

出國報告（出國類別：開會）

## 參加全球環境新興挑戰及政府回應 研討會

服務機關：台灣中油煉製研究所

姓名職稱：陳宏達（化學工程師）

派赴國家：美國

出國期間：102年8月6日至102年8月12日

報告日期：102年11月6日

## 摘要

本次出國主要參加南加州華人環保協會與海外華人環境保護學會所共同主辦之國際性研討會-2013 年第 6 屆全球環境新興挑戰及政府回應研討會，並拜會加州大學洛杉磯分校環境永續研究所及加州大學爾灣分校水文氣象及遙測中心，本次研討會除發表土壤及地下水整治論文外並擔任研討會 session 2D 主持人，土壤及地下水整治論文發表主題有整治技術、難分解地下污染物之整治、污染預測及地下環境整治評估和風險評估及技術整合案例等，會中參加 Trip4 現地參訪，主要進行美國海軍 EI Toro 基地爾灣脫鹽專案及 Doheny 州立海灘海水淡化模廠參觀。

因應溫室氣體導致的全球環境變遷問題，人口成長預測、都市區域整合及規劃已成為重要的研究課題，美國加州為人口密集之處，其對應之環境衝擊及水資源分配問題也更為嚴重，這也是美國加州環境保護技術及都市區域整合能領先於世界之主因，然而加州北水南運導致其北部生態上之改變，目前加州南部除了從地下水取水淨化外，須靠廠商向外購買水源或使用包裝水替代，因應美國加州人口之日益增加，未來水回用、水再生、廢水淨化及海水淡化將成為其優先目標。

美國加州環保署已明令禁制甲基第三丁基醚(MTBE)之使用，且我國環保署已預告修正「地下水污染監測標準草案」及「地下水污染管制標準草案」，並將 MTBE 列入地下水污染物之監測及管制項目，本公司應積極應評估汽油中 MTBE 之替代添加劑並建立 MTBE 污染預警及整治系統。此外美國已發展成熟之三元法(Triad Approach)，藉由系統專案規劃、動態工作計畫及即時量測可降低整治成本，另採用 ISCO 整治工法時需留意硫酸根濃度偏高將抑制生物處理之活性，需評估其與生物技術串接之適當性，本會中特別值得關注的是加州低處理關場政策(Low Treat Closure Policy, LTCP)已於 2012 年正式生效，並有實際油品污染場址關場案例於採用危害風險評估後進行褐地開發，雖為單一個案，但該政策對政府與業者於褐地整治開發之溝通與協商具有指標性意義。

## 目次

壹、	出國目的說明.....	4
貳、	參訪及研討會過程說明.....	5
(一)、	學校及中心參訪 .....	5
	1. 加州大學洛杉磯分校環境永續研究所	
	2. 加州大學爾灣分校水文氣象及遙測中心	
(二)、	研討會演講及論文主題介紹 .....	10
	1.邀請演講	
	2.專題演講	
	3.土水整治論文	
	3.1 整治技術	
	3.2.難分解地下污染物之整治	
	3.3.污染預測及地下環境整治評估	
	3.4.風險評估及技術整合案例	
(三)、	現地參訪 .....	23
	1.美國海軍 EI Toro 基地爾灣脫鹽專案	
	2.Doheny 州立海灘海水淡化模廠	
參、	心得與建議事項.....	32

## 壹、出國目的說明

參加南加州華人環保協會(Southern California Chinese American Environmental Protection Association, SCCAEP) 與海外華人環境保護協會(Overseas Chinese Environmental Engineers and Scientists Association, OCEESA)所共同舉辦之國際性研討會-2013 年第 6 屆全球環境新興挑戰及政府回應研討會 (2013 International Environmental Conference- 6<sup>th</sup> Symposium on Global Emerging Environmental Challenges and Government Responses)，相關議題涵蓋：

- 政府區域管理
- 水資源保護
- 土壤與地下水污染處理
- 空氣品質管制及廢氣處理技術
- 固體廢物管理及再利用
- 廢水排放許可管理
- 湖泊與水庫管理 – 優養化防治
- 低碳經濟和替代能源
- 海洋環境保護與沿海環境管理
- 褐地再利用和土地使用管理
- 奈米技術與奈米毒理學

研討會內容主要探討當前美國及世界各國所面臨的環境挑戰，舉凡綠色產業、低碳經濟、替代能源及生態修復等均為其主要探討議題，參加該研討會可掌握環保新知提前因應未來環境挑戰，本次出國之主要任務為參加-2013 年第 6 屆全球環境新興挑戰及政府回應研討會發表論文，並參加 Trip4 進行污染修復場址之現地參訪，透過研討會之參與可與政府環保官員、國際環保專家、著名大學教授、大型跨國環境公司負責人進行學術及實務經驗交流，研討會報告內容涵蓋美國環保法規最嚴格的加州環保管理經驗和技術，且美國加州洛杉磯地區擁有眾多環保顧問公司和環保設備製造商，可現場參觀洛杉磯地區大型環境工程和設施，進而建立技術交流及引進管道。

## 貳、參訪及研討會過程說明

### (一)、學校及中心參訪

#### 1.加州大學洛杉磯分校環境永續研究所

校園參訪第一站來到加州大學洛杉磯分校(University of California, Los Angeles, UCLA)，UCLA 之美國大學排名為前 10 名內，除進行校內景點參觀外，並拜會了環境永續研究所(Institute of Environment and Sustainability, IOES)，IOES 員工共 95 人，由 Mark Gold 副所長為我們進行解說(如照片 1-4)，該研究所成立之宗旨如下：

- (1).產生知識為區域和全球環境問題提供解決方案。
- (2).為地球健康教育下一代的專業及科學的領導能力。
- (3).在校園策動跨多元學科的環境並倡議永續。
- (4).給企業和決策者在永續和環境上建議。
- (5).告知重大的環境問題並鼓勵社群討論。

IOES 的研究計畫著重關鍵性之環境挑戰，包括氣候變遷、空氣品質、水質、生物多樣性與保育、能源、沿海、水資源、城市永續發展、企業永續發展和環境經濟學等，IOES 設立教學課程，藉由 UCLA 豐富的教學資源晉升為世界聞名的學院。IOES 加強培訓學生並提出廣泛性、跨多元學科的環境問題進行研究，並設立大學部學程(Undergraduate Programs)、環境科學學士學位(B.S. in Environmental Science)、環境系統及社會副主修(Minor in Environmental Systems and Society)、永續生活教育學程(Education for Sustainable Living Program)、環境工程及科學博士學位學程(Environmental Science & Engineering, PhD. Env.)及永續領袖學位認證(Leaders in Sustainability Graduate Certificate)，藉由實務教育提供解決方案以面對未來環境問題，並強調多元學科整合、從工程學、公共政策、經濟學和法律學等角度討論公共衛生與環境保護間的相互依存關係。

IOES 支援及相互協助之 8 個研究中心包括：

- (1).美國加州白山研究中心(UC White Mountain Research Center)
- (2).La Kretz 加州保育科學研究中心(La Kretz Center for California Conservation Science)
- (3).加州永續社團中心(California Center for Sustainable Communities)
- (4).沿海中心(Coastal Center)
- (5).氣候變遷解決方案中心(Center for Climate Change Solutions)
- (6).熱帶研究中心(Center for Tropical Research)
- (7).環境效能法人中心(Center for Corporate Environmental Performance)
- (8).空氣清潔中心(Center for Clean Air)

參訪中請教 Mark Gold 副所長，討論綠色整治與綠建築之永續指標相類似，詢問 IOES 是否從事綠色整治(Green Remediation)或永續整治(Sustainable Remediation) 相關之研究專案，Mark Gold 答覆 IOES 做了很多綠建築相關研究以節能、氣候變遷、替代能源、再生能源及都市永續研究專案，但因著重於區域環境整合尙未進行綠色整治之案例探討。



照片 1. IOES 於 UCLA 位置



照片 2. IOES 之綠建築標章



照片 3. 拜會 IOES 之討論情形



照片 4. IOES 之 Mark Gold 副所長

## 2. 加州大學爾灣分校水文氣象及遙測中心

校園參訪第二站來到加州大學爾灣分校(University of California, Irvine, UCI)，UCI 之美國大學排名為前 20~30 名，曾有 3 位諾貝爾獎得主，除了進行 UCI 校內景點參觀外，並拜會了水文氣象及遙測中心(Residence Center for Hydrometeorology and Remoting System, CHRS)，CHRS 員工共 25 人，由 Hsu Kuolin 副主任為我們進行解說(如照片 5-9)，該研究所成立之任務為建立預測和減緩水文災害的全球能力，透過擴展及延伸太空和氣象機構中尚未開發的的技術資源，可應用於水文學家及全世界水資源管理者之支援，進而透過公平管道(如網站)獲得相關資訊。

CHRS 之中心目標為:

- (1).透過水文模式的發展及精緻化、採用進階觀測及遙測資訊來源提升水文預測能力。
- (2).從太空、現地空間及時間解析觀測數據開發數學運算以預測降雨，尤其是在乾旱及半乾旱環境中進行空間及時間解析進行水文應用。
- (3).為多樣水文氣象和水文氣候資訊之產生及評估開發決策支援工具，這些工具將為水資源管理社群所用。
- (4).為受過良好訓練的水文學家和水資源工程師的教育工作作出貢獻，這些人員將能因應公共和私人部門在州、國家和國際上日益增加的水文預測需求。

CHRS 執行其任務，透過跨領域研究和教育，包括教職員及來自工程、物理科學和社會生態系的學生，與其他大學和國家實驗室進行相關合作，其主要研究方向包括:

### (1).水文預測

進行水管理是每天必要的活動，這活動需要預測水文系統的狀態並進行回應。水文預測可促進洪水預警和水庫管理，且在相對較短的時間尺度中改善這些預測具有明確的社會效益。因此，發展水文預測修正和應用已被列為國家研究計畫中一個重要優先事項。

### (2).衛星降雨

降水在天氣與氣候中扮演關鍵的水文參數，而分佈空氣中的水汽和雲可控制輻射平衡，在大氣中 3/4 的熱量來自釋放的潛熱。區域降雨在天氣圖中發揮著重要作用，這些降雨是主要的新鮮水來源。太多或太少的降雨透過洪水和乾旱將可能導致生命和財產重大損害，故 CHRS 建立水和乾旱土地的開發資訊全球網路(Water and Development Information for Arid Lands: A Global Network, GWADI)進行衛星及全球氣象資料整合以預測降雨。

### (3).水文教育

CHRS 是在加州爾灣分校 Henry Samueli 工程學校 (Henry Samueli School of Engineering )土木與環境工程系的一個研究方案。畢業生、研究人員及正在就讀的 CHRS 學生可登記土木與環境工程系提供的博士學位課程，CHRS 鼓勵有興趣就讀土木工程加強水資源及環境工程領域知識。

參考資料:

1. <http://www.chrs.web.uci.edu>

聯合國教科文組織的 GWADI 方案成立於 2004 年，由國際水文計畫（Council of the International Hydrological Programme, IHP）的第 15 屆政府委員會所創建，CHRS 主要建立並維護 GWADI 網站資料更新(每 3 小時更新 1 次，如圖 1 所示)。GWADI 之策略目標主要為加強全球乾旱和半乾旱地區水資源管理的能力，GWADI 透過從網路、中心、組織和個人整合現有資源建立有效的全球社群，此外藉由非政府組織聯繫授權地方啓用網路以促進這些地區的國際和區域合作。

透過已建立 GWADI 網絡可加強乾旱和半乾旱地區的水資源的管理能力是 IHP - VII（2008 -2013）-「壓力和社會反應系統之水依賴關係」的優先項目之一，就全球而言，乾旱和半乾旱地區面臨水資源運送和管理的龐大壓力。到了 1990 年，世界人口 40% 遭遇嚴重缺水，預估到 2025 年將有 2/3 的人口將在缺水之強大壓力下生活。水管理人員在這些領域中的所面臨的挑戰包括人口增長、糧食安全、鹽度增加和各種污染源。在這些壓力加乘下，對許多乾旱和半乾旱地區，氣候變遷將增加缺水、洪水和乾旱的頻率，在半乾旱地區準確評估可回用和可再生水資源之管理將更為艱難，相對於水資源豐富國家，受限於貧乏的科學基礎、資訊不足和濕潤區域經驗是不適當的。

參考資料:

1. <http://hydiss.eng.uci.edu/gwadi/>

會中請教 Hsu Kuolin 副主任，根據 GWADI 提及之雨量預測主要資料來源來自衛星雲圖，詢問 CHRS 是否進行溫度及濕度參數量測以修正模式並提升預測之準確度，HsuKuolin 副主任回覆 GWADI 依據衛星雲圖長期資料進行模擬及修正，但資訊主要來自美國海洋暨大氣總署（National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA）所提供之衛星雲圖，GWADI 可於 3 小時進行演算預測雨量，惟大量資訊來自全球各地，音資料傳輸偶而會造成部分區域未能即時預測。

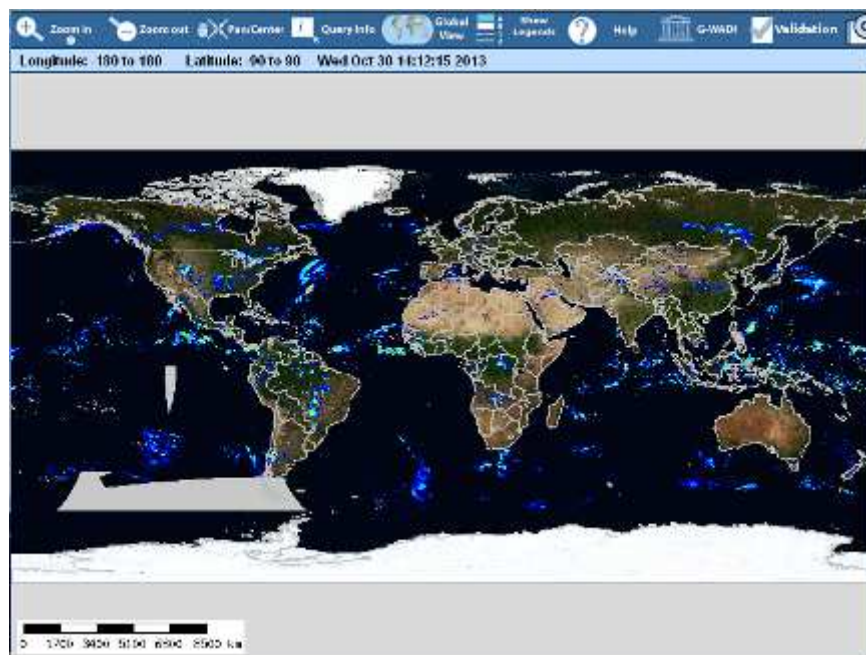
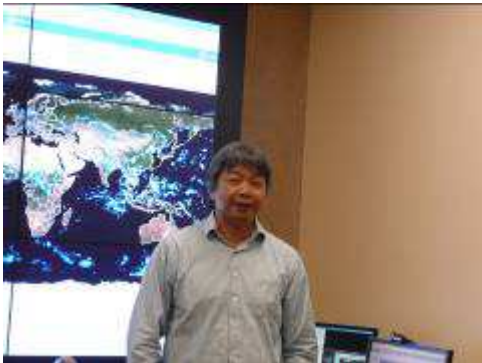


圖 1. GWADI 網站之世界各地雨量預測





照片 5 CHRS 之 Sroosh Sorooshian 主任



照片 6 CHRS 之 Hsu Kuolin 副主任



照片 7 CHRS 之白金綠建築標章



照片 8. CHRS 之研究成員



照片 9. CHRS 之 GWADI 網站系統

## (二)、研討會演講及論文主題介紹

本次出國主要參加 2013 第 6 屆年全球環境新興挑戰及政府回應研討會，該研討會為南加州華人環保協會及海外華人環境保護會所主辦，參加人數約 170 餘人(包括美國、中國及芬蘭等國家)，大會議程包括開幕、貴賓致詞、邀請演講及專題演講，會中由大會主席童衛星博士致歡迎辭(如照片 10)，並邀請海外華人環境保護學會主席郭繼沄(Jeff Kuo, 如照片 11)及美洲中國工程師學會-南加州分會主席 Scarlett Kwong 致詞歡迎與會來賓。



照片 10. 大會主席童衛星博士致辭



照片 11. 海外華人環境保護學會主席  
郭繼沄致辭

### 1.邀請演講

大會邀請台灣永續環境發展基金會陳龍吉理事長(Chen Larry, L.G.)分享臺灣環境保護的經驗，說明環境保護影響台灣社會福利及經濟發展甚巨，並表示環境若未被妥善對待將造成重大災害，在台灣相關部會的法令規定下，借鏡於發展中國家的經驗及案例將是重要捷徑。

### 2.專題演講

大會邀請美國國家工程研究院(National Academy of Engineering, NAE) Michael R. Hoffmann 教授進行專題演講(如照片 12-15)，說明發展科技馬桶解決飲水傳染疾病之問題，除了說明水傳染疾病細菌及寄生蟲疾病，並說明其參加比爾梅林達蓋茲基金會(Bill & Melinda Gates Foundation, BMGF)專案過程，透過各種半導體的電位差( $\Delta E_g$ )篩選適當的電解材料，發現 Nb(IV)-doped TiO<sub>2</sub> coated on Ti Fiber 材料採用電化學法可產生氫氧自由基氧化水中的化學物質，透過太陽能發電進行廁所廢水電解反應，可以電催化及光催化反應分解污染物，並於實驗室中探討不同電位、濃度及有機氮之反應動力，進而整合生物燃料電池及氫燃料電池創造出科技馬桶原型(造價約 7000 USD/座)，並從 30 個參賽者獲得第一名之殊榮。



照片 12. Michael R. Hoffmann 教授進行  
專題演講



照片 13. 比爾梅林達蓋茲基金會之科技  
馬桶創新競賽



照片 14. Michael R. Hoffmann 教授進之  
科技馬桶創新理念

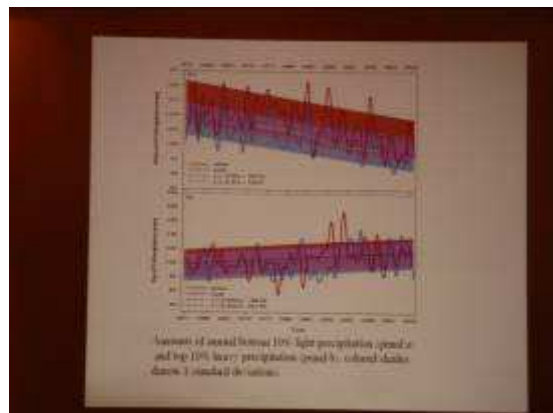


照片 15. Michael R. Hoffmann 教授獲  
獎後與比爾蓋茲合影

此外大會邀請台灣中研院(Academia Sinica)環境變遷中心劉紹臣博士(Liu, Shaw-Chen)，針對全球暖化增加中國乾旱及水災之風險進行專題演講(如照片 16-17)，劉紹臣博士提出證據討論全球暖化造成降雨強度增加之因果關係，全球暖化將造成極端降雨進而增加乾旱及水災之風險，在 1955~2011 年間已造成中國東南方已造成乾旱及重度降雨，推測未來 50 年對低緯度的區域前 10% 重度降雨將增加 100%。



照片 16. 劉紹臣博士之專題演講



照片 17. 劉紹臣博士說明 1955~2010 年降  
雨變化情形

另 UCI 蔣晨陽(Jiang Sunny)教授就加州水回用進行專題報告(如照片 18-21)，蔣教授以 21 件案例之高品質水產率進行說明，並針對都市廢水回用，提出「水就是水，水不應受其過去歷史所評價，反而應從水質決定其回用之去處」，新生水工程技術已具能力將廢水轉化為新的水源，在氣候變遷下，尤其是在大都會區，都市廢水將成為可信賴的水源，水回用可分類為：

- (1).非飲用水-灌溉用水或工業用途。
- (2).飲用水-轉化可回收水至公共水源。
  - (a).非直接飲用水-到客戶端前，回收水先經處理後先在環境待過一段時間。
  - (b).直接飲用水-透過工程化的儲槽緩衝或由管線運送。

蔣教授說明水回用流程包過基本、一級、二級、進階及工程化的自然程序，並可以預防、處理、滯留、混合及監測環節確保回收水品質，提出水之替代方案如下：

- (1).採用低品質的雨水替代高品質飲用水使用。
- (2).設置屋頂雨水回收系統及雨水槽。
- (3).為生態系統、都市河流及沿海污染預防設置溼地以捕捉及處理暴雨。
- (4).設置生物濾床處理逕流水取代非用於飲用用途的飲用水使用。
- (5).建置灰水(Gray Water，為家庭使用肥皂、浴劑或清潔劑所產生之廢水)收集系統。

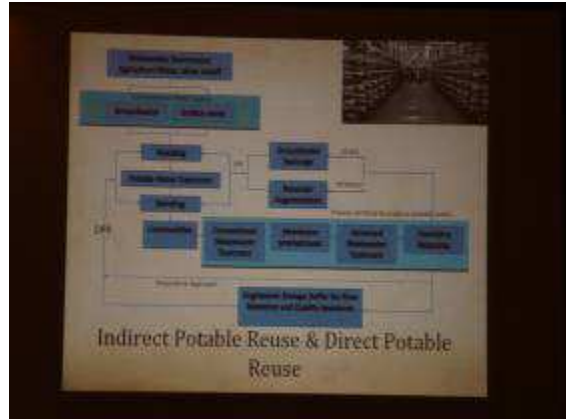
蔣教授除進行雨水作為農作物灌溉來源之生物風險評估，並探討加州海水淡化需求，蔣教授提出「好消息是未來十年加州人將飲用污水淨化後的乾淨水，但是壞消息是我們沒有充足的污水去淨化」，海水淡化已成為加州水源之替代方案，然而未來加州海水淡化的挑戰是產水價格、能源使用及海洋環境衝擊，其可能的解決方式包括：

- (1).減少能源消耗
  - (a).選取發電廠的適當位置
  - (b).確認能源回收機會
  - (c).預防及減低生物阻塞
  - (d).發展高滲透模
- (2).管理高濃縮排放水
  - (a).將高濃縮排放水與海水混合
  - (b).沿海棄置
  - (c).將高濃縮排放水與污水混合

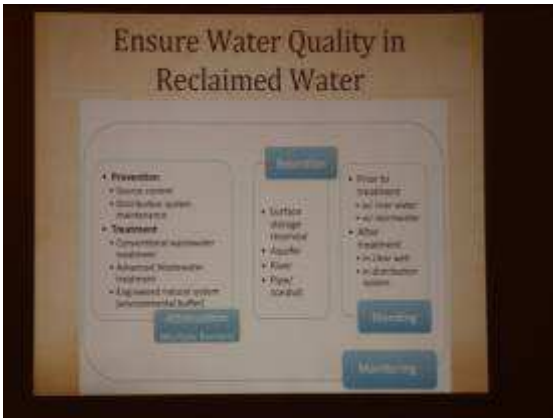
目前加州海水淡化專案有 17 件，其中北加州有 10 件，總處理量為 75-150 百萬加侖/day，南加州有 7 件，總處理量為 125-250 百萬加侖/day，目前僅有一座 0.6 百萬加侖/day 海水淡化場在 sand 市運作，在 2009 年飲用水成本為 2.8USD/1000 加侖，加上運輸成本為 3.8USD/1000 加侖，非飲用水水回收成本為 3.4USD/1000 加侖，而海水淡化成本為 3.4-6.1USD/1000 加侖，在未來海水淡化將成為加州飲用水之重要來源。



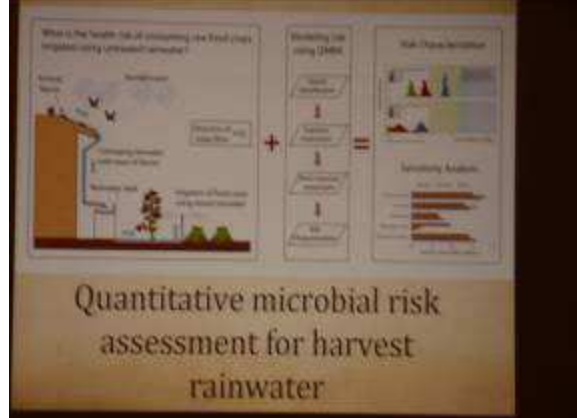
照片 18 水回用技術



照片 19 直接飲與非直接飲用水再利用



照片 20 水回用之品質管控



照片 21. 雨水灌溉農作物之生物風險評估

大會於午餐時間安排南加州政府(Southern California Association of Governments, SCAG)土地利用及環境規劃協會 Liu Huasha 主任報告南加州政府之管轄範圍及區域，並討論 SCAG 之挑戰、機會、未來願景及藍圖(如照片 22-23)，並說明南加州政府之策略規劃及未來不確定因素；南加州政府之管轄範圍包括 6 郡(Los Angeles、Ventura、San Bernardino、Riverside、Imperial 及 Orange County)、191 城市及超過 1800 萬人，並為 84 個當地選舉之區域公務機構所管理，目前南加州政府為國家最大都市規劃組織 (Metropolitan Planning Organization, MPO) 及政府議會 (Council of Government)，最近採納 2012-2015 年區域運輸計畫(Regional Transportation Plan, RTP) 及永續社群策略(Sustainable Communities Strategy, SCS)，SCAG 處理各種區域規劃主題，包括:永續社群策略及土地使用、運輸、貨物移動、房屋、空氣品質、基金、長期成長預測、水及其他區域規劃項目，預計 2035 年區域人口成長至 2220 萬人(2010 年區域人口為 1810 萬人)，其中 0-20 歲佔 29%(640 萬人)，21-64 歲佔 53%(1180 萬人) 及 65 歲以上佔 18%(400 萬人)，這些人口成長將造成更為密集的都市發展，可增加區域運輸的基礎建設機會、而 RTP 將增加超過 0.5 兆美金以增強 SCAG 競爭能力、生活品質及工作機會，整合運輸、永續社群策略及土地使用將明顯減少溫室氣體排放並影響水之供需。



照片 22. SCAG 之 Liu Huasha 主任專題報告



照片 23. SCAG 面對之區域規劃問題

### 3. 土水整治論文

此次大會論文發表為期兩天，主要分為下列幾個領域，並於同時間進行不同領域(廢水、地表水、土壤及地下水、廢棄物、低碳及永續和空氣品質)論文之發表，主要領域如下：

Session 1A: Wastewater 廢水

Session 1B: Wastewater 廢水

Session 1C: Surface Water 地表水

Session 1D: Soil and Groundwater 土壤及地下水

Session 1E: Other Wastes 其他廢棄物

Session 1F: Low Carbon and Sustainability 低碳及永續

Session 2A: Wastewater 廢水

Session 2B: Wastewater 廢水

Session 2C: Surface Water 地表水

Session 2D: Soil and Groundwater 土壤及地下水

Session 2E: Air Quality 空氣品質

Session 2F: Low Carbon and Sustainability 低碳及永續

Session 3A: Wastewater 廢水

Session 3B: Surface Water 地表水

Session 3C: Surface Water 地表水

Session 3D: Soil and Groundwater 土壤及地下水

Session 3E: Low Carbon and Sustainability 低碳及永續

因本人目前於台灣中油公司主要職責為土壤及地下水整治，故參與 Session 1D、2D 及 3D 之論文發表及討論，並擔任 Session 2D 主持人(Moderator)及論文發表，此次論文發表題目為“Rapid index of Soil Gas Investigation from CPC Gasoline Spill Sites in Taiwan”，摘錄重要內容如下：

供油中心為台灣中油股份有限公司潛在的汽油洩漏地點，本研究調查了台灣中油股份有限公司 16 處供油中心，從土壤氣體樣品的 GC/FID 分析獲得甲基第三丁基醚(MTBE)、苯(B)、甲苯 (T)、乙基苯 (E)、二甲苯 (o、m、p-X) 和總石油碳氫化合物-汽油類等濃度(TPHg)。MTBE 為汽油的最常見的添加劑，透過土壤氣體的 MTBE 的濃度，可精確預測的 TPHg 濃度。此外本研究提供從土壤氣體 MTBE 濃度預測汽油洩漏網站中濃度的有效方法。基於土壤氣體的 MTBE 分析，不僅能夠反應不同場址汽油污染程度及土壤氣體的實際 TPHg 濃度，而且本研究可以即時方式應用在汽油油槽的監測和預警洩漏系統。

茲將研討會中論文發表之討論紀錄如下:

Q1 童衛星博士提及加州環保署已全面禁用 MTBE，台灣目前管制情形為何？。

Ans: 目前台灣 MTBE 列為第四類毒性物質，目前台灣土壤及地下水尚為針對 MTBE 濃度進行規範。

Q2 中國地質大學劉慧教授提問土壤氣體調查之深度為何？

Ans: 土壤氣體調查之深度一般為 1.5m，但仍依現場條件作修正。

Q3 台灣中油公司地下油槽洩漏比例？

Ans: 因涉及公司機密不便公開說明，童衛星博士說明美國地下油槽洩漏比例達 90%。

Q4 請問土壤氣體調查之採樣點距離如何決定？

Ans: 土壤氣體調查之採樣點距離係依過去歷史污染事件、油槽大小及可能之洩露地點進行規劃。

Q5 請問台灣中油公司地下油槽之設置是否已全面改為雙層槽？

Ans: 茲因台灣中油公司地下油槽設置係依不同年代之需求而設置，目前單層槽及雙層槽並存，但為防制 VOC 逸散問題，目前新設油槽皆依雙層槽設置。

Q6 請問建立土壤氣體指標可否作為整治之依據？

Ans: 因土壤氣體指標係依平面(2D)以地下 1.5m 處土壤氣體濃度作為污染物移動及污染程度之篩選，並無法表現實際空間(3D)之污染整治情形，主要作為本公司油銷事業部之管理依據及預警系統指標。

### 3.1 整治技術

茲將本研討會中參與土壤及地下水領域中(session 1D、2D 及3D)之重要論文摘錄如下:

#### **3.1.1 Phytoremediation by afforestation on heavy metal contaminated farmlands and the carbon sequestration estimation in Taiwan**

Ming-Chin Chang, Yu-Chi Huang

Department of Safety, Health and Environmental Engineering, HUNGKUANG University, Taiwan;

Email: chang@sunrise.hk.edu.tw, r19890225@yahoo.com.tw



全球暖化吸引越來越高的關注，在1997年12月聯合國氣候變化公約(United Nations Framework Convention on Climate Change)締約國(conference of parties)簽定京都議定書，在 2005 年 2 月 16 日於日本通過並強制執行。為綠化造林進而獲得認可的減碳量，京都議定書會員國承諾溫室氣體的國際排放減量目標。在臺灣，灌溉渠道中農地灌溉水容易受到工業污水污染，尤其是彰化(場址數量為30，面積為53189 m<sup>2</sup>)、桃園(場址數量為271，面積為603574 m<sup>2</sup>)、台中(場址數量為204，面積為162496 m<sup>2</sup>)等行政管理區域的農田受重金屬污染 (2013年4月1日統計結果)。

這些重金屬污染場址的整治技術有焚化、酸洗、植物復育、攪拌及開挖移除等。採用植物復育技術係利用光合作用的綠色植物減少植物生物體中的二氧化碳排放。本文主要目的是要估算過受重金屬污染農田綠化造林的固碳量。透過方程式可估計20年樹木的連續固碳量增加情形。經由森林局對農民補償(最高10年新台幣110萬/公頃，面積小於 0.5 公頃除外，在彰化縣受管制場址皆小於 0.5 公頃)可進行植物復育固碳減少碳排放量。從研究結果可知，最高固碳量為桃園縣(*Acacia confuse*, 8327棵, 355 噸固碳量)、台中市(*Zelkova serrata*, 7977棵和 340 噸固碳量；*Fraxinus formosana*, 838 棵和 334 噸固碳量)，因此，本文建議*Acacia confuse*列為優先種植在重金屬污染場址上以補捉生物質量中更多的碳。

### 3.1.2 An Overview of Surfactant Enhanced Aquifer Remediation

Danyun Wang, M.S., P.E., WRECO

界面活性劑加強式地下水整治技術(Surfactant Enhanced Aquifer Remediation , SEAR) 在整治場址是回收DNAPL 及 LNAPL的新穎技術，SEAR相較於傳統抽出處理法在污染源達地下水整治目標為更加有效，SEAR使用通常從以場址有利條件下的可行性研究及技術的執行能力。界定場址可從土壤採樣、地下水採樣、先前整治成果，地質異質性(heterogeneities)及場址LNAPL分佈精確判斷，且可聚焦於污染源、界面活性劑配方最佳化及適當水力控制。

對全場系統設計的最佳化而言，地下水取樣、程序監測和溴示蹤劑測試於模廠研究是非常重要的，全場系統設計包括注藥策略、LNAPL及界面活性劑回收時的水力控制，離地處理系統整合單元可同時移除及濃縮污染物、共溶劑和界面活性劑。當水位處於或接近污染區頂部時，SEAR為最佳施作時機。過去的案例研究指出相較於傳統方法，SEAR能夠迅速回收大量的 LNAPL，然而為符合LNAPL厚度之整治目標及TPHd (total petroleum hydrocarbons-diesel)濃度範圍，許多參數包括界面活性劑選擇和初始 LNAPL污染分佈將影響SEAR處理能力。

### 3.2. 難分解之地下水污染物整治

#### 3.2.1 Degradation of Dichloromethane by Zero-valent Copper and Vitamin B12

Chang-Chieh Huang and Shang-Lien Lo\*

Graduate Institute of Environmental Engineering, National Taiwan University

71 Chou-Shan Road, Taipei, Taiwan, ROC.

sllo@ntu.edu.tw

二氯甲烷 (Dichloromethane, DCM) 為難分解之地下水污染物，與零價鐵 (Zero-valent Iron, ZVI) 奈米粒子幾乎不反應，在本研究中，發現零價銅( $\text{Cu}^0$ )奈米顆粒和維生素 B12 的結合可以在還原狀態下有效催化降解 DCM。批次處理的實驗顯示 DCM (26.4 mg/L)、 $\text{Cu}^0$  奈米粒子 (2.5 g/L) 和硼氫化鈉 (1 g/L) 1 小時內迅速降低 90%，其假第一階反應速率常數 ( $K_{\text{obs}}$ ) 是  $2.19 \text{ h}^{-1}$ ，比表面積標準化後速率常數為  $0.052 \text{ L/m}^2 \text{ h}$ ，相對於其他零價金屬高出 2-3 位數。本研究發現  $\text{Cu}^0$  奈米粒子與維生素 B12 (電子介質) 加乘效應可還原降解 DCM。

$\text{Cu}^0$ -B12 系統在 2 h 內迅速降解 DCM (26 mg/L) 接近 99%， $\text{Cu}^0$ -B12 系統的反應速度是比單獨使用維生素 B12 的 5 倍。DCM 降解率是  $\text{Cu}^0$  奈米顆粒和維生素 B12 劑量的函數。本研究發現增加劑量增加反應速率。產品分析指出 DCM 的降解與水脫氯反應有關。產自  $\text{Cu}^0$  奈米粒子溶解的可溶性銅離子低於世界衛生組織飲用水水質標準，這顯示  $\text{Cu}^0$  奈米粒子在還原狀態下是具潛在實用性。預估  $\text{Cu}^0$  奈米粒子和維生素 B12 (或其他電子介質) 的系統結合相較於奈米鐵技術，對難分解之地下水污染物具有整治潛力。

#### 3.2.2 Biodegradation and detoxification of endosulfan in endosulfan-contaminated soil by *Alcaligenes faecalis* strain JBW4

Kai Wei<sup>1</sup>, Lingfen Kong<sup>1</sup>, Shaoyuan Zhu<sup>2</sup>, Lusheng Zhu<sup>1\*</sup>, Jinhua Wang<sup>1</sup>, Hui Xie<sup>1</sup>, Jun Wang<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Key Laboratory of Agricultural Environment in the University of Shandong, College of Resources and Environment, Shandong Agriculture University, Taian 271018, China, Tel: +86 538 8249789, Fax: +86 538 8242549;

<sup>2</sup> College of Marine Life Sciences, Ocean University of China, Qingdao 266109, China;

Email: wkweikai@163.com, konglingfen513@gmail.com, zhushaoyuan90@yahoo.com, lushzhu@vip.163.com

安殺番 (Endosulfan, ES) 是一種持久性有機污染物 (POPs)，在開發中及已開發國家被廣泛地使用，因其毒性影響人類及動物健康對環境影響甚劇，*Alcaligenes faecalis* 菌株 JBW4，一株能夠降解 ES 細菌，被接種到經滅菌且加入 ES 之天然土壤。這項研究全面評估 JBW4 在土壤中降解 ES 之能力，包括降解率、土壤中的 ES 代謝產物、

JBW4複製及 JBW4解毒能力。經過77天後，JBW4 對滅菌土壤及天然土壤中的 $\alpha$ -ES之降解率為75.8%和 87.0%的，JBW4 對滅菌土壤及天然土壤中的 $\beta$ -ES之降解率為58.5%和 69.5%。

氣相層析-質譜法 (GC-MS)可檢測到安殺番醚(Endosulfan Ether, ESE)和安殺番內酯(Endosulfan Lactone, ESL)等主要代謝產物。這一結果建議Alcaligenes faecalis菌株 JBW4 以非氧化的途徑(non-oxidative pathway) 在土壤中降解ES。透過聚合酶鏈反應變性梯度凝膠電泳法 (PCR-DGGE)，ES污染土壤經菌株JBW4確認可具有複製能力。

研究建議菌株 JBW4 與土壤中的原始菌群競爭，可建立一種平衡關係並成功被複製於土壤。此外，通過菌株 JBW4將ES進行去毒化，主要採以單細胞凝膠電泳技術(single cell gel electrophoresis, SCGE)、土壤微生物生物量碳確認及酶活性進行評估。結果顯示ES的遺傳毒性和生態毒性在土壤中因被降解後退化。本文認為自然降解土壤中的ES是不夠的，因此，JBW4 菌株顯示具有殘留ES污染工業土壤的生物整治潛力。

### **3.2.3. Remediation of 2,4-Dichlorophenol Contaminated Soil by ZVI/EDDS/Air System**

Qian Sun, Haiyan Zhou, Menghua Cao, Linling Wang, Jing Chen, Xiaohua Lu  
Environmental Science Research Institute, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China,  
Corresponding author. Tel.: +86 27 87792159; fax: +86 27 87792159.  
E-mail address: luxiaohua@mail.hust.edu.cn (X. Lu)

受二氯酚 (2, 4-dichlorophenol, 2, 4-DCP) 污染土壤經由零價鐵 (ZVI)/ Ethylenediamine-N,N'-disuccinic acid (EDDS)/注氣(Air)(簡稱ZEA)類Fenton系統可有效被處理，本文指出鐵劑量、EDDS濃度和空氣率對2, 4-DCP有很大的影響的。當2, 4-DCP初始條件為 296.3 mg/kg，EDDS 為0.80 mmol/L，ZVI 5 g、曝氣率 1 L/min，固液比為1:20，經由ZEA系統2小時處理後2, 4-DCP降解比為93.4%和 EDDS降解比為 91.4%，在3小時後2, 4-DCP完全被去除。2, 4-DCP及EDDS之反應為假性第一階反應反應動力學方程式，各別反應速率常數是  $1.97 \text{ h}^{-1}$  和  $0.98 \text{ h}^{-1}$ 。

## **3.3. 污染預測及地下環境評估**

### **3.3.1 Using Filtering Techniques to Improve Subsurface Contaminant Model Accuracy**

Shou-Yuh Chang, DOE Samuel Massie Chair Professor  
Department of Civil Engineering, North Carolina A&T State University, Greensboro, NC 27411, USA,  
Phone: 336-334-7737, Fax: 336-334-7126,  
Email: chang@ncat.edu

污染物地下數值模式的污染團預估、尺寸或形狀，在風險評估及清理過程中扮演重要角色。低估或高估風險可能影響後續緊急應變或場址整治的成本極大。基於微分方程式的數值模式是一個包含限制速率和傳輸機制的初始值問題。因此，數值模式預測基本上依賴傳輸模式錯誤修正，其中包括模式機制的誤差、數值圖和來自初始資料、未知或不確定來源的誤差及不準確的參數運用等。

在地下污染物傳輸，篩選技術(Filtering techniques)可有效運用於估計和資料同化，這是因為它們處理動態和隨機過程的優勢。本文歸結了最近在地下污染物運輸模式使用的篩選技術的幾個研究案例。這些技術包括粒子篩選及Kalman篩選的變種(如Extended Kalman Filter、Adaptive Kalman Filter及Ensemble Kalman Filter)。上述技術已運用於一(1D)到三維(3D)地下污染物傳輸模式的測試。

這些結果顯示資料同化的預測誤差小於決定模式 20 到 80%。此外，本研究建議運用正確的區域雜訊結構和參數估計，資料同化可以提高預測準確結果。藉由污染團等濃度圖的比較，篩選技術比傳統數值模式，亦具有能力給不規則形狀的場址提供更接近於「真實」的的預測。透過觀測獲得資訊、從同化系統中污染團的的預測相較於非同化系統，可依隨機且不規則污染形狀的變化提供更真切的預測。

### **3.3.2 Streamlined Approach for Environmental Assessment and Cleanup**

David Cheng, Ph.D., P.E., Max Pan, P.E., Yu Zeng, Ph.D., P.E., Qihai Chen 1

1. Accord Engineering, Inc., 2923 Pullman Street, Santa Ana, California, USA 92705

近幾年環境專業人員越來越能認知執行動態方式的環境調查和清理之價值。這種動態方式是彈性並可符合特定場址決策和資料需求。因此，加速調查或清理過程可減少決策不確定性和降低成本。這動態方式或所謂的三合法(Triad Approach)，可整合系統性工程規劃、動態工作計畫策略和即時測量技術進入決定支援矩陣(Matrix)，決定支援矩陣是設計用來管理環境整治專案中的不確定性，採用創新的快速採樣系統可收集即時的量測結果，即時的量測結果為三合法中之關鍵因素。本文回顧 Triad 方法並報告 3 個專案的執行結果。

## **3.4 風險評估及技術整合案例**

### **3.4.1. Closure Review of an UST Site that Still Has free product Pursuant To California's "Low Treat Closure Policy"**

Yi Lu, Phd

Ylu@waterbords.ca.gov

本文介紹加州現行之低處理關場政策(Low Treat Closure Policy, LTCP)，並說明一實際案例，該場址位於 San Fernando 路及 Linden 大到西南側，在 2007 年前為具 80 年歷史的麵包店，並於近期將重新開發，廠址周圍有多個超級基金場址(Superfund Site)，這些超級基金場址地下水主要受六價鉻污染，場址共分四區(A、B、C 及 D 區)，廠內曾設置汽油槽、柴油槽、廢油槽、液壓油槽及鍋爐用油槽，上述油槽於 1987-2006 年間被移除，會中介紹該場址之水文地質，其地下水位為 38.95~66.71 呎深，淺層非飽和區(0-10 呎)最高有 48mg/Kg TPHd(A、B 及 C 區)，深層非飽和區(>10 呎)則有高達 60000mg/Kg TPHd，特別在 B 區有 0.129 mg/Kg 苯、1.9 mg/Kg 甲苯、2.49 mg/Kg 乙基苯、13.4mg/Kg 對二甲苯等污染物，地下水監測從 1988 年開始，期間發現油厚度為 0.01~4.53 呎，整治行動包括土壤開挖、生物抽氣、現地生物處理及油品回收，曾於 2004 年採用生物處理，灌注 17040 加侖混合藥劑，包括微生物、營養鹽及雙氧水，可降解 TPHd 59%；在 1988-2007 年採用全液體處理(Total Fluids Treatment, TFT)系統進行浮油回收，並於 2009 年進行危害風險評估，並評估直接接觸及氣體侵入之個別風險，因在淺層非飽和區、深層非飽和區及地下水風險評估無慮後進行重新開發，目前浮油厚度仍介於 0.01~4.53 呎，目前油品回收率已低於 2 加侖/周，基於場址已符合加州現行之 LTCP，業主願意接受土地使用限制進行相關開發工作。

### 3.4.2. Impact of Sulfate on Selection of Remediation Methods – Lesson from Several Case Studies

Scarlett Zhai, scarlett.zhai@aecom.com, AECOM, Orange, CA

硫酸鹽為地下水中的常見之主要陰離子之一。在土壤/地下水的化學或生物還原處理，硫酸鹽還原到硫化物接續鐵/錳還原。對於氯化有機溶劑的污染場址，或六價鉻重金屬污染，高背景濃度的硫酸鹽為化學和生物還原中常被選用的關鍵整治方式，亦為選擇處理方法的關鍵因素。硫酸鹽可以產生相當數量的電子作為電子供應者(還原劑)，因而增加還原整治方法的試劑成本。此外，產自硫酸鹽還原之高濃度的硫化物對微生物群具有毒性進而抑制污染物的生物降解能力。

因場址水文地質為封閉狀態時，過多硫酸鹽累積將抑制微生物，需將過多硫酸鹽抽出，並注氣改善其水中溶氧。對含氮有機物而言，假如環境中硫酸鹽背景濃度偏高時，需進行 ISCO 與 ISB 處理成本比較，故建議採用批次試驗確認其氧化劑需求量，假如採用厭氧生物處理，可採用低釋放性基值減少硫酸根之累積及毒性。在對的地球化學條件下，可考慮添加亞鐵促進生物分解、並進行批次試驗驗證其效能。對 BTEX 而言，需注意過硫酸鈉及接續之厭氧氧化，假如在不利的水文地質及地球化學條件下將導致生物處理之活性降低。

對含氯化有機溶劑而言，現地化學氧化(ISCO)、現地化學還原(ISCR)、及現地生物還原 (ISBR)皆為所有可行的整治方法，當高背景濃度硫酸鹽存在時，ISCO 應優

先被採用。但對六價鉻重金屬污染場址， ISCR 或 ISBR 的還原卻是唯一可行的整治方式，使用時應慎重選擇整治方式以修正且避免因硫酸鹽還原之硫化物毒性。本文介紹幾個案例研究，說明硫酸鹽濃度對整治方法評估和選擇的影響。

AECOM 公司柴博士會中表示 ISCO+ISB 於 2005 便有相關案例進行，過硫酸鈉可用於 ISCO，而其分解產生之硫酸鹽可於厭氧環境中作為氧化劑(電子接受者)，亦即硫酸鹽於厭氧環境中可轉化為硫化物，但因個案之污染物水文地質不同，AECOM 過去具有成功及失敗個案。

### **3.4.3. Soil Vapor and Groundwater Remediation of Fuel Hydrocarbons - NMUSD Case Study**

Michael Shiang, ADvTECH Environmental, Inc.

在美國加州 Mesa 山脈 Newport-Mesa Unified School District (NMUSD)設置的地下水處理系統有 18 口現地和 15 口離地水井，包括兩個回收和監測井網路系統。回收井將地下水帶入現地暫存槽，地下水先被貯存後送進氣提裝置(QED EZ- Stacker Model 2.6P)及活性炭處理，氣提裝置採用 6 淺盤設計將溶解性污染物以氣提方式分離進而處理受污染之地下水，並將氣體送至土壤熱處理單元，將氣體以催化/熱處理方式進行分解。

處理後的水已幫浦送進 1000 lb 活性炭儲槽，活性炭儲槽可以吸收所有溶解性化學物質，最後將水排到橘郡下水道區(Orange County Sanitation Districts, OCSD)。在 1997 年，NMUSD 完成在 3 個地下油槽 (USTs)及 2 個廢油槽移除前完成土壤調查，土壤調查顯示，槽體周圍土壤已被苯、 甲苯、 乙苯、 二甲苯、汽油和甲基第三丁基醚 (MTBE) 等污染物所污染。後續的現場調查包括土壤取樣和地下水監測井的安裝進而界定的土壤和地下水中的污染範圍。氣相萃取系統 ( Vapor Extraction System VES) 被安裝在要污染場址以便整治受污染土壤。VES 為整治方案的一部分，目前在廠址連續操作並進行了大量的研究，ADvTECH 公司正準備補充的離地調查報告。

ADvTECH 公司確認離地區域關注污染物的濃度及範圍，並執行可行性研究以釐清應用於離地區域的整治替代方案，評估有關替代方案的相關資訊，建議場址首先之整治項目，並提出整治行動工作計畫可以有效地降低有關地下水污染的潛在風險。本文突顯該整治場址之各種技術，而場址持續進行之相關整治資訊將橫跨 10 年。

### (三)、現地參訪

#### 1 美國海軍 EI Toro 基地爾灣脫鹽專案

由加州橘郡都市水區(Municipal Water District of Orange County, MWDOC) Karl W. Seckel, P.E.進行報告,說明爾灣 Ranch 水區公司(Irvine Ranch Water District, IRWD)之服務區域、服務項目及飲用水來源,並講解主要之薄膜淨水系統(如照片 24-28),包括奈米薄膜(NF)、逆滲透膜(RO)、生物薄膜系統(MBR)及微過濾系統(MF)。

IRWD 服務區域有 181 平方英里,包括 Irvine、Lake Forest、Tustin、NewPort Beach、Costa Mesa、Orange、Santa Ana 等郡,並處理飲用水、廢水、再生水及都市逕流水,飲用水源有 65%來自當地地下水,有 35%為輸入水(包括 Colorado 河、北加州及購置都市廢水區之處理水),爾灣 Ranch 水區公司之地下水主要由兩口深井(深度超過 610 公尺)取得,取得水量為  $9.87 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yr}$ ,地下水水質之總溶解性固體(TDS)為 330mg/l,但因天然有機物質存在而有較高色度(~300 Color Unit)。

IRWD 運作深層地下水處理系統(Deep Aquifer Treatment System, DATS)中使用 NF(Hydranautics HYDRACCoRe 50<sup>TM</sup>),NF 操作條件為 100 psig,產水量為  $9.87 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yr}$ (回收率為 92%),可將高色度(~300 Color Unit)之地下水降至<5 Color Unit;濃縮處理系統(Concentrate Treatment System, CATS)使用由上述三條 NF 產線以另一條 NF (Dow Filmtec NF270)進行操作,NF 操作條件為 60 psig,產水量為  $9.67 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yr}$ (回收率為 98%),可將高色度(~3000 Color Unit)之處理水降至<5 Color Unit。NF 處理後採用除氧系統(DeOX)進入生物薄膜系統(MBR),處理量為 40538  $\text{m}^3/\text{d}$ ,MBR 處理後接續 RO,處理量為 23792  $\text{m}^3/\text{d}$ ,主要用於硝酸鹽、TDS 及硬度之移除。

爾灣區地下水因天然資源而含有高濃度的 TDS(~1000mg/L),在 1985 年位於爾灣區中央位置發現三氯乙烯(TCE)之污染(如表 1 所示),該污染主要來自美國海軍 EI Toro 基地(EI Toro Marine Corps Air Station)清洗或清潔溶劑洩漏所致,污染團現在位於基地下方 45 公尺擴展長達 3 英里(miles),而住宅區之 TCE 污染深度介於 90~150 公尺,所幸 IRWD 之飲用水源未受影響,但考量未來深水井可能造成影響,於是展開整治行動。

#### 參考資料:

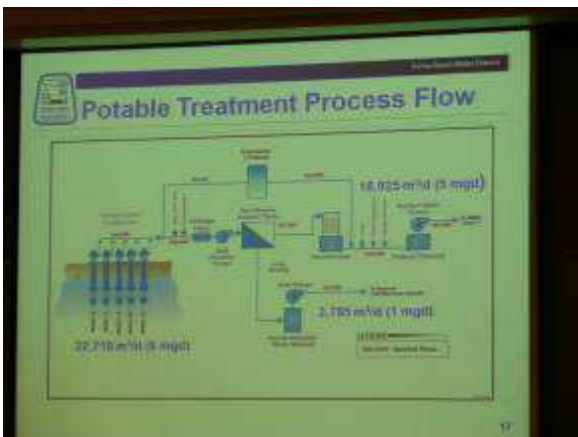
1. <http://www.mwdoc.com/>
2. Status Report, Doheny Ocean Desalination Project, Status August 2013.
3. Briefing Paper, Doheny Desalination Project, South Coast Water District.



照片 24. MWDOC 告示牌



照片 25. MWDOC 建築外觀



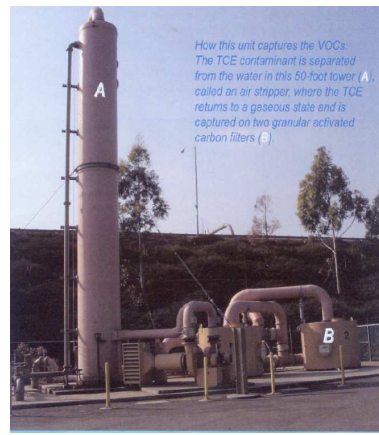
照片 26. MWDOC 之飲用水處理流程

Parameter	Concentration
Total Dissolved Solids	<math>450 \text{ mg/L}</math>
Total Alkalinity	<math>120 \text{ mg/L as CaCO}_3</math>
Total Hardness	<math>160 \text{ mg/L as CaCO}_3</math>
Nitrate	<math>1.0 \text{ mg/L}</math>
Chloride	75
Manganese	<math>0.040 \text{ mg/L}</math>
Turbidity	<math>0.1 \text{ NTU}</math>
pH	7.5

照片 27. MWDOC 之處理後水質

Item	Cost
Potable Water Wells & TP	\$ 41.4 M
CA Prop. 13 Grants	<math>\leq 1.9 \text{ M}></math>
CA Prop. 50 Grant	<math>\leq 0.3 \text{ M}></math>
US Bureau of Rec. Funds	<math>\leq 0.5 \text{ M}></math>
Net Capital Cost	\$ 38.7 M

照片 28. IDP 之處理成本



照片 29. 受 TCE 污染地下水之處理設施



表 1. El Toro 基地整治歷史

西元	歷史事件
1985	發現污染
1989	建置 ET-1 井減緩污染物移動
1990	美國海軍接受污染責任並成爲美國超級基金場址
1994-2001	美國法院與美國海軍部進行協商
2001	聲明同意到達，美國海軍部同意支付揮發性有機污染物移除費用
2004	專案設計完成
2006	專案設備建構完成
2007	美國海軍部於 2007.01.25 設置淺層地下水處理單元(Shallow Groundwater Unit, SGU)

爾灣脫鹽專案(Irvine Desalter Project, IDP)執行之前爲海軍 El Toro 基地，其地下水受 TCE 污染。IDP 是 IRWD、橙縣水區和美國海軍部完成一個聯合專案，即 El Toro 地下水修復專案(如照片 28)，目的是爲了清理 TCE 之地下水污染，該專案包括多個幫浦以氣提方式去除地下水，處理後水用於 IRWD 的廣泛再生水系統中的非飲用水。2007 年 1 月採用幫浦抽取 TCE 污染之地下水並全面開始運作此專案。經由處理去除 TCE 後之水僅運用於非飲用水用途(如照片 29)。每年 El Toro 地下水整治專案提供 13 億加侖的乾淨用水作爲非飲用水用途，水量足以灌溉美化 1,300 英畝(acre)土地，污染團的清理預計大約需要 40 年。

參考資料:

1. 蔡鴻德，第五屆全球當前環境挑戰與政府應對措施研討會暨環境高層論壇，行政院環境保護署出國報告，101 年 9 月 17 日。

大會原本安排美國海軍 Tustin 航空站之場址清理專案(Site cleanup project at former Tustin Marine Corps Air Station)參訪，該場址爲美國海軍一個著名的飛艇航空站(如照片 30~31)於 1999 年除役。該場址污染係由土壤和地下水中甲基第三丁基醚(MTBE)、TCE 和其他污染物所引起。主要整治技術包括曝氣、開挖和地下水抽出處理。加州的美國海軍 Tustin 航空站 (MCAS)在 2001 年下半年爲時間緊迫進行整治行動(Time Critical Removal Action, TCRA)，在場址 13 南邊地下水有物三氯丙烷(TCP)。TCRA 相關的第二個修復行動主要對象爲汽油站地下水的 MTBE 污染。在這兩個場址的整治行動是密切相關調，因爲兩個污染重疊。TCRA 13 場址南邊包含 7 口抽水井，防止進一步的污染物移動，並減少淺層地下水中的濃度。採用粒狀活性炭(GAC)吸收系統從抽出的地下水中移除含氯化合物。MTBE 清理被分爲兩個階段：第一階段，在 2001 年 7 月於污染源附近開始採用兩個抽水井進行污染物移除；和第二階段於污染源中央以其他四個提取井附近抽除 MTBE 污染之地下水，地下水 MTBE 經由 HIPOx(TM)處理與過氧化氫和臭氧的化學氧化分解的系統。生物-GAC 處理單位可處理氧化過程的副產品-丙酮。本專案採取的行動主要減少地下水污染物低於法令標準，而放流水已通過毒性試驗並可排到暴雨排水系統。本專案從 2002 年 1 月開始啓動並自 2002 年 2 月持續運行這兩個操作。



照片 30 美國海軍 Tustin 航空站之場址



照片 31 Tustin 航空站之場址開挖情形

Tustin 航空站場址參觀大會因故取消，並委由美國協和工程責任公司副董事長進行潘大成進行簡報，故找尋相關資料進行比較(如表 2)。

表 2. EI Toro 及 Tustin 基地參觀場址之比較

比較項目	EI Toro 基地	Tustin 基地
位置	南加州橘郡	南加州橘郡
成立時間	二次世界大戰時期成立 1942/08/03	二次世界大戰時期成立 1942/4/1
面積	19 km <sup>2</sup>	6.5 km <sup>2</sup>
關閉時間	1999/7/2 年關閉	1999/7/2 年關閉
超級基金列管場址	是	是
調查經費	10 年 3.75 億美金(1989)	
整治經費	5 年 2.5 億美金(1994)	
單位	美國海軍戰機	海軍飛船基地
介質	地下水	土壤、地下水
污染物	TCE	TCP、MTBE
處理方法	Shallow Groundwater Unit (SGU, 2007) 使用 Pump/Treat、AS+GAC	AS/SVE、三段式 GAC
後續利用	2005 拍賣 6.5 億美金 作為 Great Park、住宅、商業 及學校	2005 拍賣 2.09 億美金 開發為住宅區(2005) 購物中心(2008)

參考資料:

1. 蔡鴻德，第五屆全球當前環境挑戰與政府應對措施研討會暨環境高層論壇，行政院環境保護署出國報告，101 年 9 月 17 日。
2. <http://www.clu-in.org/>

## 2. Doheny 州立海灘海水淡化模廠

大會原定安排之美國海軍 Tustin 航空站之場址清理專案參訪因故取消，當天臨時更改進行州立海灘 Doheny 海水淡化模廠參觀，由加州橘郡都市廢水區(Municipal Water District of Orange County, MWDOC )Karl Seckel 經理進行海水淡化模廠(如照片 32-39)及專案說明(如圖 2-4)，Doheny 海水淡化專案 (Doheny Ocean Desalination Project, DODP)由 MWDOC 擔保超過 4 百萬美金答應經費支持本專案，在 2012 年預估專案費用達 153 百萬 USD。

DODP 專案採用地下斜管井(Slant Well)從 San Juan Creek 海底取水(約佔 5%地下水)，地下水取水系統採用砂過濾系統進行前處理，砂過濾系統是中性的過濾程序，當海水滲透經過砂及礫石層，砂過濾系統可產生高品質水源可進一步採用逆滲透(RO)處理，這樣的取水過程可減少專案費用並減低高費用的前處理設施並獲得開放性的取水系統，透過這樣的設計，斜管井取水系統並不會造成海洋生態的衝擊，DODP 專案已由加州海岸隊認可，並由相關單位(如 Surfrinder Foundation, OC Coastkeeper, Project Save Our Surf)支持。

加州橘郡南部區域有 80~100% 依賴外來之輸入水，該輸入水主要由南加州及 Colorado 河，但輸入水供給吃緊，惟供應商及終端使用者水供給在 2009~2010 年減少，故 2002 年 MWDOC 便已著手進行橘郡南部海水淡化之可行性評估及開發工作，海水淡化可生產區域飲用水源並減少輸入水之依賴。

在 2004 年，依水可依賴性研究建議在 Dana Point 成立海水淡化專案，選擇 Dana Point 主要係因其具有潛在供給及系統可依賴性的經濟效益，此外 Dana Point 因地質、土地取得、既存之海水棄置排放口及水管而選為場址，藉由這些因素透過傾斜井管取水可達避免環境敏感，進而使海水淡化永續利用。

該專案在 Doheny 海灘 Dana Point 於 2005~2007 已成功完成 phase I 及 phase II 試驗，2012 年完成 phase III 試驗擴展性抽水及模廠試驗，phase III 主要測試項目如下：

1. 斜管井及移動模廠測試(18 個月)
2. 評估斜管井容量及品質
3. 微生物生長測試
4. 金屬腐蝕測試
5. 建立逆滲透前處理要求
6. 建立逆滲透後處理要求
7. 評估逆滲透棄置處理要求
8. 開發全尺寸執行處理廠之程序設計規範

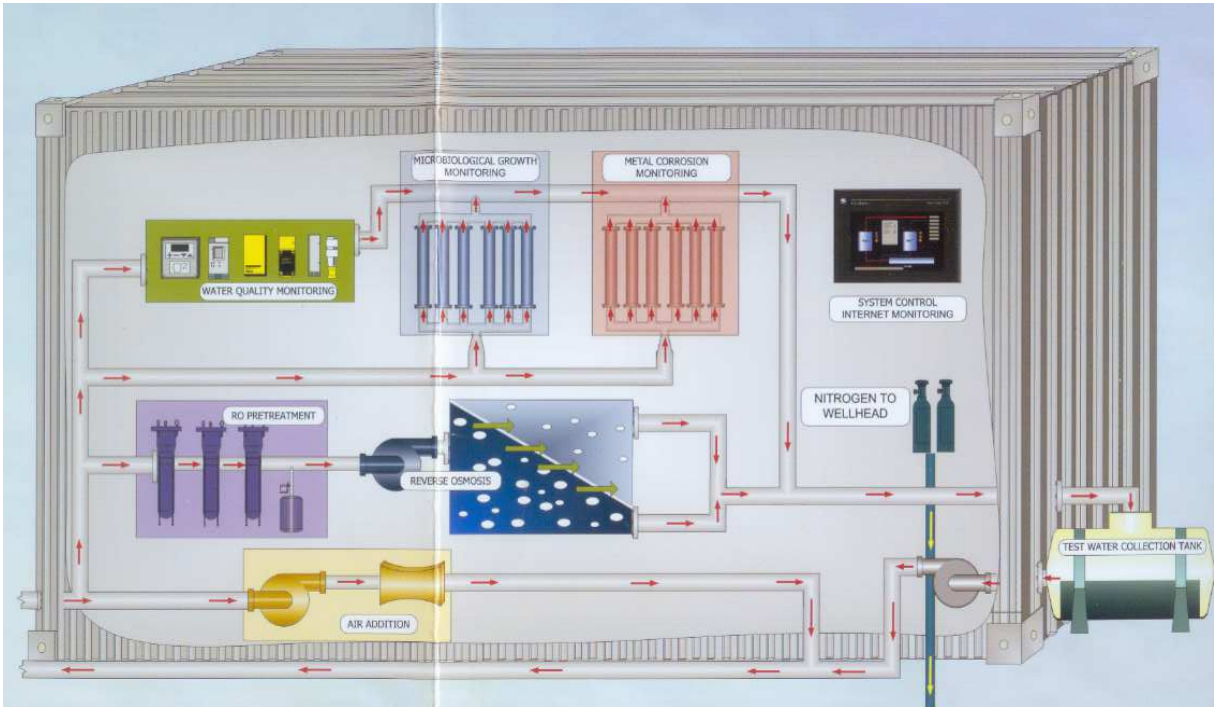


圖 2. Doheny 海水淡化模廠圖

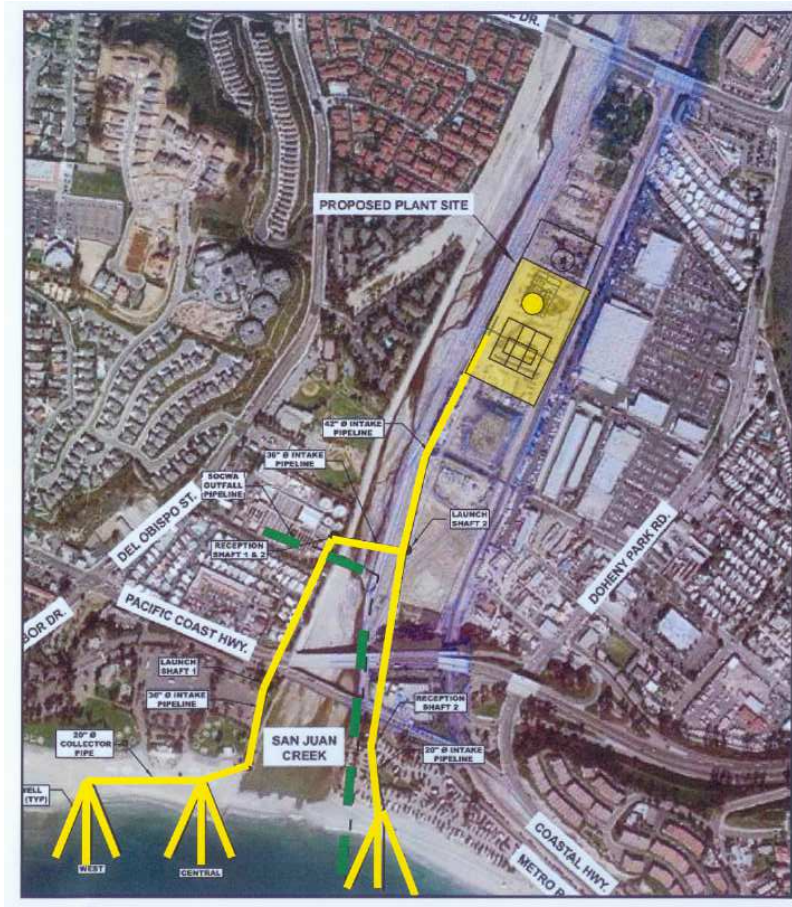


圖 3. DODP 專案未來海水淡化廠預定位置

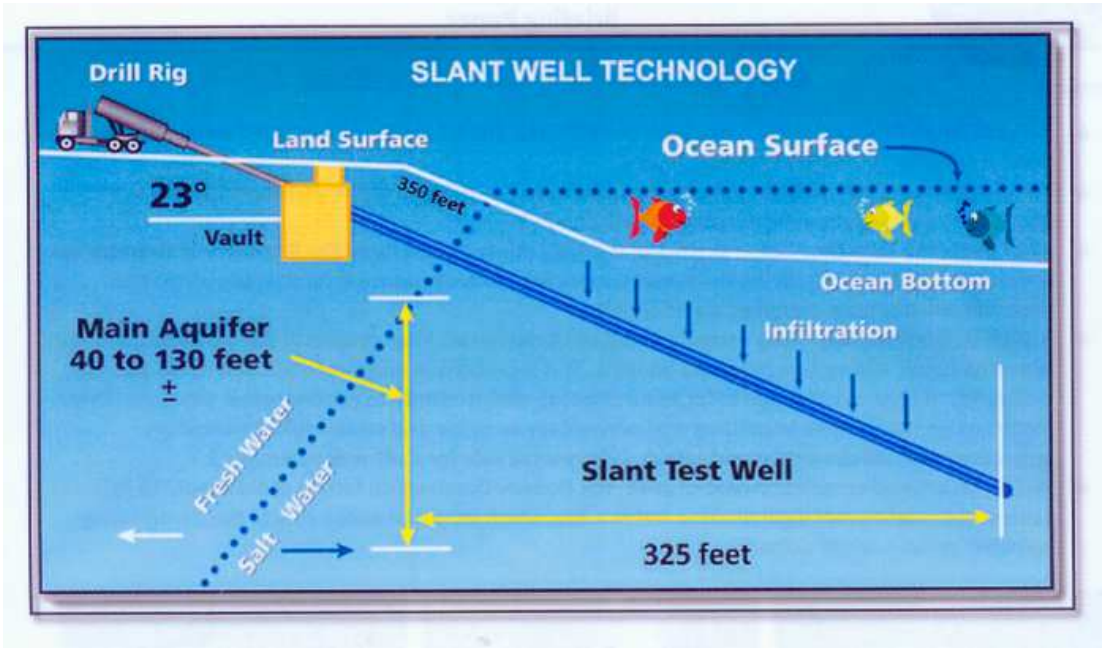


圖 4. DODP 專案斜管井設置示意圖

表 3. 2012 年 DODP 專案推估之水處理成本

Item	Cost per AF	Notes
Capital	\$588	Includes a 25% contingency and a 15% allowance for professional services
Operations and Maintenance (O&M)	\$363	Without energy
Energy	\$446	
Land	\$47	
Mitigation Costs	\$167	
Total estimated project cost in 2012 dollars	\$1,611	



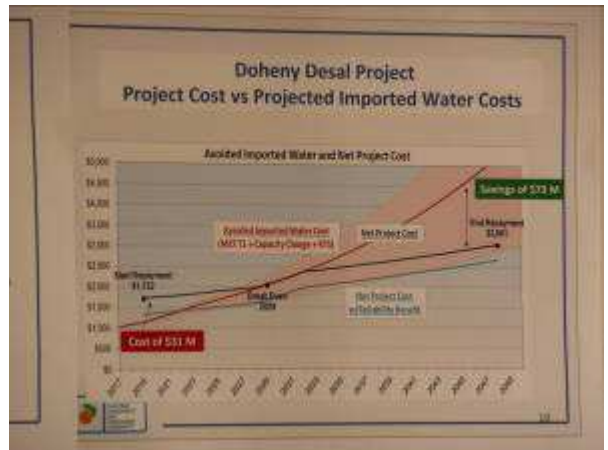
照片 32 DODP 報到處



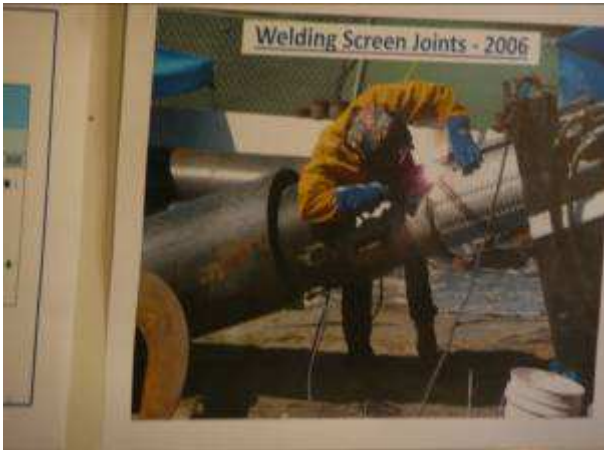
照片 33 DODP 之現場人員解說



照片 34. DODP 之 Phase3 說明



照片 35. DODP 之經濟評估方案



照片 36. DODP 之斜井設置照片



照片 37. DODP 模廠之金屬腐蝕試驗



照片 38. DODP 模廠之生物生長監控



照片 39. DODP 模廠之 RO 測試

2012 年 DODP 專案之水生產成本(如表 3)為 1611USD/acre-foot(1 acre-foot 為 325000 加侖，換算後為 4.96USD/1000 加侖)，2012 橘郡之輸入水成本為 950USD/acre-foot(換算後為 2.92USD/1000 加侖)，未來輸入水成本增加將刺激水價，預估在 2018 年，Doheny 海水淡化可為乾旱的橘郡提供 15 百萬加侖/day 的當地飲用水，這相當於 25%相關廠商供應的飲用水需求量，預計於 2020~2030 年 DODP 專案海水淡化之生產成本將低於輸入水成本。

參考資料:

1. <http://www.irwd.com/>

## 參、 心得與建議事項

感謝公司及上級長官的支持與栽培，使本人有機會參加 2013 年第 6 屆全球環境新興挑戰及政府回應研討會、參訪加州大學洛杉磯分校(UCLA)環境永續研究所(IOES)及加州大學爾灣分校(UCI)水文氣象及遙測中心 (CHRS)，並進行美國海軍 EI Toro 基地爾灣脫鹽專案及州立海灘 Doheny 海水淡化模廠參觀。

美國加州為人口密集之處，其對應之環境衝擊及水資源分配問題也更為嚴重，這也是美國加州環境保護技術及都市區域整合能領先於世界之主因，過去美國加州北水(克羅拉多河)南運並無缺水問題，但因北水南運導致加州生態上之改變，目前加州南部除了從地下水取水淨化外，須靠廠商向外購買水源或使用包裝水替代，因應美國加州人口之日益增加，未來水回用、水再生、廢水淨化及海水淡化將成為其優先目標，可見面臨環境挑戰，可將危機可化為轉機，透過新技術開發(如斜管井引水倒入薄膜系統)並可成為新的商機。

因應溫室氣體導致的全球環境變遷問題、人口成長預測、都市區域整合及規劃已成為重要的研究課題，此次拜會兩個中心(IOES 及 CHRS)為地方區政府、州政府、氣象局、國科會及聯合國進行跨領域之研究，惟環境變數增多將增加預測之困難度，透過不同專業領域人員之共同參與及研究，可解決都市規劃、遙測預警並作為政府機構決策及重大工程興建之重要依據，可將實務研究轉化為實務教學，進而成為世界領先的研究重鎮。

此次出國獲益良多，歸結幾點建議如下：

- 1.南加州華人環保協會、海外華人環境保護協會及美洲中國工程師學會-南加州分會之成員分佈在美國環境保護相關之政府單位、工程公司及顧問業，透過協會及研討會之交流有助於拓展專業領域，並可藉由協會或研討會名義拜訪具敏感性且不易申請之參觀地點，除能免除語言溝通障礙並能加深工業參訪之深度。
- 2.土水整治所面臨的問題包括時間性、經濟性及技術性等層面，目前土水整治首重綠色整治之結合，從土地生態、廢棄物資源化、廢水淨化、廢氣處理、能源及管理層面，綠色整治與綠建築之評估指標皆朝向節能及減碳，面對本公司煉油廠遷廠後之土水整治問題更應借助國外經驗，此次研討會結束後接續辦理之研習會(土壤與地下水污染清理技術和政府管理專題會議暨 2013 年污染場地修復科技創新與產業發展論壇)正是討論煉油廠關廠之相關整治技術及規劃，希冀未來能邀請加州環保署相關人員到本公司進行研討及交流。
- 3.面對複雜之地下環境，依賴單一整治技術並無法解決地下污染問題，透過整治技術串接是必要、但化學加藥後需注意殘留之離子濃度偏高之問題，硫酸鹽累積將抑制生物處理之活性，本次研討會中 AECOM 公司分享採用過硫酸鈉後應用於水文地質



封閉之場址，因硫酸鹽過高導致無法串接生物處理，需透過不斷抽水將硫酸鹽抽除後才能進行下一階段之整治工作，本公司應重視過硫酸鈉運用於土水整治時，是否影響整體整治效率並討論相關技術整合串接之適當性。

4. 美國加州環保署已明令禁制 MTBE 之使用，且我國行政院環境保護署已預告修正「地下水污染監測標準」草案(中華民國 102 年 2 月 21 日，環署土字第 1020014951A 號)「地下水污染管制標準草案」及(中華民國 102 年 2 月 21 日，環署土字第 1020014993 號)，並將 MTBE 列入地下水污染物之監測及管制項目，本公司除應注意新法修正之實施期程外，應評估其他 MTBE 之替代添加劑，並積極針對 MTBE 之地下水污染建立監測預警及整治系統。
5. 美國已發展成熟之三元法(Triad Approach)降低整治成本，三元法主要搭配系統專案規劃(Systematic Projection Planning)、動態工作計畫(Dynamic Working Plan) 及即時量測(Real Time Measurement)，其運用快速分析技術及儀器設備如 XRF, FID, PID, 德爾格管(Draeger Tubes)、免疫法及薄膜界面探測器(Membrane Interface Probe, MIP)，未來可邀請美國顧問公司到台灣進行三元法實務交流。
6. 加州之低處理關場政策(Low Treat Closure Policy, LTCP)已於 2012 年生效，並有實際案例採用危害風險評估，分別評估直接接觸及氣體侵入之個別風險無慮後進行重新開發，雖僅為單一個案，但風險評估納入整治及開發之決策思維值得本公司學習及效法，另 TPHg 之健康風險較 TPHd 為高，故以風險管理及整治成本考量，應優先整治 TPHg 後，再以風險管理角度重新評估污染場址之再利用，未來可為公司節省龐大之污染整治費用。