

土壤及地下水直接貫入採樣及篩選測試方法

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

自中華民國97年5月15日起實施

NIEA W106.50C

一、方法概要

本方法係為加速污染場址中土壤或地下水污染之調查工作，乃利用直接貫入技術（Direct Push Technology，以下簡稱 DPT），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；或直接配置即時分析（Real-time analysis）工具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。

二、適用範圍

- （一）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，或已有設置地下水監測井之地下水水質之比對作業。
- （二）DPT 為一創新整合技術，其應用方式頗具變化性，可將附屬採樣器於貫穿地層後執行土壤或地下水採樣（Grab sample），或逕以配置特殊井測工具（Specialized measurement and logging tools，請參閱本法四、設備及材料）直接偵測地表下土層之物理狀況、地下水之化學性質等。雖相關採樣、偵測設備日益改良精進，但不同儀器設備仍有其不同之採樣或數據收集之能力如表一（表內儀器設備僅供選用參考，非為其背書或保證）。
- （三）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。

- (四) 污染場址調查整治程序強調快速流暢及成本降低，DPT 具機動性可於現場取得大量的篩選數據以初判污染可能所在或其影響範圍，但應再佐以少量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。
- (五) DPT 廣泛適用於未受壓密實 (Unconsolidated) 之土層狀況。但受限於如沼澤溼地、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。因此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。

三、干擾

- (一) 在鑽孔或採樣過程中可能引發濁度，將導致 DPT 產生採樣偏差。一般可於採樣器內設置濾管、進行完井 (Well developing)，或以低流量採樣方式來減低濁度干擾。
- (二) 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，以避免採樣之拖曳作用 (Drag-down) 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。
- (三) 當有不互溶的有機液體存在於地下水層時，可能呈現污染分層 (Stratification of contaminants) 現象，隨其垂直距離之不同，即使幾公分之距，其濃度可能達到數個次方值 (Order) 之差異，應對不互溶層分別進行採樣及檢測。

- (四) 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慎選採樣保存容器，並儘量減少樣品受到干擾及防止將樣品暴露於大氣中，以避免因 VOCs 溶解氣體之逸失以及金屬氧化還原電位之改變，而影響待測項目之測值。

四、設備及材料

(一) 鑽探設備

1. DP 作業平台：鑽探設備應可提供一合適的乾淨鑽孔，且未擾動待採樣之地下水層。一般可分為：錐形鑽探 (Cone penetrometer) 及旋轉錘鑽 (Rotary hammer) 兩大作業平台。此二作業平台所使用之器材或其操作方式原則上大同小異，但隨其貫入深度及機動性上之差異，而有不同的應用方式。鑽探設備之選用須配合地質狀況，並配合貫入之鑽桿系統使用。
2. 鑽桿系統：DP 作業平台係以約 3 呎長之中空不銹鋼鑽桿串連後，將附屬採樣工具或配置偵測探針直接貫入地表下至預定深度。此鑽桿可分為單桿 (Single rod) 及雙桿 (Dual rod) 系統。
 - (1) 單桿系統：係將採樣工具連接於鑽桿之末端，鑽桿之直徑略小於採樣器，依其使用範圍在 0.5 至 2.125 吋之間 (一般約為 1 吋)。採樣時，將鑽桿貫入至預定深度進行採樣。樣品採集後，將採樣工具連同鑽桿一併抽出地面。如需採集另一深度樣品，則必須將鑽桿重新置放新的採樣器，再貫入原來之鑽孔，或另覓新的採樣位置。
 - (2) 雙桿系統：亦稱之為套管 (Cased) 系統或雙管 (Dual tube) 系統。雙桿系統其鑽桿包括：內桿 (Inner rod) 及外管 (Outer tube) 兩個部分。採樣工具連接於內桿。外管具穩定及保護作用，因此直徑較大，約在 1.25 至 4.2 吋之間 (一般為 2.4

吋)。採樣時，將整組鑽桿（包括內、外管）一起貫入至預定深度進行採樣。樣品採集後，只將連接有採樣工具之內桿抽出，外管則停留於原處不動，以防止孔洞塌陷。當採集第二個樣品時，只需將內桿插入，再與外管一起貫入另一深度。如此可利用原鑽孔進行不同深度之連續取樣。直至所有樣品採集後，才將整組鑽桿抽出地面。

不管是單桿或雙桿皆可用以採集土壤、地下水樣品，也可以在同一採樣環境中互相搭配使用。其操作方式如圖一之作業示意說明，相關之比較建議列於表二。

（二）採樣器材

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；3)單點多重深度採樣（以下簡稱多深度採樣），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），以採集同一地點但不同深度之多次樣品。

DPT 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，然後使濾管裸露於地下水層中，此時未受擾動之地下水便經由濾管進入採樣器內，可直接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。由於未經洗井之擾動，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。商業化採樣器具繁多，但基本上可區分為兩個類型：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，如圖二之示意。

(三) 特殊測井工具

配置於 DPT 之現地分析儀器，較常運用且發展漸趨成熟者有地工感測技術及化學檢測技術等。

- 1.地工感測技術：或稱為地球物理 (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。
- 2.化學檢測技術：DPT 偵測有機污染物之工具有很多種，主要者如雷射誘導螢光 (Laser induced fluorescence, LIF) 與薄膜界面探測器 (Membrane interface probe, MIP) 等。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。

(四) 其他相關附屬器材，依照設備製造廠配備及操作而定。如 mini-bailer、蠕動泵、真空幫浦、check-valve 等等。

五、試劑

(一) 試劑水：去離子水或蒸餾水。

(二) 保存劑：請參照環保署公告方法 NIEA W102 及各待測物之標準方法。

六、採樣及保存

DPT 可在污染場址內不同位置、不同深度快速採集大量土壤、地

下水樣品，或予以直接偵測，尤其適用於地表下非水相液體（NAPLs，請參閱土壤採樣方法之相關定義），或任何水相污染帶（Aqueous phase contaminated plume）其污染範圍及影響程度之篩選評估。但是使用時有其必須注意及瞭解事項：

（一）選擇 DPT 採樣工具或偵測配備前，應先決定計畫目標所要求之數據品質，例如僅需定性即可，或需進一步達到半定量，甚至定量之數據需求。其次必須考慮採樣偏差及交叉污染等潛在問題。

1.數據需求：

表三列出不同採樣數據需求目的之 DPT 採樣工具選用建議。當選擇使用特殊測井工具可輔助現場篩選採樣點，並記錄檢測結果，亦可依專業知識與污染情況而更動採樣點數目與位置。但前述篩選測試的數據僅能作為參考，不能作為最終分析結果。

2.採樣偏差：

DPT 採樣偏差之可能來源列於表四，主要是在採集樣品過程中引發濁度或樣品受到擾動，以及採樣區間不合適等因素所導致。

（1）樣品濁度之判斷與防止：

濁度會對金屬或 SVOCs 等待測物產生嚴重干擾效應。一般針對有機物檢測可先採用表五所列之 n-辛醇比水之對數分配係數（ $\log K_{ow}$ ）表，並搭配 NTU 或 TOC 檢測，來判斷樣品是否嚴重遭受濁度干擾。例如：

- A.SVOCs 通常有較高之 $\log K_{ow}$ 值，較可能會發生吸附性之濁度干擾，亦即此類有機待測物較不易溶於水，而被吸附到濁度顆粒上，應同時檢測 NTU 觀察是否有偏高現象。
- B.對於 $\log K_{ow} < 2.5$ 的 VOCs 而言，吸附性之濁度干擾則較小，反而必須注意土壤中有機質（如腐質酸等）之脫附

性濁度干擾，此時可於現場檢測 TOC，如 TOC 偏高則表示 VOCs 亦有可能會被高估。

欲防止樣品受到濁度干擾而產生採樣偏差，通常可於採樣器內設置濾管、進行完井(Well developing)，或以低流量汲水（500-100 mL/min）或微汲水（<100 mL/min）採樣方式來減低濁度干擾，或於選用採樣器時，盡量避免採用開孔式、暴露篩管式採樣器來執行採樣。

(2)樣品擾動之成因與防止

樣品受到擾動之情況，包括不慎將樣品暴露到大氣環境，樣品採集時溫度或壓力的改變，或採樣器材質經由吸附或脫附到待測物上，此將導致 VOCs 的溶解氣體之逸失及金屬氧化還原電位之改變。

欲防止樣品受到擾動，除於採樣過程中應謹慎小心外，氣囊式或離心式泵（如表六所列）皆適用於各種待測物之採樣，亦可確保優質樣品之需求。尤其是，當待測物 VOCs 時，應盡量選用關閉篩管式採樣器來執行採樣，並避免採用吸提式（如蠕動）泵，因其汲水時所產生之負壓會導致 VOCs 和溶解氣體之誤差。

(3)採樣區間之決定

DPT 地下水採樣，如選擇太短的採樣區間（如 6 吋篩距），可能會遺漏掉真正的污染層；反之，選擇過長的採樣區間（如 5-15 呎），又可能受非污染層之稀釋。此皆會造成採樣上之嚴重偏差。

欲決定最適宜之採樣區間，可先利用 DPT 特殊井測工具，收集相關地質、水質背景資料，並採用多深度採樣方式以建立污染剖面，配合微水試驗(Slug test)和含水層測試(Aquifer

test) 據以評估污染層可能之所在位置及深度後，進而決定最適當之採樣區間。

3. 交叉污染之成因與防止

在進行不同深度採樣偵測時，可能因地質狀況、採樣器設計不當或孔壁與桿串間空隙未妥予密封，致產生拖曳作用或形成水力通道現象，而引起淺層水與深層水的交互污染。此外，不同位置採樣時，採樣設備若無適當之除污，亦會造成鑽孔與鑽孔之間的交互污染問題。

(1) 避免拖曳作用發生：

當污染場址內土層屬細顆粒性質，且呈現污染分層現象時，如執行多深度採樣極易產生拖曳作用（如圖四之示意），應盡量採用封閉篩管式採樣器來執行採樣，以減少拖曳作用發生。

(2) 避免形成水力通道：

應以孔環將孔壁與桿串間可能留有空隙之處加以完全封閉，以防止地下水或低黏度之 DNAPLs 沿著桿壁向下流竄。同時必須注意鑽頭之直徑不可大於鑽桿，且採樣器與鑽桿之直徑應一致。

(3) 設備除污：

當執行不同位置採樣時，採樣設備應先依既定程序適當除污，相關拋棄式器材亦應重新更換，並執行設備空白以判知採樣設備是否遭受污染。若採樣器本身之設計，無法於現場立即除污時，可攜帶多組採樣器加以因應，再攜回除污。

(二) 採樣器具之使用

DPT 採樣器常因口徑較小，需要較長時間以採集足夠樣品體積。

一般而言，在高水力傳導係數 ($>10^{-4}$ cm/sec) 如砂土等地層採集地下水時，建議以採樣方式最為經濟省時；在低滲水性地層時，則可設置成小口徑監測井，作為中、長期地下水採樣監測之用。當有機物溶解於地下水層隨其垂直距離之不同而有莫大之差異，即使幾公分之距，其濃度差異可能達到數個次方值 (Order)。因此，污染場址中 DPT 地下水採樣，在允許的情況下，應該儘量採用多深度採樣。各採樣器具之選用建議如表七，使用方法如下：

1. 暴露篩管式採樣器：

在採樣管末端留有一狹長 (約 6 吋至 3 呎) 之暴露篩管，圖二 a 為最簡單之暴露篩管式採樣器，其操作方式係於地下水滲入井點 (Well point) 建立後，再利用 Bailer 或蠕動泵 (Peristaltic pump) 加以收集。其優點為可在不用抽出鑽桿之情況下，利用同一鑽孔進行多次採樣。但由於有 NAPLs 交叉污染及採樣篩管阻塞的問題，因此較適用於水體採樣，而不宜於地下水採樣。針對篩管阻塞問題，目前已有許多連續式採樣工具皆設有沖洗系統或加裝細篩過濾器來加以克服 (如貫入點剖面採樣器等)。

2. 關閉篩管式採樣器：

與暴露篩管式不同之處在於其篩管外設置有防水之密封裝置如圖二 b 所示。此類採樣器在貫入過程中篩管是保持密封狀態，直至預定深度後才打開採樣，因此較沒有篩管阻塞或交叉物染的問題，故適合於單一或多次採樣之用。也就是可採集單一採樣，或結合雙鑽桿系統將外管留置地表下，執行不同時間之多次採樣 (如圖二 c 所示)。

3. 貫入點剖面採樣器 (Drive-point profiler)：

為克服 NAPLs 交叉污染及篩管阻塞等問題，所創新改良之暴露篩管式採樣器。其操作方式為在採樣貫入過程中同時自篩管噴出去離子水，當採樣器到達預定採樣深度時，再反抽地下水（如圖五之示意）。此特點在於減少交叉污染及篩管受到阻塞，因而適用於多次採樣，或多深度採樣之連續性採樣行為。

4.其他

其他適當之採樣設備，依照設備製造廠操作說明書為之。

（三）特殊井測工具

DPT 特殊井測儀器多於地表下之鑽孔內進行即時偵測，故又稱為孔下分析技術（Downhole analytical technology），可利用作為污染場址現場採樣調查之輔助性篩選工具。

1.地工感測技術：藉由量測地層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，以更準確判定污染場址應如何訂定採樣策略和選擇調查整治技術。

（1）壓力工具（Pressure tools）

地工感測所運用之壓力工具依其型式有兩種：地壓式之錐形鑽探感測器（Cone penetrometer sensor）及靜水式之孔壓傳導器（pore-pressure transducer）兩種。各有其適用範圍，例如：錐形鑽探感測器可量測錐形鑽頭之頂端電阻（Tip-resistance）以及探管側邊之套管摩擦力（Sleeve-friction），藉由其比值來即時判定岩盤地層及土壤型態。孔壓傳導器又稱之為 Piezocones，則可用來量測地下水深度。

（2）導電度或電阻工具（Electrical conductivity / Resistivity tools）

地層因成分或含水狀況之差異，而有不同之電阻對應（或稱之為地電阻譜，resistivity spectrum）。因此只要量測地層電阻率或其倒數(導電度)在地表下垂直或側向的變化情形，即能瞭解地層之結構。依其電極之排列方式，一般而言：施蘭卜吉排列（Schlumberger array）與溫奈排列（Wenner array）較常應用於地層平緩區域作垂直探勘。雙偶極排列（Dipole-dipole array）則較常運用於剖面探勘。

(3)震波工具（Seismic tools）

震波感測器之原理係利用高頻率之震波傳入地表下，碰到介質的改變會產生反射或折射現象。將此反射或折射訊號藉由地面上所設置之震波接收器加以記錄，並以軟體進行資料處理及即時判定岩盤地層、土壤型態及地下水深度。震波感測深度可達 1000 公尺。但震波接收器必須置於地表，故易受地表上植被或大型建築物干擾，需由有經驗的工程師做數據判讀。

(4)視頻影像工具（Video imaging tools）

井中攝影已發展至具有高解析度，只要用肉眼即可區別土壤和底泥之種類，或明確觀察出污染物。並可用類比式或數位式紀錄及儲存。所顯現之影像可搭配其他感測器作交叉比對。

2.有機物化學檢測技術

直接貫入偵測有機污染物之系統有很多種，最主要者有二：雷射誘導螢光（LIF）與薄膜界面探測器（MIP）。說明如下：

(1)雷射誘導螢光：

許多污染物以能量光源（如紫外線、汞、雷射等）照射後會產生螢光現象。按此特性，LIF 已發展成為即時偵測地表下未受擾動之土壤或地下水中，是否含有碳氫化合物之現場篩

選技術。LIF 感應器一般係整合在 DPT 系統內來定性及半定量石油碳氫化合物之污染分布資訊。

(2) 薄膜界面探測器：

MIP 係利用半透膜可允許揮發性有機分子通過，卻無法允許水和空氣通過之選擇特性。當貫入地表下時以加熱片將土壤或地下水升溫使 VOCs 物質產生揮發作用。此時因 VOCs 氣體濃度梯度變化，而擴散滲入膜內進入探針內部。再依各偶極電極的配置，量測其導電度，其測值約 5 至 400 mS/m（一般導電度常用單位為 $\mu\text{mho/cm}$ ）的範圍，較高值為坭土或黏土，較低者為砂土。

MIP 可連接光離子偵測器（PID）或火焰離子偵測器（FID）等可快速偵測淺層地表下 VOCs（如燃料油、含氯溶劑）的濃度分布及其遷移路徑，以及確認 DNAPL。

連接不同的偵測器各有各的感應偵測物種，例如：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。

3. 無機物化學檢測技術

直接貫入偵測無機污染物之系統有二：X 射線螢光光譜儀（XRF）與雷射誘導崩解光譜儀（LIBS）。

(1) X 射線螢光光譜儀：

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」。

(2)雷射誘導崩解光譜儀：

LIBS 用以分析雷射誘導之火光 (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。

4. 其他通過美國環保署環境技術驗證計畫 (USEPA's Environmental Technology Verification Program) 或相關驗證機構認可知特殊井測工具。

(四) 樣品處理及保存

土壤、地下水樣品之處理及保存，請參照行政院環保署公告之土壤採樣方法 (NIEA S102)、監測井地下水採樣方法 (NIEA W103) 及水質檢測方法總則—保存篇 (NIEA W102) 等相關規定辦理。

(五) 採樣程序

1. 釐定採樣計畫

污染場址地下水採樣目的，包括：1) 調查地下水有否遭受污染，2) 判斷污染物種類，以及 3) 評估其可能之污染範圍或影響程

度。由於地下水污染調查有其高難度，可能必須分階段擬定採樣計畫書，以確保符合採樣目的及計畫需求。

2.採樣佈點規劃

土壤採樣與地下水採樣佈點規劃之不同處在於，土壤採樣佈點重心係由污染場址的全面性趨於高污染濃度區（Hot spot），而地下水採樣則經常是反向由污染源區（Source zone）隨其污染濃度之可能遞減梯度，尤其是沿地下水流動方向，垂直往下或水平向外，逐步規劃採樣佈點，直至擴及確認可能之污染範圍或影響程度。

3.採樣概念模型

當可能污染範圍劃定後，應先建立初步之概念化的污染場址模型（Conceptual site model）加以描繪污染物之遷移及傳輸路徑等，作為採樣位置或採樣區間之參考。例如，污染物之洩漏，通常先經由土壤媒介，再傳輸至地下水體。因此地下水之污染調查，除採集地下水樣品外，必須涵蓋土壤、土壤氣體，或相關地質、表水及底泥等樣品，以作為交叉評估之用（如圖六為DNAPL 採樣概念式模型之示意說明）。

4.動態執行採樣

執行 DPT ，建議先利用特殊井測工具收集相關環境背景資料，及初篩可能之採樣點。決定採樣時，採樣與監測井應予併用，才能發揮 DPT 之最大功效。一般可先利用採樣方式來確認污染帶邊界、高污染區、污染傳輸途徑，或進行其他可疑污染處之採樣偵測。

當初步資料收集後，得適時動態調整採樣計畫，再細部據以研擬簡易井或監測井之設置，以長期執行採樣。

5. 作業場地復原

當階段性完成 DPT 採樣偵測後，應嚴格執行鑽孔（或井孔）之完全封閉工作，以避免地表下所遺留之鑽孔，可能形成一污染垂直遷移或傳輸的通道，反而製造污染更擴大分布。一般封孔方法有四：表面注入（Surface pouring）、再貫入灌漿（Re-entry grouting）、回拔灌漿（Retraction grouting）及貫入同時灌漿（Grouting during advancement）等（如圖七之示意）。其適用建議列於表八：

- (1) 表面注入法僅適用於孔深未達 10 呎（且未達地下水位），以及鑽孔未塌陷之情況。此法為緊急情況時採用，一般不予建議。
- (2) 再貫入灌漿法是替代表面注入法之第二建議。當 DNAPL 存在時不予建議。
- (3) 回拔式和貫入同時灌漿法是最佳之選擇。

七、步驟

略

八、結果處理

略

九、品質管制

（一）樣品品質

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，應配合採取如下之採樣空白樣品，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：

- 1.現場空白：將不含待測物且類似樣品基質的樣品（如試劑水）於檢驗室配製，裝入樣品瓶密封後，攜至採樣地點，曝露於相同採樣狀況下（如打開瓶蓋、加入保存劑等），再與採樣之樣品一同攜回檢測，此可用於判知採樣、運送過程之污染。每一場址須採一個現場空白。
- 2.設備空白：採樣設備經清洗後以試劑水淋洗，收集此試劑水淋洗液予以分析，可用於判知採樣設備是否污染情形，如為可棄式採樣設備，並經確認未受污染時，則可不作設備空白。每一鑽孔須採一個設備空白。
- 3.運送空白：不含待測物之試劑水，於檢驗室配製裝入樣品瓶密封後，攜至現場再與其它採集之樣品送回檢驗室檢測，過程中均不打開，可用於判知運送過程之污染情形。每一行程須採一個運送空白。

（二）數據品質

DPT 產出之數據，包括篩選及定義等二種數據品質，應予組合判斷，以符合本方法二、適用範圍（四）之要求。

- 1.篩選數據：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，皆屬於篩選數據，僅能作為參考，不能作為最終分析結果。
- 2.定義數據：DPT 採樣樣品如經妥善處理、保存及運送至認證實驗室，且依標準檢驗規定之分析數據，則為定義數據，得作為最終分析結果。

十、精密度及準確度

略

十一、參考資料

- (一) ASTM (American Society for Testing and Materials) D-6001-96 (re-approved 2002), Standard Guide for Direct-Push Water Sampling for Geoenvironmental Investigations, 100 Barr Harbor Dr., W. Conshohocken, PA 19428.
- (二) ASTM (American Society for Testing and Materials) D6282-98, Standard Guide for Direct-Push Soil Sampling for Environmental Site Characterization, Designation, 100 Barr Harbor Dr., W. Conshohocken, PA 19428.
- (三) ASTM (American Society for Testing and Materials) D6724-04, Standard Guide for Installation for Direct Push Ground Water Monitoring Wells, 100 Barr Harbor Dr., W. Conshohocken, PA 19428.
- (四) ASTM (American Society for Testing and Materials) D6725-01, Standard Practice for Direct Push Installation of Prepacked Screen Monitoring Wells in Unconsolidated Aquifers, 100 Barr Harbor Dr., W. Conshohocken, PA 19428.
- (五) FATE (Field Analytical Technologies Encyclopedia) USEPA Technology Innovation Office, 2003. Direct-Push Analytical Systems. http://fate.clu-in.org/direct_push/dpanalytical.asp
- (六) NJDEP (New Jersey Department of Environmental Protection), 1994. Alternative Ground Water Sampling Technologies Guide. Trenton.

- (七) Ohio EPA, 2005. Use of Direct Push Technologies for Soil and Ground Water Sampling, In Technical Guidance for Ground Water Investigations Chapter 15. Division of Drinking and Ground Water.
- (八) USACE (US Army Environmental Center), 2000. The Triad-Serve Site Characterization and Analysis Penetrometer System-SCAPS. Report Number SFIM-ACE-ET-TR-99073.
- (九) UK Environment Agency, 2003. An Illustrated Handbook of DNAPL Transport and Fate in the Subsurface. R&D Published 133.
- (十) USEPA ,1997. Direct Push Technologies. In Expedited Site Assessment Tools for Underground Storage Tank Sites. Office of Solid Waste and Emergency Response. EPA 510-B-97-001.
- (十一) USEPA ,2005. Groundwater Sampling and Monitoring with Direct Push Technologies. Office of Solid Waste and Emergency Response. EPA 540-R-04-005.

表一 不同儀器設備之不同之採樣或數據收集能力

設備	樣品或數據收集能力											
	評估地層	測量孔壓	測量土壤導電度	偵測碳氫化合物	偵測VOCs	土壤樣品	土壤氣體樣品	地下水樣品	孔隙水樣品	評估通氣層	測量水位	設置監測井
封閉篩管式採樣器												
BAT GMS								✓	✓			
BAT Enviroprobe							✓	✓				
Dual-Tube Samplers	✓					✓	✓	✓		✓	✓	✓
Hydropunch I and II								✓				
PowerPunch										✓	✓	✓
Screen Point 15								✓			✓	
SimuProbe						✓	✓	✓				
多次採樣器												
Geoprobe	✓		✓		✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
Envirocore	✓					✓	✓	✓		✓	✓	✓
Vertek ConeSipper	✓	✓	✓				✓	✓		✓	✓	
Waterloo Peofiler							✓	✓		✓	✓	
特殊量測記錄工具												
Cone Penetrometer	✓	✓	✓			✓	✓	✓		✓	✓	✓
Instrumented CPTs	✓	✓	✓	✓	✓	✓						

表二 單桿與雙桿系統之使用比較

名稱 比較項目	單桿系統	雙桿系統
可否採集土壤、土壤氣體或地下水之單一樣品	可 (較快)	可 (較慢)
可否採集連續性的土壤樣品	最好避免 (可能同時收集到泥漿)	可 (較快)
當採集土壤樣品及確認土層性質後，可否繼續採集地下水樣品	不可 (僅暴露篩管式採樣器可)	可
貫入鑽桿所須之力量	小	大
貫入地表下之深度	深	淺
當 NAPLs 存在時，可否執行同一鑽孔多次土壤採樣	不可	可

表三 不同採樣數據需求目的之 DPT 採樣工具選用建議

環境應用	孔下分析儀器	採樣採樣器	DPT 設置井
查證污染是否存在 (定性目的)	✓	✓ (現場分析)	
約略判斷污染範圍或程度 (半定量目的)	✓	✓ (現場分析)	
定義特定污染物和其精確 之濃度值 (定量目的)		✓ (實驗室分 析)	✓
長期監測			✓

表四 DPT 採樣偏差之可能潛在來源

分析項目	採樣偏差的潛在來源							
	樣品受到擾動的情況						濁度	
	壓力降低	溫度增加	暴露到大氣環境	吸附到採樣器上	從採樣器上脫附	採樣期間的擾動或曝氣	樣品中懸浮微粒的吸附 (a)	樣品中懸浮微粒的釋出 (a)
VOCs	N ⁺⁺⁺	N ⁺⁺⁺	N ⁺⁺⁺ /P ⁺⁺⁺ (b)	N ⁺	P ⁺	N ⁺⁺	0	0
溶解氣體和 ORP	N ⁺⁺⁺	N ⁺⁺⁺	N ⁺⁺⁺ /P ⁺⁺⁺ (b)	N ⁺⁺ to N ⁺⁺⁺ (c)	P ⁺	N ⁺⁺	0	0
半揮發物	N ⁺	N ⁺⁺	N ⁺⁺	N ⁺	P ⁺⁺	N ⁺	N ⁺⁺	P ⁺⁺
農藥	N ⁺	N ⁺	N ⁺	N ⁺	0	N ⁺	N ⁺⁺	P ⁺⁺
微量金屬	N ⁺	N ⁺	N ⁺⁺⁺	N ⁺ to N ⁺⁺⁺ (d)	P ⁺	N ⁺	N ⁺⁺⁺	P ⁺⁺⁺
放射性核	N ⁺	N ⁺	N ⁺	N ⁺	0	0	N ⁺⁺⁺	P ⁺⁺
主要離子 (無機陽和陰離子)	0	0	N ⁺	N ⁺	0	0	N ⁺	P ⁺

(a) 化學物質吸附到懸浮微粒上，或懸浮微粒釋放出化學物質，皆會直接影響到化學物質濃度的高低。化學物質的吸附或釋出與懸浮微粒的大小和種類有關，例如微細、有機顆粒其吸附效應較為顯著。

- (b) 當樣品暴露在含有高濃度某待測物質之大氣環境時，可能或造成樣品分析值偏高；反之，則可能稀釋樣品濃度，使分析值偏低。
- (c) 不銹鋼鑽桿所含之鐵成分，可能會因零價鐵的氧化作用，而明顯降低地下水樣品之溶氧和氧化還原電位值。因此樣品採集時應與鑽桿有所隔離，以減少此效應發生。
- (d) 有些微量金屬會和含水鐵氧化物（如鐵銹）複合形成溶解性亞鐵化合物。因此樣品採集時應與鑽桿有所隔離，以減少此效應發生。
- (e) N : negative(負偏差) ; P : positive(正偏差) ; 0 : 無影響。影響程度：+++ : 大 ; ++ : 普通 ; + : 小

表五 常見有機污染物之 n-辛醇比水之對數分配係數 (log K_{ow}) 值

Chemical	Log K _{ow} ^a	Chemical	Log K _{ow}
Acenaphthene	4.07	Ethylbenzene	3.13
Acetone	-0.24	Ethylene Glycol	-1.36
Aldrin	5.52	Fluoranthene	5.22
Anthracene	4.45	Fluorene	4.12
Arochlor 1221	2.8 estimated	Heptachlor	5.44
Arochlor 1242	5.58	Hexachlorobutadiene	4.78
Arochlor 1260	6.91	Indeno(1,2,3-cd)pyrene	7.7
Benzene	2.13	Lindane	3.7
Benzo(a)anthracene	5.61	Methoxychlor	4.3
Benzo(k)fluoranthene	6.85	Methyl Ethyl Ketone	0.29
Benzo(g,h,i)perylene	7.1	Methyl t-Butyl Ether	1.24
Benzo(a)pyrene	5.99	Naphthalene	3.59
Bis(2-ethylhexyl)phthalate	4.20, 5.11	Pentachlorophenol	5.01
Carbon Tetrachloride	2.83	Phenanthrene	4.468
Chlordane	6	Phenol	1.48
Chlorobenzene	2.84	Pyrene	5.18
Chloroform	1.97	Styrene	2.95
Chrysene	5.6	1,1,2,2-Tetrachloroethane	2.39
p, p-DDT	6.36	Tetrachloroethene (PCE)	3.4
Dibenz(a,h)anthracene	6.36	Toluene	2.73
Dibenzofuran	4.17	Toxaphene	3.3
1,1-Dichloroethane	1.79	1,1,1-Trichloroethane	2.49
1,2-Dichloroethane	1.48	1,1,2-Trichloroethane	2.07
cis-1,2-Dichloroethene	1.86	Trichloroethene	2.42
Dieldrin	5.16	Tetrahydrofuran1,4-Dioxane	-0.27
1,4-Dioxane	-0.27	Vinyl Chloride	0.6
Endrin	5.16	m-Xylene	3.2

^a Log K_{ow} values taken from Howard et al., 1993a and 1993b and from Montgomery and Welkom, 1991.

表六 DPT 地下水採樣裝置之操作特性及其適用性

採樣裝置	最小約略井徑	最大可達深度	樣品傳遞速率	特定偵測項目												
				現場指示				無機			有機		放射物質		微生物	
				導電度	pH	ORP	DO	主要離子	微量金屬	鹽類	VOCs	SVOCs	放射性核種	Gamma α/β	大腸桿菌	
貝勒	1/2 吋	不限		✓				✓		✓			✓		✓	
慣提式泵	1/2 吋	不限		✓				✓		✓			✓		✓	
吸提式泵	1/2 吋	25 呎	50 mL-4 L/min	✓				✓		✓			✓		✓	
氣動式泵	1/2 吋	250 呎	50 mL-20 L/min	✓	✓			✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	
氣泡式泵	1/2 吋	300 呎	25 mL-8 L/min	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
活塞式泵	2 吋	1000 呎	100 mL-8 L/min	✓	✓			✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	
電動沉水泵																
齒輪驅動	2 吋	300 呎	50 mL-12 L/min	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
迴轉式	2 吋	180 呎	100 mL-6 L/min	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
離心式	1.75 吋	220 呎	100 mL-34 L/min	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

表七 直接貫入採樣器具應用建議

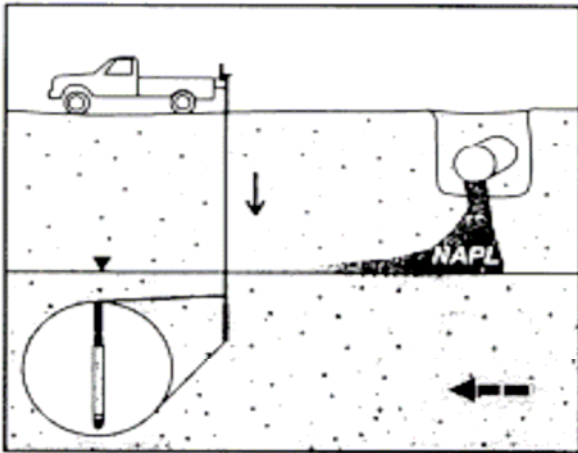
	暴露篩管式	關閉篩管式
多次採樣	✓ ¹	✓ ²
樣品可迅速採集，且僅需少量或不需汲水		✓ ³
可用以設置長期監測點	✓ ⁴	✓
適用於坭土組成之地層		✓ ⁵
適用於土壤遭受污染之地下水採樣		✓

1. 必須注意交叉污染問題，且必須要求汲水。
2. 雙鑽桿系統可在不回抽鑽桿的情況下，執行多次採樣。
3. 單一樣品採集以此法最為快速。
4. 雖有少數暴露篩管式採樣器可用以設置監測井，但此法通常不建議運用於 NAPL 污染層。
5. 坭土層內之採樣，僅適合於設置短期監測井方式執行，否則可能造成 VOCs 大量流失。

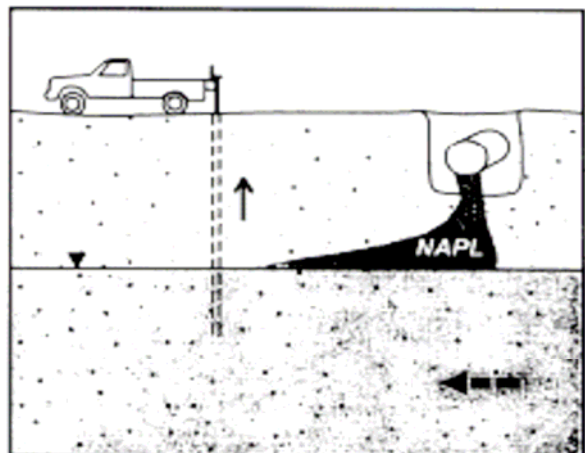
表八 各種 DPT 封孔方法之遴選建議

評估項目 \ 方法		表面注入	再貫入灌	往復式灌	貫入同時
		法	漿法	漿法	灌漿法
NAPLs 存在時	附著形成時	✓	✓	✓	✓
	坍塌形成時		✓	✓	✓
NAPLs 未存在時	附著形成時			✓	✓
	坍塌形成時			✓	✓
鑽桿偏移時				✓	✓

單管直接貫入系統

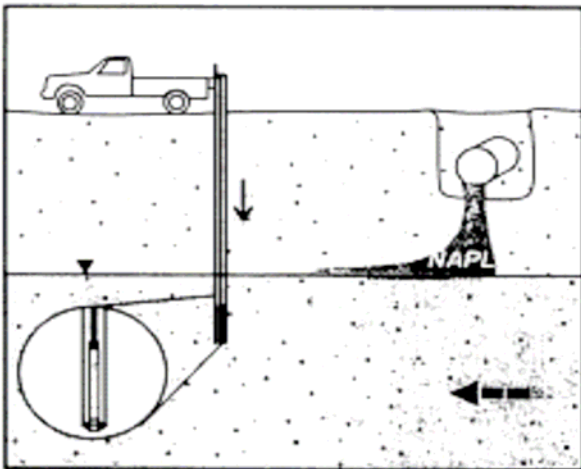


1、採樣工具連接於鑽桿之末端，將鑽桿貫入至預定深度進行採樣。

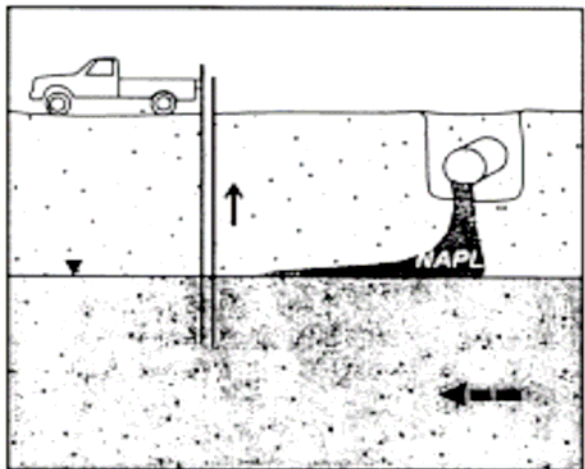


2、樣品採集後，將採樣工具連同鑽桿一併抽出地面。如需採集另一深度樣品，則必須將整根鑽桿重新再貫入原來之孔洞，或另覓新的採樣位置。

雙管直接貫入系統



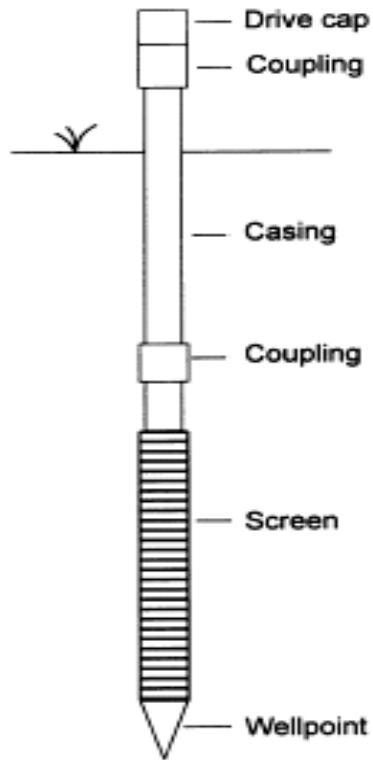
1、採樣工具連接於鑽桿之內管，採樣時將整組鑽桿(包括內、外管)一起貫入至預定深度進行採樣。



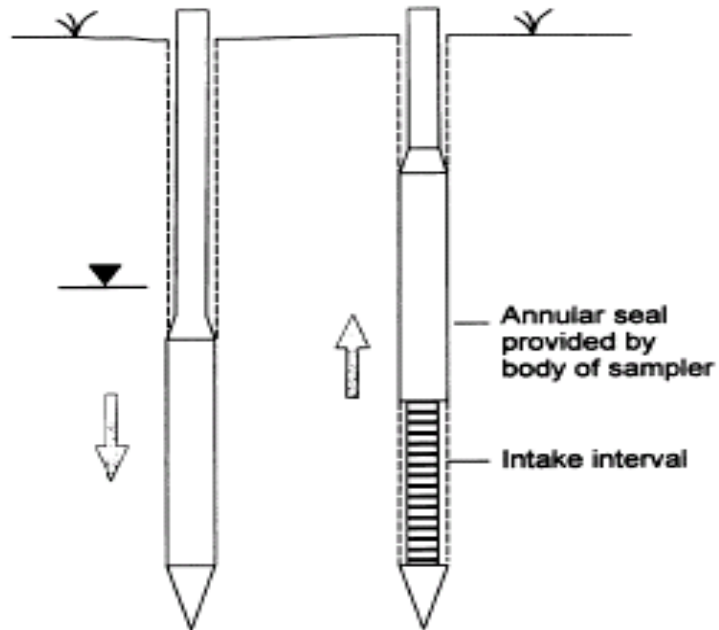
2、樣品採集後，只將連接有採樣工具之內管抽出，外管則停留於原處不動，以防止孔洞塌陷。當採集第二個樣品時，只將內管插入，再與外管一起貫入另一深度。如此可利用原孔洞進行不同深度之連續取樣。直至所有樣品採集後，才將整組鑽桿抽出地面。

圖一 單桿及雙桿系統之貫入採樣作業說明

a) 暴露篩管式採樣器



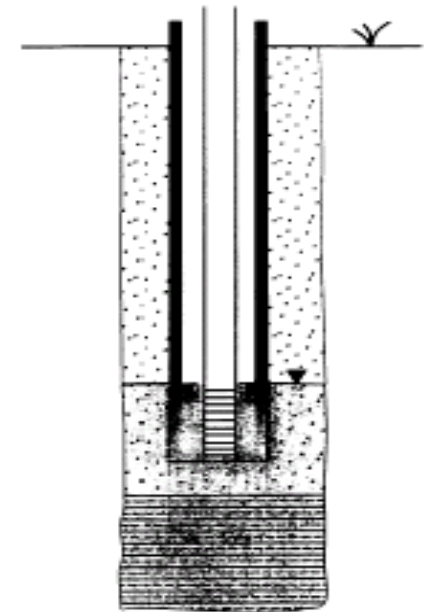
b) 關閉篩管式採樣器



1. 將採樣器貫入至預定深度。

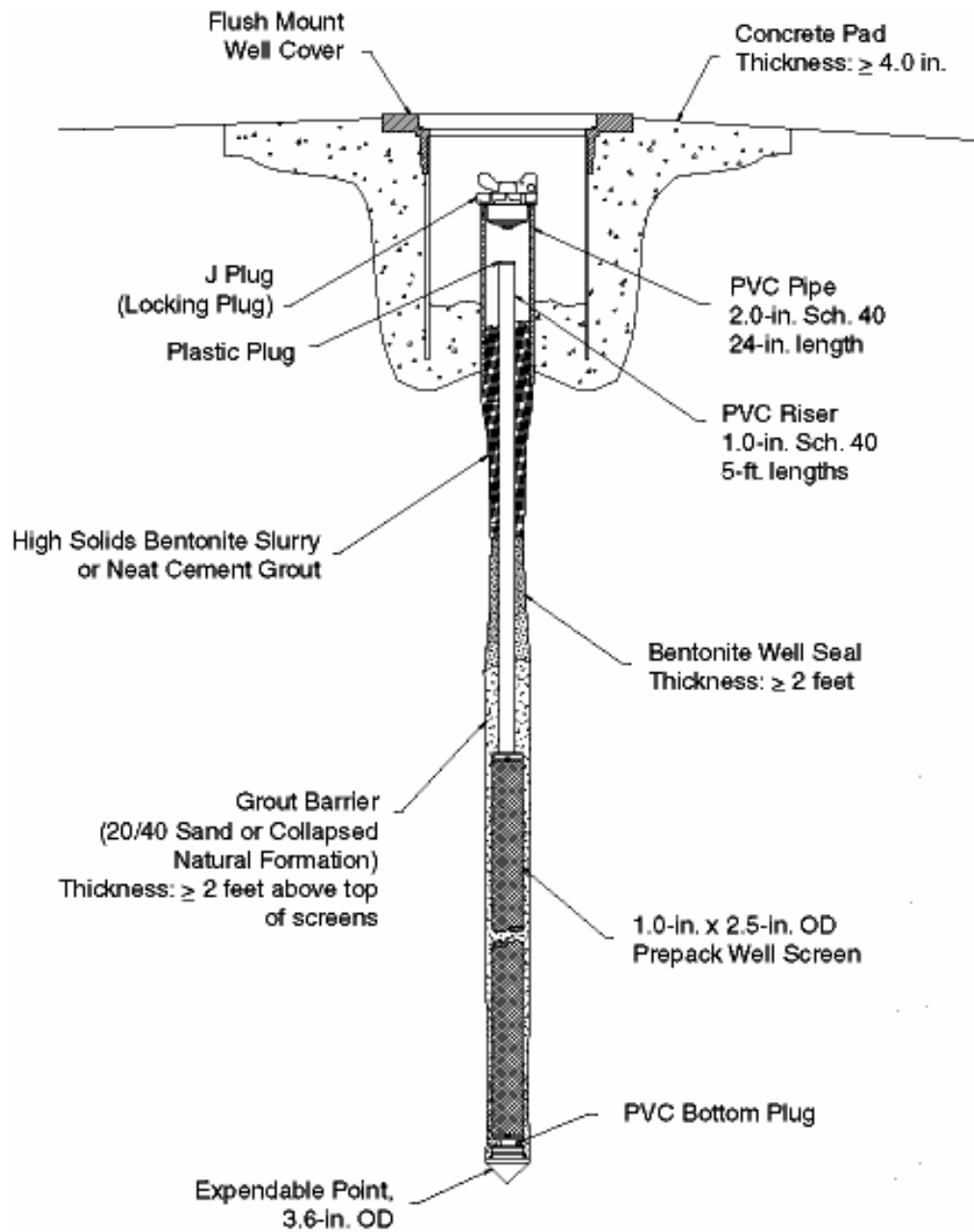
2. 抽回DP鑽桿以便打開採樣口進行採樣。

c) 雙桿採樣方式

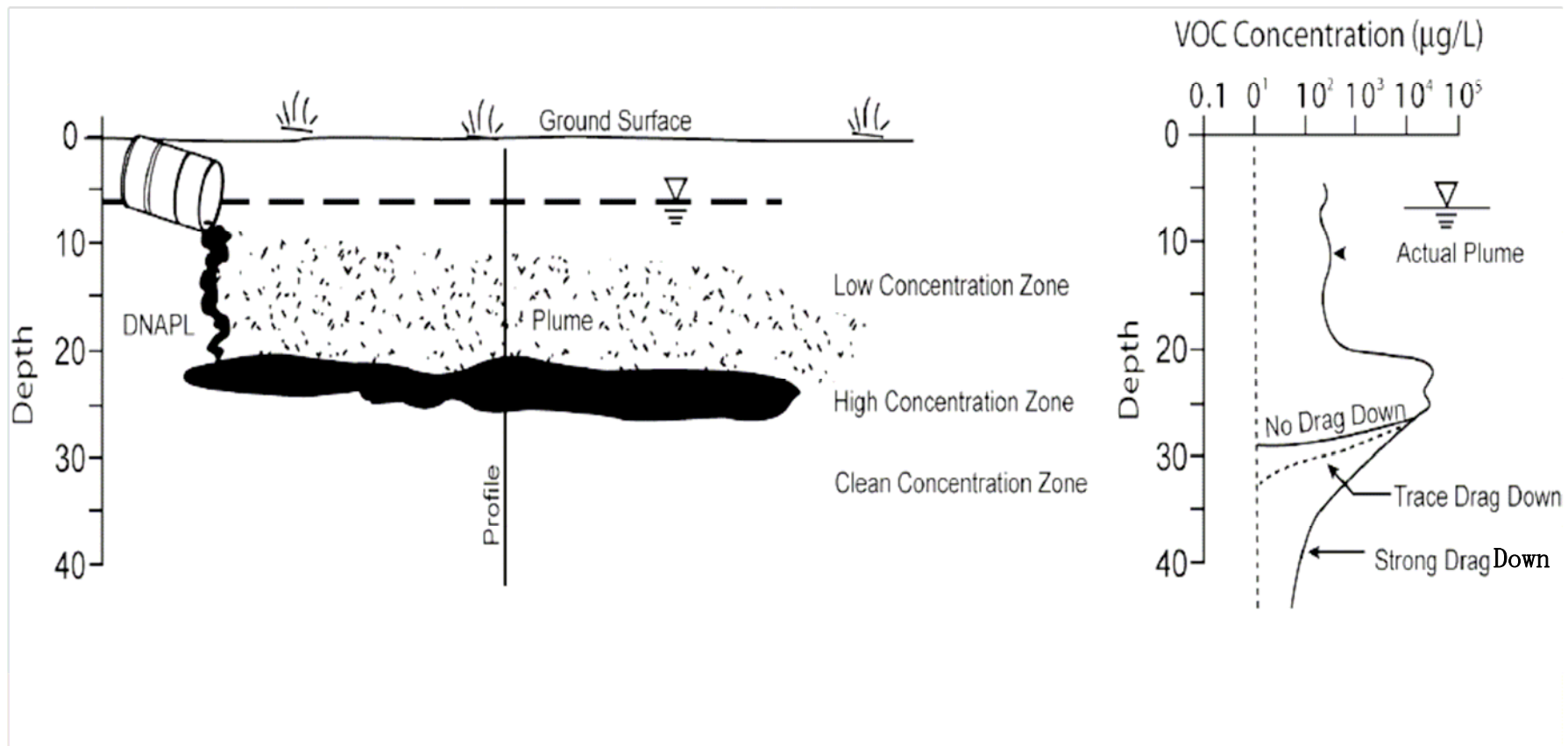


當外管抽回之後，地下水水樣從PVC製的內溝滲入採樣器內。

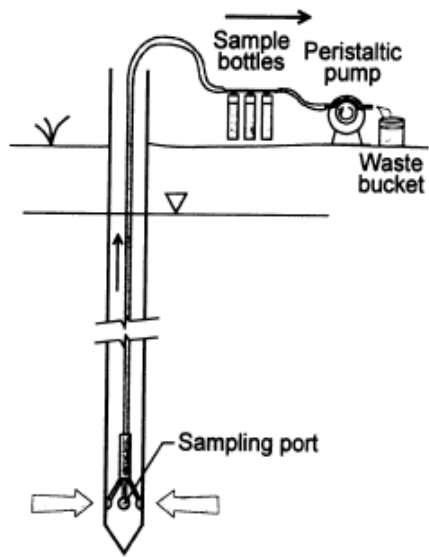
圖二 地下水採樣工具分類



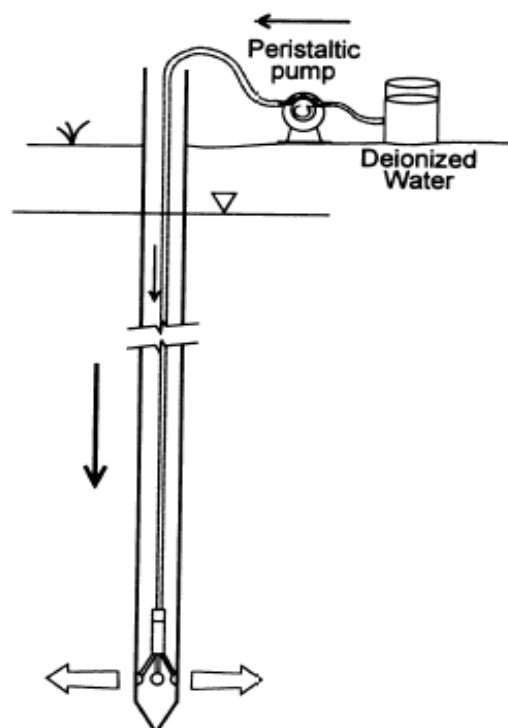
圖三 典型的預先包裹式篩管監測井



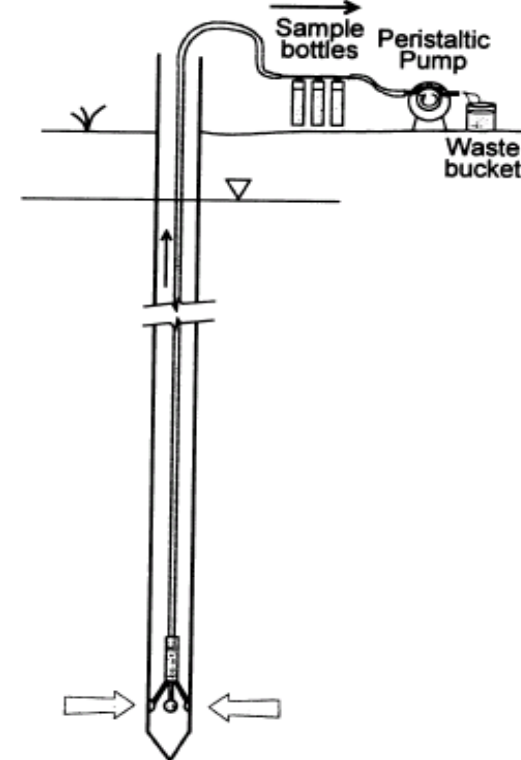
圖四 不適當使用 DPT 採樣器可能引起之拖曳作用



a) 利用蠕動馬達收集第一個採樣深度的水樣。

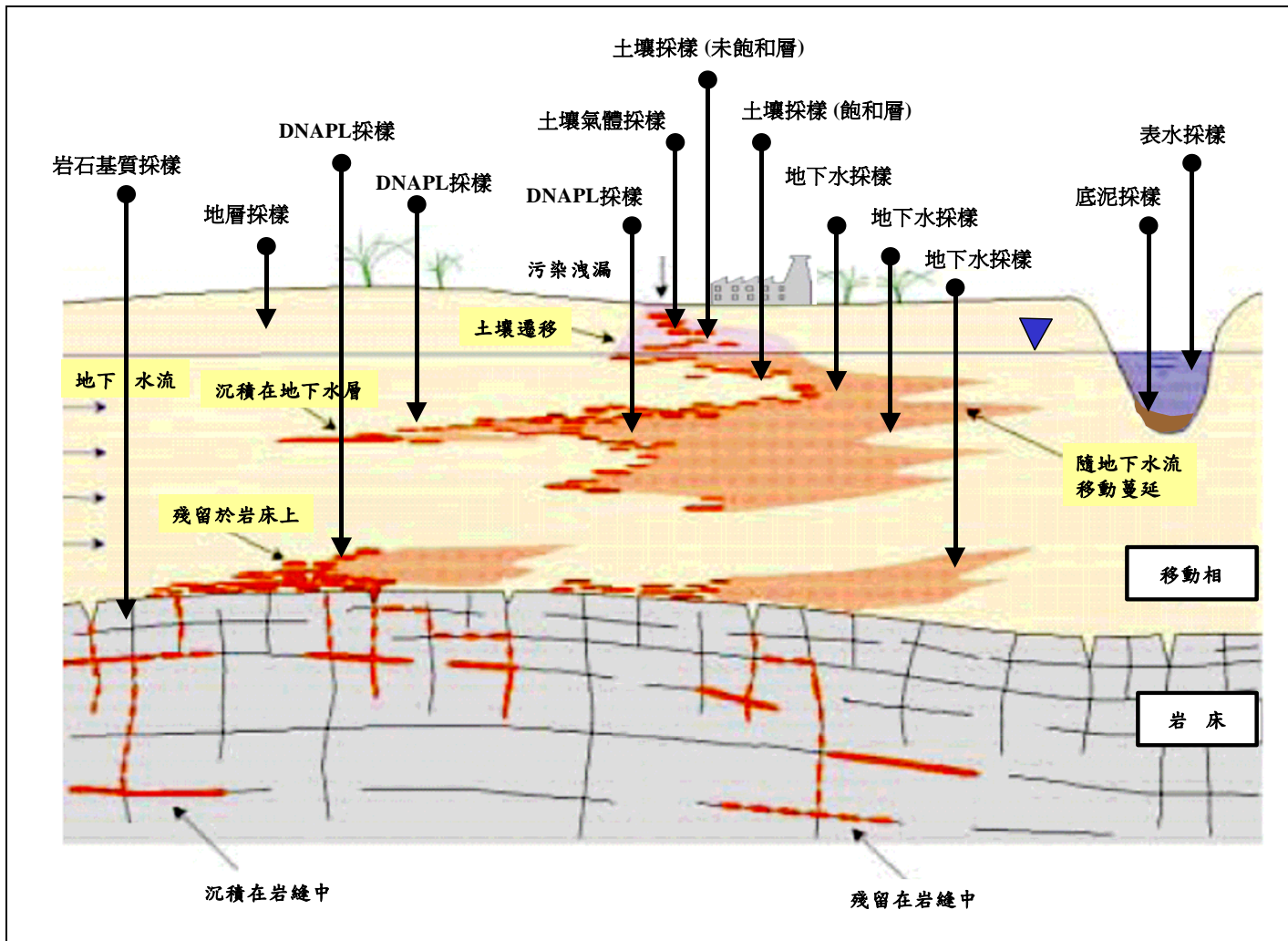


b) 在採樣工具貫入地表下時，同時噴出去離子水，以防止採樣口阻塞。



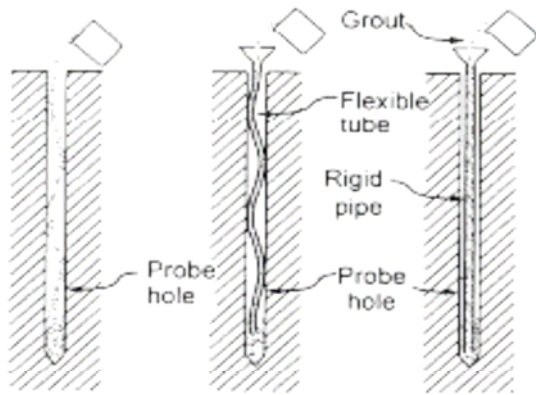
c) 到達第二個採樣深度時，讓蠕動馬達反轉抽取地下水水樣。

圖五 貫入點剖面採樣器之操作示意



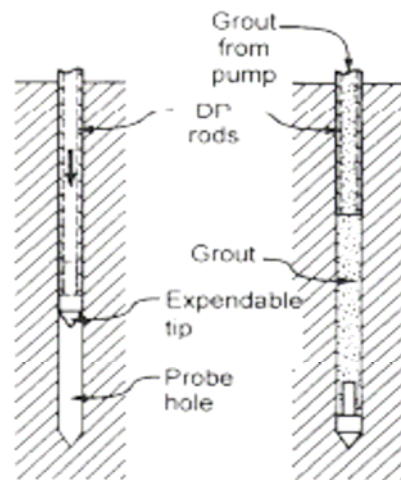
圖六 DNAPL 之採樣概念式模型

a) 表面注入灌漿法



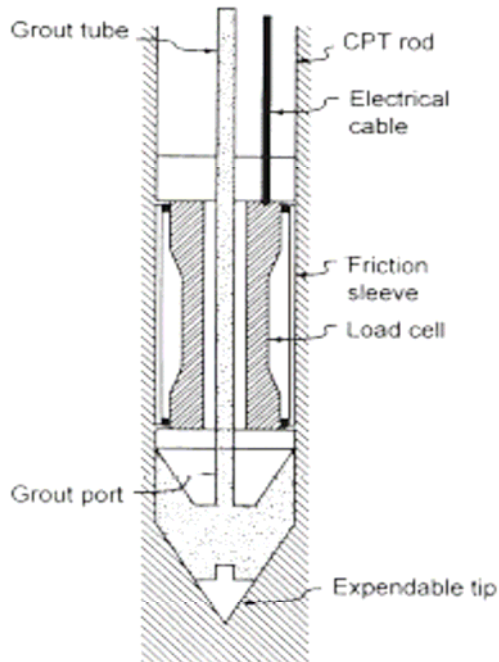
1) 表面倒入 2) 軟管倒入 3) 鋼管倒入

b) 回拔灌漿法



1) 設置鑽桿 2) 灌入水泥或皂土

c) 回拔式灌漿搭配犧牲鑽頭



圖七 DPT 鑽孔封閉之方法示意