



地下水 管理水位 之演進與運用

吳益裕／經濟部水利署水文技術組 組長

林啓峰／國立雲林科技大學水土資源及防災科技研究中心 副組長

劉瓊玲／國立雲林科技大學水土資源及防災科技研究中心 組長

溫志超／國立雲林科技大學環境與安全衛生工程系 特聘教授

林建利／國立雲林科技大學水土資源及防災科技研究中心 副組長

目前臺灣雖已透過水井處置與納管、監測、地下水保育及法規研修等策略落實地下水保育管理，然在地下水於整體水資源所扮演角色越趨重要而無法立即減抽之情況下，地下水水位觀測的加值運用或可作為掌握水情，以及作為決策依據或提出因應配套措施參考之用，故本文彙整美國賓州、德州及澳洲等國外利用地下水水位管理之案例，以及臺灣目前地下水觀測網絡建置的成果、發展地下水管理水位與運用之情形，期能協助讀者了解其管理方式及所可能面臨的挑戰。

前言

地下水資源、水質及水文地質相關領域對於人民生活與產業發展皆有十分密切的關聯，若供需失衡，將帶來生活上、工業與農業發展的限制，以及地層下陷、國土安全、洪災的威脅與損失^[1]；加上受到全球氣候變遷與極端氣候之影響，未來臺灣將面對複雜且異常的災害威脅，預期地下水資源所扮演的角色也更顯重要。而長期以來臺灣部分地區因產業發展、土地利用密集及區域水資源供需失衡等因素，衍生出水源匱乏、超抽地下水及國土流失等問題^[2]，更甚者於彰化、雲林、嘉義、台南及屏東等縣市已有部分列為地下水一級管制區，且伴隨著地層下陷以及豪大雨發生，上述地區亦時常傳出淹水災情，足見地下水超限利用所造成影響已非單純的國土流失問題，更可能威脅民眾之生命安全以及地區產業經濟之發展。

目前臺灣雖已透過水井處置與納管、監測、地下水保育及法規研修等策略落實地下水保育管理，然在地下水於整體水資源所扮演角色越趨重要而無法立即減抽之情況下，本文彙整國外利用地下水水位管理之案例，以及臺灣發展地下水管理水位與運用之情形，期能協助讀者了解其管理方式及所可能面臨的挑戰。

地下水管理之必要性

地下水為何如此重要，首先我們必須了解臺灣的地文、水文等環境特性，以及我們目前所面臨的重要課題，方能為此落下一正確的註解並據以解決問題。多數讀者或許不知道，依據民國 103 年國家發展委員會提出之研究報告^[3]，文中提及臺灣是世界排名第十八位的缺水國家，這或許與多數人的印象或認知有所不同，因為臺灣地區平均每年有二千五百公釐的降雨量，約是世界平均值的 2.5 ~ 2.6 倍，理應是屬於降雨量豐沛且水資源不虞匱乏的國家，但歸咎其原因卻是臺灣地區山坡陡峭、河川短促、再加上降雨有著顯著豐枯不均之情形，所以大部分的雨水在無法有效全數蓄存情況下即流入海洋，因此，臺灣地區每人每年平均可以分配到的水量，約只有全世界平均雨量的七分之一而已，換算成每人每年可用水量大約只有 1,000 立方公尺，若以目前聯合國對於世界可用水量的標準來說，臺灣地區是屬於偏低及缺水國家。

然而在地面水不足因應枯水期甚至是嚴重枯旱的情況下，我們究竟如何度過這每一次的困境呢？！依據水利署所公布的民國 99 年至 108 臺灣地區長期平均水資源整體運用資料而言（如圖 1）^[4]，明確顯示地下水

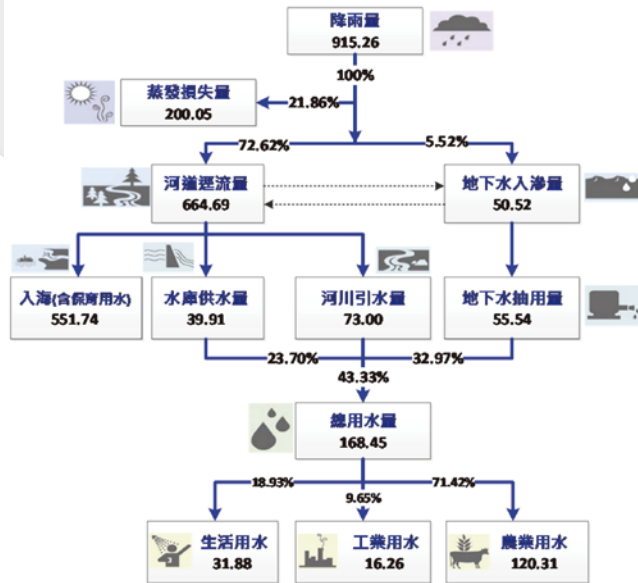


圖 1 民國 99~108 年水資源整體運用情形
(資料來源：經濟部水利署^[4])

的用量約佔了整體水資源供應量的 33%，這也突顯了地下水之於臺灣的重要性，若沒有了地下水或失衡之結果可真的會造成嚴重的影響。而過去一年以來，臺灣即遭逢嚴重的乾旱問題，年初當我們各水庫逐日探底的同時，危急時刻，地下水於抗早期間扮演著救火的重要角色，累計抗旱期間地下水支援水量達 6,340 萬噸，超過 1 座湖山水庫蓄水量，充分發揮地下水救命的功用，透過觀測井觀測也顯示抗旱後地下水位亦已回復常態水位，足可顯見地下水資源的支持性，所以，地下水不是不能用，而是要妥善管理與使用。

國外運用地下水位管理實例

地下水的管理於國際間已是甚為重要的課題，世界銀行－水資源合作計畫（World Bank－Water Partnership Program）有關地下水管理之研究與經驗中^[5]，即提出面對地下水開發或地下水污染壓力下管理、管制條款之行動計畫架構為藍圖，內容大致可分為三個層面，包含技術能力及知識基礎、制度法律與組織架構及制度能力與志願者行動等層面。除世界銀行所提出之架構外，國際間對於地下水管理之策略及案例也相當多，亦有不少是利用地下水水位進行相關管理作為，諸如：

美國賓州

美國地質調查所針對美國賓州地下水水位變動趨勢進行乾旱警戒地下水水位訂定^[6]，其中，觀測井有

兩種不同的分析方法，第一種方法應用於有超過 20 年地下水位觀測紀錄之觀測井，將各觀測井之所有月平均水位資料由高排至低，取 75% 超越機率值之水位做為乾旱警戒水位（drought-warning water level），另取 90% 超越機率值之水位做為乾旱緊急水位（drought-emergency water level）；第二種方法則針對水位觀測紀錄低於 20 年之觀測井，透過選取一具長期水位紀錄之指標井，其觀測期間需包括不同氣候條件（豐及枯水年），並計算歷年月平均水位之 75% 及 90% 超越機率水位值，再由計算各水位紀錄低於 20 年之觀測井與指標井之相關性及相關式（如圖 2），將指標井已知之 75% 及 90% 水位超越機率值（ $X_{指}$ ）代入相關式即可得各觀測井之水位超越機率值（ $Y_{觀}$ ）。

若連續兩個月的水位都低於 75% 水位超越機率值，發佈乾旱警戒（drought-warning）消息，若大部分觀測井都低於 90% 水位超越機率值，則發布乾旱緊急（drought-emergency）消息；並將此資訊提供做為採取地下水資源管理或保育措施之參考，例如達到乾旱警戒水位時採取限水措施（如洗車）以提供其他基本用水之需求。

美國德州

美國德州 Barton 溫泉及 Edwards 含水層保護區最初於 2006 年時即利用溫泉產量及地下水觀測井水位變化判斷乾旱程度^[7]，當境內之溫泉產量高於 38cfs 或地下水位深度（地表至地下水位之距離）小於 181 呎時，視為無乾旱；當溫泉產量介於 20～38cfs 或地下水位深度介於 181～192.1 呎時，乾旱程度為警示階段（alarm stage）；當溫泉產量低於 20cfs 或地下水位深度大於 192.1 呎時，乾旱程度為危急階段（critical stage），如圖 3 所示。

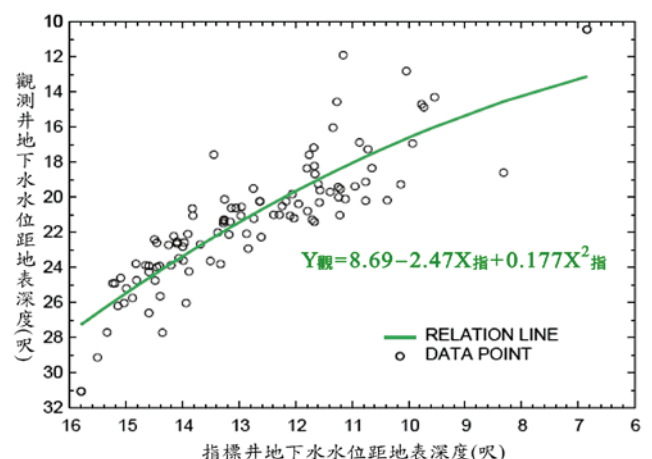


圖 2 指標井與觀測井之水位關係圖（美國賓州 Chester County）
(資料來源：Schreffler^[6])



圖 3 溫泉產量及不同地下水水位深度對應之乾旱狀態
(資料來源：本文自行整理)

其中，亦根據不同乾旱程度採取不同抽水限制的措施，如當乾旱程度達到警示階段 (alarm stage) 時，申請使用地下水者必須減抽 20% 之水量，且需每週兩次回報乾旱狀況；而當乾旱程度達危急階段 (critical stage) 時，必須減抽 30% 的水量，且應持續至少每週兩次監測溫泉水量及地下水位。因此，管理方式主要為訂定不同程度限抽水量；而此操作方式也在經歷 2009 年與 2011 年的兩次重大乾旱事件後，於 2013 年才進行些微幅的調整。

澳洲 Katunga 水源保護區

當地農田水務局針對 Katunga 水源保護區 (Katunga Water Supply Protection Area) 分析了地下水位與抽水量之關係^[8]，發現當抽水量小於 $10,000 \times 10^6$ 公升 / 年，水位僅受季節波動而有小幅跳動；當抽水量約 $25,000 \times 10^6$ ~ $30,000 \times 10^6$ 公升 / 年時，水位跳動幅度增加且年平均水位降至地面下 20 公尺；而當抽水量超過 $30,000 \times 10^6$ 公升 / 年時，年平均水位降至地面下 20 公尺以下，甚至

當年抽水量達 $38,000 \times 10^6$ 公升 / 年時，年平均水位會降至地面下 23 公尺，分析結果如圖 4 所示。

為管理地下水資源，政府設定了「回復水位」 (recovery level)，定義為停止抽水後的水位，此回復水位為地面下 20 公尺，但允許 2 公尺的變動，另每年會先宣布可發放的水權量，避免抽太多水使水位降低至不可回復。水務局計算每年最多可發放的水權為 $59,780 \times 10^6$ 公升 / 年，但實際發放水權量將依據前五年之年平均用水量而定。一般而言，每年發放水權量約 $42,000 \times 10^6$ 公升 / 年，相當約可發放總量之 70%；但若前五年之平均抽水量超過 $30,000 \times 10^6$ 公升 / 年，則可能使回復水位低於地面下 20 公尺，此時隔年之水權量僅能發放 $30,000 \times 10^6$ 公升 / 年，相當約可發放總量之 50%。而個人水權量亦隨著宣告的可發放量調整，若宣告僅能抽用 70%，則個人當年度可抽用量亦僅為最初所得水權之 70%。

臺灣的優勢 — 地下水觀測網

從前述國外的案例中，我們可發現地下水位是反應區域抽用、補注等行為後之實際表徵現象，因此，利用監測數值的確是可以作為評析地下水並進行管理或推動相關工作的重要參考項目之一。而臺灣自民國 81 年起即由經濟部水利署與中央地質調查所共同推動「臺灣地區地下水觀測網整體計畫」，分 3 期 17 年 (民國 81 ~ 97 年) 之期程，辦理全臺主要地下水區之地下水觀測

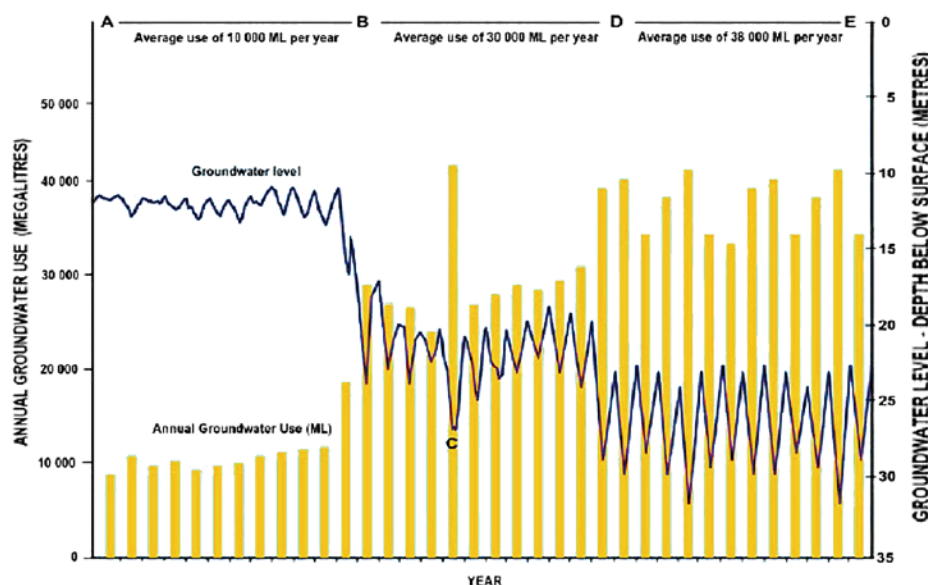


圖 4 澳洲 Katunga 水源保護區地下水使用量與水位之關係

(資料來源：Goulburn-Murray Water^[8])

網建置與維護、水文地質調查、地下水水位觀測、地下水質監測及相關研究等工作，截至目前為止，配合各相關計畫與維護更新工作之推動，已於全臺建置 825 口觀測井，構建完整的地下水觀測系統與並進行長期觀測，其建置成果及分布情形，如圖 5 所示；而長達 20 年以上的資料，已可用以掌握並評析全臺主要地下水區的水文變化，作為訂定地下水資源管理的依據。

另自 107 年起即辦理全臺及離島地下水觀測井無線傳輸設備規劃設計建置工作，而截至目前為止總計已完成 770 餘口，除已大幅降低投入資料收錄的人力與時間外，更可提供每 10 鐘 1 筆水位、電導度、pH 等即時資料，提高地下水狀態之掌握，並藉以提升相關地下水相關管理工作推動的時效性。

臺灣地下水管理水位之演進與運用

臺灣於地下水管理水位的訂定上，最早始於民國 93 年^[9]，當時單井警示指標訂定之原則乃以地下水觀測站網之各觀測井為基準，根據地下水水位變動趨勢將各地下水區分為水位呈現下降趨勢、持平趨勢（些

微上升、些微下降、持平）、上升趨勢等，再配合地層下陷情勢與海水入侵潛勢整體條件（如表 1），設定水位嚴格程度與計算基準（如表 2）。

表 1 各地下水區地下水位、地層下陷與海水入侵潛勢整體條件評估表

地下水區	地下水位變動情勢	地層下陷潛勢	海水入侵潛勢
臺北盆地	持續上升	高	高
桃園中壢臺地	持平	低	高
新苗地區	持平（些微下降）	低	低
臺中地區	持平（些微下降）	低	低
濁水溪沖積扇	持續下降	高	高
嘉南平原	持續下降	高	高
屏東平原	持平（些微下降）	高	高
蘭陽平原	持平	高	高
花東縱谷	持平	低	低

（資料來源：中興工程顧問公司^[9]）

表 2 地下水警戒水位嚴格程度與計算基準表

地下水分區	安全水位	下限水位	嚴重下限水位
臺北盆地	Mean	Mean-2 · Std	Mean-4 · Std
桃園中壢臺地	Mean	Mean-2 · Std	Mean-4 · Std
新苗地區	Mean	Mean-2 · Std	Mean-4 · Std
臺中地區	Mean	Mean-2 · Std	Mean-4 · Std
濁水溪沖積扇	無	Mean-Std	Mean-2 · Std
嘉南平原	無	Mean-Std	Mean-2 · Std
屏東平原	Mean+Std	Mean-Std	Mean-2 · Std
蘭陽平原	Mean	Mean-Std	Mean-2 · Std
花東縱谷	Mean	Mean-2 · Std	Mean-4 · Std
備註	Mean：平均水位 Std：水位標準偏差		

（資料來源：中興工程顧問公司^[9]）

依據前述基準，再以歷年之中每年最豐及最枯的水位資料進行月平均值與標準偏差計算，以下限水位作為警戒水位，並將豐水期計算結果視為高水位月份（訂於每年之 9/30）警戒水位，另將枯水期計算結果視為低水位月份（訂於每年之 4/30）警戒水位，另以直線連接高、低水位月份警戒值，作為其間各月份之警戒水位；其計算與訂定流程，如圖 6 所示。

民國 100 年警戒水位經再次檢討^[10]，為凸顯為管理所用，除將原本「警戒水位」一詞調整為「管理水位」以外，為求管理水位能適用於不同水位變化特性之地區，於管理水位的計算與訂定上參考前述美國賓州對緊急乾旱水位之定義與作法，利用水文頻率分析方式並配合水位變化趨勢重新擬定觀測井之管理水位訂定原則。其中，考量各月份地下水水位變化特性的不同，將各觀測井歷年水位資料整理為各月份水位紀錄，再以各月份歷史日水位資料進行頻率分析（由小至大排列），藉以計算各月份之水位限值；而各觀測井

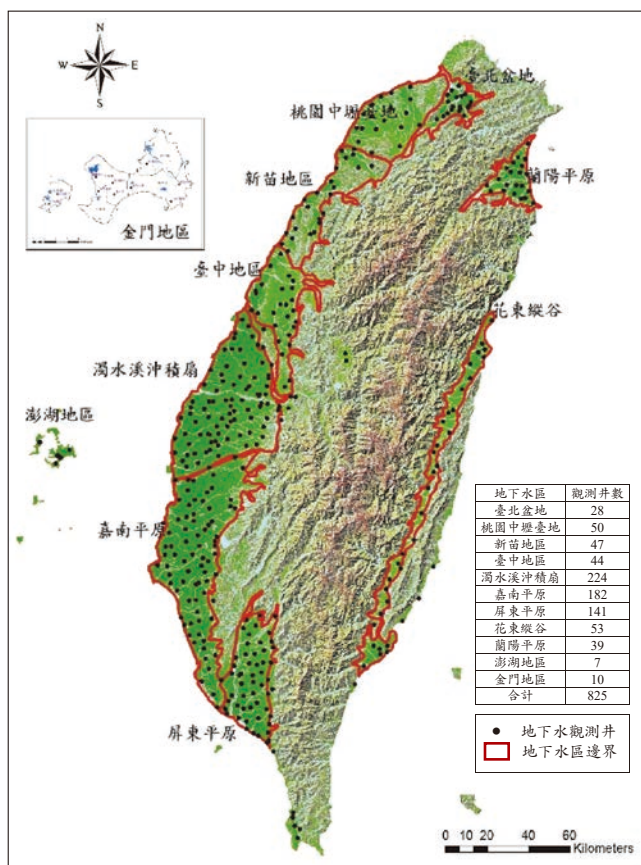


圖 5 各地下水區觀測井建置成果及分布圖

（資料來源：本文自行繪製）

依照長期水位變化趨勢設有不同的計算原則，其中水位變動趨勢上升者採用 H_{25} 、水位變動趨勢下降者採用 H_{35} 作為管理的限值，其詳細設定原則如下所列，分析流程則如圖 7 所示：

1. 當水位變化趨勢為上升者：

- (1) 安全水位：以地下水位超越機率 75% 計算，以 H_{75} 代表。
- (2) 下限水位：以地下水位超越機率 25% 計算，以 H_{25} 代表。
- (3) 嚴重下限水位：以地下水位超越機率 10% 計算，以 H_{10} 代表。

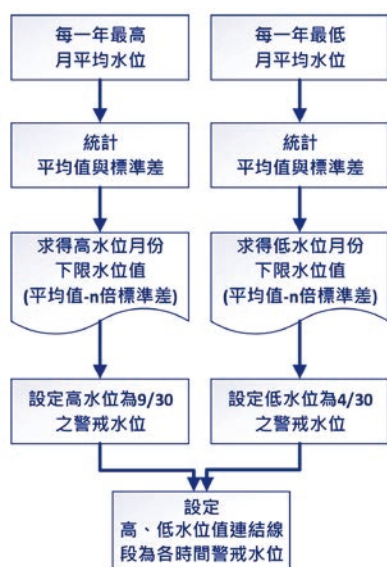


圖 6 民國 93 年警戒水位計算與訂定流程
(資料來源：本文自行整理)

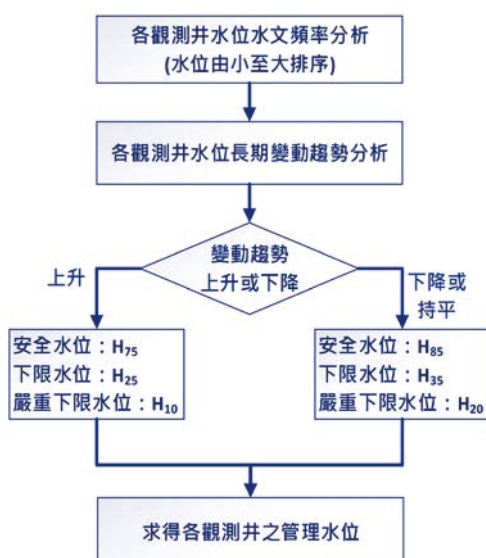


圖 7 民國 100 年管理水位計算與訂定流程
(資料來源：國立雲林科技大學 [10])

2. 當水位變化趨勢為下降或持平者：

- (1) 安全水位：以地下水位超越機率 85% 計算，以 H_{85} 代表。
- (2) 下限水位：以地下水位超越機率 35% 計算，以 H_{35} 代表。
- (3) 嚴重下限水位：以地下水位超越機率 20% 計算，以 H_{20} 代表。

民國 106 年 [11]，因應地下水管制區劃定作業相關工作，過程將地下水水情納入作為管制區網格評分之依據，因此，決議統一採用水位變化趨勢為上升者之管理水位作為評估整體水情之依據，目前管理水位之計算與更新亦皆沿用此一決議辦理 [12-14]。其近 10 年演進歷程如圖 8 所示。

而運用上，管理水位主要是作為地下水水文情勢分析使用，期能提供全臺各地區地下水水位狀況，作為提出因應管理作為的重要資訊。分析方式是由各月份之各層觀測井水位與管理水位進行比較，並以觀測井水位低於管理水位者，視為低水位，詳細流程如圖 9 所示；另參考國外經驗訂定水位情勢與乾旱嚴重程度之方式，配合燈號顯示以呈現水情狀態，其中，目前燈號顯示上，藍燈表示近期水位已至少連續 1 個月高於管理水位、綠燈表示水位值連續低於管理水位 1~3 個月、黃燈表示水位值連續低於管理水位 4~6 個月、橙燈表示水位值連續低於管理水位 7~9 個月，而紅燈表示水位值連續低於管理水位超過 10 個月，而燈號與管理水位對照示意如圖 10 所示。

未來展望

由於地下水保育意識逐漸成熟，有關地下水水文情勢預期將成為例行性對外公開的重要資訊之一，而



圖 8 近 10 年臺灣地下水管理水位之演進歷程
(資料來源：本文自行整理)

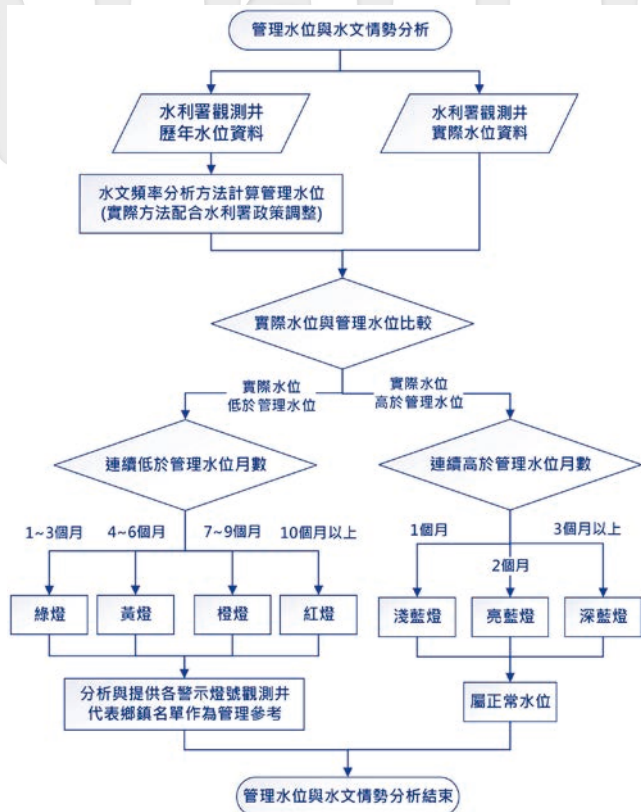


圖 9 管理水位與水文情勢分析流程
(資料來源：國立雲林科技大學^[14])

未來包含各地水井管理及地下水水權核發亦可能均將依賴地下水觀測網或地下水文情勢分析所提供之資訊作為決策依據；是以，地下水觀測已是我國於水資源管理工作中不可或缺之一環。

由本文所提相關內容可知諸多先進國家多已採用設定地下水水位門檻值並採取不同地下水管理策略之作法，此點與臺灣目前規劃之方向雷同。整體而言，臺灣於地下水管理相關法規與其他國家相較應屬完備，只需予以落實應可滿足地下水管理之目的，但於管理技術層面相關方法則較顯不足，目前雖依據地下水觀測網所獲地下水水位建立管理水位及水文情勢判別之機制，但對於如何應用水文觀測成果於實務管理部分，尚未訂定明確且可行之方法，瓶頸在於臺灣對於違法水井的數量及抽水量的掌握仍屬不足，加上各縣市政府面對民眾所賴以維生的問題多有所顧忌，以致無法針對特定區域及特定水井實施嚴格管制。因此，唯有加強公私部門協力、跨領域合作，創造理性對話平台並提升公民參與討論，才有可能突破瓶頸，以企求未來臺灣地下水環境真正落實管理與永續發展的新境界。

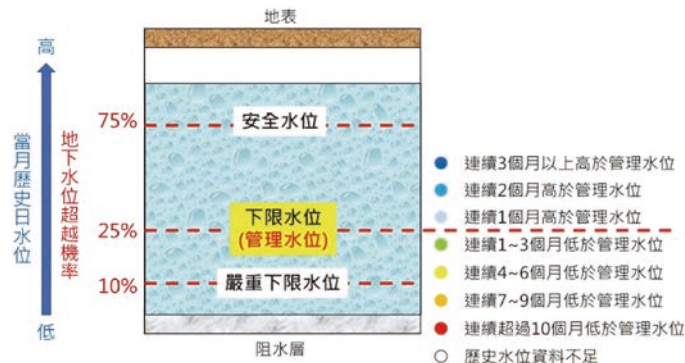


圖 10 管理水位與情勢燈號對照示意圖
(資料來源：本文自行整理)

參考文獻

- 國立雲林科技大學 (2017)，台灣地區地下水觀測網整體計畫成果彙編 (81 ~ 105 年) (編號：1010602578)，臺北市：經濟部水利署。
- 經濟部水利署 (2012)，地下水保育管理暨地層下陷防治計畫 (第一次修正) (98 ~ 103 年)。
- 中華經濟研究院 (2014)，我國地下水資源政策之研究，國家發展委員會專題研究成果報告 (編號：NDC-DSD-102-007)，臺北市：國家發展委員會。
- 經濟部水利署 (2020)，108 水利年報，臺北市：經濟部水利署。
- Stephen Foster, Héctor Garduño, Albert Tuinhof, and Catherine Tovey., (2010), Groundwater governance: conceptual framework for assessment of provisions and needs, Washington D.C.: World Bank.
- Schreffler, C.L. (1997), Drought-trigger ground-water levels and analysis of historical water-level trends in Chester County, Pennsylvania: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 97-4113, 6 p.
- Smith, Brian A., Hunt, Brian B., and Holland, W.F. (2013), Drought Trigger Methodology for the Barton Springs Aquifer, Travis and Hays Counties, Texas: Report of Investigations 2013-1201, published by the BSEACD, December 2013.
- Goulburn-Murray Water (2006). Groundwater Management Plan for the Katunga Water Supply Protection Area 2006. Department of Environment, Land, Water and Planning.
- 中興工程顧問公司 (2004)，台灣地區地下水資源管理決策支援系統建置 (4/4) (編號：MOEAWRA0930017)，臺北市：經濟部水利署。
- 國立雲林科技大學 (2011)，國立雲林科技大學水土資源及防災科技研究中心 100 年度工作推動計畫補助計畫，臺中市：經濟部水利署。
- 國立雲林科技大學 (2017)，雲彰地區水利工程之地下水補注功能調查及研析 (編號：MOEAWRA1060170)，臺北市：經濟部水利署。
- 國立雲林科技大學 (2018)，107 年度地下水觀測網及地下水保育專案服務計畫 (編號：MOEAWRA1070288)，臺北市：經濟部水利署。
- 國立雲林科技大學 (2019)，108 年度地下水觀測網營運及保育專案服務計畫 (編號：MOEAWRA1080339)，臺北市：經濟部水利署。
- 國立雲林科技大學 (2020)，109 年度地下水觀測網營運及保育專案服務計畫 (編號：MOEAWRA1090337)，臺北市：經濟部水利署。