



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

水刀注藥技術強化含氯有機溶劑場址 -生物整治模場試驗計畫(第二年)

期末報告（定稿）

主辦單位：  行政院環境保護署
專案執行單位： 朝陽科技大學／環境工程與管理系(所)
專案主持人： 張簡水紋 教授
專案執行期間： 110 年 02 月 24 日起至
111 年 02 月 28 日止

中華民國 111 年 02 月 印製





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：張簡水紋 教授	NO: S7
計畫名稱	水刀注藥技術強化含氯有機溶劑場址-生物整治模場試驗計畫(第二年)		
委員審查意見		計畫單位回覆	
一、盧至人委員： 1. 計畫的執行狀況、研究流程及方法已於報告中具體說明。 2. 本計畫的後續執行工作項目及內容已在 P.47 中說明(成效評估)。 3. 本報告中已說明預定的工作項目與已完成的項目，且計畫執行進度與原預定進度相符，執行進度並無落後。。 4. 本報告書中所呈現的研究內容(&成果)與原計畫目的相符。 1) 本計畫為第二年度計畫。 2) 整體而言，本計畫的研究成果符合原計畫書的預期。 3) 本計畫為模場型計畫，建議評估成本與效益(P.45說明約130萬，並不明確)。 4) 圖5.6.1-3，以 ORP 而言，-150 mV，尚不足以有效轉化 VC，圖中 VC 似乎有累積現象，即可能是 ORP 仍未達理想的還原態所致，建議討論。		一、盧至人委員： 1. 感謝委員確認。 2. 感謝委員確認。 3. 感謝委員確認。 4. 感謝委員確認。 1) 感謝委員確認。 2) 感謝委員確認。 3) 感謝委員意見，已補充說明於第五章、5.6.3節 綜合討論。根據計畫試驗成果，三氯乙烯濃度在1 mg/L左右的小型場址，水刀注藥工程費用約在新台幣130萬元左右，可在1年半左右將三氯乙烯處理至低於第二類地下水污染監測標準。 4) 感謝委員意見，已討論於第五章、5.6.1節 109年水刀注藥試驗成果探討。根據109年場址監測結果，ORP 數值不到-150 mV，且總有機碳濃度偏低，顯示地下環境條件可能已非微生物厭氧降解氯乙烷之最適狀態，致使氯乙烷降解效率降低。因污染應僅餘氯乙烷，後續改善方案或可考慮改採氧化法針對氯乙烷處理。	



委員審查意見	計畫單位回覆
5) K 值為10^{-6} m/ sec 的土壤，本工法 ROI 約 1 公尺，建議討論與其他工法的異同。 5. 依據本計畫的研究成果所提出的討論與建議合理，研究成果的實務可行性則尚待評估。 6. 本報告書已說明本計畫的學術產出(研討會與期刊)，也因為有研究人員參與，已達人才培育的目標。 7 本計畫的研究成果尚未提出專利申請，但已說明技術轉移的成果。 8. 本計畫的執行對國內土水產業與研發有其效益。	5) 感謝委員意見，已討論於第五章、<u>5.6.3節 綜合討論</u>。傳統開篩注藥工法影響半徑可能規劃至2 m，但在低透水或夾雜互層的土壤質地場址注藥時，常會出現優勢路徑/短流→基質藥劑無法有效傳輸至污染物周邊→污染物濃度反覆下降又回升，無法完成整治。水刀注藥工法則以固定間距在固定深度位置切割出圓盤薄片狹縫空間後再注入基質藥劑，讓基質藥劑能在污染區域均勻分布。 5. 感謝委員確認與意見。後續希望能以運作中工廠氯烯/氯烷類污染場址進行試驗，更進一步了解水刀注藥工法於運作中場址之可行性與適用性。 6. 感謝委員確認。 7. 感謝委員確認。 8. 感謝委員肯定。
二、李芳胤委員： 1. 本計畫的試驗結果顯示，水刀注藥工法對灌注影響範圍內的三氯乙烯確有預期的降解效果，不過，在本場址是否有一般注藥工法的降解資料可供比對，以突顯水刀注藥工法的優勢，請予以評析。 2. 本計畫的水刀注藥試驗雖然對三氯乙烯有良好的降解效果，且使污染物濃度降到法規標準以下，但降解後濃度升高的相關管制副產物是否在計畫期限內降解至法規標準以下，請依檢測資料加以說明。	二、李芳胤委員： 1. 感謝委員意見。本計畫109及110年度的試驗場址皆未進行厭氧還原注藥作業，故無一般注藥工法的降解資料供比對。後續希望能於已進行一般注藥改善作業的場址，選擇不受既定作業之區域進行試驗，以比較水刀注藥工法及一般注藥工法。 2. 感謝委員意見，已討論於第五章、<u>5.6.1節 109年水刀注藥試驗成果探討</u>。副產物順-1,2-二氯乙烯濃度已降到第二類地下水污染監測標準以下，氯乙烯則呈現先升→後降→再上升趨勢。高氯化合物應已完成降解、場址地下水可能僅餘氯乙烯。後續改善方案或可改採化學/物理/生物氧化法，針對氯乙烯做處理。



委員審查意見	計畫單位回覆
3. 日本的案例及本計畫的試驗結果都顯示，本工法的影響半徑僅約為1 m，對於範圍較大污染區的適用性與經濟性請加以評析，以提高實用的參考性。 4. 本模場的研究成果是否擴大應用於整治場址，未來在應用上的條件及限制建議加以說明供參考。	3. 感謝委員意見，已討論於第五章、5.6.3節綜合討論。日本的案例及本計畫試驗因為皆為模場規模，考量鑽機設備作業能力，影響半徑規劃為1~1.5 m。後續期在其他場址以不同操作參數，測試是否能擴大 ROI 至2~2.5 m 以上。場址欲使用此技術時建議先進行模場試驗確認 ROI，再進行全場整治工程設計規劃。 4. 感謝委員意見。後續希望能以運作中工廠氣烯/氣烷類污染場址進行試驗，更進一步了解水刀注藥工法於運作中場址之可行性與適用性。
三、蘇銘千委員： 1. 中英文摘要過於簡略，本計畫為兩年期計畫之第二年，建議在摘要部分應明確說明各年期之研究目的、內容、結果的簡述，有承接性及後續可推廣的實場應用策略。 2. 第一～第四章內容，並未包含第一年期的成果，建議以第一年成果獲得結論，如何運用在研究方法的修正，應較明確的說明，例如第一年實驗結果所歸納的各項操作參數，與第二年持續進行時，作為模場應用實測的參數設計依據。 3. 試驗結果在5.6.2節，請說明是否符合敘述的各項氣烯類化合物濃度變化的概念模式，而根據圖5.6.2-3 GW02污染物濃度分佈變化，因為所提供三個時間檢測點的數據所繪製的結果，無法呈現，實驗過程污染物的分解濃度變化狀況。 4. 第五章完成各項模場的操作測試及測試檢測成果，建議應系統性的整理，後續注藥技術於整治的可應用操作各項參數值表，並搭配整治應用的條件，作為完整的模場實驗成果。	三、蘇銘千委員： 1. 感謝委員意見。已根據模場試驗專案「書面報告撰寫須知」要求摘要字數，將說明內容加入研究成果中英文摘要。 2. 感謝委員意見。已加入109年計畫執行過程與成果，如第四章、4.2節 109年模場試驗執行過程所述，說明第一年計畫之執行方式、成果與結論，及如何提供第二年執行方式之參考性。 3. 感謝委員意見，已討論於第五章、5.6.2節 110年水刀注藥試驗成果探討。水刀注藥作業後監測井 D00640出現副產物氯乙烯且濃度逐漸增加、最終產物乙烯與甲烷濃度亦增加，顯示試驗區已逐步降解高氯化物以及其副產物。惟監測期間較短，無法得知長期變化趨勢。 4. 感謝委員意見，已討論於第五章、5.6.3節綜合討論。根據計畫執行經驗，建議使用場址地下水各項參數做為評估因子，包括作業前後之現場水質參數如 pH/ORP、氣烯氣烷類高氯污染物/低氯降解產物/乙烯甲烷濃度變化、微生物及功能性基因種類濃度變化、地質化學指標如總有機碳、硫酸鹽、氯鹽等。



委員審查意見	計畫單位回覆
5. 建議比較清洗水 pH, ORP, 含氯化合物濃度與時間的變化，搭配 CHERT 電阻率影像，可驗證注藥清洗的影響關鍵係數，作為後續水刀注藥應用的參考依據。目前僅例出原始數據序列，對於本技術關鍵因子的應用結果較難提出後續可參考應用的關鍵參數。同時對於適用的地質條件（進一步說明土壤質地為坵土/黏土的組成範圍）搭配操作參數的應用條件建議應彙整說明。 6. 建議有完整的結論建議，包含具體詳細未來應用成本分析，供後續實場應用規劃之參考。 7. 請說明產學合作的內容。	5. 感謝委員意見。CHERT 測定是在水刀注藥作業同時進行，故無法同步測定 pH/ORP/含氯化合物濃度與時間變化。適用的地質條件已補充說明於第五章、5.6.3節 綜合討論。土壤質地為坵土質黏土、坵質黏土夾細砂、坵土質黏土夾砂質坵土、砂質坵土等透水性較低，於固定開篩加壓/重力流灌注時容易形成優勢路徑、藥劑無法有效傳輸至污染物周邊的場址，適合採用水刀注藥進行基質藥劑灌注作業。 6. 感謝委員意見，已補充說明於第五章、5.6.3節 綜合討論。根據試驗成果，三氯乙烯濃度在1 mg/L 左右的小型場址，水刀注藥工程費用約在新台幣130萬元左右，可在1年半左右將三氯乙烯處理至低於第二類地下水污染監測標準。 7. 感謝委員意見，已說明於110年度專案成果績效自評表。業界與朝陽科大簽訂為期半年之產學合作案（111年8月1日至112年1月31日），內容包括舉辦水刀注藥工法推廣 webinar、污染場址應用媒合等。
四、林澤聖委員： 1. 基於計畫執行成果，應用水刀注藥技術整治含氯有機物污染地下水場址，工法可行。 2. 本期末報告包含109年度台氣頭份廠場址，建議稍微敘述其注藥方式。 3. 建議稍微說明水刀工法之關鍵操作參數之決定因子。	四、林澤聖委員： 1. 感謝委員確認與肯定。 2. 感謝委員意見。109年度試驗場址為臺南市安定區安定段2085地號，台氣頭份廠場址則為110年度模場計畫申請階段初擇場址，並未進行試驗。已將109年執行過程與注藥方式敘述於第四章、4.2節 109年模場試驗執行過程。 3. 感謝委員意見，已說明於第五章、5.6.3節 綜合討論。操作參數決定因子包括場址土壤以及地下水污染物種類、污染濃度、污染物分布範圍、水文地質資料（土壤質地、SPT-N 值、水力傳導係數 K 值、地下水流速流向等）。



委員審查意見	計畫單位回覆
4. 水刀切割本身(未注藥前)，是否對於試驗區之電阻會造成影響？TL-CHERT 可用於追蹤注入藥劑之分布變化？。 5. 台氣廠場址雖然三氯乙烯有效被降解，但氯乙烯之濃度仍穩定偏高，未來此技術之應用仍應考慮結合其他可能技術。 6. 110年度之試驗場址仍需要更多監測數據以利判讀。 7. (110年度)新化埤拔林場址之前使用過硫酸鈉與氫氧化鈉對本試驗之影響(干擾為何？)建議對於監測數據中氯鹽、硫酸鹽進一步討論。 8. 應可應用處理藥劑之灌注。	4. 感謝委員意見。水刀切割→注藥每1片的作業時間僅約10~30秒，相當快速。故電阻率觀測結果為作業完成後之整體變化。根據TL-CHERT觀測結果，水刀注藥於很短的時間內將藥劑妥善傳輸，且分布大致良好，與預期相符。詳如<u>第五章、5.3.4節 水刀注藥施作過程中/施作後之TL-CHERT電阻率變化</u>所述。 5. 感謝委員意見。台氣頭份廠場址為110年模場計畫申請階段初擇場址，僅進行場址評估，並未執行模場試驗。至於109年場址，臺南市安定區安定段2085地號，因污染應僅餘氯乙烯，後續改善方案或可考慮氧化法針對氯乙烯處理。 6. 感謝委員意見。因計畫申請階段之初擇場址狀況改變，需重新擇定試驗場址，故110年度場址水刀注藥試驗作業後至計畫結束止，能執行監測之時程較短。後續地方環保局若有進行場址性監測井監測，或可再做進一步判讀。 7. 感謝委員意見，已討論於<u>第五章、5.6.2節 110年水刀注藥試驗成果探討</u>。110年場址硫酸鹽濃度明顯上升、氯鹽下降，此趨勢與一般有機碳基質厭氧生物降解過程的地質化學指標參數變化趨勢相反。可能因為鄰近區域曾以現地土壤混拌工法注入氧化藥劑的ISCO改善作業，改變了模場試驗區域地下環境狀態。 8. 感謝委員意見。除厭氧還原藥劑，希望有機會進行釋氧性藥劑水刀注藥試驗。
五、葉桂君委員： 1. 本計畫原先測試場址(台灣氯乙烯工業股份有限公司頭份廠場址)因測試條件有變動，110年更改為定臺南市新化區埤拔林1014-0011地號，水刀注藥模場計畫試驗集中於110年完成，不容易。	五、葉桂君委員： 1. 感謝委員肯定。



委員審查意見	計畫單位回覆
2. 計畫目標為測試水刀注藥之影響半徑，採用跨孔地電阻影像法來評估藥劑流布是很好的實驗設計。圖5.3.4-1~5.3.4-3的確顯示藥劑在地下之分布。 3. 水刀於地下2 m至8 m，每30 cm間隔以水刀切割2 cm~3 cm厚之圓盤薄片，但圖5.3.4-1~5.3.4-3顯示注入之藥劑集中分布在地下2-3 m與5-6 m，此部分可以詳細了解原因。 4. 測試成果為影響半徑約1-2 m，建議討論與目前於實場上所採用的高壓灌注影響半徑之差異。	2. 感謝委員確認與肯定。 3. 感謝委員意見。如<u>第五章、5.3.4節 水刀注藥施作過程中/施作後之 TL-CHERT 電阻率變化</u>所述，水刀注藥施作前TL-CHERT觀測顯示試驗區地質材料電阻率偏低，深度3~5 m之電阻率尤其低。電阻率偏低可能因為土壤質地是以黏土為主，亦可能源於鄰近區域曾以現地土壤混拌工法注入氧化藥劑的ISCO改善作業，地層中仍存有藥劑或化學反應後的離子。本次試驗採用電阻率增加率來評估藥劑流布，TL-CHERT觀測成果在地下2~3 m與5~6 m觀測所得影像變化較為明顯，可能因為地下3~5 m初始電阻率相對偏低，故注藥後之電阻率上升幅度較大、亦即出現較高的電阻率增加率，由是觀測到較集中的藥劑分布。 4. 感謝委員意見。如<u>第三章、3.3節 現地水刀注藥工法</u>所述，水刀注藥是在固定深度位置切割出圓盤薄片狹縫空間後，再注入基質藥劑。相比水力壓裂工法，水力壓裂乃灌入壓裂液製造破裂壓力、讓地層產生裂縫後繼續擴張，裂隙寬度較大且無法精準控制裂縫產生的方位及走向，仍有優勢路徑形成/短流問題。此外水力壓裂工法較適用於大面積場址，而國內含氯污染場址則多為中小型工廠，故較不適用。



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		☒ 整治 ☐ 調查 ☐ 其他					
申請機構系所		朝陽科技大學／環境工程與管理系					
機構地址		413310台中市霧峰區吉峰東路168號					
專案主持人		張簡水紋		職等／職稱		教授	
協同主持人		梁宏明		職等／職稱		經理	
協同主持人		王子賓		職等／職稱		經理	
專案名稱	中文	水刀注藥技術強化含氯有機溶劑場址-生物整治模場試驗計畫(第二年)					
	英文	Pilot Study of Using Waterjet Injection Technology to Enhance Bioremediation of Chlorinated Solvents Contamination (2 nd)					
	關鍵字	水刀注藥技術、含氯場址生物整治					
執行期程		自民國 110 年 02 月 24 日起、至民國 111 年 02 月 28 日止					
專案主持人		姓名：張簡水紋 E-mail：swcc@cyut.edu.tw				專線：04-23323000#4472 手機：0932-809-675	
專任助理		姓名：吳娉婷 E-mail：priscilla.wu@jletco.com				專線：07-6162000 手機：0932-744-300	
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	376,680	376,200	(1~5項相加之50%為限)		
	2.	貴重儀器使用含維護費	0	0	(與計畫實驗相關)		
	3.	消耗性器材與主要費用	1,672,890	1,642,250	(與計畫主體相關)		
	4.	其它研究相關費用	21,885	44,447	(含差旅與租賃費用)		
	5.	雜支費用	19,455	18,921	(1~6項相加之5%為限)		
	6.	行政管理費	209,090	208,182	(1~5項相加之10%為限)		
	7.	自籌款	157,000	650,000	(自行籌備款項)		
	申請補助金額(1~6項)		2,300,000	2,290,000	總金額：4,590,000		
	計畫總金額(1~7項)		2,457,000	2,940,000	總金額：5,397,000		

專案主持人(簽名及蓋章)：



日期：111.2.18





行政院環境保護署土壤及地下水污染整治基金管理會
土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案
110年度專案成果績效自評表

一、 專案基本資料

填表日期：110年02月14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	朝陽科技大學環境工程與管理系	專案主持人	張簡水紋
專案名稱	水刀注藥技術強化含氯有機溶劑場址-生物整治模場試驗計畫(第二年)		
專案執行期程	☐ 申請階段 ☐ 期中 ☒ 期末		

二、 成果績效自評（110年度(第二年)）

「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

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*
項目							
A 學 術 產 出 及 活 動	1.國內投稿 (篇數)	(1)論文					完成監測撰寫 中，預計111上 半年投稿達標
		(2)研討會論文	1	0	0		
	2.國外投稿 (篇數)	(1)期刊論文	1	0	0		
		(2)研討會論文					
	3.報告 (篇數)	(1)技術報告	1	0	1		期末成果報告
		(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)博士					
	8.研究團隊 (個數)	(1)跨領域團隊					
		(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)					

* (說明未達成原因或學術產出發表名稱)



(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*	
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						
			新型/設計						
			合計						
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		1	0	1		業界與朝陽科大簽訂 為期半年之產學合作 案(111/8/1至112/1/31) ，包括舉辦水刀注藥 工法推廣 webinar、 污染場址應用媒合等	
		金額(仟元)		150仟元		150仟元			
	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)							

* (說明未達成原因或專利、技術轉移相關詳細資料)



(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
A 服務 便民	1.技術服務	次數					
		收入(仟元)					
	2.諮詢服務	次數					
		收入(仟元)					
B 政策 推動	3.協助政府制定 (件數)	(1)政策					
		(2)法規					
C 技術 效益	4.整治技術提升(%)						
	5.整治成本降低(%)						
	6.提升能源效率(%)						
	7.其他指標 (請自行命名)	(請自填)					

* (說明未達成原因或其他詳細資料)

三、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) 於模場試驗結束取得成果後，將彙整所得成果，投稿國內研討會論文1篇以及國外期刊1篇。
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) 將以產學研合作專案，促成合作研究1件，以推廣水刀注藥工法於含氯污染場址之應用。
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) 透過本模場試驗研究，建立污染場址使用水刀注藥灌注工法適用性評估，以發展本土化且實際可行之整治技術，提升我國土壤地下水含氯有機溶劑污染整治技術能力，提供日後污染場址於擬定改善計畫時，更多樣性的工法技術選擇。





研究成果中英文摘要

(一) 中文摘要：

我國公告列管之含氯有機溶劑土壤/地下水污染場址解除列管比例偏低，顯示此類場址整治之困難。國內含氯場址多可發現自然衰減作用，適用加強式現地厭氧還原脫氯生物整治法，惟現行的灌注井固定深度注入方式，無法有效解決低透水性區域、或是高/低透水性夾雜互層區域的含氯有機溶劑污染，實為技術瓶頸。本研究冀以水刀注藥工法突破此技術瓶頸，由現地操作探討此技術之可行性、應用性與效益，發展本土化且實際可行之整治技術，提供污染場址於擬定改善計畫時更多樣性的工法選擇。

本計畫109年以臺南市安定區安定段2085地號（地下水污染管制區）、110年以臺南市新化區梓拔林1014地號（土壤及地下水污染地下水整治場址）為水刀注藥模場計畫試驗場址。試驗區域地質條件與地下水含氯污染物濃度符合計畫試驗場址挑選原則。

預定於期中及期末查核點執行之工作項目皆已完成。由2年期模場試驗結果顯示，水刀注藥工法施作後，受污染區域已經有效啟動進行氯烯類加強式現地厭氧還原脫氯生物降解作用。110年進一步以跨孔式地電阻影像法量測電阻率變化觀測藥劑傳輸，結果顯示水刀注藥能在短時間內有效地將基質藥劑在預定深度傳輸至目標範圍。水刀注藥工法與一般注藥工法相比，可在低透水性區域或高-低透水性夾雜互層的地層，讓基質藥劑有效傳輸到污染物周邊，故能有效的處理此類地層的氯烯類有機溶劑污染。後續建議再進一步以運作中工廠場址驗證工法可行性。



(二) 英文摘要：

Great attention has been given to the reductions in chlorine-containing organic solvents of the soil and groundwater contaminated sites at regulatory listing. Organic solvent contamination is difficult to clean up. Natural attenuation is observed at most of the chlorinated solvent contamination sites in Taiwan, which implies that enhanced in situ reductive dechlorinated bioremediation (EIB) is feasible and practical here. However, the current delivery technologies that inject substrates that enhance microbial remediation via injection wells have fixed screen intervals and cannot effectively spread substrates nor put them into contact with contaminants in low permeability zones. Subsurface waterjet technology is developed here to improve the biotreatment of residual contaminants and eliminate contaminants rebound in low permeability zones. This study presents a pilot remediation project using waterjet injection technology to evaluate and verify the feasibility of the technology. The objectives of this study are to explore the application and effectiveness of waterjet injection technology to develop a localized and practical way to enhance in situ dechlorination bioremediation (via the delivery of substrates) that is expected to foster natural attenuation and remediation.

The site selected for 1st year study is located at Tainan City, Anding District, Anding Section; Land Serial No.: 2085 (declared as a Groundwater Pollution Control Zone), and for 2nd year study is located at Tainan City, Xinhua District, Nabalín Section; Land Serial No.: 1014 (declared as a Soil and Groundwater Pollution Remediation Site). The investigation results of the hydrogeology and contaminant concentrations imply that both sites are suitable for the waterjet injection pilot test.

The scheduled works have already been conducted in current project. After the waterjet field work has been conducted, the groundwater monitoring data showed that the waterjet injection technology had successfully enhanced the anaerobic bioremediation of chlorinated solvent contamination at the pilot area in a short period of time. Meanwhile, the CHERT results of 2nd year study had showed that the waterjet injection technology had delivered the substrate to the designed depth and desired radius of influence in a short period of time. In conclusion, the waterjet injection technology had both effectively delivered the substrate to the surrounding area of contaminants and improved the biotreatment of the residual contaminants in the low permeability zones. Further study regarding the feasibility of waterjet injection technology for the operating factory with chlorinated solvent contamination is suggested.



目錄

專案基本資料表

110 年度專案成果績效自評表

研究成果中英文摘要

目錄

圖目錄

表目錄

第一章	前言	1
第二章	研究目的	3
第三章	文獻探討	5
3.1	加強式現地厭氧還原脫氯生物整治技術作用機制	5
3.2	關鍵因素：基質藥劑之灌注與傳輸	7
3.3	現地水刀注藥工法（WATER JET INJECTION）	8
第四章	研究方法與過程	11
4.1	模場試驗場址挑選原則	11
4.2	109年模場試驗執行過程	11
4.3	110年模場試驗場址擇定	12
4.3.1	申請階段初步擇定場址	13
4.3.2	試驗場址變更	14
4.3.3	試驗場址重新擇定	14
4.4	110年水刀注藥模場試驗場址相關資料	16
4.4.1	地理位置	16
4.4.2	場址污染來源及歷史	16
4.4.3	地質水文特性	18
4.5	工作執行規劃與架構	20
4.5.1	試驗區域參數確認	20
4.5.2	水刀注藥試驗規劃	22
4.6	水刀注藥試驗現場工作及監測	23
4.6.1	水刀注藥試驗現場工作	23
4.6.2	監測計畫	26
第五章	結果與討論	29
5.1	109年水刀注藥試驗前後地下水質彙整	29
5.2	110年模場試驗區基本資料	30
5.3	110年水刀注藥試驗前後 CHERT 觀測	31



5.3.1	地電阻影像法原理概述.....	31
5.3.2	跨孔式地電阻影像法（CHERT）	32
5.3.3	水刀注藥試驗前之 CHERT 電阻率背景值.....	33
5.3.4	水刀注藥施作過程中/施作後之 TL-CHERT 電阻率變化	34
5.4	110年水刀注藥試驗前後地下水質彙整	36
5.4.1	水刀注藥試驗前監測井 D00640地下水採樣分析結果.....	36
5.4.2	水刀注藥試驗後地下水監測結果.....	36
5.5	廢井作業	37
5.6	水刀注藥試驗成果探討	39
5.6.1	109年水刀注藥試驗成果探討.....	39
5.6.2	110年水刀注藥試驗成果探討.....	43
5.6.3	綜合討論.....	46
5.7	水刀注藥工法成效評估	48
第六章	參考文獻.....	49

附件

- 附件 1 地質鑽探資料
- 附件 2 地下水採樣分析報告暨微生物分析報告
- 附件 3 污染防治及場址衛生安全措施暨執行紀錄
- 附件 4 廢井報告
- 附件 5 審查意見回覆對照表



圖目錄

圖3.1-1、含氯有機化合物厭氧降解途徑示意圖	6
圖3.3-1、水刀注藥工法施作示意圖	9
圖4.3.1-1、苗栗縣頭份市蘆竹段 0131地號位置圖	14
圖4.3.1-2、水井 SW14及地質鑽探 點位 B1位置圖	14
圖4.4.1-1、110年模場試驗場址地理位置圖	16
圖4.4.1-2、110年模場試驗場址地籍圖	17
圖4.4.3-1、場置性監測井 D00640位置圖	19
圖4.4.3-2、場置性監測井 D00640地質剖面圖	19
圖4.5-1、工作執行架構圖	20
圖4.5.2-1、110年水刀注藥施作規劃點位圖	22
圖4.6.1-1、110年水刀注藥作業現場照片	24
圖4.6.1-2、110年水刀注藥施作點位圖	25
圖4.6.1-3、110年水刀注藥施作後現場照片	26
圖5.3.1-1、地電阻影像法示意圖	32
圖5.3.2-1、跨孔式地電阻影像法示意圖	33
圖5.3.3-1、110年模場試驗區 CHERT 電阻率剖面背景值	35
圖5.3.4-1、110年施作點 WJ-1完成第一階段藥劑灌注後之 TL-CHERT 成果圖	35
圖5.3.4-2、110年施作點 WJ-1完成第二階段藥劑灌注後之 TL-CHERT 成果圖	35
圖5.3.4-3、110年2個施作點皆完成藥劑灌注後之 TL-CHERT 成果圖	35
圖5.6.1-1、109年場址監測井 MW1地下水 pH 值變化趨勢	40
圖5.6.1-2、109年場址監測井 MW1地下水 ORP 變化趨勢	40
圖5.6.1-3、109年場址監測井 MW1地下水含氯污染物濃度分佈變化趨勢	40
圖5.6.1-4、脫氯序列降解導致氯烯類化合物濃度變化之概念模式	41
圖5.6.1-5、基質灌注後促使灌注位置下游生成還原區域	42
圖5.6.1-6、有機碳基質厭氧生物降解造成之地質化學指標參數變化	42
圖5.6.2-1、110年場址地下水 pH 值變化趨勢	44
圖5.6.2-2、110年場址地下水 ORP 變化趨勢	45
圖5.6.2-3、110年場址監測井 D00640地下水污染物濃度分佈變化趨勢	45
圖5.6.2-3、110年場址地物井 GW02地下水污染物濃度分佈變化趨勢	45



表目錄

表3.1-1、不同種類基質藥劑比較.....	7
表4.3.2-1、水井 SW14於109年1月至110年3月底之監測結果彙整.....	15
表4.5-1、工作進度甘特圖.....	21
表4.6.2-1、監測項目與監測頻率.....	27
表5.1-1、109年場址監測井 MW1地下水採樣監測結果彙整.....	30
表5.2-1、110年模場試驗區井口基本資料表.....	31
表5.4.1-1、110年場址水刀注藥試驗前後監測井 D00640地下水採樣分析結果.....	37
表5.4.2-1、110年場址水刀注藥試驗後地物井 GW02地下水採樣分析結果.....	38
表5.4.2-2、110年場址水刀注藥試驗後施作井 WJ-2及地物井 GW01水質參數監測結果..	38



第一章 前言

我國自民國 93 年執行「廢棄工廠調查計畫」、97 年起針對全國運作中工廠展開「運作中工廠土壤及地下水含氯有機溶劑污染潛勢調查及查證計畫」，已發現眾多的土壤地下水含氯有機溶劑污染場址。自民國 99 年起至 111 年 1 月下旬，土壤污染控制場址及整治場址公告 17 處，僅 1 處解除列管；而地下水污染控制場址、整治場址、及公告地下水受污染限制使用地區及限制事項，自 91 年起至 111 年 1 月下旬公告 182 處，約 40 處解除列管，顯示此類場址整治之困難。（資料來源：土壤及地下水污染整治網—國內污染場址查詢）

含氯有機溶劑易在地下移動，自由相/溶解相/殘留相/吸附相等不同型態在地質夾層或互層之垂直/橫向移動會形成大量累積，且因為濃度梯度變化造成之溶解或擴散作用讓污染物持續釋出與傳輸。整治方案是否能有效接觸到污染團，至為關鍵。

加強式現地厭氧還原脫氯生物整治法為綠色永續整治技術，添加複合有機物基質藥劑提供食物刺激微生物生長，同時提供還原脫氯所需的氫氣供給電子，加強塑造並維持此地下厭氧還原環境狀態促進脫氯菌繁殖、更迅速有效地降解含氯污染物，直到分解為無毒的最終產物。

國內含氯場址多可發現自然衰減作用，顯示脫氯微生物已存在；且市場上已有多種發展成熟之基質藥劑及商售菌種，國內亦持續有研究/學術單位結合產業界進行本土基質藥劑開發以及本土菌的純化培育。惟現行的灌注井固定深度注入方式，無法有效解決低透水性區域、或高/低透水性夾雜互層區域的污染，實為技術瓶頸。



水刀注藥技術強化含氯有機溶劑場址-生物整治模場試驗計畫(第二年)



第二章 研究目的

含氯有機溶劑地下水污染控制場址、整治場址及公告地下水受污染限制使用地區，解除列管比例偏低，顯示此類場址整治之困難。含氯有機溶劑污染場址之整治工法是否能有效接觸到污染團，至為關鍵。

使用加強式現地厭氧還原脫氯生物整治工法進行改善的污染場址，現行的灌注井固定深度注入方式，無法有效解決低透水性區域、或高/低透水性夾雜互層區域的污染，實為技術瓶頸。發現此一瓶頸後，國內外研究轉向地工/地質地盤改良之成熟灌注技術加以測試應用。「全國土壤及地下水污染整治策略旗艦領航計畫」期末報告^[1]於現地生物整治技術發展藍圖章節，即提出注藥方式改良之工作項目，以增強有效影響半徑及傳輸效率，提升整治成效。

故本模場研究計畫針對灌注方式，尋找適合低透水性以及高/低透水性夾雜互層的污染區域、但尚未應用於國內土壤地下水污染場址之灌注工法。其中，水刀注藥工法是以高壓水刀噴射方式，以一定間距在地下切割出薄盤狀狹縫，再將改良藥劑注入被切割出的圓盤薄片空間，即可精準地將藥劑灌注在預期的位置/深度。水刀注藥工法於地質改良工程領域已有大量成熟的應用，此工法預期可處理低透水性以及高/低透水性夾雜互層的污染區域，但國內目前尚無針對土壤及地下水污染場址整治的可行性/適用性評估、模場試驗及實場應用。

鑒於此，擬將此技術應用於強化含氯有機溶劑場址厭氧還原生物整治成效關鍵因素：基質藥劑灌注傳輸方式，期能突破現行灌注技術之技術限制，諸如容易產生優勢路徑/短流或生物膜、且無法有效處理低透水性及高/低透水性夾雜互層地質污染濃度回升等。

本模場研究將根據水刀注藥工法技術特性、場址污染物特性、及水文地質條件進行適用性評估；再經由模場試驗進行現地操作、評估有效性，並進一步驗證成效，探討此技術之整治應用性與效益。期透過本研究立污染場址使用此灌注工法之適用性評估，突破目前加強式現地厭氧還原脫氯生物整治之基質藥劑灌注技術瓶頸，發展本土化且實際可行之整治技術，同時提升我國土壤及地下水含氯有機溶劑污染整治技術能力；俾便污染場址於擬定改善計畫時，有更多樣性的工法選擇。



水刀注藥技術強化含氯有機溶劑場址-生物整治模場試驗計畫(第二年)



第三章 文獻探討

造成含氯有機溶劑污染之含氯揮發性有機化合物 (chlorinated Volatile Organic Compounds, 以下簡稱 cVOCs) 屬於比水重非水相液體 (Dense Non-Aqueous Phase Liquid, DNAPL), 因其高密度、黏滯度低於水等特性, 易在地表下移動、溶解於含水層, 形成污染團, 移動過程中未溶解或揮發的部分會受毛細作用在土壤孔隙中留存形成不易移動的殘留相/吸附相。除了垂直移動, 從透水性較高地層流至透水性較低的地層時, 也會因無法進入細顆粒孔隙而沿著低透性地層頂部橫向移動^[2]。溶解相、殘留相與純相的垂直/橫向移動, 在夾層或互層質地易形成大量污染物質累積, 且會因為濃度梯度變化造成之溶解/擴散作用讓污染物持續釋出與傳輸, 導致互層質地之污染分布調查界定困難, 因此近年調查技術發展方向著重於高解析調查。

調查確認污染存在後, 如何有效地接觸污染物、達到整治的效果, 則是進一步的挑戰。加強式現地生物整治法 (Enhanced In-situ Bioremediation) 乃經由促進地下環境中微生物生長, 從而加強微生物經由厭氧還原脫氯機制分解 cVOCs 污染物。相較於熱處理 (Thermal Treatment)、化學氧化法 (Chemical Oxidation) 等整治工法, 成本相對低廉、且為一綠色永續之整治技術。

3.1 加強式現地厭氧還原脫氯生物整治技術作用機制

cVOCs 在一般環境下會以有機或無機方式降解並產生脫氯副產物, 其反應機制如圖 3.1-1 所示。多數含氯污染場址會自然發生現地生物脫氯降解, 即自然衰減作用 (Natural Attenuation), 表示厭氧還原脫氯菌種原本就存在, 只是因為環境條件不適合而無法成為優勢菌種。加強式現地生物整治就是強化此一厭氧還原脫氯的過程, 因為含水層通常不富含天然有機物質, 必須經由添加複合有機物基質藥劑 (碳源/電子供應者), 一方面提供足夠食物刺激微生物生長, 同時提供還原脫氯作用所需的電子 (氫氣), 進而促成污染物 (呼吸物質/電子接受者) 之生物分解, 加強塑造並維持此地下厭氧還原環境狀態, 促進脫氯菌生活繁殖、能夠更迅速更有效地降解污染物, 直到將含氯污染物分解為無毒的最終產物。此技術大致可分為以下四個步驟:

- (1) 灌注基質藥劑及營養鹽至地下環境, 促進微生物增殖生長;
- (2) 經微生物耗氧機制, 使地下環境逐漸成為並持續維持厭氧還原環境;



水刀注藥技術強化含氯有機溶劑場址-生物整治模場試驗計畫(第二年)

- (3) 基質藥劑發酵產生氫分子，具脫氯能力的微生物會在厭氧環境下進行脫氯反應，以氫原子取代 cVOCs 的氯獲得能量；
- (4) 基質藥劑持續釋出有機碳和氫分子，支持微生物長期增殖並持續降解 cVOCs，最終降解為無毒害的乙烯/乙烷/甲烷等。

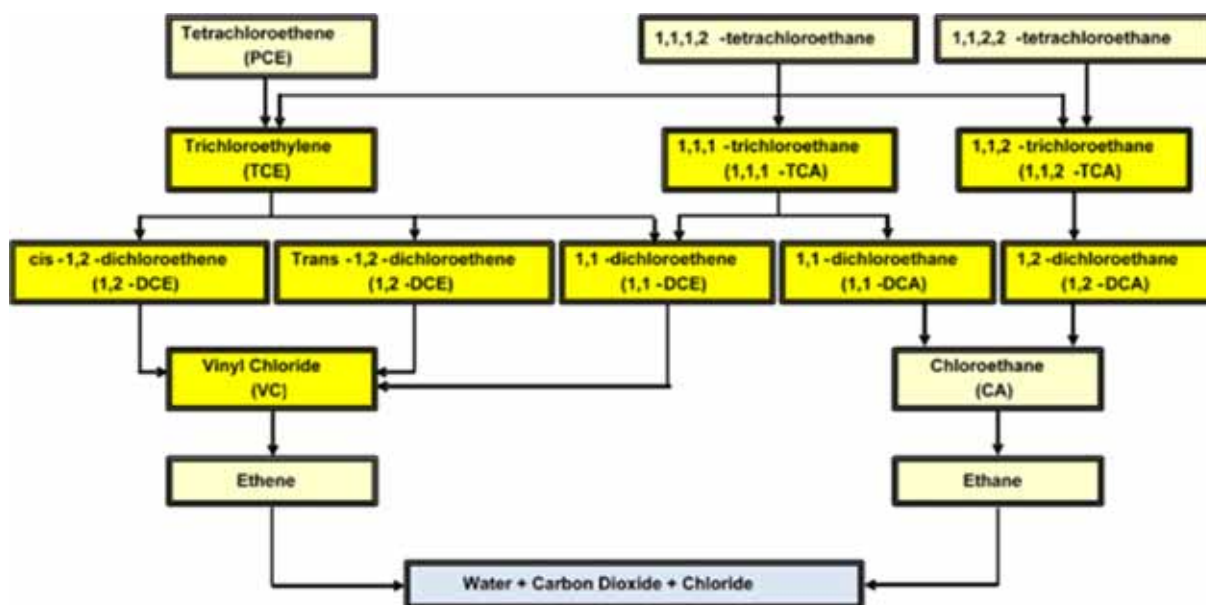


圖 3.1-1、含氯有機化合物厭氧降解途徑示意圖

(Drawing Modified from Technical Protocol for Evaluating Natural Attenuation of Chlorinated Solvents in Groundwater, USEPA, 1998)^[3]

經此過程，高氯污染物將被降解成低氯化合物、最終至無毒害的乙烯/乙烷/甲烷等產物，其途徑如圖 3.1-1 所示。而上述整治過程要能有效進行至少需要^[4]：

- 1) 強烈厭氧還原狀態，從硫酸還原～乙烯/甲烷生成；
- 2) 相對應的厭氧還原脫氯菌種；
- 3) 基質藥劑發酵提供足夠的氫氣；以及
- 4) 提供微生物生長所需營養物質，包括維他命與微量元素等。

氯烯類污染場址需確認氯烯類厭氧脫氯菌群及對應功能性基因（如 *vcrA*、*bvcA*）是否存在，氯烷類污染場址則要確認氯烷類厭氧脫氯菌群及對應功能性基因是否存在。彙整國內含氯有機污染場址現況，因台灣處於熱帶/亞熱帶氣候區適合各類微生物生長，根據調查結果幾乎皆可發現自然衰減作用（同時發現四氯/三氯及二氯/一氯化合物），顯示脫氯微生物已然存在，只因環境尚未調適，菌群數量不足以進行有效的厭氧還原脫氯生物分解。若希望以生物添加強化作業（Bioaugmentation）提高菌群數量，國外已有經過眾多實場使用驗證的商售菌種可供選購，國內亦有研究單位在進行本土脫氯菌種的純化培育。



同時市場上已有多種發展成熟之商售基質藥劑可供選用，國內亦持續有研究單位、學術單位結合產業界進行本土基質藥劑之開發。目前商售的基質藥劑型態包括水溶性、固態、黏性流體、低黏性流體基質藥劑等，其特性/應用型態/灌注方式及灌注頻率皆有較完備的研究及建議，可供污染場址依據污染物特性/水文地質特性/整治預算等因子評估選擇使用。彙整比較如表 3.1-1 所示。

表 3.1-1、不同種類基質藥劑比較

基質藥劑種類	特性	傳輸性	應用方式/使用頻率
水溶性 (糖蜜)	容易分解可快速見效，效果較短暫	傳輸性佳，但可能處理不到土壤殘留相	需要重複添加多次，連續灌注或每月灌注一次
固體 (堆肥)	效果持久，惟分解緩慢所以效果顯現也慢	固體，不流動性	以開挖機具埋設於污染區域，故須同時考量開挖可作業深度及施工成本，適用於淺層污染
黏性流體 (單純植物油)	效果持久	高黏度導致流動性低、影響半徑小	可能需要較大的灌注壓力、或較小井距 具有一次性注入潛力
低黏性流體 (植物乳化油)	經工程設計油滴顆粒可調整顆粒大小與乳化程度，效果持久	黏度低流動性佳，傳輸性較優良	利用低壓甚至重力流即可灌注 具有一次性注入潛力 (每 g 油類基質能提供的電子數約為水溶性基質的 3 倍)

3.2 關鍵因素：基質藥劑之灌注與傳輸

基質藥劑要傳輸至污染物周邊才能有效強化厭氧還原脫氯生物整治。目前常用方式為經由灌注井，在固定的開篩深將基質藥劑注入地下環境。設計規劃灌注方案時，須根據污染分布、場址水文地質特性以及基質藥劑特性，評估灌注有效影響半徑配置灌注井。再進一步依整治期程/整治經費/基質藥劑特性等因素，規劃移動式灌注、自動灌注、單次/多次/連續式灌注等作業方式與頻率。作業時根據基質藥劑特性，或將基質藥劑以水稀釋後灌注，或以較高濃度灌注後再注入推進水、擴大基質藥劑傳輸。為避免灌注時產生優勢路徑並減少基質藥劑損失，灌注時施加的壓力不宜過高，甚或以重力流方式進行基質藥劑灌注。

上述作業方式，基質藥劑在低透水性地層的傳輸效果不佳，不易散布至低透水性區域，且容易產生優勢路徑或短流，使藥劑無法均勻傳輸或無法到達污染團周邊。多次反覆灌注後可能產生生蓄積之生物膜，造成孔隙阻塞。此外，即使以灌注井注入基質藥劑的方式有效處理了高透水區域的污染物，當此區域整治完成或污染團移動離開高透水性區域時，在高/低透水性夾雜互層的區域，很可能因為 cVOCs 比水重的特性以及污染物濃度梯度變化，讓污染物在低透水區域擴散移動的同時，也會再往高透水層區域移動，而產生反向擴散（Back



水刀注藥技術強化含氯有機溶劑場址-生物整治模場試驗計畫(第二年)

Diffusion)。這些佇留於低透水層區域土層的吸附相污染，即成為地下水溶解相污染之長期來源，導致後續監測時會再度發現污染物濃度回升（Concentration Rebound），無法徹底清除污染物。

由此可見基質藥劑灌注方式與後續傳輸，若無法有效讓基質藥劑與污染物接觸或傳佈至污染物周邊，會發現污染物濃度反覆出現回升。顯見現行工法：從固定深度開篩之灌注井注入基質藥劑，無法有效徹底解決低透水性區域、或高/低透水性夾雜互層區域的污染，實為技術瓶頸。

3.3 現地水刀注藥工法（Water Jet Injection）

地工/地質地盤改良之成熟灌注技術，已有各國案例應用在土壤地下水整治者，包括灌漿工法（Grouting）、土壤水力/氣動壓裂工法（Soil Hydraulic/Pneumatic Fracturing）、雙柵管/二重管/雙封塞灌注工法（Double Grid Injection, Double Packer Injection）、水刀工法（Water Jetting）等。

灌漿工法對現地擾動較大，且易產生地盤軟化下陷之疑慮，於土水污染場址之適用性較弱。水力壓裂工法乃灌入壓裂液製造破裂壓力、讓地層產生裂縫後繼續擴張，造成的裂隙寬度較大且無法精準控制裂縫產生的方位以及走向，仍有優勢路徑形成/短流問題；且較適用於大面積場址，而國內含氯污染場址多為中小型工廠，較不適用。雙封塞灌注工法國內已有環保署計畫進行模場試驗，並已進一步應用於實場整治，與傳統固定深度開篩之灌注井注入工法相比，可更有效率地將基質藥劑注入規劃之深度，減少優勢路徑形成，但並非百分之百不會形成。水刀注藥工法在日本已有應用案例、在美國則已有技術合作。根據日本實場案例，水刀注藥工法不會造成地層軟化下陷；做為地下水長期污染源整治方案，可有效處理透水層與難透水層交界處之吸附相污染；採用先切割再灌注的程序，能提高施工效率且不影響地質強度^{[5]-[12]}。

國內目前則尚無應用於土壤及地下水整治的可行性評估、模場試驗及實場應用。其作用方式應可適用於低透水性以及高/低透水性夾雜互層的污染區域，故選定此技術為本模場計畫研究核心。

地質改良工程技術的水刀注藥工法是以高壓水刀噴射方式，以一定的間距在地下切割出薄盤狀狹縫，即切割出一片片圓盤薄片後，再將改良藥劑注入被切割出的圓盤薄片空間，即可精準地將藥劑灌注在預期的位置/深度。低透水性或高/低透水性夾雜互層地質條件，如黏土、粉土，或者砂土/粉土/黏土互層出現者，皆不影響其適用性。若應用於現地厭氧還原脫氯生物整治的灌注環節，期



可將基質藥劑注入至規劃的位置/深度，爾後長效型基質藥劑將緩慢釋出氫氣，氫氣分子即使在水力傳導率低的低透水性區域也能自由擴散，從而形成大範圍反應區域到污染物周邊，改善效果得以覆蓋作用於污染團分布區域，不會大幅度擾動地盤。如此應該能降低完成整治所需的時間，避免因注入較大體積的基質藥劑/推進水將污染物推移擴散的疑慮，減少現行灌注技術常見的污染物濃度回升問題，避免造成交叉污染。水刀注藥施作示意圖如圖 3.3-1 所示。

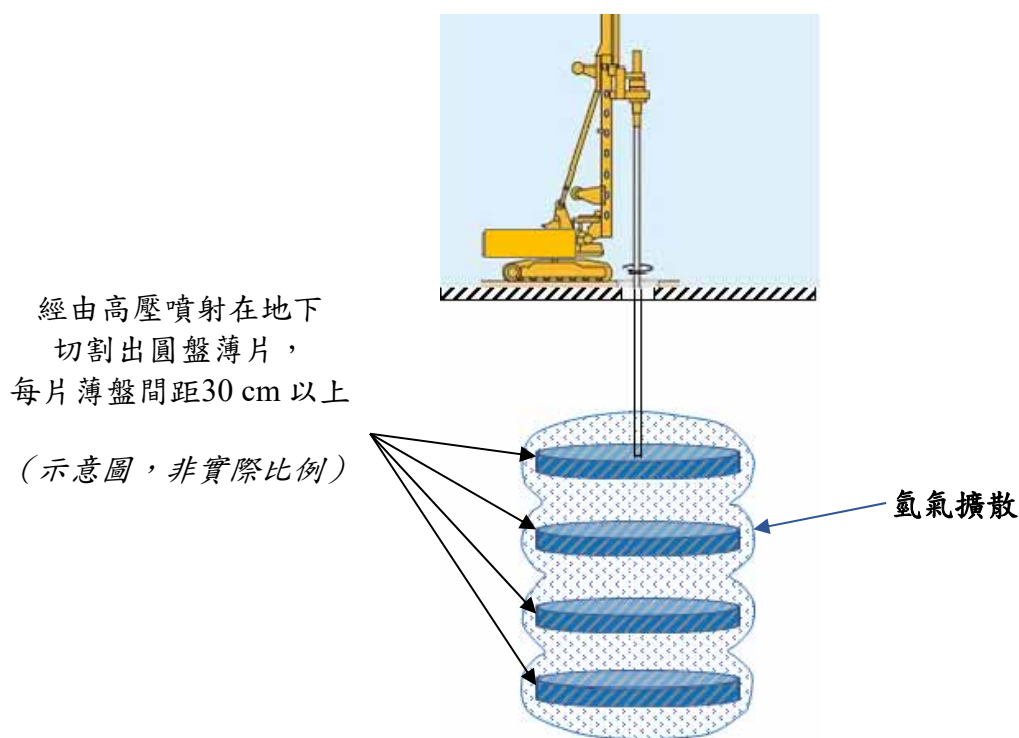


圖 3.3-1、水刀注藥工法施作示意圖

水刀注藥工法的「水刀」是指切割方式（高壓水刀噴射切割），與後續注入之基質藥劑是否為水溶性無關。本模場研究計畫聚焦於灌注技術之強化，故欲選擇基質藥劑為穩定且已有大量應用者，以確保基質藥劑適用性，最小化可能影響整治效果之變因。優先考量長效型基質藥劑，減少現場灌注工作所需之次數、降低整治成本。考量基質藥劑在地下環境的傳輸移動有效性，其為粒徑小而均一、表面帶負電的乳化油滴，因其注入含水層後，小粒徑容易進入土壤孔隙，且每顆油滴表面帶有負電，跟土壤表面碰撞時，小粒徑負電乳化油滴會被吸附於土表的正電位址；正電位址被填滿後，尚未被吸附的油滴跟土壤表面的負電互斥，將繼續向前傳佈定著在其他的正電孔隙，故不會集結成一團產生絮凝現象（Flocculation）^[13]。如此能在地下環境有較高的傳輸力與滲透性，容易傳輸到較遠處、均勻散佈於修復區域，對含水層透水性的影響較小。故選擇原料為植物油、經工程設計加工成乳化油滴的產品，對環境的風險低、進行注入作業時的作業安全隱患較低。



水刀注藥技術強化含氯有機溶劑場址-生物整治模場試驗計畫(第二年)



第四章 研究方法與過程

依計畫研究目的設定標的污染物後，根據工法適用之場址地質特性，選擇符合條件之場址進行試驗。

4.1 模場試驗場址挑選原則

(1) 場址污染物種類與濃度：

本模場試驗發展目標為提升現地厭氧還原脫氯生物整治之有效性，預計可強化的目標污染物為地下水污染管制項目之氯烯及氯烷類化合物，包括：四氯化碳、三氯甲烷（氯仿）、氯甲烷、1,1-二氯乙烷、1,2-二氯乙烷（1,2-dichloroethane, 1,2-DCA）、1,1-二氯乙烯、順-1,2-二氯乙烯（cis-1,2-dichloroethene, cis-1,2-DCE）、反-1,2-二氯乙烯、四氯乙烯、三氯乙烯（Trichloroethylene, TCE）、氯乙烯（Vinyl Chloride, VC）、二氯甲烷、1,1,2-三氯乙烷、及1,1,1-三氯乙烷。

模場試驗優先選擇地下水驗出相對高濃度之四氯乙烯/三氯乙烯/三氯乙烷/二氯乙烯/二氯乙烷（地下水濃度大於或等於1 mg/L），而且同時存在低氯污染物、顯示自然衰減作用已出現之場址，以驗證此技術處理相對高濃度污染場址之適用性。

(2) 場址水文地質條件：

水刀注藥技術主要針對低透水性以及高/低透水性夾雜互層的污染區，故評估公告場址時優先選擇土壤質地以粉土/黏土為主，或地質狀況為細砂/粉土/黏土互層出現的場址。例如位於嘉南平原或竹南沖積平原的場址，常見地層複雜之砂/粉土/黏土互層，分層延續性不佳、並且各層厚度變化大。

4.2 109 年模場試驗執行過程

本計畫第一年期（109 年度）擇定臺南市安定區安定段 2085-0000 地號為水刀注藥模場計畫試驗場址。

場址淺層 2 m~9 m 以上屬於粉土或黏土的土壤質地，透水性較差；在深層 9 m 以下至 14 m 則屬於粉質砂土、砂土等較粗質地的土壤質地類型，相對而言透



水刀注藥技術強化含氯有機溶劑場址-生物整治模場試驗計畫(第二年)

水性較佳。計畫設置之標的監測井(MW1)井深 10 m，井篩範圍為從井底往上開篩 6 m，即 4 m~10 m，水力傳導係數 K 值為 9.821×10^{-6} m/sec，地下水流向為北往南的趨勢。

根據地質鑽探結果，場址地下 9 m~10 m 內土壤質地以粉土及黏土為主，SPT-N 值多在 15 以下，屬於中等堅實-堅實；10 m 以下則以砂以及粉土為主，SPT-N 值多介於 10-30 之間，屬於中等緊密。此種地質特性屬於水刀注藥可作業之質地特性。

本計畫在 109 年 6 月初於標的監測井 MW1 上游（北側）施作 2 個水刀注藥改良體，施作影響半徑 1 m（直徑 2 m）。考量機具作業所需垂直空間（2 m）及監測井 MW1 設置深度（10 m），切割深度為地下 2 m 至 11 m，即 9 m 切割長度。作業方式為每 30 cm 間隔以水刀切割 2 cm~3 cm 厚之圓盤薄片後，進行藥劑灌注（故每口改良體切割 31 片圓盤薄片）。

比較水刀注藥施作前後各項地下水數值，施作 3 個月後：

- 地下水氧化還原電位 ORP 於水刀注藥現場作業 2 周後即已降至 < 0 mv，且持續維持在 -80 mv ~ -200 mv 之還原狀態。
- 地下水 pH 持續維持在中性範圍（pH 值 6.5 ~ 7.5）。
- 監測井 MW1 微生物分析結果測得 *Dehalococcoides*、*Sulfurospirillum*、*Desulfitobacterium*、*Dehalobacter* 等脫鹵菌群，族群數量約 10^4 copies/L ~ 10^6 copies/L，且脫氯功能性基因 *tceA*、*vcrA*、*bvcA* 檢出的數量增加至 10^5 copies/L ~ 10^7 copies/L。
- 試驗區域地下水含氯污染物濃度變化趨勢與概念模式相符。水刀注藥施作 3 個月後，監測井 MW1 三氯乙烯濃度已從試驗前之 1 mg/L 降低至低於第二類地下水污染管制標準（0.05 mg/L）以下，順-1,2-二氯乙烯亦已出現下降之轉折。

4.3 110 年模場試驗場址擇定

根據本計畫模場試驗場址挑選原則及 109 年執行經驗，本計畫 110 年度最終擇定臺南市新化區梓拔林段 1014-0000 地號（新力美廠外）為水刀注藥模場計畫試驗場址。



4.3.1 申請階段初步擇定場址

本計畫於提送申請書階段，原欲針對位於竹南沖積平原、土壤質地為細砂/粉土/黏土互層出現的「台灣氯乙烯工業股份有限公司頭份廠」場址進行 110 年水刀注藥模場試驗。

台灣氯乙烯工業股份有限公司頭份廠經調查發現地下水含氯污染物後，苗栗縣政府於 94 年 7 月 19 日以府環水字第 09478009941 號公告為地下水污染控制場址，並於同年 12 月 8 日以府環水字第 09478018491 號公告地下水污染管制區；95 年 3 月 27 日環署土字第 0950023780 號公告為地下水污染整治場址。98 年 9 月 29 日苗栗縣政府環水字第 0987801671 號重新公告地下水污染控制場址及地下水污染管制區，99 年 7 月 16 日環署土字第 0990064682 號亦重新公告地下水污染整治場址。苗栗縣政府於 101 年 11 月 22 日再以府環水字第 1010043918B 號重新公告地下水污染控制場址及地下水污染管制區。

該場址自公告以來持續針對第一含水層污染執行現地調查與改善作業。發現第二含水層污染後再進行調查設井監測，並以抽水作業避免污染擴及場外。

根據場址於 106 年的地質調查結果，第一含水層（礫石層，深度約在 4 m~15 m，水力傳導係數 K 值 8.0×10^{-4} m/s）與第二含水層（砂岩層，深度約在 33 m~40 m，水力傳導係數 K 值 5.23×10^{-5} m/s）之間，尚有滯水層（泥岩/砂質泥岩/砂泥互層，分布深度約在 15 m~33 m，水力傳導係數 K 值 1.5×10^{-6} m/s）。

經資料研析，廠內位於場址苗栗縣頭份市蘆竹段 0131 地號之水井 SW14（4 吋井，井深 23.1 m，開篩範圍 17.1 m~23.1 m 位於滯水層。SW14 定期執行地下水監測，原為抽水井、現已停止抽水），109 年 7 月前之地下水順-1,2-二氯乙烯濃度約 6~8 mg/L，氯乙烯濃度約 15~30 mg/L，皆超過地下水第二類管制標準。SW14 地下水污染物種類及濃度、以及該區域水文地質條件，符合本計畫之場址挑選原則；同時根據台氯公司整治小組所言，除了抽水作業尚未進行其他污染改善措施；而場址上已無建物，利於模場試驗進行。故取得土地使用同意書後於 110 年模場計畫申請階段惠呈地方主管機關苗栗縣政府環保局知悉，擬於台灣氯乙烯工業股份有限公司頭份廠場址內、位於苗栗縣頭份市蘆竹段 0131 地號之水井 SW14 區域，進行本模場試驗計畫第二年之試驗工作。模場試驗申請計畫書審查核可後，即根據申請書規劃，於水井 SW14 進行地下水採樣分析、以及周邊地質鑽探調查，以取得試驗區域之各項基本參數。

0131 地號於台灣氯乙烯工業股份有限公司頭份廠場址內位置如圖 4.3.1-1 所示，水井 SW14 以及地質鑽探點位 B1 於場址內之位置如圖 4.3.1-2 所示。鑽探紀錄及結果詳見附件 1，地下水採樣分析暨微生物分析報告詳見附件 2。



水刀注藥技術強化含氯有機溶劑場址-生物整治模場試驗計畫(第二年)

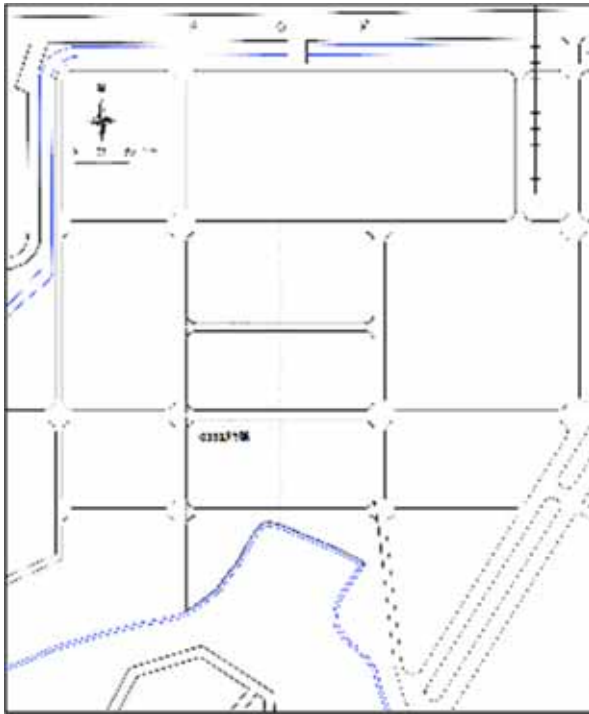


圖 4.3.1-1、苗栗縣頭份市蘆竹段
0131 地號位置圖



圖 4.3.1-2、水井 SW14 及地質鑽探
點位 B1 位置圖

4.3.2 試驗場址變更

惟根據 110 年 3 月 29 日採樣分析結果，發現水井 SW14 之各項地下水濃度皆低於第二類地下水管制標準。經場址協助取得 109 年 7 月後之定期監測結果，發現水井 SW14 於 109 年 10 月地下水濃度開始下降，110 年 1 月皆已低於第二類地下水管制標準。如此，水井 SW14 之地下水濃度狀況已不符合本模場試驗場址挑選原則（優先選擇地下水驗出相對高濃度之四氯乙烯/三氯乙烯（地下水濃度大於或等於 1 mg/L）者），且該地下水污染物濃度已低至無法評估試驗技術成效。水井 SW14 於 109 年 1 月至 110 年 1 月之每季定期監測結果、以及本計畫採樣分析結果詳見表 4.3.2-1。故需重新擇定試驗場址。

4.3.3 試驗場址重新擇定

工作團隊重新審視公告場址，根據臺南市政府環境保護局「109 年度臺南市土壤及地下水污染調查及查證工作計畫」之「新化區那拔林段 1003-11、1014、1015 地號土壤及地下水查證成果報告」^[14]，選擇已公告為土壤及地下水污染整治場址的臺南市新化區那拔林段 1014-0000 地號（新力美場址外圍）進行模場試驗，再度取得地主同意函、及場址所在地主管機關臺南市環保局知悉回覆。



第四章 研究方法與過程

表 4.3.2-1、水井 SW14 於 109 年 1 月至 110 年 3 月底之監測結果彙整

SW14 樣品編號				—	—	—	—	—	PG3064001
	單位	污染監測標準	污染管制標準	109/01	109/04	109/07	109/10	110/01	110.03.29
採樣方式	—	—	—	抽水口取水	抽水口取水	抽水口取水	抽水口取水	抽水口取水	微洗井
採樣深度(m)	—	—	—	--	--	--	--	--	20.098
水位	m	—	—	—	—	—	—	—	4.704
水溫	°C	—	—	—	—	—	—	—	26.9
pH	-	—	—	—	—	—	—	—	7.24
導電度	μmho/cm	—	—	—	—	—	—	—	10100
溶氧量	mg/L	—	—	—	—	—	—	—	0.25
氧化還原電位	mV	—	—	—	—	—	—	—	-397.5
氯甲烷	mg/L	0.15	0.30	<0.100	<0.100	<0.100	<0.0100	ND	<0.0100
氯乙烯	mg/L	0.010	0.020	28.8	17.2	21.5	0.639	0.00647	<0.0100
1,1-二氯乙烯	mg/L	0.035	0.070	1.83	2.02	2.03	0.0719	<0.00100	<0.0100
二氯甲烷	mg/L	0.025	0.050	<0.100	<0.100	<0.100	<0.0100	<0.00100	<0.0100
反-1,2-二氯乙烯	mg/L	0.50	1.0	0.524	0.665	0.547	0.0161	ND	0.0261
1,1-二氯乙烷	mg/L	4.25	8.5	0.343	0.379	0.353	0.0103	ND	<0.0100
順-1,2-二氯乙烯	mg/L	0.35	0.70	8.12	6.58	8.54	0.248	0.00268	<0.0100
三氯甲烷(氯仿)	mg/L	0.50	1.0	0.113	<0.100	<0.100	0.0116	0.0236	<0.0100
1,1,1-三氯乙烷	mg/L	1.0	2.0	<0.100	0.336	0.351	0.0181	<0.00100	<0.0100
1,2-二氯乙烷	mg/L	0.025	0.050	1.41	2.00	0.101	<0.0100	ND	<0.0100
苯	mg/L	0.025	0.050	0.328	<0.100	<0.300	<0.0100	ND	<0.0100
四氯化碳	mg/L	0.025	0.050	<0.100	<0.100	<0.100	<0.0100	ND	<0.0100
三氯乙烯	mg/L	0.025	0.050	1.07	1.50	0.351	0.0223	ND	<0.0100
甲苯	mg/L	5.0	10	<0.100	<0.100	<0.100	<0.0100	ND	<0.0100
1,1,2-三氯乙烷	mg/L	0.025	0.050	1.11	1.15	<0.100	<0.0100	ND	<0.0100
四氯乙烯	mg/L	0.025	0.050	<0.100	<0.100	<0.100	<0.0100	ND	<0.0100
氯苯	mg/L	0.50	1.0	0.368	0.347	0.408	0.0394	0.00194	0.0251
乙苯	mg/L	3.5	7.0	<0.100	<0.100	<0.100	<0.0100	ND	<0.0100
二甲苯	mg/L	50	100	<0.300	<0.300	<0.100	<0.0300	ND	<0.0300
1,4-二氯苯	mg/L	0.375	0.75	<0.100	<0.100	<0.100	<0.0100	ND	<0.0100
1,2-二氯苯	mg/L	3.0	6.0	<0.100	<0.100	<0.100	<0.0100	ND	<0.0100
萘	mg/L	0.20	0.40	<0.100	<0.100	<0.100	<0.0100	ND	<0.0100
甲基第三丁基醚	mg/L	0.50	1.0	<0.100	<0.100	<0.100	<0.0100	ND	<0.0100
氟鹽	mg/L	4.0	8.0	—	—	—	—	—	0.06
硝酸鹽氮	mg/L	5.0	10						<4.00
亞硝酸鹽氮	mg/L	50	100						<1.00
硫酸鹽	mg/L	625	—						1530
氨氮	mg/L	0.25	—						0.35
氯鹽	mg/L	625	—						146
總硬度	mg/L	750	—						989
總溶解固體物	mg/L	1250	—						9050
總有機碳	mg/L	10	—						864
甲烷	mg/L	—	—						0.332
乙烯	mg/L	—	—						0.308

※測值**粗體**表示該項目檢驗值超過第二類地下水污染監測標準，**粗體底線**表示該項目檢驗值超過第二類地下水污染管制標準。



4.4 110 年水刀注藥模場試驗場址相關資料

根據相關資料，彙整臺南市新化區梓拔林段 1014-0000 地號場址（新力美場址外圍）（以下簡稱「場址」或「110 年（試驗）場址」）相關資料如下。

4.4.1 地理位置

場址所在之新化區位於臺南市南方，地理位置如圖 4.4.1-1 所示、地籍圖如圖 4.4.1-2 所示。新化區北為山上區，東為左鎮區，南接關廟區，西臨永康/新市/歸仁地區；新化區位於台南平原與新化丘陵接觸區域，走勢東高西低。場址處於新化區東北端，距離國道 8 號新化系統交流道出口約 1 分鐘車程。場址西北側緊鄰台 20 線，另外幾側則是被新力美科技股份有限公司（以下簡稱「新力美」）新化廠（以下簡稱「新力美新化廠」）包圍，與新力美新化廠有約 2 公尺之高差，場址位於低處。[15]



圖 4.4.1-1、110 年模場試驗場址地理位置圖

4.4.2 場址污染來源及歷史

臺南市新化區梓拔林段 1014-0000 地號公告為整治場址之污染行為人為新力美科技股份有限公司，本場址自新力美公司設立以來皆為農用地或空地，未曾有工廠運作歷史，意即場址之污染來源為新力美新化廠。新力美科技股份有限公司自民國 66 年設立，產業類別主要為化學材料製造，主要產品包含高分子特化產品、有機特化產品、OEM/ODM 產品及化學工業原料製造。



第四章 研究方法與過程

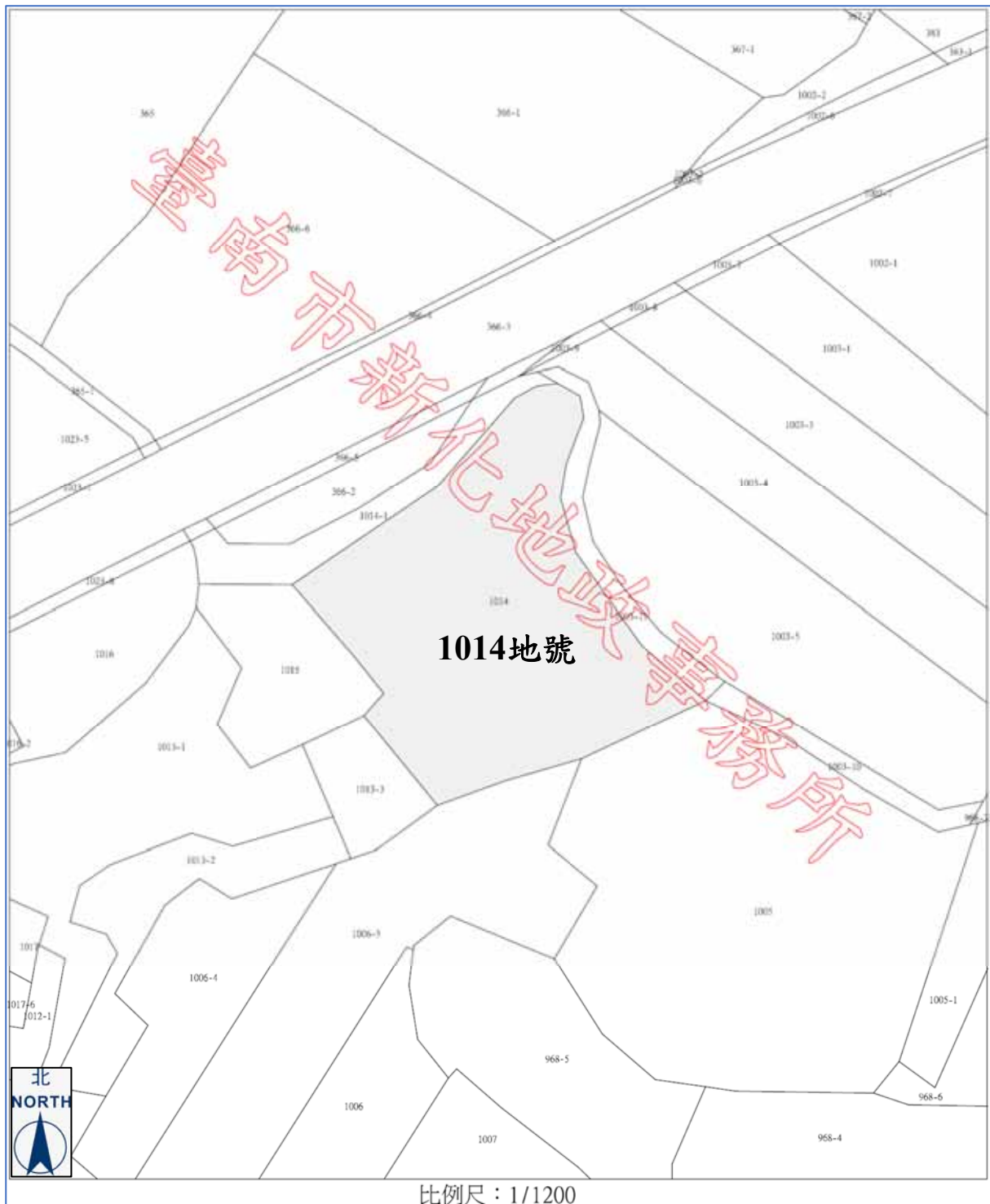


圖 4.4.1-2、110 年模場試驗場址地籍圖

行政院環境保護署「運作中工廠土壤及地下水含氯有機溶劑污染潛勢調查計畫」於 99 年 10 月在新力美公司進行土壤及地下水採樣分析作業，查證結果發現土壤中 1,2-二氯乙烷/二甲苯/氯乙烯超過土壤污染管制標準，地下水中 1,2-二氯乙烷/二氯甲烷/氯仿/氯乙烯/苯/總酚超過地下水污染管制標準。故臺南市政府



水刀注藥技術強化含氯有機溶劑場址-生物整治模場試驗計畫(第二年)

環境保護局（以下簡稱臺南市環保局）於 100 年 06 月 16 日公告新力美新化廠為土壤及地下水污染控制場址及管制區，於 100 年 09 月 13 日公告為土壤及地下水污染整治場址，公告範圍包含新力美新化廠除停車場之所有地號。

新力美經公告為整治場址後，於 101 年提出土壤及地下水污染調查評估成果報告及地下水污染整治計畫書，同時願盡污染行為人責任負責後續污染改善事宜，將新力美新化廠外那拔林段 1003-11、1014、1015 地號納入改善範圍。臺南市環保局於 102 年 03 月 28 日核定新力美公司提送之整治計畫。新力美依整治列車概念規劃整治方案，優先進行周界污染團控制，以 DPE 雙向抽汲系統杜絕污染團向廠區外擴散。接著針對廠區內外地下水以 DPE 系統進行污染改善，再輔以現地化學氧化進行最終處理。若發現純相污染物，則以抽出處理法（P&T）將純相污染物抽出處理。土壤先以 DPE 進行整治，再輔以生物堆法。

新力美新化廠自 106 年起進行化學氧化法模場試驗以及大範圍化學氧化法整治，然其提送之 109 年 1~6 月進度成果報告顯示，廠區外監測地下水苯/氯苯/1,2-二氯乙烷濃度仍超過地下水污染管制標準。臺南市環保局遂進行場址外污染查證作業，於 109 年 11 月 19 日及 26 日進行土壤採樣、監測井設置以及地下水採樣。查證結果顯示廠外土壤 1,2-二氯苯超過土壤污染管制標準、地下水（新設監測井 D00640）地下水苯/氯苯/1,4-二氯苯/1,2-二氯苯 1,2-二氯乙烷（2.74 mg/L）/氯乙烯/超過地下水污染管制標準，經評估有嚴重危害國民健康以及生活環境之虞，故於 110 年 4 月 19 日公告新化區那拔林段 1014 地號（本場址）為土壤及地下水污染整治場址。

4.4.3 地質水文特性

根據「臺南市政府環境保護局，「109 年度臺南市土壤及地下水污染調查及查證工作計畫」新化區那拔林段 1003-11、1014、1015 地號土壤及地下水查證成果報告」，位於 1014 地號南側、靠近新力美新化廠周界之場置性監測井 D00640（2 吋井，井深 7.182 m，開篩範圍 1.102 m~7.102 m，水力傳導係數 K 值為 6.61×10^{-6} m/sec）（位置參見圖 4.4.3-1），其土壤質地在 1 m~5 m 屬於細砂夾粉土、5 m~6 m 為細砂夾黏土、6 m~7 m 為黏土（如圖 4.4.3-2 所示）^[14]。皆為透水性相對較低、且易因為細砂存在，於固定開篩加壓/重力流灌注時形成優勢路徑，可能導致處理藥劑無法傳輸至污染物周邊。

新力美新化廠區地下水流方向呈現東北往西南的趨勢，亦即新力美新化廠場址污染區域往 110 年試驗場址的方向，110 年試驗場址位於下游。

The diagram illustrates the vertical distribution of soil layers in the study area. The vertical axis on the right indicates depth in meters, ranging from 0.0 at the top to 8.0 at the bottom, with major ticks every 1.0 meter and minor ticks every 0.2 meters. The soil profile is divided into three main sections:

- 0.0~1.0 m:** This top section is labeled "棕色细砂夹粘土" (Brown fine sand with clay). It is represented by a pattern of small dots.
- 1.0~5.0 m:** This middle section is labeled "棕色细砂夹粘土" (Brown fine sand with clay). It is represented by a pattern of horizontal lines.
- 5.0~6.0 m:** This section is labeled "棕色细砂夹粘土" (Brown fine sand with clay). It is represented by a pattern of horizontal lines.
- 6.0~7.0 m:** This bottom section is labeled "灰色粘土" (Grey clay). It is represented by a solid grey pattern.

19



水刀注藥技術強化含氯有機溶劑場址-生物整治模場試驗計畫(第二年)

4.5 工作執行規劃與架構

根據挑選原則，擇定位於 1014 地號南側之既設監測井 D00640 周邊區域為水刀注藥試驗區域。本計畫工作執行架構如下圖 4.5-1 所示，工作進度甘特圖如表 4.5-1 所示。



圖 4.5-1、工作執行架構圖

4.5.1 試驗區域參數確認

(1) 地質鑽探

針對水刀注藥工法原應用領域地質改良工程施作前評估所需參數，即土壤一般物理試驗數據，先進行地質鑽探補充調查，取得 SPT-N 值（錘擊數）參數，搭配既有土壤質地資訊，進行可行性評估。

本計畫依此規劃於110年6月25日完成鑽探工作，並送實驗室分析土壤質地等相關參數。

(2) 監測井地下水採樣分析

於監測井 D00640以微洗井方法採樣，分析現地厭氧還原脫氯生物整治評估所需之各項目，包括現場水質參數 pH/EC/DO/ORP、地下環境參數總硬度/總有機碳/氯鹽/硫酸鹽/硝酸鹽氮/亞硝酸鹽氮、地下水含氯污染化合物管制項目及其最終降解產物乙烯/甲烷，以及脫氯菌群/功能性基因微生物菌相分析等。

依此規劃，本計畫於110年7月1日完成採樣工作，並送實驗室分析。



第四章 研究方法與過程

表 4.5-1、工作進度甘特圖

工作項目	年月	110年	110年	110年	110年	110年	110年	110年	110年	110年	110年	110年	110年	111年	備註
	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月			
(一) 第二年試驗場址資料收集															
1. 地質鑽探															
2. 地下水質採樣分析															
(二) 模場試驗現場作業															
1. 水刀注藥設計規劃															
2. 跨孔式地電阻影像探測規劃															
3. 設備架設與調適															
4. 水刀注藥現場作業															
(三) 定期監測															
1. 地下水參數監測 (注藥後第2/4/8周)															
2. 地下水質採樣分析 (注藥後第6/12周)															
(四) 數據彙整評析															
1. 整治成效評估															
2. 工法適用性評析															
(五) 期中/期末報告															
工作進度估計百分 (累積數)	5 %	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %	57 %	65 %	72 %	80 %	90 %	100 %			
預定查核點	期中	1. 完成場址試驗所需之地質鑽探資料收集、地下水水質採樣分析。 2. 完成水刀注藥模場試驗現場作業。 3. 提出期中報告。													
	期末	1. 完成現場試驗後2次地下水水質採樣分析。 2. 現場試驗成效評估、工法適用性評析。 3. 整合試驗結果，評析工法效益與適用性。 4. 提出期末報告。													
說明：															
1、工作項目請視專案性質及需要自行訂定。預定進度以粗線表示其起迄日期。															
2、「工作進度百分比」欄係為配合管考作業所需，累積百分比請視工作性質就以下因素擇一估計訂定：(1) 工作天數，(2) 經費分配，(3) 工作量比重，(4) 擬達成目標之具體數字。															
3、「預定查核點」請在條形圖上標明※符號，並在「預定查核點」欄具體註明關鍵性工作要項。															



水刀注藥技術強化含氯有機溶劑場址-生物整治模場試驗計畫(第二年)

4.5.2 水刀注藥試驗規劃

根據上述調查結果確認場址狀況後，水刀注藥工法施作點位、深度、切割半徑、觀測井位置等試驗參數設計如下述。

規劃於標的監測井 D00640 上游（東北側）施作 2 個水刀注藥改良體（Water Jet-1, WJ-1; Water Jet-2, WJ-2），施作影響半徑為 1 m（直徑 2 m）。考量機具作業所需深度（2 m）、及監測井 D00640 設置深度（7.182 m 深），規劃切割範圍為地下 2 m 至 8 m，即 6 m 切割長度。作業方式為每 30 cm 間隔以水刀切割 2 cm~3 cm 厚之圓盤薄片後，進行藥劑灌注（故每口改良體切割 21 片圓盤薄片）。切割/注藥順序為由底部往上（8 m→5 m→2 m），以降低上層沉陷的風險。現場作業完成後，其中 1 個施作點位放置篩管成為 1 吋簡易井，用於後續地下水水質現場參數監測。

本年度參考環保署「地球物理探勘應用於土壤及地下水污染場址之調查驗證作業及整治技術評估計畫」^[16]，以跨孔式地電阻影像法（Cross-Hole/Borehole Electrical Resistivity Tomography, CHERT），於水刀注藥工法將基質藥劑注入地下之施作前後，進行基質藥劑傳佈之跨孔井測時間序列 4D 評析。故規劃設置 2 口 2 吋地物井（GW01, GW02），井深 10 m（地電阻量測深度），並於地下 2 m~8 m 放置篩管（開篩 6 m），供作後續地下水質監測及採樣分析。

地下水監測計畫完成後，此 4 口簡易井將以皂土水泥漿封填廢井，避免留下可能讓污染物垂直移動之傳輸路徑。

規劃施作點位與監測井相對位置如圖 4.5.2-1 所示。

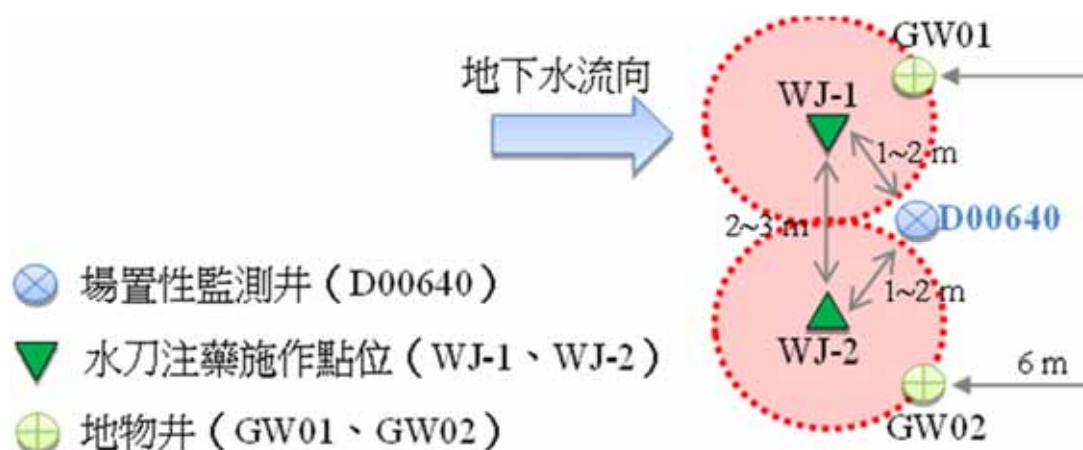


圖 4.5.2-1、110 年水刀注藥施作規劃點位圖



4.6 水刀注藥試驗現場工作及監測

4.6.1 水刀注藥試驗現場工作

水刀注藥現場作業於 110 年 9 月 14 日~17 日、以及 9 月 20 日進行。現場作業照片如圖 4.6.1-1 所示，施作點位如圖 4.6.1-2 所示，施作後現場如圖 4.6.1-3 所示。施作點位 WJ-1 及 WJ-2 各注入 190 kg 之生物製劑基質藥劑（EOS[®] E5）以及 25 kg 之緩衝藥劑（CoBupH[®]）。

作業期間之內容及水刀切割/藥劑灌注步驟如下所述，於作業期間隨時監控留意各壓力計流量計之數值是否在正常作動範圍。

9 月 14 日：設置地物井 GW01 及 GW02。各項設備進場，吊掛定位放置。包括發電機、高壓空氣壓縮機、超高壓泵、藥劑攪拌機、排泥收集槽、曝氣槽等。

9 月 15 日：各項設備進場、吊掛定位放置，及連接作業。包括高壓軟管、沉水泵、砂泵、空氣軟管、水刀注藥鑽機設備、管線電線架高不銹鋼桿等。地物井 GW01 及 GW02 之地電阻背景值量測。

9 月 16 日：各項設備連接，配水配電作業。發電機、高壓空氣壓縮機、超高壓泵、藥劑攪拌機、水刀注藥鑽機啟動運作測試。測試完成後將水刀注藥鑽機移動至改良體 WJ-1 作業位置。

9 月 17 日：改良體 WJ-1 及 WJ-2 水刀切割注藥作業。水刀切割注藥半徑為 1 m（直徑 2 m），深度範圍為地下 2 m~8 m（6 m 切割長度）。下桿至 8 m 後，開始以水刀切割出 2 cm~3 cm 厚圓盤薄片，再以每 30 cm 間隔垂直上移，重複此切割-固定間隔上移動作至 2 m 深度，即切割 21 片圓盤薄片。期間同步進行生物製劑基質藥劑及緩衝藥劑調配。水刀切割完成後，重新下桿至 8 m 深度進行藥劑灌注，再同樣以每 30 cm 間隔逐步垂直上移，重複此灌注-固定間隔上移動作至 2 m，將調配好的藥劑灌入剛剛切出的圓盤薄片內；期間同步進行地物井 GW01 及 GW02 之地電阻數值量測。作業完成後將各項設備關機，於改良體 WJ-2 放置 1 吋篩管，成為 1 吋簡易井以供後續採樣監測使用。

9 月 20 日：各項設備拆卸、吊掛出場作業。

現場每日作業前進行現場安全防護、人員安全防護等自主檢查，召開安全會議，並將檢查結果及安全會議參與人員記錄於自主檢查表。污染防治及場址衛生安全措施規劃暨執行紀錄詳見附件 3。



水刀注藥技術強化含氯有機溶劑場址-生物整治模場試驗計畫(第二年)

	
設備吊掛進場就定位	機具設備裝配連接
	
地物井設置配線	地電阻量測
	
水刀切割	藥劑調配攪拌
	
注藥作業	設備離場

圖 4.6.1-1、110 年水刀注藥作業現場照片



第四章 研究方法與過程

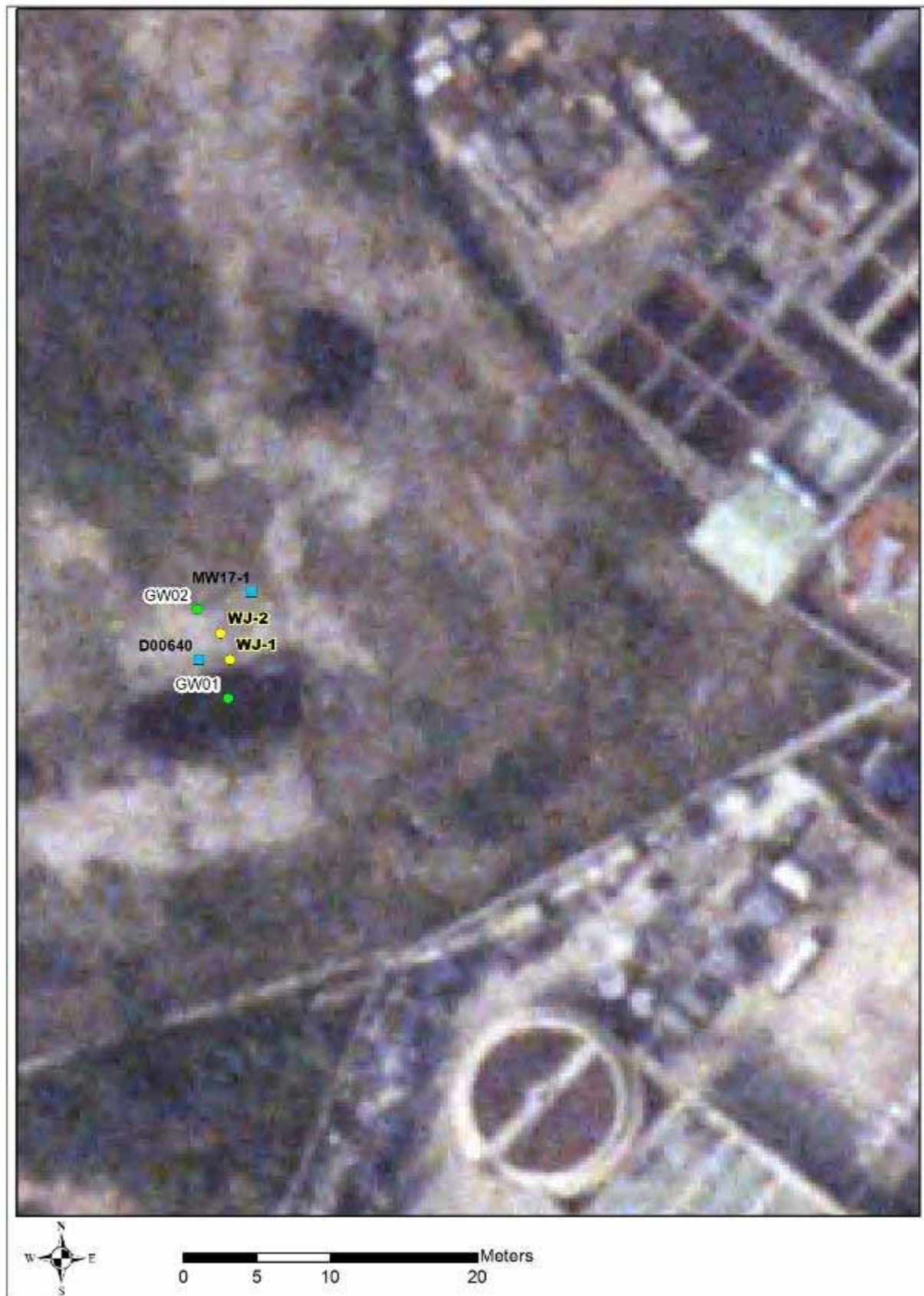


圖 4.6.1-2、110 年水刀注藥施作點位圖



水刀注藥技術強化含氯有機溶劑場址-生物整治模場試驗計畫(第二年)

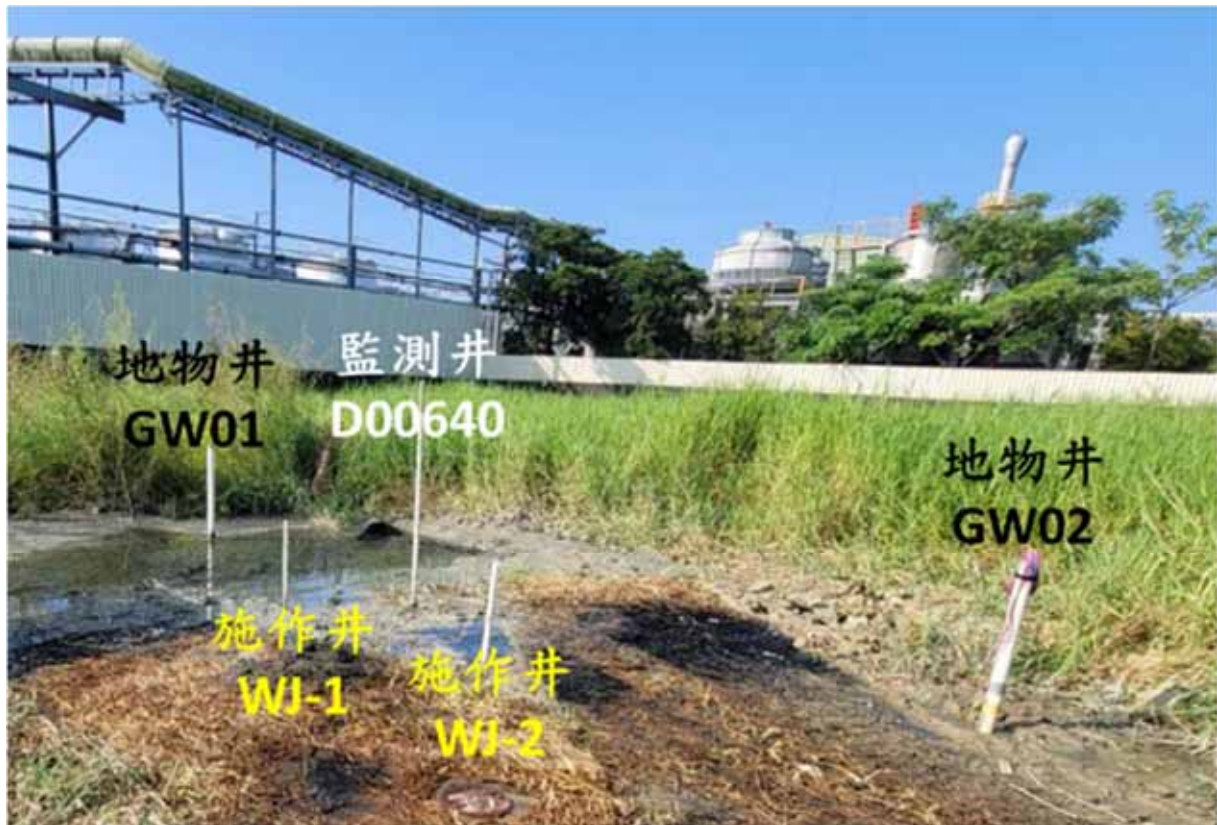


圖 4.6.1-3、110 年水刀注藥施作後現場照片

4.6.2 監測計畫

針對 109 年(第一年計畫)場址，持續監測本計畫設置監測井 MW1 地下水含氯污染管制化合物 cVOC 濃度（109 年水刀注藥現場作業後的第 10 及 18 個月）。

針對 110 年場址，於水刀注藥現場作業後，進行監測井 D00640、施作井 WJ-2、以及地物井 GW01 與 GW02 之後續地下水監測，包括地下水現場水質參數量測（監測井 D00640、施作井 WJ-2、地物井 GW01 與 GW02），以及採樣分析（監測井 D00640、地物井 GW02）。除了原本申請計畫書預算內之規劃期程，另行增加 2 次水質參數量測、及 1 次地下水 cVOC 採樣分析，以期能更精確掌握地下環境參數與污染物濃度變化。

監測頻率及項目規劃如表 4.6.2-1。



第四章 研究方法與過程

表 4.6.2-1、監測項目與監測頻率

110年模場試驗場址 臺南市新化區崙拔林段1014地號						新力美場外			敬惠場外	
3月	3/29 - 4/02	3/29 3/31	(一) (三)	施作後 週數	監測井 (D00640) 實驗室分析：微洗井採樣 僅現場水質參數量測：2"貝勒管	地物簡易井 (GW02) 實驗室分析：微洗井採樣 僅現場水質參數量測：2"貝勒管	地物 簡易井 (GW01)	施作 簡易井 (WJ-2)	109年模場監測井 (MW1) 臺南市安定區安定段2085地號	
	5/31 - 6/04	-	--	--	--	--	2"貝勒管	1"貝勒管	採樣方式：微洗井	
	6/07 - 6/11	-	--	--	--	--	--	--	地下水採樣分析 3/31 (三) ■VOC	
6月	6/14 - 6/18	-	--	--	--	--	--	--	--	
	6/21 - 6/25	-	--	--	--	--	--	--	--	
	6/28 - 7/02	7/1 森品	(四)	--	地下水採樣分析 ■VOC ■ 乙烯甲烷 ■ 一般項目 ■ 微生物	--	--	--	--	
	9/06 - 9/10	-	--	--	--	--	--	--	--	
9月	9/13 - 9/17	9/17	(五)	0	水刀注藥現場作業					--
	9/20 - 9/24	-	--	1	--	--	--	--	--	
	9/27 - 10/01	9/30	(四)	2	現場水質參數量測 (pH, EC, DO, ORP)	現場水質參數量測 (pH, EC, DO, ORP)	水質參數	水質參數	--	
	10/04 - 10/08	-	--	3	--	--	--	--	--	
10月	10/11 - 10/15	10/19	(二)	4	現場水質參數量測 (pH, EC, DO, ORP)	現場水質參數量測 (pH, EC, DO, ORP)	水質參數	水質參數	--	
	10/18 - 10/22	-	--	5	--	--	--	--	--	
	10/25 - 10/29	10/27	(三)	6	地下水採樣分析 ■VOC ■ 乙烯甲烷 ■ 一般項目 ■ 微生物	地下水採樣分析 ■VOC ■ 乙烯甲烷 ■ 一般項目 ■ 微生物	水質參數 (增加)	水質參數 (增加)	--	
	11/01 - 11/05	-	--	7	--	--	--	--	--	
11月	11/08 - 11/12	11/12	(五)	8	現場水質參數量測 (pH, EC, DO, ORP) 地下水採樣分析 (增加)	現場水質參數量測 (pH, EC, DO, ORP) 地下水採樣分析 (增加)	水質參數	水質參數	--	
	11/15 - 11/19	-	--	9	--	--	--	--	--	
	11/22 - 11/26	-	--	10	--	--	--	--	--	
	11/29 - 12/03	-	--	11	--	--	--	--	--	
12月	12/06 - 12/10	12/9	(四)	12	地下水採樣分析 ■VOC ■ 乙烯甲烷 ■ 一般項目 ■ 微生物	地下水採樣分析 ■VOC ■ 乙烯甲烷 ■ 一般項目 ■ 微生物	水質參數 (增加)	水質參數 (增加)	地下水採樣分析 ■VOC ■ TOC (增加)	





第五章 結果與討論

計畫預定於期中及期末查核點執行之工作項目皆已完成，包括1) 執行地質鑽探與地下水採樣分析等場址背景資料收集；2) 水刀注藥規劃及現場試驗作業；3) 後續地下水現場水質參數監測與採樣分析。

由模場試驗結果顯示，水刀注藥工法施作後，受污染區域已經有效的啟動進行了加強式現地厭氧還原脫氯生物降解作用。意即水刀注藥工法與一般注藥工法相比，可在低透水性區域或高-低透水性夾雜互層的地層，讓基質藥劑有效的傳輸到污染物周邊，故能有效的處理此類地層的氯烯類有機溶劑污染。

5.1 109 年水刀注藥試驗前後地下水質彙整

本計畫於110年3月31日及12月9日完成2次採樣工作，送實驗室分析。

109年模場試驗計畫監測井MW1於109年水刀注藥施作前後以及後續分析結果彙整如表 5.1-1 所示，採樣分析報告詳見附件 2。

- 地下水 pH 值於監測期間持續維持在中性範圍（pH 值6.5～7.5）。
- 地下水現場參數之氧化還原電位 ORP 於水刀注藥現場作業2周後即已降至<0 mv，且持續維持在-100 mv 左右之還原狀態。
- 地下水三氯乙烯濃度已從試驗前之1 mg/L 降至低於第二類地下水污染管制標準（0.05 mg/L），且未見回升。
- 厭氧還原脫氯生物整治之副產物順-1,2-二氯乙烯濃度呈現先升→後降趨勢，濃度已降至低於第二類地下水污染監測標準（0.35 mg/L）。而氯乙烯呈現先升→後降→再上升趨勢。



水刀注藥技術強化含氯有機溶劑場址-生物整治模場試驗計畫(第二年)

表 5.1-1、109 年場址監測井 MW1 地下水採樣監測結果彙整

	單位	污染監測標準	污染管制標準	109.04.08	109.04.08	109.06.19	109.06.23	109.07.02	109.07.10	109.07.23	109.08.13	109.09.10	110.03.31	110.12.09
水位	m	—	—	1.200	1.190	0.579	0.513	0.446	0.563	0.717	0.201	滿水位	2.215	1.358
水溫	°C	—	—	26.2	25.5	—	28.1	27.3	32.2	30.8	28.3	28.3	27.5	25.4
pH	-	—	—	6.90	6.90	7.02	7.01	8.02	6.90	6.70	7.61	6.90	6.97	7.00
導電度	µmho/cm	—	—	1330	1350	1583	1824	1706	1889	1840	871	2160	2460	2380
溶氧量	mg/L	—	—	0.80	1.40	1.03	0.73	0.73	1.40	1.2	1.84	0.40	0.56	0.61
氧化還原電位	mV	—	—	30.8	46.2	-247.1	-211.9	-141.6	-178.2	-178.0	-141.4	-140.0	-149.8	-106.8
氯甲烷	mg/L	0.15	0.30	<0.0100	<0.0100		<0.0100		<0.0100	<0.0100		<0.0100	<0.0100	<0.0100
氯乙烷	mg/L	0.010	0.020	<0.0100	<0.0100		0.0122		0.0331	0.0834		1.43	0.822	1.39
1,1-二氯乙烷	mg/L	0.035	0.070	<0.0100	<0.0100		<0.0100		<0.0100	<0.0100		<0.0100	<0.0100	<0.0100
二氯甲烷	mg/L	0.025	0.050	<0.0100	<0.0100		<0.0100		<0.0100	<0.0100		<0.0100	<0.0100	<0.0100
反-1,2-二氯乙烷	mg/L	0.50	1.0	<0.0100	<0.0100		<0.0100		0.0167	0.0261		<0.0100	<0.0100	<0.0100
1,1-二氯乙烷	mg/L	4.25	8.5	<0.0100	<0.0100		<0.0100		<0.0100	<0.0100		<0.0100	<0.0100	<0.0100
順-1,2-二氯乙烷	mg/L	0.35	0.70	0.137	0.338		1.93		4.20	5.80		0.0917	0.483	0.237
三氯甲烷(氯仿)	mg/L	0.50	1.0	<0.0100	<0.0100		<0.0100		<0.0100	<0.0100		<0.0100	<0.0100	<0.0100
1,1,1-三氯乙烷	mg/L	1.0	2.0	<0.0100	<0.0100		<0.0100		<0.0100	<0.0100		<0.0100	<0.0100	<0.0100
1,2-二氯乙烷	mg/L	0.025	0.050	<0.0100	<0.0100		<0.0100		<0.0100	<0.0100		<0.0100	<0.0100	<0.0100
苯	mg/L	0.025	0.050	<0.0100	<0.0100		<0.0100		<0.0100	<0.0100		<0.0100	<0.0100	<0.0100
四氯化碳	mg/L	0.025	0.050	<0.0100	<0.0100	—	<0.0100	—	<0.0100	<0.0100	—	<0.0100	<0.0100	<0.0100
三氯乙烯	mg/L	0.025	0.050	1.00	0.730		<0.0100		<0.0100	<0.0100		<0.0100	<0.0100	<0.0100
甲苯	mg/L	5.0	10	<0.0100	<0.0100		<0.0100		<0.0100	<0.0100		<0.0100	<0.0100	<0.0100
1,1,2-三氯乙烷	mg/L	0.025	0.050	<0.0100	<0.0100		<0.0100		<0.0100	<0.0100		<0.0100	<0.0100	<0.0100
四氯乙烯	mg/L	0.025	0.050	<0.0100	<0.0100		<0.0100		<0.0100	<0.0100		<0.0100	<0.0100	<0.0100
氯苯	mg/L	0.50	1.0	<0.0100	<0.0100		<0.0100		<0.0100	<0.0100		<0.0100	<0.0100	<0.0100
乙苯	mg/L	3.5	7.0	<0.0100	<0.0100		<0.0100		<0.0100	<0.0100		<0.0100	<0.0100	<0.0100
二甲苯	mg/L	50	100	<0.0300	<0.0300		<0.0300		<0.0300	<0.0300		<0.0300	<0.0300	<0.0300
1,4-二氯苯	mg/L	0.375	0.75	<0.0100	<0.0100		<0.0100		<0.0100	<0.0100		<0.0100	<0.0100	<0.0100
1,2-二氯苯	mg/L	3.0	6.0	<0.0100	<0.0100		<0.0100		<0.0100	<0.0100		<0.0100	<0.0100	<0.0100
萘	mg/L	0.20	0.40	<0.0100	<0.0100		<0.0100		<0.0100	<0.0100		<0.0100	<0.0100	<0.0100
甲基第三丁基醚	mg/L	0.50	1.0	<0.0100	<0.0100		<0.0100		<0.0100	<0.0100		<0.0100	<0.0100	<0.0100
氟鹽	mg/L	4.0	8.0	0.32								0.29		—
硝酸鹽氮	mg/L	5.0	10	ND								<0.20		—
亞硝酸鹽氮	mg/L	50	100	ND								<0.05		—
硫酸鹽	mg/L	625	—	176								3.57		—
鐵	mg/L	1.5	—	1.34								3.19		—
錳	mg/L	0.25	—	0.983								1.71		—
氨氮	mg/L	0.25	—	ND								ND		—
氯鹽	mg/L	625	—	62.6								268		—
總硬度	mg/L	750	—	521								830		—
總溶解固體物	mg/L	1250	—	918								1420		—
總有機碳	mg/L	10	—	1.1								57.8		5.8
鹼度	mg/L	—	—	461								773		—
甲烷	mg/L	—	—	0.032								16.9		—
乙烷	mg/L	—	—	<0.010								0.017		—

※測值粗體表示該項目檢驗值超過第二類地下水污染監測標準，粗體底線表示該項目檢驗值超過第二類地下水污染管制標準。

5.2 110 年模場試驗區基本資料

(1) 110年模場試驗場址地質鑽探成果

本計畫於110年6月25日完成地質鑽探工作並送實驗室分析。鑽探紀錄及結果詳見附件1。

根據地質鑽探分析結果，場址地下1 m~10 m內之土壤質地為粉土質黏土/粉土質黏土夾細砂/粉土質黏土夾砂質粉土/砂質粉土；透水性相對較低、且易因細砂存在，於固定開篩加壓/重力流灌注時形成優勢路徑，可能導致處理藥劑無法有效傳輸至污染物周邊。SPT-N 值多在10以下，屬於中等堅實-堅實。此種地質特性屬於水刀注藥適合作業之質地特性。



(2) 110年模場試驗區井口基本資料

110年模場試驗區域除了臺南市環保局於109年設置之場置性監測井 D00640，而跨孔式地電阻影像剖面法（CHERT）用於觀測藥劑傳輸的地球物理井（地物井）GW01及 GW02於110年9月14日完成設置；水刀注藥改良體於施作後放置篩管成為1吋簡易井的施作井 WJ-2（Water Jet-2）於110年9月17日完成設置。各井口基本資料如下表5.2-1所示。

表 5.2-1、110 年模場試驗區井口基本資料表

井號	設置日期	井徑 (in)	井深 (m)	井篩長度 (m)	開篩範圍 (m)	K 值 (m/s)	用途
MW1	109/11/19	2	7.182	6	1.102 ~ 7.102	9.821×10^{-6}	水質參數監測 地下水採樣分析
WJ-2	110/09/17	1	8.0	6	2 ~ 8	--	水質參數監測
GW01	110/09/14	2	10.0	6	2 ~ 8	--	水質參數監測
GW02	110/09/14	2	10.0	6	2 ~ 8	--	水質參數監測 地下水採樣分析

5.3 110 年水刀注藥試驗前後 CHERT 觀測

5.3.1 地電阻影像法原理概述

地電阻影像法（Electrical Resistivity Tomography）係將直流電導入地層中，量測地下材料的電位差，計算電阻率或導電率後，以等值圖分布描述地下電性構造。量測方式係由地電主機控制不同對的電極，分別作為電流極與電位極，主動控制電流極導入地層中的電壓或電流量，由電位極量測地下材料的電位差響應值並記錄，最後將所有量測值以數值方法逆推演算，呈現出電阻率等值圖影像。

直流電阻法的理論與應用主要來自兩個物理定律公式，分別是歐姆定律（Ohm's law）與阿奇定律（Archie's law）。歐姆定律描述了電場強度、電阻率（resistivity）與電流密度間的關係，也就是材料的電阻率可藉由電場與電流密度的量測得知；阿奇定律則表示材料電阻率會因孔隙填充物質改變而改變。地質材料的電阻率可視為一種物理性質，可依電阻率的不同進而研判物質之差異。但因地質材料的組成並非單一純物質，故地球科學觀點討論地球材料的電阻率時，係以一個區間範圍研判物質材料組成。

相同材質但體積形狀不同的材料所測得的電阻會不同，但考量形狀調整後可求得相同之電阻率。故在進行地電阻影像法測勘時，主動導入地層的電流量為已知數據，量測之電位差必須再乘上電極幾何排列形狀因子（geometric factor）



水刀注藥技術強化含氯有機溶劑場址-生物整治模場試驗計畫(第二年)

後才能得到量測電阻率，即「視電阻率」(apparent resistivity)，意指量測電位值考慮幾何形狀因子後所計算出的電阻率。因為地質材料是一個非線性系統而非均質等向，視電阻率將會因電極配置與地質構造不同而有所差異，故量測得到的視電阻率須再經由逆推反演算(inversion)求得真實電阻率，才能依電性分布解釋地下環境，過程如圖 5.3.1-1 所示。本次資料處理之順推方法為有限元素法，求解方法為科列斯基分解(Cholesky decomposition)，邊界條件為固定邊界條件(Dirichlet)，網格大小為 1/2 電極間距；逆推處理方法採用平滑約束最小平方法(Smoothness-constrained Least-squares Inversion)。

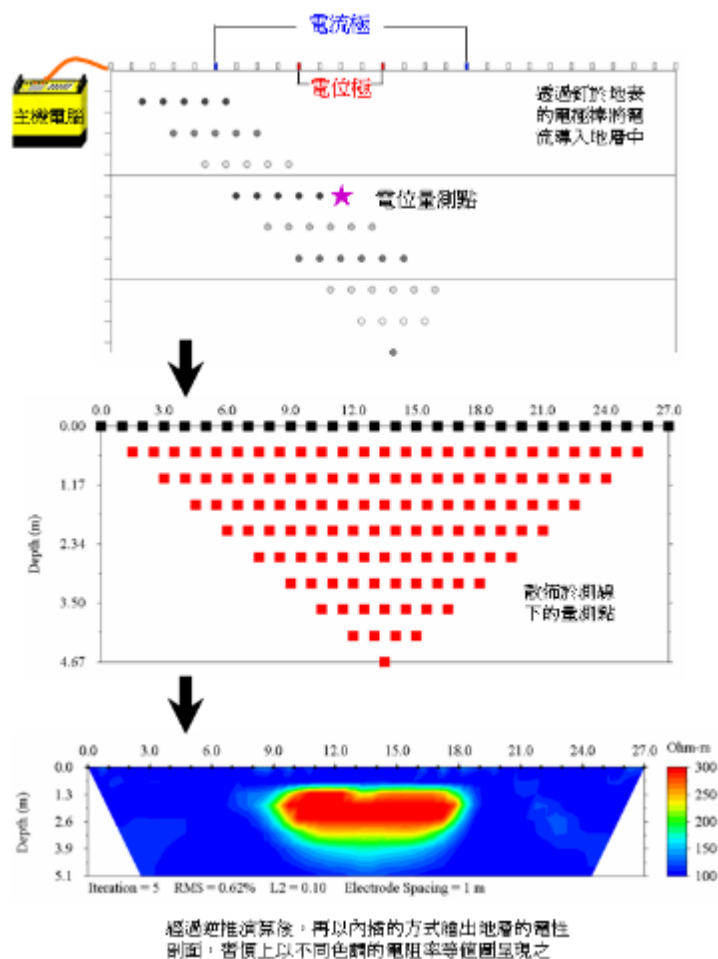


圖 5.3.1-1、地電阻影像法示意圖

5.3.2 跨孔式地電阻影像法 (CHERT)

跨孔式地電阻影像法 (Cross-Hole/Borehole Electrical Resistivity Tomography, CHERT) 是將電極置於井下的地電阻法延伸技術如圖 5.3.2-1 所示。跨孔式地電阻影像法的電極排列並無規則式標準化的配置，必須考量井的數量、距離、



深度與總配置電極數設計量測方式，且當電流埋設於井內時，必須修正電流分布模型為全無限空間（whole space）^[17]。

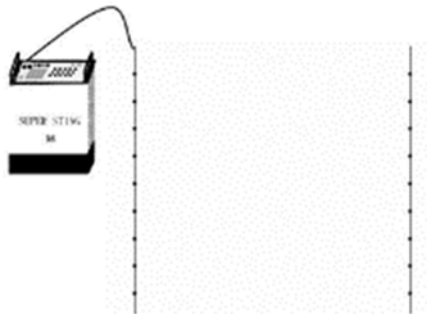


圖 5.3.2-1、跨孔式地電阻影像法示意圖

探討整治藥劑灌注過程變異時，電阻率的改變其實非常微量，即使投入的藥劑導電率為地下水的數倍，但藥劑總量相對於地層總體積而言仍是少數，並不可能改變整個地層的電性構造。地電阻影像法能描繪出侵入地下水中的污染、或注入的整治藥劑之空間分布的先決條件，在於這些侵入物質的電阻率必須能改變地層電阻率。電阻率變化增加 1 倍或減為 1/2 時，單從電阻率影像就能描繪出分布範圍。

若侵入或注入的物質無法改變原材料電阻率達倍數以上，單從電阻率影像則較難描繪出分布範圍。此時可藉由時序分析（Time Lapse, TL），以電阻率/導電率的差異率來研判藥劑流布。TL 差異率分析是比較兩次個別逆推的差異率，有助於解析出侵入物質的分布。因整治灌入藥劑後電性的改變約在數至數十%，所以 TL 分析適用於整治灌藥過程的連續觀測，可藉此瞭解藥劑傳輸分布、評析主要流徑，作為修正整治方法的依據。以短時間間隔高頻率的方式收集資料，此時若無其他因素造成環境背景的電性改變，即可以電阻率差異率等值圖呈現結果，探討注入地層藥劑的流布。

5.3.3 水刀注藥試驗前之 CHERT 電阻率背景值

本次於監測井 D00640 兩側設置 2 口間距 6 m 的地物井 GW01 與 GW02（如圖 4.5.2-1 所示），進行跨孔地電阻影像法探測。水刀注藥作業開始前先收集場址背景值電性剖面，如圖 5.3.3-1 所示。成果顯示出試驗區地質材料電阻率偏低，均小於 20 ohm-m，研判地質材料組成以粉土與黏土等細顆粒材料為主。依電性構造大致可分為三層，其中深度 3 m ~ 5 m 電阻率相當低，研判以黏土為主，其餘深度則粉土含量相對較高。此判讀結果與地質鑽探分析結果一致。場址地層



水刀注藥技術強化含氯有機溶劑場址-生物整治模場試驗計畫(第二年)

電阻率偏低的原因，亦可能源於曾進行過的其他整治作業，地層中仍存有藥劑或化學反應後的離子。根據新力美科技股份有限公司提送至臺南市環保局之「臺南市新化區那拔林段 1001-1 地號等 18 筆土地土壤及地下水污染整治計畫書第三次變更(公開陳列版)」^[15]，曾於 108 年 5 月至 6 月，於 1014 地號南側，即因為地質不均質性、存在較緻密土壤或有明顯優勢流等情況區域，進行現地化學氧化現地土壤混拌工作 (*In-Situ Chemical Oxidation - In-situ Soil Mixing*, ISCO-ISM)，即利用攪拌鑽頭於地層混拌過程中全程注入氧化藥劑。施作範圍 10 m × 10 m × 8 m (深)，注入約 7,000 kg 過硫酸鈉 (100%) 與 4,000 kg 氫氧化鈉 (100%) 的混合溶液。110 年模場試驗範圍各井口之導電度與 pH 值偏高、以及電阻率偏低的原因應與此作業相關。

5.3.4 水刀注藥施作過程中/施作後之 TL-CHERT 電阻率變化

本次使用藥劑之導電率為 805 μ S/cm，而水刀注藥作業當日，場址地下水導電率為 6.26 mS/cm，場址地下水導電率約為藥劑的 8 倍。表示藥劑注入地層後，將使地層的導電率下降，也就是電阻率上升，因此 TL-CHERT 採用電阻率增加率，來評估藥劑流布。

第 1 個水刀注藥施作點 WJ-1 完成 8 m ~ 5 m (第一階段) 藥劑灌注作業後，TL-CHERT 成果如圖 5.3.4-1 所示。時序剖面成果顯示在深度約 5 m 以下出現了明顯電阻率增加的訊號，表示藥劑確實已傳輸至 CHERT 剖面。再完成 5 m ~ 2 m (第二階段) 的藥劑灌注作業後，TL-CHERT 成果則如圖 5.3.4-2，時序剖面顯示深度約 2 m ~ 5 m 出現明顯電阻率增加的訊號，表示藥劑已傳輸至 CHERT 剖面。WJ-1 進行水刀切割注藥的總時長約為 1.5 小時，意即此工法能在短時間內有效地將藥劑於特定深度傳輸至目標範圍。

WJ-2 亦完成水刀注藥作業後的 TL-CHERT 成果則如圖 5.3.4-3。深度 2 m 以下均出現了電阻率增加的訊號，擴散範圍約為 2 m ~ 3 m，表示 2 個水刀注藥施作點皆於很短的時間內將藥劑妥善傳輸，且分布大致良好，與預期相符。



第五章 結果與討論

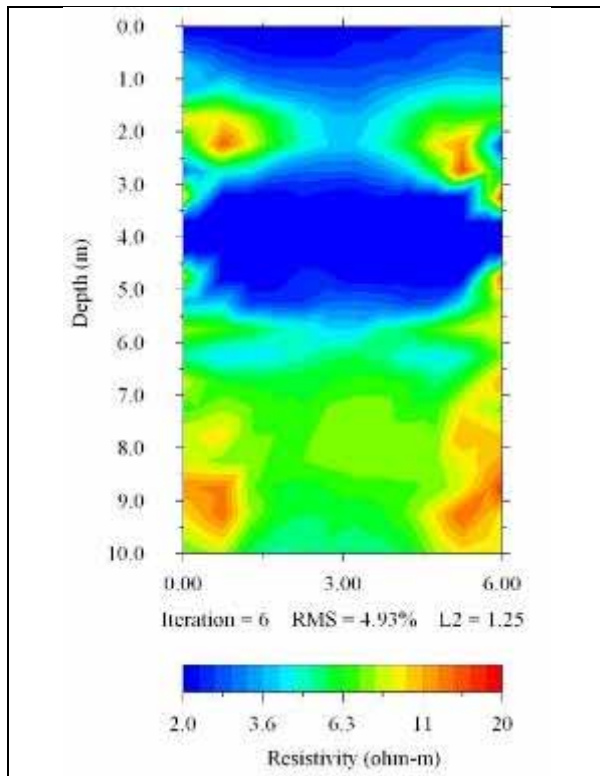


圖 5.3.3-1、110 年模場試驗區
CHERT 電阻率剖面背景值

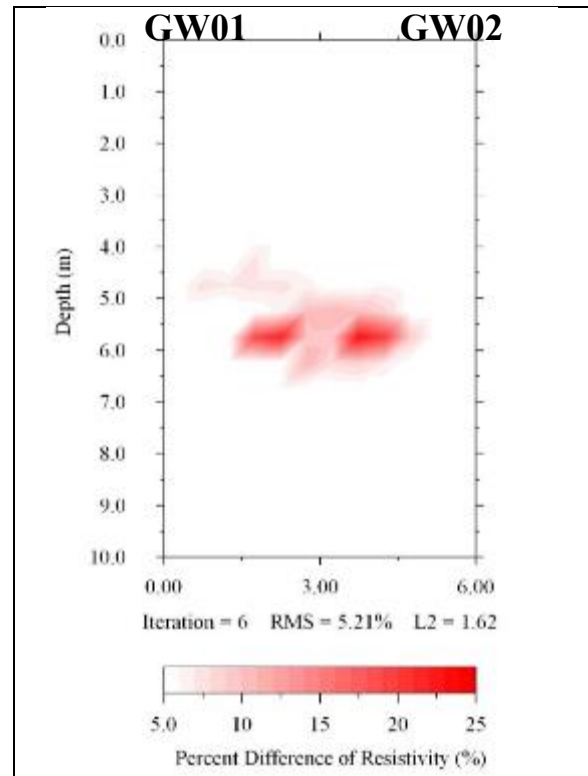


圖 5.3.4-1、110 年施作點 WJ-1 完成
8 m ~ 5 m 第一階段藥劑灌注後之
TL-CHERT 成果圖

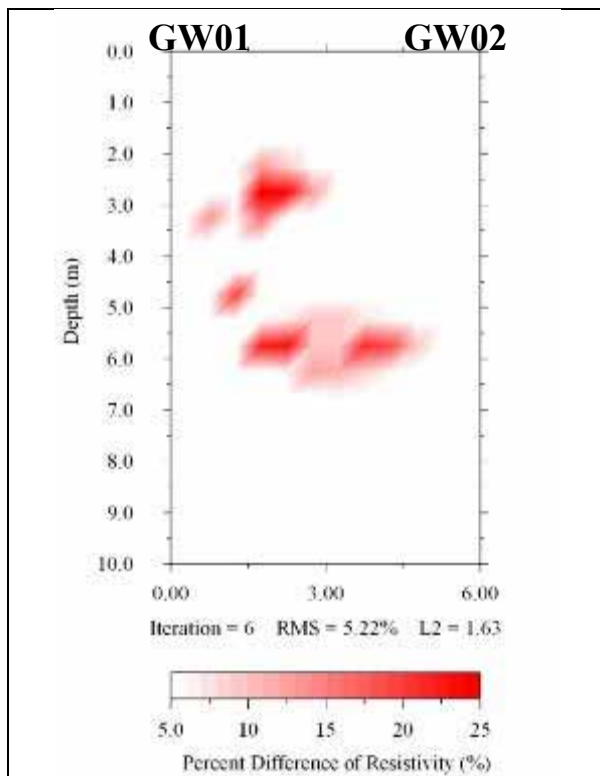


圖 5.3.4-2、110 年施作點 WJ-1 完成
5 m ~ 2 m 第二階段藥劑灌注後之 TL-
CHERT 成果圖

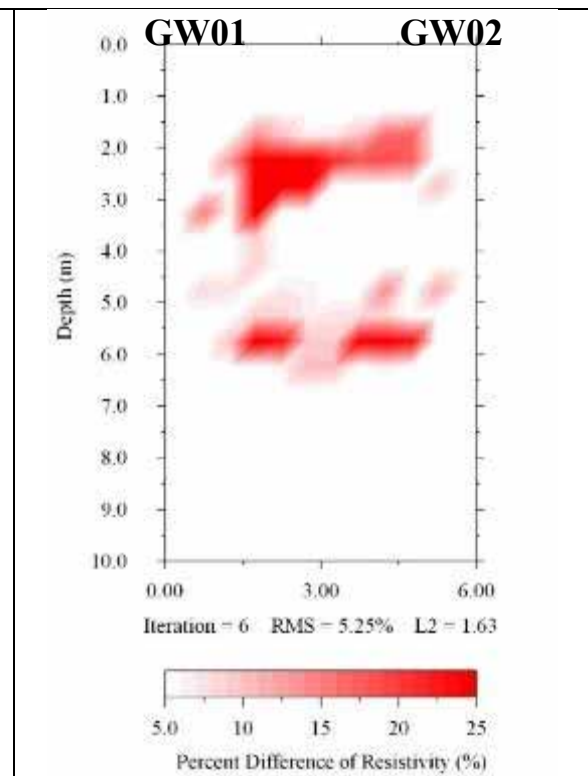


圖 5.3.4-3、110 年 2 個施作點皆完成
藥劑灌注後之 TL-CHERT 成果圖



5.4 110 年水刀注藥試驗前後地下水質彙整

5.4.1 水刀注藥試驗前監測井 D00640 地下水採樣分析結果

本計畫於 110 年 7 月 1 日完成採樣工作，並送實驗室分析。D00640 於場址查證階段及本計畫之地下水分析結果彙整如表 5.4.1-1，採樣分析暨微生物分析報告詳見附件 2。

由 109 年 11 月 26 日與 10 年 7 月 1 日分析結果觀之，場址監測井 D00640 之地下水污染物以 1,2-二氯乙烷以及氯苯類化合物為主，豐枯水季濃度差異相當大。地下水硫酸鹽濃度與總溶解固體物含量偏高，可能源於新力美新化廠的整治作業。微生物分析結果顯示，地下環境存在有可降解氯烯類（*tceA*、*vcrA*、*bvcA*）、氯烷類（*dcaA*）以及氯苯類（*todC*）之功能性基因，且族群數量豐富，顯示地下環境中之微生物族群具有將地下水中污染物進行生物整治之能力。

5.4.2 水刀注藥試驗後地下水監測結果

本計畫根據既定規劃（表 4.5.2-1），於水刀注藥現場作業後，執行 110 年模場試驗場址監測井 D00640、施作井 WJ-1 與 WJ-2、以及地物井 GW02 之後續地下水監測，包括地下水現場水質參數量測（監測井 D00640、施作井 WJ-1 與 WJ-2、地物井 GW02），以及採樣分析（監測井 D00640、地物井 GW02）。除了原本申請計畫書預算內規劃期程，工作團隊並另行增加 2 次水質參數量測及 1 次地下水 cVOC 採樣分析，以期能更能掌握地下環境參數與污染物濃度變化。

地下水分析結果彙整如表 5.4.1-1（監測井 D00640）及表 5.4.2-1（地物井 GW02），現場水質參數監測結果彙整如表 5.4.2-2（施作井 WJ-2、地物井 GW01）所示。採樣分析暨微生物分析報告詳見附件 2。

- 4口井地下水 pH 於監測期間持續在中性範圍以上（pH 值 > 6.5），甚至偏高至鹼性。
- 4口井地下水現場參數之氧化還原電位 ORP 於水刀注藥現場作業2周後即已降至 < 0 mv，且持續維持在 -100 mv ~ -500 mv 之還原狀態。
- D00640之總有機碳 TOC 從水刀注藥前的 60 mg/L 增加至 370 mg/L。
- 1,2-二氯乙烷濃度出現先升→後降之趨勢。
- 出現生物厭氧還原脫氯副產物氯乙烯，濃度逐漸增加。
- 氯苯類化合物多呈現先升→後降、或濃度升高後持平之趨勢。



表 5.4.1-1、110 年場址水刀注藥試驗前後監測井 D00640 地下水採樣分析結果

	單位	污染監測標準	污染管制標準	109.11.26	109.11.26	110.05.14	110.07.01	110.09.30	110.10.19	110.10.27	110.11.12	110.12.09
水位	m	—	—	0.000	0.000	1.956	0.000	0.432	0.000	0.778	0.052	0.154
水溫	°C	—	—	28.4	28.7	30.6	29.2	25.3	27.1	29.9	28.3	30.5
pH	-	—	—	6.90	8.87	10.54	10.30	8.30	10.74	8.10	8.33	8.81
導電度	μmho/cm	—	—	9570	53500	70100	78300	23200	21500	57200	25700	64900
溶氧量	mg/L	—	—	3.02	4.15	0.91	1.94	1.46	10.48	0.01	0.43	0.05
氧化還原電位	mV	—	—	166.3	254.0	184.4	81.4	-372.8	-341.8	-413.4	-395.5	-468.5
氯甲烷	mg/L	0.15	0.30	<0.0038	<0.0038		<0.0100			<0.100	<0.0100	<0.100
氯乙烷	mg/L	0.010	0.020	<0.01	0.124		<0.0100			<0.100	0.0224	0.101
1,1-二氯乙烷	mg/L	0.035	0.070	<0.0029	<0.0029		<0.0100			<0.100	<0.0100	<0.100
二氯甲烷	mg/L	0.025	0.050	<0.0041	<0.0041		<0.0100			<0.100	<0.0100	<0.100
反-1,2-二氯乙烷	mg/L	0.50	1.0	<0.0025	<0.0025		0.0261			<0.100	<0.0100	<0.100
1,1-二氯乙烷	mg/L	4.25	8.5	<0.0027	<0.0027		<0.0100			<0.100	<0.0100	<0.100
順-1,2-二氯乙烷	mg/L	0.35	0.70	<0.0027	<0.0027		<0.0100			<0.100	<0.0100	<0.100
三氯甲烷(氯仿)	mg/L	0.50	1.0	<0.0025	<0.0025		<0.0100			<0.100	<0.0100	<0.100
1,1,1-三氯乙烷	mg/L	1.0	2.0	<0.0025	<0.0025		<0.0100			<0.100	<0.0100	<0.100
1,2-二氯乙烷	mg/L	0.025	0.050	0.139	2.74		0.0689			0.654	0.114	0.571
苯	mg/L	0.025	0.050	0.0987	0.419		0.0237			0.142	0.0806	0.108
四氯化碳	mg/L	0.025	0.050	<0.0025	<0.0025	—	<0.0100	—	—	<0.100	<0.0100	<0.100
三氯乙烯	mg/L	0.025	0.050	<0.0026	<0.0026		<0.0100			<0.100	<0.0100	<0.100
甲苯	mg/L	5.0	10	<0.01	<0.01		<0.0100			<0.100	<0.0100	<0.100
1,1,2-三氯乙烷	mg/L	0.025	0.050	<0.0025	<0.0025		<0.0100			<0.100	<0.0100	<0.100
四氯乙烯	mg/L	0.025	0.050	<0.0027	<0.0027		<0.0100			<0.100	<0.0100	<0.100
氯苯	mg/L	0.50	1.0	6.42	1.02		0.639			1.73	2.20	0.533
乙苯	mg/L	3.5	7.0	0.0123	0.0545		<0.0100			<0.100	0.0104	<0.100
二甲苯	mg/L	50	100	0.0575	0.237		<0.0300			<0.300	<0.0300	<0.300
1,4-二氯苯	mg/L	0.375	0.75	1.08	0.650		0.103			0.368	0.320	0.343
1,2-二氯苯	mg/L	3.0	6.0	9.58	8.20		1.27			4.07	2.59	4.14
萘	mg/L	0.20	0.40	<0.0027	<0.0027		<0.0100			<0.100	<0.0100	<0.100
甲基第三丁基醚	mg/L	0.50	1.0	<0.003	<0.003		<0.0100			<0.100	<0.0100	<0.100
氟鹽	mg/L	4.0	8.0				1.34					1.90
硝酸鹽氮	mg/L	5.0	10				23.0					0.05
亞硝酸鹽氮	mg/L	50	100				0.29					ND
硫酸鹽	mg/L	625	—				8860					17500
氨氮	mg/L	0.25	—				20.7					28.6
氯鹽	mg/L	625	—	—	—	—	256	—	—	—	—	172
總硬度	mg/L	750	—				287					543
總溶解固體物	mg/L	1250	—				18000					30100
總有機碳	mg/L	10	—				60.3					370
甲烷	mg/L	—	—				0.125					0.647
乙烯	mg/L	—	—				0.033					1.66

※測值**粗體**表示該項目檢驗值超過第二類地下水污染監測標準，**粗體底線**表示該項目檢驗值超過第二類地下水污染管制標準。

- 監測井微生物分析結果：持續測得 *Dehalococcoides*、*Sulfurospirillum*、*Desulfitobacterium*、*Dehalobacter* 等脫鹵菌群，族群數量從 $10^4 \sim 10^5$ copies/L 增加至 $10^5 \sim 10^8$ copies/L，且可降解氯烯類（*tceA*、*vcrA*、*bvcA*）、氯烷類（*dcaA*）以及氯苯類（*todC*）之功能性基因檢出的數量亦從 $10^3 \sim 10^6$ copies/L 增加至 $10^5 \sim 10^7$ copies/L。

5.5 廢井作業

為減少可能讓污染物垂直移動之傳輸路徑存在、避免污染物擴散，既定監測計畫結束後，即依照模場試驗規劃，以皂土水泥漿封填 109 年模場計畫監測井 MW1，以及 110 年模場試驗區域施作井 WJ-1 與 WJ-2、地物井 GW01 與 GW02。廢井作業於 110 年 12 月 10 日完成，廢井報告詳見附件 4。



水刀注藥技術強化含氯有機溶劑場址-生物整治模場試驗計畫(第二年)

表 5.4.2-1、110 年場址水刀注藥試驗後地物井 GW02 地下水採樣分析結果

	單位	污染監測標準	污染管制標準	110.09.30	110.10.19	110.10.27	110.11.12	110.12.09
水位	m	—	—	0.000	0.000	0.000	0.000	0.100
水溫	°C	—	—	25.4	26.9	28.6	27.2	27.3
pH	-	—	—	6.94	10.40	6.99	7.10	7.23
導電度	μmho/cm	—	—	9940	4990	21500	10900	19400
溶氧量	mg/L	—	—	1.14	7.31	2.35	0.24	0.74
氧化還原電位	mV	—	—	-333.5	31.8	-25.1	-248.1	-146.3
氯甲烷	mg/L	0.15	0.30	—	—	<0.0100	0.0101	<0.0100
氯乙烯	mg/L	0.010	0.020			0.0153	<0.0100	0.0174
1,1-二氯乙烯	mg/L	0.035	0.070			<0.0100	<0.0100	<0.0100
二氯甲烷	mg/L	0.025	0.050			<0.0100	<0.0100	<0.0100
反-1,2-二氯乙烯	mg/L	0.50	1.0			<0.0100	<0.0100	<0.0100
1,1-二氯乙烷	mg/L	4.25	8.5			<0.0100	<0.0100	<0.0100
順-1,2-二氯乙烯	mg/L	0.35	0.70			<0.0100	<0.0100	<0.0100
三氯甲烷(氯仿)	mg/L	0.50	1.0			<0.0100	<0.0100	<0.0100
1,1,1-三氯乙烷	mg/L	1.0	2.0			<0.0100	<0.0100	<0.0100
1,2-二氯乙烷	mg/L	0.025	0.050			0.202	0.0318	0.114
苯	mg/L	0.025	0.050			0.0644	0.0156	0.129
四氯化碳	mg/L	0.025	0.050			<0.0100	<0.0100	<0.0100
三氯乙烯	mg/L	0.025	0.050			<0.0100	<0.0100	<0.0100
甲苯	mg/L	5.0	10			<0.0100	<0.0100	<0.0100
1,1,2-三氯乙烷	mg/L	0.025	0.050			<0.0100	<0.0100	<0.0100
四氯乙烯	mg/L	0.025	0.050			<0.0100	<0.0100	<0.0100
氯苯	mg/L	0.50	1.0			4.81	2.13	4.94
乙苯	mg/L	3.5	7.0			0.0242	<0.0100	0.0185
二甲苯	mg/L	50	100			0.0746	<0.0300	0.0724
1,4-二氯苯	mg/L	0.375	0.75			0.376	0.147	0.605
1,2-二氯苯	mg/L	3.0	6.0			6.30	1.59	6.34
萘	mg/L	0.20	0.40			<0.0100	<0.0100	<0.0100
甲基第三丁基醚	mg/L	0.50	1.0			<0.0100	<0.0100	<0.0100

※測值**粗體**表示該項目檢驗值超過第二類地下水污染監測標準，**粗體底線**表示該項目檢驗值超過第二類地下水污染管制標準。

表 5.4.2-2、110 年場址水刀注藥試驗後施作井 WJ-2 及地物井 GW01
水質參數監測結果

GW01	單位	110.09.30	110.10.19	110.10.27	110.11.12	110.12.09
水位	m	0.000	0.000	0.018	0.072	0.220
水溫	°C	25.3	28.1	28.1	27.2	27.2
pH	-	8.36	9.72	7.85	8.75	8.60
導電度	μmho/cm	18360	10090	11540	12650	10350
溶氧量	mg/L	1.24	4.60	1.16	0.59	0.08
氧化還原電位	mV	-332.7	-247.8	-156.3	-379.4	-251.2
WJ-2	單位	110.09.30	110.10.19	110.10.27	110.11.12	110.12.09
水位	m	0.000	0.052	0.088	0.152	0.350
水溫	°C	25.2	27.0	28.1	27.0	27.3
pH	-	6.85	10.20	9.63	8.92	9.99
導電度	μmho/cm	14010	25200	23600	23600	26200
溶氧量	mg/L	1.05	2.85	0.82	1.58	0.28
氧化還原電位	mV	-351.6	-358.1	-276.1	-469.2	-441.2



5.6 水刀注藥試驗成果探討

5.6.1 109 年水刀注藥試驗成果探討

109 年場址監測井 MW1 地下水酸鹼 pH 值與氧化還原電位 ORP 數值變化趨勢如圖 5.6.1-1 及圖 5.6.1-2 所示，含氯污染物濃度變化趨勢如圖 5.6.1-3 所示。

- 厭氧還原脫氯反應過程中，因為基質添加發酵產生的小分子有機酸，以及發酵產生的 H_2 加上脫氯過程的 Cl 生成的鹽酸，皆會讓地下環境的 pH 值下降。pH 值若 <6 ，脫氯菌群的生長及脫氯效率會受到抑制^{[18][19]}。故在加強式現地厭氧還原脫氯生物整治過程中，pH 值是否維持在中性範圍（6~8）至為關鍵。109 年模場試驗規劃於水刀注藥時將緩衝藥劑與長效型乳化油基質藥劑攪拌後同時注入，故水刀注藥作業前後地下水 pH 值測定結果皆在 6.5 ~ 7.5 之中性範圍內，並未出現急遽下降現象，避免了脫氯降解效率與試驗結果受到 pH 值變化影響。由最後一次監測結果（110 年 12 月）觀之，地下水 pH 值（7.00）仍然維持在中性範圍，顯示 109 年水刀注藥作業注入之長效型緩衝藥劑仍持續發揮作用。
- 水刀注藥作業前，監測井 MW1 雖已出現自然衰減作用產物順-1,2-二氯乙烯，但整體地下環境並未能達到還原狀態（氧化還原電位 ORP 皆為正值）。水刀注藥現場作業 2 周後各井的 ORP 即下降至 <-200 mv，後續皆持續維持在 -100 mv 以下。顯示水刀注藥作業後基質傳佈至地下環境，並經由微生物耗氧機制，進行一系列發酵還原作用，讓地下環境持續維持在厭氧還原狀態。
- 加強式現地厭氧還原脫氯生物整治過程中，當基質被有效注入污染團所在的地下環境，啟動了厭氧還原脫氯生物降解作用，三氯乙烯會被分解，同時三氯乙烯脫氯過程中的副產物順-1,2-二氯乙烯以及氯乙烯濃度則會上升，爾後再經由脫氯生物降解作用逐漸被分解濃度下降^[18]。脫氯序列降解導致氯烯類化合物濃度變化之概念模式如圖 5.6.1-4 所示。模場試驗區地下水含氯污染物濃度變化趨勢與概念模式相符。監測井 MW1 地下水三氯乙烯濃度已從試驗前之 1 mg/L 降低至低於第二類地下水污染管制標準（0.05 mg/L）及監測標準（0.025 mg/L），且未見回升。顯見水刀注藥工法應已有效將基質藥劑傳佈至污染物周邊，處理低透水性區域/高-低透水性夾雜互層區域的污染。



水刀注藥技術強化含氯有機溶劑場址-生物整治模場試驗計畫(第二年)

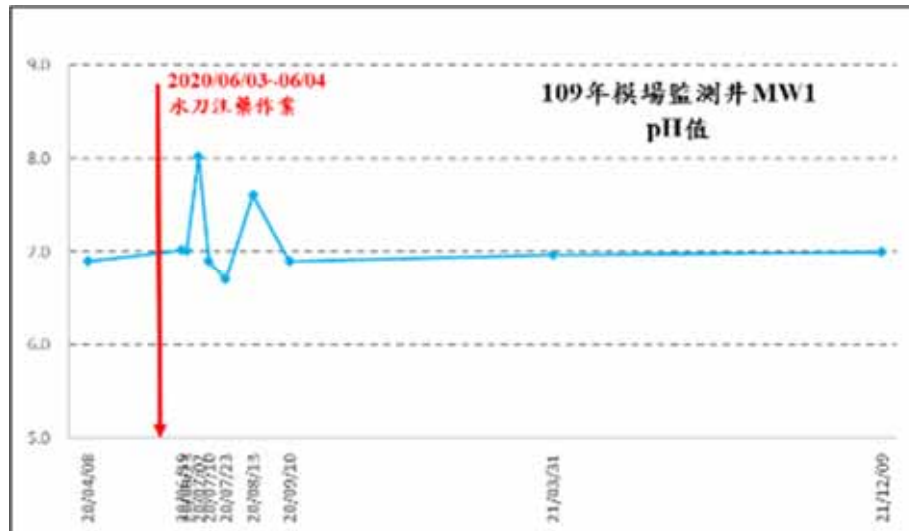


圖 5.6.1-1、109 年場址監測井 MW1 地下水 pH 值變化趨勢

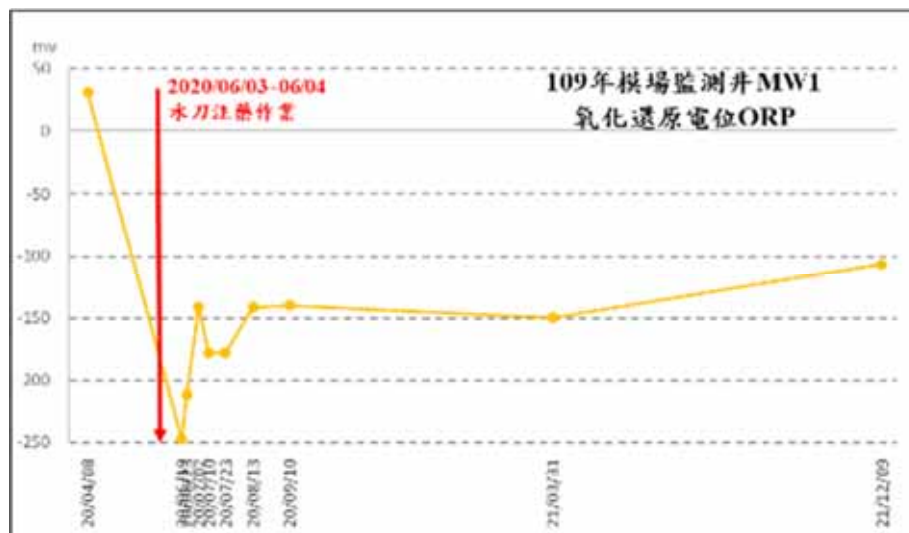


圖 5.6.1-2、109 年場址監測井 MW1 地下水 ORP 變化趨勢

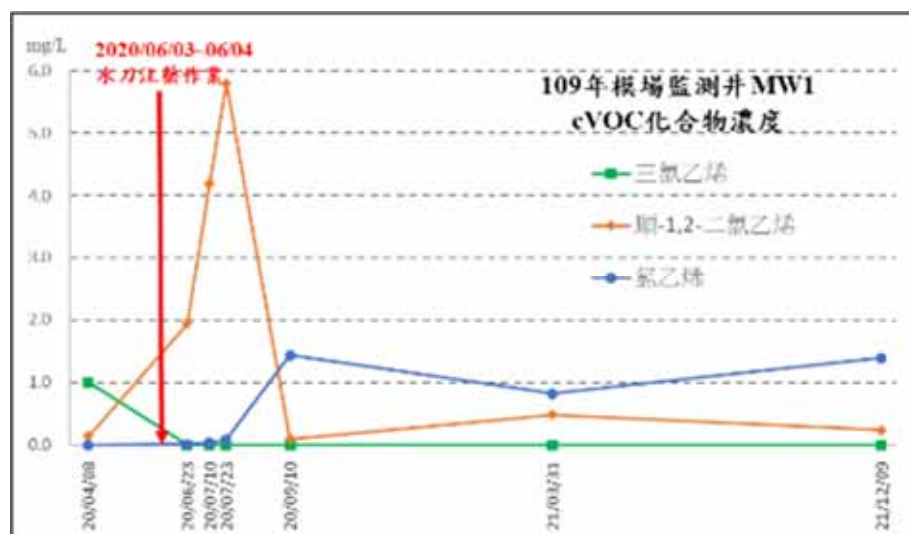


圖 5.6.1-3、109 年場址監測井 MW1 地下水含氯污染物濃度分佈變化趨勢

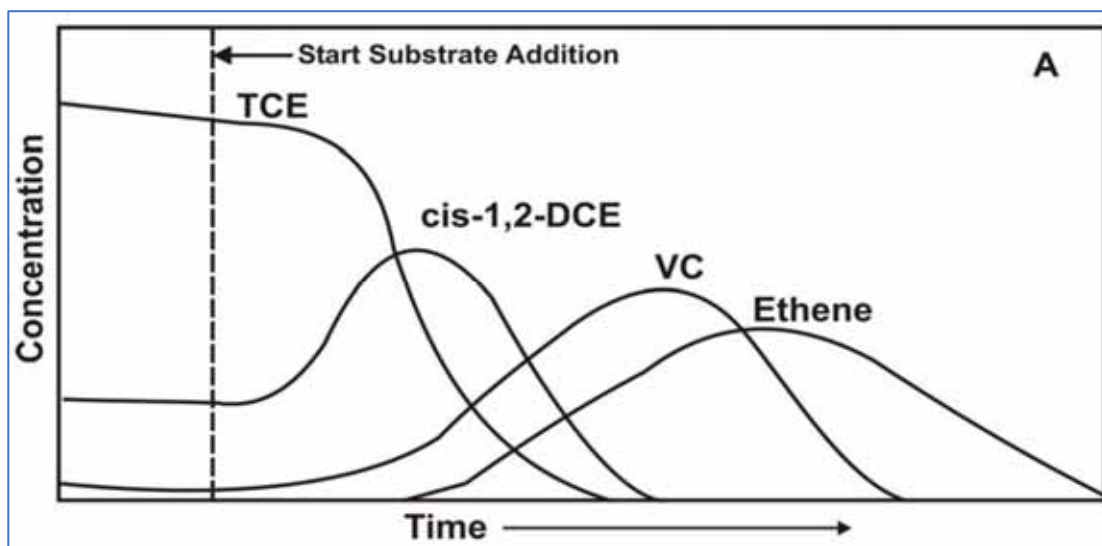


圖 5.6.1-4、脫氯序列降解導致氯烯類化合物濃度變化之概念模式^[18]

- 監測井 MW1地下水的順-1,2-二氯乙烯濃度呈現先升→後降趨勢，可能因為水刀注藥作業對影響半徑範圍內之地下環境造成擾動，讓佇留在低透水性土層的吸附相污染釋出至溶解相，產生反向擴散（Back Diffusion）→污染物濃度回升（Concentration Rebound）之現象，爾後再經由持續的脫氯生物降解作用被微生物分解，濃度下降至低於第二類地下水污染管制標準（0.70 mg/L）及監測標準（0.35 mg/L）。
- 另一副產物氯乙烯呈現先升→後降→再上升趨勢、且高氯化合物濃度皆已低於監測標準，顯示高氯化合物應已完成降解、場址地下水可能僅餘氯乙烯。此時根據最後一次監測結果，地下水 ORP 約-100 mV、不到-150 mV，同時總有機碳 TOC 濃度偏低，顯示地下環境條件可能已非微生物厭氧降解氯乙烯之最適狀態，致使氯乙烯降解效率降低。後續改善方案或可改採化學/物理/生物氧化法，針對氯乙烯做處理。
- 水刀注藥作業後，鄰近 MW1之既設監測井 R00672地下水濃度亦出現變化，且其變化符合脫氯序列降解導致氯烯類化合物濃度變化之概念模式，三氯乙烯明顯下降、順-1,2-二氯乙烯明顯上升、之前未測得的氯乙烯出現濃度，同時氧化還原電位 ORP 由正轉負（109年3月→9月：三氯乙烯0.975 mg/L→0.109 mg/L、順-1,2-二氯乙烯0.154 mg/L→0.954 mg/L、氯乙烯 ND→0.116 mg/L、ORP 63.0 mv→-221.4 mv）。既設監測井 R00672開篩範圍為2.8 m~20.8 m，地下水採樣位置為14 m。顯示因為該區域地質特性，9 m 以下為玢質砂土、砂土等透水性較佳的土壤質地，讓水刀注藥作業啟動生成之地下環境還原區域及厭氧生物降解反應，隨著 R00672長開篩篩管形成之垂直路徑向下傳輸。



水刀注藥技術強化含氯有機溶劑場址-生物整治模場試驗計畫(第二年)

- 地質化學指標參數中（表5.1-1），硫酸鹽濃度明顯下降（MW1水刀注藥試驗前後176 mg/L→3.57 mg/L），顯見水刀注藥將基質注入地下後，促使灌注位置下游生成還原區域，逐步由硝酸鹽還原→錳/鐵還原→硫酸鹽還原，直到脫氯菌最適的生長狀態：硫酸鹽還原與甲烷生成態之間^[4]（如示意圖5.6.1-5），此過程會將地下環境原有的硫酸鹽濃度還原殆盡。氯鹽則因為氯在脫氯過程中的釋出而濃度上升^[19]（MW1水刀注藥試驗前後62.6 mg/L→268 mg/L），因為基質注入地下環境啟動厭氧生物降解所造成此類地質化學指標參數之變化趨勢，如圖5.6.1-6所示。

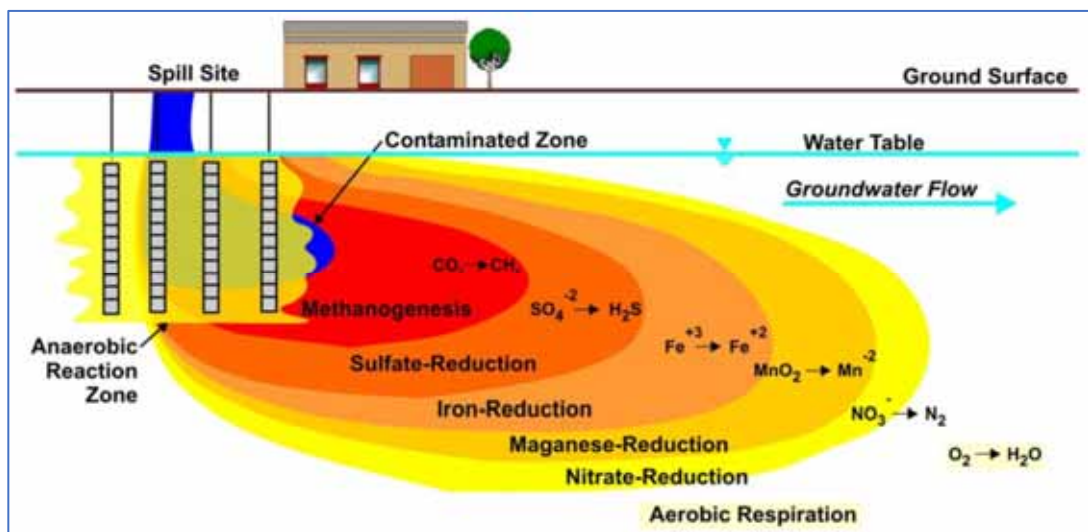


圖 5.6.1-5、基質灌注後促使灌注位置下游生成還原區域^[4]

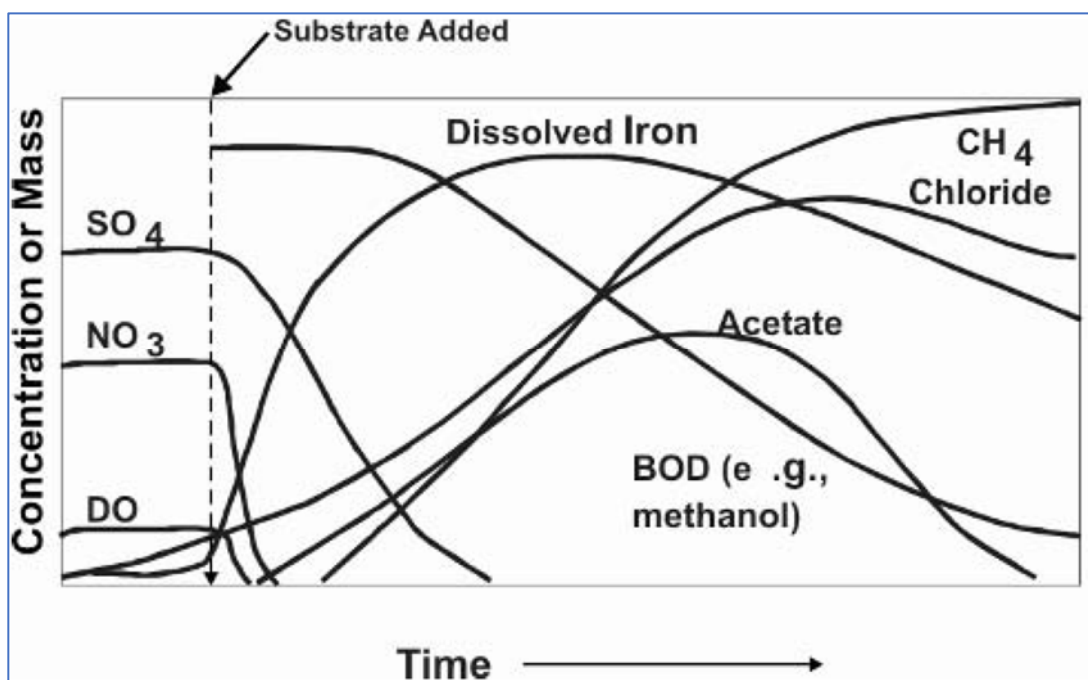


圖 5.6.1-6、有機碳基質厭氧生物降解造成之地質化學指標參數變化^[19]



5.6.2 110 年水刀注藥試驗成果探討

110 年場址各井口地下水酸鹼 pH 值與氧化還原電位 ORP 數值變化趨勢如圖 5.6.2-1 及圖 5.6.2-1 所示，監測井 D00640 以及地物井 GW02 污染物濃度變化趨勢如圖 5.6.2-3 及圖 5.6.2-4 所示。

- 厭氧還原脫氯反應過程中，因為基質添加發酵產生的小分子有機酸，以及發酵產生的氫氣加上脫氯過程的氯生成的鹽酸，皆會讓地下環境的 pH 值下降。pH 值若 < 6 ，脫氯菌群的生長及脫氯效率會受到抑制^{[18][19]}。故在加強式現地厭氧還原脫氯生物整治過程中，pH 值是否維持在中性範圍（6 ~ 8）至為關鍵。與109年相比較，109年場址監測井 MW1地下水 pH 值持續維在中性範圍（7.00）（圖5.6.1-1）。110與109年水刀注藥作業方式相同，將緩衝藥劑與長效型乳化油基質藥劑攪拌後一起注入試驗區，但110年試驗範圍4口井之地下水 pH 值，甚至偏高至鹼性（圖5.6.2-1）。此狀況可能源於污染來源新力美公司在108年5月至6月於那拔林段1014地號南側進行的現地化學氧化 ISCO 改善作業，以現地土壤混拌工法（ISM）注入氧化藥劑（過硫酸鈉與氫氧化鈉混合溶液），作業區域鄰近模場試驗區域。
- 水刀注藥作業前，110年場址監測井 D00640的氧化還原電位 ORP 監測結果 > 0 mv。水刀注藥作業後，110年場址模場試驗範圍4口井地下水的 ORP 於作業2周後即已降至 < 0 mv，且持續維持在 -100 mv ~ -500 mv 之還原狀態（圖5.4.3-1）。顯見乳化油基質添加至地下環境後，已啟動一系列的還原反應。
- 監測井 D00640地下水微生物分析持續測得脫鹵菌群，水刀注藥作業後族群數量增加；可降解氯烯類（*tceA*、*vcrA*、*bvcA*）、氯烷類（*dcaA*）以及氯苯類（*todC*）之功能性基因檢出的數量亦增加。顯示此試驗區地下環境中之微生物族群具有將地下水中污染物進行生物整治之能力。
- 由監測井 D00640長期監測結果觀之，此區域地下水污染物以1,2-二氯乙烷以及氯苯類化合物為主，豐枯水季濃度差異相當大。模場試驗前後，1,2-二氯乙烷濃度出現先升→後降之趨勢。可能因為水刀注藥作業對影響半徑範圍內之地下環境造成擾動，讓佇留在低透水性土層的吸附相污染釋出至溶解相，產生反向擴散（Back Diffusion）→污染物濃度回升（Concentration Rebound）之現象，爾後再經由持續的脫氯生物降解作用被微生物分解。



水刀注藥技術強化含氯有機溶劑場址-生物整治模場試驗計畫(第二年)

- 監測井 D00640在水刀注藥作業後，出現生物厭氧還原脫氯生物降解之副產物氯乙烯，濃度逐漸增加；最終產物乙烯與甲烷之濃度亦增加。顯示水刀注藥工法施作後，試驗區已經啟動加強式現地厭氧還原脫氯生物降解作用，逐步降解高氯化合物以及其副產物。惟監測期間較短，無法得知長期變化趨勢。
- 氯苯類化合物多呈現先升→後降、或濃度升高後持平趨勢。可能因為水刀注藥作業對影響半徑範圍內之地下環境造成擾動，讓佇留在低透水性土層的吸附相污染釋出至溶解相，產生反向擴散（Back Diffusion）→污染物濃度回升（Concentration Rebound）之現象。惟氯苯類化合物多採用好氧分解方式處理，而本次試驗使用之基質藥劑，處理機制為厭氧還原。此場址污染物種類較為複雜，後續改善方案或須採用整治列車（treatment train）概念，針對氯苯類污染物，進行化學/物理/生物氧化處理。
- 各項地質化學指標參數，監測井 D00640之總有機碳 TOC 從水刀注藥前的60 mg/L 增加至370 mg/L，顯示水刀注藥作業已將乳化油基質藥劑傳輸至標的區域。而硫酸鹽濃度明顯上升、氯鹽濃度下降，此趨勢與一般有機碳基質厭氧生物降解過程的地質化學指標參數變化趨勢相反。此狀況可能源於新力美公司在108年5月至6月於那拔林段1014地號南側進行的現地化學氧化 ISCO 改善作業，以現地土壤混拌工法（ISM）注入氧化藥劑（過硫酸鈉與氫氧化鈉混合溶液），因作業區域鄰近模場試驗區域，改變了模場試驗區域之地下環境狀態。

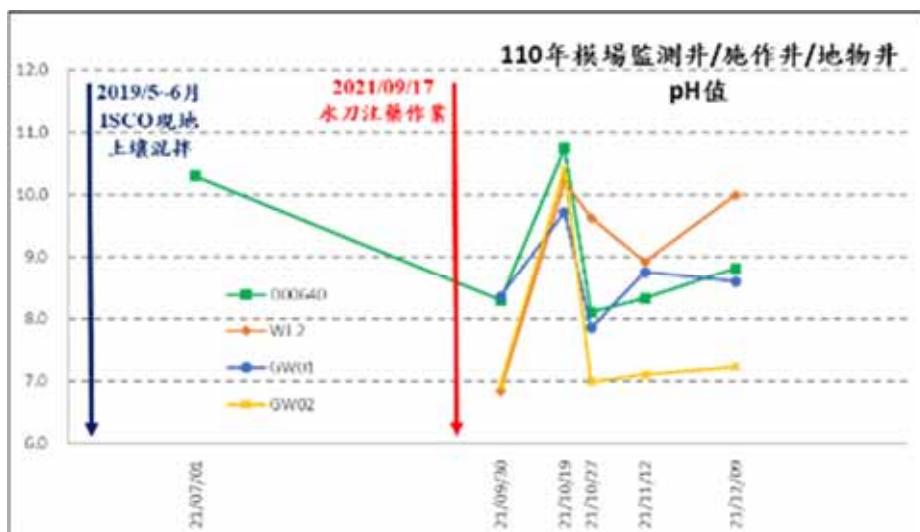


圖 5.6.2-1、110 年場址地下水 pH 值變化趨勢



第五章 結果與討論

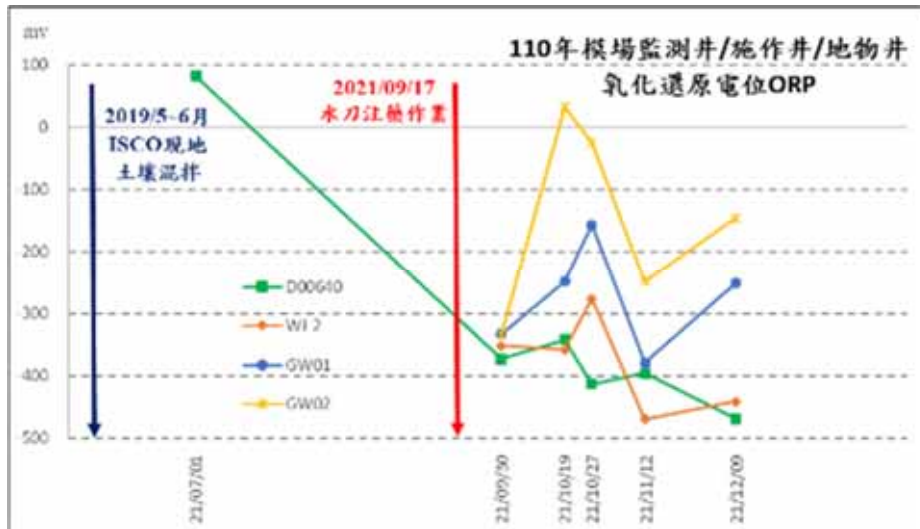


圖 5.6.2-2、110 年場址地下水 ORP 變化趨勢

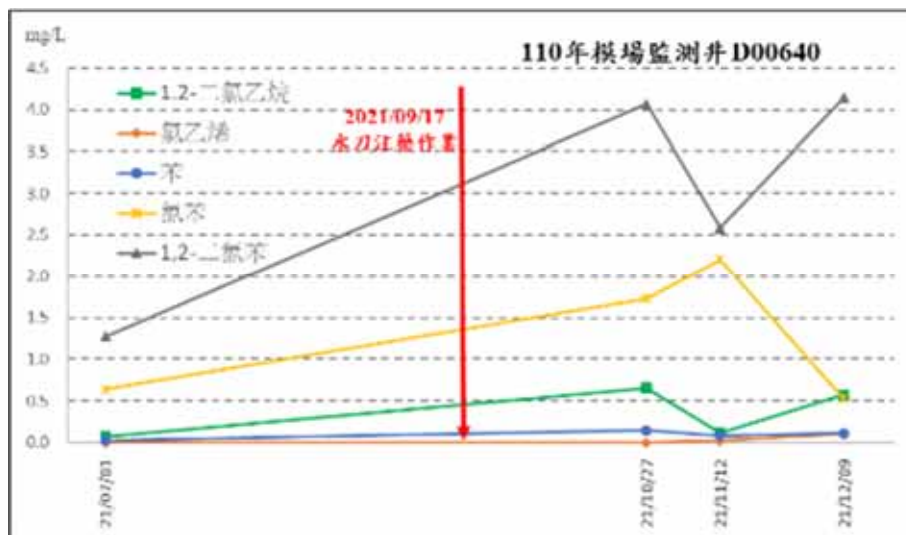


圖 5.6.2-3、110 年場址監測井 D00640 地下水污染物濃度分佈變化趨勢

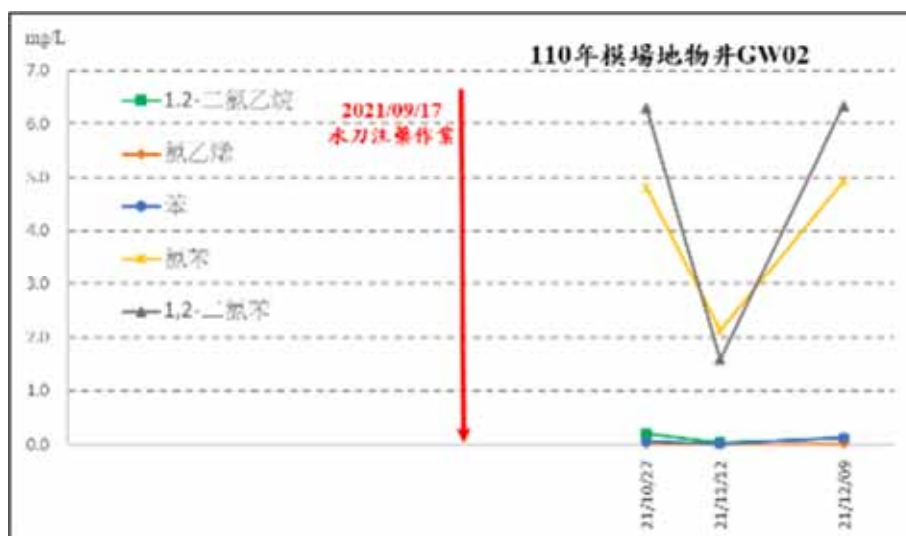


圖 5.6.2-3、110 年場址地物井 GW02 地下水污染物濃度分佈變化趨勢



5.6.3 綜合討論

- 110年使用跨孔式地電阻影像法 (CHERT)，量測電阻率變化觀測藥劑傳輸。結果顯示水刀注藥工法能在短時間內有效地將基質藥劑在預定深度傳輸至目標範圍。
- 模場試驗之設計參數參考日本模場案例^[11]進行，施作影響半徑為1 m (直徑2 m)、每30 cm 間隔進行單片水刀切割/藥劑灌注。日本的模場案例同樣使用長效型乳化油基質藥劑，惟未提及基質藥劑使用量以及工程成本。本計畫參考國內其他含氯污染場址經驗，根據試驗場址之水文地質特性、地下水一般項目濃度以及地下水含氯污染物濃度評估藥劑使用量。根據109年試驗成果，地下水三氯乙烯污染濃度在1 mg/L左右的小型場址，水刀注藥整體工程約在新台幣130萬元左右 (包含地質調查、機具動員進場離場、設備裝配、水刀注藥施作以及藥劑費用，不包含施作前後採樣分析監測費用)，可在1年半左右將三氯乙烯以及降解副產物順1,2-二氯乙烯處理至小於第二類地下水污染監測標準。
- 水刀注藥工法在固定深度位置切割出圓盤薄片狹縫空間後，再將基質藥劑注入。因是以固定間距進行此操作、而非以 soil mixing 混拌方式連續攪動，較無造成地盤軟化地層下陷之疑慮。且設計規劃時，僅在低透水層或高-低透水層夾雜互層之範圍內進行水刀切割注藥，故較無藥劑短流、污染物跨層傳輸之疑慮。圓盤薄片間距可視地層土壤質地及水力傳導係數 K 值進行調整，若是使用在黏土粉土質地之低透水層，可考慮降低圓盤薄片間距以及切割半徑，讓基質藥劑更能有效傳輸至污染物周邊。
- 傳統開篩注藥的影響半徑 (Radius of Influence, ROI) 可能規劃至2 m ~ 2.5 m，但在低透水層或是夾雜互層的土壤質地場址注藥時，常會出現優勢路徑或短流→基質藥劑無法有效傳輸至污染物周邊→污染物濃度反覆下降又回升，無法完成整治。水刀注藥工法則是以固定間距在固定深度位置切割出圓盤薄片狹縫空間後再注入基質藥劑，讓基質藥劑能在污染物區域均勻分布。
- 日本的案例^{[11][12]}及本計畫試驗因為皆為模場規模，考量鑽機設備作業能力，將施作影響半徑 ROI 規劃為1 m ~ 1.5 m。根據本計畫模場試驗結果，氯烯類污染場址，土壤質地為粉土/黏土、水力傳導 K 值為 10^{-6} m/s 的區域，水刀注藥以1 m ROI可得到良好成效。後續期在其他場址以不同操作參數，測試是否能擴大 ROI 至2 m ~ 2.5 m 以上。



- 土壤質地為粉土質黏土、粉土質黏土夾細砂、粉土質黏土夾砂質粉土、砂質粉土等透水性較低，採用固定開篩加壓/重力流灌注時，容易因為細砂存在形成優勢路徑、導致處理藥劑無法有效傳輸至污染物周邊的場址，適合採用水刀注藥進行基質藥劑灌注作業。
- 污染場址欲使用此技術時，建議先進行模場試驗、確認 ROI，再進行全場整治工程設計規劃。
- 承上，初步研擬水刀注藥工法執行之基礎 SOP 包括：
 - 收集場址背景資料，包括場址運作歷史、污染物種類、土壤及/或地下水污染物濃度、污染物分布範圍、地下水微生物菌相、水文地質資料（土壤質地、SPT-N 值、水力傳導係數 K 值、地下水流速流向等），了解場址概念模式。
 - 綜上因素，同時考量整治時程以及整治預算，判斷場址適用傳統灌注工法，或宜採用水刀注藥工法。
 - 於場址進行模場試驗確認水刀注藥施作各項參數，包括施作深度範圍、影響半徑等。
 - 進行全場（Full Scale）或特定區域水刀注藥灌注作業。
 - 進行後續監測與成效評估。
- 根據計畫執行經驗，水刀注藥作業之成效評估，建議使用場址地下水各項參數做為評估因子，包括作業前後之：
 - 現場水質參數如 pH 值、氧化還原電位 ORP 等；
 - 主要高氯污染物、低氯降解產物、以及最終降解產物乙烯甲烷的濃度變化趨勢與降解速度；
 - 微生物族群/功能性基因種類與濃度變化；以及
 - 地質化學各項指標參數如總有機碳 TOC、硫酸鹽、氯鹽等。
- 根據資料統計^[20]，地下水含氯有機污染尚未解除列管場址，污染種類以三氯乙烯、1,1-二氯乙烯等氯烯類污染為主，地下水三氯乙烯污染場址，已解列僅24處場址、未解列數量則達100處；整治時程約需5年至10年不等。各類含氯污染場址採用的整治方法約20多種，共計40處的解列場址中，採用生物整治方法完成解列者達12處之多，顯示國內含氯污染場址採用生物整治的比例不低。採用生物整治時，藥劑灌注的傳輸效率至為關鍵。



水刀注藥技術強化含氯有機溶劑場址-生物整治模場試驗計畫(第二年)

- 在低透水性區域、或高-低透水性夾雜互層的地層，水刀注藥作業會對影響半徑範圍內地下環境造成擾動，讓佇留在低透水性土層的吸附相污染釋出至溶解相，而產生反向擴散（Back Diffusion）→污染物濃度回升（Concentration Rebound）之現象。對於正在進行改善作業、但是地下水污染物濃度反覆出現下降→回升→下降→回升的場址，若採用水刀注藥工法，或能經由切割/灌注作業過程中造成的擾動，讓佇留在低透水性土層的吸附相污染釋出。如此或許會造成溶解相污染物濃度在短時間內大幅回升，但就整體整治進程而言，縮短了反覆處理濃度 rebound 現象之次數；於此同時，水刀注藥作業可以讓基質藥劑更有效的傳輸至污染物周邊。從而助於縮短整治時程、降低整治成本。故就社會經濟發展效益而言，可促進場址的土地利用效率。
- 後續暨能以氯烯/氯烷類之運作中工廠污染場址進行試驗，進一步了解水刀注藥工法於運作中場址之可行性與適用性。

5.7 水刀注藥工法成效評估

109 年模場計畫監測井 MW1 地下水三氯乙烯濃度，已從試驗前之 1 mg/L 降低至小於第二類地下水污染管制標準（0.05 mg/L）及監測標準（0.025 mg/L）；降解產物順-1,2-二氯乙烯濃度則先昇後降，試驗 18 個月後監測結果顯示同樣已降低至小於第二類地下水污染管制標準（0.70 mg/L）及監測標準（0.35 mg/L）。顯見水刀注藥工法已成功啟動受污染區域之現地厭氧還原脫氯生物降解作用，完成三氯乙烯污染整治。氯烯類污染場址土壤質地為粉土/黏土、水力傳導 K 值為 10^{-6} m/s 範圍的區域，水刀注藥以 1 m 影響半徑施作，可得到良好成效。

由模場試驗結果顯示，水刀注藥工法施作後，受污染區域已經有效的啟動並持續進行加強式現地厭氧還原脫氯生物降解作用。意即水刀注藥工法與一般注藥工法相比，可在低透水性區域或高-低透水性夾雜互層的地層，讓基質藥劑有效的傳輸到污染物周邊，故能有效的處理此類地層的氯烯類有機溶劑污染。

就整體整治進程而言，水刀注藥工法可縮短反覆處理 rebound 的次數、從而縮短整治時程、降低整治成本。故就社會經濟發展效益而言，可促進場址土地利用效率。



第六章 參考文獻

- [1] 行政院環保署，「全國土壤及地下水污染整治策略旗艦領航計畫」期末報告，2014。
- [2] Huling, S. G., and Weaver, J. (1991) *Dense Non-Aqueous Phase Liquids*. EPA Ground Water Issue Paper, EPA/540/4-91-002.
- [3] EPA (1998). *Technical Protocol for Evaluating Natural Attenuation of Chlorinated Solvents in Groundwater*. EPA/600/R-98/128.
- [4] AFCEE, NFESC, and ESTCP. (2004) *Principles and Practices of Enhanced Anaerobic Bioremediation of Chlorinated Solvents*. Prepared by Parsons Infrastructure & Technology Group, Inc.
- [5] 伊藤圭二郎，川端淳一. (2004) DNAPL 浸透挙動とその浄化対策について. 土と基礎 52 (10), 18-20.
- [6] 山野辺純一，上沢進，吉川美穂，Borden A., Yeh M. (2013) ウォータージェット技術を用いた難透水性汚染土壌の原位置バイオ浄化. 第 19 回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集, 242-244.
- [7] 山野辺純一，上沢進，Borden R. C., Yeh M. (2014) ウォータージェット技術を用いた難透水性汚染土壌の原位置バイオ浄化（その 2）. 第 20 回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集, 69-70.
- [8] 上沢進，山野辺純一，Borden R. C., Yeh M. (2014) 難透水層を対象とした原位置バイオ浄化技術. 日本工業出版 環境浄化技術 Vol. 13 No. 5, 62-67.
- [9] 上沢進，樋上裕之，山野辺純一，Borden A., Yeh M (2018) ウォータージェット技術を用いた難透水性汚染土壌の原位置バイオ浄化（その 3）. 第 24 回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集, 240-243.
- [10] 上沢進，張銘，駒井武. (2019) 難透水性地盤におけるバイオレメディエーションのための浄化促進剤投入方式－基本性能に関する理論的検討. 地盤工学ジャーナル Vol. 14 No.2, 141-148.
- [11] 上沢進，張銘，Borden R. C., 駒井武. (2019) 難透水性地盤におけるバイオレメディエーションのための浄化促進剤投入方式ウォータージェットを用いた現場実証試験. 地盤工学ジャーナル Vol. 14 No. 2, 149-159.



水刀注藥技術強化含氯有機溶劑場址-生物整治模場試驗計畫(第二年)

- [12] 山野辺純一, 上沢進, 高柳克也, 石川憲俊, 橋本宜幸, 永久亮. (2021) ウォータージェット技術を用いた難透水性汚染土壌の原位置バイオ浄化の施工事例. 第26回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集, 256-261.
- [13] Robert C. Borden. (2007) *Effective distribution of emulsified edible oil for enhanced anaerobic bioremediation*. Journal of Contaminant Hydrology 94 (2007) 1-12.
- [14] 臺南市政府環境保護局, 「109 年度臺南市土壤及地下水污染調查及查證工作計畫」新化區那拔林段 1003-11、1014、1015 地號土壤及地下水查證成果報告, 2020 年 12 月。
- [15] 新力美科技股份有限公司, 「臺南市新化區那拔林段 1001-1 地號等 18 筆土地土壤及地下水污染整治計畫書第三次變更(公開陳列版)」, 2021 年 4 月。
- [16] 行政院環保署, 「地球物理探勘應用於土壤及地下水污染場址之調查驗證作業及整治技術評估計畫」期末報告, 2014 年 12 月(第一期)、2017 年 1 月(第二期)。
- [17] Zhou, B. and Greenhalgh, S.A. (1997) *A synthetic study on cross-hole resistivity imaging with different electrode arrays*. Exploration Geophysics, 28 (1), 1-5.
- [18] ESTCP. (2006) *Protocol for Enhanced In Situ Bioremediation Using Emulsified Edible Oil*. Prepared by Solutions-IES, Inc.
- [19] AFCEE. (2007) *Protocol for In Situ Bioremediation of Chlorinated Solvents Using Edible Oil*. Prepared by Solutions IES, Inc., Terra Systems, Inc., and Parsons Infrastructure & Technology Group, Inc.
- [20] 林財富、薛欣達、施智軒、王炳南, 「DNAPL 污染場址整治技術之發展」台灣土壤及地下水環境保護協會第 11 屆第 1 次會員大會, 2021 年 1 月。
- [21] 行政院環保署土壤及地下水污染整治基金管理會, 「列管場址查詢」網頁, <<https://sgw.epa.gov.tw/ContaminatedSitesMap/Default.aspx>>。



附件 1
地質鑽探資料

中国科学院植物研究所图书馆
北京 100871
电话 010-64033438

知 照 公 署 查 照 在 案

水污染控制工程分章及课时分配建议(生物脱氮法课程试验设计)(二年)		
地質調查報告		
目 录	页 数	
目 录	1	
附图目录	1	
附表目录	1	
第一章 前言	1	
第二章 工作內容	2	
第三章 地質調查與地質試驗室土壤試驗		
3.1 地質概況	3	
3.2 地質地質調查	3	
3.3 試驗室土壤試驗	3	
第四章 地質地質及地下水狀況	7	
4.1 地質地質	7	
4.2 地質地質分佈狀況	7	
4.3 地質地質分佈狀況	7	
附圖一 鑽探孔柱圖	A-1	
附圖二 地下水位動態記錄	B-1	
附圖三 地質地質試驗結果	C-1	
附圖四 地質地質分佈圖	D-1	

附圖目錄		頁次
圖3.1 填站地理位置示意圖	4	4
圖3.2 填站標孔位置圖	5	5
圖4.1 區域地質圖	8	8

附表目录	页次
表3.1 现场检测数据及试验数量统计表	6
表3.2 试验室试验项目及数量统计表	6
表4.1 主梁合拢状态表	9

第一章 前言

實主觀於苗栗縣鄉道竹山段131地號土地進行「承力法技術評估作業」有幾項測試結果一生動型活組織試驗計畫(第二年)。(以下簡稱本計畫)。為了解本縣地質災害分佈狀況，特委託紅土工程建築有限公司(以下簡稱紅土公司)進行該項地質調查工作。本縣地質調查工作於民國一〇一四年四月二十三日開始，於四月完成。隨即進行試驗室試驗及資料彙整工作，茲完成全部工作，並提出本報告。

鑽孔編號	鑽探深度					鑽探深度 入試驗 (m)	鑽探深度 入試驗 (m)
	0.5m	1.0m	1.5m	2.0m	合計		
B-1	2.1	3.7	7.6	9.83	23.23	12	4
總計	2.1	3.7	7.6	9.83	23.23	12	4

表3.2 試驗室試驗項目及數量統計表

项 目	数量、组
一般物理性试验	4

第四章 福建地層及地下水概況

4.1 區域地質狀況

本場址位於隴江二工區內，上部地層屬於全新世沖積層，其土層組成為砂土、卵礫石，下部地層屬於更新世殘積山層，其土層組成為砂岩、泥岩及頁岩。詳圖4.1區域地質圖。

4.2 场址地质分带状况

根據現場調查資料及試驗室試驗結果綜合研判，本場址內地層主要為砂質粉土及粉質粘土，以中硬土為主。

(7)第一層次：田壤層為棕色及紅灰色砂土夾砂礫石、碎塊等雜物，其厚度約為2.10公尺，N值的為8。

(2)第二層次：為灰色粉土質砂土層，其厚度約為3.7公尺， N_{60} 值介於12-30之間。

(3)第三層土：為粉砂土層夾細砂層及色砂土層，其厚度約為7.6公尺，
N值均大於50。

附錄一顯示本場址地層分佈狀況，綜合場址內鑽孔及試驗資料經排列及簡化後，主要分佈狀況詳表4.1。

4.3 場址地下水補償狀況

本次場址調查期間利用鑽探完成後於鑽孔中量測得知地下水位的在地表下4.7公尺左右。

本工作服務之範圍包括下列各項：

- 1.地質鑽探—本工程於場址內鑽探一個鑽孔以獲取土層及地下水等資料。
- 2.試驗室試驗—場址內鑽孔取得之樣品送至試驗室進行相關試驗。
- 3.現場資料整理及研判—場址內鑽孔取得之地層資料經整理後，彙整本場址地層分佈狀況。

第三章 现场调查与实验室土壤试验

3.1 確証形式

本場址位於二塘村工業區內，其地理位置如圖3.1所示。本場址面積約6709.26平方米。場址北側、西側與南側為既有道路，東側為空地，目前場址內為一空地，其地長大致平穩。

3.2 場址環境調查

本試驗方法說明書的工作項目內設置鑽孔一孔,其中兩面並表示於圖3.2中。鑽孔之方法視地質之變化而需要,採用適當機器將水洗法進行鑽探。鑽探過程中每隔2.0公分之變化點處均進行標準人試驗確認N值資料,並取適當土樣以作上述一般物理性質試驗之用。鑽探完成後於鑽孔中進行水壓觀測以獲得地下水水位之深度。有關開闢鑽探孔數及試驗之數目詳列於表3.1所示。鑽探孔柱數目於附錄一。地下水壓觀測結果詳見附錄二。現場抽水試驗詳見附錄四。

3.3 試驗室試驗

備採時取得之樣體經妥善運送後，送至試驗室進行相關試驗。奉命試驗工作之項目及數量如表3.2所示。試驗結果詳列於附錄三。

图 5-1 网络环境配置示意图



图 3-2 网络图与计划表



图 4-11 轴测投影图

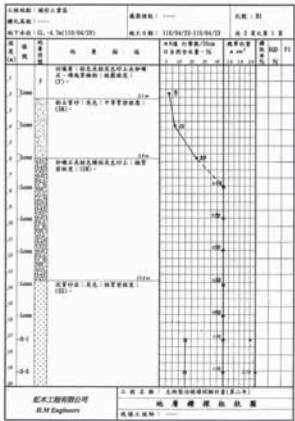
層次	深度範圍 (公尺)	地層岩性 說明	厚度	γ (t/m^3)
一	2.1	砂壤層	8	1.90*
二	5.8	粘土質砂土	12~18	2.08*
三	13.4	砂壤土及 砂壤土層	>50	2.20*
四	23.23 (19.6)	泥質砂岩	>50	2.18

(上表「 θ 」之數值為估計值。



附錄一 鑽孔孔位圖

A-1



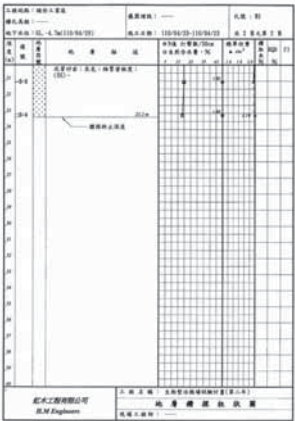
A-2

圖名	圖號	比例尺	圖例	圖說
附錄二 試驗室試驗結果	100/100	1:1	100/100	100/100

B-2

附錄三 試驗室試驗結果

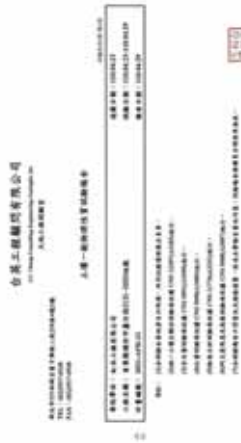
C-1



A-3

附錄二 地下水觀測記錄

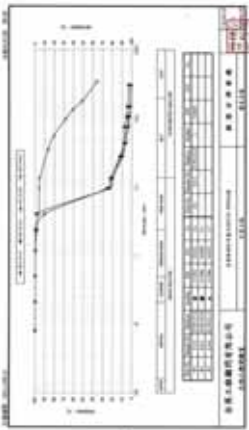
B-1



B-2



B-3



B-4

附錄四 現場照片

D-1

台南市新化區龍拔林 1014 地質地質調查 地質鑽探成果報告書

委託單位：森品環境科技股份有限公司
執行單位：台灣檢驗科技股份有限公司高雄分公司
中華民國 110 年 7 月



目 錄

目錄	1
圖目錄	11
表目錄	11
第一章 前言	1-1
第二章 基地現況及土壤調查概況	2-1
2.1 基地現況調查概況	2-1
2.2 基地土壤調查工作	2-1
2.3 鑽探取樣方式與步驟	2-1
2.4 土壤一般物理性質試驗	2-1
2.5 土壤力學性質試驗	2-3
2.6 現地試驗	2-4
第三章 基地土壤分佈及地下水概況	3-1
3.1 基地土壤分佈及工程性質	3-1
3.2 地下水概況	3-1
第四章 基礎型式分析與建議	4-1
4.1 基礎型式選擇	4-1
4.2 基礎承载力分析	4-1
附錄 A 鑽孔柱狀圖	
附錄 B 土壤一般物理性質試驗結果	
附錄 C 土壤直接剪力試驗及土壤側壓試驗結果	
附錄 D 岩心照片	
附錄 E 現場鑽探施工照片	

I

圖 目 錄

圖 1.1 基地位置	1-2
圖 2.1 鑽孔位置示意圖	2-3
圖 3.1 地層柱狀圖	3-3

表 目 錄

表 2.1 鑽探深度及地層統計表	2-4
表 2.2 土壤及 SPT-N 值之相關性	2-4
表 3.1 鑽孔土層厚度及工程參數表	3-4
表 4.1 承载力計算表	4-3
表 4.2 各層影響因素之計算式(Modified from Meyerhof 1983)	4-3

II

第一章 前言

森品環境科技股份有限公司以下簡稱「森品」為了解台南市新化區龍拔林 1014 地質、地層地質狀況，特委託台灣檢驗科技股份有限公司高雄分公司材料工程實驗室(以下簡稱「台檢高」)負責本基地地質鑽探及相關試驗等工程調查工作。本報告係根據台檢高所提之鑽探紀錄及試驗結果，並參照相關規範及標準，由委託單位森品環境科技股份有限公司(以下簡稱「森品」)編撰而成。報告內容如下：

1-1



B-5

地下车库环境记录报告(微生物)

报告编号: 2023-08-01-001 | 检测日期: 2023年8月1日 | 检测地点: 地下车库A区

检测目的: 评估地下车库环境微生物污染水平, 为环境管理提供依据。

检测项目: 细菌总数、霉菌总数、真菌总数、大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、革兰氏阳性菌、革兰氏阴性菌。

检测方法: 平板计数法、显微镜观察法、PCR-ELISA法。

检测结果:

检测项目	检测单位	检测结果	标准限值
细菌总数	CFU/g	1.2 × 10 ⁵	≤ 1.0 × 10 ⁵
霉菌总数	CFU/g	5.0 × 10 ³	≤ 5.0 × 10 ³
真菌总数	CFU/g	1.5 × 10 ⁴	≤ 1.0 × 10 ⁴
大肠杆菌	CFU/g	2.0 × 10 ²	≤ 1.0 × 10 ²
金黄色葡萄球菌	CFU/g	1.0 × 10 ³	≤ 1.0 × 10 ³
革兰氏阳性菌	CFU/g	1.0 × 10 ⁴	≤ 1.0 × 10 ⁴
革兰氏阴性菌	CFU/g	1.0 × 10 ⁴	≤ 1.0 × 10 ⁴

结论: 地下车库环境微生物污染水平处于中等, 建议加强环境清洁和消毒工作。

备注: 本报告仅供参考, 不作为法律依据。检测单位: 环境检测中心。

探採位置記錄表

探採地點：內政部地政司地籍測量所 探採日期：2019年06月03日

探採位置編號	點位座標		點位高度	點位說明
	經度	緯度		
1	120° 14' 5.12"	22° 52' 15.12"	10.0	探採點
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32				
33				
34				
35				
36				
37				
38				
39				
40				
41				
42				
43				
44				
45				
46				
47				
48				
49				
50				
51				
52				
53				
54				
55				
56				
57				
58				
59				
60				
61				
62				
63				
64				
65				
66				
67				
68				
69				
70				
71				
72				
73				
74				
75				
76				
77				
78				
79				
80				
81				
82				
83				
84				
85				
86				
87				
88				
89				
90				
91				
92				
93				
94				
95				
96				
97				
98				
99				
100				

探採人員：王明達

探採日期：2019年06月03日

台灣檢驗科技股份有限公司
地址：台北市中山路100號11樓（中山路與南京路交界處）

[illegible]

北京福松科技发展有限公司
北京市海淀区中关村大街111号1108室100081



A blank sheet of graph paper with a grid pattern. The top right corner contains a small box with the text "KAROLINA" and some numbers. The bottom left corner has a small logo.

[illegible]

特種第三遊覽區 		
		圖書室 圖書室位於本館二樓 歡迎參觀及借閱 電話：02-2651-1111

北京福松科技发展有限公司
FUSONG TECHNOLOGY CO., LTD.
北京市海淀区中关村大街100号
德胜国际中心B座1008室



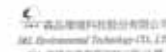
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13</																																																																																							

台灣檢驗科技股份有限公司
11066 台北市內湖區瑞光路二段101號11樓1106室

[illegible][illegible][illegible]

高品質材料製造有限公司 敬啟者

姓名： 性别： 年龄：
 籍贯： 民族：
 职业： 学历：
 婚姻状况：
 联系电话： 电子邮箱：



地址: 400016 中国重庆 电话: 86-23-63714118 电邮: jianli@china.com.cn

檢定報告書目錄			
順 号	資料名稱	頁 数	合 計 頁 数
1	1. 検定の目的		2
2	2. 検定標準の確立		2
	2.1 検定標準の選定（検定手続）		2
	2.2 検定標準の選定理由		2
	2.3 検定標準の選定方法		2
	2.4 検定標準の選定結果		2
	2.5 検定標準の選定理由		2
	2.6 検定標準の選定結果		2
3	3. 検定結果		2
4	4. 検定結果の検定結果の検定結果		2
	4.1 検定結果の検定結果の検定結果		2
	4.2 検定結果の検定結果の検定結果		2
	4.3 検定結果の検定結果の検定結果		2
	4.4 検定結果の検定結果の検定結果		2
5	5. 検定結果		2
6	6. 検定結果		2
7	7. 検定結果		2
8	8. 検定結果		2
9	9. 検定結果		2
10	10. 検定結果		2
11	11. 検定結果		2
12	12. 検定結果		2
13	13. 検定結果		2
14	14. 検定結果		2
15	15. 検定結果		2
16	16. 検定結果		2
17	17. 検定結果		2
18	18. 検定結果		2
19	19. 検定結果		2
20	20. 検定結果		2
21	21. 検定結果		2
22	22. 検定結果		2
23	23. 検定結果		2
24	24. 検定結果		2
25	25. 検定結果		2
26	26. 検定結果		2
27	27. 検定結果		2
28	28. 検定結果		2
29	29. 検定結果		2
30	30. 検定結果		2
31	31. 検定結果		2
32	32. 検定結果		2
33	33. 検定結果		2
34	34. 検定結果		2
35	35. 検定結果		2
36	36. 検定結果		2
37	37. 検定結果		2
38	38. 検定結果		2
39	39. 検定結果		2
40	40. 検定結果		2
41	41. 検定結果		2
42	42. 検定結果		2
43	43. 検定結果		2
44	44. 検定結果		2
45	45. 検定結果		2
46	46. 検定結果		2
47	47. 検定結果		2
48	48. 検定結果		2
49	49. 検定結果		2
50	50. 検定結果		2
51	51. 検定結果		2
52	52. 検定結果		2
53	53. 検定結果		2
54	54. 検定結果		2
55	55. 検定結果		2
56	56. 検定結果		2
57	57. 検定結果		2
58	58. 検定結果		2
59	59. 検定結果		2
60	60. 検定結果		2
61	61. 検定結果		2
62	62. 検定結果		2
63	63. 検定結果		2
64	64. 検定結果		2
65	65. 検定結果		2
66	66. 検定結果		2
67	67. 検定結果		2
68	68. 検定結果		2
69	69. 検定結果		2
70	70. 検定結果		2
71	71. 検定結果		2
72	72. 検定結果		2
73	73. 検定結果		2
74	74. 検定結果		2
75	75. 検定結果		2
76	76. 検定結果		2
77	77. 検定結果		2
78	78. 検定結果		2
79	79. 検定結果		2
80	80. 検定結果		2
81	81. 検定結果		2
82	82. 検定結果		2
83	83. 検定結果		2
84	84. 検定結果		2
85	85. 検定結果		2
86	86. 検定結果		2
87	87. 検定結果		2
88	88. 検定結果		2
89	89. 検定結果		2
90	90. 検定結果		2
91	91. 検定結果		2

[illegible][illegible]

400 000 000 000

[illegible]

品高博得科技股份有限公司
基礎信息

暫定資本總額：100,000,000
總股本數：10,000,000 股
股份：全部為普通股
發行方式：全部為公開發行

序	股東名稱	股數	股權比例	序	股東名稱	股數	股權比例
1	品高博得	10,000,000	100%				
2	品高博得	10,000,000	100%				
3	品高博得	10,000,000	100%				
4	品高博得	10,000,000	100%				
5	品高博得	10,000,000	100%				
6	品高博得	10,000,000	100%				
7	品高博得	10,000,000	100%				
8	品高博得	10,000,000	100%				
9	品高博得	10,000,000	100%				
10	品高博得	10,000,000	100%				
11	品高博得	10,000,000	100%				
12	品高博得	10,000,000	100%				
13	品高博得	10,000,000	100%				
14	品高博得	10,000,000	100%				
15	品高博得	10,000,000	100%				
16	品高博得	10,000,000	100%				
17	品高博得	10,000,000	100%				
18	品高博得	10,000,000	100%				
19	品高博得	10,000,000	100%				
20	品高博得	10,000,000	100%				
21	品高博得	10,000,000	100%				
22	品高博得	10,000,000	100%				
23	品高博得	10,000,000	100%				
24	品高博得	10,000,000	100%				
25	品高博得	10,000,000	100%				
26	品高博得	10,000,000	100%				
27	品高博得	10,000,000	100%				
28	品高博得	10,000,000	100%				
29	品高博得	10,000,000	100%				
30	品高博得	10,000,000	100%				
31	品高博得	10,000,000	100%				
32	品高博得	10,000,000	100%				
33	品高博得	10,000,000	100%				
34	品高博得	10,000,000	100%				
35	品高博得	10,000,000	100%				
36	品高博得	10,000,000	100%				
37	品高博得	10,000,000	100%				
38	品高博得	10,000,000	100%				
39	品高博得	10,000,000	100%				
40	品高博得	10,000,000	100%				
41	品高博得	10,000,000	100%				
42	品高博得	10,000,000	100%				
43	品高博得	10,000,000	100%				
44	品高博得	10,000,000	100%				
45	品高博得	10,000,000	100%				
46	品高博得	10,000,000	100%				
47	品高博得	10,000,000	100%				
48	品高博得	10,000,000	100%				
49	品高博得	10,000,000	100%				
50	品高博得	10,000,000	100%				
51	品高博得	10,000,000	100%				
52	品高博得	10,000,000	100%				
53	品高博得	10,000,000	100%				
54	品高博得	10,000,000	100%				
55	品高博得	10,000,000	100%				
56	品高博得	10,000,000	100%				
57	品高博得	10,000,000	100%				
58	品高博得	10,000,000	100%				
59	品高博得	10,000,000	100%				
60	品高博得	10,000,000	100%				
61	品高博得	10,000,000	100%				
62	品高博得	10,000,000	100%				
63	品高博得	10,000,000	100%				
64	品高博得	10,000,000	100%				
65	品高博得	10,000,000	100%				
66	品高博得	10,000,000	100%				
67	品高博得	10,000,000	100%				</



[illegible][illegible]

SGS

[illegible][illegible]

SGS

SGS 香港有限公司
香港新界沙田新田圍街18號

SGS 中國有限公司
上海南京路100號

SGS 廣州有限公司
廣州沙面一號

SGS 北京有限公司
北京東直門外大街1號

SGS 天津有限公司
天津法租界1號

SGS 香港有限公司
香港新界沙田新田圍街18號

SGS 中國有限公司
上海南京路100號

SGS 廣州有限公司
廣州沙面一號

SGS 北京有限公司
北京東直門外大街1號

SGS 天津有限公司
天津法租界1號

SGS 香港有限公司
香港新界沙田新田圍街18號

SGS 中國有限公司
上海南京路100號

SGS 廣州有限公司
廣州沙面一號

SGS 北京有限公司
北京東直門外大街1號

SGS 天津有限公司
天津法租界1號

SGS 香港有限公司
香港新界沙田新田圍街18號

SGS 中國有限公司
上海南京路100號

SGS 廣州有限公司
廣州沙面一號

SGS 北京有限公司
北京東直門外大街1號

SGS 天津有限公司
天津法租界1號

SGS 香港有限公司
香港新界沙田新田圍街18號

SGS 中國有限公司
上海南京路100號

SGS 廣州有限公司
廣州沙面一號

SGS 北京有限公司
北京東直門外大街1號

SGS 天津有限公司
天津法租界1號

SGS 香港有限公司
香港新界沙田新田圍街18號

SGS 中國有限公司
上海南京路100號

SGS 廣州有限公司
廣州沙面一號

SGS 北京有限公司
北京東直門外大街1號

SGS 天津有限公司
天津法租界1號

[illegible][illegible][illegible][illegible][illegible]

SGS

SGS
Société Générale de Surveillance

1201 Avenue des Capucines
1202 Geneva 14
Switzerland

Tel: +41 (0)22 714 7111
Fax: +41 (0)22 714 7144
E-Mail: info@sgs.ch
Web: www.sgs.ch

SGS

SGS
Société Générale de Surveillance

1201 Avenue des Capucines
1202 Geneva 14
Switzerland

Tel: +41 (0)22 714 7111
Fax: +41 (0)22 714 7144
E-Mail: info@sgs.ch
Web: www.sgs.ch

SGS

SGS
Société Générale de Surveillance

1201 Avenue des Capucines
1202 Geneva 14
Switzerland

Tel: +41 (0)22 714 7111
Fax: +41 (0)22 714 7144
E-Mail: info@sgs.ch
Web: www.sgs.ch

SGS

SGS
Société Générale de Surveillance

1201 Avenue des Capucines
1202 Geneva 14
Switzerland

Tel: +41 (0)22 714 7111
Fax: +41 (0)22 714 7144
E-Mail: info@sgs.ch
Web: www.sgs.ch

[illegible][illegible]



SGS

SGS
Société Générale de Surveillance

Client: XXXXXXXXXX

Ref: XXXXXXXXXX

Date: XXXXXXXXXX

Order: XXXXXXXXXX

Lot: XXXXXXXXXX

Exp: XXXXXXXXXX

No.	Description	Unit	QTY	Price	Total
1	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
2	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
3	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
4	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
5	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
6	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
7	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
8	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
9	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
10	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
11	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
12	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
13	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
14	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
15	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
16	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
17	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
18	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
19	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
20	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
21	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
22	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
23	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
24	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
25	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
26	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
27	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
28	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
29	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
30	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
31	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
32	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
33	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
34	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
35	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
36	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
37	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
38	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
39	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
40	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
41	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
42	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
43	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
44	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
45	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
46	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
47	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
48	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
49	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
50	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
51	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
52	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
53	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
54	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
55	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
56	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
57	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
58	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
59	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
60	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
61	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
62	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
63	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
64	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
65	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	1000.00
66	XXXXXXXXXX	kg	100	10.00	

SGS

SGS 臺灣檢驗科技股份有限公司
SGS Taiwan Inspection Technology Co., Ltd.

地址：臺北市松山區復興南路一段100號
電話：(02) 2707-8888 傳真：(02) 2707-8899

SGS 中國檢驗有限公司
SGS China Inspection Technology Co., Ltd.

地址：中國廣東省深圳市羅湖区文錦中路1001號
電話：(0755) 2551-8888 傳真：(0755) 2551-8899

SGS 香港檢驗有限公司
SGS Hong Kong Inspection Technology Co., Ltd.

地址：香港新界沙田新城市廣場二期二樓二樓二樓
電話：(852) 2612-8888 傳真：(852) 2612-8899

SGS 廣州檢驗有限公司
SGS Guangzhou Inspection Technology Co., Ltd.

地址：中國廣東省廣州市天河区珠江新城
電話：(020) 3880-8888 傳真：(020) 3880-8899

SGS 上海檢驗有限公司
SGS Shanghai Inspection Technology Co., Ltd.

地址：中國上海市南京路
電話：(021) 2388-8888 傳真：(021) 2388-8899

SGS 北京檢驗有限公司
SGS Beijing Inspection Technology Co., Ltd.

地址：中國北京市朝陽區
電話：(010) 6460-8888 傳真：(010) 6460-8899

SGS 天津檢驗有限公司
SGS Tianjin Inspection Technology Co., Ltd.

地址：中國天津市河東區
電話：(022) 2330-8888 傳真：(022) 2330-8899

SGS 濟南檢驗有限公司
SGS Jinan Inspection Technology Co., Ltd.

地址：中國山東省濟南市
電話：(0531) 2660-8888 傳真：(0531) 2660-8899

SGS 西安檢驗有限公司
SGS Xi'an Inspection Technology Co., Ltd.

地址：中國陝西省西安市
電話：(029) 2220-8888 傳真：(029) 2220-8899

SGS 成都檢驗有限公司
SGS Chengdu Inspection Technology Co., Ltd.

地址：中國四川省成都市
電話：(028) 2660-8888 傳真：(028) 2660-8899

SGS 昆明檢驗有限公司
SGS Kunming Inspection Technology Co., Ltd.

地址：中國雲南省昆明市
電話：(0871) 2330-8888 傳真：(0871) 2330-8899

SGS 貴陽檢驗有限公司
SGS Guiyang Inspection Technology Co., Ltd.

地址：中國貴州省貴陽市
電話：(0851) 2660-8888 傳真：(0851) 2660-8899

SGS 重慶檢驗有限公司
SGS Chongqing Inspection Technology Co., Ltd.

地址：中國重慶市
電話：(023) 2660-8888 傳真：(023) 2660-8899

SGS 長沙檢驗有限公司
SGS Changsha Inspection Technology Co., Ltd.

地址：中國湖南省長沙市
電話：(0731) 2330-8888 傳真：(0731) 2330-8899

SGS 杭州檢驗有限公司
SGS Hangzhou Inspection Technology Co., Ltd.

地址：中國浙江省杭州市
電話：(0571) 2660-8888 傳真：(0571) 2660-8899

SGS 寧波檢驗有限公司
SGS Ningbo Inspection Technology Co., Ltd.

地址：中國浙江省寧波市
電話：(0574) 2330-8888 傳真：(0574) 2330-8899

SGS 溫州檢驗有限公司
SGS Wenzhou Inspection Technology Co., Ltd.

地址：中國浙江省溫州市
電話：(0577) 2660-8888 傳真：(0577) 2660-8899

SGS 紹興檢驗有限公司
SGS Shaoxing Inspection Technology Co., Ltd.

地址：中國浙江省紹興市
電話：(0575) 2330-8888 傳真：(0575) 2330-8899

SGS 嘉興檢驗有限公司
SGS Jiaxing Inspection Technology Co., Ltd.

地址：中國浙江省嘉興市
電話：(0573) 2660-8888 傳真：(0573) 2660-8899

SGS 湖州檢驗有限公司
SGS Huzhou Inspection Technology Co., Ltd.

地址：中國浙江省湖州市
電話：(0572) 2330-8888 傳真：(0572) 2330-8899

SGS 金華檢驗有限公司
SGS Jinhua Inspection Technology Co., Ltd.

地址：中國浙江省金華市
電話：(0579) 2660-8888 傳真：(0579) 2660-8899

SGS 衢州檢驗有限公司
SGS Quzhou Inspection Technology Co., Ltd.

地址：中國浙江省衢州市
電話：(0570) 2330-8888 傳真：(0570) 2330-8899

SGS 嚴州檢驗有限公司
SGS Yanzhou Inspection Technology Co., Ltd.

地址：中國浙江省嚴州市
電話：(0570) 2660-8888 傳真：(0570) 2660-8899

SGS 處州檢驗有限公司
SGS Chuzhou Inspection Technology Co., Ltd.

地址：中國浙江省處州市
電話：(0570) 2330-8888 傳真：(0570) 2330-8899

SGS 台州檢驗有限公司
SGS Taizhou Inspection Technology Co., Ltd.

地址：中國浙江省台州市
電話：(0919) 2660-8888 傳真：(0919) 2660-8899

SGS 紹興檢驗有限公司
SGS Shaoxing Inspection Technology Co., Ltd.

地址：中國浙江省紹興市
電話：(0575) 2330-8888 傳真：(0575) 2330-8899

SGS 嘉興檢驗有限公司
SGS Jiaxing Inspection Technology Co., Ltd.

地址：中國浙江省嘉興市
電話：(0573) 2660-8888 傳真：(0573) 2660-8899

SGS 湖州檢驗有限公司
SGS Huzhou Inspection Technology Co., Ltd.

地址：中國浙江省湖州市
電話：(0572) 2330-8888 傳真：(0572) 2330-8899

SGS 金華檢驗有限公司
SGS Jinhua Inspection Technology Co., Ltd.

地址：中國浙江省金華市
電話：(0579) 2660-8888 傳真：(0579) 2660-8899

SGS 衢州檢驗有限公司
SGS Quzhou Inspection Technology Co., Ltd.

地址：中國浙江省衢州市
電話：(0570) 2330-8888 傳真：(0570) 2330-8899

SGS 嚴州檢驗有限公司
SGS Yanzhou Inspection Technology Co., Ltd.

地址：中國浙江省嚴州市
電話：(0570) 2660-8888 傳真：(0570) 2660-8899

SGS 處州檢驗有限公司
SGS Chuzhou Inspection Technology Co., Ltd.

地址：中國浙江省處州市
電話：(0570) 2330-8888 傳真：(0570) 2330-8899

SGS 台州檢驗有限公司
SGS Taizhou Inspection Technology Co., Ltd.

地址：中國浙江省台州市
電話：(0919) 2660-8888 傳真：(0919) 2660-8899

SGS

SGS 臺灣檢驗科技股份有限公司
SGS Taiwan Inspection Technology Co., Ltd.

地址：臺北市松山區復興南路一段100號
電話：(02) 2707-8888 傳真：(02) 2707-8899

SGS 中國檢驗有限公司
SGS China Inspection Technology Co., Ltd.

地址：中國廣東省深圳市羅湖区文錦中路1001號
電話：(0755) 2551-8888 傳真：(0755) 2551-8899

SGS 香港檢驗有限公司
SGS Hong Kong Inspection Technology Co., Ltd.

地址：香港新界沙田新城市廣場二期二樓二樓二樓
電話：(852) 2612-8888 傳真：(852) 2612-8899

SGS 廣州檢驗有限公司
SGS Guangzhou Inspection Technology Co., Ltd.

地址：中國廣東省廣州市天河区珠江新城
電話：(020) 3880-8888 傳真：(020) 3880-8899

SGS 上海檢驗有限公司
SGS Shanghai Inspection Technology Co., Ltd.

地址：中國上海市南京路
電話：(021) 2388-8888 傳真：(021) 2388-8899

SGS 北京檢驗有限公司
SGS Beijing Inspection Technology Co., Ltd.

地址：中國北京市朝陽區
電話：(010) 6460-8888 傳真：(010) 6460-8899

SGS 天津檢驗有限公司
SGS Tianjin Inspection Technology Co., Ltd.

地址：中國天津市河東區
電話：(022) 2330-8888 傳真：(022) 2330-8899

SGS 濟南檢驗有限公司
SGS Jinan Inspection Technology Co., Ltd.

地址：中國山東省濟南市
電話：(0531) 2660-8888 傳真：(0531) 2660-8899

SGS 西安檢驗有限公司
SGS Xi'an Inspection Technology Co., Ltd.

地址：中國陝西省西安市
電話：(029) 2220-8888 傳真：(029) 2220-8899

SGS 成都檢驗有限公司
SGS Chengdu Inspection Technology Co., Ltd.

地址：中國四川省成都市
電話：(028) 2660-8888 傳真：(028) 2660-8899

SGS 昆明檢驗有限公司
SGS Kunming Inspection Technology Co., Ltd.

地址：中國雲南省昆明市
電話：(0871) 2330-8888 傳真：(0871) 2330-8899

SGS 貴陽檢驗有限公司
SGS Guiyang Inspection Technology Co., Ltd.

地址：中國貴州省貴陽市
電話：(0851) 2660-8888 傳真：(0851) 2660-8899

SGS 重慶檢驗有限公司



[illegible][illegible][illegible]



SGS
Société Générale de Surveillance

中興檢驗科技股份有限公司
CHONGHUNG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD.

產品檢驗報告

客戶名稱: 中興檢驗科技股份有限公司

客戶地址: 中興檢驗科技股份有限公司

客戶電話: 中興檢驗科技股份有限公司

客戶傳真: 中興檢驗科技股份有限公司

客戶E-mail: 中興檢驗科技股份有限公司

產品名稱: 中興檢驗科技股份有限公司

產品規格: 中興檢驗科技股份有限公司

產品圖號: 中興檢驗科技股份有限公司

產品用途: 中興檢驗科技股份有限公司

產品產地: 中興檢驗科技股份有限公司

檢驗項目: 中興檢驗科技股份有限公司

檢驗標準: 中興檢驗科技股份有限公司

檢驗方法: 中興檢驗科技股份有限公司

檢驗日期: 中興檢驗科技股份有限公司

檢驗地點: 中興檢驗科技股份有限公司

項目	規格	檢驗結果	備註
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			
51			
52			
53			
54			
55			
56			
57			
58			
59			
60			
61			
62			
63			
64			
65			
66			
67			
68			
69			
70			
71			
72			
73			
74			
75			
76			
77			
78			
79			
80			
81			
82			
83			
84			
85			
86			
87			
88			
89			
90			
91			
92			
93			
94			
95			
96			
97			
98			
99			
100			

檢驗員: 中興檢驗科技股份有限公司

檢驗日期: 中興檢驗科技股份有限公司

檢驗地點: 中興檢驗科技股份有限公司

檢驗結果: 中興檢驗科技股份有限公司

檢驗標準: 中興檢驗科技股份有限公司

檢驗方法: 中興檢驗科技股份有限公司

檢驗日期: 中興檢驗科技股份有限公司

檢驗地點: 中興檢驗科技股份有限公司

檢驗結果: 中興檢驗科技股份有限公司

[illegible]

樣品監督記錄表 (附土壤地下水「底訂」)



SGS

SGS 檢驗報告書

SGS 檢驗報告書

客戶名稱: 台灣國際材料科技股份有限公司

客戶地址: 台北市中正區

客戶電話: 02-2345-6789

客戶傳真: 02-2345-6789

客戶E-mail: 123456789@123.com.tw

檢驗項目: 化學分析

檢驗標準: ISO 9001

檢驗日期: 2023-10-27

檢驗地點: 台北市中正區

檢驗人員: 張三

檢驗單位: 品質管理部

檢驗結果: 合格

檢驗費用: 1000元

項目	規格	檢驗結果	備註
1. 外觀	無異狀	OK	
2. 尺寸	符合規格	OK	
3. 重量	符合規格	OK	
4. 硬度	符合規格	OK	
5. 強度	符合規格	OK	
6. 韌性	符合規格	OK	
7. 延展性	符合規格	OK	
8. 耐腐蝕性	符合規格	OK	
9. 耐磨性	符合規格	OK	
10. 耐熱性	符合規格	OK	
11. 耐寒性	符合規格	OK	
12. 耐衝擊性	符合規格	OK	
13. 耐疲勞性	符合規格	OK	
14. 耐蠕变性	符合規格	OK	
15. 耐老化性	符合規格	OK	
16. 耐氧化性	符合規格	OK	
17. 耐電解性	符合規格	OK	
18. 耐電蝕性	符合規格	OK	
19. 耐電阻性	符合規格	OK	
20. 耐電容性	符合規格	OK	
21. 耐電感性	符合規格	OK	
22. 耐電阻性	符合規格	OK	
23. 耐電容性	符合規格	OK	
24. 耐電感性	符合規格	OK	
25. 耐電阻性	符合規格	OK	
26. 耐電容性	符合規格	OK	
27. 耐電感性	符合規格	OK	
28. 耐電阻性	符合規格	OK	
29. 耐電容性	符合規格	OK	
30. 耐電感性	符合規格	OK	

檢驗人員: 張三

檢驗單位: 品質管理部

檢驗日期: 2023-10-27

檢驗地點: 台北市中正區

檢驗費用: 1000元

檢驗結果: 合格

[illegible][illegible][illegible][illegible]

The image shows a detailed SGS test report for a steel reinforcement bar. The document includes a header with the SGS logo and company name, a title section identifying the material as 'REINFORCING BARS', and a large table of test results. The table columns include various mechanical properties such as yield strength, tensile strength, elongation, and impact resistance, along with their respective units and values. A blue stamp at the top right indicates the date '08/09/2017' and the location 'CHINA'. The bottom of the page features the SGS logo and contact information.

[illegible]



附件 4
廢井報告

—目錄—

頁次

一、廢井會勘確認表	1-1
二、廢井監工 廢井紀錄表	2-1
三、廢井完工檢核表	3-1

- 水刀注藥技術強化含氯有機溶劑場址
-生物整治模擬試驗計畫
廢井報告
1. 監測井 MW1
(109 年模擬試驗場址臺南市安定區安定段 2085 地號)
 2. 施作簡易井 WJ-1
 3. 施作簡易井 WJ-2
 4. 施作簡易井 GW01
 5. 施作簡易井 GW02
(110 年模擬試驗場址臺南市新化區茄拔林段 1014 地號)

中華民國 110 年 12 月 23 日

表 1-1 廢井會勘確認表

表 1-2 廢井監工 廢井紀錄表

表 1-3 廢井完工檢核表

1. 監測井 MW1
(109 年模擬試驗場址臺南市安定區安定段 2085 地號)

表 2-1 廢井會勘確認表

表 2-2 廢井監工 廢井紀錄表

表 2-3 廢井完工檢核表

2. 施作簡易井 WJ-1
(110 年模擬試驗場址臺南市新化區茄拔林段 1014 地號)

表 3-1 廢井會勘確認表

表 3-2 廢井監工 廢井紀錄表

表 3-3 廢井完工檢核表

3. 施作簡易井 WJ-2

表 4-1 廢井會勘確認表

表 4-2 廢井監工 廢井紀錄表

表 4-3 廢井完工檢核表

4. 施作簡易井 GW01

表 5-1 廢井會勘確認表

表 5-2 廢井監工 廢井紀錄表

表 5-3 廢井完工檢核表

5. 施作簡易井 GW02

表 6-1 廢井會勘確認表

表 6-2 廢井監工 廢井紀錄表

表 6-3 廢井完工檢核表

1

(110 年棋場試驗場址臺南市新化區茄拔林段 1014 地號)

(110 年撰場試驗場址臺南市新化區荊拔林段 1014 地號)

44

10

列名	数据类型	是否主键
姓名	字符串	否
性别	字符串	否
年龄	数字	否
身高	数字	否
体重	数字	否
出生日期	日期	否
身份证号	字符串	否
联系电话	字符串	否
电子邮箱	字符串	否
职业	字符串	否
教育程度	字符串	否
婚姻状况	字符串	否
收入水平	数字	否
兴趣爱好	字符串	否
健康状况	字符串	否
信用记录	字符串	否
社会关系	字符串	否
其他信息	字符串	否

(110 年模場試驗場址臺南市新化區龍拔林段 1014 地號)

100

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 **審查意見回覆對照表**
☒ 修正計畫書 ☐ 期末報告

計畫年度	109年度	計畫類別	☐ 研究型 ☒ 服務型
計畫類別	☒ 整治 ☐ 調查 ☐ 其它	主持人：張國永教授	
計畫名稱	水刀江蘇技術強化含氧有機溶劑廢址-生物製污場模式試驗計畫		
委員審查意見		計畫審核回覆	
委員一： 1. 附件11-33、11-34現場工作住宿費總應為1600元，請修正。		委員一： 1. 已修正，附件11-33、11-34現場工作住宿費總應為1,600元。	

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推廣試驗專案

☒申請計畫書 ☐期中報告 **審查意見回覆對照表**
☐修正計畫書 ☐期末報告

[illegible]

图例 5-11

委員審查意見	計畫單位
--------	------

[illegible]

	委員審查意見
--	--------

計量表中資料
或透過作業
，也應分析或
成分分析等。
件後則比較是

備註二：
與計畫量之工作項目說明
項工作執行順序、維護
條件之說明不足。

第一本及第二本皆採用「
，俾得以此兩部零件作
間維修作業，零件
間數多，造成零件保存不

3. 協理工程師(26)10工，參
查零件圖(零件技術圖)同量
參與修繕。

4. 材料(應列產品分類費)因
配合合理維修條件，改增

	計畫單位回覆
--	--------

[illegible]

計畫單位回覆	
--------	--

[illegible]

委員審查意見	計畫單位回覆
--------	--------

[illegible]

計畫單位四號	行政
--------	----

1949年

臺灣省立美術館
臺南市立美術館
臺南市立美術館

卷目：1. 何國治先生遺稿
以專史形式
上為國史館所
收

卷目：2. 本館研究通訊
(即已出版之
本館研究通訊)
可也
陳維德先生
刊「陳維德先生

卷目：3. 本館研究通訊
可行
國片已得
刊

行政院環境保護署土壤及地下水污染整治基金管理
(09)年度土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗

[illegible][illegible]

附 图 5-22