



行政院環境保護署

110 年度土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案

應用可再生型吸附顆粒(RAP) 搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS) 去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水

期末報告（定稿）

主辦單位：  行政院環境保護署
專案執行單位： 國立陽明交通大學
專案主持人： 周珊珊 計畫專業執行長
專案執行期間： 110 年 03 月 19 日起至
111 年 02 月 28 日止

中 華 民 國 111 年 03 月 印製



專案基本資料表

專案性質		☐ 實驗性質 ☒ 非實驗性質		專案類別(單選)		☐ 研究型 ☒ 模場型	
研究主題		☐ 調查 ☒ 整治 ☐ 其他					
申請機構系所		國立陽明交通大學 環境科技及智慧系統研究中心					
機構地址		新竹市東區博愛街75號實驗一館3樓					
專案主持人		周珊珊		職等 / 職稱		執行長	
協同主持人		陳銘健		職等 / 職稱		捷力英環境有限公司/總經理	
		李鴻志				中油公司石化事業部林園廠/經理	
專案名稱	中文	應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水					
	英文	Combination of regenerative adsorption particles (RAP) and hydraulic circulation flushing soil remediation system (HFS) for the remediation of contaminated soil and groundwater					
	關鍵字	可再生型吸附顆粒、多介質水力沖洗循環系統、油品污染、土壤、地下水 RAP、HFS、LNAPL、Soil、Groundwater					
執行期程		自民國110年03月19日起 至民國111年02月28日止					
專案主持人		姓名：周珊珊		Email: shanshan_chou@nctu.edu.tw		專線：03-5712121#55553 手機：0937-154-623	
專案兼任人員		姓名：賴怡芬		Email: fanna0518@gmail.com		專線：03-5712121#55576 手機：0978-672-738	
經費分析總表 (僅模場試驗專案需填寫兩年度金額)		專案預估經費		第一年金額	第二年金額	編列說明	
		1.	人事費用	1,011,108	1,023,000	(1~5項相加之50%為限)	
		2.	貴重儀器使用含維護費	45,000	50,000	(與計畫實驗相關)	
		3.	消耗性器材與主要費用	1,882,532	1,771,000	(與計畫主體相關)	
		4.	其它研究相關費用	52,540	145,080	(含差旅與租賃費用)	
		5.	雜支費用	26,900	29,000	(1~6項相加之5%為限)	
		6.	行政管理費	301,808	301,808	(1~5項相加之10%為限)	
		7.	自籌款	300,000	200,000	(自行籌備款項)	
		申請補助金額(1~6項)		3,319,888	3,319,888	總金額：6,639,776	
計畫總金額(1~7項)		3,619,888	3,519,888	總金額：7,139,776			

專案主持人(簽名及蓋章)：

日期：111.02.17

校長林奇宏



行政院環境保護署「土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案」

□申請計畫書 □期中報告

□修正計畫書 ■期末報告

審查意見回覆對照表

計畫年度	110 年度	計畫類型	□研究型 ■模場型
計畫類別	■整治 □調查 □其它	主持人：周珊珊	NO：A10
計畫名稱	應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水		
委員審查意見		計畫單位回覆	
張尊國委員		1. 謝謝委員意見，本模場整治井口徑為 16 吋，土壤及地下水監測範圍約 960 平方公尺 (L48×W20 公尺)，對應中油林園廠(污染面積 123,606 平方公尺)為一極小區域，模場自 110 年 8 月運作迄今，場址地下水污染受到水力循環系統影響，地下水總石油碳氫化合物濃度雖有明顯上下起伏，亦有平緩下降趨勢，希望藉由小範圍模場試驗結果，協助加速場址其他區域改善。 2. 謝謝委員意見，本計畫目前是以模場附近土壤及地下水定期監測數據觀察污染物移除成效，另針對污染移除量之量測及紀錄，將研議是否有可行之方式，若有將納入第 2 年規劃執行。	
曾昭衡委員		1. 模場的實驗結果，地下水監測結果只呈現污染物濃度上下起伏，未見固定趨勢。土壤採樣僅 3 點，初步顯示污染物聚集至系統周圍，但未見汙染物總量是否下降。尾氣監測未列出固定床進口之濃度，無法確認 VOC 被氣提的量。以上皆無法明確判斷整治之成效。 2. VOC 氣相吸附實驗得到 RAP 不斷以氧氣催化氧化方式來分解甲苯，以致無法達到吸附飽和的結論有待商榷。無法達到吸附飽和與實驗所使用的活性碳量有很大關係，有可能是使用活性碳量太多，以致 250 ppm 的甲苯在 8 小時之內仍無法貫穿。應比較有貴金屬改質及無貴金屬改質之原活性碳，在同樣氧氣的情況下之飽和吸附量差異，才能確認貴金屬的氧氣催化能力。	
		1. 謝謝委員意見，模場自 110 年 8 月運作迄今約半年，地下水總石油碳氫化合物濃度雖有明顯上下起伏，亦有平緩下降趨勢，第 2 年將持續每月監測；至於尾氣監測，礙於運作初期未監測進口濃度，已規劃於第 2 年同時監測進口及出口濃度，以確認 VOC 去除成效。 2. 謝謝委員意見，第二年 VOC 氣相吸附實驗會再針對吸附時間、濕度、溫度等實驗參數進行實驗以確認 RAP 效能，並比較有無批覆貴金屬對於整體吸附或催化氧化之效能差異。 3. 謝謝委員意見，統計兩年模場計畫試驗 HFS 系統及 RAP 費用約在 350~450 萬，包括 HFS 設置費、RAP 材料費、周邊配置設施等，佔本計畫兩年材料費約 80% (另部分自籌款)，但由於每個污染場址特性的不同，因此在費用估算會再依據不同水文地質情況進行調整；另外，也會依據每個場址所能提供的供電、用水與工安要求，因此在相關系統配置上往往	



應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水審

3. 模場實驗專案宜提供成本分析供後續應用參考，特別是已經完成硬體設置且有初步成果，但期末報告無任何成本資料。宜補充未來應用時，單位面積需用的合理設備，人力，分析，耗材等，估算符合實際應用情境的成本分析。	會增加所需的費用，如系統防爆與非防爆就增加 40~60 萬的成本。
李育明委員 1. 請補充說明何以吸附顆粒需覆蓋貴金屬?為何強調「可再生」? 2. 第一年度計畫 RAP 另用於「廢氣」處理，請釐清可否改搭配其他廢氣處理技術?第二年度則規劃另外設置放置 RAP 之「監測井」，該項技術組合應如何稱之?置入 RAP 之「監測井」是否應改稱「整治井」?	1. 本計畫所使用之可再生型吸附顆粒(RAP)是以顆粒活性碳為基底，以界面活性劑讓金屬可以均勻批覆在活性碳表面，除保有活性碳原本吸附的功能，所批覆之金屬則有氧化的效果，加上氧化劑後能夠提高金屬價進而氧化被吸附的污染物。而 RAP 批覆之 3 種金屬，其一為貴金屬鈦，為所有貴金屬中較便宜的一種，但其氧化能力更勝於臭氧及氫氧自由基；一般整治用活性碳吸附污染物達飽和後則變廢棄物需要清運和置換，為整治場址中主要的維運成本之一。本計畫使用 RAP 原因為取代傳統活性碳，因批覆於表面之金屬除可直接氧化部分污染物外，當吸附飽和後可以透過添加氧化劑來提高金屬價態進而氧化已吸附之污染物，達到材料可再生效果。 2. 謝謝委員意見，由於 RAP 係本計畫主要試驗技術，因此目前不考慮搭配其他廢氣處理技術。另第 2 年規劃放置 RAP 於「整治井」係 RAP 技術之應用之一，並未特別命名，另置入 RAP 之「監測井」名稱將改為「整治井」。
鄭明典委員 1. RAP+HFS 組合很合理，期末報告進度符合，數據正面，可持續進行。	1. 謝謝委員意見
鄒燦陽委員 1. 計畫摘要中、英文請補關鍵字。 2. 期末報告請依署規定格式編寫。 3. P.93 於建議中，有建議增加水溫層增溫且控制在 40-50° C，加熱之動力來源為何，如何降低實作之成本?另鼓風機之增加亦是?是否可以太陽能取代? 4. 成本效益分析亦請於第二年執行後提出。	1. 已於期末報告定稿修正。 2. 已於期末報告定稿修正。 3. 謝謝委員意見，目前規劃水層增溫系統之電力來源為現場提供，目前系統在 110 年 8 月運轉後，以每日 24 小時方式運轉，後續若地下水監測結果，污染濃度有明顯下降情形，可調整每日運轉時為 8 小時，即可降低實作之成本。 4. 謝謝委員意見，成本效益分析會統整於第二年期末報告呈現。



110 年度專案成果績效自評表

1. 專案基本資料

填表日期：111年01月03日

專案性質	☐ 實驗性質 ☒ 非實驗性質	專案類別	☐ 研究型 ☒ 模場型
研究主題	☒ 整治 ☐ 調查 ☐ 其他		
申請機構系所	國立陽明交通大學 環境科技及智慧系統研究中心	專案主持人	周珊珊
專案名稱	應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受LNAPL 污染之土壤及地下水		
專案執行期程	☐ 申請階段 ☐ 期中 ☒ 期末		

2. 成果績效自評

「計畫總預估數」應與計畫審查核定值相符，請執行單位依實際達成之量化成果填寫於欄位中。

(一) 學術面

項目 \ 目標達成程度			申請 預估數	期中 達成數	期末 達成數	結案後半年 達成率	備註 (說明未達成 原因或學術產 出發表名稱)
A 學 術 產 出 及 活 動	1.國內投稿 (篇數)	(1)論文	1	1	1		
		(2)研討會論文	1	0	1		
	2.國外投稿 (篇數)	(1)期刊論文					
		(2)研討會論文					
	3.報告 (篇數)	(1)技術報告	1	0	1		
		(2)研究報告					
	4.專著 (本數)						
	5.辦理學術 會議(場數)	(1)研討/說明會					
		(2)成果發表會					
		(3)論壇					
6.研發改良 技術(項數)	(1)已開發技術						
	(2)技術平台						
B 人 才 培 育	7.研發人員 (人數)	(1)碩士	2	0	2		
		(2)博士					
	8.研究團隊 (個數)	(1)跨領域團隊	2	2	2		
		(2)跨機構團隊					
		(3)形成研究中 心					
		(4)形成實驗室					
9.其他指標 (請自行命名)		(請自填)					



應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水

(二) 產業面

目標達成程度				申請 預估數	期中 達成數	期末 達成數	結案後半年 達成率	備註 (說明未達成原因 或專利、技術轉移 相關詳細資料)
項目								
A 智慧財產權	1.專利 (件數)	已核准	發明					
			新型/設計					
			合計					
		申請中	發明	0	0	1		
			新型/設計	1	0	0		
			合計	1	0	1		
B 研發技術轉移	2.先期技術 成果移轉	件數						
		授權金(仟元)						
		衍生利益金(仟元)						
	3.技術移轉 (專利)	件數						
		授權金(仟元)						
		衍生利益金(仟元)						
	4.技術移轉 (應用技術)	件數						
		授權金(仟元)						
		衍生利益金(仟元)						
	5.可移轉 產業技術	(1)技術(件數)						
		(2)品種/系(件數)						
C 產學研合作	6.促成合作 研究	件數						
		金額(仟元)						
	7.促成投資	件數						
		投資金額(仟元)						
	8.促成取得 業界科專	件數						
		業界投資金額(仟元)						
9.其他指標 (請自行命名)		(請自填)						



(三) 政策面

項目		目標達成程度	申請預估數	期中達成數	期末達成數	結案後半年達成率	備註 (說明未達成原因或其他詳細資料)
A 服務 便民	1.技術服務	次數	1	1	1		
		收入(仟元)	50	50	50		
	2.諮詢服務	次數					
		收入(仟元)					
B 支 援 合 作	3.協助政府制定 (件數)	(1)政策					
		(2)法規					
		(3)規範					
		(4)標準					
C 技 術 效 益	4.整治技術提升(%)		10	0	10		
	5.政治成本降低(%)		10	0	10		
	6.提升能源效率(%)		10	0	10		
8.其他指標 (請自行命名)		(請自填)					



應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水

3. 請依前述學術面、產業面、政策面等預期量化成果，具體敘明研究成果對本署政策推動之助益。(200 字為限)

學術面(如國內外研討會、期刊投稿件數、或人才培育碩博士生說明)

1. 國內期刊論文

周珊珊、賴怡芬、許東鈞(110年9月出刊)。油品污染場址之新穎綠色整治材料與系統介紹。環保署環訓所環境教育及訓練電子報/環保技術新知。

2. 國內研討會(簡報發表)

周珊珊(110年4月26日)。工業廢水新興處理與回收技術。觀音工業區講習會-廠區污水處理淨化與水回收再利用技術推廣。

3. 國內研討會論文發表

賴怡芬、周珊珊、黃志彬(110年12月2日)。催化氧化型活性碳於廢水及地下水之應用。台灣水務產業發展協會/水務新秀發表會

本模場型研究係以一新型材料可再生型吸附顆粒(RAP)搭配一團隊自有專利程序多介質水力沖洗循環系統(HFS)，組成一創新土壤及地下水整治程序，並對中油林園廠受 LNAPL 污染場址進行模場型整治測試。HFS 程序過去已在國內有多起成功整治 DNAPL 污染場址案例，技術成熟，已具備基礎技術能量，應該再針對 LNAPL 污染特性略作調整即可應用。本研究整合 RAP 與 HFS 技術成創新系統，預期培育 2 位碩士學生，截至第一年計畫結束，共 2 位碩士班學生畢業；截至期末前已發表 1 篇國內期刊論文、1 篇國內研討會論文、1 篇技術報告。

產業面(如合作研發產業、申請專利、洽談技術移轉廠商件數說明)

專利申請

觸媒及其應用(申請中)。

關於一種觸媒以及使用該觸媒於處理揮發性有機物或氨氮廢水。

政策面(如整治費用降低、特定污染物整治效益提升、或提供政府作為監測/管制標準、污染查核、場址管理等政策及法規研訂之參考)

HFS 程序本身不需化學藥劑、整治時程短，影響半徑大，污染整治效能高，且現地進行地下水抽除與回注可避免二次污染及額外處理成本，而 RAP 具高污染物吸附效能、可再生重複使用，除可降低材料成本，為一環境友善「綠色材料」。綜整而言，此計畫將二本土技術結合使用成為「綠色材料模場試驗」，可大幅減少整治經費、縮短整治時程，以達到循環整治土壤及復育地下水。有機會讓署內成功輔導一創新技術外，達到扶助土水污染整治產業，以及協助污染場址大幅降低整治成本和時間的三贏成果。



計畫摘要

輸油管線和加油站與油槽的洩漏是常見的油品污染土壤與地下水污染源。本計畫係採用兩種不同領域的高端處理技術，來處理輕質非水相溶液非水相液體(light non-aqueous phase liquid, LNAPL)污染物，兩種技術分別為可再生型吸附顆粒(Regenerative Adsorption Particles，簡稱 RAP)與多介質水力沖洗循環系統(Hydraulic circulation Flushing Soil remediation System，簡稱 HFS)。其中 RAP 係以活性碳為基底，覆蓋貴金屬成分，具有極佳的吸附與氧化還原特性，且可再生循環使用，可處理水中有機物和 VOC；HFS 系統設計構想係依據油類污染物特性，於現地藉由系統循環抽除、淋洗並結合霧化及曝氣原理，以同時去除土壤及地下水中氣相、浮油相及溶解相之污染物。結合 RAP 及 HFS 技術於現地設置處理時，應可對於現地高濃度之 LNAPL 污染物將有明顯之移除效果，而使整治效率有效提升。

本計畫模場設置區為台灣中油股份有限公司石化事業部林園石化廠「100 油槽區」儲槽 LY-109 南側，本場址之土壤污染物與地下水污染物均為苯、甲苯及總石油碳氫化合物(TPH)。計畫初期在模場區先進行土壤及地下水調查以確認背景濃度，土壤背景調查引用「中油林園廠」107 年之檢測結果-3 採樣點 TPH 皆超過土壤污染管制標準(1,000 mg/kg)；地下水背景調查則於今年 4 月底進行採樣，檢測結果 3 口井除 TPH 項目超過第二類地下水污染管制標準(10 mg/L)外，其餘項目皆低於定量下限值。

模場 HFS 整治井及相關系統在配合安裝防爆型電控設備後，已於 110 年 08 月 12 日正式試運轉，本計畫之模場試驗分為兩階段，第一年將 RAP 放置於 HFS 系統之地表上，RAP 於地表上主要用於吸附 HFS 系統運轉期間產生之揮發性氣體，另放置於循環水處理槽系統之 RAP，主要是移除地下水中之污染物；而第二年則將 RAP 設置於 HFS 系統之影響半徑範圍內之地下水監測井中，藉由 HFS 系統運轉帶動下，運用 RAP 本身特有處理功能，有效將影響半徑範圍內之地層污染物移除。本場址之 HFS 系統在運轉期間皆定期紀錄 HFS 系統實際操作情形，且在試運轉後進行系統影響半徑測試，結果亦可見明顯地下水位洩降曲線。

此外，為評估模場試驗成效，亦規劃於模場試驗期間定期進行 HFS 尾氣、地下水及土壤監測作業，本計畫至今已完成 5 次 HFS 尾氣、8 次地下水及 2 次土壤監測作業。到目前為止，模場試驗已經操作約 5 個月，雖然目前土壤及地下水定期監測結果仍為總石油碳氫化合物超過污染管制標準，但尾氣處理結果良好。尾氣處理原先設計是使 RAP 先吸附飽和後再將其再生，但目前為止仍未發現吸附飽和現象，這可能與我們在實驗室測試甲苯有類似的現象-即在常溫



應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水

下經由 RAP 和空氣氧化，即可對 VOCs 也產生相當的降解效果有關。另外由土壤監測結果，顯示循環系統已將地層中之污染聚集至 HFS 系統周圍，因此，預計結合 RAP 及 HFS 技術可加速本場址污染物之移除。後續將持續操作及監測，以評估整體整治成效。

關鍵字：土壤及地下水污染、油品污染、可再生型吸附顆粒、多介質水力沖洗循環系統、揮發性有機物氣體



Abstract

Petroleum hydrocarbons leaks from oil pipes, storage tanks of gas station and oil farm can contaminate soil and groundwater. The main R&D concept of this project integrates two key technologies- regenerative adsorption particles (RAP) and hydraulic circulation flushing soil remediation system (HFS) for on-site light non-aqueous phase liquid (LNAPL) remediation. RAP is the activated carbon-based material, and doping with noble metal oxide thin-film. RAP has excellent adsorption-regeneration and redox, so it can be applied in treating VOCs and the organic pollutants in wastewater and groundwater. According to the characterization of LNAPL pollutants, HFS combining pumping and recirculating, flushing, and air injection with mist atomization will be conducted. Therefore, HFS can remove the pollutants in gas phase, oil phase, and aqueous phase remained in soil and groundwater. Combining HFS and RAP, it should have the significant removal performance and improve the remediation efficiency.

A pilot test study will be conducted in Lin Yuan petrochemical plant of CPC Corporation. The major pollutants BTEX (benzene, toluene, ethyl benzene and xylene) dissolved into soil and groundwater and migrated from a LNAPL source in a sandy aquifer under this site. In this study, the site background information about soil and groundwater contamination was investigated first. The background soil pollution applies the data sampled from CPC in 2018, which TPH (total petroleum hydrocarbons) concentration of 3 sampling points are all above the soil pollution control standard (1,000 mg/kg). The background groundwater pollution applies the data sampled in 2021, April, which TPH concentration of 3 sampling wells are all above the groundwater pollution control standard (10 mg/L) while other items meet the standards.

After upgrading the explosion-proof electrical control panel, the HFS pilot system has been normally operated on site since Aug 12, 2021. The on-site pilot test was separated into two stages. For the first stage in 2021, using HFS to have the good hydraulic circulation and flushing, and RAP bed was installed not only on the ground to treat the VOC of vent, but also in the recirculated water treatment system of HFS to treat groundwater. For the second stage in 2022, RAP bed will be installed inside the monitoring well located in the influence radius of HFS. Therefore, the pollutants remained in the soil, groundwater and vent can be removed. The real operating conditions of HFS system such as the flowrate and accumulated pumping flow were



應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水

recorded during the operation of pilot system. Furthermore, the influence radius of HFS was also tested, it is shown that the significant drawdown curve of groundwater level occurs when the pumping flow of HFS system is shut down and then restarted.

Furthermore, to evaluate the remediation performance of this pilot HFS and RAP system, the sampling and analysis of vent, groundwater and soil were conducted after this pilot system is commissioned. Up to now, monitoring about 5 times of HFS vent, 8 times of groundwater and 2 times of soil were performed. Although the TPH in both soil and groundwater are still above the pollution control standard after 5 months of operation through this pilot system, the outlet vent after RAP bed shows good performance. This may be similar as our experimental results of toluene degradation in the lab, that is, it shows the fairly desirable VOC removal only by RAP and air oxidation at room temperature. On the other hand, examining the monitoring results of soil, it is shown that the recirculating flow has moved the pollution in the soil to the nearby area of HFS system. Therefore, it is expected that integrating both HFS and RAP technologies on-site could reduce the remediation period. The further continuous operation and monitoring of this pilot system will be performed to evaluate the overall remediation effectiveness.

Keyword: Soil and groundwater contamination, LNAPL, Regenerative adsorption particles, Hydraulic circulation flushing soil remediation system, VOCs



目錄

頁次

審查意見回覆對照表

專案基本資料表

110 年度專案成果績效自評表

計畫摘要

Abstract

目錄

一、前言	1
二、研究目的	2
(一) 專案背景	2
(二) 專案目的	2
三、專案技術及模場場址背景資料	3
(一) 專案技術	3
1. 可再生型吸附顆粒(RAP)	3
2. 多介質水力沖洗循環系統(HFS)	7
(二) 模場試驗場址	12
1. 地理位置	12
2. 地質與土壤	12
3. 地下水文	17
4. 中油林園廠列管公告資料	20
5. 中油林園廠運作歷史	20
6. 中油林園廠污染情況說明	25
(三) 模場設置區	30
1. 100 油槽區土壤污染情形	30
2. 100 油槽區地下水污染情形	30



應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水

四、文獻探討	41
(一) 活性碳再生方式	41
(二) 熱再生	42
(三) 臭氧再生	42
(四) 臭氧再生參數	42
1. 臭氧再生時間	42
2. 臭氧劑量	43
(五) 貴金屬鈦之特性	43
五、研究方法與過程	44
(一) 研究方法	44
(二) 模場設置規劃	45
1. 背景調查	45
2. 模場設置規劃與運轉	47
3. 成效評估	56
4. 系統維護	58
(三) 工作進度說明	59
六、結果與討論 (含結論與建議)	60
(一) 模場背景調查	60
1. 土壤調查	60
2. 地下水調查	60
(二) 模場整治井與設備設置說明	63
(三) 系統影響半徑測試	71
(四) 定期監測	72
1. 尾氣監測	72
2. 地下水定期監測	74
3. 土壤定期監測	78
(五) RAP 實驗室再生驗證與參數探討-水相吸附	81



1. RAP 表面分析	81
2. RAP 再生可行性實驗	82
3. RAP 再生參數探討	86
(六) RAP 實驗室吸附 VOC 試驗-氣相吸附	89
(七) 學術論文產出及活動	91
1. 國內期刊論文	91
2. 國內研討會	91
3. 國內研討會論文發表	91
(八) 專利	91
(九) 結論	91
(十) 建議	93
七、第二年期工作規劃說明	94
(一) 系統運轉操作維護	94
(二) 定期監測	94
(三) 設置 RAP 於影響半徑範圍內	94
(四) RAP 再生最佳化條件探討	94
八、參考文獻	95
專案執行績效審核自評表	97
附件	



應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水

圖目錄

	<u>頁次</u>
圖 1、RAP 外觀	3
圖 2、鈎金屬在水中之 pH-電位相圖	3
圖 3、RAP 可能的氧化還原機制	4
圖 4、O ₃ + RAP 對甲苯去除之測試系統	5
圖 5、O ₃ + RAP 對甲苯去除之測試結果-1	6
圖 6、多介質水力沖洗循環系統(HFS)專利證書	8
圖 7、多介質水力沖洗循環系統(HFS)示意圖	9
圖 8、HFS 整治系統物化特性	10
圖 9、HFS 論文於中國環境科學學會 2019 年科學技術年會發表	11
圖 10、「林園工業區」工廠配置圖示意圖	13
圖 11、「中油林園廠」地質資料分區地層柱狀圖	15
圖 12、「中油林園廠」地質剖面圖	16
圖 13、「林園工業區」地下水流向示意圖	18
圖 14、「中油林園廠」廠區地下水等勢水位圖	19
圖 15、「中油林園廠」廠區配置圖	23
圖 16、「中油林園廠」製程流程圖	24
圖 17、「中油林園廠」廠內土壤調查位置圖	27
圖 18、「中油林園廠」廠內土壤污染範圍推估圖	28
圖 19、「中油林園廠」廠內地下水污染範圍及程度推估圖	29
圖 20、「中油林園廠」模場位置圖	31
圖 21、「中油林園廠」模場位置現勘照片	32
圖 22、「中油林園廠」108 年下半年土壤 TPH 超過管制標準點位圖	33
圖 23、「中油林園廠」100 油槽區地下水苯污染範圍模擬圖	37
圖 24、「中油林園廠」100 油槽區地下水 TPH 污染範圍模擬圖	39



圖 25、碳基底吸附劑再生技術分類·····	41
圖 26、模場試驗執行流程·····	44
圖 27、「中油林園廠」100 油槽區模場區土壤及地下水背景資料調查範圍·····	46
圖 28、HFS 系統井體設計示意圖·····	48
圖 29、HFS 設備配置圖·····	49
圖 30、系統與自計式水位計放置位置示意圖·····	51
圖 31、系統運轉後之水位變化圖（範例）·····	52
圖 32、RAP&HFS 整治系統設計示意圖(110 年 Phase I)·····	54
圖 33、RAP&HFS 整治系統設計示意圖(110 年 Phase II)·····	55
圖 34、RAP 搭配 HFS 示意圖(放置於影響半徑周圍)(第 2 年)·····	57
圖 35、「中油林園廠」100 油槽區儲槽 LY-109 南側土壤採樣點位及測值·····	61
圖 36、「中油林園廠」100 油槽區儲槽 LY-109 南側地下水採樣點位及測值·····	62
圖 37、「中油林園廠」100 油槽區模場設備·····	66
圖 38、「中油林園廠」100 油槽區模場設備及施工照片·····	67
圖 39、「中油林園廠」100 油槽區影響半徑測試井位圖·····	71
圖 40、HFS 系統影響半徑測試成果·····	72
圖 41、「中油林園廠」100 油槽區 HFS 尾氣監測照片·····	73
圖 42、「中油林園廠」100 油槽區土壤及地下水定期監測採樣點位·····	74
圖 43、「中油林園廠」100 油槽區地下水定期監測照片·····	76
圖 44、「中油林園廠」100 油槽區地下水總石油碳氫化合物定期監測濃度變化趨勢圖·····	78
圖 45、「中油林園廠」100 油槽區土壤定期監測照片·····	79
圖 46、「中油林園廠」100 油槽區土壤總石油碳氫化合物定期監測濃度變化趨勢圖·····	80
圖 47、活性碳與 RAP 二次電子影像·····	81
圖 48、RAP 以 EDX mapping 分析表面元素分佈·····	82
圖 49、苯甲酸批次吸附後再生實驗示意圖·····	83



應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水

圖 50、RAP 批次吸附再生前後 COD 濃度變化	83
圖 51、RAP 固定床模擬實驗示意圖	85
圖 52、RAP 固定床吸附通入不同 BV 再生前後累積吸附量比較	86
圖 53、無再生與臭氧再生 RAP 再次吸附之 RE 比較	87
圖 54、RAP 臭氧氣相與水相再生示意圖	87
圖 55、RAP 以不同條件方式之 RE 比較	88
圖 56、RAP 於不同 pH 下再生之 RE 比較	88
圖 57、RAP 吸附甲苯去除之測試裝置	89
圖 58、RAP 吸附甲苯測試結果-1	90



表目錄

頁次

表 1、常見地下水整治技術的使用限制與問題	1
表 2、O ₃ + RAP 對甲苯去除之測試條件	5
表 3、O ₃ + RAP 對甲苯去除之測試結果-2	6
表 4、「中油林園廠」各煉製工場生產使用之原料及產品概況表	22
表 5、「中油林園廠」主要污染物最高濃度表	26
表 6、「中油林園廠」100 油槽區土壤監測結果	34
表 7、「中油林園廠」100 油槽區地下水監測結果	36
表 8、HFS 系統操作紀錄表	53
表 9、尾氣及地下水監測頻率	58
表 10、研究進度及預期完成之工作進度表	59
表 11、模場設置作業監工紀錄	63
表 12、HFS 系統實際操作紀錄表	64
表 13、HFS 尾氣監測成果	72
表 14、地下水定期監測成果	75
表 15、土壤定期監測成果	79
表 16、批次實驗之再生前後累積吸附量比較	84
表 17、RAP 固定床實驗之再生前後累積吸附量	85
表 18、RAP 不同再生參數	88
表 19、RAP 吸附甲苯測試條件	89
表 20、O ₃ + RAP 吸附甲苯測試結果-2	90





一、前言

我國自從土壤及地下水污染整治法實施後，環保署持續推動各類型場址土壤及地下水污染調查與整治工作，目前更以推動綠色永續型整治(Green and Sustainable Remediation，簡稱 GSR)為重要里程碑，希望在進行場址整治工作時能兼顧環境、社會與經濟效益三面向，以減少整體環境衝擊，包括減少能源消耗、降低空氣污染排放、最小化水資源使用影響、土壤及生態系影響、以及資材與廢棄物減量。

輸油管線和加油站與油槽的洩漏是常見的油品污染土壤與地下水污染源，這些油品污染場址可能因儲存不當、管線洩漏、卸油口及卸油管線附近因卸油處理不當造成油品污染。過去常見油品污染整治工法如空氣注入法、土壤氣體抽除法、現地化學氧化法等，表 1 為這些常見的地下水整治技術的使用限制與問題，普遍具有整治時程長、整治經費高昂，或者是化學藥劑添加成本高等問題，且其對環境衝擊較大，另外也常見廢棄活性碳衍生二次污染等，造成污染場址整治困難及後續對環境的影響。因此尋找新型綠色整治材料及永續型整治技術是 GSR 整治的首要目標。

表 1、常見地下水整治技術的使用限制與問題

常見地下水整治技術	使用限制與問題
現地化學氧化法 (ISCO)	某些藥劑半衰期太短，或易形成沉澱造成堵塞 常規化學藥劑成本高，影響整治經費 短時間內對現地環境改變及衝擊較大
空氣注入法 (AS)	適用於揮發性或半揮發性有機污染物 土壤不均質性可能形成部分地下水污染區域無法被處理 曝氣處理影響半徑有限
抽出處理法 (P&T)	整治期程一般都很長 需長期處理抽出的廢水 停止抽水後常會有濃度回升的現象
加強好氧生物 整治法	通常只適用於低濃度污染或整治後期 整體整治期程較長 產生的微生物和有機基質可能需移除



應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水

二、研究目的

(一) 專案背景

儲油槽及輸油管線常因受腐蝕或其他原因造成油品洩漏，導致油品滲漏至土壤及地下水，造成區域性土壤及地下水污染問題。本計畫研究構想主要運用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS，台灣專利字號 M566206)，針對 LNAPL 污染場址進行土壤及地下水高效率整治作業。

統計 91 年至 108 年 6 月，歷年地下儲槽系統共計 3,762 家，其中 289 站次經公告列管及 63 站列管中，累積污染查出比例約 7.7%，而尚未解除土壤/地下水污染列管場址，主要原因除了受限於水文地質條件外、更重要的是污染整治工法的篩選、選用不同工法所需整治時程、開挖移除所面臨到的污染廢土去處，及龐大的土壤/地下水污染整治經費，皆為影響因素。本團隊考量業者面臨到相關污染整治的問題，因此評估運用 RAP+HFS 之整治工法，除了可大幅度地縮減整治經費外，亦可協助 LNAPL 污染場址加速改善並縮短整治時程。

(二) 專案目的

本計畫主要設計構想為在土壤及地下水受到高濃度之輕質非水相溶液(light non-aqueous phase liquid, LNAPL)主要為油類污染，依據油類污染物之污染特性，於現地藉由地下水循環整治系統之抽回水循環處理、地層淋洗及霧化原理，並搭配可再生型吸附顆粒(RAP)以同時去除土壤及地下水中氣相、浮油相及溶解相等污染物。經由兩種不同領域的高端處理技術進行多樣化的整治運用搭配，以期望能夠更完善的將受油類污染之土壤及地下水更快及更有效率地移除污染問題。



三、專案技術及模場場址背景資料

(一) 專案技術

本計畫係採用兩種不同領域的高端處理技術，主要為可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水。以下就兩項技術內容進行說明。

1. 可再生型吸附顆粒(RAP)

(1) 可再生型吸附顆粒(RAP)介紹

可再生型吸附顆粒(Regenerative Adsorption Particles，簡稱 RAP)是以椰殼活性碳為基底，顆粒大小約 20~40 目，為黑色顆粒狀具金屬光澤(詳見圖 1)，覆蓋三種有效貴金屬氧化物，其中一主要貴金屬鈦成分具有多種氧化態，具有極佳的氧化特性，如圖 2 所示在不同條件下可由 0~+8。對比市場上一般的貴金屬觸媒，其獨特的金屬氧化物奈米薄膜製備技術使活性成分覆蓋均勻、活性更強、成本更低，可在短時間催化氧化有機污染物，並可重複活化使用。



圖 1、RAP 外觀

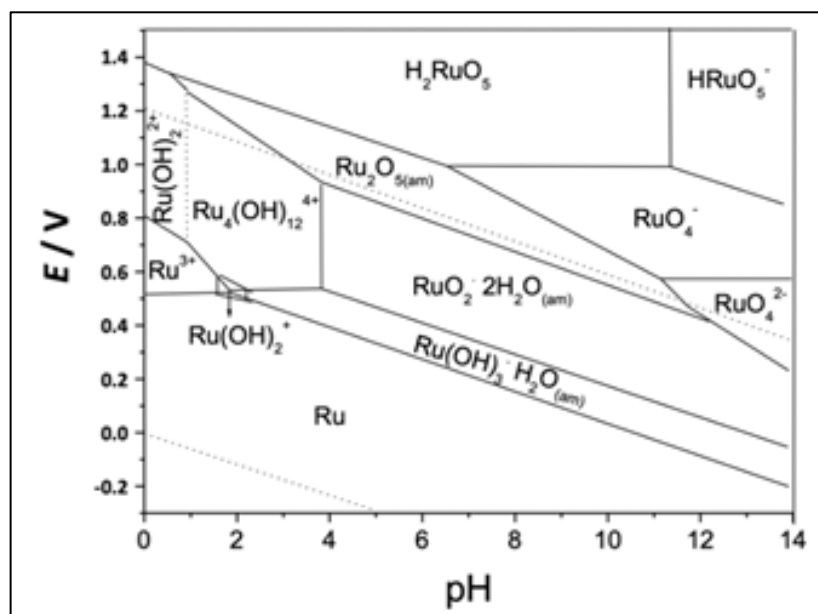


圖 2、鈦金屬在水中之 pH-電位相圖



應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水

RAP 在此地下水整治的應用為取代過去一般活性碳，以固定床方式吸附有機物，吸附到一定飽和程度後再抽換出來以臭氧再生，RAP 可能的氧化還原機制詳見圖 3。

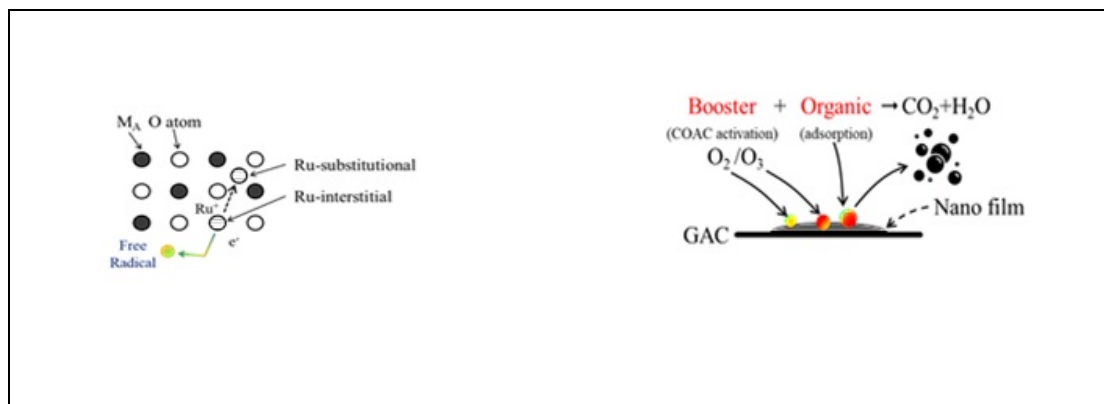


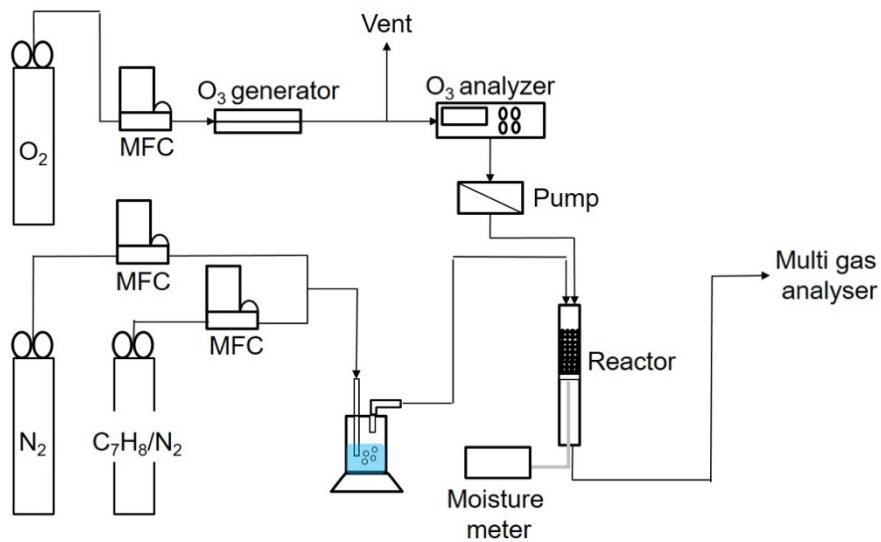
圖 3、RAP 可能的氧化還原機制

(2) RAP 應用在氣相 VOC 防治的應用

一般去除氣相 VOC 的觸媒氧化大多使用條件在 200°C 以上，但 RAP 可在室溫下搭配曝臭氧即可以催化氧化方式去除 VOC，RAP 加臭氧對 VOC(以甲苯為例)去除之系統流程圖詳見圖 4，相關測試條件詳見表 2。本實驗採用 RAP 固定床結合臭氧進行催化氧化反應，利用甲苯氣體鋼瓶來調配進入 RAP 固定床的混合氣體 VOC 濃度約 235 ppm，臭氧濃度則控制在 250-280 ppm，相對溼度 90%。RAP 加臭氧對 VOC(以甲苯為例)之實驗結果詳見圖 4 與表 3，可看出當反應時間拉長到 300 min 時，此系統之去除率仍能維持在 85%，另外藉由觀察 CO₂ 濃度可看出 VOC 濃度減少之機制，反應之前兩個小時所製造出之 CO₂ 濃度較低，為 RAP 吸附 VOC 之反應，反應超過兩小時後 CO₂ 濃度大幅上升，可看出是 RAP 與臭氧進行催化氧化 VOC 之反應。



三、專案技術及模場場址背景資料

圖 4、O₃ + RAP 對甲苯去除之測試系統表 2、O₃ + RAP 對甲苯去除之測試條件

項目	條件
觸媒型態	觸媒粉粒
VOCs 種類與濃度	甲苯 = 235 ppm
O ₃ 濃度	250 ~280 ppm
O ₂ 濃度	33 %
空間流速（標準狀態下）	3667 h ⁻¹
溫度	室溫
相對濕度（RH）	90 %



應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水

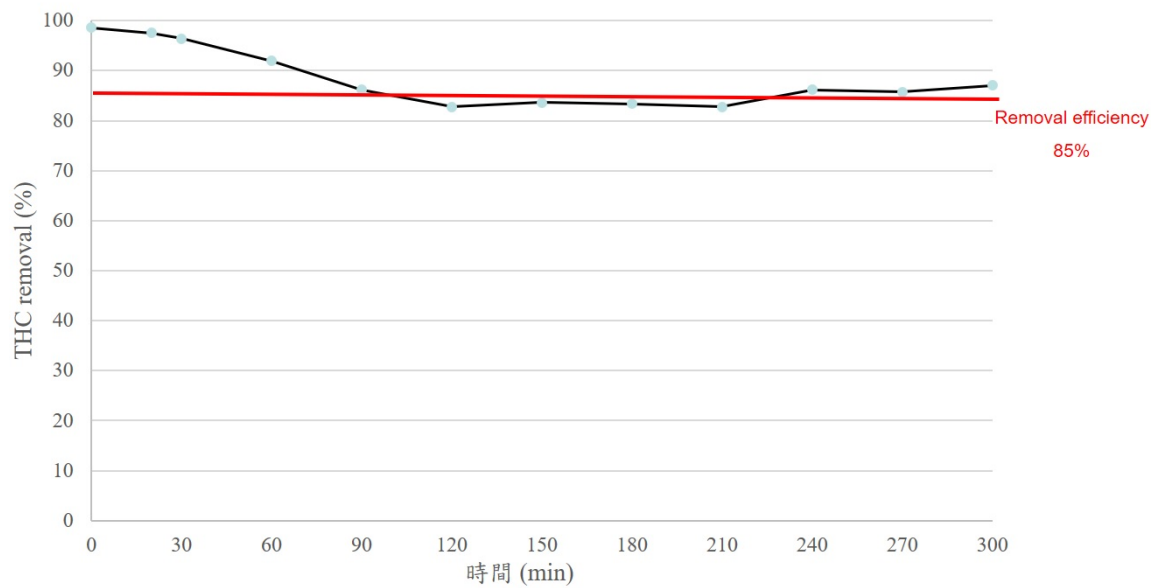


圖 5、O₃ + RAP 對甲苯去除之測試結果-1

表 3、O₃ + RAP 對甲苯去除之測試結果-2

時間 (min)	VOC 去除效率 (%)	CO ₂ 濃度 (ppm)	CO 濃度 (ppm)	T (°C)
30	96	42	1	14.2
60	92	43	1	14.1
90	86	44	1	14.0
120	83	43	1	13.9
150	84	108	2	13.9
180	83	129	1	13.8
210	83	136	1	13.6
240	86	139	2	13.6
270	86	140	2	13.6
300	87	144	1	13.7



2. 多介質水力沖洗循環系統(HFS)

(1) 多介質水力沖洗循環系統(HFS)

多介質水力沖洗循環整治系統係捷力英環境有限公司取得專利「水力土壤污染沖洗整治系統(Hydraulic circulation Flushing Soil remediation System, 簡稱 HFS)」, 專利字號 M566206, 專利證書詳見圖 6, 系統示意圖詳見圖 7。主要針對油類污染場址進行多介質之高效率整治, 其設計構想為依油類污染物特性, 於現地藉由系統循環抽除、淋洗並結合霧化及曝氣原理, 以同時去除土壤及地下水中氣相、浮油相及溶解相之污染物。此系統實際於現地設置處理時, 經系統全方位連續運轉處理, 對於現地高濃度之輕質非水相溶液非水相液體(light non-aqueous phase liquid, LNAPL) 污染物將有明顯之移除效果, 而使整治效率有效提升。

依據油類污染物之物化特性, 系統內部設計針對污染移除作用說明如下:

- I. 霧化作用: 當場址中土壤及地下水受到油品污染時, 系統將受污染土壤及地下水交界面之地下水抽至地表, 經由系統內部噴散裝置回注使地下水形成霧化作用。由相關研究證實, 當水霧化後之氣液比及霧化粒徑越小時, 可有效提高地下水與空氣接觸的表面積, 而使水中污染物揮發, 詳見圖8(a)(b)所示。
- II. 污染物質傳作用: 霧化後之地下水經由系統內部板件開孔設計, 提升污染物氣液介面間之質傳作用, 液相中高濃度的氣體或揮發性物質, 傳送至低濃度的氣相中, 有效降低液體中污染物濃度, 錢海平(2011)相關研究指出板件開孔率及孔徑設計參數影響氣液接觸效率, 進而影響污染物去除成效, 詳見圖8(c)(d)所示。
- III. 加熱及淋洗作用: 系統將受污染之地下水抽出, 經油水分離後再回注於地層中, 油水分離裝置中並搭配溫度控制, 除可提高地下水油品回收率外, 回注過程因地下水溫度提高, 藉由淋洗作用使累積於不飽和含水層中之吸附相溶出, 相關研究證實隨著水溫提升, 可降低 LNAPL 附著在土壤表面黏度並增加流動率, 詳見圖8(e)。藉由現地地下水抽除與回注可避免二次污染產生及處理成本。
- IV. 吸附作用: 系統中亦設有更換式吸油材, 可直接將累積於地層中高濃度 LNAPL 吸附, 可降低 LNAPL 污染擴散並提升土壤及地下水環境中 LNAPL 移除效率。

8





三、專案技術及模場場址背景資料

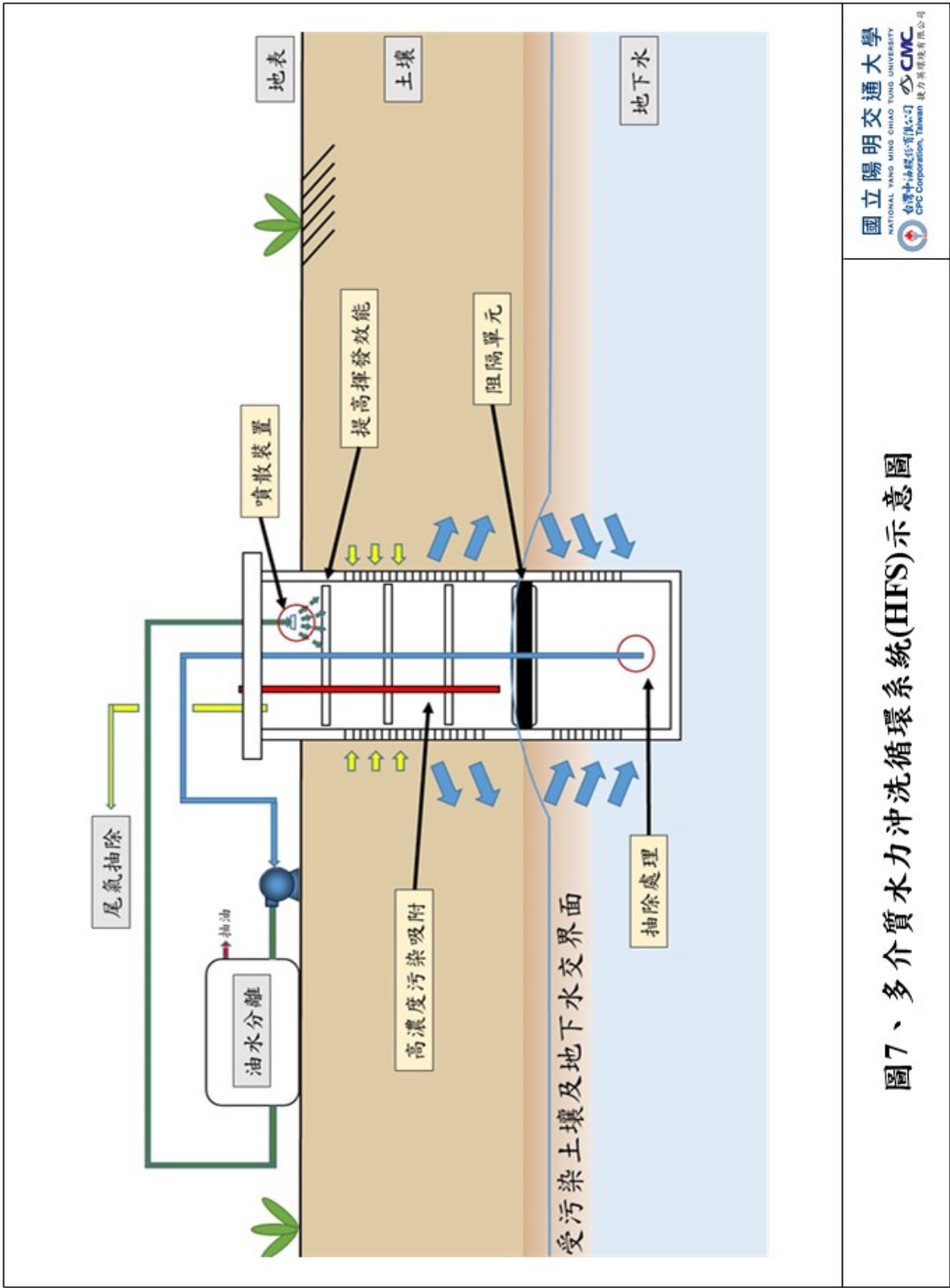


圖7、多介質水力沖洗循環系統(HFS)示意圖



應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水

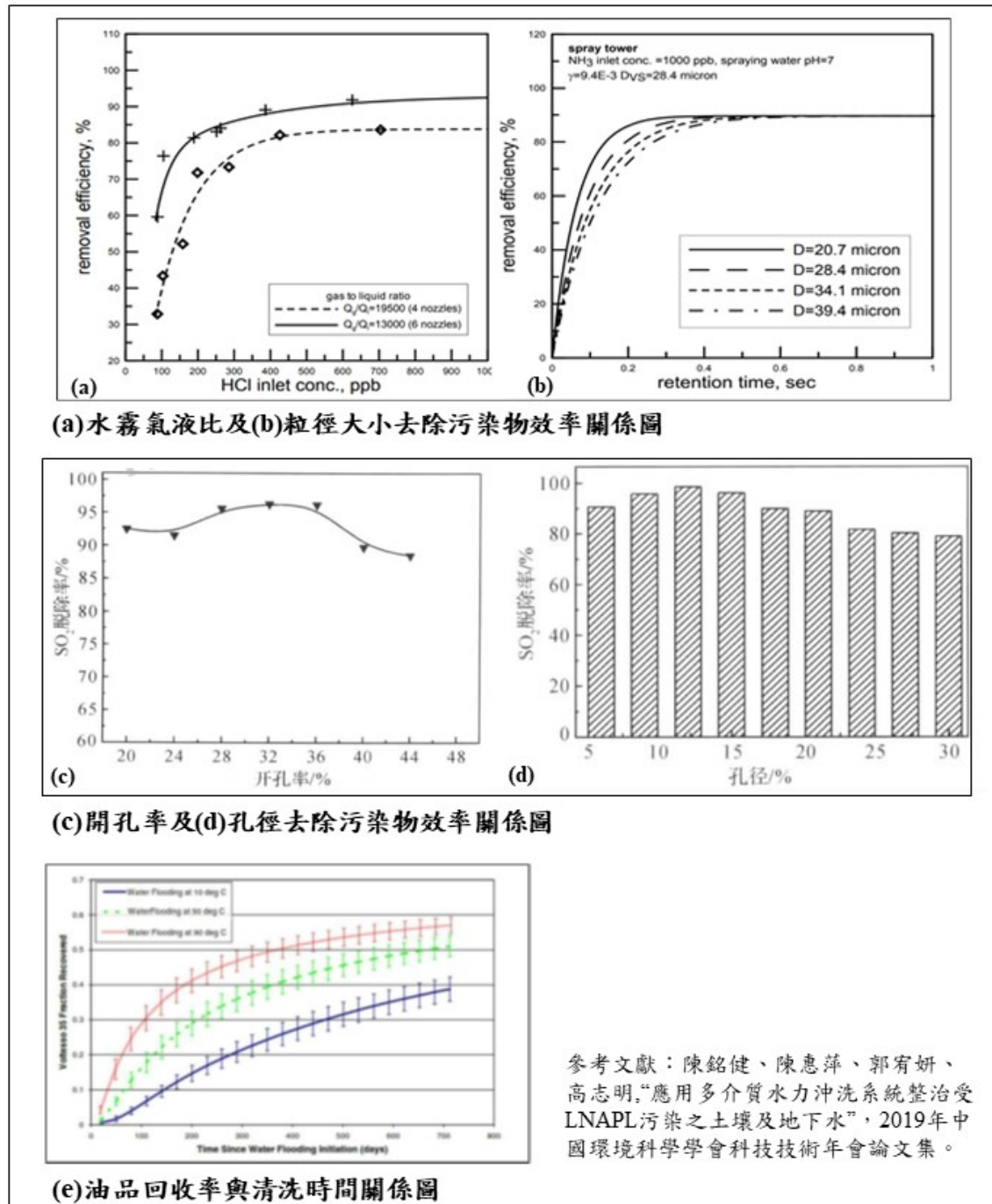


圖8、HFS 整治系統物化特性



(2) 多介質水力沖洗循環系統(HFS)發表成果

捷力英環境有限公司曾以 HFS 專利於中國環境科學學會 2019 年科學技術年會發表論文「水力土壤污染沖洗系統運用於土壤及地下水受 LNAPL 污染去除之原理探討(詳見圖 9)」。



圖9、HFS論文於中國環境科學學會2019年科學技術年會發表



應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水

(二) 模場試驗場址

本計畫之模場位於高雄市林園區之林園工業區，場址為「台灣中油股份有限公司石化事業部林園石化廠(以下簡稱中油林園廠或本場址)」，中油林園廠為公告之土壤及地下水污染整治場址，以下就場址地理位置、地質、水文、列管公告資料、污染情形、現況及模場設置區說明如下。

1. 地理位置

林園工業區為南部最大石化工業區，依據林園工業區服務中心統計資料，林園工業區面積約 403.2 公頃，工業區內廠商共計 33 家，總設廠面積 318.5191 公頃，目前(109 年 12 月)生產中 28 家(化學材料製造業 19 家、化學製品製造業 4 家、石油及煤製品製造業 1 家、非金屬礦物製品製造業 1 家、金屬製品製造業 1 家、橡膠製品製造業 1 家、電力及燃氣供應業 1 家)、未建廠 5 家，林園工業區工廠配置及中油林園廠位置示意見圖 10。

2. 地質與土壤

依據經濟部中央地質調查所地質資料指出，林園地區的地層屬現代沖積層，該地層廣泛地覆蓋在西部海岸平原之上，主要組成岩性為黏土、粉砂、砂及礫石，其透水性略差於以粗砂礫為主的屏東平原中、上游沖積層。由於本區岩盤略深，故仍具有優良之透水性。

中油林園廠過去執行多次地質鑽探(資料來源：中國石油股份有限公司高雄煉油總廠林園廠土地改良地質調查分析工作,萬鼎股份有限公司,1993)，將場址地質資料彙整成 13 個區域，繪出各區域之地層柱狀圖(圖 11)，本場址地表下 50 公尺內淺層地質屬現代沖積層，地質組成主要由砂、粉砂、粉土及黏土等組成，地質分層構造複雜，淺層多為較為透水之粗砂層和細砂層組成，透水性較佳，覆於其下為粉土層或粉土質砂層與黏土層互層，場址深度 20 公尺以下透水性較差，本區域岩盤深度至少約地表下 80 公尺。綜合過去地質資料分析，將地層柱狀圖分別繪成場址東西向地質剖面圖(圖 12)和場址南北向地質剖面圖(圖 12)，本場址地表下 50 公尺內地質狀況為砂層、粉土層與黏土層互層，由上而下可概分為 4 個層次，分別說明如下：

圖10、「林園工業區」工廠配置圖示意圖



應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水

(1)粗砂及細砂層

根據鑽探資料分析顯示，本層主要由鬆散的中至細砂夾雜小礫石或粗砂組成，此層分佈由地表至 18 公尺左右，厚度約 13 至 19 公尺，由於組成顆粒較大且膠結較為鬆散，因此透水性良好為場址主要透水帶。

(2)粉土質砂層

由緊密的細砂與粉土質細砂組成，此層可分為兩個位置出露，一層位於細砂層底部，厚度變化約 1 至 10 公尺不等且連續性差，透水性隨其中含細粒物質量增加而遞減，以不整合覆蓋於黏土層或粉土層上方，主要分佈在廠區東南側，透水性中等；第二層分佈於場址深度約 30 至 40 公尺以下呈水平堆積，地層連續性佳，以不整合方式與上方黏土層接觸。

(3)粉土層

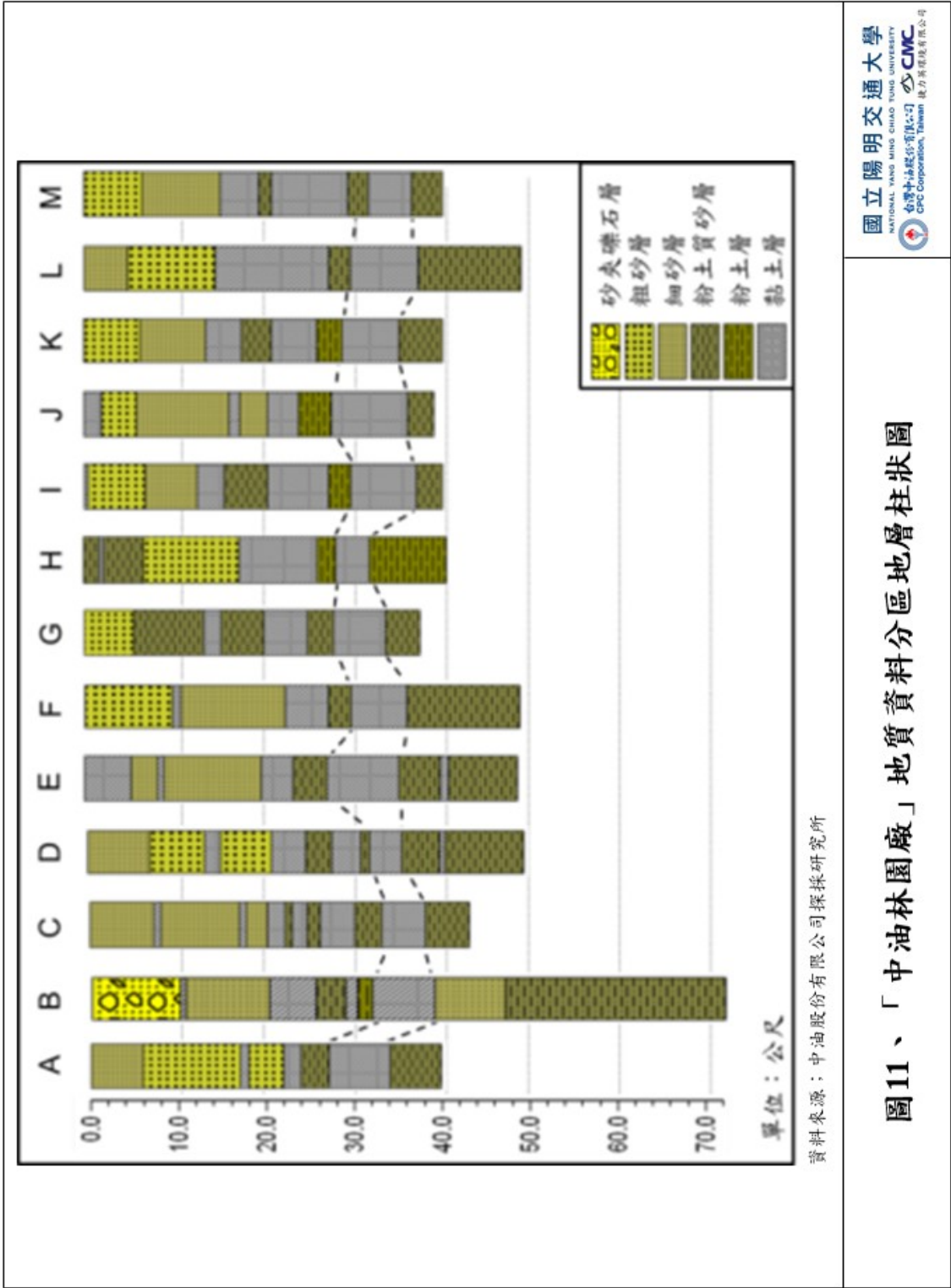
此層是由粉土所構成，本層於場址內以互層形式薄層夾雜於黏土層中，透水性較差。

(4)黏土層

此層主要由黏土構成，顆粒細密緊實且透水性差，場址內具有多層黏土層互層，各區域在深度 50 公尺範圍內出現 3 至 6 層不等之黏土層，由於部分黏土層較薄且連續性差，並非良好之阻水層，觀察場址資料發現於場址深度 20 至 25 公尺範圍存在一連續性良好的黏土層，但此層於區域較薄；而場址深度 28 至 40 公尺範圍內之黏土層連續性佳且層厚較厚，應為一良好之阻水層，分隔上下兩個含水層。



三、專案技術及模場場址背景資料





應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水

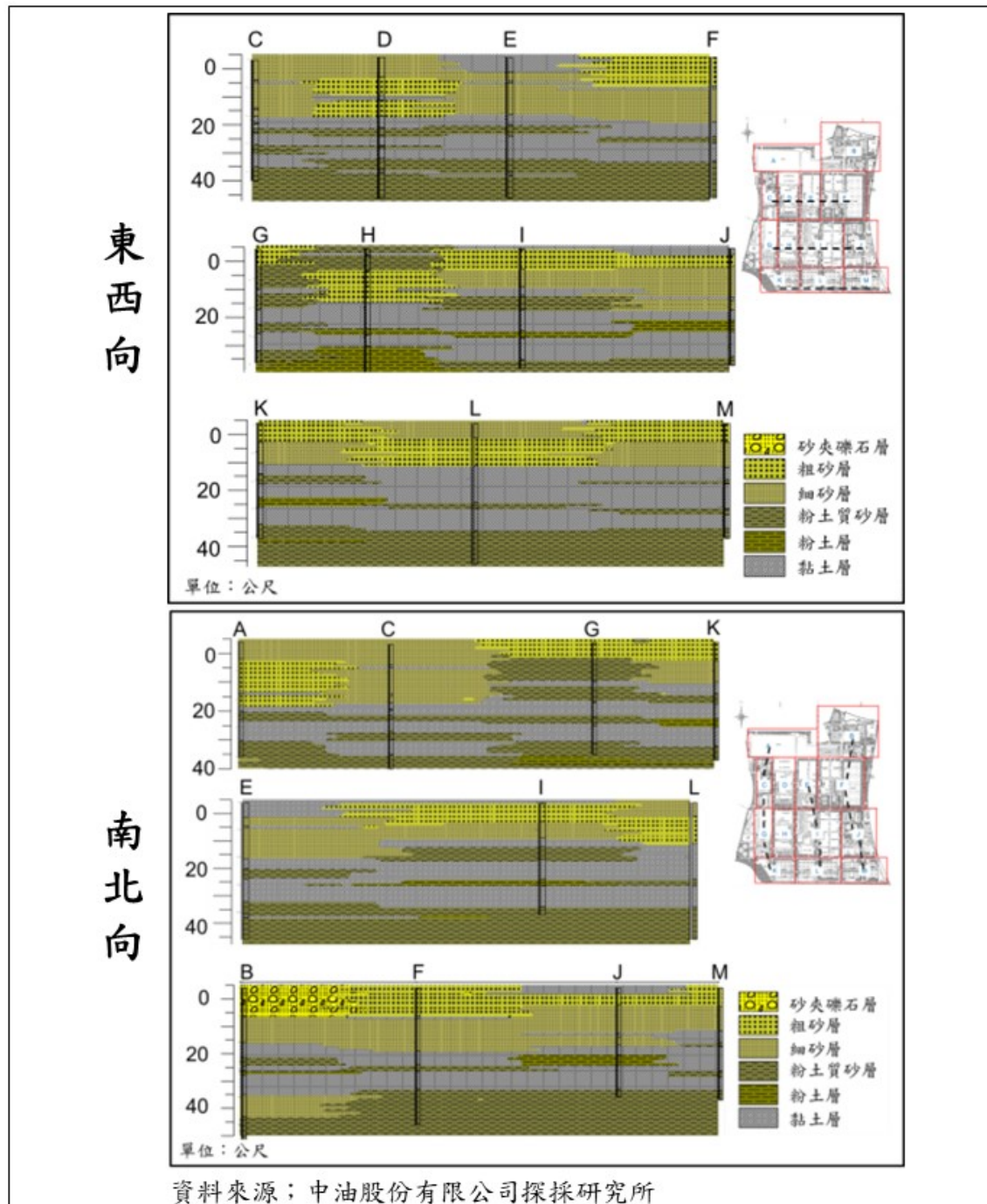


圖12、「中油林園廠」地質剖面圖



3. 地下水文

屏東地區的水文地質概況，在深度約 250 公尺內，東北部地層分層較不明顯，主要的阻水層(泥層)可能只有一至二層，地下水上下流通限制較少；西南部地層(港東至林園)分層明顯，大致有二層主要的阻水層(泥層)，地下水上下流通已受限制。若以深度作為分層參考，第一含水層的深度約在 0 至 60 公尺，第二含水層的深度約在 60 至 120 公尺，第三含水層的深度約在 120 至 250 公尺，第三含水層又可分為兩段，但不同含水層分層深度隨區域而變。

另依據「105 年度高雄市土壤及地下水品質監測及管理計畫」所述，林園工業區地下水流向大致為由東北向西南，流向示意圖詳見圖 13。

為了進一步了解廠區內地下水受潮汐與季節水位變化情形，藉由廠區內 14 口自記式水位記錄觀測井水位資料(監測期為 101 年 4 月至 102 年 12 月)，依觀測紀錄繪製廠區內地下水流向詳見圖 14，由圖中觀測出廠區內南側地下水流向由東南往西方向流動；廠區內北側地下水流向由東往西流，且廠區內東西向水力坡度介於千分之五至千分之七；而南北向水力坡度範圍為千分之三至千分之四間，由此可看出廠區內地下水流速東西向分量較大，符合大區域地下水流向。

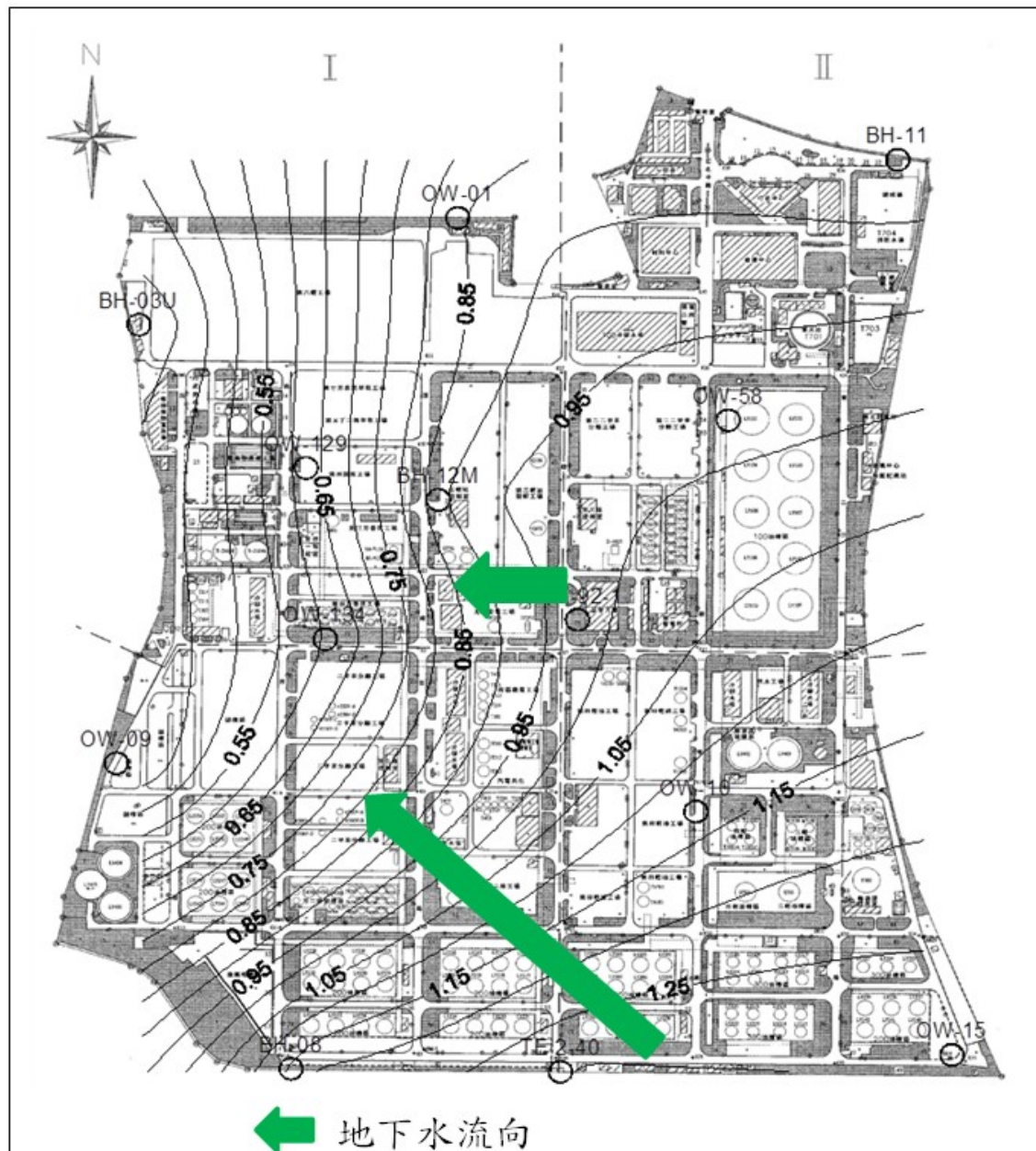
綜合場址等勢水位資料顯示本場址整體而言，地下水流向以東向西流動方向為主，西側地下水流向穩定，由東往西流動，水力坡度可達千分之十；廠區東側地下水位流向於豐水期有一股由東南向西方向的局部地下水流，枯水期則有一股由東北向西方向的局部地下水流，水力坡度較小，地下水流速緩慢，導致此種現象為豐枯水期地下水補注來源不同，使本場址地下水流向變化較大。

18





三、專案技術及模場場址背景資料



資料來源：中油股份有限公司探採研究所

圖14、「中油林園廠」廠區地下水等勢水位圖



應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水

4. 中油林園廠列管公告資料

- (1) 場址類別：土壤及地下水污染整治場址。
- (2) 公告日期：2012/12/21。
- (3) 場址名稱：台灣中油股份有限公司石化事業部林園石化廠。
- (4) 場址地址：高雄市林園區林園工業區石化二路三號。
- (5) 場址地號：高雄市林園區汕尾段 1823、1824、1825、1826、1827、1828、1829、中芸段 1068-2、1073-2、溪州段三小段 3634-0000、3634-0003、3634-0005、3634-0006、3634-0007、3634-0008、3634-0009、3635-0000、3635-0001 地號，共計 18 筆地號。
- (6) 土壤污染物：苯 7,680 mg/kg；甲苯 3,700 mg/kg；總石油碳氫化合物 32,000 mg/kg。
- (7) 地下水污染物：苯 264 mg/L；甲苯 33.6 mg/L；萘 30.3 mg/L；四氯化碳 0.097 mg/L。
- (8) 場址現況：本場址為運作中工廠，分別為從事乙烯、苯、乙炔、丙烯、丁二烯、鄰二甲苯、對二甲苯等石化原料製程及原料產品儲槽區。

5. 中油林園廠運作歷史

中油林園廠配置大致可略分三區，分別為製程區、油槽區與公用區，其配置圖詳見圖 15。製程區位於廠區正中央，主要工場皆位於此區域內，其中又劃分為六個煉製操作工場，分別為芳一組、芳二組、芳三組、四輕組、新三輕組及公用組。芳一組內有第三芳香烴工場；芳二組內有第一與第二分離工場、第一轉烷化工場及中間油槽區；芳三組內有第六芳香烴工場、第二轉烷化工場、第三吸附分離工場、第三異構化工場及中間油槽區；四輕組內有第四輕油裂解工場、汽油氫化工場及丁二烯工場；新三輕組內有第六輕油裂解工場、汽油氫化工場、丁二烯工場及第七芳香烴工場；公用組包括動力工場、冷卻水塔、變電所、蒸汽鍋爐、及汽電共生場。油槽區位於廠區東側、南側及西南側，東側為 100 油槽區、地表球槽區，南側為 200 油槽區、300 油槽區，西南側則為二甲苯油槽區。公用區分布在廠區東北側、北側與西側，此區域內有工安大樓、消防水池、環管大樓、宿舍、球場、材料倉庫及修護工場等。

中油林園廠以生產烯烴類與芳香烴類兩大石化原料為主，其製程流程詳見圖 16，烯烴類製程的部分建有兩座輕油裂解工場，分別為第四輕油裂解工場與第六輕油裂解工場，以產製烯烴類產品；芳香烴類製程的部分，主要由芳香烴工場與二甲苯分離工場，芳香烴工場分別為芳一組、芳三組及新三輕組內



三、專案技術及模場場址背景資料

共三座 (分別於 65 年 12 月、69 年 10 月及 103 年 7 月起正式運轉)，二甲苯分離工場則有轉烷化、異構化及吸附分離等三製程，主要將芳香烴萃取工場產出之混二甲苯及甲苯作為進料，產製高純度之鄰二甲苯及對二甲苯，於 69 年 10 月正式運轉。

中油林園廠製程所使用原料主要來源為中油公司大林煉油廠，包括輕石油腦、重石油腦、製氣油與媒組油。主要產品包括乙烯、乙炔、丙烯、丁二烯、丁二烯萃餘油、苯、鄰二甲苯、對二甲苯與碳煙進料油。中間產物有重組油、甲苯與混合二甲苯等。各煉製工場使用之原料及產品詳見表 4。

中油林園廠已陸續辦理部分工場除役，分別有芳二組(不包含第一轉烷化工場)及芳三組第三分離工場、第二轉烷化工場除役工作，除役之煉製工場位置詳見圖 15。



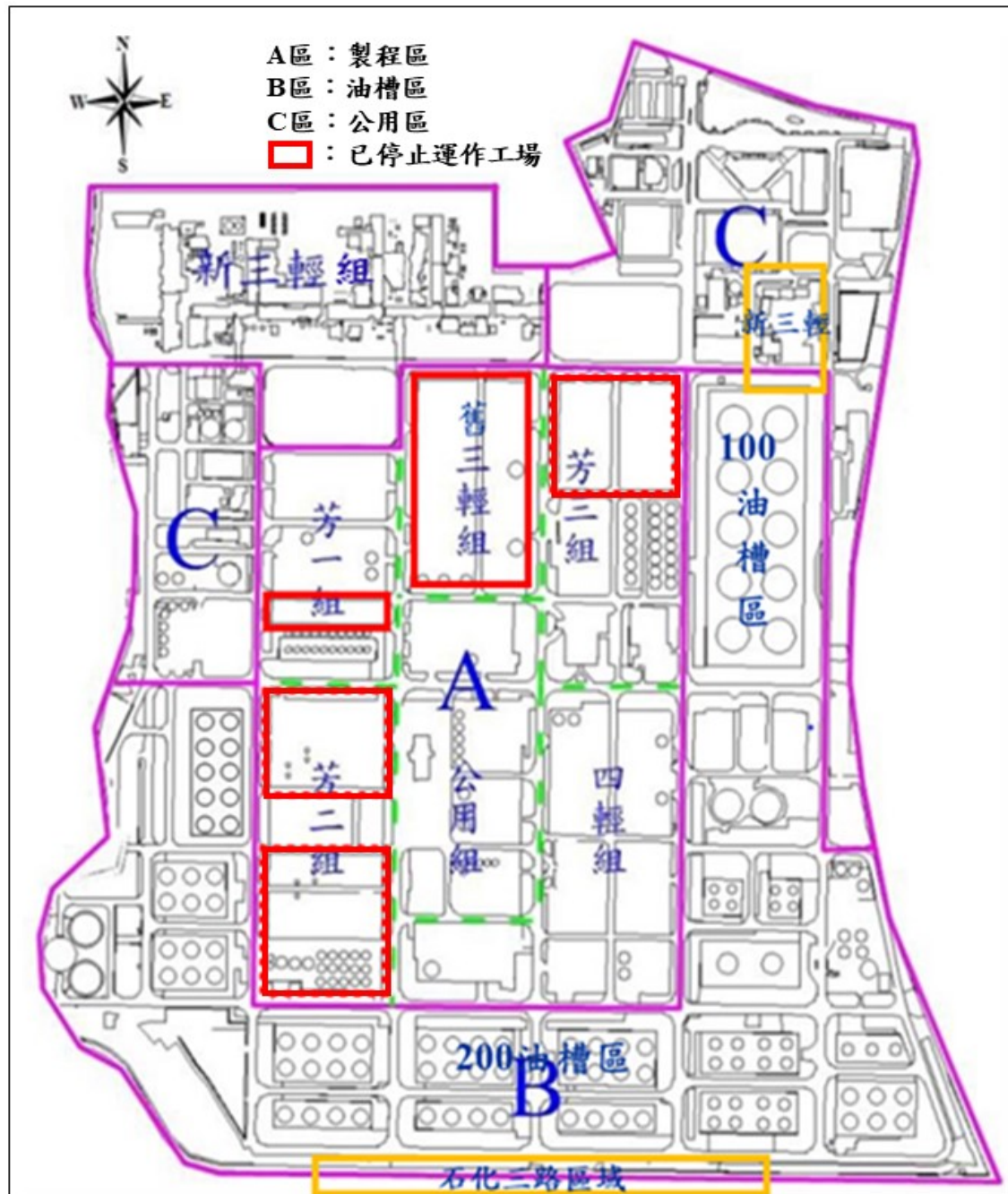
應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水

表 4、「中油林園廠」各煉製工場生產使用之原料及產品概況表

工場別		進料油	設計煉量 (公噸/年)	主要產品	
				種類	產量(公噸/ 年)
芳 一 組	第三芳香煙工場	重組油	1,028,759	苯	137,458
				甲苯	225,089
				萃餘油	262,927
				混合二甲苯	403,285
芳 二 組	第一轉烷化工場	甲苯	279,011	苯	114,344
		C9	145,410	混合二甲苯	269,902
		氫氣	9,531		
	第一吸附分離工場 (除役)	混合二甲苯	478,802	燃料氣	10,569
				C7	45,221
				甲苯	8,354
				C9	67,281
				C10	6,652
				對二甲苯	264,000
	第二吸附分離工場 (除役)	混合二甲苯	509,260,	燃料氣	11,042
				C7	47,246
				甲苯	8,728
				C9	70,294
				C10	6,950
				對二甲苯	288,000
芳 三 組	第六芳香煙工場	煤組油	1,136,070	苯	144,836
				甲苯	269,593
				混合二甲苯	550,476
				萃餘油	171,165
	第二轉烷化工場(除役)	甲苯/C9	472,085	苯	103,666
	第三異構化工場(除役)	二甲苯萃取油	1,380,786	混合二甲苯	357,461
	第三吸附分離工場 (除役)	混合二甲苯	1,833,573	甲苯	1,970
混合二甲苯				1,810	
對二甲苯				308,000	
鄰二甲苯				94,400	
四 輕 組	第四輕油裂解工場	輕油(重石油腦)	1,324,731	聚合級乙烯	467,784
				聚合級丙烯	172,572
				化學級丙烯	92,856
				燃料油	237,396
	汽油氫化工場	裂解汽油	459,900	汽油	456,396
	丁二烯工場	四碳煙油	169,068	丁二烯	76,212
			丁烷/丁烯萃餘油	90,228	
新 三 輕組	第六輕油裂解工場	重石油腦	2,717,000	乙烯	800,000
				丙烯	487,000
				四碳煙油	364,000
				裂解汽油	519,000
				PFO 燃料油	107,000
	汽油氫化工場	裂解汽油	526,000	C5 汽油	46,000
	丁二烯工場	四碳煙油	391,600	芳香煙	328,000
				丁二烯	143,400
				萃餘油	230,600
	第七芳香煙工場	芳香煙	819,500	苯	250,200
				甲苯	198,600
				混合二甲苯	157,600
萃餘油				211,400	



三、專案技術及模場場址背景資料



資料來源：中油林園廠土壤及地下水整治計畫書(第一次變更)

圖15、「中油林園廠」廠區配置圖

24

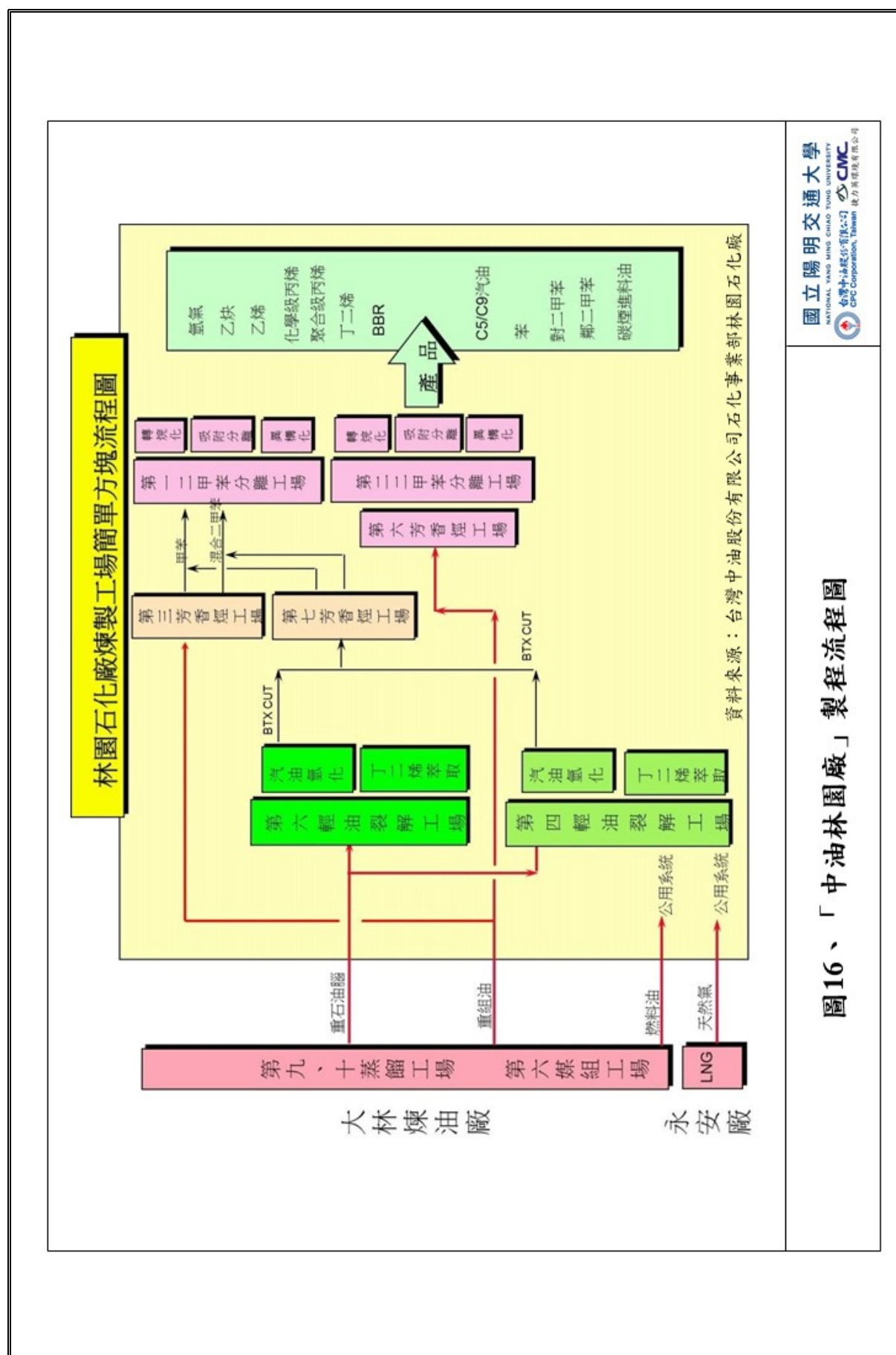


圖16、「中油林園廠」製程流程圖



6. 中油林園廠污染情況說明

中油林園廠最主要之污染來源為設備及管線之洩漏，由於建廠已有 40 餘年，部分設備與地下管線老舊，造成油品或製程原料的洩漏，已陸續進行查漏檢修作業。

由歷次調查及監測資料顯示，土壤中污染物包含苯、甲苯、乙苯、二甲苯及總石油碳氫化合物；地下水中之污染物則包含苯、甲苯、乙苯、二甲苯、萘及總石油碳氫化合物；此外，本場址無生產及使用 MTBE 物質，無該項污染物之污染疑慮。依據本場址土壤及地下水污染調查成果，彙整主要污染物最高濃度與管制標準詳見表 5。

(1) 廠內土壤污染

根據中油林園廠土壤及地下水污染調查及評估成果報告與整治計畫執行期間之監測結果顯示，廠內土壤污染物主要為苯、甲苯、乙苯、二甲苯及總石油碳氫化合物，縱向污染濃度分布於地表下 2~6m，與地下水位變動範圍相符，其中又以 4~5m 為高濃度污染區間；污染橫向分布主要位於製程區：四輕組南側與 200 油槽區北側間、芳一組與芳二組間、芳三組西側、廠區東北側及 100 油槽區南側等五區；而廠內主要之地下水污染物則為苯及總石油碳氫化合物為主，其分布於製程區四輕組南側與 200 油槽區北側之間、芳一組與芳二組間、芳三組與廠區東北側等區域，範圍與土壤污染區域大致相符。

本場址於 103 年 2 月執行第一階段廠區內 137 點土壤污染調查，分析項目為 VOCs、TPH；另於民國 103 年 6 月 18、19 日分別於污染範圍邊界增設 15 口土壤調查點位(P1~P15)進行第二階段廠區內土壤調查，分析項目為 BTEX、TPH。廠區內土壤調查點位詳見圖 17，污染範圍推估詳見圖 18。

(2) 廠內地下水污染

本場址於 103 年 2 月、103 年 4 月，進行廠區內第一階段地下水污染調查作業，採樣共計 48 口次，並於 103 年 6 月，在污染範圍邊界增設 6 口地下水調查點位(NC6-3、OW-128、OW-149、OW-102、OW-113 及 OW-121)，進行第二階段地下水污染調查，此外，為確保芳一組與芳二組之地下水污染未擴散至廠區外，於 104 年 1 月 14 及 23 日進行補充調查，分別在廠區東北側增加 6 口及西側增加 3 口地下水補充調查點位，分析項目皆為 VOCs、TPH、萘及總酚。



應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水

由廠區內地下水污染調查結果顯示，廠區內地下水主要受苯、甲苯、乙苯、萘及總石油碳氫化合物污染。苯污染熱區主要位於四輕組及 200 油槽區北側之間、芳一組第三芳香煙工場北側、芳一組第四芳香煙工場南側及芳二組北側之間、芳三組、廠區東北側等五處；甲苯污染範圍主要位於芳三組及舊三輕組間以及廠區東北側；乙苯污染範圍主要位於芳二組及西側油槽區間之北側以及廠區東北側；總石油碳氫化合物(TPH)污染熱區於芳一組及芳二組之間、芳三組及舊三輕組間、四輕組南側及 200 油槽區北側之間、廠區東北側等四處；萘污染範圍主要位於四輕組南側及 200 油槽區北側間。各項污染物之污染範圍及程度推估詳見圖 19。

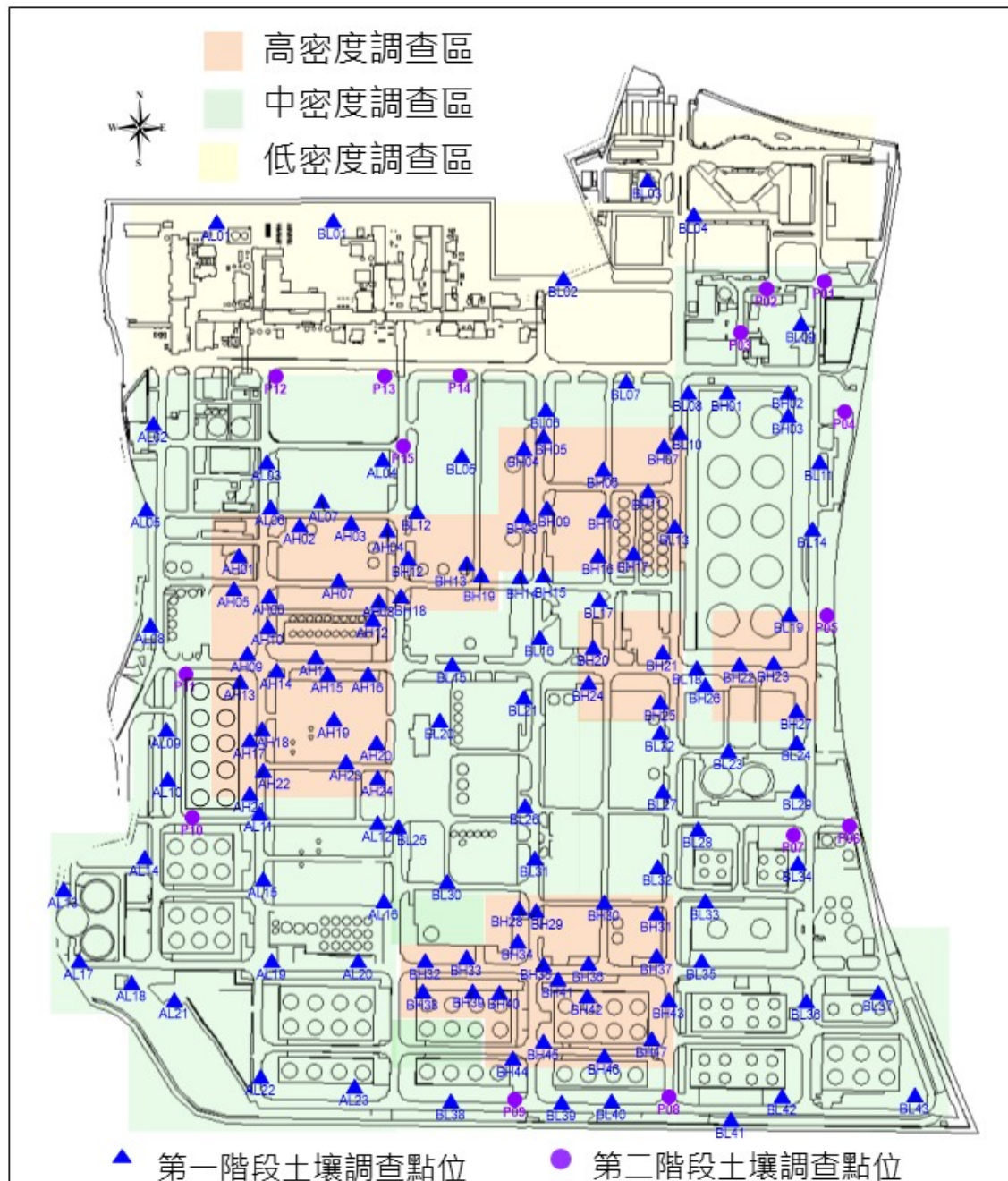
表 5、「中油林園廠」主要污染物最高濃度表

介質	污染物	最高濃度	管制標準	超過管制標準倍數	單位
土壤	苯	14,800	5	2960.0	mg/kg
	甲苯	13,900	500	27.8	mg/kg
	乙苯	2,660	250	10.6	mg/kg
	二甲苯	16,500	500	33.0	mg/kg
	總石油碳氫化合物	94,300	1,000	94.3	mg/kg
地下水	苯	61	0.05	1220.0	mg/L
	甲苯	18	10	1.8	mg/L
	乙苯	9.51	7	1.4	mg/L
	萘	1.01	0.4	2.5	mg/L
	總石油碳氫化合物	279	10	27.9	mg/L

註：主要污染濃度依據中油林園廠土壤及地下水污染調查成果彙整。



三、專案技術及模場場址背景資料

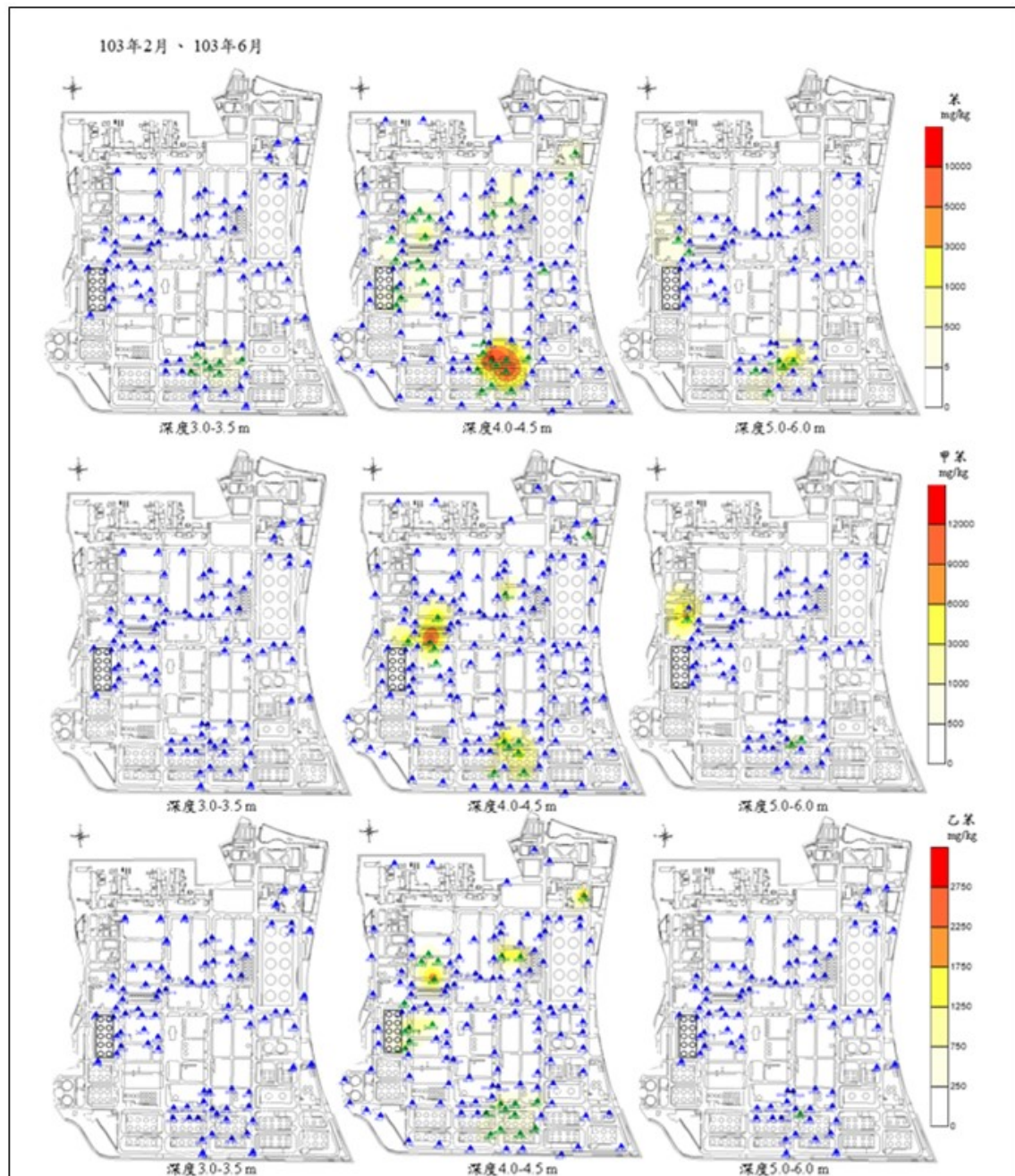


資料來源：中油林園廠土壤及地下水整治計畫書(第一次變更)

圖17、「中油林園廠」廠內土壤調查位置圖



應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水



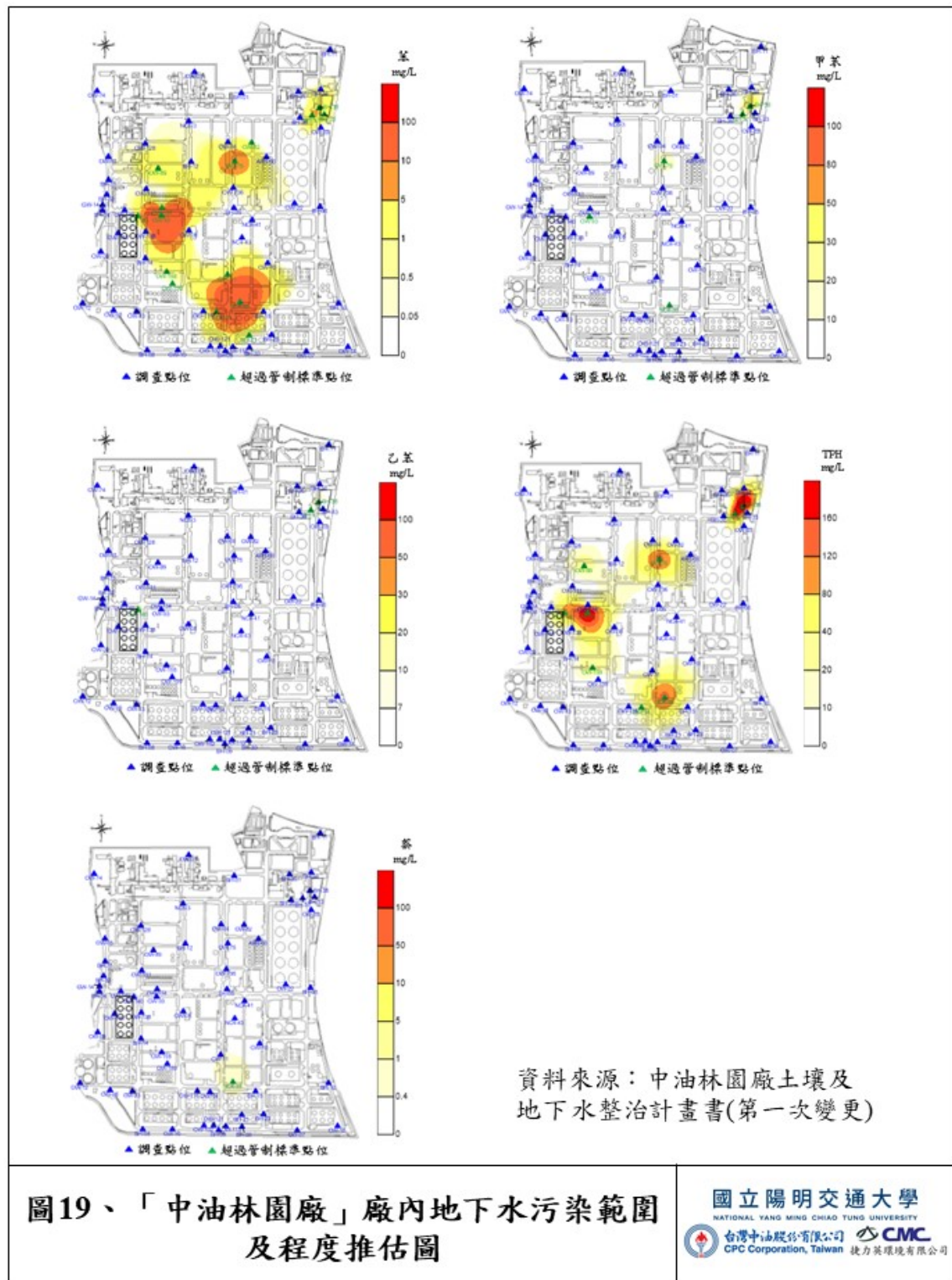
資料來源：中油林園廠土壤及地下水整治計畫書(第一次變更)

圖18、「中油林園廠」廠內土壤污染範圍推估圖

國立陽明交通大學
NATIONAL YANG MING CHIAO TUNG UNIVERSITY
台灣中油股份有限公司 CPC Corporation, Taiwan
捷力英環境有限公司



三、專案技術及模場場址背景資料





應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水

(三) 模場設置區

本計畫模場位於中油林園廠「100 油槽區」儲槽 LY-109 南側(詳見圖 20)，現場勘查照片詳見圖 21，現就此區土壤及地下水污染現況說明如下。

1. 100 油槽區土壤污染情形

中油林園廠「100 油槽區」於整治計畫土壤定期監測點分別有東北側 5 點(S03~07)、100 油槽區 9 點(S08~16)及芳三組東側 2 點(S23~24)，土壤定期監測點位及結果詳見圖 22 及表 6。本區 108 年 8 月監測結果僅採樣點 S13 之 TPH 測值(1,940 mg/kg)超過管制標準。

2. 100 油槽區地下水污染情形

為確認中油林園廠 100 油槽區南側地下水情形，故以該區域既設井(NC8-E06、NC8-E16、NC8-E01)進行監測，檢測結果(詳見表 7)分別為苯、萘及 TPH 超過管制標準，其中以 109 年 1 月監測井 NC8-E01 檢驗出地下水苯(66.3 mg/L)及 TPH(190 mg/L)濃度最高，地下水苯及 TPH 污染範圍模擬圖詳見圖 23 及圖 24。



三、專案技術及模場場址背景資料



圖20、「中油林園廠」模場位置圖

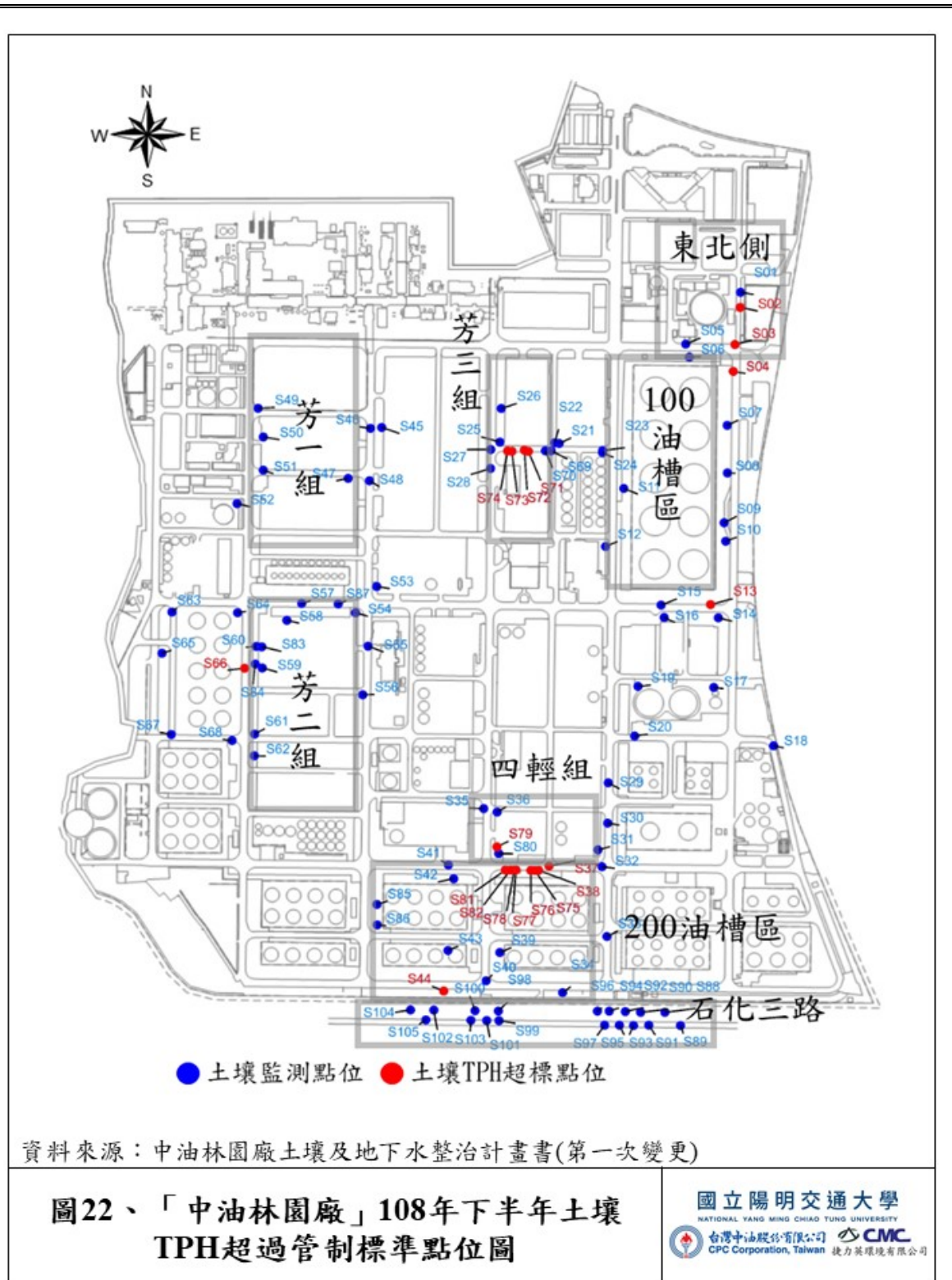


應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水





三、專案技術及模場場址背景資料





應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水

表 6、「中油林園廠」100 油槽區土壤監測結果

編號	採樣日期	送樣深度 (cm)	苯	甲苯	乙苯	二甲苯	TPHg (C6-C9)	TPHd (C10-C40)	TPH	萘
土壤污染管制標準			5	500	250	500	-	-	1,000	-
S03 (東北側)	105.08.18	430-450	<0.40	0.89	211	993	2,560	264	2,320	1.92
	106.03.01	530-550	<0.40	363	556	3,790	10,900	456	11,300	3.6
	106.11	530-550	<0.40	38.6	175	1,740	4,520	560	5,080	4.76
	107.03.09	530-550	3.08	196	359	2,210	5,260	997	6,260	49.3
	107.07	480-500	63.1	543	957	6,240	16,700	1,140	17,800	79
	108.03	580-600	ND	0.64	0.105	2.52	<10.0	ND	<160	<0.10
S04 (東北側)	108.08	530-550	<0.40	<0.40	<0.40	<1.20	239	8,730	8,970	67.3
	105.08.17	480-500	8.77	<0.40	132	7.7	1,340	243	13,800	420
	106.03.01	330-350	<0.40	<0.40	107	37.6	580	4,720	5,300	123
	106.11	430-450	<0.40	<0.40	<0.40	<1.46	ND	ND	437	<0.40
	107.03.09	430-450	<0.40	<0.40	0.88	2.63	857	1,760	2,620	9.09
	107.07	280-300	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.10
S05 (東北側)	108.03	480-500	<0.40	<0.40	1	<1.20	596	6,750	7,350	8.59
	108.05	430-450	<0.40	<0.40	<0.40	<1.20	902	13,100	14,000	<2.00
	108.08	530-550	<0.40	<0.40	<0.40	<1.20	240	6,640	6,880	<0.40
	105.08.17	580-600	2.52	ND	ND	ND	<10	ND	49.1	<0.10
	106.03.01	580-600	ND	ND	ND	<0.30	ND	ND	ND	<0.10
	106.06	380-400	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.10
S06 (東北側)	107.03.09	580-600	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.10
	107.07	580-600	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.10
	108.03	530-550	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.10
	108.08	530-550	ND	ND	ND	ND	ND	<150(60.7)	<160(64.7)	<0.10
	105.08.17	580-600	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.10
	106.03.01	530-550	ND	ND	ND	<0.30	ND	ND	ND	<0.10
S07 (東北側)	106.06	530-550	ND	ND	ND	ND	<10	ND	ND	<0.10
	107.03.09	580-600	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.10
	107.07	480-500	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.10
	108.03	580-600	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.10
	108.08	530-550	ND	ND	ND	ND	ND	<150(66.1)	<160(70.1)	<0.10
	105.08.17	380-400	<0.40	<0.40	<0.40	<1.20	243	503	745	<0.40
S08 (100 油槽區)	106.03.01	430-450	<0.40	<0.40	8.12	4.06	1,720	1,330	3,040	101
	106.06	380-400	ND	ND	ND	ND	ND	ND	72.4	<0.10
	107.03.12	430-450	<0.40	<0.40	<0.40	<1.20	297	<150	353	<0.40
	107.07	480-500	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.10
	108.03	480-500	<0.40	<0.40	<0.40	<1.20	3,120	2,190	5,310	18.6
	108.05	430-450	<0.40	<0.40	<0.40	<1.20	1,330	5,890	7,220	8.74
S09 (100 油槽區)	105.08.17	280-300	ND	ND	ND	ND	<10.0	ND	48.8	<0.10
	106.03.01	430-450	<0.40	<0.40	<0.40	<1.20	91.2	5,040	5,130	4.71
	106.06	530-550	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.10
	107.03.12	280-300	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.10
	107.07	430-450	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.10
	108.03	480-500	ND	ND	ND	ND	10.6	ND	<160	<0.10
S10 (100 油槽區)	108.08	380-400	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.10
	105.08.17	380-400	<0.40	<0.40	0.64	<1.20	12,100	24,500	36,600	19.7
	106.03.02	430-450	<0.40	<0.40	<0.40	<1.20	4,120	2,660	6,780	<5.00
	106.11	380-400	<0.40	<0.40	<0.40	<1.20	ND	ND	600	<0.40
	107.03.13	430-450	<0.40	<0.40	<0.40	<1.20	2,940	832	3,770	<5.00
	107.07	480-500	ND	ND	ND	ND	<10.0	ND	ND	<0.10
S11 (100 油槽區)	108.03	430-450	<0.40	<0.40	<0.40	<1.20	514	ND	566	<5.00
	108.08	530-550	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.10
	105.08.18	380-400	ND	ND	ND	<0.30	47.50	268.00	315.00	<0.10
	106.03.02	430-450	<0.40	<0.40	<0.40	<1.20	120.00	<150	175.00	<0.40
	106.06	480-550	<0.40	<0.40	<0.40	<1.20	ND	ND	732.00	<0.40
	107.03.13	430-450	<0.40	<0.40	<0.40	<1.20	525	1,730	2,250	<0.40
S12 (100 油槽區)	107.07	430-450	<0.40	<0.40	<0.40	<1.20	2,440	349	2,790	<5.00
	108.05	480-500	<0.40	<0.40	<0.40	<1.20	21.60	ND	<160	<0.40
	108.08	430-450	<0.40	<0.40	<0.40	<1.20	39.3	<150(73.0)	<160(112)	<0.40
	105.08.18	430-450	ND	ND	ND	ND	ND	ND	64.20	<0.10
	106.03.02	430-450	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.10
	106.06	280-300	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.10
S13 (100 油槽區)	107.03.13	280-300	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.10
	107.07	380-400	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.10
	108.03	280-300	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.10
	108.08	380-400	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.10
	105.08.18	430-450	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.10
	106.03.02	430-450	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.10

註 1：單位：mg/kg，粗體+底線表示超過監測標準，粗體+底線+黑底表示超過管制標準。

註 2：部分區域採樣點因為於沖排區域，因殘存少量之界面活性劑會影響分析儀器之操作，因此樣品需進行稀釋後方能分析，其分析結果呈現均依據認證實驗室標準作業程序。



三、專案技術及模場場址背景資料

表 6、「中油林園廠」100 油槽區土壤監測結果(續)

編號	採樣日期	送樣深度 (cm)	苯	甲苯	乙苯	二甲苯	TPHg (C6-C9)	TPHd (C10-C40)	TPH	萘
土壤污染管制標準			5	500	250	500	-	-	1,000	-
S12 (100 油 槽區)	105.09.13	430-450	ND	ND	ND	ND	<10.0	ND	ND	<0.10
	106.03.02	430-450	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<160	<0.10
	106.06	580-600	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.10
	107.03.13	480-500	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.10
	107.07	230-250	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.10
	108.03	580-600	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.10
S13 (100 油 槽區)	108.08	430-450	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.10
	105.08.18	380-400	ND	ND	ND	N.D.	ND	ND	59.40	<0.10
	106.03.02	430-450	<0.40	<0.40	<0.40	<1.20	1,360	5,060	21,700	<5.00
	106.11	430-450	<0.40	<0.40	<0.40	<1.20	1,960	5,910	6,430	<0.40
	107.03.13	480-500	<0.40	<0.40	<0.40	<1.20	1,960	5,910	7,870	<5.00
	107.07	480-500	<0.40	<0.40	<0.40	<1.20	82.10	ND	<160	<0.40
S14 (100 油 槽區)	108.03	430-450	<0.40	<0.40	<0.40	<1.20	2,180	<150	2,330	<5.00
	108.08	480-500	<0.40	<0.40	<0.40	<1.20	334	1,610	1,940	<0.40
	105.08.18	530-550	<0.40	<0.40	<0.40	<1.20	469	440	910	<2.00
	106.03.02	380-400	<0.40	<0.40	<0.40	<1.20	565	2,100	2,660	<2.00
	106.06	530-550	ND	ND	ND	ND	394	288	54.7	<0.10
	107.03.13	380-400	<0.40	<0.40	<0.40	<0.40	ND	ND	<0.40	<0.40
S15 (100 油 槽區)	107.07	230-250	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.10
	108.03	480-500	ND	ND	ND	ND	20.90	ND	<160	<0.10
	108.08	530-550	ND	ND	ND	ND	ND	<150(52.5)	<160(56.5)	<0.10
	105.08.18	530-550	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.10
	106.03.02	580-600	ND	ND	ND	ND	<10	ND	<160	<0.10
	106.06	580-600	ND	ND	ND	ND	<10.0	ND	ND	<0.10
S16 (100 油 槽區)	107.03.13	480-500	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.10
	107.07	480-500	<0.40	<0.40	<0.40	<1.20	ND	ND	ND	<0.40
	108.03	580-600	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.10
	108.08	480-500	ND	ND	ND	ND	<10.0	ND	<160(57.4)	<0.10
	105.08.18	380-400	ND	ND	ND	ND	<10	ND	46.20	<0.10
	106.03.02	580-600	ND	ND	ND	ND	<10.0	ND	<160	<0.10
S23 (芳三 組)	106.06	530-550	ND	ND	ND	ND	<10.0	ND	ND	<0.10
	107.03.13	530-550	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.10
	107.07	330-350	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.10
	108.03	380-400	ND	ND	ND	ND	<10.0	ND	<160	<0.10
	108.08	480-500	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.10
	105.08.11	380-400	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.10
S24 (芳三 組)	106.02.16	430-450	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.10
	106.06	530-550	ND	0.10	ND	0.38	ND	ND	ND	<0.10
	107.02.26	430-450	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.10
	107.07	480-500	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.10
	108.03	580-600	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.10
	108.08	480-500	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.10
S24 (芳三 組)	105.09.01	530-550	ND	0.11	0.12	0.38	<10	ND	46.40	<0.10
	106.02.18	530-550	0.11	1.20	0.19	1.24	<10	ND	<160	<0.10
	106.11	480-500	ND	ND	ND	ND	13.90	ND	64.20	<0.10
	107.02.26	430-450	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.10
	107.07	530-550	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.10
	108.03	580-600	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.10
S24 (芳三 組)	108.08	530-550	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.10

註 1：單位：mg/kg，粗體+底線表示超過監測標準，粗體+底線+黑底表示超過管制標準。

註 2：部分區域採樣點因為於沖排區域，因殘存少量之界面活性劑會影響分析儀器之操作，因此樣品需進行稀釋後方能分析，其分析結果呈現均依據認證實驗室標準作業程序。



應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水

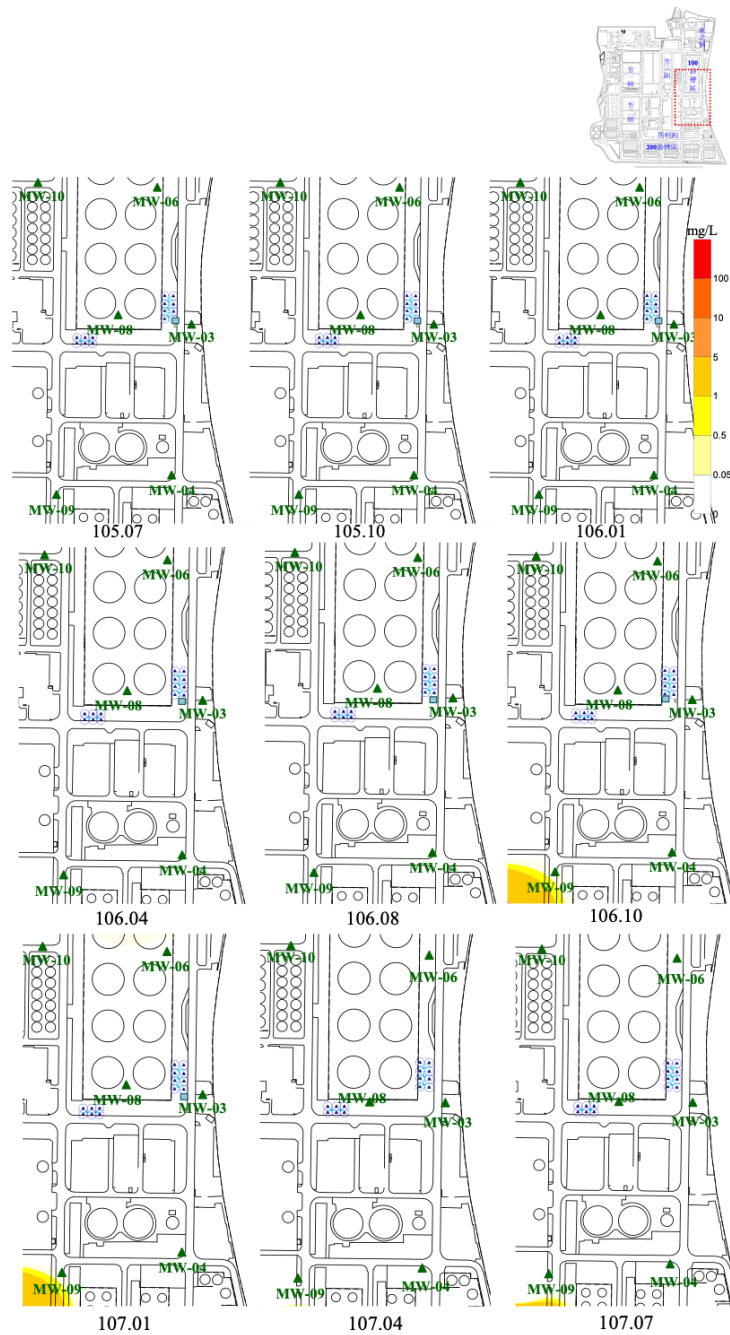
表 7、「中油林園廠」 100 油槽區地下水監測結果

監測區域	井號	採樣日期	水位 (m)	苯 (mg/L)	甲苯 (mg/L)	乙苯 (mg/L)	二甲苯 (mg/L)	萘 (mg/L)	TPH (mg/L)	四氯化碳 (mg/L)
第二類地下水污染管制標準				0.05	10	7	100	0.4	10	0.05
廠區內整治成效監測井	MW-03 (油槽區)	103.02	3.776	0.0023	0.00559	0.0034	0.0375	0.00124	0.0614	-
		105.07	2.857	ND	ND	ND	ND	ND	0.413	ND
		105.10	2.874	0.00032	ND	ND	ND	ND	0.264	ND
		106.01	3.414	ND	ND	ND	ND	ND	<0.500	ND
		106.04	3.518	<0.00100	ND	ND	ND	ND	<0.500	ND
		106.08	2.985	ND	ND	0.00218	0.02380	ND	0.09	ND
		106.10	3.310	0.00219	ND	ND	ND	ND	0.542	ND
		107.01	3.500	<0.00100	ND	ND	ND	ND	0.534	ND
		107.05	3.653	0.0265	0.00314	0.00131	0.0264	0.00117	<0.500	ND
		107.07	0.00268	ND	ND	ND	ND	<0.500	0.00268	ND
		107.10	ND	ND	ND	ND	ND	<0.500	ND	ND
		108.01	3.292	ND	ND	ND	ND	ND	<0.500	ND
		108.04	3.450	ND	ND	ND	ND	ND	<0.500	ND
		108.07	3.045	ND	ND	ND	ND	ND	<0.500	ND
		108.10	3.134	ND	ND	ND	ND	ND	0.288	ND
		109.01	3.573	ND	ND	ND	ND	ND	0.4	ND
	MW-06 (油槽區)	105.07	3.374	ND	ND	ND	ND	ND	0.260	ND
		105.10	3.463	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		106.01	3.819	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		106.04	3.935	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		106.08	3.585	ND	ND	0.00885	0.08420	0.00631	0.228	ND
		106.10	3.773	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		107.01	3.945	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		107.05	4.128	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		107.07	3.003	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		107.10	3.447	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		108.01	3.432	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		108.04	3.897	ND	ND	ND	ND	ND	<0.500	ND
		108.07	3.475	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		108.10	3.514	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		109.01	4.006	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	MW-08 (油槽區)	103.02	4.321	ND	ND	ND	ND	ND	0.661	-
		105.07	3.334	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		105.10	3.510	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		106.01	3.901	<0.00100	<0.00100	ND	0.00416	<0.00100	1.12	ND
		106.04	4.008	ND	ND	ND	<0.00300	ND	0.642	ND
		106.08	3.476	ND	ND	ND	0.00500	ND	ND	ND
		106.10	3.810	ND	ND	ND	<0.00300	ND	0.995	ND
		107.01	4.010	ND	ND	ND	ND	ND	0.732	ND
		107.05	4.187	<0.001	ND	ND	ND	ND	<0.500	ND
		107.07	3.345	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		107.10	3.323	ND	ND	ND	ND	ND	<0.500	ND
		108.01	3.183	ND	ND	ND	<0.0300	ND	0.906	ND
		108.04	3.958	ND	ND	ND	ND	ND	1.08	ND
		108.07	3.582	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		108.10	3.595	ND	ND	ND	0.00127	ND	0.874	ND
		109.01	4.087	ND	ND	ND	0.00088	ND	ND	ND
	NC8-E01 (四輕組)	108.04	3.793	5.42	0.0865	0.26	0.316	0.272	11	<0.0500
		109.01	3.998	66.3	3.144	5.984	5.068	4.47	190	<0.0500
	NC8-E06 (四輕組)	108.04	3.437	0.0127	0.00038	0.0127	0.0098	0.0234	0.584	ND
		109.01	3.603	0.00070	ND	0.00714	0.00196	0.01382	0.81	ND
	NC8-E16 (四輕組)	108.04	3.608	0.0384	0.00082	0.00608	0.00338	0.0082	0.332	ND
		109.01	3.795	1.4	0.0521	1.047	0.3756	0.387	5.62	<0.0100

註 1：粗體+底線+黑底表示超過第二類地下水污染管制標準。註 2：“-”表示無相關檢測數據。



三、專案技術及模場場址背景資料



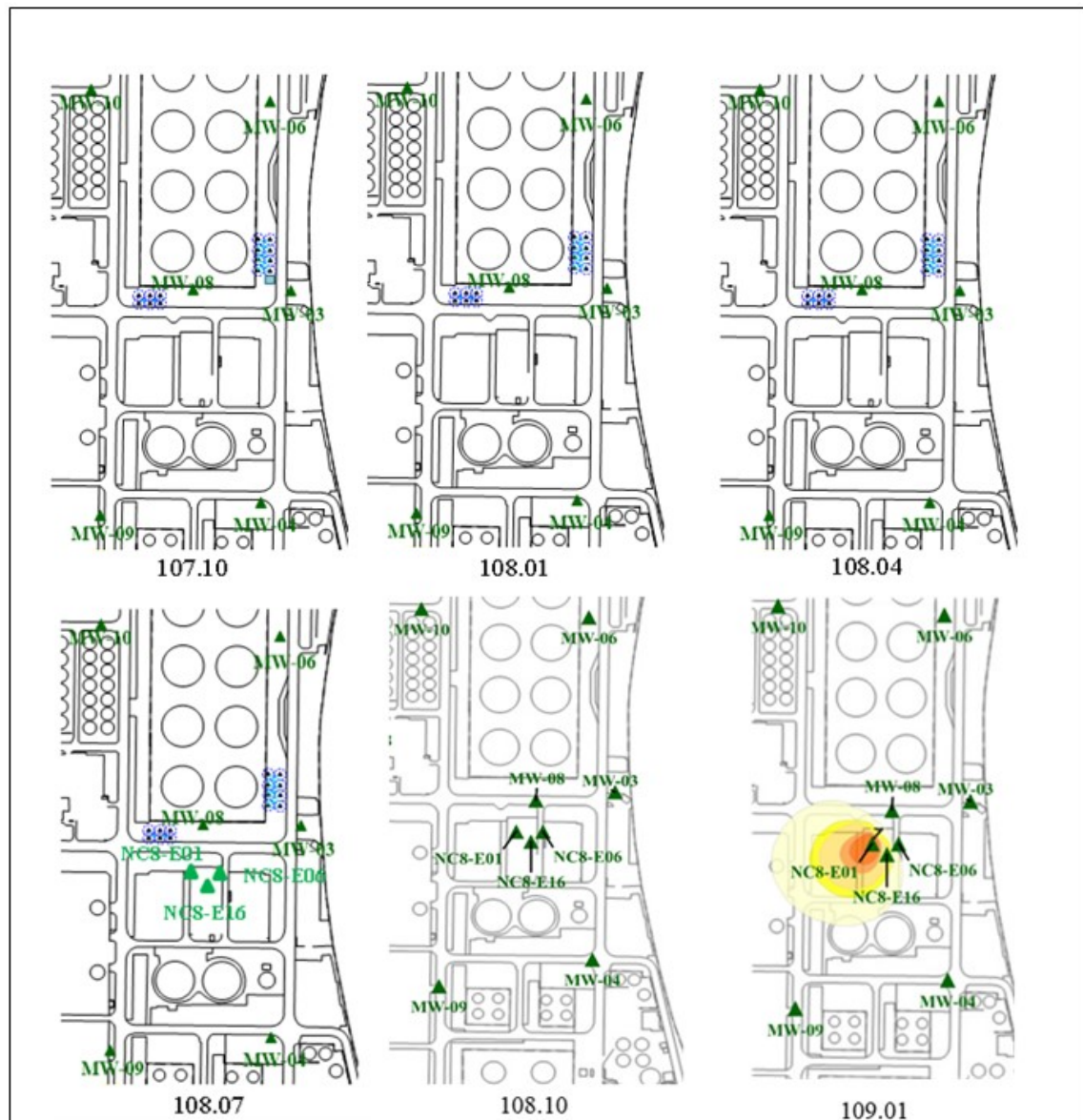
資料來源：中油林園廠土壤及地下水整治計畫書(第一次變更)

**圖23、「中油林園廠」100油槽區地下水苯
污染範圍模擬圖**

國立陽明交通大學
NATIONAL YANG MING CHIAO TUNG UNIVERSITY
台灣中油股份有限公司
CPC Corporation, Taiwan
捷力英環境有限公司



應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水

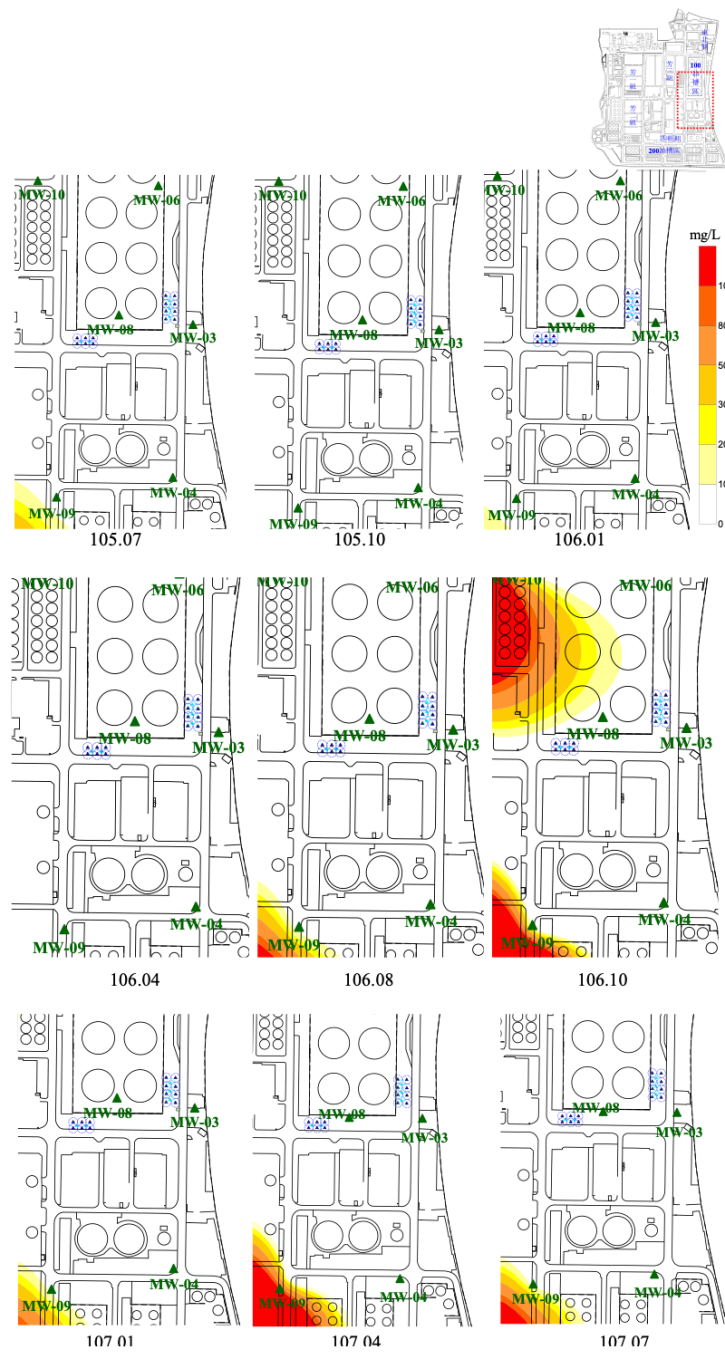


資料來源：中油林園廠土壤及地下水整治計畫書(第一次變更)

圖23、「中油林園廠」100油槽區地下水苯污染範圍模擬圖(續)



三、專案技術及模場場址背景資料



資料來源：中油林園廠土壤及地下水整治計畫書(第一次變更)

**圖24、「中油林園廠」100油槽區地下水
TPH污染範圍模擬圖**

國立陽明交通大學
NATIONAL YANG MING CHIAO TUNG UNIVERSITY
台灣中油股份有限公司
CPC Corporation, Taiwan
捷力英環境有限公司



應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水



資料來源：中油林園廠土壤及地下水整治計畫書(第一次變更)

圖24、「中油林園廠」100油槽區地下水
TPH污染範圍模擬圖(續)



四、文獻探討

(一) 活性碳再生方式

以碳為基底的多孔吸附劑由於其表面積大且吸附性能優異，廣泛應用於去除液態和氣態污染物等方面，雖然多孔吸附劑擁有良好去除污染物的能力，一旦吸附達到飽和後，因再生困難且成本高、高耗能，故通常以掩埋場焚燒處置，而所殘留的物質還可能造成二次污染。為達到節省成本並兼顧環境友善的目的，開發再生技術是碳基底吸附劑需要突破的挑戰，依再生技術的機制及使用的再生劑主要劃分為熱再生、化學再生、微生物再生和真空再生四大類，如圖 25 (Salvador *et al.*,2015) 所示。

另外，可用再生前後吸附容量之間的比較(Salvador *et al.*,2014)來判斷再生效率(Regeneration Efficiency, RE)，如式4-1:

RE=(再生後吸附量/再生前吸附量) × 100%

(式4-1)

		Type of Regeneration Mechanism				
		Extraction	pH changes	Reaction/ Degradation	Thermal desorption	Vacuum
Type of Regeneration Agent	Hot gases			THERMAL REGENERATION		
	Physical waves					
	Electrical currents					
	Chemical Reagents	CHEMICAL REGENERATION				
	Supercritical Fluids					
	Microorganisms	MICROBIOLOGICAL REGENERATION				
					VACUUM REGENERATION	

圖25、碳基底吸附劑再生技術分類



應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水

(二) 熱再生

熱再生為透過提供熱能來打斷吸附劑及污染物之間的鍵結而非直接降解污染物(Salvador *et al.*,2015)，是目前廣泛用於工業應用上以活性碳吸附氣態揮發性有機化合物的方法，其中以變溫脫附（temperature swing adsorption，簡稱 TSA）為最常見的方法，其機制是在高溫脫附過程中加入惰性氣體（ N_2 、He、Ar），目的除了用來提供熱能外，同時又能吹走被脫附出來的污染物，但此種方法的缺點為若溫度低於 $300^\circ C$ 時脫附速度緩慢且脫附效果差；若以高溫 $800\sim 900^\circ C$ 進行脫附，雖具有極強的脫附污染物效果，但過程中造成質量損失、孔隙不斷被破壞且有結焦造成堵塞，導致吸附能力逐漸下降，無法完全再生活性碳(Jibin Zhou *et al.*,2019)。

(三) 臭氧再生

臭氧再生屬於化學再生中的氧化方法，所需成本雖然比一般氧氣再生高，但臭氧具有較高的氧化劑特性，在室溫下即可達到去除活性碳中殘留物質的效果，在再生過程中適當升溫可較快達到去除效果進而減少能耗。以臭氧再生不僅能有效去除活性碳孔隙內的污染物，同時以氧化去除結焦(Jibin Zhou *et al.*,2019)。

以臭氧再生主要分兩種機制去除污染物(K. Yaghmaeian *et al.*,2014；H. Valdes *et al.*,2016)，一為直接由分子態臭氧進行氧化；另一途徑為臭氧在活性碳表面形成高氧化力的氫氧自由基和氧氣自由基（ $\cdot OH$ 及 $O_2\cdot$ ），可氧化在活性碳孔隙殘留的有機物。

雖然臭氧再生對活性碳有良好的再生效率，對許多有機物污染物也都有很好的氧化效果，但曝過量臭氧可能會造成活性碳表面結構改變，如表面積變小或活性碳表面化學性質的改變，造成吸附能力下降，再生效率也隨著再生次數增加而變差(P.M. Álvarez *et al.*,2009)。

(四) 臭氧再生參數探討

1. 臭氧再生時間

臭氧再生間影響活性碳孔洞中污染物是否能有效去除，同時也與活性碳的碳損失(Alejandro *et al.*, 2014)及表面特性是否因過度臭氧化而造成改變有關係。

活性碳在吸附有機物質後，其 BET 表面積會因為孔洞被遮蔽而減少，以臭氧再生活性碳能有效再生，但若曝臭氧時間過程則可能使活性碳造成表面積被破壞(Alva' rez *et al.*, 2004)。再生時間過長造成再生後活性碳孔洞被遮蔽的原因為吸附在活性碳表面之有機物並沒有藉由臭氧的直接氧化(非利用 $\cdot OH$ 氧化)礦化，而是形成了中間產物，藉由熱重分析(Thermogravimetric Analysis, TGA)可以看



出，在長時間臭氧再生條件下，活性碳孔洞中有非目標物之化學物質存在，影響吸附能力。

除了以 TGA 測出中間產物波峰之方法外，中間產物的生成也影響著表面酸鹼度 (Beltrán & Pocostales, 2009)。在全新的活性碳表面上，含有許多鹼性氧化基團，其維持了活性碳零電荷點 (pH_{zpc})，使活性碳在大多數 pH 環境下表面帶正電，容易吸引帶負電之有機物。在過長的再生時間下，因過度的暴露在臭氧環境，容易使原先在活性碳表面的鹼性氧化基團轉為酸性，不僅影響表面積，也影響了 pH_{zpc} ，使其偏酸性而導致活性碳在再生後不容易與帶負電目標物互相吸引，吸附能力下降。

2. 臭氧劑量

臭氧劑量跟再生時間相關，較高的臭氧劑量在未過量情況下可以有較好的去除吸附質能力，高濃度的臭氧可以產生更多的氫氧自由基 ($\cdot\text{OH}$)，可在短時間內達到一定的氧化效果，而過量的臭氧量也可能會造成活性碳的碳損失、表面性質改變。

臭氧劑量的提高關乎臭氧機的功率、氧氣的純度以及氧氣/臭氧混合流的進氣流量有關，雖然利用高濃度的臭氧劑量再生活性碳能獲得較好的再生效率，但其成本需要納入考慮 (Yaghmaeian & Alahabadi, 2014)，在臭氧去除效力 ($\text{mg O}_3/\text{吸附質 mg}$) 與操作成本之間需做取捨。

(五) 貴金屬鈦之特性

貴金屬材料雖價格昂貴但其耐高溫、耐腐蝕等優異特性，許多研究仍會當做觸媒改質的材料之一，由於 d 電子軌道都未填滿，表面易吸附反應物，貴金屬常作為催化劑，常被使用的貴金屬為鉑、鈀、銻、銀、鈦。

鈦金屬最常見的氧化物為二氧化鈦，其在鹼性環境下 (J. Electrochem, 2016) 與強氧化力自由基反應後會形成高價態貴金屬 Ru 離子 (Floquet & Eysseric, 2005)。四氧化鈦具有分解有機物的能力，醇類、胺類 (Mario Pagliaro *et al.*, 2005) 到複雜的難分解有機物戴奧辛 (D. C. Ayres, 1981)，都可以藉由與四氧化鈦反應去除。

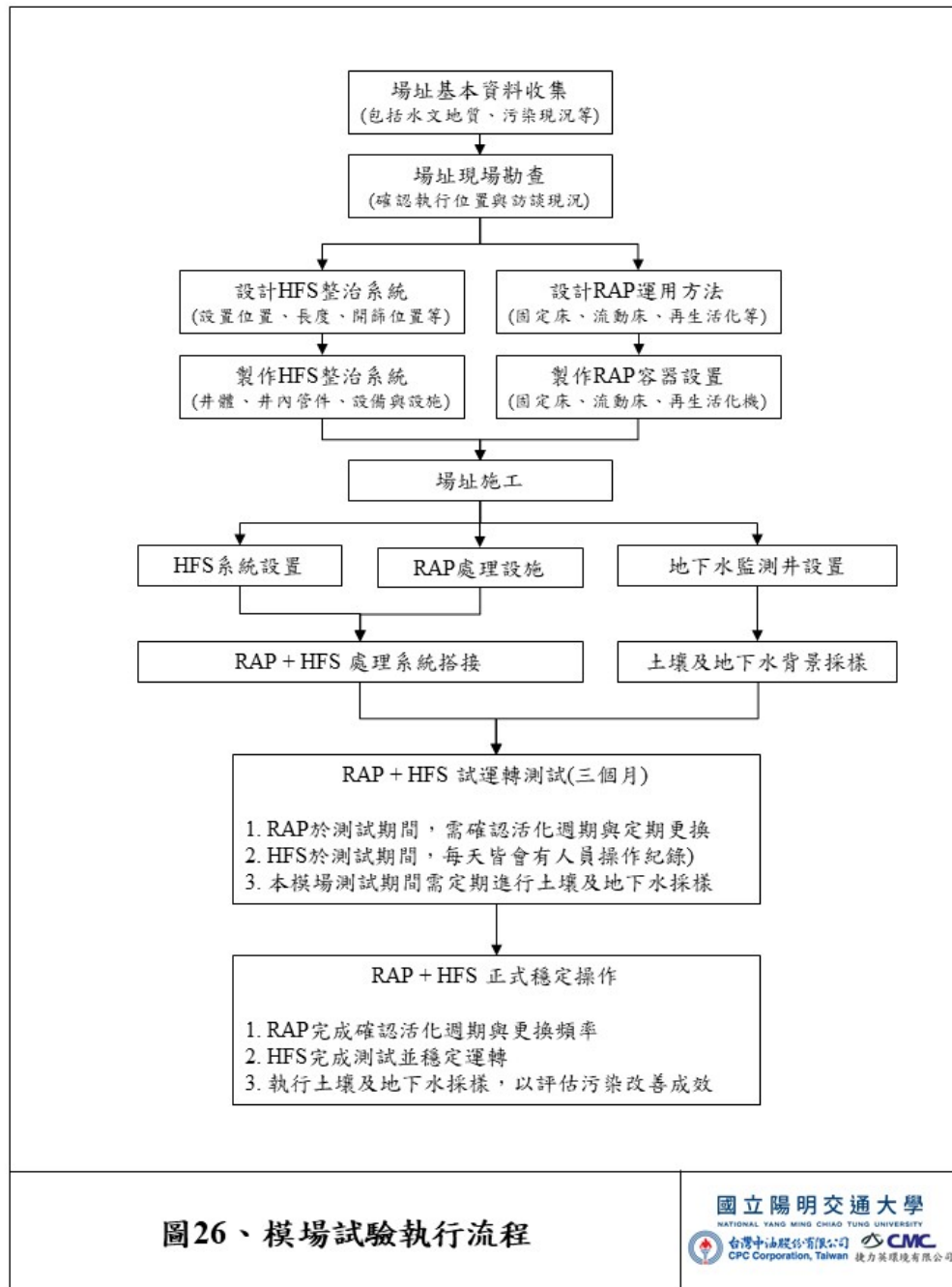


應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水

五、研究方法與過程

(一)研究方法

本計畫係採用兩種不同領域的高端處理技術，主要為可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水。現階段規劃執行流程如圖 26 所示。





(二) 模場設置規劃

1. 背景調查

本計畫模場預定設置於中油林園廠「100 油槽區」儲槽 LY-109 南側(詳見圖 20)，現場勘查照片詳見圖 21，由中油林園廠提供歷次監測資料可看出，108 年 8 月土壤採樣點 S13(位置及測值詳見圖 22 及表 6)之 TPH 測值(1,940 mg/kg，深度 4.8~5.0m)超過管制標準(1,000 mg/kg)，109 年 1 月監測井 NC8-E01(測值詳見表 7)檢驗出地下水苯(66.3 mg/L)、萘(4.47 mg/L)及 TPH(190 mg/L)濃度最高且超過管制標準(苯：0.05mg/L、萘 0.4 mg/L、TPH：10 mg/L)。

為確實掌握模場區域之土壤及地下水現況及後續成效評估，本計畫預定於模場設置前再進行一次土壤及地下水現況調查，調查範圍詳見圖 26，現就土壤及地下水調查規劃說明如下。

(1) 土壤調查

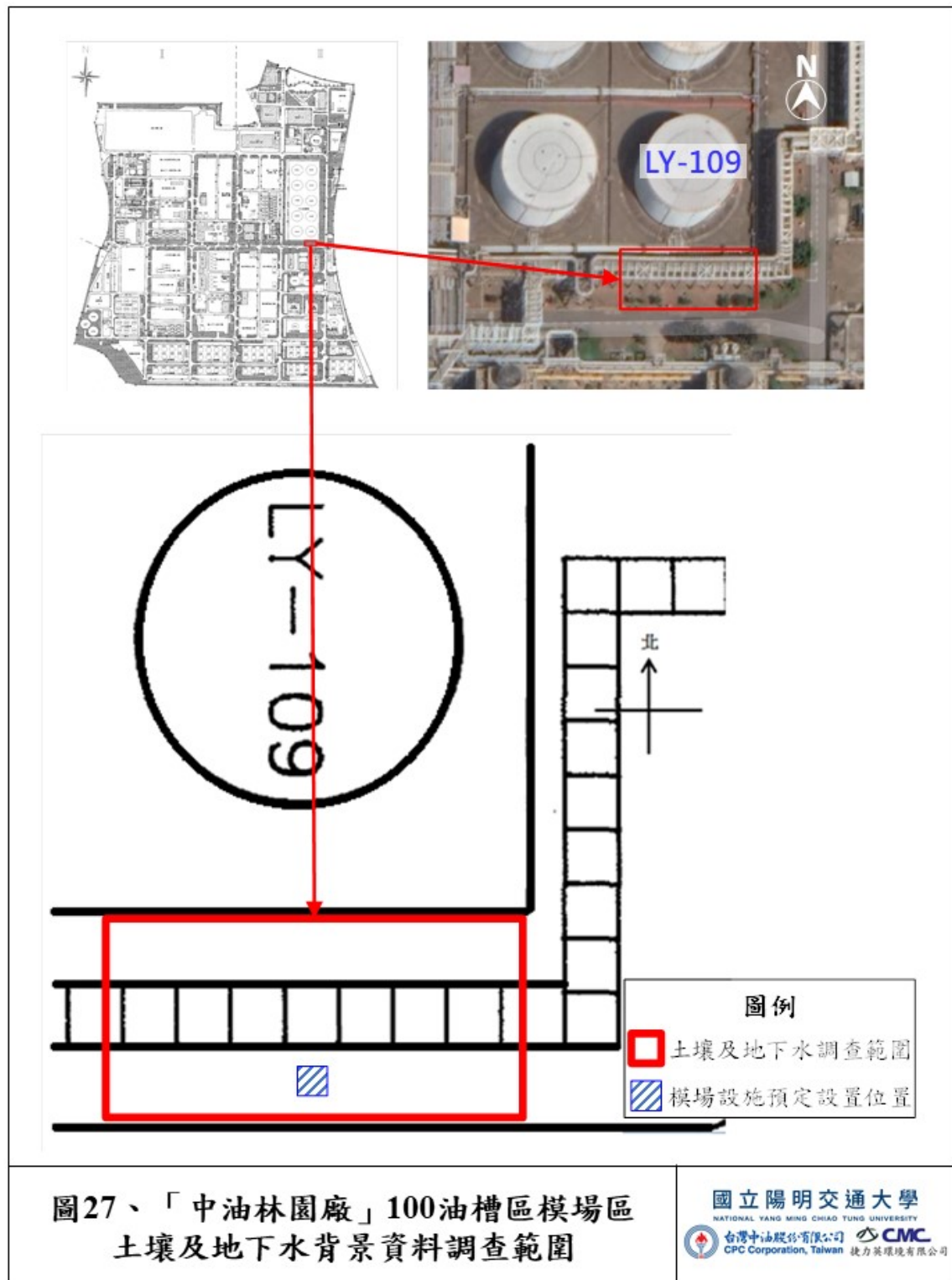
本計畫規劃於模場區域進行 3 點土壤採樣，考量中油林園廠過去調查之土壤污染縱向深度規劃採樣深度，檢測總石油碳氫化合物。此外，土壤採樣作業亦可配合中油林園廠定期監測執行。

(2) 地下水調查

本計畫選定模場區域既設 3 口地下水監測井執行，既設監測井深度為地表下 5 至 10 公尺之間，既設井位置將依據 HFS 系統設置運轉後可能之影響半徑範圍，選定距離約 10 至 20 m 處之 3 口監測井，作為系統運轉影響範圍確認及地下水整治成效監測。地下水檢測項目為苯、甲苯、乙苯、二甲苯、萘及總石油碳氫化合物。此外，採樣作業亦可配合中油林園廠定期監測執行。



應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水





2. 模場設置規劃與運轉

本模場設置規劃主要運用 RAP 搭配 HFS，來加速整治系統在運轉過程中污染物之移除，以縮短場址整治期程。本計畫分為兩年，第一年第一階段 RAP 置於地表上尾氣抽除段，主要用於吸附 HFS 系統運轉期間產生之揮發性氣體；第一年第二階段則於原本地下水抽除至地面以油水分離處理後，再增加經過 RAP 處理，來加強去除水中污染物。

第二年則將 RAP 設置於 HFS 系統之影響半徑範圍內之地下水監測井中，藉由 HFS 系統運轉帶動下，並運用 RAP 本身之特有處理功能，有效將影響半徑範圍內之地層污染物移除，各階段執行規劃說明如下。

(1) 第一年

I. HFS 整治系統設置與運轉

i. 系統設置作業

系統設置前會依本場址前期之背景調查結果，評估場址地下水污染狀況，並考量系統設置位置周圍環境限制等因素，擇定系統設置位置，後續即針對系統設置位置進行地質調查確認地層地質狀況，推估污染物累積區域、深度並考量含水層水位變化等，作為後續規劃系統設置深度及系統內部設計之依據。

系統設置選用之鑿井工法為傳統衝擊鑽機工法(cable tool drilling)，主要利用鋼纜帶動衝擊鑽頭上下運動，利用衝擊方式挖掘至指定深度時，井體設置時間亦需掌握得宜，需避免設置過程時間過長造成地層崩塌之情況發生；下管完成後續井體周圍濾料選用、填充方式，及完井程序品質掌握為系統運轉成效之重要關鍵，此步驟對於系統後續運轉維護頻率亦有相當程度之影響；井體完井程序結束後，隨即進行內部設備組裝程序，待系統組裝完成後即進行系統試運轉作業，並依據現地情況調整系統之穩定性操作；井體完井程序結束後，隨即進行內部設備組裝程序，待系統組裝及地表設施裝設完成後即進行系統試運轉作業，並依據現地情況調整系統之穩定性操作。

本套系統設置深度依據地層結構進行設計，HFS 系統之整治井口徑為 16 吋，井體長度為地表下 10 公尺，地表上 1 公尺，合計 11 公尺，井體分別設置兩層井篩，於上井篩中設置噴散裝置，上下井篩則利用 HFS 阻隔盤將上下井篩進行分層。井體設計規畫示意詳見圖 28，HFS 設備配置詳見圖 29。



應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水

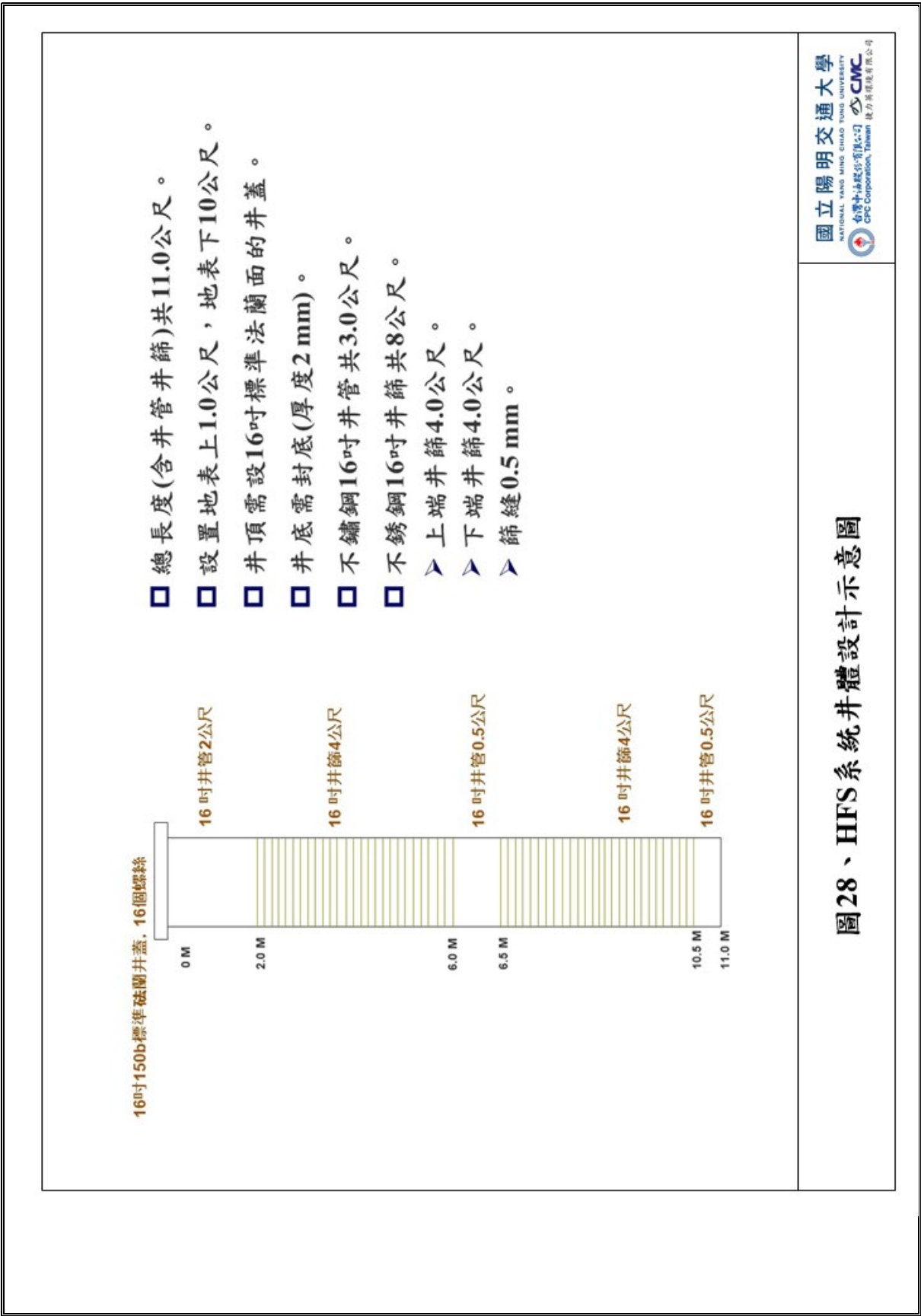


圖28、HFS系統井體設計示意圖



- HFS系統地下設施：包括地底下井管及井篩(不鏽鋼材質)、地下水阻水單元、地下水抽除管線及油污抽除管線等相關整治系統地下設施。
- HFS系統地表設施：包括系統開關裝置、流量計、活性碳槽、油水分離裝置及防撞與防護設施。
- 地表管線
包括抽回水管線、電力線等。

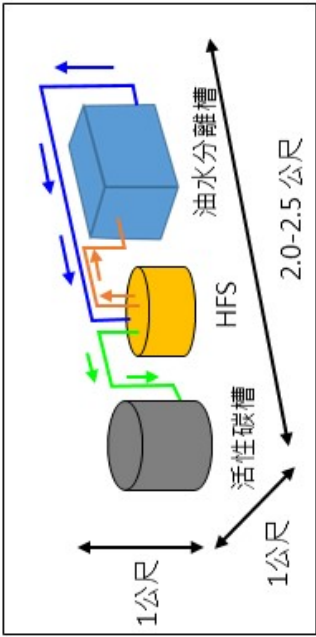


圖29、HFS設備配置圖



應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水

ii. 系統影響半徑測試

為了得知系統初期穩定運轉後成效，影響半徑測試(ROI)為評估系統之有效影響範圍之重要指標，首先透過系統附近監測井放置自計式水位計自動監測系統運轉過程之水位變化，如圖 30 所示。系統啟動期間，須依地層狀況控制地下水抽、回水量，確保系統運轉過程地下水抽、回水量可維持平衡狀態，經系統穩定運轉一段時間後即可讀取自計式水位計紀錄資料，確認系統運轉期間地層水位變化，如圖 31 所示。

系統試運轉測試時間為三個月，HFS 整治系統於試運轉期間需每週紀錄 1 至 2 日運轉情形，透過試運轉期間觀察並紀錄系統運轉情形，將系統調整至最佳操作條件，HSF 系統操作紀錄表如表 8 所示。後續運用系統影響半徑測試建構各套系統在不同地層狀況下的最佳運轉條件，以期達到系統最佳處理效能。

iii. 系統正式運轉

HFS 系統設置完成後，經三個月試運轉、確認影響半徑範圍並取得最佳化運轉操作參數後，HFS 系統即啟動正式 24 小時連續式操作，正式運轉期間仍會定期進行系統巡檢，確認系統運轉正常，並定期配合土壤及地下水現況監測，以掌握系統運轉對地下環境污染之整治成效。

II. RAP 處理設施設置

本設施在整治初期先以處理 HFS 系統運轉期間產生之揮發性有機氣體(VOC)為主，設置 RAP 固定床進行吸附，飽和後再將 RAP 抽換出來，以臭氧進行觸媒作維護性活化(maintenance activation, MA)，或視狀況再進一步添加活化液作恢復性活化(recovery activation, RA)。

i. 尾氣處理設備 RAP

運用 RAP 設置於地表上作為 HFS 系統運轉期間產生之揮發性有機氣體進行吸附處理，避免造成環境中的二次污染，詳見圖 32。本設施設置於地表上，包含 2 個 30 公升管柱(直徑約 10 吋)，管柱內共放置 40 公升 RAP，以吸附為主，飽和後以臭氧臭生。後續依執行現況亦可針對 HFS 系統運轉期間抽出之地下水，經由油水分離裝置及裝填 RAP 之管柱進行第一階段之污染物去除後，再回注於 HFS 系統中進行二次處理，強化地下水中污染物去除效果，RAP&HFS 整治系統設計示意圖(110 年 Phase I)詳見圖 32。

ii. 地下水抽出處理設備 RAP

待 HFS 系統設置後並完成試運轉後，在正式運轉過程因水中恐仍有



些浮油，除了井中高濃度污染物持續抽除外，將井中地下水抽至地面經油水分離後，再經過 RAP 處理，可有效將流經之地下水進行污染吸附移除，以提升整體污染移除效率，RAP&HFS 整治系統設計示意圖(110 年 Phase II)詳見圖 33。

RAP 處理設施於試運轉期間需確認 RAP 活化週期，測試期間進行 PID 量測，當測值大於 10 ppm 時進行更換 RAP，並將 RAP 攜回以臭氧機在 80 度 C 活化再生後，再運回至場址進行再次吸附以驗證活化成效，活化週期與處理效果為重要的記錄參數。

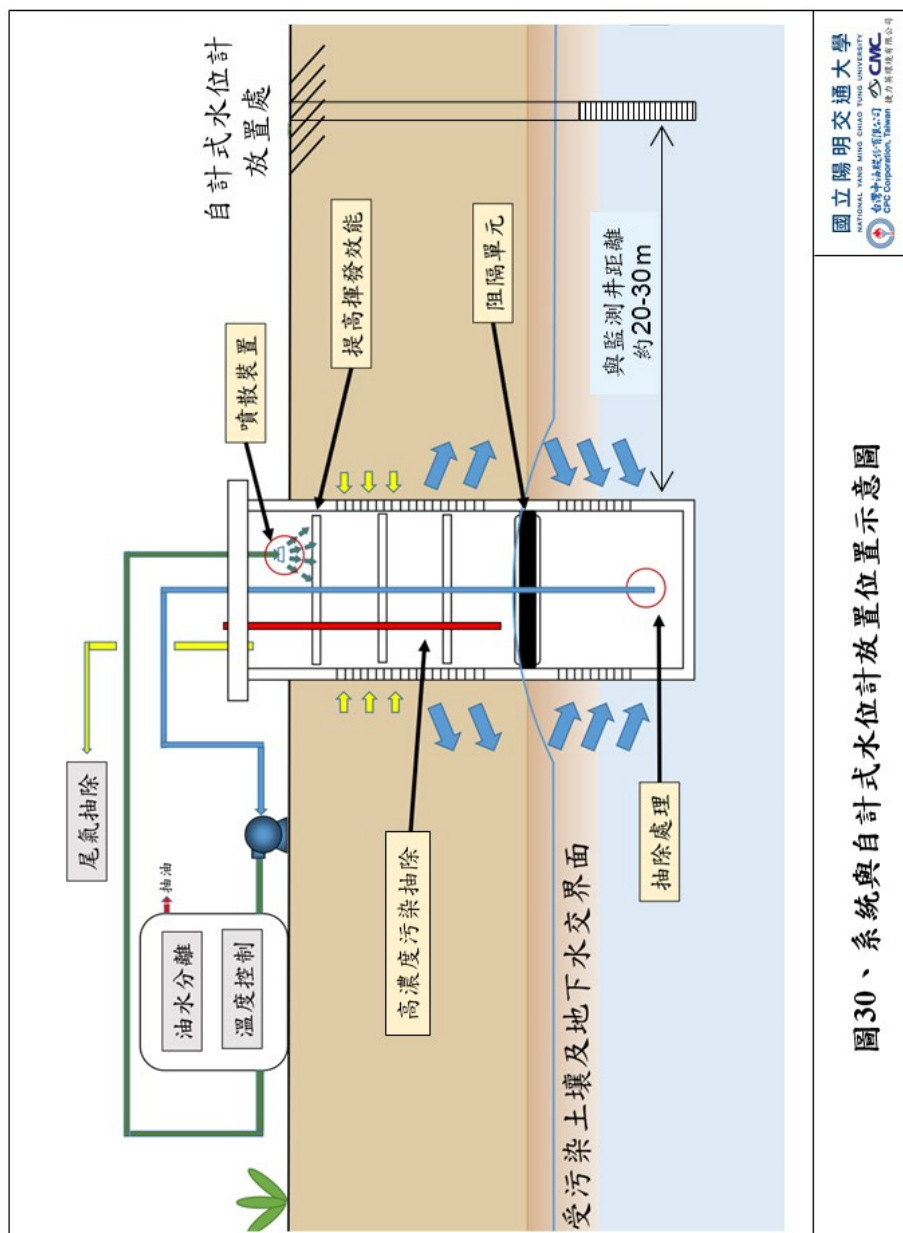


圖30、系統與自計式水位計放置位置示意圖



應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水

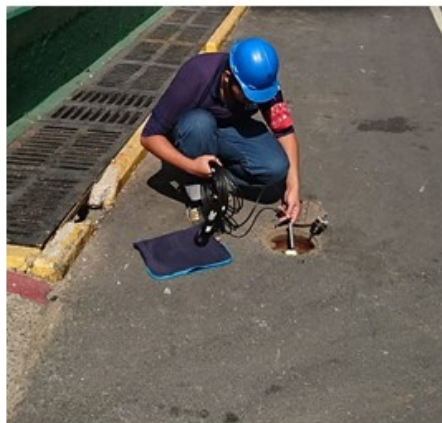
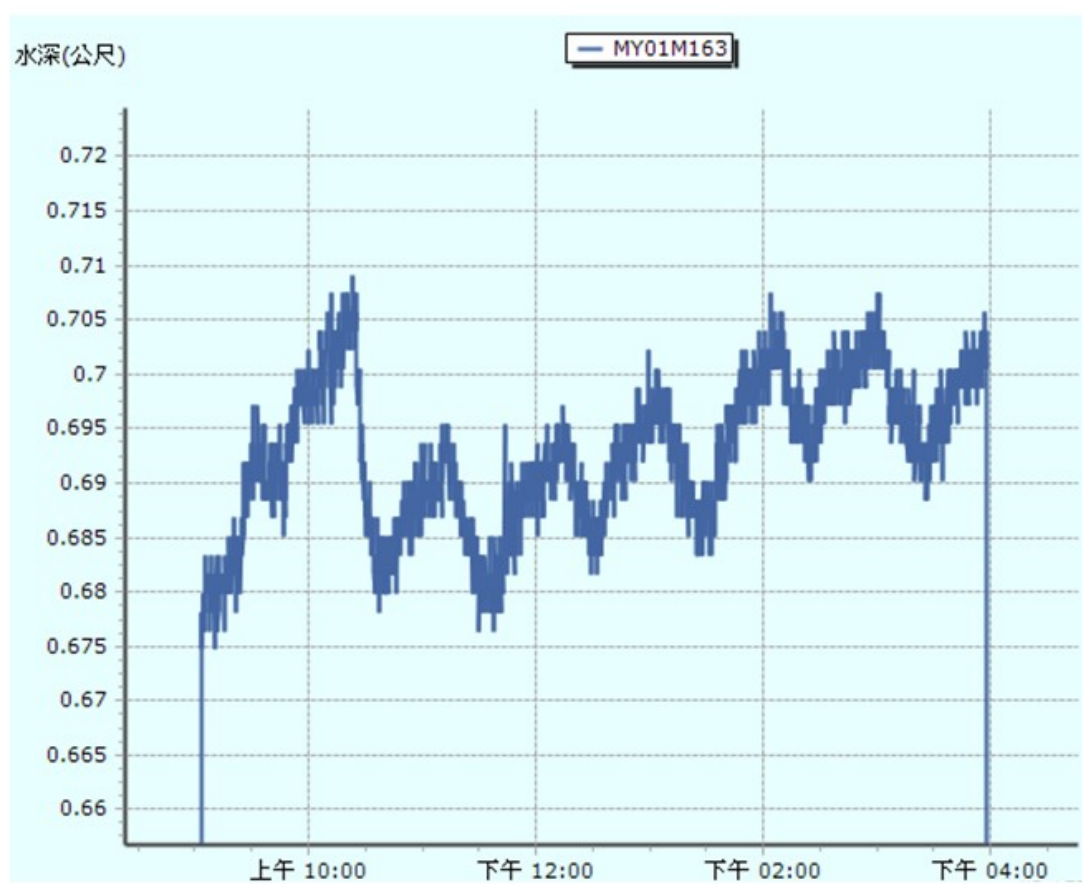


圖31、系統運轉後之水位變化圖(範例)

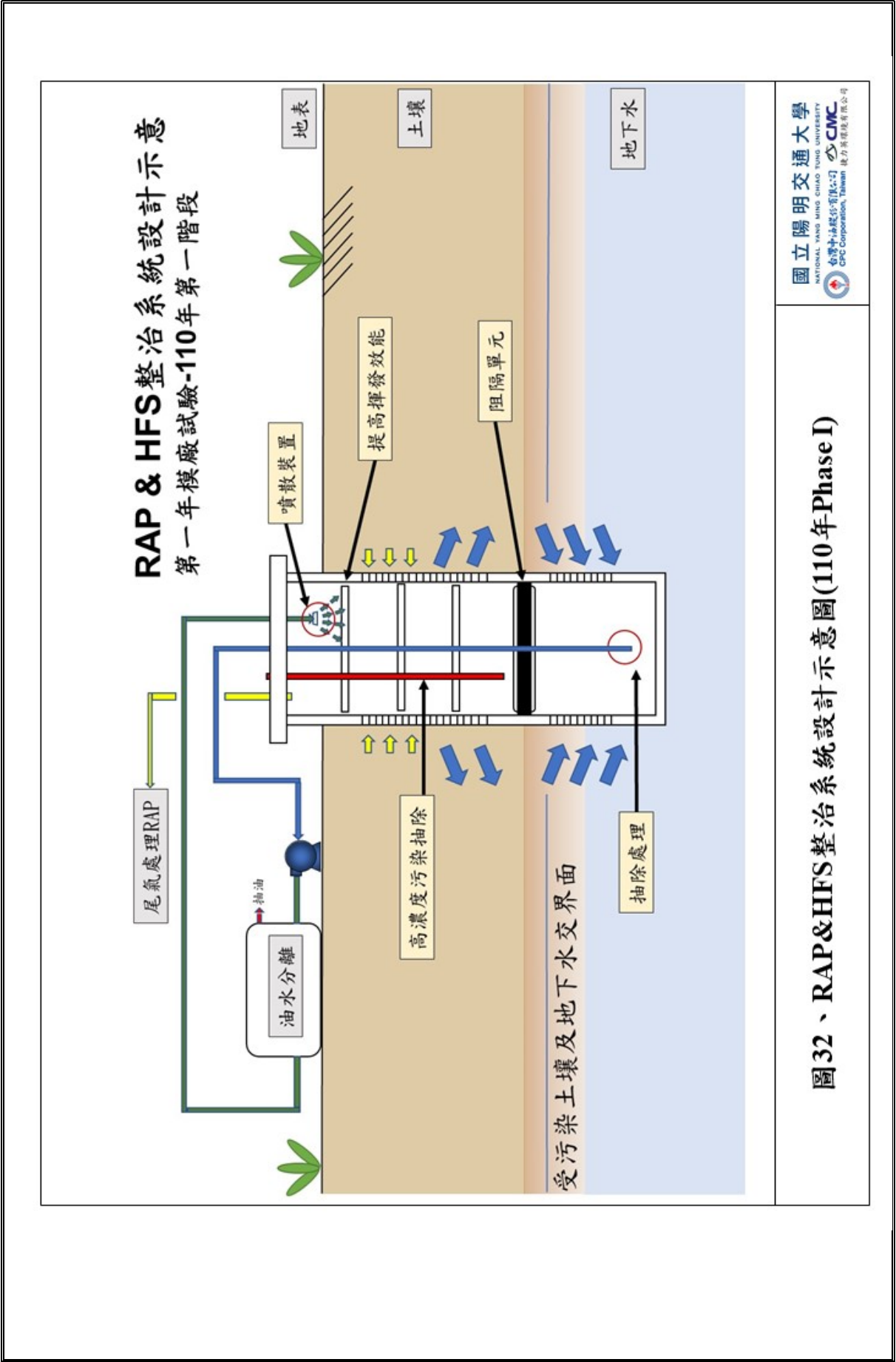
五、研究方法與過程

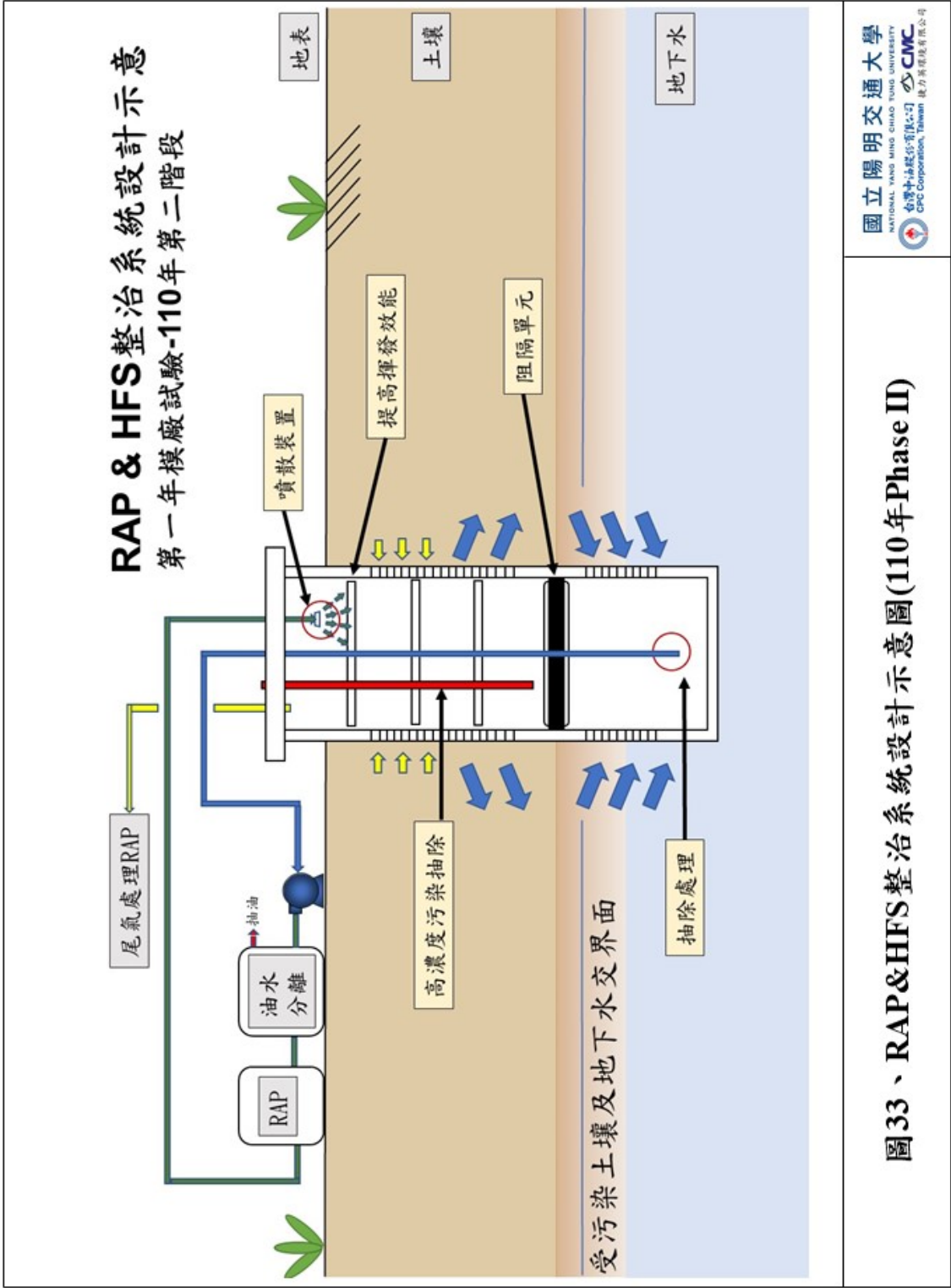
表 8、HFS 系統操作紀錄表

[illegible]



應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水







應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水

(2) 第二年

I. HFS 系統持續運轉

經由第一階段系統試運轉至正式運轉期間，已確認系統於運轉之最佳操作參數，本階段將使系統持續穩定運轉，並配合定期系統巡查確認系統正常運轉，以確保藉由系統連續式運作有效將地層中污染物移除。

II. 設置 RAP 於影響半徑範圍內

為提高地層中溶解相污染物之去除成效，本階段規劃將 RAP 置於 HFS 系統之影響半徑範圍內之地下水監測井中，第 2 年 RAP 搭配 HFS 示意圖(放置於影響半徑周圍)詳見圖 34，運用 RAP 本身之特有處理功能，將影響半徑範圍內之溶解相污染有效吸附，本階段亦將配合地下水成效監測結果，適時針對地下水監測井中之 RAP 進行活化再生，以提高整治成效。

3. 成效評估

本計畫模場試驗第 1 年主要運用 RAP+HFS 模式進行規劃設置，依據模場試驗期間 HFS 整治系統搭配 RAP 多樣化處理功用，並配合土壤及地下水定期監測，以確認模場土壤及地下水整體污染整治成效；模場試驗第 2 年主要運用第 1 年既有且穩定運轉之 HFS 設備進行測試，將 RAP 放置於影響半徑範圍內之地下水監測井中，定期監測其地下水濃度變化，以確認地層中污染物經 RAP 的物化特性之移除情形，用以提高地下水中含低濃度污染物之移除成效。

為瞭解模場運轉成效，於模場試驗期間監測作業分為尾氣、地下水及土壤等 3 類，尾氣及地下水監測頻率詳見表 9，現就監測頻率及檢測項目說明如下。

- (1) 尾氣監測：以攜帶式 PID 或 FID 量測地表上 RAP 固定床進口與排放尾氣的 VOC 外，約每月量測 1 次。
- (2) 地下水監測：檢測項目為苯、甲苯、乙苯、二甲苯及總石油碳氫化合物，監測數量為 3 口地下水監測井，監測頻率為第 1 個月每週 1 次，第 2 個月調整為每 2 週 1 次，自第 3 個月起再調整為每月 1 次。
- (3) 土壤監測：檢測項目為苯、甲苯、乙苯、二甲苯及總石油碳氫化合物，採樣點數 3 點，採樣深度至地表下 6 公尺，配合現場以人工試挖至 2.4 m 後再開始土壤採樣作，採集樣品每 0.6 公尺以 FID 篩測，每點選篩測值最高段分析，監測頻率原則上為期中和期末各採樣檢測一次。土壤及地下水採樣區域如圖 27 所示。



五、研究方法與過程

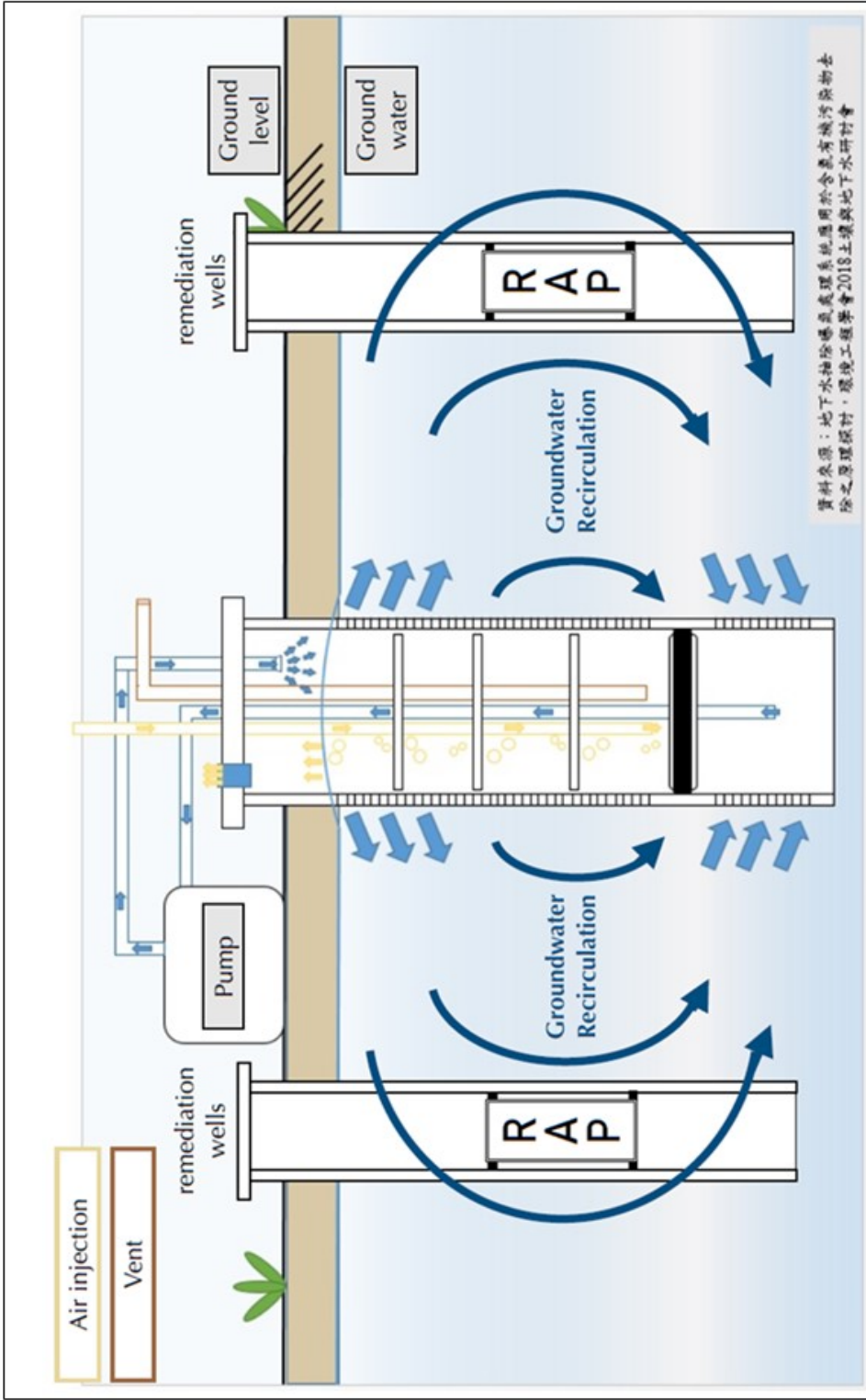


圖34、RAP搭配HFS示意圖(放置於影響半徑周圍)(第2年)

國立陽明交通大學
NATIONAL YANG MING CHIAO TUNG UNIVERSITY
台灣中油股份有限公司
CPC Corporation, Taiwan 能力與發展有限公司



應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水

表 9、尾氣及地下水監測頻率

監測類別	模場運轉期間		
	第 1 個月	第 2 個月	第 3 個月之後
尾氣 VOC	1 次/月	1 次/月	1 次/月
地下水	1 次/週	1 次/2 週	1 次/月

4. 系統維護

(1) HFS 洗井維護

為確保 HFS 整治系統正常運轉除定期進行系統巡檢外，依巡檢結果確認系統抽水狀況不如預期時，即須針對 HFS 系統井體設備執行洗井維護，以確保系統運轉功能正常，依各場址地層狀況不同，系統洗井維護頻率亦有所不同，目前規劃本場址系統維護頻率約 1 次/年，後續仍將依本模場運轉結果進行調整。

(2) RAP 活化

本模場試驗階段依現場整治需求，RAP 可吸附空氣中及地下水中之揮發性有機物，後續將配合定期進行現場尾氣量測及地下水成效監測結果，依檢測結果進行模場中之 RAP 活化，並確認 RAP 之活化週期，適時更換再活化，使其模場整治成效最大化。



(三)工作進度說明

本計畫統計 110 年 3 月 19 日至 110 年 12 月 31 日期間，執行約 9.5 個月，已完成模場背景調查、整治井及設備設置、整治井設施操作及維護、第一年定期監測採樣分析，亦符合查核點工作，在 110 年 01 月 14 日前提送期末報告。

由於部分設備需配合現場規定調整為防爆規格，因此設備安裝調整至 8 月，並於測試後在 110 年 08 月 12 日正式試運轉，目前計畫執行已達到原定預訂 RAP 在 HFS 系統之 LNAPL 處理效益評估，RAP 尾氣處理效益評估計畫進度詳見表 10。

表 10、研究進度及預期完成之工作進度表

期程年月 實際年月 工作項目	第 1 年				第 2 年			
	第 1-3 個月	第 4-6 個月	第 7-9 個月	第 10-12 個月	第 1-3 個月	第 4-6 個月	第 7-9 個月	第 10-12 個月
	110 年 3-5 月	110 年 6-8 月	110 年 9-11 月	110 年 12 月 -111 年 2 月	111 年 3-5 月	111 年 6-8 月	111 年 9-11 月	111 年 12 月 -112 年 2 月
計畫書核定(下達公文)								
模場背景調查								
整治井及設備設置								
整治井設施操作與維護								
第一年定期監測採樣分析								
RAP 放置於影響半徑試驗								
整治設施穩定操作與維護								
第二年定期監測採樣分析								
本計劃模場期中報告								
本計劃模場期末報告								
工作進度估計百分(累積數)	10%	25%	40%	50%	65%	80%	90%	100%
預定查核點	期 中	第一年 第 5 個月 ● 場址水文地質資料 ● HFS 系統及 RAP 尾氣處理設備建置 第二年 第 4 個月 ● 整治井增設完成 ● RAP 放置影響半徑全範圍測試						
	期 末	第一年 第 11 個月 ● RAP 在 HFS 系統之 LNAPL 處理效益評估 ● RAP 尾氣處理效益評估 第二年 第 4 個月 ● RAP 放置影響半徑全範圍測試之監測與採樣分析						
說明： 1. 「預定查核點」以※標記。 2. 預定進度以 表示;實際進度以 表示。								



應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水

六、結果與討論

本計畫執行迄今(統計 110 年 3 月 19 日至 110 年 12 月 31 日期間)已完成模場背景調查、整治井及設備設置、整治井設施操作及維護、第一年定期監測採樣分析、實驗室 RAP 吸附 VOC 實驗及 RAP 實驗室再生驗證及條件測試，現就前述工作執行成果說明如下。

(一) 模場背景調查

本計畫模場位於「中油林園廠」100 油槽區儲槽 LY-109 南側，於整治設備安裝前先進行模場土壤及地下水污染現況調查檢測，作為未來整治成效評估之背景值，現就該處土壤及地下水檢測結果說明如下。

1. 土壤調查

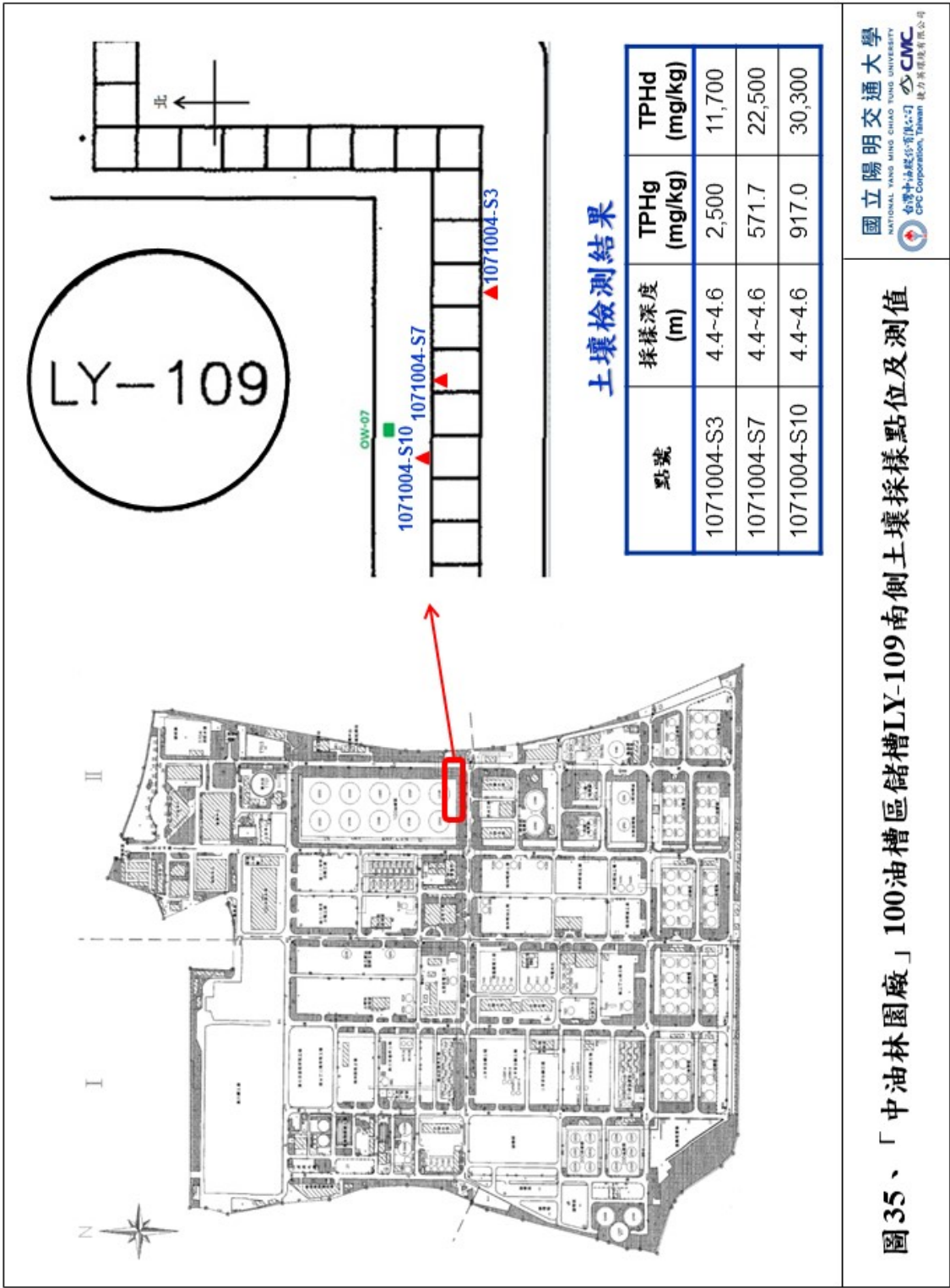
引用「中油林園廠」107 年針對 100 油槽區儲槽 LY-109 南側補充調查之 3 點(點號：1071004-S3、S7、10)土壤採樣點資料，樣品深度為地表下 4.4~4.6 公尺，檢測項目為 TPHg 及 TPHd，3 點檢測結果 TPH 皆超過土壤污染管制標準(1,000 mg/kg)，採樣點位及測值詳見圖 35。

2. 地下水調查

本計畫於 110 年 4 月 28 日針對「中油林園廠」100 油槽區儲槽南側 3 口地下水監測井(井號：OW-07、OW-25、TE-C5)進行採樣作業，檢測項目為苯、甲苯、乙苯、二甲苯、萘及總石油碳氫化合物，檢測結果 3 口井除 TPH 項目超過第二類地下水污染管制標準(10 mg/L)外，其餘項目皆低於定量下限值，採樣點位及測值詳見圖 36。



六、結果與討論





應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水

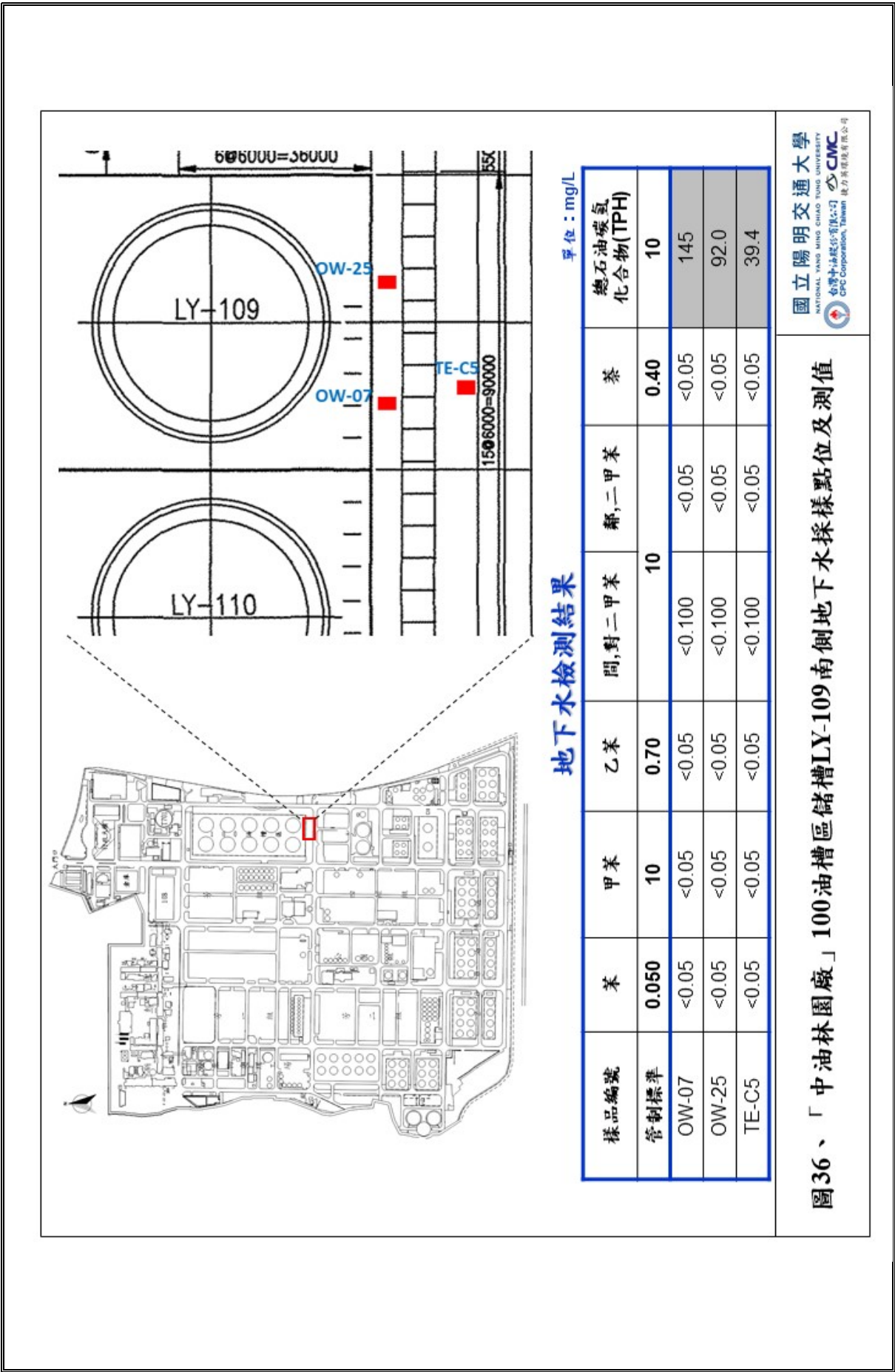


圖36、「中油林園廠」100油槽區儲槽LY-109南側地下水採樣點位及測值



(二)模場整治井與設備設置說明

本計畫已於 110 年 6 至 7 月於「中油林園廠」100 油槽區儲槽 LY-109 南側進行整治井設置作業，施工前先於施工區域設置圍籬，並於設置地點進行人工試挖至地表下 2 公尺，確認地表下無管線後，再以傳統衝擊鑽機鑽探至地表下 11.5 公尺，接著進行鑽孔擴孔作業、井管下管、濾料填充、完井、井內阻隔系統(阻隔版)安裝、水泥平台設置、現場環境整理及設備管線配置作業。

本計畫整治井規格為口徑 16 吋，井體長度共 11 公尺，分別為地表下 10 公尺及地表上 1 公尺，井體分別設置兩層井篩，於上井篩中設置噴散裝置，上下井篩則利用 HFS 阻隔盤將上下井篩進行分層。井篩位置分別為上井篩 2.0~6.0 公尺，下井篩 6.5~10.5 公尺。井體設計規畫示意詳見圖 28，設備配置詳見圖 29。

由於部分設備需配合現場規定調整為防爆規格，因此在 7 月 16 日先行拆除設備及管線，另於 8 月 4 日配合防爆電箱重新安裝，並於 8 月 12 日管線及電力測試完成，HFS 正式試運轉，此外，也在 10 月 21 日將廢氣處理槽之活性碳替換為 RAP，且在循環水處理槽添加 RAP，模場設置作業監工紀錄詳見表 11，實際操作紀錄詳見表 12，累計試運轉三個月後已確認系統最佳操作參數，目前即時流量皆維持 1.6~2.0 m³/h 之間，截至 110 年 12 月 23 日止系統累計總抽水量達 4,257 噸(立方公尺)，模場設備及施工照片詳見圖 37 及圖 38。

表 11、模場設置作業監工紀錄

日 期	現場施工作業摘要
110 年 06 月 11 日	施工區域設置圍籬，設井地點進行人工試挖至地表下 2 公尺。
110 年 06 月 15 日	以傳統衝擊鑽機進行鑽探作業，鑽探深度至地表下 11.5 公尺。
110 年 06 月 16 日	井管運送入廠，接著進行鑽孔擴孔作業。
110 年 06 月 17 日	持續進行鑽孔擴孔作業。
110 年 06 月 18 日	鑽孔擴孔作業完成，進行井管下管及濾料填充作業。
110 年 06 月 21 日	以震盪洗井及氣提法掏沙進行完井作業，完成井內阻隔系統(阻隔版)安裝作業。
110 年 06 月 22 日	設置水泥平台，整理環境並拆除施工圍籬。
110 年 06 月 23 日	鑿井設備離廠。
110 年 07 月 02 日	HFS 系統地面設備(油水分離槽、活性碳槽、抽水馬達、鼓風機)入廠，進行設備管線配置作業。
110 年 07 月 05 日	配合現場管線配置規定，移動調整地表設備位置。
110 年 07 月 08 日	設備移動後，重新進行設備管線配置作業。
110 年 07 月 16 日	配合現場規定另訂做「防爆電箱」，先行拆除設備及管線，HFS 系統地面設備(油水分離槽、活性碳槽、抽水馬達、鼓風機)離廠。
110 年 08 月 04 日	HFS 系統地面設備(油水分離槽、活性碳槽、抽水馬達、鼓風機)重新入廠，設備管線組裝，防爆電箱安裝完成，但現場電力未接。
110 年 08 月 12 日	管線及電力測試完成，HFS 正式試運轉。
110 年 10 月 21 日	將廢氣處理槽之活性碳替換為 RAP，且在循環水處理槽添加 RAP。



應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水

表 12、HFS 系統實際操作紀錄表

日期	設備編號	紀錄時間	即時流量 (m ³ /hr)	總抽水量 (噸)	備註	記錄人 員	承辦人 員
8/12	HFS01	1000	—	—	系統測試中	林龍生	蔡民錫
8/13	HFS01	1011	—	—	系統測試中	林龍生	蔡民錫
8/16	HFS01	0930	—	—	系統測試中	林龍生	謝子恆
8/17	HFS01	1540	—	—	系統測試中	林龍生	蔡民錫
8/19	HFS01	0931	—	—	系統測試中	林龍生	蔡民錫
8/20	HFS01	0830	—	—	系統測試中	林龍生	蔡民錫
8/23	HFS01	1408	—	—	系統測試中	林龍生	蔡民錫
8/25	HFS01	1421	—	—	系統測試中	林龍生	蔡民錫
8/26	HFS01	1105	1.49	34.69	系統測試中	林龍生	蔡民錫
8/27	HFS01	0815	1.73	63.58	系統測試中	林龍生	蔡民錫
8/30	HFS01	0900	1.61	155.39	系統測試中	林龍生	蔡民錫
9/1	HFS01	1030	1.74	220.22	系統測試中	林龍生	蔡民錫
9/6	HFS01	0920	1.64	310.78	系統測試中	林龍生	蔡民錫
9/9	HFS01	1124	1.69	344.58	系統測試中	林龍生	蔡民錫
9/13	HFS01	0842	1.64	500.74	系統測試中	林龍生	蔡民錫
9/14	HFS01	1446	1.60	544.63	系統測試中	林龍生	蔡民錫
9/17	HFS01	1130	1.60	625.46	系統測試中	林龍生	蔡民錫
9/23	HFS01	1110	1.64	784.95	系統測試中	林龍生	蔡民錫
9/30	HFS01	0956	1.67	982.76	系統測試中	林龍生	蔡民錫
10/4	HFS01	0910	1.66	1093.92	系統測試中	林龍生	蔡民錫
10/8	HFS01	1230	1.83	1196.2	系統測試中	林龍生	蔡民錫
10/13	HFS01	08:51	1.88	1422.06	系統測試中	林龍生	蔡民錫
10/20	HFS01	02:47	1.92	1741.9	系統測試中	林龍生	蔡民錫
10/21	HFS01	10:38	1.92	1790.86	系統測試中	林龍生	蔡民錫
10/28	HFS01	11:25	1.71	2107.76	系統測試中	林龍生	蔡民錫
11/3	HFS01	08:40	1.81	2367.35	系統測試中	林龍生	蔡民錫
11/8	HFS01	08:47	1.72	2367.79	系統測試中	林龍生	蔡民錫
11/8	HFS01	08:42	1.81	2798.9	系統測試中	林龍生	蔡民錫

表 12、HFS 系統實際操作紀錄表(續)

[illegible]



應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水



1. HFS：井體直徑 16 吋;長度為地表下10公尺，地表上1公尺，合計11公尺
- 2.廢氣處理槽(填充 50L RAP)：直徑60公分，高度90公分 (total V=250L)
- 3.循環水處理槽(填充 50L RAP)：直徑 40公分 高度170公分 (total V=200L)
- 4.水封箱
- 5.暫存槽
- 6.油水分離槽

圖37、「中油林園廠」100油槽區模場設備



六、結果與討論



井管及井篩管



阻隔系統(阻隔盤)



現場施工圍籬及井管



設井地點進行人工試挖



以傳統衝擊鑽機進行鑽探作業



鑽孔擴孔作業



下井管



下井管

圖38、「中油林園廠」模場設備及施工照片



應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水



回填濾料



完井作業



井內阻隔系統(阻隔版)安裝作業



井內阻隔系統(阻隔版)安裝作業



水泥平台設置作業



水泥平台設置作業



現場環境整理



設備管線配置作業

圖38、「中油林園廠」模場設備及施工照片
(續1)



六、結果與討論



設備拆除離廠



設備拆除離廠



防爆設備及電箱安裝作業



防爆設備及電箱安裝作業



防爆設備及電箱安裝作業



設備測試作業



設備測試作業



設備測試完成，正式試運轉

圖38、「中油林園廠」模場設備及施工照片
(續2)



應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水

 廢氣處理槽之活性碳	 RAP
 原廢氣處理槽中之活性碳	 廢氣處理槽之活性碳更換為RAP
 循環水處理槽添加RAP	 循環水處理槽添加RAP
 循環水處理槽添加RAP	 循環水處理槽添加RAP

圖38、「中油林園廠」100油槽區模場設備及施工照片(續3)

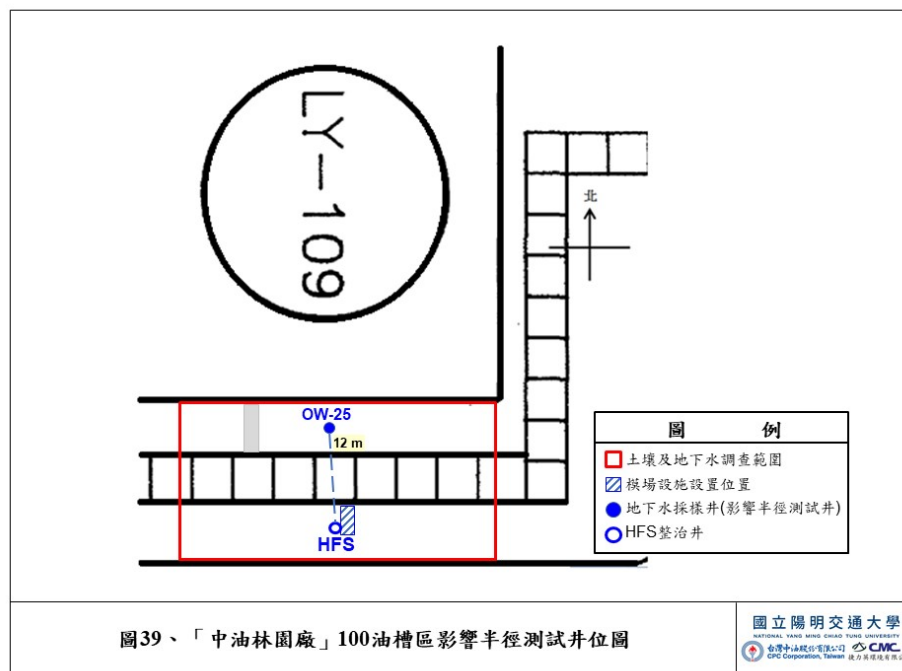
國立陽明交通大學
NATIONAL YANG MING CHIAO TUNG UNIVERSITY
台灣中油股份有限公司
CPC Corporation, Taiwan
捷力英環境有限公司



(三)系統影響半徑測試

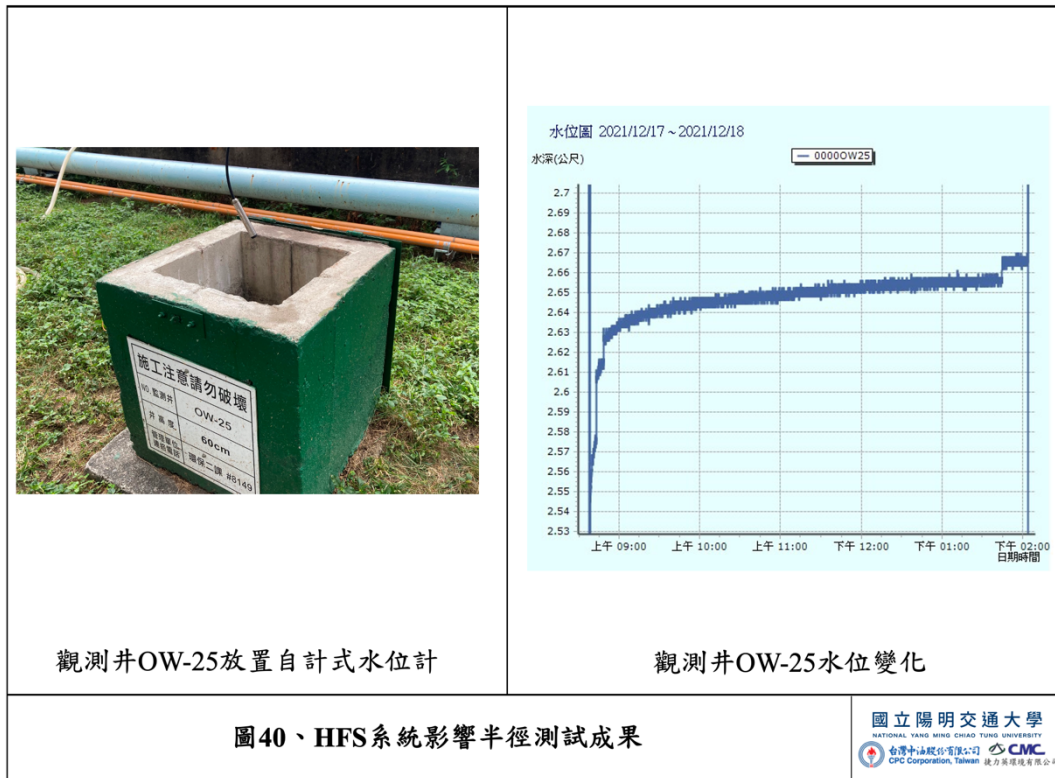
本計畫規劃在系統試運轉三個月後執行系統影響半徑測試(ROI)，現已110年12月17日在模場區的1口地下水井中放置自計式水位計，觀測井與HFS井位置詳見圖39。

現場先將自計式水位計放入地下水井中，接著暫時關閉HFS系統運轉1小時後，再重新啟動系統，用以確認系統停止與運轉期間，是否有造成地下水井之水位變化情況，測試期間地下水井之水位變化曲線詳見圖40，由圖中地下水位變化曲線可看出HFS系統對周圍監測井有造成明顯水位洩降曲線。





應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水



(四) 定期監測

為瞭解模場運轉成效，於模場試驗期間監測作業分為尾氣、地下水及土壤等3類，本場址自110年8月12日正式試運轉後，即依各類監測頻率及規劃內容執行，現就監測成果說明如下。

1. 尾氣監測

本計畫以攜帶式PID或FID量測地表上RAP固定床進口與排放尾氣的VOC外，約每月量測1次，本場址自110年8月12日正式試運轉後，每月以PID量測尾氣，測值皆為0.0 ppm，測值及現場量測照片詳見表13及圖41。

表 13、HFS 尾氣監測成果

月次	監測日期	PID 測值(ppm)
第 1 個月次	110/08/26	0.0
第 2 個月次	110/09/23	0.0
第 3 個月次	110/10/28	0.0
第 4 個月次	110/11/25	0.0
第 5 個月次	110/12/23	0.0



六、結果與討論

 尾氣監測日期：110/08/26	 尾氣監測日期：110/08/26	
 尾氣監測日期：110/09/23	 尾氣監測日期：110/09/23	
 尾氣監測日期：110/10/28	 尾氣監測日期：110/10/28	
 尾氣監測日期：110/11/25	 尾氣監測日期：110/11/25	
 尾氣監測日期：110/12/23	 尾氣監測日期：110/12/23	
圖41、「中油林園廠」100油槽區 HFS尾氣監測照片		國立陽明交通大學 NATIONAL YANG MING CHIAO TUNG UNIVERSITY 台灣中油股份有限公司 CPC Corporation, Taiwan 捷力美環境有限公司 CMC

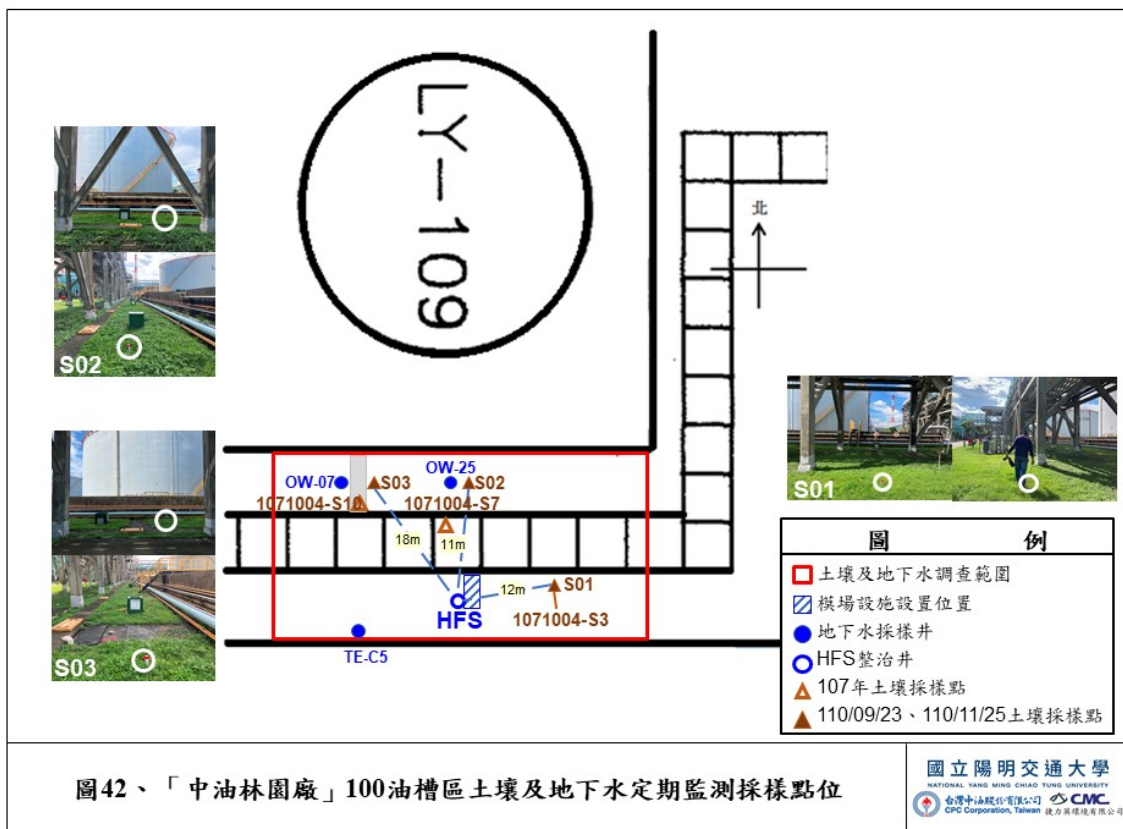


應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水

2. 地下水定期監測

本場址地下水定期監測之檢測項目為苯、甲苯、乙苯、二甲苯及總石油碳氫化合物，監測數量為 3 口地下水監測井，井號為 TE-C5、OW-25 及 OW-07，位圖置詳見圖 42，監測頻率為第 1 個月每週 1 次，第 2 個月調整為每 2 週 1 次，自第 3 個月起再調整為每月 1 次，本場址自 110 年 08 月 12 日正式試運轉以來，共執行 8 次定期監測作業，歷次定期監測成果及照片詳見表 14 及圖 43。

其中苯、甲苯、乙苯及二甲苯之監測結果皆低於定量偵測極限值，而總石油碳氫化合物皆超過第二類地下水污染監測標準，且大部分亦超過第二類地下水污染管制標準，地下水總石油碳氫化合物定期監測值變化趨勢圖詳見圖 44，由圖可看出目前場址地下水污染受到水力循環系統影響，地下水總石油碳氫化合物濃度有明顯上下起伏趨勢。





六、結果與討論

表 14、「中油林園廠」100 油槽區地下水定期監測成果

井號	採樣日期	苯	甲苯	乙苯	間,對二甲苯	鄰,二甲苯	總石油碳氫化合物
第二類地下水污染管制標準		0.050	10	7.0	100		10
第二類地下水污染監測標準		0.025	5	3.5	50		5
TE-C5	110/04/28	<0.050	<0.050	<0.050	<0.100	<0.050	39.4
	110/08/12	<0.050	<0.050	<0.050	<0.100	<0.050	9.5
	110/08/19	<0.050	<0.050	<0.050	<0.100	<0.050	12.5
	110/08/26	<0.050	<0.050	<0.050	<0.100	<0.050	14.7
	110/09/09	<0.050	<0.050	<0.050	<0.100	<0.050	12.3
	110/09/23	<0.050	<0.050	<0.050	<0.100	<0.050	5.3
	110/10/28	<0.050	<0.050	<0.050	<0.100	<0.050	13.1
	110/11/25	<0.050	<0.050	<0.050	<0.100	<0.050	16.6
	110/12/23	<0.050	<0.050	<0.050	<0.100	<0.050	20.6
	111/01/13	<0.050	<0.050	<0.050	<0.100	<0.050	5.22
OW-25	111/02/23	<0.050	<0.050	<0.050	<0.100	<0.050	1.27
	110/04/28	<0.050	<0.050	<0.050	<0.100	<0.050	92.0
	110/08/12	<0.050	<0.050	<0.050	<0.100	<0.050	19.2
	110/08/19	<0.050	<0.050	<0.050	<0.100	<0.050	24.3
	110/08/26	<0.050	<0.050	<0.050	<0.100	<0.050	21.6
	110/09/09	<0.050	<0.050	<0.050	<0.100	<0.050	37.7
	110/09/23	<0.050	<0.050	<0.050	<0.100	<0.050	6.7
	110/10/28	<0.050	<0.050	<0.050	<0.100	<0.050	25.9
	110/11/25	<0.050	<0.050	<0.050	<0.100	<0.050	21.1
	110/12/23	<0.050	<0.050	<0.050	<0.100	<0.050	20.9
OW-07	111/01/13	<0.050	<0.050	<0.050	<0.100	<0.050	7.54
	111/02/23	<0.050	<0.050	<0.050	<0.100	<0.050	12.6
	110/04/28	<0.050	<0.050	<0.050	<0.100	<0.050	145
	110/08/12	<0.050	<0.050	<0.050	<0.100	<0.050	60.7
	110/08/19	<0.050	<0.050	<0.050	<0.100	<0.050	41.3
	110/08/26	<0.050	<0.050	<0.050	<0.100	<0.050	30.0
	110/09/09	<0.050	<0.050	<0.050	<0.100	<0.050	219
	110/09/23	<0.050	<0.050	<0.050	<0.100	<0.050	9.8
	110/10/28	<0.050	<0.050	<0.050	<0.100	<0.050	216
	110/11/25	<0.050	<0.050	<0.050	<0.100	<0.050	30.2
OW-07	110/12/23	<0.050	<0.050	<0.050	<0.100	<0.050	113.0
	111/01/13	<0.050	<0.050	<0.050	<0.100	<0.050	5.48
OW-07	111/02/23	<0.050	<0.050	<0.050	<0.100	<0.050	3.78

註：1.單位：mg/L。

2.測值粗體表示超過第二類地下水污染監測標準，測值粗體陰影表示超過第二類地下水污染管制標準。



應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水

TE-C5	OW-25	OW-07
		
監測日期：110/08/12	監測日期：110/08/12	監測日期：110/08/12
		
監測日期：110/08/19	監測日期：110/08/19	監測日期：110/08/19
		
監測日期：110/08/26	監測日期：110/08/26	監測日期：110/08/26
		
監測日期：110/09/09	監測日期：110/09/09	監測日期：110/09/09
		
監測日期：110/09/23	監測日期：110/09/23	監測日期：110/09/23
圖43、「中油林園廠」100油槽區 地下水定期監測照片		
國立陽明交通大學 NATIONAL YANG MING CHIAO TUNG UNIVERSITY 台灣中油股份有限公司 CPC Corporation, Taiwan 捷力英環境有限公司		

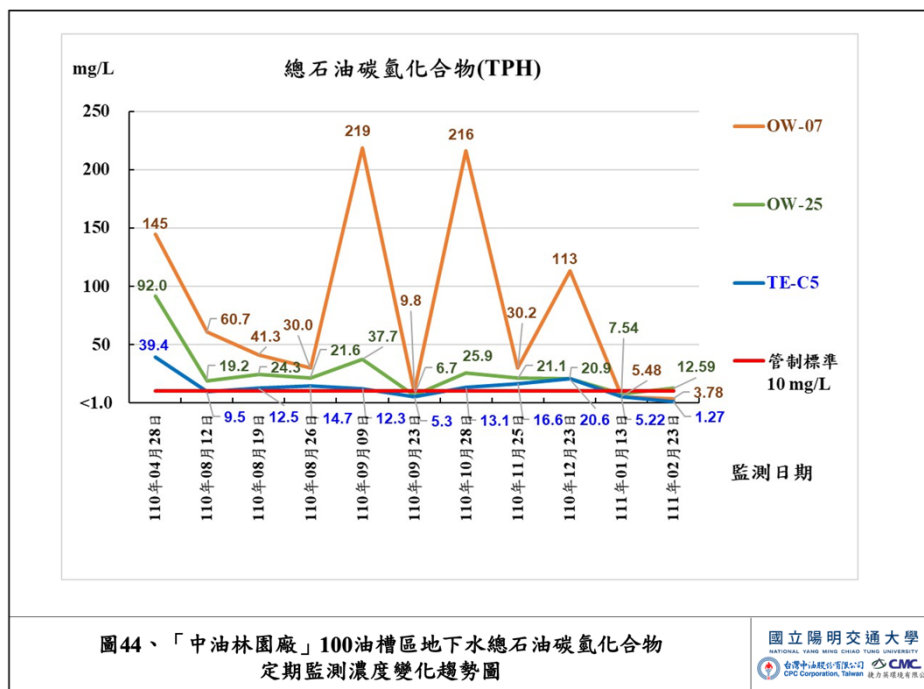


六、結果與討論

TE-C5	OW-25	OW-07
		
監測日期：110/10/28	監測日期：110/10/28	監測日期：110/10/28
		
監測日期：110/11/25	監測日期：110/11/25	監測日期：110/11/25
		
監測日期：110/12/23	監測日期：110/12/23	監測日期：110/12/23
圖43、「中油林園廠」100油槽區 地下水定期監測照片(續)		
國立陽明交通大學 NATIONAL YANG MING CHIAO TUNG UNIVERSITY 台灣中油股份有限公司 CPC Corporation, Taiwan 捷力英環境有限公司		



應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水



3. 土壤定期監測

土壤定期監測規劃採樣點數 3 點，採樣點位詳見圖 40，採樣深度至地表下 6 公尺，配合現場以人工試挖至 2.4 m 後再開始土壤採樣作，採集樣品每 0.6 公尺以 FID 篩測，每點選篩測值最高段分析，檢測項目為苯、甲苯、乙苯、二甲苯及總石油碳氫化合物，監測頻率為期中(110/09/23)和期末(110/11/25)各採樣檢測一次，監測成果詳見表 15，現場採樣照片詳見圖 45。

由土壤定期監測成果可看出苯、甲苯、乙苯及二甲苯之監測結果皆低於定量偵測極限值，而總石油碳氫化合物皆超過土壤污染管制標準，土壤總石油碳氫化合物定期監測值變化趨勢圖詳見圖 46，由定期監測結果顯示，距離 HFS 系統較遠(約 18 公尺)之土壤採樣點 S03 之濃度有降低，距離 HFS 系統較近(約 11 公尺)之土壤採樣點 S01 及 S02 之濃度有明顯上升，顯示循環系統將地層中之污染聚集至系統周圍。



六、結果與討論

表 15、「中油林園廠」100 油槽區土壤定期監測成果

採樣日期	採樣點 號	送樣 深度 (m)	苯	甲 苯	乙 苯	間, 對- 二甲 苯	鄰- 二甲 苯	總石油碳氫化合 物	
								TPHg	TPHd
土壤污染管制標準			5	500	250	500		1000	
110/09/23	S01	4.3~4.4	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	970	1,670
	S02	4.5~4.6	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	367	5,461
	S03	4.3~4.4	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	970	>20,000
110/11/25	S01	4.4~4.5	1.8	<1.0	<1.0	2	<1.0	>7,600	12,808
	S02	4.3~4.4	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	1,245	>20,000
	S03	4.3~4.4	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	754	>20,000

註：1.單位：mg/kg。

2.測值粗體陰影表示超過土壤污染管制標準。

3.總石油碳氫化合物 TPHg、TPHd 如顯示>7,600 mg/kg 或>20,000 mg/kg 表示樣品大於定量範圍，樣品可能存在自由相。

S01	S02	S03
 監測日期：110/09/23	 監測日期：110/09/23	 監測日期：110/09/23
 監測日期：110/11/25	 監測日期：110/11/25	 監測日期：110/11/25

**圖45、「中油林園廠」100油槽區
土壤定期監測照片**

國立陽明交通大學
NATIONAL YANG MING CHIAO TUNG UNIVERSITY

台灣中油股份有限公司 CPC Corporation, Taiwan  捷力英環境有限公司



應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水

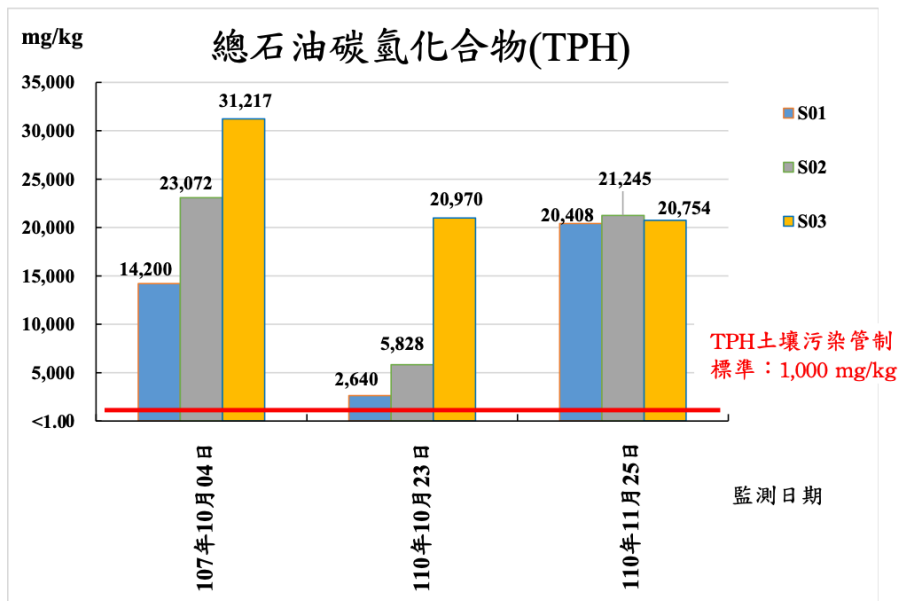


圖46、「中油林園廠」100油槽區土壤總石油碳氫化合物定期監測濃度變化趨勢圖

國立陽明交通大學
NATIONAL YANG MING CHIAO TUNG UNIVERSITY
台灣中油股份有限公司
CPC Corporation, Taiwan
捷力英環境有限公司



(五) RAP 實驗室再生驗證與參數探討-水相吸附

為進一步驗證本計畫所使用之材料 RAP 具有再生效果，目前實驗室分別以表面分析探討 RAP 特性及再生實驗測試，實驗部分選用苯甲酸作為目標吸附質，苯甲酸同為苯環類化合物且揮發性不高，吸附與再生在實驗操作上較方便。苯甲酸在特性上屬於難吸附之有機物，較一些易吸附物質作為吸附質時更容易使吸附劑達到飽和或需再生狀態，目前也有相關研究利用苯甲酸或特性、結構與苯甲酸相似之物種作為目標物來研究吸附機制探討。

1. RAP 表面分析

以 SEM 掃描材料表面，分析表面結構型態和金屬沉積狀況，以兩萬倍掃描之二次電子影像，如圖 47 為一般活性碳和 RAP 的二次電子影像，圖中可以發現一般活性碳表面較為平坦且明顯無雜質，孔洞較深。RAP 表面較一般活性碳表面粗糙，孔洞被金屬佔據，故孔洞容積小。

以圖 48 背向散射電子影像和元素線面掃描成像 (Elemental Mapping) 來看，(a) 圖中灰階較淺之區塊多為金屬晶粒，(b) 圖中鈦則均勻分佈於 RAP 表面，而非聚集成晶粒，故可推斷 RAP 製備時添加之活性金屬以薄膜化之型態，均勻沈積於活性碳表面。

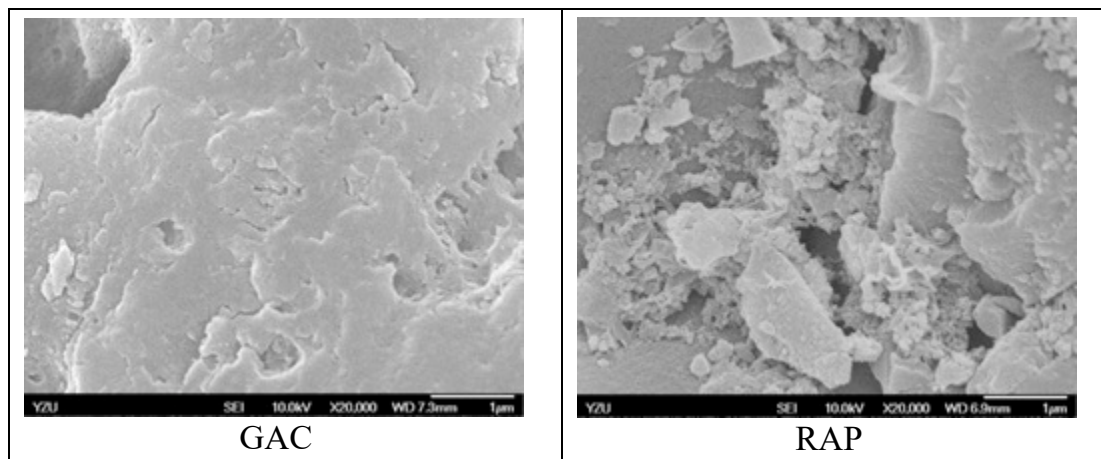


圖 47、活性碳與 RAP 二次電子影像



應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水

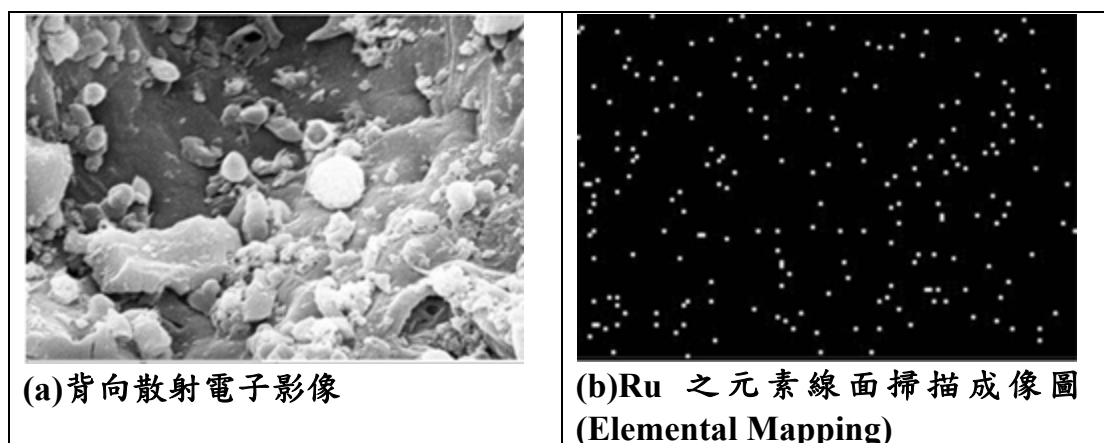


圖 48、RAP 以 EDX mapping 分析表面元素分佈

將活性碳作為 RAP 對照材，以環檢所公佈之王水消化法（NIEA S321.65B）處理後，將樣品離心取上澄液以 ICP-OES 進行元素分析。確認該材料的確具備鈦金屬，數據顯示在 RAP 中確實有鈦存在，整體批覆量站百分比 0.43%，而一般活性碳並無此成分。

2. RAP 再生可行性實驗

分別以兩部分進行，第一部分將 RAP 以高濃度苯甲酸溶液批次吸附至一定程度後，以臭氧再生後再測試其吸附效果，比較前後之吸附量；第二部分則是將 RAP 以固定床方式吸附較低濃度之苯甲酸溶液，以連續流方式持續吸附至通過固定床之溶液達一定量，藉此模擬實際模場 RAP 吸附狀態，吸附後之 RAP 以臭氧再生後比較再生前後累積吸附量與通過固定床溶液體積的相對關係，第一部分實驗進行再生前及再生一次後之吸附容量比較；第二部分實驗進行再生前、再生一次後及再生兩次後之吸附情形比較。

第一部分批次吸附後再生實驗是將體積 30 mL RAP 放入燒杯後加入濃度 4000 mg/L as COD 之苯甲酸溶液 180 mL 後以磁石攪拌，以 1 小時為一批次，每批次採一次水樣並重新換苯甲酸溶液，共做 11 個批次。批次吸附完成後將 RAP 倒出並加入適量自來水，將溶液調鹼至 pH 12 後升溫至 95°C 後開始以臭氧製造機曝臭氧，每兩小時觀察溶液 pH 值將 pH 維持在 12，共再生 8 小時，實驗示意圖如圖 49。

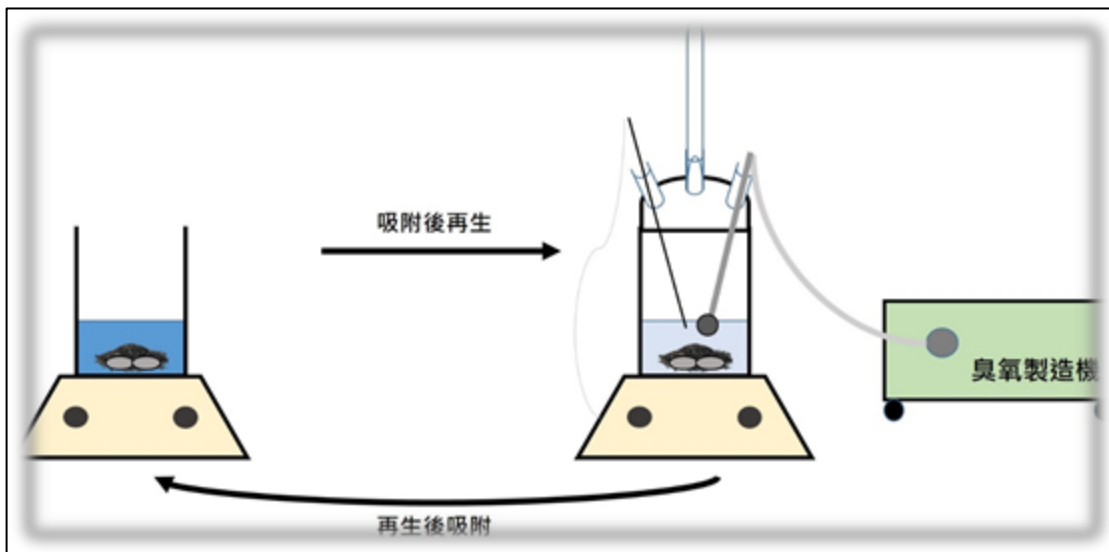


圖 49、苯甲酸批次吸附後再生實驗示意圖

第一部分之實驗結果如圖 50 與表 16，發現 RAP 在批次吸附後在批次數增加下其 COD 濃度隨之逐漸增加，比較再生前與再生一次後之處理後 COD 濃度，發現兩者吸附情形相差不遠，表 16 比較再生前與再生一次後之累積吸附量，初步顯示出 RAP 以臭氧再生的確具有可行性。

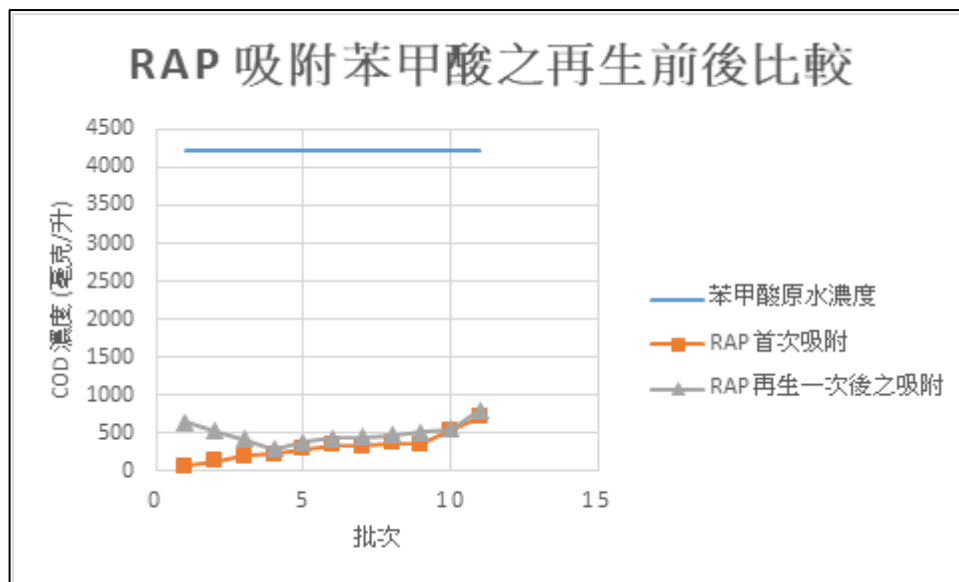


圖 50、RAP 批次吸附再生前後 COD 濃度變化



應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水

表 16、批次實驗之再生前後累積吸附量比較

批次	RAP 再生前 COD (mg/L)	RAP 再生後 COD (mg/L)
苯甲酸溶液換算成 COD 濃度約 4000 mg/L		
1	73	641
2	133	525
3	196	423
4	230	297
5	287	380
6	340	431
7	325	449
8	364	477
9	354	517
10	534	548
11	714	798
累積吸附量 (g COD/g RAP)	0.488	0.454

第二部分固定床吸附後再生實驗是將體積 80 mL 之 RAP 填入管柱中，將濃度 400 mg/L as COD 之苯甲酸溶液以 6 BV/hr (通過溶液之體積為 RAP 體積之 6 倍)之流速通過管柱，每三小時採出水端溶液，共流過 258 BV(相當於 20L)之苯甲酸溶液。固定床吸附完成後，將 RAP 倒出並加入適量自來水，將溶液調鹼至 pH 12 後升溫至 80°C 後開始以臭氧製造機曝臭氧，每兩小時觀察溶液 pH 值將 pH 維持在 12，共再生 4 小時。再生參數與第一部分實驗有所不同是想測試在降低再生溫度與曝臭氧總量下，能否達到理想的再生效果。實驗示意圖如圖 51。實驗結果如表 17，可看出無論是再生一次或兩次後之固定床累積吸附量相差不多，甚至也有些微上升的現象。圖 52 比較 RAP 固定床吸附再生前後之累積吸附量-通過 BV 之關係，顯示出三組吸附皆是在通過 250 BV 苯甲酸溶液後吸附效果趨緩，顯現臭氧再生是可行的，且在降低再生溫度與曝臭氧總量下，也能達到良好再生效果。

由上述兩部分實驗之實驗結果證實 RAP 可以透過加入臭氧再生的可行性且有良好再生效果，未來實驗室將會進一步找出最佳及調整再生參數，當作未來模場試驗 RAP 飽和再生的依據。



六、結果與討論

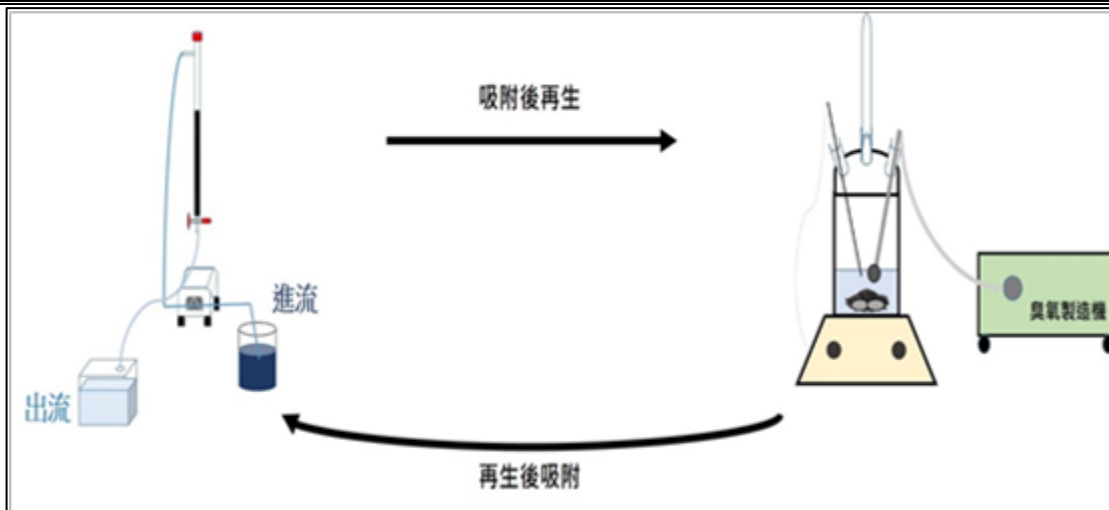


圖 51、RAP 固定床模擬實驗示意圖

表 17、RAP 固定床實驗之再生前後累積吸附量

通過 BV	再生前累積吸附 量 (mg COD/g RAP)	再生一次後累積吸附 量 (mg COD/g RAP)	再生兩次後累積吸附 量 (mg COD/g RAP)
3	3.38	3.57	3.10
6	6.45	6.56	5.57
9	8.45	9.21	7.66
12	10.24	12.42	9.28
15	11.93	13.91	11.77
18	13.18	14.59	12.61
21	14.76	15.25	13.91
24	16.28	16.79	14.10
27	17.60	17.53	14.48
30	18.33	18.99	15.06
33	18.92	19.44	15.89
36	19.11	20.10	16.94
39	19.66	20.32	18.00
42	19.97	20.46	19.06
45	20.32	20.72	19.62
48	20.46	20.94	20.21
51	20.57	21.04	20.72
54	21.04	21.05	21.08



應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水

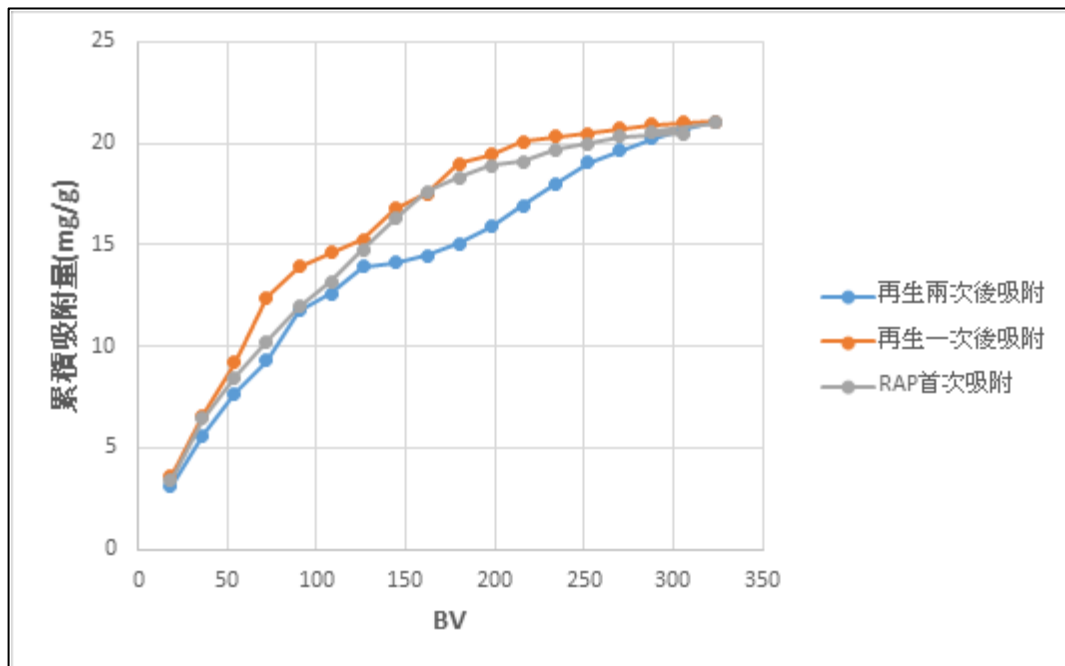


圖 52、RAP 固定床吸附通入不同 BV 再生前後累積吸附量比較

3. RAP 再生參數探討

經過確認 RAP 以臭氧再生為可行的方法後，為了測試未來 RAP 再生參數，第一部分先以 1g RAP 吸附 2 L 400 mg/L as COD 之苯甲酸溶液共 7 日，並每日分析濃度變化。由實驗數據確認 RAP 在吸附 1 日後，溶液濃度趨於穩定，代表 RAP 已達吸附近飽和程度。接著分別將無經再生之 RAP 與經臭氧再生 RAP 以同吸附條件，再次吸附苯甲酸溶液（400 mg/L as COD），經式 6-1 所得再生效率比較，如圖 53 所示，確認 RAP 已達吸附飽和且若未經再生流程則無再吸附能力。

$$RE = \frac{q_{reg}}{q_{orig}} \times 100 \% \quad (\text{式 6-1})$$

$$q_{reg} = \text{再生後吸附量}(g \text{ COD}/g \text{ RAP})$$

$$q_{orig} = \text{初始吸附量}(g \text{ COD}/g \text{ RAP})$$

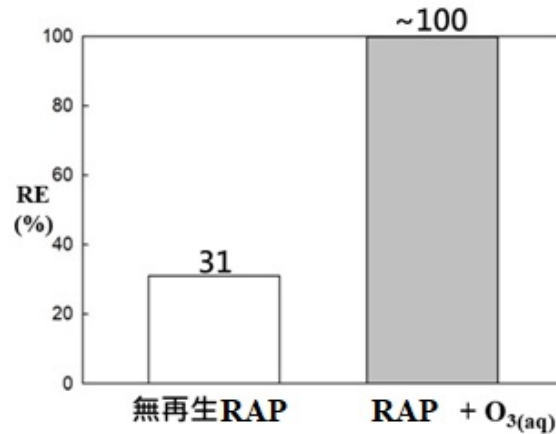


圖 53、無再生與臭氧再生 RAP 再次吸附之 RE 比較

第二部分比較不同氧化劑與氧化方式，如表 18 分別以臭氧直接在氣相中再生（氣相再生）、臭氧曝在水相中（水相再生）及次氯酸鈉再生，再生時間皆為 4 小時。圖 54 為實驗裝置示意圖，臭氧氣相再生為直接將 RAP 曝臭氧，導致能調整的參數有限，故僅在室溫並不調整酸鹼值狀況下進行實驗，次氯酸鈉及臭氧水相再生皆是將 RAP 加入 300 mL 自來水，在 80°C、pH 12 下進行再生實驗。

實驗結果如圖 55，可看出 RAP 在臭氧水相再生效果明顯優於臭氧氣相再生及次氯酸鈉再生，顯示在高溫且偏鹼的條件下 RAP 上的貴金屬鈦能發揮較強的催化作用，使孔洞中的有機物礦化，而次氯酸鈉因氧化能力不足以持續使貴金屬鈦維持在高價態，導致再生效果不佳。

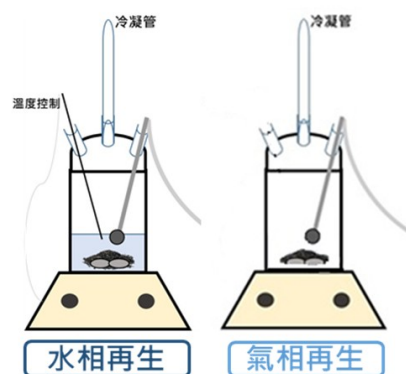


圖 54、RAP 臭氧氣相與水相再生示意圖



應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水

表 18、RAP 不同再生參數

再生方式 參數	臭氧氣相再生	臭氧水相再生	次氯酸鈉再生
氧化劑	臭氧	臭氧	次氯酸鈉
再生時溶液	無	自來水	自來水
溫度(°C)	無	80	80
pH	無	12	12
臭氧流率(g/hr)	3.5	3.5	無
時間(hr)	4	4	4

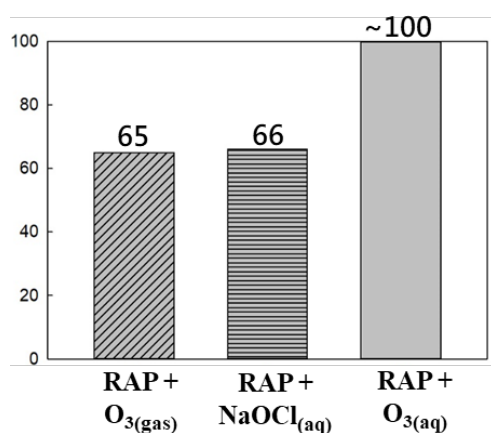


圖 55、RAP 以不同條件方式之 RE 比較

臭氧水相再生參數的探討，分別比較溶液 pH 值及溫度之再生效率，尋找最佳化條件。再生最佳 pH 值的探討試驗比較了 pH 5、7、9、12，結果如圖 56，可看出再生溶液在中性、弱酸的條件下再生效率不如鹼性，因為鹼性的環境能有助於釐價態升高，更傾向能分解有機物及製造更多氫氧自由基。

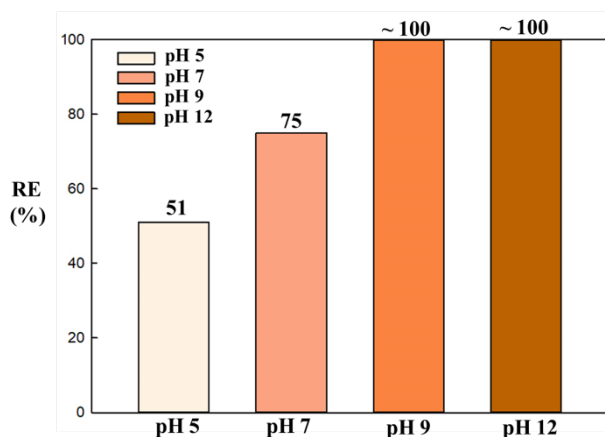


圖 56、RAP 於不同 pH 下再生之 RE 比較



(六)RAP 實驗室吸附 VOC 試驗-氣相吸附

為模擬實際模場運用情形「先吸附飽和，後臭氧再生」，測試系統如圖 57 所示，以 RAP 固定床方式在室溫下進行吸附實驗，VOC 選定甲苯氣體鋼瓶並以空氣來調配濃度，進入 RAP 固定床的混合氣體 VOC 濃度控制約在 250 ppm 左右，相對濕度 90%下進行試驗，測試條件如表 19 所示。

實驗結果如圖 58 與表 20 所示，總反應時間共為 8 小時，RAP 去除甲苯之去除率維持平均在 70%。此次實驗目的原是設計模擬實際模場 RAP 吸附系統的 VOC 尾氣，當達吸附飽和後再以臭氧再生，但由此次實驗結果發現，RAP 因用來稀釋甲苯之空氣是以氮氣與氧化混合，而所含的氧氣在實驗系統中充當氧化劑角色，導致 RAP 是以不斷以催化氧化方式來分解甲苯。雖處理機制與原本預定的方向不同，但由此次實驗也可證實本團隊所選用之材料 RAP 有別於其他處理 VOC 觸媒，可在室溫下且濕度高的條件下反應，且由前個臭氧再生實驗證實 RAP 確實是可經再生後再使用之綠色材料。

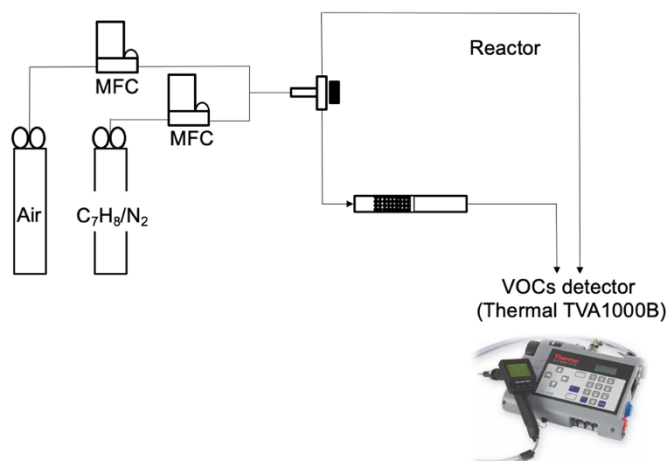


圖 57、RAP 吸附甲苯去除之測試裝置

表 19、RAP 吸附甲苯測試條件

項目	條件
VOCs 種類與濃度	甲苯,約 250 ppm
O ₂ 濃度	16%
空間流速 (標準狀態下)	3,600 h ⁻¹
溫度	20°C



應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水

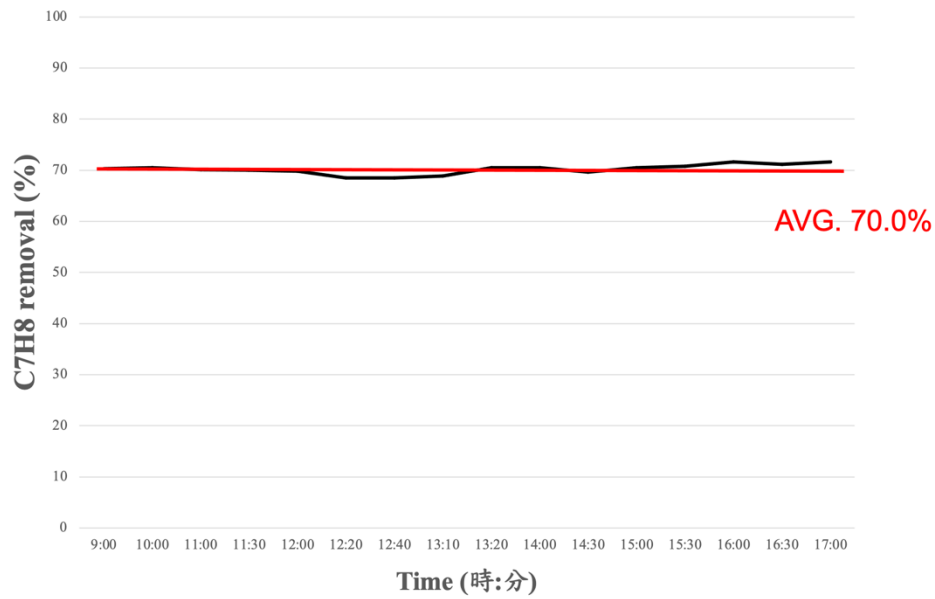


圖 58、RAP 吸附甲苯測試結果-1

表 20、O₃ + RAP 吸附甲苯測試結果-2

時間	C ₇ H ₈ 去除效率(%)	時間	C ₇ H ₈ 去除效率(%)
09:00	70.3	13:20	70.5
10:00	70.5	14:00	70.5
11:00	70.2	14:30	69.7
11:30	70.0	15:00	70.5
12:00	69.8	15:30	70.8
12:20	68.5	16:00	71.6
12:40	68.5	16:30	71.1
13:10	68.9	17:00	71.6



(七)學術論文產出及活動

1. 國內期刊論文

周珊珊、賴怡芬、許東鈞（110年9月出刊）。油品污染場址之新穎綠色整治材料與系統介紹。環保署環訓所環境教育及訓練電子報/環保技術新知。

2. 國內研討會（簡報發表）

周珊珊（110年4月26日）。工業廢水新興處理與回收技術。觀音工業區講習會-廠區污水處理淨化與水回收再利用技術推廣。

3. 國內研討會論文發表

賴怡芬、周珊珊、黃志彬（110年12月2日）。催化氧化型活性碳於廢水及地下水之應用。台灣水務產業發展協會/水務新秀發表會

(八)專利

觸媒及其應用（申請中）

關於一種觸媒以及使用該觸媒於處理揮發性有機物或氮氮廢水。

(九)結論

1. 整治設施操作與維護

本計畫整治設施已設置完成，並配合現場規定調整為防爆規格後，於110年08月12日啟動試運轉，在試運轉三個月後各項設備皆正常運作，即時流量皆維持1.6~2.0之間，截至110年12月23日止系統累計總抽水量達4,257噸。且於試運轉三個月後，110年12月17日在模場區的1口地下水井中放置自計式水位計，測試系統影響半徑，由井中地下水位變化曲線可看出HFS系統對周圍監測井有造成明顯水位洩降曲線。

2. 定期監測

(1) 尾氣監測：在110年8月12日正式試運轉後，每月以PID量測尾氣，測值皆為0.0 ppm，到目前為止已經操作約5個月，仍有良好的尾氣處理結果，這可能與我們在實驗室測試甲苯在常溫下經由RAP和空氣氧化，即可除了吸附外，對VOCs也產生相當的降解效果有關。

(2) 地下水監測：自110年08月12日正式試運轉以來，共執行8次地下水定期監測作業，其中苯、甲苯、乙苯及二甲苯之監測結果皆低於定量偵



應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水

測極限值，而總石油碳氫化合物皆超過第二類地下水污染監測標準，且大部分亦超過第二類地下水污染管制標準，目前場址地下水污染受到水力循環系統影響，地下水總石油碳氫化合物濃度有明顯上下起伏趨勢。

- (3) 土壤監測：本計畫已於110/09/23和110/11/25執行兩次土壤定期監測，每次採樣3點，土壤定期監測成果中苯、甲苯、乙苯及二甲苯之監測結果皆低於定量偵測極限值，而總石油碳氫化合物皆超過土壤污染管制標準，距離 HFS 系統較遠(約18公尺)之土壤採樣點 S03之濃度有降低，距離 HFS 系統較近(約11公尺)之土壤採樣點 S01及 S02之濃度有明顯上升，顯示循環系統將地層中之污染聚集至系統周圍。

3. RAP 實驗室再生驗證與參數探討

- (1) 水相吸附：本團隊已驗證 RAP 經吸附飽和後確實可以透過添加氧化劑來達到再生效果，同時在不同氧化劑中得出以臭氧在水相中再生之效果最為優異。透過調整再生溶液條件 pH 值，發現在鹼性環境下有助於 RAP 上批覆的鈎金屬價態提高，氧化有機物能力更強及製造更多氫氧自由基，未來會接續探討其他再生參數，作為後續實場再生條件之依據。
- (2) 氣相吸附：本實驗原設計模擬實場「先吸附飽和，後臭氧再生」情境，由實驗結果發現，在吸附過程中用來稀釋甲苯的空氣因含有氧氣，導致 RAP 以不斷催化氧化的方式來分解甲苯，而無法達到吸附飽和狀態。雖處理機制與原本預定的方向不同，但由此次實驗證明 RAP 可在室溫下以空氣中的氧氣作為氧化劑，進而氧化 VOC。



(十) 建議

1. 增加設置水層增溫處理系統(GIT)

由於本場址土壤及地下水污染物皆為總石油碳氫化合物，且主要為柴油類污染，為加速污染物移除，建議增加設置水層增溫處理系統(Groundwater Increase Temperature System，簡稱 GIT)。水層增溫處理系統其原理為利用地層溫度增加以提高污染物在水中溶解度、降低污染物在地層中之黏滯性及增加污染物揮發性的特性進而將污染物去除。此系統之主要配備為加熱裝置內建恆溫控制系統及溫度控制裝置，本研究在場址中主要操作條件為加熱裝置置入地下水整治井底部，溫度控制在 40~50°C 並以 24 小時/日運轉，過去研究結果顯示此系統實際運用於現地地下水整治，可有效將地層溫度抬升，進而將長期累積於地層中之污染物脫附釋出再搭配物理整治技術，更促使污染濃度降低，對於整治成效的提升以及整治時間的縮短有顯著幫助。

2. 尾氣處理設備增加鼓風機

由 RAP 實驗室吸附 VOC 試驗結果發現，RAP 吸附甲苯過程中加入空氣，其中之氧氣能充當氧化劑角色，可以使 RAP 不斷發生催化氧化反應，進而氧化 VOC，原先地上尾氣處理設備之鼓風機只是每週開啟 8 小時，將空氣打入 RAP 處理裝置，從 12 月底開始我們已改為每天 24 小時連續開啟，除可以達到 VOC 處理效果，更可以減少將 RAP 卸出更換的頻率，未來對於產業面推廣也能成為一優勢。



應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水

七、第二年期工作規劃說明

本計畫提出期程為 2 年，本報告為第 1 年工作執行成果，在第 2 年除沿續第 1 年之系統運轉操作維護及定期監測外，將增加設置 RAP 於影響半徑範圍內，現就第 2 年規劃工作說明如下。

(一)系統運轉操作維護

經由第一年 HFS 系統試運轉至正式運轉期間，已確認系統於運轉之最佳操作參數，第二年將使系統持續穩定運轉，並配合定期系統巡查確認系統正常運轉，以確保藉由系統連續式運作有效將地層中污染物移除。

(二)定期監測

為瞭解模場運轉成效，於模場試驗期間仍持續執行尾氣、地下水及土壤等 3 項監測作業，在尾氣監測部分，每個月以攜帶式 PID 量測地表上 RAP 固定床進口與排放尾氣的 VOC；在地下水監測部分，每個月針對模場內 3 口地下水井，採樣檢測苯、甲苯、乙苯、二甲苯及總石油碳氫化合物；在土壤監測部分，原則上中期末各採樣檢測一次，採樣深度至地表下 6 公尺，現場以 PID 及 FID 篩測後，選篩測值高者送實驗室分析苯、甲苯、乙苯、二甲苯及總石油碳氫化合物，土壤及地下水監測點位詳見圖 42。

為瞭解 RAP 吸附氣相 VOC 及地下水狀況，第 2 年計畫執行期間，定期每 2 至 3 個月將取部分 RAP 回實驗室作飽和測試，若已接近飽狀態則將 RAP 卸出進行活化後再放置回系統，並統計出 RAP 活化週期。

(三)設置 RAP 於影響半徑範圍內

為提高地層中溶解相污染物之去除成效，第二年規劃將 RAP 置於 HFS 系統之影響半徑範圍內之地下水監測井中，詳見圖 34，運用 RAP 本身之特有處理功能，將影響半徑範圍內之溶解相污染有效吸附，本階段亦將配合地下水成效監測結果，適時針對地下水監測井中之 RAP 進行活化再生，以提高整治成效。

(四)RAP 再生最佳化條件探討

目前實驗室已證實 RAP 吸附飽和後可以使用臭氧再生，也比較出不同常見之氧化劑、氧化方式的再生效率，未來會將接續探討其餘再生參數，如再生溫度、臭氧量、pH 等，整合出最佳再生條件並實際運用在本計畫中。



八、參考文獻

- Alejandro, S., Valdés, H., Manéro, M. H., & Zaror, C. A. (2014). Oxidative regeneration of toluene-saturated natural zeolite by gaseous ozone: the influence of zeolite chemical surface characteristics. *Journal of hazardous materials*, 274, 212-220.
- Alvarez, P. M., Beltran, F. J., Gomez-Serrano, V., Jaramillo, J., & Rodriguez, E. M. (2004). Comparison between thermal and ozone regenerations of spent activated carbon exhausted with phenol. *Water research*, 38(8), 2155-2165.
- Beltrán, F. J., Masa, F. J., & Pocostales, J. P. (2009). A comparison between catalytic ozonation and activated carbon adsorption/ozone-regeneration processes for wastewater treatment. *Applied Catalysis B: Environmental*, 92(3-4), 393-400.
- Dusenbury, J. S., & Cannon, F. S. (1996). Advanced oxidant reactivity pertaining to granular activated carbon beds for air pollution control. *Carbon*, 34(12), 1577-1589.
- Floquet, S., & Eysseric, C. (2006). Effect of ozone on ruthenium species in alkaline medium—Part I: Oxidative dissolution of ruthenium dioxide hydrate. *Radiochimica Acta*, 94(1), 5-13.
- Hwang, K. S., Choi, D. K., Gong, S. Y., & Cho, S. Y. (1997). Adsorption and thermal regeneration of methylene chloride vapor on an activated carbon bed. *Chemical engineering science*, 52(7), 1111-1123.
- Moussavi, G., Aghapour, A. A., & Yaghmaeian, K. (2014). The degradation and mineralization of catechol using ozonation catalyzed with MgO/GAC composite in a fluidized bed reactor. *Chemical Engineering Journal*, 249, 302-310.
- Pagliaro, M., Campestri, S., & Ciriminna, R. (2005). Ru-based oxidation catalysis. *Chemical Society Reviews*, 34(10), 837-845.
- Salvador, F., Martin-Sanchez, N., Sanchez-Hernandez, R., Sanchez-Montero, M. J., & Izquierdo, C. (2015). Regeneration of carbonaceous adsorbents. Part I: thermal regeneration. *Microporous and Mesoporous Materials*, 202, 259-276.
- Salvador, F., Martin-Sanchez, N., Sanchez-Hernandez, R., Sanchez-Montero, M. J., & Izquierdo, C. (2015). Regeneration of carbonaceous adsorbents. Part II: chemical, microbiological and vacuum regeneration. *Microporous and Mesoporous Materials*, 202, 277-296.
- Valdés, H., & Zaror, C. A. (2006). Ozonation of benzothiazole saturated-activated carbons: influence of carbon chemical surface properties. *Journal of hazardous materials*, 137(2), 1042-1048.



應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水

Yaghmaeian, K., Moussavi, G., & Alahabadi, A. (2014). Removal of amoxicillin from contaminated water using NH₄Cl-activated carbon: Continuous flow fixed-bed adsorption and catalytic ozonation regeneration. *Chemical Engineering Journal*, 236, 538-544.

Zhou, J., Zhao, J., Zhang, J., Zhang, T., Ye, M., & Liu, Z. (2020). Regeneration of catalysts deactivated by coke deposition: A review. *Chinese Journal of Catalysis*, 41(7), 1048-1061.

應用多介質水力沖洗系統整治受 LNAPL 污染之土壤及地下水，2019 年中國環境科學學會科學技術年會，2749 頁。



專案執行績效審核自評表

專案主持人	周珊珊	專案名稱	應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水			
專案類型	☐ 研究型 ☒ 模場型		專案主題	☐ 調查 ☒ 整治 ☐ 其他		
項次	類別	缺失點數	自評項目	執行單位檢核		本署審核
				是	否	
一	計畫書核定修正	1 點	依規定期限內備文提送	☒	☐	
		1 點	書面資料完整且無補件情況	☒	☐	
		1 點	報告依格式規定撰寫	☒	☐	
		1 點	依規定期限內上傳電子檔	☒	☐	
		1 點	系統資料依規定期限內登錄且資料登錄完整(含本署專案系統與 GRB 系統)	☒	☐	
二	期中及期末	1 點	依規定期限內備文提送	☒	☐	
		1 點	書面資料完整且無補件情況	☒	☐	
		1 點	報告依格式規定撰寫	☒	☐	
		1 點	依規定期限內上傳電子檔	☒	☐	
		1 點	系統資料依規定期限內登錄且資料登錄完整(含本署專案系統與 GRB 系統)	☒	☐	
三	結案及核銷	1 點	依規定期限內備文提送	☒	☐	
		4 點	結案提送原始憑證清冊及相關資料完整且無補件情況	☒	☐	
四	其他	4 點	計畫主持人配合出席本專案成果發表活動(或指定代理人如協同主持人、同專業且為助理研究員以上職等,備文經本署同意者)	☒	☐	
		1 點	計畫執行者於執行期間與單位內各處室溝通良好,行政作業效率良好。	☒	☐	
合計		20 點				

註：執行單位於計畫執行期間進行缺失檢核於期中及期末送本署審核，並於期末統一計算。

未依實況登錄者，由本署補登依各階段執行紀錄進行缺失點數扣款。

缺失扣款機制：

- 1.依結案標準，於專案執行期間，視各執行單位行政作業配合度，依「專案執行績效審核—自評表」（附件 17）進行績效缺失記點，缺失點數達扣款規定者，依核定總金額按比例扣款（或追繳）。
- 2.缺失點數達 5 點者總金額款項扣 1.5%，缺失點數達 7 點者總金額款項扣 3%，缺失點數達 7 點以上者每增加缺失 1 點，加扣總金額款項 1%至滿 30%為限。



附件一、期中報告審查意見回覆對照表

行政院環境保護署「土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案」

☐申請計畫書 ☒期中報告

☐修正計畫書 ☐期末報告

審查意見回覆對照表

計畫年度	110 年度	計畫類型	☐ 研究型 ☒ 模場型
計畫類別	☒ 整治 ☐ 調查 ☐ 其它		主持人：周珊珊 NO：A10
計畫名稱	應用可再生型吸附顆粒(RAP)搭配多介質水力沖洗循環系統(HFS)去除受 LNAPL 污染之土壤及地下水		
委員審查意見		計畫單位回覆	
委員一			
3. 期中報告對於計畫說明非常完整，兩年度期程的工作皆有詳細的規劃及說明。		1.謝謝委員肯定。	
4. 對於場址背景資料及污染狀況的掌控非常完整詳盡，對於欲採用的技術工法也有完整的技術說明。		2.謝謝委員肯定。	
5. 目前進度已完成模場背景調查、整治井設備設置及實驗室的 RAP 再生驗證，符合期中查核點的各項要求。		3.謝謝委員肯定。	
6. 操作試驗前的整備工作大致就緒，由於部分設備需配合現場規定調整防爆規格，使得實際運作起始時間可能稍有延遲約一個月，由於第二階段是針對系統穩定後連續測試三個月，因此在時間上稍嫌緊迫，應注意進度的掌控。		4.謝謝委員建議，配合現場規定調整防爆規格設施已於 110 年 08 月 04 日安裝完成，經過檢查測試後於 110 年 08 月 12 日開始試運轉，目前已完成連續三個月試運轉，相關設置及試運轉情形、土壤及地下水定期監測詳見第六章。	
委員二			
1. 模場背景調查數據僅為歷年監測結果之分析，尚未呈現今年之檢測結果。模場實驗設備部分期中報告只有計畫書的 HFS 配置規劃圖、示意圖、檢測範例，表 11 目前實際現場的設置進度 6 至 7 月仍在施工中。		1.謝謝委員意見，模場已於 110 年 8 月 12 日開始試運轉，並依規劃監測頻率進行運轉中土壤及地下水監測作業，數據已補充於表 14 及表 15，另表 11 已更新補充至設置完成及正式試運轉日期。	
2. 關鍵材質 RAP 為鈉改質活性碳兼有吸附及催化氧化之功能。計畫所提出之應用為於第一階段用 RAP 氣相吸附 VOCs，於第二階段用 RAP 液相吸附 VOCs，吸附飽和後的 RAP 再用臭氧於室溫下氧化 VOCs 再生。但期中報告第 4 至 6 頁的 (2) RAP 在 VOCs、防治的應用一節，是臭氧與 VOC 同時進入 RAP 的臭氧氧化功能，不是本計畫之應用情境。		2.謝謝委員意見，原期中報告所呈現以 RAP 吸附氣相 VOC 之數據為實驗室所測試的可行性結果。為符合實場應用「先吸附，後氧化再生」情境，已在本次期末報告呈現以 RAP 吸附氣態甲苯之實驗數據，詳情請閱第六章。RAP 吸附甲苯過程中，因有氧氣加入，RAP 不斷發生催化氧化反應，導致無法達到吸附飽和狀態，但因此實驗結果，確認 RAP 可在室溫下以空氣中的氧氣作為氧化劑，進而氧化 VOC，因此提供本團隊未來在實場應用另一種更好的方式。	



委員三

1. 請補充說明何以直接選定搭配兩項「高端處理技術」，其中 HFS 還屬專利技術，整治技術之應用成本宜概估之，RAP 之購買或取得亦請補充說明其市場管道。
2. 依報告之描述，RAP 基底為椰殼活性碳並覆蓋三種貴金屬，建議概述其製備方式，以強化技術之可推廣性。
3. 建議補充分析或推估本專案之整治成本。

1. 謝謝委員意見，本計畫所使用之 HFS 技術在實場已有許多去除受 DNAPL 污染之土壤及地下水之成效，而 RAP 則在廢水處理上已有許多成功的實績案例，兩者的技術成熟度(TRL)皆為 7，因此本團隊結合此二技術應用於實際場址，才有機會加速展現績效。
2. 謝謝委員意見，RAP 為國立陽明交通大學與合作廠商共同研發製作，以椰殼活性碳搭配獨特的金屬化合物納米薄膜製備技術使金屬批覆更均勻，目前已在申請專利中。
3. 謝謝委員意見，依目前第一年計畫所執行內容來估算，因應中油工安要求系統需升級為防爆規格，本計畫 HFS 和 RAP 等週邊設備和工程的設置成本估算不超過 500 萬元，目前看來相對操作與耗材更換的成本很低，後續的維護與人力耗費也不高。尤其目前土壤監測結果顯示循環系統已將地層中之污染聚集至 HFS 系統周圍，表示整治時間應可大幅縮短。待第二年計畫結束後，我們會補充分析本專案整體的整治成本。

委員四

1. 計畫書強調的 RAP”活化週期”與”處理效果”，應在期末報告中提出數據並探討優化利用的問題。

1. 謝謝委員意見，RAP 用於本計畫模場中尾氣 VOC 及地下水處理效果，可詳閱第六章第四節「定期監測」成果。「活化週期」部分，由目前定期監測尾氣 VOC 及地下水數據來看，尚未看出有吸附飽和的趨勢，故截至期末報告之前尚未有機會將 RAP 卸出再生，第二年會考慮由模場取水樣回實驗室進行模擬 RAP 吸附後再生。

委員五

1. 期中報告有依委員意見修正後執行。
2. 針對部分設備須配合現場規定調整為防爆規格，而尚未啟動，建請掌握時間。
3. 期末報告時亦請附上申請計畫書審查表意見及回覆表。

1. 謝謝委員意見，遵照辦理。
2. 謝謝委員意見，配電箱配合調整為防爆規格部分已於 8 月上旬設置完成，並於 8 月中旬啟動運轉，相關監測期程亦配合調整。
3. 謝謝委員意見，已回覆並檢附於期末報告中。



附件二、

委外採樣分析檢測報告書



FQ111G0010

琨鼎環境科技股份有限公司
KUEN-TING ENTECH CO., LTD.

行政院環境保護署許可證字號：環署環檢字第042號

檢驗室名稱：琨鼎環境科技股份有限公司檢驗室

地址：台中市青島一街33-5號6樓

電話：(04)2297-2731

傳真：(04)2291-6133

報告編號：111G0010-001

地下水檢測報告

案件名稱：台灣中油公司石化事業部林園廠

案件編號：FQ111G0010

檢測目的：其他-模場整治效果評估

報告日期：2022/02/07

聯絡人：蕭敏裕

備註：

1. 檢測值低於方法偵測極限之測定以"N.D."或"ND<MDL值"表示，並註明其方法偵測極限值。
2. 低於定量極限但大於方法偵測極限之數值，以"<QDL"表示，並說明其定量極限值。
3. 本報告不得隨意複製及作為宣傳廣告之用。

聲明書：

- (一)茲保證本報告內容完全依照行政院環境保護署之標準方法及品保品管等相關規定，秉持公正、誠實進行採樣、檢測。絕無虛偽不實，如有違反，就政府機關所損失願負連帶賠償責任之外，並接受主管機關依法令所為之行政處分及刑事處罰。
- (二)吾人瞭解如自身受政府機關委任從事公務，亦屬於刑法上之公務員，並瞭解刑法上圖利罪、公務員登載不實偽造文書及貪污治罪條例之相關規定，如有違反，亦為刑法及貪污治罪條例之適用對象，願受最嚴厲之法律制裁。
- (三)本報告已由核可報告簽署人審核無誤，並簽署於內部報告文件，簽署人如下：
空氣採樣類 ☐ 王元益(FQA-05)
無機檢測類 ☐ 詹昌龍(FQI-03)
有機檢測類 ☐ 詹昌龍(FQO-01) ☐ 劉易松(FQO-02) ☐ 朱凌玉(FQO-03)

公司名稱：琨鼎環境科技股份有限公司

負責人(簽章)：黃仁和

☒ 檢驗室負責人：報告簽署人：劉易松



FQ111G0010

琨鼎環境科技股份有限公司

KUEN-TING ENTECH CO., LTD.

行政院環境保護署許可證字號：環署環檢字第042號

檢驗室名稱：琨鼎環境科技股份有限公司檢驗室

地址：台中市青島一街33-5號6樓

電話：(04)2297-2731

傳真：(04)2291-6133

報告編號：111G0010-001

地下水檢測報告

案件名稱：台灣中油公司石化事業部林園廠

案件編號：FQ111G0010

檢測目的：其他-機場整治效果評估

採樣單位：琨鼎環境科技股份有限公司

採樣方法：NIEA W103.56B

採樣地點：高雄市林園區石化二路3號

測點名稱：100油槽區，儲槽LY109南側，OW-25

行程編號：FQUW22010006

客戶名稱：國立陽明交通大學

採樣時間：2022/01/13 10:20 - 2022/01/13 10:45

樣品特性：液體

樣品編號：111G0010-001

收樣日期：2022/01/13

報告日期：2022/02/07

聯絡人：蕭敏裕

項次	檢測項目	單位	檢測值	檢測方法	備註
1	苯	mg/L	0.0202	NIEA W785.57B	
2	甲苯	mg/L	<0.00100	NIEA W785.57B	QDL=0.00100
3	乙苯	mg/L	<0.00100	NIEA W785.57B	QDL=0.00100
4	二甲苯	mg/L	0.0129	NIEA W785.57B	
5	總石油碳氫化合物	mg/L	7.54	NIEA W901.50B	
以下空白					





FQ111G0010

琨鼎環境科技股份有限公司

KUEN-TING ENTECH CO., LTD.

行政院環境保護署許可證字號：環署環檢字第042號

檢驗室名稱：琨鼎環境科技股份有限公司檢驗室

地址：台中市青島一街33-5號6樓

電話：(04)2297-2731

傳真：(04)2291-6133

報告編號：111G0010-001

地下水檢測報告

案件名稱：台灣中油公司石化事業部林園廠

案件編號：FQ111G0010

檢測目的：其他-模場整治效果評估

採樣單位：琨鼎環境科技股份有限公司

採樣方法：NIEA W103.56B

採樣地點：高雄市林園區石化二路3號

測點名稱：100油槽區，儲槽LY109南側，OW-07

行程編號：FQUW22010006

客戶名稱：國立陽明交通大學

採樣時間：2022/01/13 11:45 - 2022/01/13 12:09

樣品特性：液體

樣品編號：111G0010-002

收樣日期：2022/01/13

報告日期：2022/02/07

聯絡人：蕭敏裕

項次	檢測項目	單位	檢測值	檢測方法	備註
1	苯	mg/L	0.00170	NIEA W785.57B	
2	甲苯	mg/L	0.00146	NIEA W785.57B	
3	乙苯	mg/L	<0.00100	NIEA W785.57B	QDL=0.00100
4	二甲苯	mg/L	0.0366	NIEA W785.57B	
5	總石油碳氫化合物	mg/L	5.48	NIEA W901.50B	
以下空白					





FQ111G0010

琨鼎環境科技股份有限公司

KUEN-TING ENTECH CO., LTD.

行政院環境保護署許可證字號：環署環檢字第042號

檢驗室名稱：琨鼎環境科技股份有限公司檢驗室

地址：台中市青島一街33-5號6樓

電話：(04)2297-2731

傳真：(04)2291-6133

報告編號：111G0010-001

地下水檢測報告

案件名稱：台灣中油公司石化事業部林園廠

案件編號：FQ111G0010

檢測目的：其他-模場整治效果評估

採樣單位：琨鼎環境科技股份有限公司

採樣方法：NIEA W103.56B

採樣地點：高雄市林園區石化二路3號

測點名稱：100油槽區，儲槽LY109南側，TE-C5

行程編號：FQUW22010006

客戶名稱：國立陽明交通大學

採樣時間：2022/01/13 13:15 - 2022/01/13 13:32

樣品特性：液體

樣品編號：111G0010-003

收樣日期：2022/01/13

報告日期：2022/02/07

聯絡人：蕭敏裕

項次	檢測項目	單位	檢測值	檢測方法	備註
1	苯	mg/L	N.D.	NIEA W785.57B	MDL=0.00041
2	甲苯	mg/L	<0.00100	NIEA W785.57B	QDL=0.00100
3	乙苯	mg/L	N.D.	NIEA W785.57B	MDL=0.00040
4	二甲苯	mg/L	N.D.	NIEA W785.57B	MDL=0.00057
5	總石油碳氫化合物	mg/L	5.22	NIEA W901.50B	
以下空白					





琨鼎環境科技股份有限公司
KUEN-TING ENTECH CO., LTD.



FQ111G0010

檢驗室名稱：琨鼎環境科技股份有限公司檢驗室
地址：台中市青島一街33-5號6樓

電話：(04)2297-2731
傳真：(04)2291-6133
報告編號：N111G0010-001

地下水檢測報告

案件名稱：台灣中油公司石化事業部林園廠

案件編號：FQ111G0010

檢測目的：其他-模場整治效果評估

報告日期：2022/02/07

聯絡人：蕭敏裕

備註：

1. 檢測值低於方法偵測極限之測定以"N.D."或"ND<MDL值"表示，並註明其方法偵測極限值。
2. 低於定量極限但大於方法偵測極限之數值，以<QDL表示，並說明其定量極限值。
3. 本報告不得隨意複製及作為宣傳廣告之用。

聲明書：

- (一)茲保證本報告內容參考行政院環境保護署及有關機關之標準方法及品保品管等相關規定，秉持公正、誠實進行採樣、檢測。絕無虛偽不實。
- (二)吾人瞭解如自身受政府機關委任從事公務，亦屬於刑法上之公務員，並瞭解刑法上圖利罪、公務員登載不實偽造文書及貪污治罪條例之相關規定，如有違反，亦為刑法及貪污治罪條例之適用對象，願受最嚴厲之法律制裁。

琨鼎環境科技股份有限公司
董事長：黃仁和
總經理：劉希松



琨鼎環境科技股份有限公司
KUEN-TING ENTECH CO., LTD.



FQ111G0010

檢驗室名稱：琨鼎環境科技股份有限公司檢驗室
地址：台中市青島一街33-5號6樓

電話：(04)2297-2731
傳真：(04)2291-6133
報告編號：N111G0010-001

地下水檢測報告

案件名稱：台灣中油公司石化事業部林園廠
案件編號：FQ111G0010
客戶名稱：國立陽明交通大學
採樣單位：琨鼎環境科技股份有限公司
採樣地點：高雄市林園區石化二路3號
測點名稱：100油槽區，儲槽LY109南側，OW-25

樣品編號：111G0010-001
採樣時間：2022/01/13 10:20 - 2022/01/13 10:45
收樣日期：2022/01/13
報告日期：2022/02/07
聯絡人：蕭敏裕

項次	檢測項目	單位	檢測值	檢測方法	備註
1	低碳數總石油碳氫化合物	mg/L	0.24	NIEA W901.50B	
2	高碳數總石油碳氫化合物	mg/L	7.30	NIEA W901.50B	
以下空白					





琨鼎環境科技股份有限公司
KUEN-TING ENTECH CO., LTD.



FQ111G0010

檢驗室名稱：琨鼎環境科技股份有限公司檢驗室
地址：台中市青島一街33-5號6樓

電話：(04)2297-2731
傳真：(04)2291-6133
報告編號：N111G0010-001

地下水檢測報告

案件名稱：台灣中油公司石化事業部林園廠
案件編號：FQ111G0010
客戶名稱：國立陽明交通大學
採樣單位：琨鼎環境科技股份有限公司
採樣地點：高雄市林園區石化二路3號
測點名稱：100油槽區，儲槽LY109南側，OW-07

樣品編號：111G0010-002
採樣時間：2022/01/13 11:45 - 2022/01/13 12:09
收樣日期：2022/01/13
報告日期：2022/02/07
聯絡人：蕭敏裕

項次	檢測項目	單位	檢測值	檢測方法	備註
1	低碳數總石油碳氮化合物	mg/L	0.22	NIEA W901.50B	
2	高碳數總石油碳氮化合物	mg/L	5.26	NIEA W901.50B	
以下空白					





琨鼎環境科技股份有限公司
KUEN-TING ENTECH CO., LTD.



FQ111G0010

檢驗室名稱：琨鼎環境科技股份有限公司檢驗室
地址：台中市青島一街33-5號6樓

電話：(04)2297-2731
傳真：(04)2291-6133
報告編號：N111G0010-001

地下水檢測報告

案件名稱：台灣中油公司石化事業部林園廠
案件編號：FQ111G0010
客戶名稱：國立陽明交通大學
採樣單位：琨鼎環境科技股份有限公司
採樣地點：高雄市林園區石化二路3號
測點名稱：100油槽區，儲槽LY109南側，TE-C5

樣品編號：111G0010-003
採樣時間：2022/01/13 13:15 - 2022/01/13 13:32
收樣日期：2022/01/13
報告日期：2022/02/07
聯絡人：蕭敏裕

項次	檢測項目	單位	檢測值	檢測方法	備註
1	低碳數總石油碳氫化合物	mg/L	0.48	NIEA W901.50B	
2	高碳數總石油碳氫化合物	mg/L	4.74	NIEA W901.50B	
以下空白					



檢驗室樣品分析結果品保品管執行統計表 (地下水)

檢 驗 項 目	檢量線製作	空白分析	重覆分析		查核樣品分析		添加標準品分析	
	γ 或 RSD	($\leq 2MDL$)	RPD%	管制範圍%	R%	管制範圍%	R%	管制範圍%
苯	2.37	<2MDL	4.1	0.0-19.2	93.3	75.0-125.0	78.0	65.0-134.5
甲苯	7.23	<2MDL	16.8	0.0-18.9	88.2	75.0-125.0	93.5	65.0-135.0
乙苯	3.14	<2MDL	15.5	0.0-20.6	92.5	75.0-125.0	96.4	65.0-135.0
間與對二甲苯	2.95	<2MDL	3.7	0.0-17.3	95.1	75.0-125.0	96.8	65.0-135.0
鄰-二甲苯	3.04	<2MDL	5.7	0.0-25.0	92.8	75.0-125.0	98.3	65.0-135.0
低碳數總石油碳氫化合物	8.62	<2MDL	21.6	0.0-21.8	98.6	75.0-125.0	103.1	65.0-135.0
高碳數總石油碳氫化合物	6.35	<2MDL	1.6	0.0-16.0	88.9	70.0-112.7	85.0	65.0-106.6

註：1. “—” 部份表示不需執行。
 2. γ 或 RSD 為檢量線相關係數。
 3. MDL 為方法偵測極限。
 4. RPD% 為相對差異百分比。
 5. R% 為回收率。



FQ111G0030

琨鼎環境科技股份有限公司
KUEN-TING ENTECH CO., LTD.

行政院環境保護署許可證字號：環署環檢字第042號

檢驗室名稱：琨鼎環境科技股份有限公司檢驗室

地址：台中市青島一街33-5號6樓

電話：(04)2297-2731

傳真：(04)2291-6133

報告編號：111G0030-001

地下水檢測報告

案件名稱：台灣中油公司石化事業部林園廠

案件編號：FQ111G0030

檢測目的：其他-模場整治效果評估

報告日期：2022/03/03

聯絡人：蕭敏裕

備註：

1. 檢測值低於方法偵測極限之測定以"N.D."或"ND<MDL值"表示，並註明其方法偵測極限值。
2. 低於定量極限但大於方法偵測極限之數值，以<QDL表示，並說明其定量極限值。
3. 本報告不得隨意複製及作為宣傳廣告之用。

聲明書：

- (一)茲保證本報告內容完全依照行政院環境保護署之標準方法及品保品管等相關規定，秉持公正、誠實進行採樣、檢測。絕無虛偽不實，如有違反，就政府機關所損失願負連帶賠償責任之外，並接受主管機關依法令所為之行政處分及刑事處罰。
- (二)吾人瞭解如自身受政府機關委任從事公務，亦屬於刑法上之公務員，並瞭解刑法上圖利罪、公務員登載不實偽造文書及貪污治罪條例之相關規定，如有違反，亦為刑法及貪污治罪條例之適用對象，願受最嚴厲之法律制裁。
- (三)本報告已由核可報告簽署人審核無誤，並簽署於內部報告文件，簽署人如下：
空氣採樣器 ☐ 王元益(FQA-05)
無機檢測類 ☐ 陳易龍(FQI-03)
有機檢測類 ☐ 陳易龍(FQO-01) ☐ 劉易松(FQO-02) ☐ 朱凌玉(FQO-03)

公司名稱：琨鼎環境科技股份有限公司

負責人(簽章)：黃仁和

☒ 檢驗室主管 ☐ 報告簽署人：劉易松



FQ111G0030

琨鼎環境科技股份有限公司 KUEN-TING ENTECH CO., LTD.

行政院環境保護署許可證字號：環署環檢字第042號
檢驗室名稱：琨鼎環境科技股份有限公司檢驗室
地址：台中市青島一街33-5號6樓

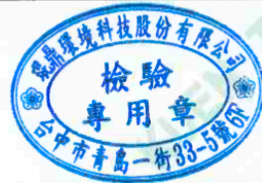
電話：(04)2297-2731
傳真：(04)2291-6133
報告編號：111G0030-001

地下水檢測報告

案件名稱：台灣中油公司石化事業部林園廠
案件編號：FQ111G0030
檢測目的：其他-模場整治效果評估
採樣單位：琨鼎環境科技股份有限公司
採樣方法：NIEA W103.56B
採樣地點：高雄市林園區石化二路3號
測點名稱：100油槽區, 儲槽LY109南側, OW-25
行程編號：FQUW22020007

客戶名稱：國立陽明交通大學
採樣時間：2022/02/23 11:22 - 2022/02/23 11:47
樣品特性：液體
樣品編號：111G0030-001
收樣日期：2022/02/23
報告日期：2022/03/03
聯絡人：蕭敏裕

項次	檢測項目	單位	檢測值	檢測方法	備註
1	苯	mg/L	N.D.	NIEA W785.57B	MDL=0.00041
2	甲苯	mg/L	<0.00100	NIEA W785.57B	QDL=0.00100
3	乙苯	mg/L	N.D.	NIEA W785.57B	MDL=0.00040
4	二甲苯	mg/L	0.00770	NIEA W785.57B	
5	總石油碳氫化合物	mg/L	12.6	NIEA W901.50B	
以下空白					





FQ111G0030

琨鼎環境科技股份有限公司 KUEN-TING ENTECH CO., LTD.

行政院環境保護署許可證字號：環署環檢字第042號
檢驗室名稱：琨鼎環境科技股份有限公司檢驗室
地址：台中市青島一街33-5號6樓

電話：(04)2297-2731
傳真：(04)2291-6133
報告編號：111G0030-001

地下水檢測報告

案件名稱：台灣中油公司石化事業部林園廠
案件編號：FQ111G0030
檢測目的：其他-模場整治效果評估
採樣單位：琨鼎環境科技股份有限公司
採樣方法：NIEA W103.56B
採樣地點：高雄市林園區石化二路3號
測點名稱：100油槽區, 儲槽LY109南側, OW-07
行程編號：FQUW22020007

客戶名稱：國立陽明交通大學
採樣時間：2022/02/23 12:53 - 2022/02/23 13:01
樣品特性：液體
樣品編號：111G0030-002
收樣日期：2022/02/23
報告日期：2022/03/03
聯絡人：蕭敏裕

項次	檢測項目	單位	檢測值	檢測方法	備註
1	苯	mg/L	0.00150	NIEA W785.57B	
2	甲苯	mg/L	<0.00100	NIEA W785.57B	QDL=0.00100
3	乙苯	mg/L	N.D.	NIEA W785.57B	MDL=0.00040
4	二甲苯	mg/L	0.0206	NIEA W785.57B	
5	總石油碳氫化合物	mg/L	3.78	NIEA W901.50B	
以下空白					





FQ111G0030

琨鼎環境科技股份有限公司

KUEN-TING ENTECH CO., LTD.

行政院環境保護署許可證字號：環署環檢字第042號
檢驗室名稱：琨鼎環境科技股份有限公司檢驗室
地址：台中市青島一街33-5號6樓

電話：(04)2297-2731
傳真：(04)2291-6133
報告編號：111G0030-001

地下水檢測報告

案件名稱：台灣中油公司石化事業部林園廠
案件編號：FQ111G0030
檢測目的：其他-模場整治效果評估
採樣單位：琨鼎環境科技股份有限公司
採樣方法：NIEA W103.56B
採樣地點：高雄市林園區石化二路3號
測點名稱：100油槽區, 儲槽LY109南側, TE-C5
行程編號：FQUW22020007

客戶名稱：國立陽明交通大學
採樣時間：2022/02/23 14:06 - 2022/02/23 14:18
樣品特性：液體
樣品編號：111G0030-003
收樣日期：2022/02/23
報告日期：2022/03/03
聯絡人：蕭敏裕

項次	檢測項目	單位	檢測值	檢測方法	備註
1	苯	mg/L	N.D.	NIEA W785.57B	MDL=0.00041
2	甲苯	mg/L	N.D.	NIEA W785.57B	MDL=0.00037
3	乙苯	mg/L	N.D.	NIEA W785.57B	MDL=0.00040
4	二甲苯	mg/L	0.00161	NIEA W785.57B	
5	總石油碳氫化合物	mg/L	1.27	NIEA W901.50B	
以下空白					





琨鼎環境科技股份有限公司
KUEN-TING ENTECH CO., LTD.



FQ111G0030

檢驗室名稱：琨鼎環境科技股份有限公司檢驗室
地址：台中市青島一街33-5號6樓

電話：(04)2297-2731
傳真：(04)2291-6133
報告編號：N111G0030-001

地下水檢測報告

案件名稱：台灣中油公司石化事業部林園廠

案件編號：FQ111G0030

檢測目的：其他-模場整治效果評估

報告日期：2022/03/03

聯絡人：蕭敏裕

備註：

1. 檢測值低於方法偵測極限之測定以"N.D."或"ND<MDL值"表示，並註明其方法偵測極限值。
2. 低於定量極限但大於方法偵測極限之數值，以<QDL表示，並說明其定量極限值。
3. 本報告不得隨意複製及作為宣傳廣告之用。

聲明書：

- (一)茲保證本報告內容參考行政院環境保護署及有關機關之標準方法及品保品管等相關規定，秉持公正、誠實進行採樣、檢測。絕無虛偽不實。
- (二)本人瞭解並自願受政府機關委任從事公務，亦屬於刑法上之公務員，並瞭解刑法上圖利罪、公務員登載不實為偽造文書及貪污治罪條例之相關規定，如有違反，亦為刑法及貪污治罪條例之適用對象，願受最嚴厲之法律制裁。

公司名稱：琨鼎環境科技股份有限公司

負責人(簽章)：黃仁和

檢驗室主管：

劉易松



本檢測報告共4頁，本頁為第1頁，分離使用無效

<http://www.kuen-ting.com.tw>



琨鼎環境科技股份有限公司
KUEN-TING ENTECH CO., LTD.



FQ111G0030

檢驗室名稱：琨鼎環境科技股份有限公司檢驗室
地址：台中市青島一街33-5號6樓

電話：(04)2297-2731
傳真：(04)2291-6133
報告編號：N111G0030-001

地下水檢測報告

案件名稱：台灣中油公司石化事業部林園廠
案件編號：FQ111G0030
客戶名稱：國立陽明交通大學
採樣單位：琨鼎環境科技股份有限公司
採樣地點：高雄市林園區石化二路3號
測點名稱：100油槽區, 儲槽LY109南側, OW-25

樣品編號：111G0030-001
採樣時間：2022/02/23 11:22 - 2022/02/23 11:47
收樣日期：2022/02/23
報告日期：2022/03/03
聯絡人：蕭敏裕

項次	檢測項目	單位	檢測值	檢測方法	備註
1	低碳數總石油碳氫化合物	mg/L	0.19	NIEA W901.50B	
2	高碳數總石油碳氫化合物	mg/L	12.4	NIEA W901.50B	
以下空白					





琨鼎環境科技股份有限公司
KUEN-TING ENTECH CO., LTD.



FQ111G0030

檢驗室名稱：琨鼎環境科技股份有限公司檢驗室
地址：台中市青島一街33-5號6樓

電話：(04)2297-2731
傳真：(04)2291-6133
報告編號：N111G0030-001

地下水檢測報告

案件名稱：台灣中油公司石化事業部林園廠
案件編號：FQ111G0030
客戶名稱：國立陽明交通大學
採樣單位：琨鼎環境科技股份有限公司
採樣地點：高雄市林園區石化二路3號
測點名稱：100油槽區, 儲槽LY109南側, OW-07

樣品編號：111G0030-002
採樣時間：2022/02/23 12:53 - 2022/02/23 13:01
收樣日期：2022/02/23
報告日期：2022/03/03
聯絡人：蕭敏裕

項次	檢測項目	單位	檢測值	檢測方法	備註
1	低碳數總石油碳氫化合物	mg/L	0.14	NIEA W901.50B	
2	高碳數總石油碳氫化合物	mg/L	3.64	NIEA W901.50B	
以下空白					





琨鼎環境科技股份有限公司
KUEN-TING ENTECH CO., LTD.



FQ111G0030

檢驗室名稱：琨鼎環境科技股份有限公司檢驗室
地址：台中市青島一街33-5號6樓

電話：(04)2297-2731
傳真：(04)2291-6133
報告編號：N111G0030-001

地下水檢測報告

案件名稱：台灣中油公司石化事業部林園廠
案件編號：FQ111G0030
客戶名稱：國立陽明交通大學
採樣單位：琨鼎環境科技股份有限公司
採樣地點：高雄市林園區石化二路3號
測點名稱：100油槽區, 儲槽LY109南側, TE-C5

樣品編號：111G0030-003
採樣時間：2022/02/23 14:06 - 2022/02/23 14:18
收樣日期：2022/02/23
報告日期：2022/03/03
聯絡人：蕭敏裕

項次	檢測項目	單位	檢測值	檢測方法	備註
1	低碳數總石油碳氫化合物	mg/L	0.66	NIEA W901.50B	
2	高碳數總石油碳氫化合物	mg/L	0.61	NIEA W901.50B	

以下空白



