

ISSN 1025-7683

中華民國自來水協會會刊



自

來

水

第22卷 第3期 (87)

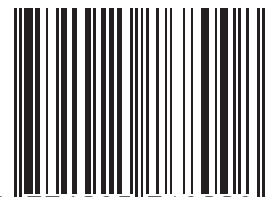
中華民國九十二年八月



WATER SUPPLY QUARTERLY

Volume 22 NO.3 August 2003

Water Works Association of the Republic of China (Taiwan)



9 771025 768008

自來水會刊第二十二卷第三期⁸⁷出版目錄

專門論著：

延性鑄鐵管柔性接頭耐震模擬研究……………蔡錦松等三人 …… 3

實務研究：

口徑20mm葉輪型水錶器差特性及壓力損失量測……………廖世平、林俊利 …… 24

自來水中嗅覺層次分析法之訓練……………林財富等四人 …… 35

一般論述：

倒極式電透析水處理技術的應用……………梁德明等四人 …… 46

他山之石：

中國長江三峽大壩工程參訪報告……………陳志奕等三人 …… 52

供水體系之漏損：標準用語及建議之實行措施……………謝堦煌等四人 …… 64

研究快訊：

大高雄地區自來水水質提升之調查研究……………樓基中等四人 …… 78

感性園地：

環工人物誌—環工界先驅甘普先生 (T.R. Camp)……………姚關穆 …… 81

學術活動：

國際水協會 (IWA) 布拉格國家代表會議出席報告 ……駱尚廉 …… 84

國際水協會 (IWA) 2004世界水年會暨展示會徵文通告…………… 90

第一屆國際水協會—亞太區 (1st IWA-ASPIRE) 年會暨展示會徵文通告 94

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、本刊原則上不刊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（含電話及電子郵件地址）、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，來稿請寄至：tunlai@mail.water.gov.tw。
- 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。
- 十二、本刊中之「專門論著」、「實務研究」、「一般論述」、「每期專題」及「專家講座」，業經行政院公共工程委員會92年3月26日工程企字第09200118440號函增列為技師執業執照換發辦法第五條第一項第四款之「國內外專業期刊」，適用科別為「水利工程科」、「環境工程科」、「土木工程科」。

自來水會刊雜誌

發行所名稱：中華民國自來水協會

發行人：李錦地

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：葉宣顯

委員：李泰雄

蘇金龍

張皓

兼總編輯：劉廷政

編輯兼秘書：李丁來

史午康

李丁來

林財富

吳陽龍

胡南澤

樓基中

蔣本基

黃志彬

廖述良

林岳

康世芳

陳曼莉

謝永旭

張錦松

蔡錦松

副主任委員：劉廷政

沈進宏

曾浩雄

鄭錦澤

校電

印

地

電

對：古貞荅

話：(04)22244191轉529

刷：威文彩色印刷公司

址：台中市工業區23路2-1號

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

延性鑄鐵管柔性接頭耐震模擬研究

蔡錦松¹ 康文碩² 葉奕昌²

摘要

本文以數值模擬延性鑄鐵管(Ductile Iron Pipe, DIP)柔性接頭耐震試驗，研究接頭受地震力作用時之拉拔與撓曲行爲，並獲取接頭勁度供耐震設計及分析採用。首先依據現有實體試驗案例，擬定數值模擬邊界條件、數值模型、試驗方法與試驗率定，經過模擬分析，可得到與實體試驗相近的結果。本研究採用數值模擬避免實際試驗時空間、設備與費用上的限制，求得管線漏水時軸向拉拔力與彎矩強度、接頭軸向勁度與撓曲勁度，並歸納出適合耐震分析之接頭分析模型。

關鍵字：延性鑄鐵管、接頭、耐震試驗、數值模擬

一、前言

國內自來水輸配水管線所使用之延性鑄鐵管(DIP)其特色在於以活動機械接頭接合各段管體，連接成爲一長直管線以達到供水之目的。管線接頭爲管體斷面突然

改變之處，往往成爲地盤與管體間相對運動所衍生出之額外應力或者應變集中處，在九二一地震中，就有不少DIP破壞的災損案例⁽¹⁾。因此如何提升管線接頭耐震能力，使其在地震時發生功能減少破壞，成爲關注的焦點。

對於研究管線承受變形能力以及接頭破壞模式，最直接的方法，首推接頭實體試驗。透過試驗可瞭解接頭承受外力作用時其力學特性與破壞機制，並可求得耐震設計分析所需的設計參數，包括接頭強度與勁度值。透過試驗可以得到最直接的結果，但仍存在不少限制，例如：

- (1) 機具、人員之購置與聘請投資費用高。
- (2) 操作員熟習試驗操作流程訓練耗時。
- (3) 試驗用機具與器材的調整、維護與保養成本高。
- (4) 管線接頭試驗會受到尺寸過大的限制。

爲避免上述限制，本文採用應用數值

1. 國立成功大學土木工程學系 教授

2. 國立成功大學土木工程學系 碩士研究生

分析軟體模擬管線接頭耐震試驗。分析工具為工程界廣泛使用之ANSYS軟體，藉由數值分析軟體所提供的功能，建立與實體尺寸相同之數值模型模擬接頭試驗內容，如此不需擔心尺寸過大無法進行試驗，並可求得耐震設計參數，作為接頭耐震等級與管網系統耐震規劃應用。

二、DIP接頭耐震試驗

DIP為因應不同管線情況與施工要求，設計有多種不同接頭。其型式依構造與變形特性可概分成三類：柔性接頭、剛性接頭及鎖扣型接頭。大致構造是於管之插口與承口間套上橡膠環圈，並以壓環迫緊，以達到維持接頭部位水密性之目的。

日本延性鑄鐵管協會⁽²⁾曾針對S型鎖扣接頭進行接頭耐震試驗，該試驗可分為：軸向拔出試驗與撓曲試驗兩種，並以接頭破壞與接頭漏水作為試驗結果的依據，其重點在評估接頭的伸縮與撓曲性能，以作為接頭設計、使用的參考。

2.1 接頭軸向拉拔試驗

接頭軸向拉拔試驗可分為(1)水壓拉拔試驗與(2)油壓千斤頂拉拔試驗方法。其目的是模擬當自來水管線接頭遭遇外力而產生軸向大變形時的接頭行為，以評估接頭軸向的力學特性。

2.1.1 水壓拉拔試驗方法

試驗配置方式如圖1(a)所示，將管段兩端以管蓋封住，管內則充滿水，並以逐漸提高管內水壓力（由0~25kgf/cm²）的方式模擬接頭受軸力拉拔之行為，且以接頭水密性（有無漏水）作為評估接頭破壞標準。水壓拉拔試驗是以管徑1000mm及1500mmDIP進行試驗，試驗最終結果見表1，圖2(a)，(b)為水壓拉拔試驗拉拔力與拔出量關係圖。

2.1.2 油壓千斤頂拉拔試驗方法

試驗配置方式如圖1(b)所示，接頭接合處的兩端（承口與插口）鉚上墊片，中間放置千斤頂，以加大油壓方式將管向外頂，藉此模擬接頭受軸力拉拔之行為，並以接頭管體破壞作為破壞判定依據。油壓千斤頂拉拔試驗是以管徑2100mmDIP進行試驗，試驗最終結果見表1，而圖2(c)為油壓千斤頂拉拔試驗拉拔力與拔出量關係圖。

2.2 接頭撓曲試驗

接頭撓曲試驗可分為(1)撓曲強度試驗與(2)撓曲水壓試驗方法。其目的是模擬當自來水管線接頭遭遇外力而產生撓曲大變形時的接頭行為，以評估接頭撓曲的力學特性。

2.2.1 撓曲強度試驗方法

試驗配置方式如圖3(a)所示，將管段兩端以管台墊高，而在管中央接近接頭處

加載荷重，此試驗法類似三點載重試驗法，可推求接頭處可承受的彎矩與撓曲應力大小。試驗重點在於管接頭本身的撓曲強度，所以是由接頭管體破壞判定破壞。撓曲強度試驗是以管徑1000mm及1500mmDIP進行試驗，試驗最終結果見表2，圖4為彎矩與接頭撓曲角關係圖。

2.2.2 撓曲水壓試驗方法

試驗配置方式如圖3(b)所示，在接頭部份即承插口間充滿10kgf/cm²之水壓，施予彎矩使試驗管發生轉動，並檢視是否有出現漏水的情況。主要目的在模擬接頭受力轉動時，接頭之水密性能力。且以接頭水密性（有無漏水）作為評估接頭破壞之標準。撓曲水壓試驗是以管徑1000mm、1500mm及2100mm之延性鑄鐵管進行試驗，試驗結果見表3。

三、接頭耐震試驗數值模擬

本文應用有限元素數值軟體ANSYS，採數值模擬方式，模擬延性鑄鐵管接頭實體試驗。試驗對象為S型接頭，試驗內容參考日本延性鑄鐵管協會S型接頭耐震試驗⁽²⁾，選擇管徑為500、1000、1500及2000mm之接頭進行試驗模擬。

試驗模擬分成軸向拉拔與撓曲試驗模擬，藉由建構數值模型及數值運算，模擬接頭在地震力作用下所發生拉拔與撓曲之

行為，並求得耐震設計分析所需的設計參數，包括接頭強度與勁度值。

3.1 基本假設

由於管線接頭處斷面變化複雜，故在進行試驗模擬時須將問題簡化，並做以下之假設：

- (1) 考慮接頭由兩種材料構成。依CNS 10808⁽³⁾及CNS 13272⁽⁴⁾，S型延性鑄鐵管除插口管與承口管外，其接合配件包括組合圈、橡膠圈、背托圈、固定圈以及螺栓等。其中橡膠圈與背托圈之材料為苯乙烯丁二烯橡膠(SBR)，其餘皆為延性鑄鐵。
- (2) 接頭各材料性質為均質、等向性。橡膠屬超彈性(hyperelasticity)材料，變形時呈現出非線性、超彈性之行為。
- (3) 進行接頭軸向拉拔時，忽略管線接頭受軸向拉拔時的偏心問題，考慮接頭管在幾何與荷重上具理想軸對稱性（圖5(a)），因此採軸對稱方式模擬接頭軸向拉拔試驗，可簡化成2D數值模型進行分析。
- (4) 採半對稱（圖5(b)）方式模擬接頭撓曲試驗，建構3D數值模型進行分析。

- (5) 管線接頭之水密性與橡膠圈有密切關係，故分析重點集中在橡膠圈與管體互制行爲，不考慮螺栓對接頭的影響。
- (6) 考慮水壓影響，並以水密性作爲管線接頭破壞準則。
- (7) 採用靜力分析。

3.3 數值模擬

基於上述假設，可得如圖6所示接頭耐震試驗數值模擬示意圖。其中(a)爲軸向拉拔試驗，(b)爲撓曲試驗，對於試驗之模擬詳述如下。相關材料參數列於表4。

1. 建構數值模型

數值模擬採用有限元素法，是將實體的管線接頭以節點(node)與元素(element)取代，透過有限元素法，可以將實體試驗系統轉化爲數學模式，藉由該數學模式進而得到該有限元素系統的解答，並透過節點、元素表現出來。

(1) 軸向拉拔試驗方面：管體（承口與插口）以及組合圈、固定圈等接合配件以二維平面元素來模擬，材質設定爲延性鑄鐵。至於橡膠圈與背托圈，則選用二維超彈性(hyperelastic)元素加以模擬，材質設定爲橡膠。另外由於試驗過程中管體與各接合配件會發生接觸(contact)而互相影響，因此需增設二維面對面(surface-to-

surface)接觸元素來描述此行爲⁽⁸⁾。

(2) 撓曲試驗方面：管體（承口與插口）以及組合圈、固定圈等接合配件以三維結構分析元素來模擬；橡膠圈與背托圈，則選用三維超彈性(hyperelastic)元素；另外，與拉拔試驗相似，在建構撓曲試驗數值模型需增設三維面對面接觸元素⁽⁸⁾。

2. 邊界條件與荷載方式

軸向拉拔試驗方面，由於採用軸對稱之方式進行分析，故有限元素模型對稱邊界上的節點須給予一Y方向之束制，即接頭兩端平行於X軸之線段Y方向自由度(degree of freedom)給予束制。給定邊界條件後即進行求解，之後再施加荷重，進行第二步求解。負載荷重部分採位移控制(displacement control)，給予插口管一Y方向之強制位移，記錄每一小段位移所需之力量，藉此模擬管體受軸向拉拔力之行爲。

撓曲試驗方面，數值模擬方式爲三維半對稱，因此在有限元素模型對稱面上給予Y方向束制；另外，在試驗管兩端下方給予X方向束制，以模擬三點載重法中的支點。給定邊界條件後即進行求解，之後再施加荷重，進行第二步求解。負載荷重部分採位移控制，在試驗管中央給予Y方向之強制位移並記錄每一小段位移所需之力量，藉此推算管體所受彎矩值大小。

3. 數值分析破壞判斷準則

如前文所述，在進行管線接頭實體力學試驗時，皆以接頭水密性（有無漏水）作為評估接頭破壞的標準。由於接頭之水密性與橡膠圈有關，因此數值分析接頭破壞準則即以橡膠圈與延性鑄鐵管之接觸壓力（圖7(a)）作為判斷之依據。

軸向拉拔試驗方面，首先利用位移控制推求出相對之軸向拉拔力（圖7(b)），再利用公式(1) (2) 將軸力換算成相對之水壓，如此可得如實際試驗般的水壓變化（圖7(d)）。

$$P = \frac{\pi}{4} D_2^2 p \quad (1)$$

其中， P 為水壓， P 為拉拔力， D_2 為管外徑。

接著觀察橡膠與鑄鐵管間接觸元素接觸壓力之變化（圖7(c)），在插口端突出部分尚未碰觸承口端時，接觸壓力皆大於水壓；但是當插口端突出部分碰觸承口端後，軸拉力與水壓呈正相關迅速增加，當水壓大於橡膠與鑄鐵管間某一端接觸元素之接觸壓力時（圖7(d)），則判斷接頭發生漏水，此即為拉拔試驗之接頭數值破壞準則。

撓曲試驗方面，方法與拉拔試驗類似，但假設管內的水壓為定值，其值為 10kgf/cm^2 。因此，數值撓曲試驗之接頭破壞準則為，當橡膠與插口管之接觸壓力小於

10kgf/cm^2 時即判定發生漏水。

4. 試驗率定

試驗率定目的在決定一個適當且有效的數值模式（包括模型、方法、參數）以確定接下來數值模擬結果的可靠性。本文以DIP管徑 1000mm 作為率定的比較對象，率定結果如圖8所示，其中(a)為軸向拉拔試驗，(b)為撓曲試驗。

圖8(a)中僅有A至B點的力與位移過程不同。其原因可能為實體試驗採增加水壓的方式來產生軸向拉拔力，因此，增加的水壓會持續加壓在橡膠上，使得橡膠壓在承插口上的正向力持續增加，造成靜摩擦力並非定值而呈線性變化。但在地震發生時，產生軸向拉拔力的並非水壓而是直接加載於接頭上的作用力，因此，本文之結果應較接近實際受力情況。

日本延性鑄鐵管協會所作接頭撓曲試驗分為撓曲強度與撓曲水壓兩試驗方法，若以接頭強度作考量，則得如表2及圖4所示之結果，若考慮水密性則得如表3所示之結果。以管徑 1000mm 為例，兩試驗結果皆顯示當撓曲角度約為時，接頭發生漏水。本文以DIP管徑 1000mm 作為率定的比較對象，率定結果如圖8(b)所示。該圖顯示發生漏水之撓曲角約為 4° ，此結果與試驗值接近。此外，率定結果顯示出接頭承受荷重（彎矩）與撓曲角之關係呈現類似雙線性特性，此點與圖4相似。

3.4 結果分析與討論

(1) 軸向拉拔試驗

從拉拔力與位移變化之分析結果顯示，各管徑軸力與位移之關係圖皆呈現三個線性段變化。以管徑1000mm為例（圖9），由於模擬方式採用位移控制法，在插口管移動初期(\overline{ab})，軸力隨位移增加而增加，當軸力大於橡膠提供之摩擦力後，軸力維持一定值(\overline{bc})，當插口端突出部分碰觸承口端後，軸力隨位移增加迅速增加，直至接頭漏水破壞(\overline{cd})。此分析結果與試驗結果亦相符，在插口端突出部分尚無碰觸至固定圈時，接頭整體的力學行為由橡膠來控制，插口端突出部分碰觸至固定圈後，接頭整體的力學行為由碰觸部份控制，但接頭有無漏水仍需視橡膠接觸壓力之變化決定。

圖10分別為管徑500、1000、1500及2000mmS型接頭橡膠圈接觸元素之接觸壓力變化圖，虛線表示漏水時水壓，當接觸壓力小於水壓時判斷接頭漏水。

圖11分別為管徑500、1000、1500及2000mmS型接頭拉拔力與位移變化關係圖，依據此數值試驗的結果可整理出接頭所能承受之軸向拉拔力（表5），顯示管徑與拉拔力呈正相關，即管徑越大，所需拉拔力越大；依數據值亦可計算求得軸向勁度值，如表5所示。

見表5，將軸向勁度值分為三類，第一類(A)為接頭開始滑動前之軸向勁度，即圖9中線性段 \overline{ab} ；第二類(B)為將接頭滑動行為簡化為軸向勁度，即 \overline{ac} ；第三類(C)為插口端突出部分碰觸固定圈後之軸向勁度，即 \overline{cd} 。在進行理論、數值或設計分析時，皆是採將複雜的接頭軸向變形簡化為彈簧元素的方法。根據本文結果可依不同的分析目的整理適合之接頭元素（表6）。其中，(A)、(B)、(C)分別為表5所示之三類勁度彈簧，另外，考慮接頭開始滑動的初始軸向力值（表5），設一摩擦塊元素(D)。若分析重視接頭軸向的滑動與變形時（柔性接頭），可採用(A)類勁度彈簧配合摩擦塊元素(D)的方式模擬接頭受力與變位間的互制情況；但若要作較保守的分析時，可將整體的滑動行為假設為線性變化，而以(B)類勁度彈簧模擬。若分析重視包括接頭軸向滑動與插口端突出部分碰觸至固定圈後之接頭軸向力（鎖扣式接頭），則可採用摩擦塊元素(D)配合(C)類勁度彈簧的方式模擬接頭受力與變位間的互制情況；另外，亦可將整體的滑動行為假設為雙線性(bilinear)變化，而將雙線性勁度彈簧分為前段的(B)類與後段的(C)類。

(2) 撓曲試驗

因為作用力是由上往下的方式作用在接頭上，於接頭發生旋轉後而使插口管上

側橡膠呈受壓狀態，插口管下側橡膠呈受張狀態。由分佈於橡膠上各接觸元素的壓力值結果，接頭下側橡膠承受的壓力較小，最有可能在此發生漏水狀況，因此假設漏水發生在插口管下側的橡膠與插口接觸面之間，並於橡膠上設置偵測點。圖12分別為管徑500、1000、1500及2000mmS型接頭橡膠圈偵測點接觸元素之接觸壓力變化圖，虛線表示水壓 10kgf/cm^2 ，當接觸壓力小於水壓10時判斷接頭漏水。

圖13分別為管徑500、1000、1500及2000mmS型接頭彎矩與撓曲角關係圖，圖中以接頭發生漏水為試驗終止之檢核點，依據此結果可整理出接頭所能承受之彎矩值（表7）。圖13亦顯示彎矩與接頭撓曲角關係呈現類似雙線性特性，此結果與實體試驗相符。本文利用線性內插方式，求得兩線性段，分別計算撓曲勁度，得初始（第一階段）撓曲勁度值 k_1 ，及後期（第二階段）勁度值 k_2 。其中，初始撓曲勁度代表接頭純轉動行為，後期勁度則是接頭彎折時，因橡膠環圈造成軸向滑動之效應所致。表7列出各管徑之撓曲勁度值，由於進行接頭撓曲理論、數值或設計分析時需要將接頭的旋轉行為簡化為撓曲彈簧元素，依據本文所得之結果，即可配合撓曲角度選擇適當之撓曲勁度。

四、結論

自來水管線實體試驗雖可提供最直接的耐震參數（強度與勁度），但實行上受到空間、設備與經費等諸多限制。本文研究採用數值模擬方式模擬管線接頭實體試驗，包括軸向拉拔試驗與撓曲試驗。研究對象為延性鑄鐵管S型鎖扣接頭，依據本文擬定的數值試驗模型、假設條件、試驗方法與試驗率定，可得到與實體試驗相近的結果，並可求得相關耐震設計參數。針對研究成果歸納下列結論：

- (1) 模擬接頭軸向拉拔試驗時，將接頭簡化成軸對稱模型進行分析。模擬結果指出，軸拉力與接頭位移量之關係呈現三個線性段變化。在插口端突出部分尚未碰觸固定圈時，接頭力學行為橡膠與管體之摩擦行為；插口端突出部分碰觸固定圈後，接頭力學行為由管體控制。由各線性段變化可計算求得接頭軸向勁度值，本文將其分成三類，依不同的分析目的可選擇不同的分析元素（摩擦塊元素及彈簧元素），配合相對之勁度值進行分析。
- (2) 模擬接頭撓曲試驗時，建構3D半對稱模型進行分析。模擬結果指出，彎矩與接頭撓曲角之關係呈現雙線性特性。初始撓曲勁度代表接頭純轉動行為，後期勁度則

是接頭彎折時，因橡膠環圈造成軸向滑動之效應所致。由彎矩與撓曲角之關係可求得接頭撓曲勁度值。

- (3)在進行理論、數值或設計分析時，皆是採將複雜的接頭斷面簡化為彈簧元素之方法。接頭拉拔行為選用軸向勁度彈簧，撓曲行為則選用撓曲勁度彈簧。本文數值模擬所得之結果，即可提供分析所需之接頭軸向與撓曲勁度值，並配合土壤勁度，針對地下管線、液化區管線、以及通過斷層之管線等不同地質情況進行研究。

誌謝

本研究結果摘自中華民國自來水協會八十七年度結餘保留款使用計劃案支持之專題研究計畫「自來水管線運用柔性接頭提昇耐震性之研究(第一年)」特此申謝。

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」，自來水會刊雜誌，第十九卷，第一期，第64~81頁，2000。
- [2] 日本延性鑄鐵管協會技術資料，地震と管路について(その3)，ダクタイル鑄鐵管，1975。
- [3] 中國國家標準，延性鑄鐵管(CNS 10808)，1998。
- [4] 中國國家標準，延性鑄鐵管件(CNS 13272)，1993。
- [5] 日本工業標準，ダクタイル鑄鐵管(JIS G 5526)，1998。
- [6] Singhal, A. C., “Behavior of Jointed Ductile Iron Pipelines”, Journal of Transportation Engineering, Vol. 110, No. 2, pp. 235~250, 1984.
- [7] ANSYS Verification Manual Version 6.0, ANSYS Inc., 2002.
- [8] ANSYS Inc., Element Reference

表1 S型接頭拉拔試驗結果 (日本延性鑄鐵管協會⁽²⁾)

管徑 (mm)	外徑 D_2 (mm)	水壓* p (kgf/cm ²)	拉拔力 P (tf)	接頭狀態	軸向勁度(kN/cm)	
					初始勁度	後期勁度
1000	1041	25	213	發生漏水	52.8	6670
1500	1554	25	474	發生漏水	116.5	8852
2100	2164	14.7	540	發生漏水	163.5	15260

*水壓 p 、拉拔力 P 、管外徑為 D_2 時 $P = \frac{\pi}{4} D_2^2 p$ 。

 表2 S型接頭撓曲強度試驗結果 (日本延性鑄鐵管協會⁽²⁾)

管徑 (mm)	荷重 (tf)	接頭彎矩 (tf·m)	接頭撓曲角	接頭狀態
1000	24	42	4°5'	接頭破壞
1500	40	70	5°5'	接頭破壞

 表3 S型接頭撓曲水壓試驗結果 (日本延性鑄鐵管協會⁽²⁾)

管徑 (mm)	接頭撓曲角	水壓 (kgf/cm ²)	接頭狀態
1000	4°40'	10	發生漏水
1500	5°30'	10	發生漏水
2100	1°50'	10	發生漏水

表4 數值模擬之材料參數

材料	材料參數			
	彈性模數 (N/m^2)	柏松比 (Poisson's Ratio)	Mooney-Rivlin 常數*** (MPa)	
			C1	C2
延性鑄鐵管	1.71×10^{11} *	0.28*	-	-
橡膠	2.55×10^6 **	0.5**	0.293	0.177

* JIS G 5526, 1998⁽⁵⁾
** Singhal (1984^{a, b, c})⁽⁶⁾
*** ANSYS 建議值⁽⁷⁾

表5 S型接頭軸向拉拔試驗模擬結果

管徑 (mm)	軸向拉拔力(tf)		軸向勁度(KN/cm)		
	初始拉拔力	漏水拉拔力	第一類(A) (初始勁度)	第二類(B)	第三類(C) (後期勁度)
500	3.9	46	30.6	5.7	1897
1000	37	213.5	272.6	53.2	6728
1500	82.3	474	577	116.8	8976
2000	87.7	806	656	140.2	16000

表6 接頭元素種類


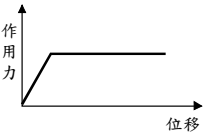

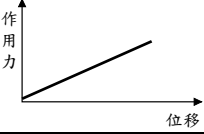

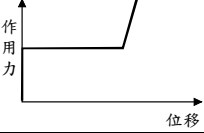

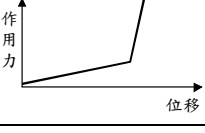
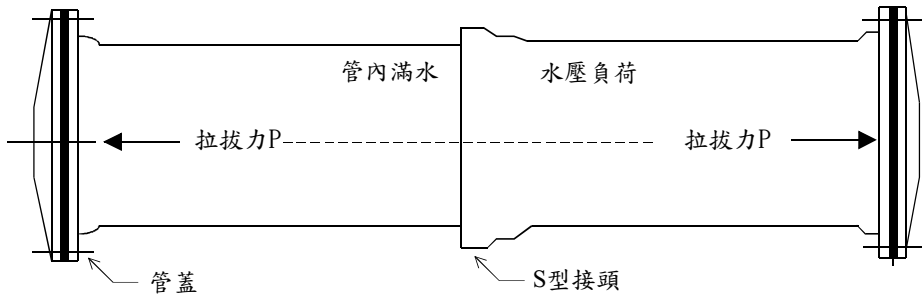
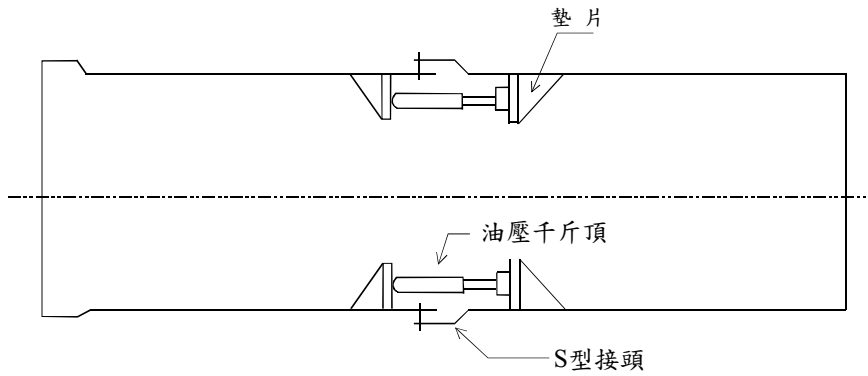
分析目的	接頭元素	接頭力學行為
1. 接頭軸向滑動與變形 2. 柔性接頭	(A) (D) 	
1. 整體的滑動行為假設為線性變化 2. 柔性接頭	(B) 	
1. 接頭軸向滑動與插口端突出部分 碰觸至固定圈後的接頭軸向力 2. 鎖扣式接頭	(D) (C) 	
1. 整體的滑動行假設為雙線性變化 2. 鎖扣式接頭	(B) & (C) 	

表7 S型接頭撓曲試驗數值模擬結果

管徑 (mm)	荷重 (tf)	接頭彎矩 (tf·m)	接頭撓曲角	接頭狀態	撓曲勁度 ($\times 10^5 \text{ KN} \cdot \text{cm} / \text{rad}$)	
					初期勁度 k_1	後期勁度 k_2
500	12.7	22.1	3°23'	發生漏水	2.37	6.53
1000	24.5	42.9	4°5'	發生漏水	3.21	10.81
1500	37.2	65.0	4°23'	發生漏水	7.23	11.04
2000	55.0	96.4	4°52'	發生漏水	9.42	16.26

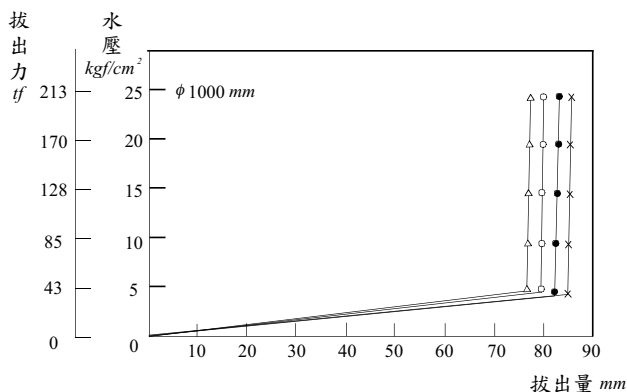


(a) 水壓拉拔試驗方法

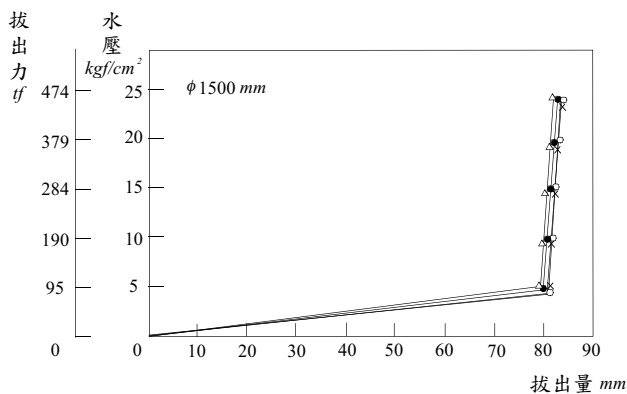
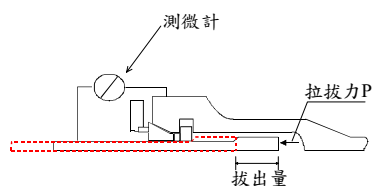


(b) 油壓千斤頂拉拔試驗方法

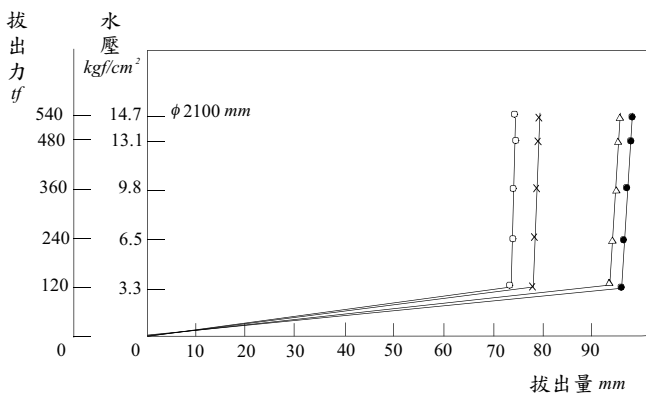
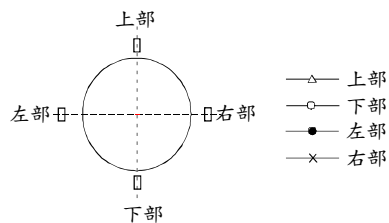
圖1 接頭軸向拉拔試驗方法⁽²⁾



(a)

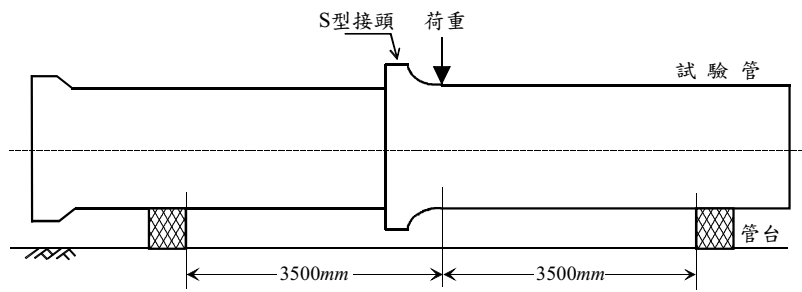


(b)

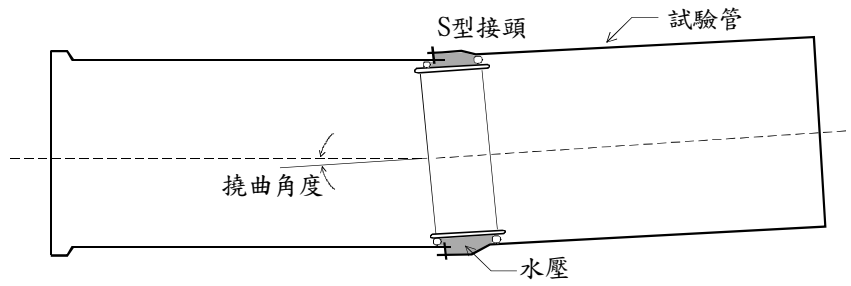


(c)

圖2 拉拔力與拔出量關係圖 (2)

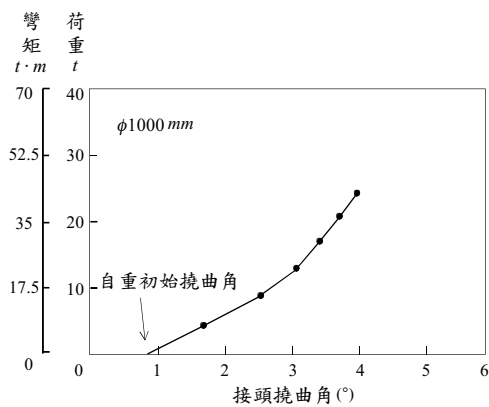


(a) 撓曲強度試驗方法

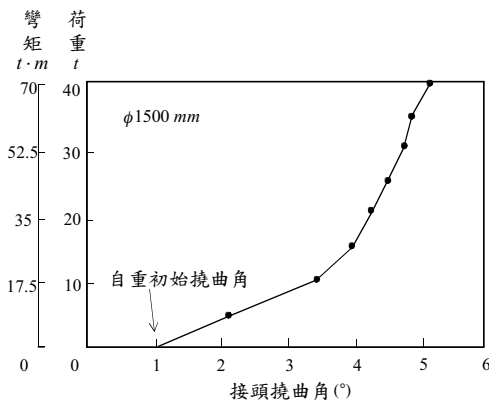


(b) 撓曲水壓試驗方法

圖3 接頭撓曲試驗方法⁽²⁾

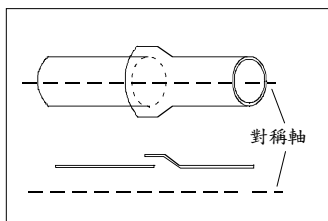


(a)

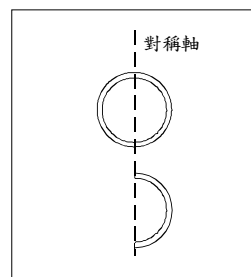


(b)

圖4 接頭彎矩與撓角關係圖 (2)

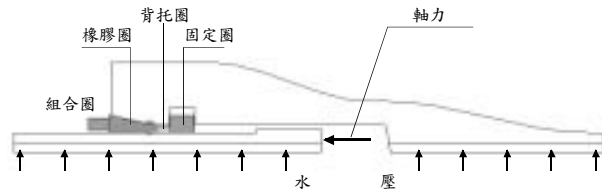


(a) 軸對稱

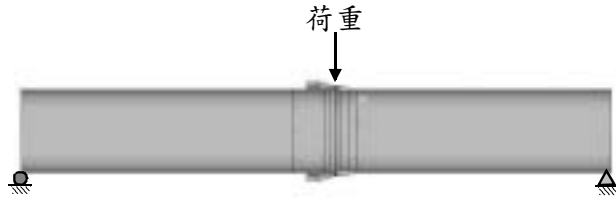


(b) 半對稱

圖5 DIP對稱性示意圖

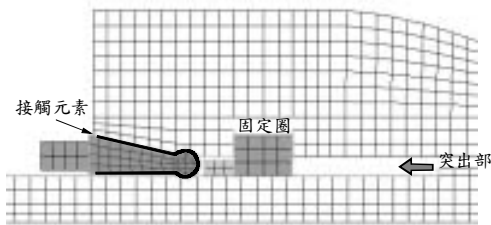


(a) 軸向拉拔試驗

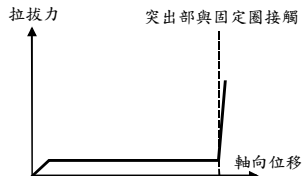


(b) 撓曲試驗

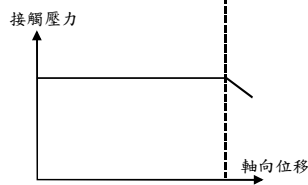
圖6 接頭耐震試驗數值模擬示意圖



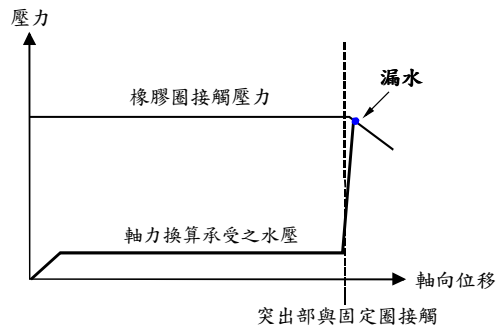
(a) 橡膠圈接觸面



(b) 軸力變化圖



(c) 橡膠圈接觸壓力變化圖



(d) 接觸壓力與水壓比較

圖7 拉拔試驗漏水示意圖

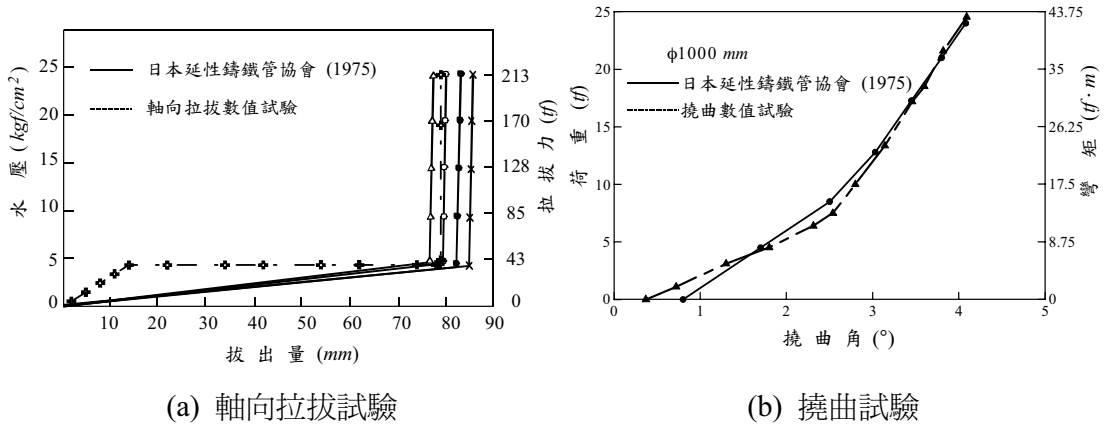


圖8 試驗率定結果

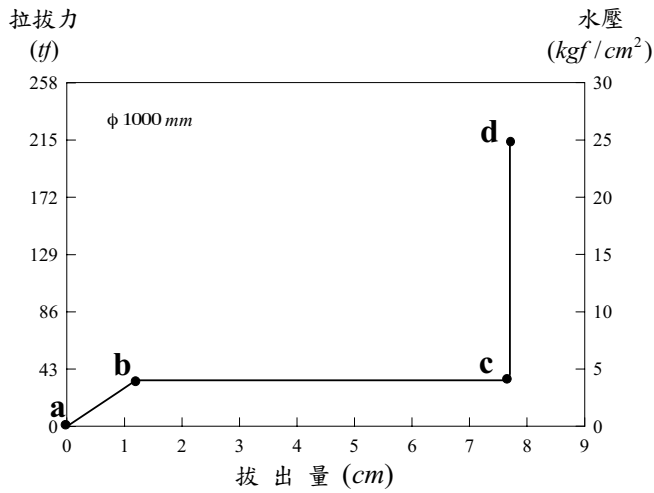
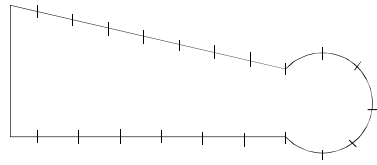
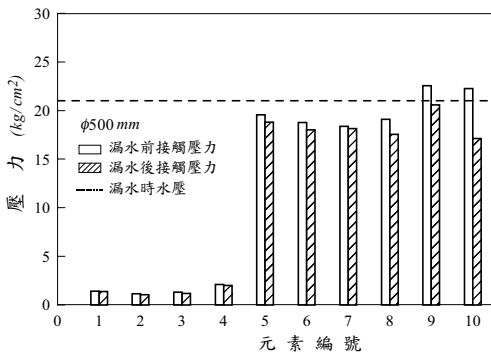


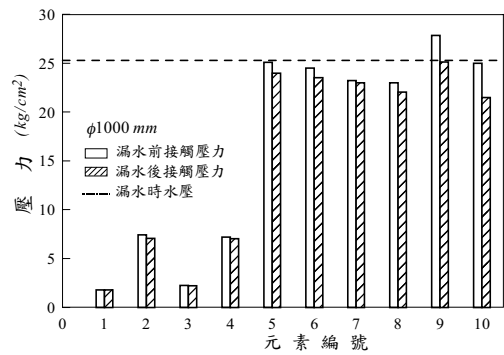
圖9 軸力與位移關係圖 (管徑1000mm)



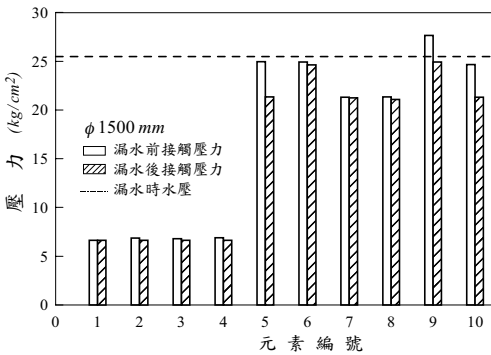
(a) 橡膠圈接觸元素



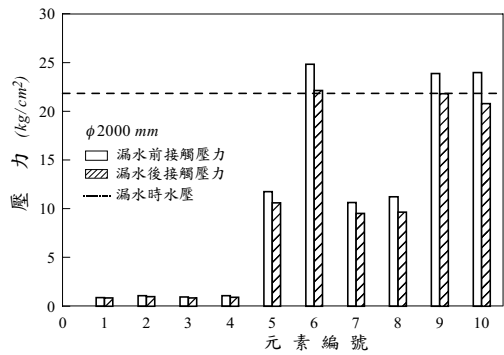
(b) 500 mm



(c) 1000 mm

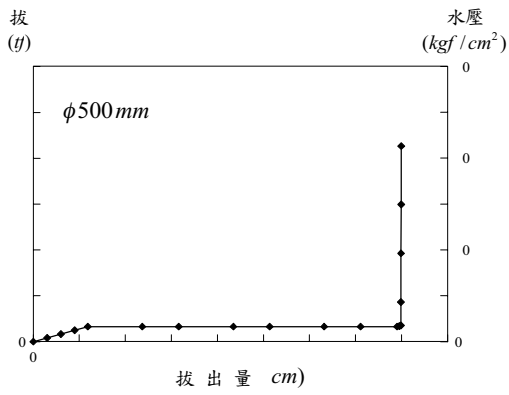


(d) 1500 mm

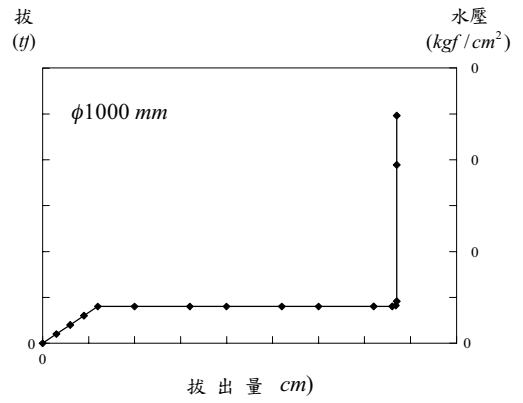


(e) 2000 mm

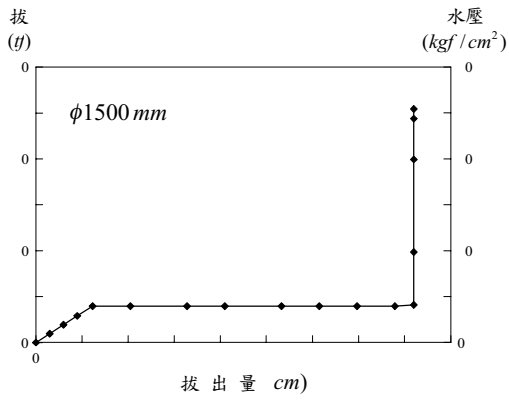
圖10 拉拔試驗橡膠圈接觸壓力變化圖



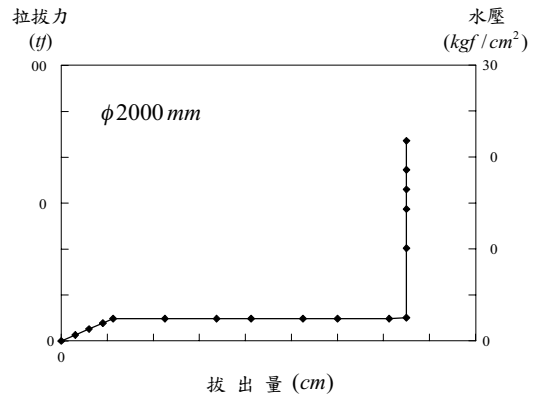
(a) 500 mm



(b) 1000 mm

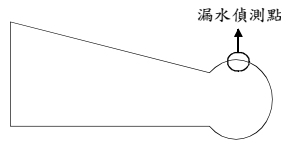


(c) 1500 mm

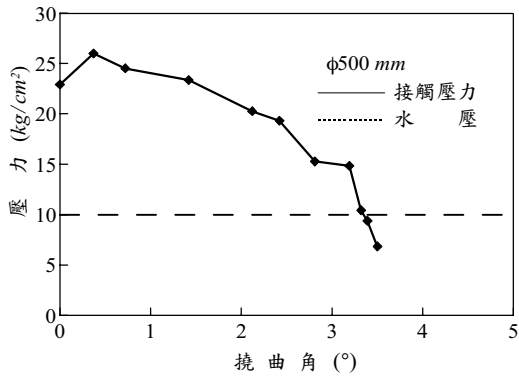


(d) 2000 mm

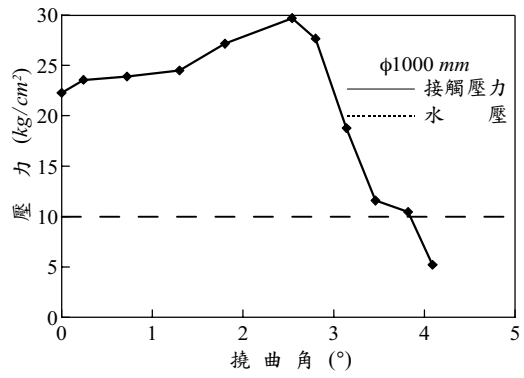
圖11 拉拔力與拔出量關係圖



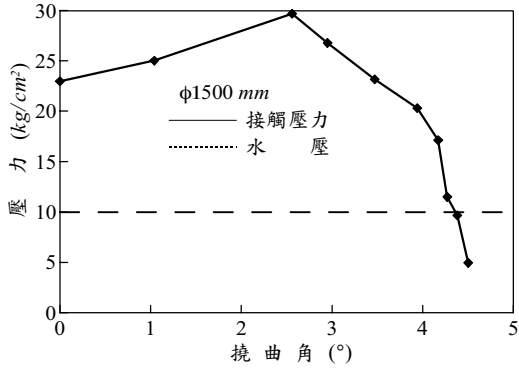
(a) 橡膠圈偵測點



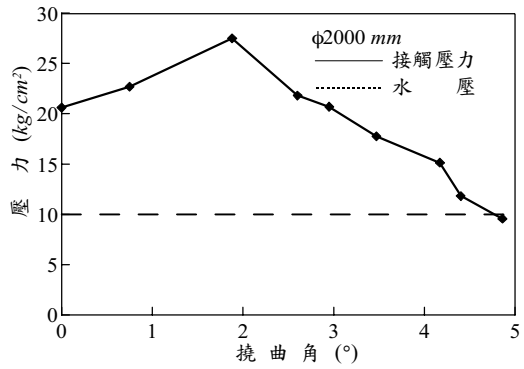
(b) 500 mm



(c) 1000 mm

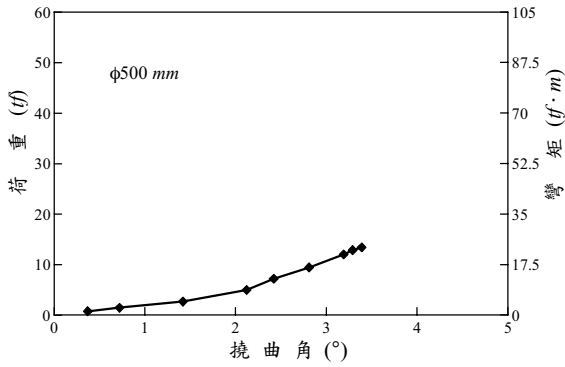


(d) 1500 mm

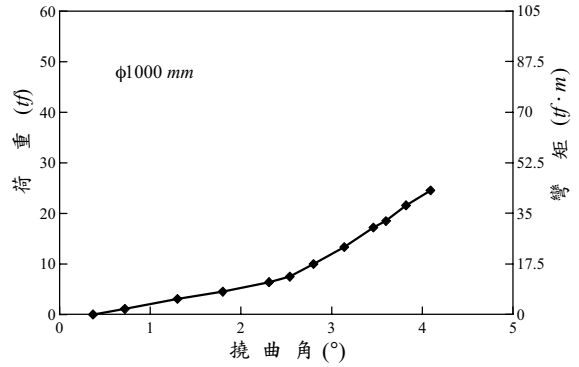


(e) 2000 mm

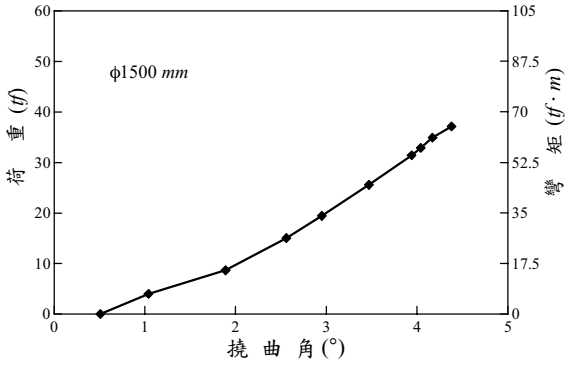
圖12 撓曲試驗橡膠圈偵測點接觸壓



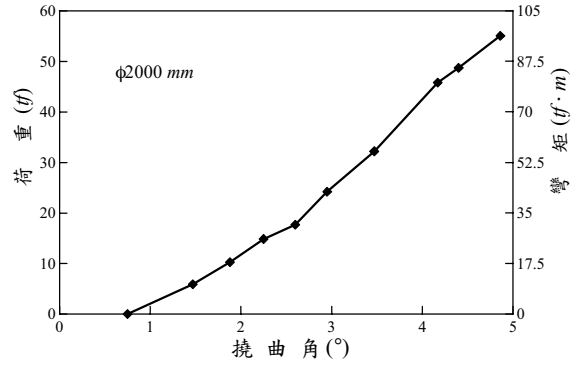
(a) 500 mm



(b) 1000 mm



(c) 1500 mm



(d) 2000 mm

圖13 彎矩與撓曲角關係圖

口徑20mm葉輪型水錶器差特性及壓力損失量測

廖世平¹、林俊利²

摘要

本文主要依據ISO及OIML、CNS三種規範，建立一套量測器差性能之標準設備，選定測試水錶20mm管徑螺紋式為對象，包括國內主要兩家生產廠商生產之六只，輔以美製Badger與德製Zenner各一只，根據上述三種規範中各等級所要求檢驗流量範圍，檢測其水錶之器差性能是否合乎各規範中之要求。結果分大、小流量兩區域範圍繪製誤差圖式，其中以兩只國外製水錶合格率較高達97%，產品精度列於ISO中C級是無庸置疑。反觀國內生產水錶廠商共六只水錶，依ISO之C級標準量測其合格率僅為65%，若依B級標準則提升至88%，應列屬ISO之B級水準。

本研究另一目的在量測水錶之壓力損失，量測值依平方公式修正至相當於最大流量時之水錶壓力降，結果發現八只受測水錶於大流量範圍，以美製水錶0.28巴最低，德製水錶0.7巴其次，而國內製水錶0.8巴及0.94巴最高。然而均符合ISO最

寬鬆等級及OIML規範要求之壓力損失

1巴以內，並由不同流量實驗發現在公稱流量附近進行壓力損失檢驗最有利。

一、簡介

水錶為度量衡儀器，品質應符合國際標準，量測準確才能具有公信力，對於自來水公司及用戶之權益也才有保障。近年來由於加入WTO，面臨成本下降及品質要求提升的壓力，對於沒有雄厚競爭力的傳統產業無疑是雪上加霜；所以建立標準的檢驗設備及程序，提高產品的品質，符合國際規範要求，才能使傳統產業走進國際舞台。

二、規範要求及研究目標

本研究主要參考CNS⁽¹⁻³⁾、ISO^(4、5)及OIML^(6、7)三種目前最常用規範，小口徑水錶依標稱流量 q_n 比例，在ISO分為A、B、C、D四個度量等級，如表一所示，就精度而言，A級最低，D級最高。

水錶積算盤顯示之量測值準確度或稱

1.國立台灣海洋大學機械與輪機工程學系 教授
2.國立台灣海洋大學機械與輪機工程學系 碩士

之為「器差」(measurement error)，在小流量帶 (q_{\min} 至 q_t) 及大流量帶 (q_t 至 q_{\max}) 範圍之容許誤差分別為5%及2%。我國CNS-565⁽³⁾檢驗方法一向沿用ISO的部份規定，性能主要執行靜態耐壓及流量器差檢驗，要求項目也較ISO少，精度只相當於ISO中的B級。水錶性能之要求日趨嚴格，較近發行之OIML將小口徑水錶列屬精度二級，且比ISO增加了水溫、水壓、逆流、干擾等檢驗項目，然而這些檢驗亦需使用到與器差檢驗相同之裝置。

因此本研究首先依據ISO-4064/III⁽⁵⁾與OIML R49第二部份⁽⁷⁾規範內容，建立一套量測器差性能之標準設備，選定測試水錶20mm管徑螺紋式為對象，包括國內兩家公司生產之六只，輔以美製Badger與德製Zenner各一只，檢測其水錶之器差性能是否合乎各規範中之要求。

依據CNS-562⁽²⁾、ISO-4064/I⁽⁴⁾及OIMLR49-1⁽⁶⁾對於水錶的檢驗流量的規定彙整於表二，其中20mm水錶之公稱流量值 q_n 等於2.5m³/hr或41.6 L/min，OIML之最高流量 Q_3 則僅為公稱流量之1.25倍，遠較CNS或ISO之 q_{\max} 為小；OIML分類系列甚多，其中 Q_3/Q_2 值50及100約相當於ISO之B及C級。本研究另一目的在量測水錶之壓力損失，CNS-565並未揭示此項量測方法及強制性，然而ISO及OIML對於

表一 ISO 4064/I之各等級分類⁽⁴⁾

水錶公稱流量 $q_n < 250\text{L/min}$		
A 級	$q_{\min} = 0.04 q_n$	$q_t = 0.1 q_n$
B 級	$q_{\min} = 0.02 q_n$	$q_t = 0.08 q_n$
C 級	$q_{\min} = 0.01 q_n$	$q_t = 0.015 q_n$
D 級	$q_{\min} = 0.0075 q_n$	$q_t = 0.0115 q_n$

裝置、配管、接頭等均有詳細規定，OIML規定在最小及超載流量間通過水錶的壓力損失，不得大於1巴 (bar)，ISO則將壓力損失分類為1, 0.6, 0.3, 0.1巴四級。

本文針對不同流量下量測各水錶之器差特性及壓力損失，藉著與其他先進國家產品切磋，以本研究發展出來之設備及實驗方法為基礎，提供往後改良零件尺寸、變更結構形狀及公差訂定之驗證標準，確保性能品質之提高，期望在不久的將來國內水錶公司亦能提昇到國外水錶相同之水準。

三、實驗設備及步驟

本實驗決定器差的方法是採用收集法，是利用容器收集一段時間內流經過水錶的量，然後以容積決定集水量。管路配置係採用循環式管路，待維持在水流穩定流動狀態下，再將管路切換導入收集量桶內，結果與水錶讀數相互比對，將所計算得誤差值繪圖，依精度等級比對。實驗系統如圖一管路圖所示，管路包括兩個串聯之500L供水槽、加壓泵、閥組、止回閥、直流器、電子式差壓計、銅製壓力接頭、水錶進出口連接管段、待測水錶、流量計、數據資料擷取系統、350L標準量桶等。主要實驗設備說明如下：

(一) 加壓泵

由於檢驗流量之範圍分佈相當廣，因此使用兩具泵，一為高流量之穩壓泵，供應最大流量可以達到167L/min，相當於最大檢驗流量之兩倍，另一具為沈水式泵最大流量為5L/min，專供低流量檢測所需。

(二) 流體直流器(flow straightener)

體直流器由一支長500mm，內徑50mm透明壓克力管，管內填滿內徑0.5mm六十八根吸管成束綑綁，其功用是整流，將流體的脈動及不穩定性降低，以減少進入水錶水流造成之干擾。

表二 20mm水錶各規格流量

	規格依據	流量(L/min)
A	q_s (CNS)	0.25
B	q_{\min} (ISO-C) Q_1 (OIML-100)	0.4166
C	q_t (ISO-C)	0.625
D	Q_2 (OIML-100)	0.666
E	q_{\min} (CNS, ISO-B) Q_1 (OIML-50)	0.83
F	Q_2 (OIML-50)	1.33
G	q_t (CNS)	2.5
H	q_t (ISO-B)	3.328
I	小流(CNS)	5
J	大流(CNS)	33.3
K	q_n (CNS, ISO) Q_3 (OIML)	41.6
L	Q_4 (OIML)	50
M	q_{\max} (CNS, ISO)	83.3

(三) 水錶連接管

當自泵出口加壓之水流流經過一連串之閥組後，其流體的狀態呈現脈動較大的情形，當經過吸管束整流器後流場較穩定，脈動及渦漩度均顯著減少；為確保在水流進入水錶連接管之前達到完全展開流；依據規範值，在水錶進及出口連接管長度均須大於15倍水錶標稱口徑。

本設備因考量將來亦可改裝適用較大

口徑水錶，因此將連接管進入及出口長度分別設計為1000mm，在20mm管徑實驗中，其值為50倍，遠高出規範要求，效果更佳。

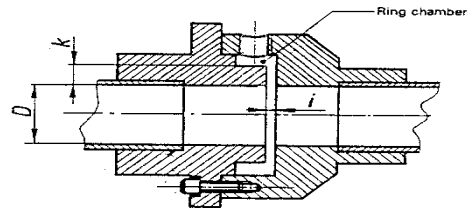
(四) 流量計

欲調整測試流量於所需的範檢範圍內，必要裝設流量計；三種規範所需檢驗的器差流量範圍介於0.25至83.3L/min之間，為精確掌握流量的大小，本設備採用了三種不同流量範圍的參考流量計，其流量分別為：一號YOKOGAWA電磁式流量計：0-16L/min、二號中流量計：5-50 L/min、和三號大流量計：20-200 L/min，以並聯方式連結使用。控制係利用流量計進、出口閥組與管路的配合連接，達到相互切換選擇不同參考流量的目的，以達不同流量之下的檢驗要求(如管路圖一所示)。而流量計之進出口連接管長度，也依水錶進出口連接管相同設計，分別以25倍(二號)、20倍(三號)以上口徑連接，減少干擾，而電子式流量計則本身已具有一固定連接管。

(五) 壓力接頭

檢測測試管路及水錶壓力損失於ISO-4064-3規範⁽⁵⁾規定取壓接頭可以為鑽孔式或開槽式兩種型式；本實驗採用開槽式，如圖二所示，以銅質實心棒車製前後

兩組開槽式取壓孔壓力接頭，適用於中小直徑之水錶前後連接管，其中*i*寬度尺寸等於0.08倍連接管管徑*D*，為1.6mm。



圖二 壓力接頭示意圖⁽⁵⁾

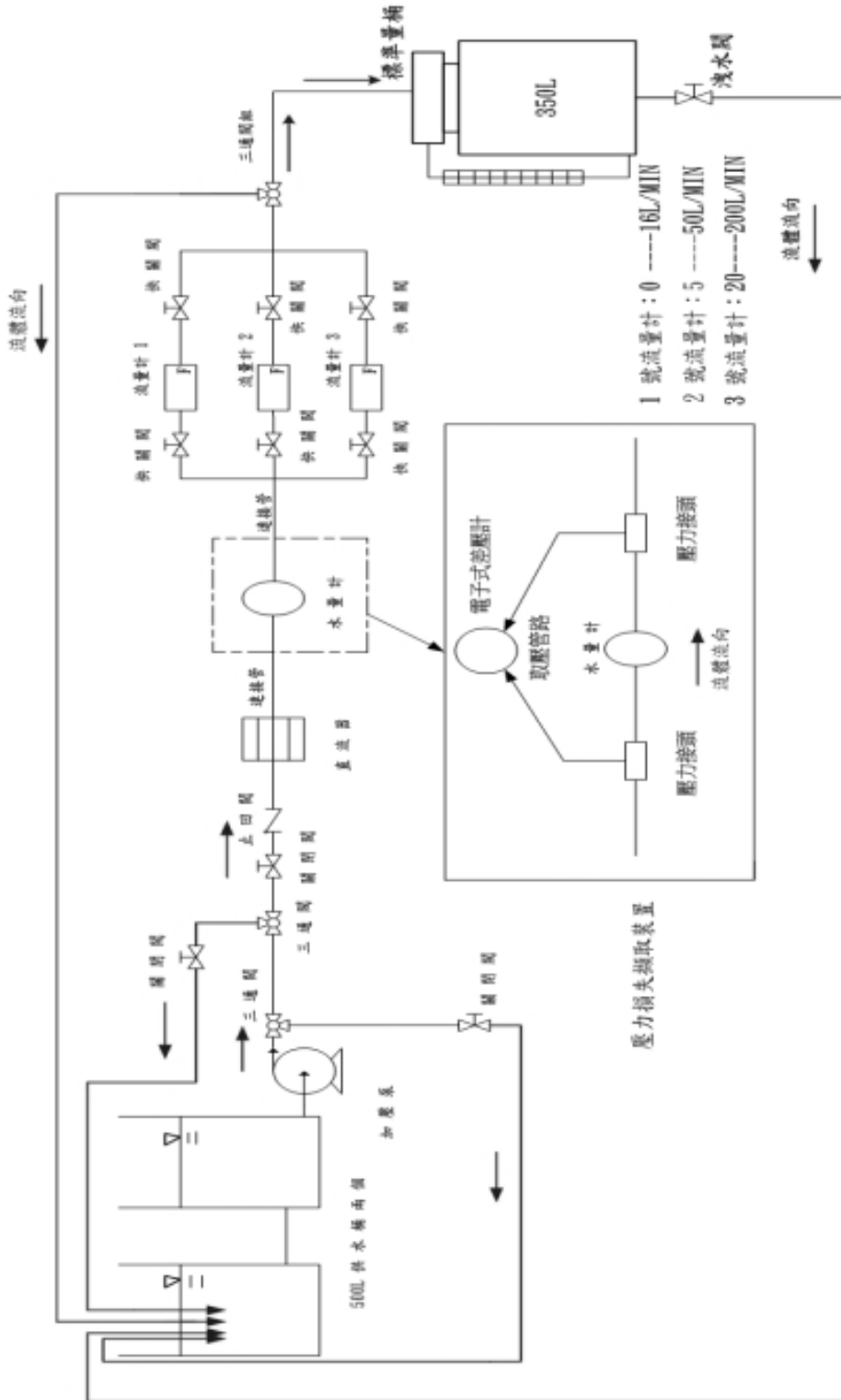
(六) 電子式差壓計

差壓計型式YOKOGAWA EJA 110用來計量水錶進出口兩端之壓力損失，輸出訊號DC 4~20 mA，適用範圍為0至5巴。

(七) 實驗步驟

對於每只待測水錶，參照表二規範之流量值進行器差實驗檢測，實驗步驟進行如下：

1. 選定待測流量值。
2. 裝置水錶，切換閥門，維持實驗路。
3. 啟動泵，排除管路內空氣，調整閥門，在穩態下運轉數分鐘，並使參考流量計讀數與待測值相符。
4. 於管路中水流穩定狀態下切換閥門，將流經管路流體導入標準量桶內，同時記錄水錶讀數及時間。



圖一 管路配置示意圖

- 5.當標準量桶水位達到檢測水量300L時，記錄水錶讀數及時間。
- 6.將記錄下水錶之讀數與標準量桶之水量作比較，並除以量測時間，計算出該檢驗過程中之平均流量。據此與流量計數值對照。

壓力損失實驗係依照ISO 4064/III規範⁽⁵⁾；利用原有器差測試管路，將壓力接頭置於水錶前後連接管上，並將上方垂直之取壓孔連接至電子式差壓計上之高低壓接頭，在選定待測流量值下，分別量測有無水錶狀態之壓力損失。

四、數據分析

本文依ISO⁽⁵⁾及OIML⁽⁷⁾之實驗方法量測及分析，器差數據係由標準量桶水量 V_c 及水錶上指示的讀數流量 V_i 依下式計算

$$\varepsilon = \left(\frac{V_i - V_c}{V_c} \right) \times 100\% \quad (1)$$

以流量為橫座標，器差百分比為縱座標，依不同規範來繪製成器差曲線圖式，並於圖式標示誤差帶，在大量流區域最大容許誤差，而於小流量區域最大容許誤差。於檢驗完每一個流量之器差後，若該流量檢測器差超出誤差帶，則必須再次重複檢驗該點流量。

壓力損失 Δp_{meter} 係以所測得壓力差，扣除無水錶前後連接管路之壓力差，

並經下式修正至相當於最大流量 q_{max} 下之壓力損失 Δp_{max}

$$\Delta p_{max} = \frac{(q_{max})^2}{(q_{test})^2} \times \Delta p_{meter} \quad (2)$$

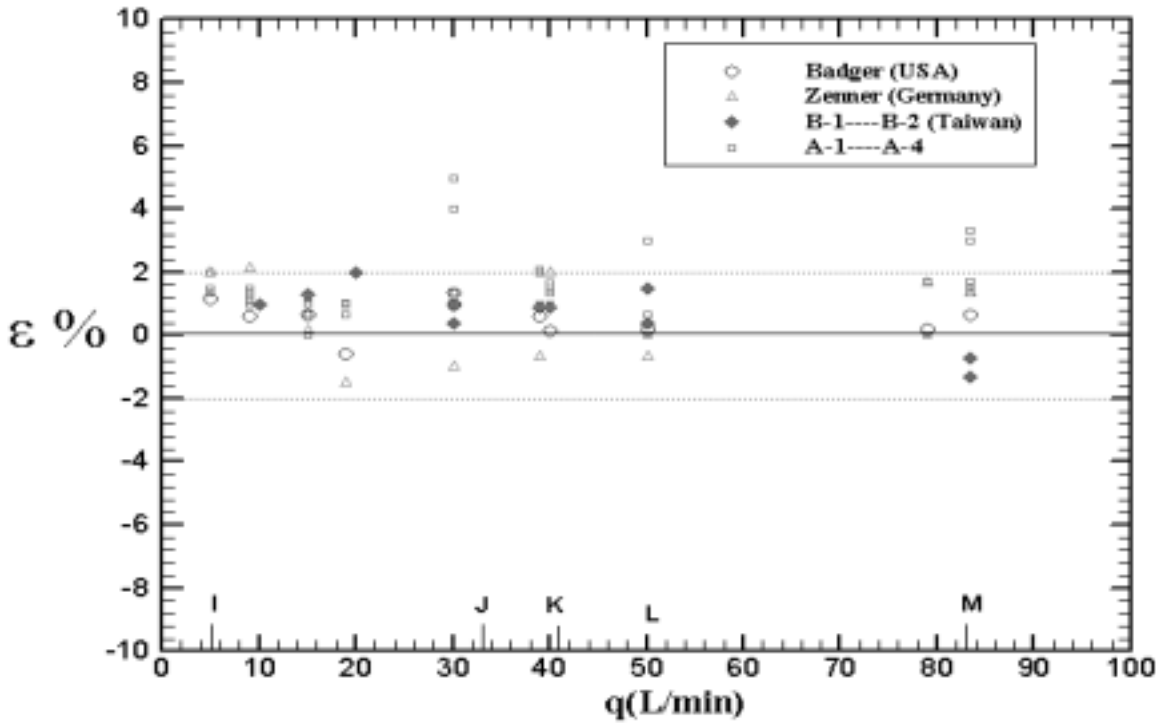
五、結果與討論

(一) 器差特性

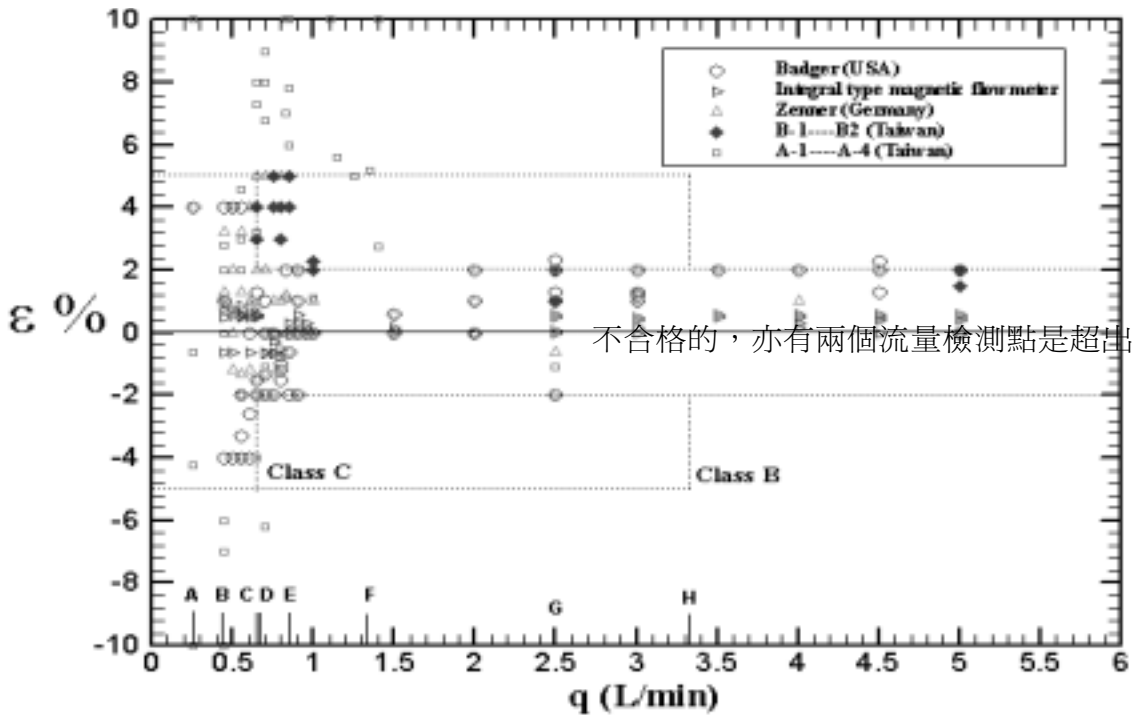
主要的檢驗錶共有八只分別為：國內製A廠商四只、B廠商二只、美製Badger一只、德製Zenner一只。實驗設備以電磁式流量計針對小流量區域之器差性能進行校正，在小流量區域共檢測了80個量測流量點，於0.45至5L/min間，其誤差皆在±1%內，如圖三所示。

圖三及圖四分別綜合上述8只水錶小流量、大流量之器差量測值，表二之各流量亦以英文字母標示於圖式下方。基本上大部分誤差偏正值，此點對消費者比較不利；另外，國內兩家公司生產的水錶，其變化的幅度也較大，亦即性能穩定性較差，合格率偏低，且不合格點大多集中於小流量區域。

表三及表四將各水錶之合格與否數據分大、小流量加以整理，表三以測量精度ISO C級為標準檢視，國內製A水錶器差數據中，82個流量檢測點中有31點超出公差帶屬不合格，更有9個誤差值超過10



圖三 水錶小流量器差性能圖



不合格的，亦有兩個流量檢測點是超出

圖四 水錶大流量器差性能圖

%，總合格率為63%；B水錶則合格率为68%，在28個流量檢測點中有9點是不合格的，亦有兩個流量檢測點是超出10%，因此國內A、B兩家水錶在小流量區域精密程度較差，未達ISO規範中之C級標準。國外水錶雖有少數幾點誤差稍大，但均在合格邊緣，總合格率在96%以上，符合標示之C級水準無庸置疑，甚至以D級標準檢視，美製水錶93%、德製水錶89%合格率。反之，若以較寬鬆之ISO 規範B

級為標準檢視，國內製水錶合格率則如表四顯示，提昇至87及89%。

(二) 壓力損失

於水錶進行壓力損失實驗之前必須檢測在無水錶時，即僅測試管路段之壓力損失。方程式(3)是經由圖五之壓力損失量測值及流量回歸，利用此方程式可得任一檢測流量之測試管路壓力損失。

表三 以ISO之C級標準檢驗各水錶合格率

ISO 之 C 級	美 Badger	德 Zenner	國內 A	國內 B
小流量區域合格點	39	39	17	7
小流量區域不合格點	0	0	23	9
大流量區域合格點	58	56	34	12
大流量區域不合格點	2	4	8	0
總合格率	98%	96%	63%	68%

表四 以ISO之B級標準檢驗各水錶合格率

ISO 之 B 級	美 Badger	德 Zenner	國內 A	國內 B
小流量區域合格點	55	55	13	3
小流量區域不合格點	0	0	3	2
大流量區域合格點	17	15	39	13
大流量區域不合格點	1	1	5	0
總合格率	99%	99%	87%	89%

$$\Delta P = 2.993 \times 10^{-5} \times q^{1.9696} \text{ (bar)} \quad (3)$$

圖六是上述八只水錶在各流量下修正至最大流量 q_{\max} 下之壓力損失，並在流量 15~83.3L/min 做出線性回歸。其中以 Badger 者下降幅度最大，Zenner 次之，國內製 A 與 B 兩者則隨著流量增加，反而壓力損失修正值增加趨勢，亦即在高流量進行此測試較為不利；以壓力損失修正值及流量的關係加以回歸，其方程式分別為：

$$\Delta P_{\max, \text{Badger}} = 0.58845 \times q^{-0.2083} \quad (4)$$

$$\Delta P_{\max, \text{Zenner}} = 0.75668 \times q^{0.01625} \quad (5)$$

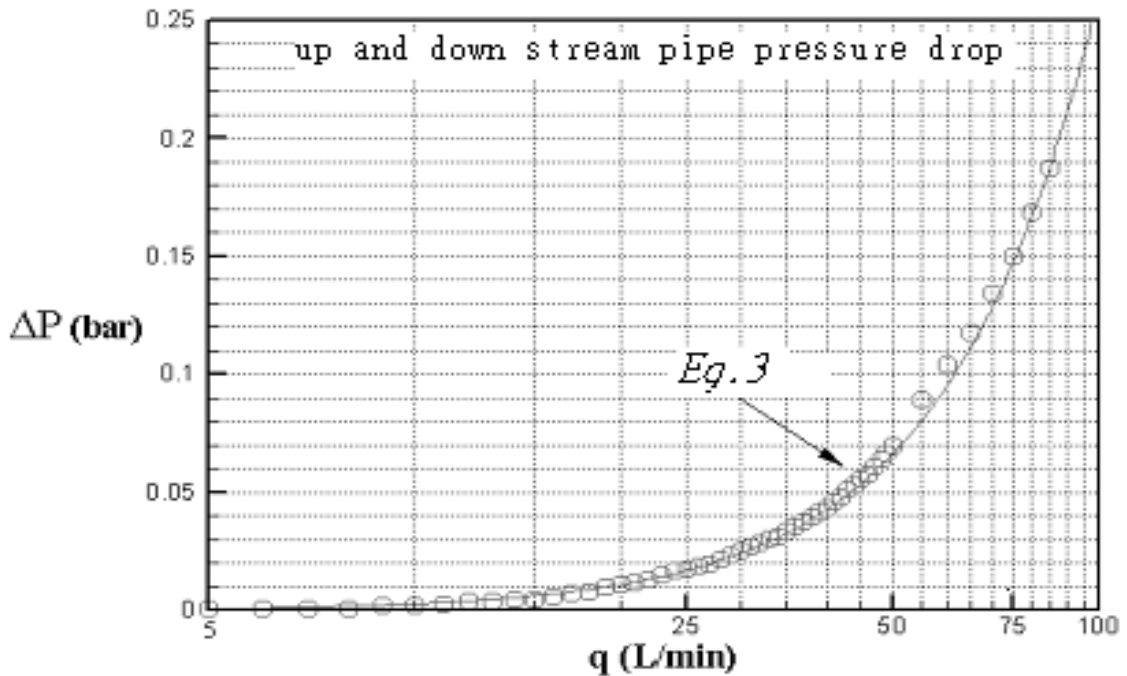
$$\Delta P_{\max, A} = 0.71544 \times q^{0.03855} \quad (6)$$

綜上結果若將壓力降損失修正至 q_{\max} 時之平均壓力降，以美製 Badger 水錶係乾式為 0.28 bar 最低，其次德製 Zenner 水錶 0.7 bar，至於國內製 A 水錶 0.8 bar，B 水錶 0.94 bar 最高，然而均符合 ISO 最寬鬆等級以及 OIML 規範要求 1bar 以內。

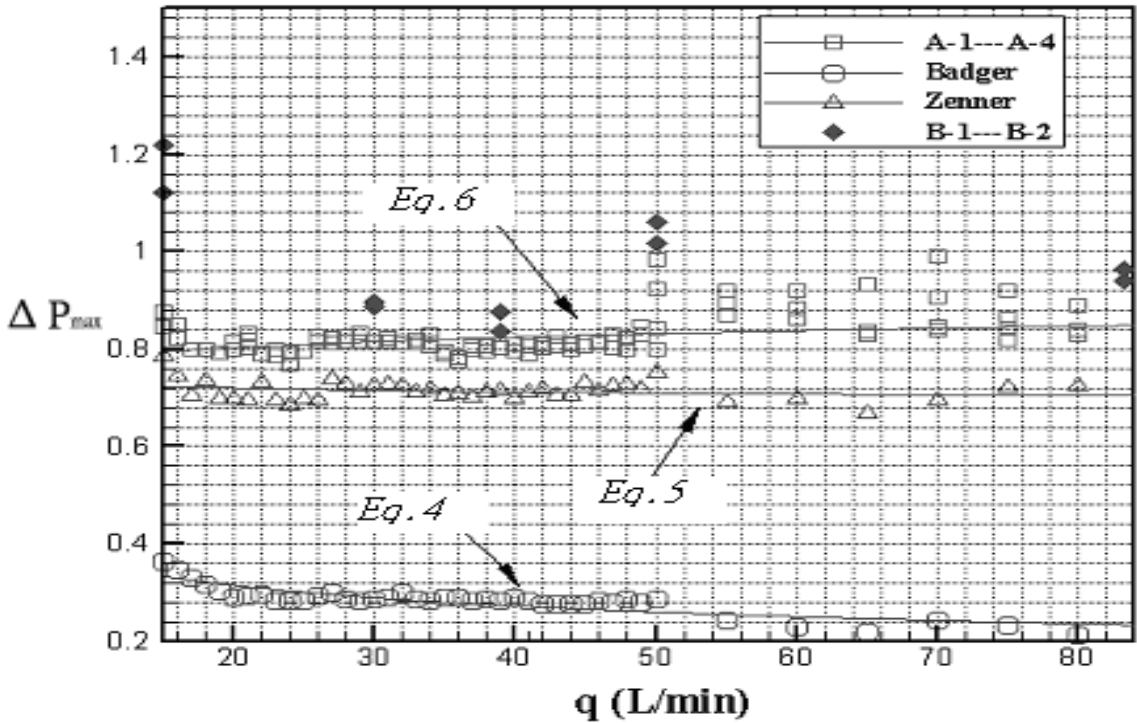
六、結論

本研究可得到以下結論：

1. 經由 YOKOGAWA 電磁式流量計裝在本實驗驗證的結果顯示，本檢驗器差性能量測設備設能達到 ISO、OIML 檢驗的標準，可以提供往後水錶品質驗證的指標。
2. 在測試的外國製兩只水錶，其器差



圖五



圖六 水錶壓力損失修正值回歸曲線比較圖

檢驗結果均符合ISO規範中C級甚至已具有D級之水準。

3. 國內廠商生產的六只水錶，器差數據分佈較為分散亦即性能較不穩定，依ISO之 C級標準量測其合格率為65%，若依B級標準則提升至88%，應列屬 B級水準。
4. 壓力降損失檢驗修正至 q_{max} 時之壓力降：Badger水錶0.28 bar、Zenner水錶0.7以國內製A水錶0.8 bar，B水錶0.94 bar最高，然而均在ISO最寬鬆等級及OIML規範要求1bar以內。
5. 針對壓力損失之最佳檢驗流量範圍

以 q_n (41.6 L/min) 鄰近處之流量為最穩定而測得壓力損失最為準確，建議量測範圍約在20與50 L/min間最有利。

七、謝誌

本研究承蒙儀鎮公司技術、資料 及部份設備經費支援，於此僅致謝意。

八、參考文獻

1. CNS 561, B 6020, 水量計總則，經濟部中央標準局1996年1月。
2. CNS 562, B 6021, 螺紋式水量計，經濟部中央標準局1996年1月。

3. CNS 565, B 7014, 水量計檢驗法, 經濟部中央標準局1996年1月。
4. International Organization for Standardization (ISO), Measurement of Water flow in Closed Conduits -- Meters for Cold Potable Water (ISO 4064/I) Part I: Specifications (1993).
5. International Organization for Standardization (ISO), Measurement of Water flow in Closed Conduits --Meters for Cold Potable Water (ISO 4064/III) Part III: Test Methods and equipment (1983).
6. International of Legal Metrology (ORGANISATION INTERNATIONALE DE METROLOGIE LEGALE, OIML), Water meters intended for the metering of cold potable water, Part 1: Metrological and technical requirements, OIML-R49-1 (2000).
7. International of Legal Metrology (ORGANISATION INTERNATIONALE DE METROLOGIE LEGALE, OIML), Water meters intended for the metering of cold potable water, Part 2: Test methods, OIML-R49 (2001).

作者簡介

作者姓名：廖世平

服務單位：國立台灣海洋大學機械與輪機工程學系教授

通訊地址：基隆市北寧路2號

學歷簡介：美國加州大學洛杉磯分校(UCLA)機械博士

國立台灣大學 機械研究所碩士

國立台灣大學 機械系學士

作者姓名：林俊利

服務單位：國立台灣海洋大學機械與輪機工程學系

通訊地址：基隆市北寧路2號

學歷簡介：國立台灣海洋大學機械與輪機工程研究所碩士

國立高雄海洋技術學院學士

自來水中嗅覺層次分析法之訓練

林財富¹ 何玉琦² 徐孟鴻² 童淑珠³ 莊玉妃⁴

一、緣起

自來水口感問題長期受到消費者的矚目，而國內對於水中異臭味的量測方法，仍以初嗅數法（TON）為主，此法的主要缺點，在於只能提供一個整體臭味強度，且人為影響的誤差太大，還有加氯遮掩臭味等的問題。因此在國外，首先由美國南加州水廠（the Metropolitan Water District of Southern California, MWDSC）在1981年起，使用嗅覺層次分析法（Flavor Profile Analysis, FPA）來定性或定量水中的異臭味，用以替代傳統的TON方法⁽¹⁾。FPA早期應用於食品與香水工業中，例如品酒或香精之不同氣味，近年來則廣泛使用於先進國家自來水廠中。此法的特點在於水樣不用稀釋，而且可以減少個人的誤差，而且可以同時定出不同臭味物質之強度，對於鑑定臭味類別以及產生源，以及處理成效有很好的應用性。

1. 成功大學環境工程學系教授
2. 成功大學環境工程學系碩士班研究生
3. 成功大學環境工程學系博士班研究生
4. 成功大學環境工程學系大學部學生

因此為提升自來水公司檢驗能力，以及配合目前正辦理之「大高雄地區自來水後續改善工程計畫」中增設高級淨水處理設備工程整體試運轉階段之水質檢驗工作，本研究團隊受水公司委託，進行訓練水公司七區水質檢驗人員，建立水中異臭味物質的FPA分析技術。

二、執行方法

2-1 訓練方式

嗅覺層次分析（FPA）依美國 Standard Methods：Method 2170 Flavor Profile Analysis⁽²⁾（19 Edition, 1995）方法訓練，並參考美國自來水協會訓練手冊⁽³⁾，此方法訓練每個測試員能夠描述出水樣中個別的味道及其強度，一組需有4個以上的測試員，每個測試員都須經特定的訓練課程，且在實驗前半個小時不可進食及擦拭容易影響嗅覺的物品。實驗時，使用500ml有瓶蓋錐形瓶，內裝水樣

200ml，放於45°C恆溫槽中水浴加熱，使臭味物質揮發，容易聞到，測試員聞測水樣時，以單手搖晃瓶身，另一手取開瓶蓋，聞取味道並記錄種類及強度（如圖1所示）。強度單位的表示符號以0、T、2、4、6、8、10、12的強度表示，0表示無味水樣，T表其強度正好是嗅覺閾值，強度2-12則分別由非常弱到最強。在實驗進行時，測試員應獨立作答，不得與其他測試員討論，但在每個測試員獨立作答後，可進行討論，以求得對此水樣嗅覺種類及強度的共識值。且本實驗須在無臭室中進行，以免外來氣味造成樣品干擾。

一般而言，FPA感覺反應值和臭味物質濃度之對數值呈一線性關係（Weber-Fechner Law），可用方程式（1）表示⁽⁴⁾：

$$\text{臭味強度} = K' \times \log(\text{臭味物質強度}) \quad (1)$$

K' = 臭味感覺常數（Olfactory Response Constant of the Odorant）

若將W-F Law應用在化合物的味道強度上，可改寫為下式（Rashash et al., 1996）：

$$S = A \log C + B \quad (2)$$

S = 臭味強度 C = 臭味物質濃度

A = 斜率 B = 截距

因此，訓練完成的測試員，其感覺反應值會和臭味物質濃度的對數值成一線性關係，然而結果的再現性會和測試員的訓



圖1 FPA聞測設備及聞測方法
練程度及經驗有關。

整個FPA訓練課程如圖2所示，基本上包括嗅覺辨識測試、閾值測試、標準溶液練習、氣味強度訓練、不同水樣辨識、臭味強度練習、以及臭味強度進階練習等七個單元。

2-2訓練對象

本計畫訓練二組嗅覺層次分析人員，對象為台灣省自來水公司第七區管理處，檢驗室職員。整個訓練共需組員10人及組長二人，共有十二人參加訓練。

三、訓練成果

以下就各FPA訓練課程及其成果詳加描述：

3.1 訓練課程一 嗅覺辨識測試

嗅覺辨識測試主要為了解測試員具有基本辨識臭味種類之能力。嗅覺辨識測試時使用UPSIT嗅覺測試簿，以進行測試員的篩選，每份測試簿有四本、每本有10個



圖2 FPA 訓練課程流程圖

測試頁，每一代表一道題目，一共40道題。測試前，每本測試本的背後先寫上姓名、性別、年齡及日期，測試時，以無味鉛筆刮去覆蓋的膜，使味道散發出，並用鼻子聞測括除的地方，然後記錄聞到的味道，將正確答案填寫於答案頁上，在題與題間之的測試要休息約30秒。測試員答對題數需在各性別年齡層的平均值以上，在測試的30min前不能吃東西，喝飲料及抽煙。若有感冒及過敏症或其它相關的問題

則不參加此項測試。

本次測試共有14人參與嗅覺測試，測試前先進行課程講解，並要求所有測試員用無味肥皂洗手，以去除手上殘留味道而影響測試的結果，測試時間約進行40分鐘，測試期間不開放測試員討論，每人皆獨立作答。但因測試簿為美式產品，其中測試味道項目有些為美式食物，在國內並不多見，因此造成測試員有判斷的困擾，如表1 所示參與測試者的平均答數題數較

表1 國內外測試簿平均答對題數比較

性別	年齡	受測試者平均答對題數 (n=14)	國外平均答對題數 (n=62-232)
男	40-50	30	36-37
男	50-60	27.8	36-35
女	20-30	30	37-38
女	30-40	---	37-38
女	40-50	---	37-38
女	50-60	26	36-37

n 為受測試者數目

國外同性別年齡層少，使測試結果和國外比較看來不佳。但由經最後的訓練成果發現，雖然在平均達對題數上較國外平均低，但訓練後對臭味物質仍有良好的再現性。

3.2 訓練課程二 臭味閾值測試

臭味閾值測試是為測試測試員整體之嗅覺閾值，依強制選擇法進行（ASTM E679-91 Standard practice for determination of odor and taste thresholds by a forced-choice ascending concentration series method of limits）⁽⁵⁾。每一個臭味物質進行嗅覺閾值測試時，共有六組濃度稀釋濃度值，每組有三個樣品，一個為人工所配製含待測物質的水樣，另二個為空白水樣，接受測試者需分辨出空白與待測物間之區別，若無法分辨時可猜測，以保持數據的完整性。再將每組配製的含待測物水樣，依一適當稀釋倍數逐漸升高，重覆進行每組三選一的步驟。選擇濃度範圍之原

則為最低濃度應使最敏感的測試者分辨不出來，最高濃度則要使大部份的測試者能分辨出與另二瓶不同的水樣。

實驗進行時，測試員將玻璃瓶由水浴中取出，握住瓶底，移除瓶蓋並將錐形瓶靠近鼻子，並短暫地嗅三次，或者使用覺得自然的方法聞測。讓測試者由號碼低的組別，順著A、B及C的順序開始聞測，選出三個樣品中不同於另二瓶的那一瓶並記錄，並描述出味道特質，如果無法確定其味道，也請務必記錄最好的猜測，在前進另一組號碼前，可以重覆聞測。記住味道的特質，立即將瓶蓋蓋上，搖晃錐形瓶五次，並將其放入水浴中。休息30秒後，繼續下一組的測試。

本計畫共進行三種臭味物質閾值測試，分別為2-MIB（霉味）、Hexanal（萵苣心味）、NaOCl（氯味），每一種臭味物質測試約費時一小時，且二種物質測試間隔在三小時以上，以免造成測試員

表2 三種臭味物質測試閾值和文獻閾值之比較

測試物質	本計畫測試閾值(ng/L)	文獻閾值(ng/L)
2-MIB(I)	23.7	10
2-MIB(II)	4	
Hexanal(I)	2010	500
Hexanal(II)	101	
NaOCl	0.06	0.36

的嗅覺疲勞。但在測試2-MIB及Hexanal時，因測試員注意力不夠集中，導致此二種物質其團體閾值皆較文獻平均閾值高，如表2所示，故進行第二次測試，然第二次測試結果閾值皆較文獻值低，而氯味的團體閾值，也較文獻值為低，顯示在進行測試時，測試員的注意力集中與否影響甚鉅。

3.3 訓練課程三 標準溶液練習

標準溶液練習是爲了讓測試人員，對於常見於水中之臭味種類，能有一個共通性之認知與描述。訓練中共預備了13瓶不同味道的氣味參考溶液，供測試人員在室溫下聞測，每個裝樣品之燒杯上都有一個號碼，當測試結束時，將會告知燒杯中的內容物。有些樣品味道很強，所以測試時要小心聞測。測試員一一聞測樣品後，各自寫下對13種溶液的嗅覺描述，測試時不開放討論，讓測試員直接寫下每個標準品氣味特徵的最佳描述，如果有述敘方面的困難時，可參照表選擇最好的描述方法，

測試的最後才開放討論。

測試期間費時約40分鐘，且測試員在聞測二種氣味參考溶液間須休息30秒以上，再聞測下個參考溶液，測試結果，測試員對D-limonene（柑橘味）、benzaldehyde（杏仁味）、trans,2-cis,6-nonadienal（黃瓜味）、geosmin（土味）、2-MIB（霉味）、dimethyl sulfide（腐敗蔬菜味）、methylmethacrylate（塑膠溶劑）及chlorine（氯味）等八種物質有一致的描述，其餘五種物質有些測試員的描述不同，但等到所有測試員皆完成測試後，開放討論，取得所有測試員對同種物質的共同描述，以便在日後若遇相同物質時，不會有描述上的差異。

3-4訓練課程四 氣味強度的訓練課程

此訓練課程是讓測試人員學習如何給定不同濃度的標準品強度值。訓練時先配製弱、中、強不同強度的標準溶液，至於錐形瓶內後以45°C進行水浴，並在在錐形瓶上標示強度號碼（4、8、12），然後讓

表3 測試員對13種常見水中物質之共同氣味描述

物質	氣味描述
1. 2,3-diethyl pyrazine	黴菌味
2. D-limonene	柑橘味
3. hexanal	萵苣心
4. benzaldehyde	杏仁
5. <i>trans,2-cis,6-nonadienal</i>	黃瓜味
6. geosmin	土味
7. heptanal	腐敗胡桃油
8. diphenyl ether	天竺葵
9. 2-methylisoborneol	土味
10. 2,3,6-trichloroanisole	皮革
11. dimethyl sulfide	腐敗蔬菜味
12. methylmethacrylate	塑膠溶劑
13. chlorine	氣味

測試員聞測標準品。以使測試員記憶45°C下標準品的強度，然後再經由盲樣測試，測試測試員強度記憶能力。本計畫進行Hexanal（萵苣心味）、2-MIB（霉味）、*trans,2-cis,6-nonadienal*（黃瓜味）的強度記憶，三種物質測試結果除*trans,2-cis,6-nonadienal*較差外，其餘二種物質測

試員皆能清楚記憶氣味強度（見表4到表6），推測是因*trans,2-cis,6-nonadienal*為此訓練課程中最後測試物質，因此測試員可能產生嗅覺疲勞導致測試結果較差，且瓜味物質並不常出現於澄清湖水中。由此訓練課程可知測試員能記憶常見的物質在不同濃度下所呈現不同的強度。

表4 Hexanal 氣味強度訓練

編號	1	2	3	4
a	4	0	12	8
b	4	0	12	8
c	4	0	8	12
d	4	0	12	8
e	4	0	12	8
f	4	0	12	8
g	4	0	12	8
h	4	0	12	8
實際強度	4	0	12	8

表5 2-MIB氣味強度記憶

編號	1	2	3	4
a	8	0	4	12
b	8	0	4	12
c	4	0	8	12
d	8	0	4	12
e	8	0	4	12
f	8	0	4	12
g	8	0	4	12
h	8	0	4	12
實際強度	8	0	4	12

表6 trans,2-cis,6-nonadienal 氣味強度記憶

編號	1	2	3	4
a	0	4	12	8
b	0	4	8	12
c	0	4	8	12
d	0	4	8	12
e	0	8	4	12
f	0	8	4	12
g	0	8	4	12
h	0	8	4	12
實際強度	0	8	4	12

3-5訓練課程五 不同水樣辨識

本訓練課程是爲了讓測試員了解不同水樣間之區別。實驗中準備了六組樣品，包含無味水和飲用水（其中無味水是經過逆滲透處理所得之水樣，飲用水是以澄清湖淨水廠清水煮沸而成），讓測試員分辨燒杯中所裝的水樣，測試完成後，對照答案，然後再重新聞測判斷錯誤或判斷有困難的水樣。

測試結果顯示，如表7，測試員皆能

分辨不同水樣，且澄清湖清水煮沸後仍有霉味存在，而通過逆滲透處理的水則沒有味道，顯示煮沸清水並不能去除水中的臭味物質，而經過逆滲透處理則可以將臭味物質去除。

3-6 訓練課程六 臭味強度練習及進階訓練

此訓練課程是爲了使測試員了解並記憶各標準溶液的強度。訓練中先根據3-5

表7 不同水樣辨識結果

測試項目	盲樣測試瓶數	答對率
飲用水	2	100%
無味水	4	100%

表8 霉味物質 (MIB) 濃度及訓練強度關係

強度	2-MIB 濃度 (ng/L)
0	0
2	15
4	30
6	55
8	100
10	180
12	300

訓練中已知三種不同濃度 (weak、moderate及strong) 的標準溶液，告知其強度等級分別為4、8及12，讓測試員先熟悉此三個明顯的強度，以便之後加入更細小範圍的強度時，能有判斷的準則。等測試員熟悉此三種強度後，再加入較其他的強度2、6、10，以訓練測試員對七種不同濃度的七種強度記憶，等測試員都熟悉七種強度記憶後，再進行盲樣測試，統計出測試員對臭味物質的強度再現性。

本課程先訓練測試員記憶霉味的強度，以2-MIB為標準品，其濃度及訓練強度關係如表8所示。

測試時，先讓測試員聞測已告知強度0、4、8、12的標準霉味樣品，將強度記憶後，收起標準品，再給其盲樣，測試是

否真能分辨所要求記憶的強度，如此訓練重覆幾次後，等測試員完全記憶住0、4、8、12的強度，再加入強度2、6、10，共七種霉味強度，重覆上面步驟，等到測試員皆記住七種強度時，即可進行再現性測試。再現性測試結果如圖3所示，由圖3可看出測試員普遍對高濃度霉味物質有低估其強度的問題。推測可能是因霉味是高雄地區主要的臭味問題，測試員可經常聞到霉味，因此測試員對霉味都有相當好的辨識能力，但是測試員久居在有霉味的環境下，對霉味的接受度增強，導致對於高濃度的霉味物質，有低估其強度之現象。因此後續必須修正檢量線，使其通過測試員之測值。

在魚腥味訓練方面，以往皆認為澄清

湖的臭味問題是以霉味及魚腥味為主，然經由美國UCLA教授Dr. Suffet指導，澄清湖的魚腥味與國外一般認知之魚腥味不同，反應該歸類為藻類味，但由於國內並未找出澄清湖中藻味的物質，故原以國外文獻提到會產生魚腥味的物質三甲基胺(trimethylamine)來代替，但因為其容易揮發，經過45°C加熱後即會逸散，使測試員無法判斷強度，在室溫下同樣也有這種情形。因此後半段改用魚肝油訓練，但魚肝油在水中會成乳化狀態，有濃度配製上的困難，因此藻味的訓練目前本研究室正積極尋找其代表性物質，待找出後，再由七區檢驗室主導，成功大學輔助以完成訓練。

四、外部訓練與查核

本訓練課程為提升訓練水準以及考核訓練結果，特邀請美國加州大學洛杉磯分校(UCLA)教授Professor I. H. (Mel) Suffet，進行FPA協助講習、訓練以及考核(如圖4及5)。Professor Suffet為UCLA公共衛生學院教授，也是國際水協會(International Water Association)下水環境臭味委員會(Off-flavor in aqueous environment)前任主任委員，長期研究飲用水中臭味問題，也為美國自來水協會撰寫兩本至今非常暢銷的臭味專書，除了是目前世界上飲用水臭味相關研究最重要的科學家之一也是FPA方法開發與使用重要參與人之一。

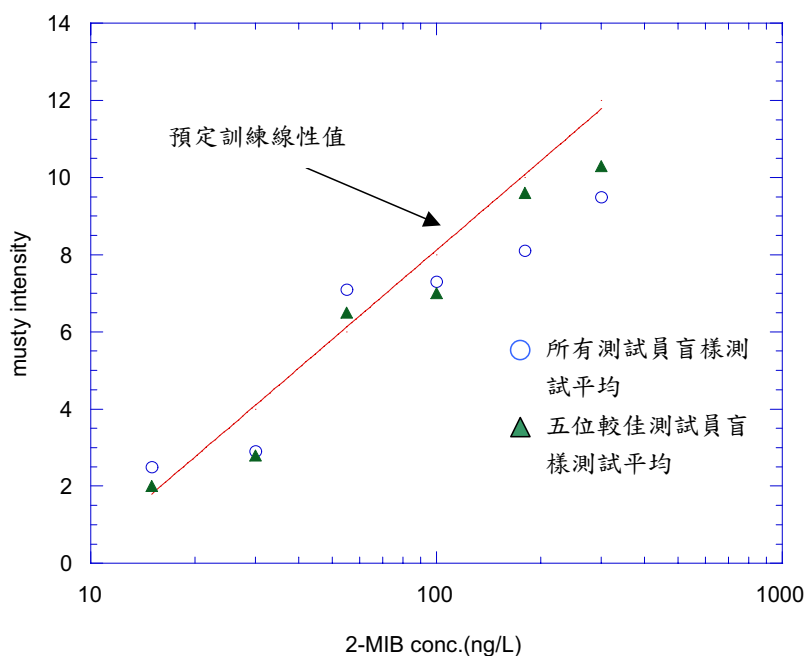


圖3 霉味物質的強度再現性

在考核過程中，Professor Suffet認為本計畫訓練之測試員對臭味物質皆有不錯的辨識能力，對於臭味物質強度間之認知也有良好之成效，但在土味（geosmin）及霉味（2-MIB）的辨識方面，有些測試員有混淆的情形產生，應在日後加強訓練，而在聞測真實樣品時，若有氯味時，應先將氯味去除，以免對其他臭味產生遮蔽效應，而無法真實描述水樣的感官特性。再者，以往國內認為澄清湖的臭味問題是霉味及魚腥味，但Proffer Suffet表示，魚腥味應是藻味才對。

五、結論與建議

本訓練課程初步完成對於水公司七區檢驗室人員FPA方法訓練，並將技術轉移給七區檢驗室。惟FPA測試員須經不斷訓練，才能對臭味物質的強度有良好再現性，因此FPA小組的組長必須每隔一段時間，配製臭味物質標準品，讓測試員聞



圖 4 Professor Suffet 訓練指導測試人員

測，以確立測試員對臭味物質的強度記憶。且由之前的訓練經驗可知，測試員在測試期間的注意力，將會大大影響測試結果，因此測試員注意力應維持在良好的狀況下。

六、致謝

本訓練計畫由台灣省自來水公司提供經費支持，特此致謝。計畫執行期間台灣省自來水公司工務處及台灣省自來水公司第七區管理處全力配合，以及第七區管理處檢驗室的分析人員配合擔任測試人員，均一併致謝。

七、參考文獻

1. Mallevalle, J., and Suffet, I.H. (1987) *Identification and Treatment of Taste and Odors in Drinking Water*; American Water Works Association Research Foundation and Lyonnaise des Eaux, Denver, CO, USA.



圖 5 講習會照片

2. APHA, AWWA, and WPCF. (1995) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 19th ed, Washington, D.C., USA
3. American Water Works Association (AWWA) (1993) *Flavor Profile Analysis: Screening and Training of Panelists*, Denver, CO, USA.
4. Suffet, I.H., Mallevalle, J., and Kawczynski, E. (1995) *Advances in Taste-and-Odor Treatment and Control*. American Water Works Association Research Foundation and Lyonnaise des Eaux, Denver, CO, USA.
5. American Society of Testing and Materials (ASTM) (1991) *ASTM E679-91 Standard Practice for Determination of Odor and Taste Thresholds by a Forced-Choice Ascending Concentration Series Method of Limits*, Philadelphia, PA, USA.

倒極式電透析水處理技術的應用

梁德明¹、夏工傑²、廖啓鐘¹、周珊珊³

一、前言

倒極式電透析（electrodialysis reversal，EDR）是定時將電透析（electrodialysis，ED）的直流電正負極和內部導流的切換來延長薄膜使用壽命。隨著薄膜材質不斷的改良，薄膜透析之性能、化學穩定性皆大幅提昇，因此EDR在水處理上應用愈來愈廣泛，目前已商業化運用在脫鹽處理，也用在純水預處理、飲用水處理、廢水回收與電鍍廢水回收處理等。

中國大陸地區有70%的人飲用地下水，北方的生活用水及工業用水更高達90%使用地下水，因此有許多電透析設備應用於地下水及河水脫鹽處理。依據國際脫鹽協會（International Desalination Association, IDA）的統計資料顯示，目前世界上傳統的脫鹽（去除TDS）方法仍以多段蒸餾（multi-stage flash distillation）

及逆滲透法（reverse osmosis，RO）為主，電透析設備的佔有率則居第3位。以電透析設備的處理量而言，至1997年為止，IDA的統計資料顯示，在美國設置的電透析設備總處理量最大，達360,000CMD，但中國大陸及蘇俄在1988年時，電透析設備的總處理量即已分別達到600,000 CMD及450,000 CMD，顯然目前中國大陸電透析設備的總處理量遠超過美國⁽¹⁾。

針對EDR技術而言，日本及歐美的電透析公司在水及純水處理的應用上已有相當多實績，除了用在水的淡化處理上，尚可用於無機酸、有機酸及重金屬的回收。雖然陰、陽離子交換膜的產品種類非常多，但電透析設備相對昂貴許多，因此在推廣上較為困難。大陸的電透析多用於水的淡化處理（即脫鹽），尤其在鹹水淡化及河水、地下水與工業用水處理。在水的

工業技術研究院

環境與安全衛生技術發展中心 環境科技研究組

1. 研究員

2. 助理研究員

3. 污染防治研究室經理

淡化處理領域上，大陸電透析設備的總處理水量佔了全球的一半，具有相當大的價格優勢。工研院環安中心近年來改進大陸的電透析設備，並安裝全自動監控系統，在許多現場處理不同的水源，如河川水、高鹽度地下水、製程清洗水與廢水等，EDR脫鹽的性能測試結果良好，茲將試驗結果簡述如后。

二、EDR應用於河川水處理

石化產業冷卻水用量龐大，通常採用自來水公司所提供之工業用水作為冷卻水塔補水水源，然而為了避免乾旱時工業用水不足之問題，尋找其它替代水源或找出經濟有效之水回收方法，為業者急迫需求之研究課題。

就脫鹽的處理技術而言，常用的水處理技術為RO與EDR，通常RO可以達到相

當好之出水水質（脫鹽率 $>95\%$ ），但是水回收率較EDR為低。而EDR膜較RO膜有較好的物理性及抗化性（含抗 SiO_2 ），EDR更對雜質、膠質及細菌的容忍度較RO為高。一般原水淤泥阻塞指數（silt density index, SDI）之要求RO為 $\text{SDI}_5 < 5$ ，EDR則為 $\text{SDI}_5 < 15$ 。

以EDR與RO模場設備進行處理河川水，以做為冷卻水塔補水之可行性研究。本試驗規劃的流程如圖1所示，河川水經與UF處理後，出流水再經EDR或RO處理，並比較兩者產水水質。本模型場試驗所採用EDR膜組為三級九段式，共有150對膜，最大水處理量為 $8\text{m}^3/\text{d}$ 。

RO及EDR試驗結果如圖2、圖3所示。實驗初期RO水回收率操作在 $85\sim 90\%$ ，6月中旬後發現有結垢現象，水回收率逐步調降至 $70\sim 75\%$ 。而RO脫鹽率

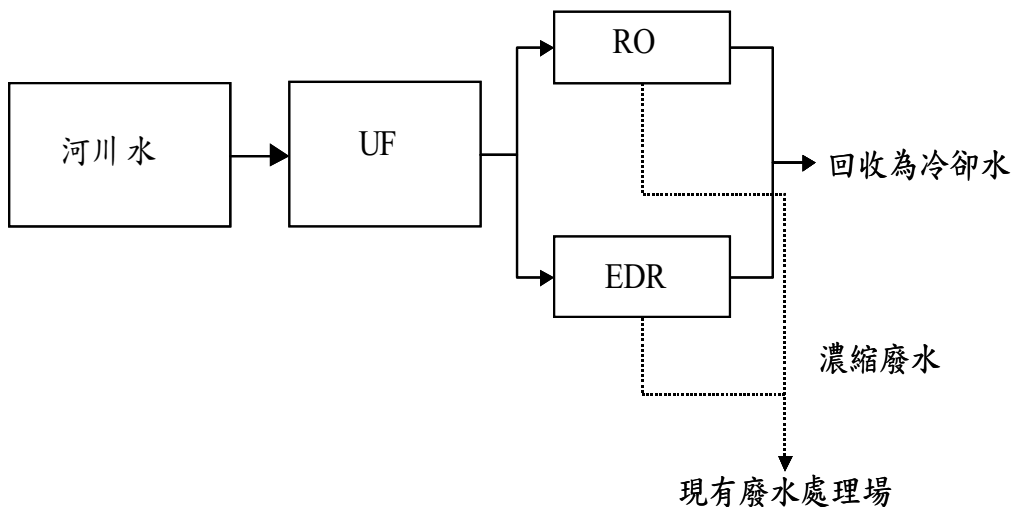


圖1 水回收處理流程規劃

甚佳，可達80~90%，產水電導度大都低於100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。EDR操作水回收率85%時，平均脫鹽率約80%。操作期間曾發生一次循環水量下降，經酸洗後始恢復正常運轉。因此，固定時間自動進行酸洗對EDR操作是有必要的。由此次模場試驗，可得知EDR與RO處理河川水產水水質如

電導度、鈣硬度等皆低於目前冷卻塔補充水水質，而EDR之抗垢性比RO為佳，是為可行的處理方法之一⁽²⁾。

三、EDR應用於地下水處理

以某電子廠地下水作為製程用水，進行現場處理測試，電導度約為1,000-2,000

表1. 河川水水質

項 目	電 導 度 $\mu\text{S}/\text{cm}$	硬 度 $\text{mg}/\text{L CaCO}_3$	pH	TOC mg/L
河 川 水	480~760	180~240	7.3~7.6	1-6

表2. EDR與RO處理河川水功能

項 目	EDR	RO
水量回收率(%)	85	75
平均脫鹽率(%)	80	88
Ca^{2+} 去除率(%)	85	95
COD 去除率(%)	<10	59
防垢藥劑	5 g/m^3 (32% HCl)	14 g/m^3 (32% HCl)
進水 pH	7.4~8.0	5.1~6.2
出水 pH	6.8~7.8	6.3~7.3

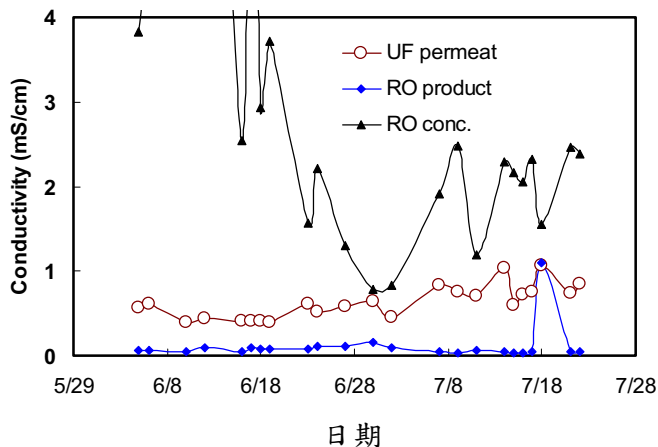


圖2. RO處理河川水之電導度變化

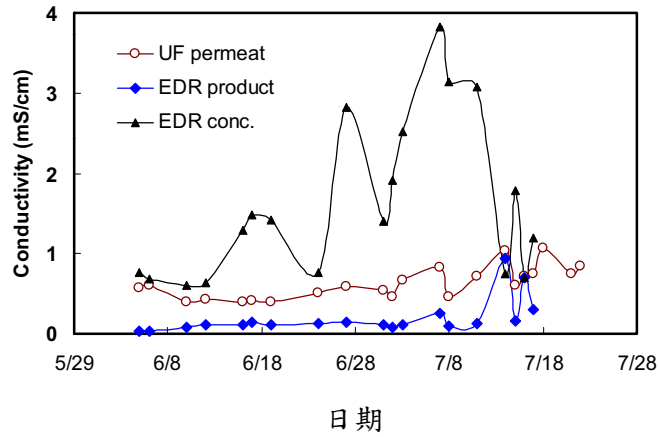


圖3. EDR處理河川水之電導度變化

($\mu\text{S}/\text{cm}$ ，除了含鈣、鎂硬度外，水質與一般印刷電路板 (printed circuit board, PCB) 除銅後的清洗水差不多。使用EDR脫鹽的處理取代樹脂軟化，在技術上是可行，且可以進一步減少後段RO處理的負擔，同時可用自動控制的方式進行EDR的操作。在3個月內持續以不同的條件操作進行實驗，期間有脫鹽率下降的情形，使用稀鹽酸循環清洗的方式可達到脫鹽率恢復的效果，試驗結果如表3 所示，在脫鹽

與軟化上均有很高的效率。所以在此水質下，EDR的操作方式可較傳統ED方式節省60%的酸洗水量⁽³⁾。實驗結束後拆開檢視離子交換膜仍正常完好，顯示大陸ED膜的耐久性達到一定水準。

四、PCB業廢水回收處理

以某PCB廠綜合放流水（電導度約 $3,000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ）進行EDR的廢水再生測試，處理量為 $100\text{L}/\text{hr}$ ，倒極頻率為每30分鐘一次，可達70%以上的脫鹽率。以廢水處理

表3.高鹽度地下水處理

分析項目	EDR進水	EDR淡水	EDR濃縮液	樹脂軟化製程軟水	EDR去除率 (%)
電導度 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	2066	460	7150	2010	78
Cl^- (mg/L)	279	68	1877	475	76
SO_4^{2-} (mg/L)	120	61	417	164	49
Na^+ (mg/L)	353	15	1188	345	96
Mg^{2+} (mg/L)	25	ND	118	25	100
Ca^{2+} (mg/L)	25	ND	58	25	100

場綜合放流水水質COD: 80 mg/L (TOC: 25mg/L) 及電導度3,500 μ S/cm預估, 若需處理至工業用水水源 (近似自來水的水質, TOC<4 mg/L及電導度< 500 μ S/cm), 較佳的廢水回收流程如下⁽³⁾ :

放流水→生物膜或BioNET處理槽→砂濾槽→活性炭槽→EDR

上述處理流程處理水質如表4, 電導度降至410~520 μ S/cm, TOC小於20 mg/L, 可以使用於冷卻塔用水, 或再經RO處理以作為其他水源。EDR之前可選擇設置或不設置UF, 若不設置UF則EDR倒極的頻率須較高 (約15分鐘一次), 因此水回收率較低; 若設置UF則可以延長EDR 薄膜的壽命, 但UF 本身除須定期反洗外, 可能更換的頻率也較高。回收水的水質要求如TOC< 20 mg/L及電導度< 500 μ S/cm時, 則可選用初設成本經濟的EDR (工研院環安中心改良的EDR)。

五、含漿料廢水回收處理

織布廠水織機的排放水因成分較為單純, 只需進行簡單處理即具有回收使用的

潛力。織布廠改良式水織機用水水質與廢水處理場放流水水質分析如表5, 由表5發現廢水回收使用可行性很高。含漿料廢水經調勻與混凝浮除處理後, 電導度只增加約300 μ S/cm, COD約在90 mg/L, 只要將放流水中有機物適當去除, 並去除部份電導度, 即可回收使用。

將放流水經模廠的BioNET生物膜反應槽分解後⁽⁴⁾, 約有60~80% 的COD處理去除率, 出流水COD降至20 mg/L左右。生物出流水以EDR脫鹽後, 其水質優良可回收使用。因此, 規劃回收處理程序⁽⁵⁾ 為:

浮除後的出流水→BioNET生物處理→過濾→EDR

EDR出流水電導度可低於400 μ S/cm以下, 如果水力停留時間更長, 將可達到更高的脫鹽效果。

六、結語

由於水資源的匱乏, 如何規劃與選擇經濟有效之水回收方法, 為急迫需求之研究課題。下列各現況即可凸顯此問題的重

表4. PCB業廢水回收處理功能

項 目	原水	生物膜	砂濾/活性炭	EDR
TOC (mg/L)		20~45	10~20	8-18
COD (mg/L)	70~150	10~80		
電導度(μ S/cm)	3,600~4,300		3,550~4,280	410~520

表5. 改良式水織機用水水質與漿料廢水浮除後出流水質

項 目	電導度 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	總固體物 (mg/L)	pH	Ca^{2+} (mg/L)	Mg^{2+} (mg/L)
用水標準	<800	<600	6-9	-	-
浮除出流水	1,000~1,500	900~1,200	7.8~8.8	15<	5<
項 目	SO_4^{2-} (mg/L)	Na^+ (mg/L)	Fe^{2+} (mg/L)	TOC (mg/L)	COD (mg/L)
用水標準	0.52	<176	<0.05	<15	-
浮除出流水	200~275	200~275	<0.1	40~56	60~90

要性，包括：（1）經濟部規劃在部份新開發工業區與離島地區興建海水淡化廠，（2）經濟部規劃離島地區工業用水平均回收率，將由目前的32%提昇到41%，（3）未來可能徵收水污費及調漲水費，（4）工業區要求工廠提高水回收率，尤其對大廠規定限水的要求。在缺乏水源情形下，水源除使用地面水、地下水及井水外，另有海水淡化廠以因應未來需求。隨著薄膜成本降低，薄膜材質不斷的改良，薄膜透析之性能與穩定性也大幅提昇，再加上程序控制的自動化，將使EDR在水處理應用上更為普遍。目前EDR已成功商業化運用在高鹽度地下水、河川水與半鹹水淡化脫鹽處理，未來不論在水回收、廢水回收或在海水淡化處理上有更大的發展的潛力，值得進一步發展應用。

參考文獻

1. 日本造水促進中心，全世界脫鹽工廠設

置狀況，造水技術，25（2），30-36. 1999。

2. 梁德明，電透析薄膜回收處理技術探討，廢水三級處理相關技術與實務講習會，財團法人，中技社綠色技術發展中心，2003。
3. 周珊珊、廖啓鐘，電子相關產業清洗水循環再利用設備開發，工研院環安中心研究報告，2001。
4. 張王冠、莊順興、鄒文源、洪仁陽、吳漢松，BioNET技術應用於自來水原水前處理，中華民國自來水協會會刊，17（4），30-36. 1998。
5. 梁德明、彭淑惠、陳致君、廖啓鐘、周珊珊，織布廠漿料廢水回收處理可行性研究，第八屆水回收與再利用研討會，2003。

中國長江三峽大壩工程參訪報告

陳志奕¹、盧清雄²、謝啓男³

一、前言

2003年8月，承蒙中國長江三峽工程開發總公司（CTGPC）邀請參訪三峽大壩工程，成員為吾等三人及台灣省自來水公司沈董事明峰先生、陳監察人永愉先生、中華民國自來水協會秘書長劉家堯先生共6人。長江三峽工程開發總公司是經中國國務院批准成立的，是一個獨立核算，自主經營，自負盈虧，具有法人地位的經濟實體，是三峽工程的法人，全面負責三峽工程的建設和建成後運行管理，負責工程建設資金（含水庫淹沒處理和移民安置費用）的籌措和償還。為了確保工程建設的順利進行，國務院成立了三峽工程建設委員會，整個工程建設管理的基本體制如圖一、三峽工程施工管理框圖。

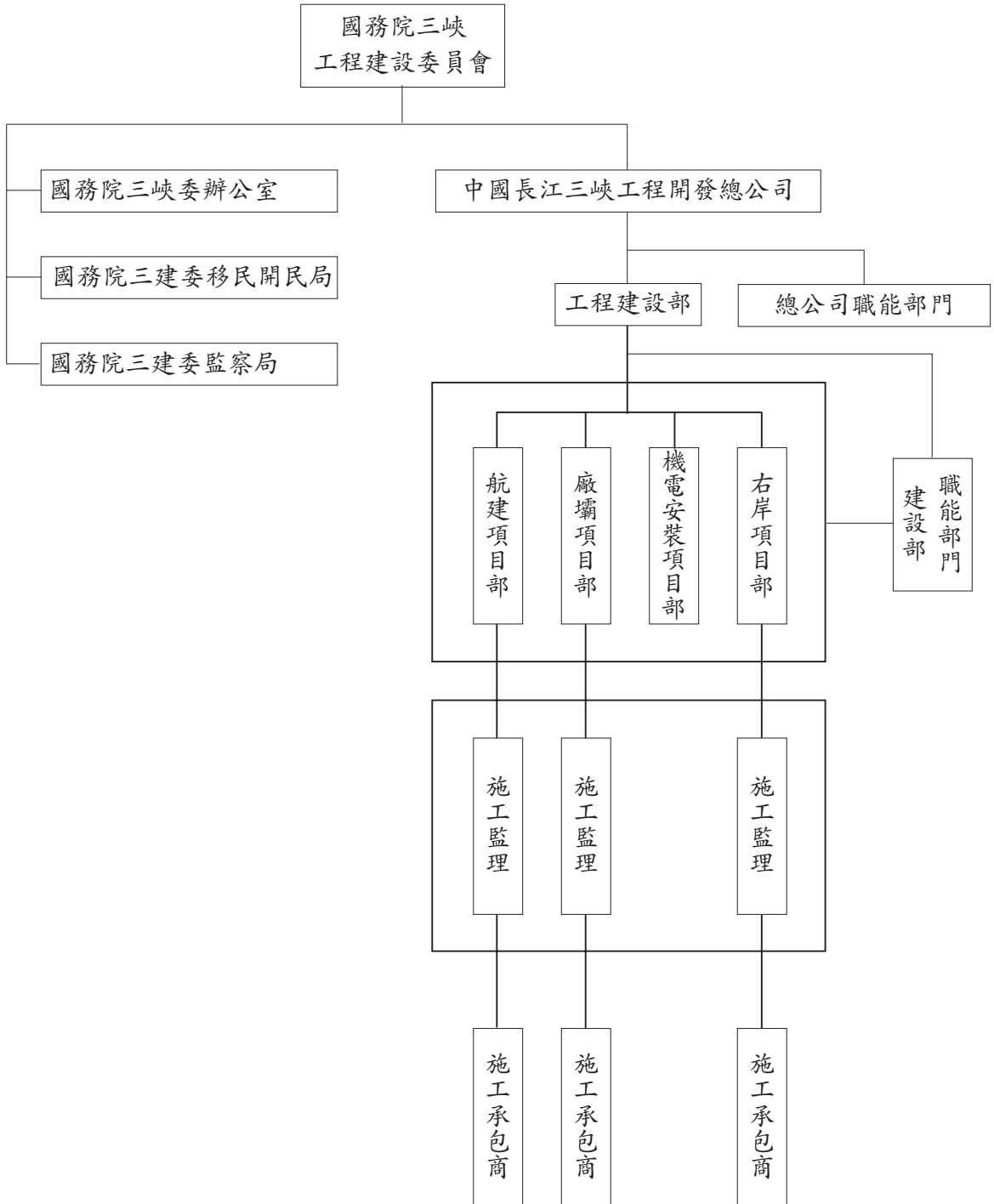
興建三峽工程的設想始于本世紀初，最早提出在三峽建壩的是偉大的國父孫中山先生。1994年，美國著名大壩專家薩凡奇查勘三峽江段後，編寫了《揚子江三峽計畫初步報告》。

1946年，國民黨政府和美國內政部墾務局簽訂委託設計的合約，並進行了初步的勘察、規劃和設計工作。三峽工程大規模的規劃、勘察和設計工作從50年代中期開始並持續不斷，迄今已逾40餘年。因工程規模宏大，技術複雜，涉及的科學技術、社會經濟、環境保護等專業範圍極廣，除承擔勘察、規劃、設計和科研工作的長江水利委員會（即長江流域規劃辦公室，簡稱長江委）的數千名專業技術人員外，還有一大批高等院校、科研院所、施工單位和設備製造等部門，各行各業的專家學者，也參加了工程的研究工作。1986～1989年的三峽重新論證，包括了中國各行各業共412位著名專家，歷時近三年。自40年代起，特別是80年代以來，好多的外國專家也參加了工程的研究和諮詢的工作。

長江委于1989年底完成可行性研究報告，在報經國務院三峽工程審查委員會組織全面審查後，全國人大七屆五次會議于1992年4月3日審議通過。同年12月，

- 1.台灣省自來水公司董事長
- 2.台灣省自來水公司高級顧問
- 3.台灣省自來水公司副總經理

圖一 三峽工程施工管理框圖





圖二 長江三峽示意圖

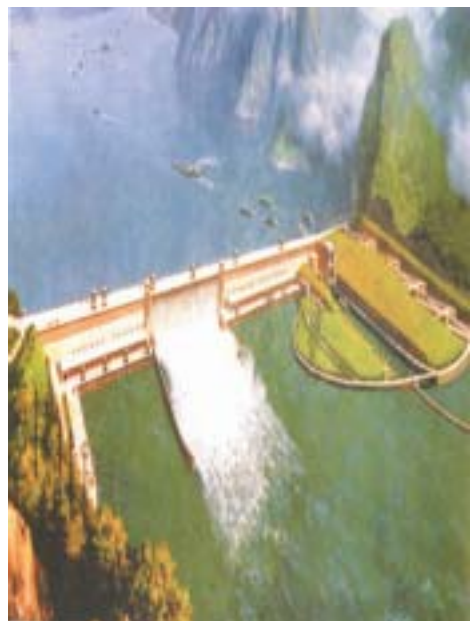
長江委編制完成了《長江三峽水利樞紐初步設計報告（樞紐工程）》，經國務院三峽工程建設委員會組織審查，于1993年7月正式批准。迄今已施工11年，整個工期需要17年，預定2009年全部完成。截至2003年8月底止，已完成水庫初期蓄水到標高135m，4部機組發電和永久船閘通航。

長江三峽指的是瞿塘峽、巫峽及西陵峽，西起四川省奉節縣的白帝城，東到湖北省宜昌市的南津關，全長193公里，我們一行搭乘皇家公主號遊輪由重慶出發，經過三天才到達三峽大壩前，本來應該通過五級船閘，航行到宜昌，唯值逢長江發洪水，逕流量超過45,000CMS，大於船閘開放的設計流量，沒機會領受遊輪入閘下五級階梯，通過船閘的感覺。遊輪停在姊歸港（大壩前），由CTGPC派員來接，得以順利參訪大壩工地，並觀看洩洪的壯觀場面。長江三峽示意如圖二。

二、長江三峽水利樞紐工程簡介

2-1 主要技術經濟指標及鳥瞰圖

大壩現址位於湖北省宜昌市三斗坪，其下游距離已建成的葛洲壩水利樞紐約40公里，三峽工程是中國，也是世界最大的水利樞紐工程。水庫正常蓄水位標高175m，總庫容393億立方公尺。工程主要技術經濟指標參見如表一。鳥瞰圖如圖三。



圖三 長江三峽工程鳥瞰圖

表一 三峽水利樞紐主要指標表

編號	項 目 名 稱		單位	指標 備註	
1	水庫	正常蓄水位	m	175	初期156 初期135 初期140
		防洪限制水位	m	145	
		枯季消落低水位	m	155	
		設計洪水位	m	175	
		校核洪水位	m	480.4	
		總庫容	億m ³	393	
		防洪庫容	億m ³	221.5	
		水庫庫面面積	Km ²	1084	
2	大壩	型式		混凝土重力壩	
		壩頂高程	m	185	
		最大壩高	m	175	
		軸線全長	m	2309.47	
3	電站	型式		壩后式	初期3600 初期700
		裝機容量	MW	18200	
		保證出力	MW	4900	
		平均發電量	億KW.h	846.8	
		單機容量	MW	700	
		裝機台數	台	26	
4	船閘	型式		雙線五級連續梯級	
		閘室尺寸	m	280×34×5	
5	升船機	型式		單線單級垂直提升式	
		承船廂尺寸	m	120×18×3.5	
6	水庫淹沒	耕地(含果園)	千公頃	24.5	1992年調查 1992年調查
		淹沒區人口	萬人	84.41	
7	工程施工	土石方開挖	萬m ³	10283	
		土石方填築	萬m ³	3198	
		混凝土澆築	萬m ³	2794	
		鋼材	萬t	48.30	
		鋼筋	萬t	25.65	
		施工總工期	年	17	
		第一批機組發電	年	11	
8	靜態總投資		億元	900.9	1993年5月價格 1993年5月價格 1993年5月價格
		其中：樞紐工程	億元	500.9	
		水庫淹沒補償	億元	400	

2-2 主要任務及效益

是具有防洪、發電、航運等綜合效益的水質源多目標開發工程。

2-2.1 防洪

2-2.1.1 防洪

三峽水利樞紐是長江中下游防洪體系中的關鍵性骨幹工程。其地理位置優越，可有效地控制長江上游洪水。水庫有防洪庫容221.5億立方米，建成後可使荊江河段防洪標準由現狀的約十年一遇提高到百年一遇；遇千年一遇或類似於1870年曾發生過的特大洪水，配合荊江分洪等分蓄洪工程的運用，可防止荊江河段兩岸發生幹堤潰決的毀滅性災害；可極大地提高長江中下游防洪調度的機動性和可靠性，減輕中下游洪災損失和對武漢市的洪水威脅；並可為洞庭湖區的根治創造條件。

2-2.2 發電

三峽水電站總裝機容量1820萬千瓦，年平均發電量846.8億千瓦小時，主要供電華東、華中地區，小部分送川東。與同規模的燃煤火電站相比，每年約可替代消耗原煤4000萬噸。它將為經濟發達、能源不足的華東、華中地區提供可靠、廉價、清潔的可再生能源，對經濟發展和減少環境污染起重大的作用。

2-2.3 航運

三峽水庫將顯著改善長江宜昌至重慶的航道，萬噸級船隊可直達重慶港。航道

單向年通過能力可由現狀的約1000萬噸提高到5000萬噸，運輸成本可降低35~37%。經水庫調節，宜昌下游枯水季最小流量，可從現狀的3000立方米/秒提高到5000立方米/秒以上，使長江中下游枯水季航運條件也有較大的改善。

2-3 若干重大技術問題

2-3.1 泥沙問題

水庫泥沙問題是水庫建設難題。三峽水庫年平均入庫泥沙量達5.3億噸。如泥沙問題處理不好，不僅會影響水庫正常效益的發揮，縮短水庫使用壽命，而且會影響長江這一黃金水道的通航。依據三峽水庫的地形、地貌特徵採用“蓄清排渾”的水庫調度方式，可以保證水庫的長期有效運用。

蓄清排渾的運用方式說明如下：

三峽水庫入庫水量巨大，大壩設有23個低高程（90米）、大尺寸（7×9米）的泄洪深孔，同時汛期將水庫水位維持在較低高程（145米）。這些條件有助三峽水庫調度按“蓄清排渾”方式運用。在多少多沙的汛期6~9月（來水量占全年61%，輸沙量占全年84%）水庫水位維持低水位145米（防洪限制水位），大量泥沙可通過深孔隨泄洪排出庫外，實現“排渾”；汛末10月，來水中含沙量降低，水庫蓄水至175米（正常蓄水位），實現“蓄

清”。採用這一水庫調度運用方式，入庫來水中的絕大部分泥沙可以排出庫外。

2-3.2水庫誘發地震

誘發地震研究對三峽水庫分段進行評價的基本結論是：以壩址至廟河長16公里的結晶岩低山丘陵庫段，岩體完整性好，歷史和現今有感地震活動稀少，蓄水後不排除發生淺源小震，最大震級預計不大於芮氏4級；自廟河至白帝城長142公里的碳酸鹽岩峽谷庫段，可能發生岩溶性的水庫誘發地震，最大震級也不超過芮氏4級；白帝城以上以砂岩、泥岩為主的庫段，優大斷裂通過，岩體透水性弱，不具備發生水庫誘發地震的條件。

根據長期的地質勘測研究和水庫誘發地震研究成果，三峽壩區和庫區地殼穩定，均不孕育發生嚴重地震的地質背景。三峽水庫蓄水後，雖不排除發生水庫誘發地震的可能性，但最高估計，影響到壩區的最高地震烈度不會超過VI度，不會影響按VII設防的主要建築物的安全。

2-3.3庫岸穩定

三峽水庫庫岸主要由堅硬岩石和半堅硬岩石構成，大的斷層不多，新構造運動和地震活動也不強烈，因而庫岸總體穩定性是好的。但三峽河段岸坡在長江河床下切的過程中，在高陡岸坡上發生一些崩塌和滑坡，屬於河流發育過程重點正常自然現象，歷史上曾有發生，水庫蓄水後也有

可能繼續發生。經查明，庫區岸坡分布有大於100萬立方米的大型崩滑、危岩體共284個，總體積約30億立方米。其中穩定性差和較差、蓄水後可能失穩的大型崩滑體共64個，總體積3.4億立方米，即使全部失穩滑塌入水庫，對水庫庫容和壽命也無實質性的影響。

2-3.4大江截流

三峽工程大江截流設計流量14000～19400立方公尺/秒，龍口最大水量達60m，是世界上大江截流史上規模最大，難度極高的截流工程，選用預平拋墊底抬高河床配合單戰立堵的方案，大江截流已於1997年11月8日順利合攏。

2-3.5圍堰施工

採用砂石堰殼，混凝土防滲牆心牆上接土工組物防滲的方案。大江截流合攏後，配備大批大型施工設備進行高強度的填築和防滲牆施工。為了防止在水下拋投的鬆散的風化砂中造成孔坍塌，採取了振沖加密，滑漿堵漏，小落量爆破，埋管灌漿等工法，深槽部分的第二道防滲牆，採用了高噴成牆技術。

2-3.6永久船閘

永久船閘佈置在大壩左側的山體內。船閘線路總長6442公尺，其中上游引航道長2113公尺，寬180公尺（口門寬220公尺），船用主體段長1607公尺，下游引航道長2722公尺，寬128-180公尺（口門寬

200公尺)。因船閘上下游最大水頭為113公尺，故設5級閘室，分擔水量。高陡岩石邊坡的穩定和變形量是工程設計和施工中最關鍵的技術問題，採用設置防滲和排水系統，控制爆破，噴錨支護和預力錨索，高強錨杆加固等一系列措施。

2-3.7大壩施工

三峽工程混凝土總量高達2800萬立方公尺，要如何才能保證工程的質量和工期。選定了以塔帶機為主，輔以高架門機，塔機和纜機的綜合施工方案，並開發研制了混凝土生產運送澆築計算機綜合監控系統，全程監控整個施工過程。

為滿足混凝土耐久性的特殊要求，選用非鹼活性花崗岩人工骨料，並嚴格限制水泥熟料中鹼含量小於0.5%，要求混凝土中總鹼量 ≤ 2.5 公斤/立方公尺。在混凝土中採用1級粉煤灰。採用低溫混凝土生產系統，要求夏季生產出機口溫為7°C的低溫混凝土。因為壩區氣溫驟降頻繁，混凝土表面防裂難度大，所以溫控措施要求嚴格。

2-3.8特大型金屬結構

各類閘門、啓閉機品種類型多、數量大，整個工程共有各類閘門282扇，啓閉機135台套，因結構尺寸大，受力條件複雜，技術要求很高。水電站機組採用單管引水，壓力引水鋼管26條，每條鋼管全長122.2公尺，內徑12.4公尺。壓力管承受的

最大靜水頭為113公尺。

升船機是用於客輪快速過壩的重要通航建築物，一次可通過一條3000噸級的客貨輪，採用齒輪齒條爬升，長螺母柱短螺杆安全裝置的型式。

水電站安裝26台70萬千瓦的水輪發電機組，是由法國技術監督局和法國電力公司組成的聯合體（BV / EDF）負責機組的監造任務。

2-4環境影響評估

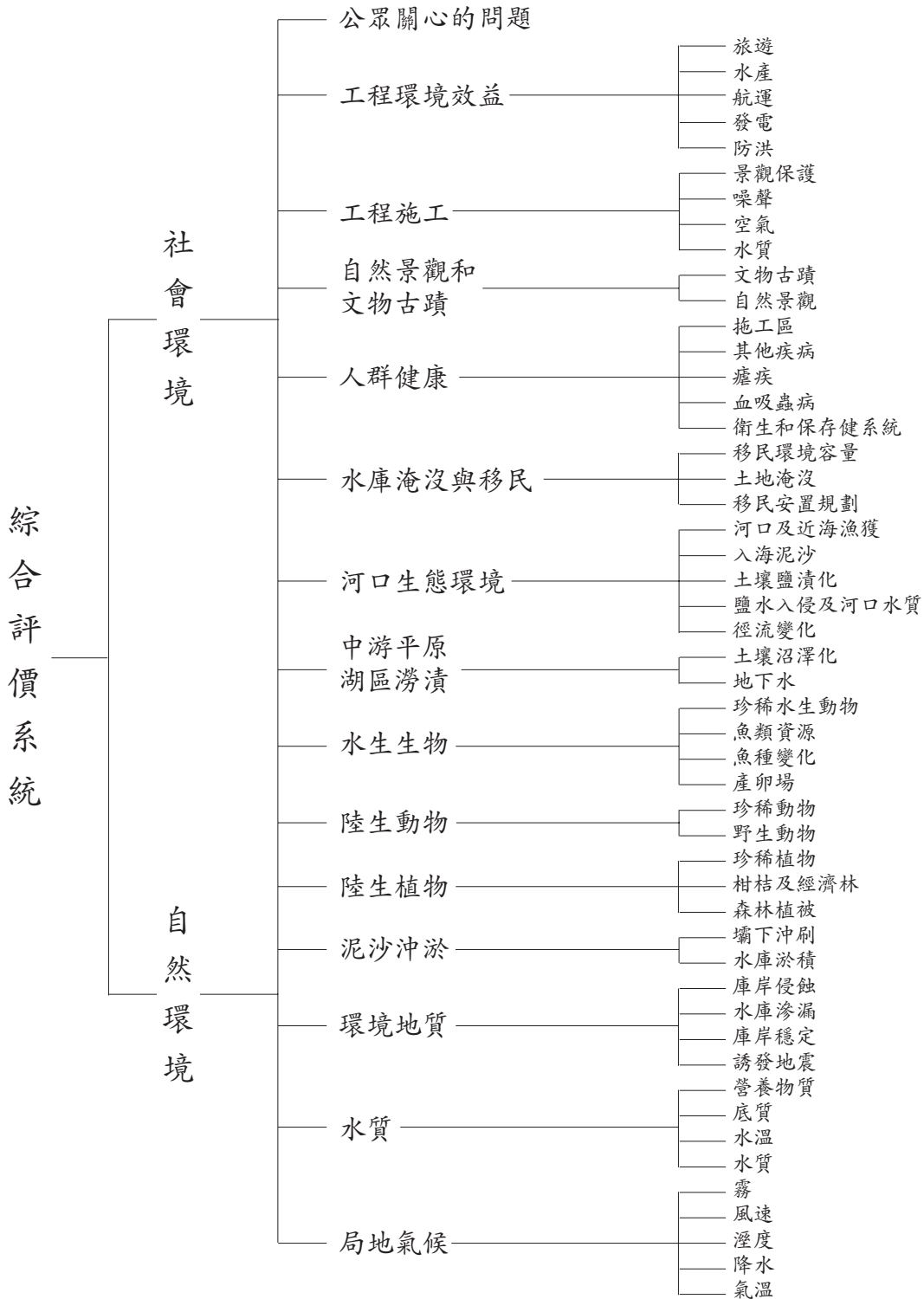
長江三峽水庫為峽谷河道型，全長600餘公里，平均寬度僅1.1公里，長江三峽水利樞紐環境影響報告書將長江流域作為一個完整的大系統，對三峽建庫引起的庫區，長江中下游及河口地區的自然環境、社會環境的影響進行了全面的分析和研究，對包括氣候、水質、生物、自然景觀和文物，水庫淹沒和村民安置等數十個環境因子進行全面評估。

三峽工程環境影響評估層次系統如圖四。

經由分析與研究，評估的結論是興建三峽工程對生態與環境的影響有利有弊，主要有利影響在長江中游地區，主要不利影響在庫區。大部分不利影響採取適當的對策措施後，可以得到減免，生態與環境問題不制約三峽工程的可行性。

興建三峽工程的首要目標是防洪，經過三峽水庫調蓄，荊江河段的防洪標準可

圖四 三峽工程環境影響評價層次系統



由目前的不足十年一遇提高到百年一遇。

將使江漢平原和洞庭湖區2300萬畝耕地和大批城鎮得到保護，1500萬居民得到更安全的居住和發展環境，減少洪災損失，減輕武漢市的洪水威脅，減少洞庭湖的泥沙淤積，延長洞庭湖的壽命。三峽水電站將提供巨額的清潔能源，特別是防止酸雨危害和溫室效應。三峽水庫建成後，將改善庫區的局部氣候，有利農業、漁業的發展，改善長江中下游及枯水期水質，減輕長江口鹽潮入浸，有利於提高上海市供水的水質。

主要不利的影響是自然景觀「峽感」減弱。淹沒的文物古蹟有44處，珍貴瀕危植物47種，珍貴野生動物26種，珍稀水生生物中華鱖的回游和棲息地有一定的影響，對這些不利影響，將採取適當措施加以減免或保護。

2-5水庫淹沒和移民安置

三峽水庫將淹沒陸地面積632平方公里，淹沒城市2座，縣城11座，集鎮116個，工礦企業1599家，耕地2.45萬公頃，公路824.25公里，水電站9.22萬千瓦，淹沒房屋總面積3560萬平方公尺，淹沒區居住的總人口為84.41萬人，考慮到建設期間內的人口增長，移民安置的總人口將達130萬人。

三峽庫區是相當貧困的地區，如何達

到讓移民「搬得出，穩得住，逐步能致富」的目標是非常困難的工作，採取了中央統一領導，分省負責，縣為基礎的移民安置管理體制。移民安置和淹沒處理總經費400億人民幣。將來還要在發電利潤中提取庫區建設基金，繼續幫助庫區發展經濟。

2-6工程投資與資金來源

三峽工程施工期長達17年，資金來源多元化，計入物價上漲及施工期貸款利息的動態，總投資為1800億元人民幣。

資金來源主要來自三峽工程建設基金，自1992年起對全國用電戶徵收三峽工程建設基金，以及葛洲壩電廠發電收入，另外三峽電站施工發電收入，現在已經有4部機組在運轉，每度電為人民幣2.5元，每年向國內銀行貸款30億元，自1996年起，發行三峽建設債券，至2002年7月累計達110億元，目前正在進行葛洲壩電廠及三峽電站的股份化改制研究。

2-7工程經濟與財務分析

經濟評價，採用影子價格和12%的社會折現率進行分析計算，三峽工程的經濟內部收益率為15.6~14.8%，均遠高於法定的社會折現率。

財務分析採用現行的財務價格，按多種不同的集資方案進行分析計算，三峽工

程的財務內部收益率均高於10%。

三、南水北調工程計畫簡介

因大範圍的改革開放及大量資源開發，造成生態破壞及水土流失，使黃河發生了嚴重的斷流及赤潮，依靠黃河供水的華北九個省區及河北、天津兩地的居民，經常發生枯旱。然而長江水系發達，眾多支流，下游又多湖泊，降雨豐沛，年逕流穩定，是救治西北及華北地區最佳的借水區。

主要是藉西、中、東三線工程分別從長江上、中、下游調水入黃河，跨流域供水西北、華北地區。

南水北調工程總體布局示意如圖五

3-1西線工程：

1.通天河引水線

在通天河同加附近建302公尺高壩，靠重力流引水到雅礮江，由同加到雅礮江開新隧道長約158公里。

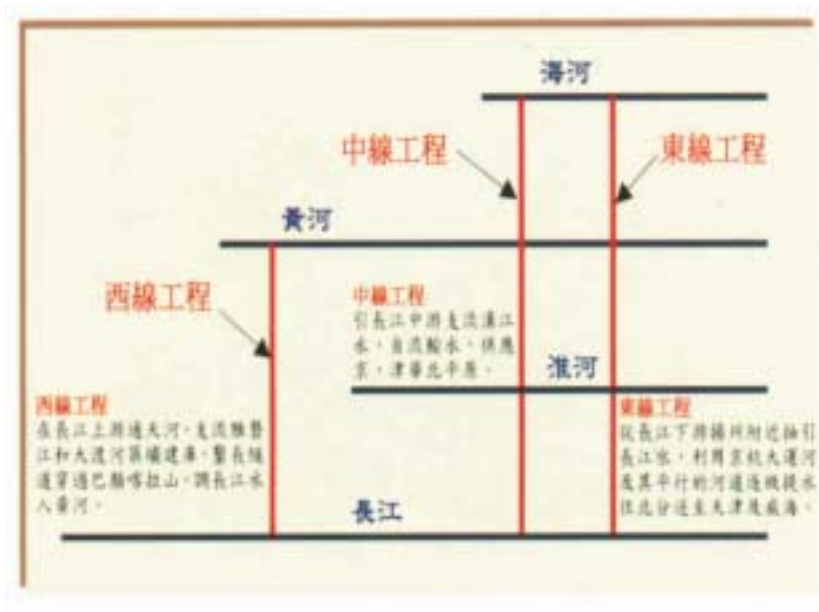
2.雅礮江引水線

在雅礮江建175公尺高壩，由雅礮江到黃河開新隧道長約131公里，靠重力流引水到黃河支流恰恰弄。

3.大渡河引水線

在大渡河上游足木足河斜爾朵附近建296公尺高壩，設揚程458公尺抽水站，把水打入黃河支流賈曲，全長約30公里，其中隧道長約28.5公里。

西線工程三條引水線年約調水200億



圖五 南水北調工程總體佈局示意圖

立方公尺到黃河。

3-2中線工程

加高長江支流漢江的丹江口水庫，壩高從162公尺加高到176.6公尺，設計蓄水位由157公尺提高到170公尺，水庫容量由116億立方公尺增加到290.5億立方公尺。

輸水總幹渠自陶岔渠首閘引水，在伏牛山南麓與平原間地帶向東北行進，經南陽白河後跨方城壩口入淮河流域，經鄭州西北孤柏處穿越黃河後，沿太行山東麓，京廣鐵路西側過永定河進入北京市區，終點是玉淵潭。總幹渠全長1241公里。其中穿越黃河隧道工程長約7.2公里。天津幹渠自河北徐水縣黑山村的總幹渠上分水，向東到天津西河閘，全長142公里。全線均靠重力流引水，每年為北京、天津及河南、河北沿線城市增加公用給水64億立方公尺，農業用水30億立方公尺。

3-3東線工程

輸水工程將從揚州江都抽引長江水沿京航運河及平行的河道逐級北送至黃河、淮河及海河平原，供水區域包括了江蘇、安徽、山東、河北四省。從長江到天津輸水主幹線長約1150km，其中黃河以南為651公里，穿黃河段91公里，黃河以北為490公里，因引水口比黃河低40餘公尺，從長江調水到黃河南岸需設數座抽水站，

總揚程約65公尺，穿過黃河後可藉重力流到天津，工程計畫年供水量達180億立方公尺。

3-4工程效益

南水北調工程以解決城市缺水為目標，兼顧生態和農業用水，可大幅度改善北方地區水資源條件，提高水資源配置效益。有效解決北方自然原因造成的水質問題，改善當地的飲水品質，又可改善長江水患及水質問題，長江平均十年發生一次澇災，須分流每年500億立方公尺的水以減少洪澇。

3-5資金籌措方式

南水北調工程浩大，總工程投資額高達5000億元人民幣，比長江大壩工程1800億元人民幣高出甚多。這些工程資金將由中央預算撥款，南水北調基金及銀行貸款三方面來籌措。

四、主要心得

1. 長江三峽水濁流急，李白的作品中有一段「朝辭白帝彩雲間，千里江陵一日還」，其流速之快，盡在眼前。三天在皇家公主號仙娜輪上，航經三峽，中途下船遊覽，覺得瞿塘峽生氣躍如、巫峽幽深秀麗、西陵峽屈折峻險，其中有些景點值得參觀，如鬼城酆都、巴東神農溪的船夫拉繆。有些詩句值得玩味，比

如鬼門關的門聯寫著「紅塵生涯原是夢，幽冥黃泉亦非真」。又岩壁上的懸棺，迄今如何上去是個謎。

2. 在水流湍急的長江三峽建壩築庫，其工程上的難度與複雜性，難以想像，偉大的工程師們的智慧及勞苦，值得敬佩。130萬移民的搬遷安置可能要比建壩工程來得困難。
3. 建壩築庫後，整個集水區的調查治理規劃非常重要，尤其是水土保持工作的落實，涉及移民中的農戶，現已耕種的25度以上的坡耕地需退耕，不能再種，對這些農戶的輔導轉業相信是個難題。
4. 整個長江三峽在大壩完成後，又是一番新景觀，觀光事業預期會有很大的發展潛力。
5. 南水北調看到的遠景是每年可從長江調水450億立方公尺到北方，有效解決北方水資源嚴重短缺的問題，建構「四橫三縱」的新水網，何其偉大！
6. 三峽水庫之興建亦使多少歷史古蹟或長沉江底，不復再見，或遷徙他址失其根源，難免有惋惜之情。目睹江峽兩岸為移民就近安置，開山闢路，另築新城，

使俊秀山巒，斧痕處處，水土破壞亦令人憂心。在偉大之外是否另有遺憾？就留待後人去評斷了。

五、結語

1. 長江三峽大壩是世界上最大的壩，一旦發生安全問題，其對民眾生命、財產的衝擊影響，遠超過美國911恐怖攻擊，所以水壩的保安措施非常重要。任何國家任何水壩都應該加以強化，對於水壩之破壞風險評估，包括防洪、防震、防潰、防滲、防人的破壞，都要重視。而水庫運轉中心是水壩整體安全系統的中樞，如何能在第一時間做出最有效的反應，值得深思。
2. 長江沿線城鎮的工業廢水與生活污水，長江流域農業用藥及肥料污染以及航運對河道的直接污染……等等影響水質的問題，必須加以改善。
3. 長江三峽大壩工程及南水北調工程，大大的改變了生態環境，一定會引出很多負面影響，必須加以妥善的想出配套對策來因應。

供水體系之漏損：標準用語及建議之實行措施

謝堽煌¹、陳光明²、原理³、李丁來⁴

摘要：

不論就某一年，還是從多年的發展趨勢來看，水的漏損量都是用來判斷自來水供應系統配送效率積極發展或消極發展的重要指標，每年不斷增加的大量漏水損耗，反映出供水系統在規劃與建設上缺乏效率，及缺少足夠之操作維護，從而促使世界各國積極研訂各種防漏計畫。

然而，從技術或經濟上而言，無漏損的供水管網系統是不切實際的要求，即使是在操作與維護良好的供水體系中，且自來水業者非常注意控制水的損耗的情況下，少量的漏水損耗是無法避免的。

隨著國際趨勢朝向可永續性、經濟效率性和環保性方向的不斷發展，供水體系中的損耗問題已成為全球關注的焦點，在技術和財政方面越來越受到重視，尤其是在缺水時期和快速發展時期。

由於不同國家描述和計算漏水損耗時

使用的定義不同，從而造成不必要的誤解。而且，傳統的供水效能指標常常在應用於實際的漏水損耗控制方面出現自相矛盾的情形⁽¹⁾。

1996年，國際水協會(International Water Association, IWA)操作與維護委員會配水組(IWA's Distribution Division)成立了特別任務小組(Task force)，調查研究各國現有的漏水控制方法，作為國際間比較供水體系中漏水損耗問題的依據。其主要目標是：

1. 為真實(Real)漏水損耗和顯(Apparent)漏水損耗的計算提供一套可供參採的基本標準用語；
2. 評估並建議較適用的供水效能指標，以用於國際間漏水損耗控制的比較。

本文概述漏水損耗特別工作小組(Water Losses Task Force)的結論，特別是建議較適用的供水效能指標，用來評估輸配水系統中真實漏水損耗(漏水和溢流)

1. 台灣省自來水公司第十一區管理處經理
2. 台灣省自來水公司第十一區管理處副理
3. 台灣省自來水公司第十一區管理處操作課工程員
4. 台灣省自來水公司工務處工程師

控制方面的操作效能，所建議的標準用語和適用的操作效能指標，均可在IWA所出版之「最佳作業指南（Manual of Best Practice）的「供水體系中的操作效能指標（Performance Indicators for Water Supply Services）」⁽²⁾一文中找到。

一、前言

供水系統的漏損和營收之短少問題為：

- 1) 技術方面：不是水公司供應的全部水量都能送達消費者；
- 2) 財政和經濟方面：不是水公司供應的全部水量都有人付費；
- 3) 標準用語方面：缺少供水系統的漏損和營收短少標準定義。

本文之目的在：

- 1) 介紹一種國際通用的標準用語；
- 2) 介紹如何計算水平衡（Water Balance）中，每年真實漏水損耗量和顯漏水損耗量；
- 3) 建議國際通用的最適效能指標。

由於地形、管線長度、接頭數量及服務標準、系統操作和維護好壞等各地因素不同，不同水公司供水管網體系中水的實際損耗量也不相同。操作良好的體系應該不斷地觀察並控制水的損耗，並在年報中記錄每一年的情況。每一年水的損耗，包括兩種獨立的損耗類型：真實損耗和顯損

耗，這兩種損耗在本文中另有說明。

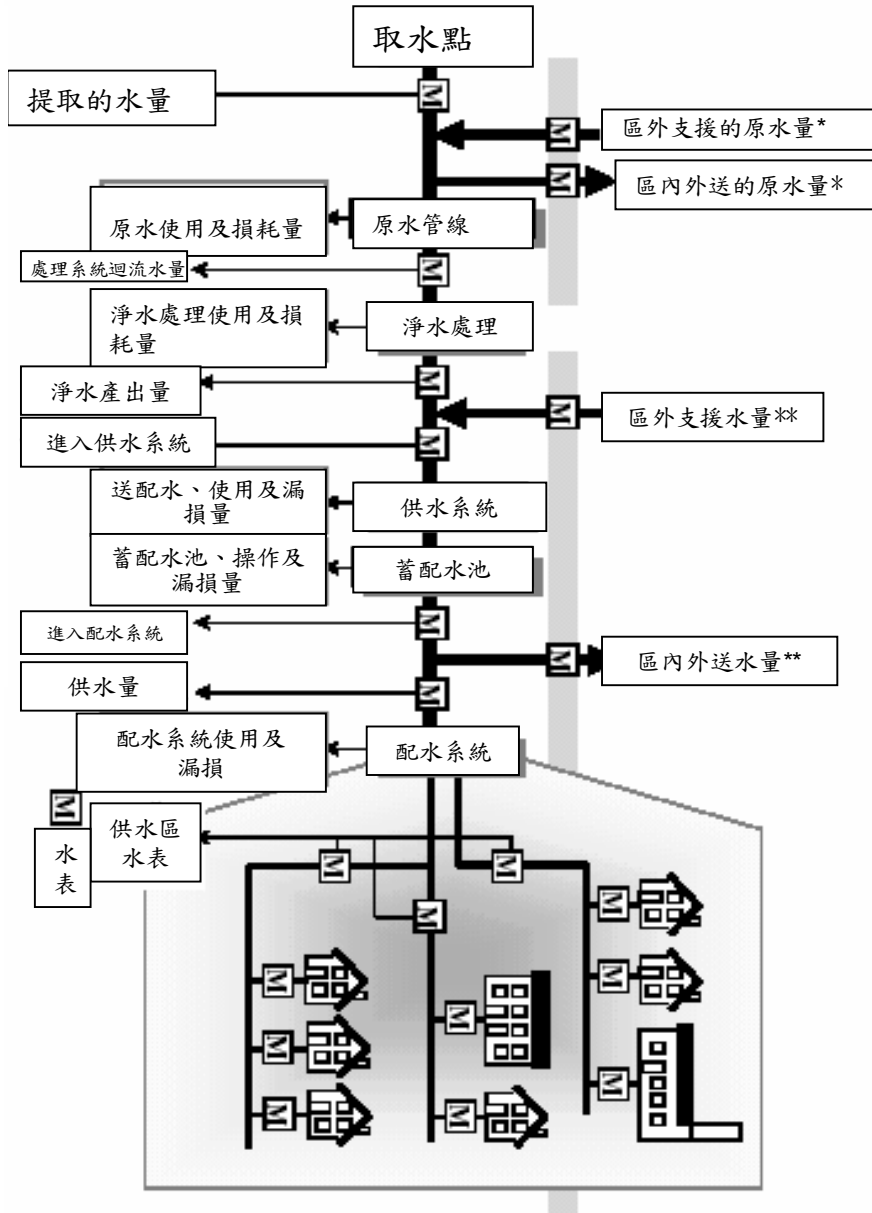
二、可靠計量的重要性

對總水量的可靠計量，應該是、也一定是供水管理、需水管理和漏水損耗確定中不可缺少的部分，如圖1所示。確定一個系統中多少水在流失，關鍵在於精確確定進入該系統的水量。原水總表對可提取水量的計量，對處理後水量的計量，對輸入和輸出供水區域邊界水量的計量，對輸入供水管道的水量以及流入配水系統的水量的計量等，都是水量平衡計算中不可或缺的重要組成部分。

對夜晚流入配水系統各小區水量的測量⁽⁴⁾，有助於快速確定未被察覺的新漏水問題，從而迅速找出漏水點，快速進行修漏工作，這一技術的使用與用戶是否被計量無關。

安裝用戶水錶的最初目的是根據計量的用水量確定水費收入，但是這些水錶的精確性對於水量平衡計算也是非常關鍵的，如果想要獲取有代表性的重要資料，用戶水錶需要妥善管理。

應設立一個有效組織來確認並處理可能出現的問題，例如：水錶型號或尺寸不當、水錶安裝不當、水錶硬殼老化、流速過低水錶無法準確記錄、不能很好保養和及時替換、校正頻率高低、無法讀取資料以及水錶讀取周期的影響等。



*:表可以放在取水點和處理（系統）之間的任何位置。

**：可以放在處理（系統）下游任何位置。

圖1 供水系統中水量輸入和輸出的定義

在無法實際計量時，比如說消防救火、管線沖洗等活動，應盡一切努力來精確估計用水的每一部分，以便確定水量平衡的實際數量。

三、國際通用之標準定義

任何關於漏水損耗的討論，都要先對水量平衡的構成以及供水過程中所使用的補充資料有一個明確的定義。然而，不同國家所使用的定義截然不同。圖2中IWA的“最佳作業”用語（IWA ‘Best Practice’ terminology）是從那些已有成文（但是各不相同）的標準水量平衡量測程序和用語的國家總結出來的（這些國家包括：法國、德國、日本、英國和美國）。

因此，每個國家的用語都和IWA的標準用語有所不同，這不僅僅是因為語言不同造成的。所以，在進行國際比較或基準研究時，首先需要按照圖2來重新檢視該國水量平衡的組成部分。如果該國還沒有這種計算標準的話，可以考慮把圖1和圖2中所列的IWA標準用語作為範本。這些用語包含以下定義：

“提取的水”（Water Abstracted）：是指已獲取的、導往水處理廠原水管中之水。

“產出的水”（Water Produced）：是指水處理後輸入送水管道或直接輸入配水系統之水。

“區外支援和區內外送之水”（Water Imported and Exported）：是指大量轉移過操作界面之水。

“輸入系統的水量”（System Input Volume）：是指輸入一個送水系統或一個配水系統中的水量。

“合法用水”（Authorised Consumption）是指已登記的用戶所使用的已計量的和/或未計量的水，為水公司明確或非明確合法授權使用的單位，包括內部用水、商業用水和工業用水，及區內外送支援的水。

須注意者合法用水（見表1）包括救火與消防訓練，自來水管道和下水道的沖刷，街道清洗，市政公園的澆灌，公共噴泉，防止霜凍以及建築用水等。這些用水根據地方慣例可能收費也可能不收費，也許計量也許不計量。

系統中“水漏損”（Water Losses）的計算方法如下：

水漏損 = 輸入系統的水量 - 合法用水

水漏損可以從整個系統的漏損來考慮，也可以從系統的各部分來考慮，比如說：原水管道的損耗，送配水管中的損耗等。計算各部分損耗時要對計算的內容做相應的調整。水損耗包括真實損耗和顯損耗。這同樣適用於前面IWSA（IWA前身）對Unaccounted-for Water的定義。

“真實損耗”（Real Losses）是指從壓力系統到用戶水錶間因系統操作不當損耗

圖2 送配水系統之水量平衡

A	B	C	D	E
輸入系統的水量	合法用水量 立方米/年	收費的合法用水量 立方米/年	收費的已計量用水(包括外送支援水量)	有收入用水
		未收費的合法用水量 立方米/年	收費的未計量*用水	立方米/年
立方米/年	水的漏損量 立方米/年	顯漏損量 立方米/年	未收費的已計量用水	無收入用水**
		真實漏損量 立方米/年	未收費的未計量用水	
		立方米/年	非法用水	立方米/年
			送配水管道漏損 水公司蓄水池 洩漏和溢出 供水接點與用戶水錶銜接處 洩漏	

* 如果大量的用戶沒有被計量，就很難準確完成水量平衡。這種情況下，就應該把合法的未計量用水，從標準計量的、足夠數量具有統計代表性的各類個體連接點中分離出來，輸入到分散的用戶群體中去（適當調整洩漏和日間壓力變化的資料）。

** IWA 特遣小組在操作效能指標方面建議說，如果使用了“Unaccounted -for-Water(UFW)”術語，就應該按照上表中的“Non-Revenue Water”(NRW)（無收入用水）來定義和計算。

計算無收入水和水損耗的步驟：

步驟1. 確定輸入系統的水量並添入A欄。

步驟2. 確定D欄中收費的已計量用水和收費的未計量用水，將其總和添入C欄收費的合法用水以及E欄有收入水。

步驟3. 用A欄中輸入系統的水量減去E欄中有收入用水，計算出E欄無收入用水。

步驟4. 確定D欄中未收費的已計量用水和未收費的未計量用水，把其總和添入C欄未收費的合法用水

步驟5. 把C欄收費的合法用水和未收費的合法用水相加，把總和添入B欄的合法用水

步驟6. 用A欄中輸入系統的水量減去B欄中合法用水，得出B欄中水的漏損耗。

步驟7. 用可用的最好方法來評定D欄中的非法用水和計量不準確（的數量），將總和添入C欄顯漏損耗。

步驟8. 用B欄中的水的損耗減去C欄中的顯損耗，得出C欄中的真實損耗。

步驟9. 以可用的最好方法評定真實損耗的構成成分（夜間流量分析，破管頻率/流速/時間計算，模式分析等方法），把這些成分相加，並且用步驟8中得出的C欄中的真實損耗來核對。

的水。這部分水是藉由各種泄漏、破管以及蓄水池溢出而損耗的，損耗量要看破管的次數、溢出的頻率以及平均每次泄漏持續的時間。

“顯損耗”（Apparent Losses）包括非法用水（盜用）以及各種生產用水和用戶用水計量上的不準確。生產用水錶記錄過慢，用戶水錶記錄過快，就會造成真實損耗估算過低；反之，生產用水錶記錄過快，用戶水錶記錄過慢，就會造成真實損耗估算過高。

“無收入用水”（Non-Revenue Water）是輸入系統的水量和收費的合法用水的差額（見圖2）

四、供水平衡的構成與核算

管理水損耗的最好做法是不斷核算水量平衡，並且持續地或按照要求進行夜流（night flow）測量。水量平衡的計算通常需要進行12個月以上，應包括以下內容：

- 詳細計算流入和流出一個供水系統的全部水量，包括檢查系統記錄。
- 對水錶進行不斷的檢測與校對。
- 對淨水場出水量總水錶的讀取和用戶水錶的讀取，允許有合理的時間間隔。

供水平衡的計算，確定了流入系統的總水量，合法消費的水量（收費的和未收費的，計量的和未計量的）以及水的損耗

（真實損耗和顯損耗），參照圖2。在沒有做連續的泄漏檢測的情況下，還要針對修復過度泄漏進行效益分析，最終開始泄漏檢測⁽⁵⁾。

所有的水量平衡計算都只能大概達到某種程度，因為完全精確評估所有組成部分是很困難的^(1,3)。如果輸入（系統）的水是買來的（經過兩次計量），而且所有的水都用正常維護的準確用戶水錶來計量，所供應的系統沒有蓄水池，這種情況下的計量結果是最可靠的。蓄水池會造成用戶接管的水流速過慢，這樣慢的水流在用戶水錶上可能無法準確記錄。

最好的做法是，正如IWA操作效能指標專家群⁽²⁾所推薦的，對水量平衡的各部分進行信賴度分級，將可靠性與準確性分級相結合。有些國家把這些分級作為整體檢算作業的一部分，單獨檢測其正確性。

一年中水量平衡（見圖2）的每個部分都應該用水量/年的用語來表示，每年的無收入用水量，水的損耗量，顯損耗量和真實損耗量都是用圖2下面的步驟來計算的。

計算步驟9，建議用水的損耗減去顯損耗來計算真實損耗，如果可能的話，應該按照第一原則，對真實損耗的每一個部分進行評定，從而檢驗計算的準確性。為了更好地理解真實損耗，可以將其劃分成

以下幾部分：

- 非常小的、無法察覺的背景泄漏：特點是流速低，持續時間長，損耗量大。
- 水公司有紀錄的泄漏和破管損耗：特點是流速高，持續時間短，損耗量中等。
- 通過積極的泄漏控制（Active Leakage Control, ALC）所發現的未紀錄的破管損耗：特點是流速較快，持續時間和損耗量要看泄漏控制情況如何。
- 配水池的溢出和泄漏損耗。

不同于水量平衡，真實損耗的評估方法包括：

- 在小區水錶資料的基礎上分析夜間流量。
- 記錄泄漏和破管的次數、類型以及平均流速和持續時間。
- 在允許有背景泄漏及水壓力前提下做模式計算。

雖然，按照這一定義，用戶用水計量點之後的真實損耗不在真實損耗評定之內，但是，有時候（這部分損耗）對（用水）需求管理來說又是很有意義的，應該要特別注意。

五、財務效能指標：

5.1 水量部份：把系統輸入水量分成“收費用水”和“未收費用水”兩部分，如圖2中E欄所示。未收費用水部分（包括未收費的合法用水）被描述成系統輸入水量的一個百分比（這就是參考文獻2中被稱作Fi36的財務效能指標）。然而，一個真正的財務效能指標不僅需要（確定）水量，還要反映成本。

5.2 成本部份：可以用當地貨幣對圖3中得出的年度未收費的合法用水、顯損耗和真實損耗的每立方米水適當定價，來計算已改進的財務效能指標（這就是參考文獻2中被稱作Fi37的財務效能指標）。計算範例參照圖3中的步驟2。

適當的顯損耗水的價格和未收費的合法用水的價格，通常是採用用戶用水的平均價。適當的真實損耗水的價格則是產水並加壓送出的水的單位成本，或者按照大宗供水收費，因此價格較高⁽⁷⁾。

以上任何一個定價及其總和都可以簡單地表示為年供水操作成本的一個百分比。

上述各點看法可以使個別水公司來估計以下各用水量在年度支出中所占的百分比：

- 未收費的合法用水
- 顯損耗——計量的不準確和非法用水造成的
- 真實損耗

圖3：漏水量測計算案例

供水系統：德國某城市 年份：1997年

步驟 1：水量平衡的年輸入水量		38,000,000	m ³ /年
重新組合水量平衡各部分，並歸入下列選項：			
收費的合法用水 (Billed Authorised Consumption, BAC)	未收費的合法用水 (Unbilled Authorised Consumption, UAC)	水的損耗量 m ³ /年	
		顯損耗	真實損耗
35,050,000	200,000	500,000	2,250,000

步驟 2：在估計未收費用水和供水系統年度運營成本的基礎上，計算簡單的財務效能指標				
當地貨幣	德國馬克	供水系統運營成本*= 45 百萬/年		
未收費水量 見步驟 1 M ³ /年		單價		評估年損耗量 占年運營成本 %
		馬克	/m ³	
未收費的合法用水	200,000	2.7	540,000	1.2
顯損耗	500,000	2.7	1,350,000	3.0
真實損耗	2,250,000	0.15	337,500	0.8
總計未收費	2,950,000		2,227,500	5.0

註：* 年運營成本

步驟 3：當系統加壓時計算日平均真實損耗量和技術指標真實損耗量 (Technical Indicator for Real Loss, TIRL)		
年度真實損耗	2,250,000	m ³ /年 (見步驟 1)
系統加壓時間所占百分比	100	每年加壓時間所占百分比
當系統加壓時日平均真實損耗	6,164	m ³ /天 當系統加壓時 (W.S.P)
供水接點數量	57,510	
技術指標真實損耗量 (TIRL)	107.2	升/接點/天 系統加壓時

步驟 4：計算不可避免的平均真實損耗 (Unavoidable Average Real Loss, UARL) 和供水設施泄漏指數 (Infrastructure Leakage Index, ILI)				
系統加壓時的平均壓力	35	米		
接點密度	39.4	每公里管線		
水錶在街道邊緣外地下管道	633	公里 (在 11 米/接點)		
不可避免的平均真實損耗 (UARL) 的組成部分				
1458	公里管線@	18	26,244	1/天/米壓力 系統加壓時
57,150	連接點@	0.80	46,008	1/天/米壓力 系統加壓時
633	地下管道@	25	15,825	1/天/米壓力 系統加壓時
不可避免的平均真實損耗 (UARL) =			88,077	1/天/米壓力 系統加壓時
平均壓力 35 米下之 UARL =			3,082,695	升/天 系統加壓時
與 TIRL 相同單位的 UARL =			53.6	升/接點/天 系統加壓時
技術指標真實損耗量 (TIRL)			107.2	升//接點/天 系統加壓時
供水設施泄漏指數 =			2.0	=TIRL/UARL

六、影響水的真實損耗的要素：

對於一個系統來說，有下面幾個當地影響要素，關係著水的真實損耗管理上的可行性，在選擇操作效能指標來評估真實損耗管理效率時應該予以注意：

- 供水接點數量
- 用戶水錶在供水接點上的位置
- 管線的長度
- 系統加壓時平均操作壓力
- 一年中系統加壓時間所占比例
- 供水設施情況，使用管材，漏損和破管的頻率⁽⁸⁾。
- 土壤類型和地面情況都會影響泄漏和破管的比例。

這些影響在參考文獻3中做了詳細討論。但是，這裏要強調兩點：操作壓力的影響和系統加壓時間所占比例。

英國和日本公佈的調查結果清楚地表明，由於配水系統壓力的變化，總體泄漏速度變化很大，很大程度上背離了壓力與速度之間理論上的平方根關係。對於大的系統來說，可以簡單地假設，壓力與泄漏之間是一種線性關係。

因為連續加壓的水的供應是供水系統的最初目的，IWA「最佳作業指南：供水系統之效能指標」⁽²⁾把“供水連續性”作為“服務質量”效能指標（Qs10）。然而，由於許多國家無法保證供水的連續

性，在比較國際間（供水）系統平均真實損耗率時，任何效能指標都要包括系統增壓所占時間的百分比。

七、水的真實損耗的技術效能指標

7.1 傳統的效能指標：世界不同地區廣泛使用的，比較年度真實損耗量的簡單的傳統效能指標有：

- 占輸入水量的百分比
- 以單位管線長度/天或小時計算
- 以每個供水接點/天或小時計算
- 以每一個用戶/天或小時計算
- 以系統單位長度/天或小時計算
- （系統長度=管線長度 + 供水接點到用戶計量表的長度）

應該注意的是應該用“接點數量”而不用“用戶數量”。這是因為，真實損耗是在供水接點上產生的，供水接點在第一個計量點之後經常被分成好幾個獨立的管線，用來供應個體用戶。

7.2 輸入水量百分比：系統輸入水量百分比是從財務和生態角度來定義水的損耗的適當的方法，正如5.1和IWA「最佳作業指南：供水系統效能指標」⁽²⁾中所定義的那樣，支持在（計算）財務無收入用水時使用水量百分比和水資源指標。

但從技術上來看配水系統中水的損耗，在評定配水系統管理效率時把真實損

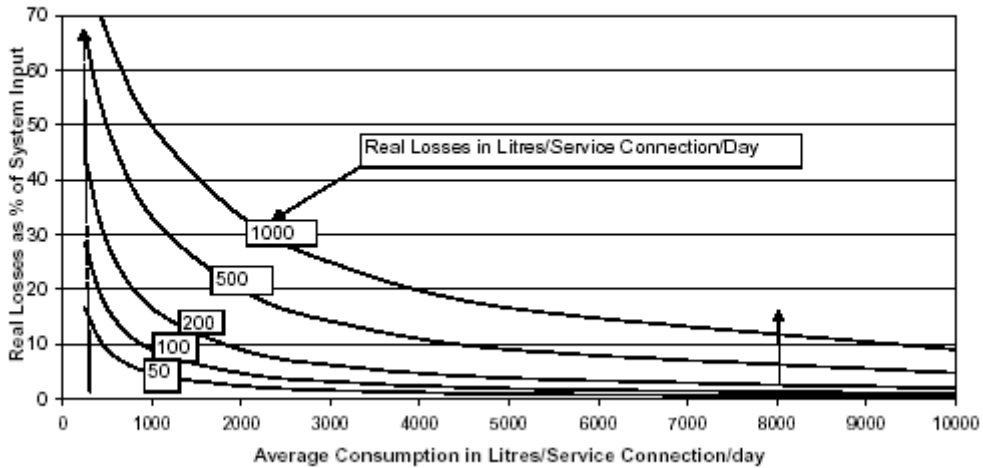


圖4 真實損耗占系統輸入量的百分比與每天每個供水接點使用水量的對照表，用來評定每天每個供水接點真實損耗多少升水

耗看作系統輸入水量的一個百分比是不恰當的。這主要是因為：

- 這一操作效能指標沒能考慮到前述第六部分所述影響真實損耗的主要因素
- 使用量的差異會影響以百分比描述的真實損耗的估價

圖4中顯示出：真實損耗占系統輸入水量的百分比（Y軸）隨著各供水接點的平均使用量（X軸）的變化而變化，以及每天每個供水接點真實損耗的水有多少公升（曲線圖）。例如，當每個接點每天的真實損耗達到100升時（技術操作良好），真實損耗的百分比將在1.2%到29%之間變化，這要看每天每個接點消費的水量是8000升（例如市區）還是只有250升（例如鄉村）。用真實損耗占系統輸入量

百分比的方法來比較斷續供水和持續供水的操作情況是非常不恰當的。

因此，IWA漏水損耗特別工作小組認可了IWA「最佳作業指南：供水系統效能指標」⁽²⁾和幾個國家技術委員會及其法規制定者（例如參考文獻9）的結論：百分比用語不適合用來評定配水系統中真實損耗的管理效率。

7.3 如果不用百分比，那用什麼效能指標？

實際上，選擇一個基本的真實損耗效能指標，關鍵是針對每公里管線還是針對每個接點？國際經驗顯示損耗的最大比例是在供水連接處而不是在管線（連接點密度過低情況除外）。參考文獻3中的技術和資料分析報告肯定了這一做法。所以，如果選擇一個基本的效能指標來用做國內

和國際間的比較，“每個供水接點”這一項對於各種情況來說可能會更適合。

7.4 真實漏損的技術指標 (TIRL)： 漏水損耗特別工作小組建議，測量真實損耗的基本技術指標應該是年度真實損耗除以供水接點數 (Number of Service connection, N_c)，允許考量系統壓力供水之百分比，亦即：

真實損耗技術指標= 目前的年真實損耗量/供水接點數 (N_c)
(系統增壓時，升/供水接點/天)

對於TIRL值 (參考文獻2中的Op24) 的更具體的闡述可以通過對TIRL值與“最佳估計”的無法避免的平均真實損耗 (UARL) 進行比較而得出。如果各種泄漏控制都能用最高技術標準來管理的話，就可以不考慮當地的接點密度、用戶水錶的位置以及平均操作壓力等因素。

7.5 無法避免的平均真實損耗 (UARL)： 建議使用下面的公式來計算UARL 升/供水接點/天。考慮到管線長度 (L_m in Km)，供水接點數量 (N_c)，從街道邊緣到用戶水錶的供水接點總長度 (L_p in Km)，以及系統增壓時的平均壓力 (P in metre)。

$$UARL = (A \times L_m / N_c + B + C \times L_p / N_c) \times P$$

(系統增壓時，升/供水接點/天)

UARL的定義和A (18)，B (0.80) 和C (25) 適當值如何得來，請詳參考文

獻3。這一公式及其參數A、B、C都是在國際資料統計分析基礎上得來的，包括20個國家27個不同的供水系統的資料。

這一公式的計算實例見圖3中步驟4。這一基本公式可以在很多方式下使用。比如說，表一對於不同接點密度、平均壓力以及街道邊緣外用戶水錶的平均距離，可以用和TIRL相同的單位查出預估的UARL值 (升/供水接點/天，系統增壓時)。因此，對於一個接點密度為40/公里之管線，平均壓力為40米的系統來說，預計的UARL將是：

- 對於安裝在街道邊緣的用戶水錶來說，50升/供水接點/天
- 對於安裝在街道邊緣以外平均每10米處的用戶水錶來說，60 (=50+0.025x10x40) 升/供水接點/天

表一清楚地闡釋了為什麼不可能引用一個單一的可靠值來計算UARL，即使所用的單位都是所推薦的真實損耗技術指標也不行，這是因為國際間接點密度不同，水錶位置安裝不同以及操作壓力不同造成的。

通常來說，不是總能得出表一中的理想值，這要看當地成本和水的可用性。

7.6 TIRL 和 UARL的比較： TIRL和UARL之間的差別，代表著系統增壓時進一步節省真實損耗的最大可能性。在目前的平均操作壓力和持續供水條件下，

表一 安裝在街道邊緣的用戶水錶的UARL (升 / 供水接點 / 天)

接點密度	平均操作壓力 (P) 米				
Nc/Lm	-----				
(每公里管線)	20	40	60	80	100
20	34	68	112	146	170
40	25	50	75	100	125
60	22	44	66	88	110
80	21	41	62	82	103
100	20	39	59	78	98

備註：當用戶水錶或未計量的用水設施被安裝在街道邊緣供水接點，每隔‘M’米處的地下管道上時，在表一所列值上再加上 $(0.025 \times M \times P)$ 升/供水接點/天，其中P是平均操作壓力（米）。

TIRL 和 UARL的比率是，供水設施總體狀況與管理的一個有效的無因次指數，並被建議作為從國際比較觀點來闡釋TIRL的計算值的一個附加步驟。至於目前的操作壓力是否太高，或者太低的問題，當然也要在常規的基礎上來評價。

供水設施泄漏指數 (Infrastructure Leakage Index, ILI) = TIRL/ UARL

例如：如果TIRL 是107升/接點/天，UARL是53.6升/接點/天（如圖3中步驟4的計算），供水設施泄漏指數是 $107/53.6=2.0$ 。20個國家27個實際情況下計算的ILI值被用來檢驗這一方法論的有效性（請詳參考文獻3），ILI值最低1.0，最高剛過10.0。管理良好條件良好的系統

的ILI值可以達到1.0，老舊的、供水設施不足的系統ILI值會很高。

八、結論

本文主要表達的訊息是：

- 可靠的水量計量是可靠評定水的損耗的必要條件
- 水量平衡評定應每年進行，最好連續進行，要進行各部分的夜流測量
- 所有與水量平衡有關的用語都要明確定義，在進行國際比較時可以使用IWA“最佳作業”中的定義。
- 希望還沒有標準定義的國家組織以IWA“最佳作業”中的定義為範本
- 已經有了標準定義的國家組織，如

果有機會的話，希望更多結合IWA標準定義（詳如參考文獻10）

- 所有水量平衡的組成部分最初都要用量 / 年這一單位來表示，系統輸入水量應該分為合法用水和水的損耗
- 水的損耗應該進一步分為顯損耗和真實損耗，以可用的最佳方式，最好附帶做夜流測量和/或泄漏模式研究。
- 所推薦的財務效能指標有水量用語和成本用語兩種。在水量用語中，“無收入用水”被描述成年度未收費用水量（水的損耗和未收費合法用水）占年度系統輸入水總量的百分比，而在成本用語中它被解釋成年度未收費用水成本占年度運營成本的百分比。
- 因為用水（方式）的不同與變化，通常把真實損耗作為年供水量的一個百分比的做法，不適合用來評價配水系統操作管理效率。
- 大多數管理良好的供水管網中，真實損耗的最大比例與供水接點有關。因此，所推薦的基本真實損耗技術指標（TIRL）是：在系統加壓情況下，年度真實損耗水量 升/每個接點/天。
- 建議用考慮到主要影響因素之成分

構成方法論來評定不可避免的年度真實損耗（UARL）。

- 要進一步說明TIRL值，就要計算TIRL和UARL的差，以及TIRL 和UARL的比率。
- TIRL 和UARL的比率可以用做供水設施泄漏的指數，因為它考慮了許多影響真實損耗的主要因素，並且把供水設施管理方面與壓力管理方面區分開來。

進一步進行UARL計算公式的研究仍待繼續，供水設施泄漏指數有待更大量的資料背景中得到驗證。

對供水體系中漏損效能指標應加強其應用，以更卓越有成效地管理水資源。

（本文取材自the blue pages “Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures ” by Mr A. Lambert and Dr. W Hirner, IWA October 2000 ）

九、參考文獻：

1. *IWSA International Report on Unaccounted for Water and the Economics of Leak Detection*, Copenhagen, 1990
2. Alegre, H., Hirner, W., Baptista, J. and Parena, R. *Performance Indicators for Water Supply Services*. IWA Publishing 'Manuals of Best Practice' Series. ISBN

1 900222 272

3. Lambert A., Brown T.G., Takizawa M., Weimer D. *A Review of Performance Indicators for Real Losses from Water Supply Systems*. AQUA, Dec 1999.
4. Hirner, W. *Evaluation of water performance and distribution systems with performance indicators*, Paper for IWSA-Specialised Conference "Master Plans for Water Utilities", Prague, June 17-18, 1998, Czech Republic
5. American Water Works Association (AWWA). *Manual of Water Supply Practices M36: Water Audits and Leak Detection* (1997). ISBN 0-89867-485-0
6. Lambert, A.O. *Accounting for Losses-the Bursts and Background Estimates Concepts*. Journal of the Institution of Water and Environmental Management, 1994, Volume 8(2), pp 205-214
7. *Managing Water Leakage: Economic and Technical Issues*. Financial Times Energy Report, 1998. ISBN 1 84083 011 5
8. Sattler, R: *Einführung der bundesweiten DVGW-Schadensstatistik Wasserverteilung*, gwf Wasser Special 138 (1997) Nr. 13, S27-S31
9. *1997-98 Report on leakage and water efficiency*. Office of Water Services. ISBN 1 874234 42 6
10. DVGW 392: *Network Inspection and Water Losses*, German Schedule of Technical standards Water, German Association of Gas and Water Works, 2000

大高雄地區自來水水質提升之調查研究

樓基中¹、高志明¹、林財富²、董正欽³

一、前言

飲用水品質的優劣和供給率大小，常作為一現代化國家的指標。高雄市為台灣南部交通及工商業中心，不但擁有對外之主要貿易港口—高雄港，臨海工業區、高雄加工出口區、楠梓加工出口區及小港國際機場等之興建完成，使得高雄市成為首區一指的國際都市。近年來，由於國民所得增加，生活水準提高，民眾對於每日生活必需的飲用水水質要求也相對的提高。

大高雄地區自來水水質常為民眾、媒體、學者等所詬病者包括口感、臭味、硬度、氨氮及因加氯導致之消毒副產物（如總有機鹵化物TOX、三鹵甲烷THMs、鹵化乙酸HAAs）等。

除了以往考慮的水質安全性之外，其適飲性也成為影響民眾選擇飲用水的重要參考因素。大高雄地區自來水主要由澄清湖、鳳山、坪頂、大崗山、拷潭、翁公園及南化等七座淨水場，其中澄清湖、拷潭

及翁公園淨水場總供應水量74萬立方公尺，主要供應高雄市七成以上的民生用水。因此，若能先行改善此三座淨水場的出水水質，將可提昇大多數民眾在口感及適飲性方面的滿意度。而高雄地區自來水水源主要取自受污染之高屏溪及東港溪，但事實上經台灣省自來水公司淨化處理後，處理水水質已能符合「飲用水水質標準」，為進一步提昇水質及充裕水量，先後完成「高雄地區自來水水質改善工程」，包括辦理澄清湖、鳳山水庫水質改善曝氣工程、原水除藻、除臭色、抽換管線等工程。

由於社會大眾對於飲用水水質的要求逐漸提昇，有鑑於此，國立中山大學環境工程研究所針對「大高雄地區自來水水質提升之調查研究」計畫，進行高級淨水處理場設置前後之相關重點水質項目進行分析調查，主要目的為探討高雄地區高級淨水處理場完成後水質改善之實際情形，以

1. 國立中山大學環境工程研究所教授
2. 國立成功大學環境工程學系教授
3. 國立海洋技術學院海洋環境工程系教授

提供大高雄地區自來水水質改善之方向，並強化用戶及相關單位對自來水的信心。另外，為瞭解大高雄地區自來水用戶對進行新增高級處理單元及流程配置後的高質水適飲滿意度調查，本研究以現場問卷調查方式，選定高雄地區一般家庭自來水用戶或民眾為對象，進行問卷填寫及統計分析，以提供未來實廠操作及運轉時之參考。

二、研究方法

調查區域涵蓋整個大高雄地區，包括(a)高雄市九大行政區：鼓山區、三民區、鹽新前區、左營區、苓雅區、小港區和楠梓區等以及(b)高雄縣18個鄉鎮：鳥松鄉、大寮鄉、大樹鄉、仁武鄉、鳳山市、岡山鎮、橋頭鄉、梓官鄉、燕巢鄉、阿蓮鄉、大社鄉、彌陀鄉、林園鄉、路竹鄉、田寮鄉、永安鄉、湖內鄉和茄萣鄉等。定點採樣點選定於澄清湖、拷潭、翁公園、坪頂、鳳山和大岡山等六座淨水場清水池出水。另外沿其配水管網選定用戶

給水是直接由淨水場清水池經由配水管網流至用戶水龍頭；採樣點為該用戶之水龍頭處。由上述之採樣點，見圖1所示，希望可藉由淨水場（A點）合格清水與配水系統之直接供水（B點）兩者間之影響程度。

採樣方式分為淨水廠傳統處理後之清水與管線配水水樣分析和淨水廠高級處理後清水與管線配水水樣分析，於民國92年底因淨水廠仍屬傳統淨水程序，故在此階段採樣分析2次；民國93年以後大高雄地區將全面供應高級水，故本計畫於民國93年1月至93年7月間分析3次，所以每一次分析的樣品數為40個水樣。

本研究所分析的水質項目包括氫離子濃度指數（pH值）、總溶解固體、硬度、鹼度、耗氯量、氨氮、鈣、臭度（TON、FPA、Geosmin/2-MIB）、總三鹵甲烷、鹵乙酸類、TOX、TOC、Ames test等共十五項。而本研究之水質檢測方法、樣品保存及分析步驟係依照環保署環檢所之標準方法進行。其中水中鹼度之測定方

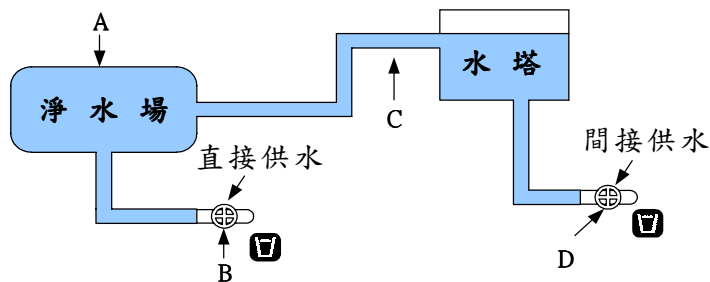


圖1 直接供水調查之採樣點示意圖

法，行政院環保署尚未公告，故採用美國公共衛生協會等出版之第18版「水與廢水分析標準檢驗法」，代號為2320B。總三鹵甲烷及鹵乙酸類分別採用USEPA Method 502.2及552。

三、預期成果

本研究之目的在於瞭解大高雄地區自來水進行高級淨水處理場設置前後之相關重點水質項目進行分析調查，主要目的為探討高雄地區高級淨水處理場完成後水質改善之實際情形，以提供大高雄地區自來水水質改善之方向，並強化用戶及相關單位對自來水的信心。而問卷調查之結果將使我們了解高雄市民對自來水之觀感，使政府相關單位了解未來應努力或溝通之方向。

本研究的執行，希望達到以下的成果：1. 藉由二段式採樣分析結果進行數據比較，希望可釐清高雄地區民眾對飲用水水質詬病之真正原因，並可做為主政者或主管者擬定解決策略之參考。2. 找出高雄地區給水系統水質改善之證據與環節所在，並可針對水質提升是否有明顯改善做正確的判斷。3. 經由分析結果，可做為政府和自來水事業單位對民眾進行宣導之依據，重拾民眾對自來水水質信心。4. 分別選取幾項安全性、適飲性及輸水管線腐蝕性等問題之水質參數進行分析，以提供給水系統水質劣化之參考模式，並亦可做為將來設立給水管網水質自動監測系統之參考。

環工人物誌

環工界先驅甘普先生 (T.R.Camp)

姚關穆*

老一輩的環境工程師，尤其是在美國，對甘普先生 (T.R.Camp) 的大名，真是如雷貫耳，沒有不知道的。美國的環境工程水準，在1920年代，落後歐洲很多。到1940年代起，才扎根成長，急起直追，加上學術研究發展，漸漸成爲環工強國。甘普先生正是促成這種發展的先驅者之一。例如以混凝劑混和來說，過去只是把混凝劑放進原水裡，隨便攪動一會，根本談不上控制和效率。甘普先生提出G這個設計參數，然後利用實務資料，測定G值的最佳範圍，使全世界設計工程師有所循遵。另外如自來水水質的濁度標準值，過去訂的是5度。因爲5度聽起來似乎不算小，其實水質已是非常清澈的了，只要消毒除去有害微生物，專家們都認爲水質安全，應該沒有問題，因此各國，甚至包括世界衛生組織在內，都採用這個濁度標準限值。後來甘普先生忽發奇想，覺得這5度濁度中，無疑包含各種大小懸浮固體顆粒。有害微生物體積微小，是不是有可能

躲藏在大顆粒懸浮固體裡面，消毒藥劑無法達到，抵銷了消毒作用，威脅到飲水安全？爲了證明這種想法，他收集了經過消毒有5度濁度自來水中的懸浮固體，用強力打碎，再來檢驗有害微生物，結果竟然檢出不少。這一來使得全世界的衛生當局，不得不把自來水水質濁度標準提高到1度。快濾池是淨水廠裡的標準設備，過去環境工程師都是以減少水中濁度來顯示過濾的效率。甘普先生卻在一篇題爲「水過濾理論」的論文中指出，「(濾過池進水中)含有(混凝形成)膠羽的大小，濃度及黏附性質才真正決定了過濾效率」⁽¹⁾。這項深入的觀察，揭開了今日過濾理論研究的序幕。

1968年夏天，我剛從美國北卡大畢業，正在找工作。經過系主任歐肯先生 (D.A.Okun) 推薦，位在波士頓的Camp, Dresser & Mckee顧問工程公司通知我去口試，使我相當興奮。有一個原因是可以見到大名鼎鼎的甘普先生。因爲這

*國立中央大學兼任教授

是美國早期成立的環工顧問公司之一，頭牌創始人就是甘普先生。口試那天才知道他已經退休，不過公司裡還有他的辦公室，讓他做自己愛做的事。奇的是我的口試人員，竟然也包括他在內。

甘普先生的辦公室有一扇大玻璃窗，窗外是中央廣場，正對著聯邦大廈和市府大廈。房間相當寬大，除了堆滿書籍雜誌的四壁書架外，還擠滿了各種獎杯、獎牌和獎狀，其中甚至有一隻精緻銅製獎鐘，真是琳琅滿目，足見其本人的聲譽。甘普先生應該屬於親英格蘭紳士階層，講究衣著整齊，頭髮梳得一絲不亂，講話時表情誠摯，令人有溫文爾雅，談笑風生的感受。後來和他接觸次數多了，更發現他居然還具有中國儒家的風格。

甘普先生著作等身，其中不少是經典之作，經常被學者專家在論著中引用。公司準備替他整理出來，出版全集，便利供人參閱，也替公司揚名立萬，這件事內定由我負責。想不到公司正式向甘普先生提出時，竟然被一口拒絕。這一點使我非常迷惑，甚至懷疑是不是嫌我能力不夠。有一次和他閑談時，提起這件事，他的回答意外地使我極其感到興趣。他說他覺得每一篇文章中，多少有些大大小小的錯誤，需要進一步修訂，可惜他還沒有時間去做，因此實在不忍心就這樣將錯就錯再印發出去。我當時就立刻想起我國古代一位

先賢曾經說過，「文章千古事，得失寸心知」。兩人在時間上可能相差千年，在空間上距離萬里以上，對治學卻有如此雷同的負責態度，可謂奇數。年前我曾替一家環境雜誌寫專欄，除了文稿排印完成，正式印行前，請作者核稿修正外，出版後並且再徵求作者補正意見，以便以後重行時，更為正確，這種慎重的編輯方式，倒實在值得提倡。

閱讀甘普先生的論著，難免會有一種奇特的印象，就是作者治學的「打破砂鍋問到底」精神，對論著每一點，無論大小，都說明得一清二楚，完整交代。旁人對他的論著提出討論時，也必定竭盡所知，引經據典，正面回應，內容並且必須要達到自己滿意為止，決不敷衍了事。因此有時候一篇論著，討論及回應甚至超過正文篇幅。如上面提到過，在美國土木工程師協會，衛生工程組會刊發表的「水過濾理論」一文，抽印本中正文只有30頁，討論及回應卻有54頁之多⁽¹⁾。我有一次提到對他治學嚴謹和學識淵博的仰慕和尊敬，他居然向我自曝治學的要徑。他說無論是基本或應用學術，各科之間其實都是相通相連的。環工界人士的通常缺點，是把自己圈在狹隘的範圍裡，見樹不見林，沒有宏觀精神，他的絕大多數看起來像是自創的理論，其實都是向其他學科借用來的。例如設計混合池的參數G，來自一百

多年前就發展出來的流體動力學，裡面提到剪力和流速坡度成正比。由於剪力是促成混合的原動力，而G正是代表流速坡度，真正說起來，並不是什麼創見。

我曾經在公司圖書室看到好些甘普先生退休前主持規劃工作的報告書，本本都是內容精詳，對每一項細節都不放過，作澈底說明，仿如一篇博士論文，面面俱到，沒有疏漏的地方。無怪公司裡老職員說，他經手的計畫，因為花費的精神和時間特別多，很少不虧本的，不過也正反映出他治事嚴謹的態度。

號稱唐宋八大家之一的韓愈，在「原毀」一文裡說過：「古之君子，其責己也重以周」，「重以周，故不怠」。意思是君子對自己的要求很高。也就因為如此，所以不致懶惰疏忽。有一次認我和甘普先生討論物理問題時，偶而提到由於物質分子一些常數的不同數值，往往引起困擾。他聽後馬上承認，他向來以為這些常數，每個都只有一個固定數值。雖然他也知道，像愛因斯坦所說，光速是不變的常數，由於測量方法不同，可以有不同數值。但是分子的常數，是在實驗室可控制狀態下測定，應該是非常準確，想不到也有不同數值，可見自己錯了，馬上叫我介紹相關參考書籍，命人去買來研讀。真正

做到「責己也重以周」，和「不怠」的地步。

後來甘普先生終於著手開始修訂他過去的著作。第一件是他早年印行的「水及其雜質」，內容包括水質和健康關係，水污染，河川污染機制，水質管理等，完全根據他個人經驗，和收集到的原始資料，極富參考價值。他當時邀請一位教授和他合作，一同來修訂。在過程中，忽患腦充血，送醫院急救，情況危殆，足足昏迷了好幾天，才清醒過來。清醒後和護理人員所說的第一件事，居然是要打電話給那位合作教授，把修訂稿本送到醫院來。這種對環工的敬業精神，恐怕也只有諸葛孔明後出師表裡所說，「鞠躬盡瘁，死而後已」來稱頌了。

如今甘普先生墓木已拱，我還深深體會到他的為學哲學，求學基礎要廣闊；治學必須嚴謹，小地方也不要放過；對自己要求要高，有不知道的地方，立刻補正。這些話聽起來似乎老生常談，及有驚人的地方。但是如果你真的能夠做到時，無疑將成為甘普先生那樣的環工界先驅巨人。

參考文獻：

1. T. R. Camp, "Theory of Water Filtration", Journal of the Sanitary Division,

國際水協會（IWA）布拉格國家代表會議出席報告

駱尚廉*

國際水協會（International Water Association, IWA）自從由IAWQ及IWSA兩組織合併以來，加速進行各項活動的改革，因此，今年除3月在大阪的國家代表會議（Governing Board Meeting）外，9月4~6日也在捷克布拉格（Prague）的Hotel Palace舉行了今年第二次的國家代表會議，本人很榮幸地代表我國參加此項國際會議。

首先進行的是策略委員會議（Strategic Council Meeting），由於IWA漸已朝三維方向發展，如圖1所示，特殊專業團體（Specialist Groups）的功能發揮

變得極為重要，因此如何加強55個特殊專業團體的功能以及強化特殊專業團體間之合作以獲致協力成果，解決地區及國際水的問題，成為策略委員會目前最重要的工作之一。

特殊專業團體為以前IAWQ發展之特色，由志同道合的會員組成，可獨立舉行學術研討會，或在雙年會中特別分開幾個sessions集中發表論文，在IAWQ（或前身之IAWPRC）所有學術研討會中佔有極重要的地位，組織發展也甚為迅速。但特殊專業團體一多，難免良莠不齊，有些漸成為空有組織但已無活動力了，因此在2000

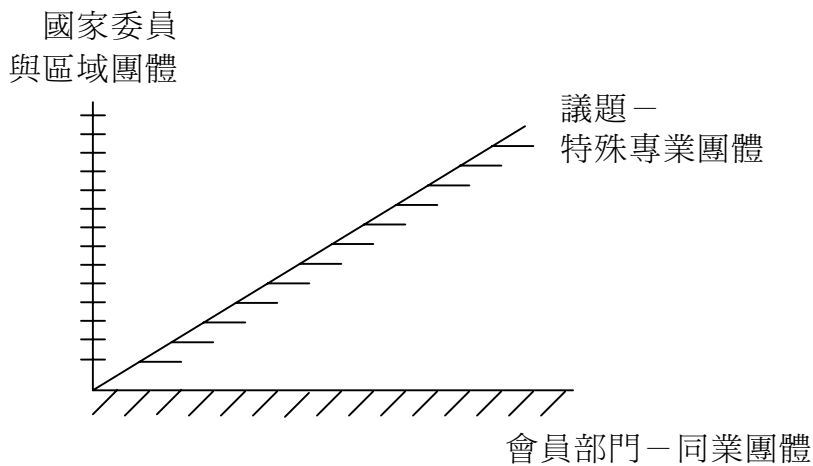


圖1 IWA之三維方向

*台大環工所教授、中華民國自來水協會國際事務委員會委員

年6月成立一由Michael Rouse博士為主席的委員會，由當時的科技委員會（STC）與管理及政策委員會（MPC）所推薦，開始檢討各特殊專業團體之活動與功能，定期提出報告。前副會長Laszlo Somlyody則提議將此委員會改組，成立一特殊專業團體之指導群（Specialist Group Steering Group，簡稱SG），定期及獨立地檢討特殊專業團體的活動、組織運作與管理情況，給予各團體高品質之支援及執行策略委員會交待之其他相關活動，經大家推荐，SG成員包括：Eugene Cloete, Harro Bode, Francisco Cubillo, Hans Curt-Flemming, Joan Rose及 Mark van

Loosdrecht，行動方案及評估結果則應向策略委員會報告。

策略委員會經討論，希望藉由特殊專業團體功能之強化及團體間協力之合作，讓IWA會員獲得更多的加值利益（如圖2所示）。而為突顯實際議題之解決方法及技術。在大阪的國家代表會議及繼之京都世界水論壇之後，IWA也成立了議題群（Issue Groups），分成：(1)社區參與管道組：由Peter Bhembe及Paul Reiter（現秘書長）負責，討論如何建立有效的從上而下與從下而上的行動方案，如何將關鍵觀念及技術予以執行，以及所需之伙伴為何等，(2)生態衛生組，由Ralf Otterpohl負

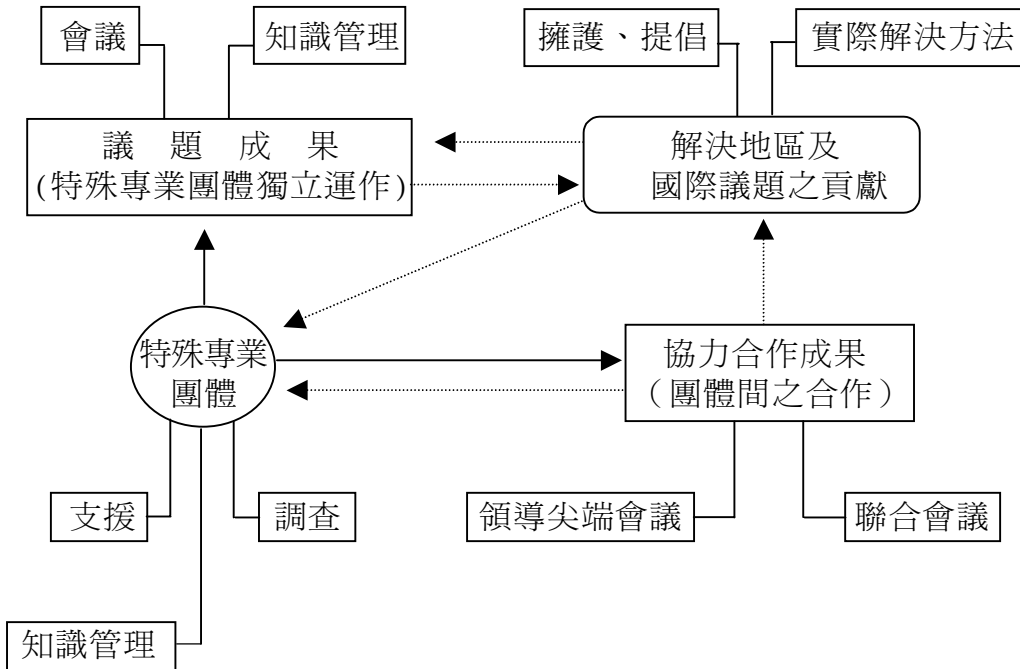


圖2 特殊專業團體之強化、加值、支援、平台、成果與服務

責，以生態工程解決水污染問題為主，(3)乾旱區域組，由Andrew Speers負責，以水資源開源及節流，再利用為主，(4)水及環境衛生組，由Eugene Cloete負責，(5)水及人體健康組，由Joan Rose及Willie Grabow負責。策略委員會成員並分成五組進行小組討論，定出各組之重要議題內容與未來之活動與發展。

另外，如何增加對會員的服務水準與品質也是策略委員會討論的一個重點，並且由策略委員會委員分成學界（由Gustaf Olsson主持）、研究機構（由Jim Manwaring主持）、公用事業與政府機構首長（由Matsui及Reiter主持）、顧問公司（由Rhodes Trussell主持）、管理者（由Alan Vicory及Michael Rouse主持）、工業界（由Bruno D'Arcimoles主持）等6個小組，進行研討，本人在學界也提出「Water Science and Technology期刊的Impact Factor必須再提昇，否則學界參加研討會之誘因或願意投出好文章的意願將會降低」的建議，此建議在大會綜合報告時不少委員再次發表意見，但認為首先應鼓勵會員提高引用率，才可能提昇impact factor及吸引更好的文章。此外，對IWA標誌的引用及網站網頁內容的改進也都提出討論，執委會也特別製作了一光碟片，正式規範在使用IWA標誌時之正確方式與程序。

而從2000年在巴黎開國家代表會議以來，如何建立IWA永續結構及提昇其永續性，就一直在推動中，此次會議也確定永續發展是IWA及其特殊專業團體之核心目標，並為導引IWA之思維及活動均朝永續性發展，已由執委會組成了任務小組（Task Force）及指點委員會（Referral Committee），並在今年8月28日舉行了第一次會議，對任務小組之架構發展及後續活動提出評估與建議，並希望永續發展漸由理論觀點變成實際行動，透過各種會議的宣傳而融入每一位會員意念中。

正式的国家代表會議共有32國約60位代表出席，首先是確認3月在大阪的會議記錄，挪威代表對上次通過的會費決議案仍有意見，並在此次會議提案討論。接著就是2004年9月至2006年9月的IWA會長（President）選舉，此次共有4位候選人：以色列的Avner Adin教授、南非的T. Eugene Cloete教授、澳洲的David Garman博士與匈牙利的Laszlo Somlyody教授，後三位均擔任過副會長。投票時，各僅能投一票，第一輪南非的Cloete教授僅獲3票首先被淘汰，匈牙利Somlyody教授票數最高（15票），但未超過半數，澳洲的Garman博士8票，以色列的Adin教授6票。第二輪仍是匈牙利的Somlyody教授最高票（16票），仍未過半數，澳洲的Garman博士13票，而以以色列的Adin教授

降為4票而遭淘汰。第三輪投票由匈牙利的Somlyody教授以18票過半數，當選為下屆的會長，澳洲的Garman博士14票。

接著是會員資料的報告與討論，本來預定IWA合併兩學（協）會後，會員人數應會大幅增加的，但近三年資料顯示，個人會員僅緩慢地略為增加，而每次雙年會時，因參加研討會之故而會員會增加一千多人，但這些參加雙年會的新會員僅有10~15%願意繼續成為IWA的會員，因此，整體個人員增加甚為有限。團體會員的情況更糟，每年逐漸減少中，可能是兩學（協）會合併後，重覆的團體會員減少總數，也可能是因為IWA缺乏團體會員的誘因之故，但多瑙河沿岸的國家與中國大陸參加團體會員的數目卻顯著地增加。執委會針對會員問題提出近程與遠程的策略，近程包括每月會員資料追蹤、統計與報告，強化會員願意留下來支持學會的行動與誘因，尋求新的團體會員，每年至少與團體會員接觸一次，並解釋從2003年開始的新會費制度（但IWA執委會評估要做到這點，勢必要投入新的人力、財力）；遠程策略包括建議擴大執委會及國家委員會組織，不同地區均有執委會委員負責，並將各國國家委員會領導人組成區域群會議（例如亞太地區的ASPIRE會議，今年10月在曼谷正式舉行），進行多年期規劃以增加會員人數，尋求永久團體會員，增加非

會員參加IWA的活動，與各國的學（協）會合作以增加會員，對會員較少的國家討論整批會員優惠辦法及廣告宣傳加入IWA的好處等。大會並以31票贊成，1票反對，通過拉脫維亞（Latvia）正式參加IWA成為一會員國。

財務報告方面，因係2003年期中資料，僅能就大阪會議時之124,224英鎊赤字修正為136,935英鎊赤字，2004年因有Marrakech雙年會，預估2004年將增加收入，而會有128,331英鎊的盈餘。財務長也分析，2003至2005年財務風險在於會員人數是否能增加，新的團體會員會費與國家會員國額外贊助會費是否能被接受，摩洛哥雙年會參加的人數（特別是恐怖份子的威脅是否有影響）等。

大阪國家代表會議已通過新的會員會費案（詳見IWA2003年大阪國家代表會議報告），其中個人及團體會員會費係以個人GDB值予以分成高、低收入（HIC/LIC）兩類，國家會員則以國家總GDP予以分HIC/LIC。挪威代表則表示有意見，並提出一份分析報告，經執委員整理成若干問題加以討論與表決。第一個要確認的問題，是個人與團體會員會費是否要分兩級收費？經表決，全部代表（32票）投支持票予以確認。第二個問題是決議究竟採哪種分級方式收國家會員會費，經熱烈討論後，共分成三個案予以表決：(1)

確認仍採原方案（HIC國家每年收2000英鎊，LIC國家每年收500英鎊）；(2)分成三級，HIC國家收4000英鎊／年，MIC國家收2000英鎊／年，LIC國家收500英鎊／年；(3)採用挪威所提之計算公式（ $NCF = A \times B$ ，A係依每人GNI所算得之調整係數，例如我國為3.07，日本為3.98等等；B則為依國家總GNI所算得之金額，為一函數關係），若依此公式，日本反而變成要繳最多會費的國家（7593英鎊／年），我國則為2174英鎊／年。日本代表當然極力反對，紛紛發言表示不能接受。投票結果是第二案獲得13票，第一案獲得10票，第三案獲得8票，因此決議採用第二案，即分三級予以收費。

第三個問題是要不要有贊助費(Premium fee)制度，投票結果是27票贊成予以通過。第四個問題是繳Premium fee的國家會員，是否可以擁有更多席位的國家代表？第一案為一視同仁，每國均有兩位國家代表，但僅有一投票權；第二案為多繳7000英鎊／年的銅級會員國，可以有3位國家代表，多繳12000英鎊／年的銀級會員國及多繳22000英鎊／年的金級會員國擁有4位國家代表權，但每國仍均有一投票權，投票結果是第一案獲21票，第二案獲11票，故每國均有二個代表權，一個投票權。

國家代表會議也聽取了策略委員會的

各項規劃、計畫及活動報告，也認同加強特殊專業團體之功能及團體間之合作，丹麥代表提出丹麥國內的水協會組織完整，會員眾多，但因IWA各項會議都說英文，會費也不便宜，不可能直接參與IWA成為會員，因此建議可將各國水協會的會員視為IWA之會員，但不必繳交個人會費或統一繳一筆會費，且可以不用英文召開IWA學術會議。但也有其他代表發言，表示國內水協會與IWA國際組織不同，IWA會員或國家委員會有責任將重要的資訊與技術在國內協會會議中予以散佈，但沒必要硬將各國協會會員納入IWA會員系統中。

摩洛哥代表在會議中報告了2004年雙年會籌備情況，相關資訊也可上網查詢：www.iwa2004marrakech.com。最後一節會議，執委會報告了IWA擴大獎項的構想，IWA目前已有榮譽會員、青年教授獎、傑出服務獎、傑出水科技及管理貢獻獎、研究出版獎及公共關係獎等，執委會預計再增加：對學會服務獎（包括介紹新會員，滿10年／25年之會員，及其他特殊之服務貢獻獎）、傑出專業獎（青年教授獎、專業女性獎、學生獎、研究生獎等）、創新貢獻獎（包括設計、技術、專案計畫、操作管理、雙年會及展覽獎、新產品獎等）、研究獎（最佳論文、長期研究貢獻、最佳研究貢獻、及青年學者最佳論文獎等）、出版獎（應用研究獎、最多產論

文獎、公共衛生貢獻獎、環境改善獎等)、教育獎(公共教育、工程教育、技術移轉獎等)、水事業管理管(飲用水、汙染控制、水質分析、規劃、水資源整體運管、法規、管理、社會顧問、安全、水服務業、水工業獎等)、特殊專業團體獎

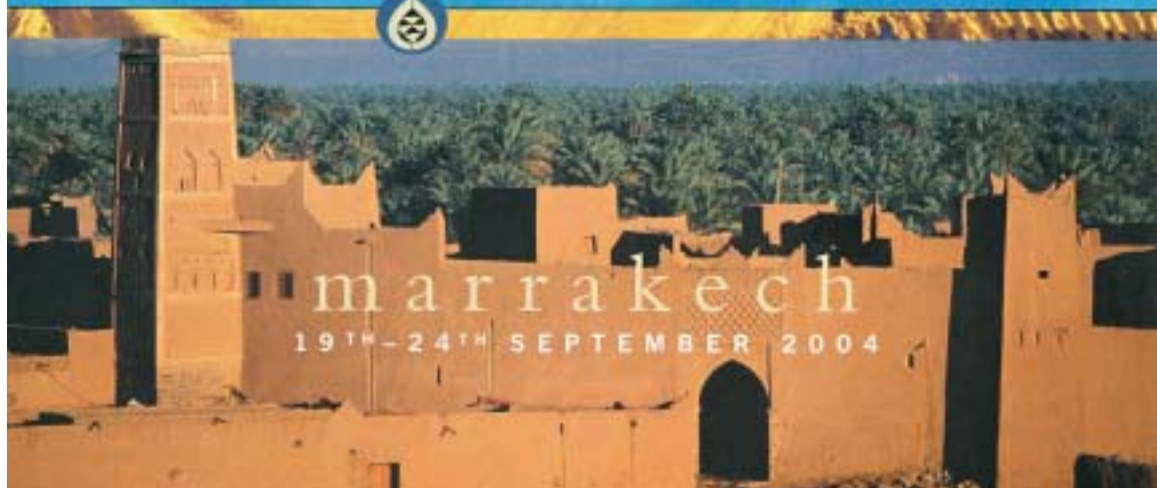
(最佳領導、最佳報導及最佳會議獎等)、及IWA特殊獎章等。代表們大都同意擴大獎項以吸引會員，並交由T.E. Cloete, J. Gilbert及M. Pascoe三人小組繼續擬出辦法，提下次在2004年摩洛哥會議中討論，大會就劃下了句點。

國際水協會 (IWA) 2004世界水年會暨展示會徵文通告



World Water
Congress and
Exhibition

First Announcement
and Call for Papers



INVITATION



On behalf of the Organising Committee of the 4th World Water Congress, I would like to invite water professionals and all those interested in sustainable management of the world's water resources to join us in Marrakech, Morocco for the 4th IWA World Water Congress to be held in September 2004.

This call for papers invites a broad range of papers covering all aspects of water and wastewater services within the context of sustainable catchment and basin management, from research through to practice. We will also stage technical visits, an Exhibition, themed workshops and, of course, the opportunity for interaction with your colleagues in the industry. I urge each researcher, engineer, scientist and practitioner to use this Congress to further their professional career.

Marrakech provides an exciting and exotic location for the IWA's 4th World Water Congress and is a superb location with a perfect atmosphere for this important event.



Ali Fassi Fitri, Congress President



The Biennial World Water Congress is the opportunity for water professionals from around the world to meet and to share their knowledge and experience, both within their peer groups, and across wider spectra of interests. IWA Congresses, in addition to being a series of important conferences and workshops, are meeting places where IWA members meet old friends and make new ones, and where non-members are able to take the benefits of the extensive IWA network for the first time.

The Marrakech congress will continue the development of the IWA premier event and will encompass water management issues for all regions of the world at the levels of both current research and practice in water, wastewater and stormwater management. We will also be able to participate in discussions of the current and future needs of communities in these regions for improved water and sanitation services and, in some cases, for meeting even the most basic levels for these services.

We are holding the event in 2004 in a country which is located in one of those regions which has the specific challenges of water service provision in an arid environment. Morocco is a beautiful and welcoming country and I look forward to seeing you in Marrakech in September 2004.

Michael Rouse, IWA President

IWA

The International Water Association (IWA) is a global network of water professionals, spanning the continuum between research and practice and covering all facets of the water cycle.

Through IWA, members collaborate to lead the development of effective and sustainable approaches to water management, with emphasis on the science and management of drinking water, wastewater, stormwater and the conservation of water resources throughout the world. IWA seeks to create value and drive the advancement of both the science and best practice of water management in cooperation with other similar international efforts in the fields of water resources, irrigation and drainage.

The ultimate strength and potential of IWA lies in the professional and geographic diversity of its membership — a "mosaic" of member communities, including academic researchers and research centres, utilities, consultants, regulators, industrial water users and water equipment manufacturers. IWA members from each of these communities represent the leading edge in their fields of expertise, and together are building new frontiers in global water management through interdisciplinary exchange and collaboration.

In this endeavour, IWA and its members are committed to furthering sustainable and holistic resource management and service provision built on the concept of the complete water cycle. IWA is working in partnership with AMEPA (Moroccan Association of Drinking Water and Sanitation) to develop this conference.

THE VENUE

The Congress will be held between the 19th and 26th of September 2004 in the Marrakech Congress Centre, Marrakech, Morocco.



Congress Format

The Congress will consist of parallel sessions of short, long and poster presentations that will be themed to address the topics listed in the Call for Papers. Additional Sessions include Workshops and Panel Discussions; subject forums will be held in the Exhibition area.

As has been the case for the last few World Water Congresses, IWA is keen to offer delegates the opportunity to discuss both research and practice. Following on from the Leading Edge Conferences held during the last year, the themes of Sustainability and Technology will be brought together in Morocco. Given the North African region is hosting this event, a sub-theme of sustainability in water-stressed areas is also planned. Papers will be welcomed from all parts of Africa and MENA (Middle East and North Africa) countries since a specific program is being developed for these regions, along with other meetings prior to the event.

Paper Outlines or Full Papers are invited on the following themes:

1. Operating Water and Wastewater Systems
2. Innovation in Wastewater Treatment
3. Innovation in Water Supplies: Use, Reuse and Efficiency
4. Innovation in Drinking Water Treatment
5. Integrated Water Resource and River Basin Management
6. Managing Assets Strategically
7. Managing the Business
8. Water and Health

TOPICS

The following is a selection of topics for which the Programme Committee is particularly seeking contributions.

However, contributions for any topic in the fields of water, wastewater or stormwater management will be considered.

1. Operating Water and Wastewater Systems

- a. Operation and Management of Wastewater Treatment Plants
- b. Operation and Management of Drinking Water Treatment Plants
- c. Small Water and Wastewater Systems
- d. Integrated Systems
- e. Water Quality in Distribution Systems
- f. Operation and Management of Sewage Collection Systems
- g. Smart Technologies for System Design and Operation
- h. System Management, including Instrumentation and Control
- i. Security of Water and Wastewater Systems

2. Innovation in Wastewater Treatment Processes

- a. Industrial Wastewater Treatment
- b. Membrane Systems for Wastewater Treatment
- c. Nutrient Removal and Recovery
- d. Anaerobic Digestion
- e. Biosolids and Sludge Management
- f. Detection and Management of Hazardous Substances in Wastewater
- g. Design, Costs and Planning of WWTPs
- h. Local and Appropriate Solutions for Rural and/or Developing Areas
- i. Managing the Water Environment
- j. Source Separating Systems and Ecological Sanitation
- k. Any Other Aspect of Wastewater Treatment that Demonstrates a Significant Advance in Knowledge

3. Innovation in Water Supplies: Use, Route and Efficiency

- a. Non-Conventional Water Sources
- b. Demand Management
- c. Leakage Management/Water Losses
- d. Sustainability in Water-Stressed Environments
- e. Wastewater Treatment for Reuse (potable and non-potable)

- f. Water Reuse: Risks and Public Perceptions
- g. Water Users: Case Studies of Efficient Use and Reuse

4. Innovation in Drinking Water Treatment

- a. Membrane Systems for Drinking Water
- b. Disinfection and Management of Disinfection By-Products
- c. Residuals Management
- d. Detection and Management of Hazardous Substances in Drinking Water
- e. Design, Costs and Planning of DWTPs
- f. Adsorption
- g. Any Other Aspect of Drinking Water Treatment that Demonstrates a Significant Advance in Knowledge

5. Integrated Water Resource and River Basin Management

- a. Management of Point and Diffuse Sources of Pollution
- b. Flow Allocation for Environmental Purposes
- c. Integrated Water Management and Innovation in Urban Areas
- d. Strategies to Manage Groundwater
- e. Systems for Circumstances: Modelling and Decision Support
- f. Community Outreach, Public Participation and Involvement of Indigenous People
- g. Monitoring and Analysis of Environmental Contaminants
- h. Standards Setting and Harmonisation of Regulations
- i. Use of Economic Instruments

6. Managing Assets Strategically

- a. Managing Aging Assets
- b. Maintenance and Rehabilitation of Stormwater Collection and Sewer Networks
- c. Maintenance and Rehabilitation of Water Supply Networks
- d. Enabling Systems, e.g., Information Technology, Monitoring, Control, Performance Indicators and Benchmarking
- e. Economic and Financial Aspects of Asset Management
- f. Modelling and Decision Support

- g. The Sustainable Utility
- h. Meeting Customer and Regulator Expectations

7. Managing the Business

- a. Pricing of Water and Wastewater Services
- b. Regulatory and Environmental Environment
- c. Procurement Models, including Public/Private Partnerships (PPP)
- d. Risk Assessment/Management
- e. Changing Role of Water and Wastewater Service Providers
- f. Water Rights/Allocation
- g. Governance Models for Effective Utility Management
- h. Marketing and Communication
- i. Customer Preferences and Values
- j. Regulatory Approaches

8. Water and Health

- a. Water and Safety
- b. Attaining the Millennium Goals
- c. Waterborne Pathogens
- d. Hazardous Substances in Water
- e. Managing Real and Perceived Risks
- f. Standards and Monitoring
- g. Implications to Public and Animal Health of New Developments in Water and Wastewater Service Provision
- h. Emerging Issues in Water and Health

(Please turn to back cover for further information)





PROCEDURE FOR SUBMISSION

Applicants may select one of the following methods to obtain formal review for a contribution to the Marrakech Congress:

- 1. Full Paper**, not exceeding 4,500 words (eight A4 pages) in length (incorporating any diagrams or illustrations). This format will enhance early review thereby improving the chances for publication.
- 2. Annotated Outline of Paper**, limited to 1,000 words with diagrams or illustrations. This format must contain adequate information to achieve a sound referee review. If selected, the full paper must be submitted on schedule for inclusion in the Congress proceedings.
- 3. Poster Papers**, see Annotated Outline
- 4. Workshop Proposal**, the proposer should provide a full justification for the proposed topic, as well as the proposer's presentation, and the names and suggested presentations by other workshop participants. Each proposal will be considered in the context of all submissions and integrated as appropriate.

Submissions should be made via the Congress website using an on-line system that enables authors to submit their Proposal and participate in the review process. Email submission is possible for those without web access.

Full paper submission is preferred as this ultimately enhances and expedites the review and publication processes. Paper Outlines are also acceptable.

For guidelines on formatting all submissions, to register as a potential author and to find out other information about the Congress, visit www.iw2004marrakech.com.

You should have the following information available:

- Author's Name and Affiliation
- Theme
- Topic
- Title of Presentation
- Three Key Words (to help with identification)
- Your Email Address, Postal Address and Telephone and Fax Numbers.

Submissions should reach IWA no later than

30th November 2003

On the basis of the Paper Outline, a review will be undertaken to select papers for presentation at the conference and the format for the presentation (long presentation, short

presentation or poster presentation). Authors will be notified of the outcome of the review in April 2004.

At least one author of each selected paper and poster must register and attend the conference to present the paper. Authors must meet their own expenses to attend the Congress. Proposals for Workshops can be submitted through Task Forces, Specialist Group Leaders or directly to IWA.



EXHIBITION

An exhibition of the latest technologies, equipment and services will be held in conjunction with the Congress. Further details can be obtained from:

Roy Agterbos
IWA Exhibitions Manager
T ++31 (0)20 5444459
F ++31 (0)20 5444515
M ++006 54371939
E roy.agterbos@iwatcplus.nl



International
Water Association



Alliance House • 12 Caxton Street • London SW1H0Q2 • United Kingdom
Tel: +44 (0)20 7654 5500 • Fax: +44 (0)20 7654 5555 • Email: water@iwahq.org.uk
www.iwahq.org.uk

In partnership with:

AMEPA • Association Marocaine de l'Eau Potable et de l'Assainissement
(Moroccan Association of Drinking Water and Sanitation)
Station de Traitement ONEP • Avenue Oued AKRACH • BP. Rabat • Chellah • Morocco
Tel: +212 37 63 20 93 • Fax: +212 37 65 75 82 • Email: sehi@elanj.net.ma

第一屆國際水協會—亞太區年會暨展示會徵文通告

1st IWA-ASPIRE
 Asia-Pacific Regional Group
 Conference & Exhibition
 Singapore - 10 - 15 July, 2005

**First Announcement
 and
 Call for Papers**

Organized by
 Environmental Engineering Society of Singapore
 Public Utilities Board

Sponsored by
 Ministry of the Environment
 NUS
 Singapore Tourism Board

Supported by
 IWA

Singapore

The Conference

The International Water Association (IWA) - Asia Pacific Regional Group (ASPIRE) results from the merger of the former regional groups of the International Water Services Association (IWSA) and International Association on Water Quality (IAWQ). The 2005 IWA-ASPIRE Regional Conference and Exhibition in Singapore, is the combination of the Asian Waterqual Conference and the IWA-ASPAC Regional Conference & Exhibition, which used to be organized separately by the two respective regional groups.

The IWA-ASPIRE Conference and Exhibition forms a forum for academics, scientists, engineers, and practitioners worldwide especially from Asia to address, discuss, and share their experiences in pursuit of the latest developments in the innovative technologies and managerial techniques governing water resource conservation, reclamation, and sustainability as well as water pollution control. Knowledge and comprehension of such matters will lead to the advancement of ecological and environmental conservation for our future generations.

The Environmental Engineering Society of Singapore (EESS) and The Public Utilities Board, Singapore (PUB) are honoured to host the 1st IWA-ASPIRE Conference & Exhibition 2005 in Singapore.

Conference Co-Presidents

Mr. Y.K. Chan	PUB
Prof. W.J. Ng	EESS

International Programme Committee

Co-Chairperson	Mr. C. G. Lim	Singapore
Co-Chairperson	Prof. S. L. Ong	Singapore
Committee Members:	Mr. S. Chatvavong	Thailand
	Prof. E. Choi	Korea
	Mr. D. Fandino	Philippines
	Prof. G. Ho	Australia
	Mr. C. H. Hsieh	Chinese Taiwan
	Prof. X. Huang	China
	Prof. W. C. G. Ko	Hong Kong SAR
	Prof. S. L. Lo	Chinese Taiwan
	Prof. M. Nita	China
	Prof. S. Ohgaki	Japan
	Prof. T. Panswad	Thailand
	Dato Ir. M. S. Syed	Malaysia
	Prof. P.K. Yang	U.S.A. Hawaii
	Prof. U. Zaini	Malaysia

National Organizing Committee

Co-Chairperson	Dr. J.Y. Hu	EESS
Co-Chairperson	Mr. B.A. Koh	PUB
Committee Members:	Dr. M.A. Aziz	EESS/National University of Singapore
	Dr. R. Bala	EESS/National University of Singapore
	Mr. B.C. Chua	EESS/Analytical Laboratories
	Mr. H.T. Chui	EESS/Qualitech Consultancy
	Mr. H. D. Dixit	Singapore Utilities Int'l Pte Ltd
	Dr. K.Y. Ng	EESS/Singapore Polytechnic
	Ms. T. Low	PUB
	Mr. H.H. Lee	PUB
	Dr. L.Y. Lee	EESS/National University of Singapore

Call for Papers

Papers under the proposed themes will be selected for presentation in the conference. Papers submitted should be original and should not have been published previously. Presenters of papers will be required to submit an abstract of not more than 500 words, together with title, names, affiliation, postal address, fax number and e-mail address by 15 Jul 2004 through our conference website:

www.aspire2005.org

Manuscripts in any of the following subject areas are invited. Papers on scientific, technical, practical, strategic, economic, regulatory, finance and human resource topics of water quality management are welcome. (The Official language of this conference will be English.)

- New Vision and Strategies
- Financing Water/Sewerage Projects
- Human Resource Development, Training, Benchmarking and Skill Competency
- Diffuse (non-point) source pollution
- Sewage and industrial wastewater collection, treatment, and management
- Drinking water quality, treatment, and distribution
- Innovative treatment technology
- Instrumentation and control
- Environmental remediation
- Environmental sanitation and health related issues
- Sludge management and disposal
- Water reclamation, reuse and recycle




Situated in one of the most populated urbanlands of the world, Singapore is a vibrant and cosmopolitan city state whose location and proximity, East and West meet and merge their opportunity and harmoniously. While you visit in **New Asia - Singapore**, you are at the centre for business and pleasure.

The vibrant luxury hotels, offering impeccable standards of Asian service and hospitality, and modern shopping malls, bring the tropical island city well-connected to the vibrant Asian Pacific (APAC) region, and Singapore's leading 2005, well-renowned Changi Airport, and thriving suburbs, set all the scenes to Singapore's standing as one of the leading financial, economic and leading centres in the region. As Asia's economic and industrial engine, Singapore offers a unique business and investment context in every aspect of world planning and development.

When it comes to fun, Singapore is your tropical playground, where there is so much to discover and explore. To other parts of the world, there is a wide variety of exciting fun at over the world-famous night life in the garden state. Because this is a wide choice of historic experiences awaits you, from spa treatments to golfing, swimming, fishing, tennis, martial arts, and education games. And for your entertainment pleasure, there is an array of cultural and modern, state-of-the-art, world-class and world-class theatres, and the City of the Arts. The world city leads you wherever you wish, where the world comes together for entertainment.

The climate in Singapore is warm and welcoming all year round with temperatures ranging between 24°C in the day and 20°C in the night. English is a widely spoken language and the common business language of all, and value for value to experience Singapore is the best, especially since Singapore is known as one of the safest cities in the world.

Government agencies have given Singapore a 2005 century brand and outlook. For the country's entrance to the 21st century, Singapore is a global city, a world-class and modern. Whether you're here for business or pleasure, Singapore has everything to make your stay a most memorable experience. So come, see it up in New Asia Singapore.



ORGANIZED BY SINGAPORE ECONOMIC & DEVELOPMENT BOARD
A MEMBER OF THE SINGAPORE TRADE PROMOTION BOARD

Important Deadline

Abstract submission deadline	15 Jul 2004
Authors notified of acceptance	15 Nov 2004
Full paper submission deadline	15 Mar 2005
1 st IWA ASPIRE 2005	10-15 Jul 2005

Technical Visits

There will be special interest group technical visits to various authorities and plants to provide an in-depth tour of the various facets of water supply, recycle and reuse facilities (such as NEWater) in Singapore. More details will be provided later.

Social Visits

Tours would be arranged for delegates and accompanying persons to explore cultural sites and other places of interest in Singapore and surrounding areas. A list of tours will be announced in the second call for paper and on the official conference website.

Accommodation

A number of accommodation types would be available for conference delegates. The organizing committee will publish the list in the 2nd announcement.

Conference Secretariat

For more information, please contact

The 1st IWA ASPIRE Conference & Exhibition Conference Secretariat:



Integrated Meetings Specialist Pte Ltd
1122A Serangoon Road
Singapore 328206
Tel: (65) 6295 5790
Fax: (65) 6295 5792
Email: aspire@inmeet.com.sg
Website: www.aspire2005.org



www.visit-singapore.com/eng

MEMO

