

減少漏損與無費用水之經濟研究

The Economic Research on Reducing Leakage and Unaccounted-for-Water

駱尚廉* 楊昆霖**

摘要

台灣地區的水資源，以每人所能分配到的水量，和世界上其它國家相比，僅約為世界平均值的 1/6~1/7，屬於水資源缺乏的地區，且為了未來日增的需水量，惟有以「開源」的開發新水源與「節流」的減少漏水與浪費水才得以解決。而漏水的防止不可能做到 100% 的無漏，因此除了技術上的限制外，經濟上的考量也是漏水控制要不可能完全防漏的原因。

以檢修漏所能代來的經濟效益來說，一般只考量檢漏的部分，因為修漏的成本無論在檢漏工作存在與否都會存在，故可視為一固定值，不因檢漏而改變。而檢漏所得到的利益，主要是因檢漏的施行所能避免的漏水量而產生的機會成本，也就是檢出漏水量、預估漏水延時與單位漏水機會成本的乘積，而檢漏的成本則包括人事、機器設備、施工材料等費用。兩者相除即可得「益本比」。理論上益本比大於 1 即代表此一為經濟可行的。但以上的計算中，所採用的預估漏水延時有許多假設，而單位漏水成本也因水資源充裕與否的情況而異。至於延緩建設投資的利息成本，因所要考量的因素過多，無法得出典型值，應以個案討論之。而檢漏除了有形的利益外，尚要考量檢漏所能代來的無形效益。

在參考國外經濟分析的資料，以國內的大台北地區和宜蘭地區的數據，再參考其地區特性與採用較保守且合理的條件下，發現其益本比均大於 1，表示檢漏是經濟可行的；至於是否投入的資源在最佳的狀態下，則要以最小總成本來判斷。然其從結果也顯示出區域漏水特性與檢漏效率及益本比的關係是十分密切的。

一、前言

台灣地區雨量雖然豐富，每年平均降雨量約 2,504 公釐，比世界的平均值 726 公釐高出許多，然因人口稠密，平均每人每年之降雨量約 4,500 立方公尺，僅約為世界平均值的 1/6~1/7（台灣省建設廳，1991；李泰雄等，1993；饒欽良，1993），加上降雨量在時間與空間上之分佈極不平均，上游山區地形陡峻，水資源需求量逐年增加，水資源供應量漸感不足，解決之道不外「開源」與「節流」，惟適宜「開源」之位置有限並逐漸稀少，開源所需之費用驚人，

*國立台灣大學環境工程研究所教授

**國立台灣大學環境工程研究所博士班研究生

每一立方公尺水量之開發成本漸升至 30~50 元以上(陳耀楠, 1993), 再加上自來水處理過程所需之化學藥品、電力能源、廠房設施等費用亦節節高漲, 因此「節流」亦為另一必採之途。此外, 政府目前正發展台灣成為「亞太製造中心」, 而水的供給是基本的問題, 為了應急, 政府日後調用農業用水支應工業用途勢必不可避免, 但是在移用過程中會產生不可避免的抗爭, 加上一味開發水庫又有造成海岸線退縮等的副作用(陳中興, 1996), 更說明了「節流」的必要性。

珍惜並有效利用寶貴水資源不但是民眾的責任, 也是自來水機構的一大挑戰, 「節約用水」也已列入政府相關部門推動的重要工作之一。減少漏水及無費用水為節約用水相當重要一環, 唯漏水量的評估尚無統一之基準, 漏水程度計算方式不同也有誇大或隱藏漏水量嚴重程度的可能, 影響漏水之因素繁多, 因此漏水成本的計算亟待獲得一定量結果取得共識, 此與自來水機構將採取何種漏水改善對策有極密切關係。

本研究目的主要是探討如何減少漏損及無費用水以及其經濟效益的分析。一開始要先瞭解漏損及無費用水的定義, 因為不同的定義會造成比較基準的差異。至於瞭解漏損及無費用水形成的原因則是下一個重點, 因為唯有知道其成因才能以適當的方法來解決。經濟分析的部份則以台北市所執行之檢漏及修漏作業(Leakage Detection & Repairing, 簡稱 LD&R)與台灣省自來水股份有限公司的資料來作成本效益分析(Cost-benefit analysis), 並判斷其經濟可行性。

二、無費用水與漏水分析

1. 無費用水分析

世界銀行(world bank)曾對世界四十多個國家作過調查, 發現各國平均的無費用水率高達 30%, 而有些國家甚至高達 50% (1986)。雖然對於世界各國而言, 無費用水的變異甚大, 但平均都在 20%~40% 之間, 極端的高值可達到 50% 或是 60%, 而最低則可達到 10% 以下。就國家的發展特性來說, 無費用水率在已開發國家均較低, 大部份的國家都約在 20%~30% 間, 而在開發中國家則較高, 甚至 50% 的無費用水率不算少見。

第二十屆國際自來水年會(IWSA, 1996)所顯示的無費用水率較低的國家有:德國與瑞士的約 7%、新加坡由 1989 年的 10.6% 降至 1993 年的 6.4%, 其它的國家則如圖 1 所示, 平均約為 17%; 而南韓 1987 年則約 39.5% (Kim, 1990)。至於台灣地區是以售水率 80% 為目標, 近年來則是在 70%~75% 間。但是要注意的是: 各國對於無費用水的定義可能不儘相同, 如包含的成份與計算的方式等, 而且有些國家所報出的資料數值也是有疑問的, 因此在解釋或比較上要小心。

而在台灣地區的無費用水所佔水廠總出水量之比例則為 20~40% 不等(台北市自來水事業處, 1996; 台灣省自來水公司, 1995)。台灣省自來水公司歷年之無費用水率(民國 74~83 年)如圖 2 所示, 其數值在 20~25% 之間, 系統尚屬正常。

第二十屆國際自來水年會各國之無費用水率

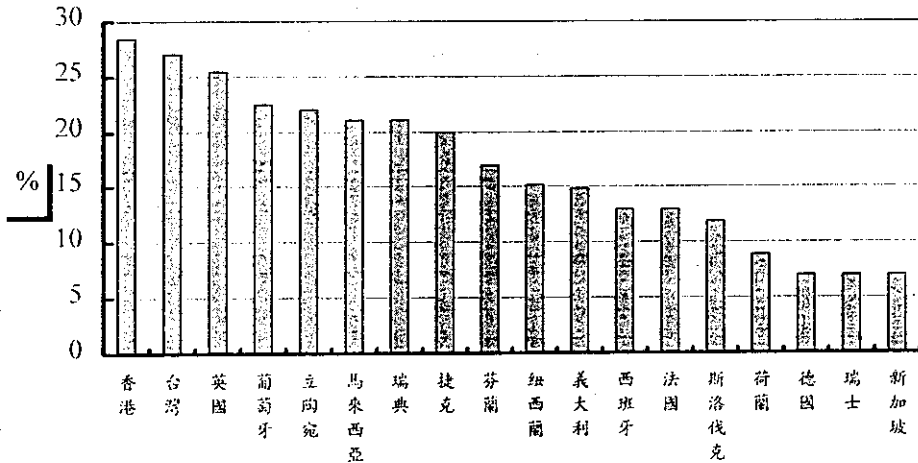


圖1 第二十屆世界自來水年會各國的無費用水率 (IWSA, 1996)

台灣省自來水公司歷年無費用水率

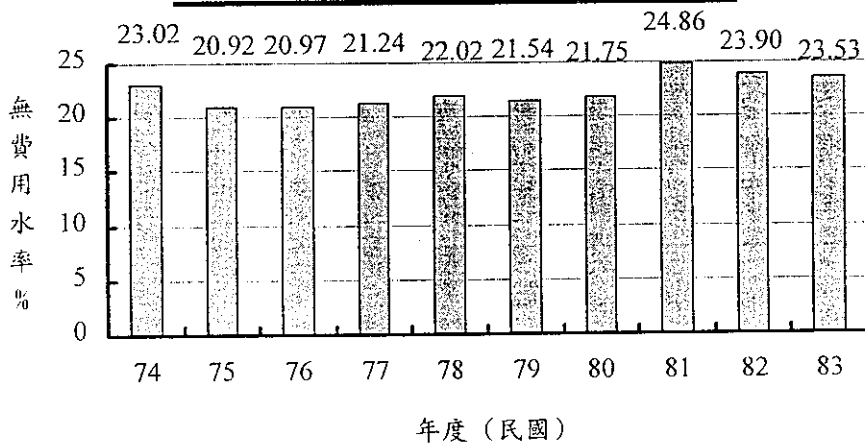


圖2 台灣省自來水公司歷年無費用水率 (台灣省自來水公司, 1995)

而台北市歷年之無費用水率 (民國 71~84 年) 則如圖 3 所示, 在民國 80 年前有逐年下降的趨勢, 但是在民國 80 年之後則逐年上升, 其原因可能和民國 80 年之後台北市之公共工

程陸續開工有關。由近年來日漸增加的無費用水率，顯得檢漏與修漏計劃是日益重要。

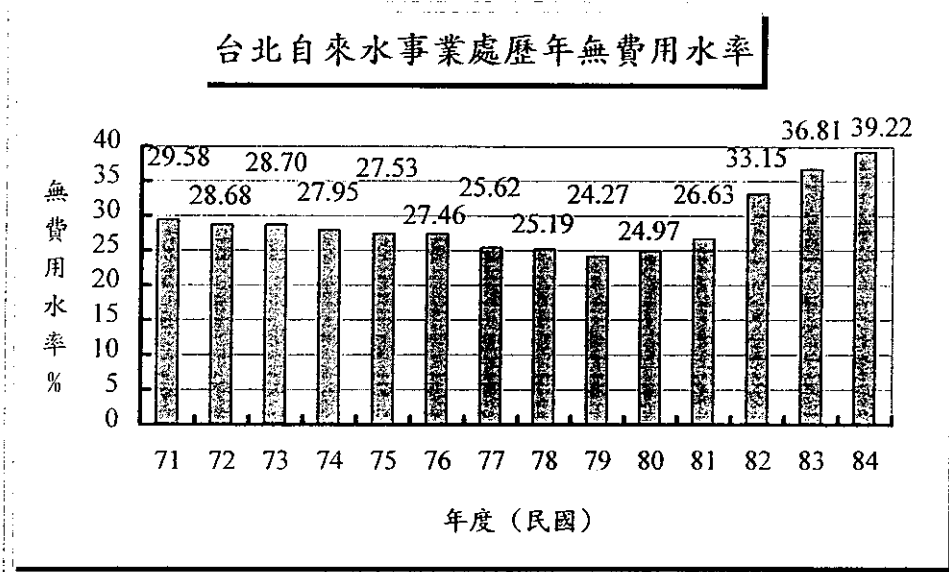


圖3 台北自來水事業處歷年無費用水率 (台北自來水事業處, 1995)

至於無費用水的來源，可分成以下數項：

- (1) 出水總錶 (master meter) 誤差：出水量雖不包含在無費用水量中，但無費用水量的計算是出水量減去總計量的水量，因此出水量的不準確會造成無費用水的誤差。當出水總錶之流量數值比實際出水流量大時 (over-registering, 正偏差)，無費用水率會增加；而當出水總錶之流量數值比實際出水流量小時 (under-registering, 負偏差)，無費用水率會減少。一般來說後者的情況是比前者為多，因此當出水總錶校正後，通常無費用水率多會提升，而這對自來水事業單位是不利的 (朱孟聰, 1989)；而前者的狀況雖然較少，然也曾有超出 25% 的例子 (Kroushl Jr., 1984)。
- (2) 漏水：包括配水管線的漏水與配水池之漏水與溢流等，將會後面再加以討論。
- (3) 公共需要用水：公共需要的用水雖不能避免，但可以詳加管理而減少用水量，而管理的基礎在於確實的計量，如有未裝錶的部份要裝上水錶，以獲得實際的用水量，如此在漏水量的計算也可減少誤差。此外，應督促使用單位宣導減少浪費與節約用水。
- (4) 消防用水：消防用水包括有平時訓練與救火用水，其特性是其總水量不大而尖峰需求量大。消防用水通常不能減少，但若掌握比較確實的數據則會減少無費用水計算的誤差。
- (5) 用戶水錶的錶差：指水錶計錄之誤差。通常會造成少計水量，甚至水錶完全不動。造成錶差的可能原因有：① 水錶用久變舊後，因水垢的阻塞使阻力增大而將機器的精確度劣化；② 使用了形式不對的水錶；③ 水錶的大小不適當；④ 水錶的裝設不正確；⑤ 大多數的

水錶都是為水平 (level) 而設計的，因此水錶不水平也會造成誤差；⑥ 記錄器 (register) 的選擇與裝設錯誤；⑦ 抄錶員的誤讀 (misreading) 。

- (6) 用戶水錶的不感：並不是所有的水量都可由水錶來記錄，通常流量要超過一定的量水錶才會完全記錄，如圖 4 所示 (Male et al., 1985)，由圖上我們也可以發現水錶的不感會隨時間而增加。水錶的不感大部份是因為所使用水量與水錶口徑不一致而造成。雖然小水錶之不感數量較多，而大水錶之不感其數量較少但水量較大。

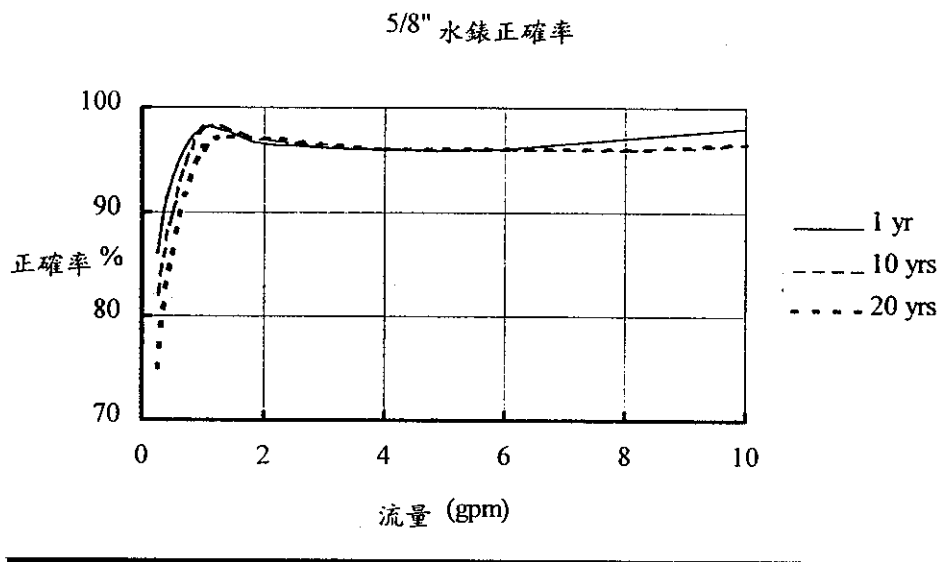


圖 4 流量與水錶正確率之關係 (Male et al., 1985)

- (7) 竊水：是由於用戶私接管線所造成的。有一些新建房或工地，往往因貪圖方便或需水量較大的用戶，就私自埋設管線或用橡皮管接水，因埋設於地下，如稍加掩飾很難查緝，也曾發現在戶外因天氣熱就私自接管到屋頂用水散熱 (洪武揚，1993) 。

減少無費用水的方法 (除減少漏水外) 有以下幾種方式：

- (1) 徹底做出好水量的量測，出水總錶一方面其品質要掌握，另一方面要定期檢測與校正，以掌握正確的出水量，因為無論是無費用水或是漏水率等的計算，其基礎都是有正確的出水量 (洪武揚，1993) 。
- (2) 減少業務與施工的用水，並改進施工方法，以減少施工用水量。
- (3) 對於無錶之公共用水及其它用水等加裝水錶，以掌握該用水量，即使是不對該用戶收費。
- (4) 推行「節約用水」，減少公共用水量。
- (5) 要求消防局確實回報消防用水量，避免流於形式而變成空談。

- (6) 對於用戶水錶的品質要確實掌握，並加強水錶維護，汰換逾齡水錶，以提高水錶品質，減少錶差與不感水量。而水錶裝設時也要注意其施工品質，儘量維持其水平與固定。
- (7) 對於工商業大水量用戶之水錶，要定期檢測，以確保其正確性。雖然大水錶之數量約佔所有用戶水錶的 5~10%，但其用水量卻可佔整個給水系統總出水量的 40~50% (Smith, 1987; Carney et al., 1995)。以國內的經驗來說：民國八十二年台灣省自來水公司曾對中鋼公司之 1,200 mm 及 1,000 mm 的水錶進行檢測與校正，其獲得的效益是每月可增收水費約 5~6 百萬新台幣，而所花的費用不過十三萬三千餘元，僅以一個月的益本比來計算即高達約 40 倍 (台灣省自來水公司，1993)，所付出的並不多而能回收的利益實在相當可觀。
- (8) 對於水錶不感水量，可以總抄見量加 10% 以彌補水錶不感量 (WRC, 1984)；或是增加配水壓力使得每次用水之流量增加，則可降低錶差及不感水量。但要和因水壓提高而增加的漏水量相互考量 (台北自來水事業處，1992)。
- (9) 切實抽查抄錶，以減少讀錶與記錄的誤差。
- (10) 加強取締違規用水，尤其抄收人員及外勤人員，接觸面較多，又因工作環境關係，對供水區域的環境較為熟悉，如稍加留意與觀察，對該項工作會有很大的效益。
- (11) 改變水錶的裝設位置，儘可能的將水錶的裝設靠近配水管，如此可得到幾項好處：
 - ① 可減少被私自接管的機會並增加發現違規用水的機率。
 - ② 假設漏水發生的條件均不變，而此時部份的漏水發生在給水內線的位置，對於自來水機構的收入勢必增加。
 - ③ 自來水機構所需負責維護的管線長度也會減少而降低成本。
 - ④ 可藉此機會教育民眾，使其對於自己的管線多加留意，早日發現漏水便及早修理之。如此長期下來必然會減少漏水量 (Rousseau et al., 1986)。
- (12) 在工程施工前應作好協調，除了提供配水管線之位置、管徑等資料供施工單位參考外，特別強調如遇到自來水設備損壞時應儘速通知相關單位，並要隨時派人查察 (洪武揚，1993)。

而在以上的方法中，以大錶的定期檢測是最具有經濟效益的，而其它的方法亦應在平時的業務中隨時注意，不可輕忽之。

2. 漏水分析

漏水佔有無費用水的大部份 (約佔三分之二)，是指未經制水設備而流失之水量。漏水的產生原因大致可分為以下五類：(1) 接頭縫隙變大；(2) 破管或爆管；(3) 管受腐蝕而破洞；(4) 消防栓與閘件等的閉鎖不緊；(5) 配水池的蒸發、溢流與漏水等。

由世界各先進國家的經驗，漏水率小於 10% 者，代表其供水系統優良，而漏水率在 10%~20% 之間則尚稱合理，若漏水率在 20% 以上者，則此供水系統要徹底檢討 (朱孟聰，

1989)。由於漏水量多不能直接量測，故漏水率的計算，是將出水量減去售水量及可計量的無費用水量，若無費用水的非漏水部份也缺乏流量記錄，則常以無費用水中的某一比例定為漏水量，如台北自來水事業處是以無費用水的三分之二為漏水量。台北自來水事業處之歷年漏水率，由計算所得的漏水率高於 20%（台北自來水事業處，1996），故漏水情形不可忽視。

由民國八十三年之數據顯示，台北市部份的漏水率約為 26%，而台灣省部份的漏水率約為 14%，即全省一年約有 5.21 億立方公尺的漏水，與翡翠水庫有效容量 3.5 億立方公尺相比較，每年全省自來水漏水量達 1.5 座大型水庫的有效容量（陳耀仁等，1996），若考慮漏水中可測得的部份，則也有一座大型水庫的有效容量之多。這是一個驚人並需要省思的事實。

至於世界各地區之平均漏水量的數值如圖 5 所示，其平均約為 1.3 CMH / Km（IWSA, 1996），我們發現歐洲國家（除東歐）的漏水量約為 0.5 CMH / Km（合 12 CMD/Km），而遠東則是漏水最嚴重的地區，其漏水量約為 100 CMD/Km。

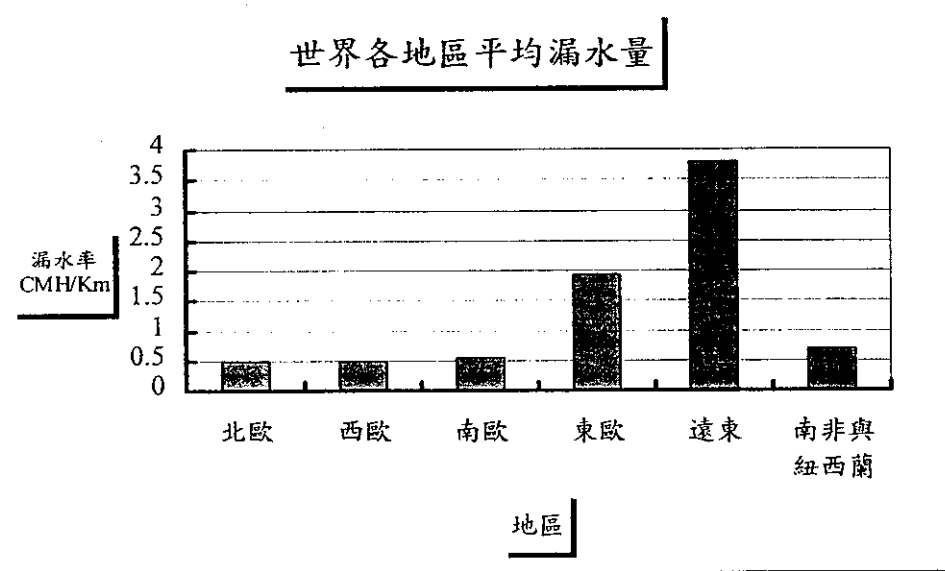


圖 5 世界各地區平均漏水量 (IWSA, 1996)

經由以上的瞭解，我們可以將漏水的防止分成以下兩大類：

(1) 降低漏水的發生率：

- ① 供水壓力調整：然就水壓與漏水的關係來說，若水壓增高，則漏水發生率與漏水量皆會增加，因此要降低漏水的方法就是降低供水壓力。而降低水壓比較可行的方法是將大的供水區分成較小的供水區，而每個供水區皆有其加壓抽水機，因此會使配水壓力較為均勻，不會有過高的壓力造成漏水量的增加（即降低尖峰水壓的數值），也不會有水壓不足的現象產生。

- ② 管線與附件等材料的要求
- ③ 管線施工方面：由於廠商的施工品質影響水管長年使用功能與維修成本，故對於施工品質與施工規範的制訂要詳加注意。
- ④ 管線的防蝕措施：如調整 pH 值、使用化學腐蝕抑制劑、犧牲電極等。
- ⑤ 管線的更生 (Rehabilitation) 與更新 (Replacement) 計劃：所謂的「更生」是指管線的內面修補以延長使用年限，所謂的「更新」則是指整隻管線的抽換。在漏水發生率高的管線，採用檢漏可能不勝其煩，此時以抽換管線的效果較佳。由第二十屆世界自來水年會的資料所示，各國的年管線更換率平均為 0.6%，而我國的年更換率和世界各國平均值相當，然而該資料也建議最低的年更換率為 1.5%，也就是平均管齡為 60 ~ 70 年。在世界上也只有意大利和瑞士符合此一標準，相較之下，我國尚有很大的發展空間。
- ⑥ 給水裝置的管理：由於用戶管線及水錶常為漏水發生處，若能對這些裝置加以管理，如定期的檢查與校正，可減少部份漏水。此外，給水管線的整理（如多管線合併為單一大管）也可減少漏水的發生。
- ⑦ 建立輸配管網之監控系統：由電腦中央控制系統，可監控各重要輸水幹管每一時段的水壓、水質、日配水量等，甚至漏水音也可以藉此來監測如發現供水異常，即可立即派員搶修，掌握修漏時效（朱健行，1990；蔡光輝，1994）。
- ⑧ 與施工單位加強溝通：由於許多破管的發生是由於施工單位的不注意，在挖掘或鑽掘的過程中使管線發生破壞，而且所造成的破壞因其破口不小使得損失不斐。而與相關的施工單位與包商的有效溝通與合作，可減少破管的發生（Cave, 1988）。

(2) 找出漏水並加以修理：其方法相當多，在此只作簡單敘述。

- ① 計量作業：就是了解進出配水管網的水量，來判段此管網或管線是否有漏水發生，然漏水點並不易由此法發現，仍有賴聽音作業來進行，包括了：
 - A. 流量監測 (water auditing)
 - B. 分區計量 (district metering)
 - C. 小區計量 (waste metering)
 - (a) 直接計量
 - (b) 間接計量
 - (c) 分段測試 (step test)
 - D. 複合檢測 (combined metering)：就是綜合分區檢測與小區檢測。
- ② 聽音作業：為檢測漏水的基本工作，也是大部份系統之檢漏作業所採用的方式，因為不論前面所敘述的計量作業如何實施，最後大部份都要以聽音來找出漏水的管線

及漏水處，包括了：

A. 巡迴聽音 (regular sounding) ：

- (a) 直接聽音 (direct listening) ；以聽音棒 (sound bar) 檢測之。
- (b) 間接聽音 (indirect listening) ；以電子聽音儀器 (漏水探測機) 檢測之。
- (c) 相關式漏水探測機 (leak noise correlator)
- (d) 長時間漏水音記錄器 (Aqualog) ；其布置如圖 6 所示，是由英國的 Palmer Environmental 公司所發展之新的漏水檢測工具。其原理是利用在管線或管網上安裝此記錄器，過了一段時間 (一般最少 2 小時，通常為 2 ~ 3 日) 後，將記錄器的資料傳至個人電腦 (personal computer) ，並輸入管線或管網的相關資料，運用電腦軟體的計算就可找出漏水點的位置。由於此儀器是計錄聲音的強度，而一個管線若有漏水存在時，會有連續而大聲的漏水音，而其它的聲音如交通噪音或許在音強度上會大於漏水音，然其聲音不連續性使得兩者可藉由統計方法而區分出來，因此此法的關鍵一方面是輸入電腦的資料正確性，另一方面則是電腦分析軟體的完整性。

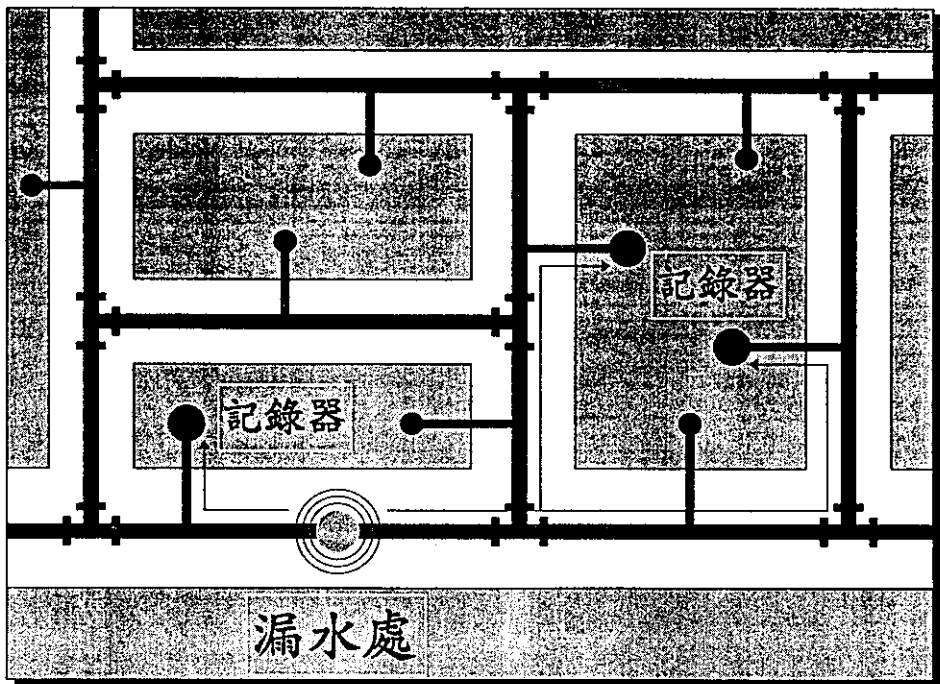


圖 6 長時間漏水音記錄器

此工具的好處是不需要分區計量或小區檢測等昂貴的設備與繁複工

作、不需關閉制水閘、不限於夜間工作、不需熟練的操作人員等。若此法在實用上可完全進入狀況，一方面可增加檢漏效率並降低檢漏人員數目，另一方面可降低檢修漏的成本。

B. 差別聽音 (Differential Sounding) : 由 Gledhill 於 1957 年首先提出，其作業方式和巡迴聽音相同，只是在不同區域的作業頻率則是視該區之漏水歷史而有不同，若其漏水發生率很高則聽音作業頻率要增加，反之則可酌以減少 (WRC, 1984) 。

③ 其它方法：(a) 水壓檢查；(b) 側溝檢查；(c) 地面穿射雷達 (ground penetrating radar or subsurface radar) 檢查；(d) 紅外線偵測；(e) 氣體追蹤技術 (gas tracing) ；(f) 光纖技術；(g) 管內檢漏技術 (in-pipe technologies) 如利用管內視裝置與攝影機同時併用或單獨以一定間隔的複數麥克風順著水流注入配水管內再捕捉音的資訊等。以上方法除水壓與側溝檢查外，其價格昂貴且應用有限 (多限於大管徑使用) ，因此在實務上應用有限，多在傳統檢漏方法不易實施時採用之。

④ 被動漏水控制：或稱「消極性漏水控制」，是指當漏水已漏出地面之時或是當有用戶報怨水壓過低或管線有噪音時才去修漏，通常此時的漏水程度已經相當高了。利用此方法水公司的付出可以說是最少的，但通常也是最不經濟的，然而在以下幾種情況此法是具有經濟可行性 (Smith, 1987) ：

A. 當一地區水的成本相當便宜。

B. 當一地區管線週圍的土質狀況可以讓漏水很快地現出地面之上時，則一方面可減少漏水時程 (Duration) ，另一方面可降低漏水點的檢測成本。

此法並不試圖去檢測漏水，而僅僅是去修理漏水。比如那些看得見的漏水 (無論是隊員巡視所看見的或是民眾打電話告知的) ，或是民眾抱怨水壓太低、沒有水等案例而結果經證實的。大部份的案件均是修理看得見的漏水，少部份仍需要經過漏水檢測才能找到。此種控制方法對減少不計費水量的程度上並不是很有效，而且通常我們可以發現：在看得見漏水率高的地方，也是看不見漏水率高的地方。

3. 漏水修理

在漏水被檢出之後，常要先估計其漏水的大小，通常可以用漏水音能傳達的距離與漏水音的強度等來判定，然而以人耳來判定通常需要經驗，因此也有發展電子設備與電腦分析來判斷之 (Heim, 1979) 。

至於被檢出的漏水，通常在第二天要經過確認（affirmation）的工作，也就是說，所測出的漏水到底是不是真有漏水？而此漏水又是不是歸於本單位來處理？其確切的漏水位置為何？如得到的結果皆為「是」，才會對該漏水加以修理。根據文獻顯示，在檢出的漏水中，有可能有其它水公司的管線或是其它的管路，更有甚者連漏水都沒有，或稱「確認無漏（dry hole）」，不過真實漏水的估檢出漏水的比例一般都在 95 % 以上（Moyer et al., 1983; Fantozzi et al., 1992）。此外由於相關聽音的技術日益進步，使得漏水位置的掌握相當精確，因此確認工作的工作量大幅減少，而能提昇檢修漏的效率。

並非所有的漏水都要修理的，如小漏水的修理通常並不經濟。雖然修理小漏水（如漏水只有每小時幾公升）並不值得，然而此漏水並沒有關閉，因此要受到監視，而且遲早是要開挖修復的（Fuchs et al., 1991）。

所發現的漏水以不阻礙道路交通，且必須在短時間內修理完成。且越早修復漏水，漏水延時（duration）可減短，也可減少漏水量而增加收益。

漏水修理的方法相當多，大致可分為開挖施工與非開挖施工，至於該採取管線修復還是管線抽換，則要考量其環境條件與經濟效益來裁奪。對於漏水發生頻率較高的地區，只是採取管線修復可能只能延緩漏水發生幾個月而已，此時則採取管線抽換為宜，而且是越快越好，以減少檢漏人力與水資源的浪費。

經由以上對於漏水控制的簡介與檢漏的詳述，到底我們應該採用何種方法來控制漏水呢？我們大概可依照以下的原則來決定之：

- (1) 我們可以漏水率或漏水量依經驗來判定應該採用何種漏水控制方法，高漏水率應採檢漏，而低漏水率則應採預防漏水的措施；或是採用檢漏時，高漏水率採聽音，而低漏水率則宜採分區與小區計量等。
- (2) 在降低漏水的發生率方面，以上所述的各種方法基本上是不互斥的，因此是可以一併進行，而所採用的方案越多，當然成本也越高，然而各改善方案的漏水減少效益也不同，依特性可將其分成四類：
 - ① 供水壓力的調整在所有方案中應具有相當高的益本比，降低水壓所得到的漏水減少量是相當有效率的，但是因為供水壓力有最低的限制，因此只有在具有高水壓的地區較適用。
 - ② 管線施工、管線品質要求、與施工單位加強溝通等其實花費不多，而所得到的效益是相當顯著的，只是由於要達到有效的地步可能是相當繁瑣的，需要所有相關人員都有此一共識才得以見到效果。
 - ③ 管線的防蝕、管線的更生與更新等其花費相當大，但是防杜漏水的根本，因此在侵蝕的環境或是漏水發生率或漏水復原率高的區域，應以此種方法來處理，只要時間夠長，其所節省的漏水與檢修漏的資源必可因而攤平。
 - ④ 建立管網的監控系統是漏水檢測的最終目標，也必須和漏水檢測一同進行，其基礎是以分區計量的流量計資料藉由電話線或網路傳至中央控制系統，並以電

腦軟體判斷資料以分析何處可能有漏水發生，可即時發現漏水並派人檢出，不但節省人力，也可減少漏水量，但所需要的成本則可能是最大而也是最有效的漏水控制方法。

- (3) 在漏水檢測的部份，若只以控制的費用來看，則是以被動控制和測溝檢查的費用最低，其次依序是巡迴聽音、分區計量、小區計量、其它特殊的檢測方法；然而若以漏水控制成本與漏水損失的和來看，則分區計量與小區計量的費用最低，巡迴聽音次之，被動控制則最高，然以上所述只是英國一般的情況，詳細的分析主要還是要看該區的單位漏水成本、土壤質地等地域性情況，並不可以一概而論。
- (4) 由於漏水的控制除了經濟面外，尚牽涉到最低供水壓力、資源分配與其它相關單位的配合，因此要得到最佳的控制實在不易，因此宜採多目標決策 (multicriteria decision)，而非單一目標如成本等，來決定漏水控制的方案。

國內在自來水檢漏方面，台灣省自來水公司所擬之自來水事業十年發展計劃 (80 ~ 89 年度)，其經營目標為將售水率由 78.4 % 提升至 82 %，至於業務發展計劃之關於提高售水率的部份則包括了：

- (1) 售水率以達 82 % 為目標。
- (2) 加強檢修漏工作：計劃訂定分區輪替進行每兩年循環一次，每年預計檢漏管長約 10,000 公里，以防治漏水量約 90,000 CMD。
- (3) 取締違章用水：預計追償水量每年 100 萬立方公尺。
- (4) 汰換逾齡水錶：每年平均約 634,000 只。
- (5) 抽換逾齡管線：每年約 530 公里。
- (6) 改善水錶位置及用戶外線：每年平均約 9,000 戶，俾利抄錶作業。
- (7) 用戶外線抽換：每年平均約 80,000 戶。
- (8) 供水系統取配水總水錶之新設與汰換：每年平均新設 169 只，汰換約 472 只。

至於台北自來水事業處對於防杜漏水甚為重視，已自健全管網系統為治本之計，遇漏水即行修理止漏做為治標之法，同時自民國七十一年起實施兩年循環測漏作業，並對可能漏水量較多的地方，如管線穿過河川、排水溝等處先行偵測，以收速效。目前台北自來水事業處為了精簡人力、減少設備投資、加強專業分工並擴大民間參與，自八十五年度起參考先進國家業者作法，將漏水檢測業務委由專業測漏公司承辦。八十五年度檢測管線長度 350 公里 (內湖與文山區)，檢出地下漏水約有兩百處，檢修漏水量合計約每日 11,700 立方公尺；八十六年度業經編列預算擬委外檢測管線長度 450 公里 (萬華與士林區)，八十七年度預計檢測管長 1,000 公里。今後將在財務許可範圍內逐年擴大辦理，以早期發現並修妥地下漏水，以減少漏損。

三、檢漏經濟分析

由於無費用水或是漏水是任何自來水系統都無法避免的，但是全面的檢漏及修漏非但是技術不可行，並且也不經濟的，因此漏水控制的目標在於決定何種防漏修漏措施是最具成本效果的（most cost-effective）。一般在評估經濟效果的方法有以下兩種（IWSA, 1991）：

1. 益本比法（benefit-cost solution）：當所漏失水的價值高於檢漏修漏的成本時，檢漏修漏是有經濟價值的，一直到所漏失水的價值等於檢漏修漏的成本時為止。
2. 最低總成本法（minimum total cost solution）：當所漏失水的成本及檢漏修漏的成本的和為最小值時，此準則為法國所採用。

在此，我們採用益本比法來說明之。在益本比法中，我們先要定義出檢漏的效益與檢漏的成本。而漏水的效益主要是因檢漏所防止的漏水量，其計算包括了漏水的單位成本、檢漏檢出的漏水量與漏水延時，茲分述如下：

1. 漏水之單位成本（C）

有關漏水的單位成本，有下列數種狀況：

- (1) 變動操作成本：原水取水費用、動力費用及藥品費用。
- (2) 生產成本：變動操作成本加上修理、維護、勞工及監督等費用。
- (3) 總操作成本：即生產每單位水所需付出的成本。
- (4) 售水單價：由於自來水的價格彈性相當小，加上自來水事業多為獨佔或寡佔，故我們可假設在短期間，因為檢漏所增加的自來水供給並不會造成價格的下降，而仍以原售水價格賣出。
- (5) 機會成本：指原水本來可移作其它的用途中，最有價值之那個用途的「價值」與自來水處理之變動操作成本的和。

雖然有以上各種選擇，但以「機會成本」的義涵是最佳的選項，只是所謂最有價值之用途的難以定義，在計算上，我們通常只考量水資源充配時的「變動操作成本」與水資源不足時的「售水單價」。而此項成本的單位為：新台幣 / CMD。

2. 檢出漏水流量的量測或估計（Q）

- (1) 現場量測或估計：針對漏水處之漏水量而言，最準的當然是現場量測，一般有以下幾種方式：

- ① 現場目測估計：預先劃分數個流量級距，依目視判定所屬的等級。
- ② 現場直接量測：可用一定時間流出的體積間接得出流量或是直接接上流量計。
- ③ 量測現場水壓後再以斷面積計算漏水流量。

然而要注意的是：一方面漏水在開挖前後流量有差異，加上漏水修理後，因為水壓的提升會使其它漏水處的漏水流量增加。

- (2) 檢漏前後出水量的差：是針對計量作業之需水量差即為所檢出的漏水量，基本上較為準確，因只要有資料的計錄即可推出，然要注意該區域之需水成長與不定時之異常用水。

雖然漏水的流量會隨時間而改變，但我們將此改變所造成的影響歸到漏水延時中再加以討論。在此只需考慮最初檢出的漏水量，單位以 CMD 表示之。

3. 漏水處之平均漏水延時 (T)

所謂的平均漏水延時 (leak duration) 是指當一檢漏計劃的進行，與沒有進行檢漏的情況相比較，所能提早發現漏水的時間差。由於這方面的研究缺乏，一般多用假設的時間來計算。其適用情況是在第一次進行檢漏或是檢漏週期比漏水生命期 (指漏水從產生到被發現的時間) 長得多時，在文獻中所看到的時間有以下兩種：

- (1) 一年：因為時間不長，且假設漏水流量並不會增加，所得的結果相當保守 (Pilzer, 1981)，而且大多數的經濟分析研究文獻均採用之 (Moyer, 1985)。
- (2) 二年：根據研究美國自來水協會 (AWWA) 的研究 (1986)，漏水的平均生命期 (average lifetime) 約為兩年。

當檢漏的週期較短時，則漏水平均延時便沒有像以上所說的那麼長。因為其理由是因為檢漏的執行，會使一開始漏水幾乎消失，但是漏水還是會繼續產生。假設漏水的發生率為一固定值 (為簡化問題所作的假設)，而可依漏水是否有飽和值可分成以下兩種狀況：

- (1) 漏水量不斷依線性不斷增加，沒有飽和值，此時所減少的漏水量等於檢漏週期乘以最初檢出漏水量，如圖 6-6.1 (a) 所示。此時漏水延時等於檢漏週期。
- (2) 漏水量依線性增加至某一飽和值後即不再增加，而檢漏的進行即在該漏水飽和值時進行，此時所減少的漏水量等於檢漏週期與最初檢出漏水量成積的一半，如圖 6-6.1 (b) 所示。故此時漏水延時等於檢漏週期的 1/2。

以上所得之平均漏水延時，我們所採用的單位為天。

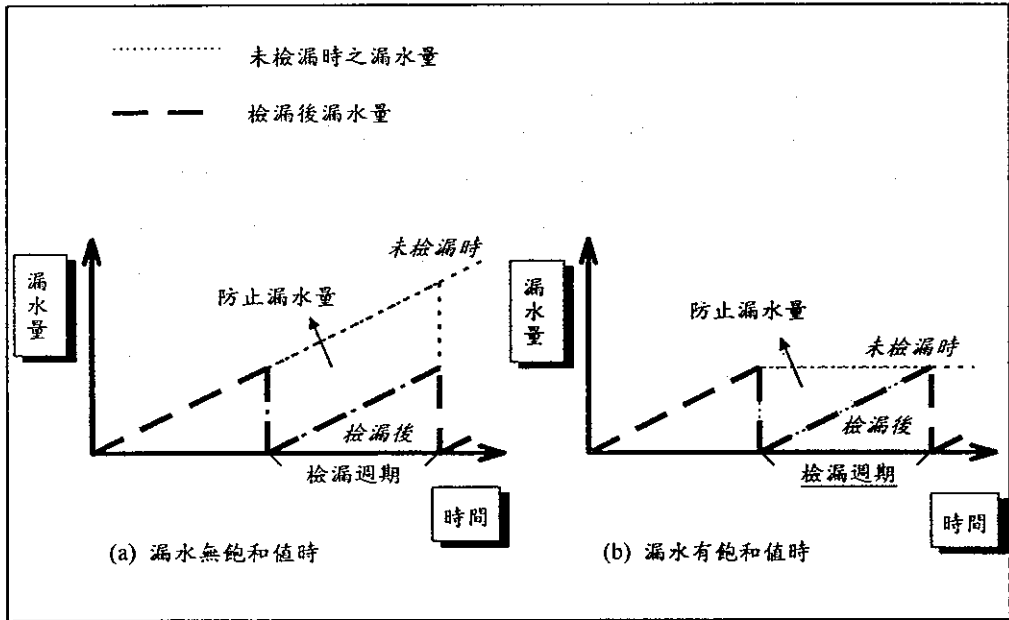


圖 7 漏水延時計算示意圖

經由以上的定義，我們可以得到因為檢漏所防止的漏水的總效益，如式 1 所示，其單位為新台幣。

$$B = C \times Q \times T \quad (\text{式 1})$$

至於檢漏的成本，一般多沒有疑義，只要將 6-3 節中的前六項加總即可（不包含修漏成本），或是有單位修漏成本時，我們可直接利用單位效益來比較，如式 2 所示，其單位為新台幣/CMD。

$$B' = C \times T \quad (\text{式 2})$$

益本比即由式 3 表示，式中 Cost 為檢漏總成本，單位為新台幣，Cost' 為單位檢漏成本，單位為新台幣/CMD。

$$B / C = \frac{C \times Q \times T}{\text{Cost}} = \frac{C \times T}{\text{Cost} / Q} = \frac{C \times T}{\text{Cost}'} \quad (\text{式 3})$$

經由以上各節的探討，我們知道檢修漏的益本比為檢出漏水量、平均漏水延時與平均漏水單位成本三者的乘積，除以檢漏所花費的成本。若要提高其益本比，可從以下四方面來著手：

1. 增加檢出漏水量：由於漏水處的漏水量先天上是無法增加的，因此增加檢出漏水量的唯一方法是增加檢出漏水處的數量，然而增加檢出漏水量可能會同時增加檢漏的總成本，因此不見得會增加益本比。

2. 增加平均漏水延時：要增加漏水的延時，只有早日發現漏水，早日修理漏水才有辦法，基本上可用以下的方法來達成：
 - (1) 增加檢漏的頻率：對於巡迴聽音來說，若每次聽音的時間間距能縮短，則漏水的延時也會因此縮短，然而增加檢漏的頻率也同時會增加檢漏的成本。
 - (2) 採用分區計量：對於一般的巡迴聽音來說，其大部分的時間都花在沒有漏水的地方，若是能將漏水的區域加以細分，則漏水的發現不但可以提早，檢漏的人力與時間也可得到較有效率的運用。分區計量即可利用過去的流量資料和現今的流量資料相比較，若流量增加的量過於明顯，則在排除其它可能原因後，立即派人去聽音即可。然要注意的是：① 過去與現今的流量差異雖可作為檢漏與否的參考，然在標準的制訂上要注意，該差異過大則漏水延時過小，而差異過小時可能是非漏水所造成的，徒然增加檢漏資源的浪費；② 分區越小雖然發現漏水的時間會越早，但流量計裝置的成本所費不貲。
 - (3) 即時修復漏水：若發現漏水後可即時修復漏水，則漏水的延時會增加，然一般所增加的效果有限，只有當漏水量很大的時候，其效果才具有可看性。
- (4) 降低漏水復原率：其實漏水的復原和漏水發生類似，因此可以降低漏水發生的辦法也適用在降低漏水復原上，如供水壓力的調整、管線的更生與更新、管線施工與管線和附件等材料的要求等，其注意的重點除了在漏水修理處之外，漏水區域內的其它管線也是要加以注意的，否則該區域漏水還是會繼續發生，只是在不同的地方而已。
3. 增加平均單位漏水成本：由於漏水的單位成本因各地的狀況而有不同，因此要增加是蠻困難的，因此在有些區域其平均單位漏水成本過低，導致檢漏沒有經濟可行性，然而有許多成本可能沒有引入水價當中，例如興建水庫、開發水源與集水區治理等成本，因此如何能獲得正確或合理水價，以反應獲得一單位水所需支付的成本，是應當再加以研究的課題。
4. 減少檢漏成本：檢漏成本的減少，主要是指單位檢漏成本的降低，也就是每檢出一單位漏水所要花的費用。由於檢漏成本和所採用的人力與設備有關，因此如何能增加檢漏人員與檢漏設備的檢漏效率（如每人每日之檢出漏水量或每人每日檢漏管長）是降低檢漏成本的主要課題。

四、結果與討論

我們利用台灣地區的檢修漏資料及相關數據，來研析台灣檢修漏的經濟效益。至於資料的來源則分別來自台北自來水事業處及台灣省自來水股份有限公司第八區處。此處因為資料的性質關係，只能進行益本比的分析與比較。

在益本比分析中，我們只考慮檢漏所帶來的效益，而修漏的部份視為常數不加以探討。所需要的資料主要有單位水價、漏水水量與檢漏的成本三項，至於其它的資料則於案例中再加以

補充說明。

1. 台北市部份

(1) 基本資料

此次採用民國八十五年執行委外測漏之內湖與文山區的資料，其檢漏的管線長度、檢出漏水量則見於表 1。檢出漏水之詳細資料附於表 2 與表 3。

表 1 內湖與文山兩區管長與檢出漏水量

	內湖區	文山區	總計
管長 (Km)	200	150	350
檢漏水量 (CMD)	6902	4850.6	11752.6
單位檢出漏水量 (CMD/Km)	34.51	32.34	33.58
檢漏成本 (新台幣)			約 7,600,000
單位管長檢漏成本 (新台幣/Km)			21,714.3
單位漏水檢出成本 (新台幣/CMD)			646.67
檢漏速率 (Km/人日)			約 2

表 2 內湖區破損管徑、管種與防漏量

管徑 \ 管種	13 mm	20 mm	25 mm	40 mm	50 mm	75 mm	100 mm	200 mm	300 mm	地下式消防栓	合計
PBP		23	31	11	8						73
LP	3	2	5	2							12
PVCP	1	1	3	2	2	3					12
SP											
CIP								1			1
合計	4	26	39	15	10	3		1		2	100
件數比率	4	26	39	15	10	3		1		2	100.00
防漏量 (CMD)	78.0	702.2	1671	1605	981.0	601.0		1027		237.0	6902.2
流量比率	1.13	10.17	24.21	23.25	14.21	8.71		14.89		3.34	100.00

表 3 文山區破損管徑、管種與防漏量

管徑 \ 管種	13 mm	20 mm	25 mm	40 mm	50 mm	75 mm	100 mm	200 mm	300 mm	合計
PBP	1	3	5	7	4					20
LP	7	11	5	9						32
PVCP	1	6	5	6	4	1	1			24
SP		1								1
CIP		1	1	2				1	1	6
合計	9	22	16	24	8	1	1	1	1	83
件數比率	9.88	24.27	20.99	28.48	11.11	1.23	1.23	1.23	1.23	100.00
防漏量 (CMD)	128.0	1135	327.6	1034	1466	500.0	40.0	20.0	200.0	4850.6
流量比率	2.64	23.4	6.76	21.32	30.22	10.31	0.82	0.41	4.12	100.00

- (2) 檢出漏水量的數值：表 1 中所列檢出漏水量的數值是該兩供水區在漏水檢測前與漏水檢測後之總流量差，而此數值已經將漏水修復後因水壓增加而提升的漏水量考慮進去，因此比漏水處之流量加總正確。
- (3) 檢漏成本：本次發包之漏水檢測計劃的總經費約為八百六十萬元新台幣，其中用於檢測漏水的部份約為七百六十萬元新台幣，而這也是我們所採用的檢漏成本的數值。而此檢漏成本約為每防止 1 CMD 的漏水需花費 647 元新台幣，和文獻中所提到之台灣省自來水公司的 600 元 /CMD 相去不遠（陳樹揚，1982）。
- (4) 漏水單位成本：漏水單位成本的數值於表 4 中所列，並分項討論如下。

表 4 台北市漏水單位成本數值

單位成本	電力	藥品	單位售價
單價(元/度)	0.444	0.123	7.514
單位成本	變動操作成本		變動操作成本(財務)
單價(元/度)	0.567		1.8918

- ① 變動操作成本：由於台北市的原水取得是採用總價合約，每年約三億元新台幣，因此就台北市而言其原水取得費用為固定成本，不因取水量的增加而有變動，因此這和世上大多數的地區不相同。故根據最保守的變動操作成本定義，僅包含了藥品費用與電費兩項，即每度水約 0.567 元；然而以台北自來水事業處財務資料所列之單位變動成本為每度 1.8918 元，其計算為：變動成本總額 / 銷售量，包括了電力費、藥品費、與設備維護費等三項。
- ② 售水收入：售水平均單價為每度 7.514 元。
- (5) 平均漏水延時：我們以文獻中所見到的一年及兩年來作分析，而沒有用檢漏週期；而此時間所代表的是不實行檢漏的狀況下，從此時到漏水被民眾報修的時距。
- (6) 益本比分析結果：如表 5 所示。其計算方式如下：

$$B/C = \frac{C \times Q \times T}{Cost} \quad (式 4)$$

式中符號 B/C：益本比。

C：所採用之漏水成本，元 / 度。

Q：檢出漏水量，CMD。

T：分析天期，以天計。

Cost：總檢漏成本，元。

如以財務上的單位變動操作成本為漏水的單位成本、且漏水延時為一年，此時的益本為：

$$B/C = \frac{1.8918 \times 11,752.6 \times 365}{7,600,000} = 1.068$$

而將所選取不同的單位變動成本分別計算，其結果如表 5 所示。

表 5 台北市施行檢漏之益本比

可能的漏水的單位成本	單位成本 新台幣 / CMD	益本比	
		1 年	2 年
嚴格的變動操作成本	0.567	0.320	0.640
財務上之變動操作成本	1.8918	1.068	2.136
售予省自來水公司平均單價	5.812	3.280	6.561
單位售價	7.514	4.241	8.482

(7) 討論：

- ① 由於對於目前的供水區域而言，水資源算是相當充沛，此時漏水成本宜採用變動操作成本而非售水成本來計算，至於該採用那一項數值則尚要考量。但考慮到供水區域的擴大、供水人口與每人每日需水量的增加，則可能導致水資源的相對不足，此時的漏水成本即應為售水成本，因為檢漏的水量可以被售出，至少也要以售予省自來水公司的單位售價來計算。
- ② 由於漏水檢出會減緩新設備的投資，因此應當要考量所省下的利息。然而在延緩投資利息的計算有許多假設，如投資之設備容量、設備總價、利率水準等，因此只用代表值代入。但若原設計條件改變時(如因供水人口減少、每人每日需水量減少等)，新設備的投資變得非必需，此時並不需要考量此一成本。
- ③ 大多數文獻提出漏水的平均延時約為一年，然而也有文獻其益本比之計算是採用兩年，因此兩者併提。
- ④ 由以上的益本比結果看出，在採用不同的條件其結果有很大的差別。如最高者以售水單價，並以兩年來分析，所得的益本比為 8.482，若只考率最嚴格的變動操作成本(藥品費與電力費)，並以一年做為分析年期，所得的益本比僅為 0.320。理論上益本比比 1 大即為經濟可行的(economic feasible)。
- ⑤ 以台北市目前的情況而言，水資源是相對的充足，以翡翠水庫的出水能力可供應大台北地區至民國 119 年，故漏水成本採用財務上的變動操作成本；加上水資源局的大力推動節約用水，以及隨水費徵收之垃圾處理費與未來即將收取的下水道費用，應會發揮以價制量的效應使得每人每日用水量的增加率與原先的設計條件有所出入，故先不考慮延緩投資的利息；而分析年期則以比較保守的一年來分析。採用以上條件所得之益本比為 1.068，略大於 1 表示經濟可行，至少打平不會有虧損。

- ⑥ 由於水資源不能只就單一區域考量，應以整個國家的資源分配考慮，如以北市的情況來說，其充足的水資源應當支援省自來水公司的不足，如其平均躉售單價來計算，其益本比可高達 3.280。
- ⑦ 和國外的文獻相比較，台北市所得的益本比相對偏低（以動力費與化學藥品費用之變動操作成本來計算，Moyer 計算 WJWW 的檢漏效益，其益本比達到 3.6，另在 LWC 其益本比也有 0.5），其可能的原因為 ① 原水費用不計入變動操作成本中，未反應其取得成本；② 檢漏承包商的檢漏效率問題。

2. 台灣省部份

在台灣省水公司方面，我們取得的資料為八區處（宜蘭地區）八十四年度的檢漏資料。數據的來源部份為台灣省自來水公司統計年報，部份則由訪談獲得。

八區處是由十九個給水系統、六個營業分處所構成，民國八十四年之供水人口約四十三萬人，用戶數約十萬戶，管線總長 1,322 公里，平均出水量為 131,700 CMD，年度的抄見率為 69.85%，售水率為 80.24%。其實宜蘭地區的檢漏的歷史可追溯至民國六十一年蘇澳鎮的檢漏工作（王扶桑，1989）。本次所用的檢漏資料有民國八十四與八十五年，其檢漏的管長、成本、檢出漏水量等資料如表 6 所列。至於所檢出發生漏水的水管與設備件數則於表 7 所示，至於管種與設備漏水之件數百分比與漏水量百分比則請參見表 8 與表 9。

表 6 省水公司八區處民國 84 及 85 年檢漏管長與檢出漏水量

	民國 84 年	民國 85 年
管長 (Km)	758	899
檢漏戶數 (戶)	8,640	5,511
檢漏水量 (CMD)	14,568	15,560
單位檢出漏水量 (CMD/Km)	19.22	17.31
檢漏成本 (新台幣)	3,887,825	6,465,308
單位管長檢漏成本 (新台幣/Km)	5,129.1	7191.9
單位漏水檢出成本 (新台幣/CMD)	266.87	415.51
檢漏速率 (Km/人日)	3.36	3.46

表 7 省水公司八區處民國 84 及 85 年度水管及設備之漏水件數

水管及設備	民國 84 年	民國 85 年
配水管	65	77
制水閘	2	4
救火栓	1	0
止水栓	6	9
進水管	142	186
殘存管	43	49
其它	4	5
總計	263	330

表 8 省水公司八區處民國 84 及 85 年度各管種之漏水件數與漏水量百分比

年度 管種	民國 84 年		民國 85 年	
	漏水件數 %	漏水量 %	漏水件數 %	漏水量 %
鑄鐵管	1.1	4.7	1.20	8.44
塑膠管	28.1	70.2	26.17	69.42
鐵管	0.5	0.4	0.60	0.05
鉛管	8.4	2.3	7.20	2.06
另件	42.0	14.8	45.60	14.80
其它	19.9	7.6	19.20	5.20

表 9 省水公司八區處民國 84 及 85 年度送配水管及設備之漏水件數與漏水量百分比

年度 送配水管及設備	民國 84 年		民國 85 年	
	漏水件數 %	漏水量 %	漏水件數 %	漏水量 %
送水管	0.3	7.5	0.36	5.81
配水管	13.9	68.5	13.93	61.24
制水閘	3.4	1.9	3.00	0.95
排氣閘	1.4	0.1	1.80	0.08
救火栓	2.3	0.2	1.08	0.59
進水管	75.4	21.7	73.71	31.29
其它	3.3	0.2	6.12	0.05

由於其檢漏的資料相當完整，許多數字在公司內部報告都已計算完成，在此直接引用，且益本比的計算如上一節，結果如表 10 所列。

表 10 省水公司八區處施行檢漏之益本比

可能的漏水的單位成本	單位成本 新台幣 / CMD	益本比	
		1 年	2 年
單位總成本 (民國 84 年)	10.04	13.732	27.463
單位售價 (民國 84 年)	9.40	12.856	25.712
單位給水成本 (民國 84 年)	2.07	2.831	5.662
單位給水成本 (民國 85 年)	2.92	2.565	5.130
民國 84 年檢出漏水量 (CMD)	14,568		
民國 84 年檢漏成本 (新台幣)	3,887,825		
民國 85 年檢出漏水量 (CMD)	15,560		
民國 85 年檢漏成本 (新台幣)	6,465,308		

從上面的數據，我們發現其益本比相當高，從 2.5 到 27 不等（視所選取的條件不同），這和該區處所此用的檢漏方式與宜蘭地區的特性有關。

以宜蘭地區的情況來水，其水源多為地面水，水資源雖不至於十分匱乏，但和台北市已接進飽和情況相比，宜蘭的人口、每人每日用水量、工商業等都還有相當的發展空間，因此宜考量未來的水資源相對不足的狀況，取漏水的單位成本為平均售水單價；漏水延時也採取一年，此時的益本比為 12.856，表示檢漏的工作相當有經濟效益。

和台北市相比，宜蘭地區分成了十九個給水系統，因此檢漏工作的進行較為容易，不必花

費大量人力於漏水區域的調查，可以比較迅速的找到漏水點，加上其分區與小區的劃分都已經在施行，因此檢漏工作的進行就變得相當有系統與有效率。

3. 討論

- (1) 不論是台北市或宜蘭地區的漏水資料都顯示：漏水案件是以給水管種（小管，75 m/m 以下）居多，然漏水量則是以配水管（大管，75 m/m 以上）佔有多數或是比其相對應件數的百分比為多。（如宜蘭地區大管件數約佔 14%，而漏水量佔 70% 左右，台北市內湖區大管件數約 4% 而佔漏水量的 19%，台北市文山區大管件數約 3.7% 而佔漏水量的 5.4%。）
- (2) 比較兩者的單位管長漏水量，台北市約為 33 CMD / Km，宜蘭地區則約 17 ~ 20 CMD / Km，雖然可能是都市地區與郊區漏水型態的不同，然台北市的高漏水率也是不爭的事實。
- (3) 比較兩區的檢漏效率（單位管長檢漏成本、單位漏水檢出成本、檢漏速率等），如表 7-4.1 所列，發現兩區域有很顯著的差異，台灣省八區處的檢漏效率很明顯的優於台北市的部份，其可能的原因有：① 檢漏的歷史：宜蘭地區的檢漏工作為台灣省之首，且持續不斷精進，而台北市是雖先有檢漏訓練班，但區域過大，難以徹底施行；② 檢漏的方法：宜蘭以採用分區計量與小區檢測，而北市僅有聽音作業，故效率較差；③ 配水區域的特性：由於郊區特性使得漏水的發現與修復較為容易，而都市環境的吵雜與複雜是降低效率的主因；④ 公司檢漏隊員與委外測漏包商的經驗與素質差異。因此兩自來水事業單位應該相互交流彼此在檢漏方面的經驗，並比較缺失，以增進檢漏的效率，降低檢漏的成本。

表 11 檢漏效率項目比較

檢漏效率項目	台北市	八區處 (84)	八區處 (85)
單位管長檢漏成本 (新台幣/Km)	21,714.3	5,129.1	7191.9
單位漏水檢出成本 (新台幣/CMD)	646.67	266.87	415.51
檢漏速率 (Km/人日)	約 2	3.36	3.46

- (4) 在以上的分析，我們並不將擴建設備的延緩投資成本列入考量，其原因是延緩投資的成本含有太多的不確定性，如擴建的容量與總建設經費、利率水準、該設備的操作與維護費等。自來水處理場之單位擴建成本數據則來自台北自來水事業處之「漏水檢討損之報告」之估計（陳奕能，1994），則約為每度 1.1 元
- (5) 在原水的成本方面，世界各國對於水資源開發與維護的成本大都不完全納入自來水費當中，因此以我國的水庫原水成本，從民國六十年代的每一度 2 元左右、民國七十年代的每一度 4 元左右、到民國八、九十年代預定新建之每一度 10 ~ 20 元（資料來源：國建六年計劃），若只就水庫給水的原水成本，且分攤新建水庫的費用，則每度原水也要在 10 元左右；且龐大的水庫集水區治理費用，也沒有納入水費中，至於河川與地下水的取水，其原水取水費用雖然較低，但目前水資源局所擬定徵收「水權費」，以反映國家資源的無

費取用之不合理。由以上的數據，若要完全反應，則目前的水價要到達每度 20~30 元左右。

- (6) 在計算漏水的單位成本中，某些情況是以採取水價，而以台灣目前的水價和世界相比仍屬偏低，因此導致檢漏的效益不高，會降低檢漏的動機。以 1996 年 IWSA 的資料顯示，全世界的水價平均為每一立方公尺約 0.7 美金，合新台幣約為 20 元，即約為台灣省自來水公司水價的兩倍，台北自來水事業處的三倍。至於世界最高的地區為西歐的每一立方公尺約 1.5 美金（42 元新台幣），最低的則為東歐的每一立方公尺約 0.2 美金（5.6 元新台幣）；而根據林秋裕等的調察（1997），最高的水價為丹麥哥本哈根的每度 128 元，平均也有每度 30~40 元，同樣也顯示我國的水價過低。且原水成本的部份所包括的金額過低，水源開發與集水區維護等成本均由政府以稅收支出。因此無論是水價或是其結構都有檢討的必要。
- (7) 由於水價的成本是以售水量來計算，因此每一度水都包含有因漏水所分攤的成本，而檢漏工作的進行可因此減低水價。以台北市的例子來說明，若無費用水率為 40%，而漏水率約為無費用水率的 2/3，即約為 27%，其中可以測得的漏水又為總漏水的 2/3，即約 18%；假設漏水檢測的進行使得漏水率減少至約 15%，則此時減少的變動成本為 $15\% \times 1.8918 = 0.284$ （新台幣 / CMD），約佔售水單價的 3.78%，也就是現在每 100 元的水費應可退回 3.8 元，以一戶月平均水費 300 元的家庭，每年約可省下約 140 元，為數雖然不多，但對於大量用水用戶，約 4% 水費的節省卻意味著大筆金錢的收益。

五、結論

1. 在無費用水的減少最重要的工作是「校正錶差」與「減少漏水」兩方面。其中錶差的部份最重要的工作是要對較大口徑的工商業水錶定期加以校正，並注意其保養與維護。而這對於減少無費用水幾個方案中是最有經濟效益的。相反的，漏水的減少雖不見得有最大的經濟效益，但比起水錶校正，則是做到了實際的資源保護。
2. 台灣地區漏水成因，有大部份是因為管線的老舊所引起的。台灣目前的管線汰換率每年約為 0.6%，而國際自來水年會所建議的更換率則為每年 1.5%，有相當大的一段差距。雖然漏水率較高時是以積極的檢漏工作效果較大，然而治本的工作仍在於改善管線的品質，並汰換老舊的管線，以期降低漏水發生率。
3. 在經濟分析理論部份雖然列出兩種判斷檢修漏經濟效益的方法，然因為資料的性質關係，只能進行益本比的分析與比較，此一分析只能對檢修漏之經濟可行性做出判斷，至於整體資源的最佳配置仍是用最小總成本法來分析。至於益本比分析的概念雖然簡單，但解答的正確性是建立在具有義意之各變數的數值，因此在漏水單位成本、檢出漏數量與漏水延時等部份在報告中都有詳加討論與說明。
4. 由經濟分析的案例當中，我們發現在考量了該地的狀況而選取之經濟分析條件，所得的益

本比均大於 1，表示檢漏的工作在經濟上是有可行性的，尤其是在水資源較為缺乏的地區。

5. 就分析區域的檢漏效率（單位管長檢漏成本、單位漏水檢出成本、檢漏速率等）與經濟分析的益本比來看，檢漏工作實際上是相當具有地域性（locality），因此漏水檢測的研究宜採個案討論。
6. 檢修漏工作不應該單獨考量，而應該在整個水資源管理架構下來作決策。目前台灣地區的無費用水率及漏水率和各先進國家相比仍屬偏高，開發新水源的成本也步步高昇，以減少漏水來滿足新的自來水需求也應當作為一種選擇。且台灣現在的新建水庫的原水成本約為每噸水 20 元左右，而檢出漏水的單位成本約為每度 600 元，取平均漏水延時為一年，則每噸水不到 2 元，可見對於現有設施的維護，比新建設施更為有利。
7. 目前台灣的水價和世界相比仍屬偏低，因此導致檢漏的效益不高，會降低檢漏的動機。以 1996 年 IWSA 的資料顯示，全世界的水價平均為每一立方公尺約 0.7 美金，合新台幣約為 20 元，即約為台灣省自來水公司水價的兩倍，台北自來水事業處的三倍。至於世界最高的地區為西歐的每一立方公尺約 1.5 美金（42 元新台幣），最低的則為東歐的每一立方公尺約 0.2 美金（5.6 元新台幣）。且原水成本的部份所包括的金額過低，水源開發

參考文獻

1. 台灣省建設廳，台灣地區水資源開發計劃（1991）。
2. 李泰雄、郭光志、王文安、李田樹、陳培根，「節約用水」，自來水會刊雜誌，第四十七期，第 27~32 頁（1993）。
3. 饒欽良，「水資源之節流」，台水月刊，第十一卷，第二期，第 4~8 頁（1993）。
4. 陳耀楠，「台灣自來水建設與『節約用水』之關係」，自來水會刊雜誌，第四十八期，第 5~8 頁（1993）。
5. 陳中興，「搶水戰爭一觸即發」，自由時報，第 14 頁（1996）。
6. World Bank, "Tackling the Problem of 'Lost' Water", *Urban Edge*, Vol. 10, No. 6, pp. 1~3 (1986).
7. IWSA, "Planning and Design for Continuity and Reliability in Distribution Systems", *Water Supply*, Vol. 14, No. 3/4, pp. 75~119 (1996).
8. Kim S., "Leakage Control Practice in Distribution Network", *Water Supply*, Vol. 8, No. 3/4, pp. 707~715 (1990).
9. 台灣省自來水公司，台灣省自來水事業統計年報，第 18~21 頁（1994）。
10. 台北自來水事業處，台北自來水事業處統計年報，第 30~33 頁（1995）。
11. 朱孟聰，「水量產銷分析之探討」，自來水會刊雜誌，第三十二期，第 30~45 頁（1989）。
12. Kroushl Jr. P. W., "Unaccounted-for Water", AWWA Seminar proceedings on *Hydraulic and Water Loss Control*, 43~49 (1984).

13. Male J. W., R. R. Noss and I. C. Moore, *Identifying and Reducing Losses in Water Distribution Systems*, Noyes Publications, Park Ridge, pp. 28 (1985).
14. 洪武揚, 「如何提升抄見率」, 台水月刊, 第十卷, 第四期, 第 8~9 頁 (1993)。
15. Smith J. B., "Leak Detection and Water Loss Reduction", AWWA Seminar proceedings on *Leak Detection and Water Loss Reduction*, pp. 1~55 (1987).
16. Carney M.C., J. Travis & J.A. Smith, "Better Large Meter Accuracy Increases Revenues, Reduces Water Loss", *Water and Environment Management*, Vol. 142, No. 1, pp. 26~28 (1995).
17. 台灣省自來水公司, 南部水錶修理場, 「檢測中鋼 1,200 mm 及 1,000 mm 水錶處理過程」, 台水月刊, 第十卷, 第十期, 第 10~11 頁 (1993)。
18. WRC, 中華自來水暨下水道研究社 譯, 「介紹英國漏水控制與檢測技術」, 自來水會刊雜誌, 第十二期, 第 47~77 頁 (1984)。
19. 台北自來水事業處, 「大台北地區自來水現況及展望」, 第 15 頁 (1992)。
20. Rousseau S. H. and A. P. Chandraratne, "Reduction of Unaccounted for Water in Seychelles", *Water Supply*, Vol. 4, No. 2, pp. 75~82 (1986).
21. 陳耀仁、蔡彌、柳朝彰, 「非開挖式輸水管線修復技術運用之探討」, 自來水會刊雜誌, 第五十八期, 第 101~114 頁 (1996)。
22. 朱健行, 「自來水配水管理監控系統之探討」, 自來水會刊雜誌, 第三十四期, 第 80~99 頁 (1990)。
23. 蔡光輝, 「超音波瞬間流量計與管線測漏」, 台水月刊, 第十一卷, 第四期, 第 8~11 頁 (1994)。
24. Cave D. T., "Main Break-Causes and Remedies", AWWA Seminar Proceedings on *Leak Repair: After You Locate It*, pp. 1~15 (1988).
25. WRC, 中華自來水暨下水道研究社 譯, 「介紹英國漏水控制與檢測技術」, 自來水會刊雜誌, 第十二期, 第 47~77 頁 (1984)。
26. Heim P. M., "Conducting a Leak Detection Search", *J. AWWA*, Vol. 72, No. 2, pp. 65~69(1979).
27. Moyer E. E., J. W. Male, I. C. Moore, and J. G. Hock, "The Economics of Leak Detection and Repair - a Case Study", *J. AWWA*, Vol. 75, No. 1, pp. 29~34 (1983).
28. Fantozzi M. and G. Villa, "Organization of a Systematic Leakage Detection Campaign on Water Supply Network Using Computerized Techniques - Actual Experiences and Future Development", *Water Supply*, Vol. 10, No. 1/2, pp. 149~158(1992).
29. Fuchs H. V. and R. Riehle, "Accoustical Analysis Detects Leaks", *Water and Environment Management*, Vol. 138, No. 1, pp. 11~13 (1991).
30. IWSA, "Unaccounted for Water and the Economics of Leak Detection", *Water Supply*, Vol. 9, No. 3/4, pp. IR1-1~IR1-49 (1991).
31. Pilzer J. E., "Leak Detection - Case Histroies", *J. AWWA*, Vol. 73, No. 11, pp. 565~567 (1981).
32. Moyer E.E., *Economics of Leak Detection (A Case Study Approach)*, AWWA., pp. 26~34 (1985).

33. AWWA, California-Nevada Section, *Water Audit and Leak Detection Guidebook*, pp. 30 ~ 46 (1986).
34. 陳樹揚, 「如何提高售水率」, 自來水會刊雜誌, 第四期, 第 77~81 頁 (1982)。
35. 王扶桑, 「簡述檢漏作業程序與方法」, 自來水會刊雜誌, 第三十二期, 第 26~29 頁 (1989)。
36. 林秋裕、李漢鏗、康世芳、張君豪、李郁昇, 「合理生活用水量之探討」, 中華民國自來水協會, 台北 (1997)。