



受石油污染場址之現地整治列車策略規劃-

加油站案例研析

張添晉

台北科技大學環境工程與管理研究所教授

鄭晴蔚*

台北科技大學環境工程與管理研究所碩士生

斯克誠

AECOM 亞洲區區域經理

摘要

分析三處加油站場址，雖運用相同整治工法但因階段性組合不同，改善成效亦有所差異。研究發現油品類污染最佳化整治列車，應針對高、中、低不同濃度污染進行規劃。若加油站場址地質為透水透氣性不佳之土壤，土壤改善第一階段規劃，可運用土壤挖除法，將高污染濃度之土壤先行挖除，再進行離地生物復育處理，並以土壤氣體抽除(soil vapor extraction, SVE)系統改善現地之高污染土壤，第二及三階段，維持第一階段之 SVE 系統持續操作。地下水改善第一階段，先規劃地下水抽除處理(pump and treat, P&T)系統抽除高濃度地下水，若有浮油宜增設浮油回收系統。地下水注氣(air sparging, AS)系統應搭配 SVE 抽除並採間歇性抽汲方式，再輔以化學氧化法加強分解。過硫酸鹽(persulfate)法較 Fenton 法反應影響半徑更大，且需藥劑量更低。第二階段同第一階段系統持續操作，第三階段則視污染濃度適時修正。

關鍵詞：整治列車、現地整治、整治規劃、石油污染、污染場址

*通訊作者：鄭晴蔚

Email：gh_cmf@yahoo.com.tw



Field Study of Remediation Treatment Chain Policy Plan -Case Study of Petroleum Contaminated Sites

T.C. Chang

Institute of Environmental Planning and Management

C.W. Cheng

Institute of Environmental Planning and Management

K.C. Tse

AECOM, Regional Manager

Abstract

This study focused at three polluted gasoline stations in Tainan. The implemented in-situ treatment and the soil and groundwater sampling data were evaluated in this study. The most popular combined remediation technologies used at gasoline stations in Taiwan are: soil excavation, land farming, air sparging (AS), soil vapor extraction (SVE), pump and treat (P&T), chemical oxidation. Although those three gasoline stations used the same technologies, different consequences of technology implementation were utilized with excavation, land farming, air sparging, and soil vapor extraction.

In order to effectively remediate both the contamination of soil and groundwater, a three stage contamination approach was used. The levels of contamination were divided into: high pollution level, median pollution level, and low pollution level.

Soil characteristics or properties dominate the migration rate of pollutants. As such, the first phase of remediation uses excavation technology to remove highly contaminated soil, followed by land farming and soil vapor extraction. For the remediation of groundwater, pumped treat method was used for highly contemned groundwater in the first remediation stage. If there is free oil product on the groundwater, oil recovery method is recommended to be used. For the second stage of groundwater remediation, air sparging was applied, while soil vapor extraction was also used to collect the volatile pollutants to prevent it spreading offsite. Furthermore, chemical oxidation method, such as Fenton method, was also used to enhance dissolution of the pollutants. Persulfate can also be used as a chemical oxidation, which may prevail over Fenton. This is due to the radius of reaction range is wider and the use of dosage is lower. The second phase remediation is to enhance the remedial effectiveness of the first method. The application of the third stage remediation depends on the end-point concentration of pollutants in the groundwater at the end of the second stage.

Keywords : Remediation Chain, Petroleum Contaminated Site, Remediation Plan, Polluted Site, Filed Study



壹、前言

因應國人使用交通工具之習性，汽、機車數量快速成長，依據經濟部能源局 98 年 10 月間統計資料，國內共設置約有 2,621 餘處加油站，其中整修及停業中之加油站不予列入統計（經濟部能源局，2009【1】），其中以中彰投區共 595 家數最多；雲嘉南地區 547 家次之。若以 1 處加油站平均有 4 座地下儲油槽估算，全國至少約有 10,484 餘座地下儲油槽，其數量相當可觀。因此台灣環保署於民國 90 年起開始針對加油站進行地下水及土壤污染調查，於民國 90~97 年間共調查了約 1790 餘家公民營加油站，調查結果顯示共有 61 處加油站土壤或地下水污染值超過管制標準(行政院環保署，2009【2】)。

其受污染之 61 處場址，無論為整治場址或控制場址，均不乏處理長達三年以上之整治期程，可見污染行為人所花費於整治工作上之人力、物力及財力，亦或是對環境之衝擊均不容小覷。由此可見，土壤或地下水一旦遭受污染，要將其恢復至符合管制標準以下是一件相當不易之事。

爰此，由過去累積迄今的整治經驗顯示，很少有單一技術可以完全勝任整治工作，絕大多數的情況都將數種整治技術合併使用，以達最佳的效果(經濟部工業局，1997【3】)。如何於低滲透性之水文地質條件下，針對相同特性污染物，於不同污染濃度、不同場址條件中，需如何規劃整治策略，即為相當重要之課題。綜觀目前國內外所研究之各種整治工法，如土壤氣體抽除法(soil vapor extraction, SVE)、地下水注氣法(sir sparging, AS)、地下水抽除處理(pump and treat, P&T)、生物復育法(land farming)、化學氧化等等，皆已跳脫實驗階段，目前成熟運作於各國之場址；但仍須綜合各種不同技術，相互搭配運作，才可達到最佳整治成效。因此，本研究將針對台南縣市受污染之加油站，探究最佳可行性之整治列車串聯式工法，為本研究之重點目標。

貳、研究方法

一、研究流程

本研究透過蒐集國內外相關整治研究之文獻，以瞭解目前油品污染相關整治技術及應用之優缺，並深入探討國內實場之整治技術，針對相同污染物及相似土壤及地下水之場址特性條件下，所面臨之問題及瓶頸。其步驟說明臚列如下：

1. 資料收集彙整：

本研究需綜合多方之資訊方以進行分析評估，因此資料蒐集範圍涵蓋國內外相關網站、國內外書籍、國內外期刊、國內研討會論文集、國外相關環境保護部(Environmental Protection Agency, EPA)整治報告書以及國內環保署及地方單位環保局(Environmental Protection Bureau, EPB)相關計畫研究報告、各加油站之控制計畫書及各年度進度報告書等。

2. 進行特性分析選定三處加油站：

將國內目前現有之所有加油站污染場址進行數量統計，將場址背景特性相似之場址歸類並彙整，選定三處加油站。

3. 蒐集三處加油站之污染調查數據，界定污染分布範圍：

蒐集三處加油站相關污染調查之資料，進行分析比對以界定污染分布之範圍。

4. 分析三處加油站之各階段整治列車系統規劃及操作方式。

5. 分析三處加油站之現場系統設備及流程。

6. 整治階段採樣方法及步驟

7. 整治階段污染監測方式及步驟

8. 整治成效綜合評比



二、研究內容

本研究需綜合多方之資訊方以進行分析評估，因此資料蒐集除查詢相關網站之外，亦需親往環保署以及當地環保局進行資料查詢。依據環保署土壤及地下水污染網所提供之資料顯示，現階段於台南縣市其污染場址之數量比例高達約 46.7%，為台灣各縣市污染場址之冠。因此本研究設定於台南縣市內之三處加油站汙染場址進行研究，分別於北、中、南三處加油站場址進行分析，以下則簡稱為 A、B、C 加油站。

依據 A、B、C 加油站歷年相關污染計畫報告書顯示，及歷次實驗室檢測報告之分析數據，確實瞭解土壤及地下水中之關切污染物，藉以推估判斷場址污染濃度分布情形，進而探討三處場址整治列車階段性串聯式工法之適切性，再經由歷年定時之土壤及地下水採樣數據結果，評估污染濃度變化之趨勢，適時調整現地操作之參數，以分析歸納出整治列車之最佳可行性工法。

三、研究方法

依據環保署加油站污染場址最新之資料顯示，於民國 98 年 11 月止尚有 44 處為控制場址及 15 處為整治場址；目前僅 6 處解除列管(行政院環保署，2009【4】)。15 處整治場址中，有 7 處場址位於台南縣市；另 44 處控制場址中亦有 10 處場址位於該縣市，其污染場址之數量佔全台灣比例高達約 46.7%，高雄縣市整治場址數量為 4 處、控制場址數量為 9 處，總計數量為 13 處次之，如表 1 所示。因此本研究選定於台南縣市為研究目標，分別於該縣市之北部、中部、南部各擇一處加油站污染場址進行研究，以下簡稱為 A、B、C 加油站。針對遴選出之 A、B、C 三處加油站，分別將場址特性、污染濃度及分布、各階段整治列車系統規劃及操作方式、現場系統設備及流程等詳加說明。利用不同串聯式系統，配合定期污染監測，瞭解整治系統運作後實際改善之功效。

(一) A 加油站之三階段串聯式整治系統規劃，其流程如圖 1 所示。

1.第一階段：針對高濃度之污染土壤及地下水為主要處理目標。

(1)高濃度污染土壤：

開挖污染土壤離地處理+生物復育法+土壤氣體抽除法

(2)高濃度污染地下水：

地下水注氣法+土壤氣體抽除法+地下水抽出處理+化學氧化法-Fenton 法

2.第二階段：針對中濃度之污染地下水為主要處理目標。

(1)中濃度污染地下水：土壤氣體抽除法+化學氧化法-Fenton 法

3.第三階段：主要處理殘存低濃度之污染地下水為主。

(1)低濃度污染地下水：化學氧化法-Fenton 法+化學氧化法-Persulfate 法+地下水注氣法+土壤氣體抽除法+地下水抽出處理

第一階段主要目標為處理高污染濃度之土壤及地下水。首先需將高污染濃度之土壤挖除，將污染土壤移至加油站附近空地，進行生物復育處理，利用生物菌株降解高濃度污染物。另場址內無法挖除之受污染土壤如泵島區域，以及部分殘餘低污染之土壤，則利用設置 SVE 系統進行現地整治，去除土壤內殘餘之揮發性污染物。未挖除區域之污染土壤及地下水，則利用 AS 系統搭配 SVE 系統進行處理，透過 AS 系統於現地注氣至地下水層中，透過曝氣的作用，以 SVE 系統抽除，同時增加場址內含氧量，強化場址內生物復育的效用。再以 P&T 系統將地下水抽除並造成洩降椎，以輔助 SVE 系統增強影響之功能範圍。將抽除之地下水以油水分離及氣提槽設備(air



表 1 台灣省各縣市加油站污染場址統計表

縣市名稱	整治場址	控制場址	總計數量	備註
宜蘭縣	0	0	0	
基隆市	0	0	0	
台北市	1	0	1	
台北縣	0	1	1	
桃園縣	1	5	6	
新竹縣	0	1	1	
新竹市	0	0	0	
苗栗縣	0	0	0	
台中縣	0	1	1	
台中市	0	0	0	
彰化縣	0	5	5	
雲林縣	1	4	5	
嘉義縣	0	2	2	
嘉義市	0	0	0	
台南縣	5	9	14	數量最高
台南市	2	1	3	
高雄縣	2	5	7	次之
高雄市	2	4	6	
屏東縣	1	3	4	
台東縣	0	0	0	
南投縣	0	1	1	
花蓮縣	0	0	0	
連江縣	0	0	0	
澎湖縣	0	2	2	
金門縣	0	0	0	
累計數量	15	44	59	

註：統計年度：2009/11/31

資料來源：1.台灣省環保署土壤地下水污染整治網【4】

2.本研究整理



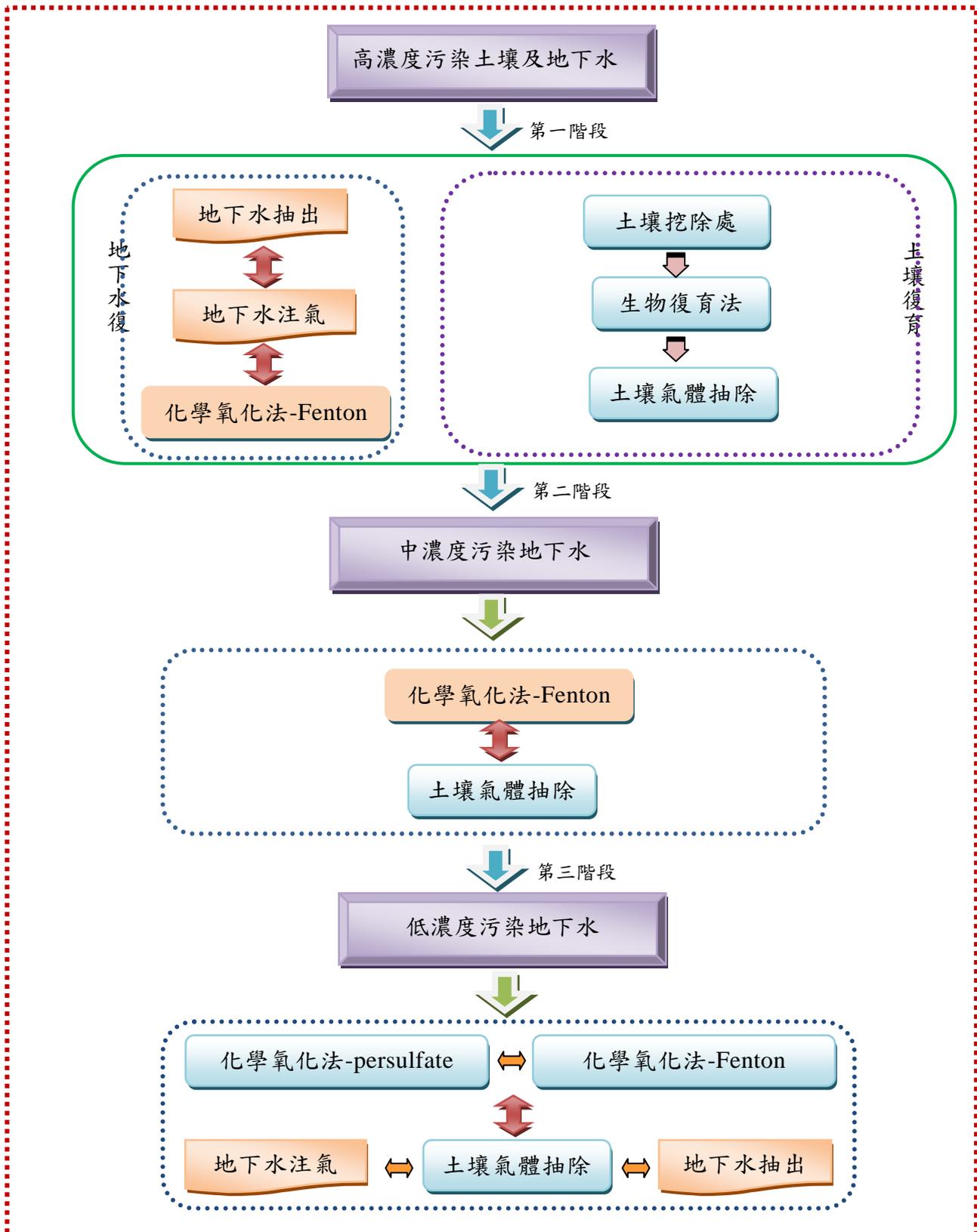


圖 1 A 加油站整治列車三階段串聯式工法流程



stripper)吸附處理。土壤及地下水整治系統所產生之氣體污染物主要包括 SVE 抽除後所產生的土壤氣體污染物,及經過地下水回收處理系統中其 air stripper 氣提後產生之氣體污染物,為預防二次污染,再以活性碳吸附處理。為加強整治效果,同時於現地利用化學氧化-Fenton 法,將化學藥劑注入中污染濃度之地下水內,利用 Fenton 反應中所產生之 OH·與污染物作用後而達到分解污染物之效用;另該反應中所產生之 O₂·及 HO₂·等兩種自由基,亦具有低氧化能力自由基而使土壤中污染物脫附。

第二階段處理之目標則針對中污染濃度之污染物進行處理。於中污染濃度區域進行化學氧化-Fenton 法,再透過 SVE 系統將揮發出的污染物氣體予以抽除回收,該階段暫停 AS 系統及 P&T 系統。

第三階段處理之目標則針對殘存污染濃度之污染物進行處理。土壤開挖整治作業過程中,部分區域由於抽水後水力洩降,導致部分污染物沉積於開挖區底部為土壤所吸附,成為殘留之污染源。利用化學氧化法-過硫酸鹽法搭配化學氧化-Fenton 法共同處理地下水中殘存之污染濃度。並配合 SVE 系統、AS 系統、P&T 系統使水中溶氧增加,促進微生物增長,達到生物降解有機污染物之效果,並可有效控制地下水流向,避免污染物隨地下水擴散至場址外,且協助處理殘存於地下水中微量之有機污染物。

(二) B 加油站之三階段串聯式整治系統規劃,其流程如圖 2 所示。

1.第一階段:針對高濃度之污染土壤及地下水為主要處理目標。

(1)高濃度污染土壤:土壤氣體抽除法

(2)高濃度污染地下水:

地下水注氣法+土壤氣體抽除法+地下水抽出處理+化學氧化法-Fenton 法

2.第二階段:針對中濃度之污染土壤及地下水為主要處理目標。

(1)中濃度污染土壤:土壤氣體抽除法

(2)中濃度污染地下水:

地下水注氣法+土壤氣體抽除法+地下水抽出處理+化學氧化法-Fenton 法

3.第三階段:主要處理殘存低濃度之污染土壤及地下水為主。

(1)低濃度污染土壤:土壤氣體抽除法

(2)低濃度污染地下水:

地下水注氣法+土壤氣體抽除法+地下水抽出處理+化學氧化法-Fenton 法

第一階段主要目標為處理高污染濃度之土壤及地下水。位於 1~2 號泵島之間,因土壤氣體濃度超過 1000 ppm,顯示土壤中仍有不少油氣,因此利用 SVE 系統加強抽取土壤中之揮發性污染物,降低土壤污染濃度,並以 AS 系統搭配 SVE 系統同時進行,透過 AS 系統於現地注氣至地下水層中,透過曝氣的作用,再以 SVE 系統抽除。此外,處理地下水污染主要利用 AS 系統及 P&T 系統為主。AS 系統主要於現地注氣至地下水層中,將地下水內揮發性有機污染物透過曝氣的作用加以排除,藉以降低地下水污染物濃度。P&T 系統主要依地下水流之橫向佈設抽水井,發揮截斷地下水流載負污染物之功能,避免污染物向下游方向流動,將地下水抽除時並造成洩降椎,以輔助 SVE 系統增強影響之功能範圍。另將抽除之地下水前段以油水分離加以分離,後段為氣提槽設備吸附處理。為加強整治效果,同時於現地利用



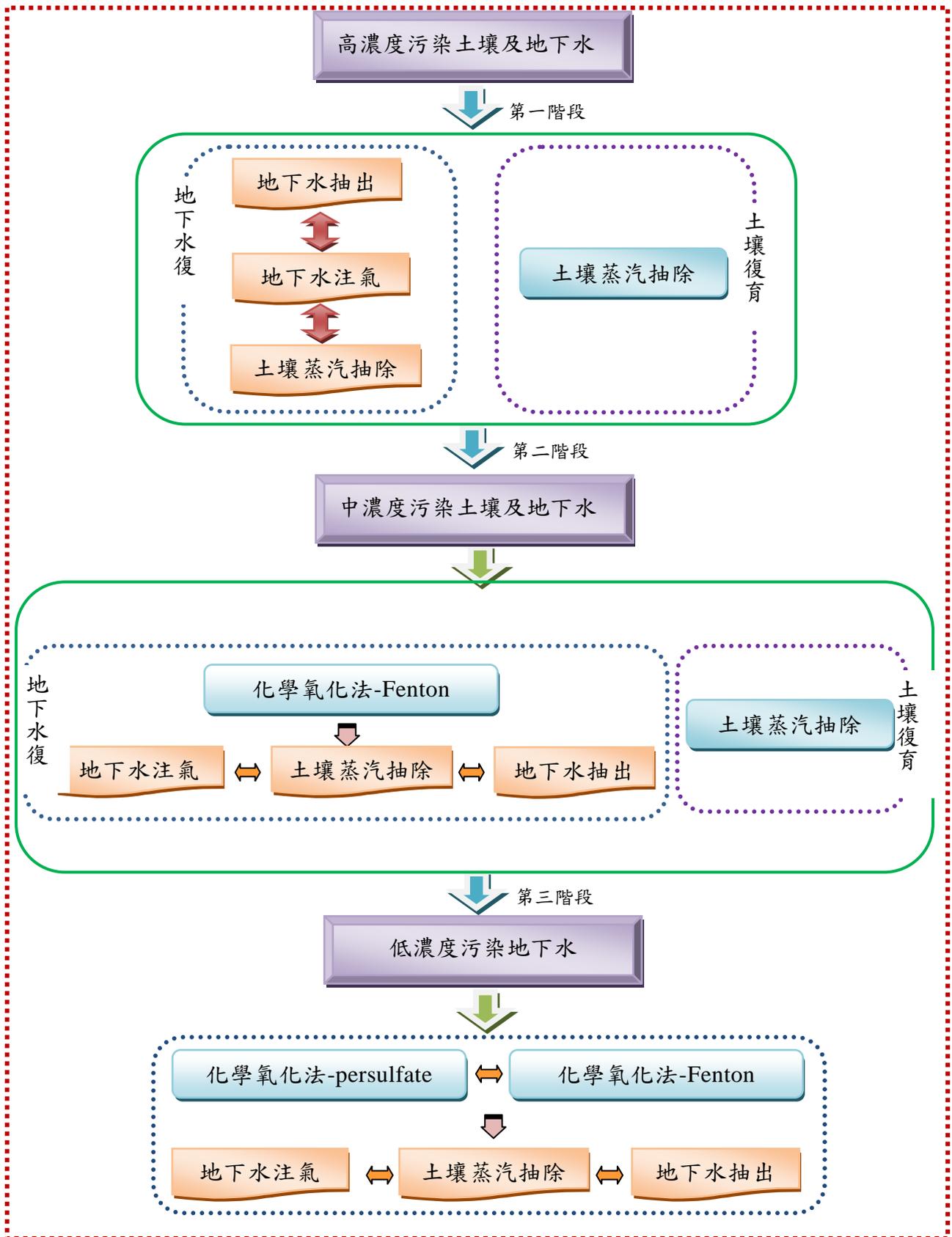


圖 2 B 加油站整治列車三階段串聯式工法流程圖



化學氧化-Fenton 法，將化學藥劑注入中污染濃度之地下水內，利用 Fenton 反應中所產生之 $\text{OH}\cdot$ 與污染物作用後而達到分解污染物之效用；另該反應中所產生之 $\text{O}_2\cdot$ 及 $\text{HO}_2\cdot$ 等兩種自由基，亦具有低氧化能力自由基而使土壤中污染物脫附。

第二階段處理之目標則針對中污染濃度之污染物進行處理。該階段之整治規劃方法與第一階段相同，但視污染分布範圍增設土壤抽氣井、化學注藥井及抽水井，加強局部範圍之處理能力。

第三階段處理之目標則針對殘存污染濃度之污染物進行處理。利用上述相同之工法持續進行，直到殘存於土壤及地下水中微量有機污染物降低至管制標準以下。

(三) C 加油站之三階段串聯式整治系統規劃，其流程如圖 3 所示。

1. 第一階段：針對高濃度之污染土壤及地下水為主要處理目標。

(1) 高濃度污染土壤：開挖污染土壤離地處理 + 土耕復育法（委外處理）+ 土壤氣體抽除法

(2) 高濃度污染地下水：浮油回收法

2. 第二階段：針對中濃度之污染土壤及地下水為主要處理目標。

(1) 中濃度污染土壤：土壤氣體抽除法

(2) 中濃度污染地下水：浮油回收法 + 地下水注氣法 + 地下水抽出處理 + 化學氧化法-Fenton 法

3. 第三階段：主要處理殘存低濃度之污染土壤及地下水為主。

(1) 低濃度污染土壤 + 地下水：地下水抽出處理 + 化學氧化法-Fenton 法

第一階段主要目標為處理高污染濃度之土壤及地下水。C 加油站利用油槽管線設施更新工程，將受油品污染之土壤一併挖除，送至中油公司所屬嘉南營業處豐德油庫之土耕復育場進行生物分解復育。該生物復育場將污染土壤置於鋪設不透水設施之處理場中，適時添加適量之水分、養分（氮肥、磷肥、鉀鹽等），並定時予以翻動，保持土壤中之好氧性，以促進土壤中微生物之生長，達到分解有機物之目的。場址開挖後所殘存於現場土壤之油氣，則利用垂直式及水平式 SVE 系統，將不同深度之土壤油氣清除回收處理。地下水復育系統主要為浮油回收處理系統，抽除地下水含水層之浮油，避免油品持續溶解污染地下水水質，以減少污染物向外擴散之數量。

第二階段處理之目標則針對中污染濃度之污染物進行處理。於中污染濃度區域持續進行浮油回收系統，並於適當區域設置 P&T 系統，利用抽水井持續或間歇幸抽水使含水層形成洩降錐，污染物質順著迴流之地下水集中後，予以抽汲至地表收集處理後再行排放。並透過 AS 系統注氣至地下水中產生曝氣效果後，將地下水中之揮發性有機物驅趕出，再透過 SVE 系統將經過曝氣揮發而出的污染物氣體予以抽除收。為加強整治效果，同時於現地利用化學氧化-Fenton 法，將化學藥劑注入中污染濃度之地下水內，利用 Fenton 反應中所產生之 $\text{OH}\cdot$ 與污染物作用後而達到分解污染物之效用；另該反應中所產生之 $\text{O}_2\cdot$ 及 $\text{HO}_2\cdot$ 等兩種自由基，亦具有低氧化能力自由基而使土壤中污染物脫附。

第三階段處理之目標則針對殘存污染濃度之污染物進行處理。利用 P&T 系統及化學氧化系統持續進行整治，直到殘存於土壤及地下水中微量有機污染物降低至管制標準以下。



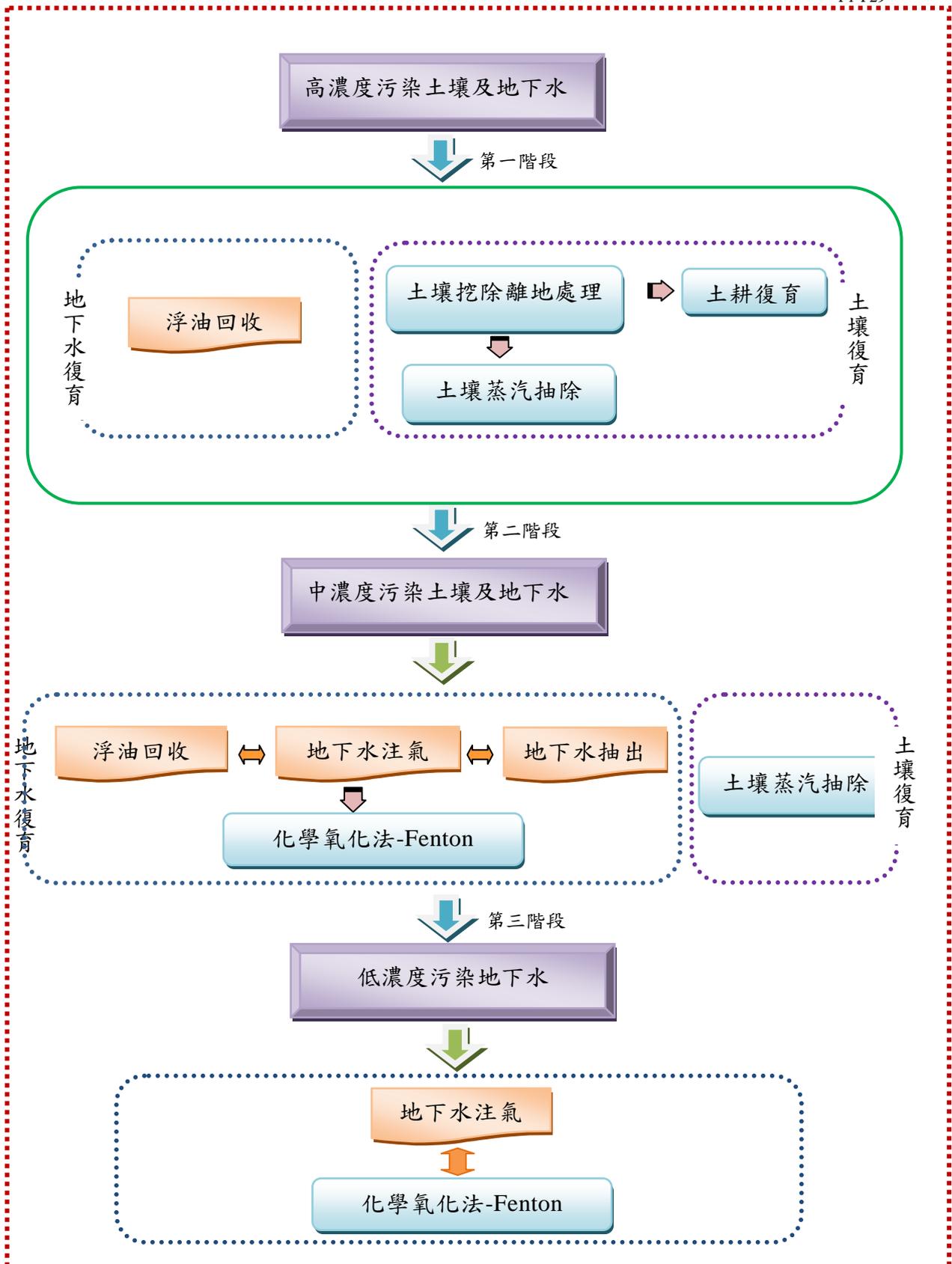


圖 3 C 加油站整治列車三階段串聯式工法流程圖



參、結果與討論

一、A 加油站場址改善作業成果

(一). 整治列車操作期程

A 加油站整治歷程自民國 92 年 3 月起迄民國 98 年 1 月，過歷經 6 年之期程，階段性整治工法之設置及操作情形如圖 4 所示。自民國 92 年 3 月起至民國 94 年 6 月期間，先將污染土壤挖除處理，並將污染土壤送進生物復育場，以生物復育法降解污染物。現地則利用 SVE 系統抽除土壤揮發性污染油氣；地下水則利用 AS 系統、P&T 系統、化學氧化-Fenton 法去除地下水中污染物質。自民國 94 年 6 月起至民國 95 年 11 月期間，該站暫停 AS 系統及 P&T 系統，持續進行 SVE 系統及化學氧化-Fenton 法。自民國 95 年 11 月起至民國 98 年 1 月期間，則同步進行 SVE、AS、P&T、化學氧化-Fenton 法及化學氧化-persulfate 法。

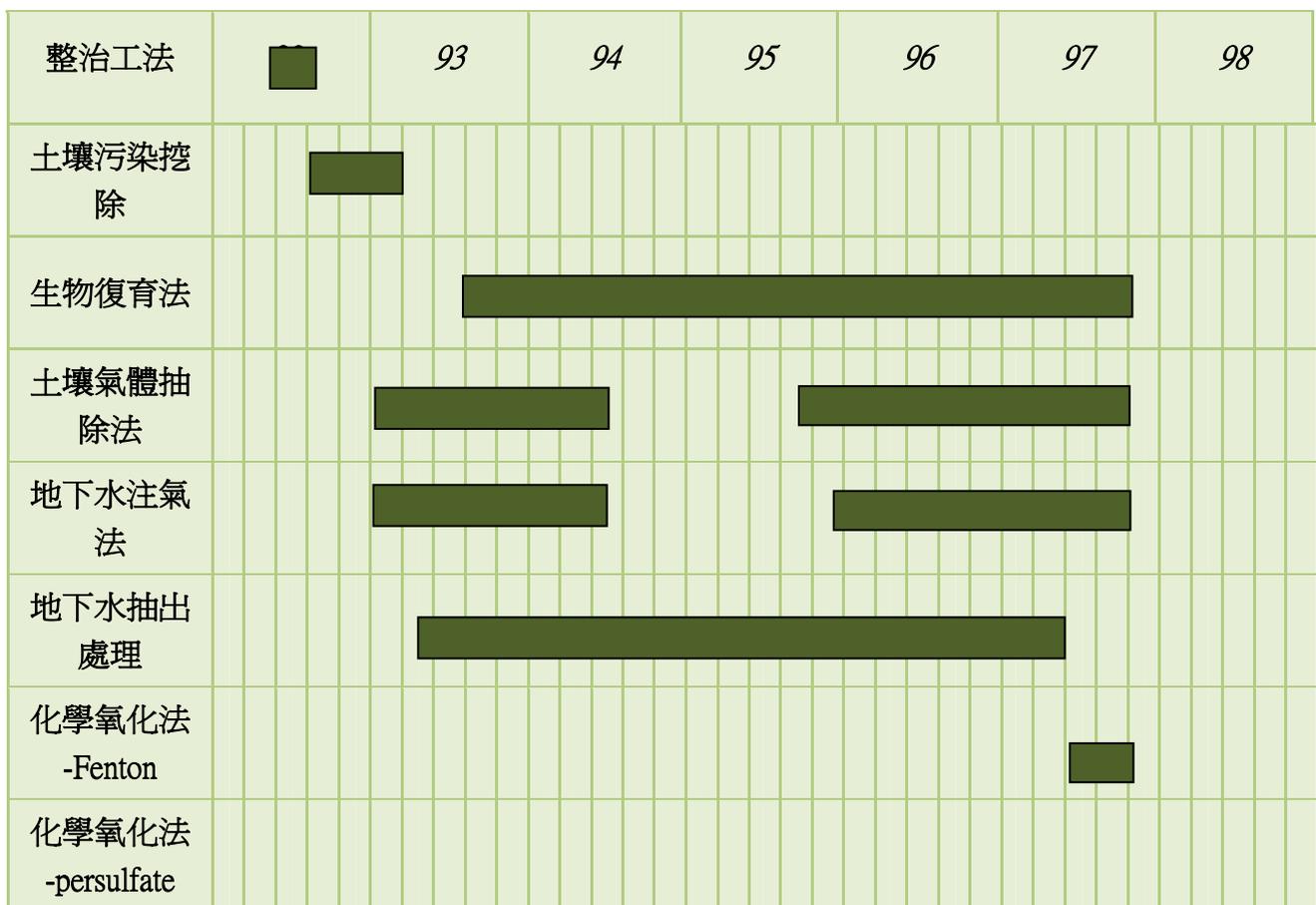


圖 4 A 加油站整治列車階段性操作期程圖

(二)、整治列車改善作業彙整

依據 A 加油站歷次控制計畫書及歷年之進度報告彙整後，將所有包括地下水監測井、土壤氣體監測井、注氣井、化學注藥井佈點之位置配置圖彙整於圖 5 中。



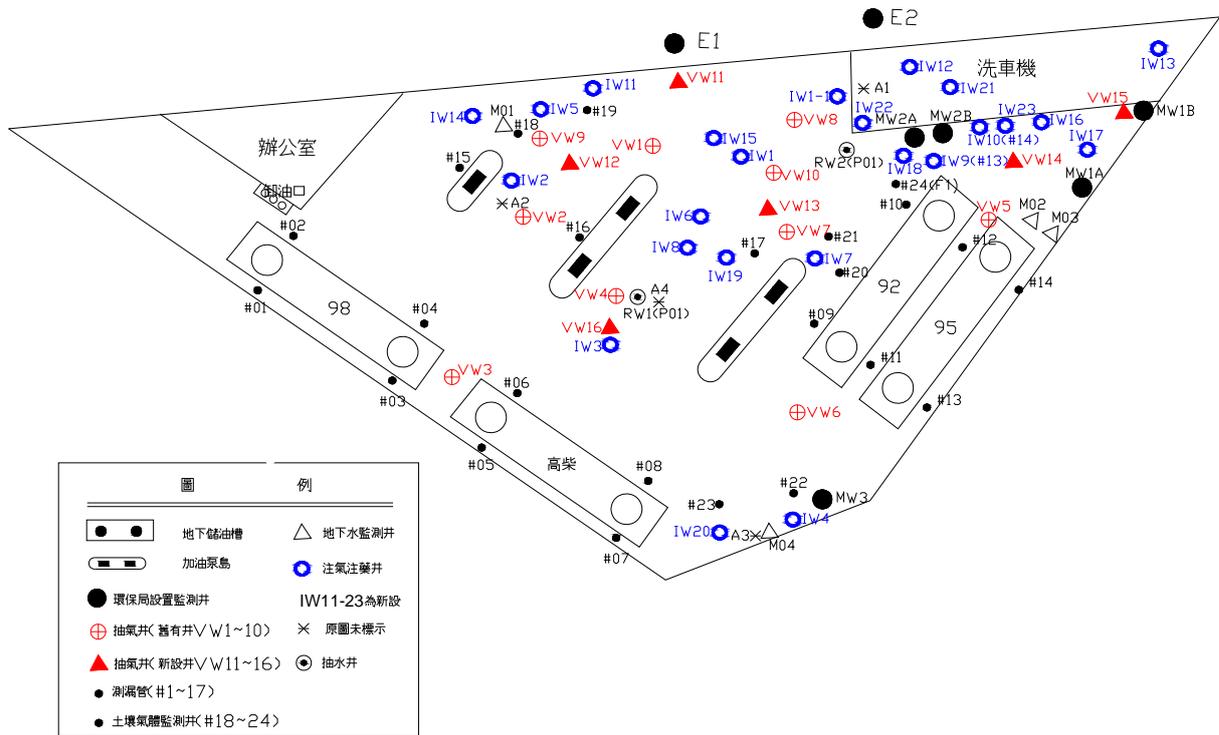


圖5 A加油站歷年土壤及地下水整治點位配置圖

資料來源：A加油站土壤及地下水污染控制場址污染控制計畫修正第二版（修正二稿）【5】

1. 開挖污染土壤離地處埋

該場址總計開挖數量約為A區 317 m³、B區 224 m³、C區 290 m³，共計約 831 m³，土壤挖除範圍如圖6所示。其中約 361 m³進入生物復育場進行復育，其餘土壤則於現地進行回填。現地回填土方量不足，則另行購置約 310 m³之砂、鵝卵石、土壤等以客土完成回填作業。

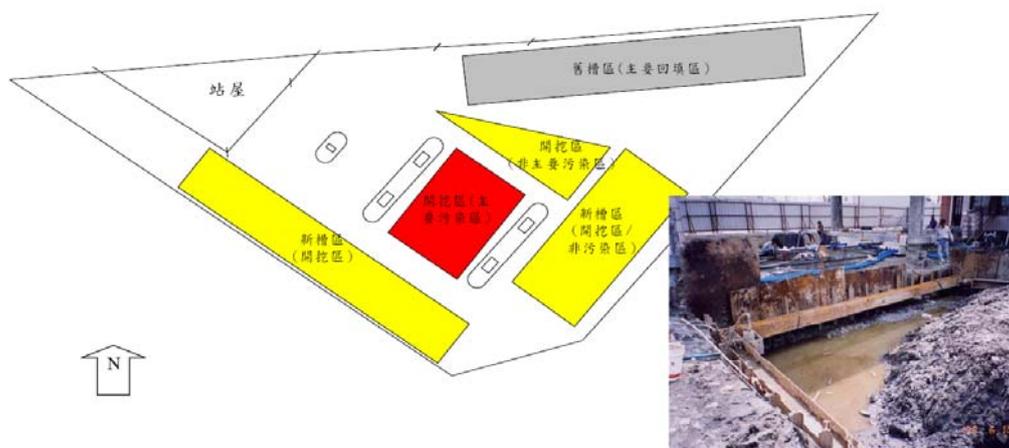


圖6 A加油站高污染土壤挖除區域位置圖

資料來源：A加油站污染控制計畫執行進度報告（92.10.05）【6】



2.生物復育法

經過 92 年 12 月及 93 年 1 月間每週密集洒水與翻堆作業，於 93 年 1 月份污染土壤之檢測數據皆已符合土壤污染管制標準，故於 2 月起即停止翻堆及洒水作業之進行。

3.土壤氣體抽除法

- (1).數量：16 口（垂直井× 14 口，水平井× 2 口）
- (2).井號：VW1~VW16
- (3).累積操作時數：10728 hr(至 98.01.07 為止)

4.地下水注氣法

- (1).數量：23 口
- (2).井號：IW1~IW23
- (3).累積操作時數：9391 hr(至 98.01.07 為止)

5.地下水抽出處理

- (1).數量：2 口
- (2).井號：RW1~RW2
- (3).累積操作水量：207 m³(至 98.01.07 為止)

6.化學注藥法-Fenton:

- (1).數量：23 口
- (2).井號：IW1~IW23(與注氣井共同使用)
- (3).累積注入藥量：116,950 L (至 97.02.13 為止)

(三)土壤污染物濃度變化趨勢

A 加油站由 92 年 3 月第一次污染調查發現，主要土壤污染物集中於加油站內第 1、2 泵島間及第 2 泵島靠近縣道區域，最高土壤採樣點苯濃度為 13.7 mg/kg，超過「土壤污染管制標準」5 mg/kg 的 2.74 倍，其採樣點位配置及調查結果如圖 5 所示。該場址於 92 年 6 月完成場址內土壤開挖移除工程，大部分污染土壤業已移除至生物復育場進行整治工作。根據檢測結果顯示，站內經換土後，土壤中之污染物濃度皆低於土壤污染管制標準值。

(四)地下水污染物濃度變化趨勢

該加油站於民國 92 年 3 月起開始進行整治工作迄 98 年 1 月，每年皆會進行四次例行性地下水採樣，歷年地下水檢測資料如表 2 所示。於 93 年 1 月於點位 VW6 所測得地下水最高苯濃度為 13.6 mg/L 及點位 VW2 測值為 8.82 mg/L，93 年 3 月點位 VW2 最高苯濃度為 9.58 mg/L，顯示最初高濃度污染範圍分佈於第一到第三泵島及洗車機之間，經過二年整治工作之後，94 年 10 月點位 IW6 測得最高苯濃度為 1.39 mg/L，污染濃度已逐漸削減，污染區域漸向場址中央縮減。95 年四次地下水檢測中，點位 MW2B 檢測濃度值仍高於地下水管制標準，於 95.10.23 日該次之檢測結果苯測值最高為 0.811mg/L、IW6 苯測值為 0.612 mg/L，苯濃度已較 94 年度減半，96 年度最高濃度為點位 MW2B，所測得苯濃度為 0.187 mg/L；97 年度最高濃度仍為點位 MW2B，所測得苯濃度為 0.157 mg/L，污染濃度已明顯下降。利用檢測點位 MW2B、IW6、VW2 三口監測井於歷年所採集之地下水苯濃度值，彙整於圖 7。



表2 A加油站94年至96年度歷次地下水監測成果

單位：mg/L

日期 採樣點	94/2/22	94/10/21	95/2/10	95/4/12	95/7/7	95/10/23	96/1/24	96/4/30	96/7/30	96/10/15	97/01/15	97/04/25	97/7/31	97/10/15
	苯	苯	苯	苯	苯	苯	苯	苯	苯	苯	苯	苯	苯	苯
MW2A		ND												
MW2B	0.206	ND	0.326	0.370	0.798	0.811	0.0331	0.187	0.0797	ND	0.00863	0.147	0.157	0.0425
MW1B		ND												
M02		ND												
M01		ND												
VW1		0.00006	0.00161	0.00182		0.434	ND	ND	<0.01			ND	0.0178	ND
IW6		1.39	0.404	0.141	0.0264	0.612	ND	ND	0.0370	ND	ND	0.0563	0.0349	ND
M04		ND												
IW12									0.0417	0.00378	0.0362			
E1		0.00009												
IW2		ND	0.00157	0.00063		0.0380	ND	---		ND	ND	0.00576	0.0042	0.00536
TW		ND												
VW2					0.00019									
VW3					0.00009									
VW4								ND						
VW5								ND						
MDL	0.00003	0.00003	0.00007	0.00007	0.00003	0.001	--	0.00066	0.00066	0.00066	0.00066	0.00003	0.00003	0.00007
管制標準	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050

資料來源：A 加油站控制計畫書修正本暨九十四年度污染改善進度報告【7】



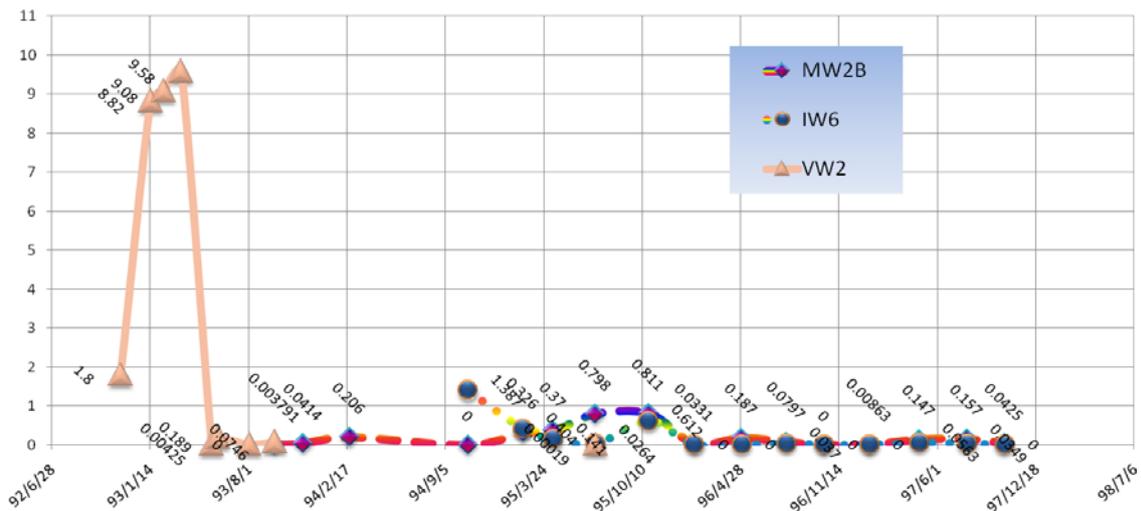


圖 7 A 加油站歷年地下水苯濃度變化趨勢圖

二、 B 加油站場址改善作業成果

(一). 整治列車操作期程

B 加油站整治歷程自民國 92 年 12 月起迄民國 95 年 12 月，歷經 3 年之整治期程，階段性整治工法之設置及操作情形如圖 8 所示。自民國 92 年 12 月 15 日起至民國 98 年 1 月期間，所有整治設備系統如 SVE、AS、P&T、化學氧化-Fenton 法即同步進行處理，隨污染範圍移動再視污染分布區域增設空氣注入井、SVE 井、化學注藥井及地下水抽除井。主要於 92 年 12 月 15 日初設其整治井及整治設備，共設置 3 口標準監測井、2 口空氣注入井、9 口土壤氣體抽氣井、1 口地下水抽除井、5 口化學氧化注入井，主要設置於地下油槽區及加油站第一、二泵島之西南側內。第二次為 95 年 1 月再度增設整治井，分別增設 6 口土壤抽氣井、2 口化學注藥井、3 口抽水井，主要設置於加油站第一、二泵島間。其歷年之改善系統配置圖如圖 9 所示，粗線圍繞區域為第二次增設之污染控制系統。

(二) 整治列車改善作業彙整

依據 B 加油站歷次控制計畫書及歷年進度報告經彙整後，自民國 92 年起至 95 年 7 月間，所有污染控制系統包括地下水抽水井、土壤氣體監測井、注氣井、化學注藥井佈點之數量、設井編號、操作數量等分述如下。控制系統位置配置圖可參閱圖 9。

1. 土壤氣體抽除法

- (1) 土壤氣體抽氣井數量：15 口
- (2) 井號：EW1~EW15
- (3) 累積操作時數：9582 hr(至 95.07 為止)

2. 地下水注氣法

- (1) 數量：2 口注氣井
- (2) 井號：IW1~IW2

3. 地下水抽出處理

- (1) 地下水抽出井數量：4 口



整治工法	
土壤氣體抽除法	
地下水注氣法	
地下水抽出處理	
化學氧化法-Fenton	

圖 8 B 加油站整治列車階段性操作期程圖

資料來源：B 加油站控制計畫成果報告暨下一季污染改善工作進度(95.12 修正稿)【8】

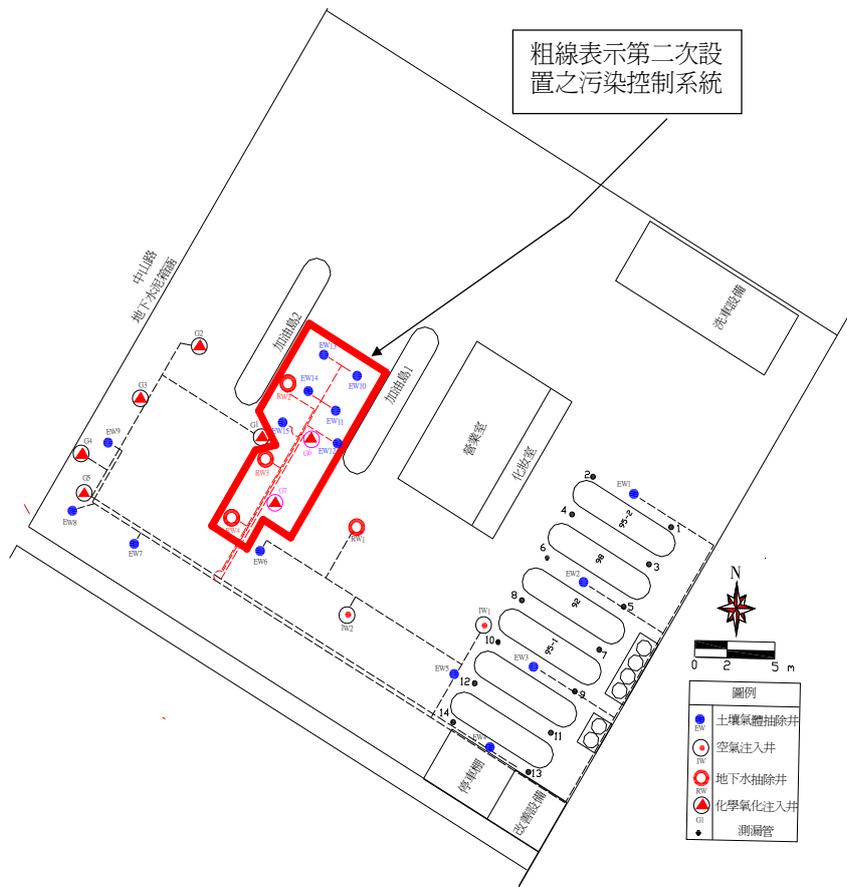


圖 9 B 加油站整治列車階段性污染改善系統配置圖

資料來源：B 加油站控制計畫成果報告暨下一季污染改善工作進度(95.12 修正稿)【8】



(2)井號：RW1~RW4

4.化學注藥法-Fenton:

(1)化學注藥井數量：7口

(2)井號：G1~G7

(三)、土壤污染物濃度變化趨勢

由環保署於 92 年 5 月針對 B 加油站進行第一次污染調查發現，位於第三座地下油槽邊之採樣點 SW1，發現 TPH 濃度為 2910 mg/Kg，超過管制標準濃度值 2.9 倍。自民國 92 年 12 月起開始進行污染控制改善作業，分別於 93 年至 95 年期間，共進行 7 次土壤及地下水採樣，土壤採樣結果如表 3 所示。

初期主要土壤污染物集中於地下油槽區，經由一年土壤污染改善作業後，土壤污染範圍逐漸轉移至兩座泵島西側區域，污染物主要分布於地表下約 3m 處。由歷次土壤採樣點中，以 93.12.13 日點位 SS-11-3 m 發現最高苯濃度值為 58.3 mg/kg，超過「土壤污染管制標準」5 mg/kg 的 11.66 倍，其採樣點位配置如圖 10 所示。94 年至 95 年間所進行之土壤採樣調查，其調查結果顯示，關切污染物苯、甲苯、乙苯、二甲苯及 TPH 均小於土壤管制標準以下。

(四)、地下水污染物濃度變化趨勢

由環保署於 92 年 5 月針對 B 加油站進行第一次地下水污染調查，發現位於油槽區之採樣點位 SW1、SW2、SW3，污染物苯及萘之地下水測值均超過地下水污染管制標準。最高濃度值發現為點位 SW2，其苯測值為 0.814 mg/L，超過地下水管制標準 16.2 倍；萘測值為 1.85 mg/L，超過地下水管制標準 0.4 mg/L 的 4.6 倍。自民國 92 年 12 月起開始進行污染整治作業後，93.03.23 日發現點位 MW-3 之苯測值為 9.96 mg/L，至 93.06.18 日點位 MW-3 苯測值上升為 14.6 mg/L，之後污染濃度則迅速下降，自民國 94 年至 95 年間進行地下水採樣，所測得之檢測結果 BTEX 皆低於管制標準，顯示關切污染物濃度已趨穩定。茲將 MW-3 歷年地下水苯濃度變化趨勢彙整於圖 11。歷年地下水檢測資料如表 4 所示，採樣點位配置標示於圖 10 中。

三、C 加油站場址改善作業成果

(一).整治列車操作期程

C 加油站整治歷程自民國 92 年 10 月起迄民國 97 年 12 月，歷經 5 年之整治期程，階段性整治工法之設置及操作情形如圖 12 所示。

土壤污染改善作業，首先進行污染土壤離地開挖作業，自民國 92 年 10 月 28 日至民國 92 年 10 月 30 日完成，先將污染土壤挖除後，再將污染土壤送進中油之生物復育場，利用微生物生長達到分解有機物之目的。現地利用 SVE 系統，分別設置了水平式及垂直式油氣抽除井，自民國 93 年 3 月起操作至民國 95 年 3 月，強制抽除土壤間隙間之揮發性污染油氣。地下水污染改善作業部分，自民國 92 年 12 月開始運轉浮油回收系統，利用間歇式抽汲方式抽取地下水中之浮油，自民國 93 年 7 月起至民國 93 年 11 月期間，該站暫停抽除浮油系統，自 93 年 11 月繼續操作迄 95 年 3 月。空氣注入系統於民國 93 年 3 月設置，但因配合 C 加油站重建工程而全部拆除，自民國 94 年 3 月重新設置後開始操作，為配合化學氧化作業迄民國 94 年 12 月止暫停運作。地下水化學氧化作業自民國 94 年 12 月 9 日開始操作迄 97 年 12 月。地下水抽除系統自民國 94 年 10 月開始操作 97 年 12 月止。



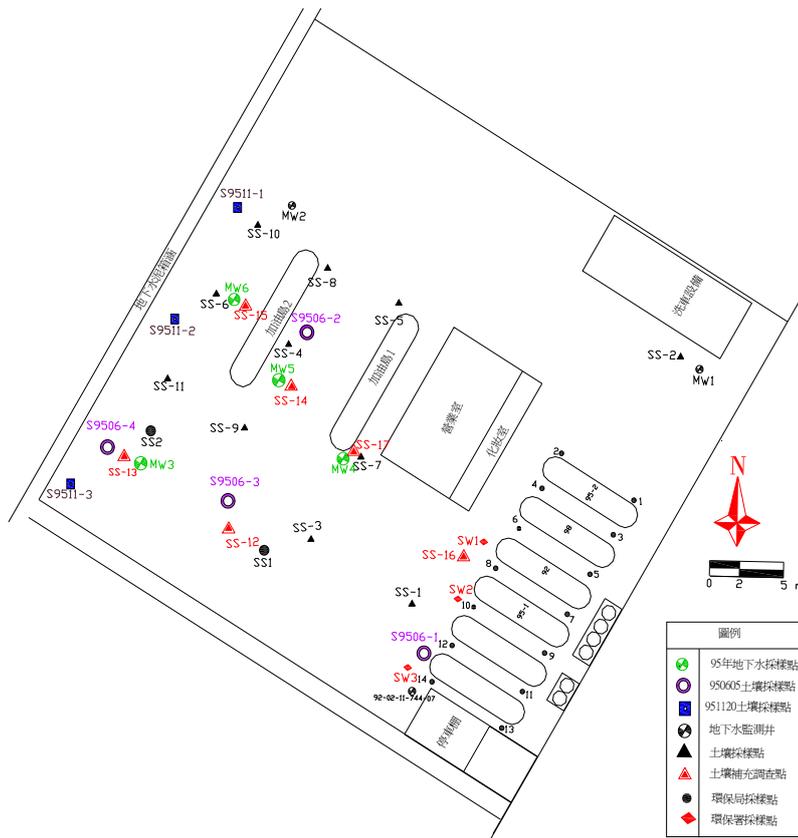


圖 10 B 加油站歷年土壤及地下水採樣配置圖

資料來源：B 加油站控制計畫成果報告暨下一季污染改善工作進度(95.12 修正稿)【8】

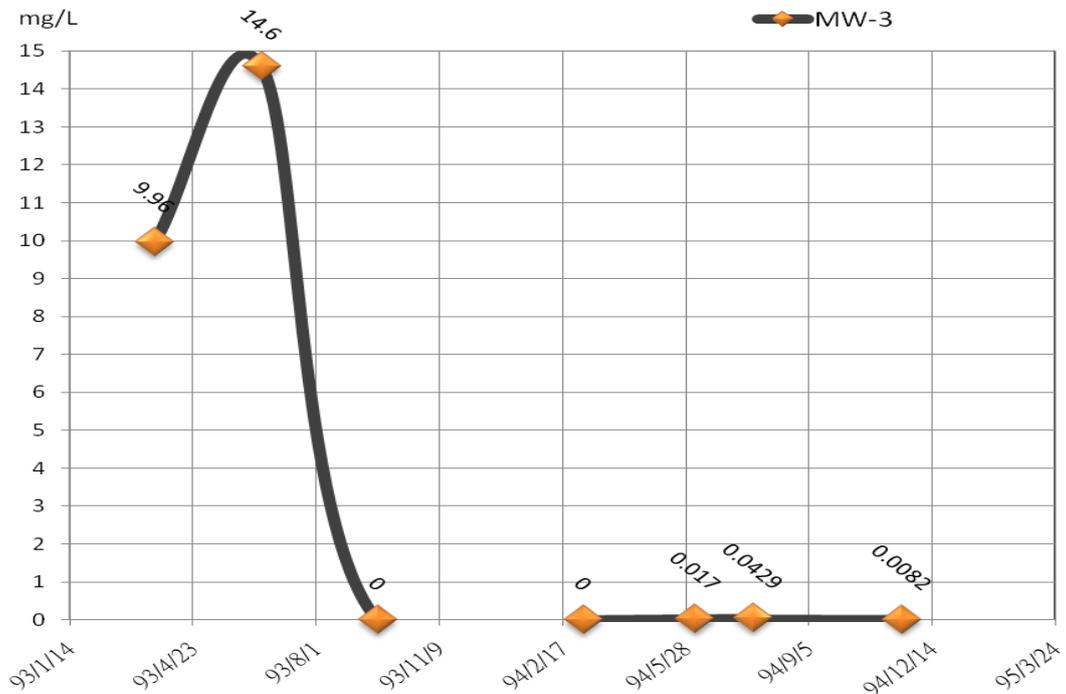


圖 11 B 加油站 MW-3 歷年地下水苯濃度變化趨勢圖



表 3 B 加油站歷次土壤分析結果

採樣日期	分析項目	苯	甲苯	乙苯	間,對-二甲苯	鄰-二甲苯	TPH-g	TPH-d
	單位	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
	土壤污染管制標準	5	500	250	500		1000	
	定量極限	0.20	0.20	0.20	0.40	0.20	5.00	5.00
93.06.18	SS-1-1m	ND	ND	ND	ND	ND	8.50	13.1
93.06.18	SS-1-3m	ND	ND	ND	ND	ND	2.52	518
93.09.20	SS-2-1m	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
93.09.20	SS-2-3m	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
93.10.11	SS-3-1m	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
93.10.11	SS-3-3m	ND	ND	ND	0.555	0.311	ND	ND
93.10.11	SS-4-1m	ND	3.12	3.66	16.5	9.73	ND	ND
93.10.11	SS-5-1m	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
93.10.11	SS-5-3m	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
93.10.11	SS-6-1m	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
93.10.11	SS-6-3m	ND	16.0	62.5	126	66.9	ND	ND
93.12.13	SS-7-1.2m	ND	205	137	440	230	4940	—
93.12.13	SS-7-3m	0.485	3.06	2.35	6.24	3.56	241	—
93.12.13	SS-8-1.2m	ND	ND	ND	ND	ND	ND	—
93.12.13	SS-8-3m	ND	ND	ND	ND	ND	ND	—
93.12.13	SS-9-1.2m	ND	19.3	16.4	53.3	26.7	116	—
93.12.13	SS-9-3m	ND	ND	ND	ND	ND	ND	—
93.12.13	SS-10-1.2m	ND	ND	ND	ND	ND	ND	—
93.12.13	SS-10-3m	ND	ND	ND	ND	ND	ND	—
93.12.13	SS-11-1.2m	ND	ND	ND	ND	ND	ND	—
93.12.13	SS-11-3m	58.3	605	264	531	327	7050	—
94.07.04	SS-12-4m	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
94.07.04	SS-13-3m	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1710
94.07.04	SS-14-5m	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
94.07.04	SS-15-3m	ND	ND	ND	ND	ND	ND	141
94.07.04	SS-16-3m	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
94.07.04	SS-17-3m	ND	ND	ND	0.359	0.303	ND	ND
95.06.05	S9506-1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
95.06.05	S9506-2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
95.06.05	S9506-3	ND	ND	0.235	ND	ND	ND	ND
95.06.05	S9506-4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
95.11.20	S9511-1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
95.11.20	S9511-2	0.381	ND	11.6	0.744	0.321	ND	ND
95.11.20	S9511-3	ND	ND	0.235	ND	ND	ND	ND

資料來源：B 加油站控制計畫成果報告暨下一季污染改善工作進度 (95.12)【8】



表 4 B 加油站歷次地下水分析結果

採樣日期	分析項目	苯	甲苯	乙苯	間,對-二甲苯	鄰-二甲苯	萘
	單位	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	地下水污染管制標準	0.05	10	—	—		0.4
	QL	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001
93.03.23	MW-1	ND	ND	ND	ND	ND	--
	MW-2	0.0062	ND	ND	ND	ND	--
	MW-3	9.96	5.75	1.20	2.24	1.63	--
93.06.18	MW-1	ND	ND	ND	ND	ND	--
	MW-2	ND	ND	ND	ND	ND	--
	MW-3	14.6	10.0	2.59	4.85	3.27	--
93.09.20	MW-1	ND	ND	ND	ND	ND	--
	MW-2	ND	ND	ND	ND	ND	--
	MW-3	ND	ND	ND	ND	ND	--
94.07.22	MW-1	ND	ND	ND	ND	ND	--
	MW-2	ND	ND	ND	ND	ND	--
	MW-3	0.0429	0.0202	0.110	0.0139	0.127	--
	MW-4	ND	ND	ND	ND	0.0010	--
	MW-5	0.0057	0.240	0.428	1.36	1.16	--
	MW-6	ND	ND	ND	ND	ND	--
95.03.06	MW-3	ND	ND	0.027	ND	ND	0.0042
	MW-4	ND	0.0023	ND	ND	0.0010	ND
	MW-5	ND	ND	ND	ND	ND	0.0041
	MW-6	ND	ND	ND	ND	ND	ND
95.06.05	MW-3	0.017	ND	0.042	ND	ND	0.0032
	MW-4	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	MW-5	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	MW-6	ND	ND	ND	ND	ND	ND
95.11.20	MW-3	0.0082	ND	ND	ND	0.0020	0.0056
	MW-4	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	MW-5	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	MW-6	ND	ND	ND	ND	ND	ND

註 1：低於定量下限之測值以“ND”表示，並註明其定量下限(QL)及單位。

資料來源：B 加油站控制計畫成果報告暨下一季污染改善工作進度 (95.12)【8】



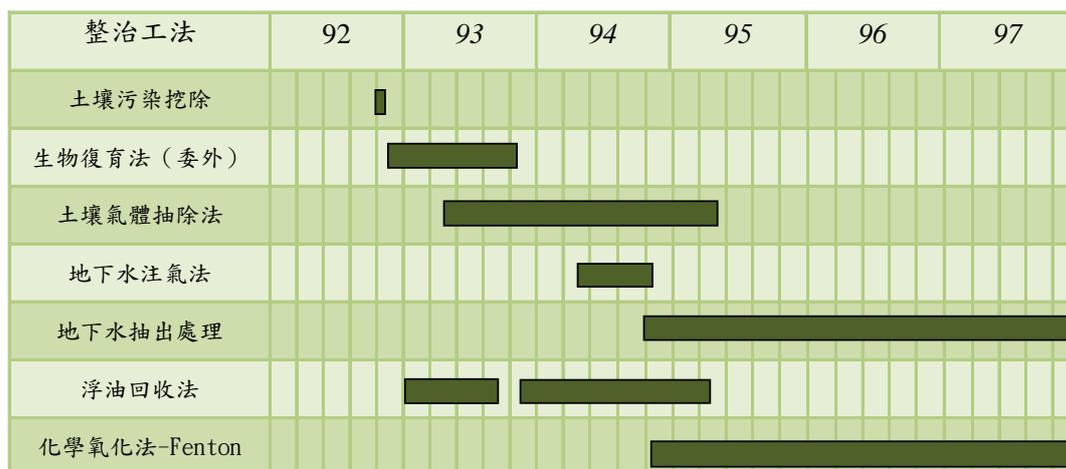


圖 12 C 加油站整治列車階段性操作期程圖

資料來源：C 加油站土壤及地下水污染場址健康風險評估報告修正稿(95.12)【9】

(二) 整治列車改善作業彙整

依據 C 加油站歷次控制計畫書及歷年之進度報告彙整後，將所有包括浮油回收井、地下水抽汲井、監測井、油氣抽除井、空氣注入井、化學注藥井之位置配置圖彙整於圖 13 所示。

1. 開挖污染土壤離地處理

土壤挖除作業於民國 92 年 10 月 28~30 日完成，總共開挖清運土方共 364 m³ 送往中油公司豐德油庫之土壤生物復育場處理中。土壤挖除相關資料如下所述：

- (1) 開挖深度：地表下約 4 m 處
- (2) 開挖面積：約 15 m × 8 m
- (3) 清運卡車：7 m³/車
- (4) 總清運車數：45 車次
- (5) 共清運土壤數量：364 m³
- (6) 污染土壤處理廠：中油豐德油庫

2. 土耕復育法

C 加油站於民國 92 年 10 月將污染土壤挖除並送至中油公司豐德油庫之土壤生物復育場處理，復育後之土壤將於現場回收處理，作為油庫內植栽用土，不再委外清運處置。

3. 土壤氣體抽除法

- (1) 土壤氣體抽氣井數量：垂直井 6 口、水平井 3 口
- (2) 井號：垂直井 EW1~EW6
- (3) 累積操作時數：6211 hr

4. 浮油回收法

- (1) 浮油回收井：9 口
- (2) 井號：RW1~RW9
- (3) 累積抽除數量：1001 公升油水混合液

5. 地下水注氣法

- (1) 數量：7 口注氣井
- (2) 井號：IW1~IW7



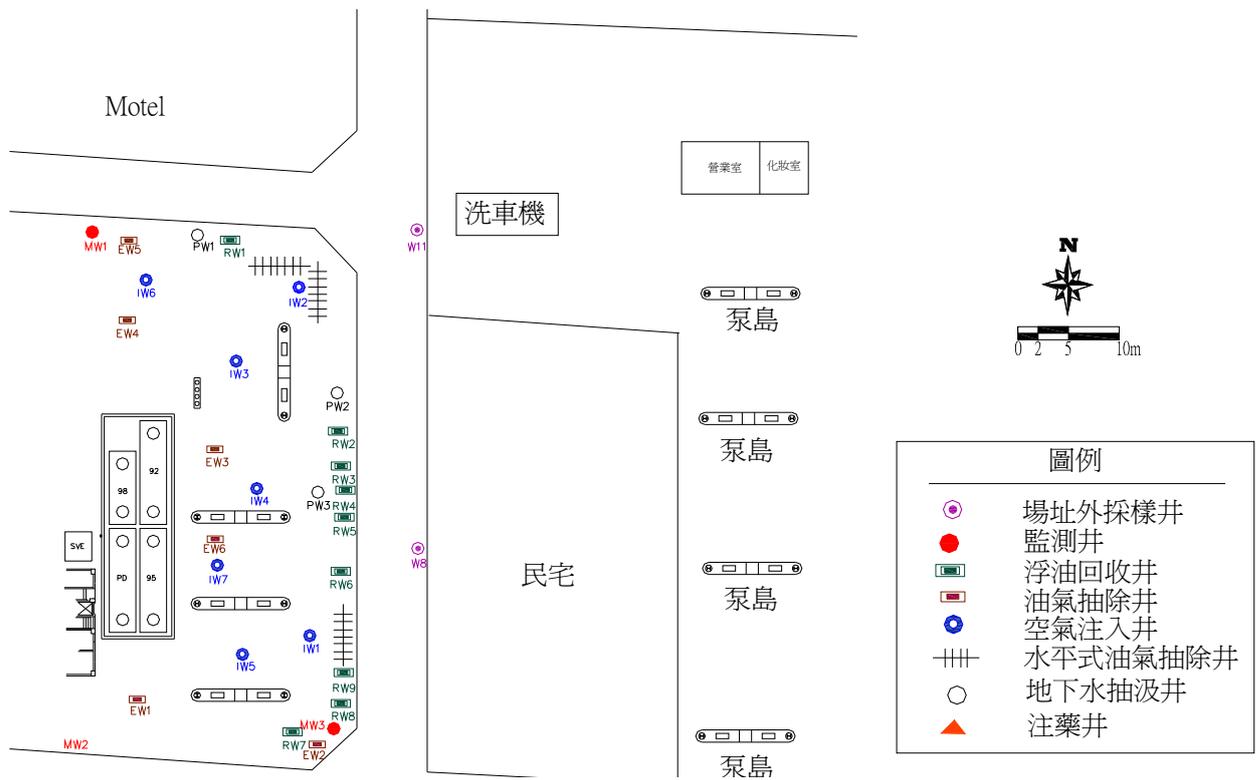


圖 13 C 加油站歷年土壤及地下水整治點位配置圖

資料來源：C 加油站場址污染控制計畫改善進度報告（94 年 12 月）【10】

(3)累積操作時數：9538 hr

6.地下水抽出處理

(1)地下水抽出井數量：3 口

(2)井號：PW1~PW3

(3)累積抽汲水量：960 m³

7.化學注藥法-Fenton:

(1)注藥井位：IW1~IW7、EW1~EW6、RW1~RW9

(2)累積注藥量：約 304,300 L

(三)、土壤污染物濃度變化趨勢

根據 C 加油站污染控制計畫書中指出，於民國 92 年土壤採樣調查結果，其最高土壤苯濃度值為點位 S19-2.8 m 處，濃度為 271 mg/kg，超過管制標準之 54.2 倍；其次為點位 S12-2.8 m 處，苯濃度值為 85.7 mg/Kg，超過管制標準之 17.1 倍。初期主要土壤污染物分布於加油站內最南區及最北區。經由三年土壤污染改善作業後，於民國 95 年 9 月所測得之採樣結果如表 5 所示，其採樣位置如圖 14。發現 S02 之苯測值為 60.2 mg/Kg，數值仍超過土壤管制標準之 12.1 倍，TPH 為 3600 mg/Kg 超過土壤管制標準之 3.6 倍。該次土壤調查結果顯示污染濃度並未明顯下降，且土壤污染範圍已向外圍擴散。



表 5 C 加油站 95 年 9 月土壤調查結果

日期	檢測項目	定量極限	採樣點編號與檢測數據 (mg/Kg)			管制標準 (mg/Kg)
			S01	S02	S03	
95/9	苯	0.100	1.34	60.7	<0.100	5
	甲苯	0.100	19.9	432	<0.100	500
	乙苯	0.100	15.2	119	0.502	250
	間,對-二甲苯	0.200	47.1	337	0.355	500
	鄰-二甲苯	0.100	22.0	162	<0.100	
	總石油碳氫化合物 (C6~C9)	10.0	590	3600	<10.0	1000
	總石油碳氫化合物 (C10~C40)	50.0	77.7	179	<50.0	

資料來源：C 加油站土壤及地下水污染場址健康風險評估報告 (95.12) 【9】

(四)、地下水污染物濃度變化趨勢

C 加油站於 91 年 11 月所進行第一次地下水污染調查結果顯示，以點位 W9 之苯測值為 30.3 mg/L、甲苯為 50.0 mg/L、TPH 為 154 mg/L 及點位 W13 苯為 21.7 mg/kg、編號 W8 之 TPH 數值為 168 mg/L 最高。地下水採樣調查檢測數據顯示場址與周圍區域之地下水含有相當濃度之油品類物質，苯及甲苯濃度普遍超過管制標準。自改善作業開始進行，將加油站內污染土壤開挖移除至中油豐德油庫後，地下水則於每三個月定期進行水質監測採樣，將 92 年 12 月至民國 95 年 9 月之地下水周場址周界及外圍地下水採樣檢測數據彙整於表 6。從場址周界附近之檢測數據顯示地下水污染物苯濃度較高區域分佈在井位 W8、W11 附近，在抽取浮油的過程中，苯的數值呈現高低起伏狀態，約在 23.6 mg/L ~ 41.8 mg/L 之間，井號 W8 曾在 94 年 12 月出現苯最高值 41.8 mg/L，在本次採樣的地下水檢測結果數值降至 17.4 mg/L；井號 W11 曾在 93 年 12 月出現苯最高值 32.3 mg/L，目前附近之井號 TW3 已降為 17.6 mg/L。

從場址外圍之地下水檢測數值顯示，採樣點 TW1 ~ TW4 於 93 年 12 月時，苯之數值皆超過地下水管制標準；至 94 年 3 月僅剩 TW3 數值仍高過標準值。苯之最高數值出現 94 年 12 月井號 TW3 為 84.4 mg/L、甲苯為 94.4 mg/L。歷年地下水點位 MW3、MW1、W11、TW3 苯濃度變化趨勢圖如圖 15 所示。

四、 整治成效綜合評比

綜合 A、B、C 三處加油站場址污染情形，以及運用不同階段性之整治列車改善方法，可以發現三處加油站中 A 加油站與 C 加油站，於第一階段所規劃之整治方法大多為土壤挖除法，主要先將高污染土壤挖除，因關切污染物為揮發性有機物，可避免污染源繼續擴散，並且將離場土壤利用生物復育方式處理污染土壤。現地殘存之污染有機物，A、B、C 三處加油站則皆運用 SVE 系統進行抽除揮發性



有機物，將土壤縫隙間之污染物強制抽除。第一階段地下水復育方法，A、B 加油站則皆規劃 AS 系統、P&T 系統及化學氧化-Fenton 處理地下水中污染物。

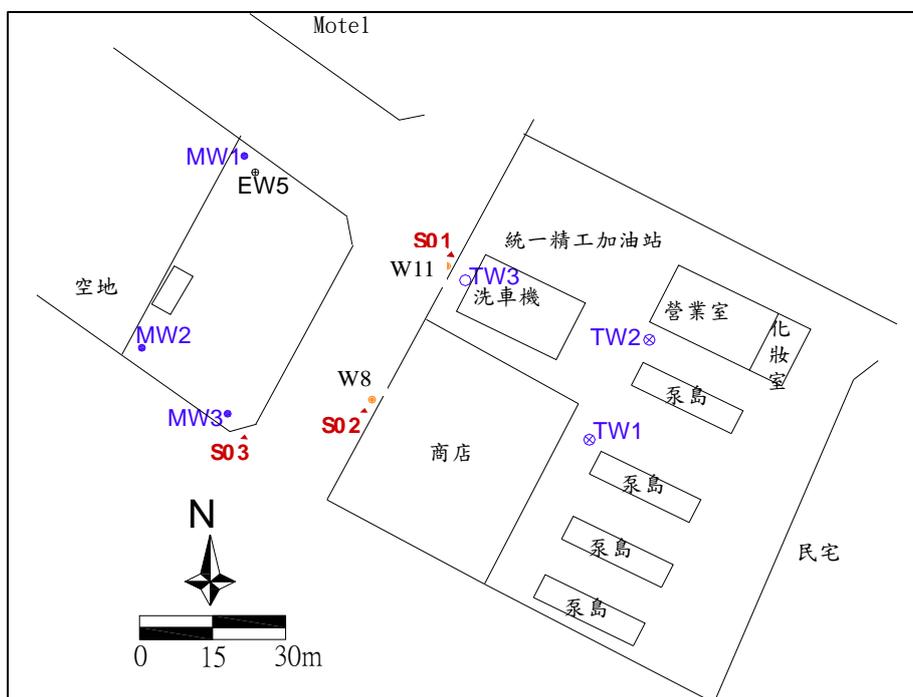


圖 14 C 加油站 95 年土壤及地下水調查點位配置圖

資料來源：C 加油站場址污染控制計畫改善進度報告 (94 年 12 月)【10】

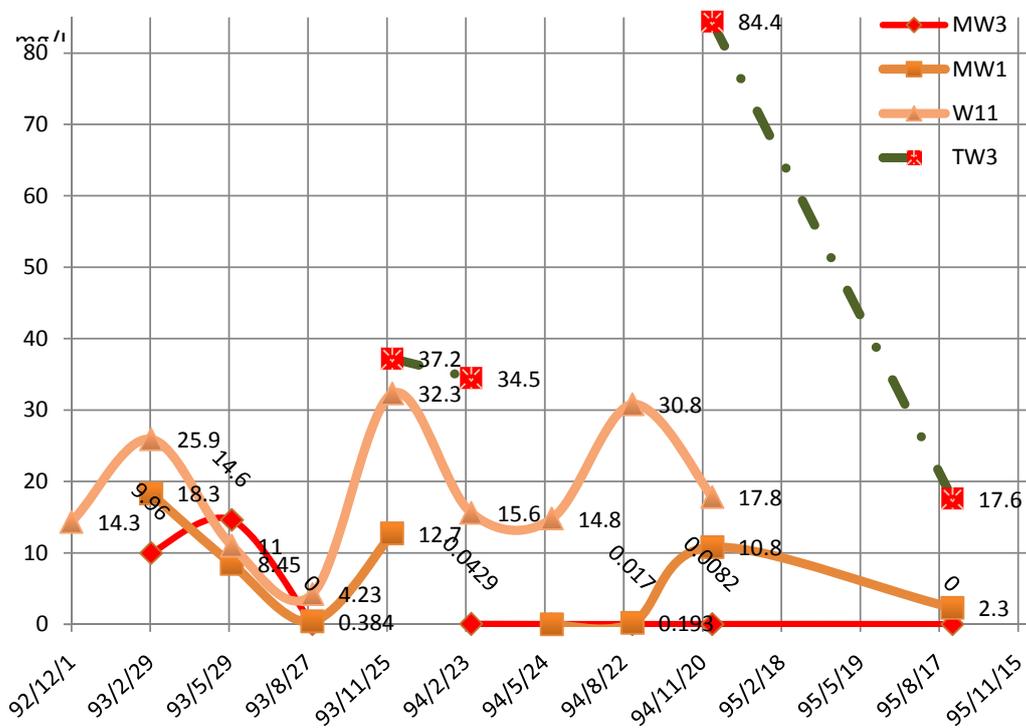


圖 15 C 加油站歷年地下水苯濃度變化趨勢圖



表 6 C 加油站歷次地下水水質監測結果彙整

日期	檢測項目	採樣點編號與檢測數據(mg/L)							管制標準 (mg/L)
		W8	W11	EW5	MW1	MW2	MW3	TW3	
92/12	苯	8.06	14.3	--	--	--	--	--	0.05
	甲苯	5.28	53.0	--	--	--	--	--	10
	乙苯	2.43	1.10	--	--	--	--	--	--
	二甲苯	10.2	5.11	--	--	--	--	--	--
93/3	苯	--	25.9	--	18.3	0.00111	4.48	37.2	0.05
	甲苯	--	39.6	--	13.1	0.0472	8.25	36.8	10
	乙苯	--	4.22	--	0.960	0.281	1.12	4.62	--
	二甲苯	--	17.2	--	5.15	0.984	3.16	22.1	--
93/6	苯	--	11.0	--	8.45	0.00010	0.241	--	0.05
	甲苯	--	19.2	--	4.88	0.00589	0.439	--	10
	乙苯	--	1.11	--	1.14	0.0163	0.263	--	--
	二甲苯	--	4.33	--	3.23	0.434	0.449	--	--
93/9	苯	--	4.23	--	0.384	0.0159	0.281	--	0.05
	甲苯	--	6.46	--	1.97	0.0147	0.888	--	10
	乙苯	--	0.0075	--	0.140	0.0168	0.157	--	--
	二甲苯	--	0.0375	--	0.613	0.0457	0.0457	--	--
93/12	苯	23.9	32.3	--	12.7	<0.0200	0.52	--	0.05
	甲苯	42.2	42.6	--	8.38	<0.0200	4.56	--	10
	乙苯	5.14	4.50	--	2.61	0.20	1.71	--	--
	二甲苯	22.1	18.76	--	7.86	0.59	3.69	--	--
94/3	苯	25.5	15.6	7.02	--	<0.0200	<0.0200	34.5	0.05
	甲苯	38.8	35.8	3.67	--	<0.0200	0.90	29.2	10
	乙苯	4.84	6.54	1.96	--	<0.0200	0.90	6.76	--
	二甲苯	22.47	28.6	9.45	--	<0.0600	3.664	31.2	--
94/6	苯	23.6	14.8	--	<0.0200	<0.0200	0.03	--	0.05
	甲苯	29.3	22.8	--	<0.0200	<0.0200	1.77	--	10
	乙苯	1.86	1.11	--	<0.0200	<0.0200	0.80	--	--
	二甲苯	14.22	9.56	--	0.0362	<0.0600	0.86	--	--
94/9	苯	32.8	30.8	--	0.193	<0.0200	0.43	--	0.05
	甲苯	51.4	63.4	--	1.37	<0.0200	9.77	--	10
	乙苯	4.72	7.15	--	0.547	<0.0200	2.29	--	--
	二甲苯	24.77	39	--	2.52	<0.0600	9.13	--	--
94/12	苯	41.1	17.8	--	10.8	<0.0200	0.31	84.4	0.05
	甲苯	67.0	102	--	14.2	<0.0200	1.38	94.4	10
	乙苯	1.38	2.16	--	1.25	<0.0200	1.29	2.45	--
	二甲苯	9.89	14.6	--	6.53	<0.0600	2.09	14.18	--
95/9	苯	17.4	--	--	2.30	<0.00063	<0.0200	17.6	0.05
	甲苯	19.0	--	--	0.679	<0.00092	0.484	25.8	10
	乙苯	1.58	--	--	0.125	<0.00064	0.148	2.04	--
	二甲苯	12.98	--	--	1.064	<0.00187	1.07	11.05	--



主要利用 P&T 系統先將高濃度污染地下水抽除至地表加以處理再排放，並運用 AS 系統將含水層中油品激發至未飽和層再由 SVE 抽除外，並可增加水中含氧，加速生物分解速率，輔以化學氧化-Fenton 法加強分解污染物。C 加油站所規劃方法則僅以浮油回收法處理高污染濃度地下水，將地下水中之浮油抽除。第二階段整治列車中，三處加油站皆以 SVE 系統處理土壤污染，地下水污染改善作業操作中，B、C 加油站則使用 AS 系統、P&T 系統及化學氧化-Fenton 法，僅 A 加油站未使用 AS 系統、P&T 系統，單純使用化學氧化-Fenton 法。第三階段之整治列車，於土壤改善作業中，A、B 加油站持續以 SVE 系統處理土壤污染，僅 C 加油站停止運作未使用 SVE 系統。地下水改善作業，A、B 加油站皆使用 AS 系統、P&T 系統及化學氧化-Fenton 法，但 A 加油站則增加了化學氧化-persulfate 法加強處理地下水污染。C 加油站於該階段同樣使用 AS 系統及化學氧化-Fenton 法，但停止 P&T 系統進行抽水。

於 SVE 系統設置上，A 加油站共設置了 2 口水平井及 14 口垂直井，設置數量最多。累積操作時數共為 10728 hr，累積操作時數為最多；B 加油站設置了 15 口垂直井，累積操作時數共為 9582 hr，累積操作時數次之；C 加油站設置了 3 口水平井及 6 口垂直井，設置數量最少。累積操作時數共為 6211 hr，累積操作時數則最少。AS 系統設置上，A 加油站共設置了 23 口空氣注入井，設置數量最多；B 加油站設置了 15 口垂直井；C 加油站設置了 3 口水平井及 6 口垂直井，設置數量最少。P&T 系統設置上，A 加油站共設置了 2 口抽水井，設置數量最少；B 加油站設置了 4 口收水井，設置數量為最多；C 加油站設置了 3 口抽水井，設置數量次之，但抽水量為 960 m³ 為最多。化學注藥-Fenton 法累積注藥量，A 加油站注入藥量為 116,950 L，C 加油站注入藥量為 304,300 L，約為 A 加油站注入藥量之三倍。

A 加油站經由 6 年之整治期程，土壤濃度由苯起使濃度 13.7 mg/Kg 降至 ND 值，地下水苯濃度亦由 13.6 mg/L 降為 0.0425 mg/L，符合管制標準濃度，濃度約降了 272 倍，整治成效相當明顯。

B 加油站經由 4 年之整治期程，土壤 TPH 濃度由起使濃度 2910 mg/Kg 降至 ND 值，地下水濃度由 9.96 mg/L 降為 ND 值，符合管制標準濃度。地下水濃度約降 199 倍。整治期程最短，所花費金額最少，整治成效相當可觀。

C 加油站經由 6 年之整治期程，土壤濃度由苯起使濃度 271 mg/Kg 降至 60.2 mg/Kg，地下水苯濃度由 30.3 mg/L 降為 17.4 mg/L，既使土壤濃度降約 54 倍，地下水濃度約降 258 倍，但仍未符合管制標準，整治成效不彰。

茲將三處加油站整治列車改善作業之場址特性、污染物起始濃度及整治後最終濃度，以及分別運用工法及各個系統操作數量，分別比較於表 7 中。

表 7 A、B、C 加油站整治列車改善作業及成效分析比較

作業及成效	A 加油站	B 加油站	C 加油站
場址位置	台南縣北部	台南縣中部	台南縣南部
整治期程	6 年	4 年	6 年
土壤質地	坊砂	坊砂	坊砂
土壤最高起始濃度	苯:13.7 mg/Kg	TPH:2910 mg/Kg	苯:271 mg/Kg
整治後土壤最高濃度	苯: ND	TPH: ND	苯:60.2 mg/Kg



地下水最高起始濃度		苯:13.6 mg/L	苯:9.96 mg/L	苯:30.3 mg/L
整治後地下水最高濃度		苯:0.0425 mg/L	苯:ND	苯:17.4 mg/L
整治列車 -第一階段工法	土壤復育	(1) 土壤挖除 (2) 生物復育 (3) SVE	(1) SVE	(1) 土壤挖除 (2) 生物復育 (3) SVE
	地下水復育	(1) P&T (2) AS (3) 化學氧化 -Fenton	(1) AS (2) P&T (3) 化學氧化 -Fenton	(1) 浮油回收
整治列車 -第二階段工法	土壤復育	(1) SVE	(1) SVE	(1) SVE
	地下水復育	(1) 化學氧化 -Fenton	(1) AS (2) P&T (3) 化學氧化 -Fenton	(1) 浮油回收 (2) AS (3) P&T (4) 化學氧化 -Fenton
整治列車 -第三階段工法	土壤復育	(1) SVE	(1) SVE	---
	地下水復育	(1) P&T (2) AS (3) 化學氧化 -Fenton (4) 化學氧化 -persulfate	(1) AS (2) P&T (3) 化學氧化 -Fenton	(1) AS (2) 化學氧化 -Fenton
SVE 井	水平井數量	2	--	3
	垂直井數量	14	15	6
	累積操作時數	10728 hr	9582 hr	6211 hr
AS 井	數量	23	2	7
	累積操作量	9391 hr	--	9538 hr
P&T 井	數量	2	4	3
	累積抽汲量	207 m ³	--	960 m ³
化學氧化累積 注入藥量	Fenton	116,950 L	--	304,300 L
	Persulfate	10000 L	--	--
浮油回收井數量(口)		--	--	9
土壤挖除數量		361 m ³	--	364 m ³



肆、結論與建議

本研究針對國內加油站污染場址，篩選出具相同地質特性及相同污染物因子，透過資料蒐集及實地訪視，針對不同整治列車串聯式工法加以研析，以達到整治最佳化之設計，俾利未來 LNAPL 污染場址整治規劃時之參考依據。經由本研究分析，獲致結論與建議如下：

1. 加油站場址地質若為透水性不佳之土壤，整治列車串聯式土壤改善處理第一階段，可運用土壤挖除法，將高污染濃度之土壤先行挖除後，再進行離地生物復育處理，並以 SVE 系統改善殘存於現地之高污染土壤。第二階段至第三階段，應維持第一階段之 SVE 系統持續操作，強制抽除中污染濃度土壤之揮發性有機物。
2. 加油站場址地質若為透氣性不佳之土壤，整治列車串聯式地下水改善處理第一階段，則先運用 P&T 系統將高污染濃度地下水先行抽除，並運用 AS 系統將含水層中油品激發至未飽和層再由 SVE 抽除外，更可增加水中含氧，加速生物分解速率。再輔以化學氧化-Fenton 法加強分解污染物。地下水中若有浮油，亦可增設浮油回收系統。第二階段，可持續第一階段 P&T 系統抽除地下水，並運用 AS 系統，但須配合 SVE 系統抽除，避免污染物難以控制，反造成污染物向外圍擴散。再輔以化學氧化-Fenton 法，加強分解污染物。第三階段，視地下水污染濃度加以適時修正。若污染濃度仍未低於地下水管制標準，可增設化學氧化-persulfate 法，可延長氧化物之反應速率，擴大處理面積。
3. 若加油站場址 SVE 抽氣井設置量不足呈低密度分布時，並採密集性抽汲方式，僅能抽除局部之揮發性有機污染物。無法增加足量容氧，達到加速生物分解油品污染物質之功能。應設置分布密度較高之抽氣井，並採間歇性抽汲方式，方可達到最佳整治成效。

參考文獻

- [1] 經濟部能源局，2009，油價資訊管理與分析系統，<http://www.moeaboe.gov.tw/oil102/>
- [2] 行政院環保署，2009，土壤及地下水污染整治網，<http://sgw.epa.gov.tw/public/0401.asp>
- [3] 經濟部工業局，2007，『石油碳氫化合物』，土壤及地下水汙染預防與整治技術手冊：111
- [4] 行政院環保署，2009，土壤及地下水污染整治網，<http://sgw.epa.gov.tw/public/0502.asp>
- [5] 台南縣環境保護局，2006，A加油站土壤及地下水污染控制場址污染控制計畫修正第二版（修正二稿）
- [6] 台南縣環境保護局，2007，A加油站污染控制計畫執行進度報告（92.10.05）
- [7] 台南縣環境保護局，2006，A加油站控制計畫書修正本暨九十四年度污染改善進度報告



- [8] 台南縣環境保護局，2007，B加油站控制計畫成果報告暨下一季污染改善工作進度(95.12)
- [9] 台南縣環境保護局，2006，C加油站土壤及地下水污染場址健康風險評估報告修正稿(95.12)
- [10] 台南縣環境保護局，2006，C加油站場址污染控制計畫改善進度報告(94年12月)

