

最小流量測試及 EPAnet 分析法在改善分區計量區

售水率偏低之應用

*許志浩

*幫工程司

臺北自來水事業處

摘要

汰換老舊漏管線是改善管線漏水最直接且經濟的方式，但管線汰換後，若無適當評估方式，是無法展現其汰換的成效。將區域管網利用關閉制水閥方式劃分為獨立供水區，並於獨立供水區與連通區外管線之進水處理設計量器，用以評估區內用水情形之作業稱為分區計量；在計量區內所進行的管線汰換工程，可藉由區內計量器所量測的用水度數換算為售水率，用以評估區內管線汰換之成效。惟區內管線汰換已達一定比例，而售水率卻未能成比例成長時，該如何面臨改善成效不佳的窘境。

本研究利用小區檢測方式進行計量區最小流量作業，並因應其計量區區域特性，將計量區劃分成數個檢測小分區，再分別對檢測小分區實施最小流量測試，並依測試結果，在各小分區斷除不明管線及檢修漏水管線，進而提升計量區的售水率。

另較大範圍計量區或無適當的制水閥，可將計量區細分為較小分區以進行最小流量檢測時，本研究另採管線水壓力變化點來判斷不明自來水管線的位置以進行改善作業。漏水處或管線分支點是造成自來水管線內水壓力變化因素之一，如何利用水壓力變化來檢視不明自來水管線，其作法為利用 EPAnet 受壓管線管網水利分析計算出管線內理論水壓力，並以量測消防栓所得之實測水壓力進行分析比較，在同一路段，某點的相對水壓力差值異於其他各點，即為不明管線處，後再施以探挖封管，以解決售水率偏低之現象。

前言

大台北地區水資源貧乏，各地區居住人口持續密集，欲再尋覓良好之水源地興建水庫，已如緣木求魚般的困難，因此長久以來採巨額投資、高成本、大量開發水資源的傳統方式解決供水問題，將逐漸面臨不可行的困境，因為藉由興建所產生之效益將遠低於維護管理所產生之效益。

水資源隨人口成長、區域發展、環境保護而開發困難，大規模開發已屬不易，如何使處理過的水作最有效之運用，除了重視既有供水設施之維護管理外，降低漏水問題為自來水事業直接且迫切需要面臨的問題。傳統利用檢測儀器改善漏水情形的效果極為有限，直接抽換老舊漏管線是改善管線漏水最為有效的對策。惟以目前偏低且久未調漲之水價，對於自來水事業的經營已成為沉重的負擔，採大規模進行汰換自來水管線，無疑是雪上加霜。如何將有限經費進行管線汰換，並能明確獲知改善的效果，採小區計量及分區計量方式是現行最適之作法。

漏水檢測之方式

一、聽音輪檢法

目前大部分用戶採間接方式供水，僅能實施聽音輪檢作業，日間以聽音棒實施止水栓、消防栓、制水閥聽音，判斷漏水大略範圍，夜間針對疑似漏水管線，使用電子測漏器實施路面聽音檢測作業，測出大略漏水位置；於日間進行鑽探並以聽音棒確認正確漏水位置，必要時使用相關式漏水探知器協助檢測、確認漏水位置。其作業方式：

本法係將供水管網系統分為若干區域，定期循環實施聽音作業(listening survey)，以判斷該路段管線是否有漏水，記錄疑似漏水處作為路面聽音作業之依據。路面聽音作業須於夜間實施以

避免車輛噪音干擾，所檢測出之漏水點尚需進行鑽孔作業以確認漏水處或輔以相關測漏器檢測作為交叉比對之用，確認漏水位置之後再派員開挖修理。

二、小區檢測

所謂小區檢測係選擇管線長度約 1-3 公里之區域，於夜間離峰時間關閉區域外圍制水閘，以流量計測定該區夜間最小流量，據以估計該區漏水量；必要時實施「分段測試」以了解漏水分佈情況及各段管線之漏水量，對於漏水量偏高之區域管線實施聽音檢測。檢修完妥之後，再次測定漏水量，以瞭解檢修績效。

其作業方式：

一般以管線長度約二公里或用戶數約 1000~3000 戶劃分為一小區，關閉周圍之制水閘，使該區域形成暫時性之獨立供水小區，由小區外之消防栓，使用消防管銜接超音波流量計，再跳接小區內之消防栓，以記錄流進小區內之瞬間流量。小區測漏均在夜間離峰時段實施，主要目的在量測夜間最小流量（minimum night flow rate）以推估近似漏水量。本法漏水量測定又分直接法與間接法兩種。

（一）直接法

所謂直接法係逐戶關閉水表前之止水栓，避免用戶表後給水設備漏水或夜間用水影響漏水量之測定。都會地區因用戶採間接用水相當普遍，夜間離峰時段用戶水池仍有可能進水，由於此法需動員大量人力，成本太高，較少採用。

（二）間接法

所謂間接法之小區測漏，係不關閉用戶止水栓，僅針對少數大用戶或夜間大量用水之場所事先通知並關閉其止水栓。此法之量測有賴小區之妥善劃分，俾便於夜間離峰時段，能夠出現最少一次持續 0.5 至 1 分鐘以上之用水空檔，此時測得之流量即為「夜間

最小流量」，再透過適當的修正（經長時間實驗或直接法比對，設定用戶表內漏水或夜間用水所佔比率），以評估該地區之漏水量。

三、分區計量

所謂分區計量又稱小區管網，係事先規劃設置或重新改管分割，以輸配水管線長度約 2~6 公里(2000-5000 戶)為一分區，所有外接管線均裝設流量計，一般僅保留主、副接水點，避免接水點過多，影響計量正確性，增加維修管理負擔。

其作業方式：

分區計量又稱小區管網模式 (DMAs: District Metering Areas) 係劃分永久之獨立供水分區，周圍可利用制水閘隔離。分區之進水管通常保留兩處，一處平時關閉，發生緊急狀況再開啟，另一處裝設超音波或電磁流量計以記錄進水流量。早期分區計量僅記錄累積流量，如果配合抄表作業能夠得知計量區之售水率，依售水率之高低推定計量區之漏水嚴重程度，作為進行檢測作業之依據。

利用夜間最小流測試改善售水率偏低之實例探討

測試區塊係位於臺北市信義計劃區鄰東南側山坡地社區，計量區管線汰換率，SSP 化（不鏽鋼給水管佔全區給水管比率）從 0% 提升至 27%，DIP 化（延性石墨鑄鐵配水管佔全區配水管比率）從 48% 提升至 98%，售水率（計量區內總表及直接表度數和與評估表度數之比率）從 40% 提升至 46%。計量區用戶平均用水量為 365 噸/日，採小區檢測間接法並將計量區區分成 3 個小分區，以進行夜間最小流測試。

測試區原應先新設具記錄功能之計量器，於夜間關閉制水閘後，用以量測最小流值；惟本次測試主要目的係因計量區售水率未依管線汰換

程度而提昇，故計劃縮小區域以找出漏水處，因為暫時之措施，故不新設計量器，而以操作現場制水閥封閉小分區，進行最小流測試，且以分區計量之漏水量扣除未封閉小分區所測得之最小流，以獲得封閉小分區之漏水量。

作業方式：

一、量測計量區最小流量

經測試該區 6 日最小流量值如圖 1，分別為 13.2 噸/時、13.8 噸/時、13.8 噸/時、13.2 噸/時、12.6 噸/時、13.2 噸/時，平均為 13.3 噸/時。經量測計量區評估表度數為 795 噸/日如圖 2。

二、關閉制水閥封閉小分區（每夜封閉 1 區）

封閉第 1 小分區，並測試該區消防栓壓力值是否為零，以確認小分區確以完全封閉未進水。再逐夜封閉其餘 2 區。

測試結果：

第 1 小分區封閉後，測得夜間最小流為 9 噸/時，表示該區應有 4.3 噸/時之漏水量。第 2 小分區測得夜間最小流為 13.2 噸/時，表示該區應無漏水量。第 3 小分區測得夜間最小流為 9.6 噸/時，表示該區應有 3.7 噸/時之漏水量如圖 3。依測試結果，對於漏水小分區進行管線檢測漏作業，共計檢修 $\phi 150\text{mm}$ 一處、 $\phi 25\text{mm}$ 兩處及切封 $\phi 25\text{mm}$ 兩處，檢修後量測計量區評估表度數為 468 噸/日如圖 4，結果如表 1。

利用 EPAnet 受壓管網管線分析法改善售水率偏低之實例探討

測試區塊係位於臺北市大安區，目前計量區管線汰換率，SSP 化從 16% 提昇至 58%，DIP 化從 72% 提昇至 87%，售水率從 43% 提昇至 65%。計量區售水率未依管線汰換程度而提昇，是否為尚未汰換的管線因嚴重漏水所致，目前尚不可得知，惟以這樣的汰換率，我們認為計量區的售水率確有偏低的現象，因此懷疑該計量區存有不明自

來水管線，首先調閱計量區外側周圍自來水管線圖資與原始竣工圖面，逐一比對檢視，再以水壓力異常點進行實地測試，以尋獲不明自來水管線。

作業方式：

一、基本資料調查

彙集計量區外圍管線管徑、長度、管徑變化點及各點消防栓高程。

二、管線資料與現地比對

核對計量區外圍管線位置與消防栓位置，並量測各消防栓距離。

三、檢視計量區外圍管線是否與區塊外管線連通

首先檢視計量區塊東北角如圖 5，埋設口徑 250mm 電子式評估表，該處是分區計量區塊兩進水處之一，自新生南路 1 段 400mm 自來水管線進水，除此之外並未發現其他連通計量區外的自來水管線。分區計量區西北角如圖 6，除依規劃封閉橫越金山南路 1 段及仁愛路 2 段管線外，並未發現其他連通計量區外的自來水管線。分區計量區西南角如圖 7，除依規劃封閉橫越金山南路 1 段自來水管線外，並未發現其他連通計量區外的自來水管線。計量區塊東南角如圖 8，埋設口徑 200mm 電子式評估表，該處是分區計量區塊另一進水處，自新生南路 1 段 200mm 自來水管線進水，除此之外並未發現其他連通計量區外的自來水管線。另檢視新生南路 1 段 140 巷自來水管線如圖 9，該管線與新生南路 1 段 400mm 自來水管線連通，依封閉計畫將其制水閥關閉，經量測計量區內外之水壓力為不同值，可確認新生南路 1 段 140 巷自來水管線已完全封閉。經檢視計量區外圍管線並未發現不明自來水管線連通。

計量區外圍並未發現不明自來水管線，由於該計量區塊內建物屋齡較為偏高，因此是否有些年代久遠的自來水管線竣工圖並未數化於管線圖資系統，因此本研究計畫以水壓力來判斷不明自來水

管線的位置，因為漏水處或管線分支點是造成自來水管線內水壓力變化因素之一；如何利用水壓力變化來檢視不明自來水管線，目前獲得自來水管線內壓力，最直接且迅速的方式，是以量測地上式或地下式消防栓之水壓力，由於這些實測消防栓所得的水壓力並無一個可靠的數據做為比對，可找出異常的水壓力點，因此本研究採用 EPAnet 程式，利用分區計量區兩個進水點壓力，計算出計量區外圍各點消防栓壓力值，稱為理論水壓力，實測水壓力與理論水壓力之差值，本研究定義為相對水壓力差值；在同一路段某一點相對水壓力差值異於其他點，即為異常點。

四、計算：

利用 EPAnet 程式輸入管線管徑、管內磨擦係數、消防栓間距及高程，計算出計量區外圍各點消防栓壓力值，將計算結果與實測消防栓所得的水壓力繪製水壓力圖如圖 10，我們可以從圖中的兩條曲線顯示，在同一條件及標準下所得的兩條曲線，其各點相對的差值應是接近，若有某點差值異於其他點，即為異常點；圖中節點 4 及節點 13 等 2 點是我們推定的異常點，後續的作業即是配合現場測試以驗證本研究的異常點為不明自來水管處的推論。

五、現場測試驗證：

- (一) 節點 4 是位於仁愛路 2 段與臨沂街交口的東南側編號 18 地上式消防栓如圖 11，此路口管線圖資並無橫越仁愛路 2 段之管線，經調閱原管線竣工圖亦查無管線。以北側編號 15 地下式消防栓做為測試的對象，經量測水壓力為 1.2 kg/cm^2 ，在關閉北側編號 22 等 5 只制水閥後，水壓力提高為 1.35 kg/cm^2 ，表示有不明水流且該處形成管末端造成水壓力提高，假定無橫越仁愛路 2 段之管線，關閉南側編號 33 等 3 只制水閥並不會影響北側編號 15 地下式消防

栓壓力值，反之代表此處有連通管線，經關閉南側編號 33 等 3 只制水閥後，北側編號 15 地下式消防栓水壓力降為 0.75 kg/cm^2 ，顯示有不明管線橫越仁愛路 2 段，以致關閉南側制水閥會造成北側消防栓壓力值降低。

(二) 節點 13 是位於信義路 2 段與連雲街交口的東北側編號 31 地下式消防栓如圖 12，此路口管線圖資並無橫越信義路 2 段之管線，經調閱原管線竣工圖亦查無管線。該處之現況與節點 4 頗為相似，惟路口兩側皆為商家，採關閉兩側制水閥方式測試不明管線，需辦理局部規模停水作業徒增困擾。由於永康街口目前正興建捷運地下車站，經詢管線單位及捷運施工處，證實該路口施工時並未發現管線橫越信義路 2 段。後經現場探勘，信義路 2 段 163 號前編號 104 制水閥為關閉狀態，經操作開啟制水閥後，編號 31 地下式消防栓壓力自 1.4 kg/cm^2 降為 1.35 kg/cm^2 、編號 30 地下式消防栓壓力自 1.2 kg/cm^2 提升為 1.3 kg/cm^2 ，相鄰消防栓水壓力值已相近，表示節點 13 水壓力異常是編號 104 制水閥關閉所致，並非不明管存在所造成。

結論與建議

- 一、將計量區細分成小分區，進行夜間最小流測試時，事前詳細規劃關閉特定制水閥做為封閉小分區範圍之依據，可避免新設計量器，配合以分區計量之漏水量扣除未封閉小分區所測得之最小流，以確認漏水之小分區，再進行管線檢測漏作業，可提升計量區售水率。
- 二、利用 EPAnet 程式計算分區計量區消防栓理論水壓力值比對實測水壓力值所找出之異常點，配合現場制水閥操作測試，確能尋獲不明自來水管線，惟以此方式檢測不明管前，除事前詳細查對管

線資料外，需將計量區外圍管線之制水閘全部開啟，以避免因制水閘關閉致水壓力集中造成異常壓力。

三、落實閘栓維護工作，有助於計量區封閉作業及測試封閉前後之水壓力變化，避免因計量區封閉後造成局部地區供水壓力不足，影響用戶用水，造成民怨。

致謝

本研究進行過程中，承蒙南區營業分處陳倉桓主任、淨水科楊華堃正工程司、南區營業分處郭榮吉股長、張立錚副工程司及相關同仁鼎力協助，謹此致謝。

參考文獻

1. 郭瑞華等：如何減少無計費水量之研究，中華民國自來水協會，2002年。
2. 許志浩：自來水設施維護管理之研究，國立臺北科技大學土木與防災研究所，2004年。
3. Lewis A. Rossman：EPANET2 Users Manual，Water Supply and Water Resources Division Nation Risk Management Research Laboratory Cincinnati United States Environmental Protection Agency，2000年。