

# 高科技廠土壤及地下水污染預防

溫正華\*、劉棋彬\*\*

## 摘要

有鑑於經濟快速發展，各產業之工廠需求大增，因此土地被快速的開發利用，這其中有以科學園區內之土地最明顯；在這些高科技廠中，高污染性化學藥品、油品等之種類相當繁多再加上現今各製程複雜，廠房中管線、儲槽密佈，一旦發生洩漏事件，因洩漏所造成之土壤或地下水環境之污染，影響相當長久，需耗費巨額金錢與時間才可解決。

為避免科技廠對土壤及地下水產生污染，自建廠規劃到營運生產，廠區全面性之土壤及地下水污染風險預防管理及控制極為重要；在此透過一座研發測試廠及三座十二吋積體電路廠之經驗，彙整及擬定出下列計畫內容：

**建廠階段：**對於即將開發之區域必須展開調查，包括該區域之土地使用背景、土壤及地下水調查、區域現場勘查及訪談，透過充分掌握過去及現況，藉以確認出可疑污染源及規劃選出具代表性之採樣點。

**營運階段：**則需透過建廠階段所掌握之土壤及地下水檢測結果、地下水流向、水文資料及廠區污染潛勢調查結果，進行綜合分析以建構營運廠區之地水監測網。

藉由以上建立之標準程序，除可做到土壤及地下水污染風險預防管理，當發生洩漏污染緊急狀況時更可透過緊急應變程序以達到污染控制。

高科技廠以營運利益為宗旨，但仍需秉持著企業對於環境保護之責任。本論文計畫之目標：建制出一套可供高科技廠依循之土壤及地下水污染風險預防管理及控制程序，希望能降低初期建廠因誤判開發地下水污染廠址，導致無法順利建廠之風險；並於營運階段提供一套完善之土壤及地下水污染監控網，避免及降低可能引發之土壤及地下水污染。

【**關鍵詞**】土壤及地下水、環境調查、污染潛勢、監測井、綜合分析廢水污染防治

---

\*力晶科技股份有限公司 技術課長

\*\*力晶科技股份有限公司 部經理

## 一、前言

有鑑於此，現代化高科技之工廠，所可能應用到之高污染性化學藥品、油品等之種類相當繁多，加上現今各製程複雜，廠房中管線、儲槽密佈，若一旦發生洩漏事件，輕則機器設備毀損，重則造成環境生態破壞及人員死傷；而其中因洩漏所造成之土壤或地下水環境之污染，則是需耗費巨額金錢與時間，方能進行有限度之處理，其所造成之影響是長久性的。有鑑於此，現代化之高科技廠房，自建廠規劃到營運生產，針對廠區全面性之土壤及地下水污染調查極為重要；新建廠房在施工動土前，針對開發區域是否曾受土壤地下水之污染，皆是全然無知，必須透過準確可靠之評估方法及技術，以確認開發區土壤及地下水之污染現況，進而判斷確認是否進行開發；而在營運廠房部分，因為高污染性化學藥品、油品等之種類相當繁多，加上廠房中管線、儲槽密佈，為達到土壤及地下水污染預防，在正式運轉營運前，依據廠區內各高污染性化學藥品、油品、廠房中管線、儲槽配置規劃，而先行展開污染潛勢之評估，將可能導致土壤及地下水污染之位置區域評估出來，作為在土壤及地下水污染防護措施及監測之作為。

高科技廠房秉持著企業對於環境保護之責任，且為避免對土壤及地下水產生污染，建置出一套高科技廠之土壤及地下水污染預防評估程序，為本論文計畫之內容。

## 二、法規及文獻回顧

土壤及地下水乃為部分污染物可能之環境最終受體，任何人為或意外的污染最終皆可能影響土壤及地下水，在現今國內法令及民眾對環境品質要求漸高、對污染行為更加關切、甚至污染行為人可能因污染行為觸法受罰之情形下，實有必要對新建廠區及營運廠區擬定監測及調查計畫以防範於未然。此外，對於土壤及地下水所涉及之污染責任義務問題，茲就法規面探討說明如下：

### 2.1 國內相關法規之探討

#### 1. 土壤及地下水污染整治法第八條

第八條規定：「中央主管機關指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檢測資料。」，「土地讓與人未依前項規定提供相關資料者，於該土地公告為控制場址或整治場址時，其責任與場址土地所

有人責任同。」

## 2. 土壤及地下水污染整治法第九條

第九條規定：「中央主管機關指定公告之事業於設立、停業或歇業前，應檢具用地之土壤污染檢測資料，報請所在地主管機關備查後，始得向目的事業主管機關申辦有關事宜。」

# 三、研究方法與步驟

對於高科技廠房整體性之土壤及地下水污染防治工作，分為二大部分，一為新建廠區開發前之土壤及地下水污染調查，另一為建廠後營運前之土壤及地下水污染潛勢調查及監測；本章將就擬定工作內容及方法，並於說明下述各節中。

## 3.1 土壤及地下水污染調查

本計畫工作包括計畫用地環境場址評估、土壤及地下水採樣分析計畫擬訂及執行，以及評估報告等三大部分，茲分述如下。

### 1. 資料蒐集審閱

包括場址環境資料、場址歷史使用資料、及鄰近區域使用情形等之蒐集整理。

### 2. 場址現勘

包括場址及毗鄰土地使用情形、水文地質以及地形狀態、道路、飲用水供應、惡臭、污漬或腐蝕、地表鋪面、植被、地上結構物、水井、管線、坑洞、水塘或池沼、儲槽、圓桶、有害物質與石油產品容器、未經確認的物質容器、加熱冷卻裝置、化學品貯存、廢水處理系統、廢棄物處理、化糞系統等。

### 3. 人員訪談

訪談對象可包括：土地所有權人、管理人、使用人、當地居民及相關地方政府官員等，以協助瞭解目標場址之使用情形以及評估所須之相關資訊。

#### 3.1.1 擬訂土壤及地下水採樣分析計畫

##### 1. 土壤採樣

於土壤採樣點之佈點方式及數量規劃上方面，可參考環保署所公告之「以環境場址潛在土壤污染評估辦理事業用地土壤污染檢測參考指引」及「以網格法辦理事業用地土壤污染檢測參考指引」來決定，而依據上述指引之內容，於土壤採樣點之數量規劃上，其建議數量如下，採樣器及套管

樣本如圖1所示。

事業用地面積(平方公尺)	最少採樣點數
100<	2
≥100~<500	3
≥500~<1,000	4
≥1,000	10

## 2. 簡易井設置及地下水採樣

因計畫建廠用地目前尚未進行相關整地及規劃作業，並不適宜設置永久性之監測井設置，以免設好之監測井於施工階段，遭施工機具不留意之破壞。為取得計畫區背景之地下水樣品，須選用適當機具設置簡易井，並進行一次性的地下水採樣調查功能，各井井深至少達設置時地下水位以下2公尺。

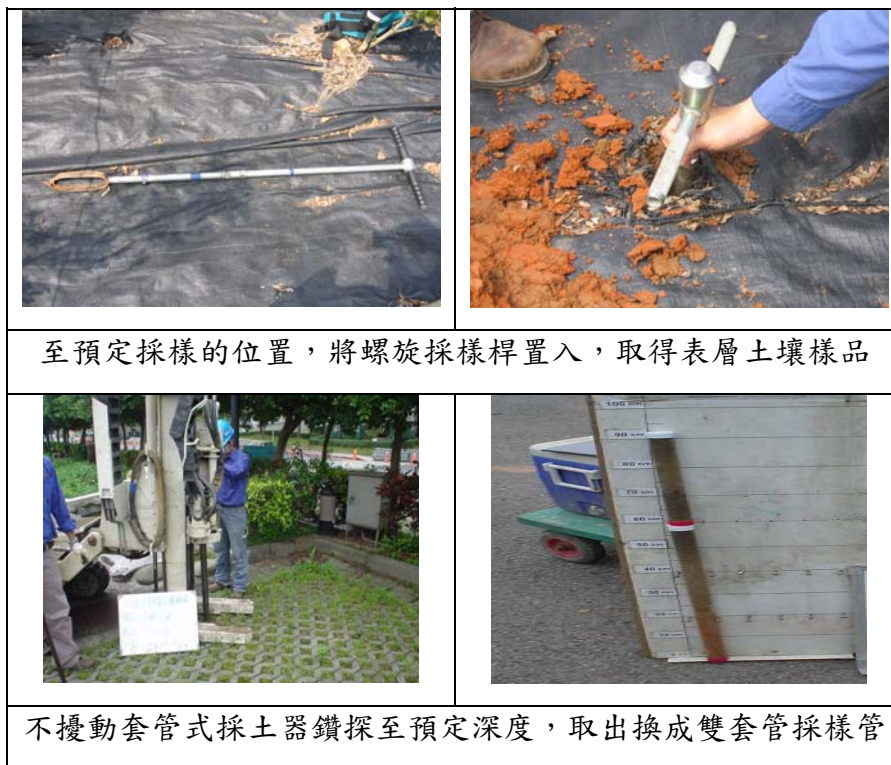


圖1 採樣器及套管樣本

### 3.2 簡易監測井設置

鑽井方法之選擇，是影響水質監測井品質優劣之重要因素，其鑽機選擇至少必須符合下列各點：(1)必須適合監測井址之地質情況(2)鑽設過程盡可能不干擾地下水水質(3)須配合施工期程之規劃。

### 3.3 建廠後營運前之土壤及下水污染潛勢調查監測

本部份工作之工作項目包括：

- 1.基本資料之蒐集與研判
- 2.營運廠區預設監測井之位置評估
- 3.營運廠區地下水監測井之規劃與設置
- 4.土壤及地下水質採樣及分析
- 5.土壤及地下水環境綜合研判分析

詳細之土壤及地下水監測評估流程如圖2所示。

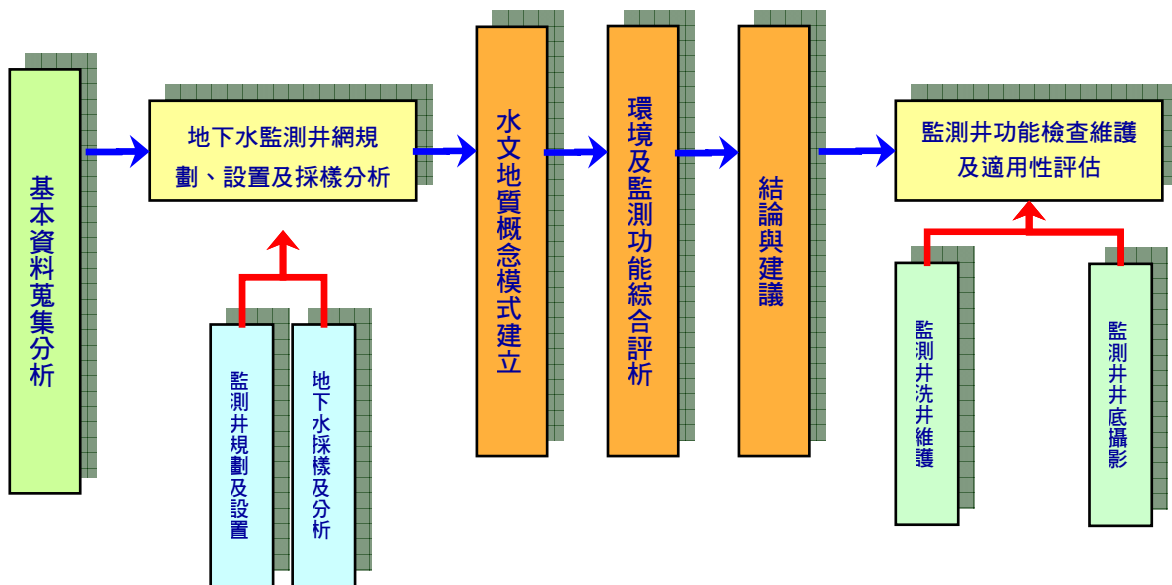


圖2 土壤及地下水監測評估流程

#### 3.3.1 基本資料蒐集分析

本項工作為既有資料蒐集、整理與分析，為計畫執行之首要工作，對象包括廠區土地使用歷史、廠區內外潛在污染源、水文地質背景資料、廠區雨污水收集系統及場址及周圍井況調查等，各重點要項如下：

- 1.廠區及鄰近地區土地使用歷史

2. 廠區及鄰近地區現場資料研判
3. 廠區水文地質相關資料
4. 廠區雨污水收集系統
5. 污染潛勢調查
6. 廠區及鄰近地區相關監測調查資料

### 3.3.2 廠區污染潛勢調查

#### 1. 污染潛勢評估範圍及方法

一般工廠要執行土壤及地下水污染防治管理，首先需由工廠本身之運作特性、潛在污染源及土地使用情形開始瞭解，進一步針對廠內可能具污染潛勢之區域，於平時就特別注意並予記錄，也就是「自我體檢」，透過自我體檢或污染防治管理自評將可減少可能污染之產生。摘列高科技廠內可能具污染潛勢之區域及執行土壤及地下水污染防治管理之原則，說明如表1所示。

**表1 高科技廠可能具污染潛勢之區域**

項次	可能具污染潛勢之區域	應注意事項
1	堆置原物料之桶槽	廠房內原物料之桶槽堆置，可存之物質包括潤滑油、有機溶劑、清潔劑等物質，應注意桶槽附近區域有無鋪面，以及有無污染物洩漏至地面上的情形。部分桶槽外部會標示有儲存物質內容，可供現勘人員參考，惟桶槽儲存物質並不一定與標示物質一致，需特別加以留意。
2	疑似污染物洩漏區域	廠房內地面上是否有可視之污染洩漏痕跡，通常為原物料於運作時洩漏、溢出所導致，應注意洩漏區域有無鋪面，疑似洩漏物之顏色、氣味、型態應加以記錄。
3	原物料、產品、廢棄物卸載區	原物料、產品、廢棄物之卸載區、若無適當之防護措施，有可能於輸送裝卸過程中，導致洩漏、溢出等情形，而污染卸載區域附近之環境。
4	製程設施或設備附近區域	場址內製程設施或設備所在地點，即可能是使用相關原物料進行生產所在位置，若設備操作不當，即可能使含污染物之原物料洩漏或逸散至地面，若地面亦無適當之鋪面或地坪防護，則容易造成地下環境之污染。
5	地面儲槽及其管線附近區域	儲槽區域為高污染潛勢區域，場址內有儲槽存在時，應注意儲槽附近相關標示，以了解可能儲存物質，並觀察儲槽外觀、完好程度、連接管線、防溢設施，並視需要於儲槽通風管口處，以氣體偵測器加以量測判斷。
6	地下儲槽與地下管線區域	儲槽系統設有洩壓閥、通氣孔(管)與進出料口等設施，若儲槽系統位於地面下時，可檢視用地內是否有前述儲槽系統可能設置之設施，來研判是否有儲槽與管線系統位於地面下，以發覺可能潛在之高污染區域。

表1 高科技廠可能具污染潛勢之區域(續)

項次	可能具污染潛勢之區域	應注意事項
7	泵站及污水坑、塘	原料輸送之泵站，其管線連接處附近地面應特別注意是否有異常情形；若場址內有污水坑、塘，可檢視塘水是否有異味、表面是否有浮油，必要時可利用現場簡易偵測設備加以檢驗；污水坑、塘之形成有可能是先前開挖所遺留、其下有不明掩埋物體、廢污水洩漏等原因積水所導致。
8	廢污水收集處理設施與放流口、排水口、溝渠等附近區域	製程廢污水收集處理設施、排水口、溝渠等附近區域應加以檢視是否有異常情形，在進入廢水處理設施前之溝渠管線動向與完好度需特別注意，以發現可能洩漏污染位置；於場址內外環境並應注意是否有不明管線深入地下或自地下冒出。
9	變壓器及電容器置放區	早期使用之變壓器或電容器中，其絕緣油大部分含有多氯聯苯成分，若廢棄後任意堆置於場址內，有可能因設備受日曬雨淋導致外殼腐蝕破損而使污染物質流出，進而污染到場址地下環境。

## 2. 廠區內土壤及地下水污染潛勢評析結果

依據廠區現場勘查結果，將廠區予以區分出較具土水污染潛勢之區域，依據前節所做之評估及考量下列因素，將各區域進行污染潛勢高、中、低等區分：

- (1) 地表有無鋪面。
- (2) 可能之洩漏量大小。
- (3) 裝卸作業是否頻繁。
- (4) 有無地下管線。
- (5) 污染物質是否為NAPL(非水溶性污染物)。
- (6) 有無建物外洩漏阻絕設施。

詳細之較具土水污染潛勢區域程度劃分，如表2所示。

表2 較具土水污染潛勢區域程度劃分

污染潛勢分區	A	B	C	D	E	F	G	H
a. 緊鄰地表有無鋪面								
b. 若有洩露，洩漏量大								
c. 日常裝卸作業頻繁								
d. 有地下管線								
e. 運作物質是否為NAPL								
f. 有設置防洩漏之截流設施								
分級	中	低	高	中	高	高	中	低

- 註：1. 若同時具有 a、b、c 項者，歸類為高潛勢區域  
 2. 若僅具 a、b 兩項且符合情形達至少三項以上者，歸類為中潛勢區域  
 3. 其餘則為低潛勢區域

### 3.2.3 土壤採樣點及地下水水質監測井網規劃

#### 1. 土壤取樣點之篩選

對於土壤採樣點之篩選方式建議如下：

- (1) 各個採樣點，選取之地點儘量在公共設施地區，例如道路邊、花園、草地等，並儘可能接近下列地區。
- (2) 採樣深度及分析項目方面，各個土壤採樣點採取3個深度之樣品。

#### 2. 監測井數量及位置擬定

本計畫監測井位置之選定將根據場勘查與相關之基本資料，依地下水地質、地下水位及流向、廠區管線及可能污染源分佈狀況等之考量，進行佈設；以能掌握及涵蓋廠區之地下水位及流向分佈，同時並能兼顧監測外來污染團為原則，期能釐清地下水之水質狀況，以及地下水質有污染情形時可正確研判污染來源。

### 3.2.4 地下水監測井設置作業

有關監測井位置選取原則擬定如下：

1. 監測井位置需遠離低窪地，以免妨礙地下水質監測工作及其永久性。
2. 監測井位需避開相關地下管線，如自來水管、電信電纜、瓦斯管、油管及污水管等。
3. 監測井位置附近需有足夠空間，以利鑽鑿機具進出及施工。
4. 監測井位鄰近上空無電力設施。
5. 監測井位置需不防礙日後相關單位操作或施工，儘量於道路邊、公共設施或停車場綠帶設置，以防止日後遭受破壞。
6. 監測井之設計型式如圖3所示。
7. 永久性標示牌(詳圖4)。



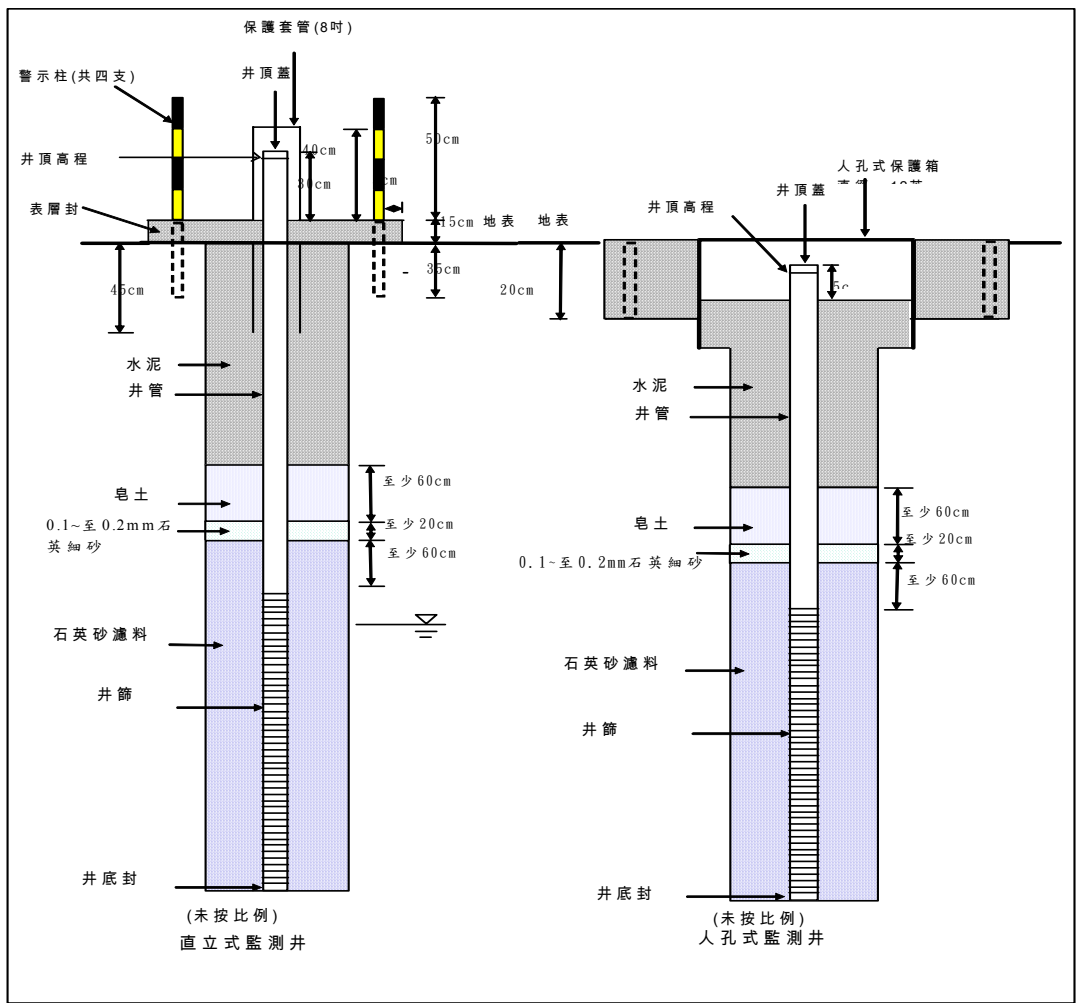


圖3 監測井之設計型式

地下水質監測井			
井號		設置日期	
井座標 (E, N) @TWD97		( , )	
井徑	4 英吋	井深	m
井頂高程	井篩深度		井篩長度
m	m		m
設井廠商			
管理單位			

圖4 監測井設置永久性標示牌

### 3.2.5 地下水監測井功能維護

地下水監測井經設置完成後，為確保其功能之有效性，以確實發揮廠區地下水監測井網之功能，達到污染預防及應變處置，針對監測井必須定期進行功能維護；其維護方法及內容說明如下：

#### 1. 井體(下)攝影

依據井體攝影之實際影像，掌握監測井之井深、井篩位置、井篩長度及接縫處，並依影響井體結構之三大主要問題：出砂、積垢與腐蝕，實際觀察其特徵，探討影響此現象之水質因子。一般而言，地下水監測井之井體攝影主要觀測項目為：

- (1) 井管的直徑有無減少的現象。
- (2) 井管表面的淤塞。
- (3) 淤塞物較多的部位。
- (4) 井壁有無破損的現象與損毀深度。
- (5) 井管是否仍垂直。
- (6) 井管有無淤塞以致井深減少。
- (7) 有無井體漏水穿孔現象。

#### 2. 監測井完井作業

監測井使用一段時間後，逐漸會有細顆粒的沉澱，井中滯留水的成分，可能經由物理或生物化學的作用產生積垢即沉澱物質，而降低監測井的出水速率，甚至影響監測樣品之品質；因此，監測井須適時進行再完井作業以清除井內沉積物及濾料間之細顆粒物質，以確保監測井樣品之品質及延長監測井之壽命。

### 3.3. 土壤及地下水應變計畫

#### 3.3.1 長期性洩漏土水污染應變措施

通常遇到發生無法即刻以目視判別之地下管線、儲槽洩漏事件，而於定期性監測作業中所發現之緩慢長期性污染行為時，通常需執行之應變措施主要包含有：

- (1) 洩漏事件之廠內通報程序
- (2) 污染物質確認、洩漏源阻斷、受污染土壤初步挖除與設備檢修(進行相關措施時，盡量避免讓污染物擴散至裸露地表或控制蔓延範圍)
- (3) 確認土壤污染範圍與程度(土壤採樣佈點、土壤採樣分析與法規比對)
- (4) 若有必要時，確認地下水污染程度(地下水監測井及整治井設置、採樣

分析與法規比對)

(5)受污染土壤之清理作業

(6)污染物回收與移除

(7)受污染區域性地下水污染改善(當污染深度達地下水位時)

(8)受污染區域復原作業

(9)污染事件通報

(10)受污染區域後續定期性監測作業

相關應變程序如圖 5 所示。

#### 1. 污染物質確認、洩漏源阻斷與設備檢修

此類型之污染行為，主要係於定期性監測作業、設備維護、輸儲量計算或污染物逸散至地表時，方能查知。因此，當發現時，首先需依據廠內通報程序規定，逐級呈報各該管主管，並且依據權責劃分，立即針對所發現之污染物，就其所儲存之儲槽、輸送之管線進行輸儲量計算比對、測漏措施，以查明洩漏發生之處。

#### 2. 土壤及地下水污染範圍程度與確認

通常當土水採樣分析結果有異常之升高時，即須先行進行廠區內設備查察檢視、洩漏源阻斷、洩漏物初步回收及受污染土壤初步挖除等工作，同時即可邀請合格之環保顧問機構進廠配合進行污染範圍與程度之評估作業，以釐清影響區域之大小，甚至進行污染改善規劃與執行工作。

#### 3. 受污染土壤或地下水之清除作業

發生土水污染之行為，有相當多之可能性，而且進行污染改善作業，需考量物質特性、水文地質條件、洩漏量、洩漏濃度、廠區地上建物與地下管線配置、施作空間等，須因地、因案制宜來決定處理方式、工法、處理挖除量等等，故尚無法以單一標準規範來套用於各種不同之洩漏意外事件。

#### 4. 場址復原與後續監測措施

當確認受污染區域之土壤已清除後，可進行乾淨土壤回填及區域復原等作業，或可依照公司之規劃來進行復原配置。因土壤及地下水之污染，常常是一體之情形，當於進行完污染改善措施，且並以確認應變處理後之污染區域此樣分析已符合相關法規標準時，即可規劃定期採樣監測追蹤。

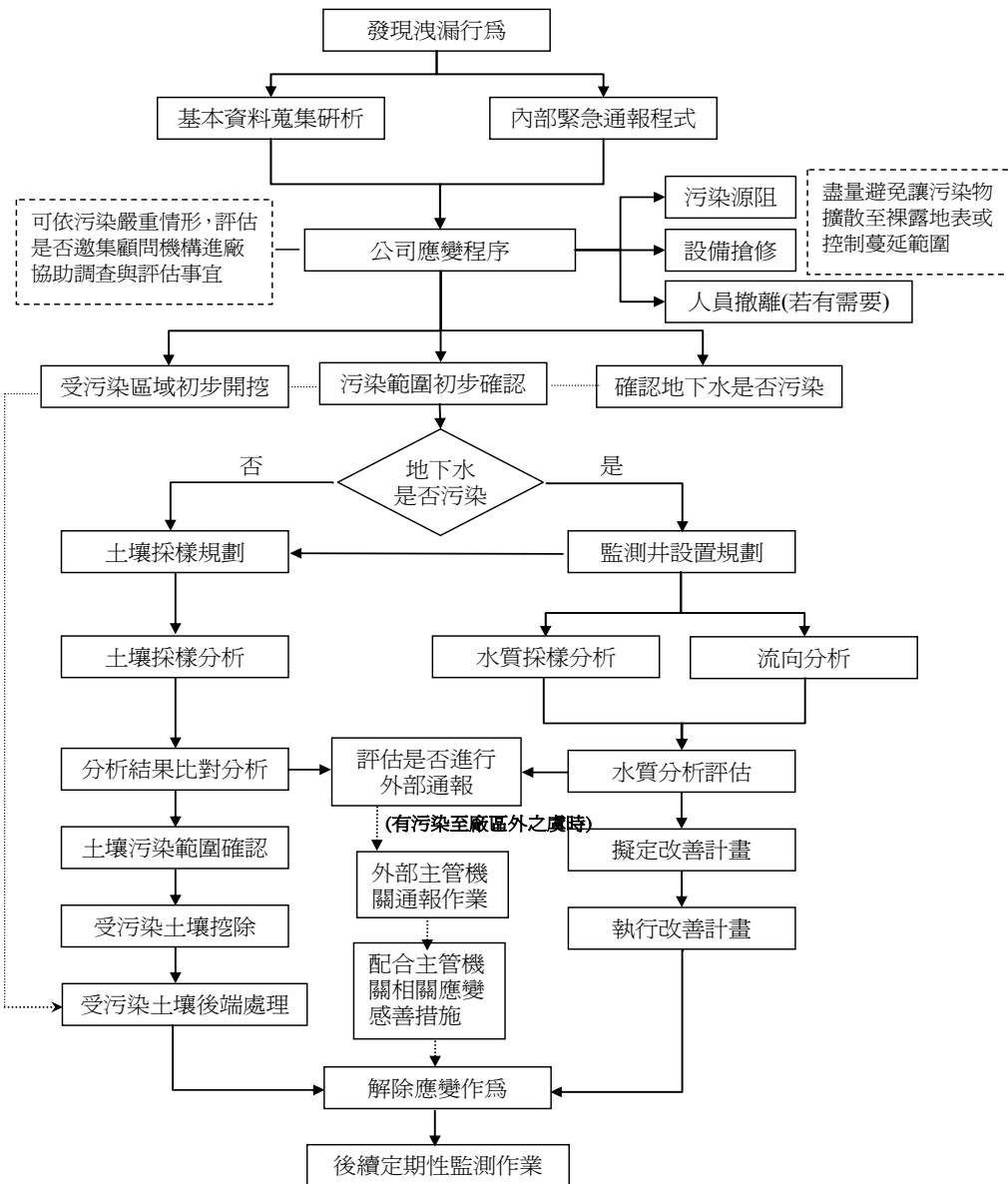


圖 5 長期性洩漏土水污染應變措施流程

### 3.3.2 緊急污染洩漏事件

緊急性污染洩漏事件，當不幸發生槽車翻覆、化學品裝卸口大量洩漏或儲槽管線破裂等人為操作不當意外事件，造成有化學物質持續洩漏或地面上散佈含有高濃度之污染物時，應即時依照公司之工安意外事件緊急處理程序，即時進行現場之搶救作為，先行將污染源阻斷及進行污染物質回收，待完成現場初步處理及人員搶救之工安應變程序後，再依據污染物受否有污染至土壤及地下水來進行土壤污染之應變措施。

通常緊急之應變作為包含有：

1. 防止污染物質繼續擴散，控制洩漏污染源，如停止疑似洩(滲)漏油槽或管

線之使用，或抽除化學品或油品。

2. 設置障礙物(如攔油索、土堤或截流溝)，以阻絕污染物擴散及保護環境敏感點。
3. 使用化學品或其他物質抑制污染物排放之擴散或降低其影響。
4. 分析土壤、土壤氣體及水質樣品以確認污染物擴散之範圍。
5. 如污染物擴散至表面水體，應控制污染源上游被圍住表面水之排放。
6. 污染事件通報。

相關應變流程如圖 6 所示。

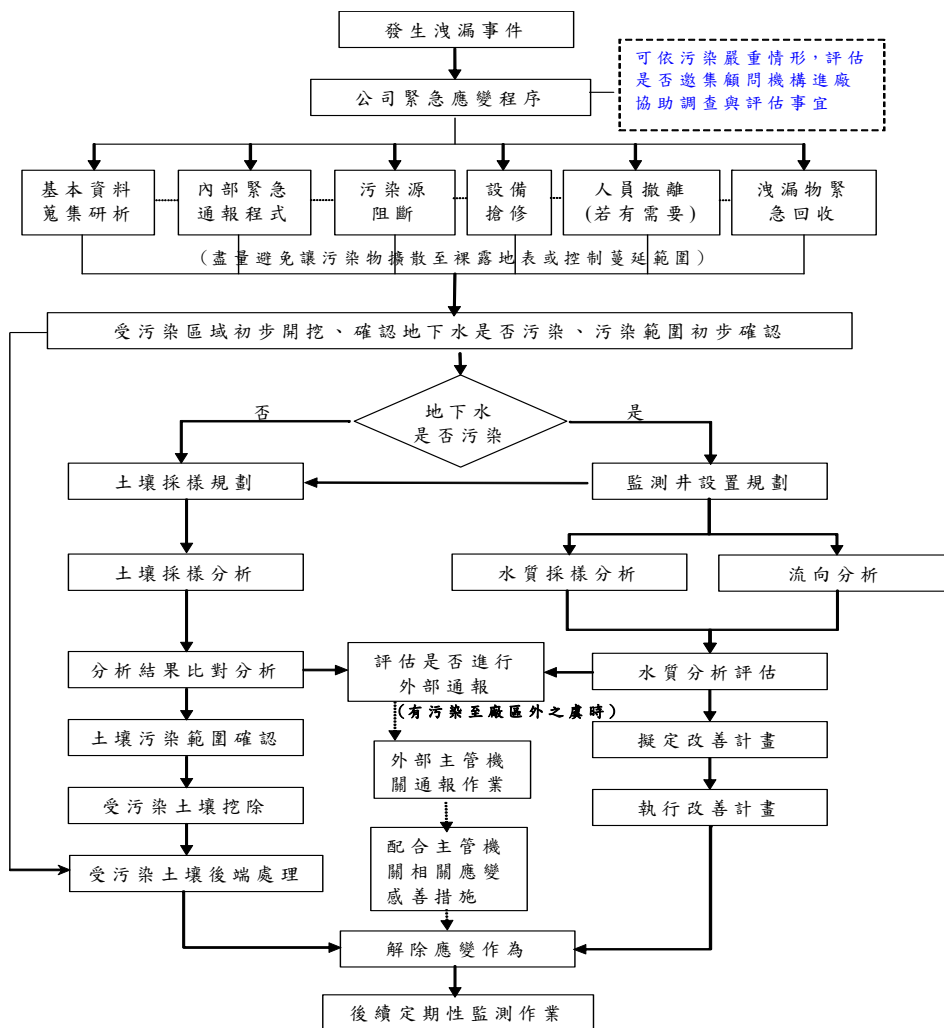


圖 6 緊急洩漏事件土水污染應變措施流程

### 3.3.3 廠外污染事件應變作為

通常廠外污染事件可分為因定期性監測所發現土水污染事件(如廠區地下水上游端監測井定期監測時，發現有污染物質)、緊急意外洩漏事件(如槽

車廠外翻覆或鄰近區域儲槽破裂)等二大情形。以下概述各種污染事件發現情形之應變作為。

1. 定期性監測所發現土水污染事件(如地下水監測井定期採樣作業)，相關應變流程詳圖 7：

- (1) 首先須先依據所檢測出之物質，研判廠區內是否有使用該種物質
- (2) 並檢視採樣位置與廠區外環境之相對關係
- (3) 確認是否為廠區外污染行為所致
- (4) 若確認係廠區外界所致，向所在地主管機關通報處理。
- (5) 需配合主管機關之作為，採樣分析、提出廠區關切事項、權益維護事項、污染求償、配合進行污染改善作業
- (6) 禁止廠區人員接近已知污染之區域

2. 緊急意外洩漏事件(如鄰近廠區槽車翻覆或鄰近區域儲槽破裂等)，相關應變流程詳圖 8：

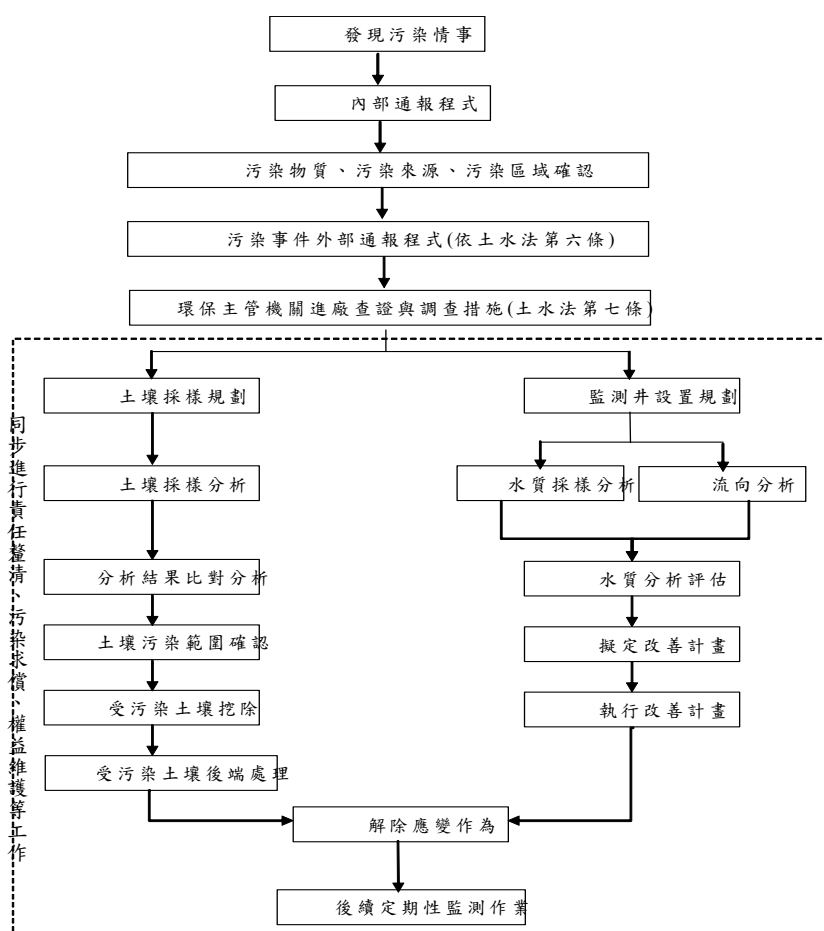


圖 7 定期性監測土水污染事件應變流程

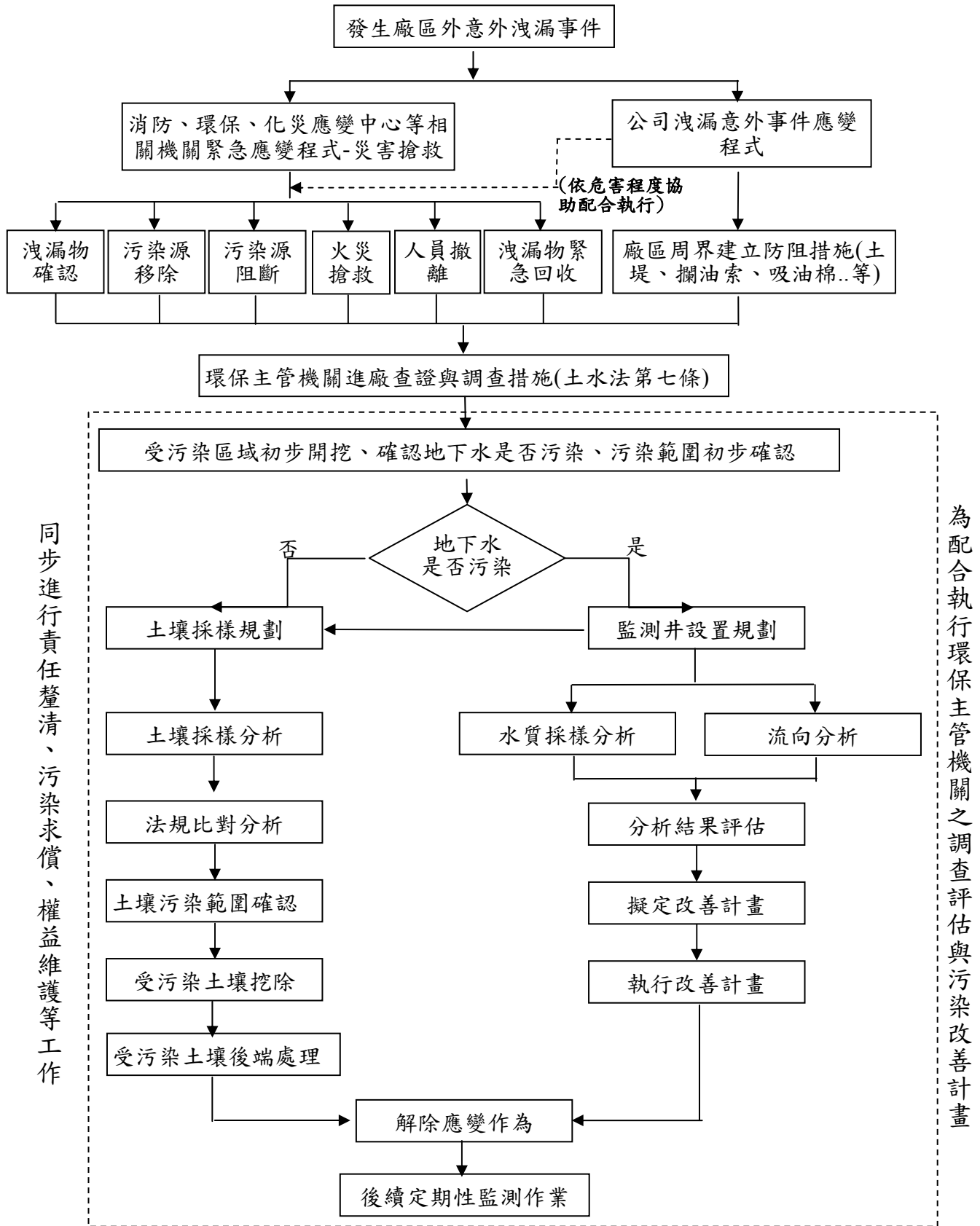


圖 8 廠區外緊急洩漏事件土水污染應變措施流程

### 3.3.4 土壤及地下水污染改善技術

對污染改善技術而言，若可以現地處理土壤污染而不將其挖除是最具經濟效益的。以下則對現地或離地之土壤及地下水處理技術加以說明。各項離地土壤處理技術彙整於表 3 中。

表 3 離地土壤處理技術

整治技術	應用	處理有效性	優點	缺點及限制	整體費用
生物復育	HVOCs、VOCs，燃料、BTEX、低分子量之 SVOCs 及 PAHs、	對低分子量及非鹵化物有效	初設成本及操作成本低	需空間大、整治時間長、且需溫暖氣候	低
去氯法	高毒性含氯有機化合物如 PCBs、戴奧辛/呋喃、殺蟲劑及除草劑	對高毒性化合物可達極低濃度之需求(ppt, $10^{-12}$ )	環境風險低，且對高毒性化合物成本較焚化低	僅適用於高毒性有機鹵化物	中至高
焚化法	適用各種有機物	有效	可應用於所有介質及有機污染物	社會及環境多持以高風險及高費用之觀念	高
土壤淋洗	適用於重金屬移除、不適用於高有機化合物	對某些金屬有效，但對粘土及微粒介質並不太有用	可由污染介質中移除重金屬	僅限於重金屬移除，對有機物無效	中至高
固化/穩定化	適用於重金屬、重油之穩定化，污泥及沉澱物之固化	穩定化可有效地防止重金屬再釋出	應用在大量之重金屬及重油上費用較低	僅為穩定污染物而非移除，且費用及效果視選用試劑而異	低至中
溶劑萃取	適用於高分子有機化合物、液體或液體萃取	對有機物之移除不如焚化、熱脫附及脫氯作用等有效	低溫過程適用於對熱處理敏感者及有機物回收	適用於對熱處理敏感者之應用	高
熱脫附 - 直接加熱法	適用於石油系產物、HVOCs	有效	可處理量大、費用低，設備可得性高	對高分子量及高毒性有機物較無效用	低
熱脫附 - 間接加熱法	適用於 SVOCs，HVOCs，HSVOCs，PCBs，PAHs，PCP，戴奧辛/呋喃，殺蟲劑，除草劑，汞	需選擇適當之設備及操作溫度較可達到效果	環境風險性及費用較焚化處理低，較易被容許，處理過程彈性較大，對含水量高及有機物含量高者適用	對低分子量有機物不如SVE、生物處理、直接加熱熱脫附法有效	中

#### 1. 現地土壤處理技術

源頭控制的現地處理技術應用主要為不經過開挖、抽除或移動污染介質至地表，而直接處理污染介質或將污染物移除，各項現地土壤處理技術彙整於表 4 中。



表 4 現地土壤處理技術一覽表

整治技術	應用	處理有效性	優點	缺點及限制	整治時間	整體費用
生物復育	HVOCs, BTEX, 低分子量 SVOCs, VOCs, 低分子量 PAHs, 燃料	對低分子量及非鹵化物有效	初設費及操作維護費用低	處理時間較長, 需較溫暖氣候及低分子量有機物	長	低
化學處理	HVOCs, HSVOCs, 殺蟲劑, 除草劑以氧化方式進行; HVOCs, 金屬以還原方式進行	在污染源及污染團處理時, 對 HVOCs 及 BTEX 量減少有效	使用臭氧、過氧化氫及高錳酸鉀可與許多污染物快速及大量反應	限於目標污染源及污染團地區	短至一般	中
電動力法	HVOCs, 重金屬	—	可應用於有機物及重金屬	試驗結果尚不足夠	一般	中
植物復育法	HVOCs, BTEX, 金屬	移除可溶性污染物, 增加有機物之降解, 及穩定重金屬	經濟有效、維護費及環境影響低	留意場址選擇需求需要對化合物與植物根系作更進一步研究	長	中
空氣裂隙法	HVOCs, BTEX, 低分子量 SVOCs, VOCs, 低分子量 PAHs, 燃料	使砂土、黏土、頁岩、床岩產生裂隙以加速其他現地處理技術	廣泛應用在污染物上, 作為其他現地處理技術之加強處理	在處理床岩及滲透性低之黏土及砂土時較困難	一般	中
土壤淋洗	石油產物, HVOCs	有效	量大且設備費用低	高分子量及高毒性有機物效果不	長	中
土壤氣體抽除法	HVOCs, BTEX, 低分子量 SVOCs, VOCs, 低分子量 PAHs, 燃料	低分子量有機物合適系統有效	現地處理中較常見且具彈性技術可結合注氣法、生物通氣、空氣/水力裂隙法、熱加強法及其他地下水處理技術	限於低非子量有機物, 受土壤條件、深度及岩床組成影響	一般	低
固化/穩定化	重金屬穩定化、污泥/沉積物固化、重油穩定化	穩定化可有效防止重金屬由物質中溶出	使用低廉試劑處理某些重金屬及重油則為大量且費用低之應用	穩定污染物而非移除, 費用及表現結果視試劑選擇而異	短	低到中
介面活性劑/共同溶劑淋洗	增加移動性、可溶性減少 NAPL 及 DNAPL 表面張力	對某些有機物有效, 對黏土及細顆粒介質則不太有效	增加 NAPL/DNAPL 之移動性及可溶性	小型處理加強技術	長	中到高
熱加強法 (RF, AC, 熱空氣, 熱水及蒸汽)	增加蒸氣壓, 擴散性, 黏土滲透性使有機物揮發及移除更具效力	選擇性加熱及應用有效	改善有機物揮發移除	限於小型加強處理特殊應用處理	一般	中

## 2. 地下水處理技術

地下水處理復育技術包括傳統抽除處理、現地處理或兩者合用等方式, 各種地下水處理技術彙整於表 5。

表 5 地下水處理技術一覽表

整治技術	應用	處理有效性	優點	缺點及限制	整治時間	整體費用
抽除處理	HVOCs, BTEX, 低分子量 SVOCs/HSVOCs, VOCs, 低分子量 PAHs, 燃料	可有效將污染物由地下水中攜出	初設費用低, 應用廣泛	操作費用高, 限於污染物可溶解或浮在地下水中, 非源頭控制技術	非常久	低至高
雙相萃取法	HVOCs, BTEX, 低分子量 SVOCs/HSVOCs, VOCs, 低分子量 PAHs, 燃料	在地下水多相中有效的移除有機物	初設及操作費用低, 應用廣泛	主要由地下水中回收產物及移除主要有機物	一般	中
注氣法	HVOCs, BTEX, 低分子量 SVOCs/HSVOCs, VOCs, 低分子量 PAHs, 燃料	對較輕的 VOCs 如 BTEX 較有效	費用低及容易應用	對較輕的有機物注氣法結合 SVE 即可	短	低
生物復育	HVOCs, BTEX, 低分子量 SVOCs/HSVOCs, VOCs, 低分子量 PAHs, 燃料	在注氣法/生物通氣/SVE 過程中, 產生好氣消化作用, 對非鹵化低分子量之 VOCs/SVOCs 有效	可應用為源頭控制技術, 對分裂岩床地區的 HVOCs 以加強生物復育進行	養分/pH/溫度控制以加強生物復育作用, 移除其限制條件	長	低至中
化學氧化	HVOCs, HSVOCs, BTEX, 殺蟲劑, 除草劑	在污染源及污染團處理時, 對 HVOCs 及 BTEX 量減少有效	使用臭氧、過氧化氫及高錳酸鉀可與許多污染物快速及大量反應	限於目標污染源及污染團地區	短	中
地下水循環井 (GCW)	HVOCs, BTEX, VOCs	可由地下水及飽和土壤中有有效的移除污染物如 HVOCs 及 BTEX	不需要注入井, 免除將污染地下水抽至地表上處理之動作, 可結合 SVE、生物復育及化學處理法	場址特殊應用, 適當設計以避免污染團延伸至其他區域	一般	中
通透性反應牆 (PRBs)	HVOCs, 金屬、氟化物	在地下水反應牆發生化學還原作用而將污染物移除	應用於某些重金屬, 避免污染物隨地下水流移動	場址特殊應用	長	中
植物復育	HVOCs, BTEX, 金屬	可移除可溶性污染物, 提高有機物降解作用, 穩定重金屬	經濟有效, 維護費用及環境影響低	實廠試驗計畫需要對化合物與植物根系作更進一步研究	長	低至中

## 四、結 論

### 4.1 本研究結果

本研究計畫，主要建置一套高科技廠之土壤及地下水污染風險預防管理及控制程序，藉由本計畫之背景資料、環境調查資料、土地使用狀況、現勘結果、現場訪談及廠區污染潛勢評估等重要參考資料，進行監測井設置、土壤及地下水採樣分析、監測井之井功能維護評估等多項工作，以達到土壤及地下水污染預防管理及控制目的，詳細之高科技廠土壤及地下水污染風險預防管理及控制流程如圖 9 所示；以下將研究計畫各項之結果，進行歸納彙整說明。

#### 1. 法規及文獻

- (1) 土壤及地下水污染防治法之要求，事業於設立、停業或歇業前及所使用土地在土地移轉時，需釐清土地開發上涉及土水法相關之責任。
- (2) 高科技廠對於新建廠階段及營運階段，在施工動土或於營運試車之前，必須完成土壤及地下水之採樣工作，以釐清污染責任之歸屬。
- (3) 依據計劃與配合建廠及營運進度相關時程，需事前規劃完整之採樣時程表，以利於法規所要求之下列條件前完成採樣作業。
- (4) 事業於設立、停業或歇業前，應檢具用地之土壤污染檢測資料。
- (5) 事業所使用之土地移轉時，讓與人應提供土壤污染檢測資料。
- (6) 開挖整地或改變地形地貌者，應於施工前完成檢測；否則應於工廠或設施進行試運轉(試車)前完成檢測。

#### 2. 研究方法與步驟

高科技廠執行土壤及地下水調查工作時，執行之工作程序要項包含有廠區背景環境調查、地下水監測井設置、土壤及地下水採樣分析、地下水流向分析等相關工作。

##### (1) 土壤：

- a. 土壤採樣規劃之目的主要是取得最可能具代表性的採樣點、採樣深度及採樣分析方法。
- b. 土壤採樣分析之目的在於界定土壤可能受污染之範圍、深度及污染之程度。

c.各土壤採樣點須採取 3 個深度之樣品(表土 0~15 公分、裡土 15~30 公分、深層 50~100 公分)，各深度之分析項目如下：

- 表土(0~15cm)重金屬(鉛、鉻、鎘、銅、鋅、砷、汞、鎳)
- 裡土(15~30cm) 重金屬(鉛、鉻、鎘、銅、鋅、砷、汞、鎳)
- 深層土壤(50~100cm)為VOCs(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、氯乙烯等13項)及SVOCs(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)。

(2)為達到上述目的，本研究計畫將使用螺旋鑽採樣器及不擾動套管式採土器(Undisturbed Soil Sampler)進行土壤之採樣；其中螺旋鑽採樣器用於表層土壤重金屬採樣，不擾動套管式採土器則用於較深層之土壤有機污染物採樣。

(3)土壤採揮發性有機化合物易因操作不當而曳散，因此以採樣襯管裝置待測土壤揮發性有機化合物時，樣品管須儘量充滿土樣，避免及減少擾動，並於兩側套上鐵氟龍封帽或內置鐵氟龍膜之塑膠封帽，再於封帽邊緣以石蠟(paraffin)封口，確保其密封效果。

(4)由於土壤樣品之部分成份會隨化學性或生物性的變化而改變其性質，故採樣與檢驗間隔的時間不宜過長。其中重金屬部分，除了六價鉻及汞可在 $4 \pm 2^\circ\text{C}$ 保存28天外，其餘重金屬項目可在室溫下保存6個月。有機成分應避免光照，保存在 $4 \pm 2^\circ\text{C}$ 下，並儘速檢驗；若不能立刻檢驗，則需先進行萃取處理，處理後之萃取液可以保存至40天。

(5)經由廠區環境基本資料調查結果及採樣分析結果，可進一步對土壤作一綜合研判分析，土壤中污染物濃度是否符合我國法規標準，是否受特定污染源之污染，以作為該新建廠區是否繼續開發，若是營運廠區，如何進行污染控制及整治。

### 3.地下水：

(1)地下水採樣規劃之目的主要是取得最可能具代表性的採樣點、採樣深度及採樣分析方法。

(2)地下水設置前需調查地下水地質、地下水位及流向，以能掌握及涵蓋開發區域之地下水位及流向分佈，同時並能兼顧未來廠區監測外來可能污染，期能釐清地下水之水質狀況，以及地下水質有污染情形時可正確研判污染

來源，及區域內設井數量，井徑至少須內徑2吋以上，各井井深至少達設置時地下水位以下2公尺。

- (3) 監測井之設計及設置，需考慮紀錄以下項目：監測井深度、監測井材質、監測井井徑、井篩、濾料填實(Filter Pack)及封井、保護設施、永久性標示牌，作為設置規劃基準。
- (4) 地下水採樣分析，分析項目包括一般項目(水溫、導電度、酸鹼值)及地下水管制標準所列之重金屬(鉛、鉻、鎘、銅、鋅、砷、汞、鎳)及VOCs(包括苯、甲苯、萘、四氯化碳、氯苯、氯仿、氯甲烷、1,4-二氯苯，1,1-二氯乙烷，1,2-二氯乙烷，1,1-二氯乙烯，順-1,2-二氯乙烯，反-1,2-二氯乙烯，四氯乙烯、三氯乙烯、氯乙烯)。
- (5) 地下水採樣之目的即在於能取到含水層中預定深度之原狀水，故於採樣前須將已滯留在井中多時較不具代表性之水移去(即洗井)，至少三倍井中水量的水應在採樣前移去，通常以測試所取出之地下水的溫度、pH值及電導度(Conductivity)來判定水質穩定程度( $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、 $\pm 0.5$ 、 $\pm 10\%$ )，決定洗井是否完成。
- (6) 水樣會隨化學性或生物性的變化而改變其性質，故採樣與檢驗間隔的時間愈短，所得的結果愈正確可靠；若採樣後不能立刻檢驗，則樣品需以適當方法保存以延緩其可能產生之變質。保存的方法包括pH控制、冷藏或添加試劑等，以降低生物性的活動及成份之分解、吸附或揮發等，但對於易受環境影響之不穩定水質化學參數，則需在現場加以測定。
- (7) 經由廠區環境基本資料調查結果及採樣分析結果，可進一步對地下水作一綜合研判分析，地下水中污染物濃度是否符合我國法規標準，是否受特定污染源之污染，以作為該新建廠區是否繼續開發，若是營運廠區，如何進行污染控制及整治。

### 3. 監測井井下攝影及完井作業

- (1) 地下水監測井功能維護包含：井必須定期進行井體(下)攝影及監測井完井作業。
- (2) 監測井進行井下攝影，依據井下攝影之結果，以確認監測井井內之狀態，井壁是否結垢、異物阻塞、變形等狀況。
- (3) 監測井出水速率測試若出水速率未達0.5L/min，則於進行採樣作業上會較為困難，水位上升速度慢，無法正常發揮監測井應有之監測功能。

### 4. 廠區內污染潛勢評估

- (1)本計畫依據高科技廠所規劃之廠區內環境敏感點之位置資料，進行廠區內土水污染潛勢評估之現勘作業，現勘時考量各種儲槽、管線、設備、廢棄物堆置之配置、化學品輸儲動線等因素，將廠區劃分出具有土水污染潛勢之區域。
- (2)將上述所劃分之具污染潛勢區域，依據是否有鋪面、可能洩漏量、裝卸作業是否頻繁、地下管路、有無阻絕設施等考量因素，另加以評定據污染潛勢高低之分級。

#### 5.土壤及地下水污染應變規劃

- (1)高科技廠內會造成土壤及地下水污染情事，通常最主要之成因為儲槽或管線之破裂洩漏、運輸槽車之人為不當操作或翻覆、輸儲設備之損壞等因素，而洩漏之情形可分為長期性洩漏及緊急洩漏等兩種情形。
- (2)高科技廠原規劃有完善之工安意外緊急應變標準處裡作業程序，而土壤及地下水污染應變規劃，最主要為架構於高科技廠之應變作為之下，可視為一個後端處裡應變措施。
- (3)土水應變措施與高科技廠之既定工安洩漏意外應變處理程序結合，並說明相關應變器材與作為。
- (4)彙整相關土水法對於污染事件通報之相關規定與相關主管機關可能會採取之因應作為；而對於土水污染事件之處置，對於可歸責於廠區自身之責任，應以能即時將污染情形控制與改善為第一優先，方能避免污染擴散。
- (5)所規劃之土水污染應變措施，需視所發生之污染行為類型，進行後續之受污染土方清除、污染範圍與程度之調查、受污染地下水改善、場址復舊等相關措施。
- (6)常見之土壤或地下水污染改善方法，而相關方法，各自具有不同之適用性，須考量污染程度、水文地質條件、污染物種類等因素，並非可一體適用。

#### 4.2 本研究建議

- 1.高科廠在設廠前必須詳細規劃土壤及地下水之污染風險預防管理計畫，以確保在開挖整地或改變地形地貌者前或於工廠設施進行試運轉(試車)前完成檢測，為確保土壤及下水之採樣具原始代表性，建議在開挖整地或改變地形地貌者前施行採樣分析。
- 2.針對土壤及地下水採樣點之篩選必須具代表性，因此廠區之環境背景基線資

料調查、土地使用狀況、現勘結果、現場訪談、廠區污染潛勢調查等資料，為綜合分析選點之重要依據。

3. 營運階段之地下水監測網之建構完整與否，其重要關鍵在建廠階段之土壤地下水分析結果(含地下水流向、水文資料)及未來廠區之污染潛勢調查結果之綜合分析。
4. 地下水監測井之設置鑽井深度必須考量該地下水含水層，在豐水期及枯水期下之地下水水位高度，其鑽設深度建議以枯水期之地下水高度當基準，以避免在枯水期時地下水監測井無水可監測
5. 地下水監測井建議必須至少每二年施行一次完井作業，若發現有井功能不佳或出水有出現樹枝等異物，則可考量再次進行井下攝影來進行確認。
6. 高科技廠各化學品灌注或輸出區為土壤地下水高污染區域，需定期檢視灌注接口設備及槽車之輸送管材，以防設備損壞而造成化學品大量洩漏導致土壤及地下水污染。
7. 監測井發現存在有污染物時，若測值低於監測基準或管制標準，而無法研判其實際之原因，建議持續進行每半年一次之水質採樣分析工作；若於日後採樣分析作業中，發現水樣中有不明或異常高濃度之污染物質，則增加採樣分析頻率為每季一次甚或每月一次，並依據監測結果進行污染責任釐清與改善措施。
8. 在後續定期性土壤與地下水監測方面，於採樣分析項目之決定上，應依照土水法第八、第九條關於半導體業之採樣分析項目之規定來執行，而本計畫土壤及地下水採樣分析項目，均已包含有土水法規定項目，因此建議後續定期性之監測作業執行上，可遵循本研究計畫之分析項目來執行。
9. 當不幸發生土水污染意外事件時，應以立即進行現場處置為優先，避免因污染擴散進而衍生出諸多繁瑣之行政配合程序。而當發現污染情事時，建議即可邀集相關專業顧問暨機構，配合進廠進行評估與提出相關建議作為。

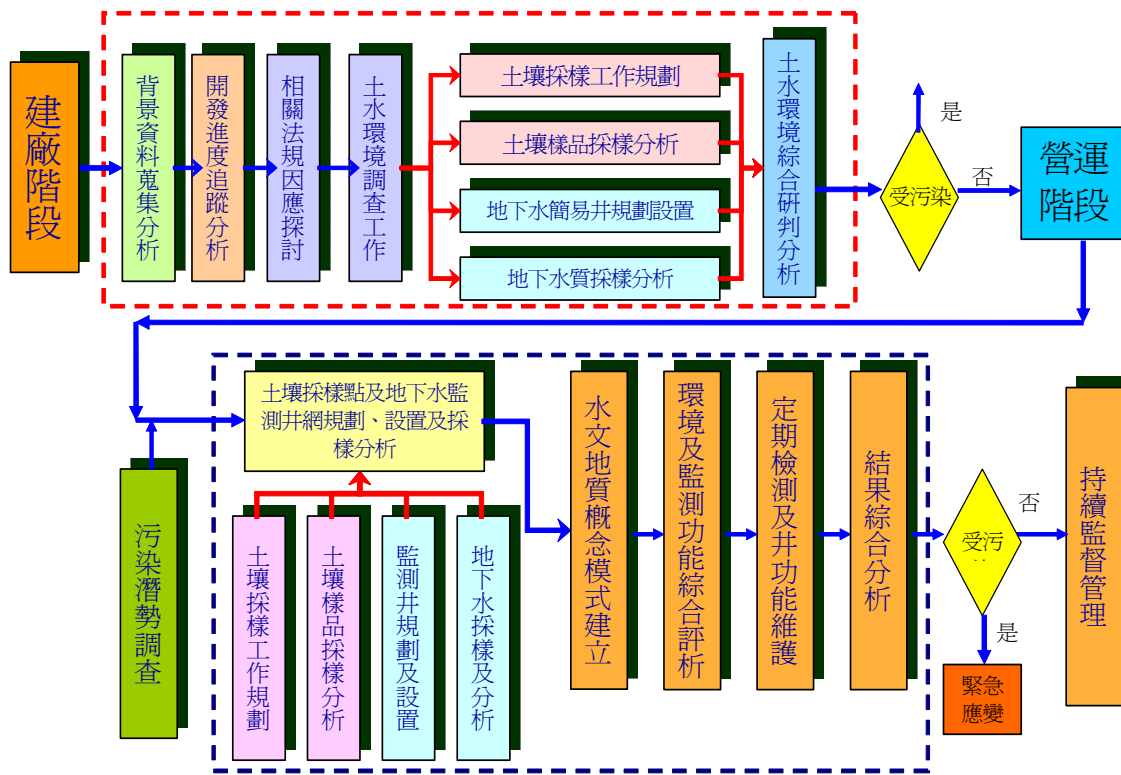


圖9 土壤及地下水污染風險預防管理及控制流程

## 五、參考文獻

1. 「土壤及地下水污染整治法」行政院環境保護署，99年02月03日。
2. 「土壤及地下水污染控制場址初步評估辦法」行政院環境保護署，95年03月29日。
3. 「土壤及地下水污染管制區管制辦法」行政院環境保護署，92年01月08日。
4. 「土壤及地下水污染預防與整治推動計畫」，行政院環境保護署，95年09月。
5. 「整治場址污染範圍調查影響環境評估及處理等級評定辦法」行政院環境保護署，92年05月07日。
6. 「土壤及地下水污染整治法施行細則」行政院環境保護署，90年10月17日。



7. 「地下水污染管制標準」行政院環境保護署，98年01月15日。
8. 「土壤污染管制標準」行政院環境保護署，97年05月01日。
9. 「土壤採樣方法」，行政院環境保護署，94年11月30日。
10. 「土壤檢測方法總則」，行政院環境保護署，98年10月12日。
11. 「監測井地下水採樣方法」，行政院環境保護署，94年12月14日。
12. 「土壤及地下水直接貫入採樣及篩選測試方法」，行政院環境保護署，97年01月24日。
13. 「監測井地下水揮發性有機物被動式擴散採樣袋採樣方法」，行政院環境保護署，98年03月12日。