

使用點式(point-of-use)逆滲透系統處理含砷地下水之初步研究

Removal of Arsenic from Groundwater Using a POU RO System

葉擴林¹ 林財富² 吳錦昆³

摘要

砷是一種毒性物質，長期飲用含砷量高的地下水，可能會造成許多的病變。自烏腳病事件發生以後，政府開始提高烏腳病地區自來水普及率，但一些較為偏遠之地區因接管成本過高，到目前為止仍沒有自來水供應，有關單位一直尋找相關替代方案，其中使用點式(point-of-use, POU)淨水設備，具有體積小、操作容易、價格不高、等優點，可能可用作偏遠地區的簡易地下水砷處理設備。因此本研究以市面上出售之 POU 逆滲透為研究對象，探討其除砷效果及作為簡易地下水砷處理設備之可行性。研究結果顯示，不論以人工配製的含砷溶液或實際含砷之地下水作為逆滲透進流水，出水中砷濃度均低於飲用水標準(50 $\mu\text{g/L}$)，顯示系統對砷的去除效果良好。在第一階段以人工配製的含砷溶液作為處理水的三次實驗中，在 TDS=750 mg/L 情況下，且進行 100 小時以上連續操作下，去除率均超過 98%。第二階段使用含砷地下水進行除砷實驗，在實驗前先進行原水篩選。在嘉義、台南二縣共 12 口調查水井中，共發現有 9 口水井井水含砷量超過 50 $\mu\text{g/L}$ ，最高可達 920 $\mu\text{g/L}$ 。本研究乃以較高濃度之井水，作為處理原水，經處理約 1200 公升水後，結果顯示在原水砷濃度為 600~800 $\mu\text{g/L}$ 的情形下，出水中砷濃度最高為 4.2 $\mu\text{g/L}$ ，去除率均超過 99% 以上。

¹ 國立成功大學環境工程系助理

² 國立成功大學環境工程系副教授

³ 國立成功大學環境工程系研究生

前 言

飲用水品質的優劣和供給率的大小，常作為一個現代化國家的指標，目前台灣地區自來水個人普及率在 87 年 2 月為止，已經高達 89.51%⁽¹⁾，但仍有部分地區因沒有自來水供應，而採用地下水作為飲用水水源。由於台灣地區的地下水中，有部分地區砷含量甚高，如果未經適當處理，長期飲用結果可能造成對健康危害。

砷是一種強烈的毒性物質，國際癌症研究組織(IARC, International Agency for Research on Cancer)已將之列為第一級致癌物之一⁽²⁾，美國環境保護署(U.S.EPA)亦將之列為 A 級的致癌物⁽³⁾。此外，數十年前台灣西南部流行的烏腳病與大陸貴州、內蒙古、新疆地區居民罹患的皮膚角化、皮膚癌、內臟癌，懷疑與飲用含砷地下水有關^(4,6)。近年呂氏⁽⁷⁾研究指出，烏腳病流行地區地下水含有某種藍綠色螢光物質，因此懷疑砷並非造成烏腳病的主要因素。但砷對人體造成傷害的證據極為明顯，所以必須把飲用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⁽⁸⁾，但由於砷的潛在危害性大，目前美國正進行風險評估，預計將由現行標準降至 0.002 - 0.02 mg/L 之間⁽⁹⁾。

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，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）⁽³⁾所引起。地下水中砷的問題存在於許多國家中，例如美國⁽⁹⁾、印度⁽¹⁰⁾、中國大陸⁽⁴⁾、台灣⁽¹¹⁾等。

台灣地區地下水中砷一直為一項重要的天然污染物。在近年來調查中顯示⁽¹¹⁾，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。蘭陽平原及西南部沿海縣市因地下水豐沛，民眾習於取用地下水作為水源，導致自來水普及率偏低，例如宜蘭縣全縣 83%（86 年 6 月資料），其中冬山鄉僅 85%，壯圍鄉僅 47%，而嘉義縣全縣僅達 88%⁽¹⁴⁾，顯示仍有相當比例的民眾使用地下水作為水源進行取用。因此，在自來水管線尚未接管前，民眾用水的安全應是值得重視，而開發或評估出適合於家庭用的簡易除砷技術即顯得非常迫切。

使用點式(point-of-use, POU)逆滲透處理設備(reverse osmosis treatment devices)，具有體積小、操作容易、價格不高等優點，非常適合一般家庭使用，而且經測試證實其對自來水中微量物質以及對部分地區地下水中的污染物，如砷鹽、硝酸鹽氮及其他微量物質具有去除效果^(16,25,26,28-30)。所以本研究擬以市面上出售的 POU 逆滲透設備為對象，進行地下水處理實驗，探討 POU 逆滲透設備對地下水中砷與總溶解固體(TDS)的去除效果，並評估其作為簡易地下水砷處理設備的可行性。

使用點式逆滲透設備介紹

水中砷的去除研究包有混凝、石灰軟化、離子交換、活性炭吸附、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^(10,15-18)。其中常用於淨水處理程序的方法，包括有混凝及石灰軟化為多⁽¹⁵⁾，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、活性炭吸附及蒸餾法等⁽¹⁶⁾，惟不論那一形式的使用點處理設備，均設計以自來水為水源，目的是把自來水中

的微量物質，如三鹵甲烷、溶解性固體物以及水中臭味等污染物去除。

POU 處理系統在國外已有相當多的研究，Rozelle⁽²⁵⁾認為，逆滲透處理系統是去除水中無機物最全面性的有效技術，但薄膜材料的選擇對砷去除率有相當大的影響，以低壓操作情況下(40-70 psi)，醋酸乙酯 (cellulose acetate) 膜對 As(III)及 As(V)的去除率僅達 37%及 89%，但薄片合成膜 (Thin-film Composite, TFC) 則可達 68%及 96%去除率。Fox 與 Sorg⁽¹⁶⁾則測試了逆滲透 (polyamide 膜) 商用 POU 系統對含砷原水的去除效果。經過長期測試結果顯示，在原水砷濃度是 0.05-0.39 mg/L 情況下，逆滲透系統在出水濃度超過 50 µg/L 前，大約可處理 1300 至 2600 公升的水，在原水濃度較高的情況下 (0.22-1.16 mg/L)，逆滲透系統的效果則大幅度降低。Fox⁽²⁶⁾在後續研究中發現低壓逆滲透系統在處理原水濃度低於 0.1 mg/L 下，有良好效果，而高壓系統則有更佳的效果，惟需增加一加壓泵。逆滲透系統的廢水量較大，但膜不會累積污染物，因此無廢膜污染的問題，惟需有適當的前處理，以降低水中鐵與硫酸根的存在。

實驗方法

分析方法

本研究參考美國 APHA Standard Method 第 19 版的手動氫化/原子析光法 (Manual Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometric Method) 方法進行分析。其中手動氫化器為美國 Pepkin Elmer 廠牌，型號為 MHS-10；而原子吸收光譜儀為 Pepkin Elmer 廠牌，型號為 5100。

處理實驗

本研究所使用的 POU 逆滲透系統結構如圖 1，原水先通過三段前處理程序，第 1 段為 5 μ m 的濾心；第 2 段和第 3 段為活性碳濾心。以上三段式過濾裝置主要目的，是把水中較大之懸浮性固體物、水中餘氯以及部分有機物去除。經過前處理後的水以一加壓幫浦加壓後通過 RO 膜，滲透液被導入儲水桶而濃縮液則排入下水道。本研究使用之 RO 膜為 TFC 薄膜，TFC 薄膜為台灣出售的 POU 逆滲透系統最常使用的薄膜之一。研究中共進行二個階段，第一階段砷去除實驗係於實驗室中進行，以去離子水中加入特定濃度(1 mg/L、0.3 mg/L 及 0.15 mg/L)的三價砷作為 RO 進流水(原水)，砷溶液以 NaAsO₂(Merck, GR 級)標準品配製，因此水中所含的砷屬於三價砷，根據地下水調查顯示(參考下一節中介紹)，地下水屬還原狀態，因此以三價砷作為代表應屬合理。為了使原水與一般地下水的離子狀態更為接近，在進水中更加入 750 mg/L 的 NaCl 增加水中的離子強度，同時也一併進行 POU 逆滲透系統對 TDS 的去除率探討。而第二階段則以台灣西南地區實際含砷的地下水作為 POU 逆滲透系統進流水，探討系統對地下水中砷的去除效果，並評估其作為簡易除砷設備的可行性。

地下水井水調查

為瞭解台灣西南沿海地區目前地下水中砷含量，並作除砷設備的原水之篩選，本研究針對台南縣及嘉義縣沿海地區地下水井進行採樣分析。採樣點以台南縣的佳里、將軍、麻豆、西港、鹽水及嘉義縣的六腳鄉為主(採樣點分佈見圖 2)，共 12 口水井。以上水井分為淺層與深層採樣井，井深 60m 以下為淺層井，60m 以上

為深層井。這些水井的用途包括養殖、灌溉及生活用水(非飲水用)。

採樣時分別測定水中的 pH 值、溫度及氧化還原電位(ORP)，結果顯示(見表 1)，水樣的 pH 值大約在 7.0~8.5 之間，溫度在 26°C 左右，而 ORP 大部分為負值，顯示水中多呈還原狀態。根據砷的水化特性⁽²¹⁾，在接近中性 pH 值下，ORP 接近或小於零時，水中砷的型態應以三價之亞砷酸鹽為主。

由水質分析結果顯示(見表 1)，十二口水井中砷濃度最高為 920 $\mu\text{g/L}$ ，最低為 1.6 $\mu\text{g/L}$ ，共有 9 口井超過飲用水標準，其中以鹽水的舊營里含量最高，濃度高達 920 $\mu\text{g/L}$ 。而其他 8 口超過標準的水井濃度分別為六腳港美村 540 $\mu\text{g/L}$ 及 760 $\mu\text{g/L}$ 、海埔 266 $\mu\text{g/L}$ 、草 280 $\mu\text{g/L}$ 、麻口 54.4 $\mu\text{g/L}$ 、鎮山 177 $\mu\text{g/L}$ 、蕃茄園 167 $\mu\text{g/L}$ 和佳里 160 $\mu\text{g/L}$ 。根據採樣時的現場訪查，鹽水、六腳及佳里部分水井目前仍用作生活用水(如洗滌用水)，因此可能對人體造成較直接的影響，而其他水井則以養殖及灌溉用水為主，至於對人體的影響則須作進一步的研究。

結果與討論

第一階段完成人工配製之二段水中三個濃度砷的去除實驗，分別為 1.0 mg/L、0.3 mg/L 及 0.15 mg/L，而第二階段實驗採取連續操作的方式，處理含砷地水達 1200 公升，RO 清水出水量達約 400 公升，若以每個家庭每天飲水量為 10 公升計算，則約為一個月的用水量。以下分別就兩階段實驗結果作詳細的討論。

人工原水實驗

1. 砷去除結果討論

本階段共完成 1.0 mg/L、0.3 mg/L 及 0.15 mg/L 三個濃度的去除實驗，整理後的 RO 原水及清水分析結果如圖 3~5。從圖 3 中可看出，在第一次實驗中(進流砷濃度約為 0.3 mg/L)，POURO 系統在操作壓力在 60-75psi 下，對砷的去除率從 99% 到 100%。前 100 公升(48hr) 的操作幾乎達到 100% 的去除率，而 100 公升以後，清水中砷濃度有慢慢上升的趨勢，但均能保持 99% 以上的去除率。

為了探討系統中 5 μ m 濾心、第一段活性碳濾心、第二段活性碳濾心及 RO 膜對水中砷去除效果的差異，實驗過程中分別針對以上四個處理程序的出水進行採樣分析，而 RO 的出水即為清水，從圖 6 可以看出第一段濾心對水中砷幾無去除效果，而第一、二段活性碳濾心對砷有部分的去除效果，以第一段活性碳的去除效果較為明顯，約達 50% 在右。

第二次去除實驗(1 mg/L)的含砷原水實驗中，由圖 4 可以看出整個系統對砷的去除率仍在 99% 以上，與第一次實驗結果近似，而第二次實驗中各種處理程序(5 μ m 濾心、第一、二段活性碳濾心及 RO 膜)對砷的去除效果如圖 7。從圖中可以看出，5 μ m 濾心對水中砷的去除率仍然很低，而第二段活性碳濾心對砷的去除率在 30% 左右，第二段活性碳濾心則對砷沒有去除效果。

第三次去除實驗(0.15 mg/L)主要是探討 POU 逆滲透系統對低濃度砷原水的去除效果，而 RO 系統的操作及水樣的採取時間完全按照美國 NSF 的標準⁽³¹⁾，從圖 5 的實驗結果可以看出 RO 清水中砷濃度遠低於飲用水標準(50 μ g/L)，且去除率在 98.4 ~ 99.6 之間。而系統的效率、回收率及每天出水量分別為 34%、35% 及 233 公升/天，與廠商提供的資料相近。在本次實驗中分別就 4(處理水量=29

公升)、36(94 公升)、72(118 公升)及 144(163 公升)小時對系統各單元之出水進行分析，結果如圖 8，從圖中可以看出 4 小時及 72 小時的結果與前兩次實驗結果相似，而 36 小時及 144 小時的數據變化較大，可能因為實驗誤差所造成。

綜合上述，從三次高、中、低濃度的去除實驗結果可以看出 POU RO 系統對砷的去除率均達到 98%以上，清水中砷的濃度均低於飲用水標準。除此之外，可由實驗數據進一步看出兩段活性碳濾心對砷也有部分去除作用。

2.TDS 去除結果討論

根據美國 NSF 標準測試方法⁽³¹⁾，在探討 POU 逆滲透系統對水中砷等重金屬時，必須添加 750 mg/L 的 NaCl 作為原水中的 TDS，一方面是為了增加水中的離子強度，一方面可以探討 POU 逆滲透系統對 TDS 的去除效果。在已完成的三次實驗中，於含砷原水中分別加入 750 mg/L 的 NaCl 作 TDS 去除的探討，以下僅就 TDS 實驗結果加以討論。

從三次實驗結果(見圖 9~11)可以看出系統在平均 67~80psi 的操作壓力下，對 TDS 的去除率在 70%~99%之間，與 Regunathanh⁽³⁰⁾的實驗結果(平均 88%)接近。第一次實驗分別就 4 小時(27 公升)、36 小時(92 公升)與 72 小時(124 公升)，而第二次就 4 小時(27 公升)與 36 小時(90 公升)進行系統中個別程序對 TDS 的去除探討，結果如圖 12 與圖 13。由兩圖中可以看出 50 μ m 濾心及活性碳等前三段處理單元，基本上對溶解性固體(TDS)無明顯去除作用，系統中主要靠 RO 膜作為去除 TDS 的單元。

地下水砷去除實驗

本階段實驗利用 POU 逆滲透系統處理實際的地下水，選用的水源係參考本研究所作的地下水採樣分析結果，並考慮水樣取得之難易因素，決定使用六腳鄉港尾村 10 鄰 74 號的水井地下水，此水井建於民國 57 年，早年為附近居民飲水的來源，目前已停止作為飲水水源，但仍偶而用作洗衣及其他清洗之用。對原水進行分析，水中砷濃度為 600~800 $\mu\text{g/L}$ 之間，TDS 均超過 1000 mg/L ，最高為 1300 mg/L 。其他水質參數，如 $\text{pH} = 7.3\sim 7.7$ 、水溫為 25.6~26.5 $^{\circ}\text{C}$ 、SS 在 3.6~4.8 mg/L 、比電導度在 1.45~1.56 ms/cm 之間。

1. 砷去除結果討論

本次實驗採用連續進流的方式且每產生 20 公升清水即對 RO 出水進行分析，共處理 1134 公升的地下水，產生 380 公升的 RO 清水。若以每人每日飲水量為 2 公升，每個家庭 5 人計算，相當於一個家庭約一個月的飲水量。至於 RO 出水中砷的濃度最高 4.18 $\mu\text{g/L}$ (見圖 14)，發生在 RO 總出水量為 380 公升的時候，仍遠低於 50 $\mu\text{g/L}$ ，可見 POU 逆滲透系統對地下水中砷的去除效果良好，本次實驗之去除率大於 99.3%，平均可達 99.6%。成大李俊德教授⁽²¹⁾於民國八十年亦以同一水井的原水作 RO 的去除實驗，其實驗設備屬大型 RO 系統，操作壓力為 20~50 kg/cm^2 ，原水砷濃度為 760 $\mu\text{g/L}$ ，處理效果為 85%~97%，略低於本系統，但去除效果仍相當良好，說明不論大型或小型 RO 系統均對地下水中砷有良好的去除效果。本次實驗除了探討 RO 膜系統對水中砷的去除效果以外，於滲透清水量為 20 公升、180 公升、300 公升時對 POU RO 系統其他單元進行出水之分析，發現活性碳濾心對水中砷仍有約 10% 左右的去除效果 (見圖 15)，但主要去除單元仍以 RO 膜為主。

2.TDS 去除效果討論

圖 16 為 TDS 去除結果，由圖中可看出 TDS 去除效果大致良好，清水濃度值全部在 140 mg/L 以下，去除率至少均可達 88% 以上，顯示正常操作情況下 RO 系統對 TDS 的去除效果相當良好。

成本評估

市售 RO 系統各單元的價格如表 2 所示。依據廠商資料顯示，對一般自來水而言 5 μ m 濾心大約需 3-4 個月換一次，第一段及第二段活性碳濾心則約 8 個月及 1 年更換一次，RO 單元則可使用 1 年至 2 年左右。操作電費則可由加壓泵共輸出功率 15W 計算，即使連續操作，每日使用電仍低於 0.4 度，故操作費用甚低。

在維護費用部分，廠商所提供的一般以自來水作為原水時之更換頻率，本研究使用地下水測試結果顯示，由於懸浮微粒濃度高的緣故，第一段濾心大約每過濾 80 公升的水即呈土黃色，因此必須更換，其他單元則在操作期間內仍作用良好，因此並不預期在短時間內有更換的必要。所以若考慮主要費用來自於第一段濾心的更換費用，每公升水約需多花 2 元左右，至於其他單元之費用則有待更長期的操作資料來判斷。

根據台灣省自來水公司資料顯示⁽³²⁾，到民國八十三年為止，烏腳病流行三度地區未接水戶共有約一萬五千餘戶，政府已於民國八十四至八十六年度編列預算二億四仟萬改善上述地區中一萬戶之延管供水問題，由以上數字看出平均每戶補助約二萬四仟元，而餘下之五千戶未接管用戶，均為較偏遠之地區，接管費用應高於二萬

四仟元。而市面上出售之 POU 逆滲透系統之設備費平均每台 15000 元以下，而操作及維護費主要視使用情況而定，粗估應為 10000 元/每年-每戶以下。所以就以上數字來看，若每戶提供一台 POU 逆滲透系統，在偏遠地區預算比延管供水更為經濟，事實上，美國環保署亦有輔導新墨西哥州 Sun Ysidro 市中一個偏遠村落全村裝設 POU RO 系統的經驗，且操作維護及水質監測均有良好之表現⁽¹⁶⁾。但由於目前仍缺乏 POU 逆滲透系統長期使用之效果及維護情況的相關數據，所以應加強日後相關實驗，對 POU 逆滲透系統及其他簡易除砷設備作詳細之評估。

結論與建議

商用 POU 逆滲透飲用水處理設備經第一階段不同濃度人工配製的砷溶解液及第二階段含砷地下水去除實驗後，不論人工配製原水或含砷地下水，POU 逆滲透對砷及 TDS 都有良好的去除效果，其中對砷之去除率超過 99% 以上，經處理後清水均能符合飲用水水質標準，TDS 的去除效果在 70~99% 之間。逆滲透系統為目前國內飲用水 POU 系統主流之一，且由初步成本分析顯示，對於解決偏遠之烏腳病流行地區居民之飲水問題，提供 POU 逆滲透系統較延管供水來得經濟，惟目前仍缺乏 POU RO 系統長期操作的資料。所以未來主要的研究重點應針對 POU 逆滲透飲用水處理系統，進行較長期的測試，並比較不同廠牌系統，針對含砷天然地下水作探討，以測試該處理系統對天然地下水中砷之去除效果，並仔細評估操作、維護準則及成本效益。

誌謝

本研究承環保署補助經費(EPA-87-J1-02-03-08)，及南部地區水井擁有者配合採樣，特此致謝。

參考文獻

1. 行政院環境保護署，“中華民國台灣地區環境保護統計月刊”，pp. 125，1998.
2. Cotruvo, J. A., Vogt, C.O., “Rationale for water quality standards and goals”, *In Water Quality and Treatment*, 4thed., ed. by Pontius, F., American Water Works Association, (1990).
3. World Health Organization, “*Guidelines for Drinking Water Quality*”, Vol.1 Recommendations, 2nd ed., WHO (1993).
4. 鈕式如，“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，pp. 1-5，(1996)
5. 曹守仁，“中國大陸無機砷污染調查及研究現狀”，中華衛生雜誌第15卷第三期附冊，pp. 6-10，(1996).
6. 郭宗禮，“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，pp. 116-125，(1996).
7. 呂鋒洲，“螢光物質-腐植酸與烏腳病之相關研究”，中華衛生雜誌第15卷第三期附冊，139-149，(1996).
8. 張怡怡，“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，(1996).
9. Reid, J., “Arsenic occurrence: USEPA seeks clearer picture”, *J.*

- AWWA*, Vol. 86, No. 9, 44-51, (1994).
10. Joshi, A., Chaudhuri, M., "Removal of arsenic from ground water by iron oxide-coated sand", *Journal of Environmental Engineering*, Vol. 122, No. 8, 769-771, (1976).
 11. 林財富, "飲用水水質及水源標準最佳化可行處理技術及成本分析、水源核准辦法之研討及國際飲用水管理及處理技術研討會", (1998).
 12. 簡易自來水水源及飲用水衛生調查分析(台中縣及南投縣), EPA-82-J1-02-09-04, (1993).
 13. 陳建仁, 江漢全, "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, (1997)。
 14. 自來水公司企劃處資料, (1997)。
 15. 葉宣顯, 賴文亮, "水中砷混凝去除機構之初探", 中國環境工程學刊, Vol. 1, No 2, pp. 65-71, (1991).
 16. Fox, K. R., Sorg, T. J., "Controlling arsenic, fluoride, and uranium by point-of-use treatment", *J. AWWA*, Oct., 81-84, (1987).
 17. Kuhlmeier, P. D., Sherwood, S. P., "Treatability of inorganic arsenic and organoarsenicals in groundwater", *Water Environ. Research*, 68, 946-951, (1996).
 18. Huang, J. G., Liu, J. C., "Enhanced removal of AS(V) from water with iron-coated spent catalyst", *Separation Sci. Technol.*, 32, 1557-1569, (1997).
 19. Hering, J. G., P. Y. Chen, Wilkie, J. A., Elimelech, M., Liang, S., "Arsenic removal by ferric chloride", *J. AWWA*, April, 155-167, (1996).
 20. Cheng, R. C., Liang, S., Wang, H. C., Beuhler, M. D., "Enhanced coagulation for arsenic removal", *J. AWWA*, September, 79-90, (1994).
 21. 李俊德, 何鴻哲, "逆滲透法對含砷地下水處理可行性之研究",

- 成大環工系，(1991).
22. Schneiter, R. W., Middlebrooks, E. J., "Arsenic and fluoride removal from groundwater by reverse osmosis", *Environment International*, 9, 289-292, (1983).
 23. Waypa, J. J., Elimelech, M., and Hering, J. G., "Arsenic removal by RO and NF membranes", *J. AWWA*, 89, 102-114, (1997).
 24. Janjic, J., Conkic, L. J., Kiurski, J., Benak, J., "A method for arsenic level determination and a device for arsenic reduction in drinking water", *Wat. Res.*, 33, 419-428, (1997).
 25. Rozelle, L. T., "Point-of-use and point-of-entry drinking water treatment", *J. AWWA*, Oct., 53-59, (1987).
 26. Fox, K. R., Field experience with point-of-use treatment systems for arsenic removal, *J. AWWA*, 81, 94-101, (1989).
 27. 行政院環保署，"台灣地區淨水廠一覽表"，(1995)。
 28. Defilippi, J. A., Baier, J. H., "Point-of-use and point-of-entry treatment on Long Island", *J. AWWA*, Oct., 76-81, (1987).
 29. Sung, L. K., Taylor, J. S., "Nitrate Rejection by POU Membrane Process", *1993 Membrane Technology Conference*, August 1-4 ; Baltimore, MD, (1993).
 30. P. Regunathan, W. H. Beaman and E. G. Kreuzsch, "Efficiency of point-of-use treatment devices", *J. AWWA*, Vol. 75 : pp. 42-50, 1983.
 31. NSF International Standard, "Drinking Water Treatment Units-Reverse Osmosis Drinking Water Treatment Systems", NSF-58-1996a, (1996).
 32. 辦理台灣省烏腳病流行三度地區補助接用自來水計劃，台灣省自來水公司，(1994).

表 1、水井水質分析結果

| 採 樣 點 | 分 析 結 果 | | | | |
|----------------------|----------------------|------|--------------------|----------------------------|------------------------|
| | 砷($\mu\text{g/L}$) | pH | $^{\circ}\text{C}$ | 比導電度 (ms/cm) | ORP (mV) |
| 麻豆鎮-海埔 (井深 290 m) | 266 | 8.35 | 27.3 | * | -159 |
| 麻豆鎮-麻口 (井深 42 m) | 54.4 | 7.67 | 25.4 | 1.32 | -47 |
| 麻豆鎮-草 (井深 290 m) | 280 | 8.36 | 26.6 | * | -140 |
| 佳里鎮-佳里 (井深 35 m) | 166 | 7.38 | 26.6 | 1.6 | -93 |
| 佳里鎮-鎮山 (井深 < 60 m) | 177 | 7.38 | 26.1 | * | -85 |
| 將軍-長榮 (井深 27 m) | 48.6 | 7.38 | 25.9 | * | -59 |
| 西港-後營 (井深 42 m) | 1.6 | 7.28 | 24.9 | * | 26 |
| 西港-蕃茄園 (井深 42 m) | 167 | 7.78 | 25.4 | * | -142 |
| 西港-劉厝 (井深 27 m) | 15.0 | 7.58 | 25.8 | * | 12 |
| 鹽水鎮-舊營里 (井深 24 m) | 920 | 7.70 | 26.0 | 1.48 | * |
| 六腳鄉-港美村 (井深 21 m) | 540 | 7.25 | 26.1 | 1.99 | * |
| 六腳鄉-港美村 (井深 28 m) | 760 | 7.38 | 25.5 | 1.86 | -176 |

註 1：* 表示因儀器故障無法量測

註 2：以上水井均為私人所有，非自來水公司用井。

表 2、市售逆滲透系統各單元之單價及更換頻率

| 單元 | 單價(元) | 更換頻率* |
|--------------------|--------------|--------|
| 整組費用 | 9,000-25,000 | — |
| 5 μm 濾心 | 150 | 3-4 個月 |
| 第一段活性碳 | 300 | 8 個月 |
| 第二段活性碳 | 600 | 1 年 |
| RO 膜單元 | 1,500 | 1-2 年 |

*以自來水為原水之更換頻率

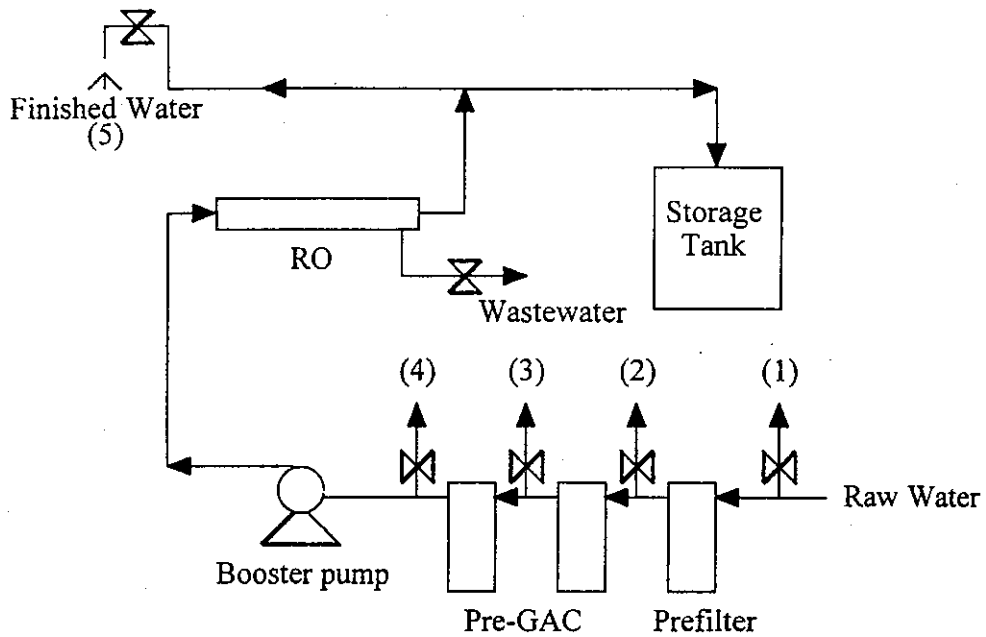


圖 1 POU RO 系統及採樣位置

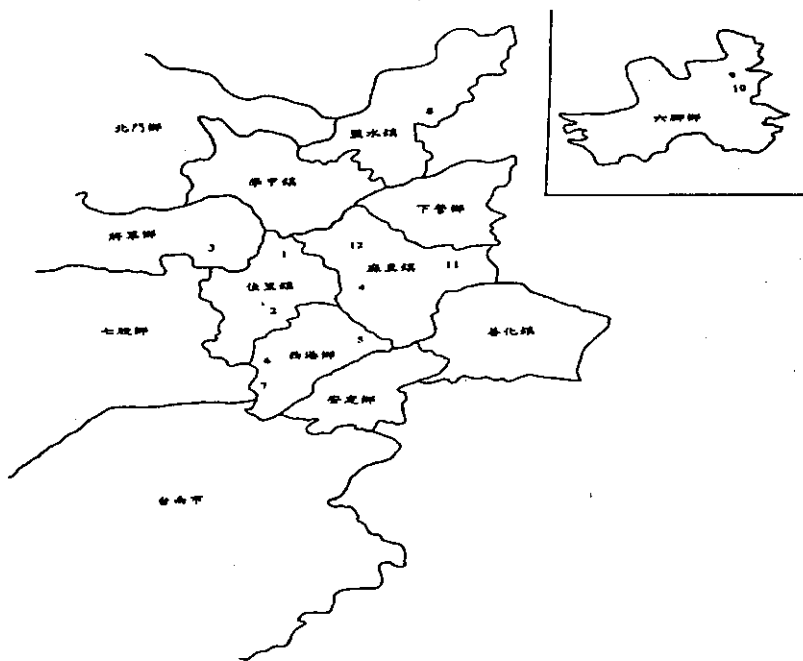


圖 2 西南部沿海地區水井採樣點

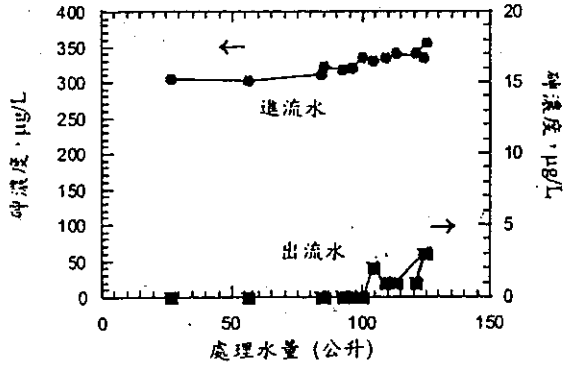


圖3 第一次除砷實驗(原水=0.3 ppm)

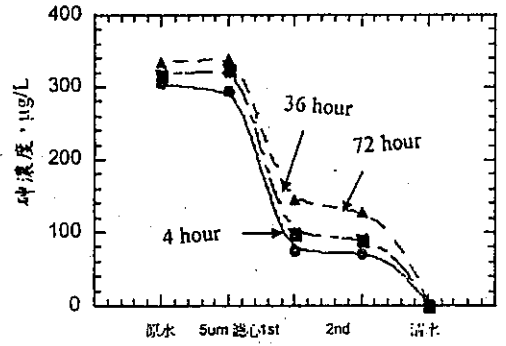


圖6 POU 逆滲透系統各單元除砷效率圖(原水=0.3 ppm)

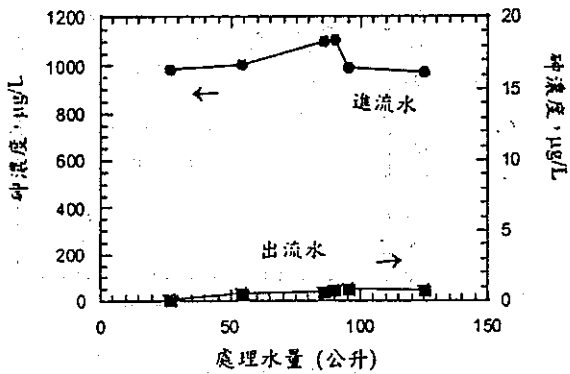


圖4 第二次除砷實驗(原水=1.0 ppm)

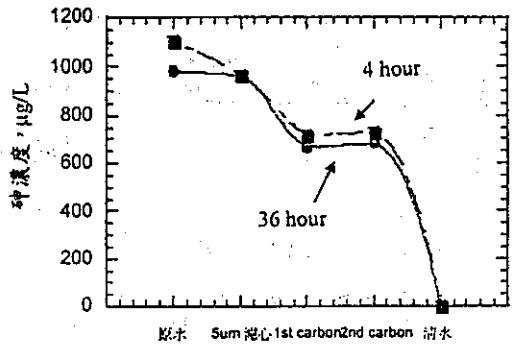


圖7 POU 逆滲透系統各單元除砷效率圖(原水=1 ppm)

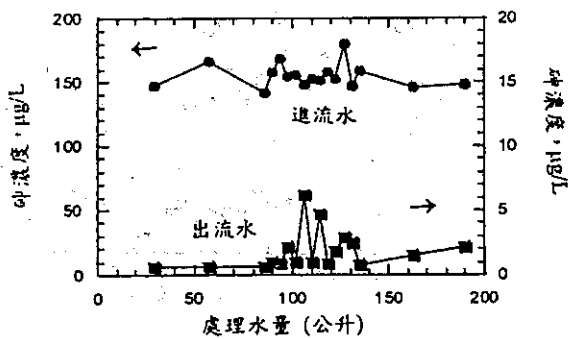


圖5 第三次砷去除實驗(原水=0.15 ppm)

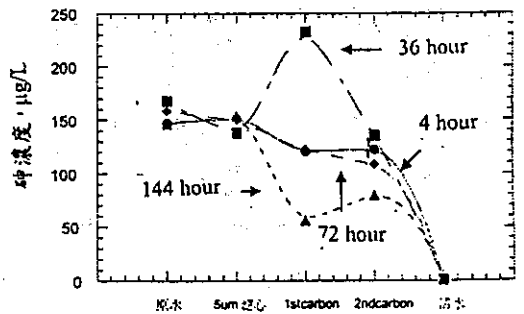


圖8 第三次除砷實驗 RO 系統各單元除砷效果圖 (0.15 ppm)

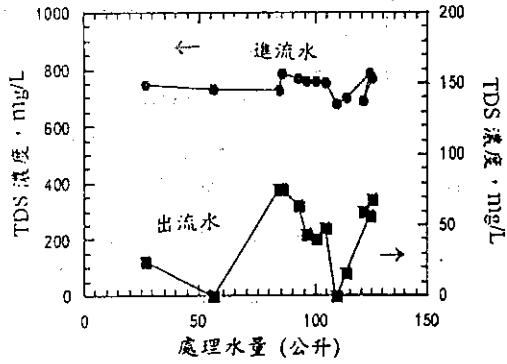


圖 9 第一次 TDS 去除實驗

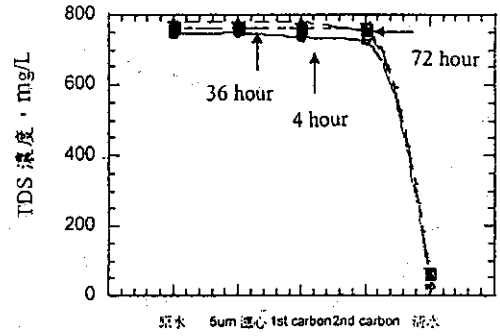


圖 12 POU 逆滲透系統各單元除 TDS 效率圖(As=0.3 ppm)

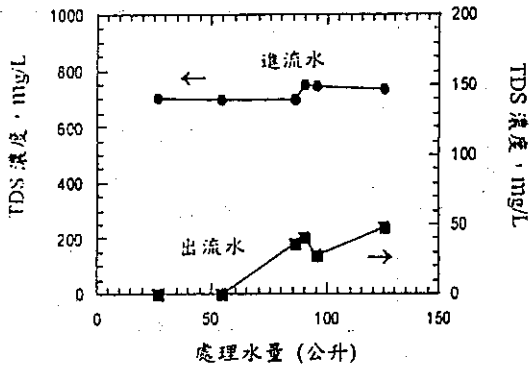


圖 10 第二次 TDS 去除實驗

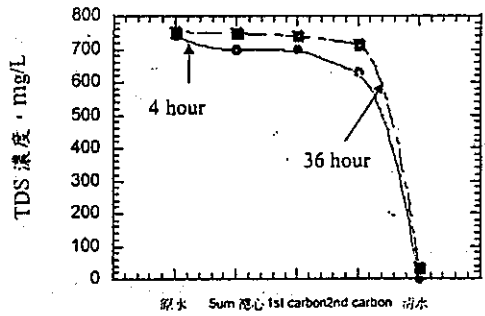


圖 13 POU 逆滲透系統各單元除 TDS 效率圖(As=1 ppm)

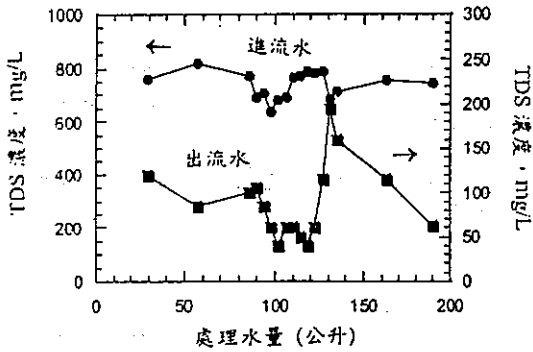


圖 11 第三次 TDS 去除實驗

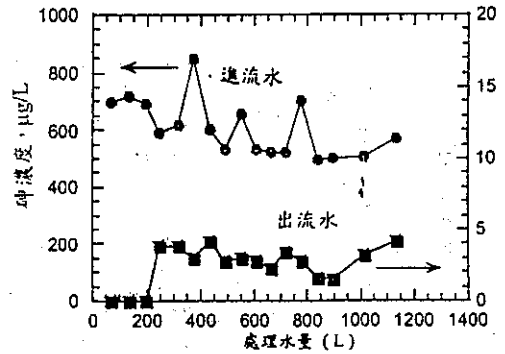


圖 14 RO 進水及出水砷濃度變化
(含地下水去除實驗)

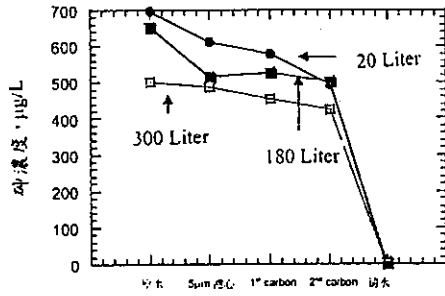


图 15 POU RO 系统各单元除砷效率图
(含砷地下水去除实验)

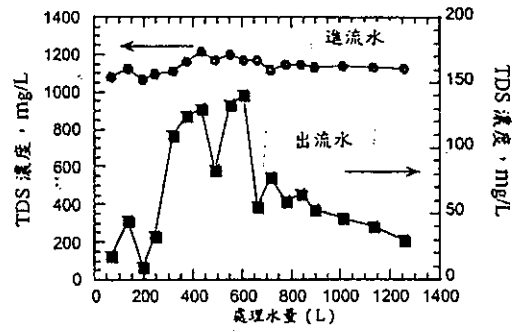


图 16 RO 进水和出水 TDS 变化
(含砷地下水去除实验)