

高雄市議會 第3屆第6次定期大會

「中油高雄廠土地污染整治」

專案報告

高雄市政府

中華民國 110 年 12 月 6 日

「中油高雄廠土地污染整治」專案報告

目錄

	<u>頁碼</u>
目錄	1
表目錄	2
圖目錄	2
第一章、前言	3
1.1 背景說明	3
1.2 中油高雄廠基本資料	4
1.3 中油高雄廠歷年改善措施與調查結果暨污染現況	9
1.4 模組化整治工法規劃	14
1.5 整治完成之自行驗證方式及採樣檢測規劃	16
1.6 經費預估與整治期程	17
第二章、污染改善工法說明	19
2.1 土壤氣體抽除/空氣曝氣	19
2.2 現地化學氧化法	19
2.3 開挖離場	20
2.4 土壤清洗	21
2.5 離地生物復育	22
2.6 熱脫附	23
2.7 雙相抽除	25
2.8 界面活性劑沖排	26
2.9 加強式現地生物復育	26
2.10 浮油回收	27
第三章、現場職安衛作為與二次污染防治	29
3.1 職業安全衛生監督檢核	29
3.2 整治工作職安風險評估與對策	29
表 3.2-1 職安風險評估與對策一覽表	30

3.3 二次污染防治	31
3.4 環境監測作業	32
第四章、總結	34

表目錄

表 3.2-1 職安風險評估與對策一覽表	30
----------------------------	----

圖目錄

圖 1.2-1 中油高雄廠地理位置示意圖	6
圖 1.2-2 中油高雄廠廠內、外公告場址位置	7
圖 1.2-3 中油高雄廠地下水流向圖	9
圖 2.4-1 土壤清洗連續式操作模式流程圖	22
圖 2.6-1 熱脫附處理流程圖	24
圖 2.6-2 熱脫附設備示意圖	25

第一章、前言

1.1 背景說明

台灣中油股份有限公司(以下簡稱中油公司)高雄煉油廠(以下簡稱中油高雄廠)自 79 年起由行政院環境保護署(以下簡稱環保署)及高雄市政府環境保護局(以下簡稱環保局)，廣續執行廠區內、外之土壤及地下水污染調查，發現土壤及地下水苯、甲苯、乙苯、二甲苯，以及總石油碳氫化合物(以下簡稱 TPH)等濃度高於土壤及地下水污染管制標準，並於 93~94 年間公告中油高雄廠全廠區為土壤及地下水污染整治及控制場址。為依法管理污染場址，環保局陸續辦理相關監督計畫，包括「中油公司高雄煉油廠污染後續調查及污染改善監督工作計畫(103~105 年)」、「台塑仁武廠暨中油高煉廠污染後續調查及污染改善監督工作計畫(105~107 年)」及「中油高煉廠褐地活化示範計畫(108~110 年)」，以掌握中油高雄廠污染改善進度與成效。中油高雄廠於 104 年 12 月關廠停止運作並進行設備拆遷作業，目前中油高雄廠的廠內、外共計有 15 處公告污染場址。

為加速推動中油高雄廠土壤及地下水污染改善工作，提升市民生活環境、促進都市發展，並配合國家產業政策，活化區域土地，高雄市政府工務局(以下簡稱工務局)與中油公司於 110 年 5 月 13 日簽訂「針對高雄煉油廠場區土壤及地下水污染場址改善工作行政契約書」(以下簡稱行政契約)，依據中油公司提送的「高雄煉油廠工廠區土壤及地下水污染控制場址控制計畫暨 2 處土壤污染整治場址整治計畫(定稿本)」(以下簡稱控制暨整治計畫或整治計畫)，辦理「加速高雄煉油廠工廠區(不含第三區)污染改善工作委託總顧問技術服務」，以利中油高雄廠工廠區土地順利於 113 年間解除列管。

主要工作目標分述如下：

- 一、 規劃污染改善整體方案並彙整場址資訊，評估改善成效及研擬攔截策略，加速污染土地活化並符合市政發展需求。
- 二、 協助改善工作招標作業，推動各項污染改善作業流程，加速行政作業程序。
- 三、 建立污染改善專案管理平台，彙整各整治廠商改善進度，落實管理機

制以確實掌握改善情形。

- 四、監督各區污染改善情形，對整治廠商工作品質進行查核，確認整治工作成效。

1.2 中油高雄廠基本資料

一、場址地理位置及交通

中油高雄廠位於高雄市楠梓區左楠路 2 號，距高雄市中心約 11 公里。廠區北側及東北側鄰近後勁溪，南接半屏山，東側為縱貫鐵路。鄰近中油高雄廠的住宅區主要為西側員工宿舍區，以及北側後勁地區。廠內主要道路係由東西向的中華路、北一路、北二路、南一~四路，以及南北向的廠一~七路所組成，主要出入口為東門與新北門，東門圍牆外有縱貫鐵路、縱貫公路(高楠公路)、台灣高鐵與高速公路經過，鄰近地區多為工業用地，包括財團法人金屬工業研究發展中心、萬興社區、北宜興公司、台糖用地等；新北門外銜接後昌路，鄰近住宅區及高雄捷運站。地理位置如圖 1.2-1。

二、氣候

台灣屬亞熱帶氣候，南部為熱帶季風氣候區。台灣四面環海，受到暖濕氣流和洋流的影響，又屬海洋氣候，但因距離大陸很近，且大部分天氣系統都是由西往東移動，所以台灣也受大陸氣候的影響。台灣氣候的特點，從溫度來看四季並不分明，大約是兩季的型態。高雄市應屬柯本氣候分類法中的冬乾溫暖氣候，以及熱帶季風氣候區的過渡帶。由於此區緯度低及受到沿海暖流的影響，氣溫較中北部略高，經查近期 107 至 110 年年平均溫度約 25.3℃。

高雄地區降雨主要受熱帶季風及地形影響，乾濕季分明，降雨主要受到 5、6 月的梅雨、午後雷陣雨、颱風影響，夏季西南季風盛行，風力溫和，因氣溫較高且對流作用旺盛，故易發生對流性雷雨，雨量充沛且降雨強度較大容易造成水災，雨量主要集中於 5~9 月，佔全年降水量四分之三以上，10 月冬季開始後，盛行西北季風進入乾季，雨量極少、甚至不降水。

三、人文環境及現況

中油高雄廠產業類別為石油及煤製品製造業，建廠歷史可溯及 35 年 6 月 1 日，係接收日據時期左營的日本第六海軍燃料廠精製部及日本石油株式會社草衙高雄製油所。接收當時，因廠區在第二次大戰期間遭盟軍飛機的猛烈轟炸，機件被毀，無一完整，且日本投降前夕更將器材毀損、疏散埋置或加以破壞，廠區滿目瘡痍，凌亂不堪，留下的兩座蒸餾工場均無法操作。經利用庫存器材加以整修，於 36 年 4 月首先修復第一座蒸餾工場，開始提煉由英國油輪運來的中東原油，正式展開台灣提煉外國原油的歷史。其後，隨著台灣經濟快速成長，政府推動各項重大建設，57 年第一輕油裂解工場加入營運，生產石化基本原料，台灣正式進入石化業的時代，也奠定了石化工業蓬勃發展的基礎，更帶動相關工業之起飛，使台灣得以締造舉世聞名的「經濟奇蹟」，筆路藍縷地打造出台灣的能源與石化產業藍圖。

76 年中油公司配合國家十四項建設，欲興建第五輕油裂解工場，目的在汰換老舊及污染較重的第一輕油裂解工場及第二輕油裂解工場，當政府於 76 年 6 月發布第五輕油裂解工場更新計畫後，爆發後勁地區歷史上的「反五輕運動」，在面臨社區居民與環保團體之抗爭活動，政府承諾撥出 15 億回饋金及 25 年遷廠條件後，五輕工場始於 79 年 9 月正式動工，第一輕油裂解工場隨即關閉拆除；83 年 2 月 7 日五輕工場試爐成功，當日第二輕油裂解工場隨即功成身退，結束 20 年運轉。

中油高雄廠於早期側重經濟發展，以致環境品質惡化，在「反五輕運動」後，中油公司重新思考在肩負經濟發展重任的同時，應注重保護環境生態，因此積極致力油品品質改善、降低含硫量、加強污染防治、提升環保技術，多年來持續改善空氣、噪音、廢水及廢棄物的改善，其中，為追蹤並改善廠區及周界地下水污染，在廠北及廠東鄰近住戶處設置監測井、阻隔井，並在廠周界設立 1,445 公尺隔音牆、60 公尺寬綠帶，建立緩衝區、阻絕噪音，以及引進液化天然氣代替大部份燃料油、於廠周界設置空氣品質監測站、增建廢水處理廠場改善放流水濁度，且持續加強睦鄰服務、改善社區關係、促進地方進步，協助地方建設、地方教育、參與地方活動，兼顧經濟、環保及社會三方共存共榮。

中油高雄廠相關製程區域經多次擴建與新建，廠區面積約 252 公頃，製程區面積約 177 公頃，公告列管面積約 176.7 公頃，中油高雄廠在全

盛時期共有 46 處主要製程工廠營運。廠區主要可分為行政區、工廠製程設備區、修護區(修護、工務、儀電、技術、工安組與環保組等)及廢水處理場。其中，工廠製程設備區包括東區煉製組、北區煉製組、西區煉製組、滑油組、合成氣組及五輕組。中油高雄廠進口原油進行提煉，主要由大林廠外海設置浮筒及海底輸油管送至岸上大型儲存油槽，再以管線輸送至工廠煉製。工廠主要製程為石油煉製與石油化學品煉製，原油經不同的煉製過程，可以生產燃料氣、液化石油氣、汽油、噴射機油、柴油、燃料油、潤滑油、柏油、石油焦、硫磺等產品；另有輕油裂解、芳香烴萃取與殘渣油氣化等石化工廠，生產乙烯、丙烯、丁二烯、苯、甲苯、二甲苯、合成氣與一氧化碳等石油原料，供應下游工廠生產各類石油化學產品。提煉後之油品主要以環島油輪或管線輸送，少量或特殊合成油料以油罐汽車運送，潤滑油或溶劑等則利用大桶包裝出售。

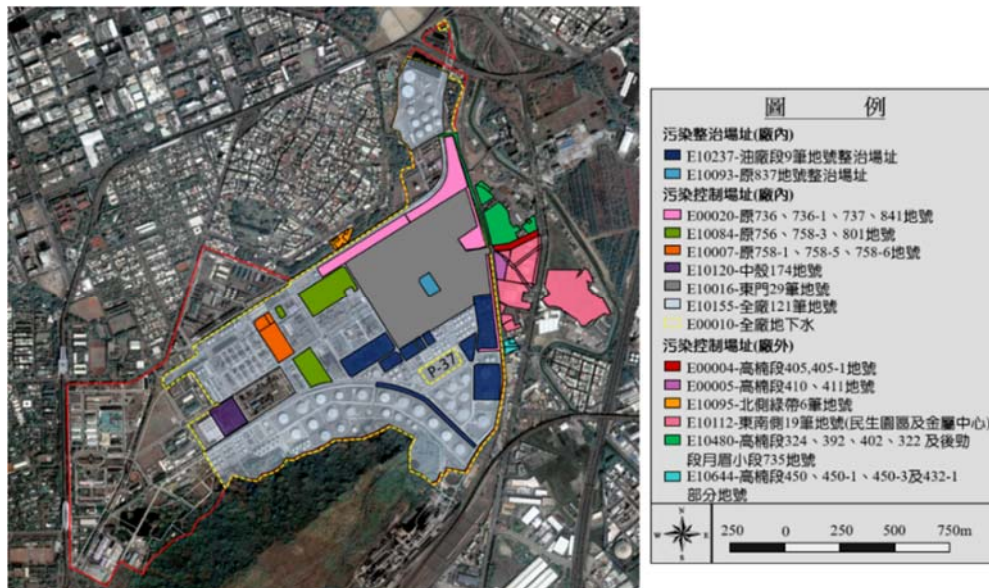
中油高雄廠廠內製程工場均已於 104 年 12 月起停工，並陸續進行設備拆遷作業。工場拆遷採用部分設備完整搬遷、部分設備標售或拆除之方式辦理。目前中油高雄廠已被列為高雄市重點之都市開發區域，故面對未來土地開發的規劃與需求，將面臨場址解除列管的期程壓力。

隨著環保局歷年之調查查證，中油高雄廠廠內、外之污染區域已逐一公告管制。截至 110 年 9 月止，廠內、外列管場址共 15 處，公告類型包括土壤控制場址、地下水控制場址、土壤與地下水控制場址及土壤整治場址等，如圖 1.2-2 所示。



資料來源：台灣中油股份有限公司煉製事業部高雄煉油廠工廠區土壤及地下水污染控制計畫暨 2 處土壤污染整治場址整治計畫(定稿本)。

圖1.2-1 中油高雄廠地理位置示意圖



資料來源：高雄市環保局「中油高雄煉廠褐地活化示範計畫」。

圖1.2-2 中油高雄廠廠內、外公告場址位置

四、地質條件

(一)區域地質

高雄市的地質分佈可分為始新世新高層、中新世廬山層、中新世中晚期瑞芳群、三峽群及其相當地層、上新世卓蘭層、錦水層、更新世頭嵙山層及台地堆積層等。本場址所在之楠梓區位於西部麓山帶地質區的西南緣，為台灣西部覆瓦狀褶曲與斷層山脈的尾閭和殘餘，地質年代較新，多為第三紀末期與第四紀的地層。中油高雄廠主要為第四紀沖積平原，地質以沖積層為主，地質主要由黏土、粉砂、粗中細砂及小礫石所組成，土壤大致有砂頁岩老沖積土、砂頁岩新沖積土等，鄰近之半屏山則由泥板岩、泥岩與厚層的碳酸鹽岩脈組成，為一石灰岩礦山。

(二)場址地質與土壤性質

中油公司針對場址現況及污染情形，於廠內辦理地質鑽探及土層土壤試驗分析，顯示廠內滲透性為東北側淺層(地表下 10 m)及東南側深層(地表下 10~20 m)較佳，而東側淺層(地表下 10 m)滲透性大致愈往周界愈佳。另外，至北一路南北方向、中華路南北向及中華路至東北角廢氣燃燒塔區附近地質調查結果，北側周界滲透性由西往東漸增，滲透性大致隨深度遞減；而中華路沿線滲透性由西往東漸增，滲透性大致隨深度遞增；東北側沿下游滲透性普遍良好，但東北角附近存在

局部低滲透性層。

另參考 80 年間於中油高雄廠廠外東北側之萬興社區，因緊鄰中油高雄廠北側，其地質鑽探及土層土壤試驗分析工作可提供相關土壤特性之研判依據。歸納地質鑽探與土壤試驗結果：(1)地面下 0.3 至 1.5 m 為回填層，主要為混凝土鋪面及回填粉質砂夾磚塊、混凝土塊或礫石等；(2)回填層以下至 6.5 m，為疏鬆至中等緊實，土層為棕褐色粉質中細砂，偶夾砂質粉土及少量礫石；(3) 6.5 至 14.5 m 為疏鬆至中等緊密，土層為灰色粉質中細砂，偶夾粉質粘土薄層含貝層；(4) 14.5 至 29.8 m 為中等緊密至緊密，土層為灰色粉質細砂，偶夾質粘土薄層；於深度 16.0 m 處存在一厚度約 1~2 m 之粉質粘土夾層；(5) 29.8 至 43.8 m 為堅實至極堅實稠度之灰色粉質粘土，或粘土與粉質細砂互層含貝層；(6) 43.8 至 49.3 m 為極緊密之灰色粉質細砂層；(7) 49.3 m 以下為灰色泥岩。

整體而言，中油高雄廠廠內區域地下含水層之土壤組成係以細至粗砂、粉土及黏土為主，整體趨勢大致由上往下逐漸細緻。區域土壤顆粒由西南往東北漸減，並隨深度加深而遞減，北側含水層地質為滲透性良好之細至粗砂夾粉土，增加北側周界受污染機會。東側因屬地下水下游處，為周界內污染區與周界外潛在受體之間的敏感邊界區域，導致東側周界及外圍易遭受污染。

五、水文條件

(一)地表水文

中油高雄廠位於半屏山北側，鄰近後勁溪。後勁溪向北流經廠區東側後，折向西北流經楠梓加工出口區北側後向西延伸，在高雄都會公園與楠梓溪匯合，於援中港附近注入台灣海峽。後勁溪集水區較小，逕流量不大，但流量穩定。後勁溪主流全長約 21.6 公里，流域範圍包括楠梓、左營、橋頭、大社、仁武、鳥松等，上游主要用途係作為灌溉用水及地區排水，中下游流經工業區及聚落住宅區，容納仁武、大社工業區、楠梓加工出口區、中油高雄廠及鄰近工廠排放的廢(污)水。

(二)地下水文

中油高雄廠地下水補注來自半屏山，因降雨受季節影響，故地下水位顯著隨季節變化，11 月至翌年 4 月為枯水期，5 月至 10 月為豐

水期，最高地下水位約在 8 至 9 月。根據歷年調查報告，廠區土壤滲透性大致由西往東漸增，地下水流速亦由西往東漸增。整體地下水流向由西往東，分別往後勁地區與東門地區流出(如圖 1.2-3 所示)，地下水平均流速約為 10~120 cm/d。因受東北側淺層高滲透性與後勁溪雙重影響，局部流向往東北側；東南側沿半屏山周界流動，因東南側低滲透性，流速較緩。平均地下水位約在地表下 4 m，枯、豐水期變化約 1.5 m。廠區東門附近地下水流向大致往北，經北誼興業公司，最後朝萬興地區方向流入後勁溪，或直接往東流入後勁溪。



資料來源：台灣中油股份有限公司煉製事業部高雄煉油廠工廠區土壤及地下水污染控制計畫暨 2 處土壤污染整治場址整治計畫(定稿本)。

圖1.2-3 中油高雄廠地下水流向圖

1.3 中油高雄廠歷年改善措施與調查結果暨污染現況

一、環保主管機關歷年調查結果

中油高雄廠於 91 年發生 P-37 油槽洩漏事件，導致區域土壤及地下水污染，主管機關遂針對廠內外區域實行污染調查。92 年起陸續啟動多項調查計畫，包括高雄市地下水調查及污染防治工作計畫、台塑仁武廠暨中油高雄廠污染後續調查及污染改善監督工作計畫等。歷次調查計畫成果顯示地下水污染物以 TPH、苯、甲苯、總酚及萘，土壤則為 BTEX 與 TPH。彙整場址調查資料顯示廠內地下水污染區域位於第一區與第四區，污染物包含苯、萘及 TPH，廠外則位於第五區下游，污染物為

茶。截至 110 年 9 月止，環保機關共設置 44 口標準監測井，包括廠內 17 口、廠外 27 口。

土壤污染區域主要為一輕、二輕、第二烷化工廠、第二石油焦工廠、動力工廠及廠區東半部油槽區，且因配合廠內「高雄煉油廠拆遷計畫」，環保機關土壤定期採樣點位多位於製程區邊界或廠區道路，檢測結果則顯示廠內土壤污染仍相當嚴重，部分原製程區檢出土壤 TPH 濃度有超標情形。

二、中油公司歷年監測結果

(一)土壤污染監測(廠內)

中油高雄廠廠內於 94 年 1~7 月針對後勁段月眉小段 736、736-1、737 及 841 地號(現為油廠段 11、28、19 及 39 地號)共辦理 22 點次土壤採樣調查。同年 4~9 月於 758-1、758-5 及 758-6 地號(現油廠段 139、136 及 137 地號)共辦理 10 點土壤採樣調查；6~9 月針對工廠區東門區域 29 筆地號及 756、758-3、801 地號(現為油廠段 103、134、167 地號)分別辦理 80 點及 49 點土壤採樣作業。調查結果顯示主要污染項目包括 TPH 及 BTEX。99 年 4 月針對東門區域後勁段月眉小段 837 地號共執行 16 點之土壤採樣調查。98~99 年根據環保局進場執行土壤污染查證作業之結果，於 102 年 7~8 月針對油廠段 10 筆地號(41、58、60、61、62、73、78、110 及 112 地號)執行土壤細部調查，共執行 58 點土壤採樣。

104 年 12 月針對 174 地號執行污染查證，調查結果顯示污染標的為 TPH，濃度為 5,830 mg/kg。中油高雄廠工廠區污染控制計畫於 105 年 12 月 16 日核定，整治期程為 105~122 年，彙整近年(106~109 年)定期監測結果，顯示廠內土壤 TPH 及 BTEX 仍有明顯超過土壤污染管制標準。中油公司 106 年 9~10 月土壤定期監測檢測結果，比對環保局於廠內土壤調查結，顯示污染分佈一致。此外，參考中油公司於 108 年 3 月針對中油高雄廠配合土地利用規劃及鄰近居民要求須拆除工場區域，整治區先行辦理補充調查，77 處土壤檢測結果顯示共 27 點位超過土壤污染管制標準，污染物包括 TPH、苯、乙苯及二甲苯，超標點位以五輕工場、油槽區、媒組壓縮機氣房控制室與第一、三、四加氫脫硫工場為主，其中又以鄰近廠區邊界之整治分區第 2-2 區點

位 P02-2，其污染物濃度較高。

彙整中油公司 108 年及 109 年 7 月~12 月執行進度報告，廠內每半年進行一次 60 點位土壤監測。廠內土壤仍呈現污染情形，60 點位定期採樣的檢測結果中，108 年共有 28 點位土壤中 TPH 超過土壤污染管制標準，其中 3 點位(S64、S66 及 S72)土壤中苯濃度超過管制標準、2 點位(S64 及 S66)土壤中乙苯及二甲苯濃度超過管制標準；109 年共有 33 點位土壤中 TPH 超過土壤污染管制標準，其中 2 點位(S56 及 S66)土壤中苯及乙苯濃度超過管制標準、1 點位(S66)土壤中二甲苯濃度超過管制標準。

參考中油公司於 110 年執行 60 點位定期採樣的檢測結果中，共有 34 點位土壤中 TPH 超過土壤污染管制標準，其中 3 點位土壤中苯濃度超過管制標準、2 點位土壤中乙苯濃度超過管制標準及 3 點位土壤中二甲苯濃度超過管制標準。另，中油公司於 110 年執行高雄市楠梓區油廠段 41、58、60、61、62、73、78、110 及 112 地號 40 點位定期採樣的檢測結果中，共有 21 點位土壤中 TPH 超過土壤污染管制標準，其中 7 點位土壤中苯濃度超過管制標準、3 點位土壤中乙苯濃度超過管制標準及 7 點位土壤中二甲苯濃度超過管制標準。顯示中油高雄廠目前土壤中主要污染物以苯、乙苯、二甲苯及 TPH 為主，污染深度約於地表下 4.0~6.0 m。綜上所述，顯示中油高雄廠目前土壤中主要污染物以苯、乙苯、二甲苯及 TPH 為主，污染深度約於地表下 3.0~6.0 m。

(二)地下水污染監測

環保局於 93~94 年針對既設地下水監測井進行污染查證作業，地下水中檢出苯、甲苯及總酚超過地下水污染管制標準，遂於 94 年 9 月 13 日公告中油高雄廠 147 筆地號(全廠區)為地下水污染控制場址，並列管 12 口地下水監測井(NW-22、NW-26、W-28、W-04、NW-29、W-11、W-12、TA-24、TA-10、T-10、N-01 及 T-35)。爰此，中油高雄廠為了解全廠區地下水污染情形，以利於規劃改善措施，於 95~97 年間完成全廠區污染預警監測井網設置，包括廠區既設 77 口監測井(含列管之 12 口監測井)及新增設 16 口監測井(WA-01~WA-16)，共計 93 口監測井，監測範圍涵蓋污染潛勢區及周界，並且每季執行一次地

下水定期檢測。因此，歷年累積迄今的資料量龐大，整治計畫已彙整並分析地下水水質的時間與空間變化，利用地下水模式與統計工具掌握地下水污染分布與趨勢，將可回饋地下水污染改善的管理作業。

1. 污染改善前(94 年)

中油高雄廠於 94 年執行地下水污染改善前，針對全廠區 77 口既設井進行採樣檢測作業，檢測結果顯示地下水中僅苯超過管制標準，有 4 口監測井超過管制標準，其中以 P-46 油槽東側圍牆旁之監測井 TA-10 濃度最高，超過管制標準 15.5 倍，此外，甲苯與總酚分別於監測井 NW-22 與 TA-25 檢出其測值接近地下水污染管制標準。

2. 歷年監測結果(97~109 年)

中油高雄廠於 97 年完成 93 口地下水預警監測井網系統設置後併同執行地下水改善措施，執行每季一次地下水定期檢測。彙整中油高雄廠歷年地下水定期監測結果，地下水污染區塊大致可分為東側及東北側區域，主要污染物項目為苯及總酚。由歷年監測結果，顯示地下水污染已受到有效控制，總酚在 101 年起即未再超過地下水污染管制標準。截至 109 年中油公司定期監測結果，於監測井 WA-04、NW-29、SA-03、TA-24 及 W-12 檢出污染物超標，其中 SA-03、TA-24 為 109 年檢出地下水污染區域，依據上述地下水檢測結果，中油高雄廠目前地下水污染物主要以苯、萘、MTBE 及 TPH 為主，污染熱區主要位於整治分區之第三區、第四區、第五區及第六區。

三、中油高雄廠核定整治計畫摘要

中油高雄廠位處北高雄捷運沿線之精華地段，有關整治完成後之土地利用方式過往即受各界高度關注，然因整治期程規劃達 17 年，於整治工作執行完畢前，相關規劃尚無法付諸執行。對此，高雄市政府已與中油公司雙方協議以行政契約簽訂方式，委由工務局代辦中油高雄廠後續污染整治工作，藉以加速中油高雄廠全廠區污染整治工作進行，以利後續土地利用藍圖規劃推動，藉此創造市府與中油公司雙方雙贏的局面。

中油公司為配合市府土地利用藍圖規劃時程安排，故依「土壤及地下

水污染整治法」(以下簡稱土污法)第 13 條及 22 條規範,針對原控管中油高雄廠廠內場址整治作業的「工廠區土壤及地下水污染控制計畫」(以下簡稱工廠區控制計畫)、「油廠段 41、58、60、61、62、73、78、110 及 112 地號土壤污染整治場址整治計畫」(以下簡稱 9 筆地號整治計畫)以及「月眉小段 837 地號土壤污染整治計畫」(以下簡稱 837 筆地號整治計畫)辦理計畫變更整併工作,同時以「整治作業整合管理」、「廠區污染概況呈現」、「全廠整治策略擘劃」及「期程查核目標檢討」4 個修正重點為主體進行計畫內容撰寫,整合提送「工廠區土壤及地下水污染控制場址控制計畫(第三次變更)暨 2 處土壤污染整治場址「高雄市楠梓區油廠段 41 地號等 9 筆地號及後勁段月眉小段 837 地號(油廠段 44 地號)」整治計畫(合併變更)」(以下簡稱控制暨整治計畫或整治計畫),有關整治計畫整合變更相關重點內容說明如下:

(一) 整治作業整合管理:

中油高雄廠因涵蓋面積廣大且地號數量眾多,過往主要依工廠區控制計畫、9 筆地號整治計畫及 837 筆地號整治計畫分別執行廠內各場址整治作業,然因各場址使用工法不盡相同,且不同階段亦有各自需達成之查核目標,皆為整治工作的執行管理增添些許不便,較難以有效進行整合管理。故整治計畫整合上述 3 本計畫書相關內容,同時納入 110 年 1 月 5 日新增公告之東北側 3 筆地號場址(後勁段四小段 2 地號、油廠段 8 及 9 地號),將各場址整治工作回歸單一計畫書控管,期能即早完成場址污染改善相關工作,以利市府接續辦理中油高雄廠及周邊土地活化作業。

(二) 廠區污染概況呈現:

原土壤補充調查作業主要透過兩階段採樣方式執行,第一階段補充調查全面以 25 m 網格佈點,第二階段則視一階調查結果進一步針對污染邊界確認採樣。然現階段部分分區依受限過往拆廠進度影響尚未完成相關調查,本次考量後續工程發包時程安排及現有計畫執行量能,故擬針對尚未完成補充調查之分區及新增公告之東北側 3 筆地號場址,統一以 50 m 網格進行佈點採樣,以期能先行初步呈現分區污染概況,並作為後續發包工作經費編列之參考依據。此外,整治計畫

另新增地下水補充調查成果，並整合過往地下水監測成果進行等濃度圖繪製，針對本場址地下水污染概況進行描繪。

(三) 全廠整治策略擘劃：

過往中油高雄廠雖依循分區分期、由地下水上游往下游之策略執行整治，然因共有 3 筆不同計畫書分別控管不同場址之整治作業，於實際施作上難免有所限制，故另針對整治規劃進行細部檢視，以全廠整治之觀點進行擘劃，並配合市府土地利用藍圖規劃安排，重新劃分整治分區及修正整治架構，期能在維持現有污染團攔截系統操作下，逐步且確實地進行分區土壤及地下水污染改善作業。

(四) 期程查核目標檢討：

整治計畫因應市府後續土地利用藍圖規劃時程安排，將中油高雄廠廠內整治工作期程由過往的共三期 17 年之時程（106~122 年）統一提前至 112 年完成整治，另參考工廠區控制計畫內容，重新規範分區查核目標，針對各分區工程發包完成時限以及各階段需改善完成之總面積或體積進行相關控管。

1.4 模組化整治工法規劃

過往中油高雄廠廠內場址主要依循工廠區控制計畫、9 筆地號整治計畫及 837 地號整治計畫共 3 本計畫書進行整治工作控管，然因場址分布零散，加上整治期程及工法不一，於執行上較難有完善且具整體性的相關規劃。遂本次計畫變更配合市府後續土地利用藍圖規劃，除將上述 3 本計畫書管轄場址進行整併外，另納入 110 年 1 月 5 日新增公告之東北側 3 筆地號場址（後勁段四小段 2 地號、油廠段 8 及 9 地號），將廠內各場址整治作業回歸單一計畫書進行執行面控管，希望透過整體性的規劃，通盤研擬適切之整治策略，最大化資源投入效益，並即早完成場址污染改善工作。

在整治架構規劃上，可分為土壤整治規劃、地下水整治規劃以及污染團攔截規劃 3 個主要面向，而考量後續工程發包後會有多家廠商進駐，不同廠商皆具有其相對擅長之技術，為保留後續執行面上的彈性，故整治計畫僅針對整治架構進行原則性規劃，初步篩選對於本場址目標污染物具有一定實績之工法列入架構規劃中。原則上針對可開挖區域之土壤整治工作，主要將透過現場開挖篩分區分污染土，並視各分區污染物種及土壤質地分

布情況，分別採熱脫附、土壤清洗、離地生物復育以及土壤離場作為主要的整治方式，而其餘無法進行開挖之區域則改採現地工法執行；至於在地下水整治工作則初步擬定包含現地化學氧化、加強式生物復育、界面活性劑沖排、雙相抽除、透水性反應牆或其他可行之新穎工法作為整治策略；而於整治工作執行過程中，為了有效防堵污染團的遷移，中油高雄廠過往既有之 SVE/AS 及注氣幕簾（Air Curtain）設備等污染物攔截系統，擬在不影響後續開挖整治工作執行前提下，維持既有操作量能，持續進行廠內污染團圍堵作業，避免不慎發生污染團擴散至場外的情事。

1.5 整治完成之自行驗證方式及採樣檢測規劃

一、自行驗證標的污染物及目標

本場址為油品污染場址，土壤污染物主要包括總石油碳氫化合物、苯、甲苯、乙苯與二甲苯；地下水污染物為總石油碳氫化合物、苯、甲苯及萘，污染整治目標原則以低於土污法所訂定之管制標準為前提，然目前市府針對中油高雄廠全區土地利用之藍圖規劃尚非全數明確，且階段性分區整治發包時程不一，如後續因相關政策、土地開發利用及污染現況等其他因素考量，評估標的污染物濃度降至管制標準有窒礙難行之處，亦不排除導入風險評估管理之概念，滾動式修正本場址整治策略，整治目標則依主管機關指示另行訂定，同時於招標文件中詳細敘明，供廠商在工作執行上能有所依循。

而因本場址涵蓋地號眾多，規劃採分區由上游處至下游進行整治工作，並於改善完成後進行自行驗證，若自行驗證作業確認污染物濃度已達改善目標，則將另行提報場址改善完成報告至環保局，申請土壤或地下水分區分地號驗證及解除列管事宜。

二、自行驗證方式

自行驗證目的乃為確認本場址依核定計畫書內容完成各項整治工作後，是否已達成原定之整治計畫目標，未來之自行驗證時機，將於本場址各分區評估完成各項污染改善作業後，以分區（或分地號）方式分別進行自行驗證及提送改善完成報告，而驗證單位則委由認證之採樣及檢測公司進行。

三、土壤驗證規劃

因本場址之污染土壤規劃多採開挖離地進行處理，預定開挖深度至地下 6.5 m，然各區實際開挖深度可能因場址特異性而有所差異，故於土壤自行驗證作業初步規劃原則採樣至各區實際開挖深度下 0.5 m，每 0.5 m 為一段樣品以 PID/FID 或 TPH test kit 篩測，實際採樣深度將依各分區狀況決定，每採樣點位依篩測結果及現場狀況判斷，挑選兩組污染潛勢相對較高之樣品至認證實驗室進行 TPH 及 BTEX 分析，採樣佈點方式及數量以主觀佈點、網格法或參考「場址環境評估法」進行估算，原則上將以污染熱區、開挖區及開挖區邊界作為土壤自行驗證採樣點位，

以利確實評估是否完成場址污染改善作業。

四、地下水驗證規劃

本場址因全區皆為地下水污染控制場址，其自行驗證方式初步規劃將於整治工作完成後保有之既有監測井挑選合適採樣點位，若欲解列之分區鄰近範圍並未具監測井，則評估整合欲解列之分區範圍，於其相對上下游處或於欲解列之分區範圍內新設監測井，驗證分析項目包括 TPH、BTEX、MTBE 及萘。

五、主管機關驗證

當本場址經自行驗證通過後，將提送改善完成報告至主管機關審查並申請驗證作業，相關執行程序皆依主管機關要求辦理。

六、未通過驗證之修正行動

若後續土壤驗證結果顯示部分點位未通過驗證時，則該點位代表之網格面積視為未通過驗證之範圍，而針對未達污染整治目標之範圍，將持續依照整治計畫污染土壤處理流程持續進行改善，並委託環保署認證機構實施品管檢測；至於在地下水部分，則依現況另行評估既有工法之適用性，並進行操作參數調整，若後續仍未能改善至預定整治目標，亦不排除改採其他工法之可能性，若上述整治工法經評估後無法有效改善污染情況，則另辦理計畫變更作業。

1.6 經費預估與整治期程

一、預估經費

本次整治計畫將陸續啟動開挖處理整治工程，初步預估經費約為 268.63 億元，所需經費受後續補充調查結果而定，其開挖、拆除、檢測等數量均將會變動，實際以後續發包金額為主，後續將於執行進度報告或完成報告中修正呈報實際之經費。

二、整治期程

本場址位處北高雄捷運沿線，且緊鄰後勁生活圈，廠區土地具高度發展價值，自 104 年正式熄燈關廠後，廠區整治完成後之土地開發利用相關議題亦成為各界關注焦點，為配合市府後續針對中油高雄廠廠區土

地利用藍圖規劃，本次計畫主要整併過往中油高雄廠廠內各控制及整治場址，以單一計畫書模式進行整治工程控管，期能最大化整治資源投入效益，以利後續加速整治工作進行。

為配合上述作業，並整合原先工廠區控制計畫、9 筆地號整治計畫及 837 地號整治計畫相關內容，同時納入 110 年 1 月新增公告東北側 3 筆地號場址，配合全廠區規劃擬定期程及階段性查核目標，預計於 112 年完成整治。

第二章、污染改善工法說明

以下就常見之油品類污染整治技術原理進行概要說明，包含土壤氣體抽除/空氣曝氣、現地化學氧化法、開挖移除、土壤清洗、離地生物復育、熱脫附、雙相抽除、界面活性劑沖排、加強式現地生物復育與浮油回收等。

2.1 土壤氣體抽除/空氣曝氣

土壤氣體抽除法係為目前國內使用最廣泛之土壤油品污染整治技術，針對不飽和層或通氣層（Vadose Zone）土壤中之揮發性有機污染物均有不錯之成效。此工法利用真空抽氣，使存在於土壤中之污染物產生揮發作用，污染物由固相或液相轉移為氣相，並因抽氣井使污染區土壤產生負壓，使污染物隨土壤氣體往抽氣井方向移動而被抽出，被抽除之土壤氣體可進行回收或經處理後排放。本技術之污染物揮發性及土壤孔隙間氣相物被抽除的難易度為其關鍵機制。

SVE 結合空氣曝氣法則具有相當多優點，除可將地下水中之污染物以氣提方式吹離地下水外，曝氣過程也可增加地下水溶氧，兼收生物復育功效（以生物復育為主要目的之空氣曝氣法，稱為生物曝氣法）。場址內規劃設置密度較高之 SVE 抽氣井，AS 注氣井之設置位置則將配合抽氣井之分佈，使注入高壓空氣所驅趕之揮發性有機物能藉由抽氣井加以抽除，同時須控制注氣井之注氣量低於鄰近抽氣井之抽氣量總和，以避免將污染物逸散至四周，進而擴大污染範圍。

2.2 現地化學氧化法

現地化學氧化處理法（In-Situ Chemical Oxidation, ISCO）主要係將氧化劑注入地下環境中，藉由氧化劑產生之自由基使土壤或地下水中的污染物被氧化破壞，將污染物礦化（Mineralization）降解成較不具危害性的物質，ISCO 為可於短時間內降解有機污染物的一種整治技術，已於國內外被廣泛地應用於土壤及地下水污染整治工作，但易因土壤不均質性、土壤固體吸附及氧化劑與污染物之接觸不完全而影響整治成效，而有污染物濃度回升

之效應，且土壤中若含有大量的碳酸鹽、硫酸鹽、氯鹽或有機質，亦可能會競爭消耗一定之自由基。

目前較常被使用於 ISCO 之氧化劑包含：過氧化氫 (H_2O_2)、過錳酸鹽 (Permanganate, MnO_4^-)、臭氧 (O_3)、過硫酸鹽 (Persulfate, $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$) 等。此技術為相當成熟之一種整治技術。一般而言，限制現地化學氧化處理法的應用及有效性之因子，主要包含污染物與氧化劑不完全反應或產生中間產物，或氧化劑於地下傳輸時無法與污染物產生有效接觸，而對於高濃度污染物而言，大量使用氧化劑需耗費一定的經濟成本，常見氧化劑基本特性彙如表 2.2-1，常見氧化劑之氧化還原電位則如表 2.2-2。

現地化學氧化於設計及執行上除需針對場址特異性，評估氧化劑濃度、環境 pH、影響半徑、灌注頻率及方式等環境限制因子及操作參數，以最大化整治成效外，亦需額外考量之可能衍生之工安問題如：

- 一、使用臭氧或 Fenton 試劑的場址須設置排氣或負壓系統較為適當，以收集尾氣、緩和壓力並收集有機物。
- 二、須調查地下管線、設施或渠道等對於主要流向或污染物分解之區域之影響，並考慮爆炸性液體及蒸汽及氧氣。
- 三、因使用之化學氧化劑可能對造成管線腐蝕，不建議應用於管線密集區。

2.3 開挖離場

開挖離場處理 (Excavation) 被美國環保署廣泛應用於清除廢棄物場址，而且被視為所有離地處理 (off-site) 的第一步。開挖處理即是將現場受污染的土壤，經確認範圍後，直接以開挖設備 (挖土機、推土機)，將受污染土壤直接由現地挖除，並將其運送至其他的離地處理設施 (如土壤清洗與生物復育) 進行後續處理。如果處理後之土壤可達回填土壤之標準，則可將土壤放回開挖處，此稱之為「回填」 (backfilling)。如果是自其他地方取得乾淨土壤填補開挖處，則稱之為客土回填。在完成回填之後，可於地表進行植栽或鋪面，以避免回填區域的風化或做為其他土地利用的準備。

其應用時機大部分是當其他整治技術均不適用或經費過高的情況下才考慮採用開挖處理，若開挖深度在 1.5 m 以上者，應設擋土支撐防止周圍地層崩塌，或採取其他經具地質土木等專長人員確認開挖安全性之替代方法，確保地下開挖作業得以順利進行。此外，土壤開挖後於地面上加以處理，

此法亦是處理對環境或人體有立即危害之污染物最快的方法，且不需先導試驗評估其可行性，實施成效之評估較為容易，近來年國內常見於農地重金屬及油品類污染場址之緊急應變處理及整治。

2.4 土壤清洗

土壤清洗法的操作源自於採礦與選礦原理，污染物通常傾向黏著或附著於顆粒較細之土壤（如泥砂或黏土）；而較不易黏著或附著於粗顆粒的土壤（如砂礫土壤），故利用物理方式將污染物吸附量較高之細顆粒土壤及較乾淨之粗顆粒土壤予以分離，以大幅降低待處理污染土方量，加速整治作業；或使用特定的液體或清洗劑，將土壤中的污染物移除或轉移至液相中；後續再透過適當處理，將污染物加以分解、移除或固定化。土壤清洗法是利用移除附著在粗顆粒土壤上的細顆粒土壤，將污染濃度較高之土壤與已符合管制標準之低污染土壤分離，得以進行污染土方減量前置作業。通常土壤清洗法適用於含較多粗顆粒之受污染土壤，有較佳的去除效率；可去除的化學物質種類包括油品、金屬及農藥等。

土壤清洗作業主要包含土壤粒徑分離與廢水處理兩程序。土壤粒徑分離進行土壤團塊破碎、沉澱、上流式分選、渦錐等程序以利粒徑分離，處理量大且處理效果佳。在土壤挖除後，利用土壤清洗系統可將不同性質之坩黏土、細砂與粗砂、礫石等分離，且受到其表面積及表面電荷之影響，污染物會集中於較小顆粒之土壤中，如此便於後續處理，可大幅減少污染土壤之處理量。廢水處理程序經由混凝/膠凝、沉澱及過濾等處理單元，並結合油水分離處理，土壤清洗連續式操作模式流程如圖 2.4-1 所示。土壤清洗技術成本包括土壤篩分、相關設備搬運裝置與測試費、人員操作費、藥品水電費、設備折舊費、廢水處理費等，其中又以廢水處理費佔最大宗比例，本計畫規劃產生之廢水，由系統後端之油水分離與簡易廢水處理程序進行處理，循環水則回收使用。被分離之細顆粒泥沙或黏土，其大部分之污染物可於清洗過程中被去除，粗顆粒之土壤，若經清洗後污染已完全被去除時，則可直接放置回場址中；若污染尚未完全被清除時，則需再次清洗或搭配其他方法處理。

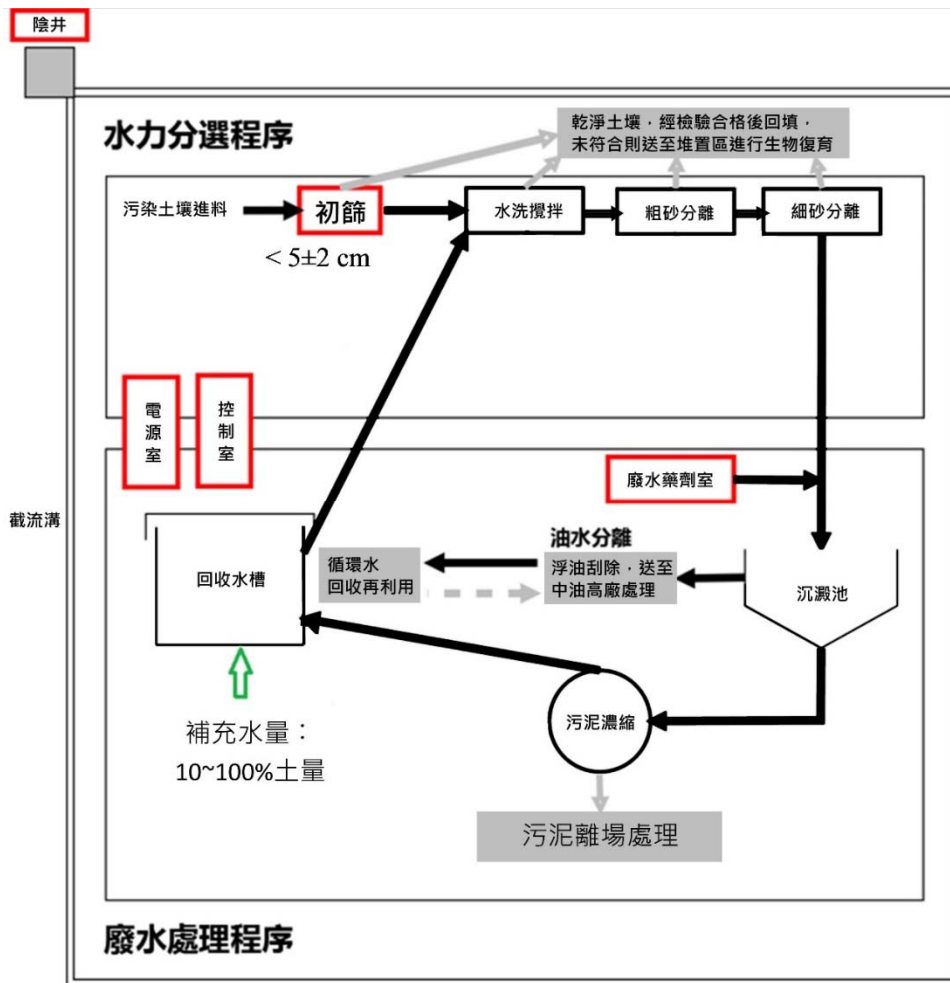


圖2.4-1 土壤清洗連續式操作模式流程圖

2.5 離地生物復育

生物復育是利用天然微生物降解或改變有害物質成為無害或低毒性產物的方法，生物復育的優點符合環保方法、成本低、無二次污染、可在現地進行、較具經濟性、對場址的擾動較小、可分解污染物而非做相的轉移、大眾接受度較高、可與其他物理或化學的處理技術結合。離地生物復育係在場址原處或選擇其他空地之地面處，鋪上一層不透水層或是其他阻隔材料，圍起一個整治區，再將受污染之土壤挖起放置於整治區上方，堆成一個土堆，之後添加營養鹽、微量元素（含生物吸附石英）、水份等，並利用翻堆或管線增加曝氣，以馴養好氧性的微生物，利用油品污染物質作代謝生長的基質，將其轉化為代謝產物 CO_2 及 H_2O 。生物復育相關設備單元除地坪、抽氣系統外，亦將設置二次污染防治設施，如圖 2.5-1 所示，相關設施設置注意事項包含：

-
- 一、應注意污染之特性是否符合生物作用需求及是否濃度過高而導致毒性抑制。一般而言，汽油、柴油等油品類，較具生物分解性；但若是潤滑油、機油、熱燃油等，則具較低脂生物分解性。而本場址之污染物大部分為總石油碳氫化合物，一般自然界中就有存在多種可分解油品之異營菌，因此初期將不予接種，堆置期間觀察異營菌總菌數是否增加，藉以鑒定是否有足夠量的微生物，但若因菌種問題而使成效不佳，則後續會再評估後添加生物製劑。
 - 二、本項方法為在侷限的區域內以及改善條件下進行整治工程，而不是將藥劑、空氣直接注入地層中，較不會因整治工程造成擾動的風險；但因整治區之開放空間型態，必須做好揮發性污染物逸散及水污染防治等二次公害工作。本場址之污染物大部分為總石油碳氫化合物其揮發性不高，且生物復育範圍將進行覆蓋及保濕，過程中會監測 VOCs 氣體逸散符合國內相關空氣污染防制法令；另若有滲出水部分，將納入高廠之既有污水處理設施處理。
 - 三、污染改善作業將視土方量情況再於場內增設土壤堆置場，有空地即可暫時作為土壤堆置場。
 - 四、施工程序土壤鋪設高度以 2 公尺為限，以避免產生厭氧狀態，每月一次（或視實際情況調整）進行翻堆，促使污染土壤均質並增加土壤與氧氣接觸機率，培養好氧性微生物達到降解污染物之目的。依高廠過去經驗，總石油碳氫化合物低於 5,000 ppm 之土壤生物降解迅速，約 3~4 個月可完成整治，若含燃料油土壤則需 6~12 個月。復育前先進行篩試，復育過程中定期進行成效監測，以了解總石油碳氫化合物降解量(率)，另外視情況控制水分、營養源、微生物添加。若控制與調整營養鹽、水份、曝氣量等因子後，若降解效率依舊無法提高，則將考慮添加外來微生物。

2.6 熱脫附

熱脫附處理技術為土壤整治技術之一種，係利用加熱之方式將受有機污染土壤加熱至有機物沸點以上，使吸附於土壤中之有機物揮發成氣態後再分離處理，此方式為物理分離程序，有機物於加熱脫附過程中並非將有機物加熱氧化，已經驗證可應用於處理污染土壤、底泥、污泥及濾餅（filter

cake) 等。此技術基本上包含 2 個處理程序，第一為加熱單元，用以加熱待處理之物質，將物質中有機污染物揮發成氣態後分離；另一單元為氣態污染物處理單元，本處理單元需能將含有污染物之氣體處理至法規標準後排放至大氣。氣態污染物之處理方式，可依有機物之濃度及經濟性選擇以冷凝、吸附或燃燒之方式處理。在加熱處理物質的過程當中，亦會將土壤中的水分含量一起蒸發，故第一階段之加熱單元又稱為旋轉窯 (rotary dryer)。

熱脫附依處理溫度可分為低溫熱脫附 (low-temperature thermal desorption, LTTD) 與高溫熱脫附 (high-temperature thermal desorption, HTTD) 兩種。一般低溫熱脫附係指處理溫度介於 300 °F ~600 °F 而言；另一種為高溫熱脫附，一般係指處理溫度高於 600 °F 以上，甚至到達 1,200 °F。處理溫度之選擇須視有機污染物之物理特性，一般石油碳氫化合物如汽油、柴油或煤油污染等，因其具有低沸點及高揮發等特性，故以 LTTD 法即可；如污染物為難分解有機物 (POPs)，如戴奧辛、PCBs、殺蟲劑等，因其沸點高、揮發性低，故處理溫度須提高才能將吸附態之污染物轉變成氣態後收集處理。熱脫附處理法依處理場地區分，可區分為離場 (ex-situ) 處理及現地 (in-site) 處理兩種，處理方式之選擇須視污染範圍及深度決定，亦即污染體積決定了挖除及載運費用，污染體積小適合以現地處理，反之，污染體積大則適合離場處理，熱脫附處理流程及設備示意圖分別如圖 2.6-1 及 2.6-2。

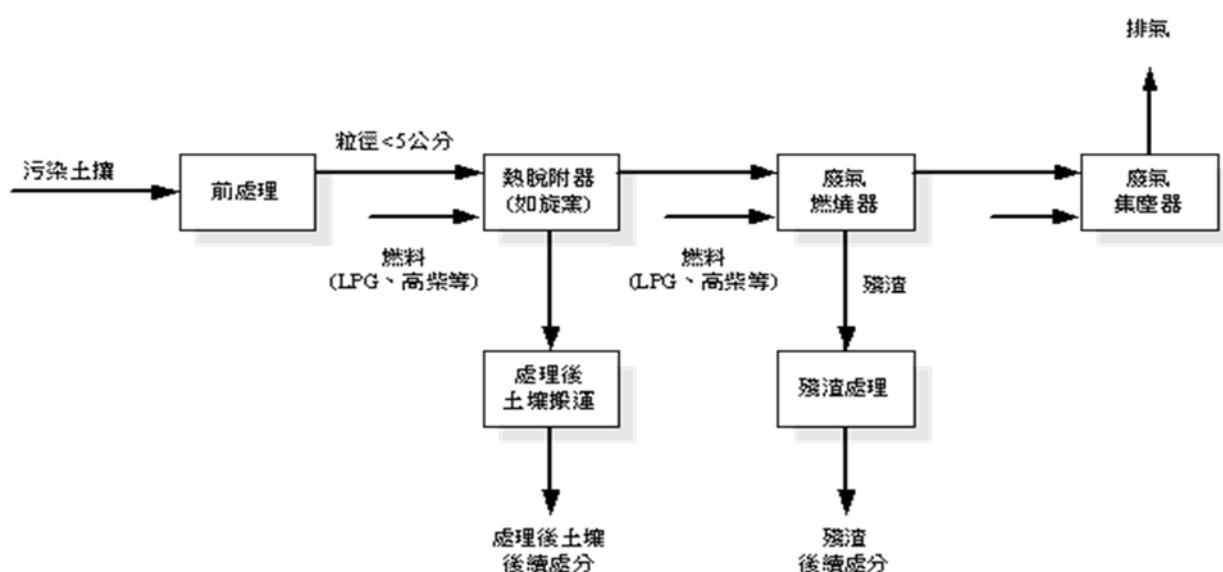


圖2.6-1 熱脫附處理流程圖

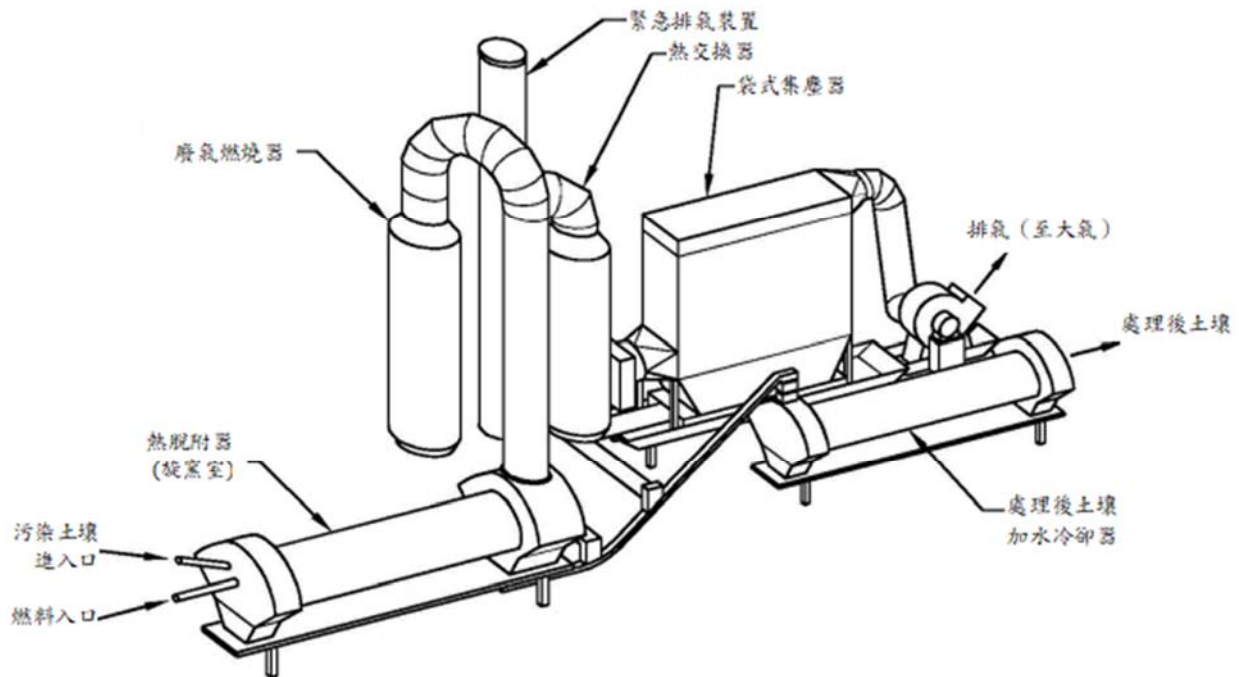


圖2.6-2 熱脫附設備示意圖

2.7 雙相抽除

雙相抽除法 (Dual Phase Extraction) 為土壤及地下水污染整治技術之一，能夠直接針對主要污染區進行整治，且具有生物通氣的效果，並能同時回收浮油，相當合適用於油品類儲槽系統之土壤及地下水污染整治工作。

雙相抽除法亦稱為多相抽除法 (multi-phase extraction)、真空抽除法 (vacuum-enhanced extraction) 或是生物漱洗法 (bioslurping)，主要於污染區土壤上方，設置回收井，於井中設置泵，以移除土壤及地下水中不同型態的污染物質，包括液態之地下水自由相 (free product)、溶解相，以及不飽和土壤層中氣態之揮發性有機物等物質，屬於油、水、氣可同時抽除處理之整治技術。抽出之污染物，再經處理後排放、廢棄或是回收。雙相抽除法在不飽和土壤層中，由於土壤氣體遭不斷的抽除，造成不飽和層趨向真空的狀態，而也因為回收井附近之抽氣作用，使得污染區以外之遠方乾淨土壤氣體得以引入，造成通氣氣流之現象，持續補助整治區之土壤層供氣供氧，產生類似生物通氣法之作用，可加強不飽和層土壤層之生物降

解作用。

雙相抽除法特別適用於油品類污染之場址，尤其是在自由相之浮油尚未移除之前，並不適合直接利用生物或化學方法進行整治。因此，在污染場址採取多種整治策略的原則下，針對有浮油的場址，雙相抽除法往往優先於其他整治方法，被選用於處理地下環境中之污染物。在雙相抽除法系統的配置上，大致可分為單泵與雙泵兩種系統，單泵與雙泵的差異，主要在於單泵系統係採用單一泵同時從回收井中回收浮油與地下水，雙泵系統則是一組泵抽取浮油，另外有一組泵抽取地下水同時提供土壤污染整治時必要的水位洩降。

2.8 界面活性劑沖排

現地沖排法是使用溶劑注入或滲入到受污染的土壤或地下水，沖排液及污染物的混合物，然後在地面處理後再排放或再注入。其應用原理與抽取處理法（Pump & Treat）類似，但是改以適當的混合液體取代水做為沖排液，藉由沖排液的注入可改變土壤及地下水與污染物的吸脫附特性、氧化還原狀態、界面張力、酸鹼狀態及分配、溶解、沉澱狀態等，達到增加污染物溶解度，造成污染物與溶液形成乳液或產生化學反應，促使原本吸附在土壤中或以液體形式存在的污染物容易隨地下水移動，達到去除污染物的功用。現地沖排法使用之沖排液具有使污染物之移動性或溶解性增加，或使沖洗之速率加快的功能，其成份可能包含界面活性劑、共溶劑、酸、鹼、氧化劑、螯合劑、溶劑或水。

現地沖排法可藉由增進地下水中污染物移除或加速自然沖洗速率，使傳統的抽取處理法效率增加。設置現地沖排法之系統時，通常需設置注入井（injection wells）、導流井（directional wells）、渠（trenches）、垂直井（horizontal wells）、滲透道（infiltration galleries）和抽取井（extraction wells）或收集渠（collection trenches），以使沖排液與污染區域接觸並達到收集溶離液之目的。

2.9 加強式現地生物復育

加強式現地生物復育（Enhanced In-Situ Bioremediation, EIB）係利用微生物將場址之有機污染物予以降解，以改善地下環境污染情況的一種整治

處理程序，其核心概念為在現地透過營養鹽或碳源等微生物生長所需之基質添加，營造有利於地下微生物生長之環境，進而促進微生物生長並透過其生長代謝反應來達到降解污染物之目的。

現地加強式生物復育依照是否添加外來菌種又可細分為生物刺激法（biostimulation）與生物強化（bioaugmentation）兩類，其中生物刺激為透過營養鹽或有利於微生物生長之基質添加，進而促進現地固有之微生物活動來降解污染物，將污染物轉變為對生物低毒性或無毒性代謝產物和二氧化碳，其優點為菌株在污染場址所馴養，對於場址之適應力較佳，然對於目標污染物並不一定具有最佳的降解效果。而生物強化法則為馴養、純化或基因工程等生物技術培養針對目標污染物具有降解能力之特定菌種，將外來菌種添加至地下環境中，來達到改善污染物降解之成效，雖外來菌種的添加可能對污染物具有較佳的降解能力，然則可能有不適應現場環境的狀況。

而影響現地加強式生物復育的主要因子，主要可以分為場址環境因子與生物性因子，環境因子如 pH 值、溫度與營養鹽濃度皆與環境微生物活性息息相關，生物性因子則主要與微生物族群間的競爭關係有關，故採用現地加強式生物復育必須搭配其他地下水質參數之監測，針對場址之環境因子與生物性因子進行整合評估，並依照場址特異性適當調整藥劑濃度等施作方式，進而提高微生物之生長活性，提高微生物對污染物之降解效果。於現地施作時，另可透過整治列車概念，以時間序列串聯或並聯其他現地整治工法進行規劃，來改善整體之污染整治工作成效。

2.10 浮油回收

浮油回收技術主要包括汞浦抽取回收、生物漱洗及真空加強式抽除法等。汞浦抽取回收法系統的設計上，大致可分為單泵與雙泵兩種。單一泵浦法將泵浦介於油水界面，同時抽出油與水，缺點為地下水量大，且造成抽油乳化現象。致使溶解相之濃度升高，所以地表上必須設置油水分離與水處理設備。至於雙泵系統，其主要目的是最佳化洩降程度以達到最高的回收效能，同時讓油水混合的狀況減至最低，因此這種系統採用一組泵只抽取地下水以製造所需之洩降，第二組泵則只抽取浮油，抽取水量需經過適當的調整以控制洩降之深度，抽除浮油的部分則採用油類偵知器作為啟

動與關閉泵的機制。

生物漱洗為多相抽除法的一種，在過程中除了回收浮油以外，也透過生物通氣（Bioventing）作用，刺激不飽和層中的生物降解。生物漱洗利用在浮油與地下水界面上的抽氣管製造負壓力，使得水、浮油、氣體向抽除井內流動。進入井中的水與浮油被抽至氣液分離器，液體在經由油水分離器處理。其設計理念是以浮油回收提升為主，但同時讓地下水與空氣的抽除減到最低，同時生物通氣扮演次要的角色。生物漱洗的系統配置與單泵多相抽除相同，其特殊之處為將井管的開口放置於液體-空氣的界面上或略低於液體-空氣的界面，回收井為 2 英吋內徑、抽除井為 1 英吋內徑，抽除口輪流抽液體和空氣，此配置經證實可有效回收浮油。

真空抽除法則將抽油管放在油與空氣的界面，利用真空將油抽出地面的一項技術。與汞浦回收方式比較，本方法較易抽出殘留於毛細管區的油液，抽出之地下水量也較少，並可增加生物分解及氣提回收作用。並可在油液回收近完成時，迅速改成土壤氣體抽除法繼續進行整治。

第三章、現場職安衛作為與二次污染防治

3.1 職業安全衛生監督檢核

由於中油高雄廠工廠區污染土壤改善之方式，目的是將污染物從土壤及地下水中移除，場址包含但不限於有 6 種污染物(苯、甲苯、乙苯、二甲苯、總石油碳氫化合物、萘等)，這些有害物質皆為致癌物質第 2 級，並對皮膚都有相對性的傷害，故訂定職業安全衛生監督檢核計畫。

整體工作可分為五大類作業項目，包括：(一)現地地下水土壤污染調查，(二)工程建置作業，(三)處理設備安裝工程，(四)土壤污染改善操作作業，(五)土壤現場處理後檢測，職業安全衛生監督檢核計畫針對每個階段的辨識其危害風險及評估並訂定預防原則對策，同時亦訂定安全衛生監督檢核事項。

3.2 整治工作職安風險評估與對策

工程建置作業中發生重大職業災害之機率最大，故設計階段進行風險減緩措施並訂定對策方案納入招標文件，整治廠商編入安全衛生防護措施預算，可降低未來整治工作中防護措施不足衍生之爭議。以下即依前述五大作業項目，列舉主要危害作業，相關整治工作階段職安風險評估與對策則詳細彙整如表 3.2.1 所示。

一、現地土壤及地下水污染項目調查

- 場址污染土壤及地下水取樣進行分析

二、工程建置作業

- 地面原有建築物拆除工程
- 地面開挖作業及擋土設施
- 基礎土建工程作業

三、處理設備安裝工程

- 設備、材料進場吊掛作業
- 設備安裝及管路配置作業
- 設備試俾作業

四、進行場址整治作業

五、土壤現場處理後檢測

● 污染土壤整治後進行污染濃度檢測分析

表 3.2-1 職安風險評估與對策一覽表

項次	作業項目	潛在危害						重點對策
		物體 倒塌	火災	感電	墜落	有害物 接觸	高溫 接觸	
一	現地土壤污染項目調查 場域污染土壤取樣進行 成分及濃度分析					●		1. 施工前危害告知、人員教育訓練。 2. 取樣作業需碰觸污染物時，需穿戴適用個人防護具 (防護衣、防溶劑手套、護目鏡、防毒面罩) 3. 鑽探之車輛機械應進行清洗，避免現場作業人員誤觸。
二	工程建置							
a	地面上建築物拆除工程	●	●	●	●	●		1. 構造物之拆除，須選任專人於現場指揮監督。 2. 拆除構造物前，先檢查預定拆除之各構件對於不穩定部分，應予 支撐穩固。 3. 確認蓄有管路中之氣體或液體已清除乾淨。進行動火作業切割管 路、鋼筋，等時需移除附近易燃物品並備有防火毯、滅火器。 4. 具有危險性之拆除作業區，應設置圍欄或標示，禁止非作業人員 進入拆除範圍內。 5. 人員有墜落之虞時，應設置適用之防墜設施(安全網、垂直母索、 防墜器、護欄、護蓋、繫戒線...等適用防護措施。 6. 使用夾斗或具曲臂之機具時，應設置作業區其周圍應大於夾斗或 曲臂之運行線八公尺以上。禁止無關人員進入。 7. 現場使用柴油發電機需設置漏電斷路器、接地、滅火器、柴油儲 油箱須遠離易燃物及高溫機具。臨時分電盤亦須設置漏電斷路器及 接地。
b	開挖作業	●				●		1. 為避免作業時發生車輛機械翻落需作業前該區域 進行天候、地質及地形狀況。亦須調查車輛機械之種類、性能、行 徑路線及車輛機械之作業方法。 2. 開挖區域須設置鋼板棧及上下設備。 3. 現場作業人員若進入污染區時須穿著適用個人防護措施(C級防護 衣、防溶劑手套、護目鏡、防毒面罩)人員須配戴手套避免切、割傷 後接觸到有害污染物，若傷口碰觸污染物時須立即送醫治療。
c	水、電管路配置作業			●	●			1. 人員須配戴手套避免切、割傷後接觸到有害污染物 ，若傷口碰觸污染物時須立即送醫治療。 2. 人員從事高架2公尺作業需穿戴個人防護設備(安全帽、配掛安全 帶)，開口處需設置護欄、安全母索...等防墜設施。 3. 高度2公尺以上作業區域應設置穩固施工平台或高空自走車，不得 使用高度超過2公尺之梯子作業。 4. 臨時配電盤需設置漏電斷路器及接地，電氣機具使用前須完成檢 點是否有發生電源線破皮及機具損壞之情形發生。
三	處理設備安裝工程							
a	管路配置及油漆作業		●	●	●			1. 進行動火作業時，請先移除易燃物品若無法移除 需設置防火毯阻擋飛濺火花，現場需設置滅火設施。
b	設備、材料吊掛作業	●						1. 進行吊掛作業時，需檢查一機三證(操作人員、指揮及吊掛人員、 危險機械檢查合格證)，吊掛半徑區域需設置警戒區圍籬並派人管制 禁止人員進入吊掛危險區域。物料需有吊掛人員確認已牢固。
c	試俾作業(送電、送水、送電)	●	●	●	●	●		1. 送電、送水、送氣時應先檢點及測試電盤效 能無誤、管路閥件是否開啟或關閉，相關緊急裝置效能是否正常， 管路及電盤皆須完成標示。
四	土壤污染改善操作作業		●	●	●	●	●	1. 人員須配戴個人防護具(安全帽、安全帶)設備之安全設施已備妥 (護欄、護籬)。 2. 設備維修時電盤需確認斷電並掛牌及上鎖，維修人員作業完畢後 須親自或連繫好方式才可解鎖及送電。管路維修時亦須關閉送氣閥 並加盲封及標示。 3. 操作人員需穿戴適用個人防護具(C級防護衣、防溶劑手套、護目 鏡、防毒面罩)，現場需設置除污設備(沖身洗眼器，污水不可任意 排放)。 4. 現場應設置連續監測LPG氣體洩漏偵測器或柴油儲存桶防溢堤 5. 作業場所須依照勞工作業環境監測實施辦法實施環境檢測確認空 氣中有害物容許濃度於標準值中。
五	土壤現場處理後檢測					●		1. 人員取樣需碰觸污染物時，須配戴個人適用之 防護具(C級防護衣、防酸鹼手套、護目鏡、防毒面罩) 2. 整理待送實驗室之土壤，人員應配戴防毒面罩、護目鏡、防溶劑 手套。

3.3 二次污染防治

為確保有效執行環境保護相關事宜，監督整治廠商執行各項污染防制作業，若發現有污染環境之虞則立即要求相關所屬整治廠商進行改善，各項工作之工作人員則依整治廠商指揮調度，進行相關環保法規所規定之環境保護措施，以避免有影響環境之虞。

為降低整治工作對環境品質之影響，針對各項環境品質訂定污染防制措施，凡作業範圍內之環境品質保護、振動噪音管制、運輸管理、廢棄物清除等工作，皆應依環境保護及各相關法令辦理。相關危害因子及防護措施列舉如下：

一、空氣污染防制

運送具粉塵逸散性之物料或其他廢棄物之車輛須予以覆蓋，使用防塵布或其他不透氣覆蓋物緊密覆蓋及防止載運物料掉落地面之防制設施，防塵布或其他不透氣覆蓋物，應捆紮牢靠，且邊緣應延伸覆蓋至車斗上緣以下至少 15 公分。

1. 土方開挖應灑水或噴灑化學穩定劑等，應每日記錄灑水方式、灑水量、灑水面積等資料於整治工作日誌。
2. 開挖之裸露地表，應依天候狀況，於未工作期間，須採行覆蓋等有效抑制粉塵之防制措施。
3. 相關建築物拆除期間，應加強噴灑水以有效抑制粉塵。
4. 具粉塵逸散性之物料或廢棄物之臨時堆置工地者，須採行覆蓋措施。
5. 作業機具引擎使用之汽柴油應符合車用汽柴油成分管制標準。
6. 作業機具定期保養、並定期檢查排放廢氣，採用高品質燃料，例如低硫柴油、或高級燃料油以減少污染物排放。
7. 作業機具排放之廢氣應符合空氣污染物排放標準之規定。
8. 工程期間若環境品質有惡化之現象，以減少作業時間、灑水或其他方式，將污染影響程度降至最低。

二、噪音／振動防制

1. 操作設備、作業機具及車輛，應符合整治計畫噪音管制標準，採用性能良好、噪音低之機型，並定期加以維修保養，以保持良好之狀態，整治工作時，並避免多部機具同時操作，以降低合成噪音之強

度，並儘可能減少空車之怠轉。

2. 於設備建置及操作時，將進行必要之減噪措施，例如採用低噪音設備並加裝遮音設備、減少連續操作時間等，以避免噪音超出整治計畫噪音標準。
3. 儘量避免作業機具及運輸車輛處於空轉狀態，減少不必要之噪音、振動。
4. 運輸車輛在場內行駛速率不得超過 20 公里/小時，在場外於行經住宅社區時應減速慢行，不得超過 40 公里/小時，並禁止亂鳴喇叭，以減低車輛噪音振動量。

三、地下水污染防治

地下水定期監測發現有漸增之趨勢或達管制標準 1/2 濃度時，將要求分區整治廠商提出地下水污染整治規劃，並及早採取應變措施，以如期完成整治。

四、工區及鄰近道路維護清理（含廢棄物清除處理）

整治設施建置期間將每日須派員、灑水車或掃街車進行工區及臨近道路維護清理，其整治工作所產生之廢棄物（例如開挖出非污染之剩餘土方、瀝青、混凝土、廢棄植栽等）由合格業者負責清除處理。其中營建剩餘土石方載運前將提送剩餘土石方處理計畫，經工務局核定後憑辦。

3.4 環境監測作業

於污染改善期間，為確實掌握各分區實際整治成效，將同時針對開挖期間可能產生之噪音與振動、空氣品質及廢水系統放流水進行監測，並依監測結果檢討施工情形，同時配合污染防治機制之執行，減少整治工程對周遭居民及環境造成的二次衝擊。本場址環境監測作業詳述如下。

一、土壤監測

每半年辦理 1 次土壤定期環境監測作業，每次 60 點次。現場每一採樣點位以直接貫入式鑽機逐層連續採樣，至地表下 8 公尺或至無污染深度為止，以 0.5 公尺為 1 段樣品，進行 PID/FID/XRF 篩測，配合篩測結果及實際現場狀況，選擇最高值與次高值二者送實驗室分析 TPH 與 VOC，以掌握改善執行成效。此外，每 9 處採樣點選擇 1 處 XRF 篩測最高值，進行八項重金屬檢測。

土壤定期監測點位視改善進度調整，將佈點於整治廠商提報開挖改善完成區、污染阻隔區或下游阻絕設施等位置，並依採樣位置特性評估辦理人工試挖，於非開挖改善作業區人工試挖深度以地表下 2.5 公尺為原則、開挖改善作業區人工試挖深度為地表下 1.5 公尺，計畫期間預計執行 5 次土壤監測。

二、地下水水質監測

每季辦理場址內 93 口地下水監測井定期環境監測作業 1 次，以掌握地下水狀況，若開挖改善工作造成監測井需移除，則取消該井位之監測，並於整治廠商土壤回填、重新設置地下水標準監測井後 2 個月內補辦監測作業。

地下水採樣深度為地下水位面下 1 公尺為原則，分析項目為 TPH 與 VOC，計畫期間預計執行 10 次地下水水質監測。

三、噪音與振動

噪音與振動監測於場址周遭進行，開挖改善作業前監測 1 次，開挖改善作業期間每季監測 1 次，每次連續監測 24 小時，噪音監測項目為 L_{veq}、L_{max}、L_早、L_日、L_晚、L_夜、L_{dn}，振動監測項目為 L_{veq}、L_{v10}、L_{v日}、L_{v夜}，監測位置為靠近民宅之周界 5 處，其分布位置圖詳圖 3.4-3。

四、空氣品質監測

執行頻率每季 1 次，開挖改善作業期間監測空氣中 VOCs、TSP、PM₁₀、二氧化氮、二氧化硫與一氧化碳等項目，每次檢測 14 點。

五、放流水監測

計畫期間每季針對中油高雄廠廢水處理設施放流口(D01)，辦理放流水監測 1 次，監測項目包含水溫、pH 值、氨氮、化學需氧量、油脂、懸浮微粒、真色色度、酚類、VOC(BTEX)與 TPH。

第四章、總結

針對第三區之未來發展業已完成初步規劃，將配合中央產業、都市開發等建設政策持續強化高雄城市競爭力，吸引國內外投資串聯科技S廊帶，驅動產業升級與轉型，並且吸引更多專業人才移居，讓高雄成為南台灣產業與經濟發展的主引擎。