

自來水區域計量水量計與壓力監測管理系統建置探討

林清鑫

台灣自來水公司供水處 水源組組長

摘要

台灣珍貴的水資源每年約有近四分之一損失於運送途中或計量管理不當。一般檢測自來水漏水方法有壓力控制法、被動修漏法、定期聽音法、分區計量法和小區測漏法，而水資源的損失可以劃分為實際損失與虛假損失。大規模進行管線汰換，僅能降低實際損失，但成本極高。本研究動機欲透過區域計量區 (District Meter Areas, DMA) 將流量與壓力監測管理系統同時建置之執行過程，以及實務應用之經驗，作為防治漏水的方法之一。本研究採取於區域管網中，安裝起動流量低之 C 級型式水量計與自備電源之無線傳輸介面的輔助，藉由密集的記錄，監視管網流量及壓力以達漏水控制的目的。另依曲線判斷夜間最小流量及漏水情況，由回傳的異常曲線判斷分析以發現破管，縮短從發現漏水到修復的時程、進而降低漏水率；並施行水壓管理，隨時掌控是否有復漏的情況及確認修漏效率的品質，期在水資源愈來愈珍貴的世紀，可以大幅提昇水資源營運與管理之效益。

關鍵字：區域計量區 (DMA)、壓力監測、

壹、前言

一、研究背景與動機

由於人口的增長和經濟的發展導致用水吃緊，囿於水資源受限，人們越來越清楚地認識到水資源對經濟發展的影響力。溫室效應等的氣候變化也可能增加資源匱乏之虞，再加上台灣水庫建設不足，縱使雨量豐沛，仍無法有效儲水。當今，自來水事業亦受到來自政府、環境保護主義者、及用戶方面的壓力，要求提高效率和服務品質，需要有效地減少浪費，降低漏損。

許多人認為漏水管理是提高自來水事業管理效率的關鍵，整體化方法對處理由供水端的水源到用戶的水龍頭出水，全部運行環節的管理尤為重要，而漏水控制則是重要課題之一。整體網路化管理是自來水事業可以利用的技術，衡酌供水網路的規模、連接複雜性、和工作數據不確切等因素，主動的漏水管理具有巨大的潛在效力，以挽救可能由於漏水而導致的財物損失。

漏水管理不是只有針對某部分幹管獨立進行，更應對這個供水管理網路的各個區域同時進行比對分析。而以單獨區域紀錄水量下載資料方式，除了缺乏即時性，而其尚須至現場下載者，除了作業人員需攜帶筆記電腦至現場串接水量計，耗費人力，更有交通危險之虞。而國內廠家研發的記錄器雖較為便利與先進，可以至現場更換記憶卡，返回辦公室再行下載，可節省下載人力與無交通安全之虞，也附有各種模式水量分析軟體，便於應用，惟尚缺即時性與全區域性之整合系統。

因此，對所有管網的主動綜合性的分析、比較可帶來顯著的效益，有效的切割分區，再將整體網路化管理，藉而應用準確的計量 C 級水表與傳輸介面，透過資訊系統整合，即時的掌握整個地區的供水實況、控管漏損。透過水量計與壓力監測管理系統的建置，提高分區計量工作效能、降低成本，達到高管理效益，與有效提昇供水服務品質。

二、研究目的

在自來水分區計量管理效益的前提下，劃分若干分區計量模式，近年來陸續裝置若干計量水表作為漏水評估之量測。為使各分區流量、壓力達到自動回傳，透過資訊系統整合，可觀察各分區流量與壓力數值，並藉由趨勢圖台，觀測其流量與壓力變化趨勢，探究各分區的供水關係與漏水異常之偵測，俾使管理者能透過歷史資料及即時資訊之分析，達到即時監測管理之效益。

歸納本研究之目的如下：

1. 以文獻回顧探討建置模式，研究各理論的依據，建立一套客觀性的建置模式基礎。
2. 以台灣自來水公司第四區管理處分區流量與壓力監測系統建置為研究個案，探討流量壓力監測管理系統建置方法，並進而提供國內外各自來水事業在分區計量管理模式與監測系統建置方法之參考。
3. 評估流量與壓力監測系統建置效益，針對監測系統不足處，提出改善建議，以供後續研究或建置者之參考，俾使流量與壓力監測系統建置

方法與系統功能，更臻完善。

4. 由回傳即時系統，及後端軟體分析，探討分區計量最適之流量計型式及口徑。

貳、文獻探討

一、漏水評估方法

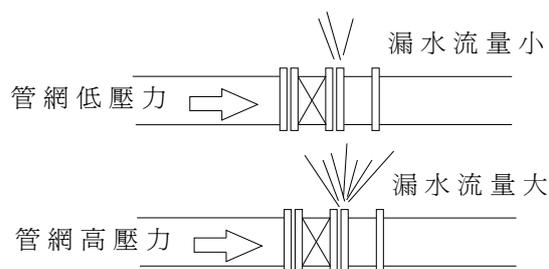
漏水一般無法直接測得，而需採取兩種互為確認的方法進行評估：(1) 從上至下法：從供水的總水量中減去各已知用水量，餘數等於系統的總漏水量。這一過程極易因用水量和給水計量的可靠性造成評估不準確。(2) 由下而上法：測量流入系統的最小流量，而最小流量往往在凌晨出現。經過調整而考慮合理用水量的最後的這一最小流量等於系統的漏水量。通常將配水系統分為數個獨立區並測量各區的最小流量。上述最小流量應與由上而下法得出的漏水估算值相同。日常漏水管理時，使用由下而上法更為恰當。系統又細分為主幹管的主幹管區和漏水控制區，有時也叫做配水系統本身的區域計量區 (DMA)。無論哪種情況，區域劃定都是很明確的，跨越過界的各幹管均設置了關閉的閘門或用作測量進出區域水量的水錶。流量數據的採集使用自動回傳或使用可定期下載的記錄儀。由收集到的數據處理產生最小流量值，有了最小流量值，就可排定若干區域以解決漏水控制的先後次序。

在人力日益精減的政策，小區建置逐年遞增，傳統的抄表及比對方式實

不敷效益，若以筆電到現場下載記錄資料者，倘因管線與水表設置於交通流量大之馬路又有工作安全之虞，耗費人力。藉由密集記錄流量及壓力，採逐日回傳的系統，期能即早發現異常縮短漏水所需之修復時間；依漏水流量和壓力成正比關係下，若出水壓力愈小，相對漏水流量愈小，對於漏水率之改善，適時的調水操作是有必要的，在理論上水壓及漏水流量關係中 FAVAD (Fixed And Variable Discharge) 漏水量理論 QL (Volume/unit time) varies with Pressure $N1$ 最簡單型態：

$$Q \frac{L_1}{L_0} = \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{N1}$$

L 為漏水量， P 水壓， $N1$ 為參數，故漏水量將隨水壓變大而加大。



二、壓力控管對漏水監測的關連性

根據吳珊、劉彥輝等 (2007) 透過實驗結果提出：「管徑越大，透過壓閥控制壓力，對管線漏水率控管的幅度越大。」我們可以得知，在相同破損面積，壓力的變化會影響漏水量的高低。

壓力 p 與漏水量 q 的關係可以表示為 $q=f(P^N1)$ ，公式中變數 $N1$ 表示為破損面積的大小，相對的漏水量會因為破損面積而呈等比級數的增加。自來水管線中因裂縫、水垢、和高程差異，佈滿著不平均的壓力，而壓力控制的精準影響管線供水的品質與效率。

供水壓力的不穩定，更容易造成老舊的管線破損而形成漏水，管線破損時，該區段管線中的壓力會因為破損而下降，壓力下降後會造成末端用戶用水品質降低，在這樣惡性循環的用水環境之下，未來自來水公司的供水品質與國民對於水資源的利用率，將大幅受到影響。本研究擬以透過電子壓力閥的設置、可程式控制器的規劃和 SMS 通訊系統三要件，建構流量與壓力監測系統。

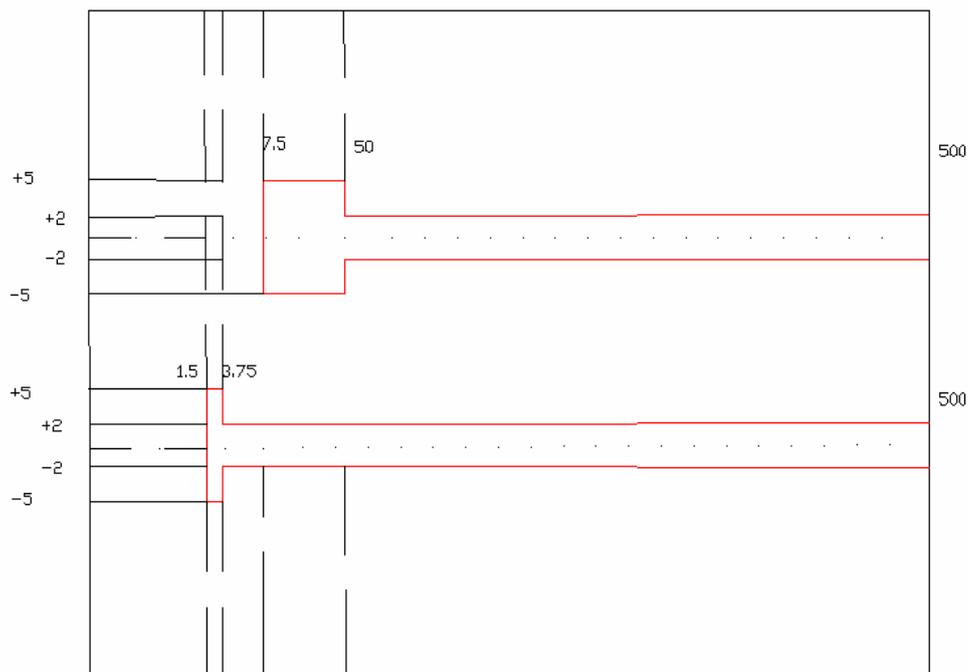
三、水量計之計量等級

若以陳明仕(2008)選擇小區計量表需為為分界流量 q_t 到超載流量 q_s (含)之間。據此論點，在實際上測量環境上，尚有不足，仍須以實際可量測到更低的流量點為宜。以往國內所使用的水表，無論在營業用或輸配水管理用途大都為 B 級，連標準檢驗局舊規定之型式認證所訂標準，均為 B 級之檢驗；自民國 95 年起台灣水表品質已按國際標準 ISO 4064 的分級制度，將水表區分為 A、B、C、D 四個度量等級，據以型式認證。

C 級水表將可準確的來量測更低的流量。此項產品，將有助於自來水事業單位在營業管理上提高收益，並可應用於區域管網監測夜間最低流量。以速度型橫軸奧多曼式 200MM 之口徑的水量計 B 級流量計而言，7.5CMH 以下沒有準確度要求，並且水表只慢不快；在 7.5—50CMH 區間，準確度等級只有正負 5%，比 C 級表差 60%。以 C 級流量計而言，1.5CMH 以下沒有準確度要求，

並且水表只慢不快；在 7.5—50CMH 區間，準確度等級正負 2%，比 B 級表準確度提升 60%。

本研究採用符合國家型式認證規定之 C 級電子式水量計，除符合國內現行計量標準，並能符合實務量測需求。



口徑 200 mm 速度型 B 及 C 級流量計比較表

四、行動通訊系統的應用

全球行動通訊系統(Global System for Mobile Communications)，簡稱 GSM，雖然行動數據技術目前已進化到 4G(LTE)，但 GSM 仍是目前全世界使用最廣泛的行動電話協定，全球超過 200 個國家 10 億以上的人口使用此協定，最初 GSM 所制定的標準有 900Mhz、1800Mhz 與 1900Mhz 三種頻寬，後來又補充了 850Mhz 與 450Mhz 兩種頻寬，簡訊功能就是一種依附在 GSM 通訊協定的應用服務。

簡訊服務 Short Message Service(簡稱 SMS)，是行動通訊服務中的一

種，最早是用於 GSM 系統的行動電話上，但到延至現今，幾乎任何行動電話皆可以支援 SMS 的服務了；一則簡訊可容納 140 個位元組(Bytes)，以中文字換算的話則可容納 70 個字。

簡訊服務簡訊服務可說是目前手機服務中最受到歡迎的，在2004年估計全球一年寄送約有 5000 億則簡訊（幾乎是每 1 人就可能送出 100 則簡訊）。在2001年，才僅有 250 億簡訊被傳送、2000年僅有 17 億，成長相當快速，相對的也發展出許多簡訊服務的應用方法；例如許多人都會收過的簡訊廣告，也有廠商利用SMS提供資訊服務，例如天氣預報、股市行情、新聞訊息等…，在本研究中則利用簡訊來發送水量與水壓的數值資料。

參、分區流量與壓力監測系統建置實例

一、流量與壓力監測管理系統架構

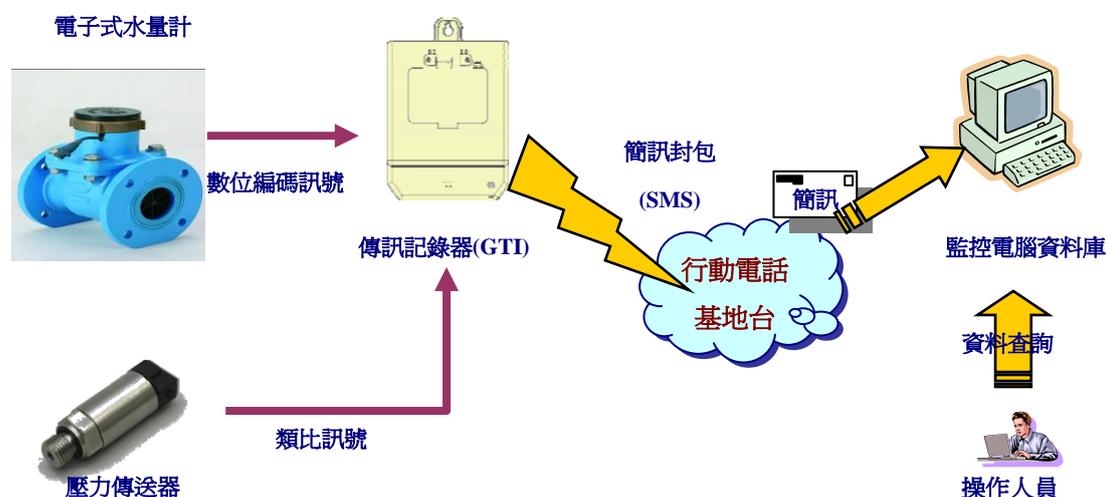


圖 1 區域計量流量壓力監測系統架構圖

本系統架構如圖 1，說明區域流量計量與壓力監測系統架構。本研究係採用符合度量衡法通過型式認證之 C 級電子式水量計，在已劃分之分區計量點裝設計量，以能監測瞬間流量與累積流量。同時在計量表旁加裝設置 0-10Bar 的壓力傳送器，透過傳訊記錄器，回傳壓力值。藉由電子式水量計的

數位編碼訊號輸出與壓力傳送器的類比訊號輸出，利用 GSM 的傳輸介面 (GTI) 以簡訊封包進行回傳，在第四區管理處安裝簡訊接收器於網頁伺服器接收 GTI 所回傳的資料。

為對區域計量區 (DMA) 內的漏水情況進行全面評估，本系統架構主要採用區域測漏法。包括了以下幾個方面的關鍵步驟。

(1) 詳細瞭解該區域的管網情況，特別是檢查基礎 (GIS) 數據，要求在 GIS 系統中，DMA 邊界標註正確，且管道設施已被完全、準確地標示。

(2) 漏水測試：通過對系統的監測得到漏水信息，繪製出夜間用水曲線，預測夜間曲線能夠達到的最好效果，測算漏水量。

(3) 「零壓力」測試；其目的為判斷進入被測試區域閥門是否能夠完全關閉，方法是關閉所有進入該區域的水源來觀察壓力衰減情況。如果壓力保持不降或保持在一個正值，則說明整個區域管網有其他水源進入，需要更加細緻地檢查區域邊界閥門及管網的狀況。

二、現場安裝

除了都會區設置區域計量表來提升售水率，各鄉鎮(村)考量日後發展強化管理，亦紛紛設置小區，所以在水量計的選用、回傳設備的設置，需全盤考量各種環境之適用性，並須考量其所投入之成本及產出之效益。

(1) 水量計之選用及安裝

流量計需置於窰井內，本身必須具備 IP68 的防護能力，又因現場環境多樣化，選擇自備電源、體積小、重量輕、壓損低並經型式認證之橫軸奧多曼電子式流量計(圖 2)，期能在大量建置小區時可

以減少安裝成本；且藉由型式認證的要求讓流量計的尺寸能統一，方便日後維護及拆換。又都會區市政景觀的要求，部份區域設置窰井困難，此 IP68 防護等級的水表又需能達到直接埋設於地底下。

由於過去利用水表記錄器得知小區計量，其尖、離峰的用量差異極大，量程比高達 333 倍的 C 級流量計方得以精確計量尖、離峰流量差異大問題，減少過去因採用電磁式或 B 級表無法偵測到最小流量而產生的計量誤差，降低因不感流量而造成無法得到真實漏水數據。



圖 2 橫軸奧多曼式C級水量計現場圖 - 自備電源、IP68 防水等級

(2) 傳訊記錄器之選用及安裝

傳統的監控需設置電桿，除了電力申請另需要設置專線傳輸，不但設置成本高，每個月尚須支付電力、通信專線費用，而電線桿設置特為困擾，設置地點需避免阻礙交通與民眾抗議，要能取得設置同意極為困難；本案利用自備電源之傳訊記錄器，免立電線桿、

免電力申請、免電費、免專線費用，更不需派員至現場抄表，不但可以獲得每日即時的資訊，更可藉由密集的記錄得知整個小區的用水狀況。

基於電子通訊產品皆怕潮濕及高溫，建議最佳的安裝方式為於窰井附近設置儀表箱(如圖 3)，於鄉鎮(市)土地容易取得，但本研究大多設置在都會區可能無法取得適當地點設置儀表箱，則需選用安裝簡便的傳訊記錄器，直接以具 IP67 防護等級的傳訊記錄器安裝在適當位置曝露在外面(如圖 4)，此產品兼具防水、抗高溫、抗雜訊之功能。

又都會區市政景觀的要求，部份區域市政府或民眾皆無法提供合適的地點可以安裝儀表箱或外掛傳訊記錄器，此 IP68 防護等級的傳訊記錄器需能達到直接埋設於地底下，亦可置於消防栓內(如圖 5)，以解決地面上無適當之安裝地點，由於消防栓盒蓋為一通訊天然屏蔽，故於建置初期面臨通訊不穩定之問題，在改善天線強度及現場施工方式後，已經克服通訊不穩定之問題。



圖 3 傳訊記錄器現場圖 - 自備電源、IP67 防護等級

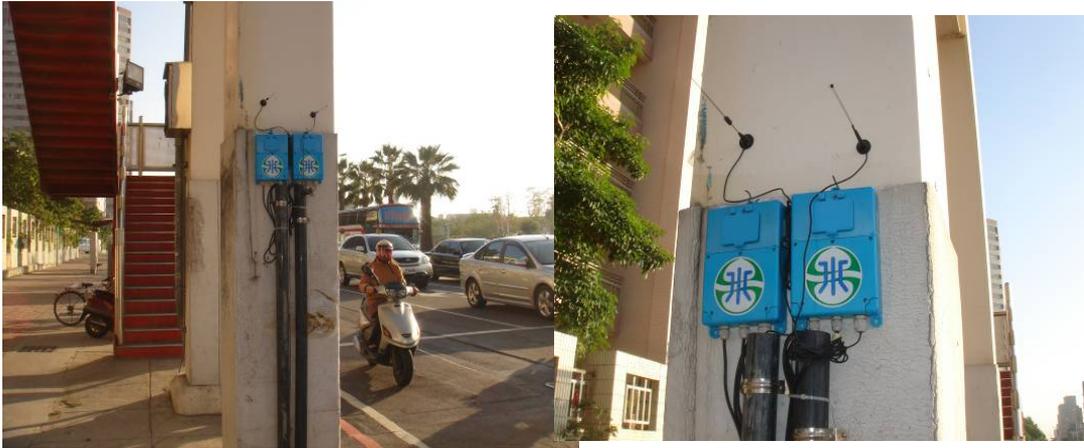


圖 4 自備電源之傳訊器具IP67 防護直接設置於室外的天橋橋墩與騎樓樑柱上



- 地面上無適當地點裝置，特製防水IP68 傳訊器亦可置入消防栓盒內



圖 5 路面窰井設置以IP68 之C級水表與傳訊記錄器並置入消防栓盒內

(3) 壓力檢知器之選用及安裝

基於日後維修、校正的方便性，通常壓力檢知器應安裝於儀表箱內(如圖 6)，但本研究部份環境無法安裝儀表箱，則必須將具有 IP68 防護等級的壓力檢知器安裝在窰井內(如圖 7)。



圖 6 IP67 防護等級的壓力檢知器裝置於儀表箱內



圖 7 無法設置儀表箱地點以IP68 防護等級的壓力檢知器直接安裝於窰井內

三、系統功能

本研究以目前台灣自來水公司第四區管理處於 97 年已經完成自動傳訊方式之 DMA 建置作業(圖 8)，採用通過經濟部標檢局檢定合格之橫軸奧多曼

式 C 級水量計，量程比相當於 333 倍，該型水量計自備電源無需申請用電，供電達八年以上。並採用每日自動回傳一筆 24 小時歷史紀錄（含流量及壓力），以判斷夜間最小流量及壓力變化，並將各回傳點與地圖結合，便於明辨區域供水實況，設置平面圖如圖 8。

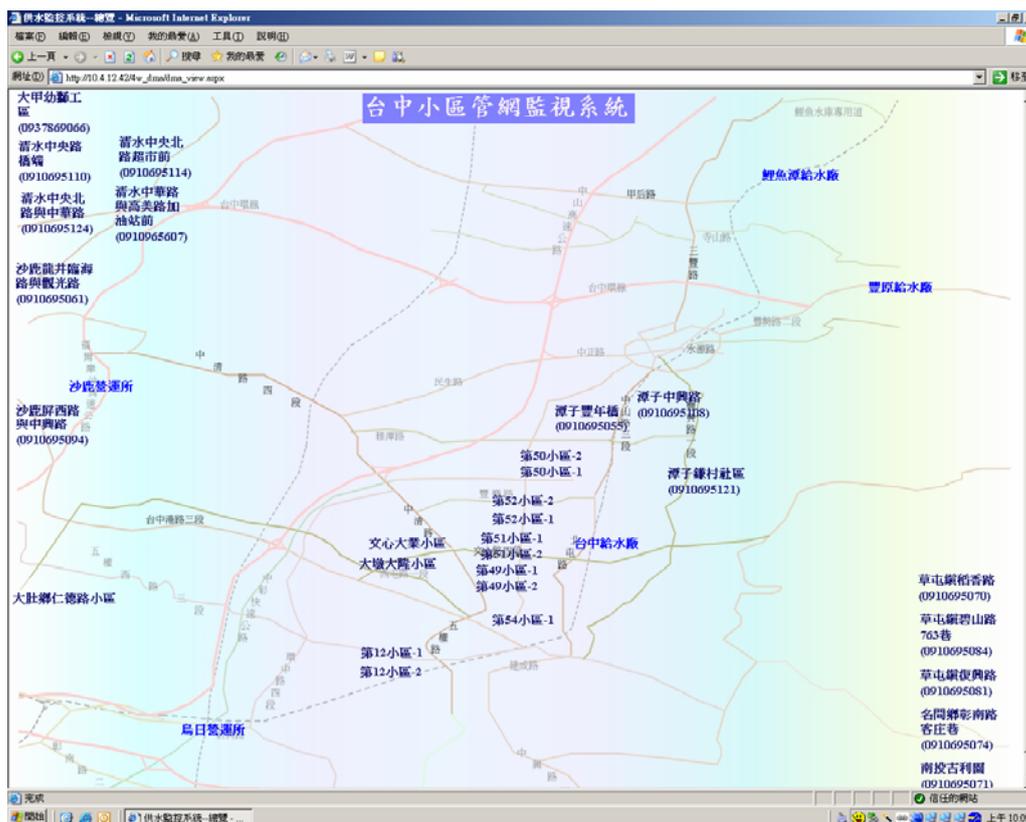


圖 8 第四區管理處建置DMA監視圖

可利用數化的管線圖資或 google map 的圖資將標示出個別小區的範圍及設備的安裝位置，藉由密集的記錄資料，再經由無線（GSM）方式傳輸流量及壓力回傳第四區管理處小區管網的伺服器(如圖 9、圖 10)。



圖 9 數化的管線圖資

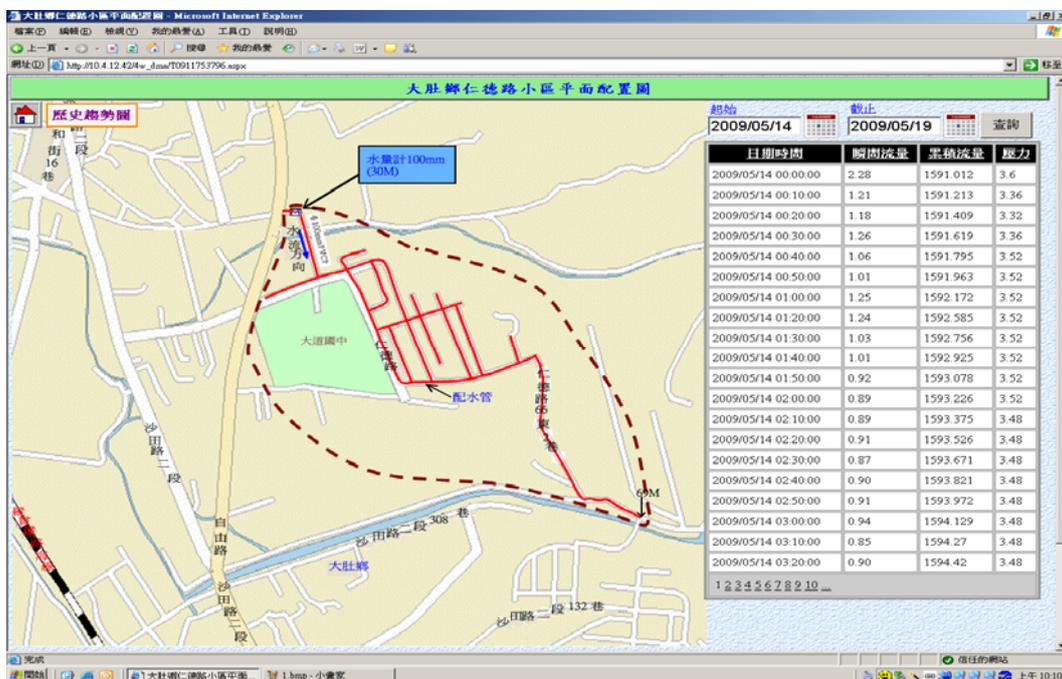


圖 10 google map為底圖

網頁上有區間查詢之功能，並依查詢區間的範圍提示最大、最小及平均

值做為操作人員有效資訊之提示(圖 11)，並由區間的瞬間流量變化可發現漏水量慢慢的增加，同時驗證 C 級表起動流量的靈敏，足以即使在 0.5CHM 下亦可準確的計量(圖 12)。遇有管線施工時，流量及壓力的變化詳實記錄，可做為小區無計費水量扣除之依據，且由回傳真實記錄得知水量計反向計量的時間點做為操作人員參考依據(圖 13)，能清楚得知各時間點其進水量與出水量，並可將資料下載透過分析軟體可計算出正/反向流量及比率，藉而分析獨立小區是否全然封閉，或在無法完全封閉下，從他區進水或回流量。



圖 11 區間之查詢及有效資訊之提示

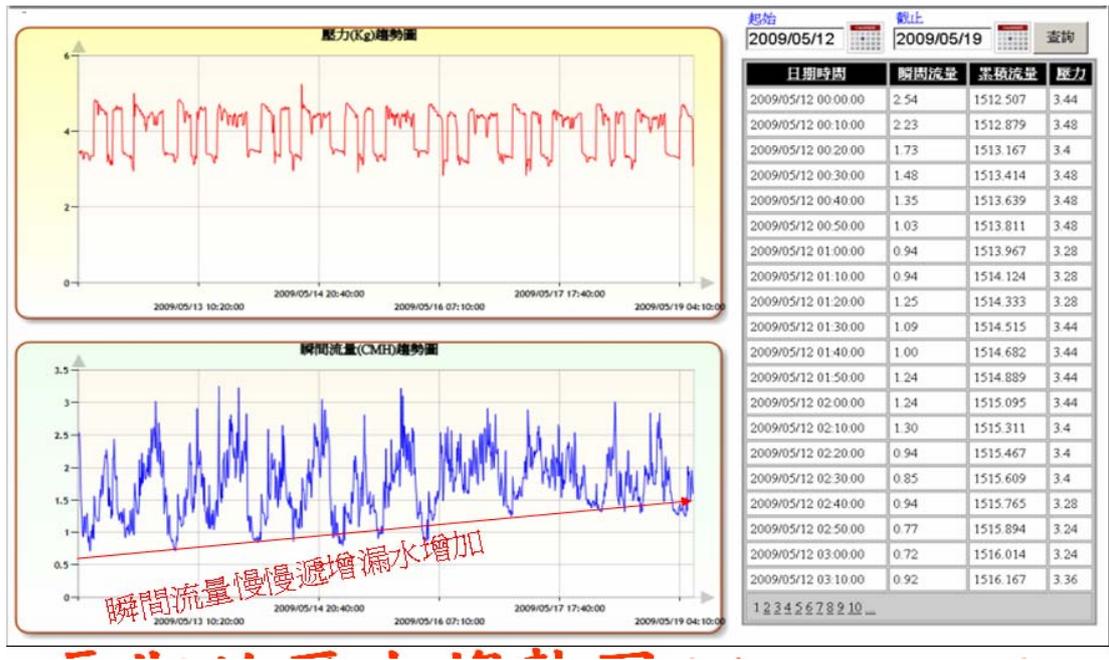


圖 12 長期的瞬間流量變化發現漏水逐漸增加

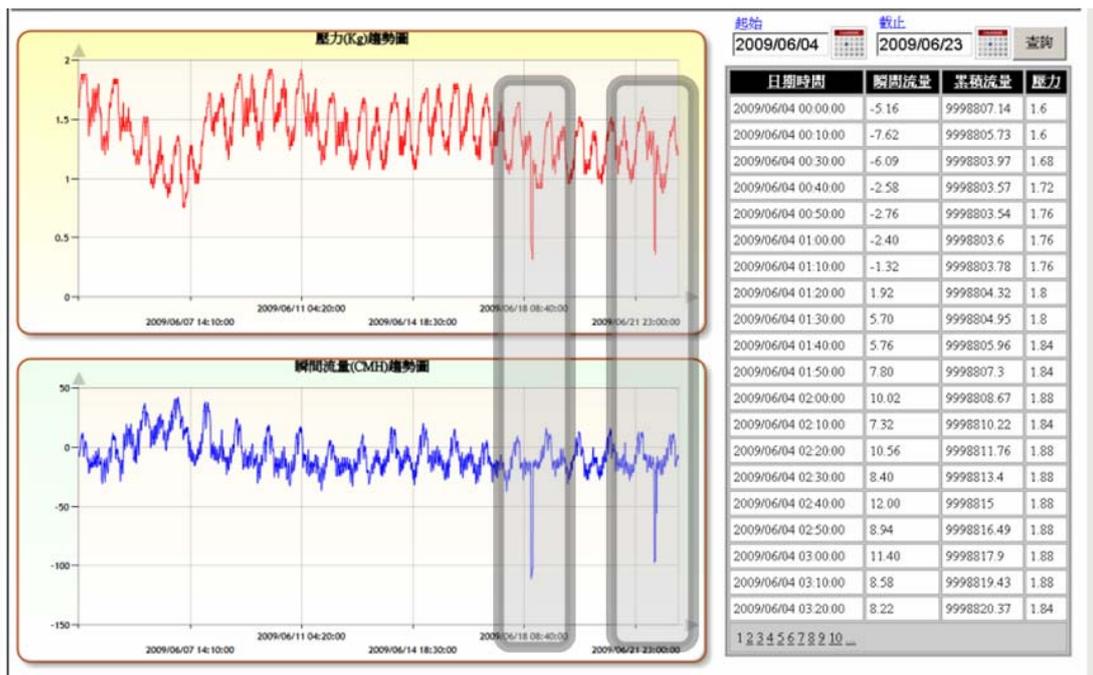


圖 13 管線施工期間流量、壓力變化真實記錄

由回傳的密集記錄壓力驟降、流量突增(圖 14)，發現破管漏水，主動至該區域查修，縮短漏水報修之時間，減少因破管漏水之損失。

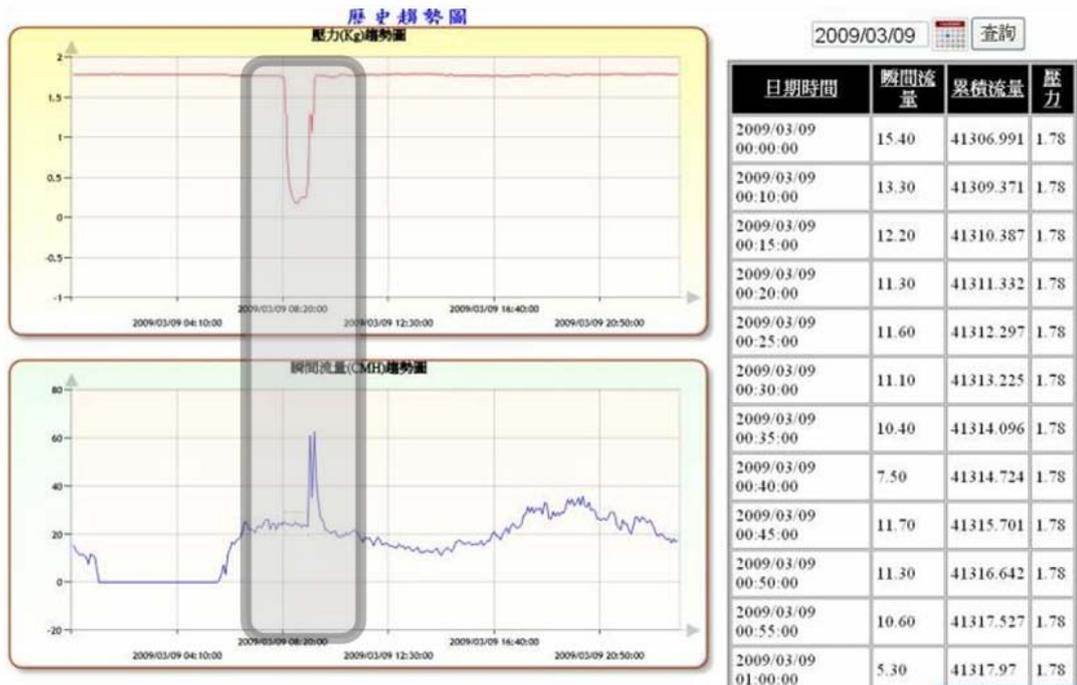


圖 14 壓力驟降、流量突增，破管漏水之現場

網頁上的資料可匯出為 excel 格式(圖 15)，運用分析軟體，依時間或流量繪製流量貢獻比率圖(圖 16)，瞭解區間各流量點之流量及用量比率，藉此判斷流量計選用之型式、口徑是否恰當，並可瞭解正/反流量之總量做為小區計量扣除之依據。



圖 15 從網頁將資料轉出 excel 檔案

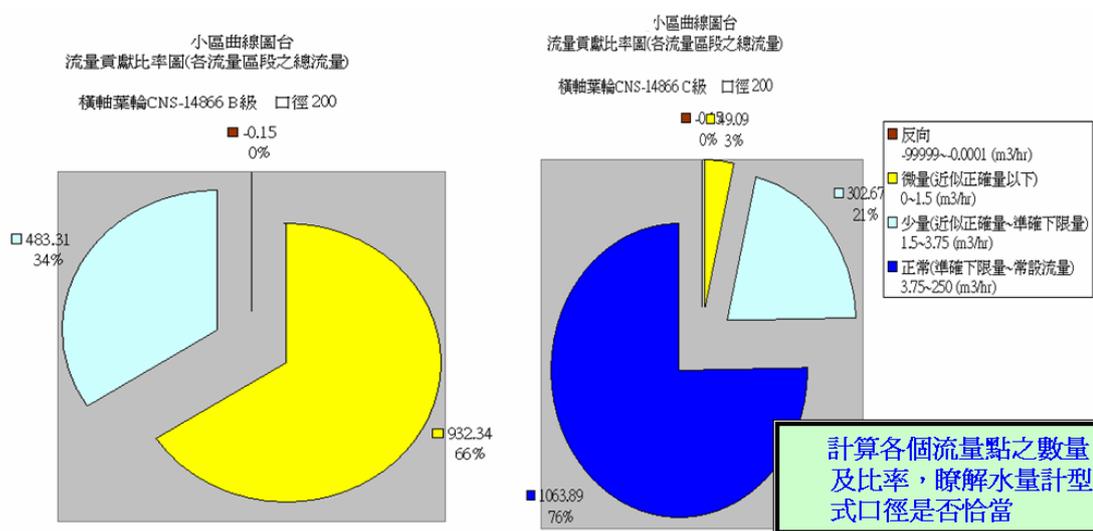


圖 16 可依時間或流量點分析流量貢獻比率

轉出之資料可藉由軟體繪出每日的週期折線圖，瞭解小區用水是否具週期性，若夜間最小流發生時間，恰在無人用水或是蓄水池進水時，則該流量可

推估為漏水量(如圖 17)。

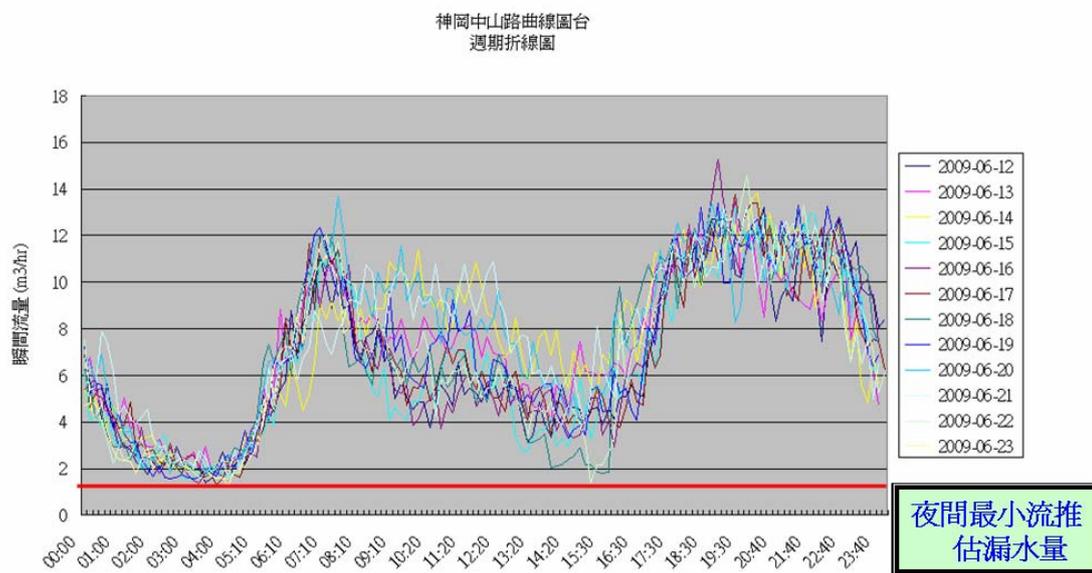


圖 17 日週期折線圖

可由匯出之資料計量每日用量，可與用戶的每日抄見量逐一比對，瞭解假日及非假日之用水差異，多樣化的分析數字瞭解小區漏水量有微量遞增趨勢(圖 18)。

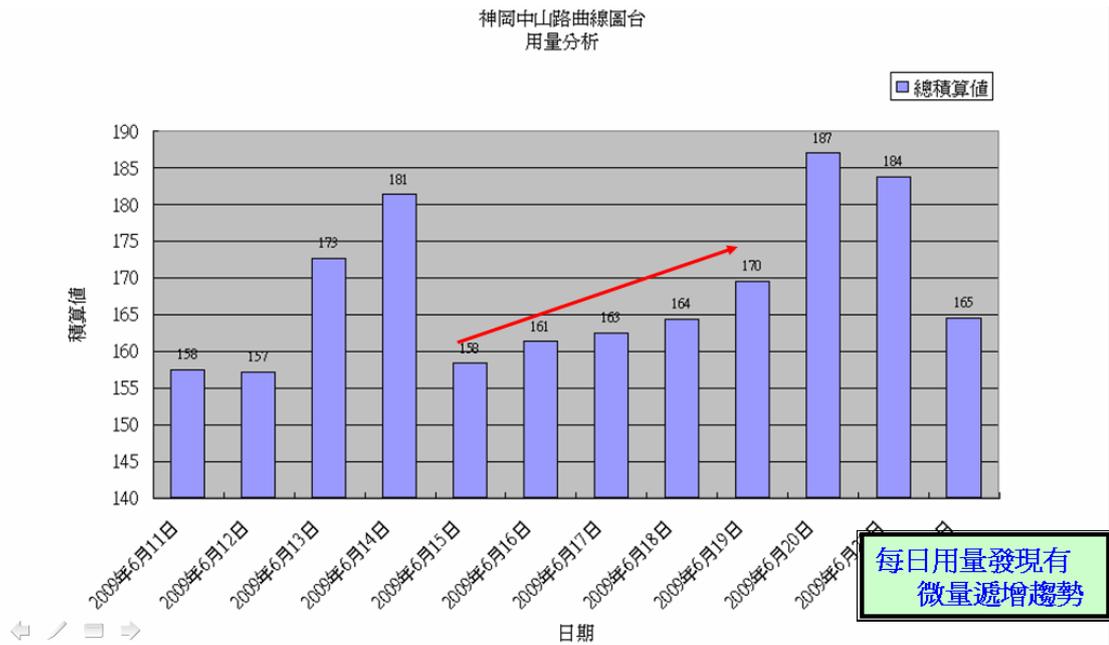


圖 18 每日用量分析

四. 系統效益

選用量程比大之 C 級流量計，可以減少為符合現場流量縮、擴管之安裝成本，除自備電源之流量計，整套現場之傳訊設備皆自備電源，免立桿、免電力申請，且每個月無須支付電費、專線費用，10 分鐘密集記錄流量及壓力值，一個月通訊費僅為 187 元(圖 19)，一天回傳一次傳訊設備電池更可達三年以上。

應繳總金額(元) \$187	繳費期限 98/03/05	用戶號碼 0911725344
用戶統一編號: 52271159 收據號碼: 5213419970693	用戶帳號: 業寄編號:	月租費起迄: 98/02/01至98/02/28 通信費起迄: 98/01/11至98/02/10
費用項目	金額	費用項目
(行動月租費)		
行動電話 8 8 型月租費	84	
行動簡訊套餐 9 9 型月租費	94	
補收行動電話本月份之前月租費	72	
退行動電話月租費	-72	

圖 19 通信費帳單

本設備可由伺服器端去更改現場傳訊設備之設定，當使用單位密集做檢修漏之階段或因應配合其他工程施工需要較密集性的回傳瞭解該區域之供水狀況，人員只要事先至監控中心從伺服器端即可更改記錄時距及回傳時間(圖 20)即可，無須人員至現場逐一更改設定，管理彈性、效益高。

圖 20 伺服器端更改傳訊設備之設定

此監測管理系統，取代傳統人力抄表，除了節省人力資源外，更可

省下人員差旅油資的費用，密集記錄的資料，方能取得真實的最小流量，因考量自備電源的電池壽命，每日只回傳一次，但藉由分時段的上、下限設定(圖 21)，若超過上、下限傳訊記錄器會主動將現場之記錄值即時回傳至伺服器中心，藉由壓力值的變化，進而做為操作人員的操作依據，減少壓力不足用戶無水之虞或降低壓力過高時造成破管漏水之風險，進而達到即時管理之效益。



圖 21 傳訊記錄器可分時段設定上、下限，超過上下限即會主動回傳

四. 結論與建議

透過流量壓力監測管理系統的可即時瞭解區域內供水實況，相較過去的傳統人工抄表作業再比對單(雙)月抄見量，為較新穎之作法。

本研究結論如下：

- (一) 可節省派遣人力至現地抄表的時間與人力。
- (二) 減少人員抄表數值錯誤，或設置點表值記錄錯誤。
- (三) 可隨時掌握每日實際用水情形，而非一段時間後的報表彙整。
- (四) 資料查詢便利，在任何時間、地點，透過網路上網隨時掌握用水情形。
- (五) 透過趨勢分析監看用水趨勢，並藉由用水趨勢分析，儘早發現管線漏水或異常用水情形，即時修漏與抑制漏水。
- (六) 歷史資料可做報表分析，除方便查詢，節省報表製作人工成本。

礙於本研究時程短促，有些問題未能週詳思考，而在實際建置與使用後，發現本系統尚有不足之處，可供後續建置與研究者作為日後發展之方向參考。建議如下：

1. 本研究初期構想本以單點流量、壓力之紀錄、回傳與趨勢分析之功能，在實際建置後，發現供水管理操作應為線或面的管理。在區域計量上除小區外應再加入中區及大區之計量數值，才能成為一個全面性的

系統。

2. 可再藉由管線上壓力點間的關聯性及管線群組關係再佐以水力分析，俾能讓整個流量壓力監測系統達最大效益。

參考文獻

1. IWA 管網水量損失管理與績效指標簡介 -台灣省自來水公司工程師饒欽良
2. 降低配水管網無計費水量馬來西亞之經驗--台灣省自來水公司工程師饒欽良
3. 供水管道壓力調控對漏水量影響的試驗研究，吳珊；劉彥輝；張中海；王維燕；馬則中，水利水電科技進展，27 卷 3 期(2007/06)
4. 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（ISBN 978-986-01-5895-3）第 C-13~C-21 頁。
5. 陳明州、陳明仕，2008 年，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。
6. FAVAD 漏水量理論 QL (Volume/unit time) varies with Pressure $N1$; $Q L_1/QL_0 = (P_1/P_0)^{N1}$ 資料來源：Roland Liemberger, Bristol Water Services Ltd.