

ISSN 1025-7683

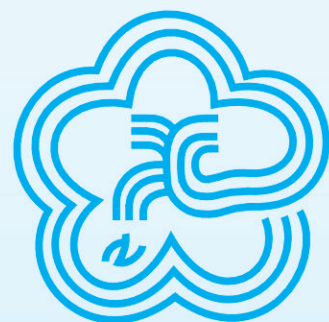
中華民國自來水協會會刊

自來水會刊雜誌



第23卷 第3期 (91)

中華民國九十三年八月



第23卷 第3期

(91)

中華民國自來水協會編印



高屏特定區配水池工程

WATER SUPPLY QUARTERLY

Volume 23 NO.3 August 2004

Water Works Association of the Republic of China (Taiwan)



9 771025 768008

# 自來水會刊第二十三卷第三期目錄

## 專門論著：

- |                       |        |    |
|-----------------------|--------|----|
| 水源中藻類毒素之來源、流佈、分析與去除簡介 | 顏宏愷等三人 | 1  |
| 自來水多重水源混合配送系統最適化模式之研究 | 蕭宏民等三人 | 28 |
| 淨水污泥燒製磚材之材料特性研究       | 江康鈺    | 38 |

## 實務研究：

- |                |        |    |
|----------------|--------|----|
| 臺北自來水事業處漏水改善現況 | 郭瑞華等四人 | 49 |
| 自來水自動讀表系統之建置應用 | 陳振明    | 66 |

## 一般論述：

- |                      |     |    |
|----------------------|-----|----|
| 高坪特定區配水池工程「拾穗」圖案意象簡介 | 張俊男 | 76 |
|----------------------|-----|----|

## 感性園地：

- |                  |     |    |
|------------------|-----|----|
| 環工人物誌---陳繼志先生和愛河 | 姚關穆 | 78 |
| 山中無歲月---記退休生活二三事 | 許廷發 | 80 |

## 學術活動：

- |               |  |    |
|---------------|--|----|
| 國際有關自來水之研討會訊息 |  | 83 |
|---------------|--|----|

## 協會與您：

- |                            |  |    |
|----------------------------|--|----|
| 中華民國自來水協會第十五屆理監事會第七次聯席會議紀錄 |  | 85 |
|----------------------------|--|----|

# 水源中藻類毒素之來源、流佈、分析與去除簡介

顏宏愷<sup>1</sup>、林財富<sup>2</sup>、曾怡禎<sup>3</sup>

## 一、前言

台灣地區由於水源區內農業的開發、以及家庭污水之排放，導致大多數的水庫有水質優養化的問題，以環保署近五年來(1998 至 2002 年資料)對台灣地區 20 座主要水庫監測結果顯示(環保署，2003)，每年分別有 7-14 座水庫屬於優養化，高達三分之一至四分之三水庫曾發生優養化之現象，顯示優養化程度嚴重。優養化的淡水中，藍綠藻(現稱藍綠細菌)常是水體中主要的藻類，藍綠藻中包含了幾種具產生毒素能力之藻種，例如：微囊藻(*Microcystis* sp.)等，不僅造成水質之惡化，更會影響了飲用水的安全。

這一類飲用水安全問題可以追溯到漢朝時代(約一千多年前)，一位中國將軍率領軍隊在華南行軍的過程中，發現士兵飲用翠綠色的溪水會導致中毒的現象產生，但不知其原因(Chorus and Bartram, 1999)。世界第一份正式的飲用水藻毒科學報告於 1878 年提出，證實了藍綠藻毒素的確會危害到動物的健康

(Chorus and Bartram, 1999)。最嚴重的確定案例是在 1993 與 1996 年，巴西分別發生了 88 人與 60 人因使用藻毒的水而死亡的案例(Pouria et al., 1998)。除急毒性外，藻毒也會造成許多慢性疾病(如腸胃及肝之疾病)(Falconer, 1996)，因此世界衛生組織於 1998 年訂立了飲用水建議值，飲用水當中藻類毒素(Microcystins-LR)不得超過 1 µg/L。

近年來由於分析儀器與方法之精進，世界上許多國家的飲用水或淡水水體都被檢測出具藻毒存在，甚至連先進的歐美國家也都不例外。台灣地區過去對於自來水系統藻毒研究幾乎是零，但是最近已經在全省九座水庫中監全數檢測出藻類毒素的存在，以及在自來水中檢測出低濃度的藻類毒素(Yen et al., 2004)，顯示藻類毒素的監測與處理已經成為一個重要的課題。因此本文擬就藻類毒素的種類、對人體健康之影響、產生來源、分析方法、水廠處理技術等文獻進行回顧與分析，並就過去國內研究單位及成大團隊在藻毒領域之研究成果做一敘述，以提供自來水研究與從業人員之參考，望期能提升自來水之安全性

- 
1. 成功大學環境工程系 研究生
  2. 成功大學環境工程學系 教授
  3. 成功大學生命科學系 教授

## 二、國外地面水中藻毒之流佈

在世界上許多的淡水或海水水體當中，都曾被檢測出藻類毒素的存在，以自來水的角度而言，淡水水體中之藻類毒素種類、型式和濃度更值得我們關切。藻類毒素最早於 1878 年於澳洲水體中檢測出來 (Chorus and Bartram, 1999)，其後許多國家的淡水水體中也陸續被發現藻類毒素的存在，例如：美國在 1931 年於 Ohio River 中檢測出藻類毒素，南非的辛巴威在 1966 年檢測出其淡水水體中藻類毒素，紐西蘭在 1974 年於 Alpin 湖中檢測出藻類毒素，英國在 1989 年於蘇格蘭的 Loch Insh 檢測出藻類毒素，巴西在 1933 年於 Itaparica Dam 檢測出藻類毒素且不幸地造成 88 人的死亡，德國、法國、日本、南韓、泰國、中國大陸也於 1994 年發現其水庫或湖泊被檢測出含有藻類的毒素 (Hitzfeld et al., 2000; Hummert et al., 2001; Haider et al., 2003; Oberholster et al., 2004) 等等，其他相關資料整理如表一所示，顯示藻類毒素流佈之廣。

由於藻毒流佈廣且問題嚴重，美國與加拿大兩國於 1996 年 7 月到 1998 年 1 月，針對 24 個公眾給水系統進行大規模的藻類毒素調查。在 677 個所採集的水樣當中，80% 的樣本被檢測出藻類毒

素，甚至有 4.3% 的樣本中超過世界衛生組織的飲用水建議值 ( $1 \mu\text{g/L}$ )，而加拿大也在其配水管網中檢測出藻類毒素，其毒素型式 Microcystin-LR 濃度為  $0.55 \mu\text{g/L}$  (USEPA, 2001)，所以偵測出水體中含藻類毒素的發生不僅是單一地區的事件，更是世界許多各國所擁有的相同問題，值得我們注意。

## 三、藻類毒素之來源、種類與化學構造

目前已知會產生毒素的藻類相當地多，在分類上主要分屬於金藻門的定鞭藻綱 (Prymnesiophyceae)、甲藻門中的甲藻綱 (Dinophyceae) 及藍綠藻門的藍綠藻綱 (Cyanophyceae)，其中以藍綠藻最易形成藻華而造成生物毒害性。藍綠藻產毒之藻種包括：微囊藻 (Microcystis)、Nodularia、顫藻 (Oscillatoria)、魚腥藻 (Anabaena) 與葛仙米藻 (Aphanizomenon) 等數十種藻種 (Berg et al., 1986; Carmichael et al., 1988; Haider et al., 2003)。由於藍綠藻其細胞不具有粒線體、細胞核等膜質胞器 (membraneous organelle)、70S 核糖體、peptidoglycan 細胞壁及缺乏 histone 染色體等與細菌相似之特徵，且其對於部分抗菌性之抗生素敏感甚至會導致其死亡，顯示藍綠藻的生理、生化特性相

當類似於細菌，因此許多生物學家多將藍綠藻歸類為藍綠細菌 (cyanobacteria)，並在系統分類學上將其定位為細菌中之一門 (Berg et al., 1986; Carmichael et al., 1988)。

藍綠藻(或藍綠細菌)所釋放的藻類毒素根據其結構大概可以區分為四大類，包括環多胜? (Cyclic Polypeptides)、生物鹼毒素 (Alkaloid Toxins)、Lipopolysacharride (LPS) Toxins (內毒素 (Endotoxins)的一種)及其他毒素，其他毒素又可以包括 Lyngbyatoxin、Aplysiatoxin、Debromoaplysiatoxin、Prymnesin、Domoic acid 和 Pfiesteria 等，總共可以細分為九種 (USEPA, 2001)，每一種毒素產毒藻種不同，造成人體健康影響的方式也有所差異，其來源與其他詳細內容如表二所示。

藻類毒素的分子量介於 150 到 1100 之間，以常見的藻類毒素型式為例，微囊藻毒素 (Microcystins) 屬於環多胜? (Cyclic Polypeptides) 的一種，而 Anatoxin-a 及其異構物 Anatoxin-a(s) 則屬於生物鹼毒素類。微囊藻毒素的主要化學結構式為 cyclo-(-D-Ala-X-D-MeAsp-Y-Adda-D-Glu-Mdha-)，如圖一所示，根據其上主要位置 X 與 Y 或其他次要位置的鍵結胺基酸或官能基不同，其種類可以區分超過 60 餘種不同 Microcystins 之形式，例如：

Microcystin-LR, RR, YR, LW, LF 等，常見的主要型式整理如表三所示 (Fastner et al., 1995; Hummert et al., 2001; Pyo and Shin, 2002)。許多不同的藻類會產生微囊藻毒素，例如顫藻、微囊藻等(如表二所列)，微囊藻毒素會累積於人、哺乳動物甚至於爬蟲類肝臟或膽囊，造成肝臟的硬化或膽囊之病變使得生命體死亡 (Hernández et al., 2000; Maatouk et al., 2002)。Anatoxin-a 及其異構物 Anatoxin-a(s) 的化學結構式如圖二所示，其分子量較低，屬於二級之胺類 (Secondary Amines)，主要由魚腥藻、顫藻或 Planktothrix 所產生，其毒素主要影響人體的神經系統、皮膚、肝臟及消化道等，當人體攝入高濃度的毒素時會出現急性的神經中毒現象，輕者昏迷，重者死亡 (USEPA, 2001; Haider et al., 2003; Rouhiainen et al., 2004; Vasas et al., 2004)。

#### 四 產毒藍綠細菌生長之環境條件

由於藻類毒素主要是由藍綠細菌所產生，因此藻毒之產生通常伴隨在藍綠細菌生長而產生，且由於文獻中對於毒素之產生條件並不多，因此本節介紹產毒藍綠細菌生長及藻毒產生之環境條件，主要影響之環境條件包括溫度、日照、營養等，以下分別說明。

通常藍綠細菌喜存於較溫暖的環境當中。根據 Robarts 和 Zohary(1987)的研究報告指出，環境中產毒之微囊藻 (Microcystis) 生存的最低溫度為 15 °C，最佳的生存溫度為 25 °C，產生微囊藻毒素之最高濃度則發生在溫度為 20 °C 與 32 °C；另一方面，Van 和 Eloff 的實驗(1985)指出，若以實驗室培養於 28 °C、32 °C 與 36 °C 下，則 32 °C 與 36 °C 之毒素濃度分別為 28 °C 時的 1.6 倍和 4 倍，但 32 °C 與 36 °C 之藻體總數皆低於 28 °C 時的藻體數，此說明了毒素濃度與藻體數目之間，並非為正相關。

光照度對於微囊藻的生長也具有相當大的影響，最佳的生長照度為 3600 ~ 18000 lux，大約經過 5 天的遲滯生長期 (Lag phases) 後，便可進入約 11 天的指數生長期 (Exponential phases)，若以不同照度培養微囊藻則會導致藻類群落呈現不同的顏色，例如：以低於或包含 3600 lux 之照度培養微囊藻則藻類群落呈現綠色，以 5700 lux 之照度培養則藻類群落呈現黃色，以 18000 lux 之照度培養則藻類群落呈現橘色 (Abelovich and Shilo, 1972)。由於藍綠細菌體內液泡 (gas vacuole) 的產生與光照度的強弱亦息息相關，在光照度 6000 lux 下，則液泡的產生量大增，當光照度提高至

6000 ~ 8000 lux 間時，液泡的數量則明顯的減少，此說明了微囊藻在環境水體中，依當時光照度的強弱，具有垂直升降之能力(Robarts 和 Zohary, 1987)，此部分對於自來水取水口深度有相當影響，因為同一深度位置會隨著日照時間會有藻類濃度不同的現象。

另一個影響微囊藻生長的重要因子為水體中之營養鹽濃度及比例，若水體含較高氮及磷的濃度，則會促進藻類的生長甚至形成藻華 (Harding and Wright, 1999)。在總氮與總磷濃度的比例上而言，Harding and Wright (1999) 指出，若比例小於 29 時，藍綠藻華容易形成，可做為藻華產生或預測的指標；但 Xie et al. (2003)實驗的結果顯示，總氮與總磷濃度的比值對於藻華的產生並無直接的相關性，尤其是針對微囊藻而言，在總氮與總磷濃度的比值小於 29 時並不產生藻華，所以水體中影響生成藍綠藻藻華的因子相當複雜，並非為單一因子所造成，但唯一可以確定的是，若水體中富含高濃度之營養鹽，則水體易呈優養化甚至提高藻華發生的機率。

除營養鹽外，也有學者認為與水體中的微量金屬離子濃度與微囊藻毒素的產生有關 (Sunda, 1991)，尤其是鋅離子 ( $Zn^{2+}$ ) 和亞鐵離子 ( $Fe^{2+}$ )。鋅離子在微囊藻產毒的生化機制過程中，主要所

擔任的角色為水解磷酯質、複製與轉譯產毒基因訊息及二氧化碳之水合與去水等作用等，所以當鋅離子濃度較高時，產生高濃度藻毒的機會也隨之上升。而亞鐵離子在藻體內，為許多生化機制所必須之微量金屬離子，例如：光合作用、營養鹽的吸收與利用及葉綠素之合成等，目前僅知微囊藻在較高濃度鐵離子的環境中，產生毒素之濃度較高，但其原因為何仍不明瞭，須更一步地進行研究與探討。

## 五、人體健康風險

最早發現藻類毒素對人體具有健康上的影響為美國 1931 年的研究報告，但不知何種藻類毒素影響所致 (Haider et al., 2003)，直到 1942 年 Wheeler 等人鑑定出銅綠微囊藻(*Microcystis aeruginosa*)所產生的微囊藻毒素，才為世人所明瞭影響人體健康的藻類毒素的型式。1946 年 Ashworth 和 Mason 兩人進行了一系列的白老鼠致死劑量的試驗，使人們驚覺藻類毒素對人體健康影響的嚴重性，進而開啟研究藻類毒素的新紀元。由於早期的水質分析與監測技術較現今落後，導致了藻類毒素危害到人體及其他牲畜的健康，甚至造成大規模死亡的事件發生(表一)；根據紀錄記載，最早因藻類毒素而導致牲畜大量死亡的案例發

生於 1974 年的瑞士，而人類首宗因藻類毒素死亡的案例發生在 1993 年的巴西，造成 2000 人消化道的疾病及 88 人的死亡，其後於 1996 年夏天又發生了 60 人死亡，其中 23 人出現神經失調甚至中風的現象，不到兩個禮拜就已死亡，剩下的 37 人除了出現神經失調的現象外，最後因肝、腎衰竭而死亡，時間未超過五個禮拜(Haider et al., 2003)。基於此事件的嚴重性，世界衛生組織於 1977 年的會議上訂立了相關藻類毒素的建議規範，規定藻類毒素 Microcystin-LR 型於飲用水中不得超過 1 µg/L (ppb)，並於 1998 年初公佈。

根據 WHO(1998)與 Bettina(2000)等人所整理研究的報告，可以發現每一種不同型式藻毒的毒性皆不相同，以白老鼠毒性試驗的結果顯示，Saxitoxin 與 Anatoxin-a(s)毒性最強，其次為 Microcystin-LR、Microcystin-LA 與 Nodularin，再其次為 Microcystin-YR 與 Microcystin-RR，毒性最弱為 Anatoxin-a 與 Cylindrospermopsin，了解藻毒毒性對人體健康的影響，利用藻類毒素之白老鼠致死劑量 (LD<sub>50</sub>) 並依據人體每天的飲水量、體重等相關因子，換算成人體可容忍的劑量，稱之為 TE (Toxin Equivalent) 值，藉以訂定或規範飲用水水中的藻類毒素之濃度。各類型式的藻

類毒素之白老鼠致死劑量 (LD<sub>50</sub>) 並不相同, 依據美國環保署 2001 年的研究報告指出, Microcystin 和 Nodularin 的白老鼠致死劑量為 50 ~ 200  $\mu\text{g/Kg}$ ; Anatoxin-a 若注射到白老鼠的腹腔當中, 則其致死劑量為 200 ~ 375  $\mu\text{g/Kg}$ , 若於飲用水中則其致死劑量為 5000  $\mu\text{g/Kg}$ ; Saxitoxin 若注射到白老鼠的腹腔當中, 則其致死劑量為 10  $\mu\text{g/Kg}$ , 若於飲用水中則其致死劑量為 263  $\mu\text{g/Kg}$ 。其他型式的藻類毒素尚在研究階段, 其白老鼠致死劑量各方報告不一, 但可以確定的是其他型式的藻類毒素依然會影響人體的健康, 例如內毒素 LPS 會造成腸胃病、皮膚紅腫等、Cylindrospermopsin 會造成肝及腎疾病等 (Burch, 2001)。

除急毒性外, 長期飲用含低濃度藻毒之飲用水也會對人體造成慢性毒性, 例如微囊藻毒素會累積於人體的肝臟或膽囊之中, 形成肝臟或膽囊的腫瘤, 造成肝癌的發生, 至於其他藻類毒素長期暴露之人體健康影響則仍在研究當中 (Burch, 2001)。此外, 由於部分藻類毒素具有累積於人體或動物體內的特性, 在 2001 年澳洲政府亦從牛乳及其相關食品中檢測出藻類毒素的存在 (Orr et al., 2001), 所以藻類的毒素不僅影響飲用水的安全, 也會因為食用食品造成暴露。

## 六、各國的飲用水管制情形

由於藻類毒素影響人體健康甚為嚴重, 所以已經有部分國家參照世界衛生組織的建議值訂立自身的飲用水規範, 例如巴西、澳洲、紐西蘭, 但基於淨水操作成本考量與檢驗技術建立等因素, 大部分國家的飲用水法規中, 僅將藻類毒素濃度規範列於建議規範中, 而未立法強制要求進行監測。但也由於這一類化合物的敏感性, 許多國家的淨水廠已將藻類毒素的監測列為平日的工作項目之一, 例如: 澳洲、紐西蘭等。曾經發生過人類死亡案例的巴西, 為世界第一個將藻類毒素 Microcystin-LR 型納入飲用水的規範當中, 明定 Microcystin-LR 型毒素於飲用水當中不得超過 1.3  $\mu\text{g/L}$ , 與世界衛生組織的建議值類似(因為體重計算及暴露比例不同而略有差異), 而美國奧勒岡州健康食品法規, 為世界第一個將藻類毒素 Microcystin-LR 型納入健康食品的檢測項目規範當中, 明定 Microcystin-LR 型毒素於健康食品當中不得超過 1  $\mu\text{g/g}$ , 至於其他型式的藻類毒素濃度規範整理如表五所示, 由此可見世界各國已相當重視此問題並欲訂立或納入於飲用水的檢測規範中, 以提升飲用水的品質與降低人體健康的風險。

## 七、藻類毒素的分析方法

隨著分析方法的演進與開發，藻類毒素分析鑑定有非常多的方法，包括有：生物評估 (Bioassay)、細胞感知檢測 (Cell Receptor Assay)、高壓液相層析儀配合紫外光或螢光偵測器 (HPLC-UV or -FL)、液相層析質譜儀 (LC/MS)、液相層析雙質譜儀 (LC/MS-MS)、飛行時間質譜儀 (MALDI-TOF/MS)、氣相層析儀配合電子捕捉檢測器 (GC-ECD)、氣相層析質譜儀 (GC/MS)、白老鼠試驗 (Mouse Bioassay)、酵素試驗 (Enzyme assay; ELISA)、免疫酵素分析試驗 (Immunoassay) 和磷酸蛋白酵素試驗 (Protein Phosphatase assay) (Hitzfeld et al., 2000; USEPA, 2001; Maizels and Budde, 2004) 等。不同種類或型式之藻類毒素所適合的分析方法不盡相同，分析之偵測極限、再現性、操作技術及分析成本也差異很大，表四彙整理上述這些方法與適合分析之毒素。目前國際上並無標準藻毒分析方法之存在，選用前述分析方法來檢測水中藻類毒素的型式或濃度，必須考慮到其分析方法的特性及偵測極限，以提升分析的準確度。以近年來文獻上所提到的方法而言，主要之方式為：HPLC-PDA、LC/MS 定性與

定量，LC/MS-MS、MALDI-TOF/MS 定性，由於 LC/MS 針對 Microcystins 的分析其偵測極限為 1 ng/L (ppt)，大大提升了分析的準確度，為現今研究報告中最常運用在藻類毒素的定性與定量上。

## 八、藻類毒素於淨水程序中之處理效能

傳統與高級淨水程序對於藻類毒素分別有程度不一之去除效果。由於藻類的毒素大多屬於胞內毒素，往往於藻體死亡或細胞壁遭受破壞時，才會釋放到水體當中，所以國內傳統水廠常用前氧化劑程序氧化原水的操作步驟，往往會增加水體中藻類毒素的濃度 (Yen et al., 2004)，且所加的氧化劑劑量越高，水體中藻類毒素的濃度越高。藻類毒素多屬於蛋白質結構，且水溶性較高，因此傳統方法之混凝、膠凝與沉澱僅能去除顆粒狀之藻體，不能有效地去除已溶於水中的藻類毒素，且混凝與膠凝的過程當中也會造成藻類死亡或其細胞壁的破壞，而導致藻類毒素的釋放 (Hoeger et al., 2004)，所以混凝、膠凝與沉澱的淨水程序對藻類毒素的去除是具有限制的。由於原水的前氧化劑(含氯與臭氧)往往是高濃度藻類毒素進入淨水程序的源頭，所以有研究指出將加氯或加臭氧的位置延後，可以大大提升淨水程序對

藻類毒素的去除能力(Haider et al., 2003)。

Drikas 和 Hrudey (1994)於實驗室中，將含藻類毒素的淡水經由過濾、膠凝、加氯消毒及粉狀活性碳吸附 ( Powdered activated carbon, PAC ) 四個個別的處理程序，將四個處理後的水樣經由白老鼠檢測試驗，發現過濾、膠凝及加氯消毒等三個傳統處理程序的水樣皆會造成白老鼠的中毒現象，顯示並無法有效的去除藻類毒素。只有高級淨水程序之粉狀活性碳吸附 ( PAC ) 的水樣並不會造成白老鼠的中毒現象。因此文獻指出若淨水流程中無活性碳吸附 ( PAC ) 的淨水單元，則藻毒的去除效率為 34 % ~ 50 % ，若有此淨水單元，則可達 90 % 的去除效率 ( Lepisto et al., 1994 ; Haider et al., 2003 )。在氯對於去除藻類毒素之效果上，也需視許多水質與操作特性而定，包括藻類毒素的特性、加氯量及接觸時間等，皆會影響去除藻類毒素的效率，有許多報告指出加氯消毒並無法有效地將所有型式的藻類毒素去除 ( Rositano and Nicholson, 1994 ; Hoeger et al., 2004 )，加入不同氯的型式其去除效率也不相同，例如：液態氯 ( Aqueous chlorine )、次氯酸鈣 ( Calcium hypochlorite )、次氯酸鈉 ( Sodium hypochlorite ) 及氯胺

( Chloramine ) 等均有不同之效果，液態氯或次氯酸鈣在小於 1 mg/L 的劑量下、接觸時間 30 分鐘，可以有效去除微囊藻毒素和 Nodularin，其去除效率高達 95 % ，若選用次氯酸鈉或氯胺，在相同的加氯劑量、接觸時間 30 分鐘下，則對相同型式的藻類毒素僅有 40%- 80% 的去除效率( Nicholson et al., 1994 ; Hoeger et al., 2004 )，而餘氯量至少不能低於 0.5 mg/L、且接觸時間不可以少於 30 分鐘，才可以有效地完整破壞微囊藻毒素的環狀? 鏈 ( Nicholson et al., 1994 ; Thuji et al., 1997 )。在 Anatoxin-a 及 Saxitoxins 兩種毒素型式方面，就算加入高劑量的氯並於接觸時間 30 分鐘，且改變 pH 值的狀態下，依然無法將此二種毒素型式去除 ( Haider et al., 2003 )。對於另一種藻類毒素型式 Cylindrospermopsin 則相當容易去除，在毒素濃度為 20 - 24  $\mu\text{g/L}$ ，加入 4 mg/L 的氯，在 pH 值 7.2-7.4 的狀態下即可將其完全去除 ( Nicholson et al., 1994 ; Saker et al., 2003 )。

在其他高級淨水程序單元方面，主要的操作單元包括：光化學降解法 ( Photochemical degradation ) 薄膜程序 ( Membrane processes )、臭氧氧化 ( Ozonation )。關於光化學降解法中常用之紫外光催化法，由於藻類毒素 Microcystin-LR 型等毒素，對自然的太

陽光具有較高的穩定性，所以紫外光並無法有效地降解 Microcystin-LR 型等毒素，但對於 Microcystin-RR 則具較佳的降解效率 (Tsuji et al., 1997)，若配合使用二氧化鈦 (Titanium dioxide) 進行光催化，則對於較難降解的藻類毒素 Microcystin-LR、Microcystin-YR 及 Microcystin-YA 型等毒素具較佳的降解效率，但其降解速度的快慢與紫外光的強度及添加二氧化鈦的量有關。一般來說，在正常的日照強度及添加 5g/L 二氧化鈦的狀況下，藻類毒素 Micorcystins 其一階的降解半衰期會小於 5 分鐘 (Liu et al., 2002)。關於薄膜系統，常用之薄膜型式依孔徑大小大概可以區分為三類，分別為：MF 膜 (Microfiltration)、UF 膜 (Ultrafiltration) 及 NF 膜 (Nanofiltration)，而薄膜系統中，將 MF 膜與 UF 膜並用，將可以有效地去除藻類，其去除效率超過 98% (Chow et al., 1997)，此系統最大的優點就是藻體不會被破壞，降低了藻類因處理流程將毒素釋放到水體的機會，大大提升了藻類毒素的去除效率。但是由於藻類毒素之分子量較低，約在 150 - 1200 之間，所以若要將溶解性之毒素有效去除，則應使用 NF 膜。

在高級淨水程序中，最普遍被採用的處理程序為臭氧與活性碳程序，臭氧

具有相當強的氧化能力，無論是在實驗室或實場運用上，近十年來研究臭氧氧化降解藻類毒素的研究風氣相當興盛，目前常用且可以有效地去除水中藻類毒素的淨水處理單元，一為活性碳吸附，另一即為臭氧氧化 (Rositano et al., 1993)，臭氧的功用與使用的目的相當的多，例如：去除水中色度、臭味物質及殺菌等，而臭氧於各淨水場之淨水流程的添加位置也不相同，可以分為：前端添加臭氧 (Preozonation)、中段添加臭氧 (Interozonation) 及後端添加臭氧 (Postozonation)，通常前端原水添加臭氧依然會造成藻體破裂而使水體中組類毒素濃度增加，必須配合中段添加臭氧或後端添加臭氧，以提高藻類毒素的去除效率。根據早期的研究指出，水中含藻類毒素 Microcystin-LR 型經臭氧氧化後，於白老鼠試驗中發現白老鼠並無中毒的現象發生 (Hitzfeld et al., 2000; Haider et al., 2003)，由於當時分析技術的限制，臭氧的劑量與毒素的濃度並無詳細的記載，直到 HPLC 及 LC/MS 等儀器出現後，分析技術的躍進，才發現臭氧劑量在小於 0.2 mg/L，氧化的接觸時間僅須 2 秒鐘，即可將濃度為 800 µg/L 的 Microcystin-LR 型毒素，98% 降解並氧化成超過 7 種不同的副產物，而氧化的副產物是否具有生物毒性，至今

仍不明瞭 (Hoger et al., 1999), 至於其他型式的毒素, 如: Nodularin, 在其濃度為 88  $\mu\text{g/L}$  及 0.05  $\text{mg/L}$  臭氧劑量的狀態下, 接觸時間 15 秒即可將毒素完全降解氧化至零 (Rositano et al., 1998), 所以利用臭氧氧化去除藻類毒素的效率相當高。根據澳洲 CRC (The Cooperative Research Centre for Water Quality and Treatment) 2001 年的報告指出, 原水若經由臭氧之高級淨水程序處理後, 其清水皆不應再被檢測出含有任何形式的藻類毒素 (Nicholson and Shaw, 2002), 但實際上不然, 無論在法國、德國或台灣的臭氧高級淨水廠, 其清水依然可以被檢測出濃度極低的藻類毒素存在, 最常見的毒素型式為 Microcystin-LR, 濃度為 1 - 8  $\text{ng/L}$  左右。

除傳統與高級淨水處理方法外, 堤岸過濾法 (Bank Filtration) 也常見於歐洲國家, 該法主要是將水源注入到地下含水層當中進行濾淨水體的功用, Jones 等人於 1994 年最早報導地下含水層的微生物具有降解藻類毒素 Microcystins 的能力, 而 Miller 等人也於 2001 年, 進一步地確認, 地下含水層的微生物的確可以有效地降解 Microcystin-LR 及 Nodularins 等形式的毒素, 不過並非適用於任何形式藻類毒素的去除, 且降解的半衰期長, 並與土壤的溫度和微生物

菌群有關, 一般來說, 在溫度 20  $^{\circ}\text{C}$  下, 仍須 10 到 16 天的降解時間, 若要達 100 % 的去除效率, 則時間須超過一個月以上, 但此法處理的成本最低, 也較無消毒副產物的問題, 各有利弊。

## 九 分子生物技術於產毒藻種鑑定之研究

隨著分子生物學的快速發展, DNA 序列的分析可以不用經過培養的過程而直接地進行分析, 解決傳統上無法清楚分類以及藻種無法於短時間內有效培養分離的缺點, 另外, 其敏感度高, 可偵測到水體中數量較少的產毒藻種, 因此, 分子技術的方法已被應用於釐清目標藻種之社群結構上。通常自環境水體中取得樣品後, 先進行總量 DNA 萃取, 再利用聚合酵素鏈鎖反應 (Polymerase chain reaction, PCR) 將藻體中 16S rDNA 基因或功能段基因中的變異區段序列進行大量複製, Ribosomal DNA 與功能段基因對於研究親緣關係是很好的演化分類依據。經聚合酵素鏈鎖反應放大後的產物, 藉由變性梯度明膠電泳 (Denaturing gradient gel electrophoresis, DGGE) 或溫度梯度明膠電泳 (Temperature gradient gel electrophoresis, TGGE) 所顯示出的產毒或不產毒之藻種指紋圖譜, 將可觀察產毒或不產毒之藻類族群的變

動。16S rDNA 基因或功能段基因序列經大量複製後，便可進行 16S rDNA 基因或功能段基因之分子選殖( 16S rDNA cloning library )，將不同的藻種進行序列的解析，建立產毒或不產毒藻種的 16S rDNA 基因或功能段基因之資料庫，再經由 16S rDNA 基因或功能段基因之資料庫所提供的資訊，設計環境樣本中的寡核? 酸探針 ( probe )，進而將探針應用在螢光原位雜交 ( Fluorescence in situ hybridization ) 藉此觀察產毒或不產毒藻種在環境因子改變時，藻群的動態變化。

在研究產生藻類毒素的基因領域中，研究的方向已經由 16S rDNA 基因片段進入到產毒功能段的基因 ( Functional gene ) 及 16S ~ 23S rDNA 當中，不同基因的鹼基組成不同之胺基酸進而形成不同的藻毒形式，如圖三所示，藻毒的功能段基因可以區分為多段，分別為 mcyA 到 mcyJ，其中又以 mcyA 和 mcyB 為現今研究之重點，mcyA 基因區間包含了超過 3000 個鹼基，而主要的差異區間為 NMT ( N-methyltransferase ) 區間，其包含約為 1300 個鹼基 ( Tillett et al., 2001 )，而 mcyB 主要的差異區間約為 2000 個鹼基左右 ( Mikalsen et al., 2003 )，至於是否具有更大之基因差異區間，則還在研究當中。DGGE 於產毒與不產毒藻種的研

究上，主要是運用在觀測生物種類的歧異度，由於生物間基因鹼基的排列不同所造成的比重不同，經由膠片上不同濃度的製備，將不同藻種 ( strain ) 的物種加以辨別出來，並直接切下膠片上不同位置之基因序列，進行定序的處理 ( Bruggemann et al., 2000 )。在 2004 年最新發表的研究報告指出，選用 16S ~ 23S rDNA 的引子再加上梯度電泳 ( DGGE ) 的運用，將可有效地將不同 DNA 序列的產毒藻種分辨出來 ( Janse et al., 2004 )，根據 NCBI 的基因資料庫發現，現今已超過 500 種不同的產毒藻種 ( Strain ) 被定序出來；當基因資料庫具有完備之基因序列後，並可進行生物探針設計，藉由螢光原位雜交法 ( Fluorescence in situ hybridization，簡稱 FISH ) 或生物晶片的製作與檢測 ( Biochip )，將可達到快速現地監測的目的。

## 十、國內水源中藻毒與產毒藻種之研究現況

國內對於產毒藻種與藻類毒素之研究最早起於台灣大學周宏農教授研究團隊及中研院吳俊宗教授研究團隊，周教授團隊並發表了台灣本土的微囊藻株毒性的分析與研究 ( Lee et al., 1998 )，其所收集的藻種來自台南的鰻魚養殖池，

其團隊更從紫蛤 (Purple clam) 及虱目魚 (Milkfish) 的養殖池中發現了麻痺性貝毒的存在 (Paralytic Shellfish Poisoning, PSP) (Chou et al., 2004); 而中央研究院植物所吳俊宗教授也成功地從北部的翡翠水庫分離純化出產毒的微囊藻株, 並且對於其在翡翠水庫中大量繁殖之環境生態因子做了相當深入的研究(吳, 2004)。但可以發現的是, 台灣地區的飲用水水源, 如: 民生水庫、湖泊和蓄水池等, 除翡翠水庫(吳, 2004) 極少數水樣外, 並無進行水體中藻類毒素型式或濃度的定期監測, 自來水廠的水質監測也無此項目, 所以這部分的資訊可說是相當地貧乏, 國內亦無人利用分子生物技術, 進行產毒藻種的基因鑑定與比對的工作。有鑑於此, 於 2003 年初, 本研究團隊開始收集台灣與外島地區的原水水樣, 進行藻類毒素型式的定性與定量的工作, 配合著分子生物技術的運用, 以了解台灣產毒藻種與世界其他產毒藻種於基因上的差異性, 並於 2004 年開始收集各淨水廠流程的水樣, 以明白台灣自來水廠淨水流程對藻類毒素的去除效率。

本研究團隊根據澳洲 CRC (The Cooperative Research Centre for Water Quality and Treatment) 的藻類毒素分析建議規範及其他以發表的研究報告, 選

用 HPLC-PDA、LC/MS 及 LC/MS-MS 等儀器進行藻類毒素之定性與定量的研究, 並配合著分子生物技術, 鑑定台灣水體中產毒之藻種基因。2003 年至 2004 年間, 我們採集了台灣及外島地區, 共九座的水庫或湖泊的原水水樣, 利用固相萃取技術 (Solid Phase Extraction; SPE) 濃縮萃取水中之藻類毒素, 並配合著液相層析儀器進行兩大類、共六種不同型式藻類毒素的分析, 第一類為累積性肝臟、膽囊毒素, 有 Microcystin-LR、Microcystin-RR、Microcystin-YR、Microcystin-LW 及 Microcystin-LF 五種, 第二類為神經毒素 Anatoxin-a(±)。在監測的九座水庫的原水中, 顯微鏡觀察發現, 依季節變動, 出現了不同的藻相或優勢藻種, 但主要仍以藍綠藻及綠藻為主。藻類毒素監測結果發現, 北部水庫含藻類毒素的主要型式為 Microcystin-LR 及 Microcystin-RR, 依季節變化, 其濃度分別在 38 - 498 ng/L 及 12 - 115 ng/L 之間, 總 Microcystins 的毒素量(五種 Microcystin 型式毒素濃度相加)為 184 - 873 ng/L 之間; 中部二座水庫或湖泊含藻類毒素的主要型式為 Microcystin-LR、Microcystin-YR 及 Microcystin-LW, 依季節變動, 不同型式毒素之個別濃度分別為 78 - 460 ng/L、41 - 172 ng/L 及 26 - 522 ng/L, 總

Microcystins 的毒素濃度為 143 - 347 ng/L 之間；南部二座水庫或湖泊含藻類毒素的主要型式為 Microcystin-LR、Microcystin-RR 及 Microcystin-LF 三種，不同型式毒素之個別濃度分別在 2 - 416 ng/L、8 - 13 ng/L 及 28 - 125 ng/L 之間，總 Microcystins 的毒素濃度在 13 - 527 ng/L 之間；至於外島部分，外島四座水庫或湖泊所含藻類毒素的濃度皆高於台灣地區的水庫或湖泊，甚至高於世界衛生組織的飲用水標準，於檢測的過程當中，亦發現了神經毒素 Anatoxin-a (±) 的存在，濃度高於 2000 ng/L，此為第一次從台灣的淡水水體中檢測出含高濃度藻類神經毒素的報告，值得相關單位注意。

由於台灣地區飲用水水源中已被檢測出藻類毒素的存在，為瞭解自來水淨水程序是否能將之有效地去除，於 2004 年我們採集全省超過五座的自來水淨水廠的淨水單元水樣，並採集處理過後的清水，以明瞭台灣淨水廠去除藻類毒素之效率與飲用水水中藻類毒素之含量。根據分析結果指出，在傳統淨水程序中，若原水經由前加氯後，藻類毒素之濃度往往會呈現劇增的現象，甚至會高於原水濃度的三倍，若淨水程序中無慢濾的淨水操作單元，則去除效率約為 60 % 左右，若有，則去除效率可以提高到

70 % 左右，而高級淨水程序去除效率為 85 % - 93 % 之間，所以台灣地區與外島地區的飲用水水中皆具有低濃度藻類毒素的存在。若經由高級淨水程序處理過後之清水，濃度可低於 100 ng/L 之下，冬天時更可低於 20 ng/L，而傳統之淨水程序處理過後之清水，藻類毒素之濃度仍超過 200 ng/L 以上，在春、夏之交或缺水之季節，清水中毒素濃度甚至會高於 400 ng/L，值得注意。但監測至今，飲用水水中所含有藻類毒素之濃度皆未超過世界衛生組織於飲用水所建議規範的標準，惟仍然需要進行長期監測，以確保飲用水的安全。

在運用分子生物技術檢測淡水水體中產生毒素之藻種方面，發現台灣與外島地區的水庫或湖泊當中，利用產毒功能段基因引子 (Primer) 與 16S - 23S 基因引子，經 PCR 放大和基因的定序後，並與世界基因資料庫 (NCBI) 的比對，大多屬於微囊藻 *Microcystis* sp. 中的 *Microcystis aeruginosa*，的確具有產毒藻種的存在，雖同為 *Microcystis aeruginosa* 但其基因仍有差異性，可說是台灣本土的產毒藻種，進一步確認了台灣水體中產生毒素之藻類種類，驗證了藻類毒素的確存在於台灣與外島地區的水體當中。

## 十一、結論

由於台灣地區氣候溫和，農業與工商業的發達，導致許多水庫或湖泊都有水質優養化的問題，優養化的水庫可能會造成產毒藻種的大量產生，以及釋出藻類毒素的潛在危害。而根據台灣地區九座水庫、湖泊調查與監測的結果顯示，台灣地區水源或飲用水中的確存在藻類毒素的威脅，藉由分子生物技術也確認了產毒藻種的存在，此結果與世界主要國家監測結果相似。雖然目前藻類毒素並未列入主要國家管制項目當中，但是由於其潛在危害性大，許多國家水廠均進行監測及預防的相關工作，國內在此研究領域才剛起步，後續應持續監測並探討其控制之方法，以保障民眾飲水之安全。

## 誌謝

本研究中採樣與分析部分蒙台灣省自來水公司、台北自來水事業處、翡翠水庫管理局、金門自來水廠、以及經濟部水利署協助，特此致謝。

## 參考文獻：

1. Abelovich, A. and Shilo, M. (1972), Photo-oxidative death in blue-green algae, *J. Bact.*, Vol. 111, pp. 682-689.
2. Ashworth, C.T. and Mason, M.F. (1946), Observation on the pathological changes produced by a toxic substance present in blue-green algae (*Microcystis aeruginosa*), *American Journal of Physiology*, Vol. 22, pp. 369-383.
3. Ballot, A., Krienitz, L., Kotut, K., Wiegand, C. and Pflugmacher, S. (2004), Cyanobacteria and cyanobacterial toxins in the alkaline crater lakes Sonachi and Simbi, Kenya, *Harmful Algae*, pp. 1-12.
4. Ballot, A., Pflugmacher, S., Wiegand, C., Kotut, K. and Krienitz, L. (2003), Cyanobacterial toxins in Lake Baringo, Kenya, *Limnologia*, Vol. 33, pp. 2-9.
5. Berg, K., Carmichael, W.W., Skulberg, O.M., Benested, C. and Underlall, B. (1987), Investigation of a toxin water bloom of *Microcystis aeruginosa* (cyanophyceae) in lake Akersvatn, Norway, *Hydrobiologia*, Vol. 144, pp. 97-103.
6. Burch, M. (2002), Cyanobacterial Toxins- The Australian perspective on

- guidelines and management, in Blue-Green Algae: their significance and management within water supplies, Occasional Paper 4, The Cooperative Research Center for Water Quality and Treatment, 15-22.
7. Carmichael, W.W., Eschedor, J.T., Patterson, G.M.L. and Moore, R.E. (1988), Toxicity and partial structure of a hepatotoxic peptide produced by the cyanobacterium *Nodularia spumigena* Mertens emend. L575 from New Zealand, *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 54, pp. 2257-2263.
  8. Chorus, I., Bartram, J. (1999), *Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management*. St. Edmundsbury Press, London.
  9. Chow, C., Panglish, S., Mole, J., Drikas, M., Burch, M. and Gimbel, R. (1997), A study of membrane filtration for the removal of cyanobacterial cells, *Journal of Water SRT-Aquatic*, Vol. 46, pp. 324-334.
  10. CRC (2001), Cooperative Research Centre for Water Quality and Treatment, *Evaluation of Analytical Methods for Detection and Quantification of Cyanotoxins in Relation to Australian Drinking Water Guidelines*.
  11. Dahlmann, J., Budakowski, W.R. and Luckas, B. (2003), Liquid chromatography-electrospray ionization-mass spectrometry based method for the simultaneous determination of algal and cyanobacterial toxins in phytoplankton from marine waters and lakes followed by tentative structural elucidation of microcystins, *Journal of Chromatography A*, Vol. 994, pp. 45-57.
  12. Drikas, M. and Hruday, S. (1994), *Control and removal of toxins: Summary of discussions, Toxic Cyanobacteria Current Status of Research and Management*, American Water Works Association Research Foundation.
  13. Falconer, I.R. (1996), Potential impact on human health of toxic cyanobacteria, *Phycologia*, Vol. 35, pp. 6-11.
  14. Fastner, J., Heinze, R. and Chorus, I. (1995), Microcystin-content, hepatotoxicity and cytotoxicity of cyanobacteria in some German water bodies, *Water Science Technology*, Vol. 32, No. 4, pp. 165-170.

15. Francis, G. (1878), Poisonous Australian lake, *Nature*, Vol. 18, pp. 11-12.
16. Haider, S., Naithani, V., Viswanathan, P.N. and Kakkar, P. (2003), Cyanobacterial toxins: a growing environmental concern, *Chemosphere*, Vol. 52, pp. 1-21.
17. Harding, W.R. and Wright, S. (1999), Initial findings regarding changes in phyto- and zooplankton composition and abundance following the temporary drawdown and refilling of a shallow, hypertrophic South African coastal lake, *J. Lake Reservoir Manage*, Vol. 15, pp. 47-53.
18. Hernández, M., Macia, M., Padilla, C. and Campo, F.F.D. (2000), Short Communication : modulation of human polymorphonuclear leukocyte adherence by cyanopeptide toxins, *Environmental Research Section*, Vol. A84, pp. 64-68.
19. Hitzfeld, B.C., Hoger, S.J. and Dietrich, D.R. (2000), Cyanobacterial Toxins: Removal during Drinking Water Treatment, and Human Risk Assessment, *Environmental Health Perspectives*, Vol. 108, pp. 113-122.
20. Hoeger, S.J., Shaw, G., Hitzfeld, B.C. and Dietrich, D.R. (2004), Occurrence and elimination of cyanobacterial toxins in two Australian drinking water treatment plants, *Toxicon*, Vol. 43, pp. 639-649.
21. Hummert, C., Dahlmann, J., Reichelt, M. and Luckas, M. (2001), Analytical techniques for monitoring harmful cyanobacteria in lakes, *Lakes and Reservoirs: Research and Management*, Vol. 6, pp. 159-168.
22. Hummert, C., Reichelt, M., Weiß, J., Liebert, H. And Luckas, B. (2001), Identification of microcystins in cyanobacteria from the Bleiloch former drinking-water reservoir (Thuringia Germany), *Chemosphere*, Vol. 44, pp. 1581-1588.
23. James, K.J., Furey, A., Sherlock, I.R., Stack, M.A., Twohig, M., Caudwell, F.B. and Skulberg, O.N. (1998), Sensitive determination of anatoxin-a, homoanatoxin-a and their degradation products by liquid chromatography with fluorimetric detection, *Journal of Chromatography A*, Vol. 798, pp. 147-157.
24. Janse, I., Kardinaal, W.E.A., Meima, M., Fastner, J., Visser, P.M. and Zwart,

- G. (2004), Toxic and Nontoxic Microcystis Colonies in Natural Populations Can Be Differentiated on the Basis of rRNA Gene Internal Transcribed Spacer Diversity, *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 70, No. 7, pp. 3979-3987.
25. Jia, R.B., Zhang, X.H. Zhang, W.H., Zhang, G.M. and Wang, Z.S. (2003), Fluctuation of Microcystins in Water Plant, *Journal of Environmental Science and Health*, Vol. A38, No. 12, pp. 2867-2875.
26. Jones, G.L., Bourne, D.G., Blakely, R.L. and Doelle, H. (1994), Degradation of cyanobacterial hepatotoxin microcystin by aquatic bacteria, *Natural Toxins*, Vol. 2, pp. 228-238.
27. Jurczak, T., Tarczynska, M., Karlsson, K. and Meriluoto, J. (2004), Characterization and Diversity of Cyanobacterial Hepatotoxins (Microcystins) in Blooms from Polish Freshwaters Identified by Liquid Chromatography-Electrospray Ionisation Mass Spectrometry, *Chromatographia*, Vol. 59, pp. 571-578.
28. Kaya, K., Sano, T., Inoue, H. and Takagi, H. (2001), Selective determination of total normal microcystin by colorimetry, LC/UV detection and/or LC/MS, *Analytica Chimica Acta*, Vol. 450, pp. 73-80.
29. Kondo, F., Ito, Y., Oka, H., Yamada, S., Tsuji, K., Imokawa, M., Niimi, Y., Harada, K., Ueno, Y. and Miyazaki, Y. (2002), Determination of microcystins in lake water using reusable immunoaffinity column, *Toxicon*, Vol. 40, pp. 893-899.
30. Kurmayer, R., Dittmann, E., Fastner, J. and Chorus, I. (2002), Diversity of Microcystin Genes within a Population of the Toxic Cyanobacterium *Microcystis* spp. in Lake Wannsee (Berlin, Germany), *Microbial Ecology*, Vol. 43, pp. 107-118.
31. Lee, T. H., Chen, Y. M. and Chou, H. N. (1998), First report of microcystins in Taiwan, *Toxicon*, Vol. 36, No. 2, pp. 247-255.
32. Liu, L., Lawton, L.A., Cornish, B. and Robertson, P.K.J. (2002), Mechanistic and toxicity studies of the photocatalytic oxidation of microcystin-LR, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, Vol. 148, pp. 349-354.
33. Maatouk, I., Bouaicha, N., Fontan, D. and Levi, Y. (2002), Seasonal variation of microcystin concentrations in the saint-caprais reservoir (France) and

- their removal in a small full-scale treatment plant, *Water Research*, Vol. 36, pp. 2891-2897.
34. Maizels, M. and Budde, W.L. (2004), A LC/MS Method for the Determination of Cyanobacteria Toxins in Water, *Analysis Chemistry*, Vol. 76, pp. 1342-1351.
35. Mikalsen, B., Boison, G., Skulberg, O. M., Fastner, J., Davies, W., Gabrielsen, T. M., Rudi, K., and Jakobsen, K. S. (2003), Natural variation in the microcystin synthetase operon *mcxABCD* and impact on microcystin production in *Microcystis* strains, *Journal of Bacteriology*, Vol. 185, No. 9, pp. 2774-2785.
36. Miller, M.J. and Fallowfield, H.J. (2001), Degradation of cyanobacterial hepatotoxins in batch experiments, *Water Science Technology*, Vol. 43, pp. 229-232.
37. Nicholson, B.C., Rositano, J. and Burch, M.D. (1994), Destruction of cyanobacterial peptide hepatotoxins by chlorine and chloramines, *Water Research*, Vol. 28, pp. 1297-1303.
38. Nicholson, B. and Shaw, G. (2002), Instrumental Methods for the Determination of Cyanobacterial Toxins, in *Blue-Green Algae: their significance and management within water supplies*, Occasional Paper 4, The Cooperative Research Center for Water Quality and Treatment, 61-73.
39. Oberholster, P.J., Botha, A-M. and Grobbelaar, J.U. (2004), *Microcystis aeruginosa*: source of toxic microcystins in drinking water, *African Journal of Biotechnology*, Vol. 3, No. 3, pp. 159-168.
40. Orr, P.T., Jones, G.J., Hunter, R.A., Berger, K., De Paoli, D.A. and Orr, C.L.A. (2001), Ingestion of toxic *Microcystis aeruginosa* by dairy cattle and the implications for microcystin contamination of milk, *Toxicon*, Vol. 39, pp. 1847-1854.
41. Ozawa, K., Yokoyama, A., Ishikawa, K., Kumagai, M., Watanabe, M.F. and Park, H. (2003), Accumulation and depuration of microcystin produced by the cyanobacterium *Microcystis* in a freshwater snail, *Limnology*, Vol. 4, pp. 131-138.
42. Pyo, D. and Shin, H. (2002), Extraction and analysis of microcystins RR and LR in cyanobacteria using a cyano cartridge, *Journal of Biochemical and Biophysical Methods*, Vol. 51, pp.

- 103-109.
43. Rapala, J., Sivonen, K., Lyra, C. and Niemela, S.I. (1997), Variation of Microcystins, Cyanobacterial Hepatotoxins, in *Anabaena* spp. as a Function of Growth Stimuli, *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 63, No. 6, pp. 2206-2212.
44. Roberts, R.D. and Zohary, T. (1987), Temperature effects on photosynthetic capacity, respiration, and growth rates of bloom-forming cyanobacteria, *NZ J. Mar. Freshwater Res.*, Vol. 21, pp. 391-399.
45. Rositano, J., Newcombe, G., Nicholson, B. and Sztajn bok, P. (2001), Ozonation of NOM and algal toxins in four treated waters, *Water Research*, Vol. 35, No. 1, pp. 23-32.
46. Rouhiainen, L., Vakkilainen, T., Siemer, B.L., Buikema, W., Haselkorn, R. and Sivonen, K. (2004), Genes Coding for Hepatotoxic Heptapeptides (Microcystins) in the Cyanobacterium *Anabaena* Strain 90, *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 70, No. 2, pp. 686-692.
47. Ruangyuttikarn, W., Miksik, I., Pekkoh, J., Peerapornpisal, Y. and Deyl, Z. (2004), Reversed-phase liquid chromatographic-mass spectrometric determination of microcystin-LR in cyanobacteria blooms under alkaline conditions, *Journal of Chromatography B*, Vol. 800, pp. 315-319.
48. Saker, M.L., Nogueira, I.C.G, Vasconcelos, V.M., Neilan, B.A., Eaglesham, G.K. and Pereira, P. (2003), First report and toxicological assessment of the cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii* from Portuguese freshwaters, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Vol. 55, pp. 243-250.
49. Schaeffer, D. J., Malpas, P.B. and Barton, L.L. (1999), Risk assessment of microcystin in dietary *Aphanizomenon flos-aquae*, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Vol. 44, pp. 73-80.
50. Shen, P.P., Shi, Q., Hua, Z.C., Kong, F.X., Wang, Z.G., Zhuang, Z.X. and Chen, D.C. (2003), Analysis of microcystins in cyanobacteria blooms and surface water samples from Meiliang Bay, Taihu Lake, China, *Environment International*, Vol. 29, pp. 641-647.
51. Sunda, W.G. (1991), Trace metal interactions with marine phytoplankton, *Biol. Oceanogr.*, Vol. 6, pp. 442-511.

52. Tillett, D., Parker, D. L., and Neilan, B. A. (2001), Detection of toxigenicity by a probe for the microcystin synthetase gene (*mcyA*) of the cyanobacterial genus *Microcystis*: comparison of toxicities with 16S rRNA and phycocyanin operon (phycocyanin intergenic spacer) phylogenies, *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 67, No. 6, pp. 2810-2818.
53. Tsuji, K., Watanuki, T., Kondo, F., Watanabe, M.F., Nakazawa, H., Suzuki, M., Uchida, H. and Harada, K. (1997), Stability of microcystins from cyanobacteria IV. Effect of chlorination on decomposition, *Toxicon*, Vol. 35, pp. 1033-1041.
54. USEPA (2001), Creating a Cyanotoxin Target List for the Unregulated Contaminant Monitoring Rule.
55. Van der Westhuizen, A.J. and Eloff, J.N. (1985), Effects of temperature and light on toxicity and growth of the blue-green alga *Microcystis aeruginosa* [UV-006], *Planta*, Vol. 163, pp. 55-59.
56. Vasas, G., Gaspar, A., Pager, C., Suranyi, G., Mathe, C., Hamvas, M.M. and Borbely, G. (2004), Analysis of cyanobacterial toxins (anatoxin-a, cylindrospermopsin, microcystin-LR) by capillary electrophoresis, *Electrophoresis*, Vol. 25, pp. 108-115.
57. Vieira, J.M., Azevedo, M.T., Azevedo, S.M.F.O., Honda, R.Y. and Correa, B. (2003), Microcystin production by *Radiocystis fernandoi* (Chroococcales, Cyanobacteria) isolated from a drinking water reservoir in the city of Belem, PA, Brazilian Amazonia region, *Toxicon*, Vol. 42, pp. 709-713.
58. Villatte, F., Schulze, H., Schmid, R.D. and Bachmann, T.T. (2002), A disposable acetylcholinesterase-based electrode biosensor to detect anatoxin-a(s) in water, *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, Vol. 372, pp. 322-326.
59. Wheeler, R.E., Lackey, J.B. and Schott, S.A. (1942), Contribution on the toxicity of algae, *Public Health Report*, Vol. 57, pp. 1695-1701.
60. WHO (1998), WHO Guidelines for Drinking-Water Quality: Recommendations, 2nd edn. World Health Organization, Geneva.
61. Xie, L., Xie, P., Li, S., Tang, H. and Liu, H. (2003), The low TN:TP ratio, a cause or a result of *Microcystis* blooms?, *Water Research*, Vol. 37, pp. 2073-2080.

62. Yen, H.K., Lin, T.F., Tseng, I.C., Tung, S.C., Hsu, M.H., and Liao, P.C., (2004) Occurrence of Algal Toxins and Odorants in Two Reservoirs in South Taiwan, The 10th International Drinking Water Quality Management and Treatment Technology, Taipei, Taiwan.
63. Zhang, W.H., Zang, X.H., Zhang, G.M. and Xu, X.Q. (2003), Variation of Microcystins in a Lake for Water Supply, Journal of Environmental Science and Health, Vol. A38, No. 12, pp. 2857-286.
64. 行政院環保署(2003), 台灣地區環境水質監測年報：水庫水質篇。
65. 吳俊宗 (2004), 翡翠水庫藻類與水質關係之長期監測報告(IV), 中央研究院。

表一：藻類毒素之世界流佈與危害事件的發生

國家	水體	時間	危害事件	發現藻毒型式	文獻
<b>美洲地區</b>					
美國	13 案例(河川、湖泊、水庫)	1931 1996-1998	人體腸胃炎及家畜、鳥、狗、魚中毒	Microcystins Saxitoxins Cylindrospermopsin Lyngbyatoxin Anatoxin-a(s) Anatoxin-a	Haider et al., 2003 USEPA, 2001
加拿大	1 案例(飲用水配水系統)	1990	無	未知	Haider et al., 2003
巴西	3 案例(湖泊、水庫)	1993, 1996	88 及 60 人中毒死亡	Microcystins	Vieira et al., 2003
<b>歐洲地區</b>					
芬蘭	2 案例 (湖泊)	1986-1987	水體產生藍綠藻藻華	Microcystins Anatoxin-a	Rapala et al., 1997 Rouhiainen et al., 2004 Saker et al., 2003
葡萄牙	3 案例 (河川、湖泊、水庫)	1999, 2003, 2004	無	Cylindrospermopsin	Aguete et al., 2003
瑞士	1 案例 (湖泊)	1974-1994	家畜肝功能衰竭死亡	Microcystins	Haider et al., 2003
法國	1 案例 (水庫)	2000	無	Microcystins	Maatouk et al., 2002
英國	3 案例 (水庫)	1989, 1992, 1994	士兵腹瀉 肺炎及魚 狗中毒死亡	Microcystins Anatoxin-a	Haider et al., 2003
德國	4 案例 (湖泊、水庫)	1998-1999, 2000, 2003	水體產生藍綠藻藻華	Microcystins	Hummert et al., 2001 Kurmayer et al., 2002 Dahlmann et al., 2003

表一：藻類毒素之世界流佈與危害事件的發生（續）

國家	水體	時間	危害事件	發現藻毒型式	文獻
波蘭	7 案例 (湖泊、水庫)	1996-2001	無	Microcystins	Jurczak et al., 2004
匈牙利	1 案例 (水庫)	2002	無	Microcystins Anatoxin-a Cylindrospermopsin	Vasas et al., 2004
亞洲地區					
中國	4 案例 (河川、湖泊、水庫)	1994-1995, 1999, 2001	人體中毒及水體產生藍綠藻藻華	Microcystins	Haider et al., 2003 Shen et al., 2003 Zhang et al., 2003 Jia et al., 2003 Ozawa et al., 2003
日本	3 案例 (湖泊)	1950, 1983, 1998-2000	水體產生藍綠藻藻華	Microcystins	Kaya et al., 2001 Kondo et al., 2002
泰國	1 案例 (水庫)	2001	無	Microcystins	Ruangyuttikarn et.al, 2004
非洲地區					
肯亞	3 案例 (湖泊)	2001-2002	無	Microcystins Anatoxin-a	Ballot et al., 2003, 2004
辛巴威	1 案例 (湖泊)	1966	人體腸胃炎	未知	Harder et al., 2003
澳洲地區					
澳大利亞	7 案例 (河川、湖泊、水庫)	1978, 1983, 1990-1991, 2003	家畜中毒或人體死亡	Nodularin Cylindrospermopsin Saxitoxins Neosaxitoxin Microcystins	Haider et al., 2003 Hoeger et al., 2004

表二：藻類毒素種類之來源及特性(USEPA, 2001)

藻毒種類	藻毒型式	產毒藻種	藻毒特性
Cyclic Polypeptides	Nodularin	<i>Nodularia</i>	累積性肝臟、 膽囊毒素
	Microcystin	<i>Anabaena</i> <i>Oscillatoria</i> <i>Nostoc</i> <i>Microcystis</i> <i>Anabaenopsis</i> <i>Hapalodiphon</i>	累積性肝臟、 膽囊毒素
Alkaloid Toxins	Anatoxin-a	<i>Anabaena</i>	急性神經毒素
	Anatoxin-a(s)	<i>Microcystis</i>	肝臟毒素
	Homo-anatoxin-a	<i>Oscillatoria</i>	皮膚腫瘤毒素
		<i>Planktothrix</i> <i>Aphanizomenon</i> <i>Cylindrospermum</i>	
	Saxitoxin	<i>Anabaena</i> <i>Aphanizomenon</i>	中風或麻痺性 毒素
	Cylindrospermopsin	<i>Cylindrospermum</i> <i>raciborskii</i>	累積性肝臟毒 素
Lipopolysaccharide Toxins	Endotoxin	<i>Salmonella</i>	肝臟毒素
Other Toxins	Lyngbyatoxin	<i>Lyngbya</i>	未知
	Aplysiatoxin	<i>Lyngbya</i>	皮膚腫瘤毒素
	Debromoaplysiatoxin	未知	皮膚腫瘤毒素
	Prymnesin	未知	溶血毒素
	Domoic acid	<i>Diatom</i>	未知
	Pfiesteria	<i>Dinoflagellate</i>	未知

表三：藻類毒素 Microcystins 之主要型式(Hummert et al., 2001 ; Maizels et al., 2004)

藻類毒素型式	化學結構位置 X	化學結構位置 Y	分子量
Microcystin-LR	Leu	Arg	994.55
Microcystin-LW	Leu	Trp	1024.53
Microcystin-LF	Leu	Phe	985.52
Microcystin-LM	Leu	Met	969.49
Microcystin-LA	Leu	Ala	909.48
Microcystin-LY	Leu	Tyr	1001.51
Microcystin-LL	Leu	Leu	951.53
Microcystin-RR	Arg	Arg	1037.57
Microcystin-YR	Tyr	Arg	1044.53
Microcystin-FR	Phe	Arg	1028.53
Microcystin-AR	Ala	Arg	952.50
Microcystin-WR	Trp	Arg	1067.54
Microcystin-YA	Tyr	Ala	959.46
Microcystin-LM	Tyr	Met	1019.47

表四、各型式藻類毒素已被發表之適合的分析方法(Hitzfeld et al., 2000 ; USEPA, 2001 ; Haider et al., 2003)

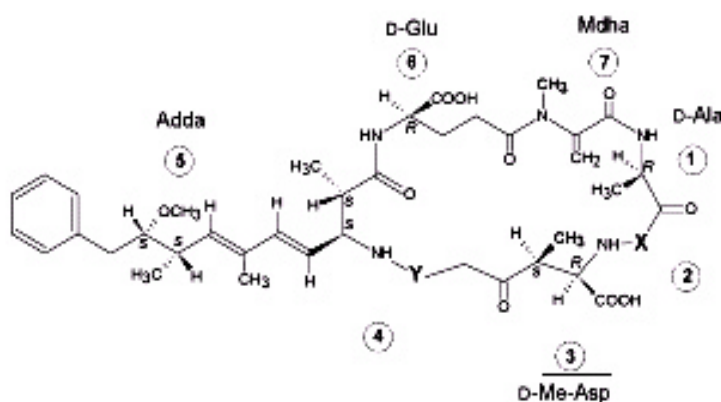
分析方法	藻類毒素型式				
	Anatoxin-a	Anatoxin-a(s)	Saxitoxin	Cylindrospermopsin	Microcystin
白老鼠試驗	v	v	v	v	v
生物鑑定	v	v	v	v	v
免疫酵素分析試驗	-	v	v	-	v
細胞感知檢測	-	-	v	-	v
酵素試驗	-	-	-	-	v
磷酸蛋白酵素試驗	-	-	-	-	v
抗原抗體試驗	-	-	-	-	v
高壓液相層析儀(紫外光)	v	v	v	v	v
高壓液相層析儀(螢光)	v	v	v	-	v
高壓液相層析質譜儀	v	v	v	-	v
高壓液相層析雙質譜儀	-	-	-	v	v
飛行時間質譜儀	-	-	-	-	v
氣相層析儀	v	v	-	-	v
氣相層析質譜儀	v	v	-	-	v

v : 已發表之適合分析方法

表五：世界各國規範藻類毒素之濃度標準(USEPA, 2001)

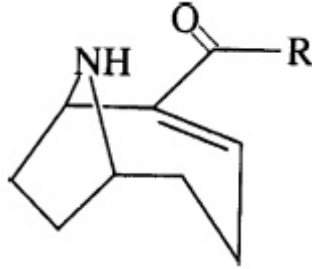
藻類毒素型式	訂立規範國家	規範標準
Anatoxin-a	澳大利亞(建議值)	小於 3 µg/L
Saxitoxins	澳大利亞(建議值)	小於 3 µg/L
Microcystins	世界衛生組織(指引值)	小於 1 µg/L
	巴西(法規值)	小於 1 µg/L
	澳大利亞(指引值)	小於 1.3 µg/L
	紐西蘭(指引值)	小於 1 µg/L
	加拿大(指引值, MAC*)	小於 1.5 µg/L
	美國奧勒岡州(法規值)	小於 1 µg/g(健康食品法規)
Cylindrospermopsins	澳大利亞(建議值)	1-15 µg/L

\*MAC: maximum acceptable concentration

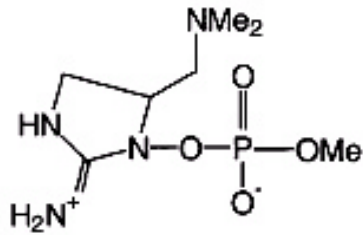


圖一：藻類毒素 Microcystins 之化學結構式(Hummert et al., 2001)

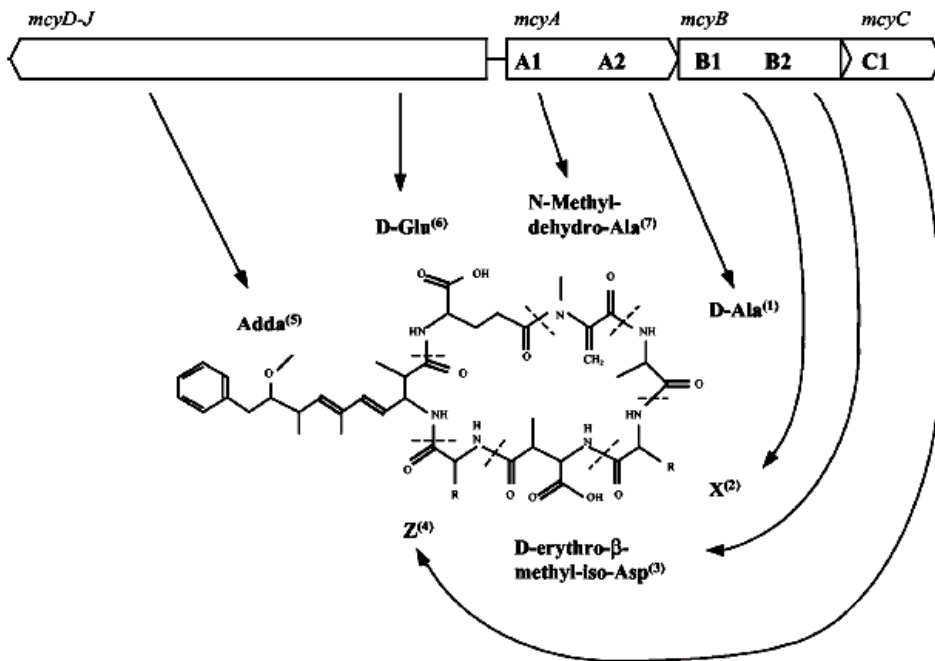
Anatoxin-a: R=CH<sub>3</sub>



Anatoxin-a(s) : R=C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>



圖二：Anatoxin-a 與 Anatoxin-a(s)之化學結構式(James et al., 1998 ; Villatte et al., 2002)



圖三：Microcystis sp.功能段基因所產生之相對應胺基酸示意圖(Mikalsen et al., 2003)

# 自來水多重水源混合配送系統最適化模式之研究

蕭宏民<sup>1</sup>、黃文吉<sup>2</sup>、林碧亮<sup>3</sup>

## 摘要

臺灣地區目前部份供水地區為多重水源、不同水質之混合配送系統，如大高雄供水系統等，在多重水源配送系統中，為確保其下游水質需設定某些控制點，同時為符合混合水源配送系統最適化之需求，研擬一個非線性多供水源水質之配送模型確有需要，本研究基於此建立模型，並納入一組非線性限制式以考量多水源合併之節點，可依顧客滿意度產生完全之混合狀態。本研究研議之模型在簡化之多重水源配送系統予以試驗與證實，在單一水源不足時，需以不同水源與水質合併供水才能滿足目標年用水時，以其方法論可有效控制複雜水源，使多重水源合併供水配送系統產生良好之水質，並可達最適化之供水需求。

關鍵字：多重水源、配送系統、最適化模型、水質

## 一、前言

當供水地區引進多重水源與水質時，進水水源需建立聯合或混合操作之多重水源配送系統，使水量充分供應當地地區民眾的需求並達到一定之滿意度，其重要之管理目標即是在控制配送系統中，水量的充足與水質良好品質之需求，並基於不同水源不同成本條件，使配送系統能達到經濟之效益。

本研究針對多重水源水質配送系統之運作與系統層級，建立多重水源配送系統最適化模式，假定配送系統為一水力條件穩定之狀態，水質濃度之節點變量以求解水質平衡之線性方程式得之，受後處理系統結構所限制，非一定需以水質管理系統之水質控制式方能管控，改以水量平衡最適化的方法來控制不同來源，再考量可能之演算法，其方法主要將規劃、管理與操作做結合，也就是規劃中有管理、管理中有規劃，其並以混合水源在系統幾個代表性需求點，作顧客敏感度分析，並據此定出多重水源混合比率，以作操作依據。此種對水質管理人員於長期計劃和大規模水源配送

1. 經濟部臺灣自來水公司北區工程處 副處長  
國立臺灣海洋大學河海工程研究所/博士候選人
2. 國立台灣海洋大學河海工程研究所 副教授
3. 私立明新科技大學土木工程系 助理教授

系統之管理與操作有特別效益，若因而可不需計算水質濃度將可大大節省計算時間。最適化模式決定變量更為互相獨立，使得最適化問題更為健全，並在管控流程及解法上更有效率。

## 二、文獻回顧

多重水源配送系統最適化之問題已在近十幾年來受到矚目，在研究與實作上有良好之基礎，Schwarz 等人(1985)發表了一個地區系統鹽度控制之管理模型，其水質考量之鹽度稀釋以連接節點質量平衡方程式來計算，產生之非線性模型以連續線性近似值來解決，其應用在以色列供水系統之鹽度控制上，水質考量以加上節點溶質平衡和完全的混合狀態來說明。Shah 和 Sinai (1988)採用氯化物含量做為非線性水源分配模型之水質指標，除了溶質平衡方程式外，每個接合點之混合狀態亦被用來明確說明接合點後，每個輸出管線之水質有均勻之濃度。

Mehrez 等人(1992)發表了一個地區性水源系統最佳即時運算之非線性數理模型，其水質控制以加入節點水質含量之平衡要求，並要求一定之混合狀態指標，達到控制模型之要求。Ostfeld 和 Shamir(1993)則發表了一個多水質網路的最佳運算模型，水流可在兩個方向發

生，並考量其被併入非指向性管路之可能性。Ostfeld 和 Shamir (1996)提出了一個設計最適可靠多水源水質供應系統之框架，求解之問題包括用於解決產生非凸面與不平滑之問題，此一框架並以一個單負載狀態和單水質參數之地區性系統來驗證。

本研究基於不同地區水量水量之混合操作經驗，嘗試基於多重供水輸送之途徑，建立用於地區水源配送系統之混合控制最適化模式，不同水源水質可視為不同產品，在模式建立之公式中，相對於構成各項水質濃度，由不同水源流量之比例來代表，其檢測結果與實際驗證，大致相去不遠。此途徑符合配水控制中心人員之需要，利用簡潔方法可使用不同水源流量比例直接掌控水質。多重水源最適化模式在研究中，先以簡化的供水系統來測試及證實可行性，期能應用於大高雄地區的大規模水源配送系統，並使能在良好之控制策略下，符合該地區民眾之要求及國家飲用水之水質標準，並得到經濟之效益。

## 三、研究方法

多重水源配送系統模式中，依動力流動原理，水源流動時，其流量、流速、水頭需滿足最低及最高值，當兩個以上之水源分享共同的配送網路時，每個系

統有其流量守恆限制式，當流量於同一路徑時，將不是以流動之互斥性或是造成排擠現象，而是共同分享設備，本模式其以最少設備所需流量，作為系統設備初設成本、操作、維護費用等算為單位成本，故本研究建立最適化模式表示如下：

$$\text{Minimize cost} = \sum_{k=1} \sum_{(i,j) \in A} C_{ij}^k X_{ij}^k d_{ij}^k \quad (1)$$

Subject to

$$\sum_{(i,j) \in A} X_{ij}^k - \sum_{(i,j) \in A} X_{ji}^k = b_i^k \quad \text{for all } i \in N,$$

$$\text{and all } k=1,2, \dots, K \quad (2)$$

$$L_{ij} \leq \sum_{(i,j) \in A} X_{ij}^k \leq U_{ij} \quad \text{for all } (i,j) \in A \quad (3)$$

$$0 \leq X_{ij}^k \leq U_{ij} \quad \text{for all } (i,j) \in A,$$

$$\text{and all } k=1,2, \dots, K \quad (4)$$

$$\sum_l h_l - DH_l = 0, \quad l \in \text{loop} \quad (5)$$

$$HMIN_i \leq H_i \leq HMAX_i \quad (6)$$

$$VMIN_i \leq V_i \leq VMAX_i,$$

$$i=1,2, \dots, n \quad (7)$$

其中，配送系統之結構以一組路徑 A 和一組節點 N 來定義； $X_{ij}^k$  等於水源 K 之流量，由節點 i 至節點 j 在路徑(i,j)中之非負水流； $d_{ij}^k$  為單位成本； $L_{ij}$  和  $U_{ij}$  各

別為在路徑(i,j)中整個水流的上部界限和下部界限； $b_i^k$  等於該節點取水源 k 的流量； $h_l$  = 迴路 l 之水頭損失； $DH_l$  = 開放迴路 l 中起始節點與最終節點之水位差； $HMIN_i$  = 在節點 i 的最小水頭限制； $HMAX_i$  = 在節點 i 的最大水頭限制； $VMIN_i$  = 在節點 i 的最小流速限制； $VMAX_i$  = 在節點 i 的最大流速限制； $C_{ij}^k$  為通過路徑(i,j)傳送的單位流量水源 k 之懲罰係數。

以上之公式中，所有之水源水量假定為齊次，每個水源之每單位流量使用每路徑一單位之容積，假定水流之水頭損失狀況是良好的。(2)式代表在所有之節點為流量平衡，每個路徑的費用函數假定為線性的，而(3)式則是在一個路徑中，累計流量之包容限制式。齊次之假設暗示著產生每個單位的水量需要同樣的管線設備來配送。另一個限制式，當多重水源配送系統混合時，可寫成如下型式：

$$(1 - \alpha) \sum_{(i,j) \in A} X_{ij}^m - \sum_{k=1} \sum_{(i,j) \in A} X_{ij}^k \leq 0$$

$$0 \leq \alpha \leq 1 \quad (8)$$

(8)式說明了從水源 m 所配送來之自來水，傳遞至節點 j 時，為全部流量之一定比例，以比例係數  $\alpha$  表示。其利用流量方程式，可驗證配送區域範圍已全部列入考量。

(1)至(8)式只能應用於有向圖(亦即每個路徑中的流動方向已知)。當水流方向事先未知時，其路徑可以由具有相反水流方向之一對有向路徑來表示，每一對如此之路徑指出每次只有一個方向是主動的，一個額外之非線性限制式即為需要的。當研究焦點在混合議題時，則不包括非線性的雙向水流限制式。

一般說來，以配水池為地區水源配送系統之供水蓄水池時，為了在進水與現存於蓄水池水互相混合之後評估蓄水之水質，可以使用此下普遍化之水流平衡方程式來代替方程式(2)(Moiseenko, 1985)。

$$\sum_{k=1} \sum_{(i,j) \in A} X_{ij}^k - \sum_{(i,j) \in A} X_{ij}^k = b_i^k \quad (9)$$

式(9)應用於控制點  $i$  時，用於描述產出水源之換算，由水源 1 到(K-1)的流入物轉變為一個新的混合水源  $K$ 。在水源換算後，所有  $j$  點下游之路徑中， $k = 1, 2, \dots, K-1$ ， $X_{ij}^k$  變為零。數項  $b_i^k$  代表了換算後來源數項，所有水源之出水量齊次假設仍然可應用在此，(9)式的水源換算概念可用做模擬蓄水池之蓄水效果，與由淨水廠之流出水質相較，可表示產生一個適當的混合。蓄水設備之出水為進水與儲存水之混合物，若其混合難以追縱，其出水可當作不同水質之新產品看待。同樣地，淨水廠出水可被視為新

產品，因為它的水質不能以對淨水廠進水之混合來表示。本研究依研究目的，假定水源在所有控制點充分混合為合理的。

(1)至(9)式展示多重水源模式之水力公式與限制式，其在相關研究領域已被提及，線性多重水源水流模式和某些特殊的非線性模型之求解程序亦有學者提出(Assad 1978； Ahuja 等人,1993)。然而，當一些多重水源水流公式對於水源分配系統之混合控制不適宜時，檢討其原因大都在理論與實務之落差上，最適化模型之實務應用仍需努力。

在本研究中，因節點並無分離水池以儲存不同來源之水源，所以假定應用完全的混合狀態，在不同水源相遇之合併節點，完全的混合狀態需要從此節點所有流出的路徑帶有相同混合度之水源，亦即：

$$\frac{X_{ij}^k}{\sum_{(i,j) \in A} X_{ij}^k} = \frac{X_{ji}^k}{\sum_{(i,j) \in A} X_{ij}^k} \quad (10)$$

據此，建立非線性多重水源最適化模型，以完全的混合狀態為基礎，引用非線性限制式，不管是否使用節點溶質平衡途徑或多水源水流公式化，此兩種途徑之非線性限制式牽涉到兩個不同決定變量的乘法，因此引用了高度的非線性，這些非線性限制式反映了實際物理

狀態而必需遵守。圖 1 顯示了在節點  $j$  完全的混合狀態，其中兩個進來的路徑帶有由兩種不同來源的水源。

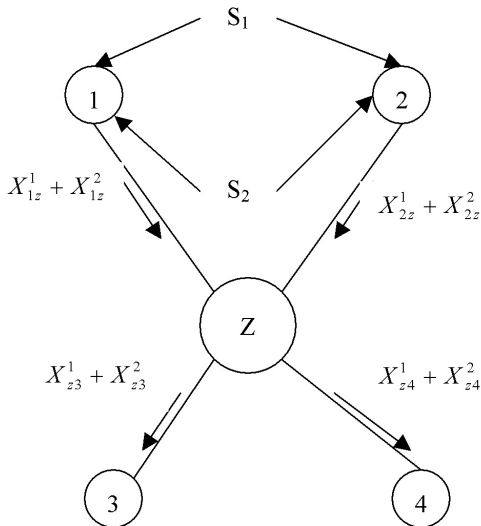
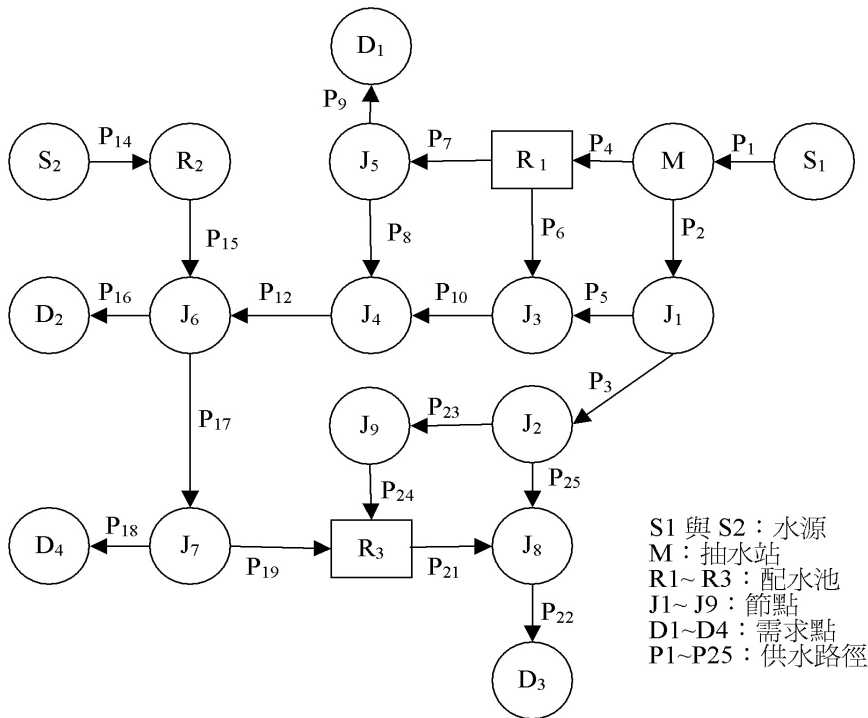


圖 1 兩組水源之完全混合示意圖  
( $X_{1z}^2$  表示水源 2 由節點 1 流到節點

$Z$  之流量，圓圈表示節點，箭頭表示水流方向)

#### 四、案例說明

本研究以一實際供水之簡化系統來驗證，此系統由 2 個供應水源( $S_1$  與  $S_2$ )，4 個耗水需求點( $D_1$ - $D_4$ )，9 個連接節點 ( $J_1$ - $J_9$ )，3 個地面貯水池 ( $R_1$ - $R_3$ )，1 個抽水站( $M$ )，和 25 個管線路徑( $P_1$ - $P_{25}$ )共同組成。圖 2 為多重水源配送系統之簡化案例示意圖，用以驗證多重水源配送系統最適化模式之求解結果，需注意方程式(1)至(10)式應用於複合時期模式，而兩個連續時期由蓄水路徑所連結。



$S_1$  與  $S_2$ ：水源  
 $M$ ：抽水站  
 $R_1 \sim R_3$ ：配水池  
 $J_1 \sim J_9$ ：節點  
 $D_1 \sim D_4$ ：需求點  
 $P_1 \sim P_{25}$ ：供水路徑

圖 2 多重水源配送系統之簡化案例示意圖

圖 2 顯示用於模型測試和證實的一個簡化多重水源配送系統結構，當最適化模式轉變為考量兩個目標：(1) 總體缺水量最小化，(2) 總體蓄水量最大化時，以其相同之權重來考量，並合併為合成函數 J，以下列形式表示：

$$J = \sum_{(i,j) \in A} (D_i - X_{ij}^k) - \sum_{(i,j) \in A} X_{ij}^k \quad (11)$$

其中， $D_i$  等於節點  $i$  的水源需求，如果省略了零懲罰的路徑，(11) 式是(1) 式的擴充型式，第一個總和數項代表了總體缺水量，而第二個總和數項象徵了總體蓄水量。當總體蓄水量之項次乘以負數符號，它將轉變最小化至最大化。

計劃範圍有 5 個時期，在計劃範圍期間的來源供應如表 1 所示。最初蓄水量  $R_2$  為 500 單位的來源 2，而所有其他的蓄水池儲藏了 500 單位的來源 1，在每個需求節點假定有 500 單位的持續需求，儲藏的水假定完全地混合。在節點 D3 明確說明了一個混合需要；特別的是，需求節點 D3 的水源混合必需總是由來源 2 的至少百分之十，因為試驗所利用之時間規模通常大於一天(本研究期間為一個月)，完全混合假定為理所當然的。在混合需求被忽略的基本案例中，有 300 個決定變量與 435 個限制式(對於完全混合狀態有 325 個線性限制式和 90 個非線性限制式)。節點 D3 的

混合需求引用了 5 個額外的線性限制式，不是以硬性束制，就是適當的將懲罰係數加入目標函數做為軟性限制式以合併於限制式組合。

為了檢視混合束制在解決演算法的影響，由基本案例得到之結果與由軟性限制式的三個案例和硬性限制式的一個案例得來之結果互相比較，對於每個案例，模型以不同組之最初估計運算七次以增加達到最佳條件的可能性。表 2 顯示了在上述百分之十的要求之下，由來源 2 至節點 D3 的最適化水源傳輸結果。

表 1 雙重水源之供水系統 (單位)

水源	5 個時段				
	1	2	3	4	5
1	0	500	1000	1500	2000
2	2000	1500	1000	500	0

與基本案例相比，混合限制式之合併導致計算時間之增加，雖然在所有軟性和較硬性限制式的案例達到一個近乎理想之最佳條件，最適化的水源輸送有不同的牽連。一般而言，軟性束限在最適化的過程中避免了不可行性；然而，由來源 2 至節點 D2 水的輸送比實際需要更多。即使如此，如果懲罰係數未被適當選擇，混合限制式可能不會被完全遵守。在表 2 中限制式 1 顯示在第 5 期

由來源 2 而來需求節點 D2 之水源混合未達到百分之十之要求，其乃因所使用懲罰係數 0.01 太小而無法避免違反限制式。要選擇一個適當的懲罰係數通常需要反覆嘗試。另外，在限制式案例中節點 D2 早期的高度混合(高於百分之十)是加入勝過介於短缺與蓄水目標平衡的懲罰條件之直接結果，為避免由懲罰條件導致之複雜性，在此研究中的其他部

份我們仍使用較硬性限制式。

水源短缺對於混合要求之敏感性，可以明確說明於節點 D2 混合要求之不同層級來進一步檢驗，由來源 2 水源所需的比率數值(數值 )以十分之一的增加量由 0(基本案例)至 1 變動，由敏感度分析所得的結果如圖 3 與表 3 所示。

表 2 簡化系統從水源 S<sub>2</sub> 傳到點 2 之最適化( = 0.1)

多限制條件型態 (1)	時 段 後					懲罰係數 (8)
	1 (2)	2 (3)	3 (4)	4 (5)	5 (6)	
None	84.8	62.0	24.3	8.7	0.0	-
限制 1	100.0	64.3	31.6	15.3	7.3	0.01
限制 2	100.0	64.3	31.6	41.6	19.6	0.10
限制 3	100.0	64.3	31.6	41.6	19.6	1.00
全面限制	68.6	59.8	11.6	10.0	12.7	-

附註：表示傳到 D<sub>2</sub> 之水量百分比(%)

表 3 多重水源在水源 2 依 值之需求量分析表

	時 段				
	1 (2)	2 (3)	3 (4)	4 (5)	5 (6)
0.0	400	400	400.00	400.00	400.00
0.1	400	400	400.00	400.00	400.00
0.2	400	400	400.00	400.00	400.00
0.3	400	400	400.00	400.00	400.00
0.4	400	400	400.00	400.00	400.00
0.5	400	400	400.00	400.00	203.80
0.6	400	400	179.50	10.05	0.00
0.7	400	400	22.90	259.50	0.00
0.8	400	400	0.00	0.00	0.00
0.9	400	400	0.00	0.00	0.00
1.0	400	400	0.00	0.00	0.00

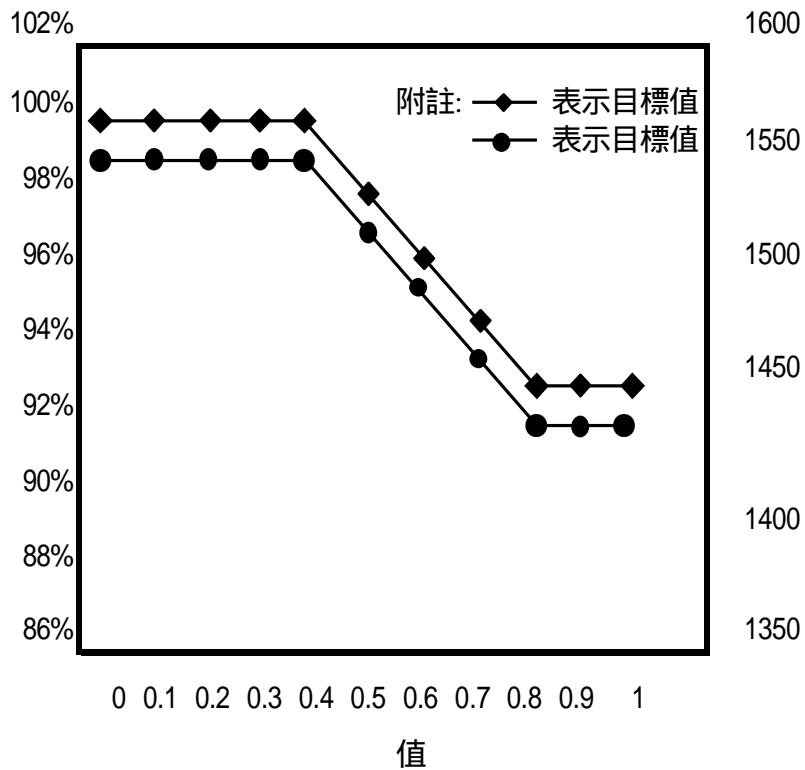


圖 3 簡化供水系統在多水源 值之敏感度分析圖

若系統滿意度由以下兩者來定義：各水源在系統之蓄存總數之比率；與對於各水源在系統之蓄存量(最大儲存)和在需求點所接收到的水源之需求總數，那麼基本案例的滿意度為 99.68 %。滿意度下降是系統各水源混合比率的結果，也起因於在第一時期(表 1)R1 沒有流量流入。

在敏感度分析的早期階段，因利用了系統的多餘度以變更可得水源之配送路線，在 增加的同時，滿意度維持固定不變。然而，當 值達到百分之四十時，滿意度開始降低，這顯示混合要求在不削弱滿意度的狀況下無法被滿足，故據敏感度分析當 值達到百分之十為最佳之混合操作比率。近乎固定傾斜的滿意度在 達到百分之八十時呈持平狀態，因為無法遵守高度混合要求，系統在最後三個時期停止輸水至節點 D2, 這明顯由於 R3 的儲存容積限制。

敏感度分析結果顯示，在水源分配系統運算與運轉上，明確說明混合的可能影響。有趣的是當混合要求被明確說明時，在鄰近地區影響的區域並非必要的。當 等於 0.9 和 1.0 時，因為節點 D2 更高的混合要求，節點 R1 的蓄積量大大地減低，對於一個具有高度多餘度的大規模水源分配系統，在沒有最適化模型的協助之下，要決定影響區域和相

當的水源遞送將會極端困難。

此案例演算得到的結果顯示，建立多重水源配送系統模型能成功地控制想要節點的水源混合，亦可推斷出在不過份混合情況下，當硬性限制式產生穩定解法時，可明確說明混合需要，兩者敏感度分析提供了一個檢查混合要求對總體水源供應之影響。

## 五、結論

本研究提出多重水源配送系統最適化模式，其可用於地區水源配送系統的混合控制，控制與管理具有不同水源、不同水質之自來水同時分享共同的配送系統。基於多水源供水模型，提議的公式化有能力合併非線性的完全混合狀態，不使用供水水質濃度公式化之控制，其可改以管控由不同來源水的流量及導電度之百分比，此種對水質管理人員於長期計劃和大規模水源配送系統的管理特別有益，因為它不需要計算水質濃度，僅在必要時以導電度做為校核，而大大節省了計算時間，其決定水源流動變量更為互相獨立，並在管控流程及解法上更有效率，使多重水源混合配送得最適化的結果。

多重水源供水模型簡化的系統測試及證實，得到之結果指出研議的方法論可有效控制複雜地區水源配送系統中的

水源混合，並將規劃、管理與操作做結合，也就是規劃中有管理、管理中有規劃，且使用研擬之公式配合系統的可靠性及顧客滿意度分析，其結合量與質的要求，未來可應用在大規模大高雄水源的分配系統上。

## 參考文獻

1. Assad, A. A. (1978). "Multicommodity network flows- A survey." *Networks*, 8, pp.37-91.
2. Mehrez, A. Percia, C. and Oron. G.(1992). "Optimal operation of a multisource and multiquality regional water system." *Water resour. Res.* 28(5), pp.1199-1206.
3. Ostfeld, A. and Shamir, U. (1993a). "Optimal operation of multiquality networks. I: Steady-state conditions" *J. Water Resour. Plng. And Mgmt.*, ASCE, 119(6), pp.645-662.
4. Ostfeld, A. and Shamir, U. (1993b). "Optimal operation of multiquality networks. II: Unsteady-state conditions" *J. Water Resour. Plng. And Mgmt.*, ASCE, 119(6), pp.663-684.
5. Ostfeld, A. and Shamir, U. (1996). "Design of optimal reliable multiquality water supply systems" *J. Water Resour. Plng. And Mgmt.*, ASCE, 122(5), pp.322-333.
6. Schwarz, J. Meidad, N. and Shamir, U. (1985). "Water quality management in regional systems." *Scientific basis for water resources management*, M. Diskin, ed. International Association of Hydrological Sciences, Wallingford. U.K., pp.341-349.
7. Shah, M. and Sinai, G. (1988). "Steady state model for dilution in water networks." *J. Hydr. Engrg.*, ASCE., 114(2), pp.192-206.

# 淨水污泥燒製磚材之材料特性研究

江康鈺<sup>1</sup> 陳宜晶<sup>2</sup> 簡光勵<sup>3</sup>

## 摘要

本研究係以淨水場污泥燒結處理進行資源化之探討，主要著重在討論不同溫度下燒結處理後試體之基本材料性質。研究結果顯示，各組的燒失量差異不大，均在 20~23%間。當燒結溫度低於 1000 時，燒結粉體尚未達到黏結良好之現象，燒結體無明顯之緻密化，而當溫度高於 1000 以後，明顯看出燒結體體積收縮率及密度均呈現增加之趨勢。同時，由於試體之緻密化，吸水率降低，抗壓強度亦增加。整體而言，燒結溫度於 1100 時，燒結試體符合 CNS 建築普通用磚之一等磚規範標準，且淨水污泥之重金屬溶出濃度低於法規管制標準，故應用淨水污泥燒結資源再利用，未來極具發展及應用之潛力。

## 一、前言

淨水場主要是引河川水，經過混凝、沈澱、過濾與消毒等處理單元以去除原水中之雜質，達成淨化水質之目的，其中「淨水污泥」即為水淨化程序中所產生之固液混合物。根據台灣省自

來水公司統計資料顯示，台灣地區自來水普及率由民國 63 年底為 41.03%至民國 92 年底已達 89.15%，而台北市、高雄市等兩直轄市之自來水普及率更高達 99.49 與 98.89%，顯示出國人對於自來水之需求量愈來愈多，各淨水場每日所產出的污泥也日益增多。以台北自來水事業處為例，2000 年產出之污泥量若以含水率 30~50%為基準來估算，台北市淨水污泥餅年產量約為 11,500 m<sup>3</sup> (康氏，2001)。而根據台灣省自來水公司統計所屬十二區結果顯示，民國 91 年淨水污泥年產量為 104,178 公噸(含水率 40~100%)，因此推估台灣地區每年約產生 12 萬公噸之淨水污泥。此外，根據行政院環保署廢棄物管制中心上網申報資料統計，民國 92 年無機性污泥(含淨水污泥)之申報量高達 832,846.72 噸。淨水污泥之產量隨著民生用水普及而節節上升，在日趨嚴格之環保法令要求下，如何妥善處理這些污泥，已成為台灣地區各淨水場亟需解決之問題。

污泥資源化於製磚的研究上已發展多年，而從永續經營自然環境資源之角度來看，磚瓦之製造與使用能夠

---

1. 逢甲大學環境工程與科學系 副教授  
2. 逢甲大學環境工程與科學研究所 碩士  
3. 逢甲大學環境工程與科學研究所 碩士班研究生

達到符合綠色環境使用良性循環之目標。目前國內外利用廢棄物資源再利用燒結製磚的實例層出不窮，經由廢棄物來燒結製成磚材，不僅能達到資源化之目的，亦可減緩國內黏土資源枯竭之問題。Basegio et al. (2002) 將皮革工廠所產生的污泥與黏土以不同配比量摻配，再放入高溫爐分別以 1000、1100 及 1180 燒結 2 小時製成陶瓷磚材。研究結果顯示，隨著燒結溫度升高，試體之密度值也愈大，吸水率降低。當燒結溫度超過 1100，陶瓷磚材之機械強度增大，收縮率增加，而孔隙率降低，金屬溶出值皆沒有超出最大溶出濃度規範標準，製成的陶瓷磚其機械特性皆可媲美一般商業用磚。Wiebush et al. (1997) 將下水污泥灰取代黏土來燒製成磚材，結果顯示燒結體中含愈多之灰渣，其試體吸水率愈高且密度愈小。而隨著燒結溫度之提高抗壓強度也隨之增加，當灰渣添加比例為 10% 時，抗壓強度達到最高，但爾後隨著添加比例的增加抗壓強度反而下降，這是由於添加愈多之灰渣會造成燒結體之孔隙增加而導致抗壓強度下降。此外，研究發現污泥焚化灰可作為一種助熔劑 (fluxing agent)，在與黏土之混合材料中，愈多之灰渣含量，可降低燒結溫度。張氏 (2003) 利用造粒與燒結技術，將水庫淤泥製成水處理中過濾單元之

燒結濾料。研究結果顯示，於 1100 及 1125 下燒結 10 分鐘之燒結濾料，表面呈現多孔性，尤其在經過人工破碎後，比表面積與吸水率增加，有助於提升過濾效果。而經由過濾效果測試，於 1125 下燒結 10 分鐘之燒結濾料過濾效果與濾砂相仿，故具有取代濾砂作為過濾填充濾料之潛力。黃氏等 (2002) 將淨水污泥與營建廢棄土混合，淨水污泥的添加比例在 15% 以下，其燒結磚體可滿足一級磚的要求。若以 1000~1100 燒結，骨材吸水率隨著溫度增高而變小，比重隨著溫度增高而變大，但比重皆在  $2\text{g/cm}^3$ ，可作為結構用之輕質骨材。

一般污泥最終處置方法可分為海洋棄置、土地棄置及衛生掩埋等，而這些方法必須考慮到污泥本身之性質及淨水場所在位置等因素。台灣地區淨水污泥處置方式目前雖尚無詳細統計資料，但推測仍以掩埋為主。然而，台灣地區地狹人稠，可利用的土地已相當有限，而且現有掩埋場日趨飽和及新建掩埋場廠址取得不易之情況下，污泥處理與處置問題無形中已加重自來水處理廠負擔。有鑑於此，本研究嘗試利用燒結資源化技術處理淨水污泥，以期原屬於廢棄物之污泥資源化製成建築資材，不僅降低對環境的衝擊，並達成資源永續再利用之目的。

## 二、實驗材料與方法

### 1. 實驗材料

本研究材料取自豐原淨水場之淨水污泥，其物化特性分析如表1所示。pH值落在中性範圍內，污泥內的重金屬離子不易溶出，對環境不會造成污染。在含水率方面，一般經由調理脫水後之淨水污泥含水率約為60~70%，本研究採用之豐原淨水場污泥餅含水率為48.40%，含水率明顯有減少之現象，推測是由於堆置在曬乾床的污泥餅，經長期曝曬後水分逐漸蒸發，但就後續研磨成細粉末與造粒之進行而言，污泥餅之含水率仍偏高，故需先經105℃乾燥以去除水分；在可燃分析方面，淨水污泥在800℃下可分解成分並不多，大部分皆為不易分解之無機物，於燒結處理過程，不會因可燃物質逸散的情形而破壞燒結體內部的微細結構，影響燒結體之抗壓強度。

淨水污泥的主要化學組成為 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{CaO}$ 及 $\text{TiO}_2$ 等成分，其中以 $\text{SiO}_2$ 佔污泥比例最高，達53.36%，此乃因在自來水集水過程中夾帶大量砂土礦物，經混凝沉澱後收集而來。 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 的含量也佔了一定的比例，約為15.28%，主要是由於在淨水程序採用鋁系混凝劑所致，此外 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 含量為

21.01%，根據馮氏（2002）指出，鐵氧化態會隨著燒製溫度與時間加大，型態改變增多，而影響燒結體外觀顏色，因此燒結試體表面亦隨著燒製溫度800~1100℃的提升，由紅棕色、暗紅色而轉變為赤黑色；此外， $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 亦為助熔劑，具有助熔之效果，可降低燒結的溫度(Wiebush et al., 1997)。

重金屬含量為判定污泥是否有害之主要依據，毒性特性溶出程序（TCLP）分析為一重要之指標，對於污泥燒結體用於建築材料，瞭解重金屬是否會自燒結體中溶出或溶出量的多寡對環境上已造成威脅。由表2可知，淨水污泥之重金屬溶出濃度皆低於法規管制標準。

### 2. 實驗流程

淨水污泥先於105℃烘箱乾燥至恆重備用，再將原料研磨，分別將過50mesh而停留在200mesh上(粒徑範圍為74~300 $\mu\text{m}$ )之原料進行收集，作為燒結研究之材料。將淨水污泥加入15%的水摻配，增加原料之黏滯性以利於成型。原料經充分混合後，以油壓成型機擠壓成型，壓力控制在800psi，成型時間為1分鐘，成型後的生胚為直徑20mm、高50mm之圓柱體。成型後之成型體放入高溫爐中燒結成型，溫度的控制主要是先由室溫上升至100℃兩小時，接下來將溫度提高到600℃兩小

時,最後再將樣品依 800~1100 等不同之燒結溫度進行燒結處理,燒結時間則控制在 3 小時,昇溫速率皆控制在 5 /min。後續再將這些燒結體分別進行燒失量、體積收縮率、吸水率、密度變化及抗壓強度及 SEM 等分析。

### 三、結果與討論

#### 3-1 燒失量(Weight Loss on Ignition)

燒結過程之燒失量係指試體燒結前後重量之損失,其損失量之多寡可用來瞭解燒結過程水分之蒸發、有機物氧化分解、無機鹽類之分解揮發及少量之重金屬高溫逸散。一般來說,若是試體原料具有高含量的有機物,及高溫易分解的無機鹽類,在燒結過程中,這些組成成分會分解產生氣體逸散,導致氣孔增加,使得試體內部微結構的破壞或改變,進而影響到燒結試體之強度及吸水率等性質,因此必須對燒結體之燒失量進行探討,以便瞭解其對燒結試體性質的關聯和影響。圖1為不同溫度下淨水污泥燒結後之燒失量變化,由圖中可知,各組的燒失量變化均在20~23%間,乃因在燒結前原料摻配時,每一組實驗均添加15%的水分,以增加成型體的黏滯性,在經過高溫燒結後水分蒸發成水蒸氣而逸散於大氣中,同時原料中少量之有機物及高溫易分解之無機物亦增

加燒失量。但整體上而言,燒失量之變動情形並不大。

#### 3-2 體積收縮率 (Firing Shrinkage)

試體在進行燒結時,高溫狀態會使試體的體積產生變化,試體內部顆粒由於處於高能量狀態,粒子的動能大,移動性強,顆粒間發生黏結作用,致使試體內孔隙率降低,並產生緻密化現象,造成體積上之變化,因此,緻密化過程試體之體積將呈現收縮之現象。影響體積變化的因子大致上包括有晶相改變、物質分解、粒子黏結及熱脹冷縮等。體積收縮率隨燒結溫度增加而增加,同時燒結試體之緻密性亦會提高;另一方面,燒結試體內之部分有機物及可分解之無機物,受熱分解並增加孔隙度,但在燒結溫度及燒結時間之適當條件控制下,燒結試體內之粒子間,會進行粒子孔隙之頸部成長作用,致使孔隙度減少,燒結試體之緻密性增加,體積收縮率亦隨之增大。圖2為不同溫度下淨水污泥燒結後試體之體積收縮率變化,在燒結溫度800 900 之情況下,燒結體內部頸部成長作用尚未完全,整個試體結構鬆散且體積收縮情形變化不大,為7~10%左右,此可由圖3之SEM影像分析圖中顯示,粉體間黏結情況不佳且顆粒分明,燒結試體仍成粉體狀且結構鬆散,內部孔隙為連通狀孔隙,顯

示出在此溫度下尚未達到燒結情況，故其燒結體材料特性也較差。但在燒結溫度1000 時，由於處於高溫狀態，粒子間被提供更高的頸部成長動力，導致顆粒間黏結作用增快，因此體積收縮率呈現劇烈之上升，為 $29.31 \pm 0.55\%$ ，故推測在1000 附近為燒結體迅速緻密化之起始點。此外，在1100 時純污泥燒結後之體積收縮率更高達 $51.78 \pm 0.86\%$ ，顯示出溫度之增加有助於燒結體緻密化。而在1100 下燒結試體之SEM微細結構發現，因高溫促使試體顆粒間擴散，產生足量之黏滯性非結晶玻璃相而填補原顆粒間之孔隙，使孔隙間的聯繫逐漸隔斷，並且試體表面具有光滑質地（如圖4所示）。然而，在如此大的體積收縮率下，將有可能造成試體破裂，但由實驗結果得知，雖然在1100 燒結時之體積收縮率大，但燒結體表面依然完整，推測是因在燒結過程中昇溫過程較緩，能量吸收慢，內部材料之化學變化緩慢，燒結試體並不因快速收縮導致變形破裂。

### 3-3 吸水率變化(Water Absorption Rate)

吸水率與燒成坯體中開放孔隙的多寡有正面的關係，一般可藉由吸水率之變化，瞭解燒結體內孔隙之多寡，當試體中開放孔隙愈多，試體的吸水率也愈高，而試體收縮程度高時，孔隙率減少，可吸收的水分也隨之減少。

Souza et al. (2004) 指出溫度為影響磚體本身吸水率之一重要參數，隨著溫度的增加，磚體之吸水率有降低之趨勢，特別是在 1000 以上愈明顯，可能與玻璃相的形成有關。圖 5 為淨水污泥燒結試體之吸水率變化。由圖中顯示，隨著溫度的升高，吸水率有明顯下降之趨勢，於 800~900 之燒結溫度下，由於尚未達到燒結緻密化之溫度，燒結後試體內外仍有粉屑掉落且結構較為鬆散，內部開放性孔洞多，故吸水率也呈現偏高之現象；當燒結溫度 1000 時，溫度升高可使試體內部顆粒原子動能變大，移動性增強，粒子與粒子間碰撞劇烈而黏結在一起，致使燒結試體內部的孔隙減少，愈加緻密化，吸水率因而降低；當燒結溫度為 1100 時，燒結體由於體積收縮率大，緻密化程度高，且試體外部為疏水性的黏滯性非結晶玻璃相，故吸水率偏低，為  $5.14 \pm 0.65\%$ ，可符合 CNS 中建築普通用磚之一等磚規範（ $< 15\%$ ）。

### 3-4 密度變化(Apparent Density)

在燒結反應中緻密化程度是決定燒結效率重要指標之一，而緻密化影響試體物化特性最大應屬密度值，一般而言，燒結溫度愈高，可維持粉末足夠之驅動力，頸部成長作用完全，粒子與粒子間緊密黏結，故燒結試體

之密度愈大，同時成型壓力愈大，燒結試體之密度亦會增加。圖 6 為不同溫度下淨水污泥燒結後試體之密度變化。在燒結溫度 800~900 下，由於尚未達到燒結緻密化之溫度，粉體間能量不足，擴散速率慢，顆粒移動的距離也不大，故試體內部頸部成長作用緩慢，凝聚力差，所得到磚體的密度並不高；但在燒結溫度 1000 下，由於達到燒結緻密化之關鍵點，粉體間處於高能之狀態，粒子與粒子間碰撞劇烈而黏結在一起，致使燒結試體內部的孔隙減少，密度增高，其密度值為  $2.33 \pm 0.37 \text{ g/cm}^3$ ；另外，在 1100 時燒結後之密度值更高達  $3.62 \pm 0.96 \text{ g/cm}^3$ ，顯示出溫度之增加有助於燒結體緻密化。

### 3-5 抗壓強度(Compressive Strength)

抗壓強度為燒結試體資源再利用之一項重要指標，燒結溫度愈高，燒結試體內之緻密性增加，相對提高試體之抗壓強度；同時燒結試體之抗壓強度亦與其組成成分之物種晶相具有相關性，影響燒結體抗壓強度的原因很複雜，例如試體的孔隙率、孔隙大小、礦物結晶種類與型態等，且這些因子彼此交互影響。圖 7 為在不同溫度下淨水污泥燒結後試體之抗壓強度變化，由圖中可以發現隨著燒結溫度的增加，試體抗壓強度也隨之變大，燒結溫度的提高對抗壓強度的變化，大約在 1000 前

後有很明顯之區別，800 900 燒結體的抗壓強度明顯偏低，顯示在 800~900 時燒結作用尚未完全，試體內部緻密性不佳，結構鬆散且易碎，故抗壓強度之增加情形有限，但在 1000 下燒結試體之抗壓強度則有明顯之提高，試體內部結構由於受到熱力影響而趨於緻密，進而增加試體之抗壓強度，推測在燒結溫度 1000 左右為燒結體迅速緻密化之起始點，而在此操作溫度下之燒結試體，抗壓強度在  $150 \text{ kgf/cm}^2$  以上，可符合 CNS 中建築用磚之一等磚之規範標準。此外，在 1100 之燒結溫度下，其抗壓強度高達  $849.09 \pm 50.23 \text{ kgf/cm}^2$ ，其強大之硬度已可作為陶瓷材料之應用，而與 CNS 規範比較下，本實驗之燒結試體高於 CNS 高壓鋪路地磚之 A 級磚標準 ( $> 650 \text{ kgf/cm}^2$ )，亦可應用於重型車道之路面鋪設。淨水污泥燒結試體之各項材料特性如表 3 所示。

## 四、結論

1. 燒結溫度低於 1000 以下，由於顆粒尚未達到黏合及頸部成長現象，整個試體結構鬆散，內部開放性孔洞多，故各項材料特性之結果較不佳。
2. 當燒結溫度為 1000 時，燒結體體積收縮率明顯增大，緻密化程度高，吸水率偏低，密度及抗壓強度等皆呈現

劇烈上升之現象,推測在 1000 附近為燒結體迅速緻密化之起始點。

3.經 1100 的燒結後,可得類似建築用磚之產品,抗壓強度高於一級磚標準,而其吸水率亦符合一般建築用磚之規範。

4.根據本研究結果歸納可知,利用燒結技術製成之淨水污泥燒結試體,可達到建築用磚之規範,未來可廣泛推廣於生態工法之應用。

## 五、參考文獻

1. Bethanis, S., Cheeseman, C. R., Sollars, C. J., " Properties and microstructure of sintered incinerator bottom ash ", *Ceramics International*, Vol.28, pp.881~886, 2002.
2. Basegio, T., Berutti, F., Bernardes, A., Bergmann C. P., " Environmental and Technical Aspects of the Utilization of Tannery Sludge as a Raw Material for Clay Products ", *Journal of the European Ceramic Society*, Vol.22, pp.2251~2259, 2002.
3. Francis, A. A., Rawlings, R. D., Sweeney, R., Boccaccini, A. R., " Processing of coal ash into glass ceramic products by powder technology and sintering ", *Glass Technology*, Vol.43, pp.58~62, 2002.
4. Souza, G.P., Holanda, J.N.F., " Densification Behaviour of Petroleum Waste Bearing Clay-Based Ceramic Bodies ", *Ceramics International*, Vol.30, pp.99~104, 2004.
5. Wiebush, B., Seyfrid, C. F., " Utilization of Sewage Sludge Ashes in the Brick and Tile Industry ", *Wat. Sci. Tech.*, Vol.36, pp.251~258, 1997.
6. 張孟弘,「利用水庫淤泥造粒燒製濾料之研究」,碩士論文,國立中央大學環境工程研究所,2003。
7. 黃志彬、袁如馨、劉又瑞、王敏儒,「淨水污泥燒結資源化利用-製磚與人造骨材的探討」,第十七屆廢棄物處理技術研討會,2002。
8. 馮慶芬,「粉末冶金學」,新文京開發出版有限公司,2002。
9. 康世芳、劉明仁、林志麟,「日本大阪市淨水場污泥餅資源化之經驗與現況」,環保月刊,pp.222~226,2001。
10. 台灣省自來水公司網站,網頁資料,網址:<http://www.water.gov.tw/>
11. 台北自來水事業處,網頁資料,網址:<http://www.twd.gov.tw/>
12. 行政院環保署廢棄物管制中心,網頁資料,網址:  
<http://waste.epa.gov.tw/prog/index.htm>

表1 淨水污泥之物化特性分析

基本特性		化學組成	
pH(in H <sub>2</sub> O)	7.33	SiO <sub>2</sub> (%)	53.36
Moisture content (%)	48.40	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	15.28
Combustible content(%)	5.49	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	21.01
Ash content (%)	46.11	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0.83
		CaO(%)	1.20
		K <sub>2</sub> O(%)	5.41
		TiO <sub>2</sub> (%)	1.38
		MnO(%)	0.73

表2 淨水污泥之毒性溶出試驗 (TCLP) 結果

Items	Mean	S.D.	Regulatory Limit
Zn(mg/l)	0.07	0.05	---
Pb(mg/l)	0.02	0.16	5.0
Cu(mg/l)	0.02	0.04	---
Cr(mg/l)	0.01	0.02	5.0
Cd(mg/l)	N.D.* <sup>1</sup>	---	1.0

\*1 N.D.表示檢測值低於儀器偵測極限 (儀器偵測極限 - Cd : 0.008 ppm)

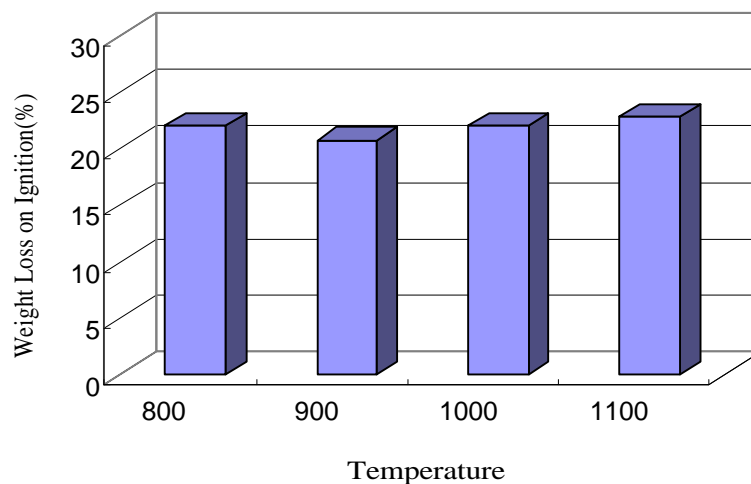


圖1 不同燒結溫度下試體之燒失量變化

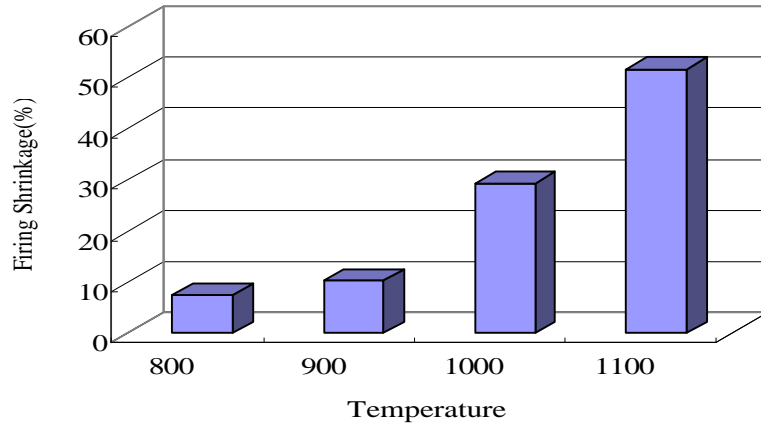


圖 2 不同燒結溫度下試體之體積收縮率變化

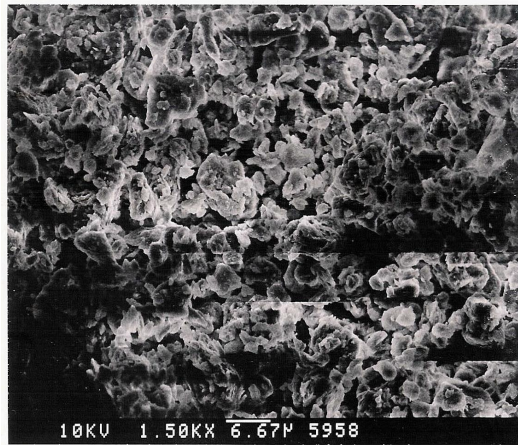


圖 3 800 下淨水污泥燒結試體之 SEM 影像觀察 (×1500)

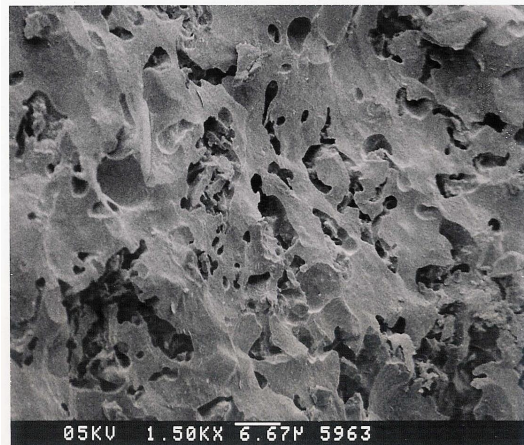


圖 4 1100 下淨水污泥燒結試體之 SEM 影像觀察 (×1500)

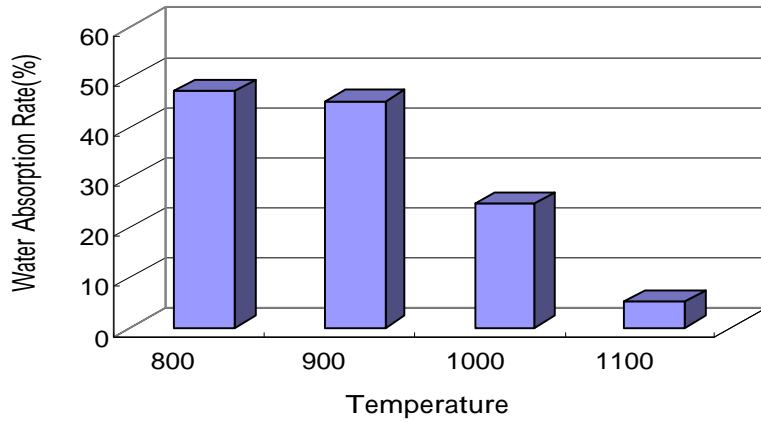


圖 5 不同燒結溫度下試體之吸水率變化

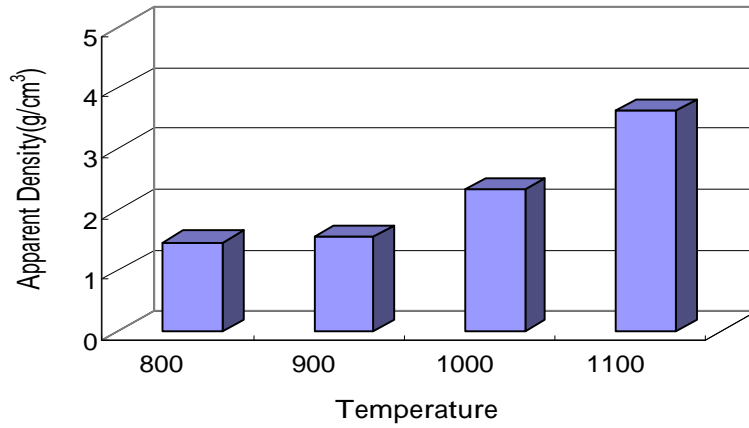


圖 6 不同燒結溫度下試體之密度變化

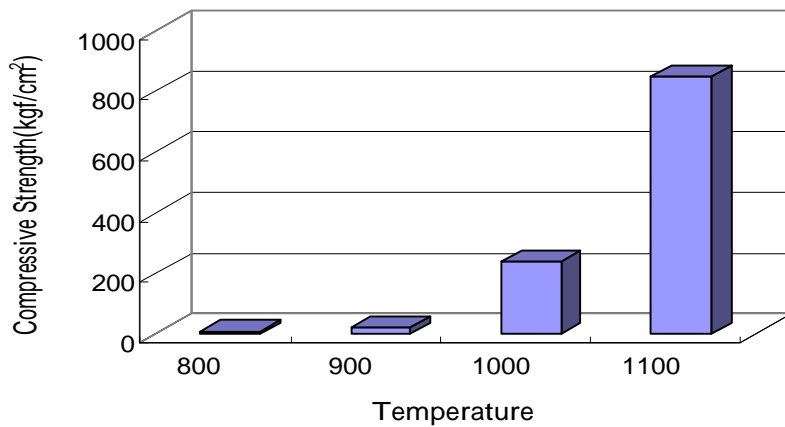


圖 7 不同燒結溫度下試體之抗壓強度變化

表 3 淨水污泥燒結試體之各項材料特性

項目	淨水污泥燒結試體				中國國家標準 (CNS)				
	800	900	1000	1100	建築用普通磚 (CNS 382)		高壓鋪路地磚 (CNS 13295)		
					一等	二等	A 級	B 級	C 級
燒失量(%)	22.1	20.77	22.08	22.83	---	---	---	---	---
體積收縮率(%)	7.54	10.3	29.31	51.78	---	---	---	---	---
吸水率(%)	47.32	45.28	24.84	5.14	<15	<19	<5	<6	<7
密度(g/cm <sup>3</sup> )	1.47	1.56	2.33	3.62	---	---	---	---	---
抗壓強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	8.73	20.35	238.39	849.09	> 150	> 100	> 650	> 500	> 450

# 臺北自來水事業處漏水改善現況

郭瑞華<sup>1</sup>、陳錦祥<sup>2</sup>、張世勳<sup>3</sup>、鄭答振<sup>3</sup>

## 摘要

民國 91 年，北臺灣地區發生 22 年來罕見旱災，次年依舊面臨乾旱威脅，除印證水資源缺少外，如何有效防止系統漏損，更為當務之急。為有效提升售水率，水處已於 92 年 1 月 21 日成立漏水改善小組，廣泛聽取各方建言，並針對管線汰換率偏低、管線材質不良、防火巷管線維修困難、同一巷道多條給水管、施工挖損、各種管線重疊錯置、部分殘存管斷管未澈底、管線圖面資料不全影響修漏成效等漏水原因，即時研商改善對策。目前除依國際自來水協會建議之漏水管理四大主軸 - 管線與資產管理、水壓管理、積極主動的漏水控制、修漏的速率及品質，擬訂管網改善中程計畫(執行期間 92 年至 95 年)，持續積極執行管線汰換、漏水檢測、修漏作業、水壓管理、小區計量及加壓設施改善等工作外，為符合民眾殷切期待，更參酌 92 年執行成果及先進國家經驗，積極擬

訂二十年長程計畫，該計畫之擬訂即宣示水處勇於面對問題之決心，未來更將以最務實及樂觀的態度，一步一腳印地按照計畫執行，期能逐年降低漏水率，為歷史留下見證。

關鍵字：漏水改善、漏水管理、管線汰換、漏水檢測、修漏作業、水壓管理、小區計量、管網改善計畫

## 一、前言

臺灣年平均降雨量約 2,510 公釐，為世界平均值 2.6 倍，屬於降雨豐沛地區。但由於臺灣地區降雨分佈不均，河川短促，難以蓄留水量，致可供利用水量僅佔總降雨量 15%，加以人口密度高，平均每人每年可分配之水資源僅約 4,500 立方公尺，為世界平均值六分之一，水資源相對貧乏，並被列為第十八位缺水國家<sup>(1)</sup>。

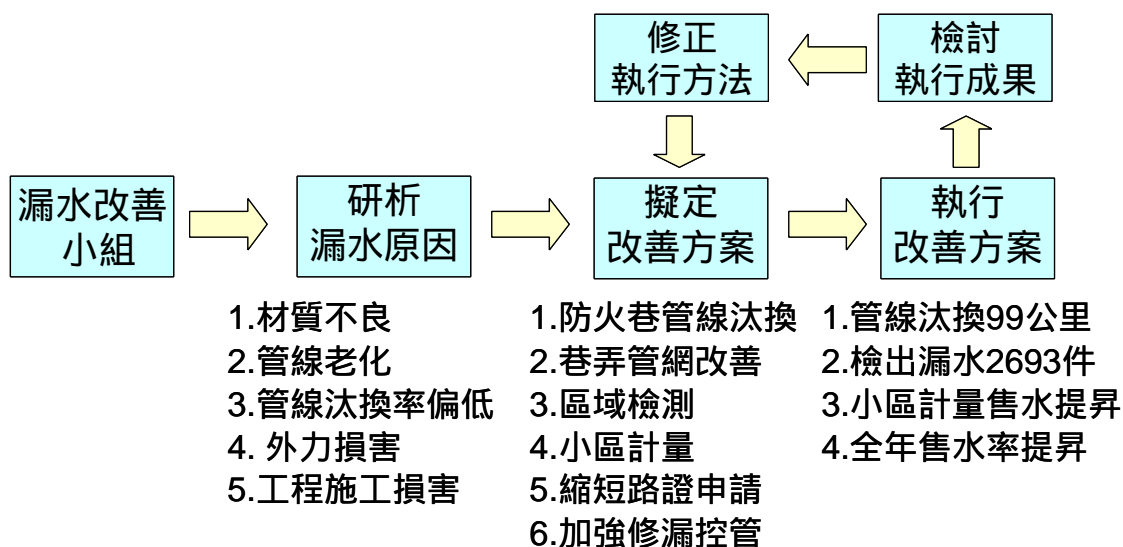
民國 91 年，北臺灣地區發生 22 年來罕見旱災，次年依舊面臨乾旱威脅，除印證水資源缺少外，如何有效防止系統漏損，更為當務之急。為有效提升售水率，水處已於 92 年 1 月 21 日成立漏

- 
1. 台北自來水事業處處長
  2. 台北自來水事業處供水科科长
  3. 台北自來水事業處供水科副工程司

水改善小組，廣泛聽取各方建言，針對漏水問題即時研商改善對策(運作流程詳圖 1)，目前除持續積極執行管線汰

換、區域檢測、修漏作業及水壓管理等工作外，並參酌先進國家經驗，辦理「小區計量」項目。

圖 1 漏水改善小組運作流程



## 二、漏水原因分析及對策<sup>(2)</sup>

本處供水轄區遼闊、環境複雜，除管線汰換率偏低為漏水主因外，復受制於各種主、客觀條件，諸如早期管材品質較差、防火巷管線維修困難、同一巷道多條給水管等，均為漏水發生原因，茲分析如下：

### (一)管線汰換率偏低

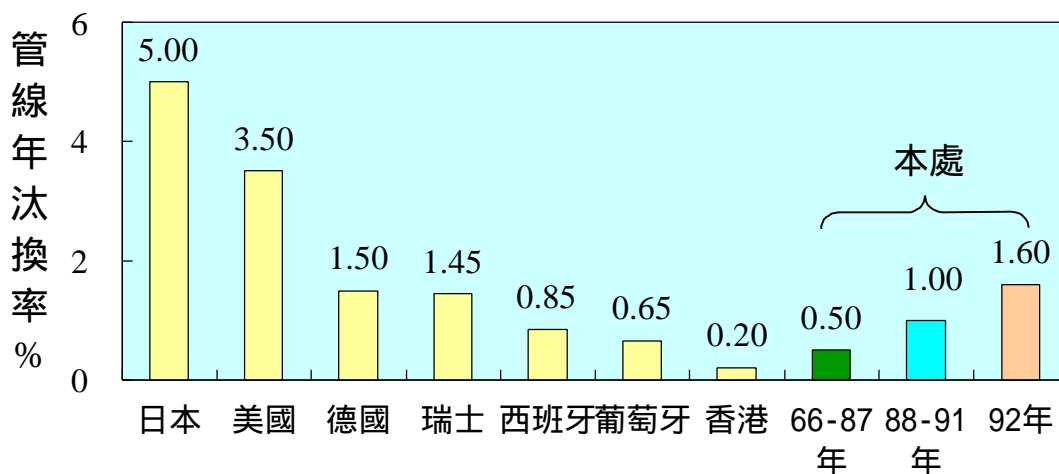
水處於 66-87 年間，共汰換管線 582 公里，平均年汰換率約 0.5%，期間因給水外線屬用戶產權所有，故以汰換配水管為主。為減少漏水量，88 年起

配合行政院擴大內需方案，汰換管線對象始擴及給水外線，88 年至 91 年汰換管線達 277 公里，汰換率約 1%。92 至 95 年將續辦管網改善中程計畫，預定汰換 220 公里，汰換率約 0.8%。

根據世界自來水協會第 20 屆年會資料，自來水管線汰換率不宜低於 1.5% 之標準。另根據資料顯示，先進國家如日本為 5%、美國為 3.5%、德國為 1.5%、瑞士為 1.45% (如圖 2)<sup>(3)</sup>。水處歷年管線汰換率不但未達標準，且較先進國家明顯偏低，以致難以改善漏水。

對策：積極進行管線汰換工作，以有效改善漏水量自然增加之趨勢，92 年汰換率並已提升至 1.6%。

圖 2 各國年管線汰換率比較圖



## (二)管線材質不良

水處早期之輸配水管及用戶給水外線，材質大多不佳，耐震、抗壓或耐蝕能力、水密性、強度、韌性不足，一旦超過使用年限，極易產生漏水現象。依 91 年漏水案件分析，管線龜裂、腐蝕、墊片老化、脫接四者即佔漏水件數之 89%，如圖 3 所示，圖 4 及圖 5 分析不同管種龜裂與腐蝕所佔比例。分析其中原因，LP、PVC、GIP 及 PB 等材質不良之老舊管線，佔管線腐蝕比例達

90%，PVC、PB、LP 佔龜裂比例達 92%。至於橡膠止水墊片老化及脫接，除材料本身問題外，亦隨著使用年限增加而產生老化現象。

對策：考量管線材質、使用年限、分佈範圍及漏水情形等因素，並依據各項分析資料選定對象，將給水外線汰換為不鏽鋼管或其他適當管種；銹蝕或漏水嚴重之老舊輸配水管，則汰換為延性鑄鐵管。

圖 3 漏水原因分析圖

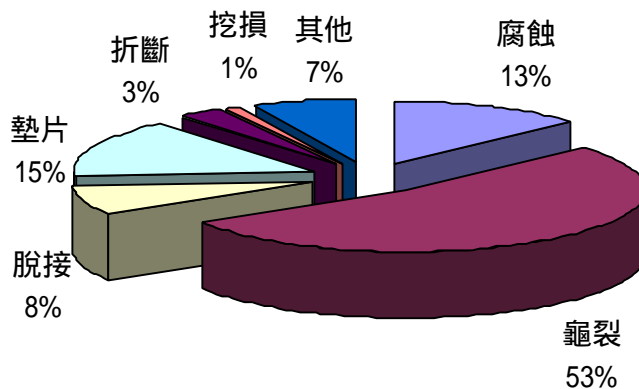


圖 4 不同管種之腐蝕比

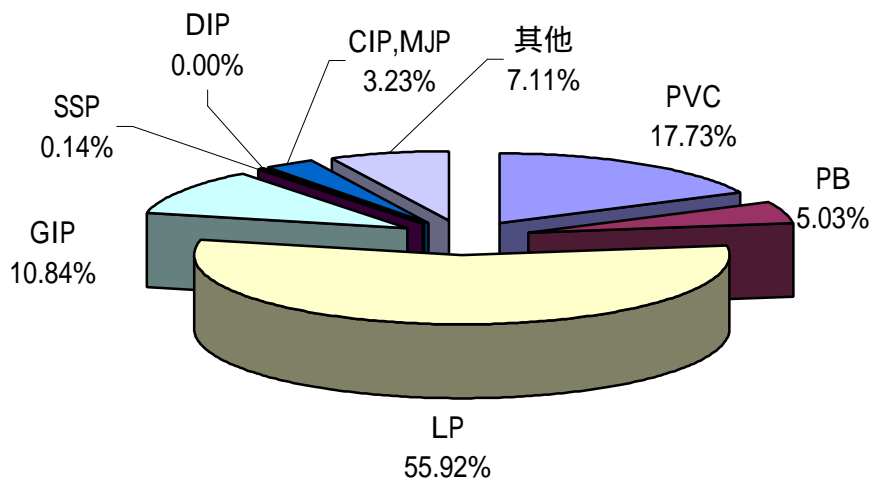
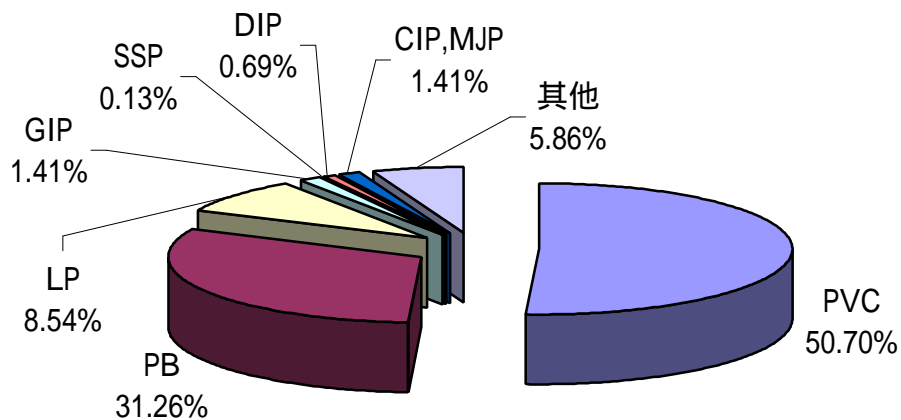


圖 5 不同管種之龜裂比例圖



### (三)防火巷管線維修困難

民國 65 年以前，許多用戶在防火巷搭設違建，致埋設於防火巷之自來水管線既難維修，又無法汰換，形成漏水、竊水問題，也容易造成錯接污染(詳圖 6, 66 年以後禁止在防火巷內埋設自來水管線)。

對策：為改善防火巷漏水問題及避免水污染事件發生。水處目前除積極配合臺北市政府工務局衛工處污水下水道年度計畫工程進度，辦理防火巷管線汰換外，並自行擇定待改善防火巷進行管線汰換，以有效解決防火巷老舊給水管線漏水問題(詳圖 7)。

圖 6 防火巷管線汰換困難

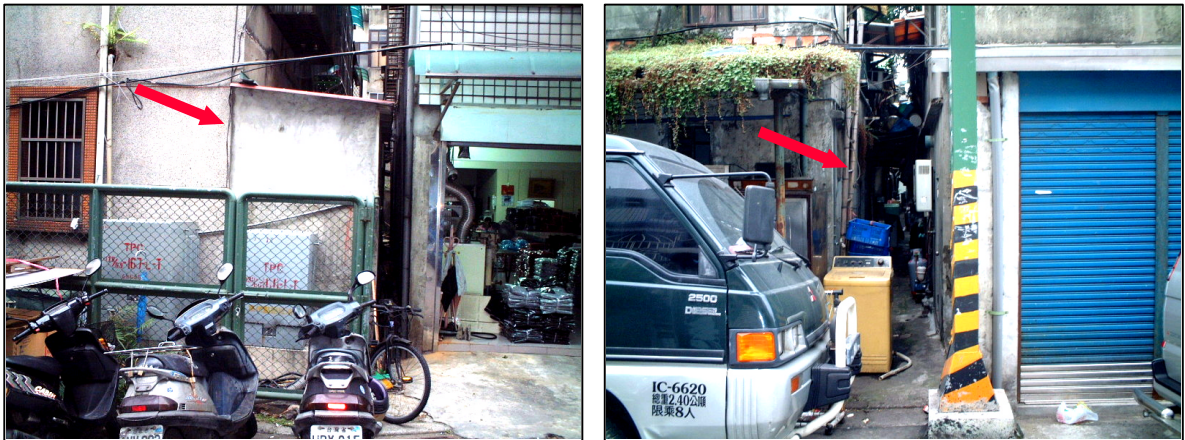
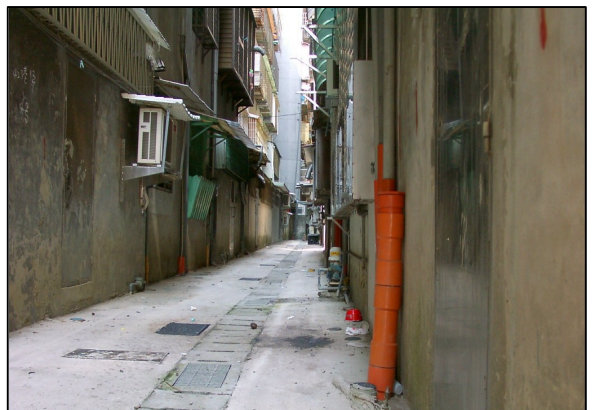


圖 7 防火巷管線汰換



#### (四)同一巷道多條給水管

水管越多，漏水就越多。民國 77 年以前，部分巷道未埋設配水管，用戶申請接水，均個別埋設用戶給水管，致同一巷道存在多條小口徑給水外線，隨著材料使用年限逐漸老化，漏水頻率遂逐漸增加（詳圖 8）。

對策：為消弭同一巷道多條給水管現象，以減少漏水機率，民國 77 年起

規定，用戶申請埋設給水管之巷道若無配水管者，即同時配合整理巷道原有給水管，重新埋設較大口徑配水管。未來除繼續配合用戶申請案辦理外，並已訂定分區改善計畫，主動進行巷內給水管整理及埋設大口徑配水管工作（詳圖 9），並要求逐一自用戶表前改接，確實於接水點封管斷水，以有效降低給水管漏水。

圖 8 同一巷道多條給水管

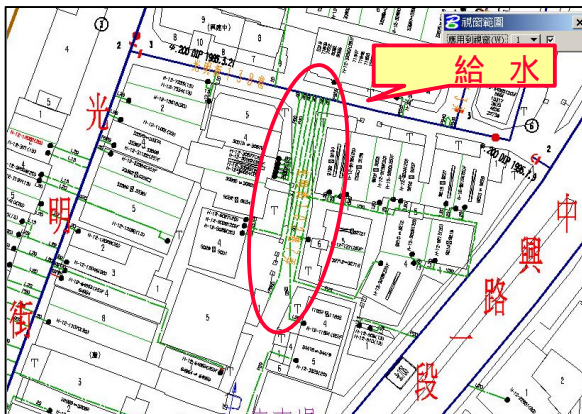
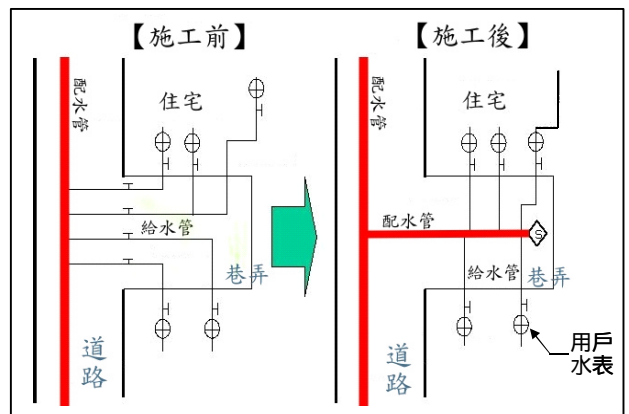


圖 9 巷弄多條給水管整理示意圖



#### (五)施工挖損漏水

其他施工單位偶有不慎，即可能挖損自來水管，但施工單位為爭取時間，或不願受罰追償流失水費，常不依標準施工法自行修復，致水管迅即漏水。且此類層出不窮之施工挖損事件，亦造成維修困擾，甚至停水施工污染水質及造成民怨壓力（詳圖 10）。

對策：為確保輸配水管線安全，除加強與各管線單位之連繫，要求一旦發生挖損，應通知水處到場維修外，並已考量將罰則減輕，以鼓勵施工廠商挖損通報。未來尚須加強管線監護，針對重要輸配水管線及重大工程施工範圍加強巡查，事先預防施工挖損。

### (六)各種管線重疊錯置

台北地區因人口過度密集，道路空間嚴重不足，復因地下各類管線層層疊壓，不但影響自來水管線施工品質，亦

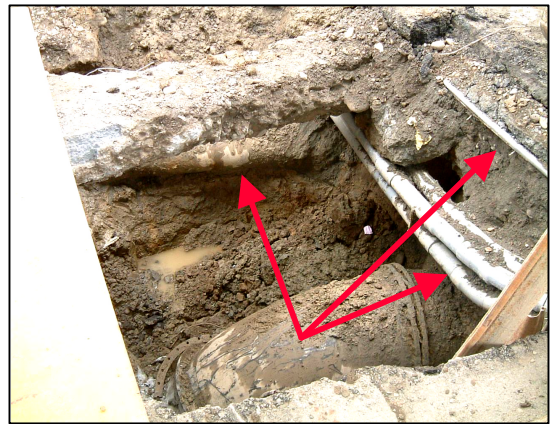
大幅增加管線被挖損之維修成本(詳圖 11)。

對策：未來仍應由道路主管單位，依相關規定加強地下管線管理。

圖 10 施工挖損漏水



圖 11 管線重疊錯置



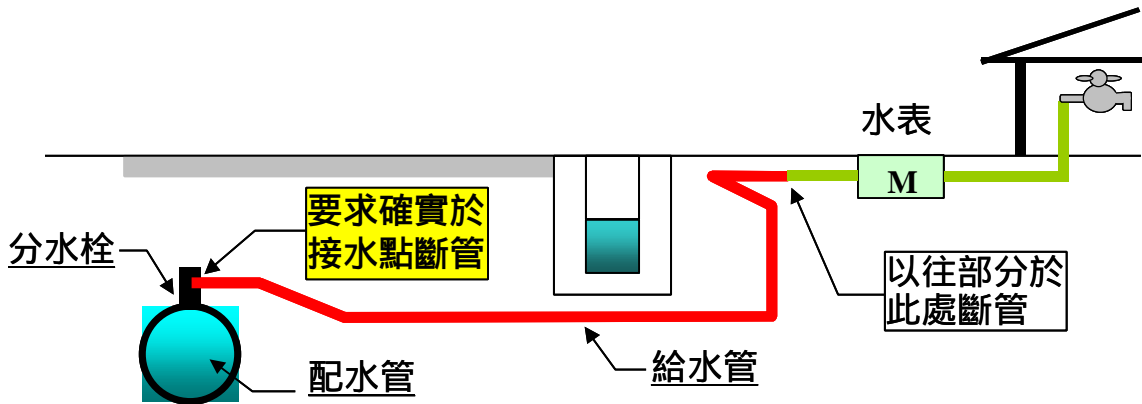
### (七)部分殘存管斷管未澈底

由於埋設給水外線時，或因圖面資料不全，或因時空環境及地形地物變化，造成定位參考點變動，不僅不易尋獲接水點位置，施工人員廢棄給水管線時，也難以確實封管。另外，房屋改建時，如未及時拆除原有給水管，亦容易造成殘存管漏水問題。由於殘存管未與水表連接，漏水不易察覺，實為檢修作業之盲點，亟待根本解決(詳圖 12)

對策：給水管須確實由接水點封管，以徹底解決殘存管所衍生之漏水問題，執行要領如下：

- 1.給水外線汰換時，逐一核對用戶水表後始予改接，無水表者即為殘存管。
- 2.漏水點修漏時，如管材為 LP、PVCP 或 PB 等，應先嘗試斷管，以判定漏水管是否為殘存管。
- 3.房屋改建或拆除時，原有給水管應自接水點斷管並拆除。

圖 12 殘存管改善示意圖



#### (八)管線圖面資料不全影響修漏成效

水處供水系統已有九十餘年歷史，管網錯綜複雜。早期由人工繪製之管線圖面資料，精度不佳，加以時空環境變遷、地形地物改變，常與現況不符，復因保存不易，致部分資料不全。隨時代進步，今日已發展為利用電腦繪圖技術，將管線資料儲存於電腦硬體。

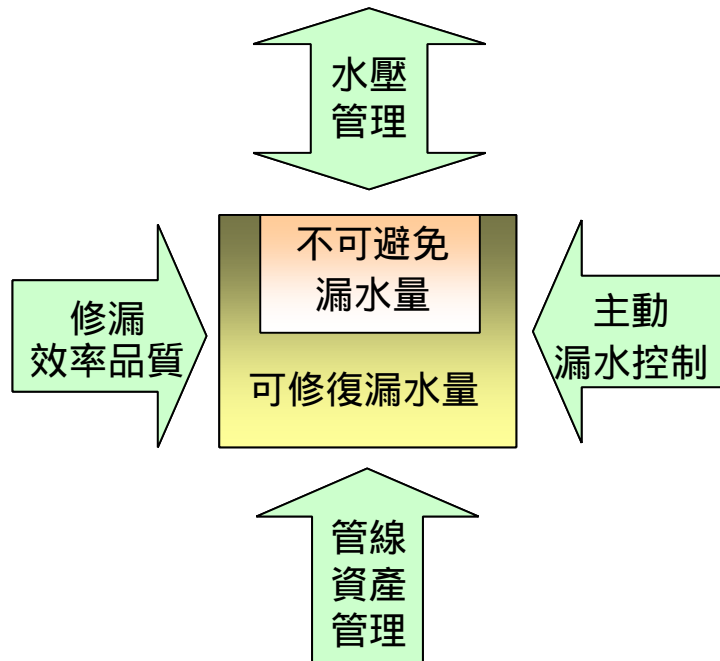
對策：小區域計量為降低漏水率之關鍵，其成敗繫於正確之管線資訊。為整合轄區內基本地形圖資與管線歷史資訊，水處已建構自來水管線地理資訊管理系統，其主要建置項目並初具規模。未來將繼續透過回報單制度，確認管線位置及管種、管徑，持續建立正確、完整之管線圖面資料。

### 三、管網改善中程計畫

#### (一)漏水管理四大主軸

依據國際自來水協會 ( IWA ) 2001 年柏林國際自來水會議 ( Berlin Water Congress )，水量損失之管理與技術國際報告 ( Internation Report, Water Losses Management and Techniques ) 中指出<sup>(4)</sup>，水量平衡 ( Water Balance ) 分析中實際損失水量 ( Real Losses ) 即表示水資源的損失，而其中至少有一部份可藉由完善的漏水管理措施予以彌補。綜觀成功的漏水管理對策，其主要作業內容包含管線與資產管理 ( Pipeline and Assets Management ) - 管線汰換、水壓管理 ( Pressure Management )、積極主動的漏水控制 ( Active Leakage Control ) - 漏水檢測及小區計量、修漏的速率及品質 ( Speed and Quality of Repairs ) 四大主軸 ( 詳圖 13 )。

圖 13 漏水管理四大主軸



新的漏水件數逐年增加，基本上唯有長期實施管線管理才能改變其自然增加之趨勢。而水壓管理將會影響新漏水點的發生頻率及所有滲漏與爆管的漏水量。平均漏水延時，則受限於修漏的效率及品質。另主動的漏水控制策略，將控制未被發現漏水，在被定位前滲漏時間的長短。此四種基本方法之執行程度，端視年漏水量增加、減少或維持而定。

## (二) 中程計畫執行內容

水處為有效改善漏水，提昇水資源利用率。在深入探討水處管網現況，研析優、缺點並參酌國外文獻、經驗後，

擬定「管網改善中程計畫」，自行籌措總工程經費 25.2 億元，並自 92 年度起分四年實施（92 年至 95 年）<sup>(5)</sup>。各計畫項目分述如下：

### 1、管線汰換

管線在正常使用下會隨時間增加而惡化，但基於成本考量，常無法採用管線大量汰換的方式快速減少實際損失水量。為改善此一情形，水處除自 88 年起配合行政院擴大內需方案，提高管線汰換率至 1%，92 年起更有計畫地，針對漏水檢修頻率偏高、防火巷及多條給水管紛陳優先汰換，全年汰換管線達 99 公里，年汰換率為 1.6%，已超越國際自來水協會所建議，為維持系統

漏水不致惡化之管線年汰換率 1.5%。此一重大訊息代表未來轄區漏水情形將可更有效改善，並可逐步趕上先進國家自來水事業水準。

## 2、漏水檢測

地下漏水不易察覺，有賴專業技術與精密儀器之檢測，始能查到正確漏水

位置，俾利挖修。因此，水處自 85 年度起，即改變以往被動修漏為主之維修方式，開始委託專業測漏公司進行漏水查察，推動供水分區檢測計畫，採劃分區域方式逐一偵測地下漏水情況，並作為汰換或維修管線之依據（詳圖 14）。92 年共檢出 2,693 件，優於計畫目標。

圖 14 漏水檢測作業



## 3、修漏作業

漏水點修復雖為治標手段，然對減少水資源浪費，卻可收立竿見影之效。水處目前除依每日查漏及民眾報修資料，據以建立漏水點基本管控資料，由各營業分處依序維修漏水點外，並配合修漏管理系統，採嚴格錄案管制（詳圖 15）。92 年已累計修妥 20,981 件。

## 4、水壓管理

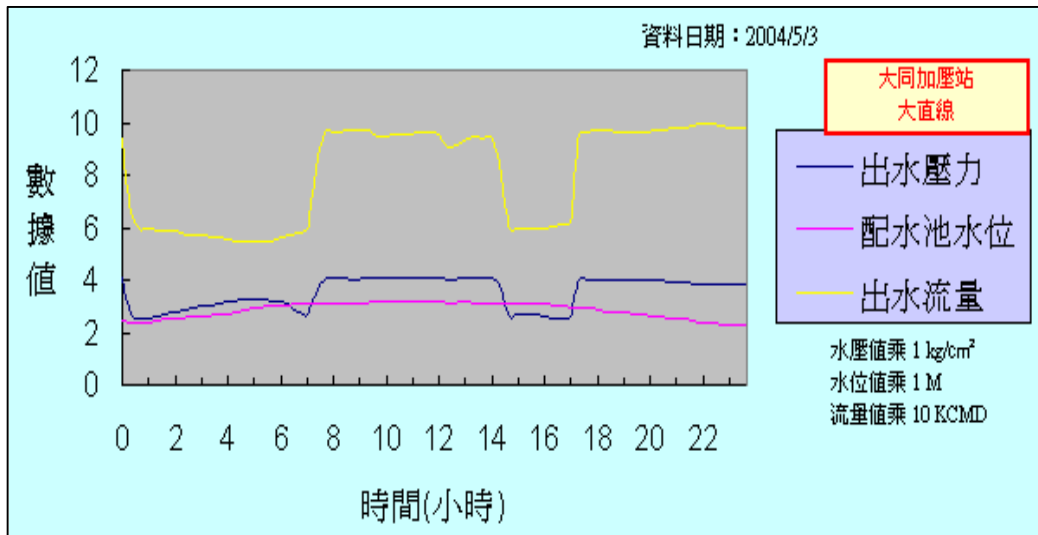
水處自 91 年 2 月起，參考國外先

進國家之操作運轉及考量轄區用戶用水特性後，藉由機動調整尖、離峰時段抽水機運轉數量，找出供水較適化模式，使水資源獲得更有效運用。92 年平均水壓已由 90 年執行前  $1.92\text{Kg}/\text{cm}^2$  調整至  $1.57\text{ Kg}/\text{cm}^2$ ，除仍能滿足轄區水壓需求外，並已有效降低轄區配水量。未來仍將持續進行，期能邁向最適化目標（詳圖 16）。

圖 15 左：漏水點開挖 右：修漏作業



圖 16 大同加壓站大直線尖離峰供水情形



## 5、小區計量<sup>(6)</sup>

### (1)執行步驟

龐大且運作多年供水管網系統的漏水問題，必須從系統的角度來解決，目前水處已引進先進國家普遍採用漏水偵測最有效方法 - 小區計量，該方法

除能瞭解獨立供水區域之售水率，另可搭配現場檢測、修漏、管線汰換、水表汰換等方式，逐一比較售水率提昇情形，並分析各項漏水原因，以作為本處轄區內各類似區域管網改善工作之參考。

小區計量對國內自來水事業而言尚屬草創階段，迄今為止並無成功案例可資遵循，為此水處蒐集國內、外相關報告，並邀集國外學者專家至本處參訪、簡報，以了解小區計量作業的方法及相關困難，並進而訂定執行步驟（詳圖 17）。

### (2)92 年執行成果

水處於 92 年由五個營業分處，共擇定 10 區進行小區計量作業，並依漏水嚴重程度，進行管線汰換、水表汰換、漏水檢修等改善措施，執行後平均售水率由 54% 提昇至 87%（詳表 1），顯示其對漏水防治確具成效。為量化各種改善措施的效益及花費成本，並將各改善措施分階段實施，以評估各單項效益。經統計分析，管線汰換改善效益最佳；惟成本最高；漏水檢修效益次之，然有漏水復發之虞；水表汰換效益則較不明顯，但改善成本低。

### (3)93 年預定目標

參酌 92 年執行成果，水處已於 93 年廣續擬訂 10 個區域進行小區計量，並將規模由 92 年平均每區 600 戶擴大至 2,800 戶（詳表 2），期能逐步將區塊擴大，以測試及建立執行標準模式。未來並規劃將轄區分為 500 個小區，且完成後各小區可隨時針對售水率進行瞭解，如有下降惡化，並可配合計畫性分

區檢測進行後續改善作業，有利於將來計畫性漏水管理。

## 6、加壓設施改善

管網之供水係經由淨水場加壓站設施及管線，其設施之健全與否關係著整體系統之營運，藉由適當地改善，將能提昇其效能。目前部分加壓站之電氣、儀控、抽水機及閥類等相關設備大多已達使用年限，故障機率偏高，相對之保養維護成本亦高。92 年起已陸續針對老舊抽水機及閥類汰換，大型加壓設置分區監控站，小型加壓站監控系統之持續擴充，增設變頻器及增設緊急發電機等項目積極執行。

### (三)近年執行成效

水處近年來透過水壓管理與管線汰換、漏水檢測、修漏作業等漏水改善措施，售水率已逐年提升、漏水率並逐年下降（詳表 3）。

## 四、未來展望

### (一)長程計畫

#### 1、日本東京都改善實例<sup>(1)</sup>

為加速漏水成效，水處雖已積極執行各項改善措施；惟降低漏水率非一蹴可幾，以日本東京都為例，1950 至 2000 年間，該市以管網改善方案為主，共投

圖 17 小區計量執行步驟

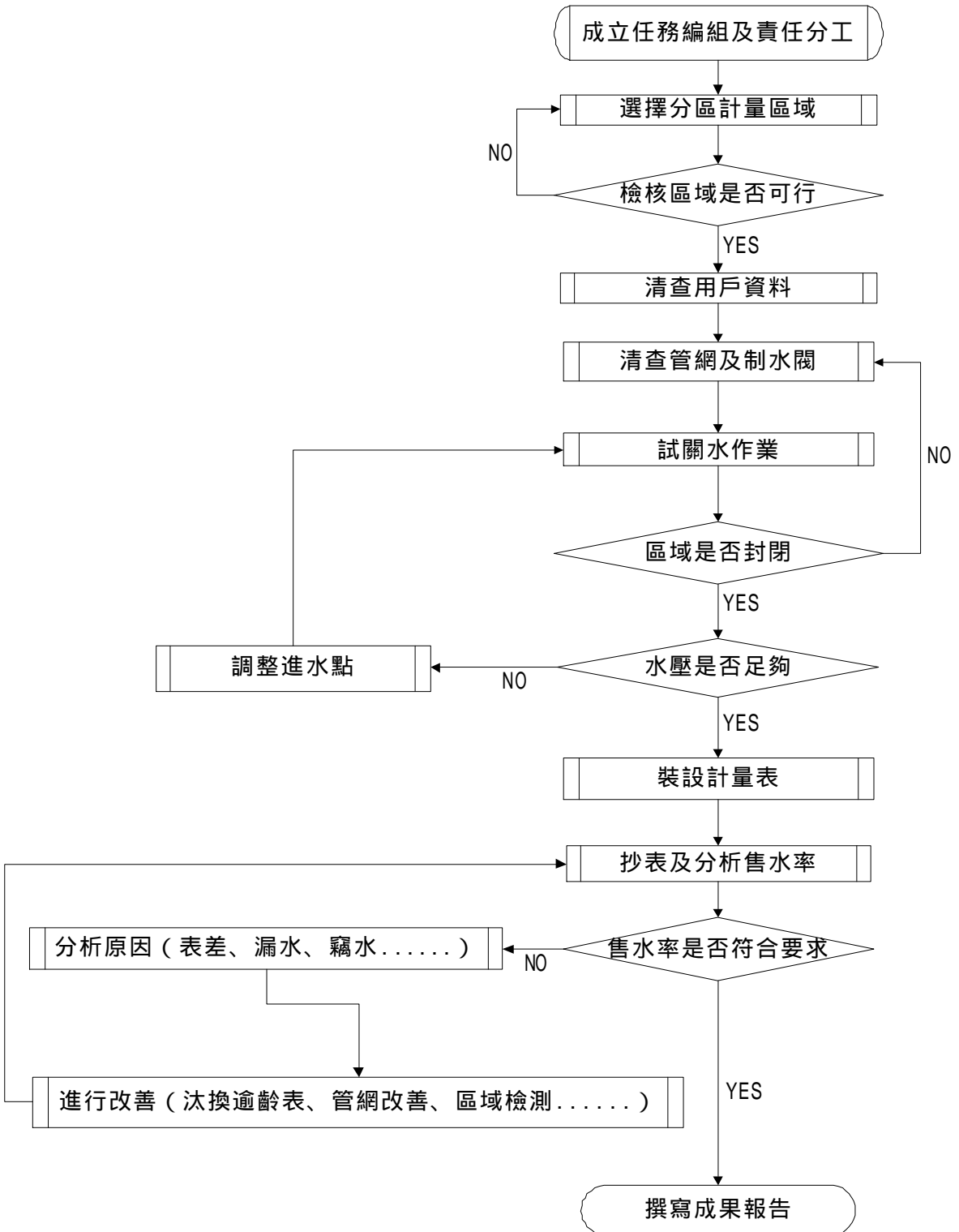


表 1 92 年度小區計量執行成果

名稱或範圍	用戶數	改善方法	售水率	
			改善前	改善後
西康里社區	43	抽換管線 90m	54%	89%
康樂街	825	抽換管線 690m、汰換水表 18 只	67%	99%
民生社區	2444	抽換管線 220m、汰換水表 268 只、檢漏 12 處	64%	91%
華江社區(北側)	150	抽換管線 458m	23%	89%
郵政新村	198	汰換水表 18 只、檢修漏水 2 處	81%	98%
青峰里	118	抽換管線 50m、斷管 9 處、檢修漏水 6 處	43%	76%
家美社區(東側)	124	抽換管線 1118m	47%	76%
中正北路 394 巷	375	抽換管線 419m	66%	93%
中央社區 (第四水池)	264	抽換管線 2275m	25%	80%
三重忠孝路一帶	2025	檢修漏水 17 處	69%	81%
平均	656		54%	87%

表 2 93 年度小區計量執行區塊

編號	區塊範圍	戶數
E04004	健康路、三民路、撫遠街及南京東路五段	4,128
E04005	復興北路、民族東路及民權東路	2,379
W04002	桂林路、環河南路、和平西路、西園路	2,913
W04003	重慶南路、水源路、同安街、汀州路	2,854
S04004	新生南路、信義路、金山南路、仁愛路	3,378
S04005	萬盛街萬盛公園一帶及興隆路一段 229 巷以北單號側	1,419
N04003	永福街 98 巷、力行路二段 162 巷、永福街、力行路二段	1,410
N04004	承德路三段、重慶北路四段，酒泉街及庫倫街、敦煌路	4,857
Y04003	基河路、文林路、福德路	2,107
Y04004	行義路高地供水區	2,897
	平均	2,834

表 3 近年執行成果

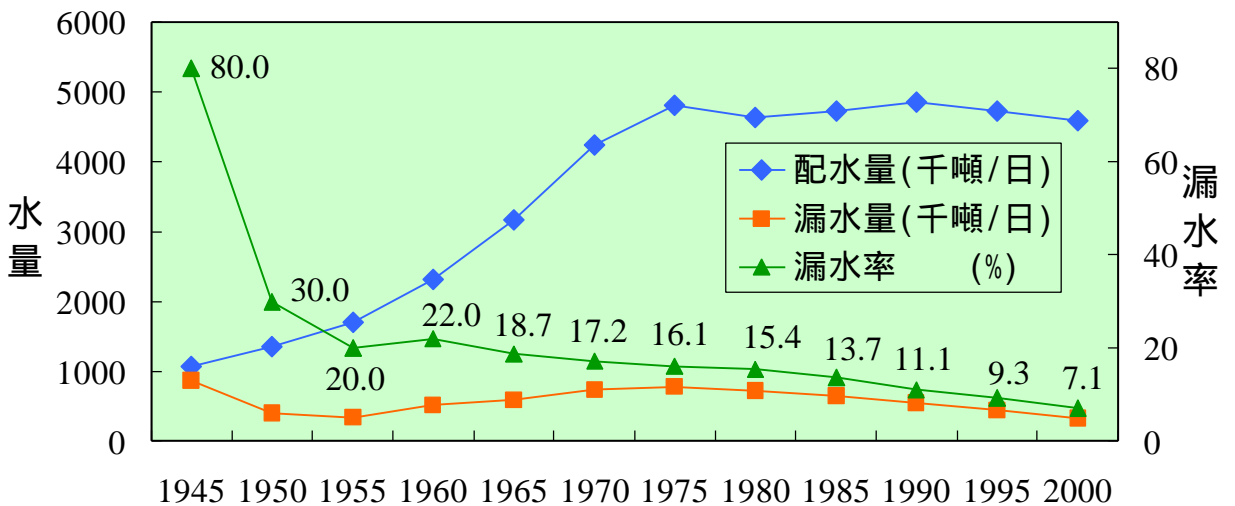
年 度	90 年	91 年	92 年
平均水壓 (kg/cm <sup>2</sup> )	1.92	1.59	1.57
總配水量 (萬噸)	294	261	259
售水量 (萬噸)	160	153	158
售水率 (%)	54.20	58.82	60.86
漏水率 (%)	31.98	28.43	27.51

註：92 年尚有不計費水量 11.63% (包含表差、業務用水、消防用水、竊水等)

入約新台幣 1 兆元及每年 700 個人力改善漏水，漏水率方由 30% 下降至 7.1% (詳圖 18)。粗估東京都每年新臺幣 1,000 億元營業額中，須投入超過 200

億元與改善漏水有關之資本支出，平均每年漏水率降低近 0.5 個百分點。由此可知漏水改善應為長期有計畫性之工作。

圖 18 東京都漏水改善歷程



## 2、初步計畫

### (1)計畫期程、經費

為延續漏水改善成效及符合民眾殷切期盼，水處已參酌九十二年執行成果、經驗，並納入國外先進之技術與研究資料，擬將原三十年長程計畫修訂為自 94 年至 113 年，總期程二十年。全程暫分為兩階段，每一階段以十年為

元（含管線汰換、漏水檢測、加壓設施改善及小區計量等配套措施），年平均 10 億元。

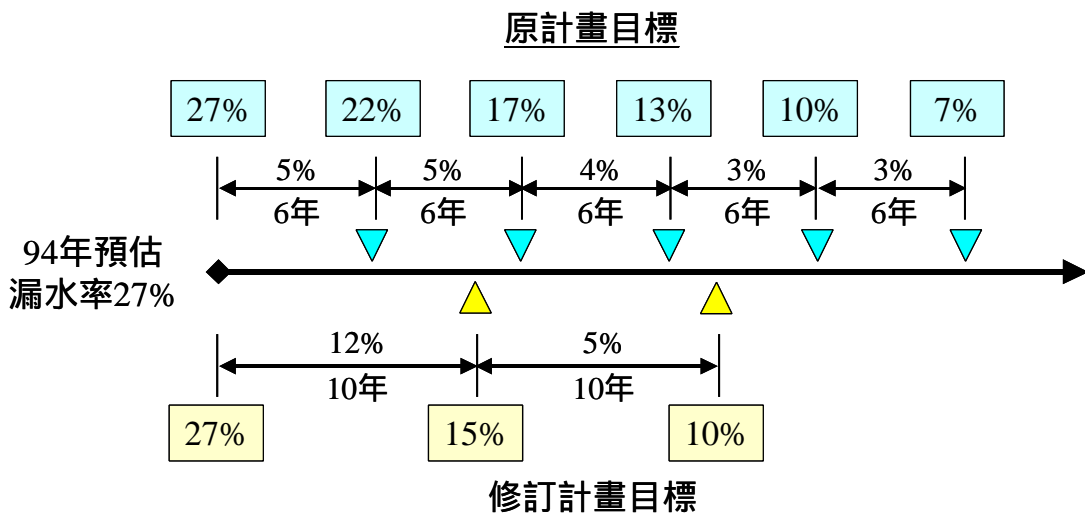
### (2)計畫目標、內容

本計畫預定汰換管線 3,566 公里，年平均汰換 170 公里，平均年汰換率約為 2.75%。工作期程預定分兩階段，每

期，期間並設定階段性改善目標及計畫項目，各階段工作完成後，將進行檢討，並作為下一階段之修正依據。各階段目標確立後，據以訂定年度計畫。年度計畫應包含詳細作業項目及預算編列、分配，並視執行情形、經費負擔能力及議會審議結果，逐年檢討調整。本計畫工程費依現值估算預定為 200 億

一階段十年，各階段目標分別設定為降低漏水率十二及五個百分點，以二十年降低十七個百分點（將漏水率降至 10%）為總目標，較先前計畫以三十年降低二十個百分點更為積極（詳圖 19）。

圖 19 修訂長程計畫目標



由國際自來水協會國際報告結論及本處近年漏水分析顯示，給水管漏水通常佔全年漏水總量之最大部分，故未來管線汰換內容將以給水管為主、配水管為輔，其中包括給水外線直接用水戶及總表栓數尚餘 25 萬處（總栓數約為 31 萬處），全數汰換為不鏽鋼管或其他適當管種；直徑 450mm 以下配水管，將配合前述給水管整理、汰換等作業進行，直徑 500mm 以上輸水幹管，多位於主要幹道開挖不易，則計劃以免開挖工法進行改善。

## (二) 提升廠商施工能力

管線工程係委由民間廠商配合施工，由於規模較小、每年工程金額高低差異變動甚大，業者不敢貿然投資成立具有規模之管線工程廠商，一般均為家庭式企業廠商，施工能力及技術工人均嫌不足，致工程品質與技術皆難以提昇。

為有效提昇廠商施工能力，俾順利執行管線工程，水處將採下列作法：

1. 穩定長程汰換計畫，誘導承商投資建立水管工程企業經營。
2. 督促承商建立並落實施工品管制度。
3. 建立訓練中心：
  - (1) 籌設訓練場地

- (2) 定期邀請廠商研討施工問題，加強溝通協調，共商可行改善方案。
- (3) 辦理監工、施工人員訓練，未來並考量由自來水協會或水處發給受訓證書。

## 六、參考文獻

1. 臺北自來水事業處，「本市水資源政策之檢討專案報告」，2003。
2. 臺北自來水事業處，「臺北自來水管網改善計畫（綱要）」，2003。
3. 台灣自來水公司，網頁資料：用戶服務 - 常見問題 - 其他類，  
<http://www.water.gov.tw/sample1/news/data/006/e02b.asp>。
4. Lambert, A.O. *Water Losses Management and Techniques. International Report*, Berlin Water Congress, IWA 2001。
5. 臺北自來水事業處，「管網改善中程計畫」，2002。
6. 臺北自來水事業處，「利用小區計量降低無效水量，以提升售水率」，臺北市府第三屆品質精進獎參賽資料，2004。

# 自來水自動讀表系統之建置應用

陳振明\*

## 壹、前言

### 1、動機

由於時代的快速變遷及資訊科技的高度進步，大量而快速的資料，是廿一世紀的管理者在企業的管理與決策上不可或缺的重要工具。有鑑於此台灣省自來水股份公司於民國九十二年推動自動讀表系統，以第六區管理處為初步辦理單位，將第六區管理所管轄之總出水表以網際網路的方式，把所有資料以即時傳輸的方式顯示在網頁上，讓管理者能即時得到資訊並做出正確的判斷。

### 2、背景

我國行政院國家資訊通信基本建設（NII）專案推動小組在民國八十五年，將電話自動讀表訂為 NII 的重點推動項目。水、電、瓦斯表等之抄表問題，希望藉由自動讀表系統的推行，而能獲得徹底解決。經濟部標準檢驗局為配合此一國家政策，於民國八十七年制定完成 CNS 14273 『自動讀表系統使用有線電信網路讀表介面單元』，及 CNS 14274 『自動讀表系統使用無線通信網路讀表介面單元』2 項國家標準。為我國自動

讀表系統的發展奠定了重要的基礎。

台灣省自來水股份公司第六區管理處於九十三年五月已完成總水表自動讀表測試，正式將系統建置上線。依據出水量的趨勢變化圖及各出水表累計水量的變化，可瞭解各單位出水量的趨勢，亦可對異常狀況進行追蹤。

### 3、計劃

電信自由化之後，我們不再受限於某種特定的自動讀表方式，這正意味著我們可以站在成本效益的考量以及經營管理上的需求，選擇最適合我們的自動讀表系統。但是，在我們決定選擇那一種系統之前，一定要經過整體性及長遠性的評估，才能確保自動讀表系統的順利實施。因為實施自動讀表系統不像採購一批水表，如果規格不符需求頂多下次不再採購，所產生的後續影響較少。但自動讀表系統實施之後，不僅是要考慮通訊網路穩定度問題，更要思量長期系統操作與維護，因此不得不慎重考慮。

有鑑於此，本自動讀表計畫採用網際網路通訊協定（TCP/IP）是為因應用戶端（台灣省自來水股份有限公司）不

\* 弓銓企業股份有限公司經理

同需求所提供的方案,網路讀表介面(和流量積算監測器)是安裝於原水端,目的在於區域性用水監控,針對各供水系統進行即時監控,以確保各系統之供水狀況正常,達到管控合理供水成本與維持良好供水品質的目的。

## 貳、工程目標與施工

### 1、目標

- 1.1 即時監控各出水表使用狀況與出水量。
- 1.2 可隨時了解各供水單位之各項供水成本(含機電、用藥、人事等

各項統計資訊)

- 1.3 對各表位的供水資料進行統計分析。
- 1.4 可讓管理者以簡便的方式得到最有效的資訊。

### 2、施工單位

2.1 施工地點：台南縣

2.2 參與單位

①台灣省自來水股份有限公司

②弓銓企業股份有限公司

2.3 網路自動讀表供水系統

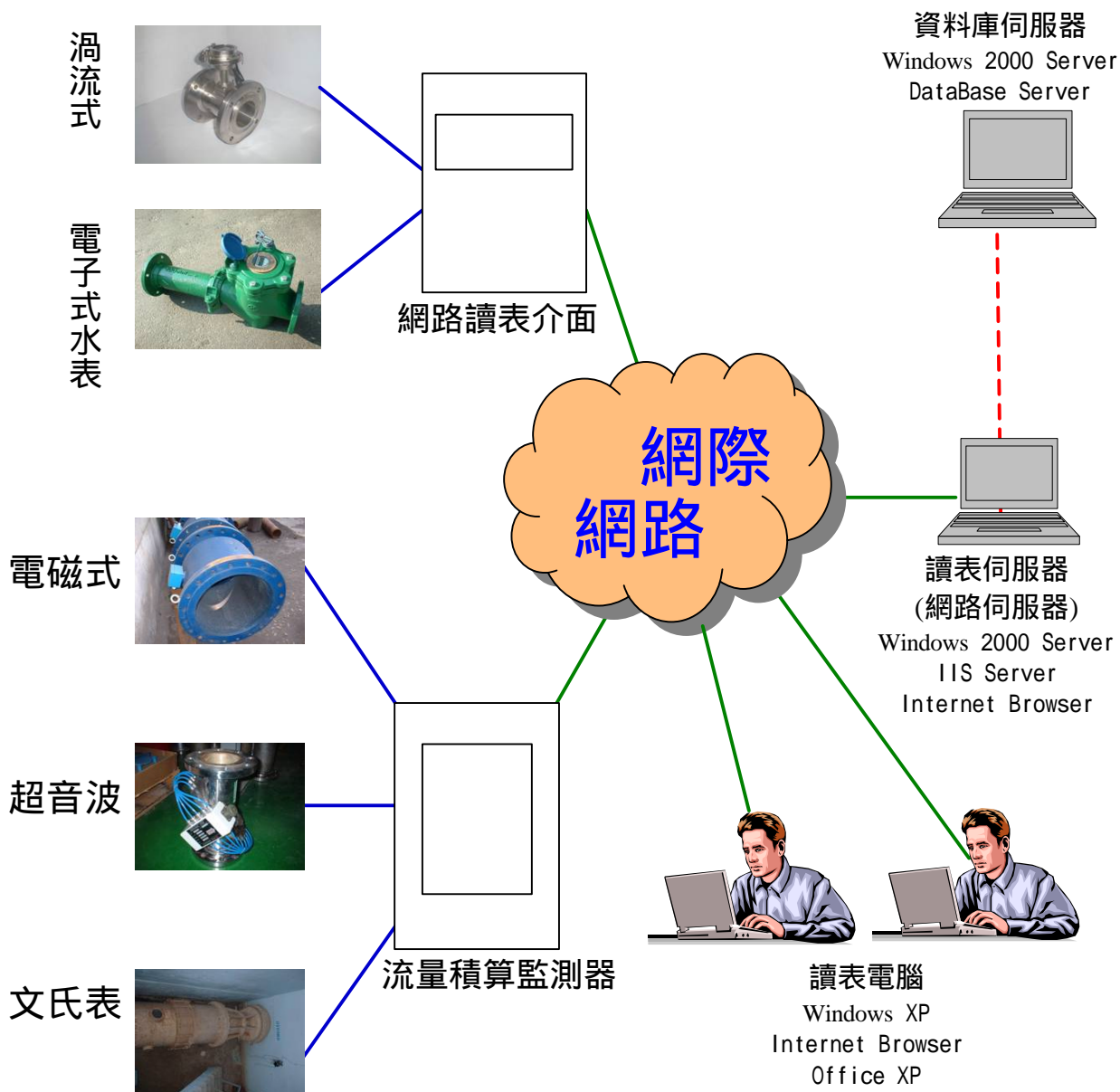
包括台南、玉井、南化廠、白河所、烏山頭廠等系統,如表一

表一：網路自動讀表供水系統

項次	水量計裝置地點	現有水量計型式及口徑	水量計使用模式	供水系統
1	潭頂淨水場內	文式表 600	受南化廠支援	台南供水系統
2	潭頂淨水場內	超音波 1200	受烏山頭支援	
3	潭頂淨水場內	豎軸葉輪電子式 300	供應新市	
4	潭頂淨水場內	文式表 600	供應南科	
5	潭頂淨水場內	文式表 1000	供應南科	
6	潭頂淨水場內	超音波 1500	供應台南	
7	二層行監控站	超音波 2000	支援七區處	

8	楠玉淨水場	豎軸葉輪電子式 150	供應楠西/玉井	玉井供水系統
9	楠玉淨水場內	豎軸葉輪電子式 200	供應楠西/玉井	
10	楠玉淨水場內	豎軸葉輪電子式 300	供應楠西/玉井	
11	鏡面淨水場內	電磁式 400	受南化支援	
12	鏡面淨水場內	電磁式 400	供應左鎮/新化	
13	鏡面淨水場內	渦流式 200	受南化支援	
14	內門鄉茄苳橋旁	渦流式 150	支援七區處	廠南化給水系統
15	南化給水場內	超音波 2200	供應玉井/左鎮	
16	白河淨水場	渦流式 200	供應白河	白河營運所系統
17	內角鹿鳴山	豎軸葉輪電子式 75	受五區支援	
18	八掌溪南台一線旁	螺旋電傳 400	受五區支援	
19	八掌溪北水上鄉南靖	豎軸葉輪電子式 200	受五區支援	
20	烏山頭淨水場	豎軸葉輪電子式 100	供應國民旅舍	烏山頭給水廠系統
21	烏山頭淨水場	文式表 800	供應新營/白河	
22	烏山頭淨水場	文式表 900	供應麻豆/佳里	
23	烏山頭淨水場	超音波 1350	供應麻豆/台南	
24	烏山頭淨水場	文式表 1500	供應官田/新營	
25	厚生橋旁	超音波 900	支援五區處	
26	厚生橋旁	電磁式 350	支援五區處	

### 3.系統架構



## 4. 施工與完工

### 4.1 網路自動讀表施工階段

①公告招標後，由包商成立工作小組規劃、指派施工，並由水公司指派監工做進度掌控。

#### ②現場施工

- 將每個出水表之輸出訊號端直接安裝在讀表界面（或積算器）之輸入端。
- 對每一個參與計畫之施工處繪製施工圖。
- 按圖施工，並詳細記錄各種不同類型施工成本。
- 進行調表動作，將讀表介面（或積算器）調整到可接收水表訊號，並到達同步顯示。

#### ③水處讀表設備

- 在操作課建立讀表伺服器電腦設備。該設備包括：讀表伺服器一部、資料庫伺服器一部，並應可將各式資料表格透過印表機輸出且具備複合式表格功能以方便進行各項資料的統合與分析等功能。
- 在操作課設置 ADSL 專線，提供讀表伺服器專用。該專線應不可再做其他用途，避免影響系統效能。

### 4.2 測試階段

經由弓銓公司的配合，我們針對出水表進行讀表測試，並針對其他公司生產的水量計進行，證明網路讀表介面的高相容性，只要能產生訊號（4-20mA 或脈衝）的水表，

### 4.3 完工

經測試及系統整體試車無誤後，報請驗收完工。

## 參、研究方法

1、讀表方式：在 PC 上以打開網路瀏覽器輸入網址的方式打開網頁進行讀表。

### 2、平均用水量分析

- 以流量趨勢圖得知個別出水表每日平均出水量。
- 由於出水表大部分為持續出水故若水量無預警的大於（或低於）平均值則為異常。

### 3、瞬間流量分析

- 由瞬間流量隨時間變化的情形研判出水表是否有用水異常的可能，如漏水或出水不足。

### 4、出水表類型

根據出水表出水量隨時間變化的情形，將出水表約略分成以下 3 種類型：

4.1 間歇性出水：時而供水，時而停水。

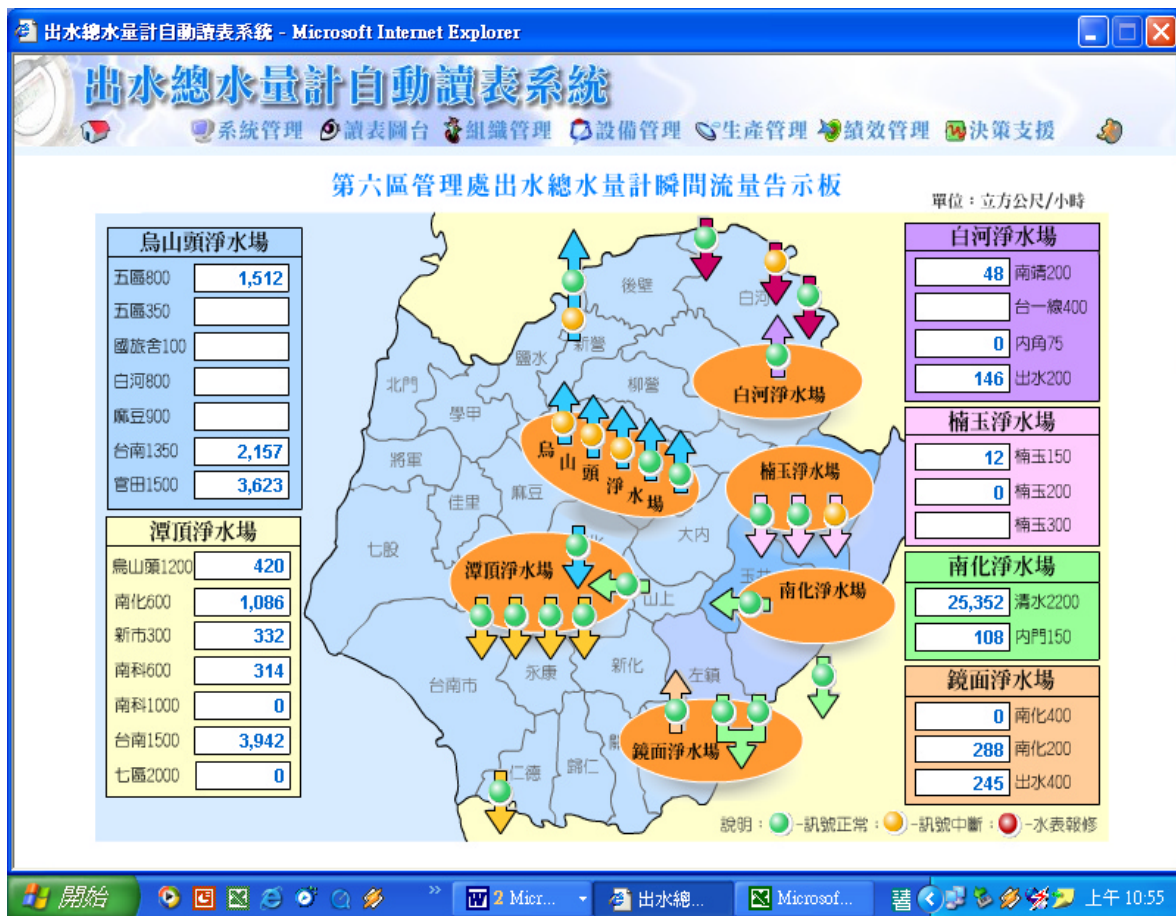
4.2 週期性出水：出水量隨時間有週期性的變化。例如出水量會隨上下班時間、星期日週期性變化。

4.3 持續性出水：出水量持續穩定。

5. 依據各種水量計出水狀況的不同，累計水量統計表及瞬間流量變化圖可推估各淨水場與供水系統之出水量，可做為供水單位在計畫供水及停水規劃上的重要參考。

## 肆、資料分析

### 1、即時資料顯示



說明：經由讀表圖台顯示可即時了解水表現況，例如運轉是否正常、流量是否正常，如上圖所示資料欄為空白者則該表位即可能已發生問題應立即報修，若欄位顯示資料為0，則表示該表位目前未計量或閘門未開，透過本圖台可即時掌握流量與水表資料以即時控管降低因水表故障所造成的損失，達到成本掌控的目標。

## 2、水量計管控

即時了解出水量計放置位置、水量計本體資料做為水量計控管之依據



說明：選取紅框的選項後即出現以下畫面：



本畫面顯示了該水量計的各項基本資料，讓管理者不需透過任何手續即可得到，如此可讓管理者在短時間內擁有更多的參考資料以供決策用。

### 3、機電設備資料

本系統提供了機電設備等各項財產的建制資料庫可供使用者進行管理

出水總水量計自動讀表系統 - Microsoft Internet Explorer

## 出水總水量計自動讀表系統

WG4014 機電暨儀表設備統計查詢

管理單位	選擇值 ▾	財產編號	<input type="text"/>	
種類	選擇值 ▾	使用狀況	選擇值 ▾	
抽水機明細規格	型 式： 選擇值 ▾	揚 程：	<input type="text"/> M	
	口 徑：	<input type="text"/> mm	出水量：	<input type="text"/> CMD
	馬 力：	<input type="text"/> HP	電 壓：	<input type="text"/> V

[搜尋結果] 共 30 筆

管理單位	財產編號	種類	使用狀況	購買日期	報廢日期
台南給水廠	<a href="#">引擎式抽水機1</a>	引擎式抽水機	現裝		
台南給水廠	<a href="#">變壓器3</a>	變壓器	報廢		
台南給水廠	<a href="#">變壓器4</a>	變壓器	備用		
台南給水廠	<a href="#">變壓器6</a>	變壓器	現裝		

第 1 / 8 頁

出水總水量計自動讀表系統 - Microsoft Internet Explorer

說明：本畫面顯示資料為給水場之機電設備列表（含加藥設備）及使用現況，管理者對該廠機電設備資料亦可藉由本系統得知達到財產控管的目的。

### 4、供水系統出（配）水分析

- 自動讀表系統將第六區處依據供水地域區分為三個供水系統，分別為台南供水系統（包含潭頂淨水場、烏山頭淨水場、白河淨水場）楠西玉井供水系統（包含楠玉淨水場、南化淨水場）鏡面供水系統（即鏡面淨水場）等並針對各系統之供水量製作相對表格資料如下表

供水系統 水量(立方公尺)		總 計		台南區供水系統		楠西玉井供水系統		鏡面供水系統	
日期		配水量	出水量	配水量	出水量	配水量	出水量	配水量	出水量
出水能量		-	1,240,200	-	1,227,000	-	8,700	-	4,500
本月實際配 出水量	本月合計	3,685,507	22,787,594	3,510,275	22,585,326	175,232	175,275	-	26,993
	01 日	123,432	748,676	120,090	746,088	3,342	3,176	-	-588
	02 日	124,065	792,259	119,038	787,357	5,027	5,214	-	-312
	03 日	130,403	734,597	123,091	726,366	7,312	7,151	-	1,080
	04 日	130,789	822,416	123,585	812,945	7,204	9,573	-	-102
	05 日	126,414	751,800	118,881	744,050	7,533	7,553	-	197
	06 日	125,233	742,856	117,046	732,489	8,187	8,195	-	2,172
	07 日	116,700	740,153	107,030	729,894	9,670	7,578	-	2,681
	08 日	114,474	671,776	106,828	662,983	7,646	7,815	-	978
	09 日	123,016	738,315	114,985	726,678	8,031	7,655	-	3,982
	10 日	125,674	748,534	118,084	736,762	7,590	7,776	-	3,996
	11 日	126,767	704,518	118,831	695,157	7,936	7,845	-	1,516
	12 日	129,864	685,918	121,836	676,195	8,028	8,355	-	1,368
	13 日	127,640	687,552	119,053	677,740	8,587	8,344	-	1,468
	14 日	127,881	750,499	119,661	741,065	8,220	8,127	-	1,307
	15 日	128,275	875,232	120,025	865,824	8,250	8,250	-	1,158
	16 日	130,999	856,536	123,331	847,935	7,668	7,598	-	1,003
	17 日	127,169	718,420	122,409	712,596	4,760	4,847	-	977
	18 日	124,081	700,910	120,627	696,170	3,454	3,466	-	1,274
	19 日	122,090	700,389	118,349	695,549	3,741	3,382	-	1,458
	20 日	118,331	680,589	114,405	674,772	3,926	4,266	-	1,551
	21 日	120,186	689,891	116,445	685,581	3,741	3,722	-	588
	22 日	120,540	814,718	116,680	811,681	3,860	3,755	-	-718
	23 日	118,369	845,351	114,983	841,603	3,386	3,516	-	232
	24 日	116,600	789,415	112,939	785,685	3,661	3,751	-	-21
	25 日	120,188	776,550	116,353	772,825	3,835	3,739	-	-14
	26 日	111,509	802,796	107,430	799,041	4,079	4,071	-	-316
	27 日	111,902	769,550	107,665	765,435	4,237	4,352	-	-237
	28 日	115,381	782,050	111,246	777,998	4,135	4,017	-	35
	29 日	122,711	839,440	118,679	835,125	4,032	3,999	-	316
30 日	124,824	825,888	120,670	821,737	4,154	4,187	-	-36	

供水系統 水量(立方公尺)	總 計		台南區供水系統		楠西玉井供水系 統		鏡面供水系統	
	配水量	出水量	配水量	出水量	配水量	出水量	配水量	出水量
出水能量	-	1,240,200	-	1,227,000	-	8,700	-	4,500
全月最大日 日期	16 日	15 日	04 日	15 日	07 日	04 日		10 日
配(出)水量 水量	130,999	875,232	123,585	865,824	9,670	9,573	-	3,996
全 月 平 均 日 配 ( 出 ) 水 量	122,850	759,586	117,009	752,844	5,841	5,843	-	900
出 水 率		61.25%		61.36%		67.15%		19.98%

說明：由以上資料得知上月份共計 30 個供水日，每個供水系統的供水量與出水率皆一目了然，根據此資料顯示各個系統的出水率分別為 61.36%、67.15%及 19.98%，管理者可根據此資料對三個供水系統進行分析，藉由增加出（配）水量及提升各供水系統間的相互支援度，提高供水質量增加經濟收益。

## 伍、結論

- 1.自動讀表系統為一複合式整合系統，其功能除流量監控外，尚有許多其他的功能如人員的管理 水量計管理、機電設備管理、各項成本的掌控（如機修費、動力費、藥品費）等多項功能。
- 2.本系統在流量監控上與一般 PLC 不同處在於，一般 PLC 為封閉式網路無法讓管理者在遠端得到訊息，

但本系統以網際網路傳輸的方式讓管理者能在遠端進行資料的讀取，可有效縮短意外狀況的反應時間，將損失降到最低。

- 3.本系統的特點在於利用網路的簡便性將以前需要時間蒐集回報的資料，在平時以電腦輸入儲存，必要時可透過網際網路讀取的方式，讓管理者能在最短時間內獲得大量有效的資訊，讓管理者與基層零距離，於短時間內作出最有效的決策。

# 高坪特定區配水池工程「拾穗」圖案意象簡介

張俊男\*

## 一、配水池工程緣起

高坪特定區係位於高雄市小港區與高雄縣大寮鄉交界，其土地開發案完成後，因獨缺自來水供應設施尚未興建，致造成當地居民生活上用水之不便，嚴重影響土地開發成果，公私部門同受損失，故為解決當地供水問題，帶動地區進步繁榮及增加地價稅收等，遂由高雄市政府與台灣省自來水公司（以下簡稱水公司）開會協調，高雄市政府負擔總工程費 11/16，水公司負擔 5/16，由台灣省自來水公司負責建造高坪特定區配水池工程，該工程於 89 年 5 月 5 日決標，89 年 6 月 17 日開工。

## 二、配水池工程興辦過程

該工程外觀按往例依水公司 CIS 規定設計，於向高雄市政府申請雜項執照期間，該府都市發展處認為，該工程乃位於高雄縣進入高雄市門戶，建物似可塑造成為本地區之地標，故有關自來水塔及圍牆之造型、色彩、以及基地之綠化或照明等，為符合都市計畫說明書應與附近環境密切配合要求，建議提送高

雄市都市計畫審議委員會審議，以作為建管審查標準。水公司亦同意依上述意見配合辦理，並由水公司南區工程處於 90 年 3 月 23 日提報「高坪特定區配水塔景觀美化工程都市設計審議申請計劃書」至高雄市政府供審議。

高雄市政府於 90 年 4 月 17 日召開審查會議，並於 90 年 6 月 6 日函覆同意該計劃書內容，水公司南區工程處依該計劃書內容，辦理配水塔景觀美化工程變更設計事宜，同年 10 月 27 日起開始進行景觀美化工程施工，91 年 4 月 22 日完工，含土建工程及機電工程之總工程費為 63,875,788 元。

## 三、配水池工程景觀外牆“拾穗”圖案之意象

配水塔景觀外牆選擇「自然主義」時期，法國偉大的田園畫家米勒（Jean Francois Millet, 西元 1814-1875）於西元 1857 年完成之名作“拾穗”（The Gleaners）為圖案，並以玻璃馬賽克拼貼而成，其設計概念係水資源得來不易，應予珍惜，不可浪費，而稻穗亦是如此。在 19 世紀歐洲地區每當稻穗或麥穗收

\* 台灣省自來水公司南區工程處約僱人員

成過後，有些貧困的農家婦女會到田裡去拾取尚留在地面的稻穗或麥穗，在法國甚至明文規定拾穗的合法性，而且還讚揚這些拾穗者有福了。

米勒於 1857 年創作的“拾穗”，以溫潤的筆觸描繪出三位拾穗婦女的農忙情形，同時也透過農民的勞動來傳達出人內在的精神與尊嚴，充分將農民農忙的景致呈現出來，在畫面中，冷調、金黃的光線賦予人物一種崇高的意像，也賦予農民形象一種英雄史詩般的角色，氣氛平靜且富有詩意，米勒這位偉大的藝術家，將以往畫家只停留在室內作畫的習慣，帶領到充滿陽光的野外來，農人拾穗的光景，被創作者刻畫的入木三分，亦為日後藝術家留下不朽的典範。所以取名畫“拾穗”之意象來呼應主題，並藉由此畫之高知名度，來強化民眾之認同。

#### 四、心得與建議

長期以來，我們因為對於環境景觀缺乏有效的保育、經營、管理及維護，

導致生活環境普遍呈現「擠、髒、亂、醜」的面貌，因此，行政院院會於 92.07.09 通過「景觀法」草案，並送立法院待審，草案中規定，重點景觀地區得由直轄市、縣（市）主管機關擬定重點景觀計畫，作為區內景觀資源保育、經營及管理之依據，重點景觀地區內達一定規模之重大開發或設施，於先期規劃階段，應就景觀相關事項與直轄市、縣（市）主管機關諮詢、協商，並經直轄市、縣（市）主管機關循都市設計審議程序審查通過後，始得建築使用或施工、設置，以確保景觀品質。「景觀法」未來完成立法後，對於改善國人忽視環境景觀美化與維護之觀念，將有相當正面的助益。

本案高雄市政府透過都市設計管理中審議機制的運作，為塑造高品質都市景觀把關，其相關主管業務人員對於市政之用心令人感佩，而水公司也在互動過程中受益，既結合了水公司 CIS 之意象，也滿足了地方政府對景觀之要求，創造雙贏之建設成果，實可供為水公司日後辦理各項供水工程建設之參考。

## 環工人物誌

## 陳繼志先生和愛河

姚關穆\*

應該是很久很久以前的事了。我已完全不記得在怎麼樣的情況之下，使得我和周懋平先生兩個人，站在高雄市愛河旁邊一棵樹蔭下面。這一天天氣特別炎熱，艷陽高照。我們所在愛河的一角，河水幾乎已呈黑色，不斷冒著氣泡，約略可以聞到臭氣。據說愛河這個名稱的來源，相傳是由於時有情侶投河自殺。面對當時的惡劣狀況，真使人懷疑，即使是決心自殺的情侶，有沒有勇氣向髒水、臭水跳？其實那時候，這種水污染嚴重情形，又何嘗限於愛河一角。多少往日柔情萬千的秀麗河川，都已淪為黑暗沉淵。我們的憂心環境人士在吶喊：「應該生意盎然的環境，死了。」我們的孩子們在呻吟：「為什麼處處像淡水河那麼臭」？

終於在高雄市，我們嚮起了反攻的號角。愛河污染整治成為台灣水污染整治的尖兵和模範。在淡水河系污染整治還在起步前，就傳出了愛河水質大幅度改善的喜訊。當時大報之一「新生報」，在 1987 年 3 月 17 日一項報導的標題是：「愛河整治成功，淡水河仍髒臭」。事實上愛河的成功，可以說建立了淡水

河系污染整治的信心，多少也促成了後者得以在 1988 年初正式展開。當我們緬懷這項國內首創水污染整治成功範例時，難免不使人想起在整治期間默默貢獻的陳繼志先生，和他個人對高雄地區水環境保護的高度投入。

我和陳先生認識相當早。不過真正建立之誠摯友誼，還是 1960 年後期，在美國新英格蘭古城波士頓。當時我在一間叫 CDM 的顧問工程公司工作。他好像是獲得美國援外總署獎學金，來美考察污水下水道工程，考察對象包括我們的公司在內。所以包括在內的理由，應該是 CDM 公司正在辦理聯合國出資的大台北地區污水下水道系統規劃工作。由於我和陳先生是舊識，又在 CDM 公司服務，自然而然成為東道主，好像還請陳先生到我家吃過一頓飯。在那次接觸中，使我特別感動的是陳先生對愛河污染整治的使命感。因此，在敬佩之餘，我也儘量介紹了美國污水處理實務，包括大型沉澱池、污泥消化槽等設施。

我在 1985 年返台後，因為參與淡水河系污染整治工作，曾經好幾次到高雄市考察愛河水質改善情形，又深深體會

\* 國立中央大學兼任教授

到，陳先生和高雄市的雨水和污水系統竟然有著剪不斷的情緣。當高雄市政府在 1963 年決定採用分流式下水道系統後，我的老朋友陳連趾先生，率領公共工程局團隊，南下負責規劃高雄市雨水下水道系統，陳先生就是團隊的一份子。在這裡值得一提的是，陳連趾這個名字倒是得來不易，因為陳連趾先生真的有兩個手指連在一起。

此後大高雄地區成為工業重鎮，加上人口大增，水污染日趨嚴重。我的另一位老朋友施至全先生，又率領公共工程局團隊，在 1966 年南下，主持規劃大高雄地區污水下水道系統，陳先生在團隊中扮演了很重要的角色。這項工作在 1970 年完成。那時候愛河污染愈形惡化。1973 年起，甚至連一年一度，極為受居民重視的龍舟活動，也被迫停止舉辦。對高雄市民的打擊，應該和 1961 年起日本東京都，因為隅田川嚴重污染，停止在河邊放火，東京都的居民感愛相同。

污水下水道建設是整治都市河川污染的最重要措施。污水下水道系統規劃完成後，高雄市政府曾多次希望正式展開興建工程，但限於財力，未能如願。1979 年高雄市改制為院轄市後，財務情

形好轉，立刻就把愛河污染整治列為首要市政工作之一。原則上初期以污水截流為主，陸續執行相關工程。後來為加速工程進行，在 1983 年成立下水道工程處，陳先生擔任首任處長，在陳先生和他的團隊不斷努力下，終於在 1987 年交出整治成功的漂亮成績單。當時蘇南成市長立刻指示工務局長向行政院專案簽報，頒發給陳先生，代表公務人員特殊功績的「功績獎章」，真是「名至實歸」。

公務人員執行公務，本來是份內的事。但是在公事公辦之外，是不是能夠再加上一份誠心誠意的個人投入，就因人而異了。很多人覺得做好份內的事，已對得起公家。其實如果人人能夠更做一點個人的付出，所得結果很可能成為一件工作早日圓滿完成的關鍵，而參與的個人也能從中獲得心靈難以衡量的滿足。如以陳先生和他的團隊在愛河污染整治工作上來說，能夠看到愛河河水一路從惡劣變成可親，看到龍舟活動又重現港都，同時也得到社會的肯定，這種成就帶來的內容喜悅，恐怕是完全無法用新台幣來衡量的。因此，很希望國內環工界同仁，能以陳先生和他的團隊作為榜樣，努力為自己在台灣環工界留下一點「雪泥鴻爪」。

# 山中無歲月-----記退休生活二三事

許廷發\*

## 夫復何求

今九十三年二月毅然辦理提早退休，在長官及同事們的祝福聲中，揮一揮衣袖離開了服務近三十年的自來水公司，特別要感謝在最困頓的時候，指點我、協助我安然度過難關的長官及同事們，公司優渥的待遇及安定的工作環境，讓我拉拔二個小孩長大成人，除了感恩之外還是感恩，如今老大已退伍開始執行牙醫師業務，收入足夠溫飽，小女去年台大化工系畢業，原計畫退休金供其留學之用，今年小女又高分錄取經濟部外貿協會「國際企業經營人才培訓班」，將在國內及國外各受訓一年，公家負擔三分之二費用，二年的進修研習，花費非常有限，保住退休金老本，有如多了一筆橫財，晚年應不愁吃穿，人生若此，夫復何求？

## 溫情滿人間

退休前數年例假日常到日月潭國家風景區當解說員志工，樂此不疲也頗獲好評，退休後沒幾天，就赴行政院接受

九十二年度全國績優公教志工表揚，據主辦單位人事行政局表示，這是行政院第一次舉辦，全國約有二十九萬公教志工，各單位共推薦一百餘人報院，該局邀集相關單位、社會賢達及學者專家們組成審核委員會，經過許多次的開會審查，最後陳報院長核定二十七位，得來殊不易。

去年有位友邦的外長造訪日月潭，短短數小時的陪伴解說，為對方留下良好印像，數月後忽接外交部通知，問是否考慮出國當志工，公家負擔來回機票及生活費用，協助該國發展基礎建設，基於各項因素的考量，不得不忍痛婉謝外長的厚愛；今年五月二十日許多友邦貴賓來台參加總統、副總統就職典禮，外交部除了安排參觀國內政經建設，日月潭亦為國賓們所嚮往休憩的風景名勝，奉派擔任即席口譯（包括長官致詞），初次在這種重要的正式場合上陣，心理難免忐忑不安，雖然不儘理想，至少得到一個寶貴的經驗，相信日後若再有類似機會，必然更能得心應手。

\* 前台灣省自來水公司工程師

## 一單食一瓢飲

退休後除了繼續到日月潭國家風景區當解說員志工，大部分時間都住在九族文化村附近自有山坡地上，每天過著「日出而作，日入而息」的農耕生活，這筆土地共有一公頃半，足夠自己一個人從早忙到晚，以前種在檳榔樹下的許多果樹，因為除草工人的大意，一再被攔腰砍斷，心疼但是又沒辦法，工人也是要趕時間賺錢，退休後有的是時間，自己親自用手工除草，不但確保果樹的成長，還可向檳榔統包商領取工資，既是甲方又是丙方，還好不是公家單位，沒有政府採購法的限制，要不然就要準備吃牢飯了。

說到吃飯，雖長期住在山上，一點也不造成問題，老婆及女兒會幫忙準備好約一個禮拜主菜的份量，主食就上大賣場採購「俗又大碗」的土司麵包，至於其餘的小菜，山上野菜隨手可摘，既健康又省錢，曾約略計算一下，一個星期花在吃的方面不會超過五百元，以前對金錢很沒概念，甚至於不知道身上有多少錢，退休後已養成精打細算的習慣，前陣子還為麵包悄悄聯合漲價事，氣得想上書行政院公平會討個公道。

## 「蕨」代風華

所有的植物中，最喜歡蕨類，看似

柔弱樸實的外表，沒有多采多姿的花朵，卻有著強韌的生命力及變化萬千的構造，台灣是全世界蕨類植物種類密度最高的地方，小小的地方就有六百多種，歐洲面積約台灣的四百倍，卻只有約二百五十種，日月潭許多步道兩旁，豐富的蕨類生態，常令老外看得張目結舌，筆者山坡地私闢小徑旁，亦是蕨類叢生，以前為避免影響行車，都併其它雜草定時予以割除，如今有的是時間，仔細將蕨類與其他雜草分開，只割掉雜草，讓蕨類繼續生長，希望再過一段時間，走在這條秘密小徑上，不但可以享受清風拂面、鳥語花香，也可以欣賞那曾與主宰地球的恐龍共同生存的「蕨」代風華，也想想不可一世的恐龍如今何在？

## 坐看雲起時

前陣子邀請一位德國大學留學生到山上作客，清晨起來看到太陽從東方山上慢慢浮出，一道道光芒透過檳榔樹映入眼裡，驚呼大叫說從沒看過如此美麗壯觀的日出景象，自己也才突然警覺，原來美景就在眼前，得來容易反而不覺得珍惜，就像逛國光路花市時，看到賣場上多年生粗粗壯壯的果樹苗，總有一股買下來種在山上的衝動，可是山上有許多多年生的果樹，不去珍惜照顧，已

經被蟲啃蝕得奄奄一息，也許這就是一般人的通病，不知珍惜已有的，眼睛看的、心裡想的就是那些得不到的。

現在在山上除了會欣賞日出美景，還懂得看雲，據當地人說，對面的層層山巒，曾是國內多次攝影比賽得獎作品的主角，工作或讀書累了，就坐在半山腰上，看著對面連綿山峰上千變萬化的雲彩，尤其是雨後初晴時，雲（或是山嵐？）也從身上飄過，如夢似幻的景象，幾乎忘了究竟是在天上或是人間？

### 腰帶漸寬終不悔

山上清新的空氣、迷人的景致、適

度的勞動及完全放鬆的心情，身體上原有的一些老毛病，短短幾個月就已漸漸消失，皮膚曬得黝黑，常被日月潭許多遊客誤認為當地邵族原住民，還問是不是毛王爺（早期日月潭邵族的風雲人物）的後代？

最近曾有許多朋友問起，捨棄如此待遇優渥的工作，難道心裡一點都沒有後悔的感覺？總是向他們指指已消失的鮪魚肚說：腰帶漸寬終不悔。迄今依然不捨的是長官及同事們多年的情誼，畢竟人的一生成能有幾個三十年？尤其是二十幾歲至五十幾歲的精華歲月。

## 國際有關自來水之研討會訊息

日期	會議名稱	地點	主辦單位
	會議相關訊息網址		
Sep 19-24, 2004	4th World Water Congress and Exhibition	Marrakech , Morocco	International Water Association
	<a href="http://www.iwa2004marrakech.com/Templates/Conferences/marrakech/home.aspx?ObjectId=161">http://www.iwa2004marrakech.com/Templates/Conferences/marrakech/home.aspx?ObjectId=161</a>		
Sep 19-22, 2004	NEWWA Annual Conference	Newport , Rhode Island United States	AWWA New England Section
	<a href="http://www.newwa.org/">http://www.newwa.org/</a>		
Sep 26-29, 2004	AWWA DSS: The Distribution & Plant Operations Conference and Exposition	Chicago , Illinois United States	American Water Works Association
	<a href="http://www.awwa.org/conferences/dss/">http://www.awwa.org/conferences/dss/</a>		
Sep 30, 2004	Basic Field Operations for Small Water Systems	Spokane , Washington United States	Washington Environmental Training Center (WETRC)
	<a href="http://www.wetrc.org/">http://www.wetrc.org/</a>		
Oct 13-15, 2004	4th Annual Conference on Pharmaceuticals and Endocrine Disrupting Chemicals	Minneapolis , Minnesota United States	National Ground Water Association
	<a href="http://www.ngwa.org/e/conf/0410125013.shtml">http://www.ngwa.org/e/conf/0410125013.shtml</a>		
Oct 19, 2004	Water System Controls Monitoring/Alarm Basics	Tacoma , Washington United States	Washington Environmental Training Center (WETRC)
	<a href="http://www.wetrc.org/">http://www.wetrc.org/</a>		
Oct 19, 2004	Asset Management: Planning and Reporting Options for Water Utilities	Dallas , Texas United States	American Water Works Research Foundation
	<a href="http://www.awwarf.org/newsAndEvents/calendar/agenda/dallas/index.aspx">http://www.awwarf.org/newsAndEvents/calendar/agenda/dallas/index.aspx</a>		

日期	會議名稱	地點	主辦單位
	會議相關訊息網址		
Oct 20-22, 2004	2004 Desalination Conference	El Paso , Texas United States	El Paso Water Utilities
	<a href="http://www.epwu.org/desal_conference.html">http://www.epwu.org/desal_conference.html</a>		
Nov 1-2, 2004	7th Water Information Summit	Orlando , Florida United States	American Water Resources Assoc. & CEAG, Mexico
	<a href="http://www.ces.fau.edu/wis7/">http://www.ces.fau.edu/wis7/</a>		
Nov 8-10, 2004	IWA's 2nd Leading-Edge Conference on Sustainability in Water-Limited Environments	Sydney , Australia	International Water Association
	<a href="http://www.les2004.iwa-conferences.org/templates/Conferences/LES/les_std.aspx?ObjectId=27914">http://www.les2004.iwa-conferences.org/templates/Conferences/LES/les_std.aspx?ObjectId=27914</a>		
Nov 14-18, 2004	AWWA Water Quality Technology Conference and Exposition (WQTC)	San Antonio , Texas United States	American Water Works Association
	<a href="http://www.awwa.org/conferences/wqtc/">http://www.awwa.org/conferences/wqtc/</a>		
Nov 14-17, 2004	Advances in Filtration Media	Baltimore , Maryland United States	American Filtration & Separations Society
	<a href="http://www.afssociety.org/educational.shtml">http://www.afssociety.org/educational.shtml</a>		
Nov 16-19, 2004	2nd International Symposium on Transboundary Waters Management	Tucson , Arizona United States	NSF STC for Sustainability of Semi-Arid Hydrology and Riparian Systems (SAHRA)
	<a href="http://www.sahra.arizona.edu/twm/">http://www.sahra.arizona.edu/twm/</a>		

# 中華民國自來水協會第十五屆理、監事會 第七次聯席會議紀錄

時間：民國九十三年六月十八日

(星期五)下午三時

地點：本會會議室

主席：李理事長<sup>錦地</sup>

出席理事：李錦地 林 岳 謝啓男

陳榮藏 黃金山 林芳松

盧清雄 廖宗盛 黃進財

黃慶四 林文暉 王國堅

張 豐 葉宣顯 吳振欽

王文賢 賴文正 陳福田

洪武雄 蕭江碧 蔡輝昇

陳錦祥 楊華堃

出席監事：李公哲 劉鏡春 胡南澤

王炳鑫 沈明鋒 吳陽龍

趙文雄

請假理事：宋金順 王桑貴 郭悅富

楊水源 楊清和 施澍育

齊景新 駱尙廉

請假監事：郭瑞華 鄭國華

列席：

會務工作人員：許培中 劉家堯

王魯人 張宣勝

蔡麗僊 管惠嬋

劉玉李

記錄：王魯人

一、主席致詞：(略)

二、報告事項：

(一)秘書長綜合報告：詳如議程  
書面資料。

結論：1.第 6 項參加國際水協會 IWA  
二〇〇四年第四屆雙年會二  
種行程路線依報名較多者為  
出國行程。

2.餘洽悉。

(二)各種委員會報告：詳如議程  
書面資料。

1.會務委員會報告：

結論：王健忠等卅四人申請加入為  
本會個人會員案同意追認。  
請會務委員會擬訂基層工作  
人員表彰辦法，以表揚技術  
人員十名、管理人員十名為  
原則，以資激勵自來水基層  
從業人員。

自來水研究發表會與聯誼參  
觀活動錯開時段舉行，以便  
會員參加，請大會籌備會參  
酌。

2.技術委員會報告：

結論：審查九十二年度至九十五年

度委託研究案計劃架構，已另列提案提請討論。  
餘洽悉。

### 3.國際事務委員會報告：

結論：有關本會會員出席 IWA 國際水協會及 ASPIRE 亞太地區年會其補助之員額及經費，已另列提案提請討論。  
是否爭取主辦二〇〇九年第三屆「國際水協會亞太地區研討會」事宜，亦已另列提案提請討論。

### 4.財務委員會報告：

結論：如何有效運用本會之歷年積存，以挹注本會事業經費，請理事長、財務委員會盧主任委員、賴副主任委員、秘書長、劉顧問，並另延請財金專家一名成立專案小組，由理事長擔任召集人，研訂施行辦法。

### 5.編譯出版委員會報告：

結論：討論事項第一案、第二案照案通過。  
前項修訂後之書籍委由財團法人中華自來水服務社出售。  
出售書籍請注意版權、出售授權及修訂版等問題。  
餘洽悉。

(三) 會務報告：第十五屆理、監事

會第六次聯席會議決議案執行情形及本會九十三年元月至五月底損益表及資產負債表提請審議。詳如議程書面資料。

結論：洽悉。

### 三、討論事項：

第十五屆第三次會員代表大會暨  
編號 第一號 類別 會務  
提案人 第卅七屆自來水節慶祝  
大會籌備 林 芳 松  
委員會主任委員

案由：擬聘第十五屆第三次會員代表大會暨第卅七屆自來水節慶祝大會籌備委員會委員，提請討論俾便函聘。

決議：通過。

編號 第二號 類別 會務  
提案人 秘書長 許 培 中  
案由：請研討訂定健全本會財務措施，以裨益本會各項會務推動。提請討論。

決議：一、擲節經費部份：依辦法第 1、2 項辦理。  
二、開源部份：檢驗業務為本會事業經費主要收入，請各位理、監事及廠商多予支持、協助。

編號 第三號 類別 技術  
提案人 主任委員 謝 啓 男  
案由：技術委員會「92~95 年度委

託研究計畫架構」提請討論。

決議：一、請技術委員會擇定各年度  
研究案優先順序，視本會當年度  
財務狀況，依切要性辦理。

二、自來水漏水防止及表差問題  
至為重要，應列入研究。

編號 第四號 類別 國際事務  
提案人 國際事務委員會主任委員  
駱 尙 廉

案由：為擬訂本會補助參與之兩項主  
要國際自來水會議 IWA 國際水  
協會雙年會及 ASPIRE 亞太地  
區雙年會初步辦法事宜，提請  
討論。

決議：一、依本會原補助辦法修正第  
三條取消第 開會期間之生活  
費。

二、本會會員參加 IWA 國際水  
協會雙年會及 ASPIRE 亞太地  
區雙年會其補助依前項修正後  
辦法辦理。

編號 第五號 類別 國際事務  
提案人 國際事務委員會主任委員  
駱 尙 廉

案由：為是否爭取主辦二〇〇九年第  
三屆「國際水協會亞太地區研  
討會」IWA ASPIRE Conference  
事宜，提請討論。

決議：請國際事務委員會研究辦理。

編號 第六號 類別 大會場地  
提案人 林理事芳松兼自來水節慶  
祝大會籌備會主任委員

案由：中華民國第三十七屆自來水  
節慶祝大會暨第十五屆第三  
次會員代表大會之會場擬訂  
在南投市中興新村光榮北路  
一號中興會堂舉行，提請討  
論。

決議：照案通過。

編號 第七號 類別 大會場地  
提案人 林理事芳松兼自來水節慶  
祝大會籌備會主任委員

案由：中華民國自來水協會第二十  
一屆自來水論文發表會之會  
場擬訂在南投市光明路一號  
行政院人事行政局地方研習  
中心(原省訓團)文教大樓之  
教室舉行，提請討論。

決議：照案通過。

四、臨時動議：無

五、散會：下午五時二十分