



白

來

水

第21卷 第2期 (82)

中華民國九十一年五月



澄清湖淨水場增設高級處理設備示意鳥瞰圖

WATER SUPPLY QUARTERLY

Volume 21 NO.2 May 2002

Water Works Association of the Republic of China (Taiwan)



9 771025 768008

自來水會刊第二十一卷第二期⑧目錄

每期專題：

- 高硝酸鹽氮地下水源脫硝之研究江弘斌、洪世政 3
- 電場膜離生物反應器技術處理硝酸鹽之研究洪仁陽等四人 ... 18

實務研究：

- 自來水主要管線材料之耐震特性與改善探討蔡錦松等四人 ... 25
- 利用粉狀活性碳降低消毒程序中總三鹵甲烷的生成 ...黃 智等三人 ... 36
- 高級淨水處理設備個案採購原則簡介.....李丁來等三人 ... 46

一般論述：

- 唐代創建的杭州都市給水系統姚關穆 56

他山之石：

- 日本直接給水系統準則簡介江永榮 61

會務報導：

- 本會第十四屆理監事會第十五次聯席會議紀錄 77

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季刊，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、協會與你、會員動態、研究快訊、學術活動、出版快訊、感性園地等文稿。
- 三、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。
- 四、本刊原則上不轉載譯文或已發表之論文。
- 五、「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1~2人審查。「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。「會員動態」報導各界會員人事異動。「協會與你」則報導本會會務。
- 六、惠稿請用稿紙繕正，如有圖表，請以黑墨繪製以便製版，其大小應顧及刊發後版面之清晰程度，所有圖表及照片以原件為佳，皆應附簡短說明，並依在文中出現之次序分別編號。
- 七、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。機關出版名：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。
- 八、惠稿請註明真實姓名、通訊地址、服務單位及撰稿人之學經歷簡介與1吋照片一張，以利刊登，來稿文責由作者自負。
- 九、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1200元/千字，「業務報導」為800元/千字，其餘為500元/千字，文稿中之「圖」、「表」如原稿為新製者500元/版面、如原稿為影印複製者，不予計費。
- 十、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。
- 十一、本會刊內容自88年5月⑩期起已公布於台灣省自來水公司全球資訊網站（www.water.gov.tw）歡迎各界參閱。

自來水會刊雜誌

發行所名稱：中華民國自來水協會

發行人：陳廉泉

會址：臺北市長安東路二段一〇六號七樓

中華民國自來水協會編譯出版委員會

主任委員：陳榮藏

委員：劉家堯 陳梓濱 張順興 李泰雄 史午康 葉宜顯 蔣本基 廖述良 康世芳

謝永旭 陳重男 沈進宏 曾浩雄 李輝雄 林顯華 蘇金龍 李丁來 林孟臻

秘書：李丁來

總編輯：劉廷政

傳真：(02)25042350

電話：(02)25073832

副主任委員：劉廷政

編輯：林孟臻 李丁來

校對：古貞苓

電話：(04)22244191轉222

印刷：威文彩色印刷公司

地址：台中市工業區23路2-1號

電話：(04)23586977

出版地址：臺中市雙十路二段二號之一

行政院新聞局出版事業登寄證局版台誌字第2995號

中華郵政北台字第0473號執照登記為雜誌交寄

高硝酸鹽氮地下水源脫硝之研究

江弘斌* 洪世政*

前言

(一) 計劃緣起

飲用水硝酸鹽氮含量過高時，對人體健康將產生不利影響^(1,2,3)，四-六月以下之嬰兒(1)胃酸較不足，硝酸鹽氮在其胃腸道內易被還原為亞硝酸鹽氮，經吸收後進入血液和血紅素結合產生變性血紅素，並且(2)幼嬰兒體內含有較多的胎兒血紅素，較易被氧化成變性血紅素，以及(3)幼嬰兒體內較缺乏將變性血紅素還原成血紅素的還原酶，是以其體內容易累積較多變性血紅素，血液中變性血紅素超過10%，輸氧功能不足，即可導致變性血紅素血症(methemoglobinemia)，膚色變紫青，因此亦稱之為紫青症(cyanosis)，因此症好發於三個月以下，在高硝酸鹽氮水源地區，以奶瓶哺育之嬰兒，故又通稱為藍嬰症(blue baby disease)，症狀過重會導致意識不清(asphyxia)甚至死亡。此外硝酸鹽氮和亞硝酸鹽氮也有可能

在體內形成氮亞硝基(N-nitroso)化合物，有潛在致癌風險。

文獻資料顯示飲水中硝酸鹽含量超過50mg/L，幼嬰兒即有罹患變性血紅素血症的危險，世界衛生組織(WHO)和歐洲共同體(EC)均定飲水中之硝酸氮上限值為50 mg/L，如以氮元素換算之，則為11.3 mg/L^(4,5)。美國⁽⁶⁾、日本⁽⁷⁾、加拿大⁽⁸⁾、台灣省、台北市、高雄市飲用水水質標準有關硝酸鹽氮之標準均定為10 mg/L (as NO₃-N)⁽⁹⁾。以往台灣地區並無硝酸鹽氮過高之問題，近年來可能由於水源附近地區之農業過度施肥結果，部份地區之地下水井已有硝酸鹽氮升高之趨勢，甚至有超過標準而停止使用，造成水源調配困窘之情況。此等水源如能經濟有效的去除水中過量的硝酸鹽氮至10 mg/L (as NO₃-N)以下，則可回復使用為自來水水源，將有助於紓解該地區供水及水源開發之壓力。為此，乃訂定本研究計劃，冀透過試驗，探討能否自高硝酸鹽氮之水源中去除大部份硝酸鹽氮，以恢復此等水源之使用。

*台灣省自來水公司水質處組長

(二) 脫硝方法

減除水中硝酸鹽氮方法常被提到者有離子交換法、逆滲透法及生物脫硝法^(2,10)。離子交換法係透過交換樹脂中之氯離子(或其它陰離子)與水中 NO_3^- 交換以達到降低水中 NO_3^- 之目的,理論上雖然可行,但會使處理後水中氯離子濃度增高,更會衍生樹脂再生鹽水廢液處理排放問題,除非水處理廠位於海邊,否則不甚可行。逆滲透法因欲去除之目的物 NO_3^- 係屬負一價之陰離子,使用之逆滲透膜必須能將負一價離子阻除,所施之逆滲透壓較高,所耗能源較大,成本高昂,另外也有薄膜積垢(scaling)壅塞(fouling)和濃縮反洗水液質及量之問題。生物脫硝法則分為自營性(autotrophic)菌和異營性(heterotrophic)菌脫硝法,前者係自營性菌利用二氧化碳、碳酸根為碳源,以氫氣、還原態硫化物為電子供給者,以硝酸根為電子接受者,將硝酸鹽轉換成氮氣。文獻上顯示本法雖有污泥產量少之優點,惟脫硝反應時間較長,是以脫硝反應槽必須大;氫氣不易溶於水,是以必須耗能加壓為其缺點。異營性菌脫硝法則需外加甲醇、乙醇、醋酸等碳源(為電子供給者)及磷酸或磷酸鹽等營養物質,在濾床或流動床缺氧或無氧狀態下以硝酸鹽為電子接受者,將硝酸鹽轉換為氮氣,達成水中脫

硝效果。脫硝反應所產生之污泥量略多,控制不當會使過量碳源、磷酸鹽進入供水系統,不利於管線衛生之維持,是以在脫硝反應槽後大多增加活性碳反應過濾槽,以移除多餘的碳源、磷酸鹽、懸濁物、臭味、轉化亞硝酸為硝酸鹽等,惟脫硝反應時間短為其最大優點,目前世界上所設脫硝模廠、示範廠或實廠,以採異營性菌脫硝法居多。

試驗地點、構思、設備及方法

(一) 試驗地點

試驗地點選定本公司南投縣名間鄉新街淨水場硝酸鹽氮過高之地下水井一處,建立小型模廠,進行脫硝試驗,以壓低水源中硝酸鹽氮至 10 mg/L (as $\text{NO}_3\text{-N}$)以下為目標。計劃如進展順利,成效良好,符合經濟效益,將建請正式應用於實廠,並推廣應用於有相同問題水源之處理。

(二) 試驗計劃構思

1. 蒐集去除水中硝酸鹽氮之參考資料及小型模廠組建資料。
2. 模廠施工建造。
3. 模廠運轉、試車&驗收、試驗。
4. 分析監測出水中硝酸鹽氮,研究減除情況。
5. 數據分析、結果探討、報告撰寫及提出。

(三) 試驗設備

試驗主要設備為小型脫硝模廠乙座，座落於名間鄉本公司名間營運所新街淨水廠區內，係水質處參考國外文獻資料經設計後交中區工程處發包建成，設計處理水量為100CMD，並留有彈性空間，如試驗成效良好，處理水量可增至150 CMD。脫硝模廠設備流程示意圖如圖 1 所示，本模廠包括脫硝反應槽、跌落曝氣階槽、活性碳槽、加藥裝置和槽、反洗裝置和槽、以及反洗廢水及泥槽等。模廠中之脫硝反應

槽和粒狀活性碳槽共壁，二槽橫切面積均為0.8m²，脫硝反應槽內無煙煤厚度3m，水流方向由下往上，粒狀活性碳槽內粒狀活性碳厚度1.5m，水流方向由上往下，反洗時二槽水流方向均由下往上，另脫硝反應槽並無槽水往復循環養成脫硝微生物之設計，粒狀活性碳槽過濾後水貯存於TK5貯槽可為反洗水之用途。反洗水污泥等則匯集於TK8污泥床，上澄液可回收泵入原水管線，沉澱污泥則可排入污泥槽。

主要設備規格如表 1：

表 1. 脫硝模廠主要設備規格一覽表

名稱	設備編號	主要規格	備註
脫硝反應槽	TK-02	1M ^L ×0.8M ^W ×5M ^H	反應槽無煙煤厚度3M*
活性碳槽	TK-04	1M ^L ×0.8M ^W ×4.5M ^H	反應槽粒狀活性碳厚度1.5M**
中間貯槽	TK-05	1.6M ^L ×1M ^W ×3.5M ^H	反洗TK-02, TK-04用途
消毒槽	TK-06	1.4M ^L ×1M ^W ×3.5M ^H	反洗TK-04／供水用途
反洗廢水貯槽	TK-08	4500L PE大鋒桶	反洗廢水貯存
污泥晒乾床	TK-09	2.2M ^L ×1.7M ^W ×0.5M ^H	廢水貯槽下沉污泥排放
上澄液貯槽	TK-10	100L PE桶	廢水貯槽上澄液回收
1號寬口井原水泵	P-01	3HP,口徑50mm,140CMM,14M	
脫硝槽反洗泵	P-02	5HP,口徑80mm,300CMM,20M	
脫硝槽反洗泵	P-03	5HP,口徑80mm,300CMM,20M	
活性碳反洗泵	P-04	2HP,口徑50mm,160CMM,16M	
活性碳反洗泵	P-05	2HP,口徑50mm,160CMM,16M	
上澄液貯槽泵	P-06	1/2HP,口徑25mm,240CMM,16M	
清水泵	P-07	2HP,口徑50mm,160CMM,16M	
反洗鼓風機	RB-01	5000mmAq,0.43CMM,2HP	
加藥機(C ₂ H ₅ OH) ⁺	CP-01	output 0.38-26.5 mL/min	
加藥機(H ₃ PO ₄) ⁺⁺	CP-02	output 0.2-13 mL/min	
加藥機(NaOCL)	CP-02	output 0.2-13 mL/min	
脫硝槽氣反洗電磁閥	SV-01	口徑100mm	

活性碳槽氣反洗電磁閥SV-02	口徑 80mm
跌落曝氣槽洩流電動蝶閥MV-01	口徑 40mm
中間貯槽繞流電動蝶閥 MV-02	口徑 40mm
原水進流流量計 FM-01	口徑 40mm，蹠輪式
脫硝反洗流量計 FM-02	口徑 80mm，面積式
清水流量計 FM-03	口徑 40mm，蹠輪式
活性碳反洗流量計 FM-04	口徑 80mm，面積式
原水繞流流量計 FM-05	口徑 40mm，蹠輪式

* 無煙煤Anthracite規格：有效粒徑 $3.0 \pm 0.3\text{mm}$ ，均勻係數 ≤ 1.7 ，容積比重 $= 0.72\text{kg/L}$

**活性碳GAC規格：椰殼Mesh 8×30 ，碘值 950mg/g ，比表面積 $\geq 1000\text{M}^2/\text{g}$ ，容積比重 0.5kg/L

+ 填加之酒精為 $95\% \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$

++填加之磷酸為 $85\% \text{H}_3\text{PO}_4$ 經稀釋25倍者

(四) 試驗方法

模廠起始運轉測試、模廠脫硝負荷測

試、模廠穩定度測試。

(五) 檢測項目、儀器及方法

本模廠試驗主要檢測項目包括硝酸鹽氮、亞硝酸鹽氮、溶氧、總有機氮等，相關資料列之如下：

表2. 檢測項目、檢測儀器及檢測方法

檢測項目	檢測儀器	檢測方法
Temp °C	DO/pH計附帶之溫度顯示	依儀器所述方法
pH	SUNTEX TS-2 pH計	依儀器所述方法
DO mg/L	德國WTW Oxi 330 DO計	依儀器所述方法
NO ₂ -N mg/L	美國Hach DR-2000	依儀器所述方法
NO ₃ -N mg/L	美國Hach DR-2000	依儀器所述方法
TOC mg/L	美國OI-Analytical TOC 700	依儀器所述方法
PO ₄ -P mg/L	日本Shimadzu UV-160	環保署NIEA W427.50A
Odor TON	毋需儀器	環保署NIEA W206.50T

結果與討論

(一) 模廠起始運轉測試

有關脫硝文獻資料由水質處研究組提供，經水處理組洪組長參考文獻提出設計規範後，交由中工處發包施工於名間新街淨水場內建一座100 CMD脫硝模廠（見附圖）以供試驗，原定八八年底前完成，後因九二一大地震有所影響加上部份設計變更或增加，延遲至八九年一月完工、試車運轉及操作教育訓練。試車操作結果需做改善或增加部份廠商完成後，研究組與新街淨水場參與人員於模廠試車後即行開始進行試驗，因本模廠並無循環馴養脫硝菌之設計，為促進脫硝菌之養成，初步採用脫硝槽－跌落曝氣槽－活性碳槽－中間貯槽－脫硝槽之循環方式並外加乙醇碳源和磷酸營養源方式馴養脫硝菌以期在脫硝反應槽逐漸發揮脫硝功能，惟效果不理想，原水經多次檢測，DO含量在5-7mg/L，

NO₃-N含量在26-28mg/L間，脫硝槽後處理水DO含量在3.5-5mg/L，NO₃⁻-N含量在22-24mg/L間，效果有限，且循環水之NO₃-N含量並無進一步下降，縱使循環水量減為一半，處理效果也沒有明顯改善。推測此種馴養方式使處理水除氧、吸氧方式交替進行，加上原水DO過高並不利於脫硝菌之養成，本試程約進行兩個月。

四月十三日後改變試驗策略，大力清除脫硝槽頂、跌落曝氣槽及活性碳槽頂藻類及藻屍漂浮物並加蓋黑網以抑制藻類之繁殖，人工手動反洗脫硝槽及活性碳槽並改以小流量原水（16L/min，相當於處理量23CMD）配合外加乙醇碳源和磷酸營養源採向上流經硝槽、經跌落曝氣槽及向下流活性碳槽後進入處理水中間貯槽，經一小時後檢測原水及脫硝槽後水所得相關水質項目如下：（離開新街模廠前並將操作電盤改為自動，脫硝槽反洗pump-02故障中，pump-03反洗流量僅為100L/min進行溫和反洗）

表3. 小流量原水（16 L/min）初步顯示脫硝反應

水樣	pH	DO	NO ₃ -N
原水	6.22	5.5mg/L	29.3mg/L
脫硝槽後水	6.17	2.6mg/L	22.4mg/L

四月二十日前往驗測相關水質所得資料如下：

表4. 小流量原水（16 L/min）顯現脫硝反應有所進展

水樣	pH	DO	NO ₂ -N	NO ₃ -N
原水	6.54	5.3mg/L	0.6mg/L	29.7mg/L
脫硝槽後水	6.46	0.9mg/L	1.2mg/L	16.8mg/L
活性碳槽後水	6.55	4.0mg/L	0.9mg/L	15.3mg/L

（二）模廠提升脫硝負荷測試

上述數據初步顯示在低流量正向流情況下，脫硝槽內部脫硝菌已開始養成並發揮作用，溶氧和硝酸鹽氮均有明顯降低。至五月二、三日再度檢測，發現脫硝槽後水和活性碳槽後水硝酸鹽氮濃度維持在14-16mg/L之間沒有再進一步明顯降低。五月三日乃提高酒精加藥量至174mL/hr，五月五日再度檢測，發現脫硝槽後水和活性碳槽後水硝酸鹽氮濃度已分別降為5.5mg/L和6.5mg/L，五月九日脫硝槽後水和活性碳槽後水硝酸鹽氮濃度更分別降為0.1mg/L和0.1mg/L。處理效果良好乃進一步提高原水流量至33L/min（相當於處理量47CMD），五月十一日再檢測，發現脫硝槽後水和活性碳槽後水硝酸鹽氮濃度分別再升高為10.8mg/L和9.5mg/L，處理效果欠理想，乃再提高酒精加藥量至220mL/hr，五月十二日再度檢測，發現脫硝槽後水和活性碳槽後水硝酸鹽氮濃度再分別降為1.9mg/L和1.4mg/L，處理效果大有改善，乃進一步提高原水流量至

65L/min（相當於處理量93CMD），五月十七日再檢測，發現脫硝槽後水和活性碳槽後水硝酸鹽氮濃度分別為6.7mg/L和12.3mg/L。雖然處理效果欠理想，仍提高原水流量至80L/min（相當於處理量115CMD）並提高酒精加藥量至360mL/hr，至五月十九、二三、二六、三十日再度檢測，發現脫硝槽後水和活性碳槽後水硝酸鹽氮濃度維持在12-15mg/L之間，效果不理想，再提高酒精加藥量為440mL/hr，磷酸加藥量為114mL/hr（相當於85%磷酸4.5mL），五月三十一日、六月九日再度檢測脫硝槽後水和活性碳槽後水硝酸鹽氮濃度分別為8-9mg/L和9-10mg/L，乃再度提高磷酸加藥量為360mL/hr（相當於85%磷酸14.4mL），脫硝槽和活性碳槽經反洗一小時後，脫硝槽後水和活性碳槽後水硝酸鹽氮濃度分別降為6.8mg/L和8.0mg/L，處理效果已有改善，至六月十四日再度檢測，反洗前脫硝槽後水和活性碳槽後水硝酸鹽氮濃度再降為1.7mg/L和3.3mg/L，反洗後經15分鐘/30分鐘/60分鐘後之採樣檢

測，水中硝酸鹽氮濃度亦多在5mg/L以下。至六月十六日經常性檢測發現脫硝槽後水和活性碳槽後水硝酸鹽氮濃度遽升分別為20.1和21.6mg/L，效果非常差，詳細查檢後發現酒精加藥桶已用罄無碳源進入脫硝槽，經及時置換酒精加藥桶，祛除加藥管線氣泡及調流量後，至六月二十一、二十二日檢測，發現脫硝槽後水和活性碳槽後水硝酸鹽氮濃度均已回復降至5.5mg/L以下，顯然短暫無碳源供應不會完全摧毀脫硝微生物之生命力。此時模廠原水進流量為93 L/min（134CMD）相關操作條件及效果如下：

原水進流量=93L/min（134CMD）

酒精加藥量 = (0.25) speed × (0.25) stroke = 8.0mL/min

磷酸加藥量 = (0.15) speed × (0.30) stroke = 6 mL/min，
85% H₃PO₄經稀釋25倍者

脫硝槽反洗條件：Air Blow 0.4kg/cm²，
4min後停止，Pump02
水洗100L/min 2min後
加入 Pump 03 水洗
300L/min 2min後停止

GAC槽反洗條件：Air Blow 0.4kg/cm²，
4 min 後 停 止 ，
P u m p 0 4 / 0 5 水 洗
350L/min 4min後停

表5. 名間新街脫硝模型廠134CMD水處理量效果一覽

水樣	T °C	PH	DO mg/L	NO ₂ -N mg/L	No ₃ -N mg/L
6/21					
原水	27.0	6.71	6.0	—	25.5
脫硝槽後水	28.2	6.62	3.3	—	5.2
GAC槽後水	27.8	6.75	3.8	—	4.7
6/22 反洗前					
脫硝槽後水	26.1	6.63	2.2	0.019	5.4
GAC槽後水	26.0	6.75	3.7	0.021	4.0
6/22反洗後40min					
脫硝槽後水	—	—	3.2	—	5.5
GAC槽後水	—	—	3.8	—	3.5

有關模廠各階段水處理量、脫硝反應槽及活性碳槽之濾率和停留時間如下表所示：

表6. 新街脫硝模廠水處理量、脫硝反應槽及活性碳槽之濾率和停留時間*

模廠水處理量 CMD	脫硝反應槽濾率 m/day	活性碳槽濾率 m/day	脫硝反應槽 停留時間 min	活性碳槽 停留時間 min
23		29	149	75
47	59	59	73	37
90	29	113	38	19
110	138	138	31	16
115	144	144	30	15
119	149	149	29	15
134	168	168	26	13
154	173	173	22	11

*脫硝反應槽及活性碳槽橫切面積均 0.8m^2 ，前者無煙煤厚度 3m ，後者活性碳厚度 1.5m 。

(三) 模廠穩定度測試

鑑於脫硝模廠處理效果良好，自6月21日至7月26日約一個月期間，乃固定模廠處理量為134CMD，維持模廠運作穩定正常，原水硝酸鹽氮含量介於 $21.7\text{-}26.5\text{mg/L}$ 之間，試驗結果數據（表7）顯示脫硝槽後水、活性碳槽後水硝酸鹽氮濃度分別介於 $2.1\text{-}6.1\text{mg/L}$ 和 $2.7\text{-}6.3\text{mg/L}$ 之間，至於亞硝酸鹽氮濃度則分別介於 $0.039\text{-}0.186\text{mg/L}$ 和 $0.016\text{-}0.046\text{mg/L}$ 之間，總有機碳濃度分別介於 $1.434\text{-}3.152\text{mg/L}$ 和 $1.344\text{-}2.072\text{mg/L}$ 之間。經脫硝模廠處理後水，其硝酸鹽氮、亞硝酸鹽氮濃度已符合飲用水水質標準之規定，總有機碳（TOC）濃度則未超過 4mg/L ，惟略偏高。此段期間6月29日水質狀況呈現異常，該日早上

測得脫硝槽後水、活性碳槽後水亞硝酸鹽氮濃度過高，分別為 0.9mg/L 及 0.6mg/L ，而下午測得兩槽水硝酸鹽氮濃度分別為 12.3mg/L 及 7.9mg/L ，處理效果不盡理想。根據名間營運所相關人員透露，在6月28日模廠水源曾被移用一段時間，模廠運作停擺，沒有原水進入模廠，加藥（酒精及磷酸）機停泵，反洗亦停止運作，是以脫硝槽後水、活性碳槽後水硝酸鹽氮及亞硝酸鹽氮濃度有出現異常之處，而7月3日檢測結果則已回復正常（圖2）。另在7月26日針對脫硝槽後水、活性碳槽後水正磷酸鹽濃度檢測，結果分別為 0.3586mg/L 和 0.4290mg/L 。在溶氧方面原水溶氧在 $5.3\text{-}6.0\text{mg/L}$ 之間脫硝槽後水、活性碳槽後水則介於 $0.3\text{-}3.3\text{mg/L}$ 和 $2.3\text{-}4.6\text{mg/L}$ 之

間，溶氧數據顯示脫硝反應係在兼氣狀態下進行，脫硝槽後水溶氧含量並未低到1.0或0.5mg/L幾近於無氧狀態，寬口井原水溶氧高應是重要影響因子。另外活性碳槽後水溶氧不夠高，顯示模廠脫硝槽後水曝氣功能應該加強。

有關加藥（酒精及磷酸）方面，有些文獻資料顯示酒精（Ethanol）加量與硝酸鹽氮移除比 $\text{mg ethanol} / \text{mg NO}_3\text{-N} = 2$ ，酒精加量與溶氧（DO）移除比 $\text{mg ethanol} / \text{mg DO} = 0.5$ ^(2,11)。法國NITRAZUR脫硝法則使用 $\text{mg ethanol} / \text{mg NO}_3\text{-N} = 4$ ， $\text{mg H}_3\text{PO}_4 / \text{mg NO}_3\text{-N} = 0.12$ 進行異營脫硝淨水處理 ⁽¹²⁾。名間新街100CMD脫硝模廠在6月21日至7月26日期間，試驗所測數據顯示原水溶氧平均為5.7 mg/L，經脫硝槽後水後平均為2.1mg/L，平均減除3.6mg/L，原水硝酸鹽氮平均為24mg/L，經脫硝槽後水後平均為5mg/L，平均減除19mg/L。模廠試驗時，實際平均使用 $\text{mg ethanol} / \text{mg NO}_3\text{-N} = 3.6$ ， $\text{mg H}_3\text{PO}_4 / \text{mg NO}_3\text{-N} = 0.2$ 之比例加ethanol及H₃PO₄，前者ethanol加藥比略低於NITRAZUR Process所報導者，而H₃PO₄加藥比則略高。加藥比之不同應和原水溶氧之不同、原水基質之不同、反應槽媒質材料之不同、反應槽內微生物之可能不同、反應槽空床停留時間不同等因素有相關。一般而言，原水溶氧愈多，mg

ethanol/mg NO₃-N比應愈高，反應槽空床停留時間亦應增加，以提供微生物先行減除水中溶氧後再行脫氮。

為進一步測試模廠之負荷，於8月2日提高處理水量至154CMD，而維持酒精及磷酸加藥量不變，由8月2、7、10日之數據顯示出，脫硝槽後水和活性碳槽後水硝酸鹽氮濃度已達或近10mg/L邊緣，脫硝槽後水亞硝酸鹽氮濃度明顯增加應係碳源加量不足引致。

脫硝淨水處理所用之酒精向公賣局詢價約NT\$36元/kg，每噸水由原水25mg/L硝酸鹽氮降低至5mg/L硝酸鹽氮需要酒精 $0.036 \text{元/gram} \times (20 \text{gram} \times 3.6) = 2.59$ 元，加上少許磷酸，估共約在3.00元以下（電力費用未計算在內）。

結論與建議

1. 本脫硝模廠在合宜加藥條件和操作條件下可將原水中過量硝酸鹽氮脫硝至10mg/L以下，處理水量可超過100CMD，達到134CMD，脫硝反應槽和活性碳槽滷率均為168m/day，停留時間分別為26min及13min，硝酸鹽平均去除率均為80%，TOC含量分別為2.670mg/L及1.785mg/L，在實場設計時GAC槽停留時間可考慮再予延長以降低出水TOC含量。
2. 脫硝反應槽中脫硝菌可自然生成，惟欲

養成壯大脫硝菌，需要以逐漸增加負荷量的方式為之，開始時流量要小，加藥量小，反洗要溫和，氣洗壓力為 0.4 kg/cm^2 ，反洗水流率約 $100-125 \text{ L/m}^2/\text{min}$ 。當脫硝菌日益壯大後反洗水流率可逐漸提高至 $375 \text{ L/m}^2/\text{min}$ 。

3. 本脫硝模廠試驗脫硝菌之養成壯大，是在狀況頗多及嘗試錯誤修正之過程中進行，很難確實脫硝菌之養成至完全成熟全量運轉所需時間。惟如一切順利，估算應可在60天內完成。
4. 脫硝反應槽頂應置小於Anthracite顆粒之固定篩網以防止質輕之無煙煤大量流失，惟時間一久生物膜大量黏結其上，必須經常以刷子刷洗，雖可避免阻塞，但非常麻煩。日後示範廠／實廠建造時應考量有高壓氣／水反洗固定篩網之設計，並應提高堰至反應床距，以避免反應槽媒料流失。此外脫硝反應槽頂應加蓋以防止藻類等生物滋生。
5. 脫硝長期試驗數據累積所示，名間新街寬口井原水中所加入之酒精和磷酸在 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (95%) / $\text{NO}_3\text{-N}=3.6$ 以及 H_3PO_4 (85%) / $\text{NO}_3\text{-N}=0.2$ 可使脫硝反應槽中之脫硝菌順利持續進行脫硝反應。
6. 反應槽中之脫硝菌在硝模廠短期間跳電或中斷碳源後並不致傷害其生命力，此可由6/11地震或短暫中斷碳源（酒精桶

用盡）証實。此外脫硝菌不需要在無氧狀態，只要在低氧的兼氣狀態即能進行。

7. 使用乙醇添加為有機碳源之異營性脫硝法在名間新街模廠驗證可行，惟脫硝反應槽之正常運作需要投入較大的注意力與專業判斷。在實場運用上至少需要添增脫硝反應槽後水之硝酸鹽氮自動警報系統，例如一旦水中硝酸鹽氮含量超過 8 mg/L 時，即需啟動自動警報系統，操作人員需速到現場檢查探討及採取因應措施，以維持脫硝實廠脫硝反應槽之正常運作。

感謝

本計劃承原中工處陳昭仁、林茂祥等，四區處汪信峰，名間所張邦男、劉宗敏等，水質處黃瑞聰、吳美炆諸先生、女士各方協助，謹此致謝。

參考資料

1. 許整備等，飲用水對健康之影響，EPA-77-005-23-123，行政院環保署，台北（民國79年3月）。
2. Vit Mateju et.al., biological water denitrification — a review, *Enzyme Microb. Technol.*, 14:170 (1992) .
3. R.F.Packham, Public health and regulatory aspects of inorganic nitrogen

- compounds in drinking water, *Water Supply*, 10:3:1 (1992)
4. WHO Guidelines for Drinking Water Quality, 2nd edition, Vol.1, Geneva, Switzerland (1993)
 5. M. Carney, European Drinking Water Standards, *J. AWWA*, 83:6:48 (1991)
 6. F.W. Pontius, Regulation in 2000 and beyond, *J. AWWA*, 92:3:40 (2000)
 7. 厚生省, 水道水質に関する基準の制定について, *水道協會雜誌*, 62:2:85 (平成5年2月)
 8. K.C. Decker and B.W. Long, Canada, s Cooperative Approach to Drinking Water Regulation, *J. AWWA*, 84:4:120 (1992)
 9. 飲用水水質標準, 行政院環保署87.2.4環署毒字第0004428號發布
 10. 洪世政, 硝酸鹽氮去除之探討, *自來水會刊雜誌*, 62:16:2:63 (1997)
 11. T.Hall and R.A.Hyde, Water Treatment Processes and Practices, Chapter23-biological dinitrification, WRC Swindon, Wiltshire SN 58YR (March 1992)
 12. Y.Richard and P.Thebault, Biological removal of Nitrates-report on 7 years of Operation and Progress, *Water Supply*, 10:3:151: (1992)

圖2. 名間新街100CMID脫硝模型廠試驗數據一覽表

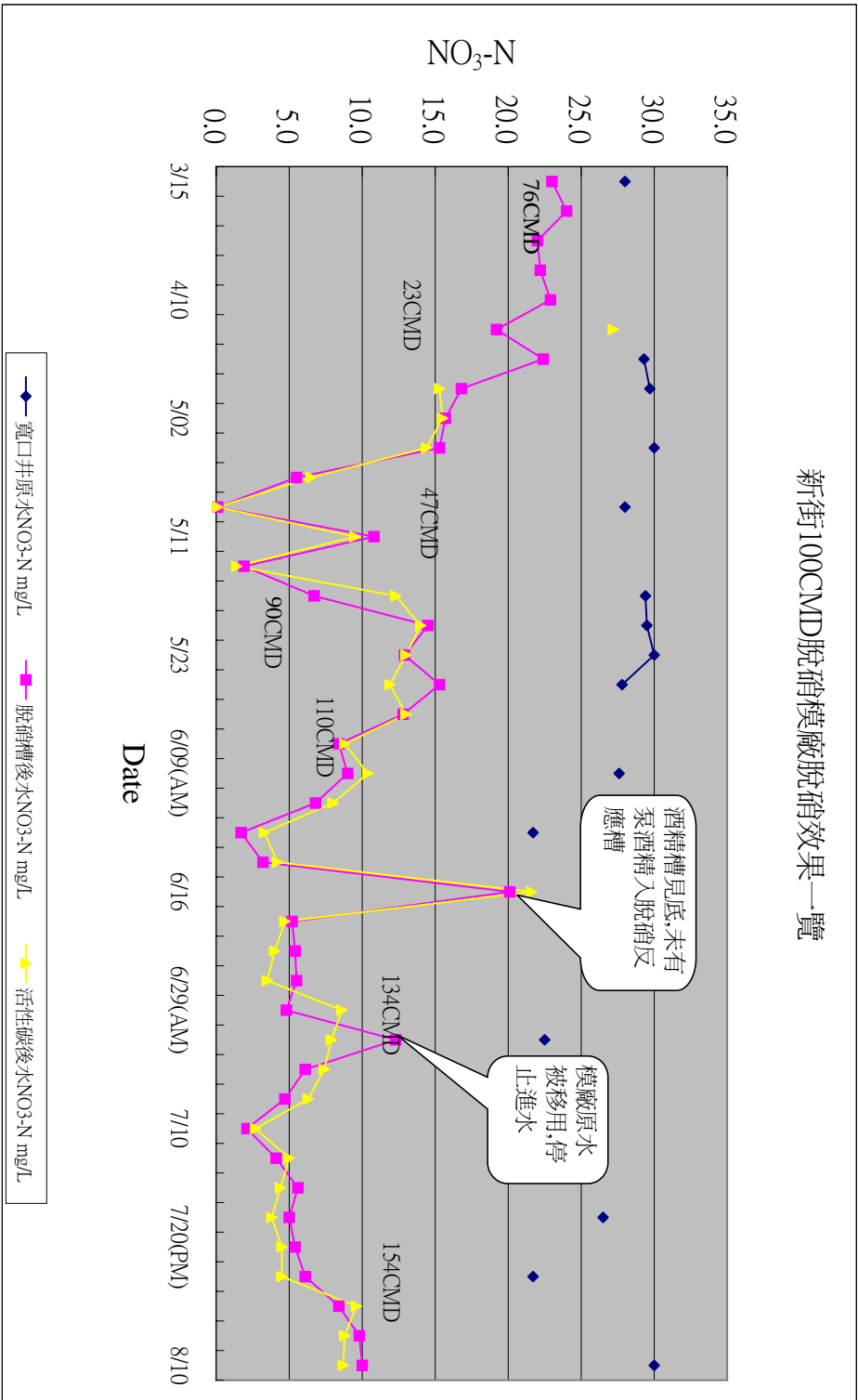


表7 名間新街100CMD脫硝模型廠試驗數據一覽表

項目	試驗模型廠 進水流量 CMD	寬口井原水 NO ₂ -N mg/L	脫硝槽後水 NO ₂ -N mg/L	活性碳後水 NO ₂ -N mg/L	寬口井原水 NO ₂ -N mg/L	脫硝槽後水 NO ₂ -N mg/L	活性碳後水 NO ₂ -N mg/L	寬口井原水 DO mg/L	脫硝槽後水 DO mg/L	活性碳後水 DO mg/L	寬口井原水 TOC mg/L	脫硝槽後水 TOC mg/L	活性碳後水 TOC mg/L	寬口井原水 pH	脫硝槽後水 pH	活性碳後水 pH
6/09 (AM)	110	27.6	9.0	10.4		0.013		5.8	2.0	3.3				6.82	6.76	6.84
6/09 (PM)			6.8	8.0					1.1	3.5						
6/14 (AM)	115	21.7	1.7	3.3		0.009	0.031	5.0	2.0	3.7	0.754		2.290	6.48	6.55	6.56
6/14 (PM)			3.2	4.2		0.068	0.056		2.1	4.2						
6/16			20.1	21.6												
6/21	134	25.5	5.2	4.7				6.0	3.3	3.8				6.71	6.62	6.75
6/22 (AM)			5.4	4.0		0.019	0.021		2.2	3.7		3.152	2.072		6.63	6.75
6/22 (PM)			5.5	3.5					3.2	3.8		2.617				
6/29 (AM)			4.8	8.6		0.900	0.600		2.5	4.1	0.370	3.744	1.811		6.76	6.85
6/29 (PM)		22.5	12.3	7.9		0.900	0.600	5.3	2.2	3.8		2.403	1.911	6.68	6.57	6.74
7/03	134		6.1	7.4		0.186	0.029		1.8	3.4					6.61	6.75
7/06	134		4.7	6.3		0.058	0.046		2.6	3.8					6.71	6.83
7/10	134		2.1	2.7					0.3	2.3					6.54	6.72
7/14	134		4.1	5.0		0.142	0.016		2.2	4.6					6.67	6.88
7/19	134		5.6	4.4					1.4	4.1					6.56	6.76
7/20 (AM)	134	26.5	5.0	3.8		0.143	0.024	5.6	2.0	4.0				6.60	6.61	6.68
7/20 (PM)	134		5.4	4.5		0.147	0.029		2.1	4.0					6.59	6.68
7/26	134	21.7	6.1	4.5		0.039	0.024	5.7	2.0	4.1	0.475	1.434	1.344	6.59	6.52	6.77
8/02	154		8.4	9.6		0.035	0.027		2.4	4.2					6.39	6.60
8/07	154		9.8	8.8		0.271	0.024		1.8	4.1					6.36	6.60
8/10	154	30.0	10.0	8.7		0.330	0.192	5.7	3.7	3.4	0.644	1.860	1.645	6.59	6.57	6.64

電場膜離生物反應器技術處理硝酸鹽之研究

洪仁陽*、張王冠*、鄒文源*、邵信*

摘要

自來水原水或地下水含有硝酸鹽，若超過法規標準（10 mg NO₃-N /L）則需要進行去除硝酸氮後，才能做為自來水或飲用水水源。目前處理低濃度硝酸鹽技術包括生物脫氮（自營性及異營性）及物化技術如離子交換等，由於生物處理技術處理費用低，故較受歡迎。然而生物脫氮通常會有微生物及或外加碳源二次污染問題發生，造成操作的困難及增加操作成本。本研究採用電場膜離生物反應槽係電透析膜及生物反應器結合，藉由電場及電透析膜作用能夠快速及有效分離水中污染物如硝酸鹽，經濃縮硝酸鹽可在脫氮槽進行脫氮，故無微生物及或外加碳源二次污染問題，可應用於含硝酸鹽原水或廢水處理，以解決硝酸鹽污染問題。

關鍵詞

硝酸鹽、飲用水處理、脫氮、電場薄膜生物反應槽

前言

由於人類農業活動如施肥或氮氣經過硝化作用後，日積月累作用使地下水遭受不同程度硝酸鹽污染，由於硝酸鹽被懷疑為致癌物，對人體健康會有不利影響，故做為飲用水用途之原水有硝酸鹽濃度限制（10 mg NO₃-N /L）。根據資料顯示，目前台灣地區約有30%飲用水水源來自地下水，在枯水期，依賴地下水比例會更高。若地下水遭受污染則需先行處理後，始能做為飲用水水源。目前含硝酸鹽水體處理技術可分為物化及生物脫氮技術兩類。前者採用技術如離子交換或薄膜分離等，但均為硝酸鹽濃縮技術，需有後續處理單元才能完全脫氮效果，且操作成本較高，廠商較不易接受。而後者可分為異營性及自營性兩種生物脫氮技術，均可用於含硝酸鹽地下水處理。雖然生物脫氮操作成本較低，但由於地下水中含有一定濃度溶氧，不易營造無氧（anoxic）環境及硝酸鹽濃度較低（通常小於50 mg NO₃-N /L）受到水量大與水力停留時間限制，而影響脫氮效果。另外，生物脫氮用於含硝酸鹽地下水微生物及添加額外碳源通常會直接與處

理水接觸，處理水需再經分離、再處理及殺菌程序的以符合飲用水相關法規，而增加處理程序的複雜性。

如上所述，傳統去除硝酸鹽技術無論是物化或生物技術，均會產生一些缺點。結合物化及生物去除硝酸鹽技術是近來發展趨勢，以希望達到提高脫氮效率及避免微生物及外加碳源對處理水二次污染。利用離子交換樹脂與生物處理技術即是其中一例，Hoek and Klapwijk(1987)提出離子交換樹脂與上流式污泥床脫氮程序及 Clifford and Liu(1993) 提出離子交換樹脂與批次生物脫氮程序，著眼於利用離子交換樹脂對硝酸鹽選擇性吸附及異營性生物脫氮技術組合，針對離子交換產生濃縮硝酸鹽廢液再利用異營性生物脫氮技術，將硝酸鹽轉換成氮氣，且脫氮微生物及外加碳源不會對處理水造成二次污染問題。張王冠等（2001）指出近十年來，MBR技術逐漸廣泛應用於污水與工業廢水處理，但直到最近才開始應用於飲用水處理。從1990年代初期，即陸續有學者進行薄膜生物脫氮技術之研究，並演變成多種應用方式，通常使用薄膜生物槽進行原水脫氮處理，具有減少殘餘有機基質、避免後續微生物污染及減少亞硝酸鹽中間產物等優點。目前大部份應用型式均仍處於實驗室或模型廠研究階段，少數則進入實廠階段，雖然應用規模不大，但本技術近年來

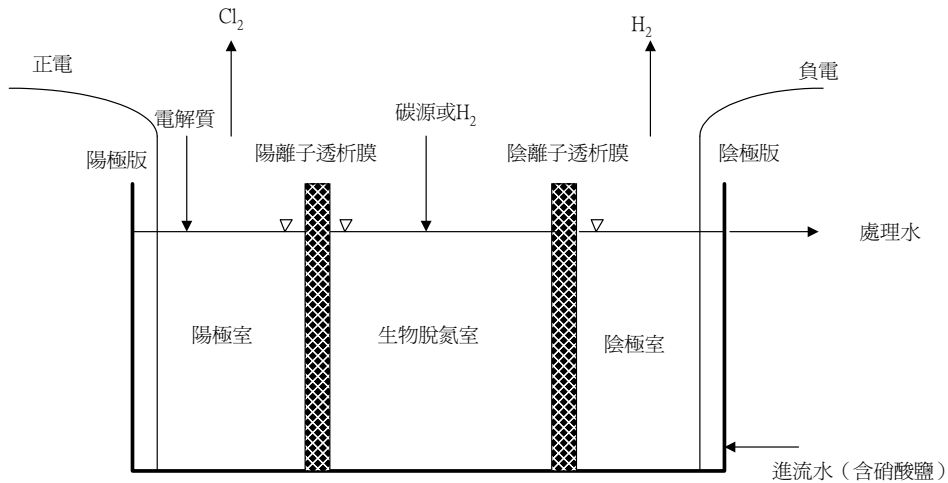
發展快速，未來應用潛力相當大，受到國內外許多專家學者重視，進行薄膜與生物處理技術結合脫氮效果之研究。在國內方面，曾四恭等（1999）及何俊明等（2000）分別應用無氣泡式（bubbleless）及萃取式（extractive）薄膜生物處理技術，使用無孔隙(Nonporous)的薄膜傳輸氫氣、甲醇或乙醇等物質，可有效使用基質及控制處理水中有機碳濃度。在國外方面，Fuchs et al.（1997）及 Mansell et al.（1999）採用透析(dialysis)薄膜，利用硝酸氮在薄膜兩端之濃度差，產生濃度梯度以進行硝酸氮之傳輸，處理水因與脫氮生物反應區域分開，可避免微生物污染處理水之問題；Fonseca et al.(2000)及 Velizarov et al.(2001)亦使用離子交換膜，僅選擇性通過硝酸離子，以提昇硝酸氮之傳輸速率。由於上述採用薄膜均利用薄膜兩端硝酸鹽濃度梯度之差異，以達到分離水體中硝酸鹽目的，但由於處理原水時，處理水量大且硝酸鹽濃度低，以濃度梯度機制分離硝酸鹽效率較低之缺點。本研究目的係採用電解膜離生物反應槽以處理含硝酸氮原水或地下水，以電場為趨動力，可同時達到提高硝酸氮濃縮速率、異營性生物脫氮及無需再二次處理（殺菌）等目的。

研究方法

本實驗採用電解膜離生物反應槽共有

陽極室、脫氮室及陰極室等三室組合而成，反應槽構造如圖一所示，陰極室及生物脫氮室之間以陰離子性選擇膜隔離，而陽極室與生物脫氮室之間以陽離子性選擇膜隔離，其中陽極室、生物脫氮室及陰極室的尺寸大小分別為4 cm (W) * 18 cm (L) * 16 cm (H)、6 cm (W) * 18 cm (L) * 16 cm (H)及5 cm (W) * 18 cm (L) * 16 cm (H)，它們的有效體積分別為0.864L、1.296L及1.08L。陽離子電透析膜的膜面積為216 cm²，陰離子電透析膜的膜面積亦為216 cm²，此兩種膜均為Dupont公司生產。陰極板為不銹鋼材質，陽極板為包

覆鈦金屬之不溶性極板。實驗採用直流電流，以定電壓方式操作，其電壓為0.1 伏特及電流維持在0.2至0.5 (安培)之間變化。陽極室定期添加電解質NaCl，每週添加1g方式操作。進流水為由自來水及硝酸鈉進行人工配置，其進流水濃度介於25~45 (mg NO₃-N /L)之間變化。生物脫氮槽微生物濃度維持在2500~3500mg/L之間變化，微生物以異營性脫氮菌為主，提供碳源為甲醇，並以機械攪拌方式維持微生物懸浮於反應槽中。為維持生物脫氮過程中，pH值上昇，以一組pH控制器控制生物脫氮槽pH值維持在7~8之間。



圖一、反應槽構造示意圖

結果與討論

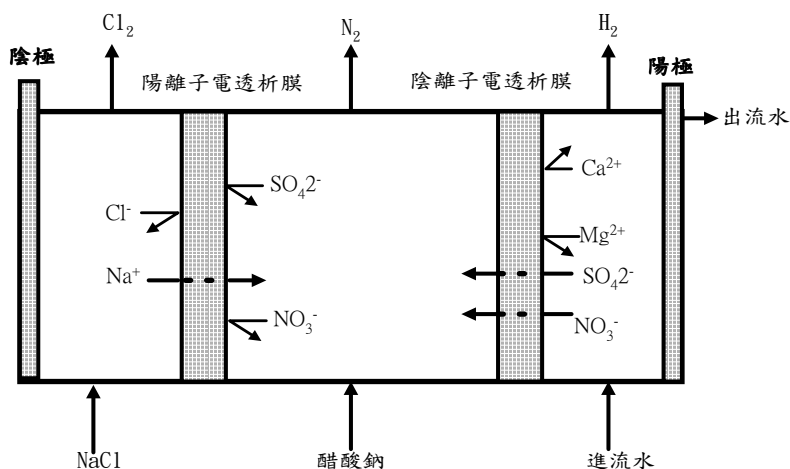
硝酸鹽移轉機制

圖二中所示為硝酸鹽透過電透析膜之

移轉機制，含硝酸鹽原水透過電透析膜，進入生物脫氮室，其作用機制是帶負電硝酸根離子，在陽極正電荷驅動下，硝酸根離子會經過陰離子透析膜，而進入脫氮室。而硝酸根離子在陽極正電荷作用下會

繼續往陽極室方向移動，但陽離子室與生物脫氮室之間以陽離子透析膜，故可以阻隔硝酸鹽繼續往陽極室移動，而停留在生物脫氮室中。表一中所示為本研究與其他薄膜生物處理技術硝酸鹽轉換機制之比

較，在薄膜材質方面，本研究採用離子透析膜，硝酸根離子轉換機制為電解透析，故可以加速硝酸鹽透過速率，而縮短反應時間，對大水量低濃度原水處理具有優勢。



圖二、硝酸鹽透過電透析膜之移轉機制

表一本研究與其他薄膜生物處理技術硝酸鹽轉換機制之比較

篇名	本研究	Fonseca et al., (2000)	Fuchs et al., (1997)	曾世恭等 (1999)
薄膜材質	離子透析膜	離子交換膜	透析膜 (nitrate-permeable membrane)	透氫氣矽膠膜
機制	電解透析 (electro dialysis)	Donnan dialysis	dialysis	Solution/ diffusion
微生物污染	無	無	無	會
碳源二次污染	無	無	無	無 (使用氫氣)
轉換速率	快	中	中/慢	---
反應槽體積	小	中	中/大	大
副產物	氫氣可用於自營性脫氮 氯氣可用於自來水消毒	無	無	無

處理效果

如下表二中所示，進流水流量為10 L/day，其進流硝酸鹽濃度介於25至45 mg NO₃-N/L之間變化。水力停留時間（HRT）為2.5小時左右，處理後出流水硝酸鹽濃度介於6~9 (mg NO₃-N /L)之間變化，可符合飲用水水質標準。濃縮於生物脫氮室的硝酸根離子則採用異營性生物脫氮菌，污泥濃度約3000 mg/L，使用的碳源為醋酸钠，其劑量係以C/N 比值3為基準，較理論值C/N 為2.7稍高，主要係能夠達到較高脫氮效率為考量。生物脫氮室反應槽用稀硫酸維持pH值在7~8之間，以利脫氮菌生長，硝酸根經過生物脫氮後，轉換成氮氣，殘留硝酸根濃度介於3~8 mgNO₃-N/L之間變化。

薄膜面積負荷

Fonseca et al(2000)採用離子交換膜，面積負荷為6 g NO₃-N/m².day，而Fuchs et al.(1997)選用透析膜做為分離硝酸鹽薄膜，其面積負荷為5 g NO₃-N/m².day左右。依據表二進流水硝酸鹽濃度得到，本研究採用電透析膜，薄膜面積負荷可以提昇至11.6~20.8 g NO₃-N /m².day之間變化，故可以大幅減少所需膜材使用面積或減少反應槽水力停留時間，以節省薄膜初設成本及佔地面積需求或反應槽體積，對於大水量低濃度原水/地下水處理具有優勢。另外，電解時在陰極室及陽極室分別會有氫氣及氯氣產生，則可以用於脫氮之電子供應者及自來水消毒用，以節省藥品使用量，而降低操作成本。

表二、電場膜離生物反應槽各試程對硝酸鹽去除之結果

試程	進流水 (mg NO ₃ -N /L)	處理水 (mg NO ₃ -N /L)	脫氮室出流水 (mg NO ₃ -N /L)
1	30	8	3
2	35	8	5
3	40	9	4
4	32	7	4
5	45	9	5
6	25	7	5
7	28	7	6
8	38	6	8

結論

久旱不雨或地表水受到污染，造成水源不足時，地下水成爲應急或替代水源，然從國內外許多資料顯示，地下水受到硝酸鹽污染情形日益嚴重，若硝酸鹽問題無法有效解決將無法直接使用地下水或增加水處理成本，因此投入許多研究。在許多研究中發現無論使用物化或生物處理技術（包含自營性及異營性脫氮菌）均會衍生一些問題如濃縮液、微生物或碳源等二次污染及溶解效率低（以氫氣做爲能量來源）及儲存安全等，對使用者造成一些困擾。生物薄膜技術應用於地下水硝酸鹽脫氮則可以解決上述許有問題，使此技術受到相當重視。但由於利用生物薄膜技術處理地水水源常受硝酸鹽濃度較低及水量大等因素影響，無法有效提高硝酸鹽轉換效率，而影響此技術在實廠方面應用。本研究在生物膜離反應器中以電場爲趨動力，並應用正及負極電透析膜，使離子能夠順利通過或阻絕功能，可快速及有效分離硝酸鹽污染物。從薄膜面積負荷而言，可以將目前相關文獻中得到 $5\text{-}6\text{ g NO}_3\text{-N /m}^2\cdot\text{day}$ 提昇至 $11.6\text{-}20.8\text{ g NO}_3\text{-N /m}^2\cdot\text{day}$ 之間，效率提昇2至4倍，故在相同污染量下，對薄膜面積需求亦可減少2至4倍，對此種系統初設成本降低有顯著影響，亦會直接影響業者使用意願。

參考文獻

1. 張王冠、洪仁陽、張敏超、邵信，薄膜生物技術應用於飲用水處理之探討，自來水會刊，第二十卷第三期，22-32，2001。
2. 曾四恭、張育傑及何俊明，改變外加碳源方式之生物脫硝反應研究，第二十四屆廢水處理技術研討會論文集，67-72，1999。
3. 何俊明、張育傑、鄒文博、呂婉瑜及景惠鈴，利用薄膜添加基質之氫氣自營性生物脫硝反應槽去除水源中硝酸鹽之研究，第二十五屆廢水處理技術研討會論文集，935-939，2000。
4. Clifford, D. and X. Liu, Biological denitrification of spent regenerant brine using a sequencing batch reactor, *Water Research*, 27,9, 1477-1484, 1993.
5. Fonseca, A. D., Crespo, J. G., Almeida, J. S., and M. A. Reis, Drinking water denitrification using a novel ion-exchange membrane bioreactor, *Environ. Sci. Technol.*, 34, 1557-1562, 2000.
6. Fuchs, W., Schatzmayr, G., and R. Braun, Nitrate removal from drinking water using a membrane-fixed biofilm reactor, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 48, 267-274, 1997.

7. Hoek, J. P. van der and A. Klapwijk, Nitrate removal from ground water, *Wat. Res.*, 21, 989-997, 1987.
8. Mansell, B. O. and E. D. Schroeder, Biological denitrification in a continuous flow membrane reactor, *Wat. Res.*, 33, 1845-1850, 1999.
9. Velizarov, S., Rodrigues, C. M., Reis, M. A. and J. G. Crespo, Mechanism of charged pollutants removal in an ion exchange membrane bioreactor: drinking water denitrification, *Biotechnology and bioengineering*, Vol. 7, No.4, 245-254, 2001.

自來水主要管線材料之耐震特性與改善探討

蔡錦松* 許富順** 劉衍志*** 周立德****

一、前言

台灣在高度現代化的進步中，自來水已是居民日常生活中不可或缺的。而中部地區在九二一地震的震撼下，由於地震規模過大加上既有自來水管線缺乏耐震設計與指導，使得自來水管線與相關設備，因震害而喪失供水功能，造成用戶生活許多不便，更嚴重威脅衛生環境，間接影響災後復建進度。

此次地震除震損家園，同時也震出國內目前亟需「自來水設備耐震設計規範」與「自來水管線耐震性標準與試驗」等重要課題。本文首先介紹地震造成管線破壞方式，佐以九二一地震調查數據。其次探討管線破壞模式及影響管線破壞的因素。最後討論國內四種常用管材之耐震性，並將九二一地震及1995年日本阪神地震之管線破壞比率相互比較，可作為建立自來水管線耐震性能基本資料，提供初步選用管線與評估管線耐震性能參考之用。文中災

損破壞率係參照台灣省自來水公司之九二一地震管線震害調查統計資料⁽¹⁾與日本阪神地震管線震害統計資料⁽²⁾加以彙整。

二、地震造成管線破壞方式

一般地下管線的受震破壞類型，依土層位移條件加以分類，可區分成下列兩種情形：

1. 地層移動破壞：

地層移動破壞主要包括通過斷層、土體破裂、土壤液化等類型。通常地震發生時，受震區地層會產生滑動與變位現象，而滑動區內管線會隨著地層一起運動，但是在管線與土壤不滑動區域臨界處，卻會產生相對變位，使管線折斷、接頭脫落。因此凡是管線與地震破裂帶相交或是通過破裂帶，無論管徑大小、管材種類、接頭型式，管線皆會遭受到嚴重破壞。

若發生土層液化現象時，土壤將喪失其承載力，使液化區內管線產生不均勻沉

* 國立成功大學土木工程系教授

** 國立成功大學土木工程系碩士班研究生

*** 國立成功大學土木工程系博士班研究生

**** 南榮技術學院土木工程系助理教授

陷，導致管線承受撓曲彎矩，其主要破壞為接頭部份產生脫落或管體破裂。同時在液化與非液化區臨界處會產生剪力作用，使管線折斷與接頭脫落。這類型破壞明顯且集中，難以採用有效的耐震措施。若採用耐震接頭，雖可以減輕破壞程度，但不足以完全抵抗此類破壞。然而上述情形，可以於管線系統規劃、設計階段預先估計，盡量避免管線通過此類地質條件之區域。

2. 地層震波破壞：

當地震波經過土層時，對土體會產生擠壓應變造成土體移動，使管線與土壤有

相對位移而破壞。當地層承受地震波時，管線一側會產生主動土壓，另一側則為被動土壓，當土壓失去平衡時，則管線就有可能因推移而折斷或接頭脫落。管線因震波傳遞而變形，當超過管線所能承受變形時，管體就產生折斷、破裂、擠壓，接頭則有脫落或插入等現象。

當管線穿越不同地層，因不均勻振動所產生之管體應力較大，或應力集中於管體某一點時，也同樣會產生破壞。雖然此類破壞力小，但其分佈面積廣泛，在九二一地震中破壞比例即高達48%（如表1所示），為管線震害最主要破壞形式。

表1 九二一地震管線受震破壞類型與破壞件數⁽¹⁾

破壞部位 破壞類型	直管本體 (件)	接頭 (件)	異形管 (件)	其他 (件)	總計 (件)	百分比 (%)
地層震波破壞	7505	2087	649	515	10756	48.3
土層液化	242	60	104	4	410	1.8
土層崩塌	2118	186	120	-	2424	10.9
地面龜裂	1643	536	136	2	2317	10.4
地層水平錯動	1220	619	123	5	1967	8.8
地層垂直錯動	2499	690	332	25	3546	15.9
其 他	401	2	224	243	870	3.9
總 計	15628	4180	1688	794	22290	100.0

三、管線破壞模式

管線之破壞模式，經由國內外震害調查顯示，可分為以下三類型⁽³⁾：

1. 管體破壞

管體破壞型式包括下列三種模式：

- (1)管體破損：地震時，地層承受水平與垂直地震波，產生水平或垂直搖動，會對管體造成應力集中，超出管體強度之處，則形成龜裂破損。
- (2)管體變形：因地震而產生地表隆起、或土壤液化所造成地層變形，將使附近管線，遭受極大撓度，而產生變形彎折。
- (3)管體斷裂：地震產生地層錯動，若位移量過大而超過管體容許變形量，則管線發生斷裂。

2. 接頭破壞：

就管線接頭而言，在地震中主要破壞模式，可歸納出下列三種模式：

- (1)拉拔破壞：主要由於地震所產生縱向波作用，致使管線承受軸向張力，導致管線在接頭處形成向外相對位移，若相對位移超過接頭容許變位，則兩相連管線將相互向外拉拔，接頭產生拉拔破壞。
- (2)擠壓破壞：主要由於地震所產生

縱向波作用，而使管線承受軸向壓力，導致管線在接頭處形成向內相對位移，若相對位移超過接頭容許變位，則兩相連管線將相互向內擠壓，接頭產生擠壓破壞。

- (3)撓曲破壞：主要由於地震所產生橫向波作用，而使管線承受橫向應力，導致管線在接頭處形成相對旋轉角，若相對旋轉角超過接頭容許旋轉角，則兩相連管線將在接頭產生撓曲破壞。

通常地震對管線所造成之變形，大多會由接頭所承受。當採用相同材質而不同接頭型式，便會發揮不同伸縮性與可撓性能，所產生的破壞情況也不同，一旦地震力造成之接頭伸縮量或彎曲角大於容許值，則接頭處易產生漏水甚至脫落。而不同接頭構造其防水性、撓曲性、防止脫落及伸縮性等也均有出入，故在選擇接頭型式時，須謹慎考慮。常用之管線接頭構造類型，參照日本水道協會「水道施設耐震工法指針・解說」規定可分成三類，而各式接頭型式可參考表2。

(1) 柔性構造接頭

柔性構造接頭功能，主要提供接頭具有較大變形抵抗能力，包括伸縮變形與彎曲角度等，管線接頭若採用柔性接頭，將可提高接頭與管線耐震性能。

(2) 鎖構造接頭

鎖構造接頭是指在地盤變位時，接頭除具備柔性接頭功能外，同時具有防止接頭脫落之鎖扣設計。接頭與管線耐震性能是所有接頭型式中效果最佳。

(3) 剛性構造接頭

管線接頭若採用剛性構造方式，會造成管線變形能力降低，影響管線耐震性能。耐震性能，是所有接頭型式中效果最差的。

表2 接頭構造特性與型式⁽⁴⁾

分類	管種	接頭型式	用途
柔性構造 接頭	DIP	A、K、T、U 型	一般土層適用
	PCCP	承插式接頭	
	PVCP	RR 接頭	
剛性構造 接頭	DIP	KF、UF、突緣型	
	SP	焊接接頭、突緣型	
	PVCP	TS 接頭	
鎖構造 接頭	DIP	S、SII、NS、PII、US 型	耐震、軟弱 地盤管線適用

3. 附件破壞：

附件一般是指管線附屬設備，主要為無法承受地震力作用而產生破壞，如錨定螺栓鬆脫、管線固定設備損壞、人孔破壞，連帶使管線受損。

四、管線受震破壞率影響因素

管線遭受震害時，其破壞率將隨下列各項影響因素而有所不同。

1. 地震規模

通常地震規模越大表示釋放能量越

大，相對於管線所造成之損害程度也會增加，為破壞率主要影響因素。

2. 地質條件

地質條件包含土層種類與土層分佈性質，例如埋設於地質條件較差之管線，包括回填地、新生地或沖積層區域，因土質鬆軟地震時會產生較大變位，且液化發生可能性相當高。若管線無適當耐震設計，其管線破壞率比在堅實地盤中較高。

3. 管線材質

管線使用不同材質時，其基本物性、延展性與強度差異甚大。在相同地震力作用下，所表現出破壞率也不同。如在九二一地震中，延性鑄鐵管之破壞率為0.212件/km，而聚氯乙烯管之破壞率卻高達0.699件/km。

4. 鋪設時間

管線震害程度與鋪設時間有近似於正相關之趨勢，亦即鋪設時間越早，管線材質老化程度愈為嚴重且強度降低，一旦受震則損壞率有增加之趨勢⁽⁵⁾。

5. 管線走向

當管線走向（軸線方向）與震波同方

向時，因震波所引起的相位差較大，管線損壞率會相對提高，大約是與地震傳遞方向垂直管線損壞率之兩倍關係⁽⁵⁾。

6. 管線接頭

通常管線承受變形能力主要集中於接頭處，所以地盤變動對管線所造成之變形影響，大多會由接頭所承受。當採用相同管材而不同型式接頭時，因接頭容許伸縮量與可撓度不同，產生的破壞情況也不同。如表3所示，阪神地震中，延性鑄鐵管使用耐震型接頭（S、SII型），其接頭破壞案例較一般接頭（A、K、T型）少。

表3 阪神地震各管材主要破壞形式[2]

管種	接頭型式	主要破壞形式
DIP	一般接頭 (A、K、T型)	接頭脫離
	耐震接頭 (S、SII型)	無破壞例
CIP	A型	接頭脫離 管體破損
鋼管	SP	焊接接頭
	SGP	螺栓接頭
PVCP	TS型	管體破損 接頭脫離、破損

7. 管線直徑

就總體而言，隨著管線直徑增加，管線的損壞率有減低之趨勢。在九二一地震中（如表4所示），直徑小於50mm之

PVCP平均破壞率為4.635件/km，直徑大於50mm之PVCP平均破壞率為0.120件/km，因此管徑越小則平均損壞率有越高之趨勢。

表4 九二一地震主要管材平均破壞率⁽¹⁾

	用戶給水外線 ($\phi < 50\text{mm}$)			輸配水管線 ($\phi > 50\text{mm}$)			總管線		
	破壞件數	佈設長度 (km)	平均破壞率 (件/km)	破壞件數	佈設長度 (km)	平均破壞率 (件/km)	破壞件數	佈設長度 (km)	平均破壞率 (件/km)
PVCP	12975	2799.418	4.635	2283	19020.465	0.120	15258	21819.883	0.699
DIP	-	-	-	529	2496.019	0.212	529	2496.019	0.212
CIP	5	1.339	3.734	96	1005.039	0.096	101	1006.378	0.100
SP	-	-	-	25	239.806	0.104	25	239.806	0.104
PSCP	-	-	-	17	65.865	0.258	17	65.865	0.258
PCCP	-	-	-	1	21.613	0.045	1	21.613	0.045
總計	12980	2800.757	4.634	2951	22848.807	0.129	15931	25649.564	0.621

8. 埋管深度

過去震害經驗指出管線埋設深度亦會影響震害程度，當管線埋設深度越深，則震害情形越輕微⁽⁵⁾。管線埋深與管徑也有相關，當管徑越大，相對於抗震要求的埋深也增加，亦即大管徑與小管徑的管線，要達到同一抗震要求標準，大管徑埋深要比小管徑管線深。

五、常用管材之耐震性能

一般地下管線耐震設計，除須進行基本垂直靜態荷重分析外，尚需考慮地震作

用之水平動態荷重分析。因此管線材料種類的選擇，應依上述兩項原則，個別考慮管體與接頭承受垂直靜態荷重與水平動態荷重作用。

目前國內所使用之管線種類眾多，在本文中僅針對四種常用管材(DIP、PVCP、SP、PCCP)討論耐震性能。

1. 延性鑄鐵管(DIP)

延性鑄鐵管不僅具有較高抗拉、抗壓及伸張性能，且具有較佳延展性、韌性、耐衝擊性及適當彎曲性。管徑 $\phi 500\text{mm}$ 以上之鑄鐵管，其壓扁量可達管徑1/4仍不

會龜裂⁶⁾。

2. 聚氯乙烯塑膠管 (PVCP)

聚氯乙烯塑膠管是由塑膠化學品製成，一旦長期受陽光紫外線照射，耐衝擊性能會減低，產生老化與脆化等不良現象，製造時品質較有偏差等問題。雖具有柔軟性，但強度不足不耐衝撞，所以容易損害⁶⁾。

活套接頭為PVCP接頭最主要型式，有構造簡單與施工容易之優點。但擴口端厚度僅與直管厚度相同或甚至更薄，容易形成結構弱面。理論上，所受環向張力因口徑較大，故應較直管部分為大，其厚度應比直管部分為厚，才不致成為應力上之弱點，所以JWWA-K119規定套管厚度大於直管厚度。同時活套接頭撓角如果過大，容易引致接頭損害。因此如何強化活套接頭，則為改進PVCP，尤其大口徑管之重要課題。

3. 鋼襯預力混凝土 (PCCP)

以混凝土為主體，利用鋼線提供管體抗拉力，能製成所需耐壓強度，雖然鋼線保護完善，仍有被腐蝕之虞，並有重量大、不具韌性、運輸容易受損等缺點，因為無法任意鑽孔切斷相接，所以一旦漏水時搶修較困難。惟其成本低廉為最大優點。預力混凝土較適用於送水幹管，在規

劃設計階段宜對管線周圍自然及社會環境詳加調查，且施工時管溝回填應求確實，以求良好支承，避免不均勻沉陷。由於小口徑管縱向抗彎強度低，使用上應以直徑大於600mm之管線為宜，同時應注意下列三項原則⁷⁾。

(1) 保護層

保護層品質會直接影響預力混凝土管壽命，保護層厚度與水泥種類應依埋設環境之土質或地下水等影響因素不同而改變，在特殊情況下應考慮預先加噴水泥漿或加刷其他保護膜措施。設計者應瞭解其使用地點情況，選擇其保護方式以求發揮最佳功能。

(2) 接頭

預力管承插式接頭萬一漏水，修復極為困難。為求接頭完全可靠，應對其形狀、橡皮圈及構造謀求改善，如使用金屬套管接頭，金屬套管之防腐蝕應依其所使用材質做應有處理。

(3) 鋼襯

鋼襯預力混凝土管因有一防水層（鋼襯）一體連接至接頭，故水密性極佳，甚至內外壓超載至混凝土發生裂紋時，亦不致有滲漏水現象，故極適合於高壓管線。

4. 鋼管 (SP)

鋼管耐壓強度大於鑄鐵管，具有韌性，較鑄鐵管價廉且施工性良好而修繕亦

容易，零件可依需要形狀焊接，材料獲取及製造容易，焊成一體後不僅接頭少且能有較大跨度，對振動、衝擊等抵抗力大等等優點，是為良好管材之一。其唯一缺點為不耐腐蝕，所以管內外均需加以保護，此不僅增加工程費用，且因其施工品質維持需要特別注意，效果可靠性檢查不易，故間接影響其適用性能。然而有其他管材所不及之特性，因此在地形複雜處，跨越河川時，及對大口徑高壓管線等應屬非常理想之管材。鋼管因不能收縮，故彎管、T字管處及直線上每隔100m要設置一伸縮

接頭以策安全⁽⁸⁾。

鋼管設計時一般採用彈性變形以內，故其承受壓力超過設計強度時亦不致破裂，所以對內壓力抵抗非常強。但管壁厚度與管徑比值小，是為一薄殼構造，地震作用時容易有挫曲破壞現象，受外壓容易變形，甚至被壓扁。

依據上述討論之管線材質與接頭構造兩項特點，針對四種常用管材耐震性能進行評估，可歸納整理得各管材耐震特點如表5所示⁽⁴⁾。

表5 管材耐震特點

管材種類	耐震特點
延性鑄鐵管 DIP	<ol style="list-style-type: none"> 1. 管體強度大，具韌性，耐衝擊性。 2. A、K、T、U 型柔性接頭會隨地盤變形而伸縮、彎曲，但若地盤變形程度大於接頭容許伸縮量，則接頭會被拉脫。S、SII 型等鎖構造接頭，伸縮性比柔性接頭大，且具有防止拉脫功能，故能承受較大地盤變動。在地盤變動劇烈處，可搭配伸縮可撓接頭。 3. 管體單位重量較重，其柔性接頭施工性佳，鎖構造接頭施工性較差。
聚氯乙烯管 PVC	<ol style="list-style-type: none"> 1. 管體強度最小。低溫時耐衝擊性低，耐腐蝕性良好，而對有機溶劑、高熱及紫外線抵抗能力較弱。 2. 其伸縮性接頭如膠圈接頭（RR 接頭），在地震時若伸縮量超過容許範圍即會拉脫。另一種將管體結合成一體之膠合接頭（TS 接頭），即使小地震也會發生損害。
鋼襯預力混凝土管 PCCP	<ol style="list-style-type: none"> 1. 管體強度大，耐衝擊性。 2. 其承插式接頭拉伸量可高達 40 mm。由於表面噴有一密實但粗糙之砂將保護層，與土壤之摩擦係數高達 0.4，地震時不易與土壤產生相對變位。 3. 管體單位重量重，運輸不便。
鋼管 SP	<ol style="list-style-type: none"> 1. 管體強度大，具韌性，耐衝擊。須考慮鏽蝕影響，增強其防蝕性。 2. 焊接型接頭可使管線一體化，但應考量地盤變動對管體強度與變形能力的影響，因此在地盤變動劇烈處，可採用伸縮可撓接頭或增加管體壁厚，以增加其耐震性。 3. 管體單位重量較輕。其焊接須具備專業技術。

六、管線破壞統計

下列各項統計資料，由台灣省自來水公司之九二一地震管線震害調查統計資料

^[1]與日本阪神地震管線震害統計資料^[2]加以彙整，可得管線在地震作用下之破壞類型分佈如前述表3、4與下列各圖所示。

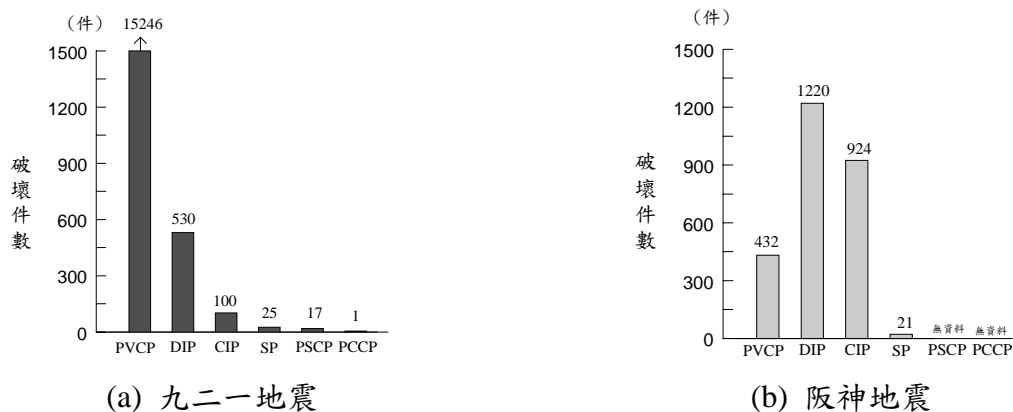


圖 1 管線破壞件數

在台灣，PVCP之佈設長度遠遠超過其他管種，加上PVCP耐震性並不佳，所以在破壞件數上，PVCP佔了絕大部分。

而在日本，則多以鋪設DIP為主，所以DIP之破壞件數較其他管種為多。

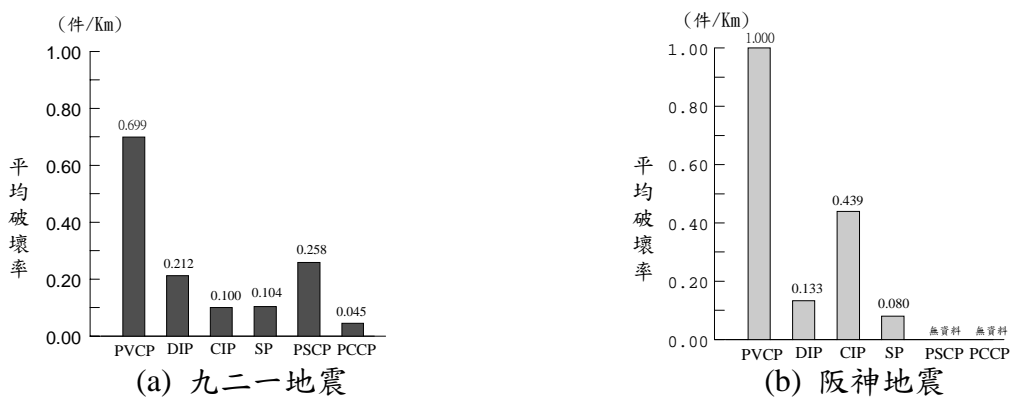


圖 2 管線破壞率

各管材中以PVC/P平均破壞率最高(如圖2所示),其原因為PVC/P之耐震性最弱,且所使用接頭與其他管材接頭比較,伸縮可撓性較差,無法承受地震作用力與變位。但PVC/P價廉質輕方便運輸,施工迅速且方便,有其使用上之優點,所以加強PVC/P管體與接頭抗震性,提高耐衝擊

性,以改善其脆弱性結構,將是未來值得研究之課題,

大口徑管則以SP與PCCP的耐震性較佳,但須注意施工時回填土之夯實,若夯實不佳,將產生不均勻沉陷,減少接頭之撓曲與伸縮容許值,降低管線之耐震性。

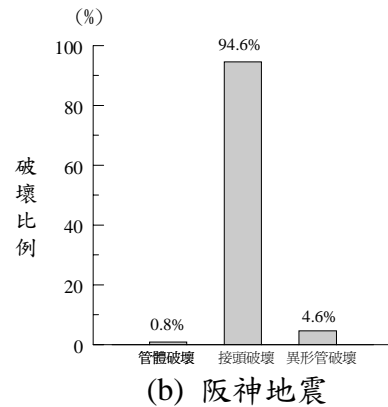
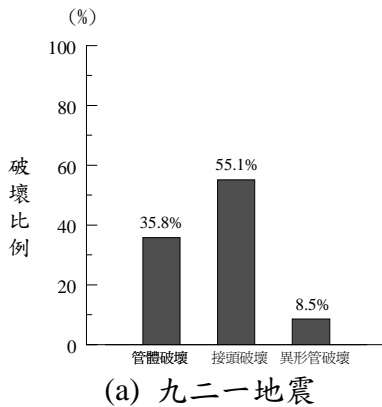


圖 3 DIP 破壞比例

因DIP管體强度高、韌性佳,能承受較大之地震力不易受損,破壞多發生在接頭處。所以接頭處之設計與施工品質格外

重要,一旦施工或設計不良,將成爲一相對弱點。

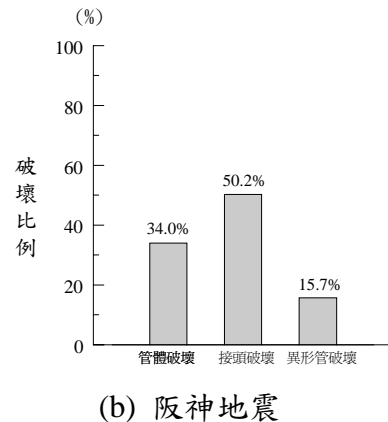
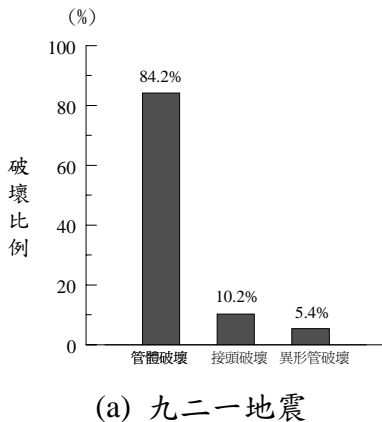


圖 4 PVC/P 破壞比例

九二一地震造成之PVCP破壞，其中有84.2%屬於管體破壞，約為阪神地震(34%)之2.5倍(如圖4所示)。其原因可能有：

- (1)管線出廠時檢驗不完善，或儲存不當而使材質脆化、老化。
- (2)管線搭接處加熱不當而變形，脆化後易因振動而破裂。
- (3)施工不確實，管周填砂不足，管體與石塊或水泥等堅硬物體接觸，易因地震產生刻痕效應而破裂。

七、結論與建議

1. 不論是在台灣或日本，PVCP之平均破壞率均為最高，所以在鋪設時，須特別評估管線破損漏水後之影響，且重要管線應儘量避免使用PVCP。
2. 延性鑄鐵管(DIP)主要破壞於接頭處，故使用DIP，須注意接頭之耐震性能，通過高危害區時應考慮選用耐震型接頭。
3. 堅實地盤最適宜埋設管線，若管線無法避免通過軟弱土層時，則須加設伸縮可撓接頭以增加其抗震性能，並準備搶修備品，以便日後破裂時，及時修補。
4. 經歷九二一地震後，關於土木工程結構物之耐震性能，已引起政府單位、社會大眾、學者及專家的重視，其中也包括自來水管線之耐震措施。所以制訂一套

屬於台灣地區之「自來水設備耐震設計規範」，對各地區依其潛感特性評估適當之施工規範標準，為本領域同仁將來努力之目標。

八、參考文獻

1. 王炳鑫，「台灣九二一集集地震公共給水管線設備損害報告」，中華民國自來水協會會刊，第十九卷，第一期，第64-81頁(2000)。
2. 日本水道協會，1995年兵庫縣南部地震による水道管路の被害と分析，日本(1996)。
3. 蔡錦松，現有自來水管(PVCP、DIP)接頭耐震性檢測研究(1999)。
4. 日本水道協會，水道施設耐震工法指針・解説，日本(1997)。
5. 謝志平、謝宇，給水工程抗震和震後給水，地震出版社，北京(1996)。
6. 自來水協會技術研究委員會，「自來水管線材質研究稿(1)」，自來水會刊，第27期，第53-101頁(1988)。
7. 自來水協會技術研究委員會，「自來水管線材質研究稿(2)」，自來水會刊，第28期，第85-131頁(1988)。
8. 自來水協會技術研究委員會，「自來水管線材質研究稿(3)」，自來水會刊，第29期，第99-125頁(1989)。

利用粉狀活性碳降低消毒程序中總三鹵甲烷的生成

黃 智* 楊志輝** 鍾裕仁***

一、計畫緣起

消毒是飲用水處理程序中極為重要的一環。最傳統同時也是最常使用的消毒方法是加氯消毒，而其被廣泛使用的原因在於其成本的低廉及應用上的簡易。然而，於 70 年代在美國與荷蘭兩地的學者研究發現加氯消毒時會生成氯仿(CHCl_3)、一溴二氯甲烷(CHBrCl_2)、二溴一氯甲烷(CHBr_2Cl) 以及溴仿(CHBr_3)，這些因為消毒程序而產生的化學物質統稱為消毒副產品 (Disinfection By-Product, DBP)⁽¹⁾，而氯仿、一溴二氯甲烷、二溴一氯甲烷與溴仿則合稱為總三鹵甲烷 (Total Trihalomethane, TTHM)。由於 TTHM 對人體健康有相當的危害性，世界各國對其規範也愈趨嚴格。以美國為例，在美國環保署所訂立第一階段的消毒劑/消毒副產物法規 (Disinfectant/Disinfection By-Product Rule, D/DBP Rule) 中⁽²⁾，規定總三鹵甲烷濃度不得高於 $80 \mu\text{g/L}$ 。同時，該法規於第二階段立法，將進一步將

TTHMs 之濃度限制調降到 $40 \mu\text{g/L}$ 。目前台灣地區飲用水中的總三鹵甲烷的法規限值為 $100 \mu\text{g/L}$ ，略高於美國之現行標準，然而順應潮流以及為民眾的健康把關的考量下，此項標準未來勢必將更加嚴苛。

粉狀活性碳 (powdered activated carbon, PAC) 常被用於移除水中的有機物質，其中最常見的是移除水中造成臭味與口感不佳的有機物。在與 DBP 相關的應用研究上，其研究重點多在移除生成 DBP 的有機前質 (precursor) 的技術。其動機是如果能在消毒前降低原水中的有機質濃度，也就能直接地減少消毒副產物的生成。添加粉狀活性碳的另一項優點是，淨水場通常已有相關設備，所以所需的改善工程幅度不大且花費不多，對將來相關的飲用水質改善策略上，將有相當的助益。因此，本研究將針對粉狀活性碳在移除原水中有機質以及降低三鹵甲烷生成潛能的效能進行探討。

* 財團法人中興工程顧問社環境工程研究中心研究員

** 財團法人中興工程顧問社環境工程研究中心研究助理

*** 財團法人中興工程顧問社環境工程研究中心經理

二、 研究背景

三鹵甲烷主要是在加氯消毒的過程當中，由於氯與水中的天然有機質(Natural Organic Matter, NOM) 反應而生成。在處理技術上，大致可分為：(一) 在消毒完成之後，利用處理程序將DBP移除；(二) 改用其他的消毒系統 (如：紫外線消毒或臭氧消毒)；(三) 於加氯消毒前，移除天然有機質，以減少 DBP 生成的可能性。其中，移除水中DBP生成前質 (或 NOM) 是目前相當受到重視的研究課題。因為此方法是在加氯或消毒前，即將水中可能與消毒劑反應的有機質加以移除或破壞，使其在消毒程序中反應物的濃度降低，進而減少DBP的生成機會，是一種有效的預防性處理措施。移除水中DBP生成前質的方法很多，比較常見者包括薄膜過濾、強化混凝以及活性碳吸附⁽³⁾。在活性碳吸附方面，採用吸附床來移除水中有機質，是常用的方式之一⁽⁴⁾。另外，也可採用粉狀活性碳 (powdered activated carbon, PAC) 做為控制水中 TTHM 生成前質的吸附劑。

近年已有研究顯示採用 PAC 或採用加強型混凝與 PAC 的組合均可以使 TTHM 的生成降到美國環保署第二階段消毒劑/消毒副產物法規中 TTHM 的限值⁽⁵⁾。Campos 等人則採用超過濾與PAC的組合程序，來移除水中之溶解性有機質 (dissolved organic carbon, DOC)⁽⁶⁾。

國內也有針對本土水源之相關研究，例如：陳鎧湧等曾針對同時使用混凝沉澱與 PAC 吸附對有機物的移除的效能⁽⁷⁾。又如：陳鴻烈等也曾探討水中數項因子 (如：pH) 對活性碳吸附TOC 效能的影響⁽⁸⁾。這些研究顯示採用活性碳吸附，控制水中有機質，也已在國內受到相當的重視。

三、 實驗材料與方法

計畫所使用的原水水樣是取自鳳山水庫的進水抽水站，所取得之原水不再經過任何前處理，即直接用於計畫中之各項實驗。原水的數項基本特性，如表一所示。三鹵甲烷生成前質的代表性指標包括水中之總有機碳 (TOC)、溶解性有機碳 (DOC)

表一. 鳳山水庫之原水水樣特性

pH 值	7.36
導電度 (μ s/cm)	583
濁度 (NTU)	4.45
總有機碳 (mg/L)	3.18 ± 0.46

以及 UV₂₅₄ 吸收度等，本計畫是以 TOC 作為前質指標。

計畫之初所測試的粉狀活性碳包括 Darco G60、Unicarb 200 mesh 及 PA-2。其中 Darco G60 是 American Norit Company (Atlanta, GA 30338) 所製造，並購自 Aldrich, Inc.。Unicarb 系列之粉狀活性碳

是由良健公司所提供。PA-2則是由一品碳素公司提供樣品。所有的PAC 均不經任何前處理即用於實驗中，有關各個活性碳的基本特性，根據廠商的產品資料表彙整如表二所示。

粉狀活性碳吸附平衡實驗是首先將

表二. 本研究中所使用之粉狀活性碳的物化特性。

活性碳種類	Darco G60	Unicarb 200	PA-2
粒徑 (mesh)	98% < 100 65% < 325	180-200	200-325
基質材料	煤質	椰子殼	椰子殼
碘值 (Iodine No.), mg/g	N/A	1050	1150
亞甲基藍脫色, (M.B.), mg/g	200	180	180
比表面積 (BET N ₂), m ² /g	N/A	N/A	1100
假比重 (Bulk Density), g/mL	N/A	0.48-0.52	N/A
灰份 (Ash Content), %	N/A	8	5
水分 (Moisture), %	10	8	6

*N/A : Not Available

200 mL 的水樣注入棕色試藥瓶中，同時加入適量之粉狀活性碳 (儲備液=10 g/L)，使其中含不同劑量之PAC。於室溫下 (21 ± 2°C) 搖晃五天後，用0.45 μm 薄膜過濾移除活性碳。對收集之濾液進行 pH 值與總有機碳的分析。吸附動力實驗採用標準杯瓶實驗機 (Phipps & Bird, Model 300) 進行實驗。其方法是先取二公升的原水樣，置於2 L杯瓶中。在100 rpm的快轉下，於每個杯瓶加入少量的酸(0.1 N HNO₃)或鹼(0.1 N NaOH)，以控制原水之

酸鹼值。將固定劑量之活性碳加入杯瓶之中，隨即於各杯瓶中加入不同劑量之混凝劑 (0-50 mg/L) 並快混一分鐘。接著以30 rpm慢混3小時，在慢混期間於不同之時間點採集樣本並立即用0.45 μm 濾膜過濾之。3小時後讓膠羽沉降1小時再取樣品過濾。接著分析所有過濾樣本的pH值與 TOC 濃度。

模擬配管系統 (Simulated Distribution System, SDS) 加氯實驗是用來模擬加氯後於輸送配管中總三鹵甲烷生成的情形。其

步驟是先取200 mL水樣過濾(吸附平衡或吸附動力實驗之最終水樣)後,置於200 mL之棕色瓶中。所有水樣在使用前均用0.1 N的NaOH將溶液的pH調整至8,再用12% (CoA = 11.8%)的次氯酸鈉溶液給予水樣不同的加氯劑量,並置於20°C之保溫箱中培養24小時。培養後的樣本分析其pH值、餘氯及總三鹵甲烷濃度。

總有機碳分析是採用濕式氧化法(NIEA W532.50C),所使用的總有機碳(TOC)分析儀是O.I. Analytical Model 700。總三鹵甲烷(TTHM)的檢測方法是採用吹氣捕捉氣相層析法(NIEA W781.50A),所使用的吹氣捕捉器是O.I. Analytical Model 4560,搭配Hewlett-Packard 6890 Series的氣相層析儀以及Hewlett-Packard Model 5973 Mass Selective Detector (MSD)。

四、 活性碳之篩選

活性碳效能的比較可分為吸附平衡與吸附動力兩種。前者反映活性碳吸附標的物的「容量」,後者則是反映活性碳吸附標的物的「速率」。在實場應用方面,可能受限於處理程序的水力停留時間,使得活性碳不僅應要有高吸附容量,同時能夠快速的達到飽和或近飽和容量,因此必須吸附平衡與吸附動力兩者兼顧。

首先,各種活性碳吸附鳳山水庫原水

中有機質的平衡實驗結果如圖一所示。所測試的三種PAC的效能以Darco G-60的吸附容量最大,200 mesh與PA-2則吸附容量相近,但均低於Darco G-60的效能。三種活性碳中,Darco G-60的基質為煤質,而200 mesh及PA-2則是椰子殼。一般而言,煤質的活性碳會兼具微孔隙(micropore)與中間孔隙(mesopores)的多種孔隙特質,而椰子殼的活性碳通常只有微孔隙。當移除較大分子量的有機物時,僅具有微孔隙的椰子殼基質活性碳會很容易產生孔隙入口被高分子量的物質阻塞,造成效能上的降低。相對的,具有多種孔隙特質的煤質活性碳,可以避免類似問題的發生⁹⁾。而對於有機質分子量組成較複雜的原水,具煤質的活性碳在效能上就可能比椰子殼基質活性碳好。因此,後續實驗即以Darco G-60做為試驗的主要吸附劑。

五、 前質移除效能

強化混凝(enhanced coagulation, EC)是於混凝程序中,將混凝劑的劑量提高或降低pH值以使原水有機質的移除率得以提高的一種處理方法,此項處理方法,亦被視為降低TTHM生成的適當方法之一。但實驗結果顯示,採用強化混凝或一般混凝,在移除鳳山水庫原水中的TOC效能上,並未有顯著的差別(圖二)。而使

用同一批次的原水進行處理時，添加 Darco G-60的 TOC 移除率則比一般混凝程序為高 (圖三)。所以，在不改變一般混凝的程序情形下，直接添加 Darco G-60 確實可以提高原水中 TOC 的移除效能。

六、活性碳吸附對三鹵甲烷生成的影響

完成吸附平衡實驗之水樣經過濾移除活性碳後，循 SDS 之實驗方式進行 TTHM 生成實驗。其所生成的 TTHM 型態如圖四所示。由於活性碳劑量越高，所移除之 TOC 越多，所以當給予等量的加氯量時，產生三鹵甲烷的量亦隨之減少。由圖四中可以發現除溴仿 (bromofrom) 之外，其他三種 THMs 的生成潛能 (formation potential) 也是隨活性碳劑量提高而降低，並且其降低程度很接近。至於溴仿並未受到明顯的影響，是因為溴仿的生成反應速率遠大於其他三種 THMs，所以在生成過程中，溴仿總是最快達到平衡⁽¹⁰⁾。在反應物 (TOC) 的競爭上較具優勢，而當 TOC 的量減少時，所受到的影響亦最小。

於圖五中，TTHM 生成潛能 (TTHMFP) 改用每單位有機碳所生成的量 (即 TTHMFP/TOC) 做為比較的基準。由比較之結果可以發現活性碳劑量越高時，所移除的「可用於生成 TTHM」的有機

質確實越多，同時觀察其斜率的變化，亦可發現其單位活性碳移除「活性」有機質的效能，隨活性碳劑量的增加而降低，並有趨近飽和的現象。這項趨勢顯示出並非單純提高活性碳劑量即是最佳的策略，而是要選擇在最適當的「活性」有機質的移除效率操作。換言之，最佳劑量的考量上除了 TOC 的移除率之外，也應考量單位活性碳移除「活性」有機質的效能，才能避免過度加藥而造成操作成本的浪費。

經過吸附動力處理後之水樣，也比照前述 SDS之程序進行 TTHM 生成實驗，同時比照圖四與圖五描繪出 TTHM 生成與活性碳劑量之間的關聯性，其結果如圖六與圖七所示。請注意，在檢測殘餘 TOC 後，發現吸附動力處理後之水樣的 TOC 濃度較低 (約為吸附平衡實驗後水樣的 1/2)，所以其加氯量 (圖六) 減為吸附平衡處理後水樣之加氯量的 1/2 (4 mg/L)，以維持相等的 TOC/Cl 比例。反應後的自由餘氯則維持在 0.2-0.8 mg/L 之間，仍能符合 89 年 12 月之飲用水標準 (0.2-1.0 mg/L)。於圖七中則同時對吸附動力處理後之水樣與吸附平衡處理後水樣之 TTHMFP/TOC 做一比較。

由圖六與圖四的比較即可發現，具有較低的 TOC 濃度的水樣 (吸附動力實驗後)，其 TTHM 的生成量也較低。但仍然遵循相同的趨勢，亦即 chloroform、

bromodichloromethane 及 dibromochloromethane 的生成，有相當明顯與整體性的降幅，而 bromoform 的生成幾乎不受活性碳劑量提高的影響。

圖七的比較則突顯了 TTHMFP/TOC 這項因子的重要性。兩組 (吸附平衡實驗後與吸附動力實驗後) 採用不同處理方式與不同生成條件 (例如：加氯量與有機碳濃度) 的數據，兩者的 TTHMFP/TOC 卻極為接近，表示 TTHMFP/TOC 受到水樣之 TOC、TTHM 生成總量或加氯的影響較小，對於應用 PAC 時，可能是一項較佳之比較因子。

七、 結論

依據此項研究計畫的結果，可歸納出以下數點結論：

- (一) 加強型混凝對鳳山水庫之原水的 TOC 移除，並沒有明顯的加強效果。粉狀活性碳吸附則對所使用的原水樣之 TOC 的移除有明顯的強化效果。
- (二) 活性碳吸附所需時間約在30到60分鐘之間，顯示實場的水力停留時間在一小時以上即足夠讓活性碳吸附量達到約 95% 的效能 (相對於吸附平衡)。但也顯示出實場操作上，由於接觸時間的限制突顯了吸附動力的重要性。

(三) 在三鹵甲烷生成潛能的移除效率與活性碳劑量之間的關係，以單位有機碳的三鹵甲烷生成潛能 (TTHMFP/TOC) 為較精確的判別因子，TTHMFP/TOC 同時也可以是判斷活性碳最適劑量的方式之一。

(四) 粉狀活性碳吸附可以有效的降低三鹵甲烷的生成潛能，但對溴仿的生成影響較小。因為溴仿的生成反應速率較快，在反應物競爭上比較佔優勢。

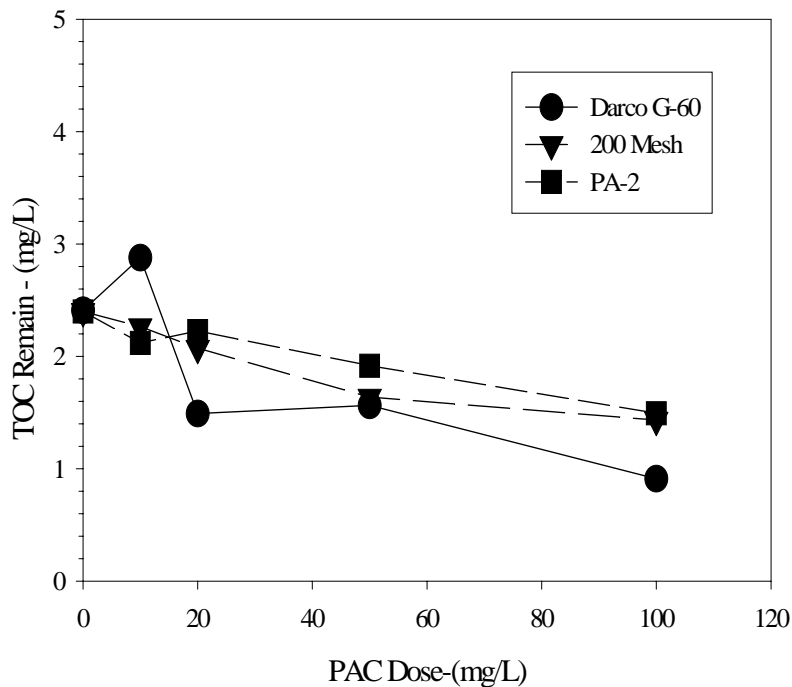
八、 參考文獻

1. Symons, J.M., Stevens, A.A., Clark, R.M., Geldreich, E.E., Love, T., and DeMarco, J. (1981) Removing Trihalomethanes from Drinking Water, *Water Engineering and Management*, July, pp. 56-64.
2. USEPA (1998) Code of Federal Register, 40 CFR Parts 141 and 142, March.
3. White, G.C.(1999) Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants, Fourth Edition, John Wiley and Sons, Inc, New York.
4. Summers, R.S. and Roberts, P.V. (1984) Simulation of DOC Removal in Activated Carbon Beds, *Journal of Environmental Engineering*, 110:1, pp.

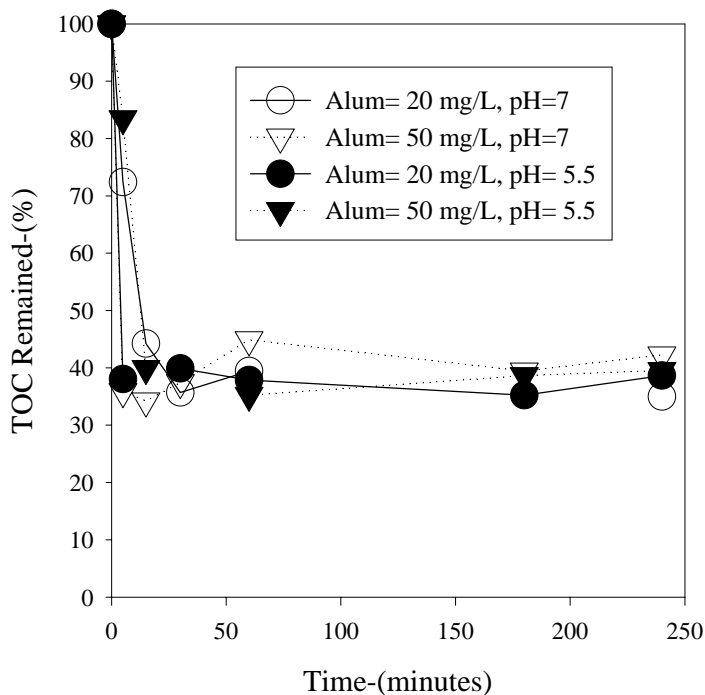
73-93.

5. Najm, I., Tate, C., and Selby, D. (1998) Optimizing Enhanced Coagulation with PAC: a Case Study, J. AWWA, 90:10, pp. 88-95.
6. Campos, C., Schimmoller, L., Marinas, B.J., Snoeyink, V.L., Bausin, I., and Laine, J.M. (2000) Adding PAC to Remove DOC, J. AWWA, 92:8, pp. 69-83
7. 陳鎧湧、黃文鑑、鄭惠澤、白莉英、葉宣顯 (1993) 粉狀活性碳對水中微量有機物去除之研究，第十屆自來水研究發表會論文集，pp. 219-234.

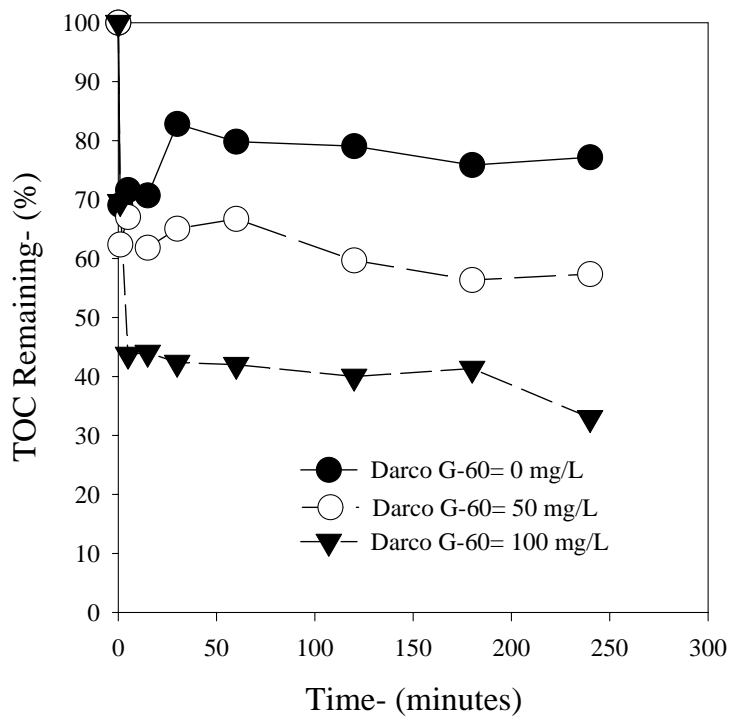
8. 陳鴻烈、陳桂梅、鄭慧玲 (1993) 活性碳吸附法去除飲用水水源有機污染物之研究、第十屆自來水研究發表會論文集，pp. 205-219.
9. American Norit Company (2000) Introduction to the Porous Structure of Activated Carbon, <http://www.norit.com/nac/aca.htm>.
10. Snoeyink, V.L. (1990) Adsorption of Organic Compounds, in Water Quality and Treatment, 4th Ed. (Editor: Pontius, F.W.), Chapter 13, McGraw-Hill, Inc., pp. 781-875.



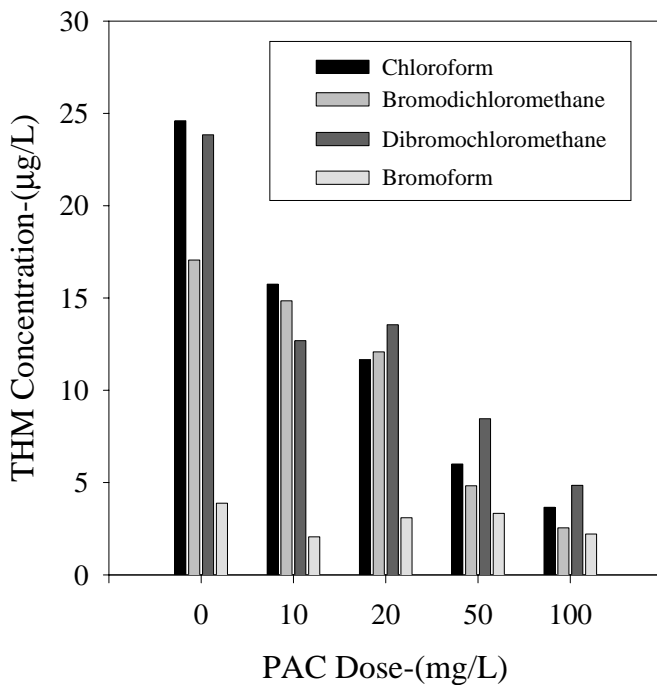
圖一、活性碳吸附原水中 TOC 之效能比較 (吸附平衡)



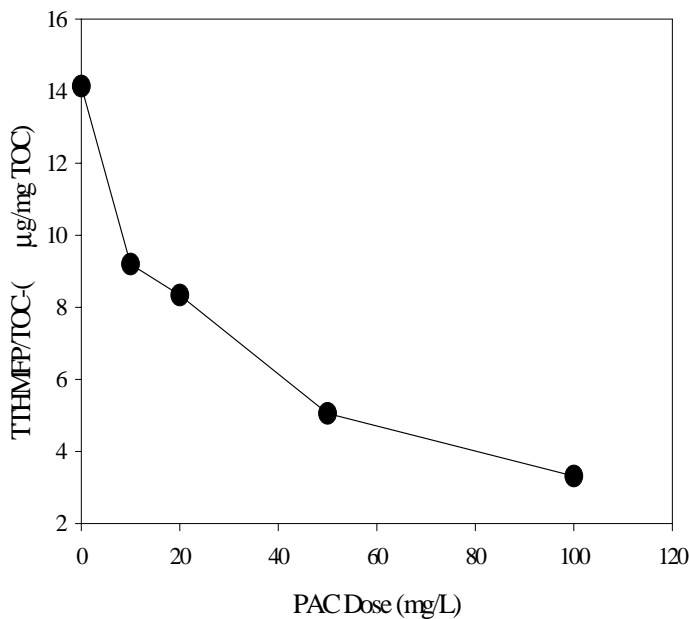
圖二、傳統與加強型混凝之效能比



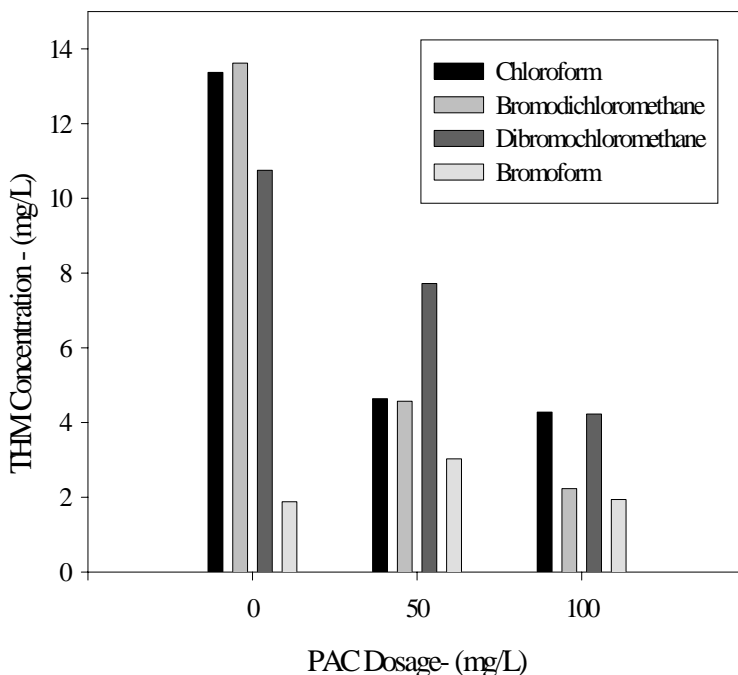
圖三、傳統混凝添加PAC後，移除TOC之效能比較



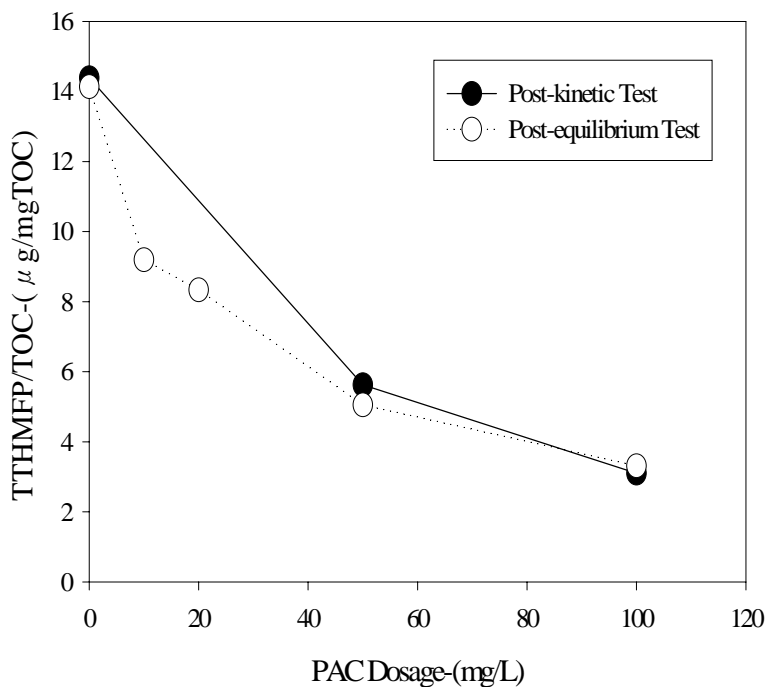
圖四、總三鹵甲烷生成濃度與PAC劑量的關係(吸附平衡處理後水樣)



圖五、TTHMFP/TOC隨PAC劑量的變化(吸附平衡處理後水樣)



圖六、三鹵甲烷生成濃度與PAC劑量的關係(吸附動力處理後水樣)



圖七、吸附平衡與吸附動力處理後之水樣的TTHMFP/TOC與PAC劑量之關係的比較

高級淨水處理設備個案採購原則簡介

李丁來¹胡南澤²謝啓男³

壹、前言

「大高雄地區自來水後續改善工程計畫」⁽¹⁾中辦理澄清湖、拷潭、翁公園三淨水場之增設高級淨水處理設備工程，合計出水量為74萬CMD，業經陳總統水扁89年8月5日於高雄澄清湖宣布應於3年內(90年至92年)完工，其中屬增設高級淨水處理設備部份之預算為43.8億元，如換算成每CMD造價為5,919元，約為臺灣省自來水公司(以下簡稱水公司)大型傳統處理淨水廠工程造價之五倍，造價可謂昂貴，且每度水概估增加成本高達2.5元，對水公司之營運影響相當重大，而水公司及國內廠商均缺乏自來水高級淨水處理工程之實廠施工經驗，且本案喧騰已久，不僅政府相關部門及大高雄地區用戶相當重視及關切，國內、外有意參與競標之眾多廠商也相當注意，故本案辦理相關工程招標、施工、試車運轉、驗收，乃至後續營運管理等過程，可謂眾所矚目，因此如何綜合考量各項因素，研擬最適之採購原則，以如

期實現政府對大高雄地區民眾之承諾，乃為水公司之重要任務。

貳、水公司傳統工程採購方式簡析

傳統之工程興建過程大約分為三個階段，第一階段為針對水公司之需求所研擬之規劃階段，第二階段為依據規劃之成果所進行之設計階段，完成整體工程之設計圖、施工規範及預算書等發包文件，第三階段為發包施工階段。參與者亦分為：甲方(即水公司)及乙方(工程顧問公司或承包之工程公司)；工程通常由水公司自行規劃、設計或由水公司以委託技術服務方式，經公開招標之程序，甄選專業之工程顧問公司辦理規劃、設計，設計完成後再經過公開招標之程序，以低於底價之最低價發包給乙方，乙方則按甲方提供之設計圖施工，施工過程中由水公司或所委託之工程顧問公司監督乙方之施工，以確保工程之品質，工程於完成驗收決算後由水公司接管營運，或必要時委託施工廠商於一

1. 臺灣省自來水公司工務處工程師
2. 臺灣省自來水公司工務處經理
3. 臺灣省自來水公司副總經理

定期間內代運轉操作，此乃水公司傳統之工程規劃—設計—發包—施工—接管營運所進行步驟。

此種傳統之設計後發包施工興建方式優點如下：

一、適合於中小型之工程，鼓勵更多廠商參加競標

由於中小型工程規劃、設計期程較短，且規模較小，廠商較易掌握其工程施作內容及計算施工價格，經由公開招標之程序使最多廠商參加競標，以最低價決標有助於降低成本，此乃傳統發包方式經常被採用之原因。

二、符合水公司之要求，獲致一定之品質

於規劃、設計、施工階段，設計及施工單位必須充分尊重水公司營管或監造單位之需求，配合設計或施工，可獲致一定之品質。

三、可因應水公司需求彈性變更

因工程是由水公司自行設計或聘請之工程顧問公司設計，當水公司認為功能上另有需求或設計原有待再酌時，即可適時要求設計者及乙方辦理變更設計，水公司可擁有較大自主權。

此種傳統方式，因設計者與施工者為不同之單位，致存在如下缺點：

一、費時長，影響工程時效

由於施工者需等所有設計文件，包括設計圖、施工規範及預算書等發包文件完成後，才透過公開之招標程序發包，施工者根據招標文件所公告之預算，或自行依據經驗及文件資料，估算施工費後投標，若得標後則以此投標金額之價格施工。此程序因規劃、設計須分階段進行，往往耗時費事，尤其越大之工程，其所需時間更多，等發包文件備齊後，再辦理招標施工，有時施工之現況往往已與當初規設之條件有所差異，影響整體之作業時效。

二、工程施作效率較低

由於設計與施工分屬不同的公司，對工程施作認知上未必能融洽和諧，設計者之理念亦未必能精準的傳達予施工者，整體工程品質與工程施作效率較低。

三、等標期短，投標者無法詳細研究招標文件

傳統發包方式，依據「政府採購法」^②（以下簡稱採購法）所規定之等標期一般為14天至40天，然而耗時準備之規劃、設計發包文件，要投標者在短短數週內將整套圖說研究清楚，並決定標價，容易發生計算較為精確之廠商，因標價高而無法得標，反而計算簡略標價較低廠商得標，嗣後再用其他方法或理由追加低價搶標之

定期間內代運轉操作，此乃水公司傳統之工程規劃—設計—發包—施工—接管營運所進行步驟。

此種傳統之設計後發包施工興建方式優點如下：

一、適合於中小型之工程，鼓勵更多廠商參加競標

由於中小型工程規劃、設計期程較短，且規模較小，廠商較易掌握其工程施作內容及計算施工價格，經由公開招標之程序使最多廠商參加競標，以最低價決標有助於降低成本，此乃傳統發包方式經常被採用之原因。

二、符合水公司之要求，獲致一定之品質

於規劃、設計、施工階段，設計及施工單位必須充分尊重水公司營管或監造單位之需求，配合設計或施工，可獲致一定之品質。

三、可因應水公司需求彈性變更

因工程是由水公司自行設計或聘請之工程顧問公司設計，當水公司認為功能上另有需求或設計原有待再酌時，即可適時要求設計者及乙方辦理變更設計，水公司可擁有較大自主權。

此種傳統方式，因設計者與施工者為不同之單位，致存在如下缺點：

一、費時長，影響工程時效

由於施工者需等所有設計文件，包括設計圖、施工規範及預算書等發包文件完成後，才透過公開之招標程序發包，施工者根據招標文件所公告之預算，或自行依據經驗及文件資料，估算施工費後投標，若得標後則以此投標金額之價格施工。此程序因規劃、設計須分階段進行，往往耗時費事，尤其越大之工程，其所需時間更多，等發包文件備齊後，再辦理招標施工，有時施工之現況往往已與當初規設之條件有所差異，影響整體之作業時效。

二、工程施作效率較低

由於設計與施工分屬不同的公司，對工程施作認知上未必能融洽和諧，設計者之理念亦未必能精準的傳達予施工者，整體工程品質與工程施作效率較低。

三、等標期短，投標者無法詳細研究招標文件

傳統發包方式，依據「政府採購法」^②（以下簡稱採購法）所規定之等標期一般為14天至40天，然而耗時準備之規劃、設計發包文件，要投標者在短短數週內將整套圖說研究清楚，並決定標價，容易發生計算較為精確之廠商，因標價高而無法得標，反而計算簡略標價較低廠商得標，嗣後再用其他方法或理由追加低價搶標之

損失，甚或財力不支，倒閉停工引起工程仲裁爭議。

四、不易引進創新專利技術或設備

依據採購法第二十二條第一項第三款之規定，機關辦理公告金額以上之採購，凡符合「具專屬權利、獨家製造或供應、藝術品、秘密諮詢，無其他合適之替代標的者」之情形，需報經上級機關核准，得採限制性招標。通常具專利權之技術或設備，縱然具有良好之成效，但容易引起違法綁標、圍標之爭議，且日後之操作維修，因涉及專利、獨家製造或供應，無其他合適之替代標的，恐廠商索費高昂，故具有專利之技術或設備不易採用於傳統發包方式。

參、水公司非傳統工程採購方式簡析

由於傳統之工程採購方式有其先天上之缺點，故以統包方式施工之觀念亦於民國七十年代導入水公司。其基本觀念為水公司、得標廠商雙方僅需以設計建造合約（Design-Build Contract），即由得標廠方向水公司提供服務，包括規劃、設計、施工、完工、試運轉一定期間等工作，直至驗收決算後即交給水公司接管營運。此種型式之工程採購方式，也謂之“Turn-Key”。由於統包工程可大幅縮短傳統工程作業

時間，且在功能及品質均符合水公司要求下方得驗收，又因採低於底價之最低價者得標，故可降低整體工程總價。採「統包工程」之發包方式在水公司已有近二十年之歷史，例如大型淨水廠、海淡廠、污泥脫水設備等。另有不少大型管線工程或管線推進工程，應用類似的觀念辦理工程採購，即由水公司或委聘之工程顧問公司辦理「基本設計」，而細部設計與施工則全部由承包之廠商辦理，此種方式應亦可以說是一種「半統包」方式。

與傳統之發包方式比較，統包方式之優點如次：

一、節省發包作業時間

與傳統發包方式比較，統包方式發包可節省作業時間，尤其越大規模或越複雜之工程，其時間之節省愈為明顯，且水公司可省卻準備大量招標文件之時間及作業人力。

二、簡化工程協調作業

統包工程之特色，即其細部設計與施工承包商均屬同一承商，對成本之掌握較為精確，以查核金額以上之巨額採購而言，水公司不需規劃、設計、施工分別招標作業，對整體成本計算與作業之過程而言較為精簡省事。

三、可引進創新高效率的專利技術及設備

由於統包工程必須在水公司之基本設計，或功能要求之規範下進行工程施作，針對功能需求而言，統包承商較能引進高效率或最為經濟可行之創新專利技術及設備，以達到符合水公司之要求。

四、工程品質符合要求，並保證運轉功能

傳統之設計發包興建方式，施工承商在水公司之監造工程師監督要求下，僅能提供工程品質之保證，但統包之施工承商不只保證工程品質符合水公司之要求外，另需提供設備之功能需求、順利運轉、易於操作使用等保證。

五、達成技術移轉之目的

統包工程大部份為規模較大且複雜，或需符合特殊功能需求之性質，統包承商所結合之設計者及施工者可能自先進國家引進新的專利技術及設備，水公司可在統包文件上明確而詳細要求承商提供專利技術或設備之技術資料、詳細之設計圖說、操作維護運轉手冊及規定，以便日後之接管營運，並可要求國外廠商將技術移轉給國內廠商，以扶植國內廠商，達成技術移轉之目的。

一般而言，統包較適用於工程規模較

大、施工期較長、性質較複雜、功能需求較高之工程。

然統包方式發包之缺點如次：

一、水公司無法掌握細部設計作業，對變更設計之要求未具彈性

因統包工程並非由水公司自行或委託設計，而係由承商負責，水公司較無法掌握其細部設計之內容，代表水公司之監造人員，僅需注意其實際施作項目及內容，是否符合其原先設計送審認可文件即可，若水公司於圖說送審前、後與承商有設計理念上之差異，而承商不願修改時，水公司不易對承商提出修改要求，若因水公司政策性改變或其他因素認為確有所需，承商並無遵照辦理之義務，因若要求太多，恐影響統包商之功能保證，而統包商對所需之變更設計，水公司基於計價及驗收法令之限制及有關規章之約束，也不易同意。

二、不易落實技術移轉目的

採用統包方式乃因統包商之設計、施工或操作運轉等技術，確有水公司不及之處，擁有「Know-How」之統包商（或其外國技術合作廠商）通常不願主動告知相關之專業知識，代表水公司之監造、試車人員若非充分把握機會，積極主動向統包商學習，將難以落實工程技術移轉之日

六、其他經主管機關核定之方式。

前項各種方式之營運期間，由政府核定之計畫及投資契約中訂定之。

上述三類發包方式之優缺點整理如表1所示。

伍、高級淨水處理設備採購方式評估

一、傳統發包方式

水公司先期規劃⁶階段所研擬之工程方案，除既有傳統處理設施之提昇改善外，並於必要時，在既有處理設施中增設前、後臭氧設備、生物活性碳、結晶軟化設備或薄膜設備等，各項工程界面甚多，分包作業整合複雜，若採傳統設計後發包方式，雖然整體設計可符合水公司需求，但在時效上欲達政府所訂期限甚為困難。另外，對高級處理工程可能採用專利之處理系統或設備，雖然政府採購法訂有容許使用專利設備之條款，惟因金額龐大，可能引起之工程綁標、圍標爭議是可預見的。再者，若完工後無法順利運轉及達到預定之飲用水品質時，則設計、施工、監造單位與水公司之既有處理設施間之責任歸屬難以界定，故考慮整體工程之複雜性與時效性，不宜採用傳統發包方式。

二、統包方式

以統包方式，不需將設計、施工分別

招標作業，可節省不少設計及公告徵選的時間及部份設計、監造費用，對整體時效上較可因應政府之要求，而高級淨水處理所採用專利之處理系統或設備，統包商可自行考慮運用調配，以提供整體功能運轉順利之保證，並達成技術移轉之目的。對水公司而言，經統包含約即可獲得運轉功能正常之高級淨水設施及預定之飲用水水質，較為經濟省事，但如果招標規範訂定不夠完善，試車作業不夠嚴謹，以國內之低價搶標文化，統包商為了省錢，提供一些便宜的設備，雖然開始操作沒問題，但設備壽命不長，導致往後的操作及維護費用增高，需提早汰換設備，增加往後的營運費用，且高級淨水處理系統或設備之管理、操作運轉，均需技術及專業知識層次較高之人力。當高級淨水處理系統或設備之後續維修、零配件供應、更換或擴充，因相容或互通性之需要，必須向原供應商採購時，在時效及價格上能否符合需求等操作運轉及效率問題，均需妥予考量。倘完工後之操作、運轉、維護、管理等問題可解決，在整體時效上，統包發包較符合需求。

三、民間參與公共工程建設方式

此種方式最大的優點為短期內可減輕政府部門財政負擔，而高級淨水處理系統或設備之管理、操作運轉人力，後續維修

更換或擴充，在時效上能符合需求、效率較高，但民間參與公共工程建設之模式，並非所有工程均可適用，如果招標規範訂定不夠完善，試車作業不嚴謹，尤其對出水水質、水量之要求及水質檢驗監測不夠嚴謹時，廠商可偷工減料獲得長期龐大之不法利益。雖然國外有淨水場成功的實例，但其法令條件與國內不同，且原水水質、水量、飲用水水質要求、未來飲用水水質標準提昇、水源聯合運用調配、新水源開發等風險，均難以預期，需審慎評估。而最重要之水費決定權由政府訂定而不在承包商，勢將無法真實反應處理成本，必須由水公司依據契約規定給付。現階段在民間參與公共建設方面，尚需政府建立更健全之配套措施，故暫不考慮此種發包方式。

由於各種發包方式均有其使用上之利弊得失與風險問題，針對本項高級淨水處理工程之性質，就各種可行之發包方式應用於本工程採購之比較詳如表2。

陸、高級淨水處理設備採購原則

本案所辦理的高級淨水處理設備規模，就國內而言誠屬首創，與世界各國辦理之實例⁶⁾相較，可謂“毫不遜色”。再者，辦理之時程又極為緊湊，因此採購原則之確立，係整體採購作業順利推動之首要工作，本工程之採購原則如次：

一、第一階段先徵選工程技術顧問團隊

由於水公司及國內廠商均缺乏自來水高級淨水處理工程之實廠施工經驗，因此無論採取何種發包方式，首階段之採購宜先徵選由國內、外工程技術顧問機構所合組之團隊，提供水公司較精細之工程預算，工程招標文件之製作，協助設計、施工、監造、試運轉等階段之審查、監督、諮詢等工程技術服務工作，尤其是有關運轉功能之要求、設計準則之擬定、操作維護費用之限制、使用材質之等級、操作難易之考量等，皆需由具良好實績、經驗豐富之技術顧問先行作業與協助。另外，藉由技術顧問進行系統管理工作，可將工程經費、人力、物力、時間及空間均作最恰當有效之運用，同時透過適當之整合與協調機制，以避免錯誤及減少浪費，更進而適時作相關計劃之研擬、推動與配合，以達成品質優良、如期完工、功能完善、節省經費之理想目標。

二、第二階段採用統包方式辦理招標

依據表2之綜合分析結果，以統包方式發包，不需將設計、施工分別招標作業，對整體時效上較可因應政府之要求。至於高級淨水處理可能採用專利之處理系統或設備，可由統包承商自行考慮運用調配，以提供整體功能運轉順利之保證。並

為克服一般統包工程之缺失，保障長期工程品質及後續設備維修問題之迅速解決，兼及落實技術移轉之目的，依據採購法「統包實施辦法」第三條規定，於統包工程招標時，一起將一定期間之操作運轉工作合併發包，委由統包得標廠商於統包工程完工後接續辦理，遂為值得思考之方向。對水公司而言，以編列預算方式，經統包工程合約及代操作維護運轉合約，即可長期獲得合乎要求之飲用水水質及運轉正常之高級淨水設備，可節省許多繁複之採購作業。因此第二階段之採購，遂採用統包方式，另含一定期間之代操作維護運

轉合約。

柒、參考文獻

1. 臺灣省自來水公司，“大高雄地區自來水後續改善工程計畫”，89年8月。
2. “政府採購法”。
3. 獎勵民間參與交通建設條例”，83年10月。
4. 促進民間參與公共建設法”，89年2月。
5. 臺灣省自來水公司，“大高雄地區自來水後續改善工程規畫第四篇高級淨水處理”，89年7月。

表1 各種發包方式之優缺點比較

發包方式	優點	缺點
傳統設計發包	<ol style="list-style-type: none"> 1.較適用於設計期程短且規模較小之中小型工程。 2.傳統設計發包方式較易吸引更多廠商參與投標。 3.業主委託之專業設計顧問公司將充分尊重業主之需求與意見，可獲致一定之設計品質。 4.於施工過程中較易配合業主需求辦理變更設計。 5.在監工確實的情形下，可確保品質。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.規劃、設計、發包、施工每一階段均耗費時日，整體計畫期程長，影響工程時效。 2.設計與施工分屬不同單位，溝通協調耗時，工程施作效率較低。 3.施工責任不易釐清。 4.發包時間短，投標者無法詳細研究招標文件。 5.不易使用專利之技術或設備。
統包	<ol style="list-style-type: none"> 1.溝通協調較易，所需計畫時程短，對設計施工之時間較傳統設計發包方式節省，且規模越大越明顯。 2.業主不需設計、施工分別招標作業，對整體成本計算及作業過程較為精簡省事。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.業主無法掌握細部設計作業，對變更設計之要求需更為謹慎。 2.因統包商負責設計到施工，業主之監造觀念需調整，宜用學習心態辦理統包工程，以確保技術生根。 3.高級淨水處理系統或設備之管理、操

統包	<ol style="list-style-type: none"> 3.較易使用專利之技術或設備。 4.可提供整體功能運轉順利之保證及可達成技術移轉之目的。 5.對整體時效上較可因應需求。 	<p>作運轉，均需技術及專業知識層次較高之人力參與統包工程，以達成技術移轉之目的。</p> <ol style="list-style-type: none"> 4.如果招標規範訂定不夠完善，試車作業不夠嚴謹，以國內之低價搶標文化，廠商經由偷工減料將獲得龐大之不法利益，仍具有相當風險，降低工程品質可信度。 5.後續維修、零配件供應、更換或擴充，因相容或互通性之需要，必需向原供應廠商採購時，在時效及價格均不利。
民間參與	<ol style="list-style-type: none"> 1.創造工商業發展，增加政府歲收。 2.減輕政府財政負擔。 3.可引進專利技術或設備，提昇處理成效。 4.對所有設備之管理、操作運轉人力，後續維修更換或擴充，民營企業運作較具彈性，在時效上能符合需求，可提高營運效率。 5.可加速工程進度期程。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.營運期間風險變化大，需有相關配套措施及精算所投資之成本回收。 2.會被誤以「圖利他人」之心態，辦理PPI工程建設。 3.合約之條款需有彈性，原水水質、水量、飲用水水質要求、未來飲用水水質標準提昇、水源聯合運用調配、新水源開發等風險，均難以預期。 4.需有足夠誘因，方能吸引優良廠商參加，若得標團隊能力不佳，將導致計畫失敗。 5.如果招標規範訂定不夠完善，試車作業不嚴格，尤其對出水水質、水量之要求及水質檢驗監測缺乏嚴謹，廠商可偷工減料獲得長期龐大不法利益。 6.水費決定權由政府訂定而不在水公司或投資承商，而勢將無法真實反應處理成本，必需由水公司依據契約規定最低處理量之保證，並有一定額度下之補貼政策。 7.牽涉法律層面廣泛，現階段在民間參與公共建設方面，仍需政府相關配套措施及充分完善之法令環境條件。

表2 發包方式之特性區分與比較

項目	傳統設計發包	統包	民間參與
開發主體	由水公司負責	由水公司負責	投資業者
資金籌措	由水公司提供	由水公司提供	投資業者自行籌措
風險分擔	水公司承擔風險	水公司與統包商各承擔一部份風險	投資業者自行承擔風險
管理責任	由水公司負責	由水公司負責	投資業者
完工時程	較長	較短	較短
轉包合約之管理	由水公司負責	統包商	投資業者
界面整合	由水公司負責	統包商	投資業者
開發時效	低	中	高
補貼及優惠政策	無	無	需要
法令規章之要求	較少	少	較多
操作維護	由水公司負責	統包商運轉順利後再移轉水公司負責	投資業者
利潤報酬	較低	較高	自負盈虧
處理效率	低	中	高
專利引用	需專案簽報	經常	經常
適宜性	可	佳	難

唐代創建的杭州都市給水系統

姚關穆*

由於水在人類日常生活中不可或缺，因此自古以來，就有各種取水供水設備。古代最早最著名的應該是，在西元前722年完成的中東名城耶路撒冷輸水隧道。原來那一年亞述國大軍，進攻以色列（指古以色列國）首都耶路撒冷。這個地區向來是一片乾旱沙漠，水源極為缺乏。耶路撒冷建城，就是因為有一股非常好的泉水。不幸這泉水位在城牆腳邊。當時以國人為了保護水源安全，匆匆忙忙挖了一條輸水隧道，把泉水引到城中心的一個水池裡。隧道長530公尺，深度平均2公尺，寬度則因為是用人工趕工開鑿，並不一致。這條隧道和水池，雖然已經歷經了幾乎三千年，現在卻都還看得到。據說耶穌用水治病就在這水池旁邊。筆者觀光耶城時，也曾在池邊徘徊思古。西元1880年，有人在隧道石壁上，發現開挖時施工人員留下來的希伯來文詩句如下^①：

這是這個隧道的故事。

當兩邊工人仍然互相揮動著鶴嘴鋤，
當隧道還有三可必脫要打通，
工人們向對方大聲叫喊，

原來是右邊有過多的岩塊。
在隧道穿透的那一天，
兩邊工人互相揮動著鶴嘴鋤，鶴嘴鋤
打到了鶴嘴鋤，
泉水從源頭流向水池，
足足有一千二百可必脫長。
在工人頭頂上，
是一百可必脫的岩盤。

詩中提到的可必脫（Gubit）是指從手掌中指指尖到叉部的長度，古代以色列人用來測量距離的單位。這首詩敘述隧道是從兩邊同時開挖，用的工具是鶴嘴鋤，以及隧道的長度和深入岩層深度等。

不過耶路撒冷輸水隧道，雖然是供應都市居民用水，但只輸水到儲水池，沒有供水設備輸水到居民使用的地方，不能算是完整的都市給水系統。最早具有都市給水系統形態的可能是古羅馬，以輸水渠道直接供水到城裡使用者的地方。這些輸水幹道採用明渠設計，寬0.46到1.5公尺，深0.9到3公尺，上面加蓋，為了維持重力降坡，水渠在很多地方必須高架，最高處離地達33公尺，用石塊砌成穹形支撐，工程

*國立中央大學兼任教授

巨大，而且極其雄偉壯觀，從西元前312年到西元226年約500多年間，共建造了311條輸水幹道，最長的一條為77公里。全系統供水能力為每天260,000立方公尺，實際供水量僅為每天120,000立方公尺，漏水率達53.8%，主要理由是沒有掌握接縫防漏技術⁽²⁾。

國內即使是從事環工的人士，恐怕也很少知道，中國杭州早年曾經有過一個都市給水系統，建造在唐朝武則天當女皇帝後，第四代皇帝代宗（在位為763-779）年間。當時有一位傳奇人物李泌，在代宗祖父玄宗（亦稱唐明皇，在位為713-755）時，已有神童之稱。七歲時曾蒙玄宗召見。玄宗早期「開元之治」時，名宰相張九齡居然樂意和他成為忘年交。代宗時想到李泌的才華，特意召他進京，意思是想請他出備王宰相。不過李泌卻堅辭不受。代宗只好在皇宮裡替他安排辦公處所，擔任相當於今日顧問的工作。那時候正好在宦官魚朝恩專權，代宗利用外戚元載加以誅殺後不久。想不到元載又變成非常跋扈，朝中比較正直的大臣，都被趕出京城，李泌也被貶到江西去做官微職卑的通判。後來代宗除掉元載，召還李泌，可惜又和當時宰相袁袞不和，被外放到杭州做刺史。代宗死後，德宗（在位為780-805）繼位，又把李泌召回來，正式擔任宰相，對穩定當時久經動亂的局面，貢獻極大。

他曾向德宗說過：「得任宰相，四海之內，一物失守，臣當負責」⁽³⁾⁽⁴⁾。今日行政院長如果都有如此擔當，應該對得起全民期望了。杭州的都市給水系統，就是在李泌擔任杭州刺史時所創建，推算起來，應該在西元778年左右，給水的水源就是西湖。

國人大概都知道「上有天堂，下有蘇杭」這種說法，其實來自南宋范成大《吳郡志》裡所說：「天上天堂，地下蘇杭」⁽⁵⁾。毋容諱言，杭州所以出名，最最重要因素是因為有美麗的西湖。對西湖的美描述得最為入神的，應該是北宋（960-1126）蘇軾的〈飲湖上初晴後雨〉這首詩：「水光瀲灩晴方好，山色空濛雨亦奇。欲把西湖比西子，淡妝濃抹總相宜」。唐朝憲宗時代（在位為806-820）為唐明皇和楊貴妃愛情故事寫〈長恨歌〉的白居易，也有「江南憶，最憶是杭州」，「未能拋得杭州去，一半勾留是此湖」的說法。更奇的是任用包青天的北宋仁宗皇帝（在位為1023-1063），只是仔細端詳了西湖全圖，便讚嘆：「真仙尉（境）也」。他甚至在西元1057年所作，賜梅摯知杭州詩中，開頭就說：「地有吳山美，東南第一州」。這吳山美無疑指的是西湖。

根據北魏（386-584）酈道元所著《水經注》裡記載：「（錢塘）縣南江側，有名（明）聖湖，父老傳言，湖有金牛，

古見之，神化不測，湖取名也」。可見那時候西湖已經存在。西湖在過去應該是錢塘江入海口的一個瀉湖。漢代（206B.C.-219）華信築海塘，可能是西湖形成的開始。湖的西、南、北三面有葛嶺、棲霞嶺、南北高峰、南屏山等山嶺圍繞，山水入注是西湖的源頭。湖的東面，靠江一帶，不斷長出新生地，也就是今日的杭州。由於湖在市集西面，因此通稱西湖。最近的西湖，流域面積27.26平方公里，水面面積5.59平方公里，水深平均1.97公尺⁶。

西元前221年秦始皇（在位為246B.C.-207B.C.）統一中國，在現在的江浙鄰接區域設會稽郡，下面有錢塘縣。秦始皇在西元前210年南巡時，也到過錢塘縣。西元129年東漢永建4年，當局從會稽郡中分出吳郡來，錢塘縣屬於吳郡。南北朝（317-588）時獨立設置錢塘郡。西元589年隋文帝（在位為589-604）平定南陳後，改錢塘郡為杭州，是杭州名稱的來源。既然稱為州，想來已經成為大型城市。隋煬帝（在位為605-616）開運河，直達杭州。杭州從此走上繁榮坦道。到唐代（618-906）時人口已超過十萬⁵。

由於杭州建立在海埔新生地上，井水都含有高度鹽分。河川也有海水入侵，都不太適合飲用。李泌到杭州後，為了解決這個嚴重的民生問題，居然創建了一個給

水系統，從西湖取水，利用重力引水，在市區設置六個給水點，稱為六井，分別是相國井、西井、方井、小方井、金牛井和白龜池等⁷。每一處應該是一座小水槽，供附近居民取用。這樣的系統，和臺灣光復初期在東部建設的簡易自來水非常相似。

約莫四十多年後，西元821年唐憲宗時，白居易因為向皇帝進諫不聽，反被外放杭州刺史。上任後，見到上述六井因為渠道阻塞，供水能力大受影響。白氏除了清理輸水管渠外，並且加高西湖堤岸，增加蓄水量和水位，又設計了一套水流控制系統，保障都市供水，同時也擴大了利用西湖餘水灌溉附近農田的面積。為了使後人能夠順利操作整個系統，還特別作〈錢塘湖石記〉，刻在湖邊石碑上加以說明。有趣的是碑文最後兩句是：「欲讀者易曉，故不文其言」⁷。可見那時候文人作文和官府文告所用的文言文，民眾已經不易閱讀，白氏刻意不用文言文立碑，比胡適之先生提倡白話文早了一千二百年。當時杭州市民看到白氏用湖水灌溉更多農田，頗為擔心會影響到公共給水。白氏在〈錢塘湖石記〉裡解釋：「湖底高，井管低，湖中又有泉數十眼。湖耗則泉湧，雖盡竭湖水，而泉用有餘」⁷大文學家白居易居然有如此水利專業修養，著實令人驚奇。

再經過了約一百年後，到五代時，由於西湖葑草叢生，供水又見不繼。當時吳越王錢繆（852-932）特為設置了一支一千人軍隊，專責清湖，同時也疏濬引湖水建成的湧金池，供居民飲用水，並且把有餘的水通向運河。

西元1060年北宋仁宗嘉祐中，杭州知州沈遵因金牛井已廢，另建南井補充供水，市民稱為沈公井。

十多年後，給水系統又見阻塞。西元1074年北宋神宗熙寧五年，知州陳襄發現杭州居民竟然公認最切要問題是飲用水的供應。於是發動當地僧人仲文子珪及徒眾二十餘人，志願會同官方全面清理供水線路，並修補滲漏。完成後，供水情形大為改善，並有餘水供應船舶使用。在修建過程中，發現方井周圍環境不好，略予遷移。同時也改建了湧金池，分為上中下三槽，下槽供洗衣浴馬，以免污染上槽水質。從遷移方井位置和改建湧金池來看，顯然已經充分掌握水質保護觀念。湧金池餘水除流向運河外，同時也用來支援南井水量的不足。工程完成後第二年，正好江浙一帶大旱，很多人遠道到杭州來，用瓶瓶罐罐從給水系統中取得西湖水回去飲用，宛如今日的礦泉水。這些外地受益民眾，據說還「誦佛以祝（陳）公」⁽⁷⁾。

十多年後，西元1089年北宋哲宗元祐四年，擔任「翰林學士知制誥」的蘇軾，

因為受不了朝廷派系傾軋，自願外放。「翰林學士知制誥」的職務是替皇帝擬寫聖旨，在朝廷裡位置非常重要，雖然只有三品，但是那時候宰相也不過二品。當時掌權的皇太后雖然捨不得他走，最後實在挽留不住，才派他到杭州去任太守，還特地賜他「龍圖閣學士」頭銜，並且領軍浙西，包括今日的部份江蘇在內。蘇氏到杭州後，發現給水系統又已損壞不少。於是和上次參與陳知州維修的僧人商量，由他們主持，另外利用他的軍權調出一千士兵，加上必要經費，把給水系統徹底整修了一次，在管材上也有大幅度改進。

此後經南宋、元、明等朝代，後乎都維持了給水系統的運作。西元1450年明孝宗弘治十二年，御史吳貫一也大大整修了一次。清初時，因為杭州地區離海口已有兩百多公里，市內水井水質大為改善，六井終於走入歷史，不再使用。從李泌在西元778年創設開始，到西元1450年最後有整修記錄年代為止，這個給水系統幾乎使用了700年。同時杭州的人口從唐代的約十萬人，到北宋時，根據歐陽修在〈有美堂記〉所述，已達五十萬人⁽⁷⁾。元代馬哥孛羅到杭州時，人口更高達一百萬⁽⁸⁾。這個給水系統發揮的功能，實在可觀。

蘇軾除了整修六井外，也整頓了水源地西湖，並且寫了一篇〈錢塘六井記〉，對給水系統有相當詳細的記載。六個井

中，最大的是相國井。在其西面是西井。靠北偏西為金牛井。再往西北接近城牆處為方井及白龜池。從此往東北到錢塘縣衙南邊是小方井。不過金牛井已廢。西元1060年知州沈邁在六井的南面加設南井。其中南井、相國井、方井均分別由塊石砌成的明渠，自西湖穿越市區供水，並且各有控制閘門。西井則是從相國井分出支渠供水。白龜池和小方井都是用暗渠直接從西湖取水，不設閘門。這種暗渠應該是壓力管線。至於暗渠建築材料，在敘述知州陳襄整修水路時，提到更換磚塊，修補裂縫，可見是由磚砌成。

知州陳襄整修給水系統時，蘇軾正好受王安石的變法派排擠，被貶到杭州任通判，因此參與了這項工作。後來他自己到杭州來擔任刺史，發現陳氏修復後的暗渠，不過十多年，又已損壞很多。因此在他整修時，改用陶管，並且在周圍還用磚頭石塊保護⁽⁸⁾。上面提到陳襄整修給水系統時，曾重建湧金池。當時也把進水管渠分為兩條，分別有閘門控制，其中一條導入湧金池，另一條的進水可以經由五支竹管導流入南井的進水石溝，解決南井由於地勢較高水量不足的困擾，這是唯一提到利用竹管的地方。

杭州的都市給水系統，維持了七百年之久，直到任務完成，才功成身退，這一段珍貴史蹟，應該值得國內環工界的重

視。尤其值得一提的是，其中包括三位在歷史上有崇高地位的重量級人物，唐朝市相李泌、刑部侍郎白居易，以及北宋的大學士蘇軾，都是在政壇失意時，被謫放到杭州任職，但是卻都能夠忘卻自己悲情，念念不忘民生，儘量掌握時機，為人民做點事，著實令人敬佩。

參考文獻：

1. Sylvia Mann, "Our Visit to Jerusalem", Palphot Ltd., Israel, 1985.
2. 「大不列顛百科全書」，丹青圖書有限公司，台北市，1987。
3. 「中國歷史演義全集，唐朝之二」，遠流出版社，台北市，民國68.10.30.
4. 清·許嘯天，「唐宮二十朝演義」，陽明書局，台北市，民國74。
5. 「中國各城古都」，讀者文摘遠東有限公司，香港，1986。
6. 姚關穆，「環保隨筆」，中興工程，第56期，中興工程顧問社，台北市，民國86.7, PP.104-110
7. 清·沈德潛，「西湖志纂」，文海出版社，出版年月不詳。
8. 楊家駱主編，「蘇東坡全集」，世界書局，台北市，1964.1。

日本直接給水系統準則簡介

江永榮*

前言

日本在自來水發展過程，以前由配水管直接給水僅至二樓為止，三樓以上或大口徑之用戶用水均須設置受水池以間接給水方式供水。

惟近年來為減少用戶端污染供水機會，提高供水衛生品質及節約能源考量，對三樓以上至十樓程度之給水範圍，重新考慮採用直接給水方式供水。

為確保直接供水過程能夠順利，在直接供水前必須詳加評估現有供水條件及用水設備現況等，若經評估可行時，方可導入，為讓大眾及自來水事業了解直接供水之條件及步驟，乃由專家學者組成「節省能源型給水方式」小組共同研究「直接給水系統」應注意事項彙編，作為直接給水之準則，提供各自來水事業單位將來推行辦理之參考。

第一章總說

1 - 1 目的

本準則是提供事業單位在實施十樓建築物直接給水時，其應注意事項的彙編，俾以順利推行直接給水工作為目的。

1 - 2 適用範圍

本準則所稱「直接給水系統」係指供給十樓以下之建築物用水時，不經受水池而利用配水管水壓以直接直壓方式或於給水裝置中裝設直接給水加壓裝置，可直接給水之供水系統謂之。目前採用配水管加壓至高架（置）水塔，再由水塔供給之直接方式也包括在內。

1 - 3 用語定義

(1) 直接給水：不經由受水池而以配水管水壓直接供水稱之。

直接給水之方式分類如下：

①直接直壓式：以配水管之水壓直接給水方式。(如圖1-1)

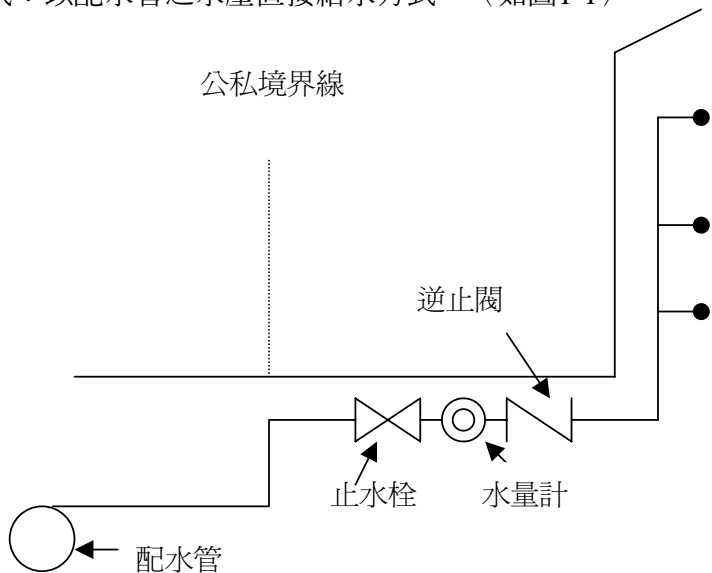


圖 1-1直結直壓式

②直接加壓式：在給水管之途中以加壓幫浦加壓直接給水方式。此方式又分爲如下二種方式。

①直接式：受水管直接給水加壓幫浦直接給水至目標樓層之供水方式。(如附圖1-2)

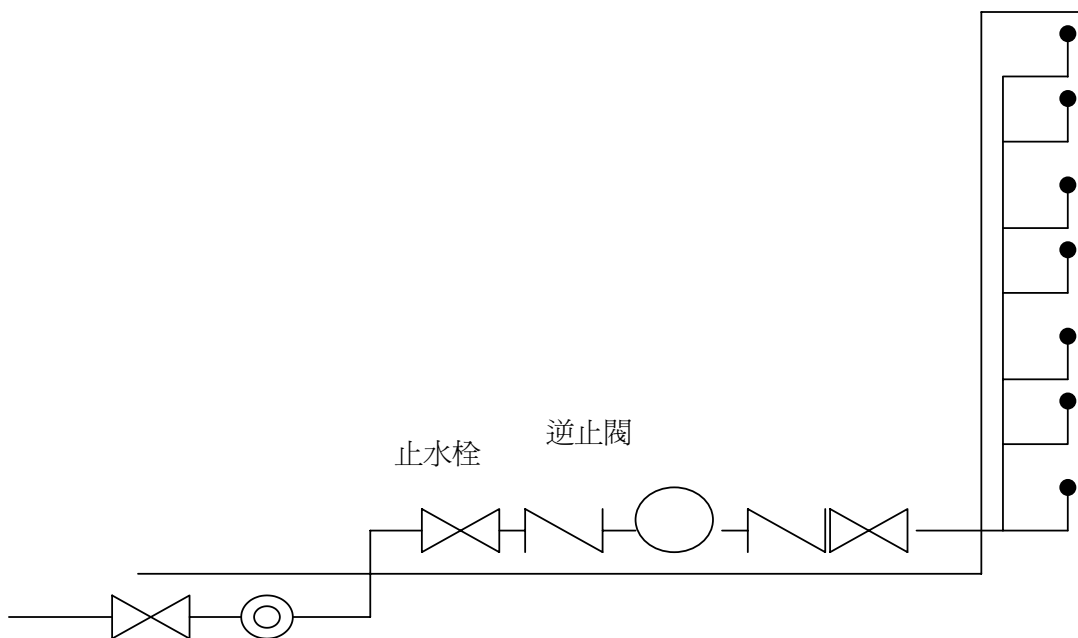


圖 1-2直接式

②高置水槽式：受水管直接給水
加壓幫浦將水送至高置水槽，

再由水槽供水至各樓層。（如
附圖1-3）

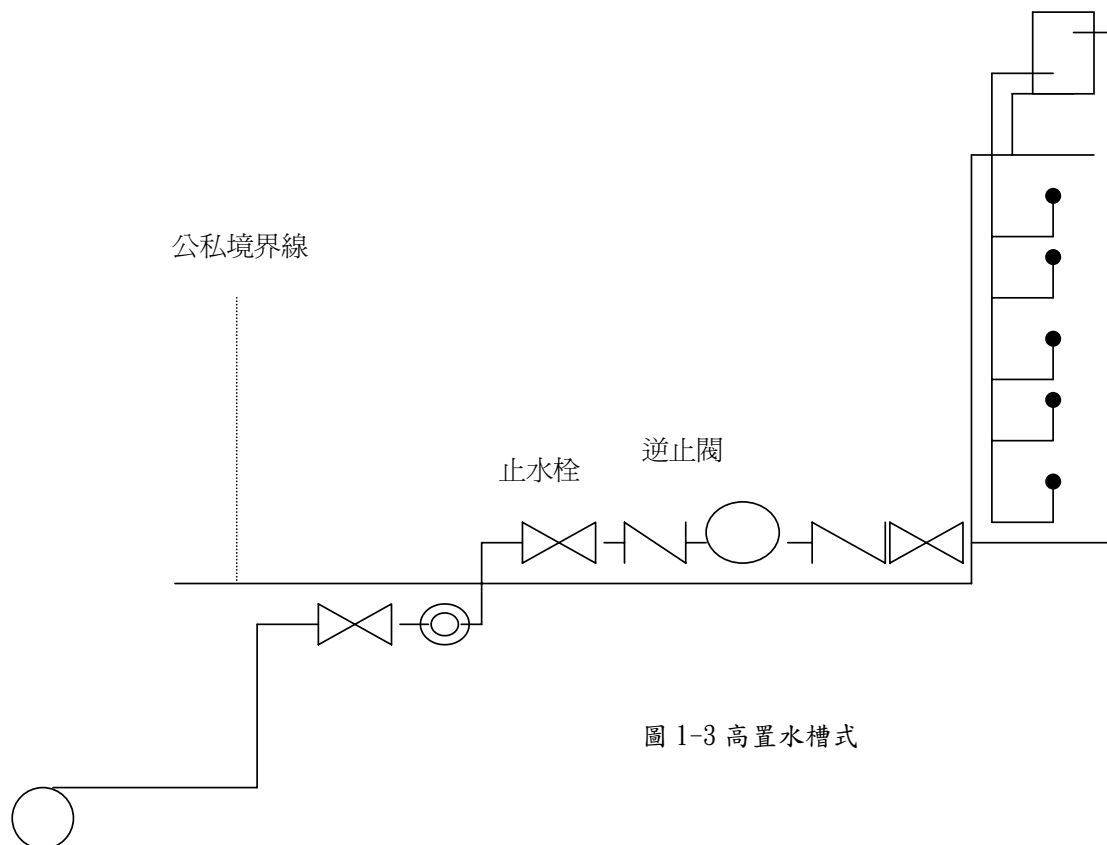


圖 1-3 高置水槽式

- (2) 受水池式給水：配水管中之自來水先進入受水池後，再以給水幫浦揚水或利用壓力水槽等壓送給水之方式。
- (3) 給水裝置：為供給用戶從自來水事業埋設之配水管分歧設置之給水管及其連接之給水器具。
- (4) 給水設備：受水池以後之給水用管類、接頭類、閥類、水槽類、幫浦等之給水器材無連接於自來水事業之配水管之設備。即受水池以後之

設備總稱。

- (5) 直接給水用加壓幫浦：增加壓力為目的，設置於給水管途中之幫浦，即稱給水用Booster Pump。
- (6) 直接給水用加壓裝置：直接給水用加壓幫浦及其附屬管類、接頭類、閥栓類、壓力水槽、控制盤等整套裝置。
- (7) 防止逆流裝置：給水裝置中為防止逆流所裝設之器具，含有：減壓式防止逆流器、二重式防止逆流器、複

式止逆閥、單式止逆閥及真空遮斷器等器具之總括的稱謂。

- (8) 水量計：裝設於給水裝置中，計量用戶所用水量之器具。
- (9) 主管：從給水幫浦配管於平面之管或至高置水槽之水管。
- (10) 豎管：從主管分歧（垂直、高度方向）至各樓層之水管。
- (11) 瞬時間最大給水量：以器具類種類數量計算單位時間（通常以秒或分為單位）最大給水量，決定給水管徑大小。
- (12) 用戶：使用自來水之建築物所有者或使用者。
- (13) 指定給水裝置工程承裝商：目的事業主管機關指定（登記）合格承裝給水裝置之新設或改善工程之業者。

第二章直接給水系統之計畫及程序

2 - 1 目的

直接給水系統係在自來水之安定供給中，將直接給水範圍從現在實施中之1～2樓，擴大至3～10樓，而謀求解決受水池之衛生問題，節省能源及設置場所之有效利用等，以提高服務用戶之效率等為目的。

2 - 2 計畫之擬定

應先掌握給水區域之水理狀況及配水設施整備狀況，且須充分考慮今後給水區域內之需要、型態變化及將來之配水設施規劃計畫等列入為基本資料，而擬定直接給水系統之可行辦法、實施範圍、時期等。

2 - 3 計畫之流程

直接給水系統擬定計畫時，應依照圖一之程序辦理。

2 - 4 掌握給水區域之基本的狀況

2 - 4 - 1 配水設施之現有能能力

導入直接給水時，應先檢討，依配水管水壓可行直接直壓給水區域之範圍，及需掌握配水設施之現有能能力。

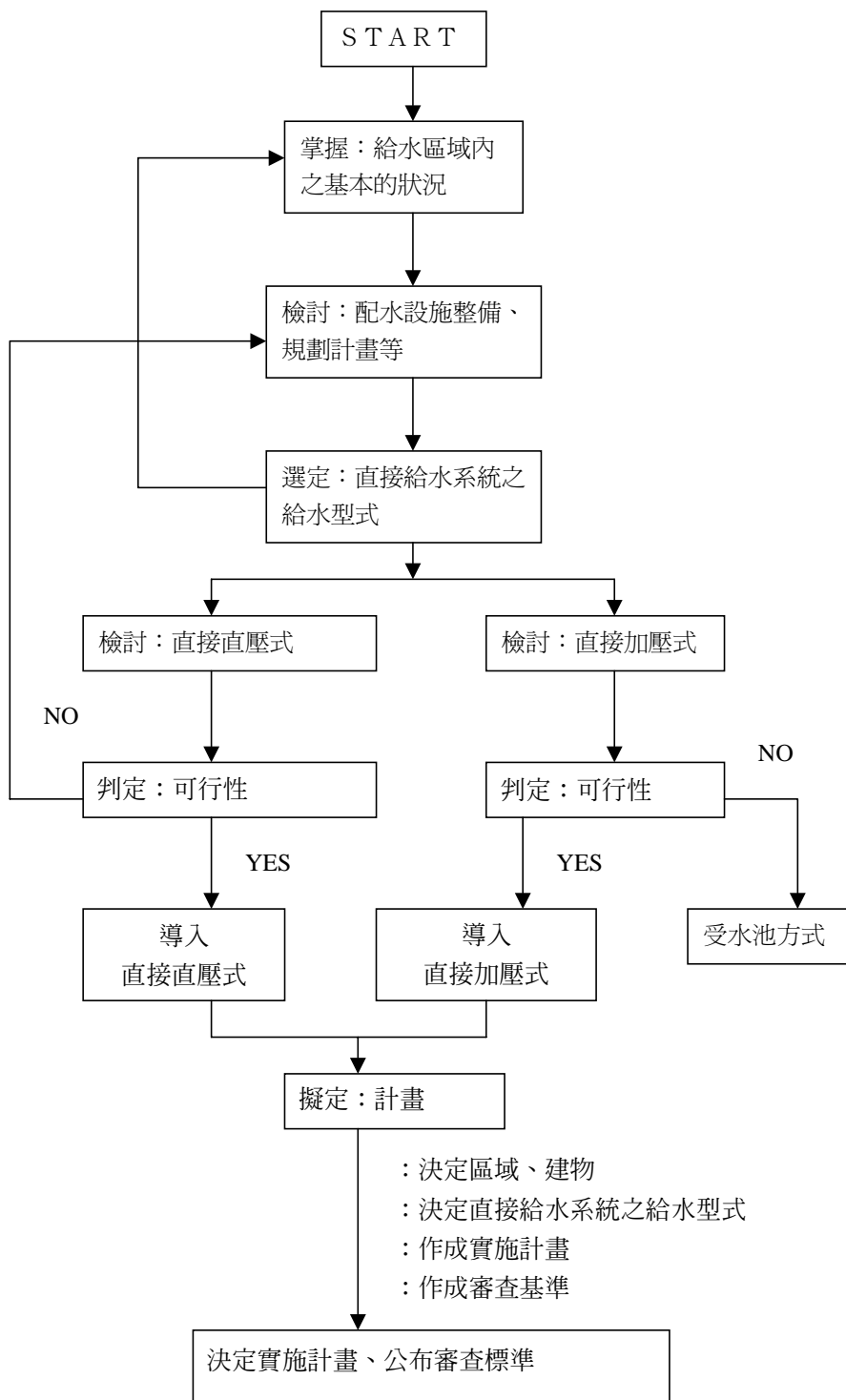
2 - 4 - 2 給水區域之地理條件

應充分了解給水區域內影響配水管水壓及水量之地理的條件。

2 - 5 檢討配水實施計畫

2 - 5 - 1 配水實施計畫

辦理直壓給水之實施計畫時，應充分分析現有之給水狀況，將來之給水動向、緊急時之對策及現有配水設施之能能力等，設定須加壓之區域及配水管壓力，依照下列方法或其組合成之方法適當的選擇定案辦理。



(圖一)

1. 配水系統之變更。
2. 配水起點之加壓。
3. 配水管動水坡度之遞減。
4. 配水管途中加壓。

2-5-2 都市計畫等之考慮

配水實施計畫等之定案時，應充分考慮給水區域內都市計畫之整合性。

2-6 直接給水系統之計畫擬定及其基本事項

2-6-1 直接給水系統之區域及建築物之決定

導入給水系統時，最好將其全部區域均納入為給水區域。又其建築物，以十樓為限，惟工廠等之特殊建築除外。

2-6-2 給水型態之決定

直接給水依其建築物之樓高及給水方式，可區分為三種型式，各事業單位應選定符合其特性之型式

(型式號)	(3~5樓)	(5~10樓)
1	直壓	加壓
2	直壓及加壓	加壓
3	加壓	加壓

※註1.「直壓」：直接直壓式給水方式之略稱。

※註2.「加壓」：直接加壓式給水方式。

※註3.「直壓或加壓」：於3~5樓建築物內分別以直壓區域與加壓區域相

應對之稱謂。

(說明)

(1) 確認必要之水壓(直接直壓式之必要水壓)

三樓直接給水：0.196 ~ 0.245 Mpa
(2.0 ~ 2.5kgf / cm²)

四樓直接給水：0.245 ~ 0.294 Mpa
(2.5 ~ 3.0kgf / cm²)

五樓直接給水：0.294 ~ 0.343 Mpa
(3.0 ~ 3.5kgf / cm²)

(2) 確認可能使用之水量

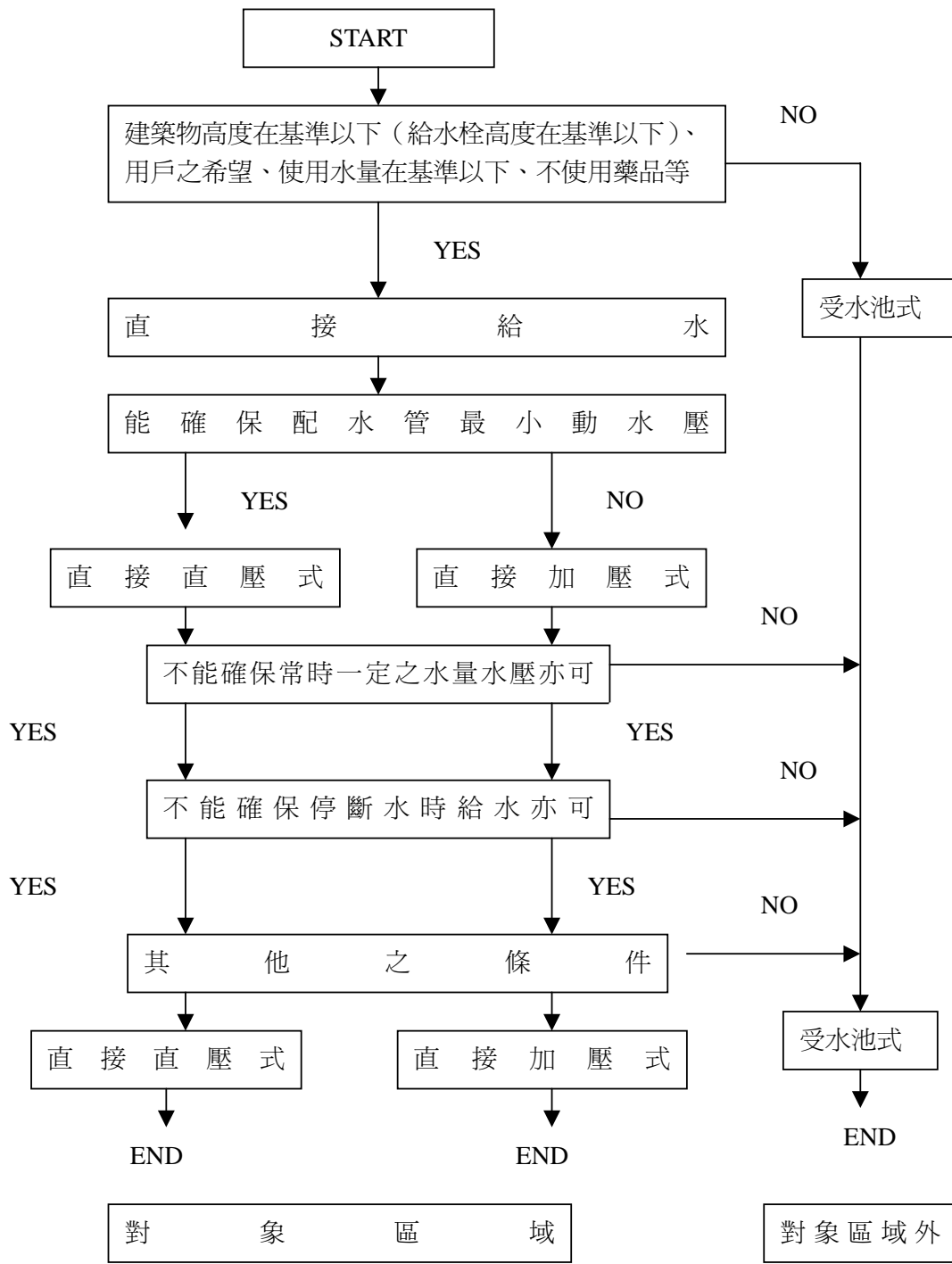
給水建築物之使用水量之算定基準：

每日使用水量

瞬時間最大給水量

(3) 給水型態之選定程序表

給水型態之選定程序(如圖二)



(圖二)

2-7 申請給水之審查基準

2-7-1 申請給水之審查基準之擬定與公布

直接給水之可能高度及使用水量等基準，應予以明確的整備後公開訂立其資訊，俾供用戶於新建（含改建）建築物時，應否採取直接給水或依受水池方式給水之取捨判定參考。但需要存留機能之建築物或使用危險物質之工廠等應採取受水池之給水方式為宜。

2-7-2 新裝給水裝置之審查

於新設建築物導入直接給水時，採取直接直壓式給水或直接加壓之選擇上，應考慮配水管之水壓及可能使用水量後決定辦理。

2-7-3 原有給水設備之審查

原有受水池方式之建築物，將改導入直接給水時，採取直接直壓式給水或直接加壓式之選擇上，應與新裝給水裝置之審查相同，仍應考慮配水管之水壓即可能使用水量後決定辦理。

惟原有給水設備仍繼續使用時，應先查明原有給水設備之配管形式及配管材料等之劣化狀況、水質及耐水壓等情形，並依據前公布審查基準進行審查後決定辦理。

2-8 直接給水系統之促進

應積極的宣導（P.R）直接給水之優點（供給安全之水、節省動力費及受水池空間之有效利用等），以使用戶之普及。

2-9 推動時應注意事項

2-9-1 社會的條件之整理

實施直接給水時，應在全盤考慮下對原有受水池之貯留機能仍能保持其完整性，同時對尚未能實施區域，仍確保其正常給水。

2-9-2 制度條件之整理

各自來水事業單位應檢討其原來所訂之營業章程、規劃等之現況與問題點，應否改善事項或新規定事項等審慎的整理，以謀求完善的配合新制度。

第三章 實施直接給水系統時之技術的事項

3-1 選定實用的配管方式

採用直接給水系統時，應先在建築物內選定實用的配管方式，因直接給水之關係，形成從配水管直接狀態下，無論新設、原有設備均將影響配水管（水壓），故在保養管理及衛生等方面均需要加以考量。

建築物內給水管之配管方式可分為以下三種：

- (1) I型：從配置於建築物底部之橫直主管設置分歧豎管，並由該豎管分

歧各樓層供水，即從最底層依次分歧至最頂樓層，順次供水方式（如圖3-1）。

(2) 反U型：從配置於建築物底部之橫直主管直接設置豎管至頂樓，再由

該豎管連結分歧各樓層之專用豎管供水之方式（如圖3-2）。

(3) H型：從配置於建築物底部之橫直主管分別分歧各樓層專用豎管供水之方式（如圖3-3）。

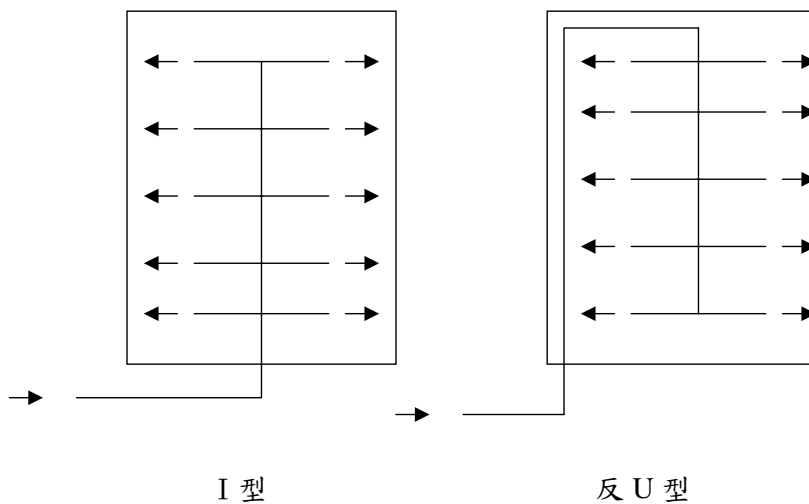


圖 3-1

圖 3-2

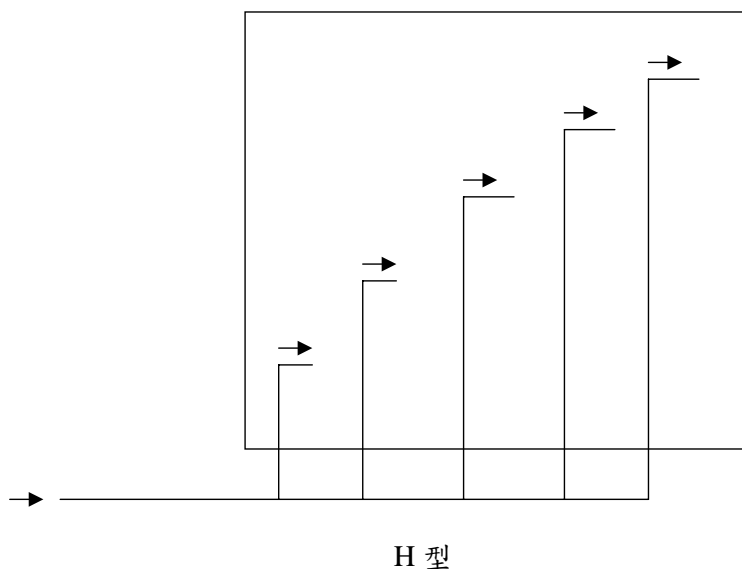


圖 3-3

3-1-1 建築物內配管方式之現狀

計畫直接給水時，應先調查分析檢討現有建築物內原來所採行之配管方式。

現有供水系統改以直接供水改善範例

(參考)

1. 高架水槽加以撤除或不設置之方法

a. 利用高架水槽以下之配管 (如下圖3-4)

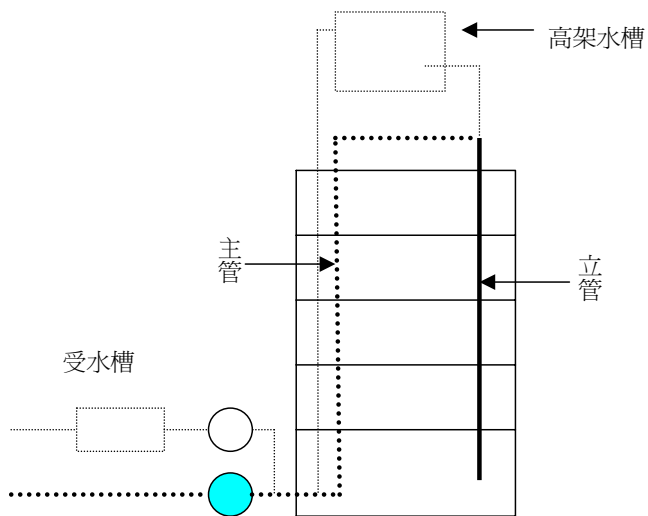


圖 3-4

b. 高架水槽以下之立管也加以改造 (如下圖3-5)

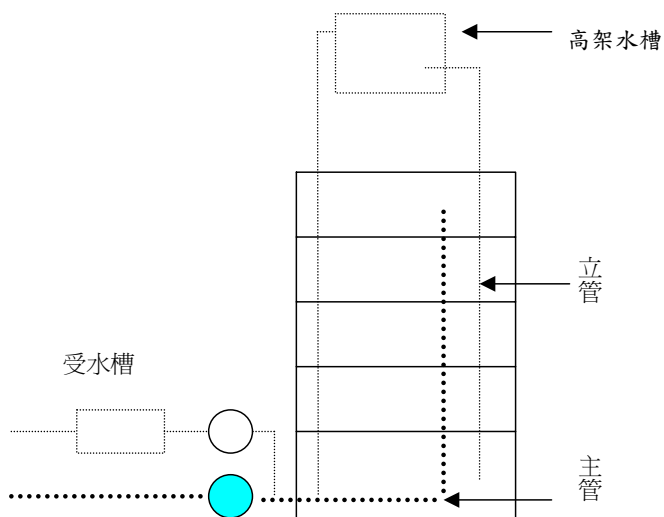


圖 3-5

c.改造幫浦直送方式（如下圖3-6）

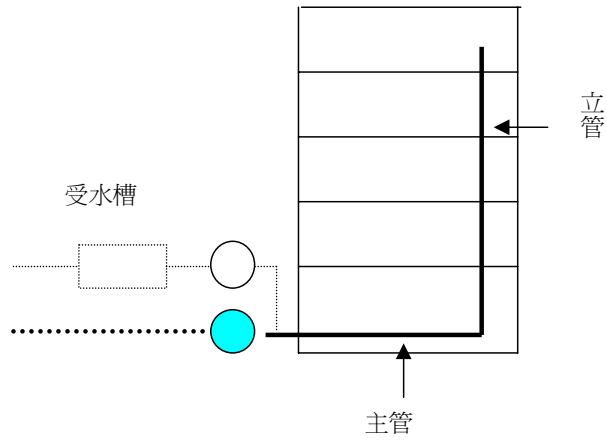


圖 3-6

2.利用原有之高架水槽之方法（如下圖3-7）

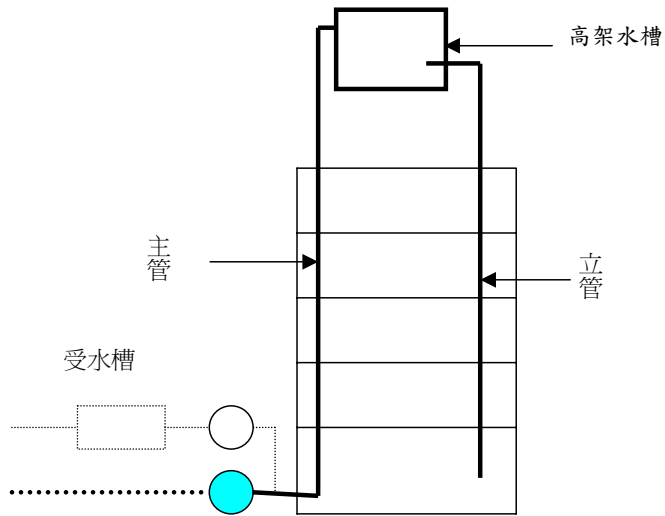


圖 3-7

- | | |
|-------------|-------|
| 備註：仍利用之原存配管 | —— |
| 廢除之既有設備 | |
| 新設配管 | |
| 原設受水槽加壓設備 | ○ |
| 直接增壓裝置 | ● |

3 - 2 瞬時間最大給水量之算定

決定水管口徑即直接給水用加壓設備之容量時，應適當的設定瞬時間最大給水量。

(1) 算定方法

(a) 方法A：依各戶需用量與同時使用率之方法。

瞬時最大給水量 = 各戶使用量
(40 L/min) × 戶數 × 同時使用率

(A) ※實績值：12 ~ 24 L/min 之最小值

(b) 方法B：依水使用時間率與器具給水單位之方法

(c) 方法C：依器具給水負荷單位之方法

(d) 方法D：予測器具利用率之方法

(e) 方法E：優良住宅部品認定基準(公寓)之方法

給水戶數 = 1 ~ 9

瞬時間最大流量 (L/ min) = 42
× 給水戶數

給水戶數 = 10 ~ 599

瞬時間最大流量 (L/ min) = 19
× 給水戶數

(2) 各種方法之比較

各種方法之比較如圖3-8。

給水戶數40戶程度之瞬時間最大流量，以較大量之順序為方法：A、

B、C、(A')、E

最大量：方法A = 1,000 L/ min，最

小量：方法E = 200 L/ min

3 - 3 給水管口徑之決定

3 - 3 - 1 水理計算方法

直接給水方式在建築物配管之設計時，應從建築物原來設計採用之供水設備與將直接給水時，自來水事業所指導之水理計算方法，兩方面加以考量整理，以便決定符合需用水量、配管方式及適當管徑。

【解說】

(1) 自來水事業之水理計算

依實施綱要規定應提出符合直接給水建築物水理計算，以決定配管口徑。

水理計算：口徑50mm以下配管採用韋斯頓(Weston)公式。口徑65mm以上之配管採用海森威廉(Hazen-Williams)公式。

(2) 建築設備之水理計算

一定規模以上之公寓及大樓等建築物之管徑設計時，應計算配管容許摩擦係數，依「配管摩擦抵抗線圖」查出給水管之同時使用流量與容許摩擦抵抗或理想流速，以決定管徑。

一般的不關管徑之大小，採用海森威廉式為主，並概以直管之換算長度加算100 ~ 200 %。

3-3-2 給水管口徑之定

給水管口徑之設計，原則上應依據「均等摩擦抵抗法」計算決定大小。

3-4 直接加壓給水系統之審查時之技術的指南

3-4-1 加壓裝置系統之給水管分歧事項

(1) 配水管徑相對等之容許給水管徑

分歧給水管致使配水管內壓力之影響，並非因配水管徑或給水管徑及直接給水加壓設備設備之口徑所致，應從分歧之給水量加以評估。但為免影響附近住戶用水，其分歧之給水管應小於配水管徑。

(2) 給水管之接水位置

分歧多數之給水管以設置直接給水加壓設備給水時，其給水量致使配水管內壓力之影響，惟非因給水管之分歧間隔問題，而應依分歧給水量所定。但是為防止因分歧後發生配水管之耐壓力減少及施工等問題，其分歧間隔應規定在0.3公尺以上。

(3) 配水管徑之相對容許最大流量

配水管內壓力之影響度，將為判定給水對象之建築物是否採用直接給水之至大要因。並且依取出之給水量來評估決定。為此應確認配水實施狀況等，充分檢討後，作為基準化。

3-4-2 直接給水用加壓設備基準

(1) 選定適當的機材

選定直接給水用加壓設備時，為確保安定給水，應掌握建築物之瞬時間最大給水量及給水高度（揚程），同時應考慮因機種性能之不同而必須選定符合目的之機材。

(2) 直接給水用加壓設備之工作法

直接給水用加壓設備，應符合水道法訂定之給水裝置之構造及材質基準，且充分考慮如下各項問題，俾在對配水管影響最低狀況下，保持安定的給水為要務。

①電動機之起動、停止時，配水管之壓力應保持極少的變動，則幫浦操作時避免引起配水管內壓力之脈動。

②抽吸端之水壓，異常的降低時，應設能自動的停止，而恢復時隨之復原的操作。則能減小對配水管之水壓變化及正常的使用水量，而保持安定的給水。

③抽吸端之水壓異常的上升時，亦能自動停止後改依直接直壓方式給水。

④確保充分的安全性

(3) 直接給水用加壓設備之設置方法

直接給水用加壓設備設置時，不得使配水管及周邊用戶不良的影響，確保安定的給水中，且為有效的利用該設備之機能，應適當的選定其設置場所。

①建築物之瞬時間最大給水量。（詳如圖3-8）

②直接給水用加壓裝置之增加壓力之計算

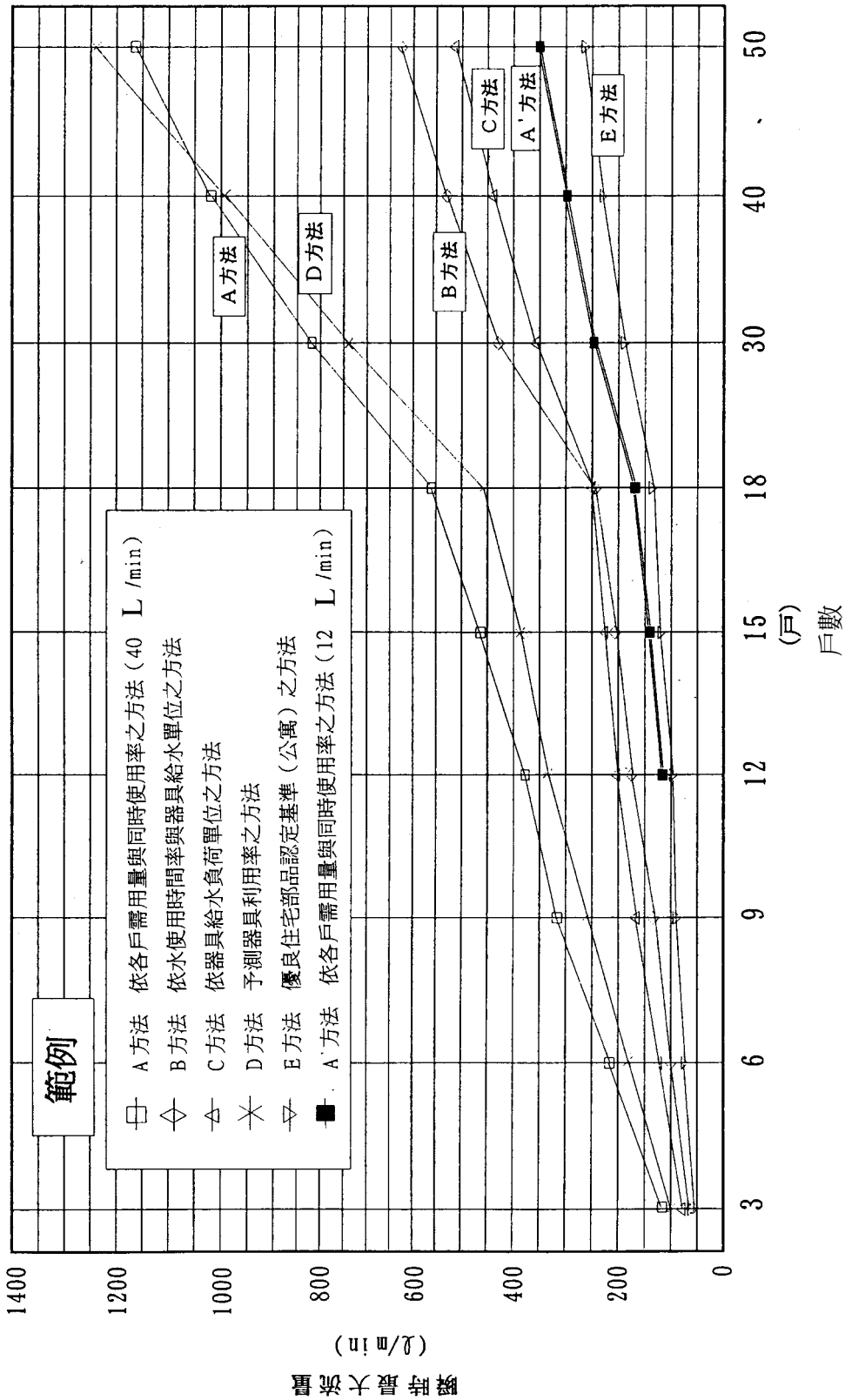


圖 3-8 各種算定方法之瞬時最大流量

方法

$$PP \geq P1 + P2 + P3 + P4 + 0.049 - P0$$

PP：增壓裝置之增加水頭

P1：高低差之損失水頭

P2：給水管摩擦及器具之損失水頭

P3：水量計之損失水頭

P4：逆流防止器之損失水頭

0.049 (Mpa)：給水裝置中之終端或至最高位置之最小動水壓

P0：直接給水用加壓裝置入口壓力

③直接給水用加壓裝置口徑之選定 (圖3-9)

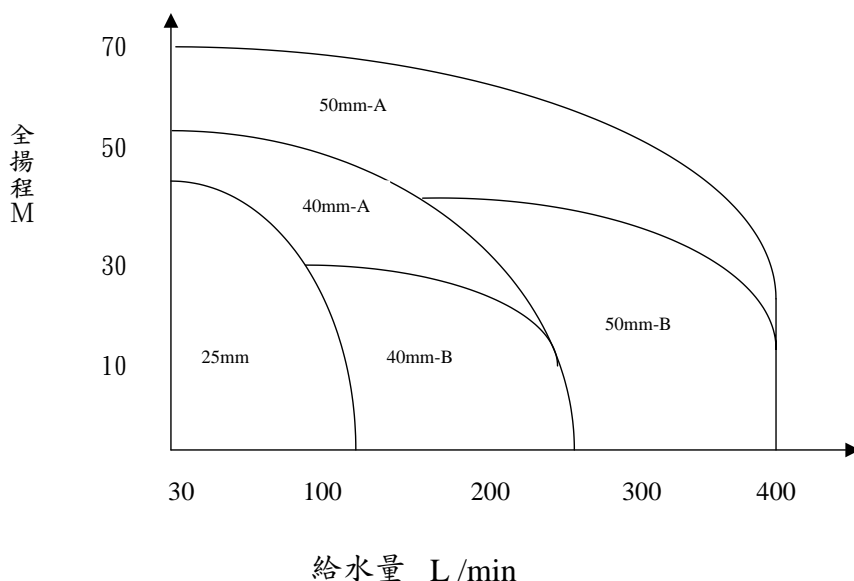


圖 3-9 直接給水用增壓裝置口徑選定圖

3 - 5 防止逆流裝置及水量計

3 - 5 - 1 防止逆流裝置

(1) 基本事項

直接給水系統中，為確保給水安定性之手段上，必須於給水設備中設有防止逆流措施。其措施應依據水道法所定符合給水裝置之構造及材質基準。

(2) 逆流防止裝置之選定

為確保給水之安全性，應選定符合直接給水對象之建築物用途、裝置之特性及

水之使用實態之逆流裝置。

(3) 設置方法

防止逆流裝置為確保給水之安全性，必須設置於最有效率的場所。

(4) 設置場所

防止逆流裝置之設置時，應考慮施工性、保養管理性等，選定不能因逆流引起之污染、污濁之場所。

(5) 防止逆流設備之保養管理

應每半年一次舉行保養檢查，以確認

機能正常，尚應參照各製造廠商之說明書作維護。

3-5-2 水表

(1) 基本事項

水表應依照水之使用實況及用水設備之內容，選定設置適當的水表。

(2) 器種之選定

水表為求正確的計量及確保耐久性，應選定適合使用實況之器種。

(3) 設置

水表設置地點應考慮抄表、換表等作業之便利性及其場所之清潔性。

(4) 遙控抄錄裝置

設置水表遙控抄錄裝置時，除應考量正確且有效率的抄錄外，應採用容易維護管理之器種。

第四章、其他事項

4-1 用水設備：從配水管之分歧點至終端之給水栓為止。

全部之用水設備，基本的應由用戶管理為原則。自來水事業與用戶間之管理及修理應區分明確化。

但部分事業單位「管理」至道路境界線，或至水表部分，且該部分之「修理」多屬由事業單位負責辦理。為此必需明確的規定用水設備之管理及修理區分。

4-2 設施之管理

4-2-1 用戶應管理之實施事項

給水管、直接給水加壓裝置及量水器等裝置後，應由用戶自行善良管理。

各項設備之設置必須考慮適於保養管理之場所。

直接給水之加壓裝置應由設置者每年一次委由具專門智識之專家實施保養及檢查工作。

4-2-2 對用戶之管理指導

有關直接給水加壓裝置之管理上，檢查報告之義務、發生事故時或停水工程等迅速的應對計，除設置設施管理責任人員外，應與所有者及承裝業者間訂立維護管理之委託合約。

4-3 自來水事業於發生災害時之對策

導入直接給水系統後，如遭受配水管破裂之停斷水、地震、火災或乾旱時，為免影響正常給水，應建立各項狀況發生時之應變對策。

【參考文獻】：

日本厚生省生活衛生局水道環境部水道整備課 監修，財團法人 水道技術研究中心 平成9年8月編製，「直接給水システム（系統）導入ガイドライン（指導基準）とその（及其）解説」

