

創造好水 淨力十足

高雄地區增設薄膜法高級淨水處理工程之介紹

金業科技股份有限公司 郭興中、楊國洲

大高雄地區〔高雄縣、市〕自來水水源主要取自高屏溪，水源污染除已由相關單位進行改善外，台灣自來水公司為提昇飲用水水質與提供充裕水量，於 1994 年陸續完成「高雄地區自來水水質改善工程」

及「高雄地區工業用水與民生用水分開供應計劃」，以改善高雄地區自來水水質。然為因應於 1998 年 2 月 4 日新修定公布之「飲用水水質標準」（共分三階段逐步提昇飲用水標準）及進一步提昇自來水在口感、味覺、硬度等適飲性品質，乃持續進行「大高雄地區自來水後續改善工程規劃」，藉由取水口上移至高屏溪攔河堰以改善水源水質，並配合增設高級淨水處理設備及自來水管線更新等改善方式，以期達成飲用水水質提昇之目的並因應未來日趨嚴格之飲用水水質標準。「澄清湖、拷潭、翁公園淨水場增設高級淨水處理設備」實施計劃即為自來水後續改善工程計劃之一部份。



一、水質現況

1. 臭味

飲用水中之異臭味問題在世界各國常是民眾抱怨水質不佳的原因之一，高雄地區自來水水源大部份抽自高屏溪與東港溪，近年來兩條河川因遭受上游社區、事業廢水污染，水質急速惡化，傳統淨水場(參見圖 1)因不勝負荷，致供應之自來水中常有臭味產生。

台灣地區之淨水場多採傳統之加藥、混凝沉澱、快濾及加氯消毒之標準程序處理，以往去除一般原水之濁度、少量鐵錳及細菌之效果良好，但水源遭受污染後，由於水中有機物、氨氮濃度增高，在淨水過程中耗氯量遽增，不僅淨水成本增加，因有機物加氯反應後，也有生成過量氯衍生物，影響人體健康之潛在危險。根據新的研究指出，原水中溶解性有機物、重金屬、毒性物質、界面活性劑及優養水體藻類產生之 MIB Geosmin 等臭味，皆難以傳統淨水方法去除。此乃高雄地區傳統淨水場無法針對受污染及優養原水，生產令人滿意之自來水水質之原因。

高雄地區工商發達，人口密集，自來水需求量與日俱增，由於新闢取代水源不易，高屏溪與東港溪水源仍需繼續使用，故今後除應積極加強整治河川、管制上游污染源排放之措施，淨水場增設高級處理單元，以提升淨水功能。

2. 硬度

台灣地區因地質特殊，無論地面或地下水源之鈣、鎂含量均高，依統計資料顯示，總出水量之 56% 硬度超過 170 mg/L 以上，尤以高雄地區總硬度高達 250 400 mg/L 之間，平均硬度在 300 mg/L 左右，亟需優先辦理軟化處理。

高雄地區自來水系統現有六處較大淨水場，其中鳳山與澄清湖坪頂淨水場取用地面水源，出水量佔全部之 80%，另坪頂、翁公園、拷潭、大崗山等淨水場主要係抽自地下水，合計出水量佔 20%，其水質硬度均偏高。

各國之水質標準對硬度之限值尚寬，一般訂為 300 mg/L，但美國自來水為適合民眾生飲及防止暖氣管結垢阻塞，多數淨水場出水之硬度控制在 74 150 mg/L，自來水硬度高之缺點為可口性差、消耗肥皂，燒開水除產生白色沉澱物，還予人不潔之感，另外水加熱後析出鈣鎂管垢，耗費熱能及阻塞熱水管。由於生活水準日益提高，對於用品質要求也日漸嚴格，高雄地區民眾基於上述缺點，多年來即不斷要求自來水適度軟化。

三、工程設計目標

1. 設計出水目標

水質項目	設計出水水質要求 (最大限值)
藍氏飽和指數 (LSI)	-1 < LSI < 1
pH	6.5 - 8.0
色度	3 PCU
臭度	1 TON (未加氯前)
濁度	0.3 NTU 100 % of the time
總硬度	150 mg/L
總溶解固體量 (TDS)	250 mg/L
氨氮 (NH ₄ ⁺ -N)	0.08 mg/L
亞硝酸鹽氮 (NO ₂ ⁻ -N)	0.08 mg/L
硝酸鹽氮 (NO ₃ ⁻ -N)	8 mg/L
鐵	0.25 mg/L
錳	0.04 mg/L
砷	0.01 mg/L
鉛	0.05 mg/L
銅	0.005 mg/L
鎘	0.05 mg/L
汞	0.002 mg/L
硒	0.01 mg/L
溴酸鹽	0.008 mg/L
亞氯酸鹽 (Chlorite)	1.0 mg/L
自由有效餘氯	0.5 ~ 1.0 mg/L
殘餘臭氧	低於最低儀器 可偵測極限
FPA	無特殊異味 (未加 氯前) Odor free (FPA: 閾限值 1)
總三鹵甲烷 (TTHMs)	30 μg/L
五類鹵化醋酸 (HAA5)	30 μg/L
總菌落數	1.0 CFU/mL
大腸桿菌群	MPN/100 mL 0.0 CFU/100 mL
生物可利用有機碳 (AOC)	50 μg/L

註：除臭度及 FPA 於未加氯前，其餘樣品為加氯後於清水池取得

表 1 設計出水水質要求

每日設計正常出水量：261,000 CMD。

每日設計最大出水量：313,200 CMD。

2. 水質處理目標

為符合大高雄地區民眾對飲用水的需求，淨水處理技術應用的考量，以能符合下述的功能為目標：

1. 去除飲用水中致病性生物。
2. 改善臭味(Odor)與口感(Taste)，提高適飲性品質。
3. 控制消毒副產物(Disinfection Byproducts)。
4. 降低總溶解固體量與硬度，提供安全、可口、衛生的自來水。
3. 設計出水水質要求(參見表 1)

四、工程設計計劃

1. 設計說明

高雄地區拷潭及翁公園淨水場增設高級淨水處理設備工程 (以下簡稱本工程) 採用薄膜高級處理系統，系統流程參見圖 2，翁公園與拷潭高級淨水處理設備鳥瞰圖參見圖 3 與圖 4。全部原水經快混膠沈、奈米浮除(參見圖 5-7)、超過濾 (Ultra-filtration 以下簡稱 UF) (參見圖 8-10)處理，依原水水質狀況，部分再經低壓逆滲透薄膜 (Low Pressure Reverse Osmosis，以下簡稱 LPRO) 處理後，將 UF 及 LPRO 產水依比例混合，使最終出水達到設計之出水水質要求。

當原水有機物高於設定值，則於前端加入粉狀活性炭吸附處理，然後流入既設之快混膠沈池，處理後上澄液送入奈米氣泡浮除池，浮除池分三槽，第一槽以奈米氣泡氣提除去大部分氨氮，第二槽以鹽酸 (HCl) 調節 pH 值為 6.5 左右，使原水中部份 HCO_3^- 酸化為 CO_2 ，並經空氣浮除脫 CO_2 後，pH 約為 7.0，浮除三槽後，已除去原水大部分的藻類及懸浮物質，再以送水泵加壓送至 UF 膜組，UF 膜組為 Dead-end 方式，操作中沒有排水，而快沖及反洗水取自 LPRO 之濃縮排水由邏輯控制單元 (PLC) 自動進行快沖及反洗，反洗水含 5 ppm 餘氯，此反洗水中的餘氯並可降低 LPRO 濃縮廢液中的 COD 值。此外 UF 膜組定期以較高濃度的餘氯 (100~500 ppm) 浸泡清洗，以防止有機物及細菌造成的阻塞。

LPRO 設備，低壓膜管有二種組成，一為 Loose RO(低離子去除率)，一為 Low pressure RO(高離子去除率)，為提高水利用率，一般為多支膜組串聯，採用一台加壓泵浦，由進水加壓，類似圖 11 所示。

由於 LPRO 為低壓操作膜 (約 4-10 bar)，而單一系列膜組(每支管殼內裝 6 支 40 吋長膜管)壓降約為 2 bar 左右，如圖 11 中三列串聯進水至排水壓降達 6 bar 以上，即第一列第一支膜管與最後一列最後一支膜管受壓差距甚大，每列膜組顯然操作壓力不同，此法不僅造成泵浦壓降動力損失，浪費電力，且第一列膜組及最後一列 (第三列) 膜組，單位面積產水量 (Flux) 相差常達數倍以上，此時最高造水率只能為 85%，若要再提高造水率，必須繼續串聯第四列，甚至第五列，但因第三列之 Specific Flux 已太低，無法再串聯膜組。若採用各列間增壓方式，如圖 12 所示。

UF 產水以第一台泵浦送入第一列 LPRO 膜組，第一列濃縮排水以第二台泵浦增壓送入第二列 LRPO 膜組，以此類推最後第五列濃縮排水收集於濃縮水槽，作為 UF 反洗之供水，反洗廢液經濃縮廢液處理池處理後澄清液直接排放，而污泥送入污泥脫水機房，脫水後泥餅予以運棄。

各列膜組間以變頻器控制連動，除比圖 11 所示方式節省電力外，每列壓力可依序增加，Flux 平均。串聯五列造水率可達 96%以上。

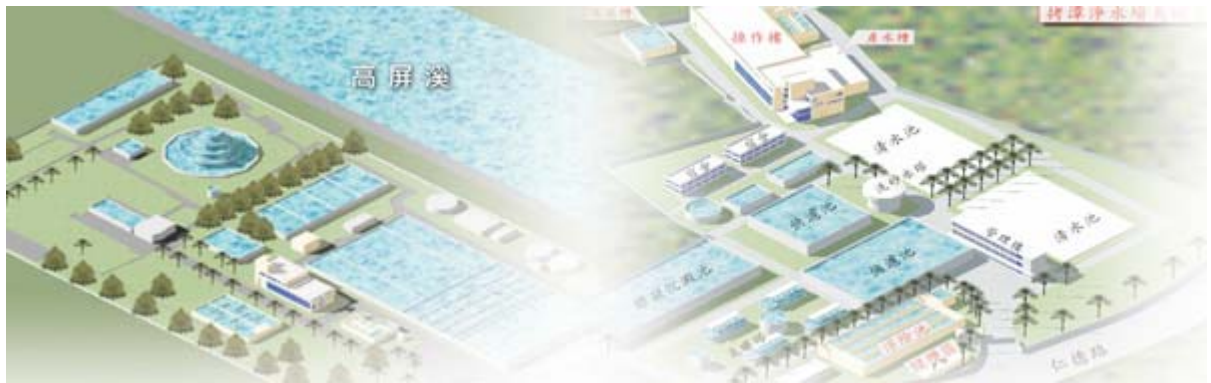


圖 3 翁公園高級淨水處理設備鳥瞰圖 圖 4 拷潭高級淨水處理設備鳥瞰圖

LPRO 之進水須加入亞硫酸氫鈉，抗垢劑及再次以鹽酸調整 pH 值。亞硫酸氫鈉用以還原 UF 產水因反洗而殘留之餘氯，抗垢劑用以控制濃縮水硫酸鈣飽和限值達 230%不致沉積於膜表面，鹽酸用以確保 LSI 值小於 2。

各列膜組產水合併流入產水槽，依合併後之水質 TDS、AOC、TH (硬度) 及 pH，依比例摻混部分 UF 產水，混合比例因原水水值而變動，使混合後水質達

到 TDS < 250 ppm , TH < 150 ppm , AOC < 50 μ g/L , pH > 6.5 此混合產水加氯後送入清水池，再供應至高雄地區自來水用戶。

2. 系統流程圖(參見圖 2)

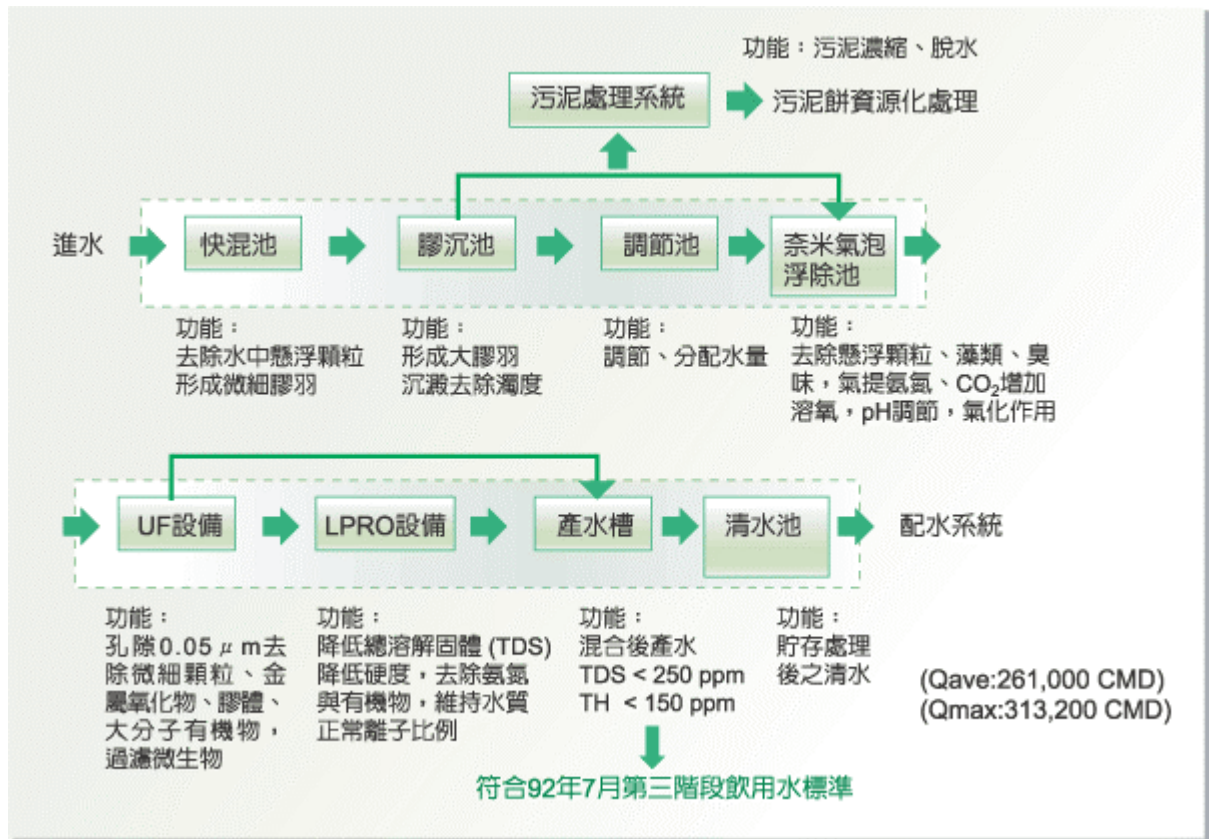


圖 2 自來水設高級淨水處理設備系統流程說明

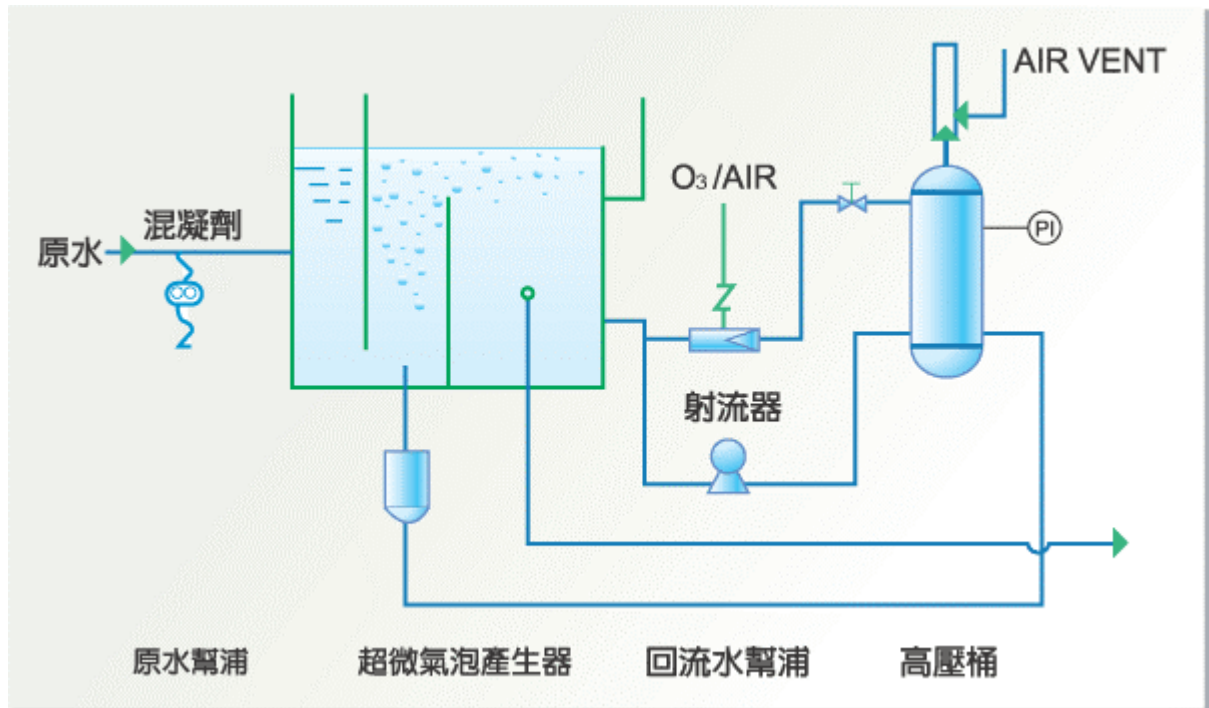


圖 5 奈米浮除設備流程圖

3. 處理設備單元說明

3.1 粉狀活性炭設備

含活性炭粉貯槽、活性炭液攪拌及輸送設備，設置於濾前處理設備前端，並添加於原水進水管內，經水流充分混合，藉著吸附作用能有效降低原水中之有機物、臭味及色度。另依據模廠試驗結果，添加適量之粉狀活性炭能延緩 UF 膜管阻塞時間。

3.2 濾前處理設備

包含快混、膠沈池與機械攪拌及沈澱排泥設備，為傳統淨水處理系統之混凝沈澱過程。主要功能為藉著藥劑之注入及機械攪拌混凝作用，去除水中懸浮固體物及膠體物以達到初步淨化效果，並減輕過濾設備之負擔。



圖 6 奈米浮除製造氣泡之效果

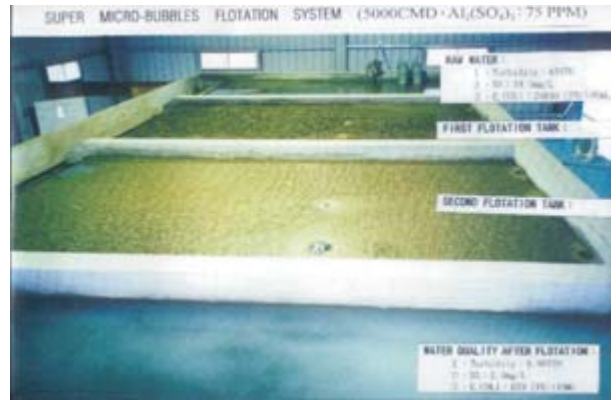


圖 7 奈米浮除處理案例

混凝作用大致分成加藥、混合及膠羽形成三步驟，加藥為選用合適之混凝劑加入原水中，由快速攪拌之混合作用，將加入水中之藥劑急速擴散於處理水體，藉由混凝劑中高價陽離子中和水中微細膠體表面所帶陰離子，使微細膠體互相聚合形成膠羽，然後再由緩慢之攪拌或流動使膠羽逐漸長大而沈降，甚至也可能將水中存在之無機物、有機物、生物、細菌等一起包納其中而沈澱去除。本工程使用之混凝劑為聚氯化鋁(PAC)。

3.3 奈米氣泡浮除設備

3.3.1 設計原理

奈米氣泡製造方式，係利用泵浦進氣閥之特性，吸入少量之氣體經蓄壓釋壓擴散後，即可得直徑小於 $1 \mu\text{m}$ 之超微細氣泡，其氣泡相當細膩在水中擴散後狀如牛奶般，由於摒棄傳統以空壓機打入空氣之方法，不但減少設備佔地面積，管理維護容易，且氣泡擴散均勻，水中停滯時間長達 3 分鐘以上，故設計水力停留時間可相對減少。設備示意圖 5。

3.3.2 裝置方式

奈米氣泡產生器裝置於浮除池兩側，間距為 2 公尺，每一產生器兩個出水管，出水管間距為 1 公尺，浮除池設計為三槽，中間設隔牆使水流方向為上下左右流動，藉延長水流增加浮除效果。上層兩側設有浮渣刮除設備，底部預留維修清洗污泥坑及排泥設施。

3.3.3 主要功能

1. 脫氣—吸入空氣因氣提作用，可降低水中 CO₂ 及 NH₃，脫 CO₂ 能力可達 80%以上，由於 CO₂ 之去除防止 RO 因 HCO₃⁻形成積垢，可提高 RO 之造水率。
2. 去除懸浮顆粒—藉由氣浮作用去除細小懸浮固體物，尤其是水中之藻類得以完全去除，同時使較大、較重之淤泥沈降於底部。
3. 降低臭味及色度—因空氣中氧氣溶入水中之氧化作用及氣提功能而有效降低臭味及色度。
4. 降低 COD - 配合添加 PAC，可降低原水之 COD。
5. 氧化作用 - 將原水中之 Fe、Mn 等重金屬氧化，防止 RO 被氧化損壞。
6. 處理後水質穩定良好，能夠直接進入超過濾(UF)處理程序，可減少其他處理流程所需之運轉操作費用。
7. 若吸入氣體為臭氧，不必使用分散接觸塔，其殺菌氧化效果特佳。

3.3.4 設計準則

由於採用迴流式加壓浮除法，經特殊之減壓閥，可產生直徑小於 1 μm 之氣泡，使浮除槽內的水呈乳白色狀，由於氣泡之黏滯阻力與浮力幾乎達到平衡狀態，故氣泡上升緩慢，氣泡在水中停留時間亦相增長。

設計準則如下：

1. 水力停留時間：8 min 以上。
2. 迴流比：8 %以上。
3. 壓力槽：4-8 kg / cm² 左右



圖 8 3 英吋 UF 薄膜產品

圖 9 8 英吋 UF 薄膜產品

圖 10 板框式 UF 薄膜產品

3.4 UF 設備

3.4.1 功能說明與材質構造

UF 設備可除去水中之淤泥、浮懸顆粒，並可除去矽化物、鐵、鋁之氧化物、有機物質、細菌及膠體，能使產水淤泥指數(Silt Density Index 簡稱 SDI)小於 1，可防止 LPRO 膜管阻塞，為有效的 LPRO 膜管前處理方法。

UF 膜片孔隙小於 $0.05\ \mu\text{m}$ (分子量約為 100,000 MWCO)，與 MF 不同處，在於 UF 可濾除大分子有機物及因膠沈時加硫酸鋁所產生的鋁的膠體，而 MF 僅為 $0.1\ \mu\text{m}$ 孔隙無法過濾有機物及部份膠體。因本工法未加入臭氧或其他氧化劑，原水中有機物分解程度低，不會造成 AOC 增量，故 UF 膜可因過濾作用而降低水中可形成 AOC 的有機物質。此外，UF 將鋁及鐵氧化形成的膠體濾除，可以避免 LPRO 膜組阻塞。

UF 膜片材質採用 PVDF 高分子材料製造，具有不黏結污泥及耐化學藥品的特性，UF 設備型式採可反洗之板式構造具有容易沖洗的優點，且於必要時可拆解清洗 UF 膜片。

3.4.2 單元設備尺寸

UF 設備由 150 片 UF 膜片組成一個 Stack (DS-160)，48 個 Stack 與連接管線及控制閥組裝成一組框架，每套 UF 設備有五組框架，一台 UF 加壓泵及變頻器。

Stack 尺寸： 45 cm x100 cm (H)。

框架尺寸：300 cm (L) x100 cm (W) x595 cm (H)。

3.4.3 產水量與操作壓力

每一個 Stack 設計產水量：2.95 CMH。

每組框架產水量：2.95 x48 = 141.6 CMH。

每套 UF 設備產水量：141.6x5 = 708 CMH/套。

本工程 UF 設備設計數量為 20 套(含備用 2 套)。

UF 設備操作壓力為 1 bar。

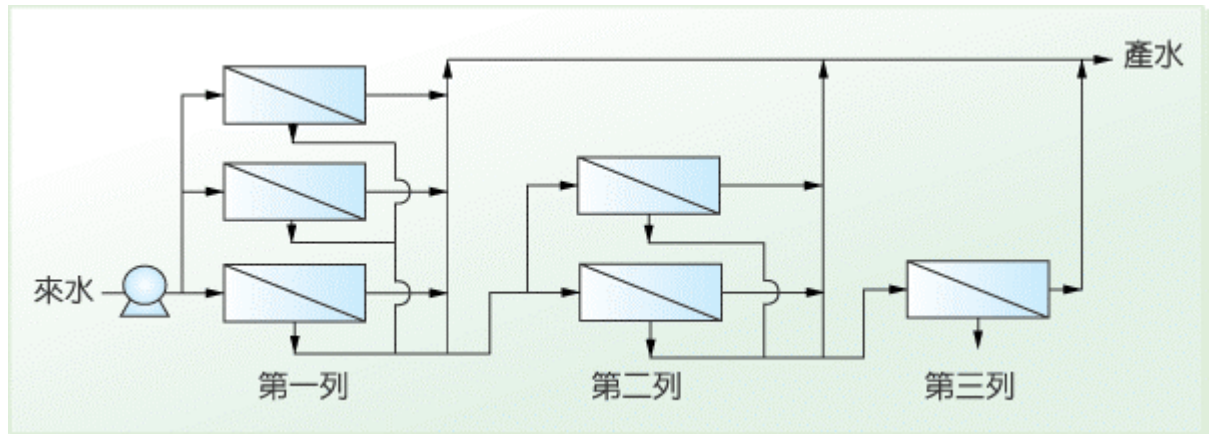


圖 11

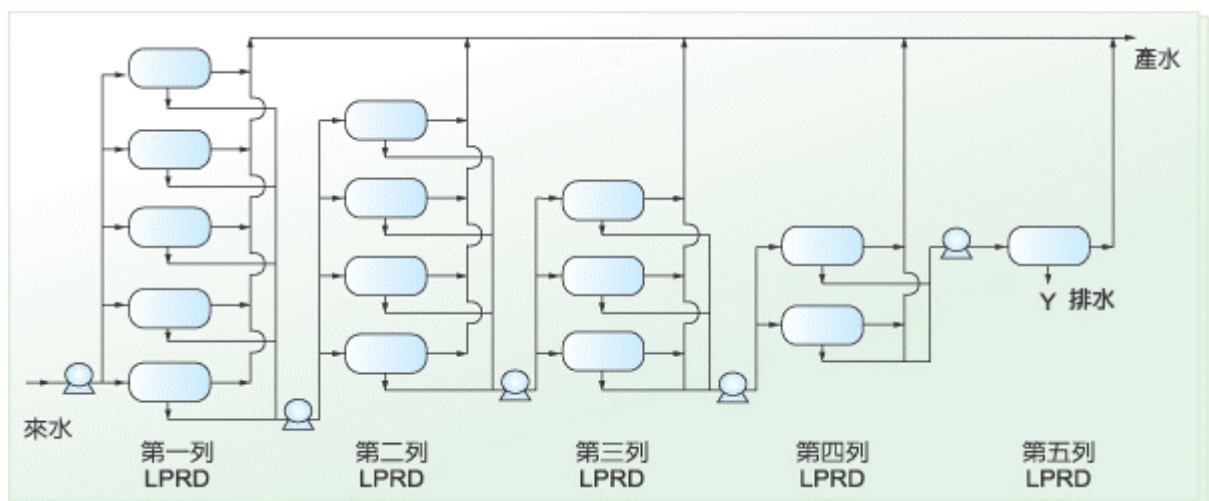


圖 12

3.5 LPRO 設備

3.5.1 功能說明與材質構造

LPRO 設備主要功能為去除水中重金屬、毒性物質以及降低水中 TDS 與 TH(硬度)濃度以提升自來水可口度與適飲性，而本工程為提高水利用率，採五段串聯排列，分段加壓方式，不僅節省電力每列壓力依序增加，Flux 平均，且造水率可高達 96%以上。

LPRO 膜管採螺旋纏繞式(Spiral Wound)，材質為 TFC-PA。管殼材質為 FRP(玻璃纖維管)，參見圖 13。

3.5.2 單元設備尺寸

每套 LPRO 設備包含：

1. 62 只管殼(每只管殼裝設 6 支膜管)。
2. 連接管線及控制閥。
3. 監視儀表。
4. 5 台加壓泵及變頻器。

管殼與連接管線及控制閥組裝成一組框架。

每組框架尺寸：700cm(L)×300cm (W)×485 cm(H)。

管殼尺寸為 9.6" ×258" (24.4cm×655.3cm)。

膜管尺寸為 7.88" ×40" (20.02cm×101.6cm)。

3.5.3 產水量與操作壓力

每支膜管設計產水量：1.1 ~ 1.2 CMH/支。

每套 LPRO 設備產水量：437 CMH。

每套 LPRO 設備濃縮排水：15.4 CMH。

本工程 LPRO 設備設計數量為 19 套，操作時啟用套數因原水水質而變動，平常水質時啟用 12 套，產水量約為總出水量 48%，最差水質時全部啟動，產水量約為總出水量的 76 %。



自來水高級淨化處理模廠-LPRO、UF、奈米浮除

LPRO 設備五列操作壓力為 5.2 bar 至 9 bar 之間，除第一列動力直接加壓至操作壓力外，第二列之後係利用前一列排水餘壓予以增壓至設計操作壓力，並由變頻器控制，故動力費相當節省。

另外，為了使高雄市民能夠體會政府的用心、也為宣揚台灣水處理技術的重大成就，金棠科技股份有限公司自行投資 600 萬元建造日產 500 噸符合民國 92 年環保署要求水質標準的好水(TDS<250 ppm、TH<150 ppm)供民眾早日飲用，以解百萬民眾之渴。

五、工程採購與標價

本工程為台灣省自來水公司委辦之統包採購工作，承包商須提供有關高級淨水處理設備工程之細部設計、施工、安裝、供應、測試、訓練及整體試運轉合格後之 15 年之操作與維護等，由台灣金棠科技股份有限公司承攬，工程總標價為新台幣 3,311,767,002 元整，分為初設費，15 年操作年費之現值，15 年水污染防治費之現值。



初設費：NT\$ 969,570,000 元。

RO 逆滲透設備

施工期為 1 年 6 個月，預計 2003 年 10 月開始運轉。施工項目包含土建、管線、機械、儀電工程及 UF、LPRO 設備。

15 年操作年費現值：NT\$ 2,324,056,360 元。

換算每 CMD 操作費用：2.1 元/CMD，操作費用依每年物價指數調升。

主要操作成本包括：薄膜耗材、藥品費、動力費及人事管理費等。

15 年水污染防治費現值：NT\$18,140,642 元。

係依據「廢水排放收費辦法」預估每年排放總污染當量所須繳納之水污染防治費用。



自來水高級淨化處理模廠-UF 前處理膜組

六、結論

近年來新興高科技產業快速發展所產生之廢水帶來水源的污染，很多無法預知之有毒物質、致病性物質、重金屬污染等已對人體健康造成潛在威脅，因此降低溶解固體量(TDS)以減低風險並阻絕污染物，已成為全世界飲用水水質要求之潮流趨勢。

另外民眾生活水準提高後，對於飲用水口質要求也日漸嚴格，因此自來水水質除了安全衛生外，可口度與適飲性亦為民眾要求的條件，而傳統淨水處理系統所提供之自來水水質已無法保證符合要求。

本工程採用先進之低壓逆滲透(LPRO)薄膜處理，並搭配奈米氣泡浮除與超過濾(UF)為前處理設備，產水水質穩定性高，除了有效降低溶解固體量與硬度外，亦可去除致病性物質，另外造水率高達 96%以上，減少了水資源浪費，而且操作費用低廉，每 CMD 含稅操作費僅為 2.1 元，整套系統設計及預期目標已為世界之創舉，完成後不僅大幅提升高雄地區自來水品質，也同時昭告全世界，在台灣已經可以以最便宜的價格享受到最佳品質之飲用水了。

設備名稱	主要特色
粉狀活性炭設備	當原水有機物偏高時，添加於原水進水管中，藉由水流充分混合與吸附作用，可有效降低有機物濃度及臭味。
奈米氣泡浮除設備	<p>1、揚棄空壓機輸入空氣方式而利用泵浦進氣閥特性，吸入少量空氣經蓄壓釋壓擴散作用，而產生超微細氣泡（直徑小於1 μm），水中停留時間長達3分鐘以上，不僅浮除效果佳、佔地面積小且設備維護容易。</p> <p>2、處理功能包含：</p> <p>(1) 藉著吸入空氣產生氣提作用，可降低水中CO_2及NH_3，脫CO_2能力可達80 %以上，由於CO_2之去除防止RO因HCO_3^-形成積垢，可提高RO之造水率。</p> <p>(2) 藉由氣浮作用去除細小懸浮固體物，尤其是水中之藻類得以完全去除，同時使較大、較重之淤泥沉降於底部。</p> <p>(3) 因空氣中氧氣溶入水中之氧化作用及氣提功能而有效降低臭味及色度。</p> <p>(4) 配合添加PAC，可有效降低原水之COD濃度。</p> <p>(5) 將原水中之Fe、Mn等重金屬氧化，防止RO被氧化損壞。</p> <p>(6) 處理後水質穩定良好，能夠直接進入超過濾（UF）處理程序，可減少其他處理流程所需之運轉操作費用。</p> <p>(7) 若吸入氣體為臭氧，不必使用分散接觸塔，其殺菌氧化效果特佳。</p>
UF設備	<p>1、膜片材質為PVDF高分子材料，具不黏結與耐化學藥品特性，而膜組採平板式構造，容易沖洗且可拆解清洗，維護便利。</p> <p>2、膜片孔隙小於0.05 μm，可濾除水中淤泥、膠體及矽化物與鐵、鋁之氧化物，並使產水SDI<1，防止LPRO膜管阻塞，為LPRO最佳前處理設備。</p>
LPRO設備	<p>1、系統設計採用五段串聯排列，分段加壓方式，造水率高達96 %以上，減少資源浪費，同時每段膜管Flux平均，不僅可節省動力費，且可延長膜管使用壽命。</p> <p>2、可去除水中重金屬、有毒物質及降低水中TDS與TH濃度，提升自來水的可口度與適飲性。</p>

總結本工程主要特色

七、參考資料

1. 台灣省自來水公司拷潭及翁公園增設高級淨水處理設備工程統包規範。
2. 國立成功大學環境工程學系葉宣顯教授—澄清湖高級淨水處理模型廠試驗研究。
3. AWWA RESEARCH FOUNDATION (1994)
Evaluation of Ultra-filtration Membrane Pretreatment and Nano- filtration of Surface Waters.
4. US EPA Municipal Environment Research Laboratory. (1980)
Effect of Pretreatment on the Filtration of Low Turbidity Secondary Effluent.