

土工技術雜誌

SINO-GEOTECHNICS

第九卷
33~36期

場置性地下水污染監測方法

蘇苗彬*

一、前言

地下水若受到污染則有如一個化學物造成的定時炸彈 (Chemical Timebombs)，從污染物被棄置的起初直到造成嚴重的污染問題，這隨時間演變的過程，以前常為人們所忽視，為了解決問題發生的過程及達到預警作用，地下水污染調查及觀測即應運而生。

而藉著地下水污染調查工作可提供以下兩項需求：

- (1) 了解其形成的機制 (Mechanism)
- (2) 知道其所造成的後果 (Consequence)

在地下水污染情形日益嚴重，地下水源有限的今日台灣如何從地質、水文、大地工程及地下水流動特性，結合污染的發展與分佈，來作探討，實有迫切的需要。地下水污染受許多因素影響，要探討受污染的程度及影響範圍，需從許多方面著手。初步的工作對水文及地質情況的探勘，且對集水區域、地下水含水層的分佈情形及其流向、流速等，能充分的掌握。除此之外對地下水質的管理區域、使用情形及水質的要求等等均必須有充分的了解。

其次為監測系統的規劃及訂定實際監測應包括的項目與方法。施行之結果為對擴散污染區的判定和污染物質濃度

的標定，以期能明確檢討其是否能符合管理單位對水質的要求。

污染物質經由滲漏，進入地下水體，再隨著地下水的流動，污染了地區的地下水資源，使得下游地區可資利用的地下水源受到破壞。

對於地下水污染的防治最好的方法就是場址選定在具有自然不透水的土層之上，或者建立良好的人為不透水層以阻絕滲漏，再加上一套具體可行而且完整的地下水質監測計劃。如果預估有滲出水的產生，則需要有完整的滲出水收集及處理系統，如同一個標準的衛生掩埋場所需具備的。

一般來說，污染源可依其來源特性分為區域性污染及場置的點污染。區域性污染由於來源分散，需區域性規劃來掌握與防治。而場置性的點源污染包括廢棄物掩埋場、工廠、畜產業排放物等的入滲；本文針對場置性點源污染探討，並以其中較具代表之廢棄物掩埋場為對象，探討其污染特性與地下水監測系統的規劃設置及執行上考慮之要項。

二、場置性地下水污染的形成

場置性地下水污染的形成，通常可區分為以下步驟：

* 中興大學土木工程研究所副教授

- (1) 由降雨而進入及通過場址等的水移動。
- (2) 水溶解部份廢棄材料，造成污染物，進入更廣大的土體中。
- (3) 水由土體進入地下含水層。
- (4) 水在含水層中移動，污染水源。

地下水若受到污染，往往要經過污染源存在後好幾年才會被發覺，主要是因為地下水移動速率很慢，而且可能因為土壤中對某些化學物質有某種程度的吸附能力，而減緩污染群（Contaminant Plume）移動的速率。

一般廢棄物掩埋場其可能造成的水污染包括：

- (1) 滲出水由場址邊緣流出而形成地表逕流。
- (2) 滲出水滲入土體再進入地下含水層。
- (3) 底部的不透水層產生裂縫，滲出水滲入地下水體中。

綜合而言，一個廢棄物掩埋場需有良好之規劃設計與管理，其中必須具備一個良好的不透水底層尤其重要。針對其可能造成的污染擴散，規劃完善的地下水污染監測系統是最直接且不可或缺的工具。

三、監測系統設置之目的及功能

針對場置性地下水污染所設置的監測系統，其設置的目的通常可包括：

- (1) 了解一個場址已存在或可能造成的污染。
- (2) 收集資料以驗證或發展污染物傳輸的數學模式。
- (3) 提供設計、評估及針對特定污染問

題的治理方案。

而其功能可分為：

- (1) 對滲出水的污染提供早期的預警功能。
- (2) 決定滲出水群(leachate plume)移動的速度，包括速率與方向。
- (3) 測知在不同含水層之間滲出水的移動情形。
- (4) 可提供為將來了解問題、擬定對策之依據。

四、地下水污染監測系統之規劃與設置

大多數的廢棄物都普遍使用填土掩埋法加以處理，雖然掩埋法的使用不是最妥善的處置方法，但仍是目前處理廢棄物較普遍的方法之一。惟早期使用之掩埋場並無考慮環境控制之各種設施，經過降雨或地表逕流直接衝擊掩埋場表土層而滲透到內層所儲存之廢棄物形成滲漏水，逐漸滲透到地下含水層，造成地下水污染而妨礙其利用價值。液態和污泥狀廢棄物亦由於缺乏不透水襯層及滲漏水收集系統而直接滲漏到地層，污染地下水源。由於污染物在土壤及含水層中之傳播速度極緩慢，且地下水傳播方向及範圍不易推測，故以掩埋場處置廢棄物時，應在掩埋場附近適當地點設置地下水污染監測系統，以確定該設施並未造成地下水污染，或可及早發現污染情形而採取適當之改善措施與應變計畫，以期有效地防止因有害廢棄物所造成之地下水污染。

一個完整的地下水質監測系統，應包括上游一站以及下游三站以上的觀測井，以提供取得具代表性之地下水質變

化。

設置一個地下水污染監測系統應包括下列事項：

- (1) 鑽探作業，取得地層資料，以了解地下含水層之分佈，並設置觀測井。
- (2) 進行長期之水位變化監測，以利地區地下水流向及其變化之研判。
- (3) 進行土壤特性及透水試驗，以判定地下水流速。
- (4) 定期採樣進行水質分析作業。
- (5) 依據前項分析的結果，就觀測系統內之每一觀測井進行統計分析，採用統計方法中之顯著性來判定各水井，以及整個監測區域之水質，是否有顯著性的變化，以提供判定整個地區之地下水質是否受到此衛生掩埋場之影響，若有影響，則進一步檢討其影響達到之範圍。

五、衛生掩埋場地下水質監測系統規範

以下依美國環保署於1983年，為求管理及防治無毒性廢棄物掩埋場之設立，對地下水資源造成污染所擬定的要求，整理成如下之說明。

(1) 地下水質監測系統之適用性

1. 適用於一般性的填地式掩埋場，如常見之地區性的垃圾掩埋場、地表蓄水式之廢水儲蓄場、地表式之土地掩埋場或其它儲存於容器內再掩埋的掩埋場，當用來處理無危險性之廢棄物及都市廢棄物時，必需要有一個完整的地下

水監測系統，以評定此廢棄物掩埋場對當地地下水質的影響。

2. 掩埋場的主管需依以下所述之要求，設置、操作及維持此地下水質監測系統。此計劃於執行之前應先取得主管機關之核准。而且這個監測系統必需在掩埋場使用時及封閉後，維持不斷的觀測。
3. 若此廢棄物掩埋場所儲存之廢棄物為一般營建工程所產生之廢棄物時，經主管機關證實不會對地下水井及地表水造成污染，適用於飲用水、工業用水及灌溉用水時，則可申請免除部份或全部監測系統的設置。這個證實必須是一撰寫完整之報告，呈報於主管單位核准。此報告針對以下兩點作成，並由專業地質師或大地工程師簽證。

(a) 針對地下土層中非飽和層之特性，評估廢棄物及其組成元素，經由掩埋場移動至地下含水層的可能性。

(b) 由地下飽和層的特性（包括材料、物理特性、水之流速等）及掩埋場地與地下水供水井及地表水之鄰近程度來評估廢棄物之組成元素進入供水井或地表水流的可能性。

(2) 地下水質監測系統的組成

1. 一個完整的地下水監測系統應能提供取得具代表性的地下水質的試樣，以供分析，它必須包括：
 - (a) 可能點污染源之地下水理的上游地區，設置一個以上的觀測井，其井的實際數目，位置及

深度，必須要能提供正確的地下水試樣，能表示出鄰近掩埋場之地區水質特性，且要不受廢棄物掩埋場之影響。

- (b) 在地下水水流之可能點污染的下游地區，（亦即水力坡降遞減的方向），至少設置 3 個以上的觀測井，應位於距離掩埋場外緣 3-7.5 公尺的範圍。其井的實際數目、位置及深度等應考慮使其能立即的偵測出任何的廢棄物或其組成元素的流出於掩埋場區域外。

- (c) 管理單位保有權利，隨時視情況之需要，要求增加有關的觀測事項。

2. 所有之觀測井應加有套管以維持鑽孔之完整性。套管材料的選定應以不會對水試樣產生漏出或吸收污染物的效應為考慮。通常水泥製品不適宜。其內徑不得小於 5 cm 而不大於 10 cm。必須有加裝網狀之過濾物質或於管壁開細小之縫。且應用砂或礫石填塞外圍以維持在地下水流區域內水樣的取得。而在選定採樣深度以上之鑽孔空間（實際鑽孔與套管之間的空隙），應以適當的物質，如水泥漿或皂土液或皂土粒填充，以防止地下水及試樣受其它來源的污染。套管伸出地面的部份，須加設施保護，以免被有意或無意的擾動。

(3) 水質試樣的採集及分析

1. 使用單位應按規定時間進行採集及分析水樣。應訂定一套採樣及分析的計劃，並執行之。計劃中

應明確的訂出下列各項工作之詳細步驟與施行方法。

- (a) 試樣的採集——必須訂定監測區內，對具代表性試樣的採集程序，並得注意到如何避免在採集過程中造成試樣之間污染物質相互混雜、影響的現象。
- (b) 明訂試樣保存與運送的方法。
- (c) 試樣分析的程序。
- (d) 如何組織化的執行監督控制等工作。

2. 使用單位需依下兩節 3、4 中之要求，對下列物質的濃度，進行計算。

- (a) 依照有關單位對地下水用作飲用水時，其各種有關物質濃度之要求。可參閱 IPCB'S "Rules and Regulations of Public Water Supplies"。

- (b) 用來建立地下水水質的參數

A. 氯 (Chloride)

B. 酚、碳酸

(Phenols, C_6H_5OH)

C. 鈉 (Sodium)

D. 硫酸鹽 (Sulfate)

- (c) 用來作為地下水受污染程度的指標參數

A. 酸鹼度 (pH)

B. 比電導度

(Specific Conductance)

C. 總有機碳

(Total Organic Carbon)

D. 總有機鹵元素 (Total Organic Halogen)

- (d) 其它依管理單位視情況要求增加測試之參數

- (e) 試樣採集日期的分佈應如下，

分季實施

要求呈報分析 結果之日期	試樣採集 的時間
1月15日	12月
4月15日	3月
7月15日	6月
10月15日	9月

3.(a)每一觀測井需針對上述之參數建立廢棄物掩埋場使用前之背景濃度或數值。計算之方法為：數據在一年內分四季取得，對2.(3)內之每一參數，每一試樣至少作四個測試。

(b)在2.(3)所指定的參數中，除了pH外，再加上管理單位要求的項目，需建立起背景資料。其方法如下述：由試樣之重覆試驗加上四季的結果，取得其原始之算術平均數(Arithmetic mean)及變異數(Variance)，而pH值，需先行轉換成氫離子濃度(moles/liter)，再決定其幾何平均數(Geometric mean)及變異數，以上之計算，用一年之四季觀測結果統計得之。

4. 上述背景資料取得後，亦即第一年後，廢棄物掩埋場開始使用時，每一觀測井須按2.(5)之規定，每季作採樣及分析以求得下列參數之濃度。

氨(Ammonia, NH_4)

硼(Boron, B)

化學需氧量(Chemical Oxygen Demand, COD)

氯(Chloride, Cl)

鐵(Iron, Fe)

蒸發殘留量(Residue on

Evaporation, ROE)

再加上主管單位要求之項目。

5. 每一次採樣時，需觀測每一觀測井地下水位，且應在實際進行採樣之前先量測得。

6. 每一次採樣前，需量測地下水之溫度。

7. 由地面算起，觀測井底部的深度，亦得在每次採樣時量測之。

(4)預先之準備工作、評估及處置要領

1. 作成地下水質評估計劃，其中應能夠決定

(a)廢棄物或其組成元素是否進入地下水含水層。

(b)廢棄物或其組成元素進入地下水後，其移動的速率與範圍。

(c)地下水中廢棄物及其組成元素之種類與濃度。

2. 而在每一年中，須選定一季，除了對試樣進行上列參數之測試外，亦得進行(三)2.(3)中所規定之各參數的測試。(三)2.(3)所列之各參數，除了pH外，得對每一試樣至少進行四次的測試，再計算其算術平均數與變異數。就每一參數與其原始之背景資料進行比較。方法為就監測系統內之每一觀測井進行Student's t-test (可參閱有關統計之書籍)，而採用0.01顯著性(Level of Significance)作為與背景資料比較的標準。而對pH值，於計算前應先轉換成氫離子濃度，再行計算。必須求得每一觀測井之每一參數，相對背景資料而言，是否有顯著性的變化(增加或減少)。

3.(a) 如果上述比較發現某參數有顯著性的改變時，需將其資料，依底下(五)1.(2)D之要求，立即報告管理單位。

(b) 上述情況發生後，使用單位應立即再重新取得地下水之試樣，分為兩組，重新進行測試，以驗實這種顯著性是否為實驗室的偶發錯誤所造成。

4.(a) 如果重新測試的結果顯示出顯著性的改變無誤，則使用者應該在七日內以書面之方式通知主管單位，確定的指出處理場所能影響到地下水的水質。

(b) 在發出上述通知的15天內，使用單位應依要求，由專業之地質師或大地工程師核定，針對掩埋場之地下水質評估作成處置計劃。

(c) 上述提出之處置計劃，應包括：

- A. 新設觀測井之數目、位置及深度。
- B. 針對廢棄物及其組成元素之採樣及分析的方法。
- C. 評估的程序，其應包括上述之地下水水質的資料，並且考慮到下節中所述的事項。

(d) 使用者需提出並執行上述之計劃，至少判定出：

- A. 廢棄物或其組成元素在地下水中移動的速率與範圍。
- B. 地下水中各種廢棄物及其組成元素之濃度。

(e) 使用者應在可能的最短時間內，測定出上項要求之結果。並在完成後15天內將結果連同地

下水質評估作成書面報告，繳交管理單位。

(f) 如依4.(4)作成上述報告之結果，則使用者及管理單位，共同的同意判定污染物質，並沒有經由此廢棄物掩埋場進入地下水，則使用者可回復原先進行之監測計劃，並應通知管理單位。

(g) 如果使用單位或管理單位，有一方決定污染物質確由廢棄物掩埋場進入地下水中，則應

A. 繼續每季按4.(4)之要求，作測試與判定。

B. 並開始執行對意外事故擬定緊急處置計劃，或經由管理單位之補救計劃。

5. 縱使有任何其它原因，依本章要求所開始的地下水質評估計劃，一定得執行到完成，並依(四)4.(5)的規定作成報告。

6. 除非採行緊急處置計劃，使用者至少要每年評估按(三)5. 要求所得之地下水位資料，是否符合(二)1.裡對觀測井的要求。如果資料顯示，無法滿足(二)1.的要求，則需要重新制定及申請新的監測計劃，以符合本規範的要求。

(5) 水質觀測與分析之記錄及報告

1. 使用者需記錄：

(a) 在廢棄物掩埋場使用的全程及封閉後，對(三)3. 及4.所要求的分析工作結果，地下水位高程，試樣的溫度和井深(三)5.6.及7.)，以及(四)2.所要求的評估工作。

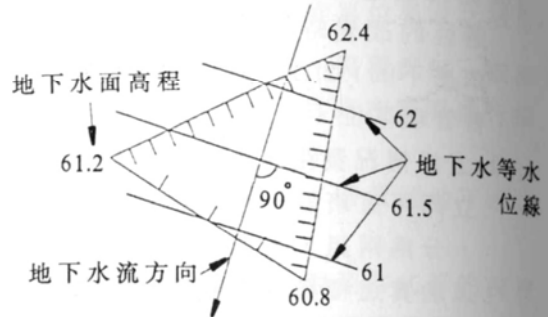
(b) 將(三)4.5.6.及7.中所要求的資料

，呈報給管理單位。

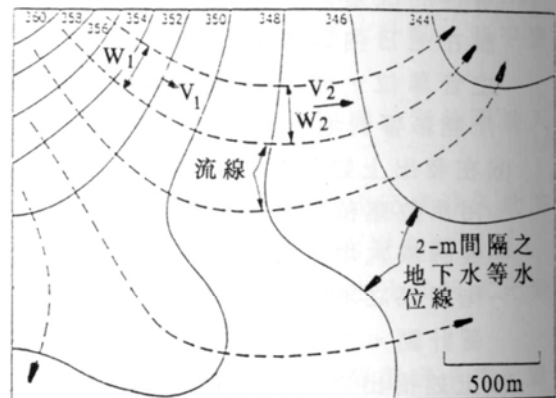
- A. 分析的結果，應依規定的試樣填寫。
 - B. 每一季的報告，按 1、4、7、11月的15日呈報。
 - C. 每年的報告裡，使用者需特別的註明有無超出可容許污染物的最大限度。
 - D. 特別提出在四3.(1)中有顯著性改變的參數。
 - E. 報告按四6.所作的評估結果，如有需要，並敘述應對處置的情形。
2. 如果執行緊急處置計劃，使用者必須：
 - (a)按四4.(3)的要求，在計劃中，記錄分析及評估的結果，這工作得持續不斷，直到完成廢棄物掩埋場地的封閉為止。
 - (b)在完成廢棄物掩埋場的封閉之前，每一年使用者要向管理單位報告地下水質評估計劃執行結果，其中至少應包括計算得或量得之廢棄物及其組成元素的移動量，來作為年度報告的一部份。

六、結語

場置性地下水污染對地區之地下水可能造成之影響，受許多因素控制，要確實掌握地下水是否受污染及其程度與影響範圍，唯有藉助於地下水質監測系統之施行。惟其施行，牽涉許多要件，以下列出幾點需深入檢討的部份，供執行時參考：



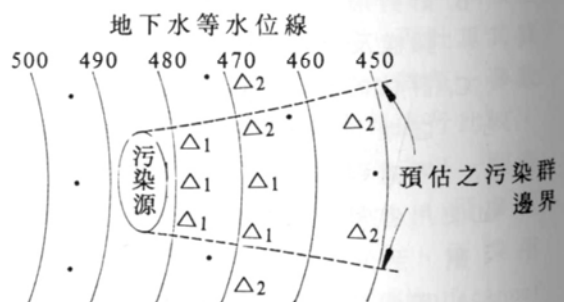
附圖一 以井水位高程判定地下水之流向



註：地下水之流量通常可以達西公式推估

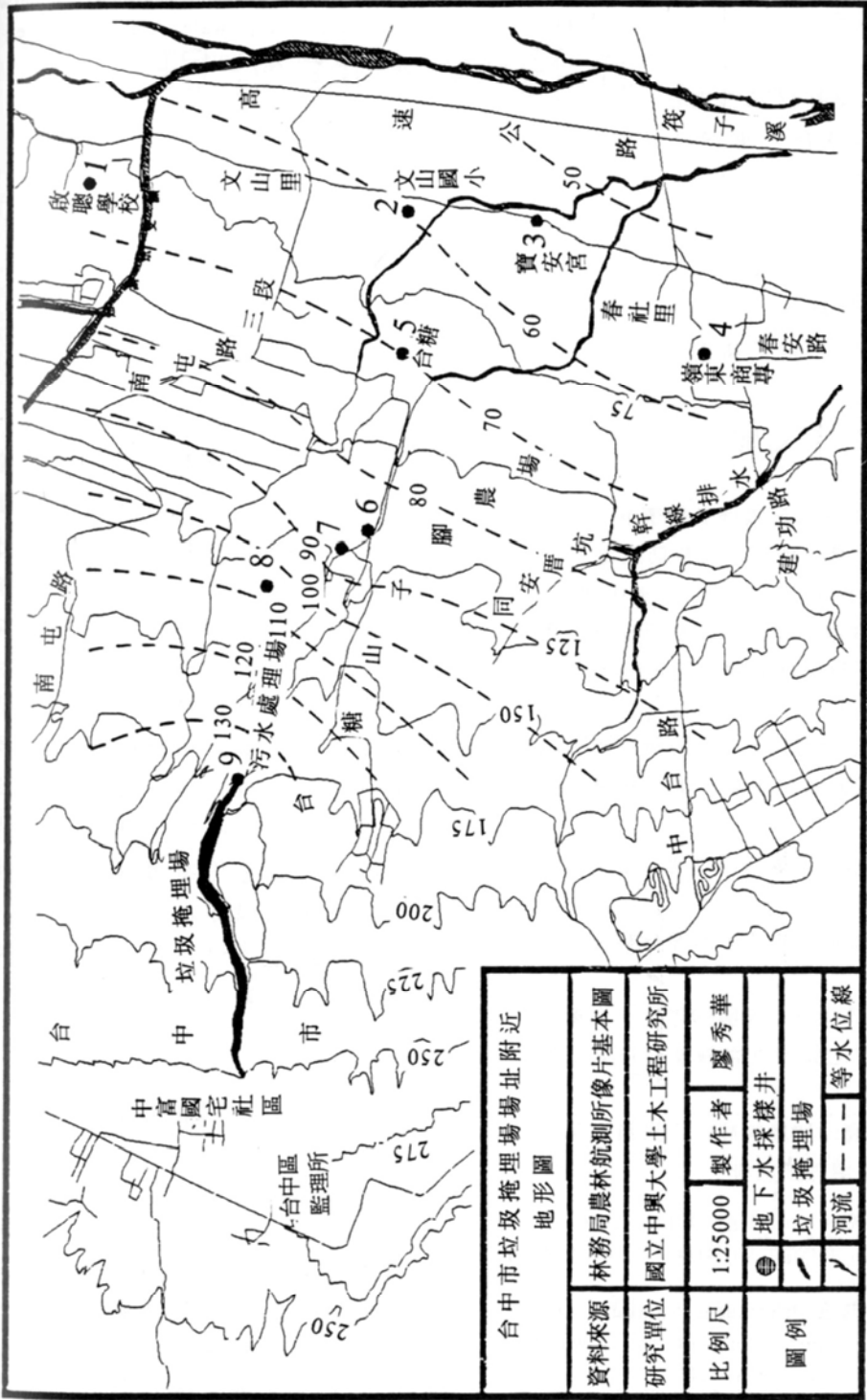
$$Q = K \cdot i \cdot A$$

附圖二 地下水流域網範例



註：按污染物之擴散設置後期的觀測井，以追蹤污染物時間、空間的分佈。
 • 水文地質調查井
 Δ₁第一期建立之觀測井
 Δ₂第二期後續建立觀測井

附圖三 監測系統佈置程序示意圖



註：以地理資訊系統整合所有資料，有利工作之說明與執行。

附圖四 台中市垃圾掩埋場地下水監測系統圖

- (1) 水文地質調查之需要性。
- (2) 用水量調查及其水井水質的追蹤。
- (3) 觀測井的設置與採樣方法。
- (4) 飽和層與未飽和層滲透特性的探討與需求。
- (5) 地下水污染指標及參數。
- (6) 分析結果之研判方法。
- (7) 監測系統程序。
- (8) 滲出水收集系統的檢討。

參考文獻

- 謝永旭等，國立中興大學環境工程學系（民國78年），台灣省地下水污染防治之研究——彰化地區地下水污染之調查研究。
- 蘇苗彬等，國立中興大學土木工程研究所（民國78年），台中縣龍井附近地區地下水質調查研究。
- 蘇苗彬、蔡清標（民國76年），廢棄物處理場的地下水監測系統規劃，第二屆廢棄物處理技術研討會。
- 民國80年，地下水污染與採樣技術，地下水污染防治短期講習班。
- 行政院衛生署（民國74年），水體分類及水質標準。
- 經濟部中央地質調查所（民國69年），台灣坡地社區工程地質調查與探勘報告第三卷。
- 台灣省政府農林廳山地農牧局，（民國76年），山坡地土壤調查報告。
- Dewiest, (1965), Geohydrology. John Wiley.
- U.S.E.P.A., (1983), Design Criteria for Class II Landfill Sites.
- U.S.E.P.A., (1977), Procedures manual for Groundwater monitoring at solid waste Disposal Facilities, EPA-530.
- NIELSEN and JOHNSON, EDITORS. (1990), Groundwater and vadose zone moni-

toring, ASIM, 1053.

SANDERS, et.al., (1983), Design of networks for monitoring water quality, water Resources Publication.