量有關，並有可改善 SVE 系統性能。使用 SSD 系統可以時現蒸氣緩解，SVE 以及 SSD 系統是目前正在安裝，也會在 2018 年四月進行大約六個月的安裝。其安裝與其他站點的安裝進行設備整合與操作頻率強度的調整，透過這樣的協調操作，可達到永續工程的目標。2015 年 12 月，注入乳化植物油(EVO)和 KB-1® 細菌培養物進入地下水中 PCE 與 TCE 濃度升高的地區。</p> <p>第二輪的整治性注射 EVO，乳化零價鐵(EZVI) 和 KB-1® 細菌培養物在 2017 年 3 月進行，以解決持續高氯化溶劑問題濃度。在 2017 年 3 月注射期間還注射了乳酸來解決問題，但監測井中，pH 值升高，抑制 KB-1® 細菌的生長。</p> <p>Geosyntec 在麻州針對了這個複雜的場址的應急計畫(MCP)採用了許多方法進行操作。一個整治列車的組合已經被使用在場址來源控制，包含了注射 EVO、EZVI 和乳酸，SVE 系統，挖掘。減輕技術包括 SSD 系統和制度的控制。自從第一次整治注射以來 1.5 年期間，地下水中的 TCE 和 PCE 有了顯著的減少(95+)。大約 20 立方碼受高度影響的材料 (24,000 ppm TCE)以從建築物下的混凝土覆蓋物被移除。我們預期將有六個月的 SVE 運行數據與 SSD 系統和另外的三輪地下水數據。</p>
21	<p>Characterization of the Intrinsic Biodegradation Potential of an Aquifer Contaminated with Chlorinated Ethenes and Implementation of a Field-Scale Biostimulation Test</p> <p>受氯乙烯類污染的含水層內生物降解潛力評估與實施場址試驗</p>	<p>Ernest Marco-Urrea, Teresa Vicent, Natàlia Blàzquez-Pallí, Joan Varias, arçal Bosch, Mònica Rosell, Albert Soler</p>	<p>此計畫的目標為評估位於巴塞隆納(西班牙)內的工業用地可能受到 PCE 和其降解產物 TCE DCE 和 VC 所污染的含水層進行生物整治。利用實驗室試驗研究，碳同位素分析，Illumina 對 16S rRNA 基因測序分析，基於這些結果，選擇並施時加強是生物還原脫氮的策略，並進行地下水污染整治的前導試驗。</p> <p>在實施現地前導試驗前，進行兩次抽樣(2016 年 5 月和 10 月，共 14 個監測井)確認含水層是否具有適合還原脫氮的水文和地質條件。氯乙烯類在含水層中有地下水同位素分餾($\delta^{13}C$) 推測有生物降解作用，此外，實驗室試驗是評估當地細菌是否可以完全脫氮，同時測試不同的基質(乳酸鈉、甲醇和乙醇的混合物、和商業性產品)對生物降解的效果。最後使用 Illumina 定序，評估 <i>Dehalococcoides</i></p>

項次	題目	作者	重點摘要
			<p>和其他 organohalide 呼吸細菌的存在與否，基於這些結果，進行了模場規模的乳酸鹽注射試驗，評估生物刺激處理受污染地下水效果。</p> <p>PCE、TCE 和 cis-DCE 的 $\delta^{13}C$ 在不同的監測井中有顯著差異(大於 2‰)，但可達到同位素平衡，表示生物還原脫氯確實在場址中發生。實驗室試驗表示添加有機酸或商業藥劑後，表現出較高的脫氯效率，Illumina 定序用於確認是否存在地下水中的 <i>Dehalococcoides mccartyi</i>。由上述結果之後，選擇乳酸鈉做為現地生物整治的基質。2016 年 10 月 25 日開始試驗，注射乳酸鹽水溶液，結果顯示加入乳酸鹽可降低氧化還原電位，含水層的氧氣濃度也顯著降低，200 天後，從乳酸注入的監測井位置中能夠檢測出的主要物質為乙烯。</p>
22	<p>Restoration of a Coal-Fired Power Station Site: Science, Perception and Regulations</p> <p>燃煤火力發電廠的再生：科學、知覺與法規</p>	Dr. Fouad Abo, Chris Rigby	<p>此場址的佔地面積很大(大於 95 公頃)的地點曾經是一個營運超過 50 年的褐煤發電廠。在此場址進行的活動也包含了處理灰池處理現場產生的廢物和一個消防訓練場。由於發電廠不再運行，場址依據現行的環保法規，被要求要做污染評估、劃界、清理/整治和撤資以便再利用。此場址也是根據著清理通知(CUN)，CUN 的制定是因為考量過去的行動所產生的污染情形，準備計畫撤資包含了設施的退役和拆除。該場址有許多的(>30)潛在關注區(APC)，包含灰池，庫存的填充材料、過去使用的油桶存儲、1950 年代的垃圾掩埋場、消防培訓、原煤燃料倉、鐵路線和堆場、礮磚、沉積在地面上的灰塵、垃圾場、相鄰灰池的滲漏、PCB 變壓器、脫水、池塘等。</p> <p>土壤地下水中可能的污染物包含：</p> <p>PFOS/PFOA, PCBs, PAHs, TPHs, and Inorganics and Dioxins.</p> <p>此場址經過了多次的評估做為除役許可要求的一部分，本研究詳細說明的基本原理、現場評估以及如何整合來自歷史調查的數據、污染減排通知、未來使用、社區關注等被用來開發和整治的工作程序。此工作程序的規範是為了實現一個設定的目標，本研究中提到各種方案與項目的共同目標即是活化該場址。</p> <p>基於土壤相關的污染物之演變和特徵，和土壤特性相關和暴露情景，決定採用基於風險方法來表示土壤地下水的污染物特徵。選擇這種方法最重要的是評估清理恢復大型場址的潛在成本。由於場址下面三個含水層的存在而變得複雜，污染鄰近工業場址的活動造成場址的潛在影響。對於此研究以及接受環境 CSM，社區對風險的看法也被視為風險管理的方法之一。</p> <p>經過我們的整合，上述所提及的方法產生了識別每個 APC 中所注重</p>

項次	題目	作者	重點摘要
			<p>的污染物，因此多數的基於風險的 APCs 也被淘汰，如此沒有 APECs 沒有整治的必要。該 APC 的數量逐漸減少，沒有明顯造成傷害的風險(土壤/地下水/表水)，也僅有有限的進一步調查的需要。此篇報告將會討論，從科學的角度上應該要如何看待 CUN，會在本文中找到並分享一些重要的工業上的課題。</p>
23	<p>Performance and Refresh of a Full-Scale Biowall System Designed to Treat Chlorinated Solvents in Groundwater</p> <p>性能與更新之全規模 biowall 系統的設計來整治地下水中的氯化溶劑</p>	<p>Daniel R. Griffiths, Beth Badik, Todd Belanger, Randy Battaglia</p>	<p>在先前的 Seneca 陸軍基地活動位於紐約附近的羅穆盧斯鎮 Finger 湖區域，灰燼掩埋場位於前倉庫附近，由 5 個與焚燒無害材料和焚燒灰份處理有關的前固體廢棄物管理單位組成。這個場址的營運導致氯化溶劑對土與地下水的影響，的下水污染團向南延伸約 1,100 英尺。1990 年代中期開使進行灰燼掩埋場開始的整治，進行源頭清除挖掘和設置零價鐵(ZVI)可滲透反應屏障(PRB)，但在 1999 年在出現 plume toe。</p> <p>在 ZVI 以及 PRB 安裝以後，灰燼掩埋場的氯化溶劑評估污染團已確定其可能存在多長時間，並評估需要 ZVI 和 PRB 多少時間。模擬所預測的污染團的生命週期是無法被接受的長。以樹皮覆蓋物所形成的 PRBs 被選擇來增強式生物修復，在 2005 年在現場試驗成功完成後，選定用於與污染團控制並擴建。在 2006 年，挖掘了一個 2,840 英尺長的在樹皮覆蓋物 PRBs，分別設置在四個分開 biowall 片段中。Biowall 片段中跟著污染團的長度放置，垂直於地下水流向和污染團移動方向。經過大約 10 年，Biowalls 已經開始呈現耗竭以及整治表現下降。在 2017 年，灰燼掩埋場的 Biowalls 系統用更多的有機碳和 pH 緩衝更新以重新建立其性能。Biowall 的更新是透過安裝注入井並從臨近 Biowall 井中抽取地下水在每個 Biowall 段中混合乳化植物油與 pH 緩衝液，進行再回注。透過抽出與注入的流場控制，促使抽出和注入之間的循環迴路改善了基質的分布。</p> <p>在原始的 Biowall 前導試驗和全規模設計之過程，Biowall 系統的生命週期大約是 10 到 15 年，Biowall 系統會達到預期壽命的下限在需要碳更新之前，保持系統的性能。Biowall 耗盡和更新的需求經由多重的證據方法被認為是由對地球化學位移統計分析和翻轉主產物(TCE)和子產物(cis-1,2-DCE, VC 和乙烯)濃度趨勢。這一系列的證據方法適用於任何增強的生物整治修復應用程序來判定枯竭和更新之需求，Biowall 的性能數據和一系列的證據方法則是呈現判定 Biowall 消耗的路線。</p> <p>在 Biowall 更新期間，Biowall 的回填材料比預期有更低的滲透性是因為隨著時間的推移材料壓實與細砂的比例也比預期更高。這就需要在 Biowall 上安裝額外的注入井和降低設計影響半徑以確保達到足夠的襯底分布。自 Biowall 更新以來，一次性的採樣已經完成，在更</p>

項次	題目	作者	重點摘要
			新後的數據集和更新時吸收的經驗將會被呈現。
24	<p>Effective Management of a Recalcitrant Petroleum Hydrocarbon-Impacted Site by Phytoremediation</p> <p>使用植物整治對於難分解的石油碳氫化合物影響區域之有效管理</p>	Patrick Campbell, Jay Grosskleg and Kris Bradshaw	<p>在 1992 年退役前，有家散裝石油工廠位於加拿大馬尼托巴省的一個鄉村小鎮，由五座地上儲油罐的典型裝載架、一個油棚和兩個水平地上儲油罐(AST)所組成。場址的調查在 1990 年代完成，也發現了石油烴(PHCs)超過了加拿大環境部的標準，法規在 2012 年後被批准，隨之而來的為植物整治調查被提出，此計畫的提出是為了評估值物修復的有效性以及做為永續的方法來整治先前頑固的 PHCs 影響了散裝場場地。這樣研究的結果被應用來評估值物整治當做永續整治選項在相向的低價值、低風險的鄉村地區。研究計畫的預期時間表將在十年內評估，從 2012 年開始種樹，完整的植物整治的有效性，此項目會增加成熟的樹木被建立在現場，補救措施並且數目的液壓控制效果將隨著時間的推移而提高，預期的壽命也將會延長，選定的楊樹和柳樹品種都超過五十年，其中這份報告將會顯示現在的狀態已及四年後的狀態。</p> <p>作為該計畫的一部分，一些研究行動將會被實施進而幫助增進未來類似的計畫，此研究措施包含了：</p> <ol style="list-style-type: none"> (1)土壤混和 (2)使用微生物根生長補充劑 (3)評價 cotoneasters 作為偏好樹種 <p>土壤混和完成後，已改善地下條件(即分配和增加氮肥，氧氣和原生物低滲透土壤中的微生物群種)，濃縮的 PHC 區域的減少，以及去除高度壓實的表土。從已知的參數知道植物整治有一限制，即為植物修復與植物長地，每棵樹都會在相隔 2.2 公尺的地方栽種。大約一半種植的樹種為 Myke® 樹和灌木菌根，而生物整治中最長使用的楊樹和柳樹種，也構成了潛在的高度發展的問題而架空線路的地區，使用 cotoneasters 而因為高度是否影響其有效性因為沒有被科學紀錄所以目前未知，在 476 棵樹中隨機挑選 17 棵作為代表來評估已安裝之樹木的健康與監測井網絡。</p> <p>以 Myke® 處理過的樹群都維持在很好的健康狀態下，但其對照組卻各不相同。雖然少數樹木已經死亡，但其餘的楊樹仍然健康，高度超過 5 米，樹徑在種植直徑的七倍左右。楊柳的樣本則大致上呈現很好的狀態，高度為至少原種植樹木的兩倍，且樹徑是原來的三倍。而构子相關樹種則是無任何增長。除此之外，LNAPL 相的產品光澤在四年後則不再被偵測到，且 PHCs，例如，BTEX 化合物的濃度則大幅減少 2 到 5 倍。地下水高度測量指出，透過增加地下水深度可以使樹木對水的需求上升，進而對此場址產生拖延影響。</p>
25	Polluted Soil Remediation	Stéfan	含氯溶劑的回收(CSs)一般是由抽水過程中取得，然而，此項技

項次	題目	作者	重點摘要
	<p>of Heavy Chlorinated Solvents in Saturated Porous Media: Effects of Thermal and Chemical Enhancements</p> <p>飽和多孔隙介質之重含氯溶劑污染的土壤整治:熱處理及化學加強的成效</p>	<p>Colombano, Hossein Davarzani, Ioannis Ignatiadis, Jacques Deparis, Dominique Guyonnet Eric D. van Hullebusch David Huguenot</p>	<p>術既耗時又無法回收其他相關的溶解性排放物。本次研究旨在討論用熱處理及化學加強的方式來回收含氯相關的化合物，例如，hexachlorobutadiene、hexachloroethane、perchloroethylene、pentachlorobenzene、trichloroethylene。</p> <p>此研究先探討 DNAPL 的流變參數，例如，密度、動力黏滯度、介面張力及表面張力。而吸排水測試是在一個小單元中進行的，用以確定毛細管壓力飽和函數。並在一列（1D 測試）中進行測試以驗證數值模型。最後，為了最佳化這些過程，以 2D 的抽水試驗在不同的流速下執行。這些測試是以不同半徑的玻璃珠(0.1 和 1 mm)，在不同的溫度下(10 和 45°C)，並應用不同的表面活性劑(SDBS、Triton X-100、Aerosol MA-80 和 Tween 80)。DNAPL 流則以時域反射儀(TDR)探針、地球物理探測器，以及影像技術(Light Reflected Method-LRM)。以 COMSOL Multiphysics® 建構數學模型，可用於 1D、2D 的項目，且實驗數據將同時與之比對。</p> <p>結果顯示，溫度上升會導致 DNAPLs 的動力黏滯度下降，且對介面張力及表面張力的影響有其極限。根據種類及濃度的不同，表面活性劑可減少介面張力由 12 mN/m 到 1 mN/m。利用小單元進行多種分析模式比對可得出兩相系統的保留曲線，最佳的相關曲線則是利用 van Genuchten - Mualem 模式和 Brutsaert - Burdine 模式得出。從這些保留曲線顯示出 1. 當溫度從 10 上升至 45°C 後，殘存相的 DNAPL 減少 30%。2. 界面活性劑的添增可以增加 DNAPLs 的活動力。3. 使用 aerosol MA-80 將殘存飽和量降低 24%。</p> <p>2-D 抽水實驗可評估 ROI 和 PFR。在熱和化學的加強處理後，抽水的 ROI 顯著的上升，另一方面，隨著 PFR 的增大，加強處理的成效愈不明顯。最後，所發展出的數學模式，可以準確的在多孔基質的兩相流中，複製出實驗的數據，尤其是在可預測水和 DNAPL 交界面的移位處。</p>
26	<p>Lessons Learned during DNAPL Source Zone Remediation</p> <p>在 DNAPL 源區整治期間吸取之經驗</p>	Erik Gustafson	<p>在紐約皇后區發現了占地 17 英畝地下存儲系統洩漏污染場址，由於場址位於一個低滲透性黏土夾砂的地質上，因此存在吸附項的氯乙烷 DNAPL。在這個場址設置一個生物整治系統，但不幸的，在系統啟動後，自由相 DNAPL 在整治系統中被捕捉。這個移動相 DNAPL 並沒有在 RI 期間被辨識出來，這使得污染來源遠大過於原本所預期。</p> <p>DNAPL 區被補充調查所描繪，原本的生物整治系統一開始是以抽除 DNAPL 的方向去改造，當 DNAPL 抽出的速率變得下降，則採用共溶劑沖洗方法來增加 DNAPL 的抽出量。</p> <p>在刺激厭氧微生物進行還原脫氯過程中，生物整治系統抽取 48</p>

項次	題目	作者	重點摘要
			<p>口抽水井，並利用 34 口井混合乳酸和營養鹽後回注地下水，此系統是為了處理土壤氯化 VOC 濃度超過 500ppm 地區所設計的。在 2012 年，在溶劑沖洗整治期間，總共有 15,000 加侖 190 級乙醇被導入地下，大約 28,000 加侖通過專用的注入井網絡和抽取井進行淘洗。在處理區中，乙醇的濃度增加，乙醇將 DNAPL 溶解至溶液中，在經由抽取井從地面抽除。</p> <p>在這八年期間，生物整治系統已經被重新配置四次來解決場址改辦的情形，在更積極的處理頑固區域，或是改變先前重新配置的井場。生物整治期間的監測顯示 9 個月內可以完成了地下乳酸鹽的分布，然而，很多區域仍然無法觀測到乳酸鹽(或其分解產物)濃度。根據生物活性觀察，某些區域據有生物活性，但其他的區域展現了完全沒有生物活性。通過井場重新配置，顯著的進展可以被看到，最近期的重新配置大約有 50% 的系統可以被停用。在施用共溶劑沖洗的程序期間，地質的複雜性變得顯著，然而一些的地區展現了乙醇的濃度接近了 65%，其他的地區顯示了乙醇沒有可觀的增加，包含了從注入井離監測井不到 2 英尺的地方。雖然共溶劑沖洗被認為是成功的，這些結果會造成注入/抽出方法在重疊的修改後造成 DNAPL 最大化的修復，基於流動相的 DNAPL 不會被看見，此計畫有潛力能夠達到更好的效果如果我們對複雜的場地地質有更深入的了解。</p>
27	<p>Integrating Remediation Systems with Site Redevelopment: A New York State Brownfield Cleanup Program Site Case Study</p> <p>整治系統與場址重建結合：以紐約州褐地清理計畫為例</p>	<p>Omer Uppal , Steve Ciambuschini, Christopher McMahon, Matthew Ambrusch, Nadira Najib, Stewart Abrams, Imtiyaz Khan, Thomas Russo, Robert Gaupp</p>	<p>本計畫位於 Gowanus 運河沿岸，其中包括一座重新分區的城市街區，該街區以前是標準的石油碼頭。計畫發展包括通過紐約州褐地清理計畫(BCP)建造一座 12 層，323,000 平方英尺的綜合用途建築，一個新的阻隔牆和一個公共海濱廣場，並由聯合國監督美國環境保護局(USEPA)。在紐約布魯克林開發商業/住宅時採用了深度調查和整治工法，在 1869 年完成 Gowanus 運河建造後，高地部分成為全國工業化程度最高的地區之一，經過幾十年的工業影響和環境管理不善，許多場址留下了阻礙重建工業的影響，在現場調查後發現，早期現場作業導致許多地下污染的產生，包括早期石油洩漏的產物，基於這些影響，該場址被列為紐約州環境保護局(NYSDEC)洩漏場址。</p> <p>根據 USPEA、NYSDEC 和紐約市環境整治辦公室(NYCOER)的監督完成調查，確定了九個需要修復的關注區(AOC)，限制了挖掘區域和需要回收利用的土壤量，整治措施包括：挖掘主要受石油影響的 AOC；安裝被動膜降壓系統；設置一個現場複合系統覆蓋物；以及沿運河的阻隔牆。此外，還開發了一種綜合整治方法，以解決在拆除的建物佔地範圍兩個 AOC 內土壤與地下水剩餘的 LNAPL 影</p>

項次	題目	作者	重點摘要
			<p>響。一個 AOC 中發現 4 號燃料油與汽油的污染，其整治措施包括多項萃取(MPE)系統、土壤氣體抽除法(SVE)以及空氣注入法(AS)，用以同時解決燃油和汽油的影響，儘管 MPE 系統設計用來去除剩餘的燃油，但 SVE/AS 系統可以從飽和與未飽和層土壤中去掉 VOC 以及汽油。這兩個系統最終都是為了滿足地下水整治所設計的，此外，還設計了一個主動式蒸汽緩解系統，以減輕新建公寓樓板下面的污染物以及土壤和地下水影響造成的水汽，從而保護居民健康。</p> <p>MPE 系統設計由 10 口抽除井組成，而 SVE、AS 分別由 7 口、4 口井組成，蒸氣緩解系統由 16 口水平井組成，所有 SVE 和蒸氣緩解系統均為防爆型設備，滿足美國國家電器法規(NEC)I 類,分類 1 標準需求。由於新建築的計畫作為住宅用途，所有與整治相關的整治井、管線以及儀器都安裝在建築結構版以下。作為 BCP 計畫的一部分，由於環境質量明顯改善，該計畫和業者將獲得重大稅收減免。從一個被大眾忽視的場址轉變為充滿活力的住宅社區，備有 430 個住戶和一個公共空地，該場址是 Gowanus 運河沿岸的第一個綠色空間和休閒區。</p>
28	<p>Battelle Methodology for Evaluating Climate Change Resilience of Environmental Remediation Sites</p> <p>Battelle 評估環境整治場址的全球變遷恢復能力方法</p>	<p>Samuel Moore, Russell Sirabian, Wendy Condit</p>	<p>氣候變遷對全球的環境整治場址帶來系統性的風險：海水氾濫和海水入侵可能導致環境整治措施失效或無法進入場址，乾旱與水土流失會對基本建設造成影響，由於氣候改變壓力，使得生態受體的毒性可能會增加，地下水位的變化可能會使得整治措施失效，以及不穩定的氣候條件會對生態造成嚴重的影響，其中以沿海地區最為嚴重。氣候變遷會增加人體健康和環境風險，並且長期影響整治成效。但是對於場址的影響尚未有系統性的評估，此外，並非所有場址都會受到氣候變遷的影響，有的場址可能有較完善的整治工法，提供場址對於氣候變遷的緩衝能力。尚未制定以及提供這些場址緩解氣候變化的方法。因此，實施減緩氣候變遷的程度與時間表目前仍然是不確定的，這項工作的目標是提供一種容易傳播的標準方法來評估環境整治場址的氣候變遷抵禦能力。</p> <p>Battelle 正在開發一種方法，合併來自各種來源的數據集，持續評估不同場址的氣候變遷影響，此方法是一個半定量的決策工具。該工具將這些數據集與建模工具結合，在各種時間尺度上發展海水淹沒、地下水位、乾旱、氣象預測以及野火風險圖。結合各個數據庫，持續評估不同場址的氣候變遷恢復能力，考慮特定場址的信息，如海拔、天氣條件、生態受體，容易受到洪水或乾旱影響的土壤以及容易發生滑移的斜坡，用以評估潛在影響，藉著評估各補救特性來確定對於這些潛在影響的適應能力，預計這項工作會在會議之前完成並;將結果呈現。</p>

項次	題目	作者	重點摘要
			<p>Battelle 評估氣候變遷恢復能力的方法將有助於在整治過程的各個階段考慮氣候變遷的影響，並提供一個透明的決策框架來評估這些影響，並給出適應當前和擬議的補救方法。成果將會介紹典型整治過程的氣候變遷考慮因素，以及該工具的設計和功能展示。</p>

本次會議的內容重點及觀察分析結果說明如下：

1. 整合性的整治技術應用：

特別是針對大型、高濃度污染場址的長期處理計畫中，應用各類污染整治技術組合，持續因應污染團的變化調整場址整治技術與工法的實施。這些工法極為多元，包含化學法/生物法的整合應用，熱處理與生物整治的整合應用等。由於地下環境污染在一開始並沒有辦法被直接觀察，因此在研討會中不斷強調，完整的場址調查及不斷修正的場址概念模型，可以協助場址整治計畫的設計與規劃，並且有效減少不必要的費用支出。

2. 生物整治仍是在技術應用上的主流：

在生物整治過程中，次世代分子生物技術（**next generation molecular biological technology, next generation MBTs**）工具常見於現地生物整治工作的診斷及判定中，並發展出「精確生物整治（**precision bioremediation**）」的概念。而受惠於次世代分子生物（**next generation MBTs**）技術及新穎數據分析方法之發展，生物整治的成效多有分子生物分析結果的佐證，證明場址中生物整治的效果確實來自生物作用，同時各種基質的應用，需要經過實驗室的試驗、模場試驗取得有效參數後，再大規模施行，而包含抽注井場的現地生物整治系統，可以有效的幫助生物基質的分散，但在複雜的場址地質條件下，仍有分布不均的情況發生，此時則需要修改抽注井場。

3. 綠色及永續整治的概念被廣泛應用在不同的場址上：

各國政府開始思考極端氣候對於污染場址管理的影響，並且著手設計總體衝擊的評估工具，此外，美國軍方在 GSR 的應用上開始簡化其程序與內容，依據過去經驗設計最佳管理措施的通則項目，各場址依據期特性與需求選定並宣告需要執行的最佳管理措施，同時設計申報平臺，向主管機關申報執行項目與內容，再進行相對應的執行追蹤。

4. 新興議題：

蒸氣入侵 (Vapor Intrusion)、新興污染物全氟烷基物質 (Per- and Poly Fluorinated Alkyl Substance, PFAS) 議題仍非常熱門，在蒸氣入侵的議題上除了傳統上討論污染團產生的揮發性氣體入侵的監測工具、氣體傳輸途徑外，在許多報告的案例中均提到蒸氣入侵的減緩方案，特別是大型的 plume 的場址。全氟烷基物質 (Per- and Poly Fluorinated Alkyl Substance, PFAS) 的宿命傳輸、採樣分析、污染處理、毒性、風險等議題，亦為未來土水相關的重要議題。。

5. 褐地再利用的案例在研討會中有諸多著墨：

污染改善與土地開發過程議題上的競合關係，需要仰賴完整的土地利用計畫、污染調查與評估，透過完整的調查與風險評估，可以免去不必要的整治區域，而加快土地再利用的生命週期，但總體而言，一個可以符合土地利用方式的整治計畫，對於褐地再利用有重大的貢獻。

二、南加州地區地下水污染整治參訪活動

Battelle 研討會結束後，另於 4 月 13 日參加南加州華人環保協會(SCCEPA)主辦之南加州地區地下水污染整治參訪活動，參訪 Glendale 市地下水處理廠、Culver 市 Tuller Avenue groundwater treatment system 及 Santa Monica 水處理廠等 3 處地下水污染處理設施，參訪照

片如圖 2-1 所示。

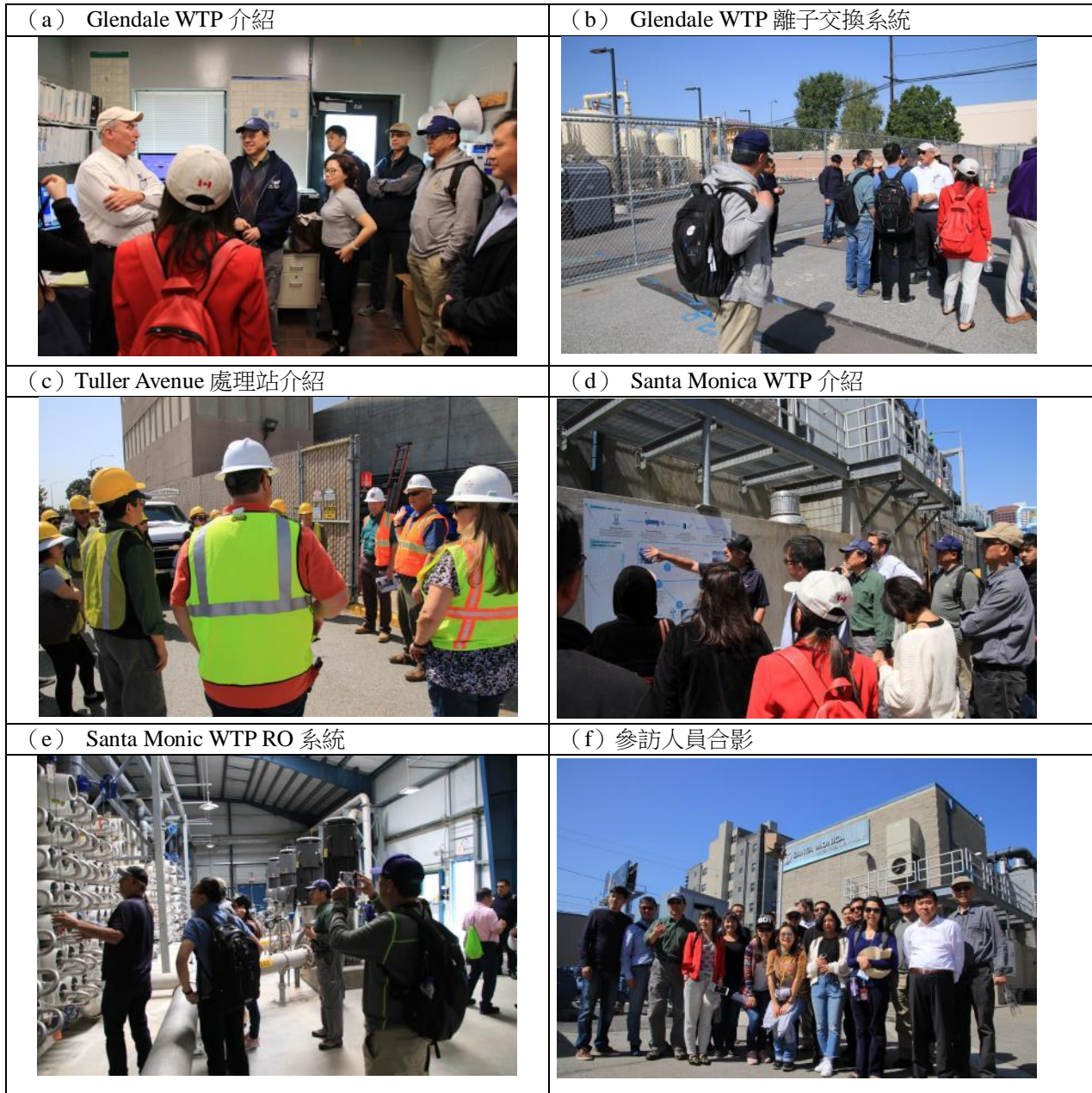


圖 2-1 現場參訪相關照片

南加州地區的洛杉磯市的自來水供應主要來自洛杉磯河水系(29%)、地下水(12%)，向 Metropolitan Water District 購買水權(Bay Delta 48%, Colorado River 9%)及回收水(2%)(如圖 2-2)，因此地下水資源與品質對於南加州地區極為重要。然而在過去都市發展的過程當中，洛杉磯地區的地下水遭受極為嚴重的污染，且污染團與污染分布的範圍極廣，難以有效處理，但地下水卻為洛杉磯市自來水供應的不可或缺的重要來源之一，在政策上，洛杉磯市允許透過抽出處理的方式，使污染團得以控制，並配合自來水廠淨水處理程序的设计，先將受污染的地下水經過處理單元處理後，再做為自來水的水源。



圖 2-2 洛杉磯市自來水源分布

Glendale City WTP 位於洛杉磯市區的東北角與洛杉磯市北側的東南角的交界。San Fernando 盆地為美國環保署超級基金場址，1980 年便檢出 PCE、TCE 等多種揮發性有機污染物，並有重金屬、硝酸鹽等共計 91 種污染物，目前則選出 12 種對健康風險較有危害的污染物為主要處理標的(如表 2-1)，圖 2-3 為 San Fernando 盆地 2010 年地下水污染範圍，在整體地下水污染控制與處理上，利用 P&T 方式進行處理，將地下水供水井(production well)

作為地下水污染擴散的抽出井，配合各區域的水處理系統，將地下水中的揮發性有機物與重金屬去除。對於揮發性有機物而言，選用的處理技術包含氣提法(Air-stripping)、活性炭吸附(GAC adsorption)及高級氧化法；對於六價鉻而言，則使用離子交換樹脂、還原/混凝/過濾程序；1,2,3-TCP 使用活性炭吸附；1,4-Dioxane 使用高級氧化；NDMA 則使用 UV 光照射處理(UV irradiation)。在 Glendale City WTP 的水處理系統設計上，利用氣提系統去除水中的揮發性有機物，爾後再利用陽離子交換樹脂系統處理水中的 6 價鉻，Glendale City WTP 抽出井與水處理廠相對位置圖與空照如圖 2-4 所示。

表 2-1 San Fernando Basin 主要地下水污染物

有機污染物	最高濃度(ug/L)	無機污染物	最高濃度(ug/L)
TCE	3,200	Cr(VI)	420
PCE	380	Perchlorate	45
Cis-1,2-Dichloroethene (cis-1,2-DCE)	48	Nitrate	
1,1-Dichloroethene (1,1-DCE)	290		
1,2-Dichloroethane (1,2-DCA)	2.7		
Carbon tetrachloride	8.1		
1,2,3-Trichloropropane (1,2,3-TCP)	88(ng/L)		
1,4-Dioxane	25		
NDMA	120ng/L		

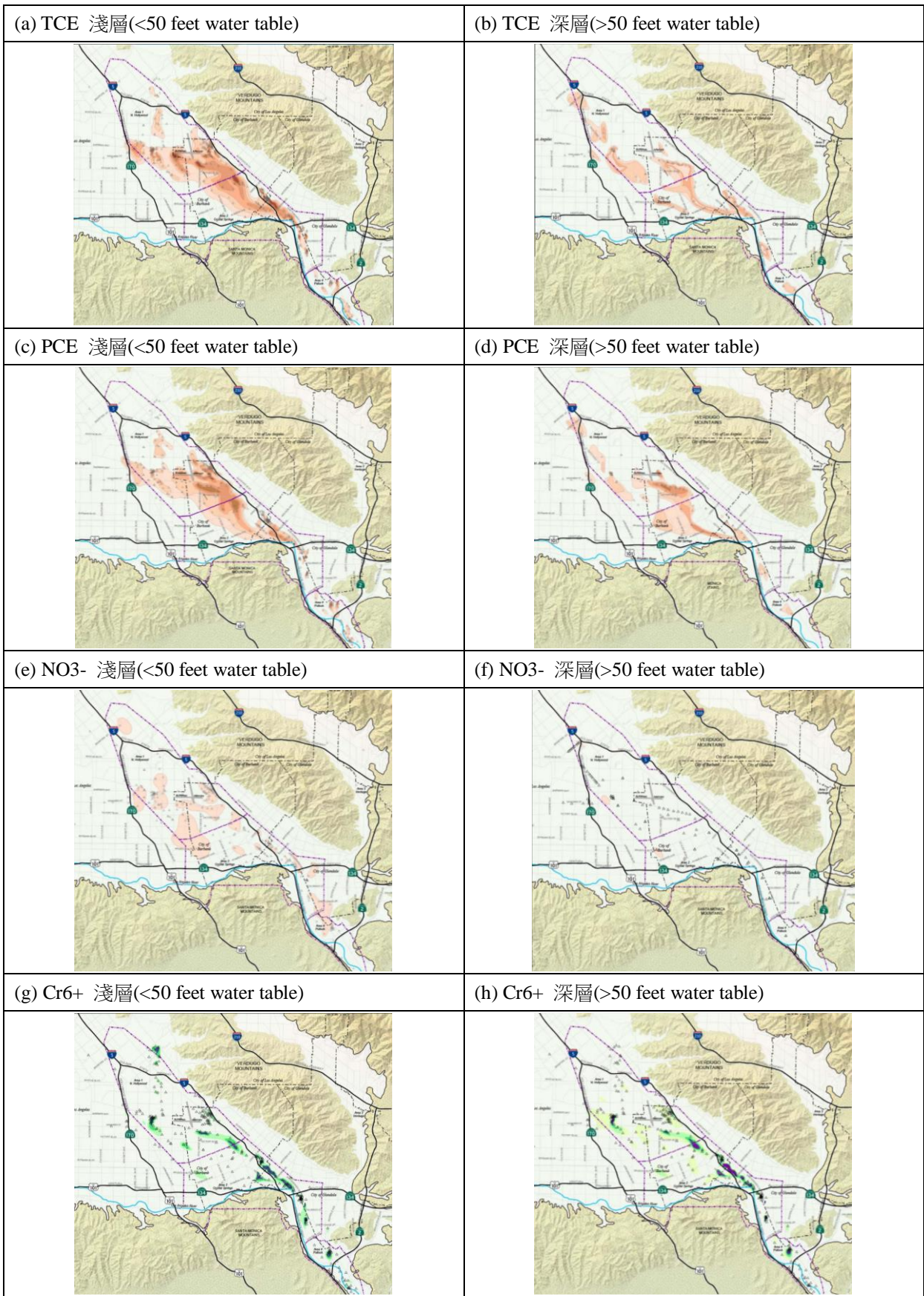


圖 2-3 San Fernando Basin 主要地下水污染物分布

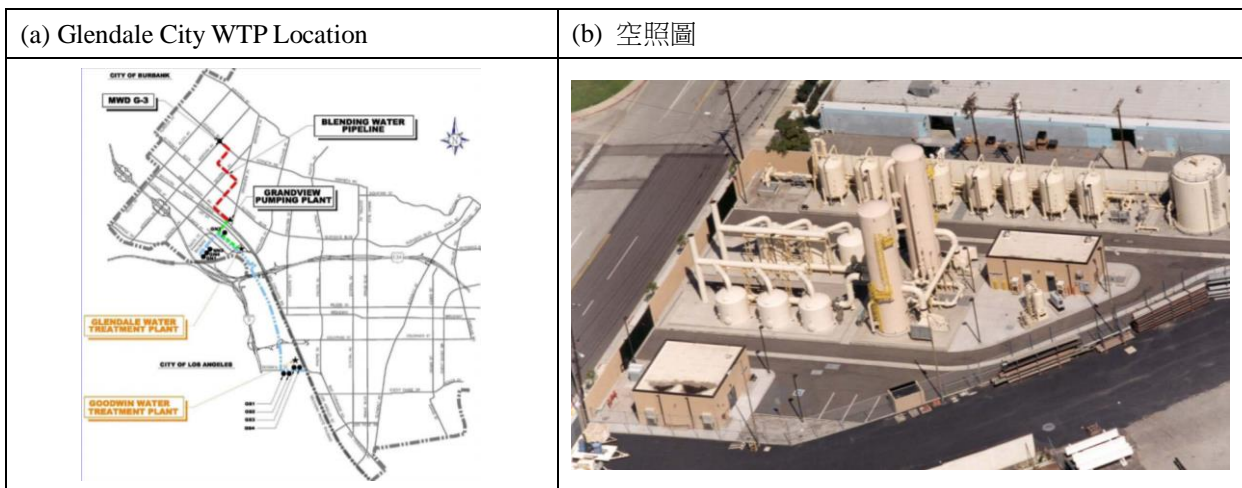


圖 2-4 Glendale City WTP 所在位置與地下水處理廠空照圖

位於 Culver 市的 Tuller Avenue 處理站，是由 Shell 公司委託 WPI 公司設計、興建與操作，包含了 2 座氣提塔(air stripping towers)、2 座化學物質饋料系統、一套可再生的熱氧化設備(regenerative thermal oxidizer, RTO)、顆粒活性炭吸附設備，以及一個生物的 Se 去除系統(biological selenium removal system.)，整個處理站是針對系統旁的加油站地下水污染控制區域抽水控制所抽出之地下水進行處理，系統最大處理設計量 300 gpm，處理後的水則部分提供給 Santa Monica 水處理廠作為水源。

第三個場址為 Santa Monica 水處理廠，Santa Monica 水處理廠部分的水源為 Santa Monica Basin 的地下水，主要包含 3 個地下水井 - Charnock, Olympic 及 Arcadia，其中 Charnock well fields 的地下水遭受 MTBE 的污染，因此在抽水井抽出地下水後，先以砂濾法，去除地下水中的鐵、鎂等陽離子，接著經過一活性炭吸附槽，去除水中的 MTBE，完成處理後的水，再進行逆滲透處理程序、水質調整等程序，將處理後的水進一步調整為適合飲用的狀態，最後再以一氣提程序，以避免處理可能存在的揮發性有機物進入供水系統中。

伍、行程成果評估及心得建議

一、學習成果及心得

1. 美國近年土壤及地下水污染整治技術發展，主要聚焦在含氯有機污染物(如 PCE、TCE 等)以及難分解有機污染物(如 PAH、PCB 等)之整治技術創新，創新技術類別又以現地熱處理投入比重最大，但在現地生物復育、現地化學氧化/還原、界面活性劑強化回收等方面，也持續有技術創新。
2. 本次研討會另有多篇論文討論新興污染物議題，包括二噁烷(1,4-Dioxane)及多氟化烷基物質(polyfluorinated alkyl substances, PFAS)等，目前主要討論其分析調查以及在環境中流布，此一趨勢未來本署宜加以注意。
3. 本次南加州地區地下水污染整治參訪，得知目前當地地下水已成為主要城市自來水水源，而加州州政府對確保地下水資源的永續利用不遺餘力，並訂有嚴格法規及計畫。由於部份地區如 Glendale 市所屬中部盆地(Central Basin)，以及 Culver 市與 Santa Monica 市所屬 Santa Monica 盆地，都有大範圍地下水污染，因此當地自來水廠均設有處理流程以去除地下水中污染物質，例如本次參訪之 Glendale WTP 及 Santa Monica WTP，均設有氣提(air stripping)單元以去除地下水 VOCs，另外 Glendale WTP 還設有離子交換單元以去除地下水中微量之六價鉻。另外位於 Culver 市的 Tuller Avenue 處理站，則只由 Shell 公司負責興建運轉，主要是處理其污染場址之地下水，處理後之地下水則是供應給 Santa Monica WTP 作為部份水源。
4. 本次行程會晤美國地質調查所(USGS) Dr. James Landmeyer，除討論本署發表植物環境污染調查技術案例成果外，並邀請其透過本年度臺美合作計畫來臺進行技術與經驗分享，並獲允諾於本年 6 月安排來臺。

二、建議

1. 由於美國自 1980 年代起推動污染場址整治，目前所餘最為棘手之場址類別即為含氯及難分解污染物場址。由於我國土污法立法以來已近 20 年，前述美國污染場址整治發展趨勢未來極有可能也會在國內發生，因此不論在法規修訂或是調查整治技術開發方面，宜及早預作因應。
2. 本次研討會及參訪過程中與多位加州地區華人環保專家進行交流，其中包括多位任職於州/市政府及顧問公司之環境專家，具備豐富之政策推動、場址管理以及污染調查整治經驗，對提升我國技術能力極有助益，建議未來可加強彼此合

作與交流，除邀請具實務經驗專家來臺講座與指導，並建議本署可積極參與當地社團活動，如派員參加南加州華人環保協會(SCCEPA)所舉辦之研習與參訪活動。

3. 本次會議中，本署發表海報論文一篇，內容係介紹以樹芯取樣分析結果，研判污染案例場址污染範圍及熱區，其結果獲得來訪專家好評。由於樹芯分析屬於綠色環境鑑識方法，具有低成本、大範圍及快速等特性，建議未來可在國內積極推廣應用。
4. 本次研討會期間與中國科學院南京土壤研究所宋昕研究員(教授)、東北農業大學資源與環境學院張穎主任(教授)交流土壤污染調查與整治經驗與做法，因中國大陸正值土壤及地下水污染調查及整治工作發展初期，對於我國相關執行經驗與技術能力予以高度肯定，建議未來可加強學術及技術交流，促進雙方土壤及地下水領域技術能力。