

# 用水管理監測地下水源系統建置探討

黃國永

第十二區管理處技術士

## 摘要

近年來，許多已開發國家對於地下水源的取用，採取使用者付費方式，並制定標準的計量規範以管制地下水源（Groundwater）的取用。台灣地下水源的取用佔總用水量的三成，而過度抽取的問題目前無法可管，導致地下水源無限制的取用，以致地層下陷的問題日益嚴重。因此，如何有效管制地下水源的取用，改善台灣嚴重地層下陷的問題，已成為水資源管理者與研究員最重視的議題。台灣地層下陷嚴重的區域涵蓋雲林縣、屏東縣、彰化縣等區域。因此，這些地區若能建置具數位通訊的即時（Real Time）監測系統，讓管理者能夠掌握地層下陷嚴重區域的下陷程度，並依據地層下陷的比率、地下水源抽取的量作相對的管制，藉此改善地層下陷程度惡化。本研究將依據分區計量（DMA）的管理概念，分析與探究現行台灣自來水公司建置的水源監測管理系統，與已建置的地下水源監測管理系統，以期有效管理地下水源的取用，改善地層下陷日漸惡化的現象。

**關鍵詞：**即時監測（Real Time）、分區計量（DMA）、地下水（Groundwater）

## Abstract

Many developed countries have conducted user-payment principle for the groundwater usage and formulated the metering regulations standard to control the consumption of groundwater recently. The consumption of groundwater contains 30% of total water consumption in Taiwan. However, there is no law to manage the excessive consumption of groundwater which leads to the serious problems of land subsidence. As a result, the issue of how to effectively control the groundwater consumption to improve the serious land subsidence phenomenon in Taiwan has become the most critical concerns for the water resource administrators and researchers. The serious land subsidence areas include Yunlin County, Pingtung County and Changhua County. Consequently, if the above-mentioned areas can construct real-time monitoring systems, administrators can obtain the current condition of those serious land subsidence areas and set regulations in accordance with the ratio of land subsidence and the consumption of groundwater to improve the aggravated problems of land subsidence. In this paper, the authors intend to analyze the water resource monitoring system by the concept of DMA constructed by the Taiwan Water Corporation and make the depth investigation to discuss the groundwater monitoring system to manage the consumption of groundwater efficiently and better improve the aggravating land subsidence problems.

**Keyword：**Real-time monitoring、DMA、Groundwater

## 一、背景與動機

台灣水資源管理一直以來最令人詬病的

問題，為民眾無限制的取用地下水源，並且沒有考慮到超抽地下水造成的地層下陷等問題。地層下陷係屬不可逆之反應，亦即一旦發生地層下陷現象，便無法再恢復為原來地貌。根據水利署的統計資料可以發現，台灣地下水總使用量佔總水源使用的三成（邱虹綺，民 94）。目前台灣地下水源的管理者對於地下水抽取的管理與計量並沒有一套可行的管制標準，導致長久以來地下水源的抽取與使用無法可管，民眾也無考慮過度抽取地下水之後果。因此，本研究將探究現行建置的水資源自動監測系統，以期運用此套系統於計量管理地下水源，以量化模式主動管理地下水源的計量。

台灣地下水源抽取問題日漸嚴重，依據「水利法」的規定表示，為防止某一地區地下水之超抽所引起之海水入侵或地盤沉陷，得劃定地下水管制區，限制或禁止地下水之開發。民國 95 年發布的「地下水管制辦法」表示，主管機關對管制區內之地下水抽水量、補注量及地層下陷之關係，應予觀測、調查及研究。應填塞之水井，主管機關為地下水水資源保育需要，得為觀測或監測地下水水位使用。即便「地下水管制辦法」的公布是為了管制地下水的抽取與使用，但其未強制性的法規，對於計量管理的後續作業也沒有擬定一套標準。因此，目前地下水源的管理幾乎沒有實質的成效與實績。地下水源乃屬珍貴的天然水資源，許多先進的歐美國家更是訂定地下水費率高於自來水的費率（陳景清，民 89）。目前台灣地下水源的使用量佔總水源的使用量高達三成，由此可知，制定計量控管模式於地下水源的使用將是非常重要的。

當今歐美許多已開發國家已經密切建構水資源監測管理系統，以便有效掌握並且平均供配民生用水。有別於各國對於地下水源的管理制度與完善，台灣水資源管理仍屬萌生階段，台灣地下水源未來發展，應朝向成立專業管理單位與組織、建立管控與回饋制度、制定

各項水資源引取和管理制度（吳仁豪，1999）。參考台灣自來水公司，對自來水已普遍進行總水量管理制度，其原理是將水量管制透過區域劃分，進行供水與出水的計量管理，這樣的技術稱為區域計量區（District Meter Areas, DMA）。運用分區計量（DMA）的模式，建構水量、水壓即時監測管理系統，即時偵測管線漏水、即時進行管線漏水修復的作業，並且讓管理者即時掌握管理水源最即時的水量、水壓數據資料。如能運用水資源即時監測管理的模式，並且立即比對供水管理網路各個區域的統計數據，主動控管地下水源遭受氾濫的使用，將可改善地下水源過度抽取的問題，避免地層下陷的問題再度惡化。此外，水量、水壓即時監控管理系統的運作並不需要浪費過多的人力，所有的水量、水壓數據的資料都是以數位通訊的方式進行，並且以最省時的模式、全電腦化的計量控管模式，讓管理者只需根據數據作出對地下水源管控最重要的決定，防止過度抽取地下水源，並且改善地層下陷的問題。本研究將依據分區計量（DMA）管理系統的概念，分析現行台灣自來水公司建置的水源管理監測系統，並探究應用於地下水源系統建置的作法，以期對於地下水源管控計量模式提出可行的解決方案。

## 二、研究目的與方法

本研究旨在探究現行建構的水資源即時監控管理系統，並且運用此套水量、水壓監控管理系統於地下水源管控模式。現行建置的管線供水監測模式係運用分區計量（DMA）的概念，透過裝設電子式水量計、壓力計及傳訊設備於各主要管線的分佈，以數位編碼訊號的傳輸方式，彙集各管線的水量及水壓數據，密集記錄並且回傳至電腦監控系統中心，運用後端軟體資訊系統的整合，轉換各區域管線的分區流量與壓力數值為各種趨勢圖表，立即比對流量與壓力的高低趨勢圖表，分析各區域管線

水量、水壓的供水關係。若有異常之處，可隨時發出警訊給系統管理者，達到即時性的監控，更有效率地管理與運用水資源。因此，本研究歸納的研究方法如下：

1. 探究現行水資源即時管理監控系統的建置。
2. 運用水資源即時管理監控系統於控管地下水源的取用

## 2.1 台灣自來水公司水資源即時監控管理系統流程

根據即時監測系統建置的區域，檢查基礎的地理資訊系統（GIS）數據，並且於建置的GIS系統中，清楚標示分區計量的邊界，避免管線建置的錯亂。根據管理系統所得到的水量、水壓數據，繪製每日用水曲線分析圖，以及每日管線壓力輸送分析圖，加以進行比對與分析，進而管理各管線輸送水壓的值，減少各區域管線破管的機率，有效配置水壓的輸送，並且與水量作相對比較，以判斷管線漏水可能發生的區域，進而計算漏水量。選用數位編碼且具有型式認證的電子式流量計，加裝壓力計於樞紐管線，運用於即時監測系統的建置，即時取得水量、水壓的數據資料，並運用軟體進行數據圖示分析。

## 2.2 現場安裝環境評估

周國鼎（2009）的研究指出，不論是都會區域或是偏僻鄉鎮區域，凡要建置即時監測管理系統時，都應以分區計量管理系統為優先考量。因此，面對即時監測分區計量的建置時，都應先思考以下幾點因素：1.用電申請不易 2.用地申請不易 3.用戶用水模式 4.通訊模式的選擇 5.用電設備保護的考量。根據以上現場安裝環境應評估因素可以得知，當要建置監控管理的系統時，建置人員需先行考量現場用電的模式以及系統建置所選用的通訊模式，若任何一個因素無法顧及時，便無法順利建置水量、水壓監控管理系統。

## 2.3 通訊設備的選用

電子通訊設備的選用需先考慮溫度、溼度、安裝地點等日曬雨淋的可能性。根據許多建置自動監測系統的實例可得知，研究員可以利用架設儀表箱（Metering Box）的模式，將用電系統、數位模式的傳訊記錄器等器具，一併安裝於儀表箱內。但是建構儀表箱除了考量額外付出的成本之外，電源的來源、地點的選擇、設備維護的需求等，也需先行思考的問題。由建置的實例可以得知，如何防止水量、水壓傳訊記錄器、數位傳輸的電子式水量計，因人為或是外在因素產生無法預期的影響，進而導致電子機械的損壞，也需一併考慮。因此，凡於建置具電子傳輸之器材與設備時，建置者都應將具備防水、防塵設備等級的電子設備納入考量。

## 2.4 量衡器的選用管理

根據國家標準CNS14866之水量計型式認證規範可得知，水量計的型式認證以等級D級的計量準確度最高，計量準確度最低且較少國家使用的為A級型式認證的水量計，而目前已開發國家普遍使用具備B級與C級計量標準的水量計。為了減少水量計的不感流量，提升量計的計量精準度，許多學者的研究報告都指出C級計量標準的效率遠比B級計量的水量計好。如 Arregui, F., Cabrera, E. Jr., & Cobacho, R. (2006) 表示C級計量的水量計，平均售水率較B級水量計提高2%至3%，且口徑愈小之水量計，較有可能因為用戶用水模式的改變而造成較大的計量範圍誤差。此外，C級計量標準的電子式水量計因計量精度高、流量範圍廣、數據記錄的分析功能搭配優越的無線通訊傳輸系統，對於制定地下水源的取用標準，將能提出更有效的管理方式。

## 2.5 壓力檢知器之選用

建置即時監測系統管理的壓力計選用，必先考量能將實體信號或普通電信號，轉換成標準電信訊號輸出，或是具備通信協定輸出方式的電子式壓力傳感器。此外，根據實地探查的

經驗可得知，電子式壓力傳感器也需 IP68 防護的標準，以免氣候等因素影響電子式壓力傳感器的正常運作。

## 2.6 即時監測管理系統應用

即時監測管理系統成功的關鍵，在於管理者在任何時刻都能存取即時的水量、水壓數據，這些彙集的數據資料都可以用作日後資料的對比與分析。歷史數據資料的對比與分析將可提供管理者適時地調整水資源管理的政策，以最齊全與即時的數據制訂最有效的政策決定。此外，若是現場發生極端或是異常狀況，即時監測管理系統將能主動發出異常警報，提醒管理者水量、水壓的異常變化，立即提出解決危機處理的方案，讓不可預知的傷害降至最低。以下的圖表可得知即時監測管理系統的基本架構圖（見圖 1）。



圖 1 即時監測管理系統基本架構示意圖

根據圖 1，管理者將可簡易地根據 4 種通訊方式，PSTN、ADSL、GSM(SMS)、GPRS 等通訊模式建置即時監測管理系統，如（圖 2）瞬間流量告示板、分區計量(DMA)系統建置圖資（圖 3）、水量與水壓歷史趨勢圖，都是現行台灣自來水公司即時監測管理系統常用的模式。



圖 2 瞬間流量告示板

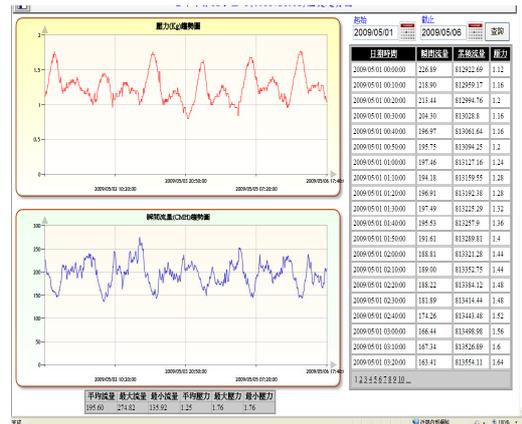


圖 3 分區計量(DMA)系統建置

此外，根據即時監測管理系統所得的水量、水壓數據整合資料，管理者可以根據趨勢圖的變化，發現某管段流量突增但水壓卻沒有跟著上升，即時監測管理系統將可發出警訊，讓管理者立即派員至該區域查修，縮短漏水報修之時間，減少管線破管無謂的漏水損失。即時監測管理系統整合的數據，也能透過後端軟體的應用，匯出 EXCEL 數據分析檔案，並且根據管理者的決策需求，繪製流量貢獻比率圖、水量、水壓瞬間流量比較圖，藉以了解分區計量各管線的水量、水壓整合數據，以便管理者做後續的資料整合與分析。

## 2.7 系統效益

即時監測管理系統的建置已是 21 世紀已開發國家水資源管理的必備良器。管理者除了能夠獲取即時的水量、水壓管理數據之外，現行的電子設備都已能符合 IEC 60529 IP68 防水標準，並且不需外接電源設施便能運作。除此之外，現行的即時監測管理系統也能針對管理者的需求，如果管理者需要每分鐘或每小時即時密集傳輸用水資料時，則適合採用 GPRS 的定時距數據傳輸系統；若是管理者只需每日 1 次回傳密集記錄的用水資料時，GSM 的簡訊傳輸方式則能符合管理者對於水量、水壓數據管理的通訊需求。

除此傳輸費用的考量之外，運用即時監測管理系統能夠讓管理者隨時掌握水量、水壓的數據，減少人員抄表錯誤可能發生的機會，因此管理者不必擔心所得水量、水壓數據的準確性。管理者與操作人員可透過網際網路查詢水量及水壓的最新資訊，主動掌握供水運作情形，當民眾提出特殊用水需求或發生特殊情況時，則能透過即時監測管理系統進行(1)提升測漏與管段監控效益；(2)縮短管線工程時程與降低管線汰換影響範圍；(3)協助管理處水資源管理，降低無效售水率；(4)作為自來水事業單位求償管線維護與水費追償之證據。

## 2.8 地下水源即時監測管理系統建置的防範措施

地下水源即時監測管理系統建置，需要搭配硬體設備與後端軟體的結合。硬體設備包含電子式水量計、水量與水壓傳訊記錄器、電子式壓力傳感器等設備。這些電子傳輸設備與記錄器目前都可以獲得 IEC 60529 IP68 防水、防塵的認證，因此硬體設備建置人員不需額外擔心硬體設備會遭受日曬雨淋，進而影響其效能。然而，人為破壞或是偷竊則需要系統建置管理者的費心，因為每一個建置區域的現場環境都不盡相同，所以本研究無法提供相對的防護措施，此部分仍待需要更多實地建置人員的實際經驗，進而提供資訊給後續相關研究人員進行進一步的分析。

## 三、即時監測管理系統應用於地下水源的計量管理

### 3.1 嚴重地層下陷區域

根據經濟部制定的「嚴重地層下陷地區劃設作業規範」規定可得知，目前公告嚴重地層下陷區域為彰化縣之大城鄉；雲林縣之麥寮鄉、台西鄉、四湖鄉、口湖鄉；嘉義縣之東石鄉、布袋鎮；以及屏東縣之東港鎮、林邊鄉、佳冬鄉及枋寮鄉等 11 個鄉鎮。總體地層下陷

的面積總約 1,893 km<sup>2</sup>，等同於 7 個台北市的面積，地層下陷面積最大的是雲林縣，面積約 610.4 km<sup>2</sup>；屏東縣的累積下陷量最大，高達 3.22m；彰化縣大城鄉的地層下陷速率最大，高達 9.2cm/year。由此可知，目前台灣地層下陷區域實屬嚴重，相關單位若不推出實質的管理規範，防止地下水源無限量的取用時，嚴重地層下陷的問題將難以改善。因此，地下水源計量管理模式確實需要建立一套全面性的計量管理機制，確保抽取地下水源計量的公平性，提供地下水源取用與計量控管，建構未來地下水源取用與收費的依據，避免地下水源過度取用，進而改善地層下陷日益嚴重的問題。

### 3.2 電子式水量計通訊技術及系統通訊優勢

今日，台灣地層下陷嚴重的區域主要為雲林縣、屏東縣、彰化縣等區域。因此，這些地區急需建置具數位通訊的即時監測系統，讓管理者能夠掌握地層下陷嚴重區域的現況，並且依據地層下陷的比率、地下水源抽取的量作相對的管制，避免地層下陷深度惡化下去。根據彙整全球水量計製造廠商的操作說明書與型錄的資料可得知，目前全球水量計的製造商分為兩種，其一為機械式水量計，另一則為電子式水量計，依序為台灣、大陸、美國與日本，(圖 4)可以詳見現今各國水量計製造的通訊技術比較。除此之外，台灣所製造的智慧型電子式水量計(DN15mm~DN50mm)(如圖 4)，除了具備顯示瞬間流量與累積流量之外，其智慧功能更是能顯示漏水天數、磁干擾天數、電力不足天數等智慧管理功能，更能提供用水管理者更多的管理資訊。



圖 4 智慧型電子式水量計

根據資料可得知，目前台灣與日本的電子式水量計通訊技術領先全球，而台製的電子式水量計的通訊模式可達每 10 秒傳送 1 次資料，這樣的規格可以讓管理者更加地密集記錄水量與水壓的數據資料。若以 SCADA 系統或 PLC 監控模組建置壓力監測系統，施工費用較高昂，其通訊需以電信網路數據專線，其每月通訊費用亦高達千餘元。本研究系統使用 GSM 或 GPRS 通訊協定之無線傳輸介面，不僅只要有電信訊號之所在地便可以發送訊號，達到數據傳輸的目的，且每月行動數據通訊費用不到新台幣三百元。

電子式水量計技術比較			
	水表形式	感測原理	傳訊模式及電源功耗
大陸	●機械式	●磁力傳動 ●機械式齒輪積算器	●脈衝訊號輸出 ●無法同步顯示 ●外接電力
美國 Itron	●機械式	●磁力傳動 ●機械式齒輪積算器	●脈衝訊號輸出 ●外接電力
日本	●電子式	●磁力傳動 ●電子積算器	●數位編碼輸出 ●每1小時傳送一次資料 ●自備電力可使用8年以上
台灣弓鈞	●電子式	●全球首創非磁力傳動 ●電子積算器	●數位編碼輸出 ●每10秒傳送一次資料 ●自備電力可使用8年以上

圖 5 電子式水量計技術比較

### 3.3 數位編碼的傳訊記錄器

近年來網路科技的進步，相對的也帶動了數位編碼或是類比訊號的傳輸方式，如 RS-485、RS-232、Modbus、Hart、0~10V、4~20mA 等多種訊號傳送的方式。因此，各式的電子式水量計與傳訊記錄器將可相互連接，並且與個人電腦 (PC)、可程式邏輯控制器等接收端設備連接。如此，管理者將可依設備端的需求，將電子式水量計與傳訊記錄器各自不同的信號傳遞方式，相互連接並且將數據

資料傳送至接收端。此外，連接電子訊號的電子式水量計與傳訊記錄器必須長時間地裝置於水中，所以這些電子設備也都必須符合至少符合 IEC60529 IP68 防塵防水的設計，以免電子設備遭受損壞。

### 3.4 地下水源即時監控管理系統建置

在未制定完善的管理規劃之前，地下水源的管理者可以採用自來水總水量計量的管理方式。運用電子式水量計與傳訊記錄器，規劃分區計量 (DMA) 的區域，先行於地層下陷最嚴重的區域，如彰化縣大城鄉的地層下陷速率最大，高達 9.2cm/year，先行建置即時監控管理系統。管理者可以藉由這套系統逐年逐月地觀測地下水源的抽取與使用是否更加惡化，並且藉由此系統的數據統計資料，擬定一套標準的收費模式，並強行禁止地層下陷嚴重的區域再次的過度抽取用水，讓台灣各區域地層下陷嚴重的地方受到相對程度的保護。

### 3.5 地下水源即時監控系統建置的重要性

一直以來，加強台灣地下水源的管制都具有其必要性，只是如何規劃完整的計量控管模式，到目前為止都未見實際作為。本研究建議地下水源的管理者建置即時監控管理系統，於地層下陷惡化的區域與過度抽取地下水源之地區，匯集水資源管理的相關數據資料，加強管制地下水抽取作業，整體地規劃與管制地下水源，避免地層下陷成為難以改善的難題。

## 四、結論與建議

相較過去自來水公司過度依賴人工抄表的作業模式，即時監測管理系統除了能夠提供即時的水量、水壓管理數據之外，也可進行水資源的圖表分析，人員抄表的問題也可一併解決，讓更有效率的監測管理系統取代過去費

時、費力的人工作業模式，並將此套即時監控管理系統用於建構地下水源管理系統模式。以下為此研究所探得的初步結論：

1. 嚴重地層下陷區域，首先應建置用水管理監測系統，如彰化縣的大城鄉。
2. 地下水源的計量，應以度量衡法為依歸，具型式認證的電子式水量計應具備國家度量衡型式認證的標準。
3. 運用即時監測管理系統，監控地下水源的取用與地層下陷的程度，改善地層下陷的惡化程度。
4. 地下水源管理者透過趨勢分析圖等客製化的圖表，與 EXCEL 格式的資料，更有效地觀察地下水源抽取的趨勢變化。

本研究針對現行即時監控管理系統運用於地下水源的管理，進行初步探究，希望後續的研究者能更進一步地建置此套系統於管理地下水源的取用，讓地下水源的抽取不再是予取予求，並且改善地下水源過度抽取使用及嚴重地層下陷的問題。

## 參考文獻

1. 林清鑫（2009），自來水區域計量水量計與壓力監測管理系統建置探討，2009 水利產業研討會 C：35-46。
2. 吳仁豪（1999），我國流域水資源管理制度之革新，國立中山大學，公共事務研究所，台灣：高雄。
3. 周國鼎（2009），自來水區域計量水量計與壓力監測管理系統建置探討，2009 水利產業研討會 A：41。
4. 陳明州、陳明仕（2008），小區計量用計量表選用研究，中華民國自來水協會第二十五屆自來水研究發表會論文集第 70 頁。
5. 蘇政賢、賴譽哲、陳金義（2008），「工廠設置廢污水監測流量計問題之探討」，2008 水利產業研討會，C13-21。
6. 黃國永、蔣丞哲、蘇政賢、林子程（2009），無線傳訊壓力監測系統建置-以台灣自來水公司新莊服務所為例，

2009 水利產業研討會 C：13-23。

7. 邱虹綺（民 94），地下水水質的經濟價值評估，國立中央大學，產業經濟研究所，台灣：桃園
8. 水利署（2008）地下水觀測網  
<http://140.112.190.183/index.php>
9. 水資會（民 94）台灣地下水資源：經濟部
10. 弓銓企業股份有限公司企業網站產品資訊，[www.ems.com.tw](http://www.ems.com.tw)