ISSN 1025-7683

中 華 民 國 自 來 水 協 會 會 刊

自 來 水

第19卷 第2期 ⑷

中華民國八十九年五月

全國第一座自來水博物館

WATER SUPPLY QUARTERLY

Volume 19 NO.2 May 2000

Water Works Association of the Republic of China(Taiwan)

自來水會刊第十九卷第二期㉞目錄

表三 民國八十五年至民國八十七年環保機關自來水各地區抽驗結果彙整統計表

年別	民國八十五年		民國八十六年		民國八十七年	
地區別	檢驗件數	不合格件數	檢驗件數	不合格件數	檢驗件數	不合格件數
北部	2836	50	3435	23	3345	26
中部	3631	138	3887	26	4707	4
南部	3639	107	4026	37	4558	10
東部	1975	15	2069	17	2048	12
外島	361	60	456	22	351	9

來水品質良好，與其水源水質未遭受嚴重污染應有絕對的關係。至於水質不合格率較高的地區應屬離島澎湖地區，民國八十五年至民國八十七年水質不合率分別達16.62%、4.82%及2.56%，此現象與地面水源缺乏，且地下水源鹽化，總溶解物含量較高因素有絕對關係。

表三是民國八十五年至民國八十七年自來水抽驗件數按地區別統計情形。

（五）自來水水質不合格率年變化趨勢分析

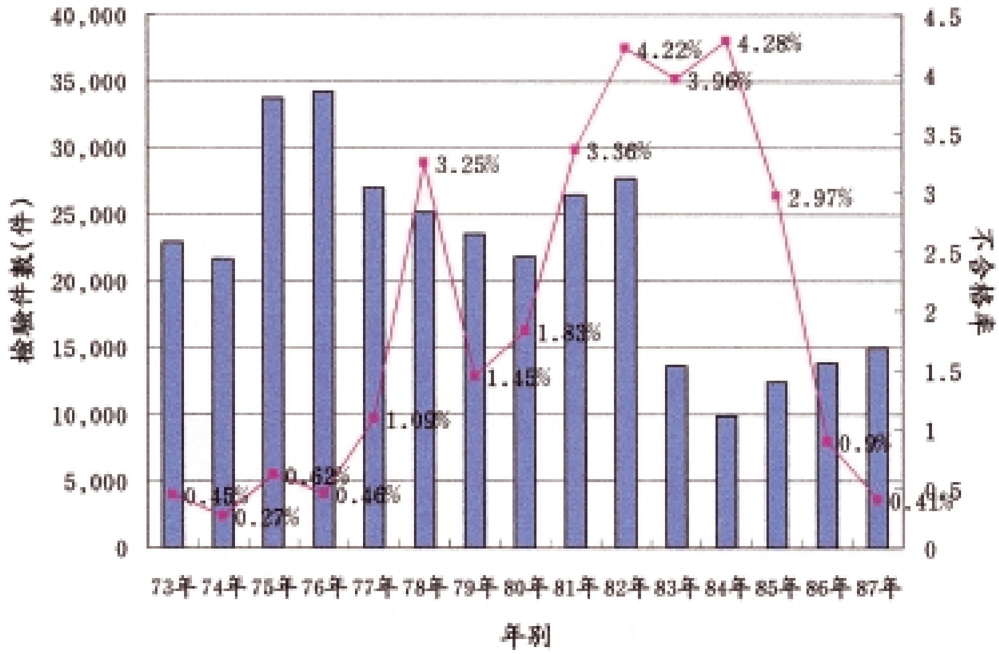
圖五為環保署歷年台灣地區自來水水質抽驗結果概況，其中民國七十三年不合格率為0.45%，到民國七十七年增加至1.09%，民國八十四年更嚴重惡化至4.28%，顯示自來水水質在民國八十四年前有逐年惡化的越勢，究其原因似為近年來水源受到較嚴重的污染之故。

民國八十六年及民國八十七年自來水水質不合格率已降為0.90%及0.41%。在飲用水管理條例修正公布後，各級環保機關加強抽驗自來水水質及稽查督導下，自來水供水單位對水質改善工作，已獲得初步成效，自來水水質不合格率已有逐年降低的趨勢。

四、家戶淨水器使用情形

（一）淨水器使用現況

淨水器是自來水用戶後端的再處理設備，僅能改善設置初期水質，每戶裝設的費用所費不貲，投資效益十分有限，並非根本解決之道。家戶之所以會安裝使用淨水器，普遍意味著一般民眾對於現有自來水水質缺乏安全感，根據近幾年來研究報告顯示，民眾使用淨水器之比例由民國七十二年的27.4%，上升至民國八十七年的47.2%及民國八十八年的41.3%，如圖六

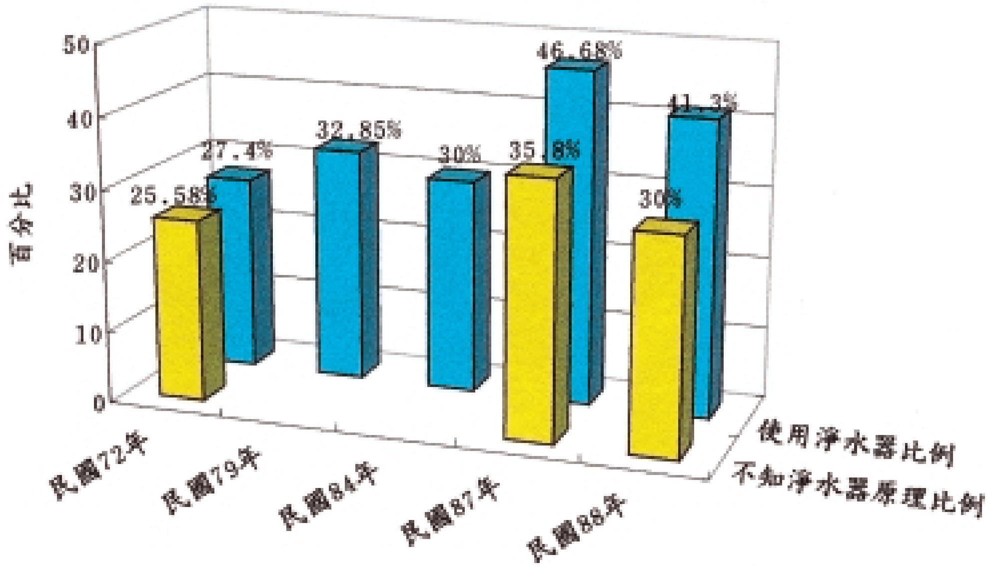


圖五 歷年自來水抽驗件數及不合率變化趨勢

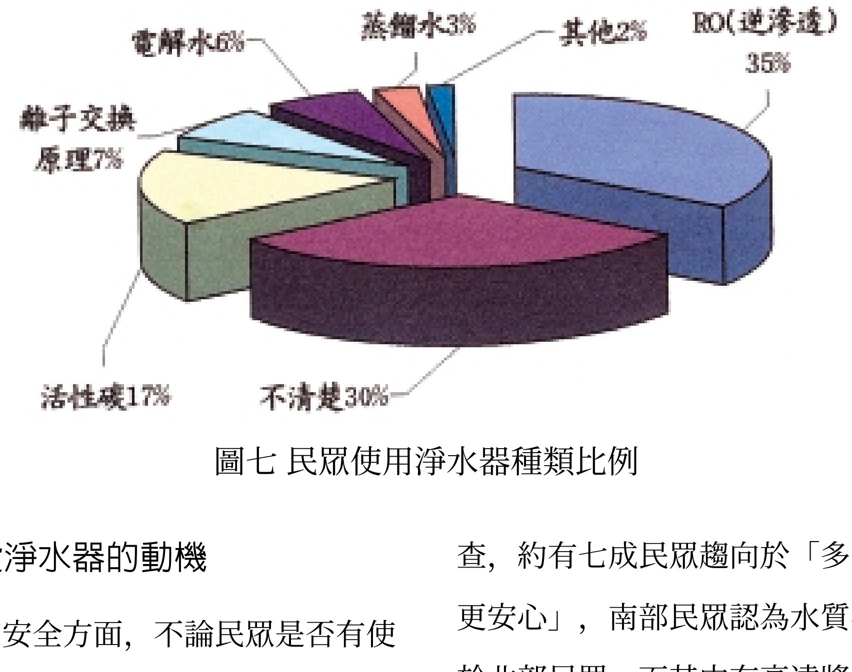
所示，有逐年增加之趨勢，顯示有超過四成以上的民眾使用淨水器想要藉以改善飲用水水質。

目前市售淨水器的種類繁多，其功能歸納起來，不外乎是過濾、吸附、軟化等功能，在設置淨水器應依自來水水質特性及改善的目標，設置所需要功能之處理設備，在早期民眾以使用離子交換原理之淨水器佔多數（60%），而近幾年來，以使用RO（逆滲透）淨水器之比例35.0%為最高，其次為活性碳及離子交換原理，分別為16.9%及7.3%，如圖七所示。如要以淨水器暫時改善自來水適飲性等問題，該淨水器至少是要有軟水器及活性碳濾心等的套裝設備，但由研究報告中仍可發現，不清楚家中淨水器種類的比例也高達三成，由此可知，一般民眾對於家中使用淨水器之種類並不是十分了解，更何況是瞭解其原理及對於淨水器清洗維護之認知。

淨水器設置後要保有功能就需定期維護，以軟水器及活性碳淨水器都有固定處理容量，當使用達飽和時，都需再生處理，軟水器尚可由家戶清洗、再生後使用，但活性碳吸附就僅有丟棄一途，因此，要維持淨水器的功能務必要花費一定的維設費用。



圖六歷年民眾使用淨水器相關問題之比例



圖七 民眾使用淨水器種類比例

（二）裝設淨水器的動機

在水質安全方面，不論民眾是否有使用淨水器，他們對於自來水水質的安全從不擔心者所佔的比例最高，而一般民眾裝設淨水器之動機，根據民國八十四年調查，約有七成民眾趨向於「多一重保障，更安心」，南部民眾認為水質不良比例高於北部民眾。而其中有高達將近五成的民眾不了解淨水器淨水之原理，三成四民眾僅知道一些原理，只有17.6%民眾確實知

道所使用之淨水器之淨水原理，購買使用淨水器之管道超過五成民眾係透過親朋好友介紹為最多，不在乎水質特性而購買者亦超過五成。

由此可見，大多數民眾在不了解淨水器淨水之原理、不特別注意淨水器是否符合家中水質特性、不信任自來水水質及可以喝的更健康的心理因素下，加上市面上的淨水器廣告非常氾濫，不時以聳動的字眼，誇大不實的內容，甚至以聳動的文字，誤導民眾認為喝自來水會致病等，導致社會大眾對自來水品質的不信任，目的在從心理層面導引眾排斥自來水品質，進而購買使用淨水器，藉以解除心中對於自來水水質之疑慮，做自來水的再處理，因此，民眾有必要具備相關知識加以判斷，避免花錢買了一套可能喝出問題的淨水設備。

（三）民衆飲水習慣

至於民眾在使用淨水器之後，將近五成民眾（49.8%）認為水質改善很多，沒有民眾認為在使用淨水器後水質變差，可知民眾對於淨水器的淨水效果評價頗佳。不過，在使用淨水器之後，有60.5%的民眾未曾生飲淨水器處理過的水，主要原因是有大多數（73.6%）的民眾有將水煮沸之後再飲用的習慣，且台灣地區多數民眾未裝設淨水器的主要原因，以習慣飲用前將水煮沸及沒有需要為主。而最安全的飲水習慣仍是將飲用水煮沸，而不一定要購買淨水器，如要減少三鹵甲烷的風險，亦可於飲用水煮沸後，開蓋再行煮沸一至三分鐘即可獲得解決。

（四）淨水器清洗維護

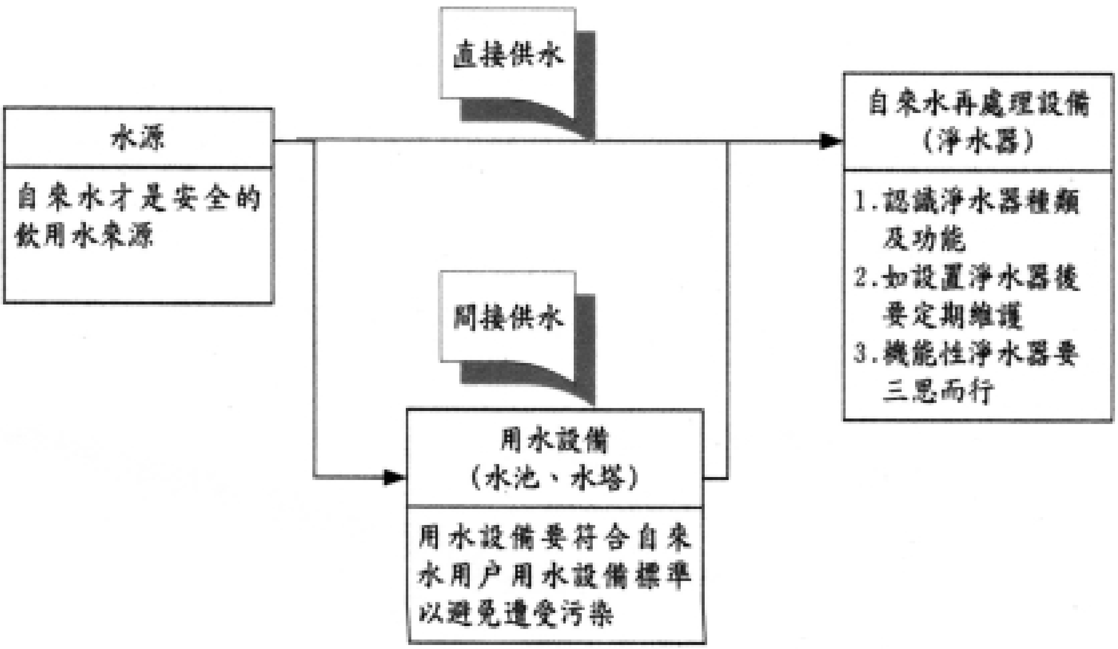
淨水器水質好壞與使用者對清洗維護的認知與清洗頻率有密切關係，依照常理判斷，自來水經過淨水器後，其內容物會比原自來水更為單純，換句話說，就是經過淨水設備單元的水質較原自來水為佳，但如果長期使用而未依照相關設備說明書清洗維護，將使淨水單元功能減退，甚至藏污納垢，得不到優良水質，反而使得自來水受到更嚴重的污染，因此例行性定期維護與清洗淨水設備是不容忽視的一件事。若家中已裝有淨水器之民眾，建議實際清洗維護之頻率保持在三至四個月清洗一次，以確保淨水器功能。

至於清洗維護的工作是自行清洗或是委由廠商負責，經由調查發現以自行清洗維護佔多數，其次為委託廠商維護，廠商收取維護費用並無一定標準，仍有部分維護廠商每次收取上千元之高額維護費用，因此，如對淨水器沒有基本的知識，就容易設置不必要的設備，甚至給廠商收取昂貴的維護費用。

五、建立使用淨水器正確觀念之探討

基於前述飲用水管理法規、自來水水質抽驗結果及國人使用淨水器情形等的探討發現，自來水已受有嚴格而週延的法令規範管制，且合格率正逐年提高，飲用水品質已逐步提昇，但是淨水器使用的比例卻有增加趨勢，且使用時卻不了解水質特性及淨水器原理，又未定期維護清洗，此外，近幾年有以醫療效能等健康理由而使用淨水器者，有鑑於此不僅水質無法改善，且造成購置淨水器的浪費，不僅水質衛生安全堪慮，亦不符經濟。

因此，本報告提出建立淨水器正確使用認知之觀念，圖八為該觀念之示意圖，包括由飲用水來源、用水設備至再處理設備等應建立之相關觀念。探討該觀念如下：



圖八 使用淨水器正確觀念之示意圖

(一) 自來水已是最安全的飲用水來源

根據環保機關對自來水的直接供水抽驗結果，自來水水質符合飲用水水質標準比率高達99%以上，飲用水水質標準是可直接飲用的水質國家標準，能符合飲用水水質標準的飲水就是在安全衛生上可被接受的飲用水，因此，自來水直接供水已是

安全飲用水。再者，國人習慣飲用煮沸後的開水，因煮沸有殺菌及蒸發作用，對於國外質疑自來水有梨形鞭毛蟲及隱孢子蟲等致病性原蟲及揮發性環境荷爾蒙物質的風險問題及威脅，亦能降到最低，因此，自來水相較於未經定期檢驗及妥善處理的的地下水、井水、泉水等非自來水是最安全的飲用水來源。

（二）間接供水應預防用水設備水質污染

自來水的直接供水合格率高達99%以上，但間接供水的不合格率均在三成以上，顯示自來水在進入自來水用戶設備後，水質就遭受污染，根據調查顯示，其水質污染係發生在自來水事業單位供應的自來水經送到用戶後，由於用戶之用水設備設置位置不當、功能構造不足、操作使用不良、維護管理不善等因素造成，其中設置位置不當主要係蓄水池埋設土壤層或大樓基礎層，因為無法檢查漏水裂縫情形，且直接接觸土壤增加污水流入或入滲的機會，尤其是在結構不佳又地震頻繁的情形下，遭致污染的機會很高。

至於功能構造不足係指未設人孔突緣，讓污水或雨水直接流入水池或水塔中，在通氣口、溢流口及排放口未設置防蟲網等，均增加水質遭受污染的機會。而操作使用不良則是針對抽取其他不明水源的非自來水，例如地下水或井水等，貯存在水池、水塔，使原衛生安全的自來水混合未經處理的不明水源，水質因此惡化。維護管理不善則是因為未定期清洗水池或水塔底部的沉澱物，或清洗方式不當，殘留清洗物質於水池或水塔中，亦會使水質受到污染。

目前，大樓、公寓林立，間接供水使用的機會增加，因此，自來水遭受二次污染的機會隨之增加，要確保使用前水質衛生，應減少間接供水模式，如無法避免間接供水，用水設備宜避免前述污染機會。

（三）認識水質狀況選擇適當的淨水器種類及功能

目前淨水器的種類很多，包括過濾功能的濾水器、吸附功能的活性碳、去除水質硬度的軟水器、有殺菌作用的紫外線燈、加熱煮沸或臭氧生成器等，功能特性不同，處理污染物的能力也有差異，購買成本、操作及維護費用等亦不相同，購置前應針對供水方式、使用需求及限制，選擇適合的淨水器。爰將常見淨水器功能及使用時機說明如下。

1.軟水器

軟水器是利用樹脂中之陽離子（通常是鈉離子）交換去除水中造成硬度物質白色碳酸鹽沈澱物（即俗稱的茶垢），如鈣、鎂、鐵、錳離子等，達到軟化硬水的

目的。由於離子交換樹脂軟水器主要是以去除水中硬度為主，因此對於自來水中硬度比較高，常出現茶垢的地區，例如南部地區，比較適用。而台北市水質已屬軟水者，即無須使用軟水器。

2.活性碳過濾器

活性碳濾水器是裝有纖維狀、粒狀或粉狀活性碳的過濾器，因為活性碳係屬多孔性的結構，表面積很大，因此可提供許多污染物吸附停留在表面上。其主要用於去除色度及臭味物質，而活性碳濾水器亦並非萬能，例如對水中陰離子型態的污染物，如硝酸鹽則無顯著去除效果，且細菌可附著於活性碳顆粒表面，生長成生物膜，反而造成濾心中細菌數增加的情形。活性碳濾水器最佳使用時機是在消毒水味重及臭味等有機物含量高的地區，例如南部地區及外島澎湖地區。

3.逆滲透（RO）淨水器

家庭用逆滲透淨水器一般包括2或3個前置過濾器濾心（一般為不織布濾心及活性碳濾心）及逆滲透膜。其中，不織布濾心以機械阻截為處理機制，用以去除水中泥、砂等雜質顆粒；活性碳濾心以吸附為處理機制，用於去除水中有機物、臭味分子及氯等；逆滲透膜利用半透膜的原理，施加壓力使原水流過半透膜通到清水端，而將雜質留在膜的另一邊，隨廢液流掉，其可去除大多數水中溶解性的雜質。而逆滲透（RO）淨水器雖可去除大多數物質，但因半透膜材質差異很大，對細菌及濾過性病毒並無法去除，且由儲水桶至出水水龍頭端為最常受微生物污染的位置，因此有廠商加裝了紫外線殺菌燈，以避免病原微生物污染。

4.蒸餾水製造機

蒸餾水製造機主要是利用加熱將水蒸發後再凝結的處理機制，去除水中雜質且有殺菌作用。以蒸發為機制，故水中沸點比水高的污染物，例如重金屬、農藥及陰、陽離子及溶解性固體等皆會留在蒸餾水製造機內部，不會隨蒸餾水進到收集桶中，但沸點比水低的揮發性有機物，例如三鹵甲烷等，可能會隨著蒸餾水進到收集桶中。由於使用煮沸、冷凝的原理，其電力消耗往往比較高，且產水速率算是比較慢的。

（四）淨水器設置後應定期清洗維護

市面上出售的淨水器，通常是由數種不同單元組合而成的系統，購置淨水器時應找具有完善操作及維護手冊及良好售後服務的淨水器廠商，並依照操作及維護手冊進行維護管理，才能確保處理後的水質安全衛生。

在新使用的濾心型淨水器或淨水單元時（包括活性碳淨水器及陽離子交換樹脂軟水器）應先使用清水浸泡過至少15分鐘

以上，或以清水沖洗，以去除濾心中之雜質；對逆滲透淨水系統而言，其濾心及逆滲透膜各約需使用20公升左右的水沖洗，以去除碳粒及逆滲透膜保存液。

至於自行更換濾心時，亦必須注意取出濾心後，放置濾心的圓柱筒也必須清洗，以免泥砂的累積。而濾心的更換頻率，通常可由廠商提供的操作維護手冊中得知，但必須注意通常廠商所用的水質條件及產水量是在標準的狀況下，若由肉眼判斷濾心已嚴重變成土黃色時，亦應考慮更換。

部分類型的淨水器，例如蒸餾水製造機，必須定期清洗，以維持良好的操作狀況。蒸餾水製造機在經過一段時間的使用後，必須將附著在不鏽鋼鍋底部及四周的沈積物、水垢等清洗乾淨，以增加加熱效率，並避免處理效果降低。另離子交換樹脂軟水器有一定的離子交換容量，當使用一段時間後，離子交換的有效容量就會飽和，此時，軟水器非但沒有處理效果，而且可能洗出軟水器交換柱內的雜質，使濾出水水質更髒，因此，使用離子交換樹脂軟水器應注意定期再生、清洗等維護的需求。

（五）對於機能性淨水器應三思而行

市面上機能性的淨水器，並非訴求淨水功能，而是強調具有特殊療效的醫療功能，例如，電解水機，活水機、礦泉水機等，這些設備除具有傳統濾水器的過濾及吸附功能外，在處理流程的末端增加並無淨水效能的單元，例如，電解、紅外線或特殊材質濾料麥飯石等，以製造所謂鹼性水可以治病、水分子團較小含氧量較高的活性水或宣稱含豐富天然礦物質的水質等，以上除電解水機在日本為其厚生省認定為醫療器材管理外，其他尚無研究文獻證實具有販售者所稱的特殊功能，然而即使是電解水機在國內的管理，因涉及醫療效能，衛生署以違反藥事法規定處分。八十七年衛生單位即依據藥事法及食品衛生管理法規定，處分十一件此類宣稱有療效的電解水機。

目前國內在販售的機能性淨水器強調的原理均值得商榷，例如強調含氧量較高的紅外線含氧水為例，宣稱可以提高人體含氧量，但是根據亨利定律氧氣在水中有固定的溶解濃度，例如在攝氏20度時氧氣在水中的溶解濃度約在9.2mg/L（重量比約0.00092%），溶氧濃度主要受到溫度的影響，溫度愈高溶氧濃度愈低，但均遠低於大氣中含氧濃度（重量比約21%），故人體所需氧氣主要仍是經呼吸系統進入人體，而非透過飲水取得的氧氣，因此，販售機能性淨水器者標榜透過飲水增加人體的含氧量是不符學理的，而其他機能性淨水器亦有類似不合學理的情形。因此對

於選購這些機能性淨水器應該三思而行，尤其強調可以治病者，更應該要建立正確「喝水無法治病，生病應及早就醫」的觀念。

六、結語

台灣地區自來水受環保署主管的飲用水管理條例把關，不但取用的原水必須符合飲用水水源水質標準，且水質處理藥劑的使用亦受嚴格的規範，處理後供使用的水質尚需符合飲用水水質標準。根據環保機關民國八十五年至民國八十七年抽驗檢測的結果，合格率已逐漸提昇至99%以上，因此，就自來水的衛生安全性而言，應已無庸置疑，但國人使用淨水器的比率卻從民國八十四年的30%增加至民國八十八年的41.3%，使用的動機以健康為訴求的比例亦逐年增加，尤其是機能性的淨水器在近幾年經由直銷的方式銷售，逐漸增加市場佔有率，國人應該建立正確的飲用水認知，信任自來水品質，杜絕自來水間接供水的二次污染，無須設置複雜或強調具有特殊機能性療效的淨水器，如要設置淨水器應依照水質特性，以處理流程簡單且清洗維護容易的淨水器為主要考量，並依照維護手冊定期清洗維護，避免淨水設備成為自來水水質之污染源，此外，如淨水器無法確保有效的殺菌功能，則建議應煮沸後再行飲用，避免直接飲用，確保飲用水安全。

七、參考文獻

1. 行政院環境保護署，安全飲用水手冊（第二版），民國八十七年十二月。
2. 行政院環境保護署，市售飲用水設備（含磁化水、電解水、礦泉水生成器及自然回歸水等）處理後水質變化之探討及其維護清洗頻率之研訂，民國八十八年六月。
3. 台灣省環境保設處，民眾常用淨（熱）水設備調查及有效淨水方法之研究，民國 八十四年六月。
4. 台北自來水事業處，台北市各級學校用水設備及水質調查，民國八十七年六月。
5. 台北自來水事業處，輔導自來水用戶水池水塔清洗業之研究，民國七十五年十月。
6. 中央營建技術顧問研究社，建築物水塔水池對水質安全改進研究，羅美棧，民國八十年六月。
7. 行政院環境保設署，間接用水有效管理之研究，民國八十年六月。
8. 行政院環境保設署，飲用水管理條例，民國八十七年三月。
9. 行政院環境保設署環境衛生及毒物管理處，飲用水管理網頁（http：//www.epa.gov.tw/j/drinkwater），民國八十九年二月。

自來水中顆粒分析儀器之使用及校正

甘其銓*、黃志彬**、吳宏基***

前言

由於國內工商業的快速成長以及國民生活品質提高，對於工業與民生用水的量與質也相對地提高。環保署在新修訂的飲用水管理條例中，對飲用水水質作更清楚與嚴格的規定，飲用水的濁度限值於今年12月1日，將由現行的4NTU限值降至2NTU。早在1989年，美國爲了將微生物污染表面水供水系統的風險降至最低，即對清水濁度訂定特殊且複雜之規定，在主要飲用水標準中（Primary Drinking Water Standards）中將濁度列爲操作標準（Performance Standards），並置於表面水處理法則（Surface Water Treatment Rule）中予以規範。對於經不同淨水程序處理後之水質濁度要求不甚相同，其重點如下所述。

（1） 對經傳統過濾或直接過濾水質，規定其95%以上水樣濁度值需小於0.5NTU。若爲慢砂濾或矽藻土過濾則爲小於1NTU。

（2） 對於處理完畢之清水濁度月平均標準值爲1NTU以下。

即使如此，在0.5NTU的清水限值之下，在美國境內依舊發生了梨形鞭毛蟲（*Giardia*）及隱孢子蟲（*Cryptosporidium*）的感染事件，因此USEPA 更在1999年修訂出過渡性加強表面水處理法則（Interim Enhanced Surface Water Treatment Rule），規定其95%以上水樣濁度值需小於0.3NTU。

而在日本，雖然其濁度限值爲2NTU，但由於民眾對水質要求程度日趨嚴格，因此其主管給水與環境衛生之相關部門又訂定了攸關舒適度之目標值（Target Values，非法規上之限值），希望給水單位以此爲目標繼續朝提昇水質而努力，對於濁度則希望在用戶水龍頭出水測值勿超過1NTU，清水應小於0.1NTU。

由世界各國法規研訂的趨勢，可以發現在進入新世紀的同時，低濁、質優的飲

* 國立交通大學環境工程研究所博士候選人
** 國立交通大學環境工程研究所教授
*** 國立交通大學環境工程研究所碩士班研究生

用水是必需的，給水單位也勢必提升其淨水效能以符合要求。面對此一低濁度清水的要求，一套準確且快速的水質監測方法是不可或缺的，因此水中顆粒測量技術的提昇是相當重要。有鑑於此，筆者茲將傳統的濁度量測以及近年來廣受討論的顆粒計數技術、顆粒粒徑分佈分析等技術做一回顧，以期對自來水處理中顆粒檢測技術的提昇有所幫助。

濁度量測的發展與應用

濁度量測方法可概分為兩種，一為儀器分析，乃利用濁度粒子散射光，其光源置於底部，而在90°角利用光感測器偵測散射光，使用的光源通常為鎢絲燈管，其光波長（可見光）為400-600nm（0.4-0.6μm），由此方法得到的稱為散射濁度單位（Nephelometric Turbidity Units, NTU）。另一種為肉眼觀察，是比較濁度所引起光線的阻擋，儀器本身包含三部份，有刻度的玻璃管、支持架以及蠟燭，量測方法為玻璃管置於蠟燭上方，加入部份樣品，直到蠟燭的外緣不能辨別，直接由有刻度的玻璃管上讀得濁度，由此方法得到的，稱之為傑克森濁度單位（Jackson Turbidity Units, JTU）。就今日而言，通常使用儀器分析方法來進行濁度量測。此外，因濁度計通常以Formazine顆粒溶液來進行校正，得到之懸浮液濁度單位被稱之為FNU（Formazine Nephelometric Units），以區別天然濁度顆粒與Formazine顆粒所產生濁度。

濁度的量測具有操作方便、價格便宜、操作者容易瞭解以及具代表性的優點，因此在淨水操作中，濁度為一重要的指標，目前筆者所接觸的淨水場中，連續流的濁度計更儼然已成廠內水質監測標準配備，而在許多研究之中，也利用濁度的量測以評估混凝、膠凝的成效，或沈澱、過濾的良窳。然而誠如前言所述，由於飲用水品質的提昇，低濁水的生產是未來必然的趨勢，於此同時，濁度計對於低濁水的量測是否依然準確、穩定以及代表意義是否有所變化，近年來也廣受討論。

一般來說，人眼能分辨10NTU與1NTU之差異，但無法分辨1NTU與0.1NTU間之差異，同理，儀器也有其最高及最低之偵測極限。就目前市面現有的濁度計而言，測量0.1NTU水樣較1NTU之水樣更困難，這是因為低濁度之測量可能因各種因素產生高估或低估之現象，如濁度計內之灰塵便會產生散射，而產生大於0.04NTU的誤差[3]，而不乾淨的採樣瓶會造成0.1NTU濁度的誤差，除此之外，光源之衰減、樣品瓶表面之光學性質或濁度計內之清潔均會產生一定之誤差。而且水樣中存有氣泡亦會增加濁度，故有些研究建議量測濁度前需經超音波振盪一至二

分鐘以去除水樣中之氣泡，但超音波振盪卻可能改變顆粒大小或使原附著在瓶壁上之顆粒掉落而增加濁度。水樣之性質亦很重要，水樣中含有沈澱之顆粒或有色物質會對濁度產生影響。

對淨水處理而言，線上型濁度計較好用但並非無缺點，由於其檢量線通常由一點製成，並非如批次式濁度計由四或五點製成，故時常校正檢量線及適當保養儀器可降低誤差，而線上型濁度計因不需採樣，所以可減少如樣品瓶之清潔、樣品保存時間與樣品狀況等誤差情形發生，但線上型濁度計亦會因採樣管線中之氣泡等採樣或輸送之問題而產生誤差，且不同儀器間會因採樣量大小、流量與採樣頻率不同而有不同之數據，所以同一水廠最好使用同一廠牌的濁度計。

在Huber以及Frost（I998）的研究中指出[4]，影響濁度的因子包含了顆粒濃度、顆粒粒徑、感測器量測角度、光源波長以及顆粒表面的光學特性等。他們利用0.2μm濾膜過濾所得的濾水進行濁度計方法偵測極限（Zero signal）的量測，發現Zero signal受下列因子的影響：

（1） 水分子本身因熱運動而造成的光散射（molecular scattering）

（2）水中可能存在的微量顆粒

（3）儀器本身的雜訊

並指出利用550nm波長的光源，其偵測極限爲20±2mFNU，而利用860nm波長的光源，其偵測極限爲8±1mFNU，因此利用較高波長可獲的較佳的偵測極限；然而對於細微顆粒（小於1μm）而言，以55Onm爲光源的偵測方式卻較860nm有著較大的變化量，即代表以550nm爲光源對於細微顆粒有較高的敏感度。總和以上所言，在量測低濁樣品時，應考慮其偵測範圍及偵測對象以選擇最適當的儀器規格及操作條件。

由於濁度計光源爲可見光，因此濁度計對於粒徑範圍0.1～1μm的顆粒會較爲敏感，而對於其他粒徑大小之顆粒其靈敏度則較差，但仍有其偵測效果，所以使用濁度量測方式是可以對水樣中大大小小的懸浮顆粒進行整體性的觀察，但就另一角度而言，利用濁度量測無法對特定粒徑之顆粒數量進行定量。近年來，由於原生動物致病事件的爆發，因此在自然水體中的原蟲囊孢子的檢測也備受重視，由於隱孢子蟲其粒徑範圍在5～10μm，而梨形鞭毛蟲其粒徑範圍在10～15μm，容易穿透濾池而進入清水系統，這也是即使在0.5NTU的清水限值之下，美國境內依然會發生流行病的原因。爲此，近年來除了原蟲檢測技術的積極開發之外，水中顆粒計數技術的研究也是蓬勃發展。

顆粒計數技術的發展與應用

顆粒檢測技術可以對水中顆粒進行粒徑與數量的分析，著重顆粒粒徑分佈特性的分析，可使用粒徑分佈分析儀（Particle Sizer）來進行量測，而著重於顆粒數量的分析，則使用顆粒計數器（Particle Counter）較為合適。本文的重點在於特定粒徑顆粒數量的分析，因此著重於顆粒計數器的討論。

目前市面上有許多廠牌的顆粒計數器，其內部構造、偵測原理、偵測範圍、顆粒濃度限制以及樣品流速也多有所差異。一般而言，就其偵測原理而言，可概分為以電學、光學原理為基礎。以電學原理為基礎的顆粒計數器，以庫爾特計數器（Coulter Counter）為代表，原本的設計主要是針對血球及細胞計數而開發的，其儀器構造簡圖如圖1所示，將粒子懸浮於液體中且被迫流過一小孔，在小孔的兩側都有偵測電極，當顆粒流過小孔時，將改變電極間的電阻，產生了短時間的電壓脈動，其電壓大小與顆粒大小成正比，利用此一原理，可對水中的顆粒大小進行量測及計數。但庫爾特計數器在使用中，則因受限於導電度的限制，需對溶液的離子強度進行調整，此外，儀器對於含水率較高的顆粒，亦有偵測誤差之虞。

以光學原理為基礎的顆粒計數器主要可分為散光（light scattering）或遮光（light blockage）兩類偵測原理，其適用範圍不同，一般來講，以2μm為分界，

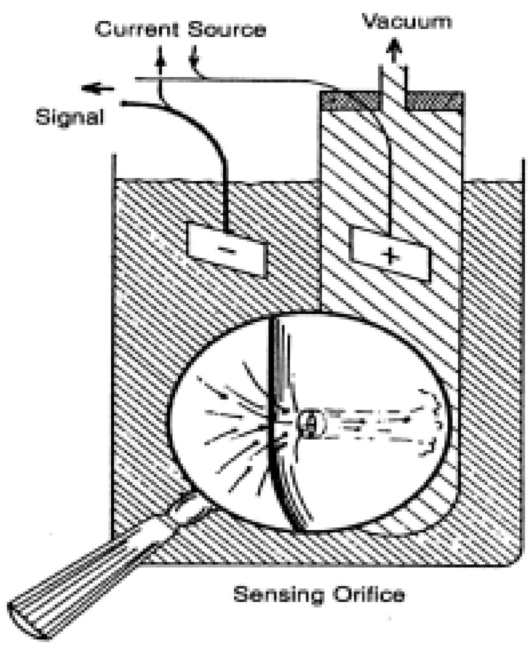


圖1庫爾特顆粒計數器偵測原理

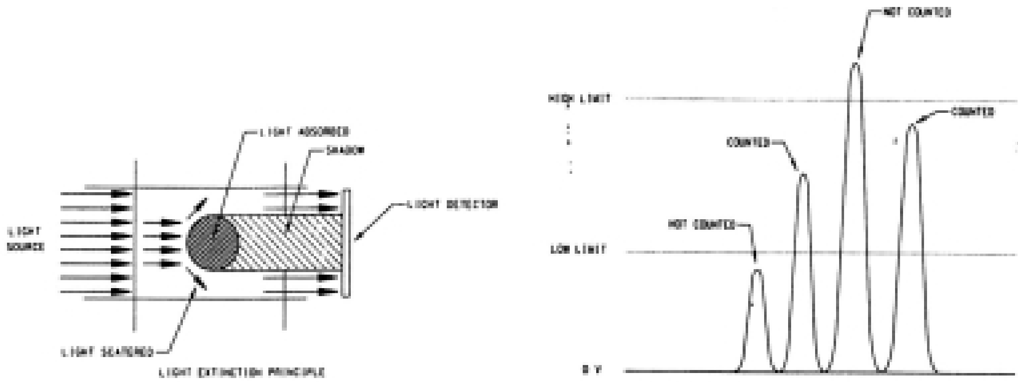


圖2（a）顆粒計數器遮光原理（b）顆粒計數器有效偵測範圍

小於2μm的顆粒由於顆粒粒徑小，因此需要強度較高的光源，並且適用以散射效應爲偵測基礎的計數器；而大於2μm的顆粒，適用以光遮蔽效應爲偵測基礎的計數器，光源強度的要求也可較低。在本文之中，由於相關的研究皆以大於2μm的顆粒爲監測對象，採用的計數器也都以遮光原理爲主。遮光原理的計數器如圖2（a）所示，使用穩定性高的雷射光源，利用顆粒大小不同所產生不同的遮蔽面積，可轉換成不同的電壓輸出，如圖2（b）所示，而當顆粒大小在顆粒計數器偵測的上下限之間皆爲儀器有效的偵測範圍，在微粒濃度未超過上限的前提下，可利用顆粒計數技術有效偵測微粒的數量，然而當顆粒粒徑大於或低於其限值，計數器則無法對此顆粒進行分析。

顆粒計數器目前主要的應用爲淨水廠處理水水質監測與淨水程序改善的評估工具。在Hargesheimer等人[1]的研究之中指出使用顆粒計數器監測過濾單元的處理水，對於穿透過濾池微粒數量能有效地立即偵測，可以更準確地提供過濾池處理水的水質狀況。而且在低濁度的範圍內顆粒計數器靈敏度優於濁度計，在其研究之中指出，在濾程中當濁度計的濁度並沒有明顯的反應時，所使用的2～15μm顆粒計數數量已經有明顯的差異。

Ollier等人[7]在硫酸鋁不同加藥量下，利用顆粒計數技術比較處理水中顆粒徑範圍爲5-15μm致病性原生動物隱孢子蟲的微粒數目，發現在微過量混凝加藥的情況下，處理水中的隱孢子蟲微粒數目可減至最小，過量與最佳加藥次之，不足量加藥的處理效果最差。此外美國自來水協會[6]也利用兩年的時間（1994-1996）對美國境內一百多個淨水場進行原水、沈澱池、過濾池出流水水中2～15μm顆粒數

目進行分析，其主要的研究成果及發現有：

（1）　統計歸納出各處理單元程序中顆粒數量等級，以及其對數去除率。

（2）　在一些特定的淨水場中，水中顆粒數目與微生物數量呈現高度相關。

（3）　原水中顆粒的數量是影響過濾池微粒去除效率的最大因素。

Mooyoung等人於1998年（5）以此技術去評估，他們將原水、分配渠、膠凝池（共三段）以及沈澱池中的水取樣並測定其顆粒數目，其中分爲2～5μm以及75～100μm兩種範圍，觀測其消長關係。理論上，在膠凝池中隨著膠凝階段的增加，小顆粒會愈少、大顆粒會愈多，然而卻發現有相反的趨勢，由此判斷在其操作上有其疏失。導致膠羽破碎，在其改採漸減膠凝（Taper flocculation）方式後，其膠凝效果即得到改善。此外，在其研究中也發現到在膠凝池進入沉澱池之渠道導流，由於水力結構設計不良，出流口截面過小，致使流速突增，導致膠羽破壞而減少沉澱效能，經過截面加大之後，沈澱池的處理效率也隨之提高。

使用顆粒計數器的注意事項

因此顆粒計數器除了可當成水質監測的應用儀器外，亦可積極地應用於淨水操作效能的提升。顆粒計數器由於製造技術的提升與量產，未來此類儀器將是價格越便宜且性能越佳，相信在未來於淨水程序中將會被普遍採用，因此一套完整且嚴謹的量測方法以及儀器校正技術是不可或缺的。在使用顆粒計數器時應注意下述因子的影響，在正常的操作之下，偵測數據不但具代表性，而儀器本身的壽命也會延長。

(1)儀器的廠牌、規格是否相同

不同的廠牌的規格不一定是相同的，即使是同一家廠牌，設計的規格、原理，也不盡相同，而這些會使我們的測量數據會有所出入，那就不能去做一個相對性的比較。所以Particle Counter缺少了規格上的統一，目前美國自來水協會則趨向採用本身所建議的儀器規格，來做一個規格統一。由於目前Particle Counter主要的偵測對象爲原生動物，其顆粒大小爲5～I5μm（梨形鞭毛蟲10～15μm，隱孢子蟲5～10μm），因此建議儀器的偵測的下限應在5μm以下，以提高5μm大小以上顆粒的偵測效率，不然顆粒大小爲5μm左右的量測其誤差會頗大。

(2)採樣方法是否正確

1. 不論是現場實驗，或採樣後送回實驗室的分析，採樣點是很重要的，如果在整個水樣中是不具代

表性的，那測量的數據便失去了意義。

2. 如果對於一個多孔性particle來做測量時，會因其結構較鬆散，流經cell時，若流速太高的話，會使顆粒破裂、變小，因此要用Particle Counter來測量的話，最好是經過濾後再來做測量，將會把顆粒破碎減到最小。

(3) 顆粒濃度是否過高

1. 當待測樣品濃度太高時，會造成樣品通過cell時，會有兩個較小的顆粒被誤判爲一個顆粒（雙重計算），而其粒徑也會被放大；或是一顆粒被另一顆粒擋住（遮蔽效應），導致顆粒計數減少，皆會造成偵測誤差，因此當樣品濃度超過儀器的濃度限制時，雙重計算和遮蔽效應發生機率就增加，此時需要稀釋水樣。
2. 在稀釋時，我們所採用的稀釋水要非常注意其水中的顆粒數，實驗室級的無顆粒水（Particle free water）是需要的，要是稀釋水中仍含有許多顆粒的話，那稀釋過後的水樣包括的不只是原水樣的顆粒。

(4) 樣品是否有污染

1. 樣品的污染可能來自於容器、空氣中懸浮顆粒、稀釋水，即使是小顆粒（小於2 μm），仍會對儀器偵測產生相當的影響，這些小顆粒會使光束變弱，造成顆粒數量、分佈的偵測結果不精準。
2. 在容器的使用上，盡量採用相同的瓶子，維持相同的系統誤差，或者是確實把瓶子清洗乾淨，研究[2]指出採用3種材質（HDPE高密度聚乙烯、flint glass、PTFE）的瓶子來裝待測樣品，結果顯示，經由超音波的震盪，其中以HDPE前後差距的顆粒計數最多。因此建議裝在flint glass、PTFE，誤差比較少、容器的污染也會減輕。

(5) 內含物是否適用儀器偵測原理

在遮蔽原理中，我們是假設待測物是接近於圓形的，所以可由投影面積，來判斷其直徑，進而將顆粒的大小分出。然而，如果待測顆粒是接近於長條狀的話，那測出來的粒徑就完全失去其意義了。因此對於我們所做的水樣應確認其顆粒的形狀是否適合儀器所採用的偵測原理。

顆粒計數器的校正

如果儀器沒經過校正的話，數値將不知是否準確，所以需要定期來校正。校正對於Particle Counter是相當重要的，因爲在顆粒計數的過程中，相當要求數據的精密性、準確性，如果不去進行校正的話，即使實驗上的注意事項都做到了，偵測結果還是因爲儀器本身的誤差而不能採用。底下爲本研究室已建立的Particle Counter校正程序中所需具備的設備及材料、校正流程及結果，一併提出與各位先進討論。

校正設備及材料

1. PSL標準顆粒（Polystyrene Latex Particle，聚苯乙烯乳膠球）：最初國際標準化組織（International Organization for Standardization）利用乾淨的化驗粉塵（air cleaner fine test dust, ACFTD）進行顆粒計數器的校正。然而國際水力協會（National Fluid Power Association, NFPA）則認爲液體顆粒計數器的校正可採用聚苯乙烯乳膠球（PSL）、化驗粉塵，但其校正懸浮液必須可追溯至國家級的標準。本研究室所採用的懸浮液校正品爲PSL（粒徑大小爲2、3、10 μm），爲DUKE公司所生產。
2. Particle Free Water（無顆粒水）：
   利用Millipore公司所生產之Milli-Q純水機所得的無顆粒水，再經過0.22以及0.45 μm（Millipak, Millipore）的濾膜過濾，水中0.2 μm以上的顆粒可被降至10 counts/ml以內。
3. 顆粒計數校正基準機台：
   利用日本Rion公司所生產之顆粒計數器（KL-20A, Flow Mode KZ-36），儀器本身的校正可追溯至日本國家標準。
4. 電壓偵測儀
   利用日本Textronix公司所生產之電壓偵測儀（TDS-340A），儀器本身的校正可追溯至工研院量測中心。
5. 電壓積分儀
   利用日本Rion公司所生產之電壓積分儀（Rion Pulse Height Analyzer, KH-02A），儀器本身的校正可追溯至工研院量測中心。

校正流程

儀器的配置如圖4所示，待校機台與校正基準機台採用串聯，待校機台置於後面，以避免污染校正基準機台，水樣的輸送則利用眞空吸引的方式，並且從待校機台的感測器電壓輸出點連線至電壓偵測儀與電壓積分儀。利用Particle Free Water配製適當濃度PSL的稀釋液（粒徑大小爲2、3、10 μm），以固定流速（100 ml/min）流經待校機台與校正基準機台，並不回流水樣直接將其廢棄以維持水樣中顆粒數目的穩定。

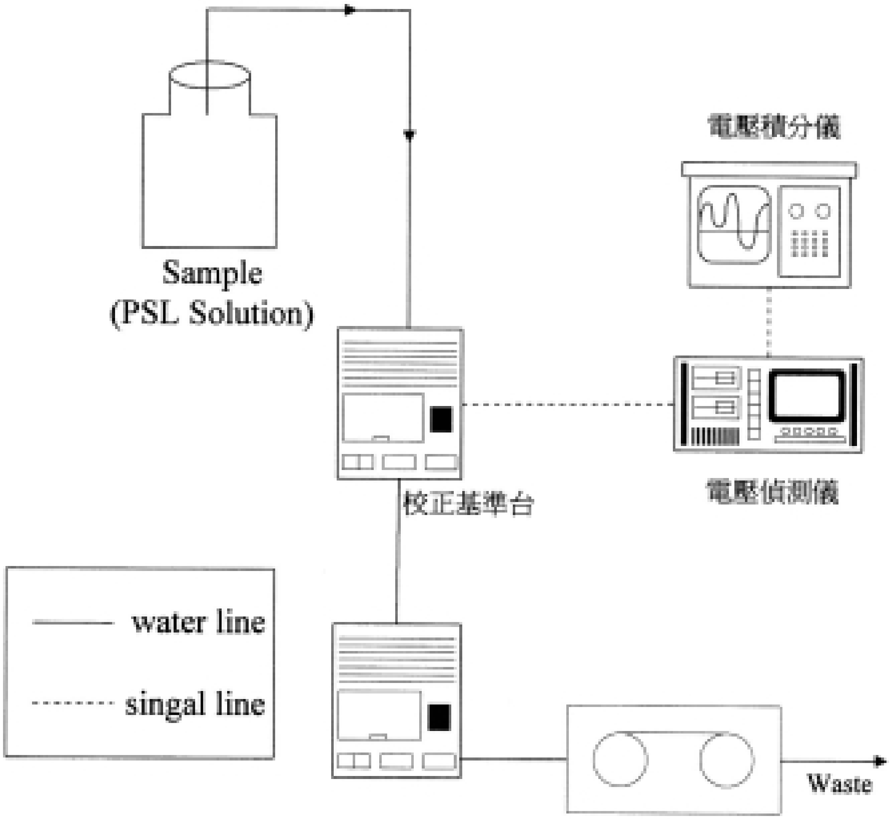


圖4 顆粒計數器校正儀器配置

結果與討論

由於顆粒計數器是藉由利用顆粒大小不同所產生不同的遮蔽面積，可轉換成不同的電壓輸出，以電壓/時間來做圖的話，每通過一個顆粒，就會由其粒徑的大小不同產生一個不同的脈動電壓。而儀器對於特定大小的顆粒所得到相對應的電壓值，可作爲校正的基準。顆粒計數器在出廠的時候，皆會附上一校正報告，內容包含儀器型號、校正日期、校正者以及特定粒徑顆粒與其相對應電壓輸出值，表1爲本研究室已購置的顆粒計數器（Met-One, WGS267）之校正參考。

因此在PSL溶液中，稀釋特定粒徑的顆粒至適當濃度（30%-60%的儀器偵測上限），由計數器所輸出的電壓訊號送至電壓偵測儀，再送至電壓積分儀，此部分可對於顆粒計數器偵測顆粒粒徑大小進行校正，將許多電壓訊號積分，可得一高斯分佈圖，如圖5所示，爲利用顆粒粒徑爲10 μm所得之電壓分佈圖。結果顯示，利用

表1 顆粒大小與其相對應之輸出電壓

顆粒大小	輸出電壓
2 μm	32 mv
3 μm	47 mv
5 μm	119 mv
8 μm	215 mv
10 μm	323 mv
15 μm	616 mv

10μm所得之輸出電壓爲317mv，與原設定值323mv有些微偏差，需對感測器進行微調。而透過高斯分佈的統計分析，可由其標準偏差判斷此顆粒計數器對顆粒粒徑的解析度是否良好，如圖6所示，標準偏差小（Peak越集中）表示解析度越好，若標準偏差大（Peak分佈太寬），則表示顆粒計數器對於粒徑大小的判斷不良，相同粒徑的顆粒會有不同的電壓偵測。

而在顆粒數目的準確性評估方面，則是利用待校機台與基準機台的輸出值進行比較，結果如表2所示。由實驗結果可知，在Met-One顆粒計數器的偵測粒徑範圍（2～15μm），其最小偵測底限爲2μm，因此此一頻道（2～3μm）的偵測效率則較差，根據實驗的結果平均偵測效率

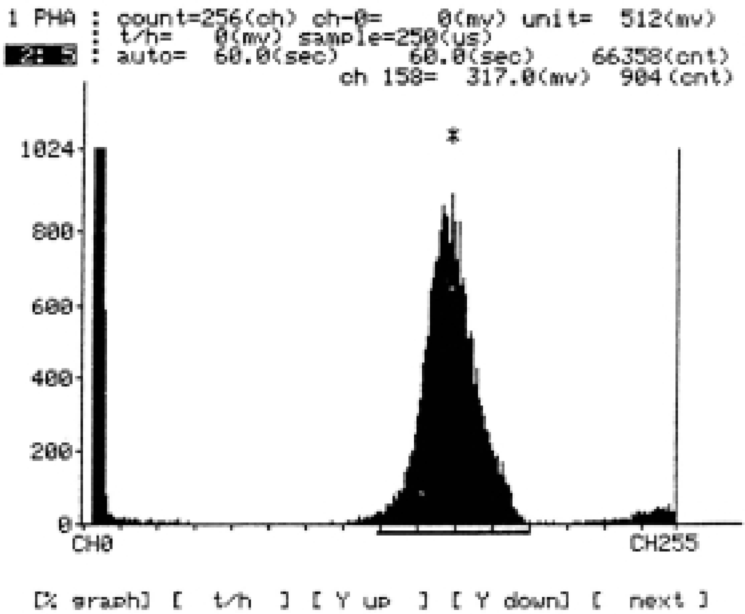


圖5 電壓積分輸出（顆粒大小爲10μm）

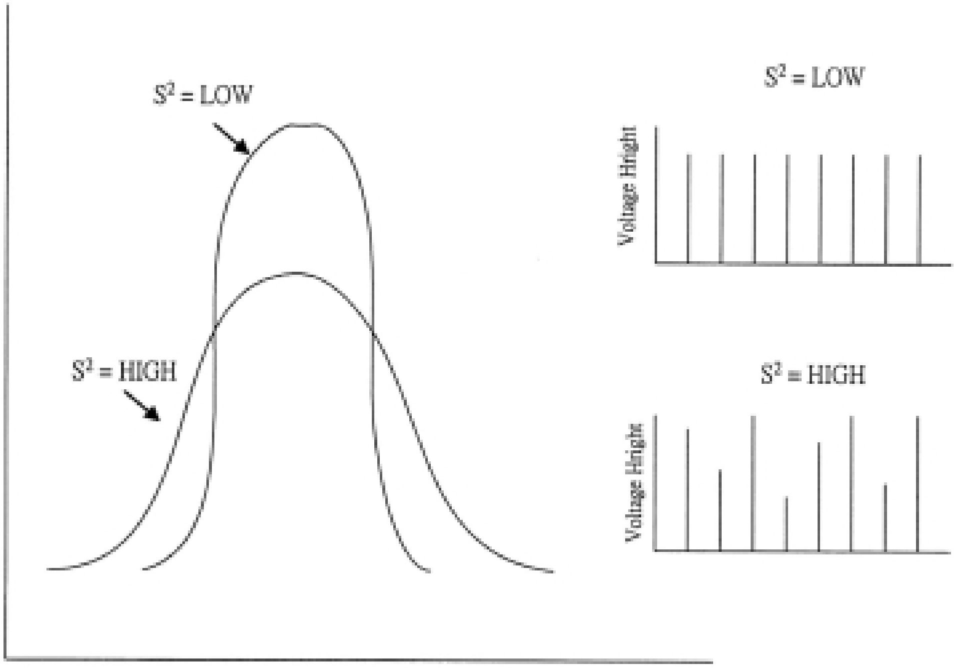


圖6 電壓高斯分佈（可由標準偏差判斷解析度）

爲21.1%，然而當顆粒大小爲3μm以上時，其偵測效率就可提升至100%左右，表示顆粒計數器對於3μm以上顆粒數目的偵測極爲準確。

結論

由此可見，濁度測量與微粒計數技術未來在淨水事業上各有其應用之處。低濁度水樣量測技術的提升將是未來重要的課題，除了對儀器本身性能進行改善，在人員操作技巧以及觀念上也應有所改變，以獲得正確的濁度數據。顆粒計數器於淨水的應用上，除了可扮演淨水場內水質監測儀器的角色之外，更可積極地應用於淨水操作效能提升的工作中，由於製造技術的提升與量產，未來此類儀器將是價格越便

表2 Met-One WGS267 對於不同粒徑之PSL的偵測效率

顆粒粒徑	偵測效率（待校機台測值/基準機台測值）	偵測效率（待校機台測值/基準機台測值）	偵測效率（待校機台測值/基準機台測值）	平均偵測效率
2μm	21.3%	19.6%	22.5%	21.1%
3μm	100.1%	99.9%	100.2%	100.1%
10μm	100.0%	99.9%	100.0%	100%

宜但性能越佳，相信在可預見的未來於淨水程序中將會被普遍採用，因此一套完整且嚴謹的量測方法以及儀器校正技術是不可或缺的。

參考文獻

（1） Hargesheimer E. E. and Lewis C. M.(1995)*A Practical Guide to On-Line Particle Counting.* Denver, CO: AWWA Research Foundation.

（2） Hargesheimer E.E., C. M. Lewis and C. M. Yentsch (1992) *Evaluation of Particle Counting as a Measure of Treatment Plant Performance.* Denver, CO: AWWA Research Foundation.

（3） Hart V.S., C. E. Johnson and D. R. Letterman (1992). An Analysis of Low-Level Turbidity Measurements. *JAWWA.*, **84**, 40-45.

（4） Huber E. and Frost M.(1998) Light scattering by small particles. *J. Water SRT-Aqua.*, 47, 87-94.

（5） Mooyoung, H., Y. Chung and H. Lee(1999) Experience of using particle counters for the evaluation of flocculation process in Korea. *Proceedings of Particle Measurement and Characterization in Drinking Water Treatment*, AWWA, Nashville, Tennessee, U.S.A., May. 28-30.

（6） McTigue N. E., M. LeChevallier and H. Arora (1998) *National Assessment of Particle Removal by Filtration..* Denver, CO: AWWA Research Foundation.

（7） Ollier, L. L., R. J. Miltner. and R. S. Summers(1997) Microbial and particulate control under conventional and enhanced coagulation. *AWWA. WQTC.*, November 9-12

（8） VanGelder A. M., Z. K. Chowdhury and D. F. Lawler(1999). Conscientious particle counting. *JAWWA.*, 91,64-76

探討自來水事業所面臨的困難問題

江慶鑫*

壹、前言

陽光、空氣與水是人類賴以生存的三大要素，由大自然免費供應，似乎「取之不盡，用之不竭」。其實不然，如陽光也有照不到的地方，所以有些地方的人民為爭取日照權而抗爭。水由於受降雨時空因素所影響，及水源受污染日益嚴重，使可利用的水源日益減少，另一方面，由於人口增加，工商發達，生活水平提高，用水需求不斷增加，一遇到乾旱，就發生嚴重缺水。

在上下水道尚未施設以前，環境衛生條件十分惡劣，民眾生命、生活均受到嚴重威脅，必須改善飲用水，而今人類生活水準日漸提高，自來水為日常生活中不可一日或缺的飲用水，且工商業發展以後，自來水需求量不斷增加，其重要性亦日益提高。但是由於現今水資源逐漸短缺，使自來水事業面臨種種困難問題，必須迅予解決，否則勢將影響自來水事業的發展。

貳、認識自來水不是「自來」的水

何謂「自來水」？依照現行自來水法第十六條「本法所稱自來水係指以水管及其他設施導引供應合於衛生之公共給水，也就是用水管導引合於衛生，適於飲、用之水，因為一開水栓就能源源不絕使用，所以一般稱為「自來水」。此一名詞在稱呼上，字典上均沿用已久，通俗易解，為求大眾化，至今仍沿用之，其實自來水並不是「自來」的水。

由自來水法的定義可知為持續正常供應自來水，必須確保源源不絕的水源以取得足夠的原水（原料），為處理生產合於衛生適於飲用的清水（產品），必須施設具有混合、沈澱、過濾及消毒等功能的淨水設備（工廠）。為導引供應自來水，必須施設導水、輸水及配水管等設備（送配系統）。依現行自來水法第四十三條規定，自來水應有左列必要之設備：

* 現任水資源局顧問

一、取水設備

二、貯水設備

三、導水設備

四、淨水設備

五、送水設備

六、配水設備

又爲供應合於衛生適於飲用之自來水，現行自來水法第十條規定，自來水事業所供應之自來水水質，應以清澈、無色、無臭、無味、酸鹼度適當，不含有超過容許量之化合物、微生物、礦物質及放射性物質爲準。其詳細規定由省（市）主管機關訂定公告報中央主管機關核備。也就是自來水淨水廠處理生產的清水，必須符合之管理機關所規定的水質標準(品管)。

由以上說明可知自來水與一般工業產品一樣，要有充足質優的原水（原料），具有必要的生產設備，嚴格的品管，才能生產合格規定的清水（成品），並用輸配系統將成品送到家。

參、自來水的特性

一、負有提高普及率，解決偏遠地區民眾飲用水問題之政策性任務，無法顧及投資效益。

二、無自行選擇供應市場之自由。

三、一旦開始供水，必須繼續維持，不得任意間斷或停業。

四、投資大，固定成本高，設備利用率低，人工成本高。

五、普及率愈高，單位成本愈大。

六、應以企業方式經營但水便不能反映成本。

肆、目前自來水事業所面臨的困難問題

一、水源缺乏問題

通常水資源是指該地區的降雨，河川逕流及地下水，但是台灣地區由於中央山脈延伸南北，河川短促，坡陡流急，降雨時間集中於每年五～十月間之豐水期，降雨地點北多南少，所以台灣年降雨量雖有二千五百餘公厘，但其中的八成逕流均流入大海，而地下水已超抽使地層沈陷必須嚴加管制，致水資源之開發日益困難，另一方面因工商業不斷發展，人民生活水準日漸提高，用水需求量不斷增加，是屬於水資源嚴重缺乏的國家。水源既缺乏，自然會影響自來水的生產，則供水越來越困難。

二、水源水質受污染問題

（一）隨著環境污染嚴重化，水源水質受污染問題日趨嚴重，水質惡劣，不但

增加處理成本，也影響用戶心理，喪失信賴感，致使自來水事業在營運上發生危機。那麼應如何解決此問題呢？政府爲確保水源水質安全，曾於55年11月17日訂頒「自來水法」，61年11月10日訂頒並於86年5月21日修訂「飲用水管理條例」，63年7月11日訂頒80年6月5日修訂「水污染防治法」，72年2月18日修訂「水利法」，86年8月30日修訂「放流水標準」，87年1月21日修訂「地面水體分類及水質標準」，台灣省政府亦於79年8月29日修訂「台灣省河川管理規則」等法令付諸實施中。

（二）依據現行自來水法第十一條規定「……可劃定公布水源水質水量保護區，禁止在該區域內一切貽害水質與水量之行爲」，依69年7月30日公布之同法台灣省施行細則第九條規定所稱貽害水質與水量之行爲如下：

1. 濫伐林木或濫墾土地。
2. 變更河道影響水之自淨能力。
3. 挖取砂石。
4. 排放超過規定標準之工礦廢水。
5. 排放超過規定標準之家庭污水。
6. 傾倒、施放或棄置垃圾、灰渣、糞尿、廢油、廢化學品、動物屍骸及其他已失原效或足以污染環境衛生之固體或液狀廢棄物。
7. 飼養家畜家禽。
8. 在取水地點游泳或洗滌衣物。
9. 噴灑農藥或洗刷裝置農藥之容器及用具。
10. 使用毒品捕殺水生物。
11. 其他足以貽害水質水量之行爲。

同法台北市行細則第五條亦有類同之規定。

（三）飲用水管理條例第五條規定劃定公布飲用水水源水質保護區並列舉十二項禁止污染水質之行爲，應由主管機關管制如下：

1. 非法砍伐林木或開墾土地。
2. 工業區之開發或污染性工廠之設立。
3. 核能及其他能源之開發及放射性核廢料儲存或處理場所之興建。
4. 傾倒、施放或棄置垃圾、灰渣、土石、污泥、糞尿、廢油、廢化學品、動物屍骸或其他足以污染水源之物品。
5. 以營利爲目的之飼養家畜家禽。
6. 新社區之開發，但原住民部落因人口自然增加形成之社區不在此限。
7. 高爾夫球場之興修建或擴建。
8. 土石採取及採礦。
9. 規模及範圍達應實施環境評估之鐵路，大眾捷運系統、港灣及機

場之開發。

10. 河道改變足以影響水質自淨能力，且未經主管機關及目的事業主管機關同意者。

11. 道路及運動場地之開發，未經主管機關及目的事業立管機關同意者。

12.其他經中央主管機關公告禁止之行為。

（四）自來水法施行細則及飲用水管理條例所列舉禁止污染水源水質行為，大部分為農牧、工業廢水，家庭污水，垃圾廢棄物滲出水及其他污染環境之行為，應分別由農、工業，污水下水道及環保主管機關管制，使所有排放入水庫或河川之水都能符合規定之放流水標準，最好提高污水下水道普及率，連接污水下水道系統排放以避免污染水源，水資源主管機關為有效利用水資源，似有責任建議行政院訂定政策，分別督促上列各主管機關逐年編列預算積極辦理。

（五）日本琵琶湖、淀川流域水源水質保全之實例

琵琶湖、淀川流域跨越日本近畿地方的三重、滋賀、京都、大阪、兵庫、索良等二府四縣，水系全部流域面積八二四〇平方公里，其流域為琵琶湖、宇治川、木津川、桂川、淀川本川及豬名川等五流域，由淀川流入大阪灣。其中琵琶湖面積約六七四平方公里，是日本最大的淡水湖，也是近畿地方最大的水源。平成四年（1992年）流域人口約1,160萬人，被164市町村1,600萬人利用作為自來水，該水系自明治中期開始繼續不斷辦理水資源開發事業並防治水污染至今已有一百多年，目前概況如下：

1.下水道普及率：

（1）整個流域　74%

（2）中下游府縣　80～85%

（3）最終目標　100%

2.下水道未普及地區補助二項設置

（1）單獨處理淨化槽

（2）合併處理淨化槽→高機能合併處理淨化槽。

3.農業集落排水處理施設之整備

（1）施肥管理

（2）推動循環灌溉限制排水

4.大部分工廠、事業場均沒有排水處理設施，並由各府縣定期檢查，最終目標為推動連接下水道系統至100%。

5.自來水高級處理：經過長期防治水污染後仍有黴臭味，所以在淀川下游的大阪市不得不施設高級處理淨水場來處理，其主要設備如下：

（1）生物處理（去除氨氮）

（2）臭氧處理（分解黴臭物質及有

機物）

（3）粒狀活性炭處理（去除黴臭物質及微量有機物）

茲將一般淨水處程序及高級淨水處理程序之差別比較如下：

1.一般淨水處理程序

原水→前氯處理→凝聚→沈澱→過濾→氯消毒

2.高級淨水處理程序

原水→前氯處理廢止→生物處理→凝聚→沈澱→過濾→臭氧→粒狀活性炭→氯消毒

三、如何有效利用水質源問題

（一）合理調配水量，確保水資源有效利用。

1. 重新檢討水庫運轉規線。
2. 連接各水庫或主要水源供水區域之輸水幹管，互相支援。
3. 汰換陳舊管線，加強檢修漏，減少漏失水量。
4. 重新分配水權，農業灌溉面積縮小而用水量減少或推行節水措施所節餘水量移作民生或工業用水並由用水單位予以合理補償。

（二）防杜浪費水量

1. 新建建築物一律採用省水器材。
2. 補助或鼓勵舊有房屋換裝省水器材。
3. 推廣工業用水回收設備。
4. 推廣雨水貯蓄設備及中水道二元供水系統。
5. 宣導愛水節水觀念，養成用戶節約用水習慣。

四、水價不能反映成本問題

（一）投資報酬率偏低，不敷成本，影響自來水事業之發展。

（二）應速訂調整水價程序機制，比照油電調整程序辦理。

（三）目前台水公司、北水處、金門水廠及馬祖水廠水價及水費計算方法如下表：（詳p39至p40）

（四）調整水價時下列措施似應考慮。

1. 水價應採分段累進遞增並將其差距拉大以鼓勵節水。
2. 各地水源之開發及處理成本不同，除民生必需之基本用水量以外，其超過部分可考慮按其各別成本計算酌加水價。
3. 開發水源經費應列入而尚未列入水價成本，應向用戶說明政府之德政以減輕調整水價之壓力。
4. 多舉辦公聽會，向民意代表、媒體及用戶代表說明並溝通合理調

台灣省自來水公司現行水價及水費運算表

（自八十六年五月一日起實施）

奉內政部86.4.24.台（86）內營字第八六〇三五〇七號

暨台灣省政府86.4.25.八六府建六字第四二九八四號函核定

一、水價及水費速算表：

段別		第一段	第二段	第三段	第四段
每度單價		7.00	9.00	11.00	11.50
每月抄表	實用度數（立方公尺）	1–10度	11–30度	31–50度	50度以上
	累進差額（元）	0	–20	–80	–105
隔月抄表	實用度數（立方公尺）	1–20度	21–60度	61–100度	101度以上
	累進差額（元）	0	–40	–160	–210

二、各徑基本水費：

水表口徑(公厘)		13	20	25	40	50	75	100	150	200	250	300
每月抄表	基本水費（元）	17	34	63	187	340	918	1819	5049	10030	17714	27795
隔月抄表	基本水費（元）	34	68	126	374	680	1836	3638	10098	20060	35428	55590

金門自來水廠現行水價及水費運算表

（自八十四年七月一日起實施）

奉金門縣政府84.6.19.八（84）府建字第一五五四一號函核定

一、基本設施費：

口徑別（公厘） 用水別　元/月	13	20	25	40	50	75	100
一般用水	20	25	110	200	400	560	840

二、水費計價表：

用水量級別 水量及水價	基本價	使用水量及累進單價				
		一	二	三	四	五
用水量（立方公尺）	照表上計算	1-10	11-20	21-30	31-100	101以上
每立方公尺單價（元）		8	11	14	18	20

台北自來水事業處現行水價及水費運算表

奉內政部83.2.25.台（83）內營字第八三〇一六六七號

暨台北市政府83.2.26.府水財字第八三〇一二二六〇號函核定

自八十三年三月一日起實施

一、用水量級別及累進計費價格表（每戶每月）：

用水量級別 水量及水價	基本價	使用水量及累進單價				
		一	二	三	四	五
用水量（立方公尺）	照表上計算	1-12	12-60	61-200	201-1,000	1,001以上
每立方公尺單價（元）		5.00	5.20	5.70	6.50	7.60
累進差額（元）		-	4.00	34.00	194.00	1274.00

二、基本水費表（每戶每月）：

水表口徑(公厘)	13	20	25	40	50	75	100	150	200	250	300以上
基本費(元/月)	17	68	126	374	680	1,836	3,638	10,098	20,060	35,428	55,590

連江縣自來水廠水費運算表

連江縣自來水廠水價換算表					（民生用水14度以內每度補貼17元）			
口徑	基本底度	現行水價	應收水費	實收水費	超度水價			
					1–10度	11–30度	31–50度	51度以上
13公厘	5度	27元	135元	50元	37	47元	50元	67元
20公厘	10度	27元	270元	100元	37	47元	50元	67元
25公厘	15度	27元	405元	181元	37	47元	50元	67元
40公厘	30度	27元	840元	586元	37	47元	50元	67元

整水價之必要性，使自來水事業永續發展。

五、財務結構日益惡化，如台灣省自來水公司目前向金融機關貸款約達四八○億元，每年必須還息三十億元，財務負擔至爲嚴重。

六、因水源不足而必須在離島設置海水淡化廠，因原水水質惡化而必須施設高級淨水處理廠，其建設及營運成本勢將大幅提高，長久下去，在水價未能合理調整情況下，財務負擔又不堪負荷，營運將更加困難。

七、自來水事業主管機關爲內政部，但以台水公司而言，其營運管理係由經濟部國營會主管，水源開發由經濟部水資源局主管，自來水工程則由經濟部水利處主管，如此在多頭馬車帶領情況下，自來水事業所遭遇各種困難，恐怕沒有一個單位能針對其癥結所在解決問題。

伍、結語

水資源之利用，從最早的飲用、農業灌溉、到工業等用水，其使用範圍不斷擴大而普遍。也就是說無論是民生、農業及工業都必須利用水資源謀求進步與發展。而且民生與工業用水之需求量與日俱增，其所佔比重日益增大，且對於水質標準之要求也越來越高。是以如何有效利用水資源是邁入新世紀非常重要的課題。

自來水關係國計民生，是日常生活中不可一日或缺的東西，也是國家經濟建設重要的一環。所以，要有效利用水資源，發展水利事業，並重視自來水問題，因此我們對目前自來水事業所面臨的各種問題，應設法予以協助解決，才能使台灣的水資源有效利用，永續發展，促進發展國家經濟建設，增進人民福祉。

現行土地變更使用回饋制度之探討

袁世芬*

壹、前言

近年來台灣地區經濟建設快速發展，各種產業對土地之需求日益殷切，政府配合現階段政策方向，將不適用之農地有計畫的釋出，及不必要之工業區予以變更用途，也因此土地開發及使用變更之問題，呈逐漸增加的趨勢。由於土地開發及變更使用，往往會提高開發區土地利用之價值，相對的也導致該地區公共設施之需求增加與外部性之衝擊，並造成當地環境之負面影響。在以往都是由政府逐年編列預算，負責興闢與提供公共設施之作法，但在無法有效落實「使用者負擔、受益者付費」之原則下，因而加重政府財政負擔，開發者坐享其成。

現行土地開發，政府均要求業者捐贈之所謂「回饋制度」，均以「行政命令」規範，雖可視為「公法上之契約行為」，惟畢竟涉及人民財產權益保障問題，宜以「法律」位階規範之。依　總統本（八十九）年一月二十六日公布之「區域計畫法」部分修正條文，其中增訂第十五條之三規定：辦理土地分區或用地需向直轄市、縣（市）政府繳交開發影響費，作為改善或增建相關公共設施之用，以降低土地開發對週遭環境的負面衝擊。據此研議多時之「開發影響費」制度終於依法有據。

貳、現行土地變更使用回饋規定

由於目前土地開發性質與型態之不同，形成各目的事業主管機關所訂定的回饋項目、比例與管制內容皆有所差異，且散見於各行政規章。其內容如下表：（註：表二中工業區開發，配合八十八年十二月三十一日修正公布之促進產業升級條例有關回饋內容，係依該條例第二十九條規定：公共設施用地不得低於全區土地總面積百分之三十，其中綠地應占全區土地總面積百分之十以上。並按當期公告土地現值以編定總面積百分之十計算回饋金，繳交予當地直轄市或縣（市）政府設置之工業區開發管理基金。另興辦工業人

* 內政部中部辦公室科員，逢甲大學土地管理學系碩士專班研究生

申請編定工業區，應設置環保設施、必要性服務設施及不得少於編定土地總面積百分之十之綠地。並按當期公告土地現值以編定總面積百分之十計算回饋金，繳交予當地直轄市或縣（市）政府設置之工業區開發管理基金。表三中零星工業區擴大變更毗鄰土地為工業區，應依內政部八十九年一月七日公布之都市計畫工業區毗鄰土地處理原則辦理。有關回饋內容依第五點規定，應提供變更都市計畫土地總面積百分之三十至百分之四十之土地作為公共設施或其他必要性服務設施，其中周邊隔離緩衝綠帶不得少於百分之十，並捐贈與地方政府。上開應贈與地方政府之土地，其屬國有土地或經興辦工業人提出申請時，得同意改以變更後當期公告現值加百分之四十之自願捐獻金方式於申請建築執照前折算繳納，併予說明。）

表一 台灣地區現行回饋相關法令規定

開發或變更行為種類	法令依據	回饋規定	回饋用途
非都市土地住宅社區開發	非都市土地開發審議規範住宅社區專編第11、15、16、23點（民87.2）	1.提供下列公共設施，並贈與地方政府 （1）應設置國中、國小用地，或捐贈完整基地作為學校代用地 （2）設置里鄰公園（含兒童遊樂場、運動場）及社區道路 （3）設置污水處理場 （4）至少應捐贈開發總面積百分之三十五之公共設施用地 2.興建住宅總戶數之三分之一為中低收入住宅 3.繳交供商業性質使用之土地，於獲准開發許可當年度之公告土地現值之百分之十二之代金	贈與縣（市）政府或鄉(鎮、市）公所 代金部份二分之一交予地方政府，二分之一交予中央農業主管機關，作為非都市土地使用管制經費
非都市土地毗鄰甲、丙種建築用地之零星土地	非都市土地使用管制規則第15條（民85.5）	現金：以變更編定當年度毗鄰甲、丙種建築用地平均土地公告現值與變更編定面積乘積金額百分之三十捐贈縣（市）政府	作為地方建設及非都市土地使用管制經費，並以其中半數撥交當地鄉、鎮公所執行

（續下頁）

（接上頁）

變更 非都市土地變更編定爲遊憩用地	非都市土地使用管制規則第23條（民85.5）	現金或土地： 1.設置保育綠地不得少於事業興辦計畫變更編定面積百分之三十，得以變更編定當年度公告現值折合代金繳交 2.變更編定之土地屬農牧、林業、養殖或水利用地者，並應捐贈變更編定爲遊憩用地面積與獲准變更編定當年度公告土地現值乘積之百分之十二金額	捐贈直轄市或縣（市）政府代金應作爲地方建設及非都市土地使用管制經費，並以其中半數撥交當地鄉鎮公所執行捐贈金額，其中半數撥中央農業主管機關供農業建設，半數撥交地方政府，作爲地方建設及非都市土地使用管制經費，直轄市或縣（市）政府並以其中半數撥交當地鄉鎮公所執行
非都市土地變更爲丁種建築用地	非都市土地使用管制規則第13、14條（民85.5）	1.公共設施：因擴展工業而需變更其毗鄰土地爲丁種建築用地者，應提供申請變更面積之百分之三十爲隔離綠帶，並捐贈爲國有 2.現金：現今工業區外爲丁種建築用地包夾之土地，申請變更爲丁種建築用地，以毗鄰丁種建築用地之平均土地公告現值與變更編定面積乘積之百分之三十捐贈當地直轄市或縣（市）政府	作爲地方建設及非都市土地使用管制經費，其中半數交地方政府執行
非都市土地變更編定	非都市土地變更捐贈收支與運用作業要點（民85.8）	捐贈金之規定： 1.根據該規則第十四條之規定，申請人必須要捐贈以獲准變更編訂當年度擬合併使用土地之毗鄰丁種建築用地平均公告土地現值與變更編定面積乘積金額百分之三十所捐贈之捐贈金。 2.根據第十五條之規定，也是要捐贈百分之三十的捐贈金。 3.依第二十三條第一項第一款之規定，不得捐贈少於興辦事業計畫面積百分之三十之保育綠地。 4.依本規則第二十三條第一項第二款規定，不得少於百分之十二的捐贈金。	

表二

工業區開發	促進產業升級條例第26條之2（民84.1）	1.規劃編定總面積百分之三十至四十之公共設施土地，其中綠地面積不得少於全區之百分之十，並捐贈爲國有 2.興辦工業人申請編定自用之工業區，應配合設置環保設施，並提供編定總面積之百分之三十土地贈與國有	
工業區開發	非都市土地開發審議規範（民87.2）	1.第八編工業區開發計畫：劃設二十公尺的隔離綠帶、二條獨立的聯外道路、設置適當的廢污水處理設施及必要的服務設施 2.第九編工業區細部計畫：在工業主管機關、公民營事業、土地所有權人方面，必須要提供佔開發工業區30-40%的公設用地，綠地不得少於10%，還要設施管理維護基金。興辦事業人則必須提供30%的土地贈與國有	
工商綜合區開發設置	工商綜合區開發設置管理辦法第3章第8、9、10．11條（民86.6）	1.生態綠地：開發人應贈申請開發面積百分之二十土地作爲生態綠地 2.公共設施：申請開發土地總面積百分之四十作爲必要的服務設施 3.現金：開發人應與當地地方政府協議提供一定金額之捐獻，該金額不得少於獲得開發許可當年度公告現值與可建築基地面積乘積之百分之十二	開發人捐獻之金額，地方政府至少應提撥百分之二十作爲生態綠地之管理維護專款
私有土地興建勞工住宅	勞工住宅輔建方案（民85.3）	1.公共設施：勞工住宅社區必須劃設公園、綠地、公共停車場、給水、排水路及污水下水道系統等設施，公共設施面積不得低於總面積之45%，且捐贈給當地政府。 2.其他：其他有關非都市土地的使用變更的部份則依「非都市土地使用管制」第二十條規定辦理。 3.有關都市土地的部份則依都市計畫法」第二十七條第三款規定，由內政部逕行變更，併同細部計畫一併核定。	

（續下頁）

（接上頁）

海埔地編訂或變更爲住宅、工業、商業及遊憩使用	海埔地開發管理辦法第20條（民85.3）、海埔地開發許可審議規範第29、30點（民84.12）	1.土地：扣除開發人所有土地及公共設施後之土地爲「剩餘土地」，剩餘土地之面積以不低於造地開發總面積之百分之三十爲原則，剩餘土地依公共設施所有權登記方式登記 2.公共設施：造地開發完成後之海埔地，如屬民間開發者，公共設施用地登記爲公有，並由公共設施用地機關管理維護 3.綠地或綠帶：綠地總面積不得少於全區總面積百分之十，綠地與公共設施合計者，其合計面積不得小於全區面積之百分之三十；開發區內工業區與區內或區外之集合住宅或聚落，應有五十公尺以上之綠帶作爲緩衝區	
都市土地變更爲工商綜合專用區	都市計畫工商綜合專用區審議規範第4點（民85.7）	1.公共設施：區內應依事業需求及環境特性，設置足供因開發行爲衍生所需之道路、停車場、污水處理、垃圾處理、水電供給、及其他必要性服務設施，面積不得低於申請開發土地總面積之百分之二十八，其產權仍屬土地所有權人所有 2.生態綠地：區內劃設的生態綠地的總面積不得少於申請開發土地總面積之百分之三十	
工業區變更爲住宅區	都市計畫工業區檢討變更審議規範第6、7點（民86.1）	1.公共設施：自願捐地面積中之二分之一需作公共設施；扣除自願捐贈後剩餘土地，需再提供百分之三十作爲區內公共設施用地 2.依變更後使用價值高低自願捐贈百分之十至百分之二十五之土地	
工業區變更爲商業區	都市計畫工業區檢討變更審議規範第6、7點（民86.1）	1.公共設施：自願捐地面積中之二分之一需作公共設施；扣除自願捐贈後剩餘土地，需再提供百分之三十作爲公共設施用地 2.依變更後使用價值高低自願捐贈百分之十五至百分之三十之土地	

表三

工業區變更爲倉儲批發、物流中心、軟體工業專用區	都市計畫工業區檢討變更審議規範，物流中心業、倉儲批發業軟體工業財務及事業計畫審核要點（民86.3）	1.由工業區變更爲倉儲批發業專用區者，應捐贈工業區申請變更面積百分之十土地。 2.由工業區毗鄰土地變更爲物流中心業、倉儲批發業或軟體工業專用區，其原屬非都市發展用地者，捐贈申請變更面積百分之三十的土地 3.公共設施：提供百分之二十土地作爲公共設施用地，保留土地產權，並自行興建、管理與維護	
變更爲醫療專用區	都市計畫保護區變更爲醫療專用區回饋處理原則（民86.8）	1.依醫療專用區事業需求及特性，自行規劃設置的環保設施或必要性服務設施，面積不得低於申請變更土地總面積之百分之三十。 2.必要性服務性設施中，所配置的公園、體育場所、綠地、廣場、兒童遊樂場其土地面積不得少於申請變更面積之百分之十。	
零星工業區擴大變更毗鄰土地爲工業區	都市計畫零星工業區就地擴大變更毗鄰土地爲工業區使用處理原則（民83.6）	1.公共設施：自行擬定細部計畫，提供必要之公共設施 2.土地：自願捐贈百分之三十土地作爲緩衝綠帶	
都市計畫農業區變更使用	都市計畫農業區變更使用審議規範（民86.2）	1.公共設施：應劃設百分之四十土地作爲公共設施及公用設備使用，其中至少百分之五需爲完整可建築土地，以供直轄市、縣（市）政府作爲設置之代用地 2.土地：道路、停車場、學校、廣場、公園綠地、兒童遊樂場等公共設施用地應贈與當地直轄市、縣（市）政府 3.現金：作爲商業使用部份土地。應捐贈其面積與變更後第一次土地公告現值與該規劃作爲商業使用土地面積乘積之百分之五金額	

（續下頁）

（接上頁）

非都市土地工商綜合區	非都市土地工商綜合區開發審議規範（民國86.1）	1.生態綠地：應將開發土地總面積的30%列爲生態綠地，並登記爲國有 2.必要性設施：基地依事業需求及環境特性，設置足供區內應開發衍生行爲所需之必要性服務設施，其面積不得低於申請開發土地總面積百分之二十八	
都市土地變更爲媒體事業專用區	都市計畫媒體事業專用區審議規範（85.12）	1.捐贈一定比例的生態綠地，不得低於開發面積的百分之三十 2.必要性公共設施：出入道路、公共停車場、公園、綠地、廣場、消防、衛生、上下水道、污水處理廠、環保等及其他必要性服務設施，此面積不得少於申請開發土地總面積之百分之二十 3.繳納代金：不得低於土地公告現值的百分之六	
信義計畫區特定義務用地變更	通盤檢討建築及土地使用管制要點	1.捐地：B2至B7、C1、D1至D5回饋10%：E1至E5、A12、A13、A19、A20回饋15%。 2.捐樓地板。 3.繳納代金。	
台北市變更商業使用	台北市主要計畫商業區通盤檢討案（民85.7）	1.捐地： （1）住宅區變更爲商一捐15%，變更爲商二爲20%，變更爲商三爲20%，變更爲商四爲25% （2）工業區變更爲商一捐25%，變更爲商二捐30%，變更爲商三爲30%，變更爲商四爲35% 2.繳納代金 3.提供停車位	變更商業區使用類型依前述檢討原則及計畫圖書各編號商業區辦理
高雄市土地使用分區變更	擴大及變更高雄市主要計畫（民國81）	1.農業區變更爲工業區捐40%，變更爲住宅區捐50%，變更爲商業區捐60% 2.工業區變更爲住宅區捐32%，工業區變更爲商業區捐42% 3.公共設施用地變更爲工業區捐32%，變更爲住宅區捐42%，變更爲商業區捐52%	

資料來源：賴宗裕，開發影響費課徵辦法之研究，國立政治大學地政系，八十八年八月

參、現行土地變更使用回饋制度問題分析

目前有關土地變更使用回饋規定不盡相同，大致上係以捐地為主、捐錢為輔，就規定中可窺知整個回饋制度存在的一些問題，簡要分述如下：

一、回饋比例捐地缺乏彈性與合理性：在現行回饋規定中，開發業者所負擔之義務，未能視開發規模大小、鄰近公共設施、區位條件、環境衝擊及開發利益等，客觀情況加以衡酌，大抵以開發面積一定捐地比例為標準或繳交一定比例之金額(通稱代金或回饋金)，負擔其開發所需公共設施之成本，及開發所產生外部性負面影響之社會成本，均未能因地制宜。

二、回饋標的區位不當折減利用價值：一般而言，硬性規定必需捐贈一定比例土地作為公共設施或綠帶使用，開發業者經常提供細碎不整或區位不適當之土地，造成無法整體規劃利用之窘境。而且土地零星分散，導致土地捐贈後，管理與維護困難等問題叢生。

三、回饋標的多元化意義模糊：現行回饋法令，土地開發與變更使用所回饋項目，包括土地、公共設施、現金、生態綠地等，那一部分可視為開發成本（開發費用）？性質上是否屬義務負擔？實在很曖昧不明。而一般社會大眾亦無法探知究竟，凡開發業者提供出來的現金或實物，由相關人使用或享用者，都通稱為「回饋」。

四、回饋時點缺乏機制：現行回饋法令中，均要求於開發業者於特定時點進行回饋，雖可減少行政機關作業之困擾，惟忽略了各個開發案所存在之差異性。尤其回饋時機與土地開發成本息息相關，進而影響土地利用與開發業者的投資意願。

五、回饋標的缺乏適當管理利用：目前相關回饋規定要求開發業者所捐贈之土地或現金，應取之於地方，用之於地方，以專款專用之方式，促進地方建設，降低政府財政負擔。而並非如非都市土地住宅社區開發者所繳交之代金，二分之一交予地方政府，二分之一交予中央農業主管機關作為非都市土地使用管制規則經費。因此混淆了回饋之理念及成長付費之精神。

肆、政府部門因應對策

由於上述問題引發政府關切，乃於八十五年十二月召開之國家發展會議中，經濟發展組對健全土地制度議題獲致「建立透明化、標準化、合理化與制度化之回饋制度，有效推動土地變更申請許可制」之結論，行政院據此於八十六年二月指示內

政部建立新的課徵機制。營建署遂邀請相關機關與學者成立工作小組，歷經數十次會議提出建立透明化、標準化、合理化與制度化回饋制度方案，經報奉行政院八十八年四月二十九日核定，惟方案名稱修正爲「建立土地開發義務制度方案」。該方案內容已就回饋意義與性質之定位、回饋之方式與原則及回饋時機等作明確規範，茲摘錄分析如下：

一、回饋之意義與性質

回饋之意義與性質包含下列三大部分：

（一）內部性公共設施之負擔

對於位在開發區範圍內，供開發目的使用之公共設施，因該類公共設施係基於開發所衍生之需求，並係以滿足開發區內活動之需要，及爲維護開發區內部環境品質的設置，故開發者有負擔之義務。

（二）外部性影響之負擔

因土地開發經常導致開發區外部環境之負面衝擊，故其外部性社會成本應由開發者負擔。例如，因土地開發致鄰近公共設施需求增加之社會成本，或因開發而排擠既有公共設施使用者之擁擠成本；類此外部成本，開發者應有加以吸收之義務。

（三）其他義務之負擔

即雖非屬前二類開發者所付出之開發區內、外部設施之成本，但基於下列各因素，仍需由開發者擔負之義務：

1.土地開發造成排擠效果

基於土地開發在政府實施相關土地使用計畫下，造成後申請開發者受到先申請開發者之排擠效果，或先申請開發者剝奪其他土地使用機會（例如，實施總量管制）；因此，宜由開發者捐獻相當金額，以回饋社會。

2.回饋土地發展受限地區

部分土地因政府實施土地使用計畫而致發展受限（例如，農地禁建），故宜由土地使用計畫中屬可開發之土地，於開發時捐贈部分金額，以回饋該類發展受限制地區。

3.維護社會公平原則

土地開發者在土地由低強度使用變更爲較高強度使用時，獲取超過正常利潤之不勞利得，在目前因無法以課

稅方式，完全收歸公有，故宜由開發者捐獻相當金額，以維社會公平。

4.維護山水資源之永續發展

因土地開發通常對山水資源具有相當之影響，故應由開發者捐獻部分金額，以擔負山水資源之維護及永續發展之責任；例如，提供造林基金。

5.土地開發後管理維護之需要

為使土地開發後之管理、維護工作得以落實（例如，公共設施管理維護），宜由開發者提供部分之金額，擔負該項責任。

6.其它因素

為對開發區附近達到敦親睦鄰之效果，或配合地方施政方針之需要，以使開發案得以順利開發；或為照顧經濟弱勢族群對住宅之需求，可由開發者提供部分金額，或興設開發地區所需之相關設施，以回饋地方及社會。例如，在開發地區興建集會所、鄉里休閒中心或中低收入住宅等。

二、回饋方式與原則

土地開發回饋方式與原則分為下列三部分：

（一）內部性公共設施之負擔

此一部分之成本負擔應明列項目，並應以實物負擔為原則，代金為例外；以捐贈為原則，不捐贈為例外；（例如，開發住宅社區及投資開發工業區之公民營事業與土地所有權人所開發之工業區，區內道路、污水處理場等公共設施以捐贈為原則）。但如興辦事業屬封閉式之經營方式，且為單一經營主體，則除聯外道路等必須提供公共使用者外，應以不捐贈為原則（例如，開發工商綜合區、遊樂區、高爾夫球場、工業主管機關及興辦工業人投資開發之工業區等，則其開發區內之綠地應以不捐贈為原則）。至各產業因自行需要設置之必要性服務設施，以不捐贈為原則。

（二）外部性影響之負擔

此一部分係因開發與變更使用而導致開發區外部環境之衝擊，故除負擔必要性公共設施

外，應以「開發影響費」之方式收取，並應以成立基金之方式，由地方政府專款專用，以改善地方環境，及增進地方公共建設；該開發影響費亦得以開發區內可建築土地抵充之。至如開發人配合開發案直接規劃提供部分或全部外部性設施，則已提供外部性設施部分，無須再收取該部分之開發影響費。

（三）其他義務之負擔

此一部分之負擔及收取範圍應以相關法令（例如，森林法、農業發展條例、工商綜合區開發設置管理辦法、非都市土地使用管制規則、都市計畫農業區變更使用審議規範等）所規定應收取之回饋金（或捐贈金），爲此一部分負擔之必要項目，而以國土綜合開發計畫所規定「關聯費」涉及之項目（例如：配合農地釋出方案興建住宅社區應規劃中低收入住宅等項目），爲需負擔之相關項目；但各法令對回饋金之收取應不得重複，至關聯費涉及之相關規定，應賦予開發者與政府有彈性協商之機制。

前項三類土地開發之回饋，開發人所需負擔回饋總數額，應不得超過以區段徵收方式開發，土地所有權人應負擔開發成本之最高額。

三、回饋之時機

我國土地開發大部分皆涉及土地變更使用，故未來土地開發除海埔地開發外，以涉及土地變更者，才有回饋；而回饋之時機，應在政府能行使行政權控制之前完成，依其性質分爲下列三部分：

（一）內部性公共設施負擔之時機

對於應由申請開發人提供之內部性設施，如屬建築使用者：例如污水處理場之興闢與捐贈，應於取得建築使用執照前完成。非屬建築部分：例如公園、綠地之興闢及地下管線之施設，於都市土地，應於依法申領建造執照前完成，於非都市土地，應於辦理土地變更編定異動登記前完成。

（二）外部性影響負擔之時機

對於開發所產生外部性影響，必須由開發人負擔部分，配合開發影響費收取之方式，其金額之繳交或土地之抵繳，於非

都市土地，應於辦理土地變更編定之異動登記前完成；於都市土地，應於依法申領建造執照前完成。

（三）其他義務負擔之時機

此一部分之負擔，原則上非都市土地應於辦理土地變更編定異動登記前完成；都市土地應於依法申領建造執照前完成，但如係以捐贈等值之樓地板面積者，應於申請使用執照前完成。另如負擔之金額，在一定額度以上，得以銀行系統保證，採分期付款方式爲之；如負擔之項目，屬實際上不能於前述期限完成者（例如，中低收入住宅之興建），得由政府與開發者協商其應完成之期限，必要時並得訂定期程分期完成。

伍、開發影響費之課徵

現行土地開發，政府要求業者捐贈之所謂「回饋制度」，均以「行政命令」規範，透過協議的方式要求土地開發者捐錢、捐地，或在相關的行政命令中明訂捐錢或捐地的比例，雖可視爲「公法上之契約行爲」，惟畢竟涉及人民財產權益保障問題，長期以來，一直被批評爲「官逼民捐」，於法無據。而開發業者基於開發案能早日過關的需求，也只好勉強遵從這項「不樂之捐」。依　總統八十九年一月二十六日公布之區域計畫法第十五條之三規定：「申請開發者依第十五條之一第一項第二款規定取得區域計畫擬定機關許可後，辦理分區或用地變更前，應將開發區內之公共設施用地完成分割移轉登記爲各該直轄市、縣（市）有或鄉、鎮（市）有，並向直轄市、縣（市）政府繳交開發影響費，作爲改善或增建相關公共設施之用；該開發影響費得以開發區內可建築土地抵充之。前項開發影響費之收取範圍、標準及其他相關事項，由中央主管機關定之。第一項開發影響費得成立基金；其收支保管及運用辦法，由直轄市、縣（市）主管機關定之。第一項開發影響費之徵收，於都市土地準用之。」這項規定，係在規範開發業者在辦理土地使用分區或用地變更前，直轄市、縣（市）政府將收取開發影響費，而這筆經費將是地方政府的財源，必須專款專用，以因應土地開發對區外環境衝擊所產生的社會成本，採取對應策略加以改善，以降低政府財政負擔。因此，往後有關「鎮長稅」等不符體制之的作法，將依法可循。

所謂開發影響費，在美國係指因新社區開發或舊社區更新，所衍生各項公共設施新建或改善所需的經費，基於成長付費

的原則，在核發社區開發許可或變更許可制時，向開發者或受益居民收取的費用（林建元，開發許可制之改進及影響費課徵方式研究，台灣大學建築與城鄉研究所，八十二年六月，第一六二頁）。目前依行政院核定之建立土地開發義務制度方案，回饋性質包括三大部分，爲內部性公共設施負擔、外部性影響費之負擔及其他義務負擔，未來開發影響費之課徵，係規範外部性負擔。除可開闢公共建設財源，將開發後產生的外部成本內部化，更迫使開發業者有效利用土地資源，減少土地投機所造成社會不公平現象，並改善開發業者與地方百姓的公共關係。未來配合開發影響費課徵辦法經中央主管機關訂頒實施後，現行出自各目的事業主管機關所訂之回饋項目規定，應即早檢討增（修）訂，以免造成執行上之困擾，影響開發業者投資意願。

陸、結語

土地開發及變更使用，往往會提高開發地區土地利用之價值，相對的也導致該地區公共設施之需求之增加，造成當地環境之負面衝擊，因而增加政府財政負擔。此外，由於土地開發及變更後之增值利益，在現行體制除土地增值稅外，並無其它任何相關措施來課取此增值利益，一旦稅制有缺失，則無法完全稅去歸公，將超額利潤回饋予社會。依八十九年一月二十六日修正公布之「農業發展條例」規定，農業用地之變更應視其事業性質，繳交回饋金，專供農業發展與農民福利之用。另森林法亦明定，山坡地開發利用應繳交回饋金，作爲造林基金。目前各目的事業主管機關所訂之捐贈或繳交相當於回饋金之金錢或代金項目者，均未有法律授權，未來配合九十年一月一日即將實行之「行政程序法」及行政院農業委員會訂定之「農業用地變更回金撥繳及分配利用辦法」（草案），相關機關應及早檢討修訂，是謂正辦。如何建立一套既能促進土地有效利用且符合社會公平原則之回饋制度，爲當前重要的課題。

參考資料：

一、賴宗裕，開發影響費課徵辦法之研究，國立政治大學地政學系，八十八年八月

二、黃佩玲，土地變更使用回饋制度之探討，台灣地政，八十六年二月

三、吳清輝、楊伯耕、陳荔芬，回饋乎？義務乎？台灣地政，八十六年二月

四、白志杰，開發影響費意義及合理性之探討，現代地政，八十五年四月

五、行政院八十八年四月二十九日核定之「建立土地開發義務制度方案」

自來水事業之國際統計資料及分析

陳耀楠*

壹、原始資料

本資料係1999年9月19日到24日在阿根廷首都布宜諾斯艾利斯所舉行之第22屆國際自來水協會大會時所提供之資料（由統計經濟委員會製作），經日本自來水協會研修國際部國際課翻譯刊登于1999年11月「水道協會雜誌」者，經筆者再摘要翻譯送請「自來水」季刊刊登供我國自來水界同仁參考。

此資料中水費部份（表一）係調查住在有庭園之透天厝四人家庭（大人2人、小孩2人）整年用水量200M³爲前提，請各國調查者，至於無用戶水表者（如英國、挪威）即以平均水價計算，調查有回應者計有75個國家或區域，共238個都市。表二和表三係從37個國家或地區取得1980年和1997年之自來水水源之不同類別年取水量及年水量等資料加以整理者，最後之表四與圖一，即標示36個國家或區域之每人每日售水量。

表一 自來水費之國際比較（用水量200M³/年，家庭用，1998年6月）

國名	GDP(每人國內總生產額)		都市名	年200M³自來水費		
	US$	NT		US$	NT	佔GDP%
安哥拉 Angolc	702	20,350	盧安達	0.33	11	0.01
			邊奎拉	0.12	4	0.01
			遜比	0.07	2	-
阿根廷 Argentina	8353	288,180	布宜諾斯艾利斯	60.12	2,074	0.18
			麻爾地布拉達	106.20	3,664	0.32
			免多薩	75.15	2,593	0.23
			比拉	119.23	4,113	0.36
			三達費	85.16	2,938	0.25
澳洲 Australia	17,621	607,920	雪梨	146.49	5,054	0.21
			墨爾本	118.48	4,088	0.17
			伯斯	128.21	4,423	0.18
			布利斯班	135.41	4,672	0.19
			坎培拉	126.17	4,353	0.18
奧地利 Austria	24,969	861,430	林茲	223.20	7,700	0.22
			薩爾茲堡	285.85	9,862	0.29
			維也納	296.88	10,242	0.30

* 前台灣省自來水公司協理

國　　　名	GDP(每人國內總生產額)		都　市　名	年200M³自來水費		
	US$	NT		US$	NT	佔GDP%
亞塞爾拜然 Azerbaidjan	1,483	51,160	巴庫	161.16	5,560	2.72
			遜蓋都	161.16	5,560	2.72
巴哈馬 Bahamas	10,983	378,910	拿梭	400.75	13,826	0.91
巴林 Bahrain	8,929	308,050		65.60	2,263	0.18
比利時 Belgium	23,637	815,480	安特衛布	175.67	6,061	0.19
			布魯塞爾	302.61	10,440	0.32
			利日	296.60	10,233	0.31
不丹 Bhutan	155	5,350	丁布	387.87	13,382	62.56
布吉那‧法索 Burkina Faso	186	6,420	瓦加杜克	89.57	3,090	12.04
加拿大 Canada	19,419	669,960	渥太華	290.02	10,006	0.37
			維尼別克	145.40	5,016	0.19
			艾特蒙頓	180.16	6,216	0.23
			倫敦	144.90	4,999	0.19
			多倫多	61.15	2,110	0.08
			溫哥華	70.63	2,437	0.09
智利 Chile	4,860	167,670	聖地牙哥	131.16	4,525	0.67
			法耳巴拉索	149.42	5,155	0.77
			空攝布松	125.94	4,345	0.65
中國 China	682	23,530	北京	24.20	835	0.89
			青島	29.28	1,010	1.07
			上海	21.30	735	0.78
			天津	20.57	710	0.75
香港	22,007	759,240		113.95	3,931	0.13
台灣	13,119	452,610	台北	53.38	1,842	0.10
			高雄、台中	57.22	1,974	0.11
哥倫比亞 Colombia	1,800	62,100	波哥大	9.12	315	0.13
			巴蘭基拉	8.88	306	0.12
			卡里	8.14	281	0.11
			善得林	10.18	351	0.14
塞普路斯 Cyprus	10,726	370,050	尼哥西亞	160.69	5,544	0.37
			利馬索爾	59.11	2,039	0.14
			拉爾那卡	143.77	4,960	0.34
			巴赫司	87.29	3,012	0.20
捷克 Czech	4,880	168,360	布拉哈	89.10	3,074	0.46
			布爾諾	74.41	2,567	0.38
			歐斯德拉巴	88.07	3,038	0.45
丹麥 Denmark	31,402	1,083,370	哥本哈根	336.96	11,625	0.27
			阿爾哈斯	251.46	8,675	0.20
			歐登斜	263.59	9,094	0.21

國　　　名	GDP(每人國內總生產額)		都　市　名	年200M³自來水費		
	US$	NT		US$	NT	佔GDP%
衣索比亞 Ethiopia	93	3,210	阿地司阿貝巴	15.42	532	4.15
			阿斜拉	73.77	2,545	19.83
			阿挖沙	28.70	990	7.72
			巴希爾達爾	14.35	495	3.86
			納烈沙	48.36	1,668	13.00
芬蘭 Finland	22,439	774,150	赫爾辛基	151.49	5,226	0.17
			撒比烈	172.70	5,958	0.19
			土爾庫	237.31	8,187	0.26
			埃斯布	269.01	9,281	0.30
法國 France	23,327	804,780	巴黎郊外	292.02	10,075	0.31
			迪戎	289.66	9,993	0.31
			黎里	211.37	7,292	0.23
			波爾多	231.87	8,000	0.25
			巴黎	173.73	5,994	0.19
加彭 Gabon	4,372	150,830		100.27	3,459	0.57
德國 Germany	24,348	840,010	柏林	388.68	13,410	0.40
			漢堡	348.13	12,010	0.36
			慕尼黑	270.38	9,328	0.28
			律塞爾杜爾夫	383.05	13,215	0.39
			藍爾先基爾建	294.61	10,154	0.30
			休茲加爾特	292.92	10,106	0.30
直布羅陀 Gibraltar	14,900	514,050		413.97	14,282	0.69
希臘 Greece	9,404	324,440	雅典	172.17	5,940	0.46
			茶尼亞	204.44	7,053	0.54
			帕特累	153.11	5,282	0.41
			帖薩羅尼基	110.79	3,822	0.30
匈牙利 Hungary	3,148	108,610	布達佩斯	63.73	2,199	0.51
			密斯可爾	88.56	3,055	0.70
			佩克斯	121.82	4,203	0.97
			帖布烈先	74.97	2,586	0.60
印度 India	326	11,250	德里	24.02	829	1.84
			加爾各達	56.63	1,954	4.34
			孟買	14.65	505	1.12
印尼 Indonesia	269	9,280	雅加達	86.34	2,979	8.02
			雅牙布拉	45.11	1,556	4.23
			棉蘭	29.06	1,003	2.70
			本加納克	34.70	1,197	3.22
			日惹	33.40	1,152	3.10

國　　名	GDP(每人國內總生產額)		都　市　名	年200M³自來水費		
	US$	NT		US$	NT	佔GDP%
愛爾蘭 Ireland			都伯林	不收費		
以色列 Israel	15,917	549,140	台拉維夫(全國統一)	196.58	6,782	0.31
			耶路撒冷(等五城市)	196.58	6,782	0.31
義大利 Italia	19,383	668,710	波羅尼亞	122.90	4,240	0.16
			米蘭	25.25	871	0.03
			拿波里	113.85	3,928	0.15
			羅馬	55.08	1,900	0.07
			都里諾	55.06	1,900	0.07
象牙海岸 Ivory Coast	726	25,050	阿必尚(等三城市均)	81.61	2,815	2.81
日本 Japan	28,513	983,700	名古屋	144.61	4,989	0.13
			大阪	136.05	4,694	0.12
			札幌	225.53	7,781	0.20
			東京	184.24	6,356	0.16
			橫濱	147.06	5,074	0.13
約旦 Jordan	1,305	45,020	安曼	61.31	2,115	1.17
			惠爾加(等四城市均)	37.70	1,301	0.72
南韓 South Korea	6,562	226,390	漢城	36.04	1,243	0.14
			大邱	38.97	1,344	0.15
			大田	35.44	1,223	0.14
			仁川	28.11	970	0.11
			釜山	43.88	1,514	0.17
賴索托 Lesotho	343	11,830	馬塞魯	98.23	3,389	7.16
立陶宛 Lithuania	2,579	88,980	維爾紐斯	99.19	3,422	0.96
			卡宇納斯	136.25	4,701	1.32
			苦來比達	117.23	4,044	1.14
盧森堡 Luxembourg	34,542	1,191,7-00	盧森堡	320.19	11,047	0.23
澳門 Macau	17,344	598,370		113.41	3,913	0.16
馬其頓 Macedonia	966	33,330	史哥比也	51.09	1,763	1.32
			比得拉	42.96	1,482	1.11
			歐里得	40.15	1,385	1.04
馬來西亞 Malaysia	3,266	112,680	吉隆坡	22.62	780	0.17
			檳榔嶼	11.24	388	0.09
			柔佛	17.35	599	0.13
馬爾他 Malta	8,386	289,320	馬爾他	369.96	13,695	1.10
模里西斯 Mauritius	2,866	98,880		52.38	1,807	0.46
摩納哥 Monaco	25,047	864,120	摩納哥	406.94	14,039	0.41
摩洛哥 Morocco	1,175	40,540	卡薩布蘭加	117.15	4,042	2.49
莫三鼻克 Mozambigue	67	2,310	瑪布杜	43.93	1,516	16.39
			瑪特拉	192.12	6,628	71.69

國　　名	GDP(每人國內總生產額)		都　市　名	年200M³自來水費		
	US$	NT		US$	NT	佔GDP%
尼泊爾 Nepal	193	6,660	加德滿都	15.95	550	2.07
			波卡拉（等三都市）	15.15	523	1.96
荷屬安提爾 Netherland Antiles	11,587	399,750	庫拉卡歐	734.93	25,355	1.59
荷蘭 Netherlands	22,537	777,530	阿姆斯特丹	203.74	7,029	0.23
			海牙	382.23	13,187	0.42
			烏特勒克	188.94	6,518	0.21
紐西蘭 New Zealand	14,198	489,830	惠靈頓	126.96	4,380	0.22
			奧克蘭	92.65	3,196	0.16
			北海岸	118.49	4,088	0.21
挪威 Norway	32,807	1,131,840	奧斯陸（未裝表）	94.16	3,249	0.07
			柏根（未裝表）	260.01	8,970	0.20
			土倫海姆（未裝表）	159.37	5,498	0.12
巴布亞新幾尼亞 Papua New Guinea	607	20,940	摩利斯氏港	43.51	1,501	1.79
			麻坦克	29.13	1,005	1.20
菲律賓 Philippines	855	29,500	馬尼拉（東）	13.43	463	0.39
			馬尼拉（西）	28.67	989	0.84
			大保	48.96	1,689	1.43
			宿霸	155.94	5,380	4.56
			參普安卡	21.25	733	0.62
葡萄牙 Portugal	9,266	319,680	里斯本	193.41	6,673	0.52
			波爾多	142.64	4,921	0.38
			孔布拉	203.21	7,011	0.55
羅馬尼亞 Rumania	1,303	44,950	布加勒斯特	35.91	1,239	0.69
			伊亞西	61.57	2,124	1.18
			提米索阿拉	48.62	1,677	0.93
			比斯特里達	38.14	1,316	0.73
			孔司坦達	49.81	1,718	0.96
沙烏地阿拉伯 Sandi Arabia	6,866	236,880	利雅得	5.34	184	0.02
塞內加爾 Senegal	505	17,420	達卡	0.72	25	0.04
			考拉克	0.58	20	0.03
			聖路易斯	0.60	21	0.03
			蒂也士	0.62	21	0.03
			企昔圖決爾	0.73	25	0.04
塞席爾 Seychelles	6,112	210,860	賽席爾	174.41	6,052	0.71
新加坡 Singapore	20,986	724,020	新加坡	88.40	3,050	0.11
斯洛伐克 Slovakia	3,500	120,750	普拉提斯拉巴(等五都市)	40.32	1,391	0.29
斯洛伐尼亞 Slovenia	7,702	265,720	溜不溜那	110.71	3,820	0.36
			麻里巴	129.68	4,474	0.42

國　　　　　名	GDP(每人國內總生產額)		都　市　名	年200M³自來水費		
	US$	NT		US$	NT	佔GDP%
			克巴	246.00	8,487	0.80
			席爾巨	163.48	5,640	0.53
			拉度比居卡	88.84	3,065	0.29
南非 South Africa	2,462	84,940	普勒多利亞	92.32	3,185	0.94
			約翰尼斯堡	107.70	3,716	1.09
			達邦	118.47	4,087	1.20
			東倫敦	69.85	2,410	0.71
			衛都邦克	48.23	1,664	0.49
			克拉哈姆斯都芬	139.66	4,818	1.42
			坡捷斯都路姆	61.74	2,130	0.63
西班牙 Spain	13,122	452,710	巴塞隆納	155.93	5,380	0.30
			馬德里	161.85	5,584	0.31
			塞維爾	114.70	3,957	0.22
			維爾巴納	82.25	2,838	0.16
瑞典 Sweden	25,213	869,850	斯得哥爾摩	152.69	5,268	0.15
			哥德堡	117.28	4,046	0.12
			麻陸摩	107.27	3,701	0.11
瑞士 Switzerland	35,422	1,222,060	伯恩	262.40	9,053	0.19
			日內瓦	428.86	14,796	0.30
			蘇黎世	376.92	13,004	0.27
坦桑尼亞 Tanzania	93	3,210	達未撒拉	58.92	2,005	15.84
			亞爾西亞	28.65	988	7.70
			杜摩馬	46.37	1,600	12.47
			姆宛達	35.50	1,225	9.54
			坦加	29.29	1,011	7.87
泰國 Thailand	1,923	66,340	曼谷	33.79	1,166	0.44
			清邁	21.72	749	0.28
			群布里	31.37	1,082	0.41
烏干達 Uganda	273	9,420	坎帕拉	98.92	3,413	9.06
阿拉伯聯合大公國 Unitel Arab Emirates			杜拜	363.25	12,532	
英國 United Kingdom	20,739	715,500	倫敦	無表 124.32	4,289	0.15
				有表 220.32	7,601	0.27
			布里斯特爾	無表 114.29	3,943	0.14
				有表 243.78	8,410	0.29
			紐開斯爾	無表 151.74	5,235	0.18
				有表 223.94	7,726	0.27
			曼契斯特	無表 160.40	5,534	0.19
				有表 251.02	8,660	0.30

國　　　名	GDP(每人國內總生產額)		都　市　名	年200M³自來水費		
	US$	NT		US$	NT	佔GDP%
			卡第夫	無表 112.78	3,891	0.14
				有表 309.99	10,695	0.37
美國 U.S.A.	30,231	1,042,9-70	洛山磯	116.22	4,010	0.10
			底特律	69.13	2,385	0.06
			紐約	85.16	2,938	0.07
			印地安那波利	175.34	6,049	0.15
			邁亞米	72.14	2,489	0.06
南斯拉夫 Yugoslavia	1,904	65,690	塞爾比亞	130.56	4,504	1.71
			比特拉	207.90	7,173	2.73
			比艾列斯	226.80	7,825	2.98
尚比亞 Zambia	280	9,660	盧沙卡	89.01	3,071	7.95
			決麻	23.30	804	2.08
			卡洛摩	23.30	804	2.08
			杜拉	43.69	1,507	3.90
			去杜維	32.03	1,105	2.86
辛巴威 Zimbabwe	349	12,040	哈拉列	48.02	1,657	3.44
			不拉瓦有	72.65	2,506	5.20
			苦宇爾	69.25	2,369	4.96

表二 自來水水源之年取水量分類（單位，百萬M^3）

國　　名	地下水		湖沼水		表面水		計	
	1980	1997	1980	1997	1980	1997	1980	1997
奧地利	287	322	320	325	5	5	612	652
亞塞爾拜然		87				329		416
比利時	435	468			217	270	652	738
布吉那法索		6		6		14		26
捷克		348				522		870
剛果		49		11		153		213
丹麥		455				2		457
衣索比亞		29		6		3		38
芬蘭		240				176		416
法國		3,360				2,290		5,650
加彭		1				41		42
德國	4,180	3,648	570	408	1,890	1,568	6,640	5,624
香港						913		913
匈牙利	297	342	60	290	443	26	800	658
印尼		327		554		1,637		2,517
義大利	3,290	3,975	2,535	2,385	892	1,590	6,717	7,950
日本		4,357		178		11,820		16,355
約旦		178		20		38		236
立陶宛		240						240
盧森堡	2	2	27	29	16	16	45	47
澳門							53	53
馬來西亞		77				3,531		3,608
摩納哥				2		4		6
荷蘭	667	794			337	475	1,004	1,269
羅馬尼亞		1,054				1,588		2,646
塞內加爾		78				19		96
塞席爾						1		1
新加坡							441	441
斯洛伐克		383				69		452
南非		270		5		4,447		4,721
西班牙	684	1,000		124	2,426	4,828	3,110	5,972
瑞典	239	221			716	702	955	923
坦桑尼亞						1		1
多哥		16				5		21
突尼西亞		147				173		320
英國	1,910				5,060		6,970	7,895
越南		100				215		315

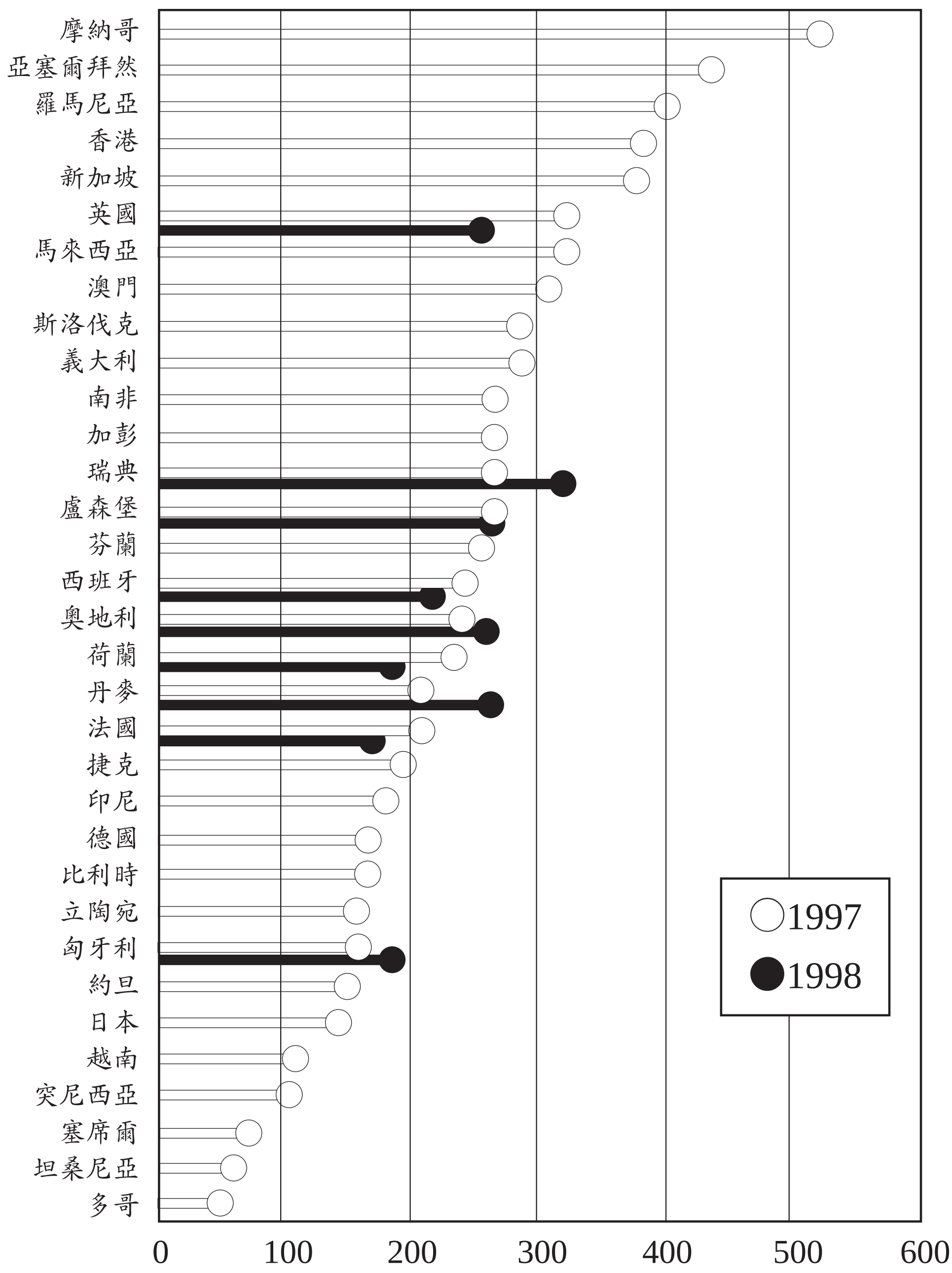
表三 年用水量（百萬M³）及普及率

國名	家庭商業用水		工業及其他用水		合計		人口(萬人)		自來水普及率	下水道普及率	污水處理率
	1980	1997	1980	1997	1980	1997	1980	1997			
奧地利	365	424	225	204	590	628	755	808	90%	76%	100%
亞塞爾拜然		320		118		438		242	97	86	74
比利時	366	428	208	151	574	579	985	1,017	98	71	36
布吉那法索		14		6		20		1,000	14	17	
捷克		357		232		589		1,030	86	65	93
剛果		100		113		213		4,871	49	30	
丹麥	285	250	166	129	451	379	513	528	95	95	95
衣索比亞		26				26		5,812	31		
芬蘭		258		96		354		515	88	79	100
法國	2,085	3,210	1,120	1,140	3,205	4,350	5,388	5,860	99		
加彭		21		14		35		100	36		
德國	3,850	3,946	2,020	1,015	5,870	4,961	7,827	8,205	99	93	97
香港		688		225		913		650	100	95	99
匈牙利	387	380	376	180	763	560	1,071	1,014	99	48	43
印尼		2,213		304		2,517		20,500	25	5	5
義大利	3,945	4,700	1,295	1,200	5,240	5,900	5,643	5,756	98	89	25
日本		4,369		1,778		6,147		12,582	96	55	
約旦		236		4		240		440	95	52	100
立陶宛		161		34		194		370	93	92	76
盧森堡	24	27	10	13	34	39	36	42	99	98	97
澳門		22		25		47		42	100		
馬來西亞		2,336		738		3,074		2,200	90		
摩納哥		4		2		6		3	100	100	
荷蘭	733	948	192	188	925	1,136	1,414	1,570	100	98	99
羅馬尼亞		1,291		734		2,025		23,00	60	49	61
塞內加爾		40		30		70		404	80		
塞席爾						0		7	86	6	15
新加坡		232		209		441		313	100	100	100
斯洛伐克		206		122		328		535	80	53	95
南非		2,350		1,920		4,270		4,156	79	10	45
西班牙	2,146	2,037	794	1,335	2,940	3,372	3,743	3,967	97	66	
瑞典	516	526	298	194	814	720	831	885	87	86	98
坦桑尼亞		1		0		1		3,000	47	15	0
多哥		9		7		17		450	27		
突尼西亞		173		74		247		928	73	45	60
英國	3,160		2,070		5,230	6,959	5,631	5,901	99	96	87
越南		289		25		314		2,960	39	28	18

表四 用途別每人每日用水量（單位：lpcd）

國名	家庭商業用水		工業及其他用水		合計		售水率(表三/表二)	
	1980	1997	1980	1997	1980	1997	1980	1997
奧地利	155	160	100	77	255	237	96.4%	96.3%
亞塞爾拜然		380		70		450		106.3
比利時	104	118	59	42	163	160	88.0	78.5
布吉那法索		7						76.9
捷克		115		74		189		67.7
剛果						25		100.0
丹麥	165	136	96	70	261	206		82.9
衣索比亞		25						68.4
芬蘭		155		97		252		85.1
法國	109	151	58	54	167	205		77.0
加彭		160		106		266		83.3
德國	130	130	52	34	191	164	88.4	88.2
香港		290		95		385		100.0
匈牙利	110	104	107	49	217	153	95.4	85.1
印尼		153		21		174		100.0
義大利	211	228	69	58	280	286	78.0	74.2
日本		99		41		140		37.6
約旦						146		101.7
立陶宛		128		27		155		80.8
盧森堡	183	172	76	81	259	253	80.0	83.0
澳門		144		163		307		88.7
馬來西亞		130		193		323		85.2
摩納哥		374		155		529		100
荷蘭	142	166	37	43	179	209	92.1	89.5
羅馬尼亞		256		146		402		76.5
塞席爾		42		18		60		
新加坡		170		154		324		100.0
斯洛伐克		129		158		287		72.6
南非		155		126		281		90.4
西班牙	157	145	58	95	215	240	94.5	56.5
瑞典	195	188	120	69	315	257	85.2	78.9
坦桑尼亞						50		
多哥						39		80.9
突尼西亞		70		30		100		77.2
英國	154		100		254	324	75.0	88.1
越南		60		46		106		99.7

圖一 每人每日用水量 (1)


摩納哥
亞塞爾拜然
羅馬尼亞
香港
新加坡
英國
馬來西亞
澳門
斯洛伐克
義大利
南非
加彭
瑞典
盧森堡
芬蘭
西班牙
奧地利
荷蘭
丹麥
法國
捷克
印尼
德國
比利時
立陶宛
匈牙利
約旦
日本
越南
突尼西亞
塞席爾
坦桑尼亞
多哥
0
100
200
300
400
500
600
1997
1998

貳、分析

一、表一之NT（新台幣）部份係以1998年6月之台灣美金匯率約數34.5（月初34.21，月中34.92，月底34.49）將原列US$換計者。另外最右欄之「年200M³自來水費佔GDP%」亦係筆者自行計算加列者，以GDP之千倍除年200M³自來水費而得，表示四人家庭年用水200M³時，水費佔其GDP之百分比，供讀者了解其水價高低及負擔輕重。

二、水價之高低——由表一「年200M³水費NT」除以200得每月17度以下之家庭用水水價，分析如下：

（1）最便宜的是安哥拉及塞納加爾之0.1元或以下。此數不可能是正常水價，如非資料錯誤，一定是由政府負擔絕大部份成本。次便宜的是沙烏地阿拉伯0.9元，該國缺水資源，大部份爲海水淡化，由國家石油收入津貼。

（2）1～5元：哥倫比亞、中國、馬來西亞、尼泊爾及印度、衣索比亞、菲律賓之大部份地區。（多係水資源豐富，經濟落後之國家）。

（3）5～10元：

（a）東亞之台灣、南韓、泰國、印尼、巴布亞紐幾內亞。

（b）西亞、東歐、東非之約旦、馬其頓、羅馬尼亞、斯洛伐克、模里西斯、尚比亞、坦桑尼亞及莫三鼻克之一半。

（4）10～20元：

（a）香港、新加坡、紐西蘭、巴林、美國、阿根庭、捷克及加拿大、塞普路斯、義大利、西班牙之各一半。

（b）非洲：布吉拿法索、加彭、象牙海岸、賴索托、烏干達、辛巴威、南非。

（5）20～40元：瑞典、芬蘭、挪威、希臘、荷蘭、葡萄牙、南斯拉夫、斯洛伐尼亞、立陶宛、英國（無表）、以色列、塞席爾、亞塞爾拜然、日本、澳洲、智利及西班牙、莫三鼻克之一半。

（6）40元以上：奧地利、法國、丹麥、比利時、德國、直不羅陀、盧森堡、馬爾他、摩納哥、瑞士、英國（裝表）、巴哈馬、不丹、荷屬安提爾、阿拉伯聯合大公國。

（7）水價較貴者均爲歐洲國家及水資源缺乏之島國或山國，其中最貴者爲安提爾之127元，次貴者爲摩納哥、直布羅陀、馬爾他、巴

哈馬、不丹、瑞士等地約70元。

三、水費負擔之輕重可由GDP%分析如下：

（1）0.1%以下：安哥拉、沙烏地阿拉伯、塞內加爾（照上述似由政府負擔，不屬比較範圍）美國3/5、義大利各3/5、加拿大1/3。

（2）0.1～0.2%：澳洲、巴林、日本、香港、台灣、哥倫比亞、南韓、澳門、馬來西亞、挪威、新加坡、瑞典、英國（無表）、美國2/5、義大利2/5、芬蘭1/2、塞普路斯1/2、加拿大1/3。

（3）0.2～0.3%：阿根廷、奧地利、丹麥、盧森堡、斯洛伐克、法國、紐西蘭、西班牙、瑞士、英國（裝表）、荷蘭2/3、芬蘭1/2、加拿大1/3。

（4）0.3～0.5%：比利時、德國、以色列、捷克、模里西斯、摩納哥、葡萄牙、斯洛伐尼亞、泰國、希臘3/4、塞普路斯1/2、加拿大1/6、菲律賓1/5。

（5）0.5～1.0%：巴哈馬、直布羅陀、匈牙利、智利、中國、加彭、羅馬尼亞、塞席爾、南非4/7、菲律賓2/5。

（6）1～3%：亞塞拜然、印度、印尼、象牙海岸、約旦、立陶宛、馬其頓、馬爾他、摩洛哥、尼泊爾、荷屬安提爾、巴布亞紐幾尼亞、南斯拉夫、南非3/7、菲律賓2/5。

（7）大於3%：辛巴威（3～5%）、尚比亞（2～8%）、烏千達（9%）、賴索托（7%）、坦桑尼亞（8～16%）、衣索比亞（4～20%）、布吉那法索（12%）、莫三鼻克（16～72%）、不丹（63%）。

（8）水費負擔大於0.5%者全部是經濟落伍之國家，尤其最貧窮之不丹、莫三鼻克達50%以上，而歐洲先進國家水價雖高達數十元，但水費負擔均值低於0.5%。

四、由表四看到日本之每人每日用水量僅140lpcd，比筆者取自日本每年發布之長期資料差甚多。經查正式發命之1997年統計資料，平均日配水量為390lpcd，有收費87.7%，普及率96.0%，計算得平均日用水量為328lpcd，表四之資料雖然有誤。再查得知表三之用水量61.47億M^3與表二之取水量163.53億M^3相除得其收率37.6%不列上述87.7之一半，顯然資料有誤以致IWSA之計算出錯。

五、依據上述發現，筆者即將各國之表二取水量除表三用水量作為各國之售水

率加列於表四之最右欄以供參考，加列售水率後發現下列有意思之結果：

（1）各國所報數値之意義可能不同。有些國家或地區用水量與取水量不分，以致售水率爲100.0%有剛果、香港、印尼、摩納哥、新加坡等。甚至亞塞爾拜然及約旦之售水率高於100%，表示用水量多於取水量。

（2）英國在1980年絕大部分未裝用戶水表，售水量係估計其售水率爲75%者。1989年全國之十個大自來水公司民營化後，積極大量裝用戶水表，雖仍未全部裝表，但1997年之售水率已一舉提升爲88.1%，17年間人口增加不到5%，但售水量自52.3億M^3增加爲69.6億M^3，增加33%之多。

（3）1980及1997兩年均有資料者均屬歐洲國家，除上述英國因特殊原因而提高售水率外，售水率提高者僅盧森堡一國，其他八個國家之售水率均降低，而降低較多者有西班牙之自94.5%降爲78.9%、匈牙利之95.4%降爲85.1%、比利時之88.0%降至78.5%、瑞典之85.2%降爲78.9%、不知原因爲何，實有了解之必要，請現在參加國際水協科技議會之代表謝啓男兄連繫了解，特別是西班牙爲何降那麼多？是否取水量資料有誤？

從中美地震補強策略與技術討論會——談自來水設施地震補強與應變整備對策

王桑貴*、鄭錦澤**

壹、前言

在1999年9月21日臺灣發生芮式7.3級大地震，台北發生大樓倒塌，中部各地發生重大災害，臺灣省自來水公司設施受損頗重，並由現場之親身瞭解，見證震災損害之嚴重性。在此次震災中臺灣省自來水公司上自上游之水源設施—石崗壩取水及導水設施，中游之豐原第一淨水場淨水設備、清水池及輸水幹管，下達配水系統管網及用戶給水管，皆遭受重大損壞，災後十餘日部分地區仍未恢復供水，仍依賴水車送水。臺北自來水事業處亦調派水車、儲水筒及同仁前往支援，據初步瞭解其主要水源、淨水及供水系統最快約須3個月始能初步恢復正常。

鑒往知來，國內外各相關學術與專業協會亦陸續分別派員前往災區賑災、勘查及召開許多次研討會，惟大部份偏重於應變與復舊等方面之介紹與研討，較少論及補強策略與政策研擬等執行面之探討，此次行政院公共工程委員會鑒於前述之現象，除參考以往許多國內外專家學者之建言外，特別借重同處於環太平洋地震帶，美國加州地區地震補強方面之經驗與技術。在召集人公共工程委員會蔡主任委員兆陽自元月籌辦此次討論會，並獲北美臺灣工程師協會主席洪順天博士、駐舊金山臺北經濟文化辦事處科學組及國內各相關機關、企業等籌備委員及專家學者之通力合作下，終於在今年3月27日至4月1日間辦理「中美地震補強策略與技術討論會」。

貳、議程及美方參訪專家背景簡介

2.1議程簡介

本次討論會區分爲四個專業分組：「道路系統組」、「建築物組」、「維生線組」、「地震災害組」。分別邀請美方專家十七位，我方專家約七十位（含籌備

* 臺北自來水事業處工程總隊總隊長
** 臺北自來水事業處工程總隊設計科計畫股長

委員十四位），總計約九十位，均具備相關工程實務經驗；美方專家及籌備委員名單如下所附。

專業分組	美方專家	我方籌備委員	
		機關名稱	姓名及職稱
道路系統組	劉文　博士	中華顧問工程司	張荻薇　副總工程司
	徐雨義　博士	公路局	葉昭雄　副局長
	盛力航　先生	高公局	張弘義　總工程司
	張錦松　博士	鐵路局	黃民仁　總工程司
建築物組	陳嫣及　博士	廖慧明建築師事務所	廖慧明　博士
	陳振坤　博士		
	郭敏隆　博士	瑋宏工程	蕭興臺　博士
	鄭正昌　博士		
維生線組	鄭治明　博士	臺電公司	林勝男　總工程司
	洪順天　博士	中油公司	范垂磻　總工程司
	李大維　先生	大臺北瓦斯	王文一　總經理
	Mr. Eric Fujisaki	臺北自來水事業處	王桑貴　總隊長
地震災害組	張金榮　博士	中央地科院	蔡義本　院長
	文義歸　教授	中央地科所	溫國樑　教授
	邱士正　博士	國家地震中心	羅俊雄　主任
	唐文浩　博士	中央氣象局	辛在勤　副局長
	董偉明　博士		

議程主要分二部分：（一）、實務參訪交流：自三月二十八日及二十九日為會前交流會及各分組籌備委員安排該組之美方專家赴各工程單位參訪，與各工程單位進行初步交流與互動，並期能使美方專家對各單位所遭遇到的相關補強需求有初步的瞭解。（二）、專業分組討論：自三月三十日及三十一日假揚昇球場舉辦各專業分組討論會，希透過此次討論會，藉由兩地專家的討論，建立國內相關補強策略共識，並提昇相關補強技術；並於三十一日下午綜合座談會時，報告各專業分組就補強議題所形成的結論與建議，以做為公共工程委員會施政之參考依據。

2.2、美方參訪專家背景簡介（維生組—（自來水公用事業））

2.2.1、美方專家DAVID D. LEE（李大偉）學經歷簡介

李大維先生（DAVID D. LEE）是一位資深工程師，現正領導東海灣都會公用事業局（EBMUD）耐震改善計畫之設計部門。他擁有堪薩斯州立大學土木及結構工程等兩項碩士學位，並且具有在加州註冊之土木工程專業技師。

李大維先生有二十二年之工程經驗及資歷，包含：自來水及污水設備之設計及建造等領域；特別是有關考量地震時自來水系統之應變行為。他曾擔任專案經理，負責評估自來水事業淨水設備及供水系統，以供應一百二十萬客戶用水。現在他是設計部門之負責人，負責設計EBMUD高達美金二億元之耐震補強計畫。這是一個州政府的技術計畫，以提昇這個地區遭受震災時自來水淨水場及供水系統耐震能力，它的計畫執行期程達十年以上，以抵抗該地區被預測之地震。

對於淨水場及輸配水系統承受地震力，李大維先生已經指導及執行過許多在這方面之評估及設計工作。目前正指導研究一個60英吋（1500㎜）幹管破壞之行為機制，它是在西元1989年洛馬普利塔（Loma Prieta）地震時被破壞的，並且研究當淨水場、配水池及管網等系統橫越斷層時之耐震補強能力。

李大維先生專業工作經歷尚涵括：一、專業顧問機構、二、數家主要公用事業公司。他曾為舊金山灣淤泥區設計主要工業設施之消防用水系統。他同時是一位美國土木工程師協會積極熱心的會員。

近年發表之研究論文報告包含如下：

1. **“提昇耐震技術補強管網可靠性探討”，“提昇預力混凝土蓄水池耐震度探討”，“提昇加壓站建築物耐震度探討”**，美國土木工程師協會（ASCE），地震維生工程技術研商會（TCLEE），第五屆研討發表會，西雅圖，八月，1998。
2. **“提昇淨水設備耐震度探討”，“減緩管線橫越斷層之措施探討”**，國際自來水協會（IWSA）暨日本自來水協會（JWWA）自來水供水系統耐震研討會，東京，11月，1998。
3. **“黑瓦德（Hayward）斷層潛變對自來水導水管渠影響減輕措施之探討”**，地震工程研究學院（EERI）暨地震工程國家研討會（NCEE），第六屆美國國家地震工程研討會，西雅圖，六月， 1998。。
4. **“主要輸水幹線橫越活動斷層之評估及提昇措施探討”**，美國土木工程師協會管線組特別專題研討會，伯林敦，佛蒙特州， 六月， 1996。
5. **“地震對火災及經濟之衝擊及影響探**

討”，“1989 Loma Prieta 地震對 EBMUD自來水輸供水管網損壞探討”，及“主要自來水系統之評估及補強計畫”，美國土木工程師協會（ASCE），地震維生工程技術研商會（TCLEE），研討發表會，舊金山，八月，1995。

6.“**EBMUD自來水系統之評估計畫**”，自來水環境聯盟，對自來水及污水設施之災害預防及復救規劃專題研討會，一月，1995。

7. **自來水管理研討會專題演講**，水資源局，經濟部，中華民國，臺北，七月，1995。

2.2、美方專家Thomas Chu-Ming Cheng學經歷簡介

湯瑪士（鄭治明），環境工程師

學歷

威斯康新大學土木工程(環境工程組）博士，麥迪遜， 1972.

愛荷華大學土木工程（環境工程組）理學碩士，愛荷華市， 1968.

臺灣大學土木工程學士， 1963.

危險材料管理訓練研習， 加州大學戴維斯發展中心， 1990-92.

經歷

（一）12/98～現在 聖雷蒙工程師聯盟首席工程師

1. 曾爲偏遠社區及工業區設計小型自來水及污水處理設施，其程序是利用包含延長曝氣、滴濾、澄清淨化、多層濾清及消毒。
2. 參與設計歐們（Auburn）污水處理場擴建計畫，包含新的導坑渠首、二個管涵紫外線消毒系統及其它處理設施。
3. 設計過污水再生計畫，以供應景觀美化及高爾夫球場用水。

（二）6/86～12/98 加州馬汀尼茲郡中央反葉脈公共衛生區專案經理

1. 規劃設計及設置污水回收系統及處理設施（處理能量45MGD），已經完成許多增建及改善修復下水道計畫；一個處理場控制中心計畫；一個第二期淨化擴建發展設施計畫；從毀壞混凝土結構物再聚集利用，充當溝渠回填材料以節省經費。
2. 參與歐琳達（Orinda）市ϕ36英吋（900㎜）8000英呎長幹管推進工法設計；使用創新的設計從原存在之管線經由二條溢流改道結構至新管線，以轉移額外潮濕天氣所產生之流量。
3. 另外除了掌管設計及建造工程合

約及設備器材及服務標準程式外，有六年時間參與幫助行政區規格計劃書控制協調委員會。

（三）6/81～5/86加州巴克利及巴莎迪那市技術工程公司專案經理

1. 參與詳細設計在蒙特瑞地區水污染控制場（處理能量21MGD）及二個在中國大陸石油精煉污水處理設備場（處理能量分別爲7.5及12MGD）。
2. 在1982年受南韓政府之邀請，參與在漢城（1200萬人口）爲澄清漢江的漢江盆地環境控制改造計畫及其爲1988年奧林匹克運動會準備之附屬計畫。
3. 參與設計巴基斯坦的回撒雷貝德市政污水收集及處理場（120萬人口）及馬來西亞首都吉隆坡污水收集及處理場（100萬人口）。

（四）11/77～5/81 加州奧克蘭市凱薩工程師有限公司結合協調土木工程師

1. 工作包含規劃設計供應城市及控制煤塵、水泥及鋁精鍊場等工業設施之自來水供水及污水處理設施。
2. 任務包含現址選定、設計程序、設備選用、製圖及規格詳細計畫書的準備作業。

（五）2/76～10/77 密蘇里州聖路易市時兒都樂普股份有限公司專案工程師

1. 研發七項被選定工廠流出物進入政府擁有處理工廠之預處理標準，這個計畫值基於環保署要發展對被選定工業之預處理標準。
2. 帶領一個對於處理電鍍廢水之可行性研究，以及釀酒廠污水處理場使用完全混合活性污泥處理過程的準備操作維護手冊。

（六）11/73～1/76 喬治亞州湯瑪斯米樂市戴維斯自來水＆污水工業有限公司研發工程師

1. 發展處理能量從5000GPD 到2MGD的污水處理廠之生物硝化及去硝化過程基準模式。
2. 擔任公司銷售及客服部門之技術顧問工作。

參、參訪紀要

實務參訪交流由各分組籌備委員安排，公共工程委員會此次特別安排維生組借重二位美方自來水公用事業專家鄭治明博士及李大維先生之經驗與技術，赴工程單位參訪與初步交流互動，因此在三月二十八日參訪臺北自來水事業處，于三月二十九日參訪臺灣省自來水公司，在會前交流會後由維生組自來水公用事業籌備委員臺北自來水事業處工程總隊王總隊長桑貴之帶領陪同下，分別進行前述參訪活動。

3.1、參訪臺北自來水事業處

三月二十八日參訪臺北自來水事業處，上午分別前往公館淨水場參觀自來水博物館及國內最大淨水場之直潭淨水場，下午到達臺北自來水事業處處本部之長興淨水場，並由蔡處長輝昇親自主持美方專家參訪研討耐震補強座談會，並作成紀錄據以執行。

美方專家參訪報告重點：

（一）、為維持地震後必要供水機能，對於相關耐震補強計畫之作法：

1、首先宜推測該地區性可能發生之地震災害程度，以利研擬相關應變對策。

2、組成專案小組規劃研擬三－四方案供決策參考裁示。

3、經由教育宣導、媒體溝通及問卷調查等手法，藉由完整之準備，以提高政策執行之可行性。

4、經合理分析後徵詢市民（用戶）及董事會同意後，在水費之外復徵耐震補強乙項費用，採專款專用，並分年執行，其計費之基準係以用水量及用水口徑等標準計收。

（二）、在加州對於維生供水系統除補強外，並以環狀管網系統連通構建，並針對老舊管線地震時建立較易破壞管路列入優先改善，配合構建GIS系統及電動閥等系統，由控管中心人員應變掌控。

（三）、在加州曾建立必要之維生用高地配水池三座，並輔以緊急遮斷閥、防脫接頭、可撓管，以利震災時維生之需，至於深井之維生應用仍在試驗研究中。就震災時供水設備之電源供應及現有水池提高耐震度，建築法規等相關法源之增修，宜加以研析及改進。

（四）、就加州之經驗，管線接頭耐震化，原則上日本之系統換接時效較佳。隧道或幹管橫越斷層建議該段可適度放大管徑，以減輕衝擊或各預留三支管以利破壞時緊急連通。

（五）、對於自來水本身之設施及建物宜提昇其耐震能力，對於較不易固定容易掉落之物件宜妥適放置，避免人員及救災資料、系統等受損，妨礙

救災進展。

參訪結論：

（一）、爲建立臺北地區維生系統，先選擇一處配水池（如木柵配水池）試辦設置緊急遮斷裝置等設施。

（二）、相關耐震補強技術與經驗之交流及人員互訪應持續進行，以利提昇整體維生系統之功能。

3.2、參訪臺灣省自來水公司及中區水資源局

在參訪臺北自來水事業處後，隨即搭機趕赴臺中，並在行程中作初步溝通討論，次日一早在臺灣省自來水公司王組長令德專車接送下，直赴該公司拜訪盧總經理清雄，初步溝通瞭解臺灣省自來水公司此次921大地震之經驗後，並由沈主任秘書進宏主持專案簡報，其後由中區工程處李處長輝雄陪同，前往豐原給水廠現地瞭解實際受損及搶救復建之過程，以利研提中美地震補強策略與技術討論會適當之對策。

據瞭解臺灣省自來水公司主要水源、淨水及供水系統已陸續修復，豐原給水廠第一淨水場維修工程共分三期，在同仁努力下，第一期業已完工，並于今年3月底將送水幹管改接，開始恢復部份正常出水，第二期維修工程預定于今年4月底完成；此次台灣省自來水公司主要設施受損修復重建初步已投入近十億元之經費。有幾點主要感受說明如下：①鑒於應變受損之情形，宜考量設置第二指揮中心。②淨水場雖有1/3發電容量，經此次震災之情形，希能提升至70％~80％機組容量。③就防災之觀點，宜考量多水源及雙系統支援之機制。④搶修順序及時效，以優先恢復較多用戶人數爲原則。⑤借助通訊設備之多元化，以提昇搶修資源有效應用。

另外亦前往中區水資源局所管轄之石崗壩參訪，會見該局葉副局長純松，並由該局同仁簡介此次災變受損與修復之經驗及作法。該壩體此次災變中因位處斷層帶通過，地層隆起，致部份壩體閘堰受損嚴重，在中區水資源局同仁努力下，經先採修築局部圍堰，以及修復輸水系統，並改利用部分水利設施引水，希望能趕在今年五月底前完成初步修復作業，以利正常供應大臺中地區用水。

肆、中美地震補強策略與技術討論會紀要

本次中美地震補強策略與技術討論會自三月三十日及三十一日假揚昇球場舉辦各專業分組討論會，希透過此次討論會，藉由兩地專家的討論，建立國內相關補強

策略共識，並提昇相關補強技術；並於三十一日下午綜合座談會時，報告各專業分組就補強議題所形成的結論與建議，以做爲公共工程委員會施政之參考依據。

4.1、中美地震補強策略與技術討論會維生線組（地下管線小組）初步結論與建議

此次中美地震補強策略與技術討論會臺北自來水事業處則由陳副處長志奕與工程總隊王總隊長桑貴與會，並由計畫股鄭股長錦澤協助紀錄等幕僚作業。臺灣省自來水公司原預定由總工程司陳福田與劉經理廷政代表，因另有要公改由楊副總工程司政雄與會，經過兩天密集研討，由鄭博士治明研提幾項題綱提供討論之基礎引言：①風險評估與計畫研訂（Risk Assessment and Program Set Up）、②淨水處理設施（Water Treatment Facilities）、③配水池、加壓站及管線等供水系統（Water Distribution System（Reservoir、Pump Station、Pipeline））、④緊急應變（Emergency Response）、⑤建物與非結構物體（Building and Non-structure Items）、⑥成本效益分析與財源（Cost and Benefit Analysis and Funding）、⑦公眾教育宣導與尋求共識（Public Education and Outreach）、⑧法規⑨確保用戶安全。並分別與臺北自來水事業處陳副處長志奕、大臺北區瓦斯股份有限公司王總經理文一、以及中國石油股份有限公司范總工程師垂磻，分三階段共同就下列議題主持探討：

- 檢討臺灣震災對管線損害
  Current practice and areas of concerns in Taiwan
- 檢討美國加州對防震補強的策略
  Seismic Improvement Strategies in California
- 自來水廠緊急應變的規劃策略
  Emergency Response Strategy at the Water Treatment Plant
- 儲油庫、蓄水池的防震補強技術
  Storage Tanks Upgrade
- 如何降低地震破壞地下管線的措施
  Pipeline Hazard Mitigation
- 自來水廠和抽水站的防震補強技術
  Water Treatment Plants and Pumping Station Upgrade
- 自來水廠最新的防震設計規範
  Performance Based Seismic Design at Water Treatment Facilities
- 耐震補強計畫之尋求公眾共識與財源籌措
  Public Outreach and Funding for Seismic Improvement Program
- 綜合地下管線小組的結論與建議
  Summary of Conclusions and

Recommendations

中美地震補強策略與技術討論會維生線組（地下管線小組）經過密集討論研提初步結論與建議（如下所示）：

①、鑒於維生系統對人民生命之重要性，另基於美國加州之案例，震災前維生系統設施補強措施與震災後之復舊工作，其對於總體經濟之效益比值為六：一，因此建請中央主管機關及各維生系統機構應著手研究落實耐震補強相關計畫，以為因應未來可能面臨震災時之衝擊。

②、對於耐震補強策略，首先宜注意風險之評估，經由地質等基本斷層資料之調查研究，預測各地區可能遭受之震災（震度）規模、地質潛變區及斷層破碎帶等相關資訊，基於事權合一，建請中央地質、地震及工程主管機關應先進行地震災害評估，以利研擬維生管線系統耐震補強策略及對策方案。

③、為維持震災時期必要維生機能，並降低對整體社會與經濟之影響，各維生系統事業機構應規劃研擬相關之耐震補強計畫，考量計畫目標程序、技術及財務等諸多因素，研提幾項適宜可行方案，其間透過教育宣導、媒體溝通及問卷調查等方式，以尋求共識，提昇政策執行之可行性，並供決策選定實施方案。另對於維生反應之機制、人員、資料、通訊及物料等管理，宜藉助相關之科技，並分散風險，諸如：衛星通訊、火腿族、遠程對講機、物料及技術人員之流通資源管理、GIS 等圖資系統及反應機制之模擬及訓練，以減緩衝擊影響。

④、對於耐震補強財務規劃，應考量受益者付費之精神，並審酌各維生事業機構財務情形，對於較無法合理調整價格，反應維生成本之公民營維生事業機構，宜由政府籌編公務預算，以補助或投資方式負擔，以利耐震補強計畫執行。

⑤、為執行耐震補強計畫及落實維生安全，建請內政部營建署（自來水）、經濟部能源委員會（石油及瓦斯）等相關主管機關及維生事業機構配合增修相關法規，諸如：建管、土地、設計準則……等，並組成「油氣水管線技術暨防震規範製定委員會」，並應以產業界為主（約佔 70%），以利制定相關法規暨方案推動。

⑥、與會人士深感此次技術研討會成果豐碩，對於提昇耐震補強技術，甚有助益。建議公共工程委員會繼續舉辦，以增進國內外之技術暨經驗交流。

中美地震補強策略與技術討論會其它各組經過密集討論研提初步結論與建議一

併表示如下，以利從業人員參考。

4.2、中美地震補強策略與技術討論會道路系統組結論與建議

一、說明

1. 橋梁、隧道等道路系統是人類生活中極爲重要的維生線，若在地震中產生災害，除了直接的生命財產損失外，也將阻礙救災、復原工作的進行，並對社會經濟造成持續性傷害。因此，建議政府重視橋梁、隧道等道路系統的耐震安全性，即刻對橋隧進行全面性的耐震能力評估與加固補強工作。
2. 隨著科技的進步與社會經濟的變遷，設計法規時有修正，依舊法規設計之橋梁常有不合新法規之情形。爲減輕地震災害，建議政府應依輕重緩急，對橋隧進行耐震能力評估與補強工作。
3. 橋梁耐震補強目標應讓一般性橋梁於強震時不致崩塌，重要維生橋梁於強震時不僅不能崩塌，而且必須還能維持使用功能。
4. 美國最近十年的耐震加固經驗，以及二次都會區大地震的考驗，都證明了現有橋梁耐震加固的必要性及有效性。
5. 美國橋梁工程耐震加固之技術及相關設備已日趨成熟，可供國內參考與應用。

二、具體工作項目

1. 建議政府應依輕重緩急，對橋隧進行耐震能力評估與補強工作，並建議重要橋梁在5年內全部完成。
2. 儘速研訂實施橋梁（道路系統）耐震能力評估與補強制度之相關法令，明訂相關作業程序，釐清補強設計之責任歸屬，俾使耐震加固補強有所依據，並得以落實。
3. 辦理橋梁（道路系統）耐震能力評估示範例。
4. 成立橋梁耐震能力評估與補強審議人力庫，協助各橋梁主管單位執行相關審查與技術諮詢工作。
5. 辦理橋梁（道路系統）耐震能力評估與補強技術之講習與推廣，並建立人才資料庫。
6. 考量本次地震特性，針對全國強地動觀測資料，儘速修訂國內震區劃分，以供爲橋梁耐震設計及耐震補強之依據。
7. 建議各橋梁主管機關制定耐震補強時間表，每年編列一定比例之預算，並逐年增加，以推動橋梁耐震能力評估與補強工作之進行。
8. 橋梁耐震補強所面臨的主客觀限制條件較新建橋梁嚴苛，其設計與施工技術也較新建橋梁繁瑣。爲鼓勵信譽優

良、技術領先的顧問公司及營造廠商從事耐震補強工作，建議政府相關單位應尊重橋梁主管單位之專業，合理編列相關規劃、設計、施工及監造之預算。

9. 建議政府儘速研訂合宜的法令規章，俾使橋梁主管機關能因應時況所需，採取較爲機動的發包方式，以利新材質、新工法之使用，期能達到加固補強之實質效果。

10. 建議儘速建立地震速報系統，以確保高速行駛的鐵路車輛之安全。

4.3、中美地震補強策略與技術討論會建築物組結論與建議：

美國經歷1989年Loma Prieta 及1994 Northridge 地震後，所擬定的一些建築物診斷、補強準則及相關法規，應可供國內921集集地震災後建築物耐震補強及重建之參考，說明如下：

一、關於耐震診斷及補強準則（Guidelines）

（一）FEMA-310，”Handbook for the Seismic Evaluation of Buildings-A Prestandard”，January 1998。

（二）FEMA-273/274，”NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings & “Commentary”，October 1997。

（三）ATC-40，”Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings”，1996。

建議將這些書籍譯成中文並免費提供。此外，日本的耐震診斷及補強方法也應一併參考。然因國情各異，建議國內能擬定一套實用的準則。

二、關於耐震法規（Code）

2000IBC（International Building Code）可供國內耐震法規修訂之參考

三、對國內公共建築物，如學校及醫院之新建及補強，可參考加州相關法規：”California Building Standard Administrative Code-Title 24 Part 1，1998.”， 尤其是該法規有關設計審核（Plan Check）、施工管理（Construction Supervision）及持續監工（Continuous Inspection）的部份。建議工程會或營建署可參酌國情，增設一機構負責相關事宜。

四、對國內非公共建築物的設計審核及施工監督，建議由地方政府負責。但爲補救政府工程審核或施工監督人員之不足，可仿效美國方式，委託私人公司執行。對於較特別的設計，則應實行同行審查（Peer Review），以提高品質（Quality Assurance）。至於何

者應規範爲”特別設計”，則應於法規中說明。

五、本次討論會中曾介紹中、美、日三個補強案例，可顯示耐震補強的可行性及必要性，同時也瞭解美日審核的程序與服務費用之合理化，可供國內參考。

六、921地震後，國內極需做許多的補強工作，希望政府儘速釐訂一套可行的法規與收費標準。

七、建議國內公共建築物，如學校、醫院及其他重要建築物，應進行全面耐震安全診斷及補強。

八、臺灣應利用921地震時，中央氣象局所測得的豐富地震波資料，進而分析出符合臺灣海島特性的反應譜曲線（Response Spectrum），並作爲耐震規範。

4.4、中美地震補強策略與技術討論會維生線組–電力系統小組結論與建議

一、由電力設備之脆性資料（fragility information）可獲得結論如下：

1. 較低電壓的設備及Dead tank、OCBs 等較爲堅固。
2. Live tank circuit breaker 較易受損。
3. 除了Live tank breakers 和 rail-mounted transformers 以外，最大地表加速度在0.2g以下時，並不會產生太大災害。

二、對於地震後變電所建築之典型改善方式如下：

1.增加或補強剪力牆。

2.封閉屋頂及牆壁之開口。

3.移除廢棄設備或龐大隔間。

4.更新或增加鋼結構支撐。

5.利用拉繫增加結構連續性。

6.強化牆版間之連結。

三、臺灣電力公司之電力設備在耐震性測試已有良好之基礎，建議日後可探討是否將IEEE 693規範納入台電公司設備採購規範。

四、建議電力系統之建築可採用功能性建築設計觀念，以增加設備之耐震能力。

五、有關IEEE 693採用之設備更新分級系統之評分方式，建議臺電公司評估是否適用。

六、臺電公司系統之年度搶修演習，建議增列防震項目，以提高地震災害應變能力。

七、因應未來電業自由化，建議政府應訂定電力事業設備之相關規範。

公用事業（Public Utilities）如電力事業在國內逐步民營化的此時，應該要有耐震特殊規定，以保障在大地震

後，用戶的權利不致因民營公司爲節省成本而被犧牲。

八、美方電力系統遭受地震損害多以變電所爲主，鐵塔損害較少，而臺灣因地形及相關因素，其地震損害鐵塔基礎相當嚴重，建議可再針對鐵塔基礎邀請該部分專家研討。

九、建議臺電公司加強與國際間相關電力組織之合作與資源分享，可解決共同問題及建立更健全之電力組織。

4.5、中美地震補強策略與技術討論會地震災害組結論與建議

一、建立類似FEMA 之機構或災害防救中心，以利防災之準備。

二、建議公共工程委員會成立一專門委員會，針對新的地震災害評估結果或法規之休定進行審查。

三、對現有公共工程應進行地震災害再評估及後續補強工作（要先建立評估準則）。

四、地震災害評估技術在國外已大致成熟，但需進行本土化工作，建議持續進行災害評估所須參數、方法之調查與改進。

- 活斷層之位置、活動度及相關參數之詳細調查。
- 衰減公式
- 場址效應、液化潛勢
- 山崩潛感

五、加強HAZ-TAIWAN（地震災害評估及決策支援系統）之應用及決策支援系統之建立。

- 分區基本資料庫之建置
- 本土化模組之建立
- TSMIP分區即時網之建立
- HAZ-TAIWAN之應用要將公共工程之建設及相關基本資料庫納入並進入災害評估
- 建議選擇二至三個Pilot Area 進行Earthquake Loss Scenario Study

六、公用設施（Utility）如電信事業在民營化過程中，希望工程會能訂定某一個耐震的標準，要求各個事業單位遵守，以保護大眾在地震後的使用權益。

伍、結語

臺灣地區於去年九月二十一日在集集發生7.3級強烈大地震，其後又分別於十月二十二日在嘉義發生6.4級大地震、以及十一月二日在成功發生6.9級大地震，近百年來未逢如此劇烈又連續密集之地震，彷彿聞談”震”色變。後二者災情不若集集發大地震死亡二千餘人般嚴重，探究其原因或因釋出之能量差別，或因深度之不同，或因已有所提防；但接連三起大地震，實足令吾人深加警惕，記取教訓。

由於地震極具破壞力，會造成生命、財產之慘重損害。鑒往知來，由此次震災中臺灣省自來水公司之例證，以及各級政府及相關機構人員救災體驗，應從中學習其經驗，以提昇自來水從業人員及企業應變之能力。

自來水事業及從業人員首先應注意本身建物及個人安全，該等無恙後始有餘力擔負自來水救災及復建之工作。其次應檢討評估地震災害，以利研擬適宜之自來水設施耐震能力及模擬因應措施。鑒於事前之補強防範比事後之搶救復建總體效益約爲6：1，因此除現行進行災區復建工作外，應積極配合研擬補強之措施規劃，建議自來水設施應研擬分期目標，以期減輕災害影響程度。自來水事業並可藉由參考美日等先進國家地震災變防救之措施及經驗，檢討現有設施耐震能力，必要時應委託專業機構代檢，研擬如何減少設備損害，建立完整之緊急災害處理準則，平時並模擬各種狀況，定期進行防災演練，以提高員工緊急應變能力；研析如何維護市民基本維生所需，使市民之損失與不便減至最少。

淨水場砷去除技術之選擇

林財富*

摘要

砷對人體造成傷害的證據極爲明顯，所以必須把自來水中砷含量減到最低，以確保民眾之安全。我國將於今年（2000年）年底提升砷水質標準，美國環保署也預計將於明年初起實施新的法規值，因此近年來有許多相關的研究文獻。爲探討砷處理方向的發展，本文首先介紹砷水質標準的發展以及在台灣地區地下水體中存在之情形，並說明砷在水環境中的型態，以作爲處理方法的背景了解。接下來介紹淨水處理程序中常用之除砷技術，包括傳統方法中之混凝/沉澱、石灰軟化、鐵錳氧化等程序，以及高級方法中之混凝/微過濾、陰離子交換樹脂、活性氧化鋁、薄膜等單元。最後並從水質狀況、廢棄物處理及設置與操作成本等因素，說明選擇考慮水中砷的去除程序所應有的步驟。

一、前言

砷是一種毒性物質，長期飲用含砷量高的水，可能會造成許多的病變。國際癌症研究組織（IARC, International Agency for Research on Cancer）已將之列爲第一級致癌物之一（WHO, 1993），美國環境保護署（U.S.EPA）亦將之列爲A級的致癌物（Cotruvo and Vogt, 1990），包括皮膚癌、膀胱癌、肺癌等，均與砷有關。此外，數十年前台灣西南部流行的血管疾病及烏腳病均懷疑與飲用含砷地下水有關（郭氏, 1996）。因此砷對人體造成傷害的證據極爲明顯，所以必須把自來水中砷含量減到最低，以確保民眾之安全。

目前世界各國飲用水中砷濃度標準限值多介於0.007至0.05 mg/L間（張氏, 1996）（參考表1），其中世界衛生組織（WHO）建議值爲0.01 mg/L，而美國及我國則採0.05 mg/L，屬較高的數值。但由於砷的潛在危害性大，我國將於今年（2000年）12月1日起，將標準數値改爲0.01 mg/L。目前美國環保署也已於今年（2000年）6月22日提出新的標準值，預計將降至

* 成功大學環境工程系教授

0.005 mg/L（40CFR 141, 142），並於2001年1月1日起實施，將有六千六百個自來水系統（大多爲小於一萬人的系統）、共二千二百五十萬人受到影響。水廠供水規模大於一萬人者必須於法規施行後三年內合乎新水質標準，規模介於25至一萬人者必須於五年內合乎標準，供水規模小於25人者必須於三年內監測並公佈結果（USEPA, 2000c）。美國環保署並同時提出0.003、0.01及0.02mg/L等三個方案，各個標準下受影響之水廠、民眾及成本分別列如表2。

地下水中砷的問題存在於許多國家中，例如美國（Reid, 1994）、印度（Joshi and Chaudhuri, 1976）、中國大陸（鈕氏, 1996）、台灣（林氏, 1999）等。以美國爲例，仍有12.1％以地下水爲水源的自來水系統含砷量超過5μg/L，即使是以表面水爲水源的自來水用戶，仍有大約2.9％左右的自來水系統砷含量超過5μg/L，其中絕大多數均爲供水人口少於一萬人的小系統水廠。另一方面，地下水中砷在台灣地區，一直爲一項重要的天然污染物。在近年來調查中顯示（林氏, 1999），砷濃度高的區域主要包括有西南部沿海縣市及北部蘭陽平原。在西南部沿海地區，包括有雲林、嘉義、台南等縣市及高雄縣路竹及屏東縣林邊等沿海區域，其濃度高者可達數個 mg/L以上，超過現行飲用水水質標準40倍以上。蘭陽平原則以冬山、五結、壯圍及宜蘭等鄉鎮，地下水中砷濃度最高亦可達3 mg/L（陳與江，1997）。林氏（1999）曾針對台灣地區西南沿海以10個地下水爲水源的淨水廠作爲採樣分析，結果發現有兩個淨水廠的清水樣品超過或接近現行法規標準（50μg/L），有5個水廠超過2000年12月之標準數值（10μg/L），清水中砷含量最低的水廠仍有接近3μg/L。雖然前述兩個超過法規標準的水廠已更換水源，但長期而言，對其餘含砷量已超過10μg/L的水廠，仍有監測及提昇處理技術的必要性。

二、背景資料

1. 砷的來源

地下水中砷主要來自天然礦物的溶解，工業廢水的排放或大氣中污染物沉降，工業上砷的污染主要來自排放的廢水，例如製革廠的排放廢水中含有亞砷酸鈉物質（Sadler et al., 1994），玻璃器皿製造以三氧化二砷、亞砷酸作爲原料（阮氏，1986），還有冶金礦場的沖出物、染料廠、木材防腐劑、煉油工廠、陶瓷製造業、稀土金屬工業等都可能排放出含砷廢水。農業上砷的污染主要來自殺草劑、殺蟲劑、殺菌劑及木材防腐劑，例如砷劑添加鉛、銅可作爲乾燥劑及木材防腐劑，而

甲基砷酸鈉（monosodium methanearsonate, MSMA）和雙甲基砷劑（dimethylarsonic acid, DMA）為最常見的殺草劑；此外砷酸銅、砷酸鎘、砷酸鉛、砷酸鈣、砷酸鐵和砷酸錳等砷化合物也是常用的含砷殺蟲劑（劉氏，1995）。但地下水中高濃度砷常是由地質緣故（即天然礦物中溶解出）（WHO, 1993）所引起。

2. 砷在水環境中的型態

砷在水環境中的型態非常複雜，在不同氧化還原狀態之水溶液中，砷有四種穩定的價位狀態（+5、+3、0、-3），而在天然水體中多為+3及+5價。在水域環境水中，砷的型態以砷酸鹽（Arsenate，H_3AsO_4，$H_2AsO_4^-$，$HAsO_4^=$）、亞砷酸鹽（Arsenite，H_3AsO_3，$H_2AsO_3^-$，$HAsO_3^=$）、單甲基砷（monoethylarsonic acid, MMA）及雙甲基砷（dimethylarsonic acid, DMA）四者為主（Chen et al., 1994）。Edwards（1994）報告中指出，美國天然水中砷主要以無機砷型態存在，有機砷濃度則很少超過1μg/L。而Kondo等人（1999）則在日本福岡地區所調查的67口水井中，在含砷水井中的砷物種主要以無機砷型態存在，MMA與DMA含量均小於1μg/L。Chen 等人（1994）於台灣西南部布袋水井中調查亦顯示，有機砷濃度均少於1μg/L。顯示含砷之地下水中，天然來源之砷以無機砷型態存在。

砷在氧化態的環境下，以五價砷（As（V））為主要型態，在還原態的環境則以三價砷（As（III））為主，pH值低於5.5左右，而水中有硫化物存在時，會形成穩定的固體狀態如AsS和As_2S_3，而在極度還原狀態時可形成溶解度低的AsH_3（王氏，1990），砷在不同氧化還原狀態之水溶液中之形態可參考Cherry 等人（1979）的文章。平均而言，三價砷與五價砷之比例，在美國為0.5左右（Edwards, 1994），在日本福岡地區為0.068 - 2.5（Kondo et al., 1999），在布袋地區為1.1 - 5.2（平均2.6）（Chen et al., 1994），在嘉南及蘭陽平原地區則介於0.4 - 2.6間（林氏, 1999）。若考慮砷之溶解態或膠體態，以美國為例，平均約有39%左右的砷是以顆粒形式（> 0.45μm）存在（Edwards, 1994），在布袋地區的井水中，則僅約有3%左右，有81%是以分子或離子形式存在（Chen et al., 1994）。

三、淨水程序除砷之技術

水中砷的去除研究包括有混凝、石灰軟化、離子交換、活性碳吸附、逆滲透、電透析、活性氧化鋁吸附、鐵氧化物吸附及蒸餾等方法（Joshi and Chaudhuri, 1976; Fox and Sorg, 1987; Fox, 1989; Cheng et al., 1994; Huang and Liu, 1997）。其中常用於

淨水處理程序的方法，以傳統方法中之混凝/沉澱、石灰軟化、鐵錳氧化等程序，以及高級方法中之陰離子交換樹脂、活性氧化鋁、薄膜等單元。而常用於使用點（point-of-use）的處理法，則包括有逆滲透、活性氧化鋁、離子交換、活性碳吸附及蒸餾法等（Fox and Sorg, 1987）。以下分別討論淨水處理程序常用之除砷技術。

1. 混凝沉澱過濾法

在混凝沉澱過濾法中主要係將原水中溶解態或膠體態砷變成顆粒物砷以利沉澱或過濾，因此有賴於混凝的作用。混凝作用主要可能包括下列幾個機制：沉澱（precipitation），有賴於溶解性固體物之溶解度乘積超過平衡常數，因而形成Fe（AsO_4）及Al（AsO_4）沉澱物；共沉澱（co-precipitation），指溶解性砷於氫氧化物形成之中被包含進其中；吸附（adsorption），則指砷酸根於氫氧化物表面形成錯化物。以下分別討論混凝之重要影響因子。

(1) 吸附在混凝程序中之角色

Shen等人（c.f. 葉與賴, 1991）曾利用實驗室配製原水進行混凝實驗，在包括硫酸鋁、氯化鐵、石灰、硫酸亞鐵等四種混凝劑中，發現氯化鐵除砷效果最好。且一般而言，五價砷（As（V））的去除效果較三價砷（As（III））效果爲佳。葉與賴（1991）並發現五價砷在氯化鐵混凝中，主要以吸附方式去除。Hering等人（1996）也發現氯化鐵去除As（V）或As（III）均以吸附爲主要機制，且同樣有As（V）較As（III）效果好的現象。而Cheng等人（1994）針對美國南加州二個不同水源原水進行加強混凝的桌上（bench scale），模廠（pilot scale）及示範廠（demonstrated scale）實驗，以硫酸鋁及氯化鐵爲混凝劑，並以陽離子聚合物（cationic polymer）作爲助凝劑。測試結果顯示，仍是以氯化鐵處理效果較佳，僅經使用10mg/L，在不加酸的情況下，可將原水中20 μg/L的砷降低至0.5 μg/L以下，但硫酸鋁則在進流水砷濃度大於13 μg/L情況下，即使加至30mg/L仍無法有效降低至0.5 μg/L以下。

Edwards（1994）以硫酸鋁（alum）及氯化鐵（ferric chloride）與砷酸鹽進行混凝反應，並以硫酸鋁及氯化鐵預先形成之鋁及鐵之氫氧化物與砷酸鹽進行混凝反應，前者代表三種混凝反應機制，後者則代表單純吸附砷之量。研究結果顯示，預先形成之鋁及鐵之氫氧化物吸附五價砷的能力均爲0.1 mM/M左右，但混凝作用除砷則爲吸附之5倍左右。由於最大去除量幾乎爲固定，因此判定應無Fe（AsO_4）及Al（AsO_4）沉澱物之形成，顯示混凝作用除砷主要包括共沉澱及吸附。

(2)　pH值之影響

對氯化鐵而言，pH在5.0 - 7.8間對砷去除之影響並不大，然而對硫酸鋁而言，pH <7.0才會有良好的去除效果（Edwards, 1994; Hering et al., 1996）。

(3)　三價與五價砷

多數之pH範圍內，三價砷較五價砷去除效果差，以硫酸鋁去除三價砷爲例，僅爲五價砷的三分之一左右（約爲0.04 mM/M）。惟若以氯化鐵爲混凝劑情況下，去除三價砷可達0.4 mM/M，主要可能是三價砷被鐵離子氧化成五價砷，形成較高之去除效果。高pH值下，由於鐵氧化物表面電性逆轉形成帶負電，陰離子爲主之五價砷吸附力降低，因此三價砷與五價砷兩者去除效果差不多（Edwards, 1994; Hering et al., 1996）。

(4)　共同溶質之影響

水中存在其他無機性溶質時，可能會影響混凝除砷效果。常見的溶質中硫酸根在250mg/L時，會造成三價砷與五價砷兩者去除效果同時降低，磷酸根在0.076mg/L時則無顯著影響，但鈣（120mg/L）存在時，反而會增加兩者之去除效果（Hering et al., 1996）。此外，水中若有矽之存在，將會影響砷之去除，因此必須增加混凝劑用量以達到去除效果（Chwirka et al., 2000）。

(5)　鐵錳氧化作用

在鐵錳的氧化過程中，砷會與鐵錳的氫氧化物形成吸附與共沉澱作用（Edwards, 1994），其中二價鐵氧化時，可同時有效去除溶解性砷，但二價錳氧化的效果則僅約爲鐵的十分之一。在還原環境下因鐵錳之溶解，砷可能會釋放出來，因此，通常水中二價的鐵錳含量高時，其溶解性砷含量亦有可能較高。此外，砷亦可能受天然有機質（natural organic matter）及其他競爭吸附位置物質之存在而造成移動。水中若有鋇存在時，在低濃度情況下（Ba2+= 0.1 mg/L）即會形成砷酸鋇的沉澱固體，五價砷之濃度僅能達0.075 μg/L。

(6)濁度與砷濃度之關係

濁度去除效果與砷之處理後濃度並無直接關係，惟好的濁度去除效果爲高砷去除率之必要條件（Cheng et al., 1994）。

(7)混凝劑添加劑量計算模式（McNeill and Edwards, 1997a）

砷在水中若假設僅含溶解態（[As]soluble）或吸附於混凝劑上（[As]sorbed）時，則可以式子（1）表示

$$[As]_{Total}=[As]_{soluble}+[As]_{sorbed} \quad (1)$$

其中$[As]_{sorbed}$代表水中總砷含量。若假設水中僅有鐵作爲混凝劑，則水中鐵氫氧化物的含量可以式（2）表示

$$[\equiv Fe]_{Total}=[\equiv Fe]_{available}+[As]_{sorbed}+[\equiv Fe\text{-}X] \quad (2)$$

其中$[\equiv Fe]_{total}$代表水中總鐵氫氧化物吸附位置含量，$[\equiv Fe]_{available}$代表水中鐵氫氧化物未被吸附之位置，$[\equiv Fe\text{-}X]$代表水中鐵氫氧化物被其他離子吸附之量。在砷濃度（相對於吸附位置）低的情況下，則被鐵氫氧化物表面吸附的砷可以式（3）表示

$$[As]_{sorbed}=K_{ads}[As]_{soluble}[\equiv Fe]_{available} \quad (3)$$

式（3）中K_{ads}代表平衡常數。因此砷吸附量可以式子（4）描述

$$[As]_{sorbed}=\frac{K_{ads}[As]_{soluble}([\equiv Fe]_{total}-[\equiv Fe\text{-}X])}{1+K_{ads}[As]_{soluble}} \quad (4)$$

砷及其競爭離子濃度低的情況下，上式可簡化為式（5）

$$[As]_{sorbed}=K_{ads}[As]_{soluble}[\equiv Fe]_{total} \quad (5)$$

因此水中砷被吸附的百分比即可表示成式（6）

$$\text{As adsorbed } \% = 100\times\frac{K_{ads}[\equiv Fe]_{total}}{1+K_{ads}[\equiv Fe]_{total}} \quad (6)$$

此一簡化式可用於評估擬對水中砷去除之百分比，因而找出相對應之鐵添加劑量。然而在使用該推估式前，必需先了解K_{ads}數值的大小。McNeill and Edwards （1997a）依實場資料顯示，對氯化鐵而言，K_{ads}應落於80-120 mM^{-1}之間，但以81 mM^{-1}得到的迴歸效果為最好。由於鋁及鐵鹽之混凝劑對五價砷之去除效果相當，因此式（6）亦可修正為式（7）

$$\text{As adsorbed } \% = 100\times\frac{K_{ads}[Fe+A1]}{1+K_{ads}[Fe+A1]} \quad (7)$$

該公式適用於氯化鐵pH = 6.5 - 8.0及硫酸鋁pH <7.0，惟其中K_{ads}應修正為78 mM^{-1}以得到最佳預測值。此外，由於使用鋁鹽時仍會有部分鋁以溶解態存在，因此應將溶解態鋁扣除。由於原水中的鐵也會形成沈澱物後，對砷之吸附也有貢獻，因此也應一併計

入模式中之鐵濃度。

(8)　混凝除砷之決定

McNeill與Edwards （1997a）提出使用混凝方法以除砷之決定步驟（如圖1所示），基本上由於三價砷去除效果差，應先從氧化三價砷成五價砷著手，以增加去除率。若過濾去除含砷之膠羽效果不佳，則可從改變混凝操作條件，例如改變pH值、添加聚合物或改變混凝劑添加量。以鋁鹽混凝爲例，改變pH由7.3降低到6.8，砷去除效果提昇了將近100%（由21增爲43 %）。若再無法達到法規要求則可考慮更改混凝劑，例如由鋁鹽改爲鐵鹽，或增加混凝劑量。

2. 石灰軟化

石灰軟化除砷的效果介於20-100%之間（McNeill and Edwards, 1997b），惟整體而言不若其他方法可以到達很低的濃度，通常若要到達1 μ g/L以下時該方法無法獨立完成，常須合併其他方法（USEPA, 2000a）。石灰軟化法操作時，pH值增加砷去除效果愈好，通常必須在pH=10.5 以上時才有好的去除效果（McNeill and Edwards, 1997b; USEPA, 2000a）。

石灰軟化除砷的機制主要可能包括吸附、共沉澱及沉澱，主要作用的化合物有$CaCO_3$、$Mg(OH)_2$、$Mn(OH)_2$、$Ca_5(OH)(PO_4)_3$及$Ca_3(AsO_4)_2$、$Mg_3(AsO_4)_2$、$Mn_3(AsO_4)_2$、$Fe_3(AsO_4)_2$等，前面四個化合物主要可能參與吸附、共沉澱，後面四個化合物則參與沉澱作用。以下分別討論（McNeill and Edwards, 1997b）。

(1) 碳酸鈣與氫氧化鎂對砷之去除效果

碳酸鈣在pH = 10.5 - 12時，對砷去除效果僅爲 = 42.5±12.5 %，氫氧化鎂若在pH = 11. 0時，砷去除率> 97 %，由於氫氧化鎂之pH_{zpc} = 12.4，因此在pH<11時表面主要帶正電，對於帶負電之砷酸根有強烈之吸附作用。在軟化程序中，氫氧化鎂大約在pH=11.0時形成，因此去除效果在pH = 11 時達到最高，但在pH > 11.5時，氫氧根離子會與砷酸根競爭氫氧化鎂表面位置，進而導致吸附量降低。

(2) 水中其他金屬化合物之作用

鐵在低pH值時有良好之除砷效果，然而若在軟化前添加少量的鐵（數個mg/L），即使在軟化的pH值下，亦可增加沉澱過濾效果，並提昇砷之去除效率達數十%，惟水中若有碳酸鹽存在時，會降低鐵之效應。在錳的部分，由於錳在水中濃度一般不高，會受限於吸附位置的數量，因此氫氧化錳在pH = 10.5時大約每mole錳沉澱僅有0.004-0.04 mole砷（濃度爲0-150 μ g/L）左右，無法作爲主要去除機制。此外，前述之$Ca_3(AsO_4)_2$、Mg_3

$(AsO_4)_2$、$Mn_3(AsO_4)_2$等在石灰軟化系統中，均無法扮演重要之去除作用。

(3) 常見陰離子之影響

由於磷酸鹽與砷酸鹽化學結構類似，因此會競爭位置，造成砷酸去除效果降低，尤其是在pH值增加至9.5以上時。水中碳酸根（150 mg/L）及硫酸根（100 mg/L）在pH > 11 時對氫氧化鎂除砷並無影響，但是在pH = 10 - 10.5 時碳酸根會增加鎂離子濃度，造成氫氧化鎂固體減少，並明顯降低砷之去除效果。相對而言，硫酸根則無明顯影響。

(4) 石灰軟化除砷之決定

McNeill與Edwards （1997b）提出使用石灰軟化方法以除砷之決定步驟（如圖2所示），基本上由於三價砷去除效果差，應先從氧化三價砷成五價砷著手，以增加去除率。若碳酸鈣沉澱不足以去除砷，則可添加鐵鹽以增進去除效果。若再無法達到法規要求則可考慮提高pH至11到11.5，使氫氧化鎂產生以達到去除水中砷的目的。

3. 陰離子交換樹脂與活性氧化鋁

活性氧化鋁（activated alumina）與陰離子交換樹脂（anion exchange resin）均曾被研究證明可適用於地下水中砷處理至理想濃度（Clifford, 1990; Chifford and Lin, 1991; Frey et al., 1998; Chen et al., 1999）。兩種技術工作原理均屬於離子的交換行為，因此對於砷之去除以五價砷（離子態）效果較三價砷為佳，後續將分別討論兩者之異同及選擇方法。

(1) 離子交換樹脂

離子交換樹脂有強酸、強鹼、弱酸、及弱鹼等四種，其交換容量與樹脂中所含有效位置數目成正比，由於砷在水中多以陰離子形式存在，因此以對陰離子交換有效之強鹼及弱鹼兩種樹脂較適用於砷之去除。強鹼樹脂適用於較廣的pH值範圍內（1-13），弱鹼樹脂則僅能用於酸性環境中（pH<6）（Clifford, 1990）。

(2) 活性氧化鋁

活性氧化鋁與砷之作用一般稱之為吸附（adsorption），雖然事實上是一種交換或化學吸附的行為。其反應式如下：

$$\equiv Al\text{-}OH + H^+ + H_2AsO_4^- \rightarrow \equiv Al\text{-}H_2AsO_4^- + HOH \qquad \text{(adsorption)}$$

$$\equiv Al\text{-}H_2AsO_4^- + OH^- \rightarrow \equiv Al\text{-}OH + H_2AsO_4^- \qquad \text{(desorption)}$$

活性氧化鋁吸附陰離子應在pH<8以下，太高則會形成表面電性逆轉，無法吸附陰離子。其最佳操作範圍在pH < 5 ~ 6左右，類似弱鹼樹脂。因此，利用活性氧化鋁吸附砷之前必須進行酸化，吸附飽和後再生時則使用強鹼。

(3) 兩種方法之比較

陰離子交換樹脂與活性氧化鋁間之差

異除活性氧化鋁會釋出溶解性鋁，造成水中鋁濃度增加外，主要在於離子選擇性大小及吸附動力快慢，以下分別討論。

(a)　離子選擇性

陰離子交換樹脂對於砷酸根離子選擇性並不強，尤其若水中存有重鉻酸根（CrO_4^{2-}）、硒酸根（SeO_4^{2-}）、硫酸根（SO_4^{2-}）及硝酸根（NO_3^-）等，均會交換已吸附於樹脂之砷酸根離子，若操作不當會造成處理後的水中砷濃度較原水高的情形，然而其再生也容易。相對而言，活性氧化鋁吸附砷酸根離子選擇性則相當強，在一般操作之pH值範圍內（5.5-8.5）僅次於氫氧根離子，因此不會有處理後的水中砷濃度較原水高的情形。然而由於其吸附力強，因此再生效果較差，約會有2-10%左右的損失（USEPA, 2000a; Chwirka, 2000）。活性氧化鋁對不同離子之選擇性如下（Clifford, 1990）：

$$OH^- > H_2AsO_4^- > Si(OH)_3O^- > F^- > HSeO_3^- > SO_4^{2-} > CrO_4^{2-} >> HCO_3^- > Cl^- > NO_3^- > Br^- > I^-$$

(b)　吸附動力

陰離子交換樹脂吸附動力較活性氧化鋁快速，主要由於前者較具彈性、且水相是連續的。陰離子交換樹脂達飽和一半所需時間約為5分鐘左右（Clifford, 1990），但活性氧化鋁則需約1-2天（Clifford, 1990; 吳錦坤, 1999）。不過活性氧化鋁吸附動力的快慢應是受孔隙擴散的控制，若使用較小顆粒的活性氧化鋁，其動力應會變快（吳錦坤, 1999）。

(4) 陰離子交換樹脂與活性氧化鋁之選擇

陰離子交換樹脂與活性氧化鋁在傳統水廠中使用機會均很少，以美國為例，水廠使用陰離子交換樹脂法約為1%以下，且集中在供水人口十萬以下之地下水水廠（USEPA, 2000b），而活性氧化鋁則多使用在使用點式淨水設備。由於陰離子交換樹脂與活性氧化鋁均能有效去除水中砷，且處理成本接近，Chen等人（1999）建議兩種方法之選擇視出水量及水質為主要考慮因子，其中之水質參數通常是硫酸鹽濃度或TDS。在低硫酸鹽濃度（< 10 mg/L）及/或高pH值的情況下，陰離子交換樹脂是一個較節省成本的方法，但若是高硫酸鹽濃度（> 250 mg/L）或TDS（> 500 mg/L）的情況下，則是以活性氧化鋁法較節約成本。如果硫酸鹽濃度介於10-250 mg/L之間，則需考慮原水中砷濃度及出水量，通常低砷濃度及大出水量情況以活性氧化鋁法較具優勢。Chwirka等人（2000）評估美國New Mexico州Albuquerque市之8,700 m3/day處理砷的淨水場，原水中砷含量為50 μg/L，硫酸鹽濃度55 mg/L，矽濃度29 mg/L，pH值8.5。結果顯示建設費用以活性氧化鋁法

較便宜，而操作費用則兩者相當。

4. 薄膜法

薄膜法除砷目前研究較常見者以逆滲透（reverse osmosis, RO）、奈米過濾（nanofiltration, NF）、超過濾（ultrafiltration, UF）及微過濾（microfiltration, MF）等數種，其中UF及MF是藉由機械篩除（mechanical sieving）方式達到分離效果，RO及NF則是藉由毛細管流（capillary flow）或擴散作用的方式達到分離效果（Brandhuber and Amy, 1998）。對於淨水除砷而言，逆滲透及奈米過濾可單獨達到適當的去除要求，而超過濾及微過濾則往往必須配合其他方法一起使用。逆滲透法除砷效果可達95%以上，奈米過濾法則可達90%左右（USEPA, 2000a）。然而由於成本較貴，應用性仍非很高，以美國為例，水廠使用逆滲透法約為1%以下，且集中在供水人口十萬以下之地下水水廠（USEPA, 2000b）。以下分別說明各種薄膜法之研究情形。

(1) 薄膜法除砷之效率

國內學者探討使用薄膜法在淨水廠中去除砷的可行性，例如國內李俊德教授（1991）曾進行逆滲透去除砷的實驗，以台南縣鹽水鎮以及嘉義縣六腳鄉的地下水當原水，原水中砷的濃度約在500到800 μg/L之間，實驗結果顯示逆滲透膜在不同壓力以及溫度下對砷的去除效率為85~97%。林財富（1999）亦曾使用三套使用點式（Point of use, POU）逆滲透系統，以嘉義縣六腳鄉的地下水（原水中砷的濃度約在700 μg/L）當原水進行實驗，三套系統除砷效果均可達90%以上。Schneiter 與Middlebrooks（1983）發表的文獻亦指出逆滲透法對地下水中砷的去除率可達90%以上，其中五價砷（As（V））的去除率高於三價砷（As（III））。Waypa等人（1997）的研究則發現由於水中砷或其鹽類分子量大於125，因此不論是三價或五價砷，皆可有效的以逆滲透或奈米過濾方法去除，且均可達到未來美國環保署可能降低的砷管制標準（2 -20 μg/L）以下。與Waypa等人（1997）研究不同，Brandhuber與Amy （1998）針對一種UF膜、三種NF膜、四種RO膜對添加砷之原水進行除砷測試，結果顯示NF與RO對於五價砷（25.5 μg/L）均可達到95%以上之去除效果，但對三價砷（18.5 μg/L）則效果低於五價砷之去除效果，而UF由於MWCO為8000 dalton，對於五價砷去除效果僅有五成左右。

(2) 混凝與微過濾之使用

Brandhuber與Amy （1998）利用混凝與微過濾（Coagulation/microfiltration）方法探討美國Arizona州Phoenix市一個飲用

水井淨水除砷工作，作者使用氯化鐵作為混凝劑，使用0.1、0.2及1.2μm三種孔隙之微過濾，結果顯示0.2μm孔隙之微過濾即可有良好之去除效果，在後續的模型場的實驗中，2-10 mg/L（最佳加藥量為7.0 mg/L）的氯化鐵混凝加0.2μm孔隙之微過濾，可使原水中18μg/L的砷降低39-89%。最近，美國New Mexico州Albuquerque市已決定興建一座8,700 m^3/day處理砷的淨水場，其主要淨水程序即是以氯化鐵混凝與微過濾合併使用（Chwirka et al., 2000）。

(3) 薄膜法除砷之選擇

Brandhuber與Amy（1998）評估各種薄膜，考慮水源特性（包括砷物種、顆粒分佈、天然有機物及無機物等）、薄膜種類、及氧化前處理之必要性等因素，建議選擇方案如表3所示。

四、砷去除技術之選擇

選擇考慮水中砷的去除方法，應考慮包括水質狀況、廢棄物處理及設置與操作成本等三個因素（Frey et al, 1998）。以下分別討論：

1. 水質狀況

水質狀況主要影響處理技術之可行性。各種處理技術之處理效果不一，為符合法規要求，必須選擇可行之技術，一般而言，傳統混凝程序之去除效果約在38-62%之間，加強混凝（16 mg/L 的氯化鐵或34 mg/L的硫酸鋁）則可達到85%左右的效果，混凝加微過濾則更可以提升至97%的去除效果（Frey et al., 1998）。高級處理程序中則逆滲透法除砷效果可達95%以上，奈米過濾法則可達90%左右（USEPA, 2000a），陰離子交換樹脂與活性氧化鋁也均可達90%以上（Frey et al., 1998）。符合法規水質要求應為選擇處理技術的第一要件。

2. 處理成本

各種砷的去除方法的處理成本，一般而言是以傳統程序之修改最為節省，其次為陰離子交換樹脂與活性氧化鋁之增設，若仍無法滿足要求，則再考慮逆滲透或奈米過濾等薄膜法（Chen et al., 1999）。基於此，圖3為選擇處理方法之大約決定步驟。惟薄膜法除對砷之去除具效果外，對水中其他雜質，例如硬度、TDS等口感物質，有相當之去除效果，此部份成本及利益並未在此納入考慮。

3. 廢棄物處理

雖然水質條件是選擇除砷技術的重要因子，但是廢棄物之處置難易程度，往往才是決定技術是否可行的決定因子（Frey et al., 2000），其中必須考慮包括再生廢

液之排放(陰離子交換樹脂與活性氧化鋁)、廢棄污泥處理及污泥之毒性等。例如在部分情況下，陰離子交換樹脂與活性氧化鋁之再生廢液，與混凝法之污泥中，均因砷含量過高而屬於有害廢棄物（Chen et al., 1999; Frey et al., 2000），因此將會受到比較嚴格的處理要求。

在考慮廢棄物處理問題之後，陰離子交換樹脂與奈米過濾法在美國的應用性較低（Frey et al., 2000）。陰離子交換樹脂再生廢液具毒性，因此必須先行處理後才可以再處置，且其再生液砷沈澱池的澄清液含大量的TDS，直接排放也有問題，所以一般必須有土地供蒸發塘（evaporation pond）使用。此外由於離子交換樹脂必須經常再生，所以要有操作人員在現場，對於小廠可能會提高成本。且陰離子交換樹脂因吸附容量低，無法像活性氧化鋁採用拋棄式（不再生），造成無法在小系統中使用。另一方面，奈米過濾法也有高TDS廢液的排放問題，以及損失10-15%水的問題（Frey et al., 2000）。有鑑於此，Frey等人（2000）提出兩階段選擇除砷處理方法之決定步驟，第一階段先以修改現有傳統處理程序，包括混凝、鐵錳氧化或是石灰軟化等，均有機會達到法規要求，其進行步驟與圖1及2類似。若無既有程序，則進入第二階段使用高級處理方法，進行流程如圖4所示，需視水中矽含量（影響混凝劑量及污泥量）、砷含量及土地取得等因素。

Frey等人（2000）曾評估美國六個淨水處理系統，發現若單純以處理成本考慮時，在不同的淨水水質要求下，混凝/微過濾將成為最主要的選擇方案，也有部分情況下離子交換樹脂與活性氧化鋁是最便宜的，該評估結果如表4所示。然而依水廠的經驗，最便宜的技術未必是最後選擇的方案，應考慮土地取得、廢棄物及廢液處理/處置、現場化學藥品之使用及儲存及水的回收率等問題。

4. 案例介紹

本案例主要簡單介紹美國New Mexico州Albuquerque市新建一座以地下水為水源之水廠，其選取處理程序以去除水中砷之過程，詳細內容可參考Chwirka等人（2000）。該水廠出水量為8,700 m3/day，原水中砷含量為50 μg/L左右，並且主要以五價砷形式存在。該市主要水源為地下水，唯一的水質問題為砷含量過高，因此以往均無除加氯與加氟以外的處理程序。為符合美國新飲用水標準，該市於1996年先委託University of Houston進行桌上型模廠研究，以找出設計與操作準則，並於1998年委託顧問公司進行技術選擇評估。該地區水質中重要參數包括：硫酸鹽濃度55 mg/L，矽酸鹽濃度29 mg/L， pH值8.5，TDS爲320 mg/L。受評估的三項技術包括陰離子交換樹脂、活性氧化鋁及混凝/微過濾法等，最後選擇之方案爲混凝/微過濾法，詳細的設計操作參數可參考Chwirka 等人（2000）。成本分析結果如表5所示，整體而言，混凝/微過濾法雖然處理程序本身建設費用高，但由於廢棄物處理費用之建設費用僅佔全部建設費用之10%，因此建設費用最低。陰離子交換樹脂雖然處理程序建設費用最低，但因廢棄物處理建設費用僅佔全部建設費用之五成，因此整體建設費用最高。事實上三套系統主要之差別在操作維護費部分，尤其是廢棄物處理設備的操作維護費，陰離子交換樹脂法約爲混凝/微過濾法的6倍、活性氧化鋁法的2.4倍。因此方案選擇上以混凝/微過濾法最具優勢。此外，由於三種程序均爲新的方法，因此水廠操作人員均需經訓練。在廢水量部分，陰離子交換樹脂法約佔總處理水的1.4%，活性氧化鋁法約爲0.2%，混凝/微過濾法則僅佔 < 0.1 %，因此仍是以混凝/微過濾法較具優勢。在廢棄物處理部分，初步研究結果顯示，含砷的污泥（混凝/微過濾法及陰離子交換樹脂法中之氫氧化鐵或活性氧化鋁法中之氫氧化鋁）均可通過毒性物質溶出實驗，因此應可以被一般廢棄物掩埋場接受。然而，陰離子交換樹脂法及活性氧化鋁法中之再生廢液屬於有害廢棄物，管制標準較爲嚴格，此部份增加之費用並未於表5中包括。

五、結論與建議

砷爲台灣西南部及蘭陽平原地下水體中常見之天然物質，爲因應我國新的砷水質標準，並保障民眾飲水安全，提升相關水廠處理技術是必要的。在選擇適當處理技術前，應對當地水質有深入的了解，配合砷的水化學特性，以選擇適當的處理技術。目前淨水處理程序中常用之除砷技術，包括傳統方法中之混凝/沉澱、石灰軟化、鐵錳氧化等程序，以及高級方法中之混凝/微過濾、陰離子交換樹脂、活性氧化鋁、薄膜等單元。前述所有的處理方法均對五價砷有較佳的去除效果，因此若水中三價砷含量高，應先進行氧化再行處理。從水質狀況顯示，適當的操作情況下，上述技術均有機會達到新的水質標準要求，因此應先從修改既有處理程序（例如混凝、沉澱、過濾、鐵錳氧化），以達操作最佳化爲優先考慮。從水處理與後續廢棄物處理成本考慮，美國的經驗顯示混凝/微過濾在許多情況下是最佳之選擇，對於小系統而言，活性氧化鋁也是一項值得考慮的技術。此外，廢棄物之處置難易程度，土地取得、廢棄物及廢液處理/處置、現場化學藥品之使用及儲存及水的回收率等問題，也是需要考慮的因素。

六、參考文獻

Brandhuber, P., and Amy, G. （1998）. Alternative methods for membrane filtration of arsenic from drinking water, Desalination, 117, 1-10.

Chen, H.W., Frey, M.M., Clifford, D., McNeill, L.S., and Edward, M. （1999）. Arsenic treatment considerations. J.AWWA, 91, 74-85.

Chen, S.L., Dzeng, S.R., Yang, M.H., Chiu, K.H., Shieh, G.M., and Wai, C.M. （1994）. Arsenic species in groundwaters of the blackfoot disease area, Taiwan. Env. Sci. Technol., 28, 877-881.

Cheng, R. C., Liang, S., Wang, H. C., and Beuhler, M. D. （1994）. Enhanced coagulation for arsenic removal, J. AWWA, September, 79-90.

Cherry, J. A., Shaikh, A. U., Tallman, D. E. and R. V. Nicholson （1979）. Arsenic species as an indicator of redox conditions in groundwater, J. Hydrology, 43, 373-392.

Chwirka, J.D., Thomson, B.M., and Sromp, J.M. III （2000）. Removing arsenic from groundwater, J. AWWA, 92 （3）, 80-88.

Clifford, D.A. （1990）. Ion exchange and inorganic adsorption, In Water Quality and Treatment. 4th Ed., Ed. By Pontius, F.W., American Water Works Association, McGraw-Hill, Inc., New York, USA.

Clifford, D.A., and Lin, C.C. （1991）. Arsenic（III） and Arsenic（V） removal from drinking water in San Ysidro, New Mexico. USEPA Project Summary, EPA-600-S2-9-011, Cincinati, Ohio, USA.

Cotruvo, J. A., and Vogt, C.O. （1990）. Rationale for water quality standards and goals, In Water Quality and Treatment, 4thed., ed. by Pontius, F., American Water Works Association,1990.

Edwards, M. （1994）. Chemistry of arsenic: removal during coagulation and Fe-Mn oxidation. J. AWWA, 86, 64-78.

Fox, K. R., and Sorg, T. J. （1987）. Controlling arsenic, fluoride, and uramium by point-of-use treatment, J. AWWA, Oct., 81-84.

Fox, K.R. （1989）. Field experience with point-of-use treatment systems for arsenic removal. J. AWWA, 81, 94-101.

Frey, M.M., Owen, D.M., Chowdhury, Z.K., Raucher, R.S., and Edwards, M.（1998）. Cost to utilities of a lower MCL for arsenic. J. AWWA, 90, 89-102.

Frey, M.M., Chwirk, J., Kommineni, S., Chowdhury, Z., and Narasimha, R.（2000）. Cost implications of a lower arsenic MCL, AWWA Research Foundation.

Hering, J. G., P. Y. Chen, Wilkie, J. A., Elimelech, M., and Liang, S.（1996）. Arsenic removal by ferric chloride, J. AWWA, April, 155-167.

Huang, J. G., and Liu, J. C.（1997）. Enhanced removal of As（V） from water with iron-coated spent catalyst, Seperation Sci. Technol., 32, 1557-1569.

Joshi , A ., and Chaudhuri , M.（1976）. Removal of arsenic from ground water by iron oxide-coated sand, Journal of Environmental Engineering, Vol. 122 , No. 8, 769-771.

Kondo, H., Ishiguro, Y., Ohno, K., Nagase, M., Toba, M., and Takagi, M.（1999）. Naturally occurring arsenic in the groundwater in the Southern Region of Fukuoka Prefecture, Japan, Wat. Res., 33, 1967-1972.

McNeill, L.S., and Edwards, M（1997a）. Predicting As removal during metal hydroxide precipitation. J. AWWA, 88, 75-86.

McNeill, L.S., and Edwards, M（1997b）. Arsenic removal during precipitative softening. J. Env. Eng., ASCE, 123, 453-460.

Reid, J.（1994）. Arsenic occurrence: USEPA seeks clearer picture, J. AWWA, Vol. 86 , No. 9 , 44-51.

Sadler, R. , Olszowy, H. , Shaw, G and D. Connell（1994）. Soil and water contamination by arsenic form a tannery waste “, Water ,Air and Soil Poll., 78 , 189-198.

Schneiter, R. W., and Middlebrooks, E. J.（1983）. Arsenic and fluoride removal from groundwater by reverse osmosis”, Environment International, 9, 289-292.

USEPA（2000a）. Arsenic in drinking water, treatment technoloies: removal, http://www.epa.gov/safewater/ars/treat.html

USEPA（2000b）. Proposed arsenic drinking water rule, regulatory impact analysis, EPA 815-R-00-013.

USEPA （2000c）. Technical fact sheet: proposed rule for arsenic in drinking water and clarification to compliance and new source contaminants monitoring, EPA 815-F-00-011.

Waypa, J. J., Elimelech, M., and Hering, J. G. （1997）. Arsenic removal by RO and NF membranes, J. AWWA, 89, 102-114.

World Health Organization （1993）. Guidelines for Drinking Water Quality, Vol.1 Recommendations, 2nd ed..

王成財　（1990），”砷As（V）在水化鐵、鋁氧化物表面吸附特性之研究”，國立成功大學環境工程學系碩士論文。

李俊德，何鴻哲（1991），”逆滲透法對含砷地下水處理可行性之研究“，成大環工系。

阮國棟（1986），”砷之污染特性及處理技術”，工業污染防治，第5卷，第二期，156–165。

林財富（1999），”供飲用地下水簡易除砷技術之發展”，成大環工系。

吳錦坤（1999），”氧化鋁吸附地下水中砷之研究”，國立成功大學環境系碩士論文。

張怡怡（1996），”飲用水中無機物、微生物及濁度管制項目及管制標準之合理性分析”，台北醫學院。

郭宗禮（1996），”烏腳病盛行地區井水砷含量之調查”，中華衛生雜誌。第15卷第三期附冊，116–125。.

陳建仁，江漢全（1997），”宜蘭縣龍德工業區及其附近地區地下水質之調查與監測計劃”，中華民國公共衛生學會。

鈕式如（1996），”中國大陸慢性砷中毒及其防治現況”，中華衛生雜誌第15卷第三期附冊，1–5。

葉宣顯，賴文亮（1991），”水中砷混凝去除機構之初探”，中國環境工程學刊，Vol. 1，No 2 ，65–71。

劉鎮宗（1995），”砷與生態環境的關係”，科學月刊，第26卷，第一期，134-140。

表 1 世界各國飲用水中砷濃度標準限值

國家	美國	日本	WHO	加拿大	歐盟	德國	英國	澳洲	我國
公告時間	1995	1992	1993	1995	1989	1990	1989	1996	1998
管制值 (mg/L)	0.05†	0.01	0.01	0.025	0.05	0.01	0.05	0.007	0.05‡

†美國環保署已提出新的標準值，預計將降至 0.005 mg/L，並於 2001 年 1 月 1 日起實施；‡2000 年 12 月 1 日起，標準數值將改為 0.01 mg/L；本表修改自張怡怡(1996)。

表 2 美國各個砷水質標準下受影響之民眾、成本與健康改善

法規標準	受影響之社區給水系統		受影響之非社區給水系統		全國總增加成本‡，美元/年	年膀胱癌減少人數†
	水廠數	供水人口	水廠數	供水人口		
5 μg/L	~6,600	~22.5 百萬	~2,400	~2.4 百萬	~379-445 百萬	20
3 μg/L	~10,500	~35.7 百萬	~3,970	~3.9 百萬	~645-756 百萬	35.7
10 μg/L	~3,000	~10.7 百萬	~1,060	~1.1 百萬	~166-195 百萬	10.7
20 μg/L	~1,200	~4.4 百萬	~400	~0.39 百萬	~65-77 百萬	4.4

†肺癌減少人數為膀胱癌減少人數之 2-5 倍，心臟血管疾病患者也會降低；‡含處理、監測及行政成本，平均大型系統(> 一萬人)每戶每年增加約 28 美元，小型系統(< 一萬人)每戶每年增加約 85 美元；彙整自 USEPA (2000c)。

表 3　薄膜法除砷之選擇

水源特性	薄膜處理方案 RO	NF	UF	MF*	氧化前處理
砷物種					
As(III)	建議	可能有效	不建議	不建議	建議
As(V)	建議	建議	可能有效	不建議	不建議
砷顆粒分佈					
溶解態	建議	可能有效	不建議	不建議	不建議
顆粒態	不建議	不建議	可能有效	可能有效	不建議
其他水質					
NOM	可能有效	可能有效	不建議	不建議	不建議
無機物	建議	可能有效	不建議	不建議	不建議

*與鐵混凝劑合併使用較有效果；參考自 Brandhuber 與 Amy (1998)

表 4. 處理成本考慮下最佳可行技術

水廠地點	砷水質標準 3 μg/L	5 μg/L	10 μg/L
Albuquerque, NM	混凝/微過濾	混凝/微過濾	混凝/微過濾
El Paso, TX	混凝/微過濾	混凝/微過濾	混凝/微過濾
Fresno, CA	離子交換樹脂	離子交換樹脂	離子交換樹脂
Scottsdale, AZ	混凝/微過濾 或 離子交換樹脂	混凝/微過濾 或 離子交換樹脂	混凝/微過濾 或 離子交換樹脂
Tucson, Z	混凝/微過濾	混凝/微過濾	混凝/微過濾
Phoenix, AZ	離子交換樹脂	離子交換樹脂 或 活性氧化鋁	活性氧化鋁

(參考自 Frey et al., 2000)

表 5　Albuquerque 市新建一除砷水廠成本分析

水廠設施	陰離子交換樹脂法	混凝/微過濾法	活性氧化鋁法
建設成本 (美元)			
水處理設施	2,459,000	3,738,000	3,250,000
廢棄物處理設施	2,784,000	421,000	1,307,000
小計	5,243,000	4,149,000	4,557,000
廢棄物處理所佔比例 (%)	53	10	29
操作與維護成本 (美元/年)			
水處理設施	203,700	233,000	344,000
廢棄物處理設施	244,000	40,000	100,000
小計	447,000	273,000	444,000
每千加崙成本	0.53	0.33	0.53

(修改自 Chwirka et al., 2000)

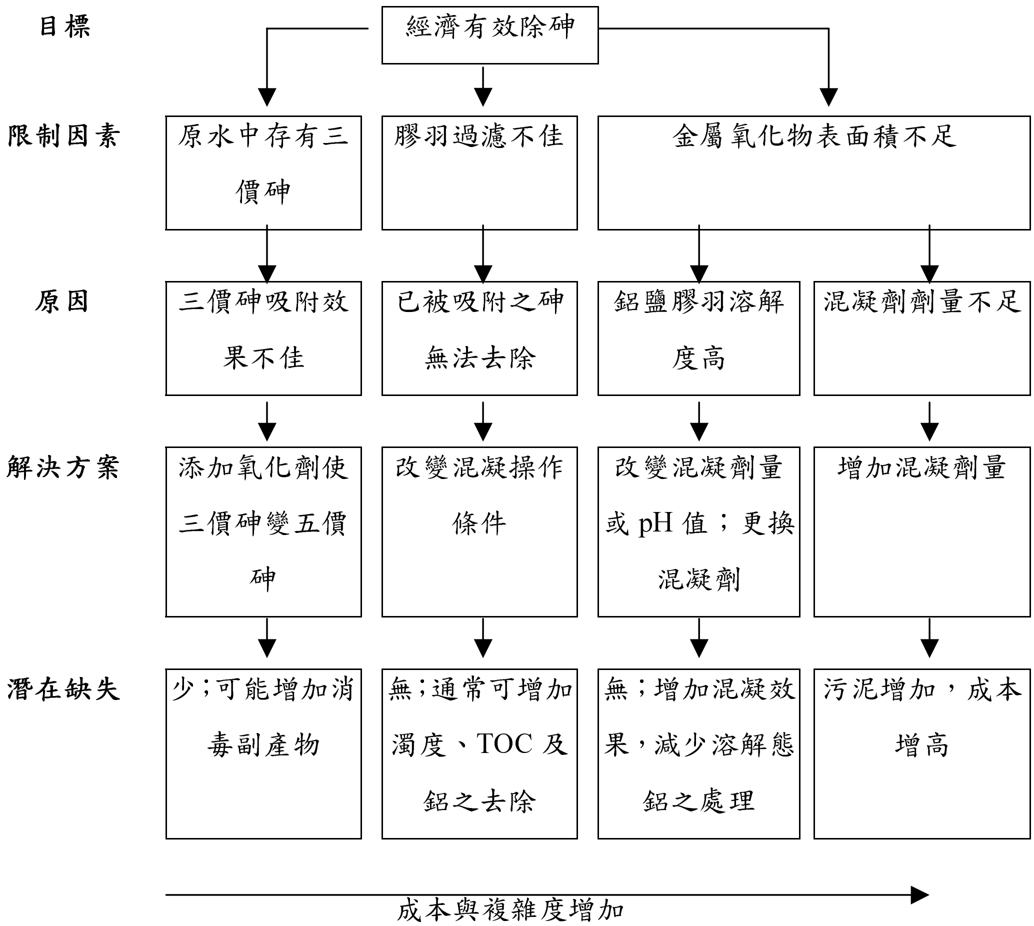


圖 1 混凝除砷之決定方案

(參考自 McNeill and Edwards, 1997a)

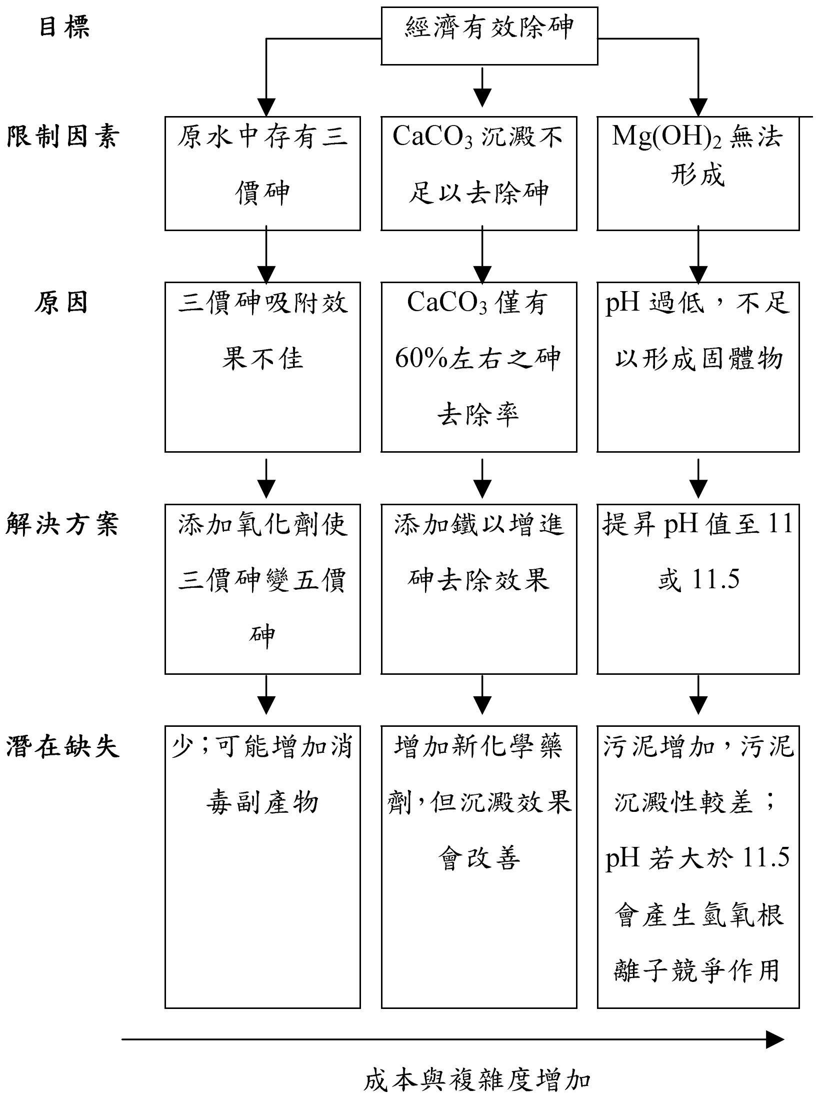


圖 2 石灰軟化除砷之決定方案

(參考自 McNeill and Edwards, 1997b)

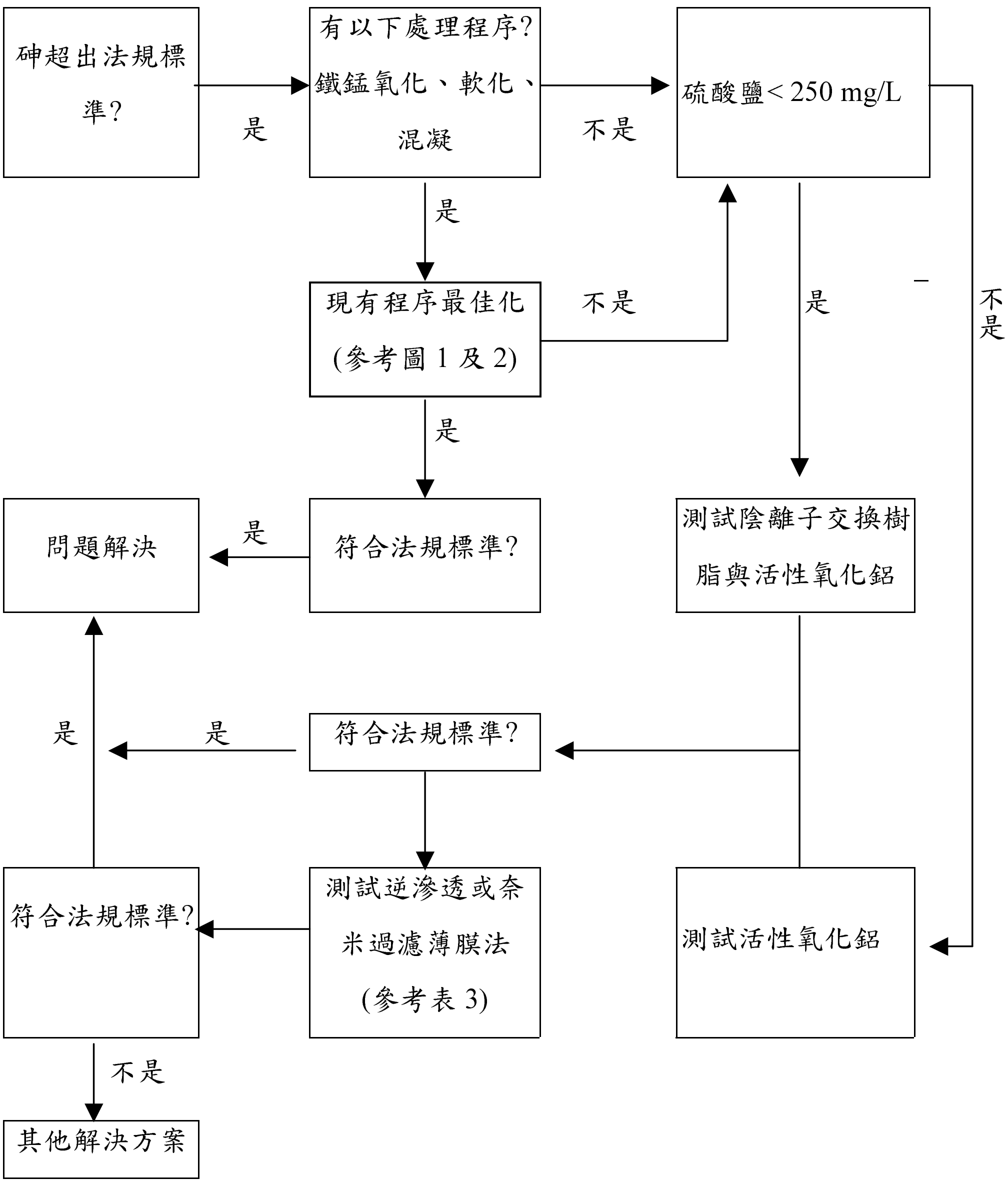


圖 3　選擇除砷處理方法之決定步驟

(參考自 Chen et al., 1999)

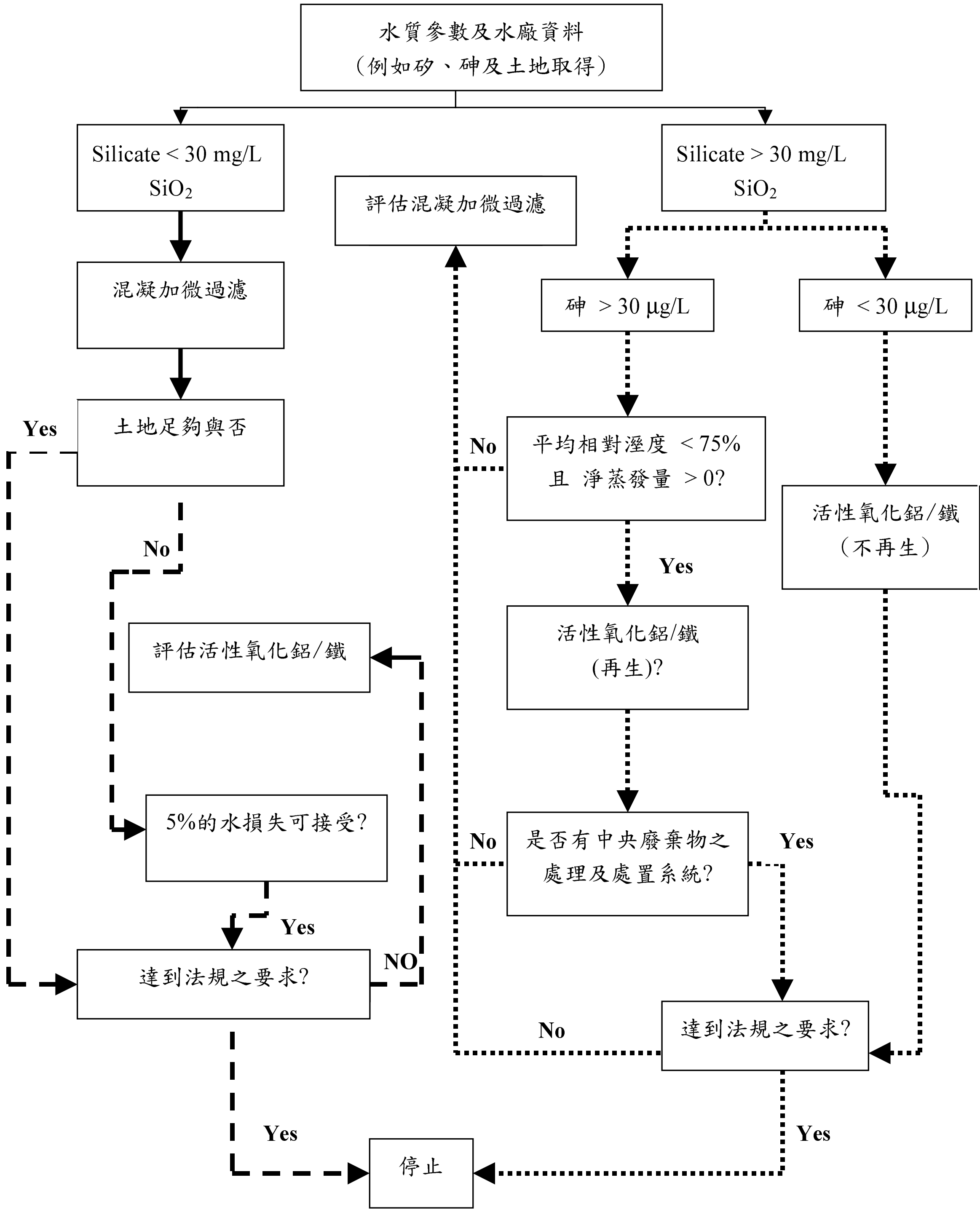


圖 4 選擇除砷處理方法之決定步驟(含廢棄物處理角度考慮)

(參考自 Frey et al., 2000)

美國新墨西哥州阿巴奎克市地下水除砷案例之研究

Joe Chwirka、陳伯珍、黃釋毅

引言

美國新墨西哥州阿巴奎克市（City of Albuquerque）供水人口約477,000人，在1998年平均日需水量約爲102MGD（386,000CMD），每人年平均用水量約爲213gpcd（806 lpcd）。最大日需水量過去一直維持在年平均日之2倍，然而，由於節約用水上之努力，近年來最大日之尖峰係數已稍微降低。

目前該市之供水全部來自地下水源，配水系統中之自來水偵測到含砷量已有許多年。有兩口井因含砷量超過現行最高濃度限值50μg/l而被迫停用。該市共有92口井，供應27座抽水站及45座貯水池，管網長度超過2,400哩。

該市配水系統爲一分散式系統，亦即其井群座落在全部配水系統中，市區供水系統由流經該市的大河（Rio Grande）分隔爲兩個獨立系統，東區系統有四條幹管而西區有三條。一條幹管輸水給數個壓力區域，大河東邊有9個壓力區而西邊目前有3個壓力區，所以阿市配水系統係爲抽水站、貯水池及幹管所形成的複合系統。

該市係將數口井連接起來，再將水泵至一座貯水池，然後以抽水站將水泵至高處。連接之井數自一口至九口，因此該市在考量設置除砷設施時，將須設置數座處理設施，而非一座集中處理廠。

阿巴奎克市之砷

阿巴奎克市井水含砷量有很大的變異性，平均值範圍自2μg/l至超過52μg/l。所有井數之平均含砷量約爲13μg/l。

圖1爲該市平均含砷量分佈圖。

表1爲超過不同最高濃度限值之井群數目，該表顯示之井數係依據平均及最大含砷量。

表1顯示當最高濃度限值訂在平均值爲10μg/l時，該市之92口井中至少有40

* 美商西圖工程顧問國際有限公司台灣分公司

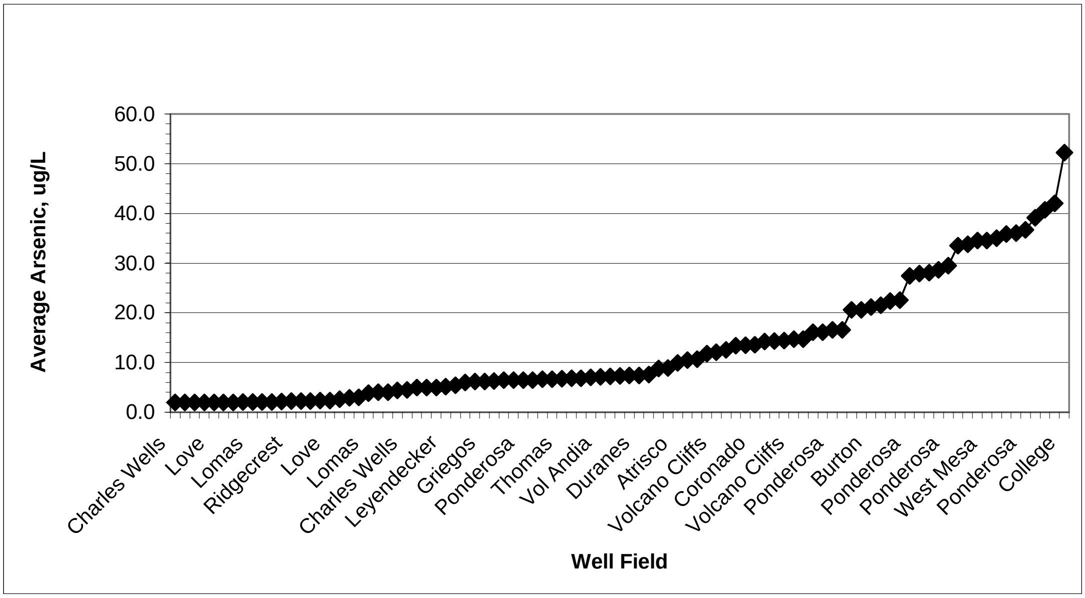


圖1 阿巴奎克市平均含砷量

最高濃度限值 (MCL)	依據平均含砷量超過最高濃度限值之井群數目	依據最大含砷量超過最高濃度限值之井群數目
50	1	3
30	12	20
20	23	31
10	40	50
2	87	87

表1 超過最高濃度限值之井數

口井將無法合格。如最高濃度限值訂在不能超越10μg/l時，則將有50口井無法合格。

阿巴奎克市井水砷種類最近經休士頓大學試驗發現主要爲氧化形態的砷酸。圖2爲該市井水中亞砷酸與總砷量之比較。

圖2顯示在92口井中僅有7口之亞砷酸濃度超過2μg/l，因此除了這7口井，除砷系統將不需要氧化處理。

處理技術

以下將分別討論阿巴奎克市所應用之

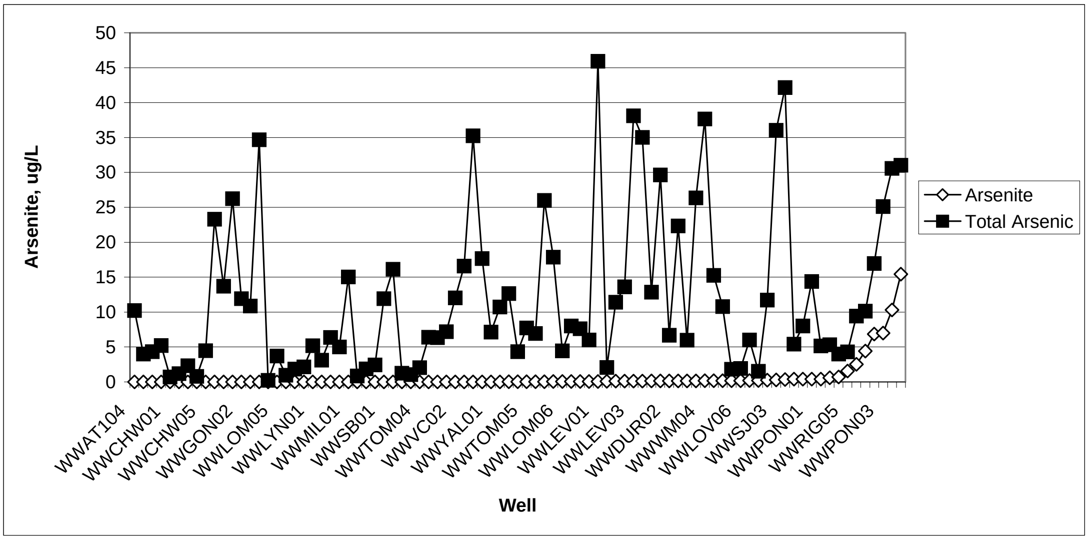


圖2　亞砷酸及總砷濃度值

四種除砷技術，包括離子交換（Ion Exchange,IX）、活性礬土（Activated Alumina, AA）、NF過濾（Nanofiltration, NF）、混凝/微過濾（Coagulation/Microfiltration C/MF）。

離子交換

使用離子交換將會受到地下水中硫酸鹽濃度所影響，阿巴奎克市硫酸鹽濃度約爲50至60mg/l，此將限制離子交換之濾程至約400倍濾料體積。雖然各個離子交換系統可以依其硫酸鹽濃度與不同濾程之函數來運轉，但因所需離子交換系統之數目太多，此舉將不太可行。離子交換系統將運用一套鹽水回用系統，以減少製程中所需之鹽量，此將使鹽水在排放前能回用10次。

廢棄鹽水因含高濃度之砷及過量的鹽份而不能排放至承受水體，大河流域之河水含太高濃度之鹽份（總溶解固體物），以致於對農業用水造成問題。當河水流向新墨西哥州南邊而進入德州時，它的鹽份增加了。由於潛在的加重大河的鹽份問題，廢棄鹽水不論是直接排放至河川或是排放到市區污水下水道，都被認爲是不可接受。此外，廢棄鹽水將含有超過10mg/l濃度之砷，而不能排放至污水下水道。該市依據技術問題所訂的地方限值禁止超過51μg/l之含砷污水排入下水道系統。

因此，廢棄鹽水將須收集、處理以去除其累積的砷，然後再予以蒸發處理，以使得能排除廢鹽。廢棄鹽水中累積的砷係以氯化鐵沉降處理來去除。沉降的氫氧化鐵將加以沉澱、濃縮及脫水。氫氧化鐵殘

渣預期將可通過毒性滲出試驗，而得以運至該市的掩埋場處置。在氯化鐵處理過程中所剩下來的鹽水將運至蒸發池，蒸發後之廢鹽將自池中收集後運至掩埋場處理。

阿巴奎克市離子交換設施工程費概估包括一棟廠房以保護這些設備及隔離大眾觀瞻。另外，廢棄鹽水蒸發池將集中設在市區外之遠處。

該市使用離子交換處理設施之工程費概估如表2。

表2 阿巴奎克市離子交換法概估工程費

	容量(MGD)				
離子交換處理設施	1	2.3	5	10	30
抽水站 / 篩濾	$40,800	$46,800	$75,600	$133,200	$236,400
離子交換設施	$277,545	$418,868	$719,480	$1,211,826	$3,226,243
廢鹽處理設施	$202,000	$244,000	$314,000	$510,000	$1,176,000
化學加藥系統	$46,140	$64,685	$108,373	$184,192	$463,762
廠房	$368,500	$412,787	$501,244	$763,800	$1,525,590
管線、儀控、電氣、廠內管線零星費用	$406,514	$634,684	$1,097,324	$1,858,351	$4,794,449
處理設施費用小計	$1,341,499	$1,821,824	$2,816,021	$4,661,369	$11,422,444
預備金，20%	$268,300	$364,365	$563,204	$932,274	$2,284,489
處理設施總費用	**$1,610,000**	**$2,186,000**	**$3,379,000**	**$5,594,000**	**$13,707,000**
離子交換殘渣處理設施					
鹽水蒸發設施	$520,932	$969,969	$1,846,314	$3,114,527	$8,191,653
殘渣處理	$63,600	$69,600	$81,600	$163,200	$396,000
化學加藥系統	$11,535	$16,171	$27,093	$46,048	$115,941
殘渣處理廠房	$181,500	$203,313	$246,881	$376,200	$751,410
殘渣設施費用小計	$777,567	$1,259,054	$2,201,889	$3,699,975	$9,455,004
管線、儀控、電氣、廠內管線零星費用	$116,635	$188,858	$330,283	$554,996	$1,418,251
殘渣設施費用合計	$894,203	$1,447,912	$2,532,172	$4,254,971	$10,873,254
預備金，20%	$178,841	$289,582	$506,434	$850,994	$2,174,651
殘渣處理設施總費用	**$1,073,000**	**$1,737,000**	**$3,039,000**	**$5,106,000**	**$13,048,000**
離子交換處理設施總費用	$2,683,000	$3,923,000	$6,418,000	$10,700,000	$26,755,000
殘渣處理設施佔總費用之百分比	40%	44%	47%	48%	49%

阿巴奎克市工程費與設施容量之關係可以用圖3來表示。

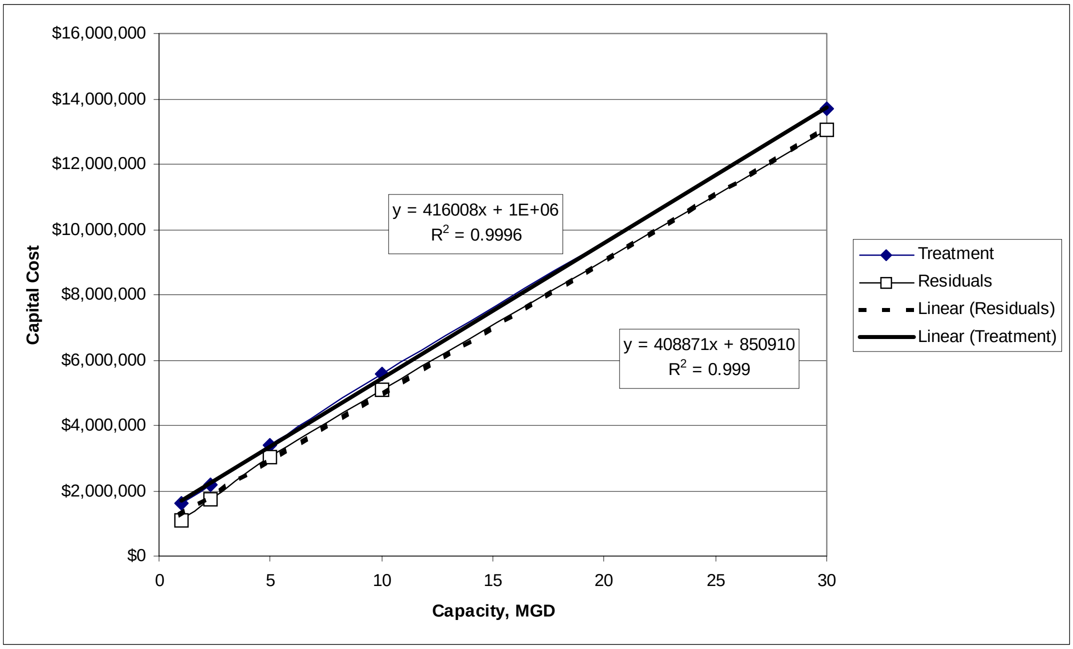


圖3 阿巴奎克市離子交換工程費曲線圖

該市離子交換設施之年操作及維護費估算如表3，並示如圖4。

表3阿巴奎市離子交換法年操作及維護費

	容量(MGD)				
離子交換年操作及維護費	**1**	**2.3**	**5**	**10**	**30**
每年電力費, $/年	$3,368	$7,384	$7,548	$9,071	$20,061
每年樹脂更換費, $/年	$4,599	$10,588	$18,583	$29,268	$79,442
每年氯化鐵(FeCl3) 費, $/年	$840	$1,933	$4,199	$8,398	$25,193
每年氫氧化鈉(NaOH)費, $/年	$1,826	$4,205	$9,132	$18,265	$54,794
每年硫酸(H2SO4)費, $/年	$9,586	$22,068	$47,929	$95,858	$287,574
每年鹽費, $/年	$19,383	$44,622	$96,913	$193,825	$581,476
估計總人事費, $/年	$79,500	$87,500	$155,000	$175,000	$375,000
設備維護費, $/年	$16,098	$21,867	$33,788	$55,936	$137,068
處理廠操作維護費, $/年	$135,202	$200,169	$373,097	$585,631	$1,560,638
處理廠操作維護單價, $/1000 gal	$0.37	$0.24	$0.20	$0.16	$0.14
每年離子交換殘渣處理費					
殘渣處理總費用, $/年	$20,246	$46,610	$101,230	$202,461	$607,383

廢鹽水運棄費	$61,284	$141,086	$306,421	$612,842	$1,838,527
操作人員, FTE	0.7	1	1.5	3	4
人事費, $/年	$28,000	$40,000	$60,000	$120,000	$160,000
電費, $/年	$623	$1,344	$2,290	$4,256	$10,254
設備維護費	$10,730	$17,370	$30,390	$51,060	$130,480
操作維護總年費, $/年	$120,884	$246,411	$500,333	$990,622	$2,746,647
操作維護年費單價, $/1000 gal	$0.33	$0.29	$0.27	$0.27	$0.25
總操作維護費, $/年	$256,086	$446,580	$873,430	$1,576,253	$4,307,286
總操作維護費單價, $/1000 gal	$0.70	$0.53	$0.48	$0.43	$0.39
殘渣操作維護費百分比	47%	55%	57%	63%	64%

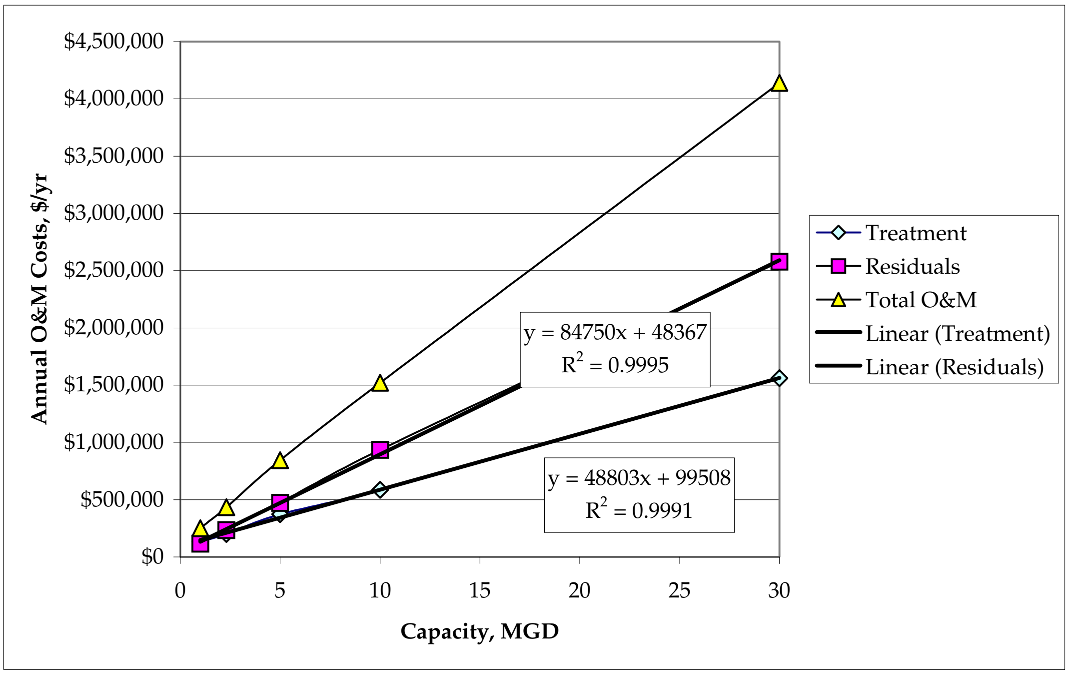


圖4 阿巴奎克市離子交換操作及維護費概估

在全部工程費中，離子交換處理設施之費用僅佔50至60%，而殘渣處理費則佔40%至50%，所以離子交換之殘渣處理費佔相當大的比例。

阿巴奎克市離子交換系統操作費主要為殘渣之處理，當廢棄鹽水體積增加，殘渣之處理及處置費用也增加。表3顯示離子交換法殘渣之處理及處置約佔年操作維

護費的64％。離子交換處理單價，如不包括攤還資金，在較小處理容量時爲$0.70/1,000gal；在較大容量時爲$0.39/1,000gal。

活性礬土

阿巴奎克市應用活性礬土係依據休士頓大學所做的試驗。該試驗顯示當原水pH減少至約6.0時，採用串聯操作的活性礬土桶柱可以有約6,700倍濾料體積之濾程。如維持原水原來之pH8.5，則濾程將少於1,000倍濾料體積。因此，採用活性礬土時，爲達到足夠的濾程必須降低原水的pH值。

當活性礬土交換能力逐漸遞減而至用盡時，活性礬土桶柱須停用以便再生。再生時係採用苛性鈉溶液，每次再生時苛性鈉會溶解1%至3%的活性礬土。廢棄苛性鈉溶液含有高濃度的砷、鋁及總溶解固體物。就如同離子交換法之廢棄鹽水，活性礬土法中之廢棄苛性鈉溶液亦不能排入市區污水道系統或直接排入大河。所以，廢棄苛性鈉溶液必須處理以去除其中累積的砷，而再將溶液送至蒸發池。

將廢溶液之pH降至大約6，砷會被氫氧化鋁吸附沉降而去除。殘渣將予濃縮及脫水。脫水後之殘渣預期將可通過毒性滲出試驗，而得以運至該市的掩埋場處置。處理過程中所剩下來的廢溶液將運至蒸發池，蒸發後之廢鹽將自池中收集後運至掩埋場處理。

阿巴奎克市活性礬土設施工程費概估包括一棟廠房以保護這些設備及隔離大眾觀瞻。另外，廢棄鹽水蒸發池將集中設在市區外之遠處。該市使用活性礬土處理設施之工程費概估如表4。

表4 阿巴奎克市活性礬土法概估工程費

	容量(MGD)				
活性礬土處理設施	1	2.3	5	10	30
抽水站 / 篩濾	$40,800	$46,800	$75,600	$133,200	$236,400
活性礬土設施	$869,968	$1,181,780	$2,897,340	$4,946,980	$13,364,291
化學加藥系統	$89,294	$182,296	$309,219	$548,941	$1,365,445
廠房	$369,360	$426,560	$786,600	$1,285,200	$2,898,000
管線、儀控、電氣、廠內管線零星費用	$557,545	$811,390	$1,741,210	$2,958,388	$7,750,634
處理設施費用小計	$1,926,968	$2,648,825	$5,809,970	$9,872,709	$25,614,770
處理程序預備金	$385,394	$529,765	$1,161,994	$1,974,542	$5,122,954

處理設施總費用	**$2,312,000**	**$3,179,000**	**$6,972,000**	**$11,847,000**	**$30,738,000**
活性礬土殘渣處理設施					
腐蝕性廢棄物 / 活性礬土沉降設施	$93,000	$108,000	$128,000	$228,000	$328,000
殘渣處理	$75,600	$117,600	$114,000	$127,200	$346,800
鹽水蒸發塘	$197,692	$337,914	$604,599	$987,802	$2,488,501
殘渣化學加藥系統	$38,268.95	$78,126.72	$132,522.35	$235,260.25	$585,190.74
殘渣設施廠房	$92,340	$106,640	$196,650	$321,300	$724,500
殘渣設施費用小計	$496,901	$748,280	$1,175,771	$1,899,562	$4,472,991
管線、儀控、電氣、廠內管線零星費用	$74,535	$112,242	$176,366	$284,934	$670,949
殘渣設施費用合計	$571,436	$860,522	$1,352,137	$2,184,497	$5,143,940
殘渣設施預備金	$114,287	$172,104	$270,427	$436,899	$1,028,788
殘渣處理設施總費用	**$686,000**	**$1,033,000**	**$1,623,000**	**$2,621,000**	**$6,173,000**
活性礬土處理設施總費用	$2,998,000	$4,212,000	$8,595,000	$14,468,000	$36,911,000
殘渣處理設施佔總費用之百分比	23%	25%	19%	18%	17%

阿巴奎克市工程費與設施容量之關係可以用圖5來表示。

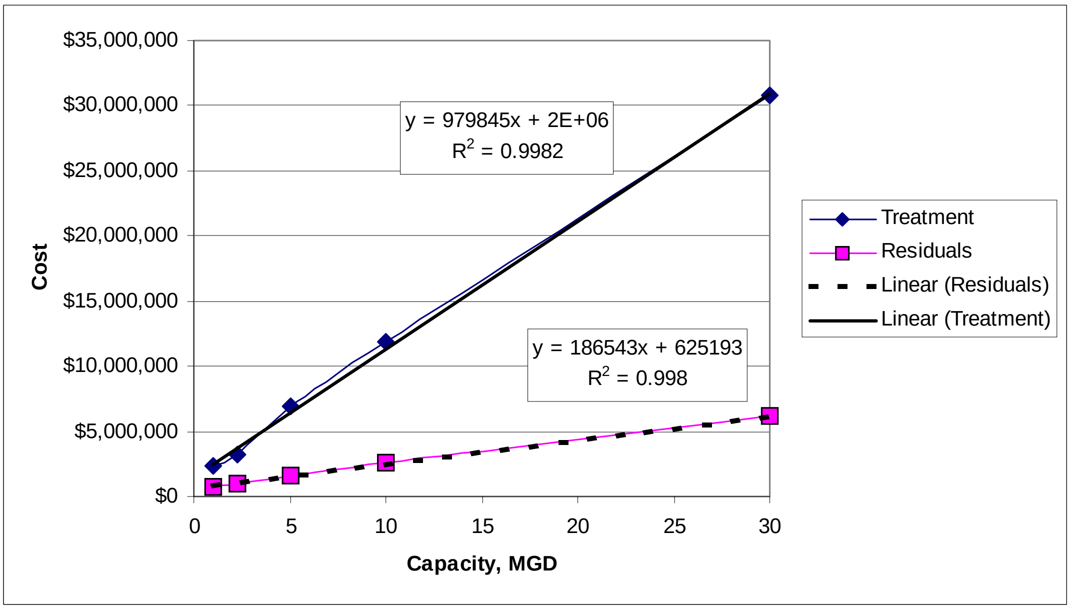


圖5　阿巴奎克市活性礬土工程費曲線圖

在全部工程費中，對於較小處理量而言，活性礬土殘渣處理費僅佔約25%，而較大處理系統則約佔20%。

該市活性礬土設施之年操作及維護費估算如表5，並示如圖6。

表5 阿巴奎克市活性礬土法概估操作及維護費

	容量(MGD)				
活性礬土年操作及維護費	**1**	**2.3**	**5**	**10**	**30**
每年電力費, $/年	$4,264	$9,325	$10,243	$13,538	$30,121
每年硫酸(H2SO4)費, $/年	$37,150	$85,524	$162,570	$311,404	$901,248
每年氫氧化鈉(NaOH)費, $/年	$34,698	$79,879	$166,928	$329,969	$980,578
每年氟矽酸(Flousilicic Acid) 費, $/年	$6,057	$13,944	$30,284	$60,568	$181,703
每年活性礬土更換費, $/年	$23,937	$55,269	$120,563	$238,998	$724,181
人事費, $/年	$59,500	$67,500	$115,000	$135,000	$375,000
設備維護費, $/年	$23,121	$31,782	$69,715	$118,476	$307,375
處理廠總操作維護費, $/年	$188,726	$343,223	$675,303	$1,207,954	$3,500,20
處理廠操作維護單價, $/1000 gal	$0.52	$0.41	$0.37	$0.33	$0.32
每年活性礬土殘渣處理費					
電費, $/年	$130	$374	$555	$1,220	$3,115
殘渣處理費用, $/年	$4,492	$10,341	$22,458	$44,917	$134,750
廢鹽水運棄費	$15,855	$36,501	$79,277	$158,553	$475,660
操作人員, FTE	0.7	1	1.5	3	4
估計總人事費, $/年	$28,000	$40,000	$60,000	$120,000	$160,000
設備維護費, $/年	$6,860	$10,330	$16,230	$26,210	$61,730
殘渣操作維護總年費, $/年	$55,336	$97,546	$178,519	$350,900	$835,255
殘渣操作維護年費單價, $/1000 gal	$0.15	$0.12	$0.10	$0.10	$0.08
總操作維護費, $/年	$244,063	$440,769	$853,823	$1,558,854	$4,335,45
總操作維護費單價, $/1000 gal	$0.67	$0.53	$0.47	$0.43	$0.40
殘渣操作維護費百分比	23%	22%	21%	23%	19%

表5顯示活性礬土法殘渣之處理及處置，在較小處理系統，約佔年操作維護費的23％；而對較大系統，約佔年操作維護費的19％。活性礬土總操作維護處理單價，在較小處理容量時為$0.67/1,000gal；在較大容量時為$0.40/1,000gal。

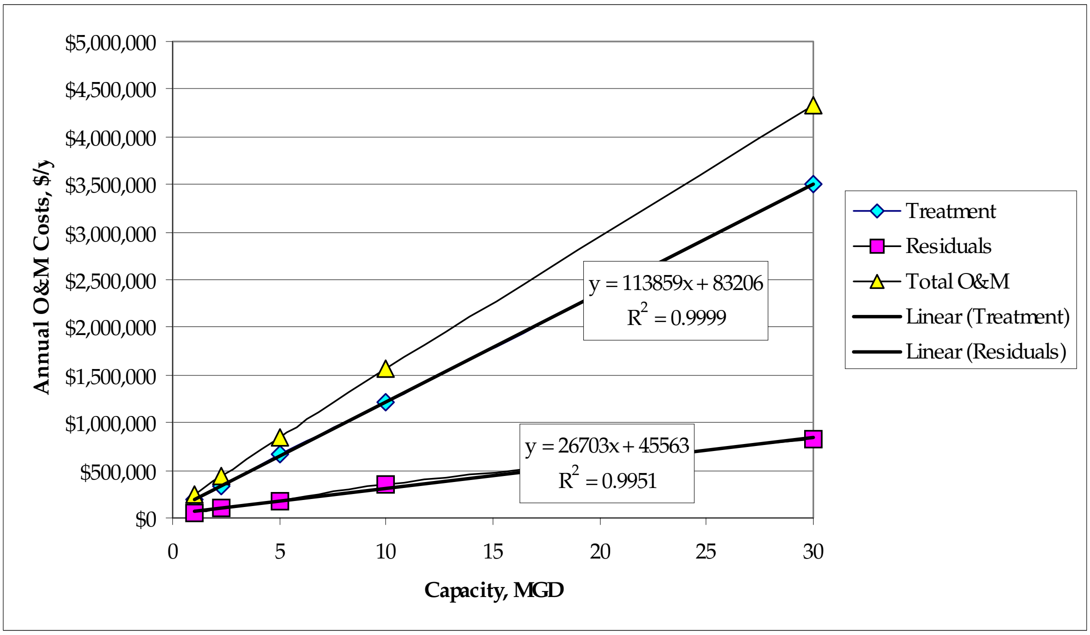


圖6　阿巴奎克市活性礬土概估操作及維護費曲線圖

混凝/微過濾

阿巴奎克市做過使用混凝/微過濾來處理砷之模廠試驗而發現十分有效。處理程序包含在原水中添加氯化鐵，足夠的攪拌及停留時間，以形成氫氧化鐵膠羽。以氧化態砷酸形式存在之砷會被吸附在氫氧化鐵中而自水中去除，而氫氧化鐵膠羽則以微過濾單元自水中去除。在微過濾機反沖洗時，累積的氫氧化鐵固體物會從微過濾機清洗出，而送至平行板沉澱池，以沉澱出大部份的氫氧化鐵膠羽，而使上層水回流至處理設施的前端。固體物會在平行板下方之濃縮槽中濃縮，濃縮後之固體物然後泵至壓濾機中脫水。在送至掩埋場作最後處置前，固體物必須經過脫水過程。脫水後之固體物含有砷，但預期可通過毒性滲出試驗，而被歸類爲非有害性。

該市使用混凝/微過濾處理設施之工程費概估如表6。

表6 阿巴奎克市混凝/微過濾法概估工程費

	容量(MGD)				
混凝/微過濾處理設施	1	2.3	5	10	30
抽水站 / 篩濾	$40,800	$46,800	$75,600	$133,200	$236,400
快混	$21,600	$33,600	$36,000	$72,000	$210,000
微過濾	$772,800	$1,750,799	$3,229,920	$5,889,600	$15,760,598
化學加藥系統	$57,481	$72,759	$95,637	$145,070	$252,548
廠房	$369,000	$399,750	$779,000	$1,007,370	$2,206,620
管線、儀控、電氣、廠內管線零星費用	$389,630	$802,741	$1,424,463	$2,574,278	$6,730,511
處理設施費用小計	$1,651,311	$3,106,449	$5,640,620	$9,821,517	$25,396,677
處理程序預備金	$330,262	$621,290	$1,128,124	$1,964,303	$5,079,335
處理設施總費用	**$1,981,573**	**$3,727,739**	**$6,768,744**	**$11,785,821**	**$30,476,012**
混凝/微過濾殘渣處理設施					
殘渣處理	$178,829	$217,282	$301,001	$445,998	$877,398
殘渣處理廠房	$81,000	$87,750	$171,000	$221,130	$484,380
殘渣設施費用小計	$259,829	$305,032	$472,001	$667,128	$1,361,778
管線、儀控、電氣、廠內管線零星費用	$38,974	$45,755	$70,800	$100,069	$204,267
殘渣設施費用合計	$298,803	$350,786	$542,801	$767,197	$1,566,045
殘渣設施預備金	$59,761	$70,157	$108,560	$153,439	$313,209
殘渣處理設施總費用	**$358,564**	**$420,944**	**$651,361**	**$920,637**	**$1,879,254**
混凝/微過濾處理設施總費用	**$2,340,137**	**$4,148,682**	**$7,420,105**	**$12,706,458**	**$32,355,266**
殘渣處理設施佔總費用之百分比	15%	10%	9%	7%	6%

阿巴奎克市工程費與設施容量之關係可以用圖7來表示。

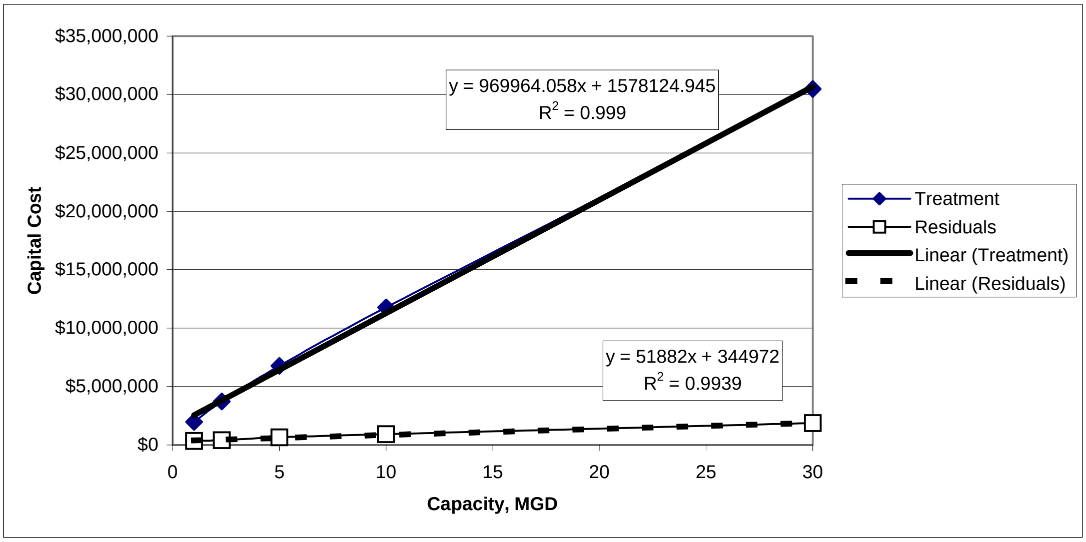


圖7 阿巴奎克市混凝/微過濾工程費曲線圖

在全部工程費中，混凝/微過濾處理設施之費用約佔85%，而殘渣處理費則佔6%至15%，所以相對而言混凝/微過濾之殘渣處理費佔比較小的比例。

該市混凝/微過濾設施之年操作及維護費估算如表7，並示如圖8。

表7 阿巴奎克市混凝/微過濾法概估操作及維護費

	容量(MGD)				
混凝/微過濾年操作及維護費	1	2.3	5	10	30
每年電力費, $/年	$5,488	$11,492	$14,752	$22,208	$55,781
每年濾膜更換費, $/年	$18,000	$27,000	$54,000	$108,000	$324,000
每年氯化鐵($FeCl_3$)費, $/年	$17,351	$39,946	$86,757	$173,514	$520,541
每年氫氧化鈉(NaOH)費, $/年	$10,228	$23,547	$51,141	$102,282	$306,845
每年氟矽酸(Flousilicic Acid) 費, $/年	$6,088	$14,016	$30,441	$60,882	$182,646
估計總人事費, $/年	$67,500	$79,500	$135,000	$195,000	$455,000
設備維護費, $/年	$19,816	$37,277	$67,687	$117,858	$304,760
處理廠總操作維護費, $/年	$144,471	$232,778	$439,778	$779,744	$2,149,573

處理廠操作維護單價, $/1000 gal	$0.40	$0.28	$0.24	$0.21	$0.20
每年混凝/微過濾殘渣處理費					
脫水電費, $/年	$83	$192	$416	$833	$2,498
設備維護費, $/年	$3,586	$4,209	$6,514	$9,206	$18,793
操作人員, FTE	0.5	0.7	1	1.5	2
人事費, $/年	$20,000	$28,000	$40,000	$60,000	$80,000
殘渣處理費, $/年	$3,375	$7,830	$16,965	$33,930	$101,835
估計總殘渣操作維護費, $/年	$27,044	$40,232	$63,896	$103,971	$203,128
殘渣操作維護費單價, $/1000 gal	$0.07	$0.05	$0.04	$0.03	$0.02
總操作維護費, $/年	$171,516	$273,010	$503,674	$883,714	$2,352,701
總操作維護費單價, $/1000 gal	$0.47	$0.33	$0.28	$0.24	$0.21
殘渣操作維護費百分比	15.8%	14.7%	12.7%	11.8%	8.6%

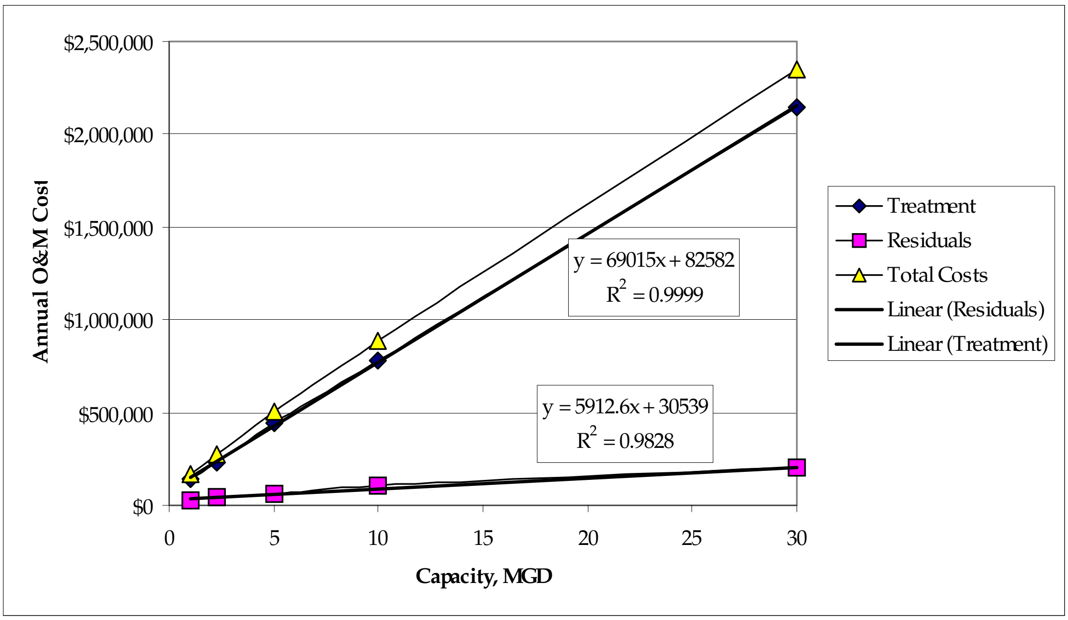


圖8 阿巴奎克市混凝/微過濾概估操作及維護費曲線圖

NF薄膜過濾

阿巴奎克市不考慮使用NF薄膜過濾有兩個原因，即水的低回收率及廢棄鹽水無法處置。NF過濾的回收率在80%至90%間，取決於水質前處理、薄膜種類及處理水質目標。一些高濃度的化合物，如碳酸鈣、硫酸鈣、硫酸鍶、硫酸鋇及矽都會對NF過濾系統的回收率有重大的影響。本研究中假設回收率爲85%，此表示總水量中有15%爲含高濃度砷的排除水。以阿巴奎克市水源不足的情況，不允許水被浪費掉，高達15%的排除水量當然無法被接受。

在85%回收率時，原水中的砷會被濃縮6.6倍，所以當排除率爲90%而原水砷含量爲50 μg/l時，排除水含砷量將達50×（1-0.85×0.1）/（1-0.85）=305 μg/l。該市對於依據技術問題所訂的地方限值，砷量爲51 μg/l，所以排除水無法排放到下水道中。

因此，由於高排除率及無法將排除水排到衛生下水道去，阿巴奎克市無法使用NF過濾來處理砷，故不再予以考量。

除砷系統費用比較

在比較各種除砷系統之費用前，須做一些假設如下：

1. 除砷系統廠址都設在貯水池附近，假設每座貯水池附近都有足夠土地來建造除砷設施，這種假設須要到各個貯水池去查證。在工程費概估之緊急預備金中將包括萬一貯水池附近沒有足夠土地時須另外購地的費用。
2. 處理系統之容量係依據質量平衡的公式來計算，其中假設如原水含砷量足夠低時，可以採用只處理部份水而將處理水與原水混合以達到水質目標之方法。
3. 處理系統容量估計係依據提供最後處理含砷量爲最大濃度限値之80%。換言之，如最大濃度限値爲10 μg/l，則處理系統將設計成能生產含砷量8 μg/l之處理水。在符合最大濃度限値時此將保有一些安全因素。
4. 假設離子交換，活性礬土及混凝/微過濾皆能處理至1.0 μg/l之含砷量。

除砷系統費用的概估係使用阿巴奎克市所提供的水質資料及井群產量數據，處理系統廠址假設設在貯水池附近以便能在同一地點處理數口井的井水。此有利於減少初設費及營運費。

工程費估算係考量工業界標準估價方式、參考值、其它相似計畫的費用、及廠商詢價資料，該估算費用爲預算用之估價，乃爲美國估算工程師協會所定義者。

在有足夠初步工程設計流程、平面配置及設備詳細清單之情形下，本工程費概估之準確性約在+30%至-15%之間。

該費用包括工資設備及材料費、包商管理費及利潤、保險等，另加上預備金；但不包括顧問公司之設計監造費。費用基準爲1999年之美金。

該市除砷系統之工程費概估如表8。

表8 阿巴奎克市除砷系統概估工程費

	砷之最大濃度限值 (ug/L)				
除砷系統技術	**50**	**20**	**10**	**5**	**2**
離子交換 處理工程費, 百萬美元	$1.51	$14.26	$27.19	$56.13	$134.49
離子交換殘渣處理工程費, 百萬美元	$1.08	$11.19	$22.28	$47.50	$122.08
離子交換處理系統總工程費, 百萬美元	$2.59	$25.44	$49.47	$103.63	$256.57
離子交換處理操作維護年費, 百萬美元	$0.13	$1.32	$2.64	$5.63	$14.52
離子交換殘渣操作維護年費, 百萬美元	$0.10	$1.42	$3.21	$7.41	$22.11
離子交換總操作維護年費, 百萬美元	$0.22	$2.74	$5.85	$13.04	$36.63
離子交換 20 年現值, 百萬美元	$3.68	$38.89	$78.13	$167.57	$436.10
活性礬土處理工程費, 百萬美元	$0.73	$6.80	$12.89	$26.60	$70.85
活性礬土殘渣處理工程費, 百萬美元	$0.73	$6.80	$12.89	$26.60	$70.85
活性礬土處理系統總工程費, 百萬美元	$2.83	$30.35	$61.45	$133.30	$399.48
活性礬土處理操作維護年費, 百萬美元	$0.15	$2.06	$4.58	$10.57	$35.78
活性礬土殘渣操作維護年費, 百萬美元	$0.47	$3.53	$5.87	$10.76	$19.28
活性礬土總操作維護年費, 百萬美元	$0.62	$5.60	$10.45	$21.33	$55.07
活性礬土 20 年現值, 百萬美元	$5.86	$57.79	$112.68	$237.83	$669.39
混凝/微過濾 處理工程費, 百萬美元	$2.12	$23.45	$48.01	$104.31	$278.61
混凝/微過濾殘渣處理工程費, 百萬美元	$0.37	$3.08	$5.43	$10.53	$21.40
混凝/微過濾處理系統總工程費, 百萬美元	$2.49	$26.53	$53.44	$114.84	$300.01
混凝/微過濾處理操作維護年費, 百萬美元	$0.12	$1.46	$3.09	$6.86	$19.08
混凝/微過濾殘渣操作維護年費, 百萬美元	$0.03	$0.29	$0.52	$1.03	$2.22
混凝/微過濾總操作維護年費, 百萬美元	$0.16	$1.75	$3.61	$7.89	$21.30
混凝/微過濾 20 年現值, 百萬美元	$3.25	$35.11	$71.15	$153.52	$404.43

三種除砷技術概估工程費之比較示如圖 9 ，圖中誤差柱線可顯示出概估工程費的期望精確範圍。

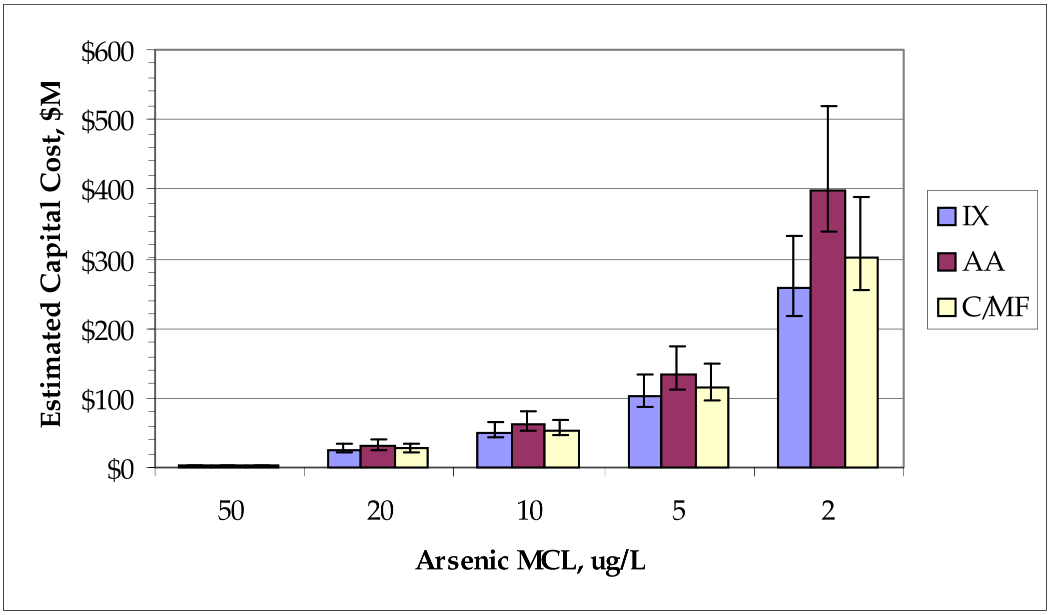


圖9 阿巴奎克市除砷系統工程費圖

三種除砷技術概估操作及維護費之比較示如圖 10 。

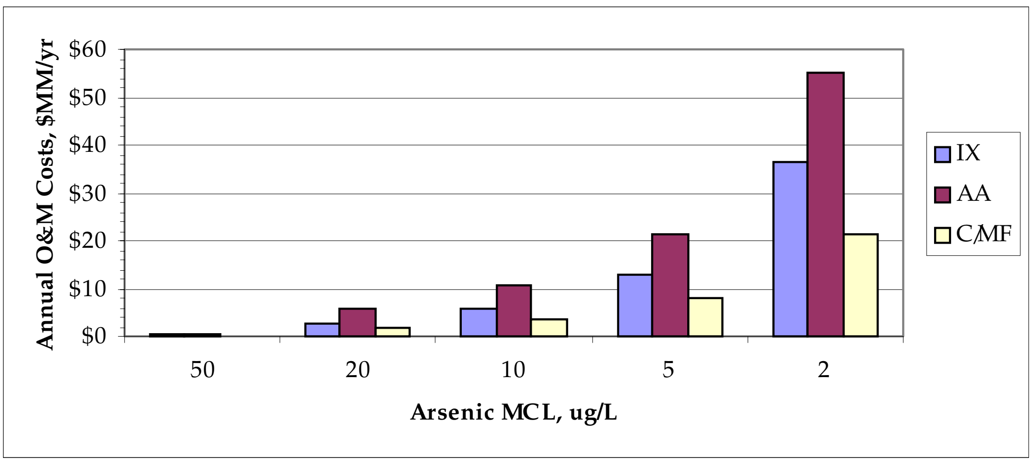


圖10 阿巴奎克市除砷系統操作及維護費圖

三種除砷技術在4%淨利率下之20年現值估計示如圖 11。

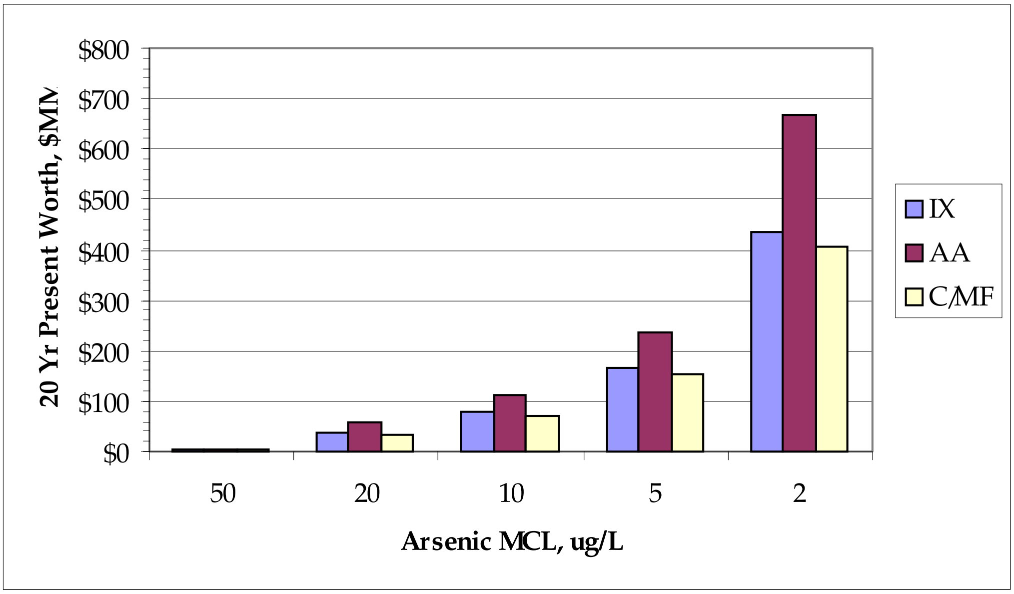


圖11 阿巴奎克市除砷系統20年現值圖

結語

對於阿巴奎克市來說，三種除砷技術中以混凝/微過濾方式來處理井水最爲經濟有效，因此該市即將進行一座日處理量爲8000噸之混凝/微過濾處理廠之設計。

「研究快訊」

計劃名稱：高速膠凝沈澱池懸浮污泥毯操控之研究
委託單位：台灣省自來水公司
研究單位：國立台灣大學化學工程學系
研究人員：李篤中、陳雨全、吳容銘
研究期間：自民國八十九年二月二十一日至九十年二月二十日

【計畫摘要】

本計劃將以一套可監控污泥毯動態行爲之光學系統，監測高速膠凝池之泥毯厚度，並藉此闡明台灣省自來水公司板新及平鎮廠所使用之高速膠凝池的特徵。本計劃中將長時間監測此二廠之污泥毯動態行爲，並探討其與操作條件及水質變化之關連性。計劃中並將採取污泥毯樣品，並分析其膠羽的特性，基於實驗數據，期能提供自來水公司於各種不同條件下之操控策略。

【計畫背景】

板新淨水廠位於台北縣三鶯大橋邊、北二高三鶯交流道附近，成立於民國六十五年五月十日。成立之初每日出水量爲30萬立方公尺，原水取自石門水庫灌溉餘水及大漢溪下游，供水區域包括台北縣板橋、土城、三峽、鶯歌、樹林、新莊、五股、泰山、蘆洲、八里及三重、中和部份地區等十二個鄉鎮市，爲地區遼闊人口密集，工商業發展快速之都會區，至民國八十五年七月板新三期擴建工程完工加入營運，合計每日出水能力已達120萬立方公尺。

平鎮淨水廠位於桃園縣平鎮工業區。成立約四年，原水亦取自石門水庫灌溉餘水及大漢溪，供水區域包括桃園縣，淨水廠以添加聚氯化鋁（PAC）進行凝聚操作，除颱風季節外水質濁度穩定，但流量則變化甚大。

台灣省自來水股份有限公司現有淨水廠已裝設不少高速膠凝沉澱池設備。以板新淨水廠爲例，其三期淨水設備前處理效果較一、二期差，整體而言，常常無法達到5NTU以下，這會增加過濾池負荷，而導致不易符合89年度第二階段飲用水水質標準的要求。廠內檢討發現以下缺失：

（1）PAC加藥點至膠沉池距離太短，反應時間不足。

（2）　膠沉池水質變化快，每池應設濁度監控及警報。

（3）　膠沉池發現濁度變化大時，無法立即單獨排除，需流經濾池才能排除。

（4）　膠沉池污泥毯厚度量測困難。

（5）　膠沉池排泥管管徑不足，時常阻塞。

（6）　排泥井開關位置設計不當，部份手動開關操作不易。

（7）　缺少壓力水之裝置，造成無法清洗各單元。

以上的缺失中，點1～5皆來自於高速膠凝沉澱池中污泥毯厚度變動大之操控問題。平鎮廠亦發現常發生污泥毯流失的缺點，在一段操作時間後污泥毯可被淘淅殆盡，而失去過濾澄清的效果。

【計畫目的】

現有文獻中對高速膠凝沉澱池之相關研究並不多，且各設計型式多屬各公司之專利技術，其內部設計資料甚難取得，目前台灣省自來水公司現有淨水場內裝設高速膠凝沉澱池設備之場數不少，其出水濁度因原水水質變化大，致淨水操控不易，沉澱池出水濁度偏高，增加過濾池負荷，而導致不易符合八十九年度第二階段飲用水水質標準之要求，亟待探討原因以求改善。

本次研究將以板新三期淨水設備（使用固體接觸澄清池/反應池）及平鎮淨水場一期淨水設備（使用平底式污泥毯澄清池）爲研究對象，應用一套光學監視系統，較長時間監控此二廠中高速膠凝池污泥毯厚度變化，進水水質、操控條件及排泥時機等關連性進行探討，並藉此提出因應及改善對策，似供自來水公司相關單位之參考。

【研究方法】

本研究主要目的在於監控板新廠及平鎮廠高速膠凝沉澱地中污泥毯之變化情形。發生污泥毯上浮的原因很多；欲對其基本特性有所了解，必須先針對污

泥毯厚度進行監控。研究方法包括：

（1）　設置適合淨水廠使用之污泥毯監控系統。

（2）　赴板新及平鎮廠進行進流水、膠凝水、清水及污泥毯特性採樣，分析樣品之膠羽特性；包含其大小、沉降性、密度、結構等性質。了解污泥毯中膠羽特性與混凝操作及原水特性之關係。

（3）　實施現場連續監測，了解污泥毯上浮發生頻率及週邊環境狀況，如暴雨或水溫變化間之關連性。

「研究快訊」

計劃名稱：澄清湖高級淨水處理模型廠試驗研究（第二年）（期中報告摘要）
委託單位：台灣省自來水公司
研究單位：國立成功大學環境工程學系
研究人員：葉宣顯、鄭幸雄、曾怡禎、林財富等
研究期間：自民國八十八年十一月一日至八十九年十月三十日

一、研究主旨

延續第一年之研究，針對各流程單元間組合順序及各項操作參數對處理效率之影響，進行更深入之探討，以提供實廠規劃、設計及操作上之參考。

二、本試驗期間之重點工作

1. 將流程一兩層濾料快濾床中之無煙煤改以粒狀活性碳（GAC）取代之可行性，亦即在沉澱池後，將無煙煤/矽砂濾床與GAC/矽砂濾床並聯運轉，相互比較。
2. 將流程二之結晶軟化單元由快濾床之後移至沉澱槽之後，探討以快濾床做爲去除碳酸鈣顆粒（carry over）之設備，而取消原結晶軟化槽後快濾設施之可行性。
3. 繼續研究如何控制NF膜之阻塞，以延長濾程，降低清洗頻率。包括UF或MF爲前處理，以permeate來沖洗（flush）膜表面；控制前處理混凝之操作條件，以降低膜進流水殘餘鋁量，避免其在膜表面沉積；或選用適當之抑垢劑（antiscalant）。
4. 不定期採各流程清水檢驗其梨形鞭毛蟲（*Giardia*）及隱孢子蟲（Cryptosporidium）數量，以比較各流程對此些致病性原生動物之去除效率。

三、本期研究成果

1. 比較將流程一沉澱池出水經無煙煤/矽砂濾床與GAC/矽砂濾床處理，結果顯示在出水濁度及濾程長短上，兩者相當。但在有機物之去除上，雖然含GAC濾床之出水有較低之餘氯消耗速率，但在NPDOC之去除並無明顯之增進，可能因所使用GAC層厚度相等於原無煙煤層厚度，EBCT值太小（僅2.5

分鐘）所致。

2. 前臭氧所需之加藥量似有一適當值，加量太低時，未能發揮功能，但加量太高時，可能使藻體瓦解，使其原生質釋出，而增加水中溶解有機物含量。本試驗期間，澄清湖原水所需之較適當前臭氧加量在1~1.5mg/L左右。
3. 將結晶軟化單元移至沉澱池之後，而以後續之快濾池作爲去除carry-over設施，應屬可行。因除發現所排出之晶體色澤較深外，其餘硬度之去除，處理水濁度等均與第一年結晶軟化槽在快濾槽之後者相近。
4. 在薄膜系統方面，以UF或MF均可解決藻類阻塞NF前5 μm匣式過濾器之問題。兩者均以去除膠體及顆粒性雜質爲主，故可得濁度甚低之處理水，兩者之出水水質相當，但在相同之壓力下，MF較UF可有較大之水通量（water flux）。
5. 在NF薄膜阻塞（fouling）之控制上，嘗試過（1）調降進流水之pH值，（2）用permeate 或調整pH至3.0之進流水，每日沖洗膜表面一固定之時間，（3）調整明礬混凝時之pH值，以控制NF系統進流水中之殘餘鋁量，（4）以鹽酸代替硫酸，以控制硫酸鹽之沉積，（5）於進流水中添加抑垢劑，到目前爲止，以添加抑垢劑效果最好。
6. 將經結晶軟化及砂濾後之水，做爲MF進流水，可大幅降低MF之阻塞現象。顯示水中鈣、鎂離子與微生物之胞外聚合物（Extracellular polymer）所形成之錯合物可能是造成MF阻塞之原因之一。
7. 實廠及模廠各處理程序對致病性原生動物如梨形蟲及隱孢子蟲均有良好之去除率，其中尤以薄膜程序爲佳。

四、後續工作重點

1. 探討於流程一實施加強混凝（enhanced coagulation），以增進對有機前質去除之可行性。
2. 傳統處理程序不實施前加氯，在實場上可能會有沉澱池或快砂濾池上滋生藻類或其他生物之問題。準備研究以高錳酸鉀取代前氯之可行性，取其不生成三鹵甲烷及可增進對溶解性有機物及藻類去除等優點。
3. 探討於流程二將結晶軟化接於沉澱池後，軟化後出水，經MF，以去除懸浮固體物，然後再經後臭氧及GAC床。亦即探討以MF替代快濾池之可行性。取軟化後之出水可降低MF之阻塞，同時MF較砂濾法對致病性原蟲有較佳之阻絕作用。