

國立交通大學

土木工程系

碩士論文



加油站柴油洩漏與抽取模擬
Simulation of Leakage and Pumping of Diesel Fuel
at Filling Stations

研究生：吳志清

指導教授：單信瑜 博士

中華民國一百零二年七月

加油站柴油洩漏與抽取模擬

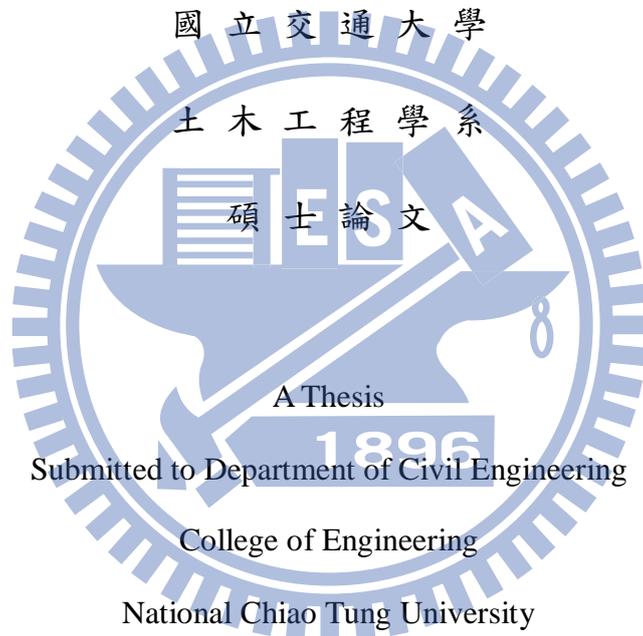
Simulation of Leakage and Pumping of Diesel Fuel
at Filling Stations

研究生：吳志清

Student : Chih-Ching Wu

指導教授：單信瑜 博士

Advisor : Dr.Hsin-yu Shan



in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

In

Civil Engineering

July 2013

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國一零二年七月

加油站柴油滲漏與抽取模擬

研究生：吳志清

指導教授：單信瑜 博士

國立交通大學土木工程學系

摘要

國內自開放民營加油站設立後，加油站的數量大量增加。近年來土壤與地下水污染的控制與整治場址中，加油站所佔的比例亦逐漸提升。柴油相對於汽油而言，其揮發性較低，可能導致其滲漏監測較汽油困難。因此，國內柴油污染場址的污染量與程度均較汽油污染嚴重的現象。在國內絕大多數加油站僅利用測漏管進行土壤氣體監測以評估油品滲漏的監測效果，但仍是難以即時掌握油品滲漏的發生時機與污染程度。此外，在油品的污染傳輸與整治模擬方面，也因柴油的餾分較廣且成分複雜，使得在油品污染相關的數值模擬幾乎都以汽油的滲漏與整治為主。本研究將以柴油在加油站地下油槽洩漏為研究對象，利用 TMVOC 針對多成分柴油精確地模擬柴油滲漏與抽取狀況，以土壤氣體與地下水中柴油與其成分之濃度來評估監測有效性。由模擬結果顯示出柴油滲漏點位於非飽和區時，氣體監測會優於以地下水監測井監測地下水體；當滲漏點位於地下水面下，氣體監測和地下水體監測均難以偵測到柴油污染。土壤氣體及水中濃度監測效果方面，高滲透係數會比低滲透係數佳，地下水位越深其監測效果越差。抽取應用於柴油整治，在高滲透係數及孔隙率會有較高移除率。在相較同樣的汽油污染情況下，監測井設置在距離洩漏點 3 m 範圍內，可偵測到一定程度之柴油或汽油油氣濃度變化。但汽油揮發性高，其監測井之氣體監測會比柴油較早達到氣體濃度標準，而汽油洩漏至一年時之油氣濃度幾乎為柴油油氣濃度的數十倍。在地下水含苯濃度監測方面，汽油也明顯比柴油優越許多。

關鍵字：柴油，加油站，滲漏，抽取，模擬，TMVOC。

Simulation of Leakage and Pumping of Diesel Fuel at Filling Station

By

Student : Chih-Ching Wu

Advisor : Dr.Hsin-yu Shan

Department of Civil Engineering
National Chiao Tung University

Abstract

The number of filling stations in Taiwan increased dramatically after the government lifted the ban on private ownership. However, the filling stations account for a large proportion of the soil and groundwater pollution sites. Most filling stations in Taiwan use soil vapor monitoring to monitor leakage of underground storage tanks and pipelines. Since the vapor pressure of diesel fuel is much lower than that of gasoline, diesel fuel leakage is more difficult to detect. As a result, the amount and extent of diesel fuel pollution could be more serious. On the other hand, the composition of diesel fuel is much more complicated than that of gasoline such that the assumption of its composition for multi-components simulation becomes more difficult. Therefore, almost all of numerical simulations of LNAPL leakage and remediation has been focused on gasoline. This study performed multi-component transport simulation of diesel fuel leakage and pumping by TMVOC to evaluate the effectiveness of monitoring. The results of simulation show that diesel fuel leakage in the unsaturated zone, gas monitoring will be better than groundwater monitoring. When leakage located on the below the groundwater, the gas and groundwater monitoring are difficult to detect diesel fuel contamination. The monitoring soil vapor and contaminants in groundwater is more effective in soil with higher permeability. While the groundwater table is low, the monitoring soil vapor and contaminants in groundwater is more effective in soil with higher the groundwater table. Diesel fuel pumping used has a higher removal rate in the soil with high permeability and porosity soil. Compared to the same in the case of gasoline contamination, the monitoring soil vapor can detect a certain degree of diesel or gasoline hydrocarbon concentration which set up at a distance of 3 m leak point range. Because gasoline volatility is high, the monitoring soil vapor will be reached standards earlier than diesel gas concentration.

Keywords: Diesel fuel, Gasoline station, Leakage, Pumping, Simulation, TMVOC

誌謝

在交大的求學生涯即將接近尾聲，終於如期所願順利地完成碩士學位。在此期間首先要感謝我的指導教授單信瑜 博士悉心指導與督促，不管在學習及研究上都給予充分的時間讓我探索與思考，得以讓研究能順利而如期畢業。在老師課堂與研究討論上，我從老師身上學習許多土木相關專業與態度，讓我對土壤及地下水污染能有更進一步瞭解與認知，特別是在加油站污染相關領域使我對此領域深感興趣與嚮往，也讓我在對一些事情看法可以用多方面的角度去思考。在論文口試期間也要感謝林明德 教授與侯善麟 博士悉心指正，並對本研究提供許多寶貴的意見與建議，而使本論文能更加完善。

研究室生活中感謝凱仁、效丞、智緯、潤翰、昱辰、建智、佩衡學長們在課業及研究經驗的傳承，使我在研究摸索上能有一定基礎與自信；同時也要感謝書銘、麒瀟、政信及其他各門研究室的學弟們學習相伴與幫忙，讓研究室能一直保有著歡樂氣氛，也希望這個氣氛能一值保持下去。

另外，在研習環境水文地質課時兼任助教並與你們一起修課，讓我從各位學弟妹們身上學習到不少，也體會到自己還有很多不足的地方。當然也要感謝實驗室的戰友(電腦)，跟我度過一段艱辛的模擬過程，不管在白天或著晚上行程持續不斷為我奮戰，感謝讓模擬案例能順順利利的模擬成功，我相信戰友的功勞是最大的。

最後要感謝我的家人，沒有你們支持我的求學階段是無法走到這裡，尤其是我的老爸順應我許多的要求而讓我在研究所生涯可以全心全意地專注於學業，並且在我背後默默地支持，如今我畢業了，希望我的畢業能帶給你們些微欣慰與放心。再次將本文獻給曾給我幫助的師長、家人、同學及朋友們，在此致上最深的謝意，有你們的相伴及關心而讓我在碩士求學階段能畫上一個完美的句點，並給予勇氣與自信能讓我再往人生下一個階段繼續邁進，謝謝你們！

目錄

中文摘要	I
英文摘要	II
誌謝	III
目錄	IV
圖目錄	VI
表目錄	IX
第一章 緒論	1
1.1 研究動機.....	1
1.2 研究目的.....	1
1.3 論文架構.....	1
第二章 文獻回顧	3
2.1 加油站污染概論.....	3
2.1.1 加油站洩漏.....	3
2.1.2 柴油油品概述.....	5
2.1.3 污染物 LNAPL 傳輸.....	8
2.2 加油站監測方法.....	10
2.2.1 監測系統.....	10
2.2.2 監測概況.....	14
2.3 油品污染整治.....	16
2.4 柴油成分.....	19
2.5 數值模擬污染物相關研究.....	22
2.6 數值模擬 TMVOC	23
2.6.1 基本原理.....	23
2.6.2 成分設定.....	26
第三章 研究方法	28
3.1 柴油成分設定.....	29
3.2 模型參數訂定.....	30
3.3 穩態地下水流場建立.....	32
3.4 柴油洩漏情境設定.....	33

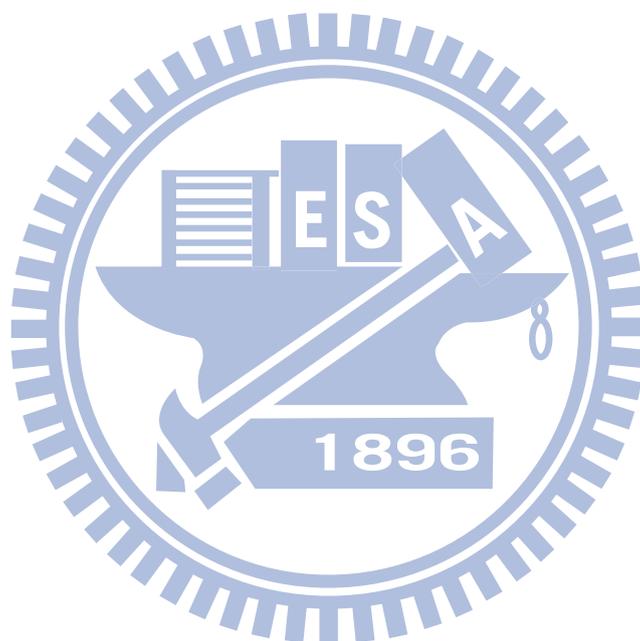
3.5 抽取井及監測井設置.....	35
3.6 柴油洩漏模擬.....	36
第四章 模擬結果與分析	39
4.1 柴油洩漏.....	39
4.1.1 洩漏點位於油槽上方處.....	45
4.1.2 洩漏點位於儲槽區內.....	46
4.1.3 洩漏點位於油槽上方與輸油管連結處.....	48
4.1.4 洩漏點位於儲油槽下方.....	49
4.2 柴油和汽油洩漏比較.....	67
4.3 油品洩漏整治.....	73
4.4 敏感度分析.....	79
4.4.1 孔隙率對移除量之影響.....	79
4.4.2 滲透係數對移除量之影響.....	85
4.4.3 地下水位對移除量之影響.....	89
4.5 佈井位置對移除量之影響.....	93
第五章 結論與建議.....	98
5.1 結論.....	98
5.2 建議.....	100
參考文獻 101	
附錄 柴油合成物之 TMVOC 化學性質設定	105

圖目錄

圖 1-1 研究流程圖.....	2
圖 2-1 加油站平面配置圖.....	4
圖 2-2 GC-MS 各種柴油之指紋圖.....	7
圖 2-3 LNPAL 在土層傳輸過程.....	9
圖 2-4 美國測漏管配置示意圖.....	13
圖 2-5 二次阻隔層型式.....	13
圖 2-6 油品洩漏鋒面移動距離與達到濃度標準值時間曲線圖.....	15
圖 2-7 多相抽除法示意圖.....	18
圖 2-8 生物漱洗井.....	18
圖 2-9 等碳數與沸點回歸曲線.....	20
圖 2-10 液體在各相之組成與變化圖.....	24
圖 2-11 TMVOC 離散模型.....	25
圖 3-1 研究流程圖.....	28
圖 3-2 模擬場址.....	30
圖 3-3 不同地下水位設置儲油槽.....	31
圖 3-4 地下水位於地下 2 m 和 5 m.....	32
圖 3-5 地下水位達穩定狀態.....	33
圖 3-6 加油站洩漏點設置.....	34
圖 3-7 場址監測井配置.....	36
圖 3-8 地下水位 2 m 之 x-z 剖面圖.....	37
圖 3-9 地下水位 5 m 之 x-z 剖面圖.....	37
圖 3-10 地下水位 2 m 之 x-y 剖面圖.....	38
圖 3-11 地下水位 5 m 之 x-y 剖面圖.....	38
圖 4-1(a)洩漏點 Case 1 柴油飽和度達一天分佈.....	41
圖 4-1(b)洩漏點 Case 1 柴油飽和度達一年分佈.....	41
圖 4-2(a)洩漏點 Case 2 柴油飽和度達一天分佈.....	42
圖 4-2(b)洩漏點 Case 2 柴油飽和度達一年分佈.....	42
圖 4-3(a)洩漏點 Case 3 柴油飽和度達一天分佈.....	43
圖 4-3(b)洩漏點 Case 3 柴油飽和度達一年分佈.....	43
圖 4-4(a)洩漏點 Case 4 柴油飽和度達一天分佈.....	44
圖 4-4(b)洩漏點 Case 4 柴油飽和度達一年分佈.....	44
圖 4-5(a)洩漏於油槽上方之模擬結果.....	51

圖 4-5(b)洩漏於油槽上方之模擬結果.....	52
圖 4-5(c)洩漏於油槽上方之模擬結果.....	53
圖 4-5(d)洩漏於油槽上方之模擬結果.....	54
圖 4-6(a)洩漏於儲槽區內之模擬結果.....	55
圖 4-6(b)洩漏於儲槽區內之模擬結果.....	56
圖 4-6(c)洩漏於儲槽區內之模擬結果.....	57
圖 4-6(d)洩漏於儲槽區內之模擬結果.....	58
圖 4-7(a)油槽上方與輸油管連接處之模擬結果.....	59
圖 4-7(b)油槽上方與輸油管連接處之模擬結果.....	60
圖 4-7(c)油槽上方與輸油管連接處之模擬結果.....	61
圖 4-7(d)油槽上方與輸油管連接處之模擬結果.....	62
圖 4-8(a)儲油槽下方之模擬結果.....	63
圖 4-8(b)儲油槽下方之模擬結果.....	64
圖 4-8(c)儲油槽下方之模擬結果.....	65
圖 4-8(d)儲油槽下方之模擬結果.....	66
圖 4-9 地下水位 2 m 之汽柴油模擬結果.....	69
圖 4-10 地下水位 5 m 之汽柴油模擬結果.....	70
圖 4-11(a)汽柴油洩漏於地下水位 2 m 之模擬結果.....	71
圖 4-11(b)汽柴油洩漏於地下水位 5 m 之模擬結果.....	72
圖 4-12 整治一年柴油 SO 剖面圖.....	74
圖 4-13 Y=59.5 m, Z=-2 m 之油品 X 方向飽和度分佈.....	74
圖 4-14 油品移除量與時間之變化.....	76
圖 4-15 移除速率與時間之變化.....	76
圖 4-16 整治期間監測井水中含苯濃度變化.....	77
圖 4-17 整治期間監測井水中含萘濃度變化.....	77
圖 4-18 整治期間監測井水中 TPHd 濃度變化.....	78
圖 4-19 整治期間監測井氣體濃度變化.....	78
圖 4-20 抽取井在不同孔隙率一年之移除量變化.....	81
圖 4-21 抽取井在不同孔隙率一年之移除速率變化.....	81
圖 4-22 監測井在抽取一年之水中含苯濃度變化.....	82
圖 4-23 監測井在抽取一年之 TPHd 濃度變化.....	83
圖 4-24 監測井在抽取一年之土壤氣體濃度變化.....	84
圖 4-25 抽取井在不同滲透係數一年之移除量變化.....	86
圖 4-26 抽取井在不同滲透係數一年之移除速率變化.....	86
圖 4-27 監測井在抽取一年之水中含苯濃度變化.....	87
圖 4-28 監測井在抽取一年之氣體濃度變化.....	88

圖 4-29 抽取井在不同水位之一年移除量變化.....	90
圖 4-30 抽取井在不同水位之一年移除速率變化.....	90
圖 4-31 監測井在抽取一年之水中含苯濃度變化.....	91
圖 4-32 監測井在抽取一年之氣體濃度變化.....	92
圖 4-33 抽取井在不同位置之一年移除量變化.....	94
圖 4-34 抽取井在不同位置之一年移除速率變化.....	94
圖 4-35 監測井在整治一年之水中含苯濃度變化.....	95
圖 4-36 監測井在整治一年之氣體濃度變化.....	96



表目錄

表 2-1 公告污染列管場址.....	4
表 2-2 柴油成分.....	6
表 2-3 BTEX 物理化學特性.....	6
表 2-4 油氣檢測器項目.....	11
表 2-5 土壤及地下水管制標準-加油站常見污染物.....	15
表 2-6 模擬 TMVOC 初步假設之柴油成分.....	20
表 2-7 柴油成分.....	20
表 2-8 模擬柴油分類.....	21
表 2-9 樣品柴油成分.....	21
表 3-1 簡化柴油組成成分百分比.....	29
表 3-2 模擬土壤相關參數.....	31
表 3-3 柴油各成分洩漏量.....	34
表 3-4 抽取井參數.....	35
表 4-1 模擬洩漏案例.....	40



第一章 緒論

1.1 研究動機

國內自 1987 年開放民營加油站設立後，加油站需求增加，實際營運數量已超過二千座以上(經濟部能源局，2013)。地下油槽就以數量而言，大都以加油站設置居多，其中販售油製品以汽、柴油為主，使得油品類污染物對於土壤及地下水污染問題逐漸增加。在申報污染物整治費比例中，石油系有機物佔整體的1.24%(環保署，2011)。但台灣相對於歐美國家而言，在土壤及地下水污染防範觀念啟蒙較晚，通常在加油站污染場址中，普遍因監測設備不齊且疏於保養、損壞率高，使得監測效果不佳，造成在現場難以判斷有無發生洩漏、洩漏時間長短、哪種油品污染及洩漏位置及範圍。

加油站油品洩漏是屬於不易察覺的地面下環境污染問題，常要洩漏到一定程度的油量才會發覺，也隨著後續所帶來龐大的土壤和地下水污染問題，使得加油站業主難以承擔長期的污染整治及整治費用。所以對於油品污染場址而言，要能找出污染源及適時切斷源頭，並在初期污染的整治獲得一定程度效果，是極為關切的議題。

1.2 研究目的

本研究目的是透過數值軟體，模擬加油站地下儲槽之柴油洩漏，對於各種洩漏情況於在不同地質條件進行探討，以評估監測井土壤氣體與地下水監測的有效性。最後對此污染團進行多相抽取法(MPE)作整治，以監測井之土壤氣體與地下水監測變化，來探討柴油之整治效率。

1.3 論文架構

本研究針對加油站以柴油洩漏作污染情況。會先蒐集柴油成分及污染傳輸行為的相關文獻，由於油品是屬於多相流傳輸，加上其成分複雜且難以確定。而

TMVOC 數值模擬在多相流傳輸中對化學物質有清楚的定義，且也適合用來模擬多成分傳輸，因此選用 TMVOC 進行柴油污染模擬，其研究流程，如圖 1-1 所示。



圖 1-1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

探討加油站地下儲槽之柴油洩漏行為，先將文獻回顧分為加油站污染概論、加油站監測系統及油品污染整治方法-多相抽除法。並回顧柴油中主要成分、油品數值模擬相關研究及本研究所用之數值模擬軟體 TMVOC。

2.1 加油站污染概論

2.1.1 加油站洩漏

依據環保署之加油站及大型儲槽可能洩漏源分析，在加油站主要可分為四個污染途徑(環保署，2009)：洩油口、地下油槽、輸油管線及泵島區之加油機。而其在加油站基本設備配置，如圖 2-1。在這些污染途徑中，又以地下油槽和輸油管線洩漏較難及時發現與處理。美國在 1995 年總計有 1,200,000 座儲槽，保守估計至少有 270,000 座儲槽發生洩漏(環保署，1996)。而美國環保署將地下油槽和輸油管線區，定義為地下儲槽系統(Underground Storage Tank System, USTs)，泛指儲槽及相關之管線設施及附屬設備等有 10 % 以上體積位於地表以下稱之。據美國賓州環境資源統計，在地下油槽系統洩漏中，油槽佔 49 %，管線佔 39 %，而兩者同時發生為 12 %。也就是當加油站發生油品污染時，油槽和管線所導致污染比例相當的高。

由於台灣地狹人稠，加油站皆在地面下構築密閉油槽。國內每座加油站均有四個油槽以上，至今統計全台已有 2510 座(經濟部能源局，2013)，估算油槽數就有 10,040 個以上。早年加油站依據「加油站設置管理規則」設立，對其設施要求不夠嚴謹，直到民國 89 年之「土壤地下水污染整治法」制訂，才對於管線、油槽材質及空間設計皆嚴格要求，但對已超過 10 年的老舊加油站，因其當初設計時未做周詳的規劃，使發生油品潛在洩漏機率提升。加油站站齡超過 10 年以上均未於在輸油管線區及泵島區設置土壤氣體監測及預警系統，使這類型加油站易成為監測死角(環保署，2006)。再加上國內加油站監測設備不齊全，且常保養不善、損壞率高，使得監測未發揮應有的效果。加油站涉及土壤地下水污染被公告列管場址已有 57 筆；整治場址 12 筆(環保署土壤及地下水整治基金管理委員會，2013)，表 2-1。

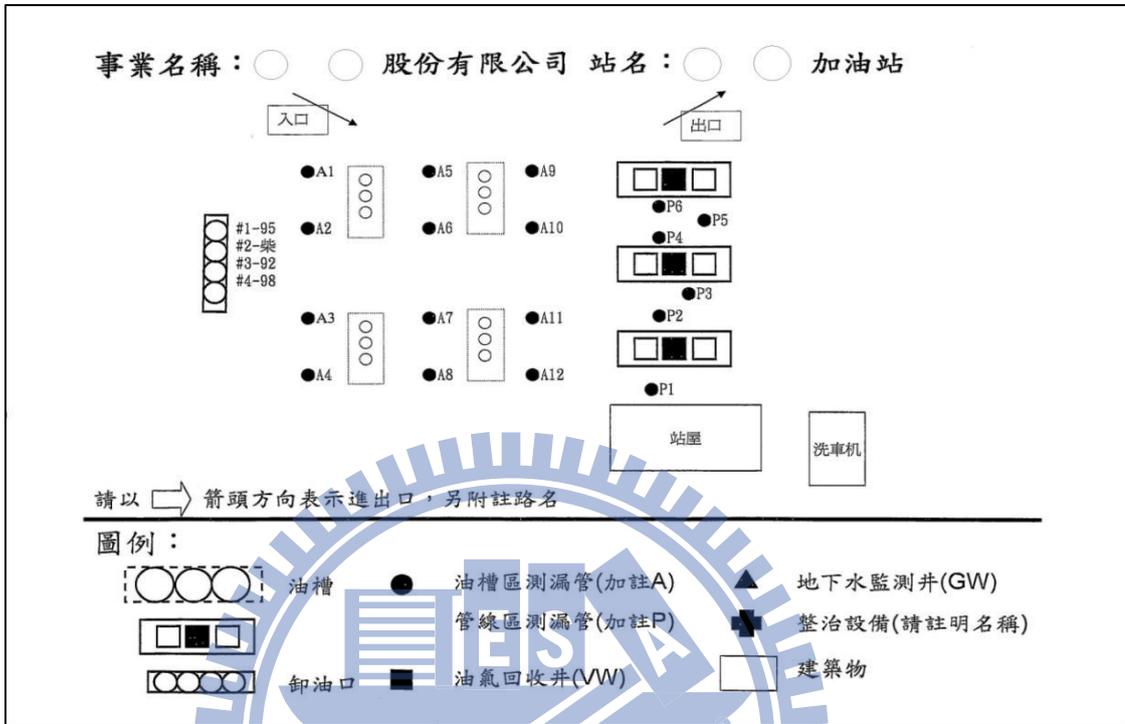


圖 2-1 加油站平面配置圖

表 2-1 公告污染列管場址(環保署土壤及地下水整治網，2013)

狀態\類別	加油站	農地	儲槽	工廠	非法棄置	其它	總計
列管場址	57	613	1	69	14	32	786
整治場址	12	0	1	22	3	8	46
解除列管場址	2	88	0	4	1	1	96
非列管場址	0	0	0	1	0	3	4

2.1.2 柴油油品概述

石化柴油(Petroleum Diesel)是原油蒸餾過程中的一項產物，密度約 0.8 g/ml。沸點普遍落在 163 ~ 382°C。為 10 到 27 個碳原子的鍊烷、環烷或芳香烴所組成的。通常碳氫化合物分子量或沸點越低，蒸氣壓就越大，其容易揮發。柴油相對於汽油(C4 ~ C12)，擁有較高的分子及碳數，普遍有較高的沸點且不容易揮發，而含有成分也比汽油複雜。所以在分析柴油裡的化學成分比例較難以掌握，不過大致可循(Calabrese, 1988)的分類，將其分成正烷類、含支鍊類及環烷類、異烷類、芳香族和極性物質，如表 2-2。

由於柴油成分複雜且含較多雜質，燃燒後會產生大量煙灰和氧化硫(SO_x)，而柴油的含硫量，演變成環境污染密切關注的焦點。為了改善其對空氣污染影響，進一步促使柴油產品往含低硫化的生質柴油(Biodiesel)發展，生質柴油相對於石化柴油是較為含硫量低且可生物分解性較高的燃料。

基本上，生質柴油與石化柴油特性相近，除了可單獨使用，也可以一定比例混入石化柴油來提高潤滑性。常見 B1 生質柴油是以 1% 純生質柴油(B100)與 99% 石化柴油的混合物，目前典型的混合生質柴油範圍落在 B1~B20，在台灣市面上的中油超級柴油與台塑環保柴油都是混合一定比例的 B1 生質柴油。

原油是由低沸點到高沸點所組成複雜產物，可應市場的需求，經不同製程方式(例:蒸餾、加氫裂解等)製成各種形式煉製油品，柴油會以許多產品形式出現，所以難以有一致性的物理及化學性質，Chen et al., (2008)在實驗室以氣相層析質譜儀(Gas Chromatography Mass Spectrometry, GC-MS)建立全範圍之各種常見柴油組成分佈的指紋圖(Fingerprint)，不同的製成柴油會有不同的指紋圖，但差異性幾乎變化不大，如圖 2-2，普遍都可看出碳數幾乎都落在 C10 ~ C27 間。因此，國內環保署於 100 年 7 月 1 日規定中油的超級柴油限用含硫量 10 ppm 以下，作為產品管制標準(環保署車用汽柴油成分及性能管制標準，2009)。

在水文地質土壤污染部分，是針對人體危害性較大的 BTEX，分別為苯(Benzene)、甲苯(Toluene)、乙苯(Ethylbenzene)及二甲苯(Xylene)作為指標。其中的苯相較其他三者擁有極高溶水性，因此在土壤中易經由水攜帶傳輸，散佈到更廣的範圍，甚至影響到地下水。再加上苯已被證實，在人體內長期累積具有致癌性，所以國內在土壤氣體及地下水監測都將 BTEX 列為管制標準，其物理化學性質如表 2-3。在油品污染場址中，也常發現含有萘(Naphthalene)存在，而萘在石油煉製過程存在於柴油中，所以在污染場址常以萘作為判斷有無柴油洩漏污染依據。美國環保署在 1989 年將萘歸類為 C 類可能人類致癌物質，而我國也將萘

列入地下水污染管制標準中(經濟部工業局，2007)。

表 2-2 柴油成分(Calabrese, 1988)

成分	百分比(%)
正烷類 C_nH_{2n+2}	37.59
異烷類 $I-C_nH_{2n+2}$	3.47
含支鍊及環烷類 C_nH_{2n}	37.59
芳香族類 C_nH_{2n+6}	20.22
極性物質	1.13

表 2-3 BTEX 物理化學特性(經濟部工業局，2007)

物理化學特性	苯 (Benzene)	甲苯 (Toluene)	乙苯 (Ethylbenzene)	二甲苯 (Xylene)
分子式	C_6H_6	C_7H_8	C_8H_{10}	$C_6H_4(C_2H_3)_2$
分子量(mg/mole)	78	92	106	106
熔點(°C)	5.53	-95	-95	-25.2
沸點(°C)	80	111	135.2	144.4
密度(g/mL)	0.876	0.866	0.867	0.868
溶解度(mg/L)	1780	500	150	150
沉積物-水分配係數(K_{oc})	97	242	622	570
辛醇-水分配係數(K_{ow})	135	540	1410	1320
蒸氣壓(mm-Hg)	76	22	7	5
半衰期($T_{1/2}$)(day)	5	4	3	7
亨利常數(Pa·m ³ /mole)	532	673	864	493

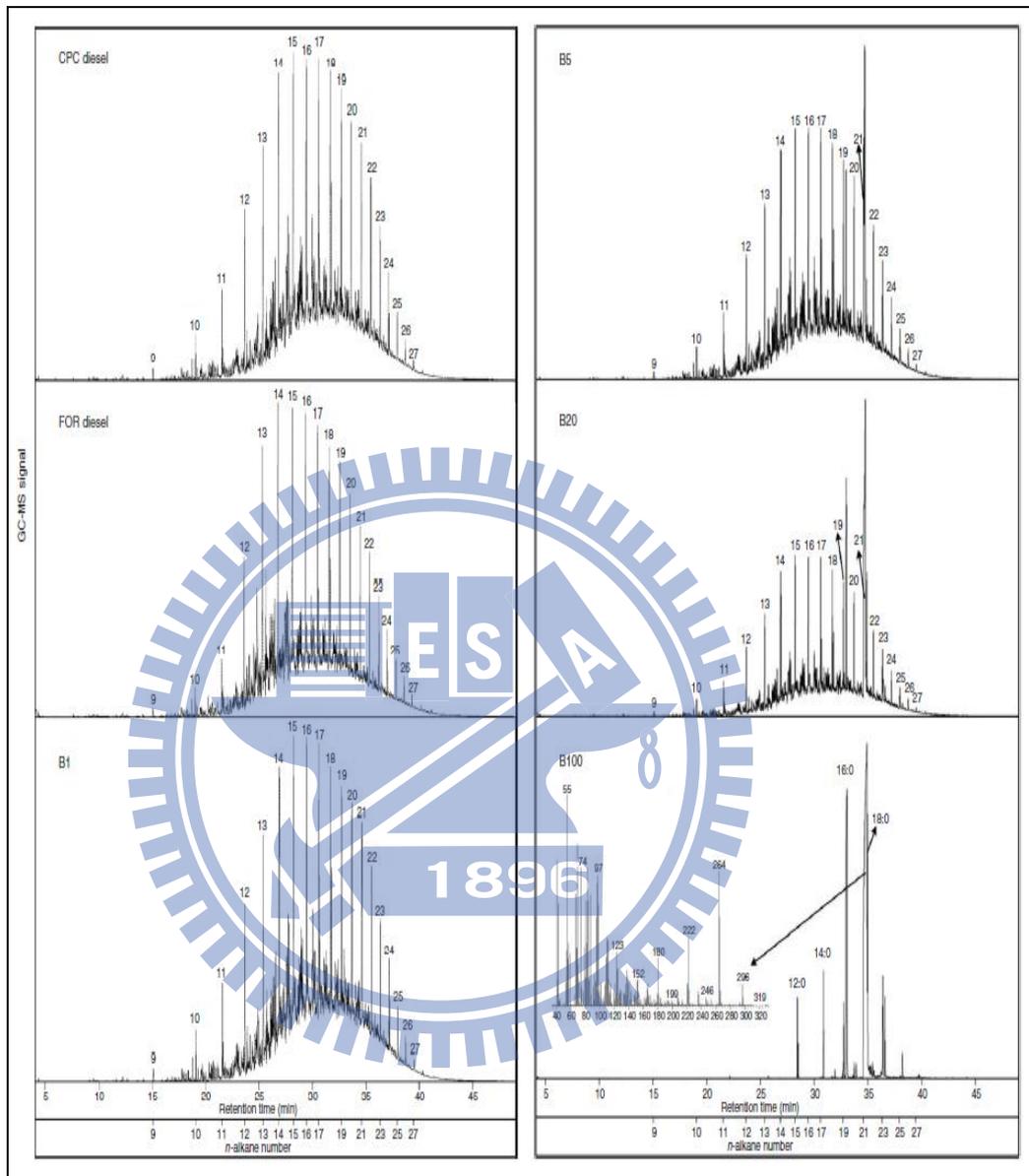


圖 2-2 GC-MS 各種柴油之指紋圖(Chen et al., 2008)

2.1.3 污染物 LNAPL 傳輸

非水相液體(Non-Aqueous Phase Liquid, NAPL)其物質特性難溶於水，會獨自形成一個分離相液體流動。一般柴油比重較水低，若油品在土壤傳輸途徑中遇到地下水，則會有部份油品堆積並浮於水面上形成一層薄浮油面，屬於典型的輕質非水相溶液(Light Dense Non-Aqueous Phase Liquid, LNAPL)。當 LNAPL 發生洩漏至土層過程，可分為三個階段：污染物進入地表下、洩漏至飽和帶及最後污染源停滯，如圖 2-3 所示。

一開始隨著重力影響將油品往地表下移動，但在非飽和土層移動中會伴隨生物降解、揮發、吸附、傳輸擴散及化學反應等因素，使得 LNAPL 在地下傳輸及分佈難以掌握。油品在土壤中向下傳輸時，部分經由孔隙揮發至地表成為蒸汽相(Vapor Phase)，而有部分成為吸附在土壤顆粒表面的吸附相(Adsorbed Phase)，當 LNAPL 洩漏量未累積超過殘留飽和度時，則會以殘留飽和度留存在非飽和層孔隙中形成殘餘相(Residual Phase)，若有較多洩漏量使其繼續往下傳輸擴散直到飽和帶。在 LNAPL 進入飽和帶前，會先堆積在飽和帶上的毛細緣層(Capillary Fringe)形成浮油面，以自由相形式隨著水力梯度向下游移動。

隨著堆積量增加逐漸產生局部高壓，使該層形成向下凹面，終至突破毛細緣層而進入地下水中，進一步溶解於水中成為溶解相並隨著地下水流動。最後當洩漏源不再繼續發生洩漏行為，在先前以存在土壤中的油品量逐漸減少，以再次回到殘餘於飽和帶的孔隙中，而在飽和帶部分也隨堆積量減少逐漸降低壓力，使在 LNAPL 與飽和界面之凹面稍微回升，但仍有部分會留存在飽和面下持續溶解至地下水中往下游散佈，造成二次污染來源。所以 LNAPL 發生洩漏會以氣相、吸附相、殘餘相及自由相存於土壤。

污染物在土壤間的移動速度可以三種方式呈現：平流(Advection Transport)、擴散(Diffusion)及機械延散(Mechanical Dispersion)。以微觀角度來看水在土壤顆粒間的移動情況：水流動於孔隙中心其速度會比流動於顆粒邊緣較快、在同樣距離下水流在孔隙間流動會有不同的水流路徑及水流經土壤顆粒較大的孔隙流速較快。說明水在土壤孔隙裡並非全都以相同速度及方向移動(Bear, 1972)。平流是指污染物隨著水流方向而移動的現象。擴散作用描述污染物溶於水中，藉由濃度差異由高濃度往低濃度地區移動。只要濃度梯度存在，即使水沒有移動，仍會有擴散發生(Fetter, 1999)。

機械延散是將所有含有溶質的地下水假設全部有相同速度下，會與無含溶質地下水形成一個界面，但含有溶質地下水在流經各孔隙間無法有相同的速度，會

產生靠近孔隙中央速度越快而靠近邊緣較慢的縱向速度偏差機械延散，及因水流路徑並非直線順著水頭差蜿蜒流動造成的橫向速度偏差的機械延散。但污染物在地下水流傳輸時，擴散和機械延散是同時發生的，也因為機械延散作用造成污染物濃度分布與分子擴散類似，因此將這兩項合併用水動力延散(Hydrodynamic Dispersion)來描述定義之。

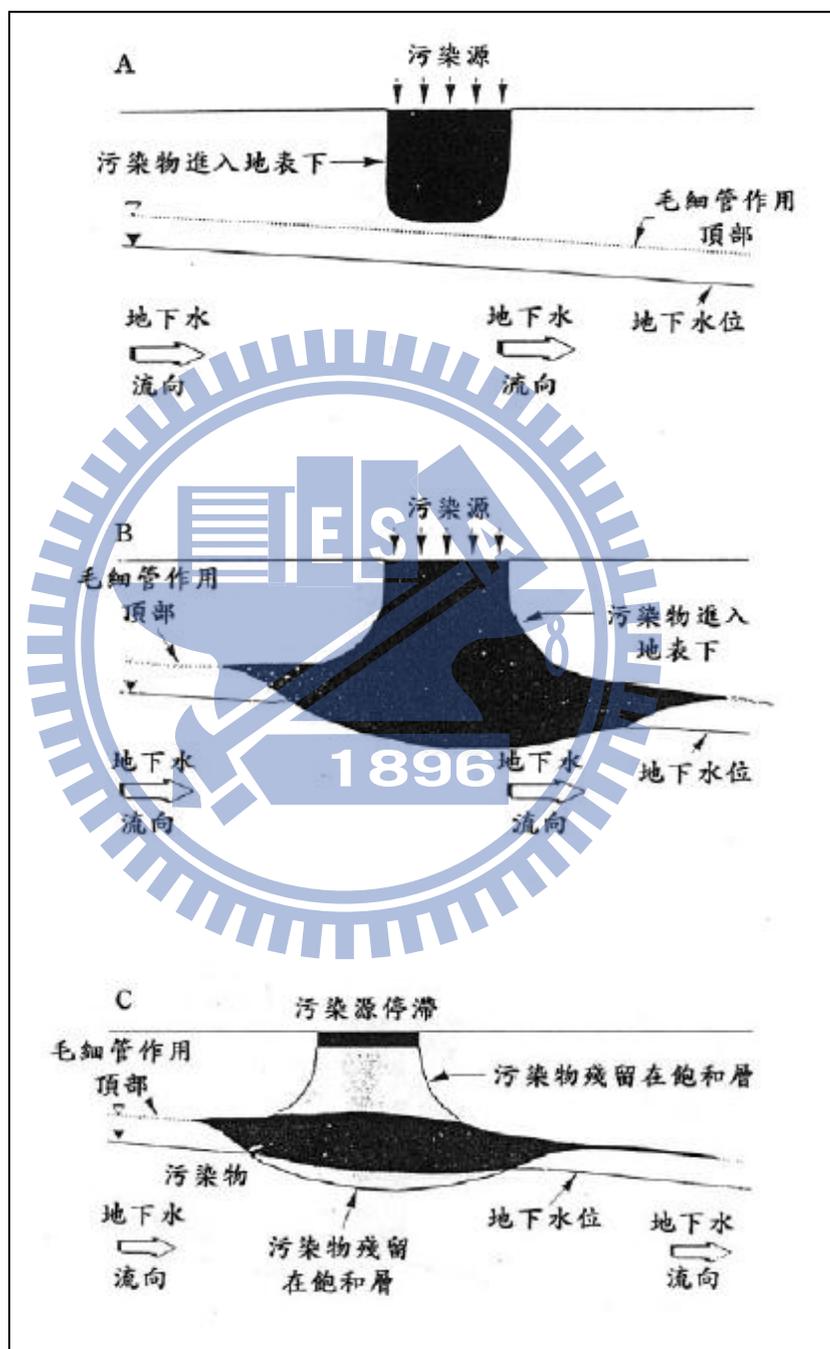


圖 2-3 LNAPL 在土層傳輸過程(經濟部工業局，2007)

2.2 加油站監測方法

2.2.1 監測系統

加油站的儲油及輸油相關設施皆埋於地下，為了判斷在區域內是否有洩漏污染疑慮，大都在四周設置數支測漏管(Vapor Monitoring Well，土壤氣體監測井)，透過油氣檢測器定期檢測，如光離子偵測器(Photo Ionization Detector, PID)、火焰離子偵測器(Flame Ionization Detector, FID)等，以在洩漏過程中能及時掌握污染範圍。環保署於民國 100 年「地下儲槽系統防止污染地下水體設施及監測設備管理辦法」，對地下儲槽系統之監測方法作相關規範。依管理辦法第八條，監測方法包括：密閉測試、土壤氣體監測、地下水監測、槽間監測及其他中央主管機關核准之監測方式，依序針對地下儲槽系統以各種監測方法作下列概述。

地下儲槽密閉測試為在儲槽中加入氮氣，以加壓至 $0.21 \sim 0.35 \text{ kg/cm}^2$ 壓力，量測儲槽 1 小時內之壓力變化，來判斷儲槽之密閉性(經濟部工業局，2009)。在管理辦法中第十條規定，自民國 102 年 1 月 1 日起應依下列頻率進行監測及記錄：

1. 地下儲槽：每三年一次。
2. 壓力式管線：每年一次。
3. 吸取式管線：每年一次。

其地下儲槽密閉測試應符合一小時壓力變化率低於 $0.01 \text{ kg}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hr})$ 及自動壓力記錄器所繪製之圓盤圖需密合，或應符合滲漏率低於 0.378 公升/小時。美國地下儲槽法規則是要求密閉測試能夠偵測每小時 0.1 gal 之洩漏率(US EPA, 1988)。

土壤氣體監測在管理辦法中第十一條，定義為泛指設置於地下儲槽系統周圍用以監測土壤中的揮發性有機氣體(Volatile Organic Compounds, VOCs)濃度變化之設施。由於油品洩漏傳輸過程中，首先經由土壤非飽和層帶，在此區間多是利用測漏管量測土壤中油氣濃度。依說明監測井需有條件：

1. 監測設備應具有不因降雨、地下水、土壤濕度或其他因素，於儲存物滲漏發生後測得滲漏物揮發之功能。
2. 開挖區回填孔隙介質，應具滲漏物蒸氣擴散之功能。

3. 依開挖區範圍、回填孔隙介質、儲存物質及監測設備之功能，決定土壤氣體監測井之數量及位置。
4. 土壤氣體監測井應符合透氣度小於錶壓 500 mmHg。
5. 土壤氣體監測井應標記並加蓋，其監測範圍以監測井為中心，半徑不得大於五公尺。

地下水水位最高水位或井內水位距地表二公尺內，且透氣度大於錶壓 150 mmHg 者，不得採用土壤氣體監測法。也規定土壤氣體監測項目需為爆炸下限百分比(LEL, Lower Explosive Limit)或揮發性氣體濃度，其中氣體濃度偵測至少包括光離子偵測器及火焰離子偵測器。

偵測土壤之揮發性有機氣體方法有可燃性氣體檢測器(Combustible Gas Detector, CGD)簡稱測爆器、火焰離子化(Flame Ionization Detector, FID)及光離子化(Photo Ionization Detector, PID)偵測器。測爆器則是國內最常用的偵測儀器，利用觸媒燃燒的原理，吸入有機氣體與測爆器內的觸媒發生氧化作用後，經由電橋將溫度變化轉成油氣濃度指數(黃冠良，1997)；FID 是採用氫火焰將有機氣體離子化，藉由自由離子造成電壓與採樣濃度成相對關係加以量測；PID 而是以紫外線將有機氣體分子游離，利用不同氣體特定的游離能和效率以偵測化合物游離後所產生的電流大小(經濟部工業局，2007)。第十一條管理辦法規定測爆器之爆炸下限值百分比(% LEL)大於 25%，FID 和 PID 之檢測值大於 500 ppmV，得進行污染調查，以研判是否有污染洩漏發生。各項油氣檢測器項目偵測範圍，如表 2-4。當油品由土壤非飽和層帶到達飽和帶過程中，會有部分溶解於孔隙水或地下水體。地下水位監測為僅適用於未密實顆粒土層並以監測飽和含水層地下水質，取得井周邊地下水水樣的方法(環保署，2002)，在管理辦法第十二條指出地下水位監測井應符合以下：

表 2-4 油氣檢測器項目

項目	偵測範圍	判別油氣污染基準
可燃氣體檢測器 (CGD)	0 ~ 100 % LEL	> 25 %
光離子偵測器 (PID)	0 ~ 9999 ppmV	> 500 ppm
火焰離子偵測器 (FID)	0 ~ 9999 ppmV	> 500 ppm

1. 地下水監測井應於地下儲槽區及管線區上游設置一口以上、下游設置二口以上。
2. 地下水水位不得低於地表下七公尺。地下儲槽系統與監測井間介質之水力傳導係數不得小於 0.01 公分。
3. 監測井於高、低地下水位應能測得滲漏物質，其地表至濾料頂端並應予密封。
4. 地下水標準監測井應標記並加蓋。

規定自 102 年 1 月 1 日起，其監測項目為苯、甲苯、乙苯、二甲苯及柴油總碳氫化合物(TPH_d)，而「地下水質監測井設置規範」也要求監測井在監測可溶或非可溶性 LNAPL 之鑽孔深度，在非受壓含水層部分於豐水期鑽孔需至當時地下水水面下 5 m；枯水期鑽孔需至當時地下水水面下 1 m。至於受壓含水層則是鑽孔需貫穿不透水層進入含水層中 2 公尺處。監測井部分，美國認為土壤氣體監測井要能在 30 日內測出半徑 10 ft 遠的油槽洩漏，雖依不同監測網設置，但普遍要求井兩者間隔不超過 10 至 17 英尺的間距，測漏管的配置如圖 2-4 所示(US EPA, 1990)。

槽間監測則是在地下儲槽系統在其外圍或下方設有第二層阻隔層，在此阻隔層與地下儲槽間的監測稱之。設置二次阻隔層常見有三個型式：設置混凝土外牆、鋪設不透水襯墊及使用雙層設計之雙層壁體儲油槽，如圖 2-5。在第十三條管理辦法規定二次阻隔層(例：混凝土外牆和不透水襯墊)應符合以下：

1. 地下儲槽系統外層阻隔物，應使用小於 1×10^{-6} cm/s 之材質。
2. 外層阻隔物應高於地下水位，且需與儲槽內之儲存物質相容。
3. 具有陰極防蝕系統之地下儲槽系統，其外層阻隔物設計不得妨礙陰極防蝕系統之正常操作。
4. 槽間監測井應標記並加蓋。

又規定採用雙層槽之地下儲槽系統設計，其監測設備應具有測得雙層槽之內層槽內物質滲漏之功能。美國環保署也規定第二層阻隔層應具有充足厚度及透水性，隔層材質不受到洩漏油料裂化，且要能在發生洩漏 30 天內其裝置檢測出油氣而不受到地下水、雨水及土壤干擾，最後在現場需經過確認第二層及監測設計要高於地下水位，且不在 25 年洪水平原上(US EPA, 1988)。此監測是唯一可以在油品滲漏進入地層之前偵測出來的監測方法，不適用於非雙層儲槽或無二次阻隔系統之儲槽系統。儲存有害物質的地下儲槽或者當儲油槽位於飲用水抽水井或地表水取水口附近、以及地下水保護區或環境敏感地區時，均必須採用二次阻隔系統與槽間監測系統(單信瑜，2010)。

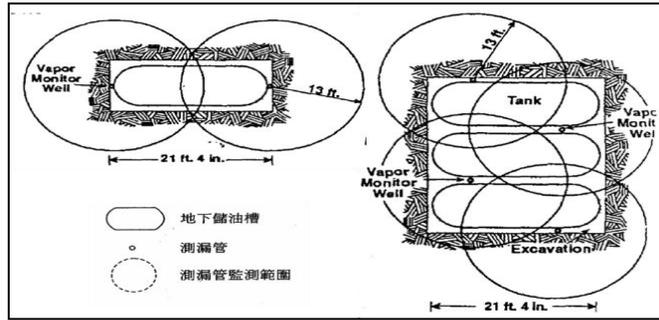


圖 2-4 美國測漏管配置示意圖(US EPA, 1990)

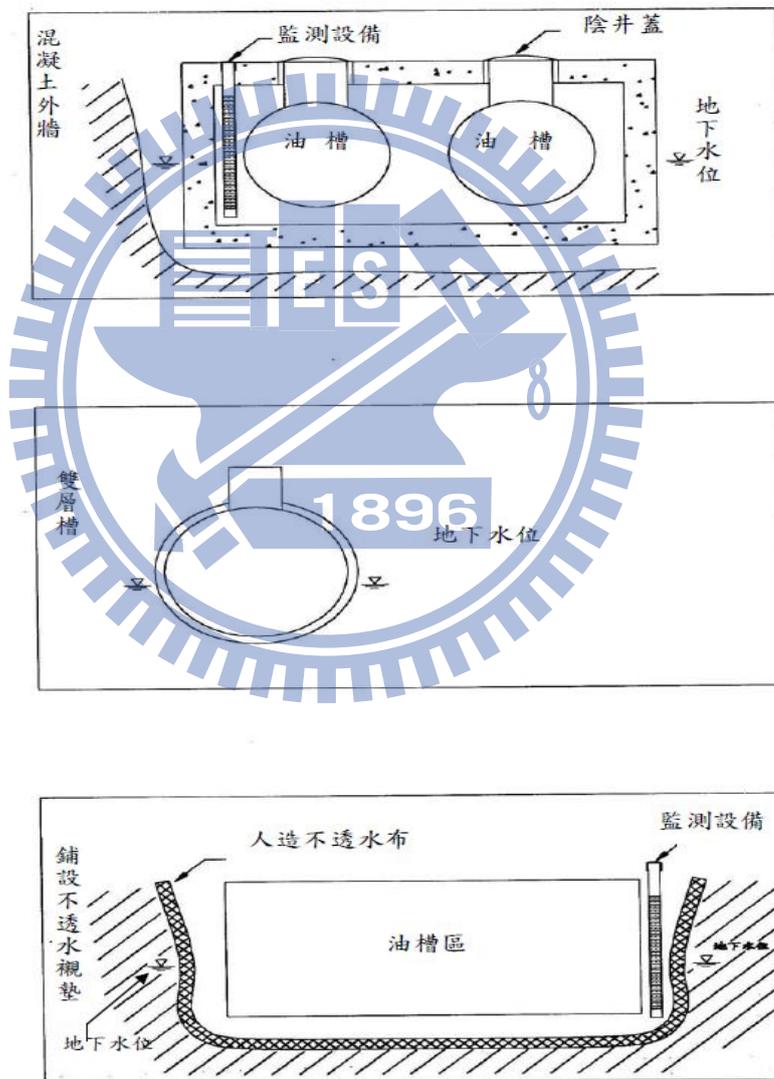


圖 2-5 二次阻隔層型式(環保署, 2009)

2.2.2 監測概況

加油站污染調查是根據監測井在現場的土壤及地下水採樣，並配合國內於 89 年「土壤及地下水污染整治法」陸續對土壤及地下水中各項污染物訂定管制標準，作研判的依據。加油站常見的油品(例:汽油、柴油等)所含有各種化學物質，對人體也都有一定程度的危害性，為了易於掌握石油碳氫化合物污染的概況，因此將石油系污染(C6 ~ C40)物質，定義為總石油碳氫化合物(Total Petroleum Hydrocarbon, TPH)作為法規中判斷污染狀況的基準(經濟部工業局，2007)。

一般而言，測漏管深度淺而施工容易，再加上取樣方便，國內加油站均在油槽區附近設置測漏管監測土壤氣體濃度。但在測漏管設置部分，僅對油槽數量作設置，並未明確建立完善監測系統。Weber and Schwille (1989)以模擬軟體 CFEST(Contaminant Finite Element Solute Transport)注入以甲烷、丁烷與三氯乙烯(Trichloroethylene, TCE)混合模擬汽油，指出在缺乏了解污染源之特徵下，若無定量洩漏速率量測是無法制定有佳效果之監測系統，即使知道偵測設備的性能與靈敏性，也是難以設定確切的污染濃度警示值。另外以 0.05 與 0.2 gal/hr 洩漏達到油氣濃度值 1% 和 10% 之距離位置與時間關係，如圖 2-6。結果可看出氣體濃度標準值與油氣移動距離是成反比。陳培昫(2010)以 TMVOC 模擬汽油傳輸，結果發現測漏管在氣體監測效果會優於地下水體監測。

現地土壤偵測與採樣方面，劉敏信等(2012)以現場 PID/FID 量測土壤氣體濃度與實驗室量測土壤污染濃度做對比，結果發現現場用 FID/PID 偵測濃度小於 500 ppm 時，土壤之 TPH_d 柴油污染成低度正相關；而濃度大於 500 ppm 時，TPH_d 成無相關性，說明柴油在現地土壤氣體偵測效果並不理想。油品是屬於有機物質，在洩漏過程也會伴隨一定程度的生物降解(Biodegradation)。油品在地下土壤中普遍是處於缺氧狀態，會被厭氧微生物代謝為甲烷(黃冠良、曾玲玲，1995)，Schulz and Farrell., (2010)在 MNA (Monitored Natural Attenuation) 中，也以油品生物降解過程所產生的甲烷量來推估洩漏位置，但結果兩者是無相關性。

在實驗室的氣相層析質譜圖分析，以不同碳氫化合物指紋圖與現地 FID 偵測結果與做對比，發現風化效應對油品污染判定種類與洩漏時間影響極大，說明在無法確立油品土壤中時間長短下，容易造成錯誤的油品判讀(黃德坤等，2004)。以土壤環境模擬柴油洩漏研究，也發現柴油濃度與生物降解密切相關，在洩漏初期柴油氣相層析質譜圖變化不大，但 27 天後其指紋圖譜幾乎無法判斷(羅文杰，2005)。在 TPH 檢測方法之石油系污染分析中，汽油類是屬於低碳數分析(C4 ~ C12)；而柴油歸屬於高碳數分析(C10 ~ C27)。在地下水管制標準中，將溶於水中

的高碳數(C10 ~ C40)物質，另訂定柴油總碳氫化合物(TPH_d)，做為判斷有無柴油污染標準。而加油站污染常見污染項目，如表 2-5 所示。

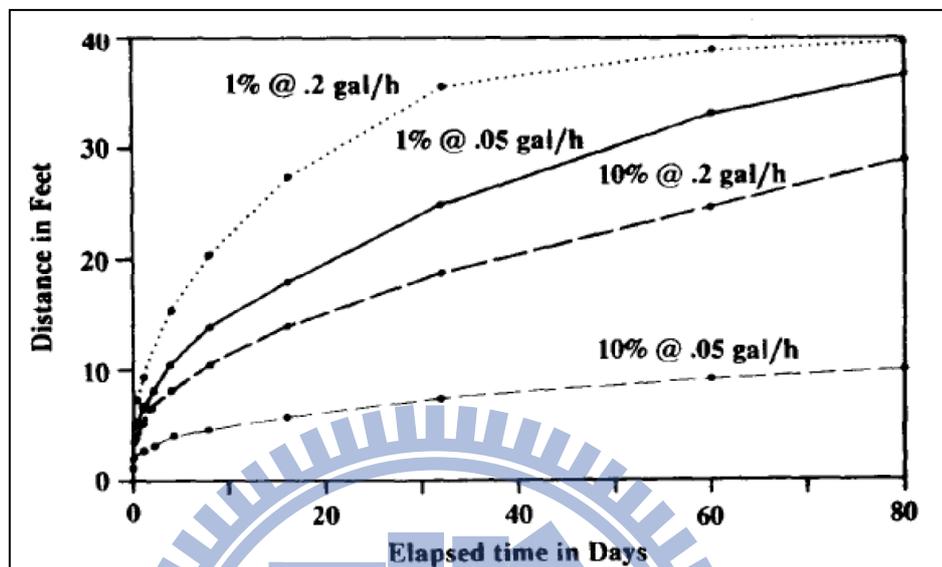


圖 2-6 油品洩漏鋒面移動距離與達到濃度標準值時間曲線圖(Weber and Schwille, 1989)

表 2-5 土壤及地下水管制標準-加油站常見污染物

分類	項目	管制標準		單位
土壤	苯(Benzene)	5		mg/kg
	甲苯(Toluene)	500		
	乙苯(Ethylbenzene)	250		
	二甲苯(Xylene)	500		
	總石油碳氫化合物(TPH)	1000		
地下水	分類(飲用水水源水質保護區)	第一類(保護區內)	第二類(保護區外)	mg/L
	苯(Benzene)	0.005	0.05	
	甲苯(Toluene)	1	10	
	乙苯(Ethylbenzene)	0.7	7	
	二甲苯(Xylene)	10	100	
	萘(Naphthalene)	0.04	0.4	
	柴油總碳氫化合物(TPH _d)	1	10	

2.3 油品污染整治

土壤及地下水污染整治技術應用廣泛，大致可區分為物理、化學及生物整治。但為了達到最佳的整治效果，會將不同整治技術結合應用而加油站的土壤污染整治以土壤氣體抽除法(Soil Vapor Extraction, SVE)、水下空氣注入法(Air Sparging)、地下水抽除處理法(Pump and Treat)及浮油回收最為常用。

SVE 原理是在非飽和土壤中抽除氣體方式引起氣體流動，使在孔隙中的溶解相或自由相，因抽氣所產生的負壓而持續揮發至氣相，再隨著氣體流動而被帶至地表。適用於低到中等滲透率地層，因地下氣流路徑在高滲透土壤會過短，而在低滲透土壤卻難以產生氣流路徑(API, 1996)。水下空氣注入法是以注氣井方式將空氣打入地下飽和帶，使水中溶氧提升以增加生物降解，再用 SVE 方式將部分 NAPL 揮發至非飽和帶抽除，但場址若有浮油存在，不能同時處理，必須先將其移除(環保署，2006)。而地下水抽除處理法直接設置抽水井將污染地下水抽除到地表上，經過處理後再回注於含水層。因為 NAPL 移動為一個連續性的來源，地下水抽除對此執行效果差(US EPA, 1992)。此法雖可作為防止污染擴散的緊急處理，但在抽除過程中因有較高的地下水抽取率，產生出較陡的洩降錐，表現出低效果的污染物回收率(US EPA, 1996)。

對發生洩漏油品場址而言，其整治最直接的方法就是抽除浮油。早期是利用浮油回收機(Oil Skimmer)在開挖處使用油水分離設備，藉由重力自然流動方式將地下水面上浮油移除。但僅能針對開挖面周圍區域進行抽除，而地質孔隙越小，浮油回收效果越差。隨著技術改進，目前浮油回收以多相抽除法(Multi-phase Extraction, MPE)效果較佳。MPE 主要是於污染區土壤上方，挖設回收井，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，包括油品自由相、溶解相及揮發相，是屬於油、水、氣可同時抽除處理之整治技術。

藉由 MPE 在非飽和土壤中不斷抽除土壤氣體，造成真空狀態，也因回收井附近之抽氣作用，使得污染區以外之氣體引入而產生通氣氣流現象，持續供氣以補助整治區土壤層，提升非飽和區土壤的生物降解作用。MPE 可在設計和實作上做多種配置。目前主要形式有單、雙泵配置和生物漱洗(Bioslurping)，依據抽取系統配置上可分為使用單泵與雙泵系統，如圖 2-7 所示。

單泵系統是採用單一泵同時進行回收浮油及地下水，再用油水分離槽將油品和水分離；雙泵系統則是一組泵抽除浮油，另一組泵抽取地下水以同時提供土壤污染整治時必要的水位洩降，其主要目的是在最佳洩降錐變化以達到高效率的浮

油回收率。至於生物漱洗設計將抽除管出口置於空氣與浮油界面，藉由負壓將浮油、空氣及水一起抽除，同時在回收過程中引發生物通氣(Bioventing)作用，進入抽除管的氣體和液體，再由氣液分離器和油水分離器處理分離，圖 2-8 所示。

一般在低滲透土壤的飽和區上緣會擁有較厚的毛細緣層，毛細緣層中的流體會因毛細力而停留滯在小於大氣壓力的孔隙空間內。LNAPL 會積聚於毛細緣層區之空氣與水界面上，MPE 系統優勢可突破毛細管力並從毛細緣層移除油品(US EPA, 1996)。因此，認為 MPE 最適用於整治石油烴類、含氯或不含氯的溶劑及脫脂劑 (EPA, 1997)。

應用短期(Short-Term) MPE 針對 15 個 UST 洩漏場址進行整治，從 44 個監測井所獲得資料進行統計分析，並利用 MAGNAS3 模擬現地浮油做比較(Pearlgin et al., 1999)。從監測資料及模擬結果，均表示 LNAPL 能在 MPE 於低滲透性土質整治 8 小時內，在井超過 1 m 範圍外其飽和度降低約至 0.1 %，整治時間至 30 天在井 10 m 內飽和度可降低 5 %。建議對於細顆粒土壤而言，要依賴氣相傳輸特性來延長整治效果，不能僅靠 MPE 超過 8 小時之後移除效率。

環保署(2006)也對多相回收抽除法列出適用條件：

1. 低到中等的透水地質(水力傳導係數 1×10^{-3} cm/s)或較薄的浮油厚度 (<15 cm)。
2. 地下水位介於 1.5 到 6 m。
3. 傳統得抽出法或回收溝技術不適用。
4. 浮油位於鋪面或不透氣表面之下。

建議當浮油回收體積不夠時，應考慮停止操作。停止運作標準包括總浮油回收率(例如:每月少於 2 加侖)或者浮油回收體積對地下水抽出速率的比例小於 0.1 %與回收/監測井中浮油厚度(小於 3 公分)。浮油厚度應按季或按月進行監測，以確保回收/監測井中的浮油厚度在規定時間內(如 2 年)沒有超過閾值(如 3 公分)，此閾值也可同時作為重新啟動回收設備的參考。

另外，在某些情況應用 MPE 整治效果有限，也建議 MPE 應有下列限制:

1. 特別是回收柴油時，所使用之液環式泵以及其他的高速抽氣泵較容易產生乳化的情形。
2. 由於有強化好氧生物活動的效果，所以有可能在井篩中產生出生物性積垢物(Biofouling)。
3. 不能處理飽和層中受污染的土壤。
4. 難以處理地下水位變動較大的地區。

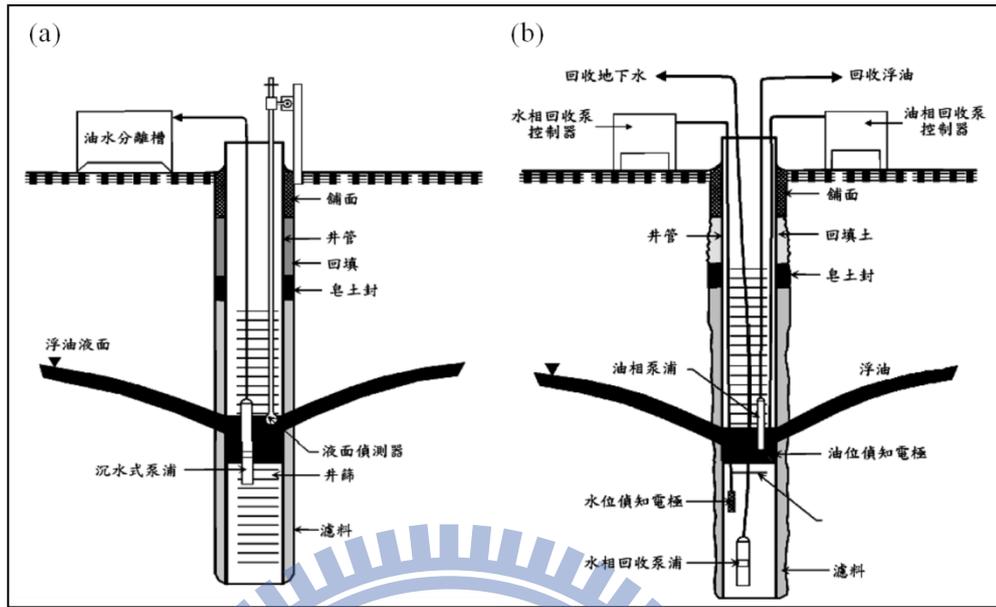


圖 2-7 多相抽除法示意圖(a)單泵回收井(b)雙泵回收井(API, 1996)

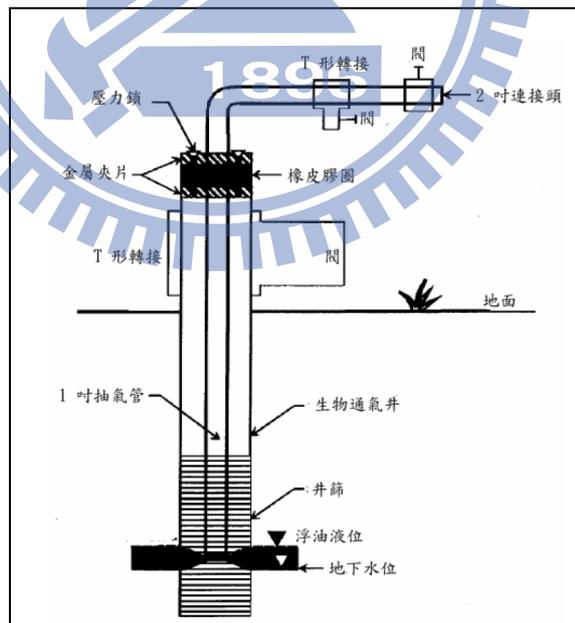


圖 2-8 生物漱洗井(AFCEE, 1994)

2.4 柴油成分

油品是由不同的 NAPL 所組成的混和物，在數值模擬上，常因各項 NAPL 在油品內所占比例不同，難以確認整體的黏滯力、密度及蒸汽壓等物理性質。一般柴油(C10~C27)所含的成份比汽油(C4~C12)複雜許多，而裡面具有揮發性有機物質也相對較少。因此也難以用單一有機物質來代表整體柴油的性質。

Gustafson et al., (1997)以等碳數(Equivalent Carbon)概念將汽油做分類研究。等碳數是將碳氫化合物之沸點對正烷類之沸點做正規化的概念，也就是碳氫化合物之飽和蒸汽壓、溶解度、密度等化學性質與沸點成正相關，如圖 2-9。可用碳數與等碳數較接近的正烷類來代表其物理與化學性質。

陳培昉(2010)和江潤翰(2012)也以相同方式，將汽油各自簡化為八成分和五成分，進行 TMVOC 汽油模擬。Rasmusson (2009)參照 Gustafson et al., (1997)汽油成分分類，以等碳數方式將柴油分成十二項成分進行模擬，表 2-6。但以 TMVOC 用多成份混合進行模擬，常在 NAPL 注入模擬中常發生數值計算的不收斂，所以再將成份縮減到六項成份，分別為癸烷(Decane)、十二烷(Dodecane)、苯(Benzene)、甲苯(Toluene)、二甲苯(o-Xylene)及萘(Naphthalene)，來進行較小量柴油洩漏模擬。Kolve (2007)直接將柴油簡化成三項，依比例加權平均各項物理性質，合成單一成分進行模擬，如表 2-7。

本研究在決定柴油成分過程中，參考 Molson et al., (2002)數值模擬柴油和 Alaska Statement of Cooperation Working Group (2006)用石油產品分析及 Raoult's Law 計算出樣品柴油所含成分和物理性質，表 2-8 和表 2-9。

但 Molson et al., (2002)的柴油模擬研究，是將 BTEX、甲基萘(Methylnaphthalene)、二甲基萘(Dimethylnaphthalene)和三甲基萘(Trimethylnaphthalene)七項成分，再加上自行假設的“pseudo-component”作為其柴油成分，相當於將柴油裡非芳香族類的成分併成“pseudo-component”一項來考量。但一般柴油的芳香族類成分含量較低(約 15%)，而烴烷類的成分含量幾乎占大量(約 85%)，所以其在柴油烴烷類部分的考量不夠詳細。在多項成分柴油模擬中，也較難找其物理性質來代表整體烴烷類的性質，所以需再將其細分。

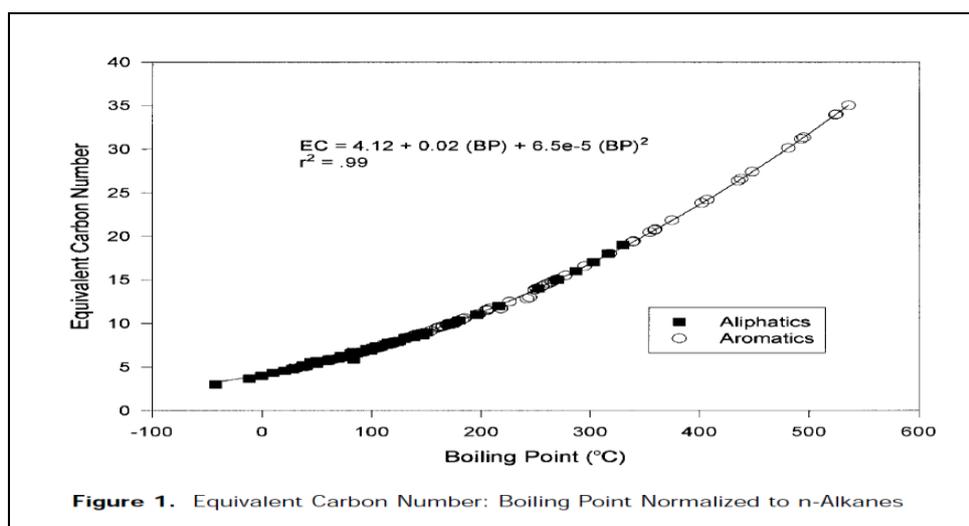


圖 2-9 等碳數與沸點回歸曲線(Gustafson,1997)

表 2-6 模擬 TMVOC 初步假設之柴油成分(Rasmusson and Rasmusson,2009)

項目	平均等碳數	成份	百分比(%)
1	8	正辛烷(n-Octane)	0.17
2	9.71	正癸烷(n-Decane)	2.85
3	11.52	正十二烷(n-Dodecane)	8.10
4	14.52	正十五烷(n-Pentadecane)	19.25
5	18.77	正十九烷(n-Nonadecane)	15.23
6	6.5	苯(Benzene)	0.10
7	7.58	甲苯(Toluene)	0.70
8	8.78	二甲苯(o-Xylene)	11.98
9	11.58	萘(Naphthalene)	6.49
10	13.65	甲基萘(1-Methylnaphthalene)	31.04
11	18.71	菲(Phenanthrene)	3.92
12	22.77	芘(Fluoranthene)	0.17

表 2-7 柴油成分(Kolev, 2007)

成份	百分比(%)
石蠟族(Paraffin)	45.6
萘(Naphthalene)	25.6
芳香烴(Aromates)	28.6

表 2-8 模擬柴油分類(Molson et al., 2002)

柴油成分	密度 (kg/ m ³)	注入質量 (kg)	莫耳數 (mole)	莫耳分量 (mole fraction)
苯	876	4.7×10^{-6}	6.0×10^{-5}	0.000028
甲苯	870	1.8×10^{-4}	2.0×10^{-3}	0.000095
乙苯	870	5.3×10^{-4}	5.0×10^{-3}	0.00237
二甲苯	870	1.1×10^{-3}	1.0×10^{-2}	0.00475
甲基萘	1000	1.0×10^{-3}	7.0×10^{-3}	0.00332
二甲基萘	1000	5.0×10^{-3}	3.2×10^{-2}	0.0152
三甲基萘	1000	5.0×10^{-3}	2.9×10^{-2}	0.0138
其它成份	862	4.6×10^{-3}	2.022	0.9596
總計		4.8×10^{-3}	2.107	1.0

表 2-9 樣品柴油成分(Alaska Statement of Cooperation Working Group, 2006)

成份	等碳數	百分比	
芳香烴 (Aromatics) 14.7353%	苯(Benzene)	6.5	0.0189%
	甲苯(Toluene)	7.58	0.1940%
	乙苯(Ethylbenzene)	8.5	0.1440%
	二甲苯(Xylene)	8.63	0.8210%
	C9~C10	9.25	0.0589%
	C10~C12	10.5	1.4327%
	C12~C16	13	4.5750%
	C16~C21	16.25	6.4975%
	C21~C35	28	0.9934%
烴烷族 (Aliphatics) 85.2647%	C5~C6	5.5	0.0427%
	C6~C8	7	0.4627%
	C8~C10	9	5.2171%
	C10~C12	11	18.5755%
	C12~C16	14	34.8777%
	C16~C21	19	25.2764%
	C21~C35	28	0.8126%

2.5 數值模擬污染物相關研究

Chetverushkin et al., (2006)用 IMPES (Implicit Pressure Explicit Saturation)方法以二維方式來探討 LNAPL 在通氣層入滲行為，呈現出土層中油品飽和度趨近 1 而毛細壓力會接近 0，說明 LNAPL 遇到低滲透層時，當進氣壓力等於零而能持續往下入滲。但在研究 LNAPL 傳輸行為，不管是在油品傳輸或整治方面，都是針對污染物在水中溶解性較高的 BTEX 進行探討，Kererat and Soralump (2009)探討 LNAPL 傳輸過程，以 TMVOC 呈現苯在水力梯度為 0 及 0.017 的非飽和區情境，呈現出苯在梯度為 0 下，隨重力往水層移動並往側向擴散，其移動距離會隨土壤滲透性而減少；在梯度 0.017 時呈現出污染物在土壤滲透性減少下，擁有較長的移動路徑。

顏伯穎(2002)以 T2VOC 模擬水下空氣注入法並結合土壤氣體抽除法整治三氯乙烯(TCE)及二甲苯，兩者在初期都能快速達到整治，尤其在吹氣設備涵蓋之有效範圍內，孔隙率越小污染物能被移除的時間越短。並建議 TCE 洩漏在透水性質不佳之地層並不適用水下空氣注入法。王智緯(2012)將加油站場址假設為單一砂質飽和含水層，用 MODFLOW 以模型 $500 \times 100 \times 20$ 和格網大小 5×5 進行 BTEX 自然衰減反應分析的模擬，結果 BTEX 在洩漏 2 年期間會有 20 ~ 40 % 降解反應。由於汽油中 BTEX 比例極高，在汽油污染場址也常發現 BTEX 蹤跡，所以有許多數值污染研究都以 BTEX 特性來模擬汽油傳輸，Molson et al., (2002)使用 BIONAPL/3D 模擬酒精汽油中苯污染的含水層的持久性，呈現出 BTEX 在水中溶解量增加，其 BTEX 污染團(Plume)長度也會增長，發現除了汽油洩漏量之外，其土壤環境氧化程度、苯的遲滯特性(Retardation)及洩漏時間長短也都會影響 BTEX 污染團長度。

同樣陳培昉(2010)以 TMVOC 建立模型砂質土層 $120 \times 120 \times 10$ ，模擬加油站汽油洩漏，結果發現在同樣假設條件下，汽油污染物傳輸速率與孔隙率大小是成反比關係，透水係數相較孔隙率而言，其變動對汽油污染傳輸影響較大。楊凱仁(2012)也依循相同模型將污染場址引入地下水位變動，油品在有遲滯現象下，測漏管偵測土壤氣體濃度效果差，反而地下水監測較合適。另外江潤翰(2012)也用 TMVOC 建立 $400 \times 200 \times 16$ 砂質土層模擬油品 MPE 整治，探討抽取井位置的整治效率，模擬結果於洩漏點下游 10 m 處能獲得最佳的整治效率，設井位置隨著距離增加，其整治效率會下降，建議在洩漏點上游 10 m 至下游 30 m 範圍內佈井，可預期整治效率達到 11 %。

柴油是由 C9 ~ C28 所組成的碳氫化合物混合物，其揮發性相對於汽油低，一般在現場監測及採樣普遍難以發覺，而且所含的 BTEX 比例極低，無法在模擬上僅用 BTEX 污染行為來代表整體柴油污染傳輸，再加上柴油會因不同煉製方法呈現許多不同形式的柴油產品，以至柴油成分範圍廣泛及所佔成分比例難以確定。所以在數值方面的柴油污染模擬研究，普遍比汽油相對較少。

在柴油污染模擬方面，Rasmusson (2009)將 TMVOC 應用在 LNAPL 污染整治上，以軸對稱三維圓柱形模型，模擬柴油洩漏 30 年，洩漏量約 700 m³。其呈現出兩點重要結果，一是模擬比較 Kolev (2007)單一成份柴油與多成分柴油 (Decane, Dodecane, Benzene, Toluene, o-Xylene, Naphthalene)洩漏，發現在小量洩漏多成分柴油，其體積會些微比單一成份高。另一項則是在抽除過程中，油品會以接近殘餘飽和度存在於抽取井周圍土壤孔隙中，其移動性會隨時間快速降低，導致整治回收時間緩慢，油品到回收井的滲流率也會在幾年時間減半。Molson et al., (2002)也用 BIONAPL/3D 成功地以七項成分(BTEX、甲基萘、二甲基萘和三甲基萘)，模擬柴油洩漏 1500 天，並利用腐植酸(Humic Acid)來模擬對柴油污染整治，其結果得到模擬整治柴油洩漏量 500 ml，幾乎可在五年之間完全地溶解與降解。但在無加入腐植酸下，其柴油洩漏量完全溶解所需時間要達到六倍之久。

2.6 數值模擬 TMVOC

2.6.1 基本原理

TMVOC 是能模擬水、氣體及 VOC 在三維空間裡非恆溫情況下的流體系統，可依使用者設置不同氣體和 VOC 呈現在三維的不同孔隙介質中 (Pruess and Battistelli, 2002)。是由美國勞倫斯柏克萊國家實驗室 (Lawrence Berkeley National Laboratory) 所開發，為 TOUGH2 做延伸的有限差分數值程式。

為了描述流體在多相系統的組成和組態，不同相之間的轉換是根據 Newton-Raphson 疊代過程，依循熱動力條件和不同成分相互關係，可存在七種不同相的結合體 (Pruess and Battistelli., 2002)，如圖 2-10 描述液體可在不同相中由氣體、液體和 NAPL 所組成。

在質量與能量平衡的方面，仍是以某區間中其質量變化通量，會等於進入該區域的質量淨通量，再加上其它能量所導致該區域的質量變化為基礎，而 TMVOC 是以 2-1 式來描述在任何區間內的質量或熱量淨增加量：

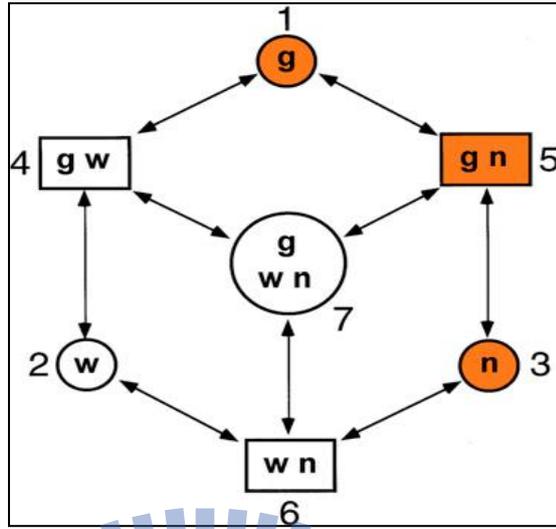


圖 2-10 液體在各相之組成與變化圖(g-氣體、w-液體、n-NAPL)

$$\frac{d}{dt} \int_{V_n} M^k dV_n = \int_{\Gamma_n} F^k n d\Gamma_n + \int_{V_n} q_n^k dV_n \dots \dots \dots (2-1)$$

上式的 V_n 為模擬流體系統內任一區域的體積； Γ_n 有界的封閉曲面面積；k 代表不同成分(如:水、VOC、NCGs)；M 為區域內每單位體積的質量或能量的累積量；F 為質量或熱通量；q 為匯合源；n 為封閉曲線的法線向量；t 為時間。至於 TMVOC 空間與離散部分，使用積分式有限差分 (Integral Finite Difference) 來漸近平均體積值。控制體積中的累積總量為系統內任一區域的體積乘上在此區中的通量平均值，可表示為：

$$\int_{V_n} M dV = V_n M_n^k \dots \dots \dots (2-2)$$

式中 M 為 V_n 中質量或能量的累積總量， M_n^k 為 M 在 V_n 中的平均值。在離散空間下，其任二個體積元素的表面積分 (Surface Integral) 近似於其兩者的垂直分量平均值 F_{nm} 乘上相接表面段 A_{nm} 的離散總和，如圖 2-11 所示。相當於在離散空間下，各連接面淨通量平均值的總和等於控制面積上內延性質通量的表面積分，表示為：

$$\int_{\Gamma_n} F^k \cdot n d\Gamma_n = \Sigma A_{nm} F_{nm} \dots \dots \dots (2-3)$$

Γ_n 為控制面積， F_{nm} 為控制面積上法相量， F^k 代表為不同物質 K 的流速， A_{nm} 為 V_n 和 V_m 的相接表面段， F_{nm} 為在 A_{nm} 上的垂直分量平均通量。而物質 k 可在不同相流體所攜帶，所以 F_{nm} 可表示為：

$$F_{nm} = \sum_{\beta} X_{\beta}^k F_{\beta, nm} \dots \dots \dots (2-4)$$

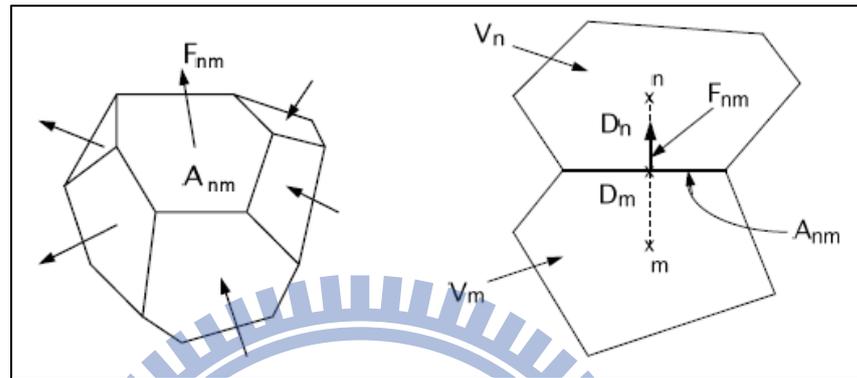


圖 2-11 TMVOC 離散模型 (Pruess et al., 2002)

X_{β}^k 為 k 在 β 相流體的濃度， $F_{\beta, nm}$ 為 β 相在 A_{nm} 上的垂直分量平均流速。 $F_{\beta, nm}$ 以廣義達西定義可表示成：

$$F_{\beta, nm} = -k_{nm} \left[\frac{k_{\gamma, \beta} \rho_{\beta}}{\mu_{\beta}} \right]_{nm} \left[\frac{P_{\beta, n} - P_{\beta, m}}{D_{nm}} - \rho_{\beta, nm} g_{nm} \right] \dots \dots \dots (2-5)$$

k_{nm} 為在 V_n 中的絕對滲透係數 (Intrinsic Permeability)， $k_{\gamma, \beta}$ 為 β 的相對滲透係數， ρ_{β} 為 β 相密度， μ_{β} 為在 β 相的黏滯力， $P_{\beta, n}$ 與 $P_{\beta, m}$ 分別代表 β 在 V_n 及 V_m 的壓力， D_{nm} 為 V_n 及 V_m 的節點距離， g_{nm} 為重力加速度在節點 n 、 m 連線上的分量。將 2-2 及 2-3 式帶入 2-1 式中，以一階有限差分式表示：

$$\frac{dM_n^k}{dt} = \frac{1}{V_n} \sum_m A_{nm} F_{nm}^k + q_n^k \dots \dots \dots (2-6)$$

其中 q 為匯合源在 V_n 中的平均值，此即為 TMVOC 的控制方程式。

2.6.2 成分設定

不同化學物質擁有各自不同的物理及化學性質，但大多模擬軟體僅用密度區分 LNAPL 和 DNAPL，或者是成分在水中的縱向及橫向延散度來對不同成分作定義。TMVOC 在污染傳輸部份模擬較為困難，特別是當污染物在非飽和及飽和間，是因為其對化學物質定義較為詳述。化學成份設定在 TMVOC 裡，是以溫度、壓力、壓縮性、Pitzer's acentric factor、化學偶極矩(Cheical dipole moment)、沸點、蒸汽壓、莫耳分量、理想氣體熱常數(Ideal gas heat constant)、密度(NAPL density)、空氣中的 VOC 的擴散係數(Binary diffusivity of VOC in air)、氣體發生擴散溫度(Temperature for gas diffusivity)、黏滯度(Viscosity)、體積、水中溶解性(Solubility)、土壤中有機物吸附量、吸附係數(K_{oc})、生物降解，以上 20 個參數來描述成份的物理特性。

本研究在生物降解部分未考慮，所以各成份在此部分均設為 0，而在模擬過程中又以蒸汽壓、黏滯性及在水中溶解性參數設定對物質傳輸影響較大。對 TMVOC 模擬而言，化學成份的蒸汽壓決定物質的揮發性，往往在設置上易在非飽和區發生計算上的不收斂，Rasmusson (2009) 模擬柴油洩漏中，常在當 VOCs 到達地下水面時會易發生模擬計算上的不收斂情況。VOCs 普遍在水中溶解性較小，而柴油中成分在水中溶解度幾乎落在 $1 \times 10^{-2} \sim 1 \times 10^{-12}$ 莫耳分量間，在 TMVOC 之各個化學物質的飽和蒸汽壓計算，則是以 Wander equation 計算得出，公式如下：

$$P_{vap} = P_c \exp\{[a(1 - T_r) + b(1 - T_r)^{1.5} + c(1 - T_r)^3 + d(1 - T_r)^6]/T_r\} \dots\dots(2-7)$$

P_c 為臨界壓力， T_r 為臨界溫度， a 、 b 、 c 、 d 為描述化學物質常數值，其不同 VOCs 的常數值可參照 Reid et al., (1987) 的 Appendix A。但有些 VOCs 的常數值無法得知，其蒸汽壓計算也可以用較少準確的 Antoine correlation，其將所需參數降至三個經驗參數： A 、 B 及 C ，同樣可參照 Reid et al., (1987)，公式如下：

$$\ln P_{vap} = A - \frac{B}{T+C} \dots\dots(2-8)$$

至於化學成分的黏滯性，可用 Yaws et al.(1976) 的溫度函數方程式來計算，公式表示：

$$\ln \mu = A' - \frac{B'}{T} + C'T + D'T^2 \dots\dots(2-9)$$

式中的A'、B'、C'、D'為黏滯性常數，但在模擬傳輸上，各項成份的黏滯性會容易影響到整體的黏滯性。也可將C'和D'設為 0，只考慮A'和B'參數來描述化學物質黏滯性的 Velzen et al., (1972)所提供之簡化相關參數，來降低所需之數值計算量。

修正黏滯參數設定在程式中，除了會影響污染團傳輸速度外，也會影響到污染模擬開始的讀取時間。因各成份擁有各自不同的黏滯力，TMVOC 則是下列公式描述整體污染物黏滯力，但此式卻忽略成份之壓力與黏滯力的相關性：

$$\mu_n = \prod_k \mu_n^{x_k} \dots\dots\dots(2-10)$$

數值 TMVOC 也可模擬將多種物質應用在熱場及流場之傳輸上，除了前述應用於探討碳氫化合物或有機溶劑，滲漏於飽和及非飽和區的汙染傳輸或整治。另外，Battistelli (2006)將 TMVOC 應用於探討有機物洩漏在沿海地表下污染的情況，以二維垂直向形式，將洩漏點設置在鹽水與淡水交界附近，以呈現海水入侵對污染影響，並假設當淡水或鹽淡水(Sea Water)在海水邊界兩種情境，其發現當鹽淡水假設在海水邊界時，證實海水入侵會減少含水層流率及平均含水層上游的水力梯度，使污染物無法在往下擴散。



第三章 研究方法

本研究使用 TMVOC 數值模擬加油站之柴油洩漏與整治，從相關柴油文獻決定其含成分，依柴油洩漏在不同污染條件下，再針對污染團進行抽油整治。在此章說明之研究方法，其內容可分為四部份：模型建立、柴油成分、控制參數及柴油模擬階段。進一步將整個場址模擬流程分為兩大階段：柴油污染階段和加入抽取井整治階段，其研究方法流程可由圖 3-1 所示。

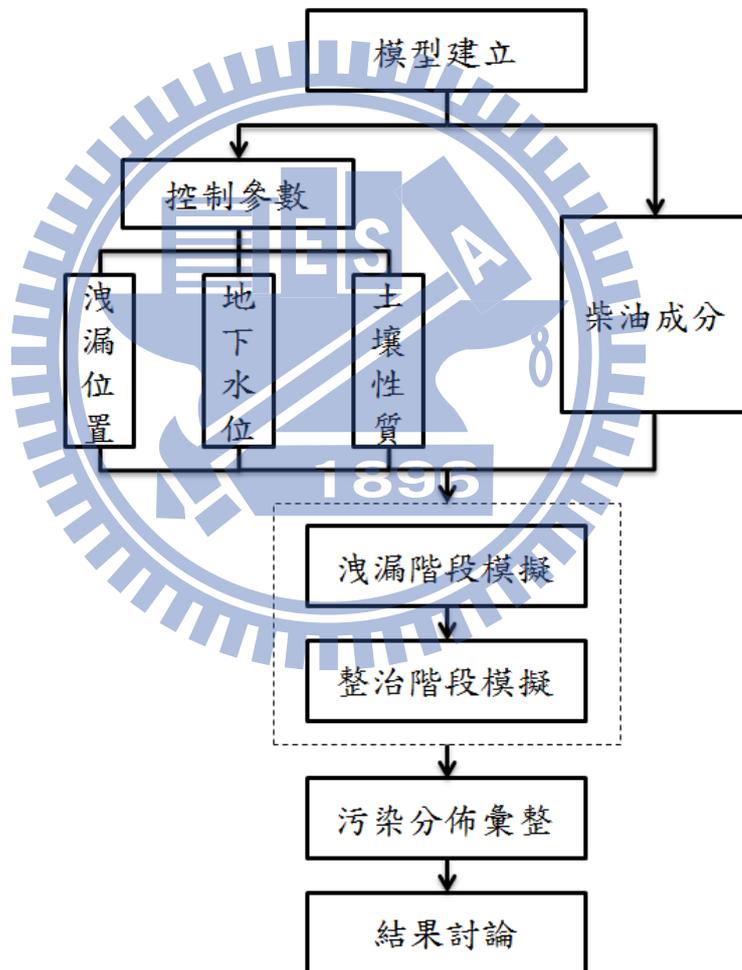


圖 3-1 研究流程圖

3.1 柴油成分設定

本研究的模擬柴油成分採用 Alaska Statement of Cooperation Working Group (2006)的 Sample 10, Diesel，如表 2-9。其樣品柴油簡單分成烴烷類(85%)和芳香類(15%)，主要針對兩大類的 C5 ~ C35 碳數範圍進行分類。但 TMVOC 在模擬過程中，各項 NAPL 成分會因在油品所佔比例，及擁有各自的飽和蒸汽壓、溶解度、黏滯性等性質，造成模擬的困難性。所以無法將樣品柴油所有成分完全進行模擬，勢必需將柴油成分簡化。

考慮加油站監測常見監測項目，故將模擬柴油成分仍保留住 BTEX 部分，再加上在柴油污染場址中，也常發現含有萘成份。所以本研究柴油芳香類就分成 BTEX 和萘成份。而烴烷類部分在柴油比例幾乎佔絕大部分，也需將其細分。故針對樣品柴油成分分類，依下列三項進行柴油成分簡化，以降低模擬計算的不收斂情況：

1. 柴油組成範圍一般都在 C8 ~ C27，刪除掉芳香類 C21 ~ C35 和烴烷類 C21 ~ C35。
2. 萘在柴油的芳香類相對較多，將芳香類 C9 ~ C10、C10 ~ C12、C12 ~ C16 和 C16 ~ C21 合併成一項，作為本研究柴油的萘。
3. 考慮烴烷類的 C5 ~ C6 在柴油的重量百分比低及碳數較小情況下，也將其排除掉。

故本研究的柴油，將簡化到以十項成分來進行模擬，如表 3-1，其本研究 TMVOC 的柴油十項成分物理及化學參數設定參見附錄。

表 3-1 簡化柴油組成成分百分比

成分	百分比 (%)	密度 (kg/m ³)	黏滯力 (cp)	莫耳質量 (g/mole)	蒸汽壓 (atm)
苯	0.0189	885	0.652	78.114	1.3×10^{-1}
甲苯	0.194	867	0.590	92.141	3.8×10^{-2}
乙苯	0.144	867	0.669	106.168	8.1×10^{-3}
二甲苯	0.821	880	0.620	106.168	9.7×10^{-3}
萘	12.5641	971	0.892	128.174	3×10^{-4}
庚烷	0.4627	679.5	0.542	100.204	6.3×10^{-2}
壬烷	5.2171	715	1.423	128.258	6.3×10^{-3}
十一烷	18.5755	748	1.437	156.312	5.7×10^{-4}
十四烷	34.8777	769	2.836	198.392	4.8×10^{-5}
十九烷	25.2764	772	23.31	268.529	7.6×10^{-7}
總計	98.1514			1590.838	
柴油整體性質: 密度 = 885 kg/m ³ 蒸汽壓 = 1.7 mm-Hg 黏滯力 = 4.32 cst					

3.2 模型參數訂定

本研究是延續陳培昉(2010)和楊凱仁(2012)的加油站模型作為柴油洩漏及整治的模擬場址。其模擬尺寸長為 40 m、寬為 40 m、深度至地下 10 m，作為加油站主要模擬區域。為了避免邊界效應影響，將主要模擬區域之四個邊界再往外延伸，則範圍變為長為 120 m，寬為 120 m。

而在網格切割部分，各自將 X 軸分割成 29 個網格(grid)、Y 軸分割為 21 個網格。Z 則依地下水位深度之不同(2 m 和 5 m)而分別切割成 13、16 個網格。並在此區的 X 軸與 Y 軸方向網格各自細分為 1m/grid，Z 軸則為 0.5 m/grid，如圖 3-2。此區域之三維座標是採用卡氏座標(Cartesian System)表示之。為了呈現加油站配置情況，而在主要模擬區內，放置四個儲油量約為 55 公秉之儲油槽。尺寸為矩形面積 $3 \times 3 \text{ m}^2$ 、長度 8.2 m，並埋設於地表下 1 m 處，以符合規範之地下油槽頂部距地表至少 0.6 m 之規定，如圖 3-3。

加油站的模型土層採用土壤孔隙率為 0.3 的單一砂層。水平方向的絕對滲透係數(Horizontal Intrinsic Permeability)設置在為 $2.5 \times 10^{-12} \text{ m}^2$ ，至於垂直方向而是參考一般垂直透水係數約為水平透水係數之 1/5~1/100 間(Noonan and Curtis, 1990; Testa and Winegardner, 1991; Nyer, 1993; Domenico and Schwartz, 1998)。因此採用垂直絕對滲透係數(Vertical Intrinsic Permeability)為 $5.0 \times 10^{-13} \text{ m}^2$ ，將場址視為均質土壤，其土壤在水平方向具有等向性，但在垂直方向不等向性的模型。

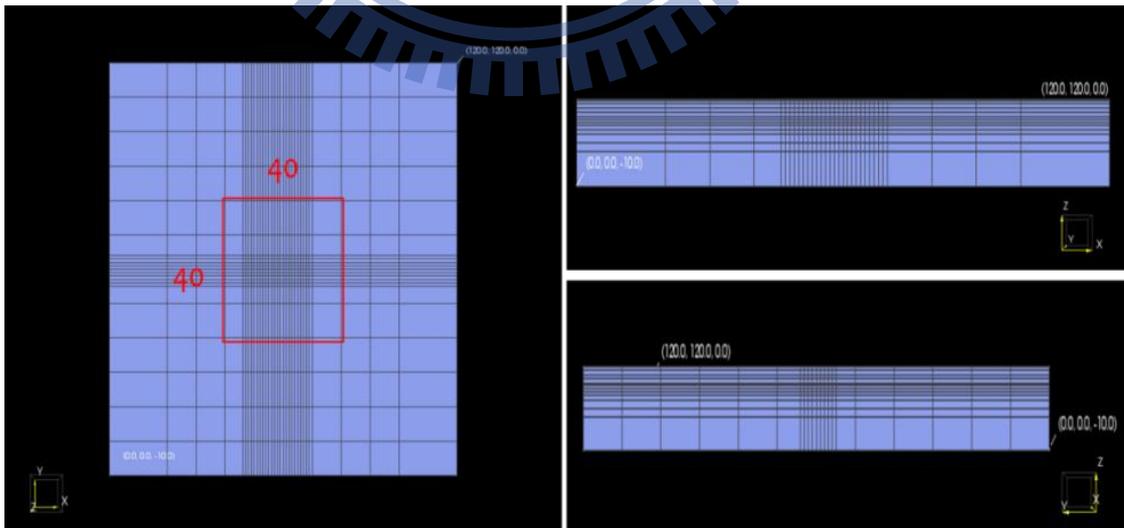


圖 3-2 模擬場址

在土水特徵曲線(SWCC)方面,則是使用 Paker 3-phase 的理論,相關參數為:
 $S_m=0$ 、 $n=1.84$ 、 $\alpha_{gn}=100$ 、 $\alpha_{gw}=110$;相對滲透係數是使用 Stone's 3-phase 的理論,
 相關參數為: $S_{wr}=0.1$ 、 $S_{nr}=0.05$ 、 $S_{gr}=0.05$ 、 $n=3$ 。以上模型採用的土壤參數整
 理於表 3-2。

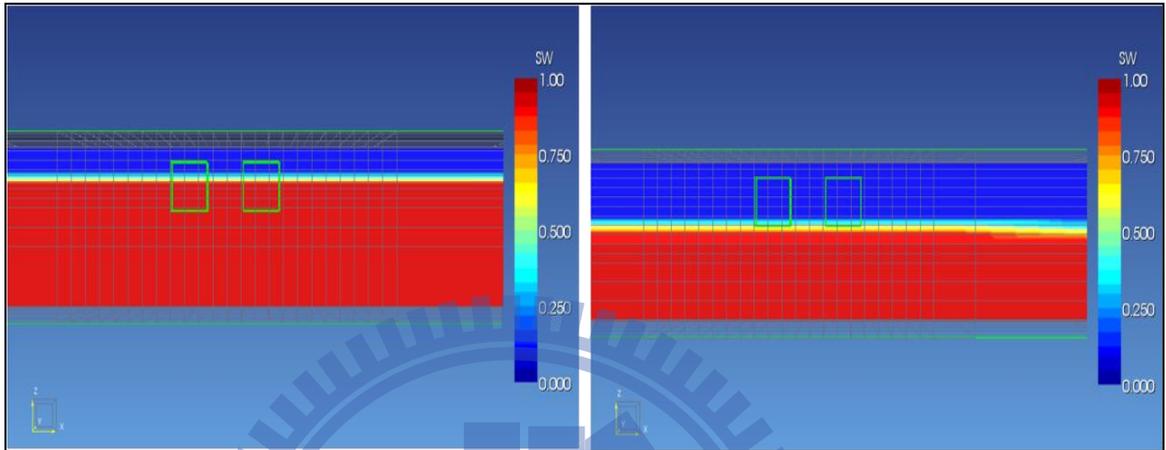


圖 3-3 不同地下水位設置儲油槽(左為 2 m; 右為 5 m)

表 3-2 模擬土壤相關參數

SAND			
Horizontal Intrinsic Permeability	Vertical Intrinsic Permeability	Porosity	
$2.5 \times 10^{-12} m^2$	$5.0 \times 10^{-13} m^2$	0.3	
Stone's Model Parameter			
n	S_{wr}	S_{nr}	S_{gr}
3	0.1	0.05	0.05
Paker 3-phase			
n	S_m	α_{gn}	α_{gw}
1.84	0	100	110

3.3 穩態地下水流場建立

在 TMVOC 地下水流場之上下游邊界條件設為定水頭邊界(Dirichlet Boundary Condition)，將地下水流梯度設置為 0.005，地表面則是設為大氣壓力邊界(Atmospheric Pressure Boundary Condition)，並且假設地表無逕流及無降雨入滲情形發生。為了符合環保署地下水質監測井設置規範中，則將地下水位分別假設在地表下 2 m(豐水期)和 5 m(枯水期)處，以便在模擬場址設置全開篩且深至地下 6 m 的監測井，以符合規範建議在非受壓含水層設置井篩 6 m，在豐水期(2 m)需要 1 m 的井篩置於地下水面以上及 5 m 井篩需置於地下水面以下；在枯水期(5 m)需要 5 m 的井篩置於地下水面以上及 1 m 井篩需置於地下水面以下，如圖 3-4 所示。

以研究中設置地下水位為 2 m 為例：在模型左側水頭(上游)設置於地面下 2 m 處，於模型右側水頭(下游)設置於地面下 2.6 m 處。將場址設定完上下游水頭後，再以進行長時間的地下水流模擬後，使整個模型產生一個達到穩定平衡的流場，而得到地下水流 0.005 之水力坡降，如圖 3-5 所示。本研究模擬場址的地下水流方向皆為由左向右平行 X 方向流動。

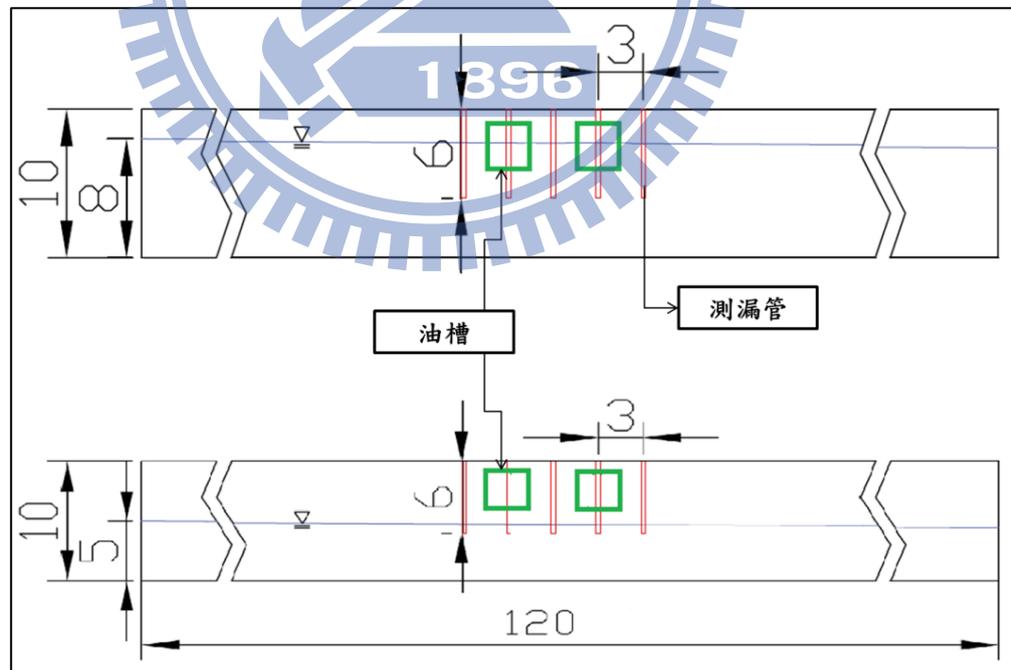


圖 3-4 地下水位於地下 2 m 和 5 m

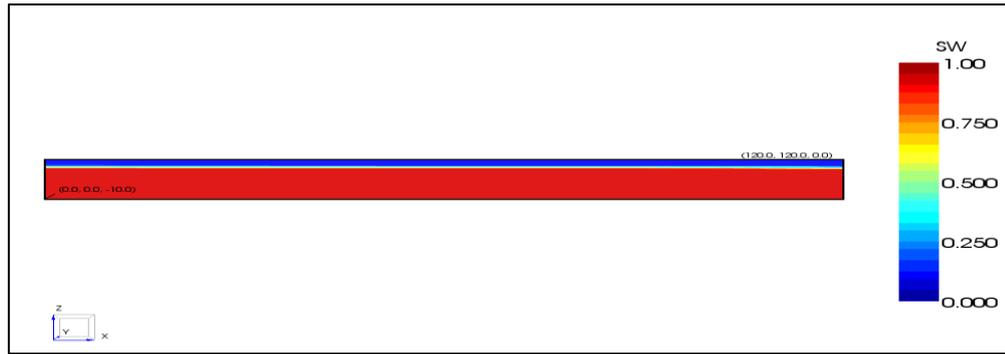


圖 3-5 地下水位達穩定狀態

3.4 柴油洩漏情境設定

在加油站的模擬洩漏點設置，參考美國賓州環境資源部對儲槽洩漏統計分析和經濟部能源局92年6月委託工研院能資所對台灣加油地下儲槽洩漏研究。前者統計儲槽洩漏占49%、管線占39%及兩者同時發生占12%；後者則是指出在國內加油站洩漏比例大部分發生在管線區內。故將柴油洩漏情況，集中在發生可能性較高的地下儲槽和管線區上，並假設四種不同洩漏位置，分別為油槽上方與輸油管連接處(case 1)、位於儲槽區內的輸油管(case 2)、位於洩油口下方輸油管(case 3)及位於儲油槽下方(case 4)，如圖 3-6 的(a)、(b)、(c)和(d)。

本研究為了模擬柴油裡各成份在土壤移動情況，不以單一成分來進行模擬，而是將多個柴油裡含有的成分同時注入單一網格，形成一個混合柴油的洩漏源。注入簡化柴油為十項成分分別為：BTEX、萘、庚烷、壬烷、十一烷、十四烷及十九烷。至於洩漏量部分，根據美國規範中加油站之測漏管應於30天內測得150加侖之油品洩漏量，所以將四種洩漏情況下均假設柴油整體洩漏速率為5 gal/day(約15.2 kg/day)，並以此速率持續洩漏一年，估計一年總洩漏量為5400 kg。其各成分的洩漏速率依在柴油中所占的百分比，整理於表 3-3。

由於 PetraSim 軟體模擬時間過長，為了使多成分柴油能順利模擬，勢必需將模型進行簡化以降低變數。首先無探討柴油中各成分的化學變化，故將模型設定在恆溫 25°C 下，讓各成分化學參數不會因溫度而產生變化，其 VOC 成分在 TMVOC 中的相關化學參數設定可參考附錄。最後在地下水位部分，也未考慮地下水水位季節性波動，所以在模型無加入降雨入滲的條件，而且 Rasmusson(2009) 的模擬經驗與結果，也指出以 Skimming Pump 方式設置抽取井所造成洩降並無法隨著水位上下移動，故水位高於井底一定程度會有抽不到油品的情況。而且地

下水變動所導致土壤遲滯現象，楊凱仁(2010)將 TMVOC 模擬汽油污染加入水位變動條件，結果發現在此過程中，對土壤氣體濃度監測效果差且模擬時間也會大幅增加，但要在模型中呈現完整地下水變動，仍需進一步的探討與研究。

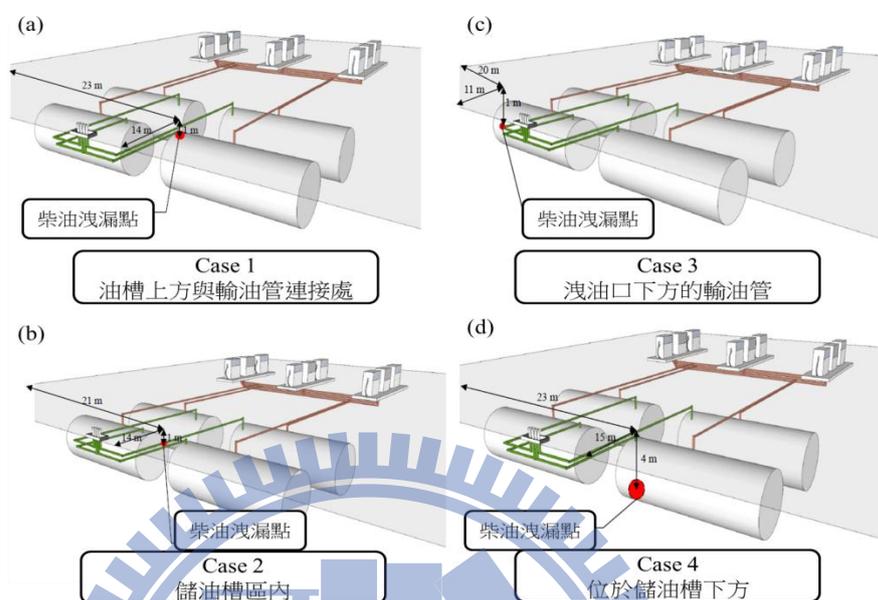


圖 3-6 加油站洩漏點設置

表 3-3 柴油各成分洩漏量

混合柴油洩漏量			
成分	百分比(%)	洩漏速率(kg/s)	一年洩漏量(kg)
苯	0.02	3.3×10^{-8}	1.000
甲苯	0.19	3.4×10^{-7}	11.00
乙苯	0.14	2.5×10^{-7}	8.000
二甲苯	0.82	1.4×10^{-6}	44.00
萘	12.56	2.2×10^{-5}	694.0
庚烷	0.46	8.1×10^{-7}	26.00
壬烷	5.22	9.2×10^{-6}	290.0
十一烷	18.58	3.3×10^{-5}	1041
十四烷	34.88	6.1×10^{-5}	1925
十九烷	25.28	4.4×10^{-5}	1388
總計	98.15	1.8×10^{-4}	5429

3.5 抽取井及監測井設置

為了清楚掌握柴油在加油站流動情況，依四種洩漏情況，將監測井集中配置在油槽之間，每兩支相鄰監測井間距為 3 m，並配置 11 支監測井，井深至 6 m，以全井開篩方式來獲得在豐水期(地下水位 2 m)和枯水期(地下水位 5 m)時，各 VOC 在非飽和層之氣體濃度及溶於飽和層水中濃度。

當場址模擬柴油洩漏一年後，除了配置監測井來探討柴油流動情況以外，也在最後階段加上抽取井的設置，來針對場址中的柴油污染團進行抽除整治。在 TMVOC 是以 Deliverability Model 中的生產力指標(Productivity Index,PI)和井底壓力來描述抽取井強度(Coats, 1977)。藉由井周邊區域與井底形成壓力差，而 PI 則是定義在單位壓差下每單位時間的出水量。其公式如下：

$$S_{\beta} = \frac{k_{r,\beta}}{\mu_{\beta}} \rho_{\beta} \cdot PI \cdot (P_{\beta} - P_{wb}) \dots\dots\dots(3-1)$$

式中 S_{β} 為抽取強度、 $k_{r,\beta}$ 為相對滲透係數、 μ_{β} 為在 β 相中黏滯係數、 ρ_{β} 為在 β 相中密度、PI生產力指標、 P_{β} 和 P_{wb} 分別為在 β 相中壓力及井底壓力。

井底壓力的設置，在模型內深度 2.5 m 處，設定一個小於大氣壓(101,325 Pa)的壓力源(90,000 Pa)。藉由與大氣之間的壓差(11,325 Pa)，在抽取井周圍形成壓力梯度，分別對柴油四種洩漏場址進行抽除整治，其抽取井參數設定如表 3-4 所示。監測井在加油站分佈位置，如圖 3-7 所示。

表 3-4 抽取井參數(江潤翰，2012)

抽取井影響半徑(m)	0.1
表面因子	0
生產力指標(m ³)	1.78× 10 ⁻¹¹
井底壓力(Pa)	90000
大氣壓力(Pa)	101,325
大氣壓力與井底壓力差值(Pa)	11,325

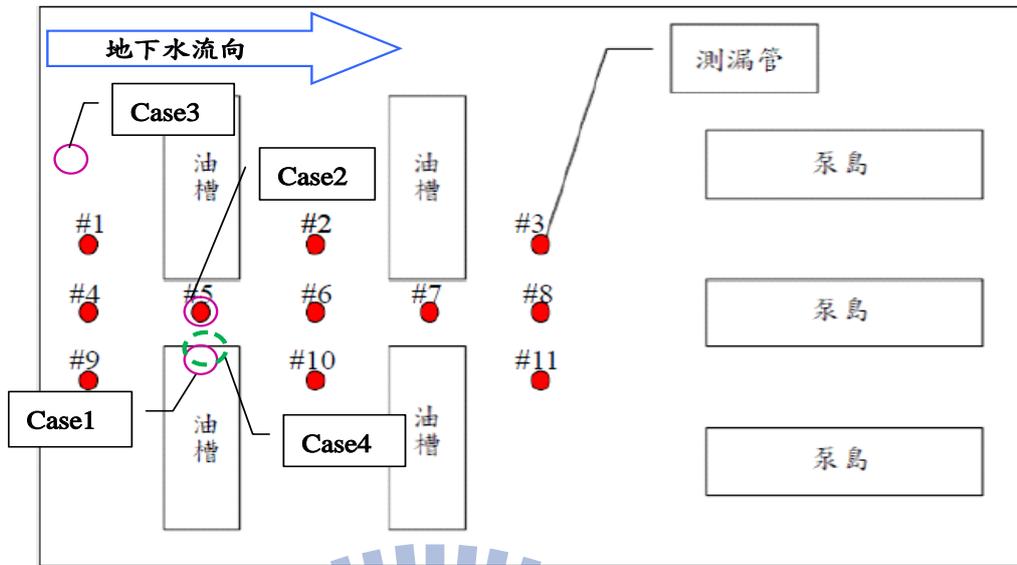


圖 3-7 場址監測井配置 (陳培旻, 2010)

3.6 柴油洩漏模擬

當加油站模型建立與基本參數設定完成，將簡化十相柴油成分同時注入到模型裡，以一個連續 NAPL 洩漏污染源進行一年的模擬。多成分模擬困難是在於各自成份擁有不同的化學性質，又因柴油碳數範圍較廣，無法將所有的成分都進行模擬，其各成分性質落差也相對大，加上 TMVOC 也有模擬成分數量的上限，而須考慮物理及化學參數也多，易使得模擬在計算上發生不收斂情況增加。

圖 3-8~3-11 則是呈現油品在模擬還未加入油槽設置中的情況，其中圖 3-8 和 3-9 分別為柴油依不同地下水位洩漏一年的情況，可看出柴油洩漏過程變化是從洩漏點逐漸往下移動，並隨著地下水流動成浮油餅狀。在地下水位 2 m 時，柴油會較早遇到水層，由於水力梯度使得汙染範圍散佈比在水位 5 m 處廣，而圖 3-10 和 3-11 則是沿著地下水位 2 m、5 m 處切 x-y 面來看，也可看出相同情況。

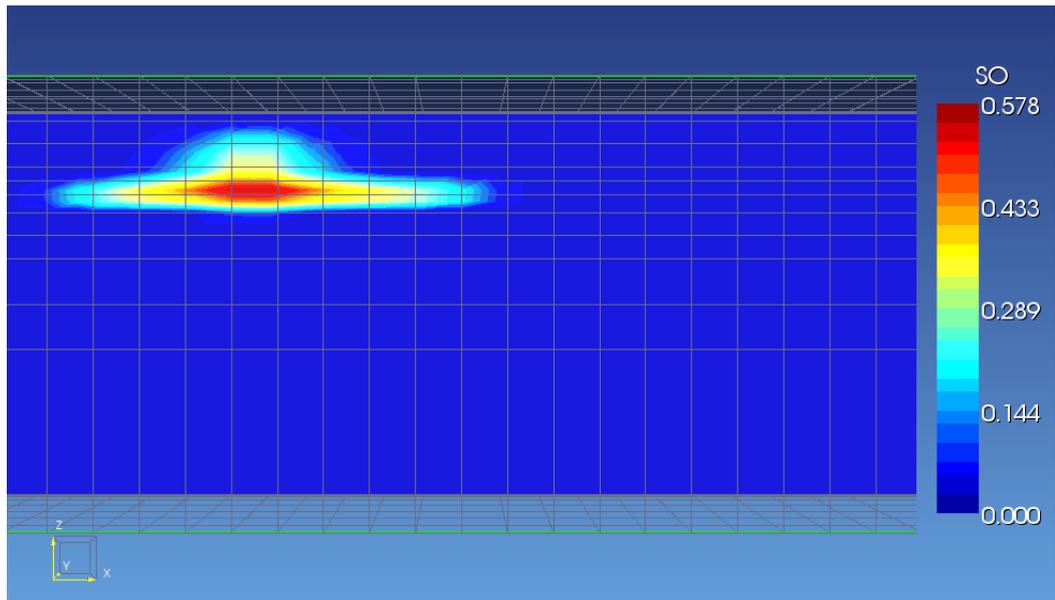


圖 3-8 地下水位 2 m 之 x-z 剖面圖

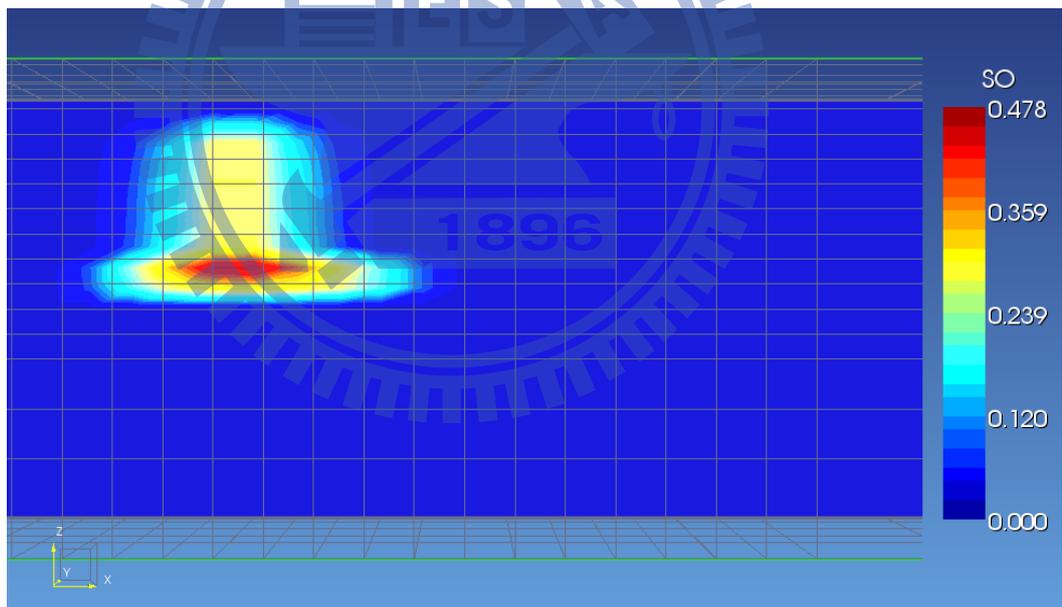


圖 3-9 地下水位 5 m 之 x-z 剖面圖

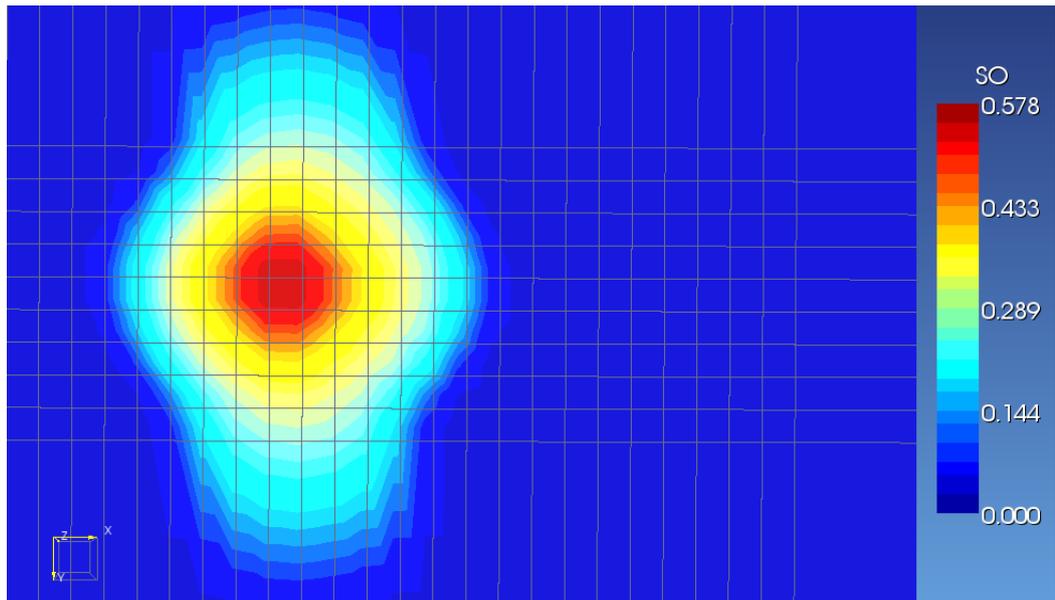


圖 3-10 地下水位 2 m 之 x-y 剖面圖

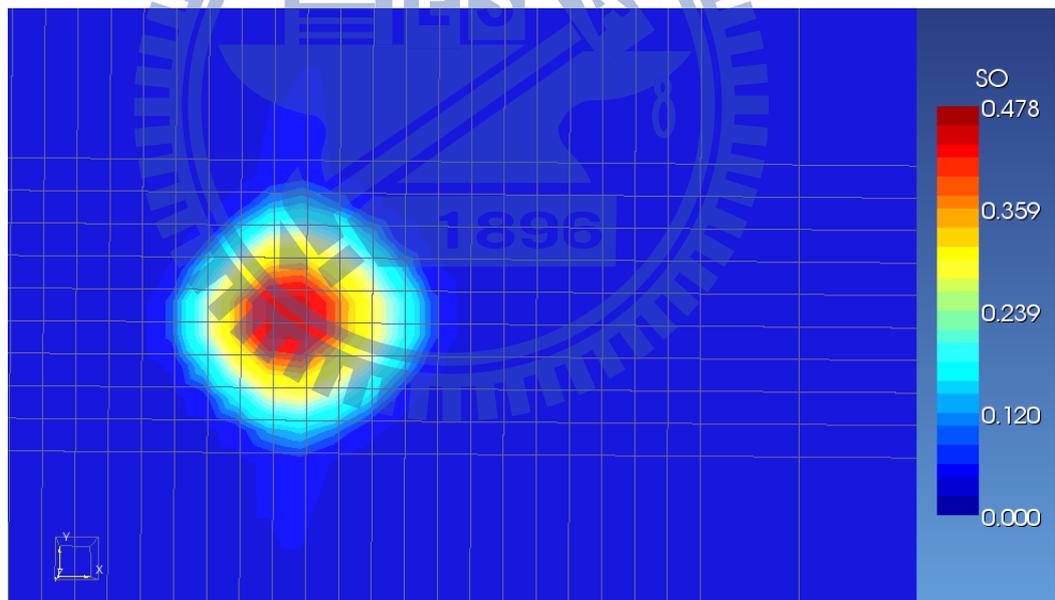


圖 3-11 地下水位 5 m 之 x-y 剖面圖

第四章 模擬結果與分析

在本章將針對加油站之柴油污染模擬結果進行討論，首先在 4.1 部分對四種加油站洩漏位置以持續柴油洩漏情況，依序對在不同地質條件，以各支監測井之氣體及水中監測值作柴油污染分佈探討。在 4.2 部分，則是以其中幾個柴油案例與汽油洩漏做個對比，來探討此場址之柴油與汽油洩漏污染差異。4.3 則是探討在場址加入抽取井，以多相抽除法來針對一種洩漏情況之柴油污染團進行整治，並在 4.4 部分對此洩漏在不同地質條件下，所造成柴油污染狀況進行整治，分別討論其在整治期間的監測值變化。最後在 4.5 部分，將變動抽取井與洩漏點之水平距離，來探討在同樣的污染狀況及抽取能力下，不同的佈井位置對柴油整治的影響程度。

4.1 柴油洩漏

以柴油洩漏速率為 5 gal/day，呈現出四種柴油洩漏情況，當其持續洩漏達一年時，在不同地下水位(2 m、5 m)深度、土壤條件之水力傳導係數(2.74×10^{-2} 、 2.74×10^{-3} cm/sec)及孔隙率(0.3、0.4)下之污染分佈，各個洩漏模擬案例之整理如表 4-1。其四種柴油洩漏之油品飽和度(SO)剖面示意圖，分別如圖 4-1 至 4-4。其各個洩漏點於場址的座標，依序分別為(54.5, 57.5, -0.75)、(54.5, 59.5, -0.75)、(51.5, 60.5, -0.75)及(55.5, 57.5, -4.5)。地下水位於地下 2 m 處時，污染源存在於非飽和區中(Case 1、2、3)。柴油洩漏於 1 天時，如圖 4-1(a)、4-2(a)及 4-3(a)。油品自由相會隨著重力往下移動至地下水面，在此過程中油品會先在毛細緣層堆積一定油量形成局部壓力，持續往飽和區下壓，直到毛細張力與重力達到平衡，才使得油品朝周圍移動而逐漸呈現出隨著水力梯度流動的浮油餅狀污染團。柴油洩漏於一年時情況，圖 4-1(b)、4-2(b)及 4-3(b)。

而 Case 4 則是洩漏點設置在位於地下水面下的儲油槽底部，其洩漏 1 天情況，如圖 4-4(a)。因為油比重較水輕，在此洩漏情況下會呈現出柴油猶如往水面向上滲透入侵，進而突破飽和區並浮於此區上緣往水平擴散，其洩漏一年時的油品分佈示意圖，如圖 4-4(b)。各個案例之洩漏一年的油品飽和度變化分佈仍在洩漏點附近，均顯示出柴油在一年持續洩漏中，傳輸緩慢且範圍不大，較集中在洩漏點附近。下列依序對四種洩漏情況，分別對不同地下水位、孔隙率及透水係數作討論：

表 4-1 模擬洩漏案例

洩漏點	洩漏時間	土壤條件		地下水位	模擬加油站案例
		孔隙率(n)	水力傳導係數(K)		
Case 1	1 year	30	0.00274 cm/s	2 m	c1_n30_K 2.74E-3_2 m
	1 year	30	0.0274 cm/s	2 m	c1_n30_K 2.74E-2_2 m
	1 year	40	0.00274 cm/s	2 m	c1_n30_K 2.74E-3_2 m
	1 year	30	0.00274 cm/s	5 m	c1_n30_K 2.74E-3_5 m
Case 2	1 year	30	0.00274 cm/s	2 m	c2_n30_K 2.74E-3_2 m
	1 year	30	0.0274 cm/s	2 m	c2_n30_K 2.74E-2_2 m
	1 year	40	0.00274 cm/s	2 m	c2_n30_K 2.74E-3_2 m
	1 year	30	0.00274 cm/s	5 m	c2_n30_K 2.74E-3_5 m
Case 3	1 year	30	0.00274 cm/s	2 m	c2_n30_K 2.74E-3_2 m
	1 year	30	0.0274 cm/s	2 m	c3_n30_K 2.74E-2_2 m
	1 year	40	0.00274 cm/s	2 m	c3_n30_K 2.74E-3_2 m
	1 year	30	0.00274 cm/s	5 m	c3_n30_K 2.74E-3_5 m
Case 4	1 year	30	0.00274 cm/s	2 m	c4_n30_K 2.74E-3_2 m
	1 year	30	0.0274 cm/s	2 m	c4_n30_K 2.74E-2_2 m
	1 year	40	0.00274 cm/s	2 m	c4_n30_K 2.74E-3_2 m
	1 year	30	0.00274 cm/s	5 m	c4_n30_K 2.74E-3_5 m

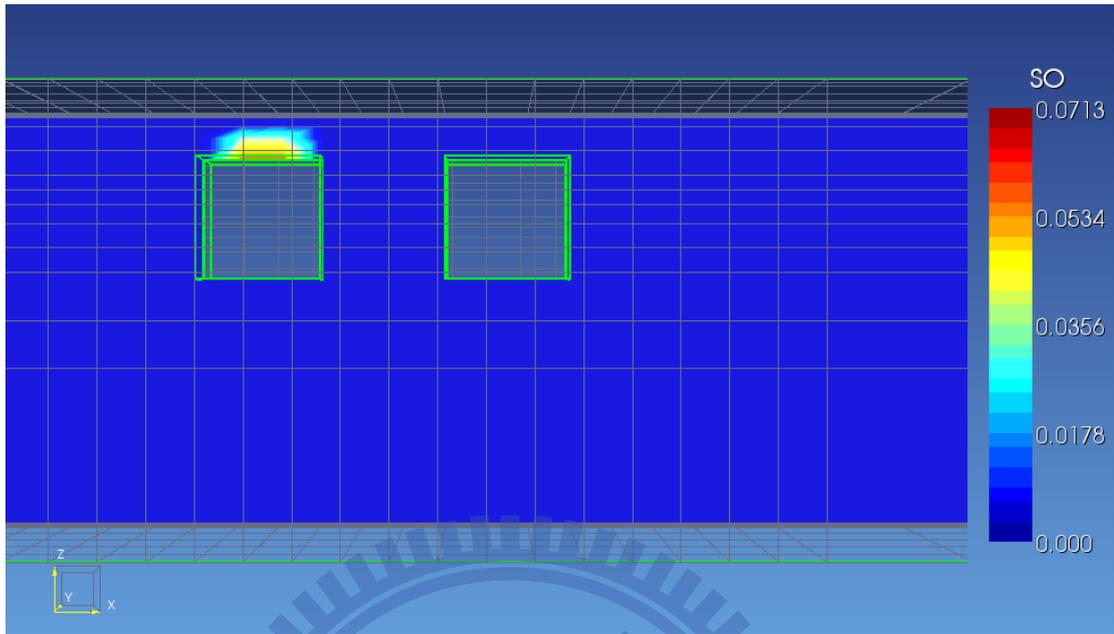


圖 4-1(a)洩漏點 Case 1 柴油飽和度達一天分佈

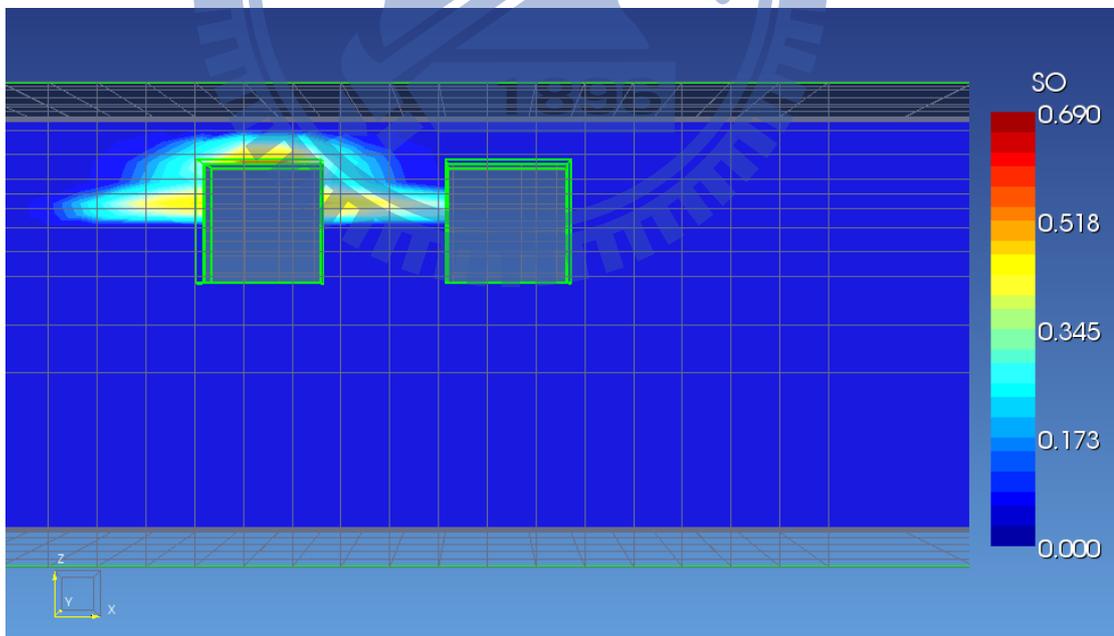


圖 4-1(b)洩漏點 Case 1 柴油飽和度達一年分佈

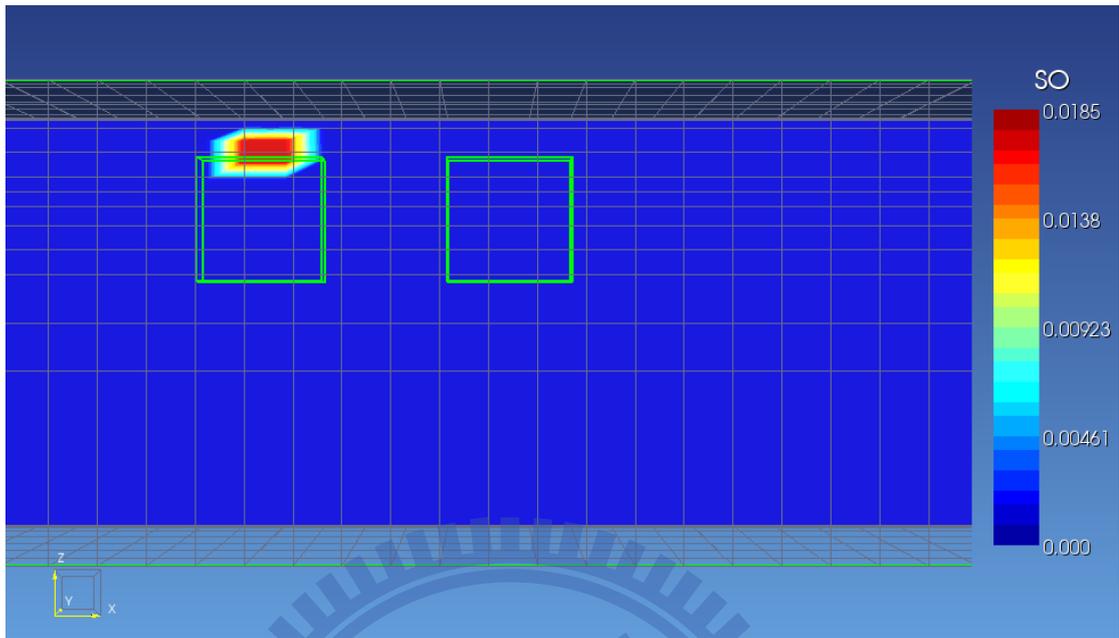


圖 4-2(a)洩漏點 Case 2 柴油飽和度達一天分佈

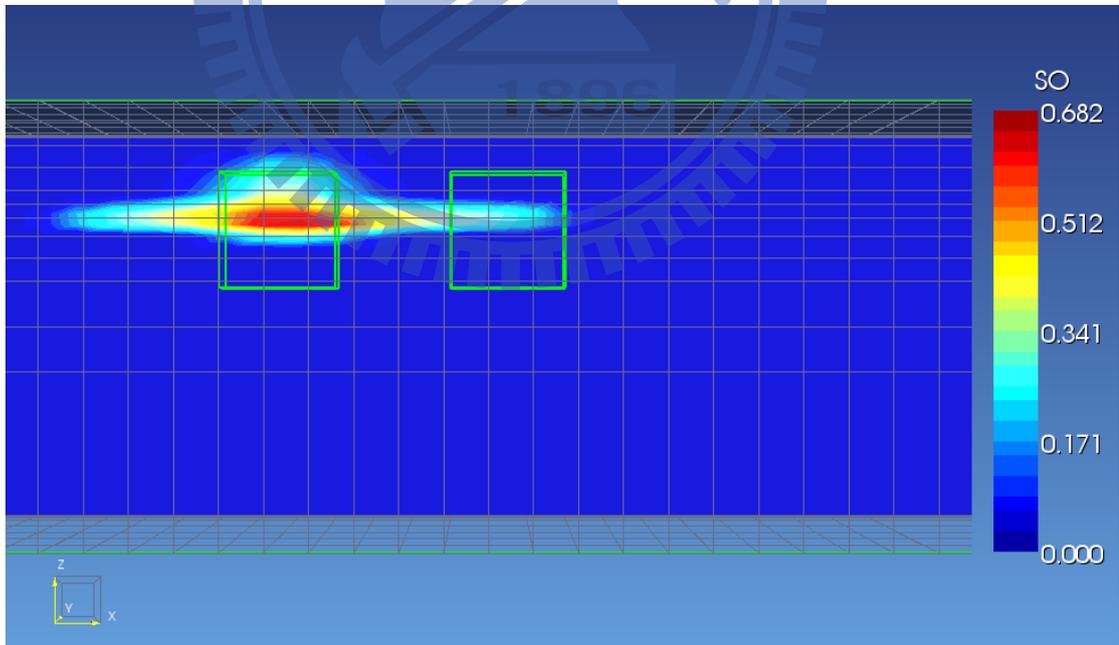


圖 4-2(b)洩漏點 Case 2 柴油飽和度達一年分佈

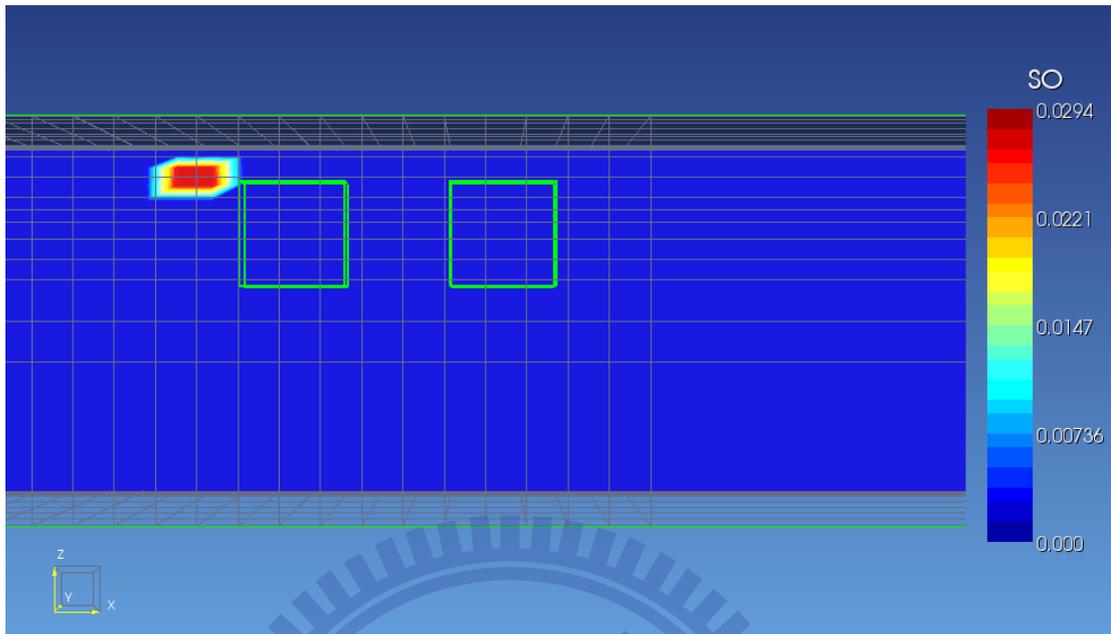


圖 4-3(a)洩漏點 Case 3 柴油飽和度達一天分佈

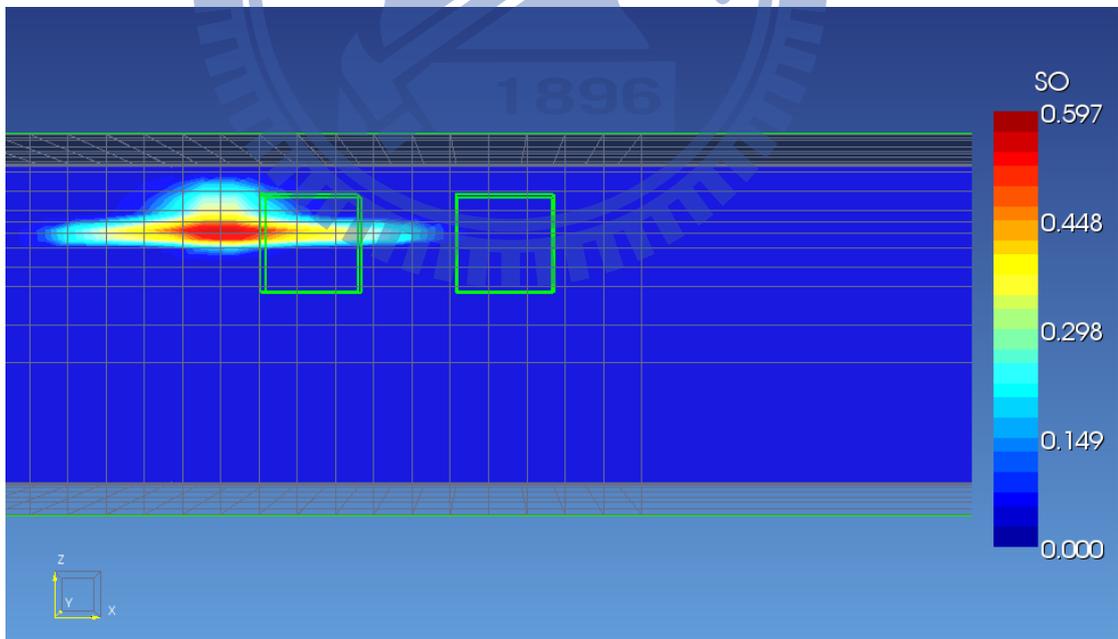


圖 4-3(b)洩漏點 Case 3 柴油飽和度達一年分佈

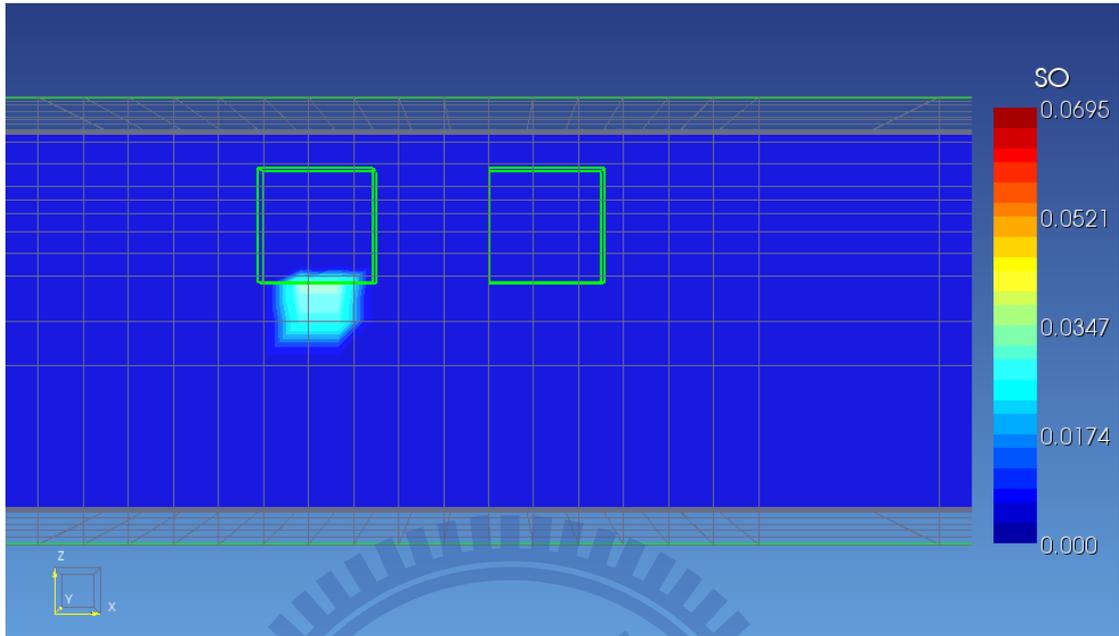


圖 4-4(a)洩漏點 Case 4 柴油飽和度達一天分佈

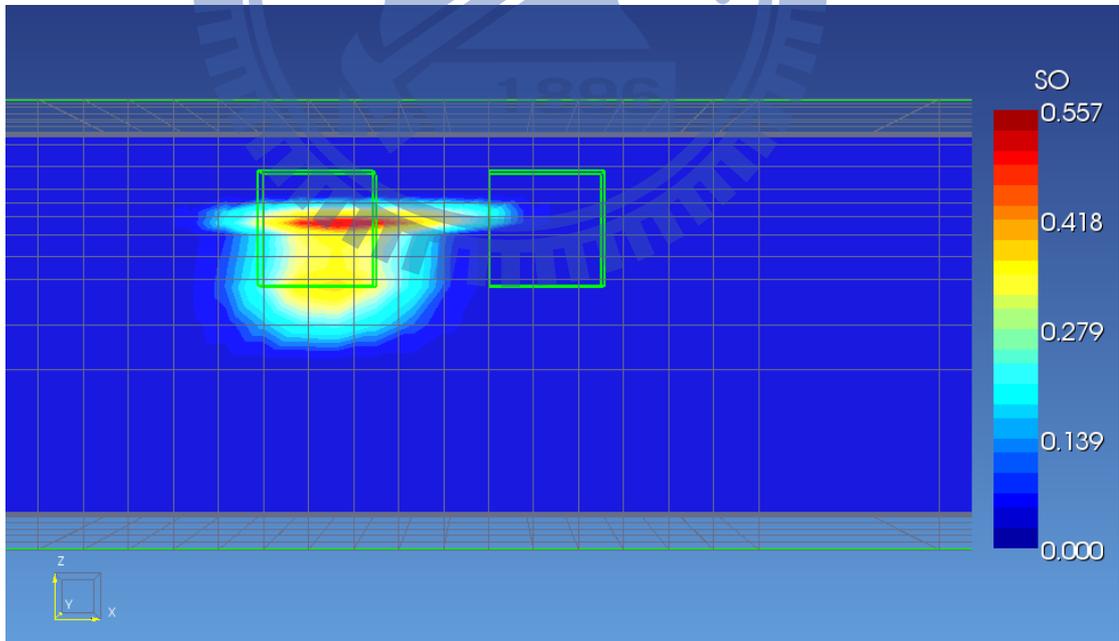


圖 4-4(b)洩漏點 Case 4 柴油飽和度達一年分佈

4.1.1 洩漏點位於油槽上方處

當洩漏點設置在油槽上方，圍繞在洩漏點周圍距離 3 m 範圍內監測井有#4、#5、#6、#9 及#10。先以水平方向的絕對滲透係數($2.5 \times 10^{-11} \text{ m}^2$ 和 $2.5 \times 10^{-12} \text{ m}^2$) 案例作分析，如圖 4-5(a)和圖 4-5(b)。先以#5 之揮發性有機氣體(Volatile Organic Compounds, VOCs)濃度變化為例，兩者皆在第 7 天時可達到土壤氣體濃度標準 500 ppm，高滲透係數 $2.5 \times 10^{-11} \text{ m}^2$ 的值為 1459 ppm，低滲透係數($2.5 \times 10^{-12} \text{ m}^2$) 的值為 2165 ppm。以 VOCs 濃度變化幅度來看，低滲透性場址在短時間內會比高滲透性而 VOCs 傳遞速度較快。同樣在監測井#6、#9、#10 之 VOCs 濃度，如圖 4-5(b)。分別在 7 和 30 天時，也比高滲透土壤較早達到氣體監測濃度 500 ppm，但距離洩漏點較遠的監測井，如距離洩漏源水平距離 9 m 處之#3、#8 及#11，其 VOCs 濃度至一年時，高滲透性場址會比低滲透性會先達到較大的 VOCs 濃度值，反而呈現出 VOCs 在高滲透性較容易傳輸。對於距離洩漏點較近(3 m 範圍內)的監測井而言，一開始柴油會因土壤低滲透性難以往下移動，會相對於高滲透性較早往四周移動，也因油槽阻擋及柴油之高黏滯特性，表現出污染範圍較集中在洩漏點附近且擴散範圍有限，使其監測井之 VOCs 濃度較易上升。而當洩漏時間增加而柴油擴散範圍開始增大時，使其 VOCs 在高滲透性土壤中較容易傳輸到較遠的監測井。

比較 Case 1 之孔隙率 0.3 和 0.4 案例，圖 4-5(b)和圖 4-5(c)。由於孔隙率較大所能停留油品之空間大，在靠近洩漏點距離 3 m 處兩側之#9 和#10 監測井。在 30 天內孔隙率 0.4 會比孔隙率 0.3 之 VOCs 濃度高。但至 150 天以後，反而孔隙率 0.3 之 VOCs 濃度上升幅度較快。說明在短時間內因柴油高黏滯特性而擴散範圍未大時，柴油因在高孔隙率中能充滿較多的 VOCs 量，而使在距離洩漏源 3 m 處之#9 和#10 監測井在 30 天時能先達到管制標準。地下水監測方面在孔隙率 0.3 之場址中只有在距離洩漏源為 2 m 處之#5 監測井，其柴油總石油碳氫化合物(TPH_d)在一年達到管制標準 10 mg/L。但在偵測水中苯及萘濃度，各支監測井幾乎難以在一年內達到苯 0.05 mg/L 及萘 0.4 mg/L 之管制濃度標準。而在 0.4 土壤中，因高孔隙率所能停留的油量空間大。相對油品充滿孔隙時間較低孔隙率慢，所以在#5 監測井一年時其 TPH_d濃度只有 7.96 mg/L。而在水中苯及萘濃度也同樣比低孔隙率低。呈現出柴油洩漏於高孔隙土壤相對於低孔隙率較慢到達地下水而使其污染物溶於水中。在接近洩漏源 3 m 處#9 和#10 監測井在一年時的 TPH_d濃度值，也可看出在高孔隙率之濃度均比低孔隙率低。

在比較地下水位於 2 m 和 5 m 情況下，圖 4-5(b)和圖 4-5(d)。在 Case 1 洩漏狀況一開始會受到油槽阻擋，需要先繞過油槽才能至地下水，柴油需要一段時

間才能至地下水水面，所以水位在 5 m 時之各支監測井，圖 4-5(d)，不管在監測水中含苯或萘濃度方面，幾乎無法偵測到水中濃度的變化。而在地下水位 2 m 案例，柴油相對於地下水位 5 m 會較早接觸到飽和帶。但在 case 1 洩漏情況，即使在地下水位 2 m 案例，在洩漏過程中監測井水中濃度仍在極低的濃度值，而在#5 至一年時之水中含苯濃度有 0.04 ppm，而水中含萘濃度有 0.1 ppm，圖 4-5(b)。若以地下水污染管制標準苯濃度 0.05 mg/L 和萘濃度 0.4 mg/L 來看，各支監測井的地下水監測幾乎無法在一年內達到管制標準，同樣 TPH_d濃度在監測井中難以偵測到濃度變化。說明此洩漏情況時，地下水監測難以偵測柴油污染。從氣體監測方面，在最下游的#3、#8 及#11，其水平距離為洩漏源下游 9 m 處。除了高滲透係數案例外，即使洩漏達一年時，只有極低的 VOCs 量，說明 VOCs 尚未達到下游油槽區外，且 VOCs 擴散範圍較集中在洩漏點附近。顯示出因柴油土壤低滲透性難以往下移動，會相對於高滲透性較早往四周移動，也因油槽阻擋及柴油之高黏滯特性，表現出污染範圍較集中在洩漏點附近且擴散範圍有限，使其監測井之氣體濃度較易上升。

總結當加油站在油槽上方(Case 1)發生洩漏，顯示出因柴油土壤低滲透性難以往下移動，會相對於高滲透性較早往四周移動，也因油槽阻擋及柴油之高黏滯特性，表現出污染範圍較集中在洩漏點附近且擴散範圍有限，在距離洩漏源 3 m 範圍之監測井中 VOCs 濃度較易上升，可在 30 天偵測 500 ppm 以上的 VOCs 濃度值。但 VOCs 難以在一年內傳輸到水平距離 9 m 下游處之監測井。因高孔隙率所能停留的油量空間大，相對油品充滿孔隙時間較低孔隙率慢。柴油洩漏於高孔隙土壤相對於低孔隙率較慢到達地下水水面。所以地下水監測井所偵測到水中濃度值其在高孔隙率之濃度均比低孔隙率低。

4.1.2 洩漏點位於儲槽區內

儲槽區洩漏點在不同的絕對滲透係數($2.5 \times 10^{-11} \text{ m}^2$ 和 $2.5 \times 10^{-12} \text{ m}^2$)情況下，圖 4-6(a)和圖 4-6(b)。因 Case 2 洩漏點位於監測井#5 上方，所以當柴油洩漏一開始就有極高的 VOCs 濃度值。因為油品在低滲透係數情況難以往下傳輸，易往四周移動擴散，所以滲透係數為 $2.5 \times 10^{-12} \text{ m}^2$ 案例之#5 在 15 天已達到 VOCs 飽和濃度值 5840 ppm，直到 150 天後才會開始些微降低。滲透係數為 $2.5 \times 10^{-11} \text{ m}^2$ 之#5 氣體濃度值則在一年中仍維持增加趨勢，由距離洩漏源水平距離 9 m 處下游之#3、#8 及#11 一年時的氣體監測值，在滲透係數為 $2.5 \times 10^{-12} \text{ m}^2$ 場址的監測井仍無法在一年內偵測到氣體管制標準濃度值。但在 $2.5 \times 10^{-11} \text{ m}^2$ 之場址，均可在下游部分監測井偵測到 500 ppm 以上的 VOCs 濃度。可說明高滲透性場址之 VOCs 濃度會比低滲透性場址先達到氣體管制標準。

相較在兩種滲透係數洩漏之 VOCs 濃度值，顯示出柴油在高滲透性場址洩漏，其油氣傳輸速率快。且監測井均可在一年內偵測到 500 ppm 以上的 VOCs 濃度，也比低滲透場址較早達到氣體管制標準。

相較洩漏於孔隙率(0.3、0.4)之情況下，如圖 4-6(b)和圖 4-6(c)。在監測氣體部分，高孔隙率相對於低孔隙率而言，其位於 Case 2 洩漏源之監測井#5 之濃度上升幅度較快，在 7 天時達到 4686 ppm。而其它之監測井至一年時之 VOCs 濃度值，其低孔隙率比高孔隙率高。由於孔隙率越大，土壤孔隙能停留的油量也就越大；相對孔隙率小油品易充滿孔隙，因使油品流動速度增加而提高傳輸速率。呈現出柴油洩漏在低孔隙率中散佈較為廣泛，VOCs 相對的也隨著柴油散佈範圍跟著增大。在地下水體監測方面，孔隙率 0.4 相較於 0.3 的場址，因孔隙率越大能充滿較多油量，相對油品流動速度慢，監測井#5 至一年時水中含苯濃度會達到 0.02 mg/L，萘可達到 0.05 mg/L，而 TPH_d 水中濃度達到 9.72 mg/L。在低孔隙率之#5 監測井，其在一年時 TPH_d 水中濃度達到管制標準 10 mg/L 以上。低孔隙率相對於高孔隙率而言，其水中監測較為靈敏。

比較 Case 2 洩漏在地下水 2 m 和 5 m 情況下，圖 4-5(b)和圖 4-5(d)。也同樣因地下水位高低影響到柴油分佈，於水位 5 m 處案例，柴油會較晚到達到飽和帶而向四周散開。即使到一年時，監測井 VOCs 濃度仍在極低的濃度值範圍。除了 #5 外，僅有在距離洩漏點 3 m 處兩側之#4 及#6 監測井在 30 天時，可達到氣體濃度 500 ppm 以上。隨著 VOCs 傳遞增加，距離稍遠為 6 m 處的監測井#2、#7 及#10，也可在一年時達到氣體濃度管制標準。相對在地下水較高情況(2 m)，柴油會較早遇到地下水位而向四周散開，其在場址之各支監測井，不管是監測 VOCs 及水中濃度方面，均比地下水位 2 m 差。再從距離洩漏點下游 9 m 處監測井#3、#8 及#11 之 VOCs 濃度來看，同樣在這兩個水位洩漏下難以在一年時達到氣體濃度標準。

其餘案例在此部分監測幾乎偵測到極低的 VOCs 濃度，圖 4-6(a)、(b)、(c)、(d)。同樣地在 Case 2 洩漏，即使相對其它洩漏情況，其污染團散佈範圍較為廣泛。在各種土壤情況下，均可在 30 天時距離洩漏點 3 m 處之監測井偵測到 500 ppm 以上柴油 VOCs 濃度。但油氣依然無法在一年內的傳輸達到油槽區外下游較遠的區域，約其距離為洩漏源下游 9 m 處監測井，僅有土壤之滲透係數為 $2.5 \times 10^{-11} \text{ m}^2$ 情況下可在一年時達到氣體濃度標準。總結當洩漏發生在儲槽區內(Case 2)，由於受到油槽阻礙較少使得污染團散佈範圍較廣泛，以結果顯示出柴油之 VOCs 及水中污染團在高滲透係數會比低滲透係數較容易傳輸。在低孔隙率場址之 VOCs 濃度值比高孔隙率高，而在監測氣體及水中濃度方面地下水位較深(5 m)情況均比地下水位較淺(2 m)差。

4.1.3 洩漏點位於油槽上方與輸油管連結處

當洩漏點位於輸油管下方輸油管之情況。以不同的滲透係數來探討，如圖 4-7(a)、(b)。因洩漏點位於整個場址左上方，以最接近之監測井#1 來看，可看出氣體監測在高滲透性土層較容易傳遞，在高滲透係數之場址，在下游處#8 監測井之 VOCs 濃度至一年時可達到 1453 ppm，圖 4-7(a)。由於此洩漏情況有油槽的阻擋，在以滲透係數為 $2.5 \times 10^{-12} \text{ m}^2$ 案例中，圖 4-7(b)。位於下游處之監測井普遍能偵測到的 VOCs 濃度都較低。

若相較土壤孔隙率 0.3 和 0.4 部分，圖 4-7(b)、(c)。以場址中可偵測到土壤 VOCs 濃度值 500 ppm 以上來看，在孔隙率 0.3 中就有#1、#2、#4、#5、#6、#9 及#10 監測井，其含概範圍約距離洩漏源 7 m 內。處依其距離洩漏點遠近，分別達到氣體濃度標準，但在孔隙率 0.4 場址中能達到氣體濃度標準之監測井卻比低孔隙率少，只有#1、#4、#5、#6 及#9，縮小範圍約為 4 m 內監測井。反而呈現出柴油在高孔隙率中較容易停留於土層。相對於低孔隙率其污染團在側向之擴散範圍較小。地下水監測方面也因孔隙率越大能充滿較多油量，相對在同樣距離洩漏源 7 m 內之#4、#5、#6、#9 及#10 監測井，其在一年時地下水之 TPH_d 濃度，可看出在高孔隙率之濃度均比低孔隙率低，如在孔隙率 0.3 之距離洩漏源為水平距離為 3 m 處#5 監測井，其 TPH_d 濃度值至一年時可偵測到 29.03 mg/L。而在孔隙率 0.4 場址中只偵測到 12.68 mg/L 的濃度值。說明洩漏源位於地下水面上，柴油在高孔隙率土壤到達地下水面時間相對比低孔隙率慢，普遍在高孔隙率土壤中之地下水監測普遍比低孔隙率土壤較晚達到地下水體濃度的管制標準。再探討此洩漏在不同地下水位之情況，圖 4-7(b)、(d)。在地下水位 5 m 情況一樣柴油會先受重力影響向下入滲，直到接觸到飽和帶才有明顯向四周傳輸，從土壤氣體監測方面，水位 5 m 處案例也只有距離約 4 m 範圍內之#1、#4、#5、及#9 監測井在能到達氣體濃度管制標準。其中#5 監測井需至一年才能到達 2124 ppm。在洩漏點 Case 3 情況，同樣在土壤氣體及水中濃度監測效果方面，地下水位較深情況會比地下水位淺差。

綜合上述 Case 3 洩漏情況，由於洩漏點位於整個場址左上方，只有監測井#1 最接近，再加上有油槽的阻擋，若以地下水監測井作污染監測，在此傳輸過程中，幾乎會經由#1 往下游移動，所以在圖 4-7(b)和(d)案例之#1，其水中含苯濃度都可在一年內偵測到苯濃度管制標準 0.05 mg/L，至於#1 的水中萘監測部分。監測井依然無法在一年之時間內達到管制標準 0.4 ppm，均顯示在此洩漏狀況下，苯在水中傳輸相對萘快，柴油以地下水監測以苯作指標還是比萘作監測較合適。

4.1.4 洩漏點位於儲油槽下方

最後 Case 4 洩漏點則是位於地下水水面下的儲油槽底部，如圖 4-8。因為柴油密度比水輕，當發生洩漏時，油品向上移動量相對於在水中擴散移動量大，到最後突破地下水水面而成浮油團向下游移動。

同樣先以探討在不同滲透係數情況下，圖 4-8(a)、(b)。在氣體濃度監測方面，洩漏於滲透係數為 $2.5 \times 10^{-12} \text{ m}^2$ 場址裡。也僅有距離洩漏點下游 3 m 處 #10 和 9 m 處 #11 監測井，有偵測到極低的 VOCs 濃度。雖柴油在此洩漏情況下能突破到地下水水面，但在一年的持續洩漏下，油品污染團大部分的 VOCs 量仍受限在水中，相對的能揮發的 VOCs 就比其它在非飽和區洩漏案例少，普遍各支監測井所能擷取到的 VOCs 就更少，雖然 VOCs 傳輸相對於水中傳輸較快速，#11 在 150 天開始有 VOCs 濃度變化，但到 360 天時總 VOCs 量僅有 1.66 ppm。

在地下水體監測方面，因柴油仍被水侷限在洩漏點附近，加上其成分裡的苯和萘在水中溶解性較低，普遍各支監測井難以偵測到油品洩漏。但將土壤之滲透係數提高為 $2.5 \times 10^{-11} \text{ m}^2$ 。在接近洩漏點範圍 3 m 處之 #4、#5、#9 及 #10 監測井，只有距離洩漏源 2 m 處之 #5 在一年偵測到 929 ppm 之 VOCs 濃度。而其它之監測井同樣都偵測不到 VOCs 濃度。在地下水監測方面，其中苯及 TPH_d 因滲透係數增大而上升幅度明顯增加。#5 在 7 天時就可偵測到苯濃度 0.14 mg/L，在第 15 天 TPH_d 就達到 12.1 mg/L。而距離下游水平距離 3 m 處之監測井 #6 及 #10，在 150 天也都可偵測到 TPH_d 和苯濃度值。但在偵測萘濃度方面普遍效果較差，在 #5 監測井在一年只達到 0.05 mg/L。呈現出當洩漏源於地下水水面下時，滲透係數對地下水中濃度傳輸影響明顯。若監測井設置在接近洩漏點範圍 3 m 處附近，地下水監測明顯優於氣體監測，其中以苯和 TPH_d 較適用監測柴油洩漏。

在探討孔隙率方面，圖 4-8(b)、(c)。同樣將孔隙率放大為 0.4 時，對氣體及地下水監測均有明顯提升。而且當柴油在地下水水面下洩漏到一定程度而突破地下水水面時，油氣在孔隙率較大場址較易傳輸。在 #4、#5 及 #10 監測井之氣體監測均可偵測到 500 ppm 以上的 VOCs 濃度值，在 #5 監測井於一年時可達到 8202 ppm。所以雖洩漏源於地下水水面下普遍難以用氣體監測到柴油洩漏，但在高孔隙率場址還是可用監測井偵測到柴油洩漏。在地下水監測方面，也明顯呈現出柴油在地下水中因在高孔隙率較易傳輸且使其污染範圍增大。甚至在場址中下游監測井 #8 和 #11，在一年時其 TPH_d 及苯都可分別達到管制標準 10 mg/L 及 0.05 mg/L 之濃度值。在接近洩漏源之 #5 監測井，其在 7 天時就可偵測到 0.17 水中含苯濃度值。而 TPH_d 要至一年才可達到 16.24 mg/L。在距離洩漏源較遠之 #1、#2 及 #4 監測井，

其在一年時苯都可達到 0.05 mg/L 濃度，但 TPH_d 卻仍未達到管制標準 10 mg/L。呈現出柴油污染物在地下水傳輸上，以苯濃度作監測仍比 TPH_d 較具優勢。

再探討不同地下水變化情況，圖 4-8(b)、(d)。地下水位從 2 m 降至地下面 5 m 處，而洩漏點位於地層於 4.25 m 處，但距離地下水面相差不遠。各支監測井在氣體監測方面就有明顯濃度變化，在監測井#4、#5 及#6 都可偵測到 500 ppm 以上的油氣濃度。其中距離洩漏源 2 m 處之#5 在第 7 天時就可偵測到 525 ppm。呈現出洩漏源於地下水面上時，氣體監測比洩漏源於地下水水下較容易偵測 VOCs 濃度變化。

總結當洩漏發生在飽和區之儲油槽下方(Case 4)，柴油仍被水侷限在洩漏點附近，因其成分裡的苯和萘在水中溶解性較低，使得監測井在氣體或者是在地下水體監測，都難以偵測到油品洩漏。在高滲透係數及高孔隙率場址中，柴油之污染物在地下水中較容易傳輸。其中高孔隙率土壤對監測井之 VOCs 及地下水監測均有明顯提升。而監測井設置在洩漏源附近，地下水監測明顯優於氣體監測，其中以苯和 TPH_d 較適用監測柴油洩漏。但以污染物傳輸速度上，在高孔隙率場址中以苯濃度作監測仍比 TPH_d 較具優勢。



模擬情境說明

地下水位深度	2 m
土層絕對滲透係數	$2.5 \times 10^{-11} \text{ m}^2$
孔隙率	0.3
洩漏點	Case 1(油槽上方與輸油管連接處)
洩漏時間	一年

#1							#2						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氣(ppmV)	0	0	0	0	361.7	2683	氣(ppmV)	0	0	0	0	453.7	2128
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.01	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.01	0.02
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.04	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.02	0.06
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.14	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0.45	1.96

#3							#4						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氣(ppmV)	0	0	0	0	61.3	1170	氣(ppmV)	0	0.01	0.24	5.2	3393	4337
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.01	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.01	0.02
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.01	0.03	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.03	0.05
液(TPHa)(mg/L)	0.67	0.76	0.86	0.99	0.65	1.94	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0.18	0.79

#5							#6						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氣(ppmV)	12.15	1459	2568	4597	4659	4686	氣(ppmV)	0	0.01	0.2	4.4	3296	4131
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.02	0.02	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.02	0.02
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.05	0.07	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.05	0.07
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	3.24	3.76	液(TPHa)(mg/L)	2.4	3.87	5.52	5.98	13.41	17.75

#7							#8						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氣(ppmV)	0	0	0	0.05	1431	2809	氣(ppmV)	0	0	0	0	95.1	1527
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.01	0.02	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.01	0.02
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.04	0.06	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.03	0.05
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	2.43	3.86	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	2.04	3.66

#9							#10						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氣(ppmV)	0	1.82	28.07	102	4677	4679	氣(ppmV)	0	1.75	26.67	94.17	4682	4682
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.01	0.02	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.01	0.02
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.03	0.06	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.03	0.06
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0.2	2	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	3.03	6.04

#11						
項目\天	1	7	15	30	150	365
氣(ppmV)	0	0	0	0	70	1191
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.01
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.01	0.03
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	1.21	2.62

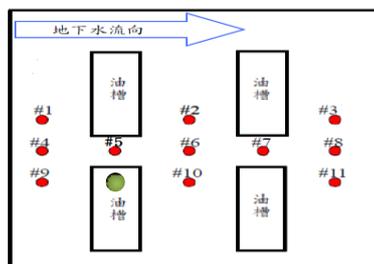


圖 4-5(a)洩漏於油槽上方之模擬結果

模擬情境說明

地下水位深度	2 m
土層絕對滲透係數	$2.5 \times 10^{-12} \text{ m}^2$
孔隙率	0.3
洩漏點	Case 1(油槽上方與輸油管連接處)
洩漏時間	一年

#1							#2						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	0	0	0	0	0.01	1167.8	氯(ppmV)	0	0	0	0	0.05	1170.8
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.01
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.02	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.02
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.15	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	1.53

#3							#4						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	0	0	0	0	0	2.3	氯(ppmV)	0	0.02	0.58	4.88	342	4208.2
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.01
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.04
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.04	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	4.94

#5							#6						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	12.65	2165	3440	4740	4756	4738.9	氯(ppmV)	0.04	1593	1956	1962	2011	3254.6
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.01	0.04	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.03	0.10	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0.02	4.98	10.71	液(TPHa)(mg/L)	0	0.002	0.05	0.14	0.27	1.78

#7							#8						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	0	0	0	0	0.01	9.31	氯(ppmV)	0	0	0	0	0.02	41.8
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.01	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.00	0.00
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.03	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.00	0.01
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0.009	6.21	液(TPHa)(mg/L)	0	0.01	0.02	0.06	1.05	2.55

#9							#10						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	0	2.55	47.76	932.2	3157	4687.59	氯(ppmV)	0	2.50	46.85	929.8	3117	4691.6
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.01	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.01
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.04	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.03
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	4.48	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0.006	8.13

#11						
項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	0	0	0	0	0	6.74
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.16

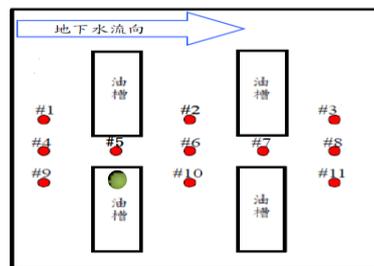


圖 4-5(b) 洩漏於油槽上方之模擬結果

模擬情境說明

地下水深度	2 m
土層絕對滲透係數	$2.5 \times 10^{-12} \text{ m}^2$
孔隙率	0.4
洩漏點	Case 1(油槽上方與輸油管連接處)
洩漏時間	一年

#1							#2						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	0	0	0	0	0	1.33	氯(ppmV)	0	0	0	0	0	1153
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.1

#3							#4						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	0	0	0	0	0	0	氯(ppmV)	0	0.03	1.85	24.46	128.2	2795
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.01
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.04
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.001	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	2.94

#5							#6						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	1.25	976.2	2057	3058	3214	3911	氯(ppmV)	0	0.03	1.84	27.08	154.8	2803
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.01
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.01	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.04
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0.0003	0.28	3.12	7.96	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0.001	0.07	8.89

#7							#8						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	0	0	0	0.01	0.29	80.97	氯(ppmV)	0	0	0	0	0	9.11
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.01	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0.0005	1.93	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.16

#9							#10						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	0.01	6.55	81.17	1251	2409	4688	氯(ppmV)	0.01	6.44	79.47	1238	2397	4692
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.01	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.02
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.03	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.01
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0.024	0.035	0.16	3.45	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0.001	3.17

#11						
項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	0	0	0	0	0	0.86
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.015

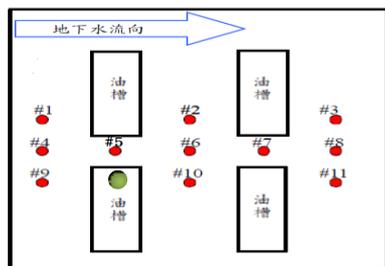


圖 4-5(c) 洩漏於油槽上方之模擬結果

模擬情境說明

地下水深度	5 m
土層絕對滲透係數	$2.5 \times 10^{-12} \text{ m}^2$
孔隙率	0.3
洩漏點	Case 1(油槽上方與輸油管連接處)
洩漏時間	一年

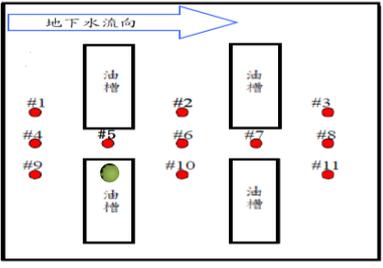
<p>#1</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><th>項目\天</th><th>1</th><th>7</th><th>15</th><th>30</th><th>150</th><th>365</th></tr> <tr><td>氣(ppmV)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0.0012</td><td>2.01</td></tr> <tr><td>液(苯)(mg/L)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>液(萘)(mg/L)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>液(TPHa)(mg/L)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	項目\天	1	7	15	30	150	365	氣(ppmV)	0	0	0	0	0.0012	2.01	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	<p>#2</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><th>項目\天</th><th>1</th><th>7</th><th>15</th><th>30</th><th>150</th><th>365</th></tr> <tr><td>氣(ppmV)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0.001</td><td>2.36</td></tr> <tr><td>液(苯)(mg/L)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>液(萘)(mg/L)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>液(TPHa)(mg/L)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	項目\天	1	7	15	30	150	365	氣(ppmV)	0	0	0	0	0.001	2.36	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
項目\天	1	7	15	30	150	365																																																																	
氣(ppmV)	0	0	0	0	0.0012	2.01																																																																	
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0																																																																	
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0																																																																	
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0																																																																	
項目\天	1	7	15	30	150	365																																																																	
氣(ppmV)	0	0	0	0	0.001	2.36																																																																	
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0																																																																	
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0																																																																	
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0																																																																	
<p>#3</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><th>項目\天</th><th>1</th><th>7</th><th>15</th><th>30</th><th>150</th><th>365</th></tr> <tr><td>氣(ppmV)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0.0015</td></tr> <tr><td>液(苯)(mg/L)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>液(萘)(mg/L)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>液(TPHa)(mg/L)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	項目\天	1	7	15	30	150	365	氣(ppmV)	0	0	0	0	0	0.0015	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	<p>#4</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><th>項目\天</th><th>1</th><th>7</th><th>15</th><th>30</th><th>150</th><th>365</th></tr> <tr><td>氣(ppmV)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0.003</td><td>0.386</td><td>15.96</td></tr> <tr><td>液(苯)(mg/L)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>液(萘)(mg/L)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>液(TPHa)(mg/L)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	項目\天	1	7	15	30	150	365	氣(ppmV)	0	0	0	0.003	0.386	15.96	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
項目\天	1	7	15	30	150	365																																																																	
氣(ppmV)	0	0	0	0	0	0.0015																																																																	
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0																																																																	
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0																																																																	
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0																																																																	
項目\天	1	7	15	30	150	365																																																																	
氣(ppmV)	0	0	0	0.003	0.386	15.96																																																																	
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0																																																																	
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0																																																																	
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0																																																																	
<p>#5</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><th>項目\天</th><th>1</th><th>7</th><th>15</th><th>30</th><th>150</th><th>365</th></tr> <tr><td>氣(ppmV)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0.0005</td><td>1.71</td></tr> <tr><td>液(苯)(mg/L)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>液(萘)(mg/L)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0.001</td></tr> <tr><td>液(TPHa)(mg/L)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0.03</td></tr> </table>	項目\天	1	7	15	30	150	365	氣(ppmV)	0	0	0	0	0.0005	1.71	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.001	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.03	<p>#6</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><th>項目\天</th><th>1</th><th>7</th><th>15</th><th>30</th><th>150</th><th>365</th></tr> <tr><td>氣(ppmV)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1.17</td></tr> <tr><td>液(苯)(mg/L)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>液(萘)(mg/L)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0.0001</td></tr> <tr><td>液(TPHa)(mg/L)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0.01</td></tr> </table>	項目\天	1	7	15	30	150	365	氣(ppmV)	0	0	0	0	0	1.17	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.0001	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.01
項目\天	1	7	15	30	150	365																																																																	
氣(ppmV)	0	0	0	0	0.0005	1.71																																																																	
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0																																																																	
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.001																																																																	
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.03																																																																	
項目\天	1	7	15	30	150	365																																																																	
氣(ppmV)	0	0	0	0	0	1.17																																																																	
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0																																																																	
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.0001																																																																	
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.01																																																																	
<p>#7</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><th>項目\天</th><th>1</th><th>7</th><th>15</th><th>30</th><th>150</th><th>365</th></tr> <tr><td>氣(ppmV)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0.06</td></tr> <tr><td>液(苯)(mg/L)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>液(萘)(mg/L)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>液(TPHa)(mg/L)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0.001</td></tr> </table>	項目\天	1	7	15	30	150	365	氣(ppmV)	0	0	0	0	0	0.06	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.001	<p>#8</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><th>項目\天</th><th>1</th><th>7</th><th>15</th><th>30</th><th>150</th><th>365</th></tr> <tr><td>氣(ppmV)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0.004</td></tr> <tr><td>液(苯)(mg/L)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>液(萘)(mg/L)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>液(TPHa)(mg/L)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	項目\天	1	7	15	30	150	365	氣(ppmV)	0	0	0	0	0	0.004	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
項目\天	1	7	15	30	150	365																																																																	
氣(ppmV)	0	0	0	0	0	0.06																																																																	
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0																																																																	
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0																																																																	
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.001																																																																	
項目\天	1	7	15	30	150	365																																																																	
氣(ppmV)	0	0	0	0	0	0.004																																																																	
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0																																																																	
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0																																																																	
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0																																																																	
<p>#9</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><th>項目\天</th><th>1</th><th>7</th><th>15</th><th>30</th><th>150</th><th>365</th></tr> <tr><td>氣(ppmV)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0.3</td></tr> <tr><td>液(苯)(mg/L)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>液(萘)(mg/L)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>液(TPHa)(mg/L)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	項目\天	1	7	15	30	150	365	氣(ppmV)	0	0	0	0	0	0.3	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	<p>#10</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><th>項目\天</th><th>1</th><th>7</th><th>15</th><th>30</th><th>150</th><th>365</th></tr> <tr><td>氣(ppmV)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0.12</td></tr> <tr><td>液(苯)(mg/L)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>液(萘)(mg/L)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>液(TPHa)(mg/L)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0.001</td></tr> </table>	項目\天	1	7	15	30	150	365	氣(ppmV)	0	0	0	0	0	0.12	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.001
項目\天	1	7	15	30	150	365																																																																	
氣(ppmV)	0	0	0	0	0	0.3																																																																	
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0																																																																	
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0																																																																	
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0																																																																	
項目\天	1	7	15	30	150	365																																																																	
氣(ppmV)	0	0	0	0	0	0.12																																																																	
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0																																																																	
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0																																																																	
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.001																																																																	
<p>#11</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><th>項目\天</th><th>1</th><th>7</th><th>15</th><th>30</th><th>150</th><th>365</th></tr> <tr><td>氣(ppmV)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0.000414</td></tr> <tr><td>液(苯)(mg/L)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>液(萘)(mg/L)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>液(TPHa)(mg/L)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	項目\天	1	7	15	30	150	365	氣(ppmV)	0	0	0	0	0	0.000414	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0																																				
項目\天	1	7	15	30	150	365																																																																	
氣(ppmV)	0	0	0	0	0	0.000414																																																																	
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0																																																																	
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0																																																																	
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0																																																																	

圖 4-5(d) 洩漏於油槽上方之模擬結果

模擬情境說明

地下水深度	2 m
土層絕對滲透係數	$2.5 \times 10^{-11} \text{ m}^2$
孔隙率	0.3
洩漏點	Case2(儲槽區內之輸油管線)
洩漏時間	一年

#1							#2						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	0	0	0.02	0.45	2301	3438	氯(ppmV)	0	0	0.16	2.5	1841.463	2899.2
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.01	0.02	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.005	0.01
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.04	0.07	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0.0001	0.04	0.07
液(TPHi)(mg/L)	0	0	0	0	0.17	0.92	液(TPHi)(mg/L)	0	0	0	0	3.36	4.22

#3							#4						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	0	0	0.003	0.29	88.1	1458	氯(ppmV)	0.008	6.8	256	603	5075.4	5182.5
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.005	0.01	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.015	0.02
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.02	0.04	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.05	0.06
液(TPHi)(mg/L)	0	0	0	0.0005	1.11	2.31	液(TPHi)(mg/L)	0	0	0.05	0.22	4.59	4.47

#5							#6						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	2357	4687	4901	5009	5237.9	5267	氯(ppmV)	0.01	7.36	319.05	701.7	4601.4	4641.7
液(苯)(mg/L)	0	0	0.005	0.009	0.018	0.02	液(苯)(mg/L)	0	0	0.001	0.004	0.018	0.02
液(萘)(mg/L)	0	0.001	0.016	0.025	0.056	0.07	液(萘)(mg/L)	0	0	0.003	0.013	0.054	0.07
液(TPHi)(mg/L)	5	5.1	8.9	13.0	14.3	19.8	液(TPHi)(mg/L)	0	0	0.27	1.76	5.12	14.86

#7							#8						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	0	0.0013	11.8	55	1801.7	3032.7	氯(ppmV)	0	0	0.76	12.3	134.8	1709.781
液(苯)(mg/L)	0	0	0.0001	0.0014	0.017	0.02	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0.0002	0.011	0.02
液(萘)(mg/L)	0	0	0.0004	0.0042	0.054	0.07	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0.0007	0.035	0.06
液(TPHi)(mg/L)	0	0	0.02	0.44	4.78	5.34	液(TPHi)(mg/L)	0	0	0.001	0.06	2.95	4.38

#9							#10						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	0	0	0.02	0.45	2303.6	3434.0	氯(ppmV)	0	0	0.2	3.16	2303	3577.4
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.004	0.02	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.01	0.02
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.03	0.07	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0.0001	0.04	0.06
液(TPHi)(mg/L)	0	0	0.01	0.08	0.41	0.75	液(TPHi)(mg/L)	0	0	0	0.004	2.80	3.63

#11						
項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	0	0	0.003	0.27	87.2	1458
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.005	0.005
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.02	0.04
液(TPHi)(mg/L)	0	0	0	0	1.09	2.3

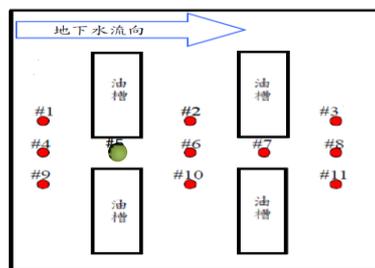


圖 4-6(a)洩漏於儲槽區內之模擬結果

模擬情境說明

地下水深度	2 m
土層絕對滲透係數	$2.5 \times 10^{-12} \text{ m}^2$
孔隙率	0.3
洩漏點	Case2(儲槽區內之輸油管線)
洩漏時間	一年

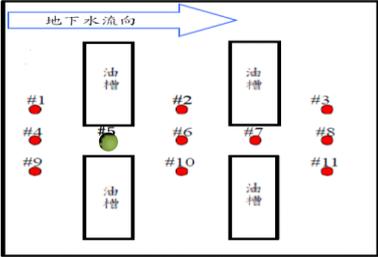
<p>#1</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>項目\天</th> <th>1</th> <th>7</th> <th>15</th> <th>30</th> <th>150</th> <th>365</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>氯(ppmV)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1.5</td> <td>1560.4</td> </tr> <tr> <td>液(苯)(mg/L)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0.0002</td> <td>0.02</td> </tr> <tr> <td>液(萘)(mg/L)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0.0048</td> <td>0.05</td> </tr> <tr> <td>液(TPHd)(mg/L)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0.31</td> <td>7.22</td> </tr> </tbody> </table>	項目\天	1	7	15	30	150	365	氯(ppmV)	0	0	0	0	1.5	1560.4	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.0002	0.02	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.0048	0.05	液(TPHd)(mg/L)	0	0	0	0	0.31	7.22	<p>#2</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>項目\天</th> <th>1</th> <th>7</th> <th>15</th> <th>30</th> <th>150</th> <th>365</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>氯(ppmV)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>10.88</td> <td>1244.75</td> </tr> <tr> <td>液(苯)(mg/L)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0.01</td> <td>0.02</td> </tr> <tr> <td>液(萘)(mg/L)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0.0003</td> <td>0.05</td> </tr> <tr> <td>液(TPHd)(mg/L)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0.27</td> <td>10.53</td> </tr> </tbody> </table>	項目\天	1	7	15	30	150	365	氯(ppmV)	0	0	0	0	10.88	1244.75	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.01	0.02	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.0003	0.05	液(TPHd)(mg/L)	0	0	0	0	0.27	10.53
項目\天	1	7	15	30	150	365																																																																	
氯(ppmV)	0	0	0	0	1.5	1560.4																																																																	
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.0002	0.02																																																																	
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.0048	0.05																																																																	
液(TPHd)(mg/L)	0	0	0	0	0.31	7.22																																																																	
項目\天	1	7	15	30	150	365																																																																	
氯(ppmV)	0	0	0	0	10.88	1244.75																																																																	
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.01	0.02																																																																	
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.0003	0.05																																																																	
液(TPHd)(mg/L)	0	0	0	0	0.27	10.53																																																																	
<p>#3</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>項目\天</th> <th>1</th> <th>7</th> <th>15</th> <th>30</th> <th>150</th> <th>365</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>氯(ppmV)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>15.4</td> </tr> <tr> <td>液(苯)(mg/L)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>液(萘)(mg/L)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>液(TPHd)(mg/L)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0.52</td> </tr> </tbody> </table>	項目\天	1	7	15	30	150	365	氯(ppmV)	0	0	0	0	0	15.4	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(TPHd)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.52	<p>#4</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>項目\天</th> <th>1</th> <th>7</th> <th>15</th> <th>30</th> <th>150</th> <th>365</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>氯(ppmV)</td> <td>0</td> <td>0.91</td> <td>26.7</td> <td>128</td> <td>4880</td> <td>5790</td> </tr> <tr> <td>液(苯)(mg/L)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0.01</td> </tr> <tr> <td>液(萘)(mg/L)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0.01</td> <td>0.03</td> </tr> <tr> <td>液(TPHd)(mg/L)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>5.31</td> <td>9.99</td> </tr> </tbody> </table>	項目\天	1	7	15	30	150	365	氯(ppmV)	0	0.91	26.7	128	4880	5790	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.01	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.01	0.03	液(TPHd)(mg/L)	0	0	0	0	5.31	9.99
項目\天	1	7	15	30	150	365																																																																	
氯(ppmV)	0	0	0	0	0	15.4																																																																	
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0																																																																	
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0																																																																	
液(TPHd)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.52																																																																	
項目\天	1	7	15	30	150	365																																																																	
氯(ppmV)	0	0.91	26.7	128	4880	5790																																																																	
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.01																																																																	
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.01	0.03																																																																	
液(TPHd)(mg/L)	0	0	0	0	5.31	9.99																																																																	
<p>#5</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>項目\天</th> <th>1</th> <th>7</th> <th>15</th> <th>30</th> <th>150</th> <th>365</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>氯(ppmV)</td> <td>2180</td> <td>3520</td> <td>5840</td> <td>5840</td> <td>5830</td> <td>5830</td> </tr> <tr> <td>液(苯)(mg/L)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0.01</td> <td>0.02</td> </tr> <tr> <td>液(萘)(mg/L)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0.02</td> <td>0.06</td> </tr> <tr> <td>液(TPHd)(mg/L)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0.08</td> <td>6.41</td> <td>11.14</td> </tr> </tbody> </table>	項目\天	1	7	15	30	150	365	氯(ppmV)	2180	3520	5840	5840	5830	5830	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.01	0.02	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.02	0.06	液(TPHd)(mg/L)	0	0	0	0.08	6.41	11.14	<p>#6</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>項目\天</th> <th>1</th> <th>7</th> <th>15</th> <th>30</th> <th>150</th> <th>365</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>氯(ppmV)</td> <td>0</td> <td>0.76</td> <td>22.2</td> <td>109</td> <td>4160</td> <td>4840</td> </tr> <tr> <td>液(苯)(mg/L)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0.001</td> <td>0.01</td> </tr> <tr> <td>液(萘)(mg/L)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0.004</td> <td>0.04</td> </tr> <tr> <td>液(TPHd)(mg/L)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>12.96</td> <td>26.1</td> </tr> </tbody> </table>	項目\天	1	7	15	30	150	365	氯(ppmV)	0	0.76	22.2	109	4160	4840	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.001	0.01	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.004	0.04	液(TPHd)(mg/L)	0	0	0	0	12.96	26.1
項目\天	1	7	15	30	150	365																																																																	
氯(ppmV)	2180	3520	5840	5840	5830	5830																																																																	
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.01	0.02																																																																	
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.02	0.06																																																																	
液(TPHd)(mg/L)	0	0	0	0.08	6.41	11.14																																																																	
項目\天	1	7	15	30	150	365																																																																	
氯(ppmV)	0	0.76	22.2	109	4160	4840																																																																	
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.001	0.01																																																																	
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.004	0.04																																																																	
液(TPHd)(mg/L)	0	0	0	0	12.96	26.1																																																																	
<p>#7</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>項目\天</th> <th>1</th> <th>7</th> <th>15</th> <th>30</th> <th>150</th> <th>365</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>氯(ppmV)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>43.1</td> <td>1470</td> </tr> <tr> <td>液(苯)(mg/L)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0.001</td> <td>0.03</td> </tr> <tr> <td>液(萘)(mg/L)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0.002</td> <td>0.09</td> </tr> <tr> <td>液(TPHd)(mg/L)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>2.09</td> <td>19.83</td> </tr> </tbody> </table>	項目\天	1	7	15	30	150	365	氯(ppmV)	0	0	0	0	43.1	1470	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.001	0.03	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.002	0.09	液(TPHd)(mg/L)	0	0	0	0	2.09	19.83	<p>#8</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>項目\天</th> <th>1</th> <th>7</th> <th>15</th> <th>30</th> <th>150</th> <th>365</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>氯(ppmV)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1.14</td> <td>106</td> </tr> <tr> <td>液(苯)(mg/L)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0.01</td> </tr> <tr> <td>液(萘)(mg/L)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0.0001</td> <td>0.03</td> </tr> <tr> <td>液(TPHd)(mg/L)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0.1</td> <td>6.2</td> </tr> </tbody> </table>	項目\天	1	7	15	30	150	365	氯(ppmV)	0	0	0	0	1.14	106	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.01	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.0001	0.03	液(TPHd)(mg/L)	0	0	0	0	0.1	6.2
項目\天	1	7	15	30	150	365																																																																	
氯(ppmV)	0	0	0	0	43.1	1470																																																																	
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.001	0.03																																																																	
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.002	0.09																																																																	
液(TPHd)(mg/L)	0	0	0	0	2.09	19.83																																																																	
項目\天	1	7	15	30	150	365																																																																	
氯(ppmV)	0	0	0	0	1.14	106																																																																	
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.01																																																																	
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.0001	0.03																																																																	
液(TPHd)(mg/L)	0	0	0	0	0.1	6.2																																																																	
<p>#9</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>項目\天</th> <th>1</th> <th>7</th> <th>15</th> <th>30</th> <th>150</th> <th>365</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>氯(ppmV)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1.54</td> <td>1560</td> </tr> <tr> <td>液(苯)(mg/L)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0.02</td> </tr> <tr> <td>液(萘)(mg/L)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0.05</td> </tr> <tr> <td>液(TPHd)(mg/L)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0.01</td> <td>4.75</td> </tr> </tbody> </table>	項目\天	1	7	15	30	150	365	氯(ppmV)	0	0	0	0	1.54	1560	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.02	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.05	液(TPHd)(mg/L)	0	0	0	0	0.01	4.75	<p>#10</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>項目\天</th> <th>1</th> <th>7</th> <th>15</th> <th>30</th> <th>150</th> <th>365</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>氯(ppmV)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>15</td> <td>1260</td> </tr> <tr> <td>液(苯)(mg/L)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0.0001</td> <td>0.01</td> </tr> <tr> <td>液(萘)(mg/L)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0.0002</td> <td>0.04</td> </tr> <tr> <td>液(TPHd)(mg/L)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0.22</td> <td>8.69</td> </tr> </tbody> </table>	項目\天	1	7	15	30	150	365	氯(ppmV)	0	0	0	0	15	1260	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.0001	0.01	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.0002	0.04	液(TPHd)(mg/L)	0	0	0	0	0.22	8.69
項目\天	1	7	15	30	150	365																																																																	
氯(ppmV)	0	0	0	0	1.54	1560																																																																	
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.02																																																																	
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.05																																																																	
液(TPHd)(mg/L)	0	0	0	0	0.01	4.75																																																																	
項目\天	1	7	15	30	150	365																																																																	
氯(ppmV)	0	0	0	0	15	1260																																																																	
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.0001	0.01																																																																	
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.0002	0.04																																																																	
液(TPHd)(mg/L)	0	0	0	0	0.22	8.69																																																																	
<p>#11</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>項目\天</th> <th>1</th> <th>7</th> <th>15</th> <th>30</th> <th>150</th> <th>365</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>氯(ppmV)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0.05</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>液(苯)(mg/L)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0.001</td> </tr> <tr> <td>液(萘)(mg/L)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0.003</td> </tr> <tr> <td>液(TPHd)(mg/L)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0.0008</td> <td>0.49</td> </tr> </tbody> </table>	項目\天	1	7	15	30	150	365	氯(ppmV)	0	0	0	0	0.05	15	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.001	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.003	液(TPHd)(mg/L)	0	0	0	0	0.0008	0.49																																				
項目\天	1	7	15	30	150	365																																																																	
氯(ppmV)	0	0	0	0	0.05	15																																																																	
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.001																																																																	
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.003																																																																	
液(TPHd)(mg/L)	0	0	0	0	0.0008	0.49																																																																	

圖 4-6(b)洩漏於儲槽區內之模擬結果

模擬情境說明

地下水位深度	2 m
土層絕對滲透係數	$2.5 \times 10^{-12} \text{ m}^2$
孔隙率	0.4
洩漏點	Case2(儲槽區內之輸油管線)
洩漏時間	一年

#1							#2						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	0	0	0	0.01	0.83	1490	氯(ppmV)	0	0	0	0.01	4.19	1189
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.01	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.01
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.04	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.0001	0.03
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0.0001	4.22	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0.02	4.9

#3							#4						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	0	0	0	0	0.06	4.41	氯(ppmV)	0.04	17.45	184.2	377	5388	5826
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.0001	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.02
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.0004	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.05
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.071	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	1.5	7.97

#5							#6						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	2358	4686	4864	4930	5809	5806	氯(ppmV)	0.02	11.56	126	289	3889	4828
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0.001	0.01	0.02	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.001	0.01
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0.002	0.02	0.05	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.002	0.02
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0.11	0.39	3.32	9.72	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0.01	0.21	5.79	20

#7							#8						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	0	0	0.01	0.25	23.51	1458	氯(ppmV)	0	0	0	0	0.53	52.45
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.0004	0.02	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.003
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.0011	0.05	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.01
液(TPHa)(mg/L)	0.04	0.1	0.51	1.67	16.02	21.97	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0.005	1.82

#9							#10						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	0	0	0	0.01	0.84	1490	氯(ppmV)	0	0	0	0.02	5.25	1489
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.01	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.01
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.04	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.03
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	2.04	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0.014	4.08

#11						
項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	0	0	0	0	0	2.74
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.066

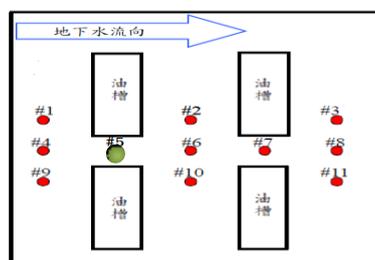


圖 4-6(c)洩漏於儲槽區內之模擬結果

模擬情境說明

地下水深度	5 m
土層絕對滲透係數	$2.5 \times 10^{-12} \text{ m}^2$
孔隙率	0.3
洩漏點	Case2(儲槽區內之輸油管線)
洩漏時間	一年

#1

項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	0	0	0.001	0.04	0.38	41.35
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.0001

#2

項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	0	0	0.0006	0.03	0.44	621.1
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.0001
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.0002
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.01

#3

項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	0	0	0	0	0	3.54
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0

#4

項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	0.01	14.81	98.64	1055	2788	4119
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.0003
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.0011
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.039

#5

項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	1093.4	2747.7	3798.8	4332.7	4333.8	4330
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.001
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.0023
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0.01	0.2

#6

項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	0	1.7	64.8	674.3	3089.4	3923.2
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.0004
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.0012
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0.001	0.11

#7

項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	0	0	0	0.1	3.17	552
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.0001
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.0003
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.03

#8

項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	0	0	0	0.0004	0.08	23.88
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.006

#9

項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	0	0	0.001	0.05	0.47	48.8
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.00013

#10

項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	0	0	0	0.03	0.43	621.36
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.0002
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.007

#11

項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	0	0	0	0	0	3.92
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0

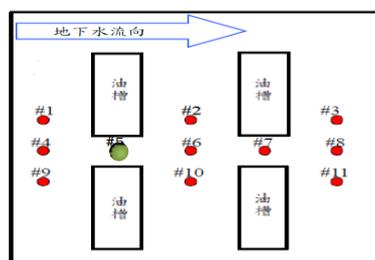


圖 4-6(d)洩漏於儲槽區內之模擬結果

模擬情境說明

地下水位深度	2 m
土層絕對滲透係數	$2.5 \times 10^{-11} \text{ m}^2$
孔隙率	0.3
洩漏點	Case 3(油槽上方與輸油管連接處)
洩漏時間	一年

#1							#2						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氣(ppmV)	0.161	1308.7	4297.6	5822.1	5849.7	5849.7	氣(ppmV)	0	0	0.05	0.72	89.37	2151.9
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.0105	0.014	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.005	0.012
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0.001	0.033	0.048	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.015	0.039
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0.002	1.28	1.89	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0.0002	0.87	2.29

#3							#4						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氣(ppmV)	0	0	0.001	0.044	59.42	95.7	氣(ppmV)	132	3489.8	4681.7	4684.3	4685.3	4684.9
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.005	0.01	液(苯)(mg/L)	0	0	0.001	0.005	0.02	0.02
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.02	0.031	液(萘)(mg/L)	0	0	0.01	0.015	0.053	0.06
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	1.58	2.3	液(TPHa)(mg/L)	0	0.0002	0.22	1.13	5.39	4.83

#5							#6						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氣(ppmV)	0	0.11	41.7	147.33	3288.12	3885.79	氣(ppmV)	0	0.00011	2.03	18.4	1344.4	2356.5
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0.001	0.019	0.022	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.02	0.02
液(萘)(mg/L)	0	0	0.002	0.005	0.058	0.069	液(萘)(mg/L)	0	0	0.0002	0.0015	0.05	0.07
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0.04	0.3	6.16	5.64	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0.003	0.05	5.12	5.57

#7							#8						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氣(ppmV)	0	0	0.115	2.81	128.2	1470.95	氣(ppmV)	0	0	0.003	0.19	107.0	1453.14
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.015	0.023	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.011	0.017
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0.0003	0.045	0.07	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.033	0.053
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0.0001	0.01	4.36	5.93	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0.0004	3.11	4.06

#9							#10						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氣(ppmV)	0	0.027	3.13	9.28	2209.6	2852.7	氣(ppmV)	0	0	0.0002	0.009	62.4	1521.95
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.014	0.024	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.005	0.02
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.05	0.08	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.018	0.07
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0.37	2.08	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0.75	4.14

#11						
項目\天	1	7	15	30	150	365
氣(ppmV)	0	0	0	0.001	53.95	92.6
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.004	0.009
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.011	0.03
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0.62	1.36

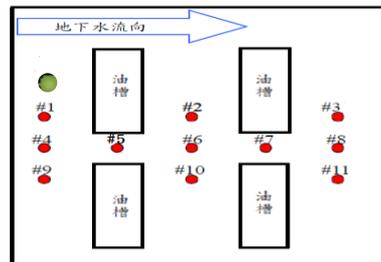


圖 4-7(a)油槽上方與輸油管連接處之模擬結果

模擬情境說明

地下水位深度	2 m
土層絕對滲透係數	$2.5 \times 10^{-12} \text{ m}^2$
孔隙率	0.3
洩漏點	Case 3(油槽上方與輸油管連接處)
洩漏時間	一年

#1							#2						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氣(ppmV)	9	865	2743	5795	5851	5850	氣(ppmV)	0	0	0	0	0.24	1440
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.2	0.2	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.02
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.4	0.4	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.12
液(TPHd)(mg/L)	0.01	0.07	0.45	0.76	6.18	10.26	液(TPHd)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.121

#3							#4						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氣(ppmV)	0	0	0	0	0	2.9	氣(ppmV)	4.20	325	1353	4778	4761	4736
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.01	0.04
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0.01	0.08	0.14
液(TPHd)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.11	液(TPHd)(mg/L)	0	0	0.002	0.38	8.31	23.02

#5							#6						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氣(ppmV)	0	0.02	0.47	6.32	1807	3116	氣(ppmV)	0	0	0	0	28.98	1166
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.01	0.03	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.02
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.03	0.09	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.06
液(TPHd)(mg/L)	11.69	15.89	18.96	20.79	13.01	29.03	液(TPHd)(mg/L)	0	0	0	0	0.58	11.53

#7							#8						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氣(ppmV)	0	0	0	0	1.67	102	氣(ppmV)	0	0	0	0	0.03	20.89
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.01	液(苯)(mg/L)	0.02	0.06	0	0	0	0
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.02	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(TPHd)(mg/L)	0	0	0.001	0.004	3.29	18.68	液(TPHd)(mg/L)	0	0	0	0	0.83	1.46

#9							#10						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氣(ppmV)	0	0.01	0.22	1.57	1548	1812	氣(ppmV)	0	0	0	0	0.03	1450
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(TPHd)(mg/L)	0	0	0	0	0.19	8.41	液(TPHd)(mg/L)	0	0	0	0	0.0002	0.28

#11						
項目\天	1	7	15	30	150	365
氣(ppmV)	0	0	0	0	0	0
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(TPHd)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.03

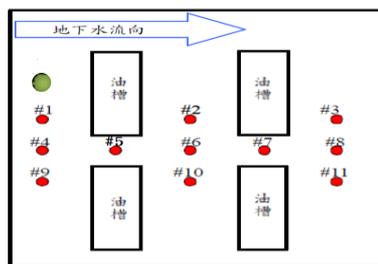


圖 4-7(b)油槽上方與輸油管連接處之模擬結果

模擬情境說明

地下水深度	2 m
土層絕對滲透係數	$2.5 \times 10^{-12} \text{ m}^2$
孔隙率	0.4
洩漏點	Case 3(油槽上方與輸油管連接處)
洩漏時間	一年

#1							#2						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	23.5	1446.22	4324.74	5850.81	5851.89	5850.55	氯(ppmV)	0	0	0	0.001	0.033	4.94
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0.0004	0.0021	0.0075	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0.002	0.01	0.024	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.0001
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0.06	0.68	3.43	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.021
#3							#4						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	0	0	0	0	0	0.32	氯(ppmV)	1219.26	3546.17	4776.69	4773.79	4767.59	4745.87
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(苯)(mg/L)	0	0	0.001	0.007	0.01	0.038
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(萘)(mg/L)	0	0	0.004	0.02	0.03	0.1
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.01	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0.17	4.39	6.65	14.64
#5							#6						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	0.0002	0.096	3.89	125.05	1481.43	2709.28	氯(ppmV)	0	0.015	1.68	20.3	93.3	1511.56
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0.0005	0.004	0.022	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.0001	0.01
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0.002	0.011	0.07	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.0004	0.025
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0.0003	0.23	2.32	12.68	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0.001	0.07	5.83
#7							#8						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	0	0	0	0.002	0.13	32.7	氯(ppmV)	0	0	0	0	0.001	3.15
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.002	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.0002
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.005	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.0004
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0.0011	1.08	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.09
#9							#10						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	0	0.04	1.18	6.14	1503.97	1692.96	氯(ppmV)	0	0	0	0	0.002	1.26
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.017	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.001	0.048	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.0002
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0.002	5.56	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.029
#11													
項目\天	1	7	15	30	150	365							
氯(ppmV)	0	0	0	0	0	0.07							
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0							
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0							
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.001							

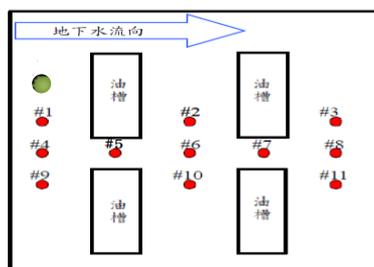


圖 4-7(c)油槽上方與輸油管連接處之模擬結果

模擬情境說明

地下水位深度	5 m
土層絕對滲透係數	$2.5 \times 10^{-12} \text{ m}^2$
孔隙率	0.3
洩漏點	Case 3(油槽上方與輸油管連接處)
洩漏時間	一年

#1							#2						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	13.7	992.7	2280.4	2931.2	3523.1	3541.9	氯(ppmV)	0	0	0	0	0.09	42.5
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.05	0.07	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.03
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0.003	0.13	0.17	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.0003	0.09
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0.03	7.81	85.58	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0.003	6.76
#3							#4						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	0	0	0	0	0	1.9	氯(ppmV)	667.8	1729.01	3106.17	3757.47	3766.4	3771.29
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.001	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0.043	0.08	0.09
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.005	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0.16	0.19	0.22
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.2	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0.063	5.75	14.79
#5							#6						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	0.0004	0.14	2.23	16.4	174.3	2124.83	氯(ppmV)	0	0	0	0.001	1.1	62.4
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.02	0.084	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.001	0.05
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0.002	0.08	0.21	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.003	0.15
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0.01	3.57	81.57	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0.08	15.5
#7							#8						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	0	0	0	0	0.02	22.6	氯(ppmV)	0	0	0	0	0.0001	4.4
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.02	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.004
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.06	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.01
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0.001	4.8	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.91
#9							#10						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	0.0001	0.048	0.91	4.84	70.2	1172.3	氯(ppmV)	0	0	0	0	0	9.9
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.07	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.01
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.19	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.03
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0.03	36.14	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.49
#11													
項目\天	1	7	15	30	150	365							
氯(ppmV)	0	0	0	0	0	0.05							
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0							
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.0002							
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.002							

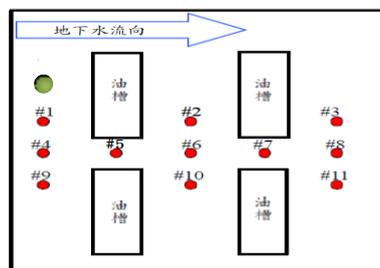


圖 4-7(d)油槽上方與輸油管連接處之模擬結果

模擬情境說明

地下水深度	2 m
土層絕對滲透係數	$2.5 \times 10^{-11} \text{ m}^2$
孔隙率	0.3
洩漏點	Case 4(儲油槽下方)
洩漏時間	一年

#1							#2						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氣(ppmV)	0	0	0	0	0	0	氣(ppmV)	0	0	0	0	0	0
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.002	0.12	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.01
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.0001	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0.02	1.45	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0.0004	0.17

#3							#4						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氣(ppmV)	0	0	0	0	0	0	氣(ppmV)	0	0	0	0	0	0
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.027	3.49
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.003
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0.004	20.34

#5							#6						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氣(ppmV)	0	0	0	0	0.0003	929	氣(ppmV)	0	0	0	0	0	0
液(苯)(mg/L)	0.0004	0.14	1.04	13.8	73.9	160.3	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0.001	0.9	24.4
液(萘)(mg/L)	0	0.0003	0.001	0.01	0.036	0.05	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.001	0.02
液(TPHa)(mg/L)	0.004	1.64	12.1	158	1151	3071	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0.01	10.9	303.3

#7							#8						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氣(ppmV)	0	0	0	0	0	0	氣(ppmV)	0	0	0	0	0	0
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.0003	0.11	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0.003	1.35	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.001

#9							#10						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氣(ppmV)	0	0	0	0	0	0.04	氣(ppmV)	0	0	0	0	0	0
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0.0004	0.41	38	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0.001	1.5	48.5
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.0005	0.025	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.001	0.02
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0.03	4.98	437.4	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0.012	35.32	1078

#11						
項目\天	1	7	15	30	150	365
氣(ppmV)	0	0	0	0	0	0
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.001

地下水流向

圖 4-8(a)儲油槽下方之模擬結果

模擬情境說明

地下水深度	2 m
土層絕對滲透係數	$2.5 \times 10^{-12} \text{ m}^2$
孔隙率	0.3
洩漏點	Case 4(儲油槽下方)
洩漏時間	一年

#1

項目\天	1	7	15	30	150	365
氣(ppmV)	0	0	0	0	0	0
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0

#2

項目\天	1	7	15	30	150	365
氣(ppmV)	0	0	0	0	0	0
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.1

#3

項目\天	1	7	15	30	150	365
氣(ppmV)	0	0	0	0	0	0
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0.01	0.1

#4

項目\天	1	7	15	30	150	365
氣(ppmV)	0	0	0	0	0	0
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0

#5

項目\天	1	7	15	30	150	365
氣(ppmV)	0	0	0	0	0	0
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0

#6

項目\天	1	7	15	30	150	365
氣(ppmV)	0	0	0	0	0	0
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.001

#7

項目\天	1	7	15	30	150	365
氣(ppmV)	0	0	0	0	0	0
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.02

#8

項目\天	1	7	15	30	150	365
氣(ppmV)	0	0	0	0	0	0
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.01

#9

項目\天	1	7	15	30	150	365
氣(ppmV)	0	0	0	0	0	0
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0

#10

項目\天	1	7	15	30	150	365
氣(ppmV)	0	0	0	0	0	0.02
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0

#11

項目\天	1	7	15	30	150	365
氣(ppmV)	0	0	0	0	0.11	1.66
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.0003

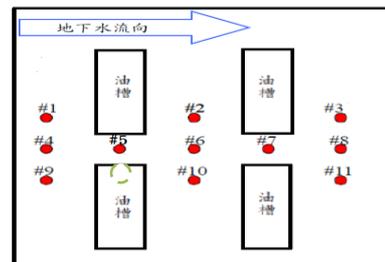


圖 4-8(b)儲油槽下方之模擬結果

模擬情境說明

地下水位深度	2 m
土層絕對滲透係數	$2.5 \times 10^{-12} \text{ m}^2$
孔隙率	0.4
洩漏點	Case 4(儲油槽下方)
洩漏時間	一年

#1							#2						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	0	0	0	0	0	0	氯(ppmV)	0	0	0	0	0	41.2
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.5	9.8	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.002	0.85
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.001
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0.03	0.62	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0.02	9.07

#3							#4						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	0	0	0	0	0	0.25	氯(ppmV)	0	0	0	0	0	834
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.034	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.011	1.59
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.003
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0.021	9.07	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.37

#5							#6						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	0	0	0	0	274.4	8202	氯(ppmV)	0	0	0	0	0	0.4
液(苯)(mg/L)	0.0002	0.17	0.93	9.37	130	161	液(苯)(mg/L)	0	0	0.0003	0.013	22.1	135
液(萘)(mg/L)	0	0.000265	0.001	0.015	0.058	0.052	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.014	0.05
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0.12	16.24	液(TPHa)(mg/L)	0	0.002	10.6	104.6	1528	2152

#7							#8						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	0	0	0	0	0	0.0002	氯(ppmV)	0	0	0	0	0	0
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.77	49.02	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.01	7.09
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.001	0.024	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0.003	0.147	247.5	1664	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0.098	80.1

#9							#10						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	0	0	0	0	0	0	氯(ppmV)	0	0	0	0	0.01	7856
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.041	40.7	液(苯)(mg/L)	0	0	0.0003	0.01	5.75	122.3
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.003	0.045
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0.42	411	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0.003	0.11	68.5	1426

#11						
項目\天	1	7	15	30	150	365
氯(ppmV)	0	0	0	0	0	7.48
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.01	3.27
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.002	0.002
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0.12	41.56

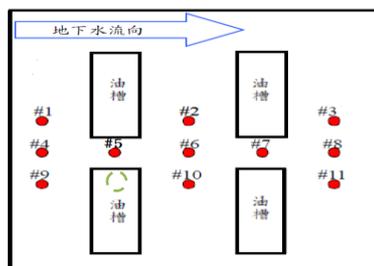


圖 4-8(c)儲油槽下方之模擬結果

模擬情境說明

地下水位深度	5 m
土層絕對滲透係數	$2.5 \times 10^{-12} \text{ m}^2$
孔隙率	0.3
洩漏點	Case 4(儲油槽下方)
洩漏時間	一年

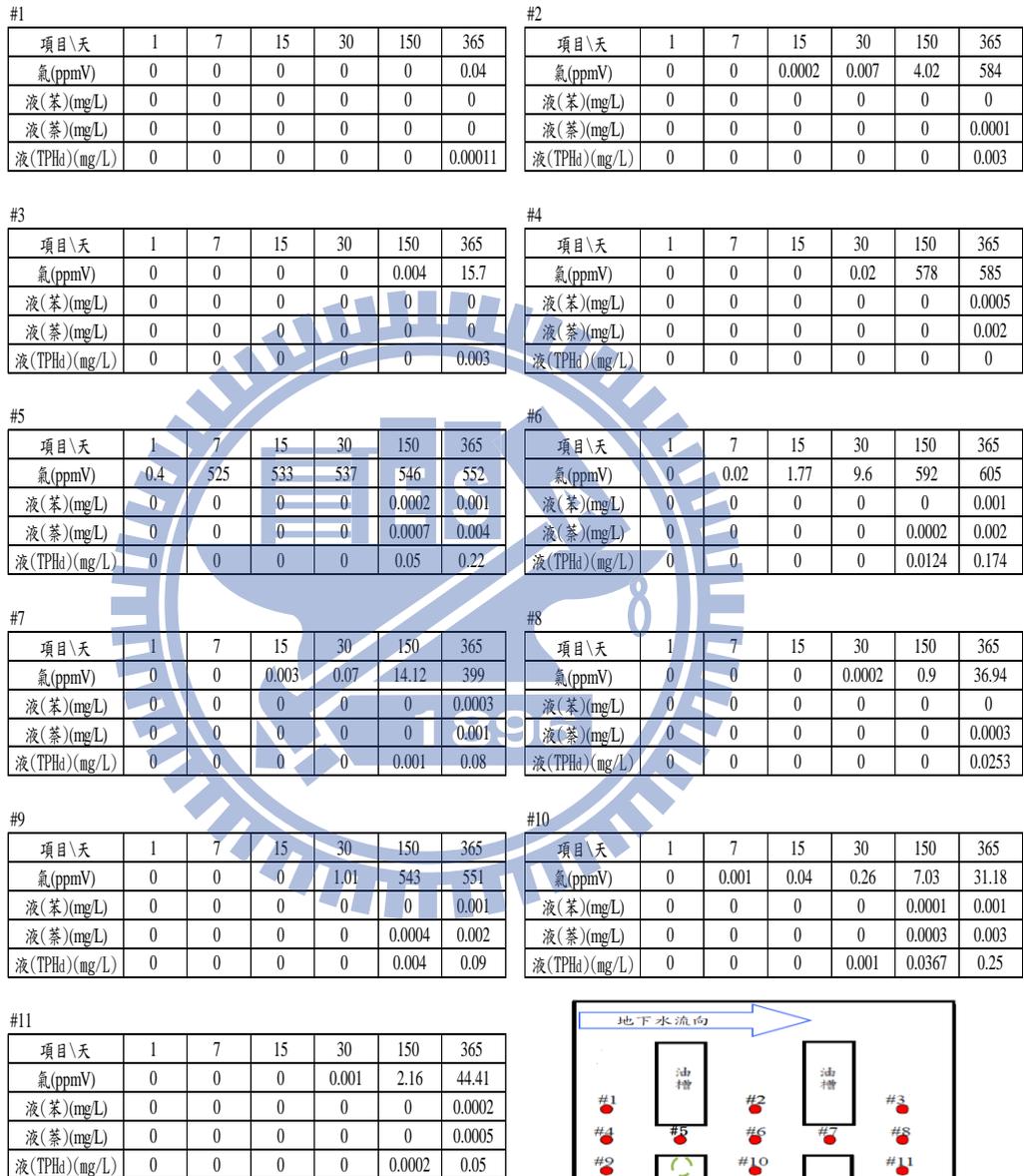


圖 4-8(d)儲油槽下方之模擬結果

4.2 柴油和汽油洩漏比較

在加油站最常見的兩大油品為汽、柴油，以 TMVOC 簡單呈現一種洩漏情況來模擬汽、柴油兩者差異，如圖 4-9。由兩者洩漏在地下水位於 2 m 及相同地質條件下，洩漏至 62 天時，由水中含苯濃度變化可看出圖 4-9(a)，汽油中苯濃度會比柴油較早擴散開，而柴油中苯濃度顯得較集中。洩漏至 180 天時之油飽和度，圖 4-9(b)，也可看出柴油擁有相對於汽油較高黏滯性，其浮油團顯示較集中且較晚擴散開來，而汽油在地下水面上的浮油團延伸範圍也較柴油長。

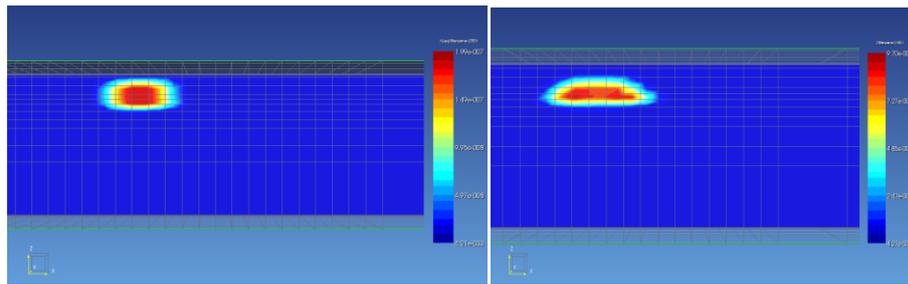
當兩者洩漏至一年時之 VOCs 濃度分佈來看，由於汽油有較高的蒸汽壓，而相對於柴油有較高的揮發性，由圖 4-9(c)也可看出汽油在 VOCs 傳輸方面，也都比柴油快且廣泛。同時以土層中的水飽和度分佈，圖 4-9(d)，可看出在同樣的洩漏量下，柴油洩漏於地下水面時，其地下水面下凹程度較汽油明顯，而汽油洩漏至地下水面時，相對於柴油會較易沿著水面向四周擴散。

當地下水位為 5 m 時，圖 4-10。由於地下水位相對於 2 m 時，柴油與汽油需要洩漏一段時間才能到達地下水位。其在洩漏過程中受到地下水位影響較小，主要是受到重力及油品基本物理性質(蒸氣壓、黏滯性等)影響程度較大。同樣洩漏至 62 天時，由水中含苯濃度變化可看出，汽油中苯濃度會比柴油較早擴散開，圖 4-10(a)。比較兩者洩漏至 72 天時之飽和度(SO)，圖 4-10(b)。由於柴油有較高的黏滯性而流動緩慢。所以在同樣的洩漏時間點，柴油顯現集中而其油品中心也擁有較高飽和度值。汽油則是呈現油品流動相對較快，在同樣的地質條件下，比柴油較快充滿土壤中孔隙且低黏滯性而流動快。在 72 天時，汽油相對比柴油入滲較深且廣泛。可預期汽油會比柴油較先達到地下水位而向四周擴散。再以洩漏至一年的 VOCs 濃度來看，圖 4-10(c)。因汽油會比柴油先到達地下水面，可看出浮於水面上的 VOCs 濃度較柴油延長。因汽油有高揮發性，在非飽和區的氣體濃度範圍也較為廣泛。以地下水位為 5 m 之土層中水飽和度分佈，圖 4-10(d)。同地下水位為 2 m 情況，柴油洩漏其地下水面下凹程度較為明顯。則汽油遇到地下水面會較容易向四周擴散開來，所以其地下水面下凹程度就較為柴油輕微。

由圖 4-9 及 4-10 的汽、柴油示意圖變化，油品在不同的地下水位洩漏，柴油均呈現高黏滯性，使其流動緩慢。顯示出柴油污染團相較於汽油集中且擴散範圍小。在水中之苯傳輸性上，汽油也明顯比柴油優越許多。而氣體傳輸方面，在不同水位情況下，明顯汽油之 VOCs 傳輸較快。柴油因有較低蒸汽壓，其 VOCs 濃度範圍均比汽油小。普遍呈現出汽油在氣體及水中傳輸上均比柴油優異。

在監測井之油品偵測方面，以同樣洩漏量 5 gal/day 來模擬汽油於加油站 Case 2 情況，並與柴油洩漏污染範圍做個對照，圖 4-11。先將兩種油品以洩漏於地下水位於 2 m 之場址，圖 4-11(a)。因在地下水水位 2 m 情況下，油品洩漏到達水位時間就相對較短。但柴油在此狀況下，較近之#4、#5、#6 監測井普遍都能偵測到柴油 VOCs 濃度。其中位於洩漏點處#5 之監測井在 1 天時之柴油 VOCs 濃度就可達到管制標準。而距離洩漏點 3 m 處之#4 和#6 監測井，需至 150 天才能偵測到柴油之 VOCs。但汽油因容易揮發，在同樣監測井之氣體監測幾乎比柴油較早達到氣體濃度標準。至洩漏一年時，擁有極高的 VOCs 濃度值需至 30 天時才偵測到 2020 ppm 之 VOCs 濃度。但至 365 天，汽油之 VOCs 量反而有大幅度上升，其監測井偵測到汽油之 VOCs 濃度約至柴油 VOCs 濃度之 20 倍左右。在地下水監測方面，以水中苯濃度 0.05 mg/L 作監測指標，各支監測井難以在一年內偵測到柴油，在#5 至一年時其柴油之水中含苯濃度達到 0.04 ppm，而汽油之含苯濃度達到 0.1 ppm。所以單從#5 監測井來看，地下水含苯濃度監測確實適用於汽油監測。相對在土壤氣體監測方面，若監測井設置在洩漏點附近，在油品持續洩漏情況下，都能反應一定程度柴油之 VOCs 濃度變化。再從地下水水位 5 m 案例來看，圖 4-11(b)。兩種油品同樣需洩漏一段時間才到達地下水面，所以油品在非飽和區單純只受到重力影響而往下移動。以#5 來看，在第 7 天時汽油的 VOCs 就遠超過柴油之 VOCs 量，達到 36463 ppm，幾乎是柴油濃度之 13 倍。從距離污染團較遠之監測井，分別以水平距離 6 m 處#7、9 m 處#8 及#11 來看。柴油在#7 之 VOCs 濃度要至一年才能偵測到 500 ppm 以上的濃度值，但汽油在 150 天時就可達到 1058 ppm。在#8 和#11 監測井之氣體監測中柴油幾乎無法在一年時間達到 500 ppm 之 VOCs 濃度，而汽油幾乎都可在一年時間達到氣體偵測濃度值。在地下水監測方面，柴油均因地下水水位較深普遍偵測極低的水中含苯濃度值，在#5 至一年時才只有 0.001 mg/L。汽油因流動性較快而較早到達地下水水位，同樣在#5 監測井 150 天就達到 0.04 mg/L，至一年時就超過地下水含苯濃度之管制標準 0.05 ppm。在#4、#6、#9 及#10 監測井中汽油均可在一年時達到含苯濃度 0.05 ppm，但柴油幾乎偵測不到含苯濃度值。說明在地下水水位較深情況，若以地下水含苯濃度作油品監測，汽油會比柴油較早且容易被偵測到。

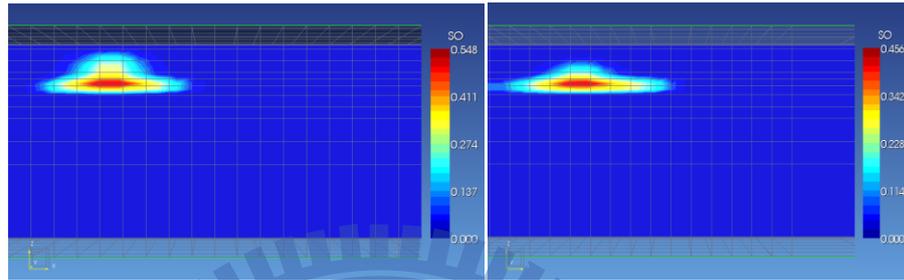
由以上兩種油品洩漏於不同水位下，同樣以監測井之 VOCs 及水中濃度變化可得知。若監測井設置在距離洩漏點 3 m 範圍內，都能偵測到一定程度柴油之油氣濃度變化。而相對汽油因容易揮發，在同樣監測井之氣體監測幾乎比柴油較早達到氣體濃度標準，汽油至一年時之 VOCs 濃度幾乎是柴油 VOCs 濃度的數十倍。在地下水含苯濃度監測方面，汽油也明顯比柴油優越許多，汽油均可在一年時達到含苯濃度 0.05 ppm 以上。特別在地下水水位較深情況，汽油因有較佳的流動性會較早達到地下水面，所以均可比柴油較早被監測井偵測到。



柴油(62 天)

汽油(62 天)

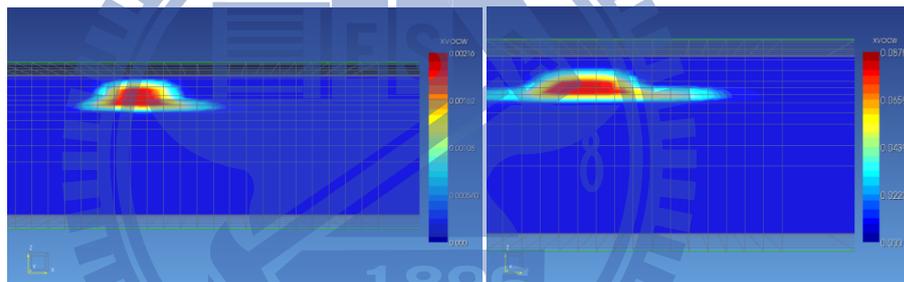
(a)水中含苯濃度變化



柴油(180 天)

汽油(180 天)

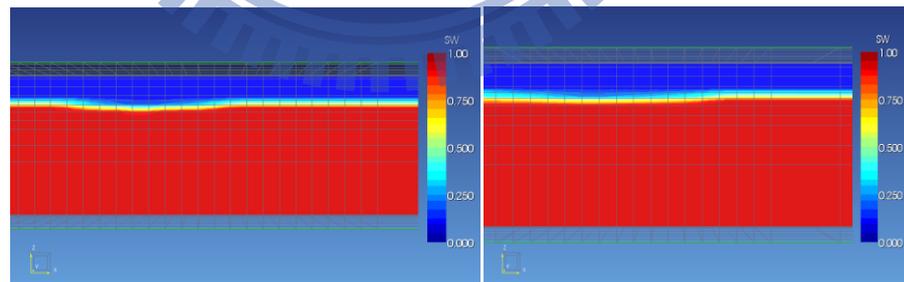
(b)油飽和度變化



柴油(365 天)

汽油(365 天)

(c)土壤氣體濃度變化

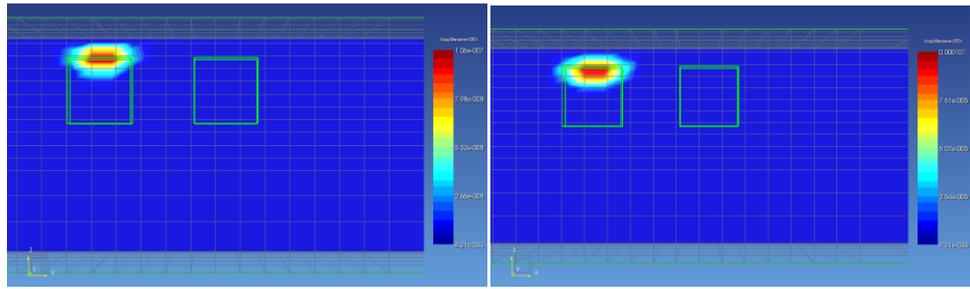


柴油(365 天)

汽油(365 天)

(d)地下水位飽和度分佈

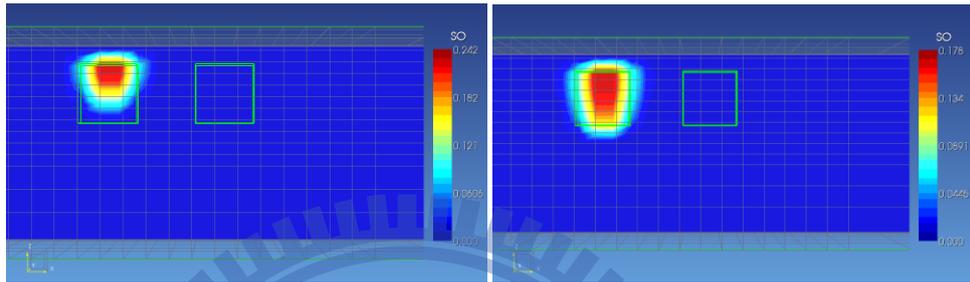
圖 4-9 地下水位 2 m 之汽柴油模擬結果



柴油(62 天)

汽油(62 天)

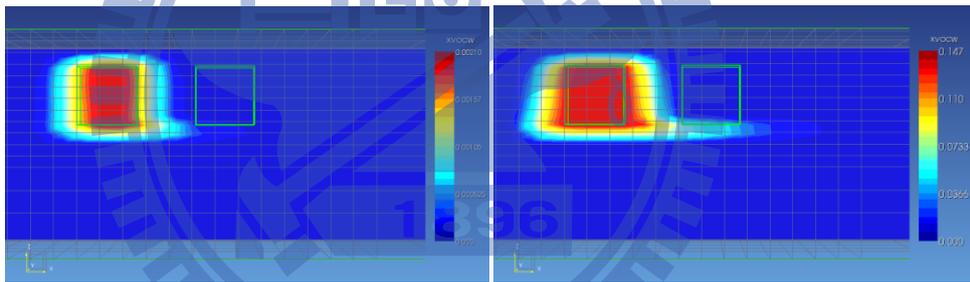
(a) 水中含苯濃度變化



柴油(72 天)

汽油(72 天)

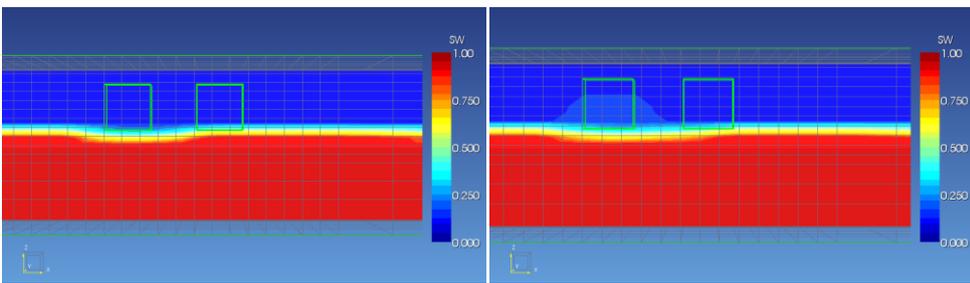
(b) 油飽和度變化



柴油(365 天)

汽油(365 天)

(c) 土壤氣體濃度變化



柴油(365 天)

汽油(365 天)

(d) 地下水位飽和度分佈

圖 4-10 地下水位 5 m 之汽柴油模擬結果

汽柴油模擬情境說明

地下水位深度	2 m
土層絕對滲透係數	$2.5 \times 10^{-12} \text{ m}^2$
孔隙率	0.3
洩漏點	Case 2(儲油槽上方)
洩漏時間	一年

#4 柴油							#5 柴油						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氫(ppmV)	0	0.91	26.7	128	4880	5790	氫(ppmV)	2180	3520	5840	5840	5830	5830
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.01	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.01	0.02
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.01	0.03	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.02	0.06
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	5.31	9.99	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0.08	6.41	11.14

#4 汽油							#5 汽油						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氫(ppmV)	0	8	143	2257	91689	126033	氫(ppmV)	63979	144501	172863	201030	201804	201769
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	1	2	液(苯)(mg/L)	0	0	0.21	0.47	2	3
液(TPH)(mg/L)	0	0	0	0	407	1099	液(TPH)(mg/L)	0	0	20	77	807	1092

#6 柴油							#7 柴油						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氫(ppmV)	0	0.76	22.2	109	4160	4840	氫(ppmV)	0	0	0	0	43.1	1470
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.001	0.01	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.001	0.03
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.004	0.04	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.002	0.09
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	12.96	26.1	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	2.09	19.83

#6 汽油							#7 汽油						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氫(ppmV)	0	0	0	15	3263	6807	氫(ppmV)	0	0	0	0.937	24400	53687
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0.012	1	3	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.18	2
液(TPH)(mg/L)	0	0	0	2	510	1022	液(TPH)(mg/L)	0	0	0	0	63	927

#8 柴油							#9 柴油						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氫(ppmV)	0	0	0	0	1.14	106	氫(ppmV)	0	0	0	0	1.54	1560
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.01	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.02
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.0001	0.03	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.05
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0.1	6.2	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0.01	4.75

#8 汽油							#9 汽油						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氫(ppmV)	0	0	0	0.0004	1648	59385	氫(ppmV)	0	0	0	0	9150	57138
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.01	1	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.38	4
液(TPH)(mg/L)	0	0	0	0	3	398	液(TPH)(mg/L)	0	0	0	0	29	919

#10 柴油							#11 柴油						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氫(ppmV)	0	0	0	0	15	1260	氫(ppmV)	0	0	0	0	0.05	15
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.0001	0.01	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.001
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0.0002	0.04	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.003
液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0.22	8.69	液(TPHa)(mg/L)	0	0	0	0	0.0008	0.49

#10 汽油							#11 汽油						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氫(ppmV)	0	0	0	0.319	36766	57807	氫(ppmV)	0	0	0	0	12	22414
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	1.59	1.9	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.001	0.24
液(TPH)(mg/L)	0	0	0	0.0001	258	853	液(TPH)(mg/L)	0	0	0	0	0.11	72

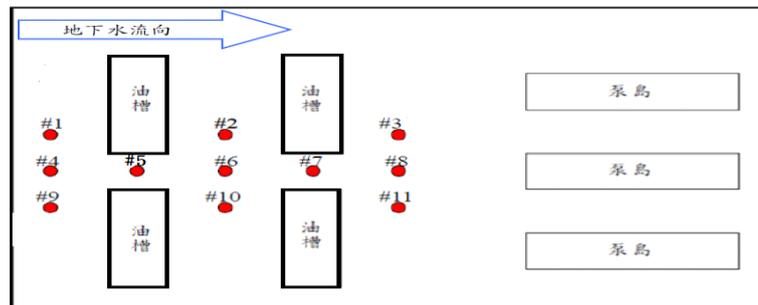


圖 4-11(a) 汽柴油洩漏於地下水位 2 m 時之模擬結果

汽柴油模擬情境說明

地下水位深度 土層絕對滲透係數 孔隙率 洩漏點 洩漏時間	5 m $2.5 \times 10^{-12} \text{ m}^2$ 0.3 Case 2(儲油槽上方) 一年
--	--

#4 柴油							#5 柴油						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氣(ppmV)	0.01	14.81	98.64	1055	2788	4119	氣(ppmV)	1093.4	2747.7	3798.8	4332.7	4333.8	4330
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.0003	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.001
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.0011	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.0023
液(TPH)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.039	液(TPH)(mg/L)	0	0	0	0	0.01	0.2
#4 汽油							#5 汽油						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氣(ppmV)	0	1.43	95.71	1371.23	50605.2	106714	氣(ppmV)	287.4	36463.9	73762.6	115765	144193	145657
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.52	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.04	0.75
液(TPH)(mg/L)	0	0	0	0	0	10.56	液(TPH)(mg/L)	0	0	0	0	1.17	21.39
#6 柴油							#7 柴油						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氣(ppmV)	0	1.7	64.8	674.3	3089.4	3923.2	氣(ppmV)	0	0	0	0.1	3.17	552
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.0004	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.0001
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.0012	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.0003
液(TPH)(mg/L)	0	0	0	0	0.001	0.11	液(TPH)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.03
#6 汽油							#7 汽油						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氣(ppmV)	0	0.04	20.9	876.3	59754.1	106485	氣(ppmV)	0	0	0	0.002	1058.9	19233.2
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0.002	0.383	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.12
液(TPH)(mg/L)	0	0	0	0	0.065	10.4	液(TPH)(mg/L)	0	0	0	0	0.002	3.33
#8 柴油							#9 柴油						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氣(ppmV)	0	0	0	0.0004	0.08	23.88	氣(ppmV)	0	0	0.001	0.05	0.47	48.8
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(TPH)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.006	液(TPH)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.00013
#8 汽油							#9 汽油						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氣(ppmV)	0	0	0	0	24.91	7396.11	氣(ppmV)	0	0	0.00013	0.03	289.24	15987.3
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.02	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.1
液(TPH)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.7	液(TPH)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.5
#10 柴油							#11 柴油						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氣(ppmV)	0	0	0	0.03	0.43	621.36	氣(ppmV)	0	0	0	0	0	3.92
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.0002	液(萘)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
液(TPH)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.007	液(TPH)(mg/L)	0	0	0	0	0	0
#10 汽油							#11 汽油						
項目\天	1	7	15	30	150	365	項目\天	1	7	15	30	150	365
氣(ppmV)	0	0	0	0.012	570.4	26016.7	氣(ppmV)	0	0	0	0	0.02	3095
液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.21	液(苯)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.008
液(TPH)(mg/L)	0	0	0	0	0.001	5.37	液(TPH)(mg/L)	0	0	0	0	0	0.18

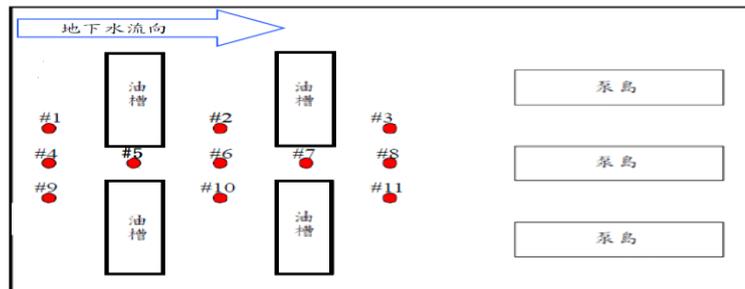


圖 4-11(b) 汽柴油洩漏於地下水位 5 m 時之模擬結果

4.3 油品洩漏整治

油品會以自由相、蒸汽相(Vapor Phase)及溶解相在場址中流動傳輸，其移動均受到壓力梯度所影響。本研究在場址裡引入抽取井，藉由井底負壓所產生的壓力梯度使油品的自由相、蒸汽相及溶解相朝向抽取井移動。針對柴油洩漏情況為油槽區內的 Case 2 進行整治。而抽取位置設置在距洩漏點下游水平距離 4 m 處，深至 2.5 m，其在場址座標為(18.5, 59.5, -2.5)。

由於前述四種不同柴油洩漏位置會形成不同的污染狀況，為了探討柴油受抽取井整治過程的污染變化。則選定污染物傳輸過程中受限最少的 Case 2 作為污染整治的初始狀況。當柴油洩漏至一年時，並且停止洩漏，接續引用抽取井進行柴油一年的污染整治。其整治至一年時油飽和度(SO)分佈，如圖 4-12 所示。自由相之油飽和度無法代表浮油厚度，但可以反應出一定程度的油量。在模型場址於 Y=59.5m, Z=-2 m 處沿 x 方向，分別呈現油飽和度在洩漏至一年、洩漏停止自由流動一年及洩漏停止並進行整治一年之變化，如圖 4-13。

在柴油持續洩漏至一年時，其洩漏位置為(14.5, 59.5, -2.15)可達到油品飽和度 0.62。隨之距離洩漏點越遠而降低，呈現出近似常態分佈之水平方向油品飽和度分佈。但場址仍有水流梯度影響而使油品移動，所以右側飽和度會比左側高。若洩漏置一年停止洩漏，而再讓柴油自由流動一年情況。在洩漏點位置 X=14.5 附近區域隨油品自由流動一年後，從飽和度 0.62 降至 0.48，而向下游擴散。在此情況下 SO 相較於初始情況低，分佈曲線之峰錐較平緩且向外側擴張。但此並非是油品在停止洩漏後流動一年內有大量揮發或溶解的發生，是因為油飽和度之分佈圖為某一位置剖面圖。實際上此區所降低之油飽和度，會在三維空間中擴散到四周區域。

若洩漏停止後進行抽取一年的整治，可明顯看出在洩漏位置右側之 X=18.5 m 處受抽取井影響之油飽和度洩降曲線，其飽和度降至 0.06，與該處洩漏至一年之飽和度(0.34)相比，相差至 0.28。而洩漏點位置 X=14.5 m 處之飽和度也降至 0.24。相較於抽取井位置左右兩側飽和度量，在上游(左側)比下游(右側)高出許多，其相差約 0.12。是因為上游在洩漏點位置所累積油量仍持續往抽取井移動，但在井下游的油量受抽取影響，使此部分油量降低而往下游移動量減少或甚至沒有，產生在抽取井左右兩側不對稱的峰錐。

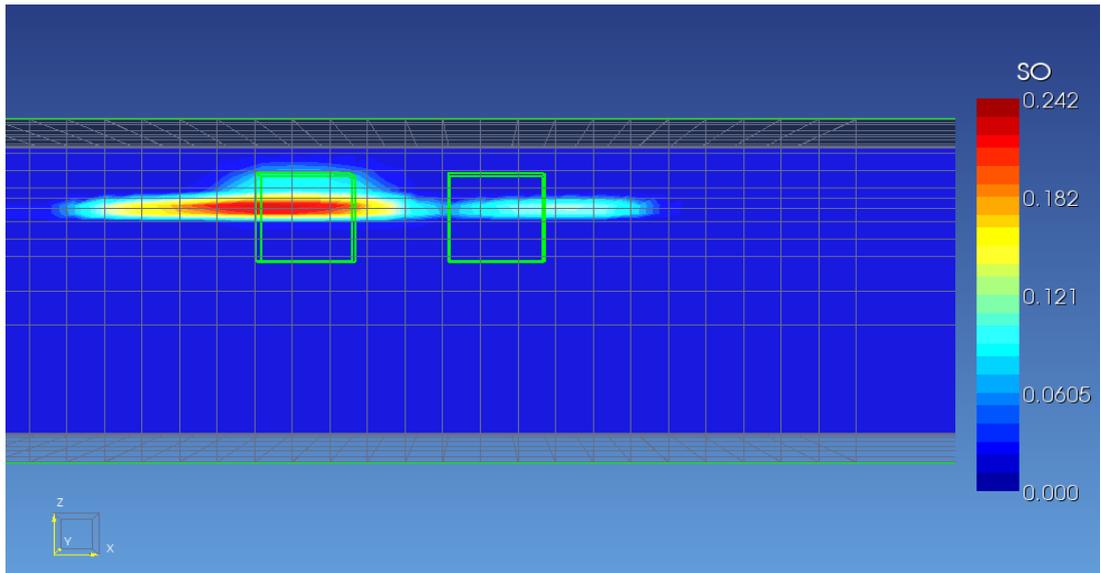


圖 4-12 整治一年柴油之飽和度剖面圖(Y=59.5 m)

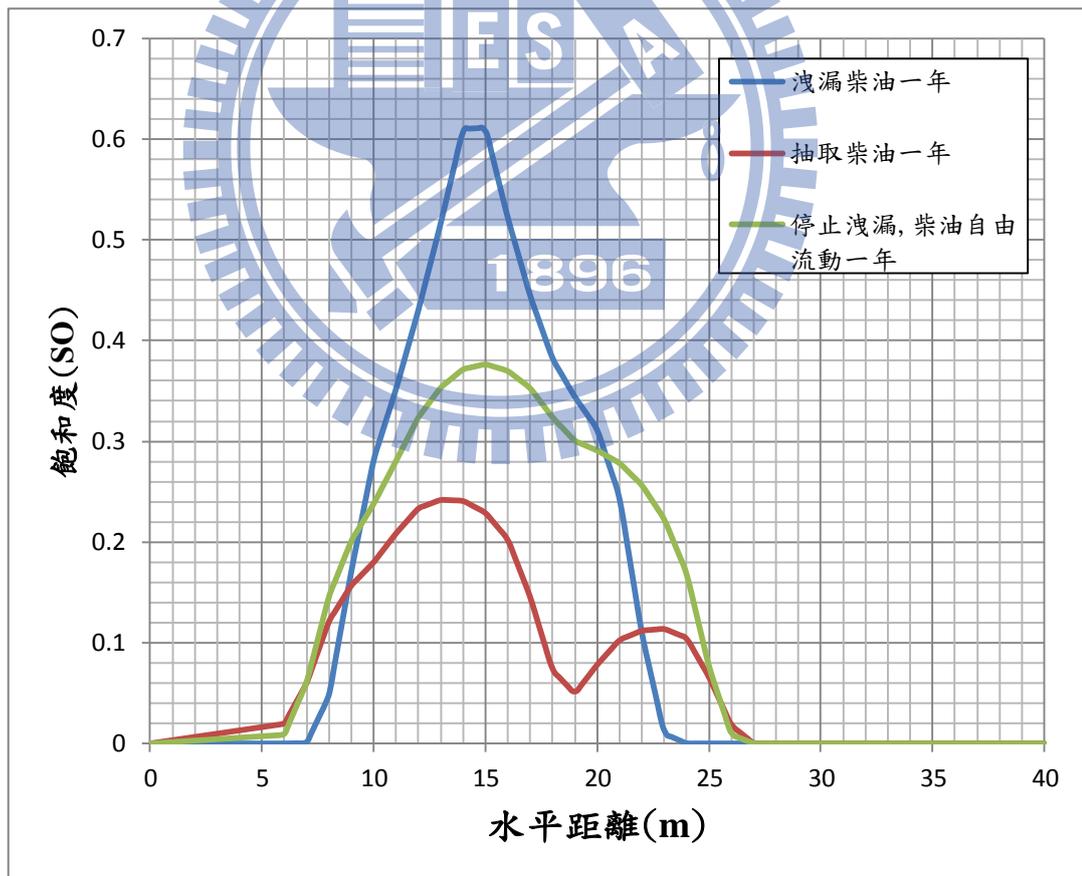


圖 4-13 油品之飽和度與水平距離關係圖(Y=59.5 m, Z=-2 m)

抽取對柴油整治一年的影響可由 Case 2 洩漏一年模擬結果顯示得知，其洩漏的總柴油量可達到 5429 kg。在圖 4-14 可以看出抽取一年可移除掉 2850 kg 的柴油總量。在一開始抽取時在 1 天左右時，能移除 120 kg。隨後移除量快速上升，至 1.6 月可達到最大移除量 640 kg。但之後的移除量持續降低，至 12 月時的移除量剩下到 60 kg。

圖 4-15 顯示在一年中的移除率(Removal Rates)，當抽取井開始抽油至 1.16 天(約 0.04 月)時，井擁有較高移除率 3103 kg/Month。其隨時間增加而極端下降，呈現出抽取井之移除率與時間成反比關係。在第五個月時其移除率降至 37.5 kg/Month，之後變化程度趨緩而維持在極低的移除率。可看出抽取井設置在離洩漏點下游 4 m 處，在第五個月之後其抽取之移除效率極差。

在整治期間之非飽和區監測採用 VOCs 氣體監測及水中含苯濃度作敘述，圖 4-16 為整治期間各支監測井的水中含苯濃度變化。可觀測到每支測漏管水中含苯濃度隨移除量降低，至 180 天每支都可降至到 0.005 mg/L 以下。但只有在上游 #1 和 #9 監測井的濃度變化，卻無受到抽取井的影響而降低，到 152 天之後兩者還有緩慢上升趨勢。而在柴油中相對比苯較多的萘濃度，圖 4-17，與水中含苯濃度變化趨勢幾乎一致。同與圖 4-13 油品之飽和度與水平距離關係圖所述，也因洩漏一年在洩漏源附近所堆積的油量，除了一部分受到下游處之抽取井壓力梯度影響移動，但柴油會隨著重力向下遷移在飽和區上緣造成局部壓力，使少部分油量往上游區移動，再加上在 #1 和 #9 附近油量因有油槽阻擋，導致難以受到抽取井壓力梯度所影響。

在水中柴油總碳氫化合物(TPH_d)方面，圖 4-18。在 #5 和 #7 監測井可明顯看出柴油移除效果。以柴油總碳氫化合物管制標準 10 mg/L 來看，在洩漏一年時 #5 可達到 11 mg/L 之 TPH_d 濃度值，經移除一年後可降至到 0.35 mg/L。#7 則是從 17 mg/L 降至 0.003 mg/L。其中 TPH_d 濃度變化也同苯和萘情況，在 #1 和 #9 因油槽阻擋，使得抽取難以將其監測井裡濃度移除到最低量。

同樣在非飽和區的氣體監測部分，如圖 4-19 所示。只有距離抽取井 1 m 處之 #6 監測井明顯地隨整治期間降低，至 360 天其 VOCs 氣體濃度從 4900 ppm 降低到 3000 ppm，而距離較遠 3 m 處之 #5 和 #7，也從 5800 ppm 緩慢降至到 5500 ppm，至於其它監測井幾乎 VOCs 濃度降低幅度極小或無變化。從 Case 2 整治期間之各支監測濃度變化可說明抽取井設置在水平距離洩漏點下游 4 m 處，對於洩漏 5429 kg 柴油量可移除 2850 kg 油量。在此移除油量過程中對於柴油 VOCs 濃度方面，僅能將在抽取井周圍移除且整治 VOCs 效果差，對於柴油傳輸到較遠區域的 VOCs 甚至無法移除。

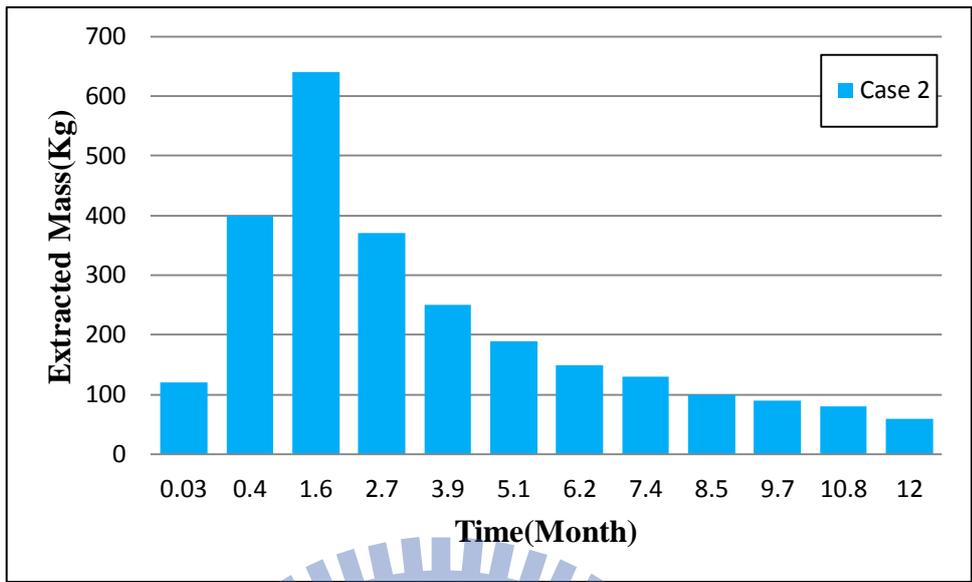


圖 4-14 油品移除量與時間之變化

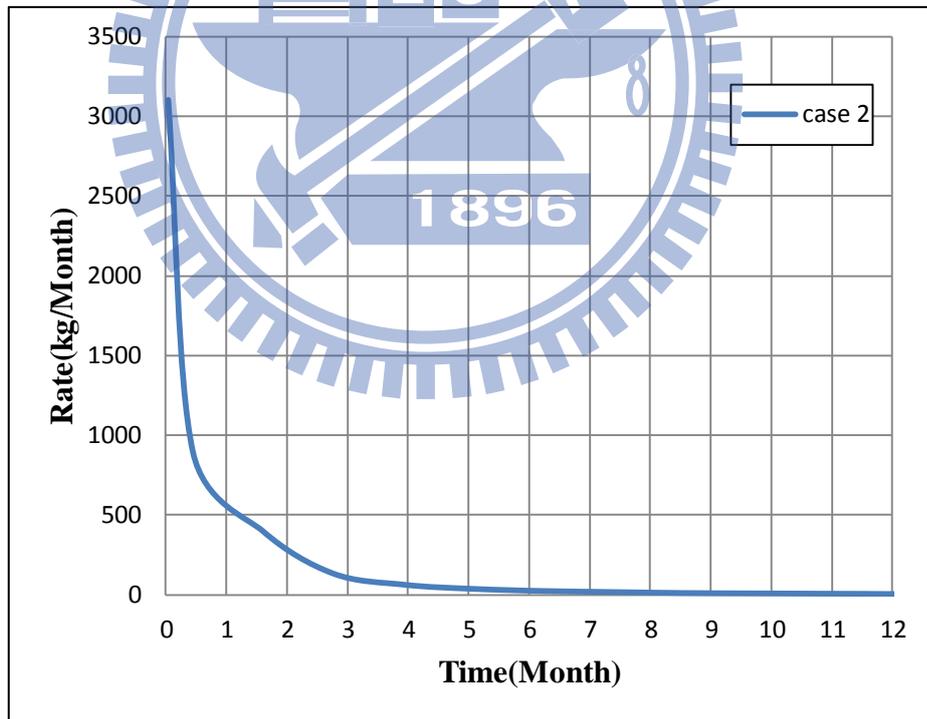


圖 4-15 移除率與時間之變化

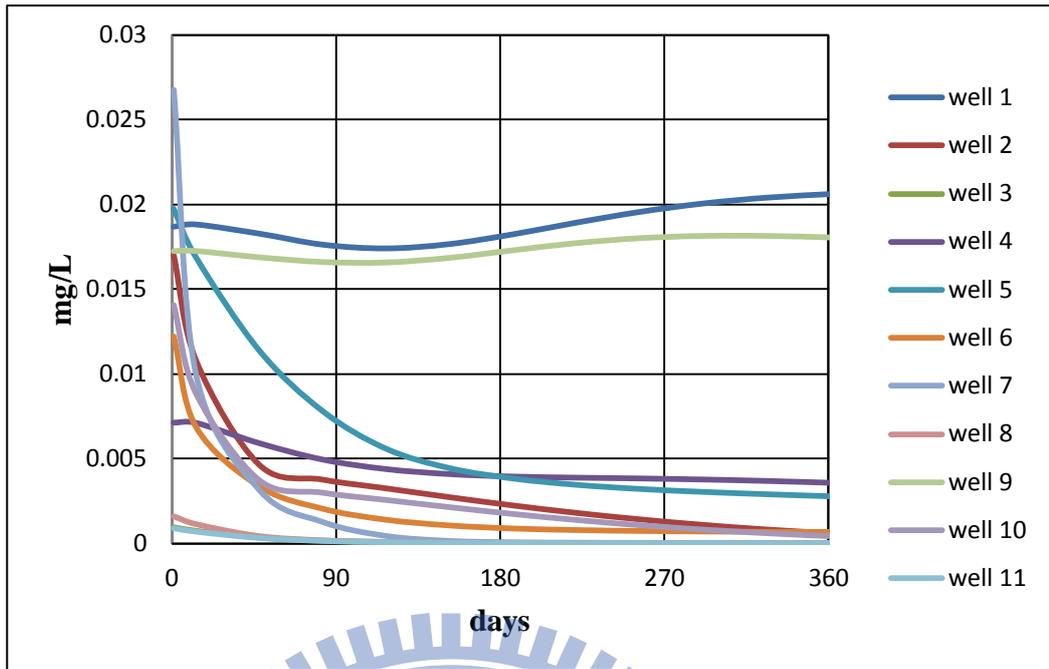


圖 4-16 整治期間監測井水中含苯濃度變化

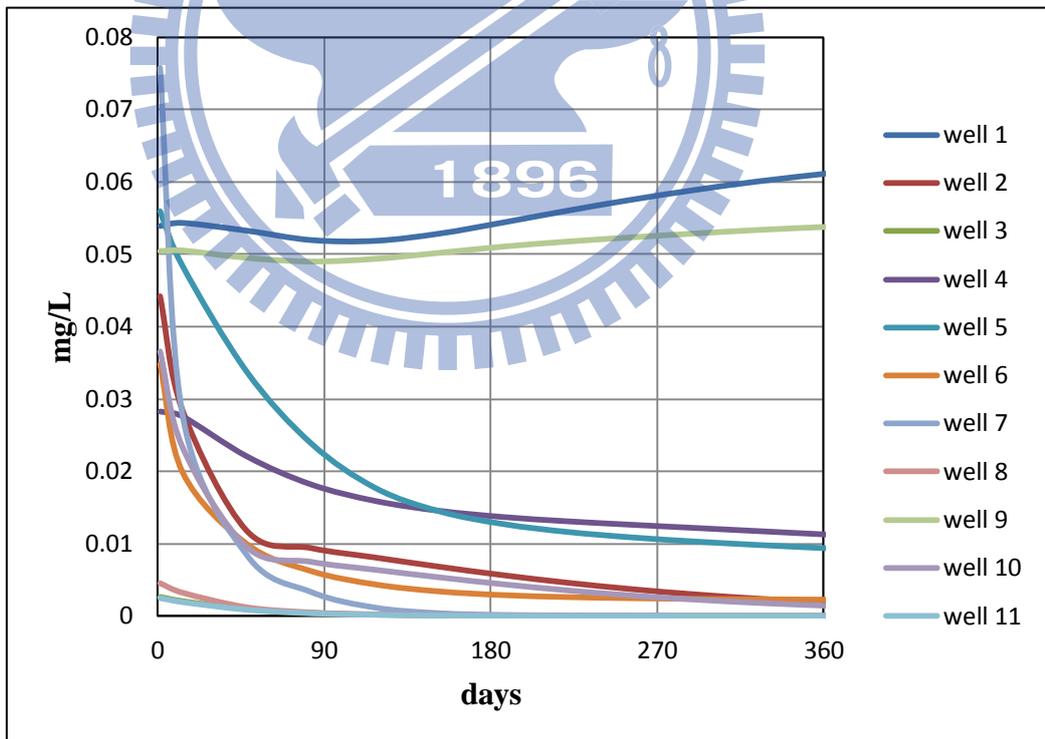


圖 4-17 整治期間監測井水中含萘濃度變化

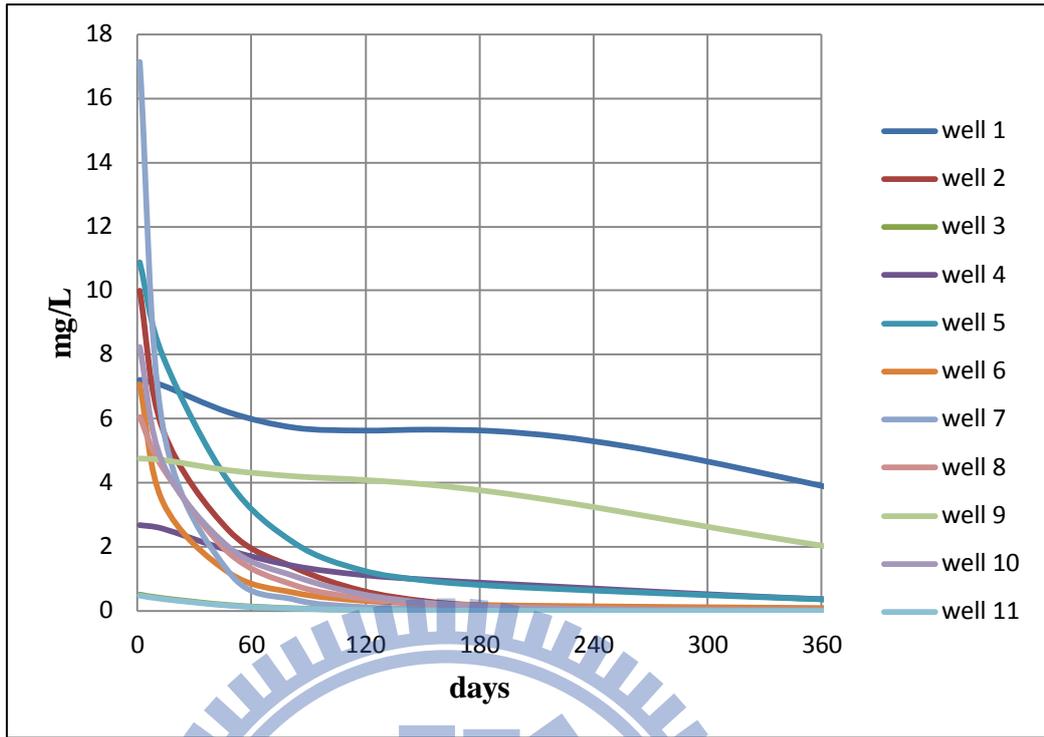


圖 4-18 整治期間監測井水中 TPH₀ 濃度變化

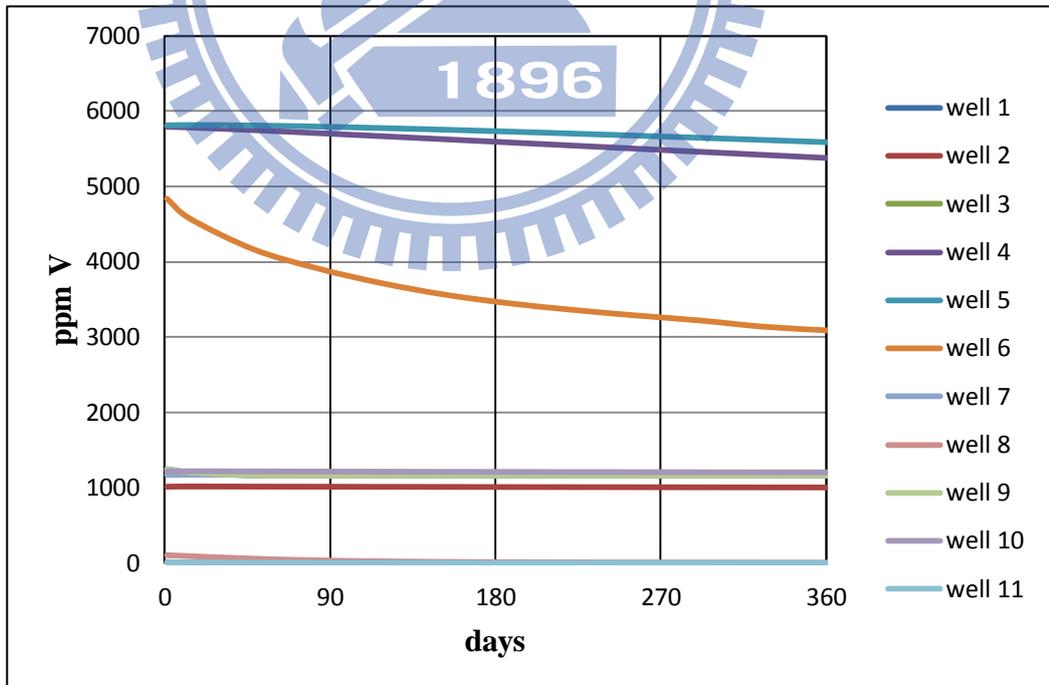


圖 4-19 整治期間監測井氣體濃度變化

4.4 敏感度分析

本研究在柴油整治部分，以 Case 2 情況相對於其它洩漏情況，在傳輸路徑上受油槽阻擋影響較少，將柴油以 5 gal/day(約 15.2 kg/day)的速率，並持續洩漏一年，在一年總洩漏量為 5429 kg，同樣將整治井設置在距洩漏源下游水平 4 m 處，深至地下 2.5 m，以此整治案例來探討在不同地質條件下:孔隙率、絕對滲透係數及地下水位做敏感度分析，其用設置在各個位置的 11 個監測井之監測值變化，來討論不同參數變化下，對柴油污染整治之影響程度。

4.4.1 孔隙率對移除量之影響

在持續油品抽除過程，直到場址中所累積的油品通量無法持續補助到抽取井之周圍網格時，此時柴油飽和度會開始下降，隨著飽和度下降而導致抽取井整治效率降低，由圖 4-20 顯示在不同孔隙率一年之抽取量變化中，孔隙率 0.3 一年內可移除掉 2850 kg，至 1.6 月可達到最大移除量 640 kg；相較於高孔隙率(0.4)在可一年內移除掉 2445 kg，到 1 個月時就達到最大移除量 607 kg。由圖 4-21 所示，在整治 1 個月前較高孔隙率之速率比低孔隙率高，兩者皆在四個月後擁有較低移除速率，由於孔隙率較大擁有相對較高移除速率，其抽取率下降幅度相對也大，所以孔隙率 0.4 會比孔隙率 0.3 先達到最大移除量，1 個月後其移除速率比孔隙率 0.3 低，直到油品通量無法持續補助到抽取井，在低飽和度下維持極低的移除速率。

從兩者之各支監測井濃度值作比較，如圖 4-22。在水含苯濃度變化可看出，每支監測井均受到抽取井影響而降低，只有上游的#1、#4 及#9 受到抽取影響較少，在抽取開始有些緩的濃度變化下降，到第 4 個月時，兩者孔隙率場址其移除速率都已降到極低而受到抽取井影響有限，但在抽取期間仍有部分油量尚未被抽除完全，受到重力影響所產生壓力變化而持續地往上游移動，所導致上游的監測井約在 120 天後還有緩慢地濃度增加趨勢。

普遍看出在抽取期間孔隙率 0.3 之監測井含苯濃度值比孔隙率 0.4 高，由於污染團傳輸在同樣地質條件下，是與孔隙率大小成反比關係，油品之液相在之前洩漏過程中易充滿較小的孔隙率，所以在孔隙率小的場址裡，污染團往抽取井傳輸速度較快。從孔隙率分析可發現，在整治期間對於監測井水中濃度變化趨勢均無相差太大，隨著抽取時間增加及油品飽和度的降低，監測井濃度變化差異性逐漸縮小而趨於一致。

以監測井水中之柴油總石油碳氫化合物(TPH_d)濃度變化來看，圖 4-23。也可看出每支監測井之濃度受到抽取井影響而降低。#5 和 #7 在孔隙率 0.3 及 0.4 場址中，均在洩漏一年時達到 TPH_d 之 10 mg/L 以上濃度值。距離抽取井較近的 #7，在抽取 26 天其濃度就可降至到極低。而距離抽取井上游 4 m 處之 #5，則需較長時間進行抽取，但兩者孔隙率場址皆至 127 天降至接近 1 mg/L。同樣從監測井之 TPH_d 濃度變化看出，在整治期間孔隙率 0.3 之監測井含 TPH_d 濃度值比孔隙率 0.4 高。由於高孔隙率會先達到較高移除速率，而孔隙率 0.4 之監測井濃度會比 0.3 場址較先降到最低濃度值。

在非飽和氣體濃度變化部分，圖 4-24 所示。由 #1、#2、#7、#9 及 #10 監測井顯示出在整治兩者孔隙率場址之 VOCs 濃度下降幅度小且幾乎維持不變。均呈現出抽取井對於柴油之油氣整治效果差，每支 VOCs 濃度隨抽取井抽取時間增加其下降幅度並不大。再從 #5 和 #7 來看，分別距離抽取井位置為上游 4 m 及上游 2 m 處。可看出在上游處之 #5 氣體濃度下降幅度較大，0.3 和 0.4 場址均從 5800 ppm 分別降至為 5585 及 5659 ppm，但兩場址之 #7 分別維持在 1170 及 1464 ppm。顯示出抽取井對於柴油的 VOCs 移除，僅能對上游 VOCs 進行移除，卻無法移除在抽取井下游處之 VOCs。也因為 VOCs 在孔隙率較大其較易傳輸性質，除了上游 #4 和下游 #3、#8 及 #11 之外，其餘監測井孔隙率 0.4 之 VOCs 濃度值都比孔隙率 0.3 大。另外不論是孔隙率 0.3 和 0.4，油氣受抽取井影響移動中，都會經由距離抽取井上游 1 m 處之 #6 並在此處會聚集 VOCs 濃度，所以兩者在 #6 的 VOCs 濃度變化幾乎完全一致。

總結在孔隙率分析方面，分別針對較高孔隙率(0.4)和低孔隙率(0.3)的污染場址做整治。模擬顯示結果，孔隙率較大擁有相對較高移除速率，隨著時間增加其移除效率會降到最低。在此整治期間不管是孔隙率(0.4)或低孔隙率(0.3)，監測井水中濃度值均受抽取井影響而降低，但在場址各個位置之監測井均顯示孔隙率 0.3 之水中含苯濃度值會比孔隙率 0.4 高，且兩者濃度變化趨勢差異不大。而在氣體濃度監測方面，因 VOCs 在孔隙率較大其較易傳輸性質，使得孔隙率 0.4 之 VOCs 濃度均比孔隙率 0.3 大，監測井距離抽取井上游 1 m 處，兩者濃度變化完全一致。由孔隙率 0.3 及 0.4 之場址中距離抽取井上游 4 m 及上游 2 m 之監測井 VOCs 濃度變化可知，抽取井對上游 VOCs 移除效果較明顯，但卻對在抽取井下游處之 VOCs 移除效果有限。

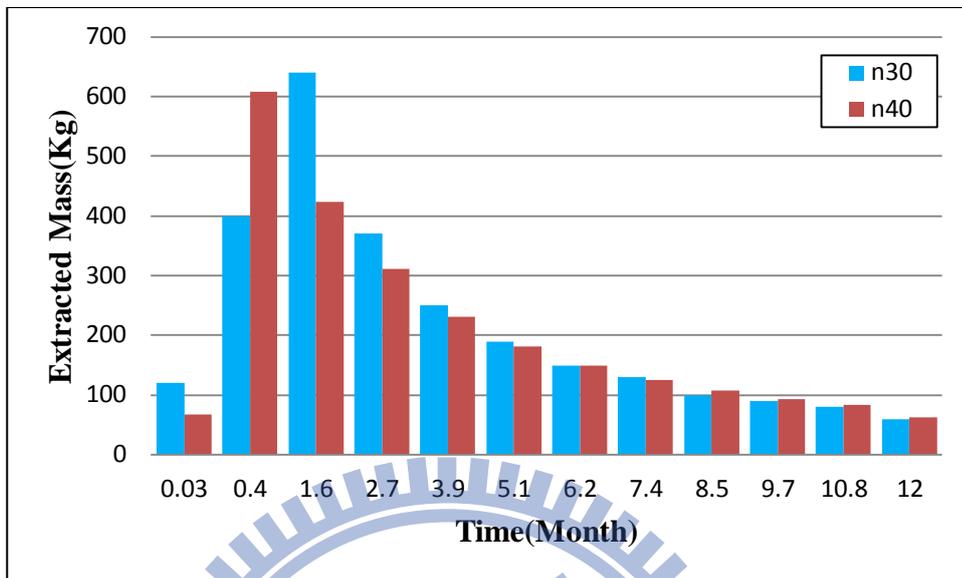


圖 4-20 抽取井在不同孔隙率一年之移除量變化

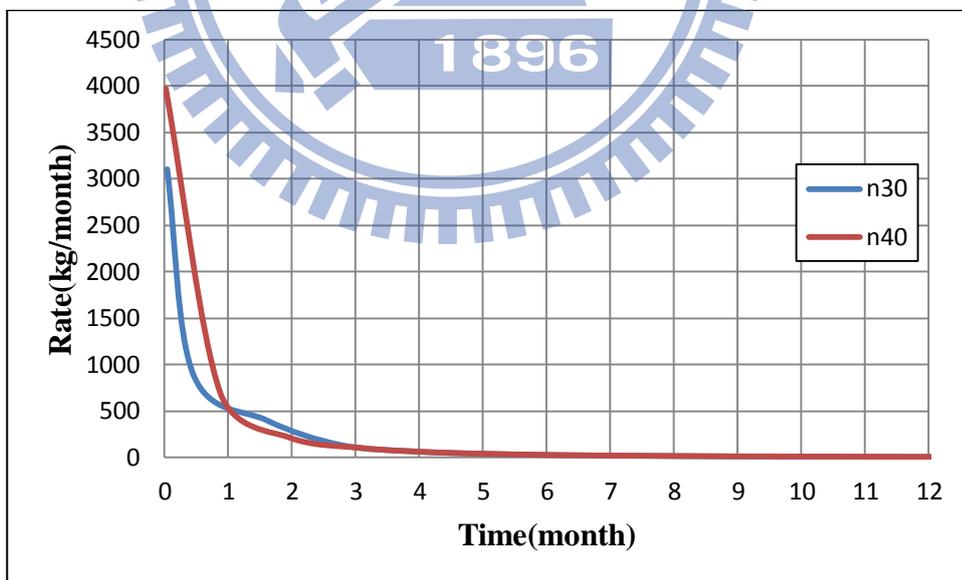


圖 4-21 抽取井在不同孔隙率一年之移除速率變化

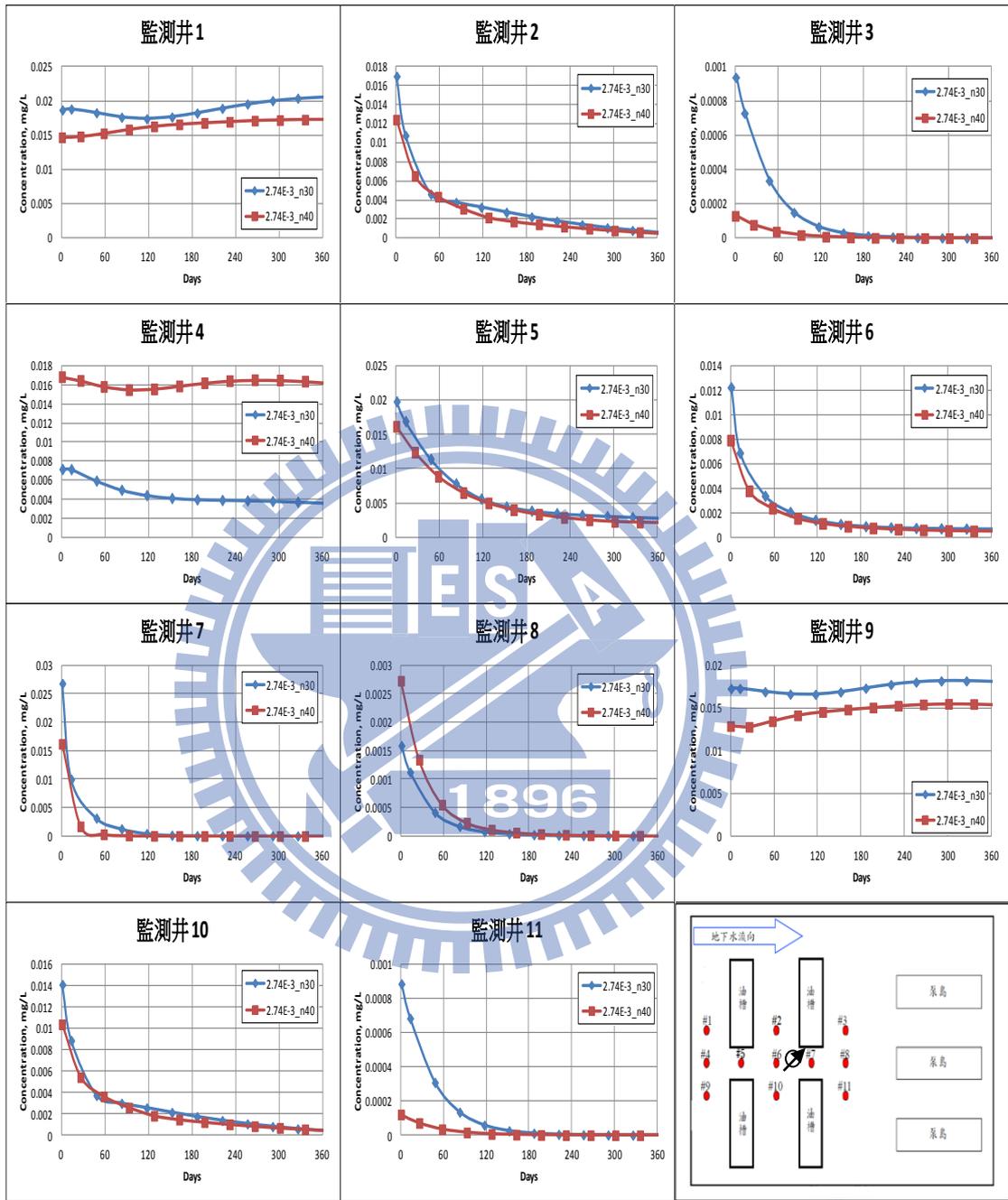


圖 4-22 監測井在抽取一年之水中含苯濃度變化

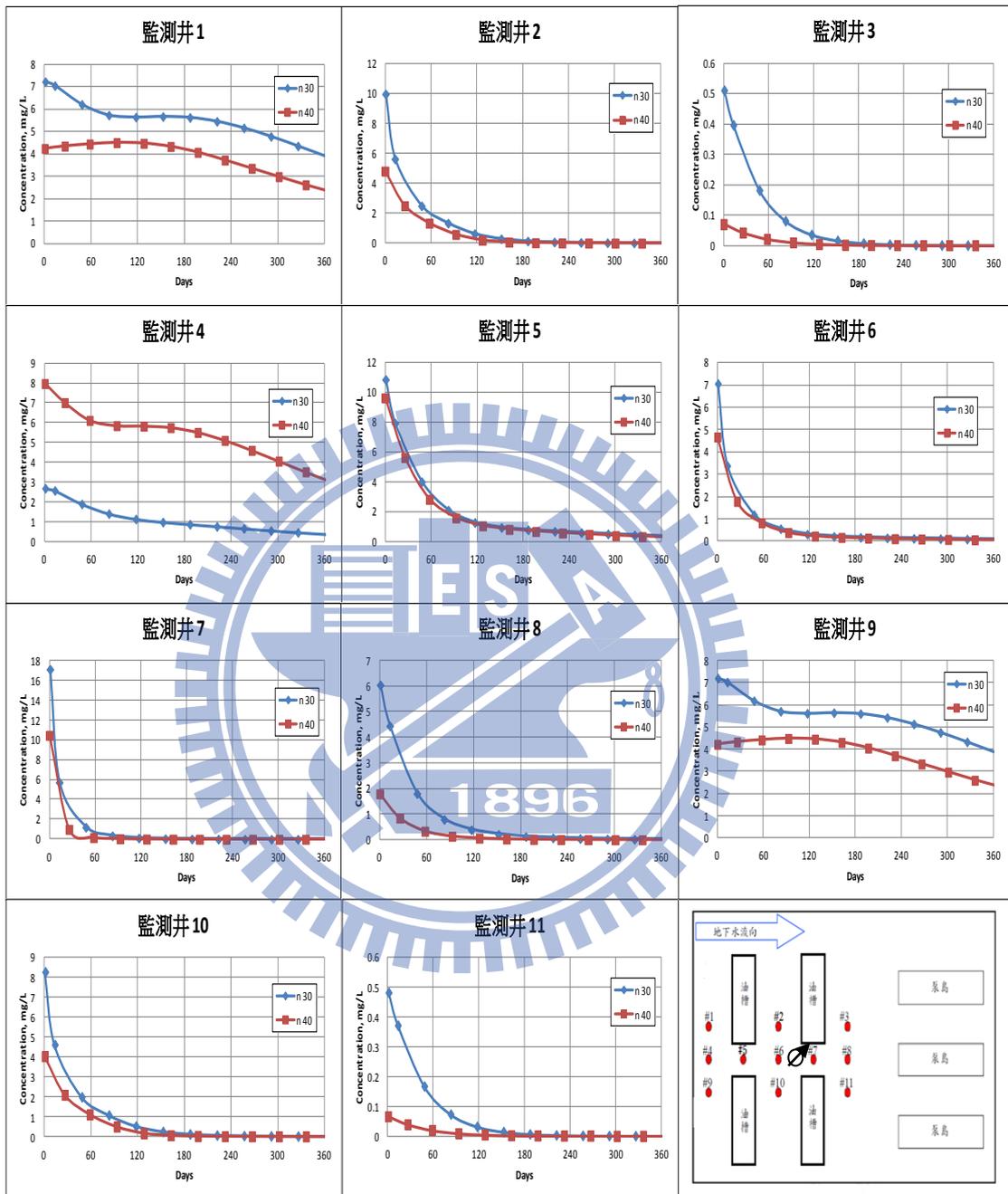


圖 4-23 監測井在抽取一年之 TPHa 濃度變化

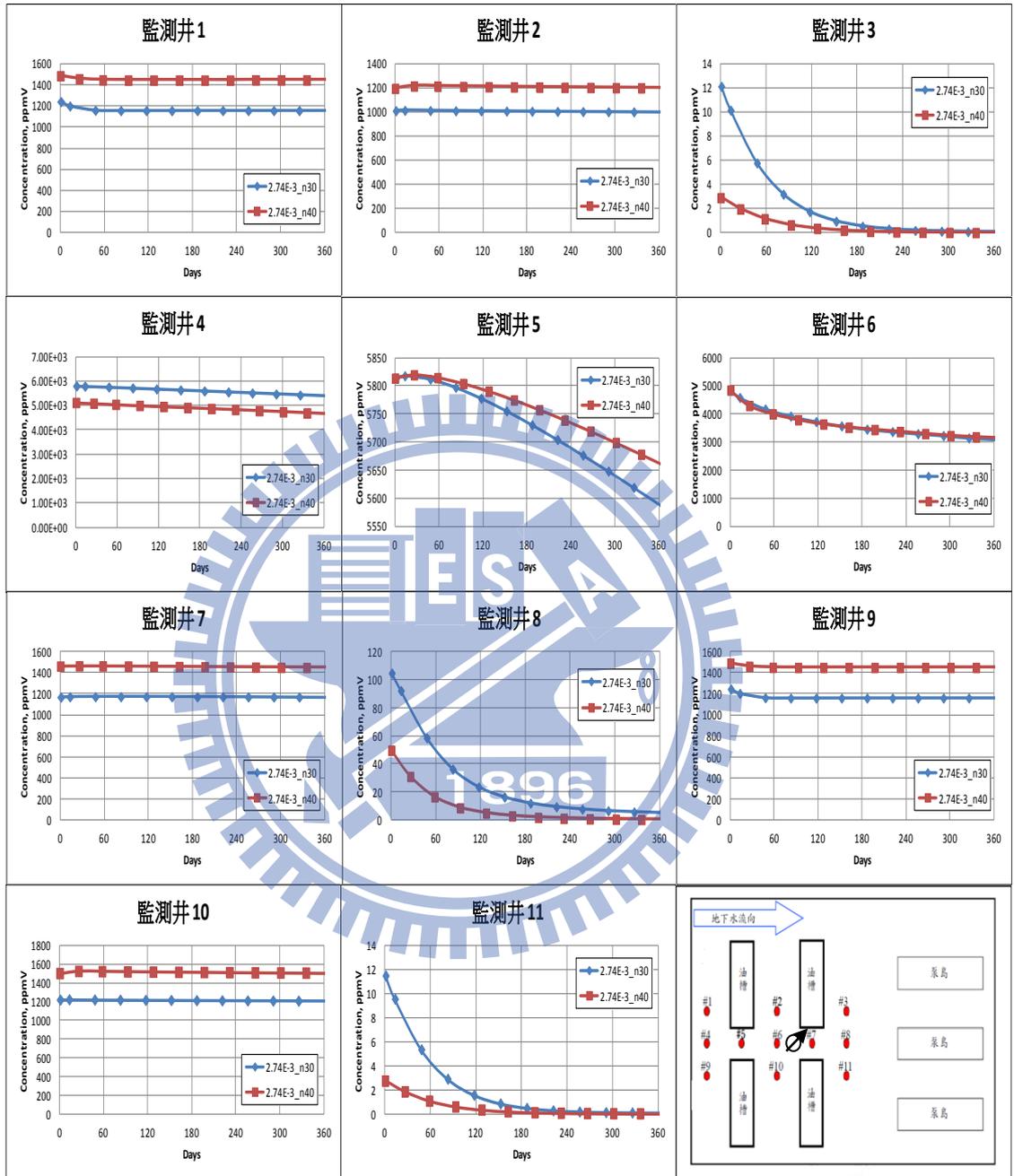


圖 4-24 監測井在抽取一年之 VOCs 濃度變化

4.4.2 滲透係數對移除量之影響

在污染物傳輸過程，導水度(Hydraulic Conductivity)主要會受到土壤介質及流體本身性質所控制。在均勻介質下， $K = k \frac{\rho g}{\mu}$ (K 為導水度、k 為滲透係數、 ρ 為液體密度、g 重力加速度、 μ 為液體黏滯係數)，其中的滲透係數(Intrinsic Permeability, k)單純只與土壤孔隙介質有關，在土壤飽和時與土壤結構相關；而在未飽和時會受到水量飽和程度影響。在 TMVOC 中，對土壤之透水性質是以滲透係數來描述。滲透係數分析方面，分別針對滲透係數為 $2.5 \times 10^{-11} \text{ m}^2$ 和 $2.5 \times 10^{-12} \text{ m}^2$ 的污染場址做整治分析。

由圖 4-25 顯示出在不同滲透係數一年之移除量變化中，在一年的 5400kg 柴油總洩漏量，將係數放大 10 倍，滲透係數 $2.5 \times 10^{-11} \text{ m}^2$ 可在一年移除掉 2436 kg，至 0.52 月可達到最大移除量 540 kg；而滲透係數 $2.5 \times 10^{-12} \text{ m}^2$ 在一年內能移除掉 2850 kg。圖 4-26 也顯示出在抽取 1 個月前，高滲透係數 $2.5 \times 10^{-11} \text{ m}^2$ 之移除速率相較於低滲透係數 $2.5 \times 10^{-12} \text{ m}^2$ 高，兩者皆在四個月後降至為極低的移除速率，同樣與孔隙率變動分析結果類似，但移除速率差異程度卻無孔隙率變動大，特別是在抽取期間開始一個月內，說明滲透係數變動對抽取井之移除速率變化並不會比孔隙率變動明顯。同樣在滲透係數較大會相對擁有較高移除速率，其移除率下降幅度相對也大，所以滲透係數 $2.5 \times 10^{-11} \text{ m}^2$ 會比 $2.5 \times 10^{-12} \text{ m}^2$ 先達到最大移除量。

整治期間的水中含苯濃度監測，如圖 4-27。在上游的#1、#4 及#9 在滲透係數放大下，苯濃度因在土壤透水性提高，所以在上游的苯濃度均受到抽取井影響而降低，在#1 和#9 之滲透係數 $2.5 \times 10^{-11} \text{ m}^2$ 情況下，從 0.02 mg/L 降至到 0.01 mg/L，對於抽取井上游水中濃度作抽取，提高滲透係數相對於提高孔隙率而言，效果較為明顯。至於下游#3、#8 及#11 之監測井，高滲透係數相對於低滲透係數也有明顯水中含苯濃度下降變化。圖 4-28 一年之監測井氣體濃度變化，由#5 也可看出高滲透係數其 VOCs 濃度下降幅度也比低滲透係數大，濃度從 5858 ppm 在整治期間下降至 5320 ppm，其餘距離抽取井較遠的監測井之 VOCs 濃度都比低滲透係數高，皆在短時間(約 48 天)內有較大下降幅度，之後減少幅度趨緩，但在下游#3、#8 及#11 之 VOCs 濃度降低量卻明顯不佳。

最後在此總整，在整治 1 個月前，高滲透係數之移除速率相較於低滲透係數高，高滲透係數也因有較高移除速率先達到最大移除量。監測井濃度降低變化顯示出高滲透係數相對於低滲透係數較為明顯。

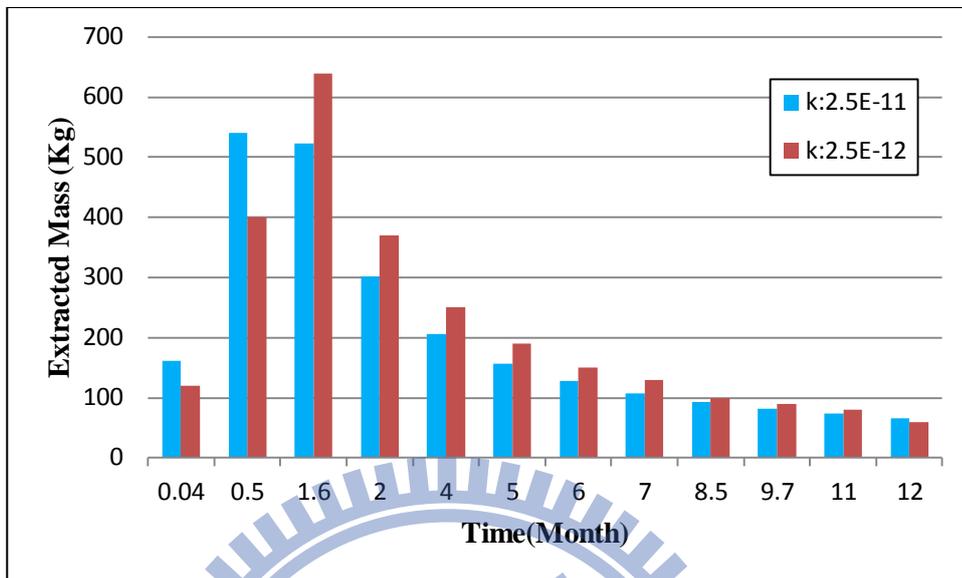


圖 4-25 抽取井在不同滲透係數一年之移除量變化

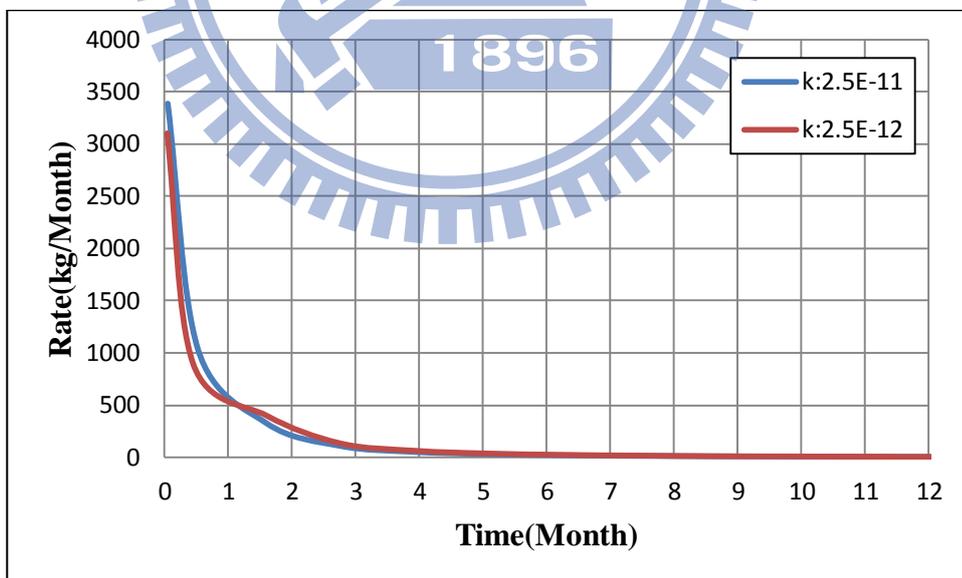


圖 4-26 抽取井在不同滲透係數一年之移除速率變化

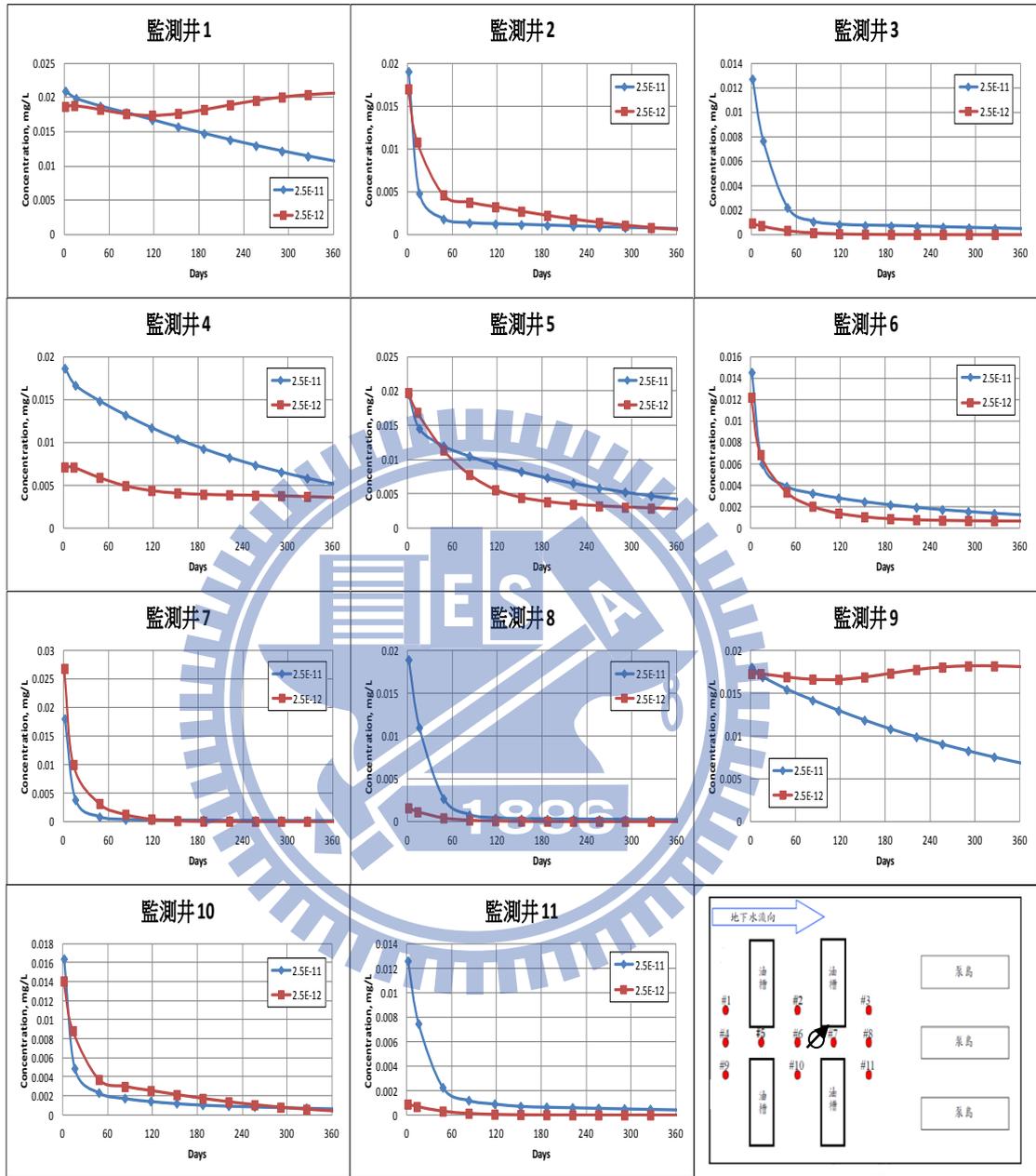


圖 4-27 監測井在抽取一年之水中含苯濃度變化

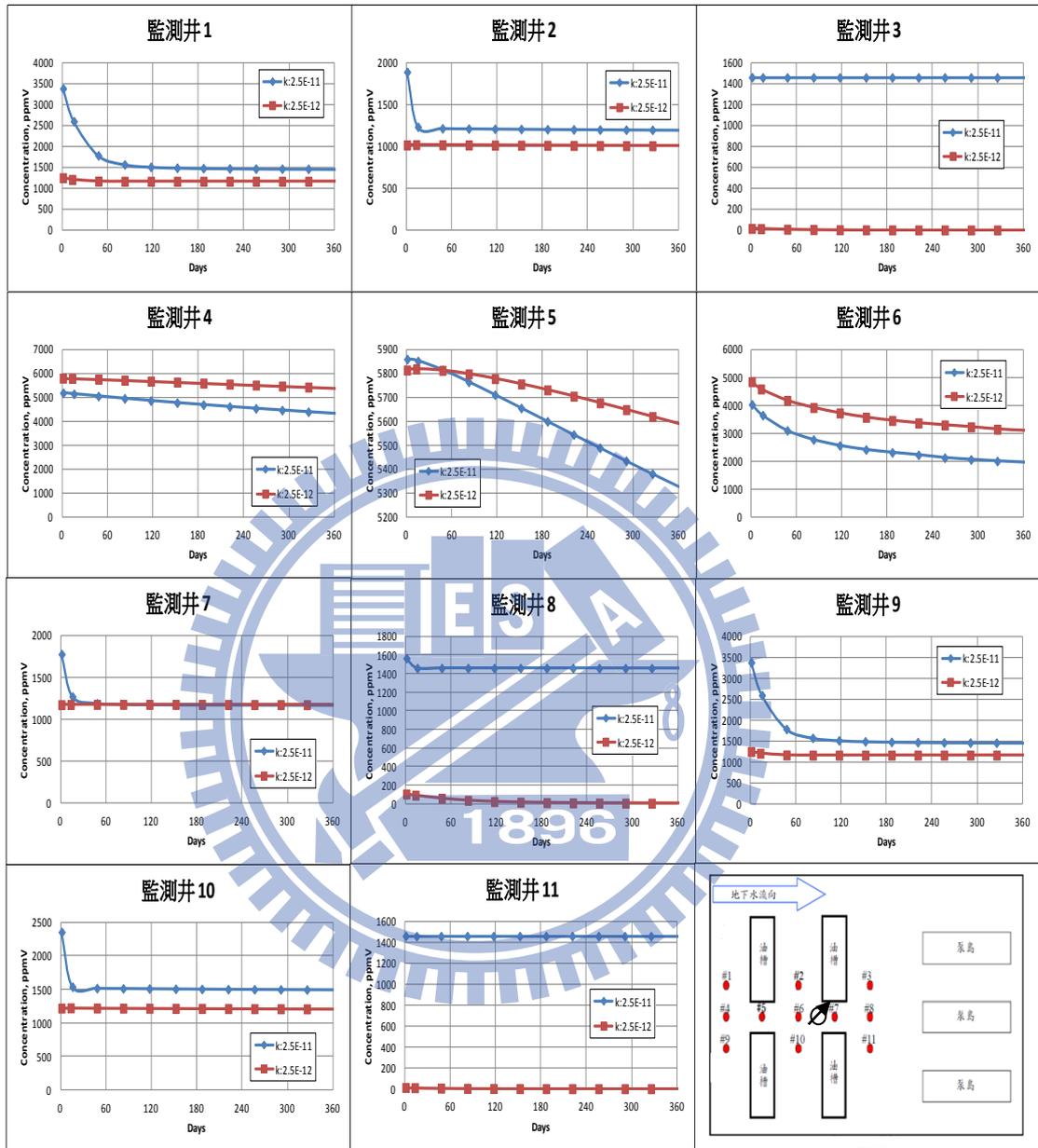


圖 4-28 監測井在抽取一年之 VOCs 濃度變化

4.4.3 地下水位對移除量之影響

本研究以洩漏 Case 2 案例之地下水位 2 m 及 5 m 處為初始污染場址，在離洩漏點下游水平 4 m 處，放置抽取井，對此探討在不同地下水位(2 m、5 m)下進行整治期間的敏感度分析。

其中油品所存在的各項成分由洩漏點往下傳輸，會依濃度梯度的分子擴散，及因在孔隙或流經路徑所造成的速度差異而導致的延散作用。但擴散和延散對於油品污染散佈範圍影響並不大，主要是當油品到達飽和區時，受到飽和區阻擋而在此上緣堆積形成之浮油團，及部分溶於水中的污染溶質，受到水流梯度往下游傳輸的平流作用所主導。由圖 4-29 各個時間點移除量分佈可看出，地下水位 2m 處當整治開始會隨著時間而移除量增加，直到 1.6 月達到最大移除量，之後隨著油品降低而移除量減少。相對的，地下水位在 5 m 處普遍在各個時間點維持較低的移除量，同樣在 1.6 月時，地下水位 5 m 之抽取量僅有 80 kg，統計至一年能移除掉 420 kg 油量。而圖 4-30 也可以看出地下水位置於 5 m 之移除率，在各個時間點都呈現出極低的的移除率。

再由場址各個位置監測井之水中含苯濃度變化來看，圖 4-31。地下水位設置在 5 m 處幾乎不受到抽取井影響，佈置在抽取井下游位置之監測井，其水中含苯濃度反而都隨整治時間增加，特別在最下游位置#3、#8 及#11 之增加幅度最為明顯，其中#8 在整治期間內由濃度 0 增加到 0.006 mg/L。說明柴油在地下水位 5 m 的整治模擬，其水中含苯濃度能持續往下游傳輸並未受到抽取井移除。而在氣體監測部分，圖 4-32。地下水位 5 m 在此整治期間，依序在距離抽取井上游處之#4、#5 及#6 監測井，VOCs 氣體濃度都有逐漸地減少，#5 和#6 之 VOCs 下降幅度從 4632 降至 4000 ppm，距離較遠的#4 下降幅度從 4000 降至 2000 ppm 卻比前面兩支監測井幅度還大，判斷#4 之 VOCs 濃度一部分受到抽取井影響而減少，另一部分減少的量則是往#1 和#9 擴散移動，使其在場址之最上游的兩側監測井反而在整治期間有增加的趨勢，增至到 600 ppm 左右。在下游位置之#3、#8 及#11 也同與水中監測一樣，VOCs 濃度也是增加的趨勢，顯示出地下水位 5 m 案例，抽取井僅能對上游 VOCs 進行整治，對下游 VOCs 抽取幾乎毫無效果。

結果顯示出地下水位在土層越深處，在整治期間擁有較低的移除量。地下水位設置在地下 5 m 處，其整治一年能移除掉 420 kg 油量，其水中含苯濃度隨水流梯度持續往下游傳輸並未受到井之移除，抽取井大都僅對在非飽和區之油氣做整治，但僅能對上游 VOCs 進行抽取，無法整治在抽取井下游之 VOCs。

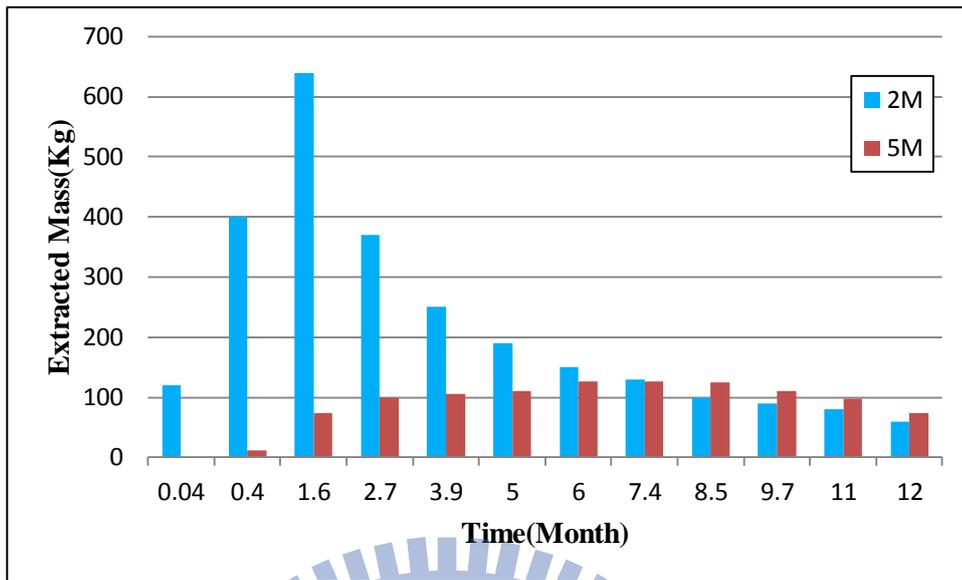


圖 4-29 抽取井在不同水位之一年移除量變化

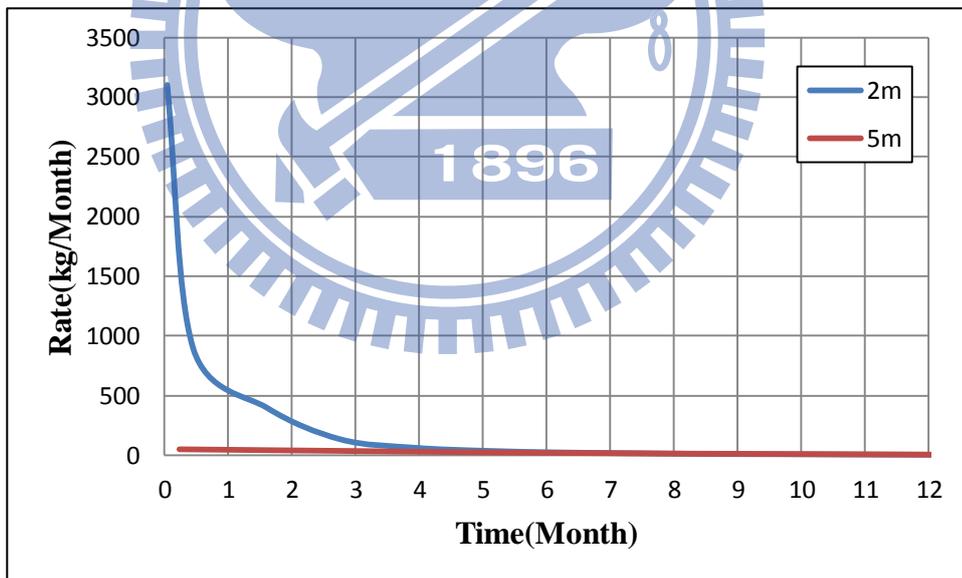


圖 4-30 抽取井在不同水位之一年移除速率變化

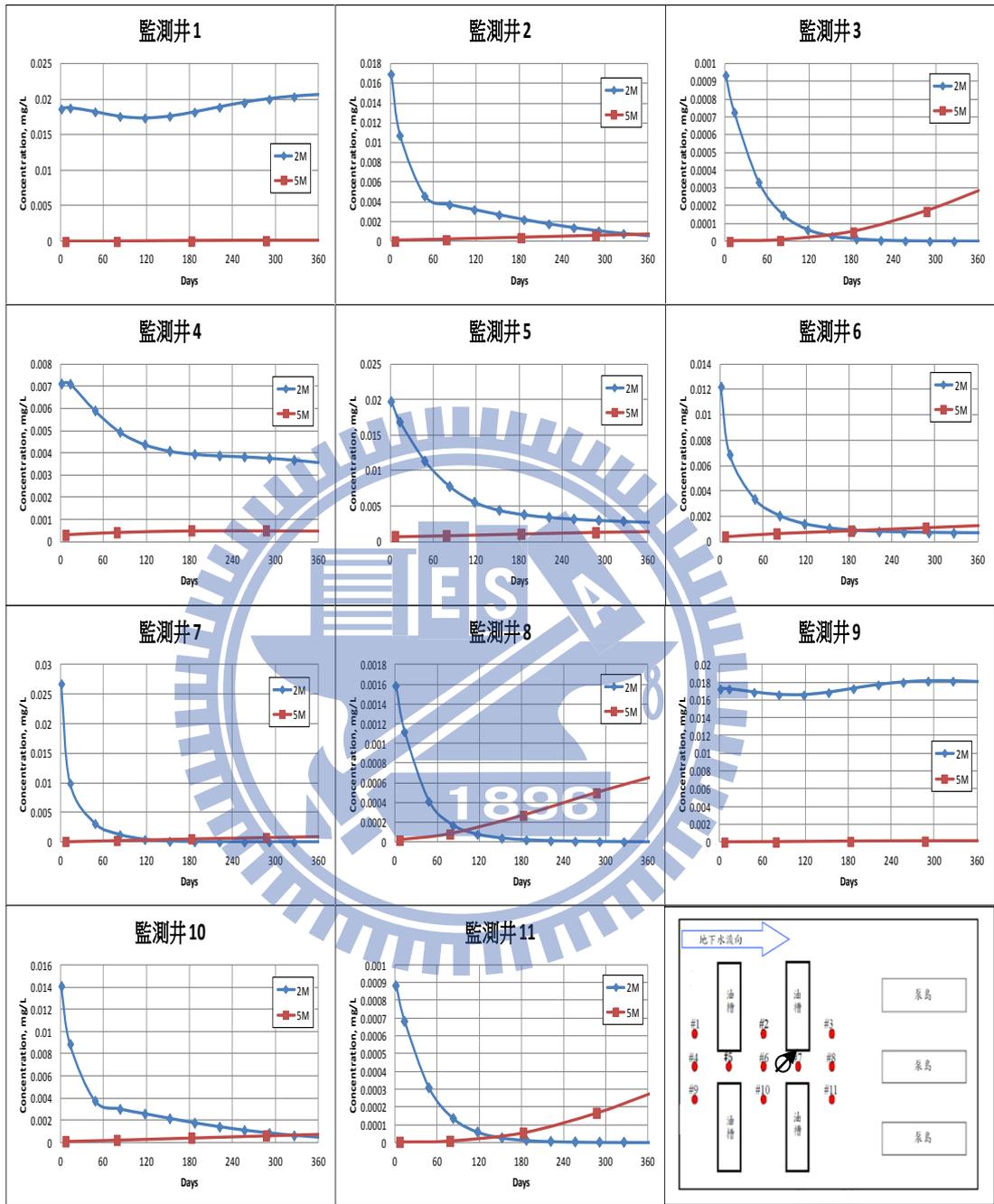


圖 4-31 監測井在抽取一年之水中含苯濃度變化

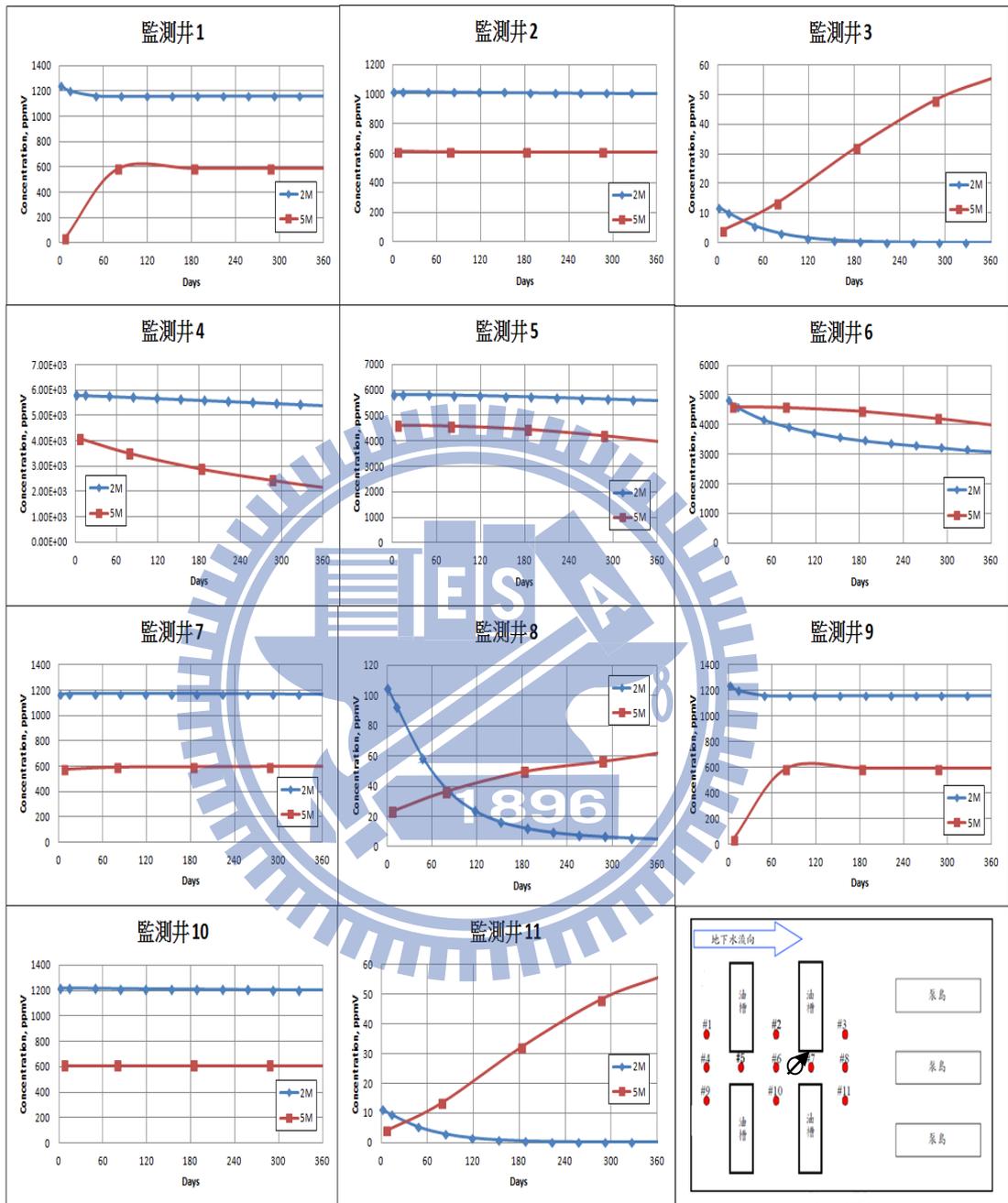


圖 4-32 監測井在抽取一年之 VOCs 濃度變化

4.5 佈井位置對移除量之影響

最後在此部分，將變動抽取井與 Case 2 洩漏點之水平距離，來探討在同樣的污染狀況及抽取能力下，不同的佈井位置對柴油抽取的影響程度。如圖 4-33 所示，抽取井設置在以洩漏點水平距離上游 2 m、下游 1 m 及下游 4 m 處為例，從每時間點移除量分佈統計，這三支佈井位置在一年整治後，使擁有 5429 kg 的柴油污染場址，可抽除掉 2500~3000 kg 的油量。抽取井設置在上游 2 m 和下游 4 m 皆在整治 1 個月時達到最大移除量，分別為 884 kg 和 967 kg 的移除量。置於下游 1 m 處需至 1.6 月才能達到最大移除量，而此時的移除量僅有 640 kg。相較之下，佈井位置設在洩漏點之下游處其移除效率比洩漏點之上游佳。再從設置井位置離洩漏點水平距離下游 1 m 和 4 m 處來看，下游 4 m 處在各個整治期間內移除效果反而較下游 1 m 處好，且也相對較快達到最大移除量。說明佈井位置若設在離洩漏點下游處時，距離洩漏點越近反而其移除效率較差。從圖 4-34 之一年移除率變化圖，也可看出在抽取期間 1 個月內，設置在下游 1 m 之移除率也比其它兩者低。由於各個佈井位置在一年抽取期間所能移除的油量相差不多，隨著抽取時間增加至約四個月後，各個位置皆都呈現出極低的移除率。

不同抽取井位置對場址污染濃度變化影響，普遍呈現出監測井在整治期間之水中含苯濃度下降幅度與距離抽取井遠近影響極大，圖 4-35 所示。在上游#1、#4 及#9 之監測井所示，抽取井設置在上游 2 m 處其濃度下降幅度相對於下游 1 m 和 4 m 明顯，抽取至 27 天時，其#4 濃度降至到極低。相對的，抽取井置於距離洩漏點下游 1 m 和 4 m 處，對於上游監測井#1 和#9 的含苯濃度移除有限，是因為監測井#4 周圍的油量仍有一部份未受到抽取井影響，而往#1 和#9 兩側移動，使其約至 120 天仍有濃度增加趨勢。各抽取井位置對在下游#3、#8 及#11 之監測井監測值影響，井放置於下游處(1 m、4 m)，而監測井中之水中含苯濃度均有下降，但抽取井放置上游 2 m 處，因為下游監測井距離抽取井較遠(水平距離 12 m)，抽取井對下游監測井影響較小，未被移除的污染物仍隨水力梯度而往下游傳輸，所以其下游監測井的苯濃度會有先增加，約至 60 天後才開始受到抽取井影響而開始濃度降低。圖 4-36 則是整治期間的 VOCs 濃度變化，抽取井置在洩漏點上游 2 m、下游 1 m 和下游 4 m 處，在場址周圍的#1、#2、#9、#10 監測井 VOCs 濃度分別受到這三處的抽取井整治，其濃度下降幅度極低，仍只能對在洩漏源附近#4、#5 及#6 作有效的 VOCs 污染抽除，同樣也是監測井距離抽取井較近，會有較大 VOCs 濃度下降量。柴油在洩漏一年時只有少量 VOCs 達到下游部分，至於設置在下游#3、#8、#11 的氣體監測，傳遞到#8 之 VOCs 濃度幾乎無受到設在上游 2 m 和下游 1 m 處之抽取井影響，但場址中未抽除掉的 VOCs 還是會持續往

下游傳遞，使#8之 VOCs 濃度反而有增加，至 27 天時從 105 增加 1450 ppm 並維持不變，至於抽取井在下游 4 m 處對此處仍有少量 VOCs 移除量。至於#3 和 #11 的初始濃度僅有 12 ppm，在上游 2 m 處之抽取井對此也無影響，使其監測井中之 VOCs 濃度仍持續有增加趨勢。結果顯示出抽取井之移除效率，設置在離洩漏點下游處會比上游處佳，若井設在洩漏點下游處，若距離洩漏點越近，反而其移除效率較差。各個佈井位置在一年整治期間所能移除的油量相差不多，隨著抽取時間增加，均在四個月之後各個位置之抽取井皆呈現出極低的移除速率。不同抽取井位置對場址污染濃度變化影響，普遍呈現出監測井在整治期間之水中含苯濃度下降幅度與距離抽取井遠近影響極大，而土壤中 VOCs 濃度同樣也是呈現距離抽取井較近，會有較大 VOCs 濃度下降量，但因柴油 VOCs 少且傳輸範圍不廣，使其在洩漏點上游處設置抽取井，難以對距洩漏點下游的 12 m 處之後的 VOCs 做抽除。

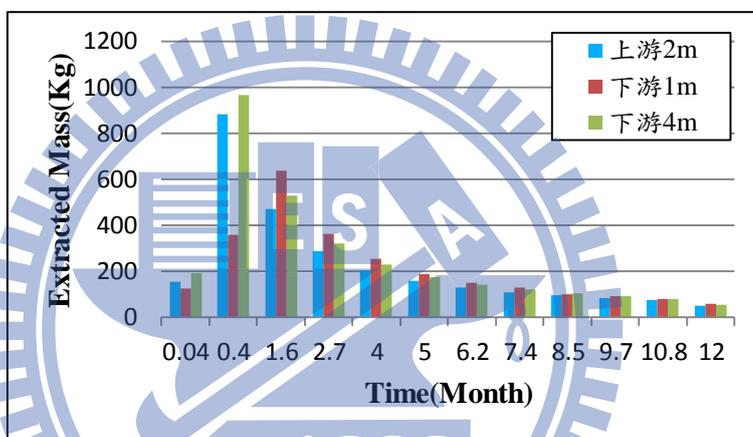


圖 4-33 抽取井在不同位置之一年移除量變化

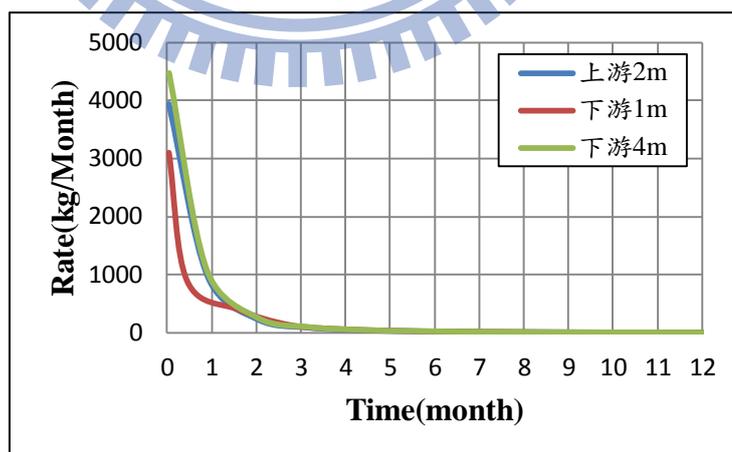


圖 4-34 整治井在不同位置之一年移除速率變化

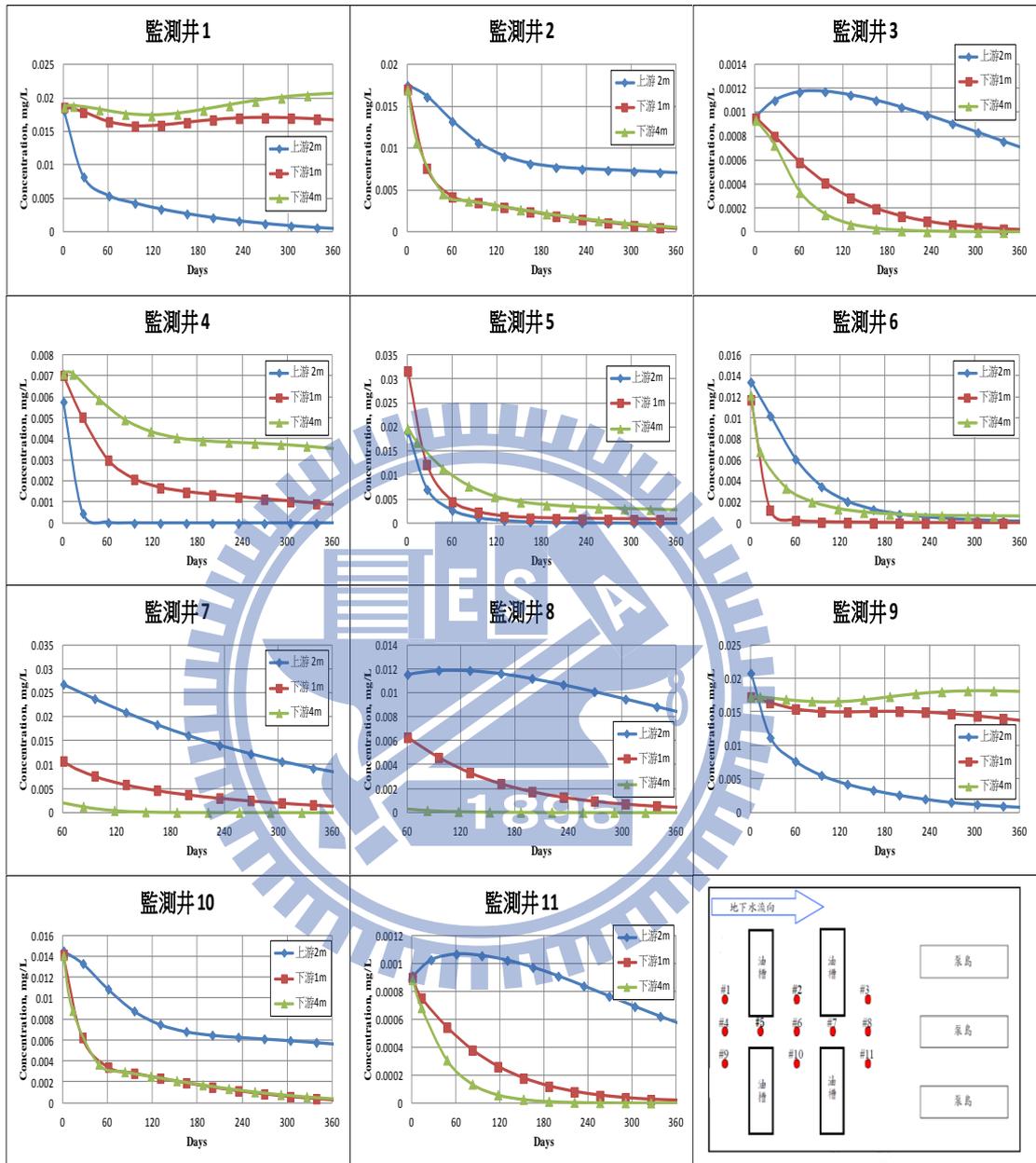


圖 4-35 監測井在抽取一年之水中含苯濃度變化

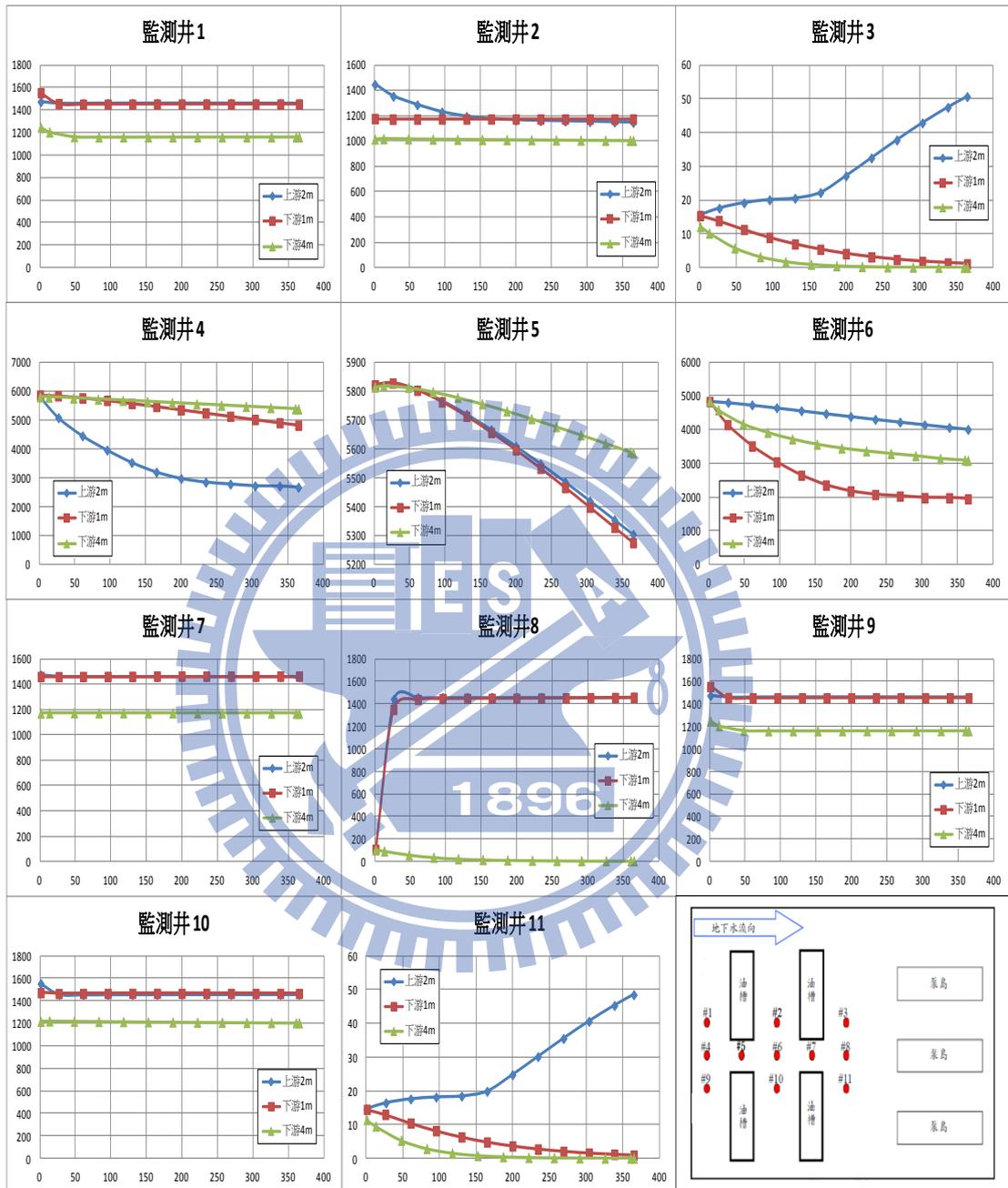


圖 4-36 監測井在抽取一年之 VOCs 濃度變化

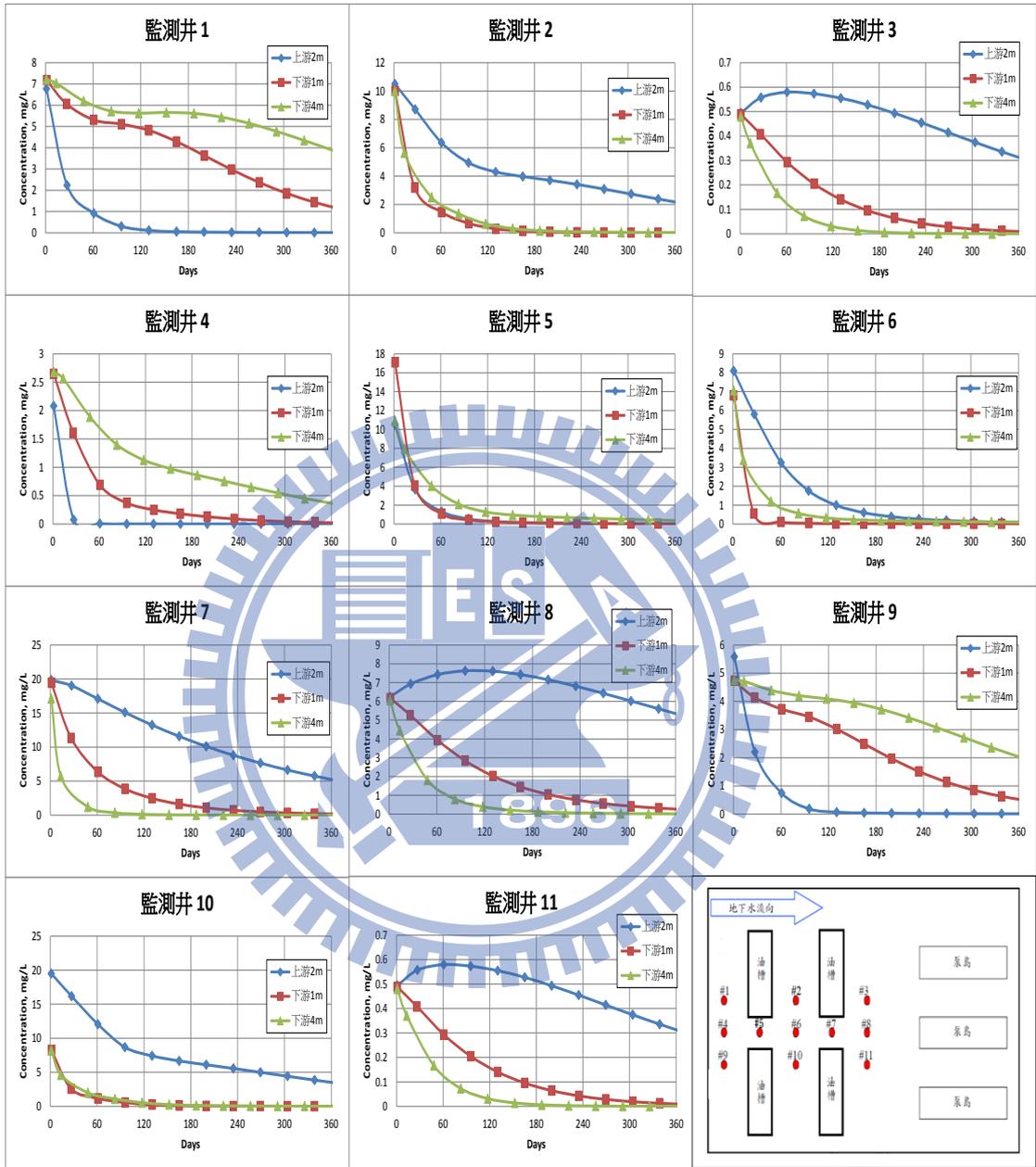


圖 4-37 監測井在抽取一年之水中含 TPHa 濃度變化

第五章 結論與建議

5.1 結論

本研究以 TMVOC 模擬柴油洩漏與抽取，評估加油站洩漏點位於非飽和區(油槽上方、儲槽區內、油槽上方與輸油管連接處)及飽和區(儲油槽下方)進行各種地質條件下之污染程度。並針對在儲槽區內洩漏一年的柴油污染團，以井底壓力 90000 Pa 之抽取井進行 MPE 模擬整治，分別探討在不同孔隙率、滲透係數及地下水位的污染狀況，其抽取井對此柴油之移除效率。根據研究結果依序對柴油洩漏及整治作以下結論：

一、洩漏階段

在四種柴油洩漏源分析中看出當柴油洩漏發生於地下水面上時，從各個位置監測井之氣體及地下水體監測變化均顯示出柴油高黏滯性而其在土壤中難以向下滲入，而污染團較集中在洩漏點附近且擴散範圍有限。在距離洩漏點 3 m 處設置監測井，均可在 30 天時偵測到 500 ppm 以上柴油揮發性有機氣體(VOCs)濃度。但其 VOCs 難以在一年內傳輸到水平距離 9 m 下游處之監測井。監測井在不同土壤性質情況下，柴油 VOCs 在高滲透係數會比低滲透係數較容易傳輸，一年時間內高滲透性場址會先達到較大的氣體濃度值。在低孔隙率場址之 VOCs 濃度值比高孔隙率高，低孔隙率相對於高孔隙率而言，其水中監測也較為靈敏。監測氣體及水中濃度方面，地下水位較深(5 m)情況均比地下水位較淺(2 m)差。

當柴油洩漏發生於地下水面下時，柴油仍被水侷限在洩漏點附近，因其成分裡的苯和萘在水中溶解性較低，使得監測井在氣體或者是在地下水體監測難以偵測到油品洩漏。若提高土壤滲透係數及孔隙率，柴油之污染物在地下水中較容易傳輸。其中高孔隙率土壤對監測井之氣體及地下水監測均有明顯提升。在高孔隙率場址能在一年內，在距離洩漏源 3 m 處監測井偵測到柴油洩漏。監測井設置在洩漏源距離 3 m 範圍附近，地下水監測明顯優於氣體監測。其中以苯和 TPH_d 較適用監測柴油洩漏。但以污染物傳輸速度上，在高孔隙率場址中以苯濃度作監測仍比 TPH_d 較具優勢。

二、柴油與汽油洩漏比較

若監測井設置在距離柴油或汽油之洩漏點 3 m 範圍內，能偵測到兩種油品一

定程度之 VOCs 濃度變化。相對汽油因容易揮發，其監測井之氣體監測比柴油較早達到氣體濃度標準。而汽油至一年時之 VOCs 濃度幾乎是柴油 VOCs 濃度的數十倍。在地下水含苯濃度監測方面，汽油也明顯比柴油優越許多。在同樣以 5 gal/day 洩漏量下，汽油均可在一年時達到含苯濃度 0.05 ppm 以上。特別在地下水位較深情況，汽油因有較佳的流動性會較早達到地下水面，所以均可比柴油較早被監測井偵測到。

三、整治階段

本研究在整治柴油模擬以同樣的地質及抽取條件下，在不同孔隙率中進行柴油抽除，由模擬結果得到抽取井在孔隙率較大會擁有相對較高移除速率，隨著時間增加其移除速率會降到最低。在場址中各個位置之監測井均顯示低孔隙率 0.3 之水中含苯濃度值會比孔隙率 0.4 高，且兩者濃度變化趨勢差異不大。在氣體濃度監測方面，孔隙率 0.4 之 VOCs 濃度均比孔隙率 0.3 大。

而在不同之滲透係數場址，結果顯示在整治前 1 個月，高滲透係數場址之移除速率相較於低滲透係數高，因有較高移除速率能先達到最大移除量。在場址中監測井之濃度降低變化顯示，高滲透係數相對於低滲透係數較為明顯。在不同的地下水位狀況下，結果顯示出地下水位在土層越深處，在整治期間擁有較低的移除量，其水中含苯濃度隨水流梯度持續往下游傳輸並未受到井之移除，抽取井大都對在非飽和區之 VOCs 做抽取，僅能對上游 VOCs 進行整治，無法抽取在抽取井下游處之 VOCs。

最後以佈井位置作為變數，若抽取井設在洩漏點下游處，其距離洩漏點越近反而會獲得較差之移除效率。各個佈井位置隨著抽取時間增加，可在四個月之後呈現出極低的移除速率。佈井位置對場址污染濃度變化影響，呈現出監測井在整治期間之水中含苯濃度下降幅度與距離抽取井遠近影響極大，而在土壤中 VOCs 濃度呈現出距離抽取井較近，會有較大 VOCs 濃度下降量，但因柴油之 VOCs 較少且傳輸範圍不廣，使其在洩漏點上游處設置抽取井難以對距離洩漏點下游的 12 m 處之後的 VOCs 做整治。

綜合上述，各項洩漏模擬結果均顯示出柴油洩漏點位於非飽和區，氣體監測會優於地下水體；當位於地下水面下，氣體監測和地下水體監測均難以偵測到柴油污染。土壤氣體及水中濃度監測效果方面，高滲透係數會比低滲透係數佳，地下水位較深會比地下水位淺差。MPE 應用於柴油整治在高滲透係數場址會有較高移除速率。因柴油低揮發性且污染範圍小，僅能對在抽取井周圍 VOCs 作移除且抽取效果差，只能針對上游進行整治卻無法整治在抽取井下游之 VOCs。

5.2 建議

柴油因餾分較廣且成分複雜，難以將掌握其全部成分。在本研究中將柴油分為烴烷類及芳香類，僅以較常見的十種成分來進行模擬。但不同成分都有各自的黏滯性及蒸汽壓等性質，對其模擬整體柴油性質都有一定影響，若以更變不同成分來進行多成分柴油的模擬，是否會造成整體的柴油性質有著極大變動，而進一步對模擬監測之氣體及地下水監測造成影響。

在本研究進行 TMVOC 油品的洩漏與抽取過程，因模型設置大小及軟體網格限制，只在欲探討的範圍加密網格。但有部分案例洩漏在一年時間內，其污染團就超出加密網格範圍，使其軟體在計算油品行為及呈現圖示部分，尤其是油團最外圍區有過於誇大。若將整體場址縮小使其整體加密，是否對整體油品洩漏行為更加準確。而在 TMVOC 長時間計算下，當模擬多成分油品洩漏也常在接觸到地下水洩漏下，其在三相流體間的迭代過程時常發生不收斂問題。與其模型的網格切割及油品中各成分化學參數等在未來中仍有討論的必要。

本研究以每日 5 加侖之柴油洩漏量進行模擬，在洩漏點附近的監測井均可測到濃度變化，在氣體監測較為明顯。但以地下水之苯和萘監測均難以在一年內達到偵測濃度標準值。若降低柴油洩漏量，是否能在極少量柴油污染濃度狀況下，以建立監測井之最小量污染濃度的監測指標，而其地下水監測與氣體監測的兩者效果也是值得探討議題。

在模擬整治柴油部分以多相抽除法進行抽油，同時以抽除氣、油及水進行模擬。但本研究僅使用抽取動作，可將洩漏量移除一半的油量，但對油氣(VOCs)方面整治效果仍是有限。為了與現地作結合，若模型中增加抽氣井來搭配抽取井，或許能提升整體的移除效率，同時可探討評估抽油與抽氣效果，其在未來仍有深入探討的必要。

參考文獻

- 王智緯，2012，「好氧降解對地下水中 BTEX 污染團之影響」，碩士論文，國立交通大學。
- 江潤翰，2012，「油品多相抽除法整治之模擬」，碩士論文，國立交通大學。
- 陳培旼，2010，「加油站土壤氣體及地下水監測模擬」，碩士論文，國立交通大學。
- 陳逸文，2006，「『加油站漏油』-油槽及管線地下室化可行性評估」，碩士論文，國立中央大學。
- 單信瑜，2010，「加油站地下水及槽間監測作業介紹」，國立交通大學。
- 黃冠良、曾玲玲，1994，「加油站土壤及地下水污染之檢測」，「油槽測漏及尋跡試驗之應用」，地下水資源及水質保護研究討論會，台北市。
- 黃德坤、陳大麟、林舜隆、羅文杰，2004，「環境法醫技術應用在油污染源之鑑定」，工業污染防治，第 91 期。
- 楊凱仁，2012，「水位波動對地下儲油槽洩漏之影響」，碩士論文，國立交通大學。
- 經濟部工業局，2007，「土壤及地下水污染預防手冊」，13-53。
- 經濟部工業局，2009，「石油碳氫化合物土壤及地下水污染預防與整治技術手冊」，3-200。
- 劉敏信、李銘展、湯世亨、簡鈺銘、張家昌、劉宏澤，2012，「土壤中石油碳氫化合物 PID/FID 測值與檢驗分析濃度之關係研究」，2012 年兩岸環境與能源研討會暨第一屆全球華人環境與能源研討會。
- 潘柏岑，2006，「應用土耕法配合生物添加促進法整治柴油污染土壤之研究」，碩士論文，國立成功大學。
- 環保署，2009，「車用汽柴油成分及性能管制標準」，中華民國 98 年 7 月 29 日環署 0980065735 號。
- 環保署，2010，「地下儲槽系統防止污染地下水體設施及監測設備管理辦法」，中華民國 100 年 1 月 14 日環署 1000003701 號。

顏伯穎，2002，「應用數值方法模擬水下空氣注入法整治非水相液污染區域之研究」，碩士論文，國立成功大學。

羅文杰，2005，「柴油在土壤中之生物降解探討及其在油污染源鑑定之應用」，碩士論文，國立聯合大學。

Air Force Center for Environmental Excellence, 1994, "Technology Profile: Vacuum-Mediated LNAPL Free Product Recovery/ Bioremediation (Bioslurper)," Issue 1, March, 1994.

Alaska Statement of Cooperation Working Group, 2006, Hydrocarbon Characterization for Use in the Hydrocarbon Risk Calculator and Example Characterizations of Selected Alaskan Fuels, Technical Background Document and Recommendations, Prepared by Geosphere, Inc., September 2006

American Petroleum Institute, 1996, "A Guide to the Assessment and Remediation of Underground Petroleum Releases," Third Edition, API Publication 1628, Washington, D.C.

Battistelli, A., 2008, "Modeling multiphase organic spills in coastal sites with TMVOC V. 2.0." Vadose Zone Journal, 7.1: 316-324.

Calabrese, E.J., and Kostecki, P.T, 1988, "Soil contaminated by petroleum: Environmental and Public Health Effects." JOHN WILEY & SONS. NEW York. 5-18.

Chen, Colin S., Yun-Wei Lai and Chien-Jung Tien, 2008, "Partitioning of polynuclear aromatic hydrocarbons into water from biodiesel fuel mixtures," Environ. Chem. 2008, 5, 435-444.

Chetverushkin, Boris N., Natalia G. Churbanova, Nikolaj V. Isupov, and Marina A. Trapeznikova, 2006, "Simulation of NAPL Vertical Infiltration In a Heterogeneous Soil." European Conference On Computational Fluid Dynamics ECCOMAS CFD.

Fetter, C.W., 1999, "Contaminant Hydrogeology," 2nd Edition, Prentice-Hall Inc., Upper Saddle River, New Jersey 07458, USA.

Fetter, C.W., 2001, "Applied Hydrogeology," 4th Edition, Prentice-Hall Inc., Upper

Saddle River, New Jersey 07458, USA.

- Gustafson, J. B., Griffith Tell, J., & Orem, D. 1997. Selection of Representative TPH Fractions Based on Fate and Transport Considerations, Vol. 3, Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group Series. Amherst, Massachusetts: Amherst Scientific Publishers.
- Kererat, C. and Soralump, S., 2010, "Modeling of Organic Contaminant Migration through Soil Cement Barrier Using TMVOC," The 17th Southeast Asian Geotechnical Conference, Taipei, Taiwan.
- Kererat, Chusak, Inthuorn Sasanakul, and Suttisak Soralump. "Centrifuge Modeling of LNAPL Infiltration in Granular Soil with Containment." *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 139.6 (2013): 892-902.
- Kolev, N. I. 2007. *Multiphase Flow Dynamics 3: Turbulence, Gas Absorption and Release, Diesel Fuel Properties*. Berlin, Heidelberg, Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Molson, J.W., Barker, J., Frind, E.O., and Schirmer, M., 2002, "Modeling the Impact of Ethanol on the Persistence of Benzene in Gasoline-Contaminated Groundwater." *Water Resources Research* 38 No. 1:4(1-12).
- Molson, J.W., Frind, E.O., Van Stempvoort, D.R., Lesage, S. 2002. "Humic Acid Enhanced Remediation of an Emplaced Diesel Source in Groundwater. 2. Numerical Model Development and Application." *Journal of Contaminant Hydrology* 54, 277-305.
- Peargin, T.R., Wickland, D.C., Beckett, G.D., 1999, "Evaluation of Short Term Multi-phase Extraction Effectiveness for Removal of Non-Aqueous Phase Liquids from Groundwater Monitoring Wells," Conference Proceedings of the 1999 Petroleum Hydrocarbons & Organic Chemicals in Ground Water, Houston, Texas, sponsored by the National Ground Water Association & American Petroleum Institute.
- Pruess, K. and Battistelli, A., 2002, "TMVOC User's Guide," Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley.
- Pruess, K., Oldenbug, C. and Moridis, G., 1999, "TOUGH2 User's Guide Version 2.0,"

Earth Sciences Division, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley.

- Rasmusson, K., and Rasmusson, M., 2009, "NAPL spill modeling and simulation of pumping remediation," Master Thesis, Department of Earth Sciences, Air, Water and Landscape Science, Uppsala University, Villavägen 16, SE-752 36 Uppsala Sweden. ISSN 1401-5765
- Reid, R. C., Prausnitz, J. M., and B. E., Poling., "The Properties of Gases & Liquids, 4th Ed," McGraw-Hill, New York, 1987.
- Schulz, P. J., and Farrell, C. O., 2010, "Evaluation of Natural Attenuation Mechanisms associated with Petroleum-Hydrocarbon Release Sites as Measured in Soil-vapour."
- Thunderhead Engineering, 2008, "PetraSim User Manual," Thunderhead Engineering, Manhattan, USA.
- U.S. Environmental Protection Agency, 1988, "40 CFR Part 280-Technical Standards and Corrective Action Requirements for Owners and Operators of Underground Storage Tanks."
- U.S. Environmental Protection Agency, 1990, Design and placement of vapor monitoring wells, EPA 600-9-90-044.
- U.S. Environmental Protection Agency, 1993, "Design and placement of floating liquid monitoring wells," EPA 600-9-90-045.
- U.S. Environmental Protection Agency, 1996, "How to Effectively Recover Free Product at Leaking Underground Tank Sites," OSWER National Risk Management Research Laboratory, ORD, USA.
- U.S. Environmental Protection Agency, 1997, "Straight Tank on Tanks-Leak Detection Methods for Petroleum Underground Storage Tanks and Piping," EPA-510-B-97-007.
- U.S. Environmental Protection Agency, 1999, "Multi-Phase Extraction: State-of-the-Practice," EPA 542-R99-004.
- Weber, D. and Schuille, F., 1989, "Passive Vapor Monitoring of Underground Storage Tanks For Leak Detection," Las Vegas, USA.

附錄 柴油合成物之 TMVOC 化學性質設定

Properties	TMVOC name	Benzene	Toluene	Ethylbenzene	o-Xylene
Chemical critical temperature [K]	TCRIT	562.2	591.8	617.2	630.3
Chemical critical pressure [bar]	PCRIT	48.2	41	36	37.3
Chemical critical compressibility	ZCRIT	0.271	0.263	0.262	0.262
Pitzer's acentric factor	OMEGA	0.212	0.263	0.302	0.31
Chemical dipole moment [debyes]	DIPOLM	0	0.4	0.4	0.5
Chemical normal boiling point [K]	TBOIL	353.2	383.8	409.3	417.6
Chemical vapor pressure constant	VPA	-6.98273	-7.28607	-7.48645	-7.53357
	VPB	1.33213	1.38091	1.45488	1.40968
	VPC	-2.62863	-2.83433	-3.37538	-3.10985
	VPD	-3.33399	-2.79168	-2.23048	-2.8599
Chemical molecular weight	AMWT	78.114	92.141	106.168	106.168
Chemical ideal gas heat constant	CPA	-3.39E+01	-2.44E+01	-4.31E+01	-1.59E+01
	CPB	0.4739	0.5125	0.7072	0.5962
	CPC	-3.02E-04	-2.77E-04	-4.81E-04	-3.44E-04
	CPD	7.13E-08	4.91E-08	1.30E-07	7.53E-08
Reference NAPL (liquid) density [kg/m ³]	RHOREF	885	867	867	880
Reference temperature for NAPL density [K]	TDENRF	289	293	293	293
Reference binary diffusivity of VOC in air [m ² /s]	DIFV0	7.70E-06	8.80E-06	7.70E-06	7.08E-06
Reference temperature for gas diffusivity	TDIFREF	273.1	303.1	298.1	293
Exponent for calculation of chemical diffusivity [K]	TEXPO	1.52	1.41	1.79	1.93
Liquid NAPL viscosity constant	VLOA	4.612	-5.878	-6.106	-3.332
	VLOB	148.9	1287	1353	1039
	VLOC	-2.54E-02	0.004575	0.005112	-1.77E-03
	VLOD	2.22E-05	-4.50E-06	-4.55E-06	1.08E-06
Chemical critical volume	VLOLCRIT	259	316	374	369
Constant for chemical solubility in water [mole fraction]	SOLA	4.11E-04	1.01E-04	2.58E-05	2.97E-05
	SOLB	0	0	0	0
	SOLC	0	0	0	0
	SOLD	0	0	0	0
Chemical organic carbon partition coefficient K _{oc} [m ³ /kg]	OCK	0.0891	0.273	0.681	0.55
Default value for fraction of organic carbon in soil	FOX	0.001	0.001	0.001	0.001
Decay constant for biodegradation of VOC [s ⁻¹]	ALAM	0	0	0	0

接續附錄

Naphthalene	Heptane	Nonane	Undecane	Tetradecane	Nonadecane
748.4	540.2	594.6	639	639	756
40.5	27.4	22.9	19.8	15.7	11.1
0.269	0.261	0.257	0.257	0.244	0.209
0.302	0.35	0.445	0.537	0.644	0.827
0	0	0	0	0	0
491.1	371.57	423.97	469.08	526.76	603.1
-7.85178	0	0	0	0	0
2.17172	4.02023	4.07356	5	5.3	4.5402
-3.70504	1263.909	1438.03	1569.57	1740.88	1902.8
-4.81238	216.432	202.694	187.7	187.72	137.6
128.174	100.204	128.258	156.312	198.392	268.529
-6.88E+01	-3.39E+01	-7.45E+00	-4.33E+00	-1.19E+01	-1.55E+01
0.8499	0.4739	0.959	1.149	1.433	1.812
-6.51E-04	-3.02E-04	-5.29E-04	-5.35E-04	-7.97E-04	-1.02E-03
1.98E-07	7.13E-08	1.13E-07	1.36E-07	1.72E-07	2.21E-07
971	679.5	715	748	769	772
363	293	293	293	293	313.15
5.13E-06	7.70E-06	5.30E-06	4.70E-06	4.00E-06	3.10E-06
273	273.1	298.15	298.15	298.15	293.15
1.5	1.52	1.9	1.9	1.9	1.9
-10.27	0	0	0	0	0
2517	0	0	0	0	0
1.10E-02	0.387	1.37	1.38	2.06	4.2
-5.87E-06	293	298.15	298.15	298.15	308.15
413	664	555	689	894	920.5
4.84E-06	4.20E-02	6.58E-09	3.91E-10	1.00E-12	1.12E-06
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
1.29	18.3	625	714	1170	9.33E+05
0.001	0.001	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0