

出國報告（出國類別：實習）

## 電力設施地下水污染監測之規劃技術研習

服務機關：台灣電力股份有限公司

姓名職稱：黃建維（專員）

派赴國家：美國

出國期間：107年10月14日至107年10月20日

報告日期：107年12月12日

## 出國報告審核表

|                            |  |                   |
|----------------------------|--|-------------------|
| 出國報告名稱：電力設施地下水污染監測之規劃技術研習  |  |                   |
| 出國人姓名(2人以上,以1人為代表)         | 職稱   | 服務單位              |
| 黃建維                        | 一般工程師  | 台灣電力股份有限公司        |
| 出國類別                       | <input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input checked="" type="checkbox"/> 實習<br><input type="checkbox"/> 其他_____ (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)   |                   |
| 出國期間：107年10月14日至107年10月20日 |  | 報告繳交日期：107年12月12日 |
| 出國計畫主辦機關審核意見               | <input checked="" type="checkbox"/> 1.依限繳交出國報告<br><input checked="" type="checkbox"/> 2.格式完整(本文必須具備「目的」、「過程」、「心得」、「建議事項」)<br><input checked="" type="checkbox"/> 3.無抄襲相關出國報告<br><input checked="" type="checkbox"/> 4.內容充實完備。<br><input checked="" type="checkbox"/> 5.建議具參考價值<br><input type="checkbox"/> 6.送本機關參考或研辦<br><input type="checkbox"/> 7.送上級機關參考<br><input type="checkbox"/> 8.退回補正,原因: <input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略未涵蓋規定要項 <input type="checkbox"/> 抄襲相關出國報告之全部或部分內容 <input type="checkbox"/> 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔<br><input type="checkbox"/> 9.本報告除上傳至出國報告資訊網外,將採行之公開發表:<br><input type="checkbox"/> 辦理本機關出國報告座談會(說明會),與同仁進行知識分享。<br><input type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告<br><input type="checkbox"/> 其他_____<br><input type="checkbox"/> 10.其他處理意見及方式: |                   |

說明：

- 一、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 二、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「政府出版資料回應網公務出國報告專區」為原則。

|             |   |             |  |                            |  |                                 |   |
|-------------|---|-------------|--|----------------------------|--|---------------------------------|---|
| 報<br>告<br>人 |  | 審<br>核<br>人 | 單位<br>主管  | 專<br>業<br>總<br>工<br>程<br>師 |  | 總<br>經<br>理<br>副<br>總<br>經<br>理 |  |
|-------------|---|-------------|--|----------------------------|--|---------------------------------|---|



副  
總  
經  
理

# 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：電力設施地下水污染監測之規劃技術研習

頁數 23 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力股份有限公司人力資源處/陳德隆/02-23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

黃建維/台灣電力股份有限公司/環境保護處/專員/02-23667214

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：107 年 10 月 14 日至 107 年 10 月 20 日

出國地區：美國

報告日期：107 年 12 月 12 日

分類號/目

關鍵詞：微過濾（microfiltration , MF）、逆滲透（reverse osmosis , RO）、過氧化氫與紫外光（H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>+UV）、地下水補注系統

內容摘要：（二百至三百字）

由於台灣水資源匱乏的情況下，本公司發電機組在發電過程中需要大量的水資源，就成為一發展難題。另本公司因應火力電廠運轉，需要設置油槽及灰塘，其設施對地下水造成之環境衝擊，成為環評審查重點之一。因此，為探討發展更多之水資源及達到地下水污染預防，有必要瞭解國外水資源及地下水污染監測之規劃及技術。

Stantec 公司長期致力於地下水監測、管理及廢水再利用工程，相關經驗豐富。實習過程參訪 OCWD，實地觀察地下水井、微過濾（microfiltration , MF）、逆滲透（reverse osmosis , RO）、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>+UV 等水處理設施，藉由實地現勘及經驗交流回饋，瞭解水質處理設施及地下水污染防治措施，對於本公司未來發展水資源、油槽與灰塘地下水監測助益良多，實習所得亦將回饋於未來環境監測計畫執行及環評階段相關設施設置參考。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網（<http://report.nat.gov.tw/reportwork>）

# 目錄

|                                      | 頁次 |
|--------------------------------------|----|
| 壹、出國目的 .....                         | 2  |
| 貳、實習行程 .....                         | 3  |
| 參、實習內容 .....                         | 4  |
| 一、前言 .....                           | 4  |
| 二、Stantec 公司簡介 .....                 | 4  |
| 三、美國橘縣 (orange county) 水源地地理條件 ..... | 5  |
| 四、地下水補注系統 .....                      | 7  |
| 五、地下水補注系統—OCSD 廢水預處理 .....           | 9  |
| 六、地下水補注系統—先進廢水淨化再利用設施 .....          | 10 |
| 七、海水阻隔層及補充地下水 .....                  | 18 |
| 八、地下水井監測 .....                       | 20 |
| 肆、心得與建議 .....                        | 22 |



## 壹、出國目的

台灣平均每年有二千多毫米的雨量，但是因為台灣地區地狹人稠、山坡陡峭、雨勢集中，再加上河川短促，所以大部分的雨水都迅速地流入海洋，每人每年平均可以分配到的水量，只有全世界平均雨量的七分之一而已，在水資源匱乏的情況下，本公司發電機組在發電過程中需要大量的水資源，就成為一道難題。

另環保署為改善國內土壤及地下水污染，積極推動土壤及地下水污染調查與整治之工作，配合各類污染調查及污染源管制手段，已逐漸形成對於企業之強力約束。本公司因應火力電廠運轉，需要設置油槽及灰塘，其設施對地下水造成之環境衝擊，成為環評審查重點之一。

鑑於上述，為探討發展更多之水資源及達到地下水污染預防，有必要瞭解國外水資源及地下水污染監測之規劃及技術。

本次實習拜訪對象：美商傑明工程顧問股份有限公司（**Stantec Inc.**以下簡稱 **Stantec**），**Stantec** 公司於全球據點多達 200 處以上，在全球眾多環境保護企業中占有重要的一席之地，由於該公司為國際性公司，與許多跨國企業簽訂全球性或區域性之水質處理技術及地下水場址評估合約，環保實績豐富。本次實習將赴 **Stantec** 美國分公司，透過此次實習可瞭解該公司最新水質處理及地下水污染監測技術，俾利作為本公司環評規劃及後續環境監測計畫工作執行參考。

實習除赴 **Stantec** 美國分公司外，更規劃至當地相關水質處理廠參訪，藉由實地現勘及經驗交流回饋，瞭解水質處理設施及地下水污染防治措施，對於本公司未來發展水資源、油槽與灰塘地下水監測助益良多，實習所得亦將回饋於未來環境監測計畫執行及環評階段相關設施設置參考。

## 貳、實習行程

前往國家：美國

出國日期：107 年 10 月 14 日至 107 年 10 月 25 日

| 起始日       | 迄止日       | 工作內容   |
|-----------|-----------|--|
| 107.10.14 | 107.10.14 | 往程（台北→洛杉磯）   |
| 107.10.15 | 107.10.16 | 赴 Stantec 美國分公司實習相關地下水污染監測之規劃及技術。  |
| 107.10.17 | 107.10.18 | 參訪水質處理廠及污染防治設施場址   |
| 106.10.19 | 107.10.25 | 赴 Stantec 美國分公司總結會議<br>返程（洛杉磯→台北）<br>註：原應為 19 日從洛杉磯起飛，20 日到台北，因自費順道觀光，故延至 25 日到台北。 |

## 參、實習內容

### 一、前言

洛杉磯是位於美國加州南部的都市，為加州第一大城，大洛杉磯地區人口約為 1870 萬人，因位於地中海型氣候帶，氣候溫和，大體上終年乾燥少雨，只有在冬季降雨稍多，故常有水資源缺少、乾旱的情形發生。乾燥的氣候條件使洛杉磯對水資源再利用科技非常重視，擁有頂尖的地下水監測、地下水補充、淨水及再利用技術。

此次實習行程造訪之地點有兩處，分別為 Stantec 美國分公司 (Pasadena, California) 及大洛杉磯地區最大的自來水公司 Orange County Water District (以下簡稱 OCWD)。Stantec 公司長期為 OCWD 提供地下水補充及廢水淨化再利用兩大系統之計畫項目管理服務，故對其相關地下水監測、管理、再利用經驗豐富，藉由與 Stantec 公司水資源部門負責人 David Harrison 先生請教學習，對於地下水處理、再利用技術有更深入的瞭解。另透過參訪 OCWD，實地觀察地下水井、微過濾 (microfiltration, MF)、逆滲透 (reverse osmosis, RO)、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>+UV 等水處理設施，實際瞭解如何監測及處理再利用之過程。

此次實習依核定行程赴洛杉磯，藉由實地現勘及經驗交流回饋，瞭解 OCWD 及 OCS D 合作建立之地下水補充系統實際運作情形，以及相關地下水監測技術，茲將實習所得彙整報告。

### 二、Stantec 公司簡介

本次實習係由 Stantec 美國分公司水資訊部門負責安排水資源處理、地下水監測技術實習相關課程。Stantec 公司於 2016 合併美商 MWH 公司，全球擁

有超過 200 個據點（詳圖 1）、22,000 名員工執行 10,000 件以上的專案計畫，在美國知名行業雜誌《工程新聞與記錄（ENR）》全球評比之「設計公司」「環境公司」「綠建築設計公司」等皆取得肯定，2017 年全球前 150 大設計公司第 10 名、2017 年前 200 大環境設計公司第 9 名、2017 年前 100 大綠建築設計公司第 9 名。Stantec 服務項目全面，包含環境服務、能源工程、景觀建築、水與污水處理工程、石油和天然氣 EPCM 服務等。

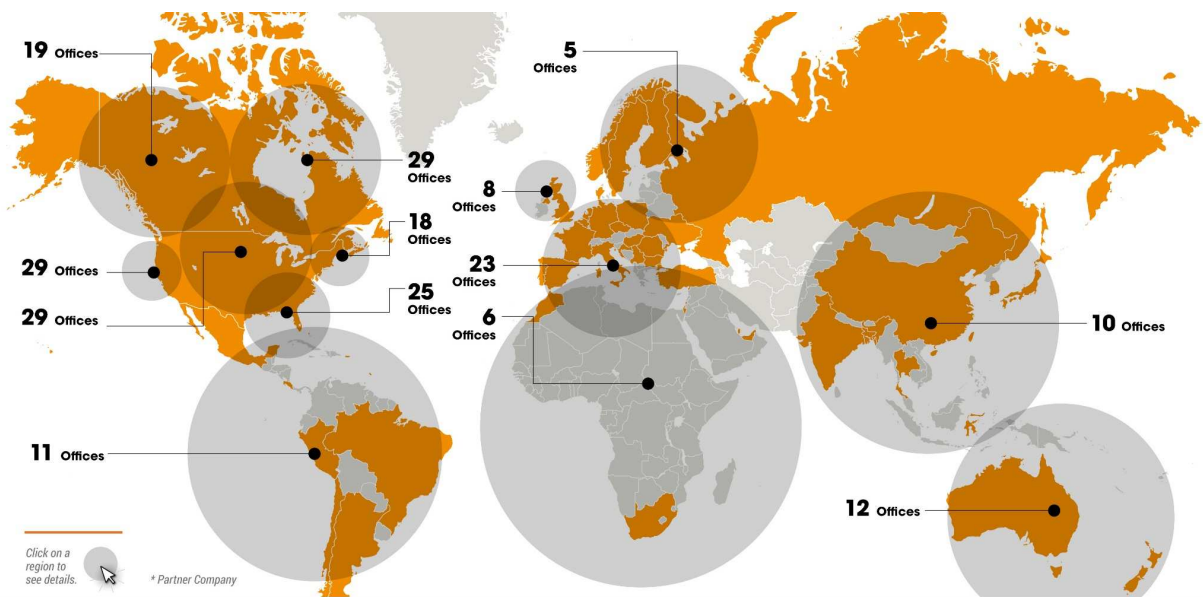


圖 1 Stantec 全球辦事處分佈圖

### 三、美國橘縣（orange county）水源地理條件

橘縣位於南加州，是個半乾旱的地區，年平均降雨量為 355 mm（美國年平均降雨量約 780 mm），在這塊日照充足的土地上居住著 300 萬人口。美國加州三分之二的人民居住在南加州，但南加州降雨量卻未達全州的三分之一，南加州大部分地區仰賴外部水源供應，但和其他地區不同的是，橘縣有巨大的地下水盆地，地下水盆地覆蓋了橘縣北部和中部地區，從太平洋延伸至 Yorba Linda 市，帶來超過 490 億噸的水，每年產水量約為 3.7 億噸，操作容量約為

6.17 億噸。由於地下水盆地的關係，橘縣約有 6 成水源可自己自足。OCWD 自 1933 年成立以來，一直在監測盆地的地下水位，發現於 1940 開始，自然水源的補充已無法抵消地下水抽取的速度，因此，OCWD 啟動了地下水補充一系列計劃。

橘縣地下水盆地的補充水源主要來自 Santa Ana 河川，起初為對地下水盆地進行水源補充，開始引進 Colorado 河川及 Sacramento-San Joaquin 河水源，這些水源為地下水盆地供應約 30% 的水源，然而，依靠這些遙遠流域之水源來補充地下水存在諸多困難，需消耗很多能源，而且成本相當昂貴。在面對人口增長飛快但降雨量卻減少等因素限制下，OCWD 選擇與 Orange County Sanitation District (以下簡稱 OCSD) 合作，發展地下水補注系統 (Groundwater Replenishment System, GWRS)，並以聯合營運的方式經營。營運至今 (107 年) 已可為約 85 萬居民提供足夠的水源，亦成為橘縣非常重要之水源補注系統。

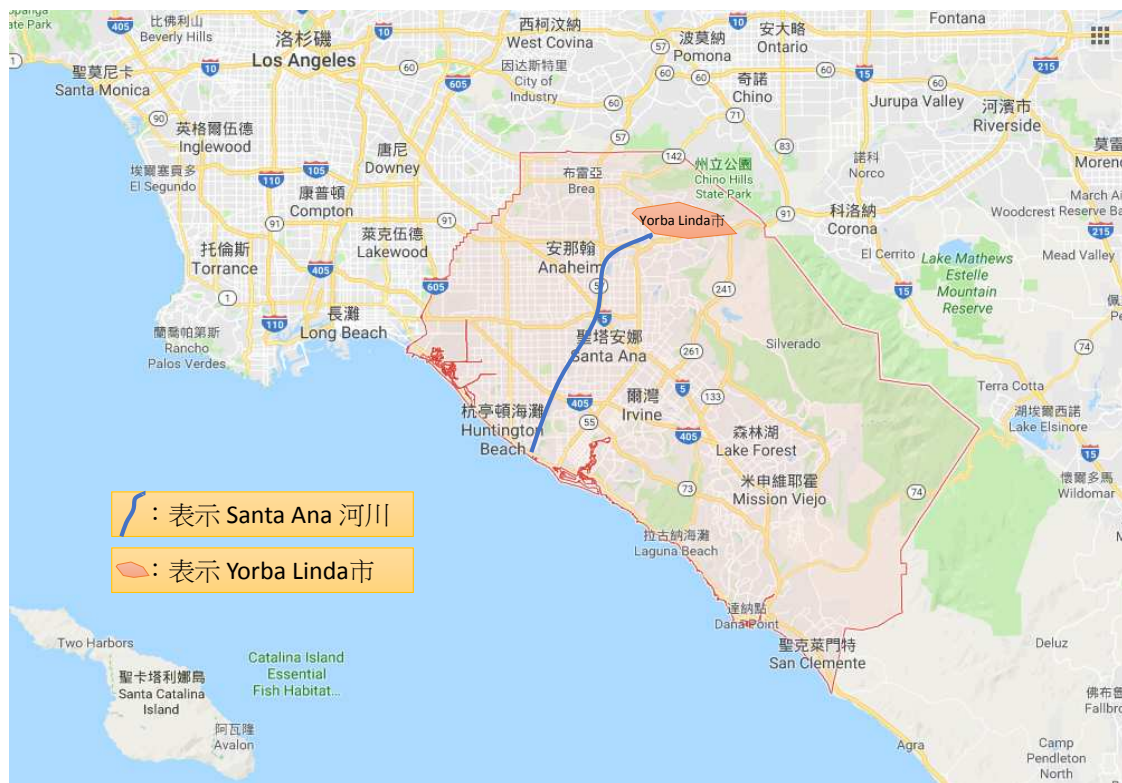


圖 2 美國橘縣涵蓋範圍

#### 四、地下水補注系統

OCWD 及 OCS D 建立之地下水補注系統是世界上最大的先進飲用水再利用系統。地下水補注系統先由 OCS D 收集橘縣北部及中部地區居民產生之民生、商業或工業廢水，接著 OCS D 開始對廢水進行預處理，產生足夠清潔的水再送至 OCWD，OCWD 利用先進的廢水淨化再利用程序，對廢水進行淨化。廢水淨化再利用程序包含微過濾、逆滲透和  $H_2O_2+UV$  三階段淨水，經過淨化處理後可產出非常純淨的水源，各項水質測值皆可優於美國各州或聯邦之飲用水標準。淨化後之水源一部分送至上游，經自然過濾後用於補充地下水盆地，一部分送至海水入侵阻隔層，用於防止海水入侵。

地下水補注系統第一期興建工程費用由 OCWD 及 OCS D 共同承擔。OCWD 為最初的擴建提供 1.42 億美元資金，OCS D 則免費向 OCWD 供應嚴格控制且完成二次處理後的廢水，另外，為了最大程度增加流入地下水補注系統的廢水流量，OCS D 還投入了大量的資金和資源用於建造 Steve Anderson 水泵站，作為回報，OCWD 同意管理並資助地下水補助系統的營運。通過這次合作，此地下水補注系統一躍成為世界上知名的土木工程和廢水再利用設施之一。

自 2008 年 1 月開始營運後，地下水補助系統每天生產 265,000 噸的高品質純水，2015 年系統擴建後，每天生產 378,000 噸的高品質純水（約為 80% 迪化廢水處理廠最大處理量）。

地下水補注系統組成主要分為三個部分：（一）OCWD 總部的廢水淨化再利用設施，在接收 OCS D 二級處理後的廢水後，該設施進一步通過微過濾、逆滲透及  $H_2O_2+UV$  等技術對水質進行淨化（二）位於 Huntington Beach 和 Fountain Valley 的海水阻隔層，每天約有 113,000 噸高品質純水經海水阻隔層水泵站注入地下水井中（三）將處理後之水源送至地下水盆地，每天約有 265,000 噸之高品質廢水經由水泵站輸送至 Kraemer, Miller and Miraloma 地下水盆地，補充該盆地水源。



圖 3 地下水補注系統相關設施位置圖



## 五、地下水補注系統—OCSD 廢水預處理

OCSD 收集橘縣北部及中部地區居民產生之民生、商業或工業廢水，並對廢水進行預處理，其預處理程序包含前期處理、一級處理及二級處理。前期處理也稱為篩選，是廢水淨化的第一步，未避免大型污染物會堵住或破壞水泵設備，未處理的廢水進入 OCSD 廢水處理廠之前，必須去除水中的大型污染物，例如大型石塊、破布、玩具…等。篩選分離程序完成後，去除之物質將其投入大型垃圾箱內，以便在垃圾進行後續填埋處理，廢水則流經沉砂池以去除水中的顆粒物或砂礫進行一級處理。

一級處理程序中，廢水會流入沉澱池的大型水槽內減速，能夠將泥土、碎石和其他較重的固體有機物沉澱在池底，油脂和其他比重較輕物質則會漂浮於池頂，之後再利用懸臂等機制去除底部沉澱固體和頂部的分離漂浮物。

二級處理主要是去除一級處理中沒去除之溶解性有機物，OCSD 利用活性污泥法、滴濾池之生物處理技術分解有機物。該流程使用的微生物能夠吞食有機物，並將有機物轉化為二氧化碳、水和能量用於生長和繁殖。微生物分解有機物後進入沉澱池進行沉澱，沉澱分離後，一部分微生物被重新引入用於吞食更多的有機物，一部分則經脫水程序後由卡車運往堆肥工廠用於土壤改良。處理過後之廢水有兩種處理方式，一為通過排水管道排入海洋，其二為送往 OCWD 進行後續處理。



圖 4 OCSD 二級處理設施

## 六、地下水補注系統—先進廢水淨化再利用設施

為使補注地下水盆地之水源純淨，廢水經 OCSD 廢水處理廠處理後，再送至 OCWD 進行三階段廢水處理，其中包括微過濾、逆滲透及 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>+UV 三種處理程序，處理程序如圖 6 所示，以下分別介紹廢水淨化再利用處理程序：

### (一) 均勻流量

OCSD 每日所提供至淨水廠之廢水量約 227,000 噸到 568,000 噸之間，廢水會隨民眾正常日夜作息變化，造成白天給水過剩，夜間給水不足之現象，使淨水廠始終無法更有效率處理廢水。

為能更有效率處理廢水，OCWD 調查每日不同流量運作，並瞭解到要平衡白天過剩的廢水流量，需要增加 57,000 噸廢水儲存空間，以便對廢水供應流量進行調整。因此，OCWD 於首期擴建工程增加兩座儲水槽，透過白天儲存廢水，夜間低流量時間供應廢水，大大增加淨化廠處理效率。

均勻流量設施包括新建兩座容量為 28,000 噸的地面儲水槽（圖 5），直徑約 66 m，高約 11m，槽內有太陽能攪拌器和一個水泵站，利用水泵將白天過剩之廢水裝入儲水槽中，再通過重力作用排放至過濾設施，經過簡易過濾設施後再送至微過濾處理單元。

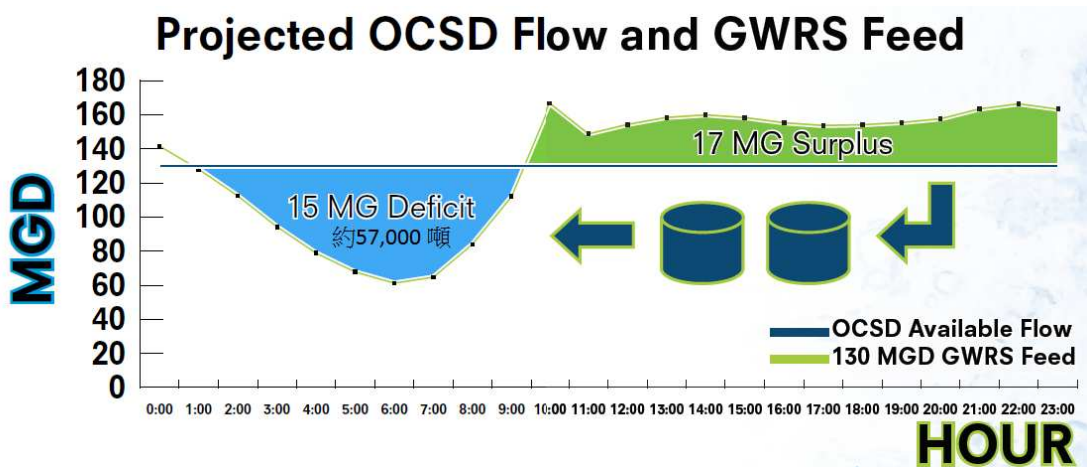


圖 5 每小時 OCSD 廢水流量變化圖

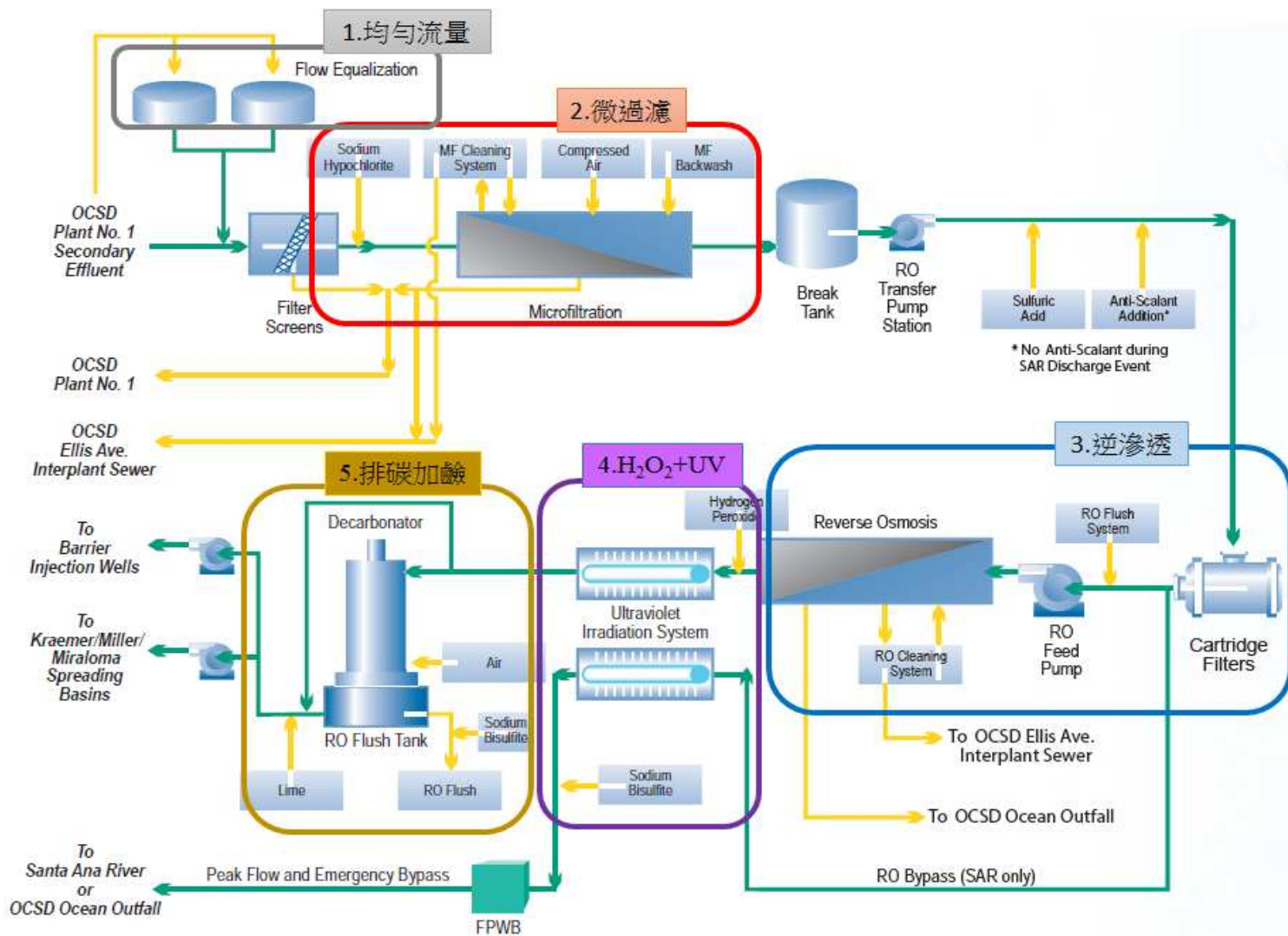


圖 6 先進廢水淨化再利用設施處理程序圖

## (二) 微過濾

微過濾廢水處理技術使用整束的聚丙烯纖維去除水中的顆粒污染物，單個聚丙烯纖維孔徑僅 0.2 微米（約頭髮直徑的 1/30），廢水會經由聚丙烯纖維的表面進入，再由中間孔徑流出，廢水流過時會將懸浮固體、原生動物、細菌以及一些病毒過濾在外。經多次實驗得知當廢水濁度介於 3~5 NTU，給水壓力於 3~12 PSI 範圍時，微過濾的效果最為顯著。

為了避免污染物累積過多壓力過大，每一間微過濾室每 22 分鐘要進行一次反沖洗（圖 8），每 21 天進行一次全面的化學清洗，反沖洗後之廢液將回送至廢水處理廠與廢水混合。這些操作程序能夠降低能耗成本，並回復微過濾去除效益。

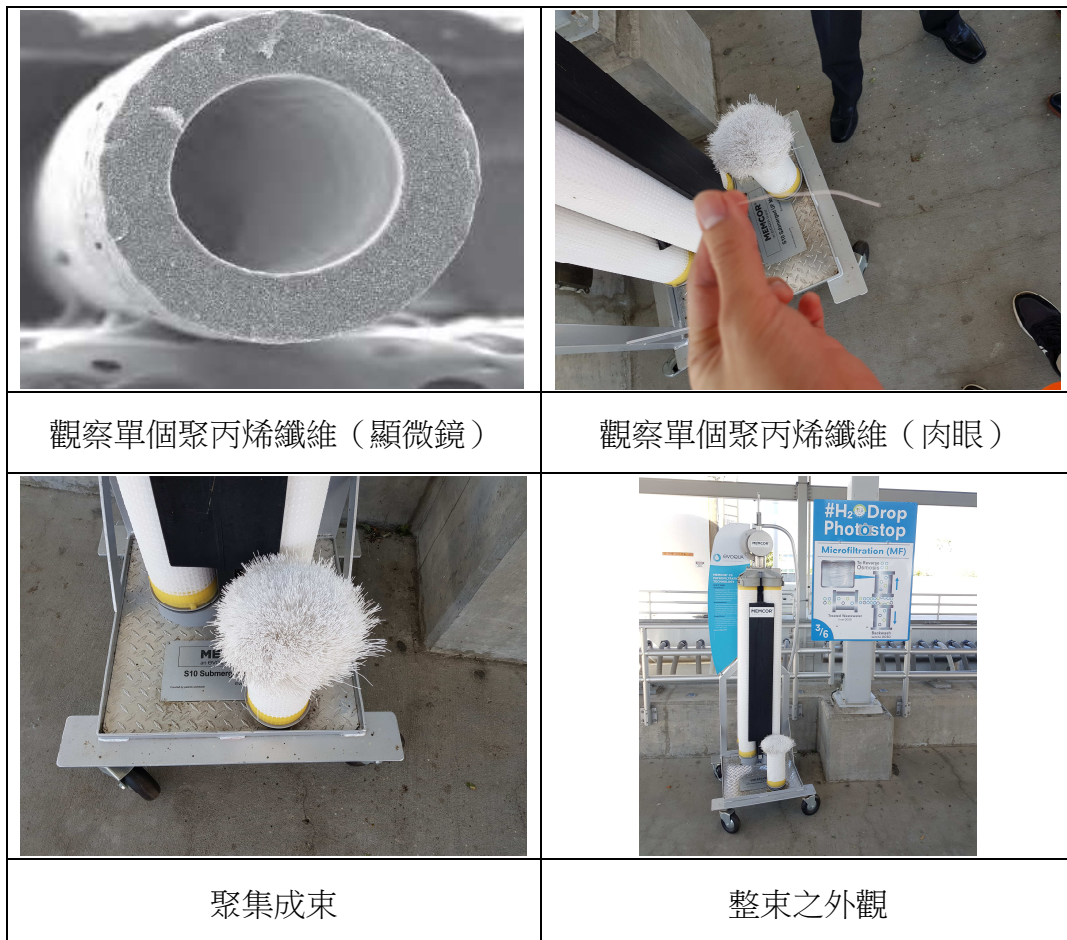


圖 7 微過濾設施圖示



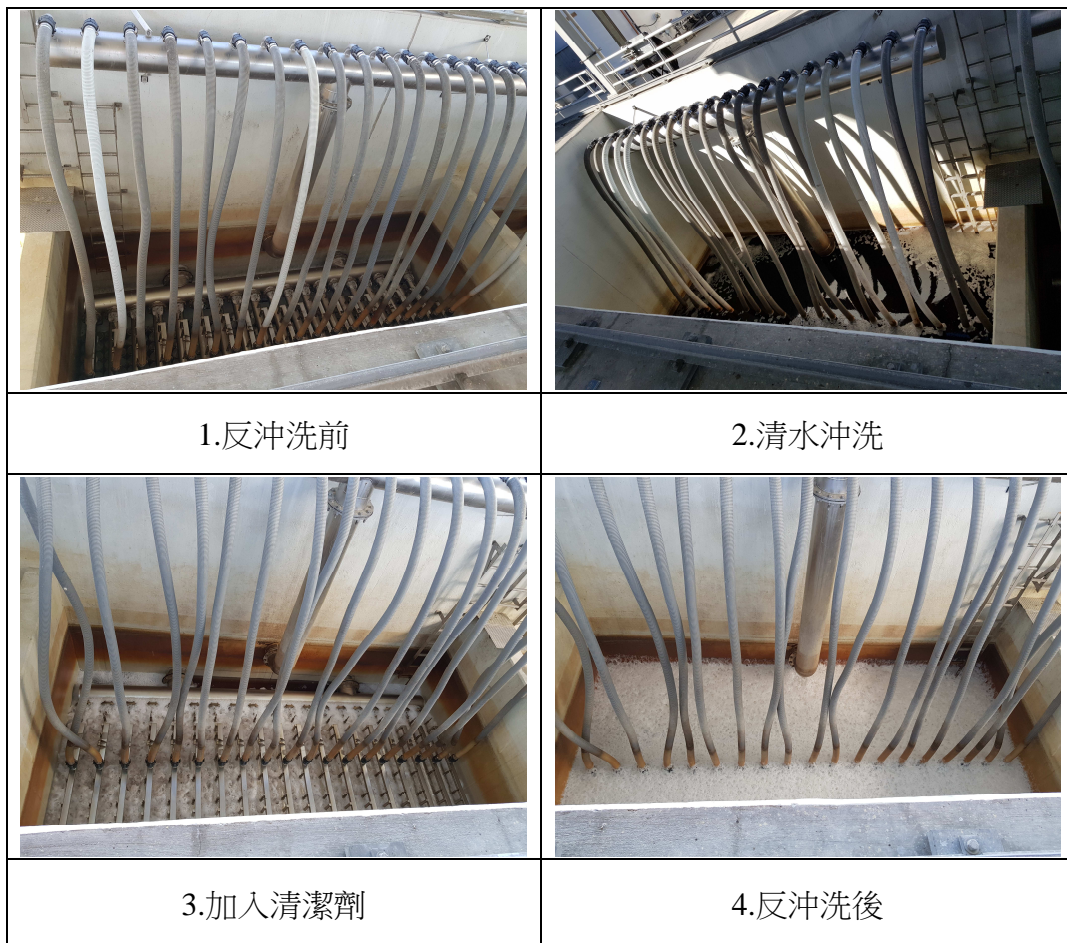


圖 8 微過濾反沖洗過程圖片

### (三) 逆滲透

微過濾後，廢水流向逆滲透淨化設施，該程序使用半滲透的聚醯胺膜卷成束狀放置於壓力容器內，實際觸摸可感覺逆滲透膜有如不透水布。將加壓的(約 11 個大氣壓力)微過濾水進入壓力容器的一端，經過逆滲透膜進入內，淨化後水在內部收集，然後於管道中排出(圖 9)。在過濾過程中，溶解鹽類、有機化學物、病毒等成份被留在鹽水濃縮液中。逆滲透後水質太過純淨，呈較不穩定之狀態，故將水排入配水管道之前需要將礦物質重新加入水中，使水質得到緩衝穩定下來。

在逆滲透過程中，密切監控兩個關鍵指標能確保逆滲透流程能有效地持續運作。第一項是導電度，該指標是作為測量鹽或總溶解固體 (total dissolved

solids，TDS)的替代方式。第二項是總有機碳(total organic carbon，TOC)，用於監控水中有機物質是否去除。地區水質控制委員會 RWQCB (Regional Water Quality Control Board，RWQCB) 及州水資源控制委員會飲用水分會皆密切關注處理後之水質。

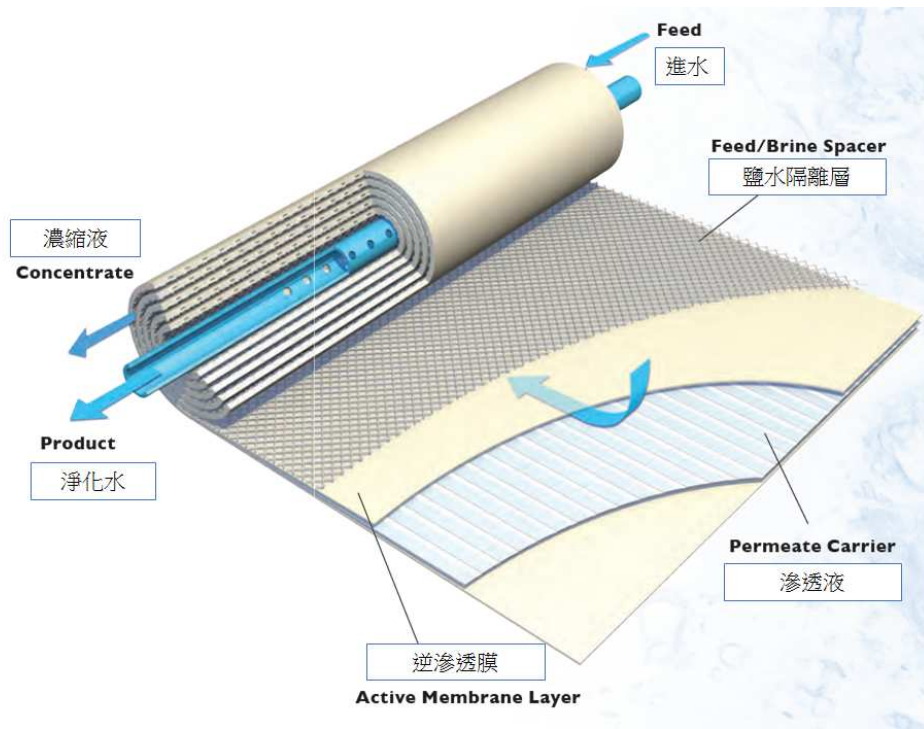


圖 9 逆滲透過濾圖



圖 10 逆滲透廠區圖示 (左方為加壓設備)



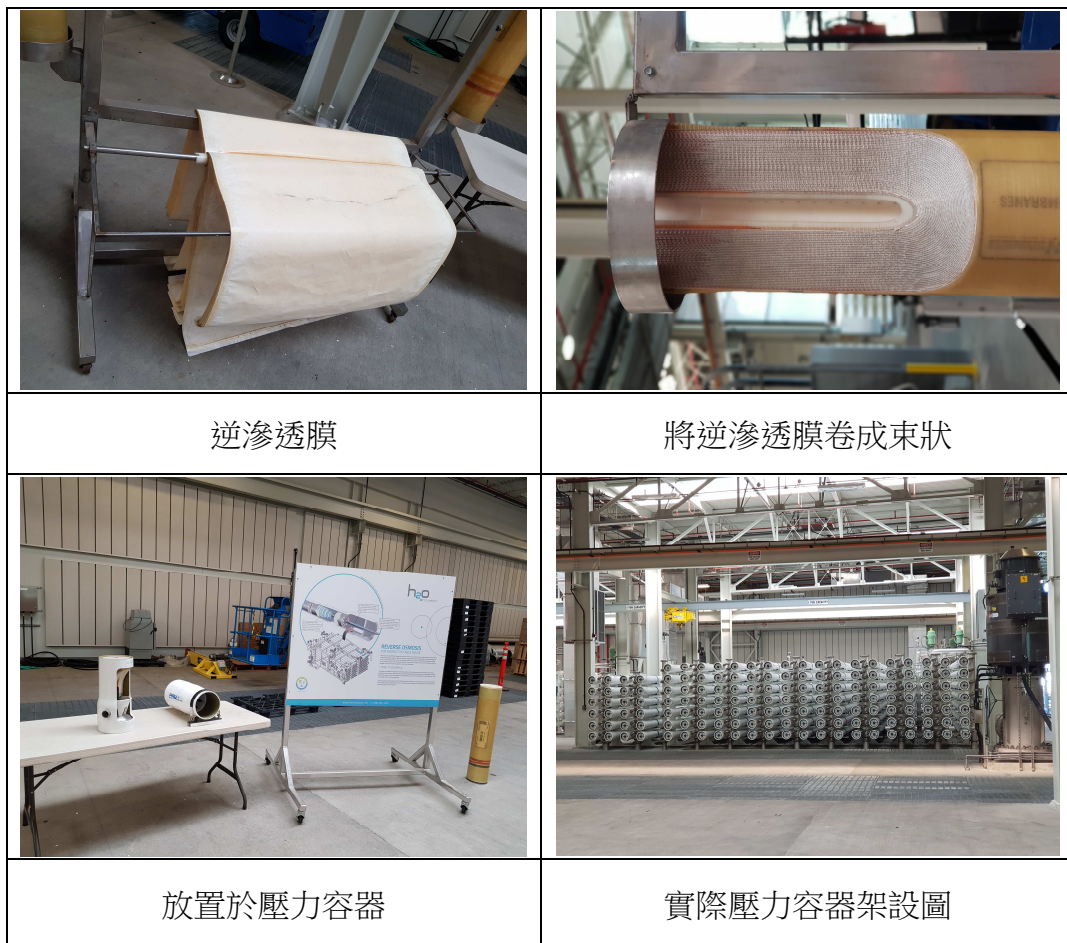


圖 11 逆滲透各項設施圖示

#### (四) $H_2O_2 + UV$

廢水經過微過濾及逆滲透淨化後，進入最後處理階段— $H_2O_2 + UV$ 。一般  $H_2O_2$  或  $UV$  單獨使用，皆可促進某些污染物的分解。 $H_2O_2$  對一些鹵化合物和大多數在水性介質中的非鹵化合物來說，是非常強的氧化劑，能夠將其摧毀分解； $UV$  本身也可通過啟動鍵的斷裂，造成非常強的分解作用，惟  $H_2O_2$  對於有機污染物分解的時間較緩慢，而污染物純粹藉  $UV$  造成污染物本身分解的範圍也是有限的。因此，為改善廢水處理效率，將上述兩種方法結合（ $H_2O_2 + UV$ ），結合後  $H_2O_2 + UV$  能加強對水處理效率，並去除低分子量有機化合物。



廢水加入  $H_2O_2$  藥劑後，由上往下流經 UV 設施（如圖 13）經三根圓柱分三次 UV 光照射，分解廢水中小分子有機物。針對  $H_2O_2 + UV$  設施，廠區經理特別介紹此設施之一項非常重要的功能—分解藥物，一般上了年紀之民眾常常需要攝取藥物，但同時消化系統無法完全吸收，殘留藥物就隨排泄物排出，有些藥物極難去除，故需此設備利用強氧化之特性，分解破壞其物質。

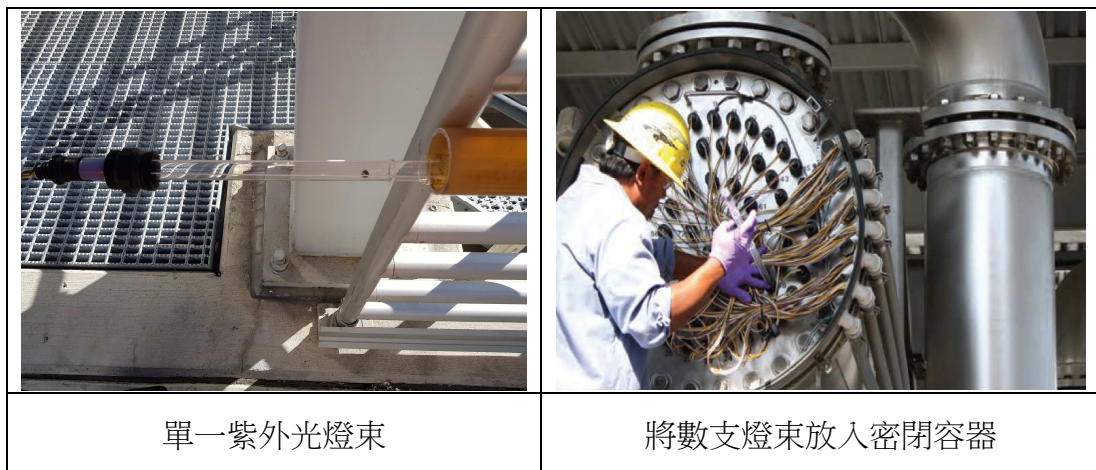


圖 12  $H_2O_2 + UV$  各項設施圖示



圖 13  $H_2O_2 + UV$  廠區圖示

#### (四) 排碳加鹼

經  $H_2O_2 + UV$  處理後，水質基本已相當純淨，在將水送至地下水盆地或海水阻隔層前，需確保水質穩定且 pH 值介於 6~9 之間，避免水質造成管道腐蝕或在管道內結成水垢之可能性。因廢水在進入逆滲透程序之前加入硫酸（用於提高逆滲透之效果），從而累積過多之二氧化碳，導致 pH 值降低，故於  $H_2O_2 + UV$  處理後會監控 pH 值，最後加入氫氧化鈣（粉末狀之熟石灰），使水質更加穩定並確保 pH 介於 6~9 之間。

經過所有程序處理過後（如圖 14），水質已非常純淨，幾乎無異於蒸餾水之水質。現場 OCWD 經理邀請我們品嚐處理過後之淨化水，並大力保證水質純淨，絕不會對人體造成不良影響。品嚐後，實際感受到水質之純淨，有趣的是，OCWD 供飲用之水杯上印有強而有力的標語「Tastes like water because it is water」，讓人由衷感受到 OCWD 水質處理能力及科技之奧妙，能讓原本混濁之廢水淨化，使之轉化成如山泉水般純淨。



圖 14 處理後之水質（左：最終水質、中：微過濾後水、右：逆滲透之濃縮液）



圖 15 OCWD 標語

## 七、海水阻隔層及補充地下水

### (一) 海水阻隔層

OCWD 往海岸方向有 Huntington 海灘，海灘附近有淺水含水層，具 Talbert Gap 地理特徵，含沙子和砂礫沖積層與斷層相互交叉，營造出容易造成海水入侵的條件，當飲用水井從內陸抽取地下水，海水可能通過 Talbert Gap 流入內陸，同時滲入更深之含水層。

約於 1950 年，民眾第一次發現地下水盆地容易遭受海水的入侵。OCWD 於 1965 年開始研究，如何防止海水流入 Talbert 含水層。根據南加州其他防止海水入侵案例，確定建立海水阻隔層能防止海水入侵。海水阻隔層是透過地下水井，將水加壓注入 Talbert Gap，建立一個液壓屏障，將入侵的海水反推回海洋。為防止海水入侵，海水阻隔層之水源就變得非常關鍵，需要 100% 可靠穩定之供水系統及品質良好之水源，透過 OCSD 及 OCWD 合作，提供廢水再利用之水源，可達成安全、穩定及可靠的水源供應。經過幾十年的地下水監控數據表示，先進的廢水再利用淨水程序具有極佳的效果及安全性，能產生高品質之水源注入 Talbert Gap。



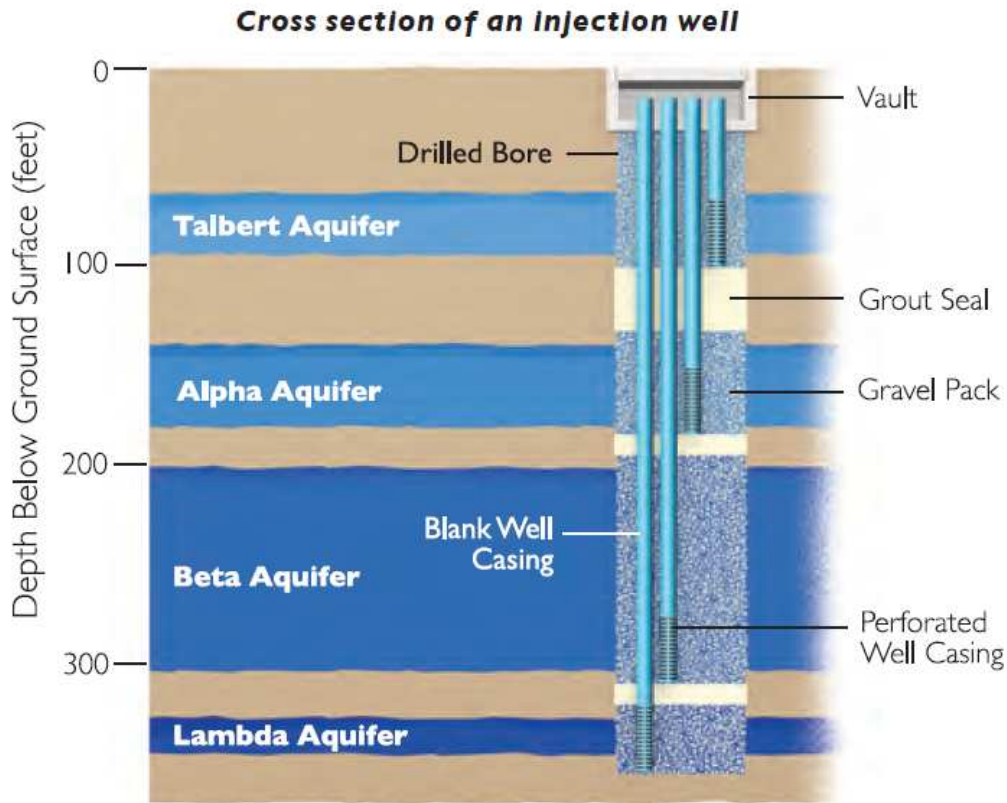


圖 16 注入海水阻隔層之地下水井剖面圖

## (二) 補充地下水

南加州中部及北部飲用水主要靠 Anaheim 和橘縣的地下水盆地提供水源，補充水源包括，Santa Ana 河川之基本流量與雨水、Colorado 河川進口水及地下水補注系統所提供之水源。

地下水盆地中，其中 Kraemer、Miller 及 Miraloma 盆地補充水源主要由地下水補注系統提供。Kraemer 盆地面積 12 公頃，平均補充量為每年 4,300 萬噸；Miller 盆地面積 10 公頃，年平均補充量為 2,340 萬噸；最新的 Miraloma 盆地面積 5 頃，因有極佳的滲透能力，每年平均補充量為 3,600 萬噸。

將地下水補注系統之水源送往上述三個盆地的管道長 20 公里，傳輸路途經過 Fountain Valley、Santa Ana、Anaheim 等城市。管道直徑為 1.5 m，每天至多能輸送 302,000 噸之水源。

即使廢水經過淨化後水質已相當純淨，但礙於法令及民眾觀感，淨化水無法直接進入民眾之口，需先注入地下水盆地，流經大自然後再使用。補注

地下水盆地有兩種方式，一種為在工業區等腹地較大之地區構築人造湖，淨化水由加壓水泵站送至人造湖，再以自然滲透的方式補注地下水源；另一方式為使用加壓水井注入，地下水盆地如於住宅區，能使用之土地有限，故淨化水由加壓水泵站送至相對應之加壓水井，以加壓方式注入地下水層。

地下水補注系統為民眾提供了許多效益，(一)即使在乾旱季節也能提供高純度之淨化水(二)比起使用較遠地方引進之進口水，地下水補注系統性價比更好，相比進口水，淨化水能耗減半；相比海水淡化，能耗僅為 1/3(三)提供海水阻隔層，防止海水入侵，並改善地下水盆地水質(四)減少廢水排入海洋。

雖然和進口水及海水淡化相比，淨化水成本效益較高，但和一般自來水價格比較(約 45 元/度)，淨化水成本(約 65 元/度)還是較高。

## 八、地下水井監測

地下水水質監測井依其外部保護設施之不同，可分為平台式與隱藏式兩類，會視當地水文地質情況或監測井設置目的而定。監測井之內部包含井管，井管下方為滲透井管，井篩之外為礫石組成之主要濾料層。監測井的材料選擇首重相容性，地下水質與 PVC 材料化性不相容時，選用不銹鋼、鐵氟龍或其他化性相容材質來代替 PVC，表 1 及表 2 為各種監測井材料與反應物質之相容性及比較。

表 1 監測井材質與反應物質之相容性分數

| 反應物質        | 監測井材質與反應物質之相容性分數 |     |    |     |     |     |
|-------------|------------------|-----|----|-----|-----|-----|
|             | PVC              | 鍍鋅鋼 | 碳鋼 | 低碳鋼 | 不鏽鋼 | 鐵弗龍 |
| 微酸          | 100              | 56  | 51 | 59  | 100 | 100 |
| 弱酸          | 98               | 59  | 43 | 47  | 100 | 100 |
| 無機酸         | 100              | 48  | 57 | 60  | 82  | 100 |
| 水與有機物       | 64               | 69  | 73 | 73  | 100 | 100 |
| 整體相容性<br>評分 | 91               | 58  | 56 | 59  | 96  | 100 |

註：分數愈高表示相容性愈好

表 2 監測井材質性能比較

| 性質       | PVC                             | HDPE                             | 不鏽鋼               | 鐵弗龍                             |
|----------|---------------------------------|----------------------------------|-------------------|---------------------------------|
| 強度       | 抗剪力強度和抗壓強度較差                    | 管材的耐衝擊強度為 PVC 管的 8 倍             | 可用在深井以防止井篩緊閉和井管擠壓 | 強度很低，不適合用於深井                    |
| 重量       | 重量輕<br>密度 1.4 g/cm <sup>3</sup> | 重量輕<br>密度 0.95 g/cm <sup>3</sup> | 重量較重              | 重量輕<br>密度 2.2 g/cm <sup>3</sup> |
| 成本       | 價格低                             | 價格低，略貴於 PVC                      | 價格高               | 價格昂貴                            |
| 腐蝕性      | 不鏽蝕，但易受高濃度酮類、芳香族、含氯碳氫化合物侵蝕      | 耐酸鹼                              | 在具腐蝕性，水中鏽蝕快       | 不受化合物、微生物、氧化、風化、紫外線等侵害          |
| 使用性      | 易加工調整                           | 易加工調整                            | 不易調整長度            | 易加工調整                           |
| 與污染物交互作用 | 可能吸附或釋出有機物                      | 管材為惰性                            | 氧化後可能吸附有機物或無機物    | 幾乎完全惰性                          |

## 肆、心得與建議

- 一、本公司發電機組在發電過程中需要大量水資源（ex：鍋爐需乾淨之除礦水），故會於電廠附近興建海水淡化廠，製造水資源以補充機組用水，惟海水淡化水資源成本昂貴。依據 OCWD 實際執行成果，利用三階段高級處理技術（微過濾、逆滲透、 $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{UV}$ ）處理廢水，可使水質純淨且成本低於海水淡化，性價比高於海水淡化廠。因此，若有新組機興建，需水資源時，建議可往廢水再利用方向思考，多參考其他國家實際執行案例，研究其可行性。
- 二、OCWD 及 OCSD 之地下水補注系統是世界上具一定規模且技術先進的廢水再利用設施，水質處理技術相關參數設定皆為長期實驗研究所得，具參考價值（例如：微過濾時，廢水 3~5 NTU 且給水壓力於 3~12 PSI 範圍內，過濾效果最佳；逆滲透前需加硫酸來提高逆滲透之效率），如有相關水處理技設施建置，建議可進一步深入瞭解其設計參數。
- 三、 $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{UV}$  廢水處理程序有一很重要之功能，分解氧化水中殘留之藥物。用於處理一般上了年紀之民眾常常需要攝取藥物，但同時消化系統無法完全吸收，殘留藥物就隨排泄物排出，有些藥物極難去除，故需  $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{UV}$  處理技術，利用強氧化之特性，分解破壞殘存於水中的藥物。
- 四、即使廢水經過淨化後水質已相當純淨，但礙於法令及民眾觀感，淨化水無法直接進入民眾之口，需先注入地下水盆地，流經大自然後再使用。補注地下水盆地有兩種方式，其一為在工業區等腹地較大之地區構築人造湖，以自然滲透的方式補注地下水源；其二為使用加壓水井注入地下水盆地。
- 五、探討地下水補注系統成本，雖然相較於引用其他地區進口水及海水淡化法，地下水補注系統成本較低（約 65 元 / 度），但還是高於一般賣給民眾之自來水價格（約 45 元 / 度），故需拿其他處理成本更低的水來平衡。另



探討地下水補注系統成本開銷，其中 50% 以上皆來自於水泵站及水質淨化處理設備之能源消耗，故如要節省成本，在其相關設備建置前，需往節能方向去設計及建置（如：以重力流方式設置處理設施）。

六、地下水水質監測井依其外部保護設施之不同，可分為平台式與隱藏式兩類，會視當地水文地質情況或監測井設置目的而定。監測井的材料選擇首重相容性，地下水質與 PVC 材料化性不相容時，選用不銹鋼、鐵氟龍或其他化性相容材質來代替 PVC。