



環境部環境管理署

112 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

有機物污染場址現址 P&T 廢水與 SVE 廢氣活性炭吸附及再生自動化設備開 發及模場應用

成果報告(定稿)

主辦單位： 環境部環境管理署
專案執行單位：國立中興大學大學／環境工程學系
專案主持人：梁振儒 教授
專案執行期間：112 年 12 月 18 日起至
113 年 11 月 29 日止

中華民國 113 年 12 月 05 日 印製





環境部環境管理署「土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案」

☐構想書 ☐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	112 年度	計畫類型	☐ 先導型 ☐ 研究型 ☒ 模場型
計畫類別	☐ 調查 ☒ 整治 ☐ 其他	主持人：梁振儒 NO：S3	
計畫名稱	含氯有機物污染場址現址 P&T 廢水與 SVE 廢氣活性碳吸附及再生自動化設備開發及應用(第 2 年)		
審查意見		執行單位回覆	
委員一 1. P.28、29 今年目標為進行廢氣及廢水處理測試，進而調整自動化設備之各項操作參數，試問自動化設備重要操作參數為何？預計如何進行參數調整及優化測試？ 2. P.31 成本效益分析中，熱活化 SPS 處理程序較現今常用之迴轉窯還便宜，那目前熱活化 SPS 之發展限制為何？(例如：僅在實驗室階段 or 脫附效率遞減等。) 3. P.33 甘特圖應將期中報告及期末報告加入工作項目，並預定完成日。 4. 發展自動化設備可減少人力成本、提升效益，本技術研究具前瞻性。		委員一 感謝委員提寶貴意見 1. 相關操作參數可參閱此設備之運作流程 SOP 步驟，首先針對所處理之污染物質法規所限之濃度(水或氣相)進行污染物所對應之 TOC 或 TVOC 濃度進行確認，建立在已知之實驗室設備操作條件基礎上，而後現場設備操作參數之調整依據計畫書圖五之流程步驟中(階段一至四)之參數逐一進行調整，實場之環境狀況、污染水體及污染氣相狀態等會與實驗室之條件不同，例如溫度設定、氧化劑濃度之需求、氧化劑/水/氣體吹乾淋/沖洗時間等，因此，需加以調整及優化適合該場址之操作條件設定，當達到適切之運作條件後，始可自動化操作，並進行遠端監控。 2. 依據實驗室規模測試結果(如圖三)，再生三次之再吸附氣相甲苯之效率仍可達>90%以上，因此相關實場應用之實際發展限制，可藉由此計畫之執行加以評估。 3. 感謝委員提醒，將於修正版加入報告預計完成日期。 4. 感謝委員對此計畫所欲努力之方向的肯定。	
委員二 1. 開發之技術具實場應用性。建議強化說明現場測試吸附及具再生的即時監測與參數優化方式。AC 以本方法的再生極限、有機物被氧化降解後的產物比率並確保不會停滯在毒性較高的中間產物。		委員二 1. 謝謝委員肯定，目前即時監測之軟體建置乃依據圖四設備流程及圖五操作流程之邏輯。針對即時監測之數據搭配現場操作之過程(關於現場操作參數優化方式請參閱回復委員一之答覆)，將會於實場執行後完整呈現	



2. 考量上述因子後計算之成本效益較具實際代表性。 3. 請補充第一年計畫成果達成率及審查意見回覆表。	於期中及期末報告。另針對有機物經降解後，將會以水中 TOC 之殘留量作為再生完成之指標，並搭配實驗室 GC/MS 分析以確認污染物之完全礦化，藉以完成並停止再生程序，因此面對實場之操作氧化程序需進行相關優化調整，整體操作程序並不會有相關有機副產物之生成，操作上會確保氧化程序並同副產物一併將以礦化。 2. 針對現場操作參數確認後，成本效益將會依其進行推算，感謝委員提點，此工項已列於目標 2.3 下執行，將納入此點意見予以評估。 3. 依據計畫書撰寫指引，關於第一年成果報告之意見回復，納入第一年成果期末報告書中，因此未呈現於此計畫書，建請委員參閱期末報告書。另，依委員之建議，將於修正版之計畫書納入前期計畫之期末報告審查意見回復表(如附件三)供委員參閱。
委員三 1. 第一年研究已完成包括活性碳吸附及再生設備自動化設計、組裝，實驗室氣與液相條件測試、以及污染場址試車等工作，符合研究進度。 2. 目前技術是以 SVE 或 P&T 搭配活性碳吸附及化學再生處理，由於化學再生活性碳、以及氧化劑破壞脫附之污染物，應有方法之限制，建議可以分析及說明。 3. 本技術非常實務性，具有技術應用及推廣之價值。建議可以分析潛在市場。 4. 建議後續可以評估與類似技術之碳排放量比較，以提供相關單位選用技術參考。	委員三 1. 感謝委員肯定第一年之執行狀況及成果。 2. 關於氧化再生程序，如同前述意見回復，氧化程序面對實場污染狀況確有調整優化之必要性需加以評估(例如背景水體物質經吸附後之氧化劑再生過程之額外消耗量)，因此針對委員之建議，將納入實場測試執行成果報告中加以分析及說明。 3. 感謝肯定。關於潛在應用及商業化推廣，將於目標 2.3 中加以評析。 4. 感謝委員提點，針對此技術之碳排放量會加以計算，以期與其他類似技術加以比較。
委員四 1. P.17，有關本計畫建立之自動化 AC 再生設備，其於 AC 吸附飽和時將經藥劑淋洗完成脫附，然計畫書內目前僅含四週期之再生吸附成果，因相關土壤及地下水整治持續期間較長，建議應補充本項技術經多次吸脫附後之吸附能力曲線並預測至廢棄前可完成之總處理濃度，以利瞭解本計	委員四 1. 感謝委員提供之意見，針對實場應用後之測試成果，會針對持續性吸附/再生脫附使用之極限，以及相關處理效能予以量化計算，成果將於成果報告中呈現。 2. 感謝委員建議，此意見類似前幾位委員之意見，可參閱前述相關意見回復。針對委員所建議之相關環境衝擊，包含能源/化學品使



畫之應用成效。 2. 有關本計畫利用鐵活化過硫酸鈉再生飽和吸附之 AC 研究，建議宜說明本項技術與原有廢 AC 處理技術之環境影響評估，包含使用之能源、化學品及二次污染物產出等，以利瞭解本計畫之環境效益。 3. 有關本技術之成本效益評估，建議宜與原有製程進行比較分析，包含使用之物料及能源等，另活性碳成本低廉且經多次吸脫附後之 AC 仍需廢棄處理，採用額外之硫酸鈉藥劑進行再生，是否具經濟誘因仍需評估。 4. 建議應附前一年度計畫之審查意見回覆對照表，以利瞭解前期計畫執行成果與本期計畫之連貫性。 5. 計畫書封面之主辦單位建議應更正環境部環境管理署。 6. 本計畫採用鐵活化過硫酸鈉於現地再生 AC 吸附劑，其可有效減少整治措施產出之廢棄物，並可望改善現有之土壤地下水整治管理程序，並提供較優異之配套措施。	用、相關副產物等，計畫執行過程會加以分析，並與現有之熱處理廢棄活性碳之程序加以比較，將於成果報告中呈現。 3. 感謝委員意見，活性碳之使用，除其購置成本外，亦需考量其廢棄處理之成本，因此若將其循環再利用就經濟及永續上考量是一可努力之方向，此再生程序預計並不會將活性碳全數棄置，但再生過程可能會有所損失，需加以補充，因此整體而言之經濟效益，已列於目標 2.3 中之工作項目，待於成果報告中加以呈現。 4. 依據計畫書撰寫指引，關於第一年成果報告之意見回復，納入第一年成果期末報告書中，因此未呈現於此計畫書，建請委員參閱期末報告書。另，依委員之建議，將於修正版之計畫書納入前期計畫之期末報告審查意見回復表供委員參閱。 5. 感謝委員之提醒，將進行修正。 6. 感謝委員肯定。
委員五 1. 研究主題符合土壤及地下水污染整治基金補助精神、探討課題新穎、技術具未來應用性且整體研究架構明確方法可行。	委員五 1. 感謝委員肯定。
委員六 1. 活性碳再生後表面結構是否改變，再生後使用的次數。 2. 再生產生廢水的產物是否一併評估(non-VOC 部分)。 3. 含硬體設備調整、耗材細項編列應可再細列。	委員六 1. 感謝委員意見，再生過程中活性碳之特性變化會加以分析，另對再生次數，會於實場測試後得到之成果於報告中呈現。 2. 對於再生後廢水產物成份會因實場之環境及污染狀況有關，然對於再生程序會有鈉離子、硫酸鹽等物質之存在，其對應之作為，會於後續成果報告中呈現，感謝委員提點。 3. 由於設備零件中眾多，設備經費之估算乃依據相關使用零件數量估算，將會於修正計畫書中說明欄中提供較細部之說明，所採購之零件可參閱前期期末報告表八所列具之項



	目及其照片。
委員七 1. 第二年試驗為第一年計畫之延續，運用第一年開發之系統於加油站實場測試及持續優化，第二年計畫實驗測試規劃可行。	委員七 1. 感謝委員肯定。
委員八 1. 主持人與共同主持人已有相關研究經驗與績效，對土水污染整治技術發展能力佳，足以勝任本專案計畫。 2. 本專案計畫著重於:SVE系統的GAC現地再生。本計畫的執行對國內未來土壤與地下水污染整治工作推動有貢獻。 3. 計畫書撰寫具體，所提出的研究方法可行。 4. 本計畫具有潛在的實務應用潛力。 5. 主持人已有相關研究經驗，本計畫書中對文獻的蒐集整理頗完整。計畫書中對國內外本研究領域現況有所了解。 6. 本計畫屬於延續性的第二年度計畫，計畫執行期限的規劃合理。 7. 專案經費編列的合理性:本計畫為延續性計畫，大部分現場設備已購置(本年度增加人事費)。	委員八 1. 感謝委員肯定。 2. 期望此計畫之執行可對資源永續循環有所貢獻，感謝委員肯定。 3. 感謝委員肯定。 4. 此計畫乃努力將研究成果予以實務應用，感謝委員肯定。 5. 感謝委員肯定。 6. 感謝委員肯定。 7. 感謝委員肯定。
委員九 1. 第 50 頁第 1 年申請經費與基本資料表不同，請確認。	委員九 1. 感謝委員提醒，以修正於定稿本計畫書中。



環境部環境管理署「土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案」

☐構想書 ☐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	112 年度	計畫類型	☐ 先導型 ☐ 研究型 ☒ 模場型
計畫類別	☐ 調查 ☒ 整治 ☐ 其他	主持人：梁振儒 NO：D6	
計畫名稱	有機物污染場址現址 P&T 廢水與 SVE 廢氣活性碳吸附及再生自動化設備開發及應用		
審查意見		執行單位回覆	
委員一 1. 本計畫預期以二年時間開發可同時用於 SVE 及 P&T 場址現地處理及再生自動化設備，研究報告撰述完整、成果具體，已達計畫預定目標。 2. P.21 文獻探討可再斟酌補強。 3. 建議台 15 線 53.5K 場址之研究成果可與大順加油站之成果進行綜合論述評析。 4. P.49-50 操作流程字體過小不易閱讀。		委員一 感謝委員提寶貴意見 1. 感謝委員對本計畫的審視與肯定。 2. 感謝委員的建議，依據委員意見將於成果報告中予以補充。 3. 感謝委員的建議，原訂第一年計畫要在<u>高雄市大順加油站</u>進行測試，但因場址鼓風機啟動時，噪音過大，引起附近居民抗議而導致無法正常運作，無法按原計畫進行模擬試驗，因此第二年移至<u>桃園新屋區 53.5K 場址</u>進行試驗。 4. 感謝委員的提醒，經委員之建議，已修改字體過小的地方，以方便後續閱讀。	
委員二 1. 本案為模場計畫，請補充試驗區域背景區域地質、區域性地下水流向，並考量試驗區域周邊環境等因素，擇定抽除井、抽氣井及處理系統設置位置。 2. 建議補充模場操作時，活性炭再生氧化劑的相關濃度，以及模場再生過程對活性碳性質的影響。 3. 建議評估活性碳再生過程的廢水處理問題。 4. 本案開發重點之一為活性碳自動再生系統，具實場應用價值。		委員二 1. 感謝委員的建議，後續將會針對試驗場址之背景區域地質及周邊環境等因素，並加以補充處理系統設置位置，呈現於成果報告中。 2. 感謝委員的建議，針對目前階段考量污染場址 P&T 抽水及 SVE 抽氣採取間歇性的操作，因此 SVE 廢氣濃度變化甚大，且 P&T 廢水之污染物濃度也有相同變異性差距甚大之趨勢，故活性碳再生頻率之評估會依據後續現場操作分別依 P&T 廢水及 SVE 廢氣之 TOC、TVOC 濃度狀況而定，此自動化設備自動監測貫穿之污染物濃度，進行自動切換吸附管，並且自動再生貫穿之吸附管，因此吸附及再生之頻率，設	



	備會自動控制，而後續操作之數據及再生頻率會加以記錄測試。關於活性碳再生氧化劑濃度等資訊，因涉及部分智慧財產關鍵程序，因此未補充其相關濃度設定。而活性碳部分，亦會採取使用過之活性碳以 BET 等儀器探討其材料特性變化，於成果報告中呈現。 3. 活性碳再生的排放水主要成分含有過硫酸鹽之反應副產物鈉離子及硫酸根離子，有機污染物將會被礦化，出流水將會以稀釋或是經由模場之廢水處理設備處理後再進行排放。 4. 感謝委員對本計畫的肯定。
委員三 1. 本研究基於第一年的研究成果與所建置設備，目前已初步完成現地廢水與廢氣之 AC 吸附及再生自動化設備之架設和初步操作測試，符合期中階段預期工作規劃進度，研究成果豐碩。 2. 後續宜呈現現地 AC 進行氧化/脫附再生之耗損率及吸附率下降程度等成果，作為 AC 需補充或更新之操作時機參考。 3. 實場地下水基質較複雜，宜先瞭解可能影響干擾 AC 吸附或 AC 氧化/脫附之可能影響物種和操作參數？ 4. 後續宜強化呈現所建置 AC 吸附及再生自動化系統之操作穩定性和耐久性測試成果？ 5. P.53，「再生水」易造成誤解？ 6. 建議進行處理成本效益估算分析？ 7. 成果報告宜說明本研究成果的實場應用性和限制及後續具體可行的精進或優化的研究方向？	委員三 1. 感謝委員對本計畫的評價及肯定。 2. 感謝委員的建議，此計畫內容為利用活性碳(AC)吸附污染物並結合化學氧化法，依據先前實驗室規模之批次研究結果證實，AC 吸附 SVE 甲苯尾氣，脫附時機設定為達飽和貫穿後(貫穿濃度達到為初始廢氣濃度，實場應用可依據所允許之排放濃度予以調整設定)，接續以氧化進行再生，經過 4 次吸附及再生之評估，證實 AC 於吸附床之吸附質傳區域高度(Length of the mass transfer zone (HMTZ))並不會因再生程序而有顯著變化之現象，並且再生後之吸附效能相較於初始吸附能力，顯示皆可維持 90% 以上，但未有顯著的 AC 重量損失，因此當現場例行運作操作時，若有 AC 損失將會予以評估。 3. 感謝委員的建議，關於場址地下水成分對吸附可能會產生影響，此計畫會將針對 AC 吸附容量加以討論，評估水質對吸附效能之衝擊。 4. 現場操作過程與設備評估有極大差異，對於系統穩定性及耐久性會加以討論。



	5. 感謝委員的提醒，已將「再生水」更改成「再生過程中使用之水體」。 6. 根據建置完成之資料，本研究會進一步評估現場運作效率(包含污染物去除、活性碳再生、整體運作流暢狀況等)並予以紀錄，另對運作經費之評估已列於第二年之目標 2.3 之工作項目，相關研究成果將整理至成果報告之中。 7. 基於相關成果，期末報告會針對此系統後續之開發加以評析。
委員四 1. 符合規劃進度。 2. 設備操作穩定性如何?已測試多少時間，故障率如何?	委員四 1. 感謝委員的肯定。 2. 感謝委員的建議，關於設備操作之穩定性等，已將後續結果呈現於成果報告中。
委員五 1. 目前已完成活性碳氣相吸附/再生程序順利全自動化進行，符合期中報告查核點進度。 2. 報告書第 29 頁預定查核點之成果欄位，文字是否為誤植（依上方表格目標 2.2 應為廢水、目標 2.3 應為經費預估）？ 3. 專案基本資料表請於定稿補上學校章。 4. 專案基本資料表申請補助金額、計畫總金額未填寫，請於定稿補上。	委員五 1. 感謝委員的肯定。 2. 感謝委員的提醒，將進行修正。 3. 感謝委員提點，將於定稿本報告補上。 4. 感謝委員的提醒，金額已填寫。



環境部環境管理署「土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案」

☐構想書 ☐申請計畫書 ☐期中報告 ☐修正計畫書 ☒成果報告 審查意見回覆對照表

計畫年度	112 年度	計畫類型	☐ 先導型 ☐ 研究型 ☒ 模場型
計畫類別	☐ 調查 ☒ 整治 ☐ 其他		主持人：梁振儒 NO：D6
計畫名稱	有機物污染場址現址 P&T 廢水與 SVE 廢氣活性碳吸附及再生自動化設備開發及應用		
審查意見		執行單位回覆	
委員一 1. 研究成果具體、報告撰述嚴謹，成果績效達到預期目標且績效優良。 2. 活性碳自動化再生設備進行優化改良後，建議積極導入顧問公司實地操作驗證技術可行性與可能遭遇困難(如何克服)。 3. 高濁度地下水易造成活性碳系統飽和處理效率不佳，宜搭配前處理系統。		委員一 感謝委員提供寶貴意見 1. 感謝委員對本計畫的審視與肯定。 2. 感謝委員的建議，依據報告中表六、七、十、十一中，目前已有相關的解決之道；因此後續若有導入相關的實務應用，遭遇到困難時，建立在已有的經驗上，將會進行評估及排解。 3. 感謝委員的提醒，確實是我們在此計畫運作過程中所面臨到的挑戰，此場址的廢水濁度非常的高，因此我們已有建立一套前處理系統(圖四十七、四十八)，目前運作狀況皆穩定且良好進行。	
委員二 1. 本研究主要開發可於整治場址搭配 SVE 或 P&T 整治設備上之 AC 再生循環使用之尾氣、廢液處理設備。計畫構想合理可行。 2. 本研究的重點在於設備的自動化。利用「連續監測設備」監測出流水或出流氣體之污染物濃度，建議補充說明所監測的相關水質及氣體的特性數據內容與監測數據的可靠度。 3. 本研究對於水中 TOC 之濃度以化學需氧量探棒 (VEMSEE VMS-300B-WQC-N01)分析；氣體 TVOC 之濃度以空氣品質監測器及攜帶式 PID(型號為 miniRAE 3000)分析，這些檢測數據如何與自動化系統進行連線應		委員二 1. 感謝委員肯定。 2. 感謝委員的建議，水質特性依報告中 P.77 中，可看到 pH 及 ORP 等相關數據內容，雖沒有測量實際濁度，但依目前 TOC 所測得背景值 8.9 mg/L 為基準。氣體特性則可參考 P.58 等成分數據，經活性碳吸附處理後，則分析顯示無其他成分。 3. 感謝委員的答覆，攜帶式 PID(型號為 miniRAE 3000)並沒有跟自動化系統進行連線，是我們額外為了與設備上的 TVOC 偵測器進行數據驗證而使用；而相關的換算結果可以參考表四及表五。每次操作前都會執行校正程序，以確保數據的準確性及儀器的穩定性。	



補充說明。另請補充說明相關檢知器的校正方式，以及校正時間對設備自動化的影響。 4. 氣體 TVOC 之濃度以攜帶式 PID 進行分析，如何與自動化設備連線，請補充說明。	4. 氣體以 TVOC 偵測器進行偵測，攜帶式 PID 為數據驗證使用，因此並不會與自動化設備進行連線。而 TVOC 偵測器偵測到濃度，經由此系統之機電系統，會將其轉換成電子信號，透過硬體和軟體傳輸到電腦進行儲存、分析或顯示。
委員三 1. P.44，自評已完成預期之工作項目和計畫目標，且成果績效自評亦達成預期目標，整體研究成果豐碩。 2. 下階段宜持續探討現地 AC 進行氧化/脫附再生之耗損率及吸附率下降程度等結果，以作為 AC 需補充或更新之操作時機參考。 3. 實場地下水基質較複雜，下階段宜持續探討可能干擾 AC 吸附或 AC 氧化/脫附之可能影響物種和操作參數？ 4. 下階段宜持續探討進行所建置 AC 吸附及再生自動化系統之操作穩定性和耐久性等測試？ 5. 期末報告宜再強化說明本研究成果的實場應用性和限制？ 6. 本研究所發展建置之活性炭吸附及再生系統已具實場運作規模且結合現有受有機物污染場址之整治技術，具實場應用性。	委員三 1. 感謝委員對本計畫的評價及肯定。 2. 關於 AC 吸附率可以參照 P.77 所呈現的結果；損耗率以目前觀察，所運作的數個月實驗，並無明顯的活性碳損失，且目前已為第二年計畫，並已進行結案，感謝委員的提醒，後續相關應用我們將會持續觀察。 3. 感謝委員的建議，目前實場地下水基質因較複雜，目前使用過濾裝置來進行控制，地下水基質確實有可能會進行干擾，而產生競爭吸附。目前因已完成相關的運作測試，未來若有相關應用，會將此部分納入考量。 4. 感謝委員的建議，自動化系統操作經過了近一年的測試，測試氣體及液體的操作即為評估自動化系統的耐久性及穩定性，那所遇到的問題，如 TOC 偵測器故障、地下水背景基質較複雜等，目前皆已完成且排除狀況。經由這些測試，證實自動化系統已可連續穩定進行操作。 5. 感謝委員的提醒，相關實場應用性已在期末報告中進行補充。 6. 感謝委員的肯定與支持。
委員四 1. 地下水處理系統含監測、處理與再生系統開發，已具初步成效，具推廣潛力可加以推廣。 2. 在氣相污染處理問題，地下水基質複雜在硬度或高濁度下，恐影響處理成效，可再思考適用情境。	委員四 1. 感謝委員的肯定。 2. 感謝委員的建議，相關實場適用情境已在期末報告中進行補充。 3. 感謝委員的建議，相關適用範圍條件已在期末報告中補充。 4. 感謝委員的建議，因前期初步的測試期



3. 活性碳再生成效除此場址驗證外，此系統的適用範圍(氣相與廢水)與條件? 4. 活性碳再生具資源循環效益，其減碳效益以全生命週期評估，是否也納入維護(修)所產生的碳排。 5. 系統驗證的總水量。 6. Sensor 影響系統運作，維護頻率與保護措施? 7. 5.2.1 鄰苯二鉀酸氫鉀更正(…鄰…)、(…甲酸…) 8. 氣相油污染物處理具成效，地下水須克服高濁度問題，可再評估適用情境，具實場應用性。	間，會有一些需要維修等狀況需排除，而目前自動化系統經過長時間測試，已達穩定狀態，因此這部分的維修才沒有納入碳排計算。謝謝委員的提醒，針對未來實際操作時，會有定期維護的碳排，將會納入考量。 5. 感謝委員的提問，關於自動化系統可處理的總水量，$\frac{\text{平均流量 (L/min)} \times \text{Time (day)}}{\text{活性碳總質量 (g)}}$，若以穩定持續操作下，系統平均流量約 10 L/min × 30 天/ 11000 g = 39 L/g，因此，每單位活性碳(g)用來測試水量約 39 L。 6. 感謝委員的提醒，關於系統維護，當在使用操作前，皆會進行校正及沖洗，正常運作操作後，未來也會安排定期的維護。 7. 感謝委員的提醒，已將錯別字修正。 8. 感謝委員的建議，相關適用情境已在期末報告中補充。
委員五 1. 成果報告內容撰寫完整，清楚呈現廢氣廢水處理設備架設、測試、運作、成果、困境及經費成本等，具有豐富的階段性成果，對於未來相關工作的參考也有助益。 2. 操作設備適用於場址之類型建議再補充？本計畫結束後是否有規劃後續試驗，以取得更多數據完備設備？	委員五 1. 感謝委員的肯定及支持。 2. 感謝委員的提醒，將進行後續補充。本計畫結束後，將會多方進行推廣，同時土基會也會有技術推廣的活動，未來也會透過更多的試驗與數據，進一步最佳化設備之效能，以確保自動化系統的穩定性。



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)	☐ 先導型 ☐ 研究型 ☒ 模場型		
研究主題	☐ 調查 ☒ 整治 ☐ 其他				
申請機構系所	國立中興大學 環境教育暨永續科技研發中心				
機構地址	台中市南區興大路 145 號國立中興大學土木環工大樓 5F 535 室				
專案主持人	梁振儒	職等／職稱	特聘教授		
協同主持人	王麒維	職等／職稱	助理教授		
專案名稱	中文	有機物污染場址現址 P&T 廢水與 SVE 廢氣活性碳吸附及再生自動化設備開發及模場應用			
	英文	Development and application of automatic activated carbon adsorption and regeneration equipment for treating P&T wastewater and SVE exhaust gas generated at the organic contaminated site			
	關鍵字	抽取處理法、土壤蒸氣萃取法、有機污染物、活性碳、再生			
執行期程	自民國 112 年 12 月 18 日起至民國 113 年 11 月 29 日止				
專案主持人	Email : 專線：04-22856610 姓名：梁振儒 cliang@nchu.edu.tw 手機：0937-009106				
專兼任人員	Email : 專線：0937-009106 姓名：陳楓樺 sak99034@gmail.com 手機：0925-175172				
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	673,200	704,819	(1~5 項相加之 50%為限)
	2.	設備使用含維護費	0	0	(與計畫實驗相關)
	3.	耗材與主要費用	1,250,000	1,397,614	(與計畫主體相關)
	4.	其它研究相關費用	13,600	39,567	(含差旅與租賃費用)
	5.	行政管理費	203,200	238,000	(1~5 項相加之 15%為限)
	6.	自籌款	0	0	(自行籌備款項)
	申請補助金額(1~5 項)		2,140,000	2,380,000	總金額：4,520,000
	計畫總金額(1~6 項)		2,140,000	2,380,000	總金額：4,520,000

專案主持人（簽名或蓋章）：_____ 日期：_____



112 年度專案成果績效自評表

一、專案基本資料

填表日期：113 年 11 月 29 日

專案性質	☒ 實驗性質 ☐ 非實驗性質	專案類別	☐ 先導型 ☐ 研究型 ☒ 模場型
研究主題	☒ 整治 ☐ 調查 ☐ 其他		
執行機構	國立中興大學 環境教育暨永續科技研發中心	專案主持人	梁振儒
專案名稱	有機物污染場址現址 P&T 廢水與 SVE 廢氣活性碳吸附及再生自動化設備開發及模場應用		
專案執行期程	☐ 申請階段 ☐ 期中 ☒ 成果		

二、成果績效自評表：「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	成果 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					
		(2)研討會論文	1	0	0		預計投稿於 2025 年環境工程年會
	2.國外投稿 (篇數)	(1)期刊論文					
		(2)國際研討會論文發表	1	0	1	100 %	已發表於 2024 9th Asia Conference on Environment and Sustainable Development
	3.報告 (篇數)	(1)技術報告					
		(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					
B 人才 培育	6.研發改良 技術(項數)	(1)已開發技術	1	1	1	100 %	開發全自動活性碳吸附及再生裝置
		(2)技術平台					
	7.技術獎項(項數)						
	8.研發人員 (人數)	(1)碩士	2	2	2	100 %	
		(2)博士					
	9.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					
	10.其他指標 (請自行命名)		(請自填)				



(二) 產業面

目標達成程度				申請 預估數	期中 達成數	成果 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					
			新型/設計	1	0	0	100 %	申請中
			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						
		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

目標達成程度			申請預 估數	期中 達成數	成果 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)
項目							
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.協助政府推動 (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)					

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)
開發有機物污染場址現址 P&T 廢水與 SVE 廢氣活性碳吸附及再生自動化設備於實際污染場址之應用，可有效訓練參與研究之同學其工程設計與污染整治之實務能力，培育土水污染整治之人才，且亦可將成果融入大學及研究所教學，以擴大研究效益。此外，該裝置先前實驗室規模之研究成果，已發表至國際期刊 Chemical Engineering Journal，經兩年計畫執行，已成功開發建置全自動有機物廢水及廢氣之吸附及再生設備，研究成果已於國內外研討會進行發表，以提供該設備開發及應用測試成果之相關學術資訊，作為產業推廣及教育用。
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)
有機物污染場址現址 P&T 廢水與 SVE 廢氣活性碳吸附及再生自動化設備已於實驗室規模測試獲得具體成果，因此本研究團隊擬進一步開發實場污染場址規模之設備。藉由實場規模設備建構及模場施作驗證，提升此技術之成熟度，並進一步將活性碳吸附及再生自動化設備進行調整與優化改良。經過實地污染場址活性碳吸附及再生自動化設備測試及申請新型專利，預期可與產業內相關廠商進行合作，並洽談技術移轉以提升國內整治工程技術。



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)

本研究團隊所開發之活性炭吸附及再生自動化設備可直接搭配有機物污染場址現址 P&T 廢水與 SVE 廢氣處理設備，當此技術成功應用於實地污染場址，獲得較佳之操作技術及流程，將可使此技術移轉至環境工程顧問公司，並搭配整合至既有 SVE 或 P&T 機組上，大幅降低整治費用，使之操作上更能有效的處理尾氣或廢液，避免可能之二次污染發生，以達國內環保政策之淨零排放目的。



四、主要研究人力

請依照「專案主持人」、「協同主持人」、「專任人員」、「兼任人員」及「臨時工」等類別之順序分別填寫

類別	姓名	服務機構/系所	職稱	在本研究專案內擔任之具體工作性質、項目及範圍	執行期間
	梁振儒	國立中興大學 /環境教育暨永續科技研發中心/環境工程學系	專案主持人	實驗設計規劃、參與及指導實驗進行、掌握進度、報告撰寫	112年12月~113年11月
	王麒維	大葉大學 /環境工程學系	協同主持人	現場實驗規劃與執行、協助掌握實驗進度、協助報告撰寫	112年12月~113年11月
	陳楓樺	國立中興大學 /環境教育暨永續科技研發中心/環境工程學系	兼任人員	執行實驗、數據整理、報告撰寫、現場採樣等	112年12月~113年10月

五、產業界資源投入表

專案執行若有與產業界合作，請執行單位依實際量化成果填寫於欄位中。

投入資源類別	數量	說明
1.自籌款	0 元	
2.人力	0 人月	
3.設備	0	
4.其他資源 (請自行增列)	(請自填)	



研究成果中文摘要

根據土壤及地下水污染整治基金管理會統計，國內遭受碳氫化合物污染之場址數量高達 70%，其中又以含氯脂肪族碳氫化合物(Chlorinated aliphatic hydrocarbons, CAHs)較為多數占 32%，可見整治有機物污染之場址於國內之重要性。面對有機物污染之土壤及地下水，至今整治工程上使用抽取處理法(Pump and treat, P&T)及土壤蒸氣萃取法(Soil vapor extraction, SVE)仍為較常見之方式。P&T 是一項針對飽和層地下水中溶解性污染物的整治方法，可藉由主動抽取地下水達移除污染物之目的。SVE 係針對土壤通氣層中揮發性有機物進行整治之方法，利用真空抽氣產生負壓予以抽除污染物。兩種整治技術皆須於地表上建置廢液或廢氣處理設備，其中例如考量 SVE 抽取之氣相污染物濃度變化幅度甚大，使得許多污染氣體處理設備無法於現址搭配單組 SVE 系統於有機物污染場址上使用，因此活性碳(Activated carbon, AC)成為目前較廣泛採用之 SVE 尾氣處理方式。然而，對於 AC 吸附飽和後之處置，例如 AC 更換、經費考量及後續 AC 再生或 AC 廢棄物所衍生環境污染等仍舊是目前需克服之議題。因此本研究計畫基於過去之研究基礎，開發實場規模之「活性碳吸附」及「過硫酸鹽再生活性碳」系統結合之實場應用裝置，並利用活化過硫酸鹽再生 AC 系統應用於再生吸附飽和之 AC，且產生之廢水僅殘留過硫酸鈉降解產物硫酸根離子及鈉離子，即可逕行排放。基於第一年研究所建置之設備，本計畫於第二年在受有機物污染之土地及地下水之整治場址，利用場址既有設備搭配 AC 吸附及再生自動化設備進行長時間 SVE 尾氣及 P&T 廢液處理應用之測試。其研究目標包括(1)針對場址內既有之 SVE 處理設備搭配 AC 吸附及再生自動化設備進行廢氣處理測試、(2)針對場址內既有之 P&T 處理設備搭配 AC 吸附及再生自動化設備進行廢水處理測試、(3)針對 AC 吸附及再生自動化設備於 SVE 尾氣處理及 P&T 廢液處理之測試結果，進行設備之現場操作狀況及運作經費評估。

第二年計畫研究結果顯示，吸附及再生自動化設備之氣體 TVOC 偵測器與液體 TOC 偵測器，藉由氣相與液相之特定有機物分析測試建立可靠之相關性。於設備現場之運作測試中，雖遭遇現場整治設備(如設備維修、操作調整)或現場運作條件(如天氣及連線訊號)問題，以至於需間斷操作吸附及再生自動化設備進行因應。然而，在研究團隊於上述調整過程之測試中，仍成功記錄設備執行參數並且可順利自動運行吸附與再生程序。不論廢氣或廢液處理測試，其再生過程皆可明顯發現氧化還原電位隨再生程序進行亦逐漸下降，且水質 TOC 下降至接近背景水樣數值，達到再生完成。另於成本與碳排放之評估，本計畫所開發之設備於運作期間總成本約 1603 千元(固定成本 1600 千元；變動成本 3 千元)，設備運作一次吸附及再生全自動化程序之碳排放為 2521.898 kg CO₂e。此設備除單位活性



碳再生之碳排放低於使用全新活性碳或再生處理廠之活性碳外，其於未有衍生運輸行為及人員裝卸活性碳之作業活動下，可確實達到有效降低碳足跡與溫室氣體排放之環境效益，具應用於實地污染場址之潛力。

關鍵字：抽取處理法、土壤蒸氣萃取法、有機污染物、活性碳、再生



研究成果英文摘要

According to statistics from the Soil and Groundwater Pollution Remediation Fund, 70% of contaminated sites in Taiwan are polluted by organic contaminants, with chlorinated aliphatic hydrocarbons (CAHs) accounting for 32%. This highlights the importance of remediating CAH-contaminated sites. Pump and Treat (P&T) and Soil Vapor Extraction (SVE) are widely used technologies for soil and groundwater remediation. P&T is a method for treating contaminated groundwater by actively extracting it. SVE is a method for remediating volatile organic compounds in the vadose zone of soil, utilizing vacuum pumping to create negative pressure, induce a pressure gradient in the unsaturated subsurface, and subsequently remove volatile contaminants. Due to the significant variation in the concentration of exhaust gas extracted by SVE, most available air pollution treatment equipment cannot be effectively used in conjunction with a single SVE system at remediation sites. As a result, activated carbon (AC) adsorption has become the most commonly used process for treating SVE exhaust gas, due to its high adsorption efficiency and convenience. AC adsorption is commonly employed for emergency response treatment of pollutants present in vapor, solution, or groundwater. However, challenges such as the replacement of spent AC, AC regeneration, and the disposal of AC waste remain issues that need to be addressed. Based on principal investigator's (PI) earlier studies, a laboratory-scale experimental device was successfully developed, which combines an "AC adsorption" system with a "persulfate regeneration AC" system. It was confirmed that the persulfate oxidation process can be effectively applied to regenerate spent AC. Upon completion of AC regeneration, the waste produced from the device primarily consists of sulfate and sodium ions, which can be directly discharged without further treatment. Based on the equipment established during the first year of the project, this study conducted long-term tests in the second year at a site contaminated by organic compounds, utilizing the existing site equipment in combination with AC adsorption and automated regeneration equipment to treat SVE exhaust gas and P&T wastewater. The research objectives included (1) testing the treatment of exhaust gases using existing SVE treatment equipment combined with AC adsorption and regeneration automation equipment at the site, (2) testing the treatment of wastewater using existing P&T treatment equipment combined with AC adsorption and regeneration automation equipment at the site, and (3) evaluating the on-site operation status and operational costs of the equipment based on the test results of AC adsorption and regeneration automation equipment.



The second-year results demonstrated that the TVOC detector (for gas phase) and TOC detector (for liquid phase) within the adsorption and regeneration system established a reliable correlation by analyzing contaminants in both phases. Despite challenges encountered during field operation tests—such as equipment maintenance, weather conditions, and intermittent remote connection signals—the research team successfully observed the equipment automatically executing the adsorption and regeneration processes. Both the exhaust gas and wastewater treatment tests showed a significant decrease in oxidation-reduction potential as regeneration progressed, eventually reaching levels comparable to background water samples, signaling successful regeneration. Regarding cost and carbon emissions, the total operational cost was approximately TWD 1,603,000, consisting of TWD 1,600,000 in fixed costs and TWD 3,000 in variable costs, with carbon emissions calculated at 2,521.898 kg CO₂e. The equipment developed in this study exhibited a lower carbon footprint for unit AC regeneration compared to using new AC or regenerated AC from external facilities. Furthermore, by eliminating the need for additional transportation and manual handling, the system significantly reduced its carbon footprint and greenhouse gas emissions. This showcases its strong environmental benefits and potential for practical application at contaminated sites.

Keywords: Pump and Treat, Soil vapor extraction, Organic contaminant, Activated carbon, Regeneration



目次

研究成果中文摘要	
研究成果英文摘要	
目次	1
圖次	3
表次	6
(一) 前言	7
(二) 研究目的	20
2.1 第 2 年之研究目標目標	20
2.2 模場試驗場址資料	20
(三) 文獻探討	24
(四) 研究方法與過程(含工作進度甘特圖)	26
4.1 針對場址內既有之 SVE 處理設備搭配 AC 吸附及再生自動化設備進行廢 氣處理測試	27
4.2 針對場址內既有之 P&T 處理設備搭配 AC 吸附及再生自動化設備進行廢 水處理測試	31
4.3 針對 AC 吸附及再生自動化設備於 SVE 尾氣處理及 P&T 廢液處理之測 試結果，進行設備之現場操作狀況及運作經費評估	33
4.4 研究進度及預期完成之工作項目(甘特圖).....	34
(五) 結果與討論	35
5.1 針對場址內既有之 SVE 處理設備搭配 AC 吸附及再生自動化設備進行廢 氣處理測試	35
5.2 針對場址內既有之 P&T 處理設備搭配 AC 吸附及再生自動化設備進行廢 水處理測試	58
5.3 針對 AC 吸附及再生自動化設備於 SVE 尾氣處理及 P&T 廢液處理之測試 結果，進行設備之現場操作狀況及運作經費評估	80
(六) 結論	88



(七)	參考文獻	90
-----	------------	----



圖次

圖 一、整治場址(a)SVE 機組及尾氣處理、(b)SVE 尾氣濃度變化趨勢和 (b)P&T 抽出廢水之活性碳吸附塔.....	9
圖 二、活性碳再生之概要分類及化學氧化再生概念示意圖	10
圖 三、模場型之活性碳吸附及再生自動化設備裝置細部設計及流程圖	13
圖 四、模場型之活性碳吸附及再生自動化設備裝置邏輯及運作流程 SOP 步驟.....	15
圖 五、裝置運至實驗室之過程	17
圖 六、AC 吸附及再生自動化設備.....	17
圖 七、活性碳管外觀	18
圖 八、加藥桶外觀	18
圖 九、活性碳管及加藥桶相對對應位置	18
圖 十、廢水及廢氣切換條件之介面	18
圖 十一、電動閥正常開啟之狀態(亮綠燈)	18
圖 十二、系統上顯示溫度及 ORP 數值	18
圖 十三、設備操作介面以及人機系統電腦遠端連線控制畫面	19
圖 十四、新屋區台 15 線 53.5K 處場址之地籍圖	22
圖 十五、模場試驗之處理系統設置位置	23
圖 十六、過硫酸鹽再生 SVE 尾氣吸附飽和活性碳實驗之裝置設計圖及 照片	25
圖 十七、研究目標之實驗流程規劃	26
圖 十八、吸附及再生自動化設備(a)設定及(b)電路系統之介面	27
圖 十九、計畫主持人正與工程師進行討論及困難排解	40
圖 二十、硬體工程師正加裝裝置硬體設備	40
圖 二十一、軟體工程師正在修復程式中的錯誤	40
圖 二十二、氣體系統不同設定條件及操作流程圖	41
圖 二十三、桃園市環境保護局核定公文之縮圖	44



圖 二十四、裝置運離實驗室之過程	45
圖 二十五、裝置送至模場試驗場址之過程	45
圖 二十六、利用現場既有設備抽取部分氣體	45
圖 二十七、設備在現場放置完成圖	45
圖 二十八、使用攜帶式 PID 偵測器偵測現場 TVOC 濃度	45
圖 二十九、SVE 01 – 公務所內系統現場自動化操作執行廢氣吸附/再生 之循環監測數據	48
圖 三十、dashboard 即時監測數據	49
圖 三十一、計畫主持人與專案承辦人到現場視察	50
圖 三十二、計畫主持人介紹系統原理	50
圖 三十三、與場址負責人討論管線連接	50
圖 三十四、連接管線至另一區域之路徑	50
圖 三十五、將原在 SVE 01-公務所內之管線遷至 RL-01 聚賢路 SVE 處 理系統	51
圖 三十六、RL-01 聚賢路貨櫃 (1) 自動化機電操作系統執行 SVE 之廢 氣吸附/再生循環操作數據	53
圖 三十七、RL-01 聚賢路貨櫃 (1) 區域經抽水降低水位後予以抽氣， 自動化機電操作系統執行 SVE 之廢氣吸附/再生循環操作數據	54
圖 三十八、RL-01、RL-02 自動化機電操作系統執行 SVE 之廢氣吸附/ 再生循環操作數據	56
圖 三十九、將原在 RL-01 聚賢路 SVE 處理系統之管線遷至 RL-02 台 15 貨櫃 SVE 處理系統	57
圖 四十、新屋區台 15 線 53.5K 處台 15 線貨櫃(RL-02) SVE 設備廢氣之 GC/MS 層析圖譜	58
圖 四十一、軟體更改(a)前、(b)後之使用介面	64
圖 四十二、液體系統不同設定條件及操作流程圖	65
圖 四十三、更換氣體用柱狀活性碳為液體用顆粒狀活性碳之全過程	68
圖 四十四、模場試驗配置圖	69



圖 四十五、設置中繼桶	70
圖 四十六、因土壤為紅土質地，因此含有過多雜質基質	70
圖 四十七、過濾系統細部設計流程圖	70
圖 四十八、實體過濾裝置圖	71
圖 四十九、RL-02 自動化機電操作系統執行 P&T 之廢水吸附/再生循環 操作數據	73
圖 五十、新屋區台 15 線 53.5K 處台 15 線貨櫃(RL-02) P&T 設備廢水之 (a)原水、(b)自動化機電操作系統設備吸附處理後之出流水 GC/MS 層 析圖譜	76
圖 五十一、比較(a)柱狀及(b)顆粒活性碳再生前後之 FTIR 圖譜	79
圖 五十二、不同活性碳使用之碳足跡邊界設定	82
圖 五十三、一般活性碳再生處理程序之碳足跡系統邊界設定	84
圖 五十四、吸附及再生自動化設備處理程序之碳足跡邊界設定	84



表次

表 一、活性碳吸附及再生裝置基本資料表	12
表 二、此計畫擬進行模場試驗之土壤與地下水整治場址之綜合論述分析	21
表 三、系統設定頁各按鈕代表意義說明	28
表 四、不同濃度丙酮之氣相 TVOC 讀值比較及相關計算	36
表 五、不同濃度汽油之氣相 TVOC 讀值比較及相關計算	38
表 六、氣體吸附及再生操作系統異常及解決方式	42
表 七、執行 SVE 之廢氣吸附/再生運行過程所遭遇之困境及解決方法	47
表 八、不同濃度鄰苯二鈣酸氫鉀之液相 TOC 測值比較及相關計算	60
表 九、不同濃度甲苯之液相 TOC 測值比較及相關計算	62
表 十、液體吸附及再生操作系統異常及解決方式	66
表 十一、執行 P&T 之廢水吸附/再生運行過程所遭遇之困境及解決方法	74
表 十二、廢水各處理階段之總有機碳分析(TOC)及水質分析結果	77
表 十三、AC 反應前後之特性分析結果	78
表 十四、成本分析表	80
表 十五、不同活性碳再生場域之碳足跡計算結果	87



(一)前言

現今快速發展經濟與工業的時代，地下管線破裂、儲槽洩漏或人為操作不當等因素，致使具危害性之化學物質意外進入土壤及地下水中，進而造成環境之污染，為大眾所關心之環境議題之一。根據美國超級基金針對污染場址進行關切污染物(Contaminant of concern)類型之統計調查報告指出¹，土壤、地下水及底泥之中多遭受揮發性有機物(Volatile organic compounds, VOCs)、重金屬(Heavy metals)、非揮發性有機物(Semivolatile organic compounds, SVOCs)與其他(Others)種類之污染，其中遭受 VOCs 污染之場址數為1159處，占總污染場址數達78%，為主要之污染物類型。此外，國內土壤及地下水污染整治年報(2017)所彙整之國內土壤及地下水污染場址中，遭受碳氫化合物污染之場址數量高達70%，其中又以含氯脂肪族碳氫化合物(Chlorinated aliphatic hydrocarbons, CAHs)較為多數占32%，CAHs中具有揮發特性之重質非水相液體(Dense non-aqueous phase liquid, DNAPL)例如三氯乙烯(Trichloroethylene, TCE)其占有14%²。

面對有機物污染之土壤與地下水，至今整治工程上使用抽取處理法(Pump and treat, P&T)及土壤蒸氣萃取法(Soil vapor extraction, SVE)仍為較常見之方式。P&T是一項針對飽和層地下水中溶解性污染物的整治方法，可有效地藉由主動抽取地下水達移除污染物之目的。此外，P&T亦兼具控治污染團擴散的功用，因此除了可做為整治技術外，亦可視為與水力隔絕之方法類似之圍容(Containment)技術。P&T所用的設備一般包括抽取井與地面處理設備兩部分，其中地面處理設備一般需視污染物特性而定。然而，地下水一旦經幫浦抽出後，其處理方法即與一般廢水處理方式差異不大。根據美國超級基金整治年報指出³，P&T的整治期程一般都較為耗時，且往往在停止抽水後會有地下水污染物濃度回升(Rebound)之現象。此現象多係因於土壤中仍存在有吸附相污染物、液滴型態(blobs)或甚仍有 DNAPL 純相之殘留污染物，致使污染物回溶於地下水所致，且即使土壤污染濃度未達法規管制限值，其回溶於地下水之污染物多數狀況下仍可造成地下水污染濃度超過管制標準，因此 P&T 整治過程時常需進行抽取與停止脈衝式操作(Pulsed operation)之程序。

SVE 係針對土壤通氣層(Vadose zone)中揮發性有機物進行整治之方法，污染物之特性通常需具有亨利定律常數大於0.01 atm-m³/mol 或蒸氣壓大於0.5 mm Hg 以上時適用，為常見之現地土壤污染處理技術之一⁴。根據美國超級基金調查報告顯示，於1982至2017年中使用現地處理技術之場址共計有846處，其中以 SVE 進行處理之場址為310處(佔36.6%)，可見 SVE 至今仍為污染場址之泛用整治技術之一。SVE 整治方式為使用垂直/水平井或溝渠，利用真空抽氣產生負壓，於地表下



引發壓力梯度變化(Pressure gradient)，進而提昇土壤中 DNAPL 及溶解於孔隙水中之污染物揮發作用，及土壤表面污染物的脫附速率，使土壤中之有機碳氫化合物由土壤吸附相或液相轉移為氣相，並往抽氣井方向移動，接續再予以抽取並移除，同時於地面上設置空氣污染處理設備，將抽出氣體回收或處理，污染物濃度降至法規標準以下後，使得排放至大氣中。此外，SVE 工法時常會結合地下水抽水井，以降低地下水位獲得較大之未飽和層空間；抑或是結合空氣注入法(Air sparging)使用，以回收地表深層或地下水中之污染物。SVE 操作過程中，抽除之氣體送至地面建置之處理設備，進行氣液分離後，將尾氣(Off-gas)及廢水分別處理後排放。一般 SVE 尾氣處理方法包含熱氧化、觸媒氧化、凝結作用、活性炭(Activated carbon, AC)吸附、樹脂吸附、生物過濾、內燃機、火焰燃燒塔等⁵，其中熱氧化法及 AC 吸附為較常見的尾氣處理方式。熱氧化法係利用升高氣流的溫度，使污染物氧化或燃燒為二氧化碳及水。一般熱氧化系統有四種類型，包含直燃式焚燒爐(DFTO)、直通無焰直燃式焚燒爐(FTO)、再生式焚燒爐(RTO)及觸媒氧化器(Cat-ox)。此類型之 SVE 尾氣處理，除非面對大量之廢氣收集及處理，否則其經濟效益較低，或於嚴禁煙火之場址不宜採用。

AC 吸附具有對有機污染物吸附效果佳及使用便利等優勢，因此對於環境污染物不論是污染氣體、廢水或地下水之緊急應變處理，AC 吸附為常用之整治程序。圖一(a)為一處整治場址 SVE 機組搭配尾氣處理之 AC 吸附設施。於有機物或含氯有機物污染場址，一般嚴禁使用具有火源之相關設備，並且須考量 SVE 抽取之氣相污染物濃度變化幅度甚大，例如 SVE 自未飽和含水層抽氣，初期氣相污染濃度較高(圖一(b)所示)，隨之氣相濃度依據污染情境不同(Flow or diffusion controlled)會快速降低，因此在實際 SVE 操作期間，一旦抽出的污染質量去除率下降，SVE 可採用脈衝操作，停止運行期間污染物會再度擴散至氣相中，再次啟動 SVE 時予以被抽除。因此須考量 SVE 抽取之氣相污染物濃度變化幅度甚大，使得許多前述污染氣體處理設備(一般採用之熱氧化系統)無法於現址搭配單組 SVE 系統於有機物污染場址上使用，因此 AC 吸附成為目前較廣泛採用之 SVE 尾氣處理方式。此外，對於 P&T 抽水之處理機制，受限於 DNAPL 低水溶解度，使得 P&T 之操作期程甚長且無法有效完全整治地表下污染，並且受限於污染場址可能無廢水處理設施，或既有之設施無法處理 DNAPL 類之污染物或需變更水污染防治措施等問題，因此 AC 吸附塔常作為搭配 P&T 系統作為廢水處理之設備(圖一(c)所示)。然而，即便 AC 吸附為一項廣泛採用之污染處理程序，對於 AC 吸附飽和後之處置，例如 AC 更換、經費考量及後續 AC 再生或 AC 廢棄物所衍生環境污染等仍舊是目前需克服之議題。AC 之吸附一般多為物理性吸附，其則屬吸脫附可逆作用，於適當條件下可再生去除 AC 吸附之物質，再生方式包含熱脫



有機物污染場址現址 P&T 廢水與 SVE 廢氣活性碳吸附及再生自動化設備開發及模場應用

附⁶⁻⁸、萃取再生⁹、電化學再生¹⁰、生物再生^{11, 12}、溼式氧化再生^{13, 14}等，相關 AC 再生之概要分類如圖二所示。

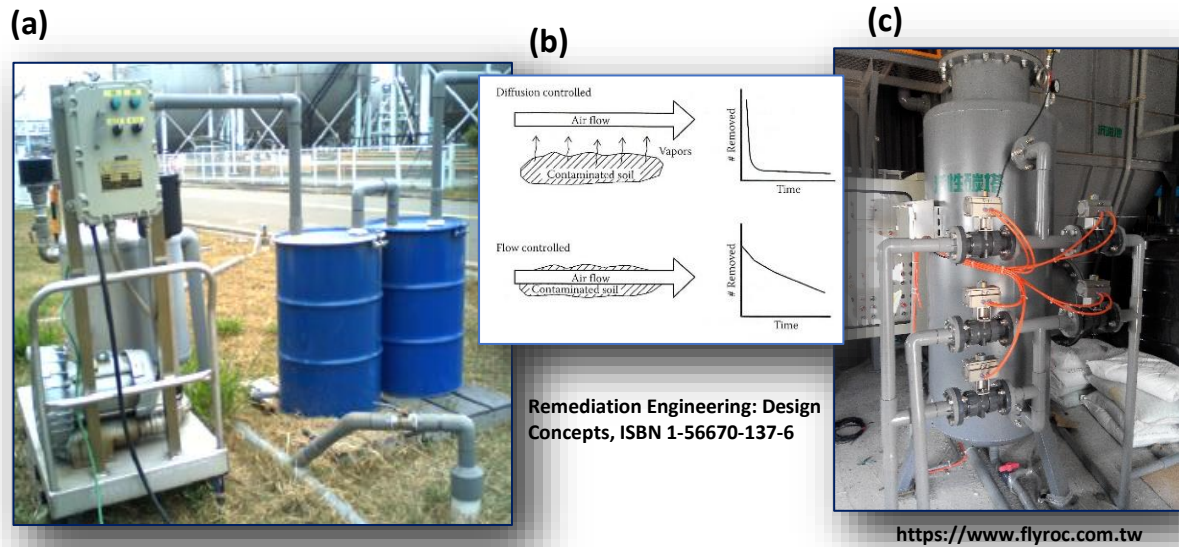
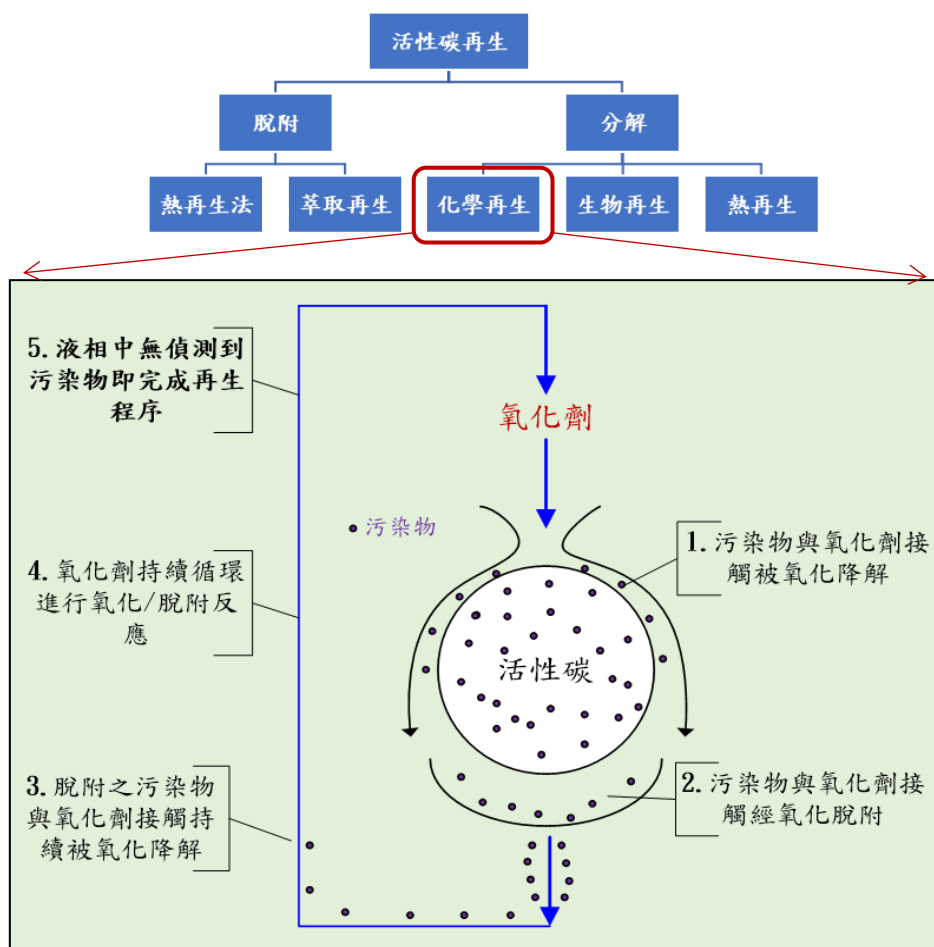


圖 一、整治場址(a)SVE 機組及尾氣處理、(b)SVE 尾氣濃度變化趨勢和(b)P&T 抽出廢水之活性碳吸附塔



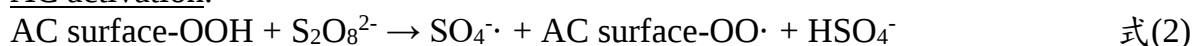
圖二、活性炭再生之概要分類及化學氧化再生概念示意圖

如圖二所示，當污染物與氧化劑接觸時，以活化方式使過硫酸鹽產生自由基(式(1))，並且如式(2)及(3)，AC與過硫酸鹽接觸亦可經由與AC上之官能基予以活化產生硫酸根自由基^{15, 16}，進而破壞污染物，此外，當污染物與氧化劑接觸，使污染物經氧化脫附，而脫附之污染物與氧化劑接觸，此時污染物持續被氧化降解，並循環氧化/脫附反應，直到液相中無偵測到污染物，即完成再生程序。

Thermal activation:



AC activation:





鑒於環保法令日趨嚴格，且國內土壤及地下水整治之發展逐漸朝向循環經濟與淨零排放邁進，對於固定污染源包含 SVE 操作之尾氣排放或 P&T 之液體處理，皆須有效加以控制去除以維護民眾之健康。因此，本計畫基於前述實驗室規模之研究成果，持續開發可於整治場址搭配 SVE 或 P&T 整治設備上之 AC 再生循環使用之尾氣、廢液處理設備，此 AC 再生程序以濕式高級化學氧化法再生，藉由 SPS 經活化程序生成硫酸根強氧化劑破壞污染物之能力¹⁹，循環淋洗吸附飽和之 AC，以氧化降解 AC 吸附之污染物，使 AC 能於 SVE 機組上經短暫時間(約 5-6 小時內)再生重複使用，吸附相淋洗脫附出之污染物亦能於液相中藉由氧化反應加以破壞。

第一年計畫執行已成功開發建置全自動有機物廢水及廢氣之吸附及再生設備，基本資料表如表一所示。此技術利用活性碳/吸附有機污染物，然而當 AC 吸附達飽和時，經由活化過硫酸鈉化學氧化進行再生。當前階段已完成之「活性碳吸附」及「活化過硫酸鹽再生」系統結合之實驗裝置設計，並利用「連續監測設備」監測出流水或出流氣體之污染物濃度，圖三為計畫主持人團隊依據本研究所設計之吸附及再生裝置構想及操作流程裝置設計。



表一、活性炭吸附及再生裝置基本資料表

名稱	規格/參數
設備整體尺寸	180 * 120 * 190 cm
活性炭管柱尺寸(2 管)	Ø16 * 95 cm/體積約為 20 L
活性炭重量	8.0 - 9.2 kg ⁽¹⁾ 9.0 - 11 kg
廢氣進流 流量範圍	30 – 300 NL/min
廢水進流 流量範圍	5 – 50 L/min
取樣氣體流量	500 mL/min
再生藥劑槽	約 20L
再生循環槽	Ø40 * 46 cm/體積約為 55 L
再生藥劑循環流量範圍	5 – 50 L/min
再生藥劑添加流量範圍	500 mL/min
空床停留時間(EBRT)	氣相：4.0 - 40 sec 液相：0.4 - 4.0 min
GAC PV ⁽²⁾ 停留時間	氣相：3.14 - 31.4 sec 液相：0.30 – 3.0 min
清洗流量範圍	5 - 50 NL/min
TOC 偵測範圍	0.0 - 500.0 mg/L
TVOC 偵測範圍	0 - 1000 ppmV
乾燥氣體流量範圍	50 - 500 NL/min
廢氣進氣口 外接孔徑尺寸	B 型外牙(37 mm) + E 型插管(25 mm)
廢水進水口 外接孔徑尺寸	B 型外牙(37 mm) + E 型插管(25 mm)
自來水 外接孔徑尺寸	D 型內牙(24 mm) + E 型插管(19 mm)
綜合廢水 外接孔徑尺寸	B 型外牙(37 mm) + E 型插管(25 mm)

備註：⁽¹⁾ Typ G-306/4070 GAC， $\rho_b = 0.4 \sim 0.46 \text{ g/cm}^3$

$\Rightarrow 20 \text{ L} \times 0.4 \text{ g} = 8 \text{ kg}$ ； $20 \text{ L} \times 0.46 \text{ g} = 9.2 \text{ kg}$

Typ G-840 GAC， $\rho_b = 0.45 \sim 0.55 \text{ g/cm}^3$

$\Rightarrow 20 \text{ L} \times 0.45 \text{ g} = 9 \text{ kg}$ ； $20 \text{ L} \times 0.55 \text{ g} = 11 \text{ kg}$

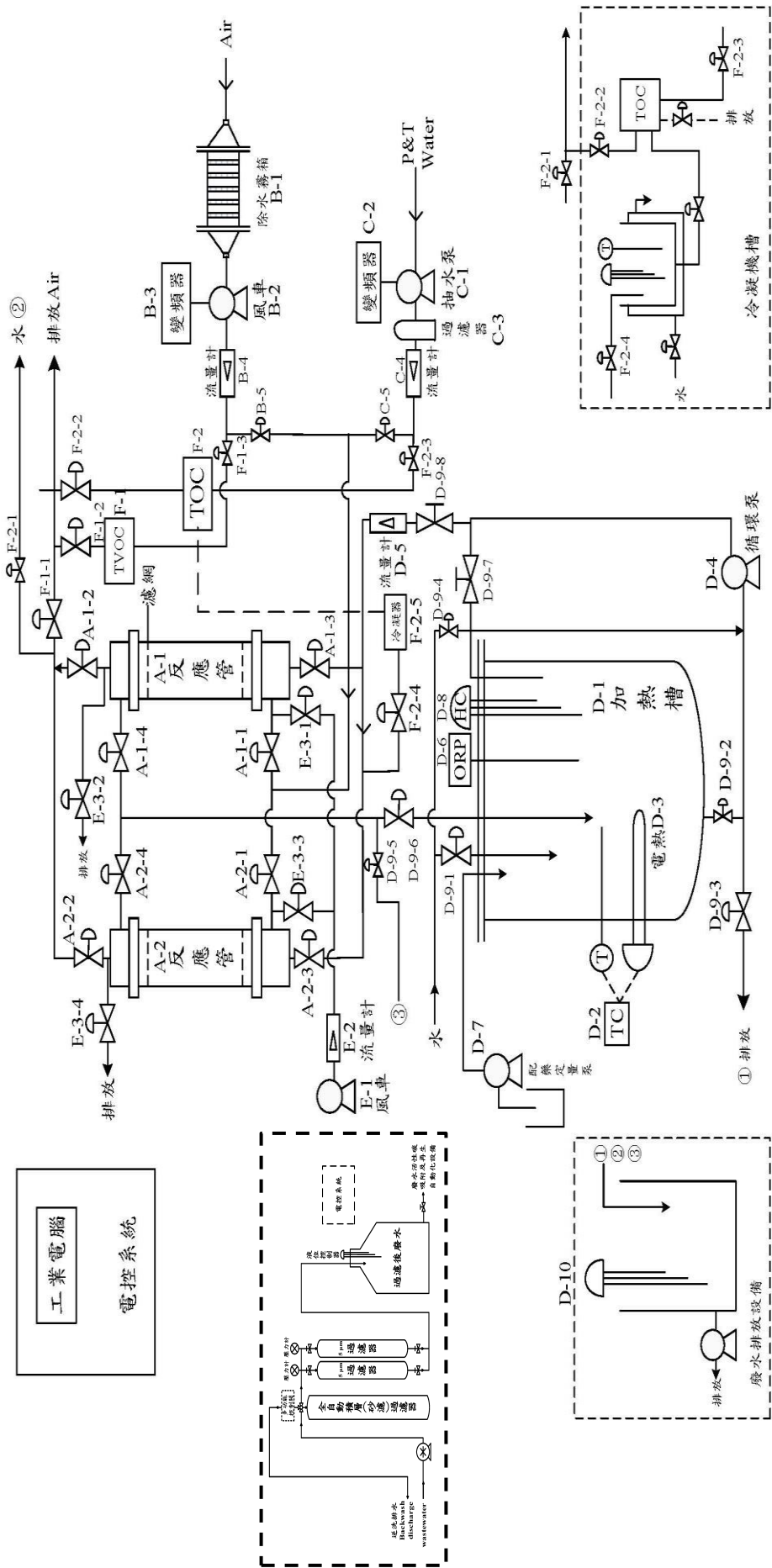
⁽²⁾ $\rho_{\text{real}} = 2.0 \text{ g/mL}$

$\Rightarrow \text{Typ G-306/4070 GAC Pore volume} = 20 \text{ L} - \frac{8.0 \sim 9.2 \text{ kg}}{2.0 \text{ g/mL}} \times \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}}$
 $= 15.4 \text{ L} \sim 16.0 \text{ L} \approx 15.7 \text{ L}_{(\text{avg})}$

$\Rightarrow \text{Typ G-306/4070 GAC Pore volume} = 20 \text{ L} - \frac{9.0 \sim 11 \text{ kg}}{2.0 \text{ g/mL}} \times \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}}$
 $= 14.5 \text{ L} \sim 15.5 \text{ L} \approx 15 \text{ L}_{(\text{avg})}$



有機物污染場址現址 P&T 廢水與 SVE 廢氣活性碳吸附及再生自動化設備開發及模場應用



圖三、模場型之活性炭吸附及再生自動化設備裝置細部設計及流程圖



本研究之系統設計用以吸附土壤氣體抽除法(SVE)之尾氣或抽取處理法(P&T)之廢水處理，當活性碳吸附達飽和貫穿後，接續以 SPS 氧化程序進行活性碳再生，以大幅降低更換活性碳所需之費用。本裝置採用不鏽鋼作為主要之材料，有機物接觸之管材採用鐵氟龍材質。「活性碳吸附」系統主要之原件包含吸附系統進流閥、吸附系統出流閥、吸附管柱、氣體流量計、液體流量計、抽水幫浦、風車及監測系統等，當吸附達飽和貫穿時，關起吸附系統之閥門，而後進行活化過硫酸鹽之系統；「過硫酸鹽再生活性碳」系統則包含活化過硫酸鹽溶液槽體(亦即加熱槽)、加熱控溫系統、ORP 計、液位控制計、抽水循環幫浦、液體流量計、再生系統進流閥、再生系統出流閥及風車等；「連續監測設備」於機器運作期間監測活性碳吸附系統出流水之總有機碳(TOC)，或出流氣體之總揮發性有機物(TVOCs)；再生活性碳系統監測出流水之總有機碳(TOC)，其相關運作流程及運作情境如圖四所示。

「自動活性碳吸附及再生系統之標準操作流程(Standard Operating Procedure , SOP)」如圖四所示，其分為四階段。

階段(一)：首先決定欲處理之污染為廢氣或廢水，以設定電控系統；

階段(二)：設定吸附處理之貫穿濃度(TOC 或 TVOC)，吸附貫穿濃度之設定，其中廢水吸附處理之貫穿濃度設定，將依據所允許之特定有機物排放標準於廢水中其所對應之 TOC 數值；廢氣吸附處理之貫穿濃度，則將依據所允許之特定有機物排放標準所對應之 ppmV，或將依據整治計畫書核定之 SVE 尾氣之排放濃度(一般規定 200 ppmV)。吸附達貫穿時，自動切換至另一支吸附管進行處理，並且達飽和之活性碳管則自動進行再生；

階段(三)：啟動過硫酸鹽反應再生系統，直至過硫酸鹽完全降解及水中 TOC 已達完全降解；

階段(四)：再生結束後，進行清水清洗並進行吹乾。

此系統為全自動吸附及再生運作，因此於上述四階段，僅需於階段一選擇欲處理之進流污染物為廢水或是廢氣，並且於階段二設定貫穿濃度，以進行吸附與再生之切換，接續之階段三及階段四則自行運作，此系統則可全自動運作。



有機物污染場址現址 P&T 廢水與 SVE 廢氣活性碳吸附及再生自動化設備開發及模場應用

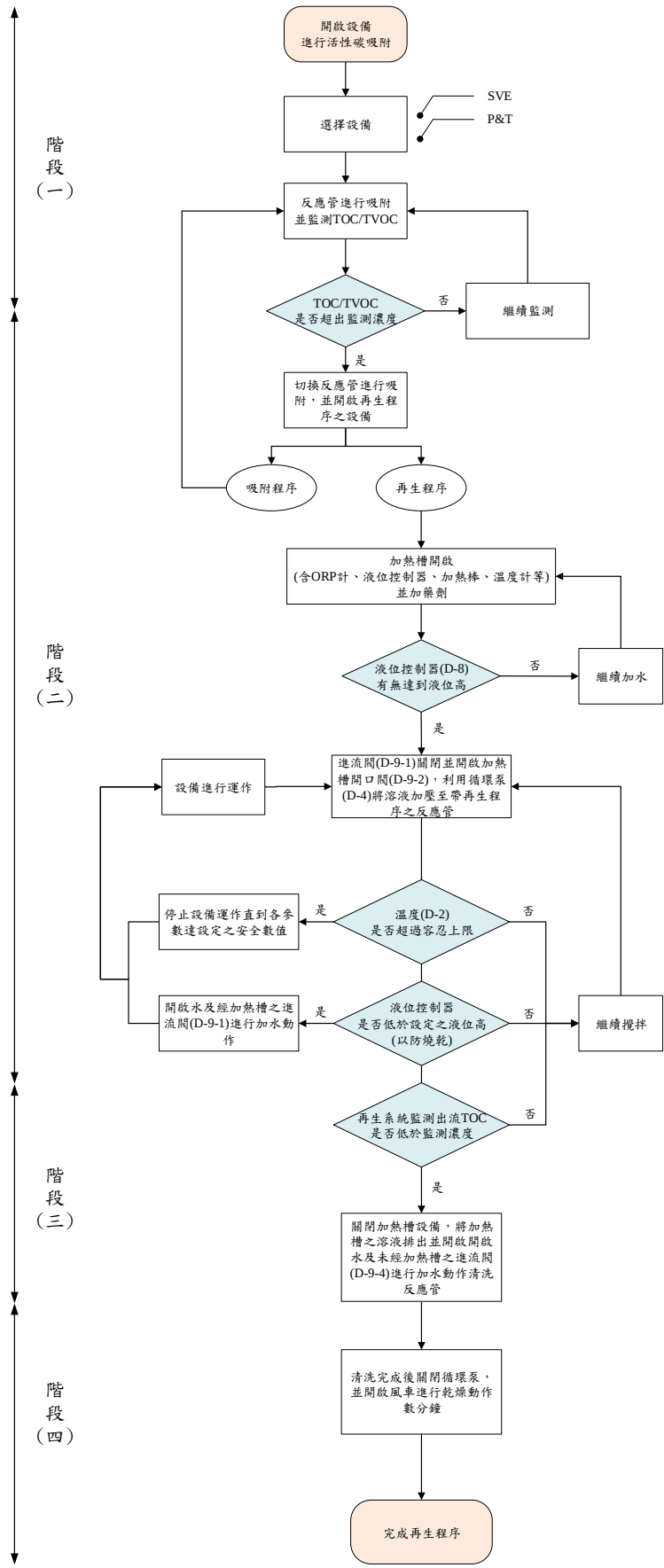


圖 四、模場型之活性碳吸附及再生自動化設備裝置邏輯及運作流程 SOP 步驟



全自動有機物廢水及廢氣之吸附及再生設備零件主要包含以下：

(1) 電動閥為以人機電腦操控與管線間連接之開關閥；(2) 冷凝器為測定 TOC 前之冷凝水樣之零件，其目的為使待測水樣可降溫至 TOC 監測儀器可測定溫度範圍；(3) 環形鼓風機之使用目的為將廢氣抽出或吹乾活性碳管(設備當中共有兩台鼓風機)；(4) 電磁驅動多功能定量幫浦為活性碳管進行再生系統添加藥劑時所需之幫浦，其使用目的為定量添加藥劑用；(5) 流量計為監測當前進流之流量，其水樣使用之流量計流量範圍為5-50 L/min，氣體使用之流量計流量範圍為30-300 NL/min 及50-500 NL/min；(6) 17吋工業電腦為控制設備運作之人機電腦；(7) 進水幫浦及循環幫浦其皆為使廢水或藥劑水於管線內流動之動力來源；(8) 活性碳管為填裝活性碳之容器及進行吸脫附反應，內含有活性碳管濾板於底部，其目的為防止大顆粒活性碳掉入管線當中；(9) 加熱槽為提供藥劑混和及加熱之處；(10) 廢水過濾器為以 P&T 抽出廢水進入活性碳管前之過濾零件，內含有濾心，以濾心顏色判斷是否需更換濾心(濾心顏色白至透明即為水樣乾淨)。

AC 吸附及再生自動化設備建置完成，並於工廠實驗場域進行氣體及液體運作測試、對各電動閥門之控制進行操作測試、人機系統設定及電路配置確認測試以及網路 SIM 卡安裝及連線測試，完成後並送至實驗室確認最終實際相關操作；圖五為裝置運至實驗室之過程，圖六為即建置完成之設備，其尺寸為長 180 cm*寬 120 cm*高 190 cm，內部主要架構有吸附污染物之活性碳管(尺寸為直徑 16 cm 高 95 cm，體積約為 20 L，外觀如圖七所示)，以及加藥進行再生階段之藥桶(加熱槽)(尺寸為直徑 40 cm 高 46 cm，體積約為 55 L，外觀如圖八所示)，活性碳管與加藥桶對應位置如圖九所示(其他參數可參考表一基本資料表)。

AC 吸附及再生自動化設備於實驗室內測試方法依據自動活性碳吸附及再生系統之標準操作流程，測試分為「未填裝活性碳」及「有填裝活性碳」，此目的為探討有無填裝活性碳的條件下之活性碳吸附管實際體積以及活性碳體積，並了解無填裝活性碳條件下所需使用水量。測試項目內容依據各階段所使用之設備，例如：確認設備電源、確認操作模式(處理廢水或廢氣)切換功能是否正常、流量計是否精確、確認各設備(除水霧箱、風車、幫浦、監測設備等)是否運作正常、人機系統連接包含遠端操作有無異常等。

測試過程如圖十所示，(a)為未點選條件時之狀態，於設備系統上切換(b)液體廢水(P&T)或(c)氣體廢氣(SVE)模式時，選擇切換之條件會顯示紅底綠框，未選擇者則為灰底黃框，最後再點選「系統啟動」則才會正式啟動條件；當抽取廢氣或廢液且經過流量計時，流量計會顯示當前流量結果，其進流廢水流量範圍為 5-50 L/min，進流廢氣流量範圍：30-300 NL/min，當流量超出流量計範圍時，抽水之



幫浦及抽廢氣之風車皆可持續運作；廢水或廢氣進入管線時，需藉由電動閥(進出流閥)將管線開啟，當電動閥開啟時，會以綠燈顯示開啟成功，如圖十一所示；ORP 計、溫度計開啟後於設備系統上可看見監測數值，以利隨時觀察當前量測結果，圖十二上紅色數字 29 及 135 為溫度(°C)及 ORP 數值(mV)，其 ORP 數值亦於量測設備上顯示；確認加藥階段之電動閥皆開啟後，確認循環用幫浦是否運作，即為是否有抽水動作，其結果為有正常抽水，並以液位控制器監測水位到達設定值即停止加水動作；加水及加熱達設定值後即開始再生程序，此階段過程當中加熱器亦持續加熱，直達到設定之終點溫度。

當監測 TOC 濃度數值達再生水排放設定值時，即關閉加熱設備及停止再生，並開始排放加熱槽中再生水(藥劑水)；此時確認清洗相關設備是否開啟、電動閥是否運作正常，確認完畢後即開始加水(清洗用)，並以液位控制器監測水位到達設定值即停止加水動作，此時再確認循環幫浦是否將水加至桶槽及管線以利清洗；清洗完成後停止清洗動作並排放廢水，並確認乾燥用鼓風機(風車)是否可正常使用，以及接在鼓風機出口之流量計是否可正常運作；完成乾燥後再進行電動閥開關確認以及鼓風機是否關閉；最後確認停止運作後另一管柱於 TVOC 或 TOC 濃度貫穿時是否會進行切換，其中廢氣吸附處理之貫穿濃度，則將依據所允許之特定有機物排放標準所對應之 ppmV 數值，或將依據整治計畫書核定之 SVE 尾氣之排放濃度(一般採用 200 ppmV)；廢水吸附處理之貫穿濃度設定，將依據所允許之特定有機物排放標準於廢水中其所對應之 TOC 數值，其監測方法除現場查看數據結果外，亦可利用人機系統中之遠端連線查看當前濃度結果，其設備操作介面以及人機系統遠端連線畫面如圖十三所示，完成上述測試即完成設備操作程序查核。



圖 五、裝置運至實驗室之過程



圖 六、AC 吸附及再生自動化設備



圖 七、活性炭管外觀



圖 八、加藥桶外觀



圖 九、活性炭管及加藥桶相對對應位置

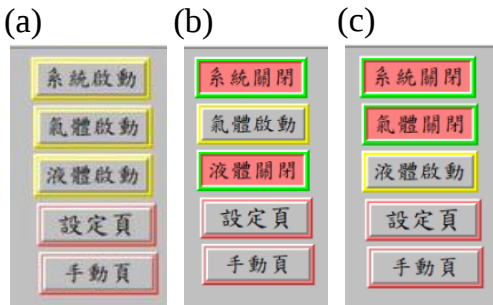


圖 十、廢水及廢氣切換條件之介面



圖 十一、電動閥正常開啟之狀態(亮綠燈)

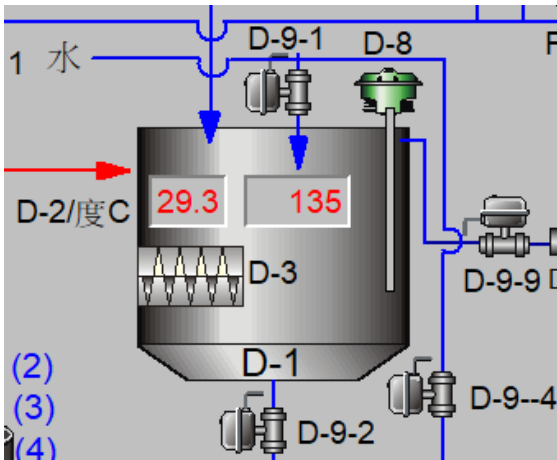


圖 十二、系統上顯示溫度及 ORP 數值



有機物污染場址現址 P&T 廢水與 SVE 廢氣活性碳吸附及再生自動化設備開發及模場應用



圖 十三、設備操作介面以及人機系統電腦遠端連線控制畫面



(二)研究目的

本研究計畫第一年開發可同時運用於 SVE 尾氣處理及 P&T 廢液處理之有機物污染場址現地廢水與廢氣 AC 吸附及再生自動化設備，並於實驗室場域內執行氣相及液相之吸附及再生自動化設備測試及初步於實際污染場址廢液處理應用模擬試驗。第二年之研究計畫為進行整治場址之 SVE 尾氣處理及 P&T 廢液處理應用試驗，並評估現場操作狀況及運作經費，藉以驗證現地廢水與廢氣 AC 吸附及再生自動化設備之應用可行性。此計畫擬分為兩年執行，目前已完成第一年所規劃之目標，而第二年之研究目標陳述如下：

2.1 第2年之研究目標

選取受有機物污染之土壤及地下水之整治場址，本次模場計畫之設備規劃於桃園市新屋區台15線53.5 K場址進行試驗，此場址既有之 SVE 與 P&T 設備搭配開發之 AC 吸附及再生自動化設備進行廢氣與廢水之現地應用試驗及評估，各項目說明如下所述：

1. 針對場址內既有之 SVE 處理設備搭配 AC 吸附及再生自動化設備進行廢氣處理測試。
2. 針對場址內既有之 P&T 處理設備搭配 AC 吸附及再生自動化設備進行廢水處理測試。
3. 針對 AC 吸附及再生自動化設備於 SVE 尾氣處理及 P&T 廢液處理之測試結果，進行設備之現場操作狀況及運作經費評估。

2.2 模場試驗場址資料

本研究計畫整理環境部環境管理署土壤及地下水污染整治基金管理會公告國內至 2022 年同時遭受含氯有機物污染之土壤及地下水控制/整治場址共 123 筆²⁰，第一年計畫選取一場址執行計畫，規劃選定高雄市大順加油站整治場址進行污染場址之設備試車及運作測試，利用高雄市大順加油站整治場址既有之 P&T 設備搭配並測試本研究所開發吸附及再生自動化設備，執行程序 SOP，以確保後續進一步進行場址試驗之可行性，然而由於該場址位於市區，相關 SVE 及 P&T 設備之使用，噪音甚大而造成附近居民反應，因此無法持續運作；第二年之模場執行則更換於桃園市新屋區台 15 線 53.5K 處場址進行試驗，此場址既有之 SVE 與 P&T 設備，搭配開發之再生自動化設備進行廢氣與廢水之現地應用試驗。(如表二之兩處場址綜合論述分析)

針對未飽和含水層之處理，桃園市新屋區台 15 線 53.5K 處控制場址為土壤受高濃度總石油碳氫化合物污染之場址，現場有完整之 SVE 及 P&T 處理系統。



新屋區台15線53.5 K 處背景資料說明

本場址新屋區台 15 線 53.5K 處，位於台 15 線 53.5 K 處，新屋區永安村 9 鄰 203 號兩側之空地，接近永安漁港，鄰近用地多為埤塘或草生空地，過去為農地及畜牧用地，圖十四為場址地籍圖。係中油公司埋設於台 15 線 53 公里 500 公尺處之 12 吋汽、柴油輸油管線遭竊油導致油料外洩污染，經查竊油點位於台 15 線原新屋區下庄子 203 號之民房，該民房四周有鐵皮圍籬與外界區隔，圍籬內為裸露地面，用地內有一水排水渠道穿越。目前台灣中油公司於圍籬內進行相關之應變改善作業，入口處已設置工程告示牌。圖十五為場址處理系統設置位置，SVE 尾氣處理管線連接至 RL-01 及 RL-02；P&T 廢水處理則是連接至 RL-02。

依據桃園市環境保護局101年11月14日於「101年度桃園縣土壤及地下水污染調查及查證工作計畫」查證結果，該場址土壤中污染物苯及總石油碳氫化合物最高濃度分別為苯：31 mg/kg、TPH 14,300 mg/kg(土壤污染管制標準(苯：5 mg/kg、TPH：1,000 mg/kg)，地下水中污染物苯及總石油碳氫化合物，最高濃度分別為2.36 mg/L、26.8 mg/L(第二類地下水污染管制標準(苯：0.050 mg/L、TPH：10 mg/L)(相關資訊參考列表二)。

桃園市環境保護局遂於民國 102 年 1 月 14 日依土污法第 12 條第 2 項及同法施行細則第 10 條公告本場址為土壤及地下水污染控制場址，同年 2 月 18 日依土污法第 16 條公告土壤及地下水污染管制區。

表 二、此計畫擬進行模場試驗之土壤與地下水整治場址之綜合論述分析

場址名稱	場址公告 列管狀態	場址既有設備	土壤/地下水污染物
大順加油站 (高雄市)	整治場址 (第一年規劃)	P&T 廢水處理 SVE 處理系統	<u>土壤</u> 總石油碳氫化合物：14,300 (mg/kg) 苯：31 (mg/kg) <u>地下水</u> 苯：2.36 (mg/L)； 柴油總碳氫化合物(TPHd)：26.8 (mg/L)
新屋區台 15 線 53.5K 處 (桃園市)	控制場址 (第二年規劃)	P&T 廢水處理 SVE 處理系統	<u>土壤</u> 總石油碳氫化合物：15,499 (mg/Kg) <u>地下水</u> 苯：11.2 (mg/L)；甲苯：28.1 (mg/L)； 總酚：0.272 (mg/L)

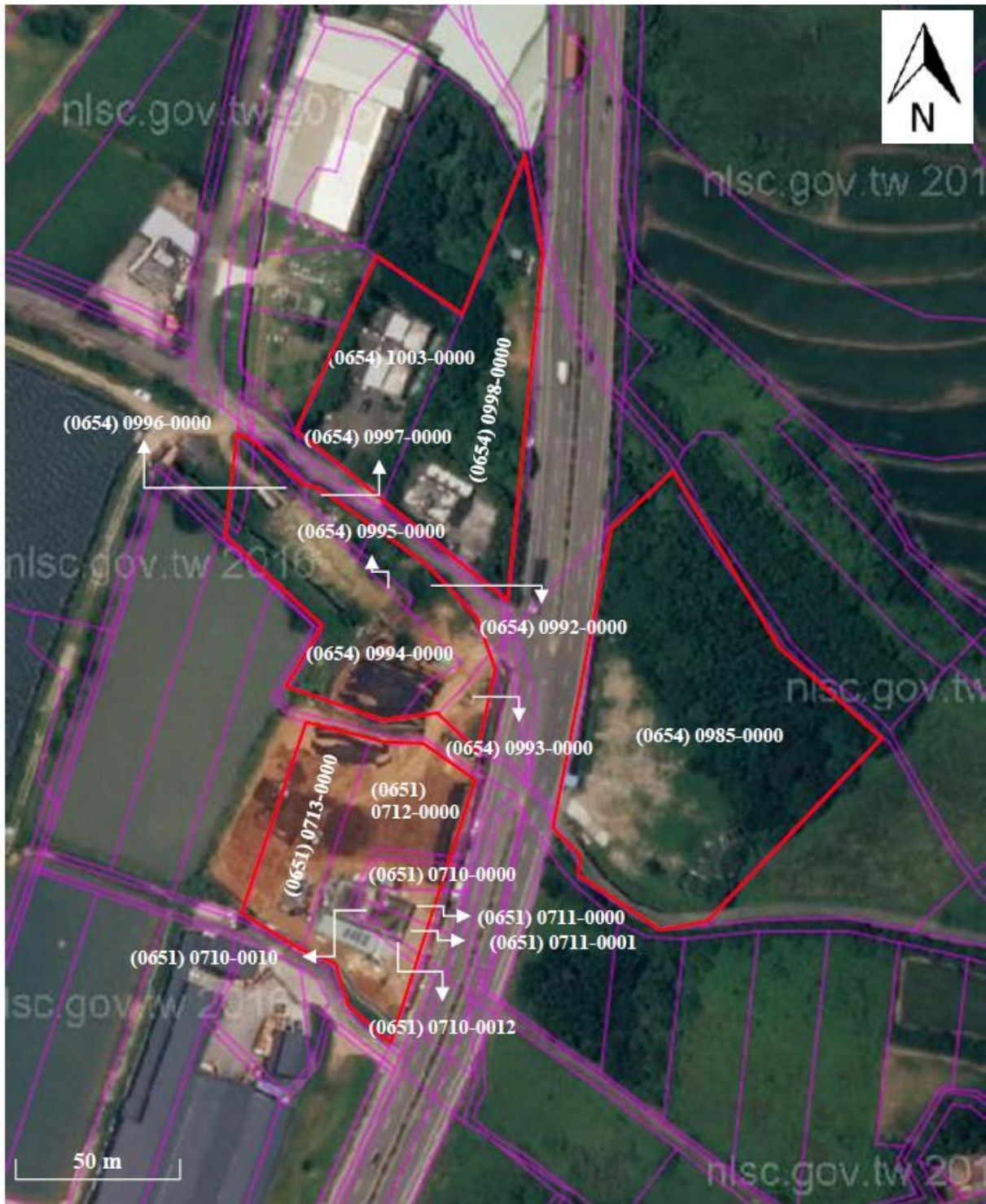


圖 十四、新屋區台 15 線 53.5K 處場址之地籍圖



有機物污染場址現址 P&T 廢水與 SVE 廢氣活性碳吸附及再生自動化設備開發及模場應用



備註：⁽¹⁾ 魯式抽氣泵浦 1 台(RL-01)、AS 注氣機 2 台、注氣流量計 15 組
 生物曝氣井：BW01~BW13、雙相整治井：DW01~DW04
⁽²⁾ 魯式抽氣泵浦 1 台(RL-02)、AS 注氣機 3 台、鼓風機 2 台、注氣流量計 30 組
 生物曝氣井：BW14~BW41、雙相整治井：DW05~DW09

圖 十五、模場試驗之處理系統設置位置



(三)文獻探討

本研究計畫之提出乃建立在過去之研究基礎上，2009 年起計畫主持人經由科技部經費補助研究利用 AC 吸附溶解相 TCE 並利用過硫酸鈉(Sodium persulfate (SPS), $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$)化學氧化進行再生¹⁵，以及利用鐵活化 SPS 進行再生 TCE 飽和吸附之 AC¹⁶，進一步評估油品污染地下水體(溶解相苯物質)以 AC 吸附及 SPS 氧化再生¹⁷，此些實驗室規模之批次實驗研究成果皆證實，SPS 氧化經由不同活化程序(如圖二反應式產生硫酸根自由基($\text{SO}_4^{\cdot-}$, $E^0 = 2.6 \text{ V}$))具有再生 AC 之潛力，相關成果亦皆已分別發表於國際期刊。

近期更進一步以批次實驗成果為基礎，且已完成實驗室規模之「活性炭吸附」及「活化過硫酸鹽再生活性碳」系統結合之實驗裝置(如圖十六之裝置)，此系統模擬用於吸附 SVE 尾氣甲苯氣體，達飽和貫穿後，接續以 SPS 濕式氧化進行再生，經過 4 次吸附及再生之評估，證實 AC 於吸附床之吸附質傳區域高度(Length of the mass transfer zone (H_{MTZ}))並不會因再生程序而有顯著變化之現象，再生後之吸附效率相較於初始吸附能力亦顯示皆可維持 90%以上(見圖十六內之數據)，此裝置之評估成果 2019 年已發表於 Chemical Engineering Journal，其設計圖與實驗裝置詳如圖十六所示¹⁸。此裝置採用不鏽鋼作為主要之材料，有機物接觸之管材採用鐵弗龍材質。「活性炭吸附」主要之原件包含氣體(污染物)進氣端、吸附管柱、氣體流量計、取樣口、抽氣幫浦等，當吸附達貫穿飽和時，關起吸附系統之閥門，而後進行過硫酸鹽氧化系統；「活化過硫酸鹽再生活性碳」系統則包含活化過硫酸鹽溶液槽體、加熱控溫系統、pH 及 ORP 探棒、抽水循環幫浦、液體流量計、閥門等。

此外，經過氧化程序淋洗而脫附之甲苯於過硫酸鹽溶液循環過程中亦會迅速被氧化降解，溶液中並不會產生含有甲苯之廢水，僅殘留 SPS 降解產物硫酸根及鈉離子，可逕行排放或經稀釋後排放，具有機動之移動性，不會有衍生之廢水與廢氣吸附之 AC 處置問題，可直接搭配整治現場廢水及廢氣之處理，證實過硫酸鹽再生 AC 系統可有效應用於再生吸附飽和之 AC。基於評估過硫酸鹽和操作所需電量之結果，得知此裝置成本低於傳統旋轉窯與微波加熱再生等技術。

活化過硫酸鹽再生 AC 系統可對 AC 進行再生，亦可有效氧化破壞有機污染物，可作為其他類型碳床再生技術之有效替代方案，並且用於處理來自整治場址 SVE 之有機污染物廢氣時可提供良好成本效益，例如無需處理廢棄之 AC、節省人力更換新 AC、機動性高配合整治作為之調整及機具移動等。據此可知目前本研究之技術已達之技術成熟度 TRL5 (Technology readiness level, TRL)以上之階段，具有進一步著手進行發展完整系統，以應用於污染場址對於廢水及廢氣之處理商



有機物污染場址現址 P&T 廢水與 SVE 廢氣活性碳吸附及再生自動化設備開發及模場應用

業規模化應用潛力，若可於實場搭配既有之 SVE 或 P&T 機組進行測試，期許所欲開發之實場應用規模設備可以大幅降低整治費用，使 SVE 或 P&T 之操作上更能有效的處理尾氣、廢液問題，避免環境可能之二次污染發生。

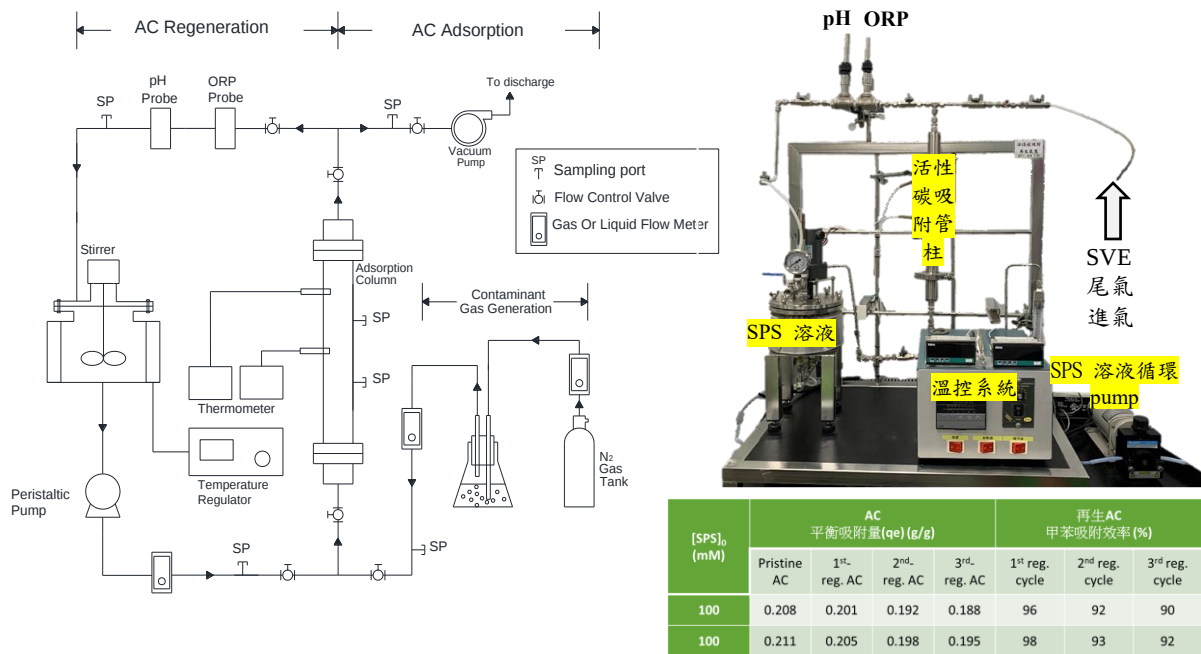


圖 十六、過硫酸鹽再生 SVE 尾氣吸附飽和和活性碳實驗之裝置設計圖及照片



(四)研究方法與過程(含工作進度甘特圖)

本研究計畫為開發有機物污染場址現址 SVE 廢氣與 P&T 廢水活性炭吸附及再生自動化設備，研究方法分期兩年簡要說明如下：

本研究計畫兩年之實驗包含七項目標，實驗架構如下圖十七之流程所示，另詳述執行方式如後續說明。其中第一年已完成，第二年將依據規劃之目標進行。

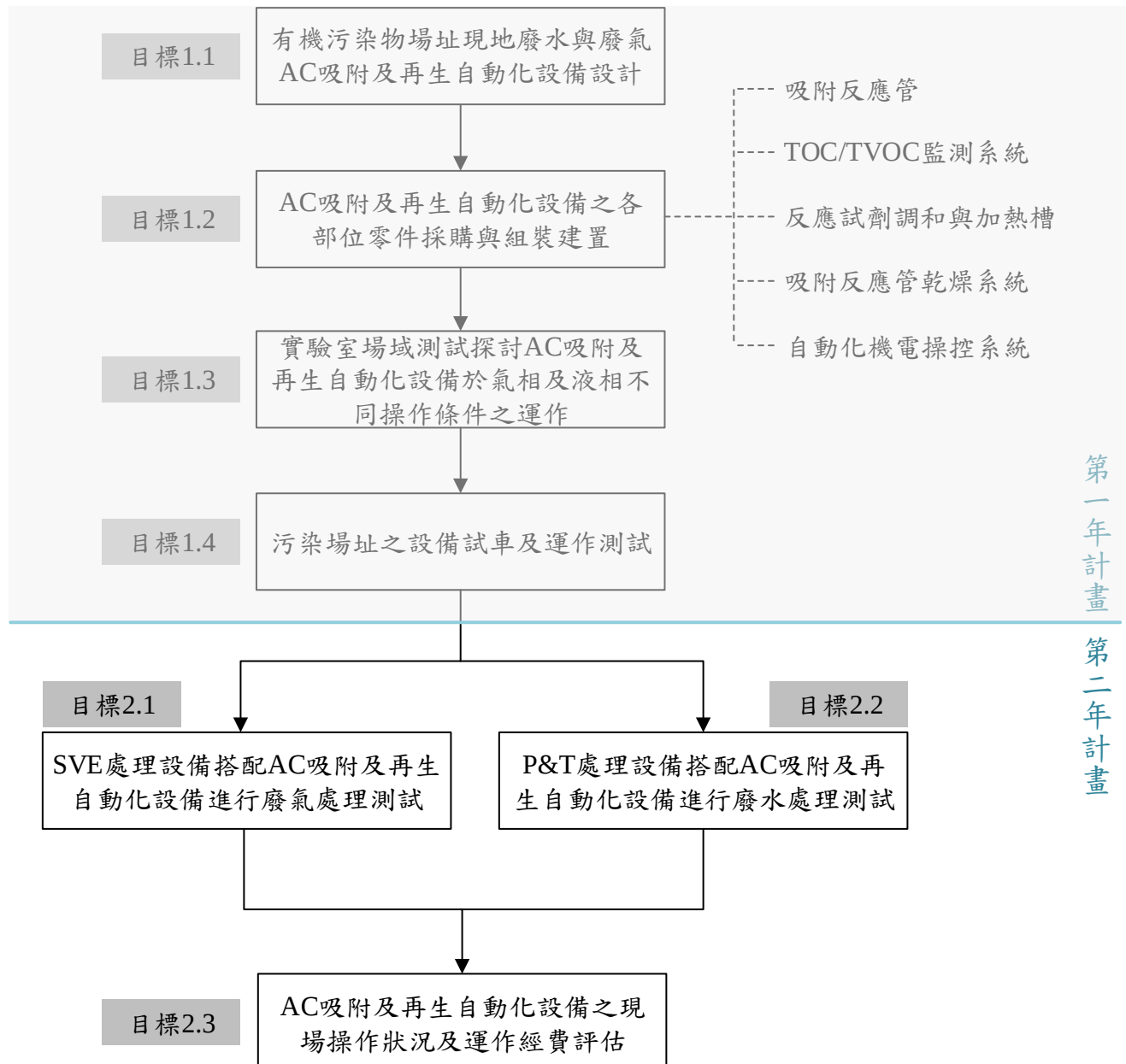


圖 十七、研究目標之實驗流程規劃



有機物污染場址現址 P&T 廢水與 SVE 廢氣活性碳吸附及再生自動化設備開發及模場應用

4.1 針對場址內既有之 SVE 處理設備搭配 AC 吸附及再生自動化設備進行廢氣處理測試

經第一年污染場址之設備試車及運作測試，以及初步利用場址既有之 SVE 處理設備搭配 AC 吸附及再生自動化設備進行廢氣處理之測試，第二年目標2.1節將針對現場實際應用情形，加以調整 AC 吸附及再生自動化設備各項操作參數(系統設定各按鈕代表涵義如圖十八及表三所述)，並於第二年本節之實驗進一步進行實場自動化廢氣處理測試，其實驗內容分為兩階段執行：

第一階段

測試 AC 吸附及再生自動化設備於現場進行廢氣處理之狀況，AC 吸附及再生自動化設備先以手動方式執行至少二次之吸附及再生循環(測試過程可能未使 AC 達到吸附貫穿)，並記錄測試過程各項現場操作數值，以進行微幅修正供第二階段自動化運行測試使用。

第二階段

根據第一階段所獲得之實驗成果與操作經驗，適度調整現場操作參數，並根據現場取得之尾氣樣本建立氣體背景參考數值(即採取樣本進行實驗室分析，以得知氣體背景 TVOC 值及有機污染物濃度，藉此修正場址 AC 吸附/再生之自動化監測數值)。第二階段利用自動化機電操控系統執行自動化操作程序，使 AC 吸附及再生自動化設備於處理 SVE 處理設備產生之廢氣時自動執行吸附/再生，並觀察設備之運作情形。

(a)



(b)



圖 十八、吸附及再生自動化設備(a)設定及(b)電路系統之介面



表 三、系統設定頁各按鈕代表意義說明

按鍵名稱	按鍵功能及代表意義說明	設定值
系統基本設定		
氣體啟動	處理 SVE 廢氣時使用，系統將顯示 TVOC 數值，需搭配「系統啟動」才可開啟系統	-
液體啟動	處理 P&T 廢水時使用，系統將顯示 TOC 數值，需搭配「系統啟動」才可開啟系統	-
系統啟動	確定以氣體或液體啟動後按下，才可啟動系統	-
警報復歸	若系統出現錯誤，需先復歸警報才可繼續啟動系統	-
氣/液體設定 貫穿值	氣(PPMV)：設定氣體系統切換活性碳吸附管之閾值 液(PPM)：設定液體系統切換活性碳吸附管之閾值	氣體：依各污染物之濃度轉換 ppm 濃度；最大可設定 1000 ppmV 液體：依各污染物管制標準換算之 TOC 濃度；最大可設定 500 ppm
活性碳管脫附閾值設定		
加藥設定時間 (sec)	加入脫附藥劑之時間，控制加入藥劑體積	最大可設定 9999 sec
進水保護時間 (sec)	藥桶加水若超過此時間則判斷系統錯誤，並顯示警報並停止系統(若進水時間<進水保護時間，但水位已達到液面控制器，即停止進水)	最大可設定 9999 sec
啟動熱沖設定 溫度 (°C)	當藥桶溫度到達此溫度時，開始進入脫附流程	最大可設定 99.9 °C
脫附設定溫度 (°C)	設定藥桶溫度之最高上限，到達則停止加熱	最大可設定 99.9 °C
脫附重啟加熱 溫度 (°C)	當藥桶溫度低於此溫度，則重啟加熱	最大可設定 100 °C 需高於脫附設定溫度
脫附流程時間設定		
脫附 1/熱沖 (min)	藥劑再生活性碳管之時間，再生操作總時間	最大可設定 9999 min
脫附 2/排液時 間 (sec)	於活性碳管中，藥劑排掉之總時間	最大可設定 9999 sec
脫附 3/清洗 1 (sec)	清水注滿藥桶後沖洗活性碳吸附管之時間 (不含藥桶注水、排水時間)	最大可設定 9999 sec
脫附 3/清洗 2 (sec)	清水沖洗藥桶及管線之時間 (不經過活性碳吸附管、不含排水時間)	最大可設定 9999 sec
脫附 3/清洗 3 (sec)	清水直接沖洗活性碳吸附管之時間 (不經過藥桶、不含排水時間)	最大可設定 9999 sec
脫附 3/排水 (sec)	將清水於活性碳管排掉(含瀝乾活性碳)之時間	最大可設定 9999 sec



有機物污染場址現址 P&T 廢水與 SVE 廢氣活性碳吸附及再生自動化設備開發及模場應用

按鍵名稱	按鍵功能及代表意義說明	設定值
脫附 4/乾燥吹氣(sec)	啟動風車吹乾活性碳之時間	最大可設定 65535 sec
吸附流程設定		
指定吸附流程時間(分)	當任一活性碳吸附管吸附達該時間時，自動切換至另一管。當以液體系統啟動時，若污染物換算之 TOC 濃度低於或高於偵測極限 (0.1 mg/L 及 500 mg/L)，則使用此功能定時切換活性碳吸附管	依各污染物管制標準計算停留時間。最大可設定 518400 分鐘 (360 天) 欲以吸附時間切換吸附管時需將液體切換閥值調至最大；欲以氣體或液體濃度切換吸附管時需將吸附時間調至最大
吸附管柱確定	若未進行選擇管柱，將以原設定管柱進行吸附	「吸附位置」為原設定管柱
吸附管柱選擇	選擇開啟系統時，希望以何位置的活性碳吸附管開始吸附，以數字設定後按下確定鍵，會將設定值轉入吸附位置。	1 或 2
氣/液體數值偵測設定		
進採樣切換閥	電動閥切換時間約需 15s 以上，給予緩衝時間	系統預設 30 sec
進氣/液置換時間(sec)	進流端氣/液體持續流動此時間後再進行偵測，目的為使管線中停留之氣/液體置換更新	系統預設 90 sec
進氣/液偵測時間(sec)	進流端氣/液體於此時間內每 90 sec 測一次 TVOC/TOC	系統預設 90 sec
出採樣切換閥	因有切換閥問題，電動閥需等待此時間後再重新進入氣/液置換時間，重複循環	系統預設 30 sec
出氣/液置換時間(sec)	出流端氣/液體持續流動此時間後再進行偵測，目的為使管線中停留之氣/液體置換更新	系統預設 90 sec
出氣/液偵測時間(sec)	出流端氣/液體於此時間內 150 sec 測兩次 TVOC/TOC	系統預設 150 sec
脫附液置換時間(sec)	脫附過程進入冷凝器之出流水，持續流動此時間後再進行偵測，目的為使管線中停留之液體置換更新	最大可設定 9999 sec
脫附偵測時間(sec)	脫附過程進入冷凝器之出流水，於此時間內每 90 sec 測一次 TOC，可得知脫附之效果，藉此調整後續脫附時間	最大可設定 9999 sec
脫附液切換時間(sec)	電動閥需等待切換後再重新進入置換時間，重複循環	最大可設定 9999 sec
超限次數	於超線次數內偵測到低於設定值時，次數會歸零計算	1-9 次可設



手動操作設定		
手動管柱 1/ 脫附	系統啟動時，隨時可使管柱 1 進行脫附	-
手動管柱 2/ 脫附	系統啟動時，隨時可使管柱 2 進行脫附	-
手動排水(sec)	在設定手動排水時間開啟，A-1-3/A-1-4/A-2-3/A-2-4/ D-9-2/D-9-3/D-9-6/F-2-5-2/D-9-11	最大可設定 999 sec



4.2 針對場址內既有之 P&T 處理設備搭配 AC 吸附及再生自動化設備進行廢水處理測試

基於目標2.1節廢氣處理之結果，目標2.2節之實驗利用場址既有之 P&T 處理設備搭配 AC 吸附及再生自動化設備進行廢水處理系統測試，並確認操作之程序細節與建立設備之 SOP，以利後續進一步之場址試驗。進一步之場址試驗，目標2.2節將針對現場實際應用情形，加以調整 AC 吸附及再生自動化設備各項操作參數，並於第二年本節之實驗進一步進行長時間自動化廢水處理測試。針對 P&T 處理第一及第二階段如同4.1節實驗執行，僅由氣體改成液體處理；現場樣本分析及所用之設備如下方所述。

現場樣本分析

水中 TOC 之濃度以化學需氧量探棒(COD，Chemical Oxygen Demand，型號為 VEMSEE VMS-300B-WQC-N01)分析，偵測濃度範圍為0-500 mg/L；氣體 TVOC 之濃度以空氣品質監測器(型號為 RIKEN KEIKI VOC PRO) 及攜帶式 PID (型號為 miniRAE 3000)分析，以異丁烯(Isobutylene, C₄H₈)作為校正氣體，其偵測濃度範圍為 0 -1000 ppmV。ORP 測定使用水質測定儀(型號為 SUNTEX PC-100)進行分析。上述 TOC、TVOC 及 ORP 設備將與模場設備整合，作為自動監測訊號回收傳遞至 PLC 機電控制系統使用。

離場樣本分析

氣體及液體樣本以氣相層析儀搭配質譜儀(Gas chromatography Agilent 7890A/Mass spectrometry Agilent MSD 5975C, GC/MS)進行分析。液體樣本分析需先經吹氣捕捉裝置(O.I. purge and trap 4760)進行前處理，再由 GC 搭配質譜儀上機分析，管柱使用 Agilent J&W GC columns DB-624，質譜儀之離子源為電子游離式(Electron ionization, EI)，掃描離子碎片大小自45到265 a.m.u.。檢量線配置使用市售之揮發性有機化合物標準品(購自 AccuStandard)配製成不同濃度之水溶液，再以吹氣捕捉裝置前處理後進行分析。ORP 與 pH 測定使用防水型攜帶式水質測定儀進行分析，型號為 HANNA HI991003。TOC 之濃度以總有機碳分析儀(Total organic carbon analyzer，型號為 OI Analytical 1030W)進行分析。

AC 反應前後之特性分析

1. 材料比表面積分析：

於實驗前先將樣品以 105°C烘箱烘乾(1 小時)後，精確秤取 0.5000 g 樣品倒入 U 型管，將 U 型管放置至比表面積分析儀(Brunaure-Emmett-Teller,BET,Porous



materials Ins.CBET-201A)進行分析，儀器第一階段先以 200°C 加熱去除樣品中水分及雜氣；第二階段再以低溫- 196°C 下通入氮氣，針對吸附材料進行等溫吸脫附。儀器分析軟體以吸附模式求得總比表面積，本研究將以 BJH (Barrett-Joyner-Halenda)及 T-plot 模式計算中孔及微孔之比表面積及孔隙體積。

2. 傅利葉紅外線光譜儀分析：

以傅利葉紅外線光譜儀(Fourier transform infrared,FTIR,Jasco FT/IR-4X)分析材料表面官能基，先將樣品放入 105°C 烘箱烘乾(3 小時)以確保樣品乾燥後，以供測量。儀器相關參數設定，掃描次數 30 次，掃描時間 40 S，解析度 4 cm^{-1} ，測量範圍 $4000\sim 650\text{ cm}^{-1}$ ，最後利用 FTIR 進行分析。

FTIR 主要利用分子於環境中特有之振動模式，例如伸縮震動(Stretching vibration)及彎曲震動(Bending vibration)等兩種特定振動方式，FTIR 能透過分子間運動上之差異，吸收不同波長之紅外線，再利用傅利葉轉換解析紅外線之吸收光譜。

3. pH 分析：

取至少 50 g 通過 9.5 mm 標準篩網之混和均勻樣品，再將樣品顆粒減小至粒徑小於 1 mm 後，秤取 $20\text{ g} \pm 0.2\text{ g}$ 至適當容器內(如 100 mL)之燒杯內，加入 20 mL 試劑水，蓋上錶玻璃，持續攪拌混合液 5 分鐘，若含有吸水性的廢棄物或鹽類等複雜基質，可適度分次加入試劑水至可測量 pH 值為止，並記錄加入之試劑水量。靜置混合液 15 分鐘，使混和液得大部分固體沉澱，以直接、過濾、離心或利用其他方式取得水相層，以 pH meter (型號：HANNA HI5222)測定水相層之 pH 值。

4. 碘值分析：

當碘液中碘 (I_2) 殘留濃度為 0.02 N 時，每 1 g 活性碳所能吸附之碘 (mg) 質量。為判斷活性碳吸附能力 (小分子) 的相關指標。先將樣品研磨至大於 60 % wt 活性碳可通過 325-mesh 篩網，並且大於 90 % wt 活性碳可通過 100-mesh 篩網後，以 140°C 烘箱烘乾(1 小時)或 110°C 烘箱烘乾(3 小時)，秤取 3 種不同活性碳質量(接近 1.0 g)，放入 250 mL 錐形瓶中。再加入 10 mL 5 % 鹽酸使活性碳粉充分潤濕後，打開瓶口排氣，加熱使其沸騰 30 秒。冷卻至室溫後，錯開時間加入 100 mL 0.1 標準碘溶液至錐形瓶中，關閉瓶塞後，水平震盪儀振盪 15 分鐘，以 Whatman NO. 2V 濾紙過濾。前 20-30 mL 捨去，取剩餘濾液 50 mL 至乾淨錐形瓶中，0.1 N 硫代硫酸鈉滴定至溶液呈淡黃色，加入 2 mL 澱粉指示劑後繼續滴定至終點 (無色)，紀錄硫代硫酸鈉滴定體積。



4.3 針對 AC 吸附及再生自動化設備於 SVE 尾氣處理及 P&T 廢液處理之測試結果，進行設備之現場操作狀況及運作經費評估

對於第二年實驗目標2.1及2.2進行經濟效益評估，並與現行 AC 再生處理方式進行比較。本研究之化學再生之成本包括有 AC、過硫酸鈉及運作時所需電耗能等，將於此節進行評估。



4.3 研究進度及預期完成之工作項目(甘特圖)

年月		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	備註
工作項目														
第2年整治場址現地廢水與廢氣模場應用試驗及評估														
目標2.1 針對場址內既有之 SVE 處理設備搭配 AC 吸附及再生自動化設備進行廢氣處理測試。														
期中報告進度														
目標2.2 針對場址內既有之 P&T 處理設備搭配 AC 吸附及再生自動化設備進行廢水處理測試。							※							
成果報告進度														
目標2.3 針對 AC 吸附及再生自動化設備於 SVE 尾氣處理及 P&T 廢液處理之測試結果，進行設備之現場操作狀況及運作經費評估。													※	
工作進度估計百分比 (累 積 數)		5 %	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %	95 %	100 %	
預定查核點	期中	第二年 目標2-1 完成實際污染場址內既有之 SVE 處理設備搭配 AC 吸附及再生自動化設備進行廢氣處理測試；目標2-2 完成 P&T 處理設備搭配 AC 吸附及再生自動化設備進行廢水處理之前置移機與銜接作業。												
	成果	第二年 目標2-2 完成針對實際污染場址內既有之 P&T 處理設備搭配 AC 吸附及再生自動化設備進行廢水處理測試； 目標2-3 整理 AC 吸附及再生自動化設備於 SVE 尾氣處理及 P&T 廢水處理之測試結果，並進行設備之現場操作狀況及運作經費評估。												



(五)結果與討論

5.1 針對場址內既有之 SVE 處理設備搭配 AC 吸附及再生自動化設備進行廢氣處理測試

5.1.1 丙酮氣相 TVOC 偵測器及攜帶式 PID 測值的比對測試

TVOC 偵測器為此活性碳吸附及再生設備，用以監測氣體進及出流氣體之儀器。為進行監測數據之比對，首先針對現場 SVE 氣體監測所使用之攜帶式 PID 與 TVOC 偵測器進行比對；以確保實際的量測及確定 SVE 的排氣濃度，用於設定設備上的貫穿濃度值。因此測試階段，使用丙酮做為測試氣體，以對比攜帶式 PID 的測值；針對不同液體、不同濃度相關的測值及計算，列舉於表四中。第一部分針對丙酮氣相濃度計算，可以得知 $1 \text{ ppmV 丙酮} = 2.42 \times 10^{-3} \text{ mg/L}$ ，因此以採氣袋進行配製不同濃度丙酮，如 1 L 的採氣袋中置入 3 μL 的丙酮，以配製 1000 ppmV 的丙酮氣體。再依照表四中濃度配製計算，分別配製 0 - 1000 ppmV 不同氣相濃度的丙酮氣體，以攜帶式 PID 及 TVOC 偵測器分別進行量測。量測結果於表四過程說明中的第 2 及第 3 點，其中攜帶式 PID 採用異丁烯作為校正氣體，因此 PID 與丙酮之具有校正轉換因子(0.9，見表四)，其實測值需要進行轉換濃度。兩者儀器間的對比結果則於表四中過程說明第 4 點呈現。

兩者間的儀器經對比後，於表四中過程說明第 4 點，可以看出攜帶式 PID 實測值與 TVOC 偵測器兩者之關係式 $y = 0.9764x$ ，其 $y = \text{PID 讀值}$ ， $x = \text{TVOC 讀值}$ ， $R^2 = 0.9997$ ，而若經轉換後之 PID 讀值與 TVOC 測值之關係則為 $y = 0.8786x$ ， $y = \text{經轉換後之 PID 讀值}$ ， $x = \text{TVOC 測值}$ ， $R^2 = 0.9997$ 。因此，可知 PID 讀值約等於 TVOC 讀值，誤差低於 10%，此外，由轉換後之丙酮 TVOC 讀值與實際丙酮濃度比較，則可以相關性方程式予以轉換。因此設備上之 TVOC 偵測器如同現場 PID 偵測器，可以作為現場 SVE 氣體監測所使用。



表 四、不同濃度丙酮之氣相 TVOC 讀值比較及相關計算

TVOC 偵測器	過程說明																	
1-1 以丙酮標準品做為測試氣體之濃度配製																		
1. 丙酮氣相濃度計算 丙酮最大氣相濃度計算 $PV = nRT \Rightarrow \frac{n}{V} = \frac{P}{RT}$$\frac{n}{V} = \frac{P}{RT} = \frac{\left(185 \text{ mmHg} \times \frac{1 \text{ atm}}{760 \text{ mmHg}}\right)}{0.082 \frac{\text{L} \cdot \text{atm}}{\text{mole} \cdot \text{K}} \times 293 \text{ K}} = 0.01013 \frac{\text{mole}}{\text{L}}$$0.01013 \frac{\text{mole}}{\text{L}} \times \frac{58.08 \text{ g}}{\text{mole}} \times \frac{1000 \text{ mg}}{\text{g}} = 588.44 \text{ mg/L}$$0.01013 \frac{\text{mole}}{\text{L}} \times \frac{24 \text{ L}}{\text{mole} (@20^{\circ}\text{C})} \times 10^6 = 243120 \text{ ppmV}$ 所以 $588.44 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 243120 \text{ ppmV}$ $\Rightarrow \frac{1 \text{ mg Acetone}}{\text{L}} = 413.16 \text{ ppmV} = 1.27 \text{ }\mu\text{L}$$\Rightarrow 1 \text{ ppmV} = \frac{1 \text{ mg}}{413.16 \text{ ppmV}} = 2.42 \times 10^{-3} \frac{\text{mg}}{\text{L}}$ 不同丙酮氣相濃度配製計算 (100~1000 ppmV) $100 \text{ ppmV} = 2.42 \times 10^{-3} \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 100 = 2.42 \times 10^{-1} \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$\left(2.42 \times 10^{-1} \text{ mg} \times \frac{\text{cm}^3}{0.790 \text{ g}} \times \frac{\text{g}}{1000 \text{ mg}} = 3.06 \times 10^{-4} \text{ cm}^3 = \frac{3.06 \times 10^{-1} \text{ }\mu\text{L}}{\text{L}}\right)$$\Rightarrow \frac{413.16 \text{ ppmV}}{1.27} = 325 \text{ ppmV}$$\Rightarrow 500 \text{ ppmV} = \frac{3.06 \times 10^{-1} \times 5 \text{ }\mu\text{L}}{\text{L}} = \frac{1.5 \text{ }\mu\text{L}}{\text{L}}$$\Rightarrow 1000 \text{ ppmV} = \frac{3.06 \times 10^{-1} \times 10 \text{ }\mu\text{L}}{\text{L}} = \frac{3 \text{ }\mu\text{L}}{\text{L}}$	1 mbar = 0.750062 mmHg 蒸氣壓 247 mbar @20°C 經換算為 185 mmHg 分子量 58.08 g/mol 密度：0.790 g/cm3																	
2. 以攜帶式 PID 進行丙酮測試																		
<table><tr><th>配製丙酮氣體 理論濃度 (ppmV)</th><th>PID 實測 值(ppmV)</th><th>校正因子^(a)</th><th>實際丙酮 轉換濃度(ppmV)</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td rowspan="4">0.9</td><td>0</td></tr><tr><td>325</td><td>314</td><td>283</td></tr><tr><td>500</td><td>407</td><td>366</td></tr><tr><td>1000</td><td>878</td><td>790</td></tr></table>	配製丙酮氣體 理論濃度 (ppmV)	PID 實測 值(ppmV)	校正因子 ^(a)	實際丙酮 轉換濃度(ppmV)	0	0	0.9	0	325	314	283	500	407	366	1000	878	790	
配製丙酮氣體 理論濃度 (ppmV)	PID 實測 值(ppmV)	校正因子 ^(a)	實際丙酮 轉換濃度(ppmV)															
0	0	0.9	0															
325	314		283															
500	407		366															
1000	878		790															



有機物污染場址現址 P&T 廢水與 SVE 廢氣活性碳吸附及再生自動化設備開發及模場應用

Compound Name	Synonym/Abbreviation	CAS No.	Formula	9.8	C	10.6	C	11.7	C	IE (eV)	TWA
Acetaldehyde		75-07-0	C ₂ H ₄ O	NR	+	6	+	3.3	+	10.23	C25
Acetic acid	Ethanoic Acid	64-19-7	C ₂ H ₄ O ₂	NR	+	22	+	2.6	+	10.66	10
Acetic anhydride	Ethanoic Acid Anhydride	108-24-7	C ₄ H ₆ O ₃	NR	+	6.1	+	2.0	+	10.14	5
Acetone	2-Propanone	67-64-1	C ₃ H ₆ O	1.2	+	0.9	+	1.4	+	9.71	500
Acetone cyanohydrin	2-Hydroxyisobutyronitrile	75-86-5	C ₄ H ₇ NO					4	+	11.1	C5
Acetonitrile	Methyl cyanide, Cyanomethane	75-05-8	C ₂ H ₃ N					100	+	12.19	40
Acetylene	Ethyne	74-86-2	C ₂ H ₂					2.1	+	11.40	ne
Acrolein	Propenal	107-02-8	C ₃ H ₄ O	42	+	3.9	+	1.4	+	10.10	0.1
Acrylic acid	Propenoic Acid	79-10-7	C ₃ H ₄ O ₂			12	+	2.0	+	10.60	2
Acrylonitrile	Propenenitrile	107-13-1	C ₃ H _{3.5} N			NR	+	1.2	+	10.91	2
Allyl alcohol		107-18-6	C ₃ H ₆ O	4.5	+	2.4	+	1.6	+	9.67	2
Allyl chloride	3-Chloropropene	107-05-1	C ₃ H ₅ Cl			4.3		0.7		9.9	1
Ammonia		7664-41-7	NH ₃	NR	+	10.9	+	5.7	+	10.16	25
Amyl acetate	mix of n-Pentyl acetate & 2-Methylbutyl acetate	628-63-7	C ₇ H ₁₄ O ₂	11	+	2.3	+	0.95	+	<9.9	100
Amyl alcohol	1-Pentanol	75-85-4	C ₅ H ₁₂ O			5				10.00	ne
Aniline	Aminobenzene	62-53-3	C ₆ H ₇ N	0.50	+	0.5	+	0.47	+	7.72	2
Anisole	Methoxybenzene	100-66-3	C ₇ H ₈ O	0.89	+	0.58	+	0.56	+	8.21	ne
Arsine	Arsenic trihydride	7784-42-1	AsH ₃			1.9	+			9.89	0.05

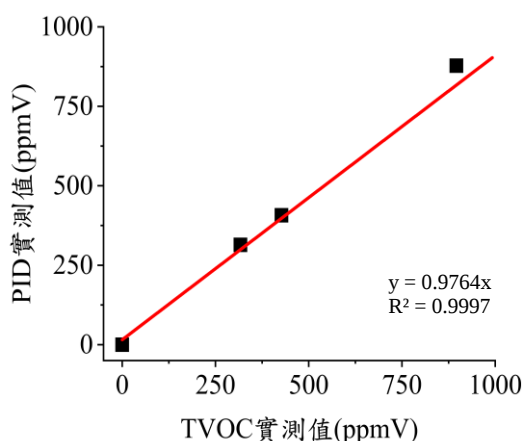
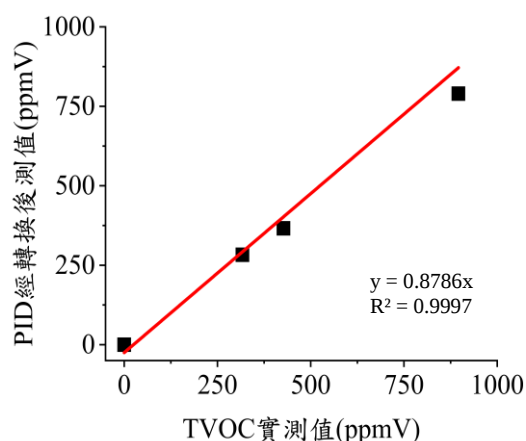
註：(a)經查詢「[A Guideline for PID Instrument Response](#)」，以下以丙酮為例

3. 以 TVOC 進行丙酮氣體測試

配製丙酮氣體理論濃度(ppmV)	TVOC 實測濃度(ppmV)
0	0
325	317
500	427
1000	896

4. TVOC vs. PID 丙酮轉換濃度之比對

配製丙酮氣體 理論濃度(ppmV)	PID 濃度(ppmV)		TVOC 實測濃 度(ppmV)
	實測數值	實際丙 酮轉換 濃度	
0	0	0	0
325	314	283	317
500	407	366	427
1000	878	790	892



註：依據 <http://orglab.thu.edu.tw/MSDS/003.pdf> 丙酮安全資料表(SDS)



5.1.2 汽油氣相 TVOC 偵測器及攜帶式 PID 測值的比對測試

測試階段亦使用汽油做為測試氣體，以對比攜帶式 PID 的測值；針對不同液體、不同濃度相關的測值及計算，列舉於表五中。第一部分針對汽油氣相進行濃度計算，可以得知 1 L 的採氣袋中置入 5 μ L 汽油 = 3785 mg/L，藉由採氣袋分別配製不同氣相濃度來進行量測。量測結果於表五中過程說明的第 2 及第 3 點，其中攜帶式 PID 採用異丁烯作為校正氣體，汽油與 PID 偵測之校正因子 = 0.9 (見表五)，因此實測值需要進行轉換濃度。兩者儀器間的對比則於表五中過程說明第 4 點呈現。

兩者間的儀器經對比後，於表五中過程說明第 4 點，可以看出攜帶式 PID 實測值與 TVOC 偵測器兩者之關係式 $y = 0.9391x$ ，其 y = PID 讀值， x = TVOC 讀值， $R^2 = 0.9974$ 。PID 讀值經校正因子 0.9 予以轉換，轉換值與 TVOC 讀值，則具有 $y = 0.8449x$ ($R^2 = 0.9973$)之關係式。因此 TVOC 偵測器如同現場 PID 偵測器，證實可以作為現場 SVE 氣體監測所使用。

表 五、不同濃度汽油之氣相 TVOC 讀值比較及相關計算

TVOC 偵測器	過程說明		
1-2 以汽油標準品做為測試氣體之濃度配製			
1. 汽油不同氣相濃度計算			
汽油密度約 0.757 g/cm ³			
$\frac{5 \mu\text{l 汽油} \times 0.757 \frac{\text{mg}}{\text{mL}}}{\text{L}} = \frac{3785 \text{ mg}}{\text{L}}$			
$\frac{6 \mu\text{l 汽油} \times 0.757 \frac{\text{mg}}{\text{mL}}}{\text{L}} = \frac{4542 \text{ mg}}{\text{L}}$			
$\frac{7 \mu\text{l 汽油} \times 0.757 \frac{\text{mg}}{\text{mL}}}{\text{L}} = \frac{5299 \text{ mg}}{\text{L}}$			
$\frac{8 \mu\text{l 汽油} \times 0.757 \frac{\text{mg}}{\text{mL}}}{\text{L}} = \frac{6056 \text{ mg}}{\text{L}}$			
2. 以攜帶式 PID 進行測試			
配製汽油氣體 理論濃度 (mg/L)	PID 實測數值 (ppmV)	校正因子 ^(b)	實際汽油 轉換濃度(ppmV)
0	0	0.9	0
3785	470		423
4542	562		506
5299	685		617
6056	780		702



有機物污染場址現址 P&T 廢水與 SVE 廢氣活性碳吸附及再生自動化設備開發及模場應用

Compound Name	Synonym/Abbreviation	CAS No.	Formula	9.8	C	10.6	C	11.7	C	IE (eV)	TWA
Ethylene glycol, monothio		60-24-2	C ₂ H ₆ OS			1.5				9.65	
Ethylene oxide	Oxirane, Epoxyethane	75-21-8	C ₂ H ₄ O			13	+	3.5	+	10.57	1
Ethyl ether	Diethyl ether	60-29-7	C ₄ H ₁₀ O			1.1	+			9.51	400
Ethyl 3-ethoxypropionate	EEP	763-69-9	C ₇ H ₁₄ O ₃	1.2	+	0.75	+				ne
Ethyl formate		109-94-4	C ₃ H ₆ O ₂					1.9		10.61	100
Ethyl 1-hexanol, 2-	Isooctyl alcohol	104-76-7	C ₈ H ₁₈ O			1.9	+				ne
Ethyl hexyl acrylate, 2-	Acrylic acid 2-ethylhexyl ester	103-11-7	C ₁₁ H ₂₀ O ₂			1.1	+	0.5	+		ne
Ethylidenenorbornene	5-Ethylidene bicyclo[2.2.1]hept-2-ene	16219-75-3	C ₉ H ₁₂	0.4	+	0.39	+	0.34	+	≤8.8	ne
Ethyl (S)-(-)-lactate see also DS-108F	Ethyl lactate, Ethyl (S)-(-)-hydroxypropionate	687-47-8 97-64-3	C ₅ H ₁₀ O ₃	13	+	3.2	+	1.6	+	-10	ne
Ethyl mercaptan	Ethanethiol	75-08-1	C ₂ H ₆ S	0.60	+	0.56	+			9.29	0.5
Ethyl sulfide	Diethyl sulfide	352-93-2	C ₄ H ₁₀ S			0.5	+			8.43	ne
Formaldehyde	Formalin	50-00-0	CH ₂ O	NR	+	NR	+	1.6	+	10.87	C0.3
Formamide		75-12-7	CH ₃ NO			6.9	+	4		10.16	10
Formic acid		64-18-6	CH ₂ O ₂	NR	+	NR	+	9	+	11.33	5
Furfural	2-Furaldehyde	98-01-1	C ₅ H ₄ O ₂			0.7	+	0.8	+	9.21	2
Furfuryl alcohol		98-00-0	C ₅ H ₆ O ₂			0.80	+			<9.5	10
Gasoline #1		8006-61-9	m.w. 72			0.9	+				300
Gasoline #2, #2 octane		8006-61-9	m.w. 93	1.3	+	1.0	+	0.5	+		300
Glutaraldehyde	1,5-Pentanedial, Glutaric dialdehyde	111-30-8	C ₅ H ₈ O ₂	1.1	+	0.8	+	0.6	+		C0.05
Glycidyl methacrylate	2,3-Epoxypropyl methacrylate	106-91-2	C ₇ H ₁₀ O ₃	2.6	+	1.2	+	0.9	+		0.5

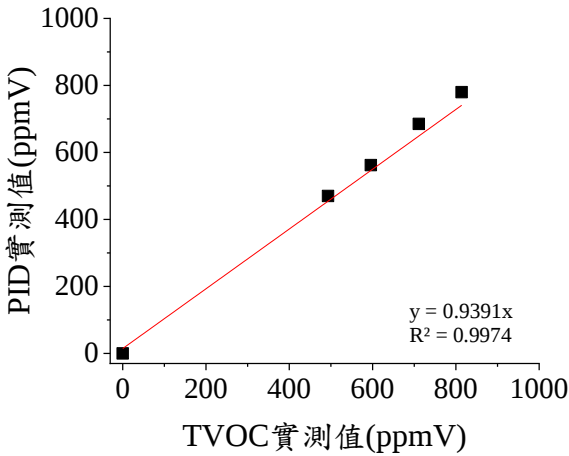
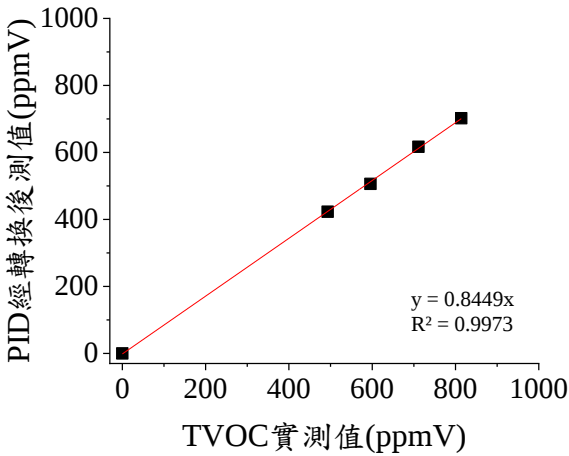
註：(b) 經查詢「[A Guideline for PID Instrument Response](#)」，以下以汽油為例

3. 以 TVOC 進行汽油氣體測試

配製汽油氣體理論濃度(mg/L)	TVOC 實測濃度(ppmV)
0	0
3785	493
4542	596
5299	711
6056	814

4. TVOC vs. PID 汽油轉換濃度之比對

配製汽油氣體 理論濃度 (mg/L)	PID 濃度(ppmV)		TVOC 實際濃 度(ppmV)
	實測數值 (ppmV)	實際汽油轉換濃度 (ppmV)	
0	0	0	0
3785	470	423	493
4542	562	506	596
5299	685	617	711
6056	780	702	814



註：依據台灣中油全球資訊網 <https://www.cpc.com.tw/cl.aspx?n=59> 汽、柴、燃油安全資料表(SDS)



5.1.3 氣體 AC 吸附及再生自動化設備系統之穩定性測試

為確保實場應用之穩定性，測試 AC 吸附及再生自動化設備於實驗室執行廢氣處理之完整流程，AC 吸附及再生自動化設備先以手動方式執行污染濃度吸附貫穿至少二次及再生循環(以符合目標 2-1)，並記錄測試過程各項操作數值，以確認現場自動化系統操作之穩定性。

如圖十九至圖二十一分別由計畫主持人與硬體及軟體工程師進行討論解決，經由不同測試條件並且以長時間操作為基礎，確保系統於現場自動化及無人看顧下仍可穩定進行操作。其中氣體系統測試流程及各程序不同之設定條件如圖二十二所示，標示黃色之步驟，為操作時發生異常之階段；對於 SOP 圖二十二黃色標示程序，所遭遇之問題及對應解決之說明，列舉於表六中。

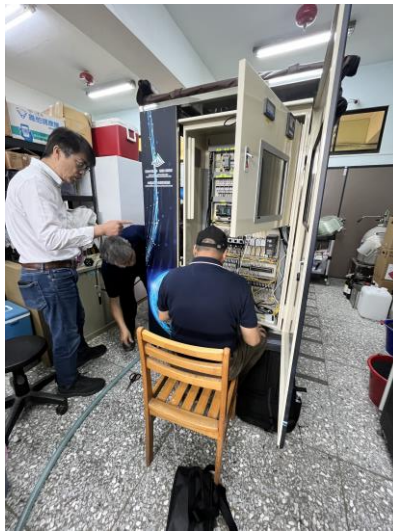


圖 十九、計畫主持人正與工程師進行討論及困難排解



圖 二十、硬體工程師正加裝裝置硬體設備

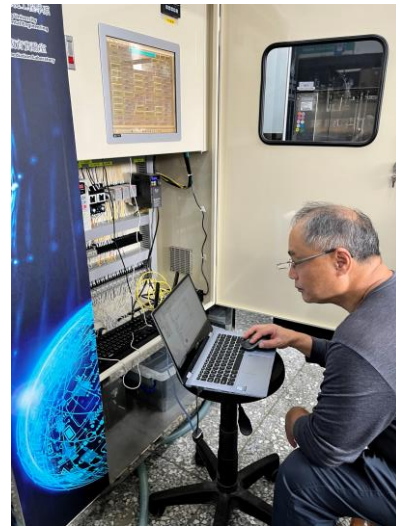


圖 二十一、軟體工程師正在修復程式中的錯誤



有機物污染場址現址 P&T 廢水與 SVE 廢氣活性碳吸附及再生自動化設備開發及模場應用

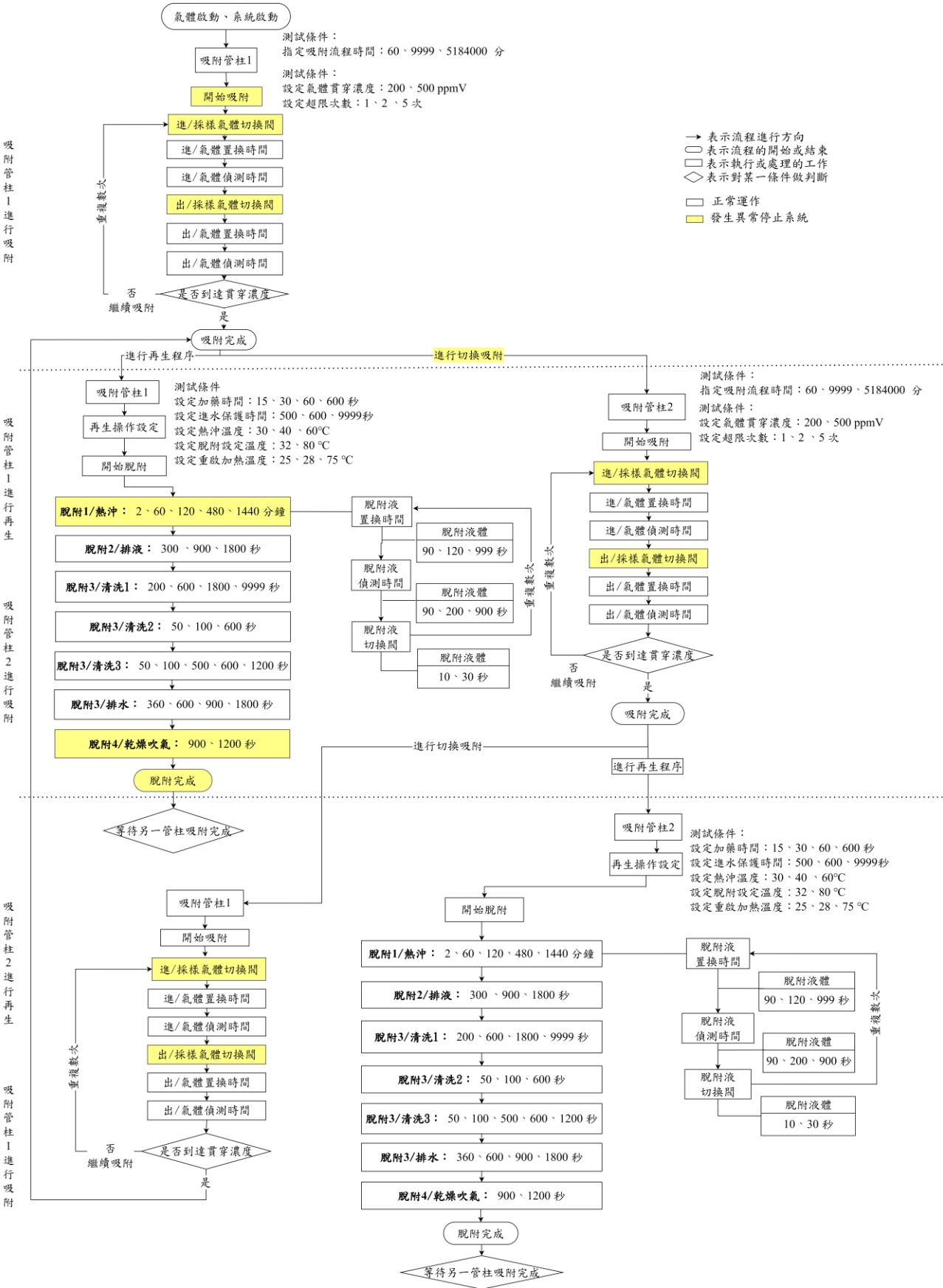




表 六、氣體吸附及再生操作系統異常及解決方式

階段	查核項目
吸 附 階 段	確認設備電源是否正常
	確認是否可正常切換廢氣(SVE)模式
	確認風車是否可正常抽取廢氣
	確認抽出廢氣之流量計是否正常，且超出流量計範圍時是否可持續運作
	確認進樣(廢氣)之流量計是否正常運作
	確認 TVOC 之進、出流端是否正常偵測
	確認達污染物設定值時再生階段程序是否切換正常
再 生 階 段	確認 ORP 計、液位控制器、加熱棒、溫度計是否正常開啟
	確認再生管柱相關之開關閥有無開啟
	確認加藥端之加水閥是否正常開啟
	確認加藥端進出流閥是否正常開啟(含需再生管柱端)
	確認熱沖時，是否會進行補水
	液位控制器於滿水或低水位時是否正常運作
	確認加熱棒是否有正常運作(確認溫度加熱安全裝置)
	確認加熱設備是否在再生完成後關閉
	確認清洗用加水閥是否正常開啟
	確認排放廢水用之幫浦(D-10)是否正常運作
	確認 D-10 之液位控制器是否正常
	確認清洗完成後是否有關閉循環用幫浦(D-4)
	確認風車(鼓風機)是否可正常開啟
	確認乾燥用風車流量計是否正常，且超出流量計範圍時是否可持續運作
	確認完成乾燥後是否會停止運作(設定操作時間)
	確認停止運作後，相關開關閥是否進行關閉
	觀察 AC 於吸附操作或脫附時粉塵狀況
	確認停止運作後另一管柱於 TVOC 濃度貫穿時是否會進行切換
	確認再生管柱於再生階段時另一管柱(吸附管柱)有無正常運作
AC 吸附及再生自動化設備零件組裝之遭遇困境及解決方法	
系統異常	解決方法
開啟系統後，點選手動脫附時，無法正常啟動脫附程序。	經檢視電路系統，得知手動系統與自動系統模式為分開，只需按手動脫附即可啟動。
設定手動脫附時，發現只會進行加藥程序，且時間沒有計時，導致無法進下一個階段。	與軟體工程師進行討論後應為程式 bug，經修改後已正常運作。
開啟系統後，發現 C-1 風車異常大聲，經查看發現有水意外進流至氣體流量計。可能導致葉片生鏽而產生噪音。	需裝設止水閥或是逆水閥門、經更換新的風車後，已解決。



遭遇困境	解決方法
啟動系統時，氣體進樣經 TVOC 偵測器時，氣體流量計之浮球並無任何浮動。	1. 氣體進樣之 By pass 及排水閥應注意，不能全開及全關，全開會導致排出氣體的流量大於進流；將氣體流量計流量開至最大，由排水閥來控制氣體流量。 2. 氣體進樣之疏水性碟型過濾器應是在測試中有進水，才導致氣體被堵住而影響進流。解決方式：可將其拆下吹乾或是曬乾。
開啟系統時，發現排氣端未排氣且氣體流量計有水跑進去。	立即停下系統，確認進水處後將其拆下，把水排除後，排氣端進行排氣。
經常出現有液體進入氣體系統。	停下氣體系統，確認所有液體都排出後，再打開氣體系統；應注意測試時，應先進行手動排水，才不會導致未排除的水進入氣體系統中。
氣體系統運作進行至熱沖階段時，突然顯示警報號碼 6，導致系統停止故無法進行後續流程	經查看警報系統，發現警報碼上並沒有號碼 6，跟軟體工程師共同檢查程式後，其低液面情況已修正。
熱沖時因低水位而停止系統	因熱沖時會同時監測 TOC，導致部分的水排出。補水的部分不足，導致液位過低系統關閉。因此經討論後，決定在程式上進行修改，若液位過低時，此時先停止熱沖，進行補水後再次加熱到指定溫度後，繼續熱沖。
當再生程序進行到脫附 4/乾燥吹氣時，已達到設定時間，但系統卻未停止，故無法進行切換另一管柱進行再生程序。	經由程式修改，已修復錯誤。
管柱 1 完成再生程序後，欲再次切換管柱 2 進行再生時，系統前一次計時未清零，導致切換過去時發生異常而停止。	經由程式修改後，已可正常歸零。
發現系統上運作時間停止計時，且螢幕上方出現黃紅色警告圖示。	系統通訊發生連線中斷，此時不必將系統關閉，點擊右上角「叉叉」後重開軟體即可。

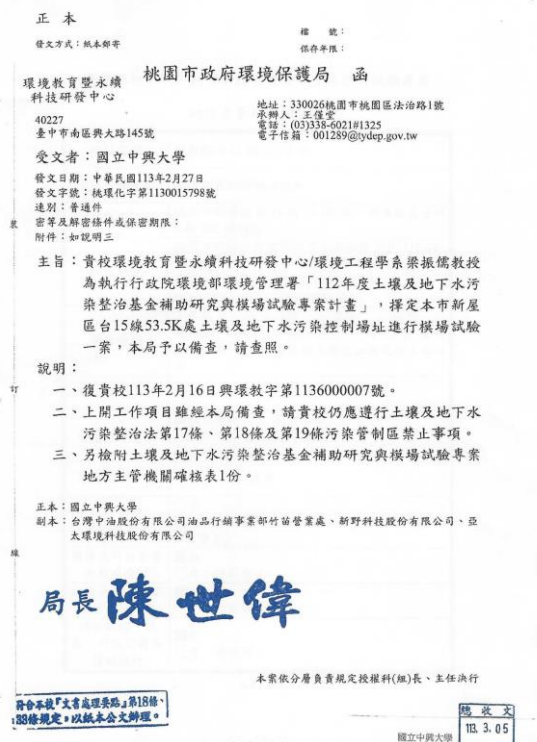


5.1.4 污染場址現場利用自動化機電操控系統執行 SVE 之廢氣吸附/再生循環使用

依 5.1.3 自動化機電操作系統測試完成且困難排解後，已將 AC 吸附及再生自動化設備運送至模場試驗場址，並於模場試驗場址進行氣體及液體運作測試，並記錄此場址之監測數據。

原規劃於高雄市大順加油站進行模場試驗，因場址整治工程進度影響，導致無法將設備於原訂時間運送至該場址進行試驗，並且因場址鼓風機啟動時，噪音過大，引起附近居民抗議而導致無法正常運作，無法按原計畫進行模擬試驗。因此今年計畫之設備改至桃園市新屋區台 15 線 53.5K 處場址進行試驗，根據 113 年 2 月 27 日桃園市政府環境保護局核定公文核准，如圖二十三之縮圖所示(此公文亦見附錄一完整公文內容)。

於整治場址搭配土壤氣體抽除法 (SVE) 及地下水抽出處理法 (P&T) 整治設備上之活性炭吸附及再生循環使用之尾氣、廢液處理測試。圖二十四為裝置運離至實驗室之過程，圖二十五為裝置運送至模場試驗場址之過程，圖二十六利用此場址既有設備，抽取部分氣體進行監測；圖二十七為放置完成之 AC 吸附及再生自動化設備。該場址目前由新野科技股份有限公司正在進行整治作業，現場之 SVE 系統約已進行 1~2 個月，在現場所測得廢氣 TVOC 濃度約為 0~1 ppmV (如圖二十八現場 PID 測試所示)。



圖二十三、桃園市環境保護局核定公文之縮圖



有機物污染場址現址 P&T 廢水與 SVE 廢氣活性碳吸附及再生自動化設備開發及模場應用



圖 二十四、裝置運離實驗室之過程



圖 二十五、裝置送至模場試驗場址之過程



圖 二十六、利用現場既有設備抽取部分氣體



圖 二十七、設備在現場放置完成圖



圖 二十八、使用攜帶式PID 偵測器偵測現場TVOC 濃度



後續利用自動化機電操作系統執行 SVE 之廢氣吸附/再生循環，同時進行 TVOC、TOC、ORP 之連續監測，數據會留存於資料夾中(監測數據如圖二十九所示)；由圖二十九之數據監測可看出，此階段之試驗首先由管柱 1 之吸附程序進行，此過程設定吸附貫穿濃度為 200 ppmV，SVE 進口端之濃度約為 1 ppmV，因為此場址現地之 SVE01-公務所內系統已運行一段時間，柴油污染之較具揮發性之低碳數物質多已揮發，目前採用間歇性之操作，然而，為配合此計畫之執行，採用長時間之 SVE 操作模式，導致 SVE 之抽出廢氣濃度較低。第一階段管柱 1 吸附，經過約 70 小時之操作，以人工方式提供 TVOC 偵測器吸附高濃度之丙酮氣體，藉以驅動吸附管柱 1 出流氣體超過設定之貫穿濃度 200 ppmV，對於監測出流氣體濃度，內部設定每 10 秒監測一筆數據，為確認達濃度貫穿而非因突發之意外訊號，因此，濃度貫穿需有連續達五筆以上之數據皆超過設定之貫穿濃度數值(此於系統面板之設定上稱為貫穿 1 次)，若為謹慎確認貫穿之濃度已達到，亦可設定貫穿多次，始得切換至第二階段另一管柱進行吸附，因此，圖二十九中段則為管柱 1 進行再生(即第二階段包含管柱 1 再生，管柱 2 吸附)，管柱 2 接續進行吸附。此再生階段可得知 ORP 數值初期上升至 800-900 mV，並伴隨著水相 TOC 數值上升，代表氧化反應之進行，水相中有機物增加接續逐步被氧化破壞下降，約 120 小時後，ORP 下降並且 TOC 降至約 20 mg/L (接近背景水樣數值)，達到再生完成。依此程序，管柱 1 再生完成後，靜待後續使用。因此可知，第三階段則為管柱 1 再度進行吸附，管柱 2 則進行再生。至此，目標 2-1 確認完成所規劃之試驗，此活性碳氣相吸附/再生程序已可順利全自動化進行。另外也有額外使用遠端線上即時觀看 dashboard，能夠直接在線上得知即時監測數據(如圖三十所示)。



自動化機電操作系統執行 SVE 之廢氣吸附/再生設備在場址運行過程之遭遇困境及解決方法如表七所示：

表 七、執行 SVE 之廢氣吸附/再生運行過程所遭遇之困境及解決方法

遭遇困境	解決方法
發生網路連線異常問題，而無法線上操作系統及觀看即時數據	網路線接觸不良，更換新的網路線後，已可正常連線。
該場址目前由委辦之公司正在進行整治作業，現場之 SVE 系統約已進行 1~2 個月，在現場所測得廢氣 TVOC 濃度較低，於結果呈現上較不顯著。	該場址有許多區域，為了使數據呈現更鮮明，將管線更換至尾氣濃度較高的區域進行測試。
因 5~6 月正逢梅雨季節，以帆布遮蓋擋雨。但天氣越發炎熱，導致冷凝器周圍通風不良，而阻礙熱量發散，造成冷凝器功能異常。	將冷凝器進行更換，並且將設備移到陰涼通風處。

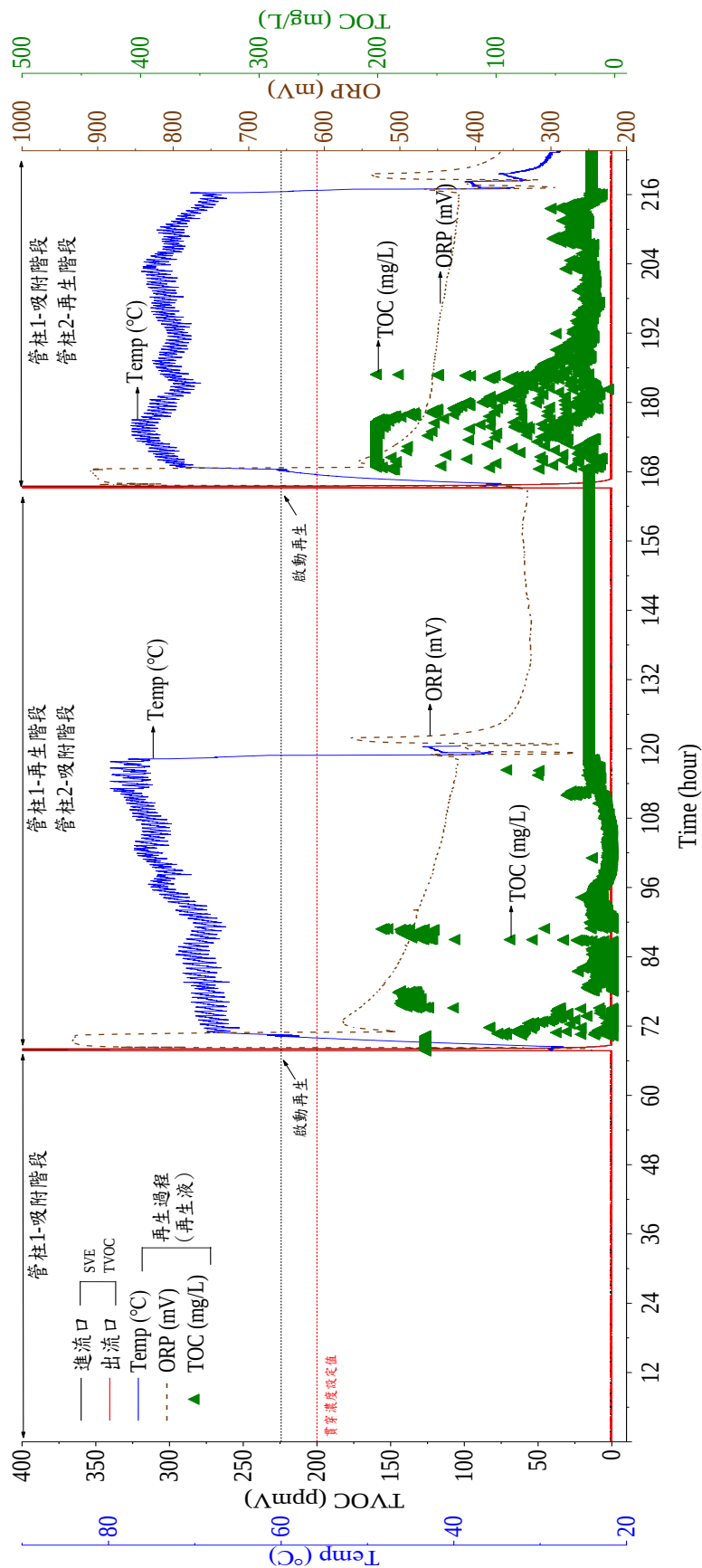
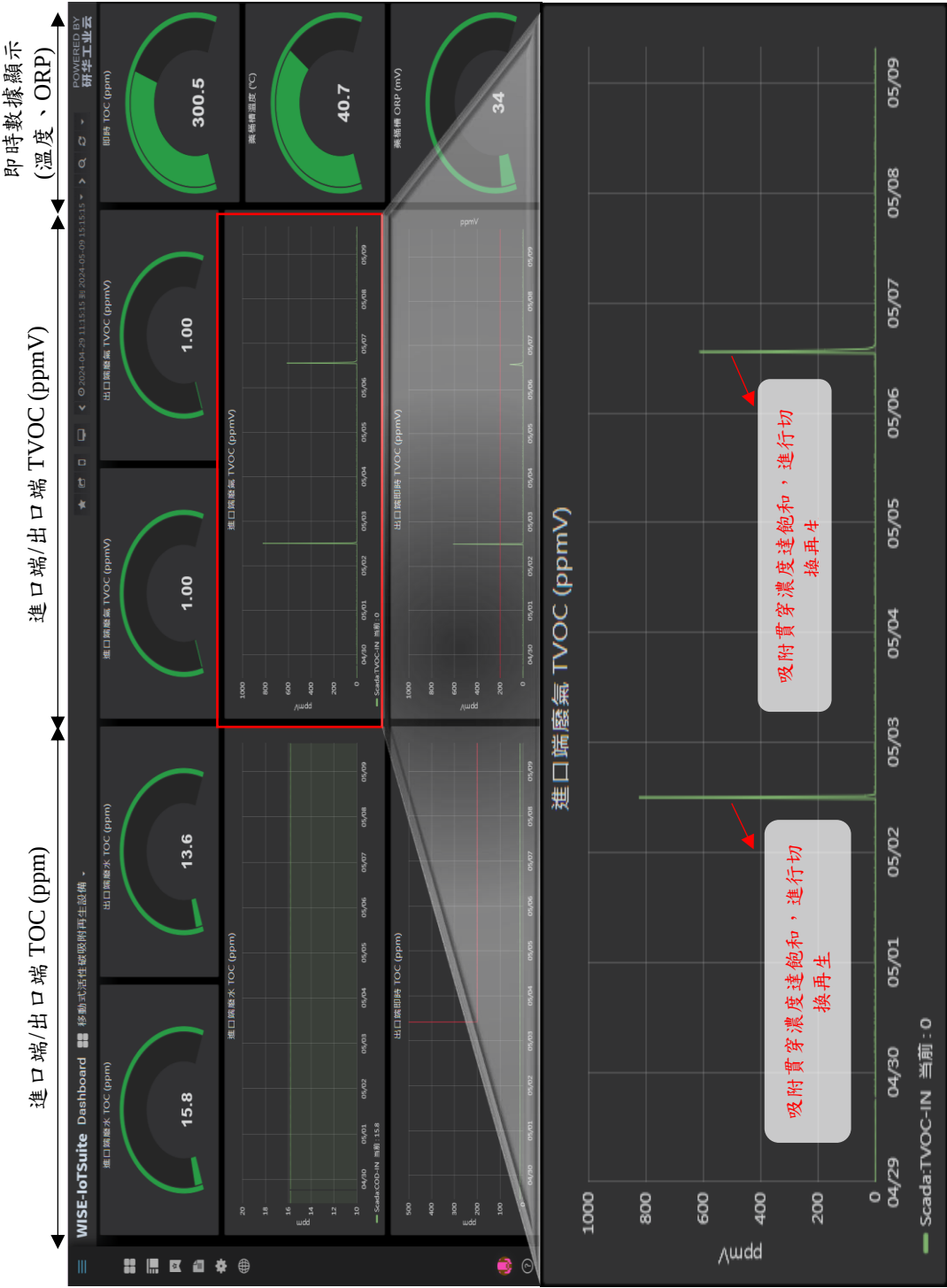


圖 二十九、SVE 01 – 公務所內系統現場自動化操作執行廢氣吸附/再生之循環監測數據



有機物污染場址現址 P&T 廢水與 SVE 廢氣活性碳吸附及再生自動化設備開發及模場應用



圖三十、dashboard 即時監測數據



自動化機電操作系統執行期間，模場試驗-土基會專案承辦人及計畫主持人一同前往現場進行訪談、視察作業(如圖三十一所示)，圖三十二為計畫主持人向專案承辦人介紹自動化機電操作系統之運作原理。因圖二十九所呈現之試驗 SVE 初始濃度較低，圖三十三則為討論將 SVE 入口氣體遷移至新 SVE 操作區域，圖三十四為管線遷移路徑；將原在 SVE 01 - 公務所內之管線(路徑 1)遷移至 RL-01 聚賢路貨櫃 (1) 之 SVE 處理設備(路徑 2)之上(如圖三十五所示)。



圖 三十一、計畫主持人與專案承辦人到現場視察



圖 三十二、計畫主持人介紹系統原理



圖 三十三、與場址負責人討論管線連接



圖 三十四、連接管線至另一區域之路徑



有機物污染場址現址 P&T 廢水與 SVE 廢氣活性碳吸附及再生自動化設備開發及模場應用



圖 三十五、將原在 SVE 01-公務所內之管線遷至 RL-01 聚賢路 SVE 處理系統



圖三十六為 RL-01 聚賢路貨櫃 (1) SVE 尾氣濃度較高之數據監測，可看出自動化機電操作系統執行 SVE 之廢氣吸附/再生設備，於場址現地之 SVE 系統運作皆穩定進行中。當場址既有設備因異常而暫停抽氣時，自動化機電操作系統執行 SVE 之廢氣吸附/再生設備依舊進行運作，可看出 SVE 進口端之濃度約為 0 ppmV；當場址既有設備啟動時，SVE 進口端之濃度約為 50 ppmV，相較於圖二十九之 SVE 進口端之濃度有明顯上升現象。

圖三十七為 RL-01 聚賢路 SVE 處理系統監測數據圖，此場址現地之 RL-01 聚賢路 SVE 處理系統已運行一段時間，在此階段 SVE 進口端所測之濃度約為 0 ppmV，推測此區域最影響範圍內已無揮發性物質，進而導致 SVE 之抽出廢氣濃度低。因此目前場址由新野科技股份有限公司進行抽水使水位降低，藉以觀察是否能抽到污染氣體。經圖三十七吸附階段所獲之數據，6/18 可觀察到 SVE 進口端之濃度約有 300 ppmV。PID 採用異丁烯(C_4H_8)，抽出氣體其為混和氣體，經由轉換公式(式-1)將 ppmV 轉換成 mg/L as C_4H_8 當量重計算活性碳單位吸附量如下(式-2)。

$$\text{mg/L as } C_4H_8 = \frac{(\text{ppm } C_4H_8) \left(\frac{56000 \text{ mg } C_4H_8}{\text{mole } C_4H_8} \right) (10^{-6})}{(0.0821 \frac{\text{L atm}}{\text{K mole}}) (298 \text{ K})} \quad (\text{式-1})$$

$$\text{活性碳單位吸附量 (mg/g)} = \frac{\Sigma (C1 + C2) / 2 \times \Delta \text{time (min)} \times Q (\text{L/min})}{AC (\text{g})} \quad (\text{式-2})$$

C1：進口端濃度 (mg/L)

C2：出口端濃度 (mg/L)

Δtime ：時間 (min)

Q：流量 (L/min)

AC g：活性碳質量 (g)

經由(式-2)計算得知，活性碳的單位吸附量約為 5.74 mg as C_4H_8 /AC g。

接近 6 月底時，場址供電異常，設備跳電一次，而導致系統停止運作，請場址工作人員協助重啟電源後，後因此場址位處濱海路段，電信網路訊號不穩，因此短暫設備無法遠端連線啟動。



有機物污染場址現址 P&T 廢水與 SVE 廢氣活性碳吸附及再生自動化設備開發及模場應用

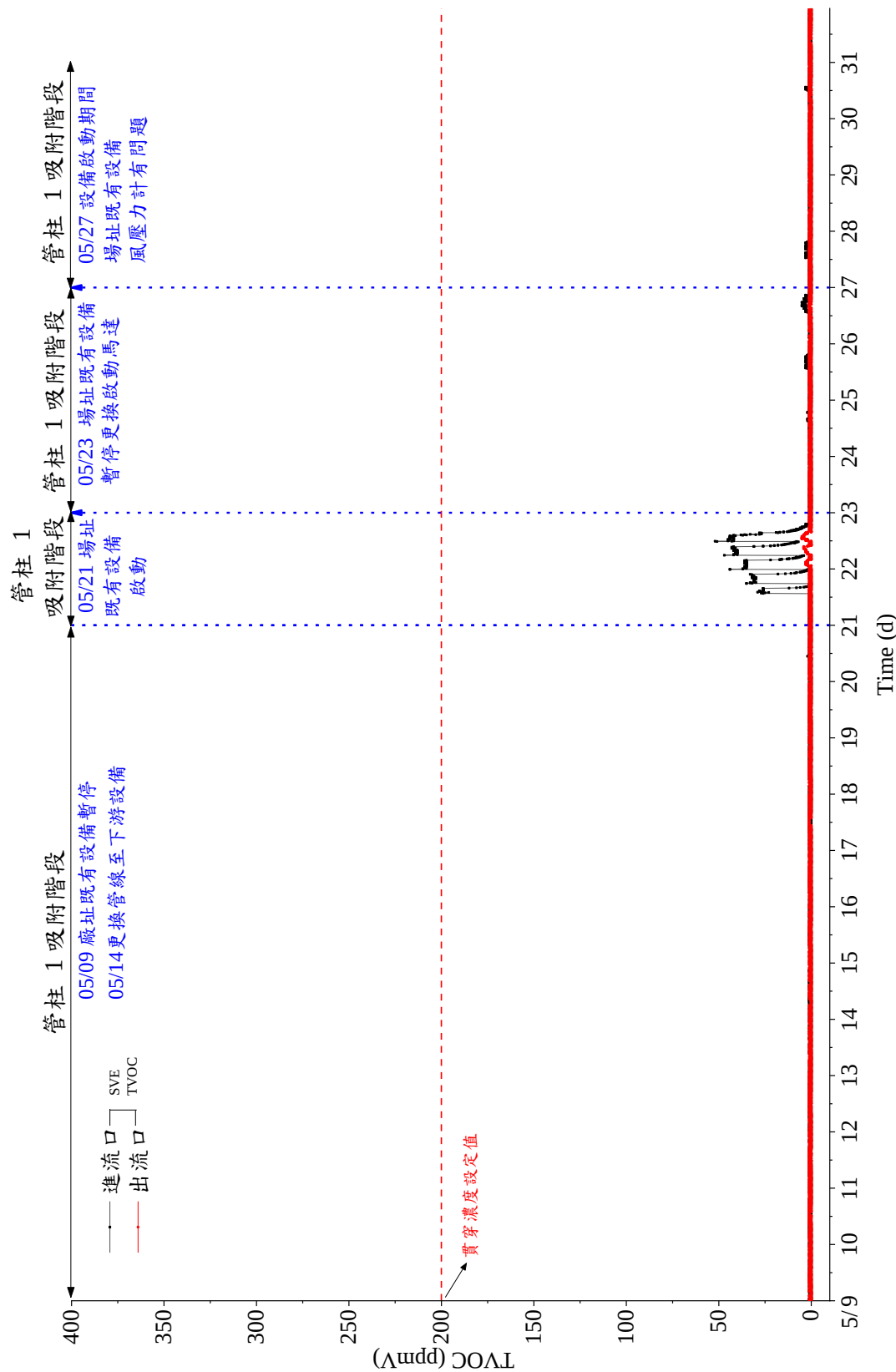


圖 三十六、RL-01 聚賢路貨櫃 (1) 自動化機電操作系統執行 SVE 之廢氣吸附/再生循環操作數據

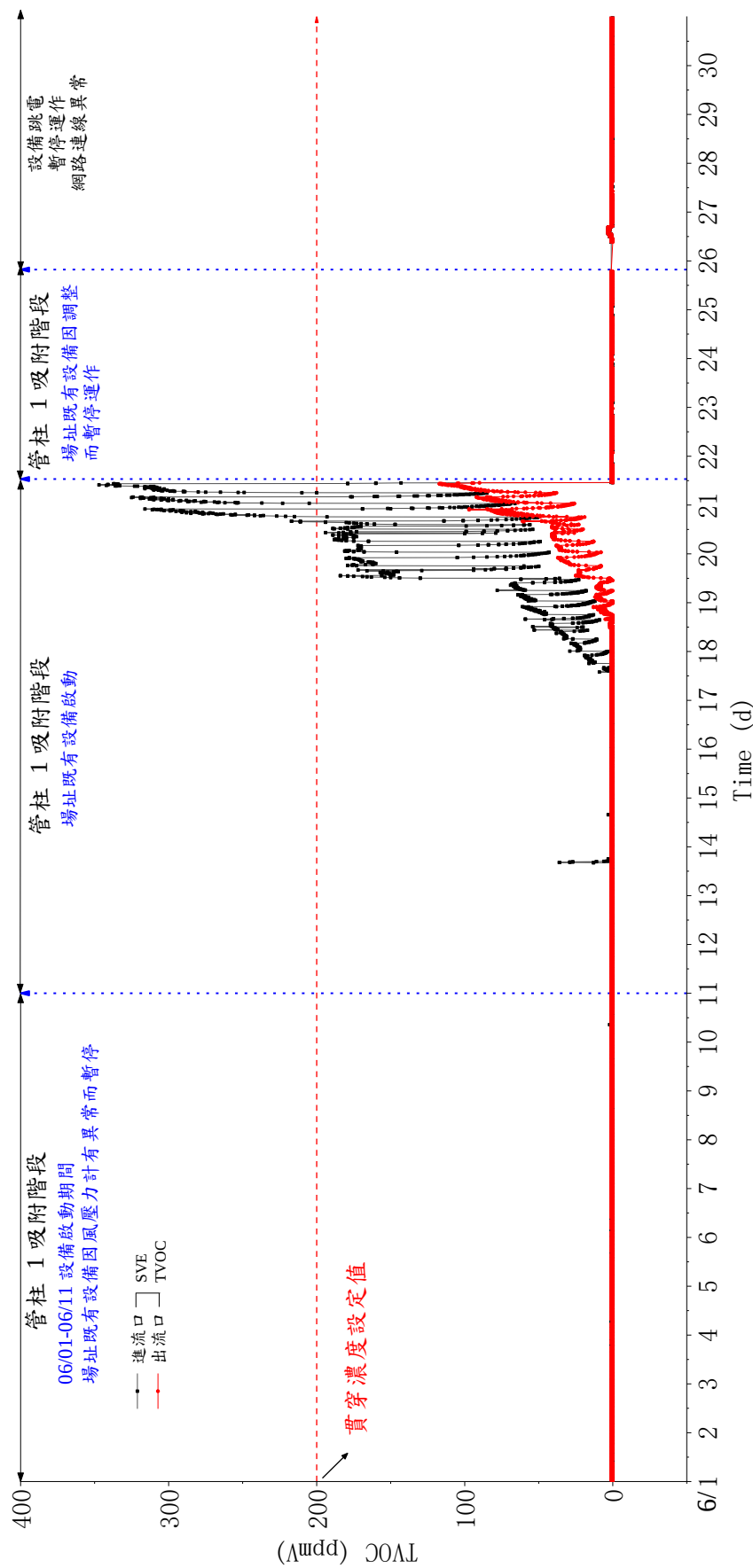


圖 三十七、RL-01 聚賢路貨櫃 (1) 區域經抽水降低水位後予以抽氣，自動化機電操作系統執行 SVE 之廢氣吸附/再生循環操作數據



由圖三十八監測數據可看出，此階段由管柱 1 之吸附程序進行，此過程設定吸附貫穿濃度為 200 ppmV，因為此場址 RL-01 系統已運行一段時間，柴油污染之較具揮發性之低碳數物質多已揮發，導致 SVE 之抽出廢氣濃度較低，SVE 進口端之濃度約為 30 ppmV。

在這段期間，負責場址整治公司與計畫主持人討論後，發現在道路井上的濃度較高，SVE 尾氣濃度約為 2000 ppmV，因此決定更換至 RL-02(如圖三十九所示)。當場址 SVE 設備啟動時，採用了氣體分流的方式，將部分尾氣輸送至自動化設備。在尾氣濃度已超過 1000 ppmV 條件下，SVE 進口端的濃度測得約 1000 ppmV，已超過自動化設備的偵測上限。由於進口端濃度可能超過 1000 ppmV，甚至達到數千 ppmV，導致出流口端濃度上升至約 700 ppmV，可能瞬間達到貫穿濃度，已超出自動化設備的負荷能力，因此停止了設備。同時，由於場址 SVE 設備也因濃度貫穿需更換活性碳，而暫停了運作。

待場址 SVE 設備更換活性碳後啟動，並重新調整氣體分流比例後，此時管柱 1 開始進行吸附，經過約 40 小時，此時貫穿濃度設定為 500 ppmV，由於場址 SVE 設備已達到濃度貫穿需更換活性碳，需要暫停運作，而自動化設備還未達貫穿濃度，因此將貫穿濃度改為 200 ppmV 藉以驅動吸附管柱 1 出流氣體超過設定之貫穿濃度值，始得切換至另一管柱進行吸附，因此，圖三十八 7/19 開始則為管柱 1 進行再生程序，管柱 2 接續進行吸附。此再生階段可得知 ORP 數值初期上升至 800-900 mV，並伴隨著水相 TOC 數值上升，代表氧化反應之進行，水相中有機物增加接續逐步被氧化破壞下降，7/21 後 ORP 住漸下降並且 TOC 降至約 100 mg/L (接近背景水樣數值)，達到再生完成。

後續因颱風天風雨較大，因此將自動化設備系統停止運作，直到颱風過後才再次啟動，此階段由管柱 2 進行吸附程序。

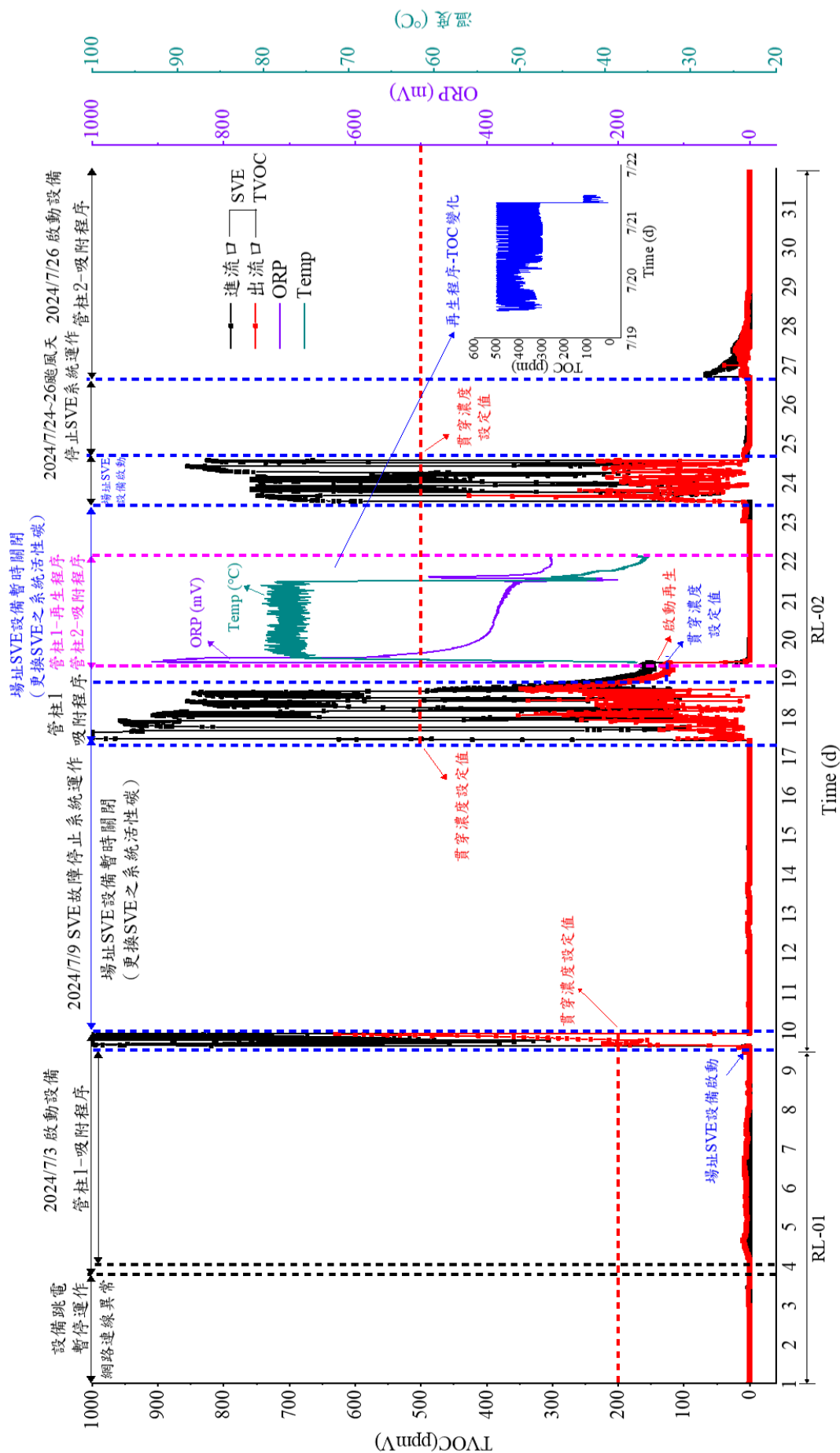


圖 三十八、RL-01、RL-02 自動化機電操作系統執行 SVE 之廢氣吸附/再生循環操作數據



有機物污染場址現址 P&T 廢水與 SVE 廢氣活性碳吸附及再生自動化設備開發及模場應用



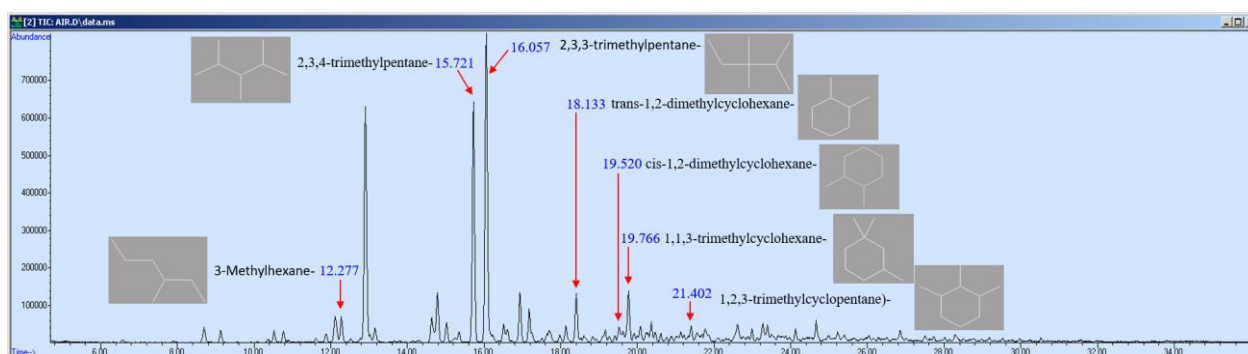
圖 三十九、將原在 RL-01 聚賢路 SVE 處理系統之管線遷至 RL-02 台 15 貨櫃 SVE 處理系統



5.1.5 離場樣本分析

氣體樣品：

使用攜帶式 PID 進行氣體採樣，現場使用 PID 測得新屋區台 15 線 53.5K 處台 15 線貨櫃 (RL-02) SVE 廢氣濃度約為 4500-5000 ppm，直接取氣相樣品 0.5 mL 注入 GC/MS 進行定性分析及資料庫比對。由圖四十結果得知所分析的結果多為烷類或苯環類化合物，屬油品類成分。



圖四十、新屋區台 15 線 53.5K 處台 15 線貨櫃(RL-02) SVE 設備廢氣之 GC/MS 層析圖譜



5.2 針對場址內既有之 P&T 處理設備搭配 AC 吸附及再生自動化設備進行廢水處理測試

5.2.1 鄰苯二鉀酸氫鉀液相 TOC 偵測器及總有機碳分析儀(TOC)的比對測試

TOC 偵測器為此活性碳吸附及再生設備，用以監測氣體進及出流液體之儀器，其中應包含再生過程中，氧化劑溶液之監測。為進行監測數據之比對，首先針對現場 P&T 液體監測所使用之 TOC 偵測器與實驗室之總有機碳分析儀進行比對；以確保實際的量測及確定 P&T 的排液濃度，用於設定設備上的貫穿濃度值。因此測試階段，使用鄰苯二鉀酸氫鉀做為測試液體，以對比 TOC 偵測器的測值；針對不同液體、不同濃度相關的測值及計算，列舉於表八中。第一部分針對 COD (Chemical Oxygen Demand) 計算公式，可以從反應式得知 1 mole $C_8H_5KO_4$ 消耗 = 30 個電子轉移，再經由表八中過程說明第2點計算出，需秤取約 0.8500 g KHP，以配製 1000 mg/L 的 KHP 液體。再依照表八中的第3點，分別配製 0 – 1000 ppm 不同液相濃度的 KHP 溶液，以 TOC 偵測器及總有機碳分析儀來進行量測。其中 TOC 偵測器採用 COD 原理偵測，因此 TOC 偵測器與總有機碳分析儀具有轉換因子 = 0.4 (見表八中第4點)，TOC 偵測器實測值需要進行轉換濃度，其量測結果於表八中的過程說明第5點。兩者儀器間的對比則於表八中過程說明第6點呈現。

兩者間的儀器經對比後，於表八中第 6 點中，可以看出 KHP COD 理論濃度與 TOC 偵測器實測濃度兩者之關係式 $y = 1.0078x$ ，其中 $Y = \text{TOC 偵測器實際測值}$ ， $X = \text{KHP COD 理論濃度}$ ， $R^2 = 0.9997$ ，而若 TOC 偵測器實測與總有機碳分析儀實測濃度之關係式為 $y = 0.906x$ ， $y = \text{經轉換後之 TOC 濃度}$ ， $x = \text{總有機碳分析儀實測濃度}$ ， $R^2 = 0.9998$ 。因此，可知 TOC 偵測器經轉換後約等於總有機碳分析儀濃度，誤差低於 10%。因此由轉換後之 KHP TOC 濃度與總有機碳分析儀實測濃度比較，則可以相關性方程式予以轉換。因此設備上之 TOC 偵測器可以作為現場 P&T 液體監測所使用。



表 八、不同濃度鄰苯二鉀酸氫鉀之液相 TOC 測值比較及相關計算

TOC 偵測器	過程說明
1.1 以 KHP 標準品做為測試液體之濃度配製	
1. COD 計算公式： 反應式： $6 \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14 \text{H}^+ + 6 \text{e}^- = 2 \text{Cr}^{3+} + 7 \text{H}_2\text{O}$ 1 mole $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ (dichromate, DC) 消耗 = 6 個 e^- 轉移 $\Rightarrow$ For DC and O_2 1 mole of DC has 6 electron 1 mole of O_2 has 4 equivalents. $\text{O}_2 + 4 \text{H}^+ + 4 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$ 1 mole O_2 消耗 = 4 個 e^- 轉移 $\frac{32 \text{ g/mole } \text{O}_2}{4 \text{ e}^-/\text{mole}} \Rightarrow \text{e}^- \text{ 轉移} = \frac{8 \text{ g } \text{O}_2}{\text{e}^-}$ Half-reaction： $\text{C}_8\text{H}_5\text{KO}_4 + 12 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 8 \text{CO}_2 + 29 \text{H}^+ + \text{K}^+ + 30 \text{e}^-$ 1 mole $\text{C}_8\text{H}_5\text{KO}_4$ 礦化分解 = 30 個 e^- 轉移	
2. 1000 mg/L COD 儲備溶液配製： $1000 \text{ mg } \text{O}_2/\text{L} = \frac{x \text{ mole KHP}}{\text{L}} \times \frac{30 \text{ eq}}{\text{mole}} \times \frac{8 \text{ g } \text{O}_2}{\text{eq.}} \times \frac{1000 \text{ mg}}{\text{g}}$ KHP = 4.17×10^{-3} mole $\Rightarrow 4.17 \times 10^{-3} \text{ mole} \times 204.2 \frac{\text{g}}{\text{mole}}$ $\Rightarrow \text{KHP} \approx 0.8500 \text{ g}$ 精秤 0.8500 g KHP，以 RO 水定量至 1 L。此溶液為 1000 mg/L 的 COD(KHP)儲備溶液。 (KHP 分子式 $\text{C}_8\text{H}_5\text{KO}_4$) (分子量為 204.2 g/mole)	
3. 配製 KHP 之 COD 濃度為 0、100、200、300、400、500 mg/L： $M_1 V_1 = M_2 V_2 \quad (\text{式-1})$ M_1 : KHP 儲備溶液濃度 V_1 : KHP 儲備溶液體積 M_2 : 配製溶液最終濃度 V_2 : 配製溶液總體積 (1). $100 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 1000 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times V_1 = 100 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 100 \text{ mL}$, $V_1 = 10 \text{ mL}$ (2). $200 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 1000 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times V_1 = 200 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 100 \text{ mL}$, $V_1 = 20 \text{ mL}$ (3). $300 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 1000 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times V_1 = 300 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 100 \text{ mL}$, $V_1 = 30 \text{ mL}$ (4). $400 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 1000 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times V_1 = 400 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 100 \text{ mL}$, $V_1 = 40 \text{ mL}$ (5). $500 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 1000 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times V_1 = 500 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 100 \text{ mL}$, $V_1 = 50 \text{ mL}$ 因此分別取 10/20/30/50 mL 1000 mg/L COD(KHP)儲備溶液至 100 mL 定量瓶，以 RO 水定量至 100 mL。	
4. COD 轉換成 TOC 之轉換因子： KHP 分子式為 $\text{C}_8\text{H}_5\text{KO}_4$，分子量為 204.2 g/mole 其中 C 含量質量 = $\frac{8 \times 12 \text{ g/mole}}{204.2 \text{ g/mole}} \Rightarrow 0.47$ 若設 KHP 秤取 0.8500 g $\times 0.47 = 400 \text{ mg/L TOC}$ 則 1000 mg/L COD = 400 mg/L TOC $\Rightarrow \text{COD 實測濃度} \times 0.4 = \text{TOC}$	



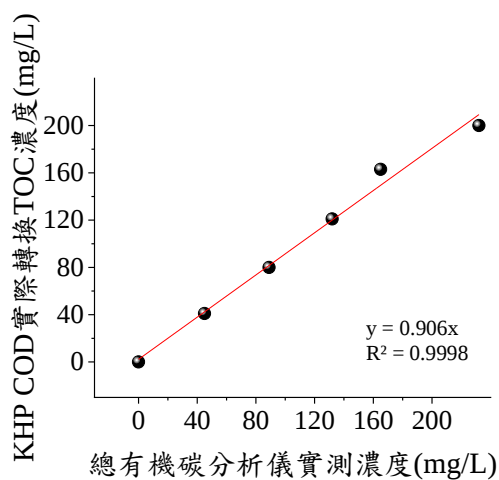
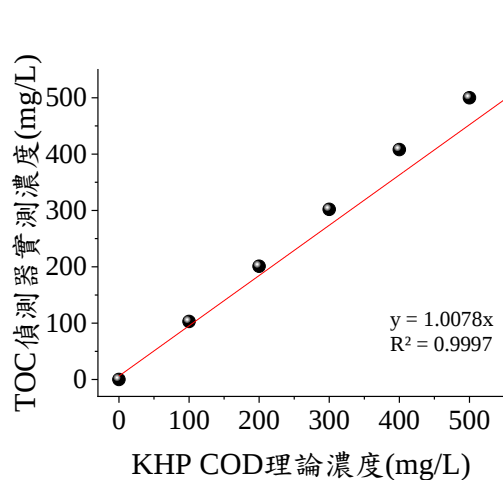
有機物污染場址現址 P&T 廢水與 SVE 廢氣活性碳吸附及再生自動化設備開發及模場應用

5. 以 TOC 偵測器進行 KHP 液體測試：

KHP COD 理論濃度(mg/L)	TOC 偵測器實測濃度(mg/L)	轉換因子	實際轉換 TOC 濃度(mg/L)
0	0		0
100	103		41
200	201	0.4	80
300	302		121
400	408		163
500	500		200

6. TOC 及偵測器有機碳分析儀(TOC) KHP 轉換濃度之比對

KHP COD 理論濃度(mg/L)	TOC 偵測器濃度		總有機碳分析儀實測濃度 (mg/L)
	實測濃度 (mg/L)	實際轉換 TOC 濃度 (mg/L)	
0	0	0	0
100	103	41	45
200	201	80	89
300	302	121	132
400	408	163	165
500	500	200	232



註：依據 [鄰苯二鈣酸氫鉀 SDS](#)



5.2.2 甲苯之 TOC 偵測器及總有機碳分析儀(TOC)的比對測試

測試階段，亦使用甲苯做為測試液體，以對比 TOC 偵測器的測值；針對不同液體、不同濃度相關的測值及計算，列舉於表九中。第一部分針對 COD 計算公式，可以從反應式得知 1 mole 的 $C_6H_5CH_3$ 消耗 = 36 個電子的轉移，1 mole 的 O_2 消耗 = 4 個電子的轉移，因此以配製 1000 mg/L 之甲苯來進行計算，可得到需取甲苯約 0.37 mL。再依照表九中的第 2 點，進行配製不同液相濃度的甲苯溶液，以 TOC 偵測器來進行量測。量測結果於表九中的過程說明第 2 點，其中 TOC 偵測器系採用 COD 原理偵測，因此實測值需要再轉換成 TOC 濃度。兩者儀器間的對比則於表九中第 3 點呈現。

兩者間的儀器經對比後，於表九中第 3 點中，可以看出 KHP COD 理論濃度與 TOC 偵測器實測濃度兩者之關係式 $y = 0.9074x$ ，其中 $Y = \text{TOC 偵測器實際測值}$ ， $X = \text{甲苯 COD 理論濃度}$ ， $R^2 = 0.9960$ ，而若 TOC 偵測器實測與總有機碳分析儀實測濃度之關係式為 $y = 1.0339x$ ， $y = \text{經轉換後之 TOC 濃度}$ ， $x = \text{總有機碳分析儀實測濃度}$ ， $R^2 = 0.9918$ 。因此，可知 TOC 偵測器經轉換後約等於總有機碳分析儀濃度，誤差低於 10%。因此由轉換後之 KHP TOC 濃度與總有機碳分析儀實測濃度比較，則可以相關性方程式予以轉換。因此設備上之 TOC 偵測器可以作為現場 P&T 液體監測所使用。

表 九、不同濃度甲苯之液相 TOC 測值比較及相關計算

TOC 偵測器	過程說明
1.2 以甲苯標準品做為測試液體之濃度配製	
1. COD 計算 反應式： $C_6H_5CH_3 + 14 H_2O = 7 CO_2 + 36 H^+ + 36 e^-$ 1 mole $C_6H_5CH_3$ 消耗 = 36 e^- 轉移 $O_2 + 4 H^+ + 4e^- \rightarrow 2 H_2O$ 1 mole O_2 消耗 = 4 個 e^- 移轉 $\frac{32 \text{ g/mole } O_2}{4 e^- / \text{mole}} \Rightarrow e^- \text{ 轉移} = \frac{8 \text{ g } O_2}{e^-}$	



有機物污染場址現址 P&T 廢水與 SVE 廢氣活性碳吸附及再生自動化設備開發及模場應用

2. 1000 mg/L COD 儲備溶液配製：

$$1000 \text{ mg O}_2/\text{L} = \frac{x \text{ mole C}_6\text{H}_5\text{CH}_3}{\text{L}} \times \frac{36 \text{ eq}}{\text{mole}} \times \frac{8 \text{ g O}_2}{\text{eq.}} \times \frac{1000 \text{ mg}}{\text{g}}$$

$$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3 = 3.47 \times 10^{-3} \text{ mole}$$

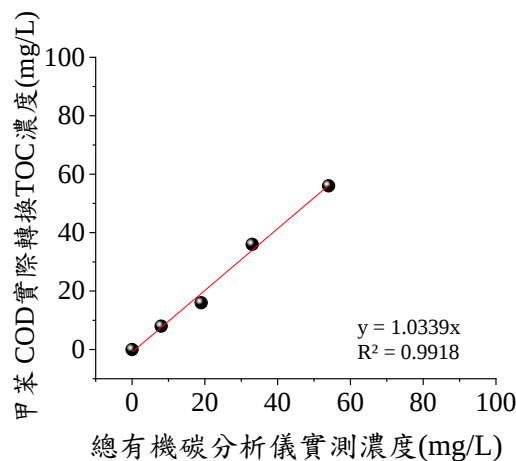
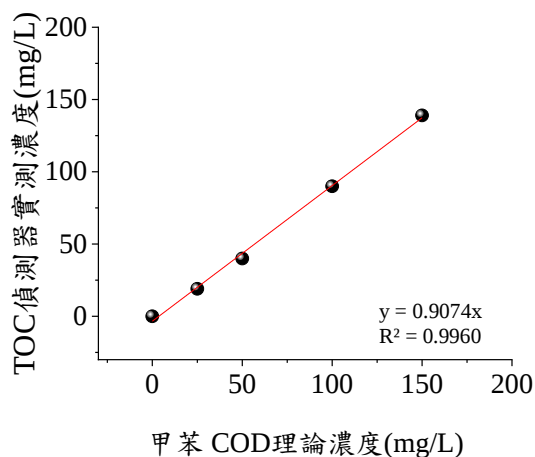
$$3.47 \times 10^{-3} \text{ mole} \times \frac{92.14 \text{ g}}{\text{mole}} \Rightarrow 3.19 \times 10^{-1} \text{ g} \times \frac{1000}{\text{g}} = 319.9 \text{ mg}$$

$$319.9 \text{ mg} \times \frac{\text{cm}^3}{0.87 \text{ g}} \times \frac{\text{g}}{1000 \text{ mg}} = 3.7 \times 10^{-1} \text{ cm}^3 = 0.37 \text{ mL}$$

甲苯 COD 理論濃度(mg/L)	TOC 偵測器 實測濃度(mg/L)	轉換因子	實際轉換 TOC 濃度(mg/L)
0	0	0.4	0
25	19		8
50	40		16
100	90		36
150	110		60

3. TOC 偵測器 vs. 總有機碳分析儀 甲苯轉換濃度之比對

配製甲苯 COD 理論濃度(mg/L)	TOC 偵測器濃度		TOC 實測濃度 (mg/L)
	實測濃度 (mg/L)	實際轉換 TOC 濃度 (mg/L)	
0	0	0	0
25	19	8	8
50	40	16	19
100	90	36	33
150	139	56	54





5.2.3 液體 AC 吸附及再生自動化設備系統之穩定性測試

先行測試 AC 吸附及再生自動化設備於實驗室進行廢液處理之狀況，AC 吸附及再生自動化設備先以手動方式執行至少二次之吸附及再生循環，並記錄測試過程各項操作數值，以確認實場系統操作之穩定性。

經由不同測試條件並且以長時間操作為基礎，確保系統於現場自動化及無人看顧下仍可穩定進行操作。經由計畫主持人團隊討論，並進行軟體介面修改，其中差異之主要部分，包含修改文字、及新增貫穿次數、即時數據等 (如圖四十一所示)，測試流程及各程序不同之設定條件如圖四十二所示，其中標示黃色之步驟為操作時發生異常之階段，其解決方式列舉於表十中。

(a)

不脫附 關閉回流頁 移動式活性碳吸附再生設備ZM-VOC 系統啟動 氣體啟動 液體啟動

程序 氣/液體設定切換值 120 氣(PPM) 100.0 液(PPM) 0 吸附中 脫附完成 0 警報碼

脫附/加藥/進水 加藥設定時間(S) 30 0 進水保護時間(S) 1200 0 警報復歸

脫附桶水/溫控 啟動熱沖設定溫度 33.0 脫附設定溫度 80.0 26.1 度C 脫附重啟加熱溫度 75.0

脫附1/熱沖時間 11分 0 脫附2/淋液時間 240秒 0 脫附3/清洗1 120秒 0

脫附3/清洗2 60秒 0 脫附3/清洗3 110秒 0 脫附3/排水 200秒 0

脫附4/曝氣時間 600秒 0 脫附5/靜置時間 120秒 0 吸附流程時間 9999分 0

切開時間(進/出)中 取樣時間(進/出) 110秒 氣體1 0 氣體2 0 液體1 0 液體2 0 氣體切換位置 0 液體切換位置 0

偵測時間(進/出) 130秒 氣體1 0 氣體2 0 液體1 0 液體2 0 等待時間(進/出) 60秒 氣體1 0 氣體2 0 液體1 0 液體2 0

脫附取樣時間 液體3 120秒 0 脫附偵測時間 液體3 240秒 0 脫附等待時間 液體3 60秒 0

吸附管柱確定 吸附位置 2 手動管柱1/脫附 手動管柱2/脫附 手動排水(S) 480秒 0

吸附管柱選擇 1 操作管柱 2 58.6 ppm水TOC 0 ppm氣TVOC

131 ORP 26.1 度C 0.0 ppm進水 0.0 ppm出水 36.7 ppm脫附水 1 ppm進氣 0 ppm出氣

(b)

關閉回流頁 移動式活性碳吸附/再生設備 系統啟動 氣體啟動 液體啟動

程序 氣/液體設定貫穿值 200 氣(PPM) 200.0 液(PPM) 0 吸附中 脫附中 0 警報碼

脫附/加藥/進水 加藥設定時間(S) 60 0 進水保護時間(S) 9999 0 警報復歸

脫附桶水/溫控 啟動熱沖設定溫度 40.0 脫附設定溫度 80.0 22.6 度C 脫附重啟加熱溫度 75.0

脫附1/熱沖 10分 0 脫附2/淋液時間 450秒 0 脫附3/清洗1 600秒 0

脫附3/清洗2 600秒 0 脫附3/清洗3 600秒 0 脫附3/排水 700秒 0

脫附4/曝氣吹風 1200秒 0 2 超吸 氣體出 0 液體出 0 指定吸附 518400分 0

選擇樣切換間 進氣/液置換時間 進氣/液置換時間 出樣切換間 出氣/液置換時間 出氣/液置換時間

脫附液置換時間 脫附液置換時間 脫附液置換時間 脫附液置換時間 脫附液置換時間

脫附液置換時間 120秒 0 脫附液置換時間 200秒 0 脫附液置換時間 30秒 0

吸附管柱確定 吸附位置 1 手動管柱1/脫附 手動管柱2/脫附 手動排水(S) 999秒 0

吸附管柱選擇 1 操作管柱 1

即時數據顯示 4.3 ppm水TOC偵測器 0 ppm氣TVOC偵測器 168 ORP(即時) 22.6 度C(即時)

偵測數據顯示 15.8 ppmTOC進水 13.6 ppmTOC出水 4.6 ppmTOC脫附水 0 ppm進氣TVOC 0 ppm出氣TVOC

圖 四十一、軟體更改(a)前、(b)後之使用介面



有機物污染場址現址 P&T 廢水與 SVE 廢氣活性碳吸附及再生自動化設備開發及模場應用

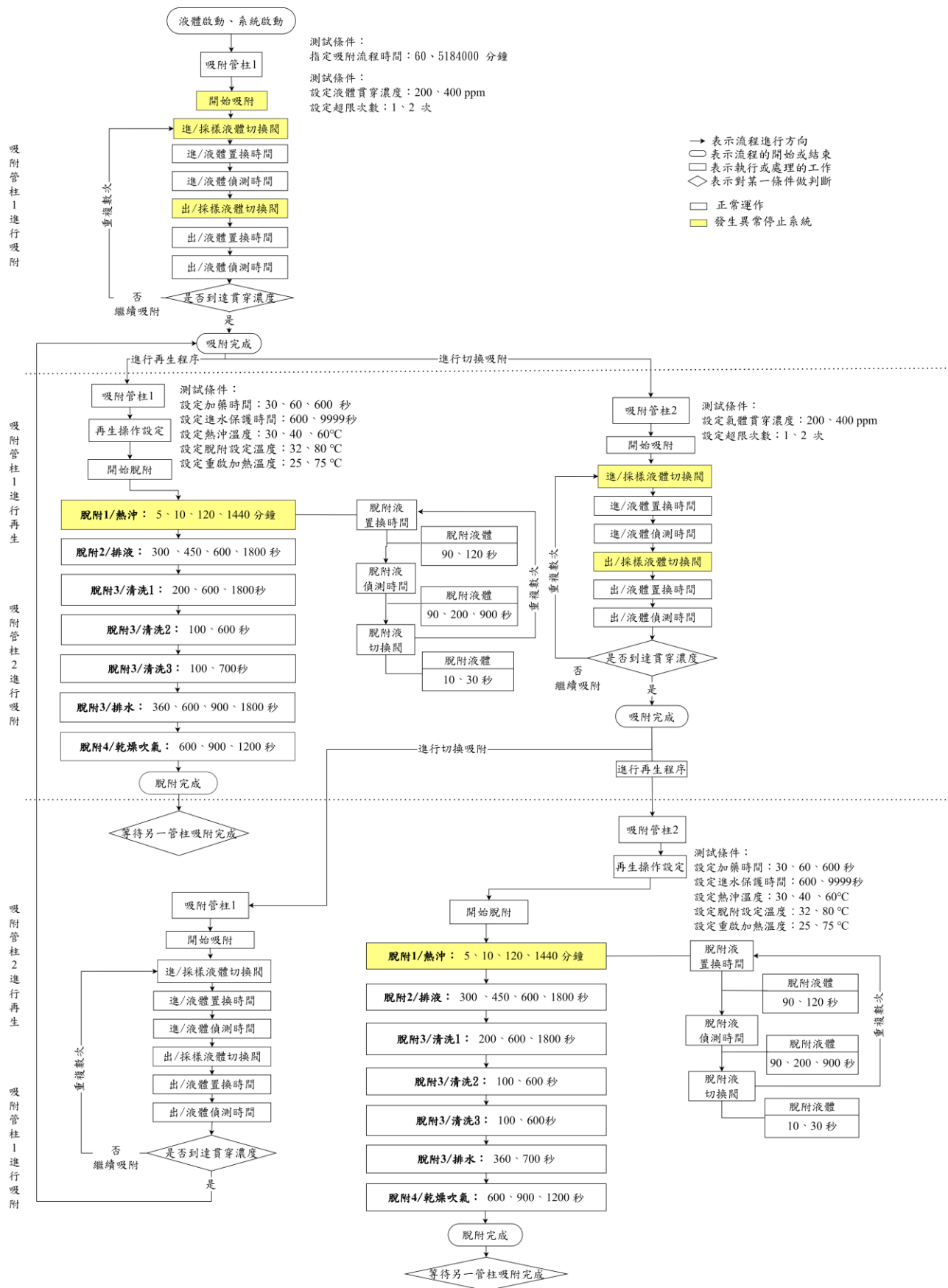


圖 四十二、液體系統不同設定條件及操作流程圖



表 十、液體吸附及再生操作系統異常及解決方式

階段	查核項目
吸 附 階 段	確認設備電源是否正常
	確認是否可正常切換廢水(P&T)模式
	確認抽水 pump 是否可正常抽取廢水
	確認抽出廢水之流量計是否正常，且超出流量計範圍時是否可持續運作
	確認 TOC 之進、出流端是否正常偵測
	確認達污染物設定值時再生階段程序是否切換正常
再 生 階 段	確認 ORP 計、液位控制器、加熱棒、溫度計是否正常開啟
	確認再生管柱相關之開關閥有無開啟
	確認加藥端之加水閥是否正常開啟
	確認加藥端進出流閥是否正常開啟(含需再生管柱端)
	確認熱沖時，是否會進行補水
	液位控制器於滿水或低水位時是否正常運作
	確認加熱棒是否有正常運作(確認溫度加熱安全裝置)
	確認加熱設備是否在再生完成後關閉
	確認清洗用加水閥是否正常開啟
	確認排放廢水用之幫浦(D-10)是否正常運作
	確認 D-10 之液位控制器是否正常
	確認清洗完成後是否有關閉循環用幫浦(D-4)
	確認風車(鼓風機)是否可正常開啟
	確認乾燥用風車流量計是否正常，且超出流量計範圍時是否可持續運作
	確認完成乾燥後是否會停止運作(設定操作時間)
	確認停止運作後，相關開關閥是否進行關閉
	觀察 AC 於吸附操作或脫附時粉塵狀況
	確認停止運作後另一管柱於 TOC 濃度貫穿時是否會進行切換
	確認再生管柱於再生階段時另一管柱(吸附管柱)有無正常運作
AC 吸附及再生自動化設備零件組裝之遭遇困境及解決方法	
系統異常	解決方法
液體系統進行吸附時，在切換偵測出流端時，切換閥發生異常，無法繼續吸附及後續再生程序。	聯繫工程師後，利用遠端進行連線，線上修改程式異常的部分。經修改後已可正常切換進流端及出流端之電動閥。
進行實驗室廢水吸附時，進水之流量計浮球沒有浮動，且抽水 pump 沒有抽水。	發現進水端到 pump 間之水管有空氣，導致水流不順，壓力不穩定所引起。此時要將空氣排出，即可排除這種情況。
在液體系統吸附流程中，於偵測完進流端後電動閥無法切換至出流端進行偵測。故無法進行後續流程測試。	此為程式 bug，後續經工程師修復軟體後，已正常切換至出流端偵測。



系統異常	解決方法												
抽水流量太低，流量計浮球沒有浮動。	抽水流量太小，可以更改頻率，使流量變大。 <table><tr><th>頻率設定</th><th>流量計顯示</th><th>單位</th></tr><tr><td>20</td><td>13-14</td><td rowspan="4">L/min</td></tr><tr><td>18</td><td>9-10</td></tr><tr><td>17</td><td>7-8</td></tr><tr><td>16</td><td>5-6</td></tr></table>	頻率設定	流量計顯示	單位	20	13-14	L/min	18	9-10	17	7-8	16	5-6
頻率設定	流量計顯示	單位											
20	13-14	L/min											
18	9-10												
17	7-8												
16	5-6												
已知在低於液面控制器時，會有警報碼顯示，並關閉運作以保護系統。測試液面若過高時，是否也會顯示警報碼、並停止系統。	在水位已停止進水時，嘗試把水再添加至藥桶循環槽後，觀察到當液面過高時，並不會顯示警報、系統也沒有受到影響而關閉。為了安全因素，另外增購一組液面控制器，並加以安裝，以及將其運作，寫入程式中。												
當進行熱沖時，因同時監測 TOC，將有部分的水損耗以及當溫度過高時，產生的蒸氣或蒸發都會造成耗損而液面下降，系統約略進行至 5~10 小時就會低液位現象，導致警報碼 6 出現進而停止自動化系統。	將另外增加液面控制器，當低於某水位時進行補水，進而達到長時間不低於液面，避免系統關閉。												



5.2.4 污染場址現場利用自動化機電操控系統執行 P&T 之廢水吸附/再生循環使用

依 5.2.3 自動化機電操作系統測試完成且困難排解後，將原系統執行 SVE 之廢氣吸附及再生循環，更換成地下水抽出處理法(P&T)廢液處理測試，首先如圖四十三所示，將活性碳管柱中原廢氣吸附用之柱狀活性碳更換為廢水處理用之顆粒狀活性碳。



圖 四十三、更換氣體用柱狀活性碳為液體用顆粒狀活性碳之全過程



有機物污染場址現址 P&T 廢水與 SVE 廢氣活性碳吸附及再生自動化設備開發及模場應用

由圖四十四模場試驗配置圖可看出原自動化機電操作系統設備放置在場址戶外空曠 A 處，因 6 月份氣溫開始炎熱，擔心在豔陽下有高溫過度曝曬造成分析設備損壞之風險，因此將裝置移至有樹蔭陰涼 B 處下。管線也從原 RL-01 聚賢路貨櫃(1)SVE 處理系統改到 RL-02 台 15 貨櫃(2) P&T 處理系統，經由計畫主持人與委辦之整治公司進行討論，由 RL-02 進行管線配接。利用泵浦抽取廢水至中繼桶(如圖四十五)，但因泵浦抽取出的廢水中含有過多雜質基質(圖四十六所示)，這是因為該區之土壤為紅土質地，為克服此一問題，採用簡易雙管 5 μm 濾芯過濾，但僅 20 分鐘即阻塞，無法供水。因此需另外可量化細部過濾系統，經過細部設計如圖四十七，將 P&T 抽出水先經砂濾過濾，再經兩槽 5 μm 壓力過濾器過濾後，將廢水存放於水槽中。實體設備如圖四十八所示，砂濾槽搭配每日定時逆沖洗法，將雜質過濾排出，最後將過濾後之廢水另接管線至自動化機電操作系統設備進行吸附操作。





圖 四十五、設置中繼桶及簡易過濾裝置



圖 四十六、因土壤為紅土質地，因此含有過多雜質基質

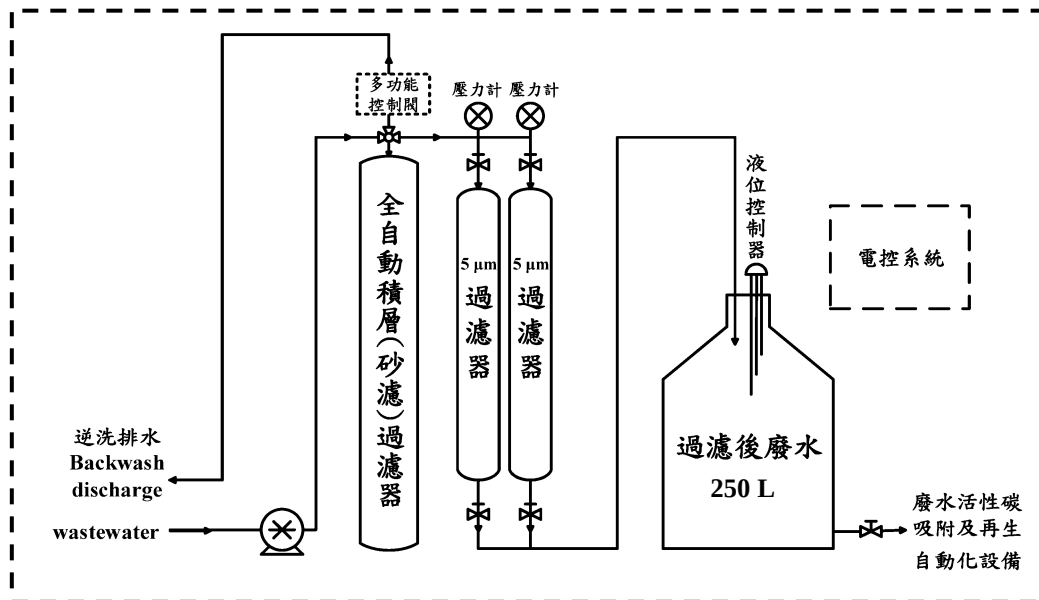


圖 四十七、過濾系統細部設計流程圖



有機物污染場址現址 P&T 廢水與 SVE 廢氣活性碳吸附及再生自動化設備開發及模場應用

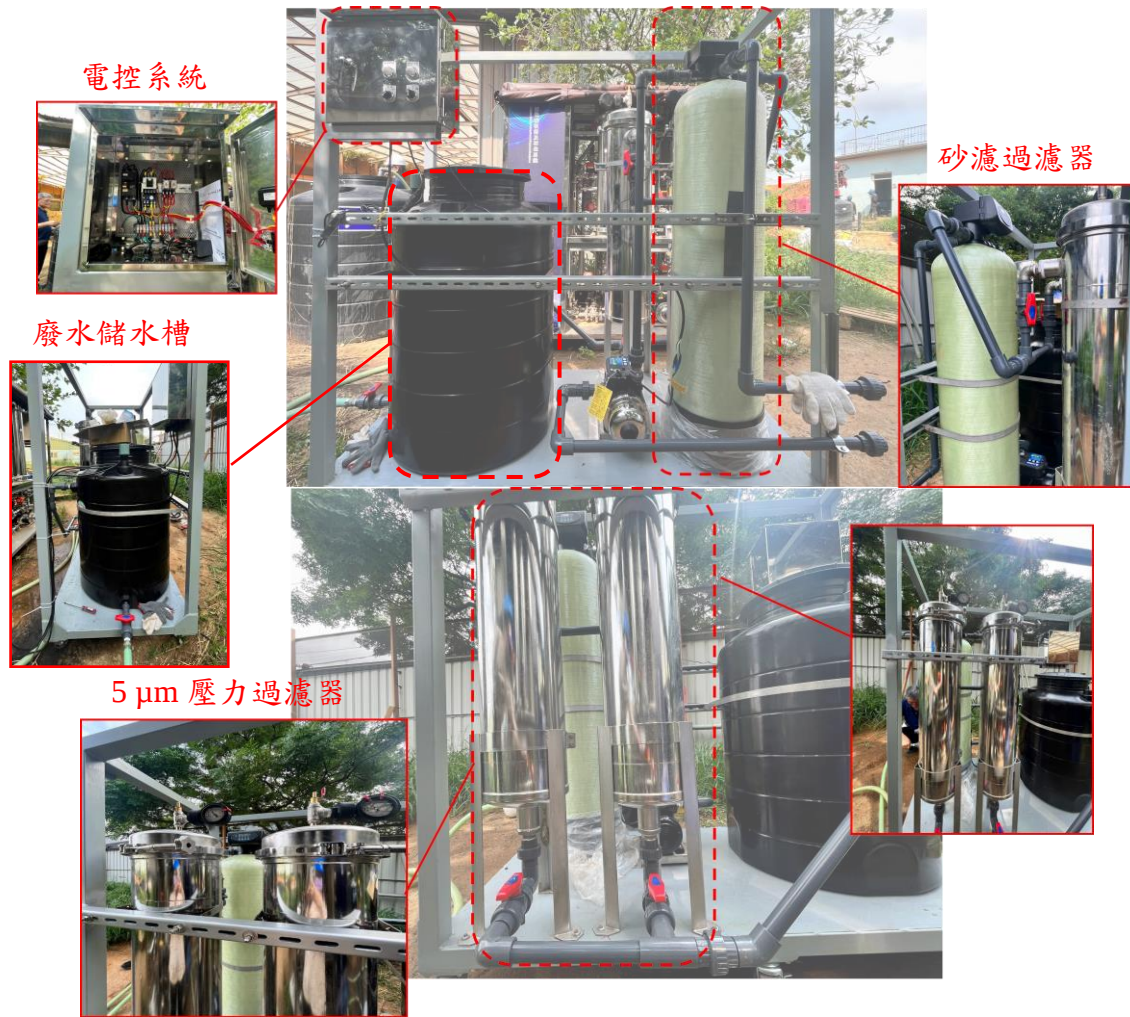


圖 四十八、實體過濾裝置圖



整體設備加裝新廢水過濾系統，並經測試後，接續利用自動化機電操作系統執行 P&T 之廢水吸附/再生循環，同時進行 TOC、ORP 之連續監測，由圖四十九之數據監測可看出，此階段之試驗首先由管柱 1 之吸附程序進行，此過程先行設定吸附貫穿濃度為 250 ppmV，藉以觀察系統運作時 TOC 之變化，避免瞬間 TOC 之變化甚劇，袋系統穩定後自行調整。P&T 進口端之濃度約為 35-50 ppm，計算活性炭單位吸附量，經由(式-2)計算得知，活性炭的單位吸附量約為 19.6 mg/g。

第一階段管柱 1 吸附，經過約 48 小時之操作，以遠端操作方式設定之貫穿濃度 25 ppm，使 TOC 偵測器偵測進口端時，藉以驅動吸附管柱 1 出流液體超過所設定之貫穿濃度，強制啟動再生程序，對於監測出流液體濃度，內部設定每 60 秒監測一筆數據，為確認達濃度貫穿而非因突發之意外訊號，因此，濃度貫穿需有連續達五筆以上之數據皆超過設定之貫穿濃度數值(此於系統面板之設定上稱為貫穿 2 次)，若為謹慎確認貫穿之濃度已達到，亦可設定貫穿多次，始得切換至第二階段另一管柱進行吸附，因此，圖四十九後段則為管柱 1 進行再生(即第二階段包含管柱 1 再生，管柱 2 吸附)，管柱 2 接續進行吸附。此再生階段可得知 ORP 數值初期上升至 800-900 mV，並伴隨著水相 TOC 數值上升，代表氧化反應之進行，水相中有機物增加接續逐步被氧化破壞下降，約 120 小時後，ORP 下降並且 TOC 降至約 3.0 mg/L (接近背景水樣數值)，達到再生完成。依此程序，管柱 1 再生完成後，靜待後續使用。但在再生過程中，因設備上的濾芯已需進行更換，因此為避免設備馬達空轉，而暫停吸附。進行再生程序之清洗階段時，場址發生無預警停水，但設備並無須停止運作，只需等待場址恢復供水後即可繼續進行再生。至此，目標 2-2 確認完成所規劃之試驗，此活性炭液相吸附/再生程序已可順利全自動化進行。



有機物污染場址現址 P&T 廢水與 SVE 廢氣活性碳吸附及再生自動化設備開發及模場應用

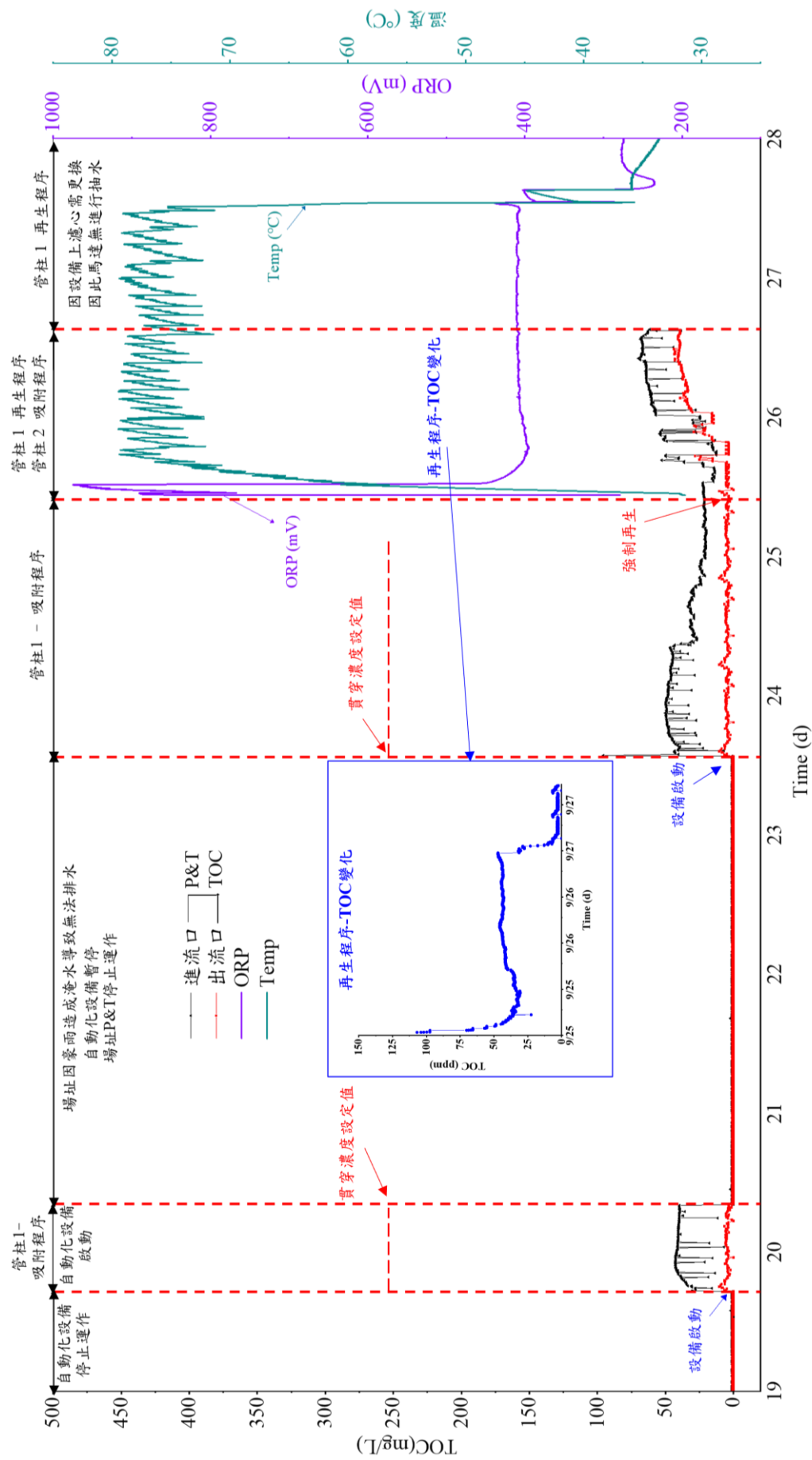


圖 四十九、RL-02 自動化機電操作系統執行 P&T 之廢水吸附/再生循環操作數據



自動化機電操作系統執行 P&T 之廢水吸附/再生設備在運行過程，所遭遇困境及解決方法如表十一所示：

表 十一、執行 P&T 之廢水吸附/再生運行過程所遭遇之困境及解決方法

遭遇困境	解決方法														
因場址廢水 P&T 設備離自動化機電操作系統之間的距離甚遠，因此需要更多的動力將水傳送至廢水吸附/再生設備。	另外購買泵浦，並裝設中繼桶，將水傳輸至靠近自動化機電操作系統設備。 														
場址廢水之水質過於混濁、且有過多雜質，導致淤泥沉澱於中繼桶底部，採用簡易雙管 5 μm 濾芯過濾，但僅 20 分鐘即阻塞，無法供水。 	另外設置一組全自動過濾裝置，並搭配每日定時逆沖洗方式，使被過濾之雜質排出。將過濾後之廢水，利用自動化設備進行吸附。 														
TOC 偵測器不明原因故障，偵測數值不會變動。	可能因場址長期處於暴露戶外環境濃度過高，P&T 廢水雜質殘留或是污染等，影響 TOC 偵測器使用，此為需要克服原因之一，後續更換一組新的 TOC 偵測器，並經由校正確認可以予以使用。 <table><tr><th>KHP COD 理論濃度(mg/L)</th><th>TOC 偵測器實測濃度 (mg/L)</th></tr><tr><td>0</td><td>0.2</td></tr><tr><td>100</td><td>86.6</td></tr><tr><td>200</td><td>190.1</td></tr><tr><td>300</td><td>335.0</td></tr><tr><td>400</td><td>398.2</td></tr><tr><td>500</td><td>491.4</td></tr></table>	KHP COD 理論濃度(mg/L)	TOC 偵測器實測濃度 (mg/L)	0	0.2	100	86.6	200	190.1	300	335.0	400	398.2	500	491.4
KHP COD 理論濃度(mg/L)	TOC 偵測器實測濃度 (mg/L)														
0	0.2														
100	86.6														
200	190.1														
300	335.0														
400	398.2														
500	491.4														



有機物污染場址現址 P&T 廢水與 SVE 廢氣活性碳吸附及再生自動化設備開發及模場應用

遭遇困境	解決方法														
	TOC偵測器實測濃度 (mg/L) TOC理論濃度 (mg/L) $y = 0.993x$ $R^2 = 0.9969$ <table border="1"><caption>Data points from the TOC calibration graph</caption><thead><tr><th>TOC理論濃度 (mg/L)</th><th>TOC偵測器實測濃度 (mg/L)</th></tr></thead><tbody><tr><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>100</td><td>90</td></tr><tr><td>200</td><td>180</td></tr><tr><td>300</td><td>270</td></tr><tr><td>400</td><td>360</td></tr><tr><td>500</td><td>450</td></tr></tbody></table>	TOC理論濃度 (mg/L)	TOC偵測器實測濃度 (mg/L)	0	0	100	90	200	180	300	270	400	360	500	450
TOC理論濃度 (mg/L)	TOC偵測器實測濃度 (mg/L)														
0	0														
100	90														
200	180														
300	270														
400	360														
500	450														



5.2.5 離場樣本分析

液體樣品：

經由新屋區台 15 線 53.5K 處場址台 15 線貨櫃(RL-02)之 P&T 設備，取得「廢水-原水」，最後從經過自動化機電操作系統設備，吸附處理後之出流端，進行採樣得到「出流水」。此些水樣於實驗室中，首先經吹氣捕捉裝置進行前處理，再由 GC/MS 進行分析。由圖五十 (a) 結果得知，廢水-原水中含有之化合物多為揮發性油品類有機物質，且因廢水抽出後之儲水槽及抽至中繼桶皆為開放式，所以致使水中揮發物多以揮發。因此可以從圖譜中看到雖有訊號值，但對 MS 而言濃度已經介於 N.D 值。(一般定量偵測極限為 0.0010 mg/L，訊號值約為 2000–10000)，圖五十 (b) 為出流水分析層析圖譜，可看出經由設備吸附後，濃度皆為 N.D.。

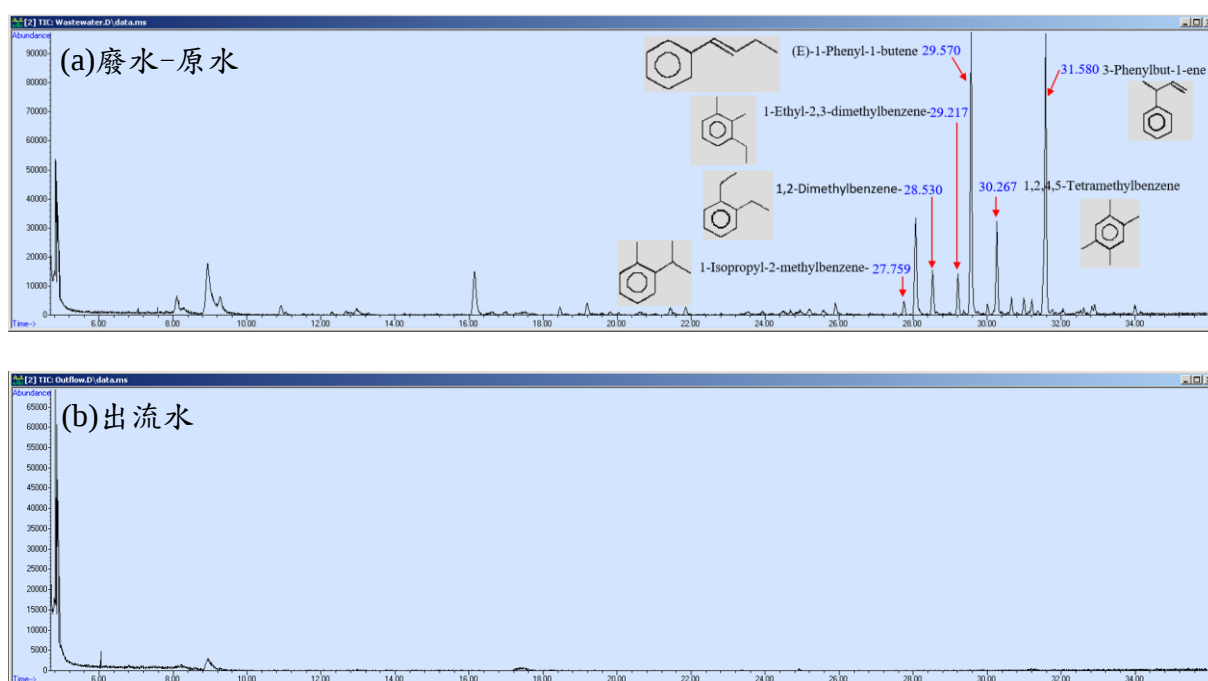


圖 五十、新屋區台 15 線 53.5K 處台 15 線貨櫃(RL-02) P&T 設備廢水之(a) 原水、(b)自動化機電操作系統設備吸附處理後之出流水 GC/MS 層析圖譜



表十二為現場所使用 TOC 偵測器測得之原水及過濾原水之數值，兩者濃度並無明顯差異，因此說明經過濾後，對水中有機物濃度並無太大差異。後續回實驗室使用總有機碳分析儀，將其過濾後進行分析，所測得的 TOC 為總溶解有機碳；而現場採用之 TOC 偵測器則是光學儀器，有懸浮顆粒存在會阻礙光線，因此所測得之 TOC 才會有偏高現象。而經自動化機電操作系統設備吸附處理後之出流水，經兩種儀器所測得 TOC 濃度一致，因此確認現場可以直接以 TOC 偵測器作為現場 P&T 液體監測使用。於處理前後則無顯著變化。

表 十二、廢水各處理階段之總有機碳分析(TOC)及水質分析結果

	pH	ORP (mV)	TOC 偵測器 實測濃度 (mg/L)	轉換 係數*	實際轉換 TOC 濃度 (mg/L)	總有機碳分析儀 TOC 濃度 (mg/L)
原水	7.18	317.9	33.8		13.5	8.9
過濾原水	7.49	325.2	31.3	0.4	12.5	7.8
出流水	7.58	301.7	6.9		2.8	2.9

*由表八中第 4 點計算所得

AC 反應前後之特性分析：

依照 AC 再生前後，分析 pH、FTIR(傅立葉紅外線光譜儀)、碘值及 BET(比表面積分析儀)等材料特性，藉以了解再生後之 AC 與全新未使用 AC 吸附材是否有足夠之比表面積及孔洞體積變化，因此藉由 BET 進行分析。分析結果如表十三，可看出柱狀 AC 再生反應前後微孔之比表面積($644 - 762 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$)及孔洞體積為($0.38 - 0.40 \text{ cm}^3\text{g}^{-1}$)分別減少 15 %及 5 %，；而顆粒 AC 生反應前後微孔之比表面積($662 - 703 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$)及孔洞體積為($0.38 - 0.41 \text{ cm}^3\text{g}^{-1}$) 則分別減少 15 %及 7 %。

柱狀活性碳及顆粒活性碳之 pH 變化趨勢，可以看出未使用過之活性碳之 pH 值約 7~8 偏中性，再生後之活性碳，經由氧化劑-過硫酸鹽與活性碳表面-OH 反應後，生成硫酸根及氫硫酸根，因而會使活性碳表面生成酸性含氧官能基，致使 pH 下降為 3~4。

當溶液中碘 (I_2) 殘留濃度為 0.02 N 時，每 1 g 活性碳所能吸附之碘質量 (mg)，在未使用前之柱狀活性碳約 900 mg，未使用之顆粒活性碳碘值約 1100 mg，而再生過後分別約還有 80 %的碘質量，證明再生過程中，活性碳表面發生物理變化及化學反應。



表 十三、AC 反應前後之特性分析結果

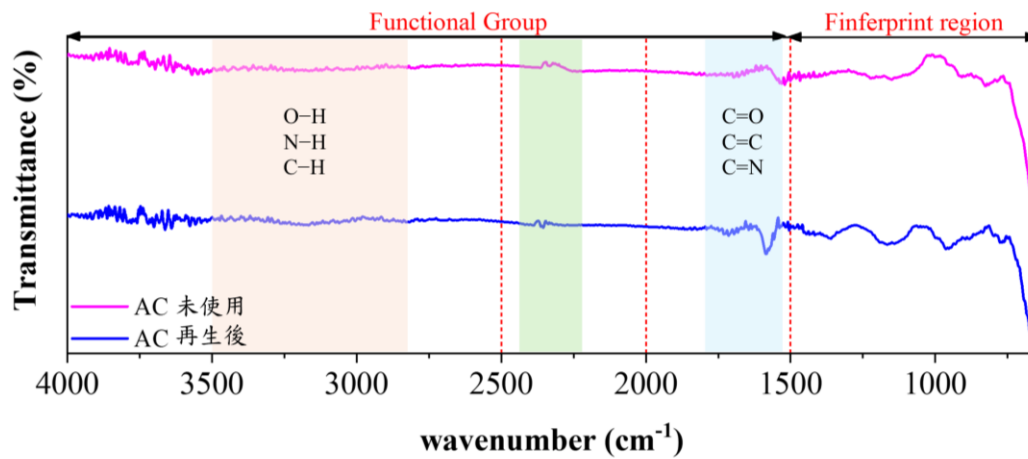
		Surface BET ($\text{m}^2 \text{g}^{-1}$)			Pore volume ($\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$)				Pore diameter (Å)	pH	碘值
		S_{BET}	$S_{\text{macro}} + S_{\text{meso}}$	S_{micro}	V_{total}	V_{macro}	V_{meso}	V_{micro}	$d_{\text{avg.}}$		
柱狀 A C	未使用前	865.9	103.4	762.5	0.507	0.007	0.100	0.400	23.43	7.55	924
	再生後	757.3	112.9	644.4	0.471	0.034	0.052	0.385	24.89	3.07	740
顆 粒 A C	未使用前	835.0	131.8	703.2	0.634	0.098	0.124	0.412	23.69	10.43	1155
	再生後	713.3	50.5	662.8	0.426	0.005	0.040	0.381	23.91	3.10	900

圖五十一為比較(a)柱狀、(b)顆粒活性碳再生前、後及吸附後之活性碳，以 FTIR 進行分析，紅外線光譜儀在波數 $4000 - 1500 \text{ cm}^{-1}$ 稱為 Functional group，而其中氫鍵具有吸收較廣的振動頻率，當頻率越高，吸收光能就越強，因此波數會大於 2500 cm^{-1} ，如 O-H、N-H、C-H 單鍵等，介於波數 $2500 - 2000 \text{ cm}^{-1}$ 之間會以三鍵形式存在， $2000 - 1500 \text{ cm}^{-1}$ 為雙鍵。二個不同化合物(鏡像異構物除外)對於所有它們的各類複雜振動，有相同頻率是機率很低的。因此，IR 光譜區域含有這類複雜振動($650 - 1500 \text{ cm}^{-1}$)的範圍，通常稱為指紋區(fingerprint region)，可用來辨別分子是否含有某些官能基存在²⁷。因此在圖五十一由 $4000 - 1500 \text{ cm}^{-1}$ 區域可以看到，在波數 $1800 - 1600 \text{ cm}^{-1}$ 時，有明顯 C=O 雙鍵之波峰，這是因為活性碳主要成分由碳原子組成，活性碳中常見的官能基有羧基(-COOH)、羥基(-OH)、醛基(-CHO)、酮基(C=O)和酯基(-COOR)等。因此從五十一圖譜中(a)圖 AC 再生後在 3000 cm^{-1} 時，有明顯羥基(-OH)之波峰，主要來自自來水及氧化過程所造成之官能基。



有機物污染場址現址 P&T 廢水與 SVE 廢氣活性碳吸附及再生自動化設備開發及模場應用

(a)



(b)

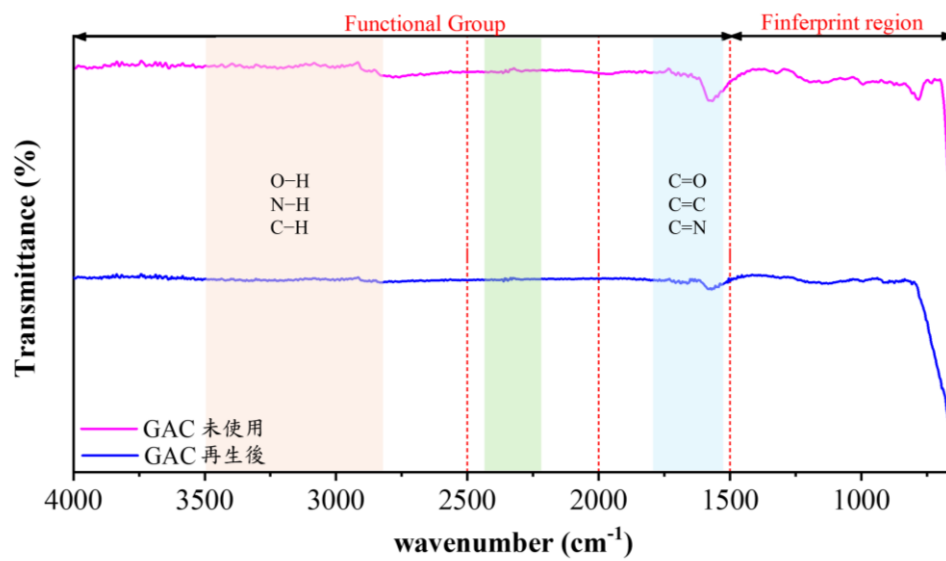


圖 五十一、比較(a)柱狀及(b)顆粒活性碳再生前後之 FTIR 圖譜



5.3 針對 AC 吸附及再生自動化設備於 SVE 尾氣處理及 P&T 廢液處理之測試結果，進行設備之現場操作狀況及運作經費評估

5.3.1 現場操作及實場應用評估

關於現場操作，當氣相濃度超過 TVOC 偵測器的偵測上限值(1000ppmV)時，需要調整停留時間來應對。因此，當氣體濃度過高時，TVOC 偵測可能會受到限制，必須延長停留時間以確保數據的準確性及偵測的有效性。而處理廢水時，若地下水水質特性導致競爭吸附現象，或是濁度太高時，則需要額外的前處理。因此，需要依據實場運作情況來評估此自動化系統設備的適用性。

5.3.2 運作經費及碳排計算評估

針對本次開發吸附及再生自動化設備進行成本效益評估(如表十四)，分為固定成本及變動成本，固定成本包含設備購置費用、活性炭等初期投入金額，變動成本有電費、藥劑、水費等。此開發之設備因全自動化操作，因此可做為其他類型碳床再生技術之有效替代方案，並且用於處理來自整治場址 SVE 之有機污染物廢氣及 P&T 廢水時，能夠提供良好成本效益，例如無需處理廢棄之 AC 及節省運輸成本、節省人力更換 AC、機動型高配合整治做為調整及機具移動等。

表 十四、吸附及再生自動化設備購置及操作成本

固定成本			單位：千元
設備購置費			1600
變動成本	單位費用	用量	單位：千元
電費 ⁽¹⁾	1.68 元/度	106 度	0.18
水費 ⁽²⁾	9.24 元/度	0.72 度	0.007
活性炭	120 元/kg	20 kg	2.4
藥劑費	60 元/kg	2.5 kg	0.15
總成本			1603

備註：(1) 9/25 ~ 9/30 再生+吸附階段電費：<https://www.taipower.com.tw/1136/1149/2271/3119/normalPost>

(2) (9/25 ~ 9/30 再生階段水費：<https://web.wra.gov.tw/wcis/cp.aspx?n=7883>



以 ISO 14067:2018 產品碳足跡標準作為計算碳足跡之依據，探討本研究之現場操作處理程序可能涉及之溫室氣體排放情形，其標的產品設定為活性碳再生程序，屬於服務型產品碳足跡範疇。

一般而言，於土壤及地下水污染場址之整治過程使用活性碳，甚或是如污水廠或其他污染處理場域情形下使用之活性碳，其經吸附飽和之廢棄活性碳一般多以常規廢棄物方式處理，另有部分活性碳則可能送至專門之廢棄活性碳處理廠進行再生作業。因此，當以碳排放之角度看待活性碳之使用對於環境面向之影響時，可初步歸納繪製如圖五十二之不同活性碳使用之碳足跡邊界設定。由圖五十二中可了解，不論是整治過程使用全新活性碳抑或是再生活性碳，其除了本身活性碳製造/再生產生之碳足跡外，亦皆須負擔活性碳採購/廢棄時之運輸與人力作業等額外之溫室氣體排放貢獻。然而，本研究所開發之吸附及再生自動化設備係於污染場址現地進行再生程序，並且與場內整治作業結合，因此可大幅降低此部分之碳排放。

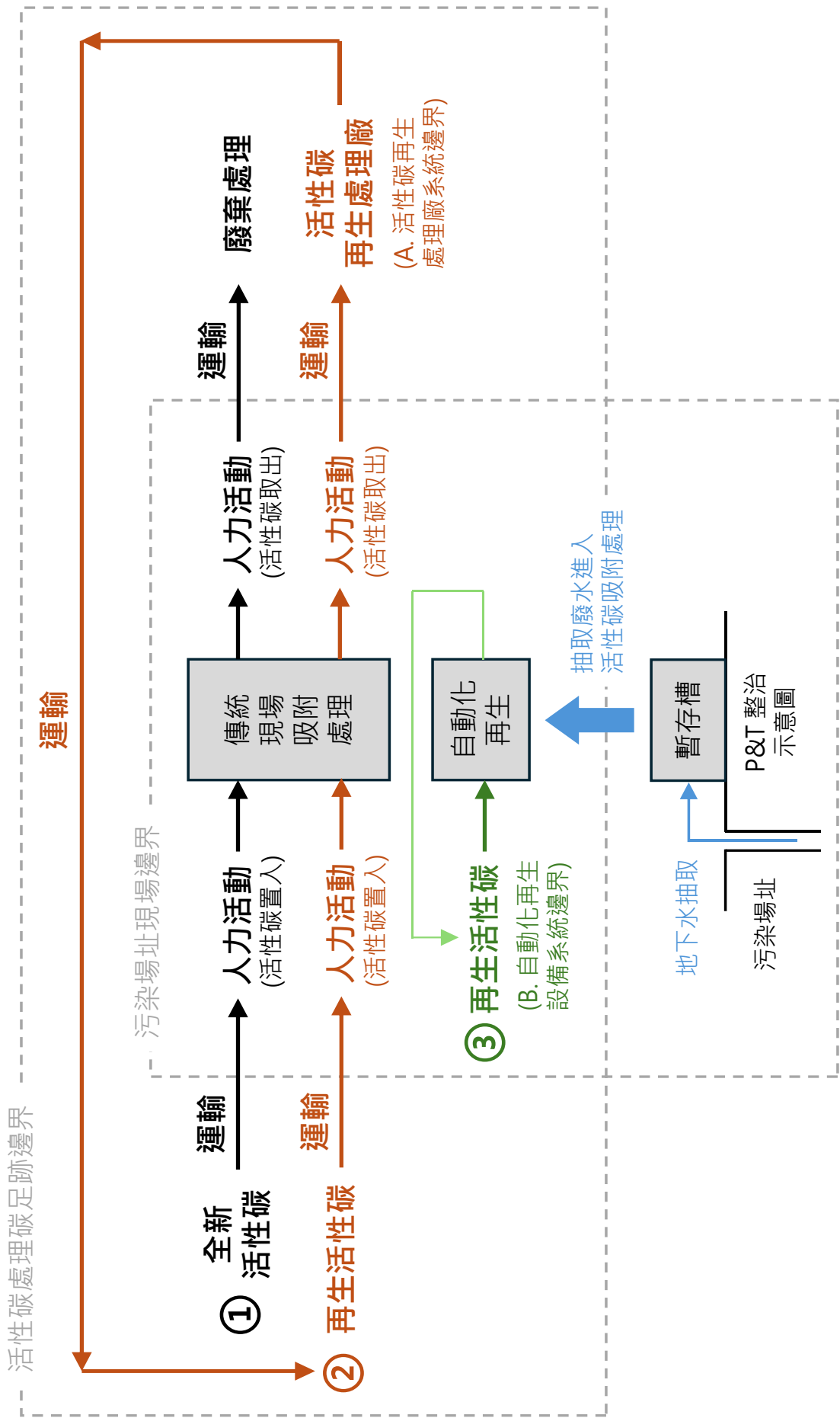


圖 五十二、不同活性碳使用之碳足跡邊界設定



進一步探討不同活性碳使用之生產碳足跡，其根據美國環保署提供之活性碳再生處理廠碳足跡之資料顯示²⁸，活性碳再生處理廠執行之活性碳再生涉及諸多處理程序，除廠房的常規營運等溫室氣體排放外，其中與再生程序較為關聯之生產/製程流程，則包含有進料、脫水、熱再生、後燃、洗滌、引風、靜電集塵、水循環、廢水處理等。若進一步以 ISO 14067:2018 產品碳足跡標準作為計算碳足跡之參考依據，探討本研究之再生處理程序可能涉及之溫室氣體排放情形，其標的產品設定可為活性碳再生程序。因此碳足跡之類型可界定屬於服務型產品碳足跡，其探討之生命週期評估可分為原料投入階段(服務前)、再生處理階段(服務中)及廢棄物處理階段(服務後)。將前述提及之活性碳再生廠碳足跡資料以 ISO 14067:2018 產品碳足跡標準²⁹進行範疇分類後，其系統邊界設定之各階段製程流程如下圖五十三所示。首先，於原料投入階段(服務前)涉及之活動項目有化學藥劑之採購投入、營運過程人員之運輸投入、實驗室之品質檢驗。再生處理階段(服務中)則以活性碳再生程序作為主軸，其可能投入項目為外購電力(如行政辦公用電、再生程序設備用電)、外購水資源(如行政辦公用水、再生程序用水)、外購天然氣(如再生設備用之燃料)。廢棄物處理階段(服務後)則有生產過程衍生之廢水處理。然而，本研究開發之有機物污染場址現址 P&T 廢水與 SVE 廢氣活性碳吸附及再生自動化設備係為現場操作設備，且自動化運行之設計可大幅減少人力操作成本，因此對比前述常規之活性碳再生處理廠，其流程可精減至如圖五十四所示，僅原料投入階段(服務前)之化學藥劑之採購投入；再生處理階段(服務中)之外購電力(再生程序設備用電)、外購水資源(再生程序用水)。

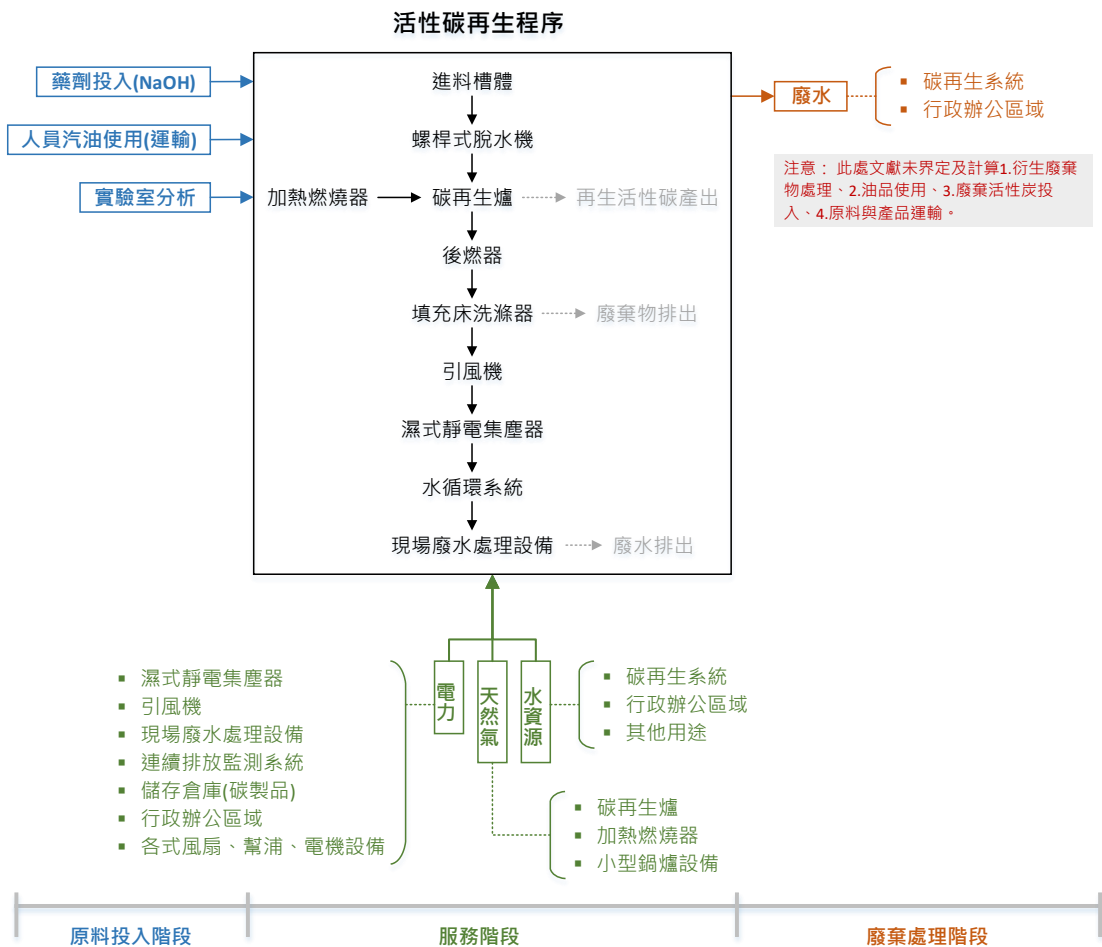


圖 五十三、一般活性炭再生處理程序之碳足跡系統邊界設定

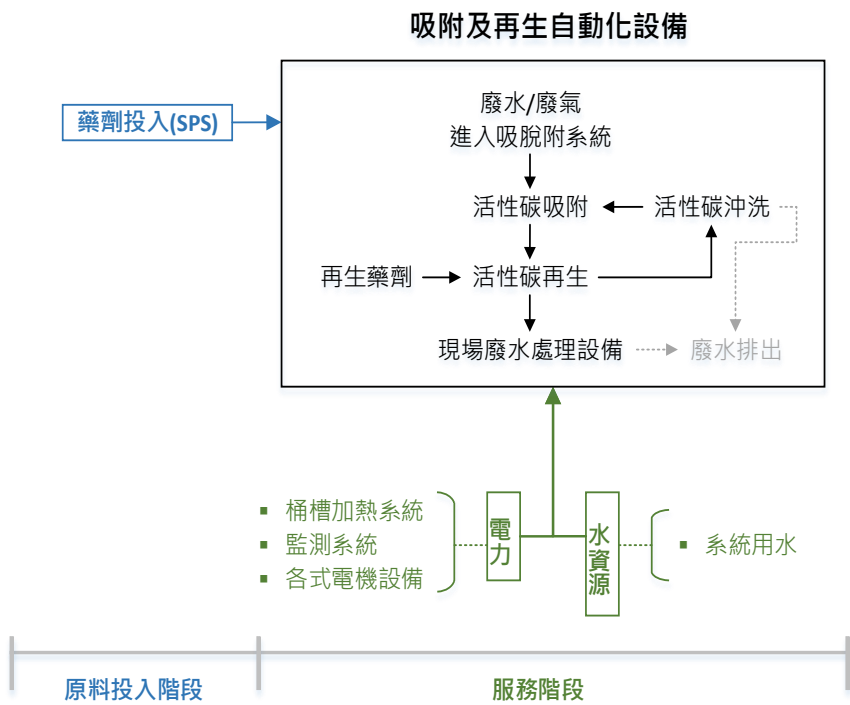


圖 五十四、吸附及再生自動化設備處理程序之碳足跡邊界設定



若將美國環保署提供之活性碳再生處理廠之生產活動數據與本研究之設備操作活動數據進行比較，其每公斤單位之再生活性碳產生之二氧化碳當量(CO_2 equivalent, CO_2e (kg))碳足跡如表十五所示。由於美國環保署提供之原始資料其計算過程引用自美國之碳足跡係數，然為使本研究設備之數據與文獻之比較上具有相同之基準，因此於表十五中將兩部分之活動數據以台灣環境部產品碳足跡資訊網³⁰引用之係數重新計算，僅化學藥劑之採購投入參考美國環保署提供之係數(因本研究使用之過硫酸鈉未有國內參考係數可引用，因此依據 ISO 14067:2018 規範使用相近且具代表性之係數估算)。此外，活性碳再生處理廠之生產活動數據包含有再生活性碳完成後之品質檢驗分析所衍生之碳足跡，為使與本研究設備之數據比較上，其界定範疇基準較為一致，因此於表十五計算中將其排除。由表十五之計算結果顯示，一般活性碳再生處理廠每公斤完成再生程序之活性碳其碳足跡數值為 $0.395 \text{ kg CO}_2\text{e}$ ，本研究設備完成再生程序之每公斤重活性碳其碳足跡數值為 $0.168 \text{ kg CO}_2\text{e}$ ，全新之活性碳生產所排放之碳足跡則為 $3.856 \text{ kg CO}_2\text{e}$ ²⁸。

然而，由美國環保署提供之活性碳再生處理廠碳足跡之資料顯示，其範疇界定中並未提及廢棄活性碳經運輸送至再生處理廠與再生活性碳運輸至使用地點所衍生之活動數據。因此為使評估尚可更加謹慎計算整治場址使用不同活性碳所衍生之碳排放，本研究假定測試之場址運行一年之整治時程(共 52 週次，1 週次再生一次並使用 200 kg 活性碳(共計使用 10400 kg/年)；每週次兩人員進行共 8 小時活性碳更換做作業(共計 16 小時))，其中以三種不同活性碳進行整治作業，其一為使用全新活性碳；二為使用活性碳再生處理廠之活性碳；三為使用本研究自動化再生設備現地處理。三種不同活性碳之供應商假定位於屏東內埔鄉，活性碳使用地點為本研究測試之桃園新屋區場址，若有廢棄物處理以苗栗垃圾焚化廠為主(廢棄物處理碳足跡係數為 $340 \text{ kg CO}_2\text{e/ton}$)³⁰，涉及之運輸作業皆以營業用小貨車(柴油)進行(碳足跡係數為 $0.587 \text{ kg CO}_2\text{e/tkm}$)³⁰，因此由圖五十二之邊界設定，三種不同活性碳之計算如下所示：

1. 全新活性碳，每年總排放量 $45837.426 \text{ kg CO}_2\text{e}$ 。
 - 全新活性碳 $200 \text{ kg/週} \times 52 \text{ 週} \times 3.856 \text{ kg CO}_2\text{e/kg} = 40102.4 \text{ kg CO}_2\text{e}$
 - 運輸(入) $10.4 \text{ ton} \times 316 \text{ km} \times 0.587 \text{ kg CO}_2\text{e/tkm} = 1929.177 \text{ kg CO}_2\text{e}$
 - 運輸(出) $10.4 \text{ ton} \times 44.1 \text{ km} \times 0.587 \text{ kg CO}_2\text{e/tkm} = 269.222 \text{ kg CO}_2\text{e}$
 - 人員活動 $16 \text{ h} \times 0.043 \text{ kg CO}_2\text{e/人時} = 0.688 \text{ kg CO}_2\text{e}$
 - 廢棄物處理 $10.4 \text{ ton} \times 340 \text{ kg CO}_2\text{e/ton} = 3536 \text{ kg CO}_2\text{e}$
2. 再生活性碳，每年總排放量 $7966.922 \text{ kg CO}_2\text{e}$ 。
 - 再生活性碳 $200 \text{ kg/週} \times 52 \text{ 週} \times 0.395 \text{ kg CO}_2\text{e/kg} = 4108.0 \text{ kg CO}_2\text{e}$



- 運輸(入) $10.4 \text{ ton} \times 316 \text{ km} \times 0.587 \text{ kg CO}_2\text{e/tkm} = 1929.177 \text{ kg CO}_2\text{e}$
- 運輸(出) $10.4 \text{ ton} \times 316 \text{ km} \times 0.587 \text{ kg CO}_2\text{e/tkm} = 1929.177 \text{ kg CO}_2\text{e}$
- 人員活動 $16 \text{ h} \times 0.043 \text{ kg CO}_2\text{e/人時} = 0.688 \text{ kg CO}_2\text{e}$

3. 吸附及再生自動化設備，每年總排放量 $2521.898 \text{ kg CO}_2\text{e}$ 。

- 全新活性碳 $200 \text{ kg/週} \times 1 \text{ 週} \times 3.856 \text{ kg CO}_2\text{e/kg} = 771.2 \text{ kg CO}_2\text{e}$
- 運輸(入) $0.2 \text{ ton} \times 316 \text{ km} \times 0.587 \text{ kg CO}_2\text{e/tkm} = 37.098 \text{ kg CO}_2\text{e}$
- 現場再生 $200 \text{ kg/週} \times 51 \text{ 週} \times 0.168 \text{ kg CO}_2\text{e/kg} = 1713.6 \text{ kg CO}_2\text{e}$

由上述假定之計算過程結果可知，若場址運行 P&T 進行整治作業並且活性碳吸附單元選擇使用全新活性碳，其衍生之碳排放將高達 $45837.426 \text{ kg CO}_2\text{e}$ 。碳排放過程包含有全新活性碳製造之碳足跡，輸入與輸出場址之運輸作業碳足跡，人員裝卸活性碳之作業碳足跡，以及吸附飽和活性碳之廢棄處理碳足跡，其中主要碳排放來自於全新活性碳之生產過程。若吸附單元使用再生處理廠供應之再生活性碳，其衍生之碳排放為 $7966.922 \text{ kg CO}_2\text{e}$ ，相較全新活性碳較低，其碳排放過程包含有再生活性碳製造之碳足跡，輸入與輸出場址之運輸作業碳足跡，以及人員裝卸活性碳之作業碳足跡。然而，本研究之吸附及再生自動化設備為場址現地執行活性碳再生，除再生過程產生之碳排狀況相較再生處理廠低外，其更未有大量運輸行為產生及人員裝卸活性碳之作業活動，可於此階段降低溫室氣體排放，經過假定計算之碳排放為 $2521.898 \text{ kg CO}_2\text{e}$ ，顯示確實可達到有效降低碳足跡與溫室氣體排放之效益。

表 十五、不同活性碳再生場域之碳足跡計算結果

Activity (Item)	Activated carbon regeneration plant					Automatic activated carbon adsorption and regeneration equipment				
	Quantity		Carbon footprint coefficient	Declare unit	CO ₂ equivalent (CO ₂ e (kg))	Quantity		Carbon footprint coefficient	Declare unit	CO ₂ equivalent (CO ₂ e (kg))
Electricity generation	883,126	kWh	0.606	kg CO ₂ e/kWh	535174.356	48	kWh	0.606	kg CO ₂ e/kWh	29.088
Natural gas production	1.77E+06	m ³	0.519	kg CO ₂ e/m ³	920965.500	-	m ³	0.519	kg CO ₂ e/m ³	-
Natural gas usage	1.77E+06	m ³	2.63	kg CO ₂ e/m ³	4666935.000	-	m ³	2.63	kg CO ₂ e/m ³	-
Potable water production	7.60E+04	m ³	0.233	kg CO ₂ e/m ³	17704.505	-	m ³	0.233	kg CO ₂ e/m ³	-
Wastewater treatment	5.37E+04	mt	0.553	kg CO ₂ e/mt	29687.805	-	mt	0.553	kg CO ₂ e/mt	-
Employee gasoline production	37891.97	L	0.604	kg CO ₂ e/L	22886.750	-	L	0.604	kg CO ₂ e/L	-
Employee gasoline usage	37891.97	L	2.92	kg CO ₂ e/L	110644.552	-	L	2.92	kg CO ₂ e/L	-
NaOH Production	23216.67	kg	1.70	kg CO ₂ e/kg	39470.669	2.6	kg	1.70	kg CO ₂ e/kg	4.420
Total emissions kg CO ₂ e	6343469.137					33.508				
CO ₂ emissions per spent carbon (kg CO ₂ e/kg AC)	0.395					0.168				

Note:

1. “—”代表此再生方式未有該項目之活動數據與碳排放。
2. Carbon footprint coefficient 選用自台灣環境部產品碳足跡資訊網³⁰，各係數參考如下: Electricity generation (電力碳足跡(2021)，2023)、Natural gas production (天然氣(未燃燒，2021)，2023)、Natural gas usage (天然氣(於固定源使用，2021)，2023)、Potable water production (臺灣自來水(2020)，2022)、Wastewater treatment (廢(污)水處理服務(科技部新竹科學工業園區管理局竹南園區污水處理廠)，2020)、Employee gasoline production (車用汽油(未燃燒，2021)，2023)、Employee gasoline usage (車用汽油(於移動源使用，2021)，2023)、NaOH Production (USEPA coefficient)。



(六)結論

本研究計畫第一年開發可同時運用於 SVE 尾氣處理及 P&T 廢液處理之有機物污染場址現地廢水與廢氣 AC 吸附及再生自動化設備，並於實驗室場域內執行氣相及液相之吸附及再生自動化設備測試及初步於實際污染場址廢液處理應用模擬試驗。第二年之研究計畫則為進行整治場址之 SVE 尾氣處理及 P&T 廢液處理應用試驗，測試設備於氣體與液體兩種模式之現場運行狀況，並評估現場操作狀況及運作經費，藉以驗證吸附及再生自動化設備之應用可行性。

於第二年之廢氣處理測試實驗結果顯示，場址現場 RL-02 處之 SVE 廢氣濃度約為 4500-5000 ppm (PID 檢測)，污染物多為烷類或苯環類化合物等油品類成分(GC/MS 檢測)。此外，經氣相汽油之 TVOC 偵測器與 PID 測值比對測試，可建立現場 SVE 抽出氣體監測之濃度關係。在吸附及再生自動化設備運行過程中，SVE 操作污染物氣相濃度變異性甚大，遭遇到現場污染物濃度偏低等，以致於須調整 SVE 抽出井位置進行測試(RL-01 至 RL-02)；以及現場 SVE 設備(如設備維修、調整)或現場運作條件(如天氣及連線訊號)等問題，以至於需間斷操作設備進行因應現場之狀況。然而，在研究團隊於上述調整過程之測試中，仍成功記錄設備可順利運行吸附與再生程序，並且由數據結果顯示當設備達到預設之貫穿濃度時，吸附管柱可自動切換吸附/再生模式，且經計算活性碳的單位 TVOC 吸附量約為 5.74 mg as C₄H₈/AC g (柱狀活性碳)。濕式氧化再生過程藉由 ORP 數值之觀察，可明顯發現隨再生程序進行，監測之 ORP 亦逐漸下降且 TOC 降至約 100 mg/L (接近背景水樣數值)，達到再生完成。

廢水處理測試實驗結果顯示，場址現場 RL-02 處之廢水檢測之污染物多為油品類有機物質(GC/MS 檢測)。此外，由於導入設備之 P&T 廢水來自紅土質地之地下水，其水中懸浮固體雜質嚴重影響設備之運作，因此廢水處理測試中需額外建置一套過濾系統，使得進入活性碳吸附程序。於現場使用 TOC 偵測器測得之廢水與過濾廢水之數值顯示，兩者濃度並無明顯差異(約 7.8-8.9 mg/L)。於液相 TOC 偵測器及實驗室總有機碳分析儀(TOC)比對測試，可建立現場 P&T 廢水監測之濃度關係。在吸附及再生自動化設備運行過程中，除面臨氣候與廢水雜質狀況外，多數問題已於廢氣處理測試排除，因此廢水處理測試過程較為順暢，經計算後之活性碳的單位吸附量約為 19.6 mg/g (顆粒活性碳)。由再生階段可得知 ORP 數值與廢氣處理相似，初期數值為 800-900 mV，隨再生程度進行，監測之 ORP 亦逐漸下降且 TOC 降至約背景水樣數值，達到再生完成。

於現場操作狀況及運作經費評估顯示，本研究開發之設備於運作期間總成本約 1603 千元(固定成本 1600 千元；變動成本 3 千元)，可做為其他類型碳床再生



技術之有效替代方案。另於設備運作之碳排放評估中可知，場址活性碳吸附單元選擇若使用全新活性碳，其碳排放高達 45837.426 kg CO₂e；若吸附單元使用再生處理廠供應之再生活性碳，其碳排放為 7966.922 kg CO₂e；使用本研究開發之設備衍生之碳排放則為 2521.898 kg CO₂e。上述數據顯示，本研究開發之設備除單位活性碳再生之碳排放較低外，其操作於未有衍生大量運輸行為及人員裝卸活性碳之作業活動下，可確實達到有效降低碳足跡與溫室氣體排放之環境效益。



(七)參考文獻

1. United States Environmental Protection Agency (USEPA), Superfund Remedy Report (EPA-542-R-20-001), USEPA, 2020.
2. 行政院環境保護署, 106 年度土壤及地下水污染整治年報, 土壤及地下水污染整治基金管理會, 2017.
3. United States Environmental Protection Agency (USEPA), Superfund Remedy Report (EPA-542-R-17-001), USEPA, 2017.
4. 中華民國環境工程學會, 土壤與地下水污染整治:原理與應用, 中華民國環境工程學會, 2006.
5. 行政院環境保護署, 土壤氣體抽除整治技術系統設計參考指引, 2015.
6. Moreno-Castilla, C. Rivera-Utrilla, J. Joly, J.P. López-Ramón, M.V. Ferro-García, M.A. Carrasco-Marín, F. Thermal regeneration of an activated carbon exhausted with different substituted phenols. Carbon, 1995, 33, 1417-1423.
7. Salvador, F. Sánchez Jiménez, C. Effect of regeneration treatment with liquid water at high pressure and temperature on the characteristics of three commercial activated carbons. Carbon, 1999, 37, 577-583.
8. Rivera-Utrilla, J. Ferro-Garcia, M.A. Bautista-Toledo, I. Sanchez-Jimenez, C. Salvador, F. Merchan, M.D. Regeneration of ortho-chlorophenol-exhausted activated carbons with liquid water at high pressure and temperature. Water Research, 2003, 37, 1905-1911.
9. Salvador, F. Martin-Sanchez, N. Sanchez-Montero, M.J. Montero, J. Izquierdo, C. Regeneration of activated carbons contaminated by phenol using supercritical water. The Journal of Supercritical Fluids, 2013, 74, 1-7.
10. Weng, C.-H. Hsu, M.-C. Regeneration of granular activated carbon by an electrochemical process. Separation and Purification Technology, 2008, 64, 227-236.
11. Jonge, R.J. Breure, A.M. Van Andel, J.G. Bioregeneration of powdered activated carbon (PAC) loaded with aromatic compounds. Water Research, 1996, 30, 875-882.
12. Ng, S.L. Seng, C.E, Lim, P.E. Bioregeneration of activated carbon and activated rice husk loaded with phenolic compounds: Kinetic modeling. Chemosphere, 2010, 78, 510-516.



13. Mishra, V.S. Mahajani, V.V. Joshi, J.B. Wet Air Oxidation. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 1995, 34, 2-48.
14. Ledesma, B. Román, S. Sabio, E, Álvarez-Murillo, A. Aqueous thermal desorption as an effective way to regenerate spent activated carbons. *The Journal of Supercritical Fluids*, 2014, 85.
15. Liang, C. Lin, Y.-T. Shih, W.-H, Treatment of trichloroethylene by adsorption and persulfate oxidation in batch studies. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2009, 48, 8373-8380.
16. Liang, C. Lin, Y.-T, Shih, W.-H, Persulfate regeneration of trichloroethylene spent activated carbon. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, 168, 187-192.
17. Liang, C. Chen, Y.-J, Evaluation of activated carbon for remediating benzene contamination: adsorption and oxidative regeneration. *Journal of Hazardous Materials*, 2010, 182, 544-551.
18. Jatta, S. Huang, S, Liang, C. A column study of persulfate chemical oxidative regeneration of toluene gas saturated activated carbon. *Chemical Engineering Journal*, 2019, 375, 122034.
19. Liang, C. and Bruell, C. J. Thermally activated persulfate oxidation of trichloroethylene: experimental investigation of reaction orders. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2008, 47, 2912-2918.
20. 行政院環境保護署，土壤及地下水污染整治基金管理會列管場址查詢網 <https://sgw.epa.gov.tw/ContaminatedSitesMap/Default.aspx>, 2022.
21. Gutiérrez, M, Grillini, V, Pavlović, D. M, Verlicchi, P. Activated carbon coupled with advanced biological wastewater treatment: A review of the enhancement in micropollutant removal. *Science of the Total Environment*, 2021, 790, 148050.
22. Jin, P, Jin, X, Wang, X, Feng, Y, Wang, X.-C. Biological Activated Carbon Treatment Process for Advanced Water and Wastewater Treatment, in *Biomass Now - Cultivation and Utilization*. London, United Kingdom: IntechOpen, 2013. Available: <https://www.intechopen.com/chapters/44410> doi: 10.5772/52021
23. Duan, H. Koe, L.C.C. Yan, R. Chen, X. Biological treatment of H₂S using pellet activated carbon as a carrier of microorganisms in a biofilter. *Water Resources*, 2006, 40, 2629-2636.



24. 林文川, 製成 VOCs 廢氣之收集與處理. 工業污染防治, 2009, 110, 105.
25. Bradshaw, S.M, Wyk, E.J.V, Swardt, J.B.d. Preliminary economic assessment of microwave regeneration of activated carbon for the carbon in pulp process. J. Microwave Power Electromagn. Energy, 1997, 32, 131-144
26. Mahamuni, N.N, Adewuyi, Y.G. Advanced oxidation processes (AOPs) involving ultrasound for waste water treatment: a review with emphasis on cost estimation. Ultrason. Sonochem. 2010, 17, 990-1003.
27. Berthomieu, C., Hienerwadel, R. Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy. Photosynth Res 101, 157–170 (2009).
28. K. He, A Calculation of the Environmental Footprint of a Granular Activated Carbon Regeneration Facility. Environmental Footprint of Regenerating GAC, 2012.
29. International Organization for Standardization (ISO), ISO 14067:2018 Greenhouse gases - Carbon footprint of products - Requirements and guidelines for quantification. 2018.
30. 環境部, 產品碳足跡資訊網 <https://cfp-calculate.tw/cfpc/WebPage/Index.aspx>, 2024。



附件一

模場試驗場址基本資料

土地所有人許可函及所在地主管機關同意函



抄件

檔 號：
保存年限：

國立中興大學 函

環境教育暨永續科技研發中心
受文者：梁振儒

機關地址：40227臺中市南區興大路145號
傳 真：04-22862587
承 辦 人：梁振儒
聯絡電話：04-22856610
電子郵件：cliang@nchu.edu.tw

發文日期：中華民國113年2月16日
發文字號：興環教字第1136000007號
速別：普通件
密等及解密條件或保密期限：
附件：如文

主旨：本校環境教育暨永續科技研發中心/環境工程學系梁振儒教授因學術研究需要，擬於貴轄區新屋區台15線53.5K處土壤及地下水污染控制場址(崁頭厝段下庄子小段710、710-10、710-12、711、711-1、712、713地號及大牛欄段後湖小段 985、992、993、994、995、996、997、998、1003 地號)進行模場試驗，請惠予同意，請查照。

說明：

- 一、依據行政院環境部環境管理署112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計畫辦理。
- 二、專案計畫名稱：有機物污染場址現址P&T廢水與SVE廢氣活性碳吸附及再生自動化設備開發及模場應用(第2年)。
- 三、研究說明：本計畫擬開發可於整治場址搭配土壤氣體抽除法(SVE)或地下水抽出處理法(P&T)整治設備上之活性碳吸附及再生循環使用之尾氣、廢液處理設備。此計畫並無涉及場址之整治作為，僅利用該場址既有設備所抽出之部分氣體或水體，作為活性碳吸附再生設備測試用，所得之測試結果作為驗證本計畫開發之產品實場應用可行性，使用過程會確保不影響場址整治之運作。
- 四、檢附土地使用同意書、模場試驗場址基本資料、專案計畫申請書內容。





正本：桃園市政府環境保護局
副本：環境部環境管理署

校長 詹富智

裝

訂

總





正本

發文方式：紙本郵寄

檔 號：

保存年限：

環境教育暨永續
科技研發中心

40227

臺中市南區興大路145號

桃園市政府環境保護局 函

地址：330026桃園市桃園區法治路1號

承辦人：王僅堂

電話：(03)338-6021#1325

電子信箱：001289@tydep.gov.tw

受文者：國立中興大學

發文日期：中華民國113年2月27日

發文字號：桃環化字第1130015798號

速別：普通件

密等及解密條件或保密期限：

附件：如說明三

主旨：貴校環境教育暨永續科技研發中心/環境工程學系梁振儒教授為執行行政院環境部環境管理署「112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計畫」，擇定本市新屋區台15線53.5K處土壤及地下水污染控制場址進行模場試驗一案，本局予以備查，請查照。

說明：

- 一、復貴校113年2月16日興環教字第1136000007號。
- 二、上開工作項目雖經本局備查，請貴校仍應遵行土壤及地下水污染整治法第17條、第18條及第19條污染管制區禁止事項。
- 三、另檢附土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案地方主管機關確核表1份。

正本：國立中興大學

副本：台灣中油股份有限公司油品行銷事業部竹苗營業處、新野科技股份有限公司、亞太環境科技股份有限公司

局長陳世偉

本案依分層負責規定授權科(組)長、主任決行

符合本校「文書處理要點」第18條、
33條規定，以紙本文件辦理。

總 收 文
113. 3. 05

國立中興大學



土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案

土地使用同意書

土地所有權人 梁振儒 (以下簡稱甲方) 等同意無償將上開所述土地 (面積、位置及權利證明文件如附件), 自 112 年 12 月 18 日至 113 年 11 月 29 日提供中興大學梁振儒教授 (以下簡稱乙方) 執行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, 專案名稱為「有機物污染場址現址 P&T 廢水與 SVE 廢氣活性碳吸附及再生自動化設備開發及模場應用」, 進行模場試驗, 並願配合辦理下列事項:

- 一、上開土地實際位置及面積, 以經所在地地政事務所複丈成果為準。
- 二、土壤、地下污染管制區內禁止行為, 請依土壤及地下水污染整治法第 17 條規定辦理。

三、存在地上物權利歸屬及處理: (無地上物者不需勾選)

☒ 為甲方所有, 同意無條件自行或由乙方移置、拆除或收取, 並放棄補償權利。

☐ 非甲方所有, 而係第三人 _____ 所有。

四、土地上其他第三人權利:

☒ 無 ☐ 有, 租賃權 (承租人為: _____)。

☐ 有, 用益物權—地上權 (地上權人為: _____)、地役權 (地役權人為: _____)、典權 (典權人為: _____)、永佃權 (永佃權人為: _____)。

☐ 有, 擔保物權—抵押權人 (抵押權為: _____)

☐ 有, 耕地三七五租約

五、甲方認知本同意書依法對日後土地之全體繼承人均仍有拘束力; 且甲方應同意日後土地所有權如因法律行為 (例如: 買賣、贈與) 而移轉時, 將土地已同意由上揭模場試驗使用之事實告知全體繼承人及相對人。

六、模場試驗專案不得隸屬於列管場址污染改善、控制或整治計畫之一部分。本模場試驗專案不會干擾現行控制/整治計畫之進行, 若因研究執行不當, 致模場試驗場址產生二次污染或污染擴散者, 其責任由乙方負責。



七、模場試驗專案成果相關數據可直接引用，做為日後場址基本資料之參考。

甲方（土地所有權人）：蔡宗南

身分證字號：F101660739

蔡宗南

住址：台北縣五股鄉御史路 122-1 號

電話：02-2292260

所有權人以外第三人：許博彬（台灣中油竹苗營業處）

身分證字號：S121556978

住址：新竹市東區大學路 2 號

電話：03-5721437



乙方（機構/單位）：國立中興大學

代表號/統一編號：52024101

校長 詹富智

住址：台中市南區興大路 145 號 中興環工系

電話：(04)2284-0441 轉 535

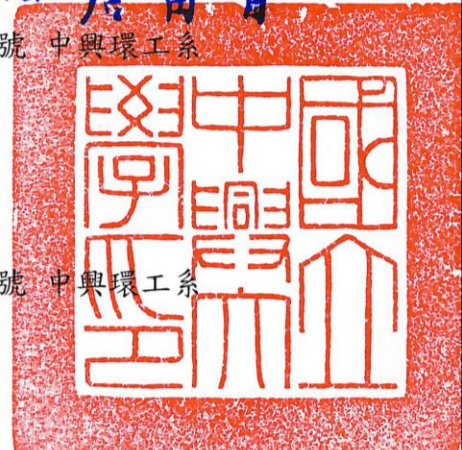
乙方專案主持人：梁振儒

教授 梁振儒

身分證字號：E120822169

住址：台中市南區興大路 145 號 中興環工系

電話：(04)2284-0441 轉 535



此同意書應至少 1 式 3 份，一份交由所在地主管機關存查，一份交由乙方存查。

中 華 民 國 113 年 1 月 日



土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案
模場試驗場址基本資料

場址名稱	新屋區台 15 線 53.5K 處
主管機關	桃園市政府 環境保護局
場址座標	X：253469E，Y：2765143N
場址地址	台 15 線 53.5 K 處，新屋區永安村 9 鄰 203 號附近
場址地號	崁頭厝段下庄子小段 710、710-10、710-12、711、711-1、712、713 地號及大牛欄段後湖小段 985、992、993、994、995、996、997、998、1003 地號。
場址種類	其他
場址面積（m ² ）	17,883 (m ²)
場址 列管狀態	公告為控制場址
土壤 污染物	苯：31 (mg/Kg) 總石油碳氫化合物：14,300 (mg/Kg)
地下水 污染物	苯：2.36 (mg/L)； 柴油總碳氫化合物(TPHd)：26.8 (mg/L)



土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案
地方主管機關確核表

場址名稱	新屋區台 15 線 53.5K 處
轄區主管機關	桃園市政府 環境保護局
場址地址	台 15 線 53.5 K 處，新屋區永安村 9 鄰 203 號附近
場址地號	炭頭厝段下庄子小段 710、710 -10、710-12、711、711-1、712、713 地號及大牛欄段後湖小段 985、992、993、994、995、996、997、998、1003 地號
場址種類	☐ 工廠 ☐ 加油站 ☐ 農地 ☐ 儲槽 ☒ 其他，請說明：場址位於 15 線 53.5K 處兩側之空地，因竊油事件而造成土壤及地下水污染
場址面積(m ²)	17,883 (m ²)
場址列管狀態	☒ 控制場址 ☐ 整治場址 ☐ 劃定地下水限制使用地區 ☐ 其他，請說明：
場址列管日期	2013 年 1 月 14 日
執行應變 或各類計畫	☐ 無 ☒ 有，請說明：土壤及地下水污染控制計畫(第三次變更)
周邊高污染事業 與敏感受體	☒ 無 ☐ 有，請說明：
污染行為人及潛 在污染行為人	☒ 無 ☐ 有，請說明：
場址訴願、訴 訟、行政裁罰或 強制執行	☒ 無 ☐ 有，請說明：



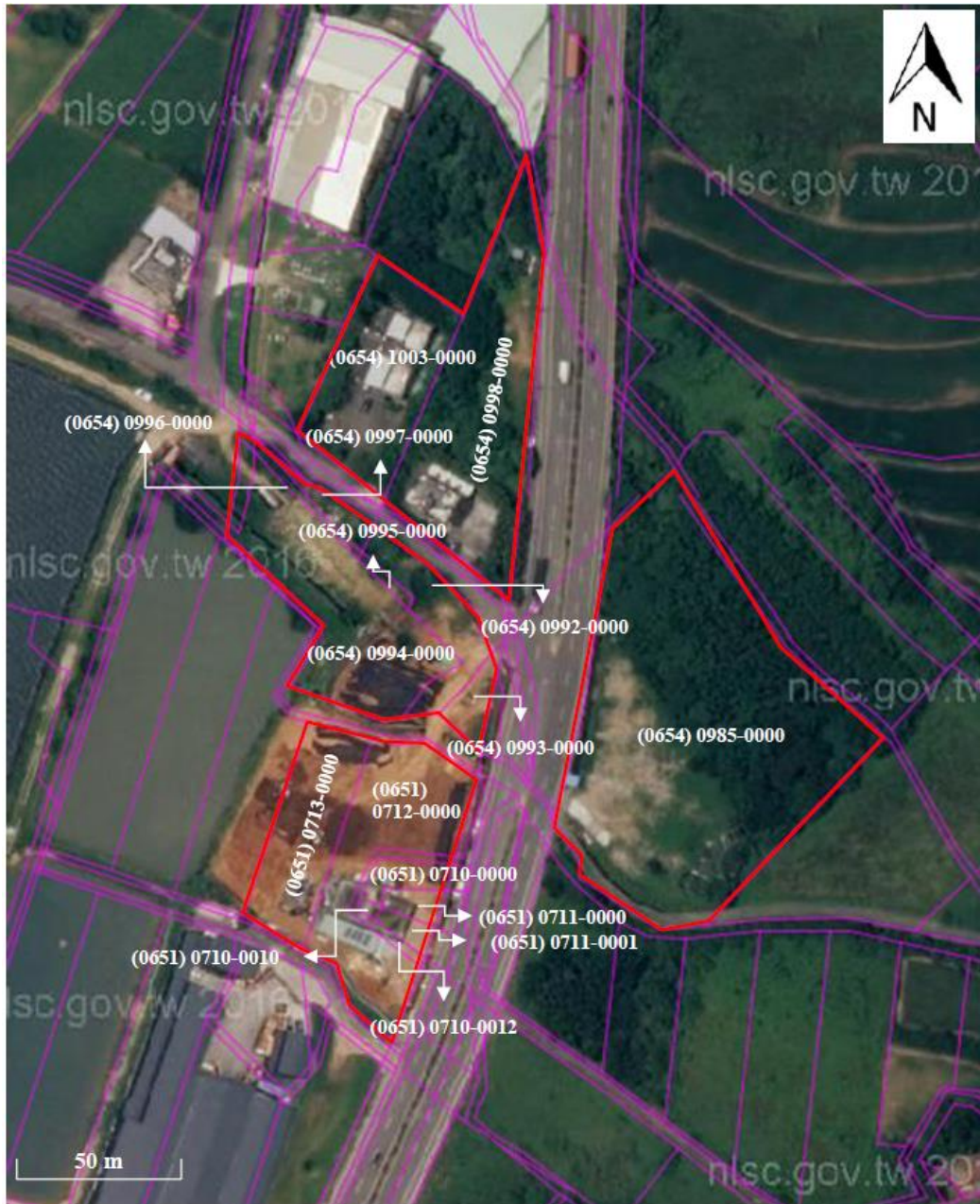
土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案

場址現況概述		
本場址位於新屋區省道台 15 線 53.5 公里兩側之空地，接近永安漁港，鄰近用地多為埤塘或草生空地，過去為農地及畜牧用地。係中油公司埋設於台 15 線 53 公里 500 公尺處之 12 吋汽、柴油輸油管線遭竊油導致油料外洩污染，經查竊油點位於台 15 線原新屋區下庄子 203 號之民房，該民房四周有鐵皮圍籬與外界區隔，圍籬內為裸露地面，用地內有一水排水渠道穿越。目前台灣中油公司於圍籬內進行相關之應變改善作業，入口處已設置工程告示牌。 依據本府環境保護局 101 年 11 月 14 日於「101 年度桃園縣土壤及地下水污染調查及查證工作計畫」查證結果，該場址土壤中污染物苯及總石油碳氫化合物最高濃度分別為苯：31 mg/kg 、TPH 14,300 mg/kg (土壤污染管制標準 (苯：5 mg/kg 、TPH：1,000 mg/kg)，地下水中污染物苯及總石油碳氫化合物，最高濃度分別為 2.36 mg/L 、26.8 mg/L，(第二類地下水污染管制標準(苯：0.050 mg/L、TPH：10 mg/L)。))。 桃園環保局遂於民國 102 年 1 月 14 日依土污法第 12 條第 2 項及同法施行細則第 10 條公告本場址為土壤及地下水污染控制場址，同年 2 月 18 日依土污法第 16 條公告土壤及地下水污染管制區。		
建議說明		
仍應遵行土壤及地下水污染整治法第17條、第18條及第19條污染管制區禁止事項。		
檢 附 文 件	☐ 初步評估報告(整治場址)	☐ 公司／工廠登記證明
	☐ 土地登記第二類謄本	☐ 已列管之公告
	☐ 污染檢驗報告書	☒ 場址污染地籍圖(黏貼於下頁)



土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案

場址污染地籍圖黏貼處





附件二

污染防治衛生安全措施



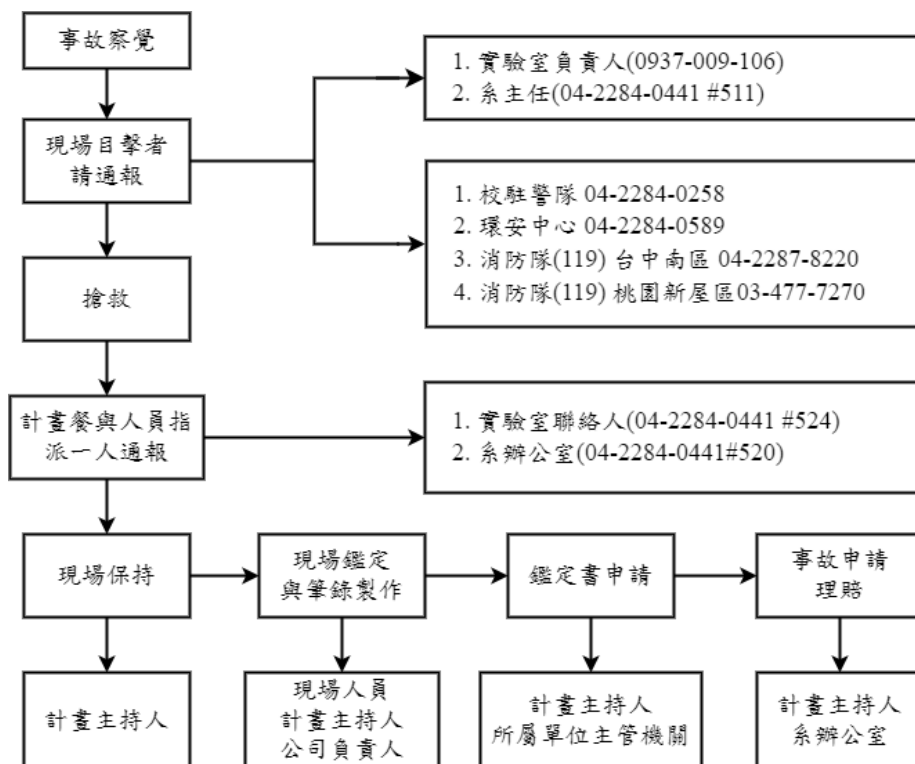
模場試驗計劃污染防治及衛生安全措施

一、針對本計畫施作時危害的預防，在現場調查工作執行前，計畫執行人員皆遵照國立中興大學職業安全衛生教育訓練管理要點，進行安全衛生教育訓練課程，包含工作場所安全衛生教育訓練課程及實驗場所安全衛生教育訓練課程。

二、針對可能發生的危害狀況，制訂緊急應變計畫，週知計畫相關人員，以減少危害發生的機率，並依循應變計畫進行相關處置：

- (1) 由於本計畫目的為開發有機物污染場址現址 P&T 廢水與 SVE 廢氣活性碳吸附及再生自動化設備，屬於整治型模場應用計畫，具有於現場與化學品接觸之機率；為確保計畫污染防治與衛生安全措施，將以事故緊急應變流程圖及中興大學現行之實驗場所事故通報與調查作業管理流程進行辦理。
- (2) 新屋鄉台 15 縣 53.3K 處場址之緊急應變流程將配合桃園市新屋區公所於 112 年 12 月制定之桃園市新屋區地區災害防救計畫。

網址連結：<https://reurl.cc/G4Gx23>



事故緊急應變流程圖

