

出國報告(出國類別：開會 )

( 報 告 書 名 稱 )

參加美國「NGWA 地下水協會研討會」與  
參訪 FPC & TESORO 煉油廠

服務機關：石化事業部林園石化廠安環組

姓名職稱：徐錦源(經理)

派赴國家：美國

出國期間： 97 年 11 月 2 日至 97 年 11 月 10 日

報告日期： 98 年 1 月 14 日

(摘要：篇幅限於1頁以內)

本次出國計劃自97年11月2日至97年11月10日止共計9天。

本次出國主要是參加美國地下水協會 NGWA 於德州休士頓舉辦「地下水中含石油碳氫化物與有機物等污染物的預防、偵測及整治研討會」及至德州 POINT COMFORT 台塑美國公司 FPC 德州烯烴廠參訪，返回時至加州舊金山 TESORO 公司金鷹煉油廠參訪其二處地下水污染整治場址，了解其污染整治方法及整治情形。

11月2日由高雄小港機場搭機出發至桃園機場，於桃園機場搭乘長榮航空飛至洛杉磯，美國當地時間11月2日中午再搭乘大陸航空轉機至休士頓 IAH 機場。

11月3日至11月4日二天參加美國地下水協會 NGWA，於美國德州休士頓 JW Marriott Hotel 舉辦「地下水中含石油碳氫化物與有機物等污染物的預防、偵測及整治研討會」 Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water : Prevention Detection and Remediation Conference。二天研討會由美國各地區教授學者、美國環保署地下水主管官員與工程技術顧問公司專家，發表各篇論文，主題含蓋污染場址清除之目標與終止、DNAPL 與 LNAPL 污染場址特性與偵測專題分場研討、汽油與 MTBE 及其他含氧有機物整治處理、石油碳氫化物污染場址使用各種污染整治技術，土壤氣體萃取 SVE、空氣曝氣 AS、過硫酸鹽化學氧化、生物反應處理等等專題分場研討。

11月5日至德州 Point Comfort 台塑美國公司 FPC 德州烯烴廠參訪，主要是了解2005年10月06日其 Olefin II 廠發生丙烯洩漏火災爆炸事故後，美國化學安全危害調查委員會 USCSB 與美國職業安全衛生署 OSHA 對其要求改善狀況及觀摩其工安環保措施。

11月6日搭乘大陸航空至舊金山，11月7日至舊金山灣區東北方約40英哩之 Contra Costa 之 Martinez 鎮 TESORO 公司金鷹煉油廠，參訪其二處地下水污染整治場址（廠區工場外之地下柴油管線破漏場址及儲槽區油槽洩漏場址），了解其土壤地下水污染整治方法及整治情形、美國對污染場址的規定及加州政府主管機關如何要求與監督。

11月8日晚上由舊金山 SFO 機場辦理出境，搭乘11月9日00:05長榮航空班機飛回台灣，台灣時間11月10日上午06:15抵達桃園機場，再轉機返回高雄。

## 目 錄

壹、 出國目的說明 .....	4
貳、 美國地下水協會研討會過程及參訪煉油廠說明 .....	5
(一)、美國地下水協會 NGWA 地下水研討會.....	5
(二)、參訪 FPC 德州烯烴廠& TESORO 公司金鷹煉油廠.....	12
參、 研討會及參訪之心得與建議 .....	18

(本文：應包含「目的」、「過程」、「心得」、「建議」及其他相關事項)

## 壹、出國目的說明

藉由此次參加美國地下水協會 NGWA 舉辦「地下水中含石油碳氫化物與有機化物等污染物的預防、偵測及整治研討會」，與國外尤其美國各地區學者、與工程技術顧問公司專家接觸交流學習，了解美國環保署地下水主管機關對污染場址的管控，收集與了解目前有關石油碳氫化物尤其 BTEX 污染物污染場址，各種污染整治方法技術與設備。

藉由參訪美國德州與加州地區煉油廠，台塑美國公司 FPC 德州烯烴廠，了解其 Oleffin II 烯烴二廠發生丙烯管線被堆高機拉拖車撞擊，造成丙烯洩漏火災爆炸事故後，美國化學安全危害調查委員會 USCSB 與美國職業安全衛生署 OSHA 對其要求改善狀況及觀摩其工安環保設施與措施，以供參考及借鏡。

另亦藉由參訪加州舊金山灣區之 TESORO 公司金鷹煉油廠，參訪其二處地下水污染整治場址（廠區汽油地下管線破漏場址及儲槽區油槽洩漏場址），了解其土壤地下水污染整治方法及整治情形、了解美國對污染場址的規定及加州政府主管機關如何要求與監督，以提供本廠土壤及地下水污染預防與控制整治技術選擇參考。並利用參訪此機會觀摩了解其對承攬商之管理，以提供本廠對承攬商管理之參考。

## 貳、美國地下水協會 NGWA 地下水研討會過程及參訪煉油廠說明

### (一)、美國地下水協會 NGWA 地下水研討會

11月3日至11月4日二天參加美國地下水協會 NGWA，於美國德州休士頓 JW Marriott Hotel 舉辦「地下水中含石油碳氫化合物與有機化合物等污染物的預防、偵測及整治研討會」Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water : Prevention Detection and Remediation Conference。

美國地下水協會 NGWA (National Ground Water Association)，以前名稱為美國國家水井協會 NWWA(National Water Well Association)成立於 1948 年，自 1991 年改名為 NGWA 美國地下水協會。NGWA 是非營利組織，目前共約 14000 多個會員，NGWA 會員由美國和國際上之地下水專業承包商、學者專家、和工程師、設備製造商和供應商組成。NGWA 成立宗旨為會員、政府代表與大眾，對地下水資源的保護及管理上提供指導，並致力於推動所有專業人員的地下水專業知識，促進負責任的處理污染，使用和管理地下水資源與宣導地下水保護意識教育。

美國地下水協會 NGWA 發行三種出版物，Ground Water、Ground Water Monitoring & Remediation、Water Well Journal 等，提供給 NGWA 分佈在世界各地的成員。NGWA 還出版買家指南和行業目錄，提供容易找到優質的產品和設備、供應商、承建商、工程顧問等等。NGWA 每年舉辦約 8 次研討會、地下水博覽年會、地下水首腦會議、及短期培訓班。

此次美國地下水協會 NGWA 於德州休士頓 JW Marriott Hotel，舉辦「地下水中含石油碳氫化合物與有機化合物等污染物的預防、偵測及整治研討會」，二天研討會由美國各地區教授學者、美國環保署地下水主管官員與工程技術顧問公司專家共 95 人參加，並發表各篇論文，主題含蓋污染場址清除之目標與終止、DNAPL 與 LNAPL 污染場址特性與偵測專題分場研討、MTBE 及其他含氧有機化合物整治處理、石油碳氫化合物污染場址各種污染整治技術土壤氣體萃取 SVE、空氣曝氣 AS、過硫酸鹽化學氧化、生物反應處理等等專題分場研討。

此次「地下水中含石油碳氫化合物與有機化合物等污染物的預防、偵測及整治研討會」Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water : Prevention Detection and Remediation Conference 議程如下：

November 3, 2008	Presentation Title	Presentater
08:00 -0 9:00	Registration	
09:00 - 11:05	Cleanup Goals and Site Closures	Moderator: Robert Masters, NGWA
09:00 -09:25	MTBE: The Plainview New York Water District Case	Peter Condron, Wallace King Domike and Reiskin PLLC
09:25 - 09:50	1,4-Dioxane An Update on Regulatory Development Uses Properties Assessment and Remedial Options	Ellen Moyer, PhD ,PE, Greenvironment LLC
09:50 - 10:15	On the Development of LNAPL Conceptual Site Models for Risk-Based	Ray Leather, Warren Equities Inc. and Don A. Lundy, PG,

	Decision-Making at Petroleum Hydrocarbon Sites	Environmental Systems & Technologies
10:15 - 10:40	Break	
10:40 - 11:05	A Systematic Approach to Sensitive Receptor Management Throughout the Project Lifecycle	Roger Well, CPG, ENFOS Inc.
11:05 - 15:55	Site Characterization and Monitoring	Moderator: Ellen Moyer, PhD ,PE, Greenvironment LLC
11:05 - 11:30	Membrane Interface Probe/Cone Penetrometer and Hydraulic Profiling Tool Technologies	Patrick Hicks, PhD. ZEBRA Environmental Corp.
11:30 - 11:55	Comparison of Observed Vapor Intrusion Attenuation Factors at Former MGP Sites to USEPA Vapor Intrusion Database Attenuation Factors	Gina Plantz and Richard Rago , Haley & Aldrich Inc. ;Tracy Blazicek, New York State Electric and Gas
11:55 - 13:30	Lunch	
13:30 - 13:55	Field Screening for PCB DNAPL Using Laser-Induced Fluorescence to Detect Comminged Aromatic Hydrocarbons	Wayne C. Hardison,PE,Ban N. CHMM,and J. Johnson, Haley & Aldrich of Michigan Inc.
13:55 - 14:20	Finite Element Modeling of LNAPL Transport In Deformable Unsaturated Porous Media	Amir H. Hosseini, University of Alberta
14:20 - 14:45	Mass to Concentration Tie-In for Passive Soil Gas Surveys: Improved Technique for Source Area, Spatial Variability and Vapor Intrusion Assessment	Joseph Odencrantz, Ph.D., P.E. <sup>1</sup> , Paul C. Johnson, Ph.D. <sup>2</sup> and Harry O'Neill <sup>1</sup> , (1)Beacon Environmental Services, Inc., (2)Arizona State University
14:45 - 15:10	Risk-Based Characterization and Assessment of Extractable Petroleum Hydrocarbon Contamination Using Comprehensive Two-Dimensional Gas Chromatography with Dean's-Switch Modulation	Robert G. Brown <sup>1</sup> , Stacy K. Seeley <sup>2</sup> , Steven V. Bandurski <sup>3</sup> , John V. Seeley <sup>3</sup> and James D. McCurry <sup>4</sup> , (1)Lancaster Laboratories, (2)Kettering University, (3)Oakland University, (4)Agilent Technologies, Inc
15:10 - 15:30	Break	
13:30 - 16:30	Soil Vapor Extraction Design Workshop	Workshop Presenters: Rey Rodriguez, H2OR2 Consultants Bill W. Reetz, A Better Earth LLC Bruce Lounsbury, P.E., Calco Environmental Group

15:30 - 15:55	After the Fact. A Review Poor Characterization Practices	Jeffrey A. Johnson, Ph.D., PG, Acton-Mickelson Environmental Inc
15:55 - 16:45	MTBE and Other Gasoline Oxygenates	Moderator: Ellen Moyer, PhD ,PE, Greenenvironment LLC
15:55 - 16:20	Biodegradation of Gasoline Under Microaerophilic Condition	Karim Acuna-Askar, Sc.D, Jhonatan N. Martinez-Ochoa, - - German Buitron-Mendez, Universidad Nacional Nacional Autonoma de Mexico Instituto
16:20 - 16:45	Treatment of Tertiary-Butyl Alcohol Using a Biological Fluidized Bed Reactor	William Guarini,Sam Frisch, Michael DeVecchio Paul Togna, PhD.
16:45 - 18:30	Icebreaker Reception	

November 4, 2008	Presentation Title	Presentater
08:35 - 11:35	Remediation Technologies	Moderator: Michael Marley, XDD LLC
08:35 -09:00	Full Scale Implementation of Sulfate Enhanced Biodegradation to Remediate Petroleum Impacted Groundwater in Upstate New York	Jim Cuthbertson, Delta Consultants and Mark Schumacher, Delta Consultants, Inc.
09:00 - 09:25	Innovative Technology Enhances In Situ Injection	Patrick Hicks, PhD. ZEBRA Environmental Corp.
09:25 - 09:50	A Conceptual Model and Semi-Analytical Solution for Multiphase Extraction at a Vacuum Enhanced LNAPL Recovery Well	Don A. Lundy, PG, Environmental Systems & Technologies
09:50 - 10:20	Break	
10:20 - 10:45	Test of Schumasoil Well Screens for Free Product Recovery	Duane R. Hampton , PhD. ,and Tamara M. DeFrain ,Western Michigan University.
10:45 - 11:10	Adjustable Depth Air Sparging Case Study	Michael C. Marley and Matthew T. Walsh ,XDD, LLC; Andrew S. Drucker, Naval Facilities Engineering Service Center
11:10 - 11:35	Evaluation of Continuous Trenching Method for Construction of Vertical Barrier Walls	Stephen C. Lindsay, EIT , and Darren S. Quillen PE Environmental Resources Management Inc. ;

		William R. Morse, Sunoco Inc.
08:35 - 11:35	MTBE, TBA, and Ethanol Remediation Seminar	Ellen Moyer, PhD ,PE, Greenenvironment LLC Scott Saroff , CPG, PG, CH2M HILL
11:35 - 13:05	Lunch	
13:05 - 16:50	Remediation Technologies	Moderator: Scott Saroff , CPG, PG, CH2M HILL
13:05 - 13:30	In Situ Advanced Mixed Oxidation Technology:Improvements in Radical Production and Oxidant Activation Chemistry	Raymond G. Ball, PhD., PE, LSP, Thomas S. Weymouth , EIT, and James R. Elsenbeck, En Chem Engineering Inc.
13:30 - 13:55	Implementation of Biologically Enhanced Soil Vapor Extraction: Overcoming Obstacles to Remediate 46 Acres of Petroleum Hydrocarbons	Robert J. Frank, RG, CH2M HILL
13:55 - 14:20	Evaluation of Air Sparging Trench for the Treatment of VOCs and Arsenic	Michael C. Marley, Omer Uppal, Dennis Keane, XDD, LLC and Dean Peschel <sup>2</sup> , City of Dover
14:20- 14:45	Nanobubble Treatment of Complex Petroleum Organics	William Kerfoot Technologies Inc.
14:45 - 15:10	Break	
15:10 - 15:35	In Situ Chemical Oxidation of Gasoline Compounds Using Persulfate	Kanwartej S. Sra, Neil R. Thomson, PhD and Jim Barker, PhD, University of Waterloo
15:35 - 16:00	Anaerobic Biodegradation of an LNAPL in a Continuous-Flow Fixed-Biofilm Reactor	Karim Acuna-Askar, Sc.D, Jhonatan N. Martinez-Ochoa, - - German Buitron-Mendez, Universidad Nacional Nacional Autonoma de Mexico Instituto
16:00 - 16:25	Evaluation of Natural Attenuation Rates and Remediation Timeframes at Three UST Sites with Long Ground Water Monitoring Records	Thomas E. McHugh, GSI Environmental; Mark Malander and David S. Wright, ExxonMobil
16:25 - 16:50	Use of Ground Water Modeling for Optimization of Field Characterization Activities and Remedial Design	Natalia Raykhman and M. Basial, CH2M HILL; J. Dhont, EPA Region IX



研討會相關論文摘要：

## Evaluation of Air Sparging Trench for the Treatment of VOCs and Arsenic

Michael C. Marley<sup>1</sup>, Omer Uppal<sup>1</sup>, Dennis Keane<sup>1</sup> and Dean Peschel<sup>2</sup>, (1)XDD, LLC, (2)City of Dover

An air sparging trench alternative was compared to a capping/pump and treat remedy for groundwater impacted with volatile organic compounds (VOCs) and arsenic constituents of concern (COCs), as specified in a Record of Decision (ROD) at a United States Environmental Protection Agency (USEPA) Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act (CERCLA) landfill site. The air sparging trench with an engineered backfill material was designed to intercept and treat COCs migrating with groundwater from beneath the landfill. The design and performance evaluation of the trench are presented.

The trench was designed to provide in-situ flow-through treatment of VOCs by a combination of volatilization and aerobic biodegradation, and arsenic by precipitation and sorption. Various laboratory and field-scale tests were performed to evaluate the effectiveness of the trench in removing COCs. The results of laboratory, field-scale testing, and a stripping analysis indicated that the trench could remove the majority of VOCs that are present at the site by air sparging. Organic compounds that are not expected to be completely volatilized were projected to degrade by aerobic microorganisms in the oxygenated groundwater within and down-gradient of the trench.

Geochemical modeling was performed to evaluate the ability of oxidizing conditions within trench to remove dissolved arsenic from groundwater through co-precipitation and sorption onto iron oxides. The modeling results indicated that oxidizing conditions created in the trench will result in precipitation of dissolved arsenic and other reduced minerals into the void spaces of the trench backfill material, significantly reducing the dissolved arsenic levels down-gradient of the trench.

Long-term performance issues (i.e., mineral precipitation and biofouling) observed at other air sparging trenches were evaluated and solutions for such potential issues were incorporated in the design. The air sparging trench alternative evaluation resulted in an amendment of the original ROD with a substantial cost saving to the client.

## In Situ Chemical Oxidation of Gasoline Compounds Using Persulfate

Kanwartej S. Sra, Neil R. Thomson, PhD and Jim Barker, PhD, University of Waterloo

Destruction of gasoline compounds and fractions – benzene, toluene, ethylbenzene, xylenes (BTEX), trimethylbenzenes (TMBs) and naphthalene, gasoline fractions (F1 and F2) and total petroleum hydrocarbons (TPH) – by activated and unactivated persulfate was studied at the bench-scale.

Unactivated batch reactor systems employed persulfate at 1 or 20 g/L and activated systems employed persulfate at 20 g/L and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> as activator at two experimental conditions - 0.1 or 1.0 mol H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/mol S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup>. All treatments and controls contained API standard gasoline at ~25 mg/L and were run in triplicate. Sampling was conducted over a ~28 day period.

Controls showed insignificant degradation for all gasoline compounds and fractions examined while unactivated persulfate at 1 g/L showed small (<10%) decrease in concentration of gasoline compounds over the reaction period. Unactivated persulfate at 20 g/L demonstrated a large decrease in concentration of BTEX (>99%), TMBs (>94%) and naphthalene (>71%). Oxidation of F1 (>94%) seemed to be more impacted than F2 (>80%) while >93% TPH was oxidized. Use of peroxide as activator at 0.1 mol H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/mol S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup> improved the conversion of TMBs (>99%) and naphthalene (>85%). Increase in activator strength to 1.0 mol H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/mol S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup> decreased the conversion for xylenes (>86%) and TMBs (>81%) implying that an optimal H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> molar ratio with persulfate may be required to maximize treatment of gasoline compounds. With H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> alone at the two conditions, the treatment of compounds was higher for molar ratio 1.0 (<27%) than for molar ratio 0.1 (<11%). Overall, while persulfate at 20 g/L alone removed >92% TPH, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> alone at the same molar ratio oxidized only ~17% TPH.

Use of persulfate at ~20 g/L by itself or in combination with optimal doses of peroxide seems to be a viable option for remediation of gasoline compounds examined in this study.

## On the Development of LNAPL Conceptual Site Models for Risk-Based Decision-Making at Petroleum Hydrocarbon Sites

Ray Leather, Warren Equities Inc. and Don A. Lundy, PG, Environmental Systems & Technologies

The value of a Conceptual Site Model (CSM) as a basis for contaminant exposure and environmental risk assessments is now well established for many Federal and State regulatory programs. In recent years, the CSM idea has been applied to characterizing LNAPL-bearing earth materials that serve as a source for contaminants of concern (COCs). ASTM (2007) has developed guidance for developing an LNAPL-based CSM (LCSM) which can be applied to risk-based decision-making at petroleum-impacted sites. An LCSM describes the physical and chemical state and setting of the 3-dimensional LNAPL body from which estimates of flux, risk and remedial actions are determined. Several State UST regulatory agencies are formulating new LNAPL policies

that permit risk-based decisions related to endpoints and site closures. These programs will need clear guidance on how the LCSM is formulated and linked to the larger CSM for risk assessments. This paper reviews new LNAPL policy developments in Delaware and Texas and suggests an approach for characterizing an LCSM and linking it to the site-wide CSM in the exposure and risk assessment modeling phase. LCSM development can benefit the management of large portfolios of sites by prioritizing and ranking the sites on the basis of potential risks. A case study example of LCSM development will illustrate the benefits of having a LCSM that evolves as more site information is collected. During phase 1, the LNAPL body is characterized for the objective of demonstrating that the practical limit of LNAPL recovery has been reached. During phase 2, the stability of the LNAPL plume is verified while tracer testing, MNA parameter and COC migration monitoring supports a risk assessment that may show the endpoint objectives are achievable within a reasonable time frame.

## Full Scale Implementation of Sulfate Enhanced Biodegradation to Remediate Petroleum Impacted Groundwater in Upstate New York

Jim Cuthbertson, Delta Consultants and Mark Schumacher, Delta Consultants, Inc.

Anaerobic degradation is the dominant driving force in natural attenuation of petroleum contamination in the subsurface. The contribution to natural attenuation by electron acceptors other than oxygen, such as nitrate, iron III, manganese IV, sulfate, and even carbon dioxide, has been the subject of considerable research in recent years. The addition of these alternative electron acceptors has been shown to have many potential advantages over the traditional approach of attempting to add dissolved oxygen to the plume. Kolhatkar et al. (2000), Wiedemeier et al. (1999), and Wilson et al. (2002) have shown that of these natural anaerobic processes, sulfate reduction accounts for most of the degradation. Cuthbertson et al. (2006 and 2007) presented case studies that demonstrated the benefits of using Magnesium Sulfate solution to stimulate the biodegradation of petroleum contaminants in groundwater under field conditions at various sites.

Following a successful on site treatability study in 2005, full scale groundwater remediation using Delta's Patented Sulfate Enhanced Biodegradation (SEB) process was initiated in 2006 at a large former service station and bulk storage facility in Upstate New York. Applications of a concentrated solution of magnesium sulfate (Epsom Salt) in water were made in 2006 and 2007. The applications were highly successful for remediation of MTBE, as well as, other petroleum constituents. The results obtained from this site represent the first field scale demonstration of MTBE remediation utilizing this technique. A detailed evaluation of the results of this remedial effort along with the associated costs will be presented.

## (二)、參訪 FPC 公司德州烯烴廠& TESORO 公司金鷹煉油廠

11月5日至德州Point Comfort台塑美國公司FPC德州烯烴廠參訪，主要是了解2005年10月06日其Oleffin II廠發生丙烯洩漏火災爆炸工安事故後，美國化學安全危害調查委員會USCSB與美國職業安全衛生署OSHA對其要求改善狀況及觀摩其工安環保措施。

11月7日至舊金山灣區東北方約40英哩Contra Costa Martinez鎮之TESORO公司金鷹煉油廠，參訪其二處地下水污染整治場址（廠區地下柴油管線破漏場址及儲槽區油槽洩漏場址），了解其土壤地下水污染整治方法及整治情形、加州政府主管機關如何要求與監督。

台塑美國公司FPC德州廠位於德州康福港(Point Comfort)，康福港(Point Comfort)位於休士頓西南方和聖安東尼奧東南方是墨西哥灣區的海港，約在Corpus Christi與Galveston兩地的中間，居民約一千人。台塑美國公司FPC德州廠，共有17座工廠，佔地1800英畝(728公頃)，共有員工1600人，平時承攬商約400人。建廠初期係以聚氯乙烯(PVC)粉及其下游加工為重心。目前PVC粉年產120萬公噸，並擁有美國最大的塑膠管和軟質、硬質膠布之生產工廠。其中塑膠管年產80萬公噸，軟質膠布年產7萬公噸，硬質膠布年產10萬公噸。各項製品均能做到物美價廉、具有市場最強之競爭力。

1990年投入19億美元之巨資，在德州Point Comfort興建生產乙烯的烯烴裂解及八座相關石化工廠，即烯烴一廠Oleffin I廠，並於1994年陸續順利開工生產，完成了石化上下游一貫之作業生產，有效確保原料供應，降低成本，打下了該企業在美國發展的深厚根基。

第二座烯烴裂解及相關工廠擴建工程，即烯烴二廠Oleffin II廠，已於2002年初完成，總計乙烯年產量150萬公噸(烯烴一廠67萬公噸/烯烴二廠83萬公噸)，丙烯年產量58.5萬公噸(烯烴一廠28.5萬公噸/烯烴二廠丙烯30萬公噸)。聚乙烯年產量95萬公噸，聚丙烯年產量70萬公噸。同時也設有年產86萬公噸的聚酯纖維廠以及年產35萬公噸的乙二醇廠。台塑德州廠是台塑美國公司在美國最大的PVC & VCM等石化原料生產設施。

另鑑於歐、美先進國家對塑膠加工產品的供需趨勢，聚乙烯及聚丙烯塑料產品深具市場潛力，乃於1990年另成立INTEPLAST公司，在德州設立規模龐大，高度自動化的加工廠，生產BOPP膠膜、Stretch拉伸膜、XF膠布、PP瓦楞紙板、PVC板及PE購物袋等，以供應北美地區廣大的需求，充分發揮企業垂直整合，降低生產成本之競爭優勢。

2005年10月06日03:05PM台塑美國公司德州廠烯烴二廠Oleffin II，因配合將於10月15日大修，承攬商駕駛堆高機(forklift truck)拉拖車(trailer)，拖運大修局限空間作業用之壓縮空氣鋼瓶，進入操作中工場區。當於工場區中間通道管架下方迴轉時，撞裂4吋液態丙烯管線接近地面的Y型過濾器(strainer)之排液管線及排液閥(drain valve)，造成216psig液態丙烯外洩漏出，液態丙烯經氣化膨脹後形成蒸氣雲(vapor cloud)，至03:07PM丙烯蒸氣雲遇火源發生爆炸火災事故。經過6小時的搶救，火勢約在21:00左右獲得控制，並局限燃燒五天後，至10月11日大火才撲滅，餘火持續超過10天撲滅。此事故共耗用700萬加侖(28,000公噸)消防水，以冷卻設備及滅火等救災處理，因火災現場應變處理人員沒有穿著防火衣物，救災過程中總共16名員工受傷，其中1人燒傷較嚴重。此事故是2005年美國德州煉油石化業發生之重大工安意外之一，停工之營運損失新台幣數百億元。美國化學安全及危害調查委員會(U. S. CSB)及德州環境品質委員會(TCEQ)均介入調查，美國職業安全衛生署(OSHA)亦進行工安檢查。

台塑美國公司德州廠烯烴二廠經檢修，依美國化學安全及危害調查委員會(U. S. CSB)建議進行改善，並配合美國職業安全衛生署(OSHA)多次復工檢查後，終於2006年3月底開爐恢復生產及產品送出。

事故主要原因:承攬商駕駛堆高機拉放置壓縮空氣鋼瓶之拖車,進入操作中工場區,於管架下方轉彎倒車迴轉時,沒有人員引導、指揮與監督,不慎撞破4吋液態丙烯管線接近地面之Y型過濾器(strainer)之排液管線及閥(drain line & valve),造成216psig液態丙烯外洩。因丙烯精餾塔塔槽出口管線至泵浦進出口間管線只有手動關斷閥,沒有損害防阻設計,即沒有設置緊急隔離關斷閥EIV,洩漏現場人員無法進入手動關斷相關閥件,以致無法立即降低洩漏排放。當丙烯蒸氣雲遇火源引燃發生爆炸火災事故30分鐘後,鋼構管架一支支撐壓力釋放閥與緊急排放管線之鋼構支柱,因沒有防火披覆,以致管架鋼構塌陷使排放管線褶皺斷裂,使流體直接漏出於工場區間燃燒,火勢更大而不可收拾,造成嚴重損失。

美國化學安全及危害調查委員會(U. S. CSB)歷經數個月調查後,對台塑美國公司(Formosa Plastics USA)、該廠設計公司Kellogg, Brown, and Root、化學製程安全中心(Center for Chemical Process Safety),提出一些建議事項。

U. S. CSB對台塑美國公司所提出改善建議包括:

1. 工廠應修訂危害分析政策與程序,現場危害評估分析應包含工場區機動車輛撞擊之危險、鋼製結構之防火處理、須有遙控關斷隔離閥之控制排放機制。
2. 操作現場人員,應穿著防火耐燃衣物(flame-resistant clothing),避免flash fire risk造成燒傷。
3. 緊急應變處理時設備隔離與釋放機制不足,事故發生時,遙控隔離閥與控制排放機制不足。丙烯精餾塔塔槽出口管線至泵浦進出口間管線只有手動關斷閥,欠缺損害防阻設計,應安裝遙控緊急隔離閥EIV。(依API607/BS6755 partII:要隔離大量物料唯一方式是安裝手動關斷閥於塔槽出口至泵浦進口間管線,若於火災危害區域7.5m內(人無法進入),應為MOV/POV)。
4. 堆高機拉拖車進入操作中工場區,應有人員引導、指揮與監督。
5. 鋼構管架防火披覆設計,應符合API 2218 code規定,使用最新的安全標準。
6. 工場區內有被撞擊之虞的重要設備,其周圍應設置防撞措施或設施。

美國化學安全及危害調查委員會(U. S. CSB)建議化學製程安全中心CCPS修正危害評估指引(hazard evaluation guidelines),修正時應包含機動車輛撞擊危害之防護及緊急事故處理之隔離設備。

美國化學安全及危害調查委員會(U. S. CSB)並對該廠設計公司Kellogg, Brown, and Root,提出一些建議事項。因為Kellogg, Brown, and Root公司設計台塑美國公司德州廠二座烯烴廠,均使用1980年代設計規範。1988年Kellogg公司設計人員在設計裝建烯烴一廠時係複製該公司1980年代設計規範,1996年Kellogg公司再設計烯烴二廠時,又依其烯烴一廠設計複製,並未對防火設計方面,使用最新的安全標準,即未查對API-2218新規範而進行設計。因API2218Code(1988年7月版)已修訂增加對於Fireproofing Practices in Petroleum and Petrochemical Processing Plants支撐重要管線之鋼構管架如relief & flare lines,應有防火披覆等規定。

台塑美國公司德州廠烯烴二廠於事故後均依美國化學安全及危害調查委員會(U. S. CSB)建議進行下列改善:如鋼構管架防火披覆方面全面查核進行改善;工場區內有被撞擊之虞的重要設備,其周圍均設置防撞措施或設施;機動車輛進入操作中工場區內,訂定安全管制機制,包括開立工作許可證、專人在現場引導指揮、指定進入之行進路線等措施;於工場區各出入口設置活動式閘門;事故後發給每位員工約10套防火耐燃連身工作服,設置防火耐燃工作服個人衣物櫃與髒衣物收集桶,每件工作服均有條碼以方便送洗及置回衣物櫃管理;除丙烯精餾塔與泵浦間增設緊急隔離關斷閥EIV外,並全面檢討各系統進行增設緊急隔離關斷閥,控制室DCS盤面配置製程區緊急關斷裝置與顯示,DCS桌面配置緊急關斷閥位置圖,以方便操作人員識別使用。

在參觀烯烴二廠工場區時，發現工場區內非常整潔乾淨無雜物，塔槽設備非常乾淨無漏油痕跡，工場區亦無臭味，無臭味主要因素為該廠發包給承攬商進行 VOCs 查核，要求與規範若被環保機關開罰單時，承攬商須負起罰單賠償責任，因此隨時有承攬商於廠區內以 VOCs 檢測儀器進行 VOCs 查核檢測，當其發現異常時立即通知工場改善。

另在參觀工場現場區時，亦發現工場區內維修人員與承攬商均穿著防火耐燃連身工作服並非只是操作工場人員，外界參訪人員需進入工場區亦須穿著防火耐燃連身工作服。

外界參訪人員進入工場管制區前，須先至行政大樓填寫資料，繳交證件，並閱讀一份入廠安全須知含廠區疏散圖，閱讀後須簽名交回，然後該廠工作人員會發給一張通行證，另發一份入廠安全須知(未簽名)給參訪人員隨身攜帶，以利參訪人員在參觀過程中若發生緊急狀況時或緊急疏散時能取出參閱。

整整一天的參訪過程，在廠長 Mr. Jay Ro 及烯烴二廠二位工場長的熱誠接待與解說下，最後進行意見討論與交流下結束。

台塑美國公司 FPC 德州廠全景照片



烯烴二廠工場區各出入口設置活動式閘門



工場區內有被撞擊之虞的重要設備，其周圍均設置防撞措施或設施



每位員工均須穿著防火耐燃連身工作服



11月7日至加州舊金山灣區東北方約30英哩 Contra Costa Martinez 鎮之 TESORO 公司金鷹煉油廠，參訪其二處地下水污染整治場址（廠區地下柴油管線破漏場址及儲槽區油槽洩漏場址）。

舊金山金鷹煉油廠(Golden Eagle)原稱 Avon 煉油廠,1913 年建廠生產為 ASSOC OIL 公司所有,1930 年改為 TEXACO 公司,1966 年賣給 PHILLIPS 公司,1979 年又出售變成 TOSCO 公司。TOSCO 公司 Avon 煉油廠於 1999 年 2 月 10 日原油分餾塔頂上的石油腦管線破漏,該廠人員決定盡力不停爐而隔斷管線以減慢或停止洩漏,維持原油單元繼續運行。拆開管線的保溫,檢查管線發現因腐蝕而減薄,於是決定於操作中進行維修替換該段石油腦管線時,發生火災工安事故,導致 4 人死亡,1 人重傷。2000 年 TOSCO 公司 Avon 煉油廠被 UDS (Ultramar Diamond Shamrock) 收購,並重新命名為金鷹煉油廠 (Golden Eagle)。2002 年金鷹煉油廠又被 TESORO 公司收購至今。

TESORO 公司金鷹煉油廠 (Golden Eagle),位於美國加州舊金山灣區東北方約 30 英哩 Contra Costa 之 Martinez 鎮,佔地約 2300 英畝 (931.5 公頃)。該煉油廠已有 80 多年的生產歷史了,是北加州第二大煉油廠,亦是 TESORO 公司所屬七座煉油廠中最大煉油廠,員工約 700 人,原油日煉量 166,000 桶,它主要生產發動機燃料,諸如:汽油、柴油等,其它產品包括丙烷、煤氣等。

參訪金鷹煉油廠時與其廠方人員及其委託污染整治技術公司討論時發現,在美國加州政府對於煉油廠發生土壤地下水污染方面的管制,一般視其污染型態所造成的問題,來決定那些環保部門應介入管理。在加州若煉油廠若發生土壤地下水污染時,一般有 Water Board、State EPA、U. S. EPA 等加州政府相關環保部門會介入進行管制,當污染整治處理過程中,若造成空氣污染問題,則 Air Board 部門會介入關切。

在美國加州煉油廠通常若發現土壤地下水污染時,會主動通報州政府環保機關,而不會被開罰單,若不主動通報而被環保機關查獲時則將被重罰。

美國加州煉油廠對土壤地下水污染整治,通常作法是當發現土壤地下水污染時,一般立即委託專業土壤地下水污染整治技術顧問公司進行規劃,並提出調查與整治處理計畫與整治目標,送加州政府環保機關審查,審查通過將後,煉油廠找污染整治工程公司依整治計畫進行處理,並由原委託技術顧問公司指導與監督;另一種作法是煉油廠辦理統包,由專業土壤地下水污染整治技術顧問公司規劃與執行施工。

美國州政府環保機關因人力與預算問題,一般均採自主管理機制,但會不定期入廠查證,查證煉油廠是否依所提出之計畫執行。加州政府環保機關不會要求煉油廠一定要於何時完成污染整治,但在意的是,煉油廠是否依所提出之整治計畫執行與是否有成效等。因此當美國加州煉油廠發現有土壤地下水污染時,首要工作即立刻進行污染來源查核與於地下水文下游位置設置溝渠 Trench 進行阻絕與回收,也就是先防止流出煉油廠外,尤其若可能流出廠外污染到河川與水源,則環保主管機關要求管制會不一樣;其次在污染團區域設置回收設備回收浮油,接著再進行污染整治工作。因污染整治是一項長期工作,在美國法規並無臺灣所謂控制場址與整治場址的區分與不同要求,均稱為整治場址,而且也沒有所謂公告整治場址之煉油廠不能開發或擴廠規定,美國加州政府環保機關唯一會限制煉油廠開發或擴廠的規定在 Air Board 部門,屬於空氣污染總量管制方面。

此次參訪金鷹煉油廠是先參訪其廠區一條地下汽油管線 Line 63 破漏的地下水污染整治場址,本污染場址是於 2008 年 01 月發現 Tank318 附近地下水監測井有浮油,經委託 MWH 工程技術顧問公司進行污染調查後發現一條送至廠外之汽油產品地下管線 Line 63 破漏,在其附近監測井量測地下水浮油層厚度平均約 50cm,監測井量測地下水浮油層厚度最高至 200cm,預估漏出超過 2,000gal,經開挖找出地下管線洩漏點進行包夾止漏處

理、於洩漏點上方設置 Recovery Trench(深 14ft)、Tank318 下游設置一長線 Interceptor Trench 深 18-19ft (因其附近已接近一條 Walnut Creek Channel 河流)、並設置二座 Oil Skimmer pump 與數十口油氣回收井進行處理，至 2008 年 08 月 25 日止實際累積回收浮油共約 34,870gal。而由 Interceptor Trench 下游監測井(廠圍牆周界)發現已能有效阻絕，污染物並未流出廠外。

接著參訪金鷹煉油廠另一處地下水污染整治場址，Amorco Terminal 儲槽區 MTBE 油槽洩漏污染場址。MTBE 因易溶於水隨地下水文流動容易擴散，Amorco Terminal 儲槽區為一坡地，位於 Carquinez Strait 旁，為淡水流入海灣區域處，是一敏感地段，另外因附近地下管線多與地形關係無法在水域旁設置完整攔截 Trench，因此金鷹煉油廠與 MWH 工程技術顧問公司正加速思考如何再進行加強處理與攔截。為防範油槽底部洩漏，目前金鷹煉油廠全部油槽均依 API 653 Code Tank Inspection Repair Alteration and Reconstruction 設置雙底板 double deck。整個參訪在 TESORO 公司金鷹煉油廠與 MWH 工程技術顧問公司相關技術人員，熱心介紹引導與解說下至約 17:00 才結束。

廠區一條地下汽油管線 Line 63 破漏



Amorco Terminal 儲槽區 MTBE 油槽洩漏污染場址



污染場址所租用套裝式整治設備一



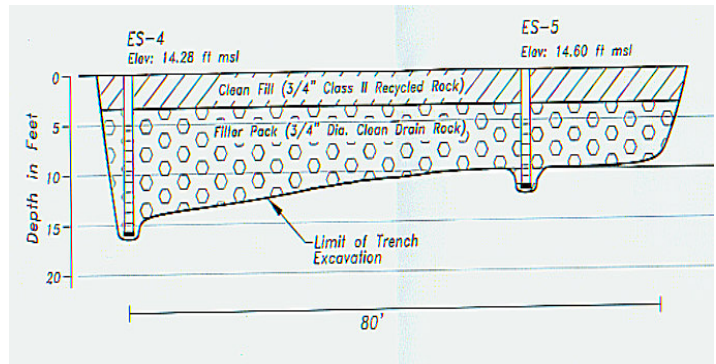
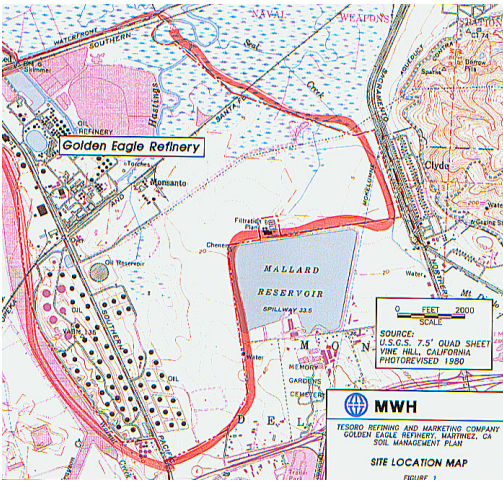
污染場址所租用套裝式整治設備二



與 TESORO 公司金鷹煉油廠委託 MWH 工程技術顧問公司相關技術人員合照

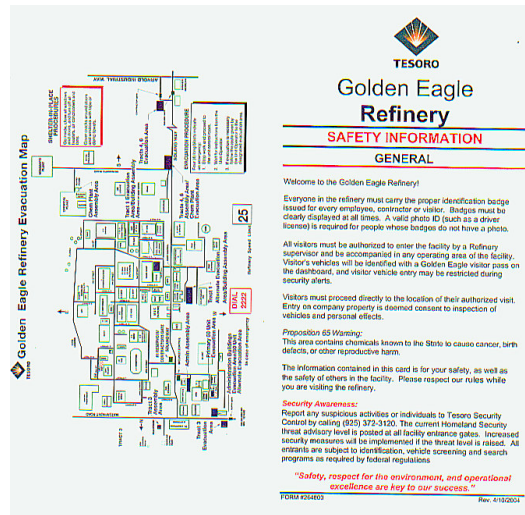
浮油回收溝渠 Recovery Trench(深 14ft)





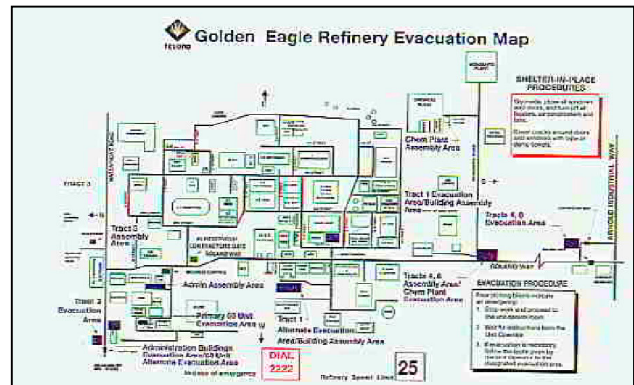
與 TESORO 公司金鷹煉油廠委託 MWH 工程技術顧問公司相關技術人員合照

金鷹煉油廠入廠安全須知與緊急疏散圖



TESORO 公司加州金鷹煉油廠外觀

TESORO 公司加州金鷹煉油廠緊急疏散圖



## 參、 研討會及參訪心得與建議

本次出國參加美國地下水協會 NGWA 於德州休士頓舉辦「地下水含石油碳氫化合物與有機物等污染物的預防、偵測及整治研討會」、至德州 POINT COMFORT 台塑美國公司 FPC 德州烯烴廠參訪、至加州舊金山 TESORO 公司金鷹煉油廠參訪地下水污染整治場址，約有一半時間花費在搭機與轉機及搭車等趕三處行程，與適應時差問題，神經經常緊繃，擔心若一個點耽誤，可能會影響下一站，因此整個行程結束返回台灣時，仍覺得有點恍惚。所幸此趟出國讓我覺得不虛此行得到一些我所預期的目的地。

在參加研討會及與參訪金鷹煉油廠過程中，與美國環保機關官員及煉油廠人員探討，發現美國環保署與州政府環保部門，對土壤及地下水污染方面的管制規定，與我國有很大差異。一般煉油廠之土壤或地下水中污染物超過管制標準時，環保機關會公告污染整治場址(Remediation Site)，並要求提出整治計畫(Remediation Plan)，整治計畫經審查通過後煉油廠須據以執行。當煉油廠發現土壤或地下水污染或被查獲有污染時，均委託專業技術顧問公司進行相關因應措施、污染調查並提出整治計畫，配合參加審查，待審查通過後煉油廠找工程公司，在專業技術顧問公司指導下依整治計畫施工執行。州政府環保機關一般不規定污染整治時限，即未規定幾年內須完成污染整治，只在意是否依整治計畫執行污染整治，會不定期入廠查證；對於生產操作中的污染場址並未限制其運作或擴廠，也沒有所謂整治場址(Remediation Site)或控制場址(Control Site)之區別。因此美國煉油廠一般作法是當土壤或地下水遭受污染首要之急先設置溝渠 Trench 等相關設施，進行阻絕與回收，待大部份浮油回收後，再慢慢進行污染整治，只要整治工作持續進行，主管機關不會干涉。因州政府環保機關相信專業技術顧問公司的專業能力與協助煉油廠整治，因此大部份美國煉油廠均簽有專門委託的專業技術顧問公司。

對於地下水含石油碳氫化合物污染物 LNAPL 的快速整治技術仍偏向於現地化學氧化方法，現地化學氧化法(In Situ Chemical Oxidation):係於污染場址現地利用不同化學氧化劑，注入土壤或地下水層中，氧化成環境中存在之物質，使其無毒化或形成水與二氧化碳。目前常用之化學氧化劑包括臭氧、雙氧水與高錳酸鉀、過硫酸鹽等或採用適當催化劑強化氧化效果的化學氧化劑配方如 modified Fenton's Reagent、Activated Persulfate reagents 等。現地化學氧化法處理時間較快，需要反應時間較短，傳輸距離短，對污染濃度高有效，但投注藥劑成本高。本廠目前於特殊地區，有時亦搭配採用雙氧水與過硫酸鹽，搭配適當催化劑進行現地化學氧化灌注。

在研討會與討論交流中發現對於地下水含石油碳氫化合物污染物 LNAPL 最常用與有效的現地物理整治技術方法，為土壤氣體抽除法 SVE (Soil Vapor Extraction)搭配空氣注入法 AS(Air Sparging)。本廠歷年來所使用現地物理整治技術 SVE 搭配 AS 方向正確，

將來本廠物理整治處理仍以方法為主，但為求加強對揮發性較低之污染物氧化效果，可利用臭氧之強氧化力配合 SVE 灌注臭氣，強化 SVE 功能。

本次在參訪台塑美國公司 FPC 德州烯烴廠及 TESORO 公司加州金鷹煉油廠發現不管是煉油廠員工、承攬商及進入工場區參訪人員均須穿著連身式防火耐燃衣物並配戴個人防護具，如安全帽、護目鏡、耳塞等，承攬商及參訪人員在進大門前即須穿戴完整。本廠若要比照員工穿著連身式防火耐燃衣物可能有困難，但若能要求與提供員工上班期間穿著所謂特種工作服(棉質)至少在工作安全上多一層保障。

另在參訪台塑美國公司 FPC 德州烯烴廠及 TESORO 公司加州金鷹煉油廠過程中發現參訪人員欲進入工場管制區前，須先至行政大樓登記填寫資料，繳交證件，並閱讀一份入廠安全須知含廠區疏散位置圖，閱讀後須簽名交回，然後該廠工作人員會發給一張通行證，另發一份入廠安全須知(未簽名)給參訪人員隨身攜帶，以利參訪人員在工場區參觀過程中若發生緊急狀況時或緊急疏散時能取出參閱。此種管制方式亦可提供本事業部或本廠參考。

台塑美國公司德州廠烯烴二廠火災爆炸事故，美國化學安全及危害調查委員會 (U. S. CSB) 與美國職業安全衛生署 (OSHA) 提出建議與要求中，對於事故發生緊急應變處理時設備遙控隔離與控制排放機制不足，欠缺損害防阻設計，應安裝遙控緊急隔離閥 EIV 方面之改善意見，可提供新三輕建廠規劃設計參考。(依 API607/BS6755 partII: 要隔離大量物料唯一方式是安裝手動關斷閥於塔槽出口至泵浦進口間管線，若於火災危害區域 7.5m 內(人無法進入)，應為 MOV/POV)。

另外該廠建廠時工程設計公司對於鋼構管架防火披覆設計，未符合 API 2218 code 最新的安全標準規定之瑕疵，以致造成無防火披覆管架鋼構塌陷，使災害損失更嚴重，此部份亦可提供新三輕建廠規劃設計時特別留意。