



# 中華民國自來水協會 112 年度研究計畫

## 台水公司檢漏策略案例研究探討

### Case study on leak detection strategy of Taiwan Water Corporation

委託單位:中華民國自來水協會技術研究委員會

研究單位:台灣自來水股份有限公司

計畫主持人:謝張浩 協同主持人:吳振榮

研究人員:郭家憲、蘇怡昌、林聖桓、隋忠寰、張敬悅

執行期間:自 112 年 3 月 1 日起至 112 年 11 月 30 日止

中華民國 112 年 12 月

## 摘要

回顧民國 102 至 111 年過去 10 年，台水公司建置了 3469 個分區計量管網(DMA)，然而受限於專業檢漏人員僅為 93 人，如何有效提升檢漏效率已成為重要課題。

為了解提升檢漏效率之重要影響參數，本研究採用統計方式，收集台水公司分區計量管網委外及自行檢漏與系統巡檢數據，影響參數則參考過去文獻與實務需求採用單位公里管長無收益水量(NRW/KM)、售水率、接管密度、平均水壓及延性球狀石墨鑄鐵管(DIP)佔比與檢修後每降低 1 立方公尺/每日之無收益水量所支出成本比較分析；系統巡檢則進行花費人力、檢測時間及檢出件數比較分析。

研究結果顯示小區僅 NRW/KM、接管密度較與檢漏支出成本相關，其他參數則與檢漏支出成本無關，其中以 NRW/KM 最具相關性且台水公司小區經濟漏水量約在 20NRW/KM~22NRW/KM 之間，統計結果顯示，過去台水投入在非經濟漏水量小區比例偏高。

系統巡檢研究結果顯示，應挑選小區覆蓋率較高之地區辦理標的巡檢有利於提升檢漏效率；另外檢漏年資較低及對管線熟悉度較低之無經驗者，其相對支出成本較高，應可考慮委外作業並從中獲取經驗學習。

關鍵字：分區計量管網 DMA、單位公里管長無收益水量、接管密度、小區經濟漏水量、小區覆蓋率

## Abstract

Over the past decade, Taiwan Water Corporation has established 3,469 District Metered Areas (DMAs). However, there are only 93 leak detection staffs. Therefore, the improvement of leak detection efficiency has become a critical issue.

In order to analyze the efficiency of DMA non-revenue water (NRW) reduction project (outsourcing and self-managed) and systematic leak detection, the research collect data from DMA inspection reports and leak detection database of the last few years. Parameters for DMA are determined by reviewing references and practical requirements, including Non-Revenue Water per kilometer (NRW/KM), percentage of revenue water, number of service connections, average water pressure, and the percentage of Ductile Iron Pipe (DIP), then the efficiency was evaluated by comparing expenditure cost saved by reduced NRW. The efficiency of systematic pipe inspection are evaluated by inspecting labor, time and performance.

The results indicate that only NRW/KM and number of service connections are significantly related to the efficiency of DMA NRW reduction. Among these factors, NRW/KM shows the highest correlation, and the most economical leakage range falls within 20 NRW/KM to 22 NRW/KM for Taiwan Water Corporation's DMAs.

The results of the systematic leak detection study show that selected areas with higher DMA coverage rates, in addition to high NRW values, can significantly enhance leak detection efficiency. Furthermore, staffs with lower seniority and less experience tend to incur relatively higher costs. Therefore, outsourcing and leveraging experiential learning opportunities could be considered.

keywords : DMA, Non-Revenue Water per kilometer, number of service connections, average water pressure, DMA economical water leakage, coverage rate of DMA

## 目錄

第一章 前言.....	12
1.1 研究背景與動機.....	12
1.2 研究目的與方法.....	17
第二章 文獻回顧.....	18
2.1 漏水定義.....	18
2.2 漏水檢測儀器演進.....	19
2.2.1.非侵入式檢漏儀器.....	20
2.2.2 侵入式檢漏儀器.....	25
2.3 台水漏水檢測技術回顧.....	28
2.3.1 新式檢漏設備.....	28
2.3.2 台水漏水偵測輔助系統 WADA.....	31
2.3.3 台水 AI 漏水檢測技術.....	32
2.4 設施漏水指數(ILI).....	39
2.5 分區計量管網.....	40
2.6 漏水發生原因.....	41
2.7 影響漏水原因之元素.....	42
2.7.1 管材.....	42
2.7.2 管線腐蝕.....	45
2.7.3 地層運動與車載.....	47
2.7.4 施工品質.....	47

2.7.5 水壓及水錘.....	48
2.8 台水公司分區計量管網委辦作業.....	49
2.9 前期漏水調查(InitialLeakSurvey, IL).....	51
2.10 台水公司專業檢漏人員檢漏作業計畫.....	52
2.10.1 年度檢漏計畫作業流程.....	53
2.10.2 小區漏水調查作業流程.....	54
2.11 台水公司小區建置原則.....	55
2.11.1 分區計量管網規劃原則.....	55
第三章 研究方法及資料擇定原則.....	56
3.1 研究資料擇定原則.....	56
3.1.1 分區計量管網漏水調查.....	56
3.1.2 巡檢型漏水調查.....	57
3.2 異常極端值剷除.....	58
3-3 研究方法.....	58
3.3.1 分區計量管網漏水調查分析.....	58
3.3.2 巡檢型漏水調查分析.....	63
第四章 統計結果及分析討論.....	64
4.1 委辦小區各項指標支出成本分析.....	64
4.1.1 檢修前 NRW/KM.....	64
4.1.2 檢修前售水率.....	65
4.1.3 檢修前接管密度.....	66

4.1.4 檢修前平均水壓.....	67
4.1.5 檢修前 DIP 占比 .....	68
4.1.6 委外小區分析與討論.....	68
4.2 自檢小區各項指標支出成本分析.....	71
4.2.1 檢修前 NRW/KM .....	71
4.2.2 檢修前售水率.....	72
4.2.3 檢修前接管密度.....	73
4.2.4 檢修前平均水壓.....	74
4.2.5 檢修前 DIP 占比 .....	75
4.2.6 自檢小區分析與討論.....	75
4.3 自檢與委外小區比較.....	78
4.3.1 檢修前 NRW/KM .....	78
4.3.2 檢修前接管密度.....	81
4.4 以 NRW 及 NRW/KM 回顧過去台水及委外檢漏小區..	84
4.5 巡檢型漏水調查.....	86
4.5.1 生產力分析.....	90
4.5.2 檢漏績效分析.....	102
4.6 支出成本分析.....	107
第五章 檢漏策略建議方案與結論.....	109
5.1 分區計量管網.....	109
5.2 巡檢型漏水調查.....	109

參考文獻 .....124

## 圖目錄

圖 1 2020 世界各國主要城市漏水率.....	13
圖 2 2022 年 IWA 調查世界 30 個國家平均單位水價圖.....	13
圖 3 降低 NRW 總顧問計畫執行成果.....	15
圖 4 台水 102~110 年送配水管破管密度及件數趨勢圖.....	16
圖 5 漏水偵測器.....	20
圖 6 兩點相關儀.....	21
圖 7 噪音計紀錄器.....	22
圖 8 多點相關儀.....	22
圖 9 透地雷達.....	23
圖 10 電磁波探測儀.....	24
圖 11 偵測露出地面氣體.....	25
圖 12 示蹤氣體鋼瓶.....	25
圖 13 智能球內部結構.....	26
圖 14 智能球.....	26
圖 15 智 MSE-300 內視鏡.....	27
圖 16 鏡頭外掛自走車.....	27
圖 17 JD7 探頭及影像回傳.....	28
圖 18 探頭佈設於制水閥示意圖.....	29
圖 19 用戶表感測器安裝.....	29
圖 20 用戶表位置示意圖.....	29
圖 21 WADA 系統供水趨勢預測.....	31

圖 22 各廠檢漏設備 100HZ~1000HZ 訊號比較.....	33
圖 23 各廠檢漏設備之收音探頭 100HZ~1000HZ 訊號比較 .....	33
圖 24 AI 輔助漏水音測漏儀.....	34
圖 25 AI 行動裝置.....	34
圖 26 AI 技術支援新人巡檢作業流程.....	35
圖 27 AI 輔助漏水音測漏儀.....	36
圖 28 巡檢(快篩)模式流程.....	38
圖 29 $N_c, L_m, L_p$ 示意圖.....	40
圖 30 小區管網示意圖.....	41
圖 31 漏水量與水壓關係圖(擷取自國際水協).....	48
圖 32 年度檢漏作業計劃流程.....	53
圖 33 台水列案小區漏水調查標準作業流程.....	54
圖 34 台水近十年外線漏水件數.....	60
圖 35 委外檢修前 NRW/KM 對應檢修後支出成本.....	64
圖 36 委外檢修前售水率對應檢修後支出成本.....	65
圖 37 委外檢修前接管密度對應檢修後支出成本.....	66
圖 38 委外檢修前平均水壓對應檢修後支出成本.....	67
圖 39 委外檢修前 DIP 占比對應檢修後支出成本.....	68
圖 40 委外檢修前 NRW/KM 對應支出成本邊際效益.....	69
圖 41 自檢小區檢修前 NRW/KM 對應檢修後支出成本.....	71
圖 42 自檢小區檢修前售水率對應檢修後支出成本.....	72

圖 43	自檢小區檢修前接管密度對應檢修後支出成本 .....	73
圖 44	自檢小區檢修前平均水壓對應檢修後支出成本 .....	74
圖 45	自檢小區檢修前 DIP 占比對應檢修後支出成本 .....	75
圖 46	自減小區檢修前 NRW/KM 對應支出成本邊際效益..	76
圖 47	自檢與委外小區檢修前 NRW/KM 對應支出成本.....	79
圖 48	自檢與委外小區檢修前 NRW/KM 對應支出成本.....	80
圖 49	自檢與委外小區檢修前接管密度對應支出成本比較	82
圖 50	小區 NRW 及 NRW/KM 關係圖 .....	85
圖 51	1600NRW 以下及 300NRW/KM 以下關係圖 .....	85
圖 52	台水公司 111 年管線維修口徑分布圖 .....	87
圖 53	委外及台水自辦巡檢支出成本.....	108
圖 54	台水經濟檢漏策略建議流程圖.....	111

## 表目錄

表 1 台水公司降低漏水率計畫執行成果.....	14
表 2 IWA 水平衡表 .....	18
表 3 德國 Seba KMT 多點相關儀安裝於用戶水表檢測.....	30
表 4 德國 Seba KMT 多點相關儀安裝於制水閥檢測.....	30
表 5 AI 洩漏巡檢快篩模式驗證結果.....	37
表 6 DIP 管材機械性質 .....	43
表 7 管種特性.....	43
表 8 各 DIP 管徑保證水壓 .....	45
表 9 管線腐蝕型態說明.....	46
表 10 計價比例計算範例.....	51
表 11 檢漏執行類型與工作分配.....	52
表 12 檢漏系統成本費用統計表.....	62
表 13 台水檢漏固定資產支出.....	62
表 14 委外小區五項指標評估結果.....	70
表 15 自檢小區五項指標評.....	77
表 16 NRW/KM 比較表(優良指標).....	83
表 17 接管密度比較表(參考指標).....	83
表 18 NRW 及 NRW/KM 小區數量統計表.....	86
表 19 台水公司各區處 111 年管線維修口徑分統計表.....	88
表 20 111 年管線破管密度 .....	89
表 21 基隆地區委外與台水自辦檢漏生產力統計表 .....	92

表 22	台中地區委外與台水自辦檢漏生產力統計表 .....	95
表 23	高雄地區委外與台水自辦檢漏生產力統計表 .....	98
表 24	各地區委外巡檢生產力統計表.....	99
表 25	各地區台水自辦巡檢生產力統計表.....	100
表 26	基隆地區委外與自辦檢漏績效統計表.....	103
表 27	台中地區委外與自辦檢漏績效統計表.....	104
表 28	高雄地區委外與自辦檢漏績效統計表.....	104
表 29	委外巡檢各地區作業績效統計表.....	106
表 30	台水自辦巡檢績效統計表.....	106
表 31	台水檢漏策略檢討及建議.....	112

# 第一章 前言

## 1.1 研究背景與動機

台灣地區因地狹人稠，水源開發不易，近年來全球氣候暖化致極端氣候加劇影響降雨強度及延時，水源供應風險增加，且台灣現有水源之水權分配不均（農業佔較大比重），加上台灣位於環太平洋地震帶常因地震致維生管線受損而發生破管漏水等情事，故台灣自來水事業營運面臨諸多困難及挑戰。

為有效評估自來水事業營運效率，國際上常以漏水率作為評估指標之一，台灣自來水股份有限公司（以下簡稱台水公司）近年來為推動降漏作業不遺餘力，由於降漏作業之實施地點多在人口密集都市地區，為兼顧提高工程的經濟效益，並降低對都市地區經建活動之衝擊及減少對大眾生活之干擾，參考新加坡、香港、英國及日本等國經驗，採系統性分期分階段方式執行，並訂定長期計畫持續推動各項降低漏水措施。台水公司奉行政院核定辦理「降低漏水率計畫（102至113年）」，採用「水壓管理」、「修漏之速度及品質」、「主動防治漏水」及「管線及資產管理」等國際間辦理降低漏水率之4大策略，預計辦理汰換舊漏管線7,968公里、建置3,628個分區計量管網（District Metered Area, 簡稱DMA或小區）、建置地理資訊系統、檢修漏作業及擴大民間參與技術服務等工作，12年共計編列約1,003億元，計畫目標漏水率預計由102年之19.55%降至113年之12%，共計降低7.55%，計畫完成後，預計每年約可節省2.54億立方公尺水量，約為1.29座石門水庫有效蓄水容量。截至111年底，台水公司漏水率已降至13.10%，與國際重點城市相比，漏水率毫不遜色（詳圖1），然依據國際水協會(International Water Association, IWA) (2022)公布調查，台灣平均家戶水價9.24元/度（台水9.84元/度，北水8.64元/度），居30個國家中第3低（詳圖2），僅高於印度4.20元/度及斯里蘭卡2.58元/度，足見台水公司以低廉的水費，仍提供符合國際標準的供水服務，實屬不易。

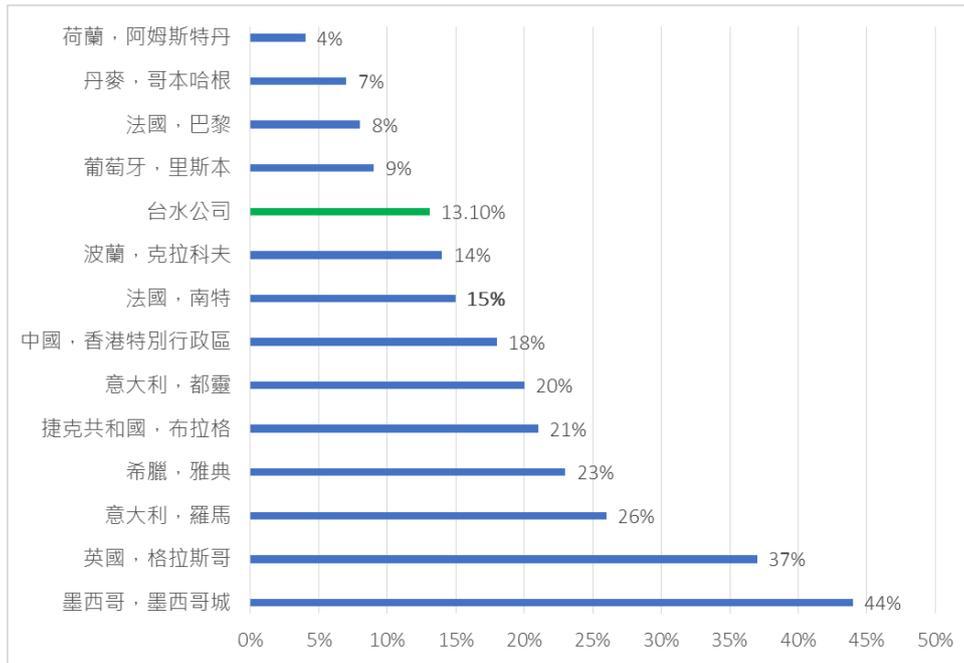


圖 1 資料來源： Water scarcity Addressing the key challenges ( Credit Suisse ), 2020 世界各國主要城市漏水率

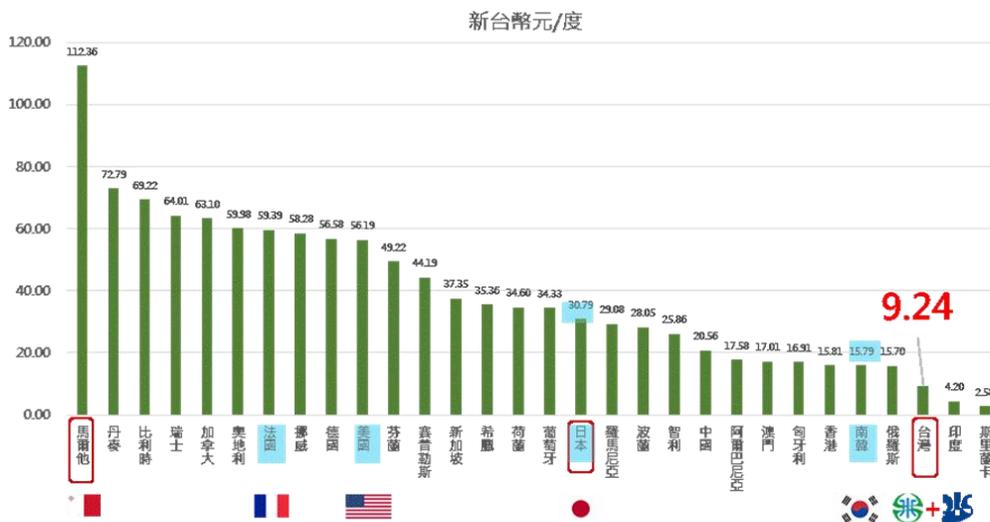


圖 2 2022 年 IWA 調查世界 30 個國家(或地區)平均單位水價圖

為有效掌握配水管網之供水情況及縮小檢測漏水範圍，台水公司持續推動分區計量管網建置，並輔以大數據分析偵漏、AI 雲端輔助漏水辨識及專業人員檢漏作業等進行各項 DMA 管理維護及漏水調查，以充分發揮分區計量管網之精確計量、漏水管段分析等功能，並藉由 DMA 管理維護成果，特別針對漏水復原嚴重、修不勝修之管段進行汰

換，以提高管線汰換之降漏成效及有效抑止漏水復原，台水公司計畫執行至 111 年底已累計建置 3,469 個分區計量管網，汰換 7,090 公里管線。

表 1 台水公司降低漏水率計畫執行成果

年度	漏水率 (%)	累計 DMA 建置數 (個)	累計汰換長度 (km)
102 年	18.53	0	0
103 年	18.04	236	782
104 年	16.63	599	1747
105 年	16.16	997	2564
106 年	15.49	1389	3278
107 年	15.03	1802	4088
108 年	14.49	2245	4898
109 年	13.9	2652	5716
110 年	13.59	3063	6461
111 年	13.1	3469	7090

另台水公司為短期加速降低漏水率，特選擇供水量大、漏水率高或供水風險較高之基隆、台中及高雄供水系統委外廣徵具執行降低漏水率工作技術與成功經驗之美日技術顧問機構組成總顧問，依據供水現況分析高漏水潛勢區域，並參考國際降漏成功經驗及策略，針對各供水系統研擬因地制宜之降漏策略及計畫，預定於計畫完成後基隆、台中及高雄供水系統每日可分別減少 2.9 萬、7.9 萬、6.6 萬立方公尺(CMD)以上之漏水量，合計可減少供水損失約 17.4 萬 CMD 以上，截至 111 年底，計畫目標達成率已達為 81.4%（詳圖 3），現每日約可找回 14.2 萬立方公尺之漏水量。

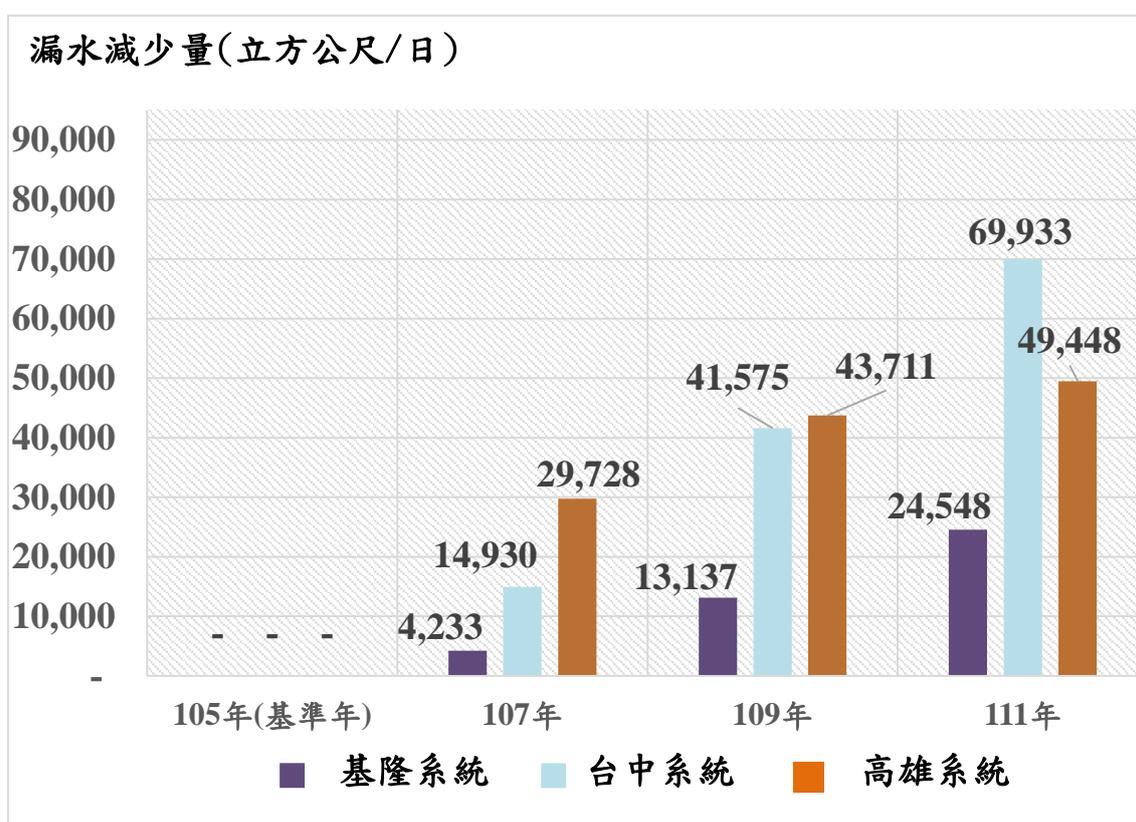


圖 3 降低 NRW 總顧問計畫執行成果

台水公司為提升修漏品質與速度，分別就管線修理案件處理時效訂定關鍵績效指標「修妥率」(即案件自受理到修復完成於一定時間內完成之比例)，並訂定目標值一日修妥率為 93%，三日修妥率為 99.40%，111 年一日和三日修妥率分別為 99.23%、99.57%，均已達成預訂目標。近年因台水公司持續推動汰換管線工程，自 102 年起送配水管之破管密度及件數逐年降低，破管密度亦由 101 年 0.379 件/公里降至 111 年 0.209 件/公里，件數從 101 年 22,048 件降至 111 年 13,922 件足見台水公司近年來之降漏成果(詳圖 4)。

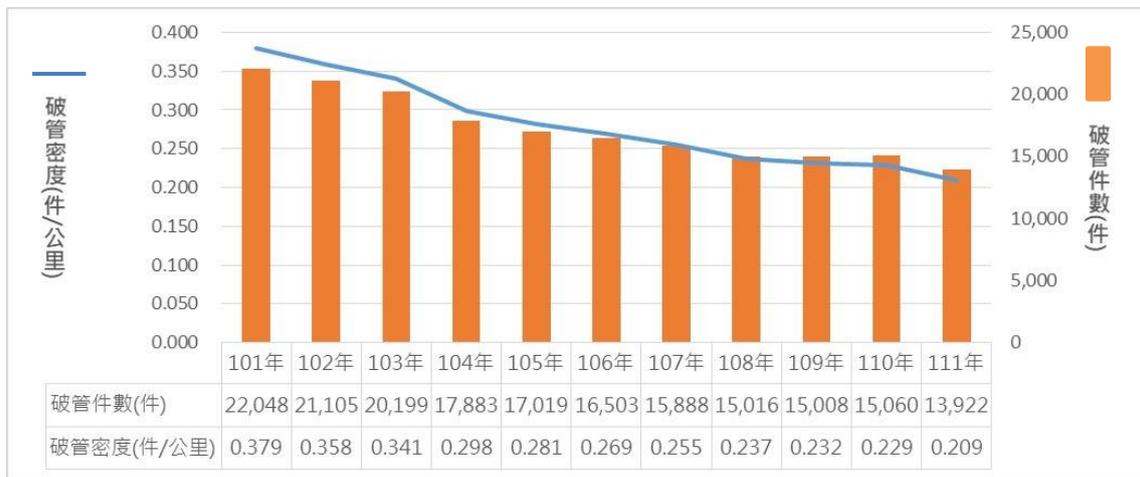


圖 4 台水公司 102~110 年送配水管破管密度及件數趨勢圖

台水公司於民國 103 年 9 月 1 日成立防漏專責單位－漏水防治處，截至 112 年為止，全公司專業檢漏人員為 93 人，惟全公司 50mm 口徑以上的管線長度約達 66,000 公里，每人服務長度約 709.67 km/人(約環台 0.75 圈)，由於台水公司供水轄區幅員遼闊，北至富貴角，南至鵝鑾鼻，都會及鄉村型混雜，另有澎湖、望安、琉球、綠島、蘭嶼等離島地區供水，考量財力及人力負擔情況下，分區計量管網(小區)規劃以用戶數 1000-2000 戶為原則，分區計量管網(小區)管長約 10~20 km，台水公司於 102-111 年已經建置了 3469 個 DMA，換言之每位檢漏人員需服務 37 個小區，每個小區僅 0.027 人力，與日本東京都水道局每次投入作業小區維護人力約 10~15 人相差甚遠，故如何將人力資源有效投入在小區中，以提高檢漏效益，為本研究主要研究動機。

## 1.2 研究目的與方法

本研究目的在於如何在 3469 個小區中，提出台水公司最經濟之檢漏策略建議方案及台水檢漏策略精進，藉此將檢漏作業的效益優化。本研究採用案例研究方法，結合過去台水公司自檢及委外檢漏數據，了解檢漏策略方面的實際執行情形，研究內容主要針對小區管網之單位管線長度之無收益水量(NRW)、接管密度、水壓大小、售水率及 DIP 占比等管網特徵，探討與小區檢漏效益之相關性。

## 第二章 文獻回顧

### 2.1 漏水定義

為了瞭解漏水之定義，藉以探討漏水原因及影響漏水因素，以有效控制漏水率。國際水協會(IWA)訂定水平衡表如表 2 作為供水系統水量稽核之工具。

表 2 IWA 水平衡表

所謂系統進水量是指自供水系統之總進水量（即供水量），可區分

系統 進水量 (供水量)	合法 用水量	計費 合法用水 量	計費計量用水量	售水量	收費水量	
			計費無計量用水量			
		未計費 合法用水 量	無計費計量用水量	有效無 費水量	無收費 水量 (NRW)	
			無計費無計量用 水量			
	損失水 量	帳面損失	非法用水			實質漏 水量
			表差			
		實際損失	管線漏水量			
			其他			

為收費水量 (Revenue Water)與無收費水量(Non-Revenue Water, NRW)。收費水量為合法收取之水費，即售水量。無收費水量再區分為有效無費水量及漏水量，其中有效無費水量，包含有工程事業用水、消防用水、水表不準度及非法用水量等，因水平衡表是針對大區域之供水系統進行水量稽核，惟小區範圍內因有效無費水量佔比很少，故小區內之無收費水量 NRW 可視為該小區之實質漏水量。

## 2.2 漏水檢測儀器演進

檢漏即是調查漏水的作業，漏水聲音是通過管體振動產生的聲波，並透過介質（空氣或固體、液體）的傳播，能被人之聽覺器官或儀器所感知的波動現象。漏水聲音振動是因為有一股支持的能量（水壓）。當漏水聲源振動時會推拉它附近的介質，漏水聲波正是介質在傳送時所產生的現象。當振動的管體向外振動時會擠壓介質，使介質的密度變大；而向內振動時，介質質點間的間隔則會變大，密度也就會跟著變小，這一疏一密的持續變化，就是漏水聲波的形成。漏水音包括水流出管外之際與管壁摩擦而發生之聲音，與其管四周不同密度土壤衝擊而發生之聲音，經非常複雜的合成後，以土壤為導體傳達地表面，其頻率會依據周圍之土壤、道路路面、管種以及土壤之含水情況等種種條件而有大幅變化（王炳鑫，2015）。目前國際自來水界對漏水點的偵測仍普遍採用漏水聲檢測，其檢測工法可概分為侵入式與非侵入式，侵入式包括英國 JD7（內視鏡）公司、西班牙 AGANOVA 公司的 Nautilus（鸚鵡螺）、加拿大 PureTechnologies 公司的 SmartBall 及拖曳阻力傘式(Sahara)等免停水漏水檢測技術工法。非侵入式的儀器除了傳統的測漏器外，近 20 年來國際上各檢漏儀器公司陸續開發出如噪音記錄器、兩點暨多點相關儀等測漏設備，並部分具網路雲端分析的功能，該等儀器仍屬輔助性的設備，惟確定漏水點仍以傳統的測漏器經驗檢漏為主，但最終仍需藉鑽孔探勘及地中聽音法，為最可靠的漏水點確認工法。至於其他如氣體、電磁波等工法則涉及應用的複雜度及操作人員的專業判讀經驗等，較難普遍廣泛推廣採用。

### 2.2.1.非侵入式檢漏儀器

非侵入式的檢漏儀器，約從早期捕音儀器如測漏器、噪音記錄器、兩點或多點式漏水相關儀等，到有別於傳統測漏之氣體偵測器、電磁波探測儀等設備陸續被開發出來。自 1935 年第一個獲專利之偵測地下管線漏水聽音器問世，並取代普通聽音棒的附耳原聲聽音檢測，使得無法流出地面的地下漏水，可藉由聽音辨位而易於檢測出來。該儀器係利用漏水引起之震動聲，轉換以電氣方式而探測出漏水，原理係將探測所得震動能變換為電能，再予以加強擴大後變成聲音由耳朵聽得，惟聽音作業時，常有管內之流水音、車輛行走音、下水道衝擊音及其他震動音等類疑似音，均為聽音作業之障礙，故使用測漏器時，要能分別漏水音與雜音是非常重要的，因此檢漏人員應具備相當之經驗與熟練技巧(台灣自來水公司，1982)。台灣約於 1971 年間自日本引進漏水測漏器，並由當時台灣省建設廳公共工程局來開設檢漏訓練班，於時屬各鄉鎮市管轄的自來水廠推廣使用。(詳圖 5)。



a. FUJI WL91 測漏器



b.FUJI HG-A2 測漏器

圖 5 漏水偵測器

1976年，英國自來水研究所(Water Research Centre W.R.C.)開發「相關式漏水探知裝置」，1980年，法國 Metravib 公司和英國 W.R.C.技術合作，開發出「漏水音相關檢出器」(Acoustic correlation)，1981年日本富士公司和英國 W.R.C.技術合作，引進該儀器和技術，將軟、硬體加以改良及無線電化，並導入微電腦裝置，而開發出進階產品「相關式漏水探知裝置」(Leak noise correlator)。(王炳鑫，2015)(詳圖 6)



a. 1976年相關式漏水探知裝置



b.兩點漏水相關儀(2000)



c.兩點漏水相關儀(2017)

圖 6 兩點相關儀

隨著科技的進步，約 2000 年間國際自來水各檢漏儀器公司，陸續開發出「噪音記錄器(Noise loggers)」以輔助漏水的檢測(詳圖 7)。俟約於 2006 年間整合「噪音記錄器」及「兩點漏水相關儀」，開發出「多點漏水相關儀(Multi-Point Correlation system)」，並隨著網路的普遍化，進階到原廠雲端分析，其軟體解析能力更可持續升級。(詳圖 8)



a. 英國 PermaLog

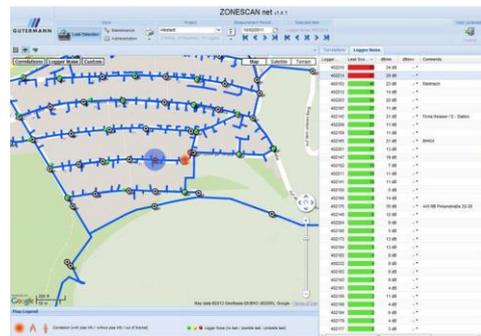


b. PermaLog 感測器探頭

圖 7 噪音計紀錄器



a. 多點相關儀探頭



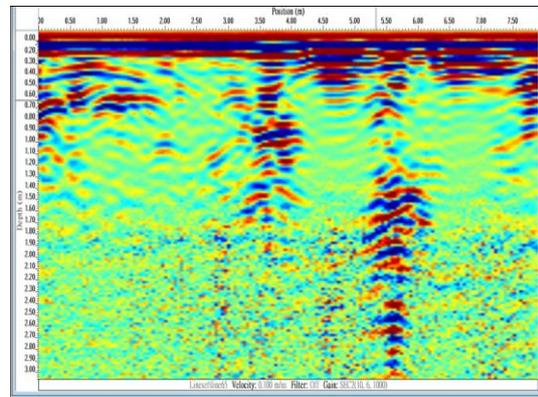
b. 線上軟體偵測漏水

圖 8 多點相關儀

綜上儀器功能，對漏水的檢測均是捕捉漏水音來判斷，因此當水壓降低而漏水音強度亦隨之減弱時，漏水便不易發現；此外，不論以水壓監測進行檢漏或以分段測試(step test)計量作業來縮小漏水管段，亦會因漏水量降低，而使漏水產生的現象不顯著而不易發現漏水。除以上非侵入式的聽音檢測漏水工法外，尚有影像判別的電磁波工法，較成熟的儀器有透地雷達(詳圖 9)，原開發該設備係尋覓地下的管線，其係利用發射高能電磁波至地下，藉由反射回來之變異頻率予以判別出管線位置，當遇到有漏水的管線時，亦如上述藉反射回來之變異頻率予以判別出漏水處，惟其需相當的專業程度來判別。(王炳鑫，2015)



a.透地雷達路面檢測



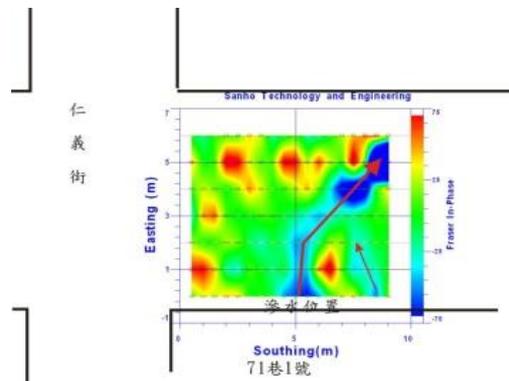
b.軟體分析

圖 9 透地雷達

另一為電磁波探測儀，實務上應用於漏水檢測者係低頻電磁波 (VeryLow Frequency, VLF)低頻電磁波法，其波源一般為 3 至 30KHz。由於施測的地點距離電台很遠，所以可以視為一種平面波源。原始的電磁波僅有水平的磁場分量，無垂直分量，在水平地層無側向變化的情形下，亦無垂直之次生磁場，但因為受到地層不均的情形之影響，而產生垂向的磁場。在地層電阻率有側向的變化時，其磁場及電場均會有異動，透過量測電場或磁場的變化，以量測地層側量變化之處(詳圖 10)。(三合技術工程有限公司，2012)



a.透地雷達路面檢測



b.軟體分析

圖 10 電磁波探測儀

資料截自(李丁來,2016)

## 2.2.2 侵入式檢漏儀器

### 1. 示蹤氣體測漏

示蹤氣體一般係氫氣與氮氣混和而成，比較常見的氫氣與氮氣的比率為 10%：90%，此種混和的氣體濃度不易燃，也不會引起爆炸。示蹤氣體中的活躍成分是氫氣，即所有氣體中最小的氣體分子，因其可以穿透各種路面結構，如水泥、瀝青路面或其他相似的材質，只要對氣體進行適當的加壓，漏水點便可能被定位，惟在某些特定情況下，在進行示蹤氣體檢漏時，檢漏人員也需要對路面進行鑽孔以使得示蹤氣體能夠擴散到路面之上。此外，進行示蹤氣體偵測須關閉相關的制水閥，以利檢漏人員有足夠的時間找到漏水點，惟台灣因路權單位規定回填控制性低強度混凝土(CLSM)而非像國外是回填沙，氣體偵測位置常為非漏水位置如圖 11 及 12。



圖 11 偵測露出地面氣體



圖 12 示蹤氣體鋼瓶

資料截自(李丁來,2016)

## 2. 智能球

長程輸水管線音波漏水偵測(SoundPrint SmartBall)係由丹麥的派爾阿瑟列夫(PER AARSLEFF A/S)公司研發，主要係為解決傳統非侵入式的測漏工法，常受限於環境背景噪音的聽音影響其準確性，故其採取侵入式的測漏方式，隔離並摒除環境的背景噪音，並藉由設置中途追蹤點，以音波感測器探測智能球位置，同時，採用先進濾波技術過濾管線內部的其它雜、噪音聲，藉由特殊的濾波技術將其他雜訊濾除，並將各音波感應器所接收有效訊號之時間差及頻譜，精確計算出發生異常事件的位置及分析事件的種類，進而判讀管線漏水位置。實務應用上發現，漏水點的定位精度取決於多種因素，例如智能球感測器位置(SBR)的數量和水公司提供管線所有的圖面資料及其道路里程的精度等，故其軟體判讀出的漏水點位置，仍有無可避免的誤差值。另其需將沿途分歧管關閉，成為單一直管，以利智能球之投入與接收。目前國際上具此等技術者，已知有 Pure 公司的智能球(SmartBall)及西班牙 AGANOVA 公司的鸚鵡螺(Nautilus)如圖 13 及 14。

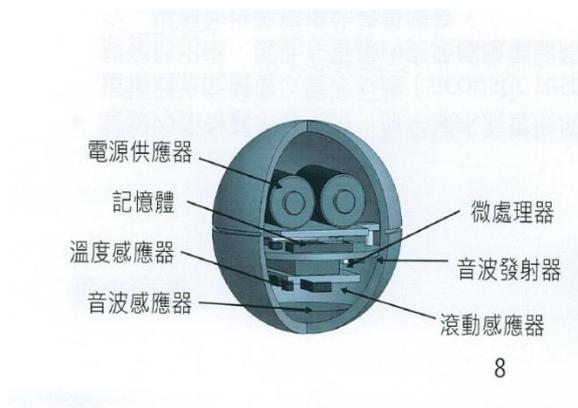


圖 13 智能球內部結構



圖 14 智能球

### 3. CCTV 內視鏡

拖曳阻力傘式漏水檢測(Sahara) ，係丹麥的派爾阿瑟列夫(PER AARSLEFF A/S)公司研發，藉順流的水力帶動阻力傘，其前沿設內視鏡可觀察管內現況，並設麥克風可直接聽取管內聲音，及可由道路定位管線位置及精確定位漏水位置。國際上免停水內視鏡檢測工法技術已相當成熟，在台灣實證應用上，已有英國 JD7 公司研發之以手工推動鋼纜，藉前沿 CCTV 檢視管內現況、可接收管線漏水音及 GPS 管線定位等功能詳圖 15 及 16。



圖 15 智 MSE-300 內視鏡



圖 16 鏡頭外掛自走車

## 2.3 台水漏水檢測技術回顧

### 2.3.1 新式檢漏設備

台水公司於 105 年針對各國際大廠所開發出來新式檢漏設備，包含西班牙 AGANOVA 鸚鵡螺(Nautilus)、英國侵入式管道漏水檢測技術(JD7 LDS100)、加拿大 Echologics 兩點漏水相關儀技術、德國 Seba KMT 噪音記錄器、德國 SEWERIN 噪音記錄器及相關儀技術、日本 Fuji 噪音記錄器及相關儀技術及相關儀技術、英國 Primayer 噪音記錄器及相關儀技術英國 HWM 噪音蒐集記錄器及相關儀技術及 GUTERMANN 線上多點漏水相關儀技術，經測試過「噪音記錄器」對於台水因管材或水壓不足等無法偵出的微弱漏水音，其所形成的遠端管線漏水，仍須由傳統一步一腳印的測漏器聽音工法來檢測(李丁來,2016)

鸚鵡螺則因台水公司管線複雜，感測球常擱置於盲管及分歧管，「JD7 管道檢測技術」詳圖 17，較適用於管線狀況調查，而「兩點漏水相關儀」及「多點漏水相關儀」，均能有效檢出漏水，俾利輔助檢漏人員執行後續的漏水點確認工作。



a.LDS100探頭



b.插入接頭及探頭

圖 17 JD7 探頭及影像回傳

雖前篇文獻結論所述相關儀能有效檢出漏水，惟相關儀需佈設於制水閥進行偵測，台灣制水閥因政策因素如路平專案等佈設密度無法滿足儀器需求，2023 年台水針對多點相關儀應用於台灣管段偵漏進行探討，台水公司挑選兩處屬於塑膠管(PVCP)且常態供水壓力 1.1kg/cm<sup>2</sup>之地區，分別佈設用戶水表與制水閥詳圖 18 進行偵測距離實測比較，表 3 為將探頭佈設於用戶水表偵測結果，安裝詳圖 19，用戶表位置示意圖詳圖 20，表 4 為將探頭佈設於制水閥，研究發現佈設於用戶水表也可有效偵測距離漏水位置，其偵測距離約落在 25~30m 上下為佳，距離越大誤差越大，研究發現與用戶水表偵測距離差異不大，偵測距離大約也落在 25~30m，結論為當制水閥密度不足時可以用戶表水取代，惟當用戶密度不高時則無法使用(林聖桓等人, 2023)。

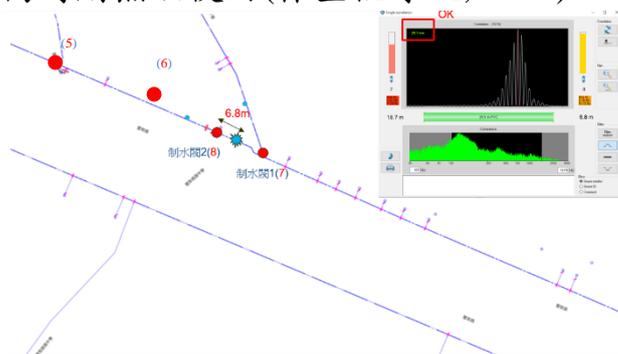


圖 18 探頭佈設於制水閥示意圖

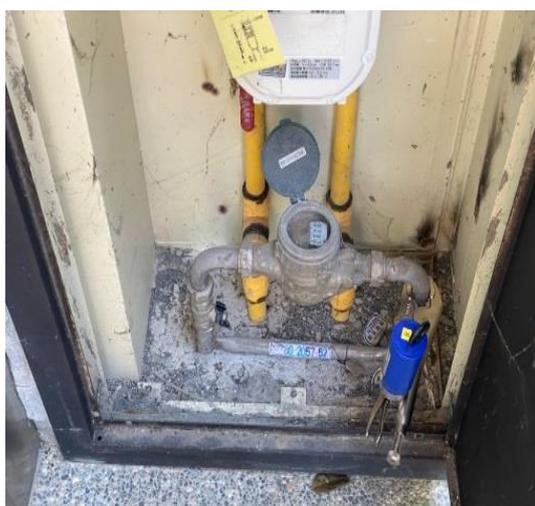


圖 19 用戶表感測器安裝

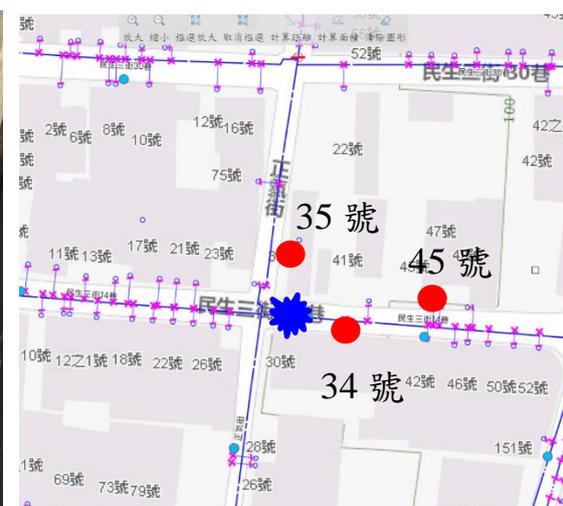


圖 20 用戶表位置示意圖

表 3 德國Seba KMT多點相關儀安裝於用戶水表檢測

探頭夾放位置	35 號	34 號	34 號	45 號	35 號	45 號
	A	B	B	C	A	C
測距(m)	30.7		23.3		54	
水壓(kg/cm <sup>2</sup> )	1.7		1.7		1.7	
多點相關儀	有		無反應		有	
判定漏水點距離 A(m)	15.6		-		4.6	
實際漏水點距離(m)	16.6		-		16.6	
誤差(m)	1		-		12	

表 4 德國 Seba KMT 多點相關儀安裝於制水閥檢測

探頭夾放位置	制水閥	制水閥	用戶 水表	制水閥	制水閥	制水閥
	5	7	6	7	8	7
測距(m)	54.4		40.4		25.5	
水壓(kg/cm <sup>2</sup> )	1.1		1.1		1.1	
多點相關儀	無反應		無反應		有	
判定漏水點距離 A(m)					6.9	
實際漏水點距離(m)					4.4	
誤差(m)					2.5	

資料截自(林聖桓等人, 2023)

### 2.3.2 台水漏水偵測輔助系統 WADA

106年5月台水公司成立「大數據分析小組」，參考以色列Takadu公司開發之智慧水網軟體管理技術，自行研發漏水偵測輔助系統(Water Advanced Data Analysis, WADA)並於107年5月開始挑選小區域開始逐步測試修正，108年於WADA系統輔助下，檢出漏水案件相較107年高出10.3%，系統係針對小區管網DMA每日提供異常事件及預警事件通知，事件包含小區管網之水量突增、水壓突降、夜間最小流統計、設備故障、及預測用水量偏離正常值等預警事件，以2022 年全年為例，系統共發布2196 件異常事件，其中流量異常1945 件、壓力異常161 件、設備異常90 件，包含管線漏水、小區內有供水調配、工程施工、小區範圍調整、連續假期遊客用水增加、用水大戶連續多日大用水等，皆視為有效案。

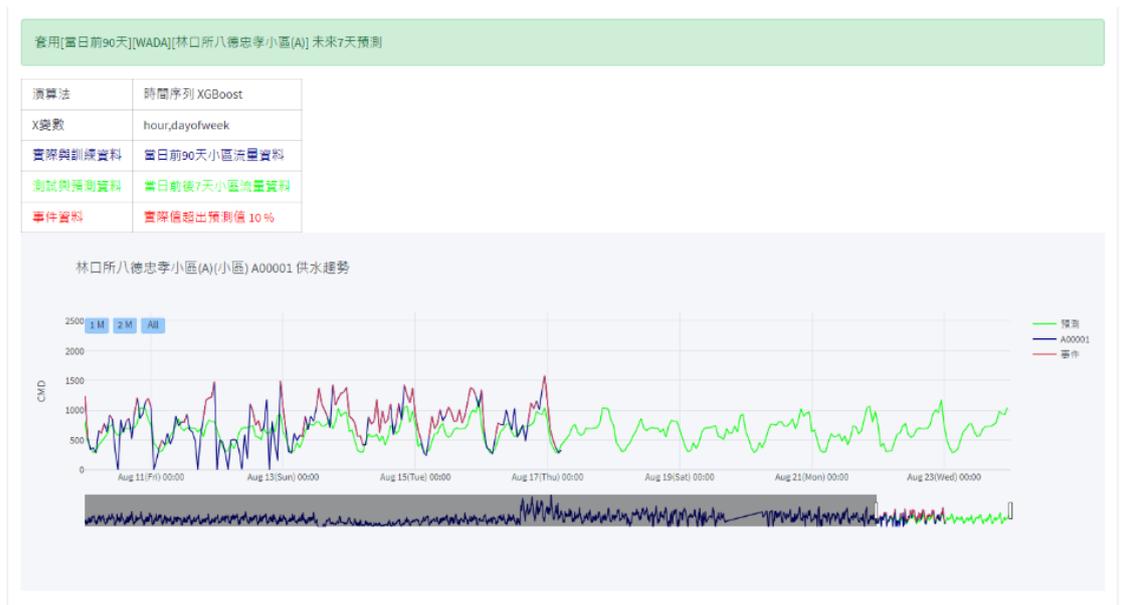


圖 21 WADA系統供水趨勢預測

### 2.3.3 台水 AI 漏水檢測技術

為改善現有檢漏儀器限制，台水公司於 109 年度委託工研院辦理「AI 技術應用於檢漏儀器整合及改善研究」為期 2 年專業服務，第一年已完成評估現有檢漏設備之功能優缺點並評估各廠整體收音特徵及探頭收音特徵，詳圖 22 及圖 23。由圖 22 可以看到，各廠整體收音設備在比較的時候，GUTERMANN-AQUAS- COPE-3 對於 300~450Hz 的頻率感度最高，其次為 500~600Hz，而 FUJI-HDA2 與 ITRI 設備的特性較為接近，FUJI-HDA2 感度最高的頻率範圍為 350~450Hz 之間，其次為 550~650Hz；ITRI 設備感度最高的範圍為 350~500Hz，其次為 550~650Hz，且從圖中可得知，三種設備感度最高為 ITRI 設備，最低為 GUTERMANN-AQUAS- COPE-3，但三者差異不大，其中與 ITRI 設備特性相近的 FUJI-HDA2 比較可以看到，ITRI 設備感度範圍大於 FUJI-HDA2。

而各廠的收音探頭比較則如圖23所示，從圖中可看出在探頭比較部份ITRI設備探頭與GUTERMANN-AQUAS- COPE-3探頭特性較為接近，感度最高的頻率範圍皆在350~500Hz，其次為550~650Hz；而FUJI-HDA2探頭感度最高的頻率範圍為350~450Hz其次為450~650Hz，另外也可看出，三種設備探頭比較下，ITRI設備探頭感度最高，而FUJI-HDA2與GUTERMANN-AQUAS- COPE-3的感度相近。

由三種檢漏設備功能結果顯示，ITRI檢漏設備及收音探頭在收音性能上有最高的感度及較廣的頻率感知範圍且與FUJI-HDA2檢漏設備的主要感知頻率相近，而GUTERMANN-AQUAS- COPE-3檢漏設備主要感知頻率範圍較低頻，感度則略低於其它兩種檢漏設備。

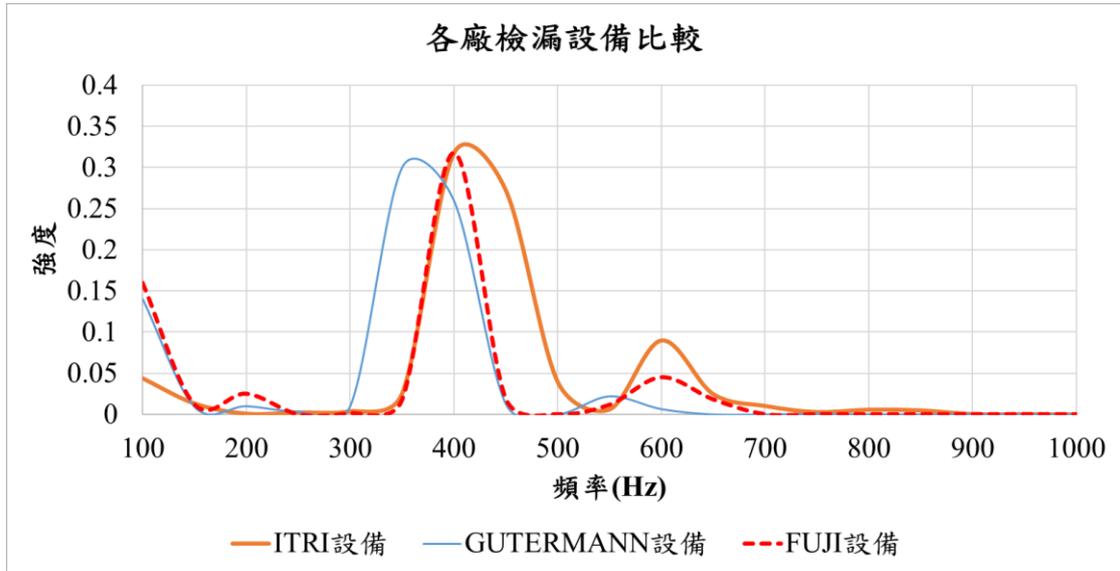


圖 22 各廠檢漏設備 100HZ~1000HZ 訊號比較

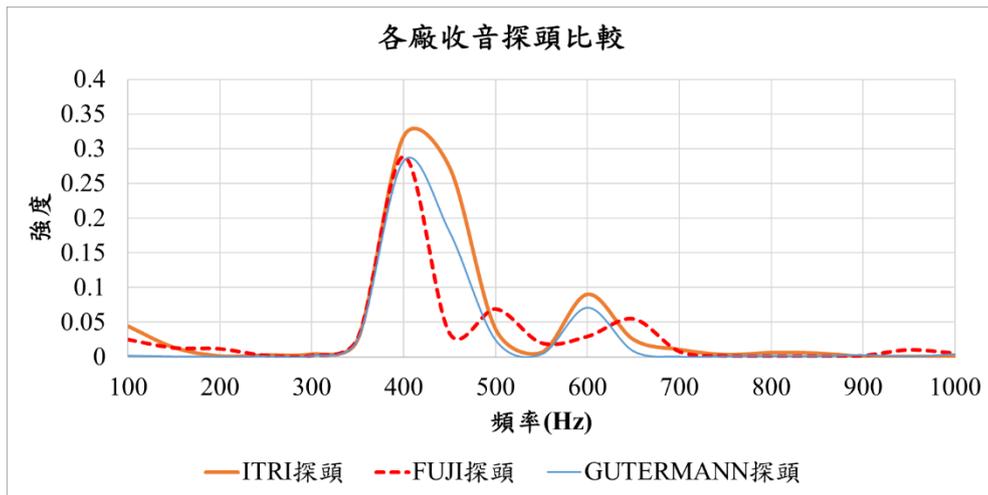


圖 23 各廠檢漏設備之收音探頭 100HZ~1000HZ 訊號比較

經整合各家特徵將檢漏儀器搭配AI輔助，開發無線漏水音數據蒐集裝置(詳圖24)，建置智慧漏水辨識模型與AI學習訓練，第二年並已開發手持裝置進行雲端智慧巡檢詳圖25，即時與檢漏人員互動，雙重確認漏水訊號，提升漏水檢測效率。



圖 24 AI 輔助漏水音測漏儀

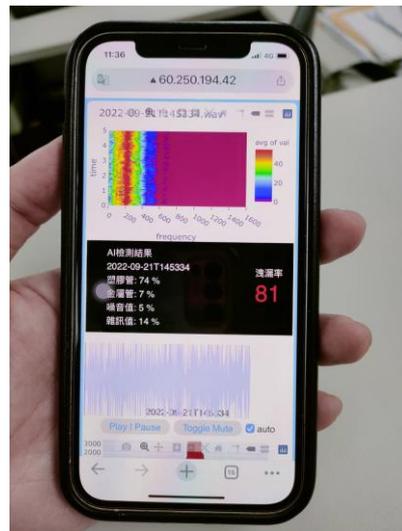


圖 25 AI 行動裝置

台水公司第三區管理處檢漏員於研究期間，由 AI 系統輔助複測交叉診斷成功率可達 90% 以上，非專業人員(工讀生)AI 智慧科技驗證後，共快篩出 15 處洩漏點，經由檢漏員複測後確認 12 處為洩漏，其整體洩漏檢出正確率達 80%(蔡曜隆等人,2022)，其作業流程詳圖 26。

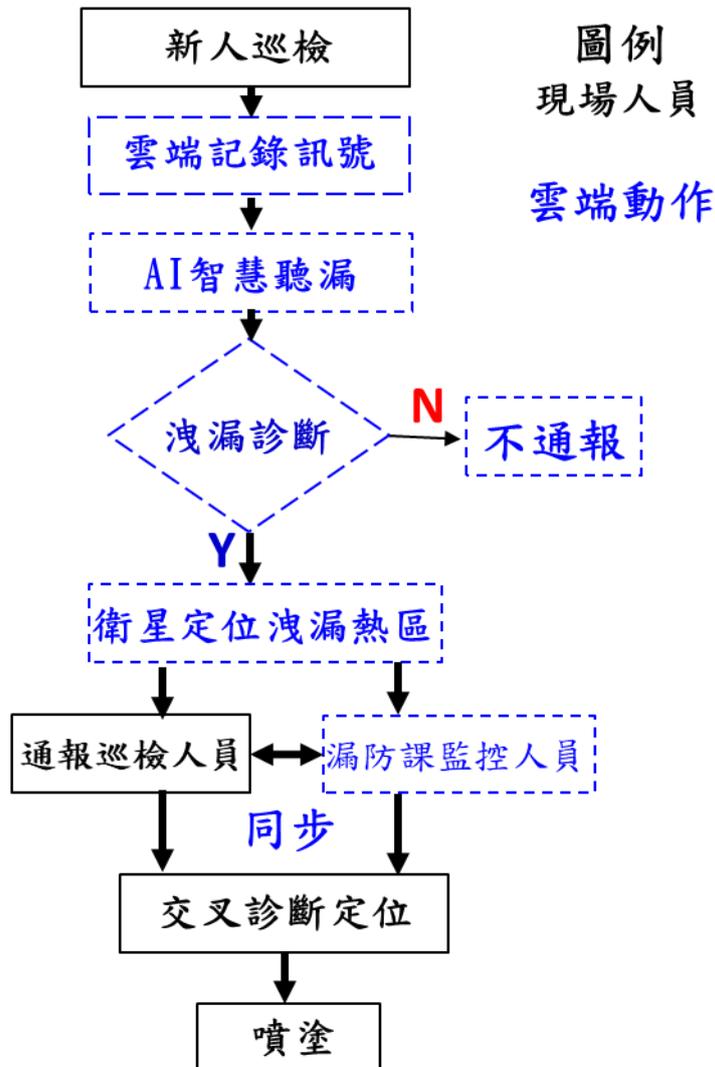


圖 26 AI 技術支援新人巡檢作業流程

(資料擷取自台水 AI 技術應用於檢漏儀器整合及改善研究-期末報告)

驗證過程檢漏員於巡檢時使用 AI 漏水診斷儀器，配合雲端漏水音智慧診斷服務系統進行管線巡檢與洩漏探測，當本系統發現測漏位置有洩漏時，系統能同步匡列洩漏範圍如圖 27。

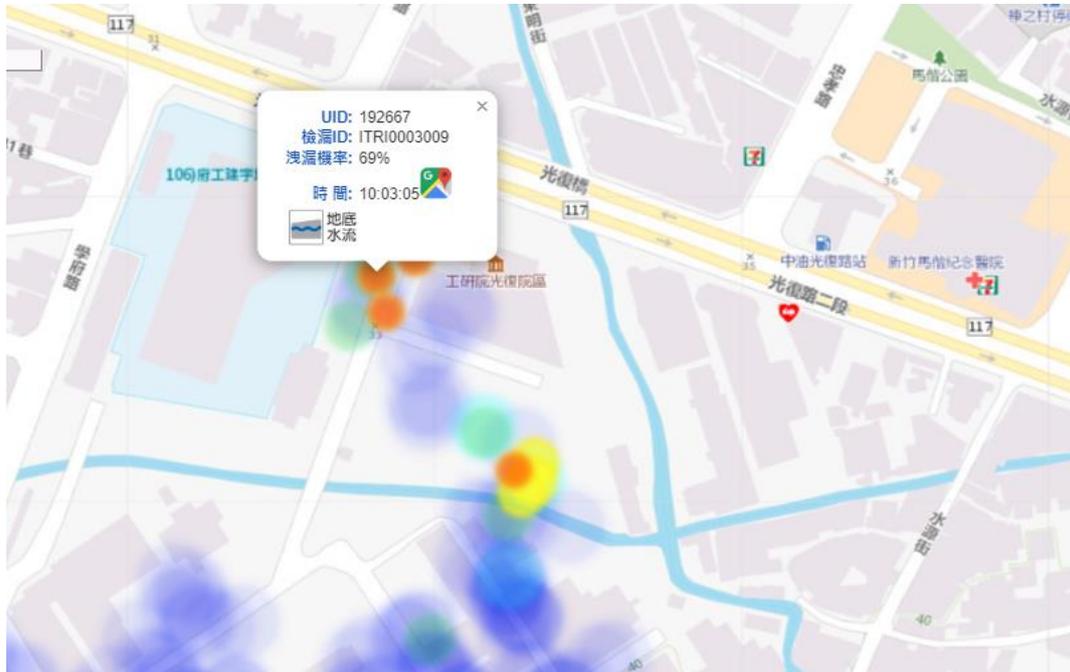


圖 27 AI 輔助漏水音測漏儀

為能擴增雲端智慧 AI 漏水判讀模型之運用效率，以期能標準化供除新竹地區以外使用，台水公司與工研院於 112 年將依前案於新竹地區建置之 AI 系統雛形於台水公司第三區管理處持續進行系統精進及巡檢(快篩)模式流程建立，並於台水公司第四區管理處、五區處及六區處巡檢驗證。

本次驗證結果顯示詳如表 5，廠所人員共找出 17 處疑漏水點，經檢漏員漏水調查與廠所開挖後 14 處為漏水點，換算檢出率為 82.35%，根據廠所量測水記號距離漏水點距離皆在 3x3m<sup>2</sup> 內，符合查驗條件。

另於台水公司第四區區管理處台中清水、第五區管理處斗六及第十一區管理處北斗地區由無經驗之工讀生進行 AI 洩漏巡檢快篩模式驗證詳表 5，因漏水聲有持續性，故 AI 快篩後，仍需再針對疑似點進行複測再送檢漏人員做漏水確認作業。

表 5 AI 洩漏巡檢快篩模式驗證結果

台水廠所人員					
地區	有效訊號(筆)	AI 標定異音位置(處)訊漏水訊號大於 50%	AI 複測漏水(處)漏水訊號大於 50%	檢漏人員確認漏水(處)	實際漏水案件(處)開挖驗證
新竹市	386	1	1	1	1
竹北市	6169	14	6	4	4
苗栗市	8477	24	10	9	9
初階訓練過之工讀生人員					
地區	有效訊號(筆)	AI 標定異音位置(處)漏水訊號大於 40~45%	AI 複測漏水(處)漏水訊號大於 50%	檢漏人員確認漏水(處)	實際漏水案件(處)開挖驗證
台中清水	4179	17	6	3	3
斗六	3244	7	7	0	0
北斗	5090	4	4	2	1

初階經過場域於操作基礎訓練過之工讀生人員其驗證結果，除斗六地區因於測試期間，遭遇管線汰換工程閘栓開關及水流干擾，造成無法檢出漏水案件外，其餘地區可檢出漏水案件。其流程建立如圖 28。

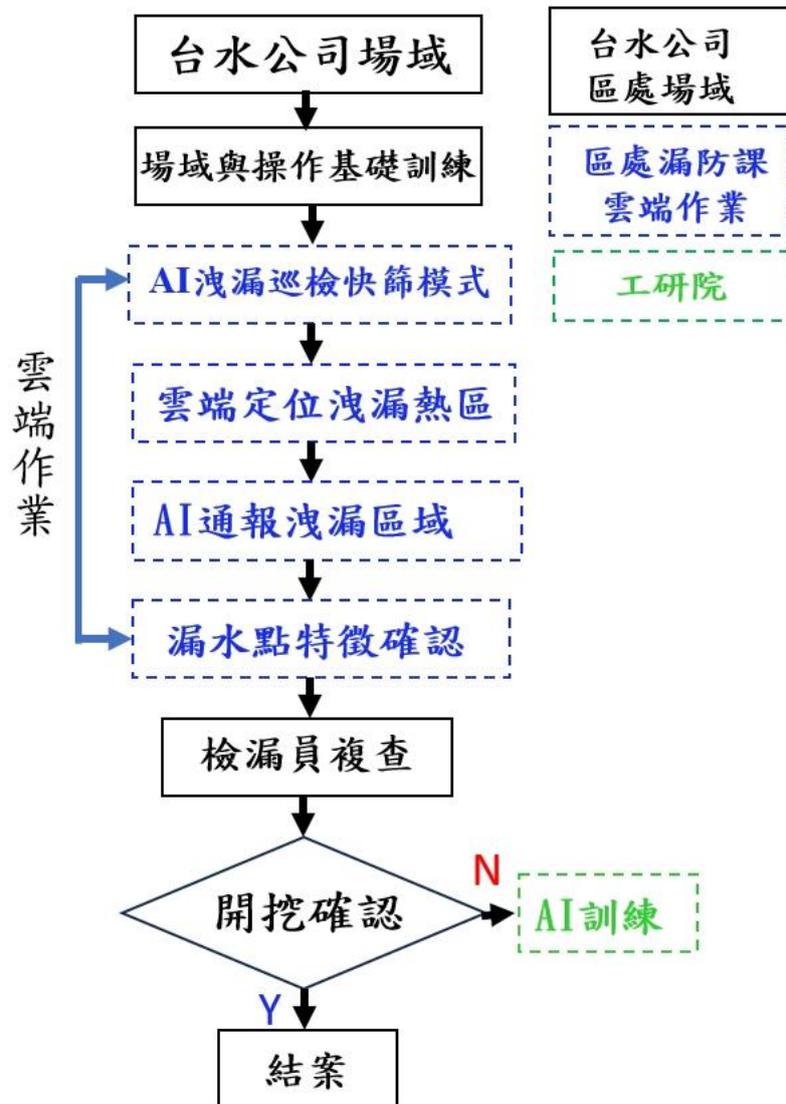


圖 28 巡檢(快篩)模式流程

## 2.4 設施漏水指數(ILI)

設施漏水指數(Infrastructure Leakage Index, ILI)為實質漏水量(Current real losses, CARL)與不可避免損失 (Unavoidable Annual Real Losses, UARL)之比值，如公式 1，其中 CARL 由水務公司透過將無收益水量扣除有效無收費水量而得，而 UARL 一般只能透過理論推算，最具代表不可避免損失之公式計算如公式[2] (Lambert A., Hirner W., 2000)，其中  $L_m$  為幹管長度(km)、 $N_c$  為接管數(處)、 $L_p$  為地界至水表間之管線總長度(km)、 $P$  為平均水壓以公尺計，示意圖如圖 29。公式 2 中  $L_m$ 、 $N_c$  及  $L_p$  皆為在施工完工後無法改變之參數，故只可從四大策略中的水壓( $P$ )管理進行減低，因此，國際水協會損失水量專案小組(Water Losses Task. Force, WLTF)將這些損失水量稱之為「不可避免之漏水量」(UARL)，不可避免損失之漏水量代表以現今技術所能達到的供水系統最佳操作維護狀態時，依然存在的最低漏損水量(弓銓, 2010)。在考量財務或經濟上的限制下，評估系統的實質漏水佔「不可避免之漏水量」(UARL)之比率，即設施漏水指數(ILI)，以指數擇定降低漏水優先地區，達到較經濟的降低漏水率目標。

$$ILI = \frac{CARL}{UARL} \dots \dots \dots [1]$$

$$UARL = (18L_m + 0.8N_c + 25L_p)P \dots \dots \dots [2]$$

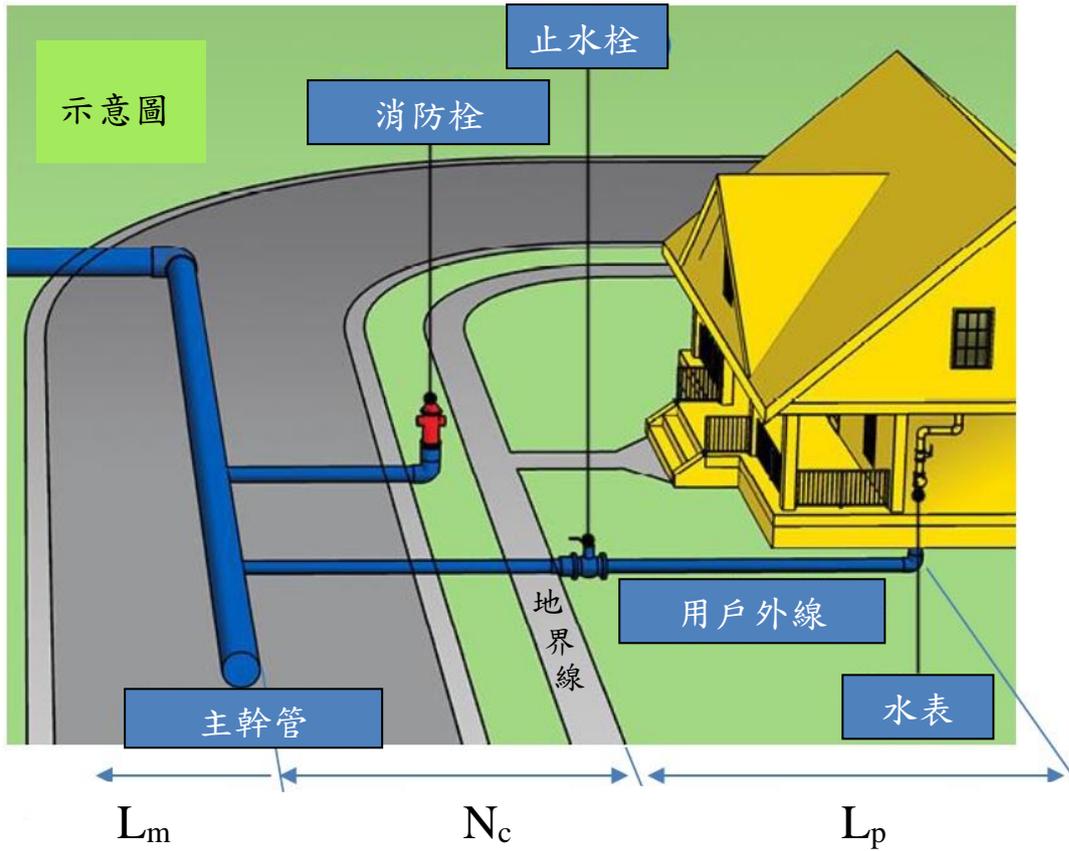


圖 29  $N_c, L_m, L_p$  示意圖(擷取自北水處產銷分析表與漏水控制)

## 2.5 分區計量管網

分區計量管網係將供水系統分割為數個可獨立計量之管網，以監測供水系統水量、水壓，使獨立計量區內均能維持正常供水如圖 30。

分區計量管網原則分為「大區管網」、「中區管網」、「小區管網」，各層次之管網均可獨立計量，其中大區管網係以緊急應變、分區供水為目的，中區管網係以流量及水壓管理為目的，小區管網係以檢漏及售水率比對為目的。(台水公司分區計量管網作業要點, 2023)

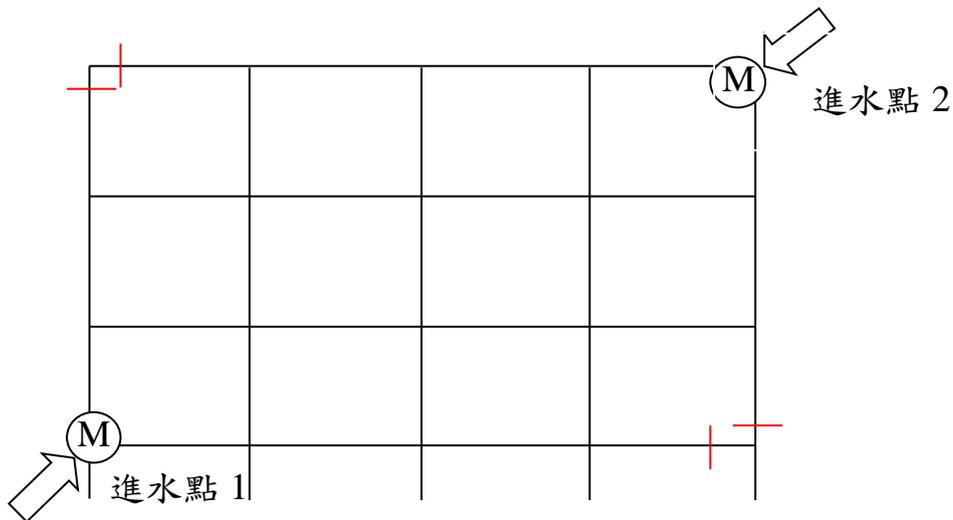


圖 30 小區管網示意圖

## 2.6 漏水發生原因

根據(洪志初 2004)之研究，漏水的原因可分成以下五類：

1. 接頭縫變大：管與管之間或是管與其他附件之間都會有接頭，受到侵蝕或是震動、材料老化等等，而導致接頭處縫隙變大而發生漏水，以大管較常發生。
2. 破管：當管件受到過大的外力（如張力、壓力、剪力或是彎矩時）、過大的內壓力（水壓）或不均勻的荷重時，會引起管材的破裂，以小管較常發生。
3. 閥件閉鎖不緊：由於消防栓或是閥件等的閉鎖不緊所導致的水量漏失，也有可能是設備的損壞所造成的，與其數目和管線長度有關。
4. 腐蝕：管線可能會因為水質或土質的化學特性影響而被腐蝕，使得管材強度減弱而造成破管，以金屬管較常發生。
5. 配水池蒸發、溢流等其他因素：配水池的溢流多是因為操作的不當而造成的，然而配水池池面的蒸發則是無法避免，且其所佔漏水的比例並不高，根據統計，大部份都在 0.5% 以下。

## 2.7 影響漏水原因之元素

述文獻已敘述漏水之原因可能有哪些，接下來探討的是，哪些元素造成這樣的原因，依據過去蒐集之文獻，將造成漏水原因之因素分成管材、管線腐蝕、地層運動與車載、施工品質、水壓及水錘等。

### 2.7.1 管材

台水公司考量管線用途、埋設區域、地理特性等內、外在因子影響，管種選用原則如下：

1. 一般導（送）配水管線設計，以 DIP、HDPE 為原則。
2. 管線末端（盲端）為避免用水量較少，導致 DIP 吐鹼而影響水質，應採用 HDPE、HIWP 或環氧樹脂粉體塗裝 DIP。
3. 沿海地區，為避免 DIP 銹蝕應採用 HDPE、HIWP、DIP+PE 套膜。
4. 澎湖地區使用海淡水，因 LSI (Langelier Saturation Index, LSI) 偏低，易造成 DIP 吐鹼而影響水質，應採用 HDPE、HIWP 或環氧樹脂粉體塗裝 DIP+PE 套膜。
5. 用戶外線，以 HIWP、SSP (不銹鋼波狀管) 為原則。
6. 水管橋，以 SP、SSP (不銹鋼管) 為原則。

前述管種之特性如表 6 延性球狀石墨鑄鐵管(DIP)因具有強度高、延展性及韌性佳、耐衝擊強度高特性，抗拉強度至少可達 43kgf/mm<sup>2</sup>，故適合用於自來水事業之輸配水管線詳表 7，目前亦為台水公司汰換管線主要管種，依據日本延性鑄鐵管協會之建議，該管種各管徑之保證水壓詳表 8，國內自來水事業所訂定之一般管線工程試壓標準值僅 7~10 kg/cm<sup>2</sup>，一般營運水壓約介於 1~3 kg/cm<sup>2</sup> 之間，相較於延性鑄鐵管所能承受之耐壓能力，其值甚微，除少數管身遭嚴重腐蝕、鑄造品質不良或遭受外力破壞之管段，延性鑄鐵管管身破裂所導致之漏水發生率極低，最主要漏水原因係接頭膠

圈老化或脫接所造成（延性球狀石墨鑄鐵管實務應用與發展趨勢，自來水會刊第 31 卷第 2 期）

表 6 DIP 管材機械性質

抗拉強度 (kgf/mm <sup>2</sup> )	伸長率 (%)	勃氏硬度 (HB)
43 以上	10 以上	230 以下

（出處：延性球狀石墨鑄鐵管實務應用與發展趨勢，自來水會刊第 31 卷第 2 期）

表 7 管種特性(截自台水自來水管線工程設計指南期末報告)

管種	延性鑄鐵管	高密度聚乙烯管	鋼管	不銹鋼管	耐衝擊聚氣 乙烯管
	(DIP)	(HDPE)	(SP)	(SSP)	(HIWP)
單管長度	6m	6m~12m (可客製化)	9m	6m~9m	7m
設計標準	CNS-10808	CNS-2456	CNS-6568	CNS-13392- G3258	CNS-14345
使用年限	40 年	20 年	20 年	40 年	20 年
接頭型式	機械、平口接 頭	熔接、電鍍套、法 蘭、鎖緊式接頭	銲接、法蘭接頭	銲接、法蘭接 頭	特殊黏著劑
曼寧係數	0.013	0.009	0.013	0.013	0.009
撓曲性	佳	極佳	佳	中等	中等
防蝕設施	佳	極佳	佳	極佳	極佳
耐震能力	中等	極佳	中等	極佳	佳
耐壓性	7.5 kgf/cm <sup>2</sup>	7.5 kgf/cm <sup>2</sup> (可依厚度調整)	7.5 kgf/cm <sup>2</sup> (可依厚度調 整)	7.5 kgf/cm <sup>2</sup> (可依厚度調 整)	7.5 kgf/cm <sup>2</sup>
耐磨性	佳	佳	佳	佳	普通
價格(管 材)	適中	較低	適中	較貴	適中
管徑	75~2,600mm	20~3,000mm	75~3,200mm	75~3,200mm	20~400 mm
單位重量	7.85g/cm <sup>3</sup>	0.95~0.97g/cm <sup>3</sup>	7.85g/cm <sup>3</sup>	7.93g/cm <sup>3</sup>	1.4g/cm <sup>3</sup>

適用性	1.一般管段 2.管線末端 (粉體塗裝) 3.沿海地區 (PE套膜) 4.海淡水(粉 體塗裝+PE 套膜)	1.一般管段 2.水管橋 3.海淡水管 4.管中管	1.水管橋 2.軟弱地質 3.無可用另件之 處	1.水管橋 2.軟弱地質 3.無可用另件 之處	1.一般管段 2.用戶外線
施工技術 難易	易	不難	難	難	易
優點	1.質地堅、耐 衝擊，正常使 用壽命長。 2.接頭零件齊 全，施工簡易。	1.重量輕，易於搬 運。 2.抗紫外線。 3.富延展性、耐衝 擊、耐震、耐腐蝕、 抗壓。 4.內面粗糙度光 滑。 5.機械接頭，不易 漏水。	1.富延展性，耐 衝擊。 2.施工彈性大。 3.轉彎時刻適應 各種角度。 4.勁度大軟弱地 層無虞折斷，接 頭滑脫。	1.富延展性， 耐衝擊。 2.施工彈性 大。 3.轉彎時刻適 應各種角度。 4.勁度大軟弱 地層無虞折 斷，接頭滑脫。	1.耐腐蝕、耐 衝擊、抗電 蝕。 2.施工便利。 3.重量輕，易 於搬運。 4.內面粗糙 度光滑。
缺點	1.重量重，運 費高。 2.不耐腐蝕。 3.不耐震。 4.臨海地區、 離島地區不適 用。	1.600mm 以上口 徑價格較 DIP 高。 2.戶外施工熱熔 對接雨天需架設 帳棚，否則接口容 易失敗。 3.外徑有別於一 般管材，用戶外線 之分水鞍須採 PE 專用安座。 4.台灣尚未成立 認證單位，熔接技 術人員素養有待 加強。	1.接頭銲接處小 心處理，以避免 鏽蝕。 2.抗外壓力較 差。 3.銲接耗時。 4.電蝕影響。	1.價格高	1.抗外壓力 較差。 2.重置費用 較高。 3.不耐高溫。

表 8 各 DIP 管徑保證水壓

管徑 (mm)	水壓 Kg/cm <sup>2</sup>	管徑 (mm)	水壓 Kg/cm <sup>2</sup>
75~300	102	1200	66
400	95	1500	64
500	82	1600	63
600	79	1650	63
700	75	1800	62
800	72	2000	63
900	70	2200	61
1000	69	2400	61
1100	67	2600	60

(出處：延性球狀石墨鑄鐵管實務應用與發展趨勢，自來水會刊第 31 卷第 2 期)

### 2.7.2 管線腐蝕

台水公司配水管網目前常見管種包含金屬管線如延性鑄鐵管 (DIP)、鑄鐵管 (CIP)、鋼管 (SP) 及不鏽鋼管 (SSP) 等，非金屬管線如塑膠管 (PVC/P)、高密度聚乙烯塑膠管 (HDPE) 及耐衝擊硬質塑膠管 (HIWP)，其中金屬管線埋設周圍介質接觸時，易因周遭土壤化學性質或是電化學作用而造成腐蝕，常見金屬管腐蝕型態如下 (台水公司自來水管線工程設計指南期末報告)：

表 9 管線腐蝕型態說明(截自台水自來水管線工程設計指南期末報告)

腐蝕型態		說明	
電蝕	電力鐵路雜散電流	電車、電氣化鐵路、以接地為迴路的輸配電系統、電解裝置等，其中一部分自迴路中流出，流入大地、水等環境中，形成了雜散電流。例如在平行或相交的直流電鐵路中發生的腐蝕。	
	干擾	上述鐵路環境中存在埋地管線或金屬建物時，雜散電流的一部分可能又流入、流出埋地管線或金屬建物，產生干擾腐蝕。	
自然腐蝕	微觀腐蝕	一般土壤腐蝕	在含高鹽量的區域，例如濱海地區或垃圾掩埋場等腐植土和黏土土壤區域。
		特殊土壤腐蝕	由於土壤中細菌繁殖產生腐蝕影響。例如在海洋粘土中硫酸鹽還原菌的高腐蝕性區域中發生腐蝕。
	宏觀腐蝕	混凝土/土	金屬埋設在混凝土與埋設一般土壤之間，由於混凝土和土壤之間的 pH 值差異導致發生電位差而構成腐蝕電池。
		氧氣濃度(通風差異)	氧氣分壓如有差異即產生電位差。氧濃淡電池所引起之腐蝕多發生在通氣性不良的環境，即黏土質土壤或地下水位較高之處。
		異金屬接觸腐蝕(電位差腐蝕)	兩種不同材質金屬接觸時，其接觸面存在微量濕氣，構成腐蝕電池，電位較低的金屬(例如不銹鋼)會先發生腐蝕，電位差距越大，反應越快速。

### 2.7.3 地層運動與車載

考量台灣地區位於環太平洋地震帶，依據日本近年北海道大地震及東日本大地震等大災害研究中發現，震度 5 級以上災區塑膠管(Polyvinyl Chloride, PVC)受損率約 0.8 件/km；CIP 受損率約 0.45 件/km；K 型 DIP 受損率約 0.2 處/km；電焊套接頭 HDPE 管受損率為零；NS 型及 GX 型等耐震接頭 DIP 受損率為零(耐震防脫接頭球狀石墨延性鑄鐵管(DIP)應用探討，自來水會刊第 39 卷第 2 期 109)，足見具 DIP 及 HDPE 管皆具耐震性之優良管種，除管種材質強度需足以承受地層運動產生之作用力外，管間連接之接頭應具抗拉性及可撓性，並具防止拉脫等功能，接頭形式亦為減少漏水發生評估因素。

隨著經濟發展，電力、電信、自來水、瓦斯等事業單位供應系統管線逐步地下化，導致現有道路下方之管線錯綜綿密，都會區幾乎無可再行施設之空間，部份自來水管礙於地下埋設空間有限致埋深不足，長期受地表車載往覆荷重導致破管漏水，為減少此類管線漏水發生，管線淺埋應以加固保護方式施作。

### 2.7.4 施工品質

管線工程在施工品質的好壞也會造成漏水的原因，比如說施工中開挖不慎，造成管線破管；管線接頭施工不良，導致接頭無法密合或是容易鬆脫；埋設管線深度不足，基礎填砂不足，回填不均勻，未做好施工前土質條件調查等，都會造成直接或間接造成漏水。

### 2.7.5 水壓及水錘

國際水協用下式來表示水壓及漏水流量關係，圖 31 為該式漏水量與水壓之關係圖。由圖可知，橫軸為水壓比，假設  $P_0$  為現今壓力， $P_1$  為調整後壓力，當  $P_1$  越小時， $N$  值越大的漏水量降低速率越快，而  $N$  值的物理意義則代表其破損面積大小，換言之漏水量會因破損面積大小而成等比級數增加。

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

其中

L：漏水量

P：水壓

N：關係指數

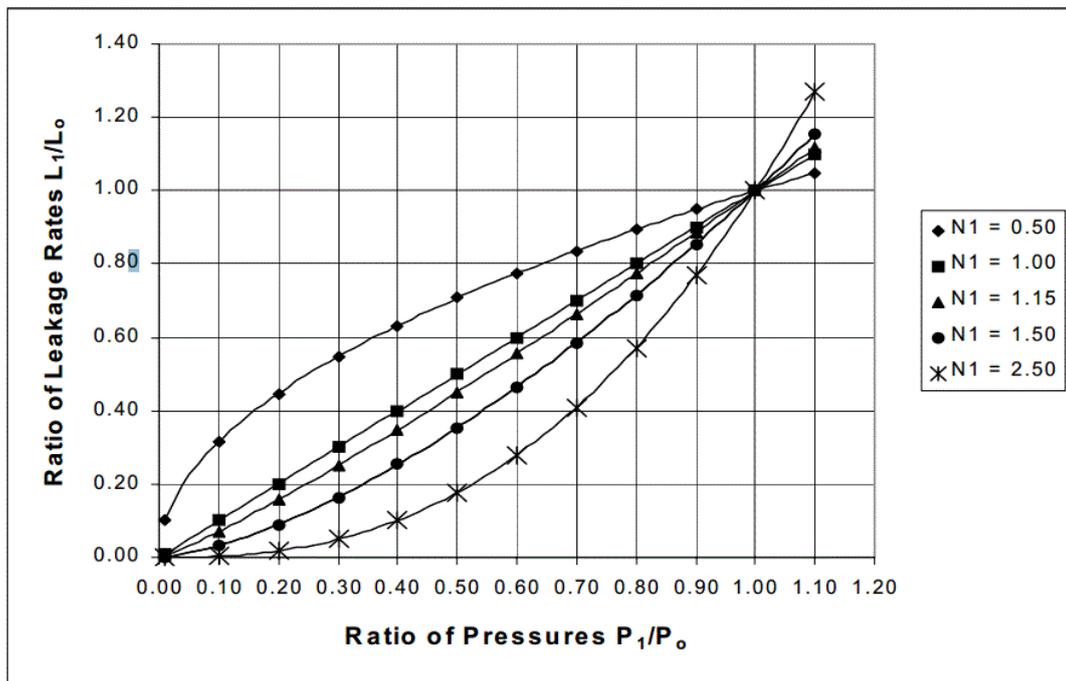


圖 31 漏水量與水壓關係圖(擷取自國際水協)

由上述可知，適當之供水壓力可減少管網之漏水量，故水壓管理為有效降漏策略之一，在滿足用戶之用水需求下，應儘量減少管網中之供水壓

力。另外常見之破管原因為水錘效應，該現象係因壓力管內水流突然擾動，水流因慣性影響造成局部區域壓力急速上升而發生破管漏水，水錘效應常見發生原因如抽水機啟閉、閘栓啟閉、下游需求水量突變、水池水位突變等。

## 2.8 台水公司分區計量管網委辦作業

台水公司自 93 年起建置分區計量管網，原分區計量管網之規畫作業由同仁自行或委託工程顧問公司參考圖資辦理，後再分年依規畫成果建置。惟因管網、閘栓、用戶等圖資誤差，或因規畫後管網之變化，可能造成建置後分區計量管網無法封閉，部分小區管網因規畫時水力分析模型不完全正確，造成建置後水壓不足、無法滿足用戶用水等情形；故台水公司於 99 至 101 年間，試辦「員林鎮小區管網示範計畫」，將分區計量管網規畫、建置、漏水調查作業委由同一工作團隊辦理，以消除規畫、現場施工、調查作業上之介面，並藉該案驗證此委外方式規範之可行性、完整性及計價合理性。

考量小區管網建置、封閉測試及漏水調查屬勞力密集作業，需要短時間投入大量人力，台水公司為辦理奉行政院核定之「降低漏水率計畫(102 至 113 年)」，近年分區計量管網數量快速增加，然於人力精簡下，須仰賴引進民間技術及人力辦理；台水公司爰參考「員林鎮小區管網示範計畫」成果，彙集廠商、台水公司同仁意見進行標規之檢討修改，將此類「分區計量管網委辦計畫」納入「降低漏水率計畫 (102 至 113 年)」推動辦理。

而其中分為(Isolation Reduce, IR)、( Isolation Installation Reduce, IIR)及 (Reduce, RE)三種類型之委外標案，IR 為早期試辦建置小區，僅用戶數及長度改變，需重新封閉及漏水調查；IIR 為未建置小區，需新建置及辦理漏水調查；RE 為已建置封閉小區僅需做漏水調查，而其中涉及到漏水調查計價詳如下說明：

1. 漏水管段調查作業：係從管網中選定特定的區段(次小區或較次小區更小的管段)後，進行管線最小流量測定；為測定該管線的最小流量，需

在區段外消防栓及區段內消防栓之間安裝消防送水帶，由區外送水至封閉的區段內，以計測該區段的漏水量。

(1) 直接法漏水量調查方式：在進行漏水管段調查時，用戶止水栓需全數關閉。

(2) 間接法方式：在進行漏水管段調查時，僅關閉大用水戶。

2. 漏水調查績效付款計價方式（分區管網建置及漏水調查作業規範，2023）：

(1) 「漏水管段調查作業」依作業方法計算

採直接法漏水量調查方式作業，計價比率=100%

採間接法方式作業，計價比率=30%

(2) 「漏水檢測作業」依防漏績效計算，取小數點 2 位，第 3 位無條件捨去。

計價比率=(漏水調查後售水率-漏水調查前售水率)÷

(計價基準售水率-漏水調查前售水率)×100%

最高 100%，另漏水調查後售水率超過計價基準售水率時，每超過 1% 增加 2% 之計價比率(最高增加 20%)。

漏水調查前售水率(%)	計價門檻售水率(%)	計價基準售水率(%)
0(含)~30(不含)	50	70
30(含)~40(不含)	55	72
40(含)~50(不含)	60	74
50(含)~60(不含)	65	76
60(含)~70(不含)	70	78
70(含)~75(不含)	75	80
75(含)~80(不含)	80	80

a、「漏水調查後售水率」在計價門檻售水率(不含)以下者，不予計價，計價比率為 0。

b、「漏水調查前售水率」在 70%(含)以上者，計價基準水率一律定為 80%。

c、計價比率計算實例（單位：%）

表 10 計價比例計算範例

漏水調查 前售水率	計價門檻 售水率	計價基準 售水率	漏水調查 後售水率	計價比率
20	50	70	50	60.00
20	50	70	70	100.00
20	50	70	78	116.00
40	60	74	74	100.00
45	60	74	70	86.21
50	65	76	76	100.00
55	65	76	86	120.00
65	70	78	69	0.00
73	75	80	79	85.71
78	80	80	89	118.00

## 2.9 前期漏水調查(InitialLeakSurvey, IL)

台水公司委外辦理漏水調查作業，除了以績效付款之計價方式，另有以每處漏水點之計價方式。台水公司為加速改善漏水率，選擇供水量大、漏水率高或供水風險較高之基隆、台中及高雄 3 個供水系統，委外廣徵具執行降低漏水率工作技術與成功經驗之美商及日商技術顧問機構組成總顧問，其中總顧問針對舊市區曾發生過較多次漏水案件之高漏水潛勢區，規劃區域型委外檢漏作業。區域型委外檢漏作業通常為利用測漏器、聽音棒以大範圍路段進行管網檢測，此項檢漏作業可快速啟動，計價方式是以所檢測出之漏水點按口徑計價，費用相較其他技術低廉，且可快速取得降低 NRW 之效。

## 2.10 台水公司專業檢漏人員檢漏作業計畫

台水公司於 103 年成立漏水防治處，並將原漏水防治總隊(檢漏人員)納入漏水防治處編制，專業檢漏人員總計 93 名，近年台水公司各區管理處逐步完成其規劃小區之建置作業，以透過系統化管理各計量小區之售水率，因此，已完成建置小區之漏水調查作業將調整納入年度計畫檢漏作業辦理，整體檢漏工作之分類與作業範圍如表 11 所示，計畫性檢漏作業包含，(1) 針對整個系統(大區)提出年度檢漏計畫之巡檢作業，與(2)可計量之已建置小區檢漏水調查作業；以及屬機動支援之(3)已知單戶或定點異常之個案異常案件與(4)突發小區域供水異常區域機動案件進行管線檢漏作業。為抑制各供水系統漏水復原，仍有待台水公司每年進行管線系統巡查，年度計畫之人力安排原則以計畫型管線系統巡檢作業占 50%、已建置小區漏水調查作業占 25%，機動型作業占 25%。然而，隨小區建置逐步完成，年度計畫人力安排逐漸遞減、已建置小區漏水調查作業人力自 25% 逐漸上升、機動型作業維持占 25%。

表 11 檢漏執行類型與工作分配

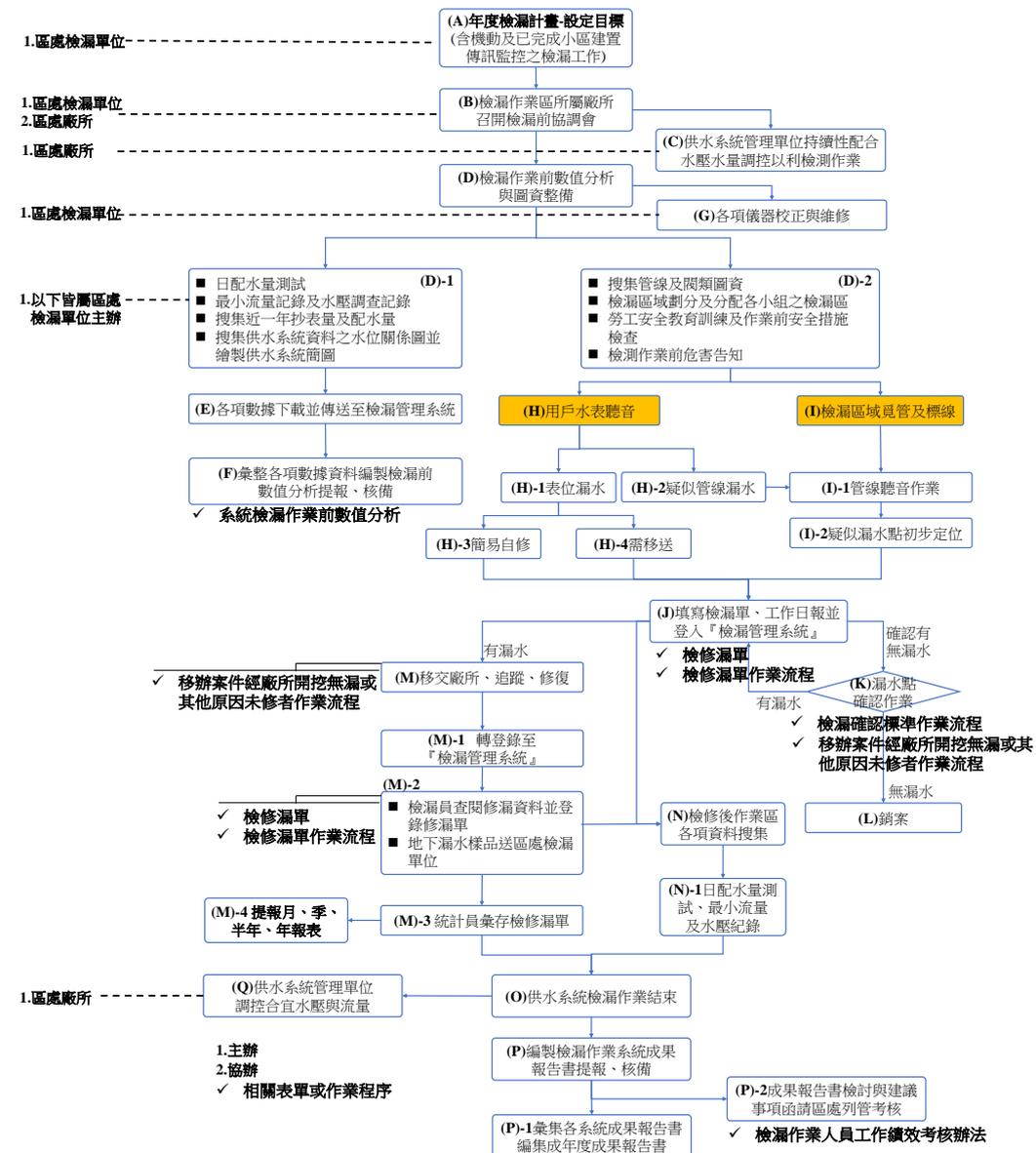
執行類別		作業範圍	工作分配
計畫型 檢漏	管線巡檢(年度檢漏計畫)	整個系統(大區)	<b>50%</b>
	小區漏水調查	可計量之已建置小區	<b>25%</b>
機動型 檢漏	個案異常	已知單戶或定點異常	<b>25%</b>
	區域機動	突發小區域供水異常	

## 2.10.1 年度檢漏計畫作業流程

圖 32 為台水公司年度檢漏作業計劃流程，各區處原則選定售水率偏低地區為主要檢漏區，並挑選已完成建置之小區辦理檢漏工作，其作業工作包含作業前數值分析，包含工作區流量調查、壓力調查、近期抄見量及配水量變化並繪製水位關係圖，於年底依據檢修前後提供各系統成果報告。

### 負責單位

### 作業流程



註：1 為主辦單位；2 為協辦單位；打勾處為搭配執行表單或作業程序 3. 資料為 2017 台水檢修漏標準作業規範

圖 32 年度檢漏作業計劃流程

## 2.10.2 小區漏水調查作業流程

圖 33 為上節經台水公司廠所針對疑似漏水率偏高之已建置小區提出檢漏作業申請，各區管理檢漏單位可將其納入年度計畫範疇，進行小區漏水調查作業，全面檢漏及檢視區域管線正確與否，由區管理處檢漏單位受案辦理後指定檢漏人員專責該小區管網之檢漏作業，此類專責小區稱為列案小區。(檢修漏標準作業規範及作業手冊，2017)。

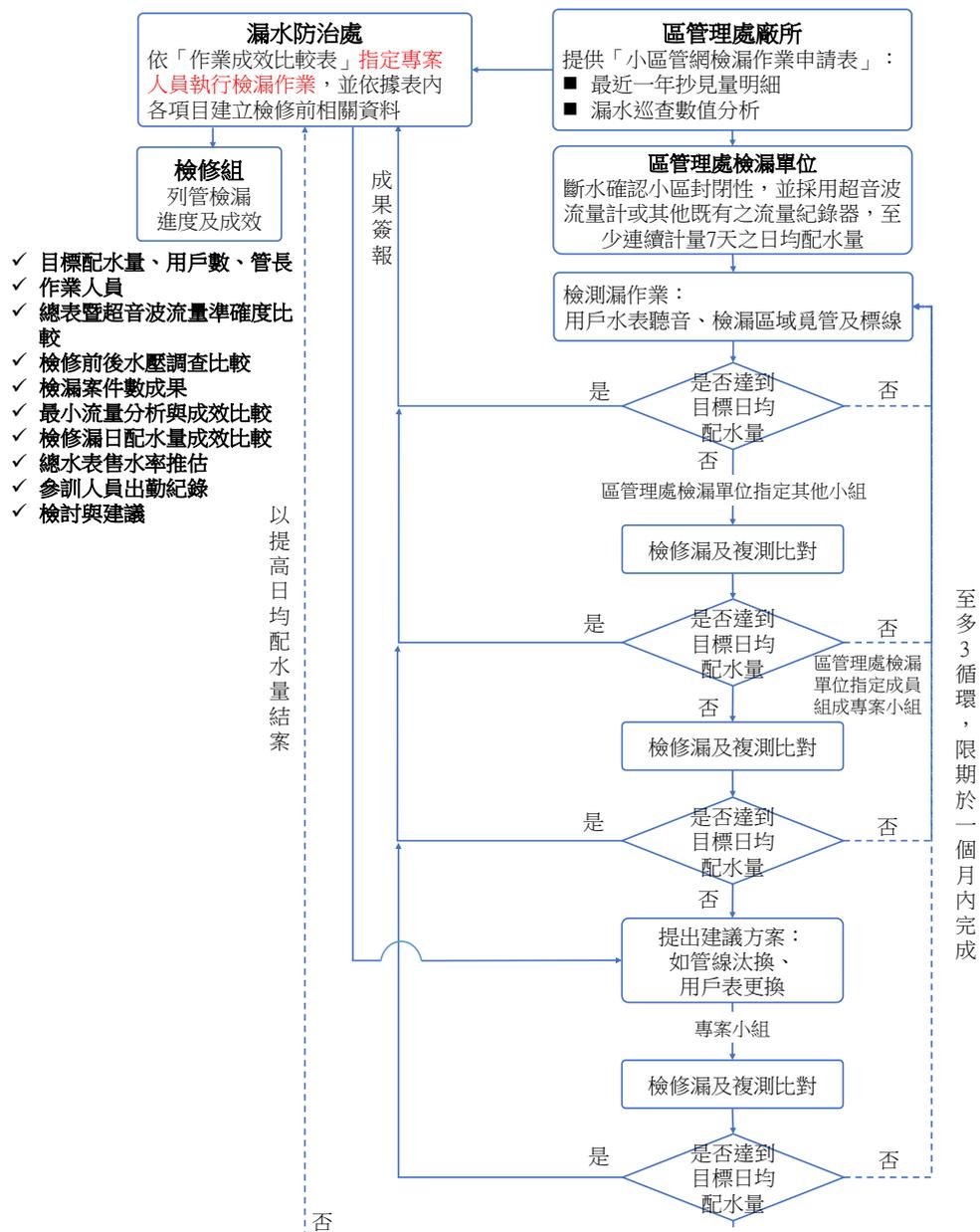


圖 33 台水列案小區漏水調查標準作業流程(檢修漏標準作業規範及作業手冊，2017)

## 2.11 台水公司小區建置原則

### 2.11.1 分區計量管網規劃原則

1. 以廠所之供水轄區或各供水系統為單位，依其主要水源規劃成 1 個或數個「大區管網」，每一大區管網依照其供水範圍大小及區域給水之原則再規劃分割為數個「中區管網」，中區管網下依需求再規劃「小區管網」。
2. 大區管網送水幹管原則為  $\phi 700\text{mm}$ (含)以上管線、接管數(總表+獨立表)約五萬戶，向下分割數個中區管網，中區管網配水幹管原則為  $\phi 350\text{mm}\sim\phi 600\text{mm}$  管線、用戶數約一萬戶，向下再分割數個小區管網，小區管網配水幹管原則為  $\phi 300\text{mm}$ (含)以下，用戶數依其生活型態訂定，原則如下：
  - (1) 都市地區：用戶數約一千至二千戶(管線長度不設限)。
  - (2) 鄉村地區：用戶數五百戶以上或管線長度(不含用戶外線)五公里以上。
  - (3) 偏遠地區：用戶數二百戶以上或管線長度(不含用戶外線)九公里以上。
3. 小區管網內之管線總長度(不含用戶外線)原則以不大於十五公里為宜。
4. 小區管網管線總長度大於十五公里或少於三公里者，須經台水公司總管理處核准後實施。
5. 規劃報告應詳列分區計量管網建置所需之管理用水量計位置及口徑、管線口徑擴大或改接工程、各分區計量管網對應之水量計計量公式、用戶明細。
6. 中、小區管網宜以並聯方式取水為原則(中區並聯大區幹管、小區並聯中區幹管)，進出水點不宜超過三個，避免誤差累積致影響計量準確性。(台水公司分區計量管網作業要點，2023)

## 第三章 研究方法及資料擇定原則

### 3.1 研究資料擇定原則

台水公司於檢漏策略包含對整個系統提出年度檢漏計畫之巡檢作業，及已建置分區計量管網漏水調查作業，故本研究將探討案例分為分區計量管網漏水調查及巡檢型漏水調查兩種；

#### 3.1.1 分區計量管網漏水調查

##### 1. 台水自檢小區(以下簡稱自檢小區)

台水公司民國 93 年起陸續推動降低漏水率計畫，自 106 年擬訂提升小區管網售水率達成計畫，以台水公司自有人力進行小區漏水改善，原則配合區管理處酌予修訂年度檢漏計畫，調整投注相關人力及檢漏等設備儀器，透過圖資收集、現場勘查、斷水確認、區域管線檢漏與修漏、檢修漏前後的漏水量調查及統計分析，藉以提升分區計量管網達成率。

106 年實施初期遭遇檢漏人員經驗不足執行困難，或小區比對基礎數據錯誤等問題，經 106 年至 107 年逐步辦理教育訓練後，108 年開始資料較為完整，故以 108 年至 111 年為本次台水公司檢漏人員辦理小區漏水調查之分析資料總計 111 個小區，剔除異常極端值小區 14 個，總計 97 個小區。

##### 2. 台水公司分區計量管網委辦計畫(以下簡稱委外小區)

「分區計量管網委辦計畫」屬奉行政院核定之「降低漏水率計畫(102 至 113 年)」工作內容，104 至 107 年辦理 21 案，該推廣期間，台水公司持續依辦理經驗滾動檢討修訂作業規範，自民國 108 年起各區處規範較完整、一致，108 至 111 年台水公司合計辦理 88 案，其中已驗收結算之案件中，有 127 個小區管網完成漏水調查作業，故以 127 個小區為本次研究樣本，剔除異常極端值小區 21 個，總計 106 個小區。

委辦計畫下列幾點特色：

1. 委辦計畫係將分區計量管網規劃、封閉確認、建置、漏水調查等多項作業委託同一廠商辦理，可消除各項作業之介面爭議。
2. 小區管網範圍封閉確認、漏水調查屬勞力密集作業，需大量人力，其中漏水調查更具專業性且須有一定程度之經驗，故由專業廠商辦理，可補足台水公司之管網操作、漏水調查人力缺口。
3. 多數轄區業於 102 年之前完成分區計量管網規劃報告，惟因供水管網變遷、開挖施工不易、不明管線等因素，可能造成執行上之困難；委辦計畫由廠商參考規劃報告，依據現場封閉確認結果選定分區計量進出水點、重新檢討閘栓及管線改接，以消除規劃報告困難之處。
4. 廠商完成各項作業後，製作成果報告(包含設施位置、漏水調查成果、降漏策略建議)，為台水公司後續維護管理、執行降漏策略之重要依據。

委辦計畫工作內容主要包含分區計量管網規劃、範圍封閉確認、建置工程及漏水調查，由各區管理處依辦理地點管網現況，編列相關預算單價，各項工作簡要說明如下：

1. 規劃：參考台水公司管線圖，依據分區計量管網建置原則，劃定大、中、小區管網範圍。
2. 範圍封閉確認：依據分區計量管網規劃報告，至現場進行斷水測試，確認封閉性及管網範圍、選定進出水點位置。
3. 建置工程：窰井、水量計等設施埋設暨管線改接等工程。
4. 漏水調查：管段漏水量調查及漏水點檢測作業。

### 3.1.2 巡檢型漏水調查

本次研究將針對委外巡檢及台水公司自行巡檢進行比較，委外巡檢型漏水調查之資料取得，過去台水公司只對供水風險較高之基隆、台中及高

雄 3 個地區供水系統，於 109 年至 111 年進行委外巡檢作業，故以此三地區資料進行分析，另台水公司巡檢則挑選 111 年基隆系統、台中大里太平地區及高雄大區台水巡檢作業進行比較。

### 3.2 異常極端值剔除

四分位數檢測（Quartile Detection）是一種統計方法，用於檢測一組數據是否存在異常值。這種方法基於數據的四分位數，將數據集分為四個等份，從而評估數據的分佈情況。

以下是進行四分位數檢測的步驟：

1. 取得分析資料集。
2. 計算四分位數：計算資料集的第一、第二（中位數）和第三個四分位數。第一個四分位數（Q1）是將資料集分成兩半的位置，即 25% 的資料小於或等於 Q1。第二個四分位數（Q2）是數據集的中位數，即 50% 的數據小於或等於 Q2。第三個四分位數（Q3）是將數據集的上半部分分成兩半的位置，即 75% 的數據小於或等於 Q3。
3. 計算四分位距離：計算四分位距離（IQR），它是 Q3 和 Q1 之間的差值，即  $IQR = Q3 - Q1$ 。
4. 確定異常值：根據四分位距離，可以定義一個臨界值範圍。通常，將資料集中小於  $Q1 - 1.5 * IQR$  或大於  $Q3 + 1.5 * IQR$  的資料視為異常值。
5. 進行檢測：檢查資料集中是否存在異常值，即是否有數據點落在臨界值範圍之外。如果有，則可以將這些數據點視為潛在的異常值。

## 3-3 研究方法

### 3.3.1 分區計量管網漏水調查分析

小區進場作業前，如果能透過基本資料挑選較具效益的小區進場作業，將可大幅減低作業成本及提高效益，本研究將收集近年委辦小區資料，依

檢漏進場前基礎資料進行 5 項指標分析，其指標分為檢修前 NRW/KM、前售水率、接管密度及延性鑄鐵管(DIP)占比及小區平均水壓等。

### 3.3.1.1 分區計量管網漏水調查五項指標：

#### 1. 檢修前 NRW/KM 分析：

檢修前 NRW/KM 表示在進場檢修漏前，小區的每公里的無收益水量 (NRW)。我們假設不同的檢修前 NRW/KM 值可能會對小區的漏水量產生不同程度的影響，我們的目標是確定檢修前 NRW/KM 與成本效益是否有關。

本研究以每公里降低的無收益水量 (NRW) 作為指標參考值，而不僅以 NRW 量的大小作為評估標準，這是台水公司小區管長約落在 10km~20km，需考量到幅員遼闊的小區巡查成本，且檢漏相對投入資源是否經濟，且舉例來說，如果一個小區的 NRW 量很大，但同時該小區的管線長度也非常長，比如說和平區等含括武嶺或雪霸國家公園等地區，雖然 NRW 較大但相對於管線長度，台水公司是否需投入資源值得探討。

在進行檢修前 NRW/KM 與績效評比時，我們要注意 NRW/KM 對小區漏水量的重要性。例如，即使售水率僅為 20%，但如果相應的檢修前 NRW/KM 值較低 (例如 20 CMD/KM)，這可能意味著漏水量已經相對較小，而 NRW 對整體檢漏效益的貢獻變得不那麼重要，因此，我們將重點關注在什麼檢修前 NRW/KM 值範圍內才能實現最佳的檢漏效益。透過分析不同檢修前 NRW/KM 評估效益表現。

這項研究將有助於台水公司依據檢修前 NRW/KM 做出是否進場檢漏決策，以最大限度地降低 NRW 並實現成本效益的目標。透過這項研究，我們將能夠確定在什麼檢修前 NRW/KM 值範圍內，檢漏效益最高，我們的研究結果將提供有關檢修前 NRW/KM 管理的實用建議。這些建議將幫助台水確定在什麼檢修前 NRW/KM 值範圍內，應該針對性地進行漏水調查，以最大程度地減少 NRW 並實現成本效益的最大化。

透過適當的檢修前 NRW/KM 管理，我們可以提高檢漏作業效能，減少水資源的浪費，同時節約成本並提供更可持續的供水服務。這將對水資源管理和經濟可持續發展產生積極影響，同時為用戶創造量足質優更好的供水環境。

## 2. 前售水率分析：

前售水率是指在檢漏作業進入小區漏水調查作業前，台水公司預先評估售水量佔總供水量的百分比。本研究主要目標為了解前售水率區對檢漏成本效益的影響。

## 3. 接管密度分析：

台水公司統計 102 年 111 年管線漏水案件詳圖 34，其中用戶外線漏水比例為 70%，送配水管為 30%，用戶外線即台水公司配水管連接至用戶總表或獨立表之管線，為探討其影響因子，本研究以接管密度作為指標，即代表獨立表加總表數目多寡是否將影響小區檢漏成本效益，而接管密度為單位管長上總表及獨立表數目。

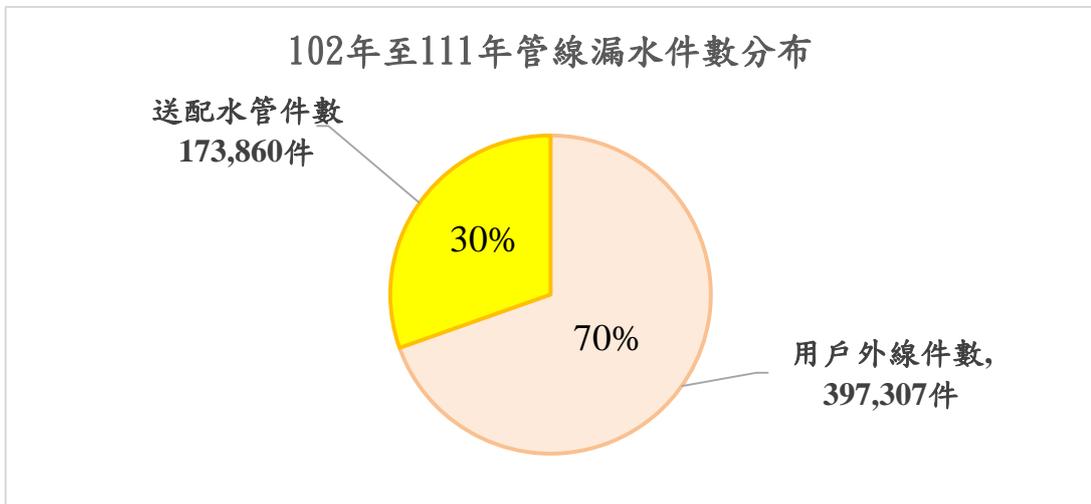


圖 34 台水近十年外線漏水件數(資料來源台水修漏系統)

#### 4. 延性鑄鐵管(DIP)占比分佈及成本效益：

本研究將分析小區 DIP 佔比評估檢漏績效，以了解低 DIP 佔比的小區是否較具進場巡檢效益。

#### 5. 小區平均水壓：

Lambert A., Hirner W., 2000 提到，漏水量從以往的研究發現，部分為不可避免之漏水量並只可透過四大策略中的水壓管理進行減低，因此，國際水協會損失水量專案小組(WLTF)將這些損失水量稱之為「不可避免之漏水量」(UARL)，因此小區水壓越高會直接造成不可避免之漏水量提高，是否造成檢漏效益降低，這部分值得探討，然而小區內隨著地勢高程的不同，用戶用水型態的不同，區域內水壓變化有大有小，為代表各小區水壓，本研究以小區平均水壓進行探討研究。

### 3.3.1.2 分區計量管網漏水調查支出成本

單位供水檢漏成本：為降低 NRW 所需支出成本除以降低之 NRW 即為「每降低 1CMD 之 NRW 所需支出成本」。

1. 「降低之 NRW」進場檢修漏後，降低的無收費水量（NRW）。
2. 「降低 NRW 所需支出成本」：本研究降低 NRW 所需支出成本，委外小區為依據台水公司契約實際計價給予廠商每個小區漏水調查費用，自檢小區則依據台水檢漏管理系統隊員薪資、差旅費、人事費、車輛油料費及車輛維護費等及每日出工天數，計算各自檢小區執行期間支出費用，以第四區管理處為例如表 12，另外加上台水公司檢漏單位近每年固定資產預算數約以 16,411,611 計算，支出成本詳表 13，依自檢小區工作占比 25% 進行估算。

表 12 檢漏系統成本費用統計表

台水四區處「0401-13-01-08清水武鹿小區」成本費用工作報表										
系統	防漏單位費用									
	差旅費	車輛油料費	人事費	其它事務費	車輛維護費	器具維護費	儀器折舊費	加班費	檢漏工具費	小計
月合計	15800	4770	144729	0	2607	11046	0	7610	7038	193601
1月合計	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2月合計	2000	673	14167	0	1539	6318	0	0	0	24697
3月合計	4400	1496	27594	0	181	0	0	1621	0	35292
4月合計	1000	0	5796	0	268	2460	0	0	0	9525
5月合計	2400	245	17368	0	619	81	0	849	0	21562
6月合計	2400	524	52900	0	0	0	0	0	7038	62862
7月合計	2400	1443	18511	0	0	0	0	5140	0	27494
8月合計	1000	389	5602	0	0	2187	0	0	0	9178
9月合計	200	0	2791	0	0	0	0	0	0	2991
10月合計										
11月合計										
12月合計										
區域合計	15800	4770	144729	0	2607	11046	0	7610	7038	193601
0401-13-01-08	15800	4770	144729	0	2607	11046	0	7610	7038	193601

表 13 台水檢漏固定資產支出

台水公司檢漏設備更新				
年度	110 年	111 年	112 年	平均
固定資產核定預算數	23,315,079	12,984,929	12,934,975	16,411,661

### 3.3.2 巡檢型漏水調查分析

台水公司巡檢型漏水案件以件數及巡檢管長作為控管指標，而委外巡檢型漏水調查為以口徑及件數為計價基準，因此不論委外或公司巡檢均非以找回大漏水量為目標，且區域面積大無法計量，無法計算實際降低 NRW，故無法與小區進行 KPI(Key Performance Indicator)比較。

巡檢型漏水調查，過去為針對緊急事件、常破管地區之早收方案採用，故本次研究將參考兩項指標比較委外與台水公司巡檢差異。

1. 生產力：生產力即每人每日檢出件數，因巡檢型於緊急事件發生時需快速針對破管熱區進行漏水巡查，故以委外與台水公司生產力數值進行比較。
2. 每件支出成本：台水公司支出成本，係依據台水公司檢漏管理系統依隊員薪資、差旅費等及每日出工天數計算基隆、台中及高雄巡檢期間，台水所需支出費用(包含差旅費、人事費、車輛油料費及車輛維護費)，另外加上台水公司檢漏單位每年購置設備與器材之平均固定資產支出成本，並依台水巡檢工作占比 50% 進行估算。

## 第四章 統計結果及分析討論

### 4.1 委辦小區各項指標支出成本分析

#### 4.1.1 檢修前 NRW/KM

本研究將檢修前 NRW/KM 與檢修後每降 1NRW 所需支出成本繪製於圖 35，由圖 35 可以看出幾點現象：

1. 檢修前 NRW/KM 為有效指標，樣本隨趨勢線集中分布，此可為小區進場檢漏前有效之優良指標。
2. 檢修前 NRW/KM 與支出成本有關，且隨著 NRW/KM 越大，每降低 1NRW 支出成本持續下降，另外隨著 NRW/KM 越小，支出成本將成倍數成長。

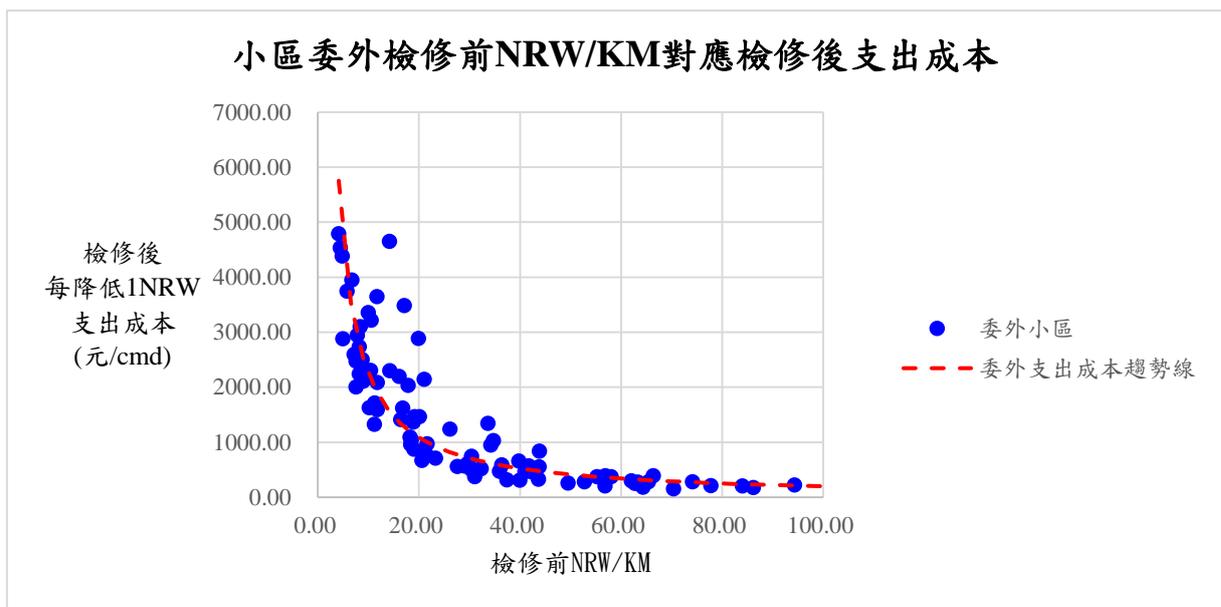


圖 35 委外檢修前 NRW/KM 對應檢修後支出成本

#### 4.1.2 檢修前售水率

本研究將檢修前售水率與檢修後每降 1NRW 所需支出成本繪製於圖 36，由圖 36 可以看出以下現象：

1. 前售水率與支出成本對應關係在售水率 40% 以上較為離散，本研究以圖 36 位於前售水率 40% 至 60% 區間來說，對應支出成本最低 107 元/CMD，最高 2882 元/CMD，惟售水率 40% 以下數據較為集中，也就是說小區委外檢漏單就參考前售水率不是一個優良的指標。
2. 雖非優良指標，惟從圖 36 略可看出隨著售水率越高支出成本越高趨勢之參考指標。

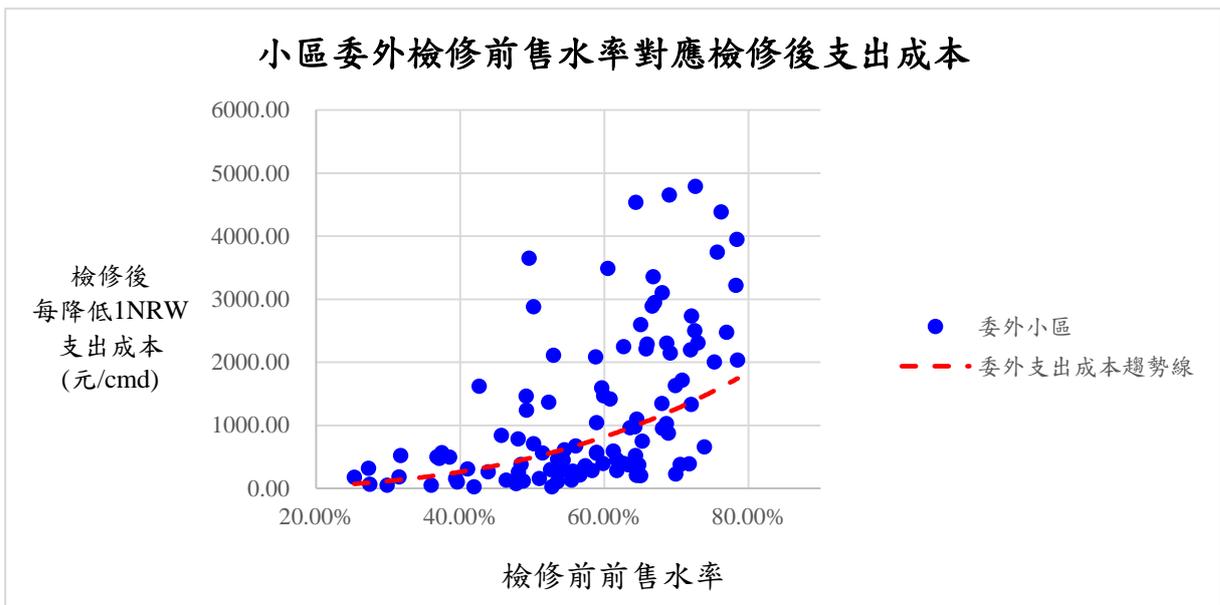


圖 36 委外檢修前售水率對應檢修後支出成本

#### 4.1.3 檢修前接管密度

本研究將接管密度與檢修後每降 1NRW 所需支出成本繪製於圖 37，接管密度定義可參考本研究 3.2.2.1 節，由圖 37 可以看出幾點現象：

1. 接管密度與支出成本對應關係過於離散，以圖 37 位於接管密度 100 處/KM 左右，對應支出成本最低為 25.19 元/CMD，最高為 2037 元/CMD，誤差大約 2011 元/CMD，以接管密度 50 處/KM 左右，對應支出成本最低 378 元/CMD，最高 3222 元/CMD，誤差大約 2844 元/CMD，也就是說小區委外檢漏前參考接管密度不是一個優良指標。
2. 雖非優良指標，惟從圖 37 略可看出隨著接管密度越高支出成本越低之趨勢，該標應可為參考指標。

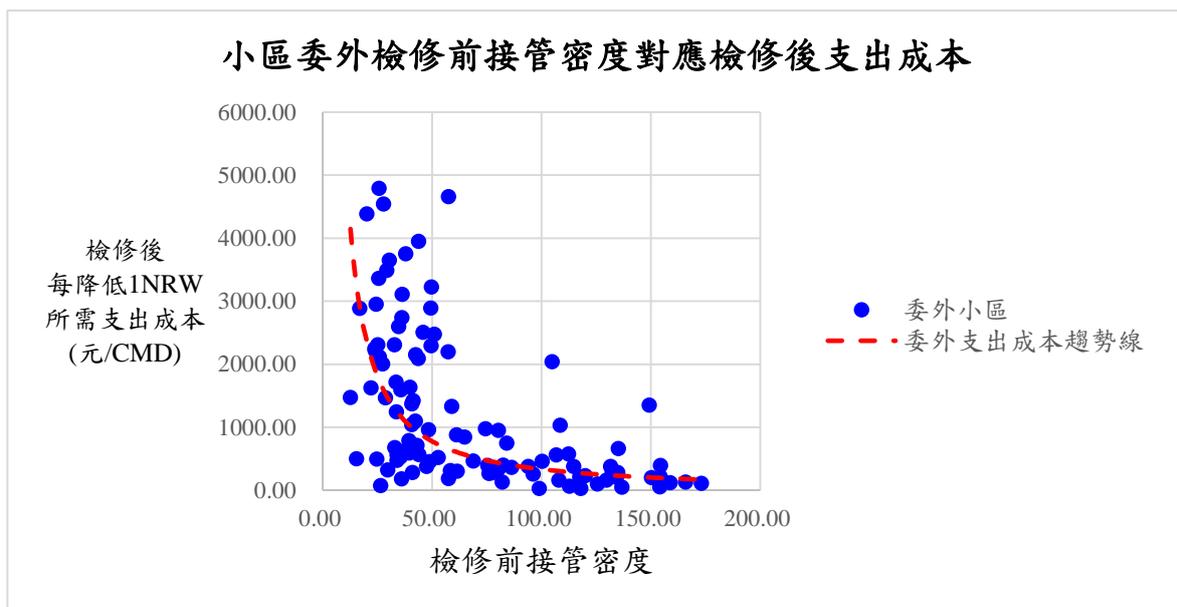


圖 37 委外檢修前接管密度對應檢修後支出成本

#### 4.1.4 檢修前平均水壓

本研究將平均水壓與檢修後每降 1NRW 所需支出成本繪製於圖 38，由圖 38 可以看出平均水壓與支出成本對應關係過於離散，圖 38 顯示平均水壓與支出成本關係幾乎無相關趨勢，也就是說小區委外檢漏前參考平均水壓為無效指標。

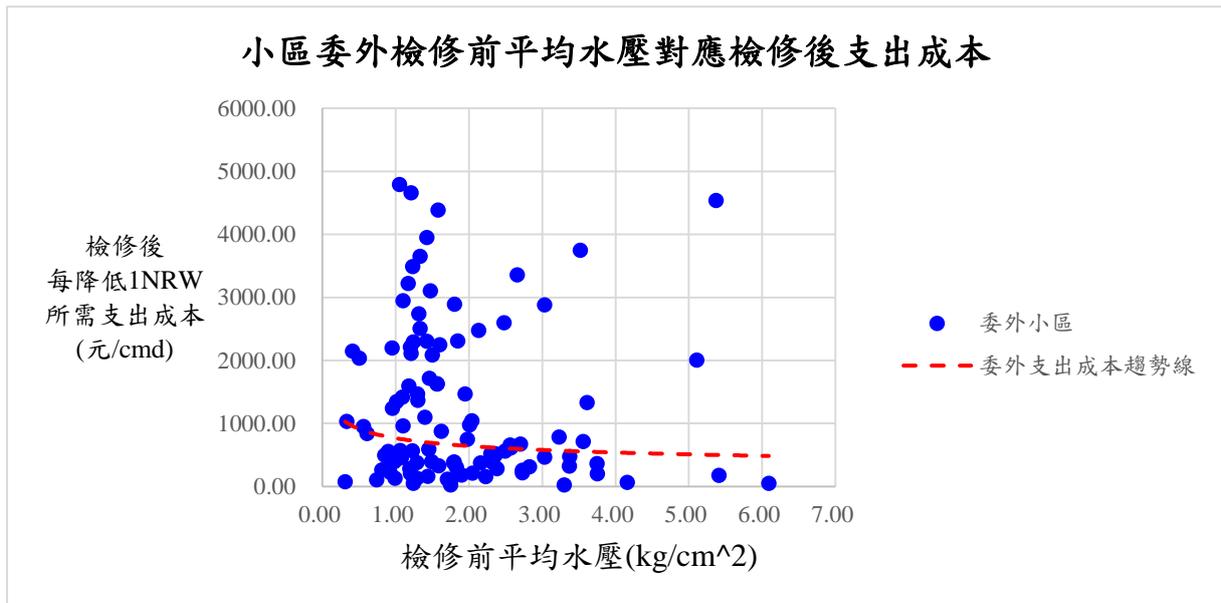


圖 38 委外檢修前平均水壓對應檢修後支出成本

#### 4.1.5 檢修前 DIP 占比

本研究將小區內 DIP 管材之占比與檢修後每降 1NRW 所需支出成本繪製於圖 39，圖 39 可以看出 DIP 占比與支出成本對應關係過於離散，圖 39 顯示 DIP 占比與支出成本關係幾乎無相關趨勢，也就是說小區委外檢漏前參考 DIP 占比為無效指標。

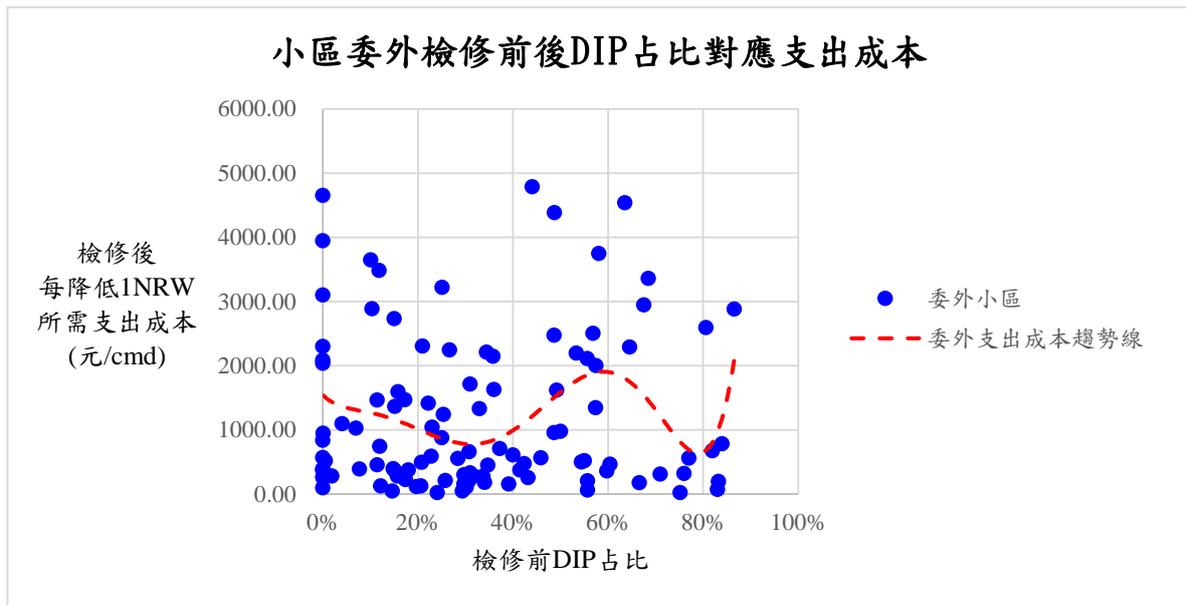


圖 39 委外檢修前 DIP 占比對應檢修後支出成本

#### 4.1.6 委外小區分析與討論

本研究將優良指標委外之檢修前 NRW/KM 進行 NRW/KM 與支出成本之邊際效益探討詳圖 40，有關 NRW/KM 與支出成本之邊際效益交會點約落在 20~22NRW/KM 之間，此水量即為委外檢漏之每公里經濟無收益水量 (Leakage Detection Economic NRW)，代表在此漏水量以下之小區應避免辦理委外檢漏作業。

支出成本邊際效益約落在 400 元/CMD 左右，代表委外檢漏最低支出成本約落在 400 元/CMD 左右。

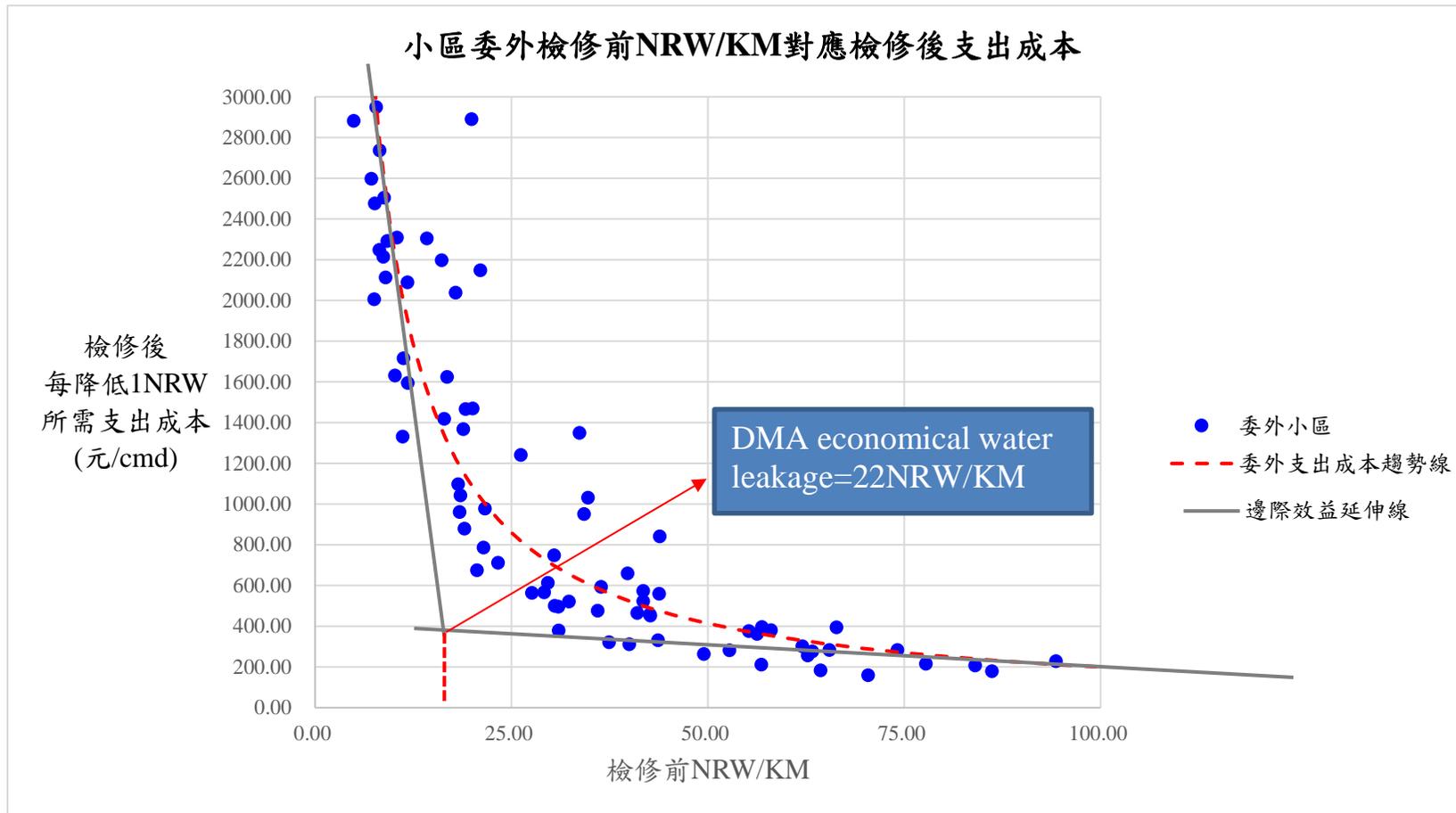


圖 40 委外檢修前 NRW/KM 對應檢修後支出成本邊際效益

綜上本研究針對委外小區五項指標，如區分為優良、參考及無效指標三級進行分類如表 14，優良指標為 NRW/KM，參考指標為售水率及接管密度，無效指標為平均水壓及 DIP 占比。

表 14 委外小區五項指標評估結果

項次	優良指標	參考指標	無效指標	委外經濟檢漏
檢修前 NRW/KM	■			22NRW/KM 以上
前售水率		■		無
接管密度		■		無
平均水壓			■	無
DIP 占比			■	無

## 4.2 自檢小區各項指標支出成本分析

### 4.2.1 檢修前 NRW/KM

本研究將檢修前 NRW/KM 與檢修後每降 1CMD 之 NRW 所需支出成本繪製於圖 41，由圖 41 可以看出幾點現象：

1. 自檢小區檢修前 NRW/KM 樣本隨趨勢線集中分布，依然與委外小區一樣可為小區進場檢漏前有效之優良指標。
2. 與委外一致，隨著 NRW/KM 越大，每降低 1NRW 支出成本持續下降，另外隨著隨著 NRW/KM 越小，支出成本將成倍數成長。

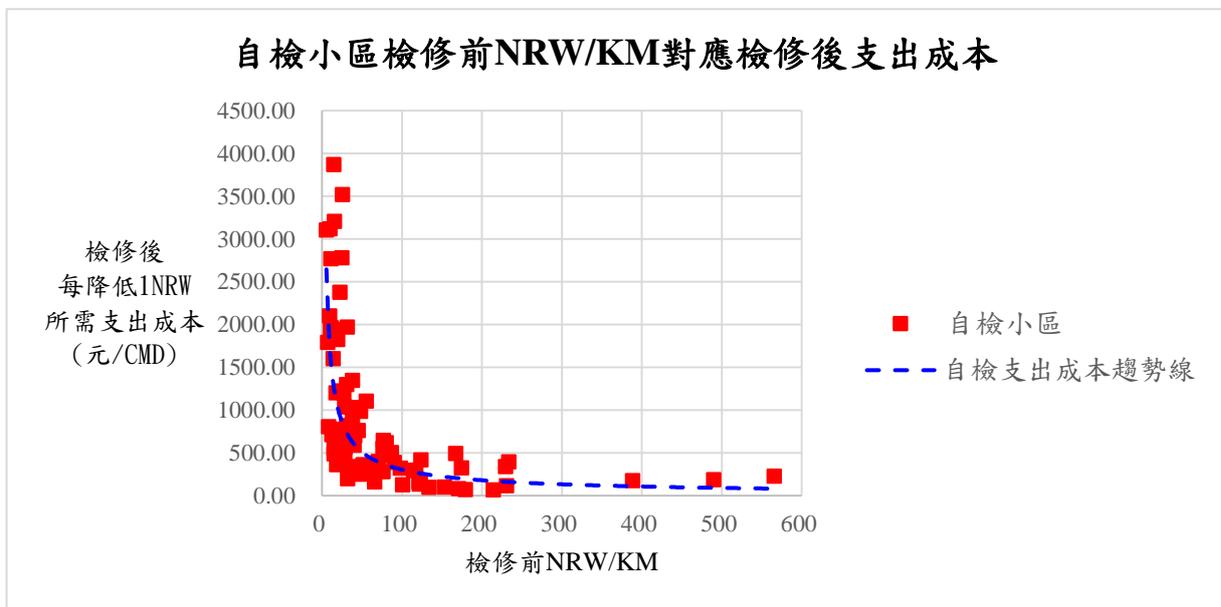


圖 41 自檢小區檢修前 NRW/KM 對應檢修後支出成本

#### 4.2.2 檢修前售水率

本研究將檢修前售水率與檢修後每降 1CMD 之 NRW 所需支出成本繪製於圖 42，由圖 42 可以看出數據較為離散，自檢小區前售水率不是一個優良的指標。

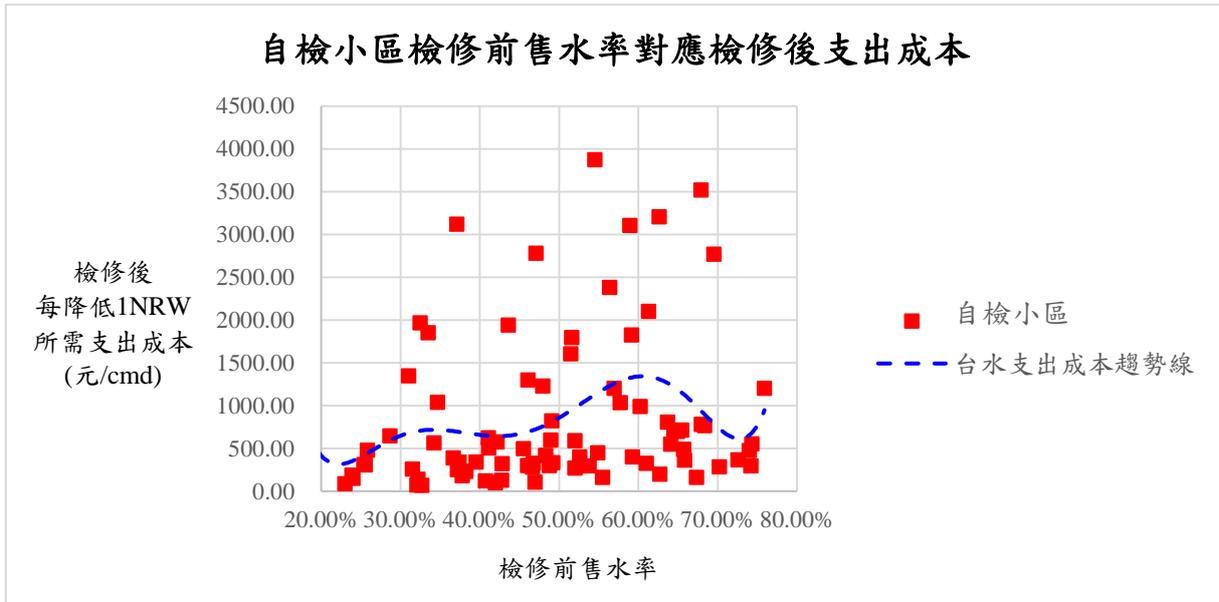


圖 42 自檢小區檢修前售水率對應檢修後支出成本

#### 4.2.3 檢修前接管密度

本研究將檢修前接管密度與檢修後每降 1CMD 之 NRW 所需支出成本繪製於圖 43，由圖 43 可以看出幾點現象：

1. 接管密度與支出成本對應關係過於離散，以圖 34 位於接管密度 50 處 /KM 左右，對應支出成本最低為 58.9 元/CMD，最高為 2355 元/CMD，誤差大約 2296 元/CMD，因此參考接管密度不是一個優良指標。
2. 雖非良好指標，惟從圖 43 略可看出隨著接管密度越高支出成本越低之趨勢，該標應為可參考指標。

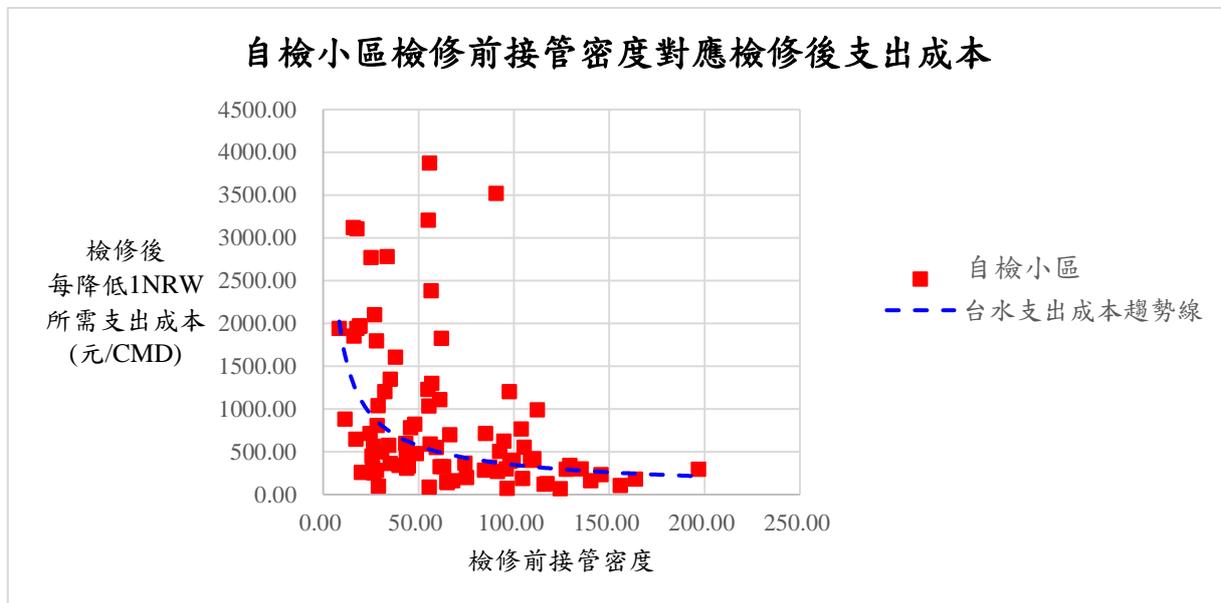


圖 43 自檢小區檢修前接管密度對應檢修後支出成本

#### 4.2.4 檢修前平均水壓

本研究將平均水壓與檢修後每降 1CMD 之 NRW 所需支出成本繪製於圖 44，由圖 44 可以看出平均水壓與支出成本對應關係過於離散，無相關趨勢，也就是說自檢小區檢漏前參考平均水壓為無效指標。

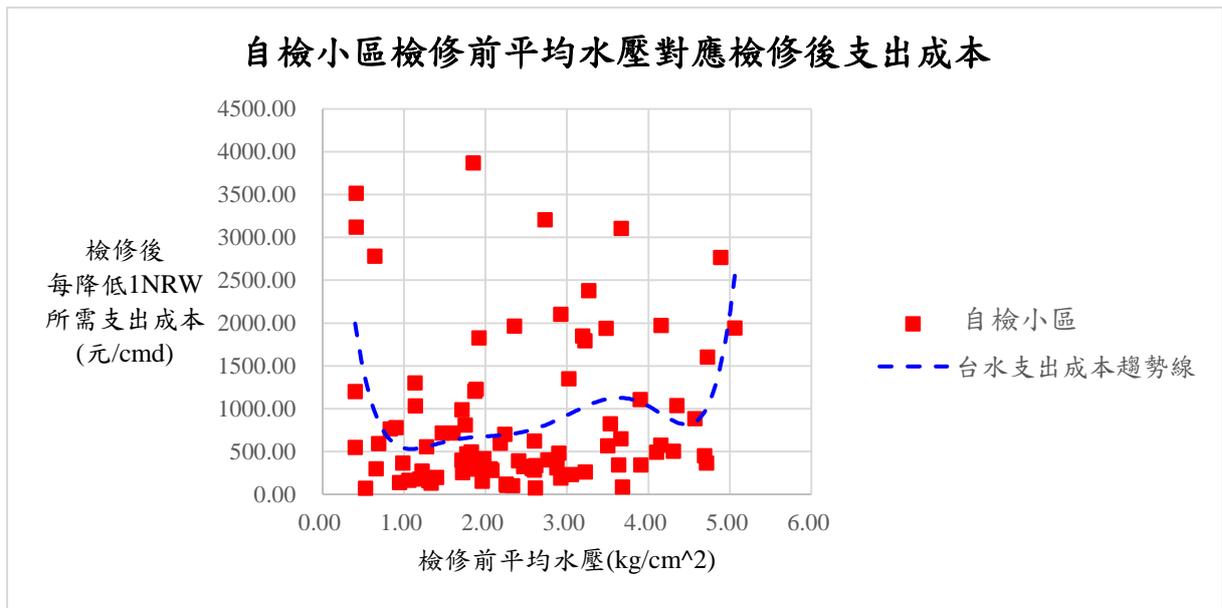


圖 44 自檢小區檢修前平均水壓對應檢修後支出成本

#### 4.2.5 檢修前 DIP 占比

本研究將小區內 DIP 管材之占比與檢修後每降 1CMD 之 NRW 所需支出成本繪製於圖 45，圖 45 可以看出 DIP 占比與支出成本對應關係過於離散，無相關趨勢，也就是說自檢小區檢漏前參考 DIP 占比為無效指標。

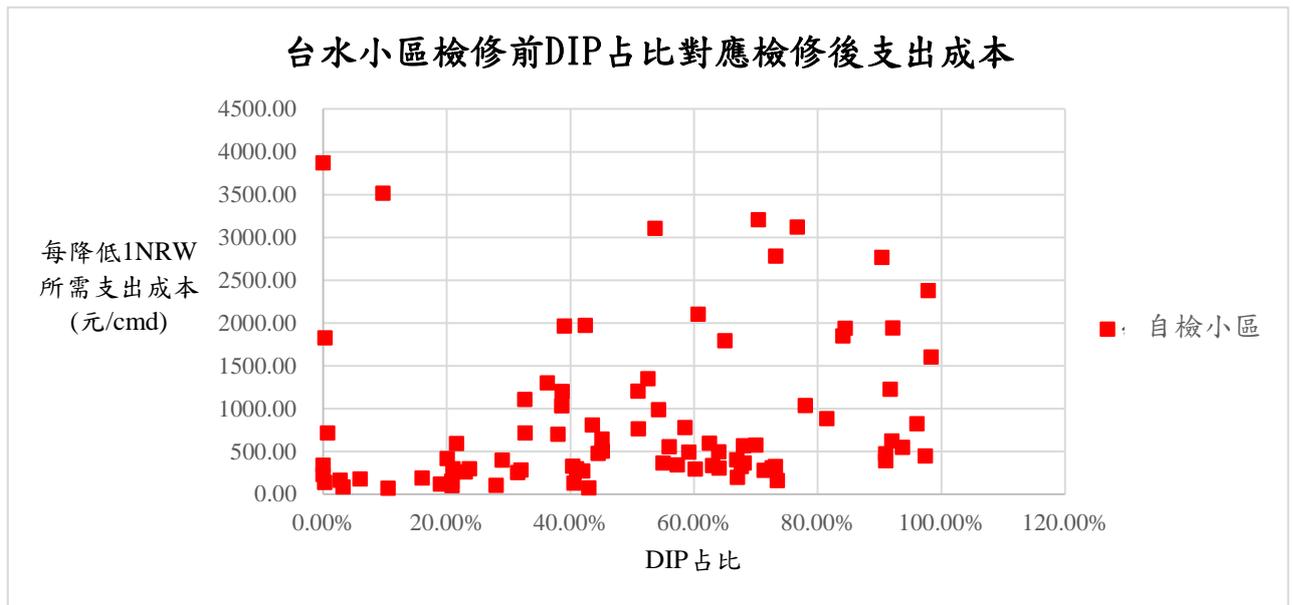


圖 45 自檢小區檢修前 DIP 占比對應檢修後支出成本

#### 4.2.6 自檢小區分析與討論

本研究針對自檢小區之優良指標檢修前 NRW/KM 進行 NRW/KM 與支出成本之邊際效益探討詳圖 46，有關 NRW/KM 與支出成本之邊際效益交會點約落在 20NRW/KM 左右，此交會點即為台水檢漏之每公里經濟無收益水量；支出成本邊際效益約落在 120 元/CMD 上下。

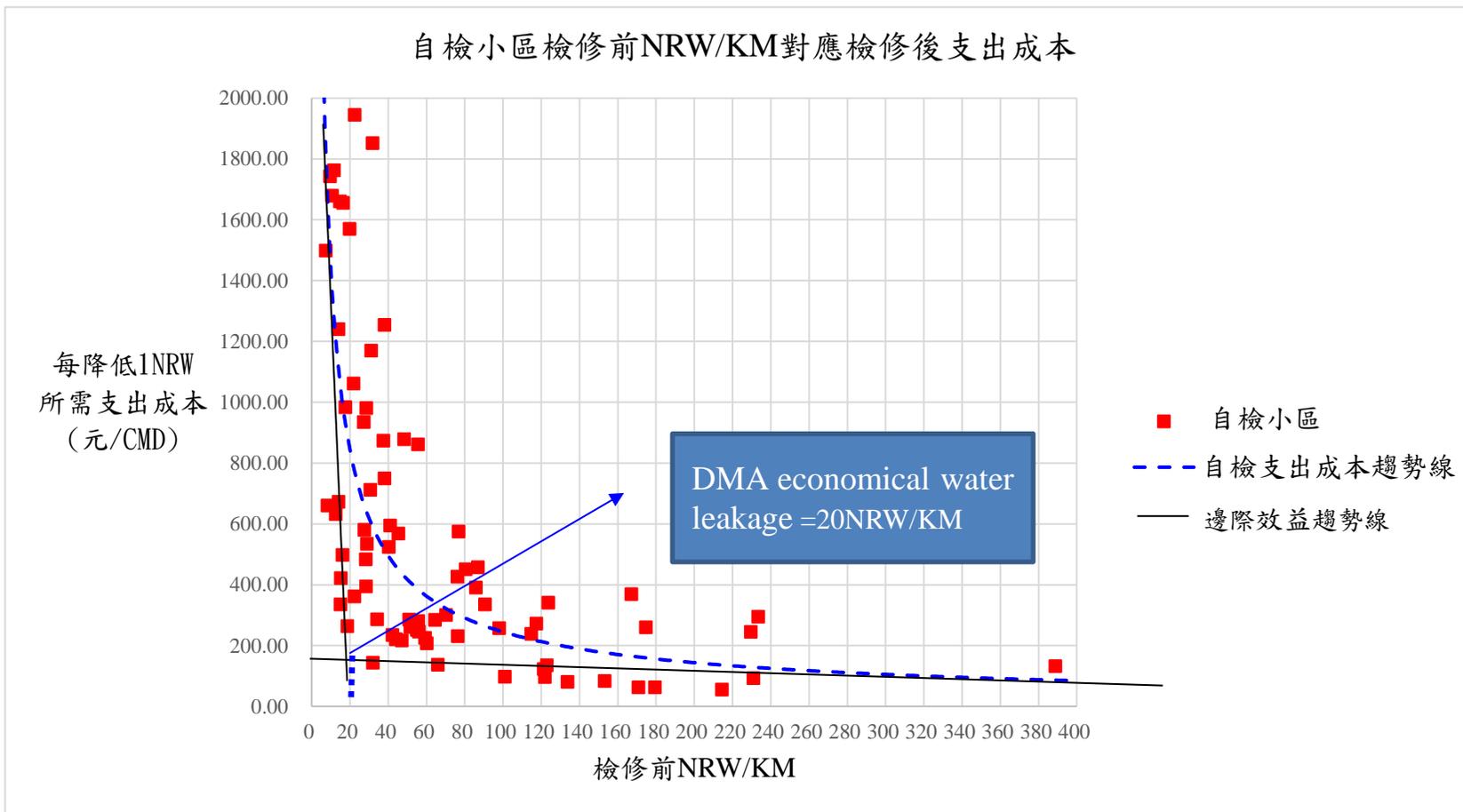


圖 46 自減小區檢修前 NRW/KM 對應檢修後支出成本邊際效益

綜上本研究針對自檢小區五項指標，如區分為優良、參考及無效指標三級進行分類如表 15，優良指標為 NRW/KM，參考指標為接管密度，無效指標為前售水率、平均水壓及 DIP 占比。

表 15 自檢小區五項指標評

項次	優良指標	參考指標	無效指標	台水經濟檢漏
檢修前 NRW/KM	■			20NRW/KM 以上
前售水率			■	無
接管密度		■		無
平均水壓			■	無
DIP 占比			■	無

### 4.3 自檢與委外小區比較

台水因供水轄區幅員遼闊且人力財力困頓，如何在委外與自檢之中取得平衡現階段值得探討，本研究在前兩節已針委外及自檢小區各別五項指標進行評比，其中委外及自檢同為優良指標為 NRW/KM，而接管密度同為參考指標，本節以此兩項指標進行自檢小區與委外小區比較。

#### 4.3.1 檢修前 NRW/KM

本研究將委外及自檢支出成本繪製於圖 47，圖 48 為將圖 47 級距縮小放大，圖 47 及 48 如下說明：

1. 台水與委外支出成本約在 46~50NRW/KM 交會，大於 46~50NRW/KM 後委外支出成本將低於自檢小區，亦是 NRW/KM 需夠大時，辦理委外作業則較為經濟。
2. NRW/KM 越小支出成本越高， NRW/KM 在 50 以下委外作業較不具經濟效益。
3. 小於 20~22NRW/KM 支出成本過高，此區間屬於不經濟檢漏區。

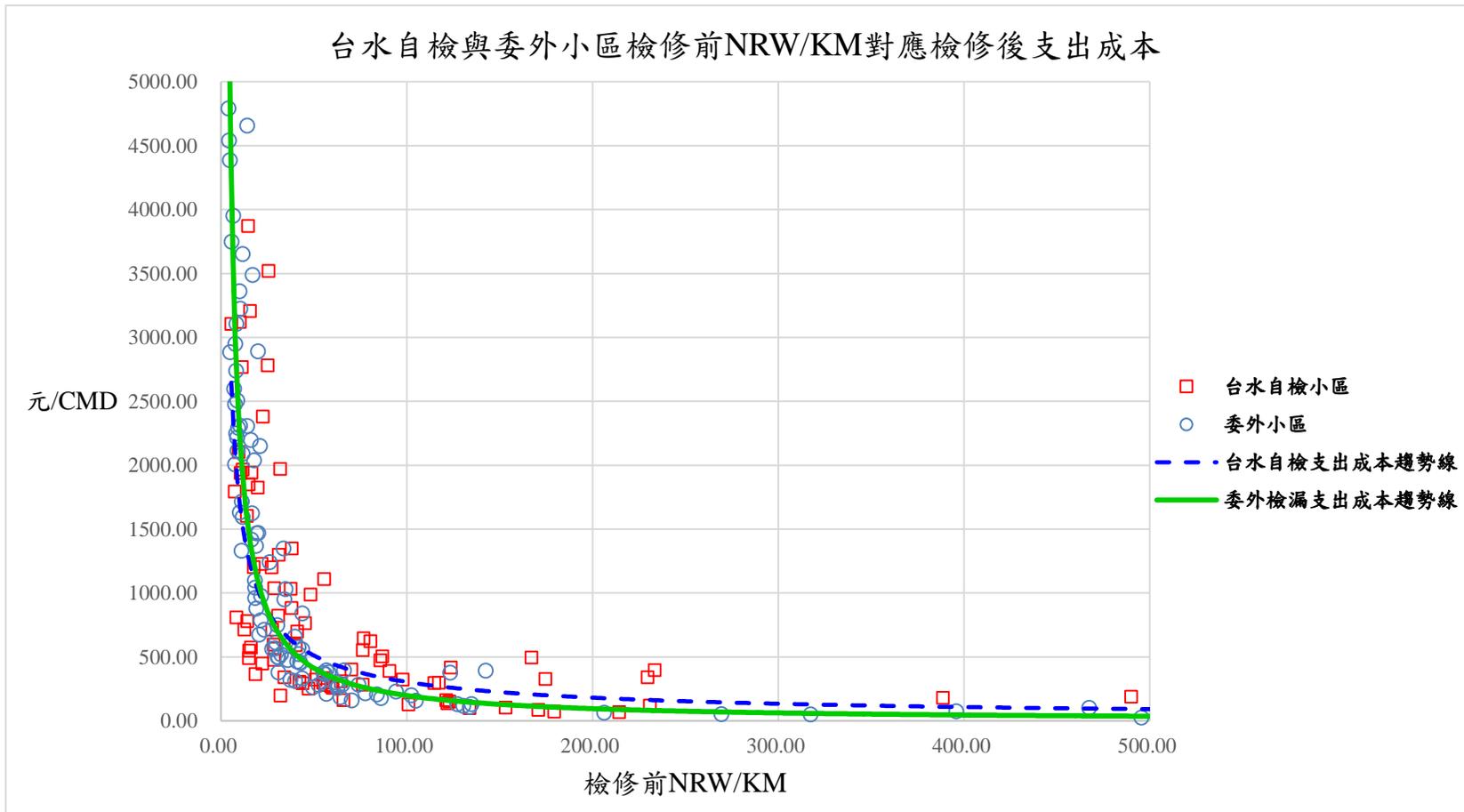


圖 47 自檢與委外小區檢修前 NRW/KM 對應檢修後支出成本

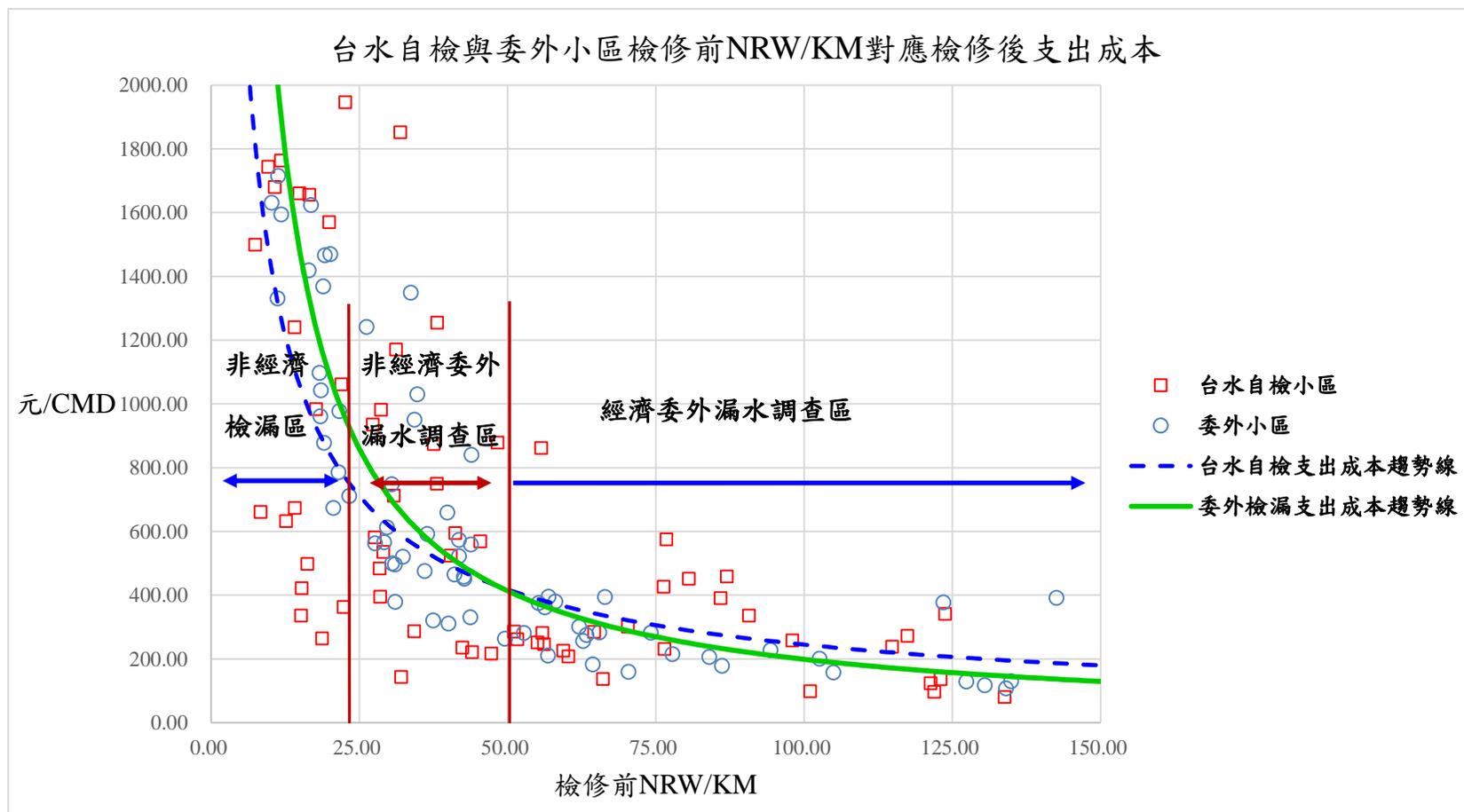


圖 48 自檢與委外小區檢修前 NRW/KM 對應檢修後支出成本

### 4.3.2 檢修前接管密度

將台水自檢及委外小區之參考指標接管密度繪製如圖 49 如下說明：

1. 台水自檢及委外小區檢修前接管密度如大於 100 處/km，則支出成本較低且趨勢一致收斂，如小於 100 處/km 則支出成本發散。本現象以 100 公尺長之管線例，A 管線口徑 100mm 管長 100 公尺內接了 100 戶用水，B 管線口徑 100mm 一樣長 100 公尺但接了 1 戶用水，如自來水漏水 70% 在用戶外線，A 管發生漏水的機率將相對 B 管高，亦即 A 管線發生的漏水量將相對 B 管線高出許多，當檢出 NRW 提高，巡查 100 公尺的成本一樣，則每檢出 1CMD 之 NRW 支出成本將相對降低
2. 檢修前接管密度較少時，數據發散，檢漏效益較不固定，分析有兩個原因：
  - (1) 當小區接管密度少時，為巡查高漏水機率之用戶外線，原本巡查 100 公尺管線可以巡查到 100 戶，低接管密度變成需要巡查 10,000 公尺(10 公里)才能巡查到 100 戶，造成成本增加。
  - (2) 當外線數量減少時，可能會轉向變成發生在本管漏水機率相對提高，當小區有檢到本管之大漏水量則支出成本降低，但檢不到大漏水量的則支出成本則會提高許多，綜上兩個原因造成接管密度低時則數據發散無固定效益。
3. 圖 49 部分數據接管密度大於 100，且支出成本也高之小區為澎湖地區，分析原因為澎湖地區小區整體供水量較少，台水公司委外小區計價以售水率提升為原則，雖售水率達計價門檻，惟相對降低 NRW 僅 10~20CMD 時，則每檢出 1CMD 之 NRW 支出成本將增加。
4. 依本次研究結果顯示，接管密度高之都會型小區可能對於委外作業較為經濟。

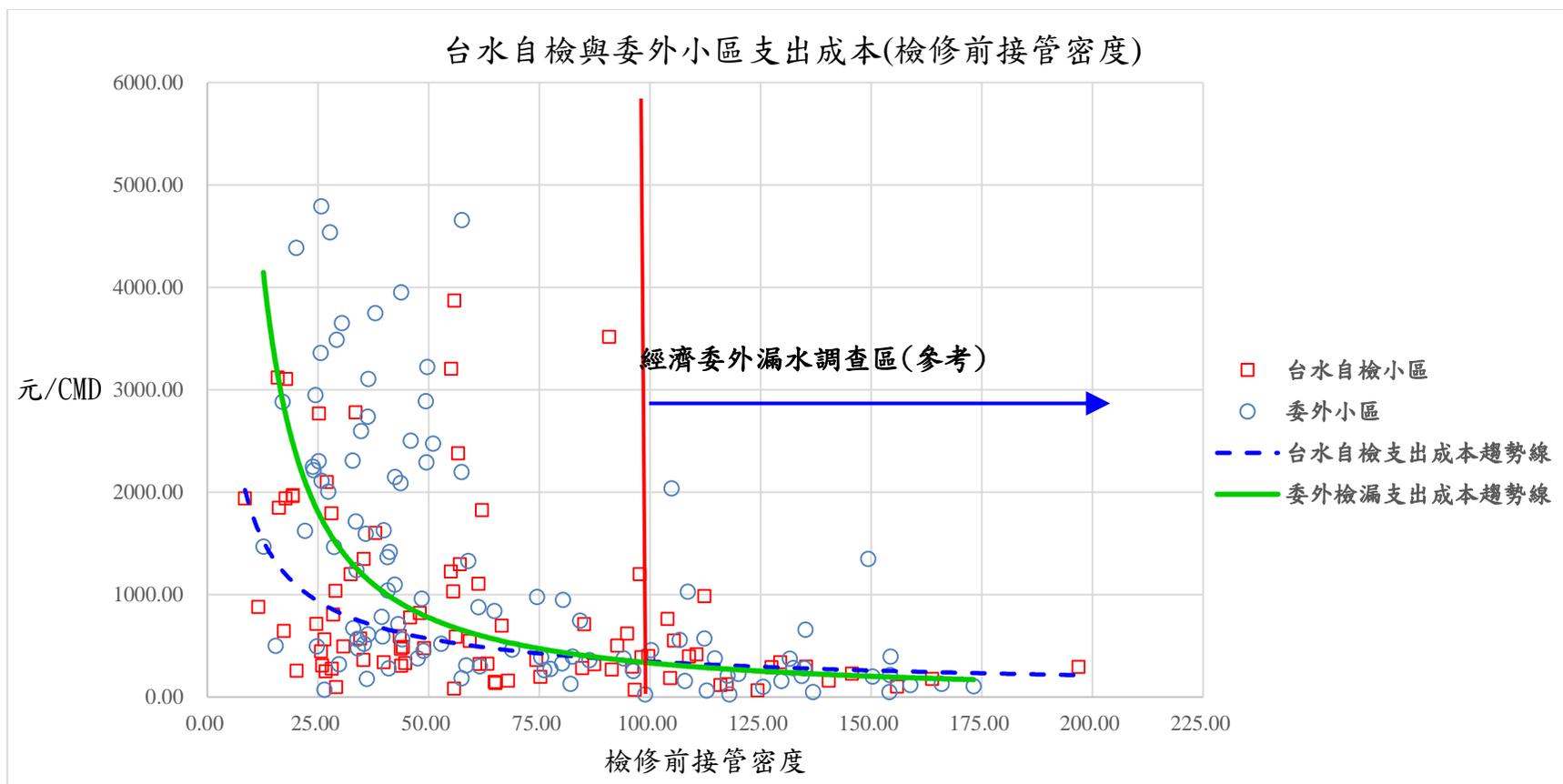


圖 49 自檢與委外小區檢修前接管密度對應支出成本比較

綜上，比較自檢與委外如表 16 及 17，50NRW/KM 以上可優先委外，NRW/KM 於 20~50 之間小區優先自檢，低於 20NRW/KM 則不採取檢漏策略，而參考指標接管密度大於 100 之小區台水可自檢或委外。

表 16 NRW/KM 比較表(優良指標)

優良指標	低於 20NRW/KM	20NRW/KM~ 50NRW/KM	大於 50NRW/KM
策略	不採取檢漏	優先自檢	優先委外

表 17 接管密度比較表(參考指標)

參考指標	接管密度小於 100 處/KM	接管密度大於 100 處/KM
策略	不具參考性	台水可自檢或委外

#### 4.4 以 NRW 及 NRW/KM 回顧過去台水及委外檢漏小區

為探討 NRW/KM 指標是否會因小區管長過大而造成忽略大 NRW 小區，本節將探討小區 NRW 與 NRW/KM 之差異，藉此說明小區管線長度長短與 NRW 大小對於投入檢漏資源的相關性，圖 50 及 51 為將委外小區及自檢小區以橫軸為 NRW/KM，縱軸為 NRW 繪製之關係圖。

圖 51 為將圖 50 放大，由圖 51 可看出區塊 C 區為高 NRW，其中無低 NRW/KM 小區分布，惟 D 區為低 NRW 區塊，其中卻有高 NRW/KM 小區分布，例如圖 50 之 A 點，NRW 僅為 431CMD，NRW/KM 卻高達 565.62。

將圖 50 以表格統計如表 18，該表顯示 500NRW 以下小區，有 13 個小區 NRW/KM 大於 50，但在 20NRW/km 以下卻沒有超過 1000CMD 之高 NRW 小區，表示單以 NRW 做為篩選，會忽略掉高 NRW/KM 小區，但是以 NRW/KM 篩選，則不會忽略掉高 NRW 小區，因此 NRW/KM 並不會因為小區管長過大，而造成將大 NRW 被除上管長後而忽略掉高漏水小區，且比起單純以 NRW 來做決策篩選，更能反映管長帶來的困難度。

以本節極端值數據來看，圖 50 之 A 點小區為 760 公尺的管線上漏了 431CMD，和圖 50 之 B 點小區為 40 公里的管線上漏水 2109CMD，760 公尺相當於是從台水公司總管理處沿雙十路走到旁邊的育仁國小的距離(台北車站走到善導寺)，40 公里大約是台水公司從總管理處走國道 1 號到三義(台北車站沿國 1 走到中壢)，難易程度可想而知，前往檢 760 公尺上漏 431CMD 較為經濟，這也反映了台水公司供水轄區幅員遼闊，小區常以天然地理邊界，及區域系統供水特性做為小區規劃等問題。

綜上台水公司應盡量避免將人力投入在低 NRW/KM 小區，統計在過去委外及自檢案件落於 20NRW/KM 以下之非經濟檢漏區，台水總共 21 個佔整體 21.6%，委外小區則有 40 個佔整體 41.2%，顯示過去台水投入在非經濟漏水量區小區比例偏高。

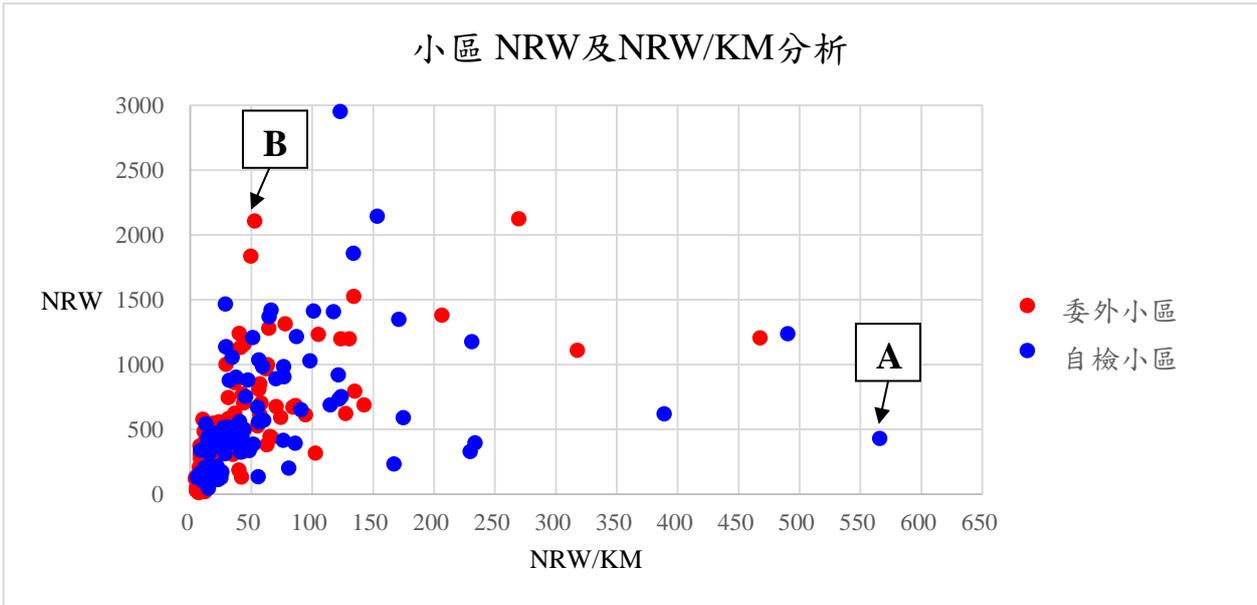


圖 50 小區 NRW 及 NRW/KM 關係圖

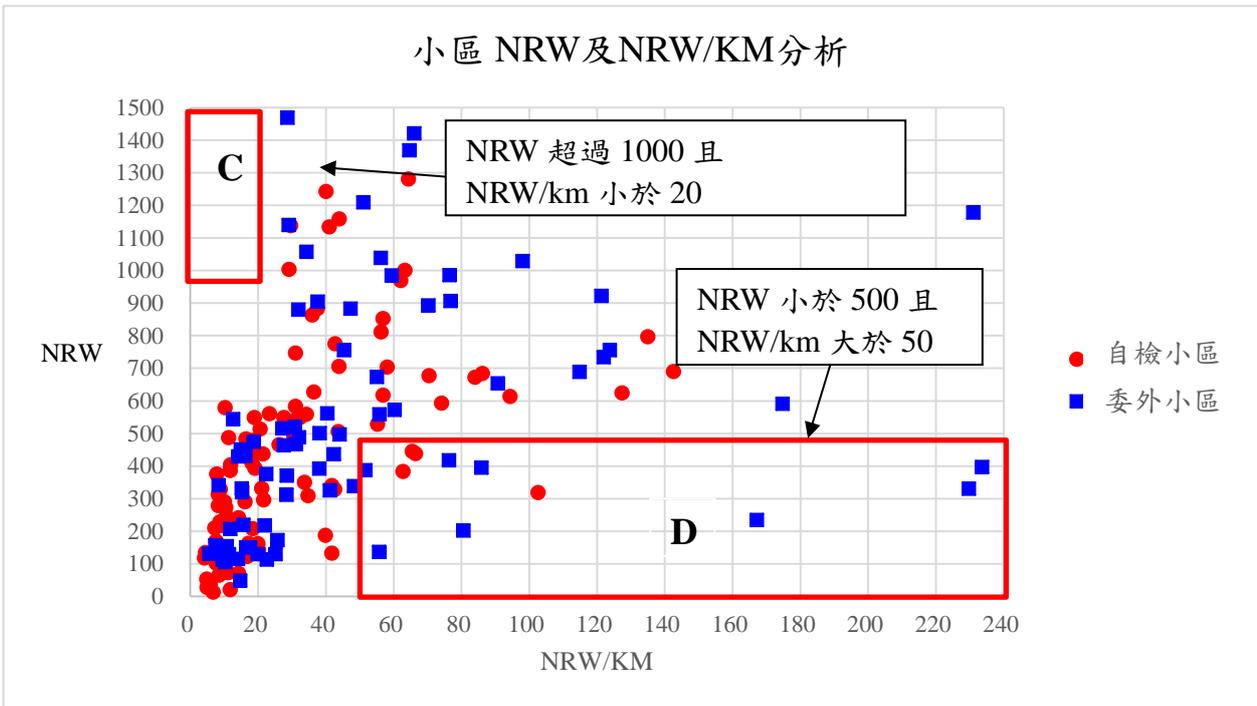


圖 51 1600NRW 以下及 300NRW/KM 以下關係圖

表 18 NRW 及 NRW/KM 小區數量統計表

NRW 及 NRW/KM 小區數量統計表		
	1000NRW 以上	500NRW 以下
20NRW/KM 以下	無	20 個
50NRW/KM 以上	45 個	<b>13 個</b>

#### 4.5 巡檢型漏水調查

台水公司早期因設置分區計量管網極少，管線漏水情況的判定均以供水系統或場所轄區的售水率做為評估依據，再由公司自有檢漏人力進場進行巡檢，以維持供水品質。然而，在「基隆、台中及高雄供水系統降低無收益水量(NRW)計畫總顧問」的技術服務中，提出從 NRW 的角度來看，應先專注於 NRW 量較大的供水區域，例如基隆、台中和高雄系統的主要區域。建議優先啟動區域型檢漏調查作業，以路段或地區為單位進行檢漏，除有助於迅速降低 NRW，並更好地了解市區複雜的管網結構。

台水自辦巡檢作業的 KPI 是以件數及巡檢管長作為控管指標，而委外巡檢型漏水調查則是以口徑及件數為計價基準，因此不論委外或台水自辦巡檢均檢出漏水件數作為控管指標。

台水公司檢漏人員的年度目標係根據人員的在職月數和檢漏年資計算「檢漏年資技術指數」，並依據全公司的全年度檢出漏水案件目標值進行分攤，做為每位檢漏員的檢漏目標案件數和管線巡查長度。而委外巡檢的目標案件數和管線巡查長度則參考計畫巡檢範圍中的管線修復案件數和總管長。

台水公司於 111 年共處理了 43,683 件管線維護案件，其中 4,298 件(約佔總案件數的 9.8%) 是由台水公司的檢漏人員發現的地下漏水案件。依據管線的功能屬性來看，有 31,429 件案件是針對用戶外線的維護 (約佔總案件數的 72%)，而有 12,254 件案件是針對送配水管的維護 (約佔總案件數的 28%，如圖 52)。

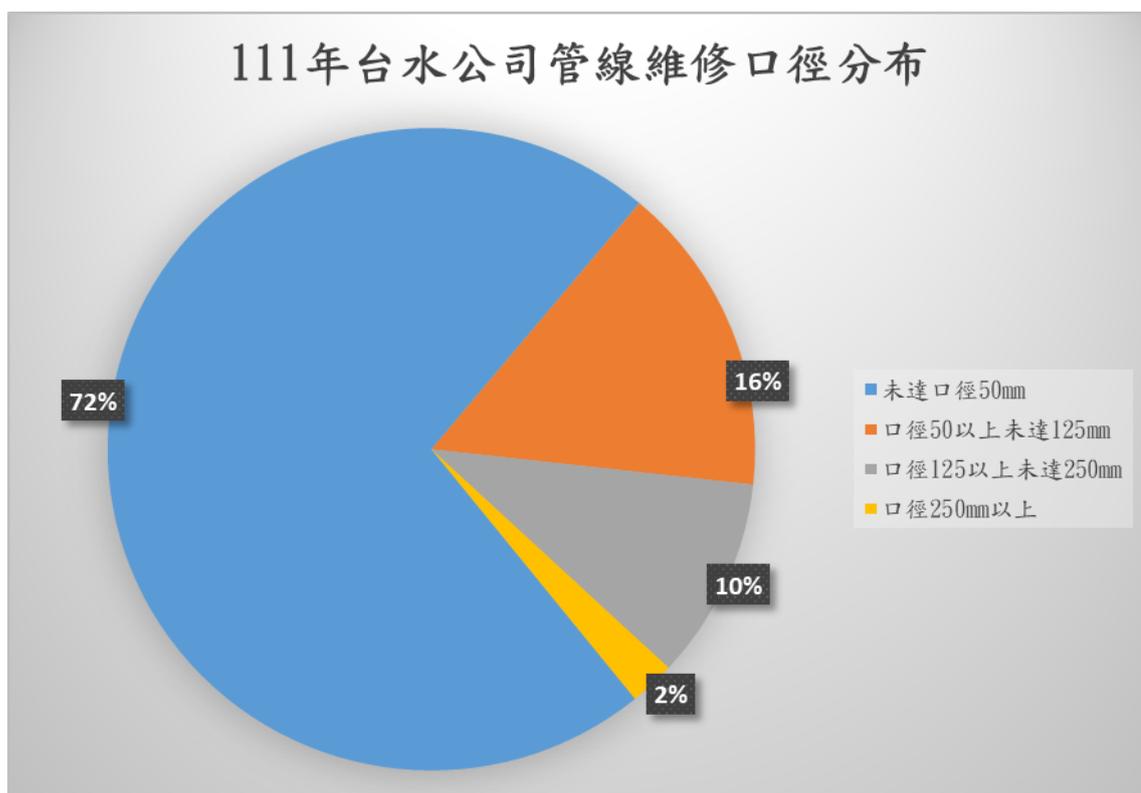


圖 52 台水公司 111 年管線維修口徑分布圖

根據管線維護案件的口徑來看，未達口徑 50mm 的案件最多，共有 31,429 件（約佔總案件數的 72%，如表 19），且有口徑越大維護案件越少的現象，惟各口徑管線鋪設長度不一，若單觀察各口徑管線之維護案件數，恐無法客觀了解管線維護情況。

表 19 台水公司各區處 111 年管線維修口徑分統計表

區處	未達口徑 50mm		口徑 50 以上未達 125mm		口徑 125 以上未達 250mm		口徑 250mm 以上		合計	
	件數	比例	件數	比例	件數	比例	件數	比例	件數	比例
第一區管理處	1,675	72.48%	330	14.28%	230	9.95%	76	3.29%	2,311	5.29%
第二區管理處	2,448	61.82%	871	21.99%	551	13.91%	90	2.27%	3,960	9.07%
第三區管理處	2,829	71.10%	787	19.78%	317	7.97%	46	1.16%	3,979	9.11%
第四區管理處	5,067	66.26%	1,352	17.68%	1,040	13.60%	188	2.46%	7,647	17.51%
第五區管理處	3,832	81.86%	527	11.26%	269	5.75%	53	1.13%	4,681	10.71%
第六區管理處	4,854	75.48%	776	12.07%	631	9.81%	170	2.64%	6,431	14.72%
第七區管理處	3,116	61.18%	1,062	20.85%	758	14.88%	157	3.08%	5,093	11.66%
第八區管理處	1,409	81.35%	176	10.16%	115	6.64%	32	1.85%	1,732	3.96%
第九區管理處	760	73.49%	182	17.61%	63	6.10%	29	2.81%	1,034	2.37%
第十區管理處	344	79.98%	49	11.41%	34	7.91%	3	0.70%	430	0.98%
第十一區管理處	2,084	80.47%	349	13.47%	122	4.71%	35	1.35%	2,590	5.93%
第十二區管理處	2,089	82.80%	188	7.45%	176	6.98%	70	2.77%	2,523	5.78%
屏東區管理處	923	72.52%	185	14.53%	129	10.13%	36	2.83%	1,273	2.92%
合計	31,429	71.95%	6,834	15.64%	4,435	10.15%	985	2.25%	43,683	

為了客觀評估各地區和不同口徑管線的維護狀況，考慮到管線的長度和用戶數之間的相關性和影響性。因此，本研究使用管線破管密度（管線破管案件數/管線長度或用戶數，如表 20）來評估管線的維護情況。

表 20 111 年管線破管密度

區處	未達口徑 50mm	口徑 50 以上 未達 125mm	口徑 125 以上未 達 250mm	口徑 250mm 以上	合計
	次/千戶 (註 1)	次/公里 (註 2)	次/公里 (註 2)	次/公里 (註 2)	次/公里(註 3)
第一區管理處	3.74	0.440	0.346	0.105	1.070
第二區管理處	2.55	0.306	0.215	0.065	0.579
第三區管理處	4.87	0.262	0.198	0.042	0.688
第四區管理處	3.95	0.322	0.307	0.097	0.796
第五區管理處	6.98	0.128	0.100	0.036	0.559
第六區管理處	6.31	0.239	0.203	0.108	0.782
第七區管理處	2.74	0.284	0.295	0.087	0.615
第八區管理處	7.46	0.118	0.192	0.041	0.598
第九區管理處	6.46	0.187	0.092	0.082	0.510
第十區管理處	4.77	0.058	0.053	0.017	0.255
第十一區管理處	5.18	0.113	0.091	0.031	0.463
第十二區管理處	2.38	0.625	0.227	0.094	1.359
屏東區管理處	4.95	0.115	0.122	0.077	0.398
<b>全公司</b>	<b>4.15</b>	<b>0.226</b>	<b>0.205</b>	<b>0.072</b>	<b>0.693</b>

註 1：該口徑之破管件數/該區處之用戶數

註 2：該口徑之破管件數/該口徑管線長度(配水管)

註 3：總破管件數/總管長(配水管線)

#### 4.5.1 生產力分析

本研究的目的是比較委外巡檢型漏水調查和台水公司自辦巡檢的效能。因台水公司針對風險較高的供水系統，即基隆、台中及高雄三個供水系統進行委外作業，所以針對台水自辦巡檢部分本研究挑選 111 年的基隆系統、台中地區的大里太平地區以及高雄地區的台水巡檢作業成果的資料進行具體對照比較。

由於基隆、台中和高雄三個供水系統具有不同的地理特點、管線結構、供水系統規模、供水壓力和水質條件，以及受到政府法規和環境因素的影響，這些因素可能導致漏水風險和漏水模式的不同。為了排除地區環境特殊性的影響，本研究將首先分別比較基隆、台中和高雄供水系統的巡檢作業，以更好地理解不同地區漏水問題的變化和特點。

次將合併所有委外巡檢作業的數據進行比較，以研究不同標案規定的作業模式所帶來的差異。最後，將台水公司自辦執行的基隆、台中和高雄供水系統的巡檢作業數據合併，進一步深入比較和分析。這樣的方法有助於全面地瞭解不同供水系統間的漏水情況和因素影響。

##### 4.5.1.1 基隆地區委外與自辦檢漏生產力比較

基隆供水系統的特色在於其街道高程多變的地形，需要大量加壓站來維持水壓的穩定。同時，老舊的管線和街道狹窄增加了維護難度，而一些基礎設施的老化則增加了管理壓力。

本研究的主要目的在於分析在基隆、台中及高雄地區所進行的委外與自辦巡檢之間的生產力差異。為了實現這一目標，首先須對委外契約條文和台水公司自辦檢漏的相關規定進行了深入研究，以瞭解條文內容並觀察實際情況，以研究分析造成生產力差異的核心原因。

110 年度台水公司於基隆地區辦理委外檢漏計畫為”110 年新山給水廠指定漏水委外檢測作業”，預計於 330 日曆天完成新山給水廠所轄位於基隆市的 14 個 DMA 之管線巡查作業。為確保台水公司權益，委外辦理契約針

對計畫作業範圍、規則及處罰機制如下：

1. 計畫作業區：新山給水廠所轄基隆安樂區安一路等 14 個分區計量管網。
2. 計畫檢漏管線總長度：100 km。
3. 計畫目標檢出漏水案件數：100 件。
4. 計畫作業規則及處罰機制：
  - (1). 應檢測出之漏水案件數量及巡檢之里程數為開工後 150 日內，達成計畫預定數量及里程數之 45%，開工後 270 日內達成計畫預定數量及里程數之 95%，開工後 300 日內達成計畫預定數量及里程數之 100%。
  - (2). 計畫檢測出漏水案件不得少於 75 件。
  - (3). 計畫檢出案件及指定檢出案件，廠商均需派員配合挖修作業，並提出佐證照片。
  - (4). 每次估驗工作期間，漏水檢測案件所提報漏水位置，經開挖查證不正確案件，超過該期漏水檢測案件數 3% 之案件，每件裁罰 10,000 元。
  - (5). 未達核定之漏水檢測作業計畫內應檢測出漏水件數之 90%，每件裁罰 3,000 元。
  - (6). 未達核定之漏水檢測作業計畫內應巡檢之里程數，每公里裁罰 5,000 元。

台水公司 111 年於基隆地區自辦巡檢作業，其巡檢範圍為基隆市內共計 1,280 公里，其管考及處分機制為逐月管控各檢漏人員每月應檢出案件及巡查管線長度之績效，績效未達者將逐月檢討並輔以訓練，若未改善則簽報人員剔除更換。委外與台水自辦基隆地區檢漏之生產力相關資料如表 21。

表 21 基隆地區委外與台水自辦檢漏生產力統計表

項目		委外檢漏	自辦檢漏	單位
		數量	數量	
總出工數 (不含內業)	A	236	643.3	工
巡檢出工數	B	179	563.6	工
巡檢總件數	C	126	196	件
巡檢管線長度	D	117	1280	公里
平均每人日檢出件數	C/A	0.534	0.348	件數/工
每人每日巡檢公里數	D/B	0.656	2.271	公里/工
平均每公里檢出件數	C/D	1.073	0.153	件數/公里
巡檢與總工作量佔比	B/A	75.8	87.6	%

上表中的各項目定義及計算方式說明如下：

1. 總出工數：檢漏人員巡檢地下漏水所需要工作耗費的所有工時(如巡檢先研究該地區管線圖資、巡檢過程人員移動車程及休息時間、巡檢後進行現場漏水確認及配合修漏工程現場開挖等)。
2. 巡檢出工數：現場巡檢耗費之工時。
3. 巡檢總件數：計畫巡檢區中檢出疑似漏水案件之總和(包含開挖無漏水及明管案件)。
4. 巡檢管線長度：計畫巡檢區中口徑 40mm 以上的配水管線長度。
5. 平均每人日檢出件數：巡檢總件數/總出工數。
6. 每人日巡檢公里數：巡檢管線長度/巡檢出工數。

7. 平均每公里檢出件數：巡檢總件數/巡檢管線長度。

8. 巡檢與總工作量佔比：巡檢出工數/總出工數。

研究觀察在基隆供水系統委外巡檢作業與台水公司自辦檢漏作業的績效差異如下：

1. 委外巡檢作業之平均每人日檢出件數為 0.534 件/工，較台水自辦之平均每人日檢出件數為 0.348 件/工，高 53.4%。
2. 委外巡檢作業的每工(人日)巡檢公里數為 0.656 公里/工，較台水自辦
3. 巡檢公里數為 2.271 公里/工，低 71.1%。
4. 委外巡檢作業之平均每公里檢出件數為 1.073 件/公里，較台水自辦之平均每公里檢出件數 0.153 件/公里，高 600.9%。

在基隆供水系統的委外巡檢作業中，出現了高平均每公里檢出件數和低每工(人日)巡檢公里數的情況，特別是巡檢公里數明顯低於台水公司規範中每名檢漏人員應檢查的 2.5 公里/工標準。這一現象顯示了在基隆供水系統的委外巡檢作業中，檢漏人員的工作焦點傾向於更加密集地檢查。造成這種現象的主要原因可歸因於台水公司一區處於「110 年新山給水廠指定漏水委外檢測作業」中，將巡檢範圍設定在數個 DMA(分區計量管網)內。這種做法與一般的巡檢作業相比，引起了明顯的差異，並對檢漏人員的生產力產生了影響。這些差異包括：

1. 巡檢分區計量管網之漏水情況可知：

當檢漏人員確定所巡檢的區域存在漏水情況時，這種確定性會形成一種心理預期。這種預期心理驅使他們重複進行檢測，以確保漏水情況的發現，並增加漏水確認的信心，這應為基隆地區委外巡檢作業形成高平均每公里檢出件數和低巡檢公里數的原因。這種現象反映了台水檢漏人員在巡檢過程中的特定行為模式，可能需要進一步研究和管理以提高效率。

## 2. 巡檢分區計量管網之管線資訊明確：

值得注意的是，委外檢漏人員並非長期居住或工作於基隆地區，因此對於當地管線資訊和地理條件的熟悉程度不如長期在當地工作的台水檢漏人員。然而，在分區計量管網的檢測中，管線資訊通常更加明確且清晰，這可以有效降低委外檢漏人員在管線研究上所需的時間，從而增加了他們進行巡檢的時間，進一步提高了生產力。這顯示了分區計量管網對於委外檢漏作業的效益，特別是對於不熟悉當地情況的檢漏人員而言。

### 4.5.1.2 台中地區委外與自辦檢漏生產力比較

台中供水系統是由鯉魚潭和豐原淨水廠共同提供水源的管網結構，其主要特點是以重力流供水為主。然而，該供水系統曾在 921 地震中受到嚴重影響，對供水管網的結構和品質造成了一定程度的損害。尤其在修復過程中，需要大量埋設新的管線，亦增加了資產管理的複雜度。此外，供水系統的一些基礎設施也逐漸老化，這進一步提高了整體管理難度。這些因素結合在一起，使得台中供水系統的運營和維護變得更加具有挑戰性，需要採取有效的管理策略來確保系統的穩定運行。

109 年度台水公司於台中地區辦理委外檢漏計畫為「109 年四區處計畫性及指定漏水委外檢測作業」，預計於 330 日曆天完成台中市東、西、中、南、北、西屯、南屯及北屯區之管線巡查作業。為確保台水公司權益，委外辦理契約針對計畫作業範圍、規則及處罰機制如下：

1. 計畫作業區：台中市東、西、中、南、北、西屯、南屯及北屯區。

2. 計畫檢漏管線總長度：1,180 km。

3. 計畫目標檢出漏水案件數：400 件。

4. 計畫作業規則及處罰機制：

(1). 應檢測出之漏水案件數量及巡檢之里程數為開工後 150 日內，達成計畫預定數量及里程數之 45%，開工後 270 日內達成計畫預定

數量及里程數之 95%，開工後 300 日內達成計畫預定數量及里程數之 100%。

- (2). 計畫檢測出漏水案件不得少於 300 件。
- (3). 計畫檢出案件及指定檢出案件，廠商均需派員配合挖修作業，並提出佐證照片。
- (4). 每次估驗工作期間，漏水檢測案件所提報漏水位置，經開挖查證不正確案件，超過該期漏水檢測案件數 3% 之案件，每件裁罰 10,000 元。
- (5). 未達核定之漏水檢測作業計畫內應檢測出漏水件數之 90%，每件裁罰 3,000 元。
- (6). 未達核定之漏水檢測作業計畫內應巡檢之里程數，每公里裁罰 5,000 元。

台水公司 111 年於台中地區自辦巡檢作業，其巡檢範圍為台中市大里及太平區內共計 574 公里，其管考及處分機制為逐月管控各檢漏人員每月應檢出案件及巡查管線長度之績效，績效未達者將逐月檢討並輔以訓練，若未改善則簽報人員剔除更換。委外與台水自辦台中地區檢漏之生產力相關資料如表 22。

表 22 台中地區委外與台水自辦檢漏生產力統計表

項目		委外檢漏	自辦檢漏	單位
		數量	數量	
總出工數 (不含內業)	A	1,176	177.8	工
巡檢出工數	B	529	153.8	工
巡檢總件數	C	567	90	件
巡檢管線長度	D	2,079	574.1	公里
平均每人日檢出件數	C/A	0.482	0.506	件數/工
每人每日巡檢公里數	D/B	3.930	3.733	公里/工
平均每公里檢出件數	C/D	0.273	0.157	件數/公里
巡檢與總工作量佔比	B/A	45.0	86.5	%

表 22 數據較具差異性為委外巡檢作業之巡檢出工數佔總出工數 45%，台水自辦之巡檢出工數佔總出工數 86.5%，委外較台水低 48.0%，委外巡檢作業之平均每公里檢出件數為 0.273 件/公里，台水自辦之平均每公里檢出件數 0.157 件/公里，委外較台水高 73.9%，分析原因如下說明：

1. 巡檢出工數與總出工數佔比委外較低原因：這種現象分析原因可能為，委外巡檢檢漏人員需要預先研習巡檢範圍的管線分布情況，以確保能夠有效地進行漏水檢查，這可能需要額外的時間和資源。其次，如果委外檢漏廠商確認漏水後空挖，可能會面臨罰款等後果，因此他們需要進一步確認以避免這種情況發生。此外，委外檢漏廠商還需要與甲方協作，以確認挖掘和漏水情況，這也可能導致巡檢工作的比重相對較低之原因。
2. 每公里檢出件數委外較高原因：這種差異主要歸因於委外巡檢作業通常在夜間進行，而台水公司自辦檢漏作業採取日夜間進行。因為漏水檢測需要在較為安靜的環境中進行，以避免環境噪音對作業品質的影響。因此，夜間進行的巡檢作業更容易探測到漏水問題，進而提高了平均每公里檢出件數。這也突顯出作業時段對於檢漏效能的重要性，尤其在需要靜音環境的情況下。

#### 4.5.1.3 高雄地區委外與自辦檢漏生產力比較

高雄供水系統於 105 年度時供水量已超過 1,502,609 CMD（立方公尺/日），並且擁有約 8,278 公里的管線長度，使其成為一個龐大的供水系統，以滿足高雄地區的龐大用水需求。

然而，該供水系統面臨著一些主要挑戰。首先，前 10 名大用水戶的總用水量達到 18 萬 CMD，這意味著需要應對高度需求的大型用戶，並確保穩定供水。其次，為了應對不同地區的供水需求，各給水廠需要相互支援和調配，這增加了供水系統的管理難度，尤其是在區域分布複雜的情況下。最後，高雄系統管網複雜。這可能對系統的運營和管理造成一定的挑戰，

並需要更好的規劃來提高效率和穩定性。

109 年度台水公司於高雄地區辦理委外檢漏計畫，預計於 330 日曆天完成高雄鹽埕、新興、三民及鳳山區等行政區之管線巡查作業。為確保台水公司權益，委外辦理契約針對計畫作業範圍、規則及處罰機制如下：

1. 計畫作業區：高雄市新興區、三民區、鹽埕區與鳳山區等行政區之 400mm 以下管線。
2. 計畫檢漏管線總長度：1,494km。
3. 計畫目標檢出漏水案件數：300 件。
4. 計畫作業規則及處罰機制：
  - (1). 應檢測出之漏水案件數量及巡檢之里程數為開工後 150 日內，達成計畫預定數量及里程數之 45%，開工後 270 日內達成計畫預定數量及里程數之 95%，開工後 300 日內達成計畫預定數量及里程數之 100%。
  - (2). 計畫檢測出漏水案件不得少於 200 件。
  - (3). 計畫檢出案件及指定檢出案件，廠商均需派員配合挖修作業，並提出佐證照片。
  - (4). 每次估驗工作期間，漏水檢測案件所提報漏水位置，經開挖查證不正確案件，超過該期漏水檢測案件數 3%之案件，每件裁罰 10,000 元。
  - (5). 未達核定之漏水檢測作業計畫內應檢測出漏水件數之 90%，每件裁罰 3,000 元。
  - (6). 未達核定之漏水檢測作業計畫內應巡檢之里程數，每公里裁罰 5,000 元。

台水公司 111 年於高雄地區自辦巡檢作業，其巡檢範圍為鳳山服務所及六

龜系統共計 1,413 公里，其管考及處分機制為逐月管控各檢漏人員每月應檢出案件及巡查管線長度之績效，績效未達者將逐月檢討並輔以訓練，若未改善則簽報人員剔除更換。委外與台水自辦高雄地區檢漏之生產力相關資料如表 23。

表 23 高雄地區委外與台水自辦檢漏生產力統計表

項目		委外檢漏	自辦檢漏	單位
		數量	數量	
總出工數 (不含內業)	A	1,218	536.8	工
巡檢出工數	B	539	483.5	工
巡檢總件數	C	335	189	件
巡檢管線長度	D	1,497	1413	公里
平均每人日檢出件數	C/A	0.275	0.352	件數/工
每人每日巡檢公里數	D/B	2.777	2.922	公里/工
平均每公里檢出件數	C/D	0.224	0.134	件數/公里
巡檢與總工作量佔比	B/A	44.3	90.1	%

研究觀察在高雄供水系統委外巡檢作業與台水公司自辦檢漏作業的績效呈現與巡檢台中供水系統現象雷同。委外巡檢作業之巡檢出工數佔總出工數 44.3%，較台水自辦佔比為 90.1%，低 50.8%。委外巡檢作業之平均每公里檢出件數為 0.224 件/公里，較台水自辦之平均每公里檢出件數 0.134 件/公里，高 67.2%，分析原因同台中分析說明。

綜上針對台中與高雄地區均出現「低巡檢與總工量占比」的現象，台水公司應思考提供委外檢漏廠商更多的管線及供水資訊，改善工作介面機制，確保提供必要的支援和協助，以減少檢漏人員的巡檢時間浪費。

第二個「高平均每公里檢出件數」的現象，台水公司應考慮在白天和夜晚之間平衡檢漏作業的時段，以確保在不同環境條件下進行檢漏。這可以減少依賴夜間巡檢的情況，並提高白天巡檢的效率。並同步探索使用更先進的檢漏技術和設備，以提高漏水檢測的效率和準確性，從而減少需在夜間進行的巡檢。

#### 4.5.1.4 委外與自辦於各系統檢漏生產力比較

本研究彙整比較基隆、台中及高雄供水系統的委外檢漏作業的生產力，這三個供水系統雖各具特色，我們將專注於評估其在委外巡檢檢漏效能方面的異同。各地區委外巡檢作業之生產力相關資料如表 24。

表 24 各地區委外巡檢生產力統計表

項目		基隆地區	台中地區	高雄地區	單位
總出工數 (不含內業)	A	236	1,176	1218	工
巡檢出工數	B	179	529	539	工
巡檢總件數	C	126	567	335	件
巡檢管線長度	D	117	2,079	1497	公里
平均每人日檢出件數	C/A	0.508	0.482	0.275	件數/工
每人每日巡檢公里數	D/B	0.656	3.930	2.777	公里/工
平均每公里檢出件數	C/D	1.022	0.273	0.224	件數/公里
巡檢與總工作量佔比	B/A	75.8	45.0	44.3	%

研究觀察到基隆地區與其他地區的委外巡檢作業的二項績效差異如下：

1. 基隆地區委外巡檢作業之巡檢與總工作量佔比為 75.8%，較其他地區之巡檢與總工作量佔比為高。
2. 基隆地區委外巡檢作業之每人日巡檢公里數僅 0.656 公里/工，遠低於其他系統，但平均每公里檢出件數(1.073 件/公里)及平均每人日檢出件數(0.534 件/工)，均較其他地區之巡檢作業高。

在基隆供水系統的委外巡檢作業中，出現特殊的巡檢生產力現象，具體表現為高平均每公里檢出件數和高巡檢與總工作量佔比的情況，但為何均為委外巡檢作業在基隆地區的巡檢與總工作量佔比較高，且每人日巡檢公里數較低，而平均每公里檢出件數卻較高。

針對上述現象，本研究發現以分區計量管網作為巡檢範圍的作業條件，因供水管網、供水模式、管線破漏程度及漏水熱區等資訊已經完成分析彙整，檢漏人員已充分掌握其管網供水特性，檢漏人員於作業期間可大幅提高資訊分析效率，提高巡檢作業占總工作量比例，且於漏水熱區加強重複巡檢，雖導致每人日巡檢公里數較低，但增加案件檢出件數提高平均每公里檢出件數，使檢漏人員巡檢生產力效能大幅提升。

研究觀察在自辦巡檢作業的生產力方面詳表 25，各地區之間並未顯著差異。然而，我們觀察到基隆供水系統可能存在一些微小的差異，這可能是由於供水系統的地理特點所致。具體而言，基隆系統的供水系統道路高程存在較大的高低落差，且巷道相對狹窄，這可能導致每名檢漏人員的日巡檢公里數略低於其他系統。這種現象在一定程度上可以理解，因為地理環境的差異可能對巡檢作業的速度和效率產生一定程度的影響。

總體而言，這些差異並不明顯，並未對自辦巡檢作業的整體生產力產生顯著影響。然而，這些觀察結果提醒我們需要考慮地理因素以及供水系統的特點，以更好地理解檢漏作業的差異和效率。

表 25 各地區台水自辦巡檢生產力統計表

項目		基隆系統	台中系統	高雄系統	單位
總出工數 (不含內業)	A	643	178	536.8	工
巡檢出工數	B	564	154	483.5	工
巡檢總件數	C	196	90	189	件
巡檢管線長度	D	1,280	574	1413	公里
平均每人日檢出件數	C/A	0.348	0.506	0.352	件數/工
每人每日巡檢公里數	D/B	2.271	3.733	2.922	公里/工
平均每公里檢出件數	C/D	0.153	0.157	0.134	件數/公里
巡檢與總工作量佔比	B/A	87.6	86.5	90.1	%

綜合上述觀察，本研究歸納出以下三點結論：

1. 針對巡檢型漏水調查作業，特別是在供水系統以 DMA 為巡檢範圍的情況下，提供檢漏人員更多的管線資訊、供水壓力數據以及漏水熱區等相關資訊是關鍵。這有助於提高檢漏人員的生產力，包括每日檢出件數和每公里檢出件數。台水公司應著重於資訊的彙整和提供，以確保檢漏人員有足夠的資源和支援來有效執行巡檢任務。
2. 台水公司應該依據地區環境特色平衡檢漏作業的時段，通過在白天和夜晚之間較均勻地分配巡檢作業。這樣可以減少檢漏人員夜間巡檢的時間，提高白天巡檢的效率。同時，探索使用更先進的檢漏技術和設備，以提高漏水檢測的效率和準確性，進一步減少夜間巡檢的需求。
3. 台水公司檢漏人員的專業知識和對所轄管供水系統的熟悉程度是一個重要的優勢。這有助於減少與檢漏作業無關的時間消耗，提高巡檢效能。因此，台水公司可以著重於培訓和知識分享，以確保檢漏人員能夠更有效地應對不同區域的漏水問題，並縮短與修漏相關的確認和聯絡時間。

這些結論提供改進自辦巡檢和委外巡檢作業效能的方向，有助於台水公司更好地應對不同供水系統的需求和挑戰。

#### 4.5.2 檢漏績效分析

本研究針對巡檢作業的檢漏績效評估主要關注於「檢出漏水案件的口徑分布」。「檢出漏水案件的口徑分布」是指對供水系統管網進行無差別性的巡檢作業，藉此收集關於漏水案件的口徑資訊。這種調查方法的重要性在於它提供了對當前管線狀況的全面了解，進而為管線體質的調整和未來的規劃設定基礎。透過分析不同口徑的漏水案件，我們可以評估管線維護的需求，並針對不同尺寸的問題進行相應的處理和修復，從而提高供水系統的可靠性和效能。

基隆、台中和高雄三個供水系統具有不同的管線特性、供水系統規模和供水壓力。因此，本研究首先將這三個供水系統的巡檢作業分開比較，以更深入地了解各自的管線狀況和特性。這種區分有助於我們理解漏水問題在不同地區的變化和特點。接著，我們將所有委外和自辦巡檢作業合併比較，以綜合評估檢漏作業的績效和供水管網的整體特性。這種方法有助於確定不同供水系統之間的差異，並提供適當的改進方針，以優化檢漏作業和管線管理的效能。

總之，這些評估指標和方法有助於評估巡檢作業的效能，並提供基礎資料，以支援供水系統的管線維護和未來規劃的決策。

##### 4.5.2.1 基隆、台中及高雄地區委外與自辦檢漏績效比較

在 109 年至 111 年期間，台水公司選擇針對基隆、台中及高雄三個供水系統進行委外漏水巡檢作業。然而，由於各地區的修漏工程緊湊，部分檢出的漏水案件無法在契約執行期間內完成修復。因此，無法將這些案件的相關資料納入委外作業的成果報告中，限制了研究分析的依據。

這種情況下，本研究只能就已確認的相關資料來進行研究分析。這包括已完成修復的漏水案件，以及能夠提供充分信息的案件。雖然部分漏水案件未能納入分析，但仍然可以利用現有的數據來探討委外漏水巡檢作業的效能和成果。

這種限制提醒在未來計劃漏水巡檢作業時，應更好地協調修漏工程的時間表或調整檢漏契約的規定，以確保漏水案件能夠及時修復並納入成果報告中，從而提高研究的完整性和可靠性。委外與台水自辦基隆地區檢漏之檢漏績效相關資料如表 26。

表 26 基隆地區委外與自辦檢漏績效統計表

檢出漏水管線口徑	委外檢漏		自辦檢漏		111年(一區)管線修復情況	
	檢出件數	巡檢案件比例	檢出件數	巡檢案件比例	件數	比例
未達口徑 50mm	77	83.7%	125	65.1%	1,675	72.48%
口徑 50 以上未達 125mm	11	12.0%	41	21.4%	450	14.28%
口徑 125 以上未達 250mm	4	4.3%	18	9.4%	197	9.95%
口徑 250mm 以上	0	0.0%	8	4.2%	77	3.29%
合計	92	100.0%	192	100.0%	2,311	100.00%
其他單位修復+未修+明管	28		0			
空挖	6		4			
總計	126		196			

表 26 研究觀察基隆供水系統委外與自辦檢漏績效統計發現：

1. 委外及台水自辦巡檢作業檢出漏水管線口徑以未達 50mm 為大宗。
2. 委外檢漏作業口徑未達 50mm 高於該區處同口徑範圍管線修復比例。

同時觀察檢漏人員在台中及高雄地區績效與基隆地區大致相仿(如表 27、28)，雖然高雄地區在委外檢漏作業檢出漏水管線口徑以未達 50mm 之比例下降，但仍高於該系統口徑範圍管線修復比例。

表 27 台中地區委外與自辦檢漏績效統計表

檢出漏水管線口徑	委外檢漏		自辦檢漏		111 年(四區)管線修復情況	
	檢出件數	巡檢案件比例	檢出件數	巡檢案件比例	件數	比例
未達口徑 50mm	409	82.3%	52	62.7%	5,069	66.26%
口徑 50 以上未達 125mm	61	12.3%	23	27.7%	1,352	17.68%
口徑 125 以上未達 250mm	19	3.8%	8	9.6%	1,040	13.60%
口徑 250mm 以上	8	1.6%	0	0.0%	188	2.46%
合計	497	100.0%	83	100.0%	7,647	100.00%
其他單位修復+未修+明管	61		0			
空挖	9		7			
總計	567		90			

表 28 高雄地區委外與自辦檢漏績效統計表

檢出漏水管線口徑	委外檢漏		自辦檢漏		111 年(七區)管線修復情況	
	檢出件數	巡檢案件比例	檢出件數	巡檢案件比例	件數	比例
未達口徑 50mm	210	62.9%	131	73.2%	3,116	61.18%
口徑 50 以上未達 125mm	88	26.3%	30	16.8%	1,062	20.86%
口徑 125 以上未達 250mm	30	9.0%	16	8.9%	758	14.88%
口徑 250mm 以上	6	1.8%	2	1.1%	157	3.08%
合計	334	100.0%	179	100.0%	5,093	100.00%
其他單位修復+未修+明管	0		0			
空挖	1		10			
總計	335		189			

其實造成上開現象並不難理解，因一般情況下，管線損壞處的漏水可以分為兩類：一是明漏(reported leakage)，即因壓力高或損壞嚴重而導致大量水從破損處流出，通常伴隨路面積水或凹陷現象，因此會引起民眾或水務人員的通報，這類型案件佔台水公司 110 年管線修復統計資料中案件數的 90.6%。另一類是暗漏(unreported leakage)，即由於漏水量較小、供水壓力較低或地質條件等因素，不會導致路面積水或凹陷的管線漏水情況，因此通常未被即時察覺和通報。

暗漏的檢測是檢漏人員的主要工作，他們需要尋找這些隱蔽的漏水問題，通常需要仔細的巡檢和檢測技術的應用。這些漏水問題雖然不容易被發現，但它們仍然對供水系統的穩定性和效能產生潛在影響，因此需要被及時檢測和修復，以確保供水系統的運行和水資源的有效利用。

#### 4.5.2.2 委外與自辦於各系統檢漏績效

本研究觀察台水公司管線狀況發現，未達到口徑 50mm（用戶外線）的管線，無論是在明漏（reported leakage）或是暗漏（unreported leakage）情況下，在供水系統中占據相當大的比例。這種情況的發生原因多種多樣，包括但不限於水溝工程物的損壞、地震活動、管線外線深度較淺容易受到重型車輛荷重的影響及早期用戶外線採取 PCVP 施作接合處較多等因素。因此，台水公司在管理供水系統時應特別關注這些口徑小於 50mm 的用戶外線管線，採取相應的措施，以確保它們的穩定運行和預防漏水問題的發生。這有助於提高供水系統的可靠性，減少水資源的浪費，並確保用戶能夠獲得持續穩定的供水服務。

表 29 委外巡檢各地區作業績效統計表

檢出漏水管線 口徑	基隆地區		台中地區		高雄地區		平均值	
	檢出 件數	巡檢案 件比例	檢出 件數	巡檢案 件比例	檢出 件數	巡檢案 件比例	檢出 件數	巡檢案 件比例
未達 口徑 50mm	77	83.7%	409	82.3%	210	62.9%	232	75.4%
口徑 50 以上未 達 125mm	11	12.0%	61	12.3%	88	26.3%	53	17.3%
口徑 125 以上 未達 250mm	4	4.3%	19	3.8%	30	9.0%	18	5.7%
口徑 250mm 以 上	0	0.0%	8	1.6%	6	1.8%	5	1.5%
合計	92	100.0%	497	100.0%	334	100.0%	308	100.0%

表 30 台水自辦巡檢績效統計表

檢出漏水管線 口徑	基隆地區		台中地區		高雄地區		平均值	
	檢出 件數	巡檢案 件比例	檢出 件數	巡檢案 件比例	檢出 件數	巡檢案 件比例	檢出 件數	巡檢案 件比例
未達 口徑 50mm	125	65.1%	52	62.7%	131	73.2%	103	67.8%
口徑 50 以上未 達 125mm	41	21.4%	23	27.7%	30	16.8%	31	20.7%
口徑 125 以上 未達 250mm	18	9.4%	8	9.6%	16	8.9%	14	9.3%
口徑 250mm 以 上	8	4.2%	0	0.0%	2	1.1%	3	2.2%
合計	192	100.0%	83	100.0%	179	100.0%	151	100.0%

本研究觀察到在不不論是委外檢漏還是台水自辦檢漏作業中，巡檢漏水調查的過程中，未達到口徑 50mm 的管線案件比例最高。具體而言，委外部分的平均比例為 75.4%，而自辦部分的平均比例為 67.8%。這一結果強調了這些小口徑管線在供水系統中的重要性，並顯示出它們容易受到損壞和漏水問題的影響。因此，台水公司應特別關注這些口徑小的管線，加強巡檢和監測，以及採取預防措施，以減少漏水案件的發生，確保供水系統的

穩定運行和水資源的有效利用。

委外檢測中用戶外線漏水案件比例較自辦檢測高的現象，可能源於兩個主要原因。首先，用戶外線漏水案件通常漏水量較小，且在有噪音和干擾的環境中不容易被檢測出來。因此，最佳的巡檢時段可能應該在夜間，以減少環境干擾，提高漏水案件的檢測率。其次，委外契約可能對預計的檢測案件數量設有相關罰則及要求，這可能給委外檢漏人員帶來一定的工作壓力。為了達到契約要求，他們可能優先處理那些案件數量較多且容易檢測的情況，這就可能導致大量小口徑案件累積。因此，管理機構應考慮調整委外契約的激勵機制，以確保檢漏人員能夠平衡處理各種不同情況的漏水案件，而不僅僅是專注於容易檢測的案件。

綜合上述觀察及原因，針對巡檢型漏水調查作業的績效，本研究歸納出以下重要結論：

1. 巡檢型漏水調查作業在夜間執行能夠獲得更佳的效果，因為夜間環境相對較寧靜，有利於檢測小口徑管線的漏水案件。
2. 小口徑管線的施工品質和相關規定應該得到改善，以提高其品質和耐久性，減少漏水的發生率。
3. 委外契約應該適度調整，以提供檢漏人員更多檢測大口徑管線漏水的誘因，從而平衡不同案件的處理，達到更好的檢漏效能。

這些結論可以為台水公司及相關管理機構提供有價值的參考，以改進巡檢型漏水調查作業的效率和效果，進一步提升供水系統的可靠性和品質。

#### 4.6 支出成本分析

本節主要關注成本支出的比較，針對台水自辦巡檢和委外巡檢兩種作業方式進行比較。需要注意的是，這兩種方式存在不同的計價基準。台水自辦巡檢每日都有支出成本，而不區分漏水案件的口徑，而委外巡檢則按口徑開挖確認漏水才計價。因此，兩者的計價方式存在差異。

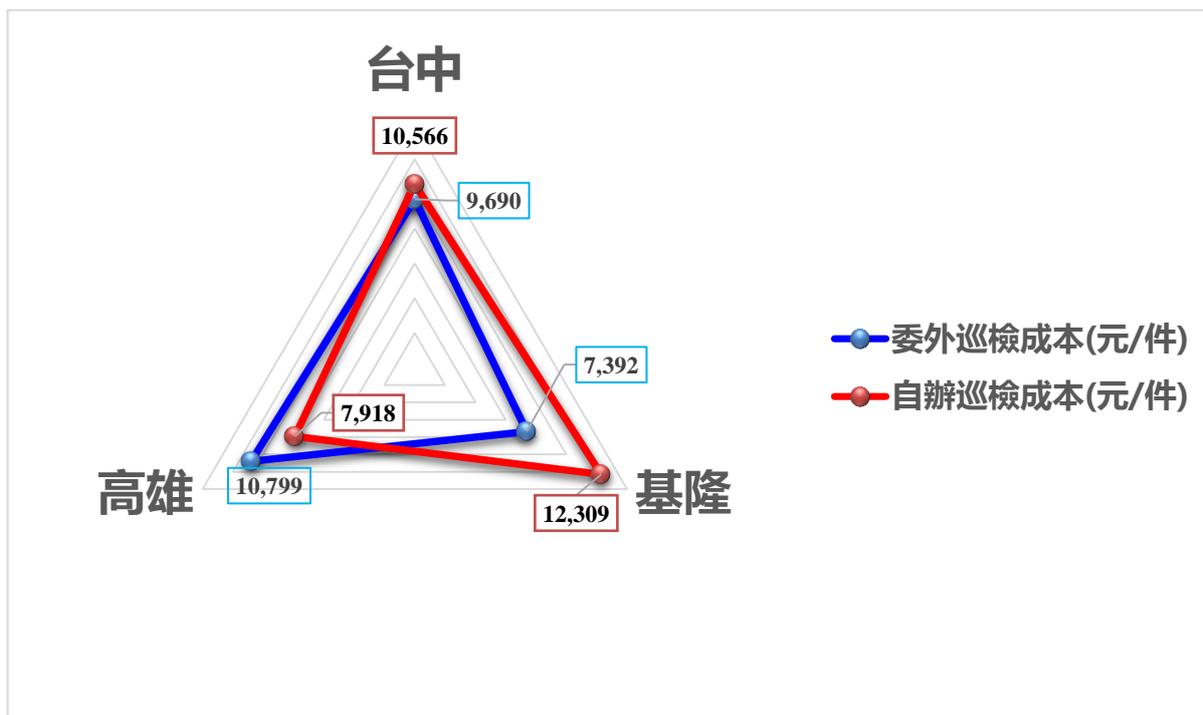


圖 53 委外及台水自辦巡檢支出成本

圖 53 中的資料顯示，台中和基隆的委外巡檢單位件數檢出成本較低，相對於台水公司的巡檢成本較低。然而，高雄台水公司的巡檢成本相對較低，這可能是因為台中和基隆台水公司的檢漏人員平均年資較低（分別為 3.9 年和 4.1 年），而高雄台水公司的檢漏人員平均年資較高（9.5 年）。這可能導致台中和基隆的檢漏人員對管線的熟悉度較低，因此檢出件數相對較少，進而增加成本。

## 第五章 檢漏策略建議方案與結論

綜上本研究針對售水率、NRW/KM、接管密度、水壓及 DIP 占比進行分析，原希從以上參考數據做為檢漏策略研擬方向，惟經分析，與檢漏支出成本較具關係的僅 NRW/KM 指標，接管密度在高密度時可參考，低密度時則無正相關，且經本研究發現，台水小區檢漏之經濟漏水損失應落在 20NRW/KM 至 22NRW/KM 之間。

### 5.1 分區計量管網

1. 自檢小區檢漏之經濟漏水損失約落在 20NRW/KM~22NRW/KM 之間，也就是說在該漏水量以下檢漏是不經濟的行為。
2. NRW/KM 及接管密度較與檢漏支出成本有關，售水率、水壓及 DIP 占比則與檢漏支出成本較無相關。
3. NRW/KM 如介於 22~50 左右，委外支出成本較高，如挑選小區小於 50NRW/KM 以下，其相關付出成本較高，應盡量避免，另台水因人力有限，故雖自檢小區成本較低，建議檢漏仍以優先改善約 50NRW/KM 以上為主。
4. 單就 NRW 與 NRW/KM 比較，單就以 NRW 挑選小區，容易忽略高 NRW/KM 小區，兩者指標可互相參考。

### 5.2 巡檢型漏水調查

針對巡檢型檢漏策略建議，因巡檢型無需建置小區，故可適用於無建置小區或未封閉且常破管地區，惟經研究數據顯示可歸納以下三點建議：

1. 優先選擇已建置完成 DMA（分區計量管網）的區域進行巡檢作業，以提高效率並計算作業成效。也可以根據各區域的 DMA 覆蓋比例調整巡檢作業的比例，以確保資源的最佳分配。
2. 考慮將檢漏人力中年資較低且經驗不足的地區納入委外巡檢作業，並儘量實現地方化，以提高對當地管線的熟悉度。同時，應安排適當的

培訓和監督機制，以提高他們對漏水管線的檢測能力，特別是對於暗漏管線的查檢。

3. 為避免委外巡檢案件中，檢出大量口徑及漏水量偏小的情況，可以考慮修正預算項目金額，擴大支付金額的級距。此外，可以考慮採取等效口徑的計算方式，例如，將檢出 1 件 100mm 口徑的漏水管線視為等效於 16 件 25mm 口徑的漏水管線，這樣可以減輕契約對於檢漏人員檢出件數的壓力，同時鼓勵他們尋找大口徑漏水管線。

台水公司目前所推動之「降低漏水率計畫（102 至 113 年）」，漏水率已自 102 的 19.55% 下降至 111 年底 13.10%，共計減少 5.43%，預計於民國 113 年底將漏水率降至 12%；期間總建置 3469 小區，以往台水公司汰換管線以破管頻率做為汰換優先順序，為降漏初期無建置小區之不可避免過度篩選方式，惟經 10 年努力得果，在未來低漏水率時期，除檢漏策略外，應以小區汰換為主，輔助執行降漏作業。本研究研擬台水經濟檢漏建議流程如圖 54，建議檢漏策略為表 31。

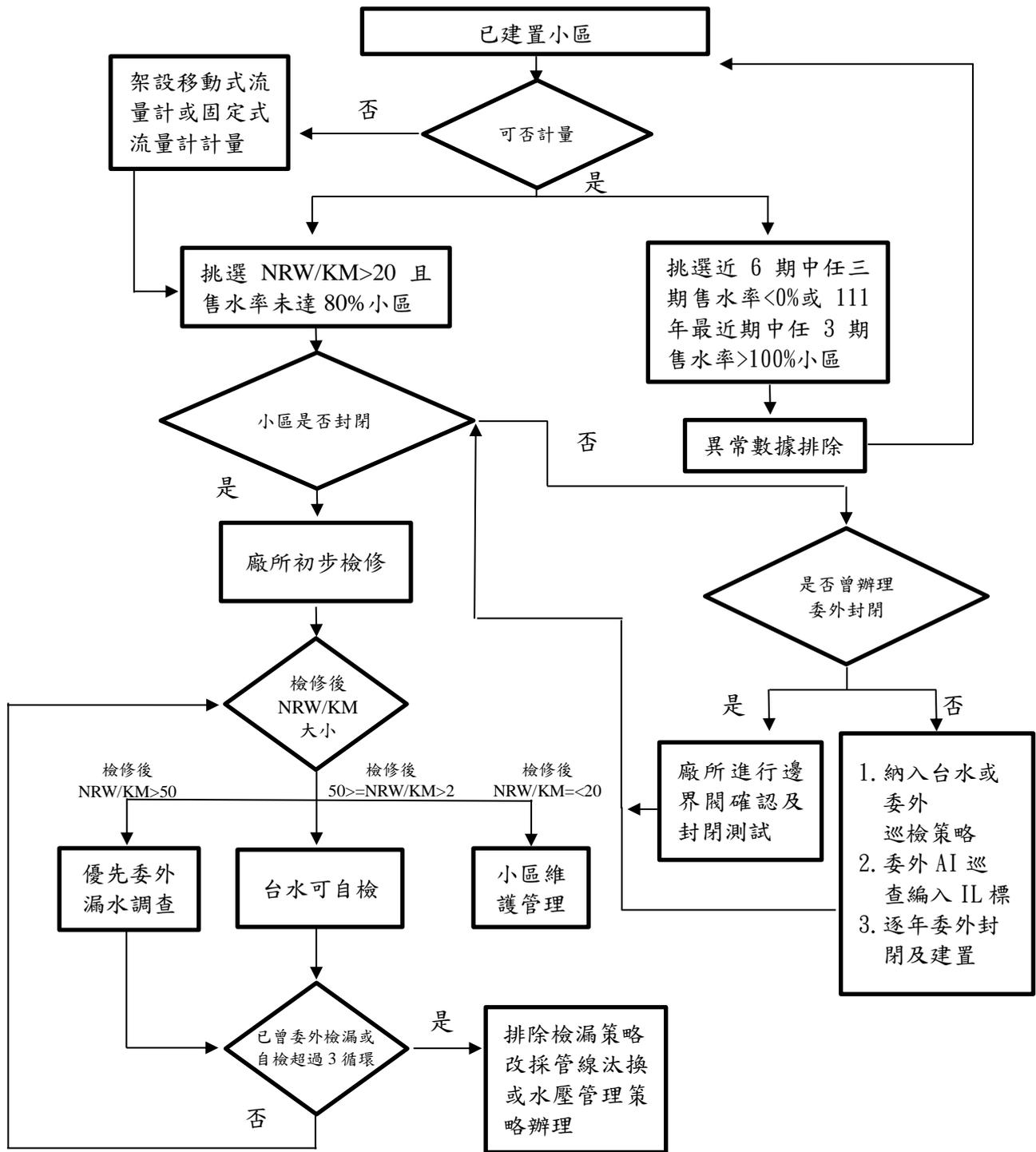


圖 54 台水經濟檢漏策略建議流程圖

表 31 台水檢漏策略檢討及建議

	自檢小區	小區委外	台水巡檢	委外巡檢
績效指標	售水率提升至 80%	績效付款 依小區前後售水率	漏水件數及 管線長度	點位付款 依漏水點口 徑
建議篩選指標	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 第一優先 111 年最近 6 期中任三期售水率 &lt; 0% 或 111 年最近期中任 3 期售水率 &gt; 100%</li> <li>2. 第二優先 挑選售水率未達 80% 數量且 NRW/km &gt; 20 以上，依 NRW/KM 高至低排序進行逐年改善。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 售水率 &lt; 80%</li> <li>2. NRW/KM &gt; 50</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 無法計量區域、常破管地區</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 緊急事件、早收方案、檢漏人力不足</li> <li>2. 區處檢漏年資較低且較無經驗者</li> </ol>
優點	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 直接以各區處小區 NRW/KM 最大進行逐步改善，無需定義量體。</li> <li>2. 避免執行 NRW/KM 小於 20 之非經濟檢漏小區。</li> <li>3. 有效鎖定漏水嚴重小區</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 可彌補台水人力不足。</li> <li>2. 符合自檢小區售水率達 80% 之目標</li> <li>3. 採績效付款並有獎勵機制，鼓勵廠商於有限時間內盡可能提高小區售水率。</li> <li>4. NRW/KM 大於 50 相較於台水自檢經濟</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 未建置小區或小區亦未封閉亦可執行，可免除封閉確認等前置作業，直接檢漏提高作業效率</li> <li>2. 低支出成本</li> <li>3. 可持續針對高破管頻率地區重複巡檢</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 執行彈性大，可由甲方指定地區</li> <li>2. 不受修漏速度影響</li> <li>3. 未建置小區或小區未封閉亦可執行</li> </ol>
困難挑戰	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 檢漏人力有限</li> <li>2. 小區需為可封閉小區</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 受限台水年度預算。</li> <li>2. 小區作業數量龐大，廠商執行能量有限。</li> <li>3. 須修漏廠商</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 無法評估實際降低水量</li> <li>2. 檢出件數較不理想</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 無法評估實際降低水量</li> <li>2. 找出漏水點後廠商較不願意重複巡檢</li> </ol>

		配合始能計 算售水率及 計價。地區廠 4. 離島地投入意願 商投入意願 較低。		(越來越 難找) 3. 離島地區 廠商投入較 意願較 低。
--	--	--	--	--

提案：台水公司檢漏策略案例研究探討

中華民國自來水協會技術研究委員會

112 年度專題研究計畫期中報告審查意見表

委員姓名	審查意見	回覆意見
范川江	1. 2.6 節漏水原因元素請用較新資料及研究。	已修正，詳 P43 頁。
	2. 整份報告表格標題在應表格上，圖號表題應在圖號下。	已修正，詳各圖表。
	3. 在成本估算上，而自檢小區成本主要是隊員薪資、差旅費、車輛及設備器材支出，但不計算退休金及辦公廳舍等，大部分為沉沒成本。另對委外估算成本為當年度委託技術費用，是考慮預算標折比及物調等因素，兩者間基準似難直接比較。	因沉沒成本較難實際量化估算，本研究目前僅只針對台水檢漏執行期間所需支出成本，與台水委外成本比較參考，於期末已增加台水自辦小區與委外各別的效益分析，詳 P65 頁 4.1 及 P72 頁 4.2 節。
	4. NRW/KM 可做為小區進場改善一項重要指標，惟不同小區內管線長度差異可能甚大，且可能錯失局部大量漏水點位，如僅以 NRW/KM 考量可能會失真，建議應同步考量 NRW，漏水量	已於期末報告增加 P85 頁 4.4 節分析。

范川江	大的小區亦可優先進場，可提升降漏效益。	
	5. 為解決勞力短缺、經驗傳承、圖資不明及管障等，建議引進發展各項科技手法，達成測漏、檢漏優化管網管理。	本研究已於期末時將補充台水科技檢漏歷程，詳 P20 至 P33 頁
徐俊雄	1.2.6.1 地層運動一節所提 CIP 為美國 Northridge 地區之優選管材，而現行台水公司以 DIP 為優選管材，建議期末報告增覓 DIP 相關文獻列入說明。	已修正，詳 P44 頁。
	2.2.6.2 管線腐蝕所提為水質影響腐蝕，屬內部因素，而外部土壤環境亦為重要因素，建議期末報告增覓相關文獻列入說明。	已修正，詳 P47 頁。
	3. 本研究目前規劃有 5 項指標分別探討降漏績效、支出成本、單位供水檢漏成本三項數值，建議在研究方法章節就指標與數值分開說明，並探討各指標之重要性及研訂各項指標權重，以作為優先檢漏之依據。	已修正，詳 P60~63 頁。
	4. 依指標將自檢小區及委外小區交叉比對分析	已修正，詳 P18 頁。

<p>徐俊雄</p>	<p>後提出以 NRW/KM 數值作為委外或台水自行檢漏之依據，而二者都涉及台水人力充足或有限之情況，人力已成為結論之重點，建議報告可針對台水之檢漏人力增加論述分析，以利結論之呈現。</p>	
	<p>5.編排與錯漏字</p> <p>a.表、圖標題建議參考上表下圖方式呈現。b.表 2 標題，各「館」應為「管」。c.P33 表 5 內容文字較小，建議放大較可讀。</p> <p>d.P44 4.2 統計小區漏填數字</p>	<p>謝謝委員指教，已修正。</p>
<p>邱福利</p>	<p>1.本研究有關巡檢型漏水調查部分，主要係針對委外巡檢及台水公司自行巡檢進行比較分析，可了解兩者之間過往差異，建議可再據此提出一些相關精進作法。另對於面積大無法計量，亦或無法計算實際 NRW 之區域，建議可採噪音漏水紀錄器或裝設流量計進行漏水調查，在經費有限前提下，並建立管線汰換或修漏機制，將可大幅提高效率並降低成本。</p>	<p>已於期末時將補充台水科技檢漏歷程詳 P20 至 P33 頁，另巡檢檢漏策略分析詳 4.5 及 4.6 節。</p>

<p>邱福利</p>	<p>2.本研究有關分區計量管網漏水調查部分，探討以降漏績效、支出成本及單位供水檢漏成本比等三項指標，找出最大成本效益的小區，做為台水公司排定優先檢漏改善之參考，相當實務且值得期待其成效展現。</p>	<p>謝謝委員指導。</p>
	<p>3.另依北水處現行相對應或轉換為台水公司降漏績效的用詞，係以NRW及NRW/KM兩種指標相互參考並排序，其中針對NRW高的小區於改善前，會再進行次分區並以巷弄直接法或噪音漏水紀錄器判斷漏水嚴重區塊（通常不會平均分布），優先進場改善找回大漏水量，相關做法提供予本研究參考。</p>	<p>台水公司現行篩選小區時已先將大NRW篩出，未來可再加以NRW/KM或接管密度指標參考，詳P84~86頁。</p>
<p>朱撼湘</p>	<p>1.本研究目的在探討檢漏策略及效益優化，建議透過以往案例數據分析，綜合比較管線漏水巡檢及小區漏水檢測之改善成效與成本，據以研擬二種檢漏策略投入經費人力比例，獲取漏水改善最大效益</p>	<p>巡檢與小區之計價基準及目的不同，兩者間基準似難直接比較，已於期末報告針對檢漏策略研擬適用策略建議，詳P113頁。</p>

	<p>2.針對檢漏策略採取自辦或委外，建議先掌握各小區漏水狀況，針對漏水嚴重小區無論採取委外或自辦，優先投入資源進行改善，以獲取最大漏水改善成果。</p>	<p>謝謝委員，台水因供水轄區幅員遼闊且人力財力有限，如何將人力資源有效投入在小區中，以提高檢漏效益，為本研究主要研究動機，分析詳 4.3 節</p>
陳文祥	<p>1.本案進行檢漏策略的方案選擇，建議根據台水的問題及現況，先將目標明確說明，在導入管理的決策，以明確執行的方向。</p>	<p>謝謝委員，詳 P13~18 頁</p>
	<p>2.各項效益優化，建議在五項指標及三項效益訂定關鍵績效(KPI)，給予質化或量化的機制與目標，以有效掌握核心的價值</p>	<p>已修正於期末報告結論，詳 P112 頁</p>

提案：台水公司檢漏策略案例研究探討

中華民國自來水協會技術研究委員會

112 年度專題研究計畫期末報告審查意見表

委員姓名	審查意見	回覆意見
駱尚廉委員	報告內容充實，建議事項具體，請再納入各委員的建議，考量修正或予以說明，依協會規定完成期末報告及經費報支。	謝謝委員指教，已依意見修正完成。
王傳政委員	台水公司民國 113 年預計漏水率降至 12%，若仍將售水率訂在<80%做為台水檢漏策略的績效指標是否會有偏低的情形？	本公司漏水率 12% 為實質漏水，加上有效無費水量 8.1%，故本研究售水率訂定以 80% 做為台水檢漏策略之績效指標符合整體公司達標售水率。
徐俊雄委員	本案研究各項指標以單因子分析，結論以 NRW/KM 為優良指標，對台水公司而言，現階段需巡檢數量龐大，單一因子指標判斷尚屬足夠。未來進階判斷可採雙因子分析，如水壓、DIP 比例對指標支出成	謝謝委員指教。

	<p>本分析，可再做下階段進階之判斷依據。</p>	
	<p>結論以 NRW/KM&gt;50 優先委外漏水調查，此結論是否有檢漏較易有成果的部分委外，以吸引廠商投入?而較困難或成果效益的部分則採自辦。</p>	<p>有關小區委外漏水調查挑選 NRW/KM&gt;50 辦理此結論，因 NRW/KM 過小委外時，則本公司支出成本與降低之 NRW 無法獲得正比效益，故此類應考量以本公司定期巡查維護管理方式辦理，藉此有利於本公司費用擷節。</p>
<p>朱撼湘</p>	<p>報告 P111 頁，台水經濟檢漏策略建議流程圖，建議針對已建置小區無法計算 NRW/KM 及售水率情況時，補充處理方式，另流程圖檢修後 NRW/KM=20 或 50 時之狀況有缺漏，建議調整方案適用範圍。</p>	<p>謝謝委員指教，已修正於 P111。</p>
	<p>漏水發生主要在給水外線，建議針對都市與郊區，可考量投資成本與漏水復發可能性等因素，綜合評估採取不同管線汰換改善方案，以提升漏水改善成效。</p>	<p>謝謝委員指教。</p>
	<p>北水處與台水公司過往與現今在漏水管理均係參考 IWA 建議，以「管線汰換」、「水壓管理」、</p>	<p>謝謝委員提供寶貴意見於台水未來規劃參</p>

<p>邱福利委員</p>	<p>「主動漏控」、「修漏品質」等四大面向，作為各階段計畫之執行策略，亦均有相當不錯成效展現；惟為因應智慧化及環境議題之全球趨勢，北水處已規劃完成未來十年計畫，將「主動漏控」與「修漏品質」結合為「漏水檢修精進」，另增加「管網智慧管理」面向，主要包括：小區管理表與 AMR 數據整合分析、壓力流量及修漏大數據分析、水網監測平台視覺化分析管理、管網即時水理模型分析、組織型溫室氣體盤查、管網工程碳盤查、再生能源建置等項目，提供相關單位未來規劃參考。</p>	<p>考</p>
	<p>本研究探討以降漏績效、支出成本及單位檢漏成本比等指標，做為排定優先檢漏改善之參考，相當務實且經濟有效率；惟未來實施時，仍建議宜逐步採科技檢漏(諸如:noise logger 或流量計等)取代路巡檢漏，或許會更有效率。</p>	<p>台水過去十年已建置 3469 個小區，各小區皆可常態計量，未來將藉由小區鎖定漏水熱區排定優先檢漏改善，提高檢漏效率，抑制漏水復發。另未來將已發展之 AI 巡檢模型再行強化精進以提高工讀生檢漏量能。</p>

<p>范川江委員</p>	<p>台水公司在資源有限的條件下，此次提出的研究，是在過往執行工作的基礎上，進行統計分析，並提出優化篩選的條件，未來可進行滾動循環，相信可以得到最佳檢測漏的策略，值得肯定。</p>	<p>謝謝委員指教。</p>
	<p>依巡檢績效可看出超過7成5以上皆為給水管線，故指標分析以DIP佔比去作效益分析項目不具指標性，如以小區管網體質(配水管+給水管)去作效益分析，或可作為長期管理與漏水檢測之選項，或可做為後續研究參採指標。</p>	<p>謝謝委員指教，本公司給水管線(用戶外線)如為新裝申請為用戶財產，相關管線長度等資訊無法統計，未來將思考以其他指標代表管種影響性，藉此替代DIP佔比指標。</p>
	<p>本次台水公司所提出經濟檢漏策略流程圖，對於篩選條件定出準則，可於後續持續推動檢討，另外針對推動委外招商契約條件、測漏技術內容，參採本研究可</p>	<p>謝謝委員指教。</p>

	持續優化精進。	
林逸彬秘書	<p>台水公司已建立 3469 個 DMA，其中大於 20-22 NRW/KM 有多少？可納入下年度檢漏優先順序的判定。</p>	<p>本公司現階段皆以售水率及 NRW 做為統計分析，無 NRW/KM 數量統計，惟依本次研究樣本母體總計 203 個，大於 20-22 NRW/KM 約 142 個佔 70%，61 個為非經濟檢漏小區佔 30%，下年度檢漏除參考售水率 NRW 以外將納入 NRW/KM 交叉判定。</p>

## 參考文獻

1. 王炳鑫, (2015). 檢漏作業技術與實務。  
Wang, Bingxin. (2015). Leak Detection Operations: Techniques and Practices.
2. 台灣自來水公司, (1982). 檢修漏作業概要。  
Taiwan Water Corporation, (1982). Overview of Leak Detection and Repair Operations.
3. 三合技術工程有限公司, (2012). 三星地區地下漏水檢測研究案」。  
Sanhe Technical Engineering Co., Ltd., (2012). Underground Water Leak Detection Research Project in the Samsung Area."
4. 李丁來、丘宗仁、盧烽銘、林子立、蔡博淵、隋忠寰、黃香蘭、黃裕泰、林進誠、陳清華, (2016). 新式漏水檢測及進階水壓管理應用研究。  
Taiwan Water Corporation (2016), Research on Innovative Leak Detection and Advanced Water Pressure Management Applications.
5. 林聖桓、謝張浩、郭家憲、蘇怡昌, (2023). 多點相關儀應用於台灣管段偵漏探討，自來水會刊第 42 卷第 2 期。。  
Lin, S.-H., Hsieh, C.-H., Guo, C.-H., & Su, Y.-C. (2023). Application of Multi-Point Correlation Instrumentation in the Investigation of Leak Detection in Taiwanese Pipelines.
6. 蔡曜隆、張洪誌、林士能、邱蔓蕙、林高玄、丘宗仁，(2022). AI 智慧科技應用於水管洩漏辨識系統開發，自來水會刊第 41 卷第 4 期。  
Cai Yao Longs, (2022). Development of an AI-Based Technology for Water Pipe Leak Detection System
7. 台水公司，(2022). AI 技術應用於檢漏儀器整合及改善研究-期末報告  
Taiwan Water Corporation (2016), Application of AI Technology in the Integration and Improvement of Inspection Instruments - Final Report
8. 弓銓，(2010). 廿一世紀供水漏損控制。  
Gong Quan, (2010), 21st Century Water Supply Leakage Control.
9. 吳世紀, (2012) 球狀石墨鑄鐵管實務應用與發展趨勢鑄鐵管實務應用與發

展趨勢，自來水會刊第 31 卷第 2 期。

Journal of the Water Supply Association, Volume 31, Issue 2. (2012) - Practical Applications and Development Trends of Spheroidal Graphite Cast Iron Pipes

10. 台水公司, (2022) 工程設計指南期末報告。

Taiwan Water Corporation (2022) Engineering Design Guidelines Final Report.

11. 自來水會刊第 39 卷第 2 期, (2020) 耐震防脫接頭球狀石墨延性鑄鐵管 (DIP) 應用探討。

Journal of the Water Supply Association, Volume 39, Issue 2, (2020) - Investigation of Seismic Resistant Ductile Iron Pipe (DIP) with Flexible Joints Application

12. 林聖桓、張敬悅、劉聿修 (2021). ILI 設施漏水指數應用於台灣之案例探討。

Lin, (2021), Application of ILI Facility Leak Index to Taiwan: A Case Study.

13. 吳珊、劉彥輝、張申海、王維燕. (2007). 供水管道壓力調控對漏水量影響的試驗研究. 水利水電科技進展, 27(3)。

Wu, S., Liu, Y., Zhang, S., & Wang, W. (2007). Experimental study on the influence of water supply pipeline pressure regulation on leakage volume. Advances in Water Resources and Hydropower Technology, 27(3).

14. 台灣自來水股份有限公司. (2013). 降低漏水率計畫 102 至 111 年核定版

Taiwan Water Corporation. (2013). Program for Reducing Water Leakage Rate: Approved Version for Years 2013-2022.

15. 台灣自來水股份有限公司. (2023). 台水公司分區計量管網作業要點

Taiwan Water Corporation. (2023). Operation Guidelines for Districted Metering Areas

16. 洪志初, (2004). 台灣省自來水漏水原因探討及其控制成效案例分析 The Discussions of the Reasons of the Leakage of City Water in Taiwan and the Cases' Analysis of Control Effect

- 17.行政院環保署,(2000). 飲用水水質標準.
- 18.Chen.(2002)Susceptibility of Materials to Cavitation Erosion in Hong Kong.
- 19.Sarin.(2003)Iron Release from corroded, unlined cast-iron pipe.
- 20.台灣自來水股份有限公司(2017).檢修漏標準作業規範及作業手冊  
Taiwan Water Corporation. (2017). Standard Operation Specifications and Operating Manual for Leak Inspection and Repair.
- 21.台水公司(2023),分區管網建置及漏水調查作業規範  
Taiwan Water Corporation (2023), Guidelines for District Pipeline Network Construction and Leak Investigation."
- 22.台灣自來水股份有限公司.(2018~2022)列案小區作業報告  
Taiwan Water Corporation.(2018-2022). Operation Reports for Designated Areas.
- 23.蔡博淵、張敬悅(2016).台水公司分區計量管網委辦計畫推動實務.中華民國自來水協會第 33 屆自來水研究發表會.  
P. Tsai & C. Chang (2016) Development of Districted Metering Areas of Taiwan Water Corporation, 33th Conference of CTWWA.
- 24.台灣自來水股份有限公司.(2019)108 年通霄銅鑼營運所分區計量管網委外建置及漏水調查成果報告  
Taiwan Water Corporation. (2019). Report on Construction and Leakage Investigation of Districted Metering Areas of Tongxiao-Cuoluo Operation Office in 2019 (Year 108).
- 25.台灣自來水股份有限公司.(2019)108-苗栗營運所分區管網委外建置(含公館及大湖)成果報告  
Taiwan Water Corporation. (2019). Report on Construction and Leakage Investigation of Districted Metering Areas of Miaoli Operation Office (Including Gongguan and Dahu) in 2019 (Year 108).
- 26.台灣自來水股份有限公司.(2020)109 年度竹北營運所分區計量管網委外建置及水量計汰換成果報告

Taiwan Water Corporation. (2020). Report on Construction and Leakage Investigation of Districted Metering Areas of Zhubei in 2020 (Year 109).

27. 台灣自來水股份有限公司.(2020)109 年度苗栗市分區計量管網委外建置及漏水調查成果報告

Taiwan Water Corporation. (2020). Report on Construction and Leakage Investigation of Districted Metering Areas of Miaoli City in 2020 (Year 109)

28. 台灣自來水股份有限公司.(2020)109 年沙鹿所 1203 中區管網建置及漏水調查成果報告

Taiwan Water Corporation. (2020). Report on Construction and Leakage Investigation of Districted Metering Areas of Shalu Operation Office in 2020 (Year 109).

29. 台灣自來水股份有限公司.(2021)110 年大雅所(0401-1001、1002)小區管網漏水調查成果報告

Taiwan Water Corporation. (2021). Report on Construction and Leakage Investigation of Districted Metering Areas of Daya Operation Office (0401-1001, 1002) in 2021 (Year 110).

30. 台灣自來水股份有限公司.(2021)110 年台中廠 0205 中區管網建置及漏水調查成果報告

Taiwan Water Corporation. (2021). Report on Construction and Leakage Investigation Results of the 0205 Districted Metering Areas in the Taichung Water Supply Plant in 2021 (Year 110).

31. 台灣自來水股份有限公司.(2020)朴子所 109 年分區計量委外管網建置及漏水調查作業成果報告

Taiwan Water Corporation. (2020). Report on Construction and Leakage Investigation Results of the Districted Metering Areas of the Puzi Operation Office in 2020 (Year 109).

32. 台灣自來水股份有限公司.(2020)嘉義廠 109 年分區計量委外管網建置及漏水調查成果報告

Taiwan Water Corporation. (2020). Report on Construction and Leakage

Investigation Results of the Districted Metering Areas of the Chiayi Plant in 2020 (Year 109).

33. 台灣自來水股份有限公司.(2020)虎尾所 109 年分區計量委外管網建置及漏水調查作業成果報告

Taiwan Water Corporation. (2020). Report on Construction and Leakage Investigation Results of the Districted Metering Areas of the Huwei Operation Office in 2020 (Year 109).

34. 台灣自來水股份有限公司.(2020)台西所 109 年分區計量委外管網建置及漏水調查工程成果報告

Taiwan Water Corporation. (2020). Report on Construction and Leakage Investigation Results of the Districted Metering Areas of the Taixi Operation Office in 2020 (Year 109).

35. 台灣自來水股份有限公司.(2020)西螺所 109 年分區計量委外管網建置及漏水調查作業成果報告

Taiwan Water Corporation. (2020). Report on Construction and Leakage Investigation Results of the M Districted Metering Areas of the Xiluo Operation Office in 2020 (Year 109).

36. 台灣自來水股份有限公司.(2020)古坑所 109 年分區計量委外管網建置及漏水調查作業成果報告

Taiwan Water Corporation. (2020). Report on Construction and Leakage Investigation Results of the Districted Metering Areas in the Gukeng Operation Office in 2020 (Year 109).

37. 台灣自來水股份有限公司.(2021)朴子所 110 年分區計量委外管網建置及漏水調查作業成果報告

Taiwan Water Corporation. (2021). Report on Construction and Leakage Investigation Results of the Districted Metering Areas of the Puzi Operation Office in 2021 (Year 110).

38. 台灣自來水股份有限公司.(2021)嘉義廠 110 年分區計量委外管網建置及漏水調查作業成果報告

Taiwan Water Corporation. (2021). Report on Construction and Leakage

Investigation Results of the Districted Metering Areas of the Chiayi Plant in 2021 (Year 110).

39. 台灣自來水股份有限公司.(2021)北港所 110 年分區計量委外管網建置及漏水調查作業成果報告

Taiwan Water Corporation. (2021). Report on Construction and Leakage Investigation Results of the Districted Metering Areas of the Beigang Operation Office in 2021 (Year 110).

40. 台灣自來水股份有限公司.(2021)西螺所 110 年分區計量委外管網建置及漏水調查作業成果報告

Taiwan Water Corporation. (2021). Report on Construction and Leakage Investigation Results of the Districted Metering Areas of the Xiluo Operation Office in 2021 (Year 110).

41. 台灣自來水股份有限公司.(2021)澎湖營運所分區計量管網建置及漏水調查(馬公北側) 成果報告

Taiwan Water Corporation. (2021). Report on Construction and Leakage Investigation Results of the Districted Metering Areas of the Penghu Operation Office (Makung North) in 2021.

42. 台灣自來水股份有限公司.(2019)澎湖所湖西分區建置及漏水調查成果報告

Taiwan Water Corporation. (2019). Report on Districted Metering Areas Leakage Investigation Results of the Huxi Division of the Penghu Operation Office.

43. 台灣自來水股份有限公司.(2021)澎湖所澎南分區計量管網委外建置及漏水調查成果報告

Taiwan Water Corporation. (2021). Report on Construction and Leakage Investigation Results of the Pengnan Division Districted Metering Areas of the Penghu Operation Office.

44. 台灣自來水股份有限公司.(2020)109 年度東港所分區計量管網委外建置及漏水調查工程成果報告

Taiwan Water Corporation. (2020). Report on Construction and Leakage

Investigation Results of the Districted Metering Areas of the Donggang  
Operation Office in 2020 (Year 109).