

ISSN 1025-7683

中華民國自來水協會會刊



自

來

水

第18卷 第2期 (70)

中華民國八十八年五月



WATER SUPPLY QUARTERLY

Volume 18 NO.2 May 1999

Water Works Association of the Republic of China(Taiwan)



9 771025 768008

自來水會刊第十八卷第二期⑦〇目錄

編者的話

台灣創設自來水百週年慶祝大會

李總統登輝先生賀電5

行政院蕭院長萬長先生賀電6

連副總統致詞7

美國自來水協會代表致賀詞8

日本自來水協會代表總務長石松真男致賀詞8

實務研究： 花蓮地區地震與管線漏水之研究林建財.....9

管線使用情形案例解析曾盛一.....25

一般論述： 解決環保及水資源問題之可行性方案李濟南.....37

談大陸節水型體系之定量評價模式的建立李宗仰.....50

自來水配水系統水質二次污染研發課題探討盧重興.....63

每期專題： 統計在自來水工程上之應用（I）溫敏杰、溫清光...69

研究快訊： 現有自來水設備耐震及改善之研究（第二年）期末報告

摘要蔡錦松等三人.....82

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、他山之石等文稿1200元/千字，「業務報導」為800元/千字，其餘為500元/千字。
- 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。

自來水會刊雜誌

發行所名稱：中華民國自來水協會

發行人：林學正

會址：臺北市長安東路二段一六號七樓

中華民國自來水協會編譯出版委員會

主任委員：陳榮藏

傳真：(02)25042350

電話：(02)25073832

副主任委員：劉廷政

委員：劉家堯 陳梓濱 張順興 李泰雄 史午康 葉宣顯 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

編輯：林孟臻 李丁來

總編輯：劉廷政

校對：古貞苓

電話：(04)2244191轉222

出版地址：臺中市雙十路二段二號之一

印刷：威文彩色印刷公司

行政院新聞局出版事業登寄證局版台誌字第2995號

地址：台中市工業區23路2-1號

中華郵政北台字第0473號執照登記為雜誌交寄

電話：(04)3586977

總統賀電

【臺北市長安東路二段一〇六號七樓】
中華民國自來水協會林理事長學正暨
全體與會人員公鑒：欣悉訂於本（八
十八）年四月一日舉行臺灣創設自來
水一百週年慶祝大會，特電申賀，並
祝大會圓滿成功。李登輝中華民國八
十八年三月二十五日

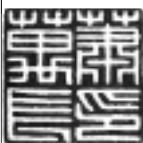


行政院賀電

八八行交賀字第〇三七號

〔台北市長安東路二段一〇六號七樓〕中華民國自來水協會林
理事長學正大鑒：欣聞下（四）月一日 貴會將舉行台灣創
設自來水一百週年慶祝大會，各界賢達及佳賓雲集，盛況可
期，特電申賀，同時對於 貴會長期關護台灣自來水資源，
表示敬意，並祝與會諸君健康愉快，大會圓滿順利。

蕭萬長



敬賀

中華民國八十八年三月二十五日

台灣創設自來水百週年 連副總統戰致詞

林理事長、各位貴賓、各位女士先生，大家好。很榮幸能夠受邀參加台灣地區創設自來水一百週年慶祝大會，首先，對於自來水先進同仁們的辛勞及貢獻，本人謹在此致上最高的敬意與感謝。

自來水是現代化社會不可或缺的生活要素，對於每個人的健康、工商業的發展、人民生活的品質，更是息息相關，自來水普及率亦是任何國家進步的指標。台灣地區從民國前十三年即創設自來水迄今，在這段期間，每位自來水先進輩路藍縷，大家非常努力地逐步推動自來水建設，並於民國六十年代先後成立台灣省自來水公司與台北自來水事業處，幾十年來的努力，雖然已經不斷地開拓水源、擴充設備，不斷地提昇供水普及率、供水品質。但是，大家都了解「台灣地區從六十、七十年代開始，由於工商業發達、人口快速成長、社區發展迅速。因此，對於自來水的需求，始終是一大壓力。

個人在省政府、行政院工作多年，對於自來水需求呈直線上升的壓力感同身受，更深切體驗到政府對於自來水建設是不遺餘力，包括北部地區的新山、板新、平鎮等淨水場，中部地區的鯉魚潭、東新、豐原等淨水場，南部地區的澄清湖、牡丹、南化等水庫及淨水場，政府都投入大筆經費，使其逐一建立或擴充。尤其是

高雄地區，其自來水的「質」與「量」，始終是我們多年來的困擾。所以，政府對於自來水公司乃大量投資，一方面開闢水源，一方面汰換舊漏管線，所費之努力與工程之浩大，並非一般民眾所能瞭解，但卻都與一般民眾息息相關。另外，在偏遠地區，我們也設法利用簡易自來水設備，以改善當地居民、及學校學童之飲水問題。

今天，欣逢台灣創設自來水一百週年，我們除了緬懷先賢的貢獻，及對於普及率已超過百分之九十的成就感到高興外。未來，尚祈再接再厲，不斷地突破發展。本人殷切期盼未來自來水事業仍應繼續努力以下之工作：第一、不斷地提高普及率，繼續努力推動各項自來水建設。第二、盡力改善水質，以滿足民眾對於水質提昇的殷切期盼。第三妥善規劃及開發水資源，站在整個國家發展、整體利益的立場考量，提昇資源的使用效率。

自來水的經營是一龐大事業，本人期盼，未來在經營上能夠更重視創新管理及經營策略。今天，非常感謝林理事長的邀請，本人在此謹以一位多年使用自來水用戶的身份，向各位自來水從業先進的的辛勞表示敬意與感謝，最後，敬祝各位身體健康，大會圓滿成功。

台灣創設自來水百週年美國自來水協會前副會長

Dr. M. McGuire致詞

大會林理事長、各位貴賓、各位女士先生，大家好。本人謹代表美國自來水協會向各位致上深忱的祝福，並恭賀台灣創設自來水一百週年。基於貴我二個自來水協會長期成功的經驗，個人覺得我們可以

很有信心地邁向二十一世紀，非常榮幸能代表美國自來水協會參與這次的盛會，希望未來貴我二協會能夠在經驗及技術方面廣泛交流。祝賀大會順利成功，謝謝各位。

台灣創設自來水百週年日本自來水協會總務長石

松真男致詞

大會林理事長、各位貴賓、各位女士先生，大家好。非常榮幸能夠受邀參加台灣創設自來水一百週年慶祝大會，本人謹代日本自來水協會致上恭賀之意。

日本自來水能有今日的高普及率與高度發展，應追溯到一百年前英人威廉·波頓之貢獻。同樣地，在台灣自來水界，威廉·波頓亦由於其貢獻，受到崇高的敬仰，由此可見，二個自來水發展的歷史淵源是非常深的。

當今，日本自來水雖然已達高普及率，並朝更精緻、更高品質的方向努力經營。但是，我們卻仍有許多問題亟待以經營革新來解決，相信，台灣也是面臨著同樣問題。希望，今後能多利用各種機會，加強技術交流，拓展雙方合作關係。

最後，衷心祝福各位，敬祝大會成功。祝福台灣自來水事業更發展，謝謝各位。

花蓮地區地震與管線漏水之研究

*林建財

壹、前言

台灣介於歐亞板塊與菲律賓海板塊交界處，劇烈的地質活動促使地震頻繁，尤以沿花東縱谷而成之斷層帶最為明顯，除了主要斷層外，花蓮縣境內尚有較小之次要斷層，分佈在花蓮市附近，最有名的美崙斷層，另外尚有民意斷層，七星潭斷層，賀田山斷層及月眉斷層等。

花蓮地區由於斷層四伏，每年地震不計其數，最嚴重者，首推民國四十年十月廿二日及十一月廿五日，花蓮市二度發生六、九級強烈地震，房屋倒塌2382間，受傷856人，死亡68人，自來水設施損壞嚴重，除美崙淨水場內沉澱池，慢濾池嚴重裂漏外，由娑婆礁至淨水場之導水管破裂四十餘處，通過美崙溪過河水管約六十公尺嚴重斷裂，市區內100、150、200m/m鑄鐵配水管經強震斷裂89處，接頭脫開466處，閘閥損壞38處，消火栓損壞69處，所造成嚴重的破壞使自來水系統全面癱瘓，除動員兵工外並徵調民間技術工，及義務勞工全力搶修，歷時長達半年才逐漸恢復供水。

近幾年來地層活動更是頻仍，84、85年二年內二級以上地震達98次之多（詳如附表一），受特殊地理環境之影響，使埋設於地下之自來水管線又受相當衝擊，為瞭解本地自來水管線地震後漏水類型與原因，以供今後設計施工改進參考，在地震研究專家現任花蓮市長葉耀輝博士指導下進行本項研究。

貳、地震伴隨現象與對自來水管線影響

地震時伴隨的現象因為強度的不同，發生的現象也有很大的不同，一般由第四級中震起，所發生的各種現象比較顯著如斷層、地裂、地陷、山崩、噴砂、噴天然氣、地下水變化、地鳴、湖位變化、發光、海蕭等，但以斷層、地裂、地陷、山崩等對自來水管線有直接之影響。

一、斷層

（一）斷層的特性

較強烈的地震往往有斷層現象之發生，在水平方向產生地盤變位的斷層稱作水平斷層，在垂直方向引起地盤變位的稱

為垂直斷層，尤以處在花東縱谷斷層帶最為顯著，最大紀錄係民國40年的美崙斷層為最大，其水平變位300公分，垂直變位達150公分。

斷層的長度和變位的幅度通常和地震規模之間有下列關係：

$$\text{Log}L=1.32M-7.99$$

$$\text{Log}D=0.55M-3.71$$

M：地震規模

L：斷層長度（KM）

D：斷層變位量（M）

（二）斷層對自來水管線影響

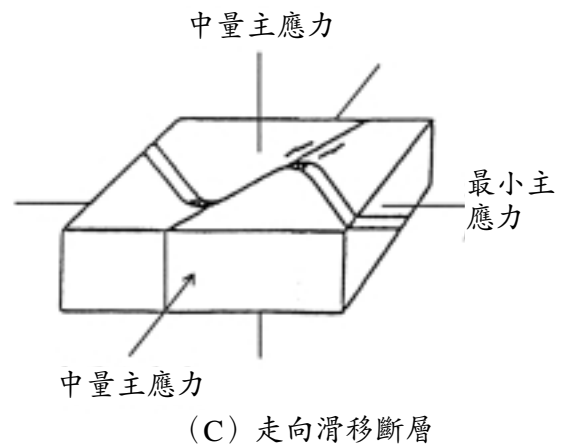
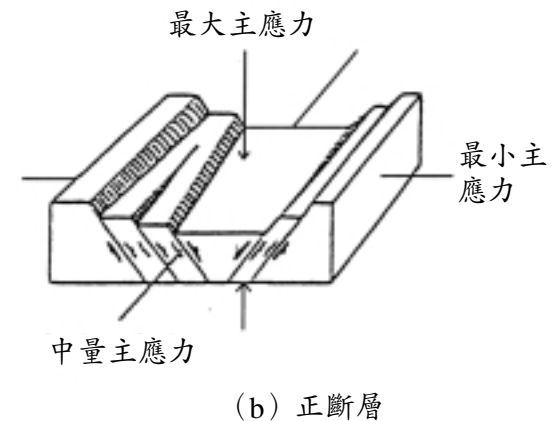
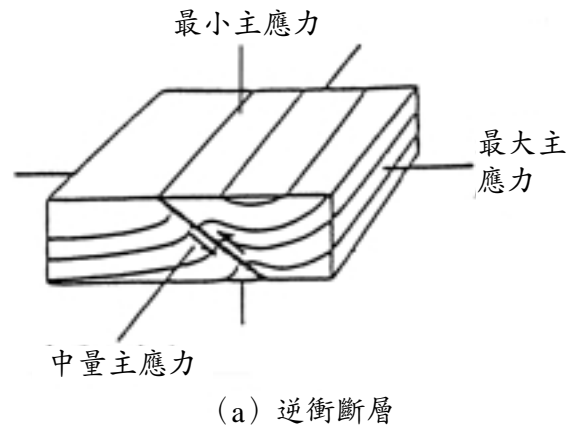
因地震所造成之斷層分為垂直斷層及平移斷層（詳如附圖），垂直斷層使地層呈切所狀，致使自來水管線受豎向力牽引影響，因無法承受剪力而折斷，丁字管被剪裂，伸縮接頭或機械接頭拉脫，接合管由頸部剪斷或自由令處拉脫平移，斷層損害依次為接頭拉脫，接合管破裂，由令脫落等，接頭抗拉性則機械接頭比伸縮接頭為強。

二、地裂

（一）地裂的特性

花蓮地區過去發生的地震中，地裂現象非常普遍，大都見於沖積層區、田野、道路、或水泥地上及柏油路面，地裂大多成帶狀，或樹狀或龜裂狀。

（二）地裂對自來水管線影響



大地應力方向與斷層方向之關係圖

因地層整個斷裂，致使自來水管受牽動或造成接頭脫接。

三、地陷

(一) 地陷的特性

強裂地震時，土地陷落是常見現象，大都出現在沖積層地區，以其土質鬆軟遇到稍強震撼局部即陷落，有時可相當寬廣。地層受振動時，鬆性壓密土壤將因緊縮而造成沉陷，開始時之沉陷甚速，逐漸轉緩，其沉陷之極限量主要與加速度有關，而於加速度小時，略與其成正比。但加速度超過 $300 \sim 400\text{cm/sec}^2$ 時，表層之砂層會開始流動，仍由於飽和砂土承受強裂振動，使砂粒之骨架破壞而呈現液化現象。液化發生主要由於振動剪應力使孔隙水壓升高所導致。

(二) 地陷對自來水管線影響

花蓮地區歷次強震過後，土層液化之區大致沿著海岸線沖積層，如七星潭一帶地區因土層疏鬆，地下水位多在地表1.5~2.5公尺左右，土層液化之結果造成管線不均勻沉陷，管體承受彎矩破壞，主要破壞為接頭部份產生拉脫漏水或接合管拉脫折斷。

四、山崩

(一) 山崩的特性

由於山地基不穩固，在強烈地震時會

因地震造成山崩，山震山崩大多在震發時，或隨後發生崩塌後，不穩固之土石堆也可能為日後再次大山崩之主因。

(二) 山崩對自來水管線的影響

由山崩所造成外力沖擊自來水管之為害甚鉅，尤以花蓮縣大多為山地小系統，歷次地震過後所造成大小山崩不計其數，除因道路崩塌造成管線全毀外，亦常因巨石滾落地面而擊損水管，且大地震後地基不穩固常有再度崩落之情形，如為埋於地下管線而破裂漏水，則其搶修倍感吃力費時。

參、地震破壞地下管線之荷力探討

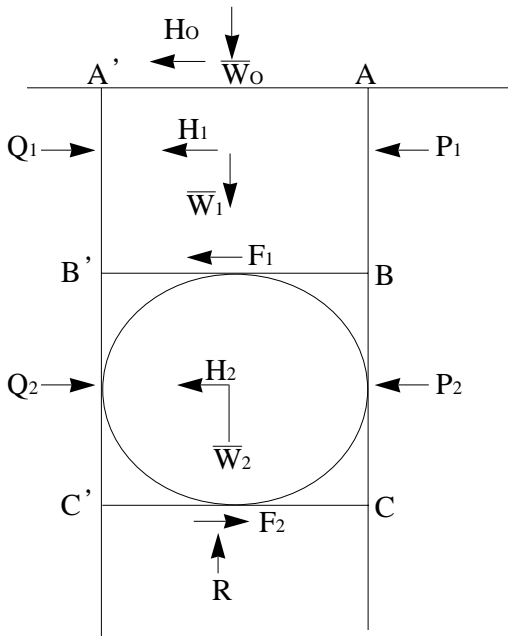
一、土壤承荷力因震動而減少

因為地震對土壤之震動力，使鬆性土壤或地下水位高之地層會失去剪力強度，產生土壤液化現象，承荷力減少，自來水供水管線因有高載重容易因而下沈，因此，防範措施上可用混凝土為基礎做墊料處理，對大口徑管線可增加用基樁，不僅能增加土壤承荷力，且能防止管線由接頭處彎折或拉脫而漏水。

二、偏心土壓對管線應力與影響

在地震時，主動土壓推擠施力於管線之一面，被動土壓則施力於管之另一面，當應力平衡破壞時，管線遂被推擠至另一

邊，其作用力如下圖：



下列為作用於管上之垂直應力：

$\bar{W}_0 = (1 - K_v) \bar{W}_0'$ 地表上荷重產生之力。

$\bar{W}_1 = (1 - K_v) \bar{W}_1'$ 管線上土壤之重力。

$\bar{W}_2 = (1 - K_v) \bar{W}_2'$ 管重及管內活重產生之力。

$R = \bar{W}_0 + \bar{W}_1 + \bar{W}_2$ 管底所受土壤反作用力。

\bar{W}_0' , \bar{W}_1' , \bar{W}_2' 分別為地表之荷重，加於管上之土重，及土重加管內活動。

下列為作用於管上之水平應力

P_2 ：在平面BC上之土壤壓力。

Q_2 ：在平面B'C'上之抵抗土壓力。

F_1 ：在平面BB'上之切作用力。

F_2 ：在平面CC'上之切作用力。

$H = K_n W_2'$ ：地震作用於管線及管內自來水所產生之震力， K_n 為水平地震係數， P_2 為主動壓力， Q_2 不能超過被動土壓力，當主動壓力之和 P_1 ，作用在平面AB，地震負荷 H_0 ，作用在地表，又地震力 H_1 ，作用在管線上面之土壤而不超過A'B'面上之被動土壓力時，所有水平力皆為A'B'面上之土壓力所承受，當總和超過A'B'上之被動土壓力時，其不足力為作用在管上表面之切力 F_1 所承受，但 F_1 值不能超過管線上部表面之剪力強度。因此，管線維持平衡條件為 $Q_2 + F_2 = F_1 + K_n W_2 + P_2$ ，上式若因地震等外力而破壞其平衡時，將使管自來水管線受到影響，若該影響力超出管材承受力即發生。

破壞而漏水，故在防震措施上應以防止管線上土壤平衡遭致破壞及增強管材防震力為主。

三、地層不均之影響

當地層不均時，不同地點地表因地震所產生運動亦不同，此不均勻性隨深度增加而減少，亦可以表面加速度及波速和位移之減慢來衡量。

因此，當地層不均勻時，管線內因不均勻震動所產生之應力加大，為防止因應力集中導致管線之破裂，必須在合適間隔設置伸縮接頭。

在管線與不同種類構造物之連接點，如RC造配水池之出水管件，過橋台與架設管線兩端彎管連絡部份必須設置可撓性接頭，以免因一端為剛性願造物，另一端為柔性地層，此二端震動不同之現象甚為明顯，將有造成力矩集中於連接處之危險，為防範過大力矩產生對管材之破壞，以可撓性接頭因伸縮範圍加大，且使之能自由轉動而消化，避免發生破壞。

四、地震時供水管線內之動力水壓、與管材之破壞

正常給水管為滿管供水，對於管末盲蓋塞項、肘管、丁字接頭以及異徑接頭的管壁，在地震時均承受到不同水壓，依據中川博士所提出研究結論：

地震時管末產生之最大動水壓：

$$D_{Max} = \frac{KT}{2} \sqrt{\frac{gkw}{1+2kr}} \frac{1}{eE}$$

地震時在彎管產生之最大動水壓：

$$B_{Max} = D_{Max} \sin \frac{T}{2}$$

地震時在T型接頭產生之最大動水壓：

$$T_{Max} = \{(A_2/A_1) / [2+(A_2/A_1)]\}$$

$$D_{Max}$$

地震時在異徑接頭產生之最大動水壓：

$$R_{Max} = \{[1-(A_2/A_1)] / [1+(A_2/A_1)]\}$$

$$D_{Max}$$

K：地震加速度與重力加速度g之比。

T：地震運動之週期。

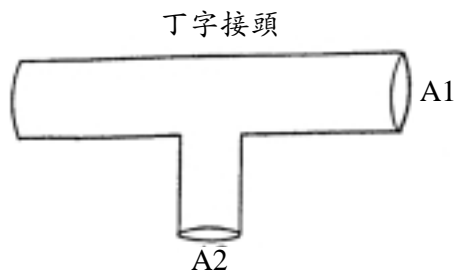
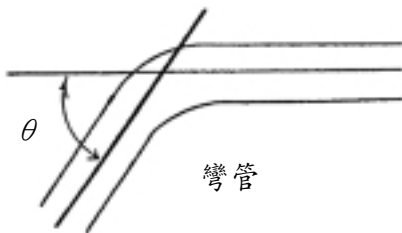
W：水的單位重量。

k：水的容積係數。

r：管內半徑。

e：管壁厚度。

E：水管材料彈性模數。



：彎管之彎曲角度。

A1：水管斷面面積。

A2：水管斷面面積。

以上係管末、彎管、丁字接頭單獨存在時所受動水壓，但實際系統管網因具連結性，當水錘壓力受此種系統連接互制之作用，使實際動水壓較上值大，當動水壓增加1.5倍，在0.2g之地震中此壓力值約為4.5公斤/平方公分。

設計給水管線時，除靜水壓力外，仍應考慮增加5.0~5.5kg/cm²之水錘壓力，但對地震時水錘壓力與動力水壓，並未同時產生而合併假設核算，故在地震中管線設計負荷時，一般不考慮加動水壓，但對於如花蓮位處強震區域通過米崙斷層帶之管線，動水壓之適當考慮應屬合理與必要，如在壓力管線上，當地震突然發生，此時候加壓馬達因強震中電源中斷而突然停止加壓，在此情況下，動水壓與水錘壓力兩者同時可能發生，則巨大之內壓將造成管材爆裂而漏水。

肆、地震所引起管件損壞之類型

一、PVCP之損壞（詳如附表二）

（一）施工不良

（1）加工變形處因地震時地層擠壓影響而裂漏。

（2）施工回填不良，管溝巨石未清，

受震壓後管裂而漏水。

（3）施工不良膠圈易位，地震後因而漏水。

（4）施工時撓度過大，地震後由接頭處漏水。

（5）埋管深度不足遭山崩落石擊破。

（6）以伸縮接頭施工若撓度過大，易於地震後漏水。

（二）地裂使水管受牽動由接頭脫接。

（三）因地震所造成之斷層使PVC管呈切斷狀

二、材質不良，地陷時由接頭處陷裂

三、地裂或斷層強烈地震之影響

地裂使水管受牽動由分歧點折裂

四、設計使用不當

位於不穩固邊坡之外露管，未使用可撓管，而以外力加固仍錯誤施工，地層鬆動即漏水頻仍。

五、接合管折裂漏水

配水管與用戶外線間之分歧（接合）管最為脆弱，強震後之漏水嚴重。

六、修漏作業施工不確實，常在地震後有復發性漏水發生。

七、具抗震性DIP管材之影響

延性鑄鐵Ductile Iron Pipes於製程鑄

造時使石墨球狀化具有不腐蝕、不易破損漏水、具強韌及耐撞擊、可耐高壓特性，不會因震動、基礎不勻而受損，最適合軟弱地質，為絕佳之抗震管材。

伍、地震引起管件損壞之探討

一、依據花蓮氣象站84、85年地震震度統計（詳如附表一），二年內所發生四級以下地震雖達95次，但中震以下之地震若能以良好技術依規範施工，則影響甚微，但對於五級以上之地震則對正常管線具有破壞性。

二、經統計近三年來本處修漏案件漏水原因及修理狀況（詳如附表三、四），檢討結果，未依規範施工應為中級以下地震管線破漏之主因：

（一）PVC管加工彎曲變形處，因在加溫過程中，管體外形受扭曲，而發生材質劣化後降低韌性，其曲變點易因地震時受地層之震擠影響而產生裂漏。

（二）施工回填不良、填砂不實、管溝內巨石未清除，使石塊或其他尖銳物在地震時，易因地層擠壓或其他外力，使管材產生裂縫而裂漏。

（三）管材活套接頭容許彎折度小於二度，以免過大之彎折因地震而脫接或由撓角點漏水。

（四）伸縮接頭施工承插之接頭，應

考量耐伸展度等級之提高，俾強震變動扭曲幅度較大時得能承受。

（五）山區埋管深度應切實，不得因岩盤而減少埋管深度，慎防埋管深度不足，遭山崩落石擊破。

三、管線設計應注意事項：

（一）位於不穩固邊坡之肘管，未使用可撓管而以外力加固，易因地層震動而漏水，應改用可撓管施工。

（二）通過不穩固地區埋設分歧管，應避免使用PVC三通管，以減少受牽動而由分歧點折裂，應改用鑄鐵另件增強防震漏效果。

（三）在硬地盤與軟地盤形成斷層或通過已知斷層帶時，應使用二個以上可撓管，以應較大之下陷。

（四）在地盤不穩固區埋設PVC管，不宜採用接合劑連接頭，應採用活套式伸縮接頭為宜。

四、有關材質方面：

（一）水管材質不良亦為震漏之原因，惟近年來在確實加強材質驗收下，品質已獲確保，所發生之案件都屬早期施工之管線，今後只要繼續嚴格執行應對防漏具有實效。

（二）接合管管頸處為應力承受點，其裂漏案達26.75%，足見其嚴重性，極

待改進。

陸、花蓮震災敏感區域

自1936年起至1973年所發生在全台灣五級以上地震分佈圖（詳如附圖）顯示面對西太平洋的台灣東部，尤其花蓮地區地震最為嚴重與頻繁，為進一步對花蓮地區震災敏感性做探究，供為埋管參用，參酌工研院對台灣地區易發生的地表斷層液化、山崩及地表震動等分析，做引申探討劃分。

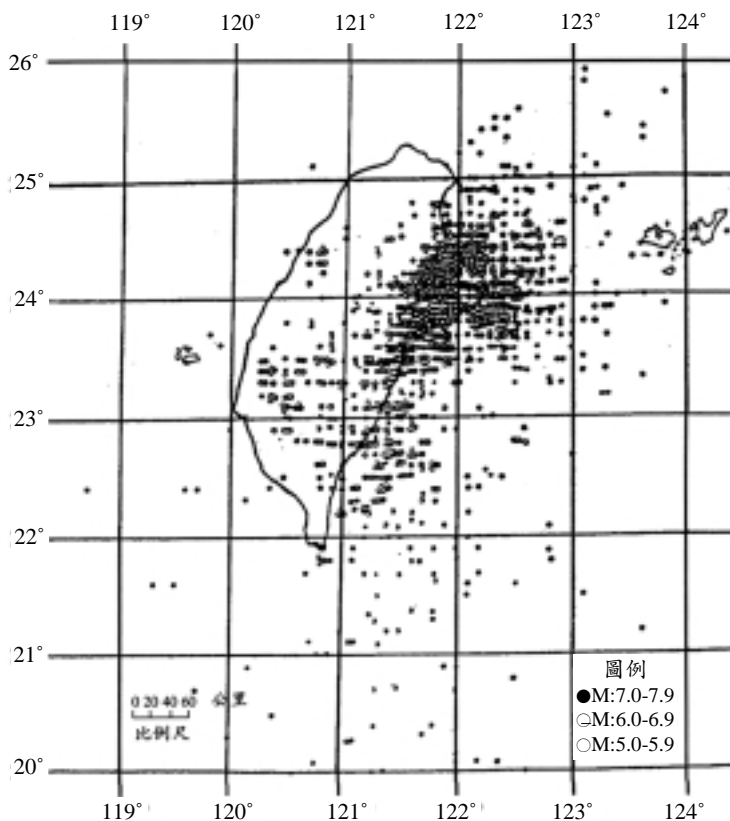
一、花蓮震災敏感性之分區

震災敏感性分區係將花蓮縣精華區，花蓮、吉安、國慶地區依其發生震災的可能性之高低加以細分，便於分區限劃之參考。而如何區分震災敏感性之高低，係將其對各種不同震災的潛感程度加以綜合給予分級標準，再依此標準將區內分成不同的震災敏感性分區。

二、震災種類及其潛感性

1. 地表斷層

花蓮地區位於花東縱谷之最北端，此縱谷為歐亞大陸板塊與菲律賓海洋板塊相



台灣地區地震分佈圖（1936-1973年，徐明同，1998）

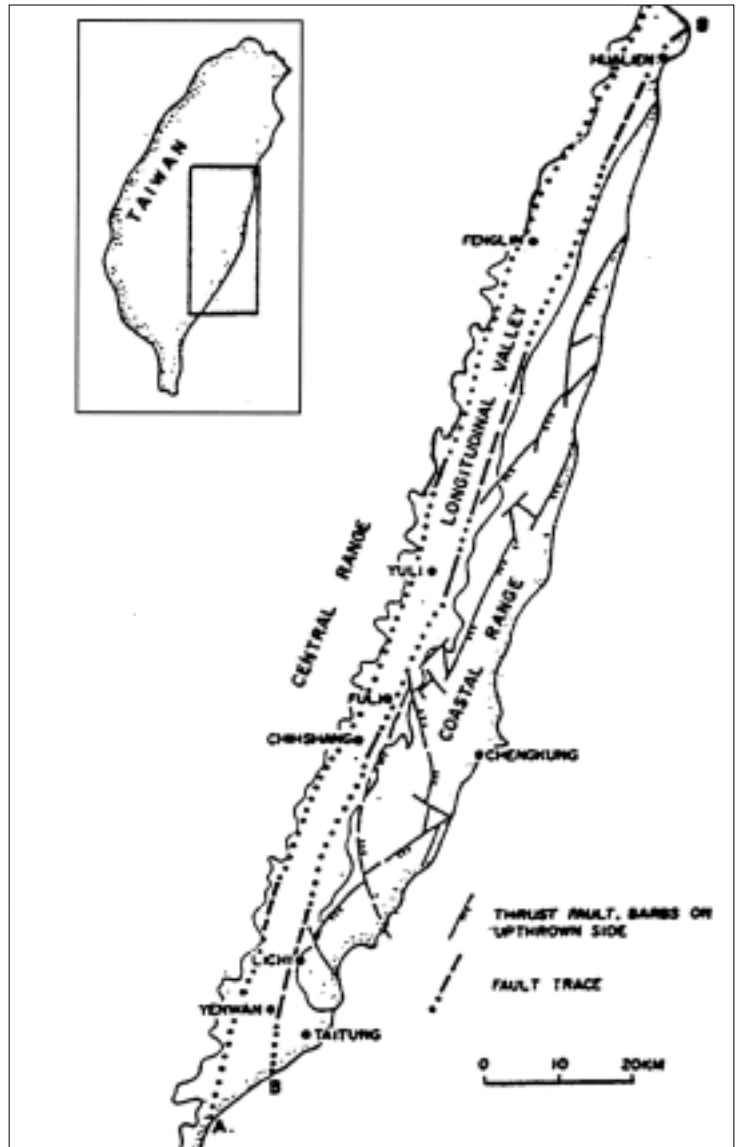
擠撞之邊界，故覆蓋於近代沖積層以下之岩盤相當破碎，花蓮地區發生於第四紀以來之斷層，有花東縱谷東側之斷層，即海岸山脈斷層（圖示A線）及縱谷西測之中央山脈斷層（圖示B線），尤以前者為活斷層，目前仍持續活動中。

除上述主斷層外，由海岸山脈斷層向東延展分成三段後入海，其中經過美崙山西側，美崙溪至七星潭方向者為美崙斷層，經過美崙山東側及美崙台地者為民意斷層，另一沿南濱附近海岸線者為南濱斷層（詳如右圖）。

上述會重覆活動的斷層，其發生震災之潛感很高，因此在活動斷層範圍內比範圍外其危險性相差甚大，與本地區斷層相類似之美國加州聖安德列斯斷層（San Andreas fault）

2. 液化潛感

依據工研院地質所於1997年於花蓮精華區內所做液化潛感研究，計蒐集研究區內約百餘點之地下鑽探資料，經篩選分析其地下水位高度及沉積物顆粒後，將縱谷沖積層中，各井在地下水位下含有細砂，



至粉土沈積物厚度在5公尺以上者，歸類為高度液化潛感，其餘為中度化潛感，而地下水位甚低之美崙礫岩區及大南澳片岩區則歸類為低度潛感。

依據地質分類，對於在更新世末期所推積之美崙台地，及現代沖積扇河川沖積層等，由於其地下水位在台灣多雨的環境

下，經常靠近地表，因而可視為同級，因此，對本區之液化潛感大致可分成三級，位於吉安鄉、花蓮國慶、花蓮西部都市計劃區之全新世沖積扇及河川沖積層均屬於高潛感地帶，更新世末期之美崙台地堆積層為中潛感，其餘美崙礫岩及其他片岩區為低潛感區。

3. 山崩潛感

會因地震導致山崩的地區，通常包含

- (1) 地表堆積鬆散。
- (2) 裂隙多。
- (3) 坡度大等三項特質。

依據上述以坡度分析配合地表岩性分佈，將本研究區分成高、中、低山崩潛感區。

高度山崩潛感區其坡度在55%以上，全部分佈在調查區西緣，位於美崙溪上游之娑娑礫山及初英山屬片岩區，片理發達易風化破碎。

中度山崩潛感區坡度在5%—55%之間，顆粒疏鬆膠結尚未岩化，美崙台地西端之美崙山及東南之花崗山屬之。低度山崩潛感區分佈於上述二區以外部分，佔全調查區80%以上，坡度在5%以下，包含沖積平原及其餘台地。

4. 地表震動潛感

地表因地震波傳達而發生震動是造成廣泛建物損毀的主要原因，其強度受震源遠近，及地表地質特性所影響，距離震源

越遠，地表震動越弱，但因厚而疏鬆的沉積物有放大震波之效應，故地表地質反而是造成震源距離相同的相鄰地區所以有不同震動強度之主因。

花東縱谷中間寬廣而低緩之沖積扇、沖積平原及現代河川沖積層與其下之岩盤間，其地震阻抗對比強烈，故其震波放大效應最大，而美崙山與美崙台地因年代較古老與其下岩盤反應較弱，故震波放大效應居次，而西邊山區全屬岩盤，故較無震波放大效應。

歷年地震震央大都在花蓮外海，因此，對花蓮地區地表震動潛感影響最大之地區為縱谷上屬於年輕沖積層區域之吉安、花蓮國慶及花蓮西部都市計劃區域列為高度潛感區，美崙山與美崙台地則為中度潛感區域，西邊山區則為低度潛感區。

三、花蓮精華區震災敏感之歸級與檢討

1. 震災敏感區之歸級

由上述震度分析結果，本區均屬強震區範圍，再將前述地裂、液化、山崩、地表震動等四種震災潛感度分佈疊圖後，依下表分別歸類為高、中高及中低等區，實際分區結果如圖所示。

其中高度敏感區（圖示 區）包括縱谷中之沖積扇、沖積平原、河川沖積層，西邊片岩山區及地裂分佈區均屬之。

中度敏感區（圖示 區）則包括美崙

震災敏感性分級標準表

震區級別	地裂/液化/山崩/地表震動潛感級別	分級組合	震災敏感性分級
H 強震以上 最大地表加速度值 > 128公分/秒 ²	有一項以上為高度潛感 (H)	HH	I：高度敏感
	無 (H)，有一項以上為中度潛感 (M)	HM	II：中高度敏感
	全屬低度潛感 (L)	HL	III：中低敏感
M 中震 最大地表加速度值 < 128公分/秒 ² > 32公分/秒 ²	有一項以上為高度潛感 (H)	MH	II：中高度敏感
	無 (H)，有一項以上為中度潛感 (M)	MM	III：中底度敏感
	全屬低度潛感 (L)	ML	IV：低度敏感
L 弱震以下 最大地表加速度值 < 32公分/秒 ²	有一項以上為高度潛感 (H)	LH	III：中低度敏感
	無 (H)	ML	IV：低度敏感

台地及美崙山。中低度敏感區則無。

2. 震災敏感區之檢討

- (1) 既往在自來水建設各項工程設施上甚少對本地區地震高敏感性有所認知瞭解。
- (2) 今後由原水至淨水各項設施規設，必須充分瞭解震災高敏感性外，尤其管線工程防震應加強管線之地盤適用性及耐震性考量，其配屬組件如制水閥、排氣閥、消防栓、接合管均應考慮延展性較高之材質以增強耐震性，經過液化地盤或軟弱地盤之埋管應考慮進行地盤改良，及可撓管接頭之組合以承受較大之變

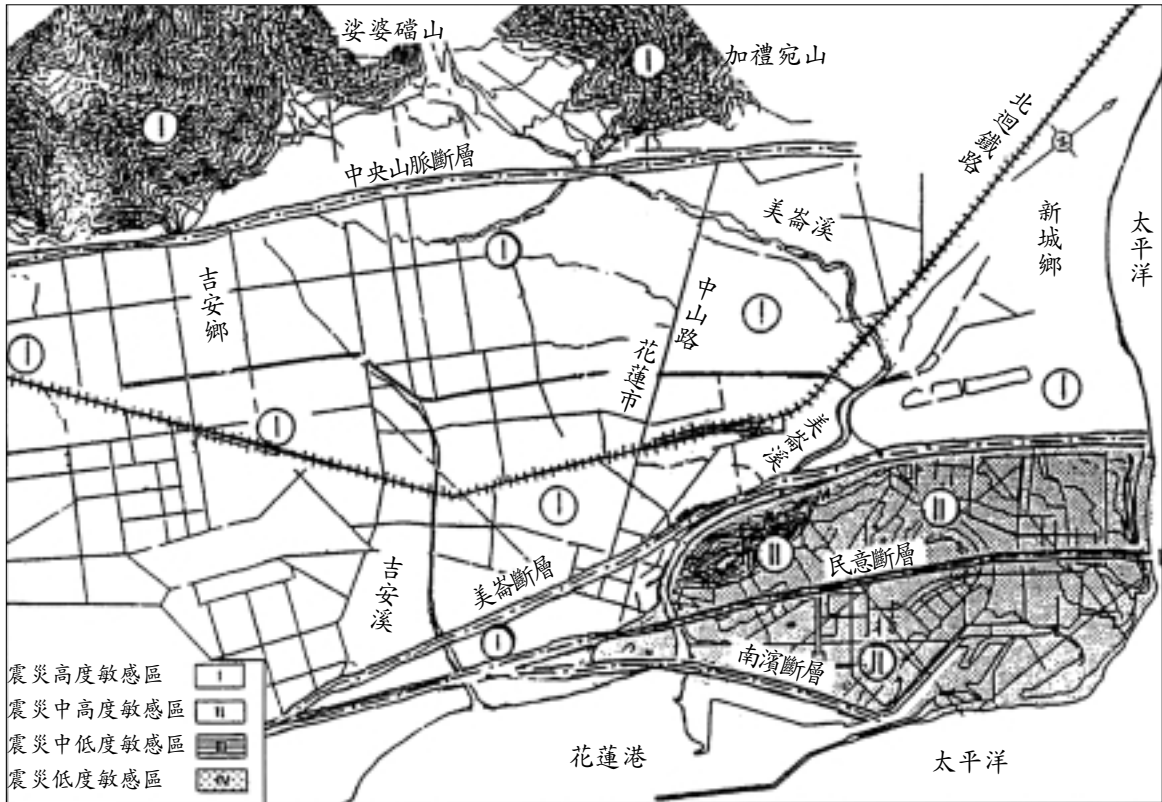
形等應為將來管線工程規設之重點方向。

柒、結論與建議

一、結論

1. 地震對地下管線的損害包括拔出和震裂，四級以下地震所造成為害大都係施工不良之前因所導致。因此，依規範施工應是防震之必要條件。
2. 結實地盤最適宜埋設地下管線，而鬆軟地層或軟硬分佈不均區域抗震效果較差，且易引起不均勻擠壓，對管線防震最脆弱，若管溝無法避免必需通過時，管線應有可撓管之設置以增加

花蓮市吉安地區震災敏感性分區圖



抗震效果。

3. 管線受垂直方向震動時會變為彎曲，若彎曲過大接頭處因承受高度應變，以至會在接頭處裂開。震動沿管線方向因外力震動再加水管內壓，則管線將被拉起，而在接頭處分開或互交錯形成縱向裂損。
4. SP及DIP因韌性高，尚未發現因地震而破裂漏水，而ACP、CIP、PVC管種均有折斷、破裂、撕裂、拉出及連接體受損之為害。
5. 機械接頭雖有被拉出之情形，但仍具

有相當程度之抗震性。套接接頭也會被拉出，法蘭平口接頭易遭損裂故兩者皆不耐震，外露管線最易遭地震損害，應注意其抗震需求。

6. 以花蓮縣精華區花蓮市、吉安鄉密集區全面性震災潛感度評估結果，因屬震災高敏感區域，除由加強管材及接頭與各配屬管件栓、閥之耐震性外，必要時併應做地盤改善，俾達防震效果。

二、建議

- 1.由於PVCP管線歷次破管之破裂裂痕，大都與管材之纖維走向有關，由提升管材防漏效能，應研究提高PVC管耐衝擊性，以改善其脆弱性結構，若能在製程增加豎向纖維，當可強化管材增加防裂漏效能，建請製造商研發。
- 2.PVC管材有刻痕效應問題，搬運施工時應避免其表面受創，管溝更不得有石塊等堅硬物體接觸，以免發生裂漏，施工規範雖已規定管底填砂後再下管，但填砂以分段施工甚耗工，以致承商時存投機，未依要求施工情形，應再加強提升監工督導。
- 3.接合管管頸為承受應力點，目前接合管裂漏情形嚴重，是否因材質所導

致，應有待繼續探討研究期獲改進。

- 4.處在太平洋地震帶上的台灣地區，自來水管防震措施應獲重視，但全面性的防震措施似未符工程經濟效益，建議各地區應做潛感特性之評估以確認對震災為高度、中高度、中低度、或低度潛感，對不同潛感度埋管應有各別防震設計規範標準，其標準之擬訂應獲決策層重視，並儘速訂定。

參考文獻

- 1.「地震工程學」 國立台灣大學地震工程研究中心1979。
- 2.劉家堯、王炳鑫 日本關西震災考察心得報告1996。
- 3.蔡錦松 自來水設備耐震之改善研究 1997。



本刊八十八年預定「每期專題」為


第一期：台灣自來水建設100週年紀念特刊（88年3月31日出刊）

第二期：統計學在自來水工程上之應用（88年5月17日出刊）

第三期：淨水場ISO制度建立之探討（88年8月17日出刊）

第四期：淨水績效評估與改善探討（88年11月17日出刊）

歡迎各界就上述專題踴躍賜稿，稿酬從優



附表一、民國84、85年花蓮氣象站地震震度統計表

	年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	小計	合計
二	84	7	2	1	3	7	1	1	—	2	1	11	3	39	
級	85	2	—	6	1	1	1	1	2	1	3	3	2	23	
三	84	2	3	2	1	2	—	—	—	—	1	4	1	16	
級	85	—	1	2	—	—	—	2	—	1	—	1	—	7	95
四	84	—	—	—	1	2	—	—	—	—	2	1	2	8	
級	85	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	1	—	2	
五	84	—	—	—	—	1	—	—	—	—	1	—	2	3	
級	85	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	1	

附表二、PVC管線因地震漏水原因與診斷

分 類	漏 水 原 因 與 診 斷
1.管線材質	<ol style="list-style-type: none"> 1.管體、接頭、附屬設備之材質，出廠時不完備。 2.儲存不當而劣化。 3.材質、材料老化。 4.接合管材質鬆脆，強震後由分歧頸部折裂而漏水。
2.施工技術	<ol style="list-style-type: none"> 1.管線接頭撓度過大，地震後易由承口處漏水。 2.施工承插不良致膠圈易位，地震後漏水。 3.伸縮接頭之施工撓度過大。 4.伸縮接頭之銜接端不足，易因震動或拉脫而脫接。 5.管材因加熱不當而變形，使脆化後易因震擠而裂漏。
3.埋設環境	<ol style="list-style-type: none"> 1.施工管周填砂不足，管體與石塊或水泥等堅硬物接觸，易因地震產生刻痕效應而裂漏。 2.埋管深度不足，遭山崩落石擊破管材而漏水。
4.設計或其他因素	<ol style="list-style-type: none"> 1.設計失當，採用不合格之荷重條件。 2.不穩固邊坡外露管件，未使用可撓管，而以外力加固仍錯誤施工，易因地震而漏水。 3.修漏作業不確實，強震後有復發性漏水。 4.分歧點折裂。 5.使用接合劑易因地層滑動而鬆動漏水。

附表三、近三年漏水原因比率統計

項 目	件 數					件 數				
	84	85	86	合計	比率	84	85	86	合計	比率
電 腐 蝕	49	66	52	167	10.45%	1.31.3	883.48	705.15	2622.93	3.85%
荷重振動	98	119	101	318	19.91%	7843.24	12430.80	6243.50	26517.54	38.95%
水 錘	7	2	1	10	0.63%	2292.3	816.00	676.80	3785.1	5.55%
施工不良	41	198	35	274	17.15%	4466.68	2600.44	1344.89	8402.01	12.34%
回填不良	4	4	5	10	0.63%	271.7	70.50	185.38	527.58	0.77%
材其不良	93	97	73	263	16.46%	2212.87	888.20	1359.75	4460.82	6.55%
地盤下陷	5	6	8	19	1.19%	578	4866.71	661.65	6106.36	8.96%
其他工程	55	144	189	388	24.29%	3098.9	5040.55	2661.83	10801.28	15.86%
其 他	148	—	—	148	9.26%	4850.01	—	—	4850.01	7.12%
合 計	500	636	461	1597	—	26648	27596.68	13834.55	68079.23	—

【備註】

由近三年漏水原因比率統計，因其他工程造成漏水為管線漏水之主因，案件比率雖高達24.29%，但其總漏水量僅10、80lm³佔15.86%，荷重振動案件比率次之佔19.91%，但其總漏水量竟高達26、517m³佔38.95%。

施工不良及材質不良案件比率分別為

17.15%及16.46%，其漏水量則為12.34%及6.55%

由上述分析亦可瞭解荷重振動，地盤下陷雖與環境因素之地震相關，但受施工及材質不良影響則為其漏水主要之條件因素。

附表四、近三年來修理狀況比率統計

項 目	修 理 狀 況								漏 水 量							
	84年		85年		86年		合 計		84年		85年		86年		合 計	
	件數	%	件數	%	件數	%	件數	%	漏水量	%	漏水量	%	漏水量	%	漏水量	%
折 斷	60	13.2	50	7.86	41	8.89	157	9.8	3012.49	11.31	7609.18	27.57	1366.79	9.88	11987	17.60
空 洞	26	5.2	22	3.46	25	5.42	73	4.5	583.94	32.19	324.45	1.18	450.11	3.25	1357	2.00
裂 縫	246	4.92	168	26.42	172	37.31	586	36.7	17006.52	63.82	13205.04	47.85	8114.83	58.66	38325	56.30
脫 接	19	3.8	20	3.14	29	6.29	68	4.3	565.55	2.12	918.74	3.33	869.91	6.29	2352	3.45
橡皮墊	122	24.4	300	47.17	124	26.9	546	34.2	1859.11	6.98	2856.98	10.35	1509.97	10.91	6224	9.14
管 鞍	0	0	1	0.16	0	0	1	—	—	—	16.10	0.06	—	—	16.1	0.02
廢用管	4	0.8	11	1.73	17	3.69	32	2.0	128.59	0.48	283.19	1.03	700.19	5.06	1111	1.63
其 他	17	3.4	64	10.06	54	11.71	135	8.4	3491.8	13.10	2383.00	8.64	822.75	5.95	6696	9.83
合 計	500	100	636	100	461	100	1597	100	26648	100	27596.68	100	13830	100	68074	100

【備註】

由修理狀況比率統計分析：

1. 裂縫為發生漏水之主要原因，不但件數比率達36.7%，且其漏水量38、325m³總比率達56.30%為漏水量之主要原因。
2. 因橡皮墊之老化，劣化等材質因素導致之漏水雖佔總件數之34.2%為漏水件數之第二大因素，但漏水量則僅佔9.14%

3. 折斷及脫接案件比率分別為9.8%及4.30%，但其漏水量則為17.60%及3.45%。

由上述亦可瞭解與地震相關之修理狀況如裂縫、折斷、脫接案件比例高達9.8%、36.7%、4.3%合計達50.8%且三者漏水量高達52、664m³而其比率竟高達77.75%，因而亦可確認應與地震頻繁之環境因素有關。

管線使用情形案例解析

*曾盛一

前言

台灣省自來水公司(以下簡稱本公司)本公司自八十四年度起要求各單位將管線維護作業建立各項數據資料，並定期函送總處彙整，此項業務已行之有年，所累積資料數量尚稱起步階段而已，惟此項管線維護基本資料之建立，所耗費人力、工時頗多，到底此項報表作業所累積之龐大數據，對本公司管線維修或管線之施設，或維修業務上有何助益或意義？在此謹以分析個案為例稍加說明。

專有名詞定義：

- 1.荷重震動：主要係車輛（震動）之活載重或土壤之死載重（荷重）等外力所造成之管線破漏原因。
- 2.空洞：管線於製造過程品管不良所產生之管線材質內部（砂眼）空洞，造成應力不足而造成之管線破漏。
- 3.水錘：因水壓驟變而產生之破壞管線力量。

4.其他工程：因其他管線單位施工導致本公司管線受損破漏之原因項目。

壹、本公司現有管線基本背景資料分析：

一、本公司截至八十七年六月底止之各類型管材之管線總長度及財產帳之較重要數據，摘要如下：

- (一)本公司截至87年6月底止管線總長度80,967公里，管線總帳面淨值為314.5億元。
- (二)本公司輸配水管線長度為47,833公里，輸配水管線帳面淨值為279.4億元，用戶外線長度為33,134公里，其帳面淨值35.1億元；二者長度所佔比例各為59.08%及40.92%。（詳圖一）
- (三)本公司輸配水管長度，口徑75公釐（含以下）佔16.06%，80公釐佔66.30%，250公釐佔13.28%，600公釐以上佔4.36%。（詳圖二）

*台灣省自來水公司供水處工程師

(四) 輸配水管線中不分口徑別，各類管材長度分佈，以一般塑膠管(PVCP)佔80.92%最多，其餘DIP(8.11%)、CIP(3.96%)、混凝土類管(3.07%)、特殊塑膠管(1.478%)居次。(詳圖三)

二、本公司自八十五年度起開始建立本公司各基層單位之檢、修漏業務數量化，並將基層單位檢修漏業務之各項量化數據，加以電腦建檔，並彙整、分析、研討改進，其中檢、修漏之件數及使用經費均已能全盤掌控。

三、本公司管線新設工程或汰換工程均由區處或各區工程處設計發包，故其管種材料之選擇，依各區處之需求及「管種選擇辦法」規定而辦理規設，本公司總管理處業管單位負責預算審核及經費之分配控管。

貳、現有管線檢、修漏業務數據資料分析：

一、以本公司八十七年度管線地下漏水檢修漏業務量分析，其中「漏水原因」中以荷重震動佔43.18%，其他工程挖損佔16.91%，地盤下陷佔5.47%；可見本公司修漏案件中仍以外力因素，佔大部份，本身之

內部因素(如操作所致之水錘及施工不良、材質不佳、回填不良等)約佔18%弱。(詳圖四)

二、本公司八十七年度管線地下漏水檢修漏業務中管線之「修理狀況」中分析，以裂縫佔50.32%，折斷佔6.71%，空洞佔9.05%，脫接佔6.07%，仍以如上之裂縫、折斷之外部因素比例較高(佔72%強)，其餘之空洞問題(材質、地質等因素)、及脫接(地質、施工、操作等因素)佔28%弱(詳圖五)，可證明本公司之管線修漏業務中，管線本身因素影響較低，而台灣地區整體大環境之道路使用情形及地下管線工程施工之執行則仍大有改善空間。

三、本公司八十七年度管線地下漏水檢修漏業務中「漏水管種」分析以塑膠管佔53.46%、另件佔28.29%、其他佔10.48%、鉛管佔5.67%、鑄鐵管佔1%、鐵(鋼)管佔1.21%，其中以塑膠管及另件居多。(詳圖六)

四、本公司八十七年度管線地下漏水檢修漏業務中管線之「送配水管及用水設備」分析，以進水管佔71.71%、配水管佔22.23%、其他佔4.11%、送水管佔1.95%，其中

以用水設備之進水管佔絕大多數，此與進水管使用塑膠管材有絕對正相關，至於其為何漏水件數偏高，恐與用戶用水設備施工品質及易受其他工程挖損有直接關係。（詳圖七）

五、本公司八十七年度管線地下漏水檢修漏業務中，特殊塑膠管（PVCP PE、ABS、PE）檢修漏案件318件，在全部塑膠管檢修漏案件4367件中，佔百分之7.3%。

六、經再深入探討PVCP-PE管之詳細漏水原因，經按口徑別及埋設地點再予以分析，八十七年度PVCP-PE管之修漏案件分析，可知各口徑中以150mm之PVCP-PE管破管比例較高（破管241件，佔全部PVCP-PE管漏水件數282件之85.46%），而其漏水地點並非集中於重車經常輾壓之快車道或慢車道，反而是巷弄內之案件居多，据此研判該管種之破管頻率與來自地表承載並無絕對關聯性，當有其他更重要之因素存在。

參、交互分析結果：

一、經以本公司現行塑膠管之檢修漏業務量分析，本公司八十七年度管線地下漏水檢修漏業務中，特殊塑膠

管（PVCP PE、ABS、PE）檢修漏案件318件，佔全部塑膠管檢修漏案件4367件之比例甚低，僅佔百分之7.3%，惟因特殊塑膠管（PVCP PE、ABS、PE）總長度合計707,182公尺，僅佔本公司全部管線長度中之1.4784%，亦僅佔全部塑膠管（包含一般塑膠管及PVCP PE管、ABS管、PE管）總長度39,414,346公尺之1.7942%，兩相比較後特殊塑膠管之檢修漏機率比例即顯得相對偏高些。

二、再依數學統計上權重及當量之計算方式，特殊塑膠管之檢修漏當量為0.4449672079（件/公里），而一般塑膠管之檢修漏當量為0.10297835（件/公里），鑄鐵管（包含DIP、CIP）之檢修漏當量為0.0171442（件/公里），鐵管（包含SP、GIP、SSP）之檢修漏當量為0.0712625（件/公里），經比較後特殊塑膠管之檢修漏頻率為一般塑膠管之4.321倍。（詳圖八）惟其漏水原因係包括全部內、外部因素在內，仍有待更進一步進行交叉比對分析，俾瞭解其真正漏水內涵。

三、以當量數相較，150mm口徑之PVCP-PE管之檢修漏當量為2.189

件 / 公里，相較於 100mm 及 200mm 口徑之 PVCPE 管之破管頻率為高。其與各類管線檢修漏當量之比較情形（詳圖九），其漏水當量高居首位，為一般塑膠管（PVCPE）之 20.85 倍，ABS 管之 243 倍。

四、經再細分其中 PVCPE 管檢修漏件數為 282 件，佔全部特殊塑膠管檢修漏件數之 88.68%，以上述相同之當量算法，PVCPE 管之檢修漏當量為 0.52562（件 / 公里），ABS 管檢修漏當量為 0.0095（件 / 公里），PE 管之檢修漏當量為 0.537131（件 / 公里），由上述數據可知 PVCPE 管及 PE 管之檢修漏頻率實屬偏高。

五、就其修理狀況逐項分析比對後，以塑膠管檢修漏案件分析，PVCPE 管之檢修漏案件計有 282 件，其中因裂縫漏水約佔 93% 居主要因素，脫接漏水約佔 6% 居次。至於 PE 管之檢修漏案件以因脫接漏水佔 80.00% 為主，管鞍漏水佔 20.00% 居次。再針對漏水原因進行交叉比對分析後，發現 PE 管部份較單純，係因其「施工不良」，即技術面之熱熔接因素所致。而 PVCPE 管則係「回填不良」、

「荷重震動」、「施工不良」及「材質不良」等四項內、外部因素交錯反應所造成，例如：部份地段交通頻繁、重車超載，此管本身材質不適用此埋設要件，無法承受此外壓則易引致因荷重震動和材質不良間互為因果之裂縫漏水；又因膠圈接頭之施工要領錯誤，致發生接頭漏水之情形；另因回填不良致管周保護砂層間混有石粒或硬物，經重車輾壓，由於此類管材對於集中一點之超大應力無法承受，且又係「射出成型」之塑料，往往在內外壓之作用力下形成條狀裂縫而大量漏水，故兩者原因相異。

六、另以八十七年度修漏案件中篩選出其中漏水原因為材質不良之案件作分析，全年度所有管材管線之「材質不良」因素之修漏案件數為 732 件，其中特殊塑膠管佔 318 件（43.44%），惟特殊塑膠管總長度僅佔全部管線總長度之 1.478%，故特殊塑膠管之修漏案件頻率仍相對偏高，其原因如上開分析外，恐與渠等管材在初次引進國內試用期間，技術移轉不夠熟練，或與其係新開發之產品，受其不良品發生率生命週期曲線影響有關，惟因本次採樣僅作事後推斷分析，且未能進

行相關材料試驗之科學驗證，若遽下斷言，恐失偏頗，流於見樹不見林之憾，亦應先予敘明，以示負責。

七、茲採現值分析法 (Net Present Value) 分析模式，作為本案材料採購方案之單元選擇策略時，若 $NPV > 0$ 時，則予採購，若 $NPV < 0$ 時，則不予採購，茲設定本案材料採購計劃最低希望報酬率 MARR (Minimum Attractive Rate of Return) 為 15%，各塑膠管管材耐用年限為 20 年，其每公里年收入為 229,950 元 / 年，平均每件修漏單價為 5,000 元 / 件，並按各管材之修漏當量值，經計算後分析比較如下表。

八、依據 C N S 13496k3107 自來水用內襯聚乙烯塑膠硬質管有關尺度及許可之規定，PE 管最小厚度應為總

厚度所規定尺度之 20% 以上，PVCP 最小厚度為總厚度所規定尺度之 60% 以上，PE 與 PVC 以複合成形時，同一定點之總厚度係指內層 (E)、外層 (C) 及複合厚度 (F) 之和，即 $D=C+F+E$ 。至其外觀規定應為管壁內外及截面之顏色應分散均勻，表面平滑不得有有礙使用之裂紋及條痕，管之兩端應相互平行並與軸心垂直。偏圓率為 2.5% 以下 (口徑 100mm、150mm)，2.0% 以下 (口徑 200mm)。經參考材料試驗有關衝擊試驗之文獻記載，延性材料在顯示最大阻力附近時，材料缺口底部雖產生裂痕也不立即破裂，隨剖面積之逐漸減少，而繼續沿該材料之「衝擊負載與應變撓曲」關係曲線變形；至於脆性材料則發生裂痕後立即擴大，幾乎不產生永久變形而導致破壞。(詳

本公司各類塑膠管現值分析比較表

項 目	每公里年收入(元/年) A $9(\text{元}/\text{M}^3) * 50(\text{戶}) * 4(\text{人}/\text{戶}) * 0.35(\text{1cpd}) * 365(\text{日})$	最低希望報酬率 B MARR (%)	管 材 成 本 (元/公里)	殘值(元) D	修 漏 件 數 當 量 (件/公里*年)	修漏成本 (元/公里*年) F	NPV 值 $NPV \text{ 值} = (-C) + (A-D) * (P A, 15\%, 20) + D * (P F, 15\%, 20)$	分 析	備 註
ABS管	229,950	15.00%	412,400	19,638	0.009	45	1,027,844	NPV值>0	(P A, 15%, 20)值均為 6.2593 (P F, 15%, 20)值均為 0.0611
一般塑膠管(PVCP)	229,950	15.00%	204,300	9,729	0.105	525	1,232,334	NPV值>0	
PVCP-PE管(100mm)	229,950	15.00%	195,000	9,286	0.131	655	1,240,793	NPV值>0	
PVCP-PE管(150mm)	229,950	15.00%	342,000	16,286	2.189	10,945	-222,047	NPV值<0	
PVCP-PE管(200mm)	229,950	15.00%	550,000	26,190	0.154	770	886,106	NPV值>0	

圖十)

九、新開發之材料，在生產和試用階段，均有「浴盆曲線」(bathtub curve)之常態效應故障率曲線分佈，(詳圖十一)。

十、故當材料有缺口時，缺口底部會產生應力集中，不但容易引起裂痕，也成為不容易永久變形之應力狀態，換言之，即反而增加其脆性，此即所謂之「刻痕效應」。尤其PVCP管其材質屬脆性材料，該「刻痕效應」更加明顯。經根據所採PVCPE破管下腳樣品破裂情形研判，似與前述之「刻痕效應」有相當關係(詳圖十二)，故其材料構成物性尚有相當驗證之空間。

肆、結論與建議：

一、結論

(一)本分析案有關各管種之選擇、經濟性及其特性等均已於本公司前頒之「統一材料規格、採購質優器材、減少維護費、降低營運成本研究報告」內明確說明及規範，為免贅述故不在本案分析範圍內研討，合先述明。

(二)本分析案係以本公司現有各項

表報數據，真實呈現其代表意義為基點，本分析案主體各類管材之埋設長度相異甚大，為使各類管材之維修頻率有相互評比之基礎，乃以統計分析常用之方式，以「當量」方式研討，有關本公司使用之一般塑膠管之年度總破管修漏件數，相較於特殊塑膠管之維修件數是較龐大，惟以每公里維修件數之「當量數」相比，可知一般塑膠管之維修頻率與特殊塑膠管之維修頻率相較，後者確屬相對偏高，其餘管材次之。

(三)本分析案針對特殊塑膠管在本公司基層單位使用情形及使用意見研討，經查本公司係自八十五年度始開始嘗試將檢修漏業務量化控管，並予統一規範，各項管材維修數據亦始焉陸續建立，有關特殊塑膠管之使用，亦係近二年左右始予試用，而本公司各類管線維修數據，亦均以年度為基礎，與本公司所有各項表報年期相同，雖以統計品管而言採樣期愈長愈佳，而本公司由於相關資料建檔較遲，故本分析之採樣期是稍有不足情形，所幸此分析

模式已建立，今後將可持續進行長期之控管及分析，惟以現階段可掌握之數據而言，本報告所分析樣體代表性及可靠性已相當高。

- (四) 本分析案係通盤就管線維修面加以檢討分析，而各項數據顯示，特殊塑膠管之施設確有其待加強處，至於爾後新設管種之選擇、及分析各類工程之適用管種部份，除應落實執行「統一材料規格、採購質優器材、減少維護費、降低營運成本研究報告」內所定規範外，並擬依本公司董事長早餐會報會議決議廣續研究辦理。
- (五) 由於用戶用水設備之進水管普遍採用塑膠管，雖然其成本低、施工易、運搬方便，但因埋設深度較淺，若施工不良或回填不良均易受損漏水；且近年來公共建設工程方興未艾，其不慎被挖損之機率甚高，又因其管材較脆弱，乃造成大量漏水件數發生之主因。
- (六) PVCP PE管材其修漏當量偏高，與其管材構成之物性有密切關係，據所採修漏下腳樣本研判，其PVC層和PE層之複合

界面明顯有易造成「刻痕效應」之潛變因素存在，其破壞應力在此最為敏感，當壓縮加壓使管材彈性變形後，只要續有少許之塑性變形就會破裂，造成漏水。

- (七) 依現值分析法所作採購方案之單方案選擇策略評估後，150mm之PVCP PE管其NPV值 < 0 ，就本公司之採購政策而言，確有負面之不良影響。

二、建議

- (一) 由以上分析可知近期本公司開始試用之PVCP PE管及PE管之檢修漏頻率二者相當，惟探討其原因又不甚相同，故仍應廣續加強追蹤分析。
- (二) 由於國內承商對於PE管之施設經驗尚在累積改進當中，建議本公司規設及施、監工單位對於PE管之施工，應訂定較嚴謹之標準施工規範，以提高PE管之施工品質，減少PE管熱熔接不佳之頻率，當可提高施工品質，降低漏水機率。
- (三) 有關PVCP PE管部份（含直管、活套頭、膠圈），初步推斷主因係材質本身之應力係數，無法適用於一般之埋管要

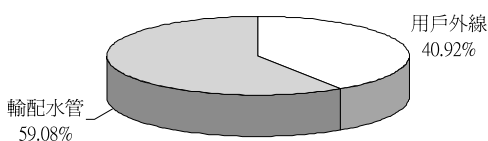
件，致使檢修漏頻率偏高，除建請由本公司物料採購單位參考本資料，促請該種類之水管製造商，依C N S 13496K3107及13497K61023製造規範及相關檢驗確實做好品質系統之要求外；更應依採購合約相關之驗收規定，加強採樣及系列品質檢驗工作，俾有效掌握該管材之允收品質水準（acceptable quality level），以資因應。同時為顧及公司之權益，就繫案之 150mm PVCPE PE管部份，建請材料處依據現行採購合約之相關規定，儘速調整其交貨數量為宜。

（四）凡新開發之材料，在生產和試

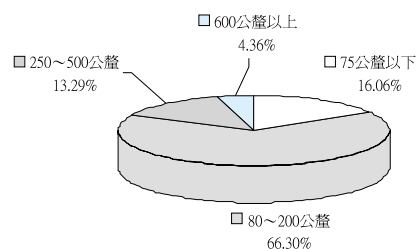
用階段，均有「浴盆曲線」（bathtub curve）之常態效應發生，故一般管材驗收之允收計劃，仍應根據此故障率推論原則，去訂定其允收品質水準及採樣頻率，以減少消費者風險，故建請公司之採購合約驗收規定，應非一成不變，宜依事實需要調整釐訂方符實際，俾利確保公司之權益。

（五）依基層管線維修單位之反映意見及科學之數據印證，為免較大口徑破管影響供水品質，較大口徑之管線以破管頻率較低之管材施設較宜。至於用戶設備之進水管則建請積極推廣採用不鏽鋼管為宜。

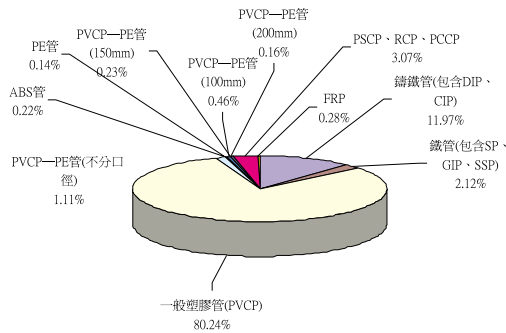
圖一、本公司管線比例分佈



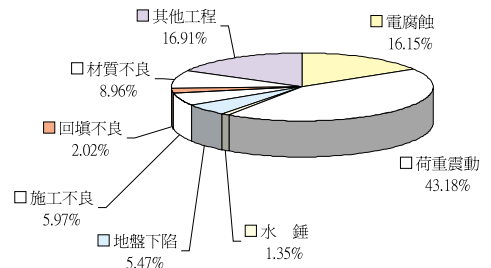
圖二、本公司輸配水管線管徑長度分佈



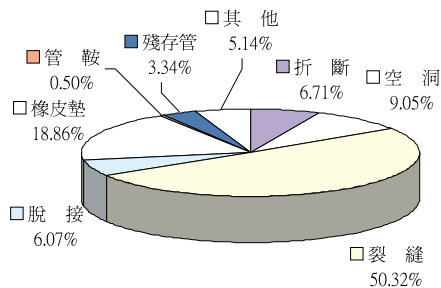
圖三、本公司各類管材管長比例分佈



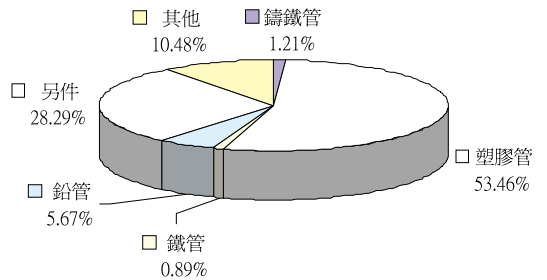
圖四、本公司管線檢修漏漏水原因分析



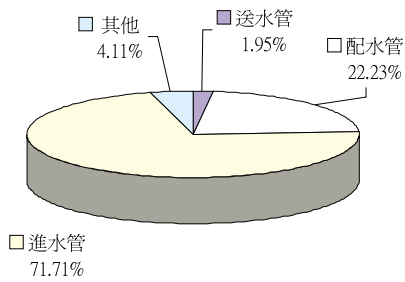
圖五、本公司管線檢修漏狀況分析



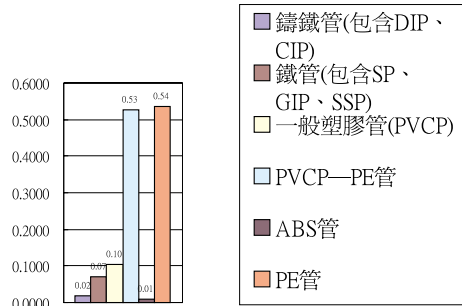
圖六、本公司管線檢漏漏水管種分佈



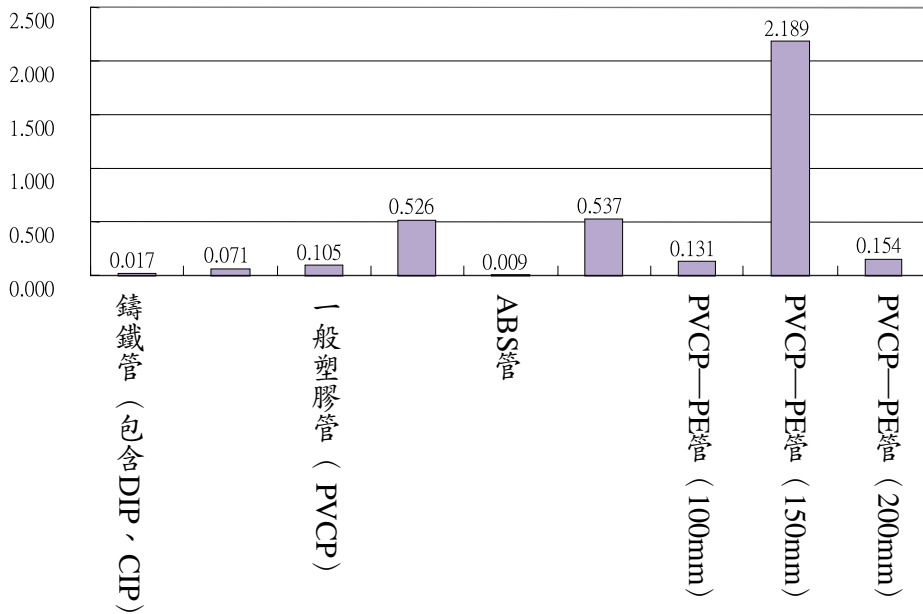
圖七、本公司管線檢修漏送配水管及用水設備分佈



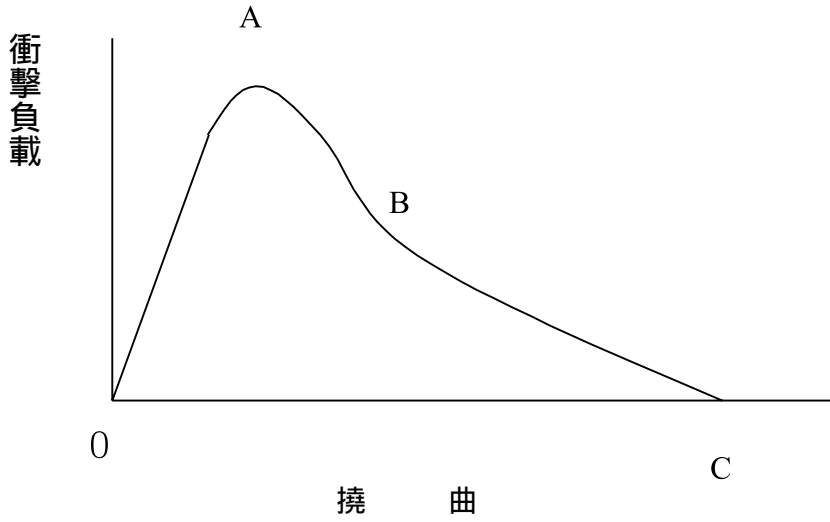
圖八、各類管線檢修漏當量 (件 / 公里)



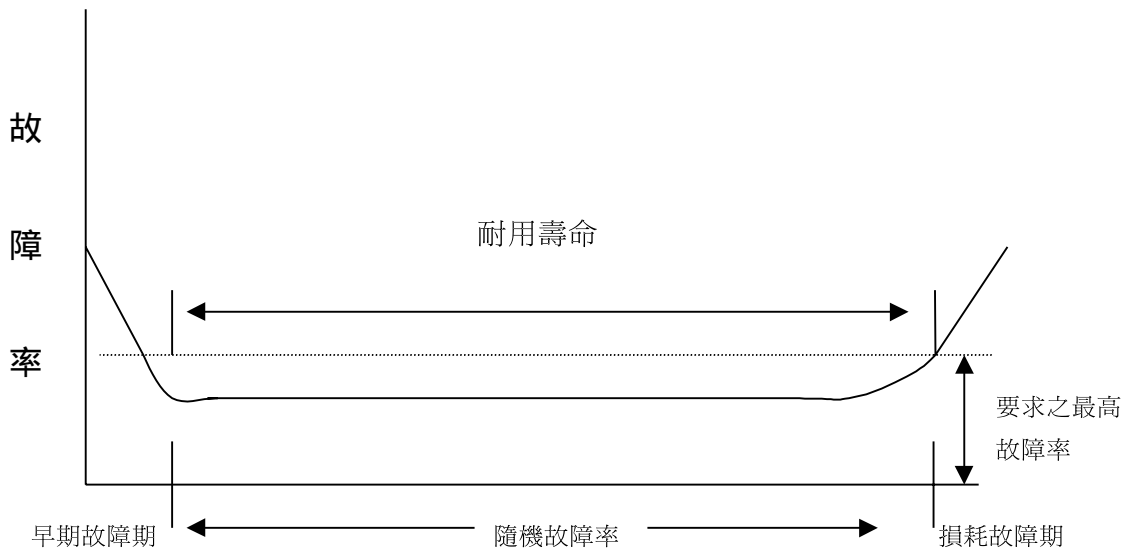
圖九、各類管種檢修漏當量比較表



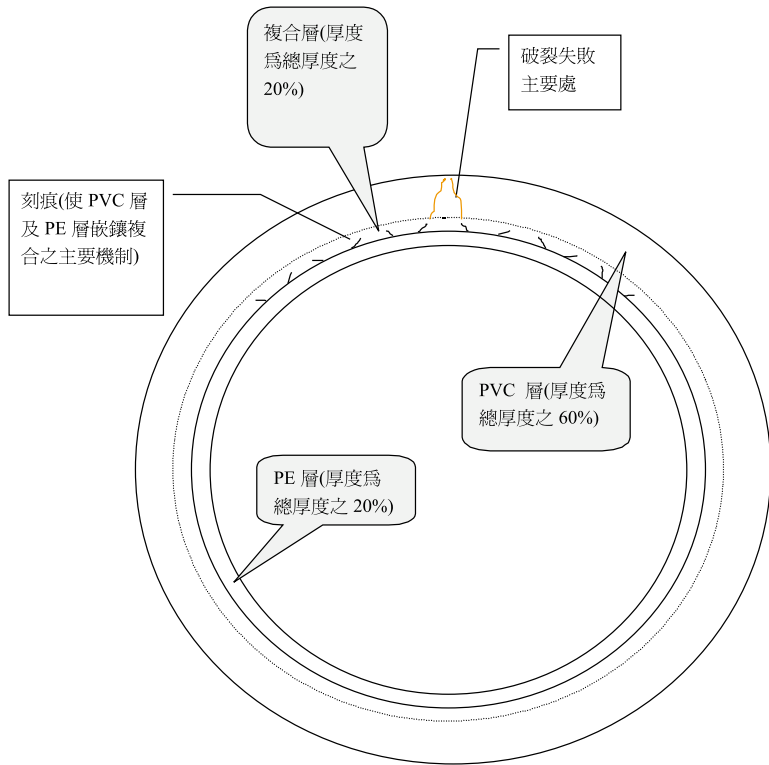
圖十、衝擊負載與應變撓曲圖



圖十一、故障率曲線



圖十二、PVCP-PE管刻痕效應示意



註記：

耐壓扁性：應無裂痕或破裂現象，且兩層間應無分開現象（CNS13496, K3107）

耐壓扁性：管狀長50mm試片乙只

將試樣橫置於兩金屬平板間，自垂直管軸之方向以10mm/min之速度，在室溫下加壓至兩平板間距為管之原外徑1/2時，以目視檢查其表面有無裂痕

解決環保及水資源問題之可行方案

*李濟南

一、前言

我國工業化的成功，固然是五十多年來，政府、企業、人民胼手胝足打拼出來的結果，但也衍生環境污染，水資源不足阻礙產業升級，地下水超抽導致地層下沈及海水倒灌問題等後遺症。尤其垃圾泛濫成災影響環境衛生及國際觀瞻更不言而喻。各種人禍所惹起的災難一再地出現，暴露政府窮於應付而且窘態百出的困境，在在顯示政府亟須改弦更張，設法突破當前窘境。

每次內閣改組，人民莫不寄以厚望，希望能於提升國家競爭力，營造良好的投資環境，繼續發展經濟之餘，更能重視並保障全民個人生命及財產之安全，改善環境、提升生活品質，這也都是全體老百姓最關切的問題，也是大家最起碼的要求。

多少年來，歷任內閣無法解決而留下來的問題，如果新內閣不順應民意，提出不同於以往的策略，以新方法、新思維開創新格局，施展新抱負則無法擺脫困境，甚或情況更形惡化，必將失卻民人與群眾的支持。

還有一年就進入二十一世紀，今日臺灣的經濟成長已接近美國及日本水準，但留下前述之十分嚴重令人頭痛的環境及水資源問題。政府不是不想解決，只是苦無萬全對策。不過由於近代科技日新月異，歷史證明新科技往往能將不可能之事變為可能，所以吾人對未來也不必悲觀。本報告特別對環境污染及水資源不足問題，也就是政府當前迫切急待解決的問題，提出新的科技、新的思維對策，如能集中人力精心研究，應可找出解決問題之答案當不在遠。

惟有些新技術在產地國未必有與我國需求相同之案例。有些新技術之觀念形成未久，可能尚未有實施之實績，縱有實例也未必已廣為接受。有些新技術之應用是整合不同產品及工法而成，來自不同年代及不同體系，因此在產地國無法尋求相同之成功案例，基於上述原因，引進之新技術，有賴政府官員祛除以往要求在國外實施之成效案例，應以宏觀、前瞻遠大之抱負，展現政府官員之氣魄與擔當。國內學術、研究機構、工程顧問公司多如牛毛，

歷年來政府委託研究計劃，所費相當可觀，所完成之研究報告無濟於當前亟待解決之問題，實屬遺憾。

當國內所面對環保、水資源、垃圾等亟待解決之問題，已無法僅憑眾人熟知的傳統技術及思維化解困境的今天，我們再也不能蕭規曹隨，墨守成規，躊躇遲疑。因為愈拖則問題愈嚴重，解決愈費時費力，更需花鉅額經費。這就需要政府扮演積極引進新技術，驗證功效及推廣之角色。深信政府官員具有能解決問題的決心與魄力。希望本研究有助於政策形成之參考而能設立一個專責機構，扮演上述角色，以期建立臺灣經濟，發展產業革新之後另一個經濟改造之新階段。

二、新技術之推介

(一) 接觸曝氣法

接觸曝氣法(又名浸漬濾床法)，乃為生物膜處理法之一種。其基礎研究始自於歐洲，但後來經日本學者多人之開發改良始成為今日多方面成熟化之應用技術。由於該項處理技術之優異，遂從1970年代以後開始，紛紛被應於各種廢水之處理，而逐漸取代盛行達一世紀之久的活性污泥法。

接觸曝氣法之所以近幾年來受到世人之重視，乃因它具有活性污泥法等傳統生

物處理法所不及的優點，而令它的應用較為靈活，而能作下列新領域的運用。1.自來水水質之改善2.生活廢水之三級處理及雜用水再利用3.分散處理型小規模污水下水道系統4.利用自然淨化作用的水質改善(如利用水路淨化法的農業用水水質改善及水產養殖池內池水循環處理再利用等)5.簡易自來水處理。

本處理方法之優點為1.對於水量、水質之突然變化之應變能力強2.BOD、COD，氮磷油脂之去除能力，比活性污泥法高，而對於一般廢水，能以二級處理達到三級處理的水質3.不用返送污泥等高級技術，也能作無人化管理，因而使分散型小量處理方式，污水道下水及無人操作之簡易自來水處理成為可行4.能將極低濃度之有機廢水作有效之處理，而有利於水質改善5.污泥產生量為活性污泥法之數分之一。

(二) 光合細菌利用技術

光合細菌(photosynthetic bacteria簡稱PSB)是利用太陽能生長繁殖的細菌，它是地球上最為古老的有益微生物之一，廣泛分布在海洋、湖泊、江河、水田、水溝、土壤等地球上的每一個角落，在不同的自然環境下，不但擔任淨化水域且具有固氮、脫氮、固碳、硫化物之氧化還原等多種不同的功能，而在自然界的碳、氮、

硫循環中起著重要的作用。它不但在光照厭氧或在黑暗好氧的條件下具有分解高濃度有機物的能力，而可應用於高濃度有機廢水的處理，而且由於菌體本身富含蛋白質、維生素及多種生理活性物質，因此逐漸被人們認識而廣泛地應用在農業、畜牧、水產養殖、醫療方面作為肥料、飼料及健康食品加以利用。最近的研究顯示它能有效降解油脂及溶解性總固物，而有助於各種廢水之回收再利用。

(1) 光合細菌在廢水處理上的應用

光合細菌在廢水處理上的應用技術，稱為光合細菌生物處理法，是由日本微生物專家小林正泰等人在1970年代所創。因能將高濃度生物性難分解有機廢水不用稀釋，以高效率直接處理後，復將剩餘菌體作為商業價值極高的有機肥料，達成資源化再利用而深受世人重視。

PSB生物處理法之處理過程由1.可溶化處理（將高分子有機物藉異養性生物化解為有機酸、低糖、氨基酸之類的小分子化合物）2.光合細菌生物處理（將低分子化以後，一萬ppmBOD左右之高濃度廢水處理至數百ppm）3.一般生物處理(如活性污泥法等用它處理至數十ppm以下)三大處理系統所構成。

用光合細菌處理高濃度有機廢水，具

有活性污泥法所不及的許多長處。無論是建造費用，占地面積，還是動力消耗，日常管理的人工費和處理成本費，光合細菌處理法都比較活性污泥處理法省。至於所能承受BOD負荷之高（可達2.5-7.0kg BOD/m³日），所需溶解氧之少，除氮及生物難分解性物質去除效果之好，剩餘菌體綜合利用前途之大，更是活性污泥法所望塵莫及。除此而外還能除油脂，降低導電率，且能忍受高達20%的氯化鈉，以及對酚、氰、重金屬等毒物有一定的忍受和分解能力。

高效率接觸曝氣法之出籠，更能使它取代活性污泥法，從而使處理水質提升至數ppm之絕佳水質，從而使工業廢水能以廉價，達到水再生再利用之目的。

(2) 光合細菌菌體在農、漁業及畜牧業上之應用

近幾年來，光合細菌在菌體利用方面也有顯著的應用發展，利用它作為有機肥料則農作物的收穫量會增加，特別是水果方面能增加糖度，提昇色香味方面的品質，保持鮮度及延長貯藏期間方面有重大的貢獻。而且對產生連作障礙，因使用過多化學肥料而產生酸性化的土壤改良，以及防治植物病原菌及病原性病毒的顯著效果，也受到了極高的評價。

在稻作方面，利用光合細菌的多收穫技術，已證實可以大幅度的提高收穫量。

光合細菌能使水田土壤肥沃化。特別是在幼穗形成期，因受硫化氫產生的影響，水稻根系的發育將受到嚴重損害，利用光合細菌則能去除致害物質，而促進水稻根系發育，提高每株的生產粒數，運用光合細菌利用技術的結果，收穫量會有突破性的增加（每拾公畝可指望有壹噸以上的收穫量）。最近的研究顯示，利用光合細菌處理羊毛廢水的處理液當作有機液，配合無機化學肥料種植蔬菜，收穫量提高了數倍以上。

在水產養殖方面，光合細菌也能發揮淨化水質，防治病害效果而能有效防止連作障礙（因連續養殖而產生的死亡率增加）及池水水質惡化所引起的魚蝦類的暴斃等現象。

作為飼料添加劑在畜、禽養殖業上，因光合細菌菌體含60%以上的蛋白質，並富含多種維生素，特別是B₁₂、葉酸、生物素的含量是酵母的幾千倍，此外還有輔酶Q₁₀，抗病毒物質和生長促進分子，因此用它作為飼料添加劑能促進禽畜和魚類生長，增強動物抗病能力。

基於光合細菌罕見之特殊功能，使它成為獨樹一格的「光合細菌利用技術」，而在環保、水再生利用及廢水資源化利用的用途上大放異彩。這些用途計有1.水庫、湖泊及水產養殖池優養化之改善2.高濃度有機廢水之無稀釋處理3.生物難分解

性有機廢水處理4.含油廢水處理5.含臭廢水之處理6.資源化廢水處理7.水源水質惡化之自來水、農業灌溉用水之水質改善8.工業廢水水再生、再利用9.酸性化土壤之改善。

（三）超強凝集劑(SUPER FLOC)

SUPER FLOC是日本新近開發的革命性新產品，因具備傳統凝集劑所不及的許多優點及特殊功能，而有令人意想不到的成就。

1.特性及優點

（1）不像傳統凝集劑，不需要作PH之調整，也不需高分子凝集劑，只用凝集劑即可形成巨大的膠羽片（FLOC）。集三劑之功能於一劑，故成本比傳統加藥費低廉。

（2）注入廢水中後只作攪拌即能在極端時間內（10秒 2分鐘）迅速凝集廢水中之污物，並以驚人的速度（10 40秒）完成固液分離。因此能節省電氣費用，（為傳統作法之三分之一）及設備投資費。

（3）只需高速攪拌而可不用低速攪拌機。膠羽的結合強，強力攪拌不致破壞膠羽之結構。必要時可用沈水式動力泵或送風機取代高速攪拌機。批分式或連續式操作，均可適用。

- (4) 所使用藥劑成份全部採用無機物，而不含任何有害物質，誤飲也絕對不損害健康，且因屬於中性，故不傷皮膚。
- (5) 可降低自來水原水因山洪暴發時，產生之異常高濁度，去除BOD、COD重金屬，ABS及油脂等。
- (6) 水質改善效果優異，日本高爾夫球場水池實施例：顯示BOD16.0 0.5ppm(去除率97%) COD_{Mn}:17.0 4.8ppm(82%) SS:25.0 1.0(96%)，總氮:3.0 0.2ppm(93.4%)總磷0.16 0.01ppm(93.75%)PH:9.8 7.6透明度0.2m 1.5m之佳績。

(2) 用途

- 1.湖沼、河川、港灣、池水、灌溉用水、養殖用水之淨化
- 2.生活、工業用水之高級處理
- 3.含油廢水之處理
- 4.畜牧廢水處理
- 5.工程廢水處理

(四) MIXED-AIR JET PUMP (混氣噴流式高性能動力泵)

MIXED-AIR JET PUMP也是日本民間在數年以前所開發出來的高性能、高效率新產品。它的特性是能從水底下，吸取任何形狀及物性之物質（包括布條、繩索、塑膠袋、鏈條、砂泥、塊石在內），以驚人的高效率及易操作性作有效之挖掘、傳送，而不必顧慮阻塞及Cavitation

問題。吸取物的對象只要是其最大口徑小於吸取管管徑的百分之九十的範圍以內均可，提升自如。

其功能可從100公尺深之水底吸取20公分直徑之塊石，其浚渫量可達每小時20-40立方公尺，必要時其揚程也可以加以特製，而延伸至數百公尺。如果要應用於已硬化之水體低部，亦可利用逆向噴流加以鬆動以後，再以正向噴流予以吸取，職是之故，其有效性及經濟性非為任何其他工具望其項背。

其運作原理乃為利用導入於吸管內之空氣，排除因高壓而產生的Cavitation，而能以近似大氣中噴射的高能力抽送物體。此等優異的高性能抽水泵用於清除水庫內的所有堆積物，無疑比傳統式浚渫方式更迅速、更有效，是回復水庫蓄水量的最佳利器。

(五) 裝袋式重力脫水處理工法

在水庫浚渫作業中，水中撈起來之沈澱堆積物的處置，是最為費神費事的作業之一。因為含有有機物的污泥依傳統的作法，必須以脫水機脫水製成污泥，以後始能棄運，然因此等有機污泥含99%的水份，龐大污泥量的處理，不但需要廣大的場地，其作業又極為費事，處理費用也不低，日本民間所開發出來的裝袋式重力脫水處理工法，與前述SUPER FLOC 弄成

配套，正可以在此場合發揮其優點，而可收事半功倍之效，利用SUPER FLOC之優點，可用極小的攪拌槽，省略龐大的沈澱槽及昂貴的脫水設備。以連續操作方式將庫底淤泥，在短時間內形成巨大的膠羽後，連水帶泥傾入雙層布袋，經過濾後，懸掛一段時間，經陽光曬成含水量比用脫水機更低的污泥餅後連內袋一併運棄，外袋則予以反覆使用。

其淤泥也可做有機肥料利用，成本低、操作方便，實不失為一可行之方案。

三、現況及新技術運用的效果

(一) 水庫、排水管渠淤積泥砂之清理

臺灣地區現在大小水庫40餘座，合計有效容量約19億立方公尺，每年調蓄水量大約40億噸。但泥砂之淤積正以每年1400萬立方公尺之速度進行，減少水庫之有效容量，其中阿公店、烏山頭、鹽水埤及尖山埤等水庫容量均已減少過半，傳統作法之機械式淘泥浚渫方法效果不佳，而龐大數量淤砂如何利用或加以處置，令主辦單位苦無對策。另如臺北市的排水管渠其泥砂淤積之情況也相當嚴重。大排水溝淤砂成洲，減少排水功能之實況到處可見。

MJP混氣噴流動力泵、超強凝集劑、袋式重力脫水工法之混合運用，可作為高效率之淤積物清理之手段。

(二) 優養化水庫之整治

水庫及湖泊等封閉型水域，其原水如富含氮、磷等營養鹽，則將使湖水營養化而造成藻類之異常繁殖，因而降低水庫之利用價值。氮、磷等營養鹽之來源，有水庫集水區內之果蔬栽植所使用之大量肥料與農藥，以及沈積於庫底之有機污泥等。國外的資料顯示，湖泊的優養化現象，即使沒有人類的活動（如施肥、山林流出水、禽畜廢水、工場廢水、生活廢水之流入）也會發生在每一個湖水的一種老化現象，而其產生源為來自降雨及灰塵，人類的活動則會加速優養化現象。日本學者的研究指出，唯有清除庫底污泥及庫水的淨化，才能有效防治優養化。

光合細菌能除氮、除臭又能將庫底有機污泥逐漸化降，光合細菌、空氣揚水筒湖水循環處理機制及MJP混氣噴流動力泵之混合運用，應可有效解決水庫優養化問題。

(三) 自來水水質之改善

自來水淨水廠是針對BOD 5ppm以下、氨氮含量0.4ppm以下原水而設計，臺灣地區有少數淨水場，其河川水源受到嚴重污染，自來水公司勉強採用液氯加重處理法（除氮）後，改供工業用水使用，不再供應民生用水。日本的自來水專家小島貞雄博士，首先使用接觸曝氣法加上活性

碳處理法，不但解決了受污染河川原水的自來水水質改善問題，且成功地製造了一級棒美味可口的自來水，結果其生產成本反而便宜很多，利用接觸曝氣法作前處理，可去除氨氮80%外，也能對ABS（合成洗衣劑）、臭氣、錳及大腸菌作相當程度的去除，因此可大幅度地降低加氯量，其結果三鹵甲烷的產生量也減少了一半。

可惜的是前項處理的原水水質，其平均含氮量只有1.0ppm，去除80%後只剩0.2ppm，國內部份淨水場原水含氮量曾高達10ppm，處理後水質之含氮量比日本成功實施例原水水質差，其有效性令人存疑，筆者個人認為超強凝集劑、接觸曝氣法，光合細菌處理和活性碳處理法之配套使用，應可發生同等以上的效果，而可望獲得安全、健康且美味可口的自來水。

（四）分散式小規模污水下水道系統之整建

我國都市污水下水道系統之興建，跟隨時代之潮流，沿用需要高難度操作之活性污泥法而必須集中管理，遂而採用以埋設管線為主要開支而需要龐大建設經費、工期長久，完工後又需要半永久性地負擔操作管理費的廣域污水下水道系統的政策。

採用接觸曝氣法處理的小型建築物污水處理設備，其排放水質在BOD20ppm以

下，必要時在不用高級處理設備的情況下，可以處理至BOD 3ppm以下，而且操作簡單不必由專人管理，其性能遠優於現行之都市污水廠（排放水質BOD<30ppm），因而可逕行個別就地處理，直接排放於臨近溝渠。此種分散化小規模處理系統，可依鄰里為單位，構築污水廠於小公園或校園地下面，可以分期分區獨立作業，既不必徵收土地，也不需要中繼抽水站，管線費用負擔又少，有利於我國國情。依日本之實施例加以評估，其建設經費可節省1/4-1/3。而如果改用合流式下水道，則可利用現成之溝渠而不必另需埋設收集管線，不論在經費及工期應可收事半功倍之效。

（五）運用光合細菌利用技術之水再生再利用

天然水資源嚴重不足，估計包括地下水超抽部分在內，民國90年為65億噸，100年為73億噸，110年為84億噸。依政府目前之計劃，因受制於優良壩址之短缺，至民國92年始能增加22億噸，至民國110年再增加10億噸（依民國82年枯水年之供水量171億噸，地下水超抽水量31億噸為準）建造水庫已不足以解決問題，何況興建水庫曠費時日，且環保意識日盛，百姓動輒抗爭，六年國建計劃中之水庫興建案其進度嚴重落後，即使完成亦緩不濟急。

廢水回收利用立意雖佳，但目前之技術無法達到要求，即使在日本，全國都市污水處理廠之回收用水量，也因沒有經濟性及實用性，而只有污水總處理量1%之回收績效。

反之利用光合細菌處理法，則可以作水產養殖用水及畜牧廢水之循環處理再利用；都市污水二級處理排放水，工業區廢水廠排放水之再生移作農業用水，和各別工廠自行回收利用作冷卻水等再利用。估計全國各類廢污水，藉新技術能再生利用，而能開發新水源之潛力大約60-80億噸之巨。

民國85年9月16日召開之全國第一屆水再生再利用研討會研究報告指出，國內都市污水廠二級處理排放水總氮 17.0mg/l ($> 1.0\text{mg/l}$)及油脂 22.5mg/l ($> 5.0\text{mg/l}$)，遠超過灌溉用水水質標準建議值，而無法作為灌溉用水之再利用。（數據為民生污水廠處理水質），工業區污水廠排放水，則因總溶解固體物含量過高，分別超過灌溉用水標準值 750mg/l 及冷卻用水標準值 480mg/l ，而不能直接作為灌溉用水及冷卻水之再利用。一般工業區污水處理廠之排放水，若要作為工業區中水道使用，需要經過活性碳處理。至於回收利用作為工業冷卻用水使用，則需要再經過活性碳及逆滲透膜處理程序處理，惟其單位供水成本為目前自來水價之3至4倍，

而不切合實際。

利用光合細菌生物處理法，則能以二級生物處理獲得三級處理的優異水質，因不需要活性碳處理或逆滲透處理等高級處理，而降低處理成本，又能對其他生物難解性物質，如溶解性總固體物（TDS）、油脂、氨氮、硫化物、酚、苯及氰化物也能作有效之處理，（據測試光合細菌具有將氨氮 20mg/l 處理至 0.5mg/l ，TDS $3,000\text{mg/l}$ 處理至 128mg/l ，並對 $5,000\text{mg/l}$ 之油脂作有效處理之能力）。因此善用光合細菌處理法，可望將都市污水廠二級處理排放水及工業區污水廠排放水作為灌溉用水，中水道用水及冷卻用水再生利用，本地在枯水年之生活與工業用水分別為28億及7億噸，其可開發再利用潛力之大不容忽視。

（六）提供有效及廉價之廢水處理技術

民間企業一直渴望政府伸手研發有效及廉價之廢水處理設備，政府也曾經委託學術單位研發，惟避開造價不談，連有效的處理設備，要達到第二階段排放水標準，也都有困難，如今面對87年1月1日以後生效之第三階段之新排放水標準，不知如何應對，民間企業之困惑、埋怨，政府推動政策之矛盾、無奈，不難想像。

改用光合細菌生物處理法，即可利用現有設備作簡單之改造，化解沒有空間、

稀釋水處理技術之困難而降低成本，況且利用該技術，可以將廢水再生利用作冷卻水，並將剩餘污泥轉作為優質之有機肥料謀利，應可及時化解目前之窘境。

(七) 提供有效及廉價之垃圾滲出廢水處理技術

焚化場沒有惡臭問題，但產生戴奧辛有毒物質，即使在日本也成為爭議之焦點，何況焚化場之造價為衛生掩埋場之3040倍，壓迫政府之財政，全省各地100200處約市鄉鎮政府一時無法籌措而採用衛生掩埋場，雖然造價低廉，但處理技術未落實，加上操作困難度高，非為無錢、無人之地方施政單位所能管理，久而久之形同虛設，老百姓無法可忍起而抗爭，演變成用地取得困難，垃圾無處可倒之尷尬局面。

運用光合細菌處理技術，不但能有效處理垃圾滲出水，且能夠利用其特性將其處理水循環返散佈於掩埋層以利消臭，其剩餘污泥又可製造優質之有機肥料，廢水處理廠在初期則掩埋量不多，後期則有機物質經沖洗，其操作總負荷量減退，而有剩餘處理能力，如能兼容都市化糞池沈澱污泥及鄉鎮水肥之處理，則可製造有機肥料，將來可以轉換為堆肥製造廠，兼收企業水處理所得之剩餘污泥，製造優質有機肥料供應全國大量短缺之需要，政府以此

項投資作為地方之回饋，讓掩埋場所在地之鄉村參予經營，將其營收充作地方之福利，遠勝於現行之一次性回饋。堆肥有機肥料製造廠，又能增加鄰近農地之農作物生產，提升產品品質，改良農地、促進農村繁榮，造成就業機會，居民只會爭取而沒有反抗之理由，垃圾掩埋場平均分佈於全省各地肥料生產及消費市場，相靠於一地可降低運輸成本，政府能順便解決全國水肥處理廠之不足，公私均稱便，應不失為人盡其才，地盡其利，物盡其用，解決垃圾問題的可行方法。

(八) 化解興建水庫之抗爭

利用新技術，水庫上游之住家、工廠，其廢水可以就地處理至5ppm以下，可防止水污染至最低限度，果農改用光合細菌，有機肥料採用自然農耕法，不致於污染水庫成優養化，應該可以讓水庫上游之產業適度開放，而不一定要一律禁止開發，如能配合興建簡易自來水廠，徹底解決居民飲用水問題，更足以改善居民生活品質，興建水庫造福地方，居民沒有反對之理由。

四、運用新技術、新思維之成效及意義

經濟發展的目的是在於改善人民的生活，民眾從過去的經驗產生對政府的不信

任，從現實生活的挫折中滋生未來的悲觀，發展工業固然重要，但不能犧牲人民的生活品質，農業不是不重要而是要改進農業生產技術和提高生產效率。

拜耳投資案、興建水庫及垃圾處理廠等之老百姓反彈及抗爭，原因很多，主要是民眾恐懼將來會危害生活品質及居住環境，甚或影響其謀生立命的條件（政治因素或亦難免），兼以溝通不良也是主因，而使政府為民眾服務，為民眾謀福祉的美意良策，非但未能得到人民的擁護，反而被大家唾棄，恐亦非政府始料所及。

環保工程是必須，推動環保也是世界潮流，惟作好環保不但需要龐大的經費，也需要先進的技術，政府及企業界擁抱「環保的台灣」很痛苦，而在經濟發展最為優先的條件下，不免產生得過且過的心態，這就說明了我國在戰後五十年的今天，全國污水下水道普及率仍停留在3.4%，而台灣主、次要河川水質一年比一年差的原因。

已往政府的政策，說是環保興經濟並重，但事實上是經濟掛帥，環保靠邊站，其實政府也並不是不想作好環保，只是缺乏可靠度高的先進技術，沒錢沒技術，使得政府的政策，在發展經濟為優先的重大壓力下變成模糊，而對民眾的訴求總是理不直氣不壯，本文的目的在於提供政府有效且經濟能解決問題的利器，重建政府的

感信，深信本研究之推動能獲致下列之成效而具有特殊意義。

（一）有效、經濟、短時間內奏效且無抗爭

對國內環保及水資源問題，提供一套有效、省錢、無抗爭且可立即採取行動，而在短期內見效的利器，使得政府能展現行政效率和提高施政品質。

（二）有利水庫運作

浚渫水庫，防治優養化能增加水庫蓄水能力，提高水庫水利用之價值，提供國人欣賞優美自然環境之休閒場所，浚渫溝渠有利於洪水之暢洩。

（三）提升自來水之品質，免除不安全之疑慮

美味、可口且安全之自來水水質，將提升老百姓生活品質與方便，免除不安全，有損身體健康之恐懼，充份水量之供應將使國人免受斷水之苦，並確保生產效能，廉價的自來水能降低生產成本，提高國際競爭力。

（四）防止地層下陷公害，發展工業不必犧牲農業

有了充份之可供水量以後，工業用水不必急於調撥作為農業用水，政府可以全面禁止超抽地下水，而達到發展工業，不

必犧牲農業及有效防止地層下陷之目的。

(五) 有效解決垃圾處理問題，能提高政府之施政品質及行政效率

沒有惡臭及戴奧辛公害的垃圾掩埋處理，不致於引起當地居民之抗爭，而顧及居民之權益又促進地方農業發展的資源化再利用計劃（有機肥料之生產），將消除「為什麼在我家後院」之不滿情緒，從而化解政府因用地取得之困難而垃圾無地可倒之危機，廉價的垃圾掩埋處理一旦能被居民接受，將替國庫節省鉅額之焚化廠興建費用，且進一步減輕老百姓垃圾處理費用之負擔，政府能以更少的經費及更快的速度解決多年來成為爭議焦點的垃圾處理，而重建政府的威信。

(六) 以實際之行動協助解決民間之困難，展現政府的親和力

政府自動提供廉價及有效的資源化廢水處理技術，協助民間企業沒有錢沒有技術之困難，且進一步減輕企業水污染防治措施之負擔，以服務代替管理之積極態度，將展現政府之親和力，提升施政品質，這就需要政府主動扮演引進新技術，驗證功效及推廣之角色，凡以政府之能力無法達到排放水標準者，則應自動降低門檻以示公允。

(七) 有利農業生產、解決農地酸性化問

題

藉工業化之固氮方法生產化學肥料，將消耗大量石化能源，地球上之石化能源日趨涸竭，在地球上人口不斷上升的壓力下，在不久的將來勢必引起糧食不足之危機，光合細菌能利用太陽能，將大氣中之氣體氮轉化為植物根能吸收利用的氮化合物而，在不施肥的情況下也能夠生產農作物，因此利用光合細菌作有機肥，可以不依賴化學肥料而能確保石油能源涸竭後之糧食生產，尤其重要者，利用資源化廢水處理技術所得之污泥，經集中加工處理後可提供大量之優質有機肥料，不但能夠提高農業生產及改良品質而使農民增加收益外，更可藉以解決全國三分之二的農地，因過量使用化學肥料和濫墾所導致的酸性化及貧瘠化的問題。

(八) 有利水污染管制，提升河川水質

有效及廉價的資源化廢水處理技術，能使業主有利可圖，因而能提高改善設備之意願，也能使業者自發性地勤以操作，操作管理在無人監視的情況下，也不致於有偷工減料之行為，有利於政府之管理外，可確實提升河川之水質，化解台灣主、次要河川水質日益惡化之窘境。

(九) 加速提高全國污水下水道之普及率

分散式小規模污水處理系統，較集中

式大規模廣域化污水下水道系統更有效率，既可節省經費又能縮短施工期間，也可以分段分期施工而保持其獨立性，地方首長在任期內能展現政績而提升配合意願，如能進一步摒棄分流式收集系統，而大膽改用合流式，則現有排水系統全部立刻派上用場則更能省錢省事，加速提升污水下水道之普及率。

(十) 小兵立大功，能在短期內解決資源不足問題

台灣地區有史以來（包括日治時代）所興建之水庫，其每年調蓄可供水量不過為40億噸，而政府花二仟億元之鉅資，費盡九虎二牛之力，欲在民國92年前完成之水庫，其每年供應水量為22億噸，民國110年再增加10億噸合計不過為32億噸，其不足部份仍有賴於農業之轉型及地下水水源，利用新技術則具有60—70億噸新增水資源開發之潛能，運用新技術之水再生再利用，事半功倍成效豐碩，其影響深遠意義重大。

(十一) 促進台灣經濟發展的第二春

新技術之引用能使腐朽化為神奇，有利於工廠之營運，農、漁、畜、牧業之振興，又使環保不成為經濟發展之障礙而能反阻力為助力。

也唯有作好環保始能有廉價、優質、

充餘之水源，確保台灣今後之永續發展，且使工業發展不必犧牲農業及人民的生活品質，善用新技術建設台灣成為環保大國，再創台灣經濟發展的第三春應指日可待。

五、結語與建議

(一) 個人自行民國42年台大土木系畢業後，曾先後任職於省政府建設廳，工程總隊，台北市政府工務局下水道勘測隊，公共工程處衛生工程課及台北市自來水廠，在職期間一直從事於上、下水道工程，辭謝公職後從商，也未曾離開過本行，而有心致力於吸收國外新知識及新經驗，並傳輸國內以圖提升工程品質。

(二) 加上個人研究之志趣十分旺盛，同時也比別人有更多的機會接觸日本的名流、學者，獲致第一手技術資料得以研讀，並獲其指點解讀疑難，始有今日之心得，這些國際環保科技先驅，友人包括京都大學名譽教授岩井重久博士，光合細菌應用科技泰斗小林環境科學研究所所長，小林正泰先生，接觸曝氣法研究先驅及超強凝集劑發明人內田水處理研究所所長暨社團法人農村資源開發協會專務理事內田千尋博士

及前日本水道工程顧問公司中央研究所所長小島貞雄博士（自來水水質改善問題專家）等人。

- （三）個人與前述日本衛生工程界前輩、精英交往多年，並先後在日本及大陸親睹其成就，深知其中之若干新技術有助於解決國內累積已久的水資源及環保問題，惟以其中所牽涉的問題、涉及的權責機構既多又廣，非以個人單薄之力量能加以整合，徒有報國之心而無從使力，今見政府面對之窘境，乃毅然決定以書生報國不落人後的心情貢獻所知，以圖確保台灣二千一百卅萬同胞安身立命及子孫永續生存之空間。
- （四）本文之主題原先為解決國內水資源嚴重不足及水質惡化問題，後來發覺唯有作好環保工作，始能解決水資源不足及水質惡化問題，惟談到環保問題又不得不提及污下水道水量分散化、垃圾處理及廢水處理、廢棄物資源化問題，遂產生以作好環保為手段，在解決水資源問題的同時兼顧資源化利用的構想。
- （五）環保及廢棄物資源再利用問題，因牽涉到不少部會之職權，唯有所有單位密切配合及共同協力始能克盡其功，是以今後有關單位如何配合以達成目標才為當前之重大課題，再說如此大事非藉國外專家之技術協助也無法在短期內順利完成，因此如何支應其技術報酬，以達成合作意願之平衡點，也是留待解決的問題。
- （六）無論如何，當今之要務為成立一個立場超然之技術發展專責機構，其成員則應包括官、學、產三方面的代表以便凝聚共識，展開實際作業，其步驟初則利用小規模實驗，驗證其功能，繼之以實廠操作驗證其效益以取信於個人，工作之推動仍有賴政府扮演積極角色始能迅速有成。

談大陸節水型體系之定量評價模式的建立

*李宗仰

摘要

本文主要介紹大陸地區近年來為建成節水型城市及節水型企業（單位）所做的努力，除了描述何謂節水型體系之外，針對大陸新近所頒佈的「節水型城市目標導則」與「節水型企業（單位）目標導則」的內涵加以說明，特別是詳述其定量考核的評價指標。最後，針對我國在建立節水型社會方面的相關資訊與進展，做一簡單扼要的陳述與比較，期能提供我政府在推動與落實節約用水政策上之借鏡與參考。

楔子

打從小時候起，在我們的心中就一直認為水是「取之不盡、用之不竭」的天然資源。長大之後，即使學了水科學的正科班專業教育，也不曾對這句話有過太多的置喙與質疑。若說彼岸的「黃河之水天上來」，那麼此地的「台灣之水自己來」，自來水的稱呼不也是對其未曾撼動的最佳佐證嗎！曾幾何時，畢了業，就了業，水已經在我們毫無忌憚的蠶食鯨吞下，使得「缺水」成了經常上報的閃耀字眼，而伴

隨而來的「節水」口號也就不那麼稀奇古怪了。

依據國際人口行動組織的調查統計與研究分析，顯示我國已名列全球排名十八的缺水國，而每人每年可分配的再生淡水量為851立方米，遠低於全球的每人每年之1000立方米平均用水量。至於此一惡況，也不僅僅我們如此，水危機已成為一個全球性的事實，而此一訊息早在1977年的聯合國水會議就曾向全世界發出警告。依據統計資料顯示，目前全世界有100多個國家缺水，嚴重缺水國家已達40餘個。正因為水是人類賴以維生與發展的重要資源，而水資源短缺在當今又已成為世界上的重大問題，因此聯合國更預測：全球性水荒有可能在15年內爆發，而水資源爭奪戰更是21世紀戰爭的主要導火線。

我政府意識到水已屬稀有珍貴的資源且有其極限性，而在當前用水需求迫切性日增與水資源供需失衡狀態的雙重壓力下，遂訴諸於節約用水的推動與落實，遵循著世界的脈動前進。因此，為能推動節約用水相關工作，經濟部會商有關機關研

提「節約用水措施」，訂定了五大策略及二十二項具體措施，於民國八十三年二月三日奉行政院函核定。之後，節水的行動正式地在台灣熱烈地展開，筆者有幸成為參與的一份子，自然而然地時時尋求世界上與此有關的蛛絲氣息。當然，推動節約用水工作是千頭萬緒，各國雖不盡相同，諸如雨水貯集利用、二元供水系統、廢污水回收再利用、節水器材替換、水價調整、滴水灌溉及教育宣導等等措施，相信民眾一定是如雷貫耳，耳熟能詳，因為這些均是政府近幾年的施政重點。然而，為能面對跨世紀的挑戰，同時因應全球性缺水的嚴苛要求，許多國家或地區已有建立「節水型社會」的共識。怎樣的社會才算是節水型社會呢？如何定義？具體的政策為何？具體的措施為何？它與現行社會有何不同？這一連串的問題，正是許多國家或地區欲將其具體化的努力目標。

在筆者所蒐集的相關資料中，發現節水型社會的概念與基本要求已逐漸明確，然正如節水型器具一般，怎樣的器具才算節水型？應有與之客觀比較或量化的數據以為之，在此一方面，大陸於這一兩年有較重要的進展與突破，因其目前正積極進行「國家2010年供水規劃」之研提工作，同時由建設部、國家計委會及國家經貿委三個單位來制定節水型城市標準。三個單位於1996年聯合發表文件，制定並正式頒

佈了「節水型城市目標導則」（建城[1996] 593號），繼之，於次（1997）年亦印發了「節水型企業（單位）目標導則」的通知（建城[1997] 45號）。此舉使得節水型城市建設與節水型企業（單位）建設納入了有章可循的軌道，也使得在該等方面有了具體的量化標準及可操作的程序。記得今（1998）年三月份之水資源月系列活動中，於台北舉辦了一場與建立節水型社會有關的研討會，主要是介紹日本地區的節水經驗，獲得了與會人士的熱烈迴響，顯見我國建立節水型社會的目標已漸次開展。爰此，將大陸在該等方面的努力與進展，提筆略敘一二，以提供做為我推行之借鏡與參考。

何謂節水型體系？

何謂節水型體系？此一體系涉及體制機構、管理方式、城市節水系統及法規配套。由於該體系可對一個城市、地區或單位的用水節水實施科學的預測與規劃，藉以調整用水結構、加強用水管理、合理配置水資源、合理開發水資源及合理利用水資源，使其社會、經濟活動所需的用水量能控制在本地區自然限度內所能提供的水資源量或當前科學技術水準所能達到或可得到的水資源量之範圍內，同時使得水資源得到有效的保護。又節水型體系亦可以節水型社會稱之，其涵蓋了三個層面，分

別是：節水型城市、節水型工業（企業、單位）及節水型農業，而不論屬於何種層面，其對水資源的態度基本有三，分別是：合理開發、節約使用及防治污染。

無論是從水資源的一般情況、需水量的增長、供需平衡及城市用水發展趨勢來加以分析，或者從節水效益方面來考察之，節約用水不僅是社會與城市發展的必然趨勢，也是解決水資源危機的一項根本性的戰略方針。於七至八十年代之間，在合理用水愈來愈受到各方關注與重視的同時，於圍繞在社會發展戰略與節水目標的問題上，一些國家在推動與規劃上逐漸轉而提出涉及建立節水型體系的問題上。大陸地區則於1988年之後，開始廣泛地討論節水型社會、節水型城市、節水型經濟及節水型產業或企業的相關問題，因其不僅涉及當前的實際問題與未來的目標問題，亦關聯至系統規劃問題與理論問題。當然，經由這些年來的討論與論證，大陸在此方面確實獲得了一些成果，最明顯的就是兩個節水型目標導則的產生，而這正是本文所欲介紹的重點所在。

所謂節水型社會是表示於某社會範圍內，其在合理利用水資源或高效率用水方面的整體特徵而言。如果是就一個國家或地區範圍內的節水型社會而論，則它應是由許多的節水型產業或許多的節水型城鎮來構成；如果是就一個城市範圍內的節水

型社會而論，則就是節水型城市本身。顯然，節水型城市應由諸多的節水型行業、企業及用水單位所組成。鑑於城市行業、企業及用水單位等等都具有明確的邊界與特定的條件，因此所謂的「節水型」的內涵及目標要求，除了分別表示不同層次範圍內合理用水的整體特徵之外，尚必須可以使用一定的考核指標來加以評價。此外，鑑於社會經濟的持續發展及科學技術的不斷進步，在水資源有限的條件下，節水型這一概念是相對性的，其隨發展過程亦產生變化。因此在不同的社會經濟發展階段及不同的技術水準下，應階段性地採用不同的節水目標，藉以適時反應節水型城市、產業、行業、企業及單位的合理化水準，而且節水目標所規定的考核指標值之選取應匹配至相應的水資源條件及技術經濟條件。綜上所述，可以認為節水型體系與節水目標兩者在概念上應有所區別，後者是前者的階段性要求，它是由一定的考核指標體系及相應的指標值來予以表徵。又節水型社會的建立是一個長期發展過程，而度量體系的某階段節水目標是否稱得上是「節水型」，主要是結合具體條件及當地的水資源供需狀況，經由技術經濟評價與一定範圍內的橫向比較來確定之。

節水型體系的建立是相對應範圍內之各局部節水其集約化與整體化的漸進發展

過程，是一相當複雜的情況，因此在節水型體系建立與發展時，應該有計畫、有組織地分階段加以實施。除了採用技術、計畫、行政、法制與宣傳教育等綜合措施外，應特別重視發揮經濟槓桿的作用。大陸的專家、學者認為各局部節水的整體化，實現了節水型體系從量變到質變的過程，此種數量的累積是節水集約化過程中水資源在用水戶之間不斷調整與重分配且逐步趨於合理化的結果。又此處特別應該指出，在確認節水型體系的階段性目標時，應注意國情的差異與區域性的具體實況為出發，因此對於節水目標的考核指標勿要求過高，否則不易推行與達成。

節水型城市目標導則

該目標導則是由大陸建設部、國家計委會及國家經貿委三個單位所聯合頒佈，其主要的目的與意義是為了有效地開發與利用城市水資源，藉以提高科學及合理用水的水準，使得有限的水資源能滿足人民的生活所需，同時適應經濟持續發展與城市建設的需要。此一導則規定了創建節水型城市所應遵循的主要原則、城市節水的基礎管理內容及具體的考核指標，其適用於各級的城市。由於導則中需有量化的考核指標之數據的產生，故引用了相關的國家標準計有三個，分別是：評價企業合理用水技術通則（GB/T7199-86）、污水綜

合排放標準（GB8978-88）及企業水平衡與測試通則（GB/T12454-90）。

導則中，亦對部份的用辭給於定義，總計有八個，針對其中的兩個予以說明，分別是「節約用水」及「節水型城市」。所謂的節約用水是指藉由行政、技術及經濟等管理手段來加強用水管理、調整用水結構、改進用水工藝、實行計劃用水、杜絕用水浪費及運用先進的科學技術來建立科學的用水體系。經由有效地使用水資源及保護水資源，以適應城市經濟和城市建設持續發展的需要。至於節水型城市是指一個城市藉由對用水與節水的科學預測及規劃，藉以調整用水結構、加強用水管理、合理配置水資源、合理開發水資源及合理利用水資源，使其社會、經濟活動所需的用水量能控制在本地區自然限度內所能提供的水資源量或當前科學技術水準所能達到或可得到的水資源量之範圍內，同時使得水資源得到有效的保護。

在城市節水的基礎管理內容上，總計包含了十項，分別是：依法管水、節水機構、節水規劃、水資源利用、城市地下水管理、建立城市節水指標體系、節水科研和設施建設、節水器具、定額管理及節水科學管理。整體來說，係強調城市有關的供水、節水及地下水之管理，均有法令或規章之依循基礎，因此可以對其實施檢查與管理之工作，而在節水與地下水管理的

相關工作方面，均有專責機構來辦理與負責，又城市需對其本身編制節水的中長期規劃大綱。而在水資源的利用方面，需對水資源予以合理配置，城市亦需積極開展污水處理回用設施及中水設施建設，使污水資源化。在沿海的城市，鼓勵使用海水資源，以節約淡水資源。合理開發、調蓄地下水及地表水，有效控制用水量的增長。城市需對地下水實行有效管理，徵收城市水資源費，有計畫地開發、利用及保護城市地下水，藉以控制地面下沉，確保城市建設的安全性。為能建立體制化的節水指標體系，應有相應的統計報表制度、標準化的統計報表及科學合理的計算方

法，使用建設部編制的城市節水及地下水管理規範性通用軟體，以求統一。對於新建、改建或擴建之工程項目，應要求節水設施與主體工程同時設計、同時施工及同時投產使用。針對浪費水源的工藝及設備，亦應有計畫的進行更新及改造。嚴格禁止使用國家已經明令淘汰的衛生器具及其它浪費用水的器具，需優先使用國家推薦的定點產品。建立單位產品的先進用水定額，同時城市產品的單位產品取水量亦需達到國內較先進水準。至於在節水科學的管理上，可運用電子計算機等方式及水平衡測試方法來進行節水的日常管理，使得整個基礎管理能趨於規範化及標準化。

表一節水型城市目標導則之考核指標及標準一覽表

分 類	考 核 指 標	標 準
產業結構	城市用水相對經濟年增長指數	50%
	城市取水相對經濟年增長指數	20% ~ 50%
	萬元國內生產總值（GDP）取水量降低率	4%
計畫用水管理	城市計畫用水率	95%
工業節水	工業用水重複利用率	75%
	間接冷卻水循環率	95%
	鍋爐蒸汽冷凝水回用率	50%
	工藝水回用率	50%
	工業廢水處理達標率	75%
	工業萬元產值取水量遞減率（不含電廠）	5%
自建設施供水 （自備水）	自建設施供水管理率	98%
	自建設施供水裝錶計量率	100%
城市水環境保護	城市污水集中處理率	30%
	城市污水處理回用率	60%
城市公共供水	非居民城市公共生活用水重複利用率	30%
	非居民城市公共生活用水冷卻水循環率	95%
	居民生活用水戶錶率	98%
	城市自來水損失率	8%

在城市節水的具體考核指標（請參考表一）方面，可區分為六個方面，分別是：產業結構、計畫用水管理、工業節水、自建設施供水（自備水）、城市水環境保護及城市公共供水，總計有十八項指標，表一列出了此等指標之名稱及考核標準。至於每一考核指標於導則中均描述了其概念及計算公式，限於篇幅，不擬在此說明。

由以上的介紹，吾人不難了解該導則已將節水型城市的內涵及要求目標明確地界定出來，同時亦對節水型城市的建立及發展問題提出了一個實際的方向。然而，滿足怎樣的條件才算是“已建成”節水型城市呢？是否考核指標有一項未達到標準即非節水型城市，又基礎管理方面如何評量？筆者認為該等問題欲將其完全量化委實不易，然量化確實有其好處，因其可與之相互比較且更易於目標的遵循與追求。在接續要介紹的「節水企業（單位）目標導則」，可認為是該等量化目標的進一步實現，與其說是建成節水型企業（單位）的標準，倒不如說是評價節水型企業（單位）的定量指標模式，其細節將於稍後描述之。

節水型企業（單位）目標導則

大陸建設部針對城市節約用水是貫徹兩個轉變的方針，係實現水資源可持續利

用戰略的一重要工作，故於1996年頒佈了上一章節所述的「節水型城市目標導則」，此一導則對促進及指導城市的節水工作開展、提高城市節水管理的整體水準、創建節水型城市、發展節水型經濟、實現水資源的可持續利用及城市的可持續發展，有著重要的意義與作用。然而，開展創建節水型企業活動是建立節水型城市的重要基礎，為能夠推動企業節水技術的進步、提高工業節水管理的水準及規範節水型企業（單位）活動，於是建設部依據節水型城市目標導則及有關的標準與規定，同時結合了大陸地區工業節約用水工作的實際情況，在1997年制定了「節水型企業（單位）目標導則」。該目標導則是希望能結合各地的實際情況，積極地開展創建的活動，同時深化工業節水的工作，使得能儘快地建成一批節水型企業（單位），為實現節水型城市目標創造更有利的條件。至於創建節水型企業（單位）活動中的相關狀況，均由建設部節約用水辦公室統一彙整。

該導則共計十三條，檢視其內容，筆者認為較節水型城市目標導則更具體化，特別是在基礎管理的考核上。首先，導則的第一條即開宗名義地陳述了其目的，是為促進企業合理用水，創建節水型企業（單位），推動企業節水技術進步，提高城市節約用水水準，因此制定本目標導

則。同樣地，導則中有量化的考核指標之數據產生，因此引用了兩個有關的標準規定，分別是：節水型城市目標導則及工業用水考核指標及計算方法（CJ21-87）。至於各級城市建設行政主管部門是節水型企業（單位）管理工作的主管部門，而各城市節約用水管理部門則是負責具體的管理工作。

有關於如何評價節水型企業（單位）方面，此與節水型城市目標導則中的「基礎管理」及「考核指標」之內容相類似，惟有更具體的量化過程。以下，將區分成兩個部份予以分別說明。

在定量考核指標上，共計八個項目，分別如表二所示。若檢視表二所列之定量指標，吾人發現其與節水型城市目標導則中的考核指標僅有部份相同，蓋企業（單位）僅為城市的一個組成部份。又每一定量指標均列出其考核的計算方法或公式，在本文中並未陳列。此外，於第一項之工業用水重複利用率的標準水平，其在導則中附有十大行業名稱（約四十餘分項），並按北方及南方列出各別的標準值，從25%至90%不等，而南方的標準值較北方為低，約少了5%至10%。在表一所述之節水型企業（單位）的各項定量考核指標中，均不得低於各項考核指標的最低標準水平，其中的第1、2、4、5、8項之最低標準比標準水平低於5%，第3項的最低標

準不得低於1%，第6、7項的最低標準不得高於5%。又隸屬於單位者，並無第1項至第3項，也因此其餘項目之分數較企業者略高。當表中有一項未達最低標準水平者，則均具有否決權，亦即總分即使達到節水型企業（單位）之標準，亦有可能被取消。

在基礎管理考核指標上，共計十六個項目，分別如表三所示。若檢視表三所列之考核項目，將發現其主要為節水型城市目標導則中的基礎管理之內涵，差別在於此導則予以條目化，使之易於計量。表中企業與單位之分數略有不同，後者在某些項目（第14、16、20、21、23項）上之分數略高（多兩分）於前者。

若將其分數全部累加，將發現節水型企業（單位）採取百分制的考核辦法。若隸屬於企業者，則定量考核指標為50分及基礎管理指標為50分；若隸屬於單位者，則定量考核指標為40分及基礎管理指標為60分。主要是企業與單位之屬性不同，因此「考核指標」及「基礎管理」的權重自有輕重之別。導則中認定總分達到90分以上者，則可評為節水型企業或節水型單位。至於如何區分企業與單位，主要是依據工業生產用水統計中，凡應有表二中之第1項至第3項者，則按企業標準考核。其餘者，一律按單位標準考核之。若表格中有空項（如無自備供水設施）者，則按其

餘項目之標準進行計算，而後按比率進行折算；亦即，折算後的總得分 = 其餘項目總得分 ÷ (100 - 空項目的總分) × 100。至於有下列情形之一者，不得申報節水型企業（單位）：

生活用水有包費制者，
供汽鍋爐冷凝水不回收者，
間接冷卻水有直排者，
未按規定進行水平衡測試者，
單位產品取水量或萬元產值取水量高出全國先進水準50%以上者，
未按有關規定擅自開採城市地下水者，
未按規定繳納地下水資源費等有關費用者，
該年度中累計五個月以上超計畫用水者。

一旦企業或單位獲得或被評為節水型企業或節水型單位後，有何正面性的意義呢？各級城市建設行政主管部門對該等企業或單位於需要新增用水量時，應優先予以考慮，同時對其節約的用水量可留作企業或單位之未來發展的用水指標。

總觀整個定量評價模式，暫不論其實施的可行性為何？整個目標導則的內容委實相當具體與簡化，但又不失其全面性。

至於導則中亦明文規定，於推行節水型企業（單位）考核工作時，一律從簡，不應增加企業（單位）的負擔。筆者認為該評價模式除了於這裡是用於評判企業或單位是否為節水型之外，對於同一企業或單位，若能定期實施以獲得總得分，則藉由了解或分析在時間歷程上的分數變化，將能評估自身對節水的努力持續程度及節水態度；此外，若同質性產業將分數進行相互間的比較，亦能評估出該產業的節水水平及其節水潛力的高低，而不同產業別間同樣地亦可用於比較，以明瞭某產業在其他產業間的節水能力。

借鏡與參考

大陸現有470個城市中，缺水的城市約有300個，其中50個城市嚴重缺水，而正等待發展起來的縣改市已有2000多個，都有相當程度的缺水問題。又14個沿海開放的城市中，即有9個屬於嚴重缺水城市。因此，大陸地區在水資源的開發與利用上，已將開源與節流並舉做為其重要國策之一，而近幾年更不斷地從理論及實踐兩方面來探討建設節水型城市的經驗與途徑。由先前章節的描述，吾人已知其確實取得了相當的成績，此亦可由筆者前往北京及天津兩個城市實際參訪而獲得更深入的了解。至於在節水型體系的實踐上，大陸不僅僅在以上所描述的方面持續努力，

表二 節水型企業(單位)定量考核指標一覽表

序號	定量指標	考核標準	標準水平	分數		實得分數
				企業	單位	
1	工業用水重複利用率達到同行業先進水平(E_i)	工業用水重複利用率 $\geq E_i$ ，否則每低於1%扣2分，直至扣完。	另見 本文說明	16	—	
2	間接冷卻水循環率	達 $\geq 95\%$ 者，計10分；否則，以實際循環率10計分。	95%	10	—	
3	萬元產值取水遞減率	達 $\geq 5\%$ 者，計4分；否則，以遞減率 $\div 5\% \times 4$ 計分。	5%	4	—	
4	水錶計量率：一、二、三級水錶計量率指廠、車間、班組(工段、設備)水錶計量率	一、二級錶不達標準不給分。若一、二級達標準，三級錶85%，分別以三級錶計量率 $\times 4$ 或 $\times 5$ 計分。	一級錶 $\geq 100\%$ 二級錶 $\geq 90\%$ 三級錶 $\geq 85\%$	4	5	
5	居民生活用水戶錶率	達 $\geq 98\%$ 者，計4分或5分；在 $\geq 95\%$ 且 $< 98\%$ 之間者，分別以戶錶率 $\times 2$ 或 $\times 2.5$ 計分。	98%	4	5	
6	企業用水設施損失率(包括自備供水)	達 $\leq 2\%$ 者，計4分或10分。每高於1%，企業扣1分，單位扣2分，直至扣完。	2%	4	10	
7	衛生潔具設備漏水率	達 $\leq 2\%$ 者，計4分或10分。每高於1%，企業扣1分，單位扣2分，直至扣完。	2%	4	10	
8	鍋爐冷凝水回收率	達 $\geq 60\%$ 者，計4分或10分。每高於1%，企業扣1分，單位扣2分，直至扣完。	60%	4	10	

表三 節水型企業（單位）基礎管理考核標準一覽表

序號	基礎管理考核內容	考核方法	考核標準	分數		實得分數
				企業	單位	
9	主管領導負責節水工作，建立辦公會議制度。	查看有關文件及會議記錄	有主要領導負責及有會議記錄者，得2分。	4	4	
10	有節水主管部門和專職（兼職）節水管理人員	檢查企業（單位）上級主管部門文件	符合要求者，得4分。	4	4	
11	有健全的節水管理網絡及明確的崗位責任制	查閱文件、網路圖及工作記錄	管理網路健全及責任明確者，得4分。	4	4	
12	有計畫用水及節約用水的具體管理制度	查閱有關的節水管理制度及文件	有正式文件頒發的規定及辦法者，得2分。	4	4	
13	原始記錄及統計台帳完整規範，按時完成統計報表並進行分析。	查閱有關資料及核實數據	兩項符合要求者，得4分；一項符合要求者，得2分。	4	4	
14	用水情況清楚，定期巡迴檢查問題，即時解決。	查看巡迴檢查記錄及落實情況	符合要求者，得2分或4分。	2	4	
15	按規定週期，進行水平衡測試。	查閱水平衡測試報告書及有關文件	按規定測試，報告書正確並有整體改善計畫者，各得2分。	4	4	
16	有近期完整的管網圖	查閱圖紙及查看現場	管路圖完整清晰者，得2分或4分。	2	4	
17	實行定額管理及節獎超罰。	查看定額管理及節獎超罰之文件與資料	有定額管理及節獎超罰者，各得2分。	4	4	
18	制定完成節水十年規劃	查閱資料及文件	有節水規劃者，得2分。	2	2	
19	經常性開展節水宣傳教育	查看資料及詢問職工節水常識	經常性開展宣傳者，得2分。	2	2	
20	有水計量管理制度	查閱有關文件	制度健全者，得2分。	2	4	
21	有完整的近期計量網路圖	查看計量網路圖及資料	有網路圖但無近期者，扣1分或2分。	2	4	
22	完成節水指標及年度節水計畫	查閱有關資料	完成節水指標及年度節水計畫者，各得2分。	4	4	
23	用水設備管理器具具有定期檢修制度	查閱有關資料及文件，同時查看現場。	有定期檢修制度者，得2分或4分。	2	4	
24	已使用的節水設備，管理好及運行正常。	查看現場及有關資料及制度	管理好及運行正常者，各得2分。	4	4	

亦在其他方面進行探討，如節水型水價體系的制定，節水型學校的建設等等。彼岸的做法與經驗，實有我可借鏡與學習之處。

大陸地區預期在西元2000年的新增用水量，其中的半數要依靠節水來達成，因此在節水的推動與落實上，近年來有許多較大幅度的轉變，如本文所介紹的節水型城市及節水型企業（單位）的建立等等。此外，在筆者等人與大陸建設部城建司供水節水處的參訪座談中，得知目前大陸的供水成本，若從成本效益角度來計算，則約虧損了40%~60%，因此近年來將水逐漸轉為從經濟面來思考，把水視為一種商品，且將水的經營由事業體轉為企業體。大陸企業亦已意識到品質提升的重要性，因此在節水設施有關的行業中，正逐漸在推行ISO9000制度。而由國家建材局與建設部共同正在推動國家測試中心，藉以測試相關的用水設施或器材，此舉與我國經濟部水資源局委由工研院能資所所成立的「節水效能測試實驗室」相類似。大陸建設部每隔1~2年會頒佈節水器材的相關資訊，提供人民優先使用。對於民用衛生器具及集體宿舍之衛生器具，明令一些耗水型器具必須禁止使用，改以節水型器具替換之。至於節約用水技術來自三個方面，分別是研究單位、學校及工廠。又在用水方面，逐漸形成優水優用的原則，特別是

地下水的使用。

至於我國在節水型體系方面的進展如何？是否亦有節水型體系的概念產生呢？答案是肯定的，在「水資源政策白皮書」中，三度用到了「節水型社會」這個辭彙。首先，將「加強需求面管理、建立節水型社會」（第51頁）做為台灣地區長期水資源發展方向之一；又我國水資源政策之總目標為：創造新的水文化，建立節水型社會（第84頁）；此外，亦將「加強水資源調配，健全用水管理制度，促進區間供水調度能力，且積極推動節約用水，提高用水效率與效能，建立節水型社會。」（第109頁）做為我國現階段水資源政策綱領的策略之一。

台灣地區目前每年總用水量約為184億噸（民國65年至民國85年），隨著工農業生產及都市化發展，預計至民國110年的各標的需水總量約為224億噸。依據經濟部水資源局的推估，為滿足未來用水需求，屆時之水利工程的供水能力最多為203億噸，因此表示尚有21億噸（約佔10%）的缺口，為此卻有必要對水資源實施開源與節流並重的方針與策略。由於用水量日增，如果單純靠增加供水來解決，不僅主客觀條件有所限制，且政府財力亦是一項負擔，更不利於水資源的保護與水污染的防治。此外，我國的用水情況若與先進國家的用水量相互比較，著實有明顯

的浪費情事，雖然近幾年來在政府有關單位大力地推動節約用水，已使節水有明顯的成效。因此，解決水資源供需矛盾必須開源與節流並重，長期堅持合理用水、節約用水的方針，特別是易於缺水的地區，更應加速努力來建立成節水型社會或節水型城市，如此才能從容地面對跨世紀的水資源挑戰及水危機。

致謝

本文的產生與撰寫，其醞釀過程為時甚久，僅將部份資料先行彙整，期間獲得許多單位與人士的協助，特別是作者有幸成為「節約用水宣導與技術服務團」的一員，因此能有此機會對相關問題多所涉獵，該團是經濟部水資源局委由工業技術研究院能源與資源研究所成立。此外，去（1997）年度於經濟部水資源局之「節約用水措施推動計畫」的經費支持下，前往大陸與建設部、北京市節約用水辦公室、天津市節約用水辦公室及天津大學等多個單位進行節水技術交流，謹此表示十二萬分的謝意。

參考資料

工業技術研究院能源與資源研究所（1998），建立節水型社會研討會：日本東京及福岡節水經驗分享，台北。

中華人民共和國建設部（1996），節水型城市目標導則，北京。

中華人民共和國建設部（1997），節水型企業（單位）目標導則，北京。

中華人民共和國建設部城市建設司（-），城市建設司簡介，北京。

太原西山水源保護研究編寫組（1990），城市水源保護-太原西山水源保護研究，中國環境科學出版社，北京。

王明明（1998），節水型體系與節水法規之建立與實施，節約用水措施與管理研習會講義集，工業技術研究院能源與資源研究所，新竹，第B-1~B-18頁。

北方交通大學（1997），建設“節水型學校”適應城市發展需要，北京節能，第3期（總第63期），第54~55頁。

北京市節約用水辦公室（-），節流、開源、保護水資源並重，北京。

馮一謙（1996），把北京建成節水型城市勢在必行，北京規劃建設，第4期（總第47期），第26~28頁。

城市節水編輯部（1997），城市節水報1997年8月25日版，第31期（總第122期），北京。

陳新秀（1997），探討建設節水型城市的途徑，城鎮供水，第4期（總第74期），第34~37頁。

張玉森（1997），關於制定節水型水價體

系的研究，北京節能，第3期（總第63期），第2~6頁。

經濟部（1996），推動節約用水措施實施計畫，台北。

經濟部水利司（1996），推動節約用水措施計畫成效報告，台北。

經濟部水資源局（1996），水資源政策白皮書，台北。

董輔祥、董欣東/主編（1995），節約用水原理及方法指南，中國建築工業出版社，北京。

大陸建設部城市建設司供水節水處簡介

大陸建設部城市建設司是大陸建設部主管全國城市發展、城市建設、城市管理及研究制定城市發展戰略的業務單位。以下，僅就該司與水有關的職責條列之：

指導全國供水與節水的工作，
指導城市防洪排澇的工作，
負責管理全國城市計劃用水，
負責管理全國城市節約用水，
城市規劃區地下水的開發利用及保護工作。

城市建設司計分為一個室及九個處，此外亦包含了與城市建設相關的科研設計、社團及報社宣傳單位，分別是7個、15個及19個。至於供水節水處（Division of Water Supply and Conservation）即為九個處之一，該處是城市建設司管理全國城市供水與節水行業的職能處，其主要職責如下：

貫徹執行國家有關城市供水、城市地下水、城市節約用水行業管理的法律、法規。檢查監督國家有關法律、法規、政策的執行情況。

負責全國城市供水、節水行業管理工作和經驗技術政策的制定、執行和解釋。協調制定有關中水利用的經濟技術政策。

負責供水、節水的行業發展規劃、技術進步及規劃的制訂。供水、節水行業技術、設備的推廣應用管理工作。

負責和協調城市供水、節水大中型項目的立項審查、工程環境影響評價報告書的預審和工程竣工驗收工作。

承擔建設部城市節約用水辦公室的日常工作。負責全國城市供水水質監測的日常工作及監測站的計量認證工作。

自來水配水系統水質二次污染研發課題探討

*盧重興

一、前言

公共自來水供給設施除了和鄉村的成長及城市的繁榮有實質的影響外，其所供應的水質更與人體健康有直接的關係。然而，要避免自來水水質受到污染，除了要做好水源水質保護與提昇淨水廠處理技術外，如何有效地控制與管理自來水在配水管線的水質，乃為當前自來水事業應注意的問題之一。以近五年為例，各淨水廠的清水大多能夠符合臺灣省自來水水質標準，但是在同年度各級環保及衛生單位對於各種公共飲用水水質抽驗結果，不合格率仍然偏高（以85年度為例，不合格率為14%）（中華民國臺灣地區環境資訊，民國82-86年）。因此，如何有效地解決自來水配水系統水質二次污染問題，應為各方未來努力的方向之一。

二、國內研究現況

我國對自來水配水系統水質二次污染的研究，起步較歐、美、日等先進國家稍晚，從事相關研究機構或學者亦不多。因此，詳細的管網水質監測資料與水質二次

污染原因，至今尚未建立與明瞭，以致無法對飲用水水質做有效地控制。

國內到目前為止對自來配水系統水質二次污染的相關研究主要包括：管網餘氯濃度消耗（林氏等，民國73年；李氏等，民國87年）、管網水質生物穩定性研究（葉氏等，民國86年）、配水池（塔）水力及水質變化研究（李氏等，民國87年）及配水管網水質預估模式研究（張氏等，民國87年）。由於這些研究皆在起步的階段，因此尚未投入相當的人力與經費，值得有關單位重視。

三、國外研究現況

1980年以後，美國環境保護署飲用水研究中心即全力專注於自來水配水系統水質污染研究（Allen et al., 1980; Schimpff et al., 1980），並以發展水力及水質模式為首要目標（Clark and Males, 1985; Males et al., 1985; Clark and Males, 1986; Clark et al., 1988）。1988年以後美國環境保護署與密西根大學共同合作的大型計畫「配水系統水質變化研究」，選擇美國康乃狄克州New Haven 地區做水質問題研

*國立中興大學環境工程學系教授

究，並將調查數據做為修正水力及水質模式的依據 (Clark et al., 1991; Biswas et al., 1993; Rossman et al., 1994)。

第一座同時具備淨水處理廠與配水管線模型實驗室於1990年建立於法國Nancy市，由法國國家水質研究中心與美國環保署風險減低實驗室共同研究。其主要研究目的為評估不同淨水廠消毒方法對配水系統水質的影響。由實驗結果得知，管線中雖有餘氯的存在，但不能有效地阻止細菌的再生長，而且三鹵甲烷 (THM) 濃度與餘氯濃度的高低有關。臭氧雖為有效的消毒劑，但由於在配水管線沒有殘留效果且製造成本較高，故不宜在配水系統單獨使用 (Lykins et al., 1990)。

自來水配水系統中的配水池及配水塔主要是為了調節自來水水量，以提供用戶足量的用水。然而，不良的設計和操作會導致水質變壞、提高水齡、降低消毒劑的含量及增加微生物數目，值得重視。Clard et al. (1991) 以氟離子進行儲水槽對水質變化的研究。在每日進流量分別為儲水槽容量的5.9%、7.6%及9.5%三種情況下，量測配水系統節點氟離子濃度，發現在停止氟離子添加五天後，仍可發現到殘留的氟離子濃度。這個結果顯示出儲水塔的進流與出流狀況對水質有很大的影響。另外，儲水塔的水力停留時間愈長對水質也有較多負面的影響。

在1980至1991年期間，美國印地安那州的Muncie給水廠及維吉尼亞州的Hopewell給水廠均陸續在所負責的配水管網中發現了大腸桿菌及THM (Norton and LeChevallier, 1997)。

其中Muncie廠自1980年開始發現大腸桿菌有再生長的現象發生。由實場的研​​究發現，即使將餘氯濃度提高至10-12mg/L，仍可在79個採樣中有13個樣品，在大腸桿菌的測試中呈陽性反應。之後在1992年12月開始以氯胺為消毒劑後才解決問題。

而Hopewell廠於1991年在其配水系統中發現大腸桿菌。這發現讓Hopewell水廠不得不將加氯量由0.57mg/L提高至2.1mg/L，然而此舉不但仍可發現大腸桿菌，在隔年的夏天發現配水系統中THM的量超過了100mg/L。這現象導致Hopewell廠在1993年7月改用氯胺當做消毒劑才解決問題。

Sharp et al. (1991) 及Wable et al. (1991) 曾分別研究法國的三個城市及美國新澤西洲Fort Monmouth的自來水配水系統發現，餘氯的消耗速率受到非常複雜因素的影響，其中包括：管材、管徑、溫度及原水水質。

Vasconcelos et al. (1997) 研究自來水配水管網中餘氯消耗的動力學。研究中指出，配水管線流動水中 (bulk) 的餘氯

消耗可以用一階反應速率式來描述，並可簡單地利用杯瓶試驗求得反應速率常數。而在管壁上餘氯的消耗速率常數則與管壁粗糙度成反比，其可用一階或零階質量傳輸限制速率式來表示。接著並指出，不論是流動水中或是管壁上的反應速率常數均有很大的變化範圍。因此，建議在研究配水系統水質預估模式之前，必須先利用追蹤劑試驗獲得水力參數如流速、水力停留時間等。

由上述的文獻可以看出，實場的研究雖然費時費力，但在自來水配水系統水質的保護具有非常重要的地位。例如，前面所提到美國的Muncie及Hopewell兩大自來水水廠，之所以被迫改用氯胺來當成配水系統消毒劑，也是因為進行實場研究才發現的。另外，像英國的STW (Seven Trent Water Ltd.) 自來水公司供應英國中部超過八百萬戶，涵蓋區域包括英國第二大城Birmingham，其配水系統中有800個儲水槽及超過23,000英哩的管線，而其致力於配水管網電腦模式的發展與應用已超過10年以上，並且將其有效地應用在配水管網的設計及管理。目前，STW公司正在建立配水管網餘氯消耗模式並發展的一套求取參數的方法，以做為將來評估消毒方法的有效性及消毒劑味道等問題 (Elton et al., 1995)。

四、未來研究方向

有關自來水配水系統水質二次污染研究規劃，可以由模式研發、實場研究及實驗室基礎研究三方面著手，茲就其重要性與研究範圍討論如下：

1. 模式研發

由於自來水配水系統為一非常複雜的環境，若要能夠有效地掌握配水管網水質變化情形，建立一兼具預測及警告功能的管網水質變化模式實為刻不容緩的事。一旦所完成的管網水質模式經驗証後，即可應用於都市自來水配水系統的規劃、設計及管理。

完整的自來水配水系統水質模式應包括：

- (1) 餘氯消耗模式 (包括自由及結合餘氯)
- (2) 細菌消長模式 (包括懸浮活、死菌及固定活、死菌)
- (3) 三鹵甲烷生成模式
- (4) 金屬離子溶出模式 (包括鉛、銅、鋅、鐵等金屬離子)
- (5) 微粒傳輸模式 (過濾沙、細菌群等)

有效的管網水質模式除了包括上述五大主題外，更應結合水力模式 (包括流速、流量、水壓及水力坡降) 及水質參數

(PH、水溫、鹼度等)，並考慮管材(PVC管、Epoxy管、鍍鋅管、水泥管等)、管型(直管、彎管、分叉管、T型管、死端等)、不規則管壁(孔穴、障礙物等)及貯水設施(配水池、配水塔)對水質的影響。

各淨水處理廠應按其供水水質與特性建立個別的管網水質模式，待驗證成功後，更應進一步利用地理資訊系統(GIS)為介面，將模式各項預估結果轉換成較易了解的圖形化結果，以期能夠成為監視配水系統水質變化的有效工具。

2. 實場研究

實場研究的資料除了可以提供管網水質模式修正與驗證外，更有助於了解管網水質二次污染的原因，進而尋求解決之道。國內目前各淨水處理廠對於其供水區域尚未建立完整的管線水質監測資料，以致無法掌握自來水到達用戶的品質。

實場研究的內容應考慮到不同用水時段(早、中午、晚上及深夜)、不同季節(春、夏、秋、冬)、不同管材及管齡、不同採樣距離、不同水源混合及不同管徑對水質變化情形。另外，配水管網水力特性及配水池、配水塔對水質變化的影響也相當重要。水質研究的項目應包括：自由餘氯、結合餘氯、濁度、比導電度、懸浮性微生物(HPC)、酸鹼度、水溫、

THM、溶解性有機碳(DOC)、氨氮等。

實場研究經過一段時間後，如果經費許可的話(至少高、屏等不良水質地區)應著手規劃管線水質自動監測站，如此才有可能即時將管線水質狀況反應至淨水處理廠，做為改善水質的重要依據。

3. 實驗室基礎研究

由於自來水配水系統非常複雜，實費時費力，因此實驗室的基礎研究就顯得相當重要。國內尚無同時具備淨水處理設備與配水管線模型實驗室，以致無法深入研究兩者之間的影響，值得注意。

實驗室基礎研究除了需幫助求取管網水質模式參數外，共可分為八大主題如下：

- (1) 管材與管壁腐蝕的研究(包括金屬離子溶出試驗)
- (2) 貯水設施(配水池、配水塔)對水質變化的研究
- (3) 三鹵甲烷再生成的研究
- (4) 特殊管型與不規則管壁對水質變化的研究
- (5) 微生物再生長的研究
- (6) 餘氯消耗與副產物生成的動力學研究
- (7) 不同水源混合對水質變化的研究
- (8) 淨水廠處理程序對管線水質變化

的研究

五、結語

自來水配水系統為一非常複雜的環境，要解析其水質二次污染問題既艱辛且具挑戰性。因此，唯有投入相當的人力與時間，方能見其成效。本文初步探討自來水配水系統水質二次污染研發課題，冀希提供國內學術單位、政府研究單位與自來事業單位於規劃研究或執行研究的參考，以提昇國內飲水品質。

參考文獻

1. 中華民國臺灣地區環境資訊，行政院環境保護署，民國82年至民國86年。
2. 林建財、李志強，「配水管網中管末水質變化之初步探討」，第一屆給水技術研討會論文集，民國73年。
3. 李舒寧、盧重興、蔡長憲，「自來水配水系統水質二次污染的研究：（一）餘氯」，中華民國自來水協會會刊，第17卷第3期，p1-18，民國87年。
4. 葉宣顯、曾怡禎、賴文亮、施惠日，「配水管網中水質生物穩定性之研究」，第十四屆給水技術研討會報告集，台北，p201-218，民國86年。
5. 李志成、盧重興，「自來水配水池混合效應之探討」，1998輸送現象與其應用專題研討會專輯，台北，民國87年。
6. 張鴻耀、盧重興，「自來水配水管線微生物消長模式的研究」，第十五屆自來水研究發表會報告集，新竹，P213-225，民國87年。
7. Allen, M.T., Taylor, R.H., and Geldreich, E.E. "The occurrence of microorganisms in water main encrustation", J. AWWA, Vol. 72, No. 11, pp. 614-625 (1980)
8. Biswas, P., Lu, C., and Clark, R.M. "A model for chlorine concentration decay in pipes", Water Research, Vol. 27, No. 12, PP. 1715-1724 (1993) 。
9. Clark, R.M., and Males, R.M. "Simulating cost and quality in water distribution systems", J. Water Resources Planning and Management, ASCE, Vol. 11, No. 4, PP. 454-466 (1985)
10. Clark, R.M., and Males, R.M. "Developing and applying the water supply simulation model", J.AWWA, Vol. 78, No. 8, PP. 61-65 (1986)
11. Clark, R.M., Grayman, W.M., Males, R.M., and Coyle, J.A. "Modeling contaminant propagation in drinking water distribution systems", Aqua, No. 3, PP. 137-152 (1988)
12. Clark, R.M., Grayman, W.M., Goodrich, J.M., Deininger, R.A., and Hess, A.F. "Field-test distribution water quality

- models", J.AWWA, Vol. 83, No. 7, PP. 67-75 (1991)
- 13.Elton, A., Brammer, L.F., and Tansley, N.S. "Water quality modeling in distribution networks", J.AWWA, Vol. 87, No. 7, PP.44-52 (1995)
- 14.Lykins, B.W.Jr., Clark, R.M., Block, J.C., Colin, F., and Schulof, P. "Experimental pipe network for evaluating disinfection treatment effects", USEPA Final Report (1990)
- 15.Males, R.M., Clark, R.M., Wehrman, P.J., and Gates, W.E. "Algorithm for mixing problems in water system", J. Hydr. Engrg., ASCE, Vol. 111, No. 2, PP. 206-291 (1985)
- 16.Norton, C.D. and Le Chevallier, M.W. "Chloramination:its effect on distribution system water quality", J.AWWA, Vol. 89, No. 7, PP. 66-77 (1997)
- 17.Rossman, L.A., Clark, R.M., and Grayman, W.M. "Modeling chlorine residuals in drinking water distribution systems", J. Environ. Engrg., ASCE, Vol. 120, No. 4, PP. 803-820 (1994)
- 18.Schimpff, W.K. et al. "Water quality effects related to blending waters in the distribution system. USEPA-600/2-80-132.
- 19.Sharp, W.W., Pfeffer, J., and Morgan, M. "In situ chlorine decay rate testing", Proc. Water Quality Modeling in Distribution Systems. AWWA Research Foundation, Cincinnati, OH (1991)
- 20.Vasconcelos, J.J., Rossman, L.A., Grayman, W.M., Boulos, P.F., and Clark, R.M. "Kinetics of chlorine decay", J. AWWA, Vol. 89, No. 7, PP. 54-65 (1997)
- 21.Wable, O., Dumoutier, N., Duguet, J.P., Jarrige P.A., Gelas, G., and Depierre, J.F. "Modeling chlorine concentrations in a network", Proc. Water Quality Modeling in Distribution Systems. AWWARF, Cincinnati, OH (1991)

統計在自來水工程上之應用(I)

溫敏杰*、溫清光**

前言

統計方法是一種工具，若您會統計，就像您會開汽車這種交通工具，早上您可在台中總公司開會，下午可到第六區管理處開會，統計應用很廣，舉凡，各種民意調查結果、股價分析、公司報表、用水量預估、預測的可靠度等。一般而言，統計在工程上之應用，則稱之為工程統計，依此類推有商業統計、醫學統計、生物統計、教育統計、環境統計等等，也就是說，統計學在各種領域之中，皆可以扮演非常重要的輔助角色。

統計在國內的發展，早期教育部一直將統計與會計放在一起，一般皆以會統稱之。一直到民國六十幾年才慢慢獨立出來。筆者印象最深刻的是，當年考上統計學系時，一般人對於統計學的看法有兩類：1.認為統計就是會計；2.認為統計是商學院中的數學系。持第1類看法的人，事實上是錯誤的，統計與會計這2門學問是完全不一樣的東西。會有這種想法的人，主要是政府主計部門中，一、二局(處)管會計，三、四局(處)管統計之影

* 國立成功大學統計學系教授

**國立成功大學環境工程學系教授

響；而將統計視為數學，乃是統計學中用到許多的公式與符號，所以將統計與數學劃上等號後，視統計為畏途。然事實上，統計之原理雖需數理之基礎，但其發展與走向是截然不同的。

統計方法之蓬勃發展，在國內是近一、二十年內的事，統計能迅速發展主要受電腦突飛猛進之影響很大。因為統計上所處理的數據有時很龐大或者計算複雜，有了電腦的幫助，很多統計上之計算與應用，便迎刃而解與方便。目前世面上有許多的統計套裝軟體有SAS、SPSS、BMPP、Minitab、Statistica、Statgraphics及EXCEL中的資料分析，其中有以EXCEL最簡單，使用最方便。

國內對統計的重視，主要是政府主計部門需要服務業的統計人才分析，然而近年來在工程上也逐漸被重視與應用。國家衛生研究院成立，其底下設立之組中，明確有生物統計組；衛生署的藥審委員也已有統計專家在裡頭把關，因此，藥廠及醫院也開始重視統計方法之應用。

我想介紹統計方法到各個領域上之應

用，若以統計的角度出發可能許多人仍不容易接受與理解。所以，我們嘗試將統計方法儘量的口語化與一般化，然後以自來水工程上實際的資料為例，說明統計方法如何在自來水處理之應用，最後由於一般資料皆利用電腦來幫忙處理資料，因此我們將統計方法之知識結合自來水工程上之實例，然後利用Excel軟體來幫忙使用者如何處理資料分析。最後統計方法在各個領域上的普及應用，我們也會強調如何避免誤用不正確的統計方法。

為了能從事於自來水工程上之使用者了解基本統計知識和容易使用Excel統計套裝程式，我們將分以下8講來說明。

第一講：基本統計概念

1.有效數字2.統計圖表3.代表值4.離差異性

第二講：樣本與母群體

1.樣本2.母群體3.常態分配(鑄形分配)4.樣本與母群體之關係

第三講：誤差的取捨

1.誤差2.分析誤差3.檢定界限

第四講：異常值的取捨

1.異常值的考量2.管制圖

第五講：小樣本平均數差異比較

1.平均數檢定2.差異檢定

第六講：迴歸與分析

1.迴歸直線的求解2.相關係數3.相關性檢定

第七講：實驗設計

1.因子變異數分析2.因子變異數分析

第八講：時間序列

1.時間序列2.移動平均法3.週期性

第一講：基本統計概念

1.有效數字

一數中包含之位數足以表示該數之大小與準確度程度者，即為有效數字。例如，75呎的有效數字為兩位；7.004寸之有效數字為四位。但0.028公尺的有效數字則只有兩位，因為它可以寫成28公分。判別有效數字的方法為：

- (1)1,2.....,8,9皆為有效數字。
- (2)(1)式中各數字中間之0為有效數字。例如505為三位有效數字。
- (3)小數部份末尾之0為有效數字。例如123.40元為五位有效數字。
- (4)無小數之整數值，其末尾之0非有效數字。例如600公分可改為6公尺，僅有一位有效數字。

為何要探討「有效數字」呢？主要原因是量測所得數字的正確程度，除了依賴量測儀器外，尚依賴量測者之技術與判定，故往往造成兩個人對於同一量測儀器獲致不同的觀測結果，或者同一個人在不同時間做相同的量測亦獲致不同的結果。所以由量

測所產生的「可能誤差」為統計數字最後一位有效數字的基本單位的半個單位。例如甲生之身高為172公分，體重為62.5公斤，則其身高的可能誤差為0.5公分(因為有效數字不足三位數，最後一位有效數字是個位數，所以為0.5公分)，體重的有效數字是三位數，最後一位有效數字是小數點第一位，其可能誤差為此位數基本單位之半個單位，故為0.05公斤。也就是說，身高172公分，其實際身高應介於172-0.5公分與172+0.5公分之間，此0.5公分即為可能產生之誤差。

例 1.1：以硫代硫酸鈉滴定溶氧(DO)，滴定劑藍色變無時(End point)，滴定管內之液面如圖 1.1，其讀數為4.65mL，其有效位數為3位數，故其最後一位有效數之基本單位0.01mL之半個單位為0.005，故其實際值介於4.645~4.655之間。

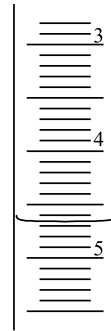


圖 1.1 滴定管之讀數

上面提及量測數字時可能產生誤差，故在此也稍為說明一下何謂「誤差」。誤差有絕對誤差(即真實值減去近似值後取絕對值)及相對誤差(即絕對誤差除以真實值)之分。但通常量測時，真實值並不知，故我們無法實際求得絕對誤差，乃採用可能誤差來代替絕對誤差，及相對誤差來代替絕對誤差。

2.統計圖表

統計本身乃是讓數字說話的科學。如何從我們所收集到的資料中看出數字本身的內涵與意義，是統計的主要功能。例如烏山頭水庫用水量某年用水量如下：(單位：萬噸)

1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
82	85	96	90	102	105	135	152	122	125	107	93

由數字可以了解，8月份用水量最大，1月份用水量最小。由數字進一步推論可以知道，用水量本身受到季節變化的影響很大，夏天用水激增，冬天趨緩。統計的目的，就是希望將數字之意義，儘可能化繁為簡，使一般民眾了解其意義。所以統計圖表之應用可以達到簡化與使人一

目了然，以提供有意義及有用的資訊，協助大眾了解問題所在。而使用統計圖表的主要理由是人類辨識影像圖形的能力，通常要優於辨識文字與數字的能力。所以統計圖表的使用，就一般大眾而言，是相當普遍的。我們在此介紹下列幾種主要圖表其特徵。

表1.1 主要統計圖表及說明

圖表	說 明
長(橫)條圖	是以各類別為橫(縱)座標，其所對應之資料數量為縱(橫)座標，繪製成長方形，以其長方形的大小，顯示各類別之間的差異。
次數分配表	是把觀察單位依其量的性質之大小分類結果，歸納而成之統計者，是最常用的統計表。其使用時機為若資料非常分散，無法同時表達在一個圖形時，將資料分佈範圍分成若干部份，以組別方式計算每組資料的個數，達到化繁為簡之目的。
次數多邊形圖	可直接用座標點繪，縱座標表示各組次數，橫座標表示組中點，將各座標點以直線連接；或是將直方圖上端組點以直線連接也可。適用於比較不同的分配上。
曲線圖	一般而言，縱軸為數量，橫軸為時間，將不同時間上之點連結起來，可以了解資料本身受時間因素影響時之變動情形與規律。
直方圖	是一很有效且清晰的，將次數分配以圖形表示的方法。其用途凸顯各組間重要性的差異及整體分配形態的特徵，將次數分配表以圖的方式表現，使人感覺更簡明清晰，而且印象深刻。
散佈圖	主要探討2個變量之間在平面上之變化情形，藉以了解其2者之間的相關程度。

一個完整的統計表至少包括：標題、標目、表身、來源等四部份，而統計圖則是將資料以點、線、面積、體積等圖形為主，輔之以文字數字的表現方式。也就是說利用點的多寡，線條的粗細長短，起伏變化，面積及體積的大小、顏色的多寡與深淺來表示資料特性者。用表格敘述資料

特性雖然比文字清楚簡單，但仍不若統計圖形來得清楚扼要簡潔。

在此我們舉一個實例來說明如何編製次數分配表。例如我們在某淨水場原水中之pH值濃度，每日測定一回，持續測度2個月之資料於表1.2。

表1.2 原水量中pH值

7.2	8.2	7.5	7.5	7.4	7.4	7.5	7.4	6.8	8.1	7.3	7.3
7.3	7.5	7.4	7.4	7.4	7.2	7.0	8.0	7.5	7.1	7.2	7.3
7.2	7.3	7.3	7.4	8.1	7.1	7.3	7.5	7.7	7.6	7.6	7.6
7.7	7.5	7.9	8.1	7.6	7.8	7.6	7.4	7.9	8.2	7.6	7.8
6.9	7.0	7.7	7.6	7.6	7.8	7.6	7.0	6.9	7.9		

其處理步驟如下：

步驟1：劃記各個pH值出現次數(頻率)圖1.2

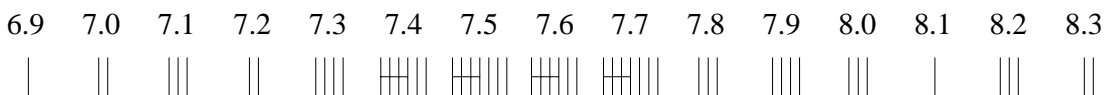


圖1.2 分組之劃記法

由圖1.2可知，主要pH發生在7.4至7.7之間。

步驟2：由圖1.2得知，最大值8.3與最小值6.9之間的差異為1.4個單位，為方便整理，我們分成7個分類間隔，即每個間隔為0.2個單位。

步驟3：橫軸以0.2為區間間隔，以6.75值

起加上0.2，一直到最後一組包含最大值後停止。參見圖1.3。

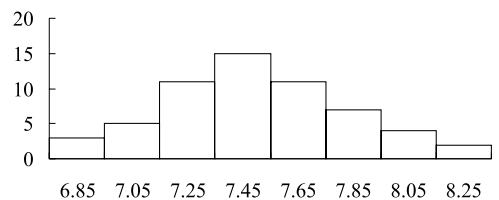


圖1.3 原水pH質之直方圖

詳細的編製次數分配表，可參閱參考文獻[2]中第51頁至第55頁。

繪製次數分配表時應注意下列事項：

- (1)第一組及最後一組區間，一定要分別包含資料，最小值與最大值在裡面。
- (2)一般而言，組數大多在五組至二十組之間，組數分得太多(如圖1.2)資料現過於繁瑣，失去整理資料的目的。反之，區間之決定，也不可以過大，以我們決定0.2與0.4(圖1.4)比較，可以得知，圖1.4之訊息由於分組過少，以致

無法看出其圖形趨勢來。

- (3)分組時，縱軸、橫軸宜由原點開始。
- (4)組之間距，應取相等，俾便比較。
- (5)圖1.3與圖1.4橫軸上之資料為每一分組資料之組中點(即該組下界值加上該組上界值後除以2)。
- (6)每分組資料均假設集中在各分組之組中點上，所以資料發生次數不宜選多落在組上、下界上的值，如圖1.5。

一般常見的圖例分配形狀，我們以圖1.6來說明，有下列幾種類型：

a. 資料顯示凹凸分佈，呈現不規

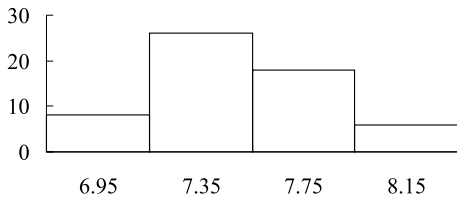


圖1.4 原水pH值之直方圖

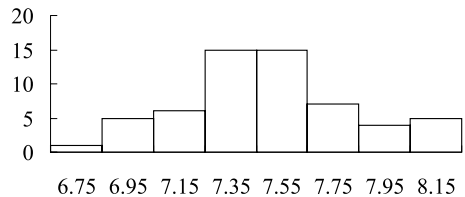


圖1.5 原水pH值之直方圖

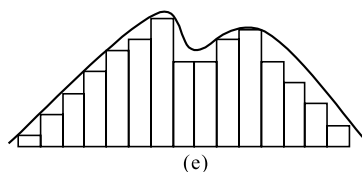
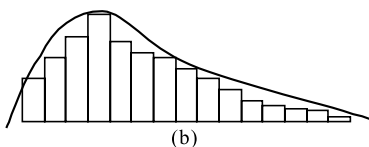
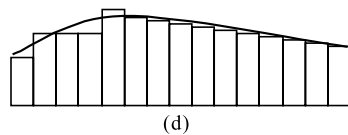
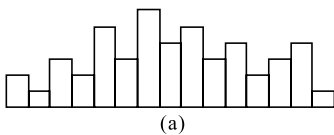




圖1.6 各種常見的資料分布圖(以直方圖表示)

則形態。

- b. 資料顯示偏斜分配，表示大部分資料座落在右邊，故稱右偏，例如大部分的水質分佈屬於這種分佈。
- c. 資料顯示偏斜分配，表示大部分之資料座落在左邊，故稱左偏，在自來水工程上這種分配較少。
- d. 資料顯示都趨向一致，均勻分配，例如等候搭乘公車時間。
- e. 資料呈現雙峰分配曲線，例如男女身高之情形。
- f. 資料理應呈現單峰分配曲線，但受到少數異常值之干擾，例如正常時期原水量中之游離氨氮濃度，現突然有養豬場傾倒廢水排入河中，影響水源水質。

一般而言，在水處理工程上，我們期望原水的水質穩定如圖1.6(d)。而呈不規則或其他形狀之分配，水處理上就較為棘手。尤其離異值之發生的偵測與處理。

3.代表值

代表值的意思為一組資料中，選出一個數字來代表這一群資料的特性。而這些代表性既然能代表該組資料，則這些資料應該與此代表值非常接近，或差異不大，也就是說這些資料本身有集中之趨勢。常見的代表值有眾數、平均數、幾何平均數等。

(1)眾數(Mode，簡稱Mo)

眾數是指資料內的觀測值中其發生次數最多的那一個數值。它是計算時最簡單的一種方法，僅需要點計發生的次數即可，而且意義很簡單。即圖形最高點對應x軸之值。

(2)中位數(Median，簡稱Me)

將蒐集來的資料經順序排列後，居於數列中間的那一個數值即為中位數。亦即，在所有觀察值中至少有一半(50%)數的值大於(小於)等於該數值。中位數是一組資料之測量值的中央值。當資料為奇數個時，則排序最中間的數值即為中位數，當資料為偶數個時，則排序最中間的2個數字相加除2為中位數。中位數的優點為不

受資料兩端極端值(即極大或極小值)影響，如表1.3為檢測某一年處理水中鐵濃度，大多數月份水質中的鐵濃

度皆檢測不出來(也就是鐵濃度趨近於零)，中位數表示時，其中位數為檢測不出，但求平均數時卻為0.07。

表1.3 處理水之鐵的濃度 (mg/L)

不檢出	1.2	不檢出	不檢出	不檢出	0.61
不檢出	不檢出	0.16	不檢出	不檢出	不檢出

(3)平均值(Mean)(或算數平均數)

平均數是一個經常在各種場合被使用的方法。平均數為所有觀測值的總和除以觀測值的個數。平均數在數列上代表資料的平衡點(中心)。其計算公式可依資料分組與否有下列2個：

a.未分組樣本平均數

$$\bar{x} = \frac{\text{各測量值總和}}{\text{樣本數}} = \frac{x_1 + \dots + x_n}{n}$$

$$= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

b.分組樣本平均數

在次數分配表中，資料已經分組，我們無法看到原來既有的觀測值。

$$\bar{x} = \frac{x_1 f_1 + \dots + x_n f_n}{\sum_{i=1}^k f_i} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k x_i f_i$$

其中 f_i 為各分組次數， $\sum_{i=1}^k f_i = n$ ， x_i 為每組資料組中點， k 為分組數。

(a)各數值與平均數的差之總和等於零，即

$$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) = 0$$

也就是說，測量相加後的總和，等於樣本數乘以平均數。

(b)各測量值與平均數差的平方相加總和最小。

也就是說，

$$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \text{極小值的和。}$$

當各測值量與其他任何實數常數值的差，皆比上式來得大，即當 $c = \bar{x}$ 時，

$$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 < \sum_{i=1}^n (x_i - c)^2$$

c 為任何實數。

(b)之特性，也是後面我們所要探討

的變異數(或標準差), 甚或最小平方方法的基本概念。

(a)它的優點是使用簡便, 缺點則是容易受到極端值的影響, 平常使用時應該注意。下面例1即是。

例1: 下面是84年每月測一次原水懸浮固體物(SS)的結果, 其

中6月一次濃度特別高, 若將該次納入年平均時則平均值為65mg/L, 若不納入則只有24mg/L, 相差兩倍半。此時若採用中位數(20mg/L)代表中央值, 就不會有這種不合理的現象。

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年平均	
													全部納入	6月不納入
SS(mg/L)	12	8	6	10	20	520	70	50	30	20	15	18	65	24

此外加權平均數常被使用到。

例2: 某市有A、B、C三處理廠, 流量分別為200,000、100,000、20,000 m³/日三污水廠水會合後再放流, 同一天同一人測定水中BOD濃度結果分別為20、10、5mg/L, 求放流水平均濃度, 解放流水BOD算術平均濃度為11.7 mg/L(即(20+10+5)/3=11.7)。而其加權平均數則為

$$\frac{20,000(\text{m}^3/\text{日}) \times 20(\text{mg/L}) + 100,000(\text{m}^3/\text{日}) \times 10(\text{mg/L}) + 20,000(\text{m}^3/\text{日}) \times 5(\text{mg/L})}{20,000(\text{m}^3/\text{日}) + 100,000(\text{m}^3/\text{日}) + 20,000(\text{m}^3/\text{日})}$$

$$= 15.9(\text{mg/L})$$

加權平均數以流量為權數, 是考慮BOD之質量平衡而得。

(4)幾何平均數

設x代表樣本資料的變數, 則n個皆為正數的測量值的樣本幾何平均數g為:

$$g = \sqrt[n]{x_1 x_2 \dots x_n} = \left(\prod_{i=1}^n x_i \right)^{\frac{1}{n}}$$

其中 \prod 表示連乘的意思。

幾何平均數是用來求等比數列的平均數, 如大腸菌即求大腸菌平均濃度時, 應求幾何平均數。由於上面的幾何平均數的公式不易計算, 因此在計算時, 通常是對幾何平均數先取對數。

$$\ln g = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln x_i = \frac{1}{n} (\ln x_1 + \dots + \ln x_n)$$

然後將右邊的值求出後，再取指數，即可得到幾何平均數。以上說明眾數、中位數、平均數等數字，來說明資料集中時的代表性，與概略說明一下三者之間的關係。當資料為圖1.7之情形時，我們稱資料為右偏分佈且眾數 < 中位數 < 平均數。

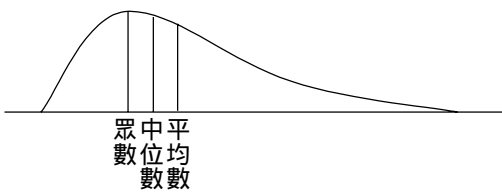


圖1.7 資料右偏分布各種中心值之關係

反之，同資料左偏分佈時，則剛好相反，眾數 > 中位數 > 平均數，若資料剛好呈現鐘形分佈時，則眾數、中位數與平均數皆相同。

4. 離散情形與精確度

為方便說明，假設我們檢測兩水廠懸浮固體物 (SS) 濃度分別為A廠：18, 22；B廠：0, 40，則利用前一節所介紹的方法，利用平均數來代表兩水廠SS之濃度時，我們可以了解，平均數皆為20。從資料與平均數來看就可以了解，A水廠的平均數有意義，因為其

水廠資料集中，最大的差異為4(即22-18=4)；但是B水廠之平均數來代表該廠之SS平均濃度時，則意義不大，因為B水廠資料之間的差異(分散)太大。所以我們在探討資料是否集中之意義時，我們也得同時考量資料本身離散的情形為何？當資料間彼此的離散度太大時，就像B水廠一樣，其平均SS濃度之代表性與精確度則不佳。

有關用來衡量資料離散情形主要的統計量有全距、變異數(標準差)。

(1) 全距(Range, 簡稱R)

全距代表一組資料中最大值減去最小值之差異範圍，即

$$R = X_{\max} - X_{\min}$$

它是以資料兩端兩者相差的大小，衡量資料整個分散程度的方法，他的優點是簡單，容易計算。由於全距考量最大與最小兩值，並未考量其他所有觀測值之變化，故可能如圖1.8一樣，(a)(b)兩個資料分布不能精確的反應與描述所觀察的全體。

(2) 總量數與標準差

平均數與標準差在統計學中與實際資料分析時，扮演非常重要的角色。

a. 分數(變異數)

以圖1.9來說明，我們可以了解曲線(a)表示其資料較為分散；反之，圖形(b)

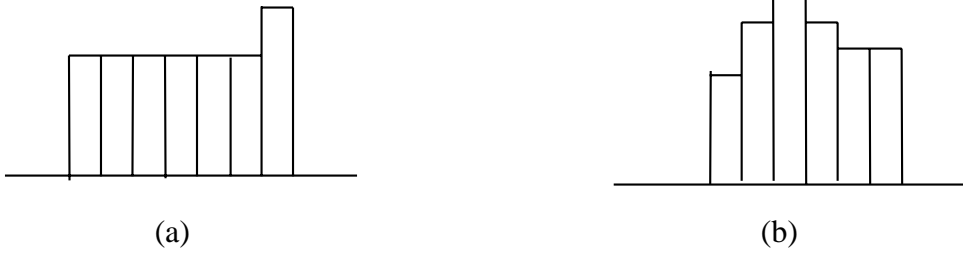


圖1.8 全距相等時的兩種分配

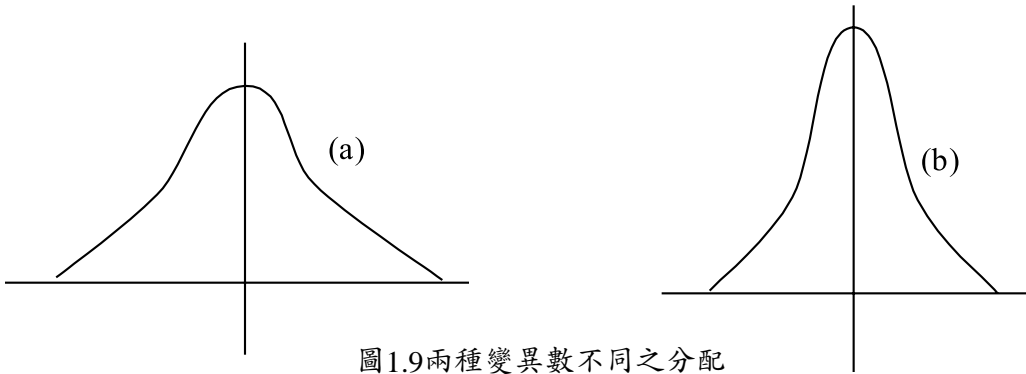


圖1.9兩種變異數不同之分配

之資料則較為集中。如何計算資料分散的情形，我們利用以下變異數公式

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 - \bar{x}^2$$

我們利用這個公式之理由與說明如下：

(a)所有觀測值與平均數之差異，來衡量分離情形，即 $(x_1 - \bar{x}), \dots, (x_n - \bar{x})$ ，其差異的和在平均數的性質a.中可以知道 $\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) = 0$ 。其觀測值與平均數之差異正負會抵銷，如此我們便無法看到各個觀測值與平均數之差異。為解決這個問題，我們就將所有觀測值平方起來： $(x_1 - \bar{x})^2, \dots, (x_n - \bar{x})^2$ 。這樣之下，所

有的差異皆為正數，如此可以衡量其差異。

(b)接下來我們將平方差的和加總起來（即 $(x_1 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$ 再除樣本數n，即為平均平方差。

(c)最後由平均數性質(2)可以得知，變異數公式中分子部份累加的和，當觀測值減去平均數後平方起來時，其值最小，也就是說，變異數即為最小平均平方差的觀念。

b.標準差

變異數分子中各測量值與平均數的差異，要取平方的目的，在清除各測量值

與平均數間的差異有正值與負值，加總後正、負值抵銷，而無法看到實際的差異。然取平方後，所有各個觀測量值與平均數之差異都變成平方倍大的差異也不對。

所以標準差即為將變異數開根號，即 $S = \sqrt{S^2}$ 。由a.與b.之說明可以了解，標準差是近似最小平均差的觀念。

即 $S = \sqrt{S^2}$ 最小平均差

若資料經過分組處理，也就是按次數分配表整理後，變異數與標準差公式如下：

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k x_i^2 f_i - \bar{x}^2$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^k x_i^2 f_i - \bar{x}^2}$$

式中， x_i 為第*i*組之組點， f_i 為第*i*組的組次數， k 為組數。我們水廠每週量測一次原水中SS之濃度，結果在表1.4。處

表1.4 水廠原水之SS濃度測值

19	20	13.7	14	22	11.3	13.3	12.7	15	12.5	15	22
11.1	9.5	18	10.3	12.2	10	16	10.3	12.3	18	19	11.8
9.1	17	11.4	18	10.3	16	15	15	18	16	21	

理其計算步驟如下：

步驟1：利用前面介紹編製次數分配表

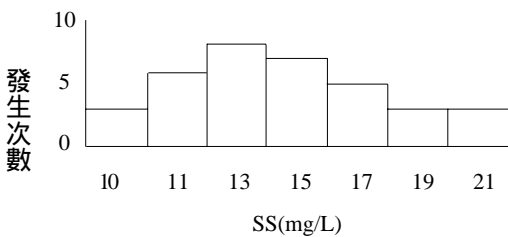


圖1.10 水廠原水SS之直方圖

的方式，繪製圖1.10之直方圖。

步驟2：將各個測量值平方與加總起來

$$\sum_{i=1}^{35} x_i^2 = 19^2 + 20^2 + \dots + 16^2 + 21^2 = 8,073.68$$

步驟3：將各個測量值加總

$$\sum_{i=1}^{35} x_i = 19 + 20 + \dots + 16 + 21 = 515.8$$

步驟4：求平均數

$$\bar{x} = \frac{1}{35} \sum_{i=1}^{35} x_i = \frac{1}{35} \times 515.8 = 14.73$$

步驟5：求變異數與標準差

$$S^2 = \frac{1}{35} \sum_{i=1}^{35} x_i^2 - \bar{x}^2 = \frac{1}{35} \times 8,073.68 - (14.73)^2 = 13.70$$

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{13.70} = 3.70$$

步驟6：結論

本自來水廠原水中SS平均值14.7 mg/L，標準差為3.7mg/L。當SS濃度變化情形成常態分佈(鐘形)分佈時，平均數 ± 1 倍標準差(11~18.4mg/L)間約含蓋68%左右的資料；當平均數 ± 2 倍標準差(7.3~22mg/L)時約包含96%左右的資料(詳細的常態分配說明將於第2章中敘述)。

平均數與標準差，這2個統計量在統計學上扮演非常重要的角色，後面幾章統計方法的應用皆與統計量息息相關。平均數代表資料集中的情形，標準差代表資料離散的情形，統計上的估計、推論與檢定，皆與此2個統計量有關。

(3)變異係數

對於不同的資料量(例如鐵、錳等濃度)與其單位可能不同之下，如何來比較呢？例如：在水質中鐵濃度平均數為0.2，標準差為0.1，與錳濃度平均值為0.03，標準差為0.042時，如何比較此2個物質相對分散的情形呢？

我們可以以變異係數(Coefficient of variation，簡稱C.V)來表示，所以鐵之濃度變異為50%，錳之濃度變異為14%，所以錳之相對分散度較小(即相

對變化較小)。

$$CV(\%) = \frac{\text{標準差}}{\text{平均數}} \times 100\% = \frac{s}{\bar{x}} \times 100\%$$

5.看電腦軟體Excel在資料分析上使用方法

若讀者有興趣瞭解詳細使用與分析可以參考參考書籍[5]中該書之介紹。

參考書籍

- 1.成然，統計學、中華電視公司教學部主編民國85年2月。
- 2.林惠玲、陳正倉，統計學：方法與應用上冊，雙葉書廊，民國85年5月。
- 3.陳文哲、楊銘賢、林隆儀，管理統計，中興管理顧問公司，民國81年9月。
- 4.楊明宗、鐘淑美，統計問題精選，民國67年2月。
- 5.Berk, K. N and Carey, P. (1998), "Data Analysis with Microsoft Excel", Daxbury Press, Pacific Grove, Ca, U.S.A
- 6.多田實、平本俊明、大場康久、香林仁司(1981)，水處理技術者のための：統計手法の手引き(I)，用水と廢水，vol.23，No.2。

「研究快訊」一

計劃名稱：現有自來水設備耐震及改善之研究（第二年）（期末報告摘要）

委託單位：台灣省自來水公司

研究單位：國立成功大學土木工程研究所

研究人員：蔡錦松、周立德、賴建名

研究期間：自民國八十六年十月一日至八十八年三月一日止

一、研究主旨與背景

台灣省自來水公司委託國立成功大學土木工程研究所進行現有自來水設備耐震及改善之研究計畫。這項延續性研究工作，本年度為工作進行第二年，研究重點在於針對地震力作用下，對於台灣地區自來水管線接頭部分的耐震檢驗。研究目的在於建立檢驗測試模式，故選擇阪神地震中受損最多的延性鑄鐵管（DIP）和台灣最常使用的聚氯乙烯塑膠管（PVC）來作為建立模式之對象。研究內容包含：1. 自來水地下管線，受地震力作用下之破壞機制相關資料蒐集。2. 地震強度與自來水管（PVC，DIP）接頭受力情況之關聯性。3. 接頭耐震設計方法與耐震標準蒐集。4. 耐震檢測設備設計與組裝。5. 接頭之耐震檢測規範與檢測方法蒐集。6. 接頭耐震檢測方式與耐震標準之初步研訂。

二、自來水管線受震損壞之行為模式

自來水管線損壞，由國內外震害調查報告顯示，可歸納出三類型：1. 接頭破壞；2. 管體破壞；3. 附件破壞。其中，接頭破壞又依受力及損壞模式，區分為以下三種模式：

1. 張力破壞：地震波使管線承受軸向張力，致管線接頭產生向外相對位移，若相對位移超過接頭容許變位，則管線將向外拔脫而損壞（如圖1所示）；耐震能力係取決於接頭容許縱向變位量。
2. 承壓破壞：地震波使管線承受軸向壓力，於接頭產生向內相對位移，若軸向相對位移超過接頭容許變位，則接頭將因相互擠壓而損壞（如圖2所示）；耐震能力係取決於接頭之容許軸向變位量。

3. 撓曲破壞：地震波使管線承受橫向力，致接頭產生相對旋轉角，若相對旋轉角超過接頭容許旋轉角，將於接頭處發生撓曲而損壞（如圖3所示）；耐震能力取決於接頭容許旋轉角。

綜合以上所述，自來水管線接頭受地震力作用下，其耐震能力係視接頭容許之軸向變位量及容許撓區角而定。

三、自來水管線與接頭受震變形量之分析計算

有關埋設於地下的線狀構造物耐震設計，以地震時地盤產生變形，而埋設管併隨地盤變形時，於管體所發生之應力及變形加以設計，即一般所稱之反應變位之耐震結果計算法。地下埋設之自來水管線之耐震設計即依循此法分析。分析計算項目包括：1.耐震設計之反應變位計算；2.埋設管受震之應力與變形；3.地下埋設管之地震應力計算法；4.埋設管受震之相對變形等管體之應力及變形資料。

四、自來水管線接頭耐震需求與規範

針對自來水地下管線，蒐集之接頭耐震需求與規範等相關資料整理如下：

4-1日本自來水管線接頭耐震需求

日本耐震需求係依據前述耐震設計計算法，可得於地震力作用下自來水管線接

頭處，於管長軸方向變位及撓曲角。另依日本國土開發技術研究中心之「地下埋設管路耐震接頭技術基準（案）」亦提供一簡易計算法，可由接頭伸縮量簡易計算圖表求得受震時之接頭伸縮量。亦可由接頭撓曲角簡易計算圖表，求得受震時接頭之撓曲角。

4-2中國大陸自來水管線接頭耐震要求

中國大陸「室外給水排水及煤氣熱力工程抗震設計規範」，提出的地下管道抗震計算法，是總結在中國大陸海城、唐山地震震害經驗的基礎上，參考國外有關資料提出之耐震要求。

4-3 台灣地區自來水管接頭耐震設計與檢測試驗基準研擬

由於日本地理環境與台灣相似，因此本研究初步暫擬採用前述日本國土開發技術研究中心（1977）之「地下埋設管路耐震技術準則（案）」中，提出之接頭伸縮量與撓曲角簡易計算圖表作為參考藍本，同時採用台灣目前新修正之「建築技術規則建築構造篇（1996）」中，耐震設計條文要求之地震外力進行修訂，做為本地自來水（或者其他地下埋設管線）接頭耐震要求標準以及耐震檢測試驗之基準。包括針對台灣地震外力分區圖之一甲區、一乙區、二區三區等四個等級（如圖4所示）

，分別訂出設計地表加速度。再提出台灣地區自來水地下埋管接頭耐震設計與檢測試驗基準簡易計算圖表（圖5與6）。應用前，建議先進行地質鑽探，並作標準貫入試驗或現地地層剪力波傳試驗（地物探測試驗），抑或是其他相關試驗，來了解埋設地區之（1）土層厚度以及（2）地層剪力波傳速度。為了估計土層厚度，必先研判土層之最終深度；即土層之基盤面。而土層基盤面亦可依據建築技術規則所定義者。其次，為了明瞭地層剪力波傳速度，一般是採用標準貫入試驗來進行估計。最後依Seed等人（1975）建議之不同地震規模相應之外力往復荷載次數，提出建議值，可計算接頭耐震與檢測基準。

五、自來水管線接頭耐震檢測試驗

耐震檢測試驗研擬，係透過實際足尺寸結構試驗，針對前述地震之相關受力機制，測試接頭是否能具備足夠之伸縮變形、及撓曲變形之檢驗，並初步研擬檢測試驗方法，作為日後自來水管線接頭耐震設計分析參考之用。本研究選擇以下列管徑之接頭進行10組（如表1所示）實際足尺寸試驗：

1. PVC P：分別為100mm，200mm（A管，膠接接頭，如圖7所示）
2. DIP：分別為200mm，300mm（A型接頭管，如圖8所示）

相關試驗設備主要包含（1）荷載力施加設備以及（2）試驗數據擷取設備兩大部份。試驗裝置為模擬地震時可能發生之往復受力機制，需符合下列三項考量要求：1. 固定水壓；2. 往復荷重；3. 試體額外補強。

試驗檢測結果可以推論，PVC P和DIP反復軸向荷載測試時，其組成材料性質屆臨破壞前，大致都還在其材料彈性範圍內，簡明相關測試結果整理如表2所示。

六、相關試驗研究比較與討論

國內外針對自來水管線採延性鑄鐵管（橡膠墊圈接合）接頭，考慮地震作用下之「實體試驗」研究，目前仍屬罕見。僅美國亞利桑那州立大學Singhal教授等人，探討延性鑄鐵管受震情況與接頭滑脫導致破壞之三種力學機制。

參考國外學者之研究成果，雖然面對相同問題，不過所研究的對象卻有相當差異。以Singhal等人過去研究而言，其所試驗之延性鑄鐵管接頭形式與本地所使用者大不相同。因此，其所提出之研究成果，應只能做為重要參考，國內研究重點應該仍然在於「本土化」與「實用性」，方能解決我們自己的問題。

總之，地下自來水管接頭耐震試驗，由本次研究以及國外所完成的經驗而言，

尚有許多重點必須再投入更多的研究予以探討。檢視前人所完成的各項試驗，顯然在(1)端點束制條件(2)往復外力作用以及(3)埋設深度三方面，不論在基礎研究方面，甚或實務研究方面俱未達成一定程度。由於欲達成此研究重點所需研究計畫經費與規模較大，建議後續研究能針對這些要點，提供適當之研究規模來執行。

七、結論與建議

本研究之主要目的在於研擬地下自來水管線接頭之耐震檢測方法。本年度研究成果重點，大致在於達成以下兩項目標。

(1) 擬定自來水管線在不同地震情況

下之耐震標準。依據各地地質情況(地層厚度與土壤剪力波速)，以及該地區所屬震區所需之耐震程度(地表地震加速度)，針對選定之管線單位長度，可決定接頭所應有之延展長度以及彎折角度。

(2) 擬定管線接頭耐震檢測方法。依據本研究擬定之試驗設備，試體準備方法，量測方式以及試驗方法與流程，可按步驟檢驗特定管線接頭之耐震程度(現階段，以軸向拉伸-壓縮試驗為主)。

建議後續研究，應以本階段研究初步成果作為基礎，適度增加並擴大研究規模，將自來水管線接頭耐震準則研究，進一步推展至更完整的境界。

表1自來水管接頭耐震試驗

管材種類	管徑 mm	試驗編號	試驗項目	試驗內容說明
PVCP	100	S-1	管材抗壓試驗	管內最大水壓= 0kgf/cm ²
		S-2	接頭頂水伸張試驗	管內最大水壓= 10kgf/cm ²
		S-3	接頭往復荷載試驗	管內最大水壓= 10kgf/cm ²
	200	S-4	管材抗壓試驗	管內最大水壓= 0kgf/cm ²
		S-5	接頭頂水伸張試驗	管內最大水壓= 10kgf/cm ²
		S-6	接頭往復荷載試驗	管內最大水壓= 10kgf/cm ²
DIP	200	S-7	接頭頂水伸張試驗	管內最大水壓= 接頭滑脫壓力
		S-8	接頭往復荷載試驗	管內最大水壓= 10kgf/cm ²
	300	S-9	接頭頂水伸張試驗	管內最大水壓= 接頭滑脫壓力
		S-10	接頭往復荷載試驗	管內最大水壓= 10kgf/cm ²

表2自來水管接頭耐震試驗檢測簡明結果

管材種類	管徑 mm	試驗編號	試驗項目	試驗結果
PVCP	100	S-1	管材抗壓試驗	抗壓強度約5公噸
		S-2	接頭頂水伸張試驗	接頭幾乎不動
		S-3	接頭往復荷載試驗	無法承受台灣現行耐震規範要求之地震破壞力
	200	S-4	管材抗壓試驗	抗壓強度約23公噸
		S-5	接頭頂水伸張試驗	接頭幾乎不動
		S-6	接頭往復荷載試驗	無法承受台灣現行耐震規範要求之地震破壞力
DIP	200	S-7	接頭頂水伸張試驗	接頭持續滑脫最小 0.45kgf/cm^2 , 最小持續滑脫伸張力約 150kgf
		S-8	接頭往復荷載試驗	足以承受台灣現行耐震規範要求之地震破壞力
	300	S-9	接頭頂水伸張試驗	接頭持續滑脫最小 0.35kgf/cm^2 , 最小持續滑脫伸張力約 250kgf
		S-10	接頭往復荷載試驗	足以承受台灣現行耐震規範要求之地震破壞力

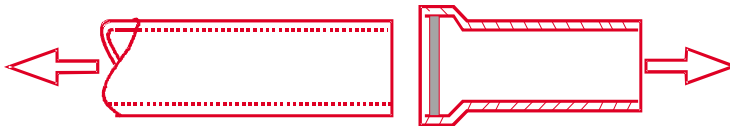


圖1自來水管線接頭張力破壞示意圖

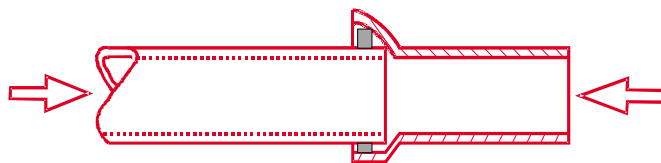


圖2自來水管線接頭承壓破壞示意圖

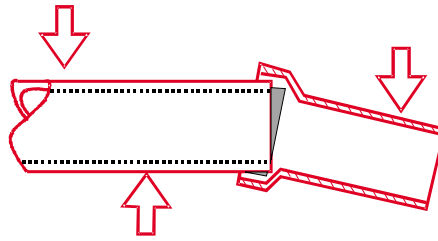


圖3自來水管線接頭撓曲破壞示意圖

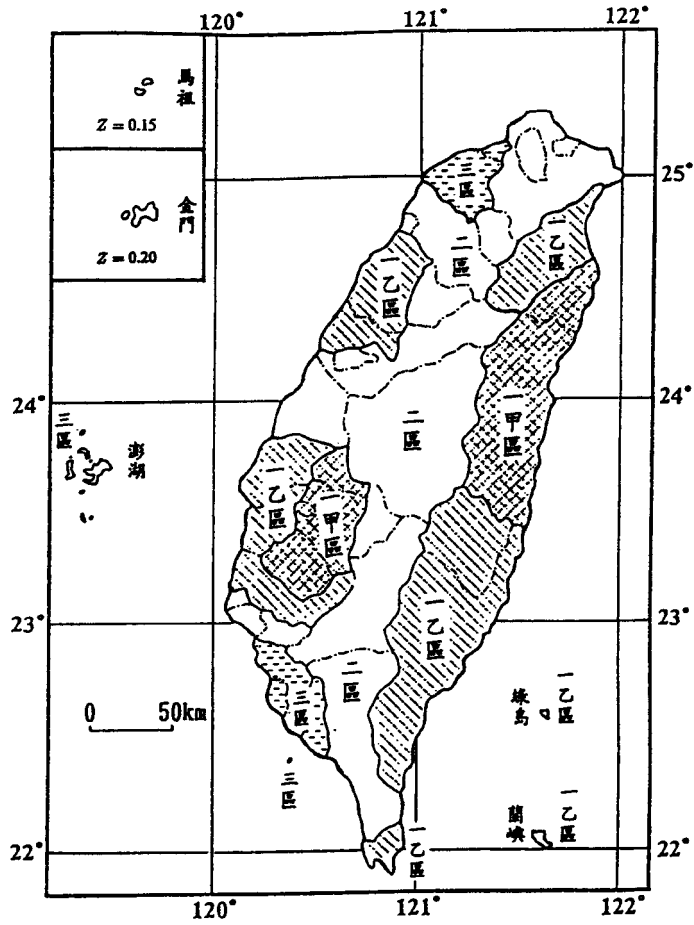


圖4台灣地區震區劃分圖

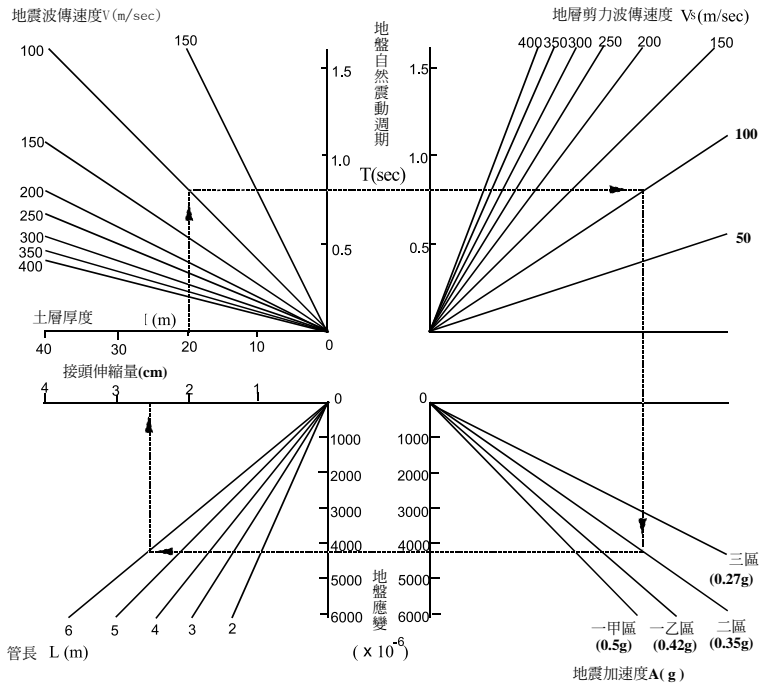


圖5台灣地區自來水地下埋管接頭耐震伸縮量簡易計算圖表

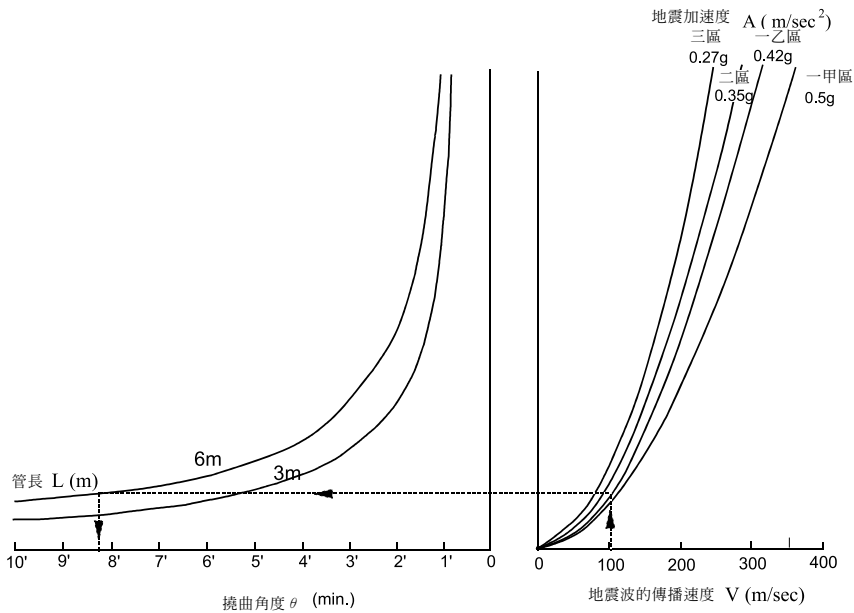


圖6台灣地區自來水地下埋管接頭耐震撓曲角度簡易計算圖表

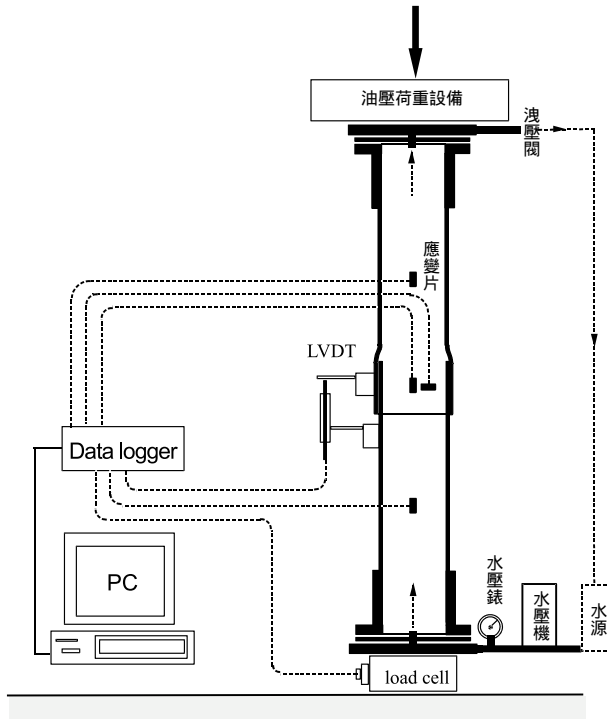


圖7 PVC管接頭耐震檢測試驗儀器配置圖

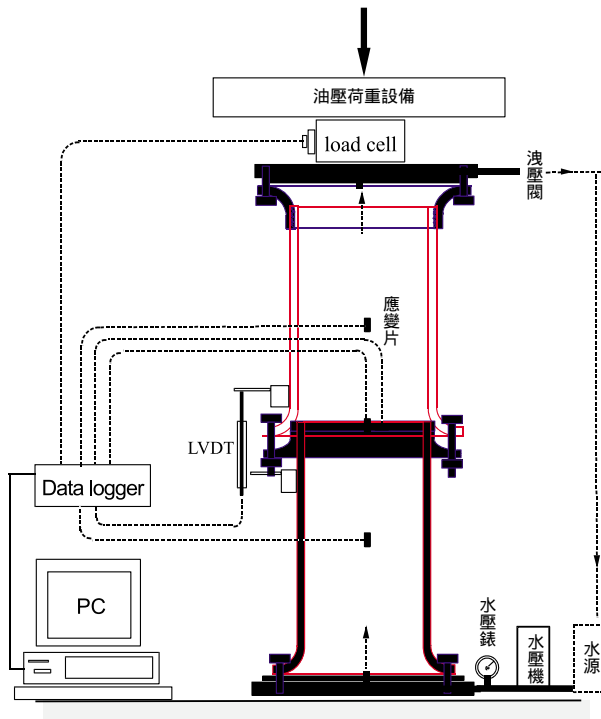


圖8 DIP管接頭耐震檢測試驗儀器配置圖

「研究快訊」二

計劃名稱：澄清湖高級淨水處理模型廠試驗研究（第一年）（期中報告摘要）

委託單位：台灣省自來水公司

研究單位：國立成功大學環境工程系

研究人員：葉宣顯、鄭幸雄、曾怡禎、林財富、林昇衡、蔡木川、向西蘭、廖雅齡等

研究期間：自民國八十七年六月廿五日至民國八十八年六月廿四日止

一、研究要旨

於澄清湖淨水場內建立模廠，主要處理流程有二，一為現有之混凝、沉澱、砂濾（或／及粒狀活性碳（GAC）吸附）及後氯之傳統淨水程序（以下簡稱流程I）。目的在探討取消前加氯，藉提高淨水單元內之生物活性之方式，來增進對氨氮及有機前質之去除。另一為包括生物硝化、前臭氧、混凝、沉澱、砂濾、後臭氧、結晶軟化、粒狀活性碳（GAC）吸附及後氯之完整淨水流程（以下簡稱流程II）。另外亦將流程I及流程II之砂濾床出水，導引經NF（nanofiltration）薄膜單元處理，以視其對有機物及硬度之進一步去除效果。整個模廠試驗之目的，在評估各單元之處理效果，比較各流程間之優劣點，以提供該場提昇淨水程序時之參考。

二、研究計畫進行過程

在本研究計畫開始的前幾個月，研究小組會同模廠承建單位工業技術研究院化學工業研究所，在國外設備供應商之協助下，花很大的精力與時間在修改與調整模廠各單元硬體上未盡理想之處，同時解決流力上不順暢的地方。其中較重要者有：（1）慢混池膠凝機槳板面積之改善，以提供適當之攪拌強度G值。（2）快濾池濾料之更換，以符合原設計之規格。（3）快濾池流量不穩定現象之改善。（4）臭氧系統氣體洩漏及臭氧進流量無法維持穩定之改善。（5）結晶軟化流體化槽直徑太大之改善。（6）NF薄膜系統偵測設備之改善。

大約自87年10月份起，兩個流程均能順利的運轉，並定期採取水樣分析。其中

傳統水質檢驗項目由水公司第七區管處理檢驗室協助分析。特殊之項目如NPDOC、溴離子、溴酸鹽、藻類等，則由研究小組自行分析。

三、目前初步之研究結果

流程 I 及 II 在較實廠為高之混凝劑加量（平均加量約80mg/L液體硫酸鋁）下，於雙層濾料濾床之濾率維持在200公尺/日，出水濁度均可符合95%以上時間低於0.3NTU，而全部時間低於1NTU之美國環保署最新水質標準，以確保原生動物如Giardia及Cryptosporidia之孢子不致貫穿。但流程 II 因有前臭氧（加量2mg/L）之關係，濾床出水濁度更低於流程 I，且對藻類之去除率，也高於流程 I。

氨氮（ $\text{NH}_4\text{-N}$ ）方面，在本試驗期間內，澄清湖原水氨氮值均低於1mg/L，故生物硝化床係獨立於流程 II 之外單獨運轉。但流程 II 雙層濾料濾床之出流水氨氮值均已低於0.05mg/L，而流程 I 相對應濾床出流水之氨氮值，卻偶有高於0.1mg/L之情形，後續研究將注意追蹤。其餘氮化合物，如亞硝酸鹽氮（ $\text{NO}_2\text{-N}$ ），流程 I 及 II 均可完全去除，而硝酸鹽氮（ $\text{NO}_3\text{-N}$ ）亦均遠低於飲用水水質標準。

有機物方面，在本試驗期間內，澄清湖原水之溶解性有機物含量不高，NPDOC值小於1mg/L。流程 I NPDOC之

總去除率約20%左右，高於實廠之去除率。主要之原因在於前加氯之取消，故使有機物在混凝、沉澱程序中有較高之去除率。而流程 II NPDOC之總去除率可達90%，除混凝、沉澱外，後臭氧—GAC吸附床亦為主要之去除單元。至於清水之總三鹵甲烷（TTHM）方面，流程 II 清水之TTHM大多低於偵測極限（0.2~0.3 $\mu\text{g/L}$ ）即使流程 I 僅將加氯點移至清水池後，TTHM值（2~10 $\mu\text{g/L}$ ）亦遠低於實廠值（21~36 $\mu\text{g/L}$ ）。

結晶軟化方面，試驗之初，因軟化槽斷面積太大，維持適當流體化所需流量，超過系統所能供應者，因此採用將軟化水迴流之方式，結果硬度雖有降低，但結晶效果卻不佳。後將槽斷面積縮小，高度增加，在不迴流之情況下，於流體上升速度100公尺/小時，pH值維持在9.0左右，可得良好之結晶及硬度去除。總硬度平均去除率約50%，其中以鈣硬度之去除（約67%）為主，遠高於鎂硬度之去除（約20%）。然軟化後，總溶解固體物（TDS）之降低甚為有限。

NF薄膜程序方面，本試驗期間主要引流程 I 雙層濾料濾床之出流水為NF系統之進流水，經加酸調降pH值至6.2左右，經5 μm 匣式過濾器前處理後，由高壓泵打入NF膜管，進流壓力約在5kg/cm²左右，回收率定在75%。試驗數據顯示

NF對總硬度及TDS之去除率約在87%左右，對NPDOC之去除率約75%左右，故NF出流水之TTHM值在 $0.3 \mu\text{g/L}$ 以下，濁度平均值約 0.04NTU ，口感上亦為最佳者。但因由藻類或其他因素所引起之阻塞（fouling）問題嚴重，濾程僅有3~4天長，技術上有待克服。



四、後續研究重點

下半年除繼續模廠整體之操作運轉外，研究重點將包括下列幾項：



(1) 藻類為目前澄清湖原水臭味之主要來源，亦為程序操作上之主要問題，將

研究如何提昇第一及第二流程藻類之去除效率。

- (2) 臭氧加量對後續處理程序之影響。
- (3) 不同前處理，如有、無臭氧及軟化程序，及空床接觸時間（EBCT）對GAC濾床功能之影響。
- (4) 不同前處理，如有、無前臭氧及砂濾，對結晶軟化單元功能之影響。
- (5) 結晶軟化槽出水繞流後面之砂濾床，直接對進入GAC濾床之行性。
- (6) 薄膜前處理程序之加強，如以MF、UF或其他單元做為現有NF之前處理，以使NF單元能正常運轉。



本刊「研究快訊」專欄竭誠歡迎委託研究單位，或受託研究單位踴躍提供目前正進行之各項研究計劃期初、期中或期末報告摘要（依本欄之格式撰寫），以期自來水界之人士了解國內各項最新研究之情形。



「研究快訊」三

計劃名稱：雙層濾料提高快濾池處理性能之模型場實驗（第二年）
（期中報告）

委託單位：台灣省自來水公司

研究單位：淡江大學水資源及環境工程學系

研究人員：康世芳、王根樹、廖志祥、湯可弘、徐志宏、李佑昇

研究期間：自民國八十七年十月一日至民國八十八年九月三十日止

一、研究主旨

環保署新公告「飲用水管理條例」飲用水標準中，現行濁度標準4 NTU將改為2 NTU，且自民國89年12月1日施行；同時原水受有機物污染時，淨水場於傳統處理流程中，(1)於過濾池改變濾層構造為雙層、三層濾料以改善濁度去除效果，及(2)以粒狀活性碳（GAC）敷設於石英砂上方，形成GAC-石英砂兼具過濾與吸附功能之雙層過濾去除DOC之效果，利用既有過濾池，改變濾料種類及濾層構造，以提高清水水質之處理技術，對受限於用地面積台灣地區淨水場而言，須於淨水場設置模型廠以實際沉澱水應證其效果。故本研究目的為：

1. 收集整理國外GAC-石英砂、多層濾料過濾之應用實例或研究報告。
2. 石榴石填充厚度對三層濾料過濾性

能之影響。

3. 濾速對三層濾料過濾性能之影響。
4. GAC種類對GAC-石英砂過濾去除DOC之影響。
5. 操作時間對GAC-石英砂過濾去除DOC之影響。
6. 綜合評估GAC-石英砂及多層(雙層、三層)濾料過濾應用於改善板新淨水場過濾性能之效果。

二、實驗材料與方法

1. 多層濾料過濾

本研究以石英砂、無煙煤及石榴石等濾料，組成雙層及三層濾料過濾，各濾料之有效粒徑及均勻係數如表1所示，依實驗條件組合不同濾料填充厚度，而濾層總厚度維持於70 cm及90 cm，此乃因分別模擬板新淨水場一期工程雙層濾料過濾濾層

70 cm與三期工程單層濾料過濾濾層90 cm。過濾進流水依板新淨水場現場設施操作狀況，採一期或三期工程沉澱水為過濾進流水。過濾模型廠採透明壓克力製過濾筒，其尺寸為內徑10 cm，高度為3 m。過濾期間損失水頭及進出流水濁度分別以壓力感應器及濁度監測器（HACH 1720C）連續監測，並直接線上記錄於電腦。實驗濾程依達可利用損失水頭或濾程為48-72小時而定，濾速控制採自然平衡方法。

2. GAC-石英砂過濾

GAC-石英砂過濾實驗之GAC乃採用Calgon GAC F-300，其有效粒徑及均勻係數如表1所示，分別為0.8 mm及1.3。以等溫吸附實驗及Freundlich等溫吸附公式，評估GAC F-300對板新一期沉澱水之吸附能力。等溫吸附實驗之GAC經研磨，採用粒徑0.74 μm 以上，以等溫振盪器於25 $^{\circ}\text{C}$ 及100 rpm轉速，震盪接觸時間為7天。同時以迷你管柱實驗（RSSCTs）預測模型廠GAC-石英砂過濾之GAC採作時間，RSSCTs實驗採內徑4 mm玻璃管，填充GAC有效粒徑0.127 mm或0.0895 mm。實驗期間不定期採水測定，經0.45 μm 過濾後，以TOC分析計（Shimadzu TOC 500A）測定DOC，以分光光度計（Jaseca UVA-520）測定於波長245 nm之吸收值為UV₂₅₄。

三、初步研究成果

本研究至1999年3月共計進行，多層濾料過濾計10個試程（30個過濾條件）與GAC/石英砂過濾吸附相關實驗，針對板新淨水場一期工程或三期工程沈澱水、過濾出流水，檢討去除濁度與DOC之影響因素，初步結果分述如下：

1. 板新淨水場水質特性

板新淨水場於87年8月至88年3月期間，每月不定期採取一期工程各單元出流水，測其DOC及自由有效餘氯。原水平均DOC變化範圍為0.79-1.72 mg/L，平均值為1.07 mg/L；沈澱池出流水平均DOC濃度為0.95 mg/L，砂濾池出流水DOC平均濃度為0.86 mg/L，故混凝沈澱與過濾對於DOC的去除率分別為11 %與10 %顯示傳統混凝、沈澱、過濾淨水程序DOC去除率約為20 %。一般傳統淨水程序對於水中腐植質的處理效果為10-50 %，且所去除的部份為高分子量疏水性腐植酸。此外由原水DOC範圍為0.79-1.72 mg/L，顯示一期工程原水DOC濃度屬低污染，此結果與國內既有之調查結果相似。

一期工程加氯乃同時施行前加氯及後加氯消毒，以維持配水系統所要求之自由有效餘氯，由於GAC會吸附水中自由有效餘氯，可能會增加後加氯之需氯量。沈

澱池出流水自由有效餘氯變化範圍為0.21-0.53 mg/L，平均濃度為0.33 mg/L，砂濾出流水自由有效餘氯變化範圍為0.15-0.23 mg/L，平均為0.19 mg/L。板新淨水場水質檢驗室長期監測沈澱池出流水自由有效餘氯平均濃度為0.4 mg/L。

2 多層濾料過濾

板新淨水場一期與三期工程之沉澱池型式分別為普通化學沉澱池與污泥氈型高速膠凝沉澱池，一般一期工程沉澱水內控制為5 NTU以下，實驗期間一期沉澱水濁度變化範圍為1.6-12.2 NTU，平均值變化範圍則為2.4-9.8 NTU；三期沉澱水則濁度高達7.0-32.1 NTU，平均值為13.1 NTU。本研究以沉澱水濁度5.0 NTU以下為低濁度，5.0-20 NTU之間為中濁度，檢討多層濾料改善水質之效果。

一期工程沈澱水若能維持於5.0NTU以下時，雙層濾料可與三層濾料得到相同過濾水質，故考慮使用雙層濾料即可。但當沈澱水大於5NTU以上時，三層濾料於濾速200 m/日以下時可較雙層濾料得較佳過濾出流水質，且對中濁度（5-10 NTU）而言，填充5 cm石榴石即可達改善水質效果。若濾速300 m/日時，三層濾料過濾意亦有濁度貫穿及濾程縮短之缺點。三層濾料水頭損失較雙層濾料高，對沈澱水濁度較高時，三層濾料使用與否，須視淨水場

過濾出流水目標水質、濾速、濾程及可用損失水頭而定。

3 GAC-石英砂過濾吸附

板新淨水場一期沉澱水為GAC-石英砂過濾吸附之進流水，其DOC變化範圍為0.8-1.6 mg/L，於1998年9月至1999年2月計5次取樣，進行等溫吸附，DOC濃度變化範圍為1.10-1.60 mg/L，由於DOC濃度低，故Freundlich等溫吸附公式之相關係數(R^2)值低，約為0.27-0.63，隨DOC濃度愈高 R^2 值有愈高傾向，且GAC吸附DOC能力隨DOC初始濃度增加而增加。沉澱水經減壓濃縮後，以DOC 3.70 mg/L之等溫吸附結果，Freundlich吸附公式($\text{Log}(X/M)=1.98 \text{ Log}C+1.09$ ，相關係數為0.92)，n值為1.98，n值大於1，顯示Calgon F-300有助於吸附板新沉澱水中之DOC。

迷你管柱實驗結果顯示板新淨水場DOC不可吸附部份，即初期便貫穿DOC部份約佔進流水DOC 20-40%。GAC-石英砂雙層濾料過濾填充厚度70 cm，以出流水DOC為進流水DOC之70%為貫穿依據，則GAC填充厚度10、20、30 cm (即石英砂60、50、40 cm)時，每克GAC能處理水量為60、70、75公升。同時51組DOC與UV₂₅₄水質資料顯示兩者相關性為： $\text{UV}_{254}=0.006\text{DOC}+0.007$ ($R^2=0.53$)。

GAC-石英砂雙層濾料過濾於200 m/day濾速，傳統石英砂過濾DOC去除率僅為15%，目前操作5天之結果，顯示GAC填充厚度10、20、30 cm之DOC去除率分別為40%、50%、60%，顯示可改善DOC，即去除三鹵甲烷有機前質，今後將繼續通水，以了解GAC填充厚度與操作時間之關係。

四、今後研究方向

板新淨水場沈澱水濁度大多低於5-10 NTU，不易明確檢討多層濾料對高濁度沈澱水之處理能力之影響，及GAC-石英砂過濾吸附貫穿需較久操作時間，綜合初

步研究結果及期中報告審查意見後續研究項目擬定如下：

- (1)統計板新淨水場近年來沉澱水濁度變化範圍。
- (2)以板新淨水場三期沉澱水為過濾進流水，探討高分子混凝劑作為助濾劑改善快濾池功能之效果。
- (3)試算多層濾料不同構造所需濾料費用。
- (4)探討多層濾料濁度抑留分布情形。
- (5)GAC/石英砂過濾吸附、GAC填充厚度、與GAC種類對DOC去除之影響。
- (6)以迷你管柱實驗預測模型廠操作時

本研究與板新淨水場快濾池濾料特性表

項目	本研究	板新一期	板新三期
無煙煤, ES	1.0 mm	1.0 mm	-
UC	1.3	1.45	-
石英砂, ES	0.6 mm	0.45 mm	0.9 mm
UC	1.4	1.5	1.5
石榴石, ES	0.25 mm	-	-
UC	1.4	-	-
GAC, ES	0.8 mm	-	-
UC	1.3	-	-
填充厚度	依實驗條件 70 90 cm	無煙煤25 cm 石英砂45 cm	石英砂90 cm
出水量	-	30萬 CMD	60 90萬 CMD

註：(1) ES、UC，分別為有效粒徑、均勻係數。
(2) GAC為粒狀活性碳，Calgon公司F-300型

近期國內、外與自來水有關之研討會訊息

名 稱	時 間	地 點	主辦單位/聯絡方式
第十六屆自來水研究發表會	1999/11/16	台北市	臺北自來水事業處 史午康主任 TEL: 02-22737476 FAX: 02-22737477
AWWA annual Conference Water Quality Tech. Conf.	1999/6/20-24 1999/10/31-11/3	Chicago, Ill. Tempa, Fla.	AWWA,6666 W.Quincy Ave.,Denver,CO 80235 Elaine Youngren TEL: 303-794-7711~6161 http://www.awwa.org .
International Symposium on Cryptosporidium & Emerging Waterborne Pathogens	1999/8/29-9/1	Milwaukee, Wis.	
Distribution System Symposium .	1999/9/19-22	Reno, Nev.	
Water Resources	1999/9/26-29	Norfolk, Va.	
Water Reuse	2000/1/30-2/2	San Antonio, Texas	
22nd IWSA World Congress and Exhibition	1999/9/18-24	Buenos Aires, Arg.	IWSA Secretariat 1 Queen Anne's Gate, London, SW1H 9BT, UK TEL:+44-171-957-4567 FAX:+44-171-222-7243 E-mail:iwsa@dial.pipex.com
IWSA Specialised Conf. And IWSA Biennial Conf.	2000/6/3-6	Paris, France	
AQUATECH 2000	2000/9/26-29	Amsterdam, Netherlands	Amsterdam RAI, PO BOX 77777, 1070 MS Amsterdam, the Netherlands TEL:+31-2-5491212 FAX:+31-2-6464469
IAWQ/IWSA Conference on Removal of Humic Substance	1999/6/24-26	Trondheim, Norway	IAWQ, Duchess House , 20 Mosons Yard, Duke Street, St James's, London , SW1Y6BU, UK. TEL:+44-0-1718398390 FAX:+44-0-1718398299 E-mail:info1@iawq.org.uk

Helsinki DAF' 2000. Conference	2000/9/11-13	Helsinki, Finland	Mr.Eero Teerikangas, Finnish Water and Waste Water Works Assoc. Ratavartijankatu 2A, 00520 Helsinki, Finland Fax:+358-9-1-484750 E-mail:daf@vvy.fi
China Watertech99- International Exhibition For Water Technology & Equipment	1999/10/5-6	Beijing , China	Business & Industrial Trade Fairs, Unit 1223,12/F Hong Kong International Trade & Exhibition Centre, 1 Trademart Drive, Kowloon Bay,Hong Kong TEL:+852-28562633
Conference on Desalination	1999/12/2-3	India	Dr. B. Misra, Desalination Division, BARC, Mumbai 400085, India. Tel:+91-225505184 Fax:+91-225505151 E-mail:bmmisra@magnum.barc.ernet.in
International Conference On Membranes	2000/10/3-6	Paris, France	Jean-Michel Laine,Centre International de Recherche Sur l'Eau et l'Environnement, 38 rue du President Wilson, 78230 Le Pecq,France Tel:+33-1-34802345 Fax:+33-1-34800901
12th IWSA-ASPAC Regional Conference and Exhibition	2000/11/10-12	Chiangmai, Thailand	IWSA-ASPAC Reional Conference Secretariat, 400 Prachachuan Road, Lak Si District, Bangkok,10210,Thailand Tel:+662-5039816 Fax:+662-5039493

世界主要城市／地區每戶年平均水費
與每人國民生產毛額比較

城市 地區	每戶年平均水費	國民所得	每戶年平均水費與國民所得比值	備 註
雪梨	185	20740	0.89	本表取材自國際自來水協會(IWSA)統計及經濟委員會1997年資料，係假設每戶每年平均使用200立方公尺自來水。
維也納	349	26220	1.33	
布魯塞爾	360	25952	1.39	
渥太華	339	19123	1.77	
香港	114	16859	0.68	
臺灣	56	10555	0.53	
哥本哈根	268	31392	0.85	
赫爾辛基	170	22806	0.75	
里昂	356	25558	1.39	
紐約	176	27582	0.64	
羅馬	65	18537	0.35	
東京	233	34738	0.67	
阿姆斯特丹	239	24000	0.99	
新加坡	80	25497	0.31	
澳門	104	17041	0.61	
馬德里	170	13800	1.23	
斯德哥爾摩	173	27511	0.63	
日內瓦	449	40769	1.10	
倫敦	281	17710	1.59	

中華民國自來水協會

入 會 申 請 書

收件日期		年 月 日		<div style="float: right; border: 1px solid black; padding: 2px;"> 發 會 員 證 號 碼 </div>															
收件編號																			
姓名	中文			別	性	籍	省	縣	出	前	黨	籍	粘 貼 相 片 處 (另浮貼一幀，以 便審查通過，繳清 入會費後，填發會 員證之用。)						
	英文													號	別	貫	市	市	生
身份證號碼																			
學 歷	校(院)名		系(科)別		起 訖 年 月		畢 業 或 肄 業		學 位		考 試		考 試 名 稱		屆 別 或 舉 行 年 月		證 書 字 號		
經 歷	自	至	所 任 工 作 詳 細 記 載										小 計		現 職	服 務 機 關			
	年	月											年	月		年 數	月 數	職 稱	
									通 訊 錄	機 關 地 址		本 人 住 所		永 久 通 訊 處					
	總	計								聯 絡 電 話		公 務 :		自 宅 :					
入 資 會 歷 介 證 紹 明 人	姓 名	會 證 員 號	詳 細 通 訊 處				簽 章		申 請 人 會 資 格 適 用 第 六 條 第 款 附 會 籍 登 記 (由 本 會 填 註)	審 議 號 數		附 納 費 登 記 (由 本 會 填 註)		入 會 費		年 月 日		備 註	
										年 月 日				年 月 日		常 年 會 費	年 月 日		
			電 話 :		年 月 日		第 屆 第 次 理 事 會 議			永 久 會 費	年 月 證 號								
			電 話 :		年 月 日		入 會 地 區			自 由 捐 獻									

83. 1. 2,000

申 請 人 :

(簽 章 蓋 章)

年 月 日

中華民國自來水協會章程（摘要）

中華民國八十二年十一月三十日第十二屆第四次會員代表大會修正通過
內政部八十二年十二月廿二日台（82）內社字第八二二八七二 號函准予備查

第五條：本會會員分為個人會員、團體會員、名譽會員等三種。

第六條：凡合於左列各款之一者，由個人會員二人之證明介紹申請入會，經理事會審查通過，得為本會個人會員。

- 一、專科以上學校畢業或高考或相當高考及格從事有關自來水工作者。
 - 二、高級職業學校相關學科畢業或普考或相當普考及格從事有關自來水工作一年以上者。
 - 三、高級中學或職業學校畢業，從事有關自來水工作二年以上者。
 - 四、從事有關自來水工作五年以上，具有成績者。
 - 五、現任自來水工程與器材之企業機構負責人具有聲譽者。
- 前項所稱有關自來水工作者；具有成績者；具有聲譽者；以及相關學科之範圍界定，由理事會定之。

第七條：有關自來水機關或自來水管理經營工程與器材企業機構具有聲譽，由本會團體會員二人之介紹，經理事會之審查通過，得加入本會團體會員。團體會員按其規模大小分甲、乙、丙、丁、戊五級其分級標準由理事會定之。

團體會員依其分級標準推派會員代表大會代表人數如下：

- (1) 甲級：七人。
- (2) 乙級：五人。
- (3) 丙級：三人。
- (4) 丁級：二人。
- (5) 戊級：一人。

第八條：凡對自來水事業或學術有特殊貢獻者，由個人會員十人以上之署名推薦，經理事會通過，得為本會名譽會員。

第九條：本會會員有左列權利：

- 一、表決權、選舉權、被選舉權與罷免權。每一會員為一權，但名譽會員則無上述權。
- 二、享受本會所舉辦各種事業之權利。
- 三、得在本會業務範圍內請求協助。
- 四、其他應享之權利。

第十條：本會會員有左列之義務：

- 一、遵守本會章程及決議案。
- 二、出席各種應出席之會議。
- 三、擔任本會推選或指派之任務。
- 四、繳納會費。

第十一條：本會會員有違反法令章程或不遵守會員代表大會決議時得經理事會決

議予以警告或停權處分，其危害團體情節重大者得經會員代表大會決議予以除名。

第十二條：會員得以書面敘明理由，向本會申請退會。但其欠繳二個年度之會費，經本會函催二次仍不清繳者，其會員資格以自然喪失論。

第十三條：本會經費來源如左：

- 一、入會費：由會員於入會時繳納之，其標準為個人會員新台幣三〇〇元，團體會員新台幣一〇〇〇元，名譽會員免繳之。
 - 二、常年會費：由會員按年繳納之。其標準為個人會員新台幣三〇〇元。如一次繳納者，則為新台幣三、〇〇〇元。團體會員其屬民有自來水管理經營工程與器材企業機構，年按新台幣五、〇〇〇元以上之原則。公設機構年按新台幣一、〇〇〇元以上之原則繳納之。
- △會員之被除名或退會或喪失會員資格者，已繳會費概不退費。

附錄：中華民國自來水協會會費計收準則

中華民國八十二年九月四日修正通過
第十二屆理監事會第十二次聯席會議

- 一、本準則依據本會章程第七及三十三條之規定訂定之。
- 二、凡加入本會為會員者，除名譽會員外，應按左列標準，一次繳納入會費。
 - 甲、個人會員：為新臺幣參佰元。
 - 乙、團體會員：為新臺幣壹仟元。
- 三、凡本會，除名譽會員外，應按年繳納常年會費，其標準如左：
 - 甲、個人會員：新臺幣參佰元；如一次繳納參仟元者，可永久免繳會費，並由本會發給證書。
 - 乙、團體會員：
 - (一) 自來水事業機構各按當年決算售水量計算；但先按上年度決算數字每年分上（三月）下（九月）兩期各繳半數，並於決算後多退少補。
 - 子、年售水量在十萬公噸以下者，概為新臺幣壹千元。
 - 丑、年售水量超過一十萬公噸一百萬公噸以下者，每增加一十萬公噸加收新臺幣五百元。
 - 寅、年售水量超過一百萬公噸一千萬公噸以下者，每增加一百萬公噸加收新臺幣一千五百元。
 - 卯、年售水量在一千萬公噸以上者，每增加一百萬公噸加收新臺幣壹千元。
 - (二) 自來水工程與器材企業機構，年按新臺幣五千元以上之原則，有關公設機構年按新臺幣壹千元以上之原則，於每年六月底前繳納。
- 四、凡加入本會之團體會員在當年未滿六月個者，其常年會費按半數一次繳納。
- 五、本準則經理事會議通過施行，修正時亦同。

台灣創設自來水百週年慶祝活動剪影



▲連副總統於大會開幕典禮致詞



▲連副總統（左）頒獎表彰對自來水建設特殊貢獻人劉永楸先生。（其長子劉可強教授代為領獎）



▲參加慶祝大會之學者、專家於會場前（台大國際會議廳）合影



▲記者會本會林理事長學正先生報告百年來自來水建設概況。



▲大會主席林理事長學正先生致詞



▲自來水公司盧總經理清雄於第五屆國際水質管理及處理技術研討會開幕典禮致詞。



▲圓桌會議主持林理事長學正學與會國內貴賓合影。



▲社會各界人士參觀雙峻頭水源地合影。



▲本會林理事長學正先生主持圓桌會議。