

附錄二 監測井設置工作規範

一、規範內容：地下水水質監測井設置之監測井構造設計、土壤採樣與判釋方式、井孔鑽鑿程序、井管與井篩規格、濾料填實與封層程序、完井處理步驟等。

二、名詞解釋

- (一) 主要濾料層 (primary filter pack)：填充在井管 (篩) 與鑽孔壁間適當厚度之細砂或砂與礫石之混合物，其粒徑大小與粒徑分布均須經妥適選擇。
- (二) 次要濾料層 (secondary filter pack)：設置於主要濾料層上方與封層間顆粒均勻之砂層，目的為避免封層所用之材料進入主要濾料層造成淤塞。
- (三) 非受壓含水層 (unconfined aquifer)：指與大氣相通，上方非不透水層之含水層。
- (四) 受壓含水層 (confined aquifer)：指上、下均為不透水層之含水層，其靜水壓力高於大氣壓力。
- (五) 微水層 (aquiclude)：係指導水度極低之地層，地下水幾乎無法流動。
- (六) 滯水層 (aquitard)：係指具孔隙能貯含地下水，但其導水度頗低因而地下水僅能以緩慢速率流經其在兩含水層間流通之地層。
- (七) 比水輕之非水相液體 (light non-aqueous phase liquid, LNAPL)：密度比水輕之有機化合物，微溶於水，會聚集在地下水水位面以上，並沿著地下水水面移動。
- (八) 比水重之非水相液體 (dense non-aqueous phase liquid, DNAPL)：密度比水重之有機化合物，微溶於水，會穿過地下水水面，積聚在含水層底部，或滲透至更深的地層。
- (九) 架橋 (bridge)：濾料填充時，濾料在濾料層間互相連結而不下落之現象。
- (十) 卡鎖 (clogging)：細小顆粒阻塞濾料層孔隙，使其透水性降低之現象。
- (十一) 汲取 (bailing)：以貝勒管於井中快速汲水，造成井水劇烈震盪之完井方法。
- (十二) 湧水塞 (surge block)：利用類似活塞之工具於井篩附近上下移動，攪動該處井水之完井方法。
- (十三) 氣提 (air-lifting)：利用馬達將空氣注入井底，壓力使井水噴出井口，將井中淤積泥砂帶離井體之完井方法。
- (十四) 超量抽水 (over-pumping)：以高抽水速率或高流量進行抽水之完井方法。

三、監測井構造設計

- (一) 地下水水質監測井依其外部保護設施之不同，可分為平台式與隱藏式兩類，其設計圖如圖2-1及圖2-2所示，圖中尺寸、長度已註明者為建議規格；未註明者（如井管、井篩長度等）則視當地水文地質情況或監測井設置目的而定。
- (二) 監測井之內部為井管 (well casing)，井管下方為井篩 (well screen)，井篩上有開孔，井篩之外為石英砂組成之主要濾料層，主要濾料層上有次要濾料層，次要濾料層以上為皂土之封層 (bentonite seal)，封層之上以水泥灌漿回填 (grout)。
- (三) 依據監測井構造設計內容，監測井設置包含土壤特性調查工作詳「四、土壤採樣與判釋方式」所述、鑿井與設置工作詳「五、井孔鑽鑿程序」與「六、井管與井篩規格」所述、濾料填實與完井工作詳「七、濾料填實與封層程序」與「八、完井處理步驟」所述。
- (四) 如遇特殊之水文地質狀況，得由監測井設置規劃人員判斷選擇適當替代方案，並經監測井設置單位同意後實施。

四、土壤採樣與判釋方式

(一) 土壤取樣設備及器材於使用前均需予以除污及校正。除污步驟如下：

- 1、使用無磷清潔劑清洗，以去除可見之微粒與殘餘油料。
- 2、以清水（自來水）清洗除去殘餘之無磷清潔劑。
- 3、以去離子水或蒸餾水清洗以除去自來水中之礦物質。

(二) 於鑽孔過程中，每一口監測井之土壤取樣需使用劈管（split-barrel sampler）、薄管（thin-walled 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CNS A1066或ASTM D1586，薄管取樣方式及操作須遵循CNS A3284或ASTM D1587。鑽孔過程中若有卵礫石層或固結岩層，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或固結岩層的深度及厚度。

(三) 現場工程師或監測井設置規劃人員於現場進行土壤取樣工作時，應詳細記錄土樣特徵描述與土壤柱狀圖（如附表2-1），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，裝填後在土樣箱上標明井號、箱號及深度，並拍照留存。

(四) 土壤特徵描述應依循CNS A1065或ASTM D2488根據統一土壤分類法（Unified Soil Classification System, USCS）描述之，應描述項目包含土壤之稜角特性、形狀、顏色、氣味、含水狀態、結構及粒徑分布範圍等。

(五) 若存在目視之污染（油污、染色情形或非原色外觀）、或土壤揮發性氣體（以油氣檢測設備偵測讀值），須備註說明於土壤取樣紀錄表（如附表2-1）。

(六) 由現場初步判定較適宜之開篩位置採取土樣，土樣應在試驗室內遵循CNS A3251、ASTM D422或CNS A3005、ASTM C136，至少完成三組粒徑分布曲線，求得土樣之有效粒徑（ D_{10} ）、中值（ D_{50} ）、 D_{60} 及均勻係數 C_u （ D_{60}/D_{10} ），並記錄於附表2-2「土壤粒徑分析成果表」。

(七) 如於半徑1公里範圍內欲設置多口以污染預防、調查或查證為目的之監測井，則應依前項要求，至少完成最深一口監測井之粒徑分析及相關係數計算，以作為該地區監測井井體設計及施工之依據。

(八) 依據粒徑分析資料決定監測井井篩篩縫寬度及濾料粒徑如表2-1。若含水層由不同粒徑的土層組成，則 D_{50} 選用最細的土層為代表。

(九) 需進行土壤採樣與粒徑分析之監測井，於設置前需於監測井設置規劃報告中說明土壤粒徑分析結果，據以決定監測井井篩之篩縫寬度及濾料粒徑。

表2-1 濾料粒徑、含水層土壤粒徑與篩縫寬度的相關性

含水層土壤D ₅₀ (公釐)	濾料粒徑 (公釐)	美國標準篩 篩號範圍	篩縫寬度	
			英吋	公釐
0.063~0.125	0.25~0.425	#60~#40	0.005	0.125
0.125~0.25	0.425~0.85	#40~#20	0.01	0.25
0.25~0.5	0.85~2.00	#20~#10	0.02	0.5
0.5~1.0	2.00~4.75	#10~#4	0.04	1.0
1.0~2.0	4.75~9.50	#4~3/8-in	0.08	2.0
>2.0	4.75~9.50	#4~3/8-in	0.08	2.0

五、井孔鑽鑿程序

- (一) 鑽孔處之地下水位深度判定、水文地質特性研析、含水層型態識別、鑽孔孔徑深度及相關資料之蒐集等由監測井設置規劃人員負責。
- (二) 監測井設置規劃人員依據監測井井址之地質條件，選擇適當方法進行鑽孔【例如：砂層（坩土、砂、黏土及含少量礫石之土層）或卵礫石層，可選擇旋鑽法或衝鑽法；固結岩層之鑽孔則多使用旋鑽法】，且能滿足連續土壤取樣之要求，卵礫石層或固結岩層中則不需連續取樣。
- (三) 鑽井設備在搬移至任一井址使用前，應以鋼刷、高壓蒸氣進行除污，直至肉眼所見之污物、油脂完全除去為止，然後以無磷清潔劑清洗，以防止污染該場地之地下含水層。鑽井設備之除污應在特定地點進行，不可靠近鑽井位置或乾淨之設備及器材。
- (四) 為避免鑽井作業之施作造成土壤及地下水污染，監測井設置施工單位需確保土壤及地下水維持施工前狀況，如因鑽井作業之疏失造成土壤及地下水污染，所有責任概由監測井規劃人員及監測井設置施工單位負責。
- (五) 為確保井孔之垂直，應於鑽孔前與鑽進過程中隨時辦理鑽機之水平與垂直檢查。
- (六) 除污步驟、已完成除污之機具設備、鑽機之水平與垂直檢查，以及鑽進過程於鑽孔中所發現之異常現象（如油漬），均應詳細記錄於現場監工要事紀錄表（如附表2-3）。
- (七) 於鑽孔過程中，應詳細記錄地下水位深度（記錄於地下水位紀錄表，如附表2-4）。
- (八) 監測井之直徑以2吋或4吋為原則，2吋監測井鑽孔孔徑為6~8吋，4吋監測井鑽孔孔徑為8~12吋。其深度依監測井設置目的、監測井址地下水位及含水層型態（受壓或非受壓）而定。

1、以監測背景水質為目的之區域性監測井

- (1) 非受壓含水層：依據井址之水文地質特性，配合六、(二)監測井之井篩長度及位置，由監測井設置規劃人員決定適當鑽孔深度。若豐、枯水期地下水位面變化超過6公尺以上，得考慮增設監測井，進行多深度監測，並應詳細紀錄原因。
- (2) 受壓含水層：貫穿微水層或滯水層進入含水層，鑽孔至含水層2公尺處。為防範錯接污染（cross contamination），鑽孔至微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6~12吋套管。於此套管中繼續鑽孔，鑽穿微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6~12吋套管以利鑽鑿。視實際抽除難易而定，此套管於監測井設置時完全抽除或部分抽除至微水層或滯水層底部。無論套管抽除與否，均需在套管內進行封層工作，以確實避免錯接污染。

2、以污染預防、調查或查證為目的之監測井

應依照污染物及場址水文地質特性決定鑽孔深度，並依監測井設置規劃報告執行。

(九)如土壤有污染之虞（尤設置以污染預防、調查或查證為目的之監測井）時，鑽井作業所掘出之廢土應妥善收集處理，勿作回填用，避免污染物入滲或傳輸之可能性。

六、井管與井篩規格

(一) 口徑及材質

- 1、井管及井篩可為2吋或4吋，管壁厚度schedule 40，螺紋式接頭之聚氯乙烯（PVC）材質。地下水水質經初步評估，有與聚氯乙烯材料化性不相容之虞時，可選用不銹鋼（材質為304或316）、聚四氟乙烯（Polytetrafluoroethylene, PTFE）或其他化性相容材質來代替聚氯乙烯。當井深超過20公尺時，可改用管壁厚度schedule 80來增加井管的強度，聚氯乙烯管材規格可參考表2-2及ASTM D1785。
- 2、井篩底部須用螺紋式接頭底蓋封實，底座部分需有墊圈（O-Ring）防漏，旋接時不可用任何溶劑或塗料，但可用鐵氟龍膠帶纏繞。

(二) 井篩長度及位置

1、以監測背景水質為目的之區域性監測井

(1) 非受壓含水層

- A、建議井篩長6公尺，井篩區間需涵蓋豐、枯水期之地下水水位面（如圖2-3所示），惟於枯水期間至少需有1公尺之井篩置於地下水水面之下，以避免井內無水之情形。
- B、若井址之經常性地下水位較高，或需監測含水層特定深度之水質時，則井篩區間不以涵蓋豐、枯水期之地下水水位面為限，由監測井設置規劃人員選擇適當方案，於紀錄中說明，並經監測井設置單位同意後實施。
- C、若豐、枯水期地下水位變化大於6公尺，或含水層厚度較大時，井篩長度不以6公尺為限，可由監測井設置規劃人員選擇適當方案，或得考慮另設監測井，進行多深度監測，應於紀錄中說明，並經監測井設置單位同意後實施。

(2)受壓含水層：建議井篩長1公尺，置於微水層或滯水層下方1公尺處（如圖2-4所示），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。

表2-2 聚氯乙烯 (PVC) 管材規格表

標稱管徑 Nominal Pipe Size		外徑 英吋 (公釐)	管壁厚度 (最小) 英吋 (公釐)		
英吋	公釐		Schedule 40	Schedule 80	Schedule 120
1	25	1.315 (33.40)	0.133 (3.38)	0.179 (4.55)	0.200 (5.08)
2	50	2.375 (62.32)	0.154 (3.91)	0.218 (5.54)	0.250 (6.35)
4	100	4.500 (114.30)	0.237 (6.02)	0.337 (8.56)	0.437 (11.10)

2、以污染預防、調查或查證為目的之監測井

井篩長度以不超過3公尺為宜，如豐、枯水期地下水位變化超過3公尺以上，應優先依井址之水文地質及下列污染物分布特性，將井篩設置於含水層中適當位置，可由監測井設置規劃人員選擇適當方案，得考慮以多深度監測方式達到監測豐、枯水期水質變化之目的。

(1) 監測比水輕之非水相液體，開篩位置應靠近含水層之上緣。

(2) 監測比水重之非水相液體，開篩位置應靠近含水層之下緣，或置於污染物可能分布之最大深度，惟不可貫穿微水層或滯水層而造成溶液繼續往下移動。

考量井址水文地質特性及污染物特性，致使不能符合前述建議時，得於監測井設置規劃報告中提出執行方式，經監測井設置單位同意後辦理。

七、濾料填實與封層程序

(一) 濾料須採樣進行粒徑分析，且須為質硬形圓、淘洗乾淨、顆粒均勻（均勻係數 C_u 小於2.5）之石英砂。均勻係數定義為 D_{60}/D_{10} ， D_{60} 代表60%的土壤顆粒能通過的粒徑， D_{10} 代表10%的土壤顆粒能通過的粒徑。含水層土壤粒徑、濾料粒徑與篩縫寬度的相關性請參照表2-1，濾料層材料不得含有會使水質劣化之雜質。

(二) 俟監測井管設置定位後，井篩與井管周圍由下而上之回填材料及步驟，如圖2-1及圖2-2所示：

- 1、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。為避免濾料填充時形成之架橋或卡鎖現象，應用導管（tremie pipe）將濾料與清水緩慢輸入管壁與井壁間。
- 2、濾料頂部再輸入至少20公分厚之0.1~0.2公釐石英細砂。
- 3、細砂上60公分以直徑1/4~1/2英吋丸狀或扁粒狀的皂土粒填實。
- 4、皂土層上方填入水泥漿（neat cement grout）或含5%皂土的水泥漿（bentonite cement grout），其上再用波特蘭一號水泥（Portland Type I Cement）填封至地表，以固定井管及防止地表滲漏影響。

(三) 依據井體構造設計圖確實估算所需濾料數量，填充過程中以鐵尺或尼龍繩懸吊重物量測每一階段填充料材質、數量與位置，查核是否有架橋、卡鎖或填充不實之現象。

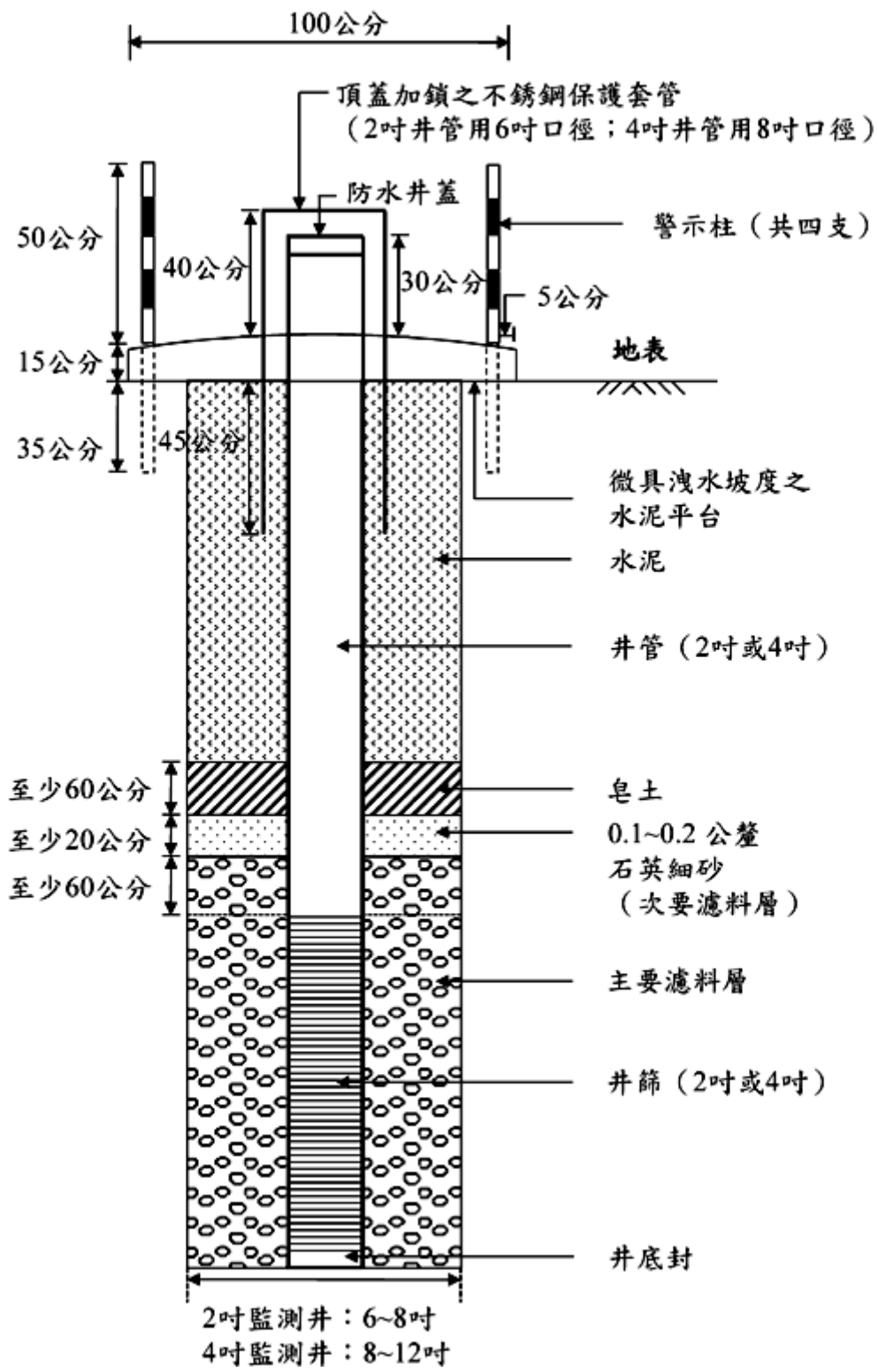
(四) 監測井構造應詳細地記錄於監測井構造紀錄表（如附表2-5）；對照施工紀錄，繪製監測井示意圖，註明相關尺寸及監測井設置當時地下水位深度。

八、完井處理步驟

(一) 監測井設置完畢後，需進行完井及人工清除井篩周邊之細小顆粒，避免細小顆粒進入井內造成水樣混濁，造成水質分析不利及不便。完井前先行淘漿，將井內殘留泥漿或污水用容器汲出，然後進行完井。

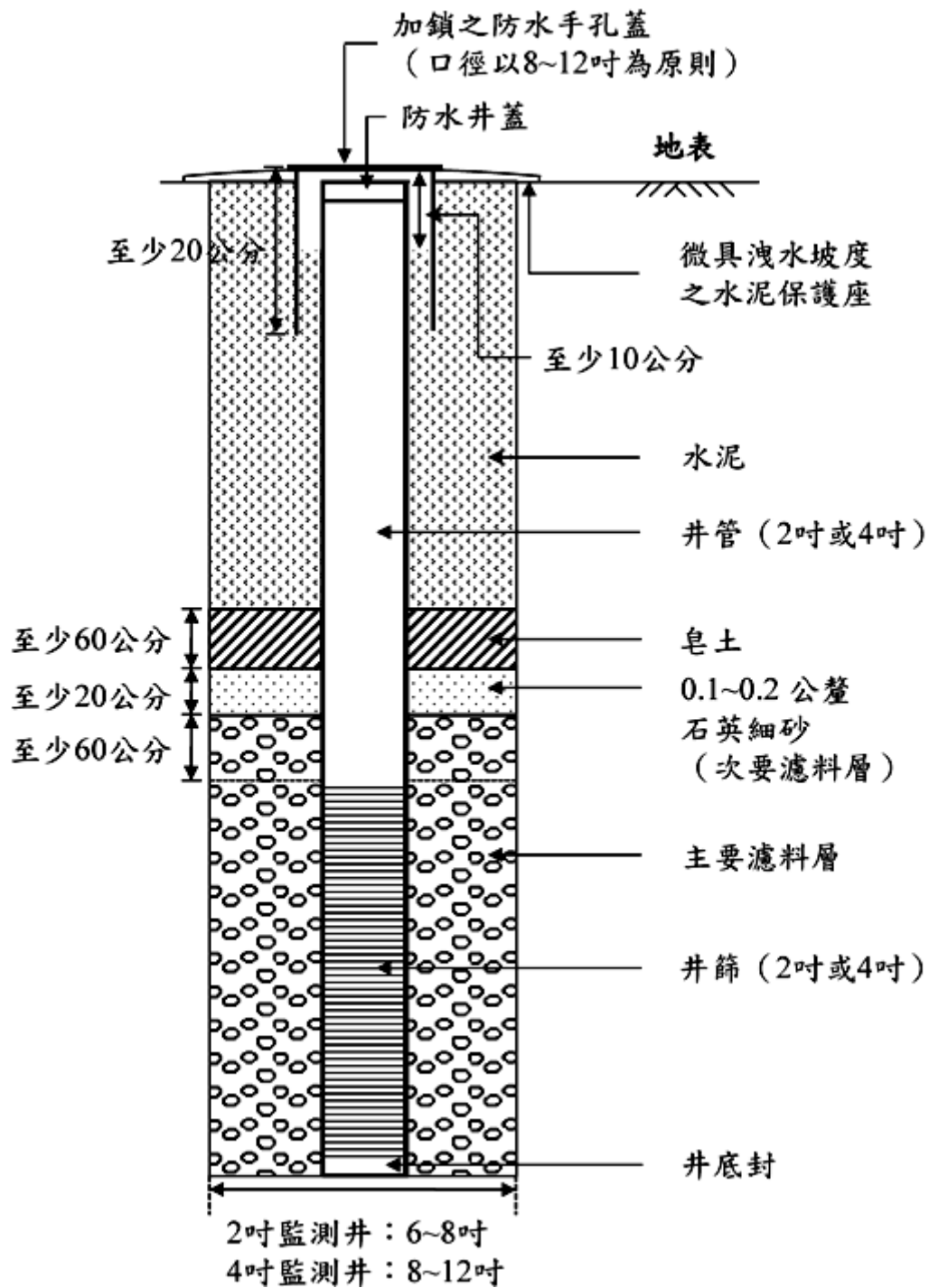
(二) 完井前，相關設備需加以清潔。完井方式可用汲取、湧水塞、氣提、超量抽水等方法。

- (三) 如地下水有污染之虞時，完井所汲出之地下水應妥善收集處理，避免污染物擴散或傳輸之可能性。
- (四) 井底深度量測應自井頂垂入液位計或以鉛錘直接量測井頂至井底深度，垂放時應置於井管中央緩慢下降，以免磨擦破壞井管、井底等相關設施。
- (五) 完井時施工人員及監測井設置規劃人員應將下列資料記錄於完井紀錄表（如附表2-6）：
- 1、完井時使用之方法
 - 2、完井時抽取之水量或流率
 - 3、設備除污的日期及方式
 - 4、濁度、溫度、pH值及導電度
 - 5、所採水樣之樣品顏色或其他描述
- (六) 完井標準為出水的濁度小於5 NTU；若不能達到上述標準時，得以完井最後階段，每次間隔10分鐘，連續量測三次濁度小於20 NTU或變化 $\pm 10\%$ 以內，並應於附表2-6「完井紀錄表」中說明。
- (七) 完井後符合完井標準，7天後始得進行監測井之水質檢測分析作業，若遇緊急污染事故等特殊狀況，需經監測井設置單位同意後始得進行。



註：圖中尺寸長度註明者為建議尺寸；井篩和井管長度未註明者，依地質狀況及含水層型態而定。

圖2-1 平台式監測井示意圖 (未按比例)



註：圖中尺寸長度註明者為建議尺寸；井篩和井管長度未註明者，依地質狀況及含水層型態而定。

圖2-2 隱藏式監測井示意圖 (未按比例)

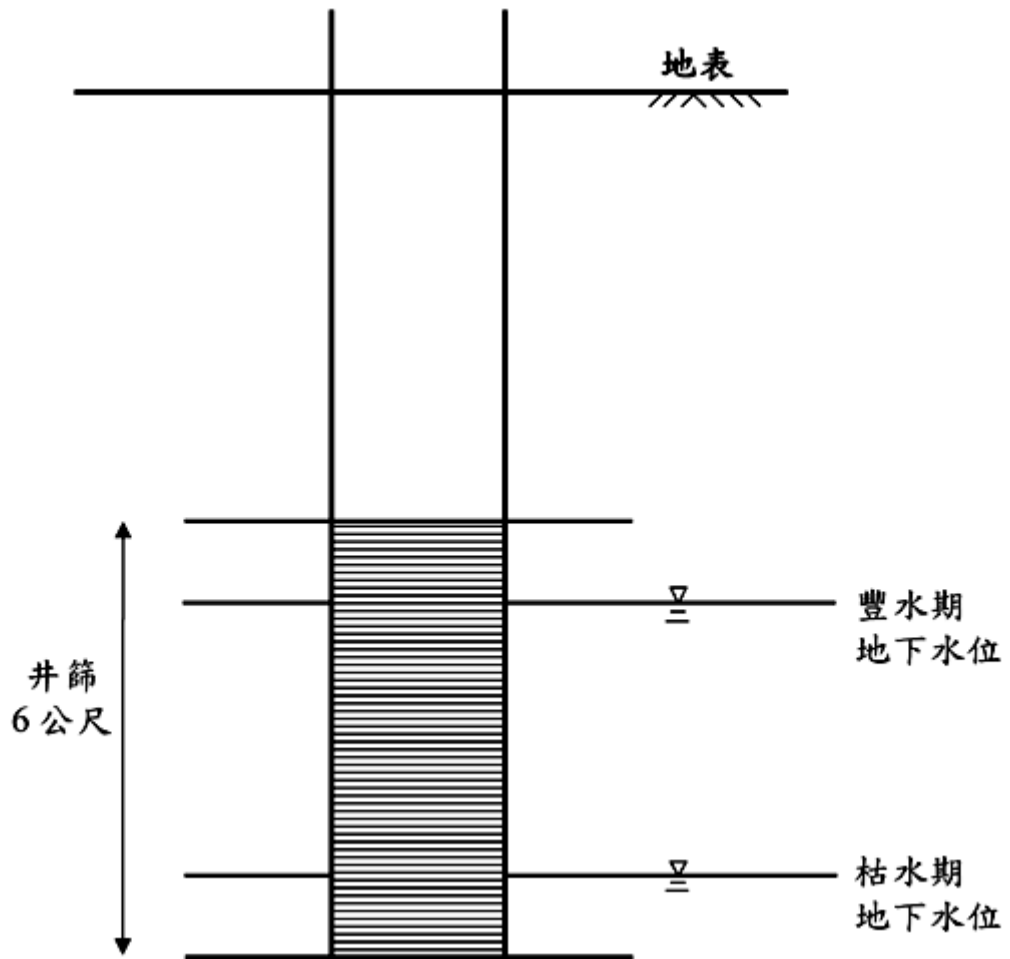


圖2-3 非受壓含水層在豐水期和枯水期鑽孔深度及井篩位置示意圖（未按比例）

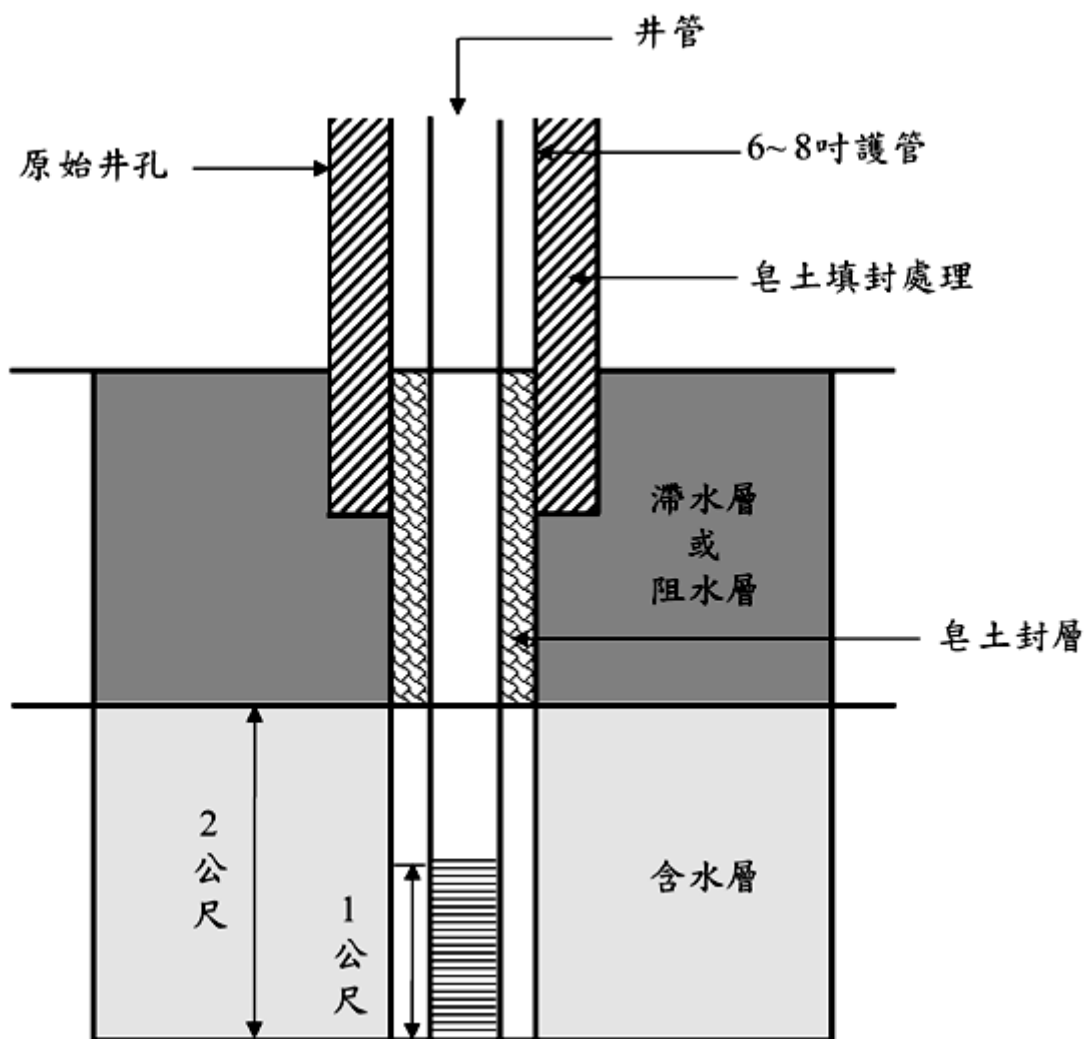


圖2-4 貫穿受壓含水層覆蓋時防止錯接污染措施示意圖（未按比例）

附表2-1

土壤取樣紀錄表

井名/井址/井號：_____ 氣候狀況：_____

開鑽日期：_____ 取樣方法：_____

記錄人員：_____ 監測井設置規劃人員：_____

(split-barrel sampler 依照 ATSM D1586 進行連續取樣，thin-walled tube 依照 ATSM D1587 進行連續取樣，並需於備註欄中註明所選方法之相關工作資料，如錘擊數、貫入深度、特殊情況等)

至地表下深度 (公尺)	土壤特徵描述	土壤柱狀圖
備註		

附表2-2

土壤粒徑分析成果表

井名/井址/井號：_____

取樣日期：_____ 分析日期：_____

分析單位：_____ 分析人員：_____

(土樣應在試驗室內遵循 CNS A3005、ASTM C136 或 CNS A3251 及 ASTM D422，至少完成三組粒徑分布曲線圖)

土樣深度範圍 (地表下__~__公尺)	土壤粒徑分析結果			
	D ₁₀ (公釐)	D ₅₀ (公釐)	D ₆₀ (公釐)	均勻係數 C _u (D ₆₀ /D ₁₀)
土樣之粒徑分布曲線圖				
備註				

附表2-3

井名／井址

／井號：

記錄人員：

監測井設置規劃人員：

日期				
時間				
地表下水深				
日期				
時間				
地表下水深				
日期				
時間				
地表下水深				
日期				
時間				
地表下水深				
日期				
時間				
地表下水深				

附表2-5

監測井構造紀錄表

計畫名稱		設井日期	
施工單位		監測井設置規劃人員	
井名		井號	
井址		監測井坐標 (TWD 97)	X : _____ Y : _____
井管頂高程 (參考點)	_____公尺	高程測量方式 (引用水準點需註明編號)	
鑽孔資訊		監測井構造示意圖	
鑽井方法			
A.鑽井深度	地表下_____至_____公尺		
B.井孔直徑	_____吋		
監測井構造			
C.井管總長	_____公尺		
井管型式			
距地表高度	地表上_____公尺		
D.井管直徑	_____吋		
E.井篩總長	_____公尺		
井篩型式			
開篩區間	井頂下_____至_____公尺		
篩孔尺寸			
F.井底封	地表下_____至_____公尺		
井底封材質			
G.濾料封	地表下_____至_____公尺		
濾料型式			
濾料粒徑			
均勻係數 C_u			
H.細砂封	地表下_____至_____公尺		
細砂粒徑			
I.皂土封	地表下_____至_____公尺		
皂土型式			
J.水泥封	地表下_____至_____公尺		
水泥封型式			
K.表層封	地表下_____至_____公尺		
表層封型式			
L.監測井井深	井頂下_____公尺		
備註 (設置至受壓含水層之監測井得另製表補充說明)		<p>範例圖示 (未按比例繪製)</p>	

附表2-6

完井紀錄表

井名					井號			
井址					氣候	<input type="checkbox"/> 晴	<input type="checkbox"/> 陰	<input type="checkbox"/> 雨
完井方式	<input type="checkbox"/> 氣提(噴氣) <input type="checkbox"/> 超量抽水 <input type="checkbox"/> 其他_____							
完井流率	_____L/min (或完井體積_____公升)							
完井日期	_____年_____月_____日							
設備除污時間	_____年_____月_____日				設備除污方式			
井深 (井頂下)	_____公尺		完井前水位 (井頂下)	_____公尺		完井後水位 (井頂下)	_____公尺	
作業內容								
時間	pH 值	導電度 ($\mu\text{mho}/\text{cm}$)	溫度 ($^{\circ}\text{C}$)	濁度 (NTU)	顏色或 其他描述			
現場記錄備註								
記錄人員					監測井設置規劃人員			

註：完井標準為出水的濁度小於 5 NTU；若不能達到上述標準時，得以完井最後階段，每次間隔 10 分鐘，連續量測三次濁度小於 20 NTU 或變化 $\pm 10\%$ 以內。