



土壤及地下水比水重非水相液體  
污染整治作業參考指引  
(113年修正版)

出版年份：民國 113 年 5 月  
出版單位：環境部環境管理署  
EPA-25-III-06B-2015-004

## 版本修正對照表

項次	第一版 (104 年)	第二版 (113 年修正版)	說明	頁碼
一	有鑑於此，行政院環境保護署（以下簡稱環保署）已於民國 97 年出版「土壤及地下水受比水重非水……	有鑑於此，行政院環境保護署（現已改制環境部）已於民國 97 年出版「土壤及地下水受比水重非水……	因應環保署升格為環境部，轄下各分署單位名稱與相關網站網址調整，進行相關內文文字修正。	1-1
	三、任何關於土壤及地下水採樣及檢測方法，應參照 <u>環保署</u> 最新公告之標準作業規範。	三、任何關於土壤及地下水採樣及檢測方法，應參照 <u>環境部環境管理署</u> （以下簡稱本署）最新公告之標準作業規範。		1-2
	七、本指引並不代表 <u>環保署</u> 任何政策或法規之制定方向，也不作為任何法規相關解讀與論證之用。	七、本指引並不代表 <u>本署</u> 任何政策或法規之制定方向，也不作為任何法規相關解讀與論證之用。		1-2
	(二)曾執行多層深度之土壤及地下水樣品採樣分析，且分析方法均依據 <u>環保署</u> 頒布之標準分析方法。	(二)曾執行多層深度之土壤及地下水樣品採樣分析，且分析方法均依據 <u>本署</u> 頒布之標準分析方法。		4-7
	執行 DNAPL 污染場址調查及檢測作業工作時，皆應符合 <u>環保署環境檢驗所</u> 公告之標準作業方法進行……	執行 DNAPL 污染場址調查及檢測作業工作時，皆應符合 <u>本署國家環境研究院</u> 公告之標準作業方法進行，……		5-1
	(一)本場址依據 <u>環保署</u> 公告之土壤、地下水標準採樣分析方法之查證結果顯示土壤中三氯乙烯及地下水中……	(一)本場址依據 <u>本署</u> 公告之土壤、地下水標準採樣分析方法之查證結果顯示土壤中三氯乙烯及地下水中……		6-7

項次	第一版 (104年)	第二版 (113年修正版)	說明	頁碼
二	先進行非擾動連續性採樣方式進行土壤鑽探，研判土壤質地，並以PID進行土壤氣體之篩試，土壤氣體濃度較高之樣品進行實驗室分析，可環檢所公告之「土壤採樣方法(NIEA S103.63B)」之規範進行。	先進行非擾動連續性採樣方式進行土壤鑽探，研判土壤質地，並以PID進行土壤氣體之篩試，土壤氣體濃度較高之樣品進行實驗室分析，可環檢所公告之「土壤採樣方法(NIEA S103.64B)」之規範進行。	「土壤採樣方法於111年更新，原採樣方法於111年公告廢止」，進行相關內文文字修正。	3-6
	土壤採樣方法(NIEA S102.63B)，以直接貫入技術(DirectPush)雙套管採樣工法進行全程採樣	土壤採樣方法(NIEA S102.64B)，以直接貫入技術(DirectPush)雙套管採樣工法進行全程採樣		6-6
三	水中揮發性有機化合物檢測方法—吹氣捕捉／氣相層析質譜儀法(NIEA W785.55B)	水中揮發性有機化合物檢測方法—吹氣捕捉／氣相層析質譜儀法(NIEA W785.57B)	「水中揮發性有機化合物檢測方法—吹氣捕捉／氣相層析質譜儀法於109年更新，原檢測方法於106年公告廢止」，進行相關內文文字修正。	6-7

# 目錄

	<u>頁碼</u>
<b>第一章 前言</b> .....	<b>1-1</b>
1.1 目的.....	1-1
1.2 適用範圍與限制.....	1-1
1.3 內容概述.....	1-2
1.4 中英文專有名詞對照.....	1-3
<b>第二章 場址環境評估</b> .....	<b>2-1</b>
2.1 污染物特性及潛在污染源.....	2-1
2.2 執行注意事項.....	2-13
<b>第三章 污染調查規劃</b> .....	<b>3-1</b>
3.1 調查位置.....	3-2
3.2 調查深度.....	3-3
<b>第四章 調查結果評估</b> .....	<b>4-1</b>
<b>第五章 品保品管及工業安全衛生</b> .....	<b>5-1</b>
5.1 品保品管作業.....	5-1
5.2 工業安全衛生管理.....	5-1
<b>第六章 國內污染調查案例解析</b> .....	<b>6-1</b>
6.1 污染事實確認.....	6-1
6.2 污染範圍調查.....	6-9

# 圖目錄

	<u>頁碼</u>
圖 2.1-1	DNAPL 污染物各土壤中之各種相變化圖..... 2-1
圖 2.1-2	常見含氯有機污染物降解途徑..... 2-4
圖 2.1-3	不同 DNAPL 污染物之比重及絕對黏度比較圖..... 2-8
圖 2.1-4	DNAPL 洩漏至不飽和層圖..... 2-11
圖 2.1-5	DNAPL 洩漏至至通氣層及飽和層圖..... 2-12
圖 2.1-6	DNAPL 污染在低滲透地層中形成 DNAPL 池圖..... 2-12
圖 2.1-7	混合性 DNAPL 污染場址圖..... 2-13
圖 3.1-1	DNAPL 污染地下水採樣點位範例..... 3-3
圖 3.2-1	監測井設置深度與 DNAPL 污染物濃度關係圖..... 3-4
圖 3.2-2	監測井開篩長度與 DNAPL 污染物濃度關係圖..... 3-5
圖 4- 1	DNAPL 污染研判流程圖..... 4-2
圖 4- 2	某場址第一次地下水採樣超過管制標準點位..... 4-10
圖 4- 3	某場址第二次地下水採樣超過管制標準點位..... 4-10
圖 4- 4	某場址污染範圍推估及第三次地下水採樣規劃..... 4-11
圖 4- 5	某場址 DNAPL 污染範圍劃定..... 4-11
圖 4- 6	某場址之 MIP 調查結果..... 4-12
圖 4- 7	依據 MIP 成果進行地下水採樣圖..... 4-13
圖 4- 8	井間分溶性示蹤劑試驗之濃度變化曲線圖..... 4-16
圖 4- 9	污染場址之地層分布圖範例..... 4-18
圖 4- 10	TCE 在地層中之分布圖範例..... 4-19
圖 4- 11	洩漏一週後 TCE 在地層中之分布圖範例..... 4-20
圖 6.1-2	某電子廠採樣點分佈圖..... 6-6
圖 6.2-1	某電子廠場址概念模型..... 6-10
圖 6.2-2	某電子廠污染範圍調查佈點配置圖..... 6-12
圖 6.2-3	某電子廠三氯乙烯污染濃度分佈圖..... 6-13

# 表目錄

		<u>頁碼</u>
表 1.4-1	中英文專有名詞對照表.....	1-3
表 2.1-1	常見含氯類溶劑的物理化學性質.....	2-5
表 2.1-2	多氯聯苯商業產品的物理化學性質.....	2-6
表 2.1-3	雜酚油物理特性.....	2-7
表 2.1-4	可能使用 DNAPL 物質之工業製程.....	2-9
表 2.2-1	DNAPL 污染調查訪談問卷.....	2-15
表 3.2-1	DNAPL 土壤及地下水採樣深度規劃原則.....	3-6
表 4- 1	目視判斷樣品中 DNAPL 存在之準則.....	4-3
表 4- 2	樣品分析數據判斷 DNAPL 存在之準則.....	4-4
表 4- 3	水中污染物之有效溶解度計算方式.....	4-4
表 4- 4	計算地下水中濃度推估 DNAPL 是否存在之範例.....	4-5
表 4- 5	使用土壤濃度評估 DNAPL 存在與否之準則.....	4-7
表 4- 6	場址受 DNAPL 污染之可能性分類.....	4-8
表 6.1-1	某電子廠背景資料.....	6-2
表 6.1-2	某電子廠人員訪談問卷.....	6-3
表 6.1-3	某電子廠土壤採樣規劃.....	6-6
表 6.1-4	某電子廠地下水採樣規劃.....	6-7
表 6.2-1	某電子廠關切污染物物化特性.....	6-10
表 6.2-2	某電子廠場址水文地質環境參數.....	6-11
表 6.2-3	某電子廠污染範圍調查檢測數據.....	6-13

# 第一章 前言

## 1.1 目的

自「土壤及地下水污染整治法」(以下簡稱土污法)於民國 89 年 2 月 2 日公布施行以來，國內已有為數不少之油品類儲槽系統污染場址，經過調查及查證後遭到環保機關依土污法相關規定公告列管。此外，近年國內發生許多土壤及地下水污染案例，使得土壤及地下水污染已成為國內環保工作之主要課題。在這許多污染場址中，比水重非水相液體(Dense Non-Aqueous Phase Liquid, DNAPL)污染場址之問題特別嚴重，這是由於 DNAPL 污染物質之物理特性與化學特性之特殊性，再加上地質之不均質性與不確定性，使得處理相關之土壤及地下水污染調查及整治工作，相對提高其困難度。而如何掌握場址水文地質特性、污染物之物理化學特性、污染範圍評估、建立正確之場址概念模型、驗證計畫之執行等，皆須經驗的累積與傳承。有鑑於此，行政院環境保護署(現已改制環境部)已於民國 97 年出版「土壤及地下水受比水重非水相液體污染場址之初步篩試調查、查證及驗證作業技術參考手冊」，提供各地環保局工作人員、污染行為人、污染土地關係人瞭解 DNAPL 污染場址之相關工作內容。

然而，隨著土污法於民國 99 年的修訂，歷年土壤及地下水污染調查及整治技術的進步，我國污染調查及整治技術手冊撰寫冊數逐年增加。然而，卻仍未有相關手冊撰寫之統一結構，致使用者於閱讀上的困難度提昇。故遵循「土壤及地下水污染調查作業參考指引總則」邏輯架構，使用前小節所述之比水重非水相液體污染物調查工作手冊原有內容，彙整成「場址土壤及地下水比水重非水相液體污染調查作業參考指引(以下簡稱本指引)」。透過歷年手冊的法規更新及統一相關指引撰寫架構，以提昇使用者之閱讀便利性。

## 1.2 適用範圍與限制

- 一、本指引設定之使用對象為環保主管機關、目的事業機關、技術顧問機構，以及污染行為人、污染土地的關係人等，在土壤及地下水受

- DNAPL 污染場址，進行污染調查作業之參考。
- 二、本指引並未提供有關土壤及地下水之基礎理論，如有該方面的基礎知識，可參考本指引參考文獻。
  - 三、任何關於土壤及地下水採樣及檢測方法，應參照環環境部環境管理署（以下簡稱本署）最新公告之標準作業規範。
  - 四、本指引所有內容均以科學與技術層面的解釋為出發點，並著重於如何與實務結合進行場址調查與評估工作。亦不提供各項技術與相關設備儀器之詳細操作步驟。
  - 五、使用者於執行污染調查各階段工作時，所採取之執行方式、採樣佈點位置、數量及分析項目等，仍應視各場址實際狀況及使用者之專業判斷加以決定，本指引中並無強制規範。
  - 六、本指引所列舉之各項快速調查技術，現階段仍僅作為協助污染潛勢研判或篩試之工具。
  - 七、本指引並不代表本署任何政策或法規之制定方向，也不作為任何法規相關解讀與論證之用。

## 1.3 指引內容概述

### 第一章 前言

本章說明本指引撰寫之目的、適用範圍與限制、指引內容概述，以作為使用者於首次閱讀時，可快速了解本指引可使用的範疇。

### 第二章 場址環境評估

本章說明我國常見 DNAPL 污染物特性、潛在污染來源，以利污染調查單位於場址環境評估時，可根據污染物特性及潛在產業別，進行場址污染潛勢的研判。

### 第三章 污染調查規劃

本章說明場址初步調查採樣計畫之位置及深度規劃，並說明在初

步調查後，並導入使用者應根據調查結果進行場址概念模型修正的觀念。

#### 第四章 調查結果評估

本章說明根據調查結果，應進行場址概念模型修正，並提出污染範圍及污染體積推估的方式。

#### 第五章 品保品管及工業安全衛生

本章說明 DNAPL 類污染之土壤及地下水調查時，在進行採樣與樣品分析之品保品管要求，工業安全衛生要求問題。

#### 第六章 國內污染調查案例解析

本章以國內場址案例說明污染調查之污染確認及污染範圍執行工作與流程，提供使用者參考。

## 1.4 中英文專有名詞對照

表 1.4-1 中英文專有名詞對照表

英文	中文
Absolute permeability	絕對滲透係數
Air rotary	鑽堡
Aqueous phase	水相
Bulk density	土壤體積密度
Capillary forces	毛細作用
Carrier fluids	載流液體
Chlorobenzenes	氯苯
Coal tar	煤焦油
Conepenetrometer(CPT)	圓錐貫入檢測器
Conservative tracer	鈍性示蹤劑
Creosote	雜酚油
Dense Non-Aqueous Phase Liquid (DNAPL)	比水重非水相液體

英文	中文
Dissolved phase	溶解相
Distribution coefficient, Kd	地下水與土壤之間分布係數
DNAPL pool	DNAPL池
Flame Ionization Detector (FID)	火焰離子偵測器
Fraction of organic carbon, foc	有機碳含量
Free phase	自由相
Gaseous phase	氣相
Membrane Interface Probe (MIP)	薄膜界面鑽桿(管)
NAPL phase	NAPL相
Octanol/ Water Partition Coefficient, Kow	辛醇/水分配係數
Organic carbon-water partitioning coefficient, Koc	有機碳/水之分配係數
Oxidation-Reduction Potential(ORP)	氧化還原電位
Oxidation-reduction reaction	氧化還原作用
Partitioning interwell tracer test (PITT)	井間分溶示蹤劑試驗
Partitioning tracer	分溶性示蹤劑
Phenolic Compounds	酚類化合物
PhotoIonization Detector (PID)	光離子偵測器
Plume	污染團
Polychlorinated Biphenyl (PCB)	多氯聯苯
Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)	多環芳香族碳氫化合物
Pump and treat (P&T)	地下水抽出處理法
Residual DNAPL	殘留相DNAPL
Residual phase	殘留相
Retardation factor	遲滯係數
Site Conceptual Model (SCM)	場址概念模型
Soil vapor extraction, SVE	土壤氣體抽除系統
Source zone	污染源區
Tetrachloroethylene	四氯乙烯
Trichloroethylene (TCE)	三氯乙烯
Vadose zone	通氣層
Water filled porosity	水份所佔之孔隙率

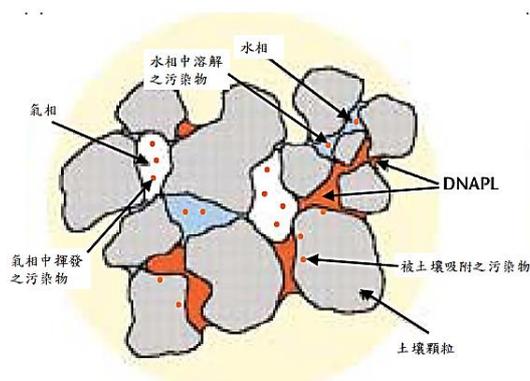
## 第二章 場址環境評估

依目的不同所進行之污染調查工作亦不相同，可分為場址環境評估、污染調查工作規劃，及調查結果評估。擬確認場址是否存在污染潛勢，應進行場址環境評估，包含資料蒐集、現勘及訪談作業，現勘範圍包括場址內部運作與周界環境的勘查，現勘重點在於潛在污染源的情境描述，經綜合評估研擬調查計畫，作為現場採樣作業的執行依據。若欲了解場址是否有土壤及地下水污染事實存在，則應進行污調查工作規劃，此時調查評估人員應依據場址評估結果，規劃並執行土壤及地下水污染調查工作，包含地球物理調查、土壤及地下水樣品現場快速篩測與實驗室分析等工作，依其調查結果判定場址是否遭受污染。於調查結果評估時，則是於調查工作執行成果的分析，進一步了解場址污染的現況。以上三種類行之調查原則說明，詳見本署出版之「土壤及地下水污染調查作業參考指引總則」。

為有效提昇場址環境評估的執行成果，本章乃就 DNAPL 污染物特性及潛在污染來源彙整，以作為調查評估人員於執行污染現況評估工作之參考。接者，針對執行場址環境評估階段中應注意事項的說明。

### 2.1 污染物特性及潛在污染源

土壤中可能將同時有氣相、水相、DNAPL 並存，且 DNAPL 污染物又可能揮發至土壤空隙中之氣相中，或溶解於水相中，或被土壤所吸附，彼此關係相當複雜，如圖 2.1-1 所示。



資料來源：UK Environment Agent, Chapter 3, 2003

圖 2.1-1 DNAPL 污染物各土壤中之各種相變化圖

比水重非水相液體(DNAPL)，為密度比水重之有機污染物，微溶於水。當其進入地表下時，由於密度大於水，因此會迅速向下移動直至不透水層，並於底部累積形成 DNAPL 池(DNAPL Pool)或稱 DNAPL 污染團，在移動過程中於未飽和層及飽和層孔隙介質中以液滴型態殘留，是為殘留相 DNAPL (Residual DNAPL)；DNAPL 會緩慢溶解至地下水中，是為溶解相 (Dissolved Phase)污染，因而形成長期而持續的污染狀態。

為了有效進行場址環境評估，調查評估人員應事先了解 DNAPL 污染物之基礎物理化學特性與潛在污染源，及污染物傳輸模式，個別特性其潛在來源說明如下。

### 一、 基礎物理化學特性及潛在污染源

DNAPL 主要種類為含氯類溶劑(Chlorinated Solvents)、多氯聯苯(Polychlorinated Biphenyls, PCB)、油品類之 DNAPL 如雜酚油(Creosote)及煤焦油(Coal Tar)等，個別物理化學特性及潛在污染源說明如下。

#### (一)含氯類溶劑

含氯類溶劑在二十世紀中期開始於全世界廣泛且大量地被製造及使用，其用途包括乾洗、金屬表面處理之清洗劑、製造藥劑、製造殺蟲劑及化學中間物等，常見的含氯類溶劑且列為「地下水污染管制標準」之污染物有：1,1-二氯乙烷(1,1-Dichloroethane)、1,2-二氯乙烷(1,2-Dichloroethane)、1,1-二氯乙烯(1,1-Dichloroethylene)、順-1,2-二氯乙烯(cis-1,2-Dichloroethylene)、反-1,2-二氯乙烯(trans-1,2-Dichloroethylene)、三氯乙烯(Trichloroethylene, TCE)、四氯乙烯(Tetrachloroethylene)、四氯化碳(Carbon tetrachloride)等，圖 2.1-2 為常見含氯有機污染物降解途徑。

大部分含氯類溶劑由於密度介於  $1100 \sim 1600 \text{ kg/m}^3$  間，黏度範圍在  $0.57 \sim 1.0 \text{ cp}$  間，造成其比水重且黏度較水低的特性，若大量污染至地表時會快速移動至含水層底部，且於底部不再移動，某些場址甚至可能於污染物進入地表下後，兩至三年不再移動。

此外含氯類溶劑通常具有較低的辛醇/水分配係數 (Octanol/

Water Partition Coefficient,  $K_{ow}$ ),  $K_{ow}$  代表化學物質在辛醇及水之間的分配傾向，其值越高表示化學物質傾向疏水性有機物，亦就越容易被土壤中之疏水性有機物所吸附。以三氯乙烯為例，其  $\log K_{ow}$  為 2.61，而多氯聯苯之  $\log K_{ow}$  值往往在 3.4 以上。因此含氯類溶劑之水溶液相污染物於含水層中，較不易被吸附作用所阻礙；移動速度快及吸附程度低是含氯類溶劑與其它 DNAPL 物質最大的不同；表 2.1-1 為常見含氯類溶劑之物理化學性質彙整。

## (二) 多氯聯苯

多氯聯苯為聯苯連接 1 至 10 個不同數目氯原子之化合物統稱，共有 209 種同屬物(Congener)，最早於 1881 年合成，1930 年代開始作為工業用途，包括電容器及變電器中之絕緣油，亦廣泛運用於印墨、油漆、殺蟲劑等。美國於 1970 年達到最高產量，年生產三萬八千公噸之多氯聯苯，其中約 68% 多氯聯苯由 Aroclor 品牌出產，故現今多以 Aroclor 之產品序號代表幾種較常見之多氯聯苯。但基於環境污染之考量，1971 美國開始首度禁用含氯成分較高之多氯聯苯，並於 1977 年遭到美國環保署全面禁用。

商業用之多氯聯苯是許多異構物所組成，因此有許多不同種類之多氯聯苯產品。以 Aroclor 之產品為例，其產品序號共有四碼，前兩碼代表碳數、後兩碼代表含氯之重量百分比，因此 Aroclor 1242 之 12 代表共有 12 個碳、42 代表含氯之重量百分比為 42%。故後兩碼數字越高，表示含氯量越高，其比重、黏度也越高。以 Aroclor 1260 為例，由於其含氯量太高，因此已非液相型態，而是呈樹脂狀。

多氯聯苯通常與載流液體(Carrier fluids)如氯苯(Chlorobenzenes)及礦物油共同混合，故實際上密度常達到 1,100~1,600 kg/m<sup>3</sup>，黏度範圍由 5 cp 至 700cp 不等；於其密度及黏度皆較大情形下，可知多氯聯苯污染移動距離較短，但其移動時期會一直持續，甚至可能有某些數十年前遭受污染場址，多氯聯苯仍持續移動中。



表 2.1-1 常見含氯類溶劑的物理化學性質

分子	$\log K_{ow}$	亨利常數 atm-cum /mole @25°C	分子 量 (g)	水溶 性 (mg/ L)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	絕對 黏度 (cp)	蒸氣 壓 (mm Hg)	相對 蒸氣 密度
四氯乙烷 Tetrachloroethylene (PCE)	3.40	0.0177	165.8	200	1.62	0.89	14	1.09
三氯乙烷 Trichloroethylene (TCE)	2.61	$9.85 \times 10^{-3}$	131.4	1,100	1.46	0.57	58	1.27
順-1,2-二氯乙烷 (cis-1,2-Dichloroethylene, cis-DCE)	2.00	$4.08 \times 10^{-3}$	96.9	3,500	1.28	0.48	160	1.63
反-1,2-二氯乙烷 (trans-1,2-Dichloroethylene, trans-DCE)	2.06	$9.28 \times 10^{-3}$	96.9	6,300	1.26	0.4	260	1.83
1,1-二氯乙烷 (1,1-Dichloroethylene, 1,1-DCE)	2.13	$2.61 \times 10^{-2}$	96.9	2,250	1.22	0.36	490	2.54
1,1,2,2-四氯乙烷 (1,1,2,2-Tetrachloroethane)	1.89	$3.67 \times 10^{-4}$	167.8	2,900	1.6	1.75	5	1.03
1,1-二氯乙烷 (1,1-Dichloroethane, 1,1-DCA)	1.79	$5.62 \times 10^{-3}$	99	5,500	1.17	0.44	180	1.58
1,2-二氯乙烷 (1,2-Dichloroethane, 1,2-DCA)	1.48	$1.18 \times 10^{-3}$	99	8,700	1.25	0.8	64	1.21
四氯化碳 (Carbon tetrachloride, CTET)	2.83	$2.76 \times 10^{-2}$	153.8	800	1.59	0.97	90	1.52
三氯氟甲烷 (Trichlorofluoromethane, TCF M)	2.53	$9.70 \times 10^{-2}$	137.4	1,100	1.49	0.42	690	4.91
二氯甲烷 (Dichloromethane, DCM)	1.25	$3.25 \times 10^{-3}$	84.9	20,000	1.33	0.44	340	1.9
水 Water	---	---	18	NA	1	1	17.5	1

資料來源

1. Lucius, et al, 1992;

2. gosseptjm, environ SCI, technology 21, 1987 (毒管處提供)

3. Engineered Approaches to In Situ Bioremediation of Chlorinated Solvents: Fundamentals and Field Applications

表 2.1-2 多氯聯苯商業產品的物理化學性質

溶劑種類	Aroclor 1221	Aroclor 1242	Aroclor 1254	Aroclor 1260
單氯聯苯 Monochlorobiphenyl	51	1	—	—
聯苯 Biphenyl	11	—	—	—
二氯聯苯 Dichlorobiphenyl	32	17	—	—
三氯聯苯 Trichlorobiphenyl	4	40	—	—
四氯聯苯 Tetrachlorobiphenyl	2	32	16	—
五氯聯苯 Pentachlorobiphenyl	0.5	10	60	12
六氯聯苯 Hexachlorobiphenyl	—	0.5	23	46
七氯聯苯 Heptachlorobiphenyl	—	—	1	36
八氯聯苯 Octachlorobiphenyl	—	—	—	6
密度(kg/m <sup>3</sup> )	1180	1380	1500	1560
水溶解度(μg/L)	200	240	12	2.7
蒸氣壓mm	6.70E-03	4.00E-04	8.00E-05	4.00E-05
黏度(cP)	5	24	700	樹脂 (Resin)
辛醇/水分配係數 (Kow)	2.8	4.1	6.5	6.9

資料來源：Robert M.Cohen and James W. Mercer, DNAPL Site Evaluation, Chapter 3, CRC Press, Inc., 1993

此外，多氯聯苯大部分同屬物皆為高度疏水性，因此對於土壤吸附力極強，通常地下水中發現多氯聯苯污染，其可能污染源通常就在地下水上游緊鄰區域。表 2.1-2 為常見多氯聯苯商業產品之成分及物理化學性質。

### (三) 雜酚油及煤焦油

雜酚油包含許多多環芳香族碳氫化合物(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs)及酚類化合物(Phenolic Compounds)；雜酚油通常於處理木製產品時使用，如鐵道枕木及船舶橫樑等。雜酚油大致又可分為煤焦雜酚油及木雜酚油，煤焦雜酚油是種黑色至棕色具芬芳氣味之液態油，從煤焦油經蒸餾後燂取出或是從瀝青煤礦中以高溫碳化所製作出來的產物，其比重重於水且易與酒

精、醚類混合。木雜酚油是從木材焦油蒸餾所獲得，主要成分為癒瘡木酚及木焦油醇，為無色或淡黃色。雜酚油通常與載流液體如柴油共同混合，密度為  $1010 \sim 1130 \text{ kg/m}^3$ ，是密度較輕的一種 DNAPL；黏度為  $20 \sim 50 \text{ cp}$ ，相對含氯有機溶劑而言較高，於進入地表後所需移動時間較長，可能經過 50 至 60 年後仍在移動中。雜酚油物理特性如表 2.1-3 所示。

煤焦油與雜酚油相同，皆是在煤的氣化過程中產生的碳氫化合物，如製造鼓風爐焦煤時的副產物，碳氫化合物種類達數百種，包括輕質油、中質油、重質油及瀝青等。煤焦油係由煤乾餾製造焦炭時的副產物之中，扣除煤炭瓦斯、硫及氨水以外之多項芳香族化合物之總稱，經蒸餾後可提煉出萘(約佔 10-12%)、雜酚油(約佔 22-30%)、瀝青(約佔 50-55%)等產品(中國鋼鐵公司, 2007)。煤焦油密度為  $1010 \sim 1100 \text{ kg/m}^3$ ，黏度為  $20 \sim 100 \text{ cp}$ ，具有低密度及高黏度之特性，大致與雜酚油相同。

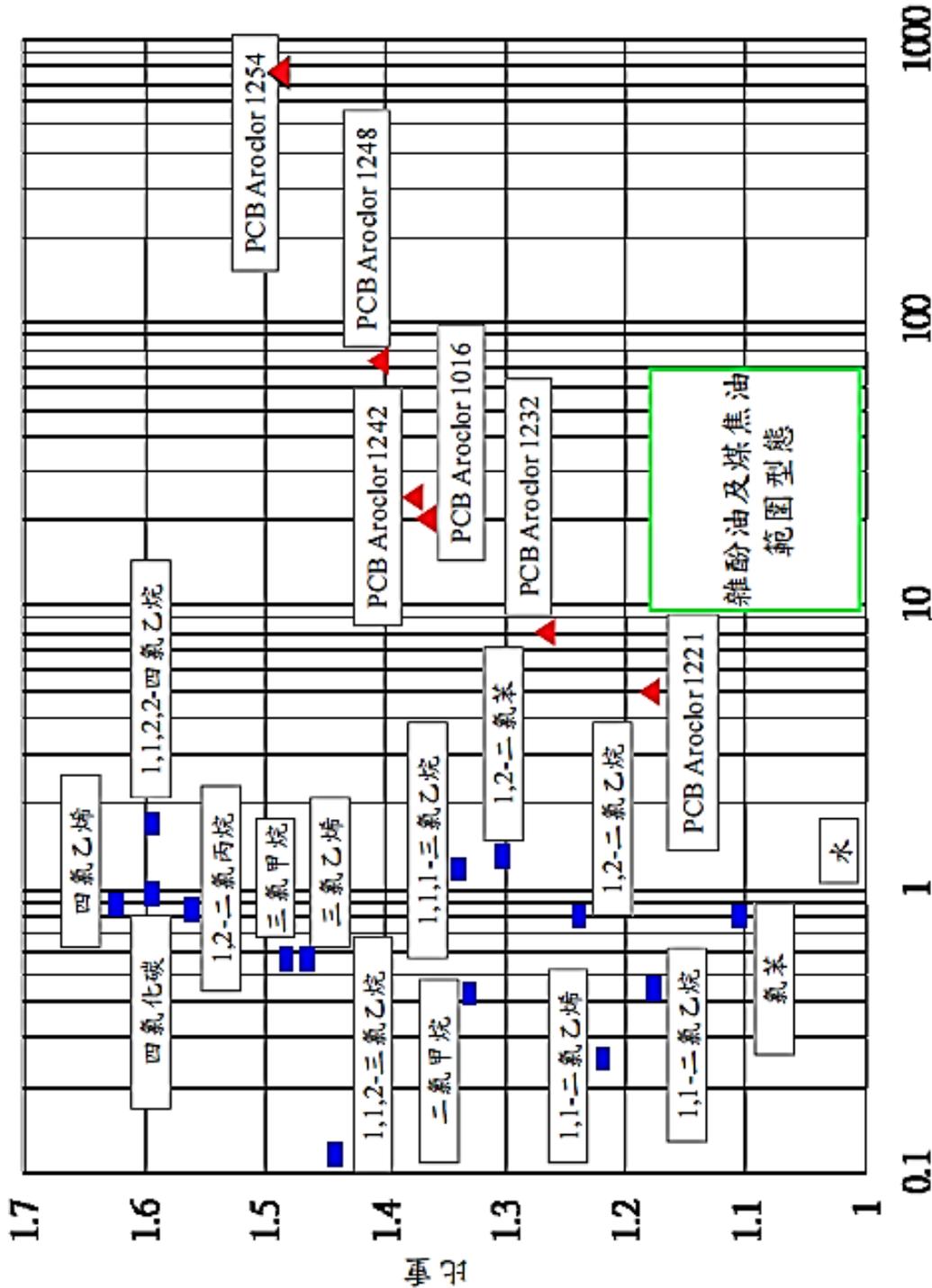
表 2.1-3 雜酚油物理特性

物理性質 \ 種類	煤焦雜酚油	木雜酚油
沸點	914~400°C	203°C
閃點	75°C (165°F)	---
密度	$1.07 \sim 1.08 \text{ kg/m}^3$	$1.07 \sim 1.08 \text{ kg/m}^3$
比重	$1.06 \text{ at } 38/15.5^\circ\text{C}$	$>1.076 \text{ at } 25^\circ\text{C}$
辛醇/水分配係數 (Octanol/Water Partition Coefficient)之對數值	1.0	---

資料來源：Hazardous Substances Data Bank (HSDB)，<http://toxnet.nlm.nih.gov/newtoxnet/hsdb.htm>

綜合上述各種 DNAPL 之污染物特性，以污染物之比重及絕對黏度做比較，繪如圖 2.1-3 所示。含氯有機溶劑之絕對黏度比較低，且隨氯原子數的增加，比重也逐漸增加，但絕對黏度皆在  $0.13 \sim 2.0 \text{ cp}$  之間，變化幅度不大。而多氯聯苯則隨氯原子數增加，比重及絕對黏度皆會增加，絕對黏度由含氯量較少之 PCB Aroclor 1221 之  $5 \text{ cp}$  增加到 PCB Aroclor 1254 之  $700 \text{ cp}$ 。而雜酚油及煤焦油之成分複雜，但其皆具有比重較輕、黏度較高之特性，如右下圖框所示，亦可看出含氯有機溶劑

之絕對黏度最低，流動性較高，因此在污染場址中所造成之污染範圍也較大。除了上述常見之 DNAPL 污染物外，本指引亦列出可能使用 DNAPL 物質之工業製程，提供予調查評估人員參考，如表 2.1-4。



資料來源：Robert M. Cohen and James W. Mercer, DNAPL Site Evaluation, Chapter 3, CRC Press, Inc., 1993

圖 2.1-3 不同 DNAPL 污染物之比重及絕對黏度比較圖

表 2.1-4 可能使用 DNAPL 物質之工業製程

DNAPL 種類	工業別	工業製程
含氯有機溶劑	含氯有機溶劑製造業 含氯有機溶劑儲存及運送業 半導體製造業 金屬表面處理業 乾洗中心、觀光飯店、醫院 製版業 含氯有機溶劑回收處理業 紡織染整業	含氯有機溶劑製造 印刷電路板製造 以含氯有機溶劑進行晶圓清洗 以含氯有機溶劑進行金屬表面處理 使用含氯有機溶劑進行衣服乾洗 使用含氯有機溶劑洗版之製版業 使用含氯有機溶劑進行布料染整
多氯聯苯	電容器、變壓器之製造業 使用含多氯聯苯之電容器、變壓器之工業 使用含多氯聯苯之熱交換器之工業 多氯聯苯處理業	含多氯聯苯之電容器、變壓器之製造 含多氯聯苯之熱交換器之製造
雜酚油	木材加工業 雜酚油處理業	木材加工製程 使用雜酚油作為木材防腐之製程
煤焦油	石油煉製業 煤品製造業 鋼鐵冶鍊業	石油煉製之回收煤碳焦油製程 鋼鐵冶煉製程

## 二、 污染物傳輸模式

大部分 DNAPL 在地層中之自然衰減成效不佳，且長時間會慢慢的溶出至地下水中。一旦 DNAPL 洩漏至地表下，且未採取工程技術防止而讓 DNAPL 污染物持續溶解至地下水中，可能需要數百年之久，受污染之地下水才可恢復至原始背景值。

DNAPL 在通氣層及含水層中可以自由相(free phase)或是殘留相(residual phase)之形式存在。當 DNAPL 洩漏至地表下，自由相 DNAPL 將受重力的影響向下傳輸滲透至土壤介質中，或是受質地細密之地質阻礙而向水平方向流動。當 DNAPL 自由相在土壤介質中移動時，DNAPL 會受到毛細作用(capillary forces)影響而有少部分會滯留於土壤孔隙或是裂縫中，這些被土壤孔隙或是裂縫中侷限(trapped)的 DNAPL 即稱為殘留相，殘留相 DNAPL 約佔孔隙體積之 5%~50%。

當 DNAPL 傳輸至地表下，欲將所有的殘留相回收是相當困難的，傳統的整治方法如 pump & treat 僅可回收少部分的殘留相，這些殘餘在土壤孔隙中的 DNAPL 即成為地下水之污染源(source zone)。主要影

響 DNAPL 地表下傳輸之因子包括：

- (一)DNAPL 洩漏體積
- (二)DNAPL 洩漏點地表之滲透性
- (三)洩漏時程
- (四)DNAPL 特性，包括比重、黏滯性、表面張力
- (五)土壤或含水層之特性，包括孔隙大小及滲透係數
- (六)場址地層和地形
- (七)地表下樹根形成的孔洞、裂縫、岩石表面和黏土層

為使調查評估人員得更加了解 DNAPL 污染於地下傳輸的型態，以提昇場址是否存在 DNAPL 污染潛勢的評估。以下分別以 DNAPL 污染洩漏至不同深度之地層後，幾種可能出現的傳輸型態概念模型 (Waterloo Centre for Groundwater Research, 1989)：

(一)狀況一：DNAPL 洩漏至通氣層(vadose zone)

如圖 2.1-4 所示，DNAPL 污染洩漏至地表後，受到重力及土壤毛細作用使得 DNAPL 向下移動。因為僅少量洩漏，所有移動性的 DNAPL 皆附著於通氣層中的土壤孔隙及裂縫。少部分 DNAPL 污染物溶於土壤孔隙水中，並將溶解相污染物帶至地下水層形成污染團(plume)。通氣層土壤孔隙中氣相部分，亦含有揮發性氣相 DNAPL 污染物，亦成為地下水污染帶之來源。

(二)狀況二：DNAPL 洩漏至通氣層及飽和層

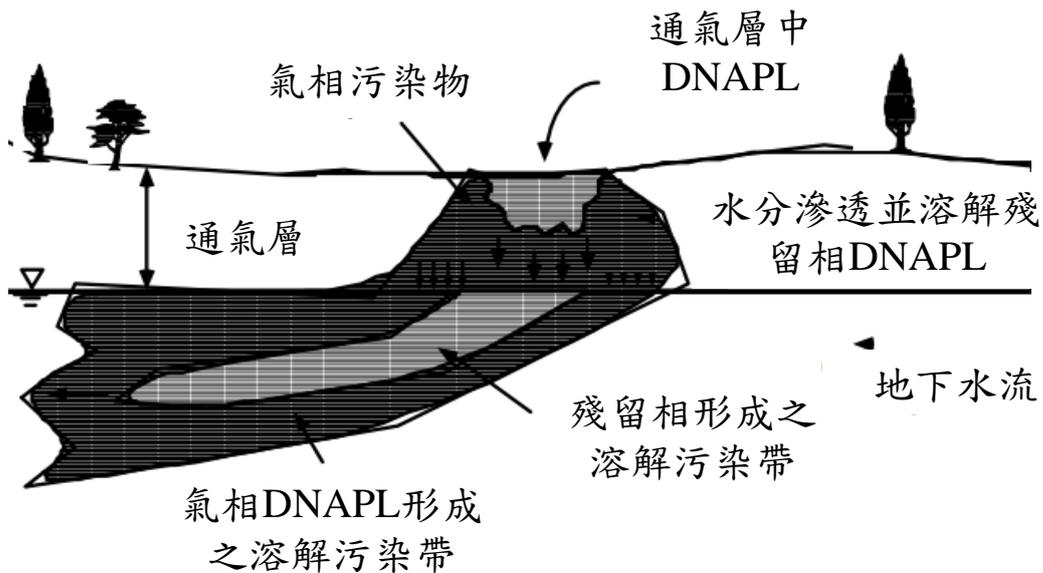
如圖 2.1-5 所示，假設有足量之 DNAPL 洩漏至地層中，DNAPL 可向下傳輸穿過整個通氣層到達地下水含層。因為 DNAPL 比重比水來的大，傳輸至地下水位面以後繼續向下移動，直到所有的 DNAPL 受到毛細作用，被侷限於含水層之土壤孔隙中形成殘留相為止。地下水流經含水層之殘留相，溶解之 DNAPL 污染物形成污染帶向地下水下游傳輸，地表水向下滲透穿過通氣層之 DNAPL 殘留相，亦可能溶解污染物形成污染帶。

(三)狀況三：DNAPL 在低滲透性地層中形成 DNAPL 池

如圖 2.1-6 所示，移動性的 DNAPL 持續以垂直方向向下傳輸，侷限於含水層及通氣層之土壤孔隙中、或是受到低滲透性地質阻隔形成 DNAPL 池。DNAPL 將較上層低滲透性通氣層滯蓄填滿後，再繼續滿溢滲漏至下一層，滿溢點可能離原地表滲漏點有一段距離，造成污染範圍擴大。

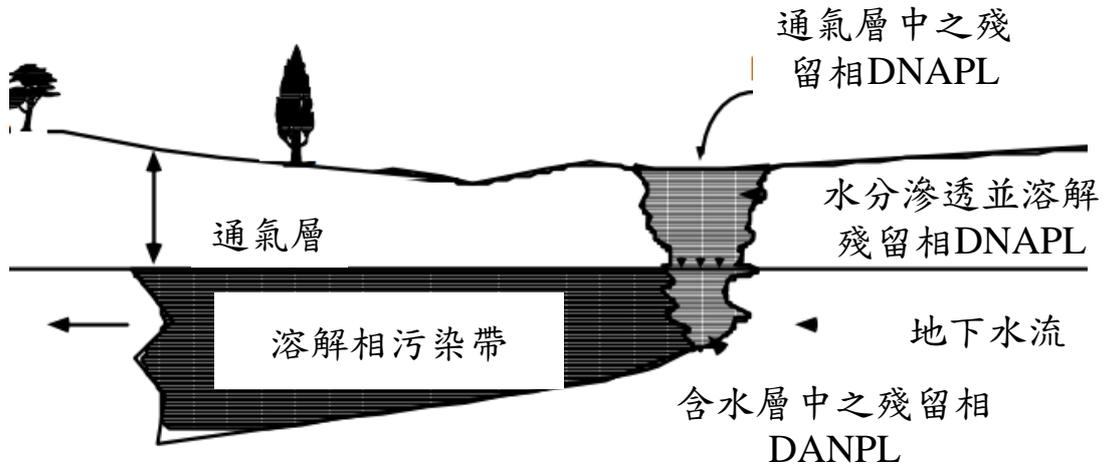
(四)狀況四：混合型場址

如圖 2.1-7 所示，DNAPL 垂直向下移動穿過通氣層及第一含水層，在第一含水層中形成污染帶。DNAPL 移動至第一含水層底部之黏土層上形成 DNAPL 池，由裂縫中繼續向下移動至第二含水層，並於第二含水層中形成 DNAPL 池和污染帶。當 DNAPL 滲入岩石或黏土層的裂縫當中。由於裂縫系統的異質性和缺乏經濟有效之調查技術，裂縫的數量、密度、大小和方向等特性往往無法量測推估，也造成評估裂縫系統中之 DNAPL 量及分布相當困難。然而與未固結地層中之 DNAPL 量比較，岩石或黏土層之裂縫中所含之 DNAPL 量較少。



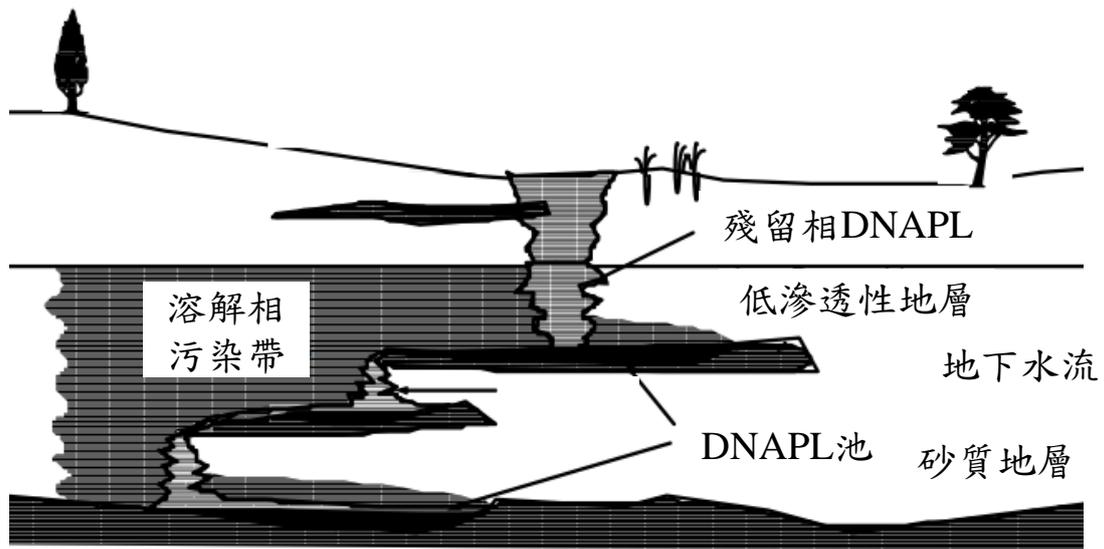
資料來源：Waterloo Centre for Centre for Groundwater Research, 1989.

圖 2.1-4DNAPL 洩漏至不飽和層圖



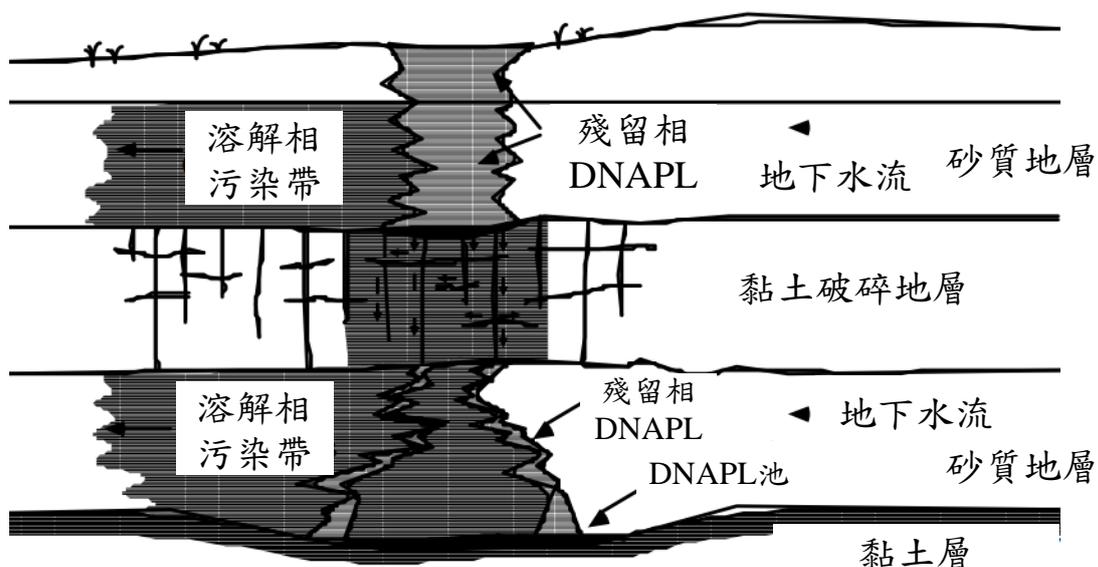
資料來源： Waterloo Centre for Centre for Groundwater Research, 1989.

圖 2.1-5 DNAPL 洩漏至至通氣層及飽和層圖



資料來源： Waterloo Centre for Centre for Groundwater Research, 1989.

圖 2.1-6 DNAPL 污染在低滲透地層中形成 DNAPL 池圖



資料來源：Waterloo Centre for Centre for Groundwater Research, 1989.

圖 2.1-7 混合性 DNAPL 污染場址圖

## 2.2 執行注意事項

執行場址環境評估時，主要工作為資料審閱、現場勘查及人員訪談，應執行工作之原則請參照本署出版之「土壤及地下水污染調查作業參考指引總則」。由於 DNAPL 污染為地表之不可見的，因此，需在事前資料蒐集審閱及人員訪談時，深入了解場址是否存在污染潛勢。本節將人員訪談問卷彙整如表 2.2-1，利用所有權人或管理人及員工的回覆差異性，提供調查評估人員判定場址實際情況之參考。

為協助 DNAPL 污染調查工作得順利進行，本章亦彙整在調查位置及調查深度規劃前，可能影響污染事實及現況描述的行為，提供調查評估人員參考，以提高調查結果的正確性。

### 一、 監測井內添加藥劑

在監測井中可能被添加生物藥劑或化學氧化劑以分解有機污染物，極可能導致調查結果失真的情況發生。然而，生物藥劑多元且均為商業性產品，因此建議應回歸該產品之特性加以評估。化學氧化劑包括：過氧化氫、

過錳酸鹽、過硫酸鹽、臭氧等，添加這些化學氧化劑後，共同之場址特性為氧化還原電位(Oxidation-Reduction Potential, ORP)值異常升高，經常可達 200mV 以上；同時溶氧也會升高，可能達到 8 mg/L 以上，也就是呈現過飽和狀態。若添加量濃度高、量多、且注射時間短，則地下水溫度也可能會上升。上述檢測項目皆是進行地下水採樣前，所需量測之基本水質參數。因此，調查人員於現場採樣調查時，應優先注意監測井是否有上述情形。

採用添加化學氧化劑的方法，其有效影響圈半徑通常不大(數公尺內)，僅可能在注射井附近達到污染物降解之功效。因此調查人員進行現場採樣調查過程中，發現監測井內有上述異常現象，應需詢問場址工作人員，瞭解其作業過程，並可於該監測井周邊之影響圈外進行初步篩試調查。

## 二、 進行土壤間隙抽除處理

土壤間隙蒸汽抽除法(Soil Vapor Extraction, SVE)是國內外最為普遍之整治系統，幾乎在有揮發性有機物污染之場址，皆有土壤間隙蒸汽抽除法在運作，如果在 SVE 抽氣井附近進行土壤氣體採樣，測值會受到影響。但若場址內土壤內殘存 DNAPL，事實上欲以 SVE 清除這些污染物是相當困難的，因此可採行下列因應措施：

- (一)調查工作執行前三天，將 SVE 先關機。
- (二)若欲進行土壤氣體採樣或薄膜界面感測器(Membrane Interface Probe, MIP)監測，盡量在 SVE 影響圈半徑外(土壤若為砂質砂，SVE 影響圈半徑大約在 4~8m；細砂之 SVE 影響圈半徑可能在 10m 以上)。但若薄膜界面感測器之監測位置是在地下水水面以下，則不至受到太大影響。
- (三)進行土壤採樣或是充脹式襯管地下污染偵測技術，查證現場是否有 DNAPL 存在。

## 三、 地下水抽出處理

地下水抽出處理法(Pump and Treat)是國內業者遇到場址地下水污染問題，所常採用的處理方式。然而事實上針對 DNAPL 污染問題，抽除處理僅能在抽水井附近及短時間內有效，停止抽水後地下水中污染物濃度又會

回升，因此針對地下水抽出處理之因應措施為：

- (一)調查工作執行前一週，先停止抽水動作。
- (二)在現有監測井採樣時，盡量在監測井底部採樣。因為現有監測井之井篩長度可能過長，需避免採集到監測井內之混合水樣，造成水樣之稀釋。
- (三)進行污染地下偵測技術，查證現場是否有 DNAPL 存在。

完成場址是否存在 DNAPL 污染之場址環境評估後，評估調查人員應根據調查結果，建置 DNAPL 污染物概念模型(Site conceptual model, SCM)。於模型中描繪其污染物的傳輸與對周遭環境的影響，包含空間上的工廠內部與周界環境，及時間上則過往歷史與現況說明。透過文字使用或表單等具體說明各項資料，以供為後續調查規劃之決策參考。在建立一場址概念模型。場址概念模型之建立方式與所需蒐集之資訊可參考本署發表之「土壤及地下水污染調查作業參考指引總則」所述之場址概念模型原理與內容，繪製該場址之初步概念模型。

**表 2.2-1 DNAPL 污染調查訪談問卷**

場址名稱： \_\_\_\_\_ 調查人員： \_\_\_\_\_  
 場址地址： \_\_\_\_\_  
 土地使用人或管理人： \_\_\_\_\_ 受訪員工： \_\_\_\_\_

問題		土地使用人或管理人	員工	現場勘查
1.1	此場址是否為工業用？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
1.2	場址毗鄰地區是否為工業使用？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
2.1	是否有任何證據顯示此場址先前曾做為工業使用？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
2.2	是否有任何證據顯示此場址毗鄰地區為工業使用？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
3.1	此場址是否作為加油站、汽車修護廠、商業印刷廠、乾洗廠、照相沖印廠、廢棄物堆積場、掩埋場、廢棄物處理、儲存、置放、回收處理廠？（如果有，請說明之）	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
3.2	此場址毗鄰地區是否作為加油	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否

問題		土地使用人或管理人	員工	現場勘查
	站、汽車修護廠、商業印刷廠、乾洗廠、照相沖印廠、廢棄物堆積場、掩埋場、廢棄物處理、儲存、置放、回收處理廠？（如果有，請說明之）	<input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 不知道	
4.1	是否有任何證據顯示此場址曾經作為加油站、汽車修護廠、商業印刷廠、乾洗廠、照相沖印廠、廢棄物堆積場、掩埋場、廢棄物處理、儲存、置放、回收處理廠？（如果有，請說明之）	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
4.2	是否有任何證據顯示此場址毗鄰地區曾經作為加油站、汽車修護廠、商業印刷廠、乾洗廠、照相沖印廠、廢棄物堆積場、掩埋場、廢棄物處理、儲存、置放、回收處理廠？（如果有，請說明之）	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
5.1	是否現有任何車用或工業用廢電池，存放於5加侖或50加侖桶內之農藥、油漆或其他化學物質，因儲存、置放或使用造成危害或洩漏？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
5.2	是否有任何證據顯示此場址曾經有車用或工業用廢電池，存放於5加侖或50加侖桶內之農藥、油漆或其他化學物質，因儲存、置放或使用造成危害或洩漏？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
6.1	是否現有任何工業用桶槽、太空包放置於場址內？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
6.2	是否有任何證據顯示此場址曾有工業用桶槽、太空包放置於場址內？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
7.1	是否有任何證據顯示此場址曾經有來自污染場址的回填土？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
7.2	是否有任何證據顯示此場址曾經有不知來源的回填土？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
8.1	是否有任何作為廢棄物處理、處置的坑孔、水塘或污水塘？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
8.2	是否有任何證據顯示此場址曾經有作為廢棄物處理、處置的坑孔、水塘或污水塘？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
9.1	場址內是否有可疑的受污染土壤？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
9.2	是否有任何證據顯示此場址曾	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否

問題		土地使用人或管理人	員工	現場勘查
	經有可疑的受污染土壤？	<input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 不知道	
10.1	此場址內是否有任何已申報或未申報之地上或地下儲槽？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
10.2	是否有任何證據顯示此場址內曾經有任何已申報或未申報之地上或地下儲槽？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
11.1	場址內是否有任何排氣管、排放管或其他通路由地下突出？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
11.2	是否有任何證據顯示此場址內有任何排氣管、排放管或其他通路由地下突出？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
12.1	場址內是否有任何雨水溝渠、廢水排放溝渠或井，遭受物質污染或有異味？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
12.2	是否有任何證據顯示此場址曾經有任何雨水溝渠、廢水排放溝渠或井，遭受物質污染或有異味？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
13.1	如果場址內使用私設井或非公共給水系統，是否有任何證據顯示，此場址用水水質曾經超出用水標準？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
13.2	如果場址內使用私設井或非公共給水系統，是否有任何證據顯示，此場址之用水被政府機關認定遭受污染？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
14	土地所有人、使用人或管理人是是否知悉場址內曾經被環保主管機關稽查且違反環保法規之情形？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
15.1	土地所有人、使用人或管理人是是否被告知場址內過去曾經存在有害物質或石油製品？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
15.2	土地所有人、使用人或管理人是是否被告知場址內最近存在有害物質或石油製品？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
15.3	土地所有人、使用人或管理人是是否被告知場址內曾經被環保主管機關稽查且違反環保法規之情形？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
15.4	土地所有人、使用人或管理人是是否被告知場址內最近被環保主管機關稽查且違反環保法規之情形？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否

問題		土地使用人或管理人	員工	現場勘查
16	該場址之所有權人或使用人是否知悉，任何關於該場址或場所的「環境場址評估」，顯示有害物質存在該場址之上或造成其污染，並且建議該場址進行更進一步的評估？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
17	該場址之所有權人或使用人是否知悉，因為任何該場址之所有權人或使用人的作為，造成有害物質之洩漏或似將洩漏，因而致使該場址涉及任何過去的、似將發生的或未決的法律糾紛或行政訴訟？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
18	該場址是否有將廢水（不包括馬桶衛浴等衛生廢水或洪水）排放至其上或附近，以及 / 或排進疏洪系統？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
19	您是否曾看見任何證據，或者就任何您以往的了解顯示，任何有害物質、未經確認的廢棄物質、輪胎、汽車或工業用電池，或是任何其他廢棄物質，曾於該場址之上遭傾倒、掩埋或燃燒？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
20	是否存在經任何記錄指示含有PCBs的變壓器、電容器，或任何液壓裝備？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否

## 第三章 污染調查規劃

不論為何種污染物質之調查，進行現場調查規劃時不外乎採樣點位的位置、深度與採樣、分析方法的選擇。經場址環境評估階段之背景資料蒐集，調查評估人員可根據已知的場址基本資料，包括周界環境、地質、土地利用、工廠運作、廢棄物處理與排放、水文地質等，以及污染物的特性、範圍、釋放歷程等，建立場址概念模型。根據此初步場址概念模型進行污染調查規劃，內容至少包括土壤及地下水採樣佈點及規劃、水文地質特性調查以修正 CSM、調查及採樣分析方法及品保品管，並根據此調查結果進行污染範圍及體積推估，作為污染情況的描述。

場址污染調查規劃視其目的採樣的數量與佈點原則有些許差異，一般而言可分為兩種目的，一種為污染情形之確認，一種為污染程度與範圍之劃定。針對第一種調查目的，採樣點位通常較少，且佈設之位置乃依具第一階段之場址背景調查資訊，選取污染潛勢最高之區域進行採樣；而第二種污染調查則是在確認場址的確有污染情形後，為了了解污染的嚴重程度與污染範圍，將進行較大範圍的補充調查，此階段之採樣目的為了解污染物之垂直污染深度與水平分布範圍，故採樣時需確認污染範圍邊界，不論是採樣深度或是佈點位置都需達污染範圍邊界，因此採樣深度會更深；佈點範圍會更廣。本章茲參考「土壤及地下水污染調查作業參考指引總則」所述一般性原則，說明 DNAPL 污染調查位置及深度的規劃。

欲獲得完整之細部調查成果可能很困難，甚至不切實際。既使在相當均質之地層中，DNAPL 之分布也可能因細微之質地改變、毛細壓力變化、黏滯性變化等因子，而有相當大之差異。以下列舉幾項調查上常見挑戰。

### 一、 破碎地層

在破碎地層中 DNAPL 污染調查特別困難。因地層裂縫相當不均勻，使 DNAPL 之分布往往相當廣而深，但每立方公尺地層中之 DNAPL 量卻又不多。在場址調查中沒有直接觀察到 DNAPL，並非表示 DNAPL 不存在。若 DNAPL 洩漏量越低，則小尺度之地層不均質性影響也越高；反之，DNAPL 洩漏量高，則小尺度之地層不均質性影

響較低，故小尺度之地層特性調查可以省略。

## 二、 DNAPL 物質特性

DNAPL 物質之特性也有相當大之差異，含氯有機溶劑與雜酚油、煤焦油等之物理性差異很大，因此針對不同 DNAPL 物質，其調查或整治方案也將有所差異。因此，調查過程中，必須考量到促使 DNAPL 物質重新移動之可能性，特別是垂直方向的移動。並盡可能使用非侵入性、低風險之調查方法，例如各項地球物理方式，以降低造成 DNAPL 重新移動之風險。

### 3.1 調查位置

純相 DNAPL 污染物進入地下水層後，因其特性為比水重物質故不會浮於水面上，亦不隨地下水流動方向而擴散，而是向下移動到達含水層底部後，才開始有較大之平面移動。因此在剛開始進行污染場址調查工作時，欲確認 DNAPL 污染事實是相當困難的。然而 DNAPL 污染在向下移動之過程中，仍會持續溶解於地下水，並隨地下水流動方向而擴散，因此溶解相污染物之傳輸行為與油品類污染物較為類似，其調查評估經驗可參考游品類污染調查概念。

因此，本指引根據 Cohen & Mercer, Chapter 5, Chapter 7, 1993；ITRC, Chapter 3, 2003b 內容，摘錄於 DNAPL 污染調查採樣點規劃時，應注意原則說明如下。

- 一、 採樣前，盡量利用非侵入性調查方式，如地球物理方法，瞭解場址地層分布，並依據地層分布之研判結果，事先評估 DNAPL 污染物之可能傳輸路徑。然而，調查初期可能尚未得知場址內最初 DNAPL 污染源位置，因此需要進行多方假設可能位置及分布範圍，再由調查工作中證實修正之。
- 二、 欲獲得完整之細部調查成果可能很困難，甚至不切實際。因此每次調查前應設定可行之調查目標，例如：證實推估之溶解相污染帶範圍、標定 DNAPL 區之大略位置等。
- 三、 調查時，應採行由外而內之原則。先在無 DNAPL 物質之區域進行

採樣，再逐漸縮至 DNAPL 區之外圍。

四、無絕對必要時，應避免在 DNAPL 區內進行調查，減少污染擴散的機會。

若執行污染調查過程中受限於經費時，可省略似無污染區及低污染潛勢區，而著重於高污染潛勢區之調查，或參考過去歷史調查結果進行調查規劃。建議在場址內進行三口以上之地下水採樣，此三口井之分布以三角形為原則，並量測鑽孔內水位之相對高程，作為研判場址內之地下水流向之初步參考資料，並調整場址環境評估所建立之初步概念模型。為掌握高污染潛勢區之污染情形，建議至少兩處地下水採樣點設於高污染潛勢區內，如圖 3.1-1 所示。

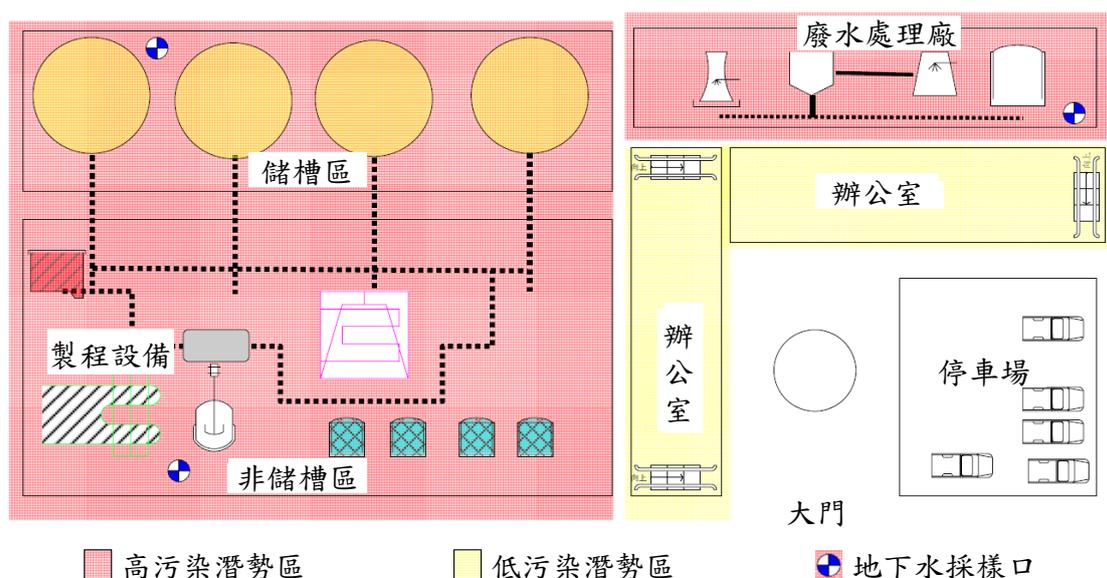
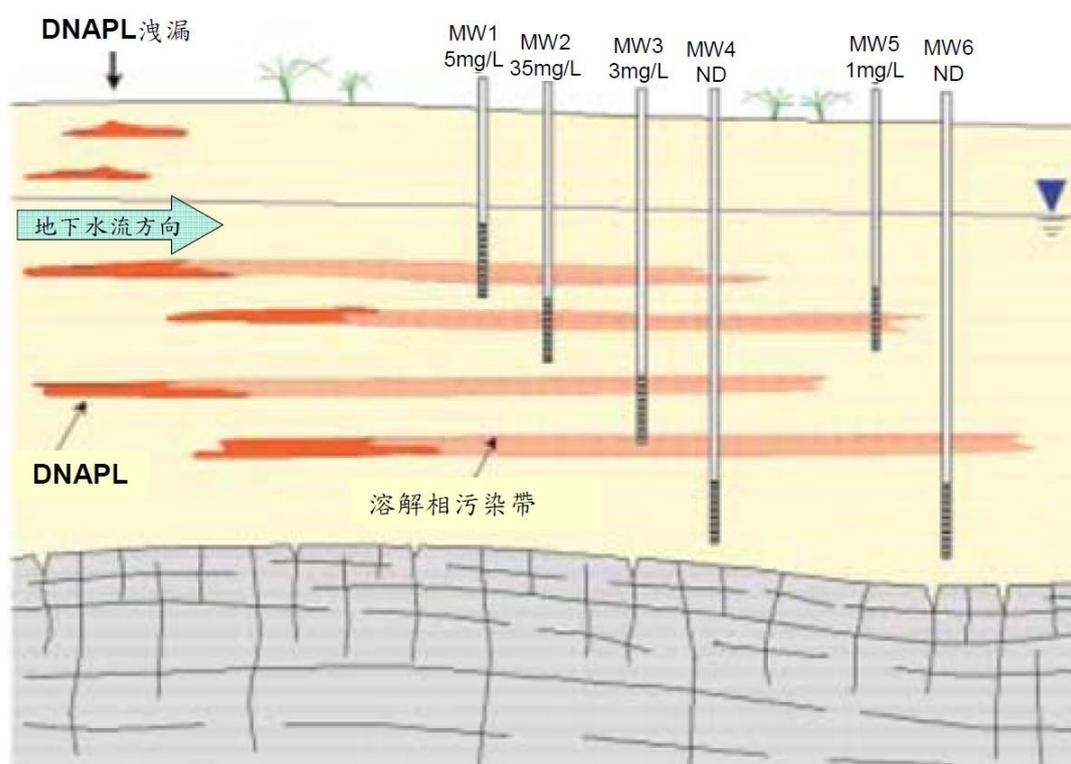


圖 3.1-1 DNAPL 污染地下水採樣點位範例

### 3.2 調查深度

DNAPL 污染場址由於污染物傳輸特性，污染物分布往往並不均勻，造成污染調查時的最大困擾。以圖 3.2-1 為例，DNAPL 污染在上游洩漏後，由於重力關係而向下移動，遇到透水性較差之夾層會產生局部累積，到達一定體積後又繼續向下移動，至下一個夾層，在同一含水層中可能會形成數個局部之 DNAPL 池這些 DNAPL 池會釋放溶解相污染物，造成地下水

中溶解相濃度增加，且越接近 DNAPL 池之濃度越高。這將產生許多困擾，進行污染範圍評估時可能造成誤解。在圖 3.2-1 中，最左側之監測井 MW1 測得濃度為 5mg/L，但在其下游之 MW2 卻測得 35mg/L，僅因為 MW2 較接近 DNAPL 池；更下游之 MW3 為 3mg/L、MW4 為 ND、MW5 又升高為 1mg/L、MW6 再度降為 ND。調查評估人員獲得這些調查數據後，可能會覺得非常困擾，下游之濃度未必較低，而較深地層之濃度也未必較高，欲判斷 DNAPL 在何處、多少深度，成為相當棘手的工作。



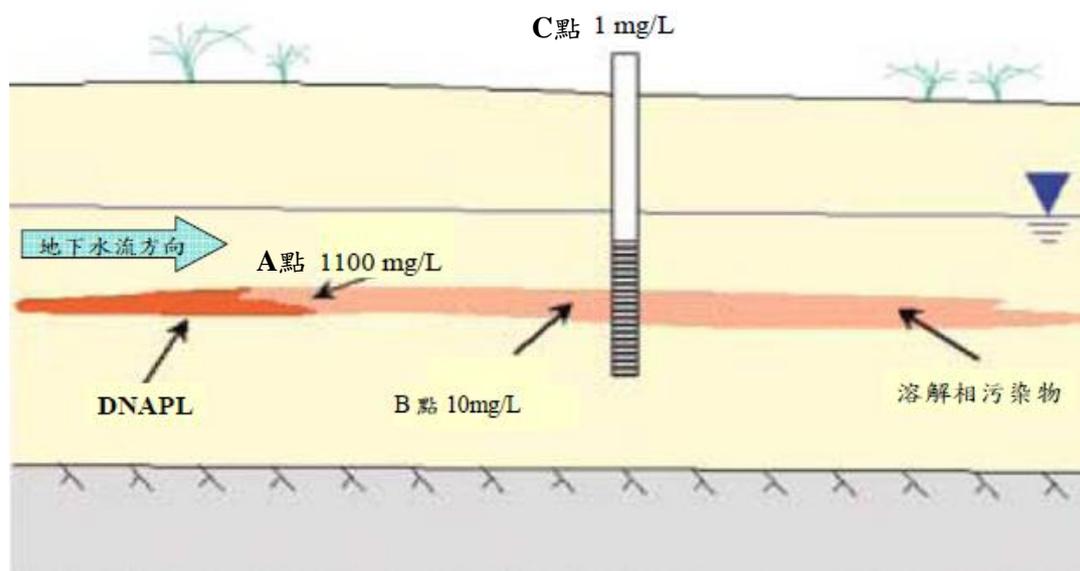
資料來源：UK Environment Agent, An Illustrated Handbook of DNAPL Transport and Fate in the Subsurface, Section 4, 2003

圖 3.2-1 監測井設置深度與 DNAPL 污染物濃度關係圖

然而這種紊亂的濃度分布至少代表了含水層中有多處 DNAPL 池存在，在查證階段並不需要一一查明其位置。環保人員在查證階段之首要工作是確認場址內是否有污染存在，且其濃度是否超過土壤或地下水管制標準。然而，若進行地下水採樣所用監測井之井篩長度若過長如圖 3.2-2，則所採得之水樣可能被稀釋。圖中在 TCE 之 DNAPL 池附近之地下水 TCE 溶解相濃度接近飽和溶解度，A 點為 1100 mg/L；到地下水監測井 B 點附近降

為 10 mg/L；由於監測井篩過長，經過洗井後污染物被稀釋，所採得 C 點之地下水濃度可能僅有 1 mg/L。則調查評估人員可能因此而誤判，認為地下水中 TCE 濃度未達飽和溶解度之 1%，故無 DNAPL 存在，造成未來整治工程之困擾及延誤。

從上述說明也可瞭解，井篩較長（超過 3m）之監測井所測得之污染物可能被稀釋過。故此種監測井測得 TCE 測值為 1 mg/L 時，地下水中實際濃度可能已超過數倍，也間接顯示地下水層中可能有 DNAPL 存在。但若監測井篩過長，由於監測井周圍之回填砂孔隙較大，毛細作用較小，使得監測井附近之殘餘 DNAPL 重新開始移動，可能造成 DNAPL 流入井內，且向下沉降造成更深處含水層之污染。



資料來源：UK Environment Agent, An Illustrated Handbook of DNAPL Transport and Fate in the Subsurface, Section 4, 2003

圖 3.2-2 監測井開篩長度與 DNAPL 污染物濃度關係圖

綜合上述之監測井設置及開篩長度討論，針對土壤及地下水採樣深度規劃原則彙整如表 3.2-1。為了有效提昇調查工作的執行成效，於調查深度規劃時，應留意一般性原則說明如下：

表 3.2-1DNAPL 土壤及地下水採樣深度規劃原則

項目	調查深度規劃原則
土壤採樣	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 先進行非擾動連續性採樣方式進行土壤鑽探，研判土壤質地，並以PID 進行土壤氣體之篩試，土壤氣體濃度較高之樣品進行實驗室分析，可環檢所公告之「土壤採樣方法(NIEA S103.64B)」之規範進行。</li> <li>• 若PID 無法篩試出污染樣品，或各段土樣之PID 濃度近似，則建議在地下水面上方之土壤進行採樣。</li> <li>• 若場址之潛在污染物為 PCB、雜酚油、煤焦油等低揮發性之有機物，火焰離子偵測器(PhotoIonization Detector, PID)無法篩試出污染樣品，亦則建議在地下水面上方之土壤進行採樣。</li> <li>• 若場址之潛在污染物為揮發性之含氯有機物，亦可採用即時檢測技術，如薄膜界面感測器，量測地層中之揮發性有機氣體濃度，掌握較高濃度之深度位置後，使用直接貫入法在該深度採取土壤樣品。</li> <li>• 若地層屬於卵礫石層，使用直接貫入法無法採得土樣時，雖使用氣循環鑽機(Air Rotary)配合劈管可採得土樣，但樣品已被嚴重干擾，樣品測值超過管制標準之機率也不高，且有鑽孔有上下交互污染的風險，因此不建議進行採樣。</li> </ul>
地下水採樣	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 由於 DNAPL 的位置在含水層的各深度都有可能，建議先以薄膜界面感測器，量測地層中之揮發性有機氣體濃度，掌握較高濃度之深度位置後，使用直接貫入法在該深度採取即時(real time)之地下水樣品。</li> <li>• 若需進行標準水質監測井之設置時，亦建議先以薄膜界面感測器(MIP)，量測地層中之揮發性有機氣體濃度，掌握較高濃度之深度位置後，在該深度設置井篩，且井篩長度建議少於3m。</li> <li>• 若地層屬於卵礫石層，無法使用直接貫入式鑽機、中空螺旋鑽機時，可採用鑽堡(Air Rotary)進行地下水監測井設置，設置位置在地下水含水層之底部，且開篩長度少於3m為原則。</li> </ul>

一、可採用現場快速調查技術，如 MIP 感測、地球物理方法調查資料等，在瞭解場址中阻水層位置及厚度、低滲透性薄層凸狀體之可能位置及深度後，再依此規劃採樣深度。

(一)如 MIP 土壤導電度感測顯示存在低滲透性土壤，且位於地下水面上，於低滲透性土層上方進行地下水採樣。

(二)若 MIP 污染物讀值偏高之深度進行採樣，若為高讀值處位於通氣層中，進行土壤採樣。若高讀值處位於含水層中，則進行地下水採樣。

二、雖可利用現場快速調查技術，進行調查深度的規劃，但是考量到目前我國針對地下水樣品的分析數據，僅認可由標準地下水監測井所

取得樣品。故若採樣所得之分析數據將作為法規判定污染之用，則仍須依照政府公告之採樣方式進行。

- 三、 若地層屬於卵礫石層，查證階段時無法使用直接貫入式鑽機及 MIP、中空螺旋鑽機時，可採用鑽堡進行地下水監測井設置，設置位置在地下水含水層之底部，且開篩長度少於 3m 為原則。
- 四、 疑似為高污染潛勢區，可於該深度之上方及下方適當深度處，再進行採樣分析，以釐清污染物之剖面分布。

## 第四章 調查結果評估

在 DNAPL 污染調查過程中，除需評估溶解相污染範圍，然而其物理性之比水重、及化學性之疏水性，故污染物在地層深處流竄，而難以掌握，造成整治工作相當大之困擾。除需確實污染範圍及位置，尚須掌握污染團之位置，但同時又需盡量減少高污染區之採樣數量，因此往往面臨抉擇之困難。故此時可依照由外而內之準則，由溶解相污染邊界處，向高污染區縮小，當地下水採樣濃度達到污染物飽和溶解度之 1%，即表示該處附近可能有 DNAPL 污染存在，若無進一步需要，該處調查工作即可暫時告一段落。

根據現場土壤及地下水調查規劃與執行之結果，應進行污染調查結果的說明，並作為污染範圍及體積劃定的基本資訊。本章將調查結果評估分為兩大部份，前半段為說明污染事實的確認，後半段則說明階段性描述污染嚴重程度的調查結果評估，從一維的調查位置描述水平面污染範圍推估，再說明二維的深度調查結果闡述，最後則探討當欲以三維空間說明污染現況之可用方式及相關模擬軟體。

### 一、 污染事實的研判

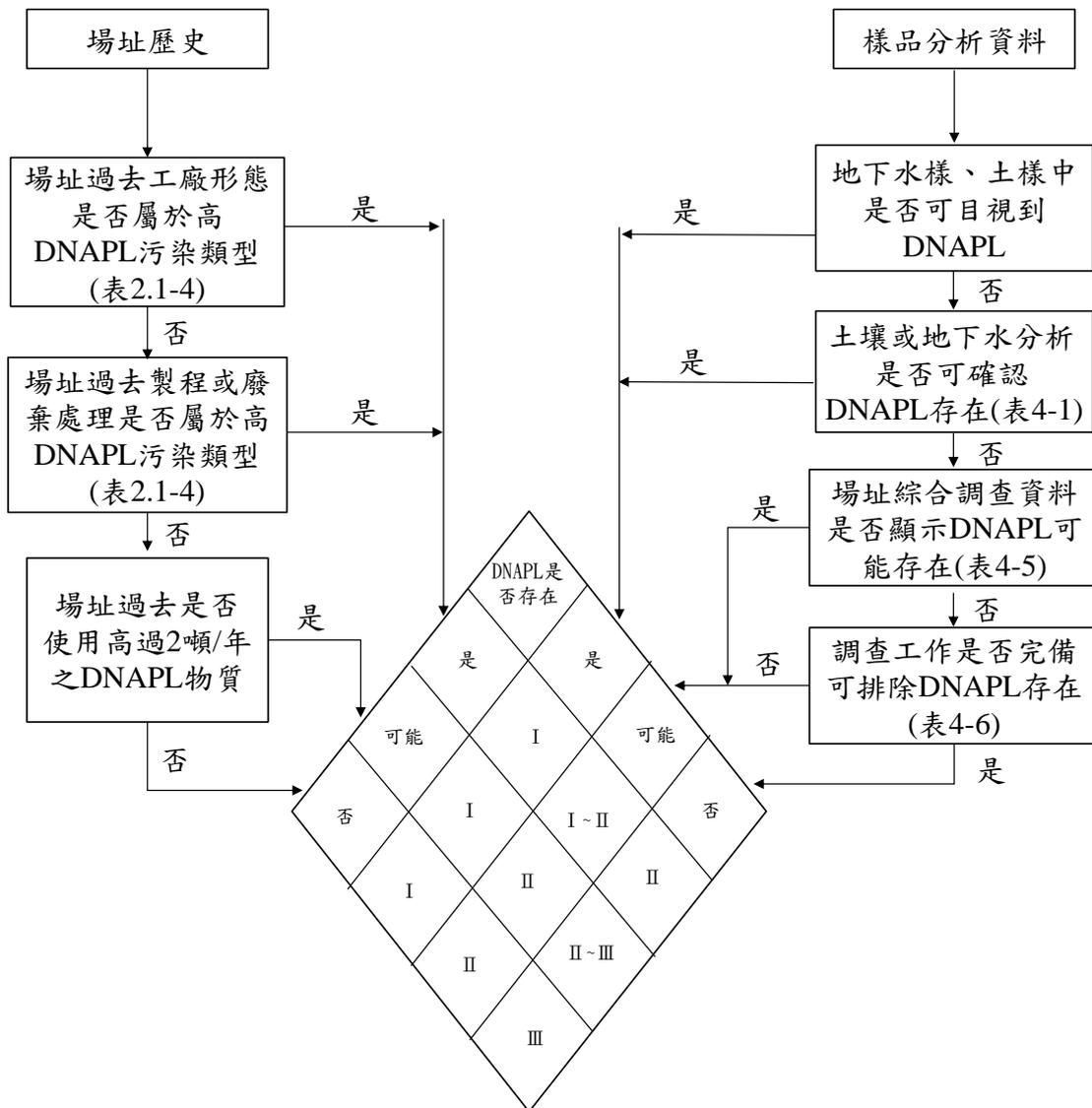
面對 DNAPL 污染場址，往往難以判定 DNAPL 是否確實存在於場址中，更遑論確定 DNAPL 之位置。故 Cohen et al. (1993)發展一套準則，依據場址調查資料，判定場址中是否有 DNAPL 存在。如圖 4-1 所示，可分別由「場址歷史資料」及「樣品分析資料」兩大類著手進行。

#### (一)場址歷史資料審閱

圖 4-1 左側為場址歷史資料方面，首先應先瞭解場址過去之工廠型態是否屬於 DNAPL 高污染類型；若為否，再瞭解場址過去之製程或廢棄物處理是否屬於高 DNAPL 污染類型(可以參考表 2.1.4-1 可能使用 DNAPL 之工業及製程)；若又為否，再瞭解場址過去是否曾使用超過 2 噸/年以上之 DNAPL 物質。

(二) 樣品分析資料

圖 4-1 右側之為樣品分析資料之評析，首先需評估地下水監測井及土壤中是否可目視到 DNAPL 物質。表 4-1 可作為辨識樣品中是否存在 DNAPL 之準則，可供現場工作人員判斷場址內是否存在 DNAPL。但通常在水樣或土樣中很難目視發現 DNAPL 之存在，因此往往需要借重樣品分析、學理推估等方式研判 DNAPL 存在之可能性。



資料來源：Cohen et al. (1993)

圖 4-1 DNAPL 污染研判流程圖

依照圖 4-1 之流程，若無法在地下水樣或土樣中直接發現 DNAPL，但並不代表地層無 DNAPL，因為 DNAPL 在地層中之分布往往呈現不規則狀且不連續。事實上欲直接由地下水樣或土樣中發現 DNAPL，其機率猶如大海撈針，可遇而不可求，這也是 DNAPL 污染場址調查之困難所在。因此需再依據土壤或地下水分析數據，進一步評估地層中 DNAPL 是否存在，其判別依據可參考表 4-2。

即使在已知有 DNAPL 存在的場址進行採樣，地下水中污染物濃度通常也都在 DNAPL 溶解度之 10% 以下，這是由於地下水流擴散、地層不均質性、監測井構造干擾、DNAPL 組成物質複雜等因素所造成。通常若地下水中污染物濃度，超過該物質之有效溶解度之 1%。則該場址即非常可能存在 DNAPL。表 4-3 說明如何計算污染物之有效溶解度，並可與污染物實測濃度比較，進而評估場址內是否有 DNAPL 存在。

**表 4-1 目視判斷樣品中 DNAPL 存在之準則**

判定準則		
現場地下水樣品之目視	使用儀器	土壤樣品之目視
<ul style="list-style-type: none"> <li>在監測井中使用油水界面偵測器<sup>1)</sup></li> <li>由監測井底層抽水，再檢視水樣是否有分層現象<sup>1)</sup></li> <li>使用透明貝勒管 (bailer) 在監測井底層採樣，由貝勒管檢視水樣是否有分層現象<sup>1)</sup></li> <li>於鑽孔中設置充脹式襯管，藉由襯管之染色效果判斷 DNAPL 是否存在<sup>2)</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>使用離心機輔助，判斷是否有分層現象<sup>1)</sup></li> <li>添加疏水性之染色劑，如 red oil 於水樣，辨別是否有 DNAPL 溶解染色劑<sup>1)</sup></li> <li>使用螢光燈管檢視樣品 (許多 DNAPL 會發射螢光)<sup>1)</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>使用螢光燈管檢視樣品<sup>1)</sup></li> <li>添加疏水性之 red oil 及水份於土樣，搖晃後辨別土樣中是否有 DNAPL 溶解染色劑<sup>1)</sup></li> <li>使用離心機輔助，將土樣與水份分離，再判斷是否有分層現象<sup>1)</sup></li> </ul>

資料來源

1. Cohen & Mercer, DNAPL Site Evaluation, Chapter 7, 1993
2. Carl Keller, Locating DNAPLs with Flexible Liner, Flexible Liner Underground Technologies, Inc., 2007

表 4-2 樣品分析數據判斷 DNAPL 存在之準則

項次	判定準則
1	地下水中污染物濃度，超過該物質之有效溶解度之1%。(有效溶解度計算方式參見表4-4)
2	土壤中污染物濃度超過10,000 mg/kg，也就是超過1%之土壤質量。
3	使用土壤濃度計算地下水中之分配濃度 $C_w$ ，若 $C_w$ 大於有效溶解度，代表 DNAPL 可能存在。( $C_w$ 計算方式參見表4-5)
4	土壤氣體樣品中之污染物濃度超過100 ~ 1000ppm。

資料來源：Cohen & Mercer, DNAPL Site Evaluation, Chapter 7, 1993

表 4-3 水中污染物之有效溶解度計算方式

本表係延續表4-2之第一項，以地下水樣品分析數據判斷DNAPL 存在與否。若地下水中之污染物僅有一種，則該污染物之純相溶解度可直接用於評估DNAPL 存在與否之依據。	
原理	<p>但若水中有多种污染物，則個別污染物之有效溶解度將會降低，其計算方式為：<math>S_i^e = X_i S_i</math></p> <p>其中</p> <p><math>S_i^e</math>：污染物<i>i</i>之有效溶解度（污染物在水中之溶解相之濃度上限值，單位為mg/L）</p> <p><math>X_i</math>：該污染物<i>i</i>在全部DNAPL 混雜物之莫耳分率（由實驗室分析或歷史資料而得）</p> <p><math>S_i</math>：該污染物<i>i</i> 在純相時，於水中之溶解度（查詢污染物之化學資料）</p>
範例	<p>假設某場址之樣品分析顯示TCE 在眾多污染物中之莫耳分率為0.2，且查詢參考文獻得知TCE 之純相溶解度為1100 mg/L，則TCE 之有效溶解度為：</p> $S_i^e = 1100 \frac{mg}{L} \times 0.2 = 220 \frac{mg}{L}$ <p>若該場址地下水中TCE 濃度超過 <math>220 \frac{mg}{L} \times 1\% = 2.2 \frac{mg}{L}</math>，即顯示該場址內有TCE 之DNAPL 存在。</p>
注意事項	<p>若DNAPL 混雜物中含有高量之低水溶性物質（如長鍊烷類），則其他污染物之有效溶解度會大幅降低，使地下水中污染物濃度降低，而該低水溶性物質在水中之濃度也可能極低。因此若僅</p>

資料來源：Cohen & Mercer, DNAPL Site Evaluation, Chapter 7, 1993

但在計算污染物有效溶解度時，需先有 DNAPL 混合物之組成資料，事實上在許多場址是無法取得相關資料。故 UK Environment Agent (2003)提出另一替代方式，如式 4- 1 所示，將地下水中各污染物濃度除以該污染物之純相溶解度，再予以累加。累加數值若大於 0.01，表示場址內有 DNAPL 存在。

$$\sum \frac{C_i^{obs}}{S_i} = a \tag{式 4- 1}$$

$C_i^{obs}$ ：污染物*i*在地下水中之濃度

$S_i$ ：污染物*i*之純相溶解度

如表 4- 4 所示，場址內地下水共偵測出五種污染物，其中 toluene 並非屬於 DNAPL 物質，但依然可按式 4- 1 進行計算。雖然五種污染物之個別  $C_i^{obs} / S_i$  比皆小於 0.01，但總和為 0.034，仍高於 0.01，故該場址內極有可能存在 DNAPL 之混雜物。

**表 4- 4 計算地下水中濃度推估 DNAPL 是否存在之範例**

污染物	地下水中濃度 <i>mg/L</i>	純相溶解度 $S_i$ <i>mg/L</i>	$\frac{C_i^{obs}}{S_i}$
三氯乙烯 trichloroethene	4.4	1100	0.004
四氯乙烯 tetrachloroethene	1.8	200	0.009
甲苯 toluene	3.5	500	0.007
氯苯 chlorobenzene	4.00E+00	5.00E+02	8.00E-03
三氯甲烷 trichloromethane	48	8000	0.006
$\sum \frac{C_i^{obs}}{S_i}$			0.034

資料來源：UK Environment Agent, An Illustrated Handbook of DNAPL Transport and Fate in the Subsurface, Section 7, 2003

然而既使地下水污染物濃度未超過有效溶解度之 1%，也不能排除 DNAPL 存在之可能性。若依據表 4- 2 之準則、或是上述 UK EnvironmentAgent 之計算方式，經由土壤或地下水分析數據評估、或利用表 4- 5 土壤濃度評估，仍無法確認場址內有 DNAPL 存在，則需進行下一步之評估，將依據以下準則，藉由分析場址水文地質及污染特性，評估 DNAPL 是否可能存在。

- (一)地層深度增加，污染物濃度也隨著增加。顯示有 DNAPL 向下移動，而無法單純以溶解相污染物傳輸擴散解釋之。
- (二)地下水中污染物濃度變化趨勢與地下水力梯度不一致，甚至可能上游濃度較高。這是由於 DNAPL 會隨著含水層底部地形移動，土壤局部質地變化也不會與水力梯度變化一致，導致 DANPL 移動時不見得隨水流方向移動。
- (三)場址內地下水污染物濃度分布混亂，缺乏規律性。這是由於 DNAPL 移動會隨土壤細微之質地變化，而產生不規律性之移動，導致溶解於水中之污染物濃度也呈現局部之偏高現象。
- (四)在監測井內地下水位上方之揮發性氣體濃度偏高。由於多數含氯有機溶劑屬於 DNAPL 具有揮發性，且比重較空氣為重，因此會在監測井內深處，也就是地下水位上方附近累積，導致揮發性氣體濃度偏高。
- (五)地下水中污染物濃度隨地下水抽除動作而逐漸降低，但停止抽水後污染物濃度又立即上升。這是 DNAPL 持續釋放污染物的證據之一，但並非可直接論斷有 DNAPL 存在。因為被土壤吸附之污染物、不均質地層中之溶解相污染物，也可能於停止抽水後，變更分布區域導致濃度再度上升。
- (六)水井或抽水幫浦之損壞腐蝕。因為含氯有機溶劑會分解 PVC，間接證明地下水中 DNAPL 之存在。

表 4-5 使用土壤濃度評估 DNAPL 存在與否之準則

本表係延續表 4-2 之第三項，以土壤樣品分析數據判斷DNAPL 存在與否。	
1	依據表4-3所述，計算有效溶解度 $S_i^e$
2	決定污染物之有機碳/水之分配係數(organic carbon-water partitioning coefficient, $K_{OC}$ )，可由參考文獻獲得。或是經由污染物之辛醇/水分配係數( $K_{ow}$ )計算而得，其經驗公式如下(Cohen et al., 1993)： $\log K_{OC} = 1.0 \times \log K_{ow} = 0.21$
3	由實驗室分析，決定土壤中有機碳含量(fraction of organic carbon, $f_{oc}$ )。一般土壤中 $f_{oc}$ 值在0.03 ~ 0.00017 之間，差異甚高。
4	由實驗室分析，決定土壤體積密度(bulk density, $\rho_b$ )，數值範圍一般在 $1.6 \sim 2.1 \text{ g/cm}^3$ 。同時藉由實驗室分析，決定水份所佔之孔隙率 (water filled porosity, $\theta_w$ )。
5	計算污染物在地下水與土壤之間分布係數(distribution coefficient, $K_d$ )，公式如下： $K_d = K_{OC} \times f_{OC}$
6	經由土壤實測濃度 $C_s$ (mg/kg)，計算地下水中之污染物分配濃度 $C_w$ ，單位為 mg/L。 $C_w = \frac{C_s \times \rho_b}{K_d \times \rho_b + \theta_w}$
7	若 $C_w$ 大於有效溶解度 $S_i^e$ ，則表示場址內可能有DNAPL 存在

若依據上述準則，仍無法證實場址內有 DNAPL 存在，則依圖 4-1 之右側流程，需再度檢視場址內之調查工作是否完備，如可符合之以下各種調查工作條件，方可論證場址內 DNAPL 存在之可能性較低。

- (一) 場址內有足夠數量之含水層底部之監測井。
- (二) 曾執行多層深度之土壤及地下水樣品採樣分析，且分析方法均依據本署頒布之標準分析方法。
- (三) 場址地質已進行完整之調查，可能之方法包括：土壤鑽探、圓錐貫入檢測器(conepenetrometer, CPT)、試驗性開挖坑、地球物理探測。
- (四) 在污染物洩漏處或污染源，已進行必要之調查及採樣工作。
- (五) 溶解相污染物之實測濃度與污染傳輸模擬之預測值類似，符合一般溶解相污染物傳輸之特性，並無額外污染源存在之跡象。

完成上述判定流程後，若研判可能存在 DNAPL 污染時，可將場址歸類為三種類型，分別為：確認或非常可能有 DNAPL 之場址(第 I 類型場址)、中度可能之場址(第 II 類型場址)、低度可能之場址(第 III 類型場址)，其定義、類型區分及注意事項，如表 4-6 所示。

表 4-6 場址受 DNAPL 污染之可能性分類

場址類型	注意事項
第 I 類型場址 確認或非常可能之場址	<ul style="list-style-type: none"> <li>此類場址周邊區域，越靠近場址則受到污染之風險越高。進行鑽探工作時，必須特別小心，避免產生新的通路使 DNAPL 污染擴散，尤其是垂直方向。鑽探過程中，若遇到低透水性土層、或發現 DNAPL，需立即停止鑽探。井篩長度不應超過 3m。井若需穿過已知之 DNAPL 區，則應設置雙套管或三套管井。由於 DNAPL 物質可穿過 <math>10^{-2} mm</math> 之裂縫，因此在設井過程中，應特別注意灌漿、井封等程序。</li> <li>需特別注意，在某些地質條件下，如破碎岩層中，現有鑽探技術無法避免 DNAPL 向下移動，即使採用雙套管或三套管也無法避免。</li> <li>在許多情形下，即使是屬於不透水層之細顆粒土壤（粉土、黏土）地層，DNAPL 仍可沿裂縫向下移動。因此在進行調查工作時，需以此作為前提假設，除非有證據顯示在該場址不會發生。但事實上，這種證據相當難取得。</li> <li>調查時，應採行由外而內之原則。先在無 DNAPL 物質之區域進行採樣，再逐漸縮至 DNAPL 區之外圍。若無必要，避免在 DNAPL 區內進行調查，以減少污染擴散之機會。</li> </ul>
第 II 類 中度可能之場址	<ul style="list-style-type: none"> <li>由於此類場址仍可能存在 DNAPL，因此第 I 類場址所需注意之事項，在此仍須考慮。但需要更多場址評估工作，以決定是否屬第 I 類場址。</li> </ul>
第 III 類 低度可能之場址	<ul style="list-style-type: none"> <li>在此類場址進行調查時，造成 DNAPL 污染擴散之可能性不高，因此較不需考慮上述所說之原則。但仍需注意其他污染物質，例如 LNAPL，是否會造成調查及整治工作之困擾。</li> </ul>

## 二、階段性描述污染程度

### (一)一維污染範圍推估

本章係利用「土壤及地下水污染調查作業參考指引」所述之地下水污染傳輸模式，進行水平污染範圍調查結果案例說明。現某場址在製程區內之地下水第一次調查作業中，地下水的採樣結果顯示 TCE 濃度達  $1.0 mg/L$ ，其調查位置及超標點位標示如圖 4-2。場址含水層之主要組成為卵礫石夾細砂、粉土，水力傳導係

數  $K$  值經由微水試驗測得為  $1\text{ m/day}$ ，水力坡降為  $0.003$ ，土壤容積比重  $\rho_b$  經由試驗室量測為  $1.7\text{ g/cm}^3$ 、有效孔隙率  $n$  為  $0.3$ 、有機碳含量  $f_{oc}$  為  $0.001$ ，而 TCE 之  $K_{oc}$  值可查表得知為  $126\text{ L/kg}$ 。在進行 DNAPL 污染範圍調查工作時，可利用式 4-2~式 4-5 推估污染範圍。推估結果顯示於約 20 年之洩漏時間內，溶解相污染物傳輸距離可能為 43 公尺。

$$K_d = K_{oc} \times f_{oc} = 126 \times 0.001 = 0.126\text{ L/kg} \quad \text{式 4-2}$$

$$R_f = 1 + \frac{\rho_b}{n} \times K_d = 1 + \frac{1.7}{0.3} \times 0.126 \cong 1.7 \quad \text{式 4-3}$$

$$v = \frac{K \times i}{n} \times \frac{1}{R} = \frac{1 \times 0.003}{0.3} \times \frac{1}{1.7} \cong 5.88 \times 10^{-3}\text{ m/day} \quad \text{式 4-4}$$

$$L = v \times t = 5.88 \times 10^{-3}\text{ m/day} \times 36\text{ day} \times 20\text{ year} \cong 43\text{ m} \quad \text{式 4-5}$$

因此調查單位可在查證工作時發現之高濃度處下游  $40\text{ m} \sim 50\text{ m}$  處進行採樣，同時在地下水流方向之兩側邊也佈設採樣點，以掌握溶解相污染物之範圍，如圖 4-3。同時為瞭解污染物是否已擴散至場址外，於場址周邊也應佈設採樣點。此外，亦可以電腦統計繪圖軟體進行污染範圍之繪製、並輔以專家經驗判斷，研判溶解相污染物之等濃度圖，如圖 4-4。在調查區域內土壤質地均質的條件下，可假設污染團呈現對稱之橢圓形，而 DNAPL 污染源位於橢圓之頂端，且依此假設規劃第三次調查之採樣點，分別位於研判之污染帶中心軸線兩側、中心軸線上下游，以釐清假設之污染範圍是否正確，並證實高污染區內是否有 DNAPL 存在。

第三次調查完成後，可依據調查成果重新繪製溶解相污染物之等濃度圖，如圖 4-5，而 DNAPL 污染區也可大致標示出。上述採樣步驟均為在假設場址土壤均質的條件下進行，至少是在採樣點規劃範圍內之區位為均質情形，各採樣點之數據具有空間相依之特性，才可順利達成調查目標。但在大多數場址，調查數據

卻相當凌亂，此時表示可能有多處 DNAPL 區存在，應分別以各高濃度區為一獨立調查單元，才可分別研判出各 DNAPL 區之位置。

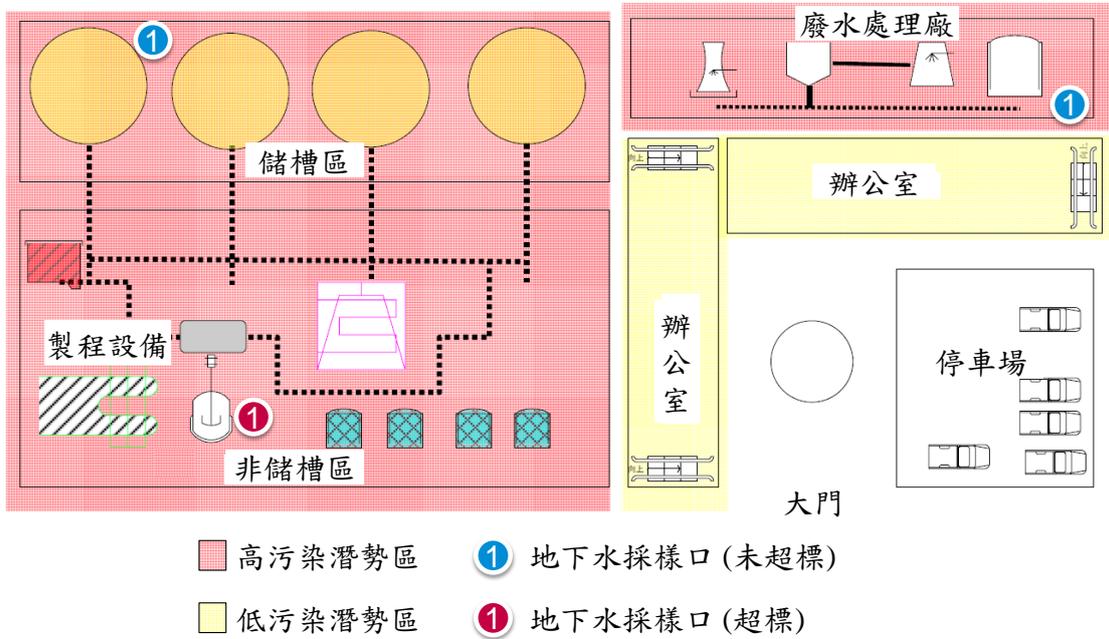


圖 4-2 某場址第一次地下水採樣超過管制標準點位

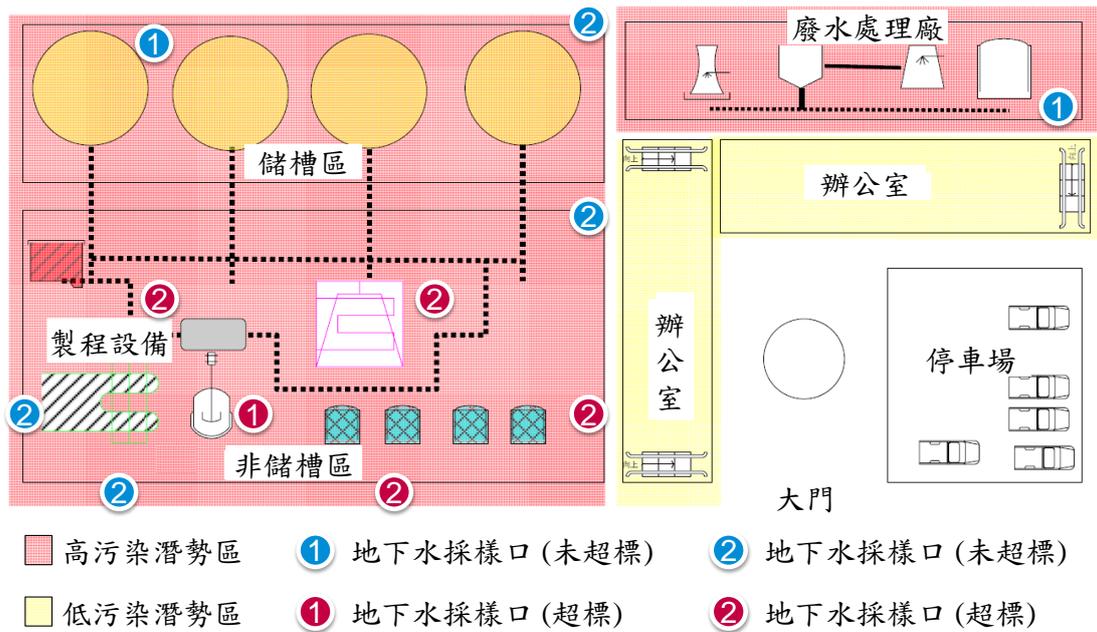


圖 4-3 某場址第二次地下水採樣超過管制標準點位

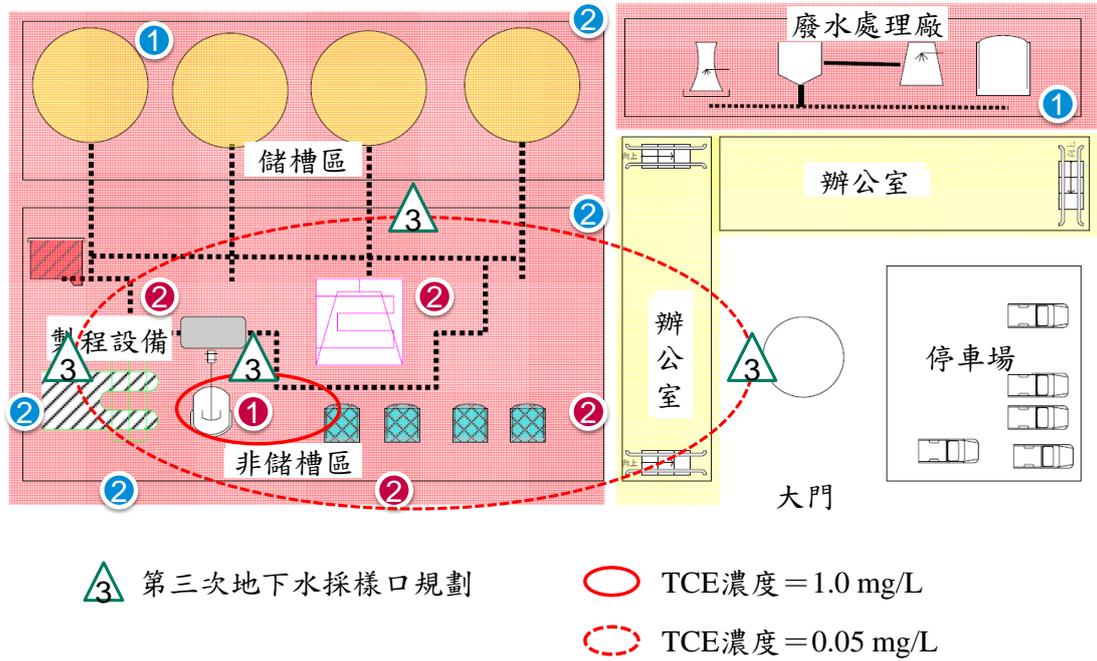


圖 4-4 某場址污染範圍推估及第三次地下水採樣規劃

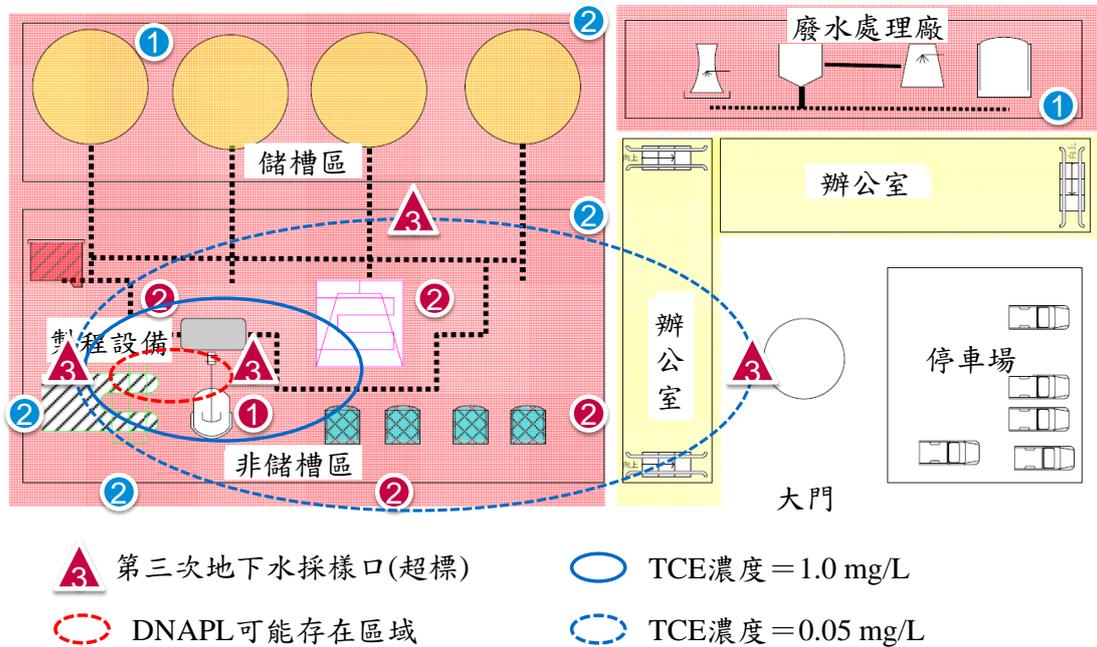
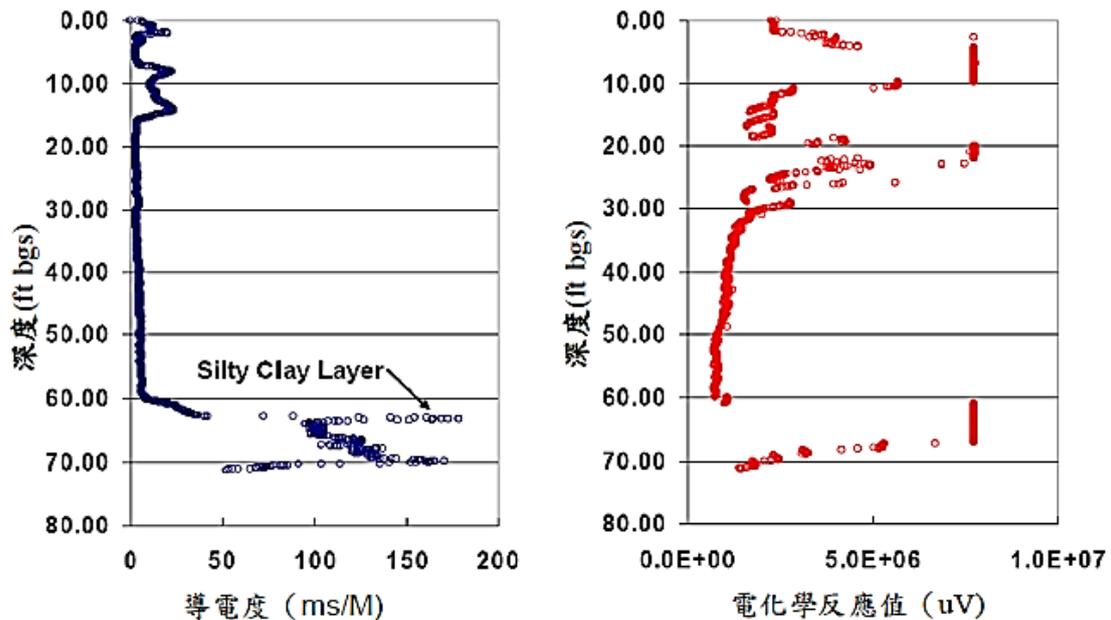


圖 4-5 某場址 DNAPL 污染範圍劃定

## (二) 二維污染深度調查結果

依據第三章所述之 DNAPL 污染調查深度規劃原則，舉例說明如下。圖 4- 6 為美國某乾洗中心場址之 MIP 感測結果，左圖為土壤導電度分布，在地表下 10 英尺內為回填之低滲透性土壤，地表下 60 英尺(18.28 公尺)處，則有黏土層存在，厚約 10 英尺(3.048 公尺)。其右圖則為污染物之偵測訊號值，顯示在地表 10 英尺內污染物濃度偏高，且地表下 60 英尺開始濃度又再度升高。因此污染範圍調查階段，在地表下 10 英尺處、30 英尺(9.14 公尺)處、及 60 英尺處進行地下水採樣，辨別確實之污染深度，調查結果顯示如圖 4- 7 所示。



資料來源：Maughon, 2004

圖 4- 6 某場址之 MIP 調查結果

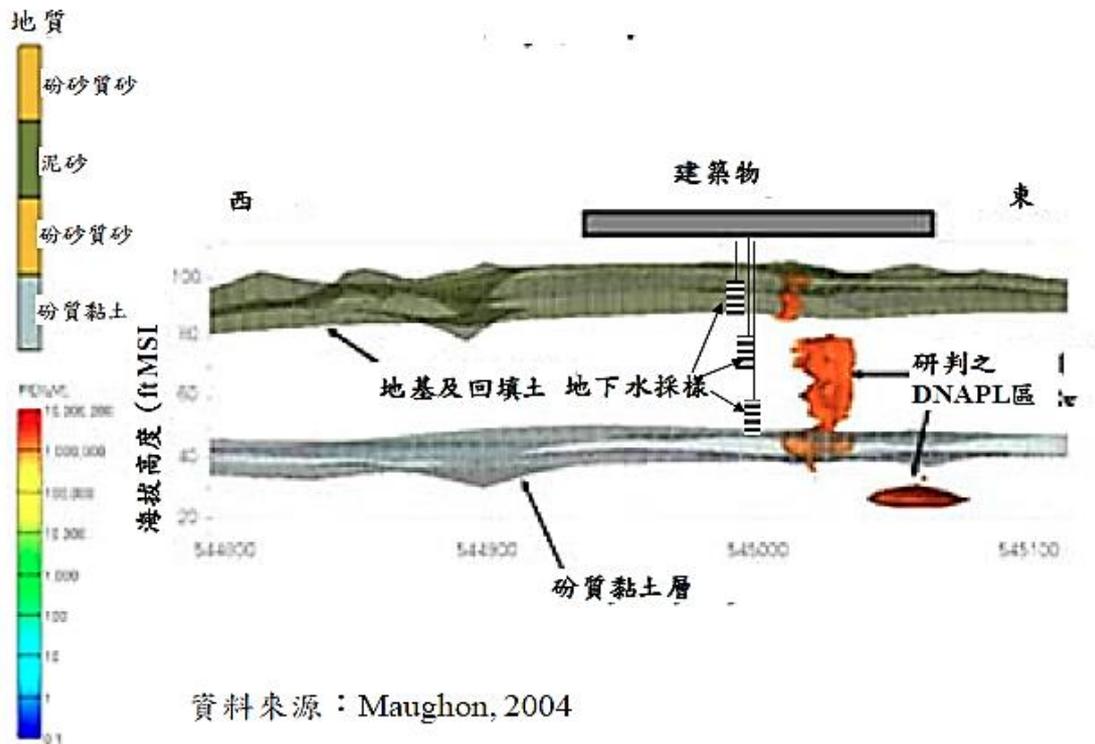


圖 4-7 依據 MIP 成果進行地下水採樣圖

### (三) 污染範圍及體積推估

根據調查位置及深度規劃結果，則需進行污染的範圍及體積的推估。然而，污染場址之 DNAPL 污染體積推估實為艱難，甚至許多專家認為欲發現場址中所有之 DNAPL 是不可行的，主要原因是 DNAPL 污染分布呈現不規則、非連續性(ITRC, Chapter 4, 2004)。然而適當之 DNAPL 位置標示及體積推估仍是進行場址整治工作前，亟需達成的工作項目，整治工作才可事半功倍。因此，以下將列舉各種進行 DNAPL 污染團調查原理及其優缺點。

#### 1. 土壤樣品分析

其方式相當簡單而直接，經由土壤採樣分析，計算土壤中之 DNAPL 含量，再乘以該樣品所代表之土方量，得到 DNAPL 體積(ITRC, Chapter 4, 2004)。但此種計算方式誤差相當大，誤差來源包括：土壤採樣之誤差、樣品分析之誤差、採樣點數是否足夠、樣品之代表性、各樣品是否為均質且連續。另外，土壤採樣數

量有限的情況下，可能造成 DNAPL 量之估算偏低。

## 2. 地下水樣品分析

經由地下水樣品分析，判別採樣點周邊是否含有 DNAPL，再計算該區位中之 DNAPL 含量。此種推估方法誤差最大，因為地下水分析數據為溶解相濃度，並非 DNAPL 污染量，因此無法由地下水污染物濃度推估周遭土壤中之 DNAPL 含量，故仍需搭配土壤採樣分析。

事實上，不論是以土壤或地下水分析數據推估 DNAPL 體積，都必須仰賴為數不少之鑽孔採樣，在採樣過程中也可能擾動 DNAPL，造成 DNAPL 之重新分配、甚至污染擴大，因此並非最佳選擇方式。

## 3. FLUTE 篩試技術

FLUTE 可明確指出 DNAPL 之位置及深度，因此藉由多孔 FLUTE 之設置，可研判 DNAPL 存在之範圍。然而本方法僅為定性技術，並非定量技術，因此無法直接計算地層中之 DNAPL 污染體積，仍須藉由土壤採樣分析，推算其中所含之 DNAPL 含量。且本方法也需設置相當多孔之 FLUTE，同樣將增加 DNAPL 污染團重新移動、污染擴大之風險。

## 4. 井間分溶示蹤劑試驗(Partitioning Interwell Tracer Test, PITT)

PITT 技術由德州大學與 Duke Engineering & Services 公司於 1990 年代中期所發展 (Duke Engineering & Services, 1999)，係為解決 DNAPL。PITT 試驗之原理，是在場址上游注射鈍性示蹤劑(conservative tracer)及分溶性示蹤劑(partitioning tracer)，並於試驗區下游進行地下水抽除。鈍性示蹤劑如溴離子，不會被 DNAPL 所吸收，因此在地下水層中傳輸時不會遲滯；但分溶性示蹤劑在地層中遇到 DNAPL 時，在水相及 DNAPL 相會有分配現象，因而造成示蹤劑之傳輸遲滯現象。示蹤劑傳輸遲滯之快慢決定於示蹤劑在 DNAPL 相的傳輸及 DNAPL 在地層中之飽和程度、含水層之水力傳導係數、土壤孔隙率等。因此，藉由分析不同示蹤劑在地層中之傳輸現象，可推估地層中所含之 DANPL 污染體積量。其原理可用式 4-6 表示。

$$K_i = \frac{C_{i,D}}{C_{i,W}} \quad \text{式 4-6}$$

其中

- $K_i$  : 第  $i$  個示蹤劑之(partitioning coefficient)  
 $C_{i,D}$  : 第  $i$  個示蹤劑在 DNAPL 相之濃度  
 $C_{i,W}$  : 第  $i$  個示蹤劑在水相之濃度

從式 4-7 可知，當  $K$  值越高者，表示該示蹤劑越傾向分布於 DNAPL 相中，因此遲滯現象越明顯。

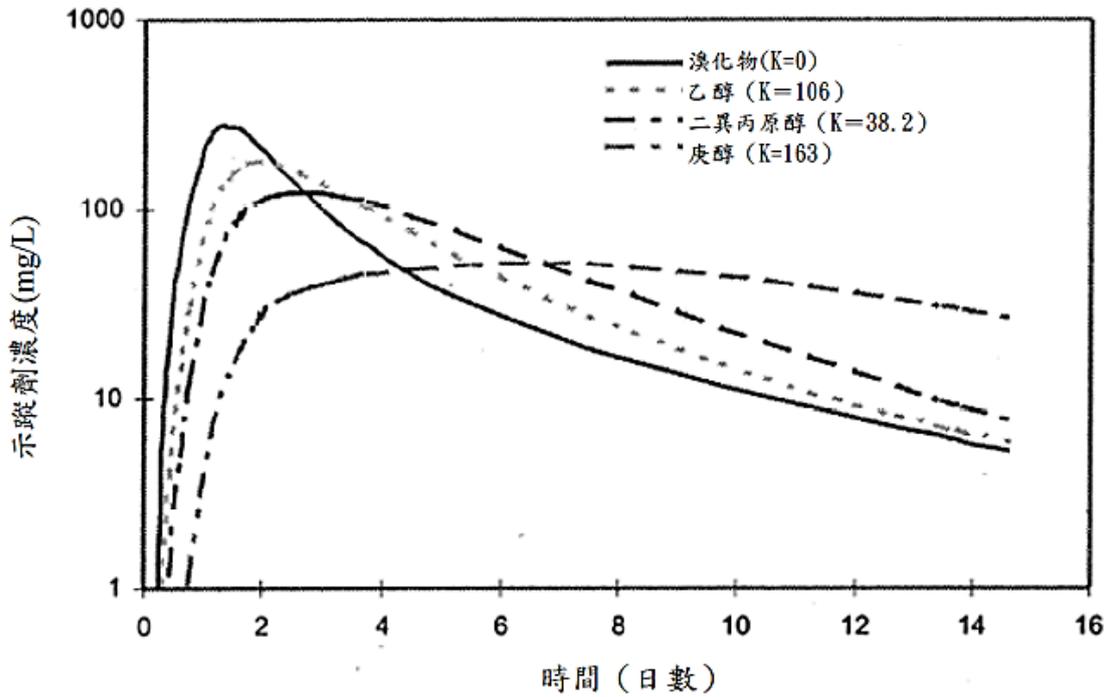
$$R_f = 1 + \frac{K_i + S_D}{1 - S_D} \quad \text{式 4-7}$$

其中

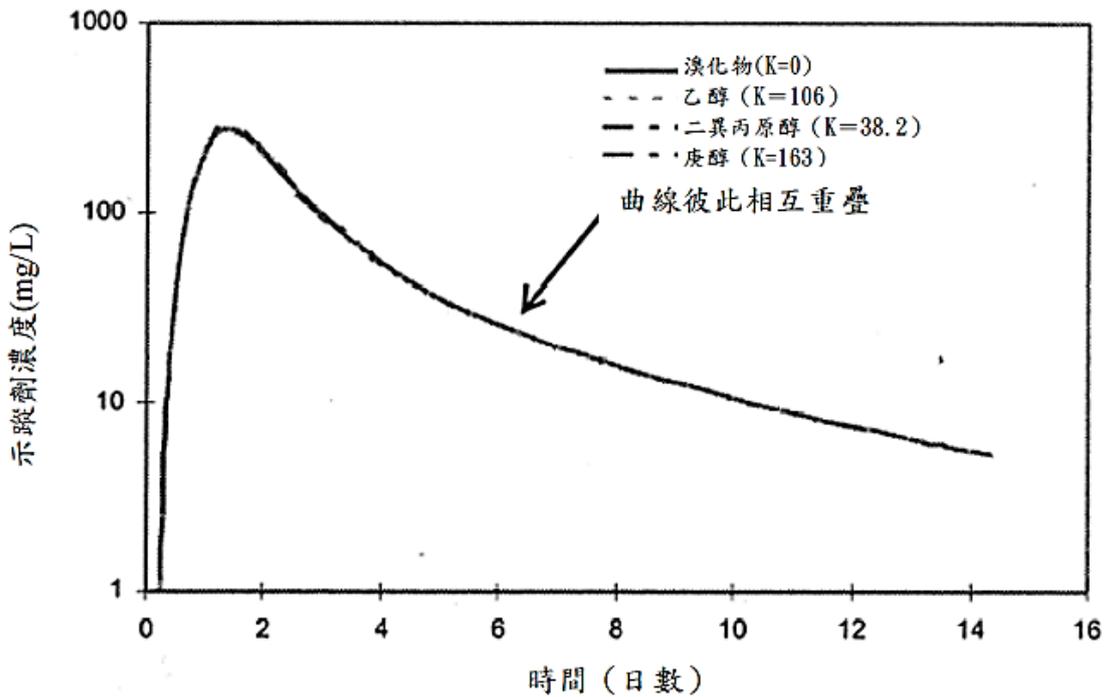
- $R_f$  : 遲滯係數(retardation factor)  
 $S_D$  : DNAPL 在土壤孔隙中之飽和度

各示蹤劑注入地層後，於下游之抽出井所測得之濃度變化，如圖 4-8 所示。所使用之示蹤劑包括：溴離子(bromide)， $K$  值為 0，屬於鈍性示蹤劑。己醇(hexanol)， $K$  值為 18.6；二異丙原醇(2,4-dimethyl 3-pentanol)  $K$  值為 38.2；庚醇(heptanol)， $K$  值為 163，均屬於分溶性示蹤劑，且以庚醇之  $K$  值最高，遲滯效果最為明顯，如圖 4-8 (a)所示。

遲滯效果也與地層中 DANPL 含量有直接關係，若 DANPL 含量越高，則遲滯現象越明顯。若地層中無 DNAPL 存在，則分溶性示蹤劑在地層中傳輸將無遲滯現象，其濃度變化曲線將與鈍性示蹤劑一致，如圖 4-8 (b)所示。藉由對照分析這些濃度變化曲線圖及地層之傳輸特性，將可計算出地層中 DANPL 含量。



(a) 各示蹤劑之濃度變化 (當存在 DNAPL 時)



(b) 各示蹤劑之濃度變化 (當不存在 DNAPL，或已移除)

圖 4-8 井間分溶性示蹤劑試驗之濃度變化曲線圖

上述之調查結果，多用軟體加以模擬 DNAPL 污染場址之演變及傳輸行為。然而，在污染團判定及闡述其實是相當困難之工作，主要肇因於地層之不均質性、相變化之複雜性（水相、吸附相、空氣相、DNAPL 相等）、污染物本身之物理化學特性。迄今雖有許多學者對 DNAPL 之演變及傳輸行為進行研究開發，但具有商業應用價值之模式軟體仍屈指可數。

若場址存在 DNAPL 時可使用 T2VOC 模式，作為 DNAPL 演變及傳輸模擬之工具，該模式將 NAPL 視為一個單獨的相，可在地下水中流動、溶解、揮發、及被土壤吸附，因此可應用於 NAPL 污染場址之物質傳輸問題(Falta et al., 1995)。T2VOC 以 TOUGH2 模式為藍本，在 TOUGH2 模式中加入污染物質傳輸之功能，同時計算污染物質之分布，改寫後之模式稱為 T2VOC。T2VOC 具有模擬氣相、液相、NAPL 相等三相變化之功能，並可模擬地下水流及溫度分布，因此也可應用 T2VOC 模擬土壤氣體抽除、AirSparging、蒸汽注入等現地整治系統處理 LNAPL 及 DNAPL 之成效。T2VOC 對於物質傳輸之控制方程式依據 Pruess (1987, 1991)對於地下水流之數值模式所原有之水相(Aqueous Phase)及氣相(Gaseous Phase)，再增加一項 NAPL 相(NAPL Phase)，以及一個化學物之物種。以下為場址之地層分布圖的範例說明。

#### 1. 模擬場址地層分布圖

模擬場址之地層分布圖以絕對滲透係數(absolute permeability,  $m^2$ )表示之，圖中顏色越深表示滲透係數越低，屬於透水/透氣性較差之土質，地下水位在地表下 6m 處，且地下水流梯度為 0.0357。假設在模擬場址發生 TCE 洩漏，洩漏速率為  $2.5 \times 10^{-3}(\text{kg/s})$ ，歷時 400,000 秒（約 4.6 天）、共洩漏 1000kg 之 TCE，此時污染物在地層中之分布，如圖 4-9 所示。

#### 2. 各種污染型態之地層分布圖

不同污染物型態之地層分布圖如圖 4-10，地層中 NAPL 相之飽和度，即為圖 4-10 (a)，最大飽和度為 0.1，也就是 10%，顏色越淺表示飽和度越低。圖 4-10 (b)為污染物溶解相在水溶液中之重量百分比，最高可達 0.2。圖 4-10 (c)為 TCE 在土壤孔隙中揮

發後在氣相中所佔重量百分比，最高可達 0.3。

### 3. 停止洩漏一段時間後之地層分布圖

當洩漏停止一週後，TCE 在地層中之分布如圖 4- 11 所示。此時 TCE 在通氣層中之 DNAPL 相逐漸變少，且有向下之趨勢，如圖 4- 11 (a)所示，正符合 DANPL 之傳輸特性。而水溶液中之 TCE 污染範圍逐漸擴大，且有向圖面右下方擴散之趨勢，如圖 4- 11 (b)所示。

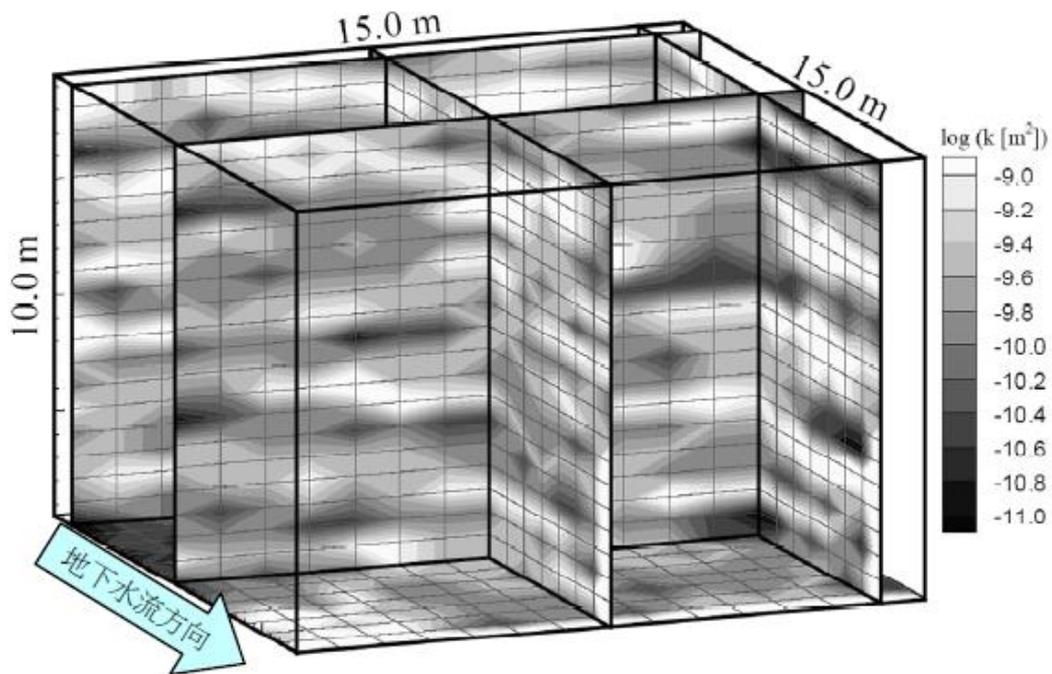
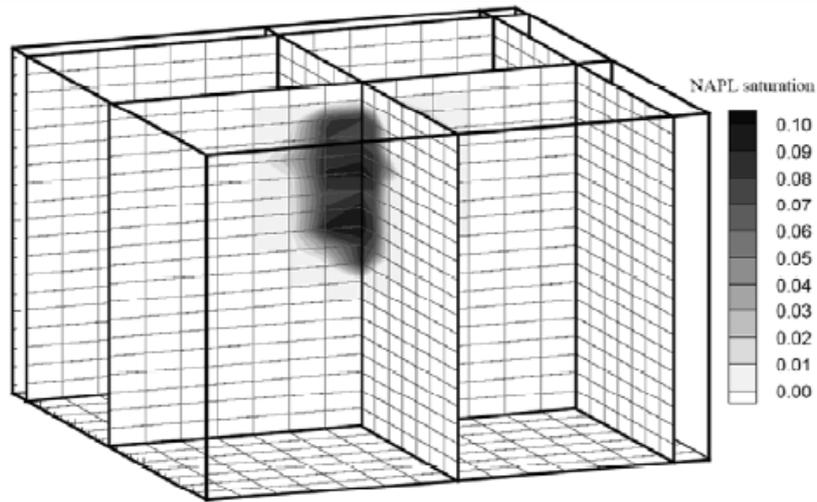
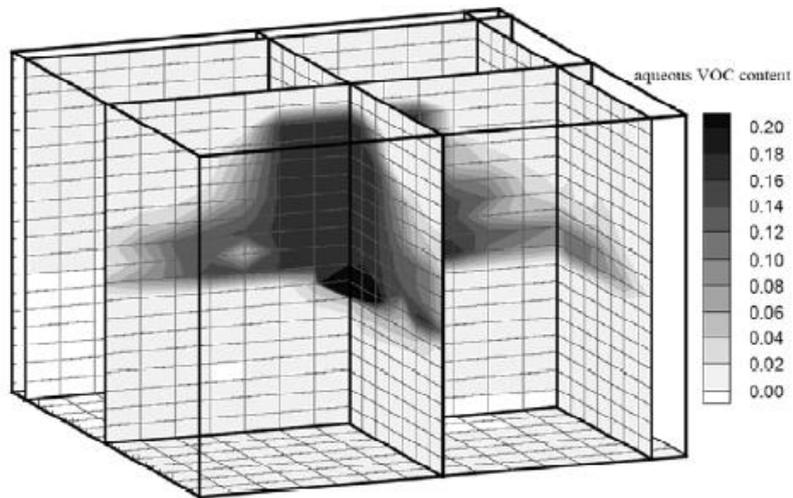


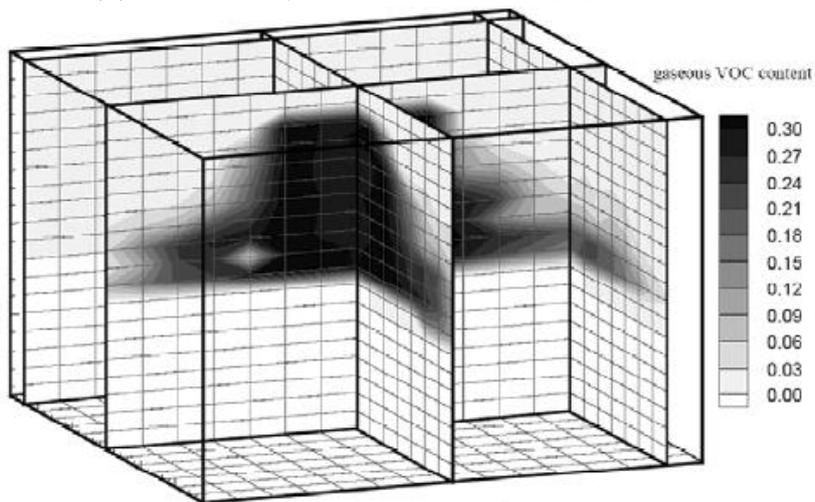
圖 4-9 污染場址之地層分布圖範例



(a) 地層中 NAPL 相之飽和度

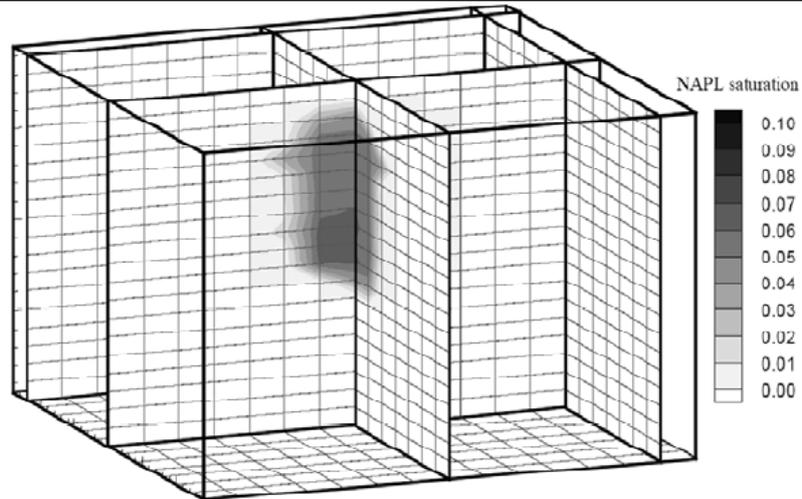


(b) TCE 溶解相在水溶液中之重量百分比

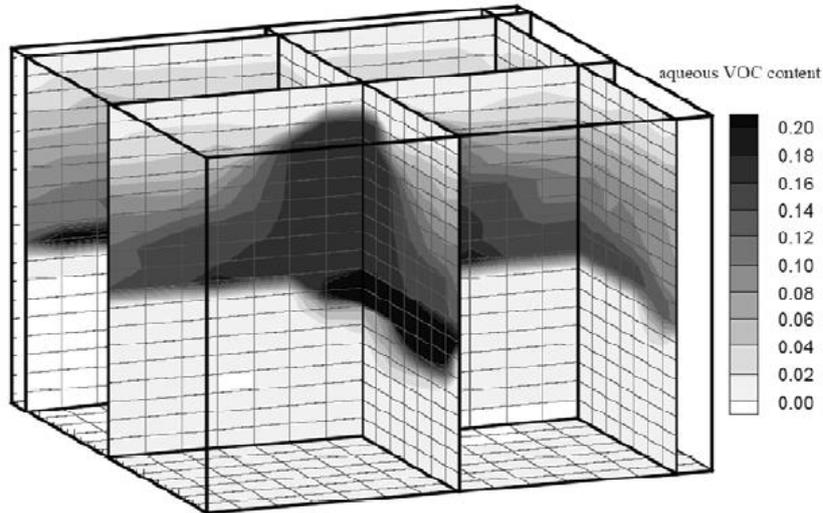


(c) TCE 在土壤孔隙氣相中所佔重量百分比

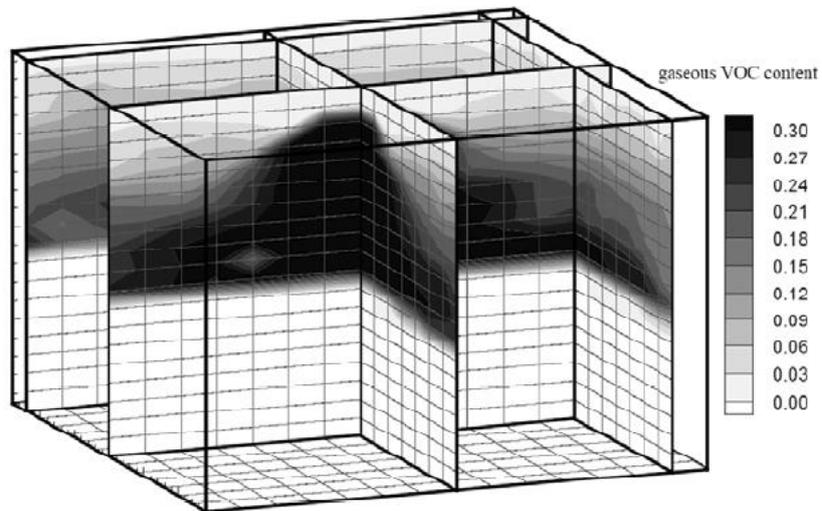
圖 4-10 TCE 在地層中之分布圖範例



(d) 地層中 NAPL 相之飽和度



(e) TCE 溶解相在水溶液中之重量百分比



(f) TCE 在土壤孔隙氣相中所佔重量百分比

圖 4- 11 洩漏一週後 TCE 在地層中之分布圖範例

## 第五章 品保品管及工業安全衛生

土壤及地下水污染調查作業參考指引總則，已將現場採樣及檢測作業相關的品保品管規範進行一般性原則說明，本指引茲就執行 DNAPL 污染採樣或檢測應注意要項說明，並強調工業安全衛生執行的重要性。

### 5.1 品保品管作業

執行 DNAPL 污染場址調查及檢測作業工作時，皆應符合本署國家環境研究院公告之標準作業方法進行，始其符合品保品管作業要求。

### 5.2 工業安全衛生管理

執行調查具有不確定之潛在危機，稍有不慎，即可能發生意外。為避免人員傷亡，針對參與調查作業之現場工作調查人員進行周詳之安全防護規劃，為調查工作之首要原則。因此，評估調查人員應根據「土壤及地下水污染調查作業參考指引總則」所述之工業安全衛生管理原則，研擬油品污染場址調查之管理對策。

### 5.3 緊急應變

緊急應變計畫措施研擬，須根據「危險性工作場所審查暨檢查辦法-附件四」緊急應變計畫規範，至少必須包含以下內容：

#### 一、緊急應變運作流程與組織

- (一) 應變組織架構與權責
- (二) 緊急應變控制中心位置與設施
- (三) 緊急應變運作流程與說明

#### 二、緊急應變設備之置備與外援單位之聯繫

#### 三、緊急應變演練計畫與演練記錄(演練模擬一般及最嚴重危害之狀況)

#### 四、緊急應變計畫之修正。

## 第六章 國內污染調查案例解析

為讓使用者瞭解國內污染調查情況，本指引挑選污染事實確認及污染範圍劃定之案例說明於后。

### 6.1 污染事實確認

在污染事實確認工作，如土壤及地下水污染調查參考指引總則第二章流程所述。首先，進行場址環境評估，審閱相關背景資料、現場勘查及人員訪談，進行污染潛勢的評估。如有污染之虞者，則進行下一步的污染調查規劃以確定污染事實。各階段工作成果說明如下。

#### 一、場址環境評估

##### (一) 背景資料蒐集

某電子公司經民眾陳情有遭受污染之虞，環保局展開土壤及地下水污染調查，場址之背景資料彙整於表 6.1-1。

##### (二) 資料審閱與現場勘查

污染場址之人員訪談問卷結果如表 6.1-2。

##### (三) 污染潛勢判定

某縣市環保局於民國 83 年 6 月 1 日接獲民眾陳情後，遂會同○○顧問公司赴場址進行現勘，現勘過程中經現場工作人員描述本場區內因蒸餾過程產生之含四氯乙烯廢水處置不當，且因四氯乙烯使用不慎造成洩漏，而導致滲入土壤中，並造成下游地區某些區域地下水遭受高濃度四氯乙烯污染。

表 6.1-1 某電子廠背景資料

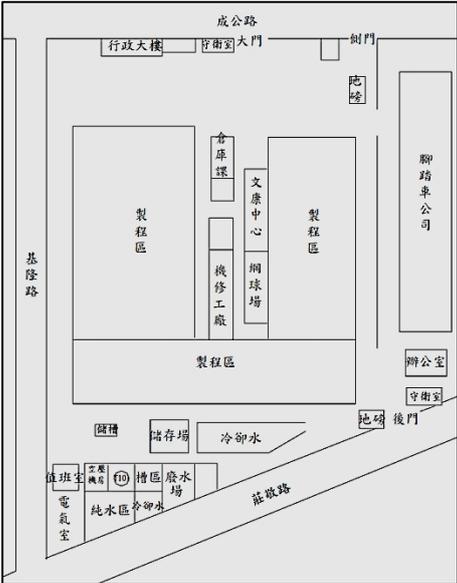
項目	場址資料說明
使用沿革	<p>▶ 某電子公司為於民國75年興建及營運，自民國77年起主要生產電腦及電視機使用之彩色及單色映相管。並使用四氯乙烯做為電視及電腦陰極映相管生產製程之清洗劑，使用近20年。民國82年起藉蒸餾法回收製程產生可使用之四氯乙烯，迴流回收含四氯乙烯之廢水濃度約為3 mg/L。民國85年起，使用後之四氯乙烯委由合格之代處理業者處理。</p>
平面配置	 <p>大門入口為該廠之製程區，共分為三處，三處之間為文康中心、網球場、倉儲中心、機修工廠。本場區利用抽取地下水作為洗車及澆灌綠地之用。</p>
土地使用	<p>▶ 周圍300~500公尺多分布零星工廠，並夾雜商店及住家民宅屬工商混合區。</p> <p>▶ 土地利用多為工商業與住宅區，場址東側某公司有抽取地下水情形。</p>
水文地質	<p>▶ 區域地質多為砂土質細砂，地下水位約在地表下3公尺左右，區域地下水流向為由東北向西南方向。</p>
地下水	<p>▶ 附近區域發現並無地下水水井</p>
環境敏感區	<p>▶ 本區域非屬飲用水水源水質保護區</p>

表 6.1-2 某電子廠人員訪談問卷

場址名稱： OOO股份有限公司 調查人員： 銘偉  
 場址地址： 高雄縣前鎮區鎮中路1005號  
 土地使用人或管理人： 謝大中 受訪員工： 老雄

問題		土地使用人或管理人	員工	現場勘查
1.1	此場址是否為工業用？	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
1.2	場址毗鄰地區是否為工業使用？	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
2.1	是否有任何證據顯示此場址先前曾做為工業使用？	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
2.2	是否有任何證據顯示此場址毗鄰地區為工業使用？	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
3.1	此場址是否作為加油站、汽車修護廠、商業印刷廠、乾洗廠、照相沖印廠、廢棄物堆積場、掩埋場、廢棄物處理、儲存、置放、回收處理廠？(如果有，請說明之)	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
3.2	此場址毗鄰地區是否作為加油站、汽車修護廠、商業印刷廠、乾洗廠、照相沖印廠、廢棄物堆積場、掩埋場、廢棄物處理、儲存、置放、回收處理廠？(如果有，請說明之)	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
4.1	是否有任何證據顯示此場址曾經作為加油站、汽車修護廠、商業印刷廠、乾洗廠、照相沖印廠、廢棄物堆積場、掩埋場、廢棄物處理、儲存、置放、回收處理廠？(如果有，請說明之)	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input checked="" type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input checked="" type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input checked="" type="checkbox"/> 否
4.2	是否有任何證據顯示此場址毗鄰地區曾經作為加油站、汽車修護廠、商業印刷廠、乾洗廠、照相沖印廠、廢棄物堆積場、掩埋場、廢棄物處理、儲存、置放、回收處理廠？(如果有，請說明之)	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input checked="" type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input checked="" type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input checked="" type="checkbox"/> 否
5.1	是否現有任何車用或工業用廢電池，存放於5加侖或50加侖桶內之農藥、油漆或其他化學物質，因儲存、置放或使用造成	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否

問題		土地使用人或管理人	員工	現場勘查
	危害或洩漏？			
5.2	是否有任何證據顯示此場址曾經有車用或工業用廢電池，存放於5加侖或50加侖桶內之農藥、油漆或其他化學物質，因儲存、置放或使用造成危害或洩漏？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
6.1	是否現有任何工業用桶槽、太空包放置於場址內？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
6.2	是否有任何證據顯示此場址曾有工業用桶槽、太空包放置於場址內？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
7.1	是否有任何證據顯示此場址曾經有來自污染場址的回填土？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
7.2	是否有任何證據顯示此場址曾經有不知來源的回填土？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
8.1	是否有任何作為廢棄物處理、處置的坑孔、水塘或污水塘？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
8.2	是否有任何證據顯示此場址曾經有作為廢棄物處理、處置的坑孔、水塘或污水塘？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
9.1	場址內是否有可疑的受污染土壤？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
9.2	是否有任何證據顯示此場址曾經有可疑的受污染土壤？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
10.1	此場址內是否有任何已申報或未申報之地上或地下儲槽？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
10.2	是否有任何證據顯示此場址內曾經有任何已申報或未申報之地上或地下儲槽？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
11.1	場址內是否有任何排氣管、排放管或其他通路由地下突出？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
11.2	是否有任何證據顯示此場址內有任何排氣管、排放管或其他通路由地下突出？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
12.1	場址內是否有任何雨水溝渠、廢水排放溝渠或井，遭受物質污染或有異味？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
12.2	是否有任何證據顯示此場址曾經有任何雨水溝渠、廢水排放溝渠或井，遭受物質污染或有異味？	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
13.1	如果場址內使用私設井或非公	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否

問題		土地使用人或管理人	員工	現場勘查
	共給水系統，是否有任何證據顯示，此場址用水水質曾經超出用水標準？	<input type="checkbox"/> 不知道	<input type="checkbox"/> 不知道	
13.2	如果場址內使用私設井或非公共給水系統，是否有任何證據顯示，此場址之用水被政府機關認定遭受污染？	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
14	土地所有人、使用人或管理人是否知悉場址內曾經被環保主管機關稽查且違反環保法規之情形？	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
15.1	土地所有人、使用人或管理人是否被告知場址內過去曾經存在有害物質或石油製品？	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
15.2	土地所有人、使用人或管理人是否被告知場址內最近存在有害物質或石油製品？	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
15.3	土地所有人、使用人或管理人是否被告知場址內曾經被環保主管機關稽查且違反環保法規之情形？	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
15.4	土地所有人、使用人或管理人是否被告知場址內最近被環保主管機關稽查且違反環保法規之情形？	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 不知道	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否

## 二、 污染調查規劃

依據上述污染潛勢評估結果，對該電子廠採取「主觀判斷佈點」方式之採樣佈點規劃。採樣點位規劃於本場址污染潛勢較高之區域如儲槽、廢水區及製程區，如圖 6.1-1。土壤及地下水污染採樣數量、方法、深度及檢測分析，彙整如表 6.1-3 及表 6.1-4。



圖 6.1-1 某電子廠採樣點分佈圖

表 6.1-3 某電子廠土壤採樣規劃

類別		土壤採樣規劃
採樣方式		土壤採樣方法(NIEA S102.64B)，以直接貫入技術(Direct Push)雙套管採樣工法進行全程採樣
採樣深度		本場址地下水位較高(地表下3 公尺內)，因此採樣深度將採至土壤及地下水水位交界處為止。
檢測分析項目及方法	四氯乙烯	土壤檢測方法總則 (NIEA S103.61C)
	三氯乙烯	
	反-1,2-二氯乙烯	
	順-1,2-二氯乙烯	
	1,1-二氯乙烯	

表 6.1-4 某電子廠地下水採樣規劃

類別		地下水採樣規劃
採樣方式		土壤及地下水直接貫入採樣及篩選測試方法 (NIEA W106.50C)
採樣深度		▶ 依照 MIP 檢測地層中之揮發性有機氣體濃度之深度，於較高濃度之深度位置，使用直接貫入法採取即時之地下水樣品。
檢測分析項目及方法	1,1-二氯乙烷	水中揮發性有機化合物檢測方法—吹氣捕捉／氣相層析質譜儀法 (NIEA W785.57B)
	順-1,2-二氯乙烯	
	反-1,2-二氯乙烯	
	四氯乙烯	
	三氯乙烯	

### 三、 污染事實確認

依據調查結果顯示，土壤及地下水檢測結果確認皆超過管制標準。

一、該場址位於儲槽區之點位 SO<sub>2</sub> 地下水中三氯乙烯濃度最高，檢測數據為 4.56mg/L 超過管制標準 91 倍，四氯乙烯檢測數據為 5.78mg/L 超過管制標準 115 倍。推測主要有以下可能來源：

- (一) 自廢溶劑回收、清洗區之洩漏，經沖洗排放而滲入土壤及地下水中。
- (二) 自儲油區或機房，因摻配有機溶劑不當產生洩漏，經沖洗排放而入滲至土壤及地下水中。
- (三) 自桶裝廢有機溶劑儲存區，受地表逕流而自地表細縫而入滲至土壤及地下水中。
- (四) 其他意外事件，如水災或碰撞產生洩漏且未能立即妥善清理，而致污染土壤及地下水。

### 四、 後續管理工作建議

- (一) 本場址依據本署公告之土壤、地下水標準採樣分析方法之查證結果顯示土壤中三氯乙烯及地下水中四氯乙烯等污染物項目之濃度均達土壤及地下水污染管制標準。根據下列說明，建議可依

---

土污法第十二條規定，公告為土壤及地下水污染控制場址。

1. 進行現勘調查評估時發現該場址半數測漏管均喪失監測功能，顯示該場址日常監測預警措施及對場址內既設監測設備之維護並未落實。
2. 該場址除地下水位較高，且地層狀況亦有部份屬污染傳輸較快之砂層，地下水污染情形若未立即採取控制措施，恐有進一步擴散之虞。
3. 該場址土壤及地下水均已遭受污染，且地下水污染情形已擴散至場外，恐無法在短時間內，依土污法第七條規定命業者限期改善完成。

(二)應命業者立即規劃地下水管理計畫，受影響地區飲用水改接自來水管線。

(三)應命業者立即暫停抽取地下水作為洗車用水來源，避免地下水污染情形擴散。

(四)環保機關應進一步調查場址周圍 300~500 公尺內居民及環境遭受危害之風險，必要時應於公告控制場址階段即劃定污染管制區，並依土污法相關規定進行緊急應變及管制。

## 6.2 污染範圍調查

某電子廠經 6.1 節確認污染事實後，延續污染範圍調查工作。在進行污染範圍調查前，必須先深入瞭解場址背景資，接著著手污染調查規劃，確定污染範圍，各階段工作分別說明於后。

### 一、背景資料確認

背景資料的確認包含歷次污染調查成果彙整、關切污染物物化特性、場址水文地質參數，並建立場址概念模型，分別說明如下。

#### (一) 歷次污染調查成果

##### 1. 發現污染前至民眾舉發 (83 年 1 月~83 年 5 月)

本場址附近民用地下水井約每隔 3~4 月進行採樣監測，並未發現異常現象，直至○○會議中提出之報告，顯示地下水井中之 TCE 達 0.85mg/L。

##### 2. 某環保局於 83 年 10 月進場調查

於本場址污染潛勢較高之區域如儲槽、廢水區及製程區進行採樣調查，依據調查結果顯示，地下水檢測結果確認超過管制標準。位於儲槽區之點位 SO2 地下水中三氯乙烯濃度最高，檢測數據為 4.56mg/L 超過管制標準 91 倍，四氯乙烯檢測數據為 5.78mg/L 超過管制標準 115 倍。

#### (二) 污染物物化特性

依據環保局地下水查證之數據顯示，污染物分布於場址西南側，因地下水流由南向北流動方向，疑將污染物往北方擴散。本場址所關切污染物為三氯乙烯及四氯乙烯，茲將其物化特性參數彙整如表 6.2-1。

#### (三) 場址水文地質參數

現場調查取得水文地質環境參數彙整於表 6.2-2。

#### (四) 場址概念模型

依據本場址過去查證及現地調查數據顯示，建立本場址之概

念模型，如圖 6.2-1 所示。由圖中推估出本場址 DNAPL 污染源應於儲槽區開始洩漏，透過地表下 1m 之回填土繼續向下洩漏至土壤中。本場址地下水流向為由南向北流，水力傳導係數  $K=10^{-3} \sim 5 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ ，推估 DNAPL 經地下水傳導往場址北邊擴散，並於 SO1 至 SO2 間形成一污染團。但因 SO2 地表下約 28m 處，有一層黏土層存在，厚約 3~5m，為本場址上部含水層之阻水層，因此可能有 DNAPL 於此處上方形成一處污染團。

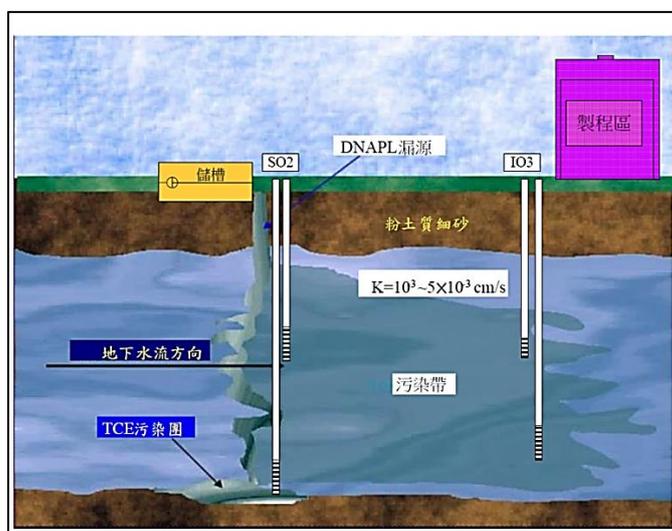


圖 6.2-1 某電子廠場址概念模型

表 6.2-1 某電子廠關切污染物物化特性

項目	三氯乙烯	四氯乙烯
分子量	131.4	165.8
沸點 (°C)	87	121
溶點 (°C)	-73	-19
閃點 (°C)	32.2	---
冰點 (°C)	-86.4	-18.9
溶解度 (mg/L)	1100	200
蒸氣壓 (mmHg)	60	14
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1456	1.62
蒸氣密度	4.5	5.2
亨利常數 (atm·m <sup>3</sup> /mol)	4.17 E <sup>-0.1</sup>	7.45 E <sup>-0.1</sup>
K <sub>oc</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	126	263.027
Log K <sub>ow</sub>	2.29	2.6

表 6.2-2 某電子廠場址水文地質環境參數

參數代號	參數名稱	數值	單位	參考資料
D	表土深度	100	cm	場址現況
$h_v$	通氣層厚度 (Vadose zone heigh)	145	cm	場址現況
Ls	土壤污染源頂端深度	150	cm	場址現況
$L_w$	地下水高度	200	cm	場址現況
$\theta_{acap}$	毛細管邊緣空氣含量 ( $\theta_T - \theta_{wcap}$ )	0.038	$\text{cm}^3\text{-water}/$ $\text{cm}^3\text{-soil}$	場址現況
$\theta_{as}$	土壤中空氣含量 ( $\theta_T - \theta_{ws}$ )	0.183	$\text{cm}^3\text{-air}/ \text{cm}^3\text{-soil}$	場址現況
T	孔隙率	0.383	$\text{cm}^3/ \text{cm}^3\text{-soil}$	場址現況
$\theta_{wcap}$	毛細管邊緣水分含量 ( $0.9\theta_T$ )	0.345	$\text{cm}^3\text{-air}/ \text{cm}^3\text{-soil}$	場址現況
$\theta_{ws}$	土壤中水分含量	0.20	$\text{cm}^3\text{-water}/$ $\text{cm}^3\text{-soil}$	場址現況
s	土壤密度 (Bulk density)	1.95	$\text{g}/\text{cm}^3$	場址現況
$U_{air}$	污染源上方風速	340	cm/sec	中央氣象局
$U_{gw}$	地下水流速	87.3	cm/year	場址現況
W	污染源與風向、地下水流平行之最大寬度	500	cm	場址現況
K	水力傳導係數	$10^{-3}\text{-}5^*$ $10^{-3}$	cm/s	場址現況

## 二、 污染調查規劃

目前本場址調查數據僅包括環保局調查階段所獲得之 MIP 資料及少數土壤及三處地下水數據。因此未來將逐步進行場址調查工作，並參考場址概念模型建立之原則，進行場址土壤及地下水調查工作，以掌握場址之污染範圍及程度。

於採樣前利用地球物理方法非侵入性之調查方式，瞭解場址地層分布情形後，依據地層分布之研判結果，預先評估 DNAPL 污染物可能傳輸之路徑。調查時採由外而內之原則，在無 DNAPL 物質之區域進行採樣，在逐漸縮短至內部。因於查證階段共進行三處地下水污染調查，該場址位於儲槽區之點位 SO2 地下水中三氯乙烯濃度最高，檢測數據為 4.56mg/L 超過管制標準 91 倍，四氯乙烯檢測數據為 5.78mg/L 超過管制標準 115 倍。本指引參考土壤及地下水污染調查參考指引總則第五章調查結果評估內容，進行該場址之污染範圍及體積

推估。

場址水力傳導係數  $K$  值經由微水試驗測得為  $1 \text{ m/day}$ ，水力坡降為  $0.003$ ，土壤容積比重  $\rho_b$  經由試驗室量測為  $1.7 \text{ g/cm}^3$ 、有效孔隙率  $n$  為  $0.3$ 、有機碳含量  $f_{oc}$  為  $0.001$ ，而 TCE 之  $K_{oc}$  值可查表得知為  $126 \text{ L/kg}$ ，可藉由以下公式計算流速為  $5.88 \times 10^{-3} \text{ m/day}$ 。若推估洩漏時間為  $10$  年，則溶解相污染物傳輸距離可能為  $21.5$  公尺。

$$K_d = K_{oc} \times f_{oc} = 126 \times 0.001 = 0.126 \text{ L/kg}$$

$$R_f = 1 + \frac{\rho_b}{n} \times K_d = 1 + \frac{1.7}{0.3} \times 0.126 \cong 1.7$$

$$V = \frac{K \times i}{n} \times \frac{1}{R_f} = \frac{1(\text{m/day}) \times 0.003}{0.3} \times \frac{1}{1.7} \cong 5.88 \times 10^{-3} \text{ m/day}$$

可在發現高濃度  $\text{SO}_2$  下游處約  $20 \sim 25 \text{ m}$  處進行採樣，同時在地下水流方向之兩側邊也佈設採樣點，以掌握溶解相污染物之範圍。同時為瞭解污染物是否已擴散至場址外，於場址周邊也應佈設採樣點。如圖 6.2-2 所示。



圖 6.2-2 某電子廠污染範圍調查佈點配置圖

三、 確定污染範圍

本場址經污染範圍調查後，其檢測結果超過管制標準之污染物質為三氯乙烯及四氯乙烯。於靠近場址儲槽區 SO<sub>2</sub> 之污染濃度最高，三氯乙烯濃度為 4.56mg/L，超過管制標準 91 倍；四氯乙烯濃度為 5.78mg/L，超過管制標準 115 倍。其次為範圍調查時採樣之點位 IO3，濃度為 0.5mg/L 超過管制標準 10 倍。茲將阻水層上方之污染物檢測濃度，包括環保局查證及細部調查數據彙整表 6.2-3。另以 SUFFER 軟體將阻水層上方之 TCE 濃度分布情形繪製如圖 6.2-3，由圖中可顯示出 TCE 污染物隨著地下水流向漸漸向北擴散之情形。

表 6.2-3 某電子廠污染範圍調查檢測數據

點位	檢測項目	三氯乙烯 (mg/L)	四氯乙烯 (mg/L)
S02		4.56	5.78
S01		0.04	0.08
S03		0.02	0.05
I01		0.05	0.08
I02		0.02	0.1
I03		0.5	0.3
I04		0.08	0.053
I05		0.01	0.02

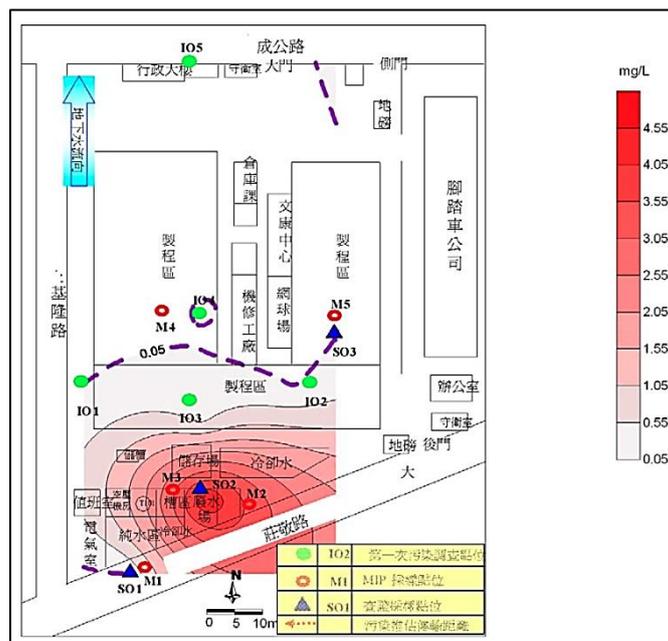


圖 6.2-3 某電子廠三氯乙烯污染濃度分佈圖

---

## 參考文獻

1. Carl Keller, Locating DNAPLs with Flexible Liner, Flexible Liner Underground Technologies, Inc., 2007
2. Cohen, Robert M. and James W. Mercer, DNAPL Site Evaluation, USEPA Contract 68-C8-0058, CRC Press, Inc., 1993
3. Duke Engineering & Services, Inc., Using PITTs to Locate and Measure DANPLs, 1999
4. Hazardous Substances Data Bank (HSDB) ,  
<http://toxnet.nlm.nih.gov/newtoxnet/hsdb.htm>
5. ITRC, Strategies for Monitoring the Performance of DNAPL Source Zone Remedies, 2004
6. Lucius, J. E., G. R. Olhoeft, P. L. Hill, and S. K. Duke, Properties and hazards of 108 selected substances – 1992 edition: US Geological Survey Open File Report 90-527, p554, 1992
7. Robert M. Cohen and James W. Mercer, DNAPL Site Evaluation, Chapter 3, CRC Press, Inc., 1993
8. Robert M. Cohen and James W. Mercer (1993) DNAPL Site Evaluation, Chapter 3, CRC Press, Inc., 1993
9. UK Environment Agent, An Illustrated Handbook of DNAPL Transport and Fate in the Subsurface, 2003
10. USEPA (2000) Engineered Approaches to In Situ Bioremediation of Chlorinated Solvents: Fundamentals and Field Applications, 2000
11. Waterloo Centre for Groundwater Research, 1989
12. 行政院勞工委員會，危險性工作場所審查暨檢查辦法，行政院勞工委員會 101 年 7 月 13 日勞檢 5 字第 1010150753 號令，2012
13. 行政院環保署，土壤及地下水受比水重非水相液體污染場址之初步篩

- 試調查、查證及驗證作業技術參考手冊，2007
14. 行政院環境保護署，土壤及地下水污染調查作業參考指引總則，EPA-25-III-05B-2015-001，2015
  15. 行政院環境保護署，土壤及地下水污染整治法，中華民國 99 年 2 月 3 日總統華總一義字第 09900024211 號，2010
  16. 行政院環境保護署，環境檢驗所，<http://www.niea.gov.tw/>
  17. 行政院環境保護署，環境檢驗所，土壤採樣方法，NIEA S102.63B(中華民國 104 年 2 月 2 日環署檢字第 1040009426 號)，2015。