

行政院所屬各機關因公出國人員出國報告書

出國報告（出國類別：其他）

參加 2016 年第 32 屆國際土壤、底泥、 水和能源會議

服務機關： 行政院環境保護署

姓名職稱： 王子欣特約環境技術師

派赴國家： 美國

出國期間： 105 年 10 月 16 日至 10 月 22 日

報告日期： 106 年 1 月 17 日

摘要

環境健康與科學協會(AEHS, The Association for Environmental Health and Sciences)成立於 1990 年，經由舉辦研討會、刊物與論壇等方式促進國際間在各種環境議題上的資訊交流與經驗分享。AEHS 於 2009 年與美國環境鑑識協會(ISEF, The International Society of Environmental Forensics)合併，每年於美東與美西各舉辦一場大型研討會。

我國自土壤及地下水污染整治法公告以來，經十多年的場址調查，已大致掌握國內污染的狀況，由於美國在污染場址的議題上發展較早，無論是技術面或管理面皆可做為我們的借鏡，因此，本次行程內容主要出席 AEHS 在美國麻州艾姆赫斯特舉辦之第 32 屆國際研討會，以了解國際間污染場址相關議題與技術的最新發展與應用現況，並與國外專家交流國內發展經驗。本次研討會行程主要活動包括(1)發表海報論文，分享國內在環境鑑識領域的技術進展，以及穩定同位素鑑識技術的發展成果。(2)出席研討會講座與海報論文，了解國際環保議題的進展，包括綠色整治、整治技術、環境鑑識、場址管理與蒸氣入侵(Vapor Intrusion)等。

經由本次研討會行程的學習與交流，對於國內未來的發展建議包括(1) 國內在油品特徵指紋、穩定同位素鑑識技術及整治技術的發展已有國際技術水平，但跨領域及綜合應用的層面尚未多元。以穩定同位素鑑識技術為例，除了應用於含氯碳氫污染場址之外，未來應進一步評估國內環境問題的需求，拓展該項技術之應用面。(2) 國內污染場址經過多年的盤查，已進入到整治為主的階段，建議可參考國外經驗，學習國外對於場址整治管理上做決策的思維，從思考整治是否為必要？是否協商及管理手段就可提供最佳的風險控制？至尋求控制風險之最綠色方式，與國內正推行中的綠色整治概念相互結合等。

目 次

壹、目的

貳、行程

參、行程及工作內容

肆、心得及建議

附件一 出國報告摘要

附件二 公務出國期間國外人士個人資料彙整表

附件三、海報論文摘要資料

附件四、訓練課程講義資料

壹、目的

環境健康與科學協會(AEHS, The Association for Environmental Health and Sciences)成立於 1990 年，集結環境領域的產官學所共同成立之非營利協會，經由舉辦研討會、刊物與論壇等，提供平台促進國際間在各種環境議題上的資訊交流與經驗分享。AEHS 於 2009 年與美國環境鑑識協會(ISEF, The International Society of Environmental Forensics)合併，每年於美東與美西各舉辦一場大型研討會，每場均有 500-800 人來自世界各地共襄盛舉。

我國自土污法公告以來，經十多年的場址調查，已大致掌握國內污染的狀況，工作重心逐步進入到清償責任與場址整治等工作。美國在土壤及地下水污染場址的議題上發展較我國為早，無論是技術面或管理面皆可做為我們的借鏡。因此，本次行程內容主要為出席 AEHS 在美國麻州艾姆赫斯特舉辦之第 32 屆國際研討會，研習主題以環境鑑識與場址整治管理為主，包括綠色整治、整治技術、環境鑑識、場址管理與室內蒸氣入侵等議題，以了解國際間污染場址相關議題與技術的最新發展與應用現況，並與國外專家交流國內發展經驗，以作為規劃國內未來技術發展之參考。

貳、行程

日期	主要行程	主辦單位
10/16(日)	桃園機場→波士頓洛根(Logan)機場	AEHS
10/17(一)	訓練課程，題目：環境鑑識－評估污染洩漏責任的整合型技術	
10/18(二)	1. 研討會 2. 訓練課程，題目：具挑戰性地質之整治方法－黏土層與裂隙地質之先進整治技術	
10/19(三)	1. 研討會 2. 海報發表 3. 訓練課程，題目：蒸氣入侵－如何降低調查、處理與土地財產交易的不確定性	
10/20(四)	研討會	
10/21(五)	啟程返國	
10/22(六)	返抵國門	

參、行程及工作內容

本次 2016 年第 32 屆國際土壤、底泥、水和能源會議為 AEHS 在美國麻州艾姆赫斯特舉辦之國際研討會，研習主題以環境鑑識與場址整治管理為主，包括綠色整治、整治技術、環境鑑識、場址管理與室內蒸氣入侵等議題，總計有 140 篇口頭論文發表、60 篇海報、9 訓練課程與 50 個展示。會議主題與研習交流的詳細內容說明如下：

一、研討會與訓練課程主題

(一) 口頭發表部分，每一時段有 3~4 個主題同時進行，主題如下：

時間	上午主題	下午主題
10/18 (二)	<ul style="list-style-type: none"> ● 交通運輸與環境(Intersection of Transportation & the Environment) ● 利用決策分析與機率管理環境風險(Use of Decision Analysis and Probabilistic Tools to Manage Environmental Risk) ● 英格蘭的綠色整治規範(New England's Regulatory Perspective on Greener Cleanups) ● 整治技術(Remediation) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 氣候變遷的應變:地區性的調適計畫(Building Resilience to Climate Impacts: Local Efforts to Implement Adaptation Plans) ● 風險評估(Risk Assessment) ● 現地化學氧化法(In-Situ Chemical Oxidation) ● 永續整治(Sustainability and Sustainable Remediation)
10/19 (三)	<ul style="list-style-type: none"> ● 創新與永續的土壤、底泥、水與能源方案(Innovative & Sustainable Soil, Sediment, Water & Energy Solutions) ● 永續能源(Toward a Sustainable Energy Future) ● 污染場址管理之先進分析工具(Advanced Analytical Tools for Management of Contaminated Sites) ● 生物整治(Bioremediation) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 新興污染物 PFOS 的影響 PFAS (Poly & Perfluoroalkyl Substances: An Emerging Chemical Class with Major Implications) ● 環境鑑識(Environmental Forensics) ● 新穎整治技術(Innovative Remedial Approaches)
10/20 (四)	<ul style="list-style-type: none"> ● 現地整治的進展(Advancing the Practice of In-Situ Remediation) ● 底泥(Sediments) ● 蒸氣入侵(Vapor Intrusion) 	

(二) 訓練課程部分計有 9 場次，為選擇性付費參加，每日的訓練課程題目如下：

時間	課程主題
10/17 (一)	<ul style="list-style-type: none"> ●環境中化學品的生物暴露評估 (Measuring Biological Exposure to Environmental Chemicals) ●麻州的蒸氣入侵評估與處理-現況,經驗與指引(Vapor Intrusion Assessment and Mitigation in Massachusetts: Status of Sites, Findings from the Field, and Guidance for Practitioners) ●如何建立好的環境背景資料庫(Building a Better Background Data Set) ●永續整治原理與實務 Sustainable Remediation Principles & Practice) ●環境鑑識 - 評估污染洩漏責任的整合型技術(Environmental Forensics - Integration of Established and Evolving Techniques to Evaluate Who Was Responsible for the Spill or Release)
10/18 (二)	<ul style="list-style-type: none"> ●漸進式採樣方法(Incremental Sampling Methodology, ISM) ●具挑戰性地質之整治方法 - 黏土層與裂隙地質之先進整治技術(Remediation Tools for Challenging Geology - Cutting Edge Technology for Cleanups in Clay & Fractured Bedrock)
10/19 (三)	<ul style="list-style-type: none"> ●蒸氣入侵 - 如何降低調查、處理與土地財產交易的不確定性(Vapor Intrusion - Reducing Uncertainty in Investigations, Mitigation and Transactions - Tools for the Toolbox) ●建立城市環境背景的困境 - 區域性的研究與全球性的觀點(The Urban Background Dilemma: A Regional Study and Global Perspective)

二、研討會講座內容

(一) 綠色及永續導向型整治

整治雖然是為了環境與民眾健康，但整治過程會使用能源、水與自然資源，因此在整治的同時也在增加「環境足跡(environmental footprint)」。為了減少環境足跡，美國環保署最早在 2008 年 4 月發表綠色整治的入門文件，並於 2013 年由美國材料試驗學會(ASTM)公布標準方法 E2893 “Standard Guide for Greener Cleanups”，經由 5 個核心元素的評估（如下圖），包括：

1. 減少能量消耗並盡量使用再生能源

2. 減少空氣污染與溫室氣體排放
3. 減少用水以及對水資源的衝擊
4. 材料與廢棄物的減量、再利用與回收(3R, Reduce, Reuse, and Recycle)
5. 保護土地與生態系統等，

以分階段式規範及制定綠色整治的實施指引，利用最佳管理實務(BMP, Best Management Practice)，讓資源損耗與碳足跡也成為整治決策過程的考量因素之一。



圖 1、綠色及永續導向型整治核心元素評估

目前 ASTM 標準方法 E2893 只是一個管理指引，無法規要求，美國環保署也沒有強制，大多是由聯邦或各州各自決定推廣方式，譬如作為既有執法或政策推展的工具之一。以美國麻州州政府為例，則是結合該州於 1993 年建立的 LSP (licensed site professionals) 制度，經由教育訓練要求 LSP 遵照 ASTM E2893 方法，將綠色整治與場址管理結合，作為綠色整治推廣的主要管道。該 LSP 制度跟台灣的環工技師制度類似，整治工作必須由具有 LSP 執照的工程師執行，且 LSP 持有者須定期完成一定的訓練時數，參加研討會或訓練課等均可得訓練時數。

(二) 土壤及地下水污染整治技術

在綠色及永續導向型整治的潮流之下，整治技術朝向結合場址當地的環境特色與需求，做既有整治技術的調整與整合。譬如，最適合進行還原脫氯生物降解反應的溫度為 10~35°C，以 30°C 為最佳溫度，但美國多數場址地下環境溫度偏低。此時，利用當地工廠運轉廢熱，可以與整治結合，提高地下環境溫度，可以很顯著的提升降解效率。另一個案例為英國某場址，其地下

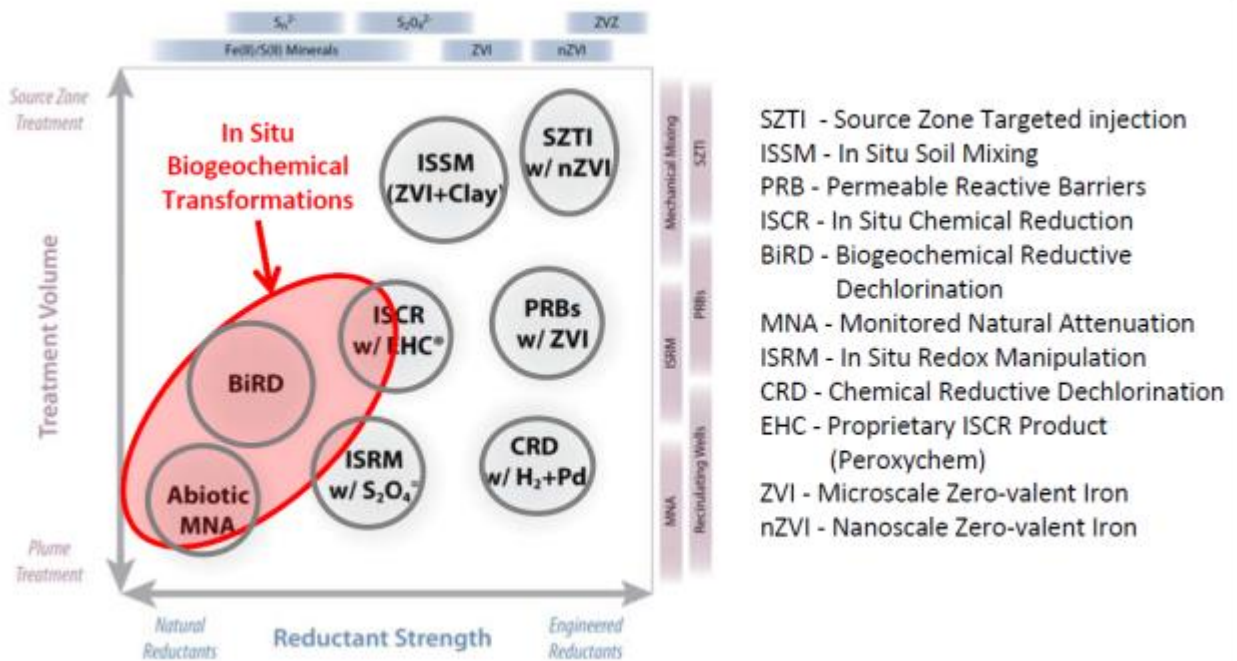
水中三氯乙烯濃度超過 1,000 mg/L，可知有重質非水相液體(DNAPL)存在，同時水中亦存在硫酸根離子，濃度高達 50 mg/L，利用現地高濃度硫酸根的背景，可讓零價鐵暨生物整治工法具有延長整治成效的優點。由於零價鐵反應會產生亞鐵離子，同時造成地下水中環境具還原態，此還原態環境會使現地生物將硫酸根還原為硫化物，並與亞鐵離子在土壤表層形成非結晶性的硫化亞鐵，是為一緩慢反應的還原劑，可讓含氯碳氫化合物持續進行脫氯還原，因此雖然添加零價鐵藥劑屬快速反應，配合現地環境而衍伸出持久性的整治藥劑，如此靈活的工法與精神非常值得效法。

除了整治與場址環境結合設計之外，許多既有技術的持續優化仍是會議中主要的分享內容，包括：

1. 現地化學氧化整治的優化，例如過錳酸鹽搭配過硫酸鹽方法，可長時間持續整治效果；以現地固定化、穩定化/現地化學氧化法-過硫酸鹽組合 1：4 的比例施用於整治工法，不僅可成功啟動過硫酸鹽的化學機制，過硫酸鹽反應後的產物並可提供硫酸鹽還原菌使用，強化菌種對氧化物質的耐受力；現地化學氧化法-過硫酸鹽-可藉由提升溫度或是鹼性條件啟動其化學機制，但其缺點為劑量需求較高；過錳酸鹽注入法是相對簡易的整治工法之一，但是其傳輸效期較短；過硫酸鹽需要如金屬氧化物之催化劑，一旦啟動機制後，過硫酸鹽有較長的傳輸效期，約 100 天；以過錳酸鹽搭配過硫酸鹽可將局部高風險區域在短期內解除其風險，同時在長期整治時間上，又可持續整治效果。
2. 加強式生物整治為廣泛使用的地下水整治法，但是通常需要時間數月至數年方能將濃度降低至管制標準。欲加速成效，利用膠體式的生物製劑可在 3 個月內將濃度降低 99%以上。該膠體式生物製劑與一般生物製劑的最大差別在於其包含活性碳膠體（約 1-2 微米），經由活性碳吸附而迅速降低水中污染物濃度，同時集中污染物的質量讓微生物進行分解，此概念即為生物整治結合透水式反應牆。此藥劑的關鍵在

於活性碳的分散，對於土壤傳導係數的影響也需考量。目前該藥劑已有油品場址與含氯碳氫化合物污染場址（三氯乙烷與三氯乙烯）的應用實績，效果均佳。

3. 其他有關生物整治技術的優化，譬如現地生物地質化學利用其轉換污染物的能力，可有許多工法選擇，如圖 2 所示，有非生物性自然衰減法、生物地質化學還原法脫鹵、現地化學還原法（氫離子釋放劑）、現地氧化還原反應操作法等；當非生物性的工法做為主要整治工法時，選擇的地點或是周遭環境最好是生物活動很低的，以避免發生干擾；生物性反應中，電子供給者的形式及電子傳輸管道很重要。生物



性反應中，電子供給者的形式及電子傳輸管道很重要。

圖 2、結合現地生物地質化學機制之整治工法選擇

除了上述整治反應機制的優化及調整之外，藥劑傳輸方式也會影響整治

有效性，尤以低透水性地質或裂隙地質的挑戰性最高，為所謂之「困難地質」。目前克服困難地質的整治工法包括熱處理、噴射注藥(jet injection)與電動力法，熱處理乃就污染來源區域加熱地下水，提升污染物在水中溶解度與多孔介質中的擴散速率，同時也有機會提高整治反應的速率，由於熱傳導在困難地質中仍有效，因而此法適用於廣泛地質條件；噴射注藥即是國內目前發展的精準整治，針對污染來源所在的困難地質，採用精準位置注藥，避免藥劑經由高透水性的地質傳輸，此法施作成效仰賴高度掌握現地的地質，倘若地質具高度不均性時，則效果會受限；電動力法乃利用電滲透(electro-osmosis)原理，增加困難地質中孔隙的地下水通量，不僅可以讓藥劑得以流入孔隙中，同時也帶動孔隙中的純相污染物流出困難地質，增加污染物與藥劑的接觸機會，另外電流也會微微加熱地下水，提升整治反應的速率，兼具熱處理的效能，在美國已有多處成功處理含氯有機溶劑污染場址的案例。

(三) 環境鑑識技術

環境鑑識技術之目前趨勢仍以特徵比對為主，包括元素組成分析、油品指紋分析、穩定同位素特徵，技術發展的面向包括針對低濃度樣品的分析偵測極限突破(如前濃縮技術)、多元素同時分析(如 LIBS)、以及高解析度即時分析(LIF)等。

Pace 為美國少數具有環境鑑識實驗室的顧問公司，其穩定同位素鑑識業務包括油品與含氯碳氫化合物污染，本次會議報告其近年在其他污染物方面的應用，如 1,4-Dioxane (以下簡稱 1,4-D)。1,4-D 在 1995 年以前為含氯有機溶劑常使用的穩定添加劑，當含氯有機溶劑作為去脂用途，溶劑常會蒸餾再生，結果通常導致 1,4-D 的濃縮。由於 1,4-D 極溶於水，又難以還原性降解，因此污染極易擴散，也容易有多重 1,4-D 污染團重疊的問題，導致污染責任釐清的需求增加。穩定同位素已知可以用來辨識來源關聯性，釐清污染責任，但若以目前的進樣方法(吹氣捕捉)，由於 1,4-D 的高水溶性，不易被吹氣捕捉，因此偵測極限偏高，大於 100ppb。Pace 利用固相微萃取方式，大幅降低偵測極限至 1ppb，並以二維穩定同位素方式成功鑑識 1,4-D 的污染之案例。

會議並邀請到美國 University of Oklahoma 地質與地質物理系退休榮譽教

授 Paul Philip 主講環境污染責任的鑑識技術。Philip 教授從事穩定同位素的研究多年，並應用在地下水、底泥與油品等多種介質的污染物鑑識，包括含氯碳氫化合物、PAH、MTBE、汽油等。

目前含氯碳氫化合物的穩定同位素鑑識技術為國內刻正發展的技術項目，經過 4 年的技術建立與實場驗證，目前國內技術水準已與國際相當，至於在其他污染物的鑑識應用則尚待建立。穩定同位素特徵除了可以釐清污染來源問題之外，另一熱門應用為評估降解潛勢，已有許多研究顯示含氯碳氫化合物的穩定同位素特徵經降解之後會改變，由於同位素特徵不因稀釋而異，因此，可以經由同位素特徵改變與否，確認污染物降解潛勢。

(四) 污染場址管理

對於一個污染場址的最佳管理決策，過去多是建立在科學數據的基礎上。在這決策過程當中，科學數據是否真的具有客觀性？抑或可能受到政策壓力而有偏頗？是否真的需要進行這麼多繁瑣的科學程序才能做決策？是否經由協商就可以提供最佳的風險控制？經過美國多年來在能源、廢棄物或自然資源議題上的經驗與教訓，已經看到許多實例挑戰純粹建立在科學數據的決策，甚至有些案例顯示與地主或居民協商比直接整治更具成效也更加經濟。

技術發展部分，有鑑於許多技術尚未充分發揮其功能，包括既有技術的功能擴大與應用跨領域技術於環境污染上。功能擴大應用部分，添加菌種 *archaeal organisms* 與特定的 *thermophiles* 可以好氧降解 PCBs 與共代謝 1,4-Dioxane；加速整治催化劑(ARC, accelerated remediation catalysis)可提升抽出處理效率；MiProbe 技術可以量測現地生物對於目標污染物的降解活性，同時也可以量測 NAPL 的質量損失程度，亦即污染來源區縮減評估(NSZD, natural source zone depletion)。

跨領域技術部分，原本應用在其他領域的技術能量可以嘗試應用在環境污染調查或整治，譬如新世代高通量的分子生物技術可以提供對於生物降解機制有更深入的了解，穩定同位素特徵可以提供更明確的現地降解潛勢，物質流與高解析場址調查可以量化場址整治的效率，並對於風險管控與整治時程更有掌握等等，以「破壞式創新」的思維創造不同的技術運用，極有機會

在污染調查與整治領域提供有用的資訊。

以評估降解潛勢為例，含氯場址是否有適當的菌種進行生物降解是決定生物整治工法的重要依據，過去大多使用 q-PCR 分析脫鹵球菌 DHC，但其結果並未能適當反映生物整治的適用性。紐澤西州北方某場址以 q-PCR 分析，結果顯示每毫升水樣的 DHC 的基因數僅 800，一般認定這樣的低含量表示現地不具備還原脫氯的潛勢。然而，經由 16S rRNA 定序，顯示現地存在許多其他菌種可經由生物性或非生物性進行還原脫氯反應。因此，經由 q-PCR 與 16S rRNA 定序，可幫助釐清現地可能合適的降解反應。另外，巴西某個整治場址地下水受四氯乙烯與三氯甲烷污染，雖然污染濃度降低，但不確定是否為稀釋效應所致，因此利用量測不同時間的穩定同位素特徵值，提供更明確的整治成效證明。

穩定同位素除了廣泛運用在環境鑑識以及上述評估降解潛勢之外，尚可利用同位素特徵結合污染場址概念模式以了解污染來源位置與分布情形。巴西某場址土壤及地下水受到氯苯污染，且存在純相污染來源，使用碳氫氯等 3 種穩定同位素特徵值來研判純相污染的位置。

（五）蒸氣入侵

土壤或地下水中污染物經揮發與擴散過程進入到室內，造成室內空氣品質惡化已是污染場址衍伸的另一個環境議題(vapor intrusion, VI)。此項議題在美國已影響到居住安全與房地產買賣的價格，甚至可能導致房地產交易失敗。雖然 VI 的影響甚鉅，但是污染評估卻有高度不確定性。由於污染物在室內空間與時間分布上的變異性，導致採樣手法容易影響評估結果，倘若房地產的潛在買家在污染評估階段錯估 VI 的問題，後續將面臨重大的損失。然而在產權轉移之前，顧及他人隱私權，潛在買家未必有完全自由度可以進行 VI 的調查。因此，在 VI 的議題發展上，除了採樣評估技術以及來源鑑識技術等技術面之外，實務應用上多方協商亦為重要的一環，若無法在地主與潛在買家之間得到共識，則將難以妥適地評估 VI 污染。

在 VI 污染的採樣評估技術部分，過去多以數個單點採樣，但因污染在空間與時間分布不均，佈點數量與採樣頻率需較大，否則易忽略污染的存在；

現則發展被動擴散式採樣，對於較大的空間以大體積採樣，甚至以壓力循環方式採取長時間的樣本。

在 VI 的污染來源鑑識技術部分，室內檢出揮發性有機物，未必一定來自土壤或地下水污染，生活用品中實有極多產品均含有比例不等的有機溶劑，包括石油類溶劑或含氯有機溶劑，目前美國已發展利用濃度測試或穩定同位素等方法鑑識 VI 污染的來源。譬如紐澤西有一處住宅室內檢出四氯乙烯，其上游雖有四氯乙烯污染場址且地下水污染團已遍及該住宅位置，但經由鑑識結果，研判室內的四氯乙烯污染實來自衣服乾洗後殘餘的四氯乙烯溶劑揮發，而並非來自地下水 VI 污染。

(六) 參加訓練課程

本次研討會並就業務需求，報名參加 2 項訓練課程，包括環境鑑識技術與困難地質（黏土層與裂隙岩床）之整治技術，課程重點包括：

1. 環境鑑識技術訓練課程以講授穩定同位素為主。穩定同位素可鑑識來源，包括食品（龍舌蘭酒 Tequila、啤酒、蜂蜜）、底泥或水污染的來源或產源。環境領域的相關應用包括地下水污染來源相關性、污染責任釐清與比例分配、油品洩漏（柴油或汽油）污染責任鑑定、多環性芳香化合物、多氯聯苯污染來源鑑定、過氯酸鹽來源鑑定、室內空氣污染來源鑑定、污染物在現地是否進行降解以及其降解機制等。
2. 困難地質之整治技術係針對污染範圍內具有低透水地質（如黏土層、粉土層或腐泥岩等）或具有裂隙的基岩。較常使用的整治技術或工法包括特定深度加壓注藥(Jet Injection)、搭配特殊灌注方式之生物整治、熱處理法、電動力法等。

三、我國研究成果發表

本次研討會並就本署發展含氯碳氫污染物鑑識技術成果發表海報論文。內容係探討含氯碳氫化合物之穩定同位素特徵經環境質傳後的變化，可做為為應用穩定同位素鑑識環境污染來源關聯性的學理依據。

目前研究大多認為環境中的物理性質傳作用對於穩定同位素特徵的影響遠低於降解反應的影響，因此通常忽略物理性質傳所造成的同位素分餾效應。由於相關的學理證據支持很少，為使將來作為呈堂證供的證據具有堅強的學理依據，因此，本署透過辦理含氯碳氫污染物鑑識技術發展及建置計畫，針對污染場址中常見的污染物，進行系統性的研究環境質傳對於穩定同位素特徵的影響，本次發表內容即針對前述研究以及穩定同位素鑑識技術的發展成果。主要分享内容包括：

1. 我國應用環境鑑識技術釐清污染責任的經驗。
2. 利用穩定同位素鑑識技術進行場址鑑識工作的學理依據。

海報論文發表當日，有多位與會者前來了解穩定同位素在環境中的應用成果，其中有許多整治領域的專家均給予相同的建議，依他們的經驗，穩定同位素應用在整治場址可以有效提供整治工法是否有效的資訊，尤其是生物整治。另外，有豐富環境鑑識經驗的美國 Pace Analytical 公司總經理 Peacock 先生則是對於環境質傳的發表成果深表讚許，並拍下海報作為他們鑑識判讀的參考。該公司同位素中心主任王毅博士也一同參與交流環境鑑識的資訊，表示該公司在美國已有相當多應用穩定同位素鑑識責任的案例，這次的研討會也發表了該公司在分析 MTBE 穩定同位素方法上的新突破以及一些案例，及應用穩定同位素分析協助整治場址評估整治成效或驗證工作成果。

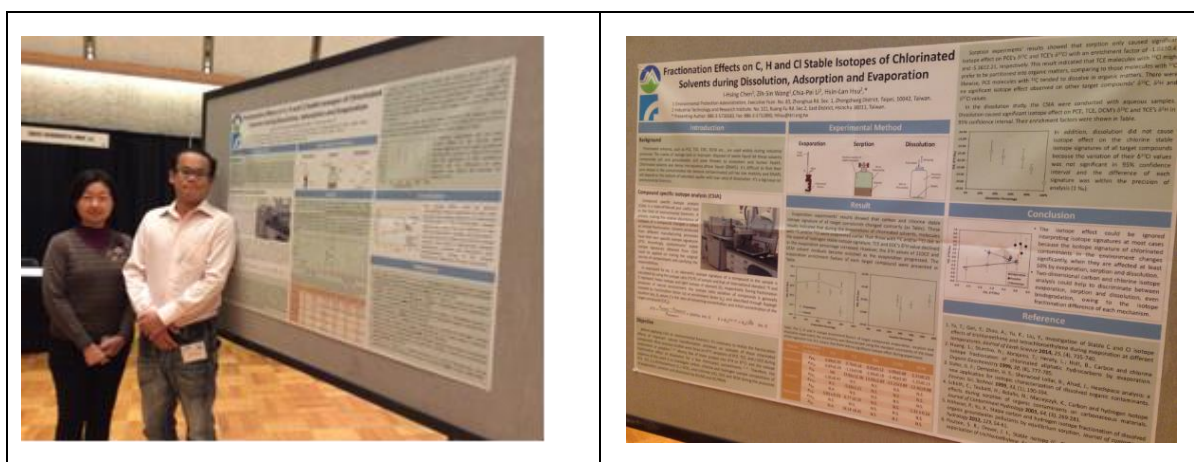


圖 3、論文海報展示

肆、心得與建議

本次研討會行程主要為了解國際間污染場址相關議題與技術的最新發展與應用現況，並與國外專家交流國內發展經驗，以作為規劃國內未來發展之參考。工作成果心得與建議事項說明如下：

一、工作成果心得

(一) 發表海報論文，分享我國在環境鑑識領域的技術進展，以及穩定同位素鑑識技術的發展成果。主要分享內容包括：

1. 我國應用環境鑑識技術釐清污染責任的經驗。
2. 利用穩定同位素鑑識技術進行場址鑑識工作的學理依據。

其中，有多位美國從事環境鑑識工作的專家對於我方在學理面提出系統性的探討與結果極為讚賞；整治領域的專家則建議我們可將穩定同位素技術應用在生物整治成效的鑑定。

(二) 參加研討會講座，了解國際環保議題的進展，包括綠色整治觀念、整治技術、環境鑑識、場址管理、土壤與地下水污染影響室內空氣品質(vapor intrusion)等議題，內容摘錄如下：

1. 綠色整治是種決策過程，不是項技術。美國環保署為推行綠色整治，於 2013 年公布 ASTM E2893，制定綠色整治的實施指引，並在全美推廣，讓資源損耗與碳足跡也成為整治決策過程的考量因素之一。美國麻州州政府結合該州於 1993 年建立的證照制度(licensed site professionals, LSP)，經由教育訓練要求 LSP 遵照 ASTM E2893 方法，將綠色整治與場址管理結合，作為綠色整治推廣的主要管道。

2. 在綠色整治的潮流之下，整治技術朝向結合場址當地的環境特色與需求，做既有整治技術的調整與整合。同時，在整治藥劑的選擇與施作上，亦以永續與長效為主要考量。
3. 環境鑑識技術仍以特徵比對為主，包括元素組成分析、油品指紋分析、穩定同位素特徵，技術發展的面向包括針對低濃度樣品的分析偵測極限突破（如前濃縮技術）、多元素同時分析及即時分析等。
4. 污染場址整治產業從 20 年前整治技術的推陳出新，轉變至今日重視場址管理工具的建立，尤其是跨領域技術的應用，包括分子診斷技術（如分子生物技術與穩定同位素特徵）、物質流與高解析場址調查。此外，整治決策也包括思考整治是否為必要？是否協商及管理手段就可提供最佳的風險控制？
5. 土壤或地下水中污染物經揮發與擴散過程進入到室內，造成室內空氣品質惡化是污染場址衍伸的另一個環境議題，並已影響到居住安全與房地產買賣。由於污染物在室內空間與時間分布上的變異性，導致採樣手法容易影響評估結果，同時也必須排除該污染來自於室內其他來源而非土壤或地下水，因此主要的研究課題包括採樣評估技術以及來源鑑識技術。

（三）參加訓練課程，包括環境鑑識技術與困難地質（黏土層與裂隙岩床）之整治技術，各課程重點包括：

1. 環境鑑識技術訓練課程以講授穩定同位素為主。穩定同位素可鑑識來源，包括食品（龍舌蘭酒 Tequila、啤酒、蜂蜜）、底泥或水污染的來源或產源鑑定。環境領域的相關應用包括地下水污染來源相關性、污染責任釐清與比例分配、油品洩漏（柴油或汽油）污染責任鑑定、多環性芳香化合物、多氯聯苯污染來源鑑定、過氯酸鹽來源鑑定、室內

空氣污染來源鑑定、污染物在現地是否進行降解以及其降解機制等。

2. 困難地質之整治技術係針對污染範圍內具有低透水地質（如黏土層、粉土層或腐泥岩等）或具有裂隙的基岩。較常使用的整治技術或工法包括特定深度加壓注藥(Jet Injection)、搭配特殊灌注方式之生物整治、熱處理法、電動力法等。

二、建議事項

- (一) 國內在油品特徵指紋、穩定同位素鑑識技術及整治技術的發展已有國際技術水平，但跨領域及綜合應用的層面尚未多元。以穩定同位素鑑識技術為例，除了應用於含氯碳氫污染場址之外，未來應進一步評估國內環境問題的需求，拓展該項技術之應用面。
- (二) 國內污染場址經過多年的盤查，已進入到整治為主的階段，建議可參考國外經驗，學習國外對於場址整治管理上做決策的思維，從思考整治是否為必要？是否協商及管理手段就可提供最佳的風險控制？至尋求控制風險之最綠色方式，與國內正推行中的綠色整治概念相互結合等。