

自來水會刊第 37 卷第 1 期目錄



實務研究

- 大型集合社區總表分攤異常處理模式探討—以臺北地區為例……………林明美…… 1
台丹降漏合作計畫—動態水力分析及管汰規劃……………隋忠寰、蔡博淵、曾為恭、林聖桓…… 9
利用南港加壓站建置管理用自來水流量計校驗設備……………黃嘉昌、林進誠、黃裕泰…… 17

本期專題 工程技術

- 湖山水庫下游自來水計畫—前處理設備工程簡介……………鄭錦峯、王傳政、周春煌、王煥禎…… 24
板新大漢溪水源南調桃園送水管施工實務……………林金玉、謝宗成、鄭超仁、陳朝旭…… 31
自來水管線埋設深度探討……………劉維民…… 40
高地系統搶修案例供水安全探討……………文其正…… 49

一般論述

- 粉狀活性碳及加氯氧化去除微囊藻毒能研究……………
……………薛志宏、張美惠、張凱迪、王姍莉、黃淑珍…… 57
重大職災原因與督導缺失關聯性探討……………林明緯、呂建宏、陳信利、楊碧嬾…… 69

工作現場

- 較高池牆採一次澆築（不分層）增加水密性之施作工法探討（以湖山淨水場為例）……………
……………王振南、廖純章…… 78

廠所的一天

- 供水管網維護防災工作無間斷—西區營業分處保水直飲全天嗡嗡嗡嗡……………石明憲…… 82

協會與你

- 歡迎投稿 107年「每期專題」…………… 23
本刊新增「自來水廠（所）的一天」單元…………… 39
中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法…………… 88

封面照片：台灣自來水公司湖山淨水場(106年完工後空拍圖)—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、一般論述、每期專題、業務報導、專家講座、他山之石、法規櫥窗、協會與您、會員動態、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)，前述二類文稿請儘量附英文題目及不超過 150 字之中英文摘要，本刊將委請專家審查。「每期專題」由本刊針對特定主題，邀請專家學者負責籌集此方面論文予以並列，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、惠稿每篇以三千至壹萬字為宜，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。
- 七、惠稿(含圖表)請用電子檔寄至 aael@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，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、本刊係屬贈閱，如擬索閱，敬請來信告知收件人會員編號、姓名、地址、工作單位及職稱，或傳真(02)25042350 會務組。本刊將納入下期寄贈名單。
- 十、本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。
- 十一、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 92 年 3 月 26 日工程企字第 09200118440 號函增列為技師執業執照換發辦法第五條第一項第四款之「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：胡南澤

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

駱尚廉、葉宣顯、康世芳、王根樹、林財富、
陳曼莉、范煥英、洪世政、莊東明

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：林正隆

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：陳品如

電話：(04)22244191 轉 266

行政助理：古蓁苓

印刷：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

大型集合社區總表分攤異常處理模式探討

— 以臺北地區為例

文/林明美

一、前言

用戶用水按表計量原是再合理不過之計費方式，然而，臺灣自來水事業單位與用戶權責區分以總水表為界，通過總水表示度超過各分戶分表之和時，差額水量之收取往往形成與用戶間爭議之焦點。

造成總表分攤的原因有許多，排除用水設備存在漏水事實及用戶已知公共用水外，由現況接觸的實際案例深入瞭解得知，包括水表本身計量準確性、進水端管網壓力變化造成計量誤差、用水端用水設備設置不當，以及與用水相關之附屬設備(如：消防系統)…等，各環節交互影響的結果，形成總表分攤錯綜複雜的原因。

在接觸各類型總表分攤個案處理中，尤其以大型集合社區產生異常分攤之原因最為複雜，處理亦最為棘手。面對龐大用戶的質疑與壓力，自來水事業單位往往必需耗費龐大的人力及時間，在無法立即判斷問題原因的情形下，用戶不滿的情緒更難以平復。

為了減少過程中錯誤的推斷，造成用戶不滿及人力時間的浪費，針對大型集合社區總表分攤差額水量可能形成原因，包括水表、進水端、用水端，以及與用水相關之附屬設備等，經由現況實際案例深入瞭解，整理歸納各環節產生問題的現象，建立巡檢流程 SOP，提供各類問題處理應對方式，以減少自來水事業在處理類似案件人力時間資源上的耗費，並進一步提供用戶改善建議，

除了是為民服務的一環，亦有助於珍貴水資源的節約。

二、各階段形成差額水量原因探討

(一) 水表本身計量準確性

水表為安裝於用戶家中之法定度量衡器，用以度量用戶用水量，作為自來水事業收費依據，自然有其準確度的要求，在小流量部分有正負 5% 的精度要求範圍，在中大流量有正負 2% 的精度要求範圍(如圖 1)。然而在這法定的規範流量要求區間，總表分表間即已存在先天上的計量差異。

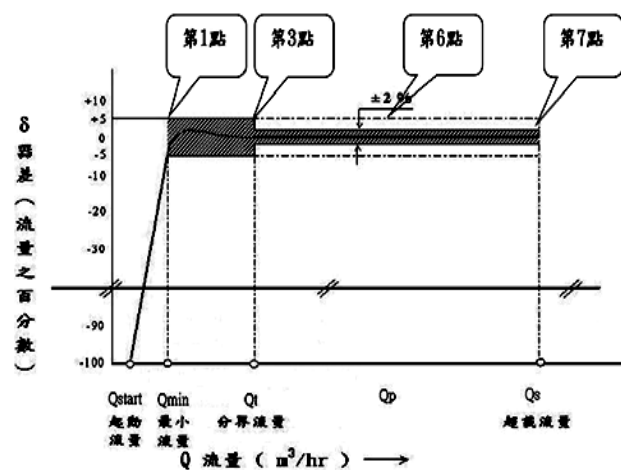


圖 1 水表器差範圍示意圖

況且，不同口徑水表、形式的水表皆有其最適流量範圍，如因分表戶進水行為或水表口徑過大導致小流不靈敏；例如：老舊社區經常存在家戶中用水設備微量漏損之情形，如漏損水量未達啟動流(QS)導致分表計量低估，亦可能造成差額水量形成總表分

攤。

此外，不同廠家、不同製造年份之水表，亦因水表內部機件構造之製成及材料差異，而產生微量變異，也形成差額水量原因之一。

(二)用戶用水設備設置不當

用戶用水設備設置不當造成計量異常的形態有許多，從總表到水池水塔包括：

- 1.未設置蓄水池，改以馬達直抽，造成總表計量偏高。
- 2.廢除總表後接水槽之設置，直接進水至地下蓄水池，因進水高低差之壓力造成總表計量偏高。
- 3.建物分屬不同總表，但共用水池水塔等用水設備，或用水設備有相通情形，造成總表進水量多的一栓產生總表分攤。

(三)用水相關之附屬設備問題：

以大型集合住宅常見的消防系統為例，因消防系統設計不良、消防管與用水設備間制水閥失靈等原因導致設備相通；或是灑水設施逆止閥失靈未能止水、消防蓄水池漏水…等等，造成總表分攤異常之情形。

此外，大型社區用水設備，部分因設置期間不同，常見公共用水設備未設置分表用水情形；或因內線漏水，無法即時發現，產生總表分攤。

(四)進水端管網壓力變化造成計量誤差：

根據國內外經驗，水壓增加將會使得水表感應水量稍為增加；這是因為水壓增加導致流速加快，小流不感應減少。而在總表-分表系統中，由於分表完全不受水壓的影響，水壓只會影響總表抄表計量抄度，因此形成水壓高，總表度數與分表度數的差額將高一點；水壓低，差額將低一點。

此外，外在環境水壓變化的影響，亦可能因為管中壓力產生水表擾動；或鄰近大水池進水壓力形成水腫現象，產生水表異常轉動等情形，造成總表計量錯誤而產生總表分攤。

三、異常案例分析

【個案 1：松山區某國宅】

(一)個案概述

松山區某國宅社區計 6 棟建築分屬 6 只總表，長年存在微量總表分攤問題，惟無明顯漏水情形，該社區亦設置公共水栓提供澆灌、洗樓梯等用水，多次前往複查檢測均無發現具體異常原因。用戶因此質疑分表老舊計量誤差造成分攤。在汰換屆齡表後，認為總表分攤下降，遂要求退還歷年總表分攤。

(二)處理過程

1.換表前後水量變化情形(表 1)：

第一次換表(103 年 3 月 13 日)，觀察 103 年 5 月至 103 年 9 月用水量：

A1：更換分表 35 只(36 戶)，總表分攤不減反增

A2：更換分表 48 只(49 戶)，換表前 103 年 3 月當期總表分攤即已減少

B1：更換總表及分表 37 只(37 戶)，換表前 103 年 3 月當期總表分攤即已減少

B2：更換總表及分表 32 只(35 戶)，換表前 103 年 3 月當期總表分攤即已減少

C1：更換分表 20 只(33 戶)，換表前 103 年 3 月當期總表分攤即已減少

C2：更換分表 2 只(44 戶)，換表前後分攤差異不大

第二次換表(103 年 10 月 15 日)，觀察 104 年 1 月至 3 月用水量：

- A1：僅更換總表，更換後總表分攤維持，但 104 年 3 月突由百餘度下降為 29 度
- A2：僅更換分表 1 只，總表分攤穩定正常
- B1：前次已全數汰換完成，自 103 年 3 月至 104 年 3 月均維持 50 度以下
- B2：僅換分表 1 只，總表分攤 103 年 3 月下降，103 年 11 月起上升近百度
- C1：僅換分表 7 只，總表分攤 103 年 3 月下降，103 年 11 月起上升近百度
- C2：更換總表及分表 34 只，換表後降為 50 度上下。

表 1 國宅社區各棟總表分攤一覽表

棟別 分攤度 抄表日	棟別					
	A1	A2	B1	B2	C1	C2
104/03/09	29	23	11	95	94	53
104/01/05	112	0	29	121	88	49
103/10/31	149	56	48	116	111	172
103/09/01	141	17	22	69	50	157
103/07/03	177	0	0	85	56	104
103/05/06	119	20	40	94	56	105
103/03/07	74	4	48	76	63	110
103/01/03	69	17	126	106	96	123
102/10/31	125	53	132	95	153	186
102/08/30	108	34	123	88	104	138

備註：分攤度數顯示為 0，部分係低總表合。

依抄表資料顯示，總表分攤度數增減，和換表與否並無直接相關，用戶質疑水表計量失準造成分攤說法並非事實。

2.現場勘查：

為徹底瞭解該社區分攤原因，於 104 年 5 月再度現場勘查結果，有以下發現：

(1)總表後漏水



B1 棟總表後於接水槽內套管滲漏



A2 棟總表後由令漏水

(2)總表後分表前接用未計量不明管線



C2 棟屋頂增設一栓私表



A2 棟未過表供冷氣系統用水

(3)用水設備相通



相鄰棟水塔經消防管相通



C1C2 地下受水管設聯通管

(4)未經計量之取水口



A2 棟屋頂私設水栓



水塔連接消防取水口

3.用水量分析：

- (1)總表後用水設備有相通情形，致相鄰棟間分攤水量互有消長情形。
- (2)未經分表之用水設備包含冷卻水塔及屋頂水龍頭均裝置於 A2 棟，但長期均為 A1 棟分攤較多；另 B1 棟總表套管長期滲漏，但卻 B2 棟分攤較高，實為設備相通造成計量不合理之情形。
- (3)用水設備相通造成部分棟別有時分攤、有時產生總表低於分表和之情形。
- (4)分攤量以相鄰棟合併觀察(表 2)，排除漏水因素，可發現分攤量有週期循環之情形。

表 2 國宅社區各棟總表分攤一覽表

棟別 分攤度 抄表日	A1		A2		小計		B1		B2		小計		C1		C2		小計	
	104/07/03	100	94	196	-21	69	48	40	68	108								
104/05/07	58	222	296	-8	47	39	78	80	158									
104/03/09	29	23	52	11	95	106	94	53	147									
104/01/05	112	-1	111	29	121	150	88	49	137									
103/10/31	149	56	205	48	116	164	111	172	283									
103/09/01	141	17	158	22	69	91	50	157	207									
103/07/03	177	-3	174	-4	85	81	56	104	160									
103/05/06	119	20	139	40	94	134	56	105	161									
103/03/07	74	4	78	48	76	124	63	110	173									
103/01/03	69	17	86	126	106	232	96	123	219									
102/10/31	125	53	178	132	95	227	153	186	339									
102/08/30	108	34	142	123	88	211	104	138	242									

(三)個案小結

該國宅社區經徹底勘查結果，確實存在有表後漏水、不明管線用水、私設未計量水栓、未經公共水表之公共用水及便利取水口

等，可能形成總表分攤之情形，並因消防管線及用水設備連通情形，導致總表分攤度數及各期度數變異性大，無法有效管理用水量。

提出改善建議如下：

- 1.應加強表後管線及公共用水設備日常查察，避免漏水產生總表分攤。
- 2.私設管線未經分表計量之用水設備，包含冷卻水塔及屋頂水龍頭等，應申請接用正式水表計量。
- 3.消防管線設計以水池、水塔間互相連通支援，應隨時注意其運作情形，並定期檢修逆止閥，避免水量互相流通影響計量正確性及公平性。
- 4.消防取水口雖供緊急使用，仍建議適度管制，減少私人取用機會。

【個案 2：內湖區某社區大樓】

(一)個案概述

內湖區某社區大樓 A 至 H 棟共計 8 棟建築，分屬 8 只總表，其中 D 棟長期總表分攤且逐期增加，經申請驗表結果快轉不合格，對於僅依 102 年 6 月換表後快轉率核退水費產生極大不滿。除要求暫勿退費外，並要求協助進行用水設備檢測，釐清總表分攤原因。

(二)處理過程

- 1.水池進水量與總表計量相符，用水設備無漏水情形。
 - (1)進行給水系統水池、水塔等進水測試，測試結果水池進水量與總表計量相同，顯示 D 棟總表換表後計量正確無誤。
 - (2)由防漏專業人員執行漏水檢測，未發現具體漏水情事。

2.B、C、D 三棟用水互有相通。

每週密集抄表，並依現場會勘、社區平面圖及全區 8 棟建築物整合性用水量分析發現，101 年 7 月前 B、C、D 三棟各自分攤，之後三棟分攤度數彼此消長，顯示用水互有相通情形。(分攤量變化情形詳表 3)

3.B、C、D 三棟用水係經由消防系統互通。

經協調消防管理單位提供消防管線圖確認，B、C、D 棟頂樓水塔係經由「自動撒水幹管系統」相通，社區各棟地下樓層亦有連通情事；至於「消防幹管系統」亦顯示 B、C 棟屋頂消防栓相連。

協同消防單位現場勘查，因各棟間外部消防管線均設有制水閥等設備，研判可能設

備失靈造成用水相通。

4.統計 3 棟分攤度數並扣除 D 棟快轉率 7% 結果，總分攤量約維持在 600 至 800 度間，平均每戶(3 棟合計 194 戶)每期分攤量約為 3 至 4 度，符合以往各棟分攤量。

(三)個案小結

- 1.該社區水池、水塔等給水設備單純，B、C、D 各棟間確有消防設備用水相通情形，建議該社區洽請專業消防技師巡檢改善。
- 2.建請該社區 B、C、D 棟用水相通情形未改善前辦理分攤度數合併計量，本分處亦配合依該社區協調結果，重新核算各戶用水分攤量。

表 3 內湖社區大樓 BCD 各棟總表分攤情形一覽表

	D 棟		C 棟	B 棟	合計		備註
	原度數	依快轉率更正			原度數	更正後	
104/09/23	760	760	-157	220	823	823	颱風清洗水池水塔分攤較高
104/07/24	698	490	116	148	962	754	D 棟 104.7.25 驗表快轉率 7%
104/05/27	955	728	-90	80	945	718	
104/03/27	924	683	-141	111	894	653	
104/01/23	976	733	-187	104	893	651	
103/11/21	867	614	-182	276	961	708	
103/09/23	839	606	208	74	1121	888	D 棟 103.11.28 複查漏水
103/07/24	844	613	-33	24	835	604	
103/05/26	727	517	-23	56	760	550	
103/03/27	495	282	64	159	718	505	
103/01/23	413	206	166	187	766	559	
102/11/21	597	380	-40	206	763	546	C 棟 102.10.5 換表
102/09/23	513	308	256	254	1023	818	管線相通造成 C 棟誤判為壞表，分攤推定過高
102/07/24	279	279	261	211	751	751	D 棟 102.6.10 換表
102/05/27	308	308	252	195	755	854	
102/03/27	253	253	193	240	686	686	
102/01/23	363	363	122	243	728	728	

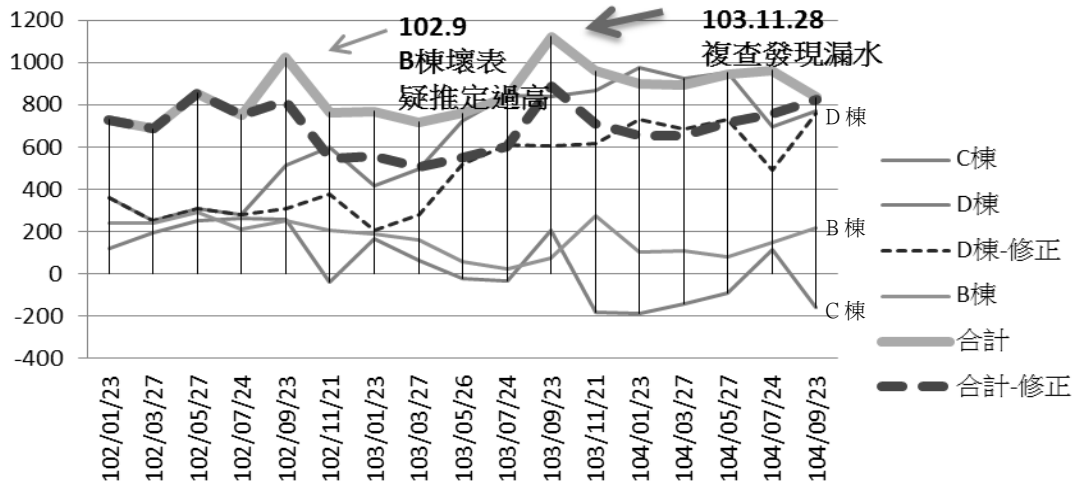


圖 2 內湖社區大樓 BCD 各棟總表分攤消長情形曲線圖

四、總表分攤巡檢SOP之建立

由前節案例處理分析得知，錯誤的判斷將因期待落差，引發用戶不滿的情緒，並增加案件後續處理的困難。以個案 1 為例，如能於第一時間發現該國宅社區存在有表後漏水、不明管線用水、私設未計量水栓、取水口等，可能形成總表分攤之情形，並因消防管線及用水設備連通情形，造成各相鄰棟間總表分攤量消長等；將可避免後續換表導致用戶質疑水表準確性，形成公共議題，導致各界質疑撻伐及輿論壓力。

另個案 2 初步判定用戶用水設備單純，逕行建議用戶檢驗總水表，未料各棟管線經由消防系統相通造成分攤量異常。未於第一時間發現鄰棟間分攤水量消長情形，又因驗表結果快轉不合格，遭用戶質疑除總表外，分表是否亦有計量不準確之情形，再度訴諸民代質疑計量收費不公之情形。

由以上案例處理過程，搭配前述「形成差額水量原因」，嘗試建立如下總表分攤巡

檢 SOP(如圖 3)，期能讓第一線處理人員，在面對複雜之社區總表分攤問題，能有較為標準化的處理步驟，減少對問題的誤判。當用戶異議總表分攤，判斷條件包括：

(一)是否抄表錯誤？

確認抄表正確與否，為水費複查處理第 1 步驟，如因抄表錯誤造成之總表分攤，更正正確示度後即可排除。

(二)是否設備漏水或用水設備設置不當？

如抄表正確無誤，接下來即應考慮過總表後用水設備問題。總表後設備如有漏水情形，自然形成總表分攤。此外，用水設備如有總表後馬達直抽、水池或接水槽廢棄未使用等情形，可能造成總表計量不準確，因而形成總表分攤。

(三)是否為集合社區？

集合社區用水設備較為複雜，若已排除前二項問題，接下來應現場勘查是否為集合社區，若非集合社區，可建議用戶進行驗表程序。若為集合社區，則需向下延伸考量其它問題。



(四)集合社區各棟總表分攤量是否互有消長？

集合社區之情形，可洽詢管委會提供社區相關圖面資料，以便瞭解不同總表間各棟建物之關連性，再進一步調閱相關圖(圖 3)。

總表水量資料。觀察一段期間內，各相關棟別間用水數據消長情形，用以判斷是否因用水設備相通造成分攤異常。

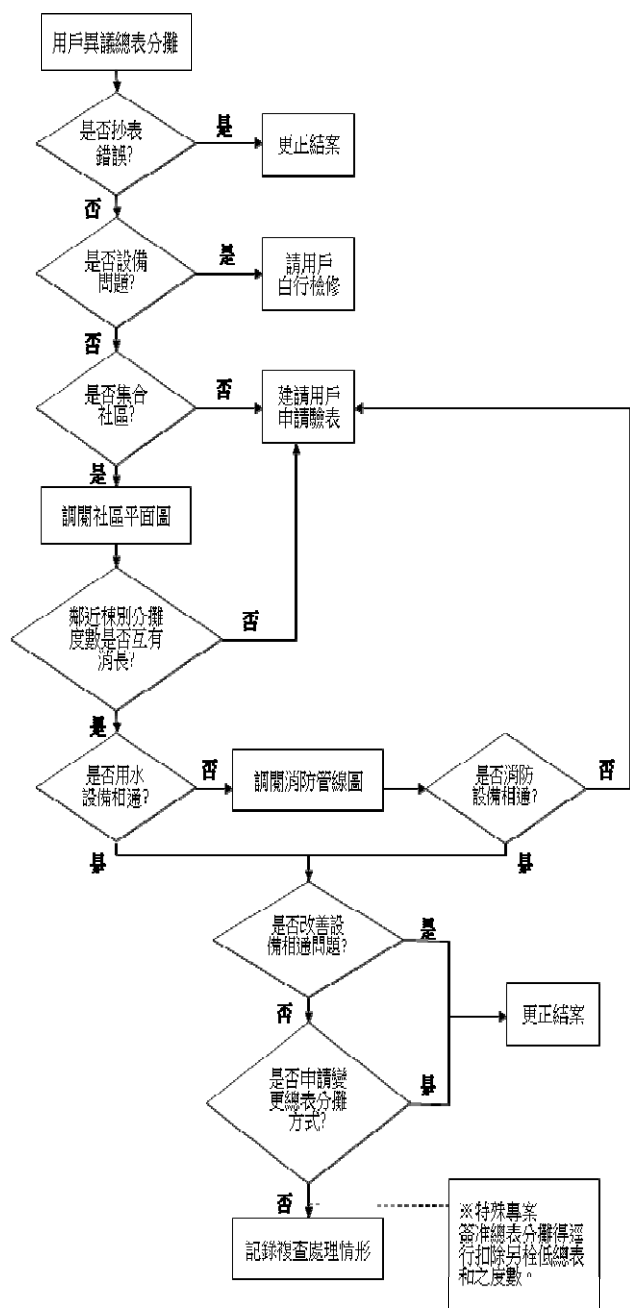


圖 3 總表分攤巡檢流程圖

(五)各棟間用水設備是否相通？消防設備是否相通？

由前述各條件判斷，得知各棟間用水消長變化，設備間相通情形。如社區無消防設備，常見原因多為水池水塔相通造成調閱相關棟別用水資料分析，提供用戶可能造成總表分攤異常原因，並建議用戶加以改善。

各階段條件判斷由簡至繁，將可立即處理判斷之原因排除後，再進一步深入分析，以避免過程中因條件誤判，造成後續處理更為繁瑣及困難，縮短問題處理時間，俾能將用戶抱怨降至最低。

另外，配合臺北自來水處擴大家戶節水服務，深入家戶的節水輔導，其中，改善社區總表分攤問題，亦是節約家戶用水之一環，總表分攤問題能得以解決改善，社區所有用戶均可受益，能有效提升服務品質及效率，減少水資源的浪費。

五、結論及建議

用戶對於總表分攤之爭議，主要在於總表、分表間之差額水量，將直接反應於每一分表戶之用水度數，造成個別用戶實質水費之增加。因此，本案所建議之總表分攤處理模式，主要係針對異常突增，較易引起用戶爭議之總表分攤問題提供建議。

然而，實務上常見的分攤問題，除了異常突增之高額分攤外，用戶對於水量計本身之器差，或抄表時間差所形成之微量分攤，常有所質疑。原因在於自來水事業現行收費標準，總表大於分表和時，將對分表戶收取差額水費；但相對而言，總表小於分表和之情形，仍是依分表度數收取，致用戶產生相對剝奪感，而有所不滿。

因此，為處理總表分攤問題，除了針對異常突增分攤用戶，提供用戶複查服務等處理協助外；在符合現行檢驗標準之水表，存在合格範圍器差之情形下，應重新思考總表分攤之現行收費標準，是否放寬在器差範圍內差額水量之收取方式。

而在未來，隨著智能水表裝置(AMR)的普及和運用，如何讓用戶關心公共用水設備，藉由智能水表記錄用水量變化情形，以大數據分析進行風險評估，事先針對用水設備可能發生漏損情形，防範於未然；在水費調漲的同時，期能逐漸取得用戶對於總表分攤費用收取的瞭解與認同，並能進一步共同珍惜寶貴的水資源。

參考文獻

- 1.廖介廷、時佳麟、曾喜彩、周家榮、梅英昌，〈藉探討「40mm口徑電子式C級水表於用戶用水模式分析」推演表差（計量）評估模型〉，《臺北市政府103年度自行研究報告》，2014。
- 2.黃欽稜、楊境維、鍾添平、蔡淑惠，〈小口徑水表進水行為之研究〉，經建會，《臺北市政府102年度自行研究報告》，2013。
- 3.黃欽稜、楊境維、鍾添平，《用戶水表計量誤差研究之初探》，《臺北市政府100年度自行研究報告》，2011。

作者簡介

林明美小姐

現職：臺北自來水事業處一級管理師

專長：用戶服務、抄表管理

台丹降漏合作計畫—動態水力分析及管汰規劃

文/隋忠寰、蔡博淵、曾為恭、林聖桓

摘要

為促進台丹雙邊經濟交流活動，丹麥外交部與台灣自來水公司（以下簡稱台水公司）於 103 年共同辦理「台丹水資源合作高雄市旗津區降低無收益水量(NRW)試辦計畫」，該計畫為台丹水科技首次合作，雙方在自來水漏水整治、管線滲漏偵測等技術進行交流，成果豐碩。鑑於前次合作成功經驗，雙方於 106 年再次共同推動「台丹自來水降漏合作計畫」，經多次商討現勘，雙方擇定草屯供水系統進行試辦，本次合作為草屯供水系統建立動態水力模型以診斷供水現況，並量身訂作未來 30 年管線汰換長期規劃方案，並藉由技術交流工作坊分享水力模型建置、漏水潛勢分析及現場施工等經驗，成效獲得雙方肯定。

關鍵詞：水力分析、管線汰換

一、前言

丹麥與台灣同屬於海島型的國家，人口約 570 萬人，面積約 42,924 平方公里，在全球面臨水資源缺乏的難題下，丹麥在水資源管理方面卻有著長期整合性規劃。丹麥水價約為台灣 7 倍，在高水價政策支持下，確保有充裕的人力物力保護水資源，該國 105 年度每人每年生活用水量為 38.8 立方公尺，自來水管網平均漏水率低於 10%，與世界各國相比，名列前茅，展現出該國對於保護水資源的重視及地球公民的自覺。相較台灣屬全

球水資源匱乏地區之一，基於物價穩定及經濟發展考量，長期採低水價政策，對用戶及工業亦無促使其節約用水之誘因，造成用水浪費（105 年國人每年自來水生活用水量為 100.7 立方公尺，約為丹麥的 2.5 倍），亦對於自來水事業之永續經營形成極大的挑戰，如何有效利用水資源及提升使用者付費之公民意識確屬重要課題。

台水公司自 93 年起大規模投入預算，辦理多項降低漏水率計畫，積極引進國外先進降低漏水技術及設備，鑑於台丹雙方先前合作成功經驗，於 106 年再次共同推動「台丹自來水降漏合作計畫」，在丹麥商務辦事處積極協助引介下，本次合作計畫分別委託在供水領域擁有豐富的項目經驗 Ramboll 與 DHI 公司共同執行。Ramboll 公司為國際性全方位之工程顧問團隊，與多家丹麥水務公司皆有長期合作關係，並提供供水系統優化管理及管線施工技術等相關諮詢服務，協助丹麥水務公司進行現場監造作業及管線施工指導；DHI 公司為水環境領域科技開發與應用研究之國際性科研諮詢機構，可提供諮詢、研究、政策指導等技術服務，為世界衛生組織、聯合國環境規劃署指定之合作對象，亦為全球水合作夥伴計畫的諮詢中心。本次計畫藉重二家公司在全球及丹麥自來水事業單位之合作經驗，強化台水公司從業人員之專業技術及提升國際視野，經雙方多次商討現勘擇定草屯供水系統進行試辦。

二、草屯供水系統現況分析

(一)供水現況：

草屯供水系統有 6 處淨水場(詳圖 1)，15 處加壓站，深淺井 31 口(含租用井 5 口)，該系統水源皆為地下水，經氣曝、加氯消毒後加壓供水至配水管網，該系統高程分佈情形詳如圖 2。由於中興地區部份水源硝酸鹽氮較高，故須由集集淨水場經南投營運所支援約 10,000 CMD 清水至營盤口淨水場混合加壓供水，以符合飲用水水質標準。截至 105 年底，草屯營運所供水服務人口 137,895 人，供水用戶數 46,590 戶，供水普及率 84.27%。105 年底供水量為 17,945,976 立方公尺，平均日配水量為 49,033 立方公尺。由於草屯供水系統於枯水期地下水出水量銳減，為維持該地區用戶供水穩定，以租用南投農田水利會 5 口深井因應調配。

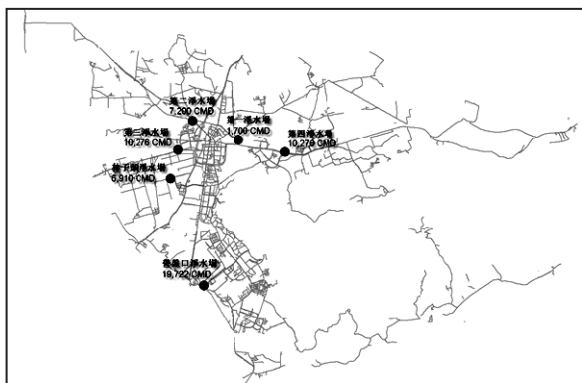


圖 1 草屯供水系統淨水場分佈

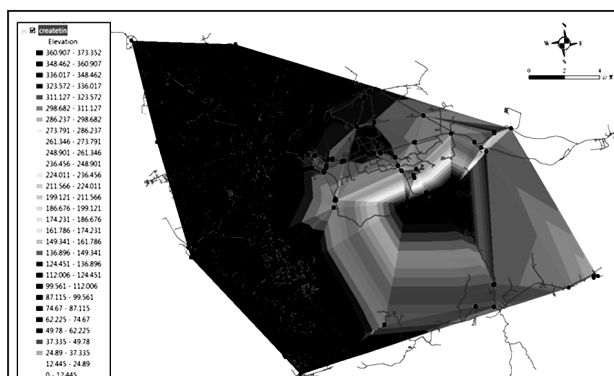


圖 2 草屯供水系統等高面圖

(二)營運現況

草屯供水系統 105 年底售水量為 11,606,564 立方公尺，售水率為 64.68% (詳圖 3)，即無收益水量 NRW 為 35.32%。該地區最主要的用水類型為普通用水，占比 84%。其次為機關和商業用水，分別占比 5% 和 5% (詳圖 4)。草屯區域依據 105-106 年平均用水量進行分析，夏季用水量高峰月份變化係數為 1.02，冬季用水量低估月份變化係數為 0.96，全年用水量變化不大。

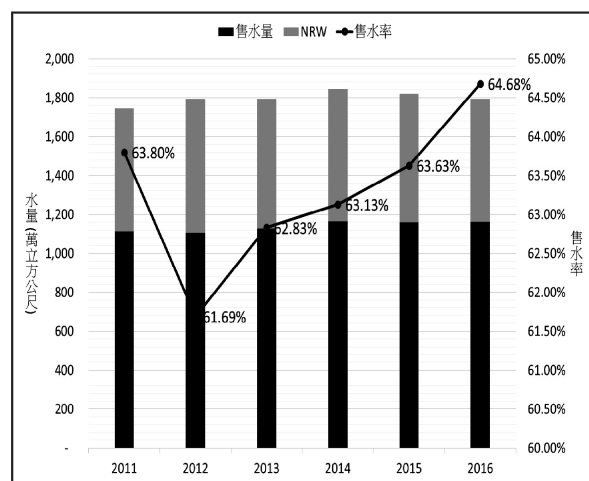


圖 3 草屯供水系統產銷分析

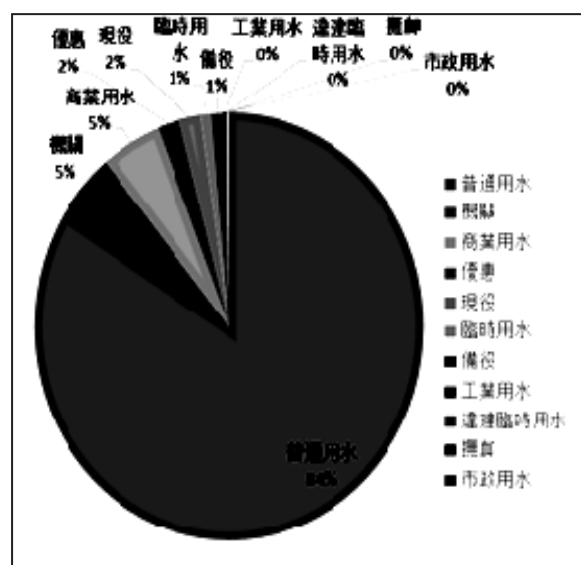


圖 4 草屯供水系統用水型態分析

(三)管網現況

草屯供水系統 105 年底管線總長度約為 447,730 公尺，主要埋設管種為 PVC 和 DIP 管，其中管線多於集中西元 1994-2012 年期間埋設（詳圖 5）。

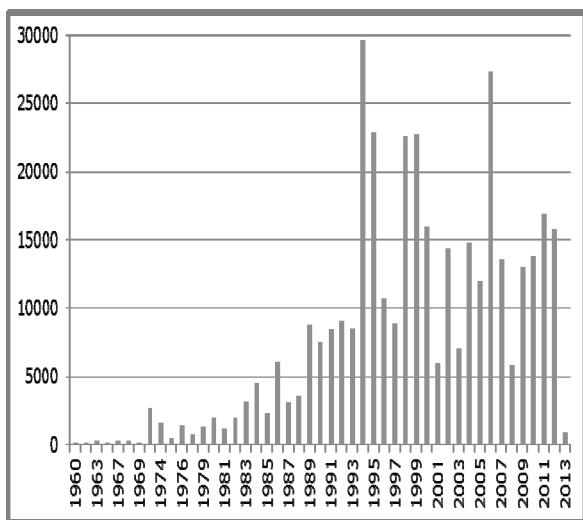


圖 5 草屯供水系統管網管種分析

鑑於該系統售水率偏低且於枯水期易有水量不足情形，如何降低草屯地區供水損失以有效利用水資源為目前重要工作之一。

三、草屯供水系統動態水力分析：

(一)計畫內容

管網水力模型可提供工程人員針對管網現況進行診斷評估，藉由管網操作情境模擬，以分析系統臨界操作水壓、供水瓶頸、弱勢管段及管網潛在缺陷，提出供水操作、多水源聯合調度、水壓管理、管網改善之建議及解決方案，並規劃分區計量管網及檢視監測點佈置情形，結合系統水平衡分析可有效評估各分區計量管網(DMA)的漏損程度。

本計畫 DHI 公司利用自行開發水力分析軟體 Mike Urban 診斷草屯系統供水現況及水壓分佈，其中草屯市中心、東山路和中正

路一帶、富德街和鹽土路一帶水壓偏低。此外，草屯市中心（詳圖 6）和中興區域（詳圖 7）存有水流反流現象，應注意反流管道的水質情形，以防止水流反向的剪切力冲刷管壁物質進入水體，造成二次污染。

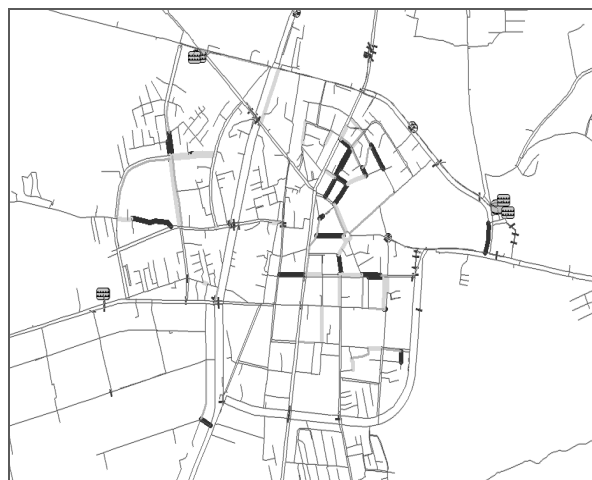


圖 6 草屯市區反流次數多的管線（紅線部分）



圖 7 中興地區反流次數多的管線（粗線部分）

(二)計畫成果

本計畫 DHI 公司依據供水管網水力模擬成果，規劃林子頭配水池與第四淨水場的聯合調度方案(詳圖 8)及林子頭配水池與草屯市區的應急調度方案；另依據草屯系統目



圖 8 林子頭配水池與第四淨水場聯合調度方案

前既設分區計量管網和既有流量計分佈情況，重新規劃 12 個計量小區 DMA (詳圖 9)，並針對水壓較高的區域研擬水壓管理解決方案；最後，根據未來 115 年的用水需求，模擬 115 年供水情形，並提出未來管網改造建議，包含低壓區及高流速區解決方案。本計畫所建立之水力模型成果亦作為管線汰換規劃及管網改善之基礎數據。

四、草屯供水系統汰換管線規劃：

(一)計畫內容

本計畫 Ramboll 公司利用自行研發之指標系統軟體 Renover，綜合分析草屯系統的 GIS 數據如管種、管徑、埋設年限、管材容許強度、管線埋設區域(如城市或郊區等)及路面結構 (如人行道或瀝青路面等)等，結合修漏紀錄進行漏水潛勢分析，並考量該系統之供水需求 (如漏水率目標、用戶水壓需求及水質標準等)、管線汰換要點、預算、造價及各管種之生命週期，為草屯系統量身訂作短、中、長期管線汰換計畫。該指標系統係估算每一管段相對每一因子之指數，綜整

每一管段各項因子指數，可產出各管段之綜合汰換指數(Total Index)，依據綜合汰換指數的高低擬訂管線汰換策略及優先順序。依據 Ramboll 公司漏水潛勢分析結果顯示草屯系統 104 年度修漏點管材分佈以 PVC/P 管漏水數量最多(詳圖 13)，其次為 CIP 和 DIP 管；漏水原因以工程施工和荷重振動產生漏水的機率最高；其次為自然因素，如地上漏水、地下漏水、地盤下陷等(詳圖 14)；另外，對於壓力較高區域，由於水錘造成的漏水機率亦明顯。

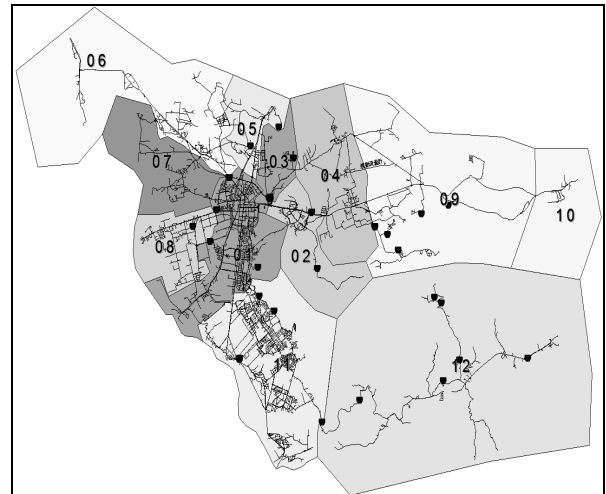


圖 9 草屯供水系統分區計量管網規劃

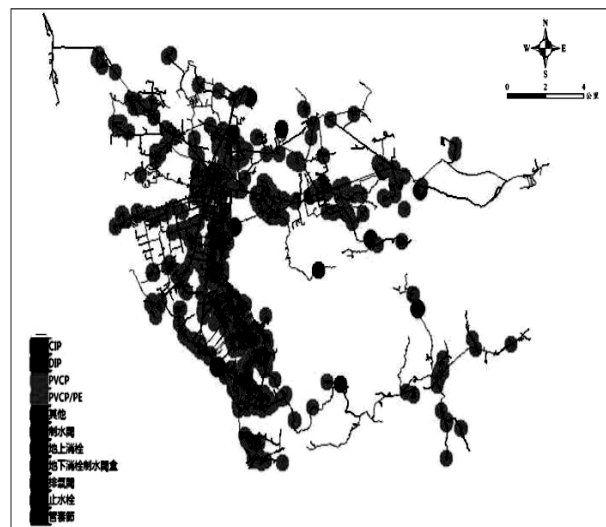


圖 10 草屯系統漏水點管種分佈



綜合漏水潛勢分析結果顯示富察里區域、中正路-光榮西路及草屯市中心區域為漏水高風險區域，該區域均具備(1)漏水頻率高、(2)管材多為 PVC/P 及(3)管齡較長之基本特性（詳圖 12、13、14）。

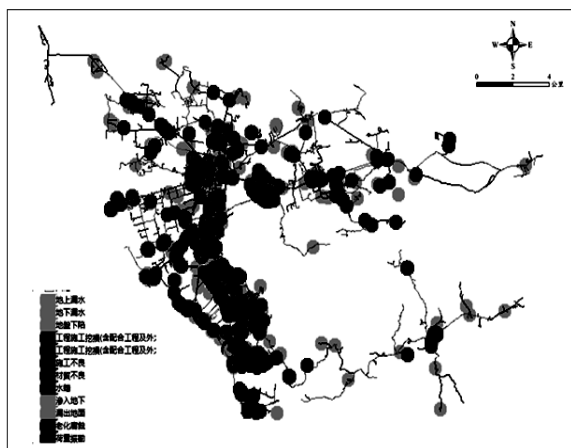


圖 11 草屯系統 104 年漏水點漏水原因分佈

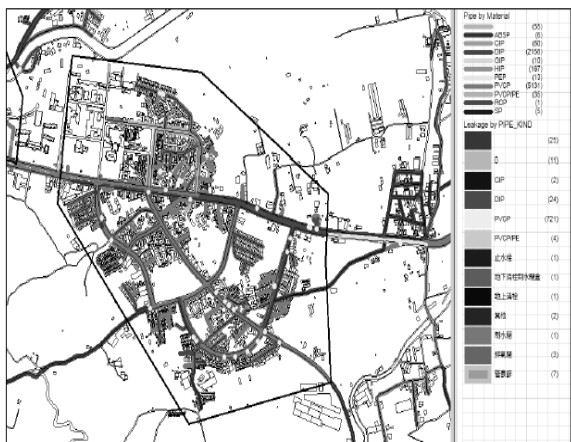


圖 12 高漏水潛勢區域：富察里區域

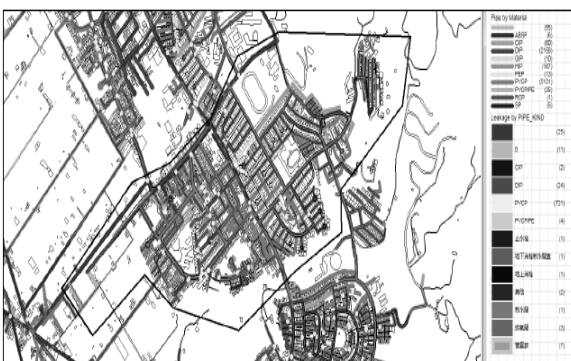


圖 13 高漏水潛勢區域：中正路 - 光榮西路區域



圖 14 高漏水潛勢區域：草屯市中心區域

(二)計畫成果

如圖 15 所示，Ramboll 公司利用 Renover 軟體分析出草屯系統管線汰換需求，圖中西元 1995-2010 年份所對應管線長度即為已屆齡之管線，應列入短期汰換標的，另考量未來因材料研發與管汰工法技術提升致管材生命週期延長，故不考慮西元 2050-2055 年期間管線汰換需求，因此，Ramboll 擬訂汰換方案僅規劃至 2045 年為止，依據管線汰換需求分析結果按階段劃分短、中、長期方案：(1)短期（西元 2015-2020 年）需汰換管線長度約為 87 公里（每年汰換 29 公里）；(2)中期（西元 2020-2030 年）需汰換管線長度約為 121 公里（每年汰換 12.1 公里）；(3)長期（西元 2030-2045 年）需汰換管線長度約為 144 公里（每年汰換 9.6 公里）。圖 16 顯示草屯供水系統現有 PVC/P 管汰換年份，即 Renover 軟體可將各管種汰換需求之分析結果可視化。Renover 軟體亦可依據各管徑管線汰換造價及考量未來物價指數上升，計算出的相應年份管線汰換經費需求，如圖 17 所示，為草屯系統管線汰換之經費需求。

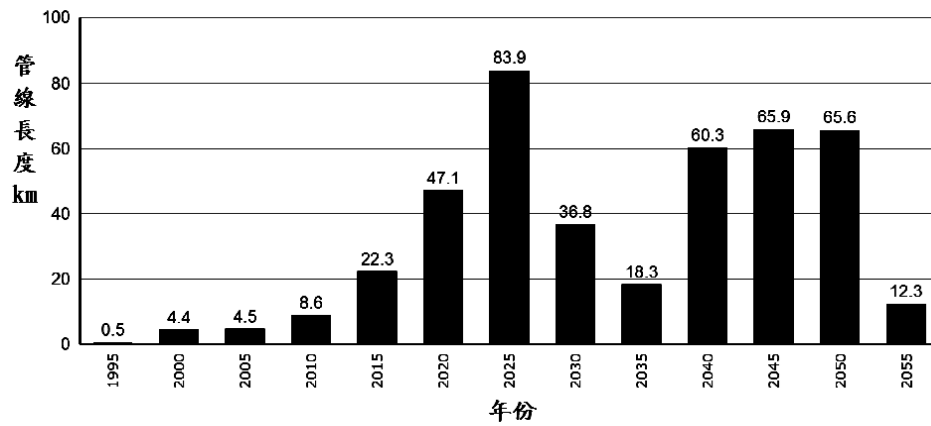


圖 15 草屯供水系統的汰換需求圖

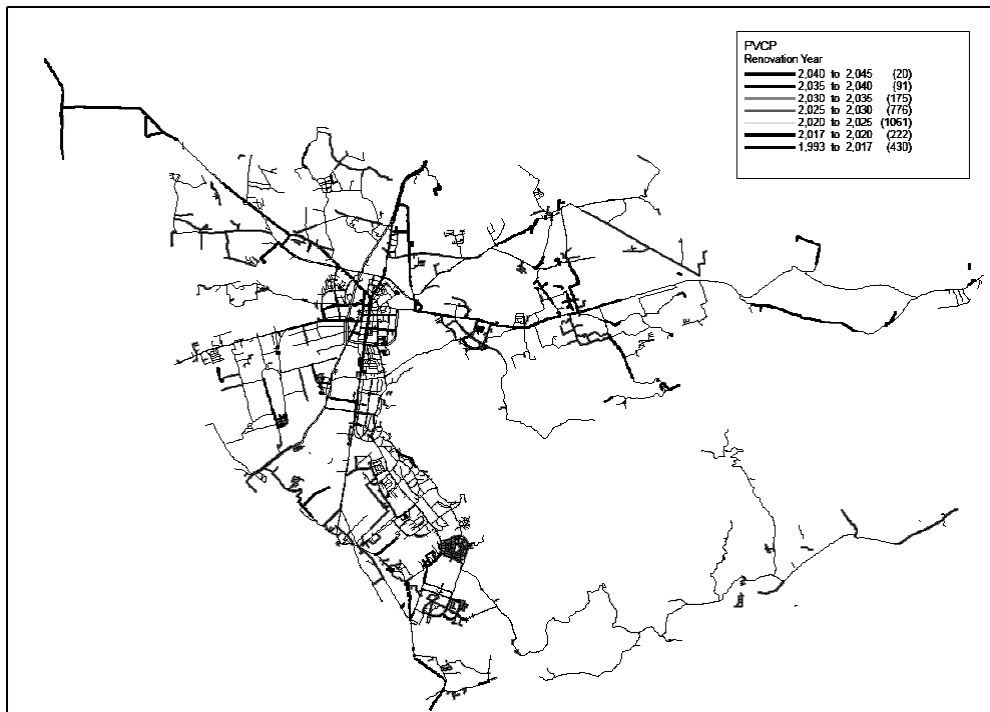


圖 16 草屯供水系統 PVC 管汰換需求分佈圖

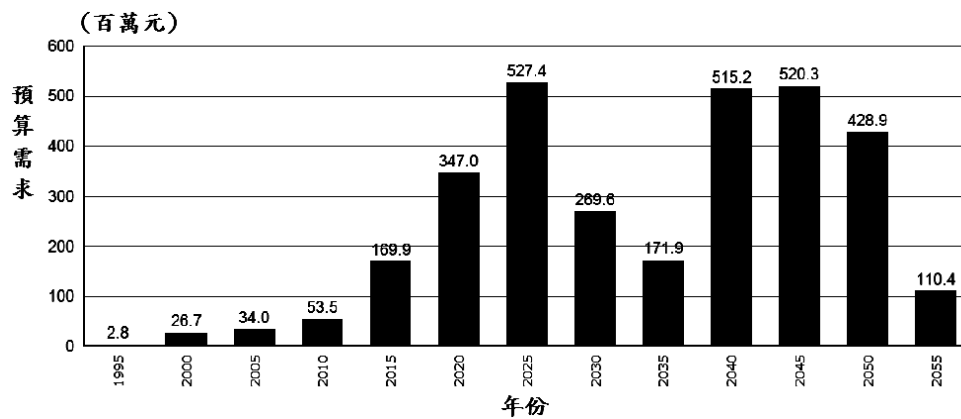


圖 17 草屯供水系統的汰換經費需求圖

四、台丹管線施工及管理經驗分享

鑑於管線埋設施工作業及工法對供水系統背景漏水量多寡影響甚鉅，且背景漏水量一般難以利用現有的檢漏技術進行偵測，對供水系統之漏水量有決定性的影響，不當或錯誤的管線埋設施工作業會引起大量地漏水量造成相應的經濟損失，故本次合作計畫台水公司陪同 Ramboll 進行現場作業勘查，並舉辦管線施工作業技術交流工作坊，分享台丹施工經驗。以下就台丹管線施工作業之差異性摘要說明：

1. 管溝回填

台灣目前多為因應路權單位路平要求，採控制性低強度混凝土回填管溝；在丹麥管溝回填主要分為三層(1)管底砂：細砂或細小礫石鋪設於管底並進行夯實。(2)管底層：管線周圍與管頂往上 15cm，回填材料亦為細砂或細小的礫石，鋪設後須進行夯實。(3)管頂層：位於管底層之上，回填現場的沙土或者新的礫石回填至瀝青層底部(詳圖 21)。Ramboll 公司針對台灣目前使用控制性低強度混凝土回填分析缺點有二：(1)管線在混凝土的包裹下，束限管線延展的空間，於地震發生的時候，供水管線易發生漏水甚至嚴重破管的現象。丹麥雖不屬於地震帶，但供水管線亦會遇到因冬季氣溫劇烈變化帶來的管線變形，這些自然因素皆會引起破管發生。(2)此外，管溝回填混凝土易造成管線維修不易及增加檢漏難度，如施工過程中，法蘭接頭螺絲鬆脫，若管底層使用混凝土，則無法重新開挖修復。Ramboll 公司建議管底砂與管底底應比照丹麥回填細砂或者細

小礫石而不應使用混凝土，為因應路平要求可於管頂層澆鑄的水泥板以提升管溝回填強度。

2. 管材選擇

台水公司用戶外線(給水管)管材為 HIWP、SSP，而輸配水管多為 DIP、PCCP(特殊情況可用 SP、HIWP 或 HDPE)。在丹麥，無特殊情況的時候，汰換使用的新管材多為 HDPE 管，HDPE 管材生命週期長，接頭(熔接)抗震性佳，抗腐蝕、施工工法選擇性多，如內套、內襯、潛鑽(詳圖 19)、爆破等，相當適合地震帶地區使用。台灣市區地下管線複雜，管線汰換常因空間不足導致管線埋深過淺，致長期受車輛荷重作用下而發生破管，因此，HDPE 管材適合作為未來管線汰換的主要管種選擇之一。

另外，針對資產管理部份之差異性摘要說明：

1. 決策支援系統開發

相對於台水公司利用 EPANet 作為水力分析作業的主要工具，DHI 公司自行研發了 Mike Urban 軟體，除能自動校核管線拓樸邏輯之合理性，並能於蒐集 SCADA 中之分時水壓、水量資料後，進行動態水力分析作業，讓供水需求預測能更貼近實際之分時變化；而在管線汰換策略研擬部份，Ramboll 公司基於 Mapinfo 地理資訊軟體，開發出 Renover 管線汰換評估軟體，將管線汰換各項評估因子及權重輸入 Renover 軟體後，即可將管汰之策略增加時間與空間之評估成果，綜合來說，這些數值分析工具有助於改善決策人員僅憑經驗或印象投入資源之問題。

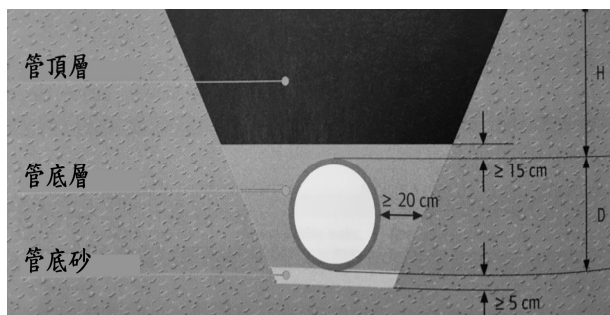


圖 18 丹麥管溝回填示意圖



圖 19 HDPE 潛鑽工法

2. 閥栓管理

由於台灣政府推動路平專案，導致台水公司部分閥栓遭埋沒下地，加以台水公司部分操作人員習慣以制水閥開關圈數進行水壓、水量調控，未能保持閥栓全開或全關，因此，在進行水力分析作業時因無法全面檢視制水閥之操作狀態，可能影響水力分析模型建構之精確度，在丹麥因無閥栓下地政策，且多能配合局部區域之水力特性設置特殊閥類（例如持壓兼減壓閥），並無前開水力分析作業上之疑慮。

五、結論

近年來，大數據分析及人工智慧的廣泛應用，藉由 IT 科技與供水管理之結合，提供為決策者正確的決策支持，以提升供水效能並降低供水損失，為每一個自來水事業單位重要的課題。本次合作計畫展現丹麥在動態水力分析和漏水潛勢分析等技術，為草屯供

水系統提供供水管理診斷優化及管線汰換長期規劃，足見丹麥在水科技領域創新研發的長期投入與努力，反觀台灣因長期性的水價偏低，導致無法投入經費或設備走向大數據分析的道路。在台丹經驗交流過程中，可以發現丹麥對於供水管網規劃設計、施工監造、維護管理等標準化作業程序的重視，值得台灣自來水事業單位學習與借鏡。

參考文獻

1. 台灣自來水公司，「台丹自來水降漏合作計畫-草屯供水系統水力分析試辦計畫」期末報告，2018。
2. 台灣自來水公司，「台丹自來水降漏合作計畫-草屯系統管線汰換與修復評估方案試辦計畫」期末報告，2018。
3. 台灣自來水公司，「台丹自來水降漏合作計畫-草屯供水系統線上漏水監測試辦計畫」期末報告，2018。

作者簡介

隋忠寰先生

現職：台灣自來水公司漏水防治處工程員
專長：自來水工程、土木工程

蔡博淵先生

現職：台灣自來水公司漏水防治處組長
專長：自來水工程、分區計量管網

曾為恭先生

現職：台灣自來水公司第四區管理處工程師
專長：自來水工程、管線工程設計

林聖桓先生

現職：台灣自來水公司第四區管理處工程員
專長：自來水工程、水利工程

利用南港加壓站建置管理用自來水流量計校驗設備

文/黃嘉昌、林進誠、黃裕泰

摘要

臺北自來水事業處(以下稱北水處)各淨水場、加壓站等進出水量管理及近年小區計量所需，多配備有 200mm 至 400mm 等不同口徑之管理用自來水流量計，為準確度測試、校正，增進計量準確性及進行相關實務研究，亟需自行建置校驗設備。

目前國內、外流量計校驗設備，多採專用方式建置，然大口徑流量計校驗其加壓及大容量水池、量槽等設備造價昂貴。本案獨步全國自來水界以現有加壓站設備建立大口徑流量計校驗設備，可涵蓋 200、250、300、400mm 共 4 種口徑之流量計校驗，相較於單獨建置，預估建造成本可節省達數千萬元，完成後可供新設流量計、使用中管理用流量計拆回校驗及流量計性能改善相關研究，增進計量準確性、公平性，使北水處管理用流量計準確性校驗及研究工作邁入新的紀元。

一、建置構想

以往北水處內部各項管理用自來水流量計按裝後並未針對其性能進行詳細觀察及測試，對於流量計按裝後性能衰退情形亦未有追蹤，另以「小區計量」作業為例，目前共建置 820 個小區，小區進水點窰井內設計按裝 200mm 及 300mm 流量計(如圖 1)，目前多以由小區作業廠商以租用方式採輪動方式建置，為利長期管裡所需，北水處正擬定可自動讀數並無線回傳之流量計採購計畫並逐步執行，期以掌控小區各階段之售水

率狀態，故流量計從按裝至汰換全流程之完整性能，及針對各新式的自來水流量計等不同敏感度水量計的效能、經濟效益分析，亦須有較為準確、測試結果穩定的校驗設備客觀評估。



圖 1 小區計量窰井安裝流量計

本市南港地區包含經貿園區用水，由暨有舊南港加壓站供應，為因應未來用水需求增加，北水處推動建置南港地區供水備援設施，並配合民生南港線供水，由民生南港線經由成功橋及南湖大橋分別供應南港地區，已於 104 年底完成建置南港地區供水備援系統，包含新建 1 座地下 3,000 公噸配水池及 400mm 口徑進、出水管(加壓方式分為抽水機水池加壓及管中加壓)及地上 3 層樓加壓站機房。

南港加壓站建立後，採新、舊供水系統相互支援方式進行(如圖 2~4)，為考量日後民生南港線維修時之供水穩定，可單獨新系統或舊系統運轉供水，本案利用新、舊系統可獨立操作特性，於新系統 400mm 口徑出水管改裝為自來水流量計校驗設備，讓加壓站出水管、抽水機及蓄水池同時成為流量計校驗

設備，大幅降低專用大口徑自來水流量計校驗設備之採購成本。



圖 2 新南港加壓站抽水機



圖 3 舊南港加壓站抽水機



圖 4 新、舊南港線操作介面

二、測試方法介紹與採用

一般流量計校驗或測試方法可為收集法與標準表法，收集法係利用可準確量測水量之容器，來收集通過流量計的水，藉由容器收集流體之量測值(體積或質量)與流量計量測值的差異比較，以估算流量計的計量準確度。標準表法則是利用重複性、再現性與線性均為良好，而且整體量測準確度可優於

受測流量計的流量計作為標準件，將受測流量計與標準流量計串聯，於穩定水流狀態下，比較兩者量測水量值的差異，以估算受測流量計的計量準確度。以南港加壓站的條件，不適合再建置超大型量桶，因此採用標準表法為測試方法。

流量計校驗設備的操作模式又可分為靜態起始結束法及動態起始結束法兩種，靜態起始結束法，即 CNS 14866-3 所述之「水量計停止時才讀表的檢驗」，流量計測試時之水流是從靜止狀態開啟開關即開始收集，因此管道內流量由靜止開始遞增，經過一小段時間才穩定下來，而此水流穩定所需時間與閥門開啟時間、閥件種類、及管道流率有關，通常管道口徑越大，閥件開啟與關閉所需的時間越長，因此水流不穩定的時間亦較長。靜態起始結束法操作模式，除了閥件開關效應所引起的量測誤差外，還須考量水量計由靜止起動至穩定運轉，再減速至靜止的運轉狀態改變所造成的慣性效應。採用靜態起始結束法操作模式之收集法必須建置較大的量槽，採用靜態起始結束法操作模式之標準表法則其標準流量計須能快速應答而得以即時計量。

動態起始結束法即 CNS 14866-3 所述之「水量計在穩定流動狀態下轉換水流方向時讀表的檢驗」即為此一操作模式，在水流穩定的狀況下，利用換向器來改變水流的方向，使原流向旁通管道的水流轉向至收集量槽，並開始收集通過流量計的水量，待水量收集完成時，再藉由換向器將水流轉向回旁通管道。動態起始結束法於水量收集期間內，其管道內之水流保持穩定，流量計不會

有流態變動所導致的量測誤差，因此可以在測試水量收集的情況下，來執行流量計測試。就大口徑流量計的測試而言，動態起始結束法可用較少但合理的收集水量來執行測試，所須建置的量槽具有較小容積，但須配置合適的換向器。

對於同樣口徑的流量計，在相同的校驗流量情況下，動態起始結束法所需的最小檢定檢查水量遠小於靜態起始結束法。因此，動態起始結束法可以大幅節省水量計的校驗時間，且可節省製造、維護與校正超大型收集量槽的成本。因此，本案以動態起始結束法為建置之基準。

三、設計內容

(一)建置地點

整合南港加壓站原有大型地下水池資源、完整之給排水、加壓功能，建置功能完備之自來水流量計校驗設備。利用加壓站現有抽水機及出水管線(400mm)改裝，並配合「南港水表試驗場」相關設備完成後之剩餘空間設置，如圖 5。

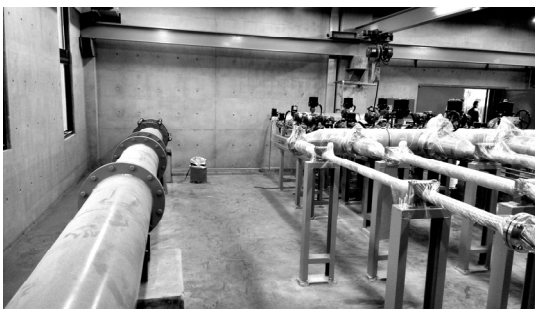


圖 5 南港水表試驗場與本採購案施作位置

(二)設計說明

加壓站配水管預定改裝管段如圖 6，新南港加壓站現有 5 台抽水機，其中 2 台是沉

水式，另外 3 台是管中加壓式，每台 18,000CMD 可同時打 3 台(如圖 2)，均可作為流量計測試供水，並考量增設天車吊裝設備(2 噸 1 套)，供後續加壓站抽水機維護吊裝使用。

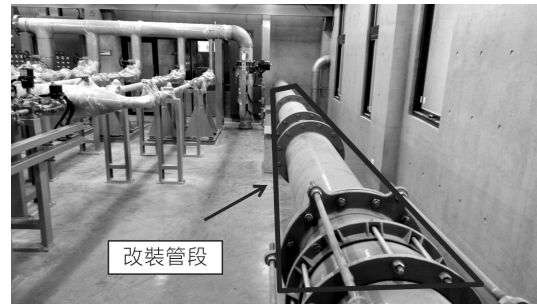


圖 6 使用 400mm 加壓站配水管改裝

使用加壓站現有 400 mm 口徑之電磁式流量計作為查核件，另增購一只 400 mm 口徑之電磁式流量計作為工作標準件，以供工作標準件進行性能比對驗證之用。本案另須建置 200 mm、250 mm 及 300 mm 管件，並具有和原有 400 mm 連接的異徑管件，以及確保被校件流場良好的整流器。測試管線下游增設三通管和手動蝶閥切換水流回地下水池，測試管線通向水池的管段必須有相關的流向導引設計以避免流回地下水池的水流直接衝擊水池底部。本案所增加的所有管件，必須不影響加壓站出水。本「管理用流量計校驗設備採購案」參考設計平、立面圖如圖 7，並以標準表法為測試方法。

(三)準確度要求及測試程序

藉由 200 mm 口徑電磁式流量計作為傳遞標準件，先於南港水表試驗場完成校正，校正流率為 34 m³/h 至 1130 m³/h(相對流速為 0.3 m/s 至 10 m/s)；然後藉以對此一 400 mm 口徑工作標準件進行校正，校正流率為 45 m³/h 至 1130 m³/h(相對流速為 0.1m/s 至 2.5

m/s)，得以完成工作標準件的器差修正以及標準追溯。

考量國家度量衡標準實驗室流量標準的最大校正流量只有 480 m³/h，本案的設備器差準確度測試，係於設備完成建置後，由北水處提供一只 200 mm 口徑電磁式流量計作為能力試驗件，分別於南港水表試驗場 DN50 至 DN200 水量計測試區，以及本案所

建置的管理用流量計校驗設備進行器差測試(如圖 8)，流量點為 135 m³/h 和 1130 m³/h(於 400 mm 口徑工作標準件的相對流速為 0.3 m/s 和 2.5 m/s)，同一流率取 4 次平均值，求平均值至百分比小數位數下兩位作為測試結果。比較能力試驗件於兩套校驗設備進行測試所得結果，兩個流量點各自所測得器差的差異必須不大於±0.4%。

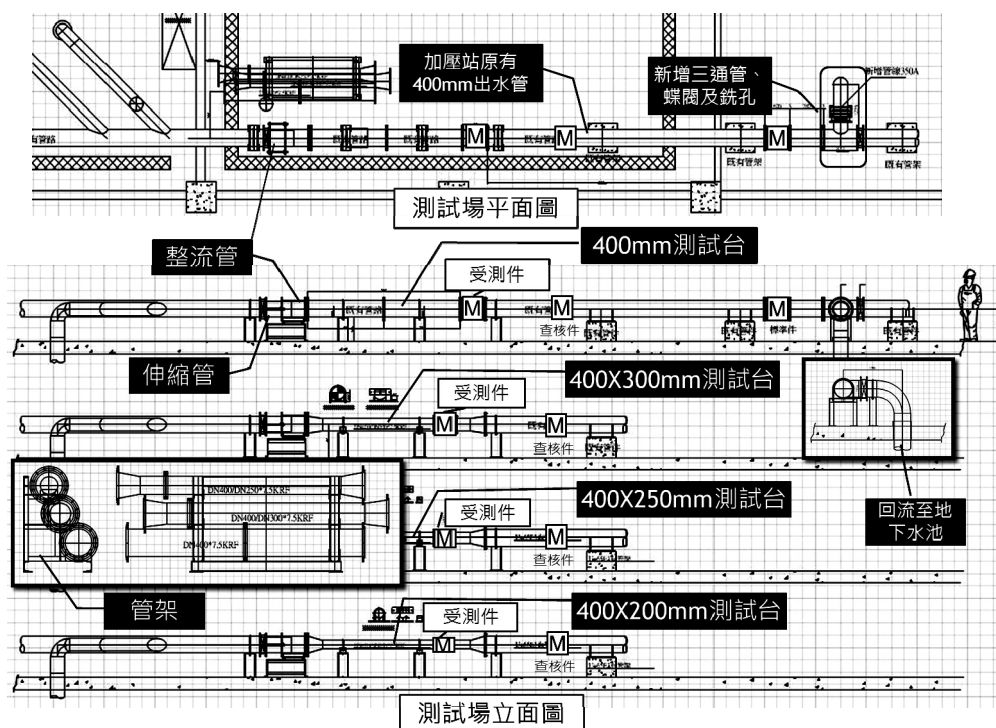


圖 7 管理用流量計校驗設備採購平、立面圖

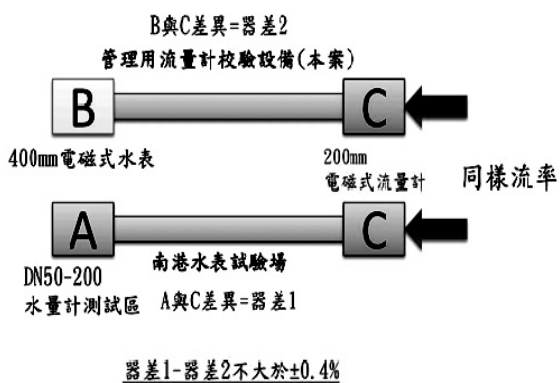


圖 8 器差測試示意圖

(四)其他要求

1. 自動化處理系統要求：加壓站現有 400 mm 口徑之電磁式流量計和新增查核流量計之水量計量測資訊，以及水溫、壓力、量測時間等資訊可於監控室的電腦自動化設備進行監控，並自動計算量測器差等結果。
2. 天車吊裝設備：設備的吊車荷重量為至少 2.0 噸，並於設備安裝現場搭配使用電子吊秤進行荷重實測操作並依「起重升降機具

安全規則」完成荷重試驗報告。

3.用水安全要求：本校驗設備位於配水池上方，作業時須特別注意維持現場用水安全，除原有自來水外，不得將其他固、液體排入配水池。

四、實際安裝情形

本案北水處委託工業技術研究院量測技術發展中心針對本設備進行更細部設計、採購、安裝及測試工作，以動態起始結束法操作模式之標準流量計法作為設計基準，採用此一操作模式之流量校正方法，只須於校驗管路上設置一只準確度符合要求的標準流量計。流量計進行校驗時，先將水流導入校驗管道並流回大型地下水池(如圖 9)，此時之自來水流量校驗設備的水流係為循環狀態。



圖 9 新設回流儲槽管道照片

將測試管道內之流量調整至設定的校驗流量並達穩定後，以觸發訊號開始累計標準流量計輸出的體積計量值，並藉由高速攝影機同步擷取受測水表積算器的累積水量以作為起始值。待收集水量達規定之水量，以觸發訊號終止累計標準流量計輸出的體積計量值，此時亦須同步讀取流量計上的累積水量以作為終止值。然後計算標準流量計所累計之水量，再與受測流量計在這段時間

內所累積的水量值進行比較，得以計算受測流量計的器差。

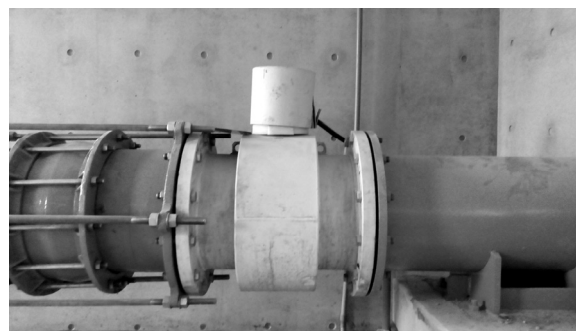


圖 10 原有電磁式流量計兼用為查核件

管路原有 400 mm 口徑之電磁式流量計兼用為查核件(如圖 10)，此一流量計原具有相當高的量測準確度，原廠規格所列準確度為 0.2 %。使用標準流量計法之流量校驗設備具有極佳的校正與使用便利性，並可直接設計為具有自動化量測與監控功能，但須具備良好的查核管制設計方案以確保標準流量計的長期量測準確度。本案使用與工作查核件同廠牌及同型號的電磁式流量計作為標準件以串聯方式連結(圖 11)，藉由定期或不定期的比對校正，得以確保標準流量計的量測準確度。



圖 11 以串聯方式安裝標準流量計照片

一般電磁式流量計的量測性能會受到計量管流場分布的影響，為確保標準流量計的量測準確度，本案規劃在管理用流量計校

驗設備使用的 DN400 校驗管路上游，安裝一片 New Zanker 型式之整流板(如圖 12)，並給予適當直管長度，使流體進入被校水量計，然後分別至標準件和查核件的流場呈現無漩渦流以及無顯著不對稱的良好流場分布狀況。

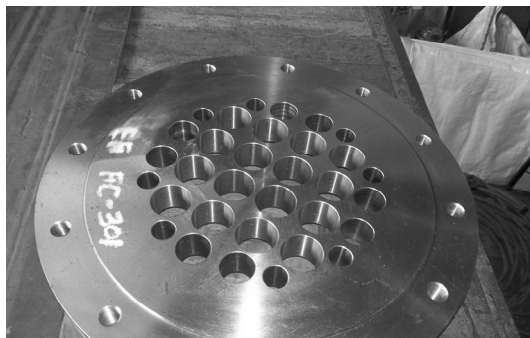


圖 12 New Zanker 型式整流板

為使被校驗流量計能便於拆裝且 200mm 至 400mm 不同口徑流量計能進行設備校驗，本案訂製並安裝專用伸縮管及 200 mm、250 mm 及 300 mm 異徑管件(如圖 13 及 14)。



圖 13 安裝專用伸縮管照片



圖 14 不同口徑異徑管件照片

五、預期效益

本設備已於 106 年 12 月全部完成安裝(如圖 15)，並由北水處南港水表試驗場 DN50 至 DN200 水量計測試區，與本案所建置的管理用流量計校驗設備進行器差測試，經測試後符合差異值不大於 $\pm 0.4\%$ 之要求。



圖 15 自來水流量計校驗設備裝置完成照片

本案係全國第一座以現有自來水加壓站，建立 200mm、250mm、300mm、400mm 共 4 種口徑之自來水流量計校驗設備，相較於單獨建置流量計校驗設備方式，大幅降低建造成本估計達數千萬元，並可與北水處南港水表試驗場結合，提供各種多樣式不同口徑新設流量計、使用中管理用自來水流量計拆回校驗及流量計性能改善相關研究，增進計量準確性、公平性，後續並將申請 TAF 認證，讓流量計校驗結果具公信力，使北水處管理用流量計準確性校驗及研究工作邁入新的里程碑。

參考文獻

- 1.工業技術研究院-何宜霖，管理用流量計校驗設備採購案-人員教育訓練課程計畫，2017。
- 2.工業技術研究院，管理用流量計校驗設備採購案-細部設計書，2017。
- 3.臺北自來水事業處，管理用流量計校驗設備採購案-需求計畫書，2017。

4.何宜霖、陳建源、郭景宜、廖介廷、時佳麟、周家榮，超寬流率範圍之水表試驗設備建置，第34屆自來水研究發表會，2017。

林進誠先生

現職：臺北自來水事業處供水科三級工程師

專長：漏水檢測、管網改善

作者簡介

黃嘉昌先生

現職：臺北自來水事業處供水科三級工程師

專長：小區計量、管網改善

黃裕泰先生

現職：臺北自來水事業處供水科 股長

專長：小區計量、漏水控制

本刊 107 年「每期專題」

期別	主 題	子 題	時程
37 卷 第 2 期	營運管理	自來水營運管理、績效評估、供水穩定設施操作及維護與管理、供水應變、漏水防治、分區計量、洩漏檢測、免開挖技術、智慧供水（智慧水表、智慧管網）、合理水價、用戶服務、人力資源、資訊管理、資產管理、能源管理、安全管理、管線狀況評估（管線健康檢查）、形塑水未來等。	5 月
37 卷 第 3 期	水質處理	水質安全、多重屏障、水質檢驗、水質監測、淨水藥劑、消毒、過濾、臭味處理、供水操作、淨水處理、海水淡化、淨水高級處理、綠色生產等。	8 月
37 卷 第 4 期	新興議題	新興水質項目應對、突發事件預警、供水緊急應變、危機管理、氣候變遷與調適、國際水情、淨水用藥、廢水回收、淨水污泥再利用等。	11 月

~歡迎各界就上述專題踴躍賜稿，稿酬從優~

湖山水庫下游自來水計畫—前處理設備工程簡介

文/鄭錦峯、王傳政、周春煌、王煥禎

摘要

台水公司配合湖山水庫之興建而辦理「湖山水庫下游自來水工程計畫」，採用集集攔河堰與湖山水庫雙水源取代區內現有之地下水。由於集集堰豐水期原水濁度動輒高達數千度(NTU)，遠超過一般淨水場的處理能力，「前處理設備」工程乃因應而生，專為處理集集堰之高濁度原水而興辦，亦為整個雙水源聯合運用成敗之重要關鍵。

「前處理設備」設計處理能力為濁度 1,800NTU 以下時出水量 40 萬 CMD，濁度 5,000NTU 時出水量 20 萬 CMD，規劃之濁度去除率為濁度 2000NTU 以上時 90%，處理後之原水優先供給鄰近之林內淨水場，有餘裕時再送往湖山淨水場，總工程費 24.39 億元，於 103 年 12 月 15 日開工，106 年 12 月 29 日竣工。

關鍵字：湖山前處理

一、前言

雲林地區長期以來各用水標的均以地下水作為水源，地下水嚴重超抽，造成當地地層下陷嚴重，如下陷情況再持續擴大，恐將危及高鐵之行車安全，另該地區亦無足夠水源可供擬在當地投資興辦之重大經濟建設所需用水，政府為徹底解決地層下陷問題、確保高鐵行車安全及滿足重大開發案之用水需求，責由經濟部水利署規劃辦理雲林縣湖山水庫之興建，水庫完成後可與現有之集集攔河堰進行水源聯合運用，計畫供水量

為每日 43.2 萬噸。

台水公司爰配合上開計畫，辦理「湖山水庫下游自來水工程計畫」(以下稱本計畫)，本計畫除可滿足雲林地區未來長期用水外，並可支援南彰化及北嘉義地區之公共用水，以地面水源取代現有之地下水，達到地層下陷防治之目的。

本計畫於 101 年 8 月奉行政院核定，總經費 130 億元，供水區域涵蓋雲林縣全境、南彰化的北斗、二林、田尾、埤頭、芳苑、大城、竹塘、溪州等 8 鄉鎮及北嘉義的大林、民雄、梅山等 3 鄉鎮(詳圖 1)，而「前處理設備工程」(以下稱本工程)為水源聯合運用之最重要設施之一，亦為成敗之重要關鍵。

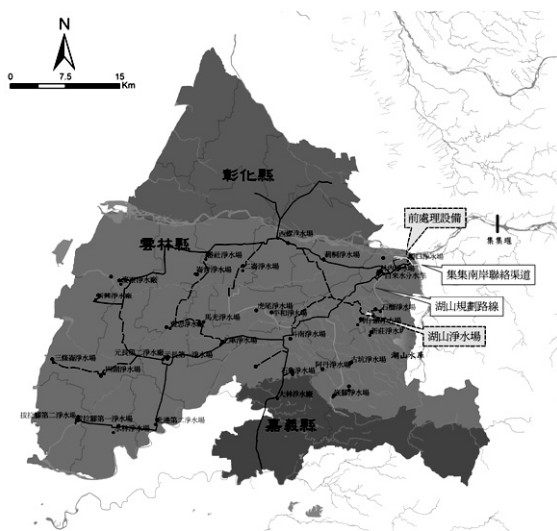


圖 1 本計畫供水區域圖

二、工程緣起

林內淨水場係配合集集攔河堰之興建而構建之淨水場，設計出水能力為 19.8 萬 CMD，水源取自集集攔河堰南幹渠，豐水期



之水權量為 20 萬 CMD、枯水期為 10 萬 CMD。唯因濁水溪溪水混濁，其濁度之高為全國之冠，原水雖經集集堰本體庫容與南岸沉砂池之沉澱，惟每年 5 月至 10 月豐水期時，進林內淨水場的原水濁度仍居高不下，依本計畫規劃期間整理之 95-99 年林內淨水場進水端原水濁度資料顯示，每年平均大於林內淨水場設計處理能力 1300NTU 的日數高達 105 天(詳表 1)，導致林內淨水場每逢原水濁度飆高時即須減量出水，無法滿載全額供水，平均年供水量約 12 萬 CMD，對供水穩定造成極大的影響。台水公司爰規畫興辦本工程，除可發揮林內場之設計供水能力外，亦可達到因應湖山水庫與集集攔河堰雙水源聯合運用之需，充分取用濁水溪地面水源，降低地下水之使用，幫助政府達成地層下陷防治之目標。

表 1 林內淨水場進水端原水濁度表 單位：NTU

年度	95	96	97	98	99	年平均
濁度日數						
最大值	25,901	15,524	26,166	38,360	42,142	29,619
平均值	2,005	1,799	1,580	1,818	1,479	1,736
濁度 \geq 10000日數	15	8	13	14	5	11
濁度 \geq 5000日數	45	40	36	28	20	34
濁度 \geq 3000日數	80	75	52	52	41	60
濁度 \geq 2000日數	96	102	66	82	71	83
濁度 \geq 1300日數	108	129	84	101	103	105

三、場址與用地取得

前處理設備座落於雲林縣林內分水工(八角池)東側、濁水溪林內二號堤防南側，西側臨三星路，東側臨增產路，南側緊鄰國道 3 號，地籍屬林內鄉頂庄段 313 地號等 186 筆土地，面積 37.22 公頃，其中私有土地 146

筆，面積 31.74 公頃，歷經多次協商後以協議價購方式取得用地；國有土地 40 筆，面積 5.48 公頃，因國產署之土地售價高於私有土地之 2 倍，最後改以租用方式取得用地。場址選擇時，為避免日後用地取得遭遇抗爭，完全避開現有之住宅、工廠及牧場，開發前用地以種植水稻、果樹為主。場址位置詳圖 2。



圖 2 前處理設備位置圖

四、水源與供水調配

本工程水源取自濁水溪集集攔河堰南幹渠，設計最大取水量 42 萬 CMD，埋設管徑 2,000mm、長 1.4 公里之原水導水管，將水輸送至前處理設備。

豐水期集集堰原水濁度低於 1,800NTU 時屬常態供水，出水量為 40 萬 CMD，濁度高於 1,800NTU 時，出水量隨之遞減，濁度 5,000NTU 時，出水量為 20 萬 CMD，最大處理濁度為 10,000NTU，前處理設備不同濁度之出水量詳表 2。

處理後之原水藉由水利署中區水資源局所興建的湖山水庫下游輸水管及本計畫導水管，優先送往鄰近之林內淨水場做後續淨水處理，有餘裕時再送湖山淨水場，各場址及管路位置詳圖 3。

表 2 前處理設備不同濁度出水能力表

集集堰原水濁度(NTU)	前處理設備	
	出水量 (CMD)	出水比例 (%)
大於 10,000	0	0
8,600~10,000	40,000	0.16
8,000~8,600	68,000	0.05
6,000~8,000	148,000	1.73
5,000~6,000	180,000	1.12
4,000~5,000	200,000	1.71
3,000~4,000	300,000	4.44
2,000~3,000	340,000	4.77
1,800~2,000	396,000	0.93
1,800 以下	400,000	85.09
合計	(平均) 352,000	

五、主要工程內容

前處理設備總工程費 24.39 億元，103 年 12 月 15 日開工，106 年 12 月 29 日竣工，設有取水口 1 處、導水管 1.4 公里、初沉池五套，每套 5 池（含 1 池預備池供清淤用）、量水槽 2 槽、出水池兩池、淤泥塘 45 池、淤泥暫存場 1 處、管理樓、機械室及警衛室各 1 棟。

處理流程為原水入初沉池沉降後，經量水槽、出水池後供水；初沉池沉澱後之淤泥，送至淤泥塘曬乾，淤泥塘之上澄液則回收至初沉池再利用。若氣象局發布颱風豪雨警報且原水濁度達 2,000NTU 時，濕淤泥可依據行政院環保署訂定之「水污染防治措施及檢測申報管理辦法」第 47 條規定排放至濁水溪。處理流程詳圖 4、平面配置如圖 5。

(一)取水口

取水口位於集集堰南幹渠 14K+800 處左岸，以側牆開孔方式取水，設計取水量為 42 萬 CMD，因南幹渠枯水期水位有時僅 0.8M，不足以滿足重力進水之所需水位，經多次與水利署中區水資源局及雲林農田水利會協調溝通後，獲允許於南幹渠上設置一旋轉閘門來抬高水位，操作模式如圖 6、施工照如圖 7、完工照如圖 8。



圖 3 水源聯合運用管路圖

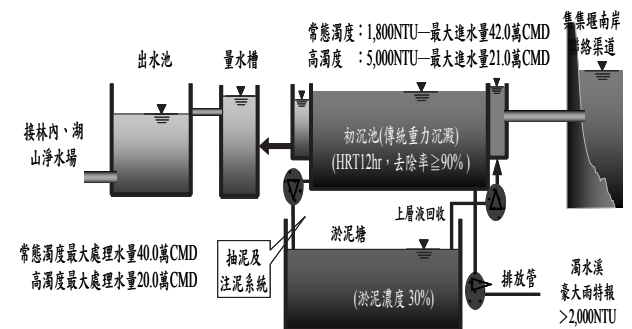


圖 4 前處理設備處理流程圖

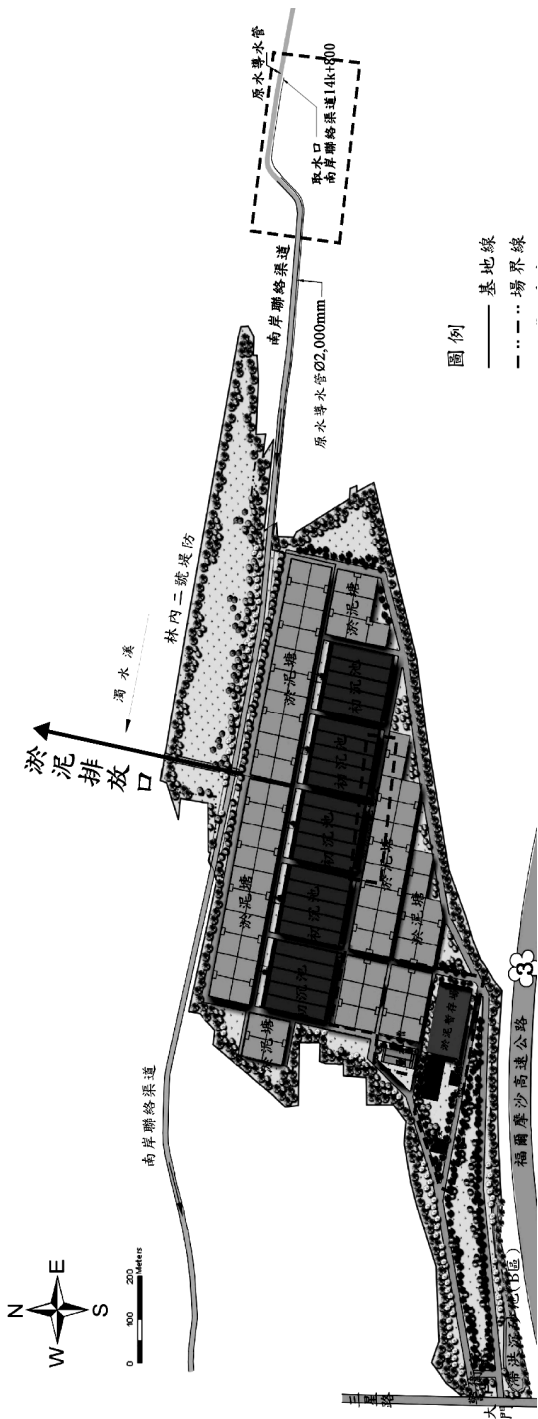


圖 5 前處理設備處平面配置圖

(二)導水管

取水口至前處理設備之導水管管徑 2,000mm，長 1.4 公里。

(三)初沉池

初沉池設有五套，每套 5 池（1 池為清

情境別	南幹渠流量	活動堰操作	圖樣
正常	$Q < 28.02 \text{cms}$	開門向上旋轉 抬升水位取水	
	$Q = 28.02 \text{cms}$	開門向下旋轉 正常取水	
異常	$Q_{\text{max}} = 45 \text{cms}$	開門無法向下旋轉，下游側溢回流維持通水量	

圖 6 旋轉閘門操作示意圖



圖 7 取水口施工照



圖 8 取水口完工照

淤時之備用池)，每池淨尺寸為 95m (長) × 19m (寬)×6m (有效水深)，採重力沉降方式去除淤泥，常態濁度 1,800NTU 以下時，設計處理水量 42 萬 CMD 時，表面溢流率為 11.6m/day，水力停留時間約 12 小時，出水量為 40 萬 CMD。初沉池設計時考量淤泥清除機制，每池均設有 4 座集泥井、抽泥設備、抽水泵、濁度監控設備、高壓沖泥設備、排泥閘閥、排泥管、沖洗管線，施工照如圖 9、完工照如圖 10。



圖 9 初沉池施工照



圖 10 初沉池完工照

(四)量水槽

設置於初沉池與出水池之間，以掌握經初沉池處理後之水量，分 2 槽，每槽淨尺寸為 L40.0×W10.0×H3.0m，完工照如圖 11。



圖 11 量水槽完工照

(五)出水池

設置出水池 2 池，每池淨尺寸為 L30.0×W30.0×H5.0m，停留時間 0.5 小時，出水池後之原水以重力方式優先送至林內淨水場作後續淨水處理，餘裕水量則以加壓方式送湖山淨水場作後續淨水處理，完工照如圖 12。



圖 12 出水池完工照

(六)淤泥塘

本工程於常態濁度(1,800NTU)取水量 42 萬 CMD，高濁度(5,000NTU)取水量 21 萬 CMD，以去除率 90%計算上述取水量產生之泥量分別為 1,020.6 噸/日(常態濁度 1,800NTU)及 1,417.5 噸/日(高濁度 5,000NTU)，取其大值 1,417.5 噸/日作為淤泥塘之量體計算依據，淤泥塘容積天數以林內淨水場淤泥曬乾日數約 90 日為基準，共設有淤泥塘 45 池，每池尺寸為 L62.0×W31.0×H3.0m，分 2 次注泥來提高池體有效容量，完工照如圖 13。



圖 13 淤泥塘完工照

(七)管理樓

設管理大樓一棟，平面尺寸 25m(長)×20(寬)，包含行政室、監控室、辦公室、會議室及備勤宿舍等，用地面積為 500m²，完工照如圖 14。



圖 14 管理樓完工照

六、成果檢視

(一)濁度去除率達 95%以上

本工程於 106 年 11 月 10 日完成功能測試，11-12 月正逢枯水期低濁度時期，濁度不易沉降，但實際處理結果，濁度在 270 度時，去除率就已達到原先規劃 2000 千度以上高濁度的去除率目標 90%，濁度 400 度時去除率高達 95%，詳圖 15，處理效果極為優越。

107 年 1 月 10-12 日有三天原水濁度超過 1500 度，平均濁度去除率高達 97.2%，處理效果極佳，詳圖 16。

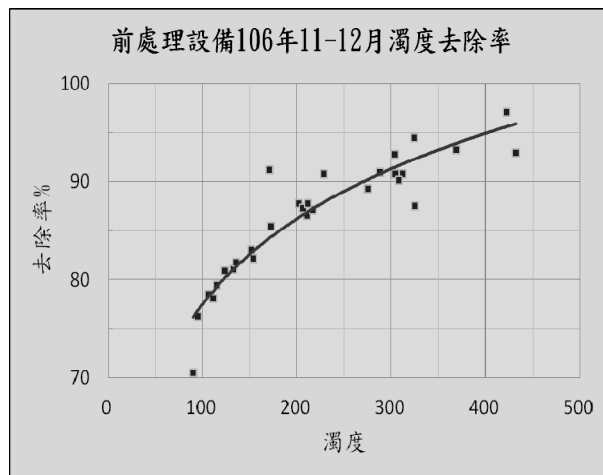


圖 15 前處理設備濁度去除率(低濁度)

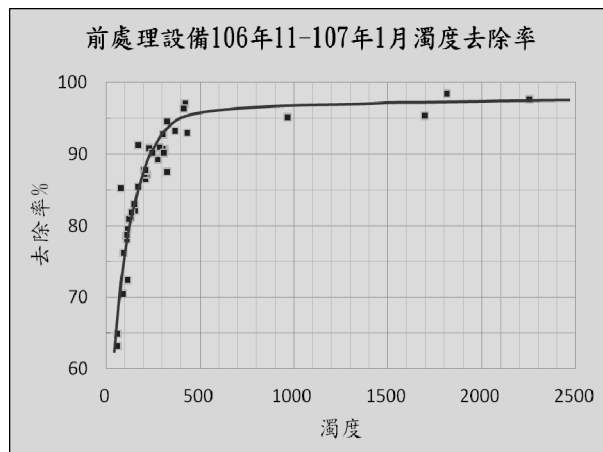


圖 16 前處理設備濁度去除率

(二)榮獲經濟部 106 年公共工程優質獎

本工程施工品質優良，榮獲經濟部 106 年公共工程優質獎之肯定，由經濟部楊次長頒獎，領獎照片如圖 17、完工後全景照片如圖 18。



圖 17 經濟部 106 年公共工程優質獎頒獎



圖 18 完工後全景照

(三) 低碳排放量

本工程採重力進水，濕淤泥以自然曬乾方式脫水，屬低耗能高節能減碳工程，平均每度水的二氧化碳排放量僅 0.037 公斤，遠低於國內自來水淨化處理程序平均每度水的 0.18 公斤，對於降低地球溫室效應有相當之貢獻。

(四) 可大幅減少事業廢棄物之產生

本工程淤泥沉降與乾燥過程中均未使用混凝劑等任何化學藥品，曬乾後之淤泥可直接作為農田、盆栽之泥土，亦可作為磚窯廠之坯土或營建土方之用，大幅減少進入後端淨水場後所產生之事業廢棄物，平均每日可減少之廢棄物量高達 540 噸，對於環境生態貢獻良多。

七、結論

林內淨水場設計出水能力 19.8 萬 CMD，本工程未完成前，每逢濁水溪原水濁度飆高時即須減量出水，無法滿載全額供水，本工程完工後，前處理設備可處理之原水濁度高達 5000NTU，為一般淨水場的 10 倍，經實際功能測試結果，濁度去除率更高達 95% 以上，為全國濁度處理能力最高之前處理場。自此以後，集集攔河堰與湖山水庫

的優質地面水源將可藉由本計畫所完成的各項設備，送達雲林縣各鄉鎮並支援到南彰化及北嘉義地區，雲林縣正式進入地面水全面供水時代，為雲林、彰化及嘉義地區廣大民眾帶來了更優質、安全、穩定的自來水，同時也寫下台灣自來水史上高濁度處理能力嶄新輝煌的一頁。

參考文獻

1. 湖山水庫下游自來水工程規劃(定案報告)-本文中民國102年9月
2. 湖山水庫下游自來水工程－前處理設備及湖山淨水場環境影響說明書定稿本(本文)台灣自來水股份有限公司中華民國101年5月
3. 湖山水庫下游自來水工程－前處理設備及湖山淨水場環境影響說明書變更內容對照表(定稿本)台灣自來水股份有限公司中華民國103年4月
4. 湖山水庫下游自來水工程－前處理設備開發計畫(定稿本)台灣自來水股份有限公司中華民國102年4月。

作者簡介

鄭錦峯先生

現職：台灣自來水股份有限公司中區工程處工程師
專長：自來水工程規劃

王傳政先生

現職：台灣自來水股份有限公司中區工程處處長
專長：自來水工程規劃、設計、工務及管理

周春煌先生

現職：台灣自來水股份有限公司中區工程處課長
專長：自來水工程規劃、設計及監造

王煥禎先生

現職：台灣自來水股份有限公司中區工程處主任
專長：自來水工程施工、工務

板新大漢溪水源南調桃園送水管施工實務

文/林金玉、謝宗成、鄭超仁、陳朝旭

摘要

行政院於 95 年 5 月 24 日核定「石門水庫及其集水區整治計畫」，本工程為三大計畫內「穩定供水設施及幹管改善」5 項子計畫之「板新大漢溪水源南調桃園供水計畫」項下工程。本工程於 101 年 9 月 11 日決標，102 年 4 月 15 日開工，106 年 7 月 14 日竣工，歷經近 4 年 3 個月始完工。

本工程施作過程主要遭遇用地問題故無法持續進場施作，尤其桃 54 線原取得桃園市政府同意封路施工，惟民眾常以目前用水無虞，無法體認基礎建設工程之重要性與急迫性，多次陳抗不同意本工程進場。後續歷經多次私下拜訪地主溝通、公開協調及說明會，影響民眾權益者採變更路線，另策略性代辦台電公司工程，併同發放補償費，後經桃園市政府及民意代表協助向民眾說明後，始順利進場施作。

施作期間因桃 54 線道路較為狹小，明挖段施作空間不足增加保護電桿措施、推進段於高速公路下遭遇大石頭採用反向推進、爬坡段施工困難及複雜度等問題，承蒙計畫主持人林副總經理岳每月召開檢討會，將遭遇問題及困難等一一克服，並經常至現場走動管理指導，給予現場打氣鼓勵，帶領各級主管全心投入輔導，建立網路群組將問題點立即解決，始能將本工程順利完成。本文對於近年來台水公司北區工程處最為困難案件之施工過程及成果分享。

一、前言

(一)計畫緣起

民國 93 年艾利颱風引發嚴重土石災害，導致石門水庫原水混濁，遠超過淨水廠處理能力，嚴重衝擊桃園地區民生用水，依據經濟部工業局統計資料顯示，艾莉颱風停水造成桃園地區工、商業之損失約 43 億元。總統於 95 年 1 月 27 日公告「石門水庫及其集水區整治特別條例」，行政院於 95 年 5 月 24 日院臺經字第 0950023907 號函核定「石門水庫及其集水區整治計畫」，其中包含三項子計畫「緊急供水工程暨水庫更新改善」、「穩定供水設施及幹管改善」及「集水區保育治理」，本工程即為「穩定供水設施及幹管改善」共 5 分項計畫之一「板新大漢溪水源南調桃園供水計畫」項下工程。

(二)計畫效益

石門水庫及其集水區整治計畫目標為確保水庫營運功能、上游集水區水域環境之保育及穩定水庫供水能力、保障民眾用水權益，解決桃園地區缺水問題，近程達到汛期不分區供水，中長期達成延長水庫壽命，降低缺水風險之目標；其中「板新大漢溪水源南調桃園供水計畫」目標為由板新地區支援桃園地區供水能力由原先 11 萬 CMD 增加至 51 萬 CMD，並於八德高地與現有系統聯結供水，亦可有效改善八德高地容易缺水問題。「板新大漢溪水源南調桃園供水計畫」完成後，可有效提升桃園地區供水穩定，落

實政府基礎建設目標。

二、工程背景

(一)計畫內容

「板新大漢溪水源南調桃園供水計畫」主要由板新淨水場處理後之清水藉由三鶯水管橋、板新大漢溪水源南調桃園送水管(一)至(四)、頂山腳加壓站泵送板新大漢溪水源南調桃園送水管(四)至(八)連結既有桃園地區管網，其中辦理共計埋設 1800mm ~ 2000mm ϕ 管線約 17 公里及頂山腳加壓站(含 4.7 萬噸水池、控制室及機電設備)。

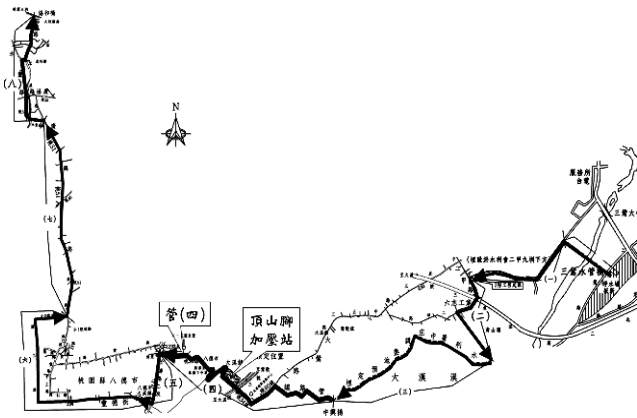


圖 1 計畫平面圖

(二)工程摘要

本工程於 101 年 7 月 23 日成立預算，101 年 9 月 11 日決標，決標金額為 2 億 6160 萬元，102 年 4 月 15 日開工，106 年 7 月 14 日竣工，結算金額為 3 億 2033 萬 5326 元，共施作 2000mm ϕ 明挖管線 2270 公尺、推進管線 270 公尺、4 座推進坑及 4 座到達坑。

本工程起點為新北市大漢溪高灘地，經由補償私有土地、價購土地、行經大鶯路及大溪區瑞德街(桃 54 線)，以推進管線方式穿越國道三號後進入頂山腳加壓站。出頂山腳

加壓站後，以推進方式行經瑞德街至爬坡段，再以半埋半露方式完成爬坡段管線埋設，再借道陸軍化訓中心至八德區介壽路二段與板新大漢溪水源南調桃園送水管(五)銜接，完成本計畫項下工程管線銜接。

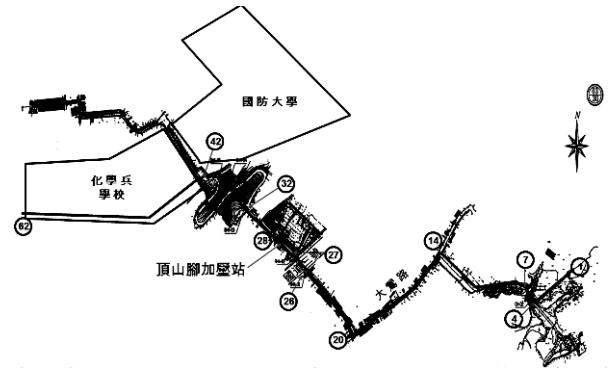


圖 2 工程平面圖

三、遭遇困難及解決對策

(一)節點 4-7：

本工程起點位於新北市大漢溪高灘地，周邊尚有水利署北區水資源局刻正進行中庄調整池計畫工程，於節點 4 處原設計以明挖方式穿越既有道路，並以補償方式取得祭祀公業土地使用權，惟該祭祀公業經多次溝通仍不同意台水公司使用其土地埋設自來水管線。再者北區水資源局尚施作中庄調整池計畫工程，亦不同意台水公司以明挖方式穿越道路，造成交通中斷，影響其工進。

經台水公司檢討後，改以變更路線及工法，先洽詢節點 2-4 補償私有土地地主，取其同意增加補償土地面積後，變更該段埋管路線，研擬推進坑及到達坑位置，以推進方式穿越農田水利會二甲九圳及既有道路，並參考水管橋橋墩方式垂直引上，用以克服地形高差，回歸原設計路線。

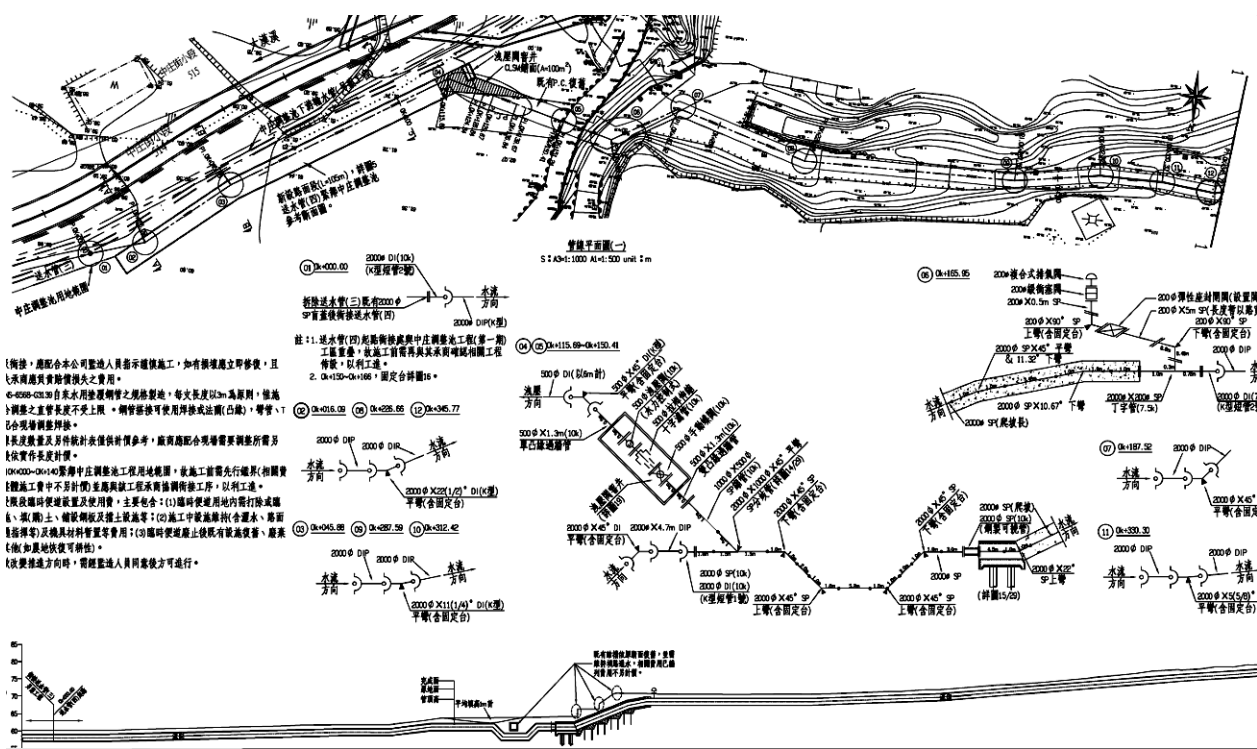


圖 3 節點 4~7 原設計圖

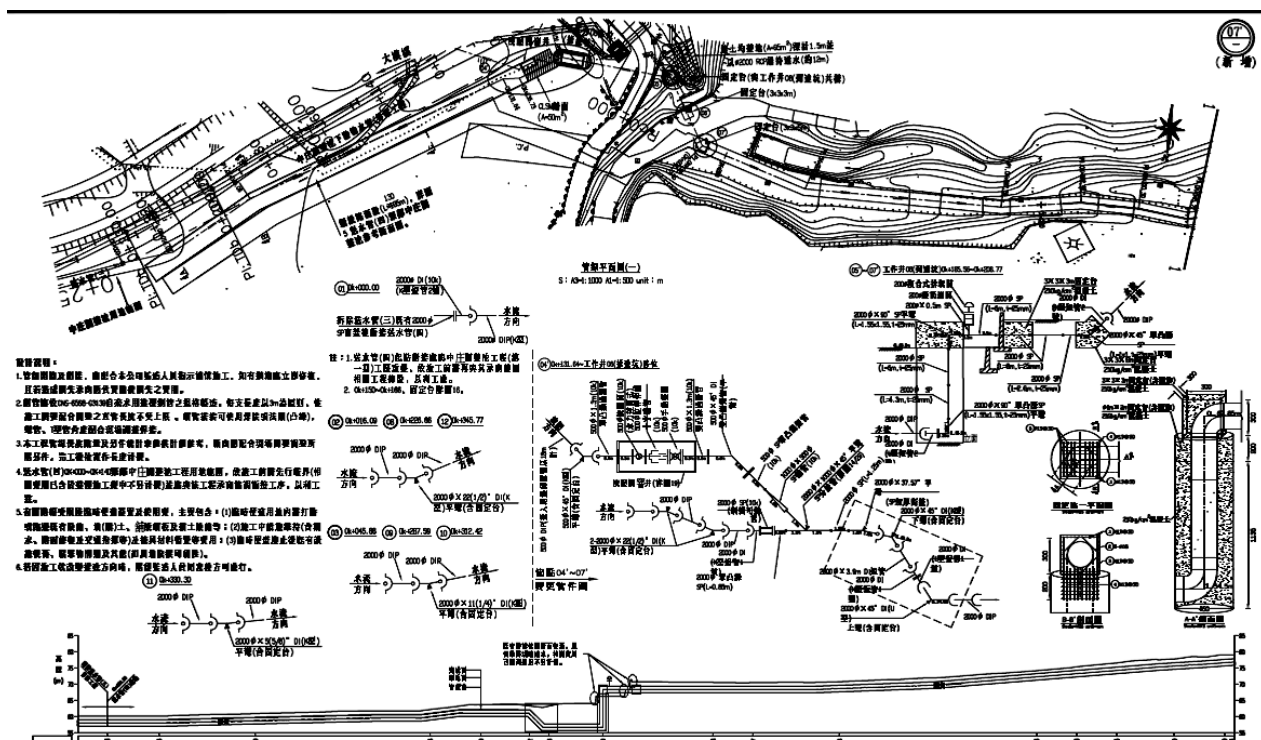


圖 4 節點 4~7 變更設計圖

(二)節點 20-27(大溪區瑞德街)

1.本路段路幅狹小(約 4-5 公尺)，原核定交維計畫以封路方式進行施工，施工前夕張貼公告將封路施工，遭時任桃園縣 3 位議員及鄰近居民抗爭，以影響通行及補償方案未獲地主同意為由，阻擋台水公司進場施工。因本段道路屬既成道路私有地，陳姓家族為該路段土地所有權人之大宗，經台水公司多次拜訪陳姓家族等地主，地主明確表示希望本公司能以徵收價購方式取得土地，惟台水公司無相關規定可辦理既成道路徵收，經尋求桃園市政府協助，桃園市政府表示未有財源可辦理既成道路徵收相關作業。

2.台水公司北區工程處於 104 年 5 月期間，除持續與陳姓地主溝通協調外，規劃於本案工程節點 20 附近 4 筆土地做為埋管替代路線，經多次洽詢該 4 筆土地所有權人，因土地面臨大鶯路之張姓地主堅持不同意台水公司於該土地埋設管線，致第 1 條左側替代道路規劃無法執行。

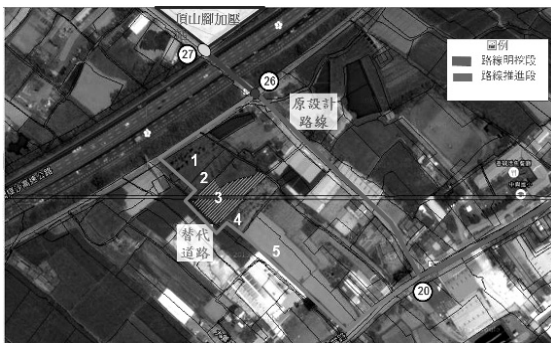


圖 5 左側替代方案

3.台水公司北區工程處再於 104 年 8 月期間，另規劃於本工程節點 14 旁，5 筆土地作為埋管替代路線，亦因何姓地主與蕭姓地主堅持不同意台水公司於該地埋設管

線，第 2 條右側替代道路規劃亦無法執行。



圖 6 右側替代方案

4.104 年 9 月原計畫採強制施工方式執行，惟當地民眾以危害房屋安全為由，發動群體抗爭阻撓台水公司進場施工，孫大千立委服務處要求台水公司辦理施工說明會，以解除施工疑慮。



圖 7 104 年 9 月陳抗後說明會

5.再經台水公司北區工程處於 104 年 10 月間多次拜會地主協調，並拜會孫大千立委及桃園市鄭文燦市長請求協助處理後，104 年 12 月 16 日台水公司北區工程處再次召開施工說明會，終獲地主同意於 105 年 2 月 22 日(元宵節)後進場施工，惟該路段因仍有部分地主因故未領取補償費用，因故阻撓本案進場施工。105 年 5 月 11 日趙正宇立委會同本公司第二區管理處及北區工程處邀集該路段地主再次召開施工用地補償說明會，並決議訂於 105 年 5 月 26 日辦

理補償費發放作業，方始取得施工用地使用，並於 105 年 6 月進場施工。



圖 8 104 年 10 月拜訪桃園市長



圖 9 105 年 5 月趙立委主持說明會

6.因本計畫項下頂山腳加壓站工程亦須台電外線送電運作，惟其電纜路線亦須行經本路段，遭遇困難亦同。經台電公司與本公司協商，本於相互協助立場，由本公司代辦該路段台電管路埋設後，再交由台電公司佈設纜線，以完成送電任務。

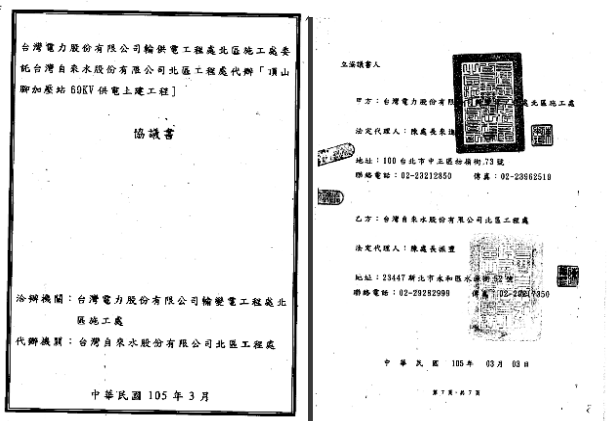


圖 10 與台電簽訂代辦協議書

(三)節點 28-32(大溪區瑞德街)

為避免施工過程道路封閉造成八德、大溪與鶯歌區居民日常通行不便，於施工協調會中承諾該路段管線埋設由原設計明挖方式變更為推進方式，並由頂山腳加壓站內設置臨時通行替代道路，以利本工程設置推進坑，完成該路段管線埋設。



圖 11 替代道路照片

(四)節點 32-42(爬坡段)

- 1.該段土地原已以補償方式取得土地使用同意書，惟於施工前該吳姓地主要求本公司改以價購方式取得土地使用權，本公司以和諧精神及避免節外生枝影響工進，同意再以價購方式取得土地使用權利。
- 2.本段進場施工後，即遭鄰近居民已影響其房屋安全為由，群起抗爭包圍施工區域，雖有警察維護現場秩序，為避免爭端擴大，本公司北區工程處仍派員與住戶協調說明其施工安全措施，並承諾若施工過程造成其財物損失，本公司將負擔賠償之責。
- 3.本路段總長 189 公尺，高差達 53 公尺，施工難度相對道路明挖管線增加許多。為減低施工風險、增加維修便利性，本公司取得該段土地所有權後，原設計為全埋入式管線改以半埋半露方式，以減低開挖深度及邊坡滑動風險；另為確保管線完成後之穩定性，並於該段設置 4 區固定台(含 18

支全套管基樁)及斜坡上管線下方設置微型樁，增加管線抗滑性。施工困難度前所未見，有賴施工承商研擬工法，努力克服現場施工困境。



圖 12 平台間微型樁



圖 13 第二平台施作構台為替代道路供車輛通行



圖 14 第三平台將既有擋土牆拆除後開挖施作擋土設施



圖 15 平台基樁機械空間不足改以人工挖掘

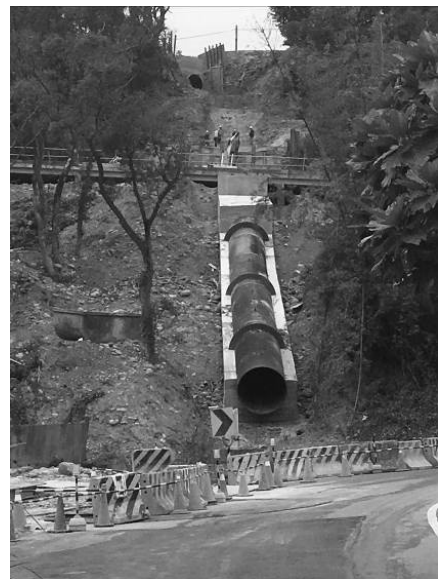


圖 16 第一至二平台間管線



圖 17 第二至三平台間管線



圖 18 爬坡段倒塌缺失遭停工改善後

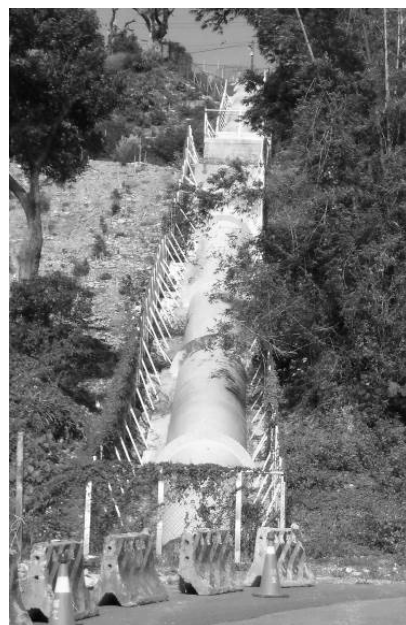


圖 19 爬坡段竣工照片



圖 20 原設計路線

(五)節點 42-58

- 1.本段屬桃園市八德區介壽路二段 1233 巷 (桃 54 線)部分，該段於 101 年間召開施工說明會後即訂期發放施工補償費，取得大部分之土地使用同意書。
- 2.102 年 6 月間本公司於該段施工前夕拜訪八德區瑞祥里辦公室，該里林里長表示周邊屬屋齡 30 年以上之老舊平房，且巷道狹小，本處若進場施工，恐有影響房屋結構及施工期間交通中斷之虞，該里里民強力反對。
- 3.本處於 102 年 10 月間即辦理施工區域周邊鄰房鑑定作業，以釐清施工期間之損害及賠償事宜；同期間另洽內政部營建署辦理租用周邊更新國宅空地，以做為施工期間周邊居民替代通行道路。
- 4.本公司於 103 年 1 月 30 日會同孫大千立委召開施工說明會，說明施工相關配套措施，仍遭鄰近居民抗爭及反對埋設，最終決議該段採改道埋設。



圖 21 104 年 1 月孫立委主持開會照片

- 5.台水公司北區工程處於 104 年 3 月 6 日再次拜會桃園市八德區瑞祥里辦公室，洽詢管線埋設替代方案，經現地勘查後，該里辦公室建議改道陸軍化訓中心，較為可行。
- 6.經由本公司會同孫大千立委辦公室、八德區瑞祥里辦公室及軍方多次現場會勘及協調，於 104 年 5 月 13 日本公司北區工

程處與軍方取得施作位置之共識，變更埋管路線 906m。104 年 7 月 9 日與軍方協調後表示，需報請軍備局同意後始可進場施作。104 年 10 月 13 日孫大千立委邀集國產署、軍備局、軍備局工程營產中心北部地區工程營產處於國會辦公室進行施工協調會。104 年 11 月 4 日獲軍方函覆同意管線埋設於陸軍化訓中心，並經多次現場會勘定線協調，方於 104 年 11 月 22 日進場埋設管線。



圖 22 替代方案路線圖

四、結果與討論

(一)近年來民意高漲，工程施工中遭遇既成道路地主抗爭主張私有地未徵收，須先補償或徵收後方得施工。經濟部於 105 年 12 月 22 日修訂之「自來水工程使用土地爭議補償裁量準則」第 7 條規定：使用公、私有土地，其第五條第一款之土地補償費以埋設物投影面積之一點五倍，按施工開始當年期土地公告現值百分之五計算，一次發給土地所有權人。依據本公司與私有地主洽談施工用地補償費經驗，依據該條文計算出之補償金額與民眾期待金額落差甚大，且土地持分所有權人較多時，面對各所有權人說明用地補償方案，經常無法達成共識導

致協商過程冗長，造成施工進度延宕，推展不易。

(二)另既成道路私有地主同意領取施工補償費並提供土地使用同意書，惟道路周邊居民以影響交通、破壞房屋結構為由，不同意工程主辦機關進場施工，極力阻撓，仍然無法施工。

(三)工程計畫執行是否如期如質，用地取得與路線規劃乃第一個處理課題，本計畫項下頂山腳加壓站位置與本案管線行經路線環環相扣，工程調查應優先進行施工用地所有權調查，評估取得土地使用權期程，並與地方政府取得聯繫及溝通窗口。主辦機關並於施工前召開施工前說明會，宣導國家經濟政策，取得鄰近居民諒解國家重大建設亟需推動，確定施工可行性及配套措施外，施工時仍應持續加強與當地居民溝通以減少民怨。契約訂定時，如需他機關配合辦理事項及相關替代方案等，亦應考慮周詳，如台電外線埋設遭民眾抗爭乙節，即始料未及。

(四)本工程爬坡段管線埋設，屬本公司近年來施工難度較高之管段，因其坡度大，相對安全設施考量須更為縝密，從其放樣、定線、整地、開挖、管線吊裝、固定台安裝回填及周邊復舊，均須考量邊坡穩定及水土保持，藉由逐步施工、穩扎穩打的施工步驟，終於完成該段管線。

五、結論及建議

(一)自來水工程計畫效益常規劃滿足 10 年、20 年後用水需求量，惟民眾常以目前用水無虞，無法體認基礎建設工程之重要

性與急迫性，應配合區域人口成長趨勢及工業用水需求，以適當宣傳政府政策規劃藍圖，取得地方政府、民眾支持與諒解。

(二)送水管線工程施工用地應盡量避免路幅狹小的鄉道或縣道，此類道路用地常屬地方政府未徵收之既成道路私有地，為取其土地使用同意書，耗時甚鉅，除規劃時避開未徵收之狹小鄉道外，亦建議各地方政府能適時徵收使用久之鄉道，以利公共建設推動。

(三)建議工程計畫內容應與地方政府溝通，說明其計畫效益以尋求地方政府協助及提供地方民意呼應。若施工用地涉及私有地補償部分，主辦機關與地方政府建立溝通窗口協助，並會同召開施工說明會，說明工程效益及政府法定補償規定與方案，配合地方政府支持，以取得民眾同意與諒解，盡速進場施工。

參考文獻

1.台灣自來水公司，「石門水庫及其集水區整治計畫，第二分項、穩定供水設施及幹管改善4.板新大漢溪水源南調桃園計畫」，2006.11。

2.台灣自來水公司，「石門水庫及其集水區整治計畫，第二分項、穩定供水設施及幹管改善4.板新大漢溪水源南調桃園計畫(第3次修正)」，2013.10。

3.台灣自來水公司，「石門水庫及其集水區整治計畫—穩定供水設施及幹管改善計畫」104年度執行檢討報告，2016.9。

作者簡介

林金玉女士

現職：台灣自來水股份有限公司北區工程處處長

專長：自來水工程規劃設計

謝宗成先生

現職：台灣自來水公司北區工程處工程師兼課長

專長：自來水工程施工及管考

鄭超仁先生

現職：台灣自來水公司北區工程處工程師兼課長

專長：自來水工程規劃設計、鋼結構混凝土結構設計

陳朝旭先生

現職：台灣自來水股份有限公司北區工程處工安課長

專長：自來水工程監造

本刊新增「自來水廠(所)的一天」單元

「自來水廠(所)的一天」，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之認識，以激勵自來水基層單位士氣，並留下歷史印記，含照片每篇最多六頁(3000字以內)，歡迎踴躍投稿。

自來水管線埋設深度探討

文/劉維民

摘要

目前自來水管線設計者，大部份均依據道路主管機關及自來水所規定的制式埋管深度，做為埋管深度設計之準則，鮮少有人去核算埋管深度之合宜值，以瞭解對管線承載力安全、未來操作維護之便利性以及降低施工工安風險等之影響，甚可減少施工所需開挖之土方量，故做該管線埋設深度安全性之分析與探討。

由於台灣自來水之設計及施工規範絕大部份均參考或延用日本(JIS)規範，經檢討採用日本鋼鐵產業(NKK)水道用鋼管之管材應力計算公式，針對自來水常用之延性鑄鐵管(DIP)及鋼管(SP)在不同管徑及埋深下管材所產生之應力做分析。

以管徑 2600mm、2000mm、1500mm、1000mm、800mm、500mm、300mm、200mm 等 8 種管徑，各分別採埋管深度 300cm、200cm、150cm、120cm、100cm、80cm、60cm、40cm 共 8 種不同深度作計算，而求得各管徑管材產生之應力。

延性鑄鐵管(DIP)管材應力分析計算成果歸納如下：

- 一、各管徑管線埋深介於 200cm~120cm 間所承受之管材應力最小，後隨著淺埋或深埋而逐漸增加。
- 二、埋設深度 300cm~80cm 所產生之管材應力均小於 $1.5T/cm^2$ ，於容許抗拉強度 $2.2 T/cm^2$ 內。

三、埋設深度在 60cm 管徑 2600mm、2000mm、1500mm、1000mm、800mm 等 5 種管徑管線管材應力介於 $1.8T/cm^2 \sim 1.62T/cm^2$ 間，於容許抗拉強度 $2.2 T/cm^2$ 內。

四、埋設深度在 40cm 除管徑 500mm、300mm、200mm 管材應力均小於 $1.95T/cm^2$ 外，餘 5 種管徑管材應力介於 $2.34T/cm^2 \sim 2.48T/cm^2$ 間。

另鋼管(SP)埋深安全檢討亦採較常埋設 100cm 深度做為核算管徑 2600mm、2000mm、1500mm、1000mm、800mm 等 5 種鋼管所產生之管材應力，依計算成果均介於 $1.45T/cm^2 \sim 1.88T/cm^2$ 間，均小於鋼管鋼材容許應力 $2.05T/cm^2$ 。

同時再核算延性鑄鐵管(DIP)承載外力時扁橢圓率，經計算成果均小於允許橢圓率範圍 4%。

綜合前所分析，考量現況環境以及配合現有其他管線埋深，管線管徑 800mm(含)以上及 500mm(含)以下，分別埋深為 100cm 及 80cm，應屬安全之最少埋設深度，若要改變目前所規定之埋管深度，其埋深結構計算之安全性，須先報相關主管機關核准，同時固定台尺寸及制水閥類製造尺寸或埋設位置埋深等須配合調整或修正。

目前管線設計人員之觀念似認為管線埋設越深越安全之邏輯，因此本探討對於設計人員於管線設計時，有關埋深與管線安全之關係有初步概念，有助於供設計時之參考。

一、目的

台灣本島自來水管線僅延性鑄鐵管埋設長度概估約至少有 18,000 公里以上，絕大部份道路均有埋設，為利管線設計人員採用，自來水管線埋設之制式規定概略為：(路面至管頂深度)

(一)在慢車道或次要公路下，不得少於 100cm。

(二)在快車道或主要公路下

管徑 ϕ 300mm(含)以下管線埋深不少於 100cm。

管徑 ϕ 400mm(含)以下管線埋深不少於 120cm。

大部份規劃設計者均根據以上規定即做為埋管深度設計之準則，鮮少有去核算埋設深度之合宜值，以瞭解對管線承載力安全及未來操作維護之影響。

另考量未來能降低施工工安風險及方便日後管線維修檢漏，並可減少施工所需開挖之土方量，同時讓設計者於管線設計時，

埋設深度與管線安全之關係，有一初步之認識與瞭解，有助於人員辦理時之參考，爰做該管線埋設深度安全性之分析與探討。

二、計算說明及分析

(一)探討依據

台灣自來水供水系統係以日據期間所建設之供水設施基礎，進而擴建及發展至目前之供水規模，相關之自來水設計及施工規範絕大部份參考或延用日本(JIS)規範，因此本探討經檢討採用日本鋼鐵產業(NKK)水道用鋼管之管材應力計算公式，針對目前自來水管線常用之延性鑄鐵管(DIP)及鋼管(SP)在不同管徑及埋深下所產生之管材應力進行探討。

管線所承受之外部壓力主要有覆土載重及車輛活載重，其與回填材料性質及行經之車輛別有關，埋管斷面如圖 1。

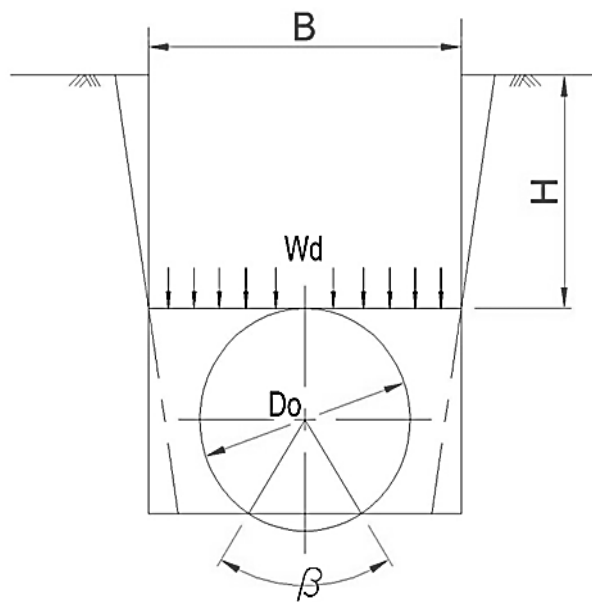


圖 1 埋管斷面圖

1. 覆土壓力

$$Wd = Cd \cdot r \cdot B \cdot Do \text{ (T/cm)}$$

Wd=土壓力

Cd=荷重係數(由H/B比值查得詳圖 2, 土層採飽和堅隔土)

r=土壤單位重(採 $1.8 \times 10^{-6} \text{ T/cm}^3$)

Do=管外徑(cm)

B=埋管挖掘寬度(cm)

2. 活載重(車輪荷重), 車輪荷重地盤內應力分布如圖 3

$$Wt = \frac{n \cdot Do \cdot P(1+K)}{(L+t_1+2 \cdot H \cdot \tan \phi S)(S+2 \cdot H \tan \phi S)} \text{ T/cm}$$

Wt=管軸垂直方向活荷重

n=車輪數(採 2 輪)

P=車輪荷重(採 10T/輪)

K=衝擊係數(採 0.5)

L=車輪中心間距(採 175cm)

t1=車輪震幅(採 50cm)

H=埋管頂深度(cm)

ϕ_s =車輪荷重分布角(採 45°)

S=車輪接地寬(採 20cm)

3. 管承受荷重應力計算

$$\sigma = \frac{6 R [At^3 + B \cdot e \cdot R^4] W + (Ct^3 + D \cdot e \cdot R^4) \times q \cdot R^2}{t^3 + 2.59 \times 10^{-4} \cdot e \cdot R^4}$$

σ 管材應力(T/cm²)

t=管厚度(cm)

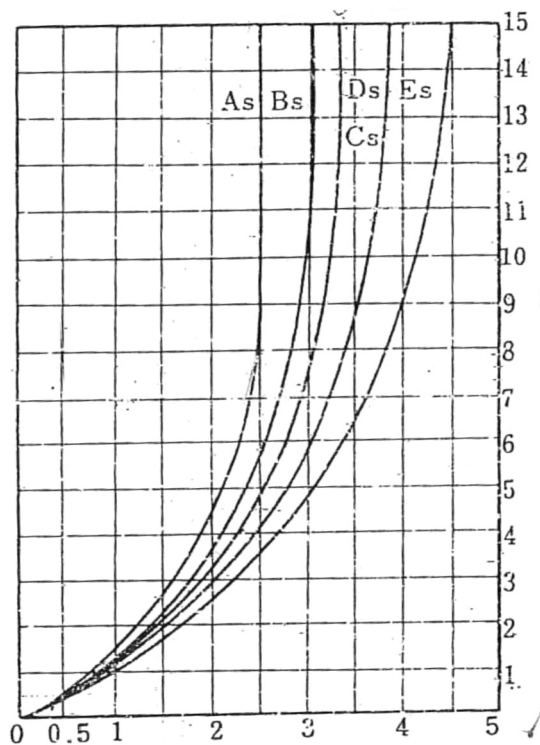
W=Wd+Wt

R=管厚中心外徑(cm)

A · B · C · D=應力係數(採管底 90° 處應力係數查表詳表 1)

e=側土壓係數(採 $5 \times 10^{-4} \text{ T/cm}^3/\text{cm}$)

q=水單位重($1 \times 10^{-6} \text{ T/cm}^3$)



- As : 細砂
- Bs : 粗砂最大值
- Cs : 飽和表土最大值
- Ds : 黏土最大值
- Es : 飽和黏土最大值

圖 2 Cd 與 $\frac{H}{B}$ 比值係數曲線

表 1 應力係數表

	β	A	B	C	D
管頂	60°	0.143	0.013×10^{-4}	0.230	-0.060×10^{-4}
	90°	0.137	0.018×10^{-4}	0.210	-0.051×10^{-4}
	120°	0.131	0.037×10^{-4}	0.189	-0.020×10^{-4}
管側	60°	-0.147	0.073×10^{-4}	-0.264	0.151×10^{-4}
	90°	-0.140	0.048×10^{-4}	-0.241	0.133×10^{-4}
	120°	-0.133	0.036×10^{-4}	-0.220	0.079×10^{-4}
管底	60°	0.189	0.133×10^{-4}	0.422	0.437×10^{-4}
	90°	0.157	0.080×10^{-4}	0.321	0.236×10^{-4}
	120°	0.138	0.054×10^{-4}	0.259	0.161×10^{-4}

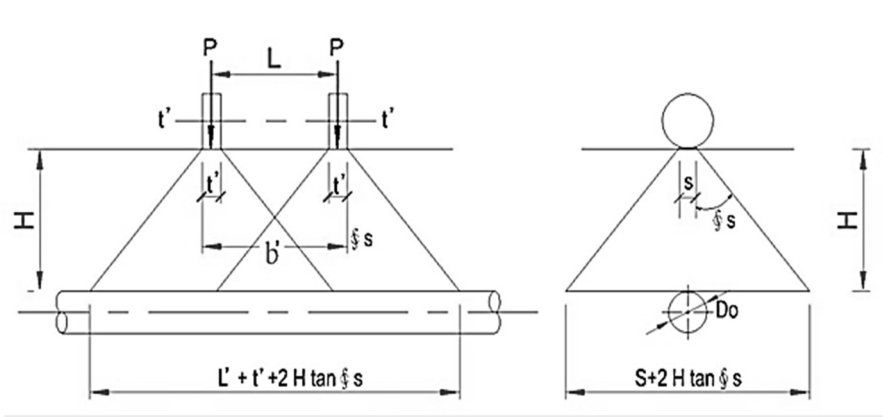


圖 3 車輪荷重地盤內應力分布

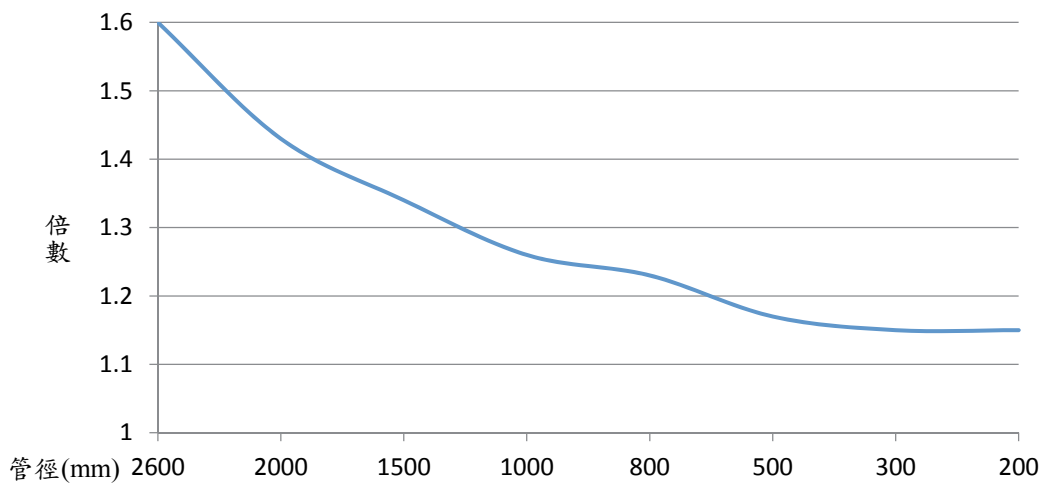


圖 4 管底與管頂應力係數比曲線圖

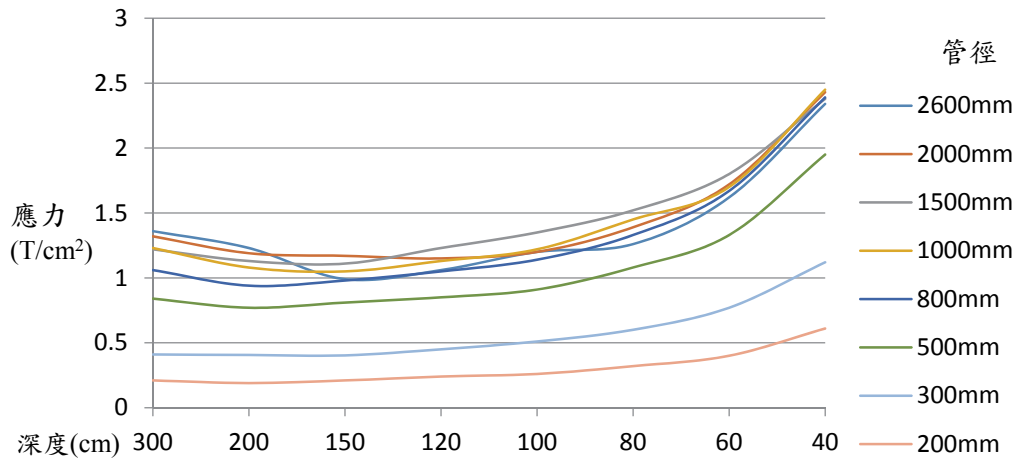


圖 5 管材應力計算成果曲線

(二)計算原則

- 1.以管徑 2600mm、2000mm、1500mm、1000mm、800mm、500mm、300mm、200mm 等 8 種管徑，各分別採埋管深度(H)為 300cm、200cm、150cm、120cm、100cm、80cm、60cm、40cm 共 8 種不同深度作計算，而求得各管徑管材產生之應力。
- 2.Cd 土壤荷重係數因目前使用之低強度混凝土(CLSM)尚未有參考係數，故假設採中間值之飽和堅隔土，其係數應較 CLSM 相對保守。
- 3.P 車輪荷重採後單輪荷重 10T 計算，較國內道路橋樑設計採 H-20 之後單輪荷重 8T 保守。
- 4.A · B · C · D 之應力係數為管內充水時分管頂及管底所承受應力情形，本計算採較保守之管底應力係數做計算(管底與管頂管材應力比如圖 4)。

(三)延性鑄鐵管(DIP)計算成果

本案採目前自來水常使用之 DIPK3 種管作探討，其管材抗拉強度為 43kgf/mm²，如安全係數採 2 倍計，則容許抗拉強度為 22

kgf/mm² (2.2T/cm²)。

依管材應力計算成果曲線圖 5，各管徑管材之應力分析如下：

- 1.各管徑管線埋深介於 200cm~120cm 間所承受之管材應力最小，後隨著淺埋或深埋而逐漸增加。
- 2.埋設深度 300cm~80cm 所產生之管材應力均小於 1.5T/cm²，於容許抗拉強度 2.2 T/cm² 內。
- 3.埋設深度在 60cm 管徑 2600mm、2000mm、1500mm、1000mm、800mm 等 5 種管徑管線管材應力介於 1.8T/cm²~1.62T/cm²間，於容許抗拉強度 2.2 T/cm² 內。
- 4.埋設深度在 40cm 除管徑 500mm、300mm、200mm 管材應力均小於 1.95T/cm²外，餘 5 種管徑管材應力介於 2.34T/cm²~2.48T/cm²間。

綜上分析，管線埋深 60cm 以上理論應屬安全範圍。

(四)鋼管(SP)埋深安全檢討

管徑 800mm 以上之管線埋設遇有地下



障礙物，部份須以鋼管做連結，依鋼管管材之抗拉強度為 41kgf/mm^2 ，惟其延伸率較 DIP 佳，故鋼管管材所採用之厚度均較同管徑之 DIP 管厚小，約其 0.8~0.7 倍間。

因採 SP 管線埋設點均因須穿越其他地下構造物，故均較常設埋深為深，又由圖 5 應力計算成果曲線略知埋深 150cm 所產生之應力最小，埋深 100cm 與 300cm 相應值似相等，故採較常以埋深 100cm 做為核算管徑 2600mm、2000mm、1500mm、1000mm、800mm 等 5 種鋼管所產生之管材應力，依 SP 應力計算成果曲線圖 6，介於 $1.45\text{T/cm}^2 \sim 1.88\text{T/cm}^2$ ，均小於同安全係數採 2 倍計之鋼管鋼材容許應力 $20.5\text{kgf/mm}^2 (2.05\text{T/cm}^2)$ 。

三、管線埋深現況探討

目前自來水管線埋設深度，參考公路總局受理挖掘公路作業程序手冊、台南市道路挖掘管理自治條例及高雄市道路挖掘管理自治條例，彙整規定為埋設在快、慢車道之

管線深度亦以 1.2 公尺為原則，但經主管機關同意者，不在此限。

管線埋設之安全性除管頂上之荷載重及管內水壓力外，輸送水量時管軸向力量除直管較無承受軸向推力外於彎管處所生之推力，須由固定台承受，一般固定台於管頂以上之深度在管徑 1000mm 以下之管線，均在 80cm 以下，其餘均超出。

管線輸送水量順利尚須有排氣閥及制水閥之設置。

排氣閥常用之 200mm~100mm 及 250mm~400mm 排氣閥管頂以上高度，分別為 56.3 公分~41.3 公分及 76 公分~90 公分。

彈性座封閘閥管徑 300mm 以下之管頂高度均小於 62 公分外，餘均大於 90 公分。

綜上檢討，考量管線埋設現況環境，尚須配合現有其他管線埋深，自來水管線於快車道管線埋管深度歸納為管徑 500mm(含)以下管線埋深為 80cm，餘埋深為 100cm 似較可行。

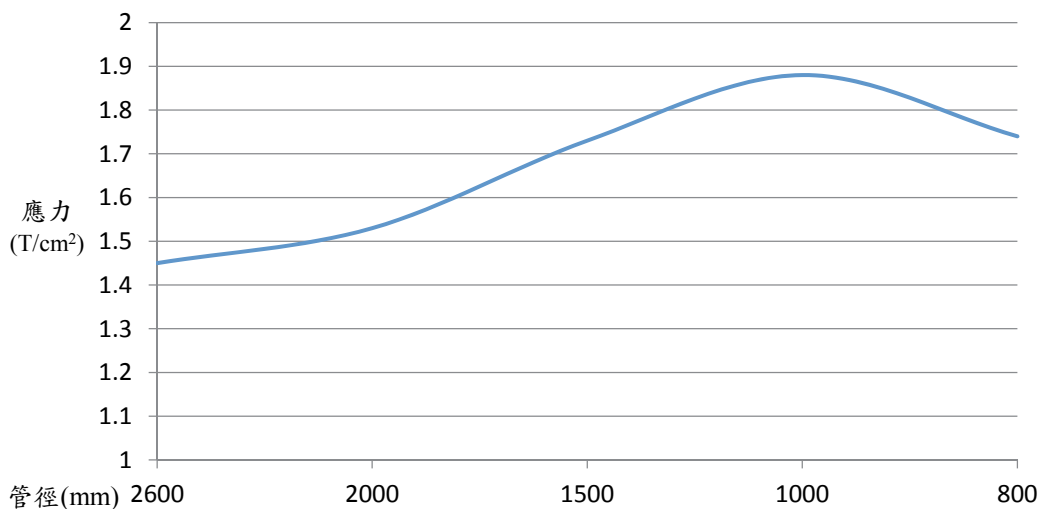


圖 6 SP 管材應力計算成果曲線圖(埋深 100cm)

惟尚須配合事項如下：

- (一)埋深如與路權主管機關所規定值有變更時，其結構計算之安全性，須先報請相關主管機關審查核准。
- (二)較大管徑管線固定台須依各管線管徑做受力計算，須改為橫向式以調整固定台高度尺寸。
- (三)相關制水閥製造之尺寸或埋設位置深度，須配合做檢討修正或加深埋設。

四、埋深安全檢核

經前探討彙整採管徑 800mm(含)以上及 500mm(含)以下之兩款管徑，分別埋深為以 100cm 及 80cm 來做安全檢討，並採 CNS14859 有關 DIP 之規範管材扁橢圓率計算公式核算。

(一)DIP 橢圓率計算

$$\Delta = \frac{100K(P_d + P_L)}{8S + (f \times E')}$$

Δ = DIP 之橢圓率(%)

K = 管溝基床因子(正常為 0.11~0.09，採管線平鋪於溝底無緊密作用力下以 0.11 計)。

$$P_d = \gamma \times H (\text{KN/m}^2)$$

P_d = 覆土壓力

$$\gamma = \text{土壤單位重} (\text{KN/m}^3)$$

H = 埋管深度(m)

$$P_L = 40 \frac{B}{H} (1 - 2 \times 10^{-4} \times D) (\text{KN/m}^2)$$

P_L = 活載重(車輛荷重)

D = 管外徑(m)

B = 快車道，B = 1.5(採 1.5 計算)

慢車道，B = 0.75

鄉間區，B = 0.5

S = DIP 承受之最小徑向剛性應力(KN/m²)

f = 側壓力因子(0.061)

E' = 土壤反作用力模數(KN/m²)(採 5000KN/m²)

E' 值為 1000KN/m²、2000 KN/m² 及 5000 值 KN/m²，各分別為具有無、低及好之緊密度，因現有道路均規定回填控制性低強度材料，因此採 5000KN/m² 核算。

經上述公式計算，其橢圓率均不得超過如表 2 規範允許之橢圓率，其隨著管徑之增加，所允許之橢圓率亦增加，但會維持在一定值，使得內襯水泥砂漿襯層能抵抗而不會損壞，DIP 橢圓率計算成果曲線如圖 7。

(二)DIP 覆土安全深度

摘錄 CNS DIP 規範附錄之覆土深度範圍，其是規範每組管徑之允許覆土最小深度，該值無須任何附加計算即可利用，其單位為 m，為 E' 為 KN/m²。(如表 3)

由覆土深度範圍表所示，在快車道最少埋深介於 0.4M~0.8M。

綜合前所分析，管線管徑 800mm(含)以上及 500mm(含)以下，分別埋深為 100cm 及 80cm，應屬安全之最少埋設深度。

五、結語

自來水管線設計者，大部份均依據道路主管機關及自來水所規定的制式埋管深度，做為埋管深度設計之準則，少有去核算埋管深度之合宜值，以瞭解對管線承载力安全、未來操作維護之便利性以及降低施工工安風險等之影響，為助設計人員對埋管深度之意義有初步的瞭解，而做此分析與探討。

表 2 最小徑向剛性、試驗載重及允許橢圓率彙整表

標稱管徑 mm	最小徑向剛性 S)kN/m ²	試驗載重(F) kN/m	允許橢圓率 (%)
100	250	25.5	1.6
150	80	15.4	2.1
200	60	17.3	2.4
250	54	21.6	2.7
300	47	24.8	3.0
350	36	22.8	3.1
400	30	22.2	3.2
450	26	22.2	3.3
500	22	21.5	3.4
600	18	22.2	3.6
700	24	36.4	3.8
800	20	36.4	4.0
900	18	36.8	4.0
1000	16	36.2	4.0
1100	22	54.7	4.0
1200	20	54.3	4.0
1350	19	56.2	4.0
1500	17	57.5	4.0
1600	17	61.3	4.0
1650	17	62.5	4.0
1800	16	64.9	4.0
2000	16	72.0	4.0

備考：由於僅有一些點其厚度等於或接近最小厚度，故最小徑向剛性之計算係假設管厚度等於最小厚度加 1/2 許可差。

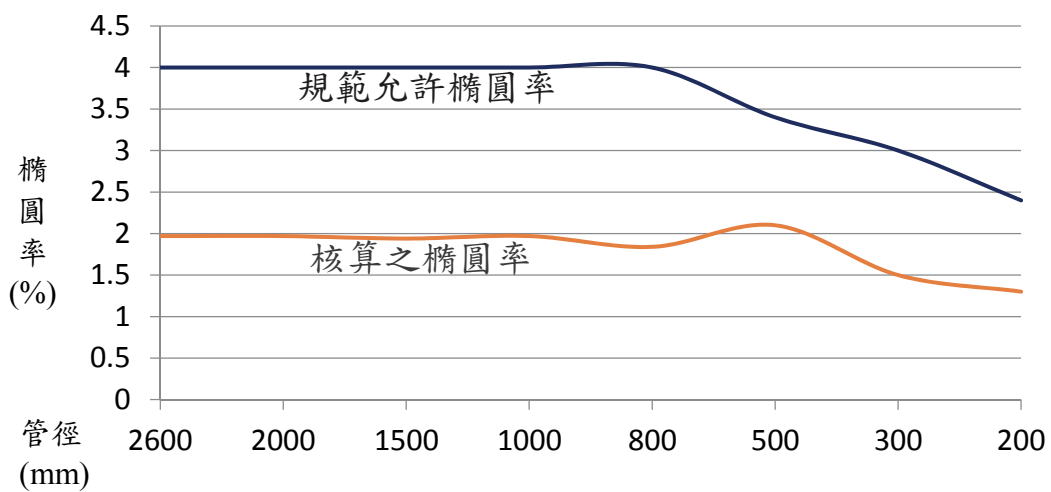


圖 7 DIP 橢圓率比較曲線

表 3 DIP 覆土安全深度

標稱管徑(mm)		100~300	350~450	500~2000
K		0.11	0.105	0.103
B-0.75	E ⁻ =0	0.3-5.0	0.5-3.0	0.5-2.0
	E ⁻ =1000	0.3-6.0	0.4-4.0	0.4-3.5
	E ⁻ =2000	0.3-6.5	0.3-5.0	0.3-4.5
	E ⁻ =5000	0.3-8.5	0.3-8.05	0.3-8.0
B-1.50	E ⁻ =0	0.6-5.0		
	E ⁻ =1000	0.5-5.5	0.7-3.51	0.8-3.0
	E ⁻ =2000	0.5-6.5	0.6-5.0	0.6-4.5
	E ⁻ =5000	0.4-8.5	0.4-8.0	0.4-7.5

經管材應力計算成果歸納有下列幾點：

- (一)各管徑管線埋深介於 200cm~120cm 間所承受之管材應力最小，後隨著淺埋或深埋而逐漸增加。
- (二)埋設深度 300cm~80cm 所產生之管材應力均小於 1.5T/cm²，於容許抗拉強度 2.2 T/cm² 內。
- (三)埋設深度在 60cm 管徑 2600mm、2000mm、1500mm、1000mm、800mm 等 5 種管徑管線管材應力介於 1.8T/cm²~1.62T/cm²間，於容許抗拉強度 2.2 T/cm² 內。
- (四)埋設深度在 40cm 除管徑 500mm、300mm、200mm 管材應力均小於 1.95T/cm² 外，餘 5 種管徑管材應力介於 2.34T/cm²~2.48T/cm²間。

綜合前所分析，管線管徑 800mm(含)以上及 500mm(含)以下，分別埋深為 100cm 及 80cm，應屬安全之最少埋設深度，若要改變目前所規定的埋管深度其埋深結構計算之安全性，須先報請相關主管機關審查核准。

參考文獻

- 1.中國國家標準CNS14859、G3267，2004。
- 2.台灣自來水公司工程契約範本，2017。

作者簡介

劉維民先生

現職：台灣自來水公司南區工程處處長

專長：自來水工程規劃設計及施工管理、土木工程、企業經營管理

高地系統搶修案例供水安全探討

文/文其正

一、前言

臺北自來水事業處(以下簡稱本處)轄區包含臺北盆地，在周邊山區有許多高地供水系統，每個高地系統幾乎都是獨立系統，甚少有可供相互支援的情形，因此，當高地系統發生問題或破管，進行搶修工作勢必造成該獨立系統內用戶無水，這時搶修時效與調配供水的方法即顯得相當重要，必須將用戶用水的衝擊降至最低，此時工程人員將承受極大的精神壓力，每個環節緊緊相扣，一個小錯誤即可能造成重大災情。

臺北自來水事業處南區營業分處轄區內有許多高地供水之獨立系統，此等獨立系統與平地系統以邊界制水閘區隔，計有指南加壓系統、萬芳加壓系統、伸仗板供水系統、十二張加壓站供水系統、興隆加壓站供水系統等大系統，以及若干高地社區之小型加壓供水系統，系統眾多，在管理上相當不易。

本文討論之案例為南區營業分處用戶數最多的伸仗板高地供水系統，伸仗板供水系統為供應新北市新店區新烏路一、二段及北宜路一、二段用戶，用水戶數為 6000 餘戶，其系統水源由直潭里加壓站加壓，以口徑 500 公厘之 DIP 自來水管楊水管加壓輸送至伸仗板配水池，該配水池為一 5000 噸之蓄水池，再以重力供水供應至前述地區，平日供水約 9000CMD。

該系統供水區域橫跨西區及南區，近年來曾因颱風原水濁度飆高、或因漏水搶修等問題致配水池無法進水，造成供水區域停水，然本供水系統 400mm 配水管係沿新店新烏路、北宜路埋設，設置多處持減壓閘，由納莉颱風及蘇迪勒颱風二次颱風停水後復水之經驗，若該伸仗板配水池無水，將造成下游配水管空管，復水作業變得相當困難，需要一段時間才能使系統穩定，且稍有不慎容易造成大區域水質異常，影響層面廣大。

本文列舉今 106 年 7 月及 10 月二次漏水搶修，緊急由十二張加壓站系統支援供水案例，詳述其搶修及調配水應注意之重點，並由二次搶修經驗，探討該高地供水系統存在之數點供水安全隱憂及建議解決對策，以維系統之穩定供水。

二、事件源起

本處供水科監控中心於 106 年 7 月 27 日 23 時許，發現直潭里加壓站口徑 500 公厘之揚水管由正常出水壓約 $7\text{kg}/\text{cm}^2$ ，降至約 $2\text{kg}/\text{cm}^2$ ，且伸仗板配水池無法進水，研判揚水管應發生破裂造成大量漏水，伸仗板配水池水位由 3.6m 持續下降，由水位下降趨勢估計約 6 小時後也就是 28 日 6 時配水池水即將用罄，屆時該系統轄下 6000 餘戶用戶將無預警停水，狀況十分危急，隨即通知本處直潭里加壓站值班人員沿路巡查，發現距加壓站 300 公尺遠處路面大量湧水，路面掏空嚴

重，同時通知南區營業分處修漏股人員緊急調度承商及機具、管件，立刻進場進行搶修，並向上呈報啟動緊急應變機制(圖 1)。

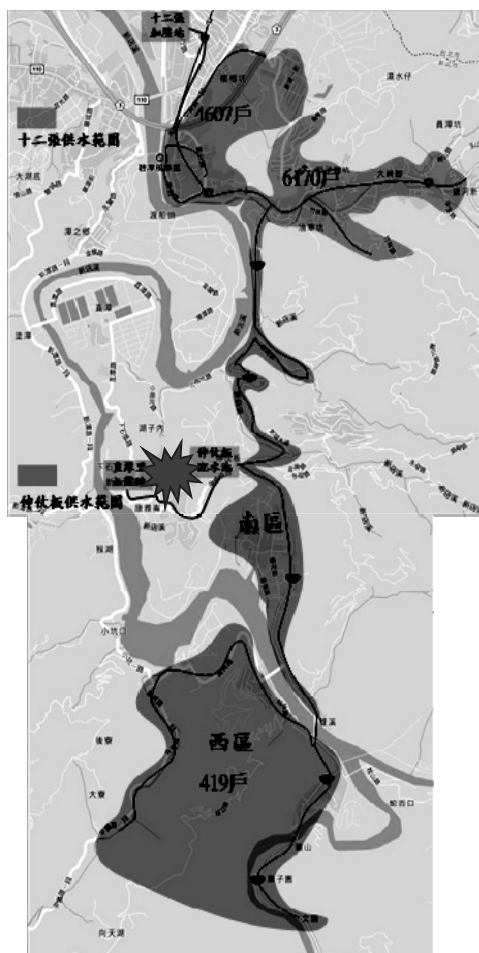


圖 1 伸仗板及十二張供水系統用戶分布及 106 年 7 月 21 日管線破裂位置圖

南區營業分處人員及承商施工人員接獲通知後即刻於 28 日凌晨 1 時趕至現場，因直潭里加壓站已停止加壓，故現場已止水，觀察現場路面掏空嚴重，約 3 米見方，深度約 1.5 米，隨即開挖，發現 500mm 揚水管破裂嚴重，長度約 80 公分，無法以所攜帶之不鏽鋼止漏帶進行維修，故決定以剪管方式處理。

7 月 27 日 23 時爆管時伸仗板配水池水位 3.63M，出水量約 9,000CMD，至此時 28

日 3 時，由供水監測系統得知伸仗板配水池水位已下降至 2.2m，因無法以止漏帶施作，進行剪管汰換部分管線勢必無法於 28 日 6 時水池水用罄前完成，故與供水科討論，因已事先設置系統切換所需要之閘栓，且也事先逆向洗過管線，故決定將伸仗板系統屬平地北宜路一、二段部分進行切換改由十二張加壓站系統供水，此部分用戶佔伸仗板系統之大部分，約為 5900 戶，如順利進行切換，可大大減輕伸仗板配水池的供水負擔，使水位下降趨緩，爭取更多的搶修時間，如不幸搶修不順利，亦可將停水範圍侷限在新店區新烏路一、二段一帶用戶，南區轄區 261 戶及西區轄區 419 戶共 680 戶停水，使大多數用戶仍有水可用。

三、規劃緊急應變措施

伸仗板供水系統，在 106 年 4 月間，南區營業分處即考慮該系統為高地獨立之系統，如發生爆管意外，將使轄下 6000 多戶無水可用，風險太高，故考慮如發生意外時，將緊急以相鄰近之十二張加壓站供水系統支援平地部分(圖 2)，惟要進行系統切換，須加設數只制水閘及消防栓，隨即向交通部公路局申請路證施作相關閘栓完成(圖 3)，因北宜路一段平時供水流向為東向西(圖 4)，若臨時以十二張加壓站支援供水緊急切換，水流向將改為西向東(圖 5)，供水流向改變將使管垢沖出，造成用戶水質大規模汙染，故南區分處於相關閘栓完成後，即進行系統試切換，使水流逆向進行洗管，將可能之管垢事先沖出洗淨，以備不時之需，本案於 106 年 7 月發生爆管，距相關閘栓建置完成及完成洗管程序僅三個月時間。

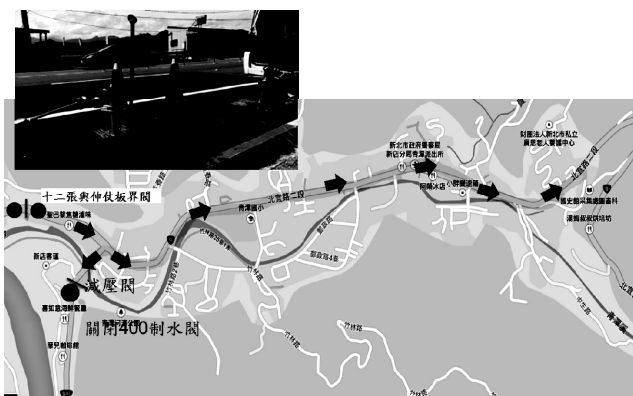


圖 2 伸仗板高地供水系統與十二張加壓站系統切換示意圖

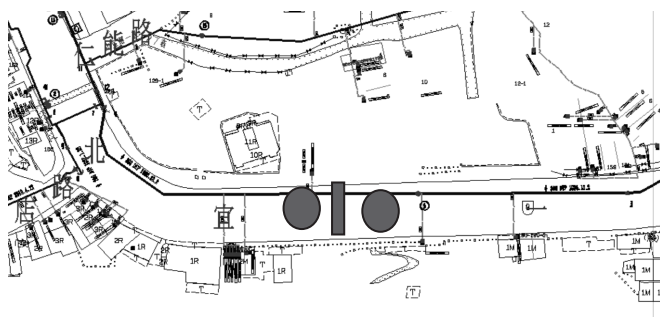


圖 3 邊界相關閘栓設置

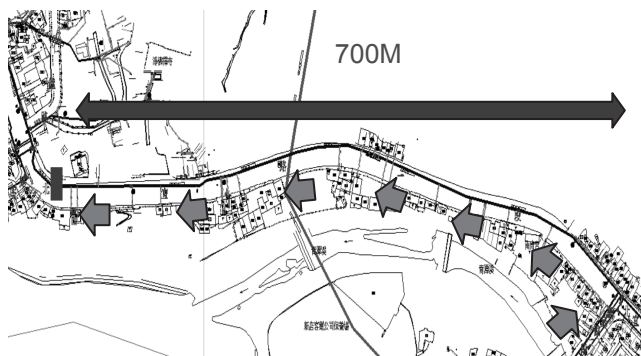


圖 4 平時由伸仗板供水，水流由東向西

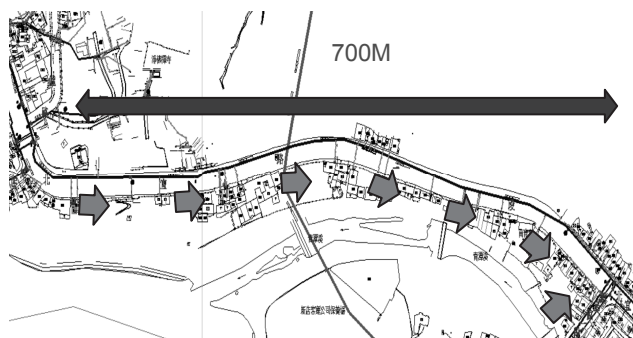


圖 5 十二張加壓站支援供水，水流由西向東

在進行系統切換時，操作新烏路與北宜路一段交口之制水閘，惟考量伸仗板配水池高程 149m，北宜路新烏路交口高程 29m，高程差達 120m，換算如將該處制水閘完全關死，由山上下來的水壓怕配水管恐法負荷可能爆管，將衍生更大的問題，故並未將北宜路新烏路交口之制水閘完全關閉，仍有部分自來水流出供應北宜路二段用戶，以減輕管線壓力，此時，於北宜路一段與十二張加壓站供水交界處，於邊界制水閘量測二邊水壓，發現伸仗板系統壓力為 $2.9\text{kg}/\text{cm}^2$ ，十二張加壓站供水系統壓力為 $1.8\text{kg}/\text{cm}^2$ ，壓力以伸仗板系統為大，如貿然開啟邊界閘，將使水流由伸仗板系統流入十二張系統，適得其反，故配水股人員調整十二張加壓站出水壓力，由原來 $4.3\text{kg}/\text{cm}^2$ 增壓至 $4.5\text{kg}/\text{cm}^2$ ，並再次調小北宜路與新烏路交口之制水閘開度，此時量測北宜路一段二系統邊界閘二側消防栓壓力，分別為 $1.7\text{kg}/\text{cm}^2$ 與 $2.0\text{kg}/\text{cm}^2$ (圖 6)，此時十二張系統水壓已可進入伸仗板系統，故徐徐開啟邊界閘，並派員於鄰近消防栓進行排水，以防管垢沖出汙染用戶水質。

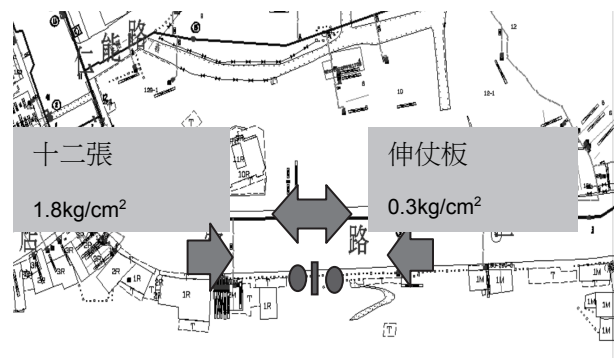


圖 6 系統切換時，邊界閘二側水壓示意圖

經過供水系統切換完成後，伸仗板配水池出水量由 9000CMD，大幅下降至出水量約 3000CMD (圖 7)，十二張加壓站出水流量原為

8000CMD，增加為 13800CMD(圖 8)，伸仗板配水池水位下降速率由 50cm/hr 趨緩為 20cm/hr(圖 9)，原預估 28 日 6 時配水池水量用罄，將延長至 28 日 12 時配水池水量才會用罄，多爭取到 6 個小時的搶修時間。

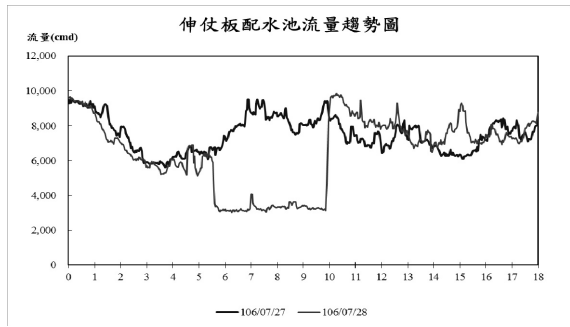


圖 7 系統切換後伸仗板配水池流量趨勢圖

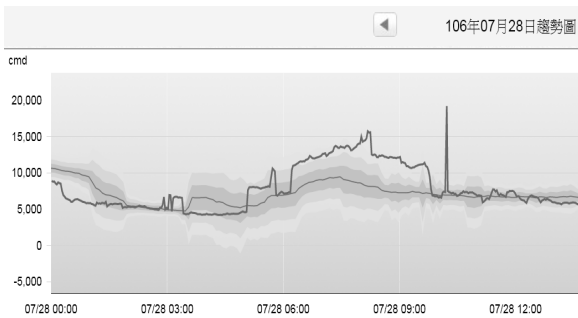


圖 8 十二張加壓站出水流量圖

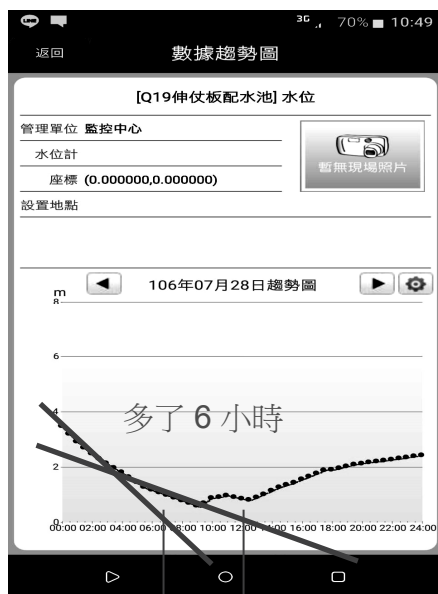


圖 9 伸仗板配水池 7 月 28 日水位趨勢圖

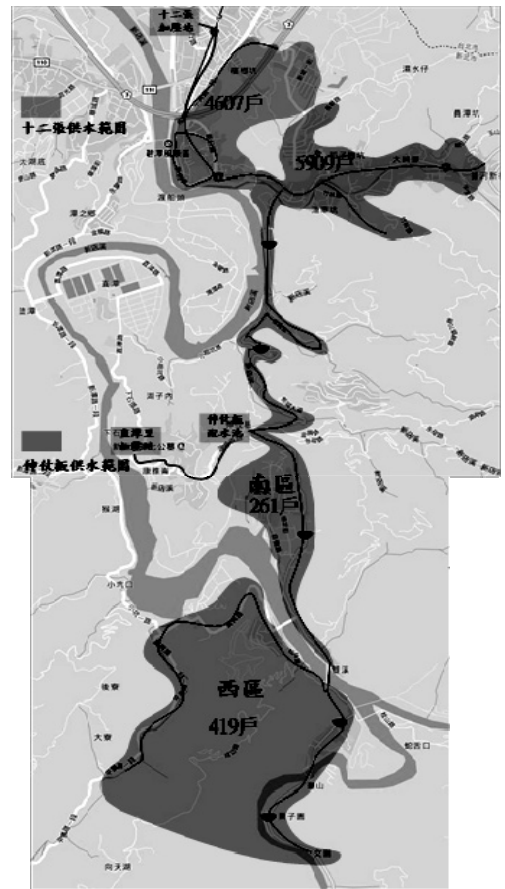


圖 10 系統切換圖

因事況緊急，承商調派大量工班及機具，務必要儘速完成搶修，恢復供水，管線破裂處經剪管修理完成後，檢視水管破裂面為長約 80 公分之縱向裂縫，原因為管線下方有大型石塊，可能因為車輛反覆輾壓路面造成破裂，而有這麼長之裂縫亦可能為管材石墨球化率不佳，延展性不足所導致(圖 11)。

本案於 28 日 8 時搶修完成，隨即通知直潭里加壓站開始加壓送水，於 9 時 15 分當出水壓力達到 $7.3\text{kg}/\text{cm}^2$ 時，伸仗板水池開始進水，此時水位僅剩 0.57m，此時進水流量 11400CMD，危機已解除，此時工程人員再就定位，進行切換回原供水系統之程序，至 10 時 45 分切換原系統作業完畢，水質正常，所有用戶完全不受影響。



圖 11 管線破裂面

四、系統再次漏水搶修及應變措施

於 106 年 10 月 7 日，伸仗板配水池下水管破裂漏水，此次較上次更為緊急，因這次破管處為下水管，位於新烏路一段長興街口，不像上次破管位置有配水池做調節，有數小時搶修時間不會影響供水，但這次因破管處已過配水池，停水搶修直接衝擊下游端 6000 戶用水，必須馬上停水，並進行十二張加壓站與伸仗板高地系統供水切換。(圖 12)

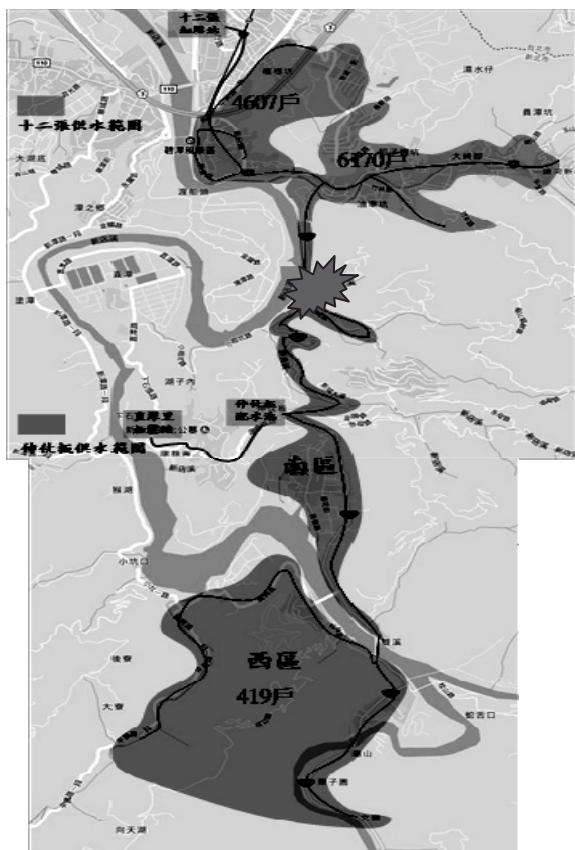


圖 12 106 年 10 月 7 日管線破裂位置圖

有了上次切換系統之經驗，同仁們操作更得心應手，於緩慢關閉下水管同時，在北宜路一段邊界制水閘處，量測二系統之壓力，俟十二張系統壓力大於伸仗板系統壓力時，以 2 至 3 分鐘 1 圈之速度緩慢開啟邊界閘，並於新烏路北宜路口長時開啟消防栓做為水質監測點，於當日 20 時停水搶修，24 時搶修完畢恢復原系統供水，期間 6000 多戶用戶完全用水不受影響。

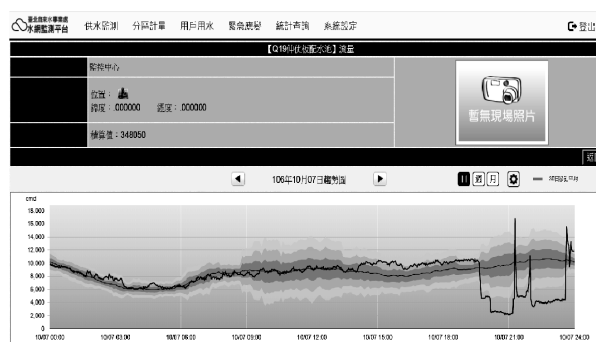


圖 13 106 年 10 月 7 日伸仗板出水量

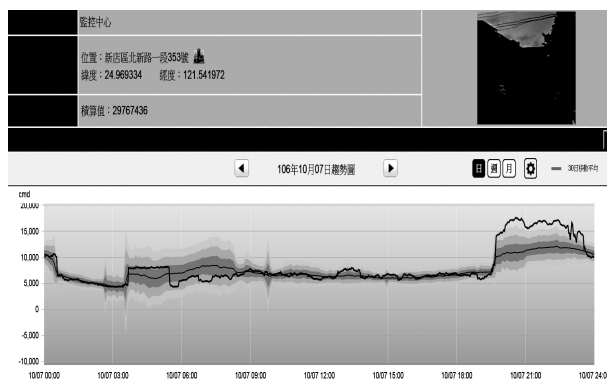


圖 14 106 年 10 月 7 日十二張加壓站出水量

五、系統安全存在之隱憂及解決方案

雖然這二次漏水搶修都因事前規劃完善，有驚無險地完成了任務，但是細究本系統現況，對於供水安全性上仍有數點隱憂，茲分述如下：

- (一)持減壓閘之問題：在高地供水系統，持減壓閘之作動甚為重要，常常一處故障

會使下游端壓力變大，造成一連串持減壓閥因無法負荷同時故障，對供水安全造成嚴重威脅(圖 15)。

而目前處內並未針對持減壓閥有定期汰換計畫，通常是等到某個持減壓閥損壞後再予汰換，而非像更換水錶，以 8 年為一期定期更換，以防止故障之發生，建議可研究本處持減壓閥損壞之頻率及使用期限，在預期到達可能損壞時間前即予定期更換，相信可以相當程度的改善系統供水安全，目前本處已開始這方面之研究。

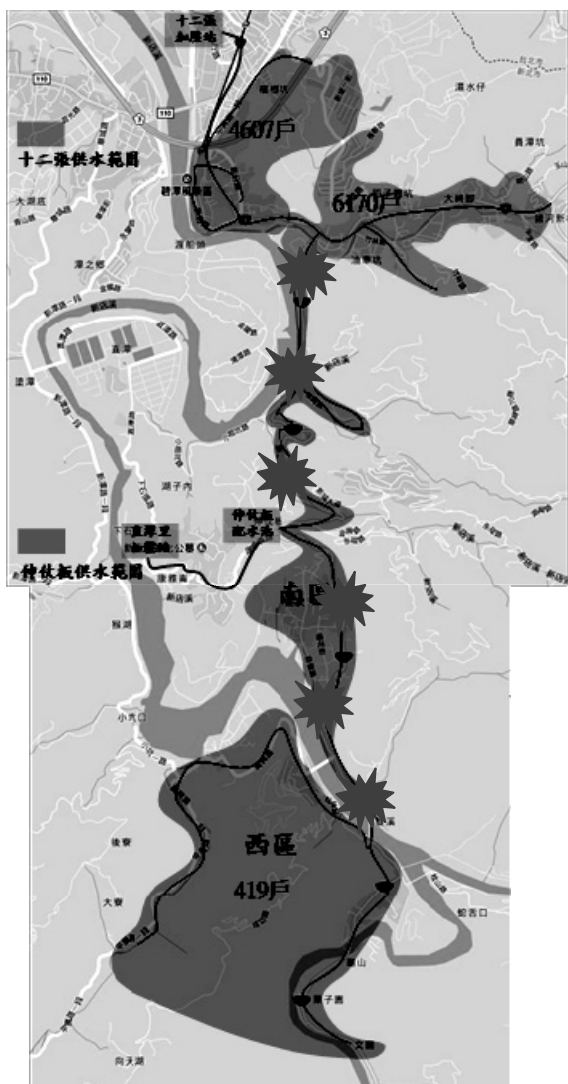


圖 15 持減壓閥損壞可能造成下游端持減壓閥同時損壞

(二)緊急系統切換造成汙染：因高地系統長期固定流向，容易沉積管垢，如臨時緊急由支援系統供水，切換相關閥栓時會造成逆流揚起管垢，有造成大規模汙染之風險，以本案十二張加壓站供水系統支援伸仗板高地供水系統為例，因事先在 106 年 4 月份北宜路一段相關閥栓設置完妥後，即進行逆向洗管，所以在 106 年 7 月及 10 月二次系統切換，並未有用戶水質遭受軟之情事發生，建議將類似系統相關管段作定期逆向洗管，以減少切換時汙染風險。

目前進行洗管之操作方式僅為關閉相關制水閥，並將消防栓全開以增加水流速度，期能將管底積泥沖出，以達洗管效果，惟功效仍有待商確，本處供水科目前試辦以碎冰灌入上游消防栓，由下游消防栓排出碎冰及管垢，以碎冰與管壁的摩擦，帶出陳年管垢，為相當不錯之洗管方式(圖 16~18)，如能應用在需要切換供水方向之路段，定期實施，則將來需要切換系統時，可大幅降低水質汙染之可能。



圖 16 以加壓設備將碎冰灌入消防栓

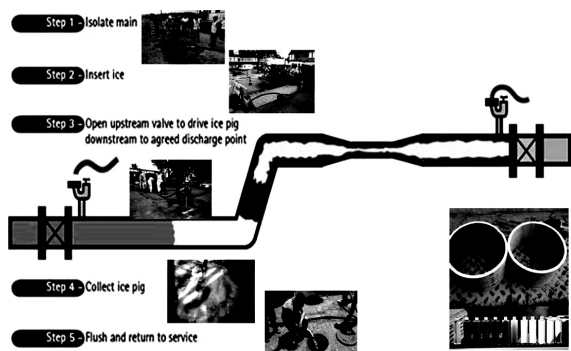


圖 17 碎冰洗管示意圖



圖 18 碎冰排出各階段取樣

(三)邊界閥栓遭埋沒：邊界閥栓如被埋沒，將使緊急時系統無法切換支援供水，造成數以千計用戶無水可用，所以閥栓維護甚為重要，本處現行對於系統之重要邊界閥，進行半年一次巡查計畫，未免期間內遭各單位銑鋪埋沒，應增加特殊閥栓之巡檢頻率。

目前在臺北市工務局新建工程處成立道路挖掘管制中心，對於道路齊挖齊補及銑鋪前辦理會勘要求相當嚴格，故本處閥栓較不易無預警遭埋沒，但在新北市，路權單位對此要求並不嚴格，除路平路段有所要求外，其餘路段由各管線單位銑鋪時，並未要求知會其他單位，故閥栓在不知情下遭埋沒時常發生，南區分處已拜會及發文新北市養工處及區公所，期能改善類似情形。

(四)花園新城問題：花園新城係於伸仗板系統新烏路邊之 1200 戶大社區，使用簡易自來水，水源為溪水，最近將申請加入本處供水系統中，但目前伸仗板系統供需已非常緊繃，平均每日用水量約 9000CMD，高峰時用水量可到 11000CMD，直潭加壓站抽水機為三台打二台，每日平均打水 16 小時，在西區營業分處有一支援省自來水公司之取水點，平時取水僅數十 CMD，但於 106 年 10 月 16 日無預警取水約 600CMD，造成當日伸仗板配水池水位加壓馬達持續打水仍無法恢復正常水位(如圖 20 當日水位與 30 日平均水位之比較)，可見供水吃緊，伸仗板系統現有用戶 6000 餘戶，如加入花園新城 1200 戶，等於供水需增加二成，加壓馬達運行時間推估將由每日 16 小時增加到 20 小時，系統恐負荷不了，故已有增購加壓設備以免系統負荷過重造成嚴重供水問題。

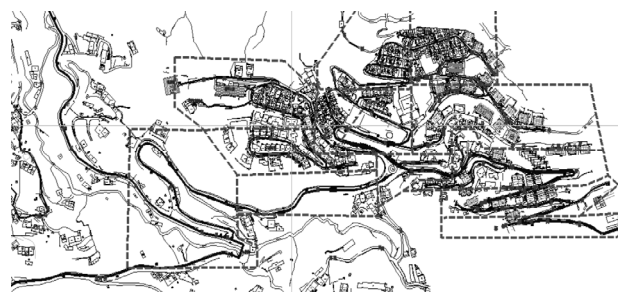


圖 19 花園新城位置圖

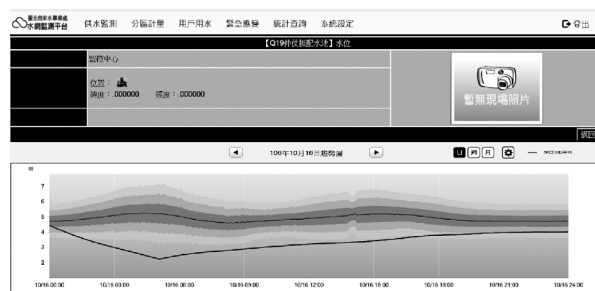


圖 20 106 年 10 月 16 日支援台水取水後伸仗板配水池水位圖

六、結論

伸仗板高地系統於 106 年 7 月 27 日及 10 月 7 日二次緊急搶修，除了搶修時效掌握得宜外，主要是能事先規劃二個供水系統緊急支援方案，確實設置相關閥栓並進行洗管等前置作業，事發時工程人員照表操課以及本處供水科相關加壓站配合運作以利供水系統切換，在原先的規劃，如果破管嚴重或因為其他事故，此方案也可以將停水範圍限縮在新店區新烏路一帶約 600 戶，讓北宜路一、二段等 5900 多戶不受影響，而新烏路一帶用戶，因有部分用戶使用自來水及山泉水，就算停水也有水可用，可降低意外事件造成的衝擊。

本文探討了 4 個可能影響系統安全的因子及解決方案，其中持減壓閥檢討更換時機，以免造成下游端持減壓閥接連損壞、系統切換相關管線定期逆向洗管及加強重要邊界制水閥巡查頻率，以避免路面加鋪遭到埋沒等因素，一樣可套用在其他高地系統安全性評估中，至於持減壓閥更換時機探討又是另外一個課題了。

花園新城的問題，因社區原有簡易自來水系統尚在運作，本處尚有時間因應增購相關設備，目前本處正與新北市水利局進行接管程序中，預計 107 年上半年可接管完成。

總之，高地供水系統相當複雜，解決問題的方法也有很多，需要靠平時預先設想及規劃，以及解決方法經驗的累積，遇到意外事故發生時，才能臨危不亂，減少對用戶用水安全的衝擊。

參考文獻

- 1.文其正，「高地供水系統緊急搶修與加壓站供水系統切換支援案例」，中華民國自來水協會第34屆自來水研究發表會論文集。
- 2.林進誠、黃裕泰，「配水管線碎冰清洗作業探討-以陽明山區管線為例」，中華民國自來水協會第34屆自來水研究發表會論文集。

作者簡介

文其正先生

現職：臺北自來水事業處南區營業分處二級工程師兼股長

專長：管網改善工程規劃、設計、監造、小區計量及漏水搶修。

粉狀活性碳及加氯氧化去除微囊藻毒效能研究

文/薛志宏、張美惠、張凱迪、王姍莉、黃淑珍

摘要

本研究利用實際長興淨水場原水及清水，添加溶解性微囊藻毒，透過杯瓶試驗及完全攪拌批次反應試驗，測試 3 種市售粉狀活性碳及加氯氧化於溶解性微囊藻毒之去除效果，結果顯示 3 種粉狀活性碳在 10、1.0 及 0.1 $\mu\text{g/L}$ 藻毒濃度下，添加約 15~20 mg/L 可達穩定效果，持續增加粉狀活性碳添加濃度至 50 mg/L ，以木質粉狀活性碳去除率最佳；此結果可利用 Freundlich 等溫吸附方程式求得粉狀活性碳加注濃度參考公式，有助於淨水場實際狀況應用。另加氯氧化去除亦有效果，在 $\text{pH}=7.5, T=21^\circ\text{C}$ ，餘氯 0.70 mg/L 下，起始藻毒濃度約 10 及 1.0 $\mu\text{g/L}$ ，殘餘藻毒濃度與起始藻毒濃度之比對反應時間(t)呈假一次反應速率方程式(Pseudo-first order equation)遞減，反應速率約為木質粉狀活性碳吸附之 1/4。

一、前言

由於全球氣候變遷之影響，澇旱加劇，氣溫升高，使用地面水作為水源之自來水淨水場，原水水質受到影響，極可能面臨藻類滋生及藻毒處理的問題。2014 年 8 月，美國俄亥俄州 Toledo 市，發生因飲用水中藻毒超標，緊急通知停止飲用自來水之事件，50 萬居民飲用水受到影響，因而引起該國國務院關注，開始重視藻毒管理。位處亞熱帶的我國，亦應及早準備，以免屆時引起用水民眾恐慌。

於藻毒事件發生時，在普遍使用之傳統淨水處理程序中，臨時性添加粉狀活性碳及以既有加氯氧化溶解性藻毒，是一般傳統淨水場最常選擇的應變處理策略，而粉狀活性碳之選擇試驗程序與參考加注量曲線之建立方法，及加氯氧化藻毒控制方法，非常重要，本研究分別以市售粉狀活性碳進行添加微囊藻毒實廠原水杯瓶試驗，另以批次加氯氧化添加藻毒清水試驗，評估溶解性微囊藻毒之去除效果，希能作為一旦淨水場發生藻毒事件時，淨水程序緊急因應之參考。

二、文獻探討

(一)微囊藻毒的產生及對人體健康之影響

微囊藻毒(Microcystin)係由藍綠藻(Cyanobacteria)產生。藍綠藻是存在水體中的光合細菌，在水中氮及磷等營養源濃度增加、氣溫升高、日照充足及較靜止水體(如湖泊、水庫等)等條件下，大量藻類滋生，會發生藻華(Algal Bloom)現象，若藻種會分泌毒素或細胞質中含有毒素，則會導致藻毒問題發生，大部份並伴隨水中臭味(Taste & Odor)問題。目前已知有 30 種藍綠藻會產生藻毒。

藻毒分為肝毒(Heptatoxins)、神經毒(Neurotoxins)及皮膚毒(Dermotoxins)三大類。每 1 種藍綠藻可能產生不只 1 種藻毒，如微囊藻(Microcystis spp.)可產生微囊藻毒(Microcystin)及節球藻毒素(Nodularin)等肝毒；柱孢藻(Cylindrospermopsis raciborskii)則可產生柱孢藻毒(Cylindrospermopsin)及麻痺

性貝毒素(Saxitoxins)等神經毒，但普遍存在的藻毒為微囊藻毒(Microcystin)，微囊藻毒已發現有 80 種化合物，最常出現之化合物為 Microcystin-LR(結構如圖 1)，由於具有環狀結構，為穩定存在水中之化合物，煮沸及一般傳統處理程序無法將之去除。

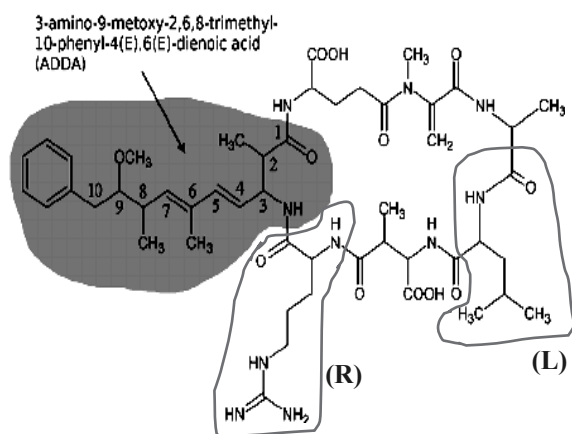


圖 1 Microcystin-LR 化學結構圖

藍綠藻毒對人體之影響包括肝、神經系統及腸內道系統，並有急性及慢性之分。1996 年巴西因藻毒污染飲用水，導致 50 人死於血液透析；有中國之研究顯示喝了含微囊藻毒的水，會導致肝癌及腸癌。WHO 之資料顯示，已證明微囊藻毒可促進腫瘤生長，國際癌症研究署(IARC)並將之分類成「有可能致癌物」(2B)。高濃度的類毒素(Anatoxin)可導致呼吸衰竭死亡；其他非致死藍綠藻毒則可引發發燒、頭痛、肌肉關節酸痛、腹瀉、嘔吐及皮膚過敏等症狀。

世界衛生組織(WHO)訂定 Microcystin-LR 慢性暴露準則值為 1 $\mu\text{g/L}$ ，加拿大衛生部訂 1.5 $\mu\text{g/L}$ ，美國未訂國家標準，少數州(Ohio 及 Oregon)訂 1 $\mu\text{g/L}$ 。美國環保署於 2015 年 6 月，已將訂定藍綠藻毒飲用水法規列為

最高優先順序，並於 6 月 15 日釋出兩種藍綠藻毒的【健康諮詢】(HAs, Health Advisories)，訂出對 6 歲以下學齡前兒童飲用水中微囊藻毒 10 天暴露的最高濃度為 0.3 $\mu\text{g/L}$ ，柱胞藻毒的 10 天暴露的最高濃度為 1.6 $\mu\text{g/L}$ ；對 6 歲以上兒童及成人，則分別為 0.7 $\mu\text{g/L}$ 及 3.0 $\mu\text{g/L}$ 。【健康諮詢】非法規強制規範，但提供一個 10 天暴露無任何影響健康效應的基準點。其他各國藻毒水質標準指引值或限值如表 1

(二)微囊藻毒之淨水去除策略

微囊藻毒於淨水程序的去除要分細胞外毒(Extracellular)及細胞內毒(Intracellular)兩部份來討論，細胞內毒去除指藉將整個完整的藻細胞去除，同步將細胞內含毒素的細胞質去除；而細胞外毒指透過處理方法，將藻細胞死亡腐化或細胞壁破裂後，已溶入水中之細胞質毒素予以去除。

細胞內毒(藻細胞)之各種去除方法與去除效率如表 2，沉澱單元去除之藻細胞，累積於沉澱池底污泥，或快濾池反洗廢水中，仍可能因細胞死亡腐化或細胞壁破裂，而釋出藻毒，形成細胞外毒，需特別注意，提高清除頻率。另若使用預氧化處理，如前加氯或前臭氧，由於氧化劑將先使細胞裂解(Lysis)，使藻毒釋出，而使處理更加困難。

細胞外毒(微囊藻毒)各項去除方法及功效如表 3，傳統混凝/沉澱/過濾對細胞外毒完全無效，但可以臭氧或加氯氧化去除，或以活性碳吸附，後者需注意吸附飽和及存在天然有機物(NOM)產生之競爭吸附作用。

表 1 各國藻毒水質標準指引值或標準限值

國 家	指引值或標準限值
阿根廷	總微囊藻毒 1.3 µg/L，以 MC-LR 表示
巴西	微囊藻毒 1.0 µg/L
加拿大	總微囊藻毒 1.5 µg/L，以 MC-LR 表示
捷克	1.0 µg/L MC-LR
中國	1.0 µg/L MC-LR
法國	1.0 µg/L MC-LR
義大利	總微囊藻毒 0.85 µg/L
日本	1.0 µg/L MC-LR
韓國	1.0 µg/L MC-LR
紐西蘭	1.0 µg/L MC-LR
挪威	1.0 µg/L MC-LR
波蘭	1.0 µg/L MC-LR
葡萄牙	1.0 µg/L MC-LR
南非	0-0.8 µg/L MC-LR
西班牙	總微囊藻毒 1.0 µg/L

表 2 各種細胞內毒之去除方法與效度

去除方法	混凝/沉澱/過濾	混凝/浮除/過濾	膜 濾	活性碳吸附(含 PAC 及 GAC)
去 除 效果	佳(混凝沉澱去除率可達 90%)	佳(浮除去除率可達 50~100%)	佳 (>97%)	無效

表 3 微囊藻毒細胞外毒各項去除方法及功效

去 除 方 法	效 果
加氯氧化	pH 值低於 8 時有效
氯胺	無效
高錳酸鉀	有效
二氧化氯	一般飲用水加注量下無效
臭氧化	非常有效
活性碳吸附	視使用之活性碳種類而定，大部份有效
紫外光	高劑量才有效，一般用以消毒之劑量無效
薄膜過濾	RO 有效，NF 無效

美國環保署 2015 年出版之「公共給水系統微囊藻毒管理建議」(Recommendation for public water systems to manage cyanotoxins in drinking water)中，對一旦原水中測出微囊藻毒提出幾項處理策略:(1)優先考量去除完整藻細胞，例如使用傳統混凝沉澱程序。(2)降低原水預氧化量，避免藻細胞裂解，釋出藻毒。(3)添加粉末活性碳。(4)增加後氯氧化。

(三)粉狀活性碳去除微囊藻毒機制

活性碳是將煙煤、椰殼及木屑等含碳物質，經粉碎及高溫(小於 700°C)加熱後，再經水蒸氣或二氧化碳於 800~900°C 活化處理所生成。由於具高多孔性及高比表面積，故可作為吸附劑，飲用水處理所用者，依外觀分為粉狀活性碳(PAC)及粒狀活性碳(GAC)兩類，粉狀活性碳為一般直徑介於 10~100 µm 的微粒碳粉，不能重複使用；而粒狀活性碳顆粒尺寸通常介於 0.4~2.5mm，可再生使用，但仍有使用壽命。

活性碳的性質對吸附效能影響極大，一般常見之性質有「比表面積」、「孔徑分佈」、「單位質量的表面積」及「表面化學」，活性碳比表面積一般介於 500~1500 m²/g，比表面積越大吸附能力越大。孔徑分佈分為粗孔(Macropore，孔徑大於 50nm)、中孔(Mesopore，孔徑介於 2~50nm)及微孔(Micropore，孔徑小於 2nm)，如圖 2，微孔所占體積越大，比表面積越大，但仍需存在一部份粗孔與中孔，作為被吸附物質進入微孔通道。活性碳顆粒大小，僅影響吸附速率快慢。一般所謂「中孔碳」指至少 50%總孔體積落於中孔範圍，小於 25%落於粗孔範圍之

粉狀活性碳。活性碳之化學表面特性與存在不同原子(如氧原子)有關，表面低氧含量使成疏水性，存在較親水性(高氧含量)大之吸附能量。

「孔徑分佈(Pore volume distribution)」與「表面化學特性(Surface chemistry)」在活性碳吸附扮演的角色，視活性碳與吸附物而定。微囊藻毒 Microcystin-LR 在粉狀活性碳之吸附效能，主要受總孔徑表面積影響，由於 Microcystin-LR 之分子直徑，估算約 1~2 nm，故對其吸附效果最佳粉狀活性碳性質為具孔徑大於 1 nm 孔洞佔較大體積者，中孔符合此條件，微孔則過小。木質粉狀活性碳大部分產生較大體積之中孔洞，故吸附 Microcystin-LR 效果較產生較多微孔之椰殼粉狀活性碳為佳。

活性碳吸附效能亦受溶液化學(Solution chemistry)的影響，若水中含有高濃度天然有機物質(Natural organic matter, NOM)，NOM 會產生競爭吸附，也有可能阻塞孔洞，形成所謂碳垢(Carbon fouling)而影響吸附。

藻毒為強水溶性分子，環狀結構，故具化學穩定性，可抵抗煮沸及中性環境下化學水解及氧化，高強度紫外光照射或強氧化劑如臭氧及氯等才能對其產生降解。藻毒分子結構為具 7 個胺基之單環七肽(Heptapeptide)，其毒性來源來自 ADDA 部分(圖 1 反灰部分)結構中之共價雙鍵(二烯)，不同的胺基酸群會形成不同的藻毒，目前已知有超過 80 種以上，最常出現者為 Microcystin-LR(MC-LR)。

氯對不同種類藻毒的反應性不同，Sylvain 等人(2010 年)研究指出氯氧化速率

MC-YR> MC-RR> MC-LR> MC-LA，顯示對氯的反應性，與兩胺基酸群有關。氯氧化微囊藻毒後副產物，被確認出 6 種衍生物，確實可降低其急毒性。

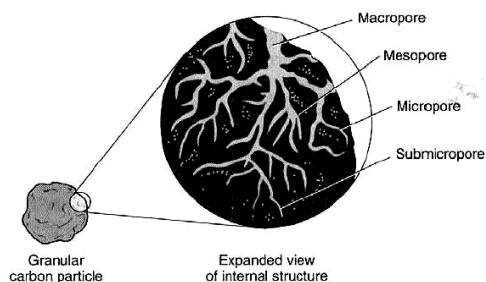


圖 2 活性碳孔洞吸附址示意圖

微囊藻毒 MC-LR 加氯氧化降解時，因總氯濃度 $[HOCl]^0$ 於氧化過程可視為定值，可以假一級反應式(Pseudo-first-order)反應式(式 1)表示

$$-d[MC-LR]/dt = k'[MC-LR] \quad (\text{式 1})$$

上式經積分成式 2

$$\ln\left[\frac{[MC-LR]}{[MC-LR]^0}\right] = -k't \quad (\text{式 2})$$

在固定之 $[HOCl]^0$ 及 pH 值下，以 $-\ln\left[\frac{[MC-LR]}{[MC-LR]^0}\right]$ 對時間 t 作圖，可得直線，斜率即為反應常數 k'，斜率越大 k' 越大，反應越快；k' 越小，反應越慢。另起始加氯濃度越高，k' 越大，此係因氯和藻毒反應之可能性增加，k' 為起始加氯濃度 $[HOCl]^0$ 的線性 1 次函數，綜上，微囊藻毒 MC-LR 之加氯降解速率為「起始加氯濃度」及「微囊藻毒濃度」的一次速率式。

在 pH 值影響方面，研究發現，MC-LR 之加氯降解較喜發生在低 pH 值

狀態下，由於親電子(Electrophilic)狀態的差別，氯(Cl_2)水溶液較次氯酸鈉溶液，氧化效果為佳。此係因 $[HOCl]$ 是主要親電子物

種，一般(MC-LR)氯化反應主要反應發生在[HOCl]與[MC-LR]間，而 OCl⁻之反應性較低，幾可忽略。Xagorarakis(2006 年)以批次實驗發現，[MC-LR]與[HOCl]之反應，超過其與[OCl⁻]反應 20 倍。次氯酸(HOCl)在水中會解離成 H⁺與 OCl⁻，為一可逆反應，高 pH 值狀況下，大部分次氯酸(HOCl)均解離成 OCl⁻，在酸性條件下，則主要存在[HOCl]促成此反應。在 pH 值低於 5 狀態下，因[H⁺]的存在，產生酸催化作用，反應更快。一般微囊藻毒 MC-LR 之加氯降解希維持在 pH 值 8.0 以下。

(五)影響藻毒加氯氧化去除之操作影響因子

影響藻毒加氯氧化效能的因子包括加氯穩定度及加氯接觸控制。

加氯穩定度與原水或處理水中存在氯的濃度有關，若原水污染較嚴重，所含天然有機物(NOM)或氯較高，可能造成較高需氯量，致起始加氯量被消耗，而影響藻毒氧化效果，例如水中存在較高濃度的氯，與氯反應成氯胺，氯胺對藻毒降解幾乎無作用，即大大影響加氯氧化藻毒之效果。

加氯接觸控制與 CT 值有關，Acero(2005)算出在柱流反應器(Plug-flow reactor)與完全攪拌槽反應器(Completely stirred tank reactor, CSTR)在不同溫度、不同 pH 值及起始藻毒濃度下之 CT 值，大致而言，較低之 pH 值、較低之起始微囊藻毒濃度及較高的水溫，達到最終微囊藻毒濃度為 1 μ g/L 時，需較低的 CT 值。而在理想狀態柱流反應器(或批次反應器)較完全攪拌槽反應器所需 CT 值為低。實廠接觸效率通常介於二者之間。

另研究發現由高濃度藻毒持續氧化，發現在低濃度藻毒狀況下，如 10 ng/L，氧化反應速率變慢，氧化反應速率常數遠低於高濃度(1 μ g/L)狀況，推測原因為藻毒與氯反應生成之產物對氯產生競爭效應，或因此類產物存在，降低殘餘藻毒與氯之有效碰撞。在水中存在腐植酸狀況下，雖會導致所添加氯之衰減，但腐植酸濃度越高，藻毒氧化反應之速率反而更高，可能原因為 NOM 與藻毒反應或二者形成高反應性 4 級胺產物所致。

對存在藻細胞之真實原水，氯氧化會受到細胞裂解的影響，Fan(2012 年)利用培養的銅綠微囊藻細胞，添加入純水及真實原水中，發現在不同 pH 值下，需氯量會隨著加氯量及藻細胞數增加而增加的趨勢相同，銅綠微囊藻每個細胞之需氯量為 5.6 \pm 0.2 pgCl₂/cell。另於存在藻細胞之真實原水加氯氧化(類似淨水處理前加氯狀況)，藻細胞很快就會裂解，細胞內藻毒很快(在很低的 CT 值)就會釋出，但隨即被氯氧化，之後總藻毒及細胞外毒均會隨 CT 值增加而降低。

三、研究方法

(一)粉狀活性碳去除微囊藻毒試驗

為瞭解淨水場原水檢測出溶解性微囊藻毒時，於淨水程序添加粉狀活性碳去除藻毒的效能，使用杯瓶試驗機進行人工添加微囊藻毒原水試驗，對象為長興淨水場原水，每批杯瓶試驗皆以淨水場實場混凝劑加注量進行混凝劑多元氯化鋁加注，同時以不同濃度粉狀活性碳添加，添加前先將定量粉狀活性碳以實驗室試劑水以磁石持續攪拌成泥漿(Slurry)狀備用，不同瓶杯分別添加成 15、22、33 及 50 mg/L 之濃度，並模擬現場

混凝攪拌及沉降時間進行快混 120 RPM,3 分鐘、慢混 30 RPM,8 分鐘及沉降 10 分鐘。

粉狀活性碳採用市售(中國炭素工業公司)煤質、椰殼及木質等 3 種(產品編號分別為 C-325/ID1000、G-135/ID1000 及 E-325A)，微囊藻毒添加濃度分別為 10、1.0、0.1 $\mu\text{g/L}$ ，每批杯瓶試驗擇 1 活性碳加注濃度進行重覆組試驗。微囊藻毒以酵素聯結免疫吸收法檢測方法(ELISA)檢測。

(二)餘氯氧化去除微囊藻毒試驗

為瞭解淨水場清水中溶解性微囊藻毒之加氯氧化去除效果，進行完全混合批次(Completely mixed batch reactor；CMBR)試驗，以添加氯後經確認自由餘氯濃度之長興淨水場清水及實驗室試劑水(控制組)，分別置於血清瓶中，添加 10 $\mu\text{g/L}$ 及 1.0 $\mu\text{g/L}$ 的微囊藻毒，充份混合後，以錫箔紙遮光持續攪拌，時間於 0min 及達 10min、30 min、60 min、120 min 及 180min 之接觸時間時，分別取樣，並立即以約當量之硫代硫酸鈉去氯試劑去氯後，以 ELISA 法檢測藻毒含量。

四、微囊藻毒去除試驗結果

(一)粉狀活性碳去除試驗結果

不同濃度藻毒原水在不同種類粉狀活性碳不同加注量下之濃度變化如圖 3 至圖 5，圖 3 可以看出原水在 10 $\mu\text{g/L}$ 藻毒濃度狀況下，3 種粉狀活性碳皆有去除效果，木質及煤質粉狀活性碳在添加 30mg/L 及 20mg/L，可約略達到最佳效果 2.0 $\mu\text{g/L}$ ，木質在添加 50mg/L 時可降至 WHO 水質標準限值 1.0 $\mu\text{g/L}$ 以下，椰殼則隨加注量緩慢下降，至添加 50mg/L 時，可達約 2.0 $\mu\text{g/L}$ 圖 4 可以看出原水 1.0 $\mu\text{g/L}$ 藻毒濃度狀況下，3

種粉狀活性碳去除效果具有差異，煤質粉狀活性碳約添加 10 mg/L，即可達最低值約 0.5 $\mu\text{g/L}$ ，持續增加粉狀活性碳添加量無法降低藻毒濃度；椰殼與木質在添加約 20mg/L 時

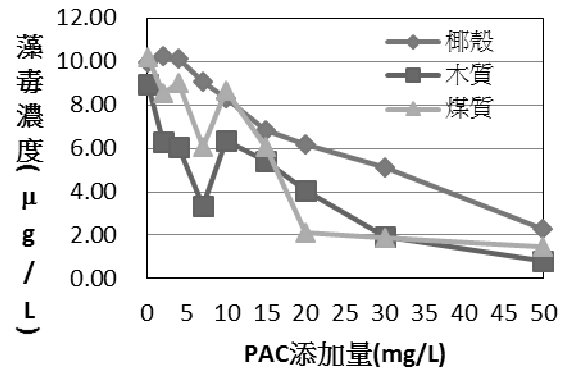


圖 3 添加 10 $\mu\text{g/L}$ 微囊藻毒原水之不同粉狀活性碳去除濃度變化

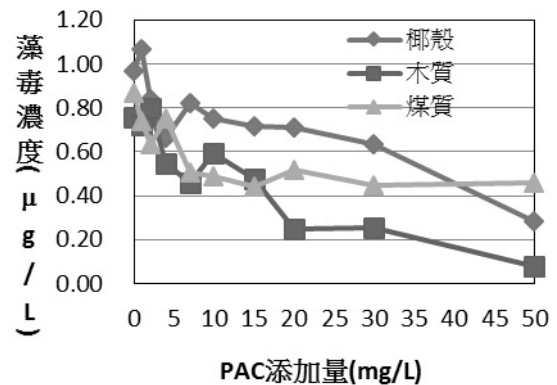


圖 4 添加 1.0 $\mu\text{g/L}$ 微囊藻毒原水之不同粉狀活性碳去除濃度變化

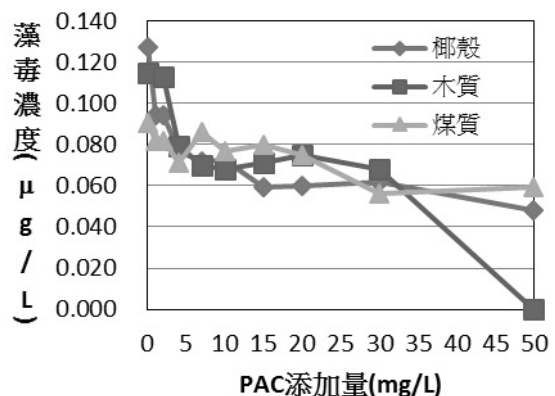


圖 5 添加 0.1 $\mu\text{g/L}$ 微囊藻毒原水之不同粉狀活性碳去除濃度變化

可達最適藻毒濃度 0.7μg/L 及 0.3μg/L，若增加加注量至 50mg/L，藻毒濃度可降至 0.3μg/L 及 0.1μg/L。圖 5 顯示原水 0.1 μg/L 藻毒濃度狀況下，3 種粉狀活性碳去除效果，在添加約 5 mg/L，即可達到最適 0.07 μg/L 藻毒濃度，若持續增加粉狀活性碳添加量至 50 mg/L，僅木質可將微囊藻毒降至 ND。

不同種類粉狀活性碳不同加注量下之去除率，椰殼質藻毒去除率隨加注量增加而漸增，原水藻毒濃度 10μg/L 及 1μg/L 狀況接近，最高去除率約可達 75 至 80%，而原水藻毒濃度 0.1μg/L，最高去除率僅可達 50%，顯示原水藻毒濃度越低去除率會越低。而木質最高去除率(在 50 mg/L 加注下)約可達 90% 至 100%，3 種藻毒濃度均相同，但在低原水藻毒濃度狀況下，在 10~30mg/L 加注量狀況，出現去除率幾乎不變，超過 30 mg/L 以上，才能顯現極高之去除率(100%)效果，煤質粉狀活性碳之藻毒去除率則隨原水藻毒濃度不同，有很大的分野，藻毒濃度越高，去除率越高。原水藻毒濃度在 10μg/L、1μg/L 及 0.1μg/L 最高去除率分別達 85%、55% 及 40%。

粉狀活性碳吸附微囊藻毒可以等 Freundlich 等溫吸附方程式(Isotherm) 式 3 表示，q 代表每克粉狀活性碳可吸附之微囊藻毒微克數，C_f 為吸附達平衡時溶液之微囊藻毒濃度，K_f 及 1/n 分別為吸附容量及強度之實驗常數。

$$q(\mu\text{g/g})=K_f C_f(\mu\text{g/L})^{1/n} \quad (\text{式 } 3)$$

去除微囊藻毒所需添加粉狀活性碳濃度 Dose(mg/L)，可以式 4 計算出來，作為加注量之參考。

$$\text{Dose}(\text{mg/L})=(C_i-C_f)/q \times 1000 \quad (\text{式 } 4)$$

式中 C_i 為待處理水之微囊藻毒起始濃度。

算出 q 值,再由式 3 兩側取自然對數如式 5

$$\text{Ln}(q)=\text{Ln}(K_f)+1/n \text{Ln}(C_f) \quad (\text{式 } 5)$$

以 Ln(q)對 Ln(C_f)作圖，範例如圖 6，斜率為 1/n，截距為 Ln(K_f)，可求得該二常數 K_f 及 n 及淨水場粉狀活性碳去除藻毒參考公式。K_f 越大，表粉狀活性碳對微囊藻毒的吸附能力越強。

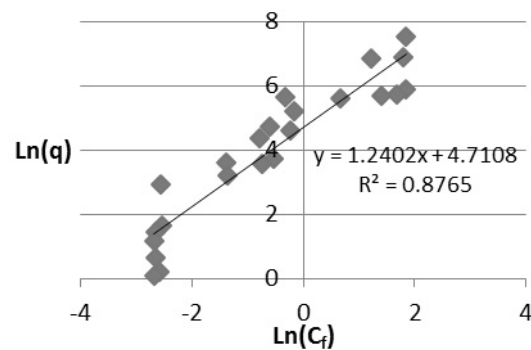


圖 6 木質粉狀活性碳吸附等溫線常數決定

3 種活性碳之微囊藻毒吸附去除加注濃度參考經驗式如表 2，依 Summers 等人(2010 年)的研究，3 種粉狀活性碳 K_f 均大於 10，去除微囊藻毒的效果都很好。吸附能力木質 > 煤質 > 椰殼，此試驗結果表可作為淨水場發生偶發性藻毒事件時粉狀活性碳加注之依據與參考。

(二)加氯氧化去除試驗結果

以長興場清水(餘氯 0.42mg/L)添加氯至餘氯約 0.80 mg/L 後，再添加 MC-LR 約 10μg/L，在 pH 值 7.5 及水溫 21°C 下，藻毒隨 CT 值降解狀況如圖 7，在此環境狀況下，微囊藻毒在 CT 值達約 40 mg.min/L，即可由

9 $\mu\text{g/L}$ 降至 3 $\mu\text{g/L}$ 左右，之後，需更高 CT 值才能由 3 $\mu\text{g/L}$ 降至 1.6 $\mu\text{g/L}$ 。添加 MC-LR 約 1.0 $\mu\text{g/L}$ ，在 pH 值 7.4 及水溫 24 $^{\circ}\text{C}$ 下，藻毒隨 CT 值降解狀況如圖 8，在 CT 值約 40 $\text{mg}\cdot\text{min/L}$ ，即可由 0.70 $\mu\text{g/L}$ 降至 0.24 $\mu\text{g/L}$ 左右，之後，需更高 CT 值才能由 0.24 $\mu\text{g/L}$ 降至 0.14 $\mu\text{g/L}$ 。若以藻毒濃度 MC/MC_0 對氯氧化時間作圖，如圖 9 及圖 10，在 pH 值 7.5、水溫 21 $^{\circ}\text{C}$ 及餘氯 0.70 mg/L 狀況下，無論較高(約 10 $\mu\text{g/L}$)或較低(約 1.0 $\mu\text{g/L}$)藻毒濃度，藻毒被氯降解至 40%，約需 60 min，降解至 20%，約需 180min。

表 2 粉狀活性碳吸附去除藻毒加注濃度參考公式

粉狀活性碳種類	加注量參考公式
椰殼	$\text{Dose}(\text{mg/L}) = (\text{C}_i - \text{C}_f) \times 1000 / (34.75\text{C}_f^{0.931})$
木質	$\text{Dose}(\text{mg/L}) = (\text{C}_i - \text{C}_f) \times 1000 / (111.14\text{C}_f^{1.24})$
煤質	$\text{Dose}(\text{mg/L}) = (\text{C}_i - \text{C}_f) \times 1000 / (66.25\text{C}_f^{1.10})$

註：Dose：粉狀活性碳加注濃度， C_i 為原水中微囊藻毒起始濃度，

C_f 為長興淨水場單元處理後最終濃度

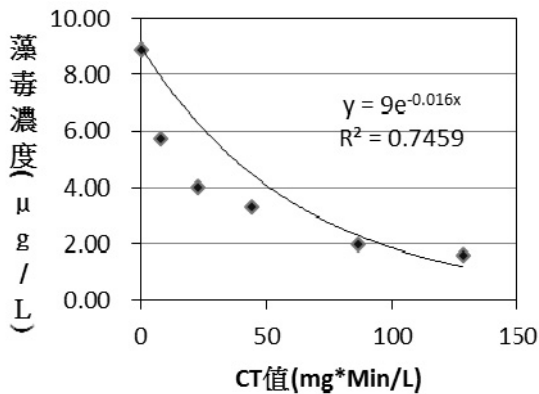


圖 7 長興場清水添加 10 $\mu\text{g/L}$ MC-LR 加氯降解狀況

(pH=7.5, T=21 $^{\circ}\text{C}$, 餘氯=0.80 mg/L)

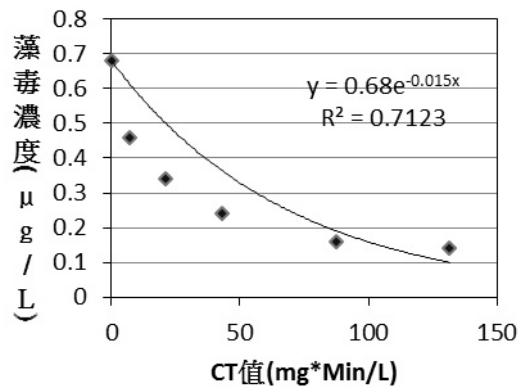


圖 8 長興場清水添加 1.0 $\mu\text{g/L}$ MC-LR 加氯降解狀況

(pH=7.4, T=24 $^{\circ}\text{C}$, 餘氯=0.8 mg/L)

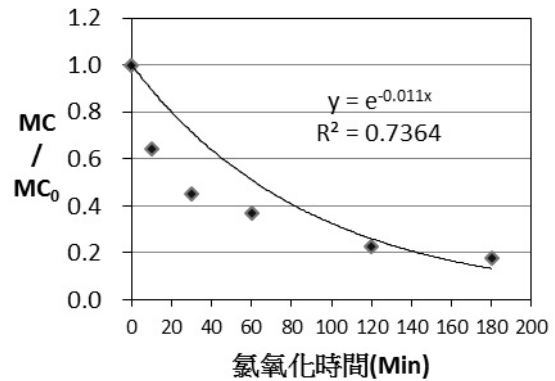


圖 9 不同氯氧化時間之藻毒降解比率

(pH=7.5, T=21 $^{\circ}\text{C}$, 餘氯 0.70 mg/L , 藻毒起始濃度 8.9 $\mu\text{g/L}$)

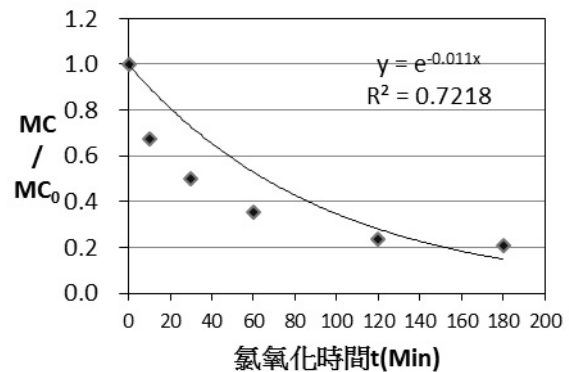


圖 10 不同氯氧化時間之藻毒降解比

(pH=7.4, T=24 $^{\circ}\text{C}$, 餘氯 0.70 mg/L , 藻毒起始濃度 0.72 $\mu\text{g/L}$)

將 MC/MC_0 取自然對數對反應時間作圖，求得假一次反應速率常數(Pseudo-first



order rate constant)，在較高藻毒濃度(8.9 $\mu\text{g/L}$)及在較低藻毒濃度(0.72 $\mu\text{g/L}$)分別為 0.0112(1/min)及 0.0106(1/min)，二者相當接近，顯示二不同濃度藻毒，在約略相同條件(餘氯、pH 值及水溫)下，加氯氧化速率是相同的。對照 Xagorarakis(2006 年)之實驗數據，在 11 $^{\circ}\text{C}$ ，pH=7.5， $\text{MC}_0=0.967\mu\text{g/L}$ 及 7.257 $\mu\text{g/L}$ ，餘氯濃度 0.9 mg/L 及 0.8mg/L，氧化速率常數均為 0.02(1/min)相當吻合。

(三)粉狀活性碳與加氯氧化去除效果比較

為瞭解添加粉狀活性碳是否影響加氯氧化藻毒之效果，於不同自由餘氯濃度(0.42 mg/L 與 0.88 mg/L)之長興清水中添加 20 mg/L 之木質粉狀活性碳，持續輕微攪拌，於不同攪拌接觸時間檢測自由餘氯，結果如圖 11，可以看出 0.42 mg/L 及 0.88 mg/L 自由餘氯清水在接觸時間 30 min 及 60 min 幾乎可被粉狀活性碳完全消耗。

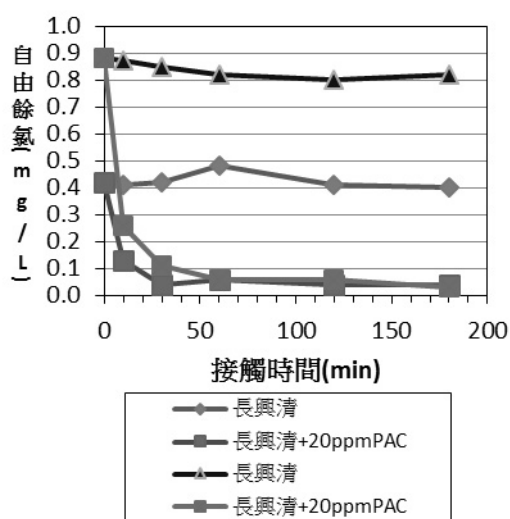


圖 11 添加粉狀活性碳時清水餘氯消耗狀況

依文獻記載，氯與活性碳反應，會在活性碳表面會生成氧化物，降低活性碳之吸附效能。以試劑水及長興清水(0.82mg/L)分別添

加 10 $\mu\text{g/L}$ 微囊藻毒及 20 mg/L 木質粉狀活性碳後，進行輕微攪拌，在不同接觸時間取出測定藻毒殘留濃度，結果如圖 12 所示，可以發現粉狀活性去除藻毒之吸附速率極快，故起始點藻毒濃度約為添加濃度 20~30%。若以單純餘氯氧化實驗數據相比，同時有餘氯與粉狀活性碳存再，對藻毒之去除具加成作用，去除效果較單純粉狀活性碳作用(試劑水)更佳，且二者去除藻毒之反應速率均比單純餘氯反應快約 4 倍；顯示如此低的餘氯(約 0.8mg/L)狀況下，粉狀活性之吸附效能明顯未為消耗餘氯(在活性碳表面形成氧化物)所影響。淨水實務上，若前氯與添加粉狀活性碳均在淨水程序最前端，須注意妥善規劃加注點址及區隔，以免氯被活性碳消耗，降低微生物去活化功效及餘氯控制困難，並提升二者於存在對溶解性微囊藻毒去除之加成效果。

結論

1. 利用杯瓶試驗結合酵素聯結免疫吸收法檢測方法(ELISA) 檢測殘餘藻毒，可模擬若淨水場原水發生藻毒時，評估現有淨水程序添加粉狀活性碳之微囊藻毒去除效果，並進行最適添加的粉狀活性碳種類之選擇。
2. 若原水中以溶解性微囊藻毒為主，則可於處理程序前端加注粉狀活性碳吸附去除之。
3. 實驗使用之市售木質、椰殼及煤質等 3 種粉狀活性碳對微囊藻毒均有去除效果，去除率隨粉狀活性碳添加量增加而逐漸增加，低濃度藻毒(0.1 $\mu\text{g/L}$ 或 1.0 $\mu\text{g/L}$)原水，

約添加 5~10 mg/L 粉狀活性碳，即可達一穩定去除效果，若要再提高去除量，必需提高粉狀活性碳添加量至 30mg/L 以上：在高濃度(10 µg/L)藻毒原水狀況下，僅木質者能將水中微囊藻毒降低至 WHO 法規標準 1 µg/L 以下，惟加注量需達 50 mg/L 以上。

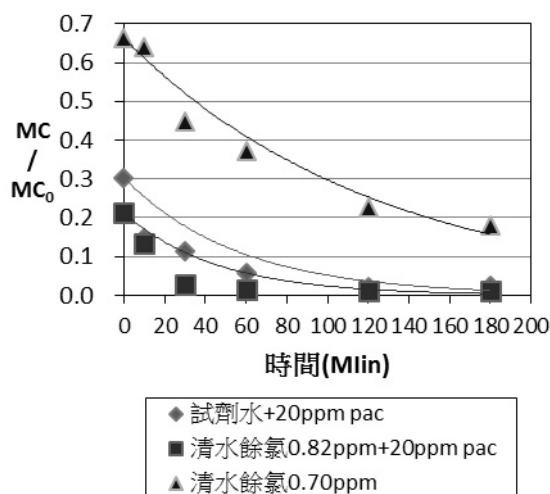


圖 12 氯氧化與粉狀活性碳於藻毒去除效果之比較與加成影響

4.3 種粉狀活性碳對不同濃度微囊藻毒原水之去除率各有不同，椰殼及媒質粉狀活性碳去除率會隨藻毒濃度增高而增加，木質者則在最高添加濃度(50 mg/L)下，不同藻毒濃度呈現約略相同之極佳(90~100%)去除率。

5. 利用 Freundlich 等溫方程式及杯瓶試驗數據，可計算出各種粉狀活性碳吸附去除微囊藻毒加注濃度參考公式，有助於淨水處理現場應變加注。

6. 餘氯氧化溶解性微囊藻毒 Microcystin-LR 是有效的，但應考慮水的 pH 值及加氯濃度，pH 值越低，反應速率越快；加氯濃度越高亦然。

7. 餘氯氧化溶解性微囊藻毒反應呈假一次性

反應，可視餘氯濃度為定值。

8. 長興場清水添加微囊藻毒試驗，求得在加氯約 1.0mg/L 及 pH 值約 7.0 之假一次性反應速率常數為 0.02 (1/Min)，相較於 10 倍加氯濃度或 pH 值約 6.0 下，反應速率低約 10 倍至 100 倍，故實際淨水程序以提高加氯濃度或增加接觸時間(t)因應，是提升加氯氧化反應速率之有效方法。

9. 相較於粉狀活性碳吸附，加氯氧化反應速率約僅 1/4，且在例常加氯濃度狀況下，自由餘氯會被粉狀活性碳消耗，但現有加氯濃度下影響粉狀活性碳之吸附效果不大，但對控制餘氯量會有影響。

建議

1. 自來水事業淨水場應將「因應藻毒事件」，納入氣候變遷重要調適作為。
2. 在作藻毒管理時，原水之監測與掌握極其重要，建議引進已日漸成熟之藻毒螢光線上偵測器(Fluorescence Probe)，透過藻藍素(Phycocyanin)之監測，掌握原水中藍綠藻滋生變化。
3. 傳統淨水處理程序去除藻毒之策略為，降低藻細胞之裂解，及進行溶解性藻毒之去除；前者以混凝沉澱為之，並儘量避免過度前氯氧化，後者則可以於水中添加活性碳去除之。建議淨水場應熟悉此項操作策略。
4. 淨水場遇原水含藻毒事件，建議採用淨水程序前端添加木質粉狀活性碳吸附去除之，並先以杯瓶試驗模擬現場加藥狀況，以 ELISA 法檢測藻毒，確認結果。
5. 實際原水發生大量微囊藻細胞狀況下，可能僅有低濃度溶解性藻毒，前氯應儘量降

低，以避免藻細胞為氯所裂解，釋出藻毒，並利用混凝沉澱予以全藻細胞去除；淨水場前端添加粉狀活性碳，與前氯共同作用於去除原水中溶解性藻毒，至沉澱單元活性碳顆粒沉降後，仍需注意沉澱汙泥中藻細胞裂解釋出之藻毒及混凝沉澱處理後殘存水中之溶解性藻毒，以氯氧化去除之。整個淨水過程，應持續注意餘氯濃度(加氯量)及濁度去除效果，並於各單元檢測溶解性藻毒濃度與總藻毒濃度，以確認去除效果。

- 6.淨水程序最前端添加粉狀活性碳，應在加氯點之後，使加氯能充分扮演消毒角色，而活性碳吸附藻毒能力儘量不受其氧化影響，沉澱單元後再提高加氯量及增加接觸時間去除溶解性藻毒。
- 7.應建立溶解性藻毒濃度與總藻毒濃度之檢測能力，以助於判斷及確認藻毒於淨水場採取應變作為時，各淨水單元之去除處理效果。

參考文獻

- 1.Harmful Algal Blooms,Algal toxins,taste,& odor , White paper , Hazen and sawyer , 2015.
- 2.A water utility manager's guide to cyanotoxins,AWWA & WRF,2015.
- 3.Recommendations for public water systems to manage cyanotoxins in drinking water, USEPA,2015.
- 4.Cyanobacteria and cyanotoxins:Information for drinking water systems, EPA-810F11001, USEPA,2014.
- 5.Guidelines for drinking water quality,WHO,4th edition,p344-346.
- 6.Gayle Newcombe,2009, International Guidance Manual for the Management of Toxic Cyanobacteria,Global Water Research Coalition, 2009,ISBN 978 - 90 - 77622 - 21 - 6.
- 7.Linda A.Lawton and Robertson Peter, 1999 ,Physico-chemical treatment methods for the removal of microcystins frompotable waters.,Chem. Soc.Rev.,28,p217-224.
- 8.Amber F.Roegner,et.al,2013, Microcystins in potable surface waters:toxic effects and removal strategies.,J.of Applied Toxicology.
- 9.Amanda Conkin,2016, Determining the effects of the coagulant,aluminum sulfate,on the adsorption of microcystin-LR on powdered activated carbon.The Ohio state University.
- 10.White paper on cyanotoxin treatment,2015, Ohio environment protection agency.
- 11.Merel Sylvain et.al. ,2010,State of the art on cyanotoxins in water and their behaviour,J.Toxicon 55,p677-p691.
- 12.Merel Sylvain et.al.,2009,Ms identification of microcystin-LR chlorination by-product, Chemosphere 74,p832-839.
- 13.Acero Juan L. et al.(2005),Kinetics of reactions between chlorine and the cyanobacterial toxins microcystins,J.Water Research 39 ,1628-1638.
14. Xagorarakis Irene et al.(2006),Inactivation kinetics of the cyanobacterial toxin microcystin-LR by free chlorine,J.of environment engineering, 132 (7),818-823.
- 15.Li Wei et al.(2012), Kinetic characteristic of oxidation of microcystin-LR at low concentration by chlorine and permanganate , J. of water supply:research and technology-AQUA 61 (2), 82-93
- 16.Yan Fan (2012) Chlorination of toxic cyanobacterial cells and their associated toxins,

University of Montreal.

17.de la Cruz Armah A. et al.(2012),The effect of sample matrices on immunoassays to detect microcystin-LR in water.J.of Environmental protection,3,p1275-1285

作者簡介

薛志宏先生

現職：台北自來水事業處水質科科長

專長：水質管理、水質檢驗、淨水處理

張美惠小姐

現職：台北自來水事業處水質科三級工程師

專長：水質管理、水質檢驗、淨水處理

張凱迪先生

現職：台北自來水事業處水質科四級工程師

專長：水質檢驗、淨水處理

王姍莉小姐

現職：台北自來水事業處水質科三級工程師

專長：水質管理、水質檢驗

黃淑珍小姐

現職：台北自來水事業處水質科技術士

專長：水質檢驗

重大職災原因與督導缺失關聯性探討

文/林明緯、呂建宏、陳信利、楊碧變

一、前言

在經濟全球化浪潮下，企業為追求國際競爭力，勞工普遍處在長工時及高工作負荷的勞動環境，職業引起或促發的肌肉骨骼、腦心血管（俗稱過勞）與精神方面的新興疾病，逐漸成為社會關注的議題；此外，隨著工商業發展，不斷引進新化學物質、新材料及新科技，加上高齡化與職場暴力對於勞動力及友善工作環境之衝擊逐漸加劇，企業職業安全衛生管理面臨了新的挑戰。因此在台灣規範勞工安全衛生的「職業安全衛生法」於 103 年 7 月 3 日實施後除了將適用對象擴及各業，保障範圍涵蓋各業受僱勞工、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外，還包含建構機械、設備、器具及化學品源頭管理制度、建立化學物質分級管理制度、強化高風險事業之定期製程安全評估監督機制及提高違法事項罰則，使國內職業安全衛生制度有很大的進步。

國內事業單位囿於人力常將其事業交付承攬，而承攬人對事業單位作業環境並不熟悉，且是臨時性工作，其所屬勞工常為非固定勞工，對作業現場危害及風險的認知及警覺性一般較低，故較易發生災害事故，究其原因之一，為事業單位交付承攬之承攬廠商素質參差不齊，因此事業單位必須建立一套可靠的承攬商之管理制度，以強化對承攬商安全衛生之管理。依據勞動部發布的「風險評估技術指引」指出，適當的執行風

險評估可協助事業單位建置完善且適當的職業安全衛生管理計畫或職業安全衛生管理系統，而且可以了解可能的危害，加以預防並將危害程度降至最低。

藉由勞動檢查機構之勞動檢查，或事業單位本身工程、工安督導或抽查，是短時間可提升承攬人安衛管理方法之一，不過「勤查重罰」往往需投入較多人力，所以對於督導抽查所發現的缺失，可與歷年重大職災發生的原因，做一關連性探究，嘗試找出疏忽或缺乏的部分，找出藏在細節裏的魔鬼，調整督導抽查重點方向，以預防職災發生。

二、研究動機

尊重生命是普世價值，因為有了生命，創造利潤才有意義，沒有了生命也將失去了應有的價值，而企業經營主要在創造利潤，欲創造利潤，必須要有生產、市場、品質、財務、人事、安全等個方面因素之配合才能達成。但是，各種生產活動必須要建構在安全的基礎上，企業才得以存續，因此，安全是企業經營必要的要件。而承攬商就職業災害賠（補）償部分與事業單位唇齒相依，甚至影響業務執行及企業形象，由此可知，安全管理對於承攬商安全衛生工作可說是相當重要，如何讓事業單位與各級承攬商的安全責任確切執行，已成為增進安全衛生之重要課題。

「職業安全衛生管理辦法」第十二條之一規定，雇主應依其事業單位之規模、性

質、訂定職業安全衛生管理計畫，並依「職業安全衛生法施行細則」第三十一條規定，執行工作環境或作業危害之辨識、評估及控制、採購管理、承攬管理、變更管理與緊急應變措施等職業安全衛生事項，都是指導事業單位建立安全衛生管理的重要依據。

根據台灣自來水股份有限公司（以下簡稱台水公司）自 97 年至 106 年 6 月底以來的災害事故統計可發現，承攬商重大職災 18 件，員工重大職災 2 件，以承攬商發生之災害件數相對較高。由此可見，承攬商對於安全衛生觀念與職災的預防上還有很大的進步空間，所以本研究藉以台水公司 106 年工安督導情形統計與 97 年迄今的重大職災事故統計進行比較、分析，並找出兩者之間的關聯。

三、文獻探討

對於本研究報告的文獻探討，首先蒐集相關法規的規定，再透過政府官方發布的指引，以及台水公司內部的管理文件，逐次審視及歸納管理，相關的參考文件如下：

(一)重點職安法規的要求

1.職業安全衛生法第 25 條

事業單位以其事業招人承攬時，其承攬人就承攬部分負本法所定雇主之責任；原事業單位就職業災害補償仍應與承攬人負連帶責任。再承攬者亦同。

原事業單位違反本法或有關安全衛生規定，致承攬人所僱勞工發生職業災害時，與承攬人負連帶賠償責任。再承攬者亦同。

2.職業安全衛生法第 26 條

事業單位以其事業之全部或一部分交付承攬時，應於事前告知該承攬人有關其事

業工作環境、危害因素暨本法及有關安全衛生規定應採取之措施。

承攬人就其承攬之全部或一部分交付再承攬時，承攬人亦應依前項規定告知再承攬人。

3.職業安全衛生法第 27 條

事業單位與承攬人、再承攬人分別僱用勞工共同作業時，為防止職業災害，原事業單位應採取下列必要措施：

- (1)設置協議組織，並指定工作場所負責人，擔任指揮、監督及協調之工作。
- (2)工作之連繫與調整。
- (3)工作場所之巡視。
- (4)相關承攬事業間之安全衛生教育之指導及協助。
- (5)其他為防止職業災害之必要事項。

事業單位分別交付二個以上承攬人共同作業而未參與共同作業時，應指定承攬人之一負前項原事業單位之責任。

4.職業安全衛生法施行細則第 38 條

本法第二十七條第一項第一款規定之協議組織，應由原事業單位召集之，並定期或不定期進行協議下列事項：

- (1)安全衛生管理之實施及配合。
- (2)勞工作業安全衛生及健康管理規範。
- (3)從事動火、高架、開挖、爆破、高壓電活線等危險作業之管制。
- (4)對進入局限空間、有害物作業等作業環境之作業管制。
- (5)電氣機具入廠管制。
- (6)作業人員進場管制。
- (7)變更管理。
- (8)劃一危險性機械之操作信號、工作場所標

識(示)、有害物空容器放置、警報、緊急避難方法及訓練等。

(9)使用打樁機、拔樁機、電動機械、電動器具、軌道裝置、乙炔熔接裝置、電弧熔接裝置、換氣裝置及沉箱、架設通道、施工架、工作架台等機械、設備或構造物時，應協調使用上之安全措施。

(10)其他認有必要之協調事項。

5.職業安全衛生管理辦法第 12-1 條

雇主應依其事業單位之規模、性質，訂定職業安全衛生管理計畫，要求各級主管及負責指揮、監督之有關人員執行；勞工人數在三十人以下之事業單位，得以安全衛生管理執行紀錄或文件代替職業安全衛生管理計畫。

勞工人數在一百人以上之事業單位，應另訂定職業安全衛生管理規章。

第一項勞工安全衛生管理事項之執行，應留存紀錄備查，並保存三年。

(二)承攬管理技術指引

承攬管理技術指引(以下簡稱本指引)主要依據安全衛生法規及臺灣職業安全衛生管理系統(TOSHMS)之要求說明承攬管理作業流程及基本原則，並提出建議性作法，作為事業單位規劃及執行承攬管理之參考。

該指引並非建立、實施及維持承攬管理之強制性作法，亦非在增加安全衛生法規及 TOSHMS 之額外要求，惟事業單位在規劃及執行承攬管理時，應先考量安全衛生法規之要求。

(三)台水公司承攬管理規定

1.危害告知暨共同作業協議組織實施要點

(TS00-03-06)：主要規定作業前的危害告知注意事項，與共同作業時，工作場所負責人或代理人的指揮、連繫與巡視等事項。包含下列幾項：

2.承攬商安全衛生輔導要點(TS00-03-05)：主要的內容大多是規定承攬商除了遵行職業安全衛生法外，對台水公司所訂定的相關規定也該確實執行。

3.危害鑑別與風險評鑑準則及危害管控標準作業程序(TS00-02-01)：針對各項機械、設備或作業可能造成人員傷害或事故，進行全面危害鑑別與風險評鑑，並檢討對安全衛生管理績效及評估其管制效果，藉以製定政策、目標，作為規劃職業安全衛生管理系統(CNS 15506)之依據。

四、資料蒐集

台水公司於 97 年成立安全衛生一級管理單位以來，對於員工交通事故類型之職業災害已有顯著降低，承攬商對於工地重複發生不安全行為及不安全環境的次數也稍有緩和，惟承攬商重大職業災害類型雖以倒塌崩塌為主，但其類型仍分散多樣；依據台水公司 97 年迄 106 年 6 月底重大職災案例統計結果顯示，不安全狀況累計次數 25 次(占 65.7%)，不安全行為累計次數 18 次(占 34.3%)，如圖 1 所示；總計 65 項基本原因，以未落實召開協議組織及未落實辦理勞工教育訓練占最高，如圖 2 所示。

對於台水公司(總管理處部分)106 年上半年工安督導情形統計，書面統計結果詳如下表 1，現場督導結果詳如細表 2。

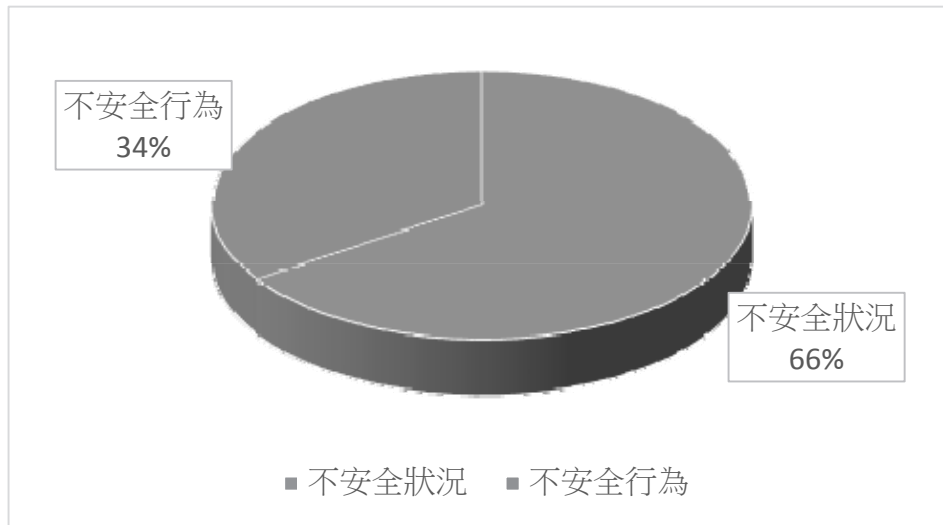


圖 1 台水公司 97 年迄 106 年 6 月底止重大職災不安全狀況、行為分類圖

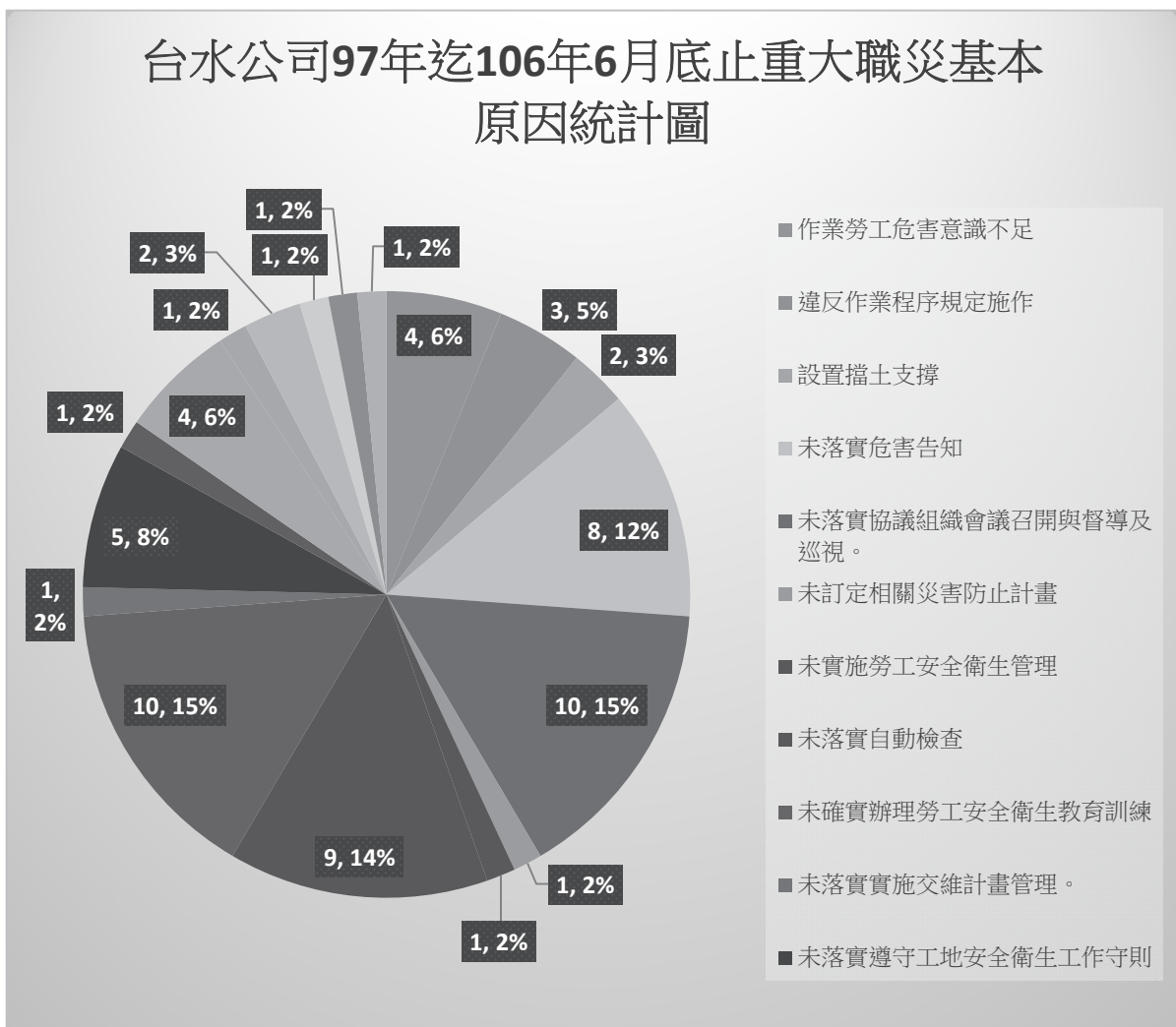


圖 2 台水公司 97 年迄 106 年 6 月底止重大職災基本原因統計圖

表 1 台水公司總管理處 106 年上半年「書面」工安督導缺失事項統計表

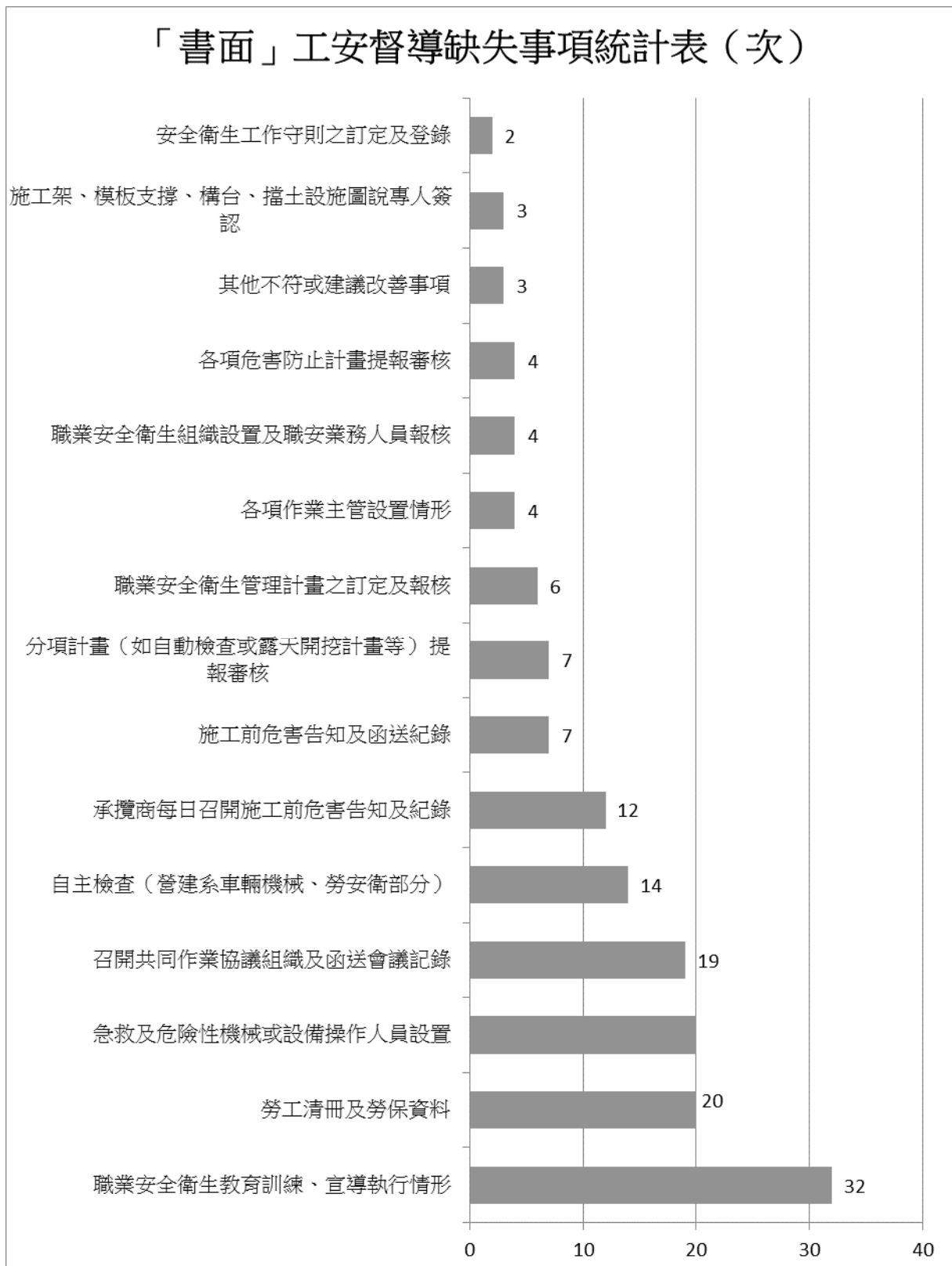
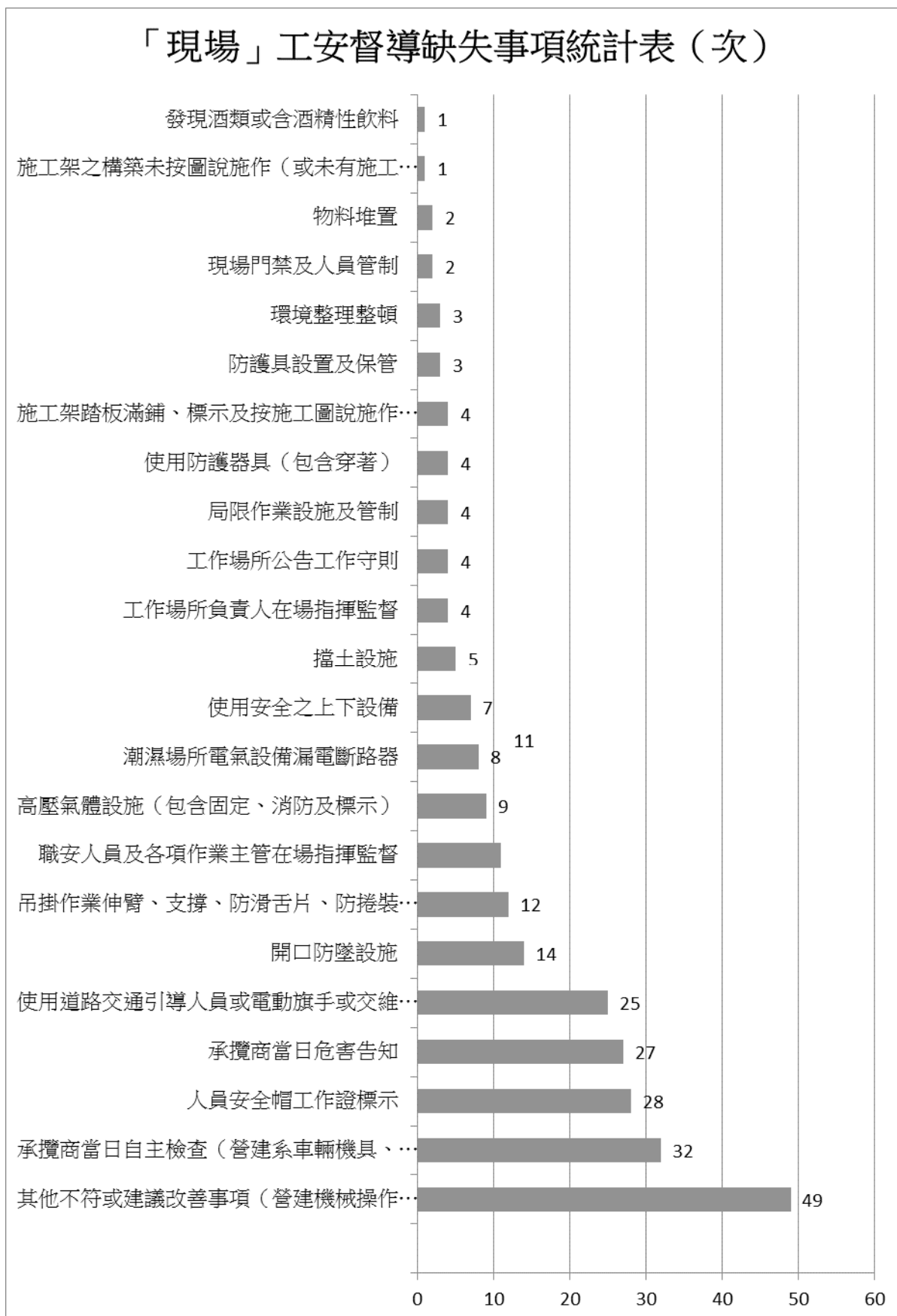


表 2 台水公司總管理處 106 年上半年「現場」工安督導缺失事項統計表



五、分析與建議

(一)重大職災與工安督導情形分析

台水公司 106 年上半年工安督導不符或建議改善事項分成「書面」與「現場」兩種，由書面的缺失統計表可知，前六個缺失項目共佔了 76%，而依缺失的次數前三項依序為「職業安全衛生教育訓練、宣導執行情形（20.25%）」、「勞工清冊及勞保資料（12.66%）」、「急救及危險性機械或設備操作人員設置（12.66%）」，即占 45.57%。

現場缺失部分，由現場的缺失統計表可知，前五項缺失項目佔了 67%，依缺失的次數多寡依序為「其他不符或建議改善事項（營建機械操作人員離開未熄火、營建機具車輛專人指揮、化學品應依 GHS 辦理標示等）（18.92%）」、「承攬商當日自主檢查（營建系車輛機具、勞安衛部分）（12.36%）」、「人員安全帽工作證標示（10.81%）」、「承攬商當日危害告知（10.42%）」、「使用道路交通引導人員或電動旗手或交維設施（9.65%）」這幾項。

我們可以看出承攬商對於職業安全衛生教育訓練、宣導執行情形較不重視，導致勞工安全意識不足且不了解自己的職責，而產生不安全行為，提高職災發生的機率，如現場作業缺失中的其他不符或建議改善事項，都可能是人員未進行教育訓練所導致的結果。

自主檢查方面，勞工常常認為自己做這麼久，沒發生過意外而疏於檢查。「莫非定律」指出只要有風險，就一定會發生，所以覺得沒問題而不去落實自動檢查，往往是職災的潛在開端，所以每次將自動檢查做確實，才能防範於未然，把職災發生的機率降

到最低。

承攬商當日自主檢查方面，多數承攬勞工可能為臨時工，安全知能不足，加上對承攬工作場所不熟悉，承攬工作本身又多为較髒亂、辛苦和危險的產業，如不進行當日的自主檢查去提醒勞工當天的施工可能的危害因子，這些危害因子可能會產生的災害，一般承攬勞工在危害意識不夠的情況下，常常會不自覺的做出不安全的行為，或使自己暴露在不安全環境之下，導致災害的發生。

本研究探討台水公司 97 年至 106 年 6 月底止重大職災之不安全行為及不安全狀況統計次數發現，不安全行為占 36.1%，而不安全狀況占 63.8%，與一般認知以為不安全行為占 80%之比例不同，此部分建議可以再持續觀察追蹤。

(二)重大職災原因與工安督導情形關聯性

基本原因通常指雇主對於工地管理上的缺陷，也是造成職災的根本原因，因為管理階層不重視，容易讓底下的勞工也不重視，造成人員的危害意識、安全觀念不足而導致不安全行為和不安全狀況的出現，如不安全行為和狀況分別為「使用未經訓練合格人員操作」和「未使用合格之機械」的話，只要改善基本原因，落實自動檢查就能發現不合格的機械並實施教育訓練來訓練合格的操作人員，便能將災害風險降到最低，所以找出重大職災的主要基本原因，進而藉由管理手段消除或取代風險，亦是降低職災發生有效方法之一。

由基本原因統計表可知，台水公司 97 年迄 106 年 6 月底重大職災的基本原因，最多的是「未確實辦理勞工安全衛生教育訓練」及「未落實協議組織會議召開、督導及

巡視」，各 10 次，再其次是「未落實自動檢查」為 9 次和「未落實危害告知」，各為 7 次。

在這些統計中，未確實辦理勞工安全衛生教育訓練為最大的原因，而教育訓練的目的在於建立勞工安全的工作態度，包括了解公司政策、規定、作業危害預防及管理、事故通報等，主要在於避免勞工因教育訓練與認知不足，而不自覺的曝露於危害之工作環境，因而發生意外遭至身心重大傷害。由於現今交付承攬業務越來越多，且專業技術工作分包出去，多數承攬勞工可能為臨時工，如安全教育訓練未落實完全，會令勞工對於現場的危害因子和災害類型不甚了解且對危害預防毫無概念，導致出現未配戴防護具和安全帶、電線破皮或未接地等等不安全狀況的發生。

另事業單位與承攬人共同作業應設置之協議組織會議召開是相當重要的，如此才能與承攬商、再承攬商協調，分配每分項工程的工作項目和各自的責任，提高各工種間的溝通與連繫。落實督導及巡視才能當場發現勞工可能出現的缺失、環境可能產生的危害，減少災害的發生。

未落實自主檢查和危害告知也是兩個佔比較多的職災原因，在督導缺失上，這兩項也佔了相當大的比重。自主檢查的目的在於以經常性檢查的方式，在事先發現缺失，並加以改進及採取必要措施，以有效的防止職業災害發生。除了發現並改進不安全或不衛生設備、環境外還可經現場狀況反推驗證自動檢查是否有效、切實，但如承攬商之自主檢查未落實，勞工可能操作到不合格、故障的機械設備，或是使用到已損壞的安全防

護裝置，導致職災發生的機率大為提高，畢竟檢查是「預防勝於治療」的概念，作業前實施檢查，不僅能夠事前發現缺失也可以提早避開危險，並使作業能夠順利運作減少不安全狀況的發生。

危害告知的目的在於提醒勞工工作可能遇到的危害物質和災害類型，讓勞工能事先知道並加以防範，同樣也是「預防勝於治療」的概念，畢竟承攬勞工大多可能為臨時工，確實落實危害告知才能將災害發生的機會降到最低。

由上述可知，工安督導所發現的缺失大多集中在幾個項目上，也幾乎是一般公共工程都會有的常見缺失，而這些缺失又與職災發生時大多基本原因相符合，利用職災原因和工安督導缺失之間的關聯性分析，我們可以進一步發現要改善職災發生時的重點問題，跟劃分風險等級一樣，由最嚴重的缺失進行改善，將會提高承攬商對安全衛生的警覺，並有效的防止下一次事故的發生。

(三)建議事項

1. 每年持續藉由工安督導(抽查)的結果與職災原因進行分析，不斷持續進行滾動式檢討，找出重點改善的事項，對源頭進行管制，應可有效降低職業災害的發生率及嚴重度。
2. 從工安督導統計資料可以發現承攬商對於安全衛生常見缺失事項不斷重複發生，究其原因可能承攬商勞工輕忽安全的重要性，經過積極督導後卻仍未改善者，建議可加強勤查重罰，對重覆違反事項加重罰款，甚至祭出停工處分，以提高承攬商對職業安全衛生的重視，降低危害及風險。
3. 對於職業安全衛生教育訓練可以建議承攬

商建立統一執行表單的模式，新進人員一律接受教育訓練後才可以上工，勞工統一定期於同一時刻接受訓練，降低未受教育訓練勞工的比例，增進勞工的危害意識，形塑事業單位的安全文化，從根本解決災害發生的原因。

- 4.利用檢核表進行自動檢查的檢核，能夠比較有系統地對工地安全衛生管理進行複查，但對於勞工可能會敷衍了事隨意勾選，為解決這樣的問題，承攬商工作場所負責人或其代理人應進行不定時的抽查，檢查檢核表與實際情況是否符合。
- 5.透過每天施工前實施危害告知，核對與協調當日各工種介面問題、門禁管制、安全衛生、品質管理之要求，透過這樣的方式，讓勞工了解當日的施工工項、危害因子和預防措施，達到防範職災發生的目的。
- 6.運用走動管理的方式，到現場巡邏，隨時發現不安全狀況與承攬商勞工的不安全行為，當場矯正改善並紀錄回報，經過不斷的巡邏抽查，可以使承攬商員工隨時保持警惕的狀態，並將安全觀念慢慢內化吸收，提升其的安全知能，有效的降低災害的發生。
- 7.訂立承攬商安全衛生評比制度，將優良的承攬商公告各區處及工程處，並建立優良廠商實質獎勵機制，對於不良之廠商進行懲處，透過一系列的正刺激與負刺激，引導相關人員正視安全衛生問題，提升安全文化素養。

六、結論

- (一)利用工安督導查核的方式，依據督導項目找出承攬商一再重複發生的缺失並進

行管理，降低風險，保障承攬商勞工也保障原事業單位。

- (二)避免職業災害除對承攬商進行承攬管理之外，對承攬商輔導其員工的教育訓練也是相當重要，規劃完善的教育訓練課程，提高承攬商員工之職業安全概念，才能從根本減少災害發生。
- (三)了解職災原因與工安督導缺失之間的關係，找出最主要的問題，才能在有限人力與資源下，有效率且有效的預防下一個職業災害的發生。

參考文獻

- 1.風險評估技術指引
- 2.承攬管理技術指引
- 3.台灣自來水公司危害鑑別與風險評鑑準則及危害管控標準作業程序
- 4.台灣自來水公司形塑安全文化研究
- 5.自來水公司危害告知程序
- 6.自來水公司承攬商輔導要點

作者簡介

林明緯先生

現職：中山醫學大學職業安全衛生系四年級
專長：職業安全衛生管理

呂建宏先生

現職：台灣自來水公司工安環保處工程師
專長：職業安全衛生管理

陳信利先生

現職：台灣自來水公司工安環保處組長
專長：職業安全衛生管理

楊碧嬾女士

現職：台灣自來水公司發包中心中任
專長：營業管理、職業安全衛生管理

較高池牆採一次澆築(不分層)增加水密性之施作 工法探討(以湖山淨水場為例)

文/王振南、廖純章

一、前言

一般水池構造物，因功能之需求需特別注重水密性之性能，但影響水池之水密性因素甚多，除使用的混凝土材料、模板繫結材施作方式…等因素外，混凝土之施工品質可能為影響最大之因素，諸如澆築作業、混凝土搗實、混凝土養護、新舊界面處理及止水帶安裝等工程項目之施工品質，均會造成池體水密性的優劣。

一般混凝土因澆置高度大於 1.5 公尺以上時，易造成混凝土粒料分離之現象，為避免此問題，實務上均會採分層澆置，且各層之間施作施工縫之方式辦理。然而越多的施工縫，在日後將造成越多的漏水可能，且常常止漏後短期有效而無法維持較長期限。

為克服前述之限制，湖山淨水場池牆於混凝土澆置時，將混凝土泵浦壓送車的管尾，捨去傳統的軟管（如圖 1、2 所示），並改採用剛性之 4 吋鋼管（如圖 3、4 所示），並於灌漿時，將 4 吋鋼管插進池牆內之灌漿面下，於灌漿過程中再視澆置面的高度，將鋼管逐漸往上移動。



圖 2 一般澆置採用之軟管澆置情形



圖 3 以 4 吋鋼管伸入池牆澆置情形



圖 1 一般澆置採用之軟管澆置情形



圖 4 以 4 吋鋼管伸入池牆澆置情形

二、湖山淨水場案例說明

雲林地區因長期取用地下水，已導致地層下陷問題嚴重及水源水質日漸惡化而需停用，區內可用取水量已不敷供水之需求，未來供水缺口將持續擴大。而為解決雲林地區未來成長用水，藉由經濟部水利署之湖山水庫與集集攔河堰水源聯合運用供水，經既設林內淨水場及湖山淨水場處理後，以地面水替代使用之地下水。

湖山淨水場位於雲林縣斗六市，淨水場佔地 46.6 公頃，主要設備有原水調節設備、40 萬 CMD 淨水處理設備、廢水處理設備、清水池 3 萬噸 4 池（容量共 12 萬噸）、管理樓、備勤房、加藥房、發電機房等建物。其中原水調節池、清水池、沉澱池、上澄液回收池、廢水調勻池等之池牆高度均為 5 公尺以上。

湖山淨水場新建工程之契約工期為 700 日曆天，工程初期，承攬商將較高之池牆，以分層澆置之方式施工，除需增設施工縫（施做止水帶），亦增加一次混凝土澆置之次數，且部分混凝土完成面因澆置時落下高度較高造成粒料分離而導致蜂窩現象（如圖 5 所示）。後續池牆施工常因此類之施工品質問題需再增加人力物力改善；經檢討後，此施工方式除增加施工成本外也較耗時。

為縮短池牆之施工期程及增加施工品質之原則下，監造單位研究一般業界對於前述問題之決解方式，並詢問實際採用 4 吋鋼管澆置之工程相關人員，經與承攬商檢討後，決定將池牆施工改採一次澆置方式施工，以減少施做施工縫及澆置之時間，而對

於混凝土粒料分離之現象，改採以剛性之 4 吋鋼管澆置方式決解，而改採此方式澆置之池牆，混凝土完成面（如圖 6、7 所示）較分層澆置且自然落料之方式，確實有較佳之完成面，且減少 1~2 道施工縫，亦實質地增加水密性。



圖 5 清水池池牆未以 4 吋鋼管澆置產生之蜂窩現象



圖 6 原水調節池池牆以 4 吋鋼管一次澆置之完成面



圖 7 清水池池牆以 4 吋鋼管一次澆置之完成面

三、4吋鋼管之適用性

(一)水池池牆牆厚：澆築水池池牆時管尾改採用 4 吋鋼管(直徑為 10 公分)，因此，對於澆置之池牆厚度需有足夠之空間，使鋼管可以伸入未澆置之池牆中，以本案為例，池牆厚度為 50 公分，扣除二側保護層厚度、主鋼筋及副筋寬度等（兩側保護層各 7.5 公分、主筋採 $\phi 25$ ，副筋 $\phi 16$ ），池牆中間之淨間距尚有約 27 公分寬度，此空間足夠使鋼管伸入澆置混凝土，且有較大緩衝空間，讓鋼管於施工中不拉扯到鋼筋及預埋物，建議採用此工法之池牆厚度為 50 公分以上為宜，最小亦不可小於 40 公分。

(二)水池池牆高度限制：混凝土澆築時所採用之 4 吋鋼管為製式規格品，一般而言，鋼管長度分別有 5 公尺及 3 公尺長等之規格品，實務上建議，池牆澆置高度 2.5 公尺至 6 公尺可採用 4 吋鋼管澆築混凝土；至於 6 公尺以上的池牆澆置，因需鋼管續接才能達到所需之長度，而續接處會有管夾設備，且該處寬度較管徑寬，於混凝土澆置時，需特別注意於上下移動鋼管，管夾處較容易勾到或碰撞到鋼筋或預埋物，因而造成鋼筋變形或預埋物脫落。

(三)混凝土粒料及坍度限制：實務上，混凝土之粗粒料與一般要求之粒徑大小即可，但混凝土坍度不可過低，以避免管塞現象。

(四)欲澆置構造物內無過多之預埋物：若結構物內有較多之預埋物構件，且影響 4 吋鋼管伸入澆置時，建議改採其它方式

澆置。

四、池牆澆築時採用4吋鋼管與一般軟管之比較

項目	4 吋鋼管	一般軟管
工作性	鋼管為連接壓送車鋼管上，故無須管尾操作手搬運，且管尾震動較小，操作手僅需控制鋼管位置，並避免伸入池牆時，碰觸到鋼筋及預埋物。	軟管之管尾震動較大，管尾操作手需隨時控制及固定出口端且有時塞管突然噴出時，有較高甩尾危險。另軟管無法伸入牆中過深。
池牆厚度	因鋼管需插入池牆內，建議池牆厚度大於 50 公分以上。	至少 20 公分以上。
池牆高度	配合鋼管之長度，一般建議 2.5 公尺至 6 公尺間。	適用 2.5 公尺以下之池牆，且需避免澆置落差過大，造成粒料分離。
水密性	因澆置高度可達 6 公尺以上，可減少分層澆置之情形，因而降低滲水機率。	澆置池牆之高度僅 2.5 公尺，若於較高之池牆需分層澆置及增設止水帶，其滲水機率較高。

五、採用4吋鋼管澆置應注意事項

- (一)池牆鋼筋淨間距應足夠讓鋼管伸入，且鋼管儘可能不碰觸到鋼筋。
- (二)鋼管僅能上、下移動，勿左右橫移，避免損壞池牆內之預埋物或模板連結器。
- (三)混凝土坍度不可過低。
- (四)混凝土泵浦壓送車連接 4 吋鋼管處，建議使用軟管對接(如圖 8)，此方式可讓鋼管自由垂下，且較垂直易於插入，且上下移動鋼管時，較不易碰撞到鋼筋。

(五)鋼管長度不建議搭接過長，避免管尾過重，造成混凝土泵浦壓送車之舉臂過載或管夾設備損壞。

(六)澆築時，仍需有管尾操作手控制鋼管位置，並避免過大的晃動及碰撞，且需上、下反覆移動。



圖 8 以軟管對接 4 吋鋼管

六、結論

於池牆澆置時，改以 4 吋鋼管代替傳統之軟管，可避免混凝土粒料分離，因而可讓池牆採不分層施作，減少施工縫，降低漏水機會且同時亦可減少蜂窩現象，改善水池池牆之水密性，後續水池池牆混凝土澆置時，若可達以 4 吋鋼管澆置之條件，建議改採此工法，以增強施工品質及池體之水密性。

作者簡介

王振南先生

現職：台灣自來水公司中區工程處工程師兼主任

專長：土建工程、淨水場施工管理

廖純章先生

現職：台灣自來水公司中區工程處工程員

專長：土建工程、淨水場施工管理

供水管網維護防災工作無間斷 — 西區營業分處保水直飲全天嗡嗡

文/石明憲

一、前言

自來水事業雖是相當傳統的行業，但筆者自 89 年任職臺北自來水事業處(以下簡稱北水處)以來，每天感受的是久經考驗的良好硬體架構，配上最新的機電傳訊設備進行水處理，產出的是質優量足的民生用水，以及效率、全面的服務品質，簡單說一切公務須以達成直飲、效能、永續的台北好水前進。

筆者於 102 年至北水處西區分處修漏股任無水班長，須偕同同仁及技術士至無/缺水用戶社區間穿梭，爆管的幹管周邊啟閉閘栓，全年 365 天隨時留意手機及電腦螢幕，以在第一時間處理水壓水質問題為工作重心。

自來水法第 62 條規定：「自來水事業對自來水用戶應經常供水，如因災害、緊急措施或工程施工而停止全部或一部供水時，應將停水區域及時間先通告周知，…」。基此，自來水事業對用戶有穩定供水之義務，然

而，基於管線及設備老舊，施工挖損自來水管線等內、外在因素，均可能導致用戶造成無水，此時，如何用戶快速恢復供水，成為自來水事業漏水搶修部門當務之急。

本篇係以這近 6 年的修漏股生活為報告標的，試著濃縮為 1 日間的緊張步調，讓社會各界了解自來水事業下各部門的運作狀態，也留下處理修漏無水的經驗以提供同業交流。

二、典型的一天

北水處的 5 處營業分處，均設有給水、修漏、抄表及服務 4 股(陽明分處因屬地特性加設溫泉股)，其中賦予修漏股的任務是維護管網運作正常、確保質優量足的民生用水。有別於同屬工程股的給水股，係屬新設、大區塊管網改善的任務，修漏股業務顯出複雜、緊急、多面向的特性，如圖 1 的工作任務架構所示，典型核心的任務就是提供直飲的台北好水。

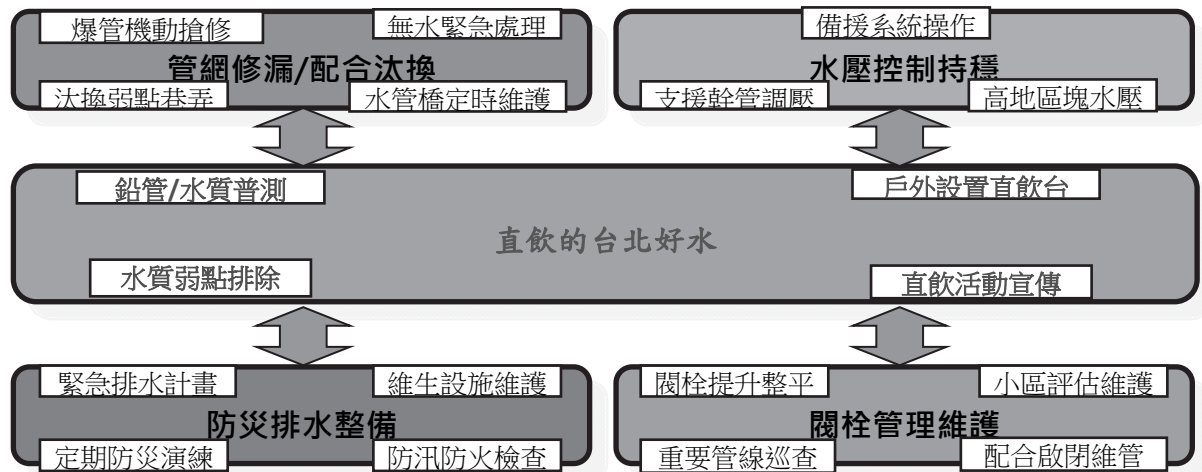


圖 1 現階段修漏股工作任務架構圖



(一)直飲台北好水

最基本的服務目標，是必須確保自來水水質隨時符合環保署主管的飲用水水質標準，修漏股的主要職能是維護、改善，以預防重於緊急動員為最佳運作策略，受命在第一線進行初步篩測(普測)、取樣提供水質科檢測(鉛管戶採水樣)，並迅速排除水質問題，無時無刻提供安全衛生的民生用水。為了更進一步提供優良的飲水保證，自 88 年起即推廣直飲，101 年起推動「台北好水服務」協助建物內直飲，更進一步於 103 年開始在戶外廣設直飲台，在原 88、89 年設置飲水台於學校、捷運站、大型公園的基礎上，北水處計畫於 107 年底前在臺北市公共場域廣設 462 座直飲台。

由於是管網直接取水不需再過濾處理即可飲用，北水處在區域水壓水質的維護工作上早已備戰，首先是除了原以管網設置自動連續監測設施的水質監控架構，103 年起每月增加進行不定點不定時的水質普測工作，更具挑戰性的，自從 104 年底發動緊急汰換鉛給水管以來，前數月的密集勘查採樣業務，更是在西區分處內老舊社區如火如荼展開，目前隨著鉛管迅速被汰換，每季仍然須配合環保單位採集水樣做雙重比對，這重心都落在修漏股的肩上，可謂艱鉅。

(二)推廣直飲活動

以上尚屬北水處內部的品質保證工作，為了向民眾宣導北水處供水已優於國際水準且符合法規，在公共場所設置直飲台即有政策宣導的效果，北水處不定期所推出款式新穎的直飲台，如圖 2，即取材自既有管件的優美曲線，在推動初期設置於公園的固定式直飲台，但基本上須經過勘查公園、會

勘、設置、水質檢驗合格後再點交代維管單位就會成為重要工作。更為了主動出擊，配合重要活動例如 2017 世大運、臺北燈節以及親水節，辦理期間設置移動式直飲台又是修漏股全體動員的大事，基本動作就是勘查會場、會勘協調相關單位、鋪臨時給水管設置直飲台、水質檢驗合格後再日夜排班巡查維護台面清潔及水質，每樣都是為了北水處的形象提升而努力，絲毫不得馬虎懈怠。

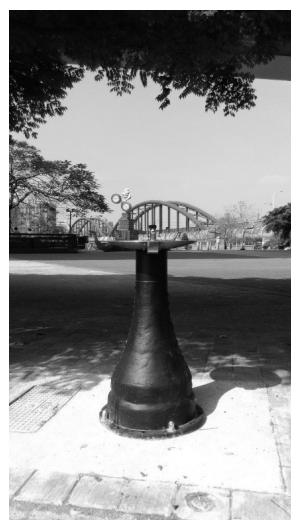


圖 2 取材自有管件造型設置固定式直飲台

三、瞬息萬變的每一天

北水處的工作重心如上所述是以提供「直飲的臺北好水」為標的，前面也說明修漏股在平時的一天如何去維護及宣導安全的飲用臺北好水，但是西區的漏水潛勢因舊市區而處劣勢，當不可預期發生無/缺水狀況或爆管須搶修時，永遠都立即提升為修漏股的緊急處理要務，上述的平日工作反而變成找空檔完成的次要，當然還是須如期如質完成。而修漏股的緊急事件需要每天隨時都在待命中，可能晚上，甚至假日，印象更深刻的是颱風豪雨尚未離開前的緊急出動排水，個中滋味在在讓參與者覺得患難與共，

但隱隱驚恐，以下就 6 月間的某日，上下午均發生緊急狀況帶隊出動的歷程紀錄來分享，發生緊急狀況到現場後總是先排除危險，全力停止惡化或補充臨時供水後，下階段即分數日展開如圖 1 內 4 角列示的改管或其他善後工作來說明修漏股的各種重要業務。

(一)環河南路 3 段不明雨水管漏水修復

106 年 6 月 26 日上午西區分處執行例行閘栓巡查，發現位於萬華區環河南路 3 段 161 號前之地上式消防栓出水壓力不足 0.7 kg/cm^2 ，因該栓位於配水管旁，顯然有異，且前後之消防栓出水壓均為 1.0 kg/cm^2 以上，判斷疑似漏水。

本案移由修漏股之無水檢測小組人員至現場檢查，先行至聽漏並巡查附近側溝內

是否有異常水流。訪查周圍住戶時表示晚間德昌街路中央有異音，隨即請技術士掀開雨水渠人孔蓋(如圖 3)，經確定通風正常後，進入渠中觀察，並發現圓形涵渠之接頭錯位處，噴出大量清水，經取樣檢測餘氯，判定為自來水，惟未發現渠中有相關給水管線，原擬另行移夜間檢測或逕行開挖。

但當人員撤除消防栓之水壓表時，發現該栓有些微鬆動，勘查該路口貨運車輛出入，研判極有可能經長期擦撞後鬆動漏水，為積極防止水資源大量漏失，避免路基流失，先行關閉栓前閘，再下渠道中觀察，縫隙中排水立即降減流量，隨即確定渠中漏水與該栓有關。



圖 3 萬華區德昌街口渠道內漏水探測及修復過程



儘速調集重機械開挖發現消防栓下之平口接頭已裂開並鬆動，並因漏水沖蝕致路面下掏空，周圍路面已見龜裂，為防塌陷立即指揮工班開挖修復，同時避免再受撞損，現場已更換為地下式消防栓。

修漏股續通知水利局儘速修復已錯位之涵渠，避免地面路基流失。本案經修復後，該區域之流量及水壓已恢復正常(約 1.0 kg/cm^2)，若以 150mm 管徑，破損約 75mm 開口計算損失水量為 750CMD，則半年間已損失 $136,875\text{M}^3$ ，大量節省了民生用水。

(二)中和區景新街廢棄管斷除無水修復

就在上午確定環河南路的渠道漏水點後，下午隨即接獲中和區公所之人行道更新廠商通知，景新街 447 號前側溝旁發現 1 支 100mm 自來水管接頭漏水造成工地無法施

工，修漏股即派員關閉制水閥修漏，記得當日下午 3 時中和地區大雨，景新街配水管位於人行道下方，且因人行道及側溝工程施作，回填及重機具隱蔽部分開關，本分處同仁至現場冒雨協助承商擴大範圍關水搶修。

經查閱圖資，研判該橫越景新街管線應為原工業區內舊管，圖資未移交且已無供水功能，俟關水完成後，即深入雨水涵渠斷除封管(如圖 4)，爾後不致阻礙兩排水流動。

惟隔日距離斷管處 50 公尺外之忠孝街 137 號附近(如附圖 4)，短時間內發生 5 起無水案，研判應與昨日斷除景新街之 100mm 管線有關，因已有無水戶在大街上指責側溝工程單位，並要求儘速供水，為免事態擴大，修漏股先行將該廢棄管接回供水，因忠孝街

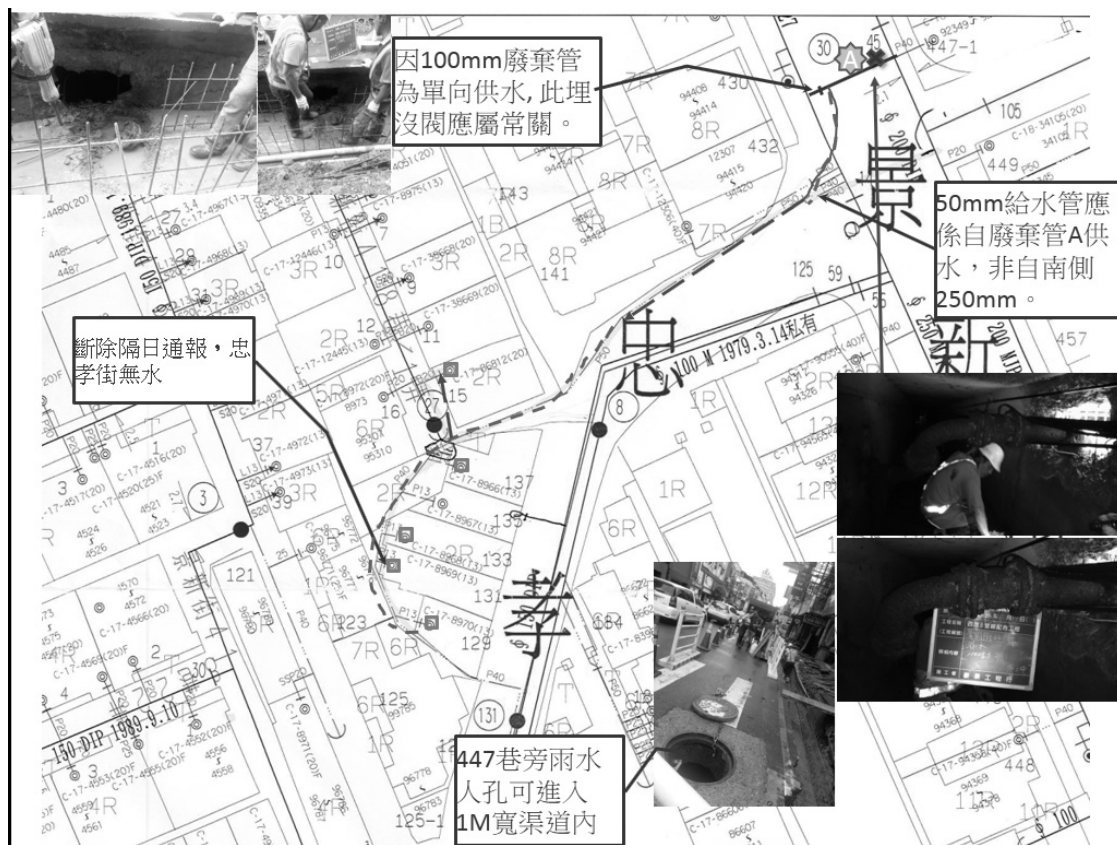


圖 4 中和區景新街斷除廢棄管衍生遠處無水案之處理

已辦理管網汰換工程，惟當時無水戶拒絕接受水表移置屋前相關協調，且後巷(防火巷)兩端通道封閉不易汰換，考量連接景新街及無水巷弄兩端之老舊 PVCP 過長易漏水，有必要改接至鄰近後巷之景新街 418 巷 1 弄內之 150mmDIP。

因無水戶之後巷封閉，修漏股 2 度派員與占用戶溝通，移置雜物，並於同意後由工班在狹窄空間內探挖水表前 50mmPVC，終於尋獲後另行以 SSP 連接至鄰近配水管。

確認各戶復水後，再指揮工班回到景新街 447 號前進入涵渠內再斷管廢棄無功能管線，避免妨礙水流，全案就此告結，完成了斷除無功能給配水管之任務，且供應安全衛生且水壓穩定的自來水。

(三)抽絲剝繭、演練再演練

以上擇要濃縮修漏股緊湊的 1 天，也說明了圖 1 中各工作架構的關聯與運作必要

性，修漏監工前幾年的培養就是建立管網修漏及配合汰換相關工程職能，配合平時即交辦承商及技術士巡查幹管沿線其他單位工程以及檢查閘栓，並且長久以來以 APP、報表作定量管理，防患未然防止遭挖損破管，或在搶修時能掌握時效，轉而讓巷弄管網汰換期間，得以關閉止水無礙的基礎。

工欲善其事，必先利其器，現在因北水處人員精簡，用最少的人迅速有效達到緊急防災的要求，已經是長期的課題，修漏股就好像快打部隊，平時維護基本的止漏工具、無水供應便利盒以及維生取水設施，依據歷年經驗編定的「西區分處因應高濁度排水計畫」(如圖 5)，以及區公所防災公園開設定期演練，配合維生取水站測試供水功能，如此這般經年累月的在轄區內穿梭檢查、演練，才得以在承商尚在備料施工前先行現場動手止漏，不慌不亂啟閉制水閘減少停水範



圖 5 西區分處因應高濁度排水計畫安康地區實施地點配置圖

圍，更能在颱風豪雨過後，濁度升高停水期間已在轄區各地備好取水架、供水桶提供緊急用水；更厲害的是開始復水同時，為避免輸配水管網減壓不滿管過久，復水後又經異常之水流沖刷，剝離管垢污染擴散，依平時演練即在颱風後段還未離開前，動員在加壓站一定距離之消防栓排水觀察水質，循著水壓增加之方向，移師到沿線管網末端排出髒污，使污染到家戶用水發生率為零。

四、結語

(一)經驗傳承

北水處將於 107 年 1 月 1 日起整合給水股、修漏股的業務，改組為工程一、二股，執行原 2 股的管網汰換、給水安裝及無水/修漏等一貫業務，期使工程行政流程更趨一致，惟同仁間對於兩股工程業務性質勢必充分適應且即刻上線，保持有效率且提升服務品質的目標。

修漏股的工作需現場經驗累積才能增加判斷的準確度，因經驗豐富的技術士穩定在分處服務，建議工程師虛心請教，將可在充分協助下將閥栓覓測操作、水壓分布、無水緊急供應、水質潛勢區相關之事件處理提供寶貴的資訊，解決現場問題如虎添翼。

(二)工欲善其事，必先利其器

修漏股班長的任務有別於執行年度修漏、配合工程，但就好像助理監工，定期彙整施工成果，提供現場臨時需求，上級臨時交辦非經常性任務，常需班長先行協調，並帶領技術士或工班逕行施作，可能每單件業務是簡單、短期性質，但是短時間多樣、圖資需搜尋、多介面的交互作用下，要圓滿達

成任務就需細心、耐心、溝通與經驗等平時累積的知識運用，才得協助股長處理每日長時間緊張的業務。

無水班長每天連睡覺都得拿著的工具就是手機，這吃飯傢伙除了隨叫隨到的功能外，還搭載數十個 LINE 群組、管線圖資、轄區水壓水質即時數據，每天聯絡各分處及監控、客服中心同事、股長最多，而承商工班、里長、路權機關以及管線單位亦不在話下，但是以上充其量只是分攤了股內細瑣的工作，以及來自承商的討價還價、用戶的無水抱怨、民意代表的協調要求、橫向合作單位的業務配合，就為大眾服務精緻化而努力吧！

為了到現場後迅速處理、回報狀況，隨車需帶工具非常多，長短尺寸帶齊且樣樣勘用，時時保養，才能在緊急狀況時發揮功能。而在現場為了掌握水壓、水質變化狀況，除了工班間用電話、無線電通聯外，辦公室提供新舊圖資比對及固定點水壓即時及歷程分析更屬必要，否則水在地下流，現場工作簡直半瞎狀況不易掌握，甚至請處本部的監控中心提供管網水質水壓及加壓站操作數據，都是解決狀況、精益求精的必要手段。

參考文獻

1. 臺北自來水事業處，「106-107年策略地圖推動」，105年。
2. 臺北自來水事業處，「西區分處因應高濁度排水計畫」，104年。
3. 游叡研、李中彥，「利用歷史圖資研判斷除不明管線之案例分享」，自來水會刊第33卷第1期，103年。

致謝

本篇記錄工作有賴於修漏股李中彥股長近年帶領股內同仁進行資料蒐集、現場研判並積極完成任務，方得有珍貴素材呈現。

作者簡介

石明憲先生

現職：臺北自來水事業處西區分處三級工程師

專長：自來水工程設計、施工、淨水處理工程。

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，取累積分數較高之論文，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審議通過後實施，修訂時亦同。