

環境化學與微生物類

## 地下水水質監測與保護推動策略規劃

簡慧貞\*、蔡惠珍\*\*、陳俞穎\*\*\*、劉志忠\*\*\*\*

### 摘 要

地下水是臺灣重要的水資源之一，為確保地下水資源永續利用，環保署依土壤及地下水污染整治法第 6 條規定，自 2002 年起辦理區域性監測井之地下水水質定期檢測工作，至今已累積將近 20 年的檢測數據，全面掌握地下水品質狀況，其中全國地下水符合監測標準比率皆達 90% 以上，針對檢出水質異常區域，現已逐步釐清問題，進行改善中或提出管理制度。面對全球氣候變遷與極端氣候，地下水資源的使用與保護更趨重要，2021 年上半年臺灣面臨嚴重乾旱問題，各地紛紛啟動地下水為緊急備援用水，然而擁有良好的地下水水質才能有充裕的供水，因此環保署基於權責分工，初擬水質保護推動策略，並從中列出 3 項重點工作，包括地下水永續經營、保障地下水源安全及永續利用，與有效運用地下水監測資源，並分別提出執行對策。未來將持續滾動式檢討，訂出各階段執行目標，定期檢視執行成效。

【關鍵字】地下水、水質保護、推動策略

\* 行政院環境保護署土壤及地下水污染整治基金管理會  
\*\* 行政院環境保護署土壤及地下水污染整治基金管理會  
\*\*\* 行政院環境保護署土壤及地下水污染整治基金管理會  
\*\*\*\* 業興環境科技股份有限公司

執行秘書  
組長  
環境技術師  
副總經理

## 一、前言

行政院環境保護署(以下簡稱環保署)基於土壤及地下水污染預防與整治,於2000年2月2日發布實施「土壤及地下水污染整治法」(以下簡稱土污法),其主要精神係師法美國資源保育及回收法(Resource Conservation and Recovery Act)與環境應變、賠償及責任綜合法(Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act),以確保土壤及地下水資源永續利用,改善生活環境與增進國民健康(黃萬居,2006)。另依照土污法第6條規定,定期監測土壤及地下水品質狀況。

其中地下水水質有系統的監測,可追溯1993年前省環保處籌辦「臺灣省地下水水質監測站網整體規劃」,於全國十大水區設置區域性地下水監測井,自1995年度起分年補助各縣市政府進行地下水水質監測井設置工作,至2002年底完成431口區域性地下水監測井,由環保署監資處執行地下水水質監測工作,並逐年檢討與增補,截至2021年共有455口井,依照主要井與次要井分類,每年進行4、2或1次監測,監測50項參數。

環保署在地下水水質分析方面已累積多年數據,完備自然成因判定流程,例如重金屬砷及氟鹽,其中重金屬砷建置地下水砷濃度潛勢範圍查詢平台,然現有之區域性水質監測井,建置的基礎係依據水文地質地下水分區方式為主,並未考慮實際民生用水關注之地下水水區,因此下一代的監測思維必須考慮到提升有效監測資源,以及建立地下水污染潛勢地圖,採因地制宜的監測,才能即早發現問題並提出改善對策。

本文主要目的係回顧地下水水質監測歷程,與目前水質監測現況,提出精進作為,並因應快速的全球氣候變遷與極端天氣,凸顯地下水資源的重要性,規劃水質保護推動策略,首先須建立我國水質保護與管理架構,並且提出永續經營、保障地下水源安全及永續利用與有效運用地下水監測資源等3項重點工作及其執行策略。

## 二、地下水水質監測歷程

### 2.1 監測井網設置

台灣本島總面積 35,960 平方公里，其中 10,457 平方公里有重要地下水層分布，占總面積約 29%。經濟部水利署將全國劃分成 10 個地下水區，分別為台北盆地、桃園中壢台地、新苗地區、臺中地區、濁水溪沖積扇、嘉南平原、屏東平原、蘭陽平原、花東縱谷及澎湖地區，為建立全國地下水水質長期資料，掌握各地下水分區水質狀況，前省環保處於 1993 年籌辦「臺灣省地下水水質監測站網整體規劃」工作，於全國十大水區設置區域性地下水監測井，自 1995 年度起分年補助各縣市政府進行地下水水質監測井設置工作，至 2002 年底完成 431 口區域性地下水監測井設置，由環保署監資處執行地下水水質監測工作。

全國區域性監測井網設置規劃結合統計法與水文地質法及多層面參與之決策程序，在整體資源分配概念下，利用美國環保署 1985 年發展之 DRASTIC 系統，衡量水文地質組成的背景條件資料，來評估地下水污染潛勢之標準系統，7 項參數包含地下水位深度 [D]、淨補注量 [R]、含水層介質 [A]、土壤質地 [S]、地形坡度 [T]、未飽和含水層介質 [I] 及水力傳導係數 [C]，再加入土地利用、人口密度、可疑地下水污染源及地下水抽水量等 4 項人為社經活動參數，利用對應之等級及權重分數乘積和，求得污染潛勢指標及排序後，規劃井網系統。

累積多年地下水監測數據後，就區域性監測井設置之密度適宜性、監測井空間分布情形進行檢討，於 2013~2014 年針對部分縣市無區域性監測井，包括南投縣和基隆市（環保署，2013）；部分地下水分區之監測井不足，包括中壢臺地及濁水溪沖積扇進行區域性監測井補充設置（環保署，2014），另於 2018 年為完備恆春平原井網，聯合水利署既有之 4 口觀測井，補充設置 2 口區域性監測井（環保署，2018），歷年進行監測井廢井、新設井及維護管理等工作，迄今共有 455 口區域性監測井，其區域性地下水監測井網設置歷程詳圖 1。

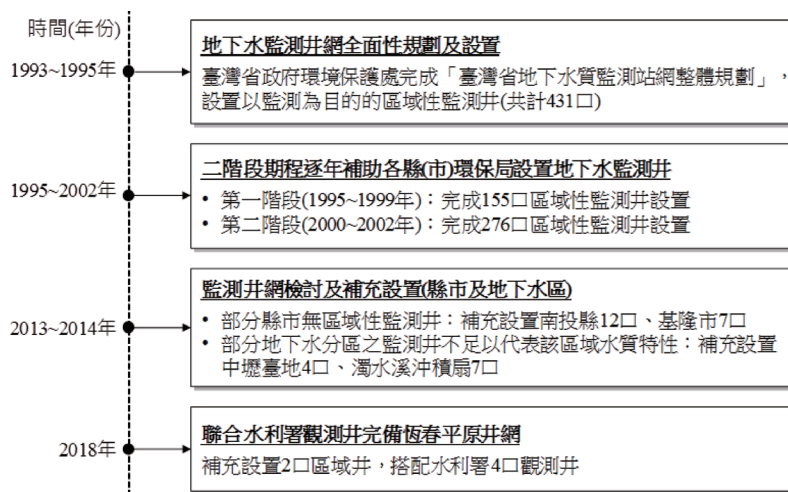


圖 1 區域性地下水監測井設置歷程

## 2.2 井網檢討

環保署於 2013~2014 年執行區域性監測井井網檢討，規劃作業主要分為 2 部分 (詳圖 2)，第一為規劃監測井數量不足之縣市地區；第二為評析全國各地下水區之區域性監測井井網適宜性，針對南投縣、基隆市、中壠臺地及濁水溪沖積扇地下水分區、辦理補充設置監測井作業，依各區域補充設井之評估方式如下所述。

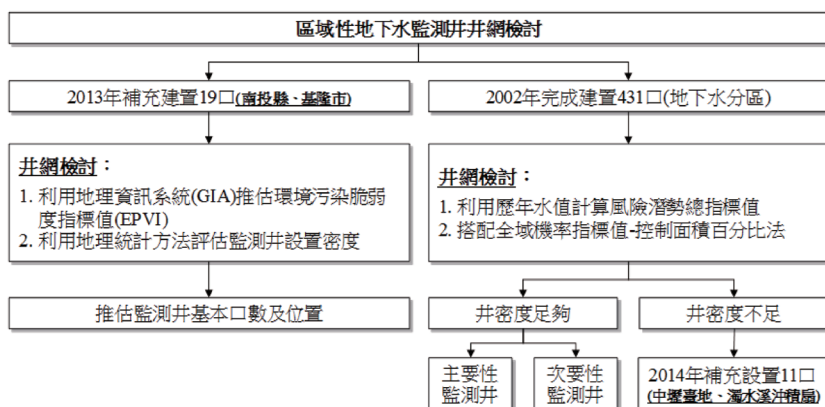


圖 2 區域性地下水監測井井網檢討補充設置

### 1. 南投縣及基隆市

過去基隆市、南投縣並未建置區域性監測井，無法利用前述含水層相關之水文地質參數評估地區環境污染潛勢，故依淺層含水層之水文地質對污染物傳輸之難易性與環境敏感程度為基礎，利用現有調查資訊，包括地形坡度、土壤質地、土地利用、可疑地下水污染源及人口密度等 5 項因子 (臺灣省政府環保處，1993)，研擬對應等級及權重分數乘積加總，定義在無區域性監測井情況下，建立環境污染脆弱度指標值 (Enivemt anl Pollution Vulnerability Index, EPVI)，並依據各縣市之面積與密度，規劃設置監測井數，並於高潛勢脆弱度指標區域周邊初步設置監測井，再利用全域機率 - 控制面積百分比法，評析該區域規劃設置監測井井網適宜性評估，主要以公有學校或公有土地作為後續實際設井位置，以基隆地區為例，其優選監測井位置詳圖 3。

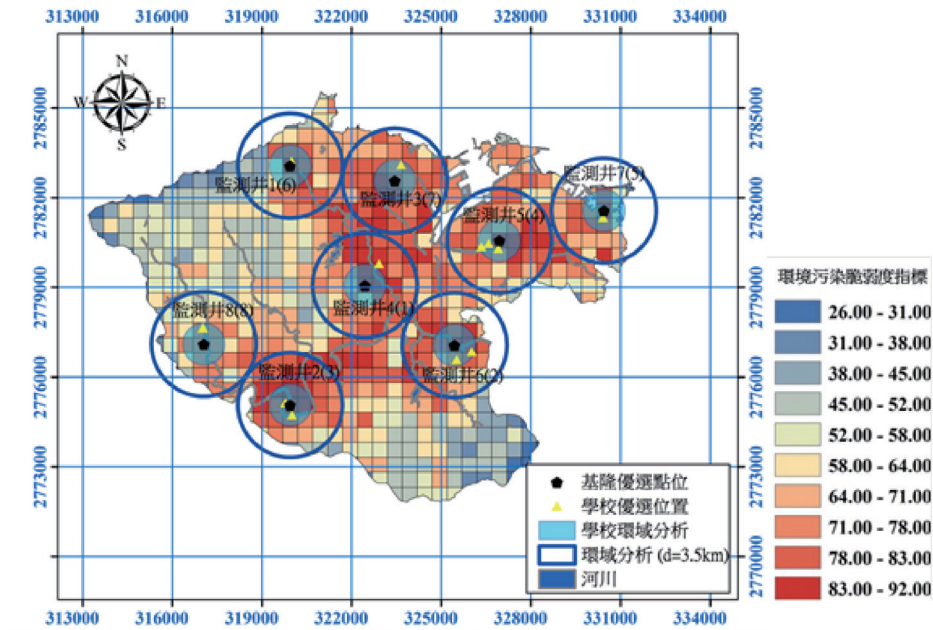


圖 3 基隆地區優選監測井位置圖

註：原彩圖請至產業綠色技術資訊網站下載 <https://proj.ftis.org.tw/eta/index.aspx>

## 2. 中壢臺地及濁水溪沖積扇

依據各區域性監測井於 2002~2013 年以每年 2 次或 4 次的頻率進行地下水水質檢測工作，其歷年檢測項目為 25 項，依據環保署公告第二類地下水污染監測標準之 15 項水質項目，進行區域性監測井網適宜性評估建立風險潛勢總指標值，若水質項目超過第二類地下水污染監測標準，則定義為高風險潛勢指標值，其設定值為 1；反之，若水質項目未超過環保署公告第二類地下水污染監測標準，則定義為低風險潛勢指標值，並設定為微小值 (0.01)。依據上述區域既有各區域性監測井計算風險潛勢總指標值，指標值界定範圍為 0 至 15。並搭配全域機率指標值 - 控制面積百分比法，評析全國十大地下水區區域性監測井網適宜性；此外，針對地下水區域之監測井數量不足，利用降低變異數 - 次序佈井法推估區域性監測井設置位置，評估足以代表該地下水區域空間具水質代表特性點位，區分為主要性監測井 (具代表性) 及次要性監測井 (具重複性)，其主要性監測井表示水質特性具差異，且總潛勢指標較高者；則次要性監測井表示水質特性相近，且總潛勢指標較低者。以濁水溪沖積扇為例，其監測井位置詳圖 4，評估補充設置 7 口井，另區分主要性監測井為 31 口，次要性監測井 7 口。

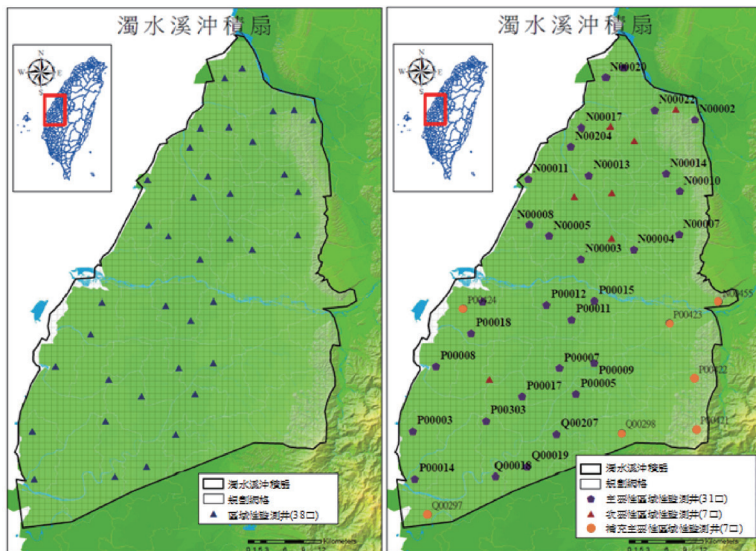


圖 4 濁水溪沖積扇井網檢討補充設井位置



## 2.3 監測頻率檢討

區域性地下水監測井的採樣監測工作，自 2002 年起由環保署整合於「環境水質北、中、南採樣監測計畫」執行，為累積地下水水質監測數據，初期採樣頻率為每季監測 1 次，歷年地下水水質監測成果以第二類地下水污染監測標準作為比較依據，另評估其水質濃度變化趨勢，為達有效之監測資源，評估調整監測頻率；監測項目從初期監測之 18 項，逐年新增其他項目(鈉、鉀、鈣、鎂、鹼度)、重金屬(汞、鎳)、揮發性有機物等，完備監測項目至 50 項，此外，歷年區域性監測井之地下水監測數據則一併公開於環保署「全國環境水質監測資料網」以供查詢。

我國原設置之 431 口區域性監測井之監測頻率，係採自設置完成後 1 年 4 次維持不變，由於部份監測井已累積 3 年以上(12 次)之監測數據，然為有效運用監測資源，環保署自 2009 年度起即評估區域性地下水質變化趨勢，調整頻率為每年監測 4 或 2 次；為達資源有效應用，於 2014 年利用統計方法建立主要性及次要性區域性監測井之空間分布及水質隨時間趨勢分析，調整頻率為每年監測 4、2 或 1 次。現行評估方式則依主要監測井搭配其監測濃度數值比對法規值(比對第二類地下水污染監測標準)，若地下水監測結果曾超過監測標準，則優先關切需加強監測；此外，利用 Mann-Kendall Test 趨勢分析方法進行水質趨勢分析，以便於比對歷年監測結果，充分掌握水質呈現持續上升趨勢之監測項目，主要考量若區域性監測井地下水監測結果雖持續超過監測標準，然而未具趨勢上升情形時，該項目監測結果偏高可能為受自然環境或地質背景影響所致。反之，若監測項目具明顯上升趨勢且超過監測標準時，則可能於監測井周圍有潛在之污染來源，須持續加強監測。

## 2.4 監測項目

區域性監測井之水質監測項目，除 2002 年歷年持續監測之一般項目(硝酸鹽氮)、背景與指標水質項目(總硬度、總溶解固體、氯鹽、氨氮、硫酸鹽、總有機碳、鐵、錳)、重金屬(砷、鎘、鉻、銅、鉛、鋅)及其他項目(水溫、導電度、酸鹼度)等 18 項外；2005 年起增測其他項目鈉、鉀、鈣、鎂、鹼度等 5 項，2011 年起增測重金屬汞、

鎳等 2 項及揮發性有機物 20 項；另因地下水污染監測標準及地下水污染管制標準修正發布，並於 2014 年 1 月 1 日施行，故 2014 年起增測一般項目氟鹽 1 項，背景與指標水質項目總酚 1 項，及揮發性有機物 1,1,1- 三氯乙烷、1,2- 二氯苯、甲基第三丁基醚等 3 項，總計 2018 年起地下水水質監測項目達 50 項，其相對監測頻率詳表 1。此外，歷年來以總硬度、總溶解固體、氯鹽、氨氮、硝酸鹽氮、硫酸鹽、總有機碳、鐵、錳、砷、鎘、鉻、銅、鉛、鋅等 15 項作為區域性監測井監測頻率評析之指標項目（環保署，2018）。

表 1 2018~2020 年區域性監測井水質監測項目及頻率一覽表

分類	監測項目	監測頻率
一般項目 (2 項)	硝酸鹽氮*、氟鹽	數據不足測站，辦理 1 年 4 次監測（每季）；主要監測井且水質超標且具上升之測站，辦理 1 年 2 次監測（第 2、4 季）；主要監測井且水質變化穩定、次要監測井（含趨勢上升及穩定者），辦理 1 年 1 次監測（第 4 季）
背景與指標 水質項目 (9 項)	總硬度*、總溶解固體*、氯鹽*、 氨氮*、硫酸鹽*、總有機碳*、 鐵*、錳*	
	總酚	每年第 2 季辦理 1 次監測
重金屬 (8 項)	砷*、鎘*、鉻*、銅*、鉛*、鋅*、汞、 鎳	數據不足測站，辦理 1 年 4 次監測（每季）；主要監測井且水質超標且具上升之測站，辦理 1 年 2 次監測（第 2、4 季）；主要監測井且水質變化穩定、次要監測井（含趨勢上升及穩定者），辦理 1 年 1 次監測（第 4 季）
其他 (3 項)	水溫、導電度、酸鹼度	
其他 (5 項)	鈉、鉀、鈣、鎂、鹼度	半年辦理 1 次監測（第 2、4 季）



分類	監測項目	監測頻率
揮發性有機物 (23 項)	苯、甲苯、乙苯、二甲苯、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、二氯甲烷、1,1,2- 三氯乙烷、1,1,1- 三氯乙烷、1,2- 二氯苯、甲基第三丁基醚	每年第 2 季辦理 1 次監測

\* 註：表示歷年已納入監測頻率評析之指標項目

### 三、地下水水質監測現況與精進作為

#### 3.1 背景水質分析

自 2000 年「土壤及地下水污染整治法」公布施行後，環保署於 2001 年 11 月 21 日發布施行「地下水污染監測基準」與「地下水污染管制標準」，並配合土壤及地下水污染整治法 2010 年 2 月 3 日修正公布，於 2013 年 12 月 18 日修正發布「地下水污染監測標準」及「地下水污染管制標準」，並於 2014 年 1 月 1 日起施行，污染監測標準的目的在於預防地下水污染，而管制標準的目的則在於防止地下水污染惡化。目前公告之水源水質保護區，主要在水庫集水區以及河川或取水口一定距離之行水區，地理區位多屬於河川中上游之丘陵或山區，而監測之地下水監測井均位於平原、沖積扇、盆地或縱谷等地下水分區。因此，地下水水質監測數據之統計分析與比對，將以是否小於地下水污染監測基準之第二類為依據，各項水質項目之合格率計算方法如下 (環保署，2020)：

$$\text{單一項目低於地下水污染監測標準比率(\%)} = \frac{\text{單一項目水質小於監測標準之總次數}}{\text{單一水質監測項目有效監測總次數}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{平均低於地下水污染監測標準比率(\%)} = \frac{\text{各水質測項比率總合}}{\text{測項數目}} \times 100\% \quad (2)$$

環保署自 2002 年起辦理區域性監測井之地下水水質檢測工作，至今已累積將近 20 年的檢測數據，並已累積超過 60 萬筆地下水水質檢測數據。歷年全國地下水符合監測標準比率皆達 90% 以上，以 2020 年度監測成果而言，比對第二類地下水（非屬飲用水水源水質保護區內）污染監測標準（以下簡稱監測標準），低於地下水污染監測標準比率約為 93.0%，就各水質測項而言，以氨氮與錳之比率普遍較低，依水質項目由小而大排列為：錳 (58.4%)、氨氮 (62.6%)、鐵 (74.4%)、總溶解固體 (91.4%)、總硬度 (91.7%)、氯鹽 (94.2%)、硫酸鹽 (96.8%)、砷 (98.7%) 及總有機碳 (99.8%)，其餘測項如硝酸鹽氮、總酚、氟鹽、鎘、鉻、銅、鉛、鋅、汞及鎳等皆為 100%。此外，23 項揮發性有機物項目低於地下水污染管制標準比率皆為 100% (環保署，2020)。

其中以鐵、錳及氨氮超過監測標準之情形較為普遍，因鐵、錳為自然環境中相當常見之金屬元素，於地殼中含量甚豐，鐵含量排名第四位，占地殼總元素含量 5%；錳含量排名第十二位，占地殼總元素含量 0.1%。在天然水體中鐵、錳離子來源主要來自岩層中之鐵礦與錳礦之風化，土壤中鐵含量多為 0.5%~5%，比例依存在礦物種類、地化反應等而定。而氨氮為地下水污染監測標準之「背景與指標水質項目」之一，可作為水體是否受到人為污染的重要指標，地下水氨氮來源除自然地層環境的有機物質代謝轉換外，地表人為活動亦可能使淺層地下水氨氮濃度增加，其污染來源眾多，可能包括工業、農牧及民生等活動。

### 3.2 重金屬砷自然成因與潛勢區

環境中砷及砷化合物的污染源有自然來源和人為污染源兩者，自然為岩石、礦石經風化和溶解作用將砷釋出，人為可分為農業含砷藥劑和工業含砷化學品使用之污染。然我國歷年地下水水質定期檢測結果顯示，部分地區地下水中砷含量偏高區域大多為地層環境之非人為因素所致 (陳文福等人，2010)，由環保署以嘉南平原、蘭陽平原及濁水溪沖積扇歷年曾檢出砷含量之地區為主，進行區域性監測井及水利署觀測井之地下水採樣，並配合周邊地質岩心鑽探作業，依據岩心沉積物鐵、錳及砷等化學定量分析結果，砷濃度偏高之深度其鐵、錳、總有機碳濃度亦偏高，且多屬壤土與黏土層；此外，針對岩心沉積物鐵、錳及砷濃度較高之深度進行水質檢測分析，結果顯示

地下水與沉積物中砷濃度之趨勢一致，且與鐵、錳濃度變化趨勢顯著相關，表示地層環境中含砷之鐵、錳氧化物為砷之主要來源（環保署，2011）。依據地下水污染管制標準第二條規定，環保署於 2013 年公告地下水污染管制標準之附件「地下水背景砷濃度潛勢範圍及來源判定流程」及「臺灣地下水砷濃度潛勢範圍」。

潛勢範圍之劃定係應用地理統計方法，彙整環保署區域性監測井及水利署觀測井監測之地下水平均砷濃度，進行砷濃度潛勢區域推估，繪製地下水砷濃度超過第一類地下水污染監測標準 (0.025 mg/L) 的機率大於 75% 之區域，包含濁水溪沖積扇、嘉南平原、屏東平原、蘭陽平原等地下水區特定區域，歸納為非外來因素所致之砷濃度潛勢範圍，係受水文地質條件及地層沉積物累積等環境背景因素影響。然而，地下水砷潛勢區涵蓋範圍應依地下水定期監測結果而調整之，因此環保署彙整環保署區域性監測井及水利署觀測井定期監測數據，亦納入其他單位包括環保署場置性監測井及工業區備查監測井監測數據，滾動檢討地下水砷潛勢區範圍，並建置地下水砷濃度潛勢範圍查詢平台（環保署網址 <https://sgw.epa.gov.tw/AsQryMap/AsQueryMap.aspx>），可提供查詢該區域之地下水概況。

### 3.3 水質監測精進作為

環保署現有之區域性水質監測井，建置的基礎係依據地下水水文地質分區方式，過去 20 幾年來以來已建立全臺背景水質資料，並且檢出水質異常區域，現已逐步釐清問題，進行改善中或提出管理制度。然過去的監測並未考慮實際民生用水之地下水區，因此下一代的監測思維必須考慮到提升有效監測資源，以及建立地下水污染潛勢地圖，採因地制宜的監測，才能即早發現問題並提出改善對策，以下分別提出各項作為，並提出其短、中、長程規劃，未來將依照各期工作目標擬訂績效指標，定期檢核成效。

### 3.3.1 監測井分類分群與檢測分析

如 2.1 節所述，環保署目前已有 455 口區域性監測井，並分成主要及次要井，據此擬訂不同的檢測頻率，但是隨著去 20 多年的設置歷史，監測井水質監測的目的已由原來背景水質監測外，必須考量地表人為所可能造成的污染情形，現有的監測井網必須加以優化，例如應考慮空間環域分析、土地利用類型等國土規劃方式，進行監測井分類分群，並調整監測項目與頻率，例如在工業區附近的監測井，將加測重金屬、揮發性有機物污染物等；農牧業區域以重金屬及氮氫為主；一般生活區域則可著重於氮氫項目，採因地制宜。同時如果非位於高污染潛勢區內，將進一步降低監測頻率至 3 年一次，把監測資源投入水質合格率偏低或用水安全有關之項目井位，上述分類分群流程、監測項目與頻率規劃如圖 5 所示。

本項工作短期內將建立分類分群原則，提出監測項目及監測頻率調整評估方案；中期則研擬水質監測井井位設置原則與辦理不同類型污染試驗調查，掌握對地下水影響；長期將整合水利署等單位的地下水井網，以達監測資源有效利用。

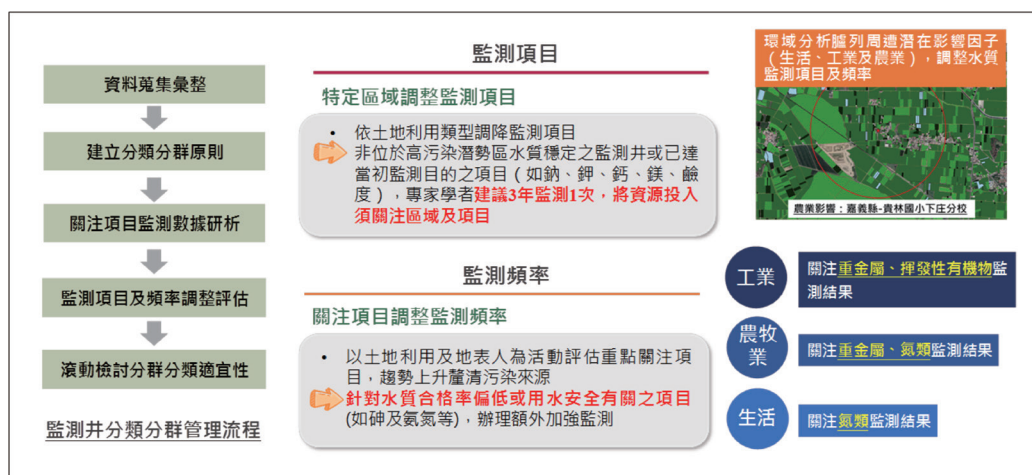


圖 5 分類分群流程及監測項目與頻率說明

### 3.3.2 加強水文地質補注區監測與用水安全

地下水水區為三維構造，在上中下游的構造有顯著差異，例如在上游（亦為扇頂）地下水補注地質敏感區為地下水水區內特定範圍之敏感區域，此區通透性較佳，補注敏感區面積多僅約整體水區之 30%，補注量卻可達總量之 60% 以上，為區域性（水區）供水之重要地下水來源，其為多層地下水含水層共同源頭，且垂向傳輸速度較其他地區快數倍至數十倍不等，一旦污染發生容易影響深層地下水，目前水質監測數據顯示部分補注敏感區深層地下水水質已有劣化跡象。

如圖 6 所示，環保署已規劃依據地下水使用量、水質現況水區分區分級，優先篩選地下水使用量大、地下水質較差之濁水溪及屏東平原等 2 處地下水補注敏感區，進行調查評估。針對濁水溪、屏東平原之地下水補注敏感區，因其空間範圍廣大，環保署規劃強化補注敏感區內水質熱點預警代表性及預防措施為目標，其他水區內之補注敏感區則須經現場評估調查，釐清傳輸特性後再行評估管理措施。

另外依自來水公司 2018 年統計資料，全國總供水量為 1,388 萬 CMD，以地下水作為自來水水源者占 13.3%，以地下水為水源之自來水取水口（以下簡稱自來水井）數量統計 902 口（含使用中及備用），其中以彰化縣 174 口最多，臺中市 151 口次之，雲林縣 117 口再次之，中部地區地下水抽用量約為 98 萬 CMD，占全國總抽用量之 53%，為全國地下水使用量最大之地區。因過去地下水水質監測井網僅以背景水質與污染預防為主，並未直接考慮到使用端的水質安全監測，因此有鑑於全國八成自來水井未坐落於有自來水法、飲用水管理條例之保護區內，不受保護區用地限制方式管制，因此未來地下水質的監測方式與自來水井井源地下水質之保護管理極為重要。

本項工作短期內將辦理地下水補注地質敏感區內樣區篩選及現況診斷；中期則完成自來水井源分級管理制度效益及可行性評估；長期將依自然環境及社經條件調整分區分級劃設原則及推動分區管理行動。

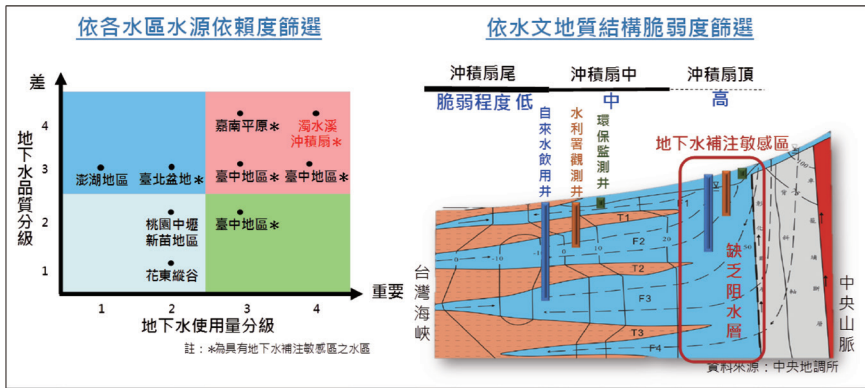


圖 6 依各水區水源依賴度及水文地質結構篩選優先關注區域

### 3.3.3 建置污染潛勢風險

環保署已投入相當多的經費辦理地下水監測井水質採樣及監測工作，接下來面臨的問題與挑戰，除了 3.3.1 節之監測井分類分群與 3.3.2 節加強補注區監測與用水安全以外，尚缺整體性的管理思維，然而地下水問題相當複雜，因此，參考國外做法 (Chen et al., 2013; Belay F.F., 2015; Shrestha et al., 2017)，將整合水質危害因子與水質脆弱度因子，建置污染潛勢風險地圖 (如圖 7)，其中水質危害因子分析分面，必須考慮地下水水質受後天環境影響的人為影響，例如人口密度、污水管普及率、水污列管排放量、高潛勢業別、農業區域或管制範圍等共計 15 項，在水質脆弱度因子方面，必須考慮受先天背景條件影響，主要的水文地質條件因子，目前列舉 9 項，包括土壤質地、土壤坡度、剖面質地、排水程度、水力傳導係數、地下水位、補注量與降雨量等因子，以期能達到地下水永續經營的目標。

本項工作將分階段進行，目前已初步建立地下水污染潛勢風險地圖，其中在網格建置方面，因優先示範臺灣本島，故以 5x5 km 網格方式進行，驗證標的以人為污染指標項目 (氨氮) 及污染場址現況為主，初步結果顯示地下水污染潛勢風險越高，則氨氮超標或污染場址發生機率越高，下階段將套疊及比對地下水供需消耗熱區與保護熱區，研擬地下水水質保護因應策略。



短期內將建置臺灣地下水環境脆弱度及可能面臨風險；中期則整合既有資訊系統與資料，提出重點工作事項及跨單位權責分工；長期將配合國家經濟發展及氣候變遷調適政策，跨單位研商地下水資源管理策略。

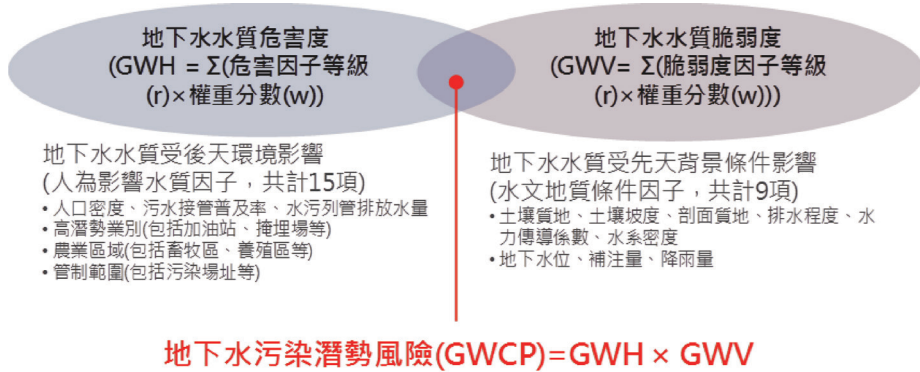


圖 7 地下水污染潛勢風險建置方式

## 四、水質保護推動策略規劃

根據上述彙整資料顯示，目前地下水水質監測井網對水質分析與監測已趨成熟，並且提出精準監測方式，將可完整建立掌握臺灣地下水水質現況，然而面對全球氣候變遷與極端氣候，地下水資源的使用與保護更趨重要，本(2021)年上半年臺灣面臨嚴重乾旱問題，各地紛紛啟動地下水為緊急備援用水，然而擁有良好的地下水水質才能有充裕的供水，因此環保署對水質的保護從過去的監測，需考慮提高維度思考，建立整體管理架構，並且針對環保署權責，提出水質保護推動策略。

### 4.1 建置水質保護與管理架構

臺灣地下水水質管理工作上面，已具備兩大優勢，包括建構完整的監測網絡與持續創新技術、完備污染預防法令規章與管理制度，然尚需面對地下水管理未來面臨關鍵課題，如(1)氣候變遷影響地下水資源品質、(2)國際持續關注地下水污染、(3)落實國土分區規劃與資源妥善運用、(4)地下水水質保護與管理對策。因此，參考國

外地下水管理策略 (Austalian Government Initiative, 2013; OECD, 2015; North Kings Groundwater Sustainability Agency, 2019; GARPHIC, 2015; IUCN, , 2016)，環保署初步規劃如圖 8，提出臺灣地下水質管理架構，包括在制度面、管理面、技術面及應用面等 4 個面向，對應提出 15 項策略。圖上架構係以全方位水資源保護為標的，涉及到環保署、經濟部與農委會等單位的權責，後續需要透過跨單位協商方式，擬訂完整保護架構，並依各單位權責分別落實。

環保署基於其權責範圍，提出環保署水質保護架構 (如圖 8 所示)，其中也分為制度面、管理面、技術面及應用面 4 個面向、15 項策略與 32 項行動方案，同時在圖中匡列近期推動重點工作，例如在政策擘劃策略方面，依優先擬定地下水施政綱要與工作藍圖；交流培育方面以跨單位溝通平台的建置為重點；調查評估工作內容，包括基礎資料建置累積、高污染潛勢分析等工作；環境監測主要考慮監測設備維運、預警制度建置方面；衝擊調適方面，優先建立脆弱度評估架構、分級分區管制方案與研訂氣候變遷調適策略；考慮 30% 的自來水源來自於地下水，優先針對飲用自來水井井源提出管理制度；另外也提出對於監測數據提出機器學習與物聯網的工作需求。

上述管理架構之近期推動重點工作，可以再歸納成 3 個主要工作方向，包括地下水永續經營、保障地下水源安全及永續利用與有效運用地下水監測資源，相關工作方向的内容彙整如下：

1. 地下水永續經營：分項主要工作為地下水施政綱領、工作藍圖、跨部會溝通平台、脆弱度評估、氣候變遷調適策略。
2. 保障地下水源安全及永續利用：分項主要工作為分級分區水源管理方案、地下水補注源頭保護、農業源減氮跨部會推動、民生飲用井源保護制度、整合水文地質構造之監測預警。
3. 有效運用地下水監測資源：分項主要工作為基礎監測網路建置、地下水基礎資料持續累積、自然環境因素影響分析、智慧監測技術、機械學習與數據統計。

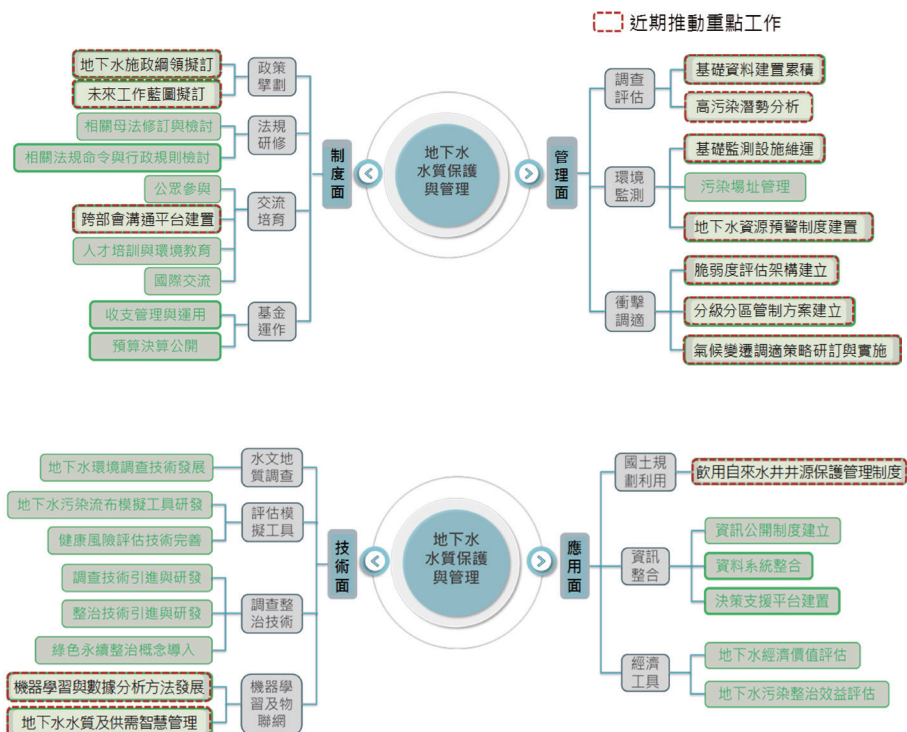


圖 8 環保署執掌地下水水質保護架構圖

## 4.2 執行策略

根據 4.1 節建置之水質保護與管理架構，已歸納 3 個工作方向，環保署再分別初擬各項工作短中長期執行策略，分述如下：

### 4.2.1 地下水永續經營

圖 9 為推動地下水永續經營流程與策略，其中首先必須完備如 4.1 節之水質保護與管理架構，由於涉及的單位非常多，因此在架構建置過程中必須考慮完整性與適宜性，並且依照專家會議建議滾動式調整，第二步規劃以 5 年為單位的進行短中長期量化目標、進程規劃與分階段工作，並且提出跨單位研商合作，建立跨單位溝通平台，最後提出施政方針，內容包括地下水施政綱領與政策白皮書。

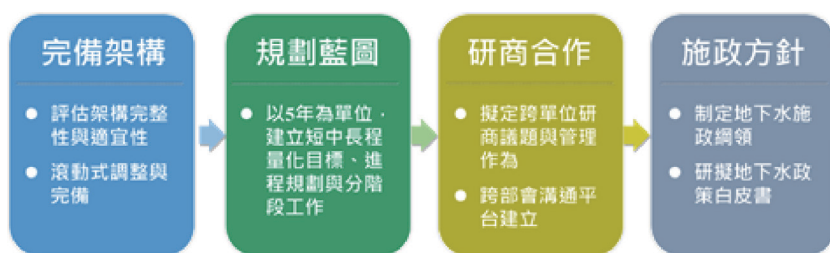


圖 9 地下水永續經營推動流程與策略

### 4.2.2 保障地下水源安全與永續利用

針對保障地下水源安全與永續利用，環保署提出地下水補注源頭保護及確保地下水安全使用兩項短、長期執行策略，如圖 10 所示，分別說明：

#### 1. 下水補注源頭保護

短期的策略以全國 10 大地下水區為基礎，依地下水品質及地下水依賴度分類分級，優先篩選對地下水需求量大、受影響程度高，且具有地下水補注敏感區，聚焦回推地表特定區域污染源監測預警與潛在污染源管理，進一步依評析結果與相關單位交流釐清與過去既有資訊差異，了解與跨單位合作推動潛在污染源頭預防及管理工作可能須強化處。

長期的策略為依據水區評估成果規劃各水區管理分級方案，將水區區分為優先關注區、次優先關注區及其他區域，並在分級管理劃分下，研擬各單位執行管理策略的分工建議與自主預防管理，擴大推動農業源減氮及減緩地下水源硝酸鹽氮升高趨勢，可透過公私協力方式與全臺 42 家友善耕作團體，從消費端影響耕作型態，以環境永續及保育為目標，適當促進友善耕作，有效提升地下水水質保護工作以達到最大效益。

## 2. 確保地下水安全使用

短期策略為建立自來水井鄰近地用調查及標示潛在污染源，透過抽水影響範圍模擬評估、污染源盤點、關聯性建立等，辦理水質調查評估，建立各水井井源保護範圍(參考 US EPA 井源計畫)(US EPA, 2021a; US EPA 2021b)。建立合適橫向監測聯繫與預防機制，掌握自來水公司的水井資訊及各單位(環保署、水利署、農田水利署、自來水公司)不同深度水質監測結果作為參考依據。

長期策略為發展井源多層保護範圍劃設與管理方案，探討各自來水井保護範圍劃設方法優缺點與我國適用性，以及研析取水口一定距離之公告與各相關法規可能之競合事項，作為後續跨單位討論可行性之依據，發展井源多層保護範圍劃設方案，研提各分層管理強度，並對保護範圍內污染潛勢建立合適之監測操作模式，落實保護措施與保護範圍內的土地使用相容。

項目	執行策略
 地下水補注源頭保護	<b>短期</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 土地利用調查，盤點潛在污染源，強化監測</li> <li>• 跨部會推動地下水補注源頭的農業源優先減氮</li> </ul>
	<b>長期</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 推動潛在污染源的自主預防管理</li> <li>• 擴大推動農業源減氮及減緩地下水源硝酸鹽氮升高趨勢</li> </ul>
 確保地下水安全使用	<b>短期</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 自來水井鄰近地用調查及標示潛在污染源</li> <li>• 強化監測聯繫與預警機制</li> </ul>
	<b>長期</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 推動井源保護的管理機制法制化</li> <li>• 落實保護措施與保護範圍的土地使用相容</li> </ul>

圖 10 保障地下水源安全及永續利用執行策略

### 4.2.3 有效運用地下水監測資源

有效運用地下水監測資源，環保署提出分類分群監測調整與聯合監測井網整合兩部分的短、長期執行策略，如圖 11 所示，以下分別說明：

#### 1. 分類分群監測調整

短期的執行策略依照環域分析與土地利用情形，將現有區域性監測井進行分類分群，其中分類中的大項可區分為工業區、農業區或一般生活區，並可以再進一步依照產業結構細分，例如工業區可以再分為科學園區、一般工業區、農業生技園區等。分群方面，舉例工業區附近的監測井，可區分為污染潛勢核心區、預警區或背景區之井群。前述之監測井的檢測項目與頻率依照分類分群結果再調整。

長期的執行策略係依照短期分類分群監測井結果，進行分類與監測項目的調整，例如當科學園區使用的化學品或是原物料改變的時候，其所要監測的項目必須隨之調整，必要的時候，不以目前地下水監測或管制項目為限，可以加測新興污染物。

#### 2. 聯合監測井網

短期的策略除了利用環保署現有監測井網外，目前臺灣最完整的地下水井網為水利署管轄的觀測井，因此優先啟動環保署與水利署的合作，尤其水利署的井網系統中，在同一個井位點，設有不同含水層深度的監測井，可以補足環保署水質監測井深度不足而無法了解較深層的水質特性。

長期的策略除了利用水利署有系統且完整的井網以外，可再外擴與其他擁有水井的單位合作，包括自來水公司或是農政單位，其中自來水公司水井應定期監測水質，且為地下水主要水源區域，為重點維護對象。農政單位相對水質監測數據可能較缺乏，但是水井數量相對較多，納入其他單位水井主要效益，可以依照監測目的補足既有監測井網。





項目	執行策略	
 分類分群 監測調整	短期	建立分類分群原則，關注項目監測數據研析，監測項目及頻率調整評估
	長期	滾動檢討分群分類及頻率調整之適宜性，提高監測效益
 聯合監測 井網整合	短期	針對關注區域地下水品質及使用情形，建立環保署與水利署地下水跨部會聯合預警井網，掌握不同含水層地下水質情形
	長期	納入地下水用水單位之水井(包括自來水井、簡易自來水井及農業用公井等)監測數據，掌握水質情形

圖 11 有效運用地下水監測資源執行策略

## 五、結論與建議

環保署依照土污法第 6 條規定，定期監測土壤及地下水品質狀況，目前共有 455 口井，依照主要井與次要井分類，每年進行 4、2 或 1 次監測，各監測 50 項參數。自 2002 年起辦理區域性監測井之地下水水質檢測工作，至今已累積將近 20 年的檢測數據，並已累積超過 60 萬筆地下水水質檢測數據，其中歷年全國地下水符合監測標準比率皆達 90% 以上各水質測項而言，以氨氮、錳與鐵之比率普遍較低。已完整建立全臺背景水質資料，針對檢出水質異常區域，現已逐步釐清問題，進行改善中或提出管理制度。

然而面對全球氣候變遷與極端氣候，地下水資源的使用與保護更趨重要，2021 年上半年臺灣面臨嚴重乾旱問題，各地紛紛啟動地下水為緊急備援用水，然而擁有良好的地下水水質才能有充裕的供水，因此環保署對水質的保護從過去的監測，需考慮提高維度思考，建立整體管理架構，並且針對環保署業管權責，初擬水質保護推動策略，並從中列出 3 項重點工作，包括地下水永續經營、保障地下水源安全及永續利用與有效運用地下水監測資源，並分別提出執行對策，其中永續經營方面，將提出跨單位研商合作與溝通平台、施政綱領與政策白皮書；保障地下水源安全及永續利用方面，列

出地下水補注源頭保護及確保地下水安全使用執行策略；有效運用地下水監測資源方面，以分類分群監測調整與聯合監測井網執行策略為主。未來將持續滾動式檢討，訂出各階段執行目標，定期檢視成效。

## 參考文獻

- 台灣自來水公司 (2021)，107 統計年報 <https://www.water.gov.tw/ch/AnnualReport?nodeId=4571>
- 行政院環境保護署 (2009)，高污染潛勢地下水質調查及監測井管理計畫期末報告。
- 行政院環境保護署 (2011)，地下水有害物質環境傳輸調查及管制標準檢討計畫 (第一期) 期末報告。
- 行政院環境保護署 (2013)，102 年全國地下水監測評析及管理規劃計畫期末報告。
- 行政院環境保護署 (2014)，103 年全國地下水監測評析及管理規劃計畫期末報告。
- 行政院環境保護署 (2018)，全國地下水水質巨量分析與管理推動計畫期末報告。
- 行政院環境保護署 (2020)，民國 109 年環境水質監測年報。
- 行政院環境保護署 (2021)，地下水砷濃度潛勢範圍查詢平台，<https://sgw.epa.gov.tw/AsQryMap/AsQueryMap.aspx>
- 陳文福、呂學諭、劉聰桂 (2010)，台灣地下水之氧化還原狀態與砷濃度，農業工程學報，第 56 卷，p57-70。
- 黃萬居 (2006)，土壤及地下水污染整治法制度變遷之探討，工安環保報導，第 32 期，[https://www.ftis.org.tw/cpe/download/she/Issue32/current32\\_02.htm](https://www.ftis.org.tw/cpe/download/she/Issue32/current32_02.htm)。
- 經濟部水利署 (2010)，脆弱度及風險地圖分析方法之研究。
- 臺灣省政府環保處 (1993)，臺灣省地下水水質監測站網整體規劃。
- Australian Government Initiative (2013), Guideline for groundwater quality protection in Australia.

- Belay, F. F. (2015) Groundwater quality, vulnerability and potential assessment in Kobo Valley development project, Ethiopia. 99.
- Chen, S.-K., Jang, C.-S., Peng, Y.-H. (2013) Developing a Probability-Based Model of Aquifer Vulnerability in an Agricultural Region. *Journal of Hydrology*, 486, 494-504.
- GARPHIC (2015), *Groundwater and Climate Change – Mitigating the Global Groundwater Crisis and Adapting to Climate Change*,  
<https://www.epa.gov/sourcewaterprotection/delineate-source-water-protection-area>
- IUCN (2016), *Managing groundwater sustainably*.
- North Kings Groundwater Sustainability Agency (2019), *Groundwater Sustainability Plan*.
- OECD (2015), *Policies to manage agricultural groundwater use – Australia*.
- OECD (2015), *Policies to manage agricultural groundwater use – Netherlands*.
- OECD (2015), *Policies to manage agricultural groundwater use – United States*.
- Shrestha, S., Kafle, R., Pandey, V. P. (2017) Evaluation of Index-Overlay Methods for Groundwater Vulnerability and Risk Assessment in Kathmandu Valley, Nepal. *Science of The Total Environment*, 575, 779-790.
- US EPA (2021a), *Assess, Plan, and Protect Source Water*, <https://www.epa.gov/sourcewaterprotection/assess-plan-and-protect-source-water>
- US EPA (2021b), *Delineate the Source Water Protection Area*, <https://www.epa.gov/sourcewaterprotection/delineate-source-water-protection-area>