

地下水管理水位之演進與抗旱實務運用

林啓峰⁽¹⁾ 洪啟耀⁽²⁾

摘 要

臺灣每年使用的水量約有四分之一由水庫供應，另約有三分之一是取自於地下水，顯見地下水對於我國有著極高的重要性，加上近年全球氣候變遷與極端氣候的影響，皆凸顯與可預期未來我們對於地下水的需求也將大幅的提升。再者，地下水是地球上重要淡水資源之一，具有水量穩定及水質良好的特性，因此，美國、英國與澳洲等先進國家亦皆以地下水為因應相關災害與應變之重要水源。然而地下水並非取之不盡，尤其是有超量抽取使用地區，更是有管理之必要，以確保地下水資源可持續的被利用。

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抗旱實務運用之情形，期能協助多數讀者了解其管理方式及所可能面臨的挑戰。

(關鍵字：地下水、管理水位、抗旱)

The Evolution of Groundwater Management Water Levels and Practical Applications in Drought Resistance

Chi-Feng Lin⁽¹⁾ Chi-Yao Hung⁽²⁾

PhD student⁽¹⁾, Associate Professor⁽²⁾, Department. of Soil and Water Conservation,
National Chung Hsing University, Taiwan

ABSTRACT

Taiwan uses approximately one-quarter of its water supply from reservoirs each year, with about one-third sourced from groundwater. This highlights the critical importance of groundwater for our country. Additionally, the impact of global climate change and extreme weather in recent years underscores the anticipated increase in our future demand for groundwater. In addition,

⁽¹⁾國立中興大學水土保持學系博士生

⁽²⁾國立中興大學水土保持學系 副教授(通訊作者 e-mail : cyhung@nchu.edu.tw)

groundwater is one of the world's important freshwater resources, characterized by stable quantities and good water quality. Therefore, advanced countries like the United States, the United Kingdom, and Australia rely on groundwater as a crucial source for addressing related disasters and emergencies. However, groundwater is not an unlimited resource, and in regions where it is over-extracted, management is essential to ensure the sustainable use of groundwater resources.

Currently, Taiwan has implemented strategies for groundwater conservation management through well management, monitoring, conservation efforts, and regulatory training. However, as groundwater plays an increasingly crucial role in overall water resources and cannot be immediately reduced in extraction, the enhanced application of groundwater level monitoring could help in understanding water conditions. This information can serve as a basis for decision-making and provide references for proposing supportive measures. The article consolidates case studies on groundwater level management from countries such as Pennsylvania and Texas in the United States, as well as Australia. It also discusses the current achievements of Taiwan's groundwater observation network and the development of groundwater management levels and practical applications for drought resistance. The goal is to help readers understand the management methods and the potential challenges they may face.

(Keywords: Groundwater, Management water, Drought resistance)

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(國立雲林科技大學，2017)；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(經濟部水利署，2012)，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

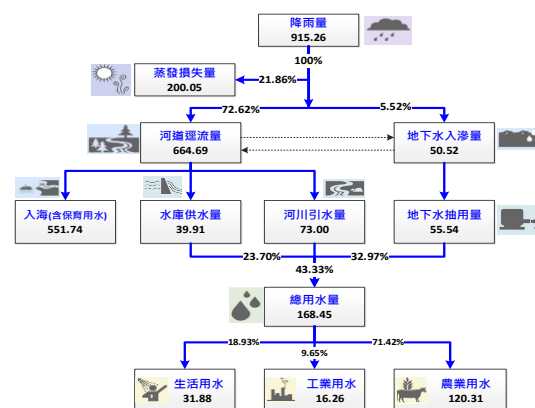
管、監測、地下水保育及法規研修等策略落實地下水保育管理，然在地下水於整體水資源所扮演角色越趨重要而無法立即減抽之情況下，本文彙整國外利用地下水水位管理之案例，以及臺灣發展地下水管理水位與運用之情形，期能協助多數讀者了解其管理方式及所可能面臨的挑戰。

地下水管理之必要性

依據 103 年國家發展委員會提出之研究報告(國立雲林科技大學，2017)，文中提及臺灣是世界排名第十八位的缺水國家，雖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，但因臺灣地區山坡陡峭、河川短促、以及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，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而言，

是屬偏低及缺水國家。

然而在地面水不足因應枯水期甚至是嚴重枯旱的情況下，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(經濟部水利署，2020)，明確顯示地下水的用量約佔整體水資源供應量的 33%，突顯地下水之於臺灣的重要性，以 100 年大旱為例，地下水於抗旱期間累計支援水量約達 6,340 萬噸，超過 1 座中部地區湖山水庫蓄水量，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，地下水並非不能用，而是要妥善管理與使用。



(資料來源：經濟部水利署，2020)

圖 1 民國 99-108 年水資源整體運用情形

Figure 1 Overall Water Resource
Utilization from 2010 to 2019

國外運用地下水位管理實例

地下水的管理於國際間已是重要課題，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(Foster et al., 2010)，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，其中，有不少是利用地下水水位進行相關管理作為，包含：

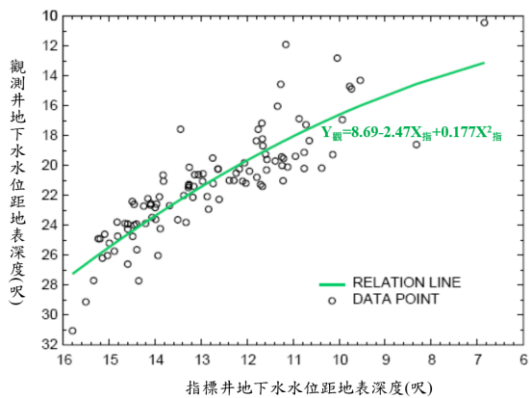
1.美國賓州

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(Schreffler, 1997)，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(如圖 2)，將指標井已知之 75%及 90%水位超越機率值($X^{\text{指}}$)代入相關式即可得各觀測井之水位超越機率值($Y^{\text{觀}}$)。

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)訊息，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)訊息；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。



(資料來源：Schreffler, 1997)
圖 2 指標井與觀測井之水位關係圖
(美國賓州 Chester County)

Figure 2. Relationship Between Water Levels of Index Wells and Observation Wells (Chester County, Pennsylvania, USA)

2.美國德州

美國德州 Barton 溫泉及 Edwards 含水層保護區於 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(Smith et al., 2013)，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)，如下圖 3 所示。

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；此操作方式也在 2009 年與 2011 年的兩次重大乾旱事件後，於 2013 年進行微幅的調整。

溫泉產量 (ft ³ /s)		乾旱狀態	觀測井水深(地表至 地下水位面距離)(ft)	
38cfs 20cfs		無乾旱(No drought)	181.0 ft	
		警示階段(Alarm stage)		
		危急階段 (Critical stage)	192.1 ft	

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

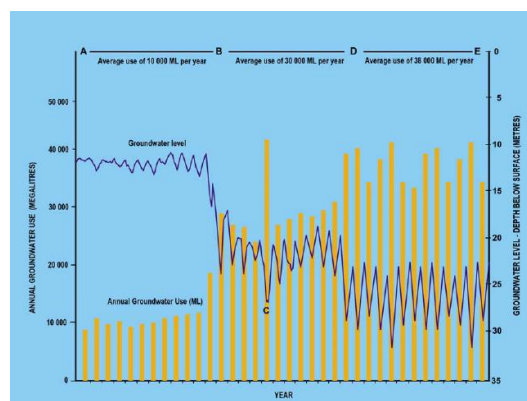
Figure 3 Hot Spring Yield and Drought Conditions Corresponding to Different Groundwater Level Depths

3. 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 (Goulburn-Murray Water, 2006)，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 $25,000 \times 10^6 \sim 30,000 \times 10^6$ 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「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%。



(資料來源：Goulburn-Murray Water, 2006)

圖 4 澳洲 Katunga 水源保護區地下水使用量與水位之關係

Figure 4 Relationship Between Groundwater Usage and Water Levels in the Katunga Water Supply Protection Area, Australia

臺灣地下水管理水位之訂定

臺灣於地下水管理水位的訂定上，最早始於民國 93 年(中興工程顧問公司，2004)，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
Table 1. Comprehensive Assessment of Groundwater Levels, Land Subsidence, and Seawater Intrusion Potential in Various Groundwater Regions

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
桃園中壢台地	持平	低	高
新苗地區	持平(微降)	低	低
臺中地區	持平(微降)	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	持平	高	高

平原	(微降)		
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，2004)

表 2 地下水警戒水位嚴格程度與計算基準表

Table 2 Stringency Levels of Groundwater Warning Water Levels and Calculation Criteria

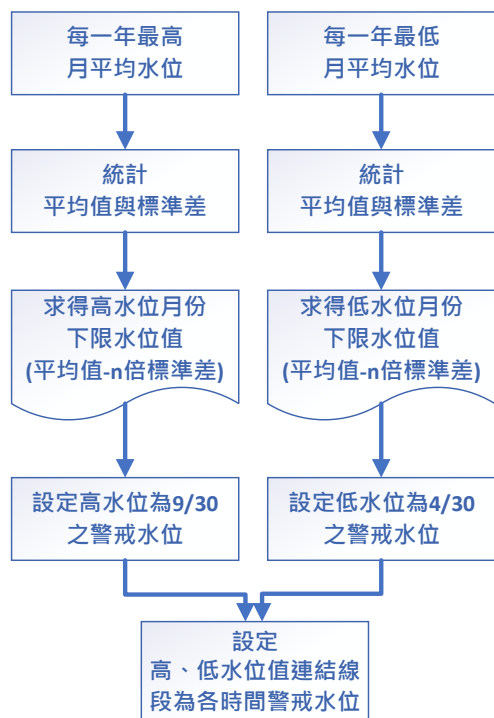
地下水區	安全水位	下限水位	嚴重下限水位
臺北盆地	Mean	Mean-2·Std	Mean-4·Std
桃園中壢台地	Mean	Mean-2·Std	Mean-4·Std
新苗地區	Mean	Mean-2·Std	Mean-4·Std
臺中地區	Mean	Mean-2·Std	Mean-4·Std
濁水溪沖積扇	無	Mean-Std	Mean-2·Std
嘉南平原	無	Mean-Std	Mean-2·Std
屏東平原	Mean+Std	Mean-Std	Mean-2·Std
蘭陽平原	Mean	Mean-Std	Mean-2·Std
花東縱谷	Mean	Mean-2·Std	Mean-4·Std

備註：「Mean」為平均水位，「Std」為水位標準偏差；「Mean - n·Std」係指平均值減 n 倍標準偏差。

(資料來源：中興工程顧問公司，2004)

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。



(資料來源：本文自行整理)

圖 6 民國 93 年警戒水位計算與訂定流程

Figure 6. Calculation and Establishment Process of Warning Water Levels in 2004

為凸顯為管理所用，警戒水位於 100 年再次檢討，期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美國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；其中，水文學頻率分析方法乃討論在某一地區大於或等於某一特定大小之水文事件，依統計觀點計算其在一定期間內會發生的機率，一般可應用於洪水及河川流量頻率、降雨量頻率、乾旱或低流量頻率、水質研究及水波研究等。因此水文資料頻率分析之主要目的為決定具有某事件大小 x 之水文事件之重現期距(Recurrence interval)，所謂重現期距為大於或等於某一水文事件 x 之平均時間間距，亦稱為迴歸週期(Return period)，以 T 表示之，通常 T 以年計。一年內該大小水文事件發生之機率，有時亦稱為頻率(Frequency)。

等於或大於 x 之水文事件平均 T 年發生一次，其在一年內發生之機率為：

$$P(X \geq x) = \frac{1}{T}$$

或重現期距：

$$T = \frac{1}{P(X \geq x)} = \frac{1}{1 - P(X \leq x)}$$

針對各觀測井歷年各月之日水位紀錄值進行頻率分析，遇有資料缺測或中斷時，未進行補遺，水文頻率分析步驟如下：

1. 將所欲分析之水文資料依大小排列並定其名次 m ，最大水文事件之 m 為 1，依此類推。紀錄總數為 N 。
2. 利用數種水文頻率分析常用之方法分析各觀測井各月份水位數據，包括常態分佈法、對數常態分佈法、皮爾遜第三類分佈法、對數皮爾遜第三類分佈法、極端值第一類分佈法，各組數據分佈之特性將決定某種水文量重現期距或發生機率之大小，另以卡方檢定與 K-S 檢定確認機率分佈之適用性。
3. 利用威伯法 (Weibull) 定點求得迴歸週期，其公式為：週期 $(T) = \frac{N+1}{m}$
4. 於機率紙上定出觀測水文資料點，繪製水文頻率圖，如圖 7 所示。

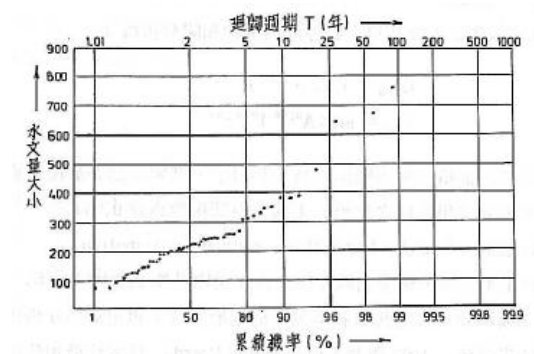


圖 7 水文頻率圖

Figure 7 Hydrological Frequency Chart

而各觀測井依照長期水位變化趨勢設有不同計算原則，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 8 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。

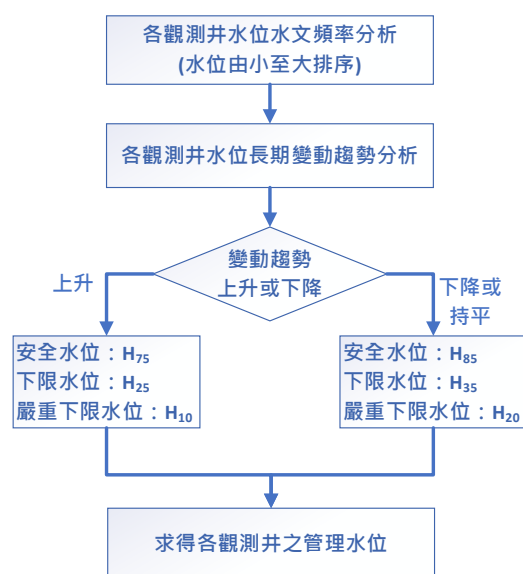
2. 當水位變化趨勢為下降或持平者：

- (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。



(資料來源：國立雲林科技大學，2011)

圖 8 民國 100 年管理水位計算與訂定流程

Figure 8 Calculation and Establishment Process of Management Water Levels in 2011

而為評估較合適之地下水管理水位更新頻率，另計算不同時間之管理水位數值，以 107 年資料計算所得之管理水位值為基準，分析統計其於不同時間間隔內管理水位之變動率，作

為管理水位更新頻率之設定參考。由不同時間之各觀測井月管理水位估算與 107 年管理水位基準值比對結果(如表 3，顯示僅 112 年之最大變動率有超過 10% 之情況，且相較於各年估算結果有較大幅之變化。

由初步統計分析結果，若配合「地下水管制區劃定作業規範」，在不影響規範條文變更之情況下，每 5 年更新管理水位之原則應屬合理，故建議以每 5 年更新 1 次之頻率進行管理水位更新工作，避免更新頻率過高造成管理基準常有變更之情形。

110 及 112 年抗旱實務運用

一、110 年百年大旱

100 年大旱期間主要受到旱象影響的臺中地區為盡速獲得適當設置抗旱井位置，藉由長期地下水水位紀錄資料，配合現況水位情勢，在考量水情已達嚴峻之條件下，選擇最低歷史水位以上仍有地下水儲蓄量之地點為建議打設抽水井區位，其中，為爭取供水時效，同時納入淨水場位置進行

綜合的評估，流程如圖 9 所示。

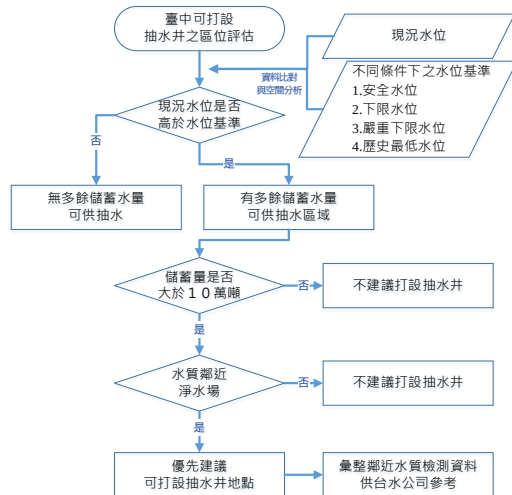


圖 9 臺中地區打設抽水井整體評估流程圖

Figure 9 Overall Evaluation Process for Drilling and Installing Pumping Wells in the Taichung Area

有關地下水儲蓄水量概估部分，概估原則如下：

1. 臺中地下水區地表下 200 公尺範圍內皆為含水層可蓄水範圍。
2. 保守設定地表下 100 公尺深度範圍以上之水量為可供抽水井抽取之地下水儲蓄量。
3. 儲蓄量為單位面積範圍內地下水水位差與比出水量(S_y)的乘積，以推估含水層中地層材料孔隙內之

實際水量。(如圖 10 之示意圖)

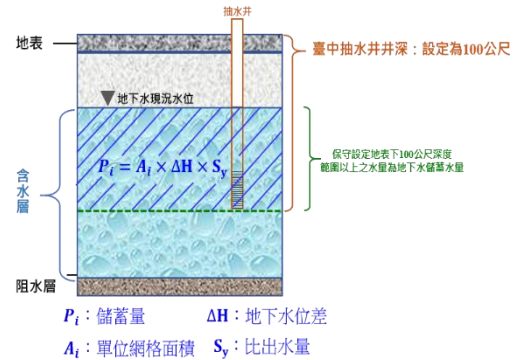


圖 10 地下水儲蓄量推估示意圖

Figure 10 Schematic Diagram of Groundwater Storage Estimation

推估結果顯示臺中多數地區每 25 公頃範圍，地表下 100 公尺深度內皆至少有 300 萬噸地下水儲蓄水量，其中，以西側區儲蓄水量較為豐沛，每 25 公頃範圍，地表下 100 公尺深度內皆至少有 450 萬噸地下水儲蓄水量(如圖 11)；最終水利署 110 年於臺中地區共設置 82 口抗旱水井，出水能力可達每日至少 10 萬噸，有效因應旱象衝擊。

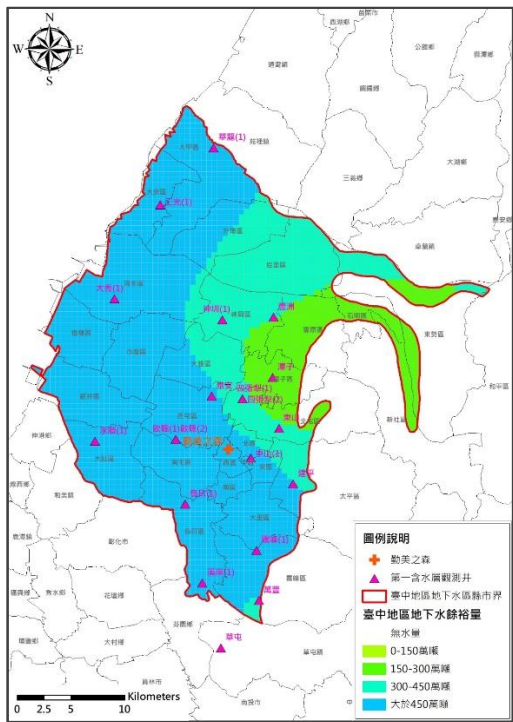


圖 11 臺中地區地下水儲蓄量推估結果與分布情形示意圖

Figure 11 Schematic Diagram of Groundwater Storage Estimation Results and Distribution in the Taichung Area

二、112 年南部乾旱事件

相較 110 年百年大旱以評估、找尋緊急可用地下水源為目的，加上旱災過後已建構更為完善之抗旱水井供水機制，故 112 年南部乾旱事件中則更聚焦於抽水管理，確保抽水不至造成周邊環境負面影響。其中，因考慮觀測井水位變化與抗旱井距離及地質

條件等不一致，故抗旱井周邊觀測井並非全部採統一固定水位數值做為抽水控管依據，主要係以現況水位變化趨勢及線性回歸方式，預估地下水觀測站於未來半年，至 112 年 8 月「持續不降雨情境下，地下水位下降幅度」，再依整體抽水能量，保守乘上 2.32 倍，視為在天然乾旱情勢及緊急抽水效應加成之嚴峻情境下，最大且合理之水位整體下降幅度，而抽水管理所依循之警戒水位即設定為當時現況地下水位值再減去上述下降水位幅度值。以高雄大樹觀測站為例，其 112 年時地下水位歷線及水位線性回歸趨勢線如圖 12 所示，該觀測井管理警戒水位如表 3 所示。

表 3 高雄抗旱井周邊代表觀測井管理警戒水位推估表-以大樹站為例

Table 3 Estimated Management and Warning Water Levels for Observation Wells Example of Dashu Station

(A) 現況 水位 (m)	依現況水位趨勢線性回歸 推算水位持續下降幅度	
	(B) 預估至 112/8/31 之水位 (m)	(C)=(A)-(B) 水位下降 幅度 (m)
7.93	3.07	4.86
預估嚴峻情境下 水位整體下降幅度 (m) (C)*2.32		管理警戒水位 (m) (A)-(C)*2.32
11.28		-3.35

備註：此水位係絕對水位

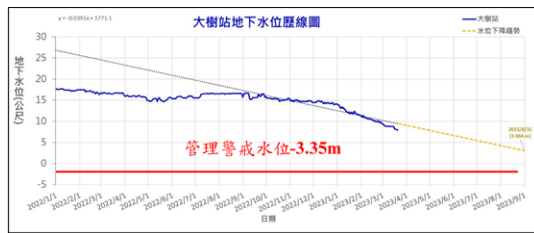


圖 12 大樹站地下水位歷線與管理警戒水位關係圖

Figure 12 Relationship Between Groundwater Level Hydrograph and Management Warning Water Levels at Dashu Station

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，再者，依

110 年與 112 年抗旱實務運用，顯示已能透過管理水位資訊評估旱象期間仍具備地下水供水潛能且適合設置抗旱水井進行緊急抽水之地區，以及設定一水位基準做為短期緊急抽水管控依據，因此，只需予以落實應可滿足地下水抽水管理之目的，但於管理技術層面相關方法則較顯不足，目前雖可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。

參考文獻

1. Foster S., Garduno H., Tuinhof A.

- and Tovey C., (2010) Groundwater governance: conceptual framework for assessment of provisions and needs (Washington, DC: The World Bank)
2. Goulburn-Murray Water. (2006). Groundwater Management Plan for the Katunga Water Supply Protection Area 2006. Department of Environment, Land, Water and Planning.
 3. 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.
 4. Smith, Brian A., Hunt, Brian B., 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.
 5. 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。
 6. 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。
 7. 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。
 9. 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。
 10. 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。
 11. 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。
 12. 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。
 13. 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。

14. 國立雲林科技大學(2023)。112 年度地下水觀測網營運暨地下水保育計畫(編號：MOEAWRA1120256)。臺北市：經濟部水利署。
15. 國立中興大學(2024)。113 年抗旱水井管理暨系統建置計畫(編號：MOEAWRA1130134)。臺北市：經濟部水利署。
16. 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)。
17. 經濟部水利署 (2020)。108 水利年報。臺北市：經濟部水利署。

113 年 11 月 5 日收稿

114 年 2 月 24 修改

114 年 2 月 27 接受