

土壤及地下水污染調查技術手冊



序

土壤及地下水污染整治法(以下簡稱土污法)甫於 99 年 2 月 3 日修正公布，主要修法重點包括：修正污染行為人及增訂潛在污染責任人定義，加重污染土地關係人負連帶清償責任及污染行為人致土地公告污染場址之罰則。未來污染行為人土地遭環保單位公告控制或整治場址時，除需負責場址後續污染整治工作外，並需依規定接受相關法規及環境教育講習，還需繳納一定金額罰金，環保主管機關會依規定公布污染行為人姓名或名稱，恐影響事業之商譽。整體而言，土污法修訂趨勢愈趨嚴格，事業應瞭解修法重點及修法方向，及早採取因應對策，避免土壤及地下水污染情事發生。

隨著污染列管場址數量逐年攀升，污染事業類型亦逐漸多元，環保署為擴大指定公告事業用地之管控機制，於 98 年 7 月 27 日修正公布土污法第 8 條第 1 項及第 9 條之指定公告事業別，由原本 17 類指定公告事業別增加為 30 類，並已於 99 年 1 月 1 日正式施行。因此，事業平時運作時，應定期留意工廠土壤品質狀況，以免土地遭污染而影響到未來土地移轉時之價值；事業在設立、停業或歇業前應進行工廠土壤污染檢測，以掌握土地之品質，並釐清污染整治責任。

此外，事業應加強工廠土壤及地下水污染防治管理工作，定期調查廠內土壤及地下水品質，瞭解土壤及地下水污染可能問題，採取主動積極之管理改善措施。調查發現工廠有土壤及地下水污染洩漏時，應儘速阻斷或修護洩漏源，避免污染持續洩漏造成污染擴大。因此，事業如何執行調查、應監測哪些項目、如何設置監測井及有效佈點規劃，已成為事業執行土壤及地下水污染調查之重要課題。

本局為提升國內產業界對土壤及地下水污染調查之能力，特於 99 年度委託財團法人台灣產業服務基金會與中興工程顧問股份有限公司，邀請國內在水文地質、土壤及地下水採樣調查領域豐富經驗之專家學者，共同編撰土壤及地下水污染調查技術手冊。本技術手冊說明土壤及地下水污染調查列管現況、採樣調查規劃、水文地質、土壤及地下水調查方法，以為事業執行相關污染調查工作時之參考。

本技術手冊編撰過程，承蒙各撰稿人及編審委員竭盡所長提供相關寶貴技術與經驗，並於百忙中全力參與編輯及審稿工作，使本手冊得以付梓，謹致上最誠摯之謝忱。

經濟部工業局 謹誌
中華民國 99 年 12 月

土壤及地下水污染調查技術手冊

目錄

	頁次
序	
第一章 前言	1-1
1.1 撰寫目的	1-1
1.2 工業局相關技術手冊編撰歷程	1-1
1.3 適用範圍與限制	1-2
第二章 土壤及地下水污染調查列管現況	2-1
2.1 土污法相關調查規定	2-1
2.1.1 土壤及地下水污染調查及管制作業程序	2-1
2.1.2 土壤污染評估調查及檢測規定	2-4
2.1.3 違反土污法相關罰則	2-6
2.2 國內土壤及地下水污染調查現況	2-8
2.3 國內污染場址公告及解除列管現況	2-13
參考文獻	2-18
第三章 採樣調查規劃	3-1
3.1 採樣調查目的及原則	3-1
3.2 指定公告事業土壤污染評估調查及檢測執行方式	3-5
3.3 場址概念模型之建立	3-11
3.3.1 場址概念模型之類型	3-11
3.3.2 建構場址概念模型之步驟及方法	3-13
3.3.3 場址概念模型應掌握重點及注意事項	3-14
3.4 土壤及地下水污染評估調查費用	3-14
3.4.1 場址評估費用	3-15
3.4.2 土壤調查費用	3-15
3.4.3 地下水調查費用	3-16
3.4.4 報告撰寫費用	3-17
參考文獻	3-18
第四章 水文地質調查方法	4-1

4.1	水文地質概述	4-2
4.1.1	水文地質之定義	4-2
4.1.2	水文地質調查目的	4-2
4.1.3	水文地質應用領域	4-4
4.1.4	水文地質探討之問題	4-4
4.1.5	水文地質調查內容	4-5
4.1.6	台灣水文地質概況	4-7
4.2	環境地質調查	4-11
4.2.1	環境地質定義	4-11
4.2.2	調查項目	4-12
4.2.3	地質鑽探	4-14
4.2.4	台灣地質環境概況	4-15
4.3	地球物理探測	4-17
4.3.1	地表地球物理探測	4-17
4.3.2	鑽孔內地球物理井測	4-19
4.4	水文地質試驗	4-19
4.4.1	水力試驗	4-19
4.4.2	示蹤試驗	4-20
4.5	架構水文地質概念模式	4-23
4.5.1	水文地質概念模式組成元件	4-23
4.6	案例說明	4-24
	參考文獻	4-25
第五章	土壤污染調查方法	5-1
5.1	土壤污染調查方法概述及流程	5-1
5.2	土壤樣品之採集與處理	5-2
5.2.1	擬定土壤採樣計畫及採樣程序	5-3
5.2.1.1	採樣場址相關資料之蒐集	5-3
5.2.1.2	採樣範圍規劃	5-4
5.2.1.3	採樣佈點規劃	5-4
5.2.1.4	土壤採集之頻率、數目、數量與深度	5-5
5.2.1.5	土壤採集之工具及設備	5-7

5.2.1.6	土壤樣品容器	5-8
5.2.2	土壤樣品之前處理	5-8
5.2.3	土壤採樣之品質管制	5-10
5.2.4	土壤調查採樣規劃參考案例	5-11
5.3	土壤重金屬含量之測定	5-12
5.3.1	土壤重金屬污染概述	5-12
5.3.2	土壤重金屬之檢測原理	5-13
5.3.3	土壤重金屬之檢測方法與步驟	5-15
5.3.4	土壤中重金屬現地篩試工具	5-16
5.3.5	土壤重金屬測定參考案例	5-19
5.4	土壤中揮發性有機物之測定	5-21
5.4.1	土壤中有機污染物概述及測定原理	5-21
5.4.2	土壤揮發性有機物之測定方法與步驟	5-22
5.4.3	土壤中揮發性有機物現地快篩工具	5-24
5.4.4	應用地球物理探測技術於有機污染物偵測	5-26
5.4.5	土壤中揮發性有機物測定參考案例	5-36
5.5	土壤中非揮發性及半揮發性有機物之測定	5-37
5.5.1	非揮發性及半揮發性有機物在土壤中之特性	5-37
5.5.2	土壤非揮發性及半揮發性有機物之測定原理	5-37
5.5.3	土壤非揮發性及半揮發性有機物之測定方法與步驟	5-38
5.5.4	土壤中非揮發性及半揮發性有機物之現地篩試工具	5-40
5.5.5	品質管制	5-42
5.5.6	土壤中非揮發性及半揮發性有機物測定參考案例	5-42
	參考文獻	5-45
第六章	地下水污染調查方法	6-1
6.1	地下水調查技術概述及流程	6-1
6.1.1	地下水調查目的與原則	6-1
6.1.2	地下水調查方法與選定原則	6-12
6.1.3	地下水篩測工具	6-13
6.1.4	DPT 地下水即時採樣	6-16
6.1.5	簡易井	6-19

6.1.6	地下水調查流程.....	6-23
6.2	地下水監測井之設置.....	6-27
6.2.1	監測井構造.....	6-27
6.2.2	監測井鑽孔與土壤採樣、判識.....	6-28
6.2.2.1	鑿井.....	6-28
6.2.2.2	土壤採樣與判識.....	6-30
6.2.3	監測井材料選擇與設計方法.....	6-32
6.2.3.1	井管與篩管材料.....	6-32
6.2.3.2	井篩設計.....	6-34
6.2.3.3	濾層.....	6-35
6.2.3.4	封層與回填.....	6-37
6.2.3.5	保護座.....	6-39
6.2.4	監測井完井.....	6-39
6.2.5	設井品管與設井記錄.....	6-40
6.3	地下水採樣方法.....	6-41
6.3.1	地下水採樣規劃.....	6-41
6.3.2	採樣流程與品管.....	6-42
6.3.3	洗井與採樣方法與工具.....	6-43
6.3.4	採樣作業.....	6-49
6.3.4.1	洗井.....	6-49
6.3.4.2	採樣.....	6-53
6.3.5	樣品保存與管理.....	6-59
6.4	地下水調查案例.....	6-59
6.4.1	案例緣起.....	6-59
6.4.2	場址概況.....	6-60
6.4.3	地下水調查.....	6-64
6.4.4	案例經驗.....	6-73
	參考文獻.....	6-76
附錄 1	土壤及地下水污染整治法(99.02.03 華總一義字第 09900024211 號公布)	
附錄 2	土壤及地下水污染整治法第八條第一項及第九條之事業(98.07.27 行政院環境保護署環署土字第 0980064897 號、第 0980064897A 號修正)	

圖目錄

	頁次
圖 2-1 國內土壤及地下水污染調查及管制作業流程圖	2-3
圖 2-2 歷年工廠類污染場址新增公告列管情形	2-16
圖 3-1 環境場址評估法調查流程	3-8
圖 3-2 網格法調查流程	3-8
圖 3-3 污染場址概念模型 (SITE CONCEPTUAL MODEL) 範例	3-12
圖 3-4 污染暴露途徑 (人類為受體) 之場址概念模型範例	3-12
圖 3-5 污染物檢測結果及分布示意圖	3-13
圖 4-1 土壤及地下水污染之水文地質調查工作流程	4-1
圖 4-2 經濟部中央地質調查所 1994 年出版之屏東平原水文地質圖(1/100,000)	4-3
圖 4-3 三維水文地質概念模式示意圖	4-4
圖 4-4 平原區孔隙介質	4-5
圖 4-5 山區裂隙介質	4-5
圖 4-6 經濟部水資會 1986 年出版之台灣地區地下水文地質圖(1/250,000)	4-11
圖 4-7 雲林地區地質圖(1/50,000)	4-13
圖 4-8 現場地質鑽鑿作業	4-15
圖 4-9 岩心取樣	4-15
圖 4-10 經濟部中央地質調查所 2000 年出版之台灣地質圖(1/500,000)	4-16
圖 4-11 電磁波法應用於地下汞污泥探測實例	4-18
圖 4-12 地電阻影像剖面法應用於地下廢棄物探測實例	4-18
圖 4-13 鑽孔內地球物理井測及施測流程示意圖	4-19
圖 4-14 各種水力試驗中抽水量與水位變化關係示意圖	4-21
圖 4-15 現地定量及回升試水過程中水位洩降與回升變化圖	4-21
圖 4-16 示蹤試驗之突破曲線示意圖	4-22
圖 4-17 水文地質概念模式示意圖	4-23
圖 4-18 水文地質概念模式之組成元件	4-24
圖 5-1 土壤污染調查工作流程	5-1
圖 5-2 土壤採樣流程	5-2
圖 5-3 系統、隨機及分區採樣法示意圖	5-5

圖 5-4	XRF 安裝佈置圖	5-17
圖 5-5	土壤有機污染物檢測方法流程圖	5-22
圖 5-6	透地雷達橫斷面圖	5-28
圖 5-7	透地雷達裝置	5-29
圖 5-8	MIP 偵測原理示意圖	5-31
圖 6-1	地下水流受埋藏之舊河道影響的地質狀況	6-5
圖 6-2	污染物和液體沿著棲息含水層水平流動之後再往下垂直進入含水層	6-5
圖 6-3	岩體裂隙中複雜的污染傳輸路徑	6-5
圖 6-4	以分層監測井井叢監測厚度 較厚的地下水含水層	6-6
圖 6-5	監測不同水文地質單元的井叢剖面圖	6-6
圖 6-6	DNAPL 沿阻水層斜面之移動	6-8
圖 6-7	場址本身及毗鄰四周之地下水使用對污染擴散之影響	6-9
圖 6-8	場置性地下水標準監測井之監測計畫	6-11
圖 6-9	LIF 直感鑽頭結構	6-14
圖 6-10	DPT 即時採樣器	6-17
圖 6-11	封閉式篩孔之地下水即時採樣示意	6-18
圖 6-12	簡易監測井結構示意圖	6-20
圖 6-13	GEOPROBE® DT21 多功能地下水探測儀示意圖	6-21
圖 6-14	簡易井之預製篩管	6-22
圖 6-15	地下水監測井網規劃建置流程	6-25
圖 6-16	監測井設計示意圖（未按比例）	6-28
圖 6-17	地下水採樣作業流程圖	6-42
圖 6-18	鐵弗龍貝勒管	6-43
圖 6-19	鐵弗龍與不鏽鋼氣囊抽水泵（BLADDER PUMP）	6-43
圖 6-20	被動擴散採樣袋	6-47
圖 6-21	A 廠位置圖	6-61
圖 6-22	A 廠航照圖	6-62
圖 6-23	A 廠平面配置示意圖及區域性地下水流向	6-62
圖 6-24	環保署運作中工廠調查計畫採樣點位示意圖（環保署 2010B）	6-65
圖 6-25	A 廠採樣位置圖（環保署 2010B）	6-67
圖 6-26	環保署 98 年度底泥計畫標準監測井位置示意圖	6-69

圖 6-27	9815 案廠外簡易井與標準監測井增設位置示意圖	6-71
圖 6-28	9815 案環保署標準監測井位置示意圖	6-72

表目錄

	頁次
表 2-1 土壤污染評估調查及檢測資料項目	2-5
表 2-2 土污法第 9 條事業用地土壤污染檢測最少採樣點數規定	2-6
表 2-3 環保署廢棄工廠調查行業類別與污染關係統計表	2-10
表 2-4 歷年指定公告事業用地土壤污染檢測之調查業別與查證結果關係統計表	2-12
表 2-5 列管場址類型之比較	2-15
表 2-6 全國工廠類污染場址公告列管情形統計表	2-16
表 2-7 各縣市工廠類場址公告列管情形統計表	2-17
表 3-1 指定公告事業之污染物檢測項目	3-9
表 4-1 常用水文地質相關資料網址一覽表	4-6
表 4-2 台灣地區地下水文地質分類表	4-10
表 4-3 常用示蹤劑分類一覽表	4-22
表 5-1 土壤樣品檢測最少需要量與保存方式	5-10
表 5-2 土壤重金屬採樣及檢測方法	5-15
表 5-3 待測非揮發性及半揮發性有機物土壤樣品製備、萃取與淨化方法一覽表	5-38
表 5-4 各種檢測方法之特定萃取條件	5-39
表 5-5 有機物檢測方法一覽表	5-39
表 6-1 地下水監測之目的	6-2
表 6-2 場址調查目的分類	6-2
表 6-3 常見設井工法之適用情形及特點比較表	6-29
表 6-4 監測井材質的相對相容性	6-33
表 6-5 不鏽鋼、PVC、鐵弗龍(TEFLON®)三種監測井材質之比較	6-33
表 6-6 標準管徑表（僅節錄監測井常用者）	6-34
表 6-7 篩管縫寬與濾層材料尺寸對照表	6-35
表 6-8 濾料粒徑、含水層土壤粒徑與篩縫寬度的相關性	6-37
表 6-9 細顆粒地質材料中濾層規格	6-37
表 6-10 地下水洗井與採樣設備材料建議表	6-44
表 6-11 針對不同分析目標物質之地下水採樣設備之操作與適用性	6-45
表 6-12 低流量洗井採樣和被動採樣之比較	6-47

表 6-13	地下水監測井不同洗井與採樣方法的適用性.....	6-49
表 6-14	水質指標參數量測值穩定度容許偏差範圍.....	6-52
表 6-15	國外文獻建議水質指標參數穩定判斷準則.....	6-52
表 6-16	不同分析目標物質可能因採樣導致之偏差來源.....	6-56
表 6-17	A 廠檢測結果彙整表（環保署 2010B）.....	6-68

第一章 前言

1.1 撰寫目的

我國自民國 89 年公布施行「土壤及地下水污染整治法」(以下簡稱土污法)以來,環保機關即陸續針對全國工業區或高污染潛勢行業別工廠進行污染調查,並依調查結果進行污染場址之公告列管,同時依法要求事業辦理相關污染改善、控制及整治工作,以減輕污染危害。

土壤及地下水污染具有不易界定且複雜之特性,唯有透過完整的污染調查工作,方可掌握污染物在環境中的流佈情形,進而提昇後續污染改善規劃之技術效能與整治效益。然而污染調查工作常受限於有限經費或地下環境之不確定性,致使調查結果產出資料未臻完備,而無法提供符合需求之場址資訊。爰此,經濟部工業局(以下簡稱工業局)特針對土壤及地下水污染調查之執行規劃及方法,編撰本技術手冊,以供事業辦理相關污染調查工作時之參考。

1.2 工業局相關技術手冊編撰歷程

依土污法第 48 條規定,各目的事業主管機關應輔導事業預防及整治土壤及地下水污染。爰此,工業局自民國 90 年起,即積極協助事業辦理土壤及地下水污染預防及整治工作,除針對有輔導需求之事業進行現場個案輔導工作外,有感於事業對土壤及地下水污染預防、調查與整治相關知識之需求,自民國 92 年以來已陸續完成 6 項高污染潛勢行業別(石化業、金屬表面處理業、印刷電路板業、半導體業、鋼鐵冶煉業與光電材料及元件製造業)之土壤及地下水污染預防及整治技術手冊編製。

鑒於不同污染類型之污染調查、整治方法亦有所不同,為擴及不同污染類型場址之預防、調查及整治之運用,工業局復於民國 95 至 97 年完成重金屬、石油碳氫化合物及含氯碳氫化合物等污染類型技術手冊編製,以提供各污染類型事業辦理土壤及地下水污染預防、調查及整治工作之參考。

事業發生土壤及地下水污染多肇因於管理及操作上的疏失,工業局考量產業整體需求,自民國 98 年起擬分三年編製土壤及地下水污染預防、調查及整治技術手冊;其中預防技術手冊已於民國 98 年完成編製,主要針對製程及生產設施、廢水及廢棄物處理設施等提供事業應注意之相關污染預防管理措施,加強事業污染預防之管理,減少污染發生之機率。本(99)年度技術手冊將提供完整土壤及地下水污染調查技術,供有土壤及地下水污染調查需求之事業參考。

1.3 適用範圍與限制

- 一、本手冊內容不代表任何政策或法規的制定方向，也不作為任何法規相關解讀與論證之用。
- 二、本手冊主要提供事業有關土污法第 8 條、第 9 條、第 13 條及第 14 條規定所進行調查作業之參考做法。
- 三、本手冊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。
- 四、本手冊使用者於實際執行場址調查作業時，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，本手冊中並不做强制規範。

第二章 土壤及地下水污染調查列管現況

工廠類場址發生土壤及地下水污染之成因，多為製造、使用及貯存等運作過程中管理不當所造成。針對污染預防之管理，工廠應於運作時遵守空、水、廢、毒等相關環保法令之規定，以減少污染事件之發生；至於有污染之虞或已有污染事實之場址，應依土污法^[1]相關規定辦理污染之調查、改善及整治，以減輕對人體及環境之危害。本章就現行土污法對場址之調查及管制措施做說明，同時彙整環保署相關調查計畫執行概況及污染場址列管情形，以協助事業瞭解法令規定及國內污染調查管制方向。

2.1 土污法相關調查規定

以下扼要說明土污法之調查列管作業程序、土壤污染檢測制度及違反土污法之相關罰則，以利事業瞭解應遵守之相關規定，透過定期之土壤及地下水污染調查及監測，將有助於瞭解可能污染情形，並進一步加強污染之預防及提昇管理成效。

2.1.1 土壤及地下水污染調查及管制作業程序

一、土壤及地下水污染調查程序

依土污法第 7 條規定，各級主管機關得派員攜帶證明文件，進入公私場所進行下列查證工作：

- (一) 調查土壤、底泥、地下水污染情形及土壤、底泥、地下水污染源。
- (二) 進行土壤、地下水或相關污染物採樣及地下水監測井之設置。
- (三) 會同農業及衛生主管機關採集農漁產品樣本。

各級主管機關進行上述查證工作或命提供有關資料，場所使用人、管理人或所有人不得規避、妨礙或拒絕；查證時發現土壤、底泥或地下水因受污染而有影響人體健康、農漁業生產或飲用水水源之虞者，得準用土污法第 15 條第 1 項規定，命污染行為人、潛在污染責任人、場所使用人、管理人或所有人採取應變必要措施，以減輕污染危害或避免污染擴大。

二、土壤及地下水污染檢測單位

依土污法第 10 條規定，進行土壤、底泥及地下水污染調查、整治及提供、檢具土壤及地下水污染檢測資料時，除經中央主管機關核准者外，應委託經中央主管機關許可之檢測機構辦理。因此，未來事業擬提送

環保主管機關之土壤污染評估調查及檢測資料或相關污染改善、控制及整治計畫書應委託環檢所許可之檢測機構辦理。

截至民國 99 年 7 月止，取得許可之環境檢測機構共有 86 家計 91 處檢驗室，其中受理土壤檢測類之檢驗室有 26 處、受理地下水檢測類之檢驗室有 39 處，其詳細名單事業可逕至環保署環境檢驗所網站（網址：<http://www.niea.gov.tw/>）查詢。

三、土壤及地下水污染場址管制程序

目前國內土壤及地下水污染調查及管制作業流程如圖 2-1 所示，茲說明如下：

（一）調查查證

依土污法第 12 條第 1 項規定，各級主管機關對於有土壤或地下水污染之虞之場址，應即進行查證，並依相關環境保護法規管制污染源及調查環境污染情形。

（二）公告列管

針對污染來源明確，且污染物濃度達土壤或地下水管制標準之場址，直轄市、縣（市）主管機關得依土污法第 12 條第 2 項規定公告為土壤、地下水污染控制場址（以下簡稱控制場址）；控制場址經初步評估後，有嚴重危害國民健康及生活環境之虞時，直轄市、縣（市）主管機關應報請中央主管機關審核後，由中央主管機關公告為土壤、地下水污染整治場址（以下簡稱整治場址）。此外，公告土地之所在地登記機關應於土地登記簿登載相關列管情形，針對整治場址之土地，並應辦理禁止處分之登記，且得停止其強制拍賣程序。

至於場址之地下水污染濃度達管制標準而污染來源不明確者，直轄市、縣（市）主管機關應依土污法第 27 條規定公告劃定地下水受污染使用限制地區及限制事項，及依第 15 條規定採取應變必要措施。

（三）公告解除列管

依土污法第 26 條規定，控制場址或整治場址因適當措施之採取、控制計畫或整治計畫之實施，致土壤或地下水污染物濃度低於管制標準時，適當措施採取者或計畫實施者應報請直轄市、縣（市）主管機關或中央主管機關核准後，辦理下列解除管制事項，同時應報中央主管機關備查：

1. 公告解除依土污法第 12 條第 2、3 項所為控制或整治場址之管制或列管，並取消閱覽。

2. 公告解除或變更依第 16 條所為之土壤、地下水污染管制區之劃定。
3. 囑託土地所在地之登記機關塗銷依第 12 條第 3 項所為之控制、整治場址登記及依第 21 條所為之土地禁止處分之登記。

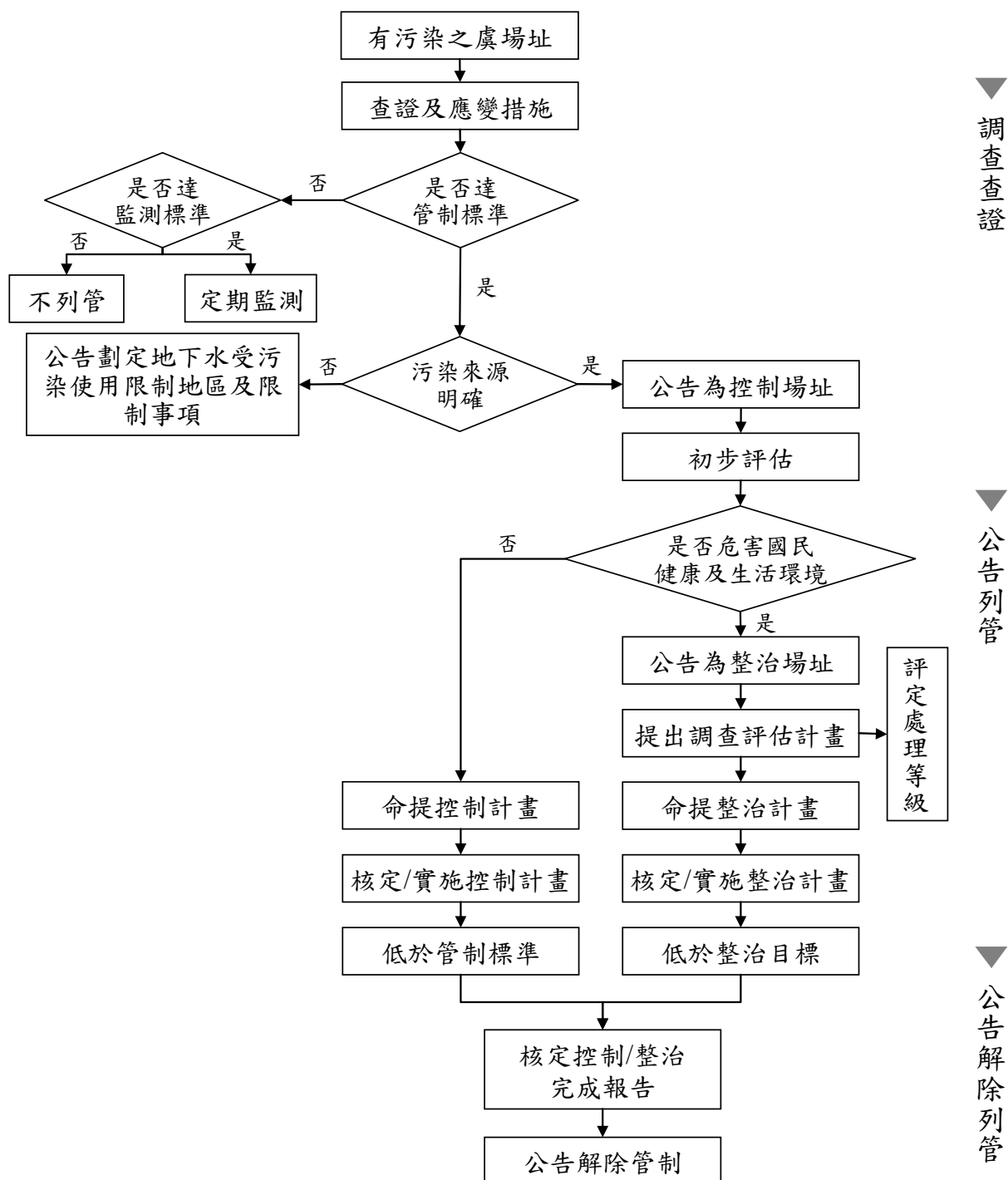


圖 2-1 國內土壤及地下水污染調查及管制作業流程圖

四、污染場址控制及整治階段污染調查

經公告列管為控制場址或整治場址之污染行為人或潛在污染責任人，應依土污法相關規定進行土壤或地下水污染調查：

- (一) 控制場址未經公告為整治場址者，直轄市、縣（市）主管機關應命污染行為人或潛在污染責任人於 6 個月內完成調查工作及擬訂污染控制計畫，並送直轄市、縣（市）主管機關核定後實施。（第 13 條第 1 項）
- (二) 整治場址之污染行為人或潛在污染責任人，應於直轄市、縣（市）主管機關通知後 3 個月內，提出土壤、地下水污染調查及評估計畫，經直轄市、縣（市）主管機關核定後據以實施。（第 14 條第 1 項）

2.1.2 土壤污染評估調查及檢測規定

一、土污法第 8、9 條相關規定

為建立用地土壤污染之管控機制，土污法第 8 條第 1 項規定：「中央主管機關公告之事業所使用之土地移轉時，讓與人應提供土壤污染評估調查及檢測資料，並報請直轄市、縣（市）主管機關備查。」；同法第 9 條第 1 項規定：「中央主管機關公告之事業有下列情形之一者，應於行為前檢具用地之土壤污染評估調查及檢測資料，報請直轄市、縣（市）主管機關或中央主管機關委託之機關審查：一、依法辦理事業設立許可、登記、申請營業執照。二、變更經營者。三、變更產業類別。但變更前、後之產業類別均屬中央主管機關公告之事業，不在此限。四、變更營業用地範圍。五、依法辦理歇業、繳銷經營許可或營業執照、終止營業（運）、關廠（場）或無繼續生產、製造、加工。」。

環保署於民國 93 年 12 月 7 日公告「土壤及地下水污染整治法第 8 條第 1 項之事業」及「土壤及地下水污染整治法第 9 條第 1 項之事業」，自民國 94 年 1 月 1 日起正式實施，前述公告之內容包括：18 類指定公告事業別、明定各類事業應檢測之污染物項目及土壤污染檢測時機，另於民國 96 年 7 月 9 日公告「土壤污染檢測備查作業要點」（以下簡稱「備查作業要點」），提升指引規範法令位階，於民國 96 年 11 月 21 日修正公告土污法第 8、9 條之事業，將原 18 類事業整併為 17 類；並於民國 98 年 7 月 27 日再次修正公告，將 17 類事業擴增為 30 類事業，新增之 13 類事業於民國 99 年 1 月 1 日起正式適用土污法第 8、9 條相關規定。惟因目前尚處土污法修正公布施行後之過渡時期，事業所提報之土壤污染評估調查及檢測資料可參考現行土污法施行細則^[2]第 7 條規定項目（如表 2-1），俟相關

法規修正發布後，應依環保署最新公告之規定內容為主。

表 2-1 土壤污染評估調查及檢測資料項目

項次	項目	內容
(一)	事業基本資料	事業名稱及負責人、統一編號、地址、地政編號、土地使用類別、廠區配置圖、土地使用人、管理人或所有人及聯絡方式等。
(二)	事業運作情形	生產製程、使用原料、產品、污染來源、污染物種類與成分、處理情形及相關污染防治措施。
(三)	檢測及分析結果	檢測項目、採樣檢測方法、檢測數量及品保品管等。
(四)	檢測機構	機構名稱、地址及許可文件影本。
(五)	其他經主管機關指定之資料	為便於事業檢具相關文件，環保署依土污法施行細則第 7 條訂定土壤污染檢測資料之格式、內容及填寫說明，供事業及相關單位參考。

二、土壤污染評估調查及檢測資料

由於土污法甫於民國 99 年 2 月 3 日修正公布，部分授權法規命令及行政規則尚須配合修正，依環保署於民國 99 年 5 月 5 日公告之「土壤及地下水污染整治法修正公布施行後過渡時期執行要點」第 4 條規定，土污法第 9 條第 2 項有關土壤污染評估調查及檢測資料之內容、申報時機、應檢具之文件、評估調查方法、檢測時機、評估調查人員資格、訓練、委託、審查作業程序及其他應遵行事項之辦法訂定發布前，應依下列規定辦理：

- (一) 土污法第 8 條第 1 項有關土壤污染評估調查及檢測資料之提供備查，於相關辦法訂定發布後實施。
- (二) 土污法第 9 條第 1 項有關事業設立與歇業前之土壤污染評估調查及檢測資料之檢具審查，得以行政指導方式，依民國 98 年 7 月 27 日環署土字第 0980064897A 號公告事項第二點至第四點以及現行備查作業要點規定辦理。
- (三) 土污法第 9 條第 1 項有關事業變更經營、變更產業類別與變更用地範圍之土壤污染評估調查及檢測資料之檢具審查，於第 9 條第 1 項之事業公告後實施，並得以行政指導之方式，依民國 98 年 7 月 27 日環署土字第 0980064897A 號公告事項第二點、第三點與現行備查作業要點規定辦理。。

爰此，目前土壤污染評估調查及檢測資料之提報審查作業流程，仍

須依現行之備查作業要點辦理，茲摘述其相關規定如下：

- (一) 事業應依指定之格式及內容填具土壤污染檢測資料，相關填寫說明可參考備查作業要點之附件一，或可逕至環保署「土壤及地下水污染整治網」(網址：<http://sgw.epa.gov.tw/public/>)之土污法第8、9條指定公告事業專區下載。
- (二) 事業應依備查作業要點「以環境場址評估法辦理事業用地土壤污染檢測指引^[3]」(以下簡稱「環境場址評估法」)、「以網格法辦理事業用地土壤污染檢測指引^[4]」(以下簡稱「網格法」)或其他經直轄市、縣(市)主管機關同意之方式進行用地土壤污染檢測作業。
- (三) 事業進行土壤污染檢測之採樣點數量，應依前項評估規劃方式之執行結果而定，惟當評估規劃之採樣點數量少於最少採樣點數(如表2-2)規定時，實作採樣點數量仍應符合最少採樣點數之規定。但事業用地全部位於建築物二樓以上者，得檢具證明文件，免予採樣檢測。
- (四) 土壤污染檢測作業應於報請備查前6個月內完成，但有下列情形且經直轄市、縣(市)主管機關同意者，不在此限：
 1. 自採樣日起事業用地內未從事任何運作行為。
 2. 採取適當圍籬、區隔、監控或防護措施，確保無排放、洩漏、灌注或棄置污染物於事業用地範圍內。
 3. 毗鄰用地無潛在污染源。
 4. 採樣時之事業與申請備查時之事業，其事業類別、製程及運作特性皆相同；或採樣時所檢測之土壤污染物項目可全部涵蓋申請備查事業之應檢測項目者。

表 2-2 土污法第9條事業用地土壤污染檢測最少採樣點數規定

事業用地面積 A (平方公尺)	最少採樣點數
$A < 100$	2
$100 \leq A < 500$	3
$500 \leq A < 1,000$	4
$A \geq 1,000$	10

註：若同一事業之用地呈不連續分布，則各用地應分別符合最少採樣點數之規定。

2.1.3 違反土污法相關罰則

事業未遵守土污法相關規定時，中央或直轄市、縣(市)主管機關得

依權責對事業進行處罰。茲摘列污染場址遭公告列管及未依規定提報計畫書或檢測資料之罰則如下：

一、事業遭公告列管控制場址

- (一) 污染行為人或潛在污染責任人未依土污法第 13 條第 1 項規定提送污染控制計畫者，直轄市、縣（市）主管機關得依土污法第 37 條規定處新台幣 100 萬元以上 500 萬元以下罰鍰，並通知限期補正或改善，屆期未補正或改善者，按次處罰。
- (二) 污染行為人或潛在污染責任人依土污法第 13 條第 1 項規定送直轄市、縣（市）主管機關審查之控制計畫，經直轄市、縣（市）主管機關審查以書面通知補正 3 次，屆期仍未完成補正者，或控制計畫實施者未依第 13 條主管機關核定之控制計畫內容實施者，直轄市、縣（市）主管機關得依土污法第 38 條規定處新台幣 20 萬元以上 100 萬元以下罰鍰，並通知限期補正，屆期未補正者，按次處罰。
- (三) 未經公告為整治場址之污染行為人因其行為致土地經公告為污染控制場址，直轄市、縣（市）主管機關得依土污法第 41 條第 3 項規定處新台幣 10 萬元以上 50 萬元以下罰鍰，同時得公告污染行為人之姓名或名稱，並命其接受 4 小時法規及環境教育講習。
- (四) 未經公告為整治場址之控制場址污染土地關係人未盡善良管理人之注意義務，致其土地公告為控制場址者，直轄市、縣（市）主管機關得依土污法第 42 條第 1 項規定處新台幣 5 萬元以上 25 萬元以下罰鍰。
- (五) 污染行為人違反土污法第 41 條第 4 項規定不接受講習者，直轄市、縣（市）主管機關得依同法第 42 條第 3 項規定處新台幣 5 萬元以上 25 萬元以下罰鍰，經再通知仍不接受者，得按次處罰，至其參加為止。

二、事業遭公告列管整治場址

- (一) 污染行為人或潛在污染責任人未依土污法第 22 條第 1 項規定提出污染整治計畫或同條第 4 項提出整治計畫變更之申請，或同法第 24 條第 7 項提出風險管理方式及控制計畫者，直轄市、縣（市）主管機關得依同法第 37 條規定處新台幣 100 萬元以上 500 萬元以下罰鍰，並通知限期補正或改善，屆期未補正或改善者，按次處罰。
- (二) 污染行為人或潛在污染責任人未依土污法第 14 條第 1 項規定提出或執行污染調查及評估計畫，或整治計畫實施者未依同法第 22 條第 1 項、第 3 項或第 24 條第 5 項主管機關核定之整治計畫內容實施者，

直轄市、縣（市）主管機關得依同法第 38 條處新台幣 20 萬元以上 100 萬元以下罰鍰，並得按次處罰，並通知限期補正，屆期未補正者，按次處罰。

(三) 因污染行為人之行為致土地經公告為污染整治場址時，直轄市、縣（市）主管機關得依土污法第 40 條第 3 項規定處新台幣 15 萬元以上 75 萬元以下罰鍰，並公告其姓名或名稱，且污染行為人應接受 4 小時法規及環境教育講習。

(四) 污染土地關係人未盡善良管理人之注意義務，致土地經公告為污染整治場址，直轄市、縣（市）主管機關得依土污法第 41 條第 3 項規定處新台幣 10 萬元以上 50 萬元以下罰鍰。

(五) 污染行為人違反土污法第 40 條第 3 項規定不接受講習者，直轄市、縣（市）主管機關得依同法第 42 條第 3 項處新台幣 5 萬元以上 25 萬元以下罰鍰，經再通知仍不接受者，得按次處罰，至其參加為止。

三、事業違反土污法第 8、9 條

土地讓與人未依土污法第 8 條第 1 項規定報請備查，或中央主管機關公告之事業違反同法第 9 條第 1 項規定者，直轄市、縣（市）主管機關得依同法第 40 條第 1 項處新台幣 15 萬元以上 75 萬元以下罰鍰，並通知限期補正，屆期未補正者，按次處罰。

2.2 國內土壤及地下水污染調查現況

工廠及工業區污染場址主要肇因於工業製造、生產過程中原料存放、產品製程及廢棄物處理不當或任意排放棄置所致。環保署自土污法施行以來，即陸續針對非法廢棄場址、廢棄工廠等工業污染場（廠）址進行土壤及地下水污染潛勢調查，並對個案進行查證，工業局亦推動工業區土壤及地下水採樣監測調查計畫，以預警監測方式掌握工業區土壤及地下水品質，協助加強土壤及地下水污染防治工作。以下簡要說明近年來國內工廠類場址土壤及地下水相關調查計畫之執行狀況：

一、環保署廢棄工廠土壤及地下水污染潛勢調查計畫^[5]

工業污染為土壤及地下水污染類型之主要來源之一，近年來知名之廢棄工廠土地污染案例，如原 RCA 桃園廠地下受含氯溶劑污染、中石化安順廠地下受汞及戴奧辛污染等，已引起國人之高度關注。環保署為掌握該類型場（廠）址之污染情況，自民國 93 年起陸續辦理「全國廢棄工廠土壤及地下水污染潛勢調查計畫」，針對國內 15 大高污染潛勢業別進行評估調查及基線資料建置。

截至民國 99 年 4 月止，環保署已完成辦理 4 期共 135 處廢棄工廠之污染調查作業，計畫成果及各調查行業類別與污染關係之統計如表 2-3 所示。實施調查之 135 處工廠中，計有 79 處有土壤或地下水之污染情形，其比例約達 60%，目前該等場（廠）址皆已依法辦理相關污染改善作業中。

二、環保署指定公告事業用地土壤污染檢測執行成效追蹤查核計畫^[6]

土污法第 8 條及第 9 條規定，中央主管機關指定公告之事業於土地移轉與設立、變更經營者、變更產業類別、變更營業用地範圍、停業或歇業前，均應提供用地土壤污染評估調查及檢測資料。依據前述規定，環保署於民國 93 年 12 月 7 日公告 18 類事業為「土壤及地下水污染整治法第八條第一項之事業」及「土壤及地下水污染整治法第九條之事業」，自民國 94 年 1 月 1 日起正式實施，並於民國 96 年 11 月 21 日修正公告，以符合實際執行之需要。為持續掌握指定公告事業執行用地土壤污染檢測之執行成效，並進一步規劃研議土污法第 8、9 條之後續推動與管制策略，環保署自民國 94 年起陸續辦理「指定公告事業用地土壤污染檢測執行成效彙整分析與查核計畫」。

表 2-3 環保署廢棄工廠調查行業類別與污染關係統計表

行業別	第一期		第二期		第三期		第四期		累計		百分比 (%)
	調查 數量	超過管制 標準數量	調查 數量	超過管制 標準數量	調查 數量	超過管制 標準數量	調查 數量	超過管制 標準數量	調查 數量	超過管制 標準數量	
皮革、皮毛及其 製品製造業	0	0	2	2	9	3	5	2	16	7	44
木竹製品製造業	0	0	0	0	2	2	8	1	10	3	30
基本化學工業	3	2	4	1	5	2	6	3	18	8	44
石油化工原料製 造業	4	1	0	0	0	0	0	0	4	1	25
肥料製造業	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
人造纖維製造業	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
合成樹脂及塑膠 製造業	2	0	0	0	3	1	1	1	6	2	33
合成橡膠製造業	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
塗料、染料及顏 料製造業	0	0	2	2	4	2	2	0	8	4	50
農藥及環境衛生 用藥	3	1	4	1	0	0	2	1	9	3	33
石油及煤製品製 造業	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0
塑膠製品製造業	0	0	1	0	4	3	2	2	7	5	71
金屬基本工業	1	1	4	4	14	13	7	7	26	25	96
金屬表面處理業	1	1	1	1	2	2	6	4	10	8	80
金屬熱處理業	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
電腦、通信及視聽 電子產品製造業	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
電子零組件製造業	0	0	0	0	1	1	4	4	5	5	100
電力機械器材及 設備製造修配業	1	0	1	1	5	3	5	3	12	7	58
廢棄物清除業	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
廢棄物處理業	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	100
小計	15	6	20	13	50	32	50	28	135	79	59

資料來源：環保署「廢棄工廠土壤及地下水污染潛勢第四期調查計畫」期末報告，環保專案查詢系統（網址：<http://epq.epa.gov.tw/mp.aspx>）。

彙整民國 94 年 1 月 1 日起至 98 年 5 月 1 日止之歷年土壤污染檢測備查案件，共計有 1,263 件。期間環保署針對已依規定完成備查作業程序之事業，共篩選 36 家進行場址現勘，其中有 18 家進行土壤採樣檢測之查證作業，計有 8 家之檢測值超過管制標準。此外，環保署亦針對未依規定完成備查作業程序之事業，共篩選 229 家進行場址現勘，其中有 25 家進行土壤採樣檢測之查證作業，計有 11 家之檢測值超過管制標準。

歷年指定公告事業用地土壤污染檢測之調查業別與查證結果關係統計如表 2-4 所示。

三、環保署運作中工廠土壤及地下水含氯有機溶劑污染潛勢調查及查證計畫^[7]

在各類型污染物中，含氯有機溶劑屬重質非水相液體（Dense Non-aqueous Phase Liquid，簡稱 DNAPL），其所造成之污染問題非常棘手，主要原因為其移動分布深受水文地質之複雜性所影響，且污染流佈及污染整治與調查迥異於一般之可溶性有機物或輕質非水相液體（Light Non-aqueous Phase Liquid，簡稱 LNAPL）污染，導致污染整治需耗費鉅額之金錢與時間，但仍無法完全移除或改善污染情形。含氯有機溶劑為工業生產之重要化學品，廣泛應用於工業製程，有鑑於此，環保署自民國 97 年起針對全國製造、使用、貯存及廢棄含氯有機溶劑之運作中工廠展開調查，以期掌握該類工廠之土壤及地下水污染情形。

截至民國 98 年 11 月止，環保署已針對「全國事業廢棄物管制系統」及「毒性化學物質許可管理系統」之事業申報資料中，篩選製造使用或曾製造使用關切含氯有機溶劑，且申報運作量大或疑似地下水含氯有機物污染潛勢之 26 家工廠初步評估名單，篩選 12 家污染潛勢較高之工廠進行調查，查證結果計有 10 家之污染物濃度超過管制標準，污染檢出率高達 83%。

表 2-4 歷年指定公告事業用地土壤污染檢測之調查業別與查證結果關係統計表

行業別	民國 94 年				民國 96 年				民國 97 年				累計			
	有備查		無備查		有備查		無備查		有備查		無備查		有備查		無備查	
	調查 數量	超過管制 標準數量	調查 數量	超過管制 標準數量	調查 數量	超過管制 標準數量	調查 數量	超過管制 標準數量	調查 數量	超過管制 標準數量	調查 數量	超過管制 標準數量	調查 數量	超過管制 標準數量	調查 數量	超過管制 標準數量
印刷電路板製造業	2	1	0	0	1	0	1	0	0	0	3	1	3	1	4	1
金屬表面處理業	1	1	0	0	1	1	1	1	4	2	9	6	6	4	10	7
廢棄物處理業	0	0	0	0	2	1	0	0	1	1	2	1	3	2	2	1
皮革、毛皮整製業	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	0	0	3	2
人造纖維製造業	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
合成樹脂及塑膠製造業	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	2	0
塑膠製品製造業	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2	0	1	0
電池製造業	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
加油站業	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0
基本化學材料製造業	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
農藥及環境衛生用藥製造業	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
小計	5	2	0	0	5	2	3	1	8	4	22	10	18	8	25	11

註：1.資料來源：環保署「指定公告事業用地土壤污染檢測執行成效彙整分析與查核計畫」，環保署環保專案查詢系統（網址：<http://epq.epa.gov.tw/mp.aspx>）。

2.「調查數量」係指有進行土壤採樣分析之事業數量。

四、工業局工業區土壤及地下水採樣監測調查計畫^[8]

80 年代以後新設置之工業區，為避免其開發、施工及營運對環境造成影響及衝擊，須依「環境影響評估法」之規定與要求，進行環境監測調查工作。而對於早期開發設置之工業區，工業局除配合「水污染防治法」、「空氣污染防治法」、「廢棄物清理法」及「毒性化學物質管理法」等相關環保法規規定積極辦理相關管理措施與輔導工業區內事業，進行各項污染防治工作。另自民國 96 年起陸續辦理「推動工業區土壤及地下水採樣監測調查計畫」，分期建置工業區內土壤及地下水採樣監測站網，並進行相關地下水文及水文地質基本資料調查，同時持續進行既設監測站網工業區之土壤地下水監測調查作業。

彙整工業局目前所管轄 60 處工業區之污染監測情形，其中民國 80 年以後開發，已依環評法進行監測調查之工業區計有 5 處；該計畫於民國 96 至 98 年間，已完成建置監測站網之工業區計有 28 處。前述已完成建置監測站網之 33 處工業區，皆持續進行定期之採樣監測調查工作，以期早日發現污染情事，並儘早邀集發現污染監測井週圍可能污染工廠研提改善對策，必要時可由土壤、地下水污染輔導團隊提供法令及技術協助。

2.3 國內污染場址公告及解除列管現況

土污法之公布施行帶給產業界對土地資產管理全新的衝擊，亦使產業不得不面對污染管理及預防之重要議題。工廠一旦經查證發現土壤及地下水污染，將直接影響土地價值及民眾對企業形象之觀感，企業亦需投注大量的金錢及人力進行土壤及地下水之污染調查及整治工作。

依土污法之規定，各級主管機關得進入公私場所進行污染查證工作，查證結果顯示污染物濃度達管制標準者，得依權責視污染情況予以列管，其情形有三，各類型列管場址之比較分析如表 2-5 所示：

一、依土污法第 7 條第 5 項規定，各級主管機關為查證工作時，發現土壤、底泥或地下水因受污染而有影響人體健康、農漁業生產或飲用水水源之虞者，得準用同法第 15 條第 1 項規定，採取應變必要措施。至於現行土污法施行細則第 8 條(以下簡稱細則 8)限期採取適當措施之規定，俟相關子法修正發布後，應符合環保署最新公告之規定。

二、場址之土壤或地下水污染物濃度達管制標準且污染來源明確者

(一) 依土污法第 12 條第 2 項規定，公告為土壤、地下水污染控制場址。

(二) 依土污法第 12 條第 3 項規定，控制場址經初步評估後，有嚴重危害

國民健康及生活環境之虞時，應報請中央主管機關審核後，由中央主管機關公告為土壤、地下水整治場址。

三、場址之土壤或地下水污染物濃度達管制標準但污染來源不明確者

- (一) 依土污法第 27 條第 1 項規定，公告劃定地下水受污染使用限制地區及限制事項。

以下茲就工廠類場址之公告列管情形，說明如下：

(一) 全國工廠類場址公告列管情形

統計環保署截至民國 99 年 6 月之資料顯示（詳表 2-6），國內目前公告列管場址共計 825 處，包括依細則八限期採取適當措施 87 處、地下水受污染限制使用地區 13 處、控制場址 695 處及整治場址 30 處。其中工廠類之列管場址共計 105 處，包括依細則八限期採取適當措施 38 處、地下水受污染限制使用地區 4 處、控制場址 56 處及整治場址 7 處。

(二) 各年度工廠類場址公告列管情形

環保署為推動土壤及地下水污染調查及整治工作，自土污法推行以來，已陸續辦理各類具高污染風險或民眾陳情案件之工廠污染調查及查證工作，並依查證結果進行污染場址之公告列管，各年度列管情形如圖 2-2 所示。依各年度列管場址數進行分析，顯示工廠類之污染場址有逐年增加之趨勢，未來工廠類事業如何積極做好污染預防管理，平時定期執行土壤及地下水調查及監測工作，已成為刻不容緩之事。

(三) 各縣市工廠類場址公告列管情形

分析全國公告列管工廠類場址之縣市別分布情形（詳表 2-7），以高雄市 29 處為最多，桃園縣 17 處次之，高雄縣 12 處及彰化縣 11 處再次之。若以公告列管之類別作統計分析，則依細則八限期採取適當措施以桃園縣之 15 處為最多，地下水受污染限制使用地區以台中縣 3 處為最多，控制場址以高雄市 26 處為最多，整治場址以高雄市 2 處為最多。

表 2-5 列管場址類型之比較

列管場址類型	採取應變必要措施	依細則八限期採取適當措施*	控制場址	整治場址	地下水受污染限制使用地區
法源依據	土污法 第 7 條第 5 項	土污法施行細則 (90.10.17) 第 8 條第 1 項	土污法 第 12 條第 2 項	土污法 第 12 條第 3 項	土污法 第 27 條第 1 項
場址類型之 認定原則	1. 土壤、底泥或地下水 因受污染而有影響人 體健康、農漁業生產 或飲用水水源之虞者 2. 執行期限以 12 個月 內完畢者為限	1. 污染物濃度達管制標 準者 2. 污染情節較輕、場址 污染範圍明確者 3. 污染改善期限以不超 過 12 個月為原則	1. 污染來源明確，污染 物濃度達管制標準者 2. 應變必要措施執行期 限屆滿，污染物濃度 仍未低於管制標準者	控制場址經初步評估 後，有嚴重危害國民健 康及生活環境之虞時， 所在地主管機關應報請 中央主管機關審核後， 公告為整治場址	地下水污染濃度達管制 標準而污染來源不明確 者
是否正式公告	否	否	是	是	是
土地是否禁止處分	否	否	否	是	否
是否須提送/審查 計畫書	視污染情形及所在地主 管機關要求而定	視污染情形及所在地主 管機關要求而定	是	是	視污染情形而定
計畫書名稱及 注意事項	—	污染改善計畫	所在地主管機關通知後 6 個月內，應完成調查 工作及擬訂污染控制計 畫	1. 所在地主管機關通知 後 3 個月內，應提出 污染調查及評估計畫 2. 依調查評估結果，於 所在地主管機關通知 後 6 個月內，應提出 污染整治計畫	經所在地主管機關初步 評估後，有嚴重危害國 民健康及生活環境之虞 時，準依整治場址相關 規定，命污染行為人或 潛在污染責任人提出污 染調查及評估計畫及污 染整治計畫

註：現行土污法施行細則第 8 條限期採取適當措施之規定，俟相關子法修正發布後，應依環保署最新公告之規定為主。

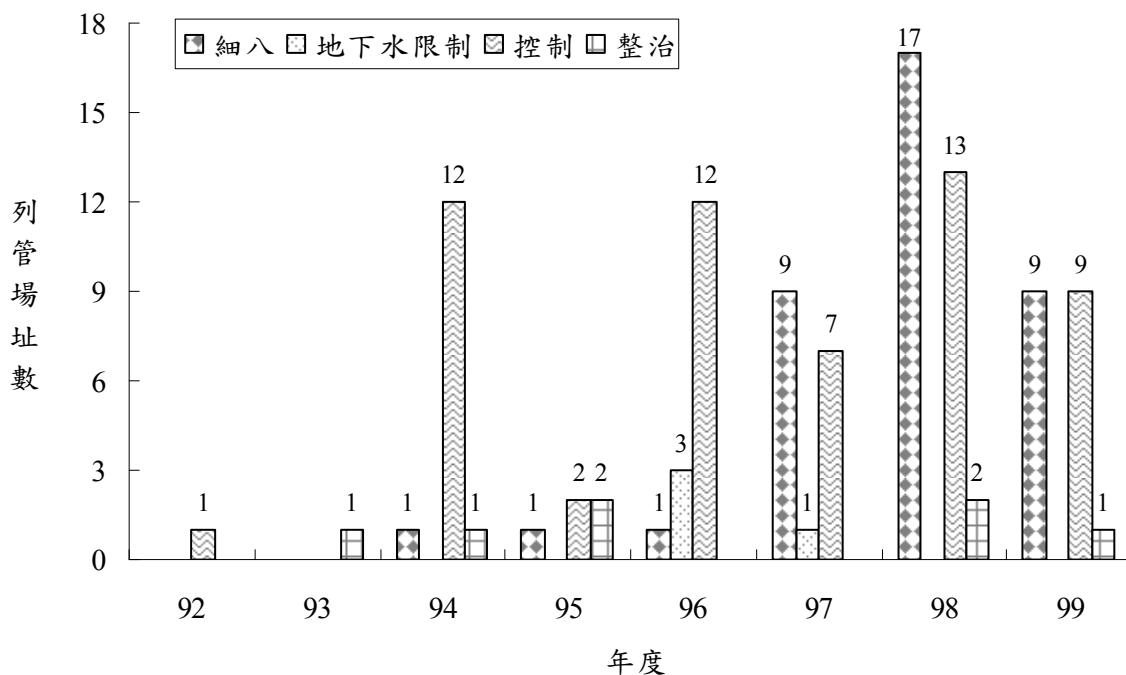
表 2-6 全國工廠類污染場址公告列管情形統計表^[9]

單位：處

場址類別 \ 列管狀態	依細則八限期 採取適當措施*	地下水受污染 限制使用地區	控制場址	整治場址	合計
工廠	38	4	56	7	105
加油站	20	0	45	16	81
其他	8	9	14	3	34
非法棄置場址	2	0	7	2	11
農地	17	0	568	0	585
儲槽	2	0	5	2	9
合計	87	13	695	30	825

註：1. 資料來源：環保署「土壤及地下水污染整治網」，民國 99 年 6 月。

2. 現行土污法施行細則第 8 條規定所在地主管機關進行污染查證時，應研判可能污染範圍，於公告為控制場址前，得命污染行為人、場所使用人、管理人或所有人限期採取適當措施。惟土污法甫於 99 年 2 月 3 日修正發布，目前尚處修法後之過渡時期，現行土污法施行細則第 8 條限期採取適當措施之規定，俟相關子法修正發布後，應依環保署最新公告之規定為主。



註：1. 資料來源：環保署「土壤及地下水污染整治網」，民國 99 年 6 月。

2. 99 年度資料僅統計至 6 月，預估年底前列管場址數將再增加。

圖 2-2 歷年工廠類污染場址新增公告列管情形^[9]

表 2-7 各縣市工廠類場址公告列管情形統計表

單位：處

縣市別 \ 列管狀態	依細則八限期 採取適當措施 [*]	地下水受污染 限制使用地區	控制場址	整治場址	合計
基隆市	0	0	1	0	1
台北縣	4	0	4	1	9
台北市	0	0	0	0	0
桃園縣	15	0	1	1	17
新竹縣	0	0	1	0	1
新竹市	4	0	1	0	5
苗栗縣	0	1	4	1	6
台中縣	3	3	1	0	7
台中市	1	0	1	0	2
彰化縣	3	0	8	0	11
南投縣	0	0	0	0	0
雲林縣	0	0	0	0	0
嘉義縣	0	0	0	0	0
嘉義市	0	0	0	0	0
台南縣	0	0	0	1	1
台南市	0	0	0	0	0
高雄縣	5	0	6	1	12
高雄市	1	0	26	2	29
屏東縣	1	0	1	0	2
台東縣	0	0	0	0	0
花蓮縣	0	0	0	0	0
宜蘭縣	1	0	0	0	1
澎湖縣	0	0	1	0	1
金門縣	0	0	0	0	0
連江縣	0	0	0	0	0
合計	38	4	56	7	105

註：1. 資料來源：環保署「土壤及地下水污染整治網」，民國 99 年 6 月。

2. 現行土污法施行細則第 8 條規定所在地主管機關進行污染查證時，應研判可能污染範圍，於公告為控制場址前，得命污染行為人、場所使用人、管理人或所有人限期採取適當措施。惟土污法甫於 99 年 2 月 3 日修正發布，目前尚處修法後之過渡時期，現行土污法施行細則第 8 條限期採取適當措施之規定，俟相關子法修正發布後，應依環保署最新公告之規定為主。

參考文獻

1. 行政院環境保護署，土壤及地下水污染整治法，2010。
2. 行政院環境保護署，土壤及地下水污染整治法施行細則，2001。
3. 行政院環境保護署，以環境場址評估法辦理事業用地土壤污染檢測指引，2007。
4. 行政院環境保護署，以網格法辦理事業用地土壤污染檢測指引，2007。
5. 行政院環境保護署，廢棄工廠土壤及地下水污染潛勢第四期調查計畫（甲、乙），EPA-98-GA10-03-A075，2010。
6. 行政院環境保護署，指定公告事業用地土壤污染檢測執行成效彙整分析與查核計畫，EPA-97-GA02-03-A131，2009。
7. 行政院環境保護署，運作中工廠土壤及地下水含氯有機溶劑污染潛勢調查及查證計畫，EPA-97-GA12-03-A184，2009。
8. 經濟部工業局，推動工業區土壤及地下水採樣監測調查計畫，2009。
9. 行政院環境保護署，「土壤及地下水污染整治基金管理會」網站，列管場址查詢，網址：<http://sgw.epa.gov.tw/public/>，2010。

第三章 採樣調查規劃

土壤及地下水污染調查目的在於瞭解污染潛勢及可能之污染情形，有效的污染調查規劃可提供較符合實際污染狀況之調查結果，藉由調查結果進而擬定污染控制或整治策略，因此如何規劃及落實場址內污染潛勢評估、污染範圍調查及整治成效調查及驗證等，成為事業遭遇土壤及地下水污染問題，首當思考之關鍵課題。本章將就一般性土壤及地下水污染調查規劃做簡要說明，並提示相關作業原則及考量重點，以供事業執行相關調查計畫時之參考。

3.1 採樣調查目的及原則

為瞭解土壤及地下水品質，可透過土壤及地下水採樣調查獲得相關數據，依其結果據以研判土壤及地下水是否遭污染或可能污染情形，由於各階段依其調查目的不同，故採樣規劃方式亦有所不同，事業若能掌握各階段調查工作之目的，將有助於調查工作執行，進而提升調查作業之成效。

依據土污法相關規定，當場址有污染時，污染行為人、潛在污染責任人及污染土地關係人（包括土地使用人、管理人或所有人）應依規定辦理場址土壤或地下水污染調查，一般污染場址調查作業大致可分為污染來源調查、污染範圍調查、控制/整治成效調查及污染改善完成驗證調查四個階段。

不管是哪一階段調查工作，採樣調查執行前事業應委請有經驗之技術顧問機構提供採樣調查佈點規劃及經費預估，協助事業瞭解調查規劃原則及可能費用，以下說明各階段調查目的及原則。

一、污染來源調查

工廠自行發現土壤或地下水遭受污染，或環保機關於接獲污染通報或例行調查後查證工廠遭受污染時，事業首先應確認污染來源及原因。若為廠內製程、處理或貯存設施洩漏所造成，應立即進行修補或阻斷污染來源，以避免污染持續洩漏及擴大；若污染源非來自廠內，應與鄰近工廠進行緊急協調，確認可能污染來源，並要求污染來源工廠採取應變必要措施。污染來源調查前置作業需蒐集工廠及其周圍環境之背景資料，推估可能污染來源及途徑，有助於污染來源確認及後續採樣調查工作規劃。

污染來源調查之主要目的包括：

- (一) 確認污染來源及成因。
- (二) 協助調查人員研判是否應立即採取緊急應變措施，以免污染範圍擴

大。

(三) 蒐集場址相關資料，作為下一階段調查規劃之參考。

目前環保機關查證時，如發現土壤或地下水任一樣品之污染物濃度達到管制標準，即可認定該場址確有遭受污染之事實。因此事業在進行調查作業時，應妥善規劃採樣佈點位置，以瞭解場址是否確實遭受污染。

為評估廠區土壤及地下水污染潛勢，污染來源調查之原則，應著重在土壤及地下水污染潛勢較高之運作區域，一般工廠可能土壤及地下水污染源，包括：

- (一) 製程反應槽洩漏、管線破裂。
- (二) 地上或地下儲槽洩漏。
- (三) 地下輸送管線破裂。
- (四) 油品與化學品裝卸區域。
- (五) 廢污水集水池、污水坑、廢水處理場及廢污水排放管。
- (六) 雨、排水系統。
- (七) 有害事業廢棄物暫存區。
- (八) 堆置原物料之桶槽
- (九) 有害事業廢棄物非法棄置、掩埋區域。

依據採樣調查計畫書進行土壤、地下水採樣及檢測，檢測結果與土壤及地下水污染管制標準進行比較，以評估場址是否遭污染。土壤、地下水污染物檢出之濃度如與製程運作原物料項目有關且有升高趨勢，即使未達土壤及地下水污染管制標準，建議事業仍應自行檢視是否有地下型貯槽、管線洩漏污染情形，並應立即修護洩漏源以防堵污染擴散。

二、污染範圍調查

依土污法第 13 條第 1 項規定，「控制場址未經公告為整治場址，直轄市、縣(市)主管機關應命污染行為人或潛在污染行為人於 6 個月內完成調查工作及擬訂污染控制計畫，並送直轄市、縣(市)主管機關核定後實施。」另依土污法第 14 條第 1 項規定，「整治場址之污染行為人或潛在污染責任人，應於直轄市、縣(市)主管機關通知後 3 個月內，提出土壤、地下水污染調查及評估計畫，經直轄市、縣(市)主管機關核定後據以實施」。因此，於研擬污染控制或整治計畫前，應先辦理污染範圍補充調查及水文地質調查，俾利掌握污染之範圍及程度，同時依調查結果評估控制或整治技術之可行性。

完成上述污染調查作業後，事業應由污染物濃度超過管制標準之採樣點向外作系統化的採樣，以判定污染範圍，然而於實務執行上，場址污染範圍很難以一次採樣檢測結果得到確認，故常須進行多次補充採樣，始可較明確劃出污染範圍。以地下水污染場址為例，若已有污染擴散之情形，需視場址水文地質特性進行多次之採樣，必要時可輔以適當地下水污染物傳輸模式，推估可能之污染範圍。

污染範圍調查目的，除依上述法令規定擬訂控制計畫前需執行場址調查工作，或於整治計畫提送前需依規定提送調查及評估計畫外，因環保單位少數查證數據並無法瞭解場址可能污染情形及污染量，需藉由完整且有系統之污染範圍補充調查，才能掌握場址之可能污染情形及污染量，以作為後續研擬污染控制或整治計畫，以及評估後續污染控制或整治經費之參考。

污染範圍調查應注意之調查原則如下：

- (一) 於調查前應蒐集環保單位查證、過去工廠運作及自行監測等相關資料，依其資料研擬採樣調查規劃書。
- (二) 補充水文地質調查，瞭解水文地質特性。
- (三) 環保單位查證確認超過管制標準區域或高污染潛勢區應以較細密網格佈點，確認可能污染範圍；其他未超過管制標準區域或低污染潛勢可以較大網格佈點規劃，進一步確認是否無遭污染。
- (四) 可依污染特性於現場採用即時性快速調查，建構較完整場址概念模型(Site Conceptual Model)。
- (五) 除水平面污染範圍調查外，亦應瞭解垂直面污染情形及範圍。

污染範圍調查成果應納入污染控制或整治計畫提送環保局審查，若未通過環保局專案小組審查，事業需依審查意見修正或執行補充調查，並提送污染控制或整治計畫書修訂版予環保局再次審查，至審查核定為止，事業再依據核定污染控制或整治計畫書內容執行污染控制或整治工作，惟需注意補正以三次為限，屆期仍未完成補正者將遭按次處罰之規定。

三、控制或整治成效調查^[3-5]

事業於撰寫控制計畫或整治計畫時，須針對污染物、污染範圍及污染程度做說明，同時提出污染控制、整治及防治方法，並經直轄市、縣（市）主管機關核定後實施。控制或整治計畫執行期間，事業應定期彙整執行進度報告予環保局核備，以供環保局瞭解場址污染改善或整治情

形，並可作為事業評估污染改善或整治技術成效之參考。

土污法中雖並未明確規定選擇整治技術時應進行特定之調查，但因現地整治技術之發展日新月異，且在應用上有不同之條件限制，因此，詳細調查結果可協助事業評估整治技術適用性。惟此類型調查之必要性與細密度，仍應視個案場址之整治方式、整治目標與財務資源等層面上作整體評估考量。

控制或整治成效調查之目的，在瞭解污染控制或整治成效，以為後續整治技術選用或調整整治相關參數條件之參考。

控制或整治成效調查應注意之調查原則如下：

- (一) 可視場址污染物類型選擇適當調查評估工具，以土壤遭重金屬污染場址為例，污染控制或整治期間可先行以 X 射線螢光偵測器(XRF)篩測，由篩測值初步瞭解污染控制或整治成效，可節省每一樣品均送實驗室檢測費用。對於篩測值較高、接近管制標準值樣品或 XRF 篩測數據與實驗室檢測數據相關係數較差之重金屬項目，如：汞、砷、鉛及鎘等項目，建議控制或整治成效調查時，還是需將樣品送實驗室分析。
- (二) 可視場址整治方式選擇適當調查評估工具，以揮發性有機物污染場址為例，如其整治方式係針對不飽和層或通氣層(Vadose Zone)土壤中高揮發性污染物以土壤氣體抽除法(Soil Vapor Extraction, SVE)整治，此時欲瞭解整治成效，除直接採集土壤樣品進行實驗室分析外，亦可藉由光離子偵測器(Photoionization Detector, PID)、火焰離子偵測器(Flame Ionization Detector, FID)與攜帶式氣相層析儀(Portable Gas Chromatographs)進行土壤氣體檢測外，亦可藉由抽氣井之氣體檢測瞭解其處理效果。

污染整治過程中需定期進行控制或整治成效調查，並依現場操作情況調整整治相關參數，如此才能利用最佳操作條件達成控制或整治目標。

四、污染改善完成驗證調查

事業依直轄市、縣(市)主管機關核定之污染控制計畫書或整治計畫書，完成場址污染改善或整治工作後，應進自行驗證，並於自行驗證均低於管制標準後，再提送污染控制或整治計畫完成報告，向直轄市、縣(市)主管機關申請解除列管。直轄市、縣(市)主管機關進場驗證通過後，將依法解除污染場址之列管；經驗證未通過者，則要求事業持續執

行污染控制或整治計畫。

依據現行土污法施行細則第 14 條及第 21 條規定，事業提出之污染控制及整治計畫，其內容應包括控制結果之驗證方式及整治完成驗證計畫，另依同法第 24 條規定，污染整治完成報告之內容應包括驗證計畫實施情形。為確保污染改善成效，事業於提出控制或整治計畫時，即應規劃驗證計畫之實施方式，同時就後續之採樣調查方式進行確認，以順利進行驗證工作並達成污染場址公告解除列管之目的。

驗證作業主要分成兩個階段：「業者自行驗證」及「環保機關複驗」。業者應於所提送之污染控制/整治計畫書中，說明自行驗證計畫，並依據核定之驗證計畫內容實施驗證調查。調查結果顯示土壤或地下水污染物濃度低於管制標準或整治目標後，再由環保機關進行驗證，驗證結果確認場址污染改善完成後，方得以解除列管，並進行持續之追蹤監測。

污染改善完成驗證調查應注意之調查原則如下：

(一) 土壤

1. 採樣位置應包括洩漏點、污染源及污染改善區域。
2. 過去曾發現超過土壤污染管制標準之點位。
3. 樣品數量應能涵蓋場址先前調查已知污染物分布範圍。
4. 分析項目需注意是否涵蓋關切污染物之可能衍生物。
5. 注意客土土壤來源及品質，應檢附相關證明及檢測報告。

(二) 地下水

1. 控制或整治前之高濃度及污染改善區域。
2. 污染改善區域之地下水下游，污染改善系統之影響圈外圍區域。
3. 場址周界，特別是地下水下游處。
4. 場址外受體可能接觸地下水之區域。
5. 樣品數量應能涵蓋場址先前調查已知污染物分布範圍。
6. 分析項目需注意是否涵蓋關切污染物之可能衍生物。

3.2 指定公告事業土壤污染評估調查及檢測執行方式

土污法第 8 條規定：「中央主管機關公告之事業所使用之土地移轉時，讓人應提供土壤污染評估調查及檢測資料，並報請直轄市、縣（市）主管機關備查。」；第 9 條規定：「中央主管機關公告之事業有下列情形之一者，應於行為前檢具用地之土壤污染評估調查及檢測資料，報請直轄市、縣（市）主管機關或中央主管機關委託之機關審查：(1)依法辦理事業設立許可、登

記、申請營業執照。(2)變更經營者。(3)變更產業類別。但變更前、後之產業類別均屬中央主管機關公告之事業，不在此限。(4)變更營業用地範圍。(5)依法辦理歇業、繳銷經營許可或營業執照、終止營業（運）、關廠（場）或無繼續生產、製造、加工。」。

由於土污法甫於民國 99 年 2 月 3 日修正公布，部分授權法規命令及行政規則尚須配合修正，依環保署於民國 99 年 5 月 5 日公告之「土壤及地下水污染整治法修正公布施行後過渡時期執行要點」規定，土污法第 9 條第 2 項有關土壤污染評估調查及檢測資料之提報備查或審查作業流程，仍須依現行之土壤污染檢測資料備查作業要點(以下簡稱備查作業要點)辦理。指定公告事業擬依土污法第 8 條及第 9 條規定進行工廠用地之土壤污染檢測作業時，主要執行方式及注意事項說明如下：

一、確認是否屬於指定公告事業

當事業擬進行土地移轉、設立、變更經營者、變更產業類別、變更營業用地範圍或歇業前，應先向所在地環保主管機關確認是否屬於土污法第 8 條或第 9 條指定公告之 30 類事業。另針對其中 25 類屬於製造業之工廠，需其廠房、其他附屬設施所在之土地及空地面積達 100 平方公尺以上者，方屬指定公告事業。

二、進行工廠用地土壤污染檢測

(一) 委託執行單位

經確認屬於指定公告之事業者，可委託評估調查之環境專業人員(以下簡稱環境專業人員)或技術顧問機構及經環保署許可之檢測機構，協助事業進行用地之土壤污染檢測作業。

首先在選擇環境專業人員或技術顧問機構之資格條件上，目前國內尚無資格限制或認證要求，事業可依廠商所提出之人員學經歷、過去曾執行環境場址評估或土壤及地下水污染調查整治工作之實績經驗等資料，選擇適當之人員或機構協助辦理；有關調查評估人員資格目前環保署正在研議修訂「土壤污染評估調查人員管理辦法(草案)」，事業應於委辦專業人員或機構時，確認是否符合相關資格條件。

至於土壤採樣與檢測方面，事業應依土污法第 10 條規定委託經環保署許可之檢測機構辦理；有關已取得許可之土壤採樣與檢測機構名單，事業可逕至環保署環境檢驗所網站查詢。

(二) 規劃土壤污染檢測方式

事業可依環保署所訂定備查作業要點之環境場址評估法及網格法等規範，以為作業程序之參考，其流程分別如圖 3-1、圖 3-2 所示，詳細資料可逕至環保署土壤及地下水污染整治網（網址：<http://sgw.epa.gov.tw/public/>）查詢。

(三) 擇定土壤污染檢測項目

由於工廠之運作特性各異，應檢測之土壤污染物項目亦不盡相同，指定公告事業可參考環保署於民國 98 年 7 月 27 日修正公告之「土壤及地下水污染整治法第 8 條第 1 項之事業」及「土壤及地下水污染整治法第 9 條之事業」（詳附錄 2）之附表（表 3-1），並經專業評估後擇定適當檢測項目。

目前土污法第 8、9 條有關土壤污染評估調查及檢測資料之規定如下：

1. 土污法第 8 條（土地移轉時）

檢測項目得依事業實際運作時可能產生土壤污染管制標準所規定之管制項目，由土地移轉讓受雙方協議之。

2. 土污法第 9 條（事業設立或停、歇業時）

事業實際運作時未使用及未產生表 3-1 之污染物檢測項目者，應檢附證明文件，經所在地主管機關同意後，免檢測該污染物項目。證明文件包括下列資料：

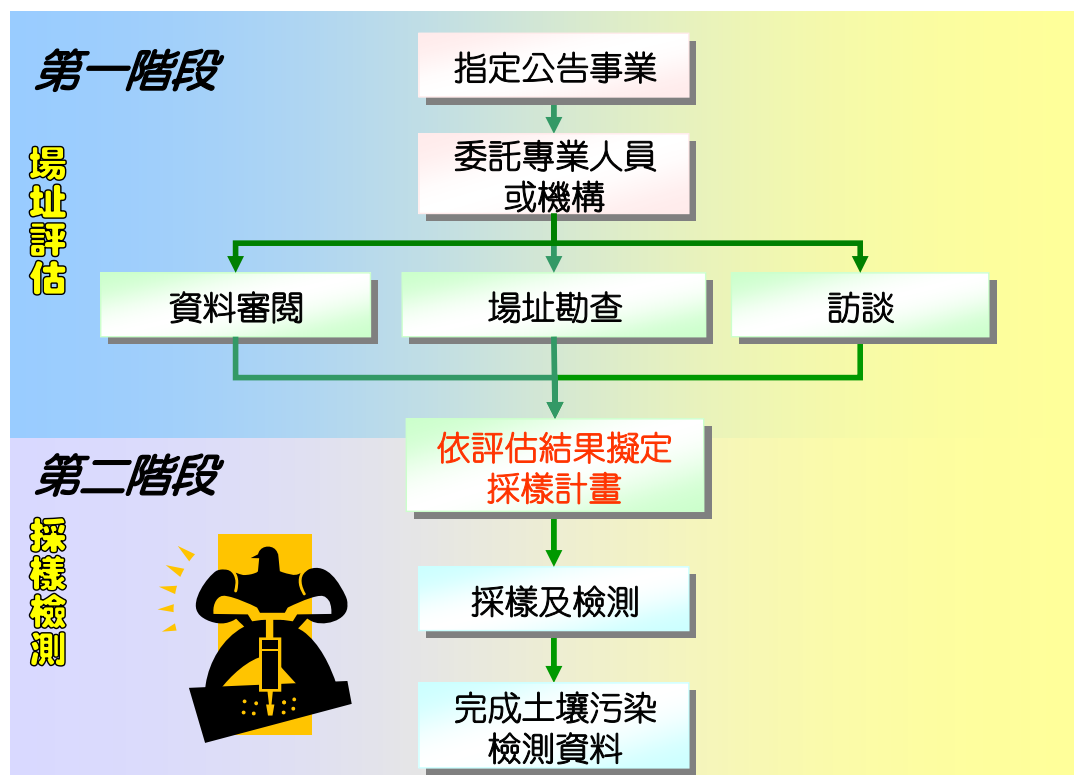
- (1) 事業運作製程資料。
- (2) 事業運作使用之原料與其組成成分資料。
- (3) 事業運作產生之污染物與其組成成分資料。
- (4) 其他經所在地主管機關指定檢附之資料。

事業實際運作或曾運作可能使用或產生表 3-1 檢測項目以外之土壤污染管制標準所規定之管制項目時，應增加檢測該項目。

(四) 土壤污染之採樣時機

事業應於下列時機前完成用地土壤污染評估調查及檢測資料之採樣作業：

1. 設立：應於工廠或設施試運轉前完成採樣，但有開挖整地或改變地形地貌者，應於施工前完成採樣。
2. 停業、歇業前完成採樣。



資料來源：環保署「以環境場址評估法辦理事業用地土壤污染檢測指引」。

圖 3-1 環境場址評估法調查流程

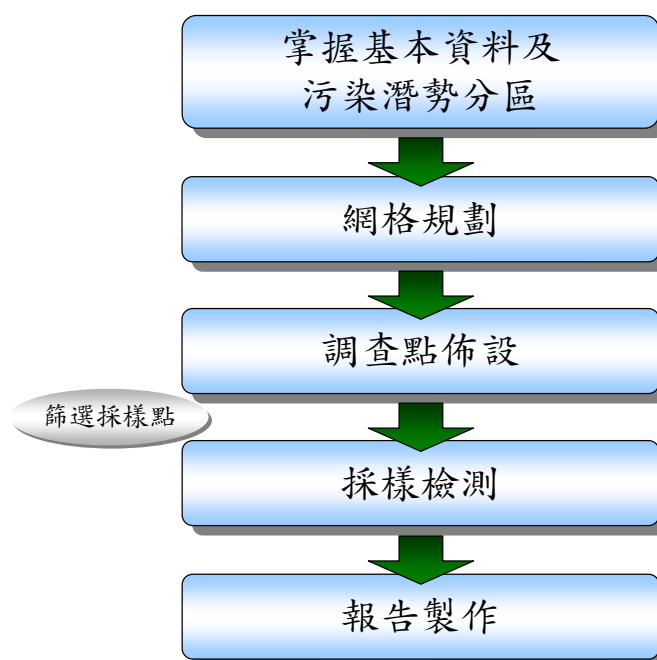


圖 3-2 網格法調查流程

表 3-1 指定公告事業之污染物檢測項目

批次	項次	事業		主要製程	檢測項目
一	一	廠房、其他附屬設施所在之土地及空地面積達一百平方公尺以上之工廠	皮革、毛皮整製業	皮革、毛皮鞣製製程	鉻
				塗飾或染色製程	鎘、鉻、銅、鉛、鋅、VOC
				其他製程	鎘、鉻、銅、鉛、鋅、VOC
			石油及煤製品製造業	石油及煤製品製造製程	砷、鎘、鉻、銅、汞、鎳、鉛、鋅、VOC、SVOC、TPH
			基本化學材料製造業	基本化學材料製造製程	砷、鎘、鉻、銅、汞、鎳、鉛、鋅、VOC、SVOC、TPH
			石油化工原料製造業	石油化工原料製造製程	砷、鎘、鉻、銅、汞、鎳、鉛、鋅、VOC、SVOC、TPH
			合成樹脂及塑膠製造業	合成樹脂及塑膠製造製程	砷、鎘、鉻、銅、汞、鎳、鉛、鋅、SVOC、VOC、TPH
			合成橡膠製造業	合成橡膠製造製程	VOC、SVOC、TPH
			人造纖維製造業	人造纖維製造製程	VOC、SVOC、TPH
			農藥及環境衛生用藥製造業	使用砷、有機砷為原料製造農藥及環境衛生用藥製程	砷、VOC、SVOC、農藥
				使用汞、有機汞為原料製造農藥及環境衛生用藥製程	汞、VOC、SVOC、農藥
				使用銅為原料製造農藥及環境衛生用藥製程	銅、VOC、SVOC、農藥
				使用有機溶劑萃取製造生物性農藥及環境衛生用藥製程	VOC
				其他製程	砷、汞、銅、VOC、SVOC、農藥
			塑膠皮、板、管材及塑膠皮製品製造業	使用石化基本原料及中間產品合成製造塑膠皮、板、管材及塑膠皮製品製程	VOC、TPH
			鋼鐵冶煉業	煉焦製程	VOC、TPH
				煉鐵製程	鉛、鋅、TPH
				轉爐煉鋼製程	鉛、鋅、TPH
				電弧爐煉鋼製程	鎘、鉻、銅、鎳、鉛、鋅、TPH
			金屬表面處理業	使用有機溶劑之製程	鎘、鉻、銅、鎳、鉛、鋅、VOC
				化成、電鍍製程	鎘、鉻、銅、汞、鎳、鉛、鋅
				塗裝製程	鎘、鉻、銅、鉛、鋅、VOC
				其他製程	鎘、鉻、銅、汞、鎳、鉛、鋅、VOC
			半導體製造業	半導體製造製程	砷、鎘、鉻、銅、汞、鎳、鉛、鋅、VOC、SVOC
			印刷電路板製造業	印刷電路板製造製程	鉻、銅、鎳、鉛、VOC
			電池製造業	非汞電池製造製程	鎘、鉻、銅、鎳、鉛、鋅、VOC
				汞電池製造製程	鎘、鉻、銅、汞、鎳、鉛、鋅、VOC
一	二	電力供應業	燃煤機組發電製程	砷、汞、鉛、TPH、PCBs	
			燃油機組發電製程	鉛、TPH、PCBs	
一	三	加油站業	汽油、柴油銷售儲存	苯、乙苯、甲苯、二甲苯、TPH	
一	四	廢棄物處理業	廢棄物焚化處理或熱處理程序	砷、鎘、鉻、銅、汞、鎳、鉛、鋅、VOC、SVOC、TPH、戴奧辛	
			含農藥成分廢棄物之處理程序	砷、鎘、鉻、銅、汞、鎳、鉛、鋅、VOC、SVOC、農藥	
			含多氯聯苯成分廢棄物之處理程序	砷、鎘、鉻、銅、汞、鎳、鉛、鋅、VOC、SVOC、PCBs	
			含戴奧辛成分廢棄物之處理程序	砷、鎘、鉻、銅、汞、鎳、鉛、鋅、VOC、SVOC、戴奧辛	
			應回收廢機動車輛處理程序	銅、鎳、鉛、鋅	
二	四	廢棄物處理業	應回收廢電子電器類處理程序	銅、鎳、鉛、鋅	
			應回收廢資訊物品類處理程序	銅、鎳、鉛、鋅	

批次	項次	事業		主要製程	檢測項目
				應回收廢輪胎類之熱裂解處理程序	TPH
				應回收廢潤滑油類處理程序	鉻、鎳、鉛、鋅、TPH
				應回收廢鉛蓄電池類處理程序	鉛、鋅
				應回收廢乾電池類處理程序	鎘、鉻、銅、汞、鎳、鉛、鋅
				應回收農藥及環境用藥廢容器類處理程序	砷、銅、汞、VOC、SVOC、農藥
				應回收廢照明光源類處理程序	汞
				其他廢棄物處理程序	砷、鎘、鉻、銅、汞、鎳、鉛、鋅、VOC、SVOC
二	一	廠房、其他附屬設施所在之土地及空地面積達一百平方公尺以上之工廠	製材業	乾燥製程	TPH
				浸漬防腐製程	砷、鉻、鋅、銅、VOC、SVOC、TPH
			肥料製造業	化學合成肥料或土壤改進劑製造製程	砷、鎘、鉻、銅、汞、鎳、鉛、鋅、VOC、SVOC、TPH
				塗料、染料及顏料製造業	塗料、染料、顏料、瓷釉、油墨等製造製程
			鋼鐵鑄造業		鋼鐵熔融澆注製程
			煉鋁業	鋁精煉、合金、電解製造製程	鎘、鉻、銅、鎳、鉛、鋅、TPH
			鋁鑄造業	鋁熔融澆注製程	鎘、鉻、銅、鎳、鉛、鋅、TPH
			煉銅業	銅精煉、合金、電解製造製程	鎘、鉻、銅、鎳、鉛、鋅、TPH
			銅鑄造業	銅熔融澆注製程	鎘、鉻、銅、鎳、鉛、鋅、TPH
			金屬熱處理業	溶劑清洗製程	鉛、鎘、鉻、鎳、鋅、銅、VOC
				使用焊火油、潤滑油之製程	鉛、鎘、鉻、鎳、鋅、銅、TPH
				化學或物理蒸鍍製程	鉛、鎘、鉻、鎳、鋅、銅
				其他熱處理製程	鉛、鎘、鉻、鎳、鋅、銅、VOC、TPH
			被動電子元件製造業	被動電子元件製造製程	鉻、銅、鎳、鉛、VOC
			光電材料及元件製造業	光電材料及元件製造(含太陽能電池製造)製程	砷、鎘、鉻、銅、汞、鎳、鉛、鋅、VOC、SVOC
二	二	廢棄物回收、清除業	廢油(廢油漆、漆渣、廢熱媒油、廢潤滑油及廢油混合物等)之清除、分類、貯存程序	鉻、鎳、鉛、鋅、TPH	
			應回收廢機動車輛之回收、分類、拆解、貯存程序	銅、鎳、鉛、鋅、TPH	
			應回收廢潤滑油類回收、分類、貯存程序	鉻、鎳、鉛、鋅、TPH	
二	三	石油業之儲運場所	低碳數(C ₆ -C ₉)之油品儲存、摻配程序	苯、甲苯、二甲苯、乙苯、TPH	
			高碳數(C ₁₀ 以上)之油品儲存、摻配程序	TPH	

註：1. 表中 VOC 包括苯、甲苯、乙苯、二甲苯、四氯化碳、氯仿、1,2-二氯乙烷、1,2-二氯丙烷、順-1,2-二氯乙烯、反-1,2-二氯乙烯、三氯乙烯、四氯乙烯、氯乙炔等 13 項；SVOC 則包括 1,2-二氯苯、1,3-二氯苯、3-3'-二氯聯苯胺、六氯苯、2,4,5-三氯酚、2,4,6-三氯酚、五氯酚等 7 項；農藥則包括阿特靈、可氣丹、二氯二苯基三氯乙烷(DDT)及其衍生物、地特靈、安特靈、飛佈達、毒殺芬、安殺番等 8 項；TPH 表示總石油碳氫化合物；PCBs 表示多氯聯苯。1,2-二氯苯與 1,3-二氯苯項目可採環保署公告「土壤及事業廢棄物中揮發性有機物檢測方法—氣相層析質譜儀法(NIEA M711)」或「半揮發性有機物檢測方法—毛細管柱氣相層析質譜儀法(NIEA M731)」進行分析；檢測方法之適用以環保署最新公告為準，請至環保署環境檢驗所網站(<http://www.niea.gov.tw/>)查詢。

- 表中事業若擁有儲存石油原油或液態石油製品(包括「石油製品認定基準」所列之汽油、柴油、輕油、航空燃油、煤油、燃料油等)之儲油設備，儲存低碳數(C₆-C₉)之油品(如汽油)者應增加檢測苯、甲苯、乙苯、二甲苯及 TPH 項目；儲存高碳數(C₁₀以上)之油品(如柴油)者應增加檢測 TPH 項目。
- 事業於表 3-2 符合兩個以上主要製程者，應將其所符合各個主要製程之所有污染項目納入檢測規劃；事業之製程為表 3-2 所述之主要製程以外者，其檢測之污染項目，由「土壤污染管制標準」中依事業運作特性選擇合適項目進行檢測。
- 中華民國九十三年十二月七日環署土字第 0930089647 號公告之土壤及地下水污染整治法第八條第一項之事業及檢測污染項目之實施日期為中華民國九十四年一月一日；中華民國九十六年十一月二十一日環署土字第 0960087748 號公告之土壤及地下水污染整治法第八條第一項之事業及檢測污染項目之實施日期為中華民國九十六年十一月二十一日；本修正公告之實施日期為中華民國九十九年一月一日。

(五) 土壤污染檢測資料時效性

依土污法第 8 條規定公告之事業所使用之土地移轉時，讓與人應提供土壤污染評估調查及檢測資料，報請直轄市、縣(市)主管機關備查；依土污法第 9 條規定，公告之事業提送之土壤污染評估調查及檢測資料，應報請直轄市、縣(市)主管機關審查。其土壤採樣作業應於報請所在地主管機關備查前 6 個月內完成，但經所在地主管機關同意者，不在此限，惟具體理由應於土壤污染評估調查及檢測資料中說明，並檢附相關證明文件。

3.3 場址概念模型之建立

場址概念模型（Site Conceptual Model，SCM）主要是依據調查獲得之污染物及環境資訊，建構污染物在環境中之流佈情形，以做為擬定後續擴大調查、整治及採取應變措施或風險評估及風險管理方式之參考。因此，在研擬土壤及地下水污染調查計畫時，應先建立場址概念模型，瞭解工廠內之潛在污染物、傳輸途徑與受體間之關係，做為後續地下環境調查與採樣佈點之依據，並以最具成本效益之採樣分析方式，確認污染物之存在及分布範圍。

3.3.1 場址概念模型之類型

場址概念模型之類型，依所彙整資料可概分為「敘述」、「圖示」與「關聯圖」三類^[8]，茲摘要說明如下：

一、敘述（Narrative Description）

依資料彙整與研析之結果，以文字敘述的方式，說明場址的污染狀況，其內容依資料彙整程度之不同而異，說明重點係污染源與受體間相互關係及可能產生的影響。對於污染狀況單純的場址，以敘述方式即可說明場址污染物傳輸之概念。

二、圖示（Pictorial Presentation）

以圖示方式展現污染場址概念模型可較具體瞭解污染物傳輸的概念，其內容應包括污染源、受體及污染源與受體間之相關性（如污染傳輸途徑與機制）等主要構成要素。污染場址概念模型範例如圖 3-3 所示。

三、關聯圖（Graphical Presentation）

關聯圖可以簡要地呈現出可能污染傳輸途徑，調查過程中亦可能發現間接污染源（Secondary source）或間接污染途徑（Secondary Pathway），繪製概念模型時，可依實際資料蒐集與彙整情形，將該等污染源或途徑加入關聯圖中。此類概念模型常應用於人體健康風險評估作業，以單一土壤污染源、污染暴露途徑（人類為受體）繪製之場址概念模型範例

如圖 3-4 所示。

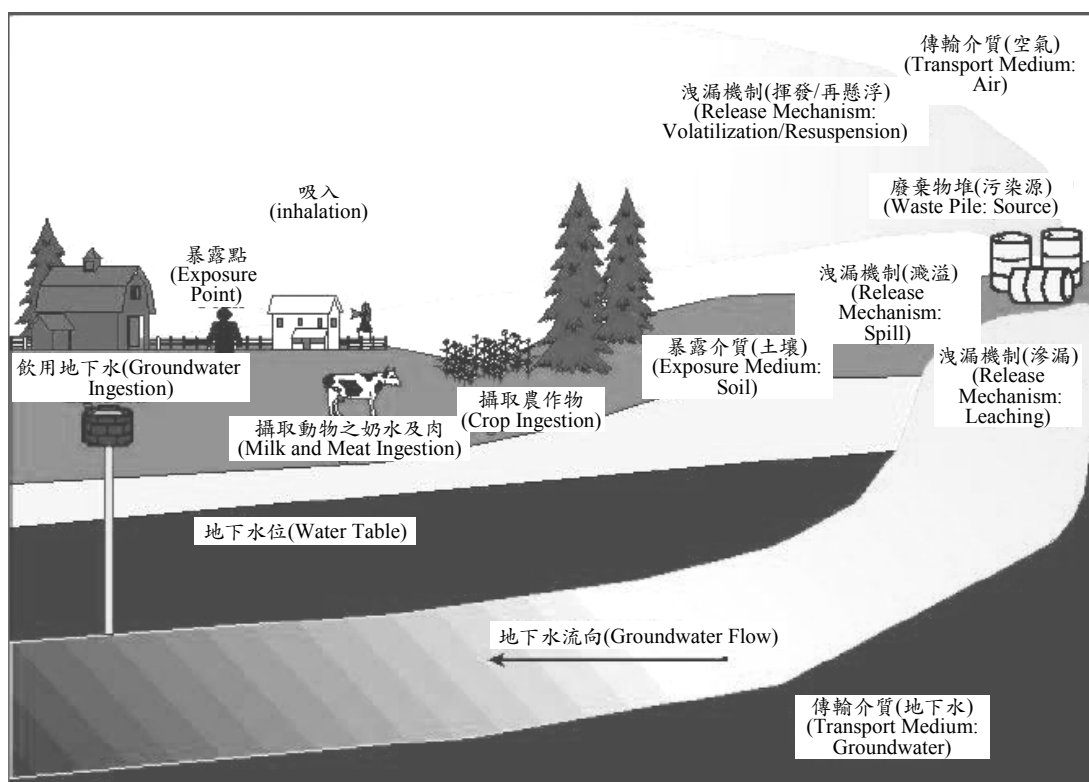


圖 3-3 污染場址概念模型（Site Conceptual Model）範例^[8]

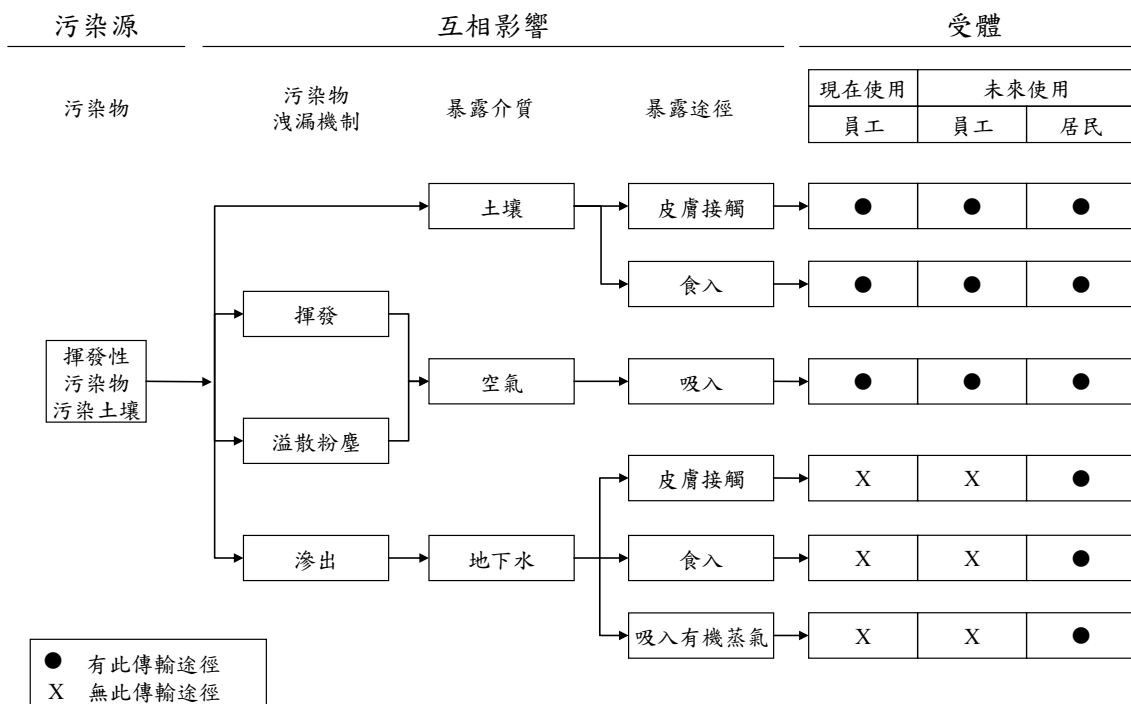


圖 3-4 污染暴露途徑（人類為受體）之場址概念模型範例

3.3.2 建構場址概念模型之步驟及方法

場址概念模型於調查過程中，應隨現場資料增加及細密調查成果不斷進行修正，茲簡要說明建構之步驟及工作方法如后。

一、界定可能污染物及背景值

本階段主要工作，將依據污染潛勢評估所得之環境背景資訊及現地調查檢測結果，彙整蒐集相關資訊，同時依工廠營運特性推測可能之污染物。

二、界定污染源

將各階段土壤及地下水檢測結果套繪於工廠平面配置圖上(如圖 3-5)，或繪製污染物等濃度圖，將有助於瞭解污染物之分布與濃度概況，同時可藉以研判污染洩漏源之位置。



圖 3-5 污染物檢測結果及分布示意圖^[6]

三、污染物傳輸狀況

研判可能發生污染之位置後，可依調查期間所彙整之環境背景、水文地質及鑽探所得資料，繪製水文地質剖面圖，此外可選用適當之地下水污染物傳輸模式進行模擬，以推估污染團（Plume）位置、範圍、移動方向、速度等資訊，進而繪製污染場址地下水等水位圖及污染傳輸範圍圖。

四、確認周圍潛在受體及暴露途徑

推估污染源、受體、污染源與受體間之相關性後，可依關聯圖描繪污染源與受體間之相互關係及可能產生的影響。此外，亦可利用航照圖等方式說明場址周遭之環境受體分布情形。

3.3.3 場址概念模型應掌握重點及注意事項

場址概念模型係不斷地透過建立、測試及依調查資料更新與對場址進一步瞭解，所構成的互動過程，隨著污染場址概念模型的成熟，可增進對場址污染情形的了解。茲摘述場址概念模型建構過程中應掌握之重點及注意事項如下：

一、場址概念模型之內容^[8]

- (一) 避免過於複雜。
- (二) 透過測試及調查資料之更新，可能發現所採用的假設是錯誤的。
- (三) 相關假設與不確定性應被清楚的描述與界定。
- (四) 由於可取得的資料有限，污染場址概念模型不可能完整地描述場址的實際情形，僅為摘要、概念式地描述場址的污染情形。
- (五) 部分資訊可能會產生相互衝突的情形，需進一步蒐集資料或進行檢測，予以驗證。

二、確認資料缺口，做為後續調查工作方向

由於調查初期取得的資料有限，在場址概念模型初步建立後，尚有許多資料須進一步蒐集與釐清（即所謂之「資料缺口」“Data Gap”），須透過進一步的文獻資料蒐集，或擬定細密調查計畫，以做為後續檢討修正概念模型之參考。

三、提供降低或阻斷污染對環境或人體健康危害之因應措施規劃構想

於完成場址概念模型後，由污染源、傳輸途徑、受體之關聯圖可瞭解場址目前、近期與可預見未來土地的使用情形，當確立污染源、傳輸途徑、受體間的關係時，可評估污染會立即或短期內對受體造成影響時，則應採取切斷污染源與受體間傳輸途徑之必要因應措施或進行整治工程，以降低污染對環境或人體健康的危害。

3.4 土壤及地下水污染評估調查費用

由前述章節所述，因不同階段調查目的不同，各階段調查所需評估項目及佈點規劃亦有所不同，需視各階段工作項目、調查方式及數量決定所需之

調查費用，事業可洽詢數多家技術顧問機構，以瞭解調查檢測所需費用。

事業欲委託辦理土壤及地下水污染調查，應先瞭解技術顧問機構實績經驗，進行調查評估費用之比價，選擇具信譽及實績經驗豐富之技術顧問機構辦理，提供正確調查檢測資料，以為土壤及地下水污染防治、整治工作規劃及決策之參考。

由 3.1 節可知，土壤及地下水污染調查流程通常分為二個階段，第一階段為場址評估階段及第二階段為採樣調查階段，以下說明各階段調查評估所需費用及計價依據。

3.4.1 場址評估費用

場址評估方式包括：資料審閱、場址勘查及訪談等，為瞭解場址污染情形，在執行土壤及地下水污染調查前，需進行場址評估工作，事業委託專業人員或機構辦理土壤及地下水污染調查時，應儘量提供工廠詳細運作及調查資料等，以為進一步研擬調查計畫書之參考。

執行土壤及地下水污染調查，尚需進行場址水文地質調查，以為瞭解場址水文地質狀況，水文地質調查項目通常包括：土壤物理性分析、地下水文試驗等，其費用可視調查項目、孔數或件數計價。

3.4.2 土壤調查費用

一般而言，土壤調查費用分為採樣費、現地調查篩測費及實驗室檢測分析費等，以下說明各項費用計價依據：

一、土壤採樣費用

採樣費一般視使用之採樣工具及採樣進尺深度，以及是否需破除地表鋪面等，而有不同採樣計費方式，如土壤採樣位於混凝土鋪面下，則需進行銑孔，先破除混凝土鋪面，再採集鋪面以下之土壤樣品，採樣深度視污染物可能傳輸途徑及方式，決定污染採樣深度。土壤採樣工具包括：人工及機具採樣，人工採樣一般採樣深度為 0~1 公尺左右，以表土(0~15 公分)及裡土(15~30 公分)為主。機具採樣一般地質可採用 Groprobe 鑽機採樣；卵礫石地質，則需使用鑽堡進行採樣，採樣費用如超過原訂採樣深度，可依每 1 公尺增加之進尺費用計價。其他之土壤採樣費用包括：採樣人力、採樣設備、樣品容器、品保品管樣品、設備除污、耗材與保存旅運等費用。

二、現地調查篩測費用

為瞭解場址可能污染情形，於現地調查時可依場址污染特性及調查目的，選擇適當現場篩試儀器協助輔助調查，像某些重金屬 XRF 檢測數

據與實驗室檢測數據相關性較佳，可於該等重金屬污染場址輔助調查。

揮發性有機物可以火焰離子偵測器(FID)或光離子化偵測器(PID)進行篩測，火焰離子偵測器對大多數的有機蒸氣均能產生明顯的反應，且對於脂肪族或直鏈碳氫化合物特別敏感，光離子化偵測器則對芳香族(或環狀)碳氫化合物偵測效率較高。

薄膜界面探測器(Membrane Interface Probe, MIP)所連接之偵測器部份，可採用電子捕捉偵測器(Electron Capture Detector, ECD)，而 ECD 則適用於含氯碳氫化合物(如三氯乙烯等)，MIP 系統可提供多訊號通道，搭配現場設備，可同時紀錄多種由 MIP 鑽頭所傳回之訊息，MIP 計價依探測深度計價。

其他地球物理探測如感應電磁法、透地雷達法及地電阻法，則依探測面積或測線長度而有不同之計價方式。

三、實驗室檢測分析費用

為進一步確認污染物濃度或提供污染是否已符合法規標準之判定依據，應委託環檢所許可檢測機構依環檢所規定之檢測分析方法於實驗室分析樣品，目前土壤污染管制項目：重金屬、揮發性有機物、半揮發性有機物、總石油碳氫化合物、戴奧辛、多氯聯苯及農藥等，費用以樣品數計價。

重金屬單項污染物分析費用，除單項分析方法不同(如汞及砷之檢測分析方法與其他重金屬分析方法不同)，單項分析費用計價方式有差異外，其他重金屬項目分析費用分析差異並不大；揮發性有機物或半揮發性有機物檢測分析方法為 GC/MS，因檢測時樣品一次注入，所有有機物成份濃度可一次檢出，故同一類型污染管制項目全數檢測與單項檢測費用價格差異不大。

3.4.3 地下水調查費用

一般而言，地下水調查費用分為監測井設置、採樣費及實驗室檢測分析等，以下說明各項費用計價依據：

一、監測井設置費

地下水採樣前需先設置監測井，監測井型式有標準監測井及簡易井等類型，標準監測井係依環保署公告之「地下水質監測井規範」所設置之監測井，簡易井通常為以直接貫入式地下水採樣方法，其管徑為 1 英吋 PVC 管全開式井管，一般欲瞭解地下水污染潛勢區域可先行設置簡易井，如欲長期監測調查使用者，應設置標準監測井。設井費用包含鑽孔

、管材、濾料填實、封井、井蓋及完井等費用，惟不管是哪一種型式監測井，設井費用隨設井深度愈深費用愈高。一般以固定深度為設井計價標準，超過固定深度範圍外之井深部分，則按公尺計算設井費用。

二、地下水採樣費用

地下水採樣費視採樣深度，而有不同採樣計費方式，採樣工具可使用抽水機或貝勒管採樣，地下水採樣費用包括：採樣人力、採樣設備、耗材、樣品容器、品保品管樣品、設備除污、耗材與保存旅運等費用。

三、實驗室檢測分析費用

地下水污染管制項目包括：重金屬、揮發性有機物、半揮發性有機物、總石油碳氫化合物、總酚、氰化物、農藥及一般項目等，費用以樣品數計價。

重金屬單項污染物分析費用，除單項分析方法不同(如汞及砷之檢測分析方法與其他重金屬分析方法不同)，單項分析費用計價方式有差異外，其他重金屬項目分析費用分析差異並不大；揮發性有機物或半揮發性有機物檢測分析方法為 GC/MS，因檢測時樣品一次注入，所有有機物成份濃度可一次檢出，故同一類型污染管制項目全數檢測與單項檢測費用價格差異不大。

3.4.4 報告撰寫費用

遭環保單位列管之污染場址完成第一階段場址評估及第二階段採樣調查工作後，需依土污法規定提送污染控制計畫或整治計畫書，並依規定辦理計畫書審查、備詢及出席相關會議，報告撰寫費用通常包括調查規劃、調查結果評估、審查、修正、備詢及會議出席費用。

參考文獻

1. 行政院環境保護署，油品類儲槽系統污染範圍調查作業指引，2006。
2. 行政院環境保護署，油品類儲槽系統污染調查及查證參考作業手冊，2006。
3. 行政院環境保護署，油品類儲槽系統快速場址調查及評估技術參考手冊，2006。
4. 行政院環境保護署，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，2008。
5. 行政院環境保護署，油品類儲槽系統污染改善完成驗證參考作業手冊，2006。
6. 行政院環境保護署，運作中工廠土壤及地下水含氯有機溶劑污染潛勢調查及查證計畫，2009。
7. USACE Engineer Manual, Conceptual Site Models for Ordnance and Explosives (OE) and Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste (HTRW) Projects(EM 1110-1-1200), February 3, 2003.
8. M. Hunt MA DEP Bureau of Waste Site Clean-up1 Winter Street Boston, MA 02108, Conceptual Site Model,2001.
9. UK Environment Agency, Groundwater Protection：Policy and Practice Part2-Technical Framework.

第四章 水文地質調查方法

水文地質(Hydrogeology)在國內是一比較新的技術領域，發展迄今約二十多年了，主要探討地下水資源之開發與保育之問題。水文(Hydrology)與地質(Geology)是屬傳統的地球科學技術領域，只是過去其領域發展大多集中於地表(Surface)，如地表水文(如河川、湖泊、水庫、水文循環等)及地表地質(如區域地表地質、岩性、構造、露頭等)。至於地球科學其他主要領域尚包含地球化學(Geochemistry)、水化學(Hydrochemistry)、地球物理(Geophysics)等。這些技術領域若被應用於民生或重大工程上時，就被稱為大地工程(Geo-techniques)、工程地質(Engineering Geology)、或環境地質(Environmental Geology)等名詞，至於水文地質調查則多附屬於前述技術領域內。

水文地質調查是地下水污染調查與整治工作之先趨，唯有最完整之水文地質調查成果，方能徹底防治與解決地下水污染物之擴散，以降低環境災害之風險，確保民眾飲水之品質。圖 4-1 為土壤及地下水污染之水文地質調查工作項目及流程，工作之內容將分別於下列各小節中作重點性說明。

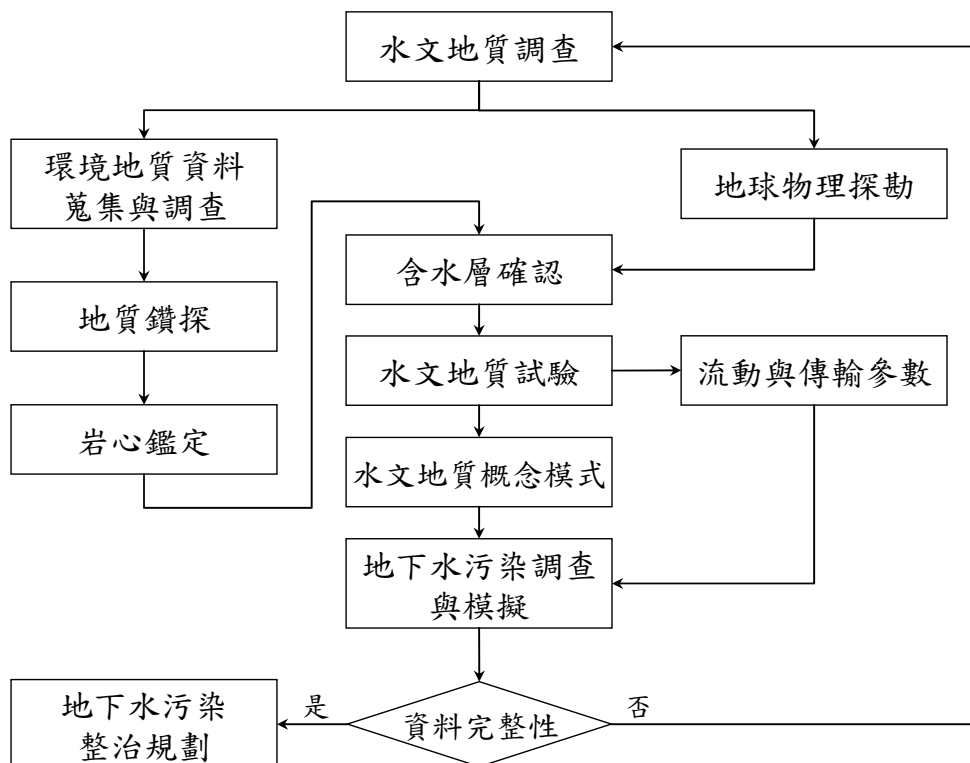


圖 4-1 土壤及地下水污染之水文地質調查工作流程

4.1 水文地質概述

本節將綜合性說明水文地質定義、調查目的、應用領域、探討之問題、調查內容及台灣水文地質概況等。

4.1.1 水文地質之定義

根據英文版之維基百科所定義之水文地質為：

Hydrogeology (hydro: meaning water, and geology meaning the study of the Earth) is the area of geology that deals with the distribution and movement of groundwater in the soil and rocks of the Earth's crust (commonly in aquifers)。其中文解釋為「水文地質代表地球科學研究，水文地質屬於地質學領域，主要在探討地下水在空間上分布與流動機制」。

The term geo-hydrology is often used interchangeably. Some make the minor distinction between a hydrologist or engineer applying themselves to geology (geo-hydrology), and a geologist applying themselves to hydrology (hydro-geology)。其中文解釋為「水文地質或地質水文之稱謂是可交互運用，當水文或工程師在地質領域應用時，一般稱為地質水文；當地質師在水文領域應用時，一般稱為水文地質。但國內目前習慣用語均統稱為「水文地質」。

根據國內「地質法」第四條名詞定義中，「地質」是指地球之組成物質、地球演化過程所發生之自然作用與自然作用所造成之地形、地貌、現象及環境。「資源地質調查」係指與能源、礦產、土石材料、地表水、地下水及其他與資源有關之地質調查。因此「水文地質」包含於地質學中。

4.1.2 水文地質調查目的

水文地質調查工作之目的有二：^[29-31]

一、中期目的

繪編水文地質圖(如圖 4-2)，即整合(Gathering)與評估(Evaluating)野外地質環境調查資訊。藉以顯示該區域地下含水層之分布，地下含水層之水頭變化，地下水質特性及地下含水層之透水性和孔隙率等水力性質(Hydraulic Properties)為繪編原則。簡而言之，即能(a)表示地下水與周圍環境之關聯；(b)反映地下水隨時間與空間上之變化規律；(c)顯示控制地下水分布之地質構造因素等。

二、最終目的

架構三維水文地質概念模式(Three Dimensional Hydrogeology Conceptual Model, HCM)(如圖 4-3)，水文地質概念模式，即指根據現地

的水文地質調查結果，所提出能描述真實水文地質系統之概念，雖然一個概念模式不可能完全詳盡地描述真實水文地質系統，然而概念模式有助於瞭解真實水文地質系統內地下水的流動。水文地質系統中地下水流動之模擬，通常需根據現場地質特性及水文地質邊界條件建構場址特性化(Site Specific)之概念模式，以作為後續地下水流動數學(Mathematic)或數值(Numerical)模擬之基礎。

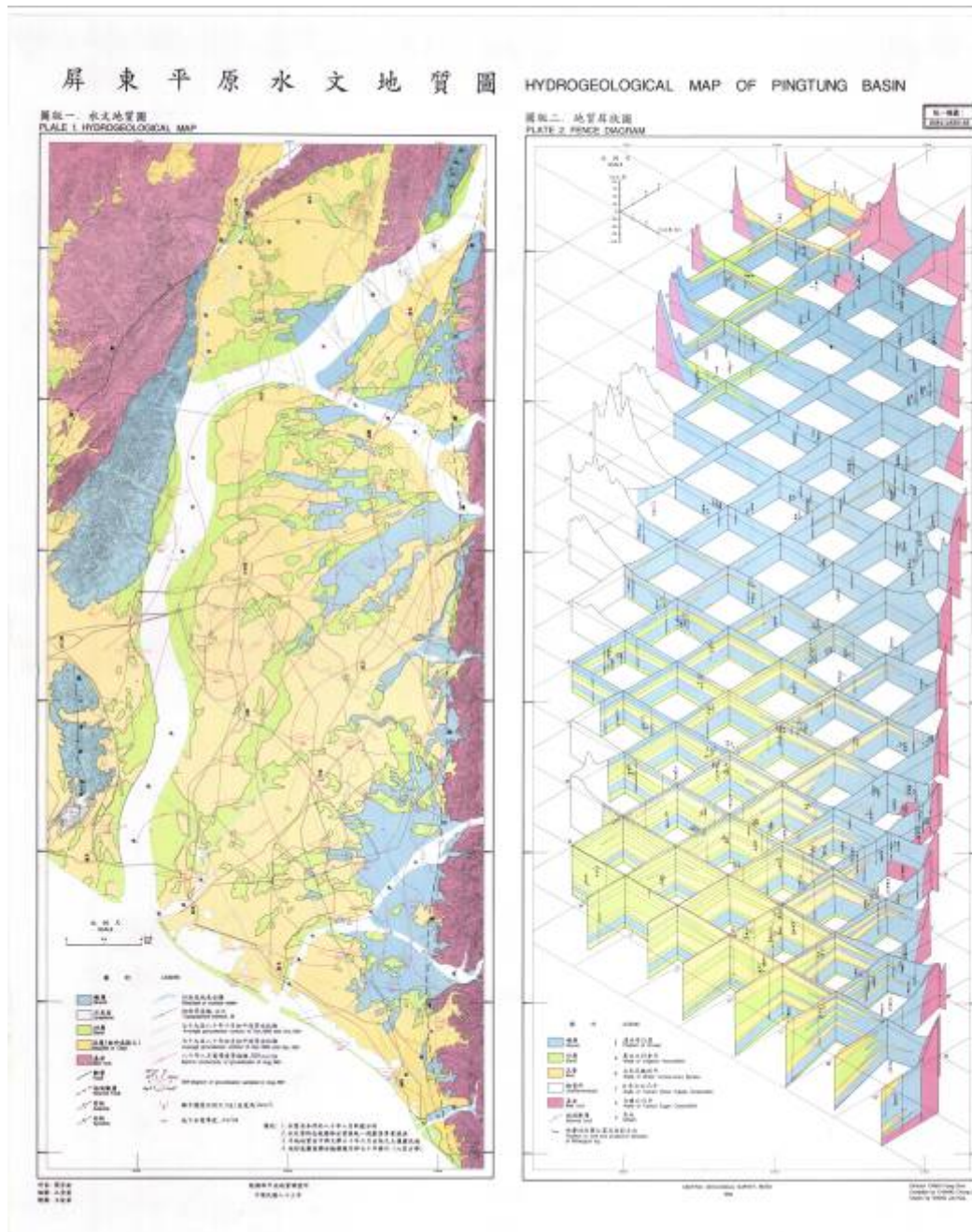


圖 4-2 經濟部中央地質調查所 1994 年出版之屏東平原水文地質圖
(1/100,000)

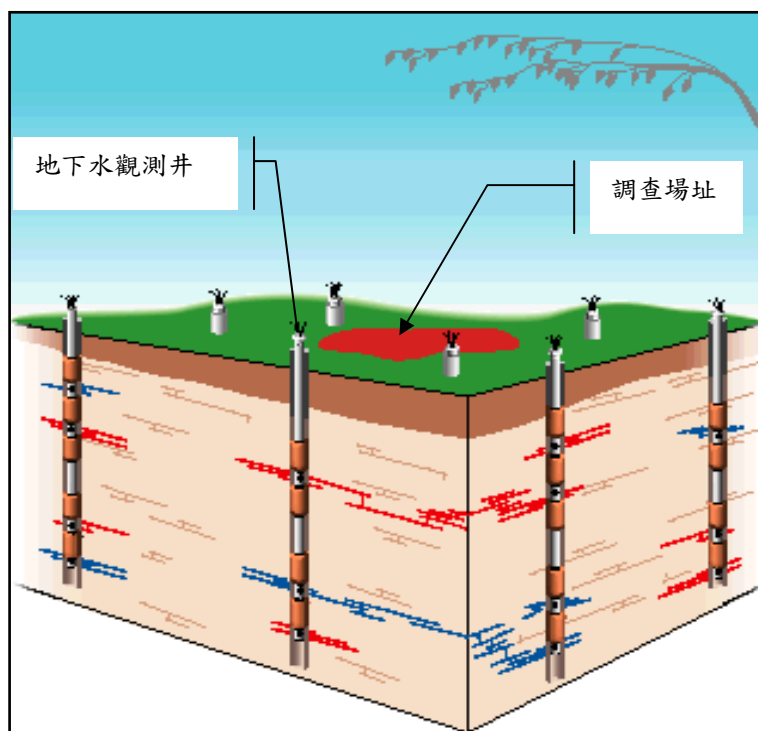


圖 4-3 三維水文地質概念模式示意圖

4.1.3 水文地質應用領域

一般水文地質應用領域可被區分為：

- 一、地表水文(Surface Hydrology)：如河川、湖泊、水庫等水文資訊。
- 二、未飽和水文(Unsaturated Hydrology)：介於地表與地下水位間之土壤或岩石之水文特性。
- 三、地下水文(Groundwater Hydrology)：地下水位以下之含水層特性分析。
- 四、污染水文(Contaminant Hydrology)：地下水中各種環境污染物之傳輸機制。
- 五、水井力學(Well Hydraulic)：地下水蘊藏量與水流機制。
- 六、水化學(Hydrochemistry)：地下水中化學物質反應機制。
- 七、質/熱傳輸(Mass/Heat Transport)：如溫泉、地熱等資源之傳輸機制。
- 八、海洋水文地質(Marine Hydrogeology)：如陸地與海洋交界處地下水流出量。
- 九、外太空水文地質(Extra-terrestrial Hydrogeology)：如月球、火星等之水資源分布與貯存。

4.1.4 水文地質探討之問題

水文地質擬探討之問題有二：^[32-33]

- 一、通路(Travel Path)

包含地下水流速與流向。

二、介質特性(Properties of Media)

一般可被區分為孔隙介質(Porous Media)(如圖 4-4)，主要分布於台灣西部平原區及裂隙介質(Fractured Media)(如圖 4-5)，主要分布於台灣中部與東部山區。因此，各種介質內之貯蓄、傳導及溶質傳輸能力均須被探討。

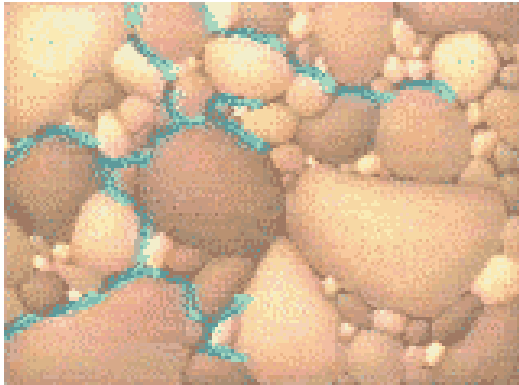


圖 4-4 平原區孔隙介質

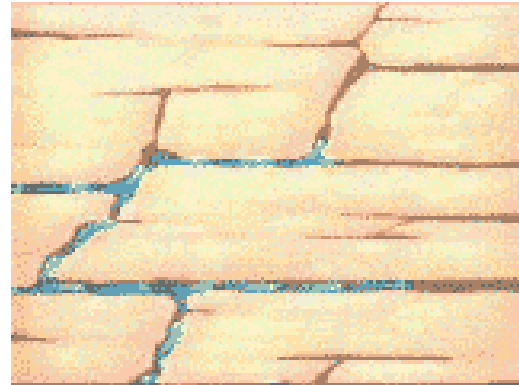


圖 4-5 山區裂隙介質

4.1.5 水文地質調查內容

一、資料蒐集與分析

任何調查工作第一步即是資料蒐集與分析，水文地質調查蒐集的資料包括調查區域的地理、地形、地層、岩性、地質構造、水文、地下水、鑽探、岩石(土壤)試驗、地球物理探測及基本水化學等資料，藉由這些文獻資料蒐集、分析，可能可以對研究區域提供一概觀的瞭解，以作為策劃調查工作的參考。目前有關於水文及地質方面之資料可參考表 4-1 資訊。

二、野外地質環境調查

野外環境地質調查一方面在檢視文獻上與空照上所獲得的各項地質與水文資料，針對疑點加以澄清；對不足資料加以蒐集；對缺乏資料地區更加以詳細調查。另外野外調查時也需針對未來進行鑽探之位置預為調查，就地質的適切性、機具搬運、供水等鑽探所需預作評估，選定井位。再其次地表地物探測之可能測線也應加以評估。

表 4-1 常用水文地質相關資料網址一覽表

單位名稱	網址
經濟部中央地質調查所	http://www.moeacgs.gov.tw
中國地質學會	http://geolsco.gl.ntu.tw
大地工程學會	http://www.tgs.org.tw/
中央研究院地球科學研究所	http://www.earth.sinica.edu.tw
中央氣象局	http://www.cwb.gov.tw/
行政院農業委員會水土保持局	http://www.swcb.gov.tw
台灣地質知識服務網	http://twgeoref.moeacgs.gov.tw
經濟部國土資訊系統－自然環境基本資料庫分組	http://ngis.moea.gov.tw/moeaweb/
經濟部水利署地下水觀測網	http://www.drc.ntu.edu.tw/gwater/
經濟部水利署水文水資源管理供應系統	http://gweb.wra.gov.tw/wrweb/
經濟部水利署水文年報查詢系統	http://gweb.wra.gov.tw/wrhygis/
經濟部水利署水利規劃試驗所	http://www.wrap.gov.tw/
行政院環保署地方環境資料庫	http://edb.epa.gov.tw/localenvdb
行政院公共工程委員會－水文資料庫	http://eem.pcc.gov.tw/eem/taxonomy/term/42
行政院環保署土壤及地下水污染整治網	http://sgw.epa.gov.tw/public/0204.asp
美國地質調查局(USGS)地下水資訊站	http://water.usgs.gov/ogw/
國際水文地質學家協會(IAH)	http://www.iah.org/
法國地質與礦產調查局(BRGM)	http://www.brgm.fr/
德國地球科學與自然資源研究院(BGR)	http://www.bgr.bund.de/
聯合國教科文組織－國際水文計畫(UNESCO-IHP)	http://typo38.unesco.org/

三、地質鑽探

由於野外調查只能獲得地表的資料，雖然經由調查者的地質專業知識可推估若干地表下的資訊，但仍屬間接，地質鑽探為水文地質調查唯一的直接調查方式。地質鑽探以取全岩心方式進行，可以將地下出現之地層岩心做完整的記錄與保存，做為井內地球物理探測、地表地球物理探測之依據，同時岩心還可以做各項沉積物的岩性、古生物分析以及定年分析等，做為地層對比以及地層剖面重建的依據。另外地下水出現、水頭、富水層厚度等資料也是設計試驗水井與觀測井的重要資料。

四、孔內地球物理探測

孔內地球物理探測為獲得井壁物理性質資料的重要調查項目，可以測得井壁地層之自然電位、地電阻、傳波速度、自然 γ -射線、 γ - γ 射線...等資料，可以與鑽探岩心比對，瞭解各地層之特性，也可以做為在岩心缺失下，地層對比或地層剖面重建之依據。

五、地表地球物理探測(傳統方法)

地表地球物理探測為間接探測廣大區域地下地質資料的方法，調查可使用重力探測、磁力探測、震波探測與電位探測等方式，其中震測與電測在水文地質調查中較為常用，由於地物探測之解非為唯一，因此解釋上常有爭論，但如果做了地質鑽探、孔內地物探測以及地層對比，則孔與孔之間可借地表地物探測方法，很快將地層剖面較準確的建立。

六、水文地質試驗

水力試驗(Hydraulic Test)可以求取富水層之水力傳導係數(K)、導水(流通)係數(T)從而計算富水層的儲水能力(S)等。示蹤試驗(Tracer Test)可借由各種追蹤劑的測試，求得富水層中水流方向與速度資料。

七、地下水取樣及水質分析

地下水監測或觀測井鑽鑿完成後，可以定期進行水樣採取，並進行主要陰陽離子水質分析(含量 $>5\text{mg/L}$)，如氯離子(Chloride)、硫酸根(Sulfate)、碳酸根(Carbonate)、碳酸氫根(Bicarbonate)、矽酸鹽(Silicon)、鉀離子(Potassium)、鈉離子(Sodium)、鈣離子(Calcium)及鎂離子(Magnesium)等；並對指標數值(Indicator)，如酸鹼度(pH)、導電度(EC)、氧化還原電位(Eh)、總溶解固體(TDS)與溫度($^{\circ}\text{C}$)及硝酸鹽氮、氨氮、砷、鐵、錳、鋅、銅、鉻、總有機碳、硫化物、鎘、鉛含量等有害物質定期檢測，以瞭解區域性水質變化情形。

八、建立地下水位與水質觀測系統

藉由水文地質的研究，富水層的分層後，應建立地下水位及水質監測系統，以便全盤瞭解各富水層水位變化與水質變化的狀況。

九、水平衡研究

在地下水觀測系統建立後，可配合地表之氣象與水文資料，對區域性的水平衡進行研究，從而準確掌握地下水的平衡狀態。有效利用地下水資源並預防各種不當使用地下水衍生的問題。

4.1.6 台灣水文地質概況

台灣地區之地下水地質依各岩層之含水性能約可分為兩大類，第一類

為膠結甚固之岩層，稱為固結岩層。此類岩層多屬於第三紀變質雜岩及第三紀亞變質岩，鮮能儲有大量地下水，僅在岩層裂縫及節理之間或斷層附近蓄有少量地下水^[34-38]。

另一類為未膠結而鬆散之岩層，稱不固結岩層，屬第四紀岩層，多為地表堆積物與河谷或盆地中之沉積物，包括河相、湖相、河口灣相、或海相等沉積物，在地形上皆以海岸台地、河階台地、與沖積平原出現，其間多孔隙，為台灣地區地下水之主要來源，尤以現代沖積層水量最豐，亦為被開發利用最廣泛之岩層。茲將各類岩層含水及分布情形簡述於下(圖 4-6 及表 4-2)：

一、固結岩層(Consolidated Rock)

台灣地區之固結岩層依其固結程度及孔隙率又可略分為 B0、B1、B2、B3 及 B4 等五類，分述如下：

B0 類岩層為一不透水之青灰色泥岩層，平常呈堅硬之岩狀，遇水後成黏土狀，分布於岡山一帶，除其本身不透水外，其風化後之細小顆粒亦影響下游沖積之地層。

B1 類岩層可分為二區，第一區屬板岩頁岩地區，主要分布於台灣中部，綿亙於中央山脈及丘陵地區，面積約佔台灣地區二分之一，屬第三紀岩層，大部份由變質雜岩、板岩、頁岩等組成，岩層結構均甚細密堅硬，難以含水及透水。第二區為北部火山岩區，分布於基隆以西，台北以北之大屯火山區，屬第四紀岩層之火成岩，面積不廣，主要岩層為安山岩，極不易透水。二區皆為地下水貧乏區。

B2 類岩層大部份分布於中央山脈北區之東西二側，呈帶狀分布，主要岩層以細砂岩為主，中間夾有頁岩及砂岩之互層，岩層達數百公尺，岩層細密，時雜有泥質，除少部份因裂隙有泉水出現外，極少有地下水存在。

B3 類岩層主要為石灰岩層，分布於中央山脈帶形地區，並有部份珊瑚岩層分布於南部之鵝鑾鼻、恆春、高雄一帶，此類岩層含多量孔隙，故其含水性能極高，但因面積狹小，且缺乏延續性，亦非重要之含水層。

B4 類岩層分布於西部海岸丘陵與台地之間，主要為白色南莊層砂岩，分布成細長與帶狀，係由粗粒之石英石組成，結構疏鬆，並多孔隙，為一優良之含水層，可惜其延續性及層次厚薄多不規則，地下水之補充及持續性亦不甚可靠。

二、未固結岩層(Unconsolidated Rock)

台灣地區之未固結岩層依其儲水及透水性能之不同可略分為 A1、A2、A3 及 A4 等四大類，分述如下。

A1 類岩層以礫石及碎屑岩層為主，此類岩層分布於沿海平原與台地一帶、西部沿海平原東側丘陵地邊緣，以及東部縱谷平原右側海岸山脈邊緣，大部份屬頭嵙山層，係由大小不同石英岩之礫石組成，部份含有泥質，膠結疏鬆，局部地區含水性能較佳，台灣北部之火成岩碎屑堆積層亦屬之。

A2 類岩層為紅土台地堆積層，分布於北部濱海一帶台地，於新竹苗栗尤為發達，多由未經膠結之礫石及夾入其中平緩之砂質或粉砂質凸鏡體所組成，孔隙及透水性大，但上層常為紅土所覆蓋，僅局部地區有地下水存在，其含水量較 A1 類為佳。

A3 類岩層為台地堆積層，分布於台灣西海岸及東部縱谷一帶，其組成與 A2 類相似，唯其並無不透水之紅土層存在，故對地下水之補充較易，分布亦廣，為一良好之地下水區。

A4 類岩層為沖積層，主要由黏土、砂和礫石組成，廣泛分布覆蓋於西部海岸平原、蘭陽平原、以及東部縱谷。沖積層亦分布於台灣較大之盆地內及諸多主要河流之洪氾平原與現代台地。此層多有良好之含水層，及充足之補注水源，為台灣地區主要之地下水區。

表 4-2 台灣地區地下水文地質分類表

分類		說明	地下水產狀	顏色
固結岩層 Consolidated Rocks	B4	由粗粒多孔岩石組成，含水量極豐，如白沙岩等	地下水較豐富	淡粉
	B3	由石灰岩、珊瑚岩等組成，含水量部份豐富，如中央山脈以東之變質岩等	地下水部份豐富，水源較深	淡藍
	B2	由砂岩組成顆粒不大，但多裂縫如南港砂岩等	局部可得豐富地下水常成泉水存在	淡紫
	B1	主由頁岩或板岩組成，含水性較差，包括安山層、火山塊及凝灰岩，全島中央山脈之火山岩及變質岩屬之	極少地下水或無地下水	桃紅
	B0	由泥岩組成，含水性甚差，分布於台南岡山一帶	無地下水	深藍
未固結岩層 Unconsolidated Rocks	A4	主由砂礫及少量粘土所組成之現代沖積層分布於西部沿海一帶蘭陽平原及花蓮台東縱谷平原等地	地下水廣泛，且豐富	黃色
	A3	主由砂礫組成，部份半固結，不包括紅土層之台地均屬之，分布於縱谷平原及西南部沖積平原	地下水廣泛，部份豐富	淡綠
	A2	主由砂礫層及紅土層組成，分布於桃園、中壢及大肚山等之台地	地下水部份豐富	棕色
	A1	主由鬆礫石及砂頁岩組成，分布於北部及東部沿海地區，如巔嵙山層，都巒山層，觸口山層，火山碎屑岩等	含水量較差，局部有地下水	綠色

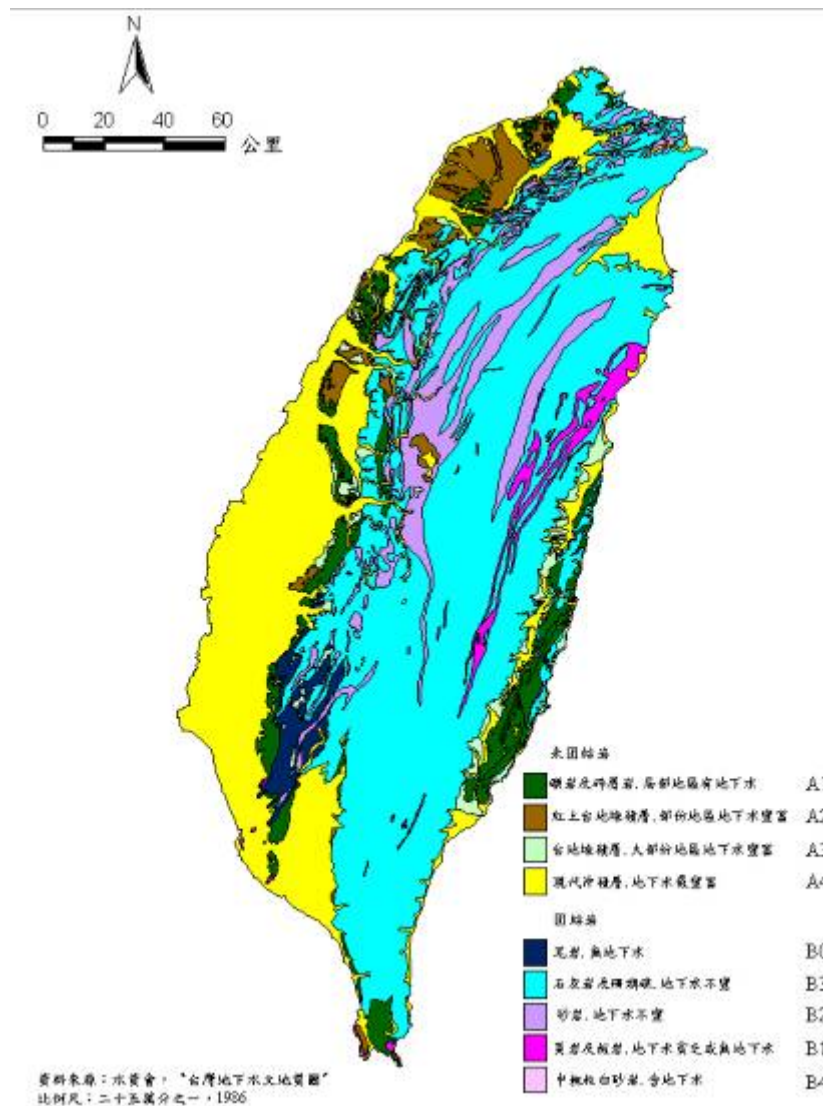


圖 4-6 經濟部水資會 1986 年出版之台灣地區地下水文地質圖(1/250,000)

4.2 環境地質調查

本節將說明環境地質定義、調查目的及項目、地質鑽探與台灣地質環境概況等。

4.2.1 環境地質定義

「環境地質」一詞係美國伊利諾州地質調查所研究員 James E. Hackett 於 1964 年所創，認為土地利用與開發(尤其是都市地區)，必須以區域地質資料為基本依據以進行都市計畫，此種因應規劃工作從事之地質調查，統稱為環境地質學(Environmental Geology)。

Ivey(1969)^[1]根據韋氏大辭典對環境(Environmental)和地質(Geology)

兩字的定義，融合出環境地質學的定義為研究影響人類生命與發展的所有地質狀況與地質作用的學問。引申這個說法，則可以認為凡是從地質學的觀點來研究人類生存環境的安全與衛生的科學就稱為環境地質。因此，有關於地下水污染所需地質特性調查，亦應被歸類於「環境地質調查」。

環境地質一詞有時會與工程地質互為混淆。一般而言，若是以地質學的觀點來研究工程基址的地質與力學參數就稱為工程地質學。

4.2.2 調查項目

野外環境地質調查是指野外現場從事地質露頭及地質現象的觀察與調查^[2-8]，主要目的為驗證室內判釋結果及觀察近期之變化。其方式與傳統地質調查方式相類似。相關調查項目說明如後：

一、露頭

一般指在地表上覆蓋著土壤、泥砂或礫石等未固結之表層物質，其下就是固結岩石，稱為基岩或岩磐(Bed Rock)。當這些基岩出露於地表時，就稱為露頭(Outcrop)，可提供岩性、地層及構造等資訊。

二、層理

層理(Bedding)是上下兩岩層隔之平面，若上下兩岩性不同，則層理明顯亦辨，相若則可依其連續性及平面上是否具有沉積時一些痕跡加以判斷。在同一層理面(簡稱層面)上之岩石組織均相同。

三、節理

節理(Joint)是指岩石中的破裂面，且沿著此面並未發生明顯的相對錯動。節理主要是受剪力或張力作用而形成，剪力節理面通常是閉合的，而張力節理面經常是開口的。

四、位態

位態(Attitude)之量測是露頭觀測中最重要的數據，包含走向(Strike)及傾斜(Dip)兩種向量參數。

若因計畫經費限制，無法對調查區域進行大範圍環境地質調查，亦可向經濟部中央地質調查所購買調查區域之五萬分之一(如圖 4-7 之示意)或兩萬五千分之一地質圖作分析，以確認其地層與構造等相關資訊，並蒐集附近相關環境地質調查報告以資參考。



4.2.3 地質鑽探

地質鑽探(如圖 4-8)為最直接調查方式^[9]，一般地質鑽探均以取全岩心方式進行，可以將地下出現之地層岩心做完整的記錄與保存。此工作可區分為：(1)鑽鑿作業準備；及(2)現場作業兩項，詳細內容分述如後：

一、鑽鑿作業準備

鑽鑿作業準備包含：

(一) 器材整備

依照施工地點的特性、施工順序的安排，及鑽孔的取樣規範等整備並清點進行現地作業所需要的設備、工具、材料等。

(二) 井場用地取得

先期勘查預定施鑽的場地、進出道路、可提供運輸工具或物料補給的協力廠商、安排人員住宿地點等，並拜訪井場用地所有人，協商用地取得，及安排施工用的水源等問題。

(三) 機具搬運

將完成清點作業的器材，並依照鑽孔施工的順序，安排運輸工具送至預定施工地點。

(四) 建立工作站

建立工作據點，作為將來現場作業展開後的聯絡處所。

(五) 擬定品質計畫

依據 ISO 9001 的品質規範，綜合所屬單位的品質政策與品質程序系統、本案的合約條款、研究計畫說明書、以及計畫書擬訂執行的品質計畫書，作為計畫執行與品質管制之依據。

二、現場作業

現場作業是本职工作重點，包括安全維護設施設置、機具運搬、地質鑽探、岩心切割、岩心拍照、岩心紀錄及工地復舊等作業。各部份工作分別說明如下：

(一) 井場開坪

井場開坪包括清理施工地點的地面雜物、安置作業的器材工具、組立施工機具、開闢泥漿池、設置安全圍籬、裝設避雷針與機具防護裝置，並經過確實的檢查之後即可進行鑽進岩心取樣作業。

(二) 鑽進及岩心取樣

鑽孔的鑽進與岩心取樣以旋鑽方式實施。旋鑽是以旋轉的方式

將鋼管連接之中空岩心管鑽入孔底，待岩心進入岩心管一定長度後，再將岩心取出(如圖 4-9)。施作步驟如下：開鑽後，因表層地層鬆軟，取完岩心後，須擴孔埋設表層套管。鑽進中為防止井孔崩塌，除使用泥漿護孔外，預定下放套管，以確保井孔之完整，同時在取樣過程中，每隔約 50 公尺，須擴孔一次，以防止鑽探泥漿循環壓力過高，造成岩心沖蝕及透水層中因泥壁太厚所衍生之壓差黏卡。鑽取之岩心依序置入岩心箱內，並將每次取樣深度標示於岩心箱上，供地質專業人員或技師以目視方式，直接觀察、比對、研判實體岩心，再將岩石或土壤的各項性質資料加以記錄；包括：基本資料、岩石 RQD 值、地質圖元符號、岩石或土壤性質描述、岩石土壤顏色、岩石不連續面記錄、岩心破裂指數、岩心形狀、岩心風化程度、岩石強度等^[11]。



圖 4-8 現場地質鑽鑿作業

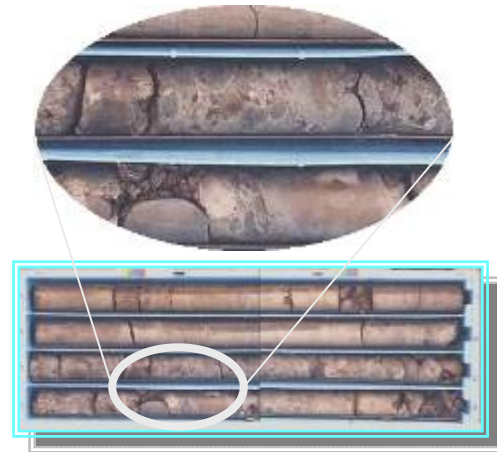


圖 4-9 岩心取樣

4.2.4 台灣地質環境概況

台灣最古老的岩體為中央山脈東翼的地區，時代大約是古生代晚期或中生代，以變質岩為主，常稱之為先第三紀變質岩，出露岩石有片麻岩、大理岩、片岩與板岩等常見的變質岩。在此變質岩西側的第三紀地層中，出露的岩石有變質砂岩、硬頁岩與板岩等。在第三紀中期的中新世以後，中央山脈地質區的西側為西部麓山帶地質區，除北部的大屯火山群、基隆火山群(安山岩為主)、及澎湖群島(玄武岩為主)的火成岩外，大部分以沈積岩為主，出露的岩石分別有礫岩、砂岩、頁岩與石灰岩等。

中央山脈東側的海岸山脈地質區，則由火成岩和沉積岩所組成，沉積岩的部份，是由砂岩、頁岩、礫岩及少數的石灰岩所組成，火成岩中以安

山岩、集塊岩及玄武岩質凝灰岩為主，各類岩石之分布如圖 4-10。台灣地區沉積岩的分布最廣，其分布面積約佔台灣總面積的三分之二，其次為變質岩，而以火成岩分布的面積最小。



圖 4-10 經濟部中央地質調查所 2000 年出版之台灣地質圖(1/500,000)

4.3 地球物理探測

地球物理(Geophysics)是一門結合地質(Geo)與物理(Physics)的學科，透過精密儀器量測地球的震波速度(Seismic Velocity)、重力(Gravity)、磁力(Magnetics)、導電性(Conductivity)或放射性(Radio-metrics)等特性，用來研究地球結構，以及我們難以觀察之地下構造的技術。

一般所謂地球物理探測技術(Geophysical Techniques)是一種已發展成熟之區域性地表(Surface)非破壞且快速檢測技術，經常被應用於石油、礦產、地熱、溫泉、地下水資源、地下水污染、地下構造與廢棄(掩埋)物之探勘。另一種地球物理探測則被稱為地質鑽孔內(Boreholes/Wells)之井測(Well Logging)，詳細內容說明如下。

4.3.1 地表地球物理探測

非破壞性探測與廣大的探測涵蓋範圍，是地表地球物理技術最大的特點，因鑽鑿一孔 300 公尺深的地質鑽探井，只能獲得一個點(Point)的地下地質資訊，雖然可以很準確與直接，但畢竟只是一個點，但仍不足以獲知地下環境的全貌；但若用相同代價，透過地表地球物理探測，卻能獲得面(Area)的地下環境與構造之訊息^[12-16]。

地表地球物理探測方法可區分為：(1)反射震測法(Reflection Seismic Method)、地電阻影像剖面法(Resistivity Image Profiling Method)、重力法(Gravity Method)及大地電磁波法(Magnetotelluric Method)等。詳細調查方法及原理可參考^[14]。

透過地表地球物理技術探測環境污染是環保科技中一項先進技術，可用以探測土壤及地下水受污染的範圍，是後續污染監測、移除或整治工作的重要前置作業。圖 4-11 及圖 4-12 則分別為針對汞污泥與地下垃圾堆積，使用電磁波法與地電阻影像剖面法所獲得的結果。由於地下污染物往往具有低電阻率的特徵，因此透過量測地下不同深度地層的電阻率，可據以瞭解地下廢棄物的分布，甚至能據以計算其體積，做為後續廢棄物清運規劃之參考依據。

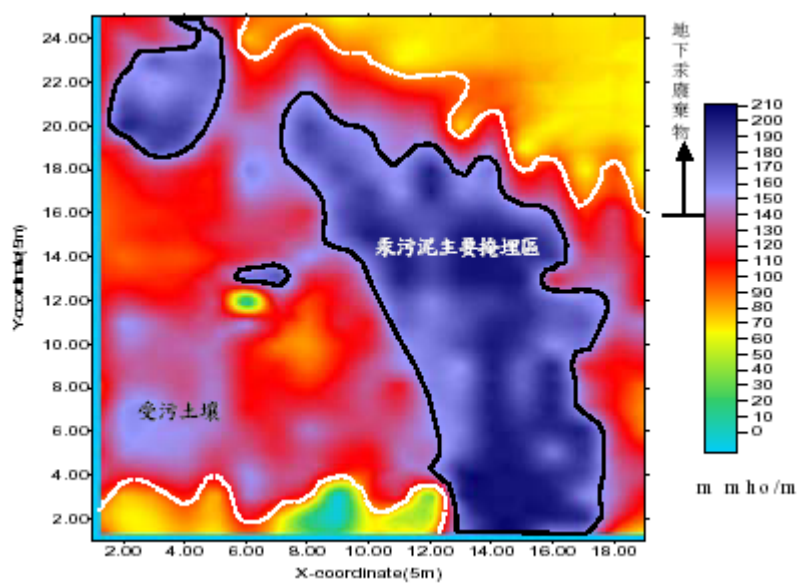


圖 4-11 電磁波法應用於地下汞污泥探測實例

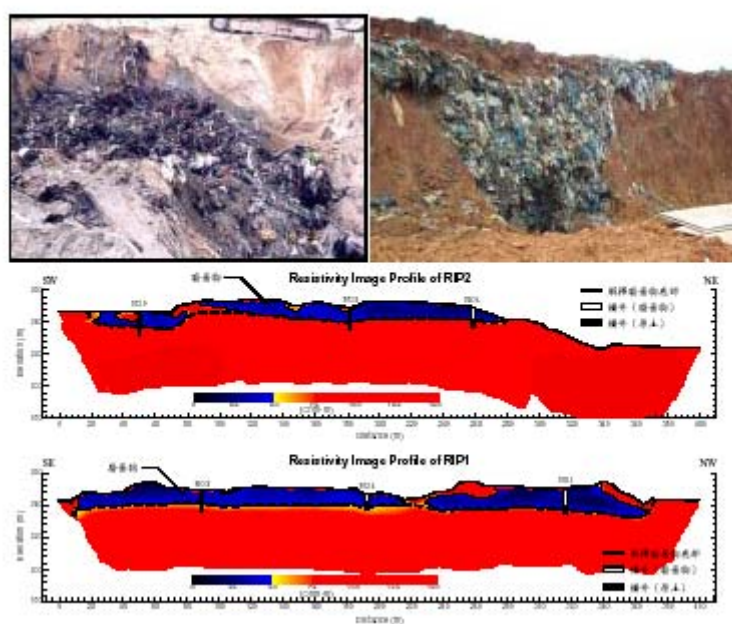


圖 4-12 地電阻影像剖面法應用於地下廢棄物探測實例

4.3.2 鑽孔內地球物理井測

鑽孔內地球物理井測(Geophysical Well Logging)(如圖 4-13)工作主要目的在於透過各種孔內量測技術，在最接近岩層的狀況下，探測岩層的各项物理特性，以提供有助於瞭解地下岩層對比及裂隙分布之資訊與研判。此外在台灣西部平原複雜未固結的沉積環境進行鑽探發生岩心漏失時，亦可有效補回重要地層岩性資料。

鑽孔內地球物理探測依施測項目特性可區分為^[10]：標準地球物理探測(Standard Geophysical Well Logging)、特殊地球物理探測(Special Geophysical Well Logging)及跨孔地球物理探測(Cross-hole Logging)。

「標準地球物理探測」之量測項目一般包括：自然伽馬(Natural Gamma；原子能委員會放射性物料詞彙目錄訂定： γ Gamma；中譯：伽馬)、井徑(Caliper)、溫度(Temperature)、自然電位(Spontaneous Potential)、泥漿電阻(Mud Resistivity)、電阻(Electric Resistivity)、中子孔隙率(Neutron Porosity)等。

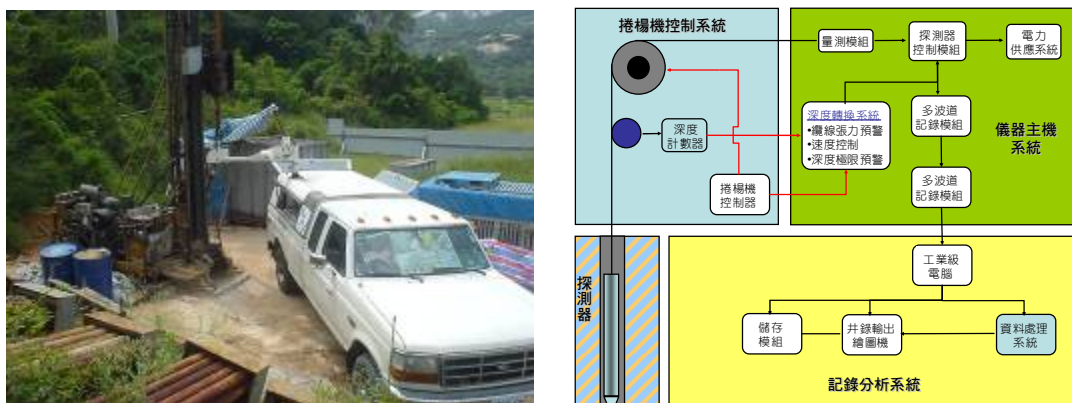


圖 4-13 鑽孔內地球物理井測及施測流程示意圖

4.4 水文地質試驗

一般水文地質試驗可分為水力試驗(Hydraulic Test)及示蹤試驗(Tracer Test)兩項。主要目的分別在求取水力參數(Hydraulic Parameters)及傳輸參數(Transport Parameters)，以提供後續地下水流與溶質數值模擬(Numerical Simulation)或數學解析(Analytical Solution)使用。

4.4.1 水力試驗

水力試驗可區分為抽水試驗(Pumping Test)、微水試驗(Slug Test)、注水試驗(Injection Test)及栓(封)塞試驗(Pack-off Test)等四大類。抽水及微水

試驗大多應用於平原地區屬於多孔隙介質含水層(未固結岩層)；注水試驗及栓塞試驗則多應用於複雜山區(Complex Platform)屬於裂隙介質含水層(固結岩層)。其目的在於分析所獲得的試驗數據，以求取觀測地層（或稱含水層、裂隙導水層等）的導水係數(Transmissivity, T)或水力傳導係數(Hydraulic conductivity, K)及貯水係數(Storage Coefficient, S)等參數。

其中抽水試驗可包括：(1)分級試水(Step drawdown test, SDT)，或稱連續變量試水(Continuous Multi-rate test, CMRT)，與間歇性變量試水(Intermittent Multi-rate test, IMRT)不同；(2)定量試水(Constant rate test, CRT)；及(3)回升試水(Recovery test, RT)等三種方式(如圖 4-14 所示)。至於現地定量試水與回升試水過程中水位變化可參考圖 4-15。

抽水試驗大都用於跨孔(Cross Holes，即 2 口試驗孔以上)與導水特性良好之含水層($K \geq 10^{-5}$ m/sec，如礫石及砂層)試驗；微水試驗則較適用於單口(Single Hole)試驗孔且導水特性較差之含水層($K < 10^{-5}$ m/sec，如含泥或土之礫石與砂層)。目前環保機關針對地下水質監測井大多進行微水試驗，以計算含水層參數 K 值，其優點主要是快速及節省成本，但其缺點則是 K 值代表性較不足，常受監測井設置方式及回填濾料影響。

栓塞試驗^[21-23,25]則可以分為：(1)單栓塞水力試驗(Single Packer Test)：又稱為漏程試驗(Lugeon Test)，主要目的是於地質鑽探進行中量測孔內多裂隙面滲漏量及其透水性(Permeability)；(2)雙栓塞水力試驗(Double Packers Test)：是測定鑽孔內主要或特殊裂隙段的透水性。

4.4.2 示蹤試驗

示蹤試驗在過去二十多年內，已被廣泛地應用在解決水文地質概念模式及水理現象的問題^[24]。為明瞭及量化複雜的地下水系統內的流動及溶質傳輸機制，各種不同的天然示蹤劑(Environmental Tracer)、同位素(Isotopes)及人工示蹤劑(Artificial Tracer)的技術已被陸續地開發及使用^[17]。

示蹤試驗基本上是在不同的介質(如裂隙或孔隙介質)的鑽孔中及穩定或非穩定流場內，以瞬間(Step/Pulse Input)或連續(Continuous)方式將不同種類示蹤劑(如表 4-3)注入，如自然梯度(Natural Gradient)或強迫梯度(Forced Gradient)法，並於其他鑽孔中回收及記錄示蹤劑濃度隨時間變化之關係，即突破曲線(Breakthrough Curve) (如圖 4-16)，再以此定量的結果來分析地下水的流場(Flow Pattern)及傳輸(Transport Mechanism)特性與參數^[18-20]。

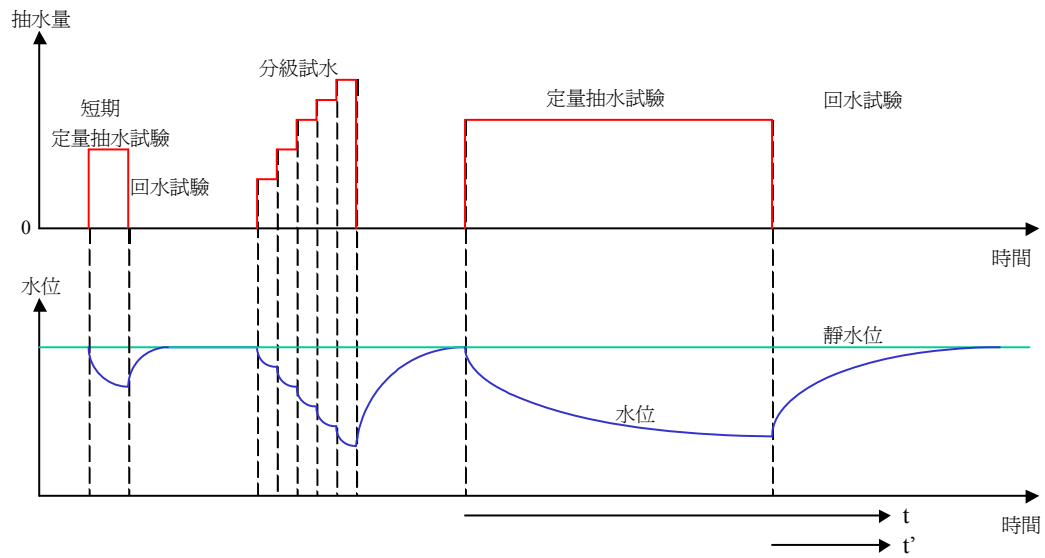


圖 4-14 各種水力試驗中抽水量與水位變化關係示意圖

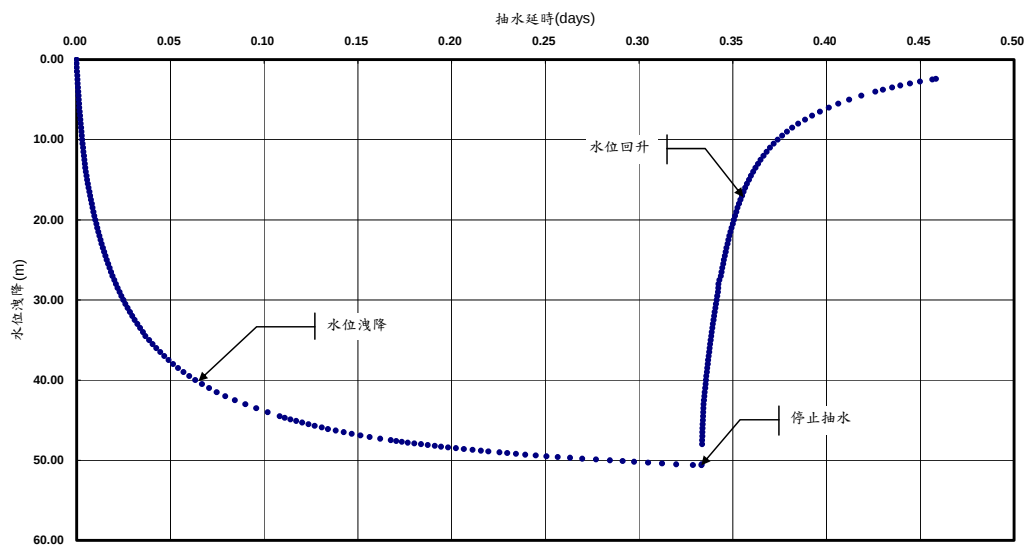


圖 4-15 現地定量及回升試水過程中水位洩降與回升變化圖

表 4-3 常用示蹤劑分類一覽表

分類	代表性示蹤劑	
吸附性質	無吸附性（守恆） 水：氚(^3H)，氦(^2H)， ^{18}O ， ^{17}O 等 陰離子： I^- ， Cl^- ， Br^- ， NO_3^- 等 氣體：Helium (He)等 金屬： CrO_4^{2-} ， MnO_4^- 等 同位素： $^{82}\text{Br}^-$ ， $^{131}\text{I}^-$ 等	微吸附性（不守恆） 同位素： ^{90}Sr ， ^{135}Cs ， ^{137}Cs 等 螢光劑：Rhodamine WT 等
放射性	放射性同位素 氚(^3H)，He， ^{37}Cl ， ^{14}C 等	
含碳量	有機 Acetate，Benzoate，and Phthalate 等 金屬：EDTA，DTPA，DOTA 等	無機 陰離子： I^- ， Cl^- ， Br^- 等 金屬： CrO_4^{2-} ， MnO_4^- 等
物理性質	氣體 Helium (He)，Kr，Ne，Xe，and CCl_3F 等	
螢光性質	螢光劑 Uranine，Rhodamine WT 等	
金屬	金屬 CrO_4^{2-} ， MnO_4^- 等	

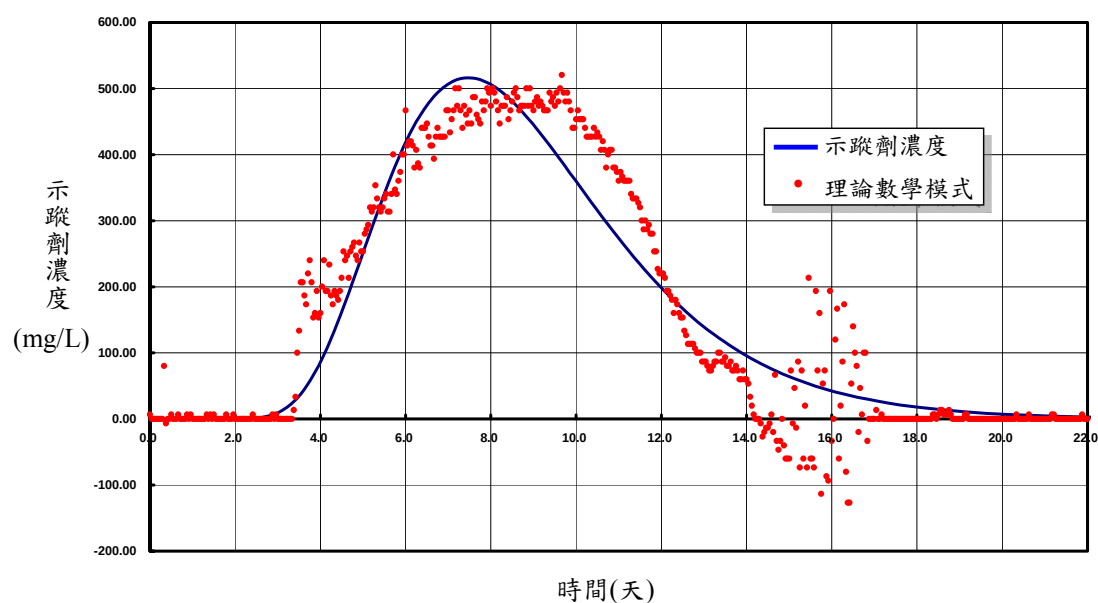


圖 4-16 示蹤試驗之突破曲線示意圖

4.5 架構水文地質概念模式

水文地質概念模式(Hydrogeology Conceptual Model, HCM)，即指根據現地的水文地質調查成果(如前述之章節所言)，提出能描述或解釋近似真實水文地質系統之概念^[28]，但仍非真實者。雖然概念模式不可能完全詳盡地描述真實水文地質系統，然而概念模式卻有助於瞭解水文地質系統內地下水的流動機制。

譬如台灣山區某一完整固結岩體中若存在單一高透水性裂隙(Water Conducting Single Fracture)時，多數人較無法理解地下水在此岩層中的流動狀態，但可利用未受固結受壓(或稱拘限)含水層(Confined Aquifer)之觀念(即孔隙介質，如台灣平原區地下含水層)作轉換表達^[26](如圖 4-17)，則不同領域之水文地質專業人士就可以快速掌握地下水流動的概況。由此可見，裂隙介質與孔隙介質是互相依存的觀念，而非相互獨立之。

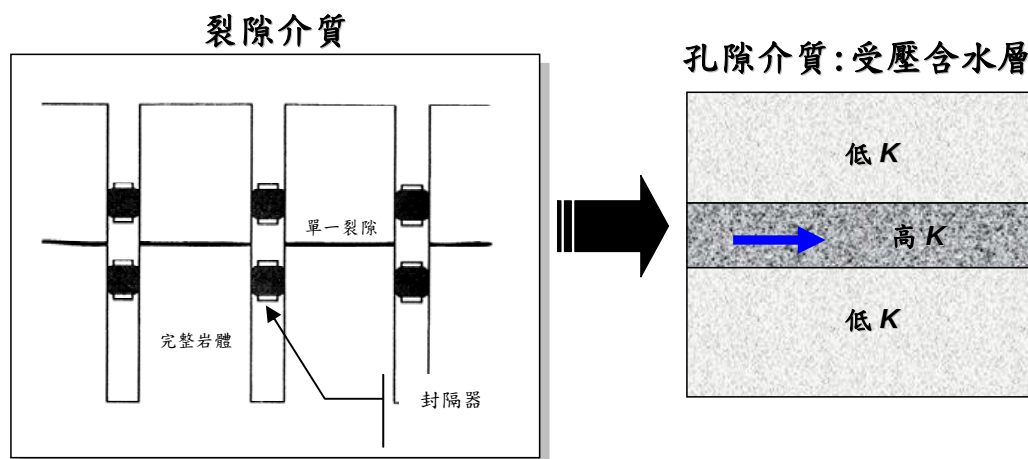


圖 4-17 水文地質概念模式示意圖

4.5.1 水文地質概念模式組成元件

組成水文地質概念模式之基本元件包含：(1)動態元件：即水(Water)；(2)靜態元件：即岩石(Rock)與土壤(Soil)(如圖 4-18)^[27]。再經由水文地質調查程序與數據解析，由靜態元件可分別產出(1)地質單元：如地層、岩性(Lithology)、構造(Structure)及裂隙網路(Fracture Network)等；(2)水文地質單元：如含水層分類、水力參數分布、綜合性水文地質圖等。由動態元件亦可分別產出(1)水文循環機制，如降水、蒸發、逕流、水化學反應、穩定同位素分析等；(2)流動機制：如地下水與地面水(如河川、湖泊)互動機制、入滲補注(補注區)、貯蓄、泉水(流出區)、水文平衡等。

因此，由以上所提之各種元件，方能架構完整之水文地質概念模式，這些元件則均須經由水文地質調查與分析後產出，另水文地質概念模式應隨調查資料的增加而逐步檢討修正。

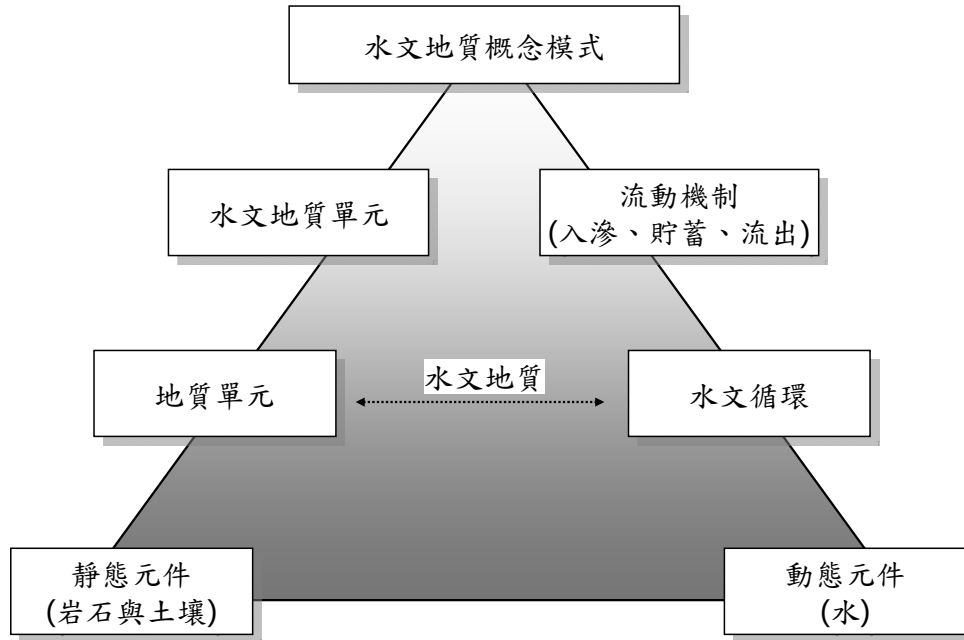


圖 4-18 水文地質概念模式之組成元件

4.6 案例說明

目前國內最完整之水文地質調查報告，係由經濟部中央地質調查所分別於八十八年及九十一年完成之「台灣地區地下水觀測網第一期計畫－濁水溪沖積扇水文地質調查研究總報告」及「台灣地區地下水觀測網第一期計畫－屏東平原水文地質調查研究總報告」。

主要內容包含：(1)調查區域概況，如地理位置與氣候、區域地質及地質鑽探站分布；(2)調查研究方法，如地質鑽探與岩心紀錄、地球物理測勘、地層研究、水文地質研究及資料管理；(3)調查研究成果說明及結論，將前述調查研究成果逐一說明。

參考文獻

1. Ivey, J.B., Definition of Environmental Geology and Purpose of the Conference: The Governor's Conference on Environmental Geology, p. 3-8., 1969.
2. 行政院農業委員會水土保持局，集水區水土保持地質調查與資料庫建置及地質應用研習計畫—水土保持應用地質手冊，文件編號：SWCB-94-145，2005。
3. 胡賢能，野外地質調查與地質圖，應用地質及水資源調查講習會，經濟部中央地質調查所與台灣省政府水土保持局共同主辦，1990。
4. 徐鐵良，地質與工程，中國工程師學會，1982。
5. 徐鐵良，地質與工程—台灣工程基本資料叢書之四，中國工程師學會，台北市，1992。
6. 翁勳政，環境地質作業程序書，工業技術研究院，文件編號：940L100-PD-2001，1995。
7. 陳文山，台灣的岩石，岩盤工程研討會論文集，p.17-27，2002。
8. 黃敦友、賴典章，工程地質在集水區經營上的運用，水庫集水區經營；行政院農業委員會、國立中興大學與台灣省水土保持局共同主辦，1992。
9. 經濟部水利署水利規劃試驗所，地下水水井鑿井技術參考手冊(草稿)，第三版，2009。
10. 李奕亨，地球物理井測應用於裂隙帶分析，第三屆全球華人岩土工程學術論壇論文集，p.122-131，2007。
11. 楊秀隆、李奕亨、翁勳政、柳志錫，濁水溪沖積扇土壤力學特性探討，工程地質探勘資料庫系統成果發表暨研討會，p.137-148，2008。
12. 董倫道，陳金郎、蔣立為，地電阻影像剖面法偵測地下水污染，地下水資源及水質保護研討會論文集，p.521-534，1994。
13. 董倫道、牛威、林添益，雷達井測在橋台深度探測之應用，2004 免開挖工法研討會論文集，p.27-36，2004。
14. 董倫道、陳文山、李奕亨，地震地質調查及活動斷層資料庫建置計畫地球物理探勘計畫（5/5）95 年度期末報告，經濟部中央地質調查所，2006。
15. 董倫道、陳仲玉，金門地區透地雷達探測貝塚，第四屆科學史研討會彙刊，p.269-275，1996。
16. 蕭承龍、董倫道，透地雷達探測技術於卑南遺址之應用，國立台灣史前文化博物館籌備處通訊，第五期，p.1-24，1995。
17. Byegard, J., Development of Some in-situ Tracer Techniques Applied in Groundwater Research, Department of Nuclear Chemistry, Goteborg, Sweden, 1995.

18. Chiang, Li-Wei, Guo, Tai-Rong, Tong, Lun-Tao and Ouyang, Shiung, Cross Borehole Tracer and Resistivity Investigation Technology, Proceeding of 2005 Taiwan Atomic Energy Forum(TAEF) in Longtan, p.213-221, 2005.
19. Dassargues, D.(editor), Tracers and Modeling in Hydrogeology, IAHS(International Association of Hydro-geological Sciences) Publication no.262. ISSN 0144-7815, 2000.
20. Leibundgut, C., Piotr Maloszewski, and Christoph Kulls, Tracers in Hydrology, Wiley-Blackwell, 2009.
21. 經濟部中央地質調查所，臺灣山區地下水資源調查研究先期計畫 96 年度計畫-水文地質鑽探及孔內水文試驗分析研究，工研院能環所執行，2007。
22. 經濟部中央地質調查所，臺灣山區地下水資源調查研究先期計畫 96 年度計畫-水文地質鑽探及孔內水文試驗分析研究，工研院能環所執行，2008。
23. 臺灣電力公司，水文地質單孔多層雙封塞操作測試報告，SNFD-ERL-90-071，工研院能資所執行，1996。
24. 蔣立為、董倫道、歐陽湘，地熱尾水回灌與示蹤試驗，太陽能與新能源學刊第二十二卷，第一期，2007。
25. 蔣立為、歐陽湘、杜培欣，地下水文地質特性參數量測：雙封塞技術之應用，地工技術第 69 期，p.15-24，1998。
26. National Research Council, Rock Fractures and Fluid Flow, National Academy Press, 1996.
27. Winkler, G., P. Reichl, E. Strobl, Hydrogeological conceptual model-fracture analyses to determine hydrogeological homogeneous units in hard rock. RMZ-Material and Geoenvironment, vol.50, no.1, p.417-420, 2003.
28. 行政院原子能委員會放射性物料管理局，低放射性廢棄物隧道處置水文地質概念模式審查技術之建立，國立中央大學應用地質研究所執行，2005。
29. Delleur, J.W., "The Handbook of Groundwater Engineering," CRC press, 1998.
30. Erdelyi, M. and J. Galfi, "Surface and Subsurface Mapping in Hydrogeology," John Wiley & Sons, 1988.
31. Fetter, C. W., "Contaminant Hydrogeology," 2nd Edition, Prentice Hall, 1999.
32. Ingebritsen, Steve, Ward Sanford, and Chris Neuzil, "Groundwater in Geologic Processes," 2nd edition, Cambridge University Press, 2006.
33. Sara, M. N., "Site Assessment and Remediation Handbook," 2nd edition, Lewis

Publishers, 2003.

34. 吳銘志，台灣地區地下水文圖，水文地質調查與應用研討會論文集，p.149-165，經濟部中央地質調查所、水利署、工業技術研究院及台糖新營廠地下水開發保育中心共同主辦，2003。
35. 張秉權、吳建民，台灣地區之二十五萬分之一水文地質圖，水文地質研討會論文集，p.13-36，經濟部中央地質調查所主辦，1989。
36. 費立沅，台灣富水層水文地質問題探討，水文地質研討會論文集，p.361-372，經濟部中央地質調查所主辦，1989。
37. 賴典章，水文地質調查與水文地質圖編製，水文地質研討會論文集，p.373-378，經濟部中央地質調查所主辦，1989。
38. 賴典章，台灣地區地下水分區特性，水文地質調查與應用研討會論文集，p.1-24，經濟部中央地質調查所、水利署、工業技術研究院及台糖新營廠地下水開發保育中心共同主辦，2003。

第五章 土壤污染調查方法

5.1 土壤污染調查方法概述及流程

土壤為非均質性之物質，通常在土壤剖面上可以區分為數個性質不同之土層，因而具有垂直或縱向之非均質性，不但如此，水平或橫向之土壤性質亦有相當之差異性，亦即土壤之物理、化學與生物性質具有相當之空間變異性(Variability)。因此工廠之土壤污染調查，常因地下環境狀況、污染程度、污染發生的原因與工廠運作現況之不同，加上土壤非均質性，使調查策略與採樣方法有所不同。

土壤污染調查方法包括前置作業擬定採樣計畫、土壤樣品之採集與處理、土壤分析、數據的判定及場址綜合研判等各項工作，其工作流程如圖 5-1 所示。本章就土壤污染之污染範圍調查之進行方式進行說明，以利國內業者進行場址污染調查有所參考依循。

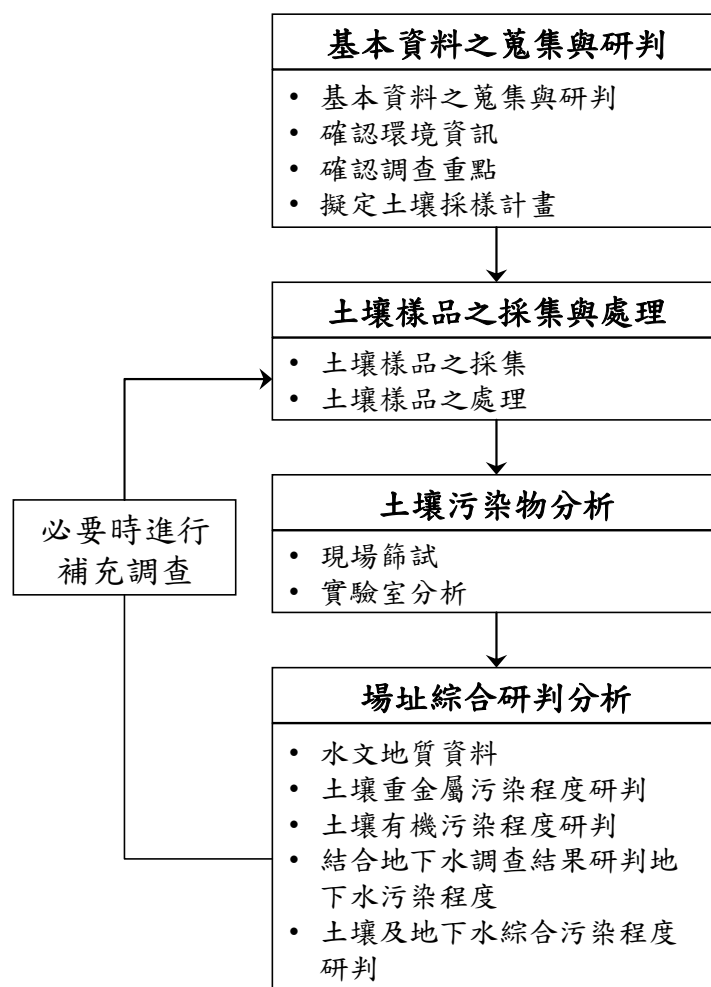


圖 5-1 土壤污染調查工作流程

5.2 土壤樣品之採集與處理

一般土壤調查將採樣區之所有土壤稱為整體土壤（Whole Soil），此即統計學上所稱之母體（Population），而採樣者自該區所採集並攜回實驗室之少量土壤（約數公克至數公斤），即為採集土壤（Sampled Soil），亦即統計上所稱之樣品（Sample），採集土壤經前處理後，再秤取一小部分（通常少於數公克）用於檢測分析，此部分土壤即為供試土壤（Test Soil）^[1]。一個好的土壤分析，其採集土壤必需足以代表整體土壤，而供試土壤又必需能代表採集土壤，同時，採集與供試土壤在前處理過程中應避免造成性質之改變，最後方能經由確實之分析獲得可靠之數據，因此土壤樣品之採集與處理其重要性不可言喻。

採樣為土壤分析工作第一階段，也是最重要的工作項目之一，所有環境介質最終檢測結果的判定，端賴採樣時是否得到代表性的樣品。土壤採樣流程如圖 5-2 所示。

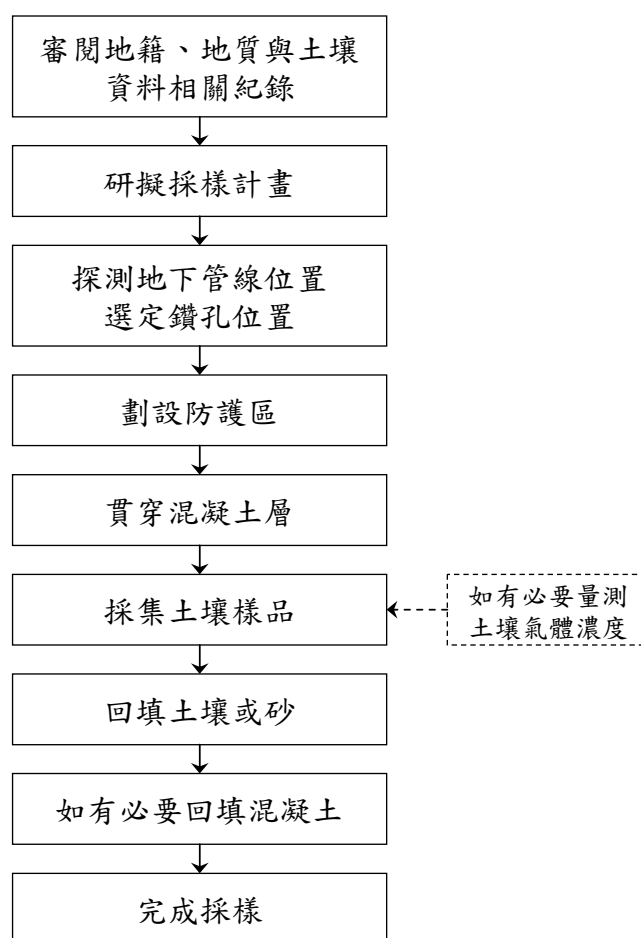


圖 5-2 土壤採樣流程

5.2.1 擬定土壤採樣計畫及採樣程序

完備的採樣計畫通常包括採樣目的、採樣人員之組織與分工、場址地籍資料、地質、土壤概況、環境概況、採樣區規劃、採樣佈點及樣點數、採集工具及設備、樣品容器、樣品之運送、樣品之接收與保存、檢測項目及其他品管相關規範等，當調查工作複雜時，則可考慮委託在此領域具有專長及經驗之專業機構提供協助，擬定土壤採樣計畫及採樣程序。土壤採樣計畫之訂定可以分成下列幾個部分：

- 一、採樣計畫「目的」之確定：採樣計畫目的之確認，可以避免不必要之採樣。
- 二、現場勘察：現場勘察之判斷及所獲得之資料，可以有效降低不必要之採樣數目，降低執行計畫之費用。
- 三、採樣計畫書擬定：以現場探勘之結果，進行採樣計畫之安排及計畫書之擬定，採樣計畫書之內容需包含採樣目的、執行及工作之內容、現場工安衛生、預期進度等部分。
- 四、經費需求之估算：採樣經費主要包含採樣工具購置、車輛運輸、樣品運送、樣品保存等，而這些費用會受到樣品數量及分析項目之影響。
- 五、採樣前之準備：準備項目須包含採樣工具、地圖、車輛、路線安排及採樣記錄等。
- 六、現場採樣及前處理：進行現場採樣必須詳細記錄樣品之名稱、採樣時間、採樣人員等，所採集之樣品必須以規定加以保存(如 4°C 冷藏)，並進行必要之品管措施(如野外空白、設備空白及運送空白)。
- 七、檢測項目：在調查、整治或驗證階段可能需要補充檢測，得視場址污染情形擇定土壤檢測項目。

5.2.1.1 採樣場址相關資料之蒐集

一、採樣場址之地籍、地質與土壤相關資料

在進行土壤採集前，對場址之地號或地址、面積、地圖、土壤母岩、土壤類別、土壤性質、土地利用、地形、排水情形、地下水資料、可能之污染物及其他天然條件等皆應加以蒐集、研讀與掌握，將有助於採樣區之規劃。

二、採樣場址之人文與環境概況

土壤性質可能受該地區人文與環境狀況之影響，因此對於廠區之產業性質、廢水之排放、廢棄物處理地點、原物料儲存區、可能之污染物等皆應深入瞭解與掌握，特別是通過環境影響評估而設立之工廠，可參

照環境影響評估報告之基本數據，對廠區概況有較佳之掌握。

5.2.1.2 採樣範圍規劃

首先需就採樣目的及該區之地籍、地質、土壤、人文與環境等相關資料，決定單區或分區採樣，若調查或採樣區面積不大，且所蒐集之相關資料皆顯示全區有相當之一致性，則可將整區視為單一採樣區，進行單區採樣(Individual Sampling)佈點。

當調查區面積相當大，或該區土壤因受地質、土壤、人文、環境與土地利用等相關因素之影響而有差異性存在時，應將整個調查區依差異性劃分成數個條件較一致的分區，進行分區採樣(Stratified Sampling)，於各分區進行採樣佈點。

5.2.1.3 採樣佈點規劃

當採樣區規劃完成後，即應於各區進行佈點，亦即規劃採樣點，以做為採樣之依據。採樣點規劃之方法大致可歸納為下列三種：

一、主觀判斷採樣法 (Judgmental Sampling)

此法是藉由熟練專業人士之判斷或評估以決定採樣點。通常若能根據規劃或採樣者之專業判知合乎採樣目的(如污染地點)之位置時，即可依此判斷決定採樣地點及數目。由於此法係基於主觀，對優秀之評斷者而言，可能具有精確、有效率及低成本之優點，反之，則有發生誤判之可能。主觀判斷採樣法可借重多種現場篩試儀器可供應用以獲得更精準之判斷結果，常用者包括可攜帶式 X 射線螢光光譜儀(X-ray Fluorescence Spectrometer)應用於篩選金屬污染的採樣點；光離子化偵測器(Photo Ionization Detector, PID)、火焰離子化偵測器(Flame Ionization Detector, FID)應用於揮發性有機物污染採樣點之選擇等，都大幅提高此種採樣法之準確性。

二、模型採樣(Pattern Sampling)

此法通常係將網格模型(Grid Pattern)套在採樣區之地圖上，將採樣區或分區劃分為若干個小區塊。通常網格可區分為正方形、長方形、三角形、菱形或平行四邊形等形狀，而各網格或網格節點處即可做為採樣點。當網格劃分完成後，可選擇系統(Systematic)或隨機(Random)方式（圖 5-3）決定採樣點：

（一）系統採樣法

此法係以規則性方法決定採樣點，亦即在各劃分之小區塊全面採樣。例如，在某一公頃調查區欲採集 9 個樣品，可於該區依「井」

字模型劃分為 9 個採樣小區塊，再於各小區塊上採集一土樣。

(二) 隨機採樣法

此法係以統計上隨機取樣之方式決定採樣點，亦即每一塊土壤都有平等而獨立之受採機會。例如，在某一公頃調查區欲採集 9 個樣品，可於該區按每 20 公尺間隔劃分為 25 個採樣小區塊，再運用亂數表等隨機方式選取 9 個小區塊進行採樣。此法雖簡易可行，但亂數之選取須據科學性以使採樣點均勻分布而提高其代表性。

此法特別適用於均勻、開闊而無特殊性質（如潛在污染源）之樣區，且其結果具統計意義，可據以計算平均值、濃度分布與變異。

三、綜合採樣法(Combined Sampling)

此法係綜合上述兩種方法進行佈點，其方法可先將採樣區依模型採樣法決定部分採樣點，再依主觀判斷採樣法決定另一部分採樣點。例如，若規劃於在某一公頃調查區採集 30 個樣品，可將該地區按每 20 公尺間隔劃分為 25 個小區塊，並於各小區塊上採集土樣，其餘 5 個樣本可按該區特殊條件，如工廠、溝渠、馬路方式等地點，選採 5 個與採樣目的相符之土樣。此法既可彌補主觀之誤判，亦可降低模型採樣法發生遺漏之機率。

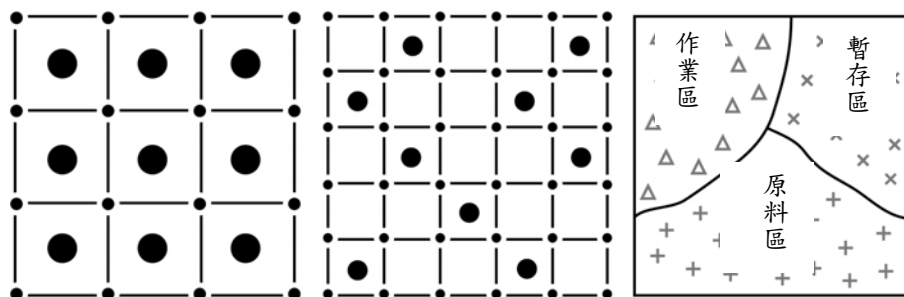


圖 5-3 系統、隨機及分區採樣法示意圖

5.2.1.4 土壤採集之頻率、數目、數量與深度

在完成採樣區及採樣點之規劃後，另一項工作為決定土壤採集之頻率(次數)、數目、數量與深度，茲分述如下：

一、土壤採集之頻率(次數)

若對土壤進行長期監測其採樣頻率可以每月或每季進行，而土壤採集之次數可依樣區之複雜性分為一次採樣與多次採樣：

(一) 一次採樣

就某一項土壤分析而言，若調查地區之範圍不大，土壤環境之

條件亦無特殊複雜處，且經費、人力等資源亦可配合時，通常以一次完成相關工作為原則。

(二) 多次採樣

對於大面積且環境複雜之調查區，若無法規劃一次採樣以取得所需之土樣，則須進行多次採樣。在實務上可選用應變叢集採樣法 (Adaptive Cluster Sampling)，此法係於樣區範圍較大且不易判知高污染區時，將採樣分數次進行，採樣範圍由大而小逐步縮減，並依據每次之調查結果，逐步趨向並掌握高污染區，亦即由大樣區而中樣區至最後之細密採樣，本法具有明確界定污染範圍與降低成本之優點。

二、土壤採集之數目

依環保署公告之「土壤污染檢測資料備查作業要點」，各事業進行土壤污染檢測之採樣點數量，應符合表 2-2 最少採樣點數之規定。但事業用地全部位於二樓以上者，得檢具證明文件，免予採樣檢測。

土壤採集數目之多寡因採樣目的、採樣區土壤之非均質程度、預算金額與統計上之需求而有差異。就統計觀點而言，樣品數越多，其分析數據之綜合判斷結果就越具代表性。不過，就現實觀點而言，數目過多將造成成本之負擔，故規劃者必須就主、客觀因素加以考量，訂定合理之採集數。在實務上已有多種統計方法被發展並應用於採集數目之決定，可由具有經驗之專業人士協助計算。

三、土壤採集之樣品量

採樣者最好依據計畫內容與分析者充分溝通，以決定樣品量。一般而言，若土壤係供基本性質或非揮發性成分分析之用時，以 1 至 2 公斤即夠用；若供揮發性成分分析之用時，則視脫附設備之種類與需求而定；但在無法明確界定需求數量時，則通常寧可多採，以免樣品量不足時再次採樣，造成成本增加及前後次採樣差異之困擾。

就所採集之土壤混合與否，可將土壤樣品分為單一或混合樣品 (Individual or Composite Sample) 兩種處理方式：

(一) 單一樣品

係將採自某一採樣小區塊、採樣點或採樣深度之土壤視為單獨之樣品，獨立進行後續分析工作，通常以抓樣 (Grab Samples) 所得之單一樣品即屬於此類。

(二) 混合樣品

此乃將採自兩個以上小區塊、採樣點或採樣深度的土壤進行均勻混合，再以四分法分取部分混勻樣品進行分析。此法對於性質較為均一(Uniform)，亦即變異較小之樣區，具有減少分析樣品數與節省成本之利，但混合樣品之分析結果乃該樣區土壤之平均濃度，若樣區內土壤性質變異太大，則高、低濃度樣品混合之結果亦可能導致矇蔽濃度分布資訊；同時，由於混合過程會攪動(Disturb)土壤，故混樣亦不適用於揮發性物質之分析。

四、土壤採集之深度

土壤樣品之採集深度，常因其採樣目的或污染特性而異，若其目的在瞭解重金屬等污染物之含量，除非有深層翻土或掩埋含重金屬廢棄物等特殊情形，否則黏質土壤以採 30 公分內之表土為原則，粗質地土壤則可酌予增加採樣深度；若欲調查地下儲槽洩漏所導致之污染，需視儲槽深度及土壤之傳輸性進行深層採樣，特別是重非水相液體(Dense Nonaqueous Phase Liquid, DNAPL)(如含氯碳氫化合物)，在滲透期間，若含水層中有一不透水的薄夾層，DNAPL 會在該不透水層上側向流動，累積形成一薄層(Pool)。若 DNAPL 持續滲透，會貫穿到含水層底部，且沿著底部的地形往低處流動，和地下水流動無關，此時採樣深度成為相當棘手的工作，有時必須借重模式的推估及專業的判斷來決定。

5.2.1.5 土壤採集之工具及設備

採集土壤所使用之工具及設備，依採樣目的或檢測項目大致可區分為開放式與閉鎖式兩類。對於特殊地質或土壤氣體之採集則須其他輔助設備之配合，相關採樣工具之使用可參照環保署公告之「土壤採樣方法」之細節(NIEA S102.61B)^[2]。

一、開放式採樣器

此類採樣器常見者為土鏟(Shovel)、土鑽(Auger)或其他類似之旋鑽式工具。土鏟之大小不一，大者如農工業常見之圓鋤，小者如園藝用，其材質通常為不銹鋼或於金屬表面塗佈塑膠、鐵氟龍。小型土鏟亦有金屬、塑膠或鐵氟龍製品。至於土鑽之採樣頭規格，通常約為 30 公分長，口徑約為 5~8 公分，而其連接管則可分段連接達數公尺，且其採樣頭除底部之螺旋刀片外，其餘部份可變更曲折度、口徑或密閉程度以適合各種質地、含水量或其他環境條件之土壤採集。此類工具在採樣過程中對樣品之擾動性較大，故所採土樣多因攪動而分散，且採樣位置與深度較不易精確掌握。

二、閉鎖式採樣器

對於必須採集未攪動土樣之檢測項目如總體密度等，或採集之土樣係供測定揮發性物質含量時，為避免土壤因攪動而分散或造成揮發性成分之逸散，應改採閉鎖式採樣管（Tube Sampler），如劈管採樣器（Split-barrel Sampler）或薄管採樣器（Thin-walled Tube Sampler）。此類採樣器之材質通常為不銹鋼，其採樣管可分為單管與雙管（含外管與襯管）兩類，前者通常為可分裂式劈管，後者之襯管則為可分裂式（金屬管）或可截斷式（塑膠管或鐵氟龍管），以便移出未攪動土柱供密封保存與分析。使用時可以手動或電動方式直接以壓力迫使土壤移入中空採樣管中，如此即可得到較不擾動之土壤樣品。

三、採樣輔助設備

對於特殊地質之採樣須有鑽探設備之配合，鑽探設備可提供一合適的乾淨裸孔與未擾動待採之土壤層供採樣之用。鑽探須配合地質狀況選用合適之設備，如中空螺旋鑽、開孔旋鑽、旋轉錘鑽、實心螺旋鑽等，並配合壓入設備使用。至於土壤氣體之採集設備通常包括鑽頭、鑽桿、鐵氟龍管、電鑽或撞擊鎚、抽氣泵或真空採樣箱、採樣袋、簡易偵測器等。

5.2.1.6 土壤樣品容器

土壤採樣後樣品容器之選擇常依檢測項目而定，若樣品供重金屬等非揮發性無機成分檢測之用，一般常用之容器為塑膠袋或廣口塑膠瓶或玻璃瓶。若供非揮發性有機成分檢測之用，使用塑膠袋或廣口塑膠瓶時應注意遮光效果與組成份間之污染問題，亦可使用瓶蓋附鐵氟龍墊片之棕色廣口玻璃瓶或鐵氟龍材質之廣口瓶。

若樣品之檢測項目為揮發性有機物，則可將塑膠、不銹鋼或鐵氟龍等材質之採樣襯管或採樣管兩側加以封緘後暫存，封緘之方法係於管之兩端套上鐵氟龍(PTFE)封帽或內置鐵氟龍膜的塑膠封帽，於封帽邊緣包裹鐵氟龍止洩帶或封口膜等密封物以確保密封，然後攜回實驗室直接以推桿將土壤推入脫附裝置中進行檢測，而襯管或採樣管材質之選擇亦以不含檢測有機物為原則。此外，亦可將土柱直接由襯管或採樣管中推入熱脫附裝置專用之玻璃瓶內，攜回實驗室後即可直接進行熱脫附，不過，若該玻璃瓶為透明材質，則裝入樣品後需有避光措施。

5.2.2 土壤樣品之前處理

攜回實驗室之土壤，若屬檢測揮發性成分或總體密度等用途之未攪動

土壤，則不必進行前處理。至於可攪動之土壤，其前處理通常包括乾燥(Drying)、研磨(Grinding)與過篩(Sieving)三項：

一、乾燥

自現場採回之土樣，通常都呈濕潤狀態，其含水量介於風乾(Air-dried)與飽和(Saturated)之間，若不加以乾燥處理，則易因化學反應（如硝化作用等）或生物作用（如有機物之分解等）而導致性質之改變，故乾燥之主要目的在於使其適於長久保存。其次，土壤若處於濕潤態，則於不同時期取用土樣時，其含水量可能改變，故乾燥亦可避免經常測定土壤含水量。而土樣之乾燥一般以室溫下自然風乾為原則，亦可以冷凍乾燥為之，若需以烘箱處理，其溫度亦應低於 60°C，以免過高之溫度易導致土壤性質之改變。

乾燥之方法一般係將土壤置於適當材質之淺盤中，先剔除石礫、樹枝等雜物，並將土塊盡量剝散，然後置於通風良好之陰乾處、冷凍或烘箱中，在乾燥期間應視需要將土壤團粒(Aggregates)破碎，以加速乾燥並避免土壤因脫水膠結而增加研磨之困難度。乾燥所需時間因土壤質地等性質之不同而有差異，一般約經 5~10 天即可得到室溫下重量較為穩定之土壤，通常稱之為風乾土(Air-dried Soil)。

二、研磨

研磨之目的在於破壞土壤粒子間之膠結因子而使粒子分散，以便分析時可以測得更真實之土壤性質。其做法是將風乾土放在塑膠或不銹鋼之淺盤中加以研磨，研磨工具通常為木棒，亦可以不含待測元素之金屬棒為之，然而，不論選用何種工具，研磨時皆應採取和緩方式，不可重力擊打致使單一土粒破碎。

三、過篩

土壤經研磨後應選用合適之土篩過篩，其作用除可篩除雜物外，亦可篩選適合某項分析之特殊粒徑土壤，同時兼具充分混勻之效果。通常可將土壤先經 2 mm (10 mesh)之土篩過篩，若某項分析對於粒徑有特殊需求時，再以適合該粒徑之土篩過篩。土壤經乾燥、研磨與過篩後，應選用塑膠袋、廣口塑膠瓶(適合重金屬分析)或廣口玻璃瓶(適合有機物分析)，予以密封保存備用。表 5-1 彙整上述土壤樣品檢測最少需要量與保存方式^[2]。

表 5-1 土壤樣品檢測最少需要量與保存方式

檢測項目	最少樣品量(g)	容器 ^(註1)	保存方法	最長保存期限
水分	50	密閉玻璃或塑膠袋(瓶)	暗處，室溫	(註2)
pH值	50	玻璃或塑膠袋(瓶)	室溫	180天
重金屬				
As、Cd、Cr、Cu、Pb、Ni、Zn	100	玻璃或塑膠袋(瓶)	室溫	180天
Hg	100	玻璃或塑膠袋(瓶)	4±2°C冷藏	28天
有機物				
多氯聯苯	100	250 mL直口玻璃瓶 附鐵氟龍墊片	4±2°C冷藏	(不規定)
半揮發性有機物、 有機氯系農藥	250 g(mL)×2	250 mL直口玻璃瓶 附鐵氟龍墊片	4±2°C冷藏	14天(採樣至萃取) 40天(萃取至分析)
揮發性有機物、 TPH	125 g(mL)×2	125 mL直口玻璃瓶 附鐵氟龍墊片	4±2°C冷藏	14天(採樣至分析)
戴奧辛	30	以褐色玻璃瓶或以 鋁薄紙包裹等避光 方式處理之玻璃瓶 盛裝樣品	10°C冷藏	採樣後30天內完成 萃取，萃取後45天 內完成分析。

註1：採樣襯管或採樣管：亦可作為樣品容器。

(1) 塑膠襯管：適用於檢測無機項目。若使用塑膠襯管採集有機項目分析的土樣時，則不可作為保存容器。

(2) 鐵氟龍襯管及金屬管：適用於各種成分。但銅管不適用於檢測銅的土樣。

註2：土壤水分的保存期限依分析目的不同分為下述二種：

(1) 現場採樣後瞭解水分含量時，應儘速進行測試，保存時避免水分逸失。

(2) 計算乾基狀態下污染物濃度用時，應在污染物分析取樣同時進行水分測試。

5.2.3 土壤採樣之品質管制

為確保採集樣品之品質，採樣時應依採樣計畫之需要採取適當之品管樣品，採樣之品管樣品包括下列各項樣品：

一、現場重複樣品

現場重複樣品係於同一採樣點依相同之採樣條件採集兩個土樣，將其視為兩個樣品分別置於不同容器內保存，且經相同分析程序後檢視其差異百分比。

二、現場空白樣品

將不含待測物且與樣品基質相似的樣品（如土壤或試劑水等），於實驗室裝入樣品容器內密封後攜至採樣現場，並於採樣開始時打開容器至採樣完成後密封，再與樣品一同攜回實驗室檢測。此等空白樣品可供瞭

解採樣過程之污染情形，特別於採集供揮發性有機污染物檢測之樣品時必備。

三、現場設備空白

在採集土壤並完成除污程序後，使用清洗劑洗滌採樣器具並收集清洗液作為設備空白。此可判知採樣器材之污染情形和除污之妥適性，必要時以每批次提供一個設備空白為原則，若使用拋棄式採樣器時則可免。

四、運送空白

將不含待測物且與樣品基質相似的樣品（如土壤或試劑水等），於實驗室裝入樣品容器內密封後攜至採樣現場，再與樣品一同攜回檢測，用以檢視樣品於運送過程是否遭受污染，特別於採集供揮發性有機污染物檢測之樣品時必備。

而與數據品質相關的事項包括須採集到代表性的樣品、樣品妥善處理及保存、樣品標示及交接監視紀錄、現場採樣之品保品管措施、使用適當的採樣工具，利用品保規劃及統計分析等工具，確認分析數據之可信度。如此才能利用分析之結果可以評估是否達到調查目的，得知調查場址之污染情況。

5.2.4 土壤調查採樣規劃參考案例

工廠廠區土壤因長期處於不同之土地利用方式，可能暴露在特定污染源下，故在進行土壤調查時，依其特性規劃最佳之採樣內容，通常需要敏銳之觀察、專業之判斷、與經驗之累積，茲舉以下案例供採樣規劃參考。

一、石化廠或加油站儲槽或管線滲漏所導致之土壤污染調查採樣規劃

石化廠或加油站常於地下水監測時發現污染物，此類污染多為儲槽或管線裂縫所造成之滲漏，經土層再傳輸至地下水，且因土壤對污染物之吸持作用，故於追查污染源時多會進行廠(站)區土地污染調查。常見之採樣規劃方式除依系統原則遍布採樣點以瞭解區內土壤概況外，並應依其製程或作業流程採主觀法評估可能之污染點。因此採樣規劃應依據土壤氣體檢測結果、監測井污染地下水、鄰近監測井之污染物濃度及該區之地下水流向進行、儲槽或管線裂縫之檢查結果等進行污染源之綜合判斷，當發現疑似污染點時即可開挖或以深層採樣器進行土壤採樣以確定污染源，採樣種類須視洩漏之油品或溶劑種類以進行後續之揮發性有機物及半揮發性有機物之分析。

二、皮革工廠廢水放流水沿線農田土壤污染調查採樣規劃

某農田管理人已知流經之溝渠涵納附近電鍍廠之廢水，故並未引溝

水灌溉。然而在進行農田重金屬調查時卻發現該田部分土樣中之鎘含量超過管制標準，經採用應變叢集採樣法進一步探討其污染熱區後，發現污染區呈狹長型分布於溝渠兩側，細究其成因乃清理溝渠時將含鎘污泥棄置於兩旁農田，並於耕犁時混入土壤中，長年以往終於使溝旁土壤累積過量之鎘，由於我國農田之灌排溝渠未分道，故工廠廢水排放至溝渠後，其所含之成分可能隨灌溉水進入農田中而污染土壤。由於灌溉水所導致之土壤污染，於進水口附近因污染物之沉積而有較高之污染量，因此在此案例規畫採樣時除應針對工廠內污泥暫存區、製程區、及廢水處理單元設施鄰近區域，同時亦須涵蓋廠區外廢水放流口附近規劃較密集之土壤採樣點。

三、工廠廢氣排放周圍土地污染調查採樣規劃

某冶煉廠之主要污染源為煙囪所排放未經處理之廢氣，其煙囪高度約為 5 公尺，經調查結果，其製程中所可能產生之污染物，經排氣而沉降於工廠周圍之土壤中，呈現均勻分布之現象，唯在主要風向與最大着地濃度處可能有較高之含量，故於此類污染源規劃採樣點時，應考慮風速與風向以做為規劃佈點之依據。

四、成衣工廠土壤污染調查採樣規劃

某成衣廠依其作業性質劃分為原料、剪裁、縫製、熨燙、包裝及成品等六區。依工廠屬性而言並無污染之虞，故先於上述六區以系統方式分別規劃採樣點。然於現勘時發現該工廠因熨燙之需而有燃燒重油產生蒸汽之流程，經查訪得知其重油係以管線輸送，於廠區外側設有重油輸送口，輸送至鍋爐旁之重油儲存槽，同時並發現由於長期作業之疏漏，以致輸送口及儲存槽地面上皆有明顯之重油殘留情形，廠房外側輸送口之重油直接滲入土壤中，儲存槽附近則遺漏於水泥地面上，再由裂縫滲入土壤中，故將此二處列為主觀採樣區，分析結果發現此二區土壤中除重油成分外，含鉛量亦超過管制標準。由此案例可知，對於無污染之虞的產業，亦須審慎瞭解其作業流程以研判局部污染之可能性。

5.3 土壤重金屬含量之測定

5.3.1 土壤重金屬污染概述

重金屬(heavy metals)泛指密度大於 5g/cm^3 或原子序 21 以上之金屬。根據此定義重金屬之種類甚多，我國對可能造成環境污染之重金屬共列舉銅(Cu)、鋅(Zn)、鎘(Cd)、鉛(Pb)、鎳(Ni)、鉻(Cr)、砷(As)、汞(Hg)等八種，長期予以調查、監測與復育整治。

一般而言，除特殊成分之母岩外，自然界土壤中之重金屬含量不高，但人類的各項產業與民生活動，常因廢氣、廢水與廢棄物之不當排放或棄置，導致重金屬經由不同途徑進入土壤中，其常見之污染源包括機動車輛及工業廢氣排放後之沉降，農業經營所施用之肥料與農藥，民生和工業廢水之不當排放，污泥與家畜排泄物之堆肥再利用，礦場之開採與冶煉，以及其他各種含重金屬廢棄物之不當棄置或掩埋等。若外來之重金屬進入土壤中，造成土壤物理、化學或生物性質之改變，以致土壤之功能劣化，進而影響環境品質或人類之健康，此即土壤重金屬污染。

我國土壤重金屬之污染情形，在過去的調查結果顯示除東部及離島縣市外，西部各縣市之農地普遍存有局部之重金屬污染，歷年來農地受砷、鎘、鉻、汞、鎳、及鉛等六種重金屬污染量達第五級地區（即疑似外來污染），經調查計有 319 公頃，列管六種重金屬含量達第五級地區的 319 公頃農地，共公告列管 252 公頃農地，以彰化縣 178 公頃為最多。幾起廣為人知之土壤重金屬污染案例如基隆市興業金屬公司，含鉛廢棄物未經妥適處理即任意棄置所造成之鉛污染；桃園縣觀音鄉高銀化工公司及蘆竹鄉基力化工公司所產生之硬脂酸鎘廢水排入灌溉渠道所造成之農田鎘污染；雲林縣虎尾鎮台灣色料廠所生產之硬脂酸鎘、聚氯乙炔安定劑及顏料，其廢水未經處理排入灌溉渠道，亦造成農田鎘及鉛之污染。

近幾年來環保單位亦針對加油站、大型儲槽、工業與軍事等非農用土壤進行重金屬含量調查，結果亦顯示，多數使用含重金屬原物料或製程中應用重金屬之產業，其廠區土壤中皆有程度不一之重金屬污染問題；如高雄市中國石油化學工業開發股份有限公司前鎮廠之汞污染；台南市中石化安順廠之汞污染；高雄市前鎮區高雄硫酸銹股份有限公司之鉻、砷、銅污染等。由以上國內土壤重金屬污染調查結果及土壤污染案例，可知土壤重金屬污染問題已相當普遍，值得業者重視與因應。

5.3.2 土壤重金屬之檢測原理

重金屬可能以多種型態存於土壤中，如溶於土壤溶液中，形成難溶或不溶性沉澱物，被無機礦物粒子吸附，形成有機結合物，或進入礦物晶格中。這些型態在環境污染之意義各有異同，若以植物攝取後累積與體內，並藉由食物鏈危害消費者之角度觀之，水溶性與可交換性重金屬之關係最密切；若考量在土層中向下傳輸而有導致地下水污染之虞時，則水溶性、可交換性與部分低分子量有機物結合態重金屬之影響較大；若所關注者為長期存於污染土壤中之重金屬，則難溶或不溶性沉澱物、專一性吸附與存於礦物晶格中之型態最為重要。基於此，許多前人研究發展出各種序列萃

取法(Sequential Extraction)，將土壤中之重金屬以一系列萃取力由弱而強之試劑分段連續(Fractionation)萃取之，最後將殘留物進行消化分解，藉以瞭解重金屬之聯結態(Associated Forms)。藉由序列萃取法可將土壤中重金屬之型態區分為交換態(Exchangeable)、碳酸鹽態聯結態(Carbonate Associated Form)、鐵錳氧化物聯結態(Fe-Mn Associated Form)、有機物聯結態(Organic Associated Form)及殘留態(Residuals)五類。其中水溶態和交換態是屬於立即可釋放的部分，此部分的被攝取性或移動性最大；而碳酸鹽聯結態雖比此二態具較強之聯結性，但仍具易攝取或移動的潛能，尤其在酸性土壤中或受酸雨之影響更甚。故將此三種型態之和占有所有型態總和之比例定義為移動因子(Mobility Factor, MF)，此值愈高表示重金屬在土壤中之移動性(Mobility)愈高，生物有效性(Bioavailability)也較大，反之則較小。

重金屬在污染土壤中可與複雜之土壤成分進行反應而形成不同之化學物種 (Chemical Species)，一般可歸納為下列幾種：(1)重金屬自由離子 (Free Ions)，如 Cu^{2+} 、 Cd^{2+} 、 Cr^{3+} 、 Cr^{6+} 等；(2)水解離子 (Hydrolysis Ions)，如 $\text{Cu}(\text{OH})^+$ 、 $\text{Cd}(\text{OH})^+$ 等；(3)離子對 (Ion Pairs)，如 CuCl^+ 、 CdCl^+ 、 PbHCO_3^+ 等；(4)沉澱或共沉澱 (Precipitates or Co-precipitates)，如 CuS 、 $\text{Cd}(\text{CO}_3)_2$ 、 $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 、 $\text{CaCd}(\text{CO}_3)_2$ 等；(5)有機複合物 (Complexes)，如 Cu-citrates 等；(6)土粒吸附作用 (Adsorption)，如矽酸鹽礦物內表面或外表面所吸附之金屬離子。

上述各種型態之重金屬在土壤中之活性互異，其中部分溶存於土壤溶液中，在土壤中之移動性與生物有效性甚大；部分物種之溶解度較大或所受之吸附力較弱，可經由離子交換作用或植物根部所分泌之有機酸之酸溶作用而釋出，進入土壤溶液中；亦有某些物種非經強烈之分解或溶蝕作用不足以釋出，其移動性與生物有效性相當低。為瞭解各種重金屬在不同土壤中之活性，學者乃發展出不同之萃取試劑(Extractants)，常見之萃取試劑如下：

一、水

水為最重要與最常見之溶劑，土壤孔隙中即存在不等量之水分，以水為試劑所萃取之重金屬量可代表土壤溶液中之重金屬含量。

二、鹽類

由於土壤溶液中除水溶性重金屬外，溶液中之 Ca 、 Mg 、 K 、 Na 等可溶性鹽基離子對吸附於土粒表面之重金屬具有交換作用，故若以含鹽溶液做為萃取劑，其所萃取之重金屬量將更接近土壤溶液中之含量。常用之鹽類試劑如 0.01 M CaCl_2 、 1 M KCl 等。

三、螯合劑（EDTA、DTPA）或簡單之有機酸（如檸檬酸、草酸等）

植物為攝取土壤中之養分，可由根部分泌有機酸，其作用不但可溶解土壤成分以便於吸收，並可與養分螯合後攜入植體內，故以螯合劑或有機酸溶液所萃取之重金屬量乃評估其植物有效性之最佳數據。常見之試劑為 EDTA、DTPA、檸檬酸等。

四、弱酸或低濃度強酸

由於植物根部之分泌液（Exudates）含有有機酸，故根圈（Rhizosphere）土壤之酸性甚強，復因重金屬在酸性土壤中之溶解性較大，故亦可以弱酸或低濃度強酸做為萃取劑。常見者如醋酸、0.1 M HCl 等。

5.3.3 土壤重金屬之檢測方法與步驟

土壤中重金屬採樣及檢測方法可參照國內行政院環境保護署環境檢驗所公告土壤類之土壤採樣方法(NIEA S102.61B)^[2]及土壤檢測方法總則(NIEA S103.60C)^[3]，相關檢測方法彙整如表 5-2^[3-7]。如前節所述各種萃取試劑僅能萃取土壤中部分之重金屬，若欲檢測其總量，則需以強烈之消化分解法(Digestion)使所含之重金屬全數釋出。常用之試劑包括強酸、強鹼、強氧化劑、強還原劑等，使用時可以單劑或混劑為之，通常並輔以高溫或高壓，使土壤得以完全消化分解。常用之重金屬全量測定係以王水消化法將土壤消化分解後，分析其中所含重金屬(Cd、Pb、Cu、Zn、Ni、Cr、Co、Mn 等)之全量，再就全量與各種萃取試劑之萃取量加以比較，藉以瞭解各種萃取量與全量間之關係。需注意王水消化法並不適用於土壤中砷、硒、汞之檢測，土壤中砷及汞之檢測法須參考環保署環檢所公告之標準方法(NIEA S310.63C 及 NIEA M317.02C)^[8,9]。

表 5-2 土壤重金屬採樣及檢測方法

重金屬採樣方法	
土壤採樣方法(NIEA S102.60B)	
重金屬檢測項目	重金屬檢測方法
鎘、鉻、銅、 鎳、鉛、鋅	1. 土壤中重金屬檢測方法—王水消化法(NIEA S321.63B) 2. 石墨爐式原子吸收光譜法(NIEA M113.00C) 3. 火焰式原子吸收光譜法(NIEA M111.00C) 4. 感應耦合電漿原子發射光譜法(NIEA M104.01C)
汞	1. 土壤中總汞—冷蒸氣原子吸收光譜法(NIEA M317.01C) 2. 感應耦合電漿原子發射光譜法(NIEA M104.01C)
砷	1. 土壤中砷檢測方法—砷化氫原子吸收光譜法(NIEA S310.62C) 2. 石墨爐式原子吸收光譜法(NIEA M113.00C) 3. 火焰式原子吸收光譜法(NIEA M111.00C) 4. 感應耦合電漿原子發射光譜法(NIEA M104.01C)

5.3.4 土壤中重金屬現地篩試工具

國內重金屬檢測大都藉由實驗室檢測方法，其分析雖相當準確，但相對的也較昂貴、耗時，自 2004 年以來，美國環保署就 10 餘種土壤重金屬污染現地檢測技術提出驗證報告，該等現地檢測技術可在短時間內於現地測得的數據，除可初步篩選及判斷高污染區外，亦可應用於整治階段快速瞭解整治情形，如業者欲在短時間內，過濾篩選大面積土壤品質時，可考量應用該等技術。茲就重金屬快速篩試技術中，曾在國內應用之 X-ray 螢光光譜儀檢測技術(X-ray Fluorescence Spectrometer, XRF)，與直接汞分析儀(Direct Mercury Analyzer, DMA)等 2 項重金屬污染土壤現地檢測法，介紹如下：

一、可攜式 X-ray 螢光光譜儀檢測技術 (XRF)

XRF 之原理為利用 X-光束照射經前處理後之土壤，激發土壤中重金屬原子，當原子自激態回到基態時，偵測所釋放出來的螢光，經由分光儀分析其能量與強度後，可提供土壤中重金屬元素種類與含量，具有快速、非接觸、非破壞性及多元素分析等特點。原設計 XRF 係為偵測油漆中的重金屬鉛，之後再研究改良 XRF 偵測其他重金屬，為偵測不同重金屬物質，不同型式 XRF 機型，會使用一種以上的放射源，如 Fe-55、Cd-109、Am-241 或 Cm-244。其中 NITON 公司所生產之 XL 系列 XRF 為國內土壤污染調查作業中較常使用之機型，以 NITON XL 700S 為例，其所使用的放源為 Fe-55、Cd-109、Am-241。美國環保署已有公告之測試方法 (EPA Method 6200)。

XRF 之使用上有不同之操作選擇模式，包括粗採樣(Bulk Sampling)、Thin Sampling、及 Paint Modes 等，其中，污泥、液體或其他固體物重金屬含量偵測，則使用 Bulk Sample Mode，Thin Sample 為量測物體上薄膜層濃度。在粗採樣模式中，必需注意二項因素，(1)樣品均勻性(Homogeneous)；樣品均勻度將決定樣品內空隙程度，若樣品深度之空隙度呈線性狀態，其影響測量結果呈對數狀態(Logarithmic)，所以土壤樣品顆粒需研磨至十分微細，俾以取得較佳檢測結果。(2)樣品需有足夠厚度。這二項因素決定儀器校正工作是否成為可行，樣品厚度至少需達到 1 公分。為能更精確了解土壤樣品分析特性，不妨以樣品分層觀念來理解傳統一堆樣品檢驗觀念，分層觀念係以樣品分成數十層，每層恰可遮蔽下層螢光之一半，所以最上層螢光可全數到達 XRF 偵測器，次層僅有一半之螢光到達 XRF 偵測器，如此到第 7 層樣品所放出之螢光僅有原樣品層之 1%螢光到達 XRF 偵測器，換句話說，僅有最上面 7 層螢光可有效到達 XRF 偵測器。

薄膜採樣分析法要求樣品非常細薄，理想狀況需薄至不對樣品所產生之螢光不會被任何微小遮蔽，全數螢光充份達 XRF 偵測器。在薄膜採樣分析法毋需作樣品深度校正，因為所有樣品均為呈均勻性(Homogeneous)。另一種薄膜採樣分析法係以樣品幾何排列(Wipe)取代薄膜樣品，在樣品中加入濾材，由於折疊濾材厚度加寬樣品與 XRF 偵測器距離，故僅少量樣品螢光可到達 XRF 偵測器，減少不同樣品分層之螢光之干擾。

XRF 依偵測目的不同細分為現地調查(In-situ Surveys)、簡單處理總體樣品(Analysis of Bagged Bulk Sample)及製備式總體樣品(Analysis of Prepared Bulk Sample)。這三種模式的差別為現地調查的土壤完全沒有經過前處理，直接以 XRF 於現地直接偵測；簡單處理總體樣品為土壤經簡單處理（用手剔除石礫、樹根等）再檢測，後者為將樣品經烘乾、研磨及過篩程序，再進行偵測，製備式總體樣品這種方法可將樣品水分及不均質性之干擾最小化，因而得到較精確之數據(圖 5-4)。

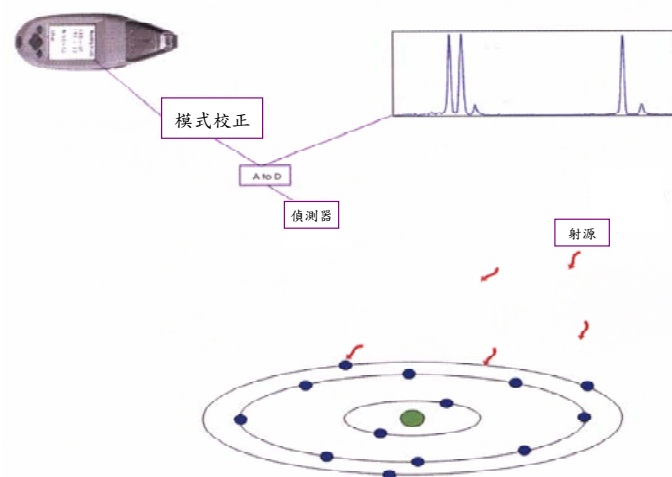


圖 5-4 XRF 安裝佈置圖

XRF 儀器有兩種操作方式，現場直接檢測或將樣品採集後放置在樣品承裝器再行檢測等兩種操作方式。由於各廠牌的儀器的設計及其性能及操作均不盡相同，因此分析人員必須針對其所使用之儀器的各項性能參數，如每一個分析元素之不同譜線的分析靈敏度、儀器偵測限值、方法偵測限值、精密度、線性濃度範圍和所有可能的干擾效應等，進行探討並建立相關的文件資料。其操作方式概述如下：

(一) 現場直接檢測分析

1. 在分析前 XRF 儀器需暖機 15 至 30 分鐘。

2. 建議勿使用待測樣品的水分含量大於 20%。
3. 先將土壤表面之石礫、雜物等物質移走。
4. 土壤表面應該盡量平坦，以便探針端的視窗有較佳表面接觸，此外建議壓緊土壤以增加土壤的緊密度，以得到較好的重複分析和代表性。
5. 檢測時射源計數時間通常是使用 30 至 120 秒，但射源計數時間會隨儀器不同而改變，和依偵測限值之需求而定，請依儀器使用手冊之說明操作。

(二) 樣品採集後再放置在樣品承裝器分析

1. 分析前儀器需暖機 15 至 30 分鐘。
2. 先採集長和寬為 10 乘 10 平方公分及 3 公分深之樣品。
3. 將樣品內的石礫由土壤中移走。
4. 若樣品是屬於含有水分和高黏土成分時，可將樣品置放在塑膠袋中揉捏使之均勻化。
5. 於 150°C 烘箱乾燥 2 至 4 小時。
6. 以研鉢和碾槌磨碎土壤或底泥樣品。
7. 以 60 篩目的篩網過篩，樣品應連續研磨至最少 90%以上樣品通過 60 篩目之篩網。
8. 將過篩後樣品混合均勻。
9. 取適量過篩後樣品放置在 31 mm 的聚乙烯樣品承裝器內，以 2.5 μm 的聚酯薄膜(Mylar)蓋住樣品承裝器，等待分析。
10. 土壤表面應該盡量平坦，以便探針端的視窗有較佳表面接觸，建議壓緊土壤以增加土壤的緊密度，以得到較好的重複分析和代表性。
11. 檢測時射源計數時間通常是使用 30 至 120 秒，但射源計數時間會隨儀器不同而改變，和依偵測限值之需求而定，請依儀器使用手冊之說明操作。

(三) 結果處理

1. 由儀器讀出元素濃度值；單位的表示除非另有規定，否則皆使用國際單位系統(SI)表示，樣品之分析結果通常以 mg/kg 或以 ppm 為表示單位。
2. 如果濃度低於方法偵測限值時，須以無法偵測(Not Detected, N.D.)表示，並註明方法偵測限值。

XRF 偵測極限受重金屬種類、偵測器型式、放射源種類及放射源強度、測量時間、基質(如土壤或沉積物)物化特性及原子間光譜等之影響，特別是基質樣品之同質性(Homogeneity)對檢測數據的影響最為顯著。目前商業化之 XRF 檢測儀中，大多數都號稱能檢測 20 多種重金屬，一般而言，經數值迴歸分析(Regression Analysis)後，重金屬 XRF 檢測數據與相關實驗室檢測數據之相關係數，砷、銅、鉛、鋅為 0.90 以上，但依過去使用經驗，許多重金屬並無法準確偵測出，例如鉻與鎳。一般而言，若 XRF 偵測有效，約能檢測出土壤中某重金屬約三分之二之含量。

二、直接汞分析儀

DMA-80 直接汞分析儀之原理為樣品經乾燥及熱脫附後，使汞從樣品中釋出，熱脫附後之產物經流動氧氣流送至觸媒還原反應器後，被氧氣流載送至含金汞齊器(Amalgator)，其中汞即可被選擇性地捕集。接著快速升溫，以放出汞蒸氣，攜帶汞蒸氣的氧氣流最後通過單一波長原子吸收光譜儀光徑上之吸收槽，由 253.7 nm 波長之吸收值(波峰高度或面積)偵測樣品中汞的濃度。

DMA-80 直接汞分析儀為符合美國環保署標準方法 Method 7473，以及符合環檢所「固體與液體樣品中總汞檢測方法—熱分解汞齊原子吸收光譜法(M318.00C)」方法之檢測儀器。DMA-80 直接汞分析儀適用於分析實驗室與野外環境中固體、液體樣品中汞的檢測，可在無需樣品化學前處理情況下，偵測土壤、底泥、底部沉積物、污泥類物質、廢液、地表水、地下水、生物組織中之總汞(有機和無機)的含量。

5.3.5 土壤重金屬測定參考案例

某計畫需執行工業區高污染潛勢區調查，並於相關場址進行 60 個土壤樣品採樣檢測工作；並執行 58 口次地下水監測井採樣及檢測分析工作；設置 3 口標準地下水監測井，且須執行微水試驗以推估含水層之水力傳導係數 K 值，與進行地質分析及水文分析以掌握地下水上下游關係。其土壤重金屬測定相關規劃如下：

一、監測地點篩選

由於工業區面積廣闊，工作團隊於採樣規劃時以地號為單位，將土壤採樣地區劃分為四大類：鄰近高污染潛勢場址、已污染灌溉渠道之流域、超過監測標準之場址附近及過去重金屬調查達五級標準之區域等。

(一) 鄰近高污染潛勢場址

高污染潛勢場址所指者為工業區內金屬表面處理業、電鍍業、

皮革業、化學工業等可能產生含重金屬廢水之行業，規劃於場址排放口上、下游鄰近農地進行採樣，於上游採樣之用意乃是建立背景濃度以方便評估場址之影響。

(二) 已污染灌溉渠道之流域

農地污染之特性除工業區放流水重金屬污染外，另外一個重要因素為底泥之影響，農地受底泥污染之原因主要為底泥於農地之沉積，包括引水、溢流及人為疏濬堆置於農田或田埂，由歷年調查結果可知，該工業區鄰近之部份畜牧場附近已有灌溉水渠底泥重金屬含量已達監測標準，對於其流域內引水灌溉之農田將有一定程度之影響，故規劃於其流域內選擇合適之農田進行採樣，此部份亦將結合流域內疑似污染源及底泥之規畫調查。

(三) 超過監測標準之場址及周圍農地

由歷年調查結果可知，電鍍業、皮革業及畜牧場等附近農地皆曾發現重金屬含量超過監測標準，故規劃於場址及週邊環境土壤進行調查工作。

(四) 鄰近農地過去調查達五級標準之區域

民國 90 年以前對於農地之檢測以 0.1N HCl 之溶出量為依據，判定有無污染之準繩為已廢止之五級含量標準，雖然現今重金屬含量標準是以王水消化法之全量為管制依據，但過去之檢測結果仍有參考之價值，可由過去已污染之中樣區 25 公頃及小樣區 1 公頃範圍框內所包含之地號進行篩選調查。

二、採樣佈點之規劃

將採樣監測重點區域分類規劃，但參照現場勘查結果，為求達到均勻採樣調查規劃依總面積為調查單元，地號所有範圍內佈設 60 個採樣點，規劃之土壤採樣方法以抓樣進行，此乃考量進行混樣時將可能因樣品稀釋而無法呈現地號內最高濃度值，於後續進行翻轉混合稀釋時將造成濃度判斷上之誤差而導致稀釋土方不足。另由過去調查可知，本地號之污染程度僅為超過土壤監測標準，而一般重金屬於土壤中不易移動，故有污染時常僅侷限於表土，故進行調查時採樣之深度規劃至 60 公分，取樣時以 0~15 公分、15~30 公分、及 30~60 公分做區分。若分析後其底層仍超過土壤監測標準，則進行第二階段較深層之土壤採樣。

三、分析項目

本工業區過去調查污染濃度偏高之污染物為銅，但為求完整描述場

址重金屬分布狀況，土壤分析項目包含重金屬之鎳、銅、鋅、鉛、鎘、鉻、汞及砷。

5.4 土壤中揮發性有機物之測定

5.4.1 土壤中有機污染物概述及測定原理

有機化合物在土壤及地下水中造成污染的原因大多是由於人類活動所導致，其中絕大多數的有機土壤污染物，均來自於工業廢水之不當排放、有害廢棄物之不當處置、地下油品儲槽及輸送管線洩漏等問題。環境中有機化合物的水溶解度範圍很大，有與水完全互溶(Completely Miscible)之高水溶解度的化合物如乙醇，而低水溶解度(一般指化合物水溶液濃度(C_w) $\ll 1$ mole/L)的化合物又稱為疏水性有機化合物(Hydrophobic Organic Compounds, HOCs)^[10]，這些低水溶解度之有機化合物稱為非水相液體(Nonaqueous Phase Liquid, NAPL)，而各類型非水相液體中如化石燃料、含氯的有機溶劑、木材防腐油及多氯聯苯等，造成國內的土壤及地下水污染是相當常見的，此一類型的環境污染關係社會大眾的公共健康及安全。國內地下水及土壤遭受有機物污染的案例為數可觀，過去如台灣美國無線電公司桃園廠及竹北廠、菲力浦竹北廠、桃園縣東北亞公司楊梅廠址、苗栗縣台灣氯乙烯公司頭份廠、中石化台南安順廠、高雄煉油廠及苓雅寮儲運所等，近年的調查更顯示許多使用含氯有溶劑運作中的工廠、加油站及大型儲槽、軍事基地及儲槽設施土壤及地下水遭受有機物污染，另外長年在廢棄物處理設備不足與最終處置掩埋場缺乏之情形下，有害事業廢棄物不當棄置及掩埋造成的多處非法棄置場址，所產生的土壤及地下水污染問題日趨嚴重，不僅造成不同程度的環境衝擊，亦嚴重威脅鄰近居民的公共健康，突顯出環境整治議題之迫切性。

許多疏水性有機化合物在自然界中因化學結構關係，不易產生物理性、化學性及生物性分解作用，同時具高度毒性或致癌性，因而在生態系中因生物累積作用使生態系遭受嚴重破壞。而除上述在水中之溶解性有大小之差異外，有機污染物亦可依其揮發性分為揮發性有機化合物(Volatile Organic Compound, VOC)及半/非揮發性有機化合物(Semi/non Volatile Organic Compounds)。揮發性有機化合物如苯、二甲苯、二氯甲烷及三氯乙烯等可以透過吸入、接觸及飲食消化等途徑，而危害到人體健康。若是土壤污染物質為非揮發性有機化合物如多環狀芳香族碳氫化合物、部分農藥、多氯聯苯及戴奧辛等，則其危害人體健康之主要途徑為接觸及飲食消化，某些更具抗氧化還原、抗生物分解及抗光化學分解之特質，因此這些難分解物質在自然環境中存在之生命期特別長，而通常這些物質又多是毒

性或致癌性高之物質，且具高生物累積性，對生態系之影響長及深遠。

土壤有機物依揮發性有機化合物及半/非揮發性有機化合物而有不同檢測方法，檢測方法流程如圖 5-5 所示，其中揮發性有機物可參照環境保護署環境檢驗所公告「土壤及事業廢棄物中揮發性有機物檢測之樣品製備與萃取方法—密閉式吹氣捕捉法」(NIEA M155.00C)、「土壤及固體基質樣品製備與萃取方法—平衡狀態頂空處理法」(NIEA M157.00C)、或真空蒸餾方法(NIEA M191.00C)進行樣品前處理，再將揮發性有機物導入以氦氣為載流氣體之氣相層析質譜儀中進行分析。

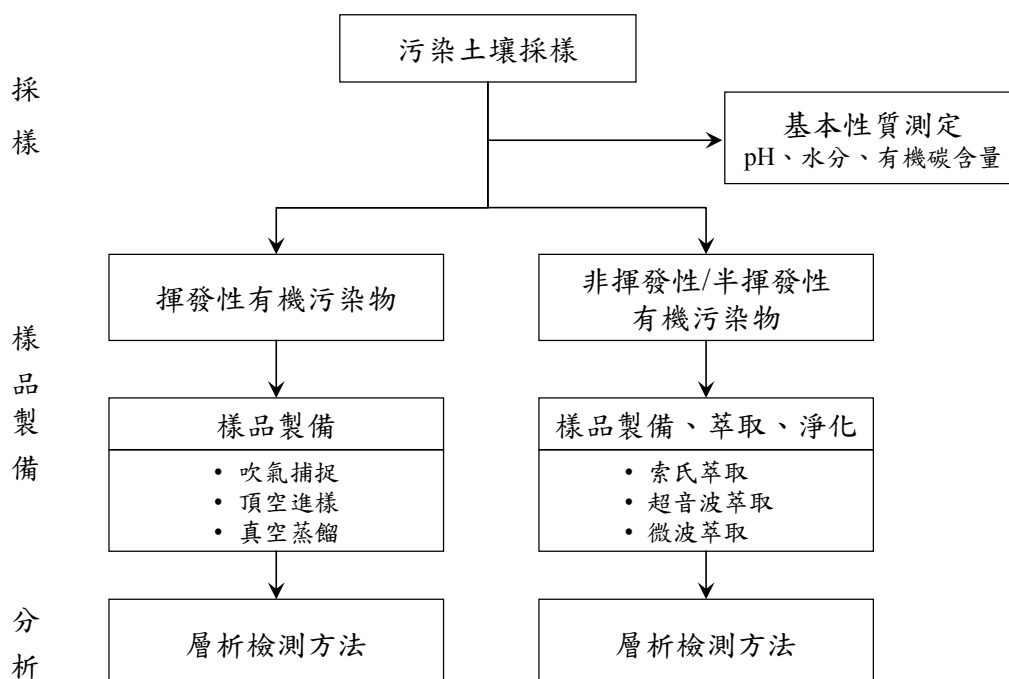


圖 5-5 土壤有機污染物檢測方法流程圖

5.4.2 土壤揮發性有機物之測定方法與步驟

受限篇幅本節將僅介紹密閉式吹氣捕捉方式(Closed System Purge and Trap)檢測土壤揮發性有機污染物，本法於採樣時即將樣品(一般為 5 克)置入樣品瓶中，樣品自採樣至分析期間一直維持氣密狀態，即在密閉系統之吹氣捕捉裝置內自動加入定體積不含有機物的試劑水和標準品後，再進行吹氣捕捉步驟^[11-13]。

本法需要有特殊設計的吹氣捕捉裝置，使得自動設備在不破壞氣密狀態下，能加入試劑水及標準品，其原理為將採集之土壤樣品運送至實驗室後，在分析前將樣品瓶裝於吹氣裝置上，以無干擾之試劑水添加內標準品

及擬似標準品注入樣品瓶中，將樣品瓶加熱至 40°C，同時通入惰性氣體，利用吹氣裝置將揮發性有機物由土壤孔隙帶至捕捉管中，吹氣結束後，將捕捉管加熱，把捕捉管內的揮發性有機物從捕捉管脫附，藉由惰性氣體注入氣相層析儀(GC)或氣相層析儀質譜儀(GC/MS)分析之，以每個化合物的相對滯留時間及質譜來檢測土壤樣品中的揮發性有機物含量。

對於低濃度 VOC(0.5~200 µg/kg)的樣品，於採樣時將 1~5 g 土壤樣品置入已預先秤重，且已加入攪拌子及試劑水或硫酸氫鈉保存劑之附密封墊片的螺旋蓋 40 mL 樣品瓶中，至於高濃度之 VOC 樣品，為避免污染 GC/MS 須於樣品吹氣捕捉前，先取部分樣品用甲醇萃取或稀釋後，再將稀釋之樣品吹氣捕捉導入或 GC/MS 中進行分析。其步驟如下：

- 一、將樣品瓶自冷藏箱中取出並回溫至室溫，輕搖樣品瓶以確定瓶中內容物皆呈流動狀，可有效的攪拌，依吹氣捕捉裝置製造商說明書之步驟，將樣品瓶放置於自動進樣轉盤中。
- 二、利用自動進樣裝置，將 5 mL 之試劑水、內標準品和擬似標準品加入一直維持在密封狀態的樣品瓶中。所有樣品、空白樣品、校正標準品於加入不含有機物的試劑水後，其最終體積必須相同。
- 三、進行吹氣前，將樣品瓶加熱至 40°C，並持續 1.5 分鐘，或依吹氣捕捉裝置製造商之建議步驟執行。
- 四、將惰性氣體（如氦氣或他種惰性氣體）以 40 mL/min 的吹氣流量進行樣品吹氣(視目標待測物群的不同，吹氣流量可設定在 20 至 40 mL/min 之間)，持續吹氣 11 分鐘，同時並以磁攪拌子或其他機械方式攪拌樣品，被吹洗出來的待測物經矽化表面鈍化處理的管線，自樣品瓶導入填充適當吸附物質的捕捉管中。
- 五、持續吹氣 11 分鐘後，若吹氣捕捉裝置無液態氮冷凍界面系統，將吹氣捕捉系統轉到樣品脫附執行功能，將捕捉管預熱至 245°C，接著通入流量為 10 mL/分的脫附氣體，持續約 4 分鐘。若吹氣捕捉裝置有液態氮冷凍界面系統，在吹氣 11 分鐘後，將吹氣捕捉系統轉到脫附執行功能，確定液態氮冷凍界面系統是在-150°C 或更低的溫度，接著快速的將捕捉管加熱至 245°C，同時以流量為 4 mL/min 的惰性氣體逆吹洗，持續 5 分鐘，於完成 5 分鐘脫附步驟後，立即將液態氮冷凍捕捉管加熱至 250°C。
- 六、完成脫附步驟後，開始氣相層析儀的升溫程式，並收集數據結果。執行檢測數據結果的定性及定量評估，若利用質譜儀為檢測器，則可進行定性分析，定性分析化合物係利用每個化合物的相對滯留時間及樣品，

在扣除背景後之電子撞擊質譜來確認樣品中的待測物。當一化合物被確認存於樣品中時，定量分析以待測物與內標準品的主要離子相對強度及所建立的五點檢量線來定量待測物，其定量係將主要的特定離子積分所得面積與內標準品比相較。若利用具不同偵測器之氣相層析儀定量分析，利用每個化合物的相對滯留時間，以待測物所建立的五點檢量線來定量待測物。

5.4.3 土壤中揮發性有機物現地快篩工具

現場篩選技術即指能快速於現場偵測出污染物位置之技術，污染物之種類與濃度則通常無法得知或不夠精確，仍需後續之土壤或地下水採樣分析才能確認，但已大幅縮小污染調查範圍及縮小所需時間。由於篇幅所限，本節僅列出幾種常用之現場篩選技術。

一、土壤氣體調查技術

土壤氣體調查技術為針對受揮發性有機化合物污染的土壤或地下水，抽取土壤中氣體至地面分析，以了解地下污染分布之快速有效方法。目前已發展為在受揮發性或半揮發性化合物污染土壤與地下水採樣分析前之初步調查技術，可於短時間且不需開挖取樣，就能將調查範圍大幅縮小，以利後續傳統之土壤及地下水採樣分析。由於受水文地質與化合物特性之限制，因此土壤氣體濃度低並不代表污染物不存在，但濃度高（例如飽和蒸氣壓之濃度）卻顯示地下極可能存在高濃度甚至純相之污染物。

土壤氣體(Soil Gas)是指介於地表與地下水面上部毛細管帶間之未飽和層內，在其組成顆粒間之孔隙內存在的氣體或空氣；然而此氣相成份在接近地表時與大氣性質相近，但在地下深處則受土壤本身或地下水內存在之揮發性有機化合物影響而改變其組成。因此，當液態有機化合物(包括 LNAPL 及 DNAPL)自地表或地下設施向下滲漏時，未飽和層土壤將被滲流路徑之部份殘留污染物所污染，而其向下遷移之行為將受污染物本身之特性及地下土層自然環境之影響(例如：地層物化特性、孔隙率等)，揮發性有機化合物氣體(VOCs；如 Benzene、Toluene、Ethylbenzene、Xylenes、Styrene、三氯乙烯、四氯乙烯等)，將自液相界面釋出經由土壤氣體相通處向地表方向垂直遷移，一般而言，有機氣體之遷移速度比地下水流動要快得多。而可溶性之有機成份在溶入地下水後，則受地下水流梯度控制向下游移動，在地下水表面層浮油消失後，溶於地下水中的 VOCs 才開始向上揮發進入土壤氣體內。

因此調查土壤氣體中所含揮發性有機化合物的成份與濃度，即可作

為地下受污染土壤或地下水污染團在水平方向分布範圍的偵測指標項目。一般而言，土壤氣體偵測技術是在不擾動地下水文系統、污染團分布範圍，及不影響地表廠區作業之採樣技術條件下，調查地下土壤及地下水污染現況、污染範圍、可疑污染源分布位置及污染團遷移方向等項目；尤其是應用在地下儲油槽或輸油管線之偵漏調查方法上最具成效，其偵測流程亦可因調查目的之差異而有不同之步驟與架構。

檢測土壤氣體或頂空氣體(Headspace Gas Analysis)可使用下列可攜式儀器：

(一) 火焰離子化偵測器

1. 原理

火焰離子化偵測器是採用氫火燄將有機氣體離子化，藉自由離子所造成的電流與樣品中的揮發性化合物濃度成正比的相對關係加以量測。火焰離子化偵測器一般是利用甲烷進行校正。

2. 適用時機與限制

手提式 FID 可以檢測土壤、地下水、土壤氣體，甚至空氣中 VOCs 及 SVOCs 污染化合物，檢測費用低廉，又可以立即獲得檢測結果，執行現場篩選，可有效協助採樣佈點。亦可以應用於緊急洩漏檢測、有毒廢物現場檢測、地下儲槽洩漏檢測、石化煉油安全衛生檢測、微量有機有毒氣體污染檢測、健康安全檢測、室內空氣質量監測等。以 FID 而言，較適用於碳氫化合物的監測^[14]。

(二) 光離子化偵測器

1. 原理

光離子化偵測器是以紫外光將有機氣體分子游離並產生離子，利用不同氣體特定的游離能和游離效率，偵測化合物游離後所產生的電流大小，可加以定量。不同氣體的游離能不同，可更換紫外光燈以獲得對氣體之選擇性，但鑑別力有限，亦無法確實定性，其缺點是不易偵測出低分子量的氣體(如甲烷、乙烷)，且易受溼度影響。

2. 適用時機與限制

光離子化偵測器對芳香族碳氫化合物(如 Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylenes)反應較靈敏，對油品類碳氫化合物，感應值隨不飽和度增加而增加，對甲烷、乙烷、無機氣體和水蒸氣較不敏感，也偵測不到輕質烷類。高離子化電位(如脂肪族)的化合物需要

較高的能量才能離子化，部分的脂肪族也可以利用能量較高紫外光燈予以離子化並偵測^[15]。

二、現場樣品檢測技術

(一) 視覺與嗅覺

最簡單的方法就是以眼睛觀察水樣，或靠近聞一下有無刺鼻臭味，但並不是所有污染物都有臭味，而且有許多是透明無色的。

(二) 震盪試驗

將土壤樣品放入乾淨玻璃瓶內，加入適量水充分震盪後，沉澱十分鐘，再以肉眼觀察是否有一層非溶解相液體出現。若是要辨別有無比水輕的 LNAPLs (例如油品等石油碳氫化合物)，則應用此法較為適當，此法雖然簡單，但若污染物比水重(DNAPLs)則會隨著土壤一併沉澱，常常不易區分。

(三) 疏水性染料

許多染料能將含氯溶劑等疏水性化合物染色，因此將少量的此類染料(例如 Sudan IV 或 Oil Blue)與土壤及水充分震盪混合，再以肉眼觀察有無紅色或藍色的污染物出現。

(四) 紫外線螢光(UV Fluorescence)

有許多污染物以紫外線照射會發出螢光，因此將土壤樣品以紫外線照射再以肉眼觀察，也是一個判別土壤中有無污染物的簡單方法，但缺點是土壤中有許多天然物質(如天然礦物及貝殼化石碎片等)，在 UV 照射下亦會發出螢光，嚴重干擾正確的判斷。

5.4.4 應用地球物理探測技術於有機污染物偵測

地球物理探測技術主要起源於石油、金屬礦、地熱或非金屬等礦產資源的探勘，或大區域地下地質構造調查等需要而發展；地球物理探勘方法應用於環境污染偵測者稱之為「環境地球物理」(Environmental Geophysics)；基本上，環境地球物理探勘方法與工程地球物理探勘所使用的方法相差不大，主要不同點在於其對探測深度的要求往往僅需十餘公尺，但對資料品質的控制及結果的解析度要求則更高。由於環境污染調查涉及敏感的社會問題，且調查成果與後續污染整治計畫息息相關，因此對於調查結果的準確性及解析度的要求較工程地球物理探勘高。由於環境地球物理探勘較不受地形、地物的限制，能夠在短時間內提供調查範圍內足夠密度的探測資料，且調查所需的經費亦不高；因此，倘能配合少數鑽井資料的驗證，能夠達到減少鑽探井數目、縮短調查期限與增進調查結果準

確性等目的。

(一) 電磁波法探測

近年來電磁波探測技術被應用於 DNAPLs 的調查。將電磁波發射器置於表面於不同時間發射長波長電波至地下，接收器則置於井孔內接收訊號，探測深度可高達 100 公尺以上。由於 DNAPLs 的電阻通常較背景土壤高，因此藉由高電阻的異常範圍，可界定地面下 DNAPLs 之立體分布。

本技術的限制為：

1. 需要詳細的地下水文地質資料與電磁波資料比對確認。
2. 置放接收器的井孔位置無法位於污染區以提供較佳的背景電阻資料比對，由於複雜的地質條件干擾，通常僅能界定 60~80% 的污染範圍。

(二) 透地雷達技術

1. 原理

透地雷達(Ground Penetrating Radar; 或稱 Ground Probing Radar, GPR) 所應用的原理與軍方以雷達偵測敵機、漁業以聲波探測海底地形及魚群等原理相似，主要的概念是藉著發射雷達波訊號，並利用雷達波碰到物體反射的自然現象，分析反射波來回所需要的時間、波型、振幅等特徵，來判別反射體的性質與位置等。所發射的雷達波屬於一種高頻的電磁波，其頻率通常介於 1~1000 MHz，在正常情況下其探測深度不超過 30 公尺^[16]。藉由量測反射波的強度，以了解場址地下環境的狀況。此入射波經地下具不同電磁性質的地層界面與埋藏體反射或地層內管線、空洞及結構體內鋼筋等繞射至地表，即可由接收到的各波抵達地表時間的不同，來推測地表下地層的起伏、描繪地表下的形貌及偵檢地表下人為的構造體，如瀝青路面厚度、地下管線或空洞等或非金屬構造體內部結構，如水泥混凝土牆版內的鋼筋等，如圖 5-6 所示，由接收到的各波抵達地表時間的不同，來推測地表下不同土壤質地及可能的結構體。

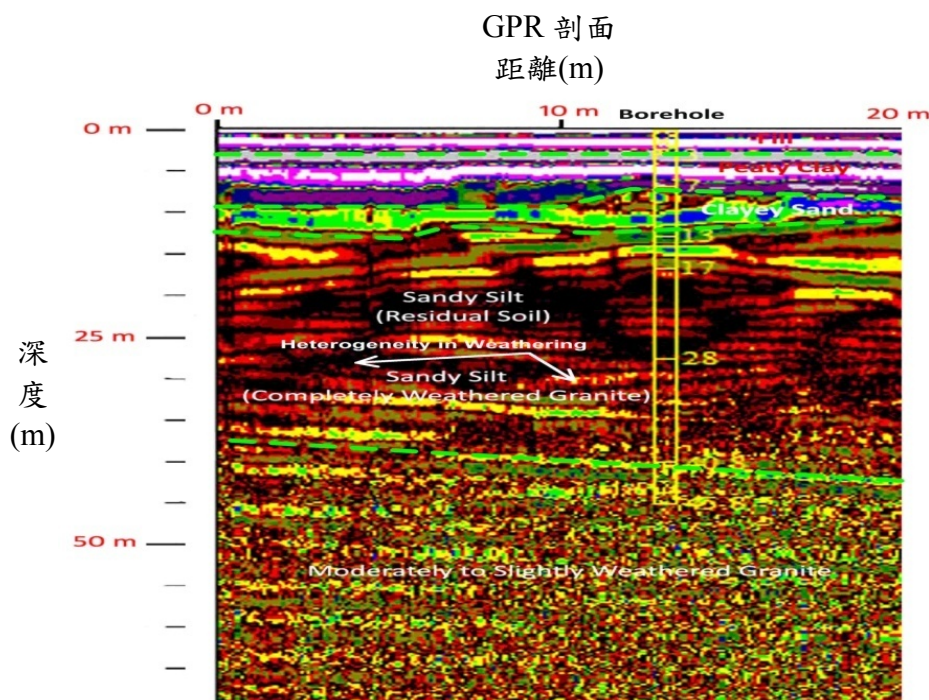


圖 5-6 透地雷達橫斷面圖

2. 適用時機及環境介質

GPR 為非破壞性的調查方法，勘測儀器輕巧，攜帶方便，測線易於展開。測勘時雷達天線不需插入地下，故現場勘測時較其他場址調查常用之地球物理法，如地電阻法或震測法迅速，由於雷達波頻率甚高，對淺地層可提供具高解析度的描繪。運用透地雷達勘測進行污染場址調查時，可描繪土壤或岩石地層帶，並幫助確定地下掩埋桶槽之位置，進而可能預測出有機化合物之污染源。於其他調查工作方面，亦可應用於地下管線探測、河道淤積探測、已封閉廢棄物掩埋場之掩埋量推量推估等相關應用。

3. 設備要求

透地雷達系統設備要求主要分為五大部分：主機、雷達天線、螢幕顯示器、電源供應器(鉛蓄電池)和傳輸線，如圖 5-7 所示。其功能如下所述：

- (1) 主機功能包括控制天線發射和接收訊號之時機、及設定介電常數、施測軌跡的間隔、訊號的增益大小、濾波範圍和取樣速度等。
- (2) 雷達天線經由傳輸線與主機連接，收、發電磁波訊號都是透過主機本身設定賦予其功用。
- (3) 螢幕顯示器為附著於主機上之彩色液晶螢幕顯示器，可從螢幕顯示器上及時看出天線所接收到之訊號，其解析度一般為 800×600

pixels。

(4) 電源供應器一般為 12 伏特的可充式鉛蓄電池。

(5) 傳輸線連接雷達主機和天線，是主機和天線之間的訊號連絡橋樑。



圖 5-7 透地雷達裝置

4. 限制

由於使用高頻率電磁波，受到地層衰減效應與電磁波能量過低的影響，探測深度成為透地雷達技術的主要限制之一，有效探測深度以不超過 10 公尺為原則^[17]，對於深層之含氯碳氫化合物污染探測無法適用；若地表即有黏土層存在，其探測深度甚至無法超過 1 公尺。此外利用透地雷達探測時，若地質與含氯碳氫化合物之介電常數差異性大，就容易分辨，但若含氯碳氫化合物與原本之電性地層介電常數差異不大情況下，就應輔以其他地球物理探勘方法測勘。污染物濃度要相當高，輕微污染並不適用；要配合傳統土壤採樣分析或其他地質調查結果，無法單獨使用；技術可靠性與土壤水分及黏土含量息息相關，土壤水分含量過高或黏土層會大幅減弱 GPR 反射訊號。

5. 成本分析

透地雷達之計價方式以探測距離計算，範圍在新台幣 200~400 元/公尺不等，視工作量之多寡及場址地物複雜性而異。

(三) 薄膜界面探測器(Membrane Interface Probe, MIP)

在較廣大的範圍中密集使用此類的篩選工具，可以快速的描繪出場址地下環境或污染源區域之三維特性。當污染場址污染分布情

形不明確，或是在場址初步調查初期的情形之下，適合利用本項技術。本技術適用於具有揮發性的污染物質的分析，對於非揮發性有機污染物或低揮發性有機污染物之鑑定作用可能較差，而且若地下環境中存在有浮油層，亦有可能造成浮油附著於鑽桿上，而造成即時分析上的誤差。

1. 原理

薄膜界面探測器由美國 Geoprobe 公司所發展，可以由土壤及地下水中測定揮發性有機物，進行現地即時偵測。同時 MIP 探測器具有土壤導電度(Soil Conductivity)偵測之功能，因此可以協助現場工程師進行土壤質地研判。

MIP 探測器需由直接貫入鑽機予以鑽進地層，一般鑽進速度為每分鐘 0.3 公尺，通常可鑽進至 20 公尺深。當 MIP 探測器鑽進土壤時，電流會加諸於偶極導電度偵測器上，並紀錄所接觸土壤之電壓反應，並換算得到土壤之導電度。其偵測範圍大約在 5~400 mS/m 之間。通常低導電度表示土壤組成為砂層，高導電度表示土壤組成為粉土或黏土。

薄膜感測器之原理如圖 5-8 所示。薄膜是由金屬及有機聚合物所組成，當感測器與土壤接觸時，土壤或地下水中之有機物將被薄膜聚合物(Polymer Membrane)所吸收，因此不論有機污染物是在土壤吸附相、地下水溶解相、土壤孔隙中之氣相、或是污染物有機相，都可被薄膜聚合物所吸收，故 MIP 技術可用於未飽和或飽和土層中。且土層中氣相或有機相污染物不會直接進入感測器內，可大幅降低儀器干擾之程度。

當污染物被薄膜吸收後，藉由擴散效應而穿過薄膜，由於薄膜被加熱至 100~120°C，因此污染物將很快通過薄膜，被控制器中載流氣體(Carrier Gas)一起帶至地表之污染物偵測器。若污染物需傳輸 30 公尺長至地面，大約需要 35 秒，也就是偵測訊號將約有 35 秒之延遲，但這可在記錄資料時進行校正，以確實反應地層深度之污染濃度訊號。

地表之污染物偵測器可採用搭配具火焰離子化偵測器(FID)、光離子化偵測器(PID)、或電子捕捉偵測器(Electron Capture Detector, ECD)之氣相層析儀等，視場址污染物而定。但對於含氯有機物，使用 FID 或 PID 進行偵測，其濃度大約需在 5 ppm 以上，方可有效測得數值，因此或多或少限制了 MIP 之使用範圍。

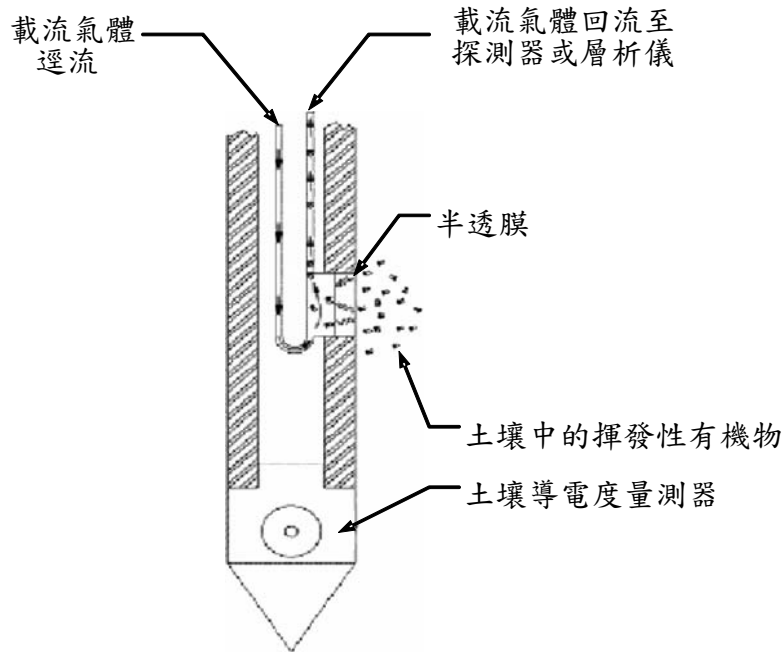


圖 5-8 MIP 偵測原理示意圖

2. 作業程序

- (1) 架設地錨固定鑽機，確保 MIP 探測器可垂直貫入地層。若地表有混凝土層，需先使用圓孔切割機將地表切割 10 公分(4 英吋)之圓孔。
- (2) 架設地錨的同時，監測車上之氣相層析儀開始熱機，一般需時 30 分鐘，並開啟電腦軟體，設定點號、氣體傳輸時間、鑽桿深度等參數資料。
- (3) 開啓 MIP 探測器之加熱控制開關，將探針上之薄膜加熱至 120°C。工作人員進行透氣性測試(Sanity Test)，使用標準液(丁烷(Butane))進行測試，MIP-FID 讀值需在 106 μV 以上，且流量之變化幅度在 3 mL/min 以內，以確認薄膜之滲透性正常，否則需更換薄膜^[18]。
- (4) 開始進行 MIP 探測器之貫入，其鑽入速度應小於每分鐘 30 公分。鑽機旁之定位弦(String Port)可即時量測探測器之貫入深度，並記錄貫入速度。
- (5) 在 MIP 探測器貫入同時，地表下揮發性有機污染物進入 MIP 內部，並隨攜帶氣體至地表之偵測器，經由電腦軟體之數值轉換，即可在現場讀取偵測數據。

3. 作業之品保品管

- (1) MIP 作業屬於半定量工作，無法直接量測個別污染物之濃度。但

為瞭解偵測器訊號對於污染物濃度之關係曲線，應製備訊號/反應曲線圖。若污染場址之潛在污染物為含氯有機溶劑，可用 TCE、PCE、四氯化碳作為滴定樣品，標準溶液(Stock Solution)則以甲醇作為溶劑，滴定樣品濃度為 50 mg/mL。

- (2) 以標準溶液製備不同濃度之滴定溶液，至少需三個不同級數之濃度，例如分別為 1 mg/L、10 mg/L、100 mg/L，最終滴定溶液體積為 500 mL，以便 MIP 探測器可浸入滴定溶液內。
- (3) 分別使用上述之滴定溶液，將 MIP 探測器浸入滴定溶液內，記錄其反應時間及偵測器訊號。進行現場偵測時，工作人員可依據這些曲線圖研判場址內污染物到達地表偵測器所需之時間、及其可能濃度範圍。
- (4) 每鑽完一孔後均使用高溫高壓水柱，將鑽桿沾附土屑清洗乾淨，以確保鑽具清潔及除污，避免交互污染。
- (5) 採樣點完成鑽探採樣工作後，應立即以皂土回填復原。

4. 適用時機

在環保單位進行查證階段時，使用 MIP 技術進行土壤質地及污染程度量測之時機包括：

- (1) 場址之土壤質地組成不清楚，需進行初步探勘。
- (2) 場址污染程度不確定，需進行篩選測試，評估是否有污染狀況。
- (3) 查證經費有限，需以較節省之方式進行多量之量測，並進行污染範圍評估。
- (4) 需進行定點定深度之污染程度研判，作為後續土壤或地下水採樣位置及深度之依據。
- (5) 需瞭解污染區之垂直污染分布，以研判是否有含氯碳氫化合物存在及其可能深度位置。

5. 限制

- (1) 由於 MIP 技術仍須依賴直接貫入技術，因此僅適用於屬於砂土、粉土、黏土之地層。在含有卵礫石層中(如林口、桃竹苗台地、台中地區)，由於直接貫入鑽機無法鑽進，因此無法採用。
- (2) MIP 用於通氣層中，可能有高估污染程度之可能性；然而在黏土中，又可能低估污染程度。
- (3) 對於污染程度嚴重之場址建議採用低敏感性之偵測器，以防止偵

測器受到污染，影響其他孔位之偵測。

6. 成本分析

MIP 之計費方式採以公尺計費，國內之報價約為新台幣 2,000 元/公尺。

(五) 鹵化物感測器

1. 原理

鹵化物感測器(HaloProbe)是美國 Dakota Technologies 公司目前研發狀態中之即時量測技術，其商標名稱為 HaloProbe。其原理是利用 MIP 探測器再進行改裝，於 MIP 探測器上端安裝鹵化物層析偵測器(Halogen Specific GC Detector, XSD)，而成為 HaloProbe。此為目前相當創新之舉，將污染物偵測器直接安裝於探測器內，隨探測器而深入地層中，因此屬於真正即時偵測之技術，而無污染物傳輸至地表所耗費之延時問題。且 XSD 為專門針對鹵化物之偵測器，因此偵測極限低，可更為有效獲得含氯有機溶劑之濃度垂直分布資料。

鹵化物層析偵測器 XSD 之原理，是在偵測器反應室內進行有機物之氧化反應。由氣相層析管(GC Column)而來之污染物，在偵測器反應室內進行熱裂解反應(Pyrolysis)，反應室內之溫度保持在 800~1100°C 之間，污染物分子內之鹵素被氧化並釋放出成為原子態或氧化態，隨後與陰極之活化鹼金屬作用產生熱離子，包括電子及鹵素離子，使陰極電流增加，從而轉換為電壓訊號被測得^[19]。

如同 MIP 探測器，當土層中污染物被 HaloProbe 探測器上之薄膜吸收後，將藉由擴散效應而穿過薄膜，進入 XSD 被偵測到。其對於鹵素有機物相當敏感，偵測極限比 MIP-FID 低許多，地下水中 DNAPL 濃度達 0.1 mg/L 即可被偵測出^[19]。但以 MIP-FID 而言，地下水濃度可能需 5 mg/L 才可被偵測到。同時由於偵測器直接安裝於探測器中，污染物不需經過傳輸管路至地面，而可在地層中直接被偵測，因此沒有延時問題，所得到之訊號數據均為即時之現地量測資料。

目前 Dakota 公司正研究如何將 XSD 所輸出之電壓訊號，與土壤或地下水污染濃度做比對，以利污染程度之判別，如同 FID 及 PID 一樣，可將偵測器訊號轉換成 ppm。Dakota 公司現正進行許多測試，在不同土層及污染物濃度下，與 XSD 所測得之訊號進行關

係比對，未來 HaloProbe 產品之讀值將為總鹵素濃度(Parts per Million Halogen Equivalents, PPMH)，現場工程師將可立即研判地層中之含氯碳氫化合物污染程度及所在深度位置。

2. 適用時機

未來在環保單位進行查證階段時，使用 HaloProbe 技術進行土壤質地及污染程度量測之時機包括：

- (1) 場址污染程度不確定，需進行篩選測試，評估是否有污染狀況。
- (2) 查證經費有限，需以較節省之方式進行多量之量測，並進行污染範圍評估。
- (3) 需進行定點定深度之污染程度研判，作為後續土壤或地下水採樣位置及深度之依據。
- (4) 需瞭解污染區之垂直污染分布，以研判是否有污染物存在及其可能深度位置。

3. 限制

- (1) 由於 HaloProbe 技術仍須依賴直接貫入技術，因此僅適用於屬於砂土、粉土、黏土之地層。在含有卵礫石層中(如林口、桃竹苗台地、台中地區)，由於直接貫入鑽機無法鑽進，因此無法採用。
- (2) HaloProbe 技術目前仍屬於研發階段，對於偵測數據之品保品管尚未有相關作業手冊可參考。

(六) 可撓式內膜偵測

可撓式內膜地下偵測技術(Flexible Liner Underground Technologies, FLUTE)是由美國 Flexible Liner Underground Technologies 公司於 1989 年所開始發展之地下污染物快速偵測技術，簡稱為 FLUTE，該公司並擁有 FLUTE 之商標著作權。其主要功能在於提供調查人員於現地快速偵測污染物，特別是屬於純相產物(Pure Product)之 DNAPL 地下深度位置。

1. 原理

FLUTE 之組成為可撓式內膜及內膜上之染色劑及疏水性有機物，染色劑被吸收於疏水性有機物內，可撓式內膜的外側塗有黑、紅、藍等不同顏色的染色劑。當地下污染物接觸到內膜上之疏水性有機物，疏水性有機物將被這些污染物所溶解，並隨之滲入可撓式內膜的內側，而染色劑也隨之帶入可撓式內膜的內側，因此在內膜內側產生程度不一的染色效果，但顏色較淺，調查人員可經由目視

判別地層中是否存在 DNAPL 污染物。因此 FLUTe 之特點除了可以辨別 DNAPL 物質是否存在，尚可研判其污染深度、污染形狀，若在場址鑽設多孔 FLUTe，則可研判 DNAPL 分布之範圍。

FLUTe 之設置是使用直接貫入式(Direct push)鑽機進行施工，FLUTe 被填裝於鑽機之鑽桿內，並隨鑽桿進入地層。當達到預定設置深度，將水注入並將鑽桿抽出，使 FLUTe 留置於鑽孔中，故 FLUTe 內膜外側即可接觸到裸露之地層。當 FLUTe 內膜外側接觸到地層中之 DNAPL 污染物，便會將染色劑溶解並帶入內膜內側，使內膜內側染色，調查人員即可判別 DNAPL 存在。

2. 適用時機及環境介質

- (1) 當經過初步現場調查，認為地層中可能存在含氯碳氫化合物，但地下水樣品中無法找到含氯碳氫化合物，或高度懷疑存在含氯碳氫化合物物質，但不確定其位置及深度時，即可採用 FLUTe 進行確認。
- (2) 由於 FLUTe 是在鑽孔中設置，因此進行土壤鑽探後亦可在原鑽孔使用 FLUTe 進一步辨別含氯碳氫化合物之位置、深度、及可能分布範圍。
- (3) 本技術所適用之環境介質，包括：土壤質地屬於砂質、粉質或黏質土壤之未固結土壤通氣層、含水層等。但對於卵礫石層、固結岩層、破碎岩層等地質條件，則由於直接貫入鑽機無法鑽進，可能有所限制；若卻採用其他鑽進工法，則需注意避免造成含氯碳氫化合物沿鑽孔上下交互之污染之可能性。

3. 設備要求

本技術需與直接貫入鑽機搭配，先進行調查點之鑽孔，才可設置 FLUTe，另需捲輪、水位計、量尺、皂土等現場工具。

4. 限制

使用 FLUTe 技術，可能有下列限制因子：

- (1) 卵礫石層中(如林口、桃竹苗台地、台中地區)，由於直接貫入鑽機無法鑽進，因此無法採用 FLUTe 技術。若欲在裸孔內設置 FLUTe，則可能有坍孔之危機。
- (2) 在湧砂情形嚴重之地層中(如台南沿海)，可能也無法設置 FLUTe，因為在此類地層中，鑽桿一旦抽離，鑽孔很快會被湧砂填滿。

- (3) FLUTe 之染色效果隨污染物種類、污染物接觸時間而有相當大之差異性，目前無法藉由 FLUTe 之染色效果辨別污染物種類。
- (4) FLUTe 僅可供辨別含氯碳氫化合物存在與否，但無法進行含氯碳氫化合物之定量分析。且除非含氯碳氫化合物以連續之污染團形式呈現，否則無法估算含氯碳氫化合物之污染體積。
- (5) 在設置 FLUTe 過程中必須加水，是否會對地下水污染物分布造成影響，目前尚無定論。

5. 作業程序

FLUTe 之設置作業程序說明如下：

- (1) 以直接貫入式鑽機將鑽桿壓入地層
- (2) 將 FLUTe 置入鑽桿中。FLUTe 內側之底部有連接軟管連接至地面之捲輪，捲輪可逐漸將 FLUTe 深入地層中。
- (3) 將鑽桿拉起，為防止 FLUTe 同時被揭起，此時必須加入乾淨水於鑽孔中此步驟也是最關鍵之處。
- (4) 鑽桿全部拉出後，FLUTe 暴露於鑽孔中，FLUTe 內側則充滿先前加入之乾淨水，因此外側可緊貼著鑽孔壁。
- (5) FLUTe 於鑽孔中靜置約一小時，使含氯碳氫化合物充分與 FLUTe 外側之疏水性有機物及染色劑接觸，並將染色劑滲入 FLUTe 內側。
- (6) 最後轉動地面之捲輪，將連接管拉起，順勢將 FLUTe 拉出。此時 FLUTe 之內側將被外翻，若內側有紫色現象即表示該處深度有含氯碳氫化合物存在。

6. 成本分析

目前在美國設置 FLUTe 之成本為每設置 100 公尺需 20,000 美元(約新台幣 64 萬元)，其中 FLUTe 之材料費為每公尺 20 美元(約新台幣 640 元)，其他則為人工設置費及設備租用。

5.4.5 土壤中揮發性有機物測定參考案例

某工廠從事鐵桶、塑膠桶買賣，場址屬狹長形，廠區分為三處，最北側設有鐵桶塗裝區、清洗區、廢棄物暫存區及鐵桶存放區；中間從事各類挖土機、昇高機、破碎機等之買賣；南側有塑膠、鐵桶存放區及高溫蒸煮鍋（處理廢棄有機溶劑）等。廠方長期以有機溶劑清洗盛有化學溶液之鐵桶及塑膠桶，在該廠地面尚未鋪設混凝土前，係將所有化學溶劑直接傾倒

於土壤，推測廠內及廠區周圍應具有高度土壤及地下水污染潛勢。

由現勘結果研判，決定採樣佈點規劃於鐵桶塗裝區附近進行 1 處 MIP 調查，於廢棄物清運暫存區附近進行 1 處 MIP 調查，於鐵桶存放區域西側進行 1 處 MIP 調查，並於廠區內採集 2 組有機溶液樣品。於南側塑膠桶存放區進行 2 處 MIP 調查，於溶劑蒸煮鍋附近進行 1 處 MIP 調查，並於南側廠區內採集 2 組有機溶液樣品。前述共計 6 處 MIP 探勘，並依據探勘結果，選擇 3 處測值較為異常之點位，進行土壤採樣；並針對廠區既設抽水井進行採樣分析。總計本場址共採集 3 組土壤樣品，4 組地下水樣品及 4 組溶液樣品。

因該工廠從事有機溶劑清洗及桶面油漆塗裝，故本工作分析項目主要係以揮發性有機物及半揮發性有機物為主。地下水採樣時待水中 pH 值、溶氧、氧化還原電位及導電度四項水質參數達到穩定平衡後進行作業。

5.5 土壤中非揮發性及半揮發性有機物之測定

5.5.1 非揮發性及半揮發性有機物在土壤中之特性

環境中非揮發性及半揮發性有機化合物多為低水溶解度的化合物，又稱為疏水性有機化合物，這些化合物包括了多環狀芳香族碳氫化合物 (Polynuclear Aromatic Hydrocarbons, PAHs)，含氯碳氫化合物及農藥 (Chlorinated Hydrocarbons and Pesticides)、鄰苯二甲酸酯類 (Phthalate Esters)、有機磷酯類 (Organophosphate Esters)、亞硝基胺類 (Nitrosamines)、鹵素醚類 (Haloethers)、醛類 (Aldehydes)、酯類 (Esters)、酮類 (Ketones)、苯胺類 (Anilines)、吡啶 (Pyridines)、喹啉 (Quinolines)、芳香族含氮化合物 (Aromatic Nitro-compounds)、酚類 (Phenols) 及硝基酚類 (Nitrophenols) 等^[10]。

在土壤中之非揮發性及半揮發性有機污染物有幾種存在之形式：(1) 被土壤粒子吸附之污染物；(2) 純污染物 (Free Phase Product)；(3) 溶於水中之污染物。每一種形式的此類有機污染物都可能延伸和移動到別的區域，而其傳輸可能受到一些因素的影響，如土壤的濕度、土壤總體密度 (Bulk Density)、土壤滲透度 (Permeability)、孔隙間空氣與蒸氣壓、溫度、pH 值、可分解污染物的微生物是否存在等。

5.5.2 土壤非揮發性及半揮發性有機物之測定原理

土壤中非揮發性及半揮發性有機化合物可溶於疏水性之有機溶劑 (如二氯甲烷)，分析時可利用萃取法確保萃取溶劑與樣品基質 (土壤) 密切接觸，將樣品以溶劑萃取，萃取液經適當之前處理 (去水、濃縮) 及淨化步驟加以處理後，注入佈滿微極性矽化合物之毛細管柱以分離有機物，再以氣

相層析質譜儀或氣相層析儀進行定量分析^[20]。目前可應用之萃取方法有許多種，如索氏萃取法(S Soxhlet Extraction Process)及超音波萃取法，使用時可至環檢所網站(<http://www.niea.gov.tw>)查詢(表 5-3 及 5-4)。

若選擇以氣相層析儀質譜儀進行定量分析，則以每個化合物的相對滯留時間及質譜來確認樣品中的半揮發性有機物，再以待測物與內標準品的主要離子相對強度及所建立的檢量線來對待測物定量。當以氣相層析儀進行定量分析時，則需視樣品化性選擇適當之偵測器(表 5-5)，再以待測物的相對滯留時間及所建立的檢量線來定量待測物。

5.5.3 土壤非揮發性及半揮發性有機物之測定方法與步驟

各種前處理方法對土壤有機待測物的萃取或回收程度不同，須依土壤特性及待測化合物性質，選擇適當的樣品製備、萃取及/或淨化方法處理樣品，再選擇適當的檢測方法所使用的儀器設備執行檢測。

- 一、檢測半揮發性有機物（含多氯聯苯、有機氯等）的樣品製備、萃取/或淨化處理應參考方法的適用範圍選擇，如處理後的萃液基質複雜或有干擾產生時，應經適當的淨化方法予以淨化。
- 二、檢測儀器：各種儀器對各類有機物的靈敏度不同，依檢測數據的目標需求，可選用的儀器有：與氣相層析儀（GC）連接適當的偵測器(如 FID、ECD、FPD、PID、ELCD、NPD 等)、氣相層析質譜儀(GC/MS)或是高效能液相層析儀(HPLC)。
- 三、測定方法：各類有機化合物的檢測須依據各特定層析檢測技術，詳見表 5-5。

表 5-3 待測非揮發性及半揮發性有機物土壤樣品製備、萃取與淨化方法一覽表

有機物類別	製備與萃取	淨化方法 (cleanup methods)
酚類	索氏萃取、超音波萃取	矽膠、膠滲透、酸鹼分配
鄰苯二甲酸酯類	索氏萃取、超音波萃取	礬土、矽酸鎂、膠滲透
硝基芳香族和環酮	索氏萃取、超音波萃取	矽酸鎂、膠滲透
多環芳香族	索氏萃取、超音波萃取	礬土、矽膠、膠滲透
氯化碳氫化合物	索氏萃取、超音波萃取	矽酸鎂、膠滲透
苯胺及其衍生物	索氏萃取、超音波萃取	矽酸鎂、膠滲透
有機氯殺蟲劑	索氏萃取、超音波萃取	矽酸鎂、膠滲透、去硫
有機磷農藥	索氏萃取	矽酸鎂
多氯聯苯	索式萃取、超音波萃取	矽酸鎂、矽膠、硫酸高錳酸鉀

表 5-4 各種檢測方法之特定萃取條件

檢測方法	分析需用之置換溶劑	淨化需用之置換溶劑	淨化所需之萃液體積(mL)	進行分析之最終萃液體積(mL) ^a
酚類	2-丙醇	正己烷	1.0	1.0, 0.5 ^b
鄰苯二甲酸酯類：毛細管柱	正己烷	正己烷	2.0	10.0
亞硝胺類：填充管柱	甲醇	二氯甲烷	2.0	10.0
有機氯農藥：毛細管柱	正己烷	正己烷	10.0	10.0
PCBs：毛細管柱	正己烷	正己烷	10.0	10.0
硝基芳香族及環酮類	正己烷	正己烷	2.0	1.0
多環芳香族碳氫化合物	無	環己烷	2.0	1.0
氯化醚類	正己烷	正己烷	2.0	10.0
氯化碳氫化合物：毛細管柱	正己烷	正己烷	2.0	1.0
有機磷農藥：毛細管柱	正己烷	正己烷	10.0	10.0
半揮發性有機物(GC/MS)：毛細管柱 ^c	無	—	—	1.0
多環芳香族碳氫化合物	乙腈 (Acetonitrile)	—	—	1.0
溶劑萃取非揮發性化合物	甲醇	—	—	1.0

a 檢測方法中建議最終萃液體積為 10.0 mL，而體積也許可降至 1.0 mL 以獲得較低的偵測極限。

b 酚類之分析方法，係以 GC/FID 分析 1.0 μ L 之 2-丙醇萃液。本方法亦包括酚類的光學異構物衍生步驟，最後收集於 0.5 mL 之正己烷萃液中，以 GC/ECD 分析。

c 由於 GC/MS 的特性分析，萃液不需進行淨化步驟。若需進行淨化，則參考淨化方法上的提示。

表 5-5 有機物檢測方法一覽表

有機物類別	層析技術
非鹵化碳氫化合物	GC/MS, GC/FID
揮發性芳香族及鹵化物	GC/MS, GC/PID, GC/ELCD
揮發性有機物	GC/MS
酚類	GC/MS, GC/FID
鄰苯二甲酸酯類	GC/MS, GC/ECD
硝基芳族與環酮	GC/ECD, GC/NPD
多環芳香族	GC/MS, GC/FID
氯化碳氫化合物	GC/ECD, GC/MS
苯胺及其衍生物	GC/NPD
氣系除草劑	GC/ECD, GC/MS
有機氯殺蟲劑	GC/ECD
有機磷農藥	GC/NPD, GC/FPD
多氯聯苯	GC/MS, GC/ECD
半揮發性有機物	GC/MS, GC/FID
胺基甲酸鹽	HPLC
戴奧辛/呋喃	GC/MS

註：ECD: GC 使用電子捕捉偵測器；ELCD: 電解導電感應偵測器；FID: 火焰離子化偵測器；

FPD: 火焰光度偵測器；NPD: 氮磷偵測器

5.5.4 土壤中非揮發性及半揮發性有機物之現地篩試工具

一、免疫學分析方法(Immunoassay Test Kit)

(一) 原理

免疫學分析方法是利用酵素連結免疫吸附分析法的原理，利用抗體與抗原結合的高專一性，像鎖與鑰匙一般地相互作用，加上酵素的呈色(或產生螢光)反應，來顯示特定污染化合物是否存在。

(二) 適用時機與限制

由於免疫學檢測法既簡單又靈敏，在簡單的實驗環境中，可被用來測定微量土壤和地下水樣品。免疫學檢測套件通常適用於量測化合物族群(如短鏈碳氫化物、BTEX)或一個組成範圍的化合物(如PAH、TPH)。雖然方法本身可以提供定量的篩選資訊，通常多用於決定樣品是否高於行動基準(Action Level)，亦即決定樣品有污染物存在。

二、比色法

(一) 原理

比色法(Colorimetric Test)是利用會產生顏色的化學反應，來定性或定量化學污染物質。比色法的應用方式又可分為檢知管、比色試紙及測試套組，可以對有機和無機污染物提供半定量或定量檢測結果。針對碳氫化合物分析所設計之比色法套件是使芳香族化合物呈色，此項反應的發生是利用觸媒(如氯化鋁)攻擊芳香族碳氫化合物的烷基(Alkyl Group)。

(二) 適用時機與限制

比色法可用於分析土壤中與水中的芳香族碳氫化合物(特別是PAH)。在土壤中其偵測極限大約在 1~10 mg/kg，對於水樣則是小於 1 ppm。比色法對於汽油、柴油與其他燃油類污染物的分析效果均非常有效，其最大特色在於分析成效與分析物之揮發性無關，使得其在年代較久的洩漏或重油的偵測特別有用。

三、濁度法

(一) 原理

濁度法之原理是將土壤中的碳氫化物萃取至溶液中，再利用濁度計量測懸浮於溶液中之萃取物所造成的濁度高低(亦即溶液的相對混濁程度)。為維持懸浮狀態，懸浮溶液會造成所萃取的 TPH 與溶液分離(亦即沉澱)。因為土壤中的 TPH 直接與所量測到的濁度成正

比，因此可建構檢量線概估 TPH 的濃度，而濁度計法所能提供的數據是在 ppm 濃度範圍。

(二) 適用時機與限制

濁度法主要是應用於篩選檢測土壤中總石油碳氫化合物的濃度，可用於鑑別不飽和層中污染源存在之區域。此類的測試適用於定性篩選土壤中所含中間碳數石油碳氫化合物（例如：柴油、燃料油與潤滑油）的量，對於高分子量的碳氫化物較敏感，能夠偵測 C12 至 C30 之間的碳氫化物，特別是對偵測範圍末端的碳氫化物具備最高的敏感度。

四、攜帶式氣相層析儀

(一) 原理

氣相層析是一種物理分離的技術，樣品由惰性氣體作為載流氣體，將欲分析化合物傳輸經過分離管柱，由於低分子量及高揮發性的化合物流動速度較高分子量及低揮發性的化合物快，可藉此將混合物分離，由後端的偵測器將反應訊號經由記錄器與電腦予以記錄與顯示，建構一組層析圖譜(亦即偵測器反應對樣品的滯留時間)，攜帶式氣相層析質譜儀，實際上是由兩種功能不同的儀器組成：其一為氣相層析儀，是將混合物分離為純物質的設備，質譜儀為偵測器之一種，可測定出被分析物之分子量和結構，在質譜儀的游離室中樣品受電子撞擊，於是，化合物即產生帶正電荷的碎片或離子，經電場加速、磁場作用影響，可得一質譜圖^[21]。

(二) 適用時機與限制

目前常用於含氯碳氫化合物分析的現場氣相層析儀包括可攜帶型氣相層析儀(Portable GC)與可運送式氣相層析儀(Transportable GC)兩種。其運作原理幾乎相同，但由於形式的差異，在應用上的適用時機與範圍亦有差異。

可攜式氣相層析儀具耐用、體積小及重量輕等特色，具有內藏式電池與載流氣體供應系統，故其具有可攜帶性。亦造成電源與氣體供應上的限制，導致溫度上升條件設定上的限制，其管柱通常是等溫(Isothermal)。而可運送氣相層析儀其操作需要外部電源與氣體供應系統，可以快速改變管柱溫度，不會受限於定溫條件下操作。可攜式氣相層析儀的主要優勢是其容易攜帶至現場，且分析時間一般均較可運送式氣相層析儀短。由於氣體供應的限制，常用於可攜

式氣相層析儀的偵測器以 PID 為主，因為不需要氫氣，故許多脂肪族化合物無法使用可攜式氣相層析儀進行分析。而可運送式氣相層析儀因其所使用的管柱較長的優勢，故可提供較佳的化合物分離。

(三) 成本分析

對於攜帶式氣相層析質譜儀之計價方式以日數計算，不計分析次數，以美國為例單價約為 1,500 美元/天(約新台幣 46,000 元/天)。

5.5.5 品質管制

執行土壤中非揮發性及半揮發性有機物之測定，需注意下列品質管制事項：

- 一、執行每批樣品分析時，必須先以無水硫酸鈉作一方法空白，進行方法空白分析，以確認實驗室內無例行的污染。空白樣品必須經過與樣品相同的所有製備及測試步驟。
- 二、萃取時每一批次（或每 10 個樣品中）應作一樣品添加及添加重複樣品，添加適量的待測物到樣品中，計算待測物的回收率及兩個添加樣品間的相對偏差百分比。
- 三、以無水硫酸鈉或高嶺土為基質，加入和樣品添加等量的待測物，進行空白添加分析，計算其回收率。空白添加的頻率和樣品添加相同。
- 四、製作檢量線時以至少五種合適濃度之標準液進行檢量線製作。
- 五、實驗應評估每個樣品中擬似標準品的回收率，並與本身所建立的品管要求比較，觀察有無異常情況出現。
- 六、在同一 12 小時批次內，樣品中每一個內標準品的滯留時間應該在檢量線查核分析內標準品滯留時間的 $\pm 0.4\%$ 之內，而其離子尖峰面積，則應在 50~200%之間。

5.5.6 土壤中非揮發性及半揮發性有機物測定參考案例

某工廠進行土壤污染控制場址補充調查，需符合土壤污染控制場址控制計畫及主管機關所核定之內容，採樣佈點規劃將以此為基準，同時參考污染來源與途徑、過去調查成果、改善目標及後續整治改善之需求進行綜合評估，以求能採集代表性土樣進而完整描述場址污染範圍。

一、採樣單位與深度污染

由過去調查成果已可初步判斷有機物污染區(總石油碳氫化合物 TPH)及無污染區域，故調查作業可藉由此規劃不同區域採樣點間距與深度，將採樣區規劃為污染之區塊及無污染之區塊。將污染集中區調查網

格規劃至 10 公尺×10 公尺之範圍，深度需至 5 公尺，可能未受污染之區域調查至 20 公尺×20 公尺之範圍，調查深度需至 4 公尺。每一層樣品於現場採樣時，由受過訓練及有經驗人員以土壤之外觀、顏色、性狀及揮發性有機氣體分析儀(PID)立即判斷來決定 TPH 送樣深度。

二、土壤分析規劃

分析項目為 TPH，依過去之調查濃度判斷，目前所規劃之採樣深度已足夠或過深，其用意為一次採足樣品避免多次採樣干擾場址濃度及增加費用，故實驗室進行分析時可採二階段進行，第一階段保留最底層 1 公尺之樣品其餘進行分析，若仍管制標準值 1/2 以上則進行第二階段之分析，不過必需注意樣品之保存期限，若第二階段分析仍超過管制標準值 1/2 以上，則再次進行採樣調查至符合原則為止。

另外為瞭解送樣深度是否正確及補充水平、縱向之污染調查，本計畫亦以 Test Kit 進行現場樣品之篩選，分析原則如下：(1)20 公尺×20 公尺之網格將使用油品檢測試劑套組(Test Kit)，每 1 公尺深度篩選一組樣品至 3 公尺深度為止，並篩選疑似超過管制標準之樣品再進入實驗室分析。(2)針對現階段已調查確認含 TPH 之區塊之相鄰 5 公尺之網格，利用直接貫入進行探採，並篩選疑似污染物補充油品檢測試劑套組(Test Kit)分析。

三、土壤 TPH 採樣

本調查作業因地號現地情況不同，部分以採用挖土機具開挖及配合土鑽採樣組，其餘區域則採用 Powerprobe 機具，配合採樣桿為雙套管式(Duel Tube)，外管口徑 5.4 公分，內管口徑 3.2 公分進行土壤採樣。當土壤中含有較大的營建廢棄物、RC 結構或石礫時，則作適當移點以利採樣作業之完成，且將移點位置實際座標進行量測，以準確標示出採樣位置；土鑽採樣則需分層各別採樣，採樣時需注意各土層交互參雜之情形。每一個樣點採樣深度依採樣規劃進行，土壤各約 1,000 公克；若遇堅硬岩石層，則依實際可達深度採集土壤樣品，並紀錄於採樣記錄表中。

四、有機污染物分析（油品檢測試劑套組 TEST-KIT）

土壤樣品濃度篩檢方法係採用環保署公告之「免疫分析法(NIEA S701.60C)」，使用已商品化的檢測試劑套組(Immunoassay Test Kit)，對樣品進行總石油碳氫化合物(Total Petroleum Hydrocarbons, TPH)定性及半定量的篩檢。本方法是用來快速篩檢土壤中是否含有總石油碳氫化合物，依檢測試劑套組的選擇，藉由比較樣品組及標準品顏色變化之差異，

判斷樣品中總石油碳氫化合物濃度範圍，非實際濃度值。參考過去曾實施調查結果，於高濃度邊界及場址邊界進行篩檢，並將本場址濃度分為 3 個區間，分別為 1,000 mg/kg 以下、1,000~5,000 mg/kg、5,000 mg/kg 以上，快速濃度篩檢土壤採樣點。

參考文獻

1. 李芳胤，陳士賢，土壤分析實驗手冊，ISBN：9789861506838，新文京出版社，2007。
2. 環檢所，土壤採樣方法(NIEA S102.61B)，民國 94 年 11 月 30 日。
3. 環檢所，土壤檢測方法總則(NIEA S103.60C)，民國 91 年 1 月 17 日。
4. U.S. EPA. Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils, Test Methods for Evaluating Solid Waste, Method 3050B, 1996.
5. U.S. EPA. Atomic Absorption Methods, Test Methods for Evaluating Solid Waste, Method 7000A, 1992.
6. U.S. EPA. Arsenic (atomic Absorption, Gaseous hydride), Test Methods for Evaluating Solid Waste, Method 7061A, 1992.
7. U.S. EPA. Mercury in Liquid Waste (Manual Cold-Vapor Technique), Test Methods for Evaluating Solid Waste, Method 7470A, 1994.
8. 環檢所，土壤中砷檢測方法—砷化氫原子吸收光譜法(NIEA S310.63C)，民國 98 年 9 月 9 日。
9. 環檢所，土壤及廢棄物中總汞檢測方法—冷蒸氣原子吸收光譜法(NIEA M317.02C)，民國 97 年 5 月 28 日。
10. Schwarzenbach, R. P., P. M. Gschwend, & D. M. Imboden. Environmental Organic Chemistry (2nd ed). Wiley-Interscience, New York, 2003.
11. U.S. EPA. Sample Preparation for Volatile Organic Compounds, Test Methods for Evaluating Solid Waste, Method 5000, 1996.
12. U.S. EPA. Determinative Chromatographic Separations, Test Methods for Evaluating Solid Waste, Method 8000B, 1996.
13. U.S. EPA. Volatile Organic Compounds by Gas Chromatography /Mass Spectrometry (GC/MS), Test Methods for Evaluating Solid Waste, Method 8260B, 1996.
14. U.S. EPA. Nonhalogenated Organics Using GC/FID, Test Methods for Evaluating Solid Waste, Method 8015B, 1996.
15. U.S. EPA. Halogenated Volatiles by Gas Chromatography Using Photoionization and Electrolytic Conductivity Detectors in Series: Capillary Column Technique, Test Methods for Evaluating Solid Waste, Method 8021B, 1996.
16. Johnson, R.H., Poeter, E.P., Insights into the use of time-lapse GPR data as observations for inverse multiphase flow simulations of DNAPL migration, Journal of Contaminant

- Hydrology, 89(1), pp.136-155, 2007.
17. USEPA, Site Characterization Technologies for DNAPL Investigations, EPA542-R-04-017, 2004.
 18. USEPA, 2007. <http://www.clu-in.org/char/technologies/mip.cfm>.
 19. Dakota Technologies, Inc., HaloProbe Direct Push Logging Tool, 2007. <http://www.dakotatechnologies.com/>.
 20. 環檢所，土壤及固體基質樣品製備與萃取方法(NIEA M157.00C)，民國 91 年 3 月 5 日。
 21. U.S. EPA. Semivolatile Organic Compounds by Gas Chromatography /Mass Spectrometry (GC/MS), Test Methods for Evaluating Solid Waste, Method 8270C, 1996.

第六章 地下水污染調查方法

6.1 地下水調查技術概述及流程

6.1.1 地下水調查目的與原則

地下水調查的目的包括兩個層面，一為瞭解場址水文地質狀況，二為地下水水質監測。前者配合既有資料與地質調查結果，可建立場址之水文地質概念模型(Conceptual Site Model)，對於場址地下水之流場、可能污染的路徑、污染可能影響範圍與速度等，可提供判斷的依據；後者則為利用監測井進行地下水採樣與分析，以瞭解地下水的水質，藉以判斷地下水是否受到污染，以及污染的程度與變化趨勢。在本手冊中的第四章已經針對水文地質調查做完整的介紹，而在本章中則以地下水的水質調查為討論範疇。

地下水水質調查最主要的手段是標準監測井之設置與採樣分析，其間可輔以較快速的篩測方法在標準監測井設置前，預作研判分析以選擇最適當的監測位置、頻率與項目。地下水監測井設置的數量、位置、深度直接影響是否能夠取得具有代表性或具有足夠解析度的水樣，因此監測井網的設置必須妥善規劃。然而，由於監測井的設置和採樣與維護成本不低，故監測井設置之原則是將必要的數量之監測井設置在適當的位置，取得最具有代表性的水樣，以便對於現場的污染潛勢或污染狀況有最好的掌握。

整體來說，地下水監測的目的可區分如表 6-1 中所列舉者，涵蓋了從水資源的保護觀點所進行之水質趨勢分析以及針對污染場址的整治監控監測。另一方面，從環保主管機關的角度以地下水污染防治為主之地下水調查目的如表 6-2；配合表中各種不同目的之調查，監測井的密度和採樣分析頻率也因之而異。適當的地下水監測井設置可以獲得下列的資訊^[1]，以便對於污染或潛在污染場址地下水概況有適當之瞭解：

- 一、決定地下水流向
- 二、偵測潛在污染源的污染排放
- 三、決定污染範圍
- 四、有助於整治規劃
- 五、監測整治之效果(Effectiveness)與效率(Efficiency)
- 六、作為預警系統以容許潛在受體在污染團到達之前採取行動
- 七、提供污染物濃度以進行風險評估

表 6-1 地下水監測之目的^[1]

目的	說明
偵測(Detection)/ 符合標準(Compliance)	在有污染潛能的場址下游邊界設置監測井以偵測污染排放。決定水質是否符合法令標準。
評估(Assessment)	監測井設置位置與潛在污染源之距離逐漸加大以決定污染的範圍和擴大的速度。通常需要再污染團的邊界進行監測。
風險評估 (Risk Assessment)	透過監測瞭解污染團中污染物濃度的分布，以便決定對於人類和環境的潛在風險。毒物學專家可能需要有關合理的污染物最大濃度資訊以評估特定場址的風險。
預警系統 (Warning System)	監測井設置在受體附近做為污染預警之用，以利受體的所有人可以及時採取行動。
趨勢分析 (Trend Analysis)	用以評估水質變化的趨勢，可以了解如使用肥料等人為活動對於地下水水質的影響。
整治監控 (Remedy Progression)	利用監測決定整治工作是否有效。
因果調查 (Cause and Effect)	評估特定的行動或者程序，例如抽取地下水對附近地下水水位和水質的影響。

表 6-2 場址調查目的分類^[2]

調查類型	目的
品質調查	早期預防並掌握環境污染潛勢
污染查證調查	認定場址是否遭到污染，公告場址的重要依據
污染範圍調查	確立污染範圍，劃定管制區
整治調查	整治技術選擇之依據，技術可行性評估
驗證調查	了解污染變動狀況與評估技術效益

我國環保署目前所主管的監測井區分為區域性監測井與場置性監測井。其中區域性監測井是針對一般性區域水質進行長期的瞭解與趨勢分析，場置性監測井則是針對污染潛勢較高的地區進行污染偵測。本手冊中地下水調查乃針對可能導致或已經造成地下水污染的場址，因此所設置之監測井即屬於場置性監測井。場置性監測井之規劃與設置，以對高污染潛勢污染源監測及污染查證與污染區調查為主，或對進行中之污染控制場址、整治場址及特定污染源、污染範圍之監測，因針對特定污染進行查證或監測，其監測項目與頻率亦依監測污染物之特性及所屬水文地質環境而異。

在本手冊中將以場址的地下水污染調查為目標，因此所設置的監測井原則類似環保署之「場址性監測井」，亦以即表 6-1 中的偵測、評估、風險評估與表 6-2 中品質調查、污染查證、污染範圍調查等為目的而進行之地下水調查。

地下水水質監測計畫的核心為「監測井井網設計」^[1]，污染源監測的目的為針對潛在污染路徑和其他特定區域的地下水依據法令中規範的地下水水質標準進行評估。對每一條傳輸路徑而言都必須能夠將下游的水質與上游的背景水質作比較。原則上地下水監測井網的設置是一個反覆修正的過程，當場址和污染物的特性愈來愈明確時，也應該持續地評估井網的適當性。監測井網的數目、間距、深度、開篩位置的調配，應該使得監測井網成為一個三維的系統。

監測井的數目必須依照監測計畫與其所遵循的法令依據和場址條件而定，許多法規會明訂監測井的最低數目，但此數量往往無法提供較大場址或較厚、較複雜含水層的水質監測所需。若僅是為了調查污染是否發生的偵測監測 (Detection Monitoring) 則監測井的數量較少；若是為了確認污染團的範圍和移動速度的評估監測 (Assessment Monitoring) 或整治工作的監驗則監測井的數量較多^[1]。

在水文地質條件較複雜的情況下監測井彼此之間的間距必須要比較小，水文地質參數在水平向有明顯較高異質性或異向性時，監測井的間距也應該比較小。當污染源下方為透水性高的礫石層時，可能形成較狹長且會快速移動的污染團，此時監測井的間距也應該較小。但當導水度較低時，污染團的流動速度較慢，且側向的擴張相對較大、污染團形狀較寬時（因機械延散係數和流速成正比、且分子擴散影響相對較大，導致縱向和橫向水動力延散係數比值較小），監測井的間距可以拉大。此外，若場址位置較接近補注區、水力梯度較高或有明顯變化、流速較快、地下水流向變化較大時，均應縮小監測井的間距。

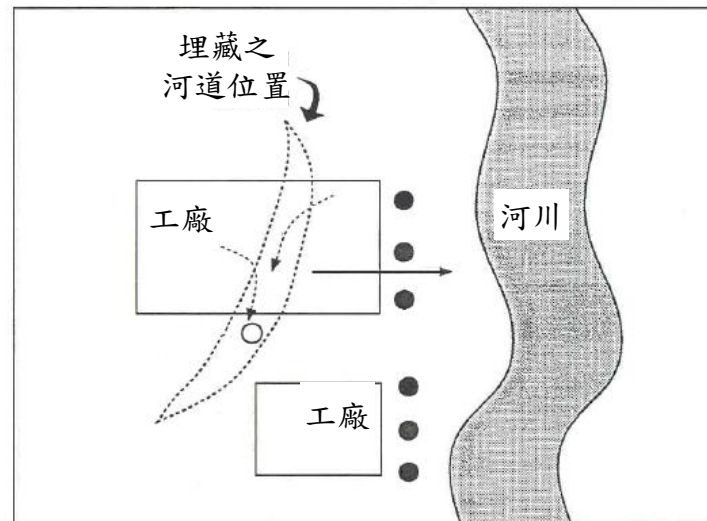
一、監測井設置深度

在擬定監測計畫時，除了監測井的平面分布之外，在垂直向的監測位置亦必須加以考慮，監測井的適當開篩對於精確描述地下水特徵和評估污染狀況而言極為重要。地下水流動的偏好路徑 (Preferential Pathways) 對於污染物在場址內外的分布與傳輸速度有關鍵的影響，偏好路徑包括含水層中導水度特別高的土壤中和裂隙較多的岩體，這些材料的分布主宰了地下水和污染的移動。監測井開篩的考量應該依據路徑的深度和厚度而定，而開篩本身則考量監測井的深度和篩管的長度^[1]。

在較低導水度區域中的高導水度區塊形成了污染物移動的路徑；如圖 6-1 顯示了埋藏在地表下的古河道，大區域和場址小範圍的地下水流向現有河川，但在場址下的部分區域地下水卻沿著古河道流動。圖 6-2 則顯示了地下水和污染物沿著棲息含水層在非飽和層中以水平向移動，之後才往下垂直穿過非飽和層，污染物經過了一條不容易被發現的路徑往下流動穿越含水層。圖 6-3 則顯示了在岩石裂隙中複雜的污染傳輸行為，區域和場址的地下水流向往南，但因為裂隙的走向和分布密度、連通性等因子導致地下水可能在場址污染源正下方卻先往東南之後再往西南流動^[1]。

通常一定要進行監測的是第一含水層（從地表下起算最淺的地下水含水層）和其他任何法令規範要求必須要監測的含水層一定要監測；正如我國的監測井設置規範亦如此要求^[4]。然而，在由沈泥或黏土細顆粒土壤組成的地層中，地下水水位面以上的土壤通常是含水量較高甚至於接近飽和，稱為「毛細緣層」(Capillary Fringe)，其厚度隨細顆粒土壤的孔隙大小而異，但此幾乎飽和的土壤界面並非地下水水位。在設井之前，一定要等到觀察到鑽孔中的水位，以便確認地下水水位^[1]。

根據國外的規範，一般來說篩管的長度不應超過 3 公尺(10 ft)，但水文地質條件的複雜度與監測目的仍應是決定篩管長短的主要考量；例如：較複雜的地層需要較短的篩管以便在垂直向取得較佳的解析度，有利於確認污染物實際存在和傳輸最快的深度^[1]。例如：美國內華達州環境部針對廢棄物掩埋場的地下水監測規定除非水文地質條件有特殊狀況，否則監測井深度必須達到地下水位面 5 公尺(15 ft)以上；且篩管必須高於季節性水位最高水位 0.3 公尺(1 ft)以上。此外，篩管下必須還有 1.5 公尺井管。濾層必須高於篩管 0.3 公尺(1 ft)以上。濾層以上必須有至少 0.6 公尺(2 ft)的皂土封填，其上再用皂土和水泥的混合漿灌漿封填。若地下水監測井所在位置有淹水之虞，則井管應該高於地面至少 0.3 公尺(12 in.)^[5]。



圖例：●下游監測井；○位於埋藏之舊河道中的下游井

虛線：污染物流進埋藏之舊河道的偏好路徑；實線：小範圍地下水流向

圖 6-1 地下水流受埋藏之舊河道影響的地質狀況^[3]

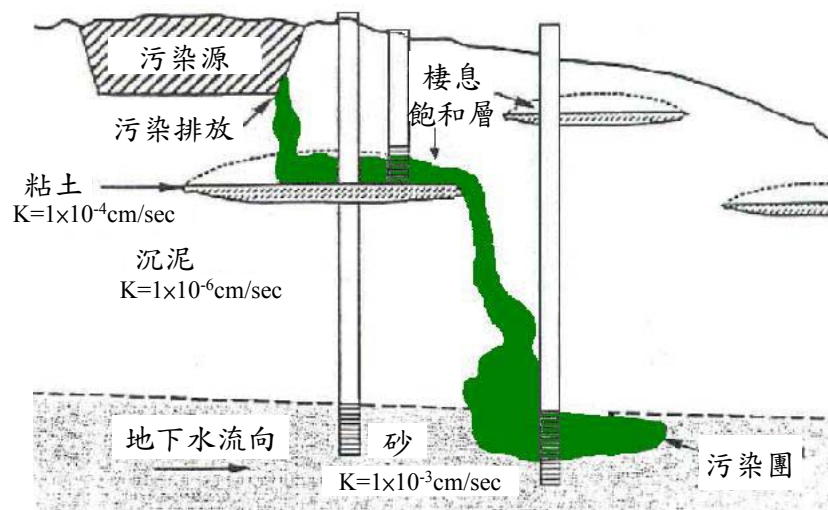


圖 6-2 污染物和液體沿著棲息含水層水平流動之後再往下垂直進入含水層^[3]

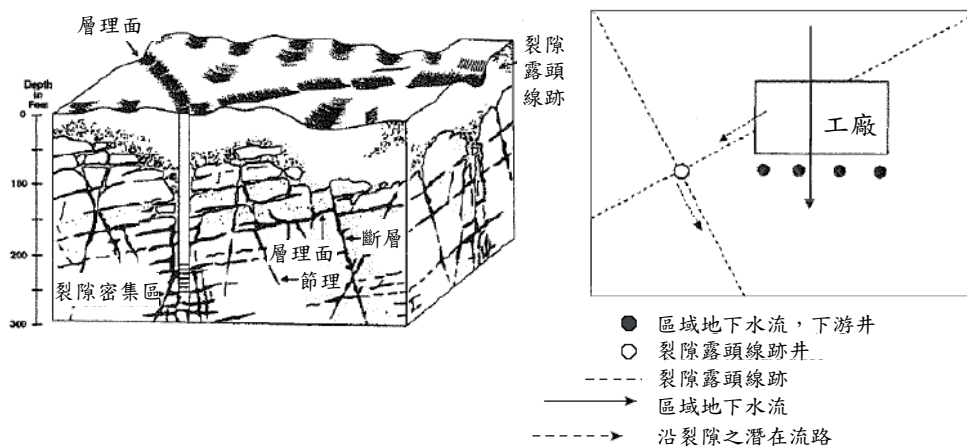


圖 6-3 岩體裂隙中複雜的污染傳輸路徑^[3]

若篩管長度跨越過數個導水度大小交錯變化的單元，則這些相異的單元對水量和水質有不同的貢獻度，極有可能造成污染物的稀釋；此外，上述的狀況也極可能導致對於地下水流速和流向的誤判。但是在地下水位面附近開篩的監測井則可能必須有夠長的篩管，才可能容許在地下水位變動幅度較大的情況下仍可以偵測到 LNAPL 等浮在地下水位面以上的污染物。若地下水流動路徑較厚（大於 3 公尺 (10 ft)），則可能必須在不同的位置開篩至不同的深度以便取得不同垂直向區間的地下水水樣，如此可以有助於判斷地下水水流狀況和污染物在垂直向的分布^[1]（圖 6-4）。若含水層中的水文地質單元較複雜，且可能形成不同的傳輸路徑，則恐必須設置更多的監測井來監測，並注意避免監測井本身因鑿井作業或設井不當導致不同水文地質單元之間的交錯污染（圖 6-5）。若監測污染物可能為 LNAPL，則井網中應包過開篩在地下水位面之監測井，且篩管長度必須考量地下水位的季節性變化；且也必須進行較深層的監測以便確認溶解在水中的污染物的分布。若污染物為 DNAPL，則因其液相之密度較水高所以可能往穿越地下水含水層往深層移動，因此除了應在含水層進行分層監測之外，也應該設置開篩位置接近含水層的底部的監測井以確認是否有液相的 DNAPL 淤積在阻水層上方^[1]。

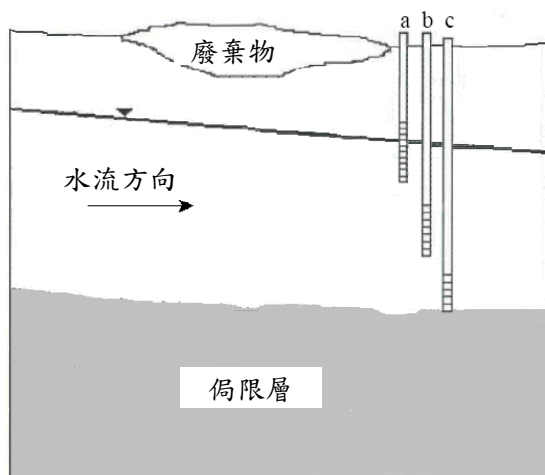


圖 6-4 以分層監測井井叢監測厚度較厚的地下水含水層^[1]

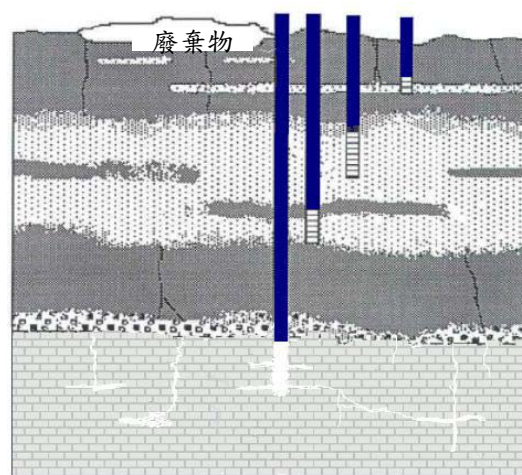


圖 6-5 監測不同水文地質單元的井叢剖面圖^[1]

相對地，在我國「地下水水質監測井設置規範」^[4]中，對於非拘限含水層（第一含水層）的監測井要求在豐水期(高地下水位情況)，鑽孔至當時地下水位面下 5 公尺處；在枯水期，(低地下水位情況)，鑽孔至當時地下水位面下 1 公尺處；若枯、豐水期地下水位面變化超過 4 公尺以上，則應考慮多深度監測，或在不影響洗井時間及監測目的情況下，得改

變井深及井篩長度，並應詳細紀錄原因^[4]。亦即篩管最高點必須高於豐水期地下水位 1 公尺以上，篩管最低點必須低於枯水期最低水位 1 公尺以上。對於拘限含水層中的監測井則要求鑿井時鑽孔至阻水層或滯水層上部時應立即暫時中止鑽孔，於原始鑽孔中下 6~8 英吋護管。於此護管中繼續鑽孔，鑽穿阻水層或滯水層至含水層 2 公尺處^[4]。規範中並未說明拘限含水層監測井僅達含水層頂部 2 公尺之理由為何；實際上拘限含水層之監測也經常必須監測整個含水層中不同深度或全深度，因此我國規範之要求僅作為參考之用即可。

二、監測井位置

監測井的位置選定必須依據監測計畫中監測之目的與現場狀況而定，除了針對潛在污染監測之外，通常在現場也必須設置地下水流上游之監測井俾取得背景水質作為研判污染狀況之基準。背景水質監測井通常設置於相對於污染源地下水流向之上游，其水質可顯示未受場址之人為活動影響之背景水質。其採樣必須提供涵蓋水文地質的異質性、季節性、長期性影響下的背景水質。同時背景水質監測井也可以提供整治場址因整治措施所導致地下水變化，包括流向、流速的改變情形；同時也可以為在整治期間區域地下水狀況的變化以及場址外污染物進入整治場址提供預警^[6]。

背景水質監測井應該設置於和下游監測井同一水文地質單元中，其開篩位置亦應與下游監測井開篩位於同一條地下水路徑中。此外，背景水質監測井應離下游監測井夠遠，在其水力影響半徑之外，以便不因下游監測井完井導致污染物流入其中，或受下游監測井洗井影響。在一些情況下，例如在場址邊界內沒有足夠的空間、潛在污染源緊鄰場址上游邊界、含水層往上游方向尖滅、上游水質可能受到鄰近人為活動影響甚鉅，背景水質監測井可以不設在地下水流向的上游；但必須提出證明其水質不受污染源的影響、和下游監測井位於同一水文地質單元中、水樣可以代表背景水質。

雖然背景水質監測井通常最少必須設置一口以上，但實際上背景水質監測井的數量也和水文地質條件以及污染源的數量、大小與位置相關，有時必須要設置一口以上的背景水質監測井。在以下的狀況下，背景水質監測井的數量還需要再增加：

- (一) 污染源面積非常大
- (二) 同時有多個污染源存在

(三) 水文地質狀況可明確區分為數個有顯著差異的單元

(四) 背景水質在空間上或季節性上有顯著的差異

上游背景水質監測井在場址範圍內愈上游愈好，但不應超過潛在高污染區域邊緣 80 公尺(250 ft)以上。下游監測井在污染源下游，距離潛在高污染區域邊緣至少 3 公尺(10 ft)以上，至多不超過 15 公尺 (50 ft)^[5]。

就下游的監測井位置選定而言，下游監測井的數量和位置取決於潛在污染路徑的數量和空間分布，其位置與污染源的距離和監測井彼此之間的距離都應該考量之外，亦應該考量下游的民井、湧泉、湖泊等受體和污染源之間的空間關係。通常下游監測井應該設置三口以上，才能涵蓋可能的污染團移動路徑。原則上監測井不需要設置在污染源的點位上；為了要能夠確實攔截到排放的污染物造成的污染團，監測井應該在污染源的下流橫向展開以便和可能的傳輸路徑交會。在一些污染排放量較大的場址，可能因為將廢水、污水注入含水層導致地下水水位面抬高（Mounding）導致地下水往四面八方流動，則必須要在場址四周皆設置監測井才能確實掌握受污染地下水的狀況。此外，當污染物為 DNAPL 時，DNAPL 污染量大時可能淤積在地下水含水層底部的阻水層上，延其坡度往下方移動，此時不僅必須在地下水流向下游設置監測井，也必須在阻水層頂部高程坡度的下方設置監測井（圖 6-6）以掌握純液相污染物的動態。但溶解在水中的 DNAPL 污染團則仍是朝地下水流向的下游移動^[7]，且若預期 DNAPL 的量較小恐無純液相存在，則僅需監測地下水流向下游即可。

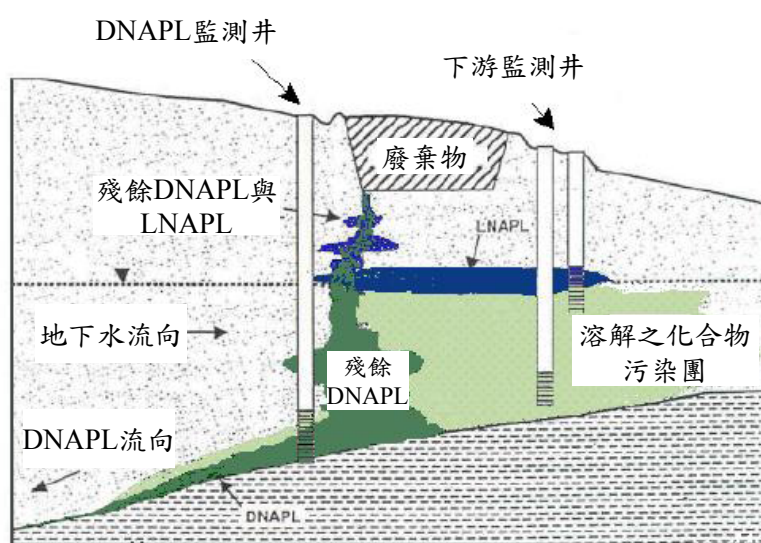


圖 6-6 DNAPL 沿阻水層斜面之移動^[1]

另一方面，除水文地質條件之外，場址內外的人為因素也直接影響地下水的流動，這些行為包括：抽取地下水、地下水人工補注、灌溉、改變土地利用方式（不透水鋪面）、雨水下水道、污水下水道、其他地下管線等人為因素可能連續地或間歇地改變地下水的水流，因而會造成地下水流向的改變，控制了污染物傳輸的路徑^[1]。

針對特定具有污染潛能的場址進行監測井井網設計時，除了水文地質的因子之外，更應該考慮現有地表狀況。如場址本身或毗鄰四周有使用地下水情形，應評估抽水效應可能造成之局部地下水流向與流速改變以及是否將導致外來污染流至場址內或場址內污染被吸引至外圍之情形(如圖 6-7)。另一方面，場址基本資料涵蓋場址運作特性與場址設施設備配置情形，可供瞭解場址之地下水污染潛勢與監測重點^[8]。

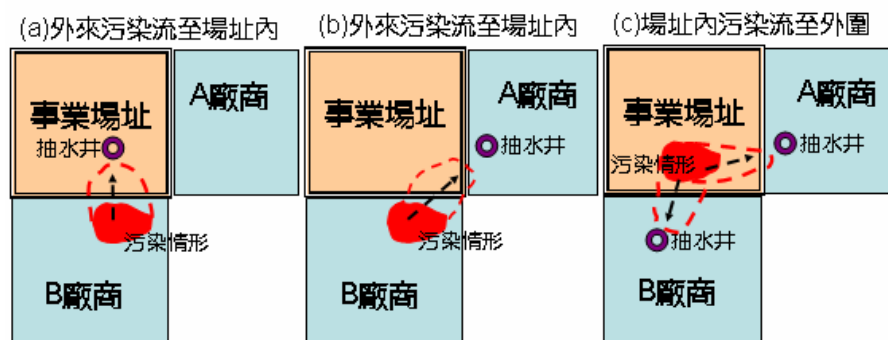


圖 6-7 場址本身及毗鄰四周之地下水使用對污染擴散之影響^[8]

我國的「地下水水質監測井設置規範」^[4]，中所提出之監測井位置選定原則並不適用於本手冊之監測計畫，本手冊中舉凡相關水文地質資料之蒐集與調查與分析、現場狀況與污染潛勢之研判、監測井位置與深度之決定均應由水文地質師或工程師負責，而不得由業主或鑿井承包商決定。

三、監測頻率

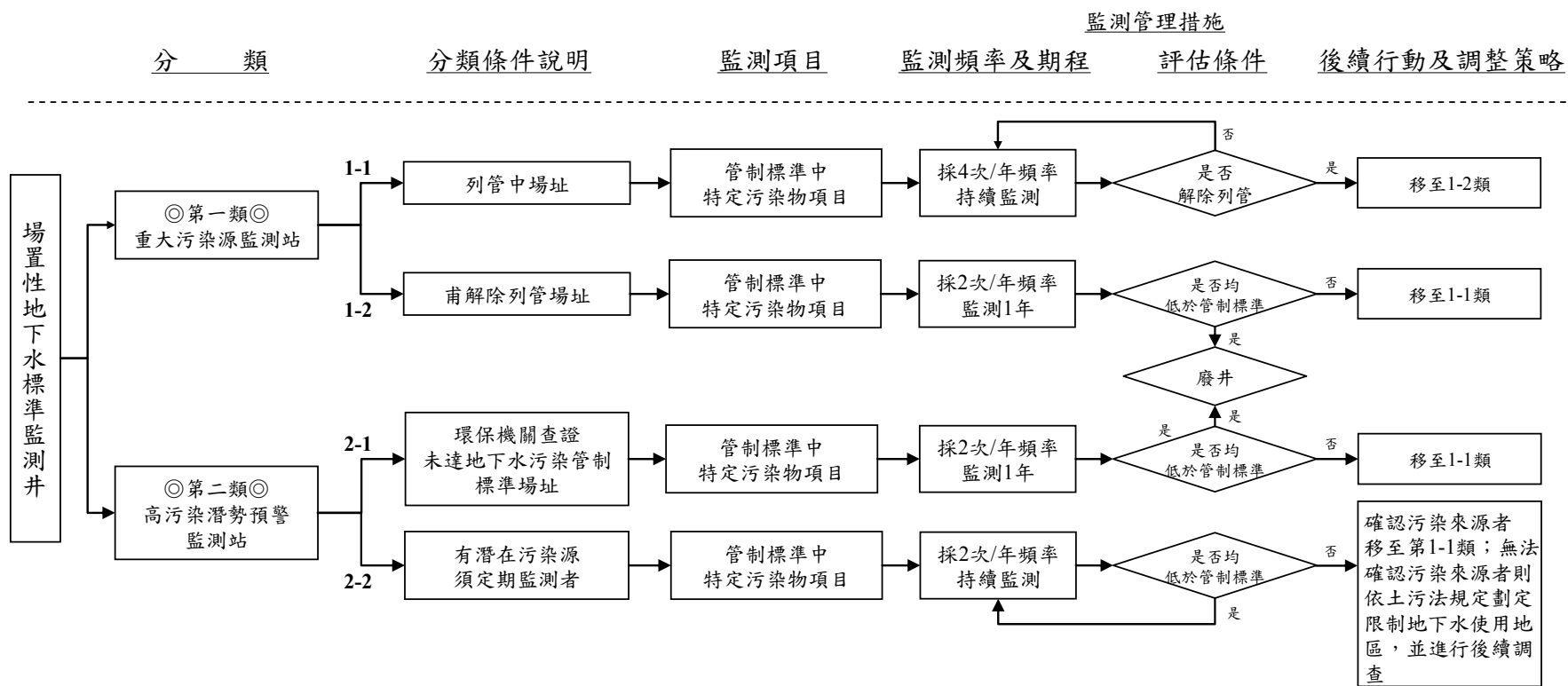
依據環保署訂定之「場置性地下水監測井設置及後續處理處置原則」，各級環保機關所設置的監測井，當其目的為調查/查證或定期監測大範圍高污染潛勢區域(如工業區、加工出口區、科學工業園區、環保科技園區、農業科技園區)時，不論結果是否達地下水污染管制標準，環保機關原則均應持續利用既設監測井，以 1 年 2 次之頻率持續定期監測^[9]。監測期間為每年以豐、枯水期各監測 1 次為原則；且場置性監測井檢測分析項目，應以場址特性、製程用原物料及製程產生之污染物項目為主^[10]

。依據「場置性地下水監測井設置及後續處理處置原則」，設置標準井進行查證措施，其後續處理處置依檢測結果「未達」及「達到」地下水污染管制標準區分。若經檢測出污染物未達地下水污染管制標準者，環保機關原則應持續利用既設監測井，依場址特性擇地下水污染管制標準中特定污染物項目，採1年2次之監測頻率繼續監測1年，如確認監測結果均未達地下水污染管制標準，則可辦理廢井。若經檢測出污染物達到地下水污染管制標準者，續依土壤與地下水污染整治法相關程序辦理^[9]。

此外，依據環保署訂定之「場置性地下水監測井設置及後續處理處置原則」，場置性監測井的設置原則，各級環保機關設置之場置性地下水標準監測井，依監測對象及監測頻率等特性，可概分為下列2類：

- (一) 第一類「重大污染源監測站」：包括「列管中場址」及「甫解除列管場址」。
- (二) 第二類「高污染潛勢預警監測站」：包括「環保機關查證未達地下水污染管制標準場址」及「有潛在污染源須定期監測者」。

有關場置性地下水標準監測井之監測計畫規劃，可將上開分類依下列型態，原則規劃一致性之監測項目、監測頻率、監測期程、評估條件、後續行動及調整策略，俾提供監測計畫規劃參考，流程詳見圖 6-8 所示^[9]。上述之原則，可供場址業主與工程顧問機構於訂定地下水監測計畫訂定監測頻率時參考，若場址污染潛勢極高、水文地質條件較利於污染物擴散，則可比照第一類「重大污染源監測站」；污染潛勢稍低一些，且水文地質條件較不利於污染物擴散者，可比照第二類「高污染潛勢預警監測站」規劃。



6.1.2 地下水調查方法與選定原則

地下水的調查方法基本上可以區分為以下四大類：

- 一、地下水水質篩測
- 二、直接貫入法即時採樣
- 三、簡易井(Temporary Well)
- 四、標準監測井

上述四種方法中，標準監測井是最可靠、有效、且具有法律效力的調查方法。然而，利用前三種方法都是利用直接貫入技術 DPT (Direct Push Technology，以下簡稱 DPT) 快速瞭解場址地下水的水質概況，進而有助於決定標準監測井設置的必要和數量與位置。

DPT 起源於在大地工程的現場試驗中的電子錐貫入試驗(Cone Penetration Test, CPT)，以鑽入、推進或震動方式將內附採樣器材之中空不銹鋼鑽桿貫入地層以快速採集代表性土壤、地下水樣品 (Grab Sample)，或逕以配置特殊井測工具直接偵測地表下土層之物理狀況、地下水之化學性質等^[11]。目前亦有將 EC 整合在一起的鑽頭，可以進一步提供同時評估土壤物理特性的資訊^[12]；地下水位通常可以由明顯的導電度增加且對比強烈的趨勢區分出來。DPT 鑽頭可直接裝置不同的感測器進行即時分析 (Real-Time Analysis)，於現場取得大量篩選數據 (Screening Data)，作為污染場址後續擬訂相關調查評估或整治方案之參考。本方法適用於疑似污染場址或污染場址未設置地下水監測井前之基本地質、水質參數及污染狀況初期之調查作業，或地下環境中石油碳氫化合物的種類與位置的量測，以及在已有設置地下水監測井時之地下水水質之比對作業。DPT 採樣樣品如係現場以攜帶式分析儀器檢測所得數據，或配置特殊井測工具直接偵測所得數據，皆止於現場篩選數據，僅供參考評估之用^[13]。

當污染場址污染分布情形不明確，或是在場址初步調查初期的情形之下，適合利用 DPT 進行場址地下環境分布之確認工作。DPT 具機動性可於現場大範圍網格狀佈點採樣，取得大量的數據以初判污染可能所在或其影響範圍，俾利快速的描繪出場址地下環境或污染源區域之三維特性。本技術適用於具有揮發性的污染物質的分析，對於非揮發性有機污染物或低揮發性有機污染物之鑑別力較差。此外，若地下環境中存在有浮油層，亦有可能造成浮油附著於鑽桿上而造成即時分析上的誤差。因此 DPT 應再佐以少量如土壤採樣等符合標準檢測規定的定義數據 (Definitive Data) 加以確認，如此共同組成之數據組 (Collaborative Data Sets) 可兼顧污染場址快速

鑑定又符合數據品質管理之要求，及確認污染調查整治之成效^[13]。

理論上 DPT 廣泛適用於未固結 (Unconsolidated) 之土層狀況，但實際上受限於如沼澤溼地、陡坡等不易安置儀器設備及操作之地面狀況，或如堅硬之大礫石土層、岩盤及硬質黏土等不易貫穿之地下狀況。此外，相關技術操作或數據判讀人員應經過訓練，並有經驗者始得為之^[13]。

另一方面，本手冊所稱簡易井係指 1~2 英吋全開篩、部分開篩式簡易監測井^[9]，但不包含依「土壤及地下水直接貫入採樣及篩選測試方法」^[13]進行之直接貫入即時採樣。目前國內多傾向設置簡易井做為直接貫入的地下水採樣方法，主要是單一採樣成本較低，特別是在需要較長期採樣的場址。簡易監測井(內徑 1 英吋)淺層設置費用在 15,000~20,000 元之間，較深層之成本將會依據深度而有所差異，包括井管、皂土封等的耗材費用亦會使費用隨深度變動。至於採樣方法上多以小型貝勒管或蠕動式泵浦為工具，成本上較一般標準採樣方法低。此外，以 DPT 施做簡易井的速度較標準監測井快 2~5 倍^[14]。

在美國簡易井被稱之為臨時井 (Temporary Well Point)。這些井都以 DPT 設置。在美國的規範中簡易井通常並未以精確的測量座標與高程且並未完整標示，濾層可用、可不用，但都不會設置皂土封層，不會灌漿回填，不會進行完井。簡易井通常在設置後，洗井、採樣，然後在幾小時之內就廢井^[15]。若簡易井在設置後 48 小時內拔除井管和套管廢井，則並不受到標準監測井的法令規範，但若超過 48 小時仍未廢井則簡易井被視為永久監測井且受到相關法令的規範^[16]。

另一個影響監測方式選擇的水文地質條件的限制則是地層的材料。根據 ASTM D5092 地下水監測井設計與施工標準^[17]中所規範的「傳統式監測井」(Conventional Groundwater Monitoring Well)，使用井篩和濾層 (Screened And Filter-Packed)，適用於以砂或礫石為主的地層，亦即含水層材料有 50% 以上為砂或礫石 (粒徑大於 #200 篩)，黏土顆粒比例在 20% 以下 (例如：含黏土的沈泥質細砂 (Silty Fine Sands With Some Clay))。當含水層的地質材料顆粒更小時 (例如：沈泥、黏土、沈泥質黏土、黏土質沈泥) 則不應該使用傳統監測井，因為採樣時洗井導致的濁度太高，無法取得具有代表性的樣品；此時可能必須改採其他方法監測地下水水質。

6.1.3 地下水篩測工具

一般在進行場址調查前可能利用為地球物理 (Geophysical) 技術，即量測地底環境之相關物理性質，如利用壓力、電阻、震波或視頻影像等感測工具，來偵測描繪地層結構、地下水流動及地下水位深度。以地電阻為

例，其測值約 5~400 mS/m（一般導電度常用單位為 $\mu\text{mho}/\text{cm}$ ）的範圍，較高值為坩土或黏土，較低者為砂土^[13]。在此將這一類技術排除在地下水的篩測工具之外，在此所涵蓋之地下水篩測工具僅針對可以直接針對地下水的水質取得測值的工具，亦即前一節所提出及在 DPT 設備上裝置可偵測污染物的儀器者。

DPT 上裝置可偵測有機污染物的感測技術包括雷射誘導螢光(Laser Induced Fluorescence, LIF)、油品螢光偵測器(Fuel Fluorescence Detector)、揮發與去除系統 (Volatilization and Removal Systems)，後者亦即為目前最常用的薄膜界面探測器(Membrane Interface Probe, MIP)^[12,18]。目前 DPT 最常使用之感測器為 LIF（圖 6-9）與 MIP（可參考圖 5-8）^[13]。DPT 偵測無機污染物之工具如 X 射線螢光分析儀 (X-Ray Fluorescence, XRF) 與雷射誘導崩解光譜儀 (Laser-Induced Breakdown Spectroscopy, LIBS) 等^[13]。感測器的電子訊號則由連接於鑽頭的訊號線經套管系統傳至地面上的紀錄器或電腦。

LIF 之原理係利用能量光源（如紫外線、汞、雷射等）打到土壤上使得多環芳香烴 (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon, PAH) 發出螢光，由測得的螢光光譜和強度即比對出 PAHs 存在的種類和濃度^[19]。目前常見的 LIF 包括有兩種系統，包括：Site Characterization Analysis Penetrometer System (SCAPS) 以及 Rapid Optical Screening Tool (ROSTTM)。

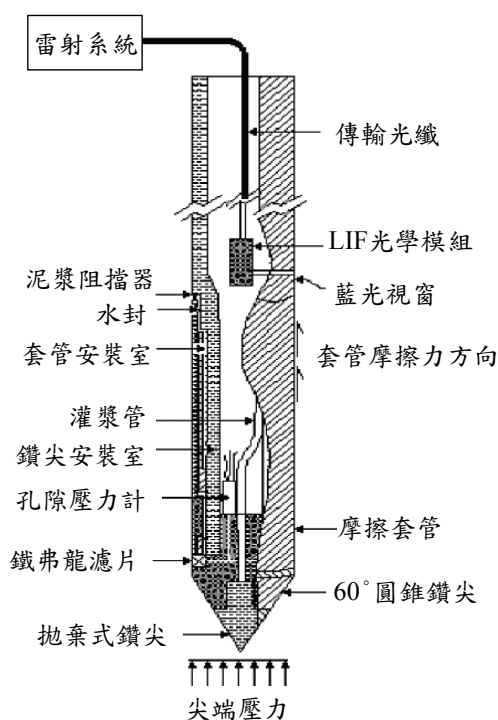


圖 6-9 LIF 直感鑽頭結構^[13]

MIP 調查技術適用於具有揮發性的有機污染物的分析，對於非揮發性有機污染物或低揮發性有機污染物之鑑定較差。其設備的主要組成包括載流氣體管線、密閉室、加熱系統以及半透膜，而載流氣體管線的末端則可連接至不同的感測器。MIP 的半透膜嵌入 DPT 不鏽鋼鑽頭表面，可允許揮發性有機分子通過，卻無法允許水和空氣通過。當貫入地表下時以加熱片將土壤或地下水加熱至 100~120℃，土壤(或地下水)中的揮發性有機污染物揮發，因 VOCs 氣體濃度梯度變化，而擴散滲入膜內進入探頭內部密閉室，並由載流氣體將污染物帶至地表的感測器進行分析定量。MIP 可連接的感測器包括：電子捕捉偵測器 (Electron Capture Detector, ECD)、光離子偵測器 (PID) 或火焰離子偵測器 (FID)、氣相層析儀等。PID 適用於烯烴、芳香族碳氫化合物 (如 BETX)；FID 適用於烷烴、烯烴、芳香族碳氫化合物 (如 Methane 或 Butane 等)；ECD 適用於含氯有機污染物 (如 TCE, PCE 等) 之定性分析。

MIP 僅為快速初篩之調查工具，建議仍應透過適當之佈點規劃，搭配必要之傳統採樣分析方式，方能準確掌握污染物濃度。必須注意的是 MIP 鑽頭在存有浮油相的地下環境時，往往會有浮油附著於管壁甚至半透膜上，且加熱溫度會在進入地下水層時下降許多，導致附著之浮油持續擴散通過半透膜，形成「拖尾 (Drag-Down)」的現象，因而造成誤判(高估)浮油厚度或地下水中污染物濃度分布的情形。存有浮油場址亦常發現污染物殘留於載流管造成連續檢測時的交叉污染^[12]。

國內採用 MIP 進行調查的費用大致在每公尺 3,000~5,000 元之間，但亦會隨所調查的深度與後端所使用的分析儀器而有所差別。部分廠商之調查費用則會以單孔的計算，則每公尺的平均費用會較低，這些費用未包含貫入機具的移機與設備搬運費與特殊耗材等的變動成本^[12]。

在無機污染物方面，較常用之 DPT 系統有二：X 射線螢光光譜儀 (XRF) 與雷射誘導崩解光譜儀 (LIBS)。XRF 為一發展成熟之非破壞性分析方法，係運用 X-ray 能量散發螢光光譜的光電作用 (Photoelectric Effect) 原理，將 X-ray 射入土壤使其中重金屬元素反射出個別特性之螢光，其中一部分的散射螢光被 XRF 偵測器接收檢測出，並據以定量。請參閱行政院環保署環境檢驗所 NIEA S322 公告「土壤和底泥中元素濃度快速篩選方法—攜帶式 X-射線螢光光譜儀分析法」。LIBS 用以分析雷射誘導之火花 (Spark) 所產生的放射光譜。此火光的產生係藉由將雷射脈衝的高能量放射，使之聚焦到樣品的一個小點上，因而使每平方公分產生超過數十億瓦的密集能量。此聚焦小點上，微量樣品會發生急速加熱、氣化及離子化現

象。之後，雷射誘導之電漿放射，再由光譜分析以得到樣品之質與量訊息。上述 XRF 與 LIBS 此二系統皆可用以偵測、鑑定及確認地表下重金屬之污染濃度達 ppm 水準。LIBS 之偵測極限約 1~10 ppm，適用於不飽和及毛細孔層。XRF 偵測極限約為 100 ppm 以下，不飽和與飽和層皆能適用^[13]。

6.1.4 DPT 地下水即時採樣

DPT 即時採樣係將內部已置放濾管之採樣器套管，貫入預先設定之地層採樣區間，使濾管裸露於地下水層中，未受擾動之地下水便經由濾管進入採樣器內，此即為採集當時新鮮之地下水樣品。此採樣方式亦可進行不同深度區間之地下水樣品採集，對於疑似或已受污染之採樣區間，於採集完樣品後，可直接封閉採樣孔，避免污染擴散之情況產生。由於採樣並未洗井擾動，亦可減少污染物於地下水層中之移動，造成不必要之污染擴散現象。

即時採樣因鑽孔與採樣分析迅速，因此適用於在污染調查時作為判定污染團邊界、搜尋污染物集中點(Hot Spots)、偏好路徑或遂行其他特殊調查目的之工具^[18]。雖然封閉式篩孔地下水即時採樣於場址調查時常被利用，但是在場址模場試驗、整治期間，有時候為了能使監測井能夠重覆採樣使用，簡易監測井之設置往往成為較好的選擇。此外，若是涉及稍長時間之採樣需求(短期監測)，則可選擇安裝簡易監測井；若是涉及較長時間之採樣需求(如中長期監測)則應設置標準監測井。

相較於標準監測井，DPT 之優點包括^[18]：

- 一、可快速採樣以提供更多資訊，有助於決策和採取動態工作計畫策略 (Dynamic Work Plan Strategy)
- 二、當資料密度的需求愈高相對成本愈低
- 三、機具選擇較多元提供較大彈性以達成計畫目標
- 四、可採取各個深度的地下水樣品以找到含水層受到污染的地層
- 五、較佳的垂直向解析能力，可產出場址的三維空間剖面，有助於修正場址概念模型
- 六、產生較少的棄土與廢棄物，不但節省時間且降低調查到有害物質時的風險

相較於 DPT，標準監測井的優點包括^[18]：

- 一、在不同的地質條件下設井受到的限制較少。DPT 無法穿過卵礫石層、岩層、破碎帶。DPT 也無法設置單眼望遠鏡式 (Telescoped Well) 穿過阻水層而可防止地下水交錯污染之跨越兩個以上含水層的監測井。

二、可設井深度遠較 DPT 機具深。

三、當需要取較大體積水樣時比較容易。

即時採樣之工具多為有開篩的不銹鋼鑽頭，依據 ASTM 的分類可區分為兩個類型：暴露篩管式（Exposed-Screen）採樣器及關閉篩管式（Sealed-Screen）採樣器等兩種類型，如圖 6-10 所示^[11,13]。前者在貫入過程中，具備井篩功能之鑽頭直接與土壤接觸，並未有套管保護，到達指定深度後即可利用具逆止閥之虹吸管、小型貝勒管或蠕動泵浦進行採樣，是一項操作簡單並適用於採集抓樣的工具。

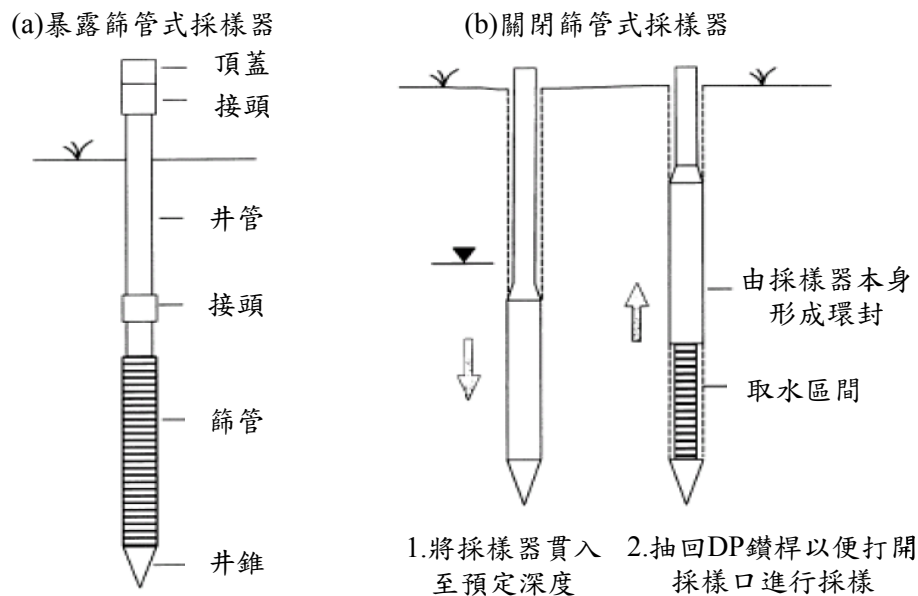


圖 6-10 DPT 即時採樣器^[13]

由於貫入過程中篩孔是暴露於外，所以有造成篩孔堵塞與交叉污染的可能性，特別是穿過不同污染地層的時候。此外，如果是用於既有鑽孔之採樣，鑽頭與延伸井管（Riser）均可能會充滿原鑽孔中之地下水，因此採樣前應該先以高壓灌水或其他方式清洗井篩。後者則在貫入過程中將具篩孔之鑽頭密封保護於套管中，在到達預定深度後，將套管向上拉起，再讓篩孔暴露於地下水層，然後以抽水泵浦或貝勒管進行採樣，可彌補開放式篩孔的部分缺點。完成採樣後可再以灌漿設備直接在套管拔出過程中，完成封孔的動作，完整的工作方法如圖 6-11 所示^[12]。

地下水即時採樣的作業程序大致分為貫入、配置、採樣與封孔等四項主要步驟，並依此說明如下，同時請參考圖 6-11 做為輔助。首先藉由貫入設備將之鑽頭貫入至適當之深度。將鑽頭中的井篩壓住固定，同時將套管

回拔，由於井篩本身被固定於特定深度，將套管回拔後，即將鑽頭中的井篩暴露於地下水層。第三步驟即進行採樣的工作，最簡單的方法是採用逆止閥搭配虹吸管採樣的方式(如圖 6-11)，但要採集較完整的樣品仍以使用氣囊式或蠕動式泵浦以及迷你貝勒管較佳。採樣完成後，即進行最後的封孔工作，此步驟首先將井篩管底部的灌漿塞使用連接桿推除後，採用灌漿噴嘴伸入底部，接著在套管拔出的同時，以高壓灌漿設備，將皂土漿打入，並隨著套管的拔出持續灌漿，待套管完全拔出後即完成封孔的工作^[12]。

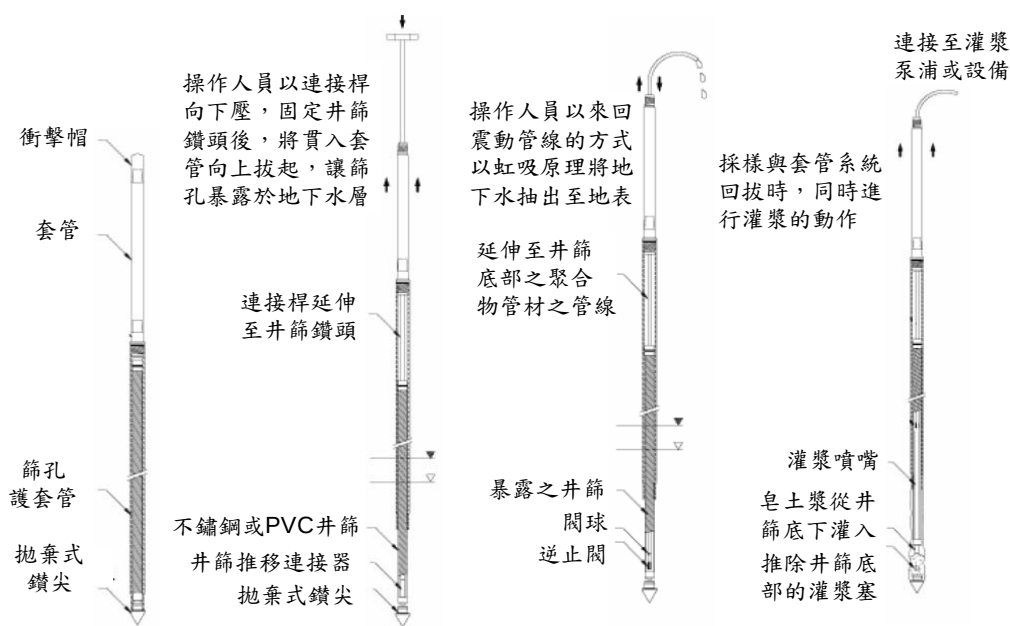


圖 6-11 封閉式篩孔之地下水即時採樣示意^[12]

DPT 執行地下水採樣方式包括：(1)單點定深度一次採樣（以下簡稱單一採樣），即於某一地點將採樣器貫入至預定深度，採完單一樣品後將鑽孔封閉；(2)單點多重深度採樣（以下簡稱多深度採樣），採集同一地點但不同深度之多次樣品，採完單一樣品後將鑽孔封閉；(3)單點定深度多次採樣（以下簡稱多次採樣），也就是單一採樣後，或結合雙桿系統將外管留置地表下，執行不同時間之多次採樣，係執行單一採樣後不封閉鑽孔，而將採樣器材置放於地表下較長時間（如數天至數週）；(4)設置簡易監測井，允許採樣工作可延續數月或數年^[13]。在此僅稱前三者為即時採樣，簡易井則不稱為即時採樣^[11]。

在地下水污染調查時，也可以在地下水流向上的定點進行垂直向多點的採樣以瞭解污染物在垂直向的分布；亦可在和污染團可能流向垂直的橫向進行採樣以確認污染團的位置和範圍^[16]。上述的即時採樣分析結果都有助於決定標準監測井設置的數量、位置、深度。

DPT 即時採樣與簡易井最常發生的問題是採樣偏差，包括：水樣濁度高、水樣干擾、取樣間距^[18]，這些偏差中除了採樣間距之外，其他的因素在標準監測井也都有影響。

DPT 在鑽孔或採樣過程中可能引發濁度，將導致產生採樣偏差。DPT 採取即時採樣因為沒有濾層（Filter Pack）且亦無完井程序，所以採到的水樣通常是混濁的；導致重金屬濃度分析結果偏高。一般可於採樣器內設置濾管、進行完井(Well Development)，或以低流量採樣方式來減低濁度干擾[13]。若採用預置濾層（Pre-Attached Filter Pack）則可降低濁度但卻也未能完全摒除濁度的問題。此外，微洗井也可以降低水樣的濁度。另一方面，因為有機污染物（VOC）通常不受懸浮物質影響，所以即時採樣可提供可靠的 VOC 篩測濃度數據。早年在桃園 RCA 場址進行污染源調查時，亦以地下水即時採樣進行篩測。

此外，DPT 在進行不同位置採樣時，採樣設備若無適當之除污，將造成干擾，甚至造成鑽孔與鑽孔之間的交互污染問題。此外，不同深度採樣時，應慎選採樣器，以避免採樣之拖尾（Drag-Down）現象或形成水力通道（Hydraulic Conduit）所引起淺層水與深層水的交互污染現象^[13]。

6.1.5 簡易井

簡易井因為設置的速度較快，採樣較為迅速，經費較低，因此在進行污染調查時較為適用；但對於地下水的長期監測而言則不建議採用簡易井。以政府的地方環保機關進行地下水污染調查規劃轄區內地下水質污染調查作業為例，應先彙整轄區內既設標準監測井及民井資料，並優先利用既設標準監測井及民井進行調查。若鄰近無既有標準監測井及民井，則以簡易井方式優先進行；如為進行污染查證、驗證及監測等作業，若鄰近無既設標準監測井，於有必要時始新設標準監測井^[10]。

且設置簡易井進行污染調查作業，以執行監測 1 次為原則，如未超過管制標準者，所設簡易井應於年度調查計畫結束或經評估無繼續使用必要後廢井；如超過管制標準者，得視需要於原設置簡易井之位置附近，重新設置標準監測井以進行查證作業，原設簡易井除經評估有繼續使用必要外，則亦應廢井^[9,10]。

簡易井以 DPT 方法鑽進，一般使用拋棄式鑽尖以減少因鑽尖重複使用而必須加以清洗、確認空白後才能再使用所造成的不便；可以增加作業的效率，並確保避免鑽尖於重覆使用時造成交叉污染的可能性。

安裝簡易監測井採集地下水樣品的方法，可採用單套管與雙套管系

統，其基本的結構如圖 6-12 所示。簡易井的安裝提供一個可以進行較長期或多次採樣的獨立採樣區域，但受限於其直徑，採樣時多採用具逆止閥之虹吸管、小型貝勒管或蠕動泵浦，而無法以標準地下水採樣方法進行^[12]。

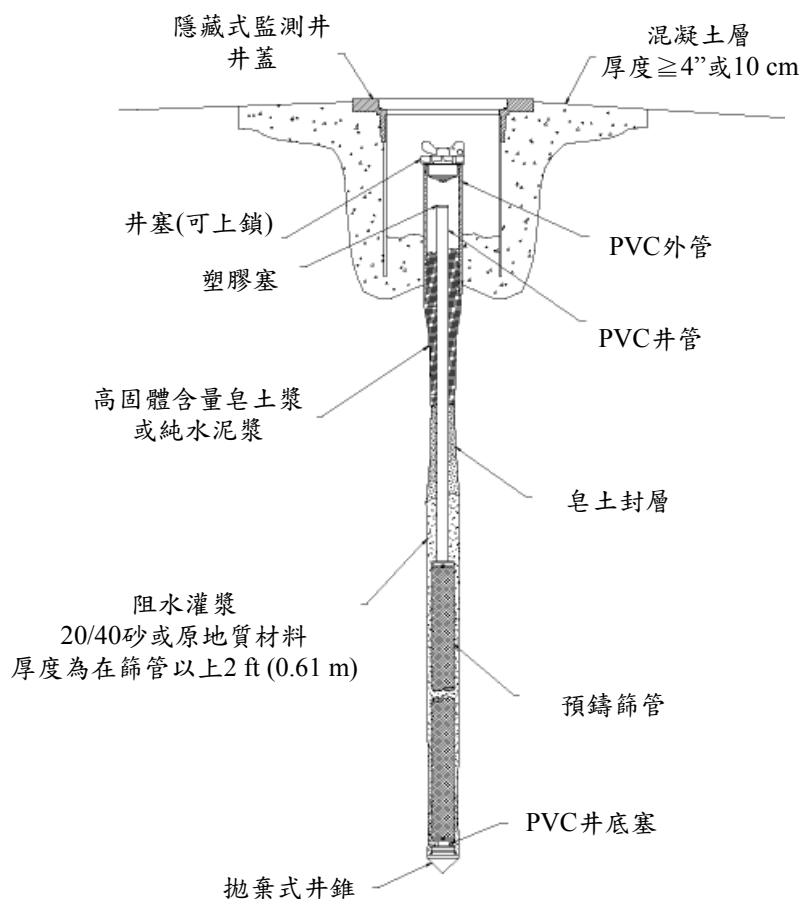
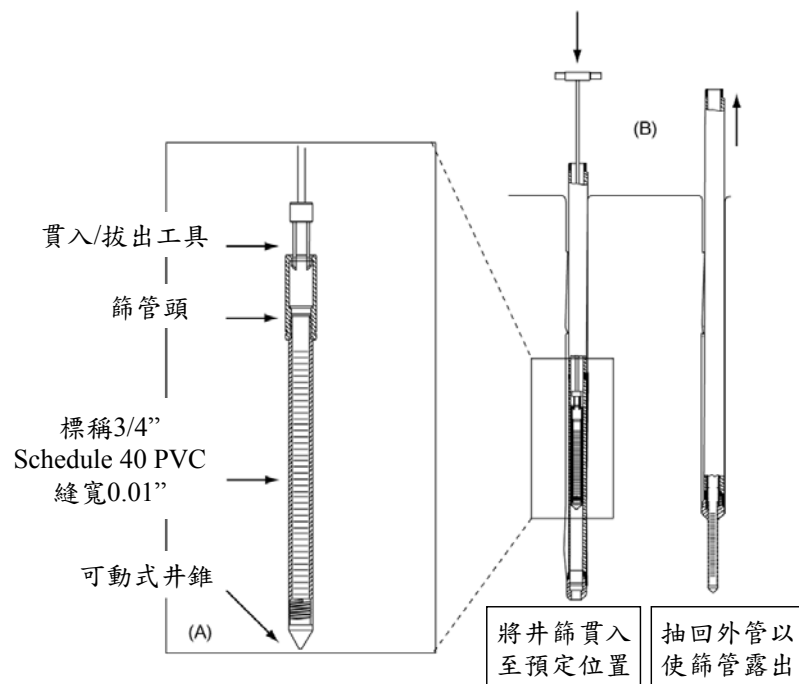


圖 6-12 簡易監測井結構示意圖^[12]

簡易井通常區分為五類，依照其設置的難易度，由易而難的排序如下：

一、無濾層（No Filter Pack）

當鑽孔完成後，直接插入井管與篩管。成本最低，濁度影響最大。當簡易井設置於非凝聚性（Non-cohesive）的顆粒性材料組成的地層中，地質料即使在孔內會坍塌貼緊井篩也可形成類似濾層作用而不會因為濁度問題影響採樣^[18]。如 Geoprobe® DT21 多功能地下水探測器（Groundwater Profiler），除可進行土壤採樣之外，亦可進行微水試驗和地下水採樣（圖 6-13）。設置簡易井時，其外管與內篩管可留置現場，直到簡易井採樣任務結束再將整套設備抽出後灌漿回填廢井。



(A) 可插入進行微水試驗與取樣之雙重管的篩管

(B) 篩管先通過外管，直至插出外管後外管往上抽回將篩管定位在預定深度

圖 6-13 Geoprobe® DT21 多功能地下水探測儀示意圖^[20]

二、內濾層 (Inner Filter Pack)

濾層設置於篩管內，從篩管底部一直延伸到高於開篩上方 150 mm (6 in.)。如此可確保所採水樣流經濾層，但若此種簡易井要能運作正常，則必須地下水位是高於濾層 0.15~0.30 m (6~12 in.)。井篩可能在黏土質環境中堵塞。

三、傳統濾層 (Traditional Filter Pack)

篩管和井管插入鑽孔後回填砂濾層。但有時可能因鑽孔坍塌而不易回填砂濾層。因濾料回填時可能和鑽孔內泥水混合，因此需要延長洗井的時間以便降低水樣的濁度。典型的 DPT 簡易井內徑為 12.5~50.8 mm (0.5~2 in.) (Schedule 80 PVC—Schedule 40 PVC)^[18]。傳統濾層可採取幾種不同的方式設置，但皆必須用適當尺寸的材料以擋住含水層材料，可參考 ASTM D5092^[17]、ASTM D6725^[21]。

四、雙層濾層 (Double Filter Pack)

和內濾層方法一樣先在篩管內填充濾料再將篩管與井管插入鑽孔中，直到內濾層頂部位於地下水位至少 0.15 m (6 in.) 以下。然後將濾料回填至篩管和鑽孔之間的空隙中。對於富含沈泥或黏土的含水層來說，這是最佳的簡易井設置方式。

五、井中井 (Well-in-a-well)

當鑽孔至預定深度時，先將 1 英吋內徑的篩管和足夠長度的延伸井管插入 2 英吋內徑的篩管和足夠長度的延伸井管，並對心置於鑽孔中。將濾料填充於內外篩管之間至約高於篩管上緣 150 mm (6 in.)，然後將整個篩管與井管插入鑽孔。

在上述的方式中，簡易井濾層設置最可靠的方式為使用預製篩管（“Sleeved” or “Prepacked” Well Screen）（圖 6-14）^[18]。篩管本體是 Type I PVC 篩管，外圍包覆經設計選擇粒徑的濾料；濾料外以不鏽鋼線環繞（適用於 VOC 採樣）或以食用級塑膠（如 PE）網包裹（適用於無機污染物採樣），並固定於篩管的上下兩端。濾層厚度約為 0.64~12.7 mm (0.25~0.5 in.)，但頗為有效^[22]。

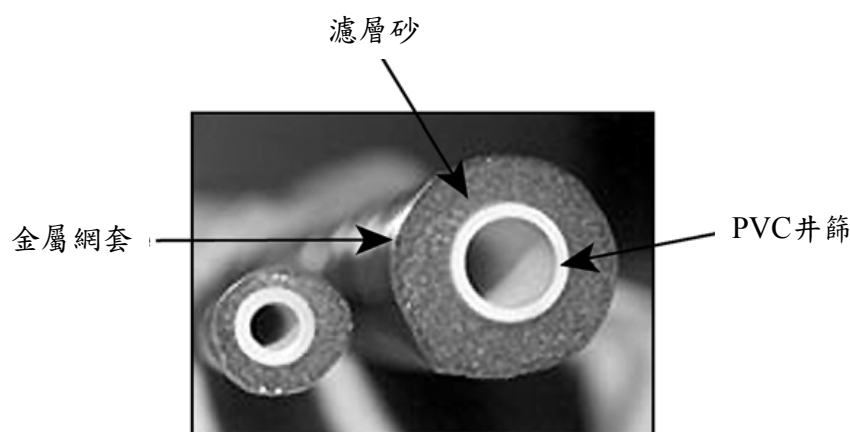


圖 6-14 簡易井之預製篩管^[20]

若是採用預包覆之簡易井，首先將簡易井置於鑽頭套管內，並在貫入過程中，每增加一段套管的同時，即於套管內增加一段井管(Riser)，直到貫入至預定之深度。配置階段則是先壓住井管以固定底部預包覆監測井的位置，將套管回拔至簡易井井篩頂部的同時，逐步由套管與井管之間隙倒入濾料(20/40 細砂)，填充井篩與土壤之間的空隙，當濾料填充至井篩頂部上方約 60 公分處，逐步由套管與井管之間隙倒入皂土，以於井管週邊形成皂土封(厚度應大於 60 公分)，最後將套管完全拔出即完成設置工作。其採樣的方法則同樣可以採用逆止閥搭配虹吸管採樣、使用氣囊式或蠕動式泵浦或迷你貝勒管^[12]。另詳細之設置規範亦可參考 ASTM Method D 6725^[21]。

簡易井亦應比照標準監測井進行完井^[15]，完井之細節參照 6.2.4 節標準監測井之完井。此外，原則上簡易井無皂土封層且無井蓋與鎖，因此地表水極易從簡易井流入地下水含水層。因此，依據環保署訂定之「場置性

地下水監測井設置及後續處理處置原則」，除經評估有特定需求，設置簡易井進行調查，原則於「採樣後」即予廢井。如設置簡易井採樣檢測發現污染物達到地下水污染管制標準情形，原則於原設置簡易井原址或附近新設標準井進行查證，所設簡易井最遲應於標準井設置完成後即予廢井，避免該簡易井遭不當利用作為干擾後續新設標準監測井採樣之途徑^[9]。

6.1.6 地下水調查流程

地下水調查之流程如下：

- 一、資料蒐集（包括場址與周遭環境資料、運作狀況與歷史資料、法令規章等）
- 二、建立初步場址概念模型
- 三、建立污染可能路徑
- 四、擬定初步調查計畫
- 五、進行初步調查地球物理、篩測
- 六、擬定地下水水質監測計畫
- 七、進行細部調查與設置標準監測井
- 八、進行分析研判與後續建議

在設置地下水標準監測井進行水質監測之前應先擬定計畫，可稱之為「地下水水質監測計畫」(Groundwater Monitoring Plan, GWMP)。因為監測井設置費用不低，且日後定期採樣分析的費用頗高，因此在規劃永久性監測井時，應該依據最可靠的資料。對於被監測的場址而言，地下水監測計畫可以對於在場址週界或排放點水質符合法規標準提供合理的保證^[23]。在規劃地下水監測計畫時，業主或環保主管機關應該評估場址的營運與污染物排放狀況以及污染排放對於周遭環境的潛在影響，並儘可能在事前與環保主管機關針對計畫協商，釐清並取得擬定地下水監測計畫必要的資訊，例如：水文地質資料、既設地下水監測井監測結果（包括水位變化與水質）等^[23]。

在進行設井規劃之前，應先進行現場踏勘，以便瞭解場址之地理與地質概況，以及場址運作和潛在的污染情形。監測井的數量和位置必須有效確認水文地質概況，所進行的土壤採樣和現場試驗必須能得到水文地質相關參數^[14]。

具體而言，在規劃監測井時除了符合法令要求之外，應該考慮下列事項^[24]：

- 一、短期與長期目標
- 二、監測井的目的
- 三、可能的地下水監測計畫時程
- 四、可能會檢測出之目標污染物
- 五、監測井的材質
- 六、地理和地質條件
- 七、一般性的場址狀況
- 八、含水層之性質
- 九、井篩位置
- 十、潛在的健康與安全危害

以美國佛羅里達州的地下水監測法令為例^[25]，地下水監測計畫之基本要項必須包括：

- 一、描述場址和周遭的物理雨水文地質特性：
 - (一) 地下水流向和流速，區域天然地下水特性。
 - (二) 主要(Primary)和次要(Secondary)孔隙率(Porosity)，含水層之水平向和垂直向導水度。
 - (三) 至阻水層或者是岩盤的深度。
 - (四) 阻水層的垂直向導水度、厚度、完整性(Competence)、範圍。
 - (五) 場址周遭的地形、土壤、地表水排水系統。
- 二、區分並標示監測井為背景水質監測井、中間(Intermediate)監測井、下游(Compliance)水質監測井。

對於疑似污染的場址，要考量的事項還包括^[26]：

- (一) 潛在污染源、污染物性質、污染物質分布
- (二) 污染排放的機制和速率
- (三) 污染物的宿命與傳輸過程
- (四) 現在的和潛在的受體
- (五) 可能的整治方法
- (六) 其他場址相關資訊

此外，計畫中亦應涵蓋監測井設置計畫和監測計畫，包括進出道路、安全與衛生、鑿井方法、除污程序(Decontamination Protocol)、設井(Well Installation)、完井(Well Development)、廢井(Well Abandonment)、採樣、

廢棄物管理、場址測量^[26]。

就本手冊所著重之潛在工業污染來說，在工業區、科學園區等區域地下水監測井網規劃及建置流程如圖 6-15 所示；其主要執行重點如下^[8]：

- 一、首先透過場址背景資料之蒐集、彙整與分析，初步評估場址地下水之狀況，預先瞭解監測井設置時所需背景水文地質資料。
- 二、依上述評估結果及場址特性，規劃欲設置監測井網之數量、位置及規格，並進行設置工作。
- 三、設置完成後應定期進行地下水採樣檢測及監測井維護，並分析檢討檢測結果。
- 四、依檢測結果，視需要進行調整規劃(如監測井數量調整、地下水採樣檢測項目及頻率調整等)。

在擬定地下水監測計畫前所需蒐集之環境背景資料及評估重點包括：毗鄰場址四周之土地利用情形、場址本身及毗鄰場址四周之地下水使用情形、場址區域之背景地下水水質監測及流向資料、場址區域之水文地質資料。蒐集場址之水文地質資料時，資料範圍除場址本身外，涵蓋場址周圍約 1 公里範圍內之區域。

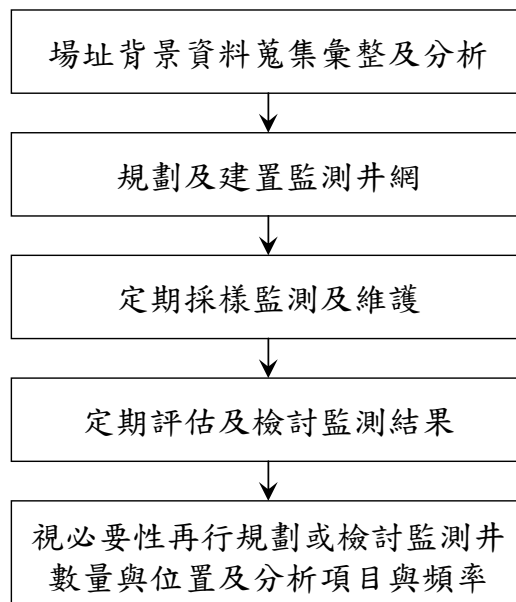


圖 6-15 地下水監測井網規劃建置流程^[8]

在地下水井網設計時，若調查目標包括含氯有機溶劑污染時，則因此類污染物的特殊性而必須強調篩測的重要性，以及提高監測井設置的數量。因地質變化及含氯有機溶劑之特性導致污染物傳輸路徑與分布狀況極不易掌握，以土壤採樣或土壤氣體採樣篩測均較不符合效益。此二方法僅針對非飽和層有效，對於尋找污染源或污染集中區(Hot Spot)是不得不採取的方法。但對於場址的地下水污染調查或偵測來說，寧可以地下水採樣分析為之，至少可藉由地下水中污染物的存在與否初步判定是否場址有可能遭到污染。對於運作中工廠調查而言，因不易靠近製程區或儲槽區等污染潛勢區，加上地質變化及含氯有機溶劑特性，因此運作中工廠土壤氣體篩測或土壤採樣宜採「宜少勿多」；地下水污染團因流動、延散之分布而且相對於土壤介質較易採集，因此對運作中工廠等潛在污染場址的地下水監測井設置與採樣分析寧可「宜多勿少」。若光廠區地質材料屬砂質、沈泥，且大致以能掌握污染潛勢區，則可多利用 MIP 調查，並根據其結果決定土壤與地下水採樣位置與深度^[27]。

在地下水之檢驗分析項目方面，由於本手冊係針對工業場址之監測，因此一般可參考環保署現行公告之「地下水污染監測標準」及「地下水污染管制標準」中所列污染物項目，並就場址特性、監測目的等因素予以考量後，選擇適當之污染物項目。地下水之採樣檢測頻率一般可分為每季 1 次、每半年 1 次及每年 1 次等，至少應每半年 1 次，並至少包含地下水豐、枯水期。

此外，考量國內外各項環境保護標準逐漸嚴格，且不少事業場址位於工業區中或於工廠密集地帶，為求善盡環境管理責任並保障自身權益，各事業可針對本身製程之原料、中間產物、廢棄物中所含的特殊成分於地下水中的濃度定期檢測。有特殊必要時亦可分析基本的水文地質化學參數，包括： Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- ，以瞭解場址地下水水質的特性與自然變化趨勢。

如場址設有 3 口以上之監測井可供量測地下水之絕對高程水位，一般常可利用三角網格法 (Triangulation) 或簡易軟體(如 Surfer)推估地下水流向。近年來國內亦有案例使用「單井流向流速測定儀」輔助研判流向。推估地下水流向時，建議有長期之水位監測資料進行綜合研判。此外，小區域範圍之地下水向常受外在因素(如地下建物設施、抽水等)之影響，應列入評估時之考量。

檢測結果應與現行「地下水污染監測標準」及「地下水污染管制標準」比較，以直接研判場址地下水質之污染情形是否已達法規標準。若檢測結

果雖未達上述法規標準，惟已有測值檢出，除可能為背景水質因素造成外，亦可能地下水已有遭受輕微污染情形，應持續監測及觀察。於累積一定數量之檢測數據後，應分析污染物濃度是否有顯著上升趨勢。

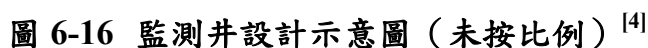
6.2 地下水監測井之設置

在標準監測井的設置方面，目前國際上較主要的規範 ASTM D5092 顆粒性材料含水層地下水監測井設計與設置標準作業方法^[17]，而我國則由環保署於 91 年 12 月 27 日所公告「地下水水質監測井設置規範」^[4]提供各界設井時遵循；本節中將綜合國內外之規範針對監測井之構造、材料與設置方法進行說明。

6.2.1 監測井構造

標準監測井之構造如圖 6-16 所示，其直徑為 2 英吋，鑽孔孔徑為 6~8 英吋。若有特殊需要，則監測井直徑得為 4 英吋，鑽孔孔徑為 8~12 英吋。其深度依監測井址當地地下水存在深度及含水層型態(受壓或非受壓)而定^[4]。內徑 2 英吋的監測井已可滿足各種現場水質量測、洗井、採樣的需要。若必須利用監測井作為抽水試驗的抽水井或未來有可能將監測井用途轉變為整治時之抽水井或灌注井，則可考量用 4 英吋內徑之井管^[17]。

監測井內部為井管 (Well Casing) 與篩管 (Well Screen)，井管保持監測井內部的淨空，提供採樣與各項量測的通道。井管下方為篩管，篩管上有開孔，提供地下水或其他的污染物質進入監測井的路徑。在篩管之外為濾層 (Filter Pack)，其設置的目的係為確保地下水進出監測井暢通且於採樣時使得地層中的細顆粒土壤被阻擋在篩管之外，以免高濁度影響採樣。主要濾層 (Primary Filter Pack) 以礫石材料為主，其上為石英砂之次要濾層 (Secondary Filter Pack)，以防止上方封層之皂土侵入主要濾層影響採樣。在濾層以上為封層 (Annular Seal)，多半以皂土為材料，封堵地面水與含水層中管以上深度的水進入監測井。封層之上以灌漿回填 (Grout)，進一步降低地表水進入監測井之可能，以避免地表人為活動對監測井之干擾。在地表必須設置保護座與警示柱，於井管之外設置不鏽鋼保護套管與井頂蓋 (Well Cap)，井頂蓋必須上鎖。監測井必須設置標示牌，標示監測井編號、井深、開篩深度、座標、維護管理單位等必要之資訊。



6.2.2.1 鑿井

6 - 28

備相關。因此除了前述方法之外，其他鑽探方法，實心螺鑽、旋鑽（包括乾式、濕式（水或穩定液）旋鑽）等也都可以在地質條件需要時採用。

中空螺鑽，鑽桿即為套管，無須拔除鑽桿，利用鑽桿中空進行土壤採樣與設置監測井，同時有利於使用另一套尺寸較小的中空螺鑽鑽穿阻水層設置監測井而不會有交錯污染的問題。中空螺鑽可以鑽孔至約 45 公尺(150 ft)深，但通常較少超過 30 公尺(100 ft)^[15]。但在台灣因為平原地區多為沖積層經常有卵礫石層或卵礫石夾雜在砂層、黏土層中，因此中空螺鑽在台灣的適用性低。

表 6-3 常見設井工法之適用情形及特點比較表

比較項目	氣錘式鑽堡	中空螺鑽	水沖+旋鑽+頓鑽
鑿井深度	至少可達 100 公尺	最深約 30 公尺	無限制
適用地層	無限制	砂、沈泥	無限制
優點	■ 貫穿卵礫石層最為容易 ■ 不需穩定液 ■ 土壤取樣品質較高 ■ 設井速度較快	■ 不需套管 ■ 不需穩定液 ■ 土壤取樣品質較高 ■ 可於鑽桿內部取樣與設井	■ 技術與設備較為普及 ■ 價格較低
缺點	■ 以高壓氣體噴出岩土碎屑可能影響土壤中有機污染物之分析 ■ 價格較高	■ 無法貫穿卵礫石層與岩層 ■ 國內設備與技術較不普及	■ 卵礫石層、砂層需使用套管或穩定液 ■ 回流水或穩定液必須要處理 ■ 穩定液可能影響監測井設井與採樣品質
經費*	12~16 萬元/口	9~12 萬元/口	6~9 萬元/口
時間*	1~2 天/口	2~3 天/口	2~3 天/口

註：1. 以 15 公尺深 2"直徑監測井為參考。

2. 本表修改自參考文獻[8]。

國內常用的鑽堡即為氣錘式鑽機，鑽桿除了可以旋轉之外，也有軸向的震動力往下作用。每鑽進一段深度中間的鑽串拔出至地表取出其中的含水層材料，但外圈的鑽桿不動類似套管可以保持鑽孔完整。含水層材料碎屑取出可以判識地層特性。氣錘式鑽機在卵礫石層的鑽孔速度也很快。

依據「地下水水質監測井設置規範」，非拘限含水層在豐水期較高地下水位時鑽孔至當時地下水位面下 5 公尺處；在枯水期較低地下水位時鑽孔至當時地下水位面下 1 公尺處；若枯、豐水期地下水位面變化超過 4 公尺以上，則應考慮多深度監測，或在不影響洗井時間及監測目的情況下，得改變井深及井篩長度，並應詳細紀錄原因^[4]。

鑽穿阻水層的監測井在鑽探時必須使用兩套套管，在上層鑽孔時採用

較大的第一套套管，本套套管不得穿過阻水層。依據「地下水水質監測井設置規範」，貫穿阻水層(Aquiclude)或滯水層(Aquitard)進入含水層，鑽孔至含水層 2 公尺處。為防範錯接污染(Cross Contamination)，鑽孔至阻水層或滯水層上部時應立即暫時中止鑽孔，於原始鑽孔中下 6-8 英吋套管。於此護管中繼續鑽孔，鑽穿阻水層或滯水層至含水層 2 公尺處。必要時，可先將原始鑽孔擴孔至適當孔徑，再下 6-8 英吋護管以利鑽鑿。視實際抽除難易而定，此護管於設井時完全抽除或部分抽除至阻水層或滯水層底部。無論護管抽除與否，均需在護管內進行灌漿封層工作，以確實避免錯接污染^[4]。內外兩套井管之間的灌漿回填，可阻斷任何上層含水層的水進入監測井內部的通路，也就不可能有水會沿著井管外緣穿過阻水層進入第二含水層。然而，許多狀況下阻水層厚度並不厚，因此國外規範要求在大套管鑽至阻水層約 0.6 公尺 (2 ft)，即可進行灌漿回填，漿液固結後再以較小直徑的套管繼續鑿穿灌漿區段^[15]。

為了要設置高品質的監測井，因此鑿井最好不要使用穩定液。但有時在設井深度較深，且遇到砂層時，除了使用套管之外，往往必須使用穩定液才能使鑽孔的下部維持不坍塌。我國規範中要求若需使用穩定液時，其鑽泥(Drilling Mud)必須採用可自然分解之人工合成鑽泥^[4]。但在國外規範中，穩定液規定必須採用皂土，若必須使用如聚合物等其他材料的穩定液，則必須先取得專業人員的建議和認可^[14]。

岩層中設置監測井的方式有兩種，一為先鑿穿土層至岩層，當大套管進入岩層後先行灌漿，待漿液固結後再搭配較小的內套管鑿穿進入岩層。在岩層內應以旋鑽方式進行較佳，不僅可連續取得岩心，並可確保不因鑿進導致周圍的岩體破碎。當鑽孔完成後，在依照標準監測井的設置方法設置監測井。第二種方法和監測第二含水層的雙井管監測井類似，外井管設置到岩層的表層，其中再設置較小的第二套井管和篩管^[15]。

鑿井完成後，必要時可施作微水試驗(Slug Test)求得土壤之導水度(Hydraulic Conductivity, K 值)，以瞭解地下水流動速度並綜合其他資訊污染物可能之傳輸速率。微水試驗最好能在鑿井完成、設井之前的裸孔進行，以避免設井後井篩與濾層對於試驗結果之影響。

6.2.2.2 土壤採樣與判識

設井過程中應進行土壤連續取樣及判釋，當發現阻水層(通常為緻密的黏土層)時應停止鑽進，如不慎貫穿阻水層，除採得之水樣將失去第一含水層之代表意義外，倘場址存有污染情形，甚將造成污染擴散^[15]。在此要特別說明的是所謂的「連續取樣」並非指百分之百取樣，亦即並非取樣必

須符合「提取率」達到 100%。因為事實上無論是在礫石層、砂層或黏土層劈管、薄管均無法進行連續取樣。以雙套管或三套管鑽桿連續取樣，在黏土層和岩層相當容易，但在礫石層和砂層中都相當困難，取得的土樣往往已經流失許多。以我國平原地區的含水層常為砂層或礫石層來說，若要連續取樣得到高品質的土樣，而必須以冰凍工法先將地下水位面以下飽和的砂層或礫石層冰凍後，才能以鑽取岩心的方式連續取樣。在此所謂的「連續」取樣，是要求必須對於地層的材料變化能夠充分掌握；亦即以合理可行的方式對於監測井所在的地層取得資料以便做完整的描述。

不論是以何種方式鑿井，欲進行土壤採樣時係在抽出中間的鑽串後，以傳統大地工程的鑽串可進行標準貫入試驗並做劈管取樣或以 2 英吋、3 英吋薄管進行不擾動取樣。依據「地下水水質監測井設置規範」，土壤取樣每一口監測井在鑽孔過程中必需使用劈管(Split-Spoon)、薄管(Thin-Wall Tube)或岩心管取樣器作「連續」取樣。劈管取樣方式及操作須遵循 ASTM D1586^[28] (每 1.5 公尺進行一次標準貫入試驗與劈管取樣)，薄管取樣方式及操作須遵循 CNS A3284^[29] 或 ASTM D1587^[30] (在地層有明顯變化時或黏土層中進行取樣)。在鑽孔過程中若有卵礫石層，則在此層中不必使用上述取樣器作連續取樣，可用適當方式取得土樣以供參考，但必需記錄卵礫石層的深度及厚度。研析土樣填寫土樣柱狀圖。土樣應依取樣深度依序貯存於土樣箱。若在其深度土樣有所缺失，應在土樣箱相對深度處標明缺失。存入土樣箱之土樣需用適當方式封存防止水分漏失或入侵。含水層中的土樣應在試驗室內遵循 ASTM C136^[31] 進行篩分析，以求得含水層土樣之粒徑分布曲線、有效粒徑、均勻係數(Uniformity Coefficient, C_u)及其它相關資料以備濾料與井篩設計時之用。土壤特徵應依循 ASTM D2488^[32] 所規範之統一土壤分類法 (Unified Soil Classification System, USCS) 描述之^[4]。

但實際上在鑽孔時，一般大地工程上之常規為地表下最淺 3.0 公尺土壤、以及每鑿進 1.5 公尺或地層有明顯變化時，都應進行劈管採樣，以利進行土壤的試驗與分類。連續採樣成本過高，實際上不太可能進行連續取樣，尤其是劈管採樣係配合標準貫入試驗 (Standard Penetration Test, SPT) 進行，不可能在鑿井過程中連續為之。薄管取樣係以靜壓取樣，通常亦無法於鑿井時連續進行。此外，往往含水層多為卵礫石與砂，不可能以薄管或岩心管連續取得不擾動土樣，僅能每 1.5 公尺以劈管取得擾動土樣。因此，在實際設置監測井時，必須將「地下水水質監測井設置規範」中之要求加以修正。此外，取得土樣所必須進行的試驗必須在監測井設置計畫中預先擬定。一般而言，至少會進行土壤物理性質分析 (包括粒徑分析、阿

泰堡限度分析、比重、含水比)，以便得知土壤分類和其概況^[14]。

在某些污染場址的調查時，若土樣必須進行 VOC 的分析，則在取樣器內應該有以適當材質製造的塑膠內管。但鑽堡設井鑽孔過程中的 VOC 或 SVOC 採樣必須注意因為鑽桿和土石摩擦產生的熱和高溫可能使 VOC 或 SVOC 散失，因此必須特別謹慎而採取適當的步驟為之^[16]。

6.2.3 監測井材料選擇與設計方法

地下水監測井看似構造簡單，但是事實上為了取得高品質的地下水水樣，監測井的每一個細節都經過嚴謹的考量，包括各構件的材質、各構件與材料之尺寸、各構件的性能等，以利在各種水文地質條件與不同類型污染物特性的狀況下發揮最佳效能。

6.2.3.1 井管與篩管材料

監測井的材料選擇首重相容性，以確保井管和篩管材料不會導致有外來物質進入地下水或將地下水中的成分移除。因此當主要監測的對象是有機物時，不鏽鋼(SS304 或 SS316，但以 SS316 較佳)井管和篩管是最佳選擇；而當無機物為主要監測對象或當地下水的鏽蝕潛能較強時則應採用 PVC 井管和篩管（表 6-4）。PVC 材質應符合 National Sanitary Foundation (NSF) Standard 14 Type WC (Well Casing)。當溶解相的有機污染物和 PVC 相容時，亦可採用 PVC 井管和篩管；相容性可參考美國環保署的非水相液體和井體材料相容性指引^[33]。另一方面材料的強度也要足以讓監測井在其生命週期中確保其功能。當地下水質與 PVC 材料化性不相容時，由業主決定選用不銹鋼(SS-316)、鐵氟龍(Teflon)或其他化性相容材質來代替 PVC^[4]。監測井的井管和篩管若為不鏽鋼者則必須採用相同的材質以避免因相異材質間發生氧化還原引發鏽蝕。

依據「地下水水質監測井設置規範」，標準監測井之井管及井篩均為 2 英吋或 4 英吋^[4]。監測井材質一般可分為 PVC 及不鏽鋼兩種，不鏽鋼材質雖然價格較高，惟由於其具有較可抗污染物腐蝕，較不易受外力(如地震)因素變形，及較不易使生物膜附著等優點（表 6-5），如監測井設置目的係以長期性監測為主要功能需求，仍建議採用^[8]。

採用 PVC 之井管與井篩時，可使用厚度 Schedule 40（管壁厚度之規格，見表 6-6）之材料，螺紋式(Flush-Threaded)接頭之 PVC 材質；當井深超過 20 公尺時，可改用 Schedule 80 來增加井管的強度^[4]。且若監測井回填採用水泥漿，則亦應使用至少 Schedule 80 的 PVC 井管，避免水泥水化產生的熱導致井管變形^[34]。

PVC 材質之篩管開孔通常為於 PVC 管上切割橫條細縫，不鏽鋼篩管則通常為鋼線纏繞鋼棒而成；不鏽鋼篩管的開孔率較大，水的流通性較佳。使用 PVC 篩管時禁止使用現場作業人員人工切割篩縫的篩管，且 PVC 井篩底部須用螺紋式接頭底蓋封實。篩管縫寬的選擇將在 6.2.3.3 節中與濾層粒徑尺寸一併討論。

表 6-4 監測井材質的相對相容性^[26]

具反應潛能之物質	監測井材質						
	PVC	鍍鋅鋼	碳鋼	低碳鋼	SS04 不鏽鋼	SS316 不鏽鋼	鐵弗龍 (Teflon®)
微酸(Buffered Weak Acid)	100	56	51	59	97	100	100
弱酸(Weak Acid)	98	59	43	47	96	100	100
無機酸/高固體含量	100	48	57	60	80	82	100
水與有機物混合物	64	69	73	73	98	100	100
整體評分百分數	91	58	56	59	93	96	100
監測井材質初步評比排序	4	6	7	5	3	2	1

表 6-5 不鏽鋼、PVC、鐵弗龍(Teflon®)三種監測井材質之比較^[26]

性質	不鏽鋼	Schedule 40 PVC	Teflon® 鐵弗龍
強度	可用在深井以防止井篩緊閉和井管擠壓	當剪力強度和抗壓強度的考量較不重要時可採用	強度很低，不適合用於深井
重量	重量較重	重量輕	重量相對較輕
成本	價格較貴	便宜	價格昂貴
腐蝕性	在具有腐蝕性的水中鏽蝕較快，特別是當暴露於硫酸中時	不會鏽蝕，但可能遇到高濃度的酮類、芳香族、硫醚/烷基硫、含氯碳氫化合物時較易被侵蝕	不受化合物、微生物、氧化、風化、紫外線等侵害
易使用性	現場不易調整尺寸和長度	現場容易加工調整	現場相當容易加工和調整
準備工作	若之後採樣以有機物為主則必須先使用蒸汽清洗	禁止使用黏膠，井管、篩管需用螺牙或壓力接合。若監測井中已知有污染物則使用前必須用蒸汽清潔。	若必須採取含有機物水樣而進場時未由製造廠包裹保護膜則應以先以蒸汽清潔
與污染物之交互作用	氧化後可能吸附有機物或無機物	可能吸附或釋出有機物	幾乎完全惰性，儘可能與含鹵素有機物起作用而吸附少量有機物。除非是在出水量極低而僅能不洗井採樣的情況下，否則上述狀況發生的機率很低

表 6-6 標準管徑表（僅節錄監測井常用者）

NPS	DN mm	OD inches (millimeters)	井管厚度 英吋(公釐)					
			SCH 5	SCH 10	SCH 30	SCH 40/STD	SCH 80	SCH 120
1	25	1.315 in (33.40 mm)	0.065 in (1.651 mm)	0.109 in (2.769 mm)	---	0.133 in (3.378 mm)	0.179 in (4.547 mm)	---
2	50	2.375 in (60.33 mm)	0.065 in (1.651 mm)	0.109 in (2.769 mm)	0.125 in (3.175 mm)	0.154 in (3.912 mm)	0.218 in (5.537 mm)	0.250 in (6.350 mm)
4	100	4.500 in (114.30 mm)	0.083 in (2.108 mm)	0.120 in (3.048 mm)	0.188 in (4.775 mm)	0.237 in (6.020 mm)	0.337 in (8.560 mm)	0.437 in (11.100 mm)

6.2.3.2 井篩設計

原則上篩管長度愈短愈好，最多不應超過 3.0 公尺(10 ft)而且最好只有 1.5 公尺(5 ft)，不僅監測數據可以更精確，而且可以避免含水層內部的交錯污染。當含水層垂直向異質性較高、導水度變化較大時，前述考量特別重要^[34,35]。然而，我國的相關規範有關篩管的設置與目前國外相關規範有些差異，且未能將場址的水文地質特性和污染傳輸的特性做較為較為深入的說明。

依據「地下水水質監測井設置規範」，井篩長度方面，建議於非拘限含水層之監測井採用 6 公尺長之篩管，豐水期間高地下水位情況，需有 1 公尺井篩置於地下水位面之上，5 公尺之井篩置於地下水位面之下；枯水期間低地下水位情況，需有 5 公尺井篩置於地下水位面之上，1 公尺之井篩置於地下水位面之下。拘限含水層之井篩長 1 公尺，置於阻水層或滯水層下方 1 公尺處，或為符合監測目的，得置於含水層中合適深度，並應於紀錄中說明。比水輕之可溶性或非可溶性污染物監測井鑽孔的深度，在豐水期高地下水位情況，鑽孔至當時地下水位面下 5 公尺處；在枯水期低地下水位情況，鑽孔至當時地下水位面下 1 公尺處；若枯、豐水期地下水位面變化超過 4 公尺以上，則應考慮多深度監測^[4]。

在鑿井時，有時為了節省成本而在監測井鑽孔時超鑽以進行地質調查、瞭解含水層的地質分層、確認阻水層的深度與厚度，或者是為了設置監測井本身的沈泥管（Sediment Trap）。但這樣的做法較易導致日後監測井的問題，因此較妥當的方式是地質調查部分另外鑽鑿鑽孔，調查完畢後立刻回填。但事實上，通常最好不要設置沈泥管。但若地質條件導致有必要設置沈泥管，則篩管底部必須高於鑽孔底部 0.15~0.9 公尺(6 in~3 ft)。若使

用皂土顆粒封填鑽孔底部，則皂土上方至少必須先回填至少 0.3 公尺(1ft) 的濾料然後在其上安置井篩。此外，在懷疑有 DNAPL 污染的場址鑽孔時不應超鑽 (Overdrilling)，監測井的篩管應該設置在鑽孔底部；且在濾層不應延伸至篩管底下，以免即使當地下水流主要是水平向流動時懸浮顆粒和液相之 DNAPL 依然沈降到篩管底下，導致未發現液相之 DNAPL^[34]。

篩管開篩縫寬的選擇必須配合濾料的尺寸，以避免縫寬太大使得濾料在完井和洗井採樣時隨水流進入井中，破壞了濾層的完整性，進一步導致含水層的材料通過濾層與篩管進入井中影響水質。表 6-7 中為濾層材料粒徑與含水層材料粒徑以及井篩開孔尺寸之間的對照表。更多有關濾料尺寸與篩管縫寬的細節將於 6.2.3.3 節中討論。

表 6-7 篩管縫寬與濾層材料尺寸對照表^[26]

井篩縫寬 (mm)	井篩縫寬 (Inches)	井篩縫寬號數 Screen Size Slot Number	濾層濾料尺寸 (US 標準篩篩號)
0.125	0.005	5	100
0.254	0.010	10	20 to 40
0.508	0.020	20	10 to 20
0.762	0.030	30	10 to 20

6.2.3.3 濾層

許多監測井設置相關規範僅提及「濾層」，但部分較嚴謹之規範除了在環繞篩管之「主要濾層」外，在主要濾層的上方還設置了「次要濾層」。在本文中除非特別註明，否則「濾層」即指「主要濾層」。

主要濾層 (Primary Filter Pack) 係由顆粒狀的矽質材料或玻璃珠構成。率層的材料應該粒徑均勻 (Uniformly Graded)，這些材料必須經過篩選和清洗，潔淨、不含有任何影響取得的地下水水樣水質的其他物質。濾層應該自篩管底部起包覆篩管至篩管上緣 0.9 公尺(3 ft)以上，但至多不應該超過 1.5 公尺(5 ft)。這一段額外的濾層可容許在完井、洗井過程中進入濾層的細顆粒土壤沈澱，且拉長篩管和皂土封層之間的距離^[26]。濾層材料粒徑的大小必須依據含水層地質材料粒徑的大小決定。

在粒徑較大的地層中應將篩分析的結果繪製粒徑分布圖，求出對應於過篩率 60%與 10%的粒徑 D_{60} 與 D_{10} ，計算均勻係數 (Uniformity coefficient,

C_u)

$$C_u = (D_{60} / D_{10})$$

均勻係數代表粒徑的均勻性， C_u 愈小顆粒愈均勻， C_u 值為 1 代表所有顆粒都是同一粒徑。通常濾層材料的 C_u 應小於 2.5^[24]。

整體而言，在選擇濾層材料和篩管時，應考慮以下事項^[24]：

- 一、篩管縫寬可擋住濾層材料的 90%。
- 二、濾層材料應該愈大愈好以降低洗井時的水頭損失，以便防止過多細砂、沈泥、黏土進入井中的機會，降低濁度。
- 三、粒徑不均的濾層不適用乃因其較小顆粒填充了大顆粒之間的孔隙而提高了水流的阻力。因此濾層材料顆粒除了愈均勻之外，形狀愈圓愈好。
- 四、濾層設計是依據地質材料的最小粒徑。

濾層設計的步驟如下^[24]：

- 一、求出地質材料的粒徑分布曲線。
- 二、將粒徑分布曲線上過篩率 30% 對應的粒徑 D_{30} 乘以 4~9 (Pack-Aquifer Ratio)；若地質材料為細顆粒材料且較均勻($C_u < 3$)則取 4，若地質材料顆粒較大且較不均勻則取 6，若非常不均勻且含沈泥則取最大值 9。此因子數值較小的濾層，通過濾層的水頭損失較大。若要設計水頭損失小且穩定的濾層， D_{30} 應該乘以 4。
- 三、將上一步驟所得的 D_{30} 繪製在粒徑分布曲線的橫軸上，然後以之為端點繪製一條 C_u 約為 2.5 的粒徑分布曲線。
- 四、以上述曲線為準繪製出與之平行且粒徑差距約 8% 的曲線。此區間即為濾層材料的粒徑分布曲線的區間。
- 五、依據可擋住濾層材料 90% 的原則選擇篩管縫寬。亦即篩管縫寬約為濾層材料的 D_{10} 。

依據「地下水水質監測井設置規範」，井篩及其上端井管 60 公分處之外圍需用濾料填實。亦即濾料需自井底向上填充至超過井篩上部 60 公分。濾料必需乾淨(由清水或蒸氣清洗)，淘選良好(均勻係數介於 1.5~2)圓形顆粒之石英砂。表 6-8 中為我國規範中濾料粒徑、含水層土壤粒徑與篩縫寬度的相關性。若含水層由不同粒徑的土層組成，則 D_{10} 選用最細的土層為代表^[4]。

濾料粒徑的選擇應該依據地質材料篩分析結果決定。若所監測的地層

材料主要為細顆粒土壤（沈泥、黏土），則可能導致無法找到合用開孔的井篩和濾料。在這種狀況下，可使用 0.010 英吋縫寬的井篩，相當於標準篩 20~40 號篩粒徑的濾層；或 0.005 英吋縫寬的井篩和相當於標準篩 100 號篩粒徑的濾層。表 6-9 中為美國環保署建議的規格^[24]，更詳細的資料可參考 ASTM D5092^[17]。

表 6-8 濾料粒徑、含水層土壤粒徑與篩縫寬度的相關性^[4]

含水層土壤 D_{10} (mm)	濾料粒徑(mm)	篩縫寬度	
		inch	mm
小於 0.3	0.3-0.6	0.007	0.178
0.3-0.6	1.0-2.5	0.010	0.254
0.6-1.18	1.5-3.5	0.020	0.508
1.18-2.3	2.5-4.0	0.050	1.270
2.3-4.5	4.0-8.0	0.090	2.286
大於 4.5	4.0-8.0	0.150	3.810

表 6-9 細顆粒地質材料中濾層規格^[24]

篩管縫寬(mm)	濾層材料篩號	D_1 (mm)	D_{10} (mm)	D_{30} (mm)	D_{60} (mm)	均勻係數 (C_u)範圍
0.127~0.152 (0.005~0.006 in)	100	0.09~0.12 (0.0035~ 0.0047 in)	0.14~0.17 (0.0055~ 0.0067 in)	0.17~0.21 (0.0067~ 0.0083 in)	0.22~0.34 (0.0085~ 0.0134)	1.3~2.0
0.254 (0.010 in)	20~40	0.25~0.35 (0.0098~ 0.0138 in)	0.40~0.50 (0.0157~ 0.0197 in)	0.50~0.60 (0.0197~ 0.0236 in)	0.50~0.80 (0.020~ 0.0315 in)	1.1~1.6

6.2.3.4 封層與回填

濾層上的封層由次要濾層（Secondary Filter Pack）和皂土封層構成，以防止回填灌漿的漿液滲入主要濾層。依據國外相關規範對於次要濾層與皂土封層的厚度要求不一，如：次要濾層厚度 0.6 公尺(2 ft)，皂土封層 0.9 公尺(3 ft)厚^[34]、或皂土封層厚度應為 2 公尺^[35]。

視鑽孔深度和水文地質條件所需，在設井時可能必須設置高度 0.3~0.6 公尺(1~2 ft.)的次要濾層，例如細砂就可以做為次要濾層的材料。次要濾層的設置可以防止皂土封層中的皂土侵入主要濾層；此外，也可以在皂土封層和回填灌漿之間設置次要濾層，以防止以防止含水泥的漿液侵入皂土封層。另一方面，當皂土封層位於地下水位以上時，應該用次要濾層取代皂土封層^[35]。次要濾層的平均粒徑 D_{50} 應為主要濾層平均粒徑 D_{50} 的 1/3~1/2，

但不得大於 0.833 mm (20 號篩)^[34]。

依據「地下水水質監測井設置規範」，次要濾層為至少 20 公分厚之 0.1~0.2 mm 石英細砂；其上厚度 0.6 m 之皂土封層用 1/4 至 1/2 英吋直徑丸狀或扁粒狀(Pellets 或 Tablets)的皂土粒填實^[4]。皂土粒 (Bentonite Pellet) 是以乾皂土壓製而成。若監測井設置時用水泥漿回填，則一定要使用皂土粒以防止水泥漿進入濾層和篩管，且絕對不可以用皂土粉或現場揉製的皂土丸代替；若採用皂土漿作為回填材料則仍以採用皂土粒為封層材料為優先。由於皂土粒水化速度快，因此有時施工不易，除了直接倒入外，若以特密管(Tremie Pipe)讓皂土粒滾落並伴隨以乾淨的水沖下效果較佳。填充後可再以器具下孔擣實，以防止有皂土粒互卡導致妨礙其上其他皂土粒落下造成封層中有空洞。當使用水泥漿回填時，皂土封層應先行水化 8 小時或製造商建議之水化時間（二者中取其較大者）之後才能進行灌漿。若地下水位較低，未達皂土封層的高度，則應以自來水或相當的潔淨水灌入井中使皂土水化^[35]。

監測井井管和井壁間應該以含皂土的泥漿、純水泥漿、水泥和皂土混合漿回填以防止地表滲漏影響監測。在「地下水水質監測井設置規範」中，井管與井壁之間回填材料的敘述有兩處，且有所出入；看來以使用波特蘭一號水泥(Portland Type I Cement)拌合的水泥漿(Neat Cement Grout)或含 5%皂土的水泥漿(Bentonite Cement Grout)皆可^[4]。

然而，實際上因水泥漿有水化熱和易乾縮的問題，因此國外的相關規範大多較不建議以水泥漿回填，除非有其他特殊的理由，否則應以皂土漿為優先選擇。灌漿若使用皂土漿則其固體重量約為水重的 20~30%，其最低密度約為 1.2 g/cm³，以確保水化後充分緊實且維持低透水性。皂土漿的優點是當皂土水化後其膨脹壓可以維持回填材料和監測井孔壁的緊密接觸，且皂土柔性較高，比較不易產生乾縮裂縫，使得污染物沒有縫隙可以穿過^[14]。皂土漿拌合後以特密管填充，自皂土封層起一直到距離地表 0.6 公尺或霜凍深度左右（二者中取其大者）。皂土漿灌漿完畢後，至少應先等待 24 小時之後才可進行監測井基座的施工^[35]。

當地下水或土壤水中含有高濃度的溶解固體或特殊的成分會導致皂土水化不良時，則可採用水泥漿代替。水泥漿應以每袋 Type I 波特蘭水泥 (ASTM C 150)(42.7 kg、94 lb)混合 22.7 L(6 gallons)水拌合，拌合後密度約為 1.8 kg/cm³。有必要時，可在水泥漿中添加皂土(約 5~10%)可以延緩水泥固化時間^[35]。在 ASTM D5092 中容許的最大皂土比例為 10%，可拌合的最大水量為 23~26 L。皂土可以使得水泥漿塑性提高，並減少乾縮裂縫產生

的可能。若有硫化物的問題則可使用 Type II 或 Type V 波特蘭水泥。水泥漿不可摻入其他的添加劑、摻料、或鑽孔土屑^[14]。

6.2.3.5 保護座

監測井應該受良好保護以免因機具車輛之運行、地表逕流、動物等因素影響而受損，相關自然災害的保護設施設置可參考 ASTM D5092^[17]，例如：地表水應該往監測井四周排除；此外，天然或人為災害造成的損壞防範措施則應參考 ASTM D5787^[35]，例如：監測井四周應建立方圓 10 公尺 (30 ft) 的緩衝帶，且應以圍籬或其他方式防止車輛、機具、牲畜接近，緩衝區內禁止存放或處理肥料、農藥或其他有影響地下水水質之虞的物品。

若採用平台式保護座，則依據「地下水水質監測井設置規範」，2 英吋監測井之保護套管為 6 英吋，4 英吋監測井之保護套管為 8 英吋。保護套管為不鏽鋼 304 材質，長 1 公尺，露出水泥平台 0.4 公尺，頂部須加設鎖頂蓋；不使用時，頂蓋需鎖。井管頂部需設防水(Water Tight)井頂蓋；不使用時，井頂蓋必須蓋緊嚴防雜物進入井管。監測井必須有外套管保護，井頂蓋必須上鎖。保護座之平台為一厚 15 公分，邊長 0.5~1 公尺之正方形，且正方形四邊角須磨圓。平台上四個角落應設置警示柱，警示柱距台邊各 5 公分；用外徑 1.5 英吋、Schedule 40 之碳鋼 1 公尺長，漆成黃色黑色相間；0.5 公尺高出水泥平台，0.5 公尺埋於平台及地下^[4]。

在事業場址或加油站因考慮人員與機具的便利性，常採用隱藏式監測井井座。但仍須注意盡可能使井口蓋略高於地面，避免地表水進入監測井內。

6.2.4 監測井完井

設井完畢後，需要完井及人工清除井篩周邊之細小顆粒。這些細小顆粒若不清除，將進入井內造成水樣混濁，對水質分析不利及不便。先行淘漿，將井內殘留泥漿或污水用容器汲出，然後進行完井。完井方式不拘，可用一般可行之汲取(Bailing)、湧水塞(Surge Block)、噴氣(Air Jetting)、反沖(Backwash)、超量抽水(Over-Pumping)等或業主同意之方法。完井標準為總懸浮固體(TSS) 5 mg/L 以下或濁度 5 NTU 以下為標準^[4]。

在監測井保護座和保護套管完工後 24 小時之後，才得進行完井；以利在完井之前容許所有的材料有充分的養治。完井可清除井中因施工殘留的物質，更可在設井干擾結束後重新建立監測井周圍含水層中自然的地下水流狀況。完井必須持續至抽出的地下水無目視可辨別的懸浮沈積物，且 pH、溫度、濁度、導電度都達到穩定。大多數狀況下，上述完井條件都可

達成；但也有時雖 pH、溫度、導電度都已穩定，但唯有抽出的水仍然混濁，達不到濁度標準。此時多半是因為井中仍殘留有鑿井時穩定液中的皂土或者地層中細顆粒土壤尚未完全被清除乾淨。若確實是穩定液所導致，則因穩定液在孔壁形成的泥餅較厚，即使抽一、兩倍井柱水體積的水也無法清除，可能要連續抽水幾天才能夠完成完井。若完井時導致井水位降低無法繼續進行，則應等待水位回升再繼續進行。但務必避免使用過大抽水率抽水或過高氣壓噴氣，以免造成篩管和濾層破壞^[15]。詳細的完井程序可參考 ASTM D5521^[36]。

以國內狀況而言，監測井完井時濁度經常居高不下的原因應並非簡單歸因於地層因素，而應該是因為井篩和濾層設計不良導致。許多監測井在設置時，並未先進行含水層土壤的粒徑分析，因此篩管和濾層的材料尺寸選擇往往未能符合地質條件，濾料和開篩縫寬尺寸過大，以濾層和篩管致於無法有效阻擋含水層的土壤進入監測井。以致於在完井或日後洗井時，即使抽水量不高，但含水層中的土壤仍源源不斷進入篩管。

6.2.5 設井品管與設井記錄

設井之品管與設井記錄應依據「地下水水質監測井設置規範」之「附錄一：地下水水質監測井設置品保品管規範」進行^[4]。

監測井設井相關的記錄包括：

- 一、地下水位紀錄表
- 二、土壤取樣紀錄表
- 三、監測井構造紀錄表
- 四、現場監工要事紀錄表
- 五、完井紀錄表

品保與品管重點包括：鑽孔品管及品保、土壤取樣品管及品保、監測井設置品管及品保、完井品管及品保等四大項目。

鑽孔品管及品保工作以鑿井、採樣與設井時除污為主。鑽井設備在搬移至每個場地使用前，皆需予以除污，以防止污染該場地之地下含水層。鑽井設備應以鋼刷、高壓蒸氣進行除污。在每一井位附近應鋪上一層塑膠布或橡膠墊，以避免施工過程中所可能洩漏之任何流體（油脂、燃油或用水）與鑽井機具旁之土壤接觸並流入鑽孔中。

在土壤取樣品管及品保方面，鑿井時土壤應該連續採樣。當場址土壤可能有揮發性有機物污染時，採出之土樣置於乾淨之廣口瓶中，先以手提式油氣偵測器（僅適用於揮發性污染）或偵爆計進行土樣有機氣體探測，

然後再依據 ASTM D2488^[32] 土壤統一分類標準進行地層描述。現場工程師/水文地質師於現場進行土壤取樣工作時，應詳細記錄土壤、鑽機型式及使用設備、鑽頭大小及型式、臨時套管的直徑及長度、地下水面的深度、樣號之取樣深度及取樣日期、取樣方法、取樣器種類及尺寸、貫入速率及取樣率、目視之污染（油污、染色情形或非原色外觀）、地層層次。所有取得之土壤樣品均以標準土樣箱裝妥。裝填妥後須在箱蓋內側標明取樣地點（若有井號，則亦須標明井號）、箱號、深度，將土樣箱蓋妥並送交業主保存。

監測井設置品管及品保工作除了所有使用於監測井設置之機具、設備、器材及材料等，均需於事前以高壓蒸氣清洗除污之外，監測井之材料數量、型式及廠牌、除污之日期、時間及方法、完井過程中之抽水量及抽水率，以及現場重要事項或突發狀況均應詳細地記錄於監測井構造紀錄表，並對照施工記錄，繪製監測井示意圖，註明相關尺寸及設井當時地下水位深度。

監測井的完井品保與品管工作，除了基本的除污之外，現場工程師/水文地質師應將下列資料記錄於完井紀錄表：完井時使用之方法、完井時抽取之水量或流率、設備除污的日期、時間及方式、濁度、溫度、pH 值及導電度、所採水樣之樣品顏色及濁度，或總懸浮物濃度。

6.3 地下水採樣方法

6.3.1 地下水採樣規劃

地下水採樣工作必須依據地下水監測計畫以及場址現場狀況先行規劃。採樣之規劃通常與檢測項目及濃度有關，尤其對低濃度之揮發性有機物應更為謹慎，避免受到干擾而影響其測值。原則上地下水監測井的採樣順序，應以污染程度最低者開始依序進行，以降低採樣時井與井之間交錯污染的影響。因此，應先由背景水質監測井開始採樣；若已有先前的監測結果，則依據污染物的濃度由低至高排序。若無明顯的污染問題，則依據監測井的配置以採樣者的便利性為主要考量。在採樣之前，應針對既有之場址資料選定洗井與採樣之方法，以利事先備妥相關器材。此外亦應依據現場水文地質狀況，估計洗井與採樣時間，以利排定採樣工作時程。採樣人員必須對所欲採取樣品之環境背景資料有所了解，以決定所需的安全裝備，必要時應穿著防護衣及安全帽。依據上述與相關之資料製作採樣計畫書：內容應包括：採樣地點、採樣日期及頻率、採樣人員、聯絡人電話、背景資料、採樣目的、採樣方法、採樣器材、樣品保存、品管樣品選擇與決定、安全衛生與污染防治等^[37]。

6.3.2 採樣流程與品管

採樣時必須遵循採樣規範^[37]依照下列程序進行（圖 6-17）：

- 一、確認井號與拍照
- 二、基本觀察與水位量測
- 三、校正儀器、洗井與水質指標參數量測
- 四、採樣
- 五、樣品分裝保存與運送

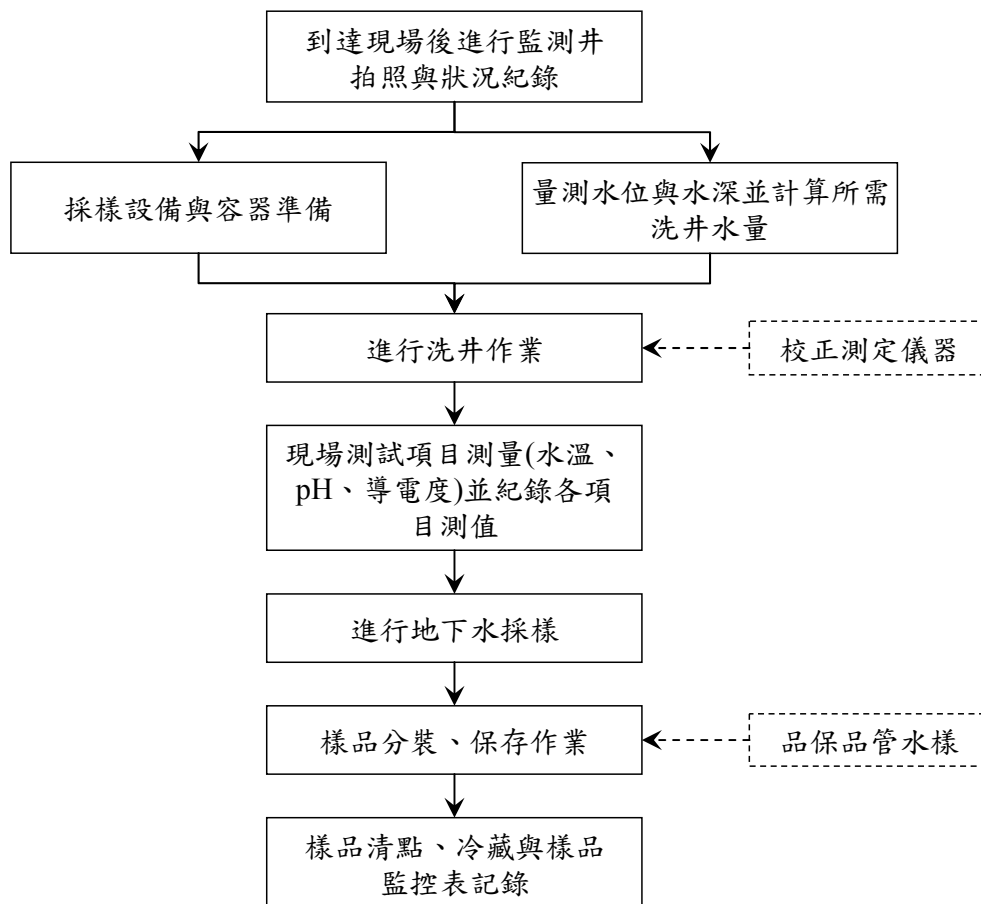


圖 6-17 地下水採樣作業流程圖^[37]

在採樣品管方面，採樣人員必須依照採樣計畫書與規範要求之程序進行採樣。現場採樣前應先填寫「地下水監測井背景調查表」及「監測井地下水採樣紀錄表」，填寫採樣地點，並將井篩頂部至井口的深度填寫於「井篩深度」欄中，同時必須記錄當天之天候狀況。現場環境的描述包括：井之鎖扣是否完整，有無遭受破壞之現象，若有遭破壞跡象，詳細記錄其情

況。注意是否有外物入侵之可能。另外，記錄監測井附近是否有異於平常的環境情況，如積水等現象。

採樣過程應確實逐欄填寫「地下水採樣紀錄表」。此外，採樣時為確保樣品之品質，尤其是揮發性有機物或低濃度之檢測，應配合採取現場空白、設備空白、運送空白，並視需要或依採樣計畫書之要求，選擇執行檢驗或儲存備查使用。所有樣品之運送應使用堅固容器盛裝，避免破損，並提供適當冷藏，以保持水樣的新鮮度^[37]。

6.3.3 洗井與採樣方法與工具

洗井與採樣之作業與設備不可影響水質，也不可因其作業導致濁度提高。洗井可採用貝勒管（圖 6-18）或可調整汲水速率之抽水機，其材質應具化學鈍性，且汲水時不致產生氣提、氣曝作用及濁度增加等現象者為宜^[37]。目前我國的地下水採樣規範建議可選用氣囊式泵（圖 6-19）或離心泵，其表現較佳。此外，並建議在井水補注充足的狀況下，應避免使用貝勒管洗井，而以低流量抽水機洗井^[37]。因為洗井與採樣之設備與包括管線等附屬設備繁多，且材質不一，因此可參考表 6-10 先行檢視各項。



圖 6-18 鐵弗龍貝勒管^[16]



圖 6-19 鐵弗龍與不鏽鋼氣囊抽水機（Bladder Pump）^[38]

表 6-10 地下水洗井與採樣設備材料建議表^[39]

採樣設備材料（不包括監測井井管）		水質分析項目	
材料	說明	無機	有機
塑膠類 ¹			
氟碳(Fluorocarbon)聚合物 ²	對大多數化合物為反應惰性	✓（可能釋出 F）	✓（可能吸附某些有積物）
聚丙烯	對無機物相對惰性	✓	不可使用
聚乙烯（線性）	對無機物相對惰性	✓	不可使用
聚氯乙烯	對無機物相對惰性	✓	不可使用
矽膠	孔隙率高 對大多數無機物相對惰性	✓（可能釋出 Si）	不可使用
金屬類			
不鏽鋼 SS-316	SS-316 對侵蝕抵抗力最強 有不同的級數 用來作為沈水泵浦 ³ 的外殼	✓（可能釋出 Cr, Ni, Fe, Mn, Mo） 除非以塑膠外套管包覆，否則地表水採樣不適用（沈水泵浦除外）	✓ 若已經鏽蝕則不可使用 ⁴
不鏽鋼 SS-304	和 SS-304 相似，但抗侵蝕力較低	不可使用	✓ 若已經鏽蝕則不可使用 ⁴
其他金屬：青銅、黃銅、鋁、鍍鋅鋼、碳鋼	冷凍級黃銅管或鋁管 經常在 ³ H/ ³ He、CFC 收集與採樣時使用	不可使用	✓ 若已經鏽蝕則不可使用 ⁴
玻璃類			
玻璃、硼矽 (Borosilicate) 玻璃（實驗室級）	相對惰性 有可能吸附部分物質	✓（可能釋出 B 或 Si）	✓

註：1. 用來採樣重金屬的取樣設備材料應該是未添加染色劑或白色者

2. 氟碳聚合物包括鐵弗龍(Teflon)、Kynar、Tefzel 等，通常對有機物和無機物都具有相對的惰性。

3. 大多數沈水泵浦具有不鏽鋼零組件。若要將無機物的採樣效應最小化，則可儘量採用氟碳聚合物零組件的採樣泵浦（例如泵浦的氣囊、內管、螺旋葉片）。

4. 鏽蝕或風化的表面可能會活化而吸附有機物。

5. ✓：代表適合使用

貝勒管材質以鐵弗龍為佳，但亦可採用化學相容性材質。依需要選用單止逆閥式（Single Check Valve Bailers）或點源式貝勒管（Point-Source Bailers）；若採揮發性有機物水樣時，應使用附流速調節底面流出配件（Controlled-Flow, Bottom Emptying Assembly）之貝勒管^[37]。抽水泵之型式有許多種，選用時主要應考量是否會導致揮發性有機物之散失或者污染物與之發生吸附等作用以致於影響分析結果。因此，在洗井與採樣設備選用時可在對污染物有初步瞭解或先行預判後參考表 6-11，以便事先妥善規劃。

表 6-11 針對不同分析目標物質之地下水採樣設備之操作與適用性^[18]

設備	監測井最小直徑	可適用之地下水最大深度	最低與高採樣速率	現場水質指標				無機物			有機物		放射性物種		微生物
				SC	pH	ORP	DO	主要離子	重金屬	鹽類	VOCs	SVOCs	放射性離子	Gamma, α/β	大腸菌
貝勒管 Bailer	12.5 mm 1/2"	無限制	範圍廣	✓				✓		✓			✓		✓
慣性脈衝泵浦 Inertial-Lift Pump	12.5 mm 1/2"	無限制	範圍廣	✓				✓		✓			✓		✓
蠕動吸取式泵浦 Suction-Lift Pump (Peristaltic)	12.5 mm 1/2"	7.62 m 25'	50 mL - 4 L/min	✓				✓		✓			✓		✓
氣動泵浦* Gas-Drive Pump*	12.5 mm 1/2"	76.2 m 250'	50 mL - 20 L/min	✓	✓			✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
氣囊泵浦 Bladder Pump	12.5 mm 1/2"	91.4 m 300'	25 mL - 8 L/min	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
活塞泵浦 Piston Pump	50.8 mm 2"	305 m 1000'	100 mL - 8 L/min	✓	✓			✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
電動沈水泵浦 (Electric Submersible Pump)															
齒輪式 Gear-Drive	50.8 mm 2"	91.4 m 300'	50 mL - 12 L/min	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
螺旋式 Helical Rotor	50.8 mm 2"	54.9 m 180'	100 mL - 6 L/min	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
離心式 Centrifugal	44.5 mm 1.75"	67.1 m 220'	100 mL - 34 L/min	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

洗井與採樣時不應發生氣提、氣曝作用及濁度增加等現象者為宜。我國規範建議在井水補注充足的狀況下，應避免使用貝勒管洗井，而以低流量抽水泵洗井^[37]。我國規範中所稱之「微洗井」，事實上為國外規範中通稱之「低流量洗井」(Low-Flow Purging)而非「微洗井」(Micropurge)，二者之間的差異將於下一節中詳述。

若使用抽水泵採樣，則抽水泵放入監測井的速度應愈慢愈好，且在開始採樣前靜置在井中的時間愈長愈好以便降低濁度和有機物的揮發。抽水管線的管壁厚度愈厚愈好、管線的長度愈短愈好，以降低有積物擴散通過管壁揮發的質量，且加快水質參數穩定的速度^[40]。

當水位回升速度太慢而無法以抽水泵採樣時，低於 0.11~0.19 L/min (0.03~0.05 gallon/min) 或 100~200 mm/min，且井中水深也較低時 (< 1.5 公尺(5 ft))，則可以用雙浮球閥貝勒管採樣。除此之外，貝勒管不可用來進行揮發性有機物採樣^[41, 42, 43]。此外，因為貝勒管進入井中時會導致井水濁度升高，造成無機物和強疏水性物質的採樣偏差，所以也不適用於無機物採樣。

若位於低透水性地層中的監測井，地下水位位於篩管之中，則恐無法避免洗井時水被抽乾的狀況。此時應在洗井後兩小時之內，且適當的體積的水流至篩管內或者至少當井中水位回覆 90%時儘快取樣^[44]。在此狀況下，因為抽水泵和管線本身的容積恐怕比可採得的水樣體積還大，因此可以容許用可控制流量的雙浮球貝勒管採樣。

當監測井出水量太小，迴水太慢，且當即使低流量洗井採樣（我國稱為「微洗井」）也不易採樣時，可用被動採樣方式 (Passive Sampling)^[45, 46]；此法亦稱為「微洗井」(Micropurging) 或稱為 No-Flow Sampling，此名詞和我國規範中的「微洗井」相同但方法完全不同。

當地層透水性甚低而迴水能力甚小時，例如在洗井時即使抽水率低於 100 mL/min 井中水位洩降仍超過 0.1 公尺，則可用不洗井方式採樣 (No-Purge Sampling)。在這種地層透水性太低導致難以洗井和採樣的狀況下，替代方式為使用被動擴散袋採樣 (Passive Diffusion Bag Samplers, PDBS) (圖 6-20)。此採樣方式與低流量洗井之比較如表 6-12。

被動採樣之目的為在最小擾動的情況下取得監測井中的水樣。然而，在透水性極低的地層中，監測井篩管中的水應該可視為代表該深度地層中的地下水水質。此外，長期的監測也可能需要採用這種採樣方式。但因 PDBS 僅能採得有機物，因此不適用於初步調查採樣之用或偵測監測之

用。PDBS 應放在預定深度以便和水中的 VOC 平衡，雖然不少 VOC 可在 48~72 小時之內達到平衡，但一般建議最少應靜置兩星期。在低透水性地層中，此靜置平衡時間應該更長。對每季採樣來說，PDBS 可以留在監測井中三個月，在採樣時抽換^[16]。

被動擴散採樣袋適用於在水文地質條件已經被充分瞭解的場址進行揮發性有機物長期採樣；我國環保署已有公告標準：「監測井地下水揮發性有機物被動式擴散採樣袋採樣方法」規範^[47]；詳細理論背景說明、採樣流程、以及比較案例可參考^[48, 49]。



圖 6-20 被動擴散採樣袋^[16]

表 6-12 低流量洗井採樣和被動採樣之比較

比較項目	低流量洗井採樣 (Low-Flow Sampling)	被動採樣 (Passive Sampling)
導水度 (Hydraulic Conductivity)	足以及在洗井和採樣時維持穩定水位	導水度過低無法容許低流量洗井與採樣
適用之水質項目	除 NAPL 以外所有的水質項目	除 NAPL 以外所有的水質項目
抽水率 (Pump Discharge Rate)	500 mL/min 至 100 mL/min 之間，視地層導水度、監測井尺寸、採樣體積而定。	<100 mL/min
洗井抽水體積	直到水質指標參數穩定為止	略等於抽水泵與管線容積之和

本方法係以被動擴散採樣袋，即以低密度聚乙烯 (Low-Density Polyethylene, LDPE) 填充試劑水密封後作為採樣袋，置於監測井地下水中，使水中揮發性有機污染物藉由擴散作用滲透進入採樣袋中。以被動方式進行地下水採樣，可監測地下水中揮發性有機物之污染濃度。本方法適用於依「地下水水質監測井設置規範」設置之監測井採樣，通常用於地下水污染揮發性有機物之採樣，且可同時執行多重深度採樣。本方法尤其適

用於污染整治期間之地下水監測^[47]。當監測井井篩大於 3 公尺時易產生不同深度之地下水流速不同，或當地下水中污染物濃度呈分層現象時，可同時使用多重採樣袋，以進行不同深度之採樣。採樣袋置於監測井中之時間建議至少需 14 天以上^[47]。

被動擴散袋採樣之優點為不需要洗井亦不需要量測指標水質參數、佈設和取回極為便利、單一監測井中可於多個深度安放採樣、可提供較準確的溶氧數據。其限制和缺點則為，通常必須放置 1~4 日以取得平衡狀況下的樣品，因此對於需要精確時間的採樣無法滿足。PDBS 只能採取揮發性有機物樣品。當監測井設置不良，導致井中與地層之間的地下水流通性不佳時，所取得之水樣較不具代表性。若該場址水力梯度低而地下水幾乎不流動，則本法取得水樣之代表性也欠佳。PDBS 僅取得特定深度的水樣，對於此深度以上或以下的地下水不具代表性，若有污染物隨地下水於取樣深度的上方或下方流動經過監測井，本法亦無法偵測得知^[16]。環保署規範中指出被動式擴散採樣不適用於水層透水係數(K)低於 10^{-6} m/s 之低滲透含水層採樣以及此方法不適用於自然復育整治之地下水污染監測^[47]。

此外，被動式擴散採樣會受有機物之分子大小、形狀、疏水性及採樣袋材質等因素之影響，易造成採集污染物(如：甲基異丁基醚、丙酮、鄰苯二甲酸酯類及大部分半揮發性有機物等)時之採樣偏差^[47]，在使用時亦必須特別注意。

另針對經濟部水利署所設置的大口徑深層監測井採樣，有鑑於現行「地下水採樣方法」(NIEA W103.52B)洗井方式採用井柱水置換法所訂定的以小流率(<2.5 公升/分鐘)移除 3 至 5 倍之井管積水體積在執行上的困難，環保署研訂「深層大口徑監測井地下水採樣方法」，以解決深層地下水採樣洗井之流率低致時間過久或流率快產生紊流等干擾現象。經評估彙整國外認可之地下水採樣方法，比較其技術優異性及相關儀器設備的成本與使用所需技術水平，選定較適合國內現況之低流量洗井採樣方法，並於民國 97 年公告實施^[50]。

綜合上述三種常用之洗井與採樣方法之間的比較如表 6-13。由表中可知，在一般中至高導水度的含水層中，就採樣品質與成本考量，低流量洗井似為最符合成本效益的洗井與採樣方法。

表 6-13 地下水監測井不同洗井與採樣方法的適用性^[40]

場址特性項目	低流量洗井 (Low-Stress Approach)	井柱水置換法 (Well-Volume Approach)	其他 (例如：被動袋 PDBS、即時採樣等其他非傳統地下水採樣泵浦等)
適用之地質材料 ¹	中至高導水度 若可以符合洩降的要求 則也可以適用於一些較 低導水度的地質材料	低至高導水度	極低至高導水度
在選擇採樣方法前 必須先取得之含水 層/污染團特性資料	高解析度的導水度於垂 直向之分布與垂直向污 染物分布	污染團與導水度的分 布較不重要	視資料品質目標(DQO)必 須考慮導水度和污染物在 垂直向的分布解析度才能 決定適用之方法
適用之污染物種類	(1) 建議於監測井中濁度 會導致分析結果偏差 時使用 (2) 對於絕大多數污染物 均適用	對於所有污染物均適 用然而當濁度較高且 污染物對於濁度較為 敏感時，低流量洗井較 為適用	依採樣方法而異
資料品質目標 (Data Quality Objectives)	(1) 在水平向與垂直向高 解析度污染團劃定 (2) 降低其他採樣法於高 濁度狀況下導致之偏 差 (3) 以含水層的較小區域 為目標 T	(1) 基本場址調查 (2) 中至高解析度污染 團劃定 (取決於篩 管長度) (3) 分析結果代表整段 篩管長度之可能涵 蓋之污染物與其濃 度平均值	(1) 視採樣方法原則上可 適用於基本場址調查 (2) 可降低其他方法導致 的偏差 (3) 可以得到高解析度的 污染團劃定

6.3.4 採樣作業

採樣作業的標準係環保署訂定之「監測井地下水採樣方法」^[37]。

6.3.4.1 洗井

洗井主要目的乃於採樣前以適當流率汲取地下水，抽換監測井中之滯留水，以取得代表性地下水樣品。依據我國規範，洗井可採用井柱水體積置換法(Well Volume Approach)或微洗井(Micro Purge)。洗井時應避免產生過大洩降。過大洩降迫使遠處含水層地下水流向井中，造成水質空間混合，此時井柱中之水不代表監測井位置之水樣^[37]。此外，因濁度影響水質甚鉅，因此洗井前應先確認監測井中的沈積物厚度必須少於篩管長度的 1% 或 30 mm 二者中較低者^[14]。

採用井柱水體積置換法洗井時可採用抽水泵或貝勒管進行，最少抽出三倍井柱水體積，井柱水體積以井管和篩管以及濾層中靜水，濾層中的水以孔隙比 0.3 估計^[14]。以井柱水置換法洗井時，為避免對於含水層以及井

內沈積物擾動過大，抽水率不應過大，以 2 in. 內徑的監測井為例，抽水率應維持在 3.8 L/min 以下，最好可以在 500 mL/min 左右^[51, 52]。

對補注速率較佳之監測井，其汲水速率應小於補水速率，即避免洗井時，水位有明顯洩降。但對於揮發性有機物之採樣，其汲水速率以不造成濁度增加、氣提作用、及氣曝作用等現象之小流量汲水^[37]。

以貝勒管洗井 (Purge water) 時，宜緩緩於井管中上昇或下降，否則因活塞現象，將造成濁度增加之干擾。以抽水機洗井時，汲水速度過大，亦會造成濁度增加及氣提作用等干擾。採樣設備若無適當之清洗，將造成干擾，甚至造成井與井之間的交互污染。當有不互溶的有機液體存在於水中時，可能於採樣同時被採集，因而造成干擾。採樣時若發現有不互溶有機相存在，應記錄於採樣紀錄表。貝勒管內採集之不互溶有機相厚度，並不等同於不互溶有機相在地下含水層中之厚度^[37]。以貝勒管洗井時，因溶氧與氧化還原電位不易達到穩定標準，需抽除至少三倍井柱水體積之水量，才可以停止洗井。

我國規範建議洗井時使用可調整汲水速率之泵較能節省時間，洗井汲水速率宜小於 2.5 L/min，以適當流速抽除 3 至 5 倍的井柱水體積，大致可將井柱之水抽換，以取得代表性水樣。以抽水機洗井與採樣時，汲水位置為井篩中間部位 (當水位高於井篩頂部時)、井內水位之中點 (當水位低於井篩頂部時)、或改採用貝勒管 (當井內水位較低，為避免汲入井底之泥沙時)，原則上於洗井過程中儘量避免大幅降低井內水位；若以貝勒管洗井時，汲水位置為井管底部^[37]。

以抽水機洗井時於量測水質指標參數時，為避免水樣因接觸空氣或擾動造成水質不穩定之問題，可使用水流元 (Flow Cell 或 Flow Through Chamber) 以測得穩定之水質參數。水流元之設計汲出水應從其底部進流，由頂部流出。其係作為承裝水質量測儀器之密封容器，建議特別是在量測溶氧及氧化還原電位時使用。其材質應具化學鈍性且不易對分析物造成吸附或脫附者為宜。

在低透水性地層中，因地下水補充較慢，導致洗井與採樣都很困難。此時建議若篩管位於地下水位以下，則在略高於篩管頂部抽水，以避免濾層和該深度之含水層暴露於孔隙內的大氣氣體中；且抽水機本身切勿放到篩管之中^[53]。抽水率應該愈低愈好，以減少洩降。

我國規範中所稱之「微洗井」實際上為低流量洗井 (Low-Flow Purging)，又稱為 Low-Stress Purging, Low-Impact Purging, Minimum Drawdown Purging。對照傳統的洗井程序，微洗井不需要抽出大量的水。

低流量係指地下水在洗井過程中向監測井移動的速度緩慢，並非一定指抽水速率很小。藉由降低對含水層地質材料、地下水與其中成分的衝擊，取得較具有代表性的高品質水樣。因為洗井和採樣時地下水流速相仿，所以常合併稱為低流量洗井與採樣（Low-Flow Purging and Sampling）。

另一方面，MicroPurge®為已登記商標之設備，因此目前國際上以Micropurging來稱呼之。MicroPurge®是 QED Environmental Systems, Inc. (QED)^[38]開發的低流量洗井（Low-Flow）與採樣系統；包括流量控制設備、壓力控制設備、水質指標參數穩定系統，洩降量測儀器、抽水泵。當然，除了本套設備之外，許多其他廠商的設備都可以進行低流量洗井與採樣。在國外相關規範與文獻中，所謂的「微洗井」（Micropurging）亦即「無水流」（No-Flow）之意。Micropurging係指在採樣前將管線與取樣器材中的水全部清除，從井中靜止的水直接採樣；被動採樣時，因管線與抽水泵中無水，因此採樣時僅抽取剛好充滿管線與抽水泵的水樣^[54]。在此狀況下，並未在採樣前進行「洗井」，亦無法指標量測水質參數，亦即無法判斷是否井中的水對於監測井周圍含水層中的水而言具有代表性^[55]。

對於易受膠體影響傳輸(Colloidal Transport)與檢測結果的放射性離子、重金屬、疏水性（Hydrophobic）化合物而言，低流量洗井更能採到代表性的水樣。但對於NAPL來說，低流量洗井不一定適用，因為其對於抽水的反應和地下水並不完全相同。

相對於標準監測井，低流量洗井對於DPT即時取樣和未設置濾層的簡易井採樣更是重要。低流量洗井之抽水速率方面，內徑大於2英吋的監測井抽水率應低於500 mL/min，小口徑的DPT簡易井或即時採樣抽水率應低於100 mL/min。

低流量洗井需使用可調整汲水速率之抽水泵，並能將汲水速率穩定控制於0.1~0.5 L/min，適用之抽水泵型式包括：氣囊式泵或離心泵等。惟離心泵不適合作為揮發性有機物樣品之採樣設備。設置抽水泵時，應緩緩將抽水泵下降放置定位，並儘量避免擾動井管水，以免造成汲出水之濁度增加，因而增加洗井時間。設定汲水速率應從最小流量開始，慢慢調整汲水流量控制於0.1 L/min（汲水速率通常視監測井附近之地質、水文條件而定），每隔1至2分鐘量測水位一次，直到水位達到平衡為止。洗井期間須量測井中水位，並確認水位洩降未超過1/8倍井篩長，須於採樣紀錄表中記錄汲水速率及水位深度。以低流量洗井方式汲水，井中水位洩降未超過1/8倍井篩長，且量測之水質參數達到穩定後，即可進行採樣工作^[37]。

洗井時，若以0.1~0.5 L/min速率汲水，水位洩降超過1/8倍井篩長，

則應由設井時之岩心取樣 (Core Sampling) 紀錄判斷該含水層是否屬低滲透性地層。若屬低滲透性含水層，則將汲水泵置於井管底部附近以較大之汲水速率將井內積水抽除，待水位回升後採集新鮮水樣。若非屬低滲透性含水層，則可能井篩產生阻塞，須進行完井作業後再重新洗井與採樣。

洗井過程中需繼續量測汲出水的水質參數，同時觀察汲出井水之顏色、異樣氣味，及有無雜質存在，並於洗井期間現場量測至少五次以上，直到最後連續三次符合各項參數之穩定標準(表 6-14)，我國要求之穩定標準較國外寬鬆(表 6-15)，或許也與監測井設置標準之差異導致井中水質不易穩定有關。

根據美國工兵團的規範要求，洗井必須達到以下要求。通常三次連續量測 pH 值 ± 0.2 ，導電度 $\pm 3\%$ ，氧化還原電位(ORP) $\pm 10\text{mV}$ ，溫度 $\pm 1^\circ\text{C}$ ，濁度和溶氧 $\pm 10\%$ 。一般而言按照達到穩定的先後順序依序為：pH、溫度、導電度、ORP、溶氧、濁度^[46]。出水的濁度必須以肉眼目視判定為清澈。部分國家的主管機關要求濁度低於 5 NTU (Nephelometric Turbidity Units)；但實際上地下水的濁度也常超過 10 NTU，洗井時濁度一定是最後一個達到穩定的參數^[14]。

表 6-14 水質指標參數量測值穩定度容許偏差範圍^[37]

水質參數	穩定標準
pH	± 0.2
導電度	$\pm 3\%$
溶氧	符合 $\pm 10\%$ 或 $\pm 0.2 \text{ mg/L}$ 其中之一
氧化還原電位	$\pm 20 \text{ mV}$

表 6-15 國外文獻建議水質指標參數穩定判斷準則^[40]

指標參數	穩定準則	參考文獻
酸鹼度 (pH)	$+/- 0.1$	[46, 56]
導電度 (Specific Electrical Conductance, SEC)	$+/- 3\%$	[46]
氧化還原電位 (Oxidation-Reduction Potential)	$+/- 10 \text{ millivolts}$	[46]
濁度 (Turbidity)	$+/- 10\%$ (當濁度高於 10 NTUs 時)	[46, 56]
溶氧 (Dissolved Oxygen, DO)	$+/- 0.3 \text{ milligrams per liter}$	[56]

在水質指標參數量測的頻率方面，當以井柱水體積置換之洗井時，汲出水約 1 至 1.5 倍井柱水體積之水時，量測第一次水質參數，然後每汲出 0.5 倍井柱水體積之水時再量測二次^[37]。若以抽水泵洗井，則於開始洗井時，以小流量抽水，記錄抽水開始時間，同時量測並記錄汲出水的 pH 值、導電度及現場量測時間。採集揮發性有機物樣品增加執行溶氧、氧化還原電位之量測。同時觀察汲出水有無顏色、異樣氣味及雜質等，並作記錄^[37]。以貝勒管洗井時，因溶氧與氧化還原電位不易達到穩定標準，需抽除至少 3 倍井柱水體積之水量，才可以停止洗井。

低流量洗井時的水位量測應該每 30 秒至 5 分鐘一次，以監視洩降狀況，導水度愈低、監測井內徑愈小者量測時間間距應該較短^[40]。以微洗井時可使用水流元量測水質參數，依水流元容積與汲水速率決定量測頻率，以確保每次測量水流元內之水樣已充分更新。若非於水流元中量測水質參數，量測之時間間隔至少 5 分鐘。

洗井時，汲出水確認有污染可能時（特別是污染場址之汲出水），則不可任意棄置或與其他液體混合，須將汲出的水置於容器內，並俟水樣檢測結果後，決定處理方式。

6.3.4.2 採樣

採樣最好使用固定放置於每一口井中的特定採樣設備。當使用抽水泵時，被動採樣的抽水率較低流量洗井與採樣時的抽水率更低，否則洩降稍大即可能採不到足夠的水樣。因此在篩管中位於抽水泵取水口以上的水體積應該先以計算；且僅抽取此體積的水樣。當井中原本位於篩管水位附近的水接近取水口時即應停止抽水，因為此採樣方式不應採到原本位於篩管以上的井管中的靜止水。但因為無法量測指標水質，因此本採樣法無法提供水質具有代表性的直接證據。若井中無固定採樣設備而必須使用抽水泵輪流於各個監測井中採樣時，對於要採用被動採樣方式的監測井來說極可能導致井管和井篩中的水相互混合，進一步造成水樣代表性的不確定性^[16]。

採樣應在洗井後兩小時內進行為宜，若監測井位於低滲透性地層，洗井後，待新鮮水回補，應儘快於井底採樣，較具代表性^[37]。

除了特殊狀況下使用被動袋採樣之外，一般均以抽水泵或貝勒管（Bailers）為採樣設備。貝勒管材質以鐵弗龍為佳，但亦可採用化學相容性材質。依需要選用單止逆閥式（Single Check Valve Bailers）或點源式貝勒管（Point-Source Bailers）；若採揮發性有機物水樣時，應使用附流速調節底面流出配件（Controlled-Flow, Bottom Emptying Assembly）之貝勒管

[37]。如以貝勒管採樣，宜將貝勒管放置於井篩中間附近取得水樣，且貝勒管在井中的移動應力求緩緩上升或下降，以避免造成井水之擾動，造成氣提或曝氣作用。

檢測項目中有揮發性有機物者，以抽水泵採樣其速率應控制在 0.1 L/min 以下，並確認管線中無氣泡存在以避免揮發性有機物逸散，或改以貝勒管採樣，惟需注意抽水泵或貝勒管於井管中移動所造成之擾動問題。其採樣設備材質應以鐵弗龍為佳，且貝勒管應採用控制流速底面流出配件，使水樣由貝勒管下的底面流出配件之噴嘴流出，採樣步驟請依照揮發性有機物檢驗方法之規定辦理^[37]。

如以原來洗井之抽水泵採樣，則俟洗井完成或水質參數穩定後，在不對井內作任何擾動或改變位置的情形下，維持原來洗井之低流速，直接以樣品瓶接取水樣^[37]。但若地下水中可能含有揮發性有機物，則應先在洗井完畢後，重新搭接管線使水不經過水流元，再行採樣。

由於污染物的特性和水文地質的因素導致污染物存在於含水層和監測井中的深度受其影響，所以在採樣時採樣的深度以及在監測井內抽水泵取水口位置必須予以考量。採樣時抽水泵可以放在篩管以上或篩管中，就所採水樣的代表性、數據的可重複性、洗井水量三方面來說各有優劣。

當超水泵的取水口高於井管時抽水泵本身通常位於井中水位以下。若水位距離篩管上緣較遠，則在水在井管內流動過程中水質可能有變化；當井管材質為不鏽鋼而主要關切的污染物為鎳或井管材質為 PVC 而主要關切的污染物為有機物時，這個疑慮更顯重要。因此，建議在洗井過程中將抽水泵緩緩降下^[57]，使得當取樣時取水口正好位於篩管上緣，則可以使得地下水與井體材料接觸最少而使上述影響降低到最小。因為這種採樣位置狀況下，只要每次採樣的抽水率相同，幾乎可確保進入監測井的水來自同一深度的含水層，因此所採得的水質可重複性較高。相對地，若抽水泵每次在篩管中的位置都不同，則可能採到代表含水層不同深度的水樣。但是這樣採到的水樣不見得必然代表整個篩管長度的水質；而比較偏向篩管上段的水質，或者是導水度較大的深度區段的水質。另一方面，這樣取得的水樣是整個篩管內水的混合水樣。若篩管區間中特定深度的污染物濃度較高，則將使得污染物濃度稀釋；若採用較短的篩管，就可以避免此一問題。

通常最佳的方式為將抽水泵的取水口安放在篩管中相當於地層中污染物濃度最高的深度，對於低流量（地層低應力、洩降最小）的洗井與採樣方式最為適用。洗井時洩降控制在 0.1 公尺以內，直到指標水質穩定為止^[46]。此時被採樣的含水層厚度小於篩管長度，且較適用於篩管長度 1.5 公

尺的監測井，因此可較精確地描繪出含水層的垂直向水質變化。此法不應該應用在篩管長度大於 3 公尺的監測井，因為此時篩管內不同深度的水還是會有較劇烈的混合作用^[46]。因為垂直向的精確度較高，導致此法取得水樣的可重複性較低；且除非有一致性的作法保持取水的位置固定，否則即便在篩管內的深度放置不一樣，也會導致不同的結果。但如前述，篩管愈短，問題愈小。

地下水中所含的污染物濃度會受到採樣過程和設備之影響，例如：鑽桿和套管中的鐵則可能導致氧化還原電位改變而對於採樣時的溶氧、鐵離子濃度以及其他重金屬離子濃度有影響；另一方面以揮發性有機物採樣為例，溫度和壓力的變化會導致污染物揮發，使水中濃度降低，因此對於採樣來說為「負偏差」；但溫度和壓力對於水中天然的無機物離子（如 Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , NO_3^- , Cl^- ）濃度沒有影響。如表 6-16 中所示，P 代表正偏差（Positive Bias）、N 代表負偏差（Negative Bias）。偏差的程度，「+」代表弱、「++」代表強、「+++」則為很強^[18]。

在含水層中有油品或含氯有機溶劑等非水相液體（Non-Aqueous Phase Liquid, NAPL）時進行洗井與採樣時，另有特別需要注意的事項。

「輕質非水相液體」（Light Non-Aqueous Phase Liquid, LNAPL）採樣時，LNAPL 難溶於水且較水密度低，常佔據位於地下水位面以上之毛細緣層（Capillary Fringe）上的孔隙。若 LNAPL 存在，則監測時篩管必須與地下水位面交會才可能監測到液相的 LNAPL。此外，在拘限含水層中，這些物質常會在含水層上邊界以及緊鄰的上方阻水層中被發現。若篩管中有不同的 LNAPL 層（不同密度的 LNAPL），則每一層都應該加以採樣；分析項目除了化學成分之外，亦必須包括如：比重、水中溶解杜、蒸汽壓、亨利定律常數等物理性質。氣相層析（GC）指紋比對可以用來分辨 LNAPL 屬於何種油料^[16]。

監測井完井後至少應等待兩週當地下水位穩定之後以及浮在地下水位面上的污染物穩定之後再進行採樣。監測井中的浮油厚度的量測可使用塗佈測油/水膏的鋼捲尺，測定浮油表面和地下水位面的深度，其差值即為浮油厚度。此外，井中浮油厚度也可以用油水界面測定儀（Interface Probe）或透明的鐵弗龍貝勒管量測；反倒是一般的水位測定儀不適用於這項工作。在監測井中有浮油時，進行洗井前應先以貝勒管採取浮油樣品；採樣時用底部開口的貝勒管，且使貝勒管底部剛剛好穿過浮油層而不應進入地下水本身太深^[16]。

表 6-16 不同分析目標物質可能因採樣導致之偏差來源^[18]

分析目標物質	潛在偏差							
	樣品擾動						濁度	
	水壓降低	溫度升高	暴露於大氣	吸附於採樣器、 樣品材料上	擾動由採樣器 材料中釋出	在採樣中的 攪動與曝氣	吸附於土壤 顆粒上(a)	由土壤顆粒 釋出(a)
揮發性有機物 (VOCs)	N+++	N+++	N+++/P+++ (b)	N+	P+	N++	0	0
溶解氣體與氧化還原 電位 (Dissolved Gases and ORP)	N+++	N+++	N+++/P+++ (b)	N++ to N+++ (c)	P+	N++	0	0
半揮發性有機物 (Semi-Volatiles)	N+	N++	N++	N+	P++	N+	N++	P++
農藥 (Pesticides)	N+	N+	N+	N+	0	N+	N++	P++
重金屬 (Trace Metals)	N+	N+	N+++	N+ to N+++ (d)	P+	N+	N+++	P+++
放射性離子 (Radionuclides)	N+	N+	N+	N+	0	0	N+++	P++
主要離子 (Major Ions) (Inorganic Anions and Cations)	0	0	N+	N+	0	0	N+	P+

註：(a)由土壤顆粒的吸附和釋出直接與濁度相關，且和顆粒的大小和種類也相關。當細顆粒土壤或富含有機質顆粒存在時，吸附的影響較大。

(b)依分析目標物質於樣品或一般環境中之濃度而異，樣品中的濃度可能增加或減少。

(c)鑽桿中的鐵可能與地下水中的溶氧發生反應，零價鐵氧化，因而降低測得之溶氧和氧化還原電位。樣品應該與鑽桿隔離以便降低此一效應。

(d)有些重金屬會和水中的自氧化鐵溶解出之鐵離子形成鐵錯化物，因此樣品應該與鑽桿隔離以降低此一效應。

在「重質非水相液體」(Dense Non-Aqueous Phase Liquid, DNAPL) 採樣時，因 DNAPL 難溶於水且密度較水高，故傾向穿過非飽和層與含水層往下方移動；且在過程中可能有液相停留在非飽和層或含水層中的低透水性土壤上方或含水層的底部。DNAPL 可能存在於開篩段涵蓋地層中更細密的不同分層中。採樣程序因而必須稍加修正，有時能必須將採樣貝勒管放在不同深度採樣或使用雙閥貝勒管。

在洗井前應先量測監測井中 DNAPL 厚度。使用塗佈測油/水膏的鋼捲尺，測定 DNAPL 表面和監測井底部的深度，其差值即為監測井中 DNAPL 厚度。在採樣前，應先以雙浮球閥貝勒管採進行監測井底部之 DNAPL 採樣。

若同一口監測井中同時有 LNAPL 與 DNAPL 存在，則可能必須先抽出一個井柱水體積的水之後，再進行底部 DNAPL 採樣。為使抽水必須不擾動底部的 DNAPL，可將沈水泵浦或真空泵浦的進水口放在 DNAPL 上方一公尺左右。DNAPL 分析項目除了化學成分之外，亦必須包括如：比重、水中溶解度、蒸汽壓、亨利定律常數等物理性質。氣相層析 (GC) 指紋比對可以用來分辨 DNAPL 屬於何種有機溶劑^[16]。

採樣看似簡單，但實際上在現場洗井與採樣時，極易因為監測井之濾層設置不良、加上洗井時抽水速度過快導致採得水樣濁度過高。令人困擾的是地下水採樣常因濁度問題而導致在重金屬和半揮發性有機物(SVOC) 分析時的問題，往往因細顆粒本身礦物含有重金屬而導致分析溶解相重金屬時該重金屬濃度增加，例如：鋁、鐵、錳^[16]。黏土等膠體表面的負電荷會吸附陽離子，若樣品保存時添加酸液，則導致重金屬離子由膠體表面再度釋放回水中，使得採取水中分析結果重金屬離子濃度增加。另一方面，當可溶解的重金屬吸附在膠體上，而水樣在現場過濾降低濁度，則地下水中的重金屬濃度也可能因此而降低，導致採取水樣也一樣不具有代表性。

在含細顆粒土壤或以細顆粒土壤為主的地層中，也可能因黏土成分形成的膠體 (Colloid)。這些膠體可能是黏土、氫氧化物 (Hydroxyls)、腐植質等，其顆粒的直徑約為 1~1,000 公尺。雖然在含水層材料顆粒較粗（通常比細砂更大時）情況下，膠體的傳輸對於含水層中的污染傳輸可能頗為重要^[58, 59]，但在大多地下水自然流動水力梯度較小的情況下膠體通常是不會移動的^[16]。

對有機物而言，膠體也同樣可能成為源 (Source) 或匯 (Sink)。雖然有機污染物在大自然中並不存在，但會吸附在天然的有機物質上。若地下水採樣程序導致水中和膠體上有機物分配狀態的不平衡，則可能引發可觀

的吸附。若有機污染物吸附在含水層材料上以致於不能移動，則採樣過程卻可能破壞平衡狀態而使得這些有機污染物溶解於地下水中進而使得水樣中含有較高的有機污染物濃度。

此外，監測井設置過程中因鑿井、穩定液等設井步驟或導入之物質造成濾層或井管與篩管中，而又因完井不良，導致洗井時水中濁度較高；另一方面，洗井與採樣不當也可提高濁度。上述的濁度通稱為「人為濁度」(Artificial Turbidity)。

以國內外法令規範的地下水水質標準而言，多數法規事實上規定的標準是 Unfiltered “Total Recoverable”或“Total Metal” Samples。亦即在現場採樣時，水樣是不經過過濾的。由於地下水監測計畫的目的不同，因此難以制訂統一的原則來規範現場採樣時水樣是否必須先在現場過濾然後才裝瓶保存。以美國紐澤西州為例，該州要求若地下水採樣分析結果的目的是判斷作為飲用水水源水質（Safe Drinking Water Act 與 Clean Water Act）的分析，則必須針對「未過濾」的地下水水樣^[16]。因為水樣必須真實地代表含水層中的地下水狀態，且相當於民眾使用的狀態。

根據美國環保署相關的地下水採樣規範，地下水水樣不得於現場過濾。但若水質因地質狀況導致非常混濁而且不可能降低時，應同時採取未過濾與過濾之水樣^[40]。此外，實驗室中用來過濾水樣再量測 TSS 和 TDS 的濾紙號數應該和現場過濾使用的濾紙號數相同；通常為 $0.45\ \mu\text{m}$ ，因其為可溶解和不可溶解固體之分界。使用的濾紙孔隙最大可至 $10\ \mu\text{m}$ ^[60]。有關地下水水樣過濾的細節，可再參考超級基金和 RCRA 計畫經理地下水採樣指引^[61]。若必須要過濾水樣，則先將水樣均分為兩份，一份過濾、另一份先立即保存；這兩組水樣分析結果可以比較總重金屬和溶解重金屬的濃度。

研究顯示貝勒管採樣可能因操作者的使用方法不一致和高洗井流量導致濁度增加，因而較不適用於重金屬採樣^[16]。因此大多數美國的相關規範和手冊均建議當地下水混濁時，以低流量洗井採樣取得地下水樣，不過濾，進行重金屬全量分析，而不需要以其他的採樣方式採樣然後進行總重金屬與溶解重金屬分析。

然而，在我國環保署的採樣規範「監測井地下水採樣方法」，地下水樣品若有懸浮固體，應於現場進行過濾^[37]，參照 NIEA W210「水中總溶解固體及懸浮固體檢測方法—103~105°C 乾燥」。以避免延長過濾時間，地下水樣品可能因化學作用（如氧化沉澱）而增加水中膠體或細微顆粒後，此時再予過濾之水樣將不具代表性。進行現場過濾時，採樣設備如為抽水泵，建議於線上直接過濾；採樣設備如為貝勒管，則可於貝勒管底部裝上一過

濾裝置直接加壓過濾^[62]。國內外規範矛盾之處，恐有待環保主管機關解決；執行監測井設置與洗井採樣的單位則應設法由技術面降低濁度。

當採樣時濁度相關問題較大時，應儘量透過採用適當的洗井與採樣方法減輕之；主要的手段還是在設井時濾層和開篩的尺寸要恰當、完井要貫徹、並採用低流量洗井與採樣。避免以無濾層的 DPT 即時採樣或無濾層的簡易井採樣。若上述程序未能做最佳考量且被遵守，則現場過濾不僅不能解決問題，更會製造問題^[61]。

針對降低濁度干擾的方式可參考相關的標準規範包括 ASTM D5521^[36]完井標準規範、ASTM D4448^[63]地下水採樣規範、ASTM D5978^[64]地下水監測井維護與修復規範。上列規範並用，可以取得不受人為濁度干擾的地下水水樣，且可以確保監測井在兩次採樣之間不會發生沈砂問題（Siltation），且可以精確量測地下水水位和導水度。設置在細顆粒土壤（通過#200 號篩的材料超過 50%）組成的含水層中之地下水監測井之水質採樣，通常必須在適當設計之監測井中採用低流量洗井（Low-Flow Purging and Sampling）技術（ASTM D6771）^[65]採樣，才能採得不受濁度干擾的地下水水樣。

6.3.5 樣品保存與管理

樣品保存與管理應參照環保署公告方法 NIEA W102 之規定^[62]。採樣過程應確實逐欄填寫「地下水採樣紀錄表」。採樣時為確保樣品之品質，尤其是揮發性有機物或低濃度之檢測，應配合採取現場空白、設備空白、運送空白，並視需要或依採樣計畫書之要求，選擇執行檢驗或儲存備查使用。所有樣品之運送應使用堅固容器盛裝，避免破損，並提供適當冷藏，以保持水樣的新鮮度^[37]。

地下水水樣之保存^[37]，亦參照保署公告方法 NIEA W102 之規定，採樣時須使用抗酸性之玻璃瓶或塑膠瓶，以免懸浮固體吸附於器壁上，分析前均應保存於 4°C 暗處，以避免固體被微生物分解。採樣後儘速檢測，最長保存期限為 7 天^[62]。

6.4 地下水調查案例

6.4.1 案例緣起

環保署於 98 年辦理「運作中工廠土壤及地下水含氯有機溶劑污染潛勢調查及查證計畫」發現 A 廠 VCM 製程區及 HCFC 製程區地下水含氯有機污染物濃度超過地下水污染管制標準。高雄縣政府發函通知要求 A 廠立即採取緊急應變措施，環保署召開專案小組研商會議，高雄縣政府公告

A 廠為土壤及地下水污染控制場址。

本案經媒體揭露相關地下水污染情事污染，引發各界關注，環保署為確認 A 廠地下水之實際污染情形，辦理「A 廠西側土壤、底泥及地下水污染調查」作業，於廠內及廠外設置 10 口標準監測井，採集 7 組底泥、3 組地表水、5 組農地土壤、6 組監測井地下水及 4 組農地灌溉井地下水樣品。該計畫於 A 廠廠外周界之 HCFC 製程區下游處，監測井 MW07 檢出 4 項含氯揮發性有機物，且其中 1,2-二氯乙烷濃度值接近第二類地下水污染管制標準；廠區周圍民井地下水調查作業採集之 9 組地下水樣品皆未檢出揮發性有機物。

環保署為瞭解 A 廠之地下水污染情形是否擴及廠外，影響鄰近 6 村使用地下水居民之健康，故辦理廠外民井地下水污染擴大調查作業，合計採集 97 組民井地下水樣品。97 口民井之地下水分析結果顯示，計有 18 口民井檢出管制項目污染物質，其中 16 口含有微量含氯揮發性有機污染物。

環保署為確認廠外地下水污染物來源，環保署賡續協助高雄縣環保局辦理污染調查作業，以釐清該區域之地下水流向，及 A 廠廠外地下水污染物組成份與廠內地下水污染物之相關性。共完成 9 座簡易井與 7 座監測井設置作業及 4 組民井、9 組簡易井與 7 組監測井地下水樣品之採樣分析作業。此外，並進行觀測 3 口監測井水位連續觀測以及測定 8 口標準監測井單井流向。

6.4.2 場址概況

A 廠位於高雄縣 XX 鄉西側，範圍橫跨國道一號，西側隔高楠公路為中國石油公司高雄煉油廠及半屏山。該場址東側與北側為聚落，以住宅、工廠為主，西側多為農田。場址橫跨廠區橫跨八穴淹排水溝與曹公新圳幹線。

場址附近環境敏感區有商住宅區及幾處國小學區。調查範圍內之農地及民宅附近。場址地理位置圖請參閱圖 6-21，場址航照圖請參閱圖 6-22。

A 廠廠區西側農地主要使用渠道灌溉，部分農地旁可發現地下水井，廠區西南側部分農地離渠道較遠，現勘時正抽取地下水灌溉水田。據當地農民表示，調查區域內之農地主要係引灌農田水利會供應之渠道灌溉水，每年第一期農作主要種植水稻，少部分農地則種植菱角幼苗，第二期則普遍以水田種植菱角，由於渠道灌溉水水量豐沛，僅於旱季或渠道停灌時才會使用地下水井抽用地下水灌溉。

A 廠位於高雄縣仁武鄉，佔地面積約 96 公頃，自 1972 年開始生產，

主要生產聚氯乙烯 (PVC)，產能每月約為 2,400 公噸，至 1990 年期間，仍不斷擴充其設備、廠區，並更新生產製程，如增設氯乙烯單體 (VCM) 製程區、氟氯烴 (HCFC) 製程區、台麗朗事業部等。各製程區相關位置如圖 6-23。



圖 6-21 A 廠位置圖^[66]

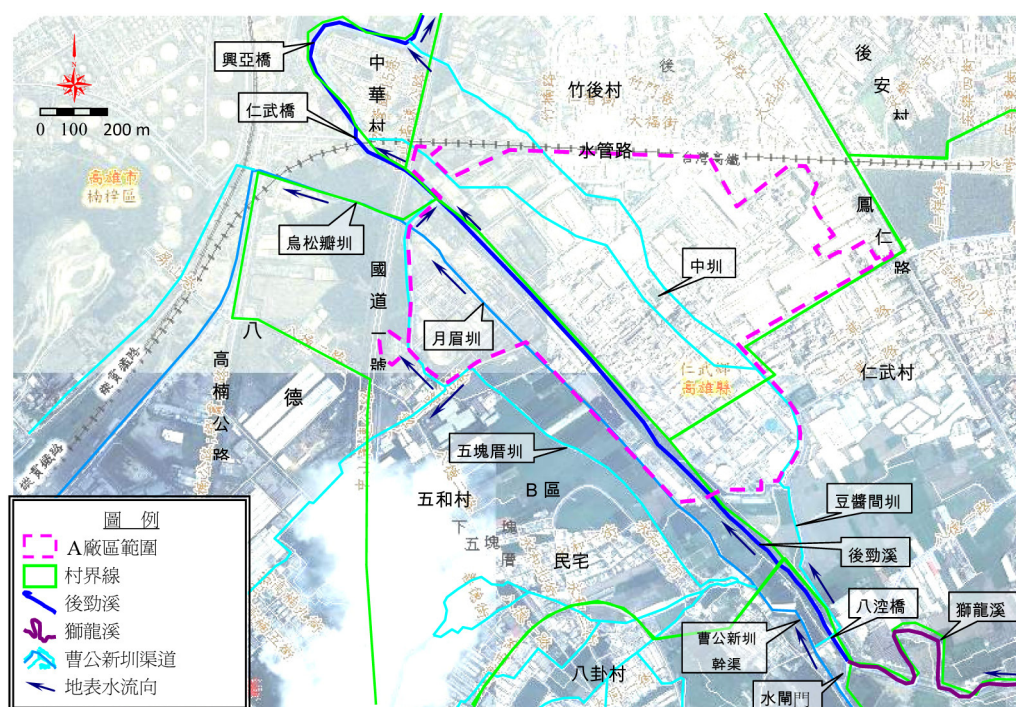


圖 6-22 A 廠航照圖^[66]



圖 6-23 A 廠平面配置示意圖及區域性地下水流向^[66]

A 廠產業類別為化學材料製造業及基本化學材料業，主要產品為聚氯乙烯（PVC）粉、氯乙烯、液鹼、聚丙烯腈纖維、電池電解液、電力等，依據環保署所提供之資料，其含氯有機廢棄物申報總量，與毒性化學物質 1,2-二氯乙烷、1,1-二氯乙烯、氯乙烯、二氯甲烷及氯甲烷等之運作申報量均為全國第一。台麗朗事業部位於 VCM 製程區上游，自 2007 年開始有 1,1-二氯乙烯之貯存及相關製程運作。

A 廠 VCM 製程區主要為氯乙烯單體製程，以乙烯為原料，製程過程產生之廢水或廢棄物以含氯烯類為主。HCFC 製程區位於 VCM 製程區下游，主要為氯化甲烷製程，以甲醇、氯氣及鹽酸為原料，生產一氯甲烷、二氯甲烷及三氯甲烷，製程過程產生之廢水或廢棄物以含氯烷類為主。HCFC 製程區，原名氟氯碳廠（CFC 製程區），後於 86 年更名為氟氯烴廠（HCFC 製程區），原製程主要包括氫氟酸、氯碳物和氟氯碳化物生產三大部分，以 VCM 廠氯化有機物副產品（低沸物）為原料，利用氯碳化物與氟化氫在五氯化銻之催化下反應生產氟氯碳化物，為國內第一座也是唯一一座冷媒生產工廠。民國 83 年時之氟氯碳化物年產量約 3,600 噸，由於國內全年的使用量僅 2,500 噸，其餘部分均外銷。依據蒙特婁議定書之管制規定，自 85 年起即禁止生產包含二氟二氯甲烷等十種氟氯碳化物（CFCs），台塑陸續於 83 年成功開發 F141b（一氟二氯乙烷）及 F142b（二氟一氯乙烷），以取代原先使用的 F11、F12 氟氯碳化物，日產量約 20~30 噸。惟依據台塑公司所提出之製程資料表，HCFC 製程區內之氫氟酸製程、氟氯碳化物製程及廢冷媒焚化製程均已於 94 年停止運作。目前 HCFC 製程區之主要製程為氯化甲烷製程，以甲醇、氯氣及鹽酸為原料進行氯化甲烷製程，生產一氯甲烷、二氯甲烷及三氯甲烷，製程過程產生之廢水或廢棄物以含氯烷類為主。

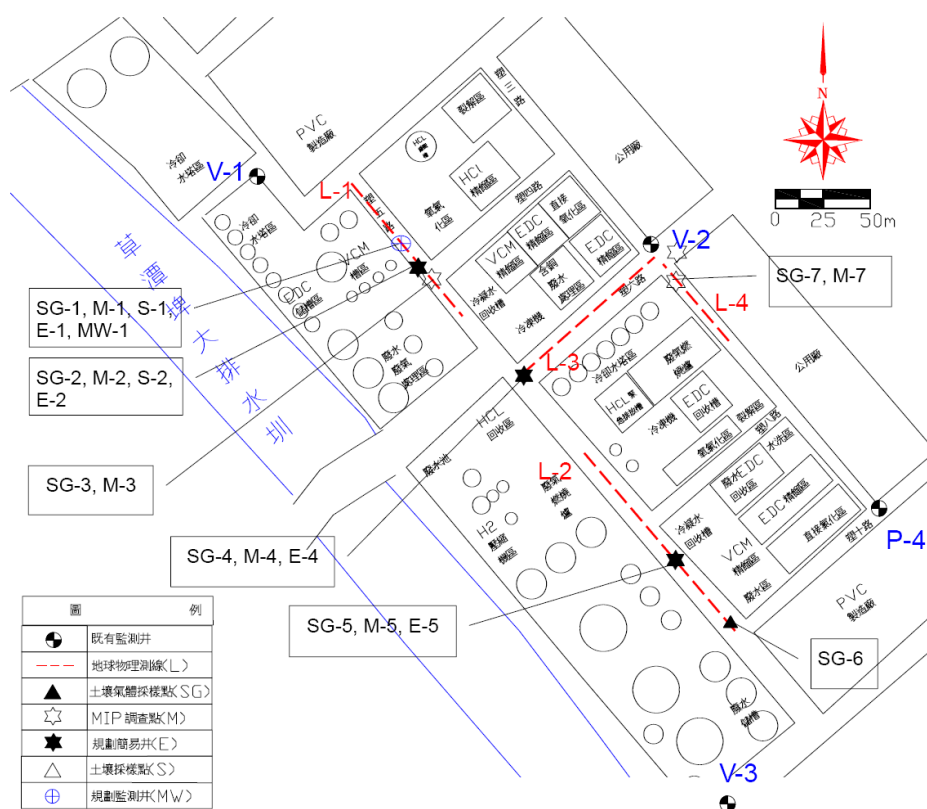
A 廠本身廠內並未設井抽取地下水，廠內使用的地下水來自位於大樹鄉的抽水井。場址之地下水流向，若參考業者提供資料，場址地下水流向大致為東向西或西北流動^[27]。

依據環保署所提供之資料，該廠自 92 年 11 月起於各製程區周圍道路共計設置 18 口監測井，位置示意圖如圖 6-23。該場址地下水位面約為 4~6 公尺，設井深度約至地下 8.3~8.75 公尺。民國 95 年至 97 年間之檢測結果顯示，VCM 製程區附近監測井（V-1、V-2、V-3）、HCFC 製程區（H-1、H-2、H-3）、台麗朗事業部（T-01、T-04）與齒輪廠（HI-01、HI-02）均曾檢測出微量揮發性有機化合物（VOCs），但皆未超過第二類地下水污染管制標準

6.4.3 地下水調查

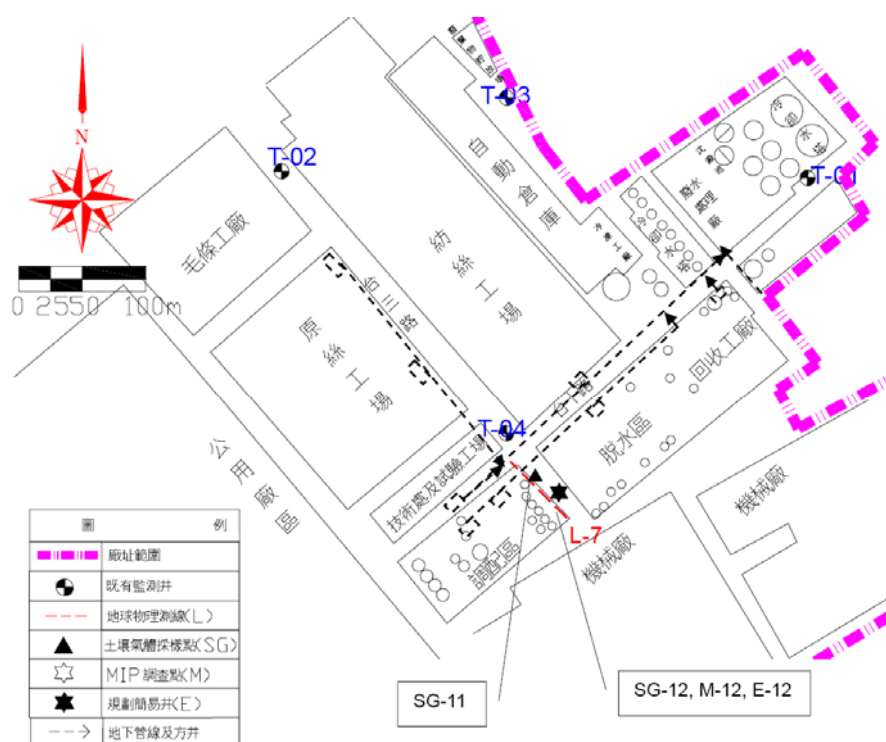
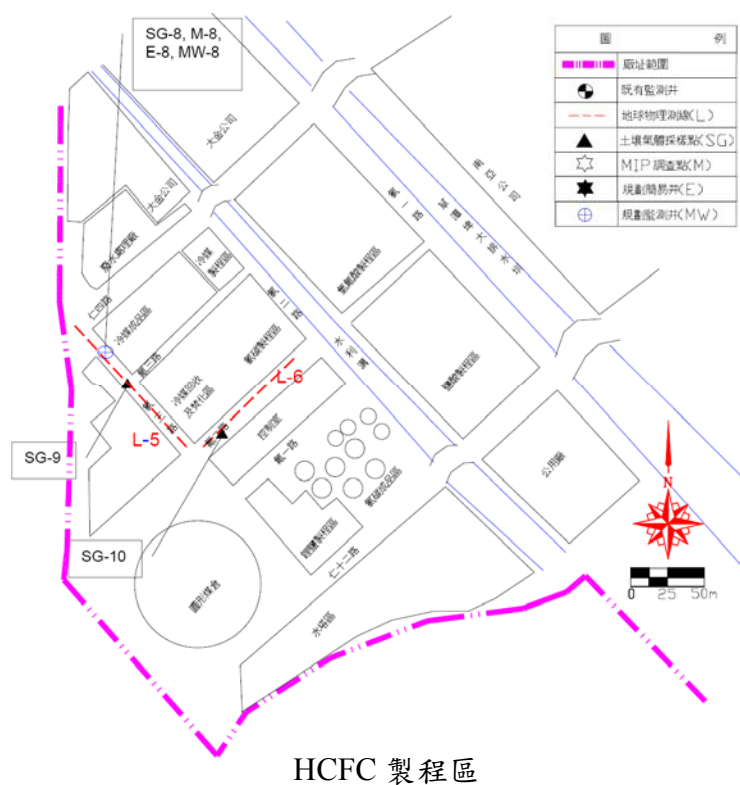
在「運作中工廠土壤及地下水含氯有機溶劑污染潛勢調查及查證計畫」中針對含氯有機物相關製程廠區辦理土壤及地下水污染調查，調查範圍包括：VCM 製程區、HCFC 製程區及台麗朗事業部等區域下游或周邊道路。

執行單位在進行地下水監測井設置之前，先完成了地電阻法測線、透地雷達探勘、土壤氣體不同深度篩測、土壤氣體鋼瓶樣品、MIP 調查等，由於廠區面積廣闊、製程複雜且污染潛勢區分布凌亂，該計畫以地球物理探勘（地電阻法與透地雷達法）、土壤氣體篩測、薄膜界面探測器（MIP）調查，之後根據初步調查結果進行土壤採樣與簡易井採樣，之後再設置標準地下水監測井；各類方法調查結果再進行交叉佐證分析。合計以地球物理方式佈設 620 公尺地電阻法測線、634 公尺透地雷達法測線、12 點土壤氣體不同深度篩測、1 組土壤氣體鋼瓶樣品、8 處 MIP 調查、2 組土壤樣品、6 口簡易井設置、2 口標準監測井設置、10 組地下水樣品。



VCM 製程區

點位 SG-1 為 SG9822-01 之縮寫，其他工項以此類推



台麗朗事業部

圖 6-24 環保署運作中工廠調查計畫採樣點位示意圖 (環保署 2010b)

調查結果顯示^[27]：

- 一、道路北側及南側設置之簡易井濃度均甚為偏高。
- 二、簡易井地下水採樣時發現井管內被阻塞且有膠羽狀不明物質。
- 三、土壤採樣時發現有異味，採樣樣品有不明液體。
- 四、地質鑽探資料及薄膜界面感測器調查之地質導電度顯示地下約 2~5 公尺屬於較低滲透性的地質（坩土或黏土夾層），地下 5.5 公尺以下屬砂質含量較多之高滲透性地質，因此不排除污染已垂直入滲至更深的含水層中。

本場址以簡易井採取 6 組地下水採樣，6 組水樣中均有污染物濃度達管制標準。其中 VCM 廠簡易井以 E9822-04 超過管制標準項目最多，共 1,1,2-三氯乙烷、1,1-二氯乙烯、1,1-二氯乙烷、1,2-二氯乙烷、苯、四氯化碳、氯仿、順-1,2 二氯乙烯、二氯甲烷、四氯乙烯、反-1,2 二氯乙烯、三氯乙烯、氯乙烯等，共 13 項超標。HCFC 廠 E9822-08 地下水檢出 1,1-二氯乙烯、二氯甲烷、四氯乙烯，共 3 項超標。

依據上述各項初步調查結果，調查單位在 VCM 廠與 HCFC 廠各設置一口標準監測井以採取更可靠的地下水水質數據。標準監測井均為直徑 2 英吋之 PVC 材質標準監測井。VCM 廠標準監測井 MW9822-01 之井頂高程 12.2 公尺，井深 9.6 公尺，地下水位面井頂下約 3.362 公尺，開篩位置 3.6~9.6 公尺。設置過程中有明顯異味，連續取樣深度至地下 3.6~4.8 公尺處有不明液體；採樣時發現井管內被阻塞且有膠羽狀不明物質。HCFC 廠監測井 MW9822-08，井頂高程 12.403 公尺，井深 10.1 公尺，地下水位面井頂下約 3.611 公尺，開篩位置 4.1~10.1 公尺。HCFC 廠地下水中溶氧值隨深度攀升，且地下 4.5~10 公尺之溶氧高達 10.5~20.1 mg/L，顯然水質遭受外力干擾；且於設置過程亦有明顯異味。

經調查發現（表 6-17），VCM 製程區監測井 MW9822-01 地下水樣品（地下 3.5 公尺及 4 公尺）之 1,1,2-三氯乙烷、1,1-二氯乙烯、1,2-二氯乙烷、苯、氯仿、順-1,2-二氯乙烯、二氯甲烷、四氯乙烯、三氯乙烯及氯乙烯濃度超過第二類地下水污染管制標準，其中 1,2-二氯乙烷濃度（11,200 及 15,100 mg/L）已超過其飽和溶解度（8,520 mg/L）。HCFC 製程區監測井 MW9822-08 地下水樣品之 1,1-二氯乙烯、順-1,2-二氯乙烯、二氯甲烷、三氯乙烯、四氯乙烯、氯乙烯及四氯化碳濃度超過第二類地下水污染管制標準。台麗朗事業部則經地電阻法探測結果、土壤氣體篩測結果及 MIP 調查結果均無明顯異常，僅簡易井 E9822-12 檢出微量含氯烯類及烷類。

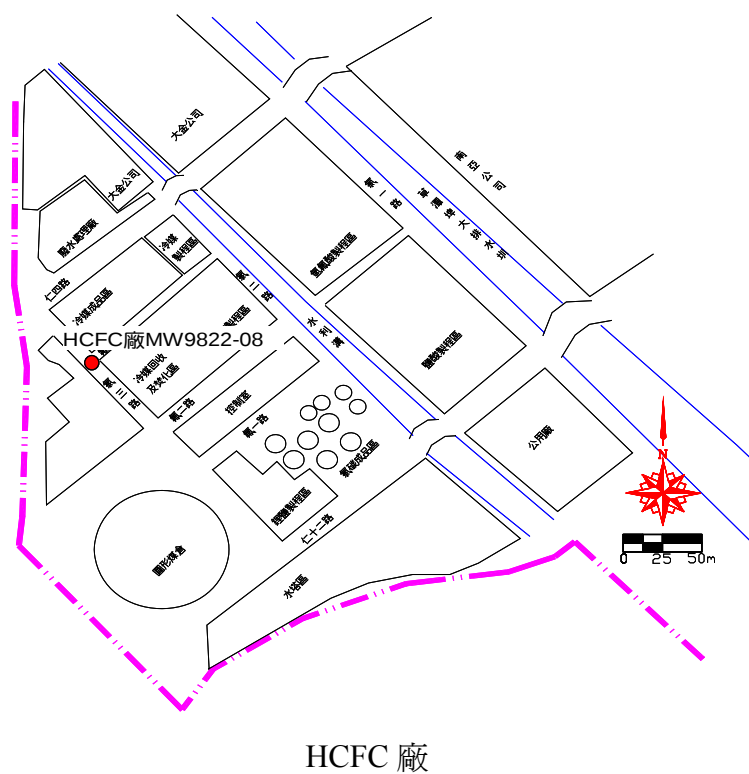
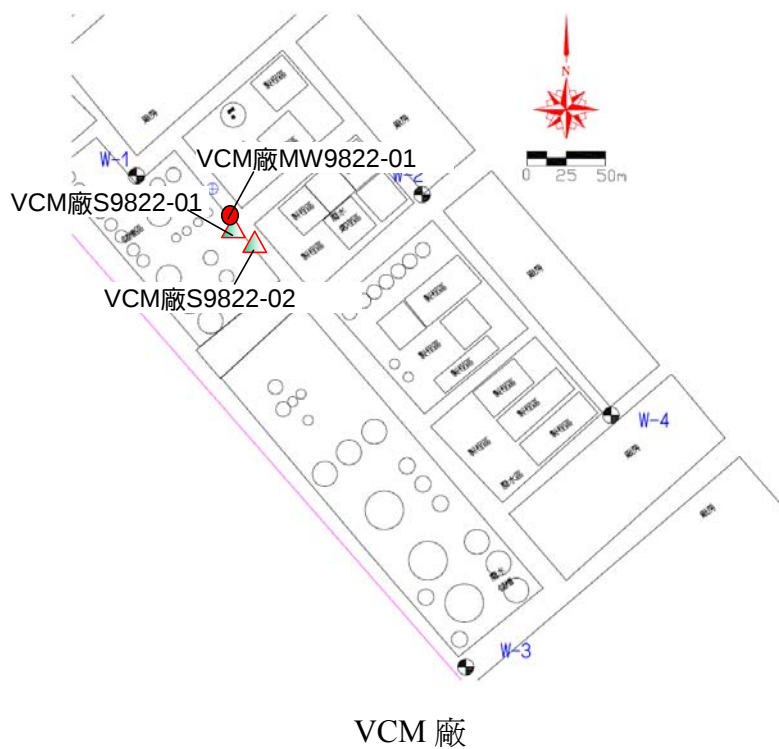


圖 6-25 A 廠採樣位置圖（環保署 2010b）

表 6-17 A 廠檢測結果彙整表（環保署 2010b）

土壤				
A 廠 VCM 製程	點位	項目	濃度(mg/kg)	土壤管制標準 (mg/kg)
	S9822-01	1,2-二氯乙烷	6,060	8
		四氯乙烯	16.5	10
		氯乙烯	29.3	10
	S9822-02	順-1,2-二氯乙烯	18.3	7
		氯乙烯	10.6	10
地下水				
廠別	點位	項目	濃度(mg/L)	第二類地下水 管制標準(mg/L)
A 廠 VCM 製程	MW9822-01	1,1,2-三氯乙烷	8.58	0.05
		1,1-二氯乙烯	1.09	0.07
		1,2-二氯乙烷	15,100	0.05
		苯	3.59	0.05
		氯仿	16.1	1
		順-1,2-二氯乙烯	2.11	0.7
		二氯甲烷	1.35	0.05
		四氯乙烯	2.51	0.05
		三氯乙烯	4.12	0.05
		氯乙烯	19.5	0.02
A 廠 HCFC 製程	MW9822-08	1,1-二氯乙烯	4.73	0.07
		順-1,2 二氯乙烯	3.26	0.7
		二氯甲烷	1,120	0.05
		三氯乙烯	0.18	0.05
		四氯乙烯	3.56	0.05
		氯乙烯	1.49	0.02
		四氯化碳	0.098	0.05

環保署針對本場址進行廠區內外地下水調查，納入環保署 98 年度底泥計畫協助高雄縣政府於廠內及廠外新設 10 口標準監測井（圖 6-26 中 MW01~MW10）。

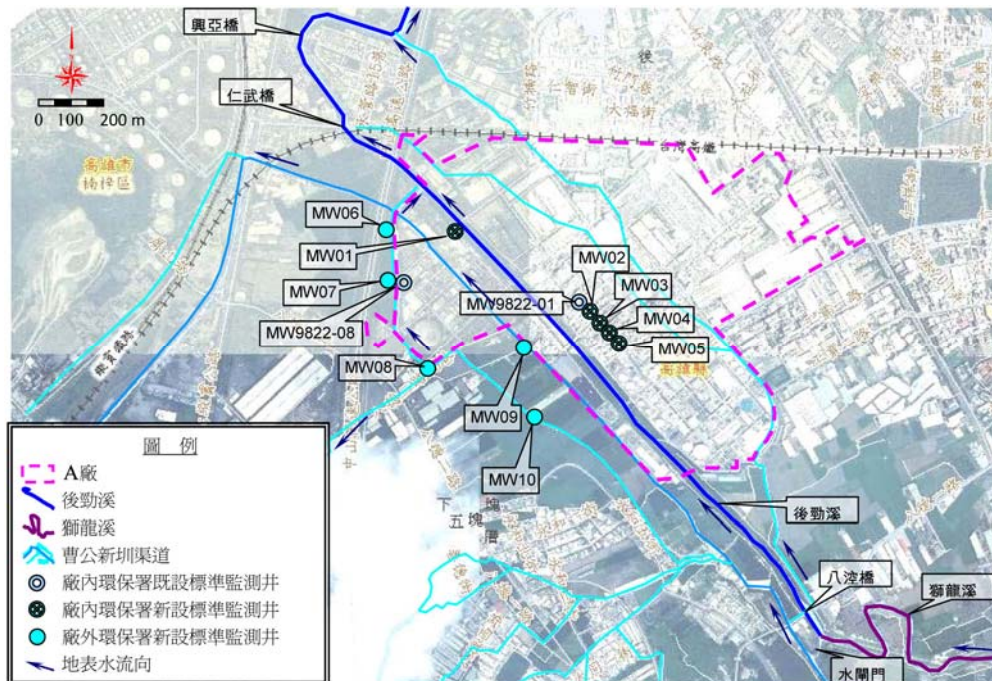


圖 6-26 環保署 98 年度底泥計畫標準監測井位置示意圖^[66]

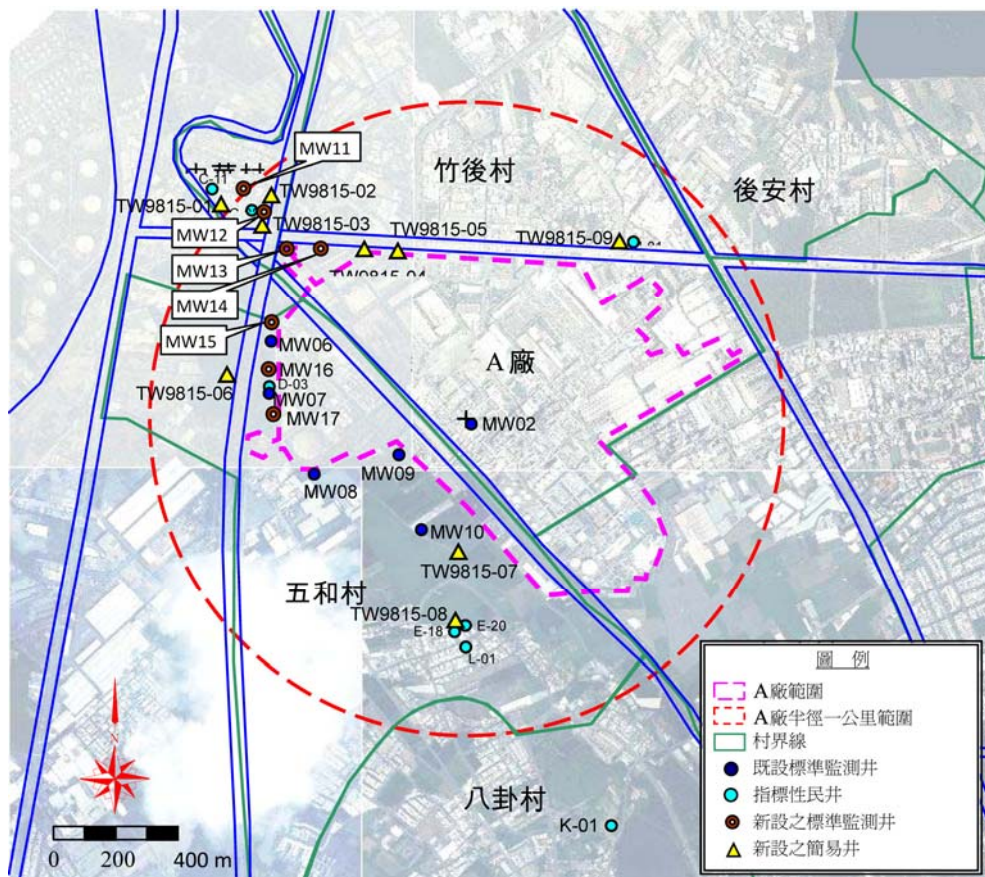
調查結果顯示，A 廠內 VCM 製程區之監測井 MW02（井篩中段及井底上 20 公分處）之 1,1,2-三氯乙烷、1,1-二氯乙烯、1,2-二氯乙烷、苯、二氯甲烷、四氯乙烯、三氯乙烯及氯乙烯濃度均超過第二類地下水污染管制標準，其中 1,2-二氯乙烷濃度（1,290 及 1,480 mg/L）最高，超過地下水污染管制標準（0.050 mg/L）之 25,000 倍以上。在 A 廠自有監測井部分，重工廠監測井 HI-02 檢出順-1,2-二氯乙烯及三氯乙烯，其中三氯乙烯濃度值為 0.159 mg/L，亦超過第二類地下水污染管制標準（0.050 mg/L）；鹼廠監測井 ALK-01 僅檢出微量之三氯乙烯，其他揮發性有機物項目皆未檢出。A 廠廠外周邊 5 口標準監測井，其地下水樣品檢測結果顯示，位於 HCFC 製程區下游之監測井 MW07 檢出 1,1-二氯乙烷及 1,2-二氯乙烷，其中 1,2-二氯乙烷濃度值為 0.355 mg/L，超過第二類地下水污染管制標準（0.050 mg/L）；其餘 4 口監測井地下水皆未檢出揮發性有機物^[66]。

民井地下水調查結果顯示，97 口民井中計有 18 口民井檢出管制項目污染物質，其中 16 口含有微量含氯揮發性有機物。18 口檢出污染物之民井中，中華村民井 C-05 地下水中氯乙烯濃度超過第二類地下水污染管制標準。竹後村民井 I-01 地下水中三氯乙烯濃度超過第一類地下水污染管制標準。

準 (0.0050 mg/L)。五和村民井 D-03 地下水中氯乙烯濃度超過第一類地下水污染管制標準，E-18、E-20 及 L-01 等三口民井地下水中四氯乙烯濃度超過第一類地下水污染管制標準。

因 A 廠西側 HCFC 製程區下游之監測井 MW07 地下水中 1,2-二氯乙烷濃度值超過第二類地下水污染管制標準，由於其污染物主要係以 1,2-二氯乙烷為主，與其鄰近之 HCFC 製程區內監測井 MW9822-08 地下水中污染物以二氯甲烷為主不同，故需進一步釐清監測井 MW07 之污染來源及鄰近區域之污染範圍。環保署為協助高雄縣政府辦理 A 廠廠外地下水污染來源調查作業，再度透過「98-99 年度土壤及地下水污染事件應變調查、查證及技術支援工作計畫」(9815 案) 於 A 廠廠外設置 7 口標準監測井 (MW11~MW17) (圖 6-27)、9 口簡易井，採集 20 組地下水樣品，另辦理水位量測、5 口監測井之水文試驗、8 口監測井之單井流向試驗，以釐清該區域之地下水流向。

本案特於 A 廠外監測井 MW07 附近增設 2 口標準監測井 (MW16、MW17)，以確認 A 廠外地下水污染物可能分布範圍。並藉由地下水位量測，及以單井流速流向測定儀測定監測井 MW07、MW11~MW17 等 8 口監測井之流向，輔助確認該區域之地下水流方向。場址地下水流向調查評估結果顯示，利用本次地下水位絕對高程量測成果，A 廠 HCFC 廠西側周界之地下水流向大致為南向北，但監測井 MW07 附近局部區域之地下水流向為東南向西北，即由廠內流向廠外；A 廠外西北側周界之地下水流向為東南向西北，即由 A 廠外西北側周界流向中華村。

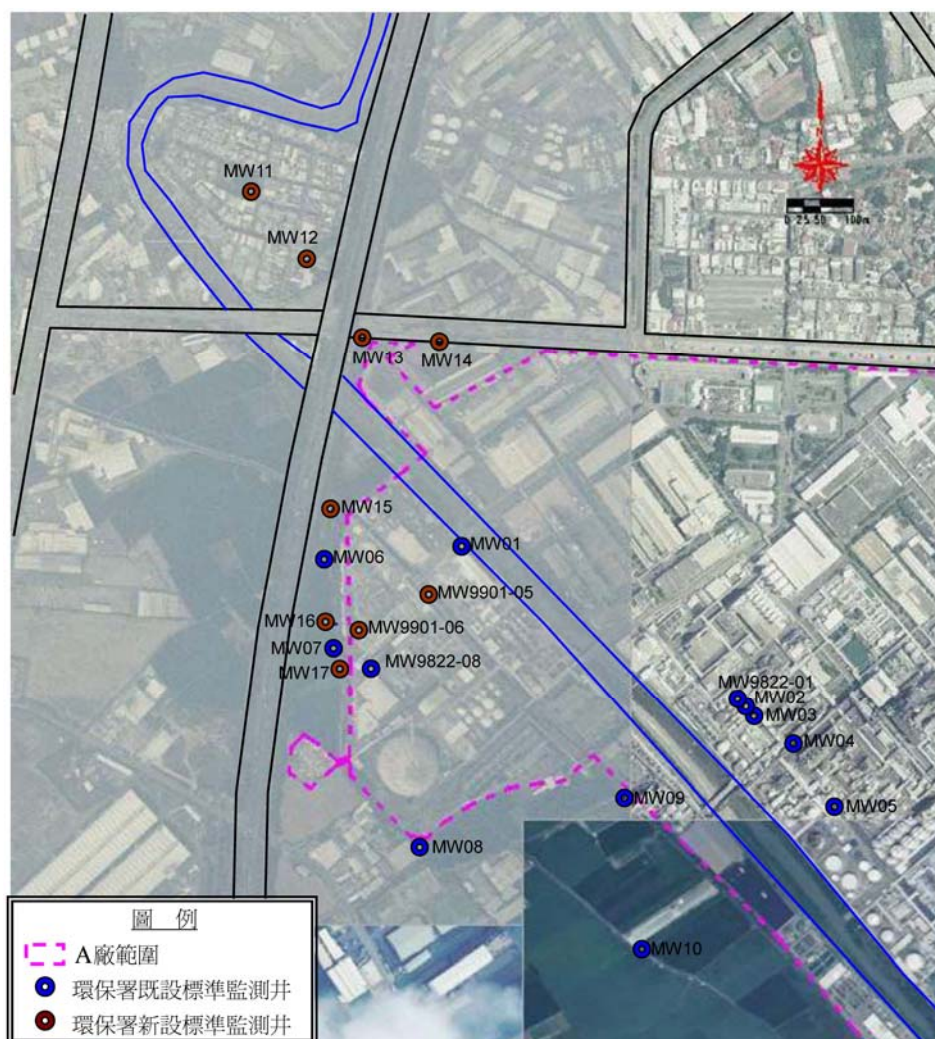


註：1.井編號 I-01 為 RW9813-I-01 之縮寫，其他編號依此類推。

2.TW98-15-01~TW9815-09 為新設之簡易井；MW11~MW17 為新設之標準監測井。

圖 6-27 9815 案廠外簡易井與標準監測井增設位置示意圖

除 A 廠主張之污染來源外，HCFC 製程區東側原為 VCM 製程廢水處理廠，目前未使用，惟不排除其可能有造成地下水污染或其他原因。環保署協助高雄縣政府辦理 A 廠廠外地下水污染來源調查作業，透過「環保署運作中工廠土壤及地下水含氯有機溶劑污染潛勢調查及查證計畫（第 2 期）」，於 A 廠廠內 HCFC 廠辦理 6 點薄膜界面感測器（MIP）調查，設置 6 口簡易井及 2 口標準監測井（MW9901-05、MW9901-06），採集 1 組土壤樣品及 13 組地下水樣品，以釐清 A 廠廠外地下水污染物組成份與廠內地下水污染物之相關性。同時利用 HCFC 廠區內自設之地下水井（加藥井／監測井），採樣分析確認污染物濃度及類別等，輔助研判監測井 MW07 地下水污染之可能來源。至此，A 廠 HCFC 製程區內已設置 4 口標準監測井（MW01、MW9822-08、MW9901-05、MW9901-06）（圖 6-28）。



註：1.底圖為 91、92 及 97 年航照圖。

2.監測井 MW9901-05、06 為「運作中工廠土壤及地下水含氣有機溶劑污染潛勢調查及查證計畫（第 2 期）」新設標準監測井。

圖 6-28 9815 案環保署標準監測井位置示意圖^[66]

在地下水流場部分，9815 案場址地下水流向調查評估結果顯示，利用本次地下水位絕對高程量測成果，A 廠 HCFC 廠西側周界之地下水流向大致為南向北，但監測井 MW07 附近局部區域之地下水流向為東南向西北，即由廠內流向廠外；A 廠外西北側周界之地下水流向為東南向西北，即由 A 廠外西北側周界流向中華村。場址水文地質調查成果顯示，A 廠鄰近區域之水力梯度約介於 1.4~1.7‰，含水層於井篩段的平均水力傳導係數約為 $3.02 \times 10^{-2} \sim 3.70 \times 10^{-2}$ cm/s，屬於中高滲透性含水層，地下水中關切污染物之平均傳輸速度經計算約為 32~43 m/year，惟實際之地下水流向及流速受到地質空間變化、季節性變化、工廠或民宅抽水等不確定因素影響^[66]。

9815 案地下水污染調查結果發現，A 廠外西北側周界及中華村內多口簡易井與監測井地下水樣品，檢出以 1,1-二氯乙烷、1,2-二氯乙烷、及氯乙

烯為主之污染物，其中位於中華村內之監測井 MW12 與簡易井 TW9815-03 地下水中氯乙烯濃度值分別為 0.0310 mg/L 及 0.0925 mg/L，超過第二類地下水污染管制標準 (0.020 mg/L)。位於 A 廠外西北側周界之監測井 MW13 與簡易井 TW9815-04 地下水中氯乙烯濃度值分別為 0.00360 mg/L 及 0.00215 mg/L，超過第一類地下水污染管制標準 (0.0020 mg/L)。綜合本工作評估之地下水流向及地下水中污染物組成份分析結果，研判中華村內之地下水污染來源為 A 廠。

9815 案調查成果顯示，HCFC 製程區內之監測井 MW9901-05、MW9901-06 與 MW9822-08 檢出多種含氯揮發性有機物，所檢出之污染物項目除二氯甲烷外，另檢出包含氯仿、1,1-二氯乙烷、1,2-二氯乙烷、氯乙烯、1,1-二氯乙烯等污染物，且有多種污染物項目濃度值高於第二類地下水污染管制標準，確認 HCFC 製程區內地下水受到受到多種含氯揮發性有機物污染。於 A 廠外 HCFC 製程區下游區域，監測井 MW07 北側新設之監測井 MW16 地下水中未檢出揮發性有機物，監測井 MW07 南側新設之監測井 MW17 地下水則檢出包含 1,1-二氯乙烷、1,2-二氯乙烷、氯仿、氯乙烯及二氯二氟甲烷等污染物，污染物組成份與監測井 MW07 相近，污染物濃度值則均低於第二類地下水污染管制標準。由 HCFC 製程區周界台塑公司自設之地下水井 A73、A97、A98 (與監測井 MW07、MW17 僅一牆之隔)，地下水樣品亦檢出氯仿、1,1-二氯乙烷等污染物，及前述地下水流向推估 A 廠 HCFC 製程區周界局部區域之地下水流向為東南向西北 (即由廠內流向廠外) 等資料綜合研判，A 廠 HCFC 製程區下游局部區域地下水確實已受到廠內地下水污染情形影響^[66]。

由地下水調查資料發現，A 廠 HCFC 製程區內及廠外多口監測井之地下水樣品檢出微量之二氟二氯甲烷 (CFC-12) 及一氟三氯甲烷 (CFC-11)，此兩種物質均為 A 廠原氟氯碳廠 (CFC 製程區)【已於 86 年改名氟氯烴廠 (HCFC 製程區)】於 79 年至 85 年間之產品 (冷煤) 之一，佐證 HCFC 製程區西側周界廠外之地下水污染情形與 A 廠相關^[66]。

高雄縣環保局自行辦理之監測井 MW07 附近廢棄物下方原生土壤樣品檢測結果顯示 2 組土壤樣品均未檢出揮發性有機污染物，確認地下水之污染情形與廢棄物無關。此外，簡易井 TW9815-06 地下水中並未檢出揮發性有機物，初步研判 A 廠外監測井 MW07 之地下水污染情形，尚無擴散至高速公路西側之跡象^[66]。

6.4.4 案例經驗

本案例係由環保署主導之石化工廠地下水污染調查，由於經費、人

力、技術均較為充足，因此從一開始就採用了地球物理方法、MIP 篩測先針對廠區做概括性的瞭解，之後透過簡易井的設置再確認土壤採樣與標準監測井設置的位置。當初步認定有可能有嚴重污染之後，再透過環保署與高雄縣環保局的其他計畫，陸續設置更多簡易井與標準監測井，進行範圍更大、細密的地下水採樣分析。

惟由本案可發現，由於石化工廠儲槽與管線密佈，要在廠區內找到適當位置進行土壤採樣或設置簡易井、標準監測井都相當困難。另一方面，要在廠外設置監測井以釐清污染範圍或污染擴散的潛勢則更礙於基本資料的缺乏而受到限制。在本案例中，因由初期至目前為止，主管機關並未要求承辦單位針對場址的水文地質狀況進行較詳細之調查，因此相關資料甚為欠缺。目前各項調查，包括 MIP、簡易井、標準監測井之深度均侷限於地表下 12 公尺以內。對於較深的地層並無資料。以 DNAPL 之特性而言，若有 DNAPL 則其將因密度較高而往地下水含水層下方移動；本案調查深度之侷限，使得截至目前為止對於含水層較深處的污染概況無法得知。

此外，對於地下水流向的掌握方面，雖進行了部分單井流速儀的測量配合採用部分監測井水位資料所繪製的等高線圖判斷流向，但是並未針對場址內外的地下水監測井水位資料進行較詳細的蒐集，且利用不同時期（例如豐水期與枯水期）的水位值繪製等水位線，以便釐清在豐、枯水期地下水流向與後勁溪水位之關係，以及在豐、枯水期周遭民井是否因抽水而導致地下水流場之改變。目前的地下水流向判斷雖在場址西側數據較多，但不能代表全年的狀況，也難以掌握局部地下水流向和整個場址以及周遭（例如廠區外 1 公里範圍內）地下水之流況。對於污染可能造成的影響之判斷而言，目前的地下水流向與流速資料仍屬不足。

值得一提的是在本案例中所採用之監測井材質為 PVC。雖 PVC 材質較不適合進行揮發性有機物之監測，但因本場址污染物濃度非常高，因此 PVC 材質吸附部分有機物對於檢出數據的影響頗低；但另一方面，PVC 材質可能受高濃度有機物溶解而劣化甚至損壞，將大幅降低檢測數據之可靠度與監測井可使用之有效時間。此外，本場址兩口標準監測井中地下水水位略高於篩管上端，但因本場址污染物大多為 DNAPL，因此篩管位置若較深，更有可能採得深度較深的地下水水樣，水中污染物的濃度可能更高、更具代表性。若要更深入瞭解場址污染的狀況，除了增加監測井在平面分布的密度外，在垂直向亦應以較短之篩管在不同深度設置分層觀測井。但因本案調查的時間相當緊迫，且為求資料之一致性，因此均採 6 公尺篩管，而採樣時以低流量洗井在篩管中段或底部採樣。

整體而言，本案在整個調查流程相當完整，從工廠製程資料的蒐集、地球物理與 MIP 等初步調查，一直到土壤採樣、簡易井設置以及標準監測井設置，各個步驟均相當嚴謹。惟若要更全面地瞭解場址污染的狀況與對未來的情勢做研判，則還需要進一步對於場址較深層含水層的調查以及更全面性的水文資料分析。

參考文獻

1. State of Ohio Environmental Protection Agency, Technical Guidance Manual for Ground Water Investigations Chapter 5 Monitoring Well Placement, Division of Drinking and Ground Waters, 18 p, 2007.
2. 黃智，土壤與地下水污染調查規劃與策略，土壤及地下水污染預防與整治之法令及技術宣導講習會，2006。
3. U.S. Environmental Protection Agency, Waste Management Area (WMA) and Supplemental Well (SPW) Guidance. Office of Solid Waste. Washington, D.C, 1993.
4. 環保署，地下水水質監測井設置規範，2002。
5. Nevada Division of Environmental Protection (NDEP), Monitoring Well Design Requirements, Bureau of Mining Regulation and Reclamation (BMRR), NDEP 10/90, 1990.
6. Gorelick, S.M., R.A. Freeze, D. Donhue, and J.F. Keely, Ground Water Contamination, Optimal Capture and Containment. Lewis Publishing, CRC Press. Boca Raton, Florida. 385p, 1993.
7. Aller, L., T.W. Bennett, G. Hackett, R.J. Petty, J.H. Lehr, H. Sedoris, D.M. Nielson and J.E. Denne, Handbook of Suggested Practices for the Design and Installation of Ground-Water Monitoring Wells; Environmental Monitoring Systems Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency. Las Vegas, Nevada. EPA 600/4-89/034, 221 pp. (In cooperation with the National Water Well Association, Dublin, Ohio) , 1991.
8. 林威州，工業區內事業之地下水監測井網規劃建置策略探討，產業製程清潔生產 與綠色技術資訊網，2006。<http://proj.moeaidb.gov.tw/eta/tech/techKnow-more.asp?HnfiZf>
9. 環保署，場置性地下水監測井設置及後續處理處置原則，2010a。
10. 環保署，行政院環境保護署協助地方環保機關辦理土壤及地下水污染調查及查證工作經費補助審核作業要點，2009a。
11. ASTM, ASTM D6001, Standard Guide for Direct-Push Water Sampling for Geoenvironmental Investigations, American Society of Testing and Material, West Conshohocken, PA, USA. , 2001.
12. 環保署，油品類儲槽系統快速場址調查及評估技術參考手冊，198 p，2006a.
13. 環保署，土壤及地下水直接貫入採樣及篩選測試方法，2008a，NIEA W106.50C，

中華民國 97 年 1 月 24 日環署檢字第 0970007967A 號公告

14. U.S. Army Corps of Engineers, “Monitoring Well Design, Installation, And Documentation At Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Sites,” U.S. Army Corps of Engineers Engineer Manual, EM 1110-1-4000, 61 p, 1998.
15. U.S. Environmental Protection Agency, Design and Installation of Monitoring Wells, Region 4, U.S. Environmental Protection Agency, Science and Ecosystem Support Division, (SESDPROC-205-R1). Athens, Georgia, 33 p, 2008.
16. New Jersey Department of Environmental Protection, Field Sampling Procedures Manual, 574 p, 2005.
17. ASTM, ASTM D5092, Standard Practice For Design And Installation of Ground Water Monitoring Wells In Aquifers” for Granular Aquifers, American Society of Testing and Material, West Conshohocken, PA, USA, 2004.
18. U.S. Environmental Protection Agency, Groundwater Sampling and Monitoring with Direct Push Technologies, OSWER No. 9200.1-51 EPA 540/R-04/005, Office of Solid Waste and Emergency Response Washington, DC 20460, 67 p, 2005.
19. Knowles, D. S., and Lieberman, S. H, Field results from the SCAPS laser-induced fluorescence (LIF) sensor for in-situ subsurface detection of petroleum hydrocarbons, Remote In-Situ Monitoring Of Hazardous Waste And Technology Demonstration, Proc. Spie, Vol. 2504, 1995.
20. Kejr, Inc., Dual Tube DT21 Groundwater Profiler Kit, Intallation and Operation Instructions, ,2001.
<http://www.geoprobe.com/literature/instruction/DT21%20Profiler%20Instructions.pdf>
21. ASTM, ASTM D6725, Standard Practice for Direct Push Installation of Prepacked Screen Monitoring Wells in Unconsolidated Aquifers, American Society of Testing and Material, West Conshohocken, PA, USA, 2004b.
22. Kram, M., D. Lorenzana, J. Michaelson, and E. Lam. Performance Comparison: Direct-Push Wells Versus Drilled Wells. NFESC Technical Report TR-2120-ENV, October 2000, Naval Facilities Engineering Command, Washington, DC, 55 pp. 2000.
23. Florida Department of Environmental Protection, Guidance for Ground Water Monitoring Plan Design, Bureau of Water Facilities Regulation, 32 p, 2008a.
24. U.S. Environmental Protection Agency, Environmental Investigations Standard

- Operating Procedures and Quality Assurance Manual, U.S. Environmental Protection Agency Region 4, www.epa.gov/region4/sesd/eisopqam/eisopqam.html, 413 p, 2001.
25. Florida Department of Environmental Protection, Rule 62-520.600(3), F.A.C, 2008b.
 26. Florida Department of Environmental Protection, Monitoring Well Design and Construction Guidance Manual, Bureau of Water Facilities Regulation, 79 p, 2008c.
 27. 環保署，運作中工廠土壤及地下水含氯有機溶劑污染潛勢調查及查證計畫，EPA-97-GA102-03-A184，2010b。
 28. ASTM, ASTM D1586, Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils, American Society of Testing and Material, West Conshohocken, PA, USA, 2008a..
 29. 中華民國國家標準，CNS 12386 A3284「土壤薄管採樣法」，民國 86 年 10 月。
 30. ASTM, ASTM D1587, Standard Practice for Thin-Walled Tube Sampling of Soils for Geotechnical Purposes, American Society of Testing and Material, West Conshohocken, PA, USA, 2008b.
 31. ASTM, ASTM C136, Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, American Society of Testing and Material, West Conshohocken, PA, USA. , 2006.
 32. ASTM, ASTM D2488, Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedure), American Society of Testing and Material, West Conshohocken, PA, USA, 2009..
 33. U.S. Environmental Protection Agency, Non-aqueous Phase Liquids Compatibility with Materials Used in Well Construction, Sampling, and Remediation, EPA/540/S-95/503, Office of Solid Waste and Emergency Response, 1995.
 34. State Oregon Department of Environmental Quality, GROUNDWATER MONITORING WELL DRILLING, CONSTRUCTION, AND DECOMMISSIONING, 33 p, 1992.
 35. ASTM, ASTM D5787, Standard Practice for Monitoring Well Protection, American Society of Testing and Material, West Conshohocken, PA, USA, 2009.
 36. ASTM, ASTM D5521, Standard Guide for Development of Ground-Water Monitoring Wells in Granular Aquifers, American Society of Testing and Material, West Conshohocken, PA, USA. , 2005a.
 37. 環保署，監測井地下水採樣方法，NIEA W103.53B，民國 94 年 12 月 14 日環署檢

字第 0940101385 號公告。

38. QED Environmental Systems, 2010 . <http://www.qedenv.com>
39. Lane, S.L., Flanagan, Sarah, and Wilde, F.D., Selection of equipment for water sampling (ver. 2.0): U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations, book 9, chap. A2, <http://pubs.water.usgs.gov/twri9A2/>, 2003.
40. Yeskis, D. and Zavala, B., Ground-Water Sampling Guidelines for Superfund and RCRA Project Managers, Ground Water Forum Issue Paper, EPA 542-S-02-001, Office of Solid Waste and Emergency Response, US EPA, Washington, DC, 2002.
41. Pohlmann, K.F., R.P. Blegen, and J.W. Hess, Field Comparison of Ground-Water Sampling Devices for Hazardous Waste Sites: An Evaluation using Volatile Organic Compounds; U.S. Environmental Protection Agency, EPA/600/4-90/028, 102 pp, 1990.
42. Yeskis, D., K. Chiu, S. Meyers, J. Weiss and T. Bloom, A Field Study of Various Sampling Devices and Their Effects on Volatile Organic Contaminants; Proceedings of the Second National Outdoor Action Conference on Aquifer Restoration, Ground Water Monitoring and Geophysical Methods, National Water Well Association, May, 1988.
43. Tai, D.Y., K.S. Turner, and L.A. Garcia, The Use of a Standpipe to Evaluate Ground Water Samples; Ground Water Monitoring Review, Vol. 11, No. 1, pp. 125-132, 1991.
44. Herzog, B.L., S.J. Chou, J.R. Valkenburg and R.A. Griffin, Changes in Volatile Organic Chemical Concentrations After Purging Slowly Recovering Wells; Ground Water Monitoring Review, Vol. 8, No. 4, pp. 93-99, 1988.
45. Powell, Robert M. and Robert W. Puls “Passive Sampling of Groundwater Monitoring Wells Without Purging: Multilevel Well Chemistry and Tracer Disappearance.” Journal of Contaminant Hydrology. No. 12, 1993, pp.51-77, 1993.
46. Puls, R.W. and M.J. Barcelona, GROUNDWATER ISSUE PAPER: Low-Flow (Minimal Drawdown) Ground-Water Sampling Procedures; U.S. Environmental Protection Agency, EPA/540/S-95/504, 12 pp, 1996.
47. 環保署，監測井地下水揮發性有機物被動式擴散採樣袋採樣方法，NIEA W108.50C，2009b。
48. USGS, “User’ s Guide for Polyethylene-Based Passive Diffusion Bag Samplers to Obtain Volatile Organic Compound Concentrations in Wells” , United States Geological Survey (U.S.G.S.) Water Resources Investigations Report 01-4060, March 2001,

49. ITRC, Technical and Regulatory Guidance for Using Polyethylene Diffusion Bag Samplers to Monitor Volatile Organic Compounds in Groundwater, Interstate Technology and Regulatory Council (ITRC) 2004 Publication (issued by the ITRC Diffusion Sampler Team)
50. 環保署，深層大口徑監測井地下水微洗井採樣方法，NIEA W105.50B，民國 97 年 1 月 24 日環署檢字第 0970007967 號公告。
51. Gibs, J. and T.E. Imbrigiotta, Well-Purging Criteria for Sampling Purgeable Organic Compounds; Ground Water, Vol. 28, No. 1, pp.68-78, 1990.
52. Puls, R.W., J.H. Eychaner, and R.M. Powell, ENVIRONMENTAL RESEARCH BRIEF: Colloidal-Facilitated Transport of Inorganic Contaminants in Ground Water: Part I. Sampling Considerations; U.S. Environmental Protection Agency, EPA/600/M-90/023, 12 pp, 1990.
53. McAlary, T.A. and J.F. Barker, Volatilization Losses of Organics During Ground Water Sampling from Low Permeability Materials; Ground Water Monitoring Review, Vol. 7, No. 4, pp. 63-68, 1987.
54. New Mexico Environment Department, Use of Low-Flow and Other Non-Traditional Sampling Techniques for RCRA Compliant Groundwater Monitoring, Hazardous Waste Bureau, 15 p, 2001.
55. Maranville, V. M. and Frank, E. A, Use of the Low-Flow Sampling Technique for Compliance Groundwater Monitoring at Resource Conservation and Recovery Act (RCRA) Facilities in the State of New Mexico., 2001.
56. Wilde, F.D., D.B. Radtke, J.Gibs and R.T. Iwatsubo, eds., National Field Manual for the Collection of Water-Quality Data; U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations, Book 9, Handbooks for Water-Resources Investigations, variously paginated, 1998.
57. Keely J.F. and Boateng K., Monitoring Well Installation, Purging, and Sampling Techniques - Part 1: Conceptualisations, Ground Water, v. 25, pp 300-313, 1987.
58. Dragun, J., The Fate of Hazardous Materials in Soil, What Every Geologist and Hydrogeologist Should Know, Part 1, HMC, March/April 1988.
59. Mason, S.A., J. Barkach, and J. Dragun. Effect of filtration on colloidal transport in soil. Ground Water, Vol. 30, No. 1, pp. 104-106, 1992.

60. Puls, R.W. and R.M. Powell, Acquisition of Representative Ground Water Quality Samples for Metals; Ground Water Monitoring Review, Vol. 12, No. 3, pp. 167-176, 1992.
61. U.S. Environmental Protection Agency, Ground-Water Sampling Guidelines for Superfund and RCRA Project Managers, Office of Solid Waste and Emergency Response, EPA 542-S-02-001, 2002.
62. 環保署，水中總溶解固體及懸浮固體檢測方法—103~105°C 乾燥，NIEA W210.57A，中華民國 95 年 6 月 2 日環署檢字第 0950043953 號公告，2006b。
63. ASTM, ASTM D4448, Standard Guide for Sampling Ground-Water Monitoring Wells, American Society of Testing and Material, West Conshohocken, PA, USA. , 2007.
64. ASTM, ASTM D5978 - 96(2005) Standard Guide for Maintenance and Rehabilitation of Ground-Water Monitoring Wells, American Society of Testing and Material, West Conshohocken, PA, USA. , 2005b.
65. ASTM, ASTM D6771, Standard Practice for Low-Flow Purging and Sampling for Wells and Devices Used for Ground-Water Quality Investigations, American Society of Testing and Material, West Conshohocken, PA, USA, 2002.
66. 環保署，98-99 年度土壤及地下水污染事件應變調查、查證及技術支援工作計畫期末報告，2010c。

附錄 1 土壤及地下水污染整治法

附錄 1 土壤及地下水污染整治法

中華民國 99 年 2 月 3 日公布

第一章 總 則

第 一 條 為預防及整治土壤及地下水污染，確保土地及地下水資源永續利用，改善生活環境，維護國民健康，特制定本法。

第 二 條 本法用詞，定義如下：

- 一、土壤：指陸上生物生長或生活之地殼岩石表面之疏鬆天然介質。
- 二、地下水：指流動或停滯於地面以下之水。
- 三、底泥：指因重力而沉積於地面水體底層之物質。
- 四、土壤污染：指土壤因物質、生物或能量之介入，致變更品質，有影響其正常用途或危害國民健康及生活環境之虞。
- 五、地下水污染：指地下水因物質、生物或能量之介入，致變更品質，有影響其正常用途或危害國民健康及生活環境之虞。
- 六、底泥污染：指底泥因物質、生物或能量之介入，致影響地面水體生態環境與水生食物的正常用途或危害國民健康及生活環境之虞。
- 七、污染物：指任何能導致土壤或地下水污染之外來物質、生物或能量。
- 八、土壤污染監測標準：指基於土壤污染預防目的，所訂定須進行土壤污染監測之污染物濃度。
- 九、地下水污染監測標準：指基於地下水污染預防目的，所訂定須進行地下水污染監測之污染物濃度。
- 十、土壤污染管制標準：指為防止土壤污染惡化，所訂定之土壤污染管制限度。
- 十一、地下水污染管制標準：指為防止地下水污染惡化，所訂定之地下水污染管制限度。
- 十二、底泥品質指標：指基於管理底泥品質之目的，考量污染傳輸移動特性及生物有效累積性等，所訂定分類管理或用途限制之限度。

十三、土壤污染整治目標：指基於土壤污染整治目的，所訂定之污染物限度。

十四、地下水污染整治目標：指基於地下水污染整治目的，所訂定之污染物限度。

十五、污染行為人：指因有下列行為之一而造成土壤或地下水污染之人：

- (一)洩漏或棄置污染物。
- (二)非法排放或灌注污染物。
- (三)仲介或容許洩漏、棄置、非法排放或灌注污染物。
- (四)未依法令規定清理污染物。

十六、潛在污染責任人：指因下列行為，致污染物累積於土壤或地下水，而造成土壤或地下水污染之人：

- (一)排放、灌注、滲透污染物。
- (二)核准或同意於灌排系統及灌區集水區域內排放廢污水。

十七、污染控制場址：指土壤污染或地下水污染來源明確之場址，其污染物非自然環境存在經沖刷、流布、沉積、引灌，致該污染物達土壤或地下水污染管制標準者。

十八、污染整治場址：指污染控制場址經初步評估，有嚴重危害國民健康及生活環境之虞，而經中央主管機關審核公告者。

十九、污染土地關係人：指土地經公告為污染控制場址或污染整治場址時，非屬於污染行為人之土地使用人、管理人或所有人。

二十、污染管制區：指視污染控制場址或污染整治場址之土壤、地下水污染範圍或情況所劃定之區域。

第 三 條 本法所稱主管機關：在中央為行政院環境保護署；在直轄市為直轄市政府；在縣（市）為縣（市）政府。

第 四 條 本法所定中央主管機關之主管事項如下：

- 一、全國性土壤、底泥及地下水污染預防與整治政策、方案、計畫之規劃、訂定、督導及執行。
- 二、全國性土壤及地下水污染之監測及檢驗。
- 三、土壤、底泥及地下水污染整治法規之訂定、研議及釋示。

- 四、直轄市或縣（市）主管機關土壤、底泥及地下水污染預防、監測與整治工作之監督、輔導及核定。
- 五、涉及二直轄市或縣（市）以上土壤、底泥及地下水污染整治之協調。
- 六、土壤及地下水污染整治基金之管理。
- 七、土壤、底泥及地下水污染檢測機構之認可及管理。
- 八、土壤、底泥及地下水污染預防與整治之研究發展及宣導。
- 九、土壤、底泥及地下水污染整治之國際合作、科技交流及人員訓練。
- 十、其他有關全國性土壤、底泥及地下水污染之管理、預防及整治。

第 五 條 本法所定直轄市、縣（市）主管機關之主管事項如下：

- 一、轄內土壤、底泥及地下水污染預防與整治工作實施方案、計畫之規劃、訂定及執行。
- 二、轄內土壤、底泥及地下水污染整治自治法規之訂定及釋示。
- 三、轄內土壤及地下水污染預防、監測及整治工作之執行事項。
- 四、轄內土壤、底泥及地下水污染預防與整治之研究發展及宣導。
- 五、轄內土壤、底泥及地下水污染預防及整治之人員訓練。
- 六、其他有關轄內土壤、底泥及地下水污染之管理、預防及整治。

第二章 防治措施

第 六 條 各級主管機關應定期檢測轄區土壤及地下水品質狀況，其污染物濃度達土壤或地下水污染管制標準者，應採取適當措施，追查污染責任，直轄市、縣（市）主管機關並應陳報中央主管機關；其污染物濃度低於土壤或地下水污染管制標準而達土壤或地下水污染監測標準者，應定期監測，監測結果應公告，並報請中央主管機關備查。

前項土壤或地下水污染監測、管制之適用範圍、污染物項目、污染物標準值及其他應遵行事項之標準，由中央主管機關分別定之。

下列區域之目的事業主管機關，應視區內污染潛勢，定期檢測土壤及地下水品質狀況，作成資料送直轄市、縣（市）主管機關備查：

- 一、工業區。

- 二、加工出口區。
- 三、科學工業園區。
- 四、環保科技園區。
- 五、農業科技園區。
- 六、其他經中央主管機關公告之特定區域。

前項土壤及地下水品質狀況資料之內容、申報時機、應檢具之文件、檢測時機及其他應遵行事項之辦法，由中央主管機關定之。

下列水體之目的事業主管機關，應定期檢測底泥品質狀況，與底泥品質指標比對評估後，送中央主管機關備查，並公布底泥品質狀況：

- 一、河川。
- 二、灌溉渠道。
- 三、湖泊。
- 四、水庫。
- 五、其他經中央主管機關公告之特定地面水體。

前項底泥品質指標之分類管理及用途限制，由中央主管機關定之。

第五項底泥品質狀況之內容、申報時機、應檢具之文件、檢測時機及其他應遵行事項之辦法，由中央主管機關定之。

第七條 各級主管機關得派員攜帶證明文件，進入公私場所，為下列查證工作，並得命場所使用人、管理人或所有人提供有關資料：

- 一、調查土壤、底泥、地下水污染情形及土壤、底泥、地下水污染物來源。
- 二、進行土壤、地下水或相關污染物採樣及地下水監測井之設置。
- 三、會同農業及衛生主管機關採集農漁產品樣本。

前項查證涉及軍事事務者，應會同當地軍事機關為之。

對於前二項查證或命提供資料，不得規避、妨礙或拒絕。

檢查機關及人員對於查證所知之工商及軍事秘密，應予保密。

各級主管機關為查證工作時，發現土壤、底泥或地下水因受污染而有影響人體健康、農漁業生產或飲用水水源之虞者，得準用第十五條第一項規定，採取應變必要措施；對於第十五條第一項第三款、第四款、第七款及第八款之應變必要措施，得命污染行為人、潛在污染責任人、場所使用人、管理人或所有人為之，以減輕污染影響或避免

污染擴大。

前項應變必要措施之執行期限，以十二個月內執行完畢者為限；必要時，得展延一次，其期限不得超過六個月。

依第五項規定採取應變必要措施，致土壤、地下水污染情形減輕，並經所在地主管機關查證其土壤及地下水污染物濃度低於土壤、地下水污染管制標準者，得不公告為控制場址。

第 八 條 中央主管機關公告之事業所使用之土地移轉時，讓與人應提供土壤污染評估調查及檢測資料，並報請直轄市、縣（市）主管機關備查。

土地讓與人未依前項規定提供受讓人相關資料者，於該土地公告為控制場址或整治場址時，其責任與本法第三十一條第一項所定之責任同。

第 九 條 中央主管機關公告之事業有下列情形之一者，應於行為前檢具用地之土壤污染評估調查及檢測資料，報請直轄市、縣（市）主管機關或中央主管機關委託之機關審查：

- 一、依法辦理事業設立許可、登記、申請營業執照。
- 二、變更經營者。
- 三、變更產業類別。但變更前、後之產業類別均屬中央主管機關公告之事業，不在此限。
- 四、變更營業用地範圍。
- 五、依法辦理歇業、繳銷經營許可或營業執照、終止營業（運）、關廠（場）或無繼續生產、製造、加工。

前條第一項及前項土壤污染評估調查及檢測資料之內容、申報時機、應檢具之文件、評估調查方法、檢測時機、評估調查人員資格、訓練、委託、審查作業程序及其他應遵行事項之辦法，由中央主管機關定之。

第 十 條 依本法規定進行土壤、底泥及地下水污染調查、整治及提供、檢具土壤及地下水污染檢測資料時，其土壤、底泥及地下水污染物檢驗測定，除經中央主管機關核准者外，應委託經中央主管機關許可之檢測機構辦理。

前項檢測機構應具備之條件、設施、許可證之申請、審查、核（換）

發、撤銷、廢止、停業、復業、查核、評鑑程序、儀器設備、檢測人員、在職訓練、技術評鑑、盲樣測試、檢測方法、品質管制事項、品質系統基本規範、檢測報告簽署、資料提報、執行業務及其他應遵行事項之辦法，由中央主管機關定之。

依第一項規定進行土壤、底泥及地下水污染物檢驗測定時，其方法及品質管制之準則，由中央主管機關定之。

第十一條 依本法規定須提出、檢具之污染控制計畫、污染整治計畫、評估調查資料、污染調查及評估計畫等文件，應經依法登記執業之環境工程技師、應用地質技師或其他相關專業技師簽證。

第三章 調查評估措施

第十二條 各級主管機關對於有土壤或地下水污染之虞之場址，應即進行查證，並依相關環境保護法規管制污染源及調查環境污染情形。

前項場址之土壤污染或地下水污染來源明確，其土壤或地下水污染物濃度達土壤或地下水污染管制標準者，直轄市、縣（市）主管機關應公告為土壤、地下水污染控制場址（以下簡稱控制場址）。

直轄市、縣（市）主管機關於公告為控制場址後，應囑託土地所在地登記機關登載於土地登記簿，並報中央主管機關備查；控制場址經初步評估後，有嚴重危害國民健康及生活環境之虞時，應報請中央主管機關審核後，由中央主管機關公告為土壤、地下水污染整治場址（以下簡稱整治場址）；直轄市、縣（市）主管機關於公告後七日內將整治場址列冊，送各該鄉（鎮、市、區）公所及土地所在地登記機關提供閱覽，並囑託該管登記機關登載於土地登記簿。

農業、衛生主管機關發現地面水體中之生物體內污染物質濃度偏高時，應即通知直轄市、縣（市）主管機關。

直轄市、縣（市）主管機關於接獲前項通知後，應檢測底泥，並得命地面水體之管理人就環境影響與健康風險、技術及經濟效益等事項進行評估，評估結果經中央主管機關審核，認為具整治必要性及可行性者，於擬訂計畫報請中央主管機關核定後，始得實施。必要時，並得準用第十五條第一項規定。

地面水體之管理人不遵行前項規定時，直轄市、縣（市）主管機關得依行政執行法代履行之規定辦理。

依第二項、第三項規定公告為控制場址或整治場址後，其管制區範圍內之底泥有污染之虞者，直轄市、縣（市）主管機關得命污染行為人或潛在污染責任人準用第五項規定辦理，並應將計畫納入控制計畫或整治計畫中執行。

污染行為人或潛在污染責任人不遵行前項規定時，直轄市、縣（市）主管機關得準用第十三條第二項及第二十二條第二項規定辦理。

污染物係自然環境存在經沖刷、流布、沉積、引灌致場址之污染物濃度達第二項規定情形者，直轄市、縣（市）主管機關應將檢測結果通知相關目的事業主管機關，並召開協商會議，辦理相關事宜。必要時，並得準用第十五條規定。

前項之場址，直轄市、縣（市）主管機關得對環境影響與健康風險、技術及經濟效益等進行評估，認為具整治必要性及可行性者，於擬訂計畫報中央主管機關核定後為之。

第三項初步評估之條件、計算方式及其他應遵行事項之辦法，由中央主管機關定之。

依第二項、第三項公告為控制場址或整治場址之土地，如公告後有土地重劃之情形，土地所在地登記機關應將重劃後之地籍資料，通知直轄市、縣（市）主管機關。

直轄市、縣（市）主管機關或中央主管機關應於控制場址或整治場址公告後，邀集專家學者、相關機關，協助審查及監督相關之調查計畫、控制計畫、整治計畫、健康風險評估及驗證等工作事項。

第十三條 控制場址未經公告為整治場址者，直轄市、縣（市）主管機關應命污染行為人或潛在污染責任人於六個月內完成調查工作及擬訂污染控制計畫，並送直轄市、縣（市）主管機關核定後實施。污染控制計畫提出之期限，得申請展延，並以一次為限。

污染行為人或潛在污染責任人不明或不擬訂污染控制計畫時，直轄市、縣（市）主管機關得視財務狀況及場址實際狀況，採適當措施改善；污染土地關係人得於直轄市、縣（市）主管機關採適當措施改善前，擬訂污染控制計畫，並準用前項規定辦理。

第十四條 整治場址之污染行為人或潛在污染責任人，應於直轄市、縣（市）主管機關通知後三個月內，提出土壤、地下水污染調查及評估計畫，

經直轄市、縣（市）主管機關核定後據以實施。調查及評估計畫執行期限，得申請展延，並以一次為限。

整治場址之污染行為人或潛在污染責任人不明或不遵行前項規定辦理時，直轄市、縣（市）主管機關得通知污染土地關係人，依前項規定辦理。

整治場址之污染行為人、潛在污染責任人或污染土地關係人未依前二項規定辦理時，直轄市、縣（市）主管機關應調查整治場址之土壤、地下水污染範圍及評估對環境之影響，並將調查及評估結果，報請中央主管機關評定處理等級。

第十二條第五項至第十項、第十三條第二項與第十五條第一項第七款及第八款規定，得由土壤及地下水污染整治基金支出費用者，應納入前項規定，報請中央主管機關評定處理等級。

前二項污染範圍調查、影響環境之評估及處理等級評定之流程、項目及其他應遵行事項之辦法，由中央主管機關定之。

第四章 管制措施

第十五條 直轄市、縣（市）主管機關為減輕污染危害或避免污染擴大，應依控制場址或整治場址實際狀況，採取下列應變必要措施：

- 一、命污染行為人停止作為、停業、部分或全部停工。
- 二、依水污染防治法調查地下水污染情形，並追查污染責任；必要時，告知居民停止使用地下水或其他受污染之水源，並得限制鑽井使用地下水。
- 三、提供必要之替代飲水或通知自來水主管機關優先接裝自來水。
- 四、豎立告示標誌或設置圍籬。
- 五、會同農業、衛生主管機關，對因土壤污染致污染或有受污染之虞之農漁產品進行檢測；必要時，應會同農業、衛生主管機關進行管制或銷燬，並對銷燬之農漁產品予以相當之補償，或限制農地耕種特定農作物。
- 六、疏散居民或管制人員活動。
- 七、移除或清理污染物。
- 八、其他應變必要措施。

直轄市、縣（市）主管機關對於前項第三款、第四款、第七款及

第八款之應變必要措施，得命污染行為人、潛在污染責任人、污染土地關係人或委託第三人為之。

第十六條 直轄市、縣（市）主管機關應視控制場址或整治場址之土壤、地下水污染範圍或情況，劃定、公告土壤、地下水污染管制區，並報請中央主管機關備查；土壤、地下水污染範圍或情況變更時，亦同。

第十七條 土壤、地下水污染管制區內禁止下列行為。但依法核定污染控制計畫、污染整治計畫或其他污染改善計畫之執行事項，不在此限：

- 一、置放污染物於土壤。
- 二、注入廢（污）水於地下水體。
- 三、排放廢（污）水於土壤。
- 四、其他經主管機關公告之管制行為。

土壤污染管制區內，禁止下列土地利用行為，並得限制人員進入。但經中央主管機關同意者，不在此限：

- 一、環境影響評估法規定之開發行為。
- 二、新建、增建、改建、修建或拆除非因污染控制計畫、污染整治計畫或其他污染改善計畫需要之建築物或設施。
- 三、其他經中央主管機關指定影響居民健康及生活環境之土地利用行為。

地下水污染管制區內，直轄市、縣（市）主管機關得禁止飲用、使用地下水及作為飲用水水源。

第十八條 直轄市、縣（市）主管機關應會同農業、衛生機關會勘污染管制區之農業行為。必要時，得禁止在污染管制區內種植食用農作物、畜養家禽、家畜及養殖或採捕食用水產動、植物。

第十九條 於土壤、地下水污染管制區內從事土壤挖除、回填、暫存、運輸或地下水抽出等工作，應檢具清理或污染防治計畫書，報請直轄市、縣（市）主管機關核定後，始得實施。

前項工作，由直轄市、縣（市）主管機關為之者，應報請中央主管機關核定後，始得實施。

直轄市、縣（市）或中央主管機關應於前二項清理或污染防治計畫書提出後三個月內，完成審核。

第一項清理或污染防治計畫書，得合併於污染控制計畫、污染整治計畫或其他污染改善計畫中提出。

第二十條 污染土地關係人、土地使用人、管理人或所有人因第十七條至前條之管制，受有損害者，得向污染行為人請求損害賠償。

第二十一條 直轄市、縣（市）主管機關對於整治場址之土地，應囑託土地所在地登記機關辦理禁止處分之登記。土地已進行強制執行之拍賣程序者，得停止其程序。

第五章 整治復育措施

第二十二條 整治場址之污染行為人或潛在污染責任人應依第十四條之調查評估結果，於直轄市、縣（市）主管機關通知後六個月內，提出土壤、地下水污染整治計畫，經直轄市、縣（市）主管機關核定後據以實施；污染行為人或潛在污染責任人如認為有延長之必要時，應敘明理由，於期限屆滿前三十日至六十日內，向直轄市、縣（市）主管機關提出展延之申請；如有再次延長之必要時，則應敘明理由，於延長期限屆滿前三十日至六十日內向中央主管機關申請展延；直轄市、縣（市）主管機關應將核定之土壤、地下水污染整治計畫，報請中央主管機關備查，並將計畫及審查結論摘要公告。

前項整治場址之污染行為人或潛在污染責任人不明或不遵行前項規定時，直轄市、縣（市）主管機關必要時得視財務狀況、整治技術可行性及場址實際狀況，依第十四條之調查評估結果及評定之處理等級，擬訂土壤、地下水污染整治計畫，降低污染，以避免危害國民健康及生活環境，經中央主管機關核定後據以實施，並將計畫及審查結論摘要公告。

污染土地關係人得於直轄市、縣（市）主管機關進行土壤、地下水污染整治前，提出整治計畫，並準用第一項規定辦理。

土壤、地下水污染整治計畫之實施者，得依第一項、第二項規定之程序，提出整治計畫變更之申請；直轄市、縣（市）主管機關亦得視事實需要，依規定自行或命整治計畫實施者變更整治計畫。

污染行為人、潛在污染責任人或污染土地關係人為多數時，得共同提出土壤、地下水污染整治計畫。

第二十三條 各級主管機關依前條規定核定土壤、地下水污染整治計畫前，

應將該計畫陳列或揭示於適當地點，期間不得少於十五日。

對於前項計畫有意見者，得於前項陳列或揭示日起二十日內以書面方式，向各級主管機關提出。

第二十四條 第二十二條第一項及第三項之土壤、地下水污染整治計畫，應列明污染物濃度低於土壤、地下水污染管制標準之土壤、地下水污染整治目標。

前項土壤、地下水污染整治計畫之提出者，如因地質條件、污染物特性或污染整治技術等因素，無法整治至污染物濃度低於土壤、地下水污染管制標準者，報請中央主管機關核准後，依環境影響與健康風險評估結果，提出土壤、地下水污染整治目標。

直轄市、縣（市）主管機關依第二十二條第二項規定訂定土壤、地下水污染整治計畫時，應提出污染物濃度低於土壤、地下水污染管制標準之土壤、地下水污染整治目標；或視財務及環境狀況，提出環境影響及健康風險評估，並依評估結果，提出土壤及地下水污染整治目標，並應另訂土壤、地下水污染控制計畫，及準用第二十二條第二項、第四項規定辦理。

整治場址之土地，因配合土地開發而為利用者，其土壤、地下水污染整治目標，得由中央主管機關會商有關機關核定。核定整治目標後之整治場址土地，不得變更開發利用方式；其有變更時，應先報請中央主管機關會商有關機關核定，並依其他法令變更其開發利用計畫後，始得為之。整治場址污染物之濃度低於核定之整治目標而解除管制或列管後，如有變更開發利用時，直轄市、縣（市）主管機關應就該場址進行初步評估，並依第十二條規定辦理。

主管機關依第二項及第三項核定不低於管制標準之整治計畫前，應邀集舉行公聽會。

前項公聽會之召開程序及相關應遵行事項由中央主管機關定之。

主管機關依第二項、第四項核定土壤、地下水污染整治計畫時，得依環境狀況，命整治計畫實施者，提出風險管理方式及土壤、地下水污染控制計畫，並準用第二十二條規定程序，經主管機關核定後實施。

第二項及第三項環境影響與健康風險評估之危害鑑定、劑量反應

評估、暴露量評估、風險特徵描述及其他應遵行事項之辦法，由中央主管機關定之。

第二十五條 污染行為人、潛在污染責任人、污染土地關係人或土壤、地下水污染管制區內之土地使用人、管理人或所有人對於土壤、地下水污染整治計畫、污染控制計畫或適當措施之實施，應予配合；各級主管機關得派員攜帶證明文件到場檢查或命提供必要之資料，該等人員不得規避、妨礙或拒絕。

第二十六條 控制場址或整治場址因適當措施之採取、控制計畫或整治計畫之實施，致土壤或地下水污染物濃度低於管制標準時，適當措施採取者或計畫實施者應報請直轄市、縣（市）主管機關或中央主管機關核准。

直轄市、縣（市）主管機關或中央主管機關為前項核准後，應辦理下列事項：

- 一、公告解除依第十二條第二項、第三項所為控制場址或整治場址之管制或列管，並取消閱覽。
- 二、公告解除或變更依第十六條所為之土壤、地下水污染管制區之劃定。
- 三、囑託土地所在地之登記機關塗銷依第十二條第三項所為之控制場址、整治場址登記及依第二十一條所為之土地禁止處分之登記。

直轄市、縣（市）主管機關依前項規定公告解除控制場址、整治場址或土壤、地下水污染管制區之管制，應報中央主管機關備查。

土壤污染整治完成後之土地，各土地使用目的事業主管機關應依土地使用實際需要，辦理土地使用復育事宜。

第二十七條 各級主管機關依第十二條第一項規定進行場址查證時，如場址地下水污染濃度達地下水污染管制標準，而污染來源不明確者，直轄市、縣（市）主管機關應公告劃定地下水受污染使用限制地區及限制事項，依第十五條規定採取應變必要措施，並準用第二十五條規定辦理。

前項場址，經直轄市、縣（市）主管機關初步評估後，有嚴重危害國民健康及生活環境之虞時，準用整治場址依第十四條、第十五條、第二十二條至第二十六條規定辦理。

第六章 財務及責任

第二十八條 中央主管機關為整治土壤、地下水污染，得對公告之物質，依其產生量及輸入量，向製造者及輸入者徵收土壤及地下水污染整治費，並成立土壤及地下水污染整治基金。

前項土壤及地下水污染整治費之物質徵收種類、計算方式、繳費流程、繳納期限、委託專業機構審理查核及其他應遵行事項之辦法，由中央主管機關定之。

第一項基金之用途如下：

- 一、各級主管機關依第七條第一項與第五項、第十二條第一項、第五項至第六項、第八項至第十項與第十三項、第十三條第一項與第二項、第十四條第一項與第三項、第十五條、第二十二條第一項、第二項與第四項、第二十四條第三項至第五項及第二十七條第一項與第二項規定查證、採取應變必要措施、監督、訂定計畫、審查計畫、調查計畫、評估、實施計畫、變更計畫支出之費用。
- 二、基金求償及涉訟之相關費用。
- 三、基金人事、行政管理費用、土壤、地下水污染預防及整治相關工作人事費用。
- 四、各級主管機關執行土壤及地下水污染管制工作費用。
- 五、土壤、地下水污染查證及執行成效之稽核費用。
- 六、涉及土壤、地下水污染之國際環保工作事項之相關費用。
- 七、土壤、地下水品質監測及執行成效之稽核事項之相關費用。
- 八、關於徵收土壤、地下水污染整治費之相關費用。
- 九、關於土壤、地下水污染之健康風險評估及管理事項之相關費用。
- 十、土壤、地下水污染整治技術研究、推廣、發展及獎勵費用。
- 十一、關於補助土壤、地下水污染預防工作事項。
- 十二、其他經中央主管機關核准有關土壤、地下水污染整治之費用。

前項基金之獎勵及補助對象、申請資格、審查程序、獎勵及補助之撤銷、廢止與追繳及其他應遵行事項之辦法，由中央主管機關定之。

中央主管機關得派員攜帶證明文件，進入土壤及地下水污染整治

費繳費人所屬工廠（場）及營業場所進行相關查核工作或命提供必要之資料，繳費人不得規避、妨礙或拒絕。

第二十九條 土壤及地下水污染整治基金之來源如下：

- 一、土壤及地下水污染整治費收入。
- 二、污染行為人、潛在污染責任人或污染土地關係人依第四十三條、第四十四條規定繳納之款項。
- 三、土地開發行為人依第五十一條第三項規定繳交之款項。
- 四、基金孳息收入。
- 五、中央主管機關循預算程序之撥款。
- 六、環境保護相關基金之部分提撥。
- 七、環境污染之罰金及行政罰鍰之部分提撥。
- 八、其他有關收入。

第三十條 前條土壤及地下水污染整治基金應成立基金管理會（以下簡稱管理會）負責管理及運用，該管理會得依下列需要設置工作技術小組：

- 一、依第十二條第三項規定之審核整治場址事宜。
- 二、依第十四條或第二十七條規定之處理等級評定事宜。
- 三、應變必要措施支出費用之審理事宜。
- 四、依第二十二條、第二十四條或第二十七條規定之污染整治計畫或整治目標審查核定事宜。
- 五、其他有關基金支用之審理事宜。

前項管理會得置委員，委員任期二年，其中專家學者不得少於委員總人數三分之二。管理會委員於任期中及該任期屆滿後三年內，均應迴避任期中其所審核之土壤、地下水污染整治相關工作；委員之配偶、直系血親及三親等內旁系血親均應迴避委員任期中其所審核相關整治場址之土壤及地下水污染整治工作。

第三十一條 污染土地關係人未盡善良管理人注意義務，應就各級主管機關依第十三條第二項、第十四條第三項、第十五條、第二十二條第二項及第四項、第二十四條第三項規定支出之費用，與污染行為人、潛在污染責任人負連帶清償責任。

污染土地關係人依前項規定清償之費用、依第十四條第二項及第二十二條第三項支出之費用，得向污染行為人及潛在污染責任人求償。

潛在污染責任人就前項支出之費用，得向污染行為人求償。

第一項污染土地關係人之善良管理人注意義務之認定要件、注意事項、管理措施及其他相關事項之準則，由中央主管機關定之。

第七章 罰 則

第三十二條 違反第七條第五項未採取應變必要措施，或不遵行直轄市、縣（市）主管機關依第十五條第一項第一款、第二項所為之命令，因而致人於死者，處無期徒刑或七年以上有期徒刑，得併科新臺幣五百萬元以下罰金；致重傷者，處三年以上十年以下有期徒刑，得併科新臺幣三百萬元以下罰金。

第三十三條 意圖變更土地使用編定而故意污染土壤者，處一年以上五年以下有期徒刑，得併科新臺幣一百萬元以下罰金。

故意污染土壤或地下水，致成為污染控制場址或整治場址者，處一年以上五年以下有期徒刑。

犯前二項之罪，因而致人於死者，處無期徒刑或七年以上有期徒刑，得併科新臺幣五百萬元以下罰金；致重傷者，處三年以上十年以下有期徒刑，得併科新臺幣三百萬元以下罰金。

第三十四條 污染行為人、潛在污染責任人、污染土地關係人、檢測機構從業人員及第八條、第九條所定評估調查之人員，對於依本法作成之文書為虛偽記載者，處三年以下有期徒刑、拘役或科或併科新臺幣一百萬元以下罰金。

中央主管機關公告之事業代表人依第八條、第九條規定提供或檢具之土壤污染評估調查資料為虛偽記載者，科新臺幣一百萬元以下罰金。

第三十五條 不遵行直轄市、縣（市）主管機關依第十五條第一項第一款所為之命令者，處一年以下有期徒刑、拘役或科或併科新臺幣三十萬元以下罰金。

第三十六條 法人之代表人、法人或自然人之代理人、受僱人或其他從業人員，因執行業務犯第三十二條至前條之罪者，除依各該條規定處罰其行為人外，對該法人或自然人亦科以各該條之罰金。

第三十七條 污染行為人或潛在污染責任人違反第十二條第七項、第十三條第一項、第二十二條第一項、第四項或第二十四條第七項規定，未

提送控制計畫或整治計畫者，處新臺幣一百萬元以上五百萬元以下罰鍰，並通知限期補正或改善；屆期未補正或改善者，按次處罰。

第三十八條 有下列情形之一者，處新臺幣二十萬元以上一百萬元以下罰鍰，並得按次處罰：

- 一、規避、妨礙或拒絕依第七條第一項、第二十五條或第二十八條第五項所為之查證、查核、命令或應配合之事項。
- 二、未遵行各級主管機關依第七條第五項、第十五條第二項所為之命令。

有下列情形之一者，處新臺幣二十萬元以上一百萬元以下罰鍰，並通知限期補正，屆期未補正者，按次處罰：

- 一、污染行為人或潛在污染責任人未依第十四條第一項規定提出或執行土壤、地下水污染調查及評估計畫。
- 二、污染行為人或潛在污染責任人依第十三條第一項或第二十二條第一項送直轄市、縣（市）主管機關審查之控制計畫或整治計畫，經直轄市、縣（市）主管機關審查以書面通知補正三次，屆期仍未完成補正。
- 三、控制計畫或整治計畫實施者未依第十三條、第二十二條第一項、第三項或第二十四條第五項主管機關核定之控制計畫或整治計畫內容實施。

第三十九條 未依第二十八條第二項所定收費辦法，於期限內繳納費用者，應依繳納期限當日郵政儲金一年期定期存款固定利率按日加計利息，一併繳納；逾期九十日仍未繳納者，處新臺幣二十萬元以上一百萬元以下罰鍰。

第四十條 讓與人未依第八條第一項規定報請備查或中央主管機關公告之事業違反第九條第一項規定者，處新臺幣十五萬元以上七十五萬元以下罰鍰，並通知限期補正，屆期未補正者，按次處罰。

污染行為人、潛在污染責任人或污染土地關係人違反第十七條或第十八條規定者，處新臺幣十五萬元以上七十五萬元以下罰鍰，並通知限期改善，屆期未完成改善者，按次處罰；情節重大者，得命其停止作為或停工、停業。必要時，並得勒令歇業。

因污染行為人之行為致土地經公告為污染整治場址時，處新臺幣

十五萬元以上七十五萬元以下罰鍰，並公告其姓名或名稱，且污染行為人應接受四小時本法相關法規及環境教育講習。

第四十一條 有下列情形之一者，處新臺幣十萬元以上五十萬元以下罰鍰，並通知限期改善，屆期未改善者，按次處罰；情節重大者，得命其停止作為或停工、停業；必要時，並得勒令歇業：

一、非屬污染行為人、潛在污染責任人或污染土地關係人之人違反第十七條或第十八條規定。

二、違反依第二十七條第一項所公告地下水受污染使用限制地區之限制事項。

未依第十九條第一項規定檢具清理或污染防治計畫書，報請直轄市、縣（市）主管機關核定者，處新臺幣十萬元以上五十萬元以下罰鍰，並通知限期補正；屆期未補正者，按次處罰。

有下列情形之一者，處新臺幣十萬元以上五十萬元以下罰鍰：

一、未經公告為整治場址之污染行為人因其行為致土地經公告為污染控制場址。

二、污染土地關係人未盡善良管理人之注意義務，致土地經公告為污染整治場址。

前項第一款之污染行為人，直轄市、縣（市）主管機關應公告其姓名或名稱，並命污染行為人接受四小時本法相關法規及環境教育講習。

第四十二條 有下列情形之一者，處新臺幣五萬元以上二十五萬元以下罰鍰：

一、違反依第十條第二項所定辦法中有關儀器設備、檢測人員、在職訓練、技術評鑑、盲樣測試、檢測方法、品質管制事項、品質系統基本規範、檢測報告簽署、資料提報及執行業務之規定。

二、未依第十九條第一項核定之清理或污染防治計畫書實施。

三、未經公告為整治場址之控制場址污染土地關係人未盡善良管理人之注意義務，致其土地公告為控制場址。

檢測機構違反前項第一款規定者，中央主管機關並得限期令其改善，屆期未改善者，按次處罰；情節重大者，得撤銷、廢止許可證。

污染行為人違反第四十條第三項及第四十一條第四項規定不接受

講習者，處新臺幣五萬元以上二十五萬元以下罰鍰，經再通知仍不接受者，得按次處罰，至其參加為止。

第四十三條 依第十二條第八項、第十三條第二項、第十四條第三項、第十五條、第二十二條第二項、第四項及第二十四條第三項規定支出之費用，直轄市、縣（市）主管機關得限期命污染行為人或潛在污染責任人繳納；潛在污染責任人應繳納之費用，為依規定所支出費用之二分之一。

潛在污染責任人為執行第十二條第七項、第十三條第一項、第十四條第一項、第十五條及第二十二條第一項規定所支出之費用，得於執行完畢後檢附單據，報請中央主管機關核付其支出費用之二分之一。

污染行為人或潛在污染責任人為公司組織時，直轄市、縣（市）主管機關得限期命其負責人、持有超過其已發行有表決權之股份總數或資本總額半數或直接或間接控制其人事、財務或業務經營之公司或股東繳納前二項費用；污染行為人或潛在污染責任人因合併、分割或其他事由消滅時，亦同。

前項污染行為人或潛在污染責任人之負責人、持有超過其已發行有表決權之股份總數或資本總額半數或直接或間接控制其人事、財務或業務經營之公司或股東，就污染行為實際決策者，污染行為人或潛在污染責任人得就第一項支出之費用，向該負責人、公司或股東求償。

污染行為人、潛在污染責任人、依第三項規定應負責之負責人、公司或股東依第一項、第三項規定應繳納之費用，屆期未繳納者，每逾一日按滯納之金額加徵百分之零點五滯納金，一併繳納；逾期三十日仍未繳納者，處新臺幣二十萬元以上一百萬元以下罰鍰，並限期繳入土壤及地下水污染整治基金。

依第七條第五項規定支出之應變必要措施費用，直轄市、縣（市）主管機關得準用第一項及第五項規定，限期命污染行為人、潛在污染責任人、依第三項規定應負責之負責人、公司或股東、場所使用人、管理人或所有人繳納。

場所使用人、管理人或所有人就前項支出之費用，得向污染行為人或潛在污染責任人連帶求償。

潛在污染責任人就第一項、第六項及第七項支出之費用，得向污

染行為人求償。

第一項、第三項及第六項應繳納費用，於繳納義務人有數人者，應就繳納費用負連帶清償責任。

第四十四條 污染土地關係人未依第三十一條第一項規定支付費用，經直轄市、縣（市）主管機關限期繳納，屆期未繳納者，每逾一日按滯納之金額加徵百分之零點五滯納金，一併繳納；逾期三十日仍未繳納者，處新臺幣二十萬元以上一百萬元以下罰鍰，並限期繳入土壤及地下水污染整治基金。

第四十五條 為保全前二條支出費用之強制執行，直轄市、縣（市）主管機關，得於處分書送達污染行為人、潛在污染責任人、污染土地關係人、場址使用人、管理人或所有人後，通知有關機關，於應繳納費用之財產範圍內，不得為移轉或設定他項權利；其為營利事業者，並得通知目的事業主管機關，限制其減資或註銷之登記。

第四十六條 本法所定之處罰，除本法另有規定外，在中央由行政院環境保護署為之，在直轄市由直轄市政府為之，在縣（市）由縣（市）政府為之。

第四十七條 依本法所處之停工、停業、停止作為或撤銷、廢止許可證之執行，由主管機關為之；勒令歇業，由主管機關轉請目的事業主管機關為之。

經主管機關依本法規定命其停業、部分或全部停工者，應於復工、復業前，檢具完成改善證明文件或主管機關指定之文件，向主管機關申請；經主管機關審查核准後，始得復工、復業。

第八章 附 則

第四十八條 各目的事業主管機關應輔導事業預防及整治土壤及地下水污染。

第四十九條 依第四十三條、第四十四條規定應繳納之費用，優先於一切債權及抵押權。

第五十條 污染行為人、潛在污染責任人、污染土地關係人、場所使用人、管理人或所有人受破產宣告或經裁定為公司重整前，依第四十三條、第四十四條規定應繳納之費用，於破產宣告或公司重整裁定時，視為已到期之破產債權或重整債權。

第五十一條 整治場址之污染管制區範圍內屬污染行為人、潛在污染責任人或污染土地關係人之土地，不得變更土地使用分區、編定或為違反土壤及地下水污染管制區管制事項之利用。

土地開發行為人依其他法令規定進行土地開發計畫，如涉及土壤、地下水污染整治場址之污染土地者，其土地開發計畫得與第二十二條之土壤、地下水污染整治計畫同時提出，並各依相關法令審核；其土地開發計畫之實施，應於公告解除土壤及地下水污染整治場址之列管後，始得為之。

土地開發行為人於前項土壤及地下水整治場址公告解除列管且土地開發計畫實施前，應按該土地變更後之當年度公告現值加四成為基準，核算原整治場址土壤污染面積之現值，依其百分之三十之比率，繳入土壤及地下水污染整治基金。但土地開發行為人於直轄市、縣(市)主管機關提出整治計畫之日前，已提出整治計畫並完成者，不在此限。

第五十二條 土壤及地下水污染致他人受損害時，污染行為人或潛在污染責任人有數人者，應連帶負損害賠償責任。有重大過失之污染土地關係人，亦同。

污染土地關係人依前項規定賠償損害時，對污染行為人或潛在污染責任人有求償權。

第五十三條 第七條、第十二條至第十五條、第二十二條、第二十四條、第二十五條、第三十七條、第三十八條及第四十三條第一項至第三項、第五項、第七項至第九項規定，於本法施行前已發生土壤或地下水污染之污染行為人、潛在污染責任人、控制公司或持股超過半數以上之股東，適用之。

第五十四條 公私場所違反本法或依本法授權訂定之法規命令而主管機關疏於執行時，受害人民或公益團體得敘明疏於執行之具體內容，以書面告知主管機關。主管機關於書面告知送達之日起六十日內仍未依法執行者，受害人民或公益團體得以該主管機關為被告，對其怠於執行職務之行為，直接向行政法院提起訴訟，請求判令其執行。

行政法院為前項判決時，得依職權判令被告機關支付適當律師費用、偵測鑑定費用或其他訴訟費用予對土壤及地下水污染整治有具體貢獻之原告。

第一項之書面告知格式，由中央主管機關定之。

- 第五十五條 各級主管機關依本法應收取規費之標準，由中央主管機關定之。
- 第五十六條 本法施行細則，由中央主管機關定之。
- 第五十七條 本法除第十一條自本法公布一年後施行外，其餘自公布日施行。

**附錄 2 土壤及地下水污染整治法第八條
第一項及第九條之事業及定義**

附錄 2 土壤及地下水污染整治法第八條第一項及第九條之事業及定義

批次	項次	事業	定義
一	一	皮革、毛皮整製業	從事皮革、毛皮之鞣製、硝製、染整、梳整、壓花、上漆、上蠟或以熟製皮革下腳為原料從事磨碎、壓製等之事業。
		石油及煤製品製造業	從事以礦產原油、頁岩、瀝青砂等，分餾提煉有機溶劑、瀝青或石油製品，由煤、天然氣及生質性物質產製類似分餾物等之事業。
		基本化學材料製造業	從事以化合、分解、分餾、蒸發、萃取等物理或化學反應方法產製無機或有機基本化學原料之事業。但僅從事自空氣分離氣體、高壓氣體罐裝、氫氣之純化及二氧化碳製造之事業，不在此限。
		石油化工原料製造業	從事以石油或天然氣產製石化基本原料及中間產品之事業。
		合成樹脂及塑膠製造業	從事高分子聚合物如合成樹脂、塑膠等化學合成製造之事業。
		合成橡膠製造業	從事化學合成方法製造合成橡膠或彈性物質之事業。
		人造纖維製造業	從事以化學方法製造合成或再生纖維棉及絲之事業。
		農藥及環境衛生用藥製造業	從事農業及環境衛生用藥原體及成品製造、加工調配、分裝之事業。
		塑膠皮、板、管材及塑膠皮製品製造業	從事以石化基本原料及中間產品合成製造塑膠皮、板、管材及塑膠皮製品製造之事業。但僅以塑膠粒或廢塑膠為原料，從事押出或射出成型製造塑膠板、管材者，不在此限。
		鋼鐵冶煉業	從事礦砂之冶煉以生產生鐵、合金鐵及直接還原鐵（如海綿鐵、熱鐵塊），或再以生鐵、直接還原鐵、廢鋼或鑄鋼錠精煉成碳素鋼、合金鋼等之事業。
		金屬表面處理業	(一)從事金屬及其製品之表面磨光、電鍍、鍍著、塗覆、烤漆、噴漆、染色、壓花、發藍、上釉、其他化學處理或塑膠製品表面電鍍之事業。 (二)其他事業實際運作包含(一)所述製程，且為該工廠之主要製造程序者，亦屬本事業類別。
		半導體製造業	從事半導體製造、封裝之事業。
一	二	電力供應業	從事火力發電之事業。但僅以天然氣發電之事業，不在此限。
		加油站業	依據經濟部「加油站設置管理規則」及「漁船加油站設置管理規則」經營汽油、柴油零售之加油站。
一	四	廢棄物處理業	(一) 公民營廢棄物處理機構、清理機構、事業廢棄物共同處理機構及依據廢棄物清理法第二十八條第一項第三款第三目至第五目規定設置廢棄物處理設施之機構。 (二) 中央主管機關依廢棄物清理法第十八條第三項指定公告應回收廢棄物之處理業。
二	一	製材業	從事木材乾燥、浸漬防腐等保存處理之事業。
		肥料製造業	以化學方法製造化學肥料與土壤改進劑之事業。但僅以堆肥方式產製有機肥料者不在此限。
		塗料、染料及顏料製造業	從事塗料、染料、顏料、瓷釉、油墨製造之事業。
		鋼鐵鑄造業	從事以生鐵、廢鐵與合金原料熔融之金屬液澆注至特定鑄模中製成鋼鐵元件之事業。
		煉鋁業	從事以鋁礬土煉製成鋁、商用純鋁精煉成高純度鋁或煉製鋁合金之事業。
		鋁鑄造業	從事以初生鋁或再生鋁與合金原料熔融之金屬液澆注至特定鑄模中製成鋁元件之事業
		煉銅業	從事以銅礦或廢銅料煉製成銅錠或精製電解銅及銅合金之事業。
二	二	銅鑄造業	從事以銅或銅合金熔融之金屬液澆注至特定鑄模中製成銅元件之事業

批次	項次	事業	定義
		金屬熱處理業	從事以滲碳、滲氮、化學蒸鍍或物理蒸鍍等冶金原理進行金屬及其製品表面處理，或以淬火、退火、回火等方式，並藉溫度、氣體及時間等控制，改善其組織或物理性質之事業。
		被動電子元件製造業	從事電容器、電阻器、變阻器、繼電器、電感器、電阻裝置等被動電子元件製造之事業。
		光電材料及元件製造業	從事液晶面板及其組件、電漿面板及其組件、發光二極體、太陽能電池等光電材料及元件製造之事業。
二	二	廢棄物回收、清除業	(一) 從事廢油(廢油漆、漆渣、廢熱媒油、廢潤滑油及廢油混合物等)清除之公民營廢棄物清除機構、事業廢棄物共同清除機構及依據廢棄物清理法第二十八條第一項第三款第三目至第五目規定設置之清除機構。但無設置廢棄物貯存場或轉運站者，不在此限。 (二) 從事廢潤滑油或廢機動車輛回收、拆解，且屬中央主管機關依廢棄物清理法第十八條第三項指定公告應回收廢棄物之回收業。但無設置貯存場或轉運站者，不在此限。
二	三	石油業之儲運場所	依據經濟部「石油業儲油設備設置管理規則」設置儲油設備儲存油品之場所

土壤及地下水污染調查技術手冊／江東法等編撰，
---第1版，---臺北市：工業局，民99.12，面；公分

ISBN：978-957-9631-30-3 (平裝)

1.土壤污染調查 2.地下水污染調查 3.水文地質調查

445.94

99022675

土壤及地下水污染調查技術手冊

出版日期：中華民國99年12月

發行人：杜紫軍

總編輯：徐正中

審查委員：王義基、李碧鈴、陳見財、陳尊賢、楊金鐘、盧至人、謝俊雄 (依
姓氏筆劃排列)

編撰：江東法、林怡青、林慈儀、陳士賢、單信瑜、蔣立為、魏顯祥 (依
姓氏筆劃排列)

發行所：經濟部工業局

出版所：經濟部工業局

台北市大安區106信義路三段41-3號

TEL：(02)2754-1255

FAX：(02)2704-3753

<http://www.moeaidb.gov.tw>

中興工程顧問股份有限公司

台北市松山區105南京東路五段171號14樓

TEL：(02)2769-8388

FAX：(02)2763-4555

<http://www.sinotech.com.tw>

美工排版：中興工程顧問股份有限公司

印刷承製：正楷有限公司

定價：新台幣肆佰伍拾元整

版次：第1版

展售處（地址）：五南文化廣場(台中市中國區綠川東街32號3樓)、國家書店(台
北市松江路209號1樓)

版權所有 翻印必究

GPN：1009903846

ISBN：978-957-9631-30-3