



行政院所屬各機關因公出國人員出國報告書  
(出國類別： 全程觀摩 )

# 地下水微量污染物檢測方法 出國報告

服務機關：行政院環境保護署環境檢驗所

出國人職稱：組長  
姓名：鄧資英

出國地點：美國

出國期間：民國91年6月27日至91年7月26日

報告日期：民國91年10月25日

行政院研考會 / 省(市)研考會  
編號欄

I5,  
/c09104121

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：地下水微量污染物檢測方法

頁數：68

出國計畫主辦機關：行政院人事行政局

出國人員：環保署環境檢驗所 鄭資英組長 (03) 4915818 轉 3300

出國類別：全程觀摩

出國期間：91 年 6 月 27 日至 91 年 7 月 26 日

出國地區：美國

報告日期：91 年 10 月 25 日

### 內容摘要：

此次觀摩參訪之單位包括聯邦機構（美國內政部地質調查所國家水質實驗室 USGS National Water Quality Laboratory）、州政府機構（加州環保局水質管制處 California EPA, California Regional Water Quality Control Board、加州環保局毒性物質管制處 California EPA, Department of Toxic Substances Control 及馬利蘭州環境局 Maryland Department of The Environment）、地方政府機構（舊金山公共事業管理局 San Francisco Public Utilities Commission, SFPUC 之水質實驗室）、學術單位（加州大學洛杉磯分校 Department of Environmental Health Sciences）、民營檢測業（Calscience Environmental Laboratories）及採樣設備公司（Geoprobe Systems）等。

### 參觀項目包括：

- 1、實驗室各種水污染物之檢測、品管品保系統、實驗室認證體系等。
- 2、地下水、土壤、土壤空氣之採樣。
- 3、污染場址整治。
- 4、廢水排入地下水之稽查及許可制度。
- 5、地下貯槽洩漏之管理政策。

本報告對各參訪機構作重點、簡要說明，並提出建議與心得，希望能對地下水污染物之檢驗方法及相關政策，提供有價值之參考訊息。

## 目錄

壹、前言.....	1
貳、過程.....	3
加州環保局水質管制處.....	5
地下水污染整治案例.....	8
Calscience 環境實驗室.....	17
加州環保局毒性物質管制處洛杉磯有害物質實驗室.....	27
加州大學洛杉磯分校環境衛生科學系.....	38
舊金山公共事業管理局水質實驗室.....	40
美國地質調查所國家水質實驗室.....	43
Geoprobe Systems 公司.....	58
馬利蘭州環境局地下水注入管制科.....	62
參、心得與建議.....	64
肆、致謝.....	66

## 壹、前言

我國在民國 63 年公告「水污染防治法」及「廢棄物清理法」，民國 64 年公告「空氣污染防制法」，而「土壤及地下水污染整治法」則遲至民國 89 年才公告。此並不意味土壤及地下水之遭受污染較河川污染、空氣品質污染晚發生了二、三十年，而是土壤及地下水之污染，無法以感官直接察覺到，故較不易受到民眾之重視與報怨。

在工業先進國家，廢棄物因不法或不當掩埋及地下貯槽、管線破損，而導致之土壤、地下水污染案件，時有所聞。美國環保署為清理重大污染場址，更於 1980 年成立超級基金，該基金是先進國家中首例為整治重大土壤及地下水污染場址而通過之法案。超級基金至目前為止，所列管之場址共 6 千多處，已辦理清理者近 4 千處，唯僅有 200 處場址完成整治，可知污染場址整治之困難。

我國近年來亦發現多起土壤、地下水污染案件，例如桃園縣 RCA 廠之含氯有機溶劑污染地下水案、高雄縣台灣苯乙烯廠污染案、金門及澎湖空軍基地之地下油管破裂案、桃園縣及彰化縣等加油站地下油槽洩漏案。而依「土壤及地下水污染整治法」，對於疑受污染之土壤或地下水，要公告為「控制場址」甚或「整治場址」時，皆需完成檢驗程序，以作為執法之依據。所以檢驗工作在確定污染場址及了解整治工程之成效業務中，扮演著極為重要角色。本計畫之目的是為了解美國不同層級之環境實驗室之地下水採樣及檢驗趨勢，以作為我國之參考。表一為本計畫之執行內容。

表一 九十一年度公務人員出國專題研究計畫執行書

研究項目		地下水微量污染物檢驗方法
開始日期		91年6月27日
結束日期		91年7月26日
研究計畫	觀摩實習計畫	<p>1.瞭解美國地下水污染狀況，地下水污染物之調查監測政策及地下水整治方案。</p> <p>2.觀摩環境水質檢驗室，以瞭解各實驗室之檢測項目、所使用之檢驗方法、實驗室品管品保措施、實驗室管理、樣品來源、實驗室安衛環保等。</p> <p>3.觀摩地下水採樣器材、現場採樣方法、樣品運送等。</p>
	預期達成目標及效果	<p>國內近二、三十年來，工業快速發展，全省工業區林立。由於部分廠商未妥善處理廢水，導致地下水遭受污染。另加油站油槽或大型油庫或地下原料貯槽因槽壁破損，亦造成地下水污染。</p> <p>為加強防治地下水污染問題，環保署於 89.2.2 公布「土壤及地下水污染整治法」。唯先進國家如美國，對土壤及地下水之污染整治及污染物之檢驗調查已累積極豐富之實務經驗。本計畫乃為收集、吸收美國經驗，以作為本署執行地下水污染整治之借鏡。</p>
附註		

## 貳、過程

本計畫為全程觀摩，每個機構之參訪時間以不超過一週為原則，表二為觀摩行程表。

表二 九十一年度出國專題研究觀摩行程表

日期		星期	起迄地點	研究內容	前往機構	備註
月	日					
6	27	四	洛杉磯	加州水質保護之法規、政策及執法。	加州環保局水質管制處	
	28	五				
	29	六				
	30	日				
7	1	一		環境毒性化學物質檢測及參觀有害物質管理。	加州毒性物質管制處洛杉磯有害物質實驗室	
	2	二				
	3	三				
	4	四				
	5	五				
	6	六				例假日
	7	日				
	8	一	水中臭味物質之檢測	加州大學洛杉磯分校		
9	二	L.A. → 舊金山				

表二(續) 九十一年度出國專題研究觀摩行程表

	10	三	舊金山	飲用水及廢污水 檢驗	SFPUC 舊金山公共事業管 理局水質實驗室	
	11	四				
	12	五				
	13	六				
	14	日	舊金山 → 丹佛			例假日
7	15	一	丹佛	1.實驗室參觀	USGS 美國地理調查所 國家水質實驗室	
	16	二		2.水質有機、無機 物檢測		
	17	三		3.檢驗方法之開 發與回顧		
	18	四		4.實驗室品保系 統		
	19	五		5.實驗室安全衛 生管理		
	20	六			例假日	
	21	日	丹佛 → 堪薩斯 州沙力那市			
	22	一	沙力那	地下水採樣設備 介紹及實際採樣 操作	Geoprobe System 地下水採樣設備 製造公司	
	23	二				
	24	三	沙力那 → 巴爾的摩			
25	四	巴爾的摩	1.地下水注入管 理政策之說明	馬利蘭州環境局 地下水注入管制 科		
26	五		2.地下水採樣及 監測			

以下分述各機構之參訪過程。

## 加州環保局水資源管制處洛杉磯地區分處

加州環保局轄下有六單位，為：

- 空氣資源處 (Air Resources Board)
- 環境健康危害評估室 (Office of Environmental Health Hazard Assessment)
- 加州廢棄物管理整合處 (California Integrated Waste Management Board)
- 農藥管制處 (Department of Pesticide Regulation)
- 毒性物質管制處 (Department of Toxic Substances Control)
- 水資源管制處 (State Water Resources Control)

此次在洛杉磯參觀加州環保局所屬之二個單位，一為隸屬水資源管制處之洛杉磯地區分處 (California Regional Water Quality Control Board, Los Angeles Region)，一為隸屬於毒性物質管制處之洛杉磯有害物質實驗室 (Hazardous Materials Laboratory-Los Angeles)。茲先說明洛杉磯地區水質管制分處如下：

加州水資源管制處職員共約一千人，分為九區，洛杉磯地區 (Los Angeles) 屬第4區，職員共約一百人，轄區包括沿海之洛杉磯 (L.A. County) 及曼圖拉 (Ventura County) 二郡，人口共一千萬，為加州人口最稠密之區域。洛杉磯地區水質管制分處分地下水及地表水二組，地表水組之職責為廢污水排放管制、許可證核發 (Storm Water General Permit, Municipal Permit 及 Industrial Storm Water Permit)、每日最大負荷量管制 (TMDL) 等。地下水組之職責為地下貯槽管理與污染整治督導、地下水許可及執法等。

該單位有關污染場址檢測及 TMDL 之業務如下：

一、石油污染場址之地下水水質檢測項目應包括：

總汽油碳氫化合物 (TPH-g, C<sub>4</sub>~C<sub>12</sub>)、總柴油碳氫化合物 (TPH-d, C<sub>13</sub>~C<sub>22</sub>)、BTEX、MTBE、DIPE (Di-isopropyl ether)、Ethyl ter-butyl ether (ETBE)、Tertiary Amyl methyl ether (TAME)、tertiary butyl alcohol (TBA)。如果洩漏之汽油中曾經含有或目前含有甲醇或乙醇，則此二項目也需檢測。各污染物之檢驗規定如表三。



表三 石油污染場址之地下水及土壤檢測方法規定

項目	檢驗方法	MDL 要求	
		土壤 ( $\mu\text{g/kg}$ )	水 ( $\mu\text{g/l}$ )
BTEX	EPA Method 8260B ( 8021B )	2	1
MTBE	EPA Method 8260B	5	2
DIPE	EPA Method 8260B	5	2
ETBE	EPA Method 8260B	5	2
TAME	EPA Method 8260B	5	2
TBA	EPA Method 8260B	20	10
TPHg	EPA Method 8015 ( M ) ( 8260B )	250-500	50-100
TPHd	EPA Method 8015 ( M )	2500-5000	500-1000
甲醇	EPA Method 8015 ( M )	1000	1000
乙醇	EPA Method 8015 ( M ) ( 8260B )	1000	1000

事實上，加油站之設立許可及平常之管理，為消防局 ( Fire Department ) 之業務。加油站業主須依表三之規定，自行委託採樣、檢測，若發現地下水遭受污染時，才由消防局向水資源管制處報告。

MTBE 為 USEPA 於 1979 年認可之汽油添加劑，添加量為汽油總體積之 10 至 15 %。雖然 MTBE 對人體之致癌風險尚在實驗中，但對動物之致癌性已獲證實。Texico 已自今年 7 月 1 日起，改用乙醇為添加劑。

## 二、TMDL ( Total Maximum Daily Load )

為計算水體每日所能承受之最大污染負荷量

$\text{TMDL} = \text{點源污染量} + \text{非點源污染量} + \text{背景值} + \text{安全係數}$

以洛杉磯地區為例，點源污染量約佔 55%，非點源污染量約佔 30%，安全係數及背景值約 15%。所謂非點源污染 ( non-point source ) 即暴雨逕流，其所造成之污染約佔地表水體污染量之三分之一。

1972 年聯邦清潔水法之法規中包含非點源污染之防治，唯多年來環保機關皆未執行非點源污染管制。由於工業發展及都市成長使暴雨逕流所引起之河川、海洋甚至地下水污染問題愈來愈嚴重，因而環保團體在 1997 年將環保署未推動非點源污染管制事項告上聯邦法庭，環保署於是開始推動非點源污染管制，規定人口超過 10 萬之城市應制訂雨水逕流管制策略。

洛杉磯水質管制處為執行暴雨管制，規定以下事業應申請暴雨逕流許可 (general storm water permit)：製造業、礦業資源回收場，廢棄物處理場、交通轉運站、垃圾掩埋場、火力發電廠、加油站及廢水處理設施等。而只要是下雨，皆稱為暴雨。有關暴雨監測之規定為：

採樣時間：第一場雨的第 1 小時，之後之任一場雨。

採樣地點：排放點。

雨水滯留池。

檢測項目：pH、總懸浮固體、TOC、油脂。

在洛杉磯分處除聽取以上業務報告外，並參觀一處地下水復育場址及一間商業實驗室，以下分別介紹此二單位。

## 地下水污染整治案例

位於洛杉磯區域 Rosemead 市之一處製造電子零件之金屬封條工廠(Hermetic Seal Corporation)，當金屬封條(Seals)製造完成後，須以四氯乙烯(Tetrachloroethylene PCE)、三氯乙烯(Trichloroethylene TCE)等含氯有機溶劑洗去封條上之污漬。該工廠將有機溶劑貯槽置放於工廠空地上，作業人員由貯槽取用有機溶劑時，由於環保觀念不足，常不慎將溶劑洩漏到地面。至 1900 年代初，加州環保局洛杉磯區水質管制處於例行稽查時，發現該工廠地下水遭受污染，乃要求該工廠進行地下水整治。

經規劃評估後，該工廠決定採現地處理方式處理地下水及土壤氣體中之揮發性有機物。1993 年，該工廠先在廠內空地上設置三口地下水監測井，當時測得之監測井地下水四氯乙烯濃度高達 2000mg/l。當監測工作持續進行之同時，亦著手辦理復育工程。1995 年 10 月完成地下水整治設施，開始進行地下水整治。該工廠之地下水整治工程係設置 7 口地下水抽水井，淺層抽水井之深度為 70 呎至 80 呎，深層監測井之深度為 90 呎至 140 呎。圖一為該工廠 3 口監測井(BC1、BC2 及 BC3)及 7 口抽水井(EW1、EW2、EW3、EW4、EW5、EW6、EW7)之配置圖。

該整治工作係由 Fero 環境工程顧問公司(Fero Environmental Engineering Consulting)承攬，Fero 公司包括老板僅有三位職員，但有相當不錯之生意及口碑。

Fero 公司於每一監測井皆設有自動水位量測器，其準確度為 0.01 呎。

在地下水採樣前，須先進行洗井工作，以抽除井中滯留水。洗井體積依各井之滯留水體積而定，一般約為 30 至 45 加侖。洗井時之抽水速率約為每分鐘 1 加侖。

洗井時，會同時進行 pH、溫度、濁度、導電度之量測，至以上四參數穩定時，才算完成洗井。表四為 EW1 抽水井之某一次洗井數據，該次洗井共抽水 40 加侖，唯洗井時，濁度超過 200NTU，並不符合 USEPA 規定之濁度須小於 5 之標準。

洗井完成後，即進行採樣工作，採樣時之馬達速率約為 100ml/分鐘。因為所要分析之項目為揮發性有機物，故樣品以 40ml 玻璃瓶裝瓶，樣品採集及保存依揮發性有機物之採樣規定辦理。樣品委由取得認證之實驗室分析。

至於地下水之處理，係以抽水井抽出地下水，由管線送至地下水處理區(圖

二) 集中處理，其處理方法是將地下水流經二個串聯之活性炭槽(圖三)，以去除地下水中之揮發性有機物。

表五為該廠歷年(1993年到1997年)之監測井及抽水井水質檢測結果。目前地下水中四氯乙烯濃度約為0.6mg/l。經活性炭吸附槽處理後，排出之水已測不到四氯乙烯，處理後之水直接排入雨水下水道。

Hermetic Seal Corporation 工廠隔壁為一電鍍工廠(Crown City Plating Co)，該電鍍工廠需水量大，但目前管制地下水抽水。雖然 Hermetic 之地下水含揮發性有機物，但並不影響 Crown City 之作業。故 Hermetic 工廠乃與 Crown City 工廠合作，Hermetic 將抽出而未處理之地下水，以管線送至 Crown City，供其使用，使用完畢之水，由 Crown City 處理至符合標準後，再排放。此可謂二工廠互惠之優良措施。當然此種合作關係，已取得洛杉磯區域水質管制處之核准。

除地下水整治工程外，該場址亦進行土壤氣體整治。土壤氣體採集管線於1994年6月至9月間設置完成，包括10口土壤氣體監測管線束採氣井(Clustered Soil Vapor Monitoring Probe，CP1、CP2、CP3、CP4、CP5、CP6、CP7、CP8、CP9及CP10)、三口土壤氣體監測管線叢採氣井(Nested Soil Vapor Monitoring Probe，NP1、NP2及NP3)及三口土壤氣體抽氣井(Soil Vapor Extration Well，EP1、EP及2EP3)。所謂管線束採氣井係指一監測井內有三條氣體管線，而管線叢採氣井則為一監測井內有許多條氣體管線。各監測井氣體管線深度及位置詳見圖四。

土壤中最嚴重之污染氣體為四氯乙烯，其他尚有三氯乙烯、三氯乙烷、1,1-二氯乙烯等。但四氯乙烯濃度較其他氣體高出幾十倍甚至幾百倍。

土壤氣體亦於1995年開始抽氣處理。表六為抽氣處理前(1994年8月)及開始處理後(1997年7月)，各監測井不同深度管線測得之四氯乙烯濃度。可看出自1995年開始抽氣，至1997年之二年中，土壤中揮發性有機氣體之去除率約達99%。表七為1997年7月之土壤氣體分析報告，由抽氣時間及注射時間，可看出土壤氣體係現場檢測。

土壤氣體之處理與地下水之處理方法相同，為利用2個串聯之1000磅活性炭吸附槽以吸附抽出氣體中之揮發性有機氣體。唯地下水處理所用之活性炭顆粒較小。圖五為氣體監測井，圖六為活性炭吸附槽。

本場址整治設施之設置費用約美金15萬元。目前每年之整治費用約3萬美

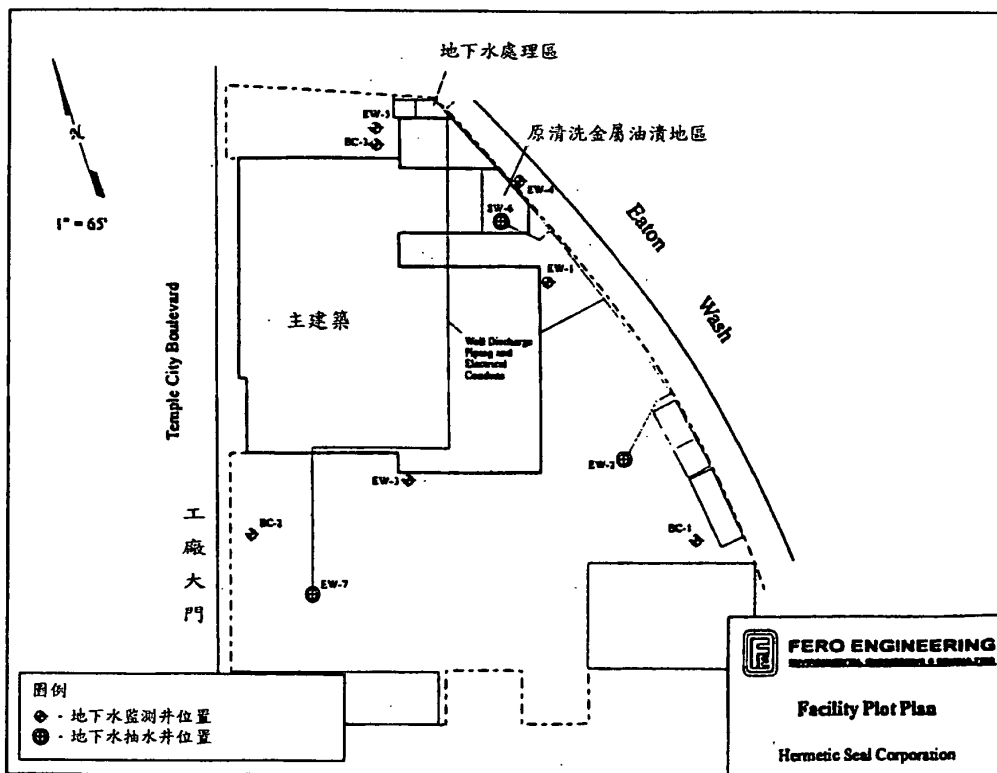
元。

本場址將持續整治至地下水符合飲用水水質標準為止。

表四 地下水洗井數據

地點：Hermetic Seal Corp.		採樣日期：05/30/97	
井號：Well EW-1		水深：65.68 呎	
體積 (加侖)	溫度 (°F)	pH	導電度 (umho)
10	76.9	6.49	634
15	75.5	6.77	602
20	75.1	6.90	583
25	76.1	6.96	605
30	77.1	6.96	630
35	78.4	6.97	644
40	78.4	7.00	682

濁度=>200 NTU



表五 歷年地下水揮發性有機物分析報告

井號	採樣時間	四氯乙烯	三氯乙烯	1,2-二氯乙烯	1,1-二氯乙烯	四氯乙烷	濁度
BC1	10/93	2300	1000	ND	130	ND	---
	01/94	3100	1400	ND	190	140	---
	04/94	1800	870	ND	61	47	---
	07/94	2500	670	<100	<100	<100	---
	01/96	4560	1300	5	478	316	---
	10/94	1960	1400	<0.5	476	151	28
	01/97	6350	2650	0.5	249	75	9.5
	04/97	6550	2810	<0.5	211	58.8	3.9
BC2	10/93	40	6.3	ND	ND	ND	---
	01/94	12	1.9	ND	ND	ND	---
	04/94	200	28	ND	ND	ND	---
	07/94	40	2	<1	<1	<1	---
	01/96	1220	187	8	12	3	---
	10/96	5.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	6.2
	01/97	61.9	10.9	<0.5	<0.5	<0.5	12.7
	04/97	21.6	2.1	<0.5	<0.5	<0.5	1.1
BC3	10/93	20000	1400	ND	190	140	---
	04/94	11000	430	ND	ND	ND	---
	07/94	15000	<500	<500	<500	<500	---
	12/94	8800	500	50	50	59	---
	01/96	18000	867	287	76	67	---
	10/96	979	69.1	<0.5	10.3	2.3	35
	10/97	53	9.2	<0.5	<0.5	<0.5	14.2
	04/97	17.9	2.4	<0.5	<0.5	<0.5	12.9
EW1	12/95	340	103	2	<1	---	---
	09/96	1730	424	23	25	21	---
	05/97	57	33	ND	3	ND	---
EW2	12/05	82	168	<1	<1	---	---
	10/96	96.2	118	ND	22	---	---
	05/97	---	422	ND	56	10	---
EW3	12/95	125	67	<1	<1	---	---
	05/97	---	887	ND	37	ND	---
EW4	01/96	6	61	<1	<1	---	---
	05/97	5	91	ND	ND	ND	12.9
EW5	01/96	92	59	<1	3.2	---	---
	10/96	---	117	ND	ND	3.7	---
	07/97	350	210	ND	ND	ND	---
SW6	03/96	11	207	<1	2	---	---
	10/96	9.4	94.6	ND	1.3	ND	---
	05/97	---	196	ND	ND	ND	---
EW7	03/96	187	161	<1	4	---	---
	10/96	101	113	ND	11.5	1.8	---
	05/97	---	354	ND	50	ND	---

---：未檢測

單位：μg/l

表六 土壤氣體中四氯乙烯濃度 ( $\mu\text{g}/\text{l}$ )

抽氣井編號	深度 (ft)	8/94	7/97	去除率 (%)
CP1	15	3889	106	97.27
	30	5393	29	99.46
	42	1506	68	95.48
CP2	15	571	17	97.02
	30	957	40	95.82
	45	1210	31	97.43
CP3	15	6093	32	99.47
	30	6707	51	99.23
	45	9783	18	99.81
CP4	15	15057	---	
	30	19018	---	
	40	12217	---	
CP5	15	14747	1228	91.67
	30	20369	200	99.01
	45	14932	---	
CP6	15	8722	---	
	30	11800	---	
	44	5671	---	
CP7	15	11743	---	
	30	9767	---	
	45	26187	---	
CP8	15	28085	---	
	30	11971	---	
	38	15819	---	
CP9	15	22965	---	
	30	15644	---	
CP10	15	6670	---	
	30	7459	---	
	39	7285	---	
NP1	10	5217	20	99.61
	20	7534	11	99.85
	30	6431	---	
	40	5051	705	86.04
	50	5283	---	
NP2	60	4251	1193	71.93
	10	14331	21	99.85
	20	15974	9	99.94
	30	19235	---	
	40	12365	315	97.45
	50	10632	---	
NP3	60	11409	58	99.49
	10	10770	25	99.76
	20	11263	23	99.79
	30	9856	---	
	40	5789	25	99.56
	50	9238	---	
	60	2037	124	93.01

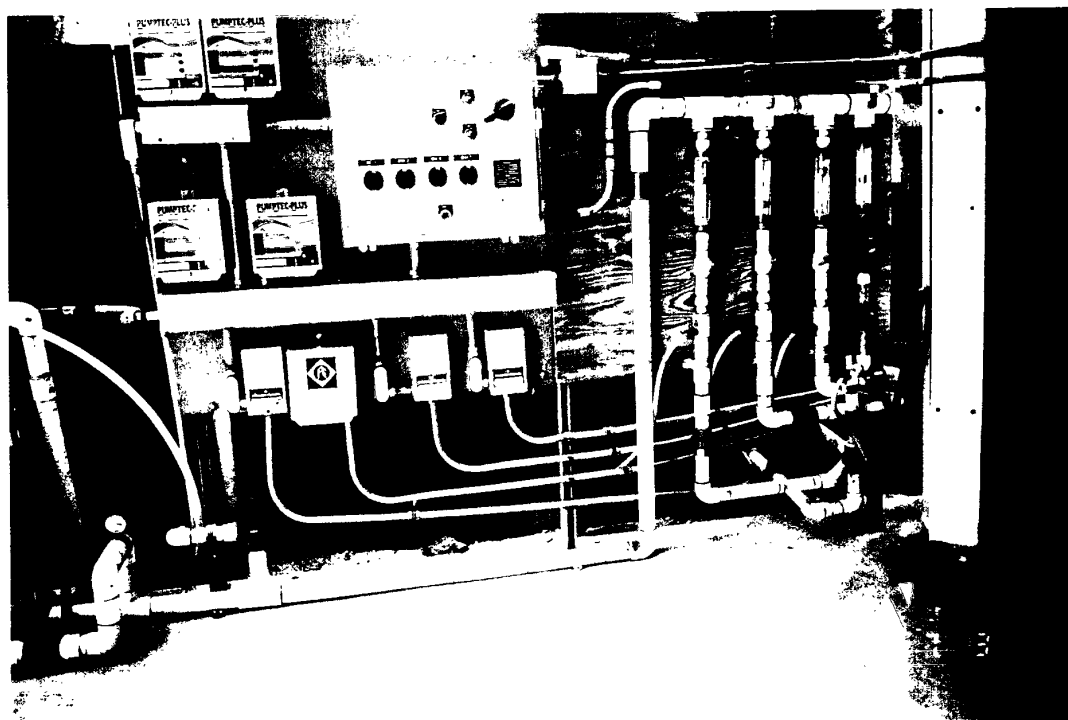
--- : 未檢測

表七 土壤氣體分析報告

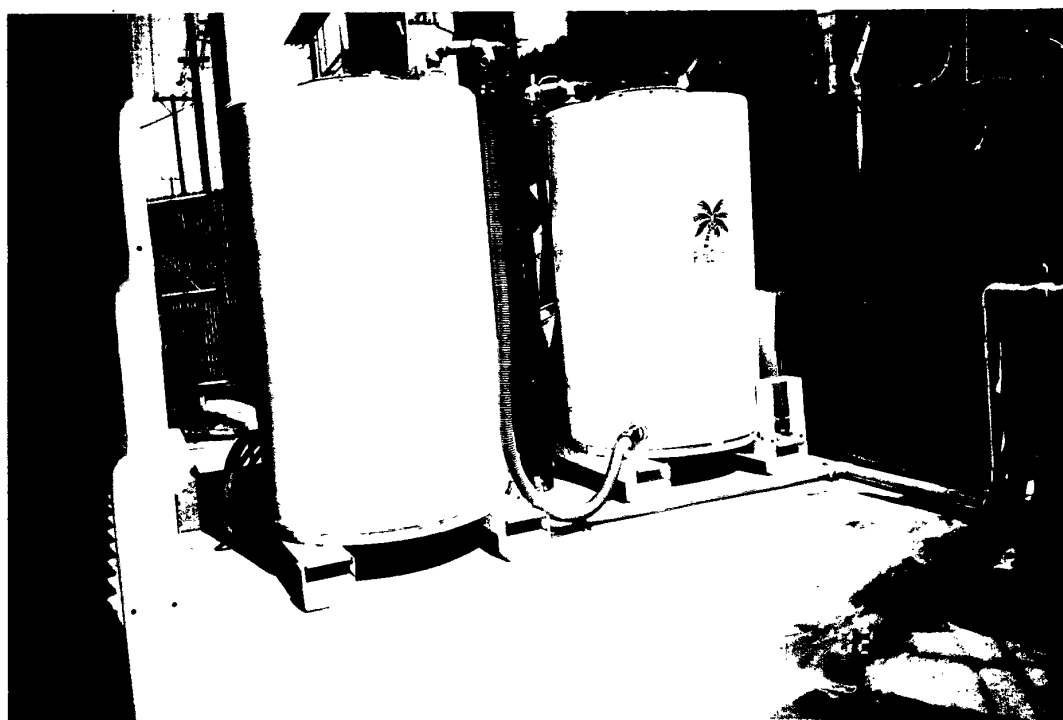
採樣地點：Hermetic Seal/Fero  
採樣日期：1997年7月27日  
分析實驗室：Hydro Geo Spectrum (UGS)  
分析儀器：GC/MS

樣品編號	NPI VOB4047-05439	NPI VOB4098-05440	NPI VOB4099-05441	NPI VOB4100-05442
採樣深度 (ft)	10	20	40	60
抽氣體積 (ml)	2400	1950	3450	4500
真空間	NO	NO	NO	NO
採樣時間	0922	0926	0929	0935
注射時間	11:48	11:35	12:03	12:16
注射體積	1ml	1ml	1ml	1ml
稀釋倍數	1	1	1	1
化合物	滯留時間	滯留時間	滯留時間	滯留時間
1,1-二氯乙烯	面積	面積	面積	面積
丙酮	濃度	濃度	濃度	濃度
總1,2-二氯乙烯	9.58	9.58	9.57	9.59
1,1,1-三氯乙烯	77324	44675	20660177	4500891
三氯乙烯	20.50	11.84	705.21	31.19
四氯乙烯	9.58	9.58	5.26	7.18
Freon-113	77324	44675	3518	115068
Deutero-氣仿	125903	127563	124038	122148
D6-苯	5.00	5.02	5.00	4.98
D6-丙酮	7.33	7.34	7.34	7.35
D2-二氣甲烷	205784	211646	212643	216396
D8-Toluene	139474	145980	136686	136822
總波峰數	77532	79224	77671	77727
單位：μg/l	165978	169893	166619	163616
	10.17	10.16	10.15	10.20
	1+擬似標準品	1+擬似標準品	7+擬似標準品	6+擬似標準品

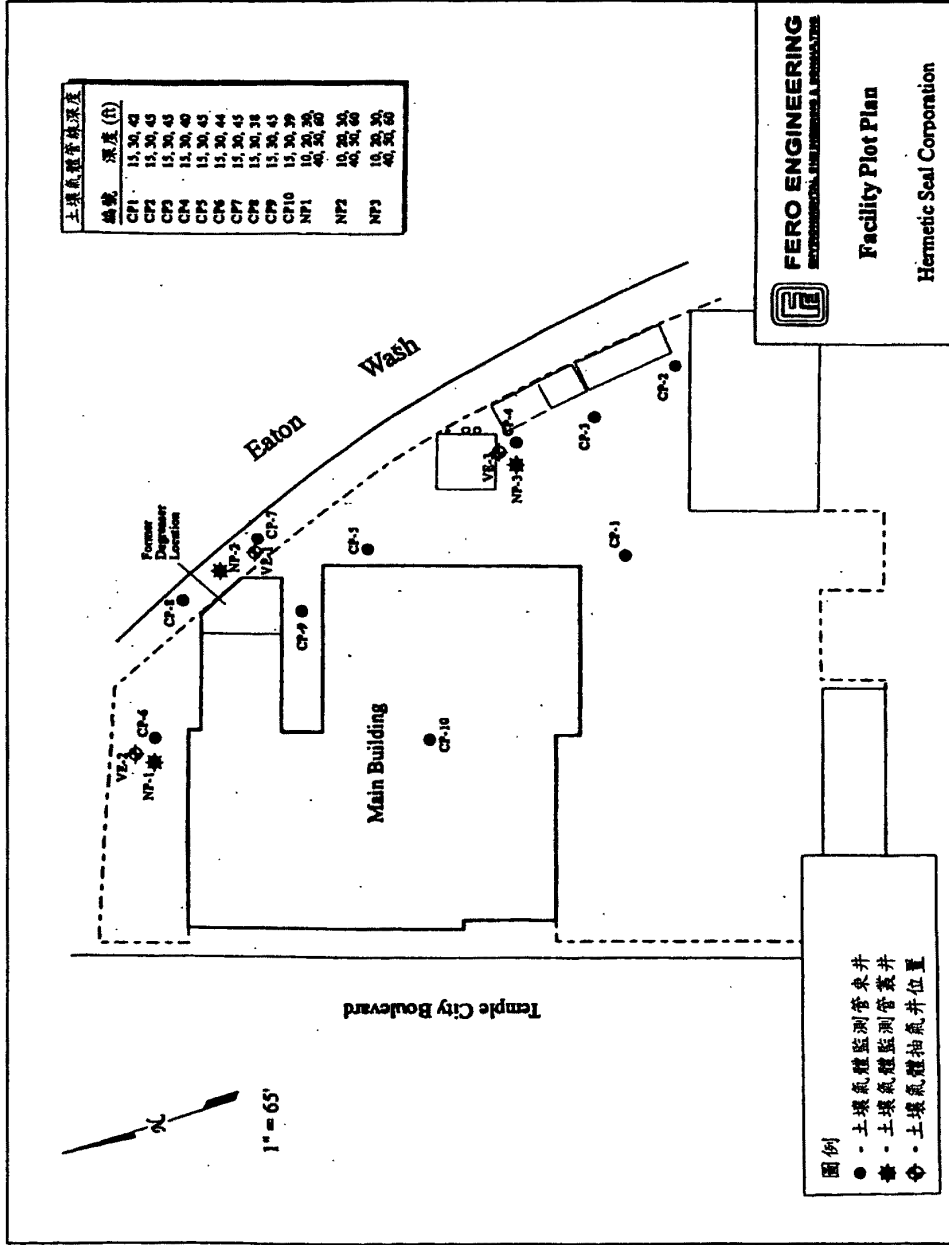




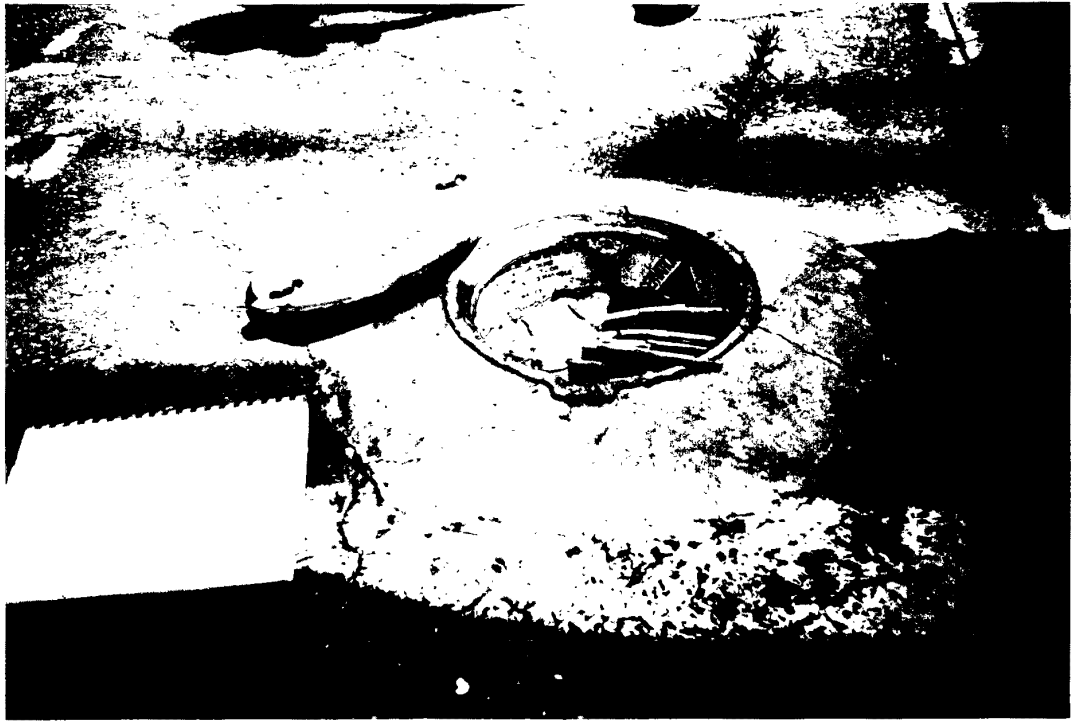
圖二 地下水處理區之管線及儀表



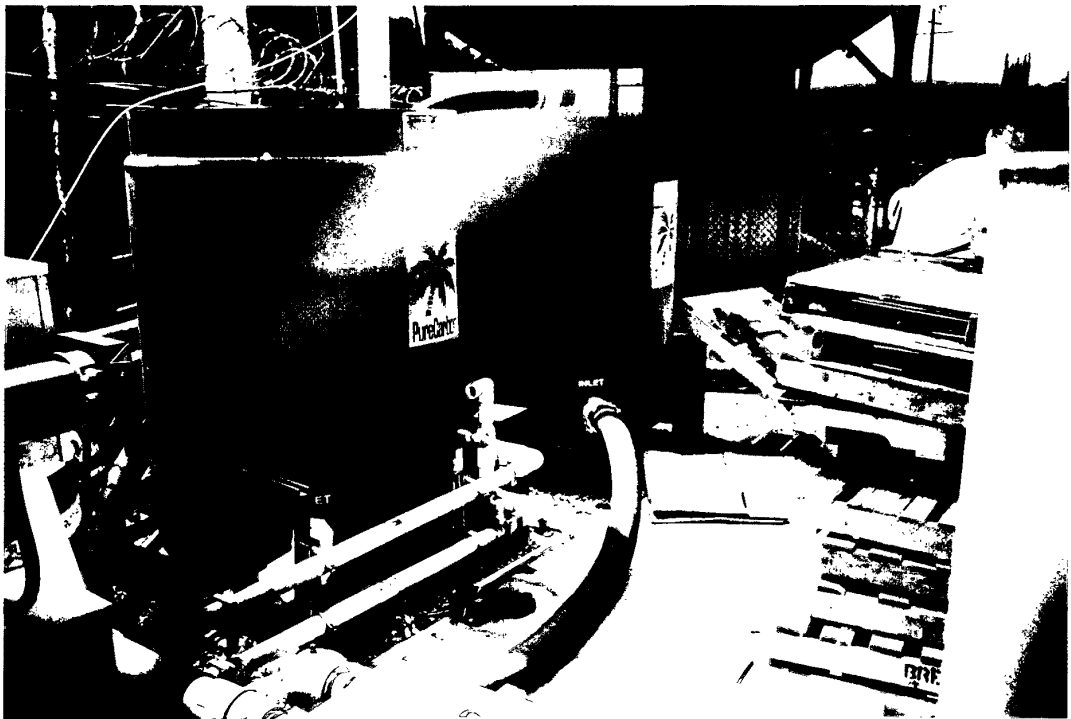
圖三 地下水活性碳處理槽



圖四 土壤氣體監測井及抽氣井配置圖



圖五 土壤氣體監測井



圖六 土壤氣體活性碳吸附槽

## Calscience 環境實驗室

Calscience 環境實驗室位於洛杉磯，成立已有 15 年，職員共 120 人，其中 60 人為實驗室分析人員，15 人為收樣員及司機，計畫經理 10 人。58 % 人員大學畢業，40 % 人員研究所畢業。實驗室每週運作 6 天。該實驗室為商業實驗室，商業實驗室要取得檢驗合約，必須證明其檢測能力，而證明檢測能力之方法乃是參加實驗室認證，Calscience 參加之認證機構為加州之 ELAP。

ELAP 每二年實施一次現場查核，每半年實施一次績效樣品測試。Calscience 在每次分析績效樣品前，實驗室品保員會發出一份通告給小組負責人，告知應注意之事項，並再次告知小組負責人，績效測試不通過 (Not Acceptable) 之項目，須於下季 (非六個月之後) 再進行檢測，若仍未通過，則該項目之認證將被取消。一般來說，績效樣品皆由資深檢驗員分析。檢驗員在分析績效樣品時，會比分析一般樣品更為謹慎，譬如可能伴隨兩種不同來源之參考樣品一同分析。若未通過績效測試，下季樣品仍交由同一檢驗員分析。但極少發生不通過之情形。

Calscience 之主要檢驗媒質為水、空氣、土壤、有害廢棄物等。有機項目之分析儀器主要以 HP 為主，重金屬 (包括 AA、ICP、ICP/MS) 之分析儀器主要以 PE 為主。茲略舉該實驗室之部分檢測項目收費標準如下，可供我國執法者或環檢機構訂定檢驗費用之參考：

### 一、飲用水

項目	方法	價格 (美金)
揮發性有機物	EPA 524.2	150
個別金屬/ICP 法	EPA 200.7	**10
個別金屬/GFAA 法	EPA 200 Series	**20
個別金屬/ICP/MS 法	EPA 200.8	**20
六價鉻 (Cr <sup>+6</sup> )	EPA 218.6	125
汞	EPA 245.1	30
樣品前處理*	EPA 3010A/3020A/3040A/3050B	15

\*：飲用水法規規定所有金屬項目須先檢測濁度，若濁度超過>1 NTU，樣品須先消化

\*\*：前處理費另外計價。

## 二、金屬

分析項目	分析方法	價格 (美金)
樣品前處理		
總消化	EPA 3010A/3020A/3050B	15
過濾	EPA 3005A	15
STLC (WET) Extraction	CAC, Title 22, § 6261.126, App. II	40
TCLP Bottle Extraction	EPA 1311	40
SPLP Bottle Extraction	EPA 1312	40
樣品分析		
單項金屬/ICP 法	EPA 6010B/200.7	*10
單項金屬/石墨法	EPA 7000 SERIES	*20
單項金屬/ICP/MS 法	EPA 6020/200.8	*20
汞 (消化/冷蒸氣法)	EPA 7470A/7471A	30
有機鉛 (包括前處理)	DHS LUFT	80
六價鉻 (包括消化)	EPA 7196A	60
六價鉻 (包括消化)	EPA 7199	120
CAC, Title 22 Metals (TTLC)	EPA 6010B/7470A or 7471A	*140
銻、砷、鉍、鉍、鎘、總鉻、鈷、銅、鉛、汞、鉬、鎳、鈾、硒、銀、鉍、鉍、鋅		
一級金屬污染物	EPA 6010B/7470A or 7471A	*125
銻、砷、鉍、鎘、總鉻、銅、鉛、汞、鎳、硒、銀、鉍、鋅		
TCLP (RCLA) 金屬	EPA 6010B/7470A or 7471A	*95
砷、鉍、鎘、總鉻、鉛、汞、硒、銀		
ICP 金屬掃描	EPA 6010B/200.7	*130
鋁、銻、砷、鉍、鉍、硼、鎘、鈣、總鉻、鈷、銅、鐵、鉛、鎂、錳、鉬、鎳、磷、鉀、硒、矽、鋇、銀、鈉、錫、鉍、鈾、鋅		
ICP/MA 金屬掃描	EPA 6020B/200.8	*200

\*：樣品前處理與樣品分析分別計價。

### 三、濕式化學法

項目	方法	價格 (美金)
陰離子/IC 法 (F、Cl、Br、NO <sub>2</sub> 、NO <sub>3</sub> 、SO <sub>4</sub> 、 <i>o</i> -PO <sub>4</sub> )	EPA 300.0	100
單一陰離子	EPA 300.0	60
二個陰離子	EPA 300.0	75
三個陰離子	EPA 300.0	90
BOD	EPA 405.1/SM 5210B	50
溴離子	SM 4500-Br B	30
COD	EPA 410.4/410.4M	25
COD	EPA 410.1	80
六價鉻	EPA 7196A	60
六價鉻	EPA 7199	120
總氟化物	EPA 335.2/9010B 及 9014	45
溶解性有機碳	EPA 415.1	40
氟離子	EPA 340.2	25
總硬度	EPA 130.2	15
鐵、亞鐵	SM 3500 D	40
氮		
氨氮	EPA 350.2	35
硝酸鹽	SJM 4500-NO <sub>3</sub> B	35
亞硝酸鹽	EPA 354.1	35
硝酸鹽及亞硝酸鹽	EPA 353.3	35
有機	SM 4500-NH <sub>3</sub> B/E/4500-N <sub>ORG</sub> B	60
總凱式	EPA 351.3	35
總氮	EPA 353.3/EPA 354.1/EPA 351.3	95
油脂	EPA 413.1/9071	50
油脂	EPA 413.2	60
溶氧	SM 4500-O G	20
pH	EPA 150.1/9045C	10
總酚	EPA 420.1/9065	50
水中總有機碳	EPA 415.1	40
鹽度	SM 2520B	20
固體		
總溶解固體	EPA 160.1	15
總懸浮固體	EPA 160.2	15
總固體	EPA 160.3	15
揮發性固體	EPA 160.4	25

#### 四、地下油槽

項目	方法	價格 (美金)
總可回收石油碳氫化合物	EPA 418.1/418.1M	50
總汽油碳氫化合物	DHS LUFT	50
總柴油碳氫化合物	DHS LUFT	50
BTEX	EPA 8021B	50
MTBE	EPA 8021B	50
BTEX 和 MTBE	EPA 8021B	55
BTEX 和 MTBE	EPA 8260B	120
MTBE 確認	EPA 8260B	100
燃料氧化劑 (MTBE、ETBE、TAME 等)	EPA 8260B	120
BTEX 及燃料氧化劑	EPA 8260B	130
甲醇及/或乙醇	EPA 8015B	100
TPH-G 及 BTEX	DHS LUFT + 8021B	60
TPH-G 及 BTEX、MTBE	DHS LUFT + 8021B	65
TPH with Carbon Chain Breakdown (C7-C36)	GC/FID	75
TPH with Carbon Chain Breakdown (C7-C44)	GC/FID	100
有機鉛	DHS LUFT	80
總鉛 (含前處理)	EPA 6010B/7420	20

為有效管理實驗室，CalScience 對實驗室之各項運作皆製訂標準作業程序 (SOP)，以供同仁遵循。CalScience 之 SOP 分為二類，一為屬於檢驗方法 (Laboratory Methods) 之 SOP，一為屬於實驗技術 (Laboratory Techniques) 之 SOP。當然，另有一份教導如何撰寫 SOP 之 SOP。檢驗方法 SOP 及檢驗技術 SOP 內容分別如下：

##### 一、檢驗方法 SOP：

##### 1. 範圍及應用 (Scope and Application)

##### 1.1 分析物

##### 1.2 偵測極限

##### 1.3 適用範圍

##### 1.4 分析所需時間

- 2.方法概要
  - 簡要說明準備及分析過程
- 3.解說及干擾
- 4.危害及預防措施
- 5.採樣及保存
- 6.儀器設備
- 7.試藥及標準品
- 8.步驟 (step by step)
  - 8.1 樣品前處理
  - 8.2 校正
  - 8.3 分析
- 9.品質管制
  - 9.1 品管樣品
  - 9.2 可接受之品管範圍
  - 9.3 修正動作
- 10.計算
- 11.報告
  - 11.1 報告單位
  - 11.2 報告極限
  - 11.3 有效數字
  - 11.4 報告格式
- 12.參考文獻
- 13.附件

## 二、檢驗技術 SOP：

- 1.目的
- 2.政策 (Policies)
- 3.解說
- 4.危害及預防措施
- 5.儀器設備



## 6. 試藥及標準品

## 7. 步驟

## 8. 責任

譬如建立實驗室各項偵測極限之 SOP，即屬檢驗技術之 SOP。茲將該實驗室之偵測極限 SOP 內容簡要說明如下：

偵測極限係依據 UAEPA 40 CFR Part 136，Appendix B 執行，共分 5 種：

### 1. 方法偵測極限 (Method Detection Limit, MDL)

為一分析物能被測得之具有 99% 可信度之最低且大於零的濃度。當分析物之測值小於 MDL 時，不表示測值為零，而是表示不為零之可信度降低。MDL 之求得是配製添加標準品於試劑水，其濃度為預估方法偵測極限 (expected MDL) 之 1 至 5 倍，至少做 7 重複分析，經計算求得。MDL 之 7 重複分析之測值回收率須介於 30 % 至 150 % 之間。

以下例子說明 MDL 之建立

預估 MDL = 0.35mg/l

報告極限之目標值 = 2.0mg/l

MDL 添加濃度 = 1.5mg/l (1 至 5 倍之預估 MDL 濃度)

$X_i = 1.2310, 1.3620, 1.5192, 1.5776, 1.6621, 1.7226, 1.7383$

所有的  $X_i$  回收率都介於 30% 至 150% 之間。

$S = 0.1899$

$MDL = S \times 3.143$

$MDL = 0.597\text{mg/l}$

所以 
$$\frac{RL}{MDL} = \frac{2.0\text{mg/l}}{0.597\text{mg/l}} = 3.35$$

對於有多波峰的分析項目例如 PCB 及無法添加標準品的分析項目例如總溶解固體、總懸浮固體、總揮發性固體、總固體、pH、色度、臭味、溫度、溶氧、濁度等則無 MDL。

MDL 數據是由 7 重複分析添加樣品所得。在建立 MDL 時，若重複分析之

樣品數大於 7 個，則必須以最前面之 7 個數據計算 MDL 值，而不能選擇所有數據中最好之 7 個重複分析數據來計算 MDL，除非能證明捨棄之數據是因為遭受污染或儀器條件不正常等。

## 2. 特定儀器偵測極限 (Instrument Specific Detection Limit, ISDL)

每部儀器進行 MDL 分析時，將得到該儀器特有之 MDL。當實驗室有數台儀器以同一方法建立分析物之 MDL 時，將得到一組 MDL 數據，最差之數據，即為 ISDL 數據。

## 3. 儀器偵測極限 (Instrument Detection Limit, IDL)

有些法規要求無機物（譬如重金屬）需建立儀器偵測極限。其方法是在試劑水中添加標準品，其濃度為儀器偵測極限之 3 至 5 倍，在不連續之 3 天，每天做 7 重複分析後，求得 3 倍標準偏差值，即為 IDL。

## 4. 預估定量極限 (Estimated Quantitation Limit, EQL)

為實驗室例行檢測時，能確實測得之分析物之最低濃度，且其準確度及精密度能符合一定之規範。故 EQL 值之建立是根據：(1) 實驗室之 MDL 或 IDL 值。(2) SW-846 及 Federal Register 之 EQL 數據。(3) 合約要求之偵測極限 (the Contract Required Detection Limit, CRDL)。(4) 其他工業標準等之內在及外在因素而得到。一般而言，EQL 為 5 至 10 倍之 MDL 或 IDL。

## 5. 報告極限 (Reporting Limit, RL)

是依據合約而訂定或是實驗室和客戶間彼此同意之測定值。一般而言，RL 等於或略大於 EQL。但為了方便，同一類分析物之 RL 若相差不大時，也可能將各 RL 皆訂為同一數值。唯 RL 不能小於 EQL。

表八至表十一為各項分析物之 MDL 及 RL。由表十一可看出雖然該公司在偵測極限之 SOP 內說明 pH、固體物等無 MDL 值，唯該表仍列出該二項目之 MDL 及 RL。

除了提供正確之檢測報告外，有效控管檢測時程亦是爭取顧客之重要法門。Calscience 之樣品檢測時程，一般為 5 個工作天。完成檢測時，會先口頭或傳真或 email 告知客戶檢驗結果，書面報告將於完成檢測之一天內寄給客戶。若為緊急樣品，將酌增檢驗費用。

表八、揮發性有機物 (EPA 8260A\*) 之偵測極限及報告極限

項目	MDL ( $\mu\text{g/L}$ )	RL ( $\mu\text{g/L}$ )
Acetone	0.28	1.25
Acetonitrile	0.26	0.5
Acrolein	0.49	1.25
Acrylonitrile	0.15	1.25
Allyl chloride	0.15	0.75
Benzene	0.07	0.5
Benzyl chloride	0.26	0.5
Bromochloromethane	0.12	0.5
Bromodichloromethane	0.08	0.5
Bromoform	0.1	0.5
Bromoethane	0.17	0.5
2-Butanone (MEK)	0.38	1.25
Carbon disulfide	0.1	1.25
Carbon tetrachloride	0.08	0.5
Chlorobenzene	0.04	0.5
Chloroethane	0.09	0.75
2-Chloroethyl vinyl ether	0.14	0.5
Chloroform	0.09	0.5
chloromethane	0.17	0.5
Chloroprene	0.05	0.5
Dibromochloromethane	0.1	0.5
1,2-Dibromo-3-chloropropane	0.15	0.5
1,2-Dibromoethane (EDB)	0.06	0.5
Dibromomethane	0.11	0.5
trans 1,4-dichloro-2-butene	0.09	1.25
1,2-Dichlorobenzene	0.05	0.5
1,3-Dichlorobenzene	0.05	0.5
1,4-Dichlorobenzene	0.05	0.5
Dichlorodifluoromethane	0.08	0.5
1,1-Dichloroethane (1,1-DCA)	0.07	0.5
1,2-Dichloroethane (1,2-DCA)	0.11	0.5
1,1-Dichloroethane (1,1-DCE)	0.06	0.5
cis-1,2-Dichloroethene	0.07	0.5
trans 1,2-Dichloroethene	0.08	0.5
1,2-Dichloropropane	0.07	0.5
1,3-Dichloropropane	0.11	0.5
2,2-Dichloropropane	0.35	0.5
1,1-Dichloropropane	0.07	0.5

\*：本法共檢測 70 種化合物，本表僅列出其中之 38 項。

表九 半揮發性有機物 (EPA 8270B\*) 之偵測極限及報告極限

項目	MDL ( $\mu\text{g/L}$ )	RL ( $\mu\text{g/L}$ )
Phenlo	2.22	25
Bis ( 2-chloroethyl ) ether	3.77	25
2-Chlorophenol	1.54	25
1,3-Dichlorobenzene	2.62	25
1,4-Dichlorobenzene	1.46	25
Benzvl alcohol	1.74	50
1,2-Dichlorobenzene	2.59	25
2-Methylphenol	2.65	25
Bis ( 2-chloroisopropyl ) ether	1.49	25
4-Methyl phenol	2.17	25
N-Nitroso-di-n-propylamine	9.38	50
Hexachloroethane	1.76	25
Nitrobenzene	3.21	25
Isophorone	2.93	25
2-Nitrophenol	4.64	25
2,4-Dimethylphenol	2.32	25
Benzoic acid	35.9	50
Bis ( 2-Chloroethoxy ) methane	2.13	25
2,4-Dichlorophenol	5.01	25
1,2,4-Trichlorobenzene	1.94	25
Naphthalene	2.25	25
4-Chloroaniline	13.0	50
Hexachlorobutadiene	2.40	25
4-Chloro-2-methylphenol	5.33	50
2-Methylnaphthalene	3.02	25
Hexachlorocyclopentadien	134	250
2,4,6-Trichlorophenol	1.62	25
2,4,5-Trichlorophenol	3.06	25
2-Chloronaphthalene	1.17	25
2-Nitroaniline	7.64	50
Dimethylphthalate	1.51	25
Acenaphthylene	1.84	25
3-Nitroaniline	5.27	50
Acenaphthene	1.81	25
2,4-Dinitrophenol	26.5	50
4-Nitrophenol	20.7	50
Dibenzofuran	3.01	25
2,4-Dinitrotoluene	3.84	25

\*：本法共檢測 120 種化合物，本表僅列出其中之 38 項。

表十、微量重金屬之偵測極限及報告極限

項目	方法	MDL (mg/L)	RL (mg/L)
銻	EPA 204.2	0.0023	0.005
砷	EPA 6020	0.00039	0.001
鋇	EPA 200.7	0.018	0.02
鉍	EPA 210.2	0.001	0.004
鎘	EPA 213.2	0.00029	0.0003
鉻	EPA 200.7	0.017	0.03
鈷	EPA 200.7	0.017	0.03
銅	EPA 200.7	0.011	0.05
鉛	EPA 239.2	0.0021	0.005
汞	EPA 245.1	0.000036	0.0002
鉬	EPA 200.7	0.021	0.05
鎳	EPA 200.7	0.013	0.04
硒	EPA 270.2	0.000036	0.003
銀	EPA 200.7	0.003	0.02
鉈	EPA 279.2	0.0015	0.003
釩	EPA 200.7	0.009	0.03
鋅	EPA 200.7	0.011	0.03
鋁	EPA 200.7	0.068	0.10
硼	EPA 200.7	0.061	0.10
鈣	EPA 200.7	0.094	1.0
鐵	EPA 200.7	0.02	0.10
鎂	EPA 200.7	0.039	0.07
錳	EPA 200.7	0.01	0.01
鉀	EPA 200.7	0.54	0.07
鈉	EPA 200.7	0.12	0.3
矽	EPA 200.7	0.089	0.2
錫	EPA 6020	0.00026	0.001

表十一、其他項目之偵測極限及報告極限

項目	方法	MDL (mg/L)	RL (mg/L)
總汽油碳氫化合物 (TPH- g)	CA DHS	0.23	0.5
化學需氧量	EPA410.4	5	5
氨氮	EPA350.2	0.03	0.1
pH (實驗室)	EPA150.1	0.01	0.01 pH units
總懸浮固體	EPA160.1	0.5	1
濁度	EPA180.1	0.05	0.05NTU

## 加州環保局毒性物質管制處有害物質實驗室（洛杉磯）

加州環保局毒性物質管制處（DTSC）之職責為保護加州及加州民眾免於受到有害廢棄物曝露之危害，以確保公共衛生、環境品質及經濟活力。該局共有職員 1000 人，專業領域包括環境工程、生物、化學、化工、物理、土壤科學、環境公共衛生、土木、機械、地質、毒物、藥劑等。

加州每年有害廢棄物產量約二百萬噸。該局負責管理公司或個人所產生之有害廢棄物之操作、運輸、貯存、處理、最終處置及清理之法規制訂及執法。

DTSC 有二所有害物質實驗室（Hazardous Materials Laboratory），大實驗室位於柏克萊，小實驗室位於洛杉磯。實驗室之職責為提供加州州政府有關土壤、水、空氣等樣品之檢測及方法開發。此次參觀之實驗室為洛杉磯實驗室。該實驗室檢測項目包括揮發性有機物、半揮發性有機物、農藥、重金屬、陰離子等。

此次參觀除了解該實驗室之儀器設備、方法運用、品管品保系統外，因負責介紹實驗室之 Mr. Peter Wong (pwong@dtsc.ca.gov) 為加州 ELAP 查核員，Peter Wong 特別介紹美國國家環境實驗室認證制度，茲說明如下：

美國全國性之環境實驗室認證制度於 10 年前開始發展，並於近二、三年開始實施。目前，全美已有 45 州約一千家實驗室取得國家環境實驗室認證（圖七）。茲將美國國家實驗室認證體系簡介如后：

### 一、緣由

1990 年代，美國尚無全國性之環境實驗室認證體系，以致檢測業者向環保署報怨，因需向不同之機構申請認證，而增加了營運負荷。環保署環境監測管理委員會（Environmental Monitoring Management Council, EMMC）乃組成了一個內部工作小組來評估建立全國性認證制度的可行性及適當性。此工作小組的結論是環保署確實應與相關業者的代表們協商，以訂定一套認證制度。於是，美國國家環境實驗室認證協會（National Environmental Laboratory Accreditation Conference, NELAC）（[www.epa.gov/ttn/nelac](http://www.epa.gov/ttn/nelac)）因而產生。該協會的職責為建立一套認證準則，以讓國家環境實驗室認證體系（National Environmental Laboratory Accreditation Program, NELAP）來執行認證工作。

NELAC 第一次年會於 1995 年 2 月召開。會中，聯邦官員與州政府官員通過了有關認證制度的規章及細則（constitution and bylaws）。

## 二、NELAC

NELAC 是一個由州及聯邦機構所共同組成的自發性組織。其目的是建立可彼此相互接受的認證準則，以供環境實驗室於執行檢測及操作時，有所依據。雖然 NELAC 是由環保署、環保署以外之聯邦機關、州政府所共同組成，但民間企業的建言也可透過各種不同管道而參與準則的訂定。這些管道包括每半年舉行一次的公開會議、各種小組會議、環境實驗室指導團（Environmental Laboratory Advisory Board, ELAB）等，故 NELAC 準則是廣納各方專家意見並獲得共識後所產生。

如今，NELAC 已完成一致性之認證程序，此程序亦被其他認證委員會所採用。NELAC 準則主要是依據 ISO/IEC Guide 25-1990「校正及測試實驗室能力之一般需求 General Requirements for the Competence of Calibration and Testing Laboratories」及 ISO/IEC Guide 58「校正及測試實驗室認證體系—操作及認證之一般需求 Calibration and Testing Laboratory Accreditation Systems-General Requirements For Operation and Recognition」二種指引而建立，但其品管系統則已超越了 ISO/IEC Guide 25 的內容，能完全滿足環境實驗室之需求。

NELAC 準則包含環境樣品測試及實驗室認證程序二部分，其主要目的是要確保依據實驗室檢測數據所做成的決策具有可靠的技術性、科學性與統計學的基礎。故 NELAC 認證制度是要用來確保凡是經由 NELAC 認證的實驗室，可以達到符合品質需求的要件。

NELAC 的準則是一個具有彈性的機制。它可以容許各州有不同的操作程序與步驟，只要這些程序或步驟合乎環保署的規定。此外，NELAC 準則皆定期檢討修訂，以求更為完善。

由於 NELAC 的執行完全是自發性的，它不受國會的監督也不受環保署法條的約束。然而各州、各地區或聯邦機構也可以強制檢測業者必須接受在該機構管轄範圍內的認證程序。

### 三、NELAP

「國家環境實驗室認證體系」於 1999 年 7 月成立，是一個負責執行 NELAC 認證準則的機構。它是由州或聯邦機構所組成的認證委員會，負責與環保署協調並確保認證程序的簡單性與統一性。本委員會是唯一由環保署提供運作經費之環境認證組織。

### 四、NELAP 認證委員會

雖然 NELAP 是一個全國性的認證體系，但是執行實驗室認證工作的機關並非環保署，而是州政府。當州政府要向 NELAP 申請成為認證委員會（NELAP Accrediting Authorities）時，它可以申請全部領域或只申請某個領域。譬如，有某些州之認證委員會只向 NELAP 申請要辦理飲用水中之化學分析及微生物之認證，而某些州則申請辦理全部之認證項目，包括環保署五種法規中之有害廢棄物、廢水、飲用水、空氣、土壤等所有不同媒質之所有分析項目。除認證項目外，各州認證委員會亦可自行決定認證費用、任用第三團體之查核員等。

NELAP 認證委員會間之相互認證是必須的。各州認證委員會可能須要修改其原有法條，使符合 NELAC 認證準則，以成為 NELAP 之認證委員會。NELAP 給予各申請成為認證委員會之機構，二年之時間去修改法條，在這二年內有些州因其已符合認證準則，則可隨時取得辦理認證之資格。但若在二年內無法通過認證程序之機構，則將喪失成為認證委員會之資格。

### 五、認證委員會工作小組

認證委員會工作小組（The Accrediting Authority Workgroup）是由已取得 NELAP 認可之認證委員會的代表所組成。這個工作小組成立於 1999 年 7 月，也就是在 NELAP 創始時，同時也成立了這個工作小組。剛開始時，這個小組包含了加州、佛羅里達、伊利諾、科羅拉多、堪薩斯、路易士安那、新罕布夏、紐澤西、紐約、賓夕法尼亞、猶他等 11 州。而在第一年內又有俄勒岡州的加入，但是科羅拉多州則因為財政緊縮而退出。NELAP 成立之時訂定了一個臨時的 12 個月的工作期程表來達成由 NELAC 所規範的認證準則，並確保所有申請認證的實驗室能真正的符合所有程序。後來，這個 12 個月期限的臨時工作期程由預定的 2000 年 7 月延長到 2001 年 1 月，以便讓所有符合



準則的實驗室能夠獲得 NELAP 一級認證委員會(Primary Accrediting Authority)的認證。

實驗室是否符合 NELAC 的標準是由各州的認證委員會（屬於 NELAP）來確認。為了維持 NELAP 認證制度的公平與和諧，各州的認證委員會工作小組之代表們從 1999 年 7 月起，每二週舉行一次視訊諮詢會議（Teleconferences），以建立彼此間的合作與溝通。這個認證委員會工作小組並不是 NELAP 的成員或 NELAC 的次級機構。NELEC 是設定準則的實體。而這個工作小組的主要職責是執行 NELAC 所制定的認證準則。這個工作小組也知曉他們的工作項目必須符合 NELAC 所訂的認證標準，而其本身沒有權力去更改 NELAC 所訂的標準或政策。然而這個工作小組如果發現 NELAC 的條文有模糊不清的地方，他們可以要求 NELAC 的執行委員會加以澄清。通常 NELAC 執行委員會的主席都會參與每二週一次的認證委員會工作小組的視訊諮商會議。在某些情況下，工作小組也會建議更改一些認證準則。例如當工作小組收到有關業者的申訴時，他們會把該議題在視訊諮商會議上，提出討論並進行表決，表決通過之後再送到 NELAC 執行委員會。對於工作小組建議事項的執行與否以及新政策的釐訂，仍必須經由 NELAC 的董事會同意之後，才可以實施。

實驗室欲申請認證時，應向所在地當州之認證委員會提出，唯若該州非 NELAP 之認證委員會時，則可自行決定向那一個認證委員會提出申請。譬如筆者此次參訪之位於洛杉磯之 Calscience 環境實驗室及舊金山 PUC 水質實驗室，因皆屬加州，故皆向加州 Department of Health Services 取得認證。而位於丹佛之 USGS，因科羅拉多州並無 NELAP 認證委員會，故向紐約州 Department of Health 取得認證。

表十二為 NELAP 所認可之位於各州之認證委員會。

## 六、NELAP 認證領域

NELAP 認證之領域依檢測方法及環保署之五種法規而分類，環保署之五種法規為（1）空氣清淨法 Clean Air Act, CAA （2）綜合環境反應賠償及責任法 Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act, CERCLA (or Superfunds) （3）水清淨法 Clean Water Act, CWA （4）

資源保育及回收法 Resource Conservation and Recovery Act, RCRA (5) 安全  
飲用水法 Safe Drinking Water Act, SDWA。故實驗室可由下列之分類選擇欲  
申請認證之項目。

(一) 化學檢驗

1.CAA

有機物

無機物

2.CERLCA

有機物

無機物

3.CWA

有機物

無機物

4.RCRA

有機物

無機物

5.SDWA

有機物

無機物

(二) 濕式化學法

1.CERCLA

2.CWA

3.RCRA

4.SDWA

(三) 微生物

1.CAA

2.CERCLA

3.CWA

4.RCRA

5.SDWA

#### (四) 放射性化學

- 1.CAA
- 2.CERCLA
- 3.CWA
- 4.RCRA
- 5.SDWA

實驗室可自行選擇認證項目之檢驗方法，唯環保署水質處（Office of Water）對廢水及飲用水之檢測方法則另有規定。譬如在使用 SM（Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater）方法時，只有 18 版及 19 版可用於飲用水檢驗，20 版則尚未經 EPA 確認。至於廢水檢驗，僅能使用 SM 18 版，19 版及 20 版尚未完成確認。

#### 七、NELAP 之益處

當全國環境實驗室全面參與 NELAP 認證體系後，將具體展現 NELAP 之益處。譬如：

##### (一) 商業實驗室

1. 改變過去重複且常矛盾的查核，為合理的標準化查核制度。
2. 提供執法者及客戶更有品質之檢測數據。
3. 增強實驗室之國際競爭能力。
4. 大量降低過去因需向不同機構申請認證所花費之資金。

##### (二) 工廠或市立處理場之內部實驗室

1. 建立檢測數據之可信度。
2. 提供執法者正確之檢測數據。

##### (三) 州及聯邦機構

1. 建立一套統一之標準制度，使各州各機構之檢測數據品質趨於一致。
2. 統一全國認證機構，以減少重複申請認證之經費及勞力，使實驗室更有時間致力於實際樣品之檢測。
3. 各機構數據共享，降低檢測費用。
4. 增進實驗室品質改進之機會：聯邦機構、州政府及私人企業之專家

可集思廣義，提供更好之品管觀念及查核制度，查核員也可因而增進查核能力，最終是產生更佳之實驗室。

#### 八、績效樣品測試

NELAC 規定認可實驗室須每半年檢測績效樣品(Proficiency Test Samples)一次。此頻率並非隨意訂定的。由於 NELAC PT 委員會 (PT Committe) 的宗旨是為了保護民眾健康及提升檢測數據品質，故其有責任監督認證之實驗室。NELAC 監督實驗室品質有二種管道，一為績效樣品測試，一為現場查核 (小實驗室之現場查核為一天，大實驗室則須 3 至 4 天)。因現場查核頻率為每兩年一次，在兩年中之品質監督，則只能靠 PT 樣品來做評鑑。績效測試頻率若是不足，將無法掌控實驗室品質，但執行太頻繁，又將造成實驗室之困擾。PT 委員會經決意後，認為每半年一次之頻率是恰當的。

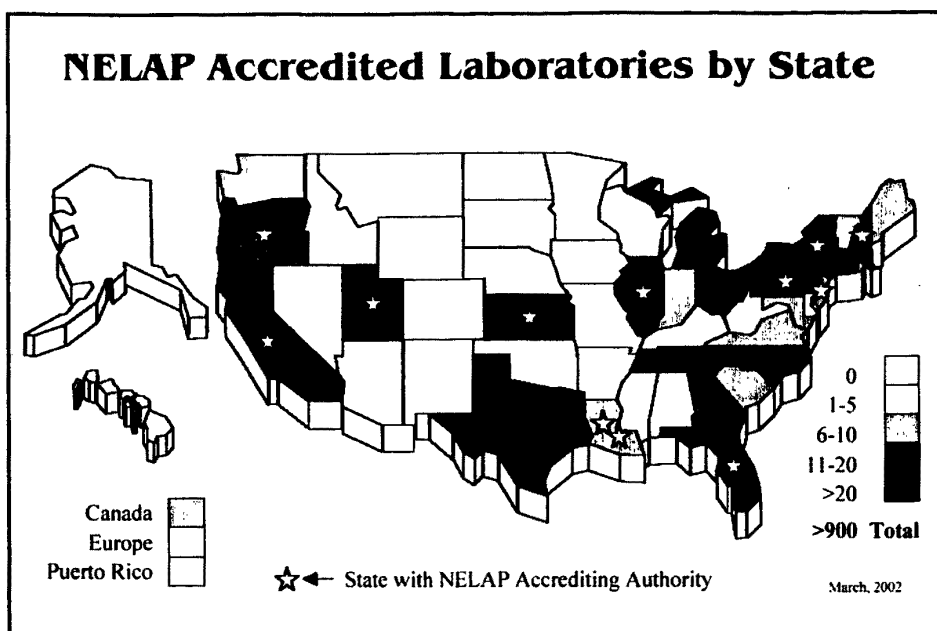
此外，在 NELAC 未成立前，許多州已在執行認證制度。NELAC 成立時，希望其準則不要低於各州原有之標準，而因有相當多的州原已規定績效測試為每半年一次，此也是 NELAC PT 委員會決定績效測試為每半年一次之重要緣由。

目前，環保署認可之 PT 供應商有 12 家，各州之認證委員會可指定一家或數家 PT 供應商為該州之 PT 供應商，如加州 PT 之供應商為 Environmental Resource Association ([www.eragc.com](http://www.eragc.com))。但實驗室仍可選擇購買非該州指定之 PT 供應商之標準品。

Peter Wong 亦提供該實驗室之相關品管品保文件，由於資料頗多，無法一一詳述，僅記載揮發性有機物方法偵測極限之建立如表十三，可看出 7 回分析，係分三天完成。

表十二 NELAP 認可之認證委員會

州 別	認 證 機 構	執 行 認 證 單 位
加 利 福 尼 亞 州	CA Department of Health Services	Environmental Laboratory Accreditation Program
佛 羅 里 達 州	FL Department of Environmental Protection	FL Dept of Health, Bureau of Laboratories.
伊 利 諾 州	Illinois Environmental Protection Agency	EPA, Div. of Lab. QA Section
堪 薩 斯 州	The Kansas Department of Health and Environment	KS Dept. of Health & Environment
路 易 士 安 那 州	LA Department of Health and Hospitals.	LA Dept. of Health and Hospitals
路 易 士 安 那 州	LA Department of Environmental Quality	LA Dept. of Environmental Quality
新 罕 布 夏 州	New Hampshire Department of Environmental Services	NH Environmental Lab. Accreditation Program
紐 澤 西 州	NJ Department of Environmental Protection	Dept. of Environmental Protection
紐 約 州	NYS Department of Health	NYS Tate Dept. of Health
俄 勒 岡 州	The Oregon Department of Environmental Quality	Oregon Health Division
賓 夕 法 尼 亞 州	PA Department of Environmental Protection	Bureau of Labs, Dept. of Environ. Prot.
猶 他 州	Utah department of Health	Utah Dept. of Health



圖七 各州 NELAP 所認證之實驗室數量

表十三 揮發性有機物方法偵測極限建立

儀器：HP 5973 GC/MS  
 方法：USEPA 524.2  
 單位：μg/l  
 濃度：除甲基乙基酮及甲基異丁基酮為 2 μg/l 外，其餘化合物皆為 0.5 μg/l (鄰-二甲苯、對-二甲苯之濃度各為 0.5 μg/l)

分析日期	2/7/01	2/7/01	2/7/01	2/8/01	2/8/01	2/9/01	2/9/01				
分析時間	7:33	8:02	9:13	9:20	9:58	8:55	9:33				
編號	化合物	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Mean	Std Dev	MDL
1	二氯二氟甲烷	0.44	0.42	0.42	0.45	0.42	0.42	0.43	0.42857	0.01215	0.04
2	氯甲烷	0.52	0.48	0.46	0.49	0.48	0.46	0.50	0.48429	0.02149	0.07
3	氯乙烯	0.49	0.45	0.44	0.47	0.47	0.48	0.50	0.47143	0.02116	0.07
4	溴甲烷	0.55	0.58	0.45	0.54	0.50	0.48	0.54	0.52	0.04509	0.14
5	氯乙烷	0.57	0.49	0.42	0.47	0.49	0.51	0.52	0.49571	0.04614	0.15
6	三氯一氟甲烷	0.52	0.51	0.49	0.50	0.51	0.50	0.51	0.50571	0.00976	0.03
7	1,1-二氯乙烯	0.51	0.47	0.44	0.46	0.47	0.48	0.50	0.47571	0.0237	0.07
8	三氯三氟甲烷	0.48	0.56	0.47	0.48	0.45	0.46	0.49	0.48429	0.03599	0.11
9	二氯甲烷	0.49	0.52	0.49	0.51	0.54	0.48	0.56	0.51286	0.02928	0.09

10	1,1-二氯乙烷	0.53	0.53	0.48	0.47	0.50	0.50	0.53	0.50571	0.02507	0.08
11	甲基第三丁基醚	0.53	0.58	0.49	0.49	0.51	0.48	0.52	0.51429	0.03409	0.11
12	1,1-二氯乙烷	0.54	0.53	0.52	0.50	0.54	0.52	0.57	0.53143	0.02193	0.07
13	甲基乙基酮	1.39	1.25	1.65	1.29	1.29	1.55	1.15	1.36714	0.17642	0.55
14	順-1,2-二氯乙烯	0.50	0.52	0.49	0.49	0.50	0.49	0.52	0.50143	0.01345	0.04
15	2,2-二氯丙烷	0.54	0.55	0.53	0.53	0.54	0.52	0.56	0.53857	0.01345	0.04
16	氯溴甲烷	0.33	0.34	0.38	0.36	0.49	0.41	0.34	0.37857	0.0564	0.18
17	氯仿	0.51	0.54	0.52	0.50	0.53	0.52	0.56	0.52571	0.01988	0.06
18	1,1,1-三氯乙烷	0.54	0.53	0.53	0.52	0.51	0.50	0.54	0.52429	0.01512	0.05
19	1,2-二氯乙烷	0.48	0.54	0.47	0.47	0.49	0.46	0.52	0.49	0.02944	0.09
20	1,1-二氯丙烯	0.52	0.51	0.46	0.47	0.47	0.46	0.48	0.48143	0.0241	0.08
21	苯	0.53	0.52	0.50	0.50	0.50	0.48	0.52	0.50714	0.01704	0.05
22	四氯化碳	0.51	0.54	0.53	0.52	0.51	0.50	0.55	0.52286	0.01799	0.06
23	三氯乙烯	0.52	0.56	0.53	0.48	0.50	0.48	0.55	0.51714	0.032	0.10
24	1,2-二氯丙烷	0.47	0.51	0.45	0.50	0.51	0.48	0.52	0.49143	0.02545	0.08
25	二溴甲烷	0.41	0.48	0.35	0.43	0.48	0.49	0.46	0.44286	0.5024	0.16
26	二氯一溴甲烷	0.48	0.57	0.51	0.52	0.54	0.51	0.54	0.52429	0.02878	0.09
27	順-1,3-二氯丙烯	0.50	0.55	0.43	0.46	0.51	0.48	0.50	0.49	0.0383	0.12
28	甲基異丁基酮	1.86	2.06	1.51	1.66	1.74	1.60	1.77	1.74286	0.18099	0.57
29	甲苯	0.50	0.51	0.47	0.47	0.46	0.46	0.48	0.47857	0.01952	0.06
30	反-1,3-二氯丙烯	0.48	0.50	0.41	0.45	0.49	0.47	0.50	0.47143	0.03237	0.10
31	1,1,2-三氯乙烷	0.48	0.49	0.46	0.47	0.47	0.42	0.57	0.48	0.04546	0.14
32	1,3-二氯丙烷	0.50	0.49	0.43	0.50	0.51	0.50	0.46	0.48429	0.02878	0.09
33	溴氯甲烷	0.45	0.56	0.53	0.44	0.51	0.52	0.50	0.50143	0.04298	0.14
34	四氯乙烯	0.50	0.51	0.51	0.48	0.47	0.46	0.52	0.49286	0.02289	0.07
35	二溴乙烯	0.46	0.49	0.49	0.50	0.45	0.45	0.48	0.47429	0.0207	0.07
36	氯苯	0.50	0.52	0.48	0.47	0.51	0.48	0.51	0.49571	0.01902	0.06
37	1,1,1,2-四氯乙烷	0.53	0.57	0.54	0.55	0.51	0.52	0.53	0.53571	0.01988	0.06
38	乙基苯	0.51	0.51	0.48	0.48	0.49	0.48	0.52	0.49571	0.01718	0.05
39	間、對-二甲苯	1.07	1.03	1.05	1.02	1.01	0.99	1.07	1.03429	0.03047	0.10
40	苯乙烯	0.50	0.49	0.50	0.46	0.45	0.47	0.50	0.48143	0.02116	0.07
41	溴仿	0.49	0.46	0.40	0.45	0.48	0.40	0.55	0.46143	0.05273	0.17
42	鄰-二甲苯	0.52	0.50	0.51	0.48	0.51	0.48	0.53	0.50429	0.01902	0.06
43	1,1,2,2-四氯乙烷	0.41	0.40	0.45	0.48	0.49	0.45	0.53	0.45857	0.04562	0.14
44	Cumene	0.49	0.49	0.49	0.46	0.48	0.45	0.51	0.48143	0.02035	0.06
45	1,2,3-三氯丙烷	0.33	0.36	0.40	0.31	0.36	0.45	0.35	0.36571	0.0465	0.15
46	溴苯	0.56	0.54	0.56	0.50	0.52	0.54	0.59	0.54429	0.02936	0.09
47	鄰-氯甲苯	0.47	0.50	0.52	0.49	0.50	0.50	0.54	0.50286	0.02215	0.07
48	正丙基苯	0.49	0.50	0.49	0.48	0.48	0.45	0.51	0.48571	0.01902	0.06

49	對-氯甲苯	0.51	0.53	0.52	0.49	0.50	0.49	0.53	0.51	0.01732	0.05
50	1,3,5-三甲基苯	0.49	0.49	0.51	0.46	0.48	0.46	0.52	0.48714	0.02289	0.07
51	第三丁基苯	0.48	0.48	0.52	0.47	0.48	0.45	0.48	0.48	0.02082	0.07
52	1,2,4-三甲基苯	0.49	0.50	0.57	0.47	0.58	0.58	0.50	0.52714	0.04751	0.15
53	間-二氯苯	0.52	0.52	0.50	0.47	0.51	0.47	0.54	0.50429	0.02637	0.08
54	1-甲基丙基苯	0.44	0.47	0.46	0.44	0.45	0.43	0.49	0.45429	0.0207	0.07
55	對-二氯苯	0.51	0.50	0.51	0.48	0.50	0.50	0.54	0.50571	0.01813	0.06
56	p-Cymene	0.45	0.48	0.47	0.46	0.46	0.44	0.50	0.46571	0.01988	0.06
57	鄰-二氯苯	0.52	0.55	0.51	0.51	0.53	0.52	0.58	0.53143	0.02545	0.08
58	正-丁基苯	0.46	0.46	0.48	0.47	0.44	0.44	0.49	0.46286	0.0189	0.06
59	1,2,4-三氯苯	0.51	0.52	0.46	0.45	0.45	0.44	0.47	0.47143	0.03132	0.10
60	Naphthalene	0.47	0.50	0.38	0.42	0.42	0.44	0.46	0.44143	0.03934	0.12
61	1,2,3-三氯苯	0.51	0.48	0.45	0.43	0.45	0.46	0.43	0.45857	0.02854	0.09
62	六氯丁二烯	0.48	0.49	0.51	0.49	0.46	0.49	0.52	0.49143	0.01952	0.09



## 加州大學洛杉磯分校環境衛生科學系

至 UCLA Dept. of Environmental Health Sciences 拜訪 Irwin (Mel) Suffet 教授。Suffet 教授之主要研究領域包括檢測方法開發、飲用水微量污染物處理技術、廢水之再利用等。實驗室所使用之儀器包括各種環境分析儀器，如氣相層析儀、氣相層析質譜儀、離子層析儀、原子分光光譜儀等。Suffet 教授介紹其實驗室目前進行之計畫如下：

### 一、水中微量有機物檢測方法開發：

#### 1. 嗅覺氣相層析儀法

以氣相層析／嗅覺方法 (Sensory GC) (圖八) 檢測飲用水中因藻類、植物或敗腐物質所產生具臭味之微量有機物。本方法原理是將樣品注入氣相層析儀，管柱分別接偵測器及嗅覺測試杯，當臭味物質訊號出現於偵測器時，嗅覺測試員開始以鼻子去聞嗅覺測試杯中臭味物質的氣味及強度。偵測器檢測化學成分之種類與濃度，嗅覺測試杯則提供臭味種類及強度。

#### 2. 封閉式迴路氣提法

封閉式迴路氣提法 (Closed-loop stripping analysis, CLSA) (圖九) 為樣品之前處理方法。該法是將空氣或氮氣打入水樣中，以吹出揮發性及半揮發性有機化合物，使其被活性碳吸附管吸附後，再以二硫化碳將活性碳所吸附之有機質萃取出來，最後以 GC/MS 分析萃取液。此方法之偵測極限可達 ng/l 的濃度。

使用封閉式迴路氣提法配合 GC/MS 方法，分析自來水中造成土霉味的有機化合物的例子非常多，主要化合物包括 geosmin, MIB, 2,3,6-trichloroanisole (TCA), 2-isopropyl-3-methoxy-pyrazin (IPMP) 及 2-isobutyl-3-methoxy-pyrazine (IBMP) 等。

#### 3. 固態微萃取法

雖然 CLSA 能有效濃縮水中土臭味物質達數萬倍，但該方法必須經 2-3 小時之氣提，樣品水量約為 1 公升，且需使用溶劑萃取。相較之下，平衡時間短 (約 30-40 分鐘)，樣品水量少 (約 20-200ml)，不需使用溶劑萃取之固態微萃取法 (Solid-phase microextraction, SPME) 成為值得開發之檢驗方法。

固態微萃取法是利用特製針頭，內含一覆蓋特殊選擇性吸附劑之矽纖維，將針頭打入待測樣品之樣品瓶頂部空間，再將纖維伸出，使之吸附存於頂空之臭味物質。待平衡後，將針頭取出，打入 GC 注入埠後，吸附劑上之臭味物質經熱脫附進入 GC/MS 分析。SPME 法可應用於土臭味物質及類似魚腥味化合物之檢驗。

### 二、有害物質之非點源污染現象調查。

### 三、飲用水中有害物質及臭味之處理方法

以顆粒活性炭去除飲用水中具臭味之 Methyl isoborneol 等物質之研究。  
以臭氧處理飲用水中臭味物質之研究。

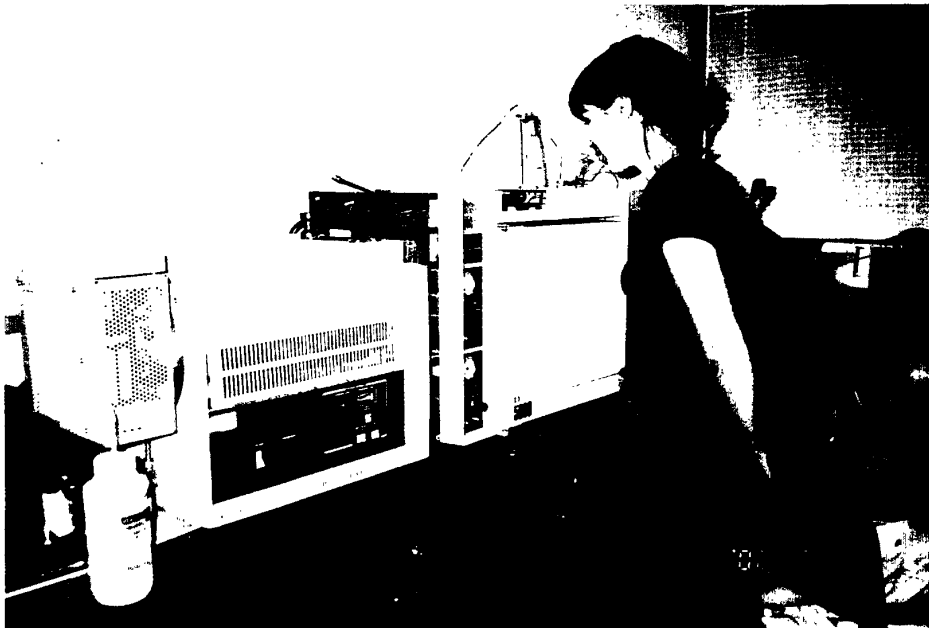
以紫外線、臭氧處理飲用水中 geosmin 、MIB 之研究。

四、廢水之再利用：以臭氧處理廢水中微量有機物。

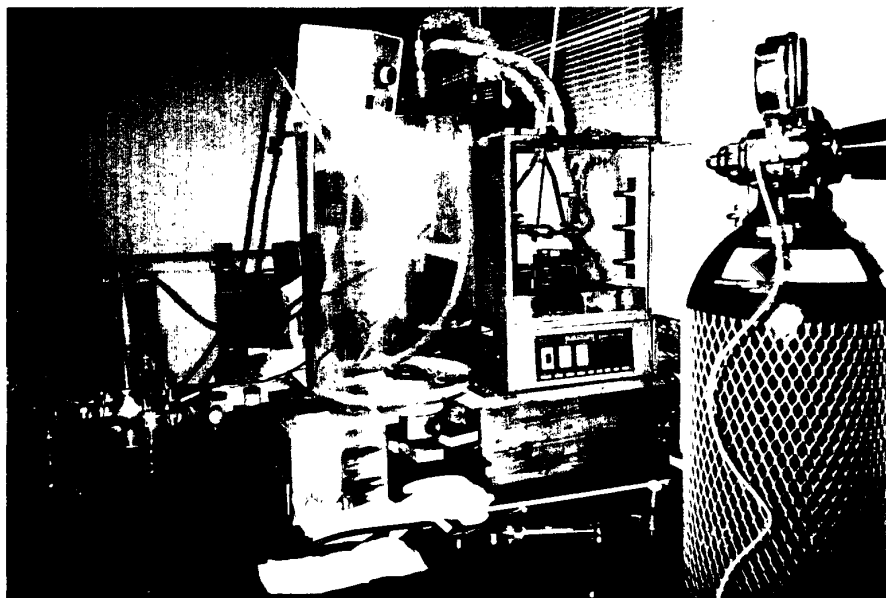
五、TMDL (Total Maximun Daily Load)

先調查河川背景，瞭解河川涵容能量，再計算沿岸農業區所能施用之農藥限量，求出河川每日最大污染負荷量。

六、地表水及底泥中污染物之傳輸研究。



圖八 嗅覺氣相層析儀



圖九 封閉室迴路氣提器

## 舊金山公共事業管理局水質實驗室

舊金山水公司早期為私人企業，1930 年代，舊金山市長以約 4 千萬元美金買下經營權，成立了舊金山公共事業管理局 (San Francisco Public Utilities Commission, SFPUC)，其職責為供應舊金山區充足及潔淨之飲用水並處理家庭污水及雨水。舊金山之最主要水源來自優勝美地國家公園之 Hetch Hetchy 貯水池，佔總供水量之 85%。Hetch Hetchy 之水來自積雪及冰山融化，水質潔淨。其餘 15% 之水源來自舊金山當地貯水池，水源為雨水，另有極小部分之水源為地下水。Hetch Hetchy 之水利用重力原理，輸送至 250 公里遠之舊金山，SFPUC 之自來水供應舊金山 75 萬人、灣區 240 萬人使用。

SFPUC 有數個飲用水水質實驗室及廢水水質實驗室，檢驗人員合計為 133 人，每個實驗室都分別取得加州 Department of Health Services 之 Elap 認證。水源水質檢測頻率為每年一次，農藥若未被檢出，則隔數年才會再檢測。放射線物質數年檢測一次，表十四為部分水源之水質檢測報告，顯示舊金山之水源水質極為潔淨。飲用水水質每週檢測一次，USEPA 於二年前增列五種鹵乙酸 (HAA5) 為飲用水管制項目，SFPUC 已將其列入例行檢測項目中，每週約檢驗 10 個樣品，使用 USEPA 552.2 方法分析，VOCs 依據 USEPA 524.2 方法檢測，60 種 VOCs 之 MDL 皆可達  $0.5 \mu\text{g/l}$ ，主要之氣相層析儀器為 Varian；HP 次之，表十五為部分自來水廠之飲用水水質檢測報告，其中 GGPB Church Treated 之水源為地下水，故比導電度、總溶解固體、硬度、鹼度皆明顯偏高。

USEPA 於 2002 年 1 月起，將飲用水中 4 種揮發性有機消毒副產物之管制值由  $100 \mu\text{g/l}$  降為  $80 \mu\text{g/l}$ ，故 SFPUC 已在改建自來水處理廠之加氯設備，以期能符合 USEPA 之管制標準，此改建為重大工程，需至 2003 年 12 月才能完工。所幸，USEPA 之規定有二年之緩衝期。

水質實驗室之另一項工作為測漏檢驗，當漏水案發生時，為判定是自來水漏水或污水漏水，將檢測尿酸 (uric)、泡沫劑 (MBAS)、氟等項目，若檢出前二項，則為污水漏水，若檢出氟，則為自來水漏水

為避免雨水逕流造成河川、海洋之污染，SFPUC 在數年前已完成雨水下水道系統，雨水經處理後才排放至水體。

表十四 SFPUC 飲用水水源水質檢測報告 (1)

項目	單位	MCL	DLR	RL	Hetch Hetchy Res. Raw	Cherry Res Raw (2)	Calaveras Res. Raw
<b>飲用水一級標準</b>							
<b>有機物</b>							
揮發性有機物	μg/L	0.5-1750(3)	0.5	0.5	<0.5	1	<0.5
甲基第三丁基醚	μg/L	13	3	0.5	<0.5	12	<0.5
半揮發性有機物							
阿特靈	μg/L	NS	0.075	0.075	<0.05	<0.05	<0.05
Benzo(a)pyrene	μg/L	0.2	0.1	0.1	<0.02	<0.02	<0.02
丁基拉草	μg/L	NS	0.38	0.38	<0.05	<0.05	<0.05
加保利	μg/L	NS	5	2	<2	<2	<2
Dicamba	μg/L	NS	1.5	1.5	<0.08	<0.08	<0.08
地特靈	μg/L	NS	0.02	0.02	<0.01	<0.01	<0.01
Dinoseb	μg/L	7	2	2	<0.2	<0.2	<0.2
二刈	μg/L	20	4	0.4	<0.4	<0.4	<0.4
加保扶代謝物	μg/L	NS	3	2	<2	<2	<2
納乃得	μg/L	NS	2	1	<1	<1	<1
Metolachlor	μg/L	NS	--	0.5	<0.05	<0.05	<0.05
Metribuzin	μg/L	NS	--	0.5	<0.05	<0.05	<0.05
歐殺滅	μg/L	200	20	2	<2	<2	<2
Propachlor	μg/L	NS	0.5	0.5	<0.05	<0.05	<0.05
<b>無機物</b>							
石棉(4)	MFL	7	0.2	0.2	<0.2	<0.2	<0.2
鋁	μg/L	1000	50	5	29	76	22
錳	μg/L	6	6	5	<5	<5	<5
砷	μg/L	50	2	2	<2	<2	<2
鈦	μg/L	1000	100	5	<5	<5	55
鈹	μg/L	4	1	1	<1	<1	<1
鎘	μg/L	5	1	1	<1	<1	<1
鉻	μg/L	50	10	1	<1	<1	<1
氟	mg/L	2	0.1	0.1	<0.1	<0.1	0.1
鉛	μg/L	15	5	2	<2	<2	<2
汞	μg/L	2	1	0.5	<0.5	<0.5	<0.5
銻	μg/L	100	10	1	<1	<1	<1
硝酸鹽 (NO <sub>3</sub> )	mg/L	45	2	0.2	<0.2	<0.2	<0.2
亞硝酸鹽氮	mg/L	1	0.4	0.02	<0.02	<0.02	<0.02
硒	μg/L	50	5	5	<5	<5	<5
鉍	μg/L	2	1	1	<1	<1	<1
<b>放射性物質</b>							
總α粒子	pCi/L	15	1	--	<1	<1	<1
總β粒子	pCi/L	50	4	--	<4	<4	<4
銻-90	pCi/L	8	2	--	<2	<2	<2
氡	pCi/L	20000	1000	--	<1000	<1000	<1000
鈾	pCi/L	20	2	--	<2	<2	<2
氫-222	pCi/L	NS	100	--	NR	NR	NR
<b>二級污染物最大容許量</b>							
氯鹽	mg/L	250	--	3	<3	<3	6
色度	單位	15	--	5	6	7	9
銅	μg/L	1300(6)	50	1	<1	<1	2
鐵	μg/L	300	100	10	15	35	30
錳	μg/L	50	20	2	<2	<2	5
銀	μg/L	100	10	1	<1	<1	<1
比導電度	μS/cm	900	--	1	11	9	260
硫酸鹽	mg/L	250	0.5	0.3	0.6	0.4	23
總懸浮固體	mg/L	500	--	5	15	10	170
濁度	NTU	5	--	0.05	0.3	0.7	0.6
鋅	μg/L	5000	50	2	<2	<2	<2
<b>附加檢驗項目</b>							
鹼度 (as CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	NS	--	3	4	4	110
鈣	mg/L	NS	--	1	1	<1	30
硬度 (as CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	NS	--	1	4	3	120
鎂	mg/L	NS	--	0.5	<0.5	<0.5	10
pH	單位	NS	--	--	7.5	7.3	8.7
過氯酸鹽	μg/L	NS	--	4	<4	<4	<4
磷酸鹽	mg/L	NS	--	0.07	<0.07	<0.07	<0.07
鉀	mg/L	NS	--	0.5	<0.5	<0.5	1
矽	mg/L	NS	--	1	4	3	6
鈉	mg/L	NS	--	3	<3	<3	11

(1) 採樣日期: 07/16/01

(2) SFPUC 檢測 59 種 VOCs, 僅在 Cherry Res 檢出 1 μg/l 之甲苯及 12 μg/l 之 MTBE。

(3) 各 VOCs 之 MCL 各有不同值。

(4) 纖維長度 > 10 μm。

(5) NS: No Standard。

(6) NR: Not Required。

表十五 SFPUC 飲用水水質檢測報告 (1)

項目	單位	MCL	DLR	RL	Alameda East Treated	SVWTP Effluent Treated	GGPB Church Treated
<b>飲用水一級標準</b>							
有機物							
總三鹵甲烷	μg/L	100	0.5	0.5	39	37	14
甲基第三丁基醚	μg/L	13	3	0.5	<0.5	<0.5	<0.5
無機物							
鋁	μg/L	1000	50	5	41	88	10
銻	μg/L	6	6	5	<5	<5	<5
砷	μg/L	50	2	2	<2	<2	<2
銅	μg/L	1000	100	5	<5	53	130
鉍	μg/L	4	1	1	<1	<1	<1
鎳	μg/L	5	1	1	<1	<1	<1
鉻	μg/L	50	10	1	<1	<1	<1
氟	mg/l	2	0.1	0.1	<0.1	0.1	0.4
鉛	μg/L	15	5	2	<2	<2	<2
汞	μg/L	2	1	0.5	<0.5	<0.5	<0.5
鎳	μg/L	100	10	1	<1	<1	<1
硝酸鹽 (NO <sub>3</sub> )	mg/L	45	2	0.2	<0.2	<0.2	<0.2
亞硝酸鹽氮	mg/l	1	0.4	0.02	<0.02	<0.02	<0.02
硒	μg/L	50	5	5	<5	<5	<5
鉍	μg/L	2	1	1	<1	<1	<1
<b>二級污染物最大容許量</b>							
氯鹽	μg/L	500	--	3	<3	9	81
色度	單位	15	--	5	15	<5	50
銅	μg/L	1000	50	1	3	1	13
泡沫劑 (MBAS)	mg/L	0.5	--	0.1	<0.1	<0.1	<0.1
鐵	μg/L	300	100	10	28	<10	70
錳	μg/L	50	30	2	2	<2	170
臭度	TON	3	--	--	1	2	3
銀	μg/L	100	10	1	<1	<1	<1
比導電度	μ S/cm	1600	--	1	35	290	1200
硫酸鹽	mg/L	500	0.5	0.3	1	<0.3	150
總溶解固體	mg/L	1000	--	5	22	140	710
濁度	NTU	0.5/5 (2)	--	0.05	1	0.08	3
鋅	μg/L	5000	50	2	<2	<2	33
<b>附加檢驗項目</b>							
鹼度 (as CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	NS	--	3	14	110	390
鈣	mg/L	NS	--	1	4	29	76
硬度 (as CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	NS	--	1	8	110	390
鎂	mg/L	NS	--	0.5	<0.5	10	48
pH	--	NS	--	--	9.6	8.6	7.5
磷酸鹽	mg/L	NS	--	0.07	<0.07	<0.07	0.1
鉀	mg/L	NS	--	0.5	<0.5	1	3
矽	mg/L	NS	--	0.1	5	5	18
鈉	mg/L	NS	--	3	<3	19	130

(1) 採樣日期：07/16/01

(2) 過濾水 0.5 NTU，未過濾水 5.0 NTU。

(3) MCL = Maximum Contaminant Level for Drinking Water。

(4) LDR = Detection Limits for Purposes of Reporting (State)。

(5) RL = Lab Reporting Limit。

## 美國地質調查所國家水質實驗室

美國地質調查所 (United States Geological Survey, USGS) 於 1879 年經美國國會通過而設立，為美國內政部中之唯一科技門部。USGS 之職員包括科學家、技術人員及行政人員共約一萬人，分散在美國各州及部分外國地點之 400 個辦公室上班，其職責為研究及監測地球科學、生物資源、天然災害等課題，以建立正確且完整之資料庫，供決策者、科學家及廣大民眾所需。

在 1918 年到 1973 年間，USGS 在全美各地設有 22 所水質實驗室，以調查全國地表水與地下水之水質、水量。自 1972 年開始，USGS 將 22 所水質實驗室的主要工作與功能結合在 3 個中心實驗室。到 1986 年，又將這三個中心實驗室合併成為目前的國家水質實驗室 (National Water Quality Laboratory, NWQA)。

早期 NWQA 在丹佛市 Ward Road 租屋。數年前，開始在丹佛市之聯邦中心 (Denver Federal Center) 內興建自有之實驗室，並於 1999 年 6 月完工搬入。該實驗室是 21 世紀之世界級旗艦實驗室 (圖十)。NWQL 每年至少完成 3 萬件，150 多萬項次之樣品檢測。而去年 (2001 年) 更完成多達 6 萬件，230 萬項次之樣品檢測。主要樣品為水質，其他尚有底泥、魚體、植物等，目前亦將魚飼料列為分析對象。圖十一為有機實驗室一景，實驗室之氣體管線、排氣管線、電線等管路皆由天花板拉下。圖十二及圖十三為重金屬樣品儲藏室，可看出樣品量極為龐大，在 NWQL，一般重金屬樣品並不 4°C 冷藏。圖十四為器皿洗滌室，整排之自動洗瓶機以應付大量之實驗器皿。

由於水是珍貴之自然資源，它提供人類生活、洗滌、交通、娛樂、工業、科技等多重功能，故水質之良窳對每一個國家都有極深遠之意義。NWQL 之職責為提供正確、即時的水質、水量分析數據。而如何採得代表性樣品；採樣後，如何妥善保存樣品；如何獲得準確之檢測數據等等，都是 USGS NWQL 追求之目標。為達成此種目標，NWQL 具有以下之特質：

- 高品質之化學分析數據。
- 公正可靠之檢驗方法。
- 極低之檢測極限。
- 高產能。
- 底棲生物鑑定技術。

- 建立長期監測水質之品管制度。
- 專業團隊。

NWQL 建立之檢驗項目多達 600 多種，分為以下 4 類：

#### 1.有機項目

主要之檢測項目包括揮發性有機物、殺蟲劑、農藥、除草劑、含氯溶劑、鄰苯二甲酸酯等。檢測儀器為氣相層析儀、液相層析儀、質譜儀、碳分析儀等。

#### 2.無機項目

主要檢測項目為重金屬、陰陽離子、營養鹽及物理特性等。檢測儀器為原子吸收光譜儀、ICP/MS、離子層析儀、ICP 等。

#### 3.放射性化學

檢測項目為  $\alpha/\beta$  放射線及氡等。

#### 4.水棲無脊椎動物之鑑定與統計

為處理大量的檢測數據、建立完整之品管系統及資料庫，實驗室資訊化是必然之趨勢。NWQL 自搬入聯邦中心後，由 LIMS USA 購買商用實驗室資訊管理系統 (Commercial off-the-shelf Laboratory Information Management System) 使用，此軟體為 Star LIMS 第 7.0 版。NWQL 之所以選擇 Star LIMS，主要是因為它具彈性。Star LIMS 設計為三個層次，即資料庫層次 (data-base tier)、商用法則層次 (business rules tier) 及 Star LIMS 層次。NWQL 與賣方共同試用此一軟體，使其能符合實驗室之多樣化需求。NWQL 可自行更改或修正軟體功能，而賣方也能隨時提供最新版本軟體。

NWQL 之分析結果都存放於 USGS 之國家水質資訊系統 (National Water Information System, NWIS) 中。任何人皆可經由網路取得樣品採集時間、地點、成份濃度及所使用之分析方法等之資料。

為確保檢測數據之可信度，NWQL 參與了美國國內及國際間之績效評估測試研究，基質種類包括水質、底泥、水中生物等，檢測項目包括有機、無機、放射線等。參與之績效測試機構如下：

- USEPA。
- USGS 之品保系統科 (Branch of Quality Systems)。

- 加拿大國家研究院 (National Research Council of Canada)。
- 國家海洋及氣象局 (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)。
- 科羅拉多州州政府。

NWQL 於 2001 年 7 月接受科羅拉多州政府之飲用水查核，查核項目包括科羅拉多州法規規定之飲用水管制項目包括微量重金屬、硝酸鹽、亞硝酸鹽、殺蟲劑、除草劑、PAH、adipates、phthalates、VOCs、 $\alpha/\beta$  放附線物質等。

NWQL 另於 2001 年 8 月通過 NELAC 紐約州之查核，取得 100 多項飲用水水質項目之認證，包括 PAH、VOCs、OP、OC、Chlorophenoxy、除草劑、微量金屬、營養源、pH、 $\alpha/\beta$  放射線等。

雖然 NWQL 所使用之水質檢驗方法主要根據 USEPA 方法，但為了檢測樣品中「微量」或「極微量」之濃度，或環境中新生之污染項目，NWQL 亦自行開發 USGS 檢驗方法。USGS 檢驗方法有別於 USEPA 檢驗方法之處，為前處理之不同或檢測儀器之差別。茲舉二例說明 USGS 檢測方法如下：

#### 一、水中汞檢驗方法

1950 年代，日本熊本縣水俣灣發生「水俣病」事件，造成百多人死亡。之後，1960 年代，巴基斯坦、伊拉克、迦納等國亦發生汞中毒事件。這些環境污染問題，引發了全球環保人士對汞污染之重視。然而，雖然數十年來，人們已瞭解汞為重要之環境污染物，但直到 1980 年代晚期，科學家才能準確檢測出水體中汞之天然含量 (ppt 以下之濃度)，其主要原因為缺乏高精密度之分析儀器及難以克服之採樣與檢驗過程中之污染問題。

近年來，隨著高靈敏度檢驗方法之開發，環境中不同型態之汞已能分別被檢出。

USGS 於 2001 年發展出以原子螢光光譜儀分析極低濃度之汞之檢測方法。以下為 USGS 之四種汞分析方法：

##### 1. 總汞 (Hg T)

水中總汞檢測方法—氧化/吹氣捕捉/冷蒸氣原子螢光光譜法 (Determination of Total Mercury in Water by Oxidation, Purge and Trap, and Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry)，本方法之最低報告



極限為 0.04 ng/l。

## 2.反應性汞 (Hg R)

水中反應性汞檢驗方法—吹氣捕捉/冷蒸氣原子螢光光譜法 (Determination of Reactive Mercury in Water by Purge and Trap, and Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry)，本方法之最低報告極限為 0.04 ng/l。

## 3.溶解性氣態汞 (Hg O)

水中溶解性氣態汞檢驗方法—吹氣捕捉/冷蒸氣原子光光譜法 (Determination of Dissolved Gaseous Mercury in Water by Purge and Trap, and Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry)，本方法之最低報告極限為 0.005 ng/l。

## 4.甲基汞 (Me Hg)

水中甲基汞檢驗方法—蒸餾/乙基化/氣相層析分離/冷蒸氣原子螢光光譜法 (Determination of Methyl Mercury in Water by Distillation, Ethylation, Followed by Gas Chromatography Separation with Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry)。

此四種方法中，以甲基汞之分析最為繁瑣，該方法係由 USGS 之 Wisconsin 汞實驗室所開發。

茲簡要說明甲基汞分析方法如下：

### (一) 方法概要

水樣中加入 2.5 ml 氯化鉀、硫酸、硫酸銅之混合液，於 135°C 蒸餾，以去除干擾物。蒸餾液以醋酸緩衝液調整至 pH 為 4.9。繼之以四乙基硼酸鈉將樣品乙基化 15 分鐘，再以氮氣吹氣 20 分鐘，將吹出之甲基汞(MeHg)收集在 Carbotrap 捕捉管，加熱 Carbotrap，自 Carbotrap 脫附出來之各類汞物種，經氣相層析儀之 pyrolytic 管柱 (60°C) 分離後，以冷蒸氣原子螢光光譜儀分析。

### (二) 適用範圍

過濾或未過濾水中之甲基汞。最低報告極限 (minimum Reporting Limit) 為 0.025 ng/l。

### (三) 干擾

由於天然水中干擾物之影響，若直接將水樣乙基化，則水樣中只有反應性甲基汞 (reactive MeHg) 會被釋出。但反應性甲基汞只佔總甲基汞全量之 5-60%，故水樣需先蒸餾，以去除干擾物，再行乙基化，才能測得甲基汞總量。

### (四) 設備

- 1.偵測器：Tekran (Toronto, ON) Model 2500 CVAFS 汞偵測器附流量器。
- 2.HP 3395 積分器。
- 3.Carbotrap 捕捉管。
- 4.GC 分離管：內填 Chromosorb WAW-DMSC 60/80 mesh (Supelco 2-0152)，維持 60°C。

### (五) 試劑

本方法所有的試劑或試藥都必須是最高純度，且必須為低汞含量。

#### 1. 試劑水

>18 MW 之超純試劑水。經前淨化 (包括蒸餾、RO 等步驟) 之試劑水，再以 0.2  $\mu$ m 濾膜過濾。試劑水之產生器為 Millipore Academic Water Purification System。

#### 2. 硫酸

EM science trace pure H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 或同級品。

#### 3. 50 % 硫酸

在鐵氟瓶內倒入 50 ml 試劑水，再慢慢加入 50 ml 硫酸。

#### 4. 氯化鉀溶液

置 20 克氯化鉀於鐵氟龍定量瓶中，加試劑水稀釋至 100 ml。

#### 5. 硫酸銅溶液

置 25g 克硫酸銅於鐵氟龍定量瓶中，加試劑水稀釋至 100 ml，此溶液可貯存一年。

#### 6. 混合液

取 100ml 50% 硫酸、50 ml 氯化鉀溶液及 100 ml 硫酸銅溶液於鐵氟龍瓶混合均勻。此混合液可貯存一年。

## 7. 氫氣

5.0 級，在鋼瓶出口加裝一金珠圈套 (gold bead trap)，以除去氫氣中之汞。

## 8. 氫氣

5.0 級，在鋼瓶出口加裝一金珠圈套，以除去氫氣中之汞。

## 9. 醋酸緩衝液

取約 50 ml 試劑水及 11.8 ml 冰醋酸，置 100 ml A 級定量瓶中，加入 27.2 克醋酸鈉，以試劑水稀釋至刻度。將溶液貯放於 125 ml 之鐵氟龍瓶中，可長期保存。

## 10. 乙基化試劑

市售四乙基硼酸鈉 (Sodium Tetraethyl Borate NaBEt<sub>4</sub>) 每瓶 1 克，冷凍包裝。

在一個 125 ml 之鐵氟龍瓶中，置入 2 g 氫氧化鉀，加 100 ml 試劑水使之溶解，冷卻至 0°C。將四乙基硼酸鈉由冷凍庫取出，用水沖洗瓶身，打開蓋子，將約 5 ml 氫氧化鉀溶液倒入四乙基硼酸鈉瓶內，關緊蓋子，搖動使之溶解。將四乙基硼酸鈉溶液倒回 125 ml 鐵氟龍瓶中，搖動均勻。立刻將之分裝於 10 個 15 ml 之鐵氟龍瓶中，貼上標籤，註明配製日期，放冷凍庫，可長期保存。

## 11. 汞標準品

不管是新購標準品或自行配製之標準品，都要立即貼上試劑標籤並標明購買或配製日期。標準品不能放置於汞分析實驗室，以免造成污染。

## 12. 甲基汞儲備溶液

1000 mg/l MeHg-Hg，取約 750 ml 異丙醇，置 1000 ml A 級定量瓶中，加入 1.252 克試藥級氯化甲基汞 (methyl mercury chloride)，以異丙醇稀釋至刻度。本溶液置棕色瓶中，可長期保存。

## 13. 甲基汞中間儲備溶液

1000 ng/l MeHg-Hg。取約 50 ml 異丙醇，置 100 ml A 級定量

瓶中，加入 100  $\mu$ l 甲基汞儲備溶液，以異丙醇稀釋至刻度。  
此溶液置棕色瓶中，4°C 冷藏，可長期保存。

#### 14. 甲基汞標準溶液

1ng/l MeHg-Hg。取約 50 ml 試劑水，置 100 ml A 級定量瓶中，加入 100  $\mu$ l 中間儲備溶液，以試劑水稀釋至刻度。此標準溶液需以前次之標準溶液確認濃度，相差須在 5% 以內。此溶液置棕色瓶中，4°C 冷藏，可保存 6 個月。

#### (六) 採樣及保存

1. 樣品瓶為鐵氟龍材質。新樣品瓶在使用前，先以自來水沖洗，再泡浸在高純度之 65°C 4N 鹽酸中，至少 48 小時。樣品瓶由鹽酸槽取出後，立即泡浸在試劑水中。由試劑水中取出時，至少再以試劑水沖洗三次。然後，每瓶中裝四分之一滿之高純度 1% 鹽酸，加蓋。瓶子放無汞污染之 class 100 之層流 (laminar flow) 抽氣櫃中，當瓶之外壁自然風乾後，將樣品瓶以二層新的密保若密實袋裝好，外袋貼上標籤，註明清洗日期。若為使用過之鐵氟龍樣品瓶，其清洗程序中之泡浸鹽酸時間，可縮短為 24 小時。
2. 本方法為檢測極低濃度之甲基汞，故採樣時，要極力避免樣品遭受污染。
3. 樣品需冷凍保存，保存期限 6 個月

#### (七) 步驟

如方法概要及儀器操作步驟。

## 二、水中低濃度 MTBE、TAME、DIPE 及 ETBE 之檢測方法 (Method for Analysis of Small Concentration of Methyl tert-Butyl and other Ether Gasoline Oxygenates in Water)

為增加汽油辛烷值，以降低汽車之一氧化碳排放及減輕空氣中臭氧的濃度，汽油中被加入乙醚氧化劑，此四種汽油添加劑為：

- 甲基第三丁基醚 (Methyl tert-butyl ether, MTBE)。
- 甲基第三戊基醚 (Methyl tert-pentyl ethyl, TAME)。

- 二異丙基醚 (Di-isopropyl ethyl, DIPE)。

- 乙基第三丁基醚 (Ethyl tert-butyl ether, ETBE)。

本方法之分析儀器為吹氣捕捉/毛細管氣相層析/質譜儀，四種分析物之長期偵測極限 (Long Term MDL) 介於 15 至 83ng/l 之間，報告極限為長期方法偵測極限之兩倍。

美國在 1993 年至 1994 年間，調查 8 個都會區及 20 個農業區之淺層地下水中揮發性有機物，結果顯示 MTBE 是第二名最被常檢出的化合物。在 1991 年至 1995 年間，調查 16 個大都會區之雨水逕流中揮發性有機物，結果 MTBE 是第 7 名最常被檢出的化合物。

USGS 之國家水質實驗室為了執行「國家水質監測計畫 (National Water Quality Assessment Program NAWQA)」，自 1999 年開始，例行檢測水樣中之 MBTE，並自 1995 年開始，增加檢測 TAME、DIPE 及 ETBE 三種成分。以上四種物質在水中最被常檢出之頻率依序為 MTBE、TAME、DIPE 及 ETBE。

USGS 國家水質實驗室為檢測水中低濃度之四種汽油氧化劑，開發本方法，以下為本方法之簡要說明：

#### (一) 適用範圍

未過濾之地面水、地下水及飲用水。檢量線線性範圍為 100 ng/l 至 20000 ng/l，當水樣濃度超過 20000 ng/l，須經稀釋。

#### (二) 採樣及保存

依一般 VOC 之採樣規定進行採樣，水樣在採樣現場加入 1:1 之鹽酸，使 pH 小於 2，於 4°C 保存。依據 USEPA 之法規規定，保存期限為 14 天。但經 NWQL 驗證，地下水及地面水保存在 pH 2 及 4°C 之條件下，可存放 216 天。

表十六為國家水質實驗室地下水及地面水之保存期限驗證數據，保存條件為 pH 2 及 4°C 冷藏。每天每一樣品為 5 重複分析。所謂添加濃度 (spiked concentration) 是在地下水及地面水中添加四種氧化劑後，測得之水樣濃度，故此濃度為原水樣濃度加上添加濃度。將第 1 天之分析數據訂為 100，之後，各天之分析數據以 100 為根基，計算而得。由檢測結果可看出，回收率介於 94%至 115%，相對標準偏差介於 5%至 4%。故可確定樣品可保存至 216 天。

### (三) 設備

#### 1. 進樣及吹氣捕捉器

Archon 自動進樣器/Tekmar 3000 吹氣捕捉濃縮器或 Tekmar Aquatek 自動進樣器/Tekmar 2000 吹氣捕捉濃縮器。捕捉管內為 Carboxin B/Carboxin 1000 及 1001 填充劑 (Supelco, VOCARB 3000) 或同級品。

#### 2. 氣相層析儀

HP 5971 及 5972 質譜儀，使用 electron impact 方式離子化，由 41 amu 掃描至 300 amu。或 HP GC 5890 及 5990 具比室溫低之功能。

分離管柱：Megabore® 毛細管柱 (Rtx 624)，長 75m，內徑 0.53mm，膜厚 3  $\mu$ m 或同等品。

### (四) 步驟

#### 1. 空白樣品製備

將去離子水煮沸 1 小時，放冷，以高純度氮氣通氣 1 小時。

#### 2. 檢量線製備

取 4 種汽油氧化劑標準品及 1 種內標準品 (氟苯 Fluorobenzene)，配製成 5 至 9 點之不同濃度，濃度範圍由 100 ng/l 至 20000 ng/l，製成檢量線。

#### 3. 樣品分析

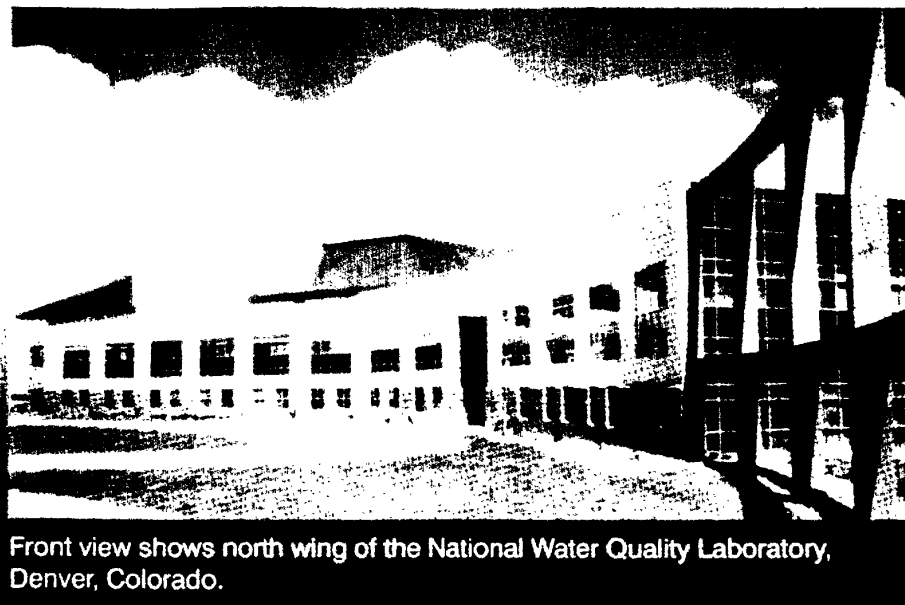
使用 Archon 自動進樣器，由樣品瓶中取出 25 ml 水樣，經傳輸管送至吹氣管中，1  $\mu$ l 之內標準品於此時亦自動加入吹氣管中。以氮氣吹氣 11 分鐘，流速為 40 ml/分鐘。化合物在常溫被捕捉管捕捉後，除水吹氣 (dry purge) 2 分鐘，以除去多餘水分。加熱吸附管至 250°C 4 分鐘，以使氣體脫附進入 GC。在氣體進入 GC 前，GC 溫度降至 -20°C。之後之層析升溫程式為：維持 -20°C 1 分鐘，再以每分鐘 20°C 升溫至 20°C，之後以每分鐘 5°C 升溫至 160°C，最後以每分鐘 10°C 升溫至 200°C，並維持 5 分鐘。

表十六 水中汽油添加劑保存期限分析數據

化合物	添加濃度 (ng/L)	Day 1	Day 14	Day 28	Day 37	Day 47	Day 56	Day 112	Day 156	Day 216
<b>地下水</b>										
MTBE	640	100	103	94	105	106	107	106	99	94
TAME	579	100	103	92	102	103	105	109	100	96
DIPE	609	100	99	92	102	103	112	116	102	101
ETBE	580	100	103	92	103	104	107	118	100	107
<b>表水地</b>										
MTBE	2100	100	109	99	110	111	117	111	93	98
TAME	568	100	107	97	106	107	113	117	96	103
DIPE	604	100	99	93	104	104	120	122	106	109
ETBE	561	100	107	96	107	108	115	126	97	115

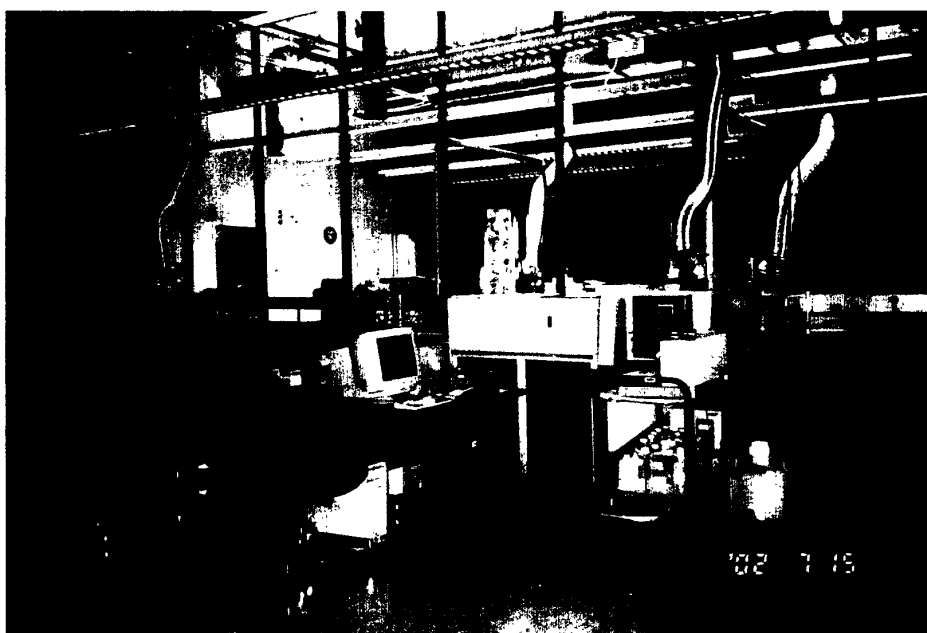
註：吹氣捕捉裝置為 Tekmar 2000

除檢驗業務外，安衛環保亦是重要之實驗室管理課題。NWQL 之安衛環保小組共有五人，負責所有實驗氣體供應、簡易廢水處理、廢液及有害廢棄物收集、洗眼器及緊急沐浴設備檢查（每半年一次）、廢氣處理、MADS 及實驗安全器材供應等。廢氣處理分有機廢氣、酸性廢氣及汞廢氣三個系統。實驗室分析用氣體除氮氣鋼瓶置於實驗室走道（圖十五），其他氣體皆由中央氣體室供應，中央氣體室分隔為二間，一間存放爆炸性氣體，其牆壁及天花板皆為防爆材質，一間存放普通氣體；另外，在建築物外之空地上，有二大桶液態氣體，一為液態氮，一為液態氬。廢液在各實驗室分別收集後（圖十六），再依一般廢液及有害廢液分開存放（圖十七及圖十八）後，交專業處理公司處理，由圖十七及圖十八可看出一般及有害廢液存放室皆設有抽氣設備。



Front view shows north wing of the National Water Quality Laboratory, Denver, Colorado.

圖十 USGSNWQA 外觀

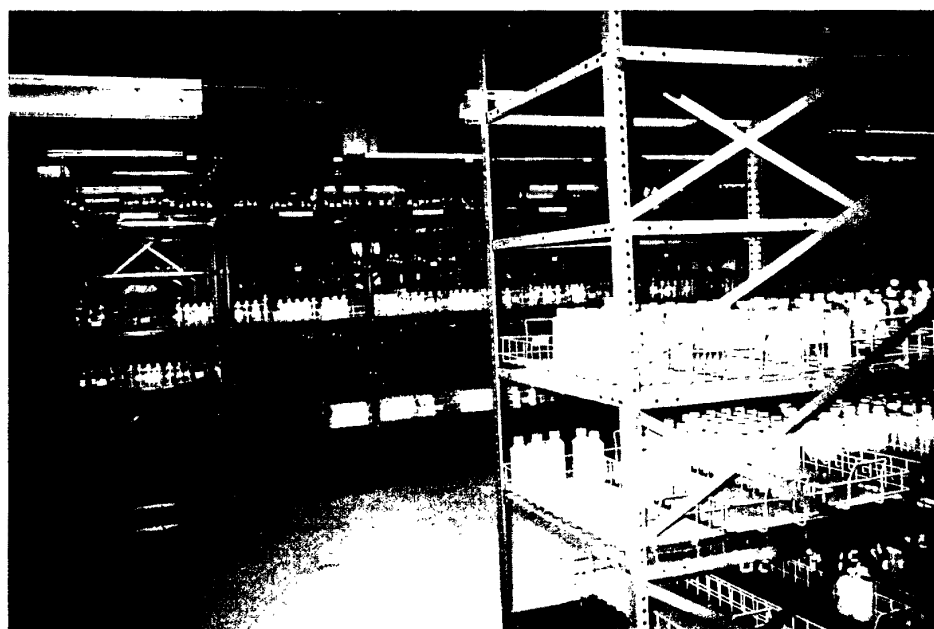


圖十一 有機實驗室一景

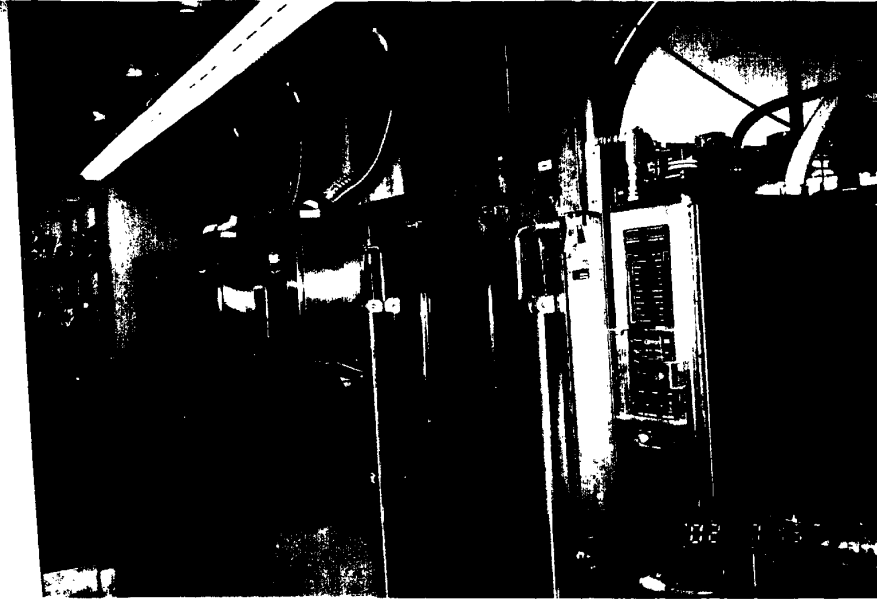




圖十二 重金屬水樣貯藏室



圖十三 重金屬水樣貯藏室



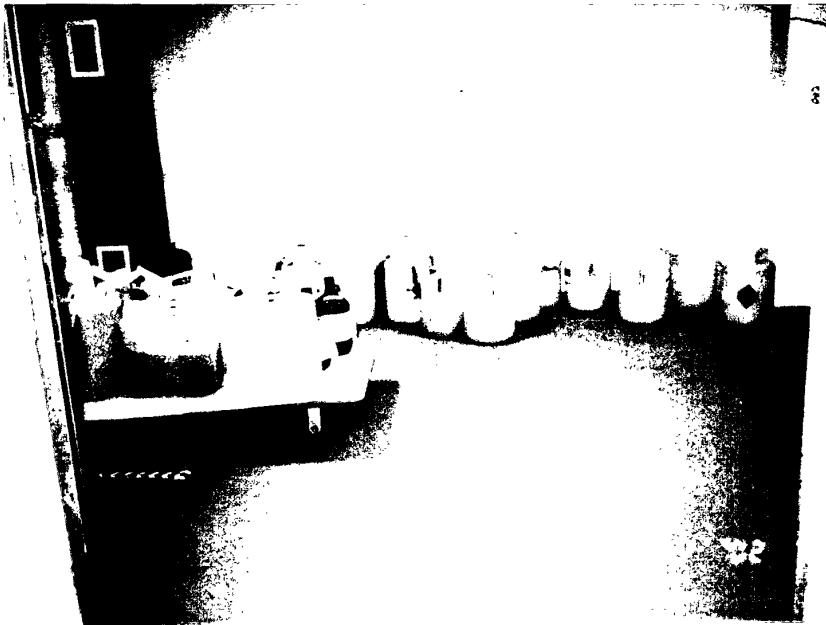
圖十四 器皿洗滌室



圖十五 實驗室走道上之氮氣鋼瓶及氣體管線



圖十六 實驗室之廢液收集桶



圖十七 廢液集中存放區



圖十八 有害廢棄物存放室

## Geoprobe Systems 採樣設備公司

Geoprobe Systems 位於堪薩斯州 Salina 市，Salina 雖位處美國中心位置，唯人口僅 4 萬人，空中交通頗不方便，每天僅有二班 20 人座螺旋槳小飛機往返堪薩斯市，且不是直達飛機，中間還停靠一站。但由於是小鎮，所以更感 Geoprobe 人員之熱忱。

Geoprobe 原為農具製造公司，應客戶要求，為客戶製造了該公司之第一套土壤採樣設備。之後，陸續有客戶要求代為製造地下水或土壤採樣設備，慢慢發展為今日之極具規模之直接貫入式地下採樣設備製造公司。Geoprobe 職員共約一百人，產品除在美國佔極大之市場外，亦外銷至歐州及亞州之日本、韓國及台灣等地。

在 Geoprobe 參觀期間，由該公司之出口部經理 Greg B. Johnson 及環境地質師 Wesley McCall 兩人指導及實際操作地下水監測井設置、地下水採樣、土壤採樣、土壤氣體採樣及間隙水導電度測定等項目。

McCall 先生在大學及研究所主修地質學，擁有堪薩斯州之地質師執照、堪薩斯州及密蘇里州之鑽探執照，他對直接貫入法有 10 年以上之研究，經常受邀演講或指導直接貫入採樣方法，包括 USEPA 舉辦之國內或國際研討會。McCall 亦參與 ASTM D18 委員會，制訂有關地下水及土壤之直接貫入採樣方法。同時，他亦與堪薩斯州地質調查協會會員共同研發了「猛擊方法 (Slug test)」以測定土壤間隙水電導度。該方法除測定地下水流速外，若欲測定地下水流向，可在所欲測定之場址設置三口監測井，形成三角形，每口井相距至少 10 公尺以上，利用 K 係數，即可得知地下水流向。

Geoprobe 之產品為各種不同馬力之鑽機，配合鑽桿、鑽頭、套管、內延長桿等以進行採樣。直接貫入採樣法具快速、方便、不會坍塌、不需鑽液等之好處，譬如該公司 1998 年問世之 Geoprobe's 66DT，即為代表性之鑽機，該鑽機由於具操作簡單、安全、高效率之特性，很快成為極受歡迎之產品，並贏得 2000 年美國國家地下水協會 (National Ground Water Association) 之儀器設計獎。

Geoprobe's 66DT 鑽機之功能包括：

### 1. 地下水採樣

設置臨時性之地下水井，以供採樣，待採樣完畢，即將井拆除。

## 2.地下水監測井設置

鑿井方式與設置臨時性地下水井同，唯地下水監測井為長期監測用，故鑿井後，井管與孔壁間之環狀空隙需填入濾砂料、細砂、皂土、水泥漿等，並將井管頂部裝置頂蓋，做為保護。

## 3.土壤採樣

以直接貫性方式採取土樣，不擾動土壤，可採得預定深度之土樣。

## 4.土壤氣體採樣

以直接貫入方式將底部嵌有拋棄式鑽頭之中空鑽桿，打入預定深度後，將鑽桿略拉起，使土壤氣體得以進入鑽桿內。將空氣採樣管與鑽桿底部相連，灌入玻璃砂、取出鑽桿，在地面上留下適當長度之採樣管，採樣管接空氣採樣設備如 Tedlar Bag、固體吸附管、不銹鋼筒等，即可進行採樣。露出地面之採樣管可加不銹鋼保護管，以便後續之採樣工作。此土壤氣體採樣井可使用一年。

## 5.土壤間隙水電導度測度

所謂土壤間隙水電導度 (Hydraulic Conductivity, K) 是指地下水流經土壤之穿透速率之一種係數。測定 K 值之目的有二，一是為了解地下水層是否為活水，是否能使地下水井產生足夠之水量，一是為了解污染場址之污染物何時會到達飲用水井。此理論應用在 ASTM 1739 方法中，以評定污染場址整治行動之潛在風險。另外，間隙水電導度亦是地下水整治之重要參考因子。間隙水電度之測定方法稱為「Slug test」。

Geoprobe 公司除製造採樣機具外，亦協助 ASTM 訂定土壤、地下水直接貫入採樣方法，如 Annual Book of ASTM Standards 2002, Section 4, Volume 04.09 之「D6001 直接貫入地下水調查採樣方法指引 (Guide for Direct-Push Water Sampling for Geoenvironmental Investigations)」、「D6282 直接貫入場址特性土壤採樣指引 (Standard Guide for Direct Push Soil Sampling for Environmental Site Characterizations)」兩種方法，即為 Wesley McCall 所撰寫。一般而言，檢驗方法草案送至 ASTM 後，需經 1 至 6 年之審查等行政作業，才會公告為標準方法。

ASTM (American Society for Testing and Materials) 成立於 1898 年，目前已

是世界上最大的標準方法志願組織，該組織有 130 位標準方法撰寫委員，3 萬位義工，每年出版至少 11000 種標準方法。

ASTM 之相關土壤、地下水採樣方法尚有：

#### 一、地下水採樣及現場監測方法

- D1498-76 地下水氧化還原電位檢測  
Practice of Oxidation-Reduction Potential of Water
- D4448 地下水監測井採樣指引  
Guide for Sampling Ground Water Monitoring Wells
- D5092 地下水監測井之設計及設置  
Design and Installation of Ground Water Monitoring Wells in Aquifers
- D5521 礫石水層之監測井完井指引  
Guide for Development of Ground Water Monitoring Wells in Granular Aquifers
- D5979 地下水系統之概念及特性指引  
Guide for conceptualization and Characterization of Ground Water Systems
- D6089 地下水採樣工作紀錄指引  
Guide for Documenting a Ground Water Sampling Event

#### 二、土壤氣體採樣

- D5314 不飽合層土壤氣體採樣指引  
Guide for Soil Gas Monitoring in the Vadose Zone

#### 三、去污方法

- D5088-90 非放射性廢棄物場址現場採樣設備除污實務  
Practice for Decontamination of Field Equipment Used at Nonradioactive Waste Sites
- D5608 低污染放射性廢棄物場址現場採樣設備除污實務  
Practice for Decontamination of Field Equipment Used at Low Level Radioactive Waste Sites

#### 四、石油洩漏場址應對方法

- E1739 風險基準之石油洩漏場址整治方法  
Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at  
Petroleum Release Sites
- E1912 石油洩漏場址特性之加速確定方法  
Standard Guide for Accelerated Site Characterization for  
Confirmed or Suspected Petroleum Releases



## 馬利蘭州環境局地下水注入管制科

馬利蘭州土地面積與台灣相當，人口五百多萬，其中 430 萬人口使用公共飲水系統，90 萬人口飲用私有水源系統。所謂公共飲水系統係指至少提供 25 人之飲用水系統，可能是提供一個家庭或公司或數個家庭。若少於 25 人，則視為私有飲水系統，其水源一般為一口井，由地方政府管理。私有地下水水井在建造完成後，須先檢測水質，確定符合聯邦及州之飲用水水質標準後，才能飲用。此外，地下水井在使用時，必須確定不會造成地下水源污染。

淺層地下水是最容易取得但最容易被污染之水源。此外，淺層地下水還具有補足湖泊、河流、溪水水量之功能，尤其在乾季，所以事實上，淺層地下水提供了美國公共用水系統 92 % 之水量。環保署為保護民眾之飲用水安全，乃制訂了地下水注入管制 (Underground Injection Control, UIC) 計畫。環保署將地下水注入井分為五種等級。具相似功能、構造及操作之注入井歸為同一級。

一級井：將有害或無害液體注入飲用水水源以下之絕緣層中。因為此類可能注入有害廢液，故不但需申請許可且管理最嚴。

二級井：注入鹽水或含油脂、氣體之液體，需申請許可。

三級井：注入礦業之無機液體，需申請許可。

四級井：注入有害或放射性廢液。但除非是為了地下水整治工程，否則此類注入是被禁止的。

五級井：非屬第一級至第四級之注入井，都屬五級井。一般之五級井地下水注入是將無害液體直接或間接經由地面或水槽排水口注入地下、乾井或污水井中。

廢水若要排入地面水體，需先經處理，處理費用經常都是極為昂貴。故農業、化學工業、石油工業等，皆以地下水注入方法處理其廢液。地下水注入是將液體經由井或其他傳輸系統注入地表下之岩石或土壤孔隙間。注入方式包括利用重力或馬達。液體種類包括水、廢水、含化學成分之溶液等。在美國有超過 40 萬個地下水注入井。

馬里蘭州地下水注入管制科之工作項目包括：

- 核發全州之地下水注入許可證（家庭污水和工業廢水）
- 檢查員到全州各地稽查不合法之地下水注入井（五級井），如果找到非法注入點，需採取適當的對策（關掉井或申請許可證）
- 地質學家至全州各地評估土壤性質是否適合用來作為地下注入系統
- 於民眾申請許可證時，審核顧問公司所準備之地質水文報告

MDE 地下水注入管制科有二位稽查員，其人事費每年美金 12 萬元，由環保署補助。該二位稽查員每年檢查 300 多處可能有非法排放之五級地下水注入井，其工作目標是希望能找出 10 %之非法排放場所，發給違規通知（Notice Of Violation, NOV），接獲 NOV 者，有二種措施可選擇：（1）封住排放洞口（2）申請許可。若選擇封住排放洞口，則完工後，須函知 MDE，並附上相片，稽查員會擇期前往複查。

## 參、心得與建議

- 一、位於丹佛之 USGSNWQL 為近年來建造完成之旗艦實驗室，其軟體規劃（如實驗室空間設計、實驗室與辦公室之動線、LIMS 等）及硬體設施（如廢水及廢氣處理系統、氣體供應系統、器皿洗滌及烘烤設備、門禁、管線配製等）都極完善，且對參觀人士亦相當友善、熱心。國內相關檢測機構在規劃興建大型實驗室時，頗值得前往參觀、學習。
- 二、雖然各實驗室皆稱其 MDL 之建立係依照 USEPA 之規定，但顯然各家做法仍有不同。Calscience 在其 SOP 中規定 MDL 之 7 重複分析需為連續數據，而 DTSC 之 7 組數據則分數天完成。USGS 所執行的 MDL 為長期方法偵測極限（Long Term MDL），其方法是每次檢測時，加入一個預估 MDL 值之 1-5 倍數值之添加濃度水樣，約半年至一年時間，累積 24 至 30 個數據，求出 LT MDL。但不管使用何種方法建立 MDL，仍須以 MDL 之某一倍數值作為報告極限。
- 三、地下水污染案件中，石油洩漏佔極大比例。然而石油洩漏之主要成分如 TPH-g、TPH-d、MTBE、二甲苯、乙苯皆未規範在我國地下水污染管制項目內。將來在檢討地下水污染物之管制項目時，可考慮將之列入。
- 四、雨水逕流之污染量至少佔水體污染量之三分之一，美國環保署已推動非點源污染管制，各州環保局亦加緊執法中，此應是我國水污染防治工作值得借鏡之處。另外，地下水注入所造成之污染量看似微小，但日積月累，能將引起大危機，應提早防範。
- 五、美國環保署規定地下水水樣之濁度應小於 5 NTU（小於 5NTU 之水樣，外觀為澄清），否則監測井應再擴井（redeveloped）或應降低採樣速率。我國地下水水樣大多不測濁度，如此將影響檢測結果之正確性。
- 六、分析超微量污染物時，要特別注重干擾與污染之問題。干擾主要來自樣品基質，一般可由前處理去除。污染則來自採樣器材、樣品瓶、定量瓶、試劑、試劑水、實驗室環境等。所謂超微量分析，USGSNWQL 界定為 ppt 級或更低之濃度，其實驗室環境需求有時需為無塵室。有關 USGSNWQL 之微量分析相關規定，請參閱本文內之汞分析說明。

七、早年之地下貯槽材質較不堅固，且無洩露之偵測設備，故不但較易發生洩露，且洩漏時又無法及時查知，等發現土壤或地下水遭受污染時，狀況已非常嚴重。近年來，材料科學不斷進步，檢測方法及偵測儀器一再改進，污染防制法規也愈趨完整，期盼新建的地下貯槽不再發生洩漏事故。

## 肆、致謝

感謝成大環工所林財富教授協助聯絡參訪機構，L.A.水質管制處許希聖先生、USGS 邱成財博士、SFPUC Cindy Wong 博士、馬利蘭州環境局田慶宗博士協助安排參訪事宜及代訂旅館，各參訪機構人員熱心講解及提供資料，使本計畫得以順利完成。另外，也要感謝本所長官之支持及人事行政局提供出國研修機會。