

自來水會刊第 44 卷第 2 期(174)目錄



實務研究

板新淨水場聚氯化鋁(PACl)加藥效能的探討與分析……………羅健成、鍾明彰、羅文昇…… 1

本期專題 營運管理

小區計量售水率評估方式之探討……………張世勳…… 9

以數值分析預測小區管段漏水可行性—以台中清水小區為例……………

……………林聖桓、吳俊銓、張錦東、趙言霖…… 17

以ESG數據治理為自來水事業創造永續競爭力……………邱嘉南…… 24

自來水管線漏水偵測案例分享—透地雷達技術應用之實務探討……………蘇怡昌、張錦東…… 33

資訊化作業更新流程整合之探討—以北水處抄表複查作業為例……………梁植維…… 45

由衛生下水道處理費徵收機制強化研究看跨域合作的重要……………張世勳…… 53

一般論述

自來水從業人員應知悉—職業安全衛生法簡介……………謝彥安…… 60

供水調配策略研究—以九芎加壓站及斗六楓樹湖地區為例……………黃崇哲、陳詠晴、陳中和…… 67

市售ATP生物冷光儀應用於自來水微生物檢測之研究……………

……………吳俊弘、李秋菊、李貞慧、陳文祥…… 73

配水池規劃與設計之研討……………曾浩雄…… 78

協會與你

歡迎投稿114年「每期專題」…………… 66

中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法…………… 32

封面照片：台灣自來水公司提供

自來水會刊雜誌稿約

- 一、本刊為中華民國自來水協會所發行，係國內唯一之專門性自來水會刊，每年二、五、八、十一月中旬出版，園地公開，誠徵稿件。
- 二、歡迎本會理監事、會員、自來水從業人員，以及設計、產銷有關自來水工程之器材業者提供專門論著、實務研究、每期專題、專家講座、一般論述、業務報導、他山之石、法規櫥窗、研究快訊、學術活動、出版快訊、感性園地、自來水工作現場、自來水廠(所)的一天、會員動態、協會與您等文稿。
- 三、「專門論著」應具有創見或新研究成果，「實務研究」應為實務工作上之研究心得（包括技術與管理），前述二類文稿請檢附摘要。「每期專題」由本刊針對特定主題，期使讀者能對該主題獲致深入瞭解。「專家講座」為對某一問題廣泛而深入之論述與探討。「一般論述」為一般性之研究心得。「業務報導」為國內自來水事業單位之重大工程或業務介紹。「他山之石」為國外新知或工程報導。「法規櫥窗」係針對國內外影響自來水事業發展重要法規之探討、介紹或說明。「研究快訊」為國內有關自來水發展之研究計畫期初、期中、期末報告摘要。「學術活動」為國內、外有關自來水之研討會或年會資訊。「出版快訊」係國內、外與自來水相關之新書介紹。「感性園地」供會員發抒人生感想及生活心得。「自來水工作現場」供自來水從業人員，針對工作現場發表感想。「自來水廠(所)的一天」為提供自來水基層廠(所)的工作現況，增進社會各界對自來水服務層面的認識。「會員動態」報導各界會員人事異動。「協會與您」則報導本會會務。
- 四、惠稿應包含 300 字以內摘要及關鍵字，每篇以不超過十頁為宜，特約文稿及專門論著不在此限，本刊對於來稿之文字有刪改權，如不願刪改者，請於來稿上註明；無法刊出之稿件將儘速通知。
- 五、文章內所引之參考文獻，依出現之次序排在文章之末，文內引用時應在圓括號內附其編號，文獻之書寫順序為：期刊：作者，篇名，出處，卷期，頁數，年月。書籍：作者，篇名，出版，頁數，年月。機關出版品：編寫機構，篇名，出版機構，編號，年月。英文之作者姓名應將姓排在名之縮寫之前。
- 六、本刊原則上不刊載譯文或已發表之論文。投稿一經接受刊登，版權即歸本協會所有。
- 七、惠稿(含圖表)請用電子檔寄至 danielfresh@mail.water.gov.tw，並請註明真實姓名、通訊地址（含電話及電子郵件地址）、服務單位及撰稿人之專長簡介，以利刊登。
- 八、稿費標準為專門論著、實務研究、一般論述、每期專題、專家講座、法規櫥窗、他山之石、特載等文稿 900 元/千字，「業務報導」為 500 元/千字，其餘為 400 元/千字，封面照片及文稿中之「圖」、「表」如原稿為新製者 400 元/版面、如原稿為影印複製者，不予計費。
- 九、本會刊於 110 年開始發行電子會刊，內容已刊載於本協會全球資訊網站（www.ctwwa.org.tw）歡迎各界會員參閱。
- 十、本刊中之「專門論著」、「實務研究」、「一般論述」、「每期專題」及「專家講座」，業經行政院公共工程委員會列為技師執業執照換發辦法第四條第一項第六款之「國內外專業期刊」，適用科別為「水利工程科」、「環境工程科」、「土木工程科」。

自來水會刊雜誌

發行單位：中華民國自來水協會

發行人：李嘉榮

會址：臺北市長安東路二段一〇六號七樓

電話：(02)25073832

傳真：(02)25042350

中華民國自來水協會編譯出版委員會

主任委員

黃志彬

副主任委員

李丁來

委員

陳明州、康世芳、武經文、邱福利、

吳能鴻、王明傑、楊人仰

自來水會刊編輯部

臺中市雙十路二段二號之一

行政院新聞局出版事業登記證局第 2995 號

總編輯：李丁來

執行主編：唐俊成

編審委員

甘其銓、周國鼎、鄭錦澤、陳文祥、黃文鑑、
梁德明

執行編輯：吳宗昱

電話：(04)22244191 轉 516

行政助理：劉麗玉

協力廠商：松耀印刷企業有限公司

地址：台中市北區國豐街 129 號

電話：(04)22386769

板新淨水場聚氯化鋁(PACl)加藥效能的探討與分析

文/羅健成、鍾明彰、羅文昇

摘要

淨水場在淨水處理流程加不同的藥品去除水中的雜質，達到符合飲用水的標準，最大宗的加藥品為聚氯化鋁(PACl)，PACl 主要去除水中濁度，因此原水濁度與 PACl 的加藥量有相當的關係。本文祈望由板新場的 PACl 歷年的加藥量與濁度的數據，找出原水水質與加藥的關係，進而找出更佳加藥及效能評比模式，能符合淨水水質處理標準，但減少加藥量，降低生產成本。淨水場的加藥效能，受不同水文條件及不同的原水濁度的影響，除加藥量之外，宜加入不同水文條件的水量及濁度納入評估，本文建議採用單位濁度加藥率為指標，來評估加藥效能。由 114 年 1 月 1 日至 114 年 3 月 31 日的 PACl 實場加藥效能評估，印證採用優化加藥曲線可減少加藥量，同比的單位濁度加藥率可將低：一二期降低 13.8%~62.5%，三期降低 15.2~62.0%。

關鍵字：優化加藥模式、杯瓶試驗、Curve Fitting、單位濁度加藥率

一、前言

一般淨水場須在處理流程加不同的藥品去除水中的雜質，達到符合飲用水的標準。藥品包括：氫氧化鈉(NaOH)、氯(Cl₂)、氯化鐵(FeCl₃)及聚氯化鋁(PACl)等藥品，最大宗的加藥品為聚氯化鋁(PACl)，PACl 主要去除水中濁度的雜質，因此原水濁度與 PACl

的加藥量有相當的關係。本文祈望由板新場的 PACl 歷年的加藥量與濁度的數據，找出原水水質與加藥的關係，進而找出更佳加藥及效能評比模式，符合淨水水質處理標準，減少加藥量，降低生產成本。

二、板新淨水場簡介

板新淨水場分年設有一、二、三期淨水場，一、二期各設計出水量 30 萬 CMD，三期設計出水量 60 萬 CMD，合計 120 萬 CMD 設計出水量。板新場原水來源有二，一為石門水庫配放大漢溪核配水量及大漢溪下游兩側未控流量，於新北市三峽區鳶山地區設攔河堰取水。另一原水來源為三峽河水源，主要來自於上游五寮溪及大豹溪河流，一、二期淨水場優先引進三峽河較低濁度原水處理，在三峽河原水量減少時，再取鳶山堰原水，以滿足供水量之需求。故三期淨水場優先處理鳶山堰較高濁度之原水。中庄調整池位居石門水庫與鳶山堰之間的大漢溪河段，主要功能是當颱風期間石門水庫原水濁度升高時提供緊急備援水源，讓石門水庫在颱風期間以水力排砂方式排除水庫淤砂時不致於影響下游板新水場的取水，進而影響板新地區及桃園地區的民生用水。自調整池匯流井至大滴淨水場抽水井附近之分水點為輸水主管，於分水點後以 1 輸水支管就近銜接大滴淨水場抽水井，另以 1 輸水支管銜接板新淨水場導水箱涵。

三、聚氯化鋁(PACl)加藥數據的分析

(一)實際加藥與杯瓶試驗加藥趨勢分析

由於板新場一、二期及三期淨水場處理不同的原水，因此聚氯化鋁(PACl)加藥數據的分析分成一、二及三期兩部份。112 年板新場一、二期及三期的加藥率與濁度的關係(如圖 1 及圖 2)，藍色點為實際加藥數據，橙色點為杯瓶試驗加藥數據。由圖 1 及圖 2 可知，實際加藥數據大都在橘色杯瓶加藥數據上方，代表相同的濁度的情況下，實際加藥率比杯瓶試驗的加藥率高。

(二)建議加藥與杯瓶試驗加藥量分析

板新場的聚氯化鋁(PACl)的建議加藥曲

線係以前一年實際加藥數據與前一年的杯瓶試驗數據組合而得當年建議加藥曲線。本文為瞭解板新場實際加藥量、建議加藥加藥曲線加藥量與杯瓶加藥曲線加藥量的關係，採用板新場 108 年~112 年一、二期及三期的加藥曲線公式(如表 1 及表 2)、原水濁度及實際用水量，並分別計算加藥量。

由建議加藥曲線的加藥量與杯瓶加藥曲線計算的加藥量，統計如表 3 及表 4。

由表 3 可知 108 年~112 年杯瓶加藥曲線計算加藥量比實際加藥量及建議加藥曲線計算加藥量少，5 年的平均加藥減少量分別為 1346.9 噸及 1164.16 噸。

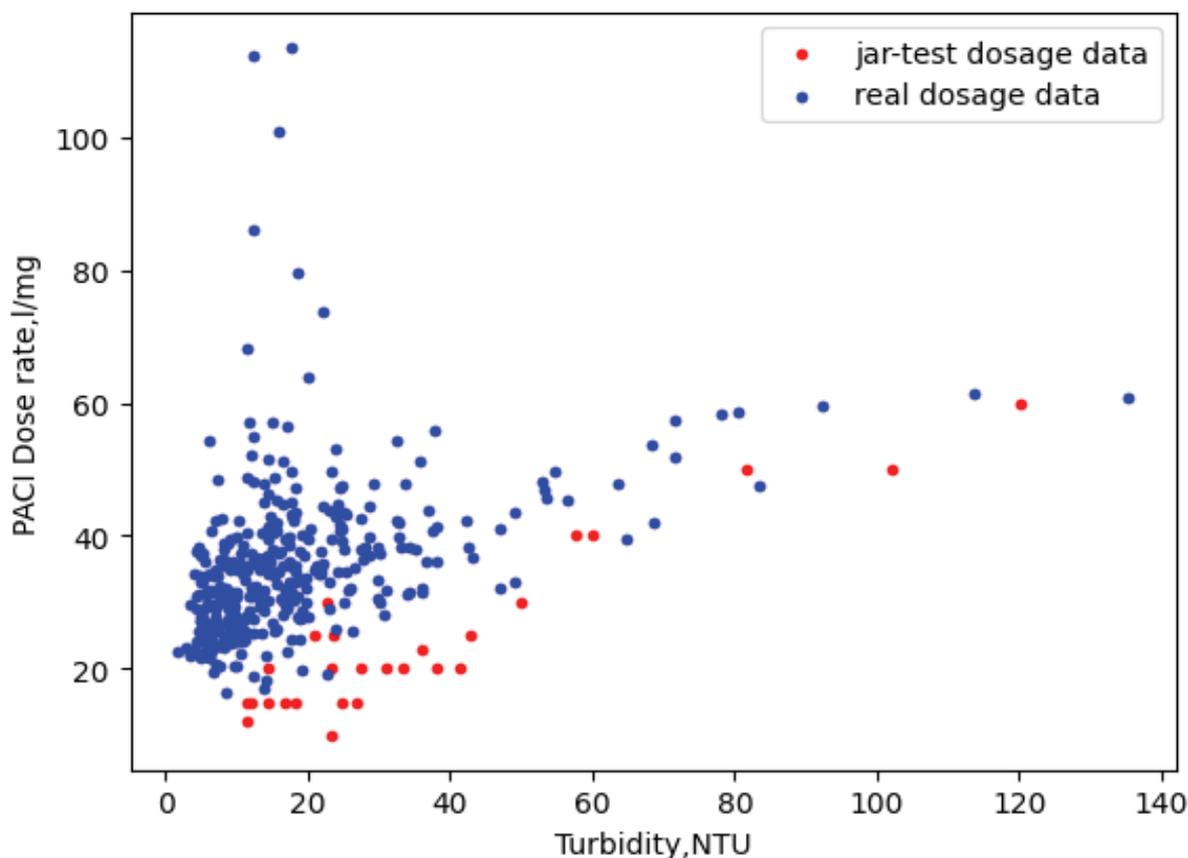


圖 1 板新場一二期的聚氯化鋁(PACl)112 年的加藥率與濁度的關係圖

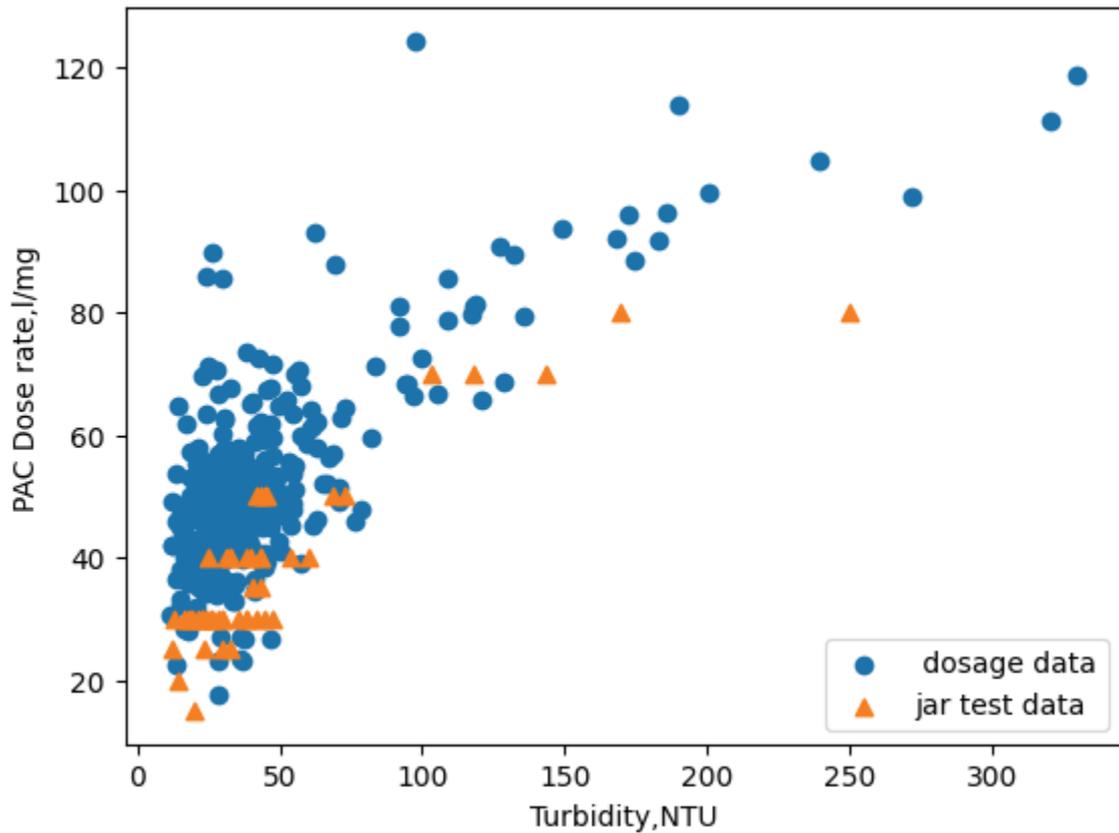


圖 2 板新場三期的聚氯化鋁(PACl)112 年的加藥率與濁度的關係圖

表 1 板新場一二期的 PACl 杯瓶加藥曲線及建議加藥曲線公式表

年份	建議加藥曲線公式	杯瓶加藥曲線公式
108	$y=4.2041\ln(x)+17.969$	$y=5.7864\ln(x)+6.4078$
109	$y=2.815\ln(x)+24.246$	$y=6.6851\ln(x)-0.1147$
110	$y=11.761\ln(x)+1.2334$	$y=11.078\ln(x)-13.778$
111	$y=7.8099\ln(x)+9.2857$	$y=14.049\ln(x)-18.639$
112	$y=6.1493\ln(x)+17.36$	$y=14.173\ln(x)-33.437$

註：x(原水濁度)，y(加藥率)

表 2 板新場三期的 PACl 杯瓶加藥曲線及建議加藥曲線公式表

年份	建議加藥曲線公式	杯瓶加藥曲線公式
108	$y=6.2359\ln(x)+20.582$	$y=18.8213\ln(x)-27.158$
109	$y=9.1677\ln(x)+14.299$	$y=15.134\ln(x)-16.195$
110	$y=13.885\ln(x)-1.7222$	$y=15.048\ln(x)-17.582$
111	$y=14.949\ln(x)-9.097$	$y=18.192\ln(x)-28.586$
112	$y=18.767\ln(x)-15.19$	$y=20.229\ln(x)-34.567$

表 3 板新場一二期的 PACI 加藥量統計表

年份	實際加藥量 (噸)	建議加藥曲線計 算加藥量(噸)	杯瓶加藥曲線計 算加藥量(噸)	(3)欄-(4)欄 加藥減少(噸)	(2)欄-(4)欄 加藥減量(噸)
108	2478.65	2445.05	1843.08	601.97	635.57
109	2361.22	2392.81	1139.76	1253.05	1221.46
110	2188.12	3116.47	1487.46	1629.01	700.66
111	2290.65	2312.84	1456.20	856.64	834.45
112	3226.33	3191.44	797.69	2393.75	2428.64

表 4 板新場三期的 PACI 不同加藥曲線計算加藥量統計表

年份	實際加藥量 (噸)	建議加藥曲線計 算加藥量(噸)	杯瓶加藥曲線計 算加藥量(噸)	(2)欄-(4)欄 加藥減少(噸)	(3)欄-(4)欄 加藥減少(噸)
108	4204.43	2770.02	2744.44	25.58	1459.99
109	3244.19	3931.60	3196.65	734.95	47.54
110	2927.35	3201.57	2481.15	720.42	446.2
111	4078.82	4127.01	3516.85	610.16	561.97
112	3359.01	3736.15	2863.50	872.65	495.51

由表 4 可知 108 年~112 年杯瓶加藥曲線計算加藥量比實際加藥量及建議加藥曲線計算加藥量少，5 年的平均加藥減少量分別為 602.2 噸及 588.8 噸。由表 3 及表 4 可知，杯瓶加藥曲線計算加藥量最少，建議加藥曲線次之，實際加藥量最多。

四、現有建議加藥曲線的檢討

由表 3 及表 4 可知，108 年~112 年杯瓶加藥曲線計算加藥量比建議加藥曲線計算加藥量及實際加藥量少，因此修正建議加藥曲線有必要。以年度杯瓶試驗數據產生的加藥曲線具有降低加藥量的功能，惟數量不

足，難以令人信服。因此本文擴大杯瓶試驗數據，採用板新場 108 年~112 年 5 年的杯瓶試驗數據，杯瓶試驗採用的 $\ln()$ 對數型態，利用 SciPy 的 Curve Fitting 套件，求得板新場一二期及三期的優化加藥曲線關係圖(如圖 3 及圖 4)及公式：

$$\text{板新場一二期：} y=13.418\ln(x) -19.227$$

$$\text{板新場三期：} y=17.603\ln(x)-24.802$$

為驗證優化加藥曲線的效能，以板新場一二期及三期 108 年~112 年的原水濁度及優化加藥曲線公式求得加藥量(如表 5 及表 6)。

由表 5 可知 108 年~112 年板新場一二期的 PACI 優化加藥曲線計算加藥量(噸)比實

際加藥量減少 9412.88 噸，5 年的平均加藥減少量為 1882.58 噸。

由表 6 可知 108 年~112 年板新場三期的

PACl 優化加藥曲線計算加藥量(噸)比實際加藥量減少 5069.47 噸，5 年的平均加藥減少量為 1013.89 噸。

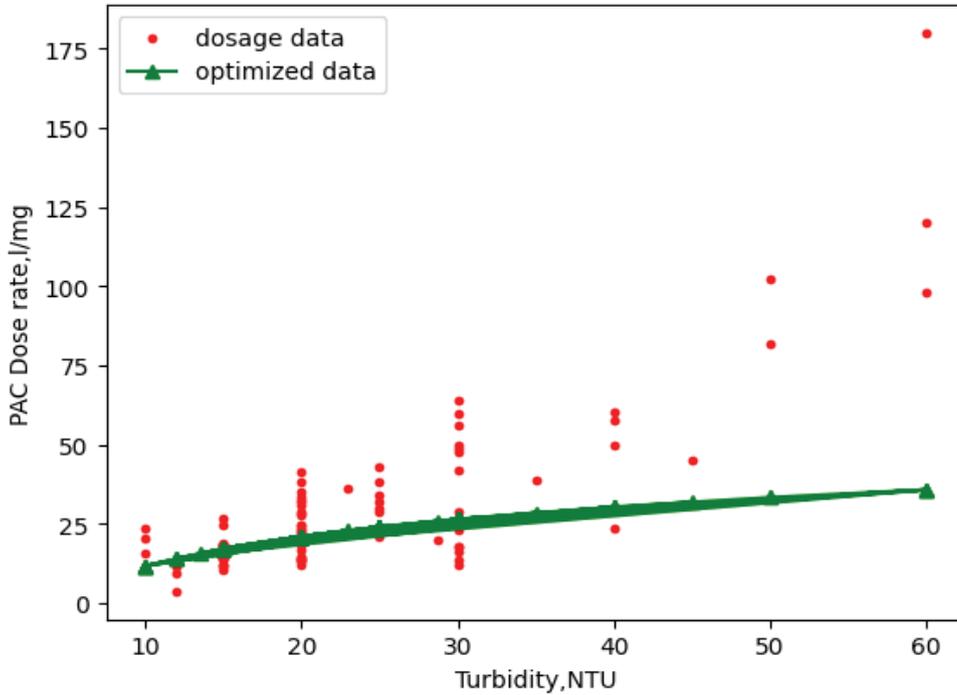


圖 3 新廠一二期 PACl 的優化加藥曲線

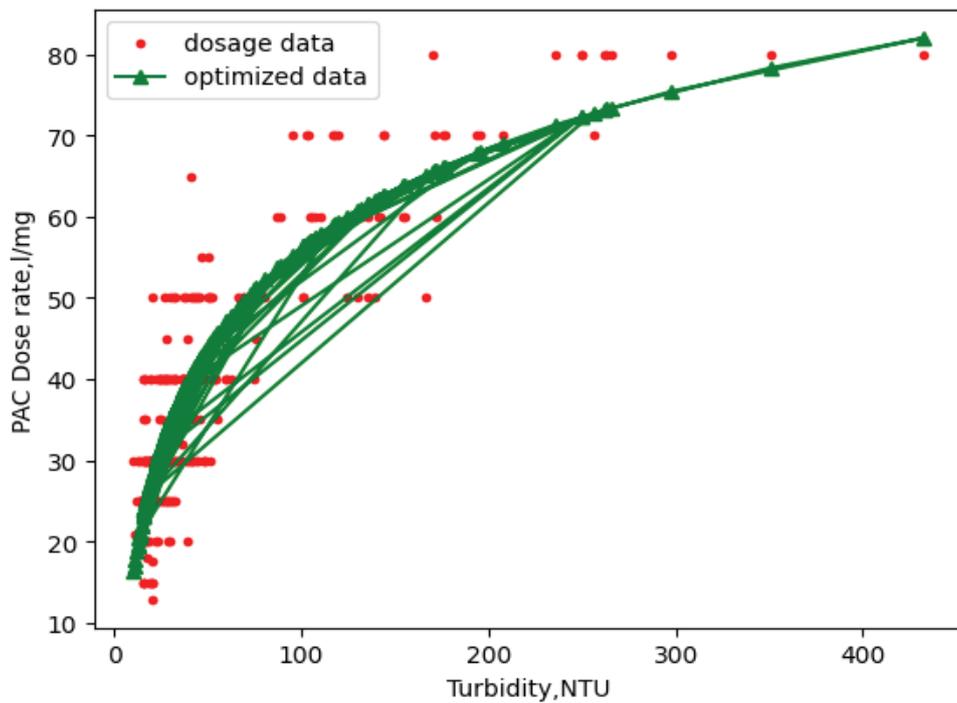


圖 4 板新場三期 PACl 的優化加藥曲線圖

表 5 板新場一二期的 PACI 優化加藥曲線計算加藥量統計表

年份	實際加藥量(噸)	優化加藥曲線加藥量(噸)	(2)欄-(3)欄加藥節省量(噸)
108	2478.65	555.54	1923.11
109	2361.22	791.90	1569.22
110	2188.12	1068.22	1119.9
111	2290.65	1214.34	1076.31
112	3226.33	1556.61	1669.72

表 6 板新場三期的 PACI 優化加藥曲線計算加藥量統計表

年份	實際加藥量(噸)	優化加藥曲線加藥量(噸)	(2)欄-(3)欄加藥節省量(噸)
108	4204.43	2488.55	1715.88
109	3244.19	3624.30	-380.11
110	2927.35	2356.21	571.14
111	4078.82	2195.66	1883.16
112	3359.01	2079.61	1279.4

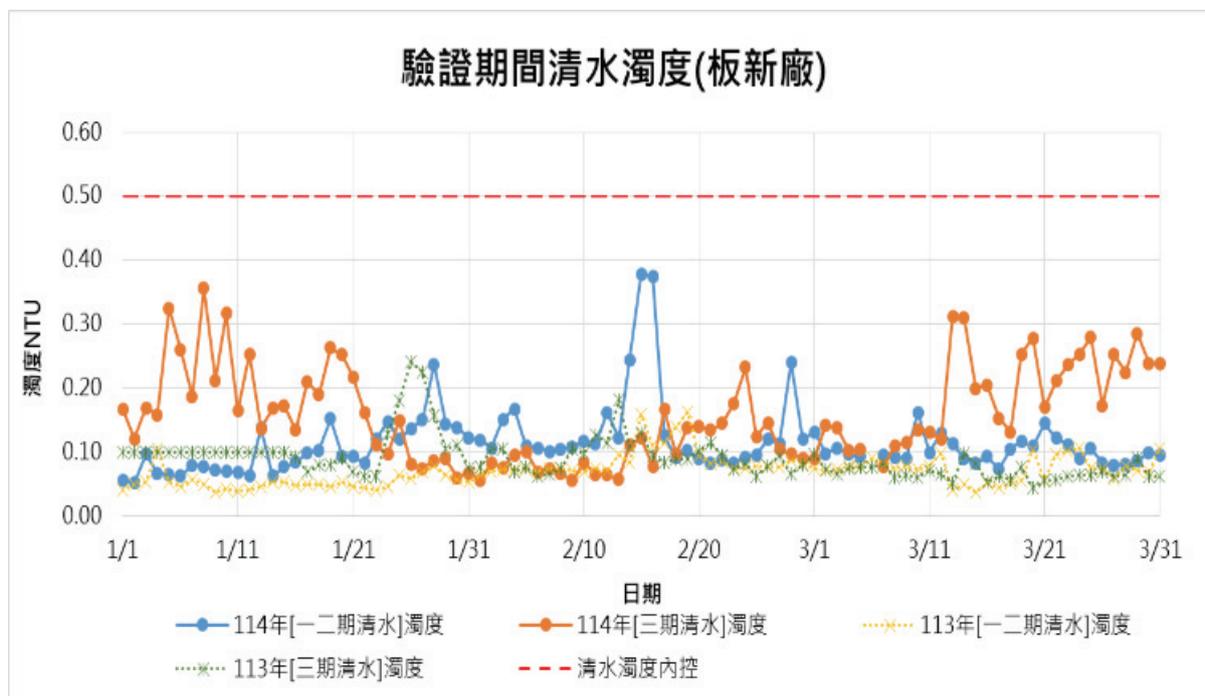


圖 5 板新場清水濁度曲線圖

五、實場加藥效能評估

由表 5 及表 6 知，優化加藥曲線計算加藥量比實際加藥量減少，但淨水場有加藥效能，受不同水文條件及不同的原水濁度的影響，除加藥量之外，宜加入不同水文條件的水量及濁度納入評估。本文採用單位濁度加藥率(ppm/NTU)=加藥率/平均濁度，來評估及驗證實場加藥效能，從 114 年 1 月 1 日起，板新場一二期及三期分別採用前述 PACl 優化加藥曲線進行實場加藥，現將驗證期間(114 年 1 月 1 日 114 年 3 月 31 日)成果分述

如下：

驗證期間每日平均清水濁度皆維持在 0.5 NTU 以下(公司內控值)，如圖 5，符合自來水清水水質標準。

114 年(1-3 月) 與 108~113 年同比的實際加藥資料驗證比較如表 7 及 8 所示。

由表 7 與表 8 的同比測試效能，每單位濁度加藥率(ppm/NTU)：在一二期及三期，114 年的實廠單位濁度加藥率同比 108 年~113 年的單位濁度加藥率低：一二期可降低 13.8%~62.5%，三期可降低 15.2~62.0%。

表 7 板新場一二期的 114 年的 1-3 月同比 PACl 實際加藥資料驗證比較表

年份	總水量 (M ³)	實際加藥量 (kg)	加藥率 (ppm)	平均濁度 (NTU)	單位濁度加藥率(ppm/NTU)	單位濁度加藥率減少量	單位濁度加藥率減少率
108 年	14,708,724	562,116	38.22	21.17	1.81	0.25	13.8%
109 年	14,862,231	442,854	29.80	7.19	4.16	2.6	62.5%
110 年	21,835,961	589,804	27.01	14.33	1.88	0.32	17.0%
111 年	14,359,285	280,196	19.51	7.54	2.58	1.02	39.5%
112 年	18,136,005	686,799	37.87	19.14	1.98	0.42	21.2%
113 年	13,131,378	425,732	32.42	15.57	2.08	0.52	25.0%
114 年	28,202,498	838,076	29.72	19.08	1.56		

表 8 板新場三期 114 年的 1-3 月同比 PACl 實際加藥資料驗證比較表

年份	總水量 (M ³)	實際加藥量 (kg)	加藥率 (ppm)	平均濁度 (NTU)	單位濁度加藥率(ppm/NTU)	單位濁度加藥率減少量	單位濁度加藥率減少率
108 年	13,779,999	763,800	56.26	38.50	1.46	0.68	46.6%
109 年	13,224,810	584,280	44.18	21.55	2.05	1.27	62.0%
110 年	5,139,419	167,790	32.45	22.05	1.55	0.77	49.7%
111 年	22,712,153	1,015,852	44.73	48.62	0.92	0.14	15.2%
112 年	14,786,611	719,273	48.64	39.42	1.23	0.45	36.6%
113 年	14,433,307	742,029	51.41	37.24	1.38	0.6	43.5%
114 年	18,141,002	708,636	39.06	49.77	0.78		

六、結論

- (一)108 年~112 年板新場一、二期與三期的 PACl 加藥量計算：杯瓶加藥曲線計算加藥量最少，建議加藥曲線其次，實際加藥量最多。
- (二)108 年~112 年板新場一、二期與三期的 PACl 加藥量計算：優化加藥曲線計算加藥量(噸)比實際加藥量少，5 年的平均加藥減少量分別為為 1882.58 及 1013.89 噸。
- (三)由 114 年 1 月 1 日至 114 年 3 月 31 日的實場加藥效能，印證採用優化加藥曲線可減少加藥量，同比的單位濁度加藥率可將低：一、二期降低 13.8%~62.5%，三期降低 15.2~62.0%。
- (四)板新場一、二期及三期 PACl 優化加藥模式，有助減少加藥量，淨水廠的其他加藥(氫氧化鈉、氯(Cl₂))等藥品可比照辦理。

七、誌謝

感謝台灣自來水公司李總經理支持、第十二區處陳文龍處長及板新淨水廠陳政賢廠長與同仁提供相關資料始能完成本文。

參考文獻

- 1.中庄調整池工程計畫-經濟部水利署北區水資源局 2013-03-122.s.

作者簡介

羅健成先生

現職：水利技師

專長：自來水工程規劃設計、水力分析及資料分析

鍾明彰先生

現職：板新淨水廠淨水股股長

專長：環境工程

羅文昇先生

現職：板新淨水廠工程員

專長：淨水操作

小區計量售水率評估方式之探討

文/張世勳

摘要

小區計量工法(DMA)係將單一供水區域週邊的制水閥都關閉，僅保留一或二個進水點，並藉由裝設計量表量測區域供水量，與區內所有用戶用水量進行比對，進而求得區域售水率。北水處自 95 年起進行小區計量作業，經過多年實作經驗之累積與逐步檢討改進，針對現地不同的條件，發展出三種計量方式，分別為夜間最小流法、平均抄表計量法、實際抄表計量法。本案選取 22 個計量案例，結果顯示採夜間最小流所評估的售水率，與實際抄表計量所得售水率相較有低估的情形，約有 10-30% 差距；平均抄表計量法與實際抄表計量所得售水率相較，高、低估情形皆有，惟其差距較小。另本文亦提出智慧水表(AMR)運用於小區計量的評估方式，除提高計量的準確性，更可縮短評估時間。

關鍵詞：小區計量(DMA)、夜間最小流、抄表計量

一、售水率評估方法

北水處於小區內進行管網改善作業，於作業過程中依據不同階段，對小區內的售水率採取不同的計量方式。一般若是還沒進場改善的小區，以夜間最小流或平均抄表計量法評估售水率，稱為初評；營業分處挑選初評售水率低且單位長度漏水量大的小區進行改善，改善完成後自行評估以夜間最小流或平均抄表計量法評估售水率，稱為自評；

營業分處自評售水率達到標準(大於 90%)，則提送處內以實際抄表計量法量測售水率，稱為複評，如圖 1 所示。

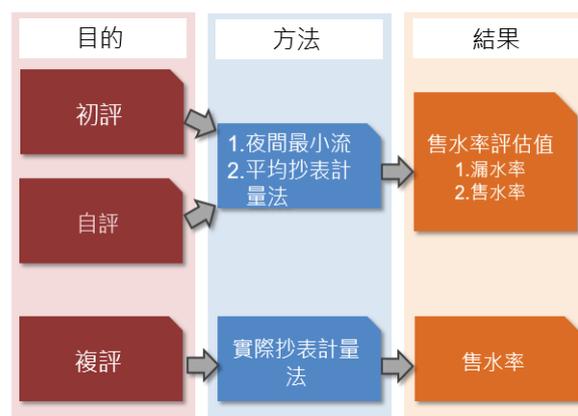


圖 1 小區計量售水率評估方法

(一)夜間最小流計量法：

北水處為有效率地降低漏水率，因此對全部 839 個小區進行售水率的初評作業，再優先對售水率低且單位漏水量高的小區進行管線汰換。由於係找出所有小區內相對較弱的小區，在時間及成本等因素的考量下，採取夜間最小流計量法是相對較佳的考量，該 839 個小區已於 113 年 10 月全數完成初評計量作業。

1.作業方式：

- (1)關閉小區邊界閥。
- (2)確認小區封閉(小區內地下式消防栓倒吸)。
- (3)開啟進水點並紀錄流量計讀數(Q1)及日期時間。
- (4)進水點紀錄至少 7 天。

- (5)紀錄 7 天後流量計讀數(Q2)。
- (6)計算 7 天進水量(Q2-Q1)，求得平均日進水量。
- (7)找出流量計讀數之最小數值(單位須換算與平均日進水量一致)。
- (8)最小數值除以平均日進水量，得到漏水率，再以 1 減漏水率得售水率。

2.作業範例：

以圖 2 所示小區為例，作業時間從 7/2-7/9，共計 7 天。其中最小流量為 28.74 CMH，發生在 7/3 5:27，7 天平均用水量為 1634.1 CMD，因此可以得到售水率為 57.79%。

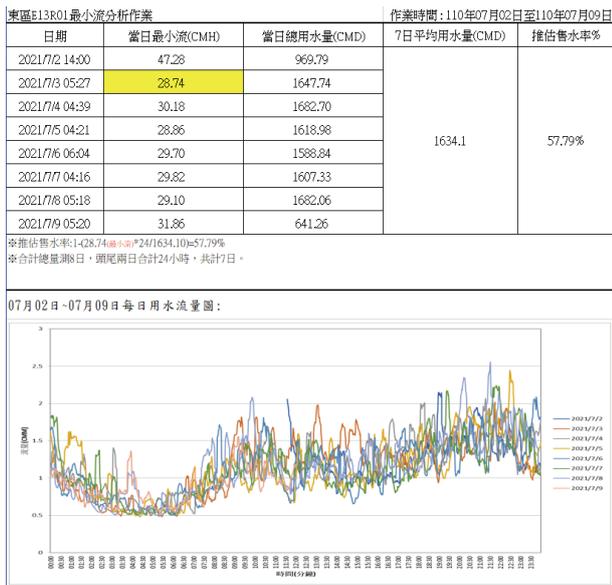


圖 2 夜間最小流量售水率計算方式

(二)平均抄表計量法：

北水處的 WEB GIS 應用管理系統，已將所有小區的範圍框選確認，藉由該系統可以取得小區內所有的直、總表用戶用水量，並即時計算小區售水率。平均抄表計量法除運用於初評作業，亦運用於驗證廠商管線汰換完畢後的成效，尤其是當售水率未達標準

時，可立即檢討要求廠商改善。

1.作業方式：

- (1)~(6)，同夜間最小流量法。
- (7)於 WEB GIS 應用管理系統取得小區內直、總表平均用水量。
- (8)平均用水量除以平均進水量，得到售水率。

2.作業範例：

由圖 3 得知，小區內直、總表栓數共 153 只，平均日用水量為 1002.53 CMD，從前節得知該小區的平均用水量為 1634.1 CMD，因此可以計算出售水率為 61%，詳圖 3 所示。

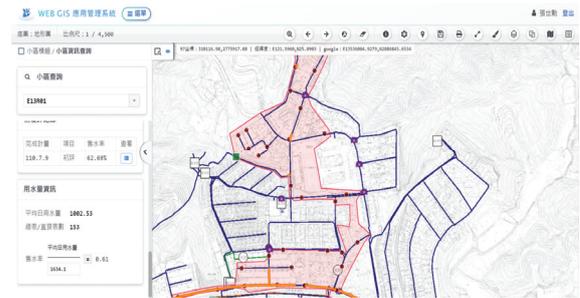


圖 3 平均抄表計量法售水率計算方式

(三)實際抄表計量法：

實際抄表計量法的原理與平均抄表計量法相同，其差異係直、總表用戶用水量的取得方式。實際抄表計量法是採用計量期間的實際用水量，而平均抄表計量法是採用前期抄表員或用戶自填用水量的平均值。由於本方法須耗費大量的人力及經費進行抄表作業，因此本方法係用於當驗證營業分處所提報的小區改善成果，是否達到售水率 90% 以上的複評作業。

1.作業方式：

- (1)~(3)，同夜間最小流量法。
- (4)於 4 小時內抄錄直、總表讀數($\sum q_1$)

- (5)封閉紀錄 14 天。
- (6)於 4 小時內抄錄直、總表讀數(Σq_2)。
- (7)計算 14 日之直、總表用水量($\Sigma q_1 - \Sigma q_2$)，及流量計進水量(Q1-Q2)。
- (8)計算售水率= $(\Sigma q_1 - \Sigma q_2)/(Q1-Q2)$

2.作業範例：

以圖 4 所示小區量測結果為例，作業時間從 8/26-9/9，共計 14 天。用戶總用水量為 10,448m³，流量計進水量為 11,013m³，因此可以計算得到售水率為 94.87%。

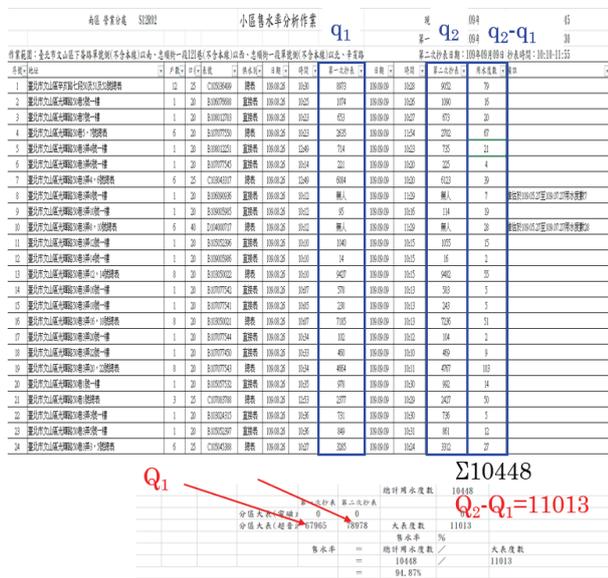


圖 4 實際抄表計量法售水率計算方式

二、售水率評估成果及探討

本研究以北水處 113 年完成複評計量的 22 個小區的計量成果進行分析，北水處的複評計量雖以實際抄表計量法進行評估，惟於計量過程中亦可一併進行夜間最小流計量法及平均抄表計量法，因此可以對這三種計量法所得到的售水率進行探討。

售水率評估成果

同樣的施工長度如果落在售水率較低的小區，改善的漏水量將比較多，對降低整體

NRW 貢獻較大，這樣的觀念一直是北水處的管汰策略。以本研究案所計量的 22 個小區，初評售水率 50%以下計有 14 區，50%-75% 有 7 區，75%以上 1 區，顯示其管線汰換的執行，係採弱區先行的方式。經過管線汰換，各小區之實際抄表計量的複評售水率均能達到售水率 90%以上，如表 1 所示。

(一)售水率評估方式的比較

本節係以實際抄表計量法所得到的售水率作為基準，藉以探討夜間最小流計量法及平均抄表計量法之售水率，與前者之差異，並探究其原因。

表 1 不同計量方式之售水率評估成果

序號	初評售水率	複評售水率		
		夜間最小流法	平均抄表計量法	實際抄表計量法
1	57.49%	64.77%	87.93%	90.22%
2	63.35%	71.71%	90.62%	90.96%
3	58.17%	84.54%	99.60%	95.54%
4	70.59%	71.52%	103.58%	99.48%
5	45.43%	79.83%	73.90%	91.43%
6	36.24%	75.61%	108.64%	99.49%
7	46.28%	81.27%	96.38%	98.65%
8	28.47%	71.71%	103.33%	99.67%
9	49.99%	78.02%	101.68%	94.79%
10	34.95%	67.05%	92.10%	90.40%
11	44.52%	60.97%	76.46%	99.79%
12	46.88%	69.86%	82.86%	90.21%
13	73.70%	89.14%	95.84%	99.60%
14	41.21%	88.07%	62.23%	96.14%
15	32.89%	85.79%	91.24%	96.79%
16	40.96%	89.65%	85.68%	99.83%
17	33.66%	52.98%	62.37%	66.54%
18	58.71%	70.50%	94.31%	86.45%
19	76.35%	70.50%	94.31%	90.28%
20	58.21%	64.39%	99.00%	94.98%
21	29.98%	85.59%	97.94%	95.11%
22	24.63%	74.14%	91.99%	97.17%

1.夜間最小流計量法與實際抄表計量法之比較：

夜間最小流計量法因無需動員人力抄讀用戶水表度數，作業上較實際抄表計量法相對簡易，但半夜如有用戶持續進水，利用本法所得最小流量常包含夜間用戶用水，經常會高估漏水量，如圖 5 所示，但因做法簡

易且速度快，所得之售水率仍有參考價值。

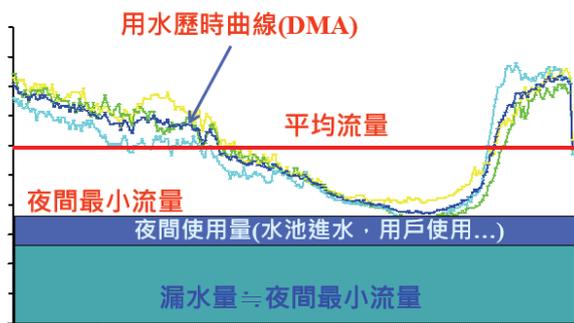


圖 5 夜間最小流量(MNF)意義

比對 22 個小區的計量成果，如表 2，夜間最小流計量法與實際抄表計量法相比，其售水率平均低估 18.91%，其中序號 14 小區低估 8.07%，差距最小，序號 11 小區低估 38.82%，差距最大。

表 2 夜間最小流計量法與實際抄表計量法之售水率比較

序號	夜間最小流法(A)	實際抄表計量法(B)	差值(B)-(A)
1	64.77%	90.22%	25.45%
2	71.71%	90.96%	19.25%
3	84.54%	95.54%	11.00%
4	71.52%	99.48%	27.96%
5	79.83%	91.43%	11.60%
6	75.61%	99.49%	23.88%
7	81.27%	98.65%	17.38%
8	71.71%	99.67%	27.96%
9	78.02%	94.79%	16.77%
10	67.05%	90.40%	23.35%
11	60.97%	99.79%	38.82%
12	69.86%	90.21%	20.35%
13	89.14%	99.60%	10.46%
14	88.07%	96.14%	8.07%
15	85.79%	96.79%	11.00%
16	89.65%	99.83%	10.18%
17	52.98%	66.54%	13.56%
18	70.50%	86.45%	15.95%
19	70.50%	90.28%	19.78%
20	64.39%	94.98%	30.59%
21	85.59%	95.11%	9.52%
22	74.14%	97.17%	23.03%
平均	74.89%	93.80%	18.91%

以本研究案為例，夜間最小流計量法的售水率平均低估 18.91%，亦即夜間最小流計量法之售水率達 70%，其實際抄表計量法售

水率可能已經達到北水處 90%的標準。檢視表 3 可發現，序號 4、19 二個小區，其初評(採夜間最小流計量法)售水率均高於 70%，而複評後夜間最小流售水率亦雖與初評相近，惟實際抄表計量售水率卻已達 90%以上，研判這二個小區應無立即管網改善之需要。

2. 平均抄表計量法與實際抄表計量法之比較

此方法的用戶用水量係依據前期抄表員抄表或用戶自填水表度數再予以換算，因此與夜間最小流計量法相同，皆無需動員人力抄讀用戶水表度數，方便計算售水率。從表 4 得知，將實際抄表計量售水率減去平均抄表計量售水率，其差距正、負直皆存在，平均差距為+3.25%，以絕對差距而言，序號 2 小區差距最小，為 0.34%，序號 14 小區差距最大為 33.91%。

表 3 初評與複評採夜間最小流計量法之售水率比較

序號	初評售水率	夜間最小流法	實際抄表計量法
1	57.49%	64.77%	90.22%
2	63.35%	71.71%	90.96%
3	58.17%	84.54%	95.54%
4	70.59%	71.52%	99.48%
5	45.43%	79.83%	91.43%
6	36.24%	75.61%	99.49%
7	46.28%	81.27%	98.65%
8	28.47%	71.71%	99.67%
9	49.99%	78.02%	94.79%
10	34.95%	67.05%	90.40%
11	44.52%	60.97%	99.79%
12	46.88%	69.86%	90.21%
13	73.70%	89.14%	99.60%
14	41.21%	88.07%	96.14%
15	32.89%	85.79%	96.79%
16	40.96%	89.65%	99.83%
17	33.66%	52.98%	66.54%
18	58.71%	70.50%	86.45%
19	76.35%	70.50%	90.28%
20	58.21%	64.39%	94.98%
21	29.98%	85.59%	95.11%
22	24.63%	74.14%	97.17%

表 4 初評與複評採夜間最小流計量法之售水率比較

序號	平均抄表計量法 (A)	實際抄表計量法 (B)	差值 (B)-(A)	絕對差值 (B)-(A)
1	87.93%	90.22%	2.29%	2.29%
2	90.62%	90.96%	0.34%	0.34%
3	99.60%	95.54%	-4.06%	4.06%
4	103.58%	99.48%	-4.10%	4.10%
5	73.90%	91.43%	17.53%	17.53%
6	108.64%	99.49%	-9.15%	9.15%
7	96.38%	98.65%	2.27%	2.27%
8	103.33%	99.67%	-3.66%	3.66%
9	101.68%	94.79%	-6.89%	6.89%
10	92.10%	90.40%	-1.70%	1.70%
11	76.46%	99.79%	23.33%	23.33%
12	82.86%	90.21%	7.35%	7.35%
13	95.84%	99.60%	3.76%	3.76%
14	62.23%	96.14%	33.91%	33.91%
15	91.24%	96.79%	5.55%	5.55%
16	85.68%	99.83%	14.15%	14.15%
17	62.37%	66.54%	4.17%	4.17%
18	94.31%	86.45%	-7.86%	7.86%
19	94.31%	90.28%	-4.03%	4.03%
20	99.00%	94.98%	-4.02%	4.02%
21	97.94%	95.11%	-2.83%	2.83%
22	91.99%	97.17%	5.18%	5.18%
平均	90.55%	93.80%	3.25%	3.25%

平均抄表計量法之用戶用水量係採用前期平均度數換算，因此其度數與實際抄表計量相比，會因氣候、用水狀態、用水習慣等之不同，而有所差異。以本案例 22 個小區的差值予以分析，如圖 6 所示，發現平均抄表計量法與實際抄表計量法相比，呈現高估的情形相對較高。

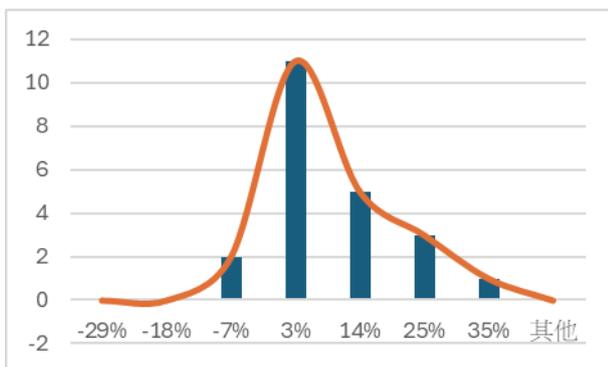


圖 6 平均抄表計量法差值常態分佈曲線

三、智慧水表(AMR)結合小區計量評估方式

從前面章節可以發現，無論係採夜間最小流計量法、平均抄表計量法或是實際抄表計量法，都各有其優缺點，整理如表 5 所示。

表 5 小區計量售水率評估方法比較

評估方式	計量成果	優點	缺點
夜間最小流計量法	漏水率	1.花費成本低，流量計資料回傳至系統後直接分析。 2.不影響用戶。	1.高估漏水率，尤其夜生活盛行區域，影響更大，差異可能高達30-40%。
平均抄表計量法	售水率	1.花費成本低，流量計資料回傳至系統後直接分析。 2.不影響用戶。	1.售水率受基期影響，可能高估亦可能低估。
實際抄表計量法	售水率	1.準確度相對高。	1.花費成本高：需動用大批人力，於4小時內完成抄表。 2.影響用戶：為確實反映售水率，抄見率必須80%以上，常需進屋內抄表。 3.推定用戶影響售水率的準確。

北水處自 104 年起逐步推動智慧水表(AMR)，於大用水戶、府屬機關學校、市府新建社宅及公有市場等試辦安裝智慧水表，新建物自 109 年 1 月 1 日起全面安裝智慧水表。現行 AMR 係採每小時紀錄瞬間流量、累積流量 1 次，每天凌晨 0 時回傳 1 次的傳送方式，故無須再經由人工抄表。而小區流量計則係每分鐘紀錄瞬間流量、累積流量 1 次，每 10 分鐘回傳 1 次，1 天回傳 144 次，茲以案例說明其執行方式及效益。

(一)案例說明

以北水處 N05001 小區為例，該小區係於 103 年完成改善，當時以實際抄表計量法

進行複評作業，售水率為 96%，相關基本資料如圖 7。北水處於 113 年 10 月將小區內的直、總表汰換為 AMR，由於汰換比例達 99.09%，故選定本小區進行售水率評估作業。

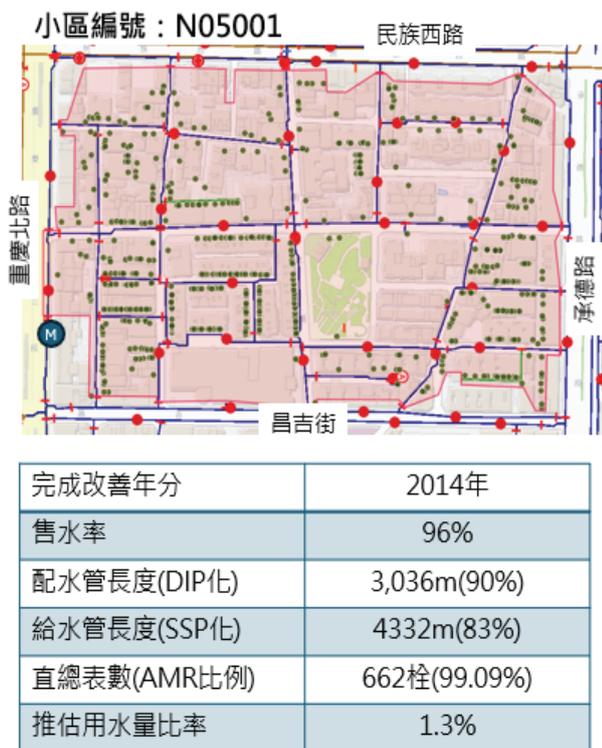


圖 7 N05001 小區基本資料

(二)作業方式

在 AMR 小區的計量流程，如圖 8 所示，茲將作業流程說明如下：

- 1.閘栓調查：為避免後續啟閉過程中，造成部分用戶無水或水壓不足，小區邊界制水閘的調查尤其重要，就 N05001 小區而言，其邊界制水閘共 14 只，必須逐一檢視其狀態是否正常。
- 2.封閉測試：邊界制水閘關閉後，須檢視區域內消防栓是否倒吸，以確認封閉。因為小區內如果有不明管線與小區管網連接，就會造成外水內流，影響計量的正確性。

- 3.直總表及 AMR 調查：確認小區內的直、總表栓位置，避免將非小區內表栓納入或漏列小區內表栓，這將影響售水率的正確性。
- 4.小區內外壓力量測：進行小區計量時，僅保留一或二個進水點，通常會造成小區內的壓力下降或影響小區周邊的水壓。為避免執行期間因水壓下降，民眾抱怨而解除封閉，必須先對小區封閉前後的壓力進行測試。以本案為例，水壓量測 9 處，封閉前後壓力差約 $0.1\text{kg}/\text{cm}^2$ ，評估不會造成影響。



圖 8 AMR 小區計量作業方式

(三)售水率評估成果

根據上面的作業流程，從 10/30-11/5 連續 7 天針對 N05001 小區進行封閉計量。由於 AMR 讀數與進水端的流量計是同時計量，因此可以每天計算出當日的售水率，亦可計算 7 天的平均售水率，如圖 8 所示，此種計量方式及成果，前述三種計量方式均無法達成。這 7 天的售水率介於 97-99%，平均售水率 99.1%，平均漏水量約 0.6 CMH，顯示這個小區經過 10 年，仍維持的相當好，研判係小區給、配水管汰換為 SSP 及 DIP 化的比例高，且施工確實，因此才能維持高售水率。

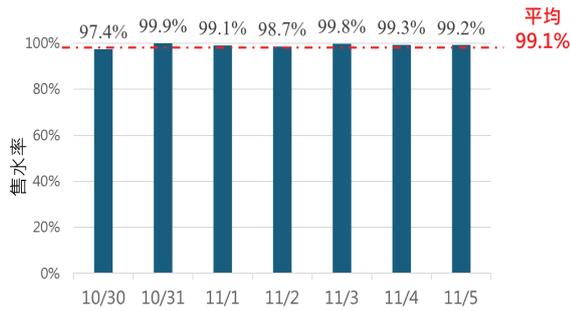


圖 9 AMR 小區售水率評估成果

從圖 9 發現每日售水率都相當接近，這意味著以往採用實際抄表計量評估售水率，需至少 14 天才能完成的作業方式，如果是安裝 AMR 的小區，僅用 1 天就可以完成，大幅縮短作業時間，也減少人工抄表的錯誤及造成用戶的不便。

如前所述，AMR 讀數係每小時紀錄一筆，理論上應可計算每小時的售水率，經計算 7 天每小時售水率，並整理繪製如圖 10。發現售水率的變化呈現高低起伏，最低售水率為 89%，最高為 106%。分析其原因係離峰時段用戶用水量相對減少，當漏水量約略為定值時，售水率便會隨著用戶用水量而有變化，故以 1 小時評估售水率並不可行。

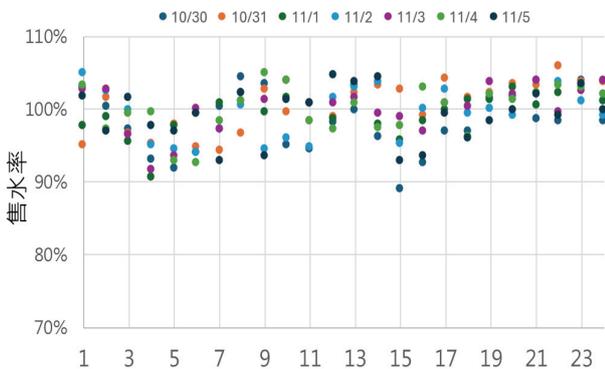


圖 10 AMR 小區每小時售水率

四、結論及建議

北水處將其所轄供水區域劃分為 839 個小區，自 2005 年至 2024 年間，已有 488 個小區完成改善，未完成改善小區尚有 351 區，其中售水率 50%以下小區 81 區，50%-75% 小區 159 區，75%-90% 小區 111 區。對於這些小區是否需重新評估其售水率，其重新評估應採取何種方式，茲依本研究提供相關結論、建議如下：

(一)夜間最小流計量法及平均抄表計量法聯合運用評估方式：

在本研究中，夜間最小流計量法及平均抄表計量法皆具有方便且成本低廉的優點，惟計量的小區如屬於夜間用水量多的區域，例如夜市、酒吧等，採用夜間最小流計量法將低估售水率，因此在使用尚須特別注意。建議夜間最小流計量法及平均抄表計量法可同時互相比對，在合理範圍內取數值高者，作為小區的售水率

(二)因應小區評估售水率之目的，進行相應的評估方式：

- 1.夜間最小流、平均抄表計量法：適用於小區售水率的初評作業及改善中小區售水率評估的自評作業。
- 2.實際抄表計量法：
 - (1)北水處將已完成小區依據小區的漏水潛能，分成 A、B、C 三個級距，對於高風險的 C 級小區，利用布設噪音紀錄器找出漏水點，建議這類小區於漏水修復後，以實際抄表計量法重新計評估售水率，以了解改善狀態。

(2)對於初評售水率 75%-90%的小區，依據本研究顯示，其實際售水率可能已經告於 90%，建議此類小區先以實際抄表計量法評估售水率，俟售水率評估結果再決定是否進行管汰作業。

(3)經管汰完成的小區，建議採用實際抄表計量法進行複評作業

3.AMR 計量法：本法兼具方便及正確性，適用於初評、複評及漏水潛能小區的複評。

(三)AMR 結合小區計量的運用方式：

1.鑑於日後將有更多小區安裝 AMR，對於已改善小區，其管線多已完成汰換，如經重新評估售水率發現已有明顯下降，如何利用 AMR 迅速鎖定小區內漏水管段，精準地予以改善，將是未來運用的重點。

2.部分小區邊界管線因路障或路權限制無法汰換，未來以小區為基礎，以外擴方式將邊界管線納入評估是否漏水，如評估漏水再以漏水修理或專案申請管線汰換方式辦理。

參考文獻

- 1.Julian Thornton, Reinhard Sturm, George Kunkel, Water Loss Control, McGraw-Hill Publishing, U.S.A.p51-p59.,2010.
- 2.中華民國自來水協會，臺北供水區小區智慧化應用與發展探討，2020。
- 3.馬永賢、鄭貴卿、林申宜、張維峻，2024 科技檢漏新方法：水力模型分析漏水熱區，中華民國自來水協會第41屆自來水研究發表會。

作者簡介

張世勳先生

現職：臺北自來水事業處供水科防漏股股長

專長：漏水檢測、小區計量及售水率評估作業、管網改善實務等

以數值分析預測小區管段漏水可行性一 以台中清水小區為例

文/林聖桓、吳俊銓、張錦東、趙言霖

摘要

本次以台中清水小區為例，以數值分析來預測一個 15.7KM 的小區管段大漏水方式，並結合本公司自行進階研究的 WADA 機器學習法運算高風險管段、線上式水聽相關及 AI 輔助檢漏技術，成功克服塑膠管材檢漏困難的挑戰，並檢出關鍵漏水點兩處 200mmPVCP 漏水。

關鍵字：線上式水聽相關、WADA 機器學習法、AI 輔助檢漏技術

一、前言

台水公司一直以來長期推動降低漏水率工作，隨著分區計量管網(DMA)的建置，且為長態獨立計量小區，自 107 年度起台水公司籌組大數據分析團隊，自行開發智慧水網大數據分析系統(WADA)，已可自動化分析及傳送 DMA 之供水異常事件，協助公司快速篩選出高漏水風險之 DMA，惟 DMA 管長約 10~20 km，如何將 10km 管線縮小範圍至約 200 公尺管段，預判管段漏水，亦即從面(區域)縮小至線(管段)再縮小至點(漏水點)，目前管段的處理方式國內外大多使用多點相關儀，惟台灣因路平專案使得制水閥下地，以及台灣大多數為塑膠管材，水壓偏低等因素，致使透過聲學原理的感知距離受限，於先前測試塑膠管 150mm 口徑，感測距離大約只能在制水閥 30m 範圍內，惟台灣制水閥距離通常都 200m~500m 不等，也就因感

測距離不足而無法有效應用於台灣檢測漏水。

目前台水公司現正開發 AI 檢測相關技術，其技術較著重於點的技术開發，透過 AI 來辨識來確認該點是否有地下漏水，而公司目前推行的 AI 巡檢，亦須透過人員一步一腳印去巡查，希望藉由公司非檢漏人員或工讀生去人工巡查，以點構線的方式來擴充原基礎檢漏人力，惟仍無法擺脫以人工巡檢，需有人員一步一腳印走完一個 10~20km 小區，且小區漏水控制非一次性巡檢即可完成漏水改善之工作，如一循環無法改善，仍需再重新完整走過一個小區，另外小區如果漏水復發，又需人員重複行走，12.8km 大約為台中火車站沿台 74 線走到潭子火車站的距離，且行走後有沒有走在管線上不得而知，實非長久之計。

(一)研究目的

目前國外針對管段漏水預測主流為將多點相關儀感測器檢漏儀器，佈設於人、手孔內之制水閥，惟於台灣在塑膠管及水壓低的條件下儀器單點檢測長度較短，本次嘗試透過既有的監控大數據及 Epanet 水理運算軟體來預測管段漏水，目的為減少人工巡查時間及人力。

(二)地點挑選

本次挑選為台中清水小區，該小區管線總長度為 15.7KM，為都會型小區，進水方式

為單一進水點，均 NRW（有效無費水量）為 813CMD，基礎資料詳表 1，小區位置位於清水火車站附近詳圖 1。

表 1 清水所基礎資料表

小區名稱	用戶數	日均供水量 (CMD)	日均售水量 (CMD)	日均 NRW	售水率
(108)清水所清水小區 (15.7KM)	1463 戶	2011	1198	813	59%

二、漏水預測應用EPANET分析前置

過往 EPANET 應用於台水通常為管線工程設計規劃使用，顯少對漏水預測使用，於



圖 1 小區範圍

新設管線使用 EPANET 可依規劃設計資料設定基礎參數，惟既有地下管線，無法得知地下管線埋設狀況，現場可能一條管也可能是兩條管，有可能有圖資不存在的閘栓，其中最大的關鍵影響參數為既有管線的水頭損

失(head loss)，又以閘栓開度影響最為重大，故傳統方式在使用 EPANET 預測漏水時，未針對管線損失校正，將模型建立後，查看與理論壓力差異較大的位置來預判漏水管段，此法會因低估既有管線水頭損失而造成誤判。

(一)現況基礎資料收集及模型建立

首先依據清水小區分段規劃將小區切割成 6 個次小區如圖 2，透過台水公司圖資系統擷取小區內各分段區域內之用戶抄見量(即用戶用水量)如圖 3 及表 2，並依據台水公司管線圖資建立分析模型，並將各次小區抄見量分配於 EPANET 清水小區模型當中如圖 4。

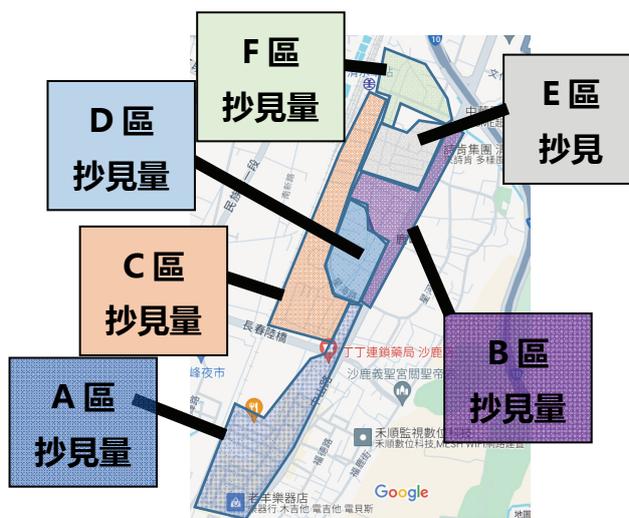


圖 2 次小區規劃

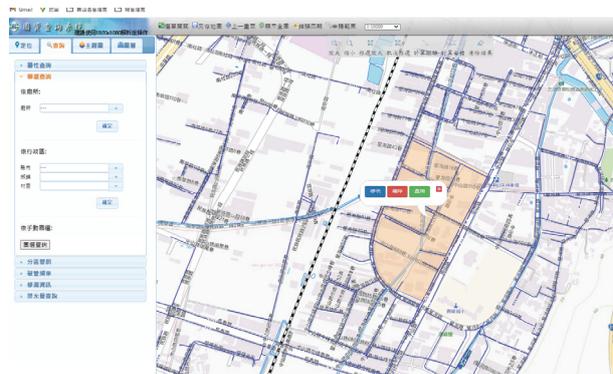


圖 3 台水公司圖資系統超見量查詢

表 1

小區次小區用水量分析					
		次小區	抄見量 (CMD)	進水量 (CMD)	初估漏水量
進水點 1	中山路 田尾巷	A	315.99	2011	813
		B	136.59		
		C	271.11		
		D	127.92		
		E	213.7		
		F	132.69		
總計			1198	2011	813

建立基礎模型後，此模型為未分配 NRW1319CMD 之清水小區原型，亦假設該小區無漏水。

(二)水頭損失

為解決既有管線的水頭損失(head loss)相關問題，我們假設管損造成總能量下降，而壓力管總能量組成大致可分為流速水頭、壓力水頭及高程水頭，在高程水頭不會改變情況下，即表示流速水頭及壓力水頭會隨因水頭損失而同步下降，表示壓力及流速為水頭損失參考之重要參數，惟與漏水不同之處為，漏水為總能量不變情況下，流速水頭與壓力水頭能量轉換的物理現象，此現象與管損造成情況大不相同。故可先以流量或水壓來先進行管損律定，本次在小區內巡查 5 處明管段，並以移動式超音波流量檢測管線流量如圖 5 及圖 6 所示。

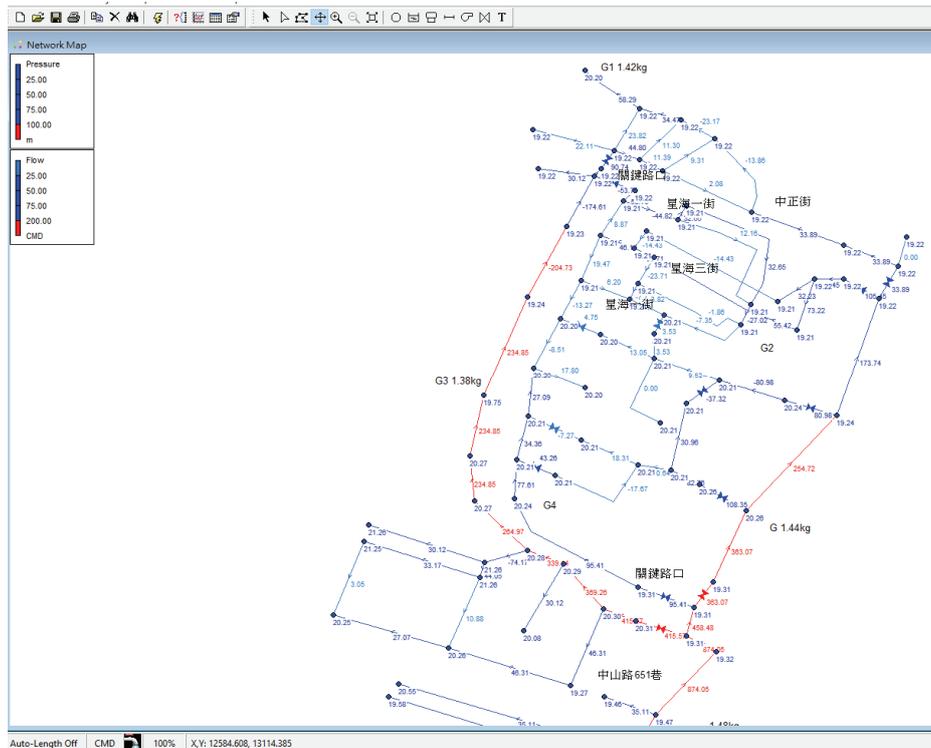


圖 4 EPANET 清水小區模型



圖 5 中正橋巷口(200DIP)移動流量計量測

透過現場量測流量數值對模型中的閘栓 K 值進行數值校正。值得一提的是，圖 6 顯示的是校正前的數值，此時模型中已包含管網內的 NRW，而 NRW 的分配則是根據 AI 推算的高風險管段來進行的。圖 7 和圖 8 顯示的是本公司 WADA 系統預測的高風險管段，透過 AI 推算高風險管段並將其 NRW 進行分配，並結合現場流量參數來針對管線中的關鍵閘栓進行校正。這樣可以使得模型的結果更接近現況

三、漏水預測

在完成前置作業後，本研究利用模型進行漏水預測。預測前，先用總水頭概念進行初步判斷，即將壓力水頭與高程水頭相加。

由於無法得知管網內的流速，理論上還應考慮流速水頭，但由於管網屬於紊流且計算複雜，因此這個方法僅作為概念。此外，此方法可能受用戶和閘栓影響，存在誤差。圖 9 顯示了壓力水頭和高程水頭相加的結果，能量損耗較大的區域為 G3，因此初步判斷 G5 及 G2 到 G3 之間可能有漏水問題。

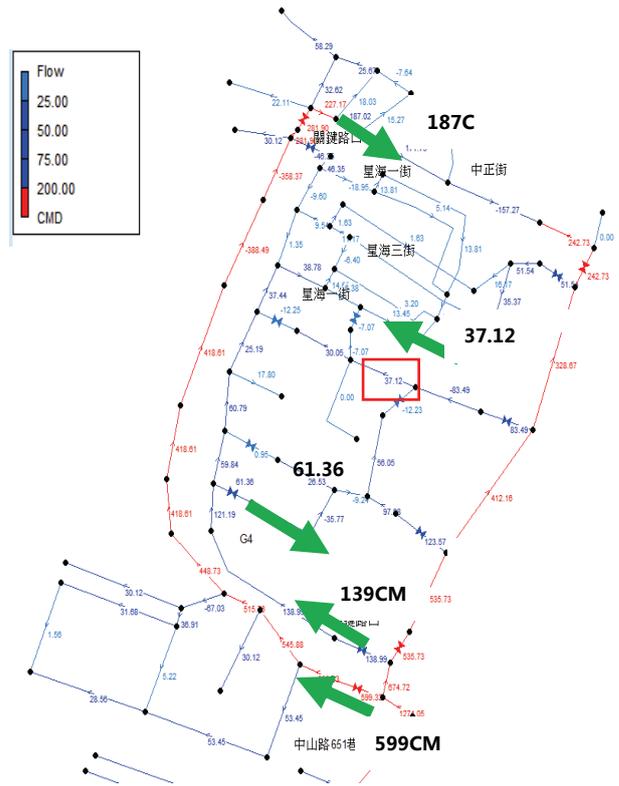


圖 6 清水小區校正前數值

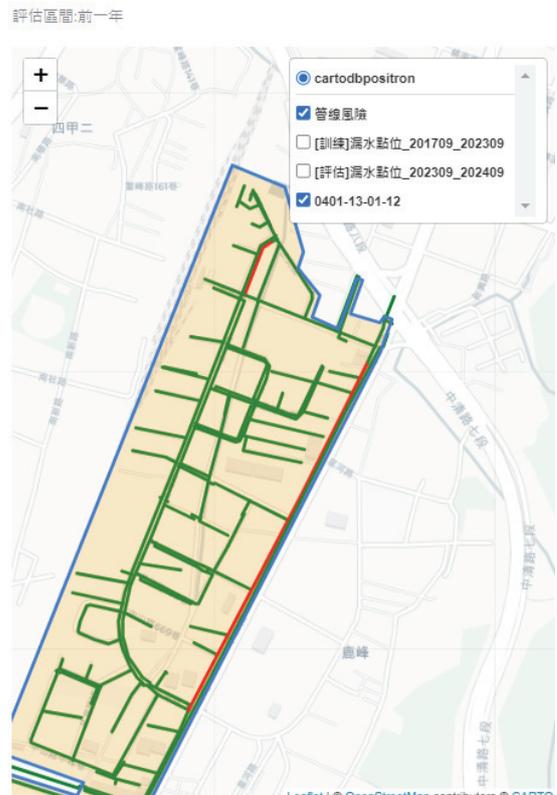


圖 7 WADA AI 機器學習法運算高風險管段評估到 2023 年

評估區間:前二年

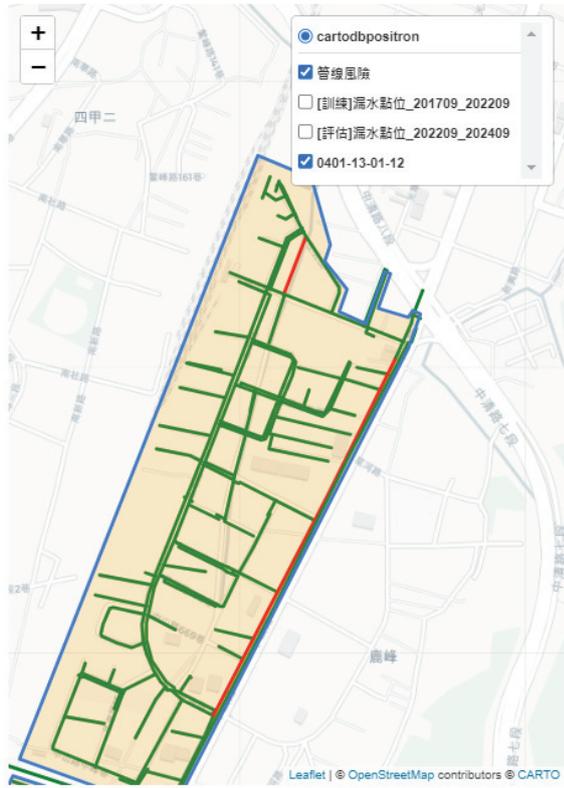


圖 8 WADA AI 機器學習法運算高風險管段評估到 2022 年

透過以上分析，可初步判定風險管段的位置，此方法簡單實用。接著利用模型將 NRW 從風險管段取出，假設極端情況下漏水集中於某段管線（雖然實際上漏水分散），以突顯能量變化。循環分配 NRW 於管網模型中（如圖 12），當分配至藍色箭頭管段時，各水壓監控點的實測值與模型值誤差逐步收斂，特別在節點 4、5、6 處。根據誤差最小值進行排序，表 3 顯示節點 6 的序位為 1，節點 4 和 5 誤差相同，序位均為 2。加總序位後，節點 4、5、6 的總序位最小，顯示這些節點可能最接近問題管段，與初步分析的結果一致。

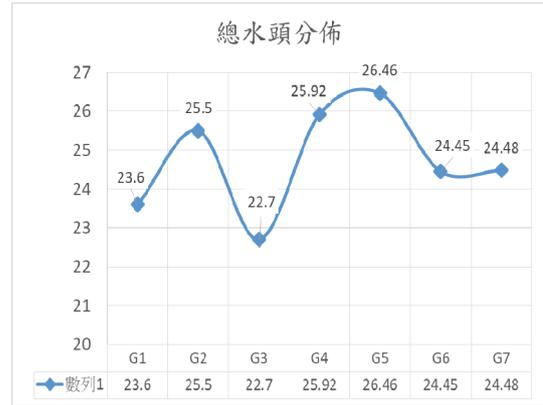


圖 9 清水小區總水頭分佈

表 3 水壓誤差序位法

	G1	G2	G3	G4	G5	總序位					
1	8.1%	8	-4.1%	6	6.9%	8	10.3%	9	-6.5%	4	35
2	7.1%	7	-1.8%	2	5.9%	7	9.6%	8	-4.8%	1	25
3	4.7%	6	-1.7%	1	3.4%	4	7.3%	7	-4.8%	1	19
4	0.7%	2	-5.7%	4	-0.7%	1	3.2%	6	-4.8%	1	14
5	0.7%	2	-5.7%	4	-0.7%	1	3.1%	5	-4.8%	1	13
6	0.5%	1	-5.9%	5	-0.9%	2	3.0%	4	-4.8%	1	13
7	-1.4%	3	-7.6%	7	-2.8%	3	1.0%	2	-6.5%	4	19
8	-3.6%	5	-9.6%	9	-5.1%	6	-1.3%	3	-8.5%	6	29
9	-3.3%	4	-9.3%	8	-4.8%	5	-0.9%	1	-8.1%	5	23
10	37.17%	9	-2.78%	3	42.17%	9	19.17%	10	-6.45%	3	34
11	41%	11	-3%	10	37%	10	20%	11	-6%	2	44
12	40%	10	-3%	10	37%	10	20%	11	-6%	2	43

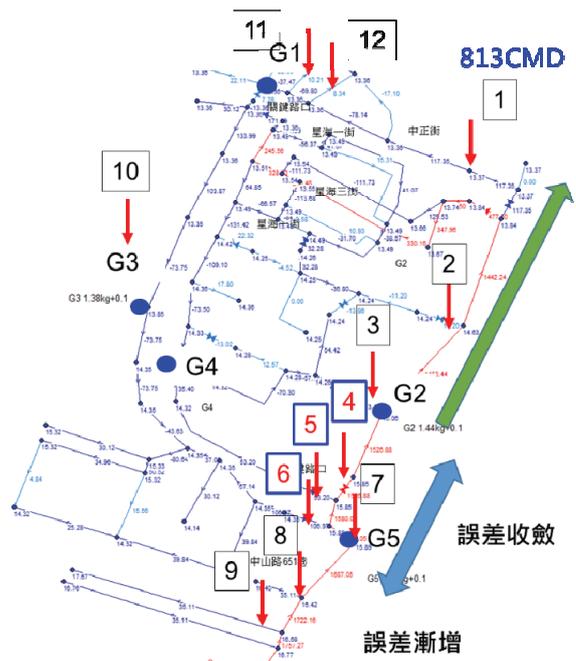


圖 10 循環分配示意圖

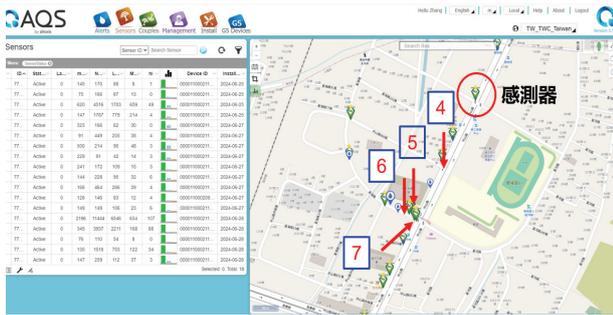


圖 11 線上式水聽相關儀佈點示意圖



圖 12 檢出漏水點示意圖

由圖 13 及 14 可以看出本公司管線皆在水溝或 PC 路面下方，因漏水聲音經過水溝中空氣及 PC 路面後傳遞到地面不易的因素，造成傳統的聽音檢漏音不易檢出，透過透過此次數值分析鎖定管段，再結合線上式水聽設備，因該設備為直接接觸管線漏水與



圖 13 點 1 漏水點照片

四、科技檢漏驗證

本次檢漏以線上式水聽相關儀進行漏水檢測，相較於傳統相關儀，線上式水聽相關儀可白天放置，遠端調控於夜間啟動檢測，因夜間水壓大且用戶用水干擾較少，另外傳統相關儀檢測距離在水壓 $1\text{kg}/\text{cm}^2 \sim 2\text{kg}/\text{cm}^2$ 塑膠管大約 50 米，線上式水聽相關儀檢測距離大約 200m。

分別安裝在之前分析的節點 4 及 5 及 6 之位置，放置之檢測日期為 113.6.25~08.20。並分別於 113 年 7 月 15 日檢出 200PVCP 漏水，於 113 年 7 月 17 日進行修復，於修復完成後又在 113 年 8 月 10 日檢出第 2 處 200PVCP，並於 113 年 8 月 20 進行修復漏水，檢出漏水點示意圖詳圖 12。



圖 14 點 2 漏水點照片

管壁之間的摩擦音藉由水直接傳導到感測器，可聽出傳統路面聽音不易聽漏之案件，並搭配本公司 AI 輔助漏水檢測技術成功檢出 200mmPVCP 關鍵漏水點兩處。

表 4 AI/線上式漏水點檢出數比較表

	AI 巡檢檢出件數(件)	線上式水聽相關儀檢出件數(件)
108 清水所 清水小區	10	6



圖 15 清水小區售水率趨勢

五、結論

本研究利用數據分析、模型運算及現代檢測設備結合的創新方法，成功改善了塑膠管材檢漏困難的挑戰。結合本公司自行研發的大數據系統 (WADA)、EPANET 模型及 AI 輔助漏水檢測技術，成功以非傳統之經驗檢漏方法，縮小漏水定位範圍，惟模型運算實務上在人工建模需耗費較多時間，需公司效仿北水處於圖資進行改造，提高建模效率，推廣較為可行，惟目前仍可採簡易總水頭概念法並採用線上式水聽相關儀，克服塑膠管材及路面特性限制，及搭配 AI 輔助檢漏技術，成功檢出 16 件漏水點，並有效提

升小區售水率。此方法以面現點的概念且可應用於較無檢漏經驗人員，為智慧水務發展提供創新參考。

作者簡介

林聖桓先生

現職：自來水公司總管理處漏水防治處工程師
專長：分區計量管網、主動漏水控制

吳俊銓先生

現職：自來水公司第四區管理處課長
專長：分區計量管網、管線設計、主動漏水控制

張錦東先生

現職：自來水公司第四區管理處漏水防治課
專長：分區計量管網、檢漏技術實務

趙言霖先生

現職：自來水公司第四區管理處漏水防治課
專長：分區計量管網、檢漏技術實務

以 ESG 數據治理為自來水事業創造永續競爭力

文/邱嘉南

摘要

現代企業管理者要在意的不僅僅是股東利潤，還要思考員工、消費者、社會等利害關係人的環境、社會影響。企業重視環境影響、社會公平、公司治理等 ESG 因素，使得營運管理更為挑戰、目標也更為多元。但這些多元的目標並不會彼此衝突，而應該是彼此加成。

企業的經營要轉向經濟導向(Profit)、環境(Planet)、社會(People)等目標，是充滿挑戰也帶來新的創新機會。ESG、碳排放、碳足跡等就是一種數據驅動的管理。企業將 ERP、智慧電表、供應鏈風險事件等轉換成數據，並與營運活動數據進行結合將以進行管理，降低風險成本、提高產品競爭力，甚至創造新利潤。ESG 不再是成本，而是一種商業機會!!(黃正傑,2024)

關鍵字：環境影響、社會公平、公司治理

一、ESG 創造企業競爭力

從 ESG 數據中怎麼創造公司的競爭力呢？以下從轉移環境風險成本、提升產品競爭力、釋放碳數據價值、創造碳數據資產等四個面向說明。

(一)轉換環境風險成本：

利用物聯網科技、智慧電表、數位系統整合等工具可以協助企業蒐集數據，了解公司、供應鏈的碳排熱點、ESG 數據等以滿足法規要求、進行相關處置，以轉換碳風險。

例如：鼎新電腦碳總管系統可以自動蒐集 ERP 數據以計算組織碳排放量、碳足跡數據、CBAM 等，滿足政府、歐盟、供應鏈法規需求。



圖 1 碳足跡數據轉換環境風險成本

(資料來源：鼎新電腦)

新創公司 RepRisk 是一家位於瑞士蘇黎世的环境、社會和公司治理數據科學的公司，利用生成式 AI 綜整供應鏈、企業各種風險事件數據，提出預警，以轉化環境風險。

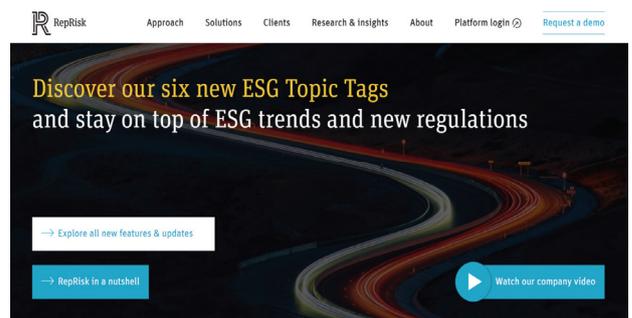


圖 2 RepRisk 公司網站

(二)提升產品競爭力：

利用數據可視化、分析或預測等，進一步協助提高產品的競爭力或者發展綠色產品。利用數位孿生技術、綠色產品設計工

具，可以將產品原料綠色數據進行計算，以設計符合市場需求的綠色產品，提升產品競爭力。也可以利用公司及供應商數據庫，模擬與計算設計選項(成分、包裝、採購等)對於環境、社會的影響，以設計綠色產品。

隨著科技的進步，能源管理系統(EMS)的數據分析不僅提升了企業運營效率，也逐漸影響到我們每個人的生活。這些系統利用 AI 與機器學習技術，對海量歷史數據進行深入分析，從而預測設備故障和優化能源使用。透過先進的預測性維護技術，可以在設備出現問題之前就獲得警告。如果您所依賴的電力供應商能夠提前預測變壓器可能出現的故障，那麼他們就可以在問題發生前安排必要的維修工作，有效避免停電情況。同時，這樣也能減少意外損失，提高整體系統可靠性。在節能方面，一些公司已經開始動態調整其能源分配策略。Google DeepMind 利用強化學習來優化數據中心冷卻系統，使得該設施的能耗減少了 40%。這不僅降低了運營成本，也為環境保護做出了貢獻。在日常生活中，即使是小型企業或家庭用戶，也可以考慮使用智能家居裝置來監控和優化自身用電模式，以便掌握每日用電趨勢，提高節能效果。

(三)釋放碳數據價值

ESG、碳數據也可以進一步分享、交易，產生碳數據的價值。例如：再生能源數據可以透過儲存、交易等，產生新的價值。

Fuergy 新創自稱是再生能源的 Airbnb，利用 AI 技術、區塊鏈技術進行再生能源交易，協助企業在低能源價格時儲存電力、價

格較高時候出售電力，以協助企業賺取利潤。如同該公司的網站首頁所揭示的 New dimension of energy optimization，提供智慧電池解決方案，由電池、逆變器或 BMS 等第三方硬體元件以及 FUERGY 專有的控制單元和電源合併器組成。該系統包括基於軟體平台 mosAIc 構建的能源管理應用程式。經過認證的 FUERGY 安裝合作夥伴會安裝電池、設定系統並連接，耗能設備、綠色能源或智慧型充電器。透過該公司的人工智慧系統，可以了解工廠的能源消耗並創建耗能的行為模式。



圖 3 FUERGY 公司網站

Recytrust 公司運用物聯網技術發展回收物重量秤，隨時監測回收物類別、重量等數據，並進行回收物的拍賣、運送、處理，協助企業從廢棄物中提煉價值。



圖 4 Recytrust 公司網站

(四)創造碳數據資產

ESG、碳數據也可以進一步轉變為數據資產、數據商品等，以進行交易或創造價值。Toucan 公司透過區塊鏈進行碳權交易，並進行代幣化、轉換成 NFT 資產。

碳權通常指的是大氣中一公噸二氧化碳排放量。碳交易市場主要分成強制性市場與自願性市場。在強制性市場中，由政府建立管制與交易制度，並依不同產業、企業核配排放額度。如果企業碳排放超過額度，便需要於市場購買碳權，彌補超額排放；如果排放低於額度，則剩餘的額度能夠轉為碳權出售。強制性市場將受到政府管制。自願性市場中，未受到管制者可以透過各種減碳專案，如：造林、再生能源或碳捕捉等專案，經過第三方認證機構透過 VCS 或 Gold Standard 等標準來認證專案所產出來的碳權，又稱為「碳抵換」(Carbon Offset)，可以在市場中交易。

但是一般人不容易參與碳權市場，也就是購買方式最大的問題在於流動性不足。經由該公司所創建的碳橋樑將碳權上鏈，將碳權代幣化後，任何人都能接觸到原本不易取得的碳權，使得流通更順暢、使用更有效率。

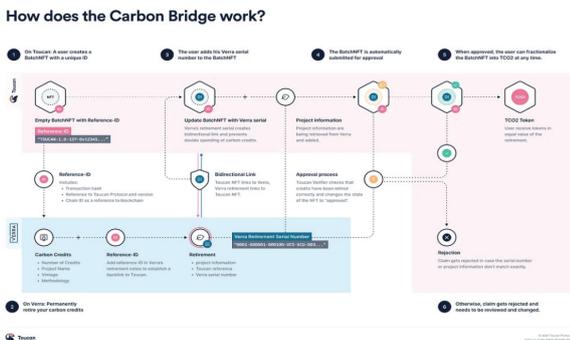


圖 5 Toucan 公司的區塊鏈碳權交易

CelsiusPro 是瑞士綠色金融保險科技新創公司，專注於提供氣候變化、自然災害等風險分析，每天蒐集超過 1.8 億個全球環境、天氣、災損資料，提供金融保險機構進行資產的鑑價與分析。

該公司致力於幫助私人和公共組織了解並減輕氣候和自然災害風險的財務影響。其保險科技平台將氣候數據和風險建模相結合，開發解決方案，使保險公司和經紀人能夠分銷和管理參數保險。透過其諮詢服務，CelsiusPro 提供自然氣候風險評估、災害風險融資以及保險計劃的建構和風險建模。

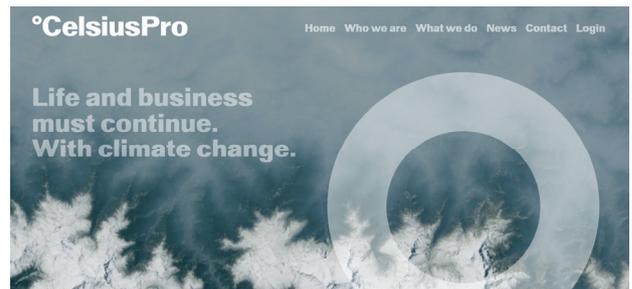


圖 6 CelsiusPro 公司網站

二、透過數據分析制定符合永續發展目標

在當前全球關注永續發展的背景下，企業與組織面臨著制定與實施相符的策略挑戰。掌握數據分析技術，可以為這些策略的制定提供強有力的支持，從而提高其有效性和可持續性(藍訊科技股份有限公司)。

數據收集是建立成熟分析體系的第一步。企業可以通過多種渠道聚集相關數據，包括市場調查、消費者反饋、環境影響評估以及產業趨勢分析等。整合來自內部和外部的數據源，不僅能夠揭示當前業務運行的狀

況，還能夠識別出在追求永續發展過程中可能面對的挑戰與機會。

數據分析進一步可以幫助企業確立關鍵績效指標 (KPIs)，用以衡量其在追求永續發展目標上的進展情況。透過量化具體目標，例如減少碳排放、提高資源回收率或增強供應鏈的可持續性，企業能夠將宏觀的永續發展理念具體化，並在定期的評估中追蹤進步。

再者，利用預測分析工具，企業能夠根據歷史數據和當前趨勢預測未來的市場走向與消費者行為。這種資訊不僅使組織能夠及時調整其策略，還能使其在不斷變化的市場環境中保持競爭力。特別是在永續發展領域，對潛在風險的前瞻性分析將助力企業在政策變化和市場需求波動中，快速做出反應。

實施方案後，持續的數據監測和分析也是不可或缺的。建立動態的數據反饋機制，可以讓組織隨時掌握已有策略的執行效果，進而做出即時調整。例如，透過實時數據儀表板，對於資源消耗、社會影響等關鍵指標進行監控，以便及早識別並解決問題。

最後，企業在整合數據分析與永續發展策略時，應注重與利益相關者的溝通與合作。所有參與者的意見和建議，不僅能增強策略的全面性，也能提高其執行的效果與透明度。搭建有效的交流平台，促進知識分享，並增強整體社會責任感。

綜上所述，利用數據分析制定永續發展策略不僅可以提升企業的市場競爭力，還能促進環境與社會效益的最大化。面對全球挑戰，唯有深入、多元的數據應用，才能為可

持續的未來奠定堅實的基礎。

三、由數據分析制定符合永續發展目標的策略

(一)整合數據技術以提升 ESG 評估的準確性與效率

在當前的商業環境中，環境、社會和治理 (ESG) 已成為評估企業表現的重要指標。隨著投資者和消費者對企業社會責任的關注與日俱增，企業面臨著更高的透明度要求。因此，如何提升 ESG 評估的準確性與效率便成為一項重要任務。整合數據技術可望成為解決這一挑戰的關鍵。

利用數據分析技術，企業能夠自動化收集和分析大量的 ESG 相關數據。通過運用資料挖掘技術，企業可以從多種來源（如社交媒體、新聞報導及財務報告）中篩選出重要的 ESG 指標，這種高效的數據處理方式不僅能夠縮短評估時間，還能提升數據的準確性，避免人為錯誤。

同時，建立一個中央數據庫，使各部門能夠共享 ESG 數據，有助於提升整個企業的決策能力。各部門所收集的數據經過統一整合，可以提供更全面和深入的分析，幫助企業識別風險及機會。例如，在環境相關指標方面，電力使用量、廢棄物管理和材料的回收率等數據若能集中管理，企業便能更精確地評估其環境影響。

結合人工智慧技術，企業能透過演算法進行預測分析，從而制定出更具針對性的 ESG 政策。透過機器學習，自動分析歷年數據趨勢，以便預測未來可能的 ESG 風險，幫助企業提前制定應對策略。這不僅增強了企

業在 ESG 評估過程中的靈活性，同時也提高了整體風險管理能力。

除了技術層面的提升，企業在進行 ESG 評估時，還需考量利益相關者的期望。透過數據分析，可以更清晰地識別出消費者和投資者對 ESG 的關注點，進而布局相關的策略以滿足這些需求。企業可藉此機會進行品牌提升，強化與客戶及投資者之間的信任關係。

整體而言，運用數據技術不僅能提升 ESG 評估的準確性和效率，也能幫助企業適應市場變化，增強競爭力。面對未來，企業若能持續優化其數據管理和分析能力，必將在 ESG 領域取得更顯著的成效，進而提升其整體價值。

(二)建立有效的數據共享機制以強化 ESG 合作與發展

在當前全球可持續發展的背景下，企業對於環境、社會及公司治理（ESG）議題的重視日益增加。為了有效推動 ESG 發展，各機構之間建立起數據共享機制，能夠大大提升合作的成效和資源的利用效率。透過數據的透明化與共享，各方能夠更精確地追蹤進展，並共同克服挑戰。

數據共享機制的設計需考慮到信息的準確性和可靠性。參與的各方應建立統一的數據標準，以確保信息的一致性及可比性。這不僅能增進對彼此行為的理解，還能共同制定應對策略，提升集體影響力。

進一步說，數據安全性是處理數據共享過程中不可忽視的一環。機構需明確數據存取權限，並採用加密技術保障數據的安全，防止未經授權的訪問和洩漏。透過建立信任

機制，各方可更放心地共享數據，進而促進合作。

另外，利用科技工具來支援數據共享亦至關重要。採用雲端技術和區域鏈等先進技術，可以有效提升數據共享的效率和可靠性。這些技術不僅能加速數據的傳遞，更能增強數據的透明度和追溯性，進一步提升 ESG 績效的評估準確性。

在推行數據共享機制的過程中，建立良好的溝通管道同樣重要。機構間需定期舉行會議，分享各自的數據使用情況及遇到的挑戰，從而在合作中形成共識，並共同探索更好的解決方案。同時，這類互動也能促進創新，激發新的合作機會。

強化數據共享不僅是提升 ESG 表現的需要，還能促進各行業之間的協同合作。跨界合作將使不同領域的專業知識得以交流，共同應對全球面臨的重大挑戰，如氣候變遷和社會不平等。只有通過協作，才能實現可持續發展的長期目標。

總之，數據共享機制的建立是推動 ESG 合作發展的關鍵。各方需攜手合作，制定切實可行的策略，確保數據的準確、透明與安全，藉此推動整體 ESG 績效的提升，引領可持續發展的未來。只有共同努力，才能迎接未來的挑戰，實現社會、環境和經濟的和諧共生。

四、協助自來水事業 ESG 數據治理的技術

(一)AIoT 技術

物聯網、大數據、AI、雲端運算、區塊鏈等技術在協助數位轉型上有許多成效，同

樣地可以協助 ESG 數據治理、永續轉型。例如：透過物聯網技術，可利用數位電表即時監控設備用電消耗量與異常並能計算時間電價，以安排最佳生產排程乃至於訂定具競爭力的產品定價。例如：專業代工廠 JABIL 即將電力用量進行數據，減少人物手動輸入的錯誤並能夠即時監視全球各工廠電力使用狀況，並追蹤與促使減碳。透過自然語言技術，可以進行永續評估、法規遵循等，以解決 ESG 多種衡量標準問題。例如：新創公司 Sensefolio 使用自然語言分析社群媒體、公司評論報導等不同數據來源，可以根據 150 個 ESG 指標評級全球 20,000 多家公司 ESG 等級。運用區塊鏈技術則有助於提供數據可信度以進行交換乃至於交易。例如：新創公司 ClimateTrade 是基於區塊鏈的碳信用交易平台，提供企業進行全球綠色專案碳抵換，並可串接金融、旅遊服務等，提供每一次消費的碳抵換。ClimateTrade 並發行碳抵換區塊鏈證書，以確信碳抵換行為。ESG 趨勢下，企業勢必朝向 3P 營運目標發展滿足經濟、環境、社會的平衡。3P 營運目標(註)發展或永續轉型牽涉到複雜的數據治理問題，有待運用 AIoT 等技術融合財務、物料、環境、社會等數據以進行智慧化發展。數位轉型與永續轉型並不是雙頭馬車，而是碳、財與治理數據一體的融合轉型。

(註：獲利 Profit、地球生態環境 Planet、以及人權、公平、員工福利等社會人際因素 People，Profit、Planet、People 的三種企業目標，稱為「永續企業 3P 目標」，用以引導企業 ESG 及永續轉型。)

(二)智慧水網

伴隨著資通訊技術進步，及自動讀表系統的導入，利用網路進行傳訊，降低維護費用。在系統應用與管理目標上，擴大系統的使用範圍，並向外與其他系統介接，如小區管網 (DMA) 系統、地理資訊 (GIS) 系統，組合成供水監測資訊平台，整合管網上各項數據 (水量、水壓、閥栓、水位等)，促使水資源的使用能更具效率性。

智慧水網為當代物聯網應用的一環，涵蓋的範圍除了自來水的供水事業，包含用戶端應用、再生水處理、水權管理等等，協助管理者解決排澇、蓄水、供水、節水等問題。在水的輸送或利用過程中，加入感測元件並賦予其通訊能力，經由穩定傳訊網路，蒐集水在各個使用階段的數據與狀態，利於即時監測或數據分析利用。在自來水供水事業的應用中，智慧水網的應用核心以穩定供水為主，並以降低漏損作為策略手段，進一步協助決策支援，使水資源的供需調度達到平衡 (范惟翔，張滄煊，2017)。

目前北水處以既有各系統為基礎架構、WebGIS 結合 EPANET 模式方式導入水理模型，搭配用戶水表換裝智慧水表；連江縣自來水廠以數據分析為主軸，包含漏水潛勢分析、設備傳輸管理、水質最佳化分析、能耗管理、水源調度、用戶用水分析等；金門縣自來水廠智慧水網則以整合 GIS 管網圖資、供水監控及水費系統等為目標 (黃心怡等，2022)。

北水處持續推動智慧水表 (Smart Water Metering) 安裝，配合自動讀表系統 (Automatic Meter Reading) 回傳用水數據，所累積的數據

隱含用戶用水行為、水量供需狀況，如配合在表前裝設壓力計，作為管網水壓之代表性數據，取代之為管網水壓監視點；遇有用戶反映供水異常時，依密集的壓力實測點位，作為管網供水異常的研判依據。調配供水時，以用戶智慧表前壓力計，搭配周邊其他適當地點具有無線回傳功能之壓力計，直接讀取壓力數值取代派員至現場觀察消防栓水壓，減輕人員調度上的負擔。執行過程中亦可縮短時間，也降低執行過程中外勤同仁安全上的風險。調配供水完成確認當下的調整結果符合原定目標，以往缺少長時間觀測的機制，常遇有用戶在現場人員操作制水閥的過程詢問相關問題，如後續該用戶發覺供水水壓不如以往，常會造成不必要的誤會。使用無線回傳設施可持續記錄，進一步由長時間紀錄值確認全時段用水狀況是否符合原定目標，避免由用戶端發現問題再提出反映(吳幸璋，2022)。

(三)文件 E 化

透過減少紙張的使用，進而降低溫室氣體的排放量，可減少辦公室或企業對環境的直接影響。改變以往我們仰賴紙張所使用的舊系統的習慣，建立無紙化的工作環境，也同時降低了耗材和硬體設備的成本。將實體表單數位化，由電子表單系統化管理讓資料匯整的效率提昇。透過 PC、行動裝置的應用，查調調閱文件容易，快速且精準完成填寫及回傳的動作，提升資料彙整及同步的效率。現場或臨櫃客戶的簽名採電子化作業，簽署者能更直覺的完成簽署，大幅降低簽署錯誤率之餘，省去紙本簽名的繁縟流程。也不必擔心紙本資料因保存過久，發生資料毀

損導致模糊不清的狀況。使用實體印鑑或指紋按壓用印，符合電子簽章法以最高規格加密及保存技術確保資料安全性。將實體表單數位化，由電子表單系統化管理讓資料匯整的效率提昇。透過 PC、行動裝置的應用，查調調閱文件容易，快速且精準完成填寫及回傳的動作，提升資料彙整及同步的效率。

五、ESG數據治理的挑戰

世界經濟論壇 WEF 的科學家認為氣候變遷進入「未知的領域」(uncharted territory)，亦即不可預測的風險持續存在。氣候變遷導致的航運受阻、糧食短缺、缺電、原物料上漲均嚴重地影響企業營運與獲利；政府法規，諸如：溫室氣體盤查與永續報告書、CBAM 歐盟碳關稅以及上下游供應鏈、綠色融資等，亦成為企業營運風險。在永續競爭新時代下，企業目標應該不僅僅思考獲利 (Profit)，還應該考慮地球生態環境 (Planet) 以及人權、公平、員工福利等社會人際因素 (People)，以因應各種氣候變遷帶來的挑戰。

事實上，這三種目標代表著對於自然、人造資源等不同面向管理，相互關聯也要有所取捨。例如：從物料面向，必須考慮上游物料的碳排放量或有毒性的環境因素；也要考量物料品質、物料成本的獲利因素；進一步，還要考慮取得物料過程的勞動合規、公平貿易等。從能源面向，考慮設備用電碳排放量的環境因素，也要考慮用電成本、設備成本以及勞工的操作安全等社會人際因素。以此，如同電腦 E 化將財務、物料數位化以發展財務管理、物料管理系統，可以將

油氣水電乃至於土地自然資源以及勞工、顧客等利害關係人、治理資訊進行數據化管理。不過，要將這些資源進行數據化管理並不容易。原因有三：其一，數據種類繁雜且來源多元，例如：能源耗用量、冷媒散逸量、員工通勤出差不同運輸工具的碳排放量等，如何蒐集與衡量？其二，數據提供者、所有權並不相同，例如：上游原物料的碳排來自於供應商、使用產品用電量或耗水量來自於顧客，如何分享或交換？其三，數據評估標準不同且複雜，例如：不同監管機構數據衡量方式不同；CDP、TFCD、GRI、SASB 等不同報告格式；不同行業別衡量重點、金融或投資機構的評估方向亦不同。以此，ESG 或永續 3P 目標管理的數據治理充滿挑戰。(黃正傑，2024)

結語

隨著永續發展成為全球關注的焦點，企業面臨越來越多的壓力，必須妥善應對環境、社會及企業治理（ESG）相關議題。企業在整合數據以增強其 ESG 表現上，須具備系統性的策略，以確保其行動不僅能符合當前政策及法規，更能真正落實永續發展的理念。

首先，企業應建立一套完整的數據收集系統。此系統需能從內部及外部來源獲取相關的 ESG 數據，包括能源使用、碳排放、社區影響等。透過數據自動化工具，企業可以更有效率地收集和分析這些數據，從而獲得更具預測性的信息，幫助其制定更具前瞻性的策略。

除了內部數據，企業還應關注外部的

ESG 評級機構及報告。這類資料提供了市場對該企業永續發展表現的即時反饋，有助於企業調整策略以提升自身形象和競爭力。例如，企業可以參考全球報告倡議組織（GRI）的標準來制定自身的永續發展報告，這樣不僅能增強透明度，還能與國際最佳實踐接軌。

企業在提升 ESG 表現的同時，也應注重利益相關者的參與。透過問卷調查、座談會等方式收集員工、顧客及社區居民的意見，這些信息不僅能夠豐富企業的數據庫，還能讓企業在決策中考慮更多不同的需求與聲音。這樣的互動不僅能強化企業與社會的關係，還能提升企業的社會責任感及品牌美譽度。

鑑於永續議題的重要性，企業若能有效整合並利用數據，便能在未來的市場競爭中立於不敗之地。持續關注 ESG 表現不僅是社會責任的需求，更是企業長期發展所需的策略方針。只有通過科學的數據決策，企業才能確保在推動業務增長的同時，也能為社會帶來正面的影響。

參考文獻

1. 范惟翔，張滄煊，《智慧水網 APP 供水資訊服務創新管理之應用研究—以自來水公司第五區管理處為例》，〈商管科技季刊〉第十八卷第四期，2017。
2. 吳幸璋，《智慧水表搭配自動讀表系統於供水管網中的應用》，〈自來水會刊〉，第41卷第2期(162)，2022。
3. 黃心怡、林美良、江淑惠、曾彥中、陳柔安、林郡習、蘇荷婷、莊立偉，《澎湖馬公智慧水網系統規劃簡介》，〈自來水會刊〉，第 41 卷

第 2 期(162)，2022。

4.黃正傑,《碳數據如何轉換為企業競爭力》,2024

5.<https://www.digiknow.com.tw/knowledge/66fb6980bf1f6>

6.黃正傑,《ESG 數據治理,創造永續企業競爭力》,2024

7.<https://www.cio.com.tw/esg-data-governance-to-create-sustainable-business-competitiveness/>

8.藍訊科技股份有限公司,《永續議題攀升的重要性:企業該如何整合數據以增強ESG表現?》2024

9.<https://esg.bluesign.com.tw/esg-data-analytics/>

作者簡介

邱嘉南先生

現職:臺北自來水事業處淨水科

專長:供水、防災、資訊處理

中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法

中華民國 105 年 8 月 26 日第十八屆第八次理監事聯席會議審議通過

一、目的

為鼓勵本會會員踴躍發表自來水學術研究及應用論文,以提升本會會刊研究水準,特設置本項獎勵辦法。

二、獎勵對象

就本會出版之一年四期「自來水」會刊論文中分「工程技術」、「營運管理」、「水質及其他」等類別,分別評定給獎論文,每類別以 2 篇為原則,每篇頒發獎狀及獎金各一份,獎狀得視作者人數增頒之。

三、獎勵金額

論文獎每篇頒發獎金新臺幣壹萬元整,金額得視本會財務狀況予調整之。
上項論文獎金及評獎作業經費由本會列入年度預算籌措撥充之。

四、評獎辦法

(一)凡自上年度第二期以後至該年度第二期在本會「自來水」會刊登載之「每期專題」、「專門論著」、「實務研究」及「一般論述」論文,由編譯出版委員會於每年六月底前,每類別推薦 3-4 篇候選論文,再將該候選論文送請專家學者審查 (peer-review),每篇論文審查人以兩人為原則。

(二)本會編譯出版委員會主任委員於每年七月底前召集專家學者 5 ~ 7 人組成評獎委員會,就專家審查意見進行複評:

- 1.評獎委員以無記名投票,每類別論文勾選至多 2 篇推薦文章,每篇以 1 分計算,取累計分數較高之論文,至多 2 篇,為該類給獎論文。
- 2.同一類別如有多篇文章同分無法選取時,以同分中專家審查總分數高低排序,分數再相同,則由評獎委員以無記名投票方式決定。

(三)選出給獎論文,報經本會理監事會議通過後公佈。

五、頒獎日期

於每年自來水節慶祝大會時頒發。

六、本辦法經由本會理監事會議通過後實施,修訂時亦同。

自來水管線漏水偵測案例分享－透地雷達技術 應用之實務探討

文/蘇怡昌、張錦東

摘要

本研究探討透地雷達(Ground Penetrating Radar, GPR)技術於台水公司管線漏水檢測作業之應用潛力,並結合「面－線－點管理」策略進行實務分析。

傳統聲學法雖為檢測漏水主流技術,惟在低壓管網、噪音環境、特殊管材及複雜地層等條件下,面臨定位困難與作業效率低落之挑戰。隨著分區計量管網(DMA)普及,管線漏水管理已開啟以「面」管理之局面;利用 GPR 可針對 DMA 之可疑區域進行快速掃描,藉由偵測土壤含水量、空隙或回填異常等特徵,初步篩選疑似漏水區段(線),進而縮小需進行聲學精查之範圍(點),實現分層次的檢測漏水流程。

本文說明 GPR 原理與訊號特性,並透過國內外研究與實地案例回顧,說明 GPR 技術於自來水漏水偵測作業中,作為聲學法之輔助工具具可行性與推廣價值。

關鍵字: DMA、分區計量管網、透地雷達、GPR、檢測漏水

一、自來水管線漏水偵測：聲學法與透地雷達之技術互補

在台灣自來水公司(下稱台水公司)之管線漏水檢測作業中,長期以來主要依賴聲學技術作為偵測手段。無論是漏水聽音器、噪音紀錄器、二點或多點相關儀、時間積分紀錄儀,或是投入管線中的水聽探頭及漂流

球(Smart-Ball)等設備,皆係透過偵測漏水時所產生之聲波或震動訊號,以定位管線破損位置。

然而,聲學法於實務應用中仍存在若干限制,特別是在以下情境:

- 低壓力之管網系統
- 地面噪音大、交通繁忙之都市環境
- 特殊管材(如 PSCP、PCCP 等)因材質特性導致聲波傳導效果不佳
- 道路回填材料鬆散或多層異質地層(如人行道)影響聲波傳遞

此外,聲學檢測需人員沿管線逐步確認異音,或必須投入大量時間與人力進行相關設備之布設;加上偵測點需依賴管線附屬設施配置,進一步提高了檢測難度與作業成本。

近年來,台水公司已普遍建置 DMA(分區計量管網),以掌握大範圍管線區段之漏水情況,開啟所謂「面管理」的作業模式。理想上,漏水檢測作業應能從面(DMA 區域)進一步縮小至線(可疑管段),最終精確定位至點(漏水點)。然而,由於單一 DMA 區域往往涵蓋 4 至 30 公里不等的管線長度,若僅依 DMA 流量異常,無法即時辨識出具體漏水管段,仍須大量人力投入逐段巡查。過去筆者亦曾提出「暫時 DMA 重分區測試(Temporary DMA Rezoning Test)」之可行性分析,期望透過簡化操作、縮短時間的方

法，快速鎖定可能漏水區段，以提高檢測效率。

在此背景下，透地雷達技術（Ground Penetrating Radar, GPR）成為一項具潛力的輔助工具。GPR 原廣泛應用於地下設施探測與地質調查，具備非破壞性、可視化地下介質異常變化之特性。雖然 GPR 無法直接精確定位漏水點，但能夠藉由偵測因漏水而產生之土壤含水量變化、空隙或回填層異常，快速篩選出疑似高風險區域。隨著透地雷達設備之移動速度持續提升，可於短時間內完成大範圍掃描，協助檢測人員縮小後續採取聲學檢測範圍，提升整體漏水查證作業之效率與精準度。

本研究即以台水公司管網為例，探討透地雷達應用於自來水管線漏水篩查之可行性，並透過實地案例分享，分析其成效與限制，以作為未來漏水檢測技術應用與整合之參考。

二、透地雷達（GPR）漏水偵測的原理

（一）透地雷達漏水偵測原理

透地雷達是一種非破壞性檢測技術，主要透過發射高頻電磁波進入地表或結構體中，並接收由不同材質介面反射回來的信號，以判斷地下或結構內部的物理狀況。

透地雷達系統由一組或多組發射與接收天線所組成，當發射天線釋放高頻（一般為 10 MHz 至 2.6 GHz）電磁波時，因為電磁波能穿透地下介質，同時在遇到不同介電常數的物質交界面（如土壤、岩石、水、金屬、空洞等）時產生部分反射。這些反射波

由接收天線接收，經由資料處理後可生成雷達波剖面圖，顯示地下結構或異常區域。

透地雷達接收天線所接收到的電磁波強度，主要取決於不同介質之間介電常數（Dielectric Constant）差異的程度。當電磁波傳播至介電常數不同的介質交界面時，會產生部分反射與部分穿透的現象。其中，反射波與入射波振幅的比值稱為反射係數（Reflection Coefficient, R），其大小可用下式(1)表示：

$$R = \frac{A_r}{A_i} = \frac{\sqrt{\epsilon_a} - \sqrt{\epsilon_b}}{\sqrt{\epsilon_a} + \sqrt{\epsilon_b}} \quad \text{式(1)}$$

在式(1)中

A_r ：反射波振幅

A_i ：入射波振幅

ϵ_a ：在介質 a 的介質常數

ϵ_b ：在介質 b 的介質常數

簡而言之，反射波強度與兩層材料之間介電常數的差異成正比。各種土質或材料的介電常數可透過「實驗室量測」、「現地量測」、「經驗公式估算」或「GPR 資料反演算」等方式取得，詳表 1。

由於水的介電常數相當高（約為 81），當土壤含水時，其整體介電常數會產生顯著變化，進而導致反射波強度明顯提升。這也解釋了為何在含水量變化較大的區域，GPR 訊號特別敏感。

當電磁波穿越不同種類或不均勻分布的土壤時，若介電常數差異不大，其反射情況可能不會出現明顯變化；然而，若某一區域的土壤含水率與周遭地區明顯不同，則 GPR 系統所接收到的電磁波反射訊號將呈現明顯差異，詳表 2。

表 1 各種介質中的電性與波速之關係 (100MHz)

介質名稱	導電度 (S/m)	介電常數	波速(m/ns)
空氣	0	1	0.3
純水	0.5	81	0.033
瀝青	-	3~6	0.12
混凝土	-	6~11	0.10
乾砂	0.01	3~5	0.15
飽和濕砂	0.1~1	20~30	0.06
壤質乾土	0.11	2.5	0.19
壤質濕土	21	19	0.07
砂質乾土	0.14	2.6	0.19
砂質濕土	6.9	25	0.06
黏質乾土	0.27	2.4	0.19
黏質濕土	50	15	0.08

資料來源：編改自 Ulriksen, 1982; Davis and Aannan, 1989[1]

表 2 電磁波遭遇異種介質之反射係數

介質(1)/介質(2)	介質(1)至(2)	介質(2)至(1)
空氣/瀝青	-0.27~ -0.42	0.42 ~ 0.27
瀝青/乾砂	0.17 ~ -0.12	0.12 ~ -0.17
瀝青/壤質乾土	0.22 ~ 0.05	-0.05~ -0.22
瀝青/砂質乾土	0.21 ~ 0.04	-0.04~ -0.21
瀝青/黏質乾土	0.23 ~ 0.06	-0.06~ -0.23
砂質乾土/壤質乾土	0.01	-0.01
黏質乾土/壤質乾土	-0.01	0.01
壤質乾土/壤質濕土	-0.47	0.47
砂質乾土/砂質濕土	-0.51	0.51
黏質乾土/黏質濕土	-0.42	0.42

資料來源：筆者由表 1 及式(1)計算得出

上表的計算結果、數值意義簡略說明即是，假設電磁波從壤質乾土 ($\epsilon_1=2.5$) 垂直入射到壤質濕土 ($\epsilon_2=19$):

$$R = \frac{\sqrt{2.5} - \sqrt{19}}{\sqrt{2.5} + \sqrt{19}} \approx \frac{-2.78}{5.94} \approx -0.47$$

| R | =0.47: 反/入射波振幅比例約 47%

R<0: 相位發生反轉(電場方向相反)

上述所列之計算數值，係基於雷達波反射現象進行初步評估，尚未納入電磁波干涉現象、訊號衰減常數以及介質導電率等影響因子。惟此類物理性質將可能對雷達波於不同介質間傳遞之強度與解析度產生干擾，進而影響剖面圖之判釋結果與準確性。

(二)透地雷達在漏水偵測的應用研究

透地雷達為一種成熟的非破壞檢測設備，廣泛應用於地質調查、土木結構評估、道路鋪面分析、考古研究及地下管線探測等領域。其偵測原理主要根據電磁波於不同介質中傳播時產生的反射與折射行為，藉由分析回波訊號於雷達剖面圖中的特徵變化，推估地下目標物之材質、幾何形狀與空間分布。然而，儘管 GPR 技術應用領域廣泛，實際應用於地下管線漏水偵測方面之研究相對較為有限。

現有文獻多以實驗室控制環境或標準材料砂箱模擬為主，對於真實場域中複雜介質環境下之電磁波反應與漏水行為的關聯，尚缺乏系統性的實證探討與驗證。

例如，Hunaidi 與 Giamou^[2] (1998) 應用 GPR 探測地下塑膠配水管漏水情形，透過分析滲漏區域與乾燥區域之雷達影像差異，進行初步判釋；Eyuboglu^[3] (2008) 使用頻率為 1GHz 的探地雷達來檢測地下供水管系統中的管線和洩漏的可能性。

值得注意的是，林子堯^[5](2013)以 1 GHz GPR 應用於標準砂與水泥砂漿中進行含鋼

筋管線之漏水模擬實驗，並結合電磁波反射特性與等效相對介電常數變化進行分析。其研究顯示，在控制性環境下所推估之介電常數變異，與實際漏水區域具有良好對應關係，驗證透地雷達在理想環境中對漏水分布具有辨識潛力。

此外，鄭哲鴻^[6]（2019）則將 GPR 應用於分析道路底層滲水行為，藉由雷達剖面評估滲流水路徑與影響範圍，提供後續工程對症處置之依據，進一步展現其在地下水文環境中的應用價值。

三、案例研究設計與分析

本研究所採用之透地雷達設備為美國 GSSI (Geophysical Survey Systems, Inc.) 公司製造，型號為 UtilityScan，設備機號為 1260，搭配之發射天線中心頻率為 350 MHz。根據該頻率所對應之波長與電磁波穿透特性，其理論探測深度可達 5 公尺以上，足以涵蓋多數自來水管線埋設深度，並能獲取相對完整且具解析度之反射訊號。本研究之雷達數據後處理作業，係使用 GSSI 公司所開發之專業 GPR 資料處理軟體 RADAN 7 (軟體版本型號：FGWINRAD7) 執行，處理內容包含剖面影像視覺化、背景雜訊濾除、增益調整與反射特徵強化等步驟，以提升異常訊號之辨識度與剖面判釋的準確性。

(一) 案例研究設計

選定研究案例 A：位於台中市后里區中和里中和路 68 號左近，該處已由台水公司第四區管理處(下稱：四區處)檢漏人員測得一處疑似漏水位置(圖 1 水字號處，位於測線 A2)。

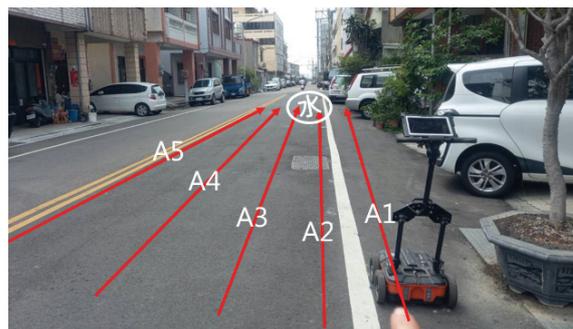


圖 1 研究案例 A 疑似漏水位置及測線示意圖

本研究案例 A 針對已知疑似漏水路段進行透地雷達測試作業。A2 測線規劃通過疑似漏水位置，總長約 20 公尺，漏水點位於測線正中央，範圍涵蓋四區處檢漏人員所預判之異常區域。為獲取更完整之地下異常分布資訊，另設置 A1 測線，平行於 A2 測線，並向住宅側偏移約 1 公尺。後續 A3、A4 及 A5 測線則依相同原則向道路中心方向平行布設，測線間距均約為 1 公尺，藉由建立多條橫向剖面資料，以利分析異常訊號之分布趨勢與空間範圍。

研究案例 B 選定位於台中市后里區厚里里柑宅路 5-1 號附近，該路段疑似漏水管線，依據現場鄰近溝渠推斷應埋設於道路側溝底部。由於現場位於 T 字路口，測線長度規劃為 14 公尺，漏水疑點位於約掃描起點 4 公尺處。各測線配置如圖 2 所示，彼此間隔約 1 公尺，並依序編號。

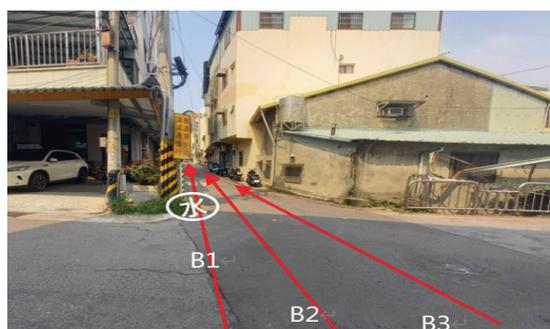


圖 2 研究案例 B 漏水位置及測線示意圖

研究案例 C 選定於台中市清水區民治東路 271 巷 36 號附近，測線長度規劃比照研究案例 A。各測線配置如圖 3 所示。

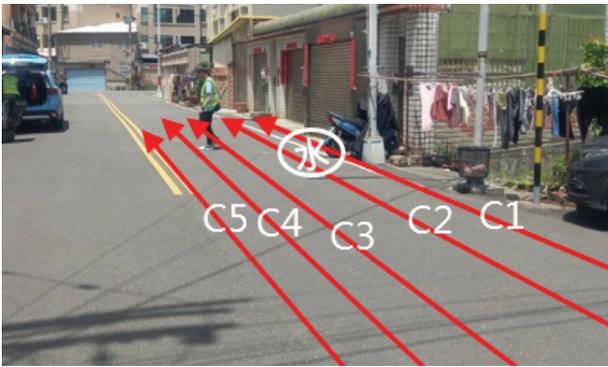


圖 3 研究案例 C 漏水位置及測線示意圖

研究案例 D 測試地點選定於台中市梧棲區台灣大道九段 80 號附近。由於現場環境受限(車阻)，測線長度規劃為 7 公尺，疑似漏水位置位於掃描起點約 4 公尺處。各測線之配置如圖 4 所示。

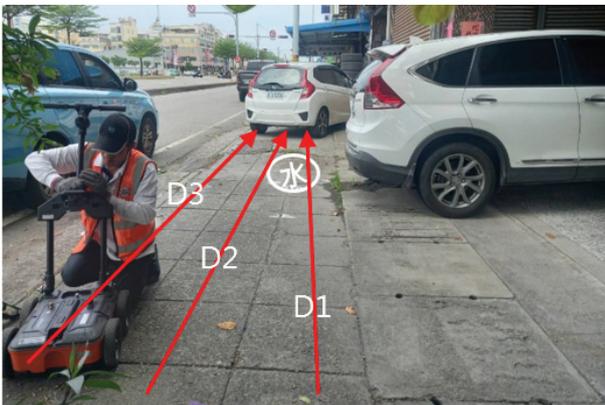


圖 4 研究案例 D 疑似漏水位置及測線示意圖

研究案例 E 測試地點選定於台中市清水區橋江南街 37 號附近。測線長度規劃為 67 公尺，自來水管線位置位於測線 E1，該管線為民國 91 年埋設之管徑 300mm 之延性鑄鐵管，管溝回填材料為砂石級配。各測線之配置如圖 5 所示。

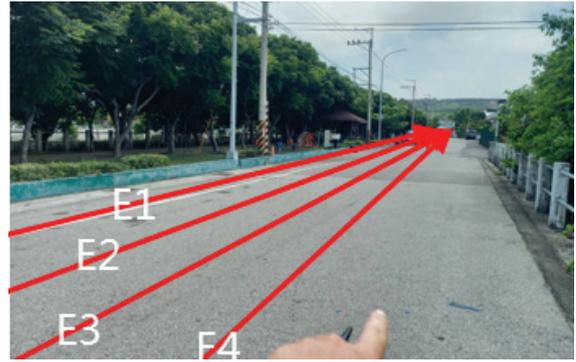


圖 5 研究案例 E 管線位置及測線示意圖

本研究所設計之五個實地探測案例，係針對不同環境與情境，系統性探討漏水行為對透地雷達 (GPR) 剖面影像之影響機制與判釋特徵，案例設計的目的如下：

案例 A 旨在探討管線漏水對管線二側周圍土壤介質之物理性質改變，及其在 GPR 剖面圖中所呈現之反應特徵，以建立漏水與剖面異常之基本關聯性。

案例 B 進一步分析當地下存在結構體或固體物質 (如雨水箱涵、混泥土構造等) 時，漏水對其周圍土壤所造成之影響及其在雷達影像上的干擾與辨識特徵。

案例 C 聚焦於漏水產生後之滲流行為與水分在地層中之橫向與縱向蔓延範圍，以評估透地雷達對不同規模滲漏情況之感測能力與空間分辨效能。

案例 D 則探討位於剛性鋪面 (如人行磚或混凝土) 下方之管線，當其發生漏水時在雷達剖面上所產生之反應是否與柔性鋪面情境顯著不同，評估鋪面材料對 GPR 偵測敏感度之影響。

案例 E 作為對照組，選定一處已完成管線更新作業、且推估無實際漏水紀錄之區域進行測試，作為無漏水條件下之背景雷達剖面，供其他案例進行影像比對與異常特徵辨識之依據。

(二) 案例研究分析

本研究透過分析透地雷達接收到的反射波進行資料處理與判釋。由於道路建設或自來水管線埋設時，路基及管溝之回填材料通常為同一種土壤或砂石，故本研究以此作為基礎假設，設定當介質間的反射係數絕對值大於 30% 時，進行顯示顏色的調整，以期判別回填材料異常區域，進而探討其與管線漏水之間的相對關聯。

以研究案例中 A1 測線為例，透地雷達儀器完成探測後，資料經由電腦讀取並匯入 RADAN7 軟體進行分析。於波形資料中，將反射係數絕對值大於 30% 之點位進行色彩轉換：同相位顯示為藍色，反相位則顯示為紅色，並套用於雷達剖面圖影像中。測線沿線若介質間介電常數變異程度較大，則在雷達剖面圖上會呈現較明顯的藍紅對比，如圖 6 所示。

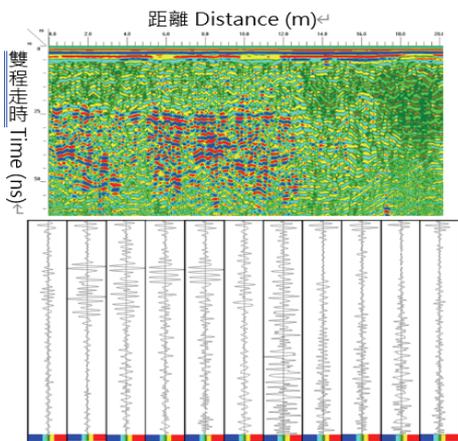


圖 6 研究案例 A1 測線雷達剖面圖及波形圖

於 A1 測線之雷達剖面圖中，可於距離約 10 公尺處、雙程走時約 25 ns 以下的位置觀察到明顯之介電常數變異現象。此外，在距離 0 至 12 公尺範圍內、雙程走時約 25 ns 以下，亦可見不規則區域內出現顯著

之介電常數變化，顯示該區段地下介質可能存在異常情形，研判為管線漏水導致周圍回填材料含水率變異所致。另於雙程走時約 5 ns 內，因電磁波自空氣進入瀝青層、再由瀝青層進入土壤層，產生大量且強烈之反射訊號，屬剖面圖中常見之高反射特徵。

A2 測線平行於 A1 測線，間距約 1 公尺，且位置更靠近路面中央，路徑亦通過疑似漏水點。其雷達剖面圖（如圖 7 所示）顯示，主要介電常數變異區域下移至雙程走時約 35 ns 處，且相較 A1 測線，其變異範圍明顯縮小。

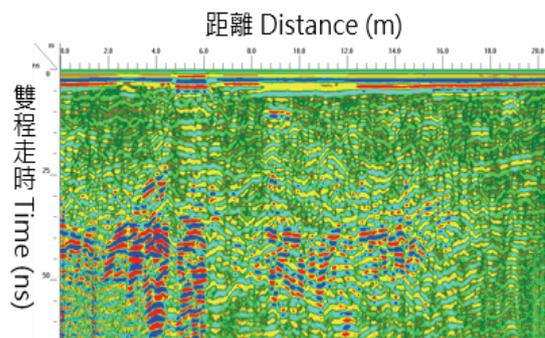


圖 7 研究案例 A2 測線雷達剖面圖

至於 A3 測線，與 A2 測線平行設置，間距約 1 公尺，位於疑似漏水點之對側。其雷達剖面圖中，於雙程走時約 35 ns 以上之區域，反射訊號強度明顯降低，未再觀察到顯著之介電常數變異區域。

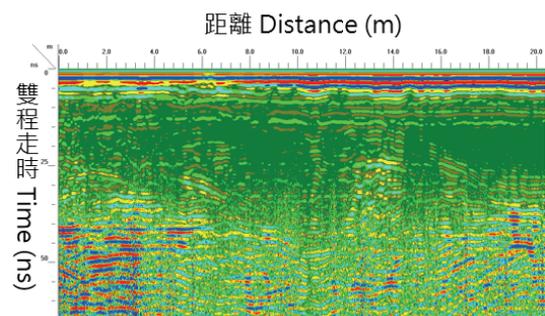


圖 8 研究案例 A3 測線雷達剖面圖

綜合 A1、A2、A3 測線分析結果，推測主要之介電常數異常區位於 A2 測線側向 A1 測線一側，惟在 A3 測線方向則未見異常，顯示疑似漏水點可能位於管線偏向 A1 測線側之上方位置。

在 A3 測線之雷達剖面圖中，於雙程走時約 35 ns 以上之區域，已未再觀察到顯著之介電常數變異現象。然而，於 A4 與 A5 測線中，雙程走時約 35 ns 以上區域再次出現明顯之介電常數變異區。具體而言，A4 測線於距離約 16 公尺處，其介電常數異常甚至向上延伸至雙程走時約 25 ns 位置；而在 A5 測線中，除距離 16 公尺處外，於 0 至 8 公尺範圍內亦觀察到大範圍之介電常數異常區（如圖 9、10 所示）。

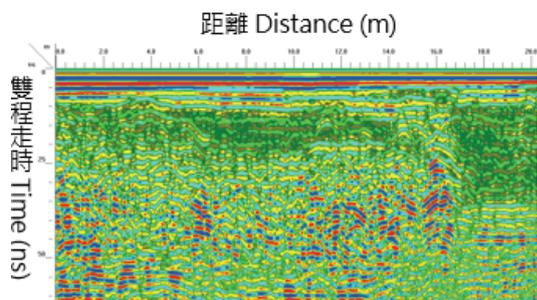


圖 9 研究案例 A4 測線雷達剖面圖

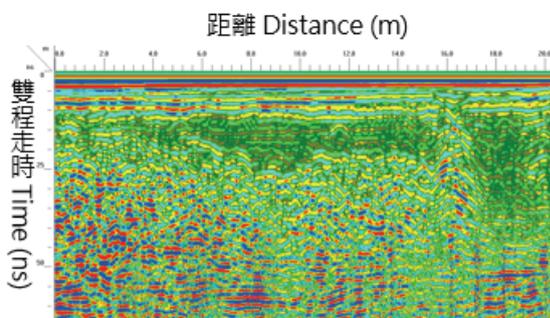


圖 10 研究案例 A5 測線雷達剖面圖

此一現象顯示該區地下介質可能存在多處異常，除原先研判之管線漏水因素外，亦不排除尚有其他潛在因素影響當地土壤

之結構或含水特性，進而導致介電特性產生異常變化，值得進一步探討與驗證。

研究案例 B 原先依據路形及周遭設施推測，自來水管線應橫向穿越一處側溝，筆者亦希望藉此案例嘗試分析當管線漏水與側溝結構交會時，於透地雷達剖面圖中可能呈現之反應特徵。

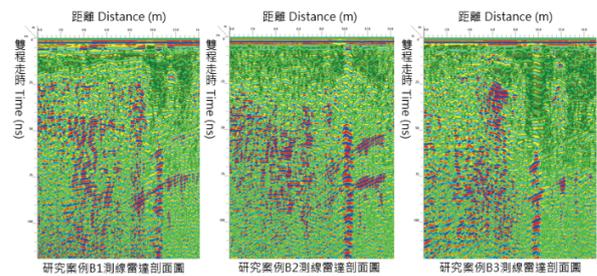


圖 11 研究案例 B 各測線雷達剖面圖

然而，在 B1、B2 及 B3 測線之雷達剖面圖中，並未觀察到明確可辨識之側溝結構訊號（如圖 11 所示）。後續實地開挖查證（詳圖 12），結果顯示該區實際並無側溝通過，與先前預期不符。

儘管如此，雷達剖面圖中仍可觀察到局部區域之土壤介電特性異變，其位置與開挖時所見土壤條件相符，顯示透地雷達足以反映地層異質性。然而，此案例無法作為判識側溝對漏水現象及回填土壤性質之影響。



圖 12 研究案例 B 現場開挖修復情況

研究案例 C 於筆者撰寫本文時，已完成現地開挖與修復作業。根據現場施工與檢測人員回報，該管線損壞位置位於管線正下方（詳圖 13），且鄰近民宅。

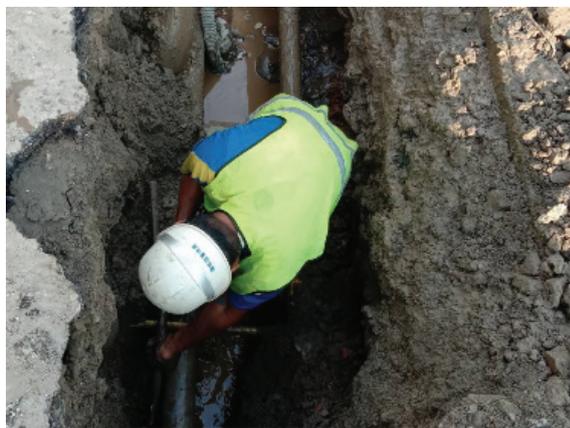


圖 13 研究案例 C 現場開挖修復情況

C1 測線通過實際漏水點，其雷達剖面圖（如圖 14 所示）顯示，於距離約 10 公尺處之下方，可觀察到一明顯之土壤介電特性異變，與實際漏水位置相符；惟周圍區域並未出現其他顯著異常反應，顯示該漏水事件對於管溝周圍土壤之影響程度，可能受到水體滲流方向所主導，呈現較局部化之變異特徵。

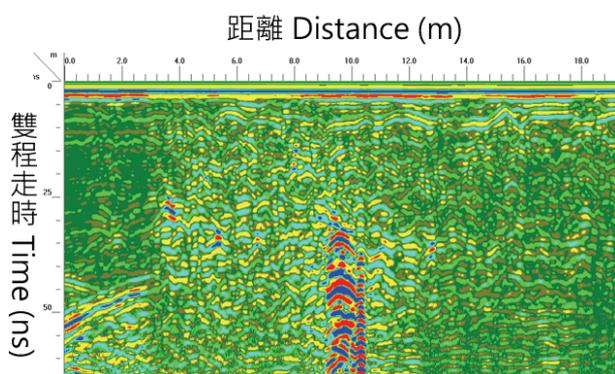


圖 14 研究案例 C1 測線雷達剖面圖

C2 測線與 C1 測線平行設置，間距約 1 公尺，位於實際漏水點之外側（朝向道路

中心）。由其雷達剖面圖可見，於距離 0 至 13 公尺範圍內、雙程走時約 25 ns 以下，出現不規則區域內之顯著介電常數變異，顯示該區地下介質可能存在異常狀況。此外，於距離約 13 公尺處之路面設有一處電信窰井，剖面圖顯示該處有介電特性異常向下延伸之現象，推測可能為滲水沿地下固體設施（如窰井結構）滲流所致，進一步擴大當地土壤之介電異變範圍（如圖 15 所示）。

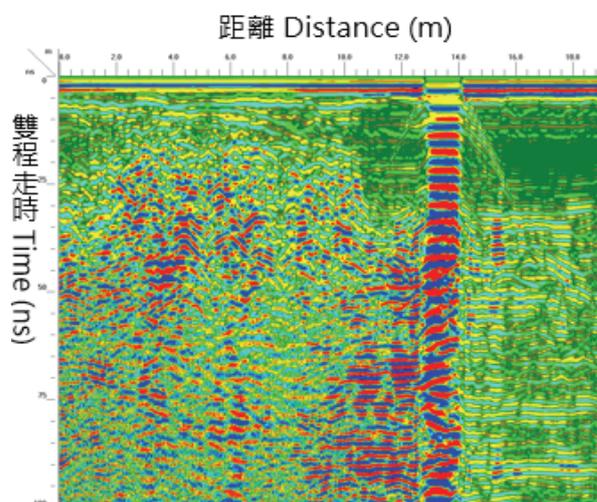


圖 15 研究案例 C2 測線雷達剖面圖

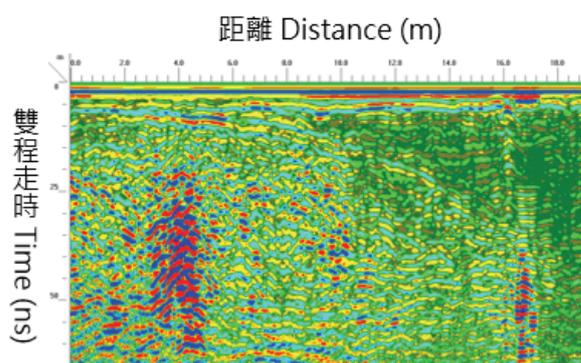


圖 16 研究案例 C3 測線雷達剖面圖

於 C3、C4 及 C5 測線之雷達剖面圖中均可觀察到，當管線發生漏水時，圖中皆出現顯著之訊號變化，此現象與研究案例 A 及 B 之觀察結果一致。然而，於研究案例 C

中，筆者特別注意到一現象：當觀測位置漸遠離實際漏水點時，異常介電常數區域反而呈現向上的分布趨勢，與一般認知中水往低處流之行為模式有所衝突。

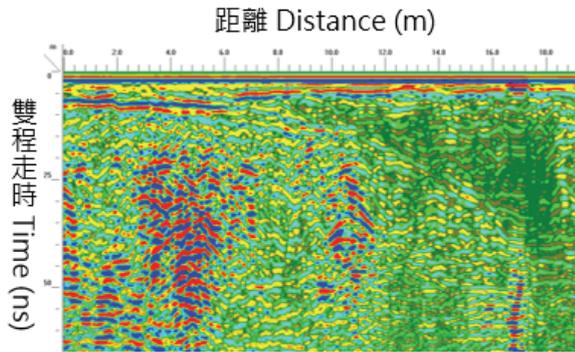


圖 17 研究案例 C4 測線雷達剖面圖

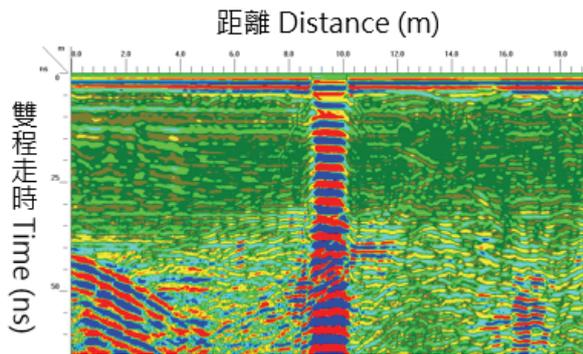


圖 18 研究案例 C5 測線雷達剖面圖

研判此情況可能與毛細作用有關。當管線漏水後，滲流水分可能因土壤孔隙間之毛細力作用，沿土壤顆粒間上升，進而使得上層土壤含水率增加，造成介電特性產生異變，並於雷達剖面圖中呈現高反射區域。此結果顯示，在解釋雷達資料時，須同時考量水分於土壤中之移動機制，以避免誤判漏水位置與範圍。

研究案例 D 旨在探討鋪面類型對透地雷達 (GPR) 偵測效果之影響，特別針對位於剛性鋪面 (如人行磚或混凝土) 下方之管線進行分析，評估當該等環境下發生漏水

時，其在 GPR 剖面圖上之表徵是否與柔性鋪面條件下顯著不同。

於本案例中，於 D1、D2 及 D3 三條測線中皆發現，在距離約 4 公尺處(疑似漏水點位置)，剖面圖呈現與案例 C 相似之高介電常數異常區域，其分布形態同樣具有向上擴展之趨勢。

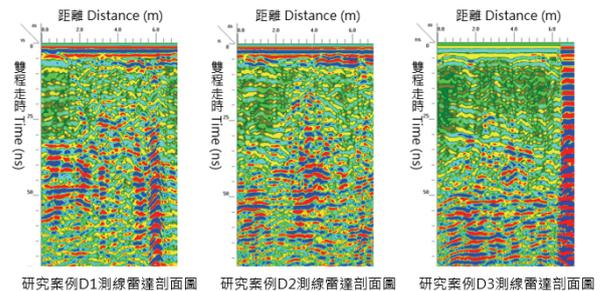


圖 19 研究案例 D 各測線雷達剖面圖

此外，在雙程走時 25 ns 以下深度範圍內，亦可觀察到顯著介電常數變異之不規則區域，顯示滲水現象對剖面影像仍具可辨識性。此結果初步顯示剛性鋪面對雷達波傳遞與反射特徵並未造成明顯干擾，對漏水異常的辨識尚屬可行。然而，本區段剖面圖中未發現明確之鋼筋反射訊號，推測可能與雷達解析度、鋼筋配置方式或深度有關，亦有可能並無施設鋼筋，後續可進一步針對有無鋼筋配置情形進行控制性實驗，以釐清其對 GPR 訊號的潛在影響。

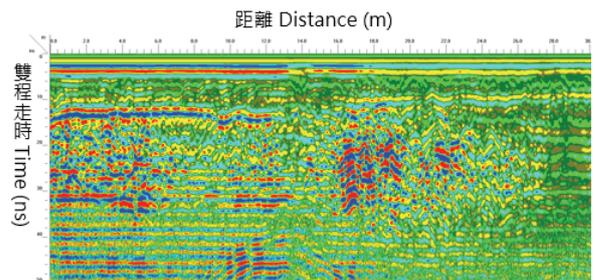


圖 20 研究案例 E1 測線 0-30 M 雷達剖面圖

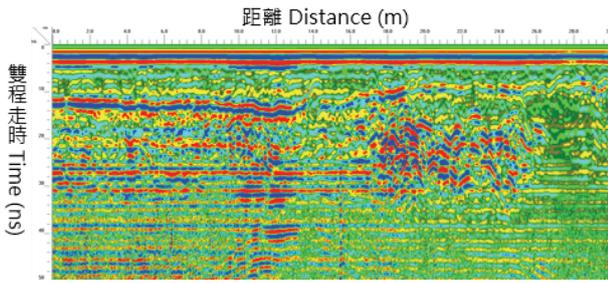


圖 21 研究案例 E2 測線 0-30M 雷達剖面圖

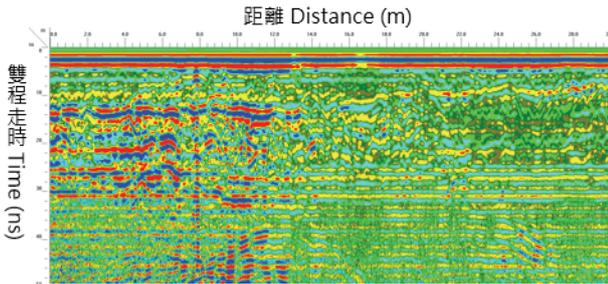


圖 22 研究案例 E3 測線 0-30 M 雷達剖面圖

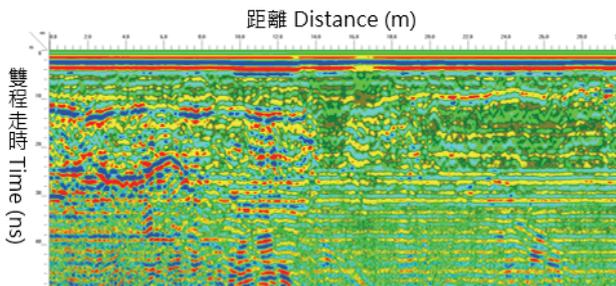


圖 23 研究案例 E4 測線 0-30 M 雷達剖面圖

作為對照組的案例 E，選定一處已完成管線更新作業，且無實際漏水紀錄之區域進行測試，以取得無漏水條件下之背景雷達剖面，作為其他案例進行影像比對與異常特徵辨識之依據。

於 E1 至 E4 測線之 0 - 30 公尺範圍內觀察結果顯示，在 0 - 16 公尺區間出現大量強烈且形狀規則之反射現象，推測可能為地下結構物所致。然而，筆者對於 E1 與 E2 測線間 16 - 24 公尺區間所呈現之不規則且強烈反射反應感到困惑與好奇，顯示該處可能存在其他異常特徵，尚需進一步探討。

在 E1 至 E4 測線之 26 - 67 公尺範圍內，除 E1 測線於管限制水閥蓋位置觀測到大量強烈反射外，其餘區段僅零星出現強烈反應，且反應形狀多呈規則性分布，顯示大部分區域可能無明顯異常結構。

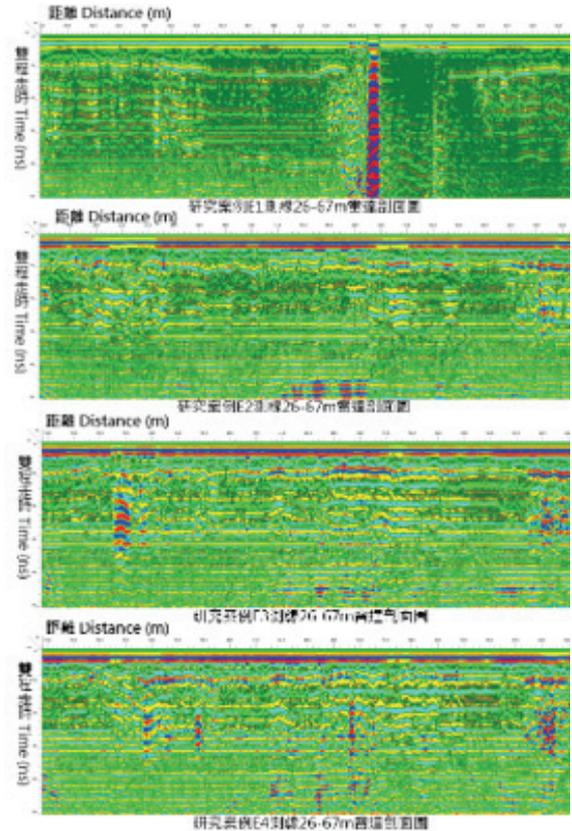


圖 24 研究案例 E 各測線 26-67M 雷達剖面圖

四、案例間比較與探討

(一) 案例 E：非異常背景影像建立與基準比對

本研究選取案例 E（圖 21）作為無漏水條件下之基準樣本，其雷達剖面於距離 26 - 67 公尺區間，呈現穩定且規律的層狀反射特徵，未觀察到顯著之介電常數異常區。此結果與本研究初始假設相符，即該路段之路基應為均勻層狀之人工回填材料，且鋪面及路基普遍採分層施工，鋪面與下方基層之

介電層理應具良好一致性。

進一步綜合 E1 至 E4 測線之觀測結果可發現，在案例 E 所涵蓋區段內，雷達反應整體表現穩定，缺乏大範圍、不規則或擴散性之高介電異常區，亦未見典型漏水相關之徑向滲流擴散或毛細作用跡象。上述特徵顯示，該區地下介質介電常數分布相對均勻，雷達波傳遞途徑未受異常擾動影響。綜上所述，案例 E 可作為本研究中之對照組，成功建立一組具代表性之「非異常背景雷達影像資料」，可作為異常辨識與後續影像比對之基準，進而提升未來地面穿透雷達於地下漏水探測應用中之準確性與可靠性。

(二)案例 A：局部漏水導致高介電異常

案例 A 為疑似漏水樣本(檢漏人員測得，尚未完成開挖)，其雷達剖面於距離 0-16 公尺區間，觀察到一片不規則強反射區，邊界模糊且具層理干擾現象。該異常區之形狀及反應強度，顯著異於案例 E 同對應區段之穩定層狀特徵，顯示此處地下介質可能因含水率上升或結構鬆動而產生介電常數變異。異常區位置與現地疑似漏水點相符，顯示 GPR 確具辨識局部滲漏所致介電異常之能力。

(三)案例 B：滲流造成之擴散異常帶

於案例 B 測線之 0-10 公尺處，雷達圖像呈現連續之高強度反射區，橫、縱向延展且深度分布不均，形成一片擴散性介電異常帶。與案例 E 相較，此處反應特徵差異明顯，推測為滲漏水順路基回填材料孔隙流動，在鬆散填土中造成之局部含水異常區。此一擴散形反應亦符合現有地下滲流模式

對反射異常的預期分布。

(四)案例 C：點源滲漏擴散與結構阻礙之影響

案例 C 實際開挖確定存在管線漏水，於 C1 測線出現顯著介電常數異常區，其影響範圍向橫向延伸至 C4 測線，約橫跨 4 公尺，並形成不規則且具連續性的高反射區。相較於案例 E 之均勻背景，此一異常特徵僅能由滲水造成介電常數變化解釋，排除路基材料差異因素。現場亦觀察到滲漏水在接觸結構物後，因滲流受阻而出現向下擴散現象，顯示結構物明顯影響滲流路徑。此外，管線實際漏水點並不對應於反應強度最顯著之區域，說明異常中心與漏點可能存在空間偏移，應於判釋時納入考量。

(五)案例 D：剛性鋪面下仍可辨識滲漏異常

雖案例 D 所探測區段位於剛性鋪面(如混凝土或人行磚)之下，其雷達剖面仍觀察到類似案例 A、B、C 之「不規則且連續的高介電異常區」，且與案例 E 對應區段反應特徵明顯不一致。此結果顯示，即便表層為低透水性之剛性結構，漏水仍可造成下方路基介電常數變化，並於 GPR 影像中形成可辨識之反射異常，進一步驗證 GPR 對於不同鋪面條件下之漏水探測潛力。

五、小結與應用建議

本研究以案例 E (距離 26-67 公尺) 作為無漏水條件下之基準樣本，其雷達剖面具備穩定、規則且反射均一之特徵，未呈現顯著介電常數異常區，成功建立一組具代表性之「非異常背景雷達影像資料」。該基準區段有助於後續案例之異常辨識與比對，亦

可作為未來類似環境中之參照依據，明確界定異常與自然背景反應之差異。

透過與案例 A 至 D 的逐一對照比分析可得，地面穿透雷達（GPR）對地下漏水所致之介電常數變化具高度敏感性，能有效偵測由滲漏引起之反射異常區。特別是在局部含水率變化、滲流擴散與結構物干擾情境下，GPR 仍能呈現不同類型之影像特徵，亦不受道路鋪面之影響，顯示其於地下漏水探勘中具有良好之判釋潛力。

然而，須特別指出的是，GPR 雖可辨識受水分影響之異常區域，卻無法精確定位實際漏水點，尤其當滲流方向受到結構物影響或介質不均時，介電異常中心與漏水源之空間偏移現象亦屢有發生。因此，建議未來應將 GPR 技術與傳統聲學檢漏方法（如聽音桿、相關儀）搭配應用，方能互補其解析限制，提升整體探勘效能與判釋準確性。

此外，若能結合現地開挖驗證資料與長期監測結果，進一步建立 GPR 影像與實際滲漏行為之對應關係，將有助於發展更具精度與可操作性之地下漏水診斷模式，並擴展其於城市地下設施維護與智慧化管理之應用潛力。

六、致謝

本研究之完成有賴多方協助與支持。首先，特別感謝台水四區處張錦東先生於本研究期間提供寶貴協助，親自參與現場資料之收集與實地調查，並於多次討論中提供實務經驗與技術建議，對於研究方向之釐清與判釋結果之確認均有重要助益。

亦感謝本研究團隊成員之共同努力與協

作，使本研究得以順利推展與完成。

參考文獻

1. Davis, L., and Annan, A.P., "Ground-penetrating radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy," *Geophysical Prospecting*, Vol. 37, pp. 531-551, 1989.
2. Hunaidi, O. and Giamou, P., "Ground-penetrating radar for detection of leaks in buried plastic water distribution pipes", 7th Conference on Ground Penetrating Radar (GPR' 98), pp. 783- 786, 1998.
3. Eyuboglu, S., "Detection of Water Leaks Using Ground Penetrating Radar" Department of Applied Science University, 2008.
4. Kim, S.W., "Comparison of FMCW and Pulse Type Ground-Penetrating Radar (GPR) for Water Leakage Detection" Korea Institute of Science and Technology, 2005.
5. 林子堯, 「應用透地雷達電磁波法檢測管線漏水之研究」, 碩士論文, 中華大學土木工程研究所, 2013。
6. 鄭哲鴻, 「利用透地雷達掃描資訊改善滲水鋪面經驗分享」, 鋪面工程第十七卷第四期, 第 9-16 頁, 2019。

作者簡介

蘇怡昌先生

現職：台灣自來水公司工務處研發組組長

專長：管線搶修、供水調度

張錦東先生

現職：台灣自來水公司第四區管理處漏水防治課檢漏

主辦

專長：管線檢漏

資訊化作業更新流程整合之探討— 以北水處抄表複查作業為例

文/梁植維

摘要

臺北自來水事業處(以下簡稱北水處)抄表員根據「浮動下傳、抄表、計費、收費日程表」每日抄表及現場黏貼水量異常通知單後上傳抄表資訊，審案人員發現異常水栓或用戶異議水量異常，皆於水費系統成立紙本複查案，並通知複查員專程回辦公室收案及整理列印相關紙本資料，聯繫用戶會同核對水表指針之正確性、協助用戶檢查用水設備、照片或影片紀錄現場，手寫處理情形後，影印照片或其他佐證資料為附件，以紙本陳核，案核後須逐件拆釘、逐字鍵入於水費系統、逐件結案及掃描，每月底將紙本案件整理成冊，存入科室檔案櫃依保存年限歸檔(如圖 1)。

關鍵字：抄表、紙本、複查

一、前言

由上述流程可知，複查作業是屬於一種服務套組(Service Package)，透過單一窗口、單一服務人員或單一平臺來接受用戶的訴求，具直接傳遞、附加價值且與用戶互動的服務作業，故所提供的「服務品質」及「作業流程」之優劣與用戶對於北水處的形象評價，具有高度關聯性，故北水處為提供更優質、便民且智慧的服務，遂於 2021 年起著手進行複查作業流程再造。

二、問題盤點

(一)服務品質

服務品質是一種非具象的存在，用戶會以「服務品質五構面」來衡量企業提供的服務品質之優劣，所以得自五構面方向深入剖析，找出原因。服務品質五構面可分為可靠



圖 1 紙本複查作業流程

性、回應性、確實性、關懷性及有形性，逐一說明如下：

1. 可靠性(reliability)：

代表可靠地與正確地履行承諾並達到用戶的預期；紙本複查無法即時查詢其他資訊及自動估算水量，資訊不足及人工計算下，易致複查結果判斷錯誤。

2. 回應性(responsiveness)：

代表提供用戶立即服務之能力，讓用戶等待會造成不必要之負面認知；紙本複查無法即時收到派工案件，複查員須回辦公室領取紙本、影印及調閱資料後再聯繫用戶會勘，增添用戶等待的時間。

3. 確實性(assurance)：

代表傳達信任與信心的能力；因受限於紙張大小，用戶只能看到 9 期用水資訊，無法查閱往年用水資訊及其他複查情形。

4. 關懷性(empathy)：

代表提供用戶個人化關心之能力。紙本複查無法提供線上申辦服務，現場辦理北水處的各種服務項目，增添用戶交通往返時間及行車風險。

5. 有形性(tangibles)：

代表實際的設施、設備及溝通資料的完整性；紙本複查作業代表北水處未具備電子資訊化的設備，不符合用戶的期待。由此得知，用戶心中對於紙本複查作業服務品質五構面可評為負向指標，突顯北水處目前複查作業的服務品質與用戶真實的需求有落差，形成所謂的「服務缺口」，亦即「顧客期望的服務品質與實際感受到的服務品質差距」，又可稱為「顧客缺口」，依前述定義可知目前複查作業會有以下 4 個缺口，分析

如下(如表 1)：

- (1) 缺口 1：「未能真正幫助用戶解決用水異常的服務」。因紙本複查作業受限紙張大小，僅能提供異常水栓 9 期用水資訊，亦無法即時查閱以往複查記錄、總表或其他樓層用戶用水情形，致複查結果誤判；以總表分攤為例，除勘查用水設備，複查員還須抄錄總表及頂樓各分表用水指針，以日計月算方式估算下期分攤度數，輔以判斷分攤異常原因，因人工多筆計算，故極有誤算之可能，造成複查結果誤判，擴大水費的爭議。
- (2) 缺口 2：「未有便民的服務設計」。每項申請服務，用戶須逐一填寫各種服務表格的基本資料，若有錯誤須反覆塗改，易引起用戶抱怨。另遇緊急案件時，複查員還須專程回辦公室領取紙本複查作業單、聯繫用戶、列印附件紙本後再會勘，十分耗時且無效率。
- (3) 缺口 3：「服務績效沒有承諾的部分」。因紙本作業無法及時書寫案情，複查員須處理其他案件後，回辦公室憑藉記憶記錄，易有案情描述不完整情形發生；另紙本案件陳核須人工交換交由層層長官核章，過程中易有案件遺失情形，如有水費更正案件未執行作業，嚴重影響用戶權益引發民怨。
- (4) 缺口 4：「未有依照設計傳遞服務」。因複查案用戶之簽名代表雙方認同本次複查結果，惟紙本作業還須人員附帶工具(紙、筆)，若遺忘簽名，當用戶再次異議，則無法證實該戶同意前案處理結果，易使同案情重覆辦理。

表 1 服務缺口分析表

缺口	原有服務情形分析
缺口 1： 未能真正幫助用戶解決用水異常的服務	用戶希望與權益有關事項均能得到告知或瞭解用水異常之原因，原有作業現場資訊查詢不易
缺口 2： 未有便民的服務設計	遇緊急案件處理無效率、多種類表單簽名未單一化，重複填寫相同資料
缺口 3： 服務績效沒有承諾的部分	憑藉記憶記錄用戶交辦事項，易有遺忘辦理情形發生，作業品質不佳
缺口 4： 沒有依照設計傳遞服務	複查員未依規定執行用戶簽名認同複查結果

(二)作業流程

流程與企業經營息息相關，每個企業的流程具有其獨特性，非其它企業可輕易學習模仿，現在的企業莫不積極尋求流程上的差異，以加強競爭力。過去 4P(Product、Price、Place、Promotion)的運用，已無法足以應付日新月異的現代，必須再加上流程(Process)、人員(People)及環境服務(Physical Evidence)，開啟 7P 時代，其中又以流程差異化的作法，對於自來水事業最能有大程度的突破。鑑此，導入營運面流程再造的觀念、步驟與方法，發展北水處的流程再造模式，以提升企業經營績效及用戶滿意度。如不改造作業流程向上發展，僅是變成強固舊有、無效率的工作流程，徒增成本而無法改善。

分析列出以上 4 個服務缺口的缺項之後，瞭解到服務的缺口係來自於機器設備未因應時代同時升級，運用「企業流程再造(Business Process Reengineering ,BPR)」，係指將企業現有流程根據需求進行重新的設計，幫助企業來檢查內部的活動以及資訊流，促使關鍵流程能有效的簡化，改善服務

品質。流程分析將採「資訊流」，係參考 IDEFO 於 1970 年代美國空軍利用結構化分析設計技術的方法來描述系統的做法，進行內部資訊流的分析，將活動以 ICOM (Input-Control-Output-Mechanism)來蒐集流程上的問題。以北水處複查服務流程來說，輸入「派工複查」及「用戶交辦事項」是必須被轉化的資料；輸出服務用戶的「複查紙本案件」、「紙本附件」及「記事本」是經活動產出的資訊；「複查作業規範」則稽核複查員是否有確實勘查用水設備及提供用戶各項申請作業；「複查警示」則是複查過程中所須的提示資源。

定義複查活動各個資訊流後，再依據各項活動分別找出流程的問題，例如以派工複查活動中可知，「輸入」的過程為人工紙本交付辦理，複查員如未妥善存放，易有案件遺漏辦理；從「控制」過程中發現，複查結果並無法證明複查員是否至現場處理，導致用戶異議時無法舉證；從「輸出」的結果可知現紙本複查案件無法即時查閱其他用水資訊，致複查結果誤判。此外，在記錄用戶交辦事項的活動，複查員必須自行準備記事

本，以手寫方式記錄，回辦公室時再回想予以書寫，若再次複查時還須翻閱記事本、調閱照片或依照記憶注意辦理，然而當有新舊

複查員交接或複查區域輪調時，如未列入移交，所有特殊記錄，新複查員必須要再重來一次，常造成用戶抱怨陳情(如圖 2、表 2)

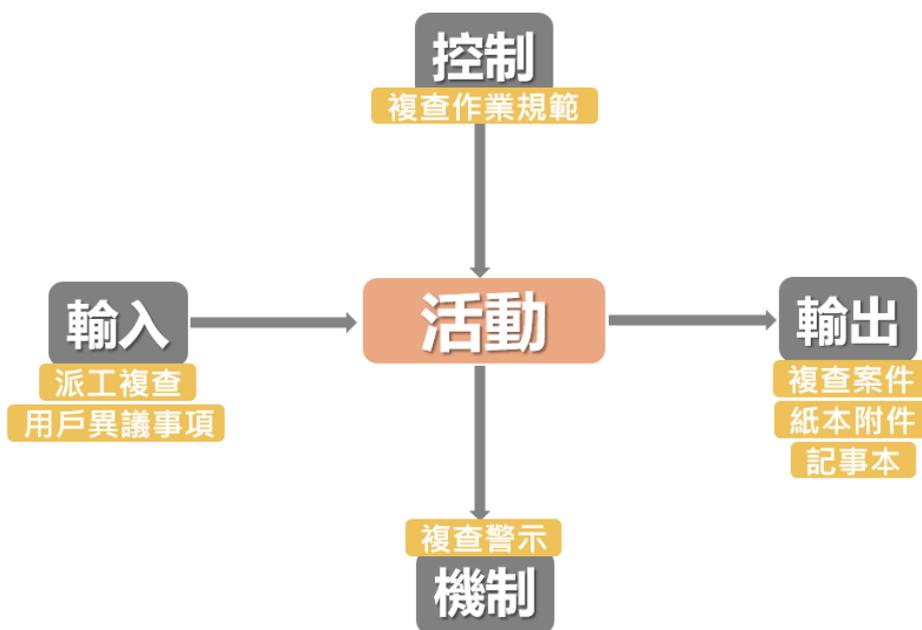


圖 2 資訊流分析

表 2 問題分析表

項目	活動	問題
1	作業前	<ul style="list-style-type: none"> ■紙本攜帶不便且易受天候影響破損，難以掃描保存。 ■複查案件人工紙本交付，若複查員未妥善存放易有案件遺漏辦情形發生。
2	作業中	<ul style="list-style-type: none"> ■紙本作業受限紙張大小且無法即時查閱資訊，資訊不足情況下，易有複查結果誤判情形發生，增添用戶的修繕成本。 ■各項申請服務有各種表格須重覆填寫基本資料，易引起用戶抱怨。 ■遇有重大緊急案件時，複查員須專程回辦公室領取紙本複查作業單及列印紙本附件後再約用戶會勘，十分耗時且效率不彰。 ■遺忘帶筆致用戶未簽名認同複查結果，易使案情重覆辦理，服務關係惡化。 ■複查員憑抄表員提供的水表照片判斷複查結果，造成用戶異議時無法舉證。
3.	作業後	<ul style="list-style-type: none"> ■紙本現場書寫不便利，須回辦公室後憑藉記憶記錄，多案件時易產生描述錯誤或忘記辦理用戶交辦事項。 ■紙本案件陳核須人工交換交由層層長官核章，過程中易有案件遺失情形，如有水費更正案件未執行，嚴重影響用戶權益而引起客訴。

歸納上述分析，人工作業、紙本作業及無單一化，是整個流程瓶頸所在：

1. 多案件情況下紙筆攜帶不易，紙本附件及簽名無法便利化，造成與用戶關係惡化。
 2. 受限紙張大小且無法即時查詢其它資訊、表單填寫未單一化造成用戶抱怨陳情。
- 以記憶記錄用戶交辦事項，容易遺漏對用戶的承諾。

三、精進作為

「如果能藉由工具面的改善，為減少人工作業，就能讓複查提供的服務更加符合用戶的需求」的願景是北水處必須改革的目標，故於 2021 年進行複查業務轉型，開發出「行動複查 APP」，實現現場作業雲端化，達成複查員及內部管理人員完成零距離辦公，確保作業流程順暢，以下為因應複查作業前、中、後提出精進改善作為(如表 3)。

(一)作業前

- 1.為改善紙本表單攜帶不便且不易保存之窘境，行動 APP 取代紙本表單，透過電子化存檔避免資料遺失、損壞或空間不足所引申的麻煩，還能提供快速的檢索功能，查找資料更為方便迅速。
- 2.無須人工交付，系統成案後複查員電子化收案，並區分待辦案件及已辦案件，讓複查員瞭解案件辦理進度，管理人員能全程掌控案情。

表 3 問題解決方案表

項目	活動	問題彙整	改造方案
1	作業前	<ul style="list-style-type: none"> ■紙本攜帶不便且易受天候影響破損，難以掃描保存 ■複查案件人工交付，若複查員未妥善存放易有案件遺漏辦情形發生 	<ul style="list-style-type: none"> ✓複查行動 APP 取代紙本表單，電子化存檔易於保存及便於日後找尋資料 ✓無須人工交付，系統成案遠端電子化收案
2	作業中	<ul style="list-style-type: none"> ■紙本作業受限紙張大小且無法即時查閱資訊，易有複查結果誤判情形發生，徒增用戶不必要的修繕成本 ■各項申請服務有各種表格須重複填寫基本資料，易引起用戶抱怨 ■遇有重大緊急案件時，複查員須專程回辦公室領取紙本複查作業單、聯繫用戶、列印附件紙本後再會勘，十分耗時且無效率 ■未隨身帶筆致用戶未簽名認同複查結果，易使案情重複辦理，服務關係惡化 	<ul style="list-style-type: none"> ✓提供即時線上查詢其它用水業務資訊。 ✓引進複查 APP 後改變為系統自動帶入用戶資料，不必重覆填寫且可同時幫助用戶進行多項申請服務。 ✓新增顏色區分案件處理順序及提供路線規劃功能，即時接收訊息，修正路線前往案場處理重大爭議案。 ✓APP 電子簽章功能，現場直接讓用戶簽名後進入系統保存及減少用戶欲申辦其它業務時所須的交通往返時間。
3	作業後	<ul style="list-style-type: none"> ■紙本現場書寫不便利，須回辦公室後憑藉記憶紀錄，多案件時易產生描述錯誤或忘記辦理用戶交辦事項 ■紙本案件陳核須人工交換交由層層長官核章，過程中易有案件遺失情形，如有水費更正案件未執行，影響用戶權益進而引起客訴陳情 	<ul style="list-style-type: none"> ✓複查 APP 能介接各相關系統，將現場勘查情形即時上傳(勘查歷程、處理結果、相片及影音等)，同時可即時更新取得用戶聯絡資訊 ✓線上陳核功能取代紙本陳核，並提供可同時會辦其它單位。

(二)作業中

- 1.為解決複查員在現場無法即時取得足夠且正確資訊，並克服時間與地點限制，複查 APP 提供即刻電子化查詢用水業務資訊，時刻保持取得最新抄表資訊，減少資訊不對稱造成的延誤與錯誤。
- 2.異常案件廣泛分布臺北市及新北市各行政區，複查人員常因臨時交辦案件，被迫調整原定路線，為提升應變能力，複查 APP 即時推播最新案件並以不同顏色標示案情重要性，讓複查人員迅速辨別優先處理案件並優化路線，提升複查作業的精確度與效率。
- 3.以往用戶在申請各項服務時，須填寫多種紙本表單，相同用戶基本資料重複填寫，資料有誤反覆塗改。若遇字跡潦草不易辨識，影響審核人員可讀性，故引進複查 APP 後，系統可自動帶入用戶資料，免除手動填寫的繁瑣程序，以確保資訊正確無誤，並同時支援多項申請服務，讓作業流程便捷順暢。
- 4.為增進用戶簽名便利性及有效保存其資料，APP 新增電子簽章功能，讓用戶直接現場簽署，系統自動存檔，確保文件完整性。
- 5.APP 新增 GPS 定位功能，可即時掌握複查人員的動態位置與處理進度，確保人員行程透明化。此外 GPS 定位還能提供歷史軌跡查詢，完整保留作業紀錄可追溯，強化整體管理效能。

(三)作業後

- 1.現場處理歷程、影片或照相資料整理耗時費工，為大幅縮短資料整理時間，複查 APP

具備跨系統整合功能，可介接各相關系統，將現場勘查情形即時上傳(勘查歷程、處理結果、相片及影音等)，確保資訊完整。此外，APP 同步更新取得最即時用戶聯絡資訊，有效提升案件處理效率與服務品質。

- 2.精進後端管理者審核流程，並實現全流程無紙化操作，新增線上陳核功能取代傳統紙本審核流程，確保每個作業環節能精確追蹤與管理。另可支援會辦多單位參與處理，協同作業，增進跨單位合作的效率。

最後，為使複查服務與用戶能達到最佳的溝通效果，將改造後的新流程再次描繪是重要的工作。自複查作業新舊流程比對顯示，最大的不同在於複查員及管理人員的一系列工作僅須複查 APP 一種工具即可完成，APP 的運用可達到複查案無人工抄寫及現場具象化的境界，簡化複查員及管理人員作業時間，且改造後的流程因資料的輸入完全進入系統中存檔，故可產出更多有用的資訊，執行更有意義的作業(如圖 4)。

四、改善效益

啟用複查行動 APP，不僅精進外部為民服務，運用 APP 電子簽章等行動應用技術創新功能，打造安全又便民的友善服務，提升用戶服務效能；提供複查員透過 APP 即時查詢並回報，增加現場判斷及分析的依據，使有更強的後勤支援，內勤人員透過手機或平板審核，大幅減少紙張用量，且即時掌握案件處理進度，確保各項作業順利推展，提升抄表複查服務整體作業效率，經後續追蹤執行成果，改善效益如下(如表 4)。

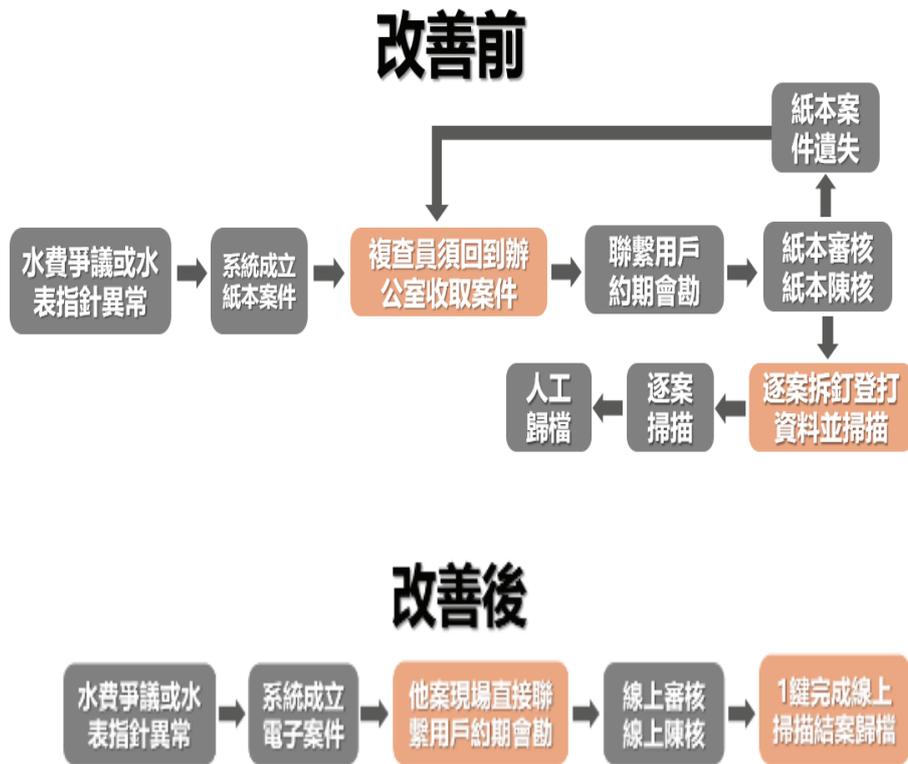


圖 4 流程改善前後比較圖

表 4 複查 APP 執行成果表

預期效益	評估指標	上線前後比較			上線後達成效益
		上線前 (109-110 年)	第一階段 APP 上線(111 年)	第 2 階段 WEB 上線(112 年)	
達成政府 E 化政策	全流程 E 化 落實無紙化	紙本作業	紙本與線上並行 線上簽核率 99.79%	全面線上作業 線上簽核率 99.79%	1. 即時派工、查詢、回報等全流程線上管理 2. 112 年因部分特殊案件致未達 100%，追蹤至 113 年 2 月份已達 100%
提升外部服務品質	緊急或客訴案即時交付線上辦理，每案處理時間減少 0.5-1 日	3 天/案	3 天/案	1.69 天/案	每案減少 1.31 天
提高內部作業效率	縮減處理人時 6.37 萬小時	61.11 萬小時/年	53.60 萬小時/年	52.45 萬小時/年	縮減 8.66 萬小時/年
	減少無效派工 2.13 萬件	8.45 萬件/年	7.26 萬件/年	5.80 萬件/年	減少 2.65 萬件/年
	節省用紙 13.74 萬張	13.74 萬張/年	10.2 萬張/年	0 張/年	節省 13.74 萬張/年

五、結語

作業資訊化的核心價值在於如何優化內部作業流程及提升用戶的服務滿意度，北水處自行開發行動複查 APP，成功地將複查作業自傳統紙本作業轉型為電子 E 化，實現即時派工、查詢、回報等全流程線上管理，不僅強化用戶服務品質，也增進內部管理人員對案件進度的掌控，由表 4 效益成果可知緊急或客訴案件處理時間減少 1.31 天，每年縮短 8.66 萬小時，充分顯示內部作業效率有大幅的改善。此外，線上簽核率達 99.79% 及用紙節省 13.74 萬張/年，充分展示資訊化的實際效益。

展望未來，北水處將複查 E 化資料進一步用以數據分析，不斷優化複查流程，例如通過分析用戶用水數據及複查紀錄，可更精確地判斷用水異常原因，提供更符合用戶個性化的服務。此外，擴展 APP 的功能，例如增加用戶線上諮詢或報修等服務，以確保北水處能夠提供更優質、便民且智慧的服務，進一步提升北水處企業形象和用戶滿意度。

參考文獻

1. 臺北自來水事業處工作手冊-營運面
2. 臺北自來水事業處東區營業分處複查案 APP 報告書

作者簡介

梁植維先生

現職：臺北自來水事業處西區分處三級管理師

專長：財務行政、換表工程、抄表業務

由衛生下水道處理費徵收機制強化研究 看跨域合作的重要

文/張世勳

摘要

從污水處理費隨水費徵收的巧思開展以來，有效提升徵收效率、公平性與民眾的便利，然這橫跨臺北市政府工務局衛生下水道工程處與臺北自來水事業處機關間的代收機制，在細節上卻有漏徵的盲點。

本研究由新建案接衛工管、收費用戶底定後，總表下用水戶「分割新設」新水表的盲點說起，再到既有建物理設衛工管接管後之水籍地址未與戶政門牌同步而無法勾稽收費，衍生出單一營業分處轄區少徵汗水處理費 148 萬，推估臺北市每年約少徵 420 萬元以上，而自來水處亦減少約 15 萬手續費收入；據此，研究建議除跨域專業人才的培養、拔擢，機關間橫向聯繫、合作的暢通，也是服務型政府應該著墨與考量的。

關鍵詞：衛生下水道、處理費、分隔新設、門牌

一、前言

一般衛生下水道之污水處理費採隨水費徵收，這是因為臺北市政府工務局衛生下水道工程處（以下簡稱衛工處）對已接污水管用戶，假定其水源來自於自來水，而除少部分蒸發、園藝灌溉及游泳池用（可申請游泳池專用水栓、免徵汗水下水道處理費）等用戶外，皆透過污水管排放。

目前汗水下水道處理費係依自來水用水量以每度 5 元計收，並無累進費率，而臺

北自來水事業處（以下稱北水處）則依代徵汗水處理費收取 3.5% 收續費。

一般衛工處之收費對象由兩方面取得，一為新建房屋申請五大管線（水、電、瓦斯、電信、衛工管）接管時建商提供之用戶資料、一為舊建物屋後衛工管新埋設之既有用戶（完工後衛工處透過戶政門牌系統查詢後確認收費），這看似簡單的運作法則，就北水處言，上述業務橫跨工程、業務下的 3 個部門，就市府言，亦與北水處、衛工處有關，若沒有跨越領域的人才，就必須有跨越領域的企圖，了解相關流程與盲點，才能亡羊補牢這體制的漏洞，促成整體市政的公平、合理運作，以下為漏徵汗水處理費研究與成果說明，適足以反映跨領域專業與跨域合作的重要。

二、徵收汗水處理費盲點解析

在前節提及衛工處判定代徵汗水下水道處理費對象之來源：包括新建案與既有建物防火巷衛工處排水管接管等，茲進一步說明如下：

(一)新建案：臺北市於核發使用執照前，須由工務局道路挖掘管理中心與五大管線單位確認是否提出道路挖掘申請，藉以控管該新建案是否已完成自來水與衛工管接管作業，以落實道路齊挖齊補，避免反覆開挖而衍生民怨，而完工後的新

設自來水接管門牌，亦可供衛工處篩選作為請北水處代徵污水處理費的清冊依據。

(二)既有建物：一般公寓、大樓等建物多會將家庭使用過之污水統一排、併入大樓共有之大口徑污水排水管（即一整棟公寓、大廈只有 1 支排水管），而衛工處接管只需逐棟將此大樓污水排水管導入衛工處新埋設的衛工管內（公寓一般皆在後防火巷），便可統一蒐集後透過重力管排運送至污水處理廠進行處理，而臺北市老舊建物繁多，防火巷加蓋嚴重，衛工管理設須拆除屋後違建方可佈設衛工管，依衛工處 113 年 10 月 5 日發布新聞稿，全市用戶接管普及率已達 82.68%（居全國之冠）；而衛工處於某巷道、區域完成衛工管接管後，便會比對接管用戶門牌與北水處提供水費收費地址清冊，篩選出新增衛生下水道處理費徵收用戶。

而針對上述新建物及既有建物開增污水處理費實務運作上各有盲點，敘述如下：

(一)新建案盲點「分割新設」：分割新設，意即原為公寓或大廈之 2 戶門牌，但因同一所有權人，新建房屋時只申請 1 水表，現欲辦理分戶或分售，故需新增 1 水表；或原僅 1 門牌，現分割成數門牌，轉作套房出租用，故辦理房屋實體隔間、各設出入口、增編門牌，並新申請數只水表。此種狀況由於是在新建物使照取得及衛工處已確立徵收污水處理費用戶後發生，除非北水處主動稽核轉知，否則衛工處不知有此新增用戶，同樣通過既

有排水系統將家庭廢水排入公寓、大廈同一門牌之共用污水排水管後導入衛工管，此為漏徵的缺口。雖然「分割新設」案件並不多，但積年累月不處理，增加污水處理負擔、衍生公平性問題，是必須重視與解決的。

(二)既有建物盲點「門牌錯誤」：如前述，衛工處執行防火巷等既有用戶衛工管接管工程，對哪些用戶接管，當然由衛工處決定，而非北水處提供，北水處每個月會提供所有用水戶資料，再由衛工處與其手上新增用戶作地址比對，進而針對這些交集用水戶進行收取污水下水道處理費動作。

然而，隨著戶政門牌整編或新的編訂規則訂定，若北水處早期水費單地址未能即時更正，就會發生現場門牌與北水處水費單地址差異狀況，例如，正確門牌應為 5 之 1 號 1~4 樓，可能整批輸入錯誤為 5 號之 1 1~4 樓、5 號 1~4 樓之 1 等，又比如該地址原為 O 路 100 巷 OO 號整編為 106 巷等；因此，若自來水舊用水戶資料地址為舊門牌或早期人工誤植等，衛工處無法比對並擷取成功，而成了另 1 個漏洞。

三、研究方法

針對前述的盲點，研究分別以「漏開徵污水處理費用戶之篩選」（本節）及未來因應措施訂定（下節）來探討。

自來水收費用戶依其供水、計量型態，可分為配水管直接供應之直接表（如透天厝）及配水管間接供應之分表（如公寓、大廈用戶，自來水經過樓下總水表、地下水



池、頂樓水塔，然後經過各戶之分表供水)，而因應新建物與既有建物「漏開徵污水處理費用戶之篩選」分述如下：

(一)分割新設：即為前述總表下增設分表之分析作為。

1.分析標的：以北水處東區分處約 39 萬筆水籍為資料標的。

2.篩選原則：同一門牌之上、下樓理應共用 1 只排水管，且因污水下水道處理費隨水費徵收，故同一總表下之分表戶，若有用戶已收取污水下水道處理費，而同一門牌之樓上、下未收取，則當列為「應補收對象」如圖 1 藍色區域，為台北市 OO 街 26 巷 45 號總表下 3 分表戶，其中 3、4 樓有徵收污水處理費，2 樓未開徵；而所有「應補收對象」應扣除停水、中止、空屋用戶（用水種別代號為「X」、「Y」、「Z」）。

水號	地址	口徑	用水種別	通過總表水號	現是否收取下水道處理費
2 05 0041449	台北市 OO 街 26 巷 45 號總表	20 F		0041449 A	
2 05 0171013	台北市 OO 街 26 巷 45 號二樓	20 A		0041449	應補收
2 05 0041467	台北市 OO 街 26 巷 45 號三樓	20 A		0041449 A	
2 05 0041476	台北市 OO 街 26 巷 45 號四樓	20 A		0041449 A	
2 05 0041529	台北市 OO 街 26 巷 28 號四樓	20 A		0041494 A	
2 05 0041510	台北市 OO 街 26 巷 28 號三樓	20 A		0041494 A	
2 05 0041501	台北市 OO 街 26 巷 28 號二樓	20 A		0041494 A	
2 05 0041494	台北市 OO 街 26 巷 28 號總表	20 F		0041494 A	
2 05 0041574	台北市 OO 街 26 巷 30 號四樓	20 A		0041547 A	
2 05 0041565	台北市 OO 街 26 巷 30 號三樓	20 A		0041547 A	
2 05 0041556	台北市 OO 街 26 巷 30 號二樓	20 A		0041547 A	
2 05 0041547	台北市 OO 街 26 巷 30 號總表	20 F		0041547 A	
2 05 0041627	台北市 OO 街 26 巷 32 號四樓	20 A		0041592 A	
2 05 0041618	台北市 OO 街 26 巷 32 號三樓	20 A		0041592 A	

圖 1 同總表下應補徵污水處理費用戶篩選

3.分析步驟：

(1)資料擷取：因自來水用水度數抄表為 2 個月 1 循環之抄表序（2 個月抄東區營業分處約 39 萬筆水籍資料），依抄表序分別下載 1-01~1-21 及 2-01 ~ 2-18 等日序抄表資料。

(2)將各抄表序資料，先依通過總表水號排序：如此相鄰 2 筆水籍資料除跨總表外，

應為同一大樓下之分表。

(3)每 1 總表下之分表，若相鄰分表有收取下水道費，而該筆未收，則以函數註記「應補收」，目前已收取污水下水道處理費是以字母「A」表示，如圖 2 所示。

(4)前述初步篩選完成資料須輔以人工判別：此處須輔以人工判別，係可能同一總表下分表隸屬不同門牌，部分門牌排水管有接管、部分門牌排水管未接管（如圖 2、106 日序水籍資料之黃色區域儲存格）；或可能係大樓之公共分表，公共分表僅作為植栽澆灌使用，無須繳交污水處理費（如圖 3，106 日序水籍資料黃色區域儲存格），諸如此類因素等，故篩選完成之資料會較嚴謹。

水號	地址	口徑	用水種別	通過總表水號	現是否收取下水道處理費	是否補收
2 05 0179113	台北市 OO 街 247 之 1 號總表	20 F		0179113		0
2 05 0179293	台北市 OO 街 247 之 1 號	40 A		0179113		0
2 05 0179300	台北市 OO 街 247 之 1 號二樓	20 A		0179113		0
2 05 0179319	台北市 OO 街 247 之 1 號三樓	20 A		0179113		0
2 05 0179328	台北市 OO 街 247 之 1 號四樓	20 A		0179113		0
2 05 0179337	台北市 OO 街 247 之 1 號五樓	25 A		0179113		0
2 05 0179346	台北市 OO 街 247 之 2 號二樓	20 A		0179113	A	0
2 05 0179355	台北市 OO 街 247 之 2 號三樓	20 A		0179113	A	0
2 05 0179364	台北市 OO 街 247 之 2 號四樓	20 A		0179113	A	0

圖 2 同總表下不同地址分表用戶篩選

水號	地址	口徑	用水種別	通過總表水號	現是否收取下水道處理費	是否補收
2 05 0199002	台北市 OO 路 288 號十一樓	20 A		0198898	A	0
2 05 0199011	台北市 OO 路 288 號十二樓	20 A		0198898	A	0
2 05 0199020	台北市 OO 路 290 號一樓	20 I		0198898	A	0
2 05 0199039	台北市 OO 路 288 號二樓之一	20 A		0198898	A	0
2 05 0199048	台北市 OO 路 288 號二樓之二	20 A		0198898	A	0
2 05 0199057	台北市 OO 路 288 號三樓之一	20 A		0198898	A	0
2 05 0199066	台北市 OO 路 288 號三樓之二	20 A		0198898	A	0
2 05 0199075	台北市 OO 路 288 號四樓之一	20 A		0198898	A	0
2 05 0199084	台北市 OO 路 288 號四樓之二	20 A		0198898	A	0
2 05 0199093	台北市 OO 路 288 號五樓之一	20 A		0198898	A	0
2 05 0199100	台北市 OO 路 288 號五樓之二	20 A		0198898	A	0
2 05 0199119	台北市 OO 路 288 號六樓之一	20 A		0198898	A	0
2 05 0199128	台北市 OO 路 288 號六樓之二	20 A		0198898	A	0
2 05 0199137	台北市 OO 路 288 號七樓之一	20 A		0198898	A	0
2 05 0199146	台北市 OO 路 288 號七樓之二	20 A		0198898	A	0
2 05 0199155	台北市 OO 路 288 號八樓之一	20 A		0198898	A	0
2 05 0199164	台北市 OO 路 288 號八樓之二	20 A		0198898	A	0
2 05 0199173	台北市 OO 路 288 號九樓之一	20 A		0198898	A	0
2 05 0199182	台北市 OO 路 288 號九樓之二	20 A		0198898	A	0
2 05 0199191	台北市 OO 路 288 號及 290 號一至十二樓	20 I		0198898	A	0
2 05 0199208	台北市 OO 路 292 號三樓	20 Y		0198898	A	0

圖 3 總表公共分表用戶篩選

(5)應補收資料完成後，扣除停水、中止、空屋用戶（如圖 4），發現原 106 日序共計 9012 表栓，其中有 15 只分表水栓須補徵污水

下水道處理費。

水號	地址	口徑	用水種類	通過總表	現是否收取	是否
			別	水號	下水處理費	補收
2 05 0198496	台北市○○街581巷1號四樓之1	20 A		0023825		應補收
2 05 0171013	台北市○○街26巷45號二樓	20 A		0041449		應補收
2 05 0189344	台北市○○街528號之1一樓	20 A		0054382		應補收
2 05 0195293	台北市○○街380巷16號四樓之1	20 A		0074002		應補收
2 05 0195828	台北市○○街201號六樓之2	25 A		0094991		應補收
2 05 0112998	台北市○○街195巷9號五樓	20 A		0112943		應補收
2 05 0189755	台北市○○路5段184號二樓之4	20 A		0115691		應補收
2 05 0187499	台北市○○路5段186號十六樓之4	20 A		0115691		應補收
2 05 0187506	台北市○○路5段186號十六樓之5	20 A		0115691		應補收
2 05 0187515	台北市○○路5段186號十六樓之6	20 A		0115691		應補收
2 05 0187524	台北市○○路5段186號十六樓之7	20 A		0115691		應補收
2 05 0144196	台北市○○路5段186號二樓之1	13 A		0115691		應補收
2 05 0198843	台北市○○路5段192號九樓之3	20 A		0115691		應補收
2 05 0198549	台北市○○路41之6號五樓之1	20 A		0116967		應補收
2 05 0171004	台北市○○路5段42號二樓之7	20 A		0121657		應補收

圖 4 東區分處 106 日序篩選需補徵污水處理費用戶

(6)累計所有日序應補徵污水處理費資料，可得 1000 餘筆應補收用戶，取其近 3 期用水資料平均，再以每年 6 期水費推估 1 年用水度數，並以每度 5 元推估年應補收下水道費，結果推估北水處東區分處 39 萬只水表每年約 148 餘萬元污水費漏徵。

(二)既有建物：

如圖 5，右側為透過民政局之門牌檢索系統網址下載資料，左側為自來水水費地址資料（黃色區域為相對應地址），而黃色區域剛好都沒有收到污水下水道處理費，其相鄰同總表下的分表都有收取（藍色區域），合理推斷其為門牌系統性錯誤，造成無法辨識收取費用。



圖 5 台北市民政門牌檢索系統與北水處水籍地址差異案例

相對於分割新設為總表下分表比對（垂直比對），門牌差異則可算是平面對位，研究應用 QGIS 布點，進行已開徵衛生下水道處理費與未開徵衛生下水道處理費資料座標的布點，然後針對已開徵處理費點位以距離矩陣分析，找尋距離未開徵處理費最近的繳費用戶，若這距離在 10 公尺以內（本研究建議，考量一般臺北市的住家距離），則標註其定位，而後研判；相關細節敘述如下。

- 1.分析標的：同樣以北水處東區分處約 39 萬筆水籍為資料標的。
- 2.布點座標取得：因布點須取得點位座標，這可由北水處網路版的地理資訊系統（Web-gis）帶入水籍水號、地址、表號等相關資訊以求得 97 年二度分帶座標，然因原始資料庫僅針對總表、直接表進行座標給定，原始開徵污水處理費等用戶資訊包含分表，拋轉進分表的水號、地址等資料，系統將無法比對出相應座標，故研究採地址去樓層方式轉入，例如○○街96號一至五樓統一以○○街96號（另外因北水處 Web-gis 地址資料之數字部分比對須為半形字體，故亦需針對原始水費資料地址部分進行修正），而後批次取得點位座標。
- 3.分析步驟：
 - (1)水費資料取得：採用前節三、研究方法、(一)分割新設、3.分析步驟之(1)~(3)所得資料。
 - (2)用戶資料座標取得：將已徵收及未徵收污水下水道處理費地址資料分別轉入北水處 Web-gis 系統取得 97 年二度分帶座標。

(3) QGIS 資料布點：將已徵收污水下水道處理費用戶座標布點於地圖上，如圖 6，接著將未徵收污水下水道處理費用戶座標亦布點於地圖上，如圖 7，可以發現 OO 街 98 號及 OO 街 92 巷 1 弄 5 號緊鄰用戶皆有收取污水下水道處理費，而這 2 戶沒有。

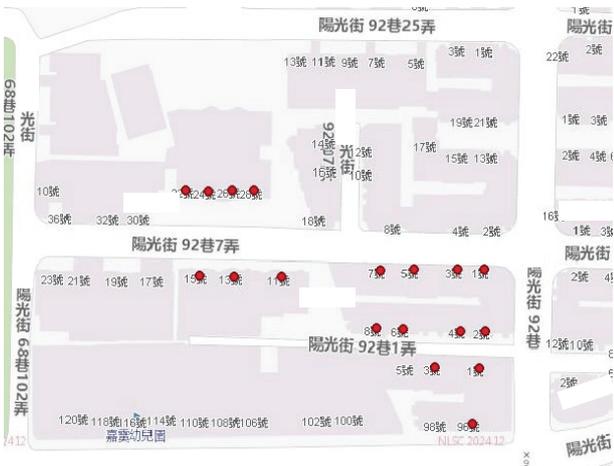


圖 6 QGIS 收取污水處理費(紅色)布點結果



圖 7 QGIS 收取污水處理費(紅色)與未收取(綠色)布點結果 1

(4) 找尋距離未開徵處理費最近的繳費用戶：針對已開徵處理費點位以距離矩陣分析，找尋距離未開徵處理費最近的繳費用戶標註其定位，如圖 8 藍色點位，這作業

目的在大範圍圖幅、資料繁多情況下，加速研判可能排入衛生下水道位置。



圖 8 QGIS 未收取污水處理費其距離最近收取處理用戶(藍色)布點結果

(5) 比對衛工處管線圖層：透過臺北市道路挖掘管理系統可分析前述未接用衛工管圖資(如圖 9)，於實務上是否鄰近衛工管而未收費，由圖上看來 OO 街 92 巷 1 弄 5 號應未接衛工管，而 OO 街 98 號則於馬路對向側方有衛工管，該戶是否有接管，尚須請衛工處協助查察。



圖 9 臺北市道管中心衛工管圖資 1

又如 OO 街 68 巷 156 號未徵收污水下水道處理費(如圖 10)，而相鄰住戶皆開徵汗

水下水道處理費，另比對臺北市道管中心衛工管圖資（如圖 11），其衛工管設置健全，該戶便可能是漏徵用戶。



圖 10 QGIS 收取汗水處理費(紅色)與未收取(綠色)布點結果 2



圖 11 臺北市道管中心衛工管圖資 2

然而，上述平面對位、QGIS 布點推估

後是否需補徵汗水處理費，仍需請衛工處確認，因用戶旁雖有衛工管，然有時因管障等因素而無法接管，對這樣產出的分析結果，無法得到百分之百的肯定，故嚴謹地不將此類案件納入效益評估。

四、研究結果與探討

(一)研究結果

以「分割新設」漏徵資料分析結果顯示，北水處東區分處每年少收 1000 餘戶用戶，金額約 148 萬餘元，因全臺北市水籍資料約有 110 萬筆，保守推估至少每年少收 420 萬元以上，而若加計平面布點漏徵的推估後，其漏徵金額會更大，而以北水處收取 3.5%手續費來說，每年可多徵得 15 萬元，增加金額雖不大，積年累月亦是筆大數字。

(二)結果探討

未來改善可分成 3 方向：

- 1.對既有用水戶補收：分表戶可比照本案分析模式，直接表用水戶分析不確定性高且須衛工處配合，需再與衛工處研討、合作。
- 2.既有用水戶水籍資料修正地址與戶政門牌系統同：目前依 2 方向執行。
 - (1)抄表員至現場抄表時若發現門牌與水費檔地址有誤，可請本處派員複查更正。
 - (2)戶政單位辦理門牌作業時，將不定期通知本處配合更正。

另若人力許可，可洽請北市民政局提供全市地址電子檔供用水地址比對更正。

- 3.未來弱點之補強：每月新增用戶水清冊可提請衛工處確認，而不僅僅由衛工處獨立建置，避免遺漏。

五、結論及建議

本研究初估可增加北市府衛工處每年 420 萬以上營收及北水處 15 萬以上手續費收入，費用雖不高，但修正此漏洞可強化政府公信、實現社會公平正義，並增加機關間橫向聯繫管道，一舉數得。

從衛工處開始埋管起，至今應有數十年，這 2 個漏洞前幾年方被提起，原因有二，一是跨領域，除北市府需橫跨衛工、北水處 2 單位外，就自來水處言，這些業務必須熟悉資訊、業務等 2 個科室及營業分處的 2 個工程、業務股的專業，而少有這些跨領域經歷、訓練的人；而另一項更重要的是，對業務之敏感性、好奇心與行動力，在面對習以為常的制度，能有探究、改革的企圖心。

跨領域人才的培養已於近年受到重視，然實際的作為卻常因機關日益繁重的業務與急於求成的效率所限制，致術業有專攻卻乏通才，而另一方面，機關間的聯繫、合作是否暢通，也是服務型政府應該著墨與考量的。

參考文獻

- 1.陳曼莉、吳能鴻、林珈汶、蘇啟祥、葉蘇蓉、楊翠華、陳信雄、李鴻利 (2018), 強化用戶內線服務以提升用水管理效能之研究, 中華民國自來水協會107年度研究計畫。
- 2.臺北市府113年10月5日新聞稿(2024), 「北市衛工處「1年接管1萬戶」提前達標 污水接管普及率創新高」, https://www.gov.taipei/News_Content.aspx?n=F0DDAF49B89E9413&s=3CC8E6B09D40131B
- 3.周家榮(2009), 「發現體制上的弱點, 每年找回市府(衛工處)失落的數百萬」, 臺北自來水

事業處98年員工提案。

作者簡介

張世勳先生

現職：臺北自來水事業供水科防漏股股長

專長：管網改善、小區計量實務及漏水管理等

自來水從業人員應知悉—職業安全衛生法簡介

文/謝彥安

摘要

自來水從業人員在執行職務時，環境中常出現有不利勞工安全之因子，諸如摔落、空氣不流通、沼氣、高溫氣候、有害化學品等危害因子，對於相關安全保護措施之建置至關重要。職業安全衛生法的實施標誌著台灣對於勞工之職業安全衛生保護的重視，本文簡介該法精要，保障勞工生命、身體、健康等權利不受侵害，及防止職業災害及職業病，全面保障勞工生命、身體、健康等權利，強化政府監管力道，並加重雇主責任。希冀能藉由本文給自來水相關從業人員對於職業安全衛生法有更深入之了解。

關鍵字：職業安全衛生法、職業災害

一、前言

職業安全衛生法施行至今已逾 10 年。但是近期仍有重大工安事件之發生而受罰，顯見仍有諸多人員對於該法之存在並不了解。

自來水從業人員在執行職務時，環境中常出現有不利勞工高安全之因子，諸如衰落、空氣不流通、沼氣、高溫氣候、有害化學品等危害因子，對於相關安全保護措施之建置至關重要。職業安全衛生法在近年來的修法，朝向加重雇主即政府監管力道方面進行修法，反映了台灣社會在面對預防職業災害的積極回應，也顯示政府在保護勞工免於遭受職業災害之傷害、捍衛勞工生命、身體

及健康權利之決心，旨在透過法律手段監管勞動安全，以保障勞工的權利。有鑑於自來水相關從業人員如能理解該法令將能更保障自身權益，故特撰寫本文分享法令重點以饗讀者。

二、職業安全衛生法的立法背景與目的

在探討職業安全衛生法的立法背景與目的時，我們必須從台灣社會經濟發展政策了解。自 60 年代起，政府的經濟發展政策為輕重工業發展並重，並推動第二次進口替代，此時職業災害的風險較以前之農業、輕工業增加，故於民國 63 年時，訂定勞工安全衛生法，但是隨著後續產業升級，並發展高科技產業，新興職業災害的發生，原本勞工安全衛生法已無法滿足產業升級後之職場需求，也於 80 年及 91 年進行修正，嗣後於 102 年更名為職業安全衛生法，並於 108 年再次修正；隨著歷次的修正，除原有之職業災害範圍外，納入了新興職業災害（如：放射性物質、生物所造成之傷害），並將勞工工作產生之心理、精神上傷害，亦納入職業災害範圍，亦將適用範圍擴張。此外為配合國際勞工組織(ILO)2000 年「母性保護公約」之修正及我國「反對婦女一切形式歧視公約（CEDAW）施行法」之實施，亦有增修對於女性及少年勞工之健康保護措施，且歷次修法也不斷加重雇主責任、加大政府監管力道，讓職業安全衛生法趨於完備。

職業安全衛生法的立法目的主要有以下 2 點：

- 1.保障勞工生命、身體、健康等權利不受侵害：確保勞工在工作過程中不會受到潛在危險及危害對其生命、身體、健康有所侵害，從而保障勞工之身體健康和生命安全。
- 2.防止職業災害及職業病：透過立法要求雇主應提供安全設施、適當的勞動環境等作為，並進行必要的安全教育訓練，以降低職業災害發生之機率，同時也將發生職業災害時對勞工之傷害降到最低，並避免勞工罹患職業病（如：潛水夫病、矽肺病）。

職業安全衛生法在近年來的修法，朝向加重雇主即政府監管力道方面進行修法，反映了台灣社會在面對預防職業災害的積極回應，也顯示政府在保護勞工免於遭受職業災害之傷害、捍衛勞工生命、身體及健康權利之決心，旨在透過法律手段監管勞動安全，以保障勞工的權利。

三、職業安全衛生法自舊法勞工安全衛生法修正後之特色：

職業安全衛生法於 102 年自舊法勞工安全衛生法修正後，標誌著對職業安全衛生監管機制的顯著改進，從而有效地保護勞工生命、身體、健康等權利，值得讀者多加了解，以下是幾個主要新特點的說明：

(一)擴大解釋勞工之定義

職業安全衛生法修正後，適用對象除受僱勞工，尚包含了自營作業者及其他受工作場所負責人指揮或監督從事勞動之人員，如派遣工、實習生等，換言之，已經將適用範圍納入各行各業的工作者了。

(二)針對機械、設備及化學品源頭管理機制

職業安全衛生法修正後，也針對勞工工作場所可能使用之機械、設備，規範了源頭性管制措施。針對生產或進口這些機械、設備的廠商，必須經過安全檢驗，並取得安全認證標章，方能出廠或進口。針對化學品的部分，則要求依化學品對健康危害、散佈狀況及使用量等情形，評估風險等級，並採取分級管理措施；並且需揭示安全資料表。

(三)強化女性及未滿十八歲勞工之健康保護措施

配合國際勞工組織(ILO)2000 年「母性保護公約」之修正，對於孕期或分娩後未滿一年之女性勞工，明文規定禁止從事之危險性或有害性工作之種類及範圍，並且要求雇主應就孕期或分娩後未滿一年之女性勞工，採取工作調整或更換等保護措施；此外，雇主尚需對有母性健康危害之虞的工作，採取危害評估、控制及分級管理措施。另外，針對未滿十八歲的勞工，雇主不得命令未滿十八歲的勞工從事危險性或有害性工作；且，未滿十八歲的勞工經醫師評估，不能適應原有工作時，雇主應採納醫師的建議，變更其作業場所、更換工作或縮短工作時間，並採取健康管理措施。

(四)強化職業病預防機制

雇主除對可能有危害勞工安全之環境進行預防，尚須對於潛在造成職業病之情況進行應對，對於輪班、重複性作業、他人行為遭受身體或精神不法侵害等事項，需建立必要安全措施。

(五)高風險事業之監管機制

針對石化工業及製造、處置或使用危害

性之化學品數量達中央主管機關規定量以上的企業，要求定期實施製程安全評估，並製作製程安全評估報告及採取必要之預防措施。

(六)提高罰則

違反規定，除會被科以罰鍰外，主管機關亦會於將企業名稱、負責人資訊及違反態樣等資訊於勞動部違反勞動法令事業單位查詢系統網站上公布。

(七)勞工退避權

勞工執行職務時，發現有立即性危險之虞時，得在不危及其他工作者安全的情形下，自行退避至安全場所，並向直屬主管報告，而雇主不可以對行駛退避權的勞工有任何不利之處置。

綜上，上述關鍵特點共同構成了職業安全衛生法的核心框架，反映了立法者對於建立一個更加公平、有效和專業的職業安全衛生法機制的決心。透過這些創新的設計，旨在平衡勞資雙方的利益，保障勞工權益，同時也為企業提供了一個更為明確和可預見的法律環境，促進社會和諧與經濟發展。

四、雇主預防職業災害的措施：

根據職業安全衛生法，雇主有以下義務以防止職業災害發生：

(一)採取必要的預防設備或措施：

雇主應在合理可行的範圍內，採取必要的預防設備或措施，使勞工免於發生職業災害（第 5 條）。

(二)提供符合規定的安全衛生設備及措施：

1. 雇主對於防止機械、設備或器具等引起的危害，爆炸性或發火性等物質引起的危

害，以及電、熱或其他能量引起的危害等，應有符合規定的必要安全衛生設備及措施（第 6 條）。

2. 其他應有符合規定的必要安全衛生設備及措施包含：

- (1) 防止採石、採掘、裝卸、搬運、堆積或採伐等作業中引起之危害。
- (2) 防止有墜落、物體飛落或崩塌等之虞之作業場所引起之危害。
- (3) 防止高壓氣體引起之危害。
- (4) 防止原料、材料、氣體、蒸氣、粉塵、溶劑、化學品、含毒性物質或缺氧空氣等引起之危害。
- (5) 防止輻射、高溫、低溫、超音波、噪音、振動或異常氣壓等引起之危害。
- (6) 防止監視儀表或精密作業等引起之危害。
- (7) 防止廢氣、廢液或殘渣等廢棄物引起之危害。
- (8) 防止水患、風災或火災等引起之危害。
- (9) 防止動物、植物或微生物等引起之危害。
- (10) 防止通道、地板或階梯等引起之危害。
- (11) 防止未採取充足通風、採光、照明、保溫或防濕等引起之危害。

(三)規劃及採取必要的安全衛生措施：

1. 雇主對於重複性作業等促發肌肉骨骼疾病之預防，輪班、夜間工作、長時間工作等異常工作負荷促發疾病之預防，以及執行職務因他人行為遭受身體或精神不法侵害之預防等，應妥為規劃及採取必要之安全衛生措施（第 6 條）。
2. 其他應妥為規劃及採取必要之安全衛生措施包含：避難、急救、休息、其他為保護勞工身心健康之事項等。

(四)危害告知和通識措施：

對於具有危害性之化學品，雇主應予標示、製備清單及揭示安全資料表，並採取必要之通識措施（第 10 條）。

(五)風險評估和分級管理：

對於前條之化學品，應依其健康危害、散布狀況及使用量等情形，評估風險等級，並採取分級管理措施（第 11 條）。

(六)作業環境監測：

對於中央主管機關定有容許暴露標準之作業場所，應確保勞工之危害暴露低於標準值。對於經中央主管機關指定之作業場所，應訂定作業環境監測計畫，並實施監測（第 12 條）。

(七)製程安全評估：

對於從事石油裂解之石化工業，或從事製造、處置或使用危害性之化學品數量達中央主管機關規定量以上之工作場所，事業單位應定期實施製程安全評估，並製作製程安全評估報告及採取必要之預防措施（第 15 條）。

(八)停止作業：

工作場所有立即發生危險之虞時，雇主或工作場所負責人應即令停止作業，並使勞工退避至安全場所（第 18 條）。

(九)工時安排：

在高溫場所工作之勞工，雇主不得使其每日工作時間超過六小時；對於異常氣壓作業、高架作業、精密作業、重體力勞動或其他對於勞工具有特殊危害之作業，亦應規定減少勞工工作時間，並在工作時間中予以適當之休息（第 19 條）。

(十)健康檢查：

雇主於僱用勞工時，應施行體格檢查；對在職勞工應施行一般健康檢查、從事特別危害健康作業之特殊健康檢查，及經中央主管機關指定為特定對象及特定項目之健康檢查（第 20 條）。

五、雇主若違反法律規定將面臨之處罰：

根據《職業安全衛生法》第五章的規定，雇主若違反該法，將面臨以下處罰，不可不慎：

(一)刑事處罰：

1. 三年以下有期徒刑、拘役或科或併科新臺幣三十萬元以下罰金：若雇主違反第六條第一項（未提供安全衛生的工作環境）或第十六條第一項（未對有害作業採取必要之防護措施），且導致勞工死亡，將面臨此刑罰。
2. 一年以下有期徒刑、拘役或科或併科新臺幣十八萬元以下罰金：若雇主違反上述條款，導致勞工重傷，或違反第十八條第一項（未提供必要之安全衛生教育訓練）、第二十九條第一項、第三十條第一項、第二項或第三十七條第四項的規定，或違反主管機關或勞動檢查機構依第三十六條第一項所發出的停工通知，將面臨此刑罰。

(二)行政罰鍰：

1. 新臺幣三十萬元以上三百萬元以下罰鍰：若雇主違反第十五條第一項、第二項的規定，導致危害性化學品洩漏或引起火災、爆炸，並造成職業災害，將被處以此罰鍰；

若經通知限期改善，屆期未改善，並得按次處罰。

- 2.新臺幣三萬元以上三十萬元以下罰鍰：若雇主違反第十條第一項（對於具有危害性之化學品，雇主應予標示、製備清單及揭示安全資料表）、第十一條第一項（對於前條之化學品，應依其健康危害、散布狀況及使用量等情形，評估風險等級，並採取分級管理措施）、第二十三條第二項（雇主應依其事業單位之規模、性質，設置安全衛生管理單位及人員）之規定，經通知限期改善，屆期未改善，將被處以此罰鍰。
- 3.新臺幣三萬元以上三十萬元以下罰鍰：違反第六條第一項（雇主應防止職業災害）、第十二條第一項、第三項（對於中央主管機關定有容許暴露標準之作業場所，應確保勞工之危害暴露低於標準值）、第十四條第二項（未經許可不得製造、輸入、供應或使用管制性化學品）、第十六條第一項（事業單位以其事業招人承攬時，應告知承攬人有關其作業環境、危害因素及有關安全衛生之規定）、第十九條第一項（雇主不得使勞工連續工作超過十二小時）、第二十四條（雇主應使勞工接受安全衛生教育訓練）、第三十一條第一項、第二項（雇主應提供勞工必要之安全衛生防護具）、第三十七條第一項、第二項（事業單位工作場所發生職業災害，雇主應即採取必要之急救、搶救等措施，並實施調查、分析及作成紀錄）；違反第六條第二項致發生職業病。

(三)其他：

除了上述罰鍰及刑責外，雇主亦可能面臨：

- 1.公布事業單位名稱（第 49 條）。
- 2.停工處分（第 36 條）。
- 3.民事賠償責任（例如：醫療費用、工資損失、精神慰撫金等）。
- 4.此外，若法人（公司）犯上述罪行，除處罰其負責人外，該法人亦將被科以相應的罰金。

六、對勞資雙方的影響及應對策略

職業安全衛生法對於勞資雙方均帶來了深遠的影響，同時也要求雙方採取謹慎的態度以面對潛在之職業災害預防。以下將分別探討職業安全衛生法對勞工和企業的影響，以及雙方可以採取的策略。

(一)對勞工的影響

職業安全衛生法的制定顯著強化對勞工於職場之身心理健康之保障，透過加重雇主責任、加大政府監管力道等措施，為勞工提供了更加有力的保護。

1.勞工應對策略：

- (1)增進法律知識：勞工應該增強自己對職業安全衛生法及相關勞動法律的了解，以便在可能有害身心理健康之環境工作時能夠更有效地維護自己的權益。
- (2)適時對不合規定之職場提出質疑或向主管機關申訴：鼓勵勞工適時對不合規定之職場，向雇主提出質疑或向主管機關申訴，並充分表達自己的訴求，以達成保障自己的權利。
- (3)合理運用法律資源：在必要時，勞工應考

慮聘請具有勞動法專長的律師，以獲得專業的法律諮詢，更好地保護自己的權利。

(二)對企業的影響

對於企業而言，職業安全衛生法的存在意味著在處理勞資爭議時需要更加謹慎和專業。法律對於職業災害的處理提出了更嚴格的要求，尤其是在內部管理及職業災害通報及協助調查方面。企業需要進一步完善內部安全衛生管理制度，及相關安全防護措施，確保其符合職業安全衛生法的規定，同時也要提高對員工職業安全衛生之訴求的響應速度和處理效率，以避免不必要的法律風險和經濟損失。

1.企業應對策略：

- (1)完善安全衛生管理措施：企業應該根據職業安全衛生法的要求，對可能造成勞工職業災害之作業環境進行審視和改善，確保相關安全措施都符合法律規範。
- (2)踐行內部安全衛生管理：企業應依其事業單位之規模、性質，訂定職業安全衛生管理計畫。並設置安全衛生組織、人員，定期實施安全衛生管理之自我檢查；此外，新進員工入職時，應辦理職驗安全衛生教育訓練，告知可能之職業災害之樣態、對於職業災害應採取之預防措施。
- (3)積極配合主管機關之要求改善：若在勞檢機關進行勞檢時，有任何不合格之情形，應立即改善，有必要時可尋求勞動部協助或洽請勞動部認可之顧問服務機構提供專業技術輔導。
- (4)職災發生時應主動通報並配合相關機關

調查：若不幸發生職業災害造成勞工有傷亡，應依法律所規定之時限內通報勞動檢查機構，並配合勞動檢查機構之調查，切勿隱匿職業災害資訊或破壞現場證據，否則將被課以罰鍰。

- (5)要求機械、設備製造商或進口商應取得安全認證：現行職業安全衛生法亦就生產機械或設備之廠商，要求所生產之設備或機械要符合法規之安全標準，並於取得安全認證後，方能販售或進口。

七、結語

透過加重雇主責任、職業災害認定範圍的擴大、以及政府監管力道強化，職業安全衛生法不僅提升了勞工之職場安全，也更加全面地保護了勞工的生命、身體及健康等權利。

隨著職業安全衛生法的逐步落實與實踐，期望能夠見到更多積極的改變，包括大幅降低職業災害之發生率，以及大幅降低職業災害發生時之傷亡人數。透過這些努力，職業安全衛生法將為台灣勞動市場的長期健康發展與重要的力量，其制度內容請自來水相關從業人員多加留意並加以運用，除了增加職場安全、也能避免遭受處罰。

參考文獻

- 1.本文之法條、判決查詢來源為法源法律網
<https://db.lawbank.com.tw/FLAW/>
- 2.勞動部違反勞動法令事業單位查詢系統網站，<https://announcement.mol.gov.tw/>

作者簡介

謝彥安先生

現職：執業律師、土木技師、國立台灣大學兼任講師、

台北自來水事業處「管線工程廠商領班人員訓練」法律講座、台北自來水事業處企業工會

「112 年勞動法令研習活動」法律講座

專長：工程法律、廉政倫理、勞資法律

本刊 114. 115 年「每期專題」

期別	主題	子題	時程
44 卷 第 3 期	水質處理	1.飲用水質政策及監管、2.水源水質管理、3.天然有機物去除處理、4.水安全計畫、5.先進水質檢測技術、6.新興污染物調查分析處理、7.水質監測與管理、8.淨水處理藥劑申請應用及管理。	8 月
44 卷 第 4 期	數位技術 應用	1.數位化技術提升供水系統管理效率、2.物聯網(IoT)技術在管網監控中的應用、3.AI 智慧化監控水質與預警系統、4.數位雙生(Digital Twin)技術在自來水系統模擬中的應用、5.大數據分析助力供水需求預測與調度、6.區塊鏈技術提升供水數據安全與透明度、7.無人機與數位技術應用於管網巡檢、8.AI 輔助檢漏降低漏水率之技術應用、9.智慧水表與自動化抄表系統應用	11 月
45 卷 第 1 期	工程技術	1.工程規設、施工及計劃管理、2.智慧供水技術、3.管線免開挖更生技術、4.環境友善及先進水處理技術、5.創新水源開發技術、6.薄膜技術、7.新興污染物處理技術、8.新興技術。	2 月

~歡迎各界就上述專題踴躍賜稿，稿酬從優~

供水調配策略研究一

以九芎加壓站及斗六楓樹湖地區為例

文/黃崇哲、陳詠晴、陳中和

摘要

降低漏水率及節約動力費是台水公司重要任務，對於公司整體營運或經營績效尤其重要。但冰凍三尺，非一日之寒，解決漏水率問題是一個艱鉅挑戰，特別是在面對管線汰換成本高昂、人力資源有限的情況下；漏水，不只造成水資源浪費與經濟方面損失，亦對環境和家庭經濟帶來影響。緣此，如能有效地調整供水模式，不僅可以節省開支，還有助減少能源需求，降低環境衝擊。

本研究透過實際改善方法之案例分析，以「九芎加壓站及斗六楓樹湖地區」為例，探討該地區之供水調配模式，如何以更有效供水調配及控制策略之調整，達到降低破管率，並消耗較少的能源或電力，以節約動力費。

關鍵字：供水調配模式、降低漏水率、節約動力費

一、前言

九芎加壓站位處雲林縣林內鄉九芎村，進水來源為雲林系統林內淨水場，進水壓力約 $2.7\text{kg}/\text{cm}^2$ ，為供應湖本及楓樹湖等高地區，需以 20HP 抽水機全載啟動出水，出水壓力長時間操作在 $7\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上，然而，高地區尖峰及離峰用水量差異甚大，如圖 1，如未能有效調控供水，將造成夜間離峰時段之高壓水流對管道造成額外壓力，進而產生破管之情況。

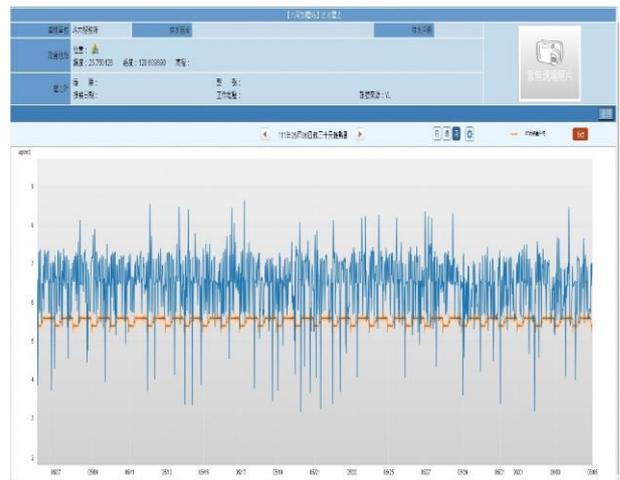


圖 1 九芎加壓站出水壓力

九芎加壓站既有供水範圍主要為林內鄉九芎村、湖本村及斗六市湖山里楓樹湖地區，供水戶數約 1,000 戶，供水量約 950 CMD，設有兩台抽水機分別為 15HP 及 20HP，其供水範圍如下圖 2 紅色區域。



圖 2 九芎加壓站供水範圍

另外，根據破管歷史記錄統計，該地區包括九芎、湖本以及楓樹湖地區之破管件數高達 70 件，如圖 3。這些破管情況分佈於九芎地區附近之各個區域，如圖 4，進而常需支付高額的維修費用以進行管線修復。為解決這一問題，急需實施改善措施。

管線識別碼	口徑	管線長度 (公里)	近三年破 管次數	近三年破 管頻率	總破管次 數
5.25006E+20	100	0.723	1	0.461	1
5.48003E+20	80	0.585	2	1.14	16
5.48003E+20	80	0.246	0	0	4
5.48003E+20	100	0.219	0	0	1
5.48003E+20	50	0.165	0	0	1
5.48003E+20	80	0.049	1	6.779	1
5.48003E+20	80	0.038	0	0	1
5.48003E+20	100	0.539	0	0	11
5.48003E+20	40	0.695	0	0	1
5.48003E+20	25	0.154	1	2.165	3
5.48003E+20	80	0.067	1	4.946	1
5.48003E+20	100	0.452	0	0	1
5.48003E+20	100	0.287	0	0	1
5.48003E+20	50	0.176	0	0	1
5.48003E+20	80	0.385	1	0.867	4
054800320966265 011A011	150	1.597	2	0.417	4
5.48003E+20	100	0.462	2	1.442	2
5.48003E+20	100	1.071	0	0	2
5.48003E+20	80	0.014	0	0	1
5.48003E+20	100	0.226	0	0	1
5.48003E+20	100	0.387	0	0	1
5.48003E+20	50	0.092	0	0	2
5.48003E+20	50	0.255	0	0	1
5.48003E+20	65	0.098	1	3.402	2
5.5E+20	100	0.1	0	0	1
5.5E+20	100	0.201	0	0	1
5.5E+20	50	0.047	1	7.137	1
5.5E+20	100	0.239	0	0	1
5.5E+20	40	0.066	1	5.071	1
5.5E+20	100	1.173	1	0.284	1
			總件數		70

圖 3 九芎加壓站供水範圍破管統計表

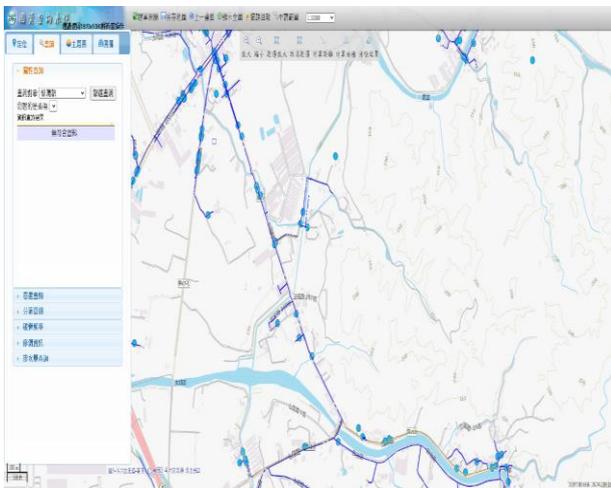


圖 4 九芎地區修漏點示意圖

二、九芎加壓站原有供水問題解析

原有九芎加壓站設有 15HP 及 20HP 抽水機全時段全壓啟動，其所面臨之問題分析如下：

(一)尖峰時段高地區水壓不足

由於 15HP 抽水機已服役超過 10 年，供水效率下降，導致部分高地區使用者水壓不足。因此，既有的操作模式於白天尖峰用水時段為使用 20HP 抽水機運轉，造成 20HP 抽水機過度使用，不僅增加耗電量也容易加速抽水機故障。

(二)供水壓力不穩定

根據上圖 1 九芎加壓站出水壓力之觀察結果發現，九芎加壓站出水壓力受限於高地區用水狀況不同及當地地形之起伏，由於缺乏變頻器的調節，導致出水壓力在 5 kg/cm² 至 8 kg/cm² 之間，不斷反復震盪。在不穩定之壓力下，不僅會影響用戶用水體驗，使用戶難以獲得一致的水流壓力，也容易因壓力突變引發管道破裂之風險。因此，需要採取相應的措施，如安裝變頻器等設備，來穩定加壓站的出水壓力，確保供水系統的正常運行，並減少管道損壞的可能性。

(三)九芎加壓站動力費偏高

在既有的供水模式下，無論進水壓力高低，均需採用 20HP 抽水機全負荷模式在尖峰時段供水。導致九芎加壓站每月平均耗電量高達 7,772 度，計算後每月電費約為 2 萬元。考慮到電價持續上漲，將持續增加公司經營成本之負擔。這種高耗電量的情況可能源于抽水機在全載下運行，無法根據實際需

求進行調節。因此，需要重新評估供水模式調配，以優化能源利用，降低運營成本，提高系統的效率和穩定性。可能的解決方案包括引入變頻器或其他節能設備，以根據實際需求調節抽水機的運行，從而降低能耗和電費支出。

三、九芎加壓站供水改善策略

(一)九芎加壓站機電改善

111 年度辦理「九芎加壓站機電改善」工程，對現有的九芎加壓站的抽水機進行改善，安裝變頻器。使得我們能夠調節供水壓力，從而調整供水的穩定性。在加裝變頻器後，採取了以下供水壓力調節策略：

- 1.在離峰時段 22:00~5:00，供水壓力調降為 $5.4\text{kg}/\text{cm}^2$ 。
- 2.由於鄉下地區較早起床的習慣，在 5 時至 7 時，將壓力略微調升至 $5.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 。
- 3.在尖峰用水時段 7 時至 22 時，供水壓力調降為 $5.6\text{kg}/\text{cm}^2$ 。
- 4.透過這種供水壓力的差異化調節，能夠更好地滿足不同時間段和區域的供水需求，提高供水系統的效率。

改善後的九芎加壓站出水壓力如圖 5 所示。與上圖 1 中，顯示原有不穩定出水壓力相比，改善後的供水壓力除了極少數突波外，大致維持在設定的壓力值下進行供水。離峰時段壓力穩定在 $5.4\text{ kg}/\text{cm}^2$ ，早上 5 時至 7 時的用水高峰期則調升至 $5.5\text{ kg}/\text{cm}^2$ ，尖峰用水時段進一步提高至 $5.6\text{ kg}/\text{cm}^2$ 。這種穩定之壓力輸出，不僅減少水壓不穩定的情形，也有效降低管線破裂的風險。

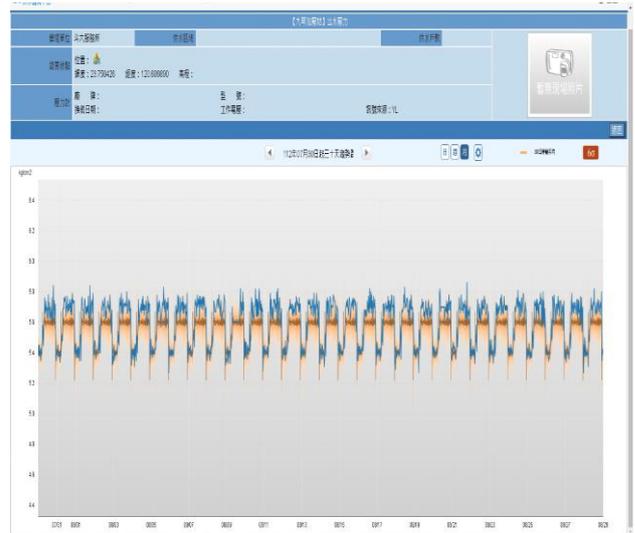


圖 5 增設變頻器後九芎加壓站出水壓力曲線

穩定的水壓對於整個供水系統的運行至關重要。原有系統中的壓力波動導致破管和機電設備的壽命縮短外，也增加維護和修理的成本。透過九芎加壓站機電改善後的運行模式，有效地將水壓控制在更合理的範圍內，使得供水系統在不同時段都能夠平穩運行。此外，穩定的水壓還改善了用戶的用水品質，特別是在用水尖峰時段，有效的減少了民怨。

總歸來說，這次改進不僅提升了供水系統的穩定性和可靠性，還提高了整體的運營效率。未來，將持續監控系統運作情況，進一步優化和改進，確保為用戶提供更加優質的供水服務。

(二)楓樹湖地區管線聯絡

111 年度辦理管線聯絡將楓樹湖地區與湖山里連接，使該地區改由梅林加壓站供水。這一變更將顯著改善楓樹湖地區的供水穩定性和可靠性。調整後的供水範圍如圖 6 所示，楓樹湖地區改由梅林加壓站供水。



圖 6 更改供水調配後九芎加壓站供水範圍

經綜合檢討梅林加壓站和湖山里地區高程，梅林加壓站送水至湖山里最高地區樣仔坑部落（高程 148 米），應能力可以供應楓樹湖地區（高程 122 米）。因此，透過利用聯絡管線，將楓樹湖地區的供水模式切換為由梅林加壓站供水。

這一改變不僅能有效降低九芎加壓站的供水壓力，還能顯著提升楓樹湖地區的供水穩定性。新的供水模式將確保在楓樹湖及九芎兩地區供水均需求得到更適切的滿足，減少因壓力波動引發的後續問題。這次管線調整不僅改善了供水系統的運行效率，還提升了供水的穩定性和可靠性。後續將持續關注這一調整的效果，確保能夠持續

提供高質量的供水服務。

四、供水改善後之效益分析

(一)供水穩定度

111 年完工調整供水模式後之供水穩定效益分析，112 年修漏案件數量的顯著下降。112 年修漏案件僅有 2 件，分別為 80PVCP 管線和 40PVCP 管線。相對於實施策略改善前的情況，這是一個極為顯著的改善成果。

再回顧過去幾年破管數據，108 年有 11 件修漏案件，109 年減至 4 件，110 年稍有增加達 6 件，而 111 年又增至 13 件。然而，在 112 年調整供水模式後，修漏案件數量驟降至 2 件，顯示供水穩定度提升對於降低管道破損之重要性。

綜上，改善策略不僅提供居民享了更穩定的供水服務，降低修理和維護的成本，及破管停水影響民眾之生活品質。同時，管道和設備的使用壽命及維護週期因而大幅得以延長。本次供水模式調整不僅帶來了明顯的效果改善，也為未來供水系統運作提供了穩定的基礎。

(二)節約動力費

111 年完工調整供水模式後九芎加壓站及梅林加壓站的用電量比較分析，如表 1，完工前九芎加壓站每月用電量約為 7,772 度，調整後九芎加壓站平均每月用電量降為 3,611 度，降低 4,161 度，節電達 53.5%。

另，再考量原九芎地區部分區域改由梅林加壓站供水的情況後，如表 1，梅林加壓站用電量在完工前，每月用電量高達 13,246 度。然而，經調整後，梅林加壓站的平均每

月用電量增加至 13,316 度，僅略微增加 70 度的用電量。經加計九芎加壓站所減少用電量，每個月仍節省 4,091 度之用電量。

表 1 九芎加壓站、梅林加壓站 110 年及 112 年動力費用

單位：度

	九芎加壓站		梅林加壓站	
	110 年	112 年	110 年	112 年
1 月	8170	4460	14320	13880
2 月	7000	4948	12440	13800
3 月	9160	4226	15240	13440
4 月	7358	3472	14640	13400
5 月	7285	4173	12880	12120
6 月	7597	2419	14080	11880
7 月	7426	3456	13360	13600
8 月	7512	3479	12080	12600
9 月	8383	3260	13280	14680
10 月	7694	3063	12160	12640
11 月	7528	3310	11400	13840
12 月	8151	3073	13080	13920
每月平均	7772	3611	13246	13316

整體而言，雖楓樹湖區域的供水轉由梅林加壓站供給，但整體系統效率並未受到明顯的影響。相反，調整後的供水模式似乎更有效地分配了資源，從而節省了電費。這顯示出調整後供水系統不僅能夠提高效率，還可以在成本方面帶來實質的節省成效。

(三)售水率提升

比較 110 年 4 月份，林內九芎小區的售水率為 59.04。首先，在 110 年底，隨著管線逐步汰換和基礎設施的更新，售水率明顯提升至 75.77。這些改善措施不僅增強了供水系統的穩定度，還減少因老化管線帶來的水資源浪費和損失。

隨後，隨著供水策略的進一步調整和優化，112 年 8 月，小區的售水率進一步提升至 88.37。除了基礎設施的升級外，還有供水管理策略的有效實施和運營管理的持續改進。九芎小區主要依賴九芎加壓站加壓進行供水。然而，這也使得任何破管事件都可能導致大量水資源的流失，從而對售水率產生重大影響。以往，破管問題和難以準確找到漏水點的挑戰，常常是售水率長期不佳的原因之一。然而，隨著供水調配策略的改進和效率的提升，不僅成功減少了破管修理事件的發生，還進一步提升了小區供水的穩定性和整體售水率。

總體而言，林內九芎小區在面對供水挑戰和問題時，通過技術創新和有效的管理策略，不僅提升了售水率，也為居民提供了更穩定和高效的供水品質。

五、結語

本研究以九芎加壓站和梅林加壓站供水調配的調整，顯示顯著的效益。透過裝置變頻器和重新設計供水管段的連接方式，成功地提高供水系統的穩定性，同時大幅減少破管案件。不僅提升服務品質，重要的是，有效地降低日常營運成本，特別是節約動力費用尤為顯著。

此外，供水穩定度提升，證明供水調配改善策略之影響，供水調整間接地減少破管維修所需之時間和資源，不僅為公司節省了大量維修成本，還提升供水系統之可靠性和效率，進而減輕破管後對當地居民帶來之不便和民怨，提升服務品質。本項改善之成效，不僅在財務面為台水公司帶來實質節省，同時也提升供水系統之整體可靠性和效率。本項成果，正是將有限的投入轉化為極大效益的一個典範，對台水公司未來發展和運營策略具重要參考價值，亦提供有利之參考依據。

參考文獻

- 1.吳珊,劉彥輝,張申海,王維燕,馬則中,「供水管道壓力調控對漏水量影響的試驗研究」,2007。
- 2.林清鑫,「自來水區域計量水量計與壓力監測管理系統建置探討」,2009。
- 3 王志弘、黃崇哲、林子淵、蕭博元、張滄煊,「頭橋加壓站改善供水研究報告」,2020。

作者簡介

黃崇哲先生

現職：台灣自來水公司斗六服務所工程員兼工務股股長

專長：自來水工程規劃設計、電力工程

陳詠晴女士

現職：台灣自來水公司斗六服務所技術士

專長：自來水工程

陳中和先生

現職：台灣自來水公司斗六服務所主任

專長：自來水工程規劃設計、土木工程

市售 ATP 生物冷光儀應用於自來水微生物檢測之研究

文/吳俊弘、李秋菊、李貞慧、陳文祥

摘要

近年極端氣候頻發，對自來水事業帶來挑戰。水源污染與供水安全成為自來水事業關注焦點，如何快速檢測水中微生物污染，降低公衛風險，成為重要課題。台水公司參考專家建議，購入市售 ATP 生物冷光儀進行大腸桿菌群及總菌落數檢測。然而，該方法非環境部標準，其準確性與適用性待驗證。本計畫探討市售 ATP 生物冷光儀應用於水質檢測的可行性。

研究針對 21 個原水及 23 個清水採樣點，比較混合稀釋法、濾膜法、螢光酵素法等標準方法與 ATP 生物冷光法的檢測結果。總菌落數檢測顯示，混合稀釋法與 ATP 生物冷光法相關性低 ($r=0.169$, $p>0.05$)。大腸桿菌群檢測中，濾膜法與螢光酵素法呈中度相關 ($r=0.691$, $p<0.05$)，但 ATP 生物冷光法與兩者相關性偏低。標準品測試亦顯示，ATP 生物冷光法測值與信賴區間存差異，準確性尚待探討。

關鍵字：ATP、生物冷光法、自來水、微生物檢測

一、前言

近年來，極端氣候事件頻繁發生，導致降水不均、水庫蓄水量減少，進一步影響供水穩定性。此外，工業與農業排放、都市化進程加速，使得水體污染問題日益嚴重，微

生物污染為威脅飲用水安全的重要因素。面對這些挑戰，如何確保供水水質檢數據即時且準確，成為本公司飲用水管理的重要課題。

目前，自來水微生物檢測主要依賴傳統培養法，其為國環院公告的標準方法，但培養時間長，通常需 18 至 48 小時，無法即時反映水質狀況，影響緊急應變效率。為提升水質的檢測時效，本公司參考專家學者建議，購入市售 ATP 生物冷光儀，希望作為快速檢測工具，提升水質檢測能力，確保供水安全。

ATP 生物冷光法透過檢測樣品中的三磷酸腺苷 (ATP) 含量，間接反映樣品的微生物污染程度。該技術應用於醫療與食品領域，如環境清潔評估與食品生產衛生監測。然而，其在自來水水質檢測中的適用性尚未獲得充分驗證。因此，本計畫針對不同類型水樣，評估 ATP 生物冷光法與標準檢測方法之間的相關性與準確性。

本研究透過實驗比較不同檢測方法的結果，確認 ATP 生物冷光法是否適用於自來水微生物檢測，並評估其對緊急應變作業的助益。期望此技術能有效應用於自來水微生物檢測，提供更即時的檢測結果，以提升緊急應變能力，確保飲用水的安全與穩定供應。

二、研究方法

本研究針對原水與清水樣品，進行總菌落數與大腸桿菌群的檢測分析。總菌落數檢測採用混合稀釋法 (NIEA E204.55B) 與 ATP 生物冷光法進行定量分析；大腸桿菌群檢測則採用濾膜法 (NIEA E202.55B)、螢光酵素法 (NIEA E215.53C) 及 ATP 生物冷光法進行定性與定量分析。同時，總菌落數與大腸桿菌群也利用標準品比對檢測方法的準確度。檢測方法及培養條件如下：

(一)總菌落數 (定量分析)

1.混合稀釋法：依據「水中總菌落數檢測方法—混合稀釋法 (NIEA E204.55B)」進行培養與計數。

2.ATP 生物冷光法：

(1)原水樣品：取 1 mL 水樣加入增富管，與培養液混合均勻，於 $30\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 培養 7 小時±10 分鐘後進行定量分析。

(2)標準品測試：取 1 mL 標準品水樣，加入增富管，與培養液混合均勻，於 $30\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 培養 7 小時±10 分鐘後進行定量分析。

(3)清水樣品：取 100 mL 水樣經 $0.45\ \mu\text{m}$ 濾膜過濾，使用增富管內採樣棒擦拭濾膜表面，將採樣棒放入增富管，加入 1 mL 無菌水，與培養液混合均勻，於 $30\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 培養 7 小時±10 分鐘後進行定量分析。

(二)大腸桿菌群 (定性與定量分析)

1.濾膜法 (定量分析)：依據「水中大腸桿菌群檢測方法—濾膜法 (NIEA E202.55B)」進行培養與計數。

2.螢光酵素法 (定量分析)：依據「水中大腸

桿菌群及大腸桿菌檢測方法—酵素呈色及螢光反應檢測法 (NIEA E215.53C)」進行培養與計數。

3.ATP 生物冷光法：

(1)原水樣品 (定量分析)：取 100 mL 水樣經 $0.45\ \mu\text{m}$ 濾膜過濾，使用增富管內採樣棒擦拭濾膜表面，將採樣棒放入增富管，加入 1 mL 無菌水，與培養液混合均勻，於 $37\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 培養 6 小時。

(2)標準品測試 (定量分析)：取 100 mL 標準品水樣經 $0.45\ \mu\text{m}$ 濾膜過濾，使用增富管內採樣棒擦拭濾膜表面，將採樣棒放入增富管，加入 1 mL 無菌水，與培養液混合均勻，於 $37\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 培養 6 小時。

(3)清水樣品 (定性分析)：取 100 mL 水樣經 $0.45\ \mu\text{m}$ 濾膜過濾，使用增富管內採樣棒擦拭濾膜表面，將採樣棒放入增富管，加入 1 mL 無菌水，與培養液混合均勻，於 $37\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 培養 8 小時，以檢測大腸桿菌群是否存在。

由於市售 ATP 生物冷光儀通常使用 1 mL 水樣進行培養，為提高對清水樣品總菌落數及原水、清水樣品大腸桿菌群檢測的靈敏度，本研究改採將 100 mL 水樣，經 $0.45\ \mu\text{m}$ 濾膜過濾後，使用採樣棒擦拭濾膜表面，再加入 1 mL 無菌水進行後續檢測。為使清水樣品的總菌落數單位 (CFU/mL) 與混合稀釋法相符，將儀器數據除以 100 作為檢測結果。

本研究採用皮爾森相關分析法 (Pearson correlation coefficient) 評估混合稀釋法、濾膜法、螢光酵素法與 ATP 生物冷光法之間的

檢測結果相關性，並進一步探討 ATP 生物冷光法在水質檢測及緊急應變中的應用可行性。

三、結果與討論

(一)總菌落數

1.原水樣品：針對 21 個不同採樣點的原水樣品進行統計分析，混合稀釋法及 ATP 生物冷光法兩種檢測方法的相關係數 $r = 0.169$ ，屬於低度相關； p 值 = 0.464 (大於 0.05)，兩種方法的檢測結果無顯著相關性。

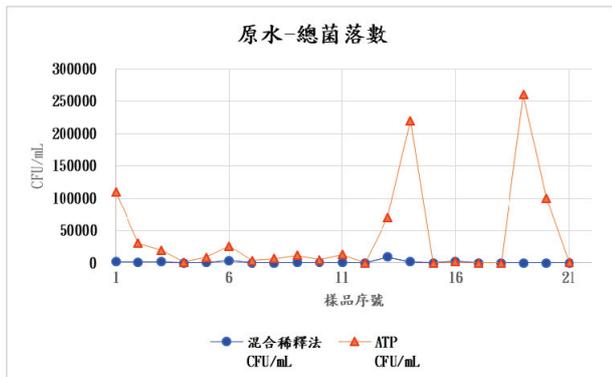


圖 1 原水樣品總菌落數標準方法與 ATP 生物冷光法檢測結果

2.標準品：使用總菌落數標準品(263 CFU/mL，信賴區間 131~394 CFU/mL)，以相同標準品配製 10 份水樣，並分別使用混合稀釋法及 ATP 生物冷光法兩種方法進行檢測，結果如下：

- (1)混合稀釋法：10 份標準品水樣的檢測結果為 $219(\pm 10.87)$ CFU/mL。
- (2)ATP 生物冷光法：分別於兩日各測 10 份同一標準品水樣，檢驗結果分別為 $26.4(\pm 22.48)$ CFU/mL 及 $81.5(\pm 117.92)$ CFU/mL。
- (3)20 次的 ATP 生物冷光法檢測值中，僅 2 筆結果落在標準品的信賴區間內。

3.清水樣品：針對 23 個不同採樣點的清水樣品進行統計分析，混合稀釋法及 ATP 生物冷光法兩種檢測方法的相關係數 $r = -0.059$ ，屬於低度相關； p 值 = 0.790 (大於 0.05)，兩種方法的檢測結果無顯著相關性。

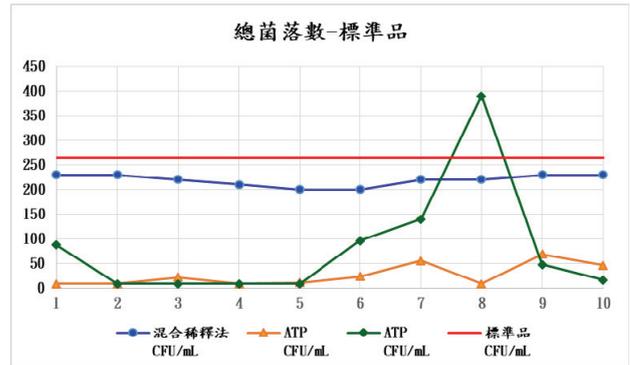


圖 2 總菌落數標準品標準方法與 ATP 生物冷光法檢測結果

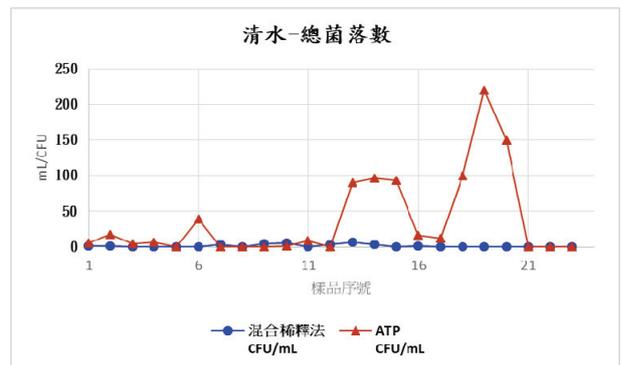


圖 3 清水樣品總菌落數標準方法與 ATP 生物冷光法檢測結果

(二)大腸桿菌群

1.原水樣品：針對 21 個不同採樣點的原水樣品進行統計分析，檢測結果如下：

- (1)濾膜法與螢光酵素法：相關係數 $r = 0.691$ ，屬於中度相關； p 值 = 0.00053 (小於 0.05)，兩種標準方法之間的相關性具有統計意義。
- (2)濾膜法與 ATP 生物冷光法：相關係數 $r = 0.066$ ，屬於低度相關； p 值 = 0.777 (大

於 0.05)，兩種方法之間無顯著相關性。

(3) 螢光酵素法與 ATP 生物冷光法：相關係數 $r = 0.0277$ ，屬於低度相關； p 值 = 0.224（大於 0.05），兩種方法之間無顯著相關性。

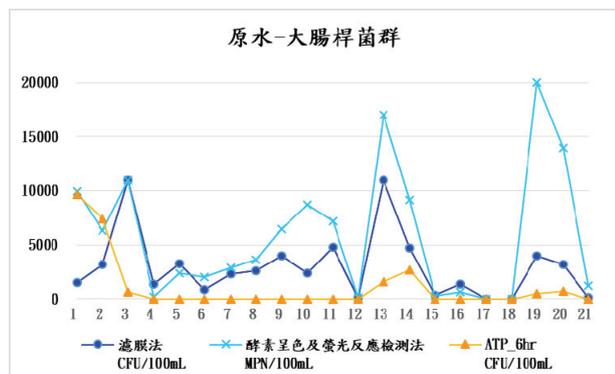


圖 4 原水樣品大腸桿菌群標準方法(濾膜法、螢光酵素法)與 ATP 生物冷光法檢測結果

2. 標準品：使用大腸桿菌群標準品 (394 MPN/100 mL 信賴區間 197~591 MPN/100 mL；235 CFU/100mL，信賴區間 118~353 CFU/100mL)，以相同標準品配製 10 份水樣，並分別使用三種方法進行檢測，結果如下：

(1) 濾膜法：10 份標準品水樣的檢測結果為 $223(\pm 70.45)$ CFU/100mL。

(2) 螢光酵素法：10 份標準品水樣的檢測結果為 $326(\pm 56.98)$ MPN/100mL。

(3) ATP 生物冷光法：分別於兩日各測 10 份同一標準品水樣，檢驗結果分別為 $90(\pm 0)$ CFU/100mL 及 $90(\pm 0)$ CFU/100mL。

(4) 20 組 ATP 生物冷光法檢測值中，沒有任何一組的結果落在標準品的信賴區間內。

3. 清水樣品：針對 23 個不同採樣點的清水樣品進行檢測，結果如下。

(1) 濾膜法：所有樣品結果均小於 1 CFU/100 mL。

(2) 螢光酵素法：所有樣品結果均小於 1 MPN/100mL。

(3) ATP 生物冷光法：僅有 1 個水樣檢出，其餘皆為未檢出。

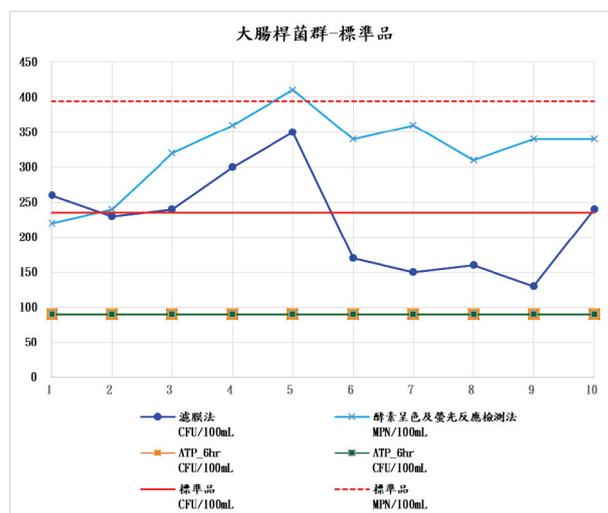


圖 5 大腸桿菌群標準品標準方法(濾膜法、螢光酵素法)與 ATP 生物冷光法檢測結果

四、結論

本研究結果顯示，混合稀釋法與 ATP 生物冷光法在總菌落數檢測上的相關性較低，且無顯著統計意義。

在大腸桿菌群檢測方面，濾膜法與螢光酵素法兩標準方法之間的相關性較高，而 ATP 生物冷光法的檢測結果則與濾膜法及螢光酵素法存在較大差異。

標準品測試結果顯示，ATP 生物冷光法的檢測數值與標準品信賴區間相比仍有差異。

清水樣品檢測結果顯示，濾膜法與螢光酵素法的結果符合預期，ATP 生物冷光法在清水樣品的檢驗結果與標準方法幾乎完全相同，但仍有 1 個清水樣品的檢驗結果與標

準方法有差異，因此該技術在極低濃度條件下的靈敏度仍有探討空間。

由於市售 ATP 生物冷光儀的判讀結果有可能會受到多種因素影響(如：原水樣品中的動、植物細胞可能導致 ATP 測值偏高、樣品處理方式不當…等)，因此在確認自來水中微生物含量時，建議還是搭配標準檢驗方法進行檢測。考量其檢測技術仍具潛力，台水公司將持續關注新技術發展，以尋求更快速、有效、經濟且準確的微生物檢驗方法，以應緊急應變時的效率與需求，確保飲用水水質安全。

參考文獻

1. ATP生物冷光反應法和傳統微生物採檢法在醫院環境清潔確效之比較，2017。感染控制雜誌第27卷-第2期。
2. 建築工地地下水作為抗旱民生用水－以台中市為例，2021。自來水會刊第40卷-第4期。
3. 台水行動檢驗車簡介，2024。自來水會刊第43卷-第3期。

作者簡介

吳俊弘先生

現職：台灣自來水公司水質處工程師

專長：化學工程、水質檢驗

李秋菊女士

現職：台灣自來水公司水質處工程師

專長：化學工程、水質檢驗

李貞慧女士

現職：台灣自來水公司水質處組長

專長：水質管理、水質檢驗及分析

陳文祥先生

現職：台灣自來水公司水質處處長

專長：自來水處理技術、環境工程、水質管理

配水池規劃與設計之研討

文/曾浩雄

摘要

配水池是台水公司重要設施之一。配水池主要之功能是調蓄尖峰及離峰用水量，因此配水池建造之前須就其容量、建造位置及其高度(最高水位之高程)加以考量。正確之規劃對其建造成本及日後之營運影響至為深遠。大容量之矩形水池必須採用版梁柱式水池，其結構計算採用新方法(參照結構力學設計手冊上所列之公式)比採用舊方式簡單方便。新方法是直接就事前規劃之隔間(Panel)數，柱高及梁之長度以手冊上所列之公式加以計算。為降低監造成本，柱高及梁之長度，宜分別採用及 5m 及 6m。頂板之長度與寬度之宜維持在 2:1 之範圍，同樣水池之邊長與池高之比值也宜維持在 3:1 之範圍。俾藉由雙向版原理計算其邊緣之力矩，以減少鋼筋之用量。

關鍵字：尖峰用水量、離峰用水量、出水管、水力坡降線、版梁柱式、雙向版、剛度、剛架、剪斷力、長期應力、短期應力。

一、水池規劃

(一)用水情況

世界各地無論是城市或鄉村，其居民每日用水量必然有尖峰與離峰用水之別。根據統計城市之尖峰用水量約為其每日平均用水量之 1.5 倍；而離峰用水量只約平均每日用水量之 0.5 倍。

(二)淨水場供水情況

1.平均日用水量：淨水場平時之出水量經常

保持社區平時之需水量= $1.0 Q$ ，如圖 1。

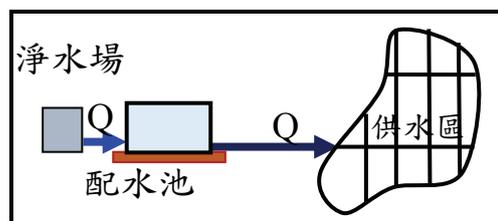


圖 1 平均日用水情況示意圖

- 2.最小時(離峰)用水量時，淨水場之出水量仍然維持 $1.0 Q$ ，社區在離峰用水時段之需水量= $0.5 Q$ ，剩餘之 $0.5 Q$ 則流入配水池，如圖 2。

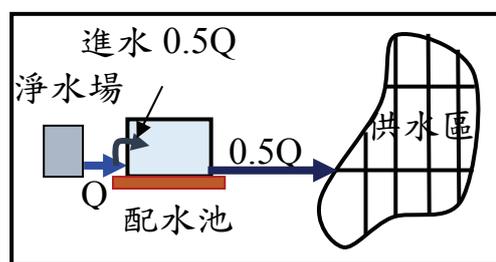


圖 2 最小時用水情況示意圖

- 3.最大時(尖峰)用水量：平時淨水場之出水量仍然維持 $1.0 Q$ ，社區在尖峰用水時段之需水量= $1.5 Q$ ，此時不足之 $0.5 Q$ ，由配水池流出予以補充，如圖 3。

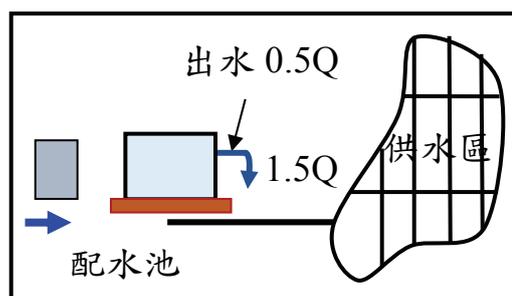


圖 3 最大時用水情況示意圖

(三)出水管

從上述三種情況可知，若供水系統設有配水池，則淨水場整天之出水量都是 1 個 Q ，因此其出水管之管徑只要能輸送 $1.0 Q$ 即可。但若未設有配水池，為滿足供水區最大時之用水量，其出水管之管徑必須要能輸送 $1.5 Q$ 之流量，這會徒增供水系統之建造成本。

(四)配水池功能

從上述三個情況可知，配水池具有調蓄尖峰與離峰用水之功能。尤其是淨水場之原水是取自河川時，若河川之水流只足夠平均日之需水量，必然不足於最大日之需求量，雖然最小時之取水量只需平均日之需水量之一半，但河川之水流川流不息，未取用之流量當然會流失。為彌補此缺失，當然需要建造一座蓄水池，將這些原未取用之流量蓄存於水池中。

(五)配水池之容量

在最小時用水量之時段，可儲存於配水池之水量= $0.5Q$ ，若每天時變化有三次(全天用水有尖峰用水及離峰用水各三次，即上午、中午及晚上用餐前後)，配水池容量= $0.5 Q / 3$ 。假設某一社區之平均每日用水量為 $30,000 \text{ CMD}$ ，則配水池因時變化所需之容量 = $0.5 * 30,000 / 3 = 5,000 \text{ m}$ 。配水池容量除須考慮時變化之外，最好還要加計消防用水量(在美國必然要增加)。

(六)設置位置

1.水池設在淨水場內不在供水區，雖可達到

調節供水時變化之功能，但自淨水場至社區之送水管，其口徑須足以輸送 $1.5 Q$ 之水量，如圖 4。

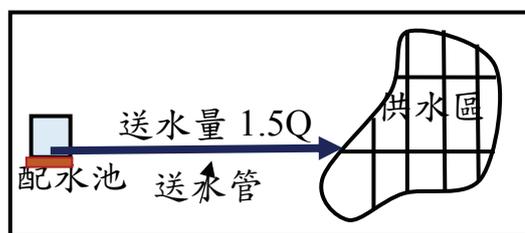


圖 4 配水池建造在供水區前示意圖

2.相反，若配水池設置在社區附近，自淨水場社區之送水管，其口徑足以輸送 $1.0 Q$ 之水量即可，因為最小時用水時，淨水場出水量尚有 $0.5 Q$ 的水可就近送至配水池儲存，但須另設一條管線，以輸送補足最大時用水時不足 $0.5 Q$ 的水量，如圖 5，在此情況下配水池送水管之建造成本，距離社區越遠越不利。

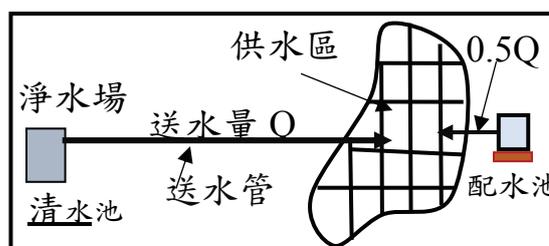


圖 5 配水池建在供水區後示意圖

3.配水池若設置在社區中心，如圖 6，

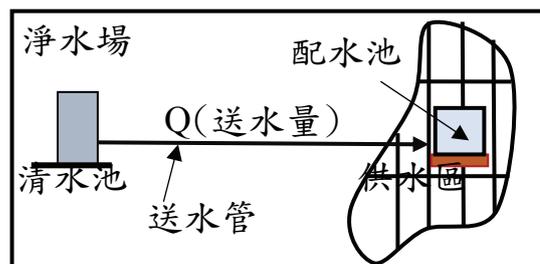


圖 6 配水池建在供水區內示意圖

則自淨水場至社區之送水管，其口徑足以輸送 1.0 Q 之水量即可，最小時用水時，淨水場出水量中之 0.5 Q 可直接送至配水池儲存，故不必再另設一條可輸送 0.5 Q 水的管線，因此配水池越接近社區最大用水之處越有利。若配水池欲設置在社區內，但因用地問題無法解決致須偏離路線改至附近之山區時，自淨水場配水池間之送水管，雖然其口徑足以輸送 1.0 Q 之水量即可，但最小時用水時，配水池儲存水量(0.5 Q)需送至供水區，故必須再另設一條可輸送 0.5 Q 水的管線，此時配水池距離社區越近越有利，如圖 7。

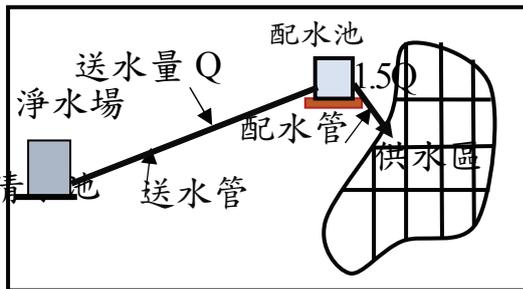


圖 7 配水池建在供水區外示意圖

(七)水力坡降線

水流經管線必然會因摩擦而損失水頭，致降低輸水能量，因此其水壓(水頭)會逐漸減小。損失水頭可依海森-威廉公式 $h_f = 10.66 * L * (Q / C)^{1.85} / D^{4.87}$ ，加以計算，式中之 h_f 為水頭損失，L 為管線長度，Q 為輸水量，C 為管材之磨擦係數，D 為管線口徑，若將水管各段之水頭連成一條線，這條想像中之直線稱為水力坡降線 (Hydraulic gradient)，詳如圖 8 所示。亦即水在管中能達到之高點壓力 = 0 之等壓線，因此管線之埋設，其高程必須低於水力坡降線，否則水無法流過此點，此時埋設之管線

須加深或以推進方式通過。

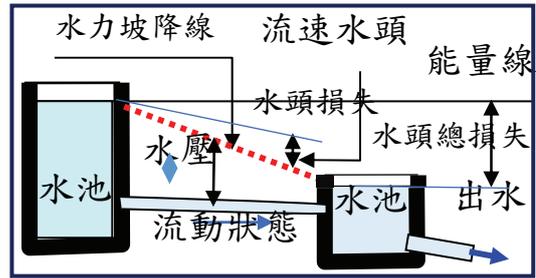


圖 8 水力坡降線示意圖

(八)配水池設置之高度

配水池設置型式究應採用高架水塔或地面式甚至是地下式配水池，須根據供水系統起點之操作水頭(水位高)與供水地區之地面高程而定。依照自來水營業章程之規定：自來水系統送供用戶之最低剩餘動水頭 (Dynamic Residual Head, DRH) 不得低於 10 m (1.0 kgf/cm²)。

1.重力流式

若供水起點高於供水區最高處之用戶，例如其接水點(裝接水表處)之地面高為 EL: 20 m，若淨水場至最遠端用戶間之管線，其水頭總損失 $h_f = 12$ m，則自來水系統供水起點之操作水頭至少要有 $20 + 12 + 10 = 42$ m。亦即其起點之最低水位應在 EL: 42 m 以上，此時之供水方式稱為重力自然流式，如圖 9 所示。

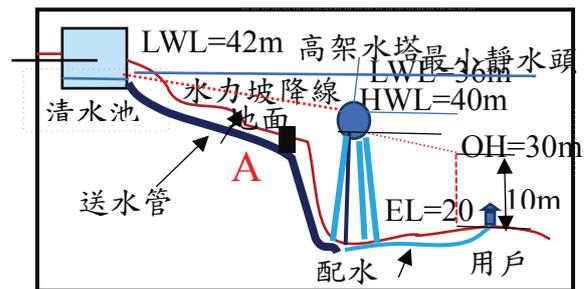


圖 9 重力流設置配水池示意圖

在此情形下，若淨水場至供水區間有適當高程之土地(如圖 9A 點)可資興建配水池，則可在此建造之；否則，只好在靠近供水區附近覓地建造高架水塔，但其最高水位仍須維持在水力坡降線之下。在如此安排下，當離峰用水時，水可藉由其重力流入高架配水池以維持其原有之位能(Potential)；尖峰用水時，再藉由其持有之位能以重力流方式流至用戶。假設供水起點之高程比供水區高很多，且水送達該處之操作水頭尚有 10m 以上，則配水池不宜採用地面式，否則將無形中白白浪費可貴之位能。因為將水輸入地面配水池後，為使用戶獲得足夠之剩餘動水頭(10 m)，必須再將流入地面配水池之水量，藉由抽水機壓送至用戶。如此消失位能後再使用電力提升其位能，殊為不智。

1. 壓力流式

相反，若淨水場之高程低於供水地區，甚至兩者約在同一水平面上，則淨水場之出水必須依賴抽水機加壓供水。假設供水區最高處之用戶，其接水點之高程為 $EL=26m$ ，淨水場至該用戶間之管線之水頭總損失 = 6 m，配水池最低水位為 $LWL=18 m$ ，則配水池上須設置之抽水機，其總揚程 = $26 m + 6 m + 10 m - 18 = 24 m$ 。如圖 10 所示。

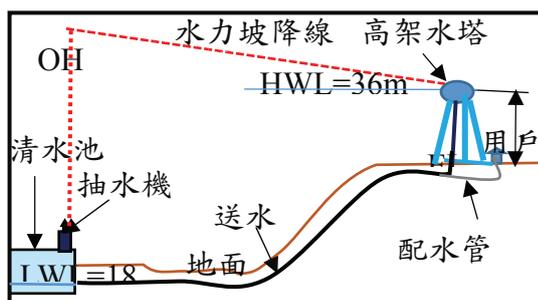


圖 10 加壓供水設置配水池示意圖

二、配水池之設計

(一)大型配水池

由於池牆底端之力矩與池深之三次方成正比，因此一般水池深度都控制在 5 公尺以內；而水池頂板端點之邊緣力矩亦與其寬度之平方成正比，若寬度為 6 公尺，長度以不超過 12 公尺為限(可藉由雙向版原理計算其邊緣力矩)。依此原則計算，則單一水池之容量只約為 $6 m * 12 m * 5 m = 360 m^3$ 。因此容量大於 $360 m^3$ 者勢必加大其長寬度，此時雖然其長短邊之比值仍可維持在 1:2 之間，但其周邊力矩會因而加大(與邊長之平方成正比)，在此情況下，長邊及短邊必須加設梁柱以縮短其邊長。此乃容量大之水池必須採用版梁柱式水池之原因。如此安排下，水池之容量可無限放大，其所形成大面積之頂版由其下方加設置之梁及池內之柱子支撐，形成有版有梁有柱之水池。

(二)頂版之設計

版梁柱式水池之頂版、池牆及底板，其結構計算(含力矩重新分配)仍可比照一般矩形水池之計算程序辦理(上期已詳述，恕不再贅述)，但其加設梁與柱之應力則須另計算。

(三)梁與柱之應力分析

1. 長期作用力

(1)梁與柱子結合在一起，其接點所產生力矩之大小，會因兩者剛度(Stiffness)之比值而互異。而且其所受之應力除了垂直荷重外，尚承受因地震所產生之水平力。因此梁與柱子所承受之應力須以剛架(Rigid Frame)加以分析。根據「結構力學設計手

冊「^[11]P.171, III-23.1, 如圖 11。剛架之 $k = I / I_2 * h / \ell$ 。 $\lambda = k^2 + 10k + 4$, $\phi = 3k^2 + 41k + 4$ 。 假設柱子之尺寸為 45 cm * 45 cm ; 梁之尺寸為 35 cm * 45 cm, 牆高 $H = 5$ m, 柱距 $\ell = 6$ m。 頂板厚度 $t = 15$ cm。 活載重 $= 0.2$ T/m², 則其總荷重 $w = 2.4 * 0.15 + 0.2 = 0.56$ T/m²。 $I_1 = 35 * 45^3 / 12 = 265781$ cm⁴。 $I_2 = 45 * 45^3 / 12 = 341718.8$ cm⁴; $k_1 = 265781 / 341718.8 / * 5 / 6 = 0.65$ 。 根據上述公式, $\lambda = 0.65^2 + 10 * 0.65 + 4 = 10.92$, $\phi = 3 * 0.65^2 + 41 * 0.65 + 4 = 31.31$ 。

$$V_A = -V_D = (4k^2 + 9k + 4) / \lambda * w * \ell / 2 = (4 * 0.65^2 + 9 * 0.65 + 4) / 10.92 * 0.56 * 6 / 2 = 1.93 \text{ T}。$$

$$V_B = V_C = (11k^2 + 21k + 8) / \lambda * w * \ell / 2 = (11 * 0.65^2 + 21 * 0.65 + 8) / 10.92 * 0.56 * 6 / 2 = 4.05 \text{ T}。$$

$$H_A = -H_D = (3k + 2) / \lambda * w * \ell^2 / 4 = (3 * 0.65 + 2) / 10.92 * 0.56 * 6^2 / (4 * 6) = 0.3 \text{ T}。$$

$$-H_B = H_C = k / \lambda * w * \ell^2 / 4k = (0.65 / 10.92 * 0.56 * 6^2 / (4 * 0.65)) = 0.42 \text{ T}。$$

$$M_A = M_D = (3k + 2) / \lambda * w * \ell^2 / 12 = (3 * 0.65 + 2) / 10.92 * 0.56 * 6^2 / 12 = 0.61 \text{ T-m}。$$

$$M_B = M_C = k / \lambda * w * \ell^2 / 12 = 0.65 / 10.92 * 0.56 * 6^2 / 12 = 0.1 \text{ T-m}。$$

$$M_E = M_H = (3k + 2) / \lambda * w * \ell^2 / 12 = (3 * 0.65 / 10.92 * 0.56 * 6^2 / 12 = 0.3 \text{ T-m}。$$

$$M_{FB} = M_{GB} = (3k + 2) / \lambda * w * \ell^2 / 6 = (3 * 0.65^2 + 6 * 0.56 + 2) / 10.92 * 0.56 * 6^2 / 6 = 2.04 \text{ T-m}。$$

$$M_{FG} = M_{GF} = (3k^2 + 5k + 2) / \lambda * w * \ell^2 / 6 = (3 * 0.65^2 + 5 * 0.65 + 2) / 10.92 + 0.56 * 6^2 / 6 = 3.96 \text{ T-m}。$$

$$M_{FB} = M_{GC} = k / \lambda * w * \ell^2 / 6 = 0.65 / 10.92 * 0.56 * 6^2 / 6 = 0.2 \text{ T-m}。$$

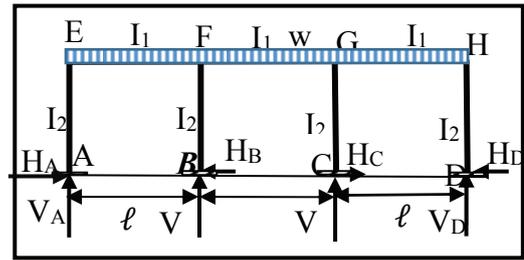


圖 11 剛架各梁柱之符號

2.短期作用力

(1)當發生地震時,剛架會向東西南北方向搖晃,致對剛架產生一橫向推力 P , 一般都將橫向推力 P 之作用點定在柱子頂端。

(2)一般建築物因地震所承受之橫向水平震度 $k_h = I / 1.4 \alpha_y * (S_{ad}/F_u) * W$ 。 式中一般建築 $I=1.0$, 鋼筋混凝土構造之地震力載重因子 α_y 值取 1, 其中 S_{ad}/F_u 為韌性折減之加速度反應譜係數, S_{SD} 為工址短週期設計水平譜加速度係數, 一般地區在 0.2~0.8 之間。 式中之 W 為建築物全體靜載重。 因此一般地層之 k_h 均採用 $1/1.4 * 1 * 0.35 * W = 0.25$ 。 垂直震度之 S_{ad}/F_u 為水平震度之 1/2, 當地上部分之水平震度=0.25 時, 地下部分垂直震度約為 0.125 (斷層地帶採用 0.35, 但水池無論如何不宜建在斷層地帶)。 地下部分之水平震度以下列公式加以計算, 建築物地下各層之設計水平地震力, 為該層靜載重乘以該層深度對應之水平震度 $K \geq 0.1 * (1 - H / 40) * S_{SD} * I$ 。 H 為自地表面往下計算之深度(H 大於 20 公尺時, 以 20m 計), I 為用途係數。 $H = 2$ m, 時 $K \geq 0.1 * (1 - 2 / 40) * 0.35 * 1 = 0.033$ 。 垂直震度仍約為其 1/2。

(3)根據書 1 之 P.171, III-23.2, 如圖 12。

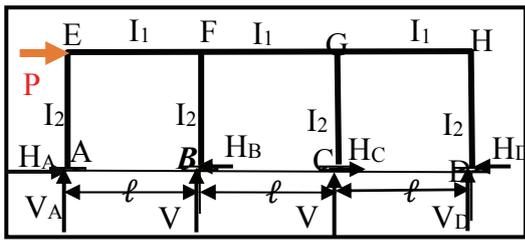


圖 12 各梁柱之指數圖

(4)梁 X 向及 Y 向宜安排相同之隔間數，以減少另行計算之麻煩。

每座剛架承受之總橫力(水平震力) $P = k_h * W = 0.25 * 2.4 * (0.45 * 0.45 * 5 * 4 + 0.35 * 0.45 * 6 * 3) = 4.13$ ，以 4.2 T 計。

a.柱： $V_A = -V_D = 3k * (5k + 4) / \phi * P * h / 2\ell = 4.71 T$ 。 $V_B = -V_C = 9k^2 / \phi * P * h / 2\ell = 9 * 0.65^2 / 31.31 * 4.2 * 5 / 2 = 1.28 T$ 。 $H_A = H_D = (9k^2 + 8k + 1) / \phi * P = (9 * 0.65^2 + 8 * 0.65 + 1) / 31.31 * 4.2 = 1.34 T$ 。 $H_B = H_C = (18k^2 + 25k + 2) / \phi * P / 2 = (18 * 0.65^2 + 25 * 0.65 + 2) / 31.31 * 4.2 / 2 = 1.73 T$ 。 $M_A = M_D = (9k^2 + 10k + 2) / \phi * P * h / 2 = (9 * 0.65^2 + 10 * 0.65 + 2) / 31.42 * 4.2 * 5 / 2 = 4.11 T\cdot m$ 。 $M_B = -M_C = (9k^2 + 13k + 2) / \phi * P * h / 2 = (9 * 0.65^2 + 13 * 0.65 + 2) / 31.31 * 4.2 * 5 / 2 = 4.78 T\cdot m$ 。 $M_E = -M_H = 3 * (3k + 2) * k / \phi * P * h / 2 = 3 * (3 * 0.65 + 2) * 0.65 / 31.31 * 4.2 * 5 / 2 = 2.58 T\cdot m$ 。**b.梁：** $M_{FE} = M_{GH} = 3 * (k + 1) k / \phi * P * h = 3 * (0.65 + 1) * 0.65 / 31.31 * 4.2 * 5 = 2.16 T\cdot m$ 。 $M_{FG} = -M_{GF} = 3 * (k + 2) k / \phi * P * h / 2 = 3 * (0.65 + 2) * 0.65 / 31.31 * 4.2 * 5 / 2 = 1.73 T\cdot m$ 。

柱： $M_{FB} = -M_{GC} = 3 * (3k + 4) k / \phi * P * h / 2 = 3 * (3 * 0.65 + 4) * 0.65 / 31.31 * 4.2 * 5 /$

$2 = 3.89 T\cdot m$ 。

(5)水池牆體產生之剪力

發生地震時牆所承受之橫力，時左時右(詳如圖 13 所示)。故其所產生之軸力必然會增加柱之受力(絕不可正負相抵)。地震橫力由牆分擔之比率：各牆之水平力分擔

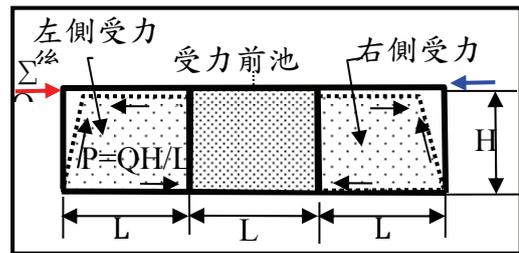


圖 13 牆體受橫力前後之示意圖

係數 D_c 以剛比之略算法，分別計算對應於 X/Y 向之水平力 X 向各柱之 D_c 值計算如下：設柱之剛比=1，壁體之剛度必然大於內柱數十倍，但依日本武藤博士之略算法：剛架所包圍之壁體其分擔量(垂直於水平力)最多只可取標準內柱水平力分擔量之 5 倍為宜。故其分擔係數 $D_w = 1.0 * 5 = 5$ ；而牆與地震水平力垂直者可取標準內柱水平力分擔量之 2 倍，其分擔係數 $D_w = 1 * 2 = 2$ 。依其略算法，可求得 X 向各牆體水平力分擔係數之總 ΣD 值 = $(1 * 16 + 2 * 6 + 5 * 6) = 58$ 。

(6)水池總重量。**a.頂板** = $2.4 * 0.15 * (6 * 12)^2 = 1866.2 T$ 。**b.梁** = $2.4 * 0.35 * 0.45 * 6 m * 24$ (根) = $55.04 T$ 。**c.柱** = $2.4 * 0.45 * 0.45 * 5 * 24 = 58.42 T$ 。**d.池牆** = $2.4 * 0.3 * (6 - 0.45) * 12 = 47.95 T$ 。**e.滿水重量** = $1 * (6 - 0.45)^2 * 5 = 154.01 T$ 。

水池整體重量 $W = 1866.2 + 55.04 + 58.42 + 47.95 + 154.01 = 2181.3 T$ 。以 2282T

計。

- (7)池牆因地震所產生之彎矩對 a.牆 1 之彎矩
 $= 0.25 * 2282 * 5 \text{ m} / 2 * 2 / 58 = 49.18 \text{ T-m}$ 。
 柱之彎矩 $= 0.25 * 2282 * 5 / 2 * 1 / 58 = 24.59 \text{ T-m}$ 。(均須與底板之力矩重新分配)。
 (8)內柱之剪斷力 $P = Q * H / L = 2.4 * 0.3 * 5 * 6 * 5 / 6 = 18 \text{ T}$ 。

- (9)池牆因地震所產生之剪斷力對外柱所產生之軸力 a.牆 1 之 $P_c = Q_w * H / L = 2.4 * 0.3 * (6 - 0.45) * 5 * 5 \text{ m} / 6 \text{ m} = 16.65 \text{ T}$ 。b.牆 2 之 $P_c = 16.95 \text{ T} * 5 \text{ m} / 6 \text{ m} = 14.13 \text{ T}$ 。

(三)長短期最大作用力

- 剛架之梁與柱，除非相差甚鉅，原則上均各採用其最大值做為配置鋼筋之標準。所以梁與柱之應力，原則上僅就其作用力之最大值加以分析即可。
- 剛架之強度必須足以抵抗長短期同時發生之作用力。但根據規範，發生短期作用力時，所有材料之容許應力可提升 1/3。因此在合計之前須將短期作用力折減為原有之 3/4 才能在同一標準與容許應力作比較。

3.最大作用力(以粗字體表示)

(1)長期作用力

- a.垂直反力 $V_A = -V_D = 1.93 \text{ T}$ 。 $V_B = V_C = 4.05 \text{ T}$ 。
 b.水平反力 $H_A = H_D = 0.3 \text{ T}$ 。 $H_B = H_C = 0.42 \text{ T}$ 。
 c.彎曲力矩 $M_A = M_D = 0.61 \text{ T-m}$ 。 $M_B = -M_C = 0.1 \text{ T-m}$ 。 $M_E = M_H = 0.3 \text{ T-m}$ 。 $M_{FB} = M_{GC} = 0.2 \text{ T-m}$ 。 $M_{FE} = M_{CH} = 2.04 \text{ T-m}$ 。 $M_{FG} = M_{GF} = 3.96 \text{ T-m}$ 。

(2)短期作用力

- a.垂直反力 $V_A = -V_D = 4.71 \text{ T}$ 。 $V_B = -V_C = 1.28 \text{ T}$ 。池牆之軸力 $= 16.65 \text{ T}$ 。
 b.水平反力 $H_A = H_D = 1.34 \text{ T}$ 。 $H_B = H_C = 1.73 \text{ T}$ 。
 c.彎曲力矩：柱腳 $M_A = M_D = 4.11 \text{ T-m}$ 。 $M_B = -M_C = 4.78 \text{ T-m}$ 。 $M_E = -M_H = 2.58 \text{ T-m}$ 。梁 $M_{FG} = M_{GF} = 1.73 \text{ T-m}$ 。柱頭 $M_{FB} = M_{BF} = 3.89 \text{ T-m}$ 。 $M_{FE} = M_{CH} = 2.16 \text{ T-m}$ 。

c.短期作用力折減後

- (a)垂直反力 $V_A = -V_D = 4.71 * 3/4 = 3.53$ 。 $V_B = -V_C = 1.28 * 3/4 = 0.96 \text{ T}$ 。
 (b).水平反力 $H_A = H_D = 1.34 * 3/4 = 1.01 \text{ T}$ 。地震引起軸麗 $= 16.65 * 3/4 = 12.49 \text{ T}$ 。
 $H_B = H_C = 1.73 * 3/4 = 1.3 \text{ T}$ 。

- (c).彎曲力矩：柱腳 $M_B = -M_C = 4.78 * 3/4 = 3.59 \text{ T-m}$ 。 $M_E = -M_H = 2.58 * 3/4 = 1.94 \text{ T-m}$ 。梁 $M_{FB} = M_{CH} = 2.16 \text{ T-m}$ 。 $M_{FG} = M_{GF} = 1.73 * 3/4 = 1.3 \text{ T-m}$ 。柱 $M_{FB} = M_{BF} = 3.59 * 3/4 = 2.69 \text{ T-m}$ 。

(3)長期及短期應力之整合

- a.垂直反力 $V_A = 4.05 \text{ T} + 3.53 \text{ T} + 12.49 \text{ T} = 20.07 \text{ T}$ 。
 b.水平反力 $H_B = H_C = 0.42 \text{ T} + 1.3 \text{ T} = 1.72 \text{ T}$ 。
 c.彎曲力矩：柱： $M_B = -M_C = 0.1 \text{ T-m} + 3.59 = 3.69 \text{ T-m}$ 。 $M_E = M_H = 0.3 \text{ T-m} + 1.94 \text{ T-m} = 2.24 \text{ T-m}$ 。梁： $M_{FG} = M_{GF} = 3.96 \text{ T-m} + 2.69 \text{ T-m} = 6.65 \text{ T-m}$ 。 $M_{FE} = M_{CB} = 2.04 \text{ T-m} + 2.16 \text{ T-m} = 4.2 \text{ T-m}$ 。 $M_{FB} + M_{BF} = 0.2 \text{ T-m} + 2.69 \text{ T-m} = 2.89 \text{ T-m}$ 。

- (3)梁柱之剪力 $= (M_{左端} + M_{右端}) / \ell$ ，如圖 14。

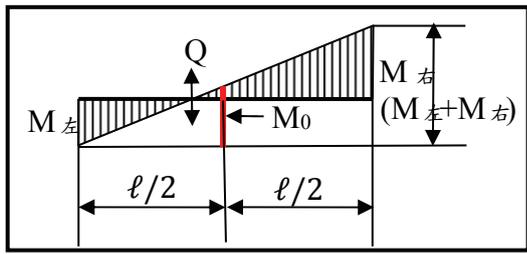


圖 14 梁之中央力矩及剪斷力圖

梁兩端之剪斷力 $Q_{0梁} = (M_{FG} + M_{GF}) / 6 = (6.65 + 6.65) \text{ T-m} / 6 = 2.22 \text{ T}$ 。

(4)柱之剪斷力因垂直荷重產生柱上下兩端之剪斷力 $Q_{0柱} = (M_B + M_{FB}) / 5 = (3.69 + 2.89) \text{ T-m} / 5 \text{ m} = 0.64 \text{ T-m}$ 。

(5)梁柱端點之剪斷力

a.梁： $(M_{FG} + M_{GF}) / 6 \text{ m} = (6.65 + 6.65 \text{ T-m}) / 6 \text{ m} = 2.22 \text{ T}$ 。

b.柱： $(M_E + M_{FG}) / 5 = (3.91 + 5.98 \text{ T-m}) / 5 \text{ m} = 1.32 \text{ T-m}$ 。

(6)梁中央力矩

梁中央力矩 $M_0 = (M_{左} + M_{右}) / 2$ ，如圖 15 所示。

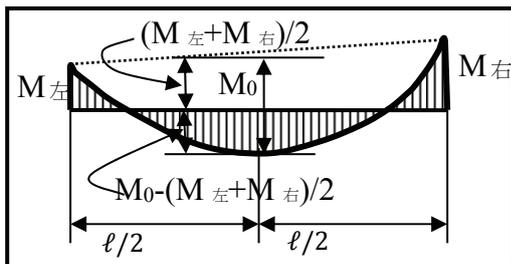


圖 15 梁中央力矩分析圖

$M_0 = (M_{FG} + M_{E_{GF}}) / 2 = (6.65 \text{ T-m} + 6.65 \text{ T-m}) / 2 = 6.65 \text{ T-m}$ 。

4.核算應力之安性

(1)柱之垂直壓應力 = $20.07 * 1000 / 45 / 45 = 9.91 < 0.45 f_c' = 0.45 * 245 = 110.25 \text{ kgf/cm}^2$ ，OK。

(2)柱之剪應力 = $1.72 * 1000 / 45 / 45 = 0.85 < 0.09 f_c' = 0.09 * 245 = 22.05 \text{ kgf/cm}^2$ ，OK。

(3)梁之鋼筋需要量 $A_s = M / ad = 6.65 \text{ T-m} / 0.0123 / (45 - 4) = 13.19 \text{ cm}^2$ ，採用 $\phi 19 \text{ mm}$ 。需要根數 = $13.19 / 2.865 = 4.6$ 根，採用 5 根 $\phi 19 \text{ mm}$ 。

三、結論

(一)供水系統未設配水池會造成取水量不足以供應社區用水需求之虞。

(二)配水池設在用水區內，對節省送水管建造成本最為有利。

(三)任何供水方式(重力式或加壓式)，配水池之高度必須就其水力坡降線加以考慮，設在地面上之配水池可能消失其能量(Energy)。

(四)剛架 X 向及 Y 向宜安排相同之隔間數，以減少另行計算之麻煩。

(五)利用結構力學設計手冊所列之剛架力學公式加以分析簡單又方便。

作者簡介

曾浩雄先生

現職：尚潔環境工程公司技師。

專長：自來水工程規劃設計及施工。