

出國報告（出國類別：考察）

美國南加州大都會水務署及相關機構 考察報告

服務機關：經濟部台灣自來水公司

姓名職稱：陳文祥組長、游育晟工程員

派赴國家：美國

出國期間：104年11月28日至104年12月11日

報告日期：105年02月23日

摘要

飲用水水質的良窳攸關民眾飲水安全衛生，近年來台灣地區水源污染問題日趨嚴重，水質污染已由過去單純的物理、化學等問題，演變成今日水庫水質優養化造成大量藻類阻塞濾池，藻毒及藻臭造成健康及使用困擾，白濁原水混凝效果不佳，水中含鋁、重金屬、農藥污染及各種有機污染問題，必須有新的思維及作業模式來處理。

藉由考察南加州大都會水務署(MWDSC)、洛杉磯郡衛生署(LACSD)、橘郡水務署(OCWD)、洛杉磯水電局(LADWP)、San Jose Creek污水處理廠、地下水補充系統(GWRS)及Weymouth、Lakewood市、Fairbairn、Foothill、Benicia等數個淨水場的實際運作，充分認識並體驗部分淨水場中裝設線上流導電流儀(SCD)，其監測分析數據可作為加藥即時控制之依據，並因應淨水場原水濁度快速變化，尤其適合水源中含有高濃度有機物含量之淨水操作。另外在美國具領導地位之南加州大都會水務署(MWDSC)，其水質中心組織架構與任務分配可作為本公司未來推動水質中心轉型為水質研發重點單位之樣版，以提升用水品質及水質管理。

此外，加州政府為缺水地區推動廢水回收處理再利用，回收水除了用於一般花園、草皮澆灌使用外，並可補注沿海地下水水井防止海水入侵，或補充地下水水源以減少對外來水源依賴，此作法亦可作為臺灣缺水地區之水源來源參考。

關鍵字：

淨水場、流導電流儀、水質標準規範、水質中心組織架構、水質監測儀器、洛杉磯、沙加緬度、streaming current、Contaminant Candidate List

目錄

摘要

目錄.....	I
圖目錄.....	III
表目錄.....	VI
壹、考察目的.....	1
貳、考察行程.....	2
參、考察過程.....	3
一、 參訪南加州大都會水務署(MWDSC)及所屬 Weymouth 淨水場	3
二、 參訪洛杉磯郡 Lakewood 市淨水場	16
三、 參訪洛杉磯郡衛生署(LACSD)及所屬 San Jose Creek 污水處理廠	19
四、 參訪橘郡水務署(OCWD)及所屬地下水補充系統(GWRS)	27
五、 參訪洛杉磯水電局(LADWP)	40
六、 參訪 Fairbairn 淨水場	43
七、 參訪 Foothill 淨水場(Placer County Water Agency)	46
八、 參訪 Benicia 淨水場	50
肆、專題介紹.....	53
一、 南加州大都會水務署(MWDSC)水質中心之組織架構與分工	53
二、 美國自來水水質標準訂定程序(Drinking Water Contaminants - Standards and Regulations).....	63
三、 南加州自來水的困境與展望	85
四、 流導電流儀簡介	91

伍、考察心得及建議.....	95
一、 心得	95
二、 建議	96
陸、誌謝.....	96
柒、參考文獻資料.....	97
一、 網路資料	97
二、 文獻資料	98

圖目錄

圖 1 南加州大都會水務署(MWDSC)旗下 26 個會員分布圖(截取自 MWDSC 網頁資料)..	5
圖 2 加州運河(截取自 MWDSC 網頁資料).....	5
圖 3 Diamond Valley 湖(截取自 MWDSC 網頁資料).....	6
圖 4 加州主要水輸送設備(截取自 MWDSC 網頁資料).....	7
圖 5 南加州大都會水務署(MWDSC)Gene 抽水站(截取自 MWDSC 網頁資料).....	8
圖 6 Weymouth 淨水場淨水流程示意圖(一)(梁善博士提供).....	12
圖 7 Weymouth 淨水場淨水流程示意圖(二)(梁善博士提供).....	13
圖 8 南加州大都會水務署(MWDSC)水質中心及 Weymouth 淨水場參訪活動照片紀錄.	15
圖 9 Lakewood 市淨水場水源示意圖(截取自 Lakewood 市網頁資料).....	16
圖 10 Lakewood 市淨水場參訪活動照片紀錄.....	18
圖 11 洛杉磯污水處理廠分布圖(湯繼城博士提供).....	20
圖 12 San Jose Creek 污水處理廠淨水流程(湯繼城博士提供).....	22
圖 13 聯合水污染控制廠(JWPCP)俯視圖 (湯繼城博士提供).....	22
圖 14 污水處理廠回收水用途比例(湯繼城博士提供).....	23
圖 15 污水處理廠回收水直接非飲用水用途(湯繼城博士提供).....	23
圖 16 污水處理廠回收水間接飲用水用途示意圖(湯繼城博士提供).....	24
圖 17 污水處理廠回收水補充地點(San Gabriel 河 和 Rio Hondo 地下水蓄水塘) (湯繼城博士提供).....	24
圖 18 San Gabriel 河蓄水塘(湯繼城博士提供).....	25
圖 19 洛杉磯郡衛生署(LACSD)及所屬 San Jose Creek 污水處理廠參訪活動照片 紀錄.....	26

圖 20 橘郡水務署(OCWD)供水轄區(湯繼城博士提供)	28
圖 21 地下水補充系統(GWRS)之微過濾裝置(MF)(湯繼城博士提供)	32
圖 22 地下水補充系統(GWRS)之逆滲透裝置(RO)(湯繼城博士提供)	33
圖 23 地下水補充系統(GWRS)之紫外線及高級氧化裝置(湯繼城博士提供)	34
圖 24 地下水補充系統(GWRS)補注地下水輸送示意圖(湯繼城博士提供)	36
圖 25 橘郡水務署(OCWD)所屬地下水補充系統(GWRS)參訪活動照片紀錄	39
圖 26 洛杉磯水電局(LADWP)的供水轄區範圍(截取自 LADWP 網頁資料)	41
圖 27 洛杉磯水電局(LADWP)地面水淨水處理流程(截取自 LADWP 網頁資料)	42
圖 28 洛杉磯水電局(LADWP)參訪活動照片紀錄	42
圖 29 Fairbairn 淨水場參訪活動照片紀錄	45
圖 30 Foothill 淨水場(Placer County Water Agency)參訪活動照片紀錄	49
圖 31 Benicia 淨水場參訪活動照片紀錄	52
圖 32 南加州大都會水務署(MWDSC)水質中心俯視圖(梁善博士提供)	54
圖 33 南加州大都會水務署(MWDSC)水質中心內部空間規劃	55
圖 34 南加州大都會水務署(MWDSC)水質中心組織圖(梁善博士提供)	59
圖 35 南加州大都會水務署(MWDSC)水質中心員工與法規標準項目變化(梁善博士 提供)	61
圖 36 美國環保署(USEPA)水質標準規範訂定流程圖	65
圖 37 洛杉磯郡人口成長趨勢圖(溫俊山博士提供)	85
圖 38 南加州地區三大供水運河(截取自 LADWP 網頁資料)	86
圖 39 加州運河(溫俊山博士提供)	86
圖 40 南加州地區水源供應來源示意圖(溫俊山博士提供)	87
圖 41 2013 年美國國家海洋和大氣管理局(NOAA)西部地區氣象中心(WRCC)統計	

2013 平均降雨情形(溫俊山博士提供).....	88
圖 42 Oroville 湖的乾旱情形(溫俊山博士提供).....	88
圖 43 加州沿海地區主要地下水水位下降趨勢圖(溫俊山博士提供).....	90
圖 44 加州沿海地區海水入侵示意圖(溫俊山博士提供).....	91
圖 45 流導電流儀組件結構說明(CHEMTRAC 公司提供).....	93
圖 46 流導電流儀產生波形訊號示意圖(一)(CHEMTRAC 公司提供).....	93
圖 47 流導電流儀產生波形訊號示意圖(二)(CHEMTRAC 公司提供).....	93
圖 48 混凝劑與水中膠體粒子作用示意圖(CHEMTRAC 公司提供).....	94
圖 49 流導電儀介紹活動照片紀錄.....	95

表目錄

表 1 考察行程.....	2
表 2 南加州大都會水務署(MWDSC)基本資料(梁善博士提供).....	9
表 3 洛杉磯郡衛生署(LACSD)之污水處理廠比較(湯繼城博士提供).....	21
表 4 水質中心發展歷史彙整(梁善博士提供).....	56
表 5 美國國家一級飲用水污染物管制標準(NPDWRs 或 primary standards) (截 取自美國環保署(USEPA)網頁資料).....	66
表 6 美國國家二級飲用水污染物管制標準(截取自美國環保署(USEPA)網頁資料)...	84

壹、考察目的

飲用水水質的良窳攸關民眾飲水安全衛生，台灣地區水源污染問題日趨嚴重，水質污染已由過去單純的物理、化學等問題，演變成今日水庫水質優養化，造成大量藻類阻塞濾池，藻毒及藻臭造成健康及使用困擾，白濁原水混凝效果不佳與水中含鋁、重金屬、農藥污染及各種有機污染問題，必須有新的思維及作業模式來處理，故前往美國洛杉磯及舊金山地區參訪南加州大都會水務署(MWDSC)、洛杉磯郡衛生署(LACSD)、橘郡水務署(OCWD)、洛杉磯水電局(LADWP)及各淨水場等相關機構考察，將有助日後本公司推動水質中心轉型為水質研發重點單位，以提升用水品質及管理。

貳、考察行程

考察期間為自 104 年 11 月 28 日至 104 年 12 月 11 日共計 14 日（含例假日）。

考察行程如表 1 所示。

表 1 考察行程

日期	地點
104 年 11 月 28 日~29 日	飛機去程(桃園至加州洛杉磯)
104 年 11 月 30 日	參訪南加州大都會水務署(MWDSC)及所屬 Weymouth 淨水場
104 年 12 月 01 日	參訪洛杉磯郡 Lakewood 市淨水場
104 年 12 月 02 日	參訪洛杉磯郡衛生署(LACSD)及所屬 San Jose Creek 污水處理場
104 年 12 月 03 日	參訪橘郡水務署(OCWD)及所屬地下水補充系統(GWRS)
104 年 12 月 04 日	參訪洛杉磯水電局(LADWP)
104 年 12 月 05 日~06 日	文件整理與移動日(加州洛杉磯至加州舊金山)
104 年 12 月 07 日	參訪 Fairbairn 淨水場
104 年 12 月 08 日	參訪 Foothill 淨水場
104 年 12 月 09 日	參訪 Benicia 淨水場
104 年 12 月 10 日~11 日	飛機返程(加州舊金山至桃園)

參、考察過程

一、參訪南加州大都會水務署(MWDSC)及所屬 Weymouth 淨水場

南加州大都會水務署(Metropolitan Water District of Southern California, MWDSC)為南加州地區重要原水調度及販售之州特許城市與公共水務機構，旗下共有 26 個會員，在南加州地區供應六個郡，其供水人口共將近 1900 萬人。南加州大都會水務署(MWDSC)從科羅拉多河和北加州引進水源以協助其所屬會員發展用水、回收、儲存和其他資源管理方案。南加州大都會水務署(MWDSC)的使命為提供充足和可靠之高品質水，並以負責的態度滿足當前和未來在環境和經濟上的需求。

南加州大都會水務署(MWDSC)的歷史可追溯到 20 世紀早期，當時南加州城市面臨著人口增長和當地地下水供應逐漸減少的景況。便於 1928 年透過加州立法程序成立南加州大都會水務署(MWDSC)，同時建造經營長達 242 英里之科羅拉多河運河，將河水帶到南方沿海區域。歷經第二次世界大戰後的繁榮和 50 年代乾旱，促使城市向外擴張，並開始尋求更可靠的供水來源。

1960 年，南加州大都會水務署(MWDSC)與其他 30 個公營機構共同簽署一份長期的國家級水利建設計畫合約，包括建置水庫、抽水站和長達 444 英里加州運河。其中加州運河目前的供應範圍涵括舊金山灣到南加州之城市及農業地區會員。

南加州大都會水務署(MWDSC)的使命是在其服務區域提供充足和可靠符合高品質的水，並以負責的態度滿足當前和未來環境和經濟上的需求。如今，南加州大都會水務署(MWDSC)供水量足以支撐 1 兆美元的南加州經濟和半個加州的人口用水，並服務涵蓋六個郡(Los Angeles、Orange、San Diego、Riverside、San Bernardino 和 Ventura

counties)共 5,200 平方英里區域。現有員工人數超過 1800 名執行廣泛水資源管理、規劃、保護和其他計畫等，以服務南加州大都會水務署(MWDSC)的 26 個公共會員機構。

南加州大都會水務署(MWDSC)目前經營 5 座淨水場，其中 4 座為美國前十大淨水場。另外，為確保飲用水品質，南加州大都會水務署(MWDSC) 位於 La Verne 的水質中心每年從長達 830 英里之配水系統管網執行大約 400 種水質項目檢驗，總計約 25 萬筆水質樣品檢驗數據。

自 1982 年以來，南加州大都會水務署(MWDSC)陸續投資將近 5 億美元生產足夠的回收再生水，來增加供應近 500 萬個家庭地下水水源，以應付顯著的人口增長需求。此外，南加州大都會水務署(MWDSC)2013 年亦投資 20 億美元打造加州最大水庫-Diamond Valley 湖，其所貯存的水可在該區域面臨乾旱或緊急情況下使用。

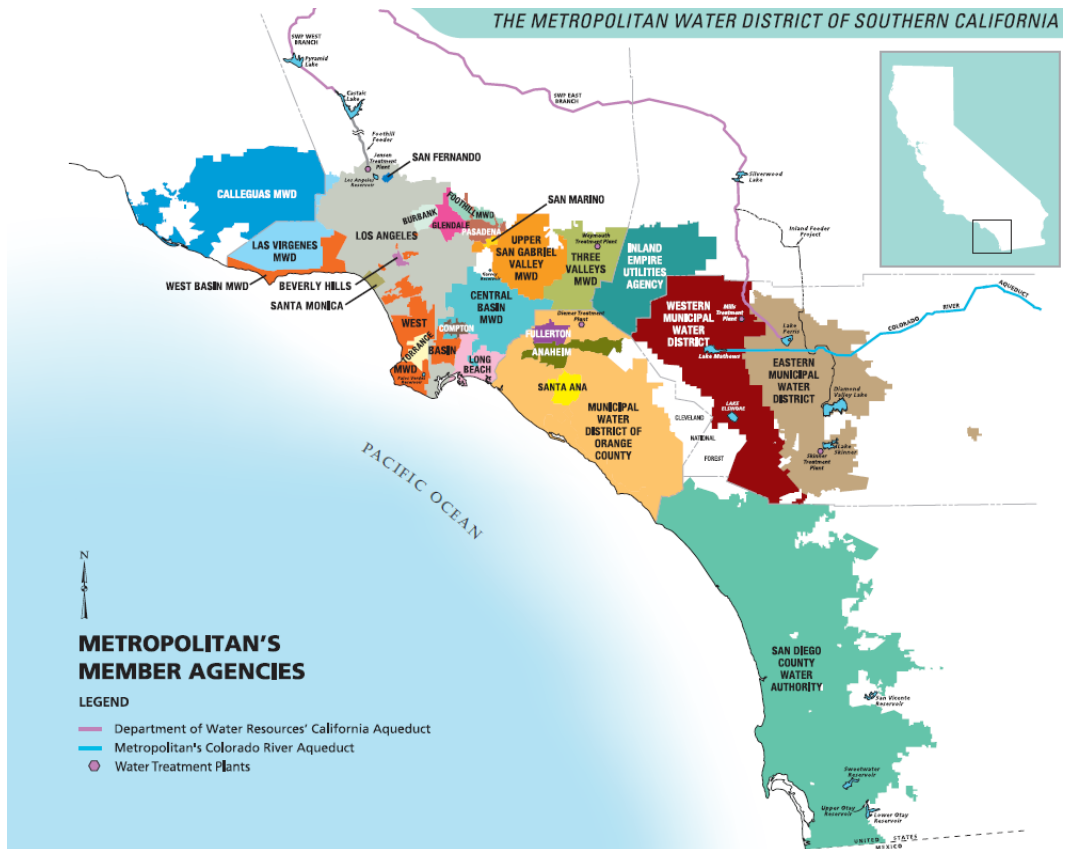


圖 1 南加州大都會水務署(MWDSC)旗下 26 個會員分布圖(截取自 MWDSC 網頁資料)

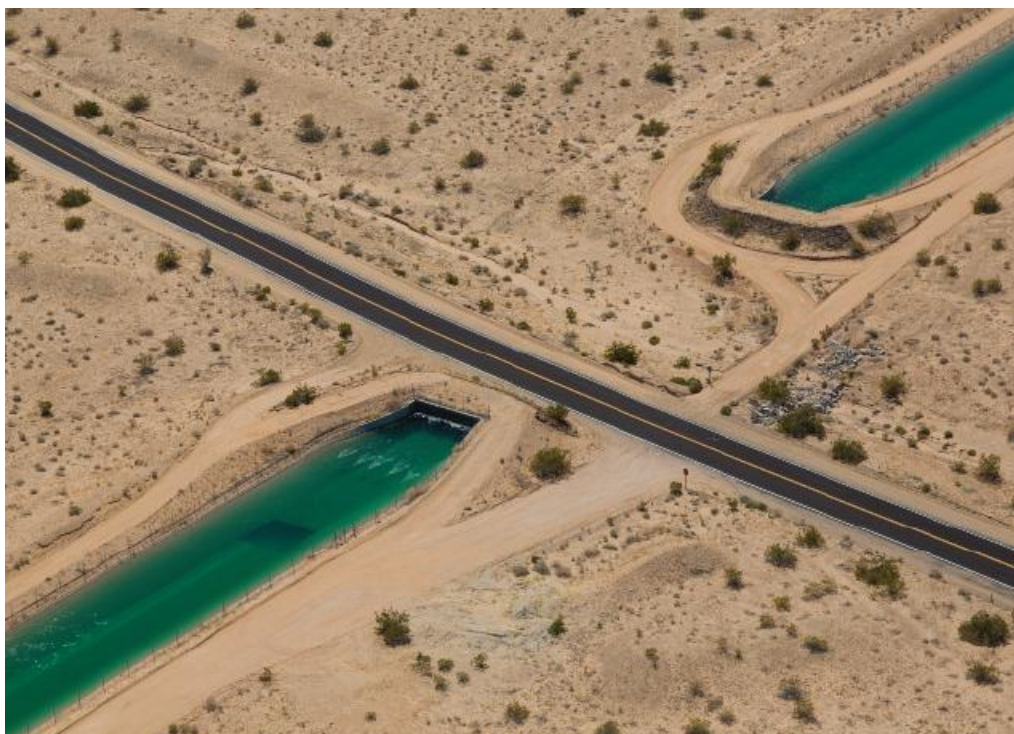


圖 2 加州運河(截取自 MWDSC 網頁資料)



圖 3 Diamond Valley 湖(截取自 MWDSC 網頁資料)



圖 5 南加州大都會水務署(MWDSC)Gene 抽水站(截取自 MWDSC 網頁資料)

表 2 南加州大都會水務署(MWDSC)基本資料(梁善博士提供)

南加州大都會水務署(MWDSC)基本資料	
設立宗旨	在其供水轄區內供應足量和高品質水，並以負責任的態度滿足當前和未來在環境及經濟上的需要。
水源	科羅拉多河運河和加州水計畫
服務區域	共約 5,200 平方英哩(Los Angeles、Orange、San Diego、Riverside、San Bernardino 和 Ventura counties)
供水人口	共約 1900 萬人
會員機構	26 個
科羅拉多河運河	242 英哩(從 Havasu 湖至 Riverside 之 Mathews 湖)
抽水站	Whitsett Intake(揚程 291 英呎); Gene(揚程 303 英呎); Iron Mountain(揚程 144 英呎); Eagle Mountain(揚程 438 英呎); Julian Hinds(揚程 441 英呎)。 總揚程 1617 英呎。
淨水場	Joseph Jensen, Granada Hills (每日 750 百萬加侖); Robert A. Skinner, Winchester (每日 630 百萬加侖); F.E. Weymouth, La Verne (每日 520 百萬加侖);

	Robert B. Diemer, Yorba Linda (每日 520 百萬加侖); Henry J. Mills, Riverside (每日 220 百萬加侖)
水庫	Diamond Valley Lake, Hemet, 蓄水量 810,000 畝-英呎(AF); Lake Mathews, Riverside, 蓄水量 182,000 畝-英呎(AF); Lake Skinner, Winchester, 蓄水量 44,000 畝-英呎(AF); Copper Basin, Gene, 蓄水量 24,200 畝-英呎(AF); Gene Wash, Gene, 蓄水量 6,300 畝-英呎(AF); Live Oak, La Verne, 蓄水量 2,500 畝-英呎(AF); Garvey, Monterey Park, 蓄水量 1,600 畝-英呎(AF); Palos Verdes, Rolling Hills, 蓄水量 1,100 畝-英呎(AF); Orange County, Brea, 蓄水量 212 畝-英呎(AF) 水庫總蓄水量: 1,072,000 畝-英呎(AF)
配水系統	管網總長 819 英哩
平均每日供水量	5,300 畝-英呎(AF) (5 年平均)
資金來源	水費(77%); 債券的收益(10%); 稅收(5%); 基金(5%); 水電銷售和雜項收入(2%); 利息收入(1%)。
資金用途	加州水計畫支付(33%); 運營和維護(21%); 償債(19%); 施工(15%); 公積金存款(6%); 需求管理方案(3%); 供應流程(2%); 科羅拉

多河供電(2%)。

Weymouth 淨水場位於加州洛杉磯郡 La Verne 市，位置大約在洛杉磯市東方 30 英里處。Weymouth 淨水場供應處理過和未處理的水。其中處理過的清水經由 the Upper Feeder West、Middle Feeder、Orange County Feeder 與 the Pomona-Walnut Rowland Feeder 等配水系統送至各地零售商。未處理過的水則由 Weymouth 淨水場自行處理或送至橘郡 Robert B. Diemer 淨水場處理。Weymouth 淨水場有 2 種主要水源來源：科羅拉多河水源(CRW)與加州水計畫(SWP)。過去，水源以科羅拉多河的水為主，但是由於考量臭味及總溶解固體量等水質問題，近年來逐漸減少此一水源使用，而將加州水計畫(SWP)作為未來主要水源來源。

Weymouth 淨水場於 1941 年投入營運後，每日供水量為 100 百萬加侖(MGD)。1949 年完成第一期擴建，每日供水量增加至 200 百萬加侖(MGD)。1962 年完成第二期擴建，每日供水量達到 400 百萬加侖(MGD)，並將快濾池之濾沙改為石英沙與無煙煤之混合濾床。至 1992 年，Weymouth 淨水場之每日供水量已可達到 520 百萬加侖(MGD)。

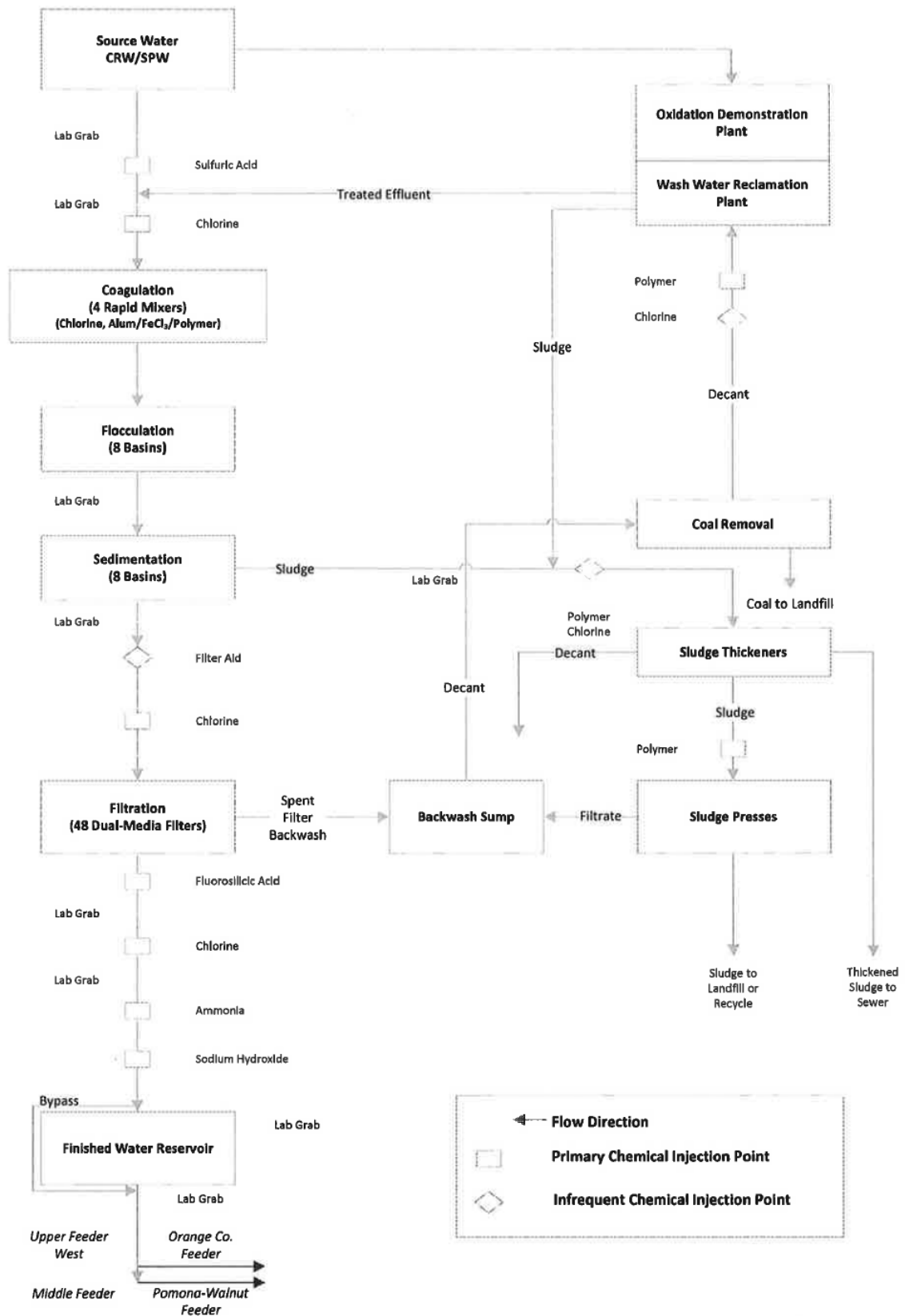


圖 6 Weymouth 淨水場淨水流程示意圖(一)(梁善博士提供)

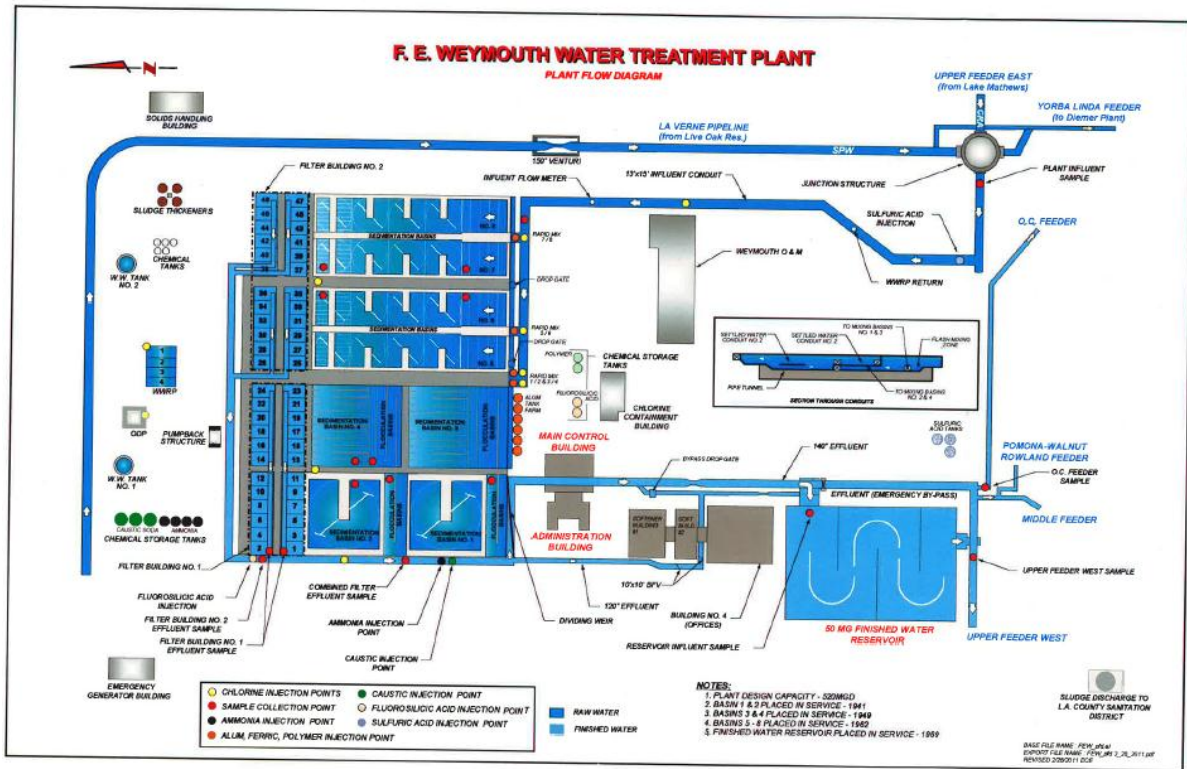


圖 7 Weymouth 淨水場淨水流程示意圖(二)(梁善博士提供)



加州大都會水務署(MWDSC)水質中心留影



與水質中心梁善博士合照



水質中心解說情形



水質中心無機分析實驗室(LC/MS)



水質中心有機分析實驗室(GC/MS)



水質中心聞臭室



水質中心發展歷程



水質中心展示加州供水概況圖



河水中貽貝研究



加州大都會水務署(MWDSC)水源來源



水質中心留影



與梁善博士於 Weymouth 淨水場前合照

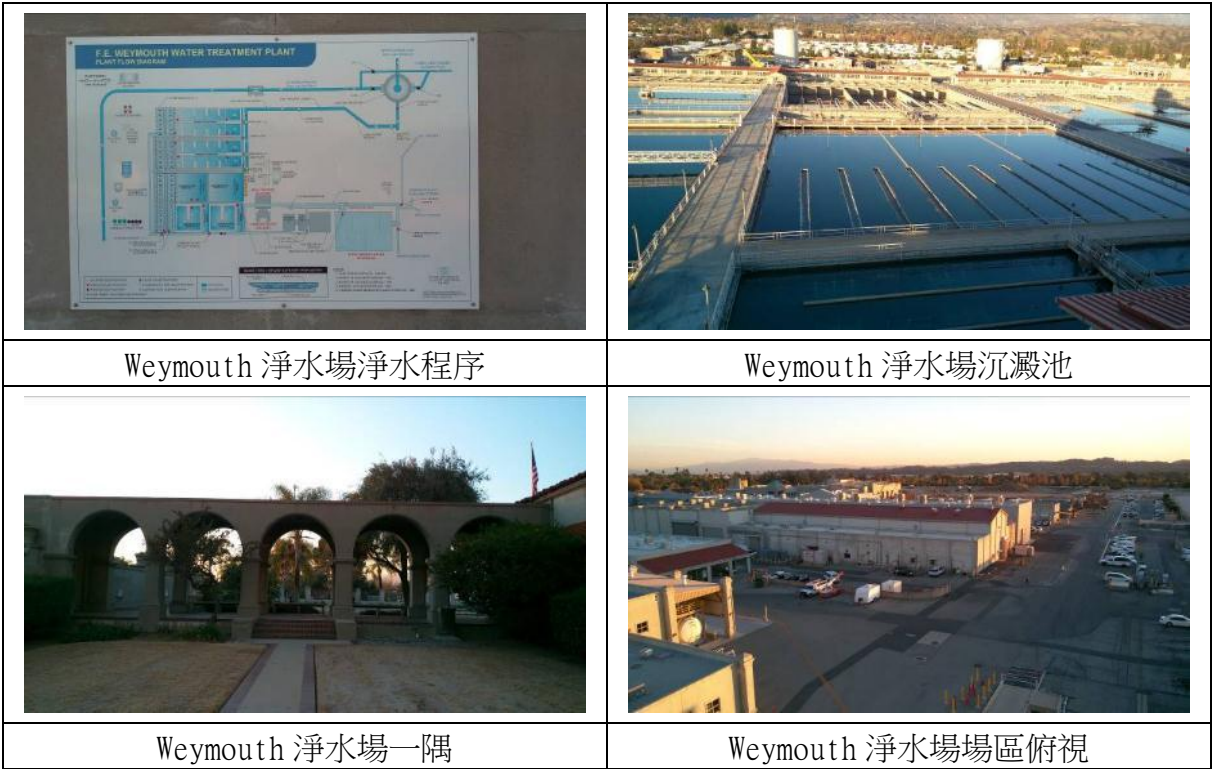


圖 8 南加州大都會水務署(MWDSC)水質中心及 Weymouth 淨水場參訪活動照片紀錄

二、參訪洛杉磯郡 Lakewood 市淨水場

Lakewood 市自來水主要有 2 個供水單位：金州自來水公司(Golden State Water Company)和 Lakewood 市。San Gabriel 河東岸居民由金州自來水公司供應；西岸由 Lakewood 市供應。Lakewood 市自來水水源主要藉由城市深井抽取地下水含水層，其水源來自於山區雨水和融雪入滲。所以 Lakewood 市的淨水場處理流程為單純利用抽水馬達抽水並經快濾桶過濾後，即加氯送至配水管網供用戶使用。另外該市亦使用南加州水再補注署(Water Replenishment District of Southern California, WRD)的回收廢水作為一般草皮澆灌使用。

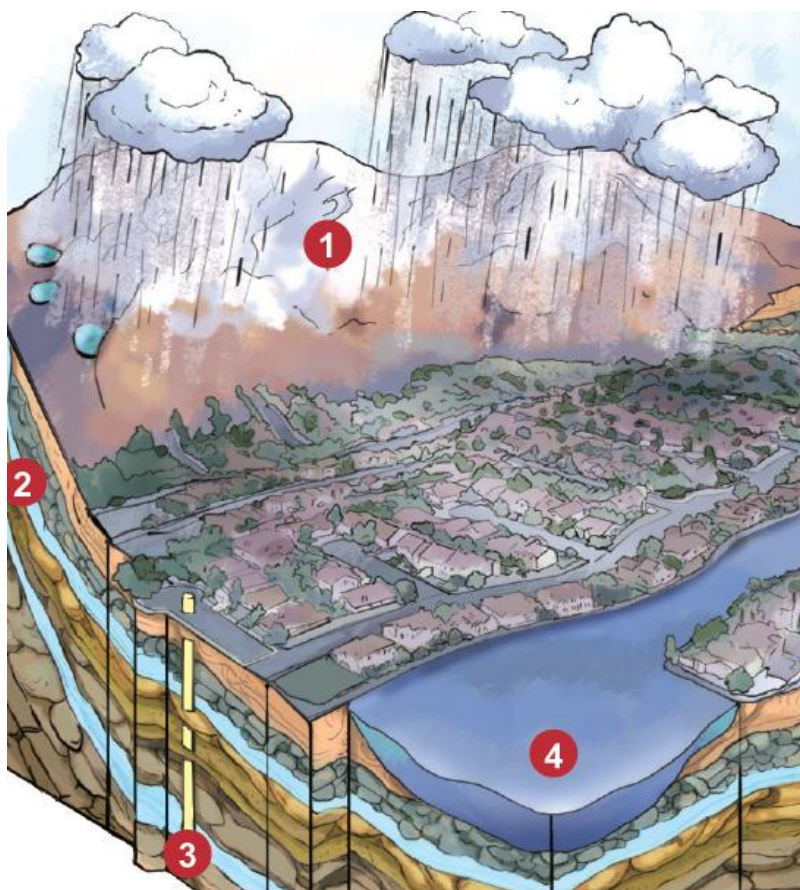


圖 9 Lakewood 市淨水場水源示意圖(截取自 Lakewood 市網頁資料)



與溫俊山博士合影



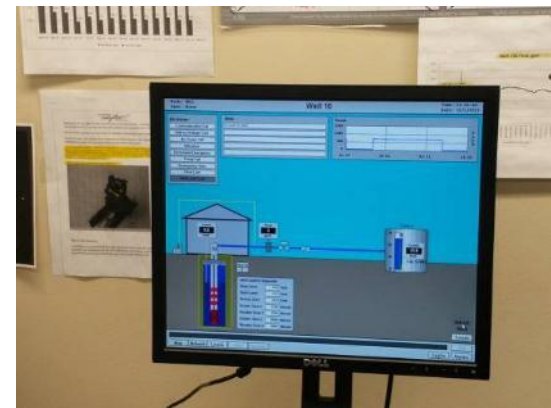
Lakewood 市淨水場外部留影



Lakewood 市淨水場快濾筒設備



馬達排氣閥(加裝濾罐)



Lakewood 市淨水場淨水流程圖示



Lakewood 市淨水場管線閥門



Lakewood 市淨水場快濾筒設備



Lakewood 市淨水場清水池



Lakewood 市淨水場清水池與輸送管線



回收水閥栓

圖 10 Lakewood 市淨水場參訪活動照片紀錄

三、參訪洛杉磯郡衛生署(LACSD)及所屬 San Jose Creek 污水處理廠

歷史：

洛杉磯郡衛生署(LACSD)創建於 1923 年，並自 1950 起，被賦予提供收集固體廢棄物管理(包括廢棄/轉讓的操作方式和材料/能源回收)的職責。服務範圍包括在洛杉磯郡 78 個城市在內 24 個地區共服務約 550 萬人，其面積共約 850 平方英里，工作任務包含生活和工業廢水及廢棄物之收集、處理與處置設備的構建、操作與維護。另為提高工作效率和降低營運成本，其總部設在臨近 Whittier 市。

設備：

洛杉磯郡衛生署(LACSD)擁有大約長達 1410 英里下水道、48 座活動式抽水站及 11 個污水處理廠，可輸送並處理洛杉磯郡一半以上廢水量。並擁有兩座使用中和四座關閉的衛生掩埋場、兩座垃圾焚化爐、三座物質回收及轉運設施以及一處資源回收中心，其所組成的固體廢棄物管理系統可處理全郡約四分之一左右的固體廢棄物。

洛杉磯郡衛生署(LACSD)之聯合排污系統(Joint outfall system, JOS)是一個包含超過 1200 英里污水幹管之獨特系統，由聯合水污染控制廠(Joint Water Pollution Control Plant, JWPCP)和七座連結之廢水回收處理廠所組成，可提供洛杉磯郡內廣達 73 個城市之區域廢水處理。聯合排污系統(JOS)擁有兩種類型的廢水處理廠，其中上游廢水回收處理廠收集水質較佳的廢水和生產經消毒過的三級回收水，而在下游部份，聯合水污染控制廠(JWPCP)則處理高固體含量及高鹽份的工業廢水。不過，因為廢水回收和再利用成本昂貴，所以聯合水污染控制廠(JWPCP)將完成二級處理後的廢水直接排入海洋，不再回收使用。這種創新有效的配置方式，不但可使區域範圍內生產及供應

的回收廢水極大化，而利用廢水處理回收使用亦是南加州地區乾燥氣候下維持高生活品質之重要途徑。

廢水處理廠產生的高品質回收廢水皆符合飲用水標準，其用途包括工業、商業和娛樂業使用，亦可作為農業、園林、公園和高爾夫球場灌溉使用，甚至補充地下水水源。目前，洛杉磯郡衛生署(LACSD)為美國最大廢水回收單位。

San Jose Creek 污水處理廠

San Jose Creek 污水處理廠每日以一級、二級（硝化反應和脫硝反應）以及三級處理高達 100 百萬加侖的廢污水。該污水處理廠可服務約一萬人的居住人口，並於每天在超過 165 處不同的地點使用約 45 百萬加侖回收廢水，使用用途包括地下水水源補注、工業製程及公園、學校和綠地灌溉使用。

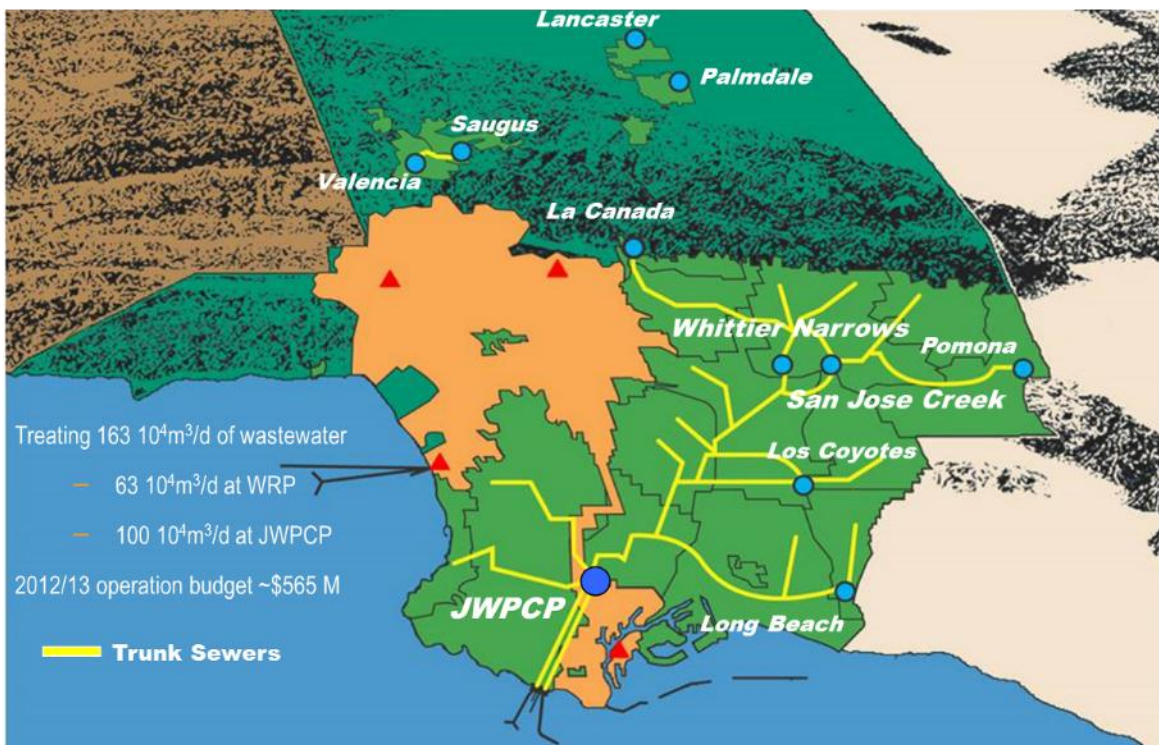


圖 11 洛杉磯污水處理廠分布圖(湯繼城博士提供)

表 3 洛杉磯郡衛生署(LACSD)之污水處理廠比較(湯繼城博士提供)

	設計處理量 (萬噸/日)	現處理量 (萬噸/日)	處理方式	放流水
JWPCP	151	106	純氧活性 污泥	海洋
San Jose Creek	38	25.4	三級處理	河川,地下水補注,園林 灌溉,工業
Los Coyotes	14	7.8	三級處理	河川,灌溉,工業
Long Beach	9.5	7.1	三級處理	河川,灌溉,補注地下水 防海水入侵
Whittier Narrows	5.7	2.9	三級處理	河川,地下水補注,灌溉
Pomona	5.7	3.3	三級處理	河川,園林灌溉,地下水 補注,工業
Valencia	8.2	5.6	三級處理	河川
Saugus	2.5	1.9	三級處理	河川
Palmdale	5.7	3.2	三級處理	農業灌溉
Lancaster	6.8	5.5	三級處理	農業灌溉
總計	247	169		

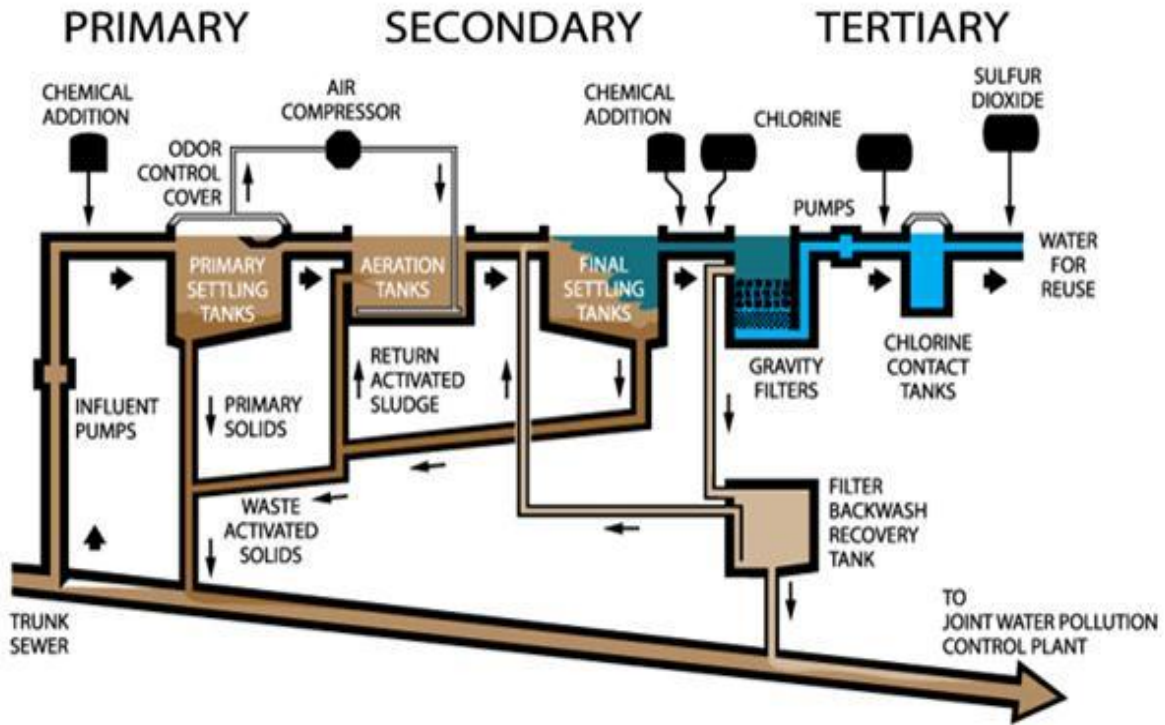


圖 12 San Jose Creek 污水處理廠淨水流程(湯繼城博士提供)



圖 13 聯合水污染控制廠(JWPCP)俯視圖 (湯繼城博士提供)

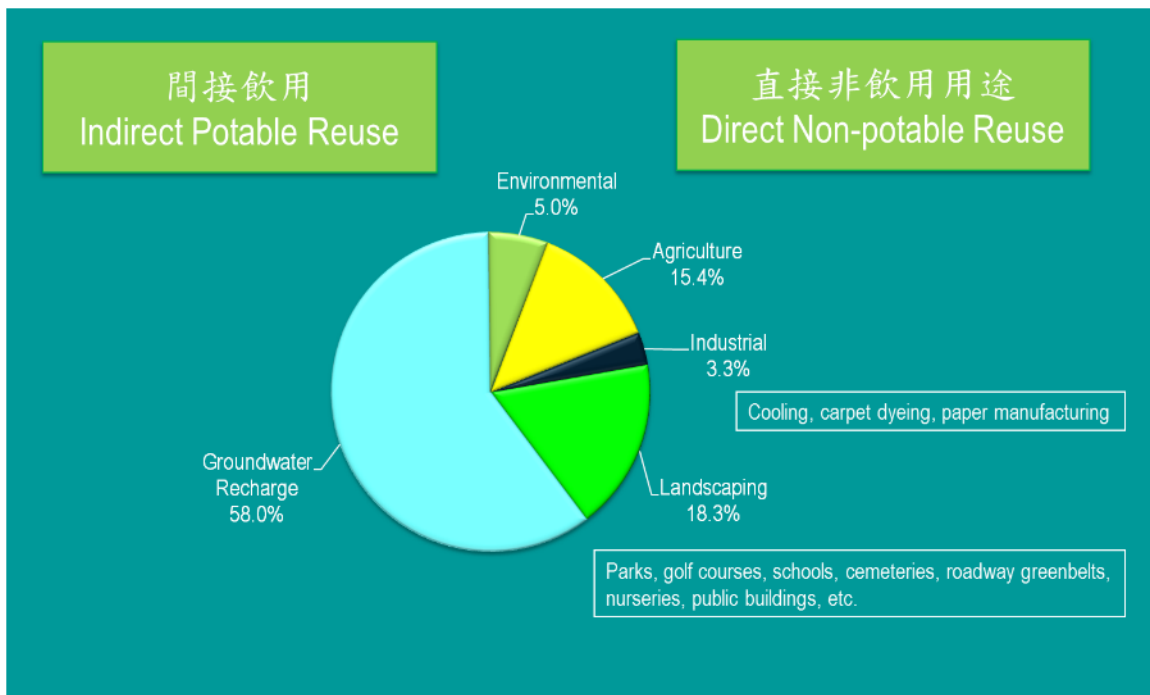


圖 14 污水處理廠回收水用途比例(湯繼城博士提供)



圖 15 污水處理廠回收水直接非飲用水用途(湯繼城博士提供)

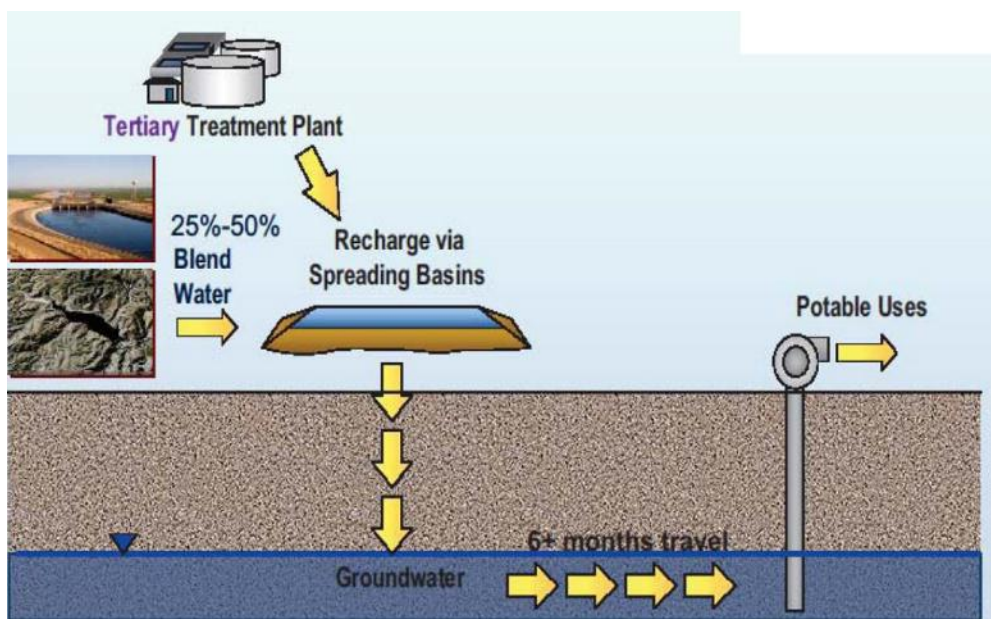


圖 16 污水處理廠回收水間接飲用水用途示意圖(湯繼城博士提供)

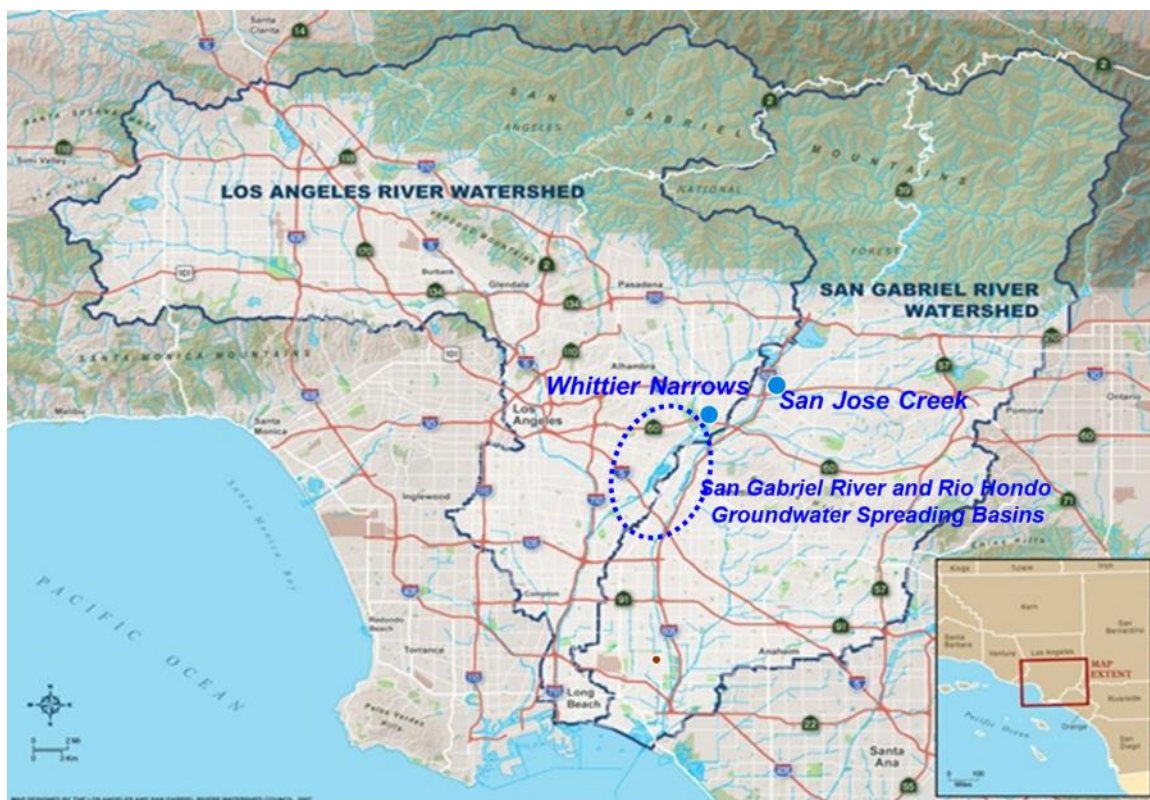


圖 17 污水處理廠回收水補充地點(San Gabriel 河 和 Rio Hondo 地下水蓄水塘) (湯繼城博士提供)



圖 18 San Gabriel 河蓄水塘(湯繼城博士提供)



洛杉磯郡衛生署(LACSD)留影



洛杉磯郡衛生署(LACSD)留影



與洛杉磯郡衛生署湯繼城博士合照



San Jose Creek 污水處理廠沉澱池

	
<p>San Jose Creek 污水處理廠活性污泥池</p>	<p>San Jose Creek 污水處理廠沉澱池</p>
	
<p>San Jose Creek 污水處理廠濾池</p>	<p>San Jose Creek 污水處理廠早期操作設備</p>

圖 19 洛杉磯郡衛生署(LACSD)及所屬 San Jose Creek 污水處理廠參訪活動照片紀錄

四、參訪橘郡水務署(OCWD)及所屬地下水補充系統(GWRS)

橘郡是一個平均年降雨量僅 13 英吋的半乾旱地區，然而在這塊陽光普照的土地上所居住的人口數卻超過 300 萬人，為加州第三大郡。目前橘郡人口數每年仍持續增加，預估至 2035 年，橘郡中、北部地區人口將增加超過 30 萬人。因此，乾淨可靠的用水需求將逐年增加。

橘郡水務署(The Orange County Water District, OCWD)目前供應橘郡中、北部地區約 240 萬居民用水，其中包含每天供應約 60 萬居民足夠用水的地下水補給系統(Groundwater Replenishment System, GWRS)。

補充的主要來源為 Santa Ana 河，Santa Ana 河從 San Bernardino 和 Riverside 郡等源頭向西流至橘郡，其上游水流每年在降雨和乾旱氣候之間循環。

在 1940 年代左右，整個水位情況發生變化，因為以天然補充方式再也無法滿足地下水抽取量。於是橘郡水務署研訂地下水補給計劃，透過主動監測及管理地下水層水位，以維護地下水層水位。為使地下水補充與使用間達到平衡，橘郡水務署(OCWD)開始由科羅拉多河與 Sacramento-San Joaquin River 三角洲地區引進水源使用，並可提供給橘郡中北部地區大約 30% 居民使用。然而，依靠科羅拉多河與 Sacramento-San Joaquin River 三角洲地區水源補充地下水的作法卻面臨挑戰。首先，從遠方地區來源引入水源非常耗能，所以動力費成本昂貴。此外，三角洲地區亦是屬於環境敏感區域，亦是許多非常依靠水源維生的瀕危物種棲息地，常有許多當地環保人士抗爭。另外，美國共有七個州和墨西哥共同享有科羅拉多河水權，亦須面對人口增長和降水量逐年減少問題。當橘郡用水需求越大，河水的流量反而減少中。於是「地下水補充系統」(Groundwater Replenishment System, GWRS)已經成為橘郡重要可靠水源的一部份。

地下水補充系統(GWRS)為世界上最大的高級淨水再利用系統，其程序為取用處理過的廢水，並經三階段先進製程，包括微過濾裝置(MF)、逆滲透薄膜(RO 與紫外線及過氧化氫消毒等。這種淨水過程所生產的高品質水，其品質超過所有州政府和國家飲用水標準。地下水補充系統(GWRS)將處理過的水注入海水屏障防止海水入侵，或利用泵浦送至蓄水塘，透過自然入滲補注地下水水源。事實上，橘郡水務署(OCWD)21 號淨水場(WF 21)自 1976 年起便率先使用逆滲透薄膜(RO)作為廢污水淨化處理程序，累積近

幾十年的研究數據足已證明此高級淨水製程的可靠性與有效性，並於現今成為最有效的處理方式。

自 2008 年 1 月開始營運以來，地下水補充系統(GWRS)每天可以產生 70 百萬加侖 (70 MGD 或約 265,000 CMD)高純淨水，至 2015 年止淨水設備已擴充至每天 100 百萬加侖(100 MGD 或約 378,000 CMD)。藉由設備擴充及廢水海洋放流重新改道，地下水補充系統(GWRS)最大產水量將可達 130 百萬加侖(130 MGD 或約 492,000 CMD)。

地下水補充系統(GWRS)是橘郡水務署(OCWD)和橘郡衛生署(OCSD)之間的合作下的所成立的機構。此因 90 年代中期橘郡水務署(OCWD)需要擴充 21 號淨水場 (WF21)，而該地地下水卻面臨海水入侵鹽化問題。在此同時，橘郡衛生署(OCSD)則必須建立第二海洋放流口以排放廢水。所以，雙方尋求共同解決方案，就是一起建立地下水補充系統(GWRS)，以解決這些問題。

橘郡水務署(OCWD)和橘郡衛生署(OCSD)共同分擔地下水補充系統(GWRS)建築成本 (4 億 8 千 1 百萬美元)，而橘郡衛生署(OCSD)無償提供橘郡水務署(OCWD)二級處理後廢水，至於橘郡水務署(OCWD)則同意管理，並協助地下水補充系統(GWRS)操作。透過此次合作，地下水補充系統(GWRS)已成為世界上著名的民間工程與廢水回收再利用計畫。

地下水補充系統(GWRS)由三個部份組成：

1. 在橘郡水務署(OCWD)總部(Fountain Valley)設立先進的淨水設備
2. 從橘郡衛生署(OCSD)接收處理過的廢水，分別經由淨水設備以微過濾裝置 (MF)、逆滲透薄膜過濾(RO)與過氧化氫及紫外線(UV)消毒。

3. 每天大約 30 百萬加侖(30 MGD 或約 113000 CMD)處理過的水由泵浦加壓站沿 Huntington Beach 和 Fountain Valley 海水入侵軸面注入地下水井，以作為防止海水入侵的屏障，其餘處理過的水則由加壓站輸送至 Kraemer、Miller 和 Miraloma 的蓄水塘，以補充地下水水位。

橘郡衛生署(OCSD)將二級處理過廢水送往橘郡水務署(OCWD)的微過濾裝置(MF)，微過濾裝置(MF)採用聚丙烯製的中空纖維束製成，在真空狀況下，水通過纖維的微孔洞(直徑約為 0.2 微米)以濾除水中懸浮固體物、原生動物、細菌和一些病毒等水中顆粒物質。

微過濾裝置(MF)最佳進流水濁度介於 3 至 5 NTU 之間，最佳進流水壓力保持在每平方英寸 3 至 12 磅(PSI)範圍內，為避免進流水壓力過高，微過濾裝置(MF)每 22 分鐘反沖洗 1 次；每 21 天完整化學清洗一次。藉由上述操作程序可降低過濾壓力並有效減少能源成本，使微過濾裝置(MF)濾膜增加處理水量，此外，透過持續研究薄膜技術，可以進一步減少能源需求和降低單位生產成本。



Microfiltration



- 86 MGD Siemens CMF-S Microfiltration System
- Tiny, straw like polypropylene membrane
- Removes bacteria, protozoa, and suspended solids
- 0.2 micron pore size
- In basin submersible system

圖 21 地下水補充系統(GWRS)之微過濾裝置(MF)(湯繼城博士提供)

微過濾裝置(MF)的出流水接著導入逆滲透薄膜過濾(RO)進行下一階段處理程序。

薄膜過濾(RO)為採用封裝的聚酯胺半透膜，並捆捲後放入耐高壓殼之中。其淨化過程是藉由加壓長型塑膠容器一端，使微過濾裝置(MF)的出流水導入並穿過 (RO)到內部中心收集，再經由導水管排出。而殘留的濃縮鹵水則含有溶解鹽類、有機化合物、病毒和藥物等不需要物質。最後，為緩和穩定淨化後的逆滲透薄膜過濾(RO)水，故於進入配水管網前添加礦物質，以降低水質的腐蝕性。

另外為確保逆滲透薄膜(RO)有效運作，有兩個關鍵指標必須密切監測。第一個指標是水中導電度，導電度可代表鹽類或總溶解固體含量高低，第二個指標則是水中總有機碳(TOC)，總有機碳(TOC)含量可反應水中有機物去除率。此外，水中總有機碳(TOC)含量亦由地區水質管制局(Regional Water Quality Control Board, RWQCB)和加州公共衛生部門密切監控。所以監測進流水和出流水中導電度和總有機碳(TOC)含量

可確保逆滲透薄膜(RO)有效運作及符合水質標準。



Reverse Osmosis



- 70 MGD Reverse Osmosis System
- Hydranautics ESPA-2 Membranes
- Recovery Rate: 85%
- Removes dissolved minerals, viruses, and pharmaceuticals
- Pressure range: 150 – 200 psi

圖 22 地下水補充系統(GWRS)之逆滲透裝置(RO)(湯繼城博士提供)



Ultraviolet/Advanced Oxidation



- 70 MGD Trojan UVPhox System
- Low Pressure – High Output lamp system
- Removes trace organics
- Uses Hydrogen Peroxide to form an Advanced Oxidation Process

圖 23 地下水補充系統(GWRS)之紫外線及高級氧化裝置(湯繼城博士提供)

在微過濾裝置(MF)及逆滲透薄膜(RO)處理後，將出流水暴露於高強度紫外光與過氧化氫，用以消毒和分解殘留低濃度(ppt 等級)之低分子量有機化合物。這個過程可以確保有效地分解或去除生物及有機化學物質。

為確保出流水不會造成水管腐蝕，必須再檢驗確認水中 pH 值維持於 6 到 9 之間。主要是因為在逆滲透薄膜過濾(RO)程序之前添加硫酸，以提高逆滲透薄膜的效率表現，但是也導致累積過量二氧化碳而使水中 pH 值降低，另外逆滲透薄膜過濾(RO)程序所去除的礦物質離子也會減少水中鹼度，故此時可利用空氣去除過量二氧化碳以穩定逆滲透程序後的出流水與提高水中 pH 值。最後，於水泥混合箱中混合氫氧化鈣與水，再額外添加陽離子聚合物加速未溶解的氫氧化鈣顆粒沉降去除，隨後將這種混合溶液加入到出流水中，以提高水的穩定性和增加緩衝性，使水中 pH 值在配水系統中維持固定區間範圍 (6~9)。

有關海水透過淺層地下水入侵的知識可以追溯到半世紀前，在 Hunting Beach 海岸下含有一淺層地下水，其地質特徵屬於 Talbert Gap。在這裡砂礫沖積物跨越屏障，創造出有利於海水入侵的條件。當水從井抽出後，海水便會透過 Talbert Gap 入滲到深地下水層(Alpha Aquifer 與 Beta Aquifer)，最終達到飲用水井。所以橘郡水務署(OCWD)於 1965 年開始一個試驗計畫，研究如何阻止海水流入地下水層。根據南加州其他海水屏障的經驗，可以沿著 Talbert Gap 的注入井將水加壓注入。這將產生一個水壓障礙(hydraulic barrier)來推動入侵的海水返回大海。因為了解到前述保護屏障的重要性，因此供應 100%可靠的注入水量是必要的。在經過多年試驗，橘郡水務署

(OCWD)興建 21 號淨水場(WF 21)用以提供安全且可靠的注入水供應。由幾十年的監測數據顯示，採用先進淨水處理程序所生產的超純水注入 Talbert Barrier 確實發揮有效性和安全性。

此外，補注地下水的主要方式包含將水源供應至水橘郡水務署(OCWD)在 Anaheim 當地的蓄水塘。其水源包括地下水補充系統(GWRS)之回收水、加州水計畫(state water project, SWP)與科羅拉多河之外來水源以及 Santa Ana 河水。地下水補充系統(GWRS)所淨化處理之回收水作為 Kraemer、Miller 和 Miraloma 等三處蓄水塘之補注地下水主要水源。Kraemer 蓄水塘面積為 31 畝(大約 12 公頃)，年均補注水量為 35000 畝-英呎(AFY)(大約每年 11000 百萬加侖或每年 4300 萬立方公尺)。Miller 蓄水塘面積為 25 畝(大約 10 公頃)，年均補注水量為 19000 畝-英呎(AFY)(大約每年 6000 百萬加侖或每年 2340 萬立方公尺)。橘郡水務署(OCWD)最新的 Miraloma 蓄水塘面積為 13.2 畝(大約 5 公頃)，估計每年補注水量為 10000 英畝-呎(AFY)(大約每年 3250 百萬加侖或每年 1200 萬立方公尺)。因為 Santa Ana 河水含有無機淤泥和黏土的懸浮固體物，導致堵塞蓄水塘底部，故所統計地下水補充系統(GWRS)回收水和其他較乾淨水源(加州水計畫與科羅拉多河)的入滲速率，大約是 Santa Ana 河水入滲速率的兩倍。

地下水補充系統(GWRS)的回收水藉由 13 英里(約 20 公里)長、直徑五英呎(約 1.5 公尺)寬的管線，每天能夠輸送超過 80 百萬加侖(302000 立方公尺)的回收水經 Fountain Valley、Santa Ana、Orange 和 Anaheim 等城市輸送到 Kraemer、Miller 和 Miraloma 等三處蓄水塘。



圖 24 地下水補充系統(GWRS)補注地下水輸送示意圖(湯繼城博士提供)

綜合而言，GWRS 包含下列優點：

1. 即使在乾旱時亦能可穩定供應高純度、接近蒸餾水品質的回收水。
2. 提供更經濟有效且節能的策略，其所需能源僅為引入外來水源所需能源之二分之一或淡化海水所需能源的三分之一。
3. 建立水壓屏障，以防止海水入侵至飲用水井。
4. 補注地下水供應量，減少地下水超抽情形。
5. 改善蓄水塘水質。
6. 減少排入海洋的廢水量。
7. 減少該地區對外來水源的需求。
8. 單位生產成本僅為每畝-英呎(AF)850 美元，比外來水源的單位成本更低。

此外，橘郡水務署(OCWD)沿著海水屏障和蓄水塘周圍設置巨大網狀的監測井來密

集監控地下水層，包含許多與地下水補充系統(GWRS)有關的監測井已設置在 Kraemer 和 Miller 蓄水塘周圍來監測水位和收集水質數據。除了確保水質安全，這些監測井亦可作為計算蓄水塘至抽水井之間的地下水流動時間。

經過長時間以高級淨水處理之回收水補注沿海屏障的經驗，橘郡水務署(OCWD)現已能夠採用 100%地下水補充系統(GWRS)回收水補注沿海屏障而不必混合其他外來水源。不過，仍然必須在蓄水塘與其他水源混合，其中地下水補充系統(GWRS)回收水佔 75%，而用於混合的水源主要為 Santa Ana 河水，偶爾購買外來水源。

	
<p>橘郡水務署(OCWD)</p>	<p>與橘郡水務署(OCWD)壇樂博士合照</p>
	
<p>地下水補充系統(GWRS)RO 膜前合照</p>	<p>與橘郡水務署(OCWD)壇樂博士合照</p>
	
<p>地下水補充系統(GWRS)之 RO 膜</p>	<p>地下水補充系統(GWRS)處理後水質差異</p>



教育宣導(實驗分析設備)



地下水補充系統(GWRS)安全裝備放置



教育宣導(寶貴的飲用水)



教育宣導(水中微生物、有機及無機物)



教育宣導(水的實際價值)



地下水補充系統(GWRS)留影

	
<p>地下水補充系統之地下水井補充示意圖</p>	<p>地下水補充系統(GWRS)之 MF 膜</p>
	
<p>地下水補充系統(GWRS)之 MF 膜</p>	<p>地下水補充系統(GWRS)之 UV 燈管</p>
	
<p>介紹地下水補充系統(GWRS)淨水流程</p>	<p>橘郡水務署(OCWD)之水質實驗室</p>

圖 25 橘郡水務署(OCWD)所屬地下水補充系統(GWRS)參訪活動照片紀錄

五、參訪洛杉磯水電局(LADWP)

洛杉磯創立於 1781 年，由一個不起眼的印第安人的村莊擴展至現為美國第二大城市。城市一開始仰賴洛杉磯河供水，這條河的水利用天然水壩、水車和溝渠等分配渠道輸送，並直到 1860 年洛杉磯自來水公司完成第一個供水系統。於 1902 年 2 月 3 日，再由洛杉磯市正式取得第一洛杉磯市政水廠系統的經營權，最終成立洛杉磯水電局(Los Angeles Department of Water and Power, LADWP)。

洛杉磯水電局(LADWP)每年為洛杉磯市 465 平方英哩服務範圍內，約 67 萬 6 千住宅及商業用水戶提供約 197,000 百萬加侖自來水，平均每位居民每天使用約 140 加侖的自來水。因此，自來水取得對於洛杉磯市快速增長和發展來說有非常重要的貢獻。自 1902 年以來，洛杉磯的人口從約為 14 萬 6 千成長至今日約 380 萬的人口，洛杉磯水電局(LADWP)一直努力，以確保洛杉磯人取得安全可靠的供水。

洛杉磯水電局(LADWP)目前擁有超過 7200 英哩長的自來水管線、114 座池塘及水庫、78 座抽水站以及營運一條洛杉磯運河(Los Angeles Aqueduct)。

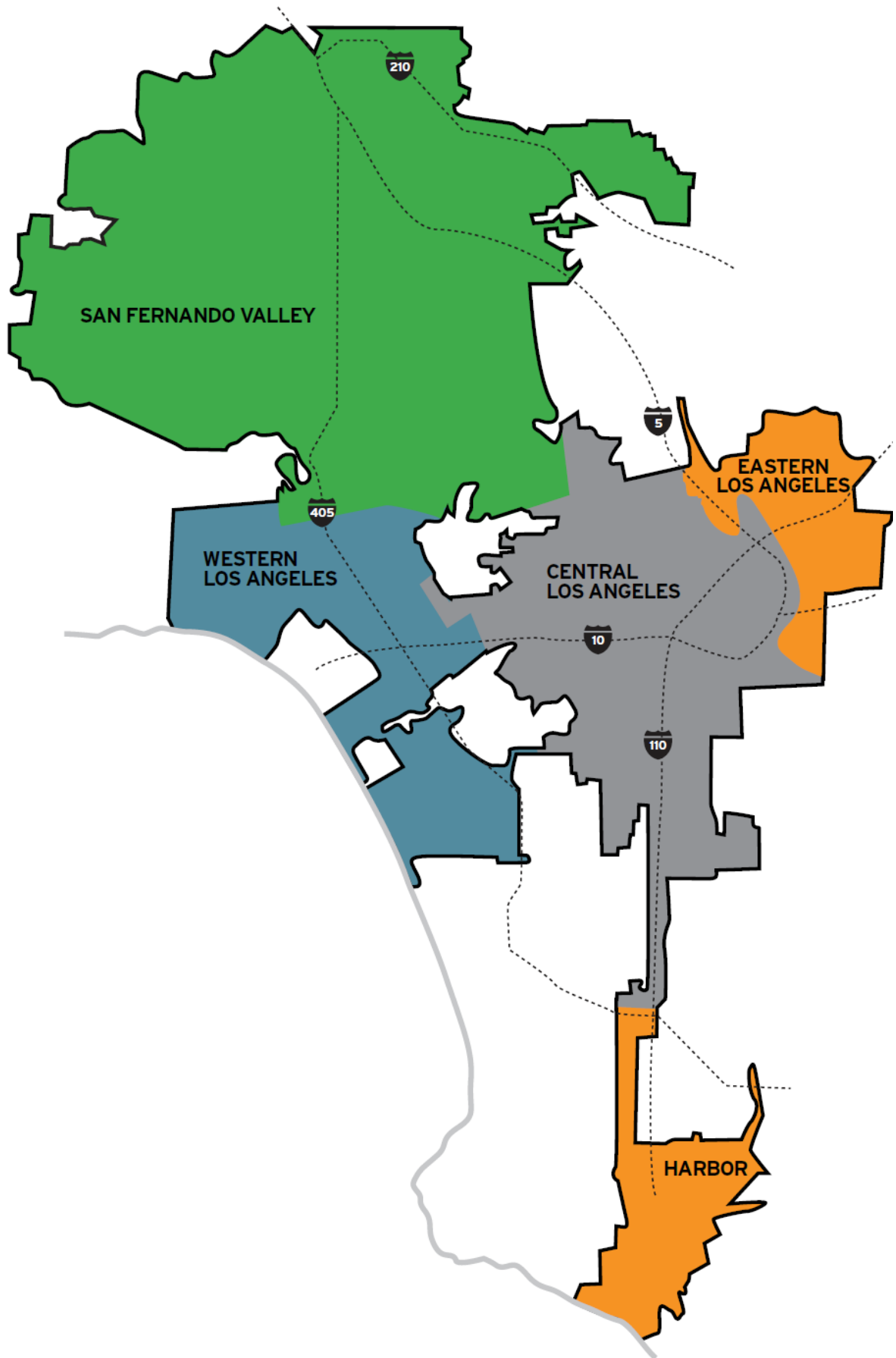


圖 26 洛杉磯水電局(LADWP)的供水轄區範圍(截取自 LADWP 網頁資料)

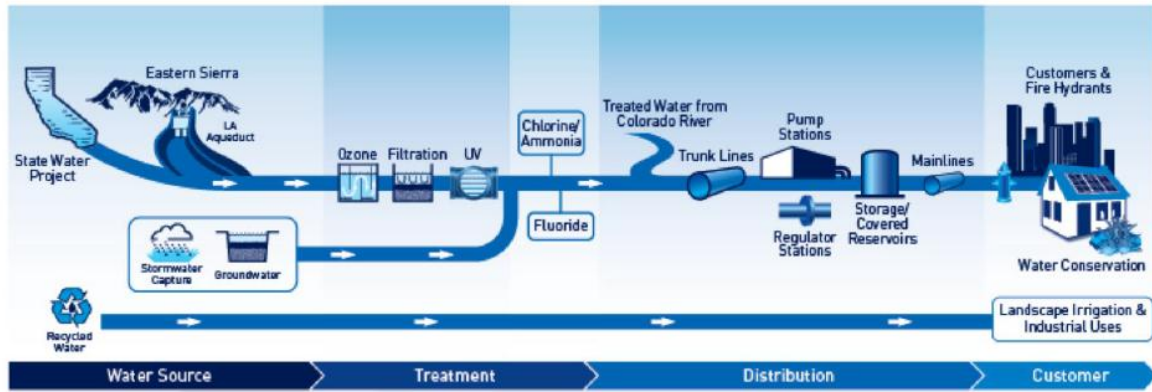


圖 27 洛杉磯水電局(LADWP)地面水淨水處理流程(截取自 LADWP 網頁資料)



圖 28 洛杉磯水電局(LADWP)參訪活動照片紀錄

六、參訪 Fairbairn 淨水場

沙加緬度(Sacramento)市飲用水百分之八十五(85%)來自其周邊的河流。為取得水源，共有兩個引水口，一個位於美洲河(American River)，一個位於沙加緬度河(Sacramento River)。並分別送至位在美洲河(American River)河畔的 Fairbairn 淨水場和沙加緬度河(Sacramento River)河畔的沙加緬度河淨水場。這兩座淨水場的淨水流程相同，處理過的自來水經由配水系統送至城市數個配水池貯存。

Fairbairn 淨水場為沙加緬度(Sacramento)市供應約一半供水量，這座淨水場於 1964 年建於美洲河(American River)河畔，擁有每天 32 百萬加侖(MGD)處理水量的淨水設施。淨水場處理水量於 1989 年提高到 100 百萬加侖(MGD)，並於 2005 年，將總淨水處理水量進一步提高到 160 百萬加侖(MGD)。該淨水場屬於一般傳統淨水場，其處理流程包括混凝、沉澱、過濾及消毒等程序。

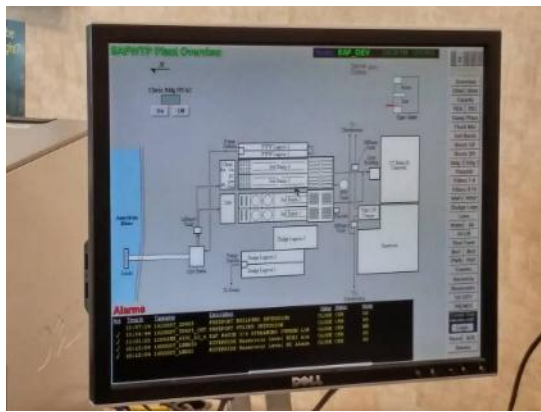
	
Fairbairn 淨水場落成紀念碑	Fairbairn 淨水場留影



Fairbairn 淨水場俯視照(一)



Fairbairn 淨水場俯視照(二)



Fairbairn 淨水場淨水設備圖控



Fairbairn 淨水場水質監控設備(一)



Fairbairn 淨水場地下管道間



Fairbairn 淨水場早期配水管(木製)



Fairbairn 淨水場閒置混凝(快混)池



Fairbairn 淨水場水質監控設備(一)



Fairbairn 淨水場水質監控設備(三)
流導電儀



Fairbairn 淨水場閒置沉澱池



Fairbairn 淨水場閒置混凝(慢混)池



Fairbairn 淨水場完工紀念牌

圖 29 Fairbairn 淨水場參訪活動照片紀錄

七、參訪 Foothill 淨水場(Placer County Water Agency)

普萊瑟郡水務局(Placer County Water Agency, PCWA)是加州普萊瑟縣的主要供水機構。普萊瑟郡水務局(Placer County Water Agency, PCWA)的職責，包括水資源規劃和管理，零售和批發供應普萊瑟郡 1500 平方英里面積範圍內的灌溉用水、飲用水和生產水力發電，係於 1957 年依據州立「普萊瑟郡水務局法(Placer County Water Agency Act)」法案所成立，由獨立選舉產生的五個董事會成員監管決定自我管理政策。

普萊瑟郡水務局(PCWA)從美洲河(American River)、尤巴河(Yuba River)和熊河(Bear River)等三個流域取得地表水水源並供應普萊瑟郡西部公眾地區。普萊瑟郡水務局(PCWA)並計劃進一步每年從沙加緬度河補充 3 萬 5 千畝-英呎 (AF/年) 地表水，以滿足未來用水需求。

普萊瑟郡水務局(PCWA)擁有八個淨水場。其中包含位於 Newcastle 南部地區的 Foothill 淨水場。萊瑟郡水務局(PCWA)在 2005 年完成最新的 Foothill 淨水場的擴建，其供水量可達到每天 55 百萬加侖(MGD)。



Foothill 淨水場完工紀念牌



Foothill 淨水場混凝(慢混)池



Foothill 淨水場沉澱池(一)

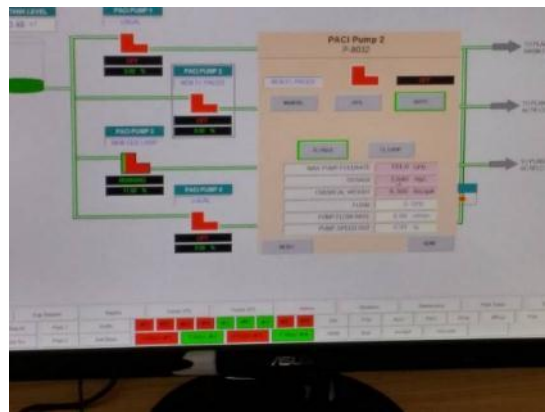


Foothill 淨水場沉澱池(二)



Foothill 淨水場現場解說(一)

Foothill 淨水場工程車



PCWA 供水轄區示意圖

Foothill 淨水場淨水流程圖控



Foothill 淨水場 Sand/Sludge 混凝設備



Foothill 淨水場 Sand/Sludge 混凝設備



Foothill 淨水場 Sand/Sludge 混凝用細



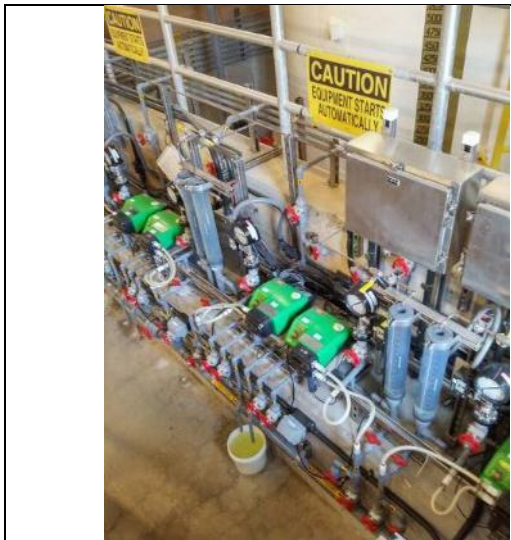
Foothill 淨水場粒狀活性炭自動添加設



Foothill 淨水場現場解說



Foothill 淨水場水質監控設備



Foothill 淨水場加氯設備



Foothill 淨水場次氯酸鈉藥槽



Foothill 淨水場 Sand/Sludge 混凝設備



Foothill 淨水場 Sand/Sludge 混凝設備



Foothill 淨水場沉澱池



與 Foothill 淨水場工作人員及監測儀器 Joseph 先生、鄭偉鵬先生合照

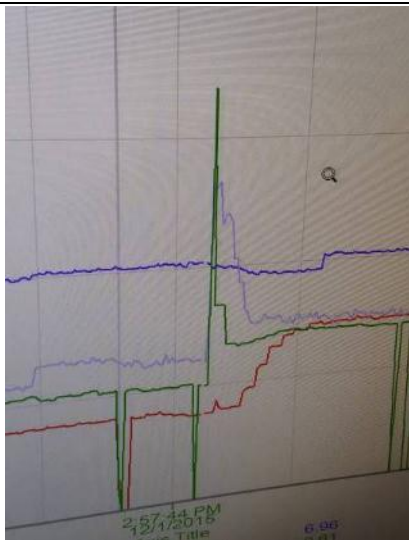
圖 30 Foothill 淨水場(Placer County Water Agency)參訪活動照片紀錄

八、參訪 Benicia 淨水場

貝尼西亞(Benicia)市-一座位在舊金山灣區的小型城市，每天以傳統淨水處理設備處理水中高濃度溶解性有機物，並供應 12 百萬加侖(MGD)水量作為約 28,000 居民使用。Benicia 淨水場的主要水源含有介於 4-18 毫克/升之總有機碳 (TOC) 的高濃度天然有機物質 (NOM) 含量。

Benicia 淨水場有 3 個主要水源來源，第一來源是由 BARKER SLOUGH 地區，以北灣運河 (North Bay Aqueduct, NBA) 運送，第二來源是從 Berryessa 湖以 Putah 南運河(Putah South Canal)輸送，第三來源是 Herman 湖，同時其貯儲量具有大約最高達 30 天應急用水源需求。

	
Benicia 淨水場外部一隅	Benicia 淨水場清水池
	
Benicia 淨水場水質監控顯示(一)	Benicia 淨水場儀器及設備維修間



Benicia 淨水場水質監控顯示(二)



Benicia 淨水場沉澱池



Benicia 淨水場現場解說(一)



致贈 Benicia 淨水場 SCOTT 先生台灣陶



Benicia 淨水場線上總有機碳監測儀



Benicia 淨水場線上水中總三鹵甲烷監測



Benicia 淨水場水質監測設備(一)



Benicia 淨水場水質監測設備(二)



Benicia 淨水場閒置沉澱池(傾斜板)



Benicia 淨水場留影



Benicia 淨水場現場解說(二)



Benicia 淨水場現場解說(三)

圖 31 Benicia 淨水場參訪活動照片紀錄

肆、專題介紹

一、南加州大都會水務署(MWDSC)水質中心之組織架構與分工

南加州大都會水務署(MWDSC) 於 1974 年創立水質和研究部門，初期擁有 12 名工作人員，隨後於 1985 年正式成立水質實驗室(Water Quality Lab)。歷經多次搬遷，最終於 1998 年擴充至佔地 58000 平方英尺的水質中心，水質中心的設立可確保在南加州地區供應近 1900 萬人的飲用水安全無虞，並符合州和聯邦政府水質相關法規。除了位在 La Verne 的水質實驗室，南加州大都會水務署(MWDSC)所屬的 5 個淨水場也各自設有附屬實驗室。此外，水質實驗室透過設置模廠設施和每日 5 百萬加侖(MGD)規模的實場，用來評估原尺寸淨水場的設計和運作程序。

在過去 40 年歷史中，南加州大都會水務署(MWDSC)的水質中心已成為水質領域方面的國際領導權威，其處理議題包含臭氧消毒、檢測水生病原體和消毒副產物、味道和氣味控制、侵入性貝類以及水庫管理等。過去 40 年重要水質成就歸納於表 4。



圖 32 南加州大都會水務署(MWDSC)水質中心俯視圖(梁善博士提供)



圖 33 南加州大都會水務署(MWDSC)水質中心內部空間規劃

表 4 水質中心發展歷史彙整(梁善博士提供)

年代	里程碑
1974	南加州大都會水務署(MWDSC)在 Weymouth 淨水場成立水質與研究部門實驗室(12 名員工)，隨後於 1977 年搬遷至 40 號建築。
Early 80s	水質實驗室自 80 年代起提供建教合作計劃並支持超過 100 名當地大學生多項實際工作經驗的機會。
Early 80s	開發「Closed Loop Stripping Analysis」技術來檢驗某些藻類所產生的微量味道和氣味化合物。
1983	提出氣味圖表分析(Flavor Profile Analysis)的創新理念，為目前全球許多自來水公司用於了解消費者的飲用水滿意度。
Early 80s	評估並解答有關於南加州大都會水務署(MWDSC)自來水中自由餘氯轉換生成氯胺的問題，以滿足新興消毒副產物法規。
1985	南加州大都會水務署(MWDSC)在現今所在地上建立 27,000 平方英尺的水質實驗室(Water Quality Laboratory)，並增加至 57 名員工。
80s and 90s	執行以粒狀活性碳和加強混凝等方式來控制消毒副產物的廣泛研究。
Mid 80s	實施先進分子生物技術來檢測飲用水中病原體
Mid 80s	執行探討三角洲地區一系列的水質問題，以確保水源保護工作。
Mid 80s	評估及優化淨水場臭氧處理流程，用以改善消毒程序，並減少消毒副產物和味覺與氣味化合物的形成。包含 1992 年建立一座 5.5 百萬加侖(MGD)的臭氧試驗設施(Oxidation Demonstration Project)。
Late 80s	執行配水管網的先進硝化研究。
Early 90s	參與美國環保署(USEPA)的監管協商程序(Regulatory Negotiation)談判，並提供飲用水中消毒副產物的管制建議值。
Mid 90s	導入湖沼生物學至水庫管理。
1997	開啟海水淡化研究和創新的夥伴關係(Desalination Research and Innovation Partnership)，並開發創新技術以減少淡化海水成本與展示大規模紫外線消毒。
1997	追蹤進入科羅拉多河系統的過氯酸鹽來源，致使內華達州 Henderson 地區盡力整治並顯著減少過氯酸鹽含量。
1998	加倍擴充水質實驗室規模達到 57000 平方英尺，並增加至 85 名員工。
Late 90s	參與隱孢子蟲檢測方法的開發制定
2000s	倡導評估隱孢子蟲污染標準的制定
2000s	為符合愈來愈嚴格的水質規範，水質中心的工作人員目前執行超過 30 萬次水質分析測試，其範圍涵蓋水源、淨水場到整個配水管網。
2000s	參與美國環保署(USEPA)針對未來潛在監管污染物的污染物候選名單(Contaminant Candidate List, CCL)程序。
2000s	積極加強科羅拉多河水源保護工作，例如在亞利桑那州 Topock 附近

年代	里程碑
	一座氣體壓縮機工廠的六價鉻污染整治，與清理在猶他州 Moab 附近的一個 16 噸鈾礦渣山堆。
2007	啟動一個廣泛計畫以有效地管理科羅拉多河中 quagga 貽貝入侵。
Late 2000s	執行關於水中藥物和藻類毒素出現、處理和分析方法的應用研究。
2000s	執行關於 NDMA 消毒副產物形成和控制的廣泛研究，因應這種消毒副產物未來監管的事前準備。
Late 2000s	發展可供替代的溴酸鹽控制策略使南加州大都會水務署(MWDSC)節省數百萬美元淨水藥劑成本。
2014	水質中心慶祝其成立 40 週年，目前擁有約 100 名員工。

水質中心的任務

水質中心的最主要工作就是供應達到州政府和國家標準以上的安全飲用水，並協助完成供水系統營運部門(Water Systems Operations, WSO)的優先策略以及南加州大都會水務署(MWDSC)的任務目標，以達到客戶滿意度最高標準。水質中心將持續執行監控水質、參與水源保護計畫、立法和監管審查程序，並以科學方式發展創新及符合成本效益的水質問題解決方案。

為滿足此項任務，水質中心現有約 120 名專精於化學、微生物學、湖沼生物學及給水工程等領域之實驗室分析員、科學家、技術人員和工程師等工作人員，定期檢驗並執行有關水源、淨水流程及整個配水管網系統之水質改善研究，共執行 50 萬個以上樣品超過 32 萬項檢驗分析測試。

水質中心組織架構與職責

水質中心是供水系統營運部門(WSO)下所轄屬的單位之一，而供水系統營運部門(WSO)的目標是以具成本效益競爭力和環境負責的態度來處理和供應穩定高品質的原清水至南加州大都會水務署(MWDSC)所屬的會員機構。而水質中心的角色和主要責任則是確保達成南加州大都會水務署(MWDSC)的水質目標。為擔負此項責任，水質中心負責下

列工作項目：

1. 積極遵從聯邦政府、州政府和地方政府的法規要求。
2. 努力完成或超越相關水產業及客戶的期望。
3. 維持或改善水源地水質。
4. 回應有關加強淨水處理和配水管網系統改善的要求。
5. 預先主動監控檢測尚未管制的水中污染物含量。
6. 主動了解及更新相關資訊，並開發新興污染物的分析技術。

水質中心由三個單位組成：微生物學(Microbiology)、化學(Chemistry)和水質淨化(Water Purification)。藉由這三個單位通力合作，以提供供水系統營運部門(WSO)和南加州大都會水務署(MWDSC)技術和分析上的協助，共同解決微生物、化學和淨水處理問題。化學和微生物學單位負責的主要工作包括：法規性分析和報告、技術諮詢、專家及產業論壇演講、品保品管(QA/QC)分析結果，以及發展新的分析和監測方法，此外，亦有增加分析及品質控制上要求與自動化和線上監測技術相關需求。另外，水質淨化單位的工作是藉由改善水源水質、優化現有的淨水處理和配水流程，並發展未來淨水處理方案，以確保符合相關法規和客戶滿意度。

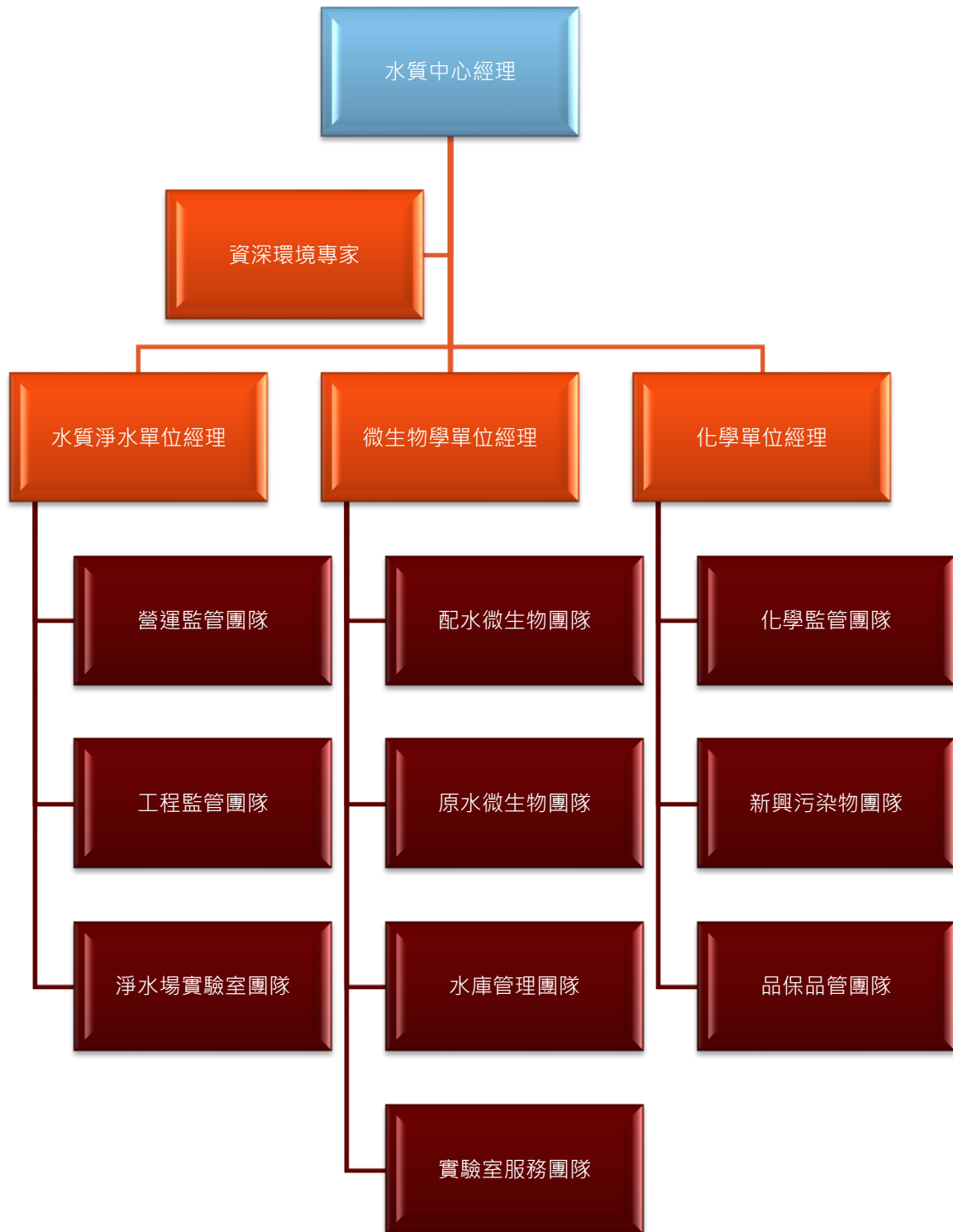


圖 34 南加州大都會水務署(MWDSC)水質中心組織圖(梁善博士提供)

水質中心與南加州大都會水務署(MWDSC)各單位部門、會員機構和相關政府監管部門密切合作，並持續增加水質採樣樣品、分析和報告數量，以作為南加州大都會水務署(MWDSC)回應新增強制性監測和報告的要求。

可以預期新的水質法規正不斷制定、提出及頒布的趨勢將持續下去。這些措施包括對特定水中污染物的規定和對淨水處理的要求，更嚴格的水質法規執行與提高水質和水量的需求進一步加重水質中心所擔負的責任。另外隨著媒體報導、娛樂業與廣告等管道，促使用戶認知水質問題，亦產生更多和更密集的服務需求。

目前水質中心正在進行水質問題包括：

1. 監控達到 100%符合聯邦政府和州政府飲用水法規標準的要求。
2. 透過調查和保護河川流域來保障水源安全。
3. 透過優化淨水處理流程、增加淨水處理的穩定性，以及發展更具成本效益的淨水處理技術，來改善飲用水的水質。
4. 在移除水中微生物污染物與減少消毒副產物生成之間取得平衡點。
5. 開發監測和控制水中化學污染物含量(例如過氯酸、六價鉻、砷、甲基第三丁基醚和 NDMA 等)及微生物(例如隱孢子蟲、鞭毛蟲和腸道病毒等病原體與天然存在的毒素)且具有成本效益的方法。
6. 監控和管理侵入的貽貝以減少對於南加州大都會水務署(MWDSC)營運的衝擊。
7. 改善南加州大都會水務署(MWDSC)供水中味道、氣味、透明度及鹽度，以滿足客戶的期望。
8. 加強威脅評估、辨識工具和分析方法等措施，來防止惡意污染水源。

飲用水條例

為因應通過安全飲用水法案(Safe Drinking Water Act, SDWA)，南加州大都會水務署(MWDSC)於 1974 年成立水質和研究部門(後改制為水質中心)。並從 1974 年由

20 項水質法規標準的 12 名工作人員，逐步增加水質中心工作人員編制。而管理飲用水的水質法規項目已經從 1914 年的 2 項增加到 2015 年超過 120 項，這個數字在未來幾乎可以肯定會隨著公眾和行政監管部門發現到飲用水中其他的潛在有害成分而增加，而為遵守法規要求所需的執行分析人員、相對應的檢測設備和足夠的實驗室用品勢必跟著增加，以確保持續符合所有法規要求和水質挑戰。

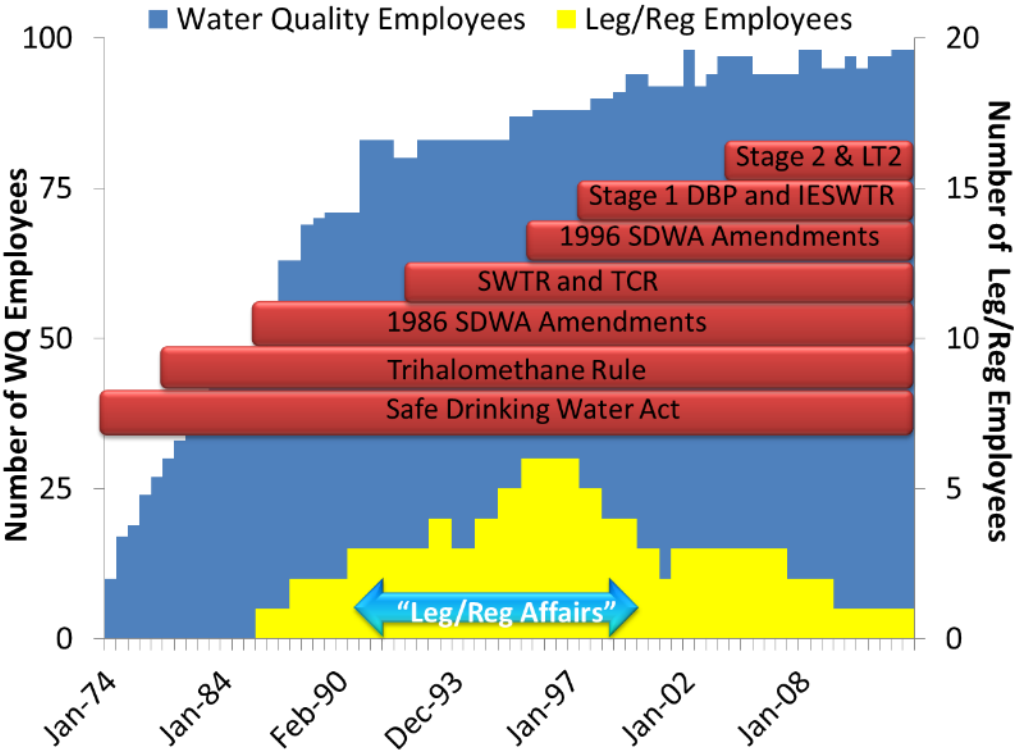


圖 35 南加州大都會水務署(MWDSC)水質中心員工與法規標準項目變化(梁善博士提供)

安全飲用水法（SDWA）管理飲用水安全，其原本制定頒布於 1974 年，並分別於 1986 年和 1996 年修訂。其行政監管標準是由美國環保署(USEPA)經由國家一級及二級飲用水標準法規(National Primary and Secondary Drinking Water Regulations)程序訂定。在州政府規定部分，公眾健康則由州飲用水標準法規(State Drinking Water Regulations)所規範，其代碼為加州法規碼(COR)第 22 號。

除了安全飲用水法規，南加州大都會水務署(MWDSC)也受到涵蓋入侵物種的加州漁獵法規(COR 代碼為第 14 號)，以及涵蓋危險物質處理工作場所的法規(COR 代碼為第 8 號)所管轄。新法規和監控要求可經由一連串包括美國環保署(USEPA)6 年審查程序、非常規污染物監控規則 (Unregulated Contaminants Monitoring Rule, UCMR)、污染物候選清單 (Contaminant Candidate List, CCL) 或國會授權給美國環保局而增加。

對於很多在過去 40 年水質法規的修正主要是由腸道致病菌和含氯消毒副產物驅動。但是，在過去的 15 年中，含氯消毒副產物、外來物種入侵、藻毒素、藥物和內分泌干擾素也已經成為南加州大都會水務署(MWDSC)和產業界所關注的目標。

二、美國自來水水質標準訂定程序(Drinking Water Contaminants - Standards and Regulations)

美國環境保護署（USEPA）為確保飲用水中污染物含量及種類，所以針對公共供水系統之飲用水制定特定污染物含量制定範圍區間，而這些污染物標準是依據「安全飲用水法案」（SDWA）所訂定。美國環境保護署(USEPA)與州政府、社區以及許多其他夥伴合作，以落實安全飲用水法(SDWA)的規定，並保護公眾健康。

「安全飲用水法案」（SDWA）可追溯至 1974 年由美國國會制定並分別於 1986 年和 1996 年重新修訂，其為主要聯邦法律，用來確保美國人飲用水的品質，為防止水中天然或人為污染物對健康所造成的影響，法案授權美國環保署(USEPA)制定國家飲用水標準，並由美國環保署(USEPA)與各州政府、地方政府及供水業者共同遵守。

另外飲用水標準只適用於公共供水系統(不含私人水井)，公共供水系統是指那些具有至少 15 個以上連接服務或於一年內供應至少 25 人達 60 天以上。目前全美國共有超過 15 萬個公共供水系統供應 3 億人以上用水。公共供水系統可分為三種類型，第一種為社區型供水系統（Community Water Systems, CWSs），係指常年供應相同人口用水（例如：房屋、公寓大樓等），約有 52,000 個系統供應美國主要人口。第二種為非短期之非社區型供水系統（Non-Transient Non-Community Water Systems, NTNCWSs），係指一年中供應相同人口六個月以上未達一年用水（例如：學校、工廠、教堂、辦公室等），約有 85,000 個系統。第三種為短期之非社區型供水系統（Transient Non-Community Water System, TNCWS），係指短期供應用水（例如：加油站、露營地），約有 18,000 系統。而飲用水標準可以依據公共供水系統類型和大小的不同施

行。

有關「安全飲用水法案」(SDWA)所要求飲用水污染物標準的訂定過程如下：

1. 建立污染物候選清單 (Contaminant Candidate List, CCL)：要求美國環保署 (USEPA) 制定飲水中已知或可能出現但尚未受管制的污染物清單，並定期每 5 年發布更新。
2. 決定受管制的污染物候選清單 (CCL)：要求美國環保署 (USEPA) 每五年定期決定 5 個以上之污染物候選清單 (CCL) 污染物是否納入飲用水標準規範。決定的標準包含三個：對人體健康有不利的影響的污染物、在公共供水系統中已知或可能出現且為公眾所關心污染物、對於減少健康風險有顯著的機會的污染物。
3. 未管制的污染物監測：要求美國環保署 (USEPA) 制定標準程序 (Unregulated Contaminant Monitoring Rule, UCMR)，每五年定期監控至少 30 個未受管制的污染物。
4. 監管進程序：若美國環保署 (USEPA) 經由監管決定程序來決定管制的污染物，則美國環保署 (USEPA) 可有 24 個月的時間提議管制和 18 個月的時間確定管制，而「安全飲用水法」(SDWA) 要求在標準制定過程中進行大量因素的評估。
5. 每六年度重新檢視：美國環保署 (USEPA) 應每六年重新審查每個標準規範，並適時修訂標準。所有修訂必須保持或改善公眾健康。而且，如果修訂標準規範，則美國環保署 (USEPA) 亦需重新在標準制定過程中進行大量因素的評估。

6. 建立國家污染事件資料庫 (NCOD)：要求美國環保署(USEPA) 於公共供水系統中收集管制和未管制污染物分析資料，並建立國家生活飲用水污染事件資料庫。

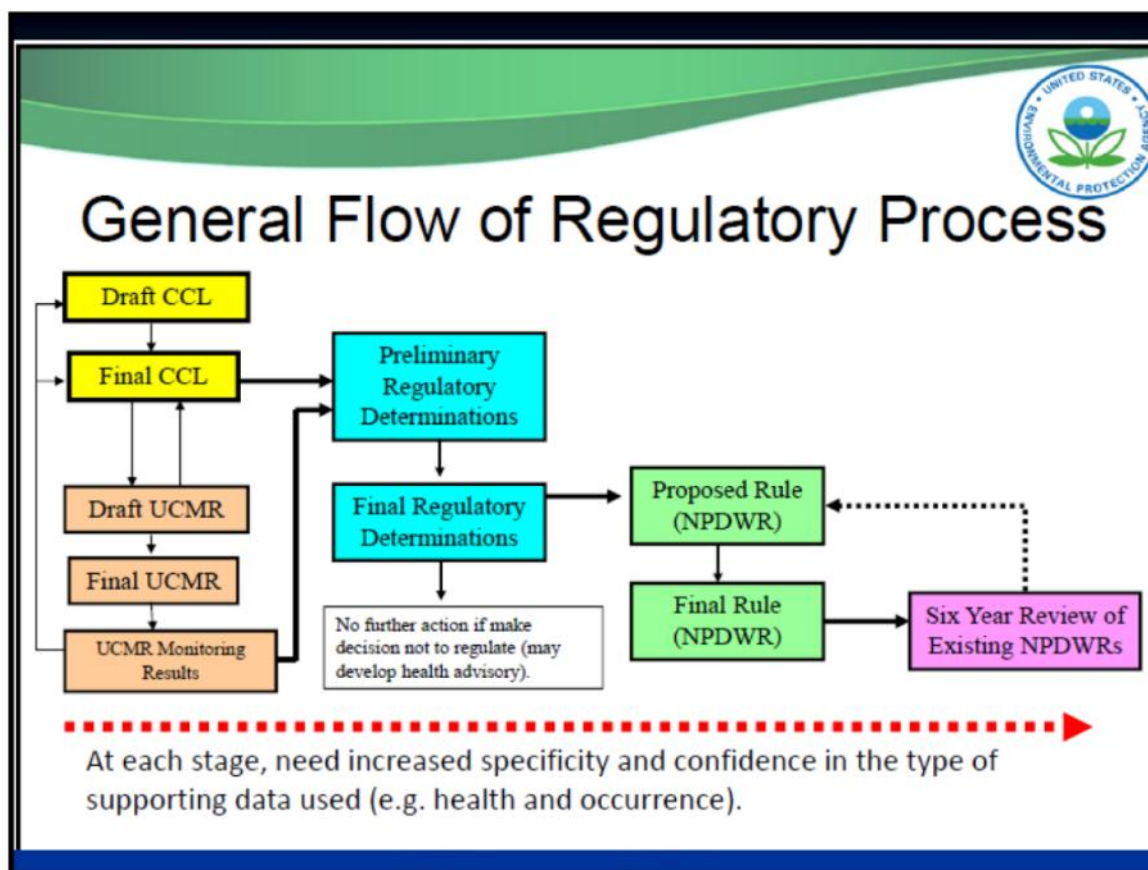


圖 36 美國環保署(USEPA)水質標準規範訂定流程圖

表 5 美國國家一級飲用水污染物管制標準(NPDWRs 或 primary standards) (截取自美國環保署(USEPA)網頁資料)

微生物				
污染物項目	污染物最大容許濃度目標值 MCLG(mg/L)	污染物最大容許濃度 MCL 或可處理技術 TT(mg/L)	長期超過 MCL 以上之可能健康風險	飲用水中污染物來源
<i>Cryptosporidium</i>	zero	TT ³	Gastrointestinal illness (such as diarrhea, vomiting, and cramps)	Human and animal fecal waste
<i>Giardia lamblia</i>	zero	TT ³	Gastrointestinal illness (such as diarrhea, vomiting, and cramps)	Human and animal fecal waste
<u>Heterotrophic plate count (HPC)</u>	n/a	TT ³	HPC has no health effects; it is an analytic method used to measure the variety of bacteria that are common in water. The lower the concentration of bacteria in drinking water, the better maintained the water system is.	HPC measures a range of bacteria that are naturally present in the environment
<i>Legionella</i>	zero	TT ³	Legionnaire's Disease, a type of pneumonia	Found naturally in water; multiplies in heating systems
<u>Total Coliforms (including fecal coliform and <i>E. Coli</i>)</u>	zero	5.0% ⁴	Not a health threat in itself; it is used to indicate whether other	Coliforms are naturally present in the environment; as

微生物				
污染物項目	污染物最大容許濃度目標值 MCLG(mg/L)	污染物最大容許濃度 MCL 或可處理技術 TT(mg/L)	長期超過 MCL 以上之可能健康風險	飲用水中污染物來源
			potentially harmful bacteria may be present ⁵	well as feces; fecal coliforms and <i>E. coli</i> only come from human and animal fecal waste.
<u>Turbidity</u>	n/a	TT ³	Turbidity is a measure of the cloudiness of water. It is used to indicate water quality and filtration effectiveness (such as whether disease-causing organisms are present). Higher turbidity levels are often associated with higher levels of disease-causing microorganisms such as viruses, parasites and some bacteria. These organisms can cause symptoms such as nausea, cramps, diarrhea, and associated headaches.	Soil runoff

微生物				
污染物項目	污染物最大容許濃度目標值 MCLG(mg/L)	污染物最大容許濃度 MCL 或可處理技術 TT(mg/L)	長期超過 MCL 以上之可能健康風險	飲用水中污染物來源
<u>Viruses</u> (enteric)	zero	TT ³	Gastrointestinal illness (such as diarrhea, vomiting, and cramps)	Human and animal fecal waste

消毒副產物				
污染物項目	污染物最大容許濃度目標值 MCLG(mg/L)	污染物最大容許濃度 MCL 或可處理技術 TT(mg/L)	長期超過 MCL 以上之可能健康風險	飲用水中污染物來源
<u>Bromate</u>	zero	0.010	Increased risk of cancer	Byproduct of drinking water disinfection
<u>Chlorite</u>	0.8	1.0	Anemia; infants and young children: nervous system effects	Byproduct of drinking water disinfection
<u>Haloacetic acids (HAA5)</u>	n/a ⁶	0.060	Increased risk of cancer	Byproduct of drinking water disinfection
<u>Total Trihalomethanes (TTHMs)</u>	--> n/a ⁶	=====>--> -> 0.080	Liver, kidney or central nervous system problems; increased risk of cancer	Byproduct of drinking water disinfection

消毒藥劑				
污染物項目	污染物最大容許濃度目標值 MCLG(mg/L)	污染物最大容許濃度 MCL 或可處理技術 TT(mg/L)	長期超過 MCL 以上之可能健康風險	飲用水中污染物來源
<u>Chloramines (as Cl₂)</u>	MRDLG=4 ¹	MRDL=4.0 ¹	Eye/nose irritation; stomach discomfort, anemia	Water additive used to control microbes
<u>Chlorine (as Cl₂)</u>	MRDLG=4 ¹	MRDL=4.0 ¹	Eye/nose irritation; stomach discomfort	Water additive used to control microbes
<u>Chlorine dioxide (as ClO₂)</u>	MRDLG=0.8 ¹	MRDL=0.8 ¹	Anemia; infants and young children: nervous system effects	Water additive used to control microbes

無機物				
污染物項目	污染物最大容許濃度目標值 MCLG(mg/L)	污染物最大容許濃度 MCL 或可處理技術 TT(mg/L)	長期超過 MCL 以上之可能健康風險	飲用水中污染物來源
<u>Antimony</u>	0.006	0.006	Increase in blood cholesterol; decrease in blood sugar	Discharge from petroleum refineries; fire retardants; ceramics; electronics; solder
<u>Arsenic</u>	0	0.010 as of 01/23/06	Skin damage or problems with circulatory systems, and may have	Erosion of natural deposits; runoff from orchards,

無機物				
污染物項目	污染物最大容許濃度目標值 MCLG(mg/L)	污染物最大容許濃度 MCL 或可處理技術 TT(mg/L)	長期超過 MCL 以上之可能健康風險	飲用水中污染物來源
			increased risk of getting cancer	runoff from glass and electronics production wastes
<u>Asbestos (fiber > 10 micrometers)</u>	7 million fibers per liter (MFL)	7 MFL	Increased risk of developing benign intestinal polyps	Decay of asbestos cement in water mains; erosion of natural deposits
<u>Barium</u>	2	2	Increase in blood pressure	Discharge of drilling wastes; discharge from metal refineries; erosion of natural deposits
<u>Beryllium</u>	0.004	0.004	Intestinal lesions	Discharge from metal refineries and coal-burning factories; discharge from electrical, aerospace, and defense industries

無機物				
污染物項目	污染物最大容許濃度目標值 MCLG(mg/L)	污染物最大容許濃度 MCL 或可處理技術 TT(mg/L)	長期超過 MCL 以上之可能健康風險	飲用水中污染物來源
<u>Cadmium</u>	0.005	0.005	Kidney damage	Corrosion of galvanized pipes; erosion of natural deposits; discharge from metal refineries; runoff from waste batteries and paints
<u>Chromium (total)</u>	0.1	0.1	Allergic dermatitis	Discharge from steel and pulp mills; erosion of natural deposits
<u>Copper</u>	1.3	TT ² ; Action Level=1.3	Short term exposure: Gastrointestinal distress Long term exposure: Liver or kidney damage People with Wilson's Disease should consult their personal doctor if the amount of copper in their water exceeds the action level	Corrosion of household plumbing systems; erosion of natural deposits

無機物				
污染物項目	污染物最大容許濃度目標值 MCLG(mg/L)	污染物最大容許濃度 MCL 或可處理技術 TT(mg/L)	長期超過 MCL 以上之可能健康風險	飲用水中污染物來源
<u>Cyanide (as free cyanide)</u>	0.2	0.2	Nerve damage or thyroid problems	Discharge from steel/metal factories; discharge from plastic and fertilizer factories
<u>Fluoride</u>	4.0	4.0	Bone disease (pain and tenderness of the bones); Children may get mottled teeth	Water additive which promotes strong teeth; erosion of natural deposits; discharge from fertilizer and aluminum factories
<u>Lead</u>	zero	TT ² ; Action Level=0.015	Infants and children: Delays in physical or mental development; children could show slight deficits in attention span and learning abilities Adults: Kidney problems; high blood pressure	Corrosion of household plumbing systems; erosion of natural deposits
<u>Mercury (inorganic)</u>	0.002	0.002	Kidney damage	Erosion of natural deposits;

無機物				
污染物項目	污染物最大容許濃度目標值 MCLG(mg/L)	污染物最大容許濃度 MCL 或可處理技術 TT(mg/L)	長期超過 MCL 以上之可能健康風險	飲用水中污染物來源
				discharge from refineries and factories; runoff from landfills and croplands
<u>Nitrate</u> (measured as <u>Nitrogen</u>)	10	10	Infants below the age of six months who drink water containing nitrate in excess of the MCL could become seriously ill and, if untreated, may die. Symptoms include shortness of breath and blue-baby syndrome.	Runoff from fertilizer use; leaking from septic tanks, sewage; erosion of natural deposits
<u>Nitrite</u> (measured as <u>Nitrogen</u>)	1	1	Infants below the age of six months who drink water containing nitrite in excess of the MCL could become seriously ill and, if untreated, may die. Symptoms include shortness of breath and blue-baby syndrome.	Runoff from fertilizer use; leaking from septic tanks, sewage; erosion of natural deposits

無機物				
污染物項目	污染物最大容許濃度目標值 MCLG(mg/L)	污染物最大容許濃度 MCL 或可處理技術 TT(mg/L)	長期超過 MCL 以上之可能健康風險	飲用水中污染物來源
<u>Selenium</u>	0.05	0.05	Hair or fingernail loss; numbness in fingers or toes; circulatory problems	Discharge from petroleum refineries; erosion of natural deposits; discharge from mines
<u>Thallium</u>	0.0005	0.002	Hair loss; changes in blood; kidney, intestine, or liver problems	Leaching from ore-processing sites; discharge from electronics, glass, and drug factories

有機物				
污染物項目	污染物最大容許濃度目標值 MCLG(mg/L)	污染物最大容許濃度 MCL 或可處理技術 TT(mg/L)	長期超過 MCL 以上之可能健康風險	飲用水中污染物來源
<u>Acrylamide</u>	zero	TT ^s	Nervous system or blood problems; increased risk of cancer	Added to water during sewage/wastewater treatment
<u>Alachlor</u>	zero	0.002	Eye, liver, kidney or spleen problems; anemia; increased risk of cancer	Runoff from herbicide used on row crops

有機物				
污染物項目	污染物最大容許濃度目標值 MCLG(mg/L)	污染物最大容許濃度 MCL 或可處理技術 TT(mg/L)	長期超過 MCL 以上之可能健康風險	飲用水中污染物來源
<u>Atrazine</u>	0.003	0.003	Cardiovascular system or reproductive problems	Runoff from herbicide used on row crops
<u>Benzene</u>	zero	0.005	Anemia; decrease in blood platelets; increased risk of cancer	Discharge from factories; leaching from gas storage tanks and landfills
<u>Benzo(a)pyrene (PAHs)</u>	zero	0.0002	Reproductive difficulties; increased risk of cancer	Leaching from linings of water storage tanks and distribution lines
<u>Carbofuran</u>	0.04	0.04	Problems with blood, nervous system, or reproductive system	Leaching of soil fumigant used on rice and alfalfa
<u>Carbon tetrachloride</u>	zero	0.005	Liver problems; increased risk of cancer	Discharge from chemical plants and other industrial activities
<u>Chlordane</u>	zero	0.002	Liver or nervous system problems; increased risk of cancer	Residue of banned termiticide

有機物				
污染物項目	污染物最大容許濃度目標值 MCLG(mg/L)	污染物最大容許濃度 MCL 或可處理技術 TT(mg/L)	長期超過 MCL 以上之可能健康風險	飲用水中污染物來源
<u>Chlorobenzene</u>	0.1	0.1	Liver or kidney problems	Discharge from chemical and agricultural chemical factories
<u>2,4-D</u>	0.07	0.07	Kidney, liver, or adrenal gland problems	Runoff from herbicide used on row crops
<u>Dalapon</u>	0.2	0.2	Minor kidney changes	Runoff from herbicide used on rights of way
<u>1,2-Dibromo-3-chloropropane (DBCP)</u>	zero	0.0002	Reproductive difficulties; increased risk of cancer	Runoff/leaching from soil fumigant used on soybeans, cotton, pineapples, and orchards
<u>o-Dichlorobenzene</u>	0.6	0.6	Liver, kidney, or circulatory system problems	Discharge from industrial chemical factories
<u>p-Dichlorobenzene</u>	0.075	0.075	Anemia; liver, kidney or spleen damage; changes in blood	Discharge from industrial chemical factories
<u>1,2-Dichloroethane</u>	zero	0.005	Increased risk of cancer	Discharge from industrial

有機物				
污染物項目	污染物最大容許濃度目標值 MCLG(mg/L)	污染物最大容許濃度 MCL 或可處理技術 TT(mg/L)	長期超過 MCL 以上之可能健康風險	飲用水中污染物來源
				chemical factories
<u>1,1-Dichloroethylene</u>	0.007	0.007	Liver problems	Discharge from industrial chemical factories
<u>cis-1,2-Dichloroethylene</u>	0.07	0.07	Liver problems	Discharge from industrial chemical factories
<u>trans-1,2-Dichloroethylene</u>	0.1	0.1	Liver problems	Discharge from industrial chemical factories
<u>Dichloromethane</u>	zero	0.005	Liver problems; increased risk of cancer	Discharge from drug and chemical factories
<u>1,2-Dichloropropane</u>	zero	0.005	Increased risk of cancer	Discharge from industrial chemical factories
<u>Di(2-ethylhexyl) adipate</u>	0.4	0.4	Weight loss, liver problems, or possible reproductive difficulties.	Discharge from chemical factories

有機物				
污染物項目	污染物最大容許濃度目標值 MCLG(mg/L)	污染物最大容許濃度 MCL 或可處理技術 TT(mg/L)	長期超過 MCL 以上之可能健康風險	飲用水中污染物來源
<u>Di(2-ethylhexyl) phthalate</u>	zero	0.006	Reproductive difficulties; liver problems; increased risk of cancer	Discharge from rubber and chemical factories
<u>Dinoseb</u>	0.007	0.007	Reproductive difficulties	Runoff from herbicide used on soybeans and vegetables
<u>Dioxin (2,3,7,8-TCDD)</u>	zero	0.00000003	Reproductive difficulties; increased risk of cancer	Emissions from waste incineration and other combustion; discharge from chemical factories
<u>Diquat</u>	0.02	0.02	Cataracts	Runoff from herbicide use
<u>Endothall</u>	0.1	0.1	Stomach and intestinal problems	Runoff from herbicide use
<u>Endrin</u>	0.002	0.002	Liver problems	Residue of banned insecticide
<u>Epichlorohydrin</u>	zero	TT [§]	Increased cancer risk, and over a long period of time, stomach problems	Discharge from industrial chemical factories; an impurity of some water

有機物				
污染物項目	污染物最大容許濃度目標值 MCLG(mg/L)	污染物最大容許濃度 MCL 或可處理技術 TT(mg/L)	長期超過 MCL 以上之可能健康風險	飲用水中污染物來源
				treatment chemicals
<u>Ethylbenzene</u>	0.7	0.7	Liver or kidneys problems	Discharge from petroleum refineries
<u>Ethylene dibromide</u>	zero	0.00005	Problems with liver, stomach, reproductive system, or kidneys; increased risk of cancer	Discharge from petroleum refineries
<u>Glyphosate</u>	0.7	0.7	Kidney problems; reproductive difficulties	Runoff from herbicide use
<u>Heptachlor</u>	zero	0.0004	Liver damage; increased risk of cancer	Residue of banned termiticide
<u>Heptachlor epoxide</u>	zero	0.0002	Liver damage; increased risk of cancer	Breakdown of heptachlor
<u>Hexachlorobenzene</u>	zero	0.001	Liver or kidney problems; reproductive difficulties; increased risk of cancer	Discharge from metal refineries and agricultural chemical factories
<u>Hexachlorocyclopentadiene</u>	0.05	0.05	Kidney or stomach problems	Discharge from chemical factories

有機物				
污染物項目	污染物最大容許濃度目標值 MCLG(mg/L)	污染物最大容許濃度 MCL 或可處理技術 TT(mg/L)	長期超過 MCL 以上之可能健康風險	飲用水中污染物來源
<u>Lindane</u>	0.0002	0.0002	Liver or kidney problems	Runoff/leaching from insecticide used on cattle, lumber, gardens
<u>Methoxychlor</u>	0.04	0.04	Reproductive difficulties	Runoff/leaching from insecticide used on fruits, vegetables, alfalfa, livestock
<u>Oxamyl (Vydate)</u>	0.2	0.2	Slight nervous system effects	Runoff/leaching from insecticide used on apples, potatoes, and tomatoes
<u>Polychlorinated biphenyls (PCBs)</u>	zero	0.0005	Skin changes; thymus gland problems; immune deficiencies; reproductive or nervous system difficulties; increased risk of cancer	Runoff from landfills; discharge of waste chemicals
<u>Pentachlorophenol</u>	zero	0.001	Liver or kidney problems; increased cancer risk	Discharge from wood preserving factories

有機物				
污染物項目	污染物最大容許濃度目標值 MCLG(mg/L)	污染物最大容許濃度 MCL 或可處理技術 TT(mg/L)	長期超過 MCL 以上之可能健康風險	飲用水中污染物來源
<u>Picloram</u>	0.5	0.5	Liver problems	Herbicide runoff
<u>Simazine</u>	0.004	0.004	Problems with blood	Herbicide runoff
<u>Styrene</u>	0.1	0.1	Liver, kidney, or circulatory system problems	Discharge from rubber and plastic factories; leaching from landfills
<u>Tetrachloroethylene</u>	zero	0.005	Liver problems; increased risk of cancer	Discharge from factories and dry cleaners
<u>Toluene</u>	1	1	Nervous system, kidney, or liver problems	Discharge from petroleum factories
<u>Toxaphene</u>	zero	0.003	Kidney, liver, or thyroid problems; increased risk of cancer	Runoff/leaching from insecticide used on cotton and cattle
<u>2,4,5-TP (Silvex)</u>	0.05	0.05	Liver problems	Residue of banned herbicide
<u>1,2,4-Trichlorobenzene</u>	0.07	0.07	Changes in adrenal glands	Discharge from textile finishing factories

有機物				
污染物項目	污染物最大容許濃度目標值 MCLG(mg/L)	污染物最大容許濃度 MCL 或可處理技術 TT(mg/L)	長期超過 MCL 以上之可能健康風險	飲用水中污染物來源
<u>1,1,1-Trichloroethane</u>	0.20	0.2	Liver, nervous system, or circulatory problems	Discharge from metal degreasing sites and other factories
<u>1,1,2-Trichloroethane</u>	0.003	0.005	Liver, kidney, or immune system problems	Discharge from industrial chemical factories
<u>Trichloroethylene</u>	zero	0.005	Liver problems; increased risk of cancer	Discharge from metal degreasing sites and other factories
<u>Vinyl chloride</u>	zero	0.002	Increased risk of cancer	Leaching from PVC pipes; discharge from plastic factories
<u>Xylenes (total)</u>	10	10	Nervous system damage	Discharge from petroleum factories; discharge from chemical factories

放射物質				
污染物項目	污染物最大容許濃度目標值 MCLG(mg/L)	污染物最大容許濃度 MCL 或可處理技術 TT(mg/L)	長期超過 MCL 以上之可能健康風險	飲用水中污染物來源
<u>Alpha particles</u>	none ² ----- ----- zero	15 picocuries per Liter (pCi/L)	Increased risk of cancer	Erosion of natural deposits of certain minerals that are radioactive and may emit a form of radiation known as alpha radiation
<u>Beta particles and photon emitters</u>	none ² ----- ----- zero	4 millirems per year	Increased risk of cancer	Decay of natural and man-made deposits of certain minerals that are radioactive and may emit forms of radiation known as photons and beta radiation
<u>Radium 226 and Radium 228 (combined)</u>	none ² ----- ----- zero	5 pCi/L	Increased risk of cancer	Erosion of natural deposits
<u>Uranium</u>	zero	30 ug/L as of 12/08/03	Increased risk of cancer, kidney toxicity	Erosion of natural deposit

表 6 美國國家二級飲用水污染物管制標準(截取自美國環保署(USEPA)網頁資料)

污染物項目	第二級污染物最大容許濃度 MCL	超過第二級污染物最大容許濃度 MCL 對水質之影響
Aluminum	0.05 to 0.2 mg/L*	colored water
Chloride	250 mg/L	salty taste
Color	15 color units	visible tint
Copper	1.0 mg/L	metallic taste; blue-green staining
Corrosivity	Non-corrosive	metallic taste; corroded pipes/ fixtures staining
Fluoride	2.0 mg/L	tooth discoloration
Foaming agents	0.5 mg/L	frothy, cloudy; bitter taste; odor
Iron	0.3 mg/L	rusty color; sediment; metallic taste; reddish or orange staining
Manganese	0.05 mg/L	black to brown color; black staining; bitter metallic taste
Odor	3 TON (threshold odor number)	"rotten-egg", musty or chemical smell
pH	6.5 - 8.5	low pH: bitter metallic taste; corrosion high pH: slippery feel; soda taste; deposits
Silver	0.1 mg/L	skin discoloration; graying of the white part of the eye
Sulfate	250 mg/L	salty taste
Total Dissolved Solids (TDS)	500 mg/L	hardness; deposits; colored water; staining; salty taste
Zinc	5 mg/L	metallic taste

三、南加州自來水的困境與展望

加州水計畫

在加州地區有超過 35 座聯邦政府所資助建立的水壩、水庫和運河，其中最大項目是從 Shasta 水壩起至 San Joaquin Valley 間的 Central Valley 計畫。另外，加州水計畫(SWP)從北加州到南加州長度超過 600 英里，許多城市和地方機構透過當地開發計畫提供水源，其中包括舊金山 Hetch Hetchy 計畫、洛杉磯運河和科羅拉多河運河等。

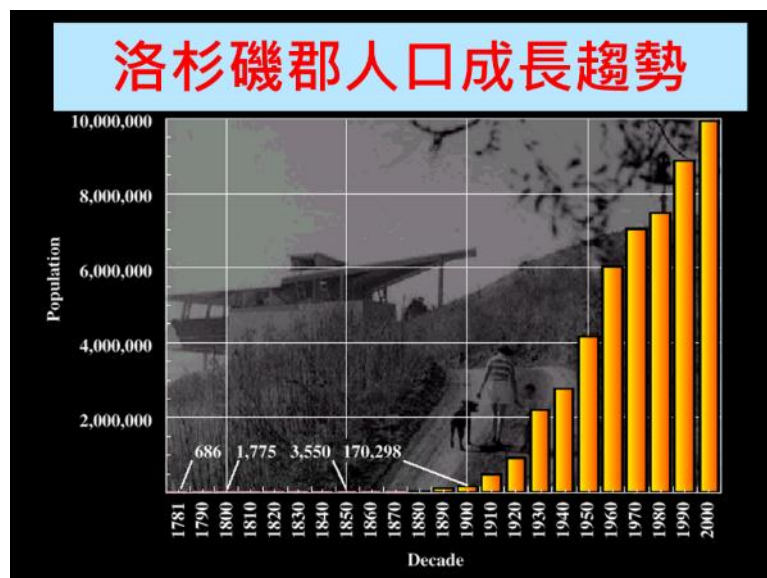


圖 37 洛杉磯郡人口成長趨勢圖(溫俊山博士提供)

南加州地區屬於半沙漠乾燥氣候，年降雨量(約 8~14 英吋)稀少，過去 100 年間人口成長約 58 倍，以致於當地水源不足以供應居民日常所需，所以目前主要水源係依靠三條運河供應，分別為洛杉磯運河、加州運河及科羅拉多運河。

洛杉磯郡 2/3 用水量來自北加州及科羅拉多河引進；剩餘 1/3 用水量來自當地地下水井，惟引進水量因水源地用水量增加而減少，故逐漸面臨缺水危機。



圖 38 南加州地區三大供水運河(截取自 LADWP 網頁資料)



圖 39 加州運河(溫俊山博士提供)



圖 40 南加州地區水源供應來源示意圖(溫俊山博士提供)

水源供應

加州降雨量和徑流量變化幅度非常大，歷經洪水年後通常為旱災年，再接著幾年的「正常」年。平均每年約 50%至 60%的雨和雪蒸發、被植物吸收或流出加州，其餘徑流流入河流、湖泊、水庫或供應補充地下水。全加州平均用水約 80%由地表水提供；約 20%來自地下水（地下水儲存在土壤顆粒和岩石間的空隙中）。在枯水年則抽取更多地下水，某一些乾旱地區會更依賴抽取地下水。

大部分關於加州水源的討論主要是來自 Sacramento-San Joaquin 三角洲地區，在廣達 1153 平方英里的地區涵蓋 Sacramento 和 San Joaquin 河交匯後流入舊金山灣的水道。三角洲地區亦稱為「switching yard」，包涵聯邦和加州水計畫，可為 20 萬以上人口提供飲用水與灌溉數百萬英畝的農田。三角洲地區也是美國西海岸最大的河口，擁有數以百計的鳥類和幾十種魚類，其中包括經由三角洲地區遷移到大海的鮭魚和三角洲地區當地胡瓜魚(smelt)魚種，這些鮭魚和胡瓜魚屬於瀕危物種。

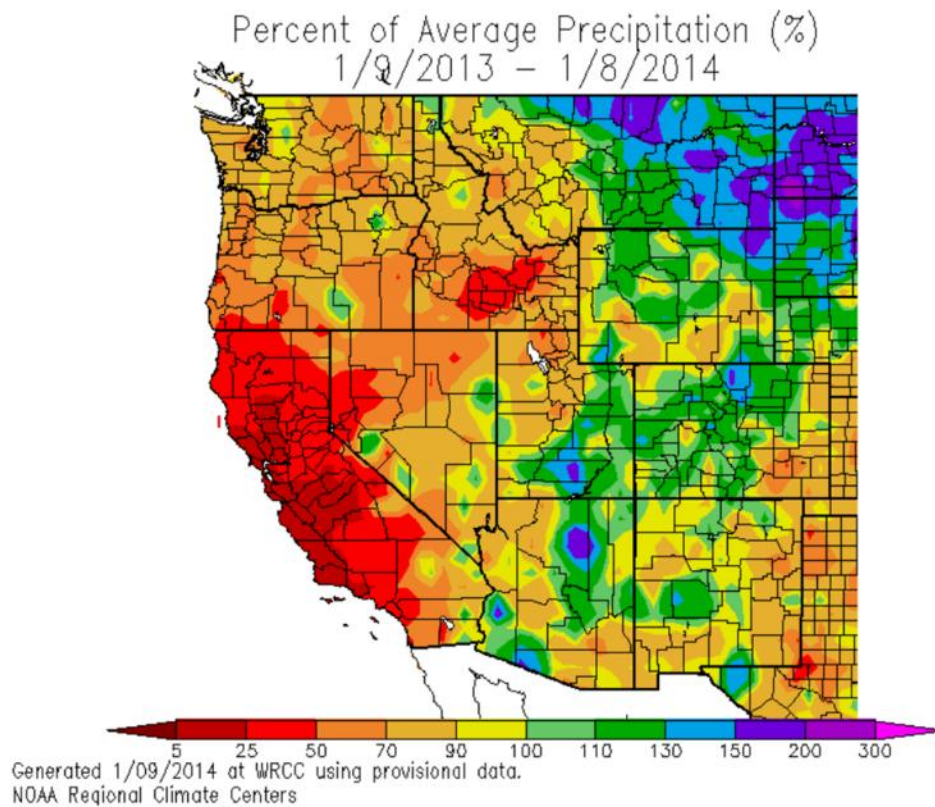


圖 41 2013 年美國國家海洋和大氣管理局(NOAA)西部地區氣象中心(WRCC)統計 2013 年平均降雨情形(溫俊山博士提供)



圖 42 Oroville 湖的乾旱情形(溫俊山博士提供)

加州地區因近年來遭遇史上最嚴重的乾旱季節，所以除了積極推廣各項節約用水措施(如減少沖馬桶次數、減少淋浴用水量、改用人工草皮等)，廢水回收補充地下水源亦成為主要可利用的水資源。有關地下水補充水量的權責單位係由 1958 年成立的南

加州水補注署(Water Replenishment District of Southern California, WRD)負責，以管理和保護地下水資源(後續補充說明)。

水源利用

總體水資源利用是依據每年徑流量波動而改變，平均每年所開發供應的水資源中 11%是用於住宅、商業和工業；41%用於灌溉農場。平均每年 48%為環境水帳戶(水壩或水庫貯水)，但大部分這些水隨後被轉用至供應城市和農業需求，環境所獲得的水源包括由三角洲地區流入海洋的河流和用來保持沿途的「野生動物和河流風景」。

野生動物和河流風景

在 1972 年，加州議會通過野生動物和河流風景區法案，限制開發北部海岸河流，保持加州四分之一未開發水源應維持在其自然狀態下。該法除了滿足當地需求外，禁止在部分或整個河流流域設置水壩或設施，這些國家指定的河流隨後劃歸於聯邦野生動物和河流風景保護區。

科羅拉多河

加州與其他六個州及墨西哥共享科羅拉多河。加州每年獲得 440 萬畝-英呎(AF)的水量，大部分用於加州的東南部作物灌溉。這條河也是南加州城市社區的重要水源。

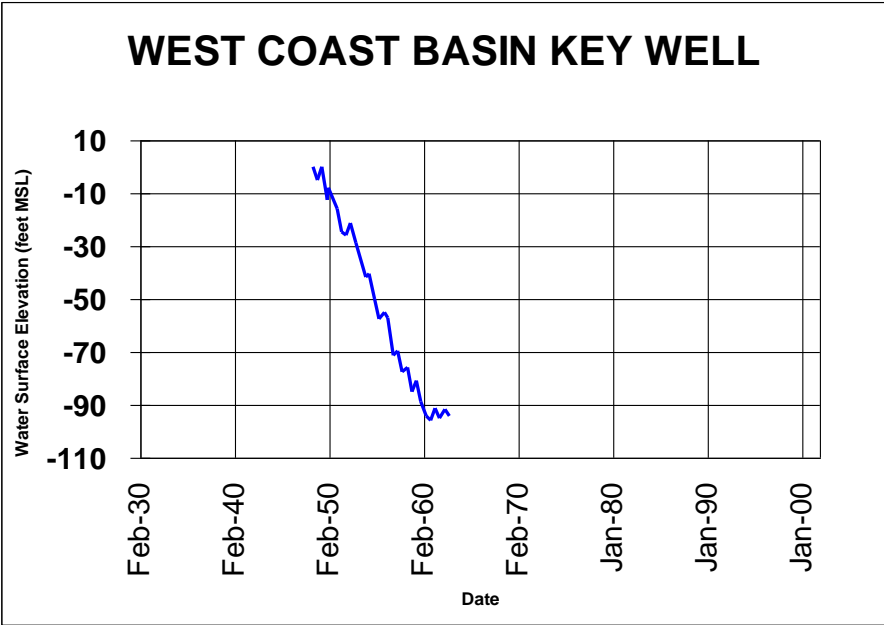
南加州水補注署(Water Replenishment District of Southern California, WRD)

為保護中西海岸地下水蓄水塘的地下水資源，居民於 1959 年經由投票成立南加州水補注署(WRD)。南加州水補注署(Water Replenishment District of Southern California, WRD)目前是加州最大的地下水機構，並僅次於南加州大都會水務署(MWDSC)，為加州第二大的水務機構。為居住在洛杉磯郡南半部 420 平方英里內 43 個

城市的全郡一半人口或加州 10% 以上的總人口(共約四百萬人)，負責管理和保護地下水資源。在這個區域內，年度用水需求量為 635000 畝-英呎(AF)，南加州水補注署(WRD)負責補注、管理和保護加州中西海岸兩座地下水蓄水塘。這兩座蓄水塘供應該地區約 250,000 畝-英呎(AF)地下水水量，佔總需水量 40%，剩下 60% 的需求主要是從環境敏感的三角洲地區和科羅拉多河的外來水源供應。然而，已經證實在極度乾旱條件下，引進外來水源不僅是一種成本昂貴的作法，而且容易受影響中斷。

在 1959 年南加州水補注署(WRD)成立前，無管制的過度超抽地下水造成許多水井乾涸，1950 至 1960 短短十年間，地下水位便迅速下降至海平面 90 英呎以下，且因地下水水位降低低於海平面，致使鹹海水滲入並污染淡水含水層。

圖 43 加州沿海地區主要地下水水位下降趨勢圖(溫俊山博士提供)



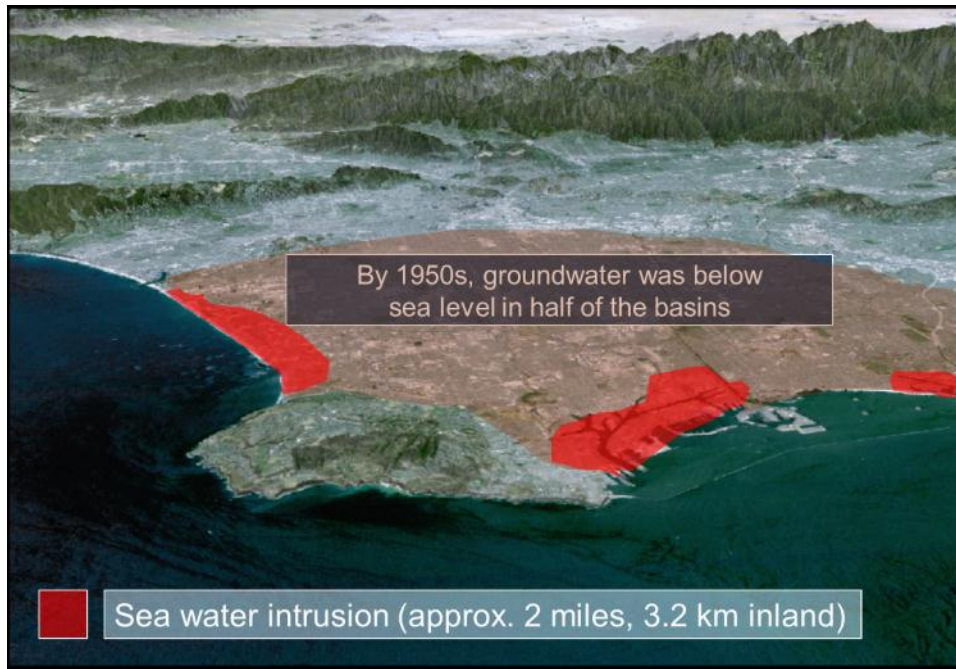


圖 44 加州沿海地區海水入侵示意圖(溫俊山博士提供)

如今，南加州水補注署(WRD)藉由人工補注地下水蓄水塘，確保地下水層保持健康水位，南加州水補注署(WRD)透過將水注入沿海岸水井，以防止海水污染乾淨的地下水層，並定期監測地下水，以確保水質符合所有健康標準。

不可否認地，當地需要可靠且持續性的水源已成為洛杉磯郡南部地區非常重要的課題。為加州當地社區提供可靠的供水和維持地區經濟，正面臨前所未有的挑戰。由於天氣乾旱、科羅拉多河乾涸、限制由三角洲地區抽水和其他環境因素等原因，南加州正面臨著空前的供水挑戰，如果忽視不管，可能會影響供水穩定性。

四、流導電流儀簡介

線上流導電流儀(Streaming Current Monitor, SCM)或桌上型流導電流儀(Streaming Current Detector, SCD)的主要特色是一個往復式活塞(如圖 45)，活塞的環形頂部和底部在兩個電極之間活動。主要特徵是在活塞和環形壁之間間隙，間距介於 0.005 吋至 0.010 吋之間，太小的間隙會導致讀數不穩定，太寬的間隙會導致

讀數過小。

流導電流儀(Streaming Current)主要測量因凡得瓦力(Van der Waals forces)吸附在活塞表面上微小離子粒子的淨電荷。吸附到活塞表面上的微小粒子，其所攜帶電荷稱為電雙層，電雙層可被視為是圍繞膠體粒子上的大氣層，其中緊靠於粒子表面附近的陽離子，就是所謂的「stern layer」，而其他鬆散連接於外層的陰離子則被稱為「diffuse layer」。活塞運動使水在穿過活塞表面的間隙間快速移動，而導致電雙層離子因在兩個電極間移動產生電位差。而這種活塞運動所產生的信號即為流動電流(Streaming Current)，圖 46、圖 47。隨著活塞上下運動，即產生一個正弦波形信號。儀器再將此波形信號轉換為流導電流讀數。當添加混凝劑至水中時，混凝劑陽離子與水中陰離子粒子產生電性中和(如圖 48)，使流導電流讀數減少。假如添加足夠的混凝劑，流導電流讀值最終會達到 0，即沒有任何波形信號出現。故可利用其特性作為混凝劑添加量適當與否的判斷。

在過去水中低濁度或高濃度天然有機物(NOM)常造成淨水場淨水操作困難，而加州許多淨水場(如本次參訪之 Benicia 淨水場、foothill 淨水場、Fairbairn 淨水場等)則藉由裝設線上流導電流儀(SCM)協助其判斷混凝劑添加量是否適當，尤其是當原水中濁度變化大或是需要加強混凝去除水中有機物的情況。本公司可參考作為瓶杯試驗(jar test)外的另一種選擇。

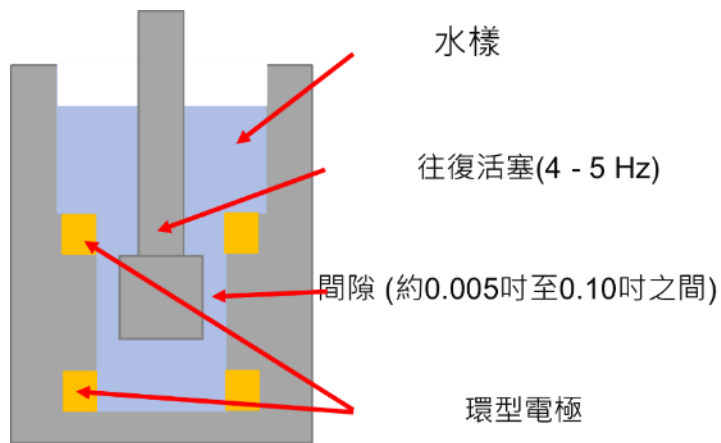


圖 45 流導電流儀組件結構說明(CHEMTRAC 公司提供)

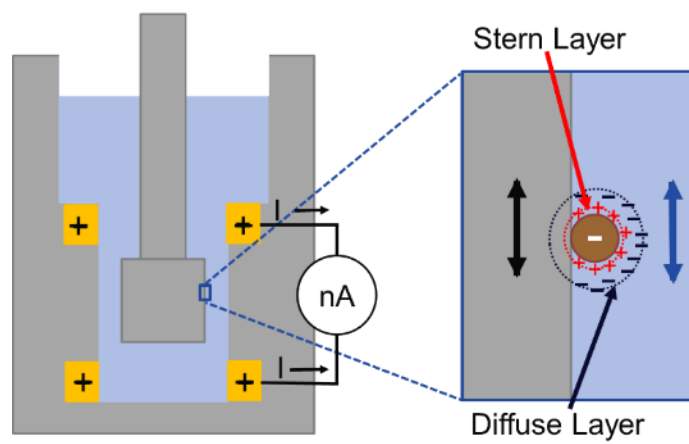


圖 46 流導電流儀產生波形訊號示意圖(一)(CHEMTRAC 公司提供)

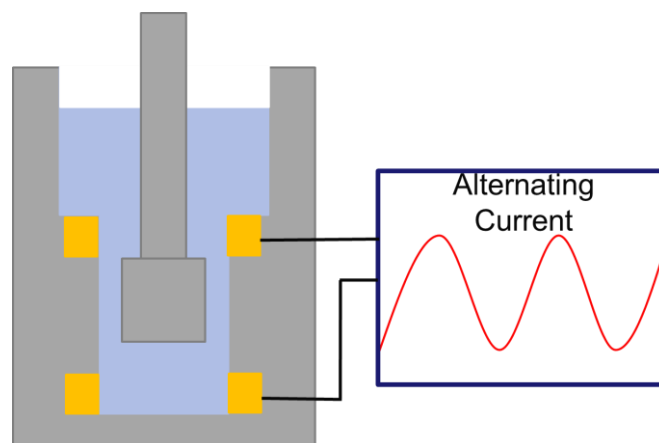


圖 47 流導電流儀產生波形訊號示意圖(二)(CHEMTRAC 公司提供)

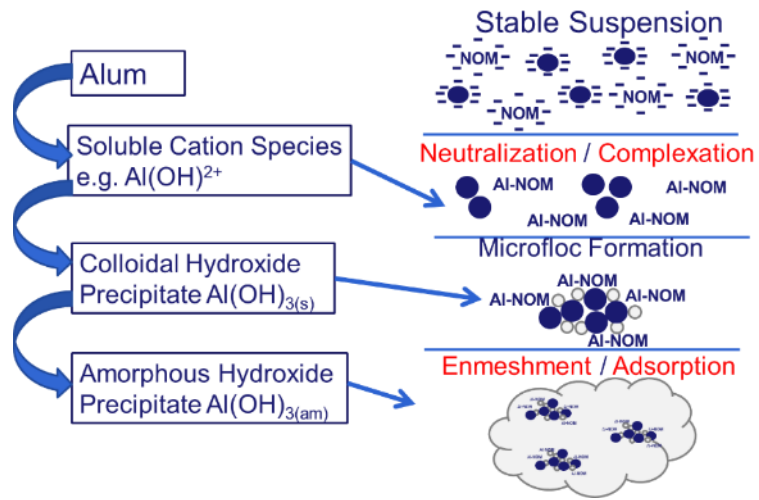
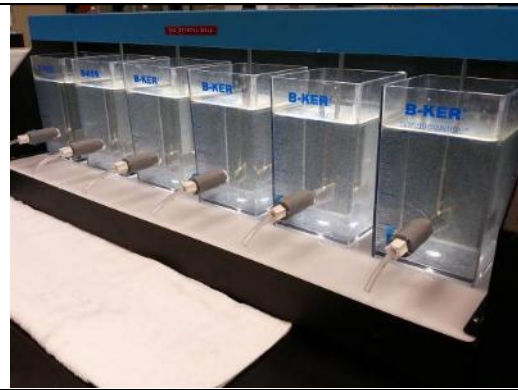


圖 48 混凝劑與水中膠體粒子作用示意圖(CHEMTRAC 公司提供)



流導電流儀介紹說明



傳統瓶杯試驗(jar test)



流導電流儀外觀(一)



流導電流儀外觀(二)

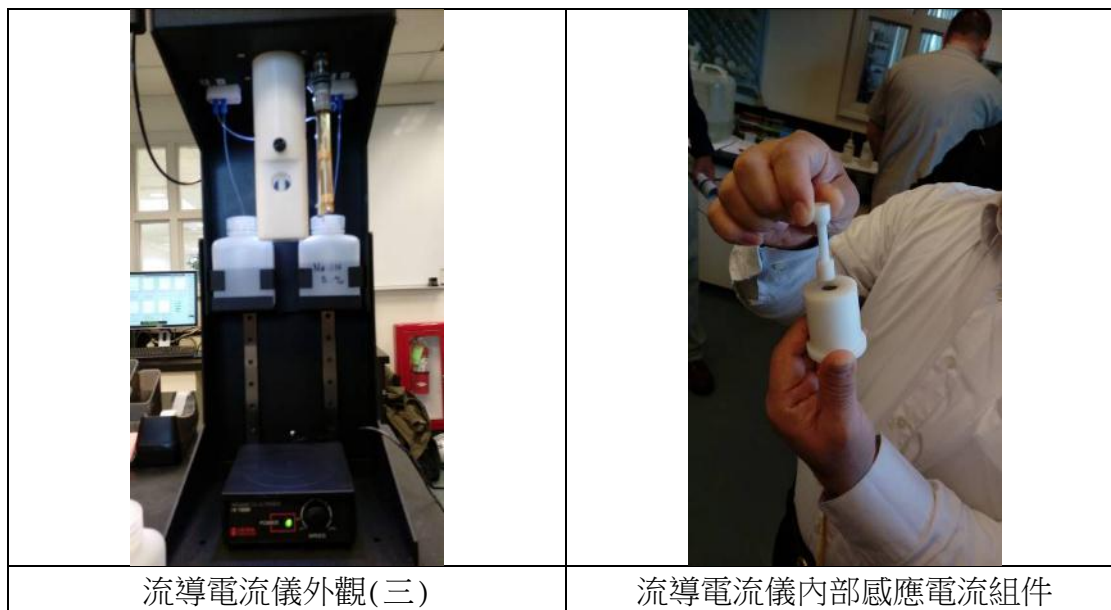


圖 49 流導電儀介紹活動照片紀錄

伍、考察心得及建議

一、心得

- (一) 在參訪淨水場的過程，發現淨水場工作人員對於使用水質儀器操作熟稔，另設有維修室，可獨自完成零件更換進行基本維修，不但可縮短維修時間，亦可節省經費。此外，淨水場的操作人員對其水質變化情形及應變處理方式瞭若指掌，令人印象深刻。
- (二) 現今飲用水風險已從過去生物致病疾病、消毒副產物，延伸至目前新興微量污染物的檢驗分析，民眾也從過去對水量的基本需求進一步提升要求水質改善，也因此淨水場淨水處理技術以及淨水場管理程面，亦須同步加強，以滿足民眾對自來水公司的期待。
- (三) 美國環保署(USEPA)制定水質標準規範有一套標準流程，不但充分納入產官學三方意見，並考量各地淨水場之原水水質及設備實際情形分層級訂定，而非

標準一致。臺灣面積範圍雖然不大，但是南北地區水質仍有差異，故部分影響適飲性之水質標準項目(如總硬度等)採不同標準訂定似乎較為妥適。

二、建議

- (一) 本公司應主動參與環保署新興污染物篩選作業，並透過與環保署間相互溝通提早建立新興污染物分析技術，並針對污染物含量較高之淨水場預先辦理淨水處理改善研究，以符合未來日趨加嚴之飲用水標準。
- (二) 透過了解加州大都會水務署(MWDSC)水質中心各部門單位間專業分工，並訂定年度優先工作，按月、季、年度執行水質檢驗分析及出具符合規定之水質報表，另外針對淨水場水質改善檢討部分，則透過淨水場效能提昇計畫，分為實驗室、模場及實場等三階段進行試驗改善，以確保淨水場水質改善方案成功，上述作法可作為自來水公司水質業務上之參考。
- (三) 以加州近幾年遭遇乾旱缺水問題，除了推廣減少草坪灌溉、加裝省水設備等省水措施外，亦利用水價來抑制浪費，此外，將處理過之回收水補充地下水水源，除了可以作為沿海地區海水入侵的屏障外，亦可以有效維持地下水水位，類似地下水庫銀行的概念，這種作法亦可以作為水資源再利用的參考。
- (四) 此次參訪行程藉由觀摩淨水場實際運作線上流導電儀(SCM)或桌上型流導電儀(LCA)測試成效，其監測數據可應用作為本公司淨水場加藥控制參考，並可即時作為水質變化之判斷。

陸、誌謝

此次「美國南加州大都會水務署及相關機構」考察參訪行程，首先感謝本公司水

質處洪世政處長給予此次難得機會，讓後進至美國南加州大都會水務署(MWDSC)及相關機構考察其組織、設備及運作方式，以利協助成立水質中心並轉型為水質研發重點單位。同時感謝於考察期間代理公務同仁的辛勞。

此次考察參訪行程能順利完成，感謝嘉南藥理大學甘其銓教授及加州大學 Fullerton 分校郭教授引薦，更謝謝南加州大都會水務署(MWDSC)水質中心水質淨化部門經理梁善博士與吉偉儀器股份有限公司總經理鄭偉鵬先生大力協助安排行程並代訂住宿飯店，方得以參觀考察南加州大都的水務署(MWDSC)、洛杉磯郡衛生署(LACSD)、橘郡水務署(OCWD)、洛杉磯水電局(LADWP)、San Jose Creek 污水處理廠、地下水補充系統(GWRS)及 Weymouth、Lakewood 市、Fairbairn、Foothill、Benicia 等數個淨水場。亦感謝 Lakewood 市水資源總監溫俊山博士、洛杉磯郡衛生署(LACSD)技術服務處廢水研究部門經理湯繼誠博士、橘郡水務署(OCWD)工程師壇樂博士、洛杉磯水電局(LADWP)水管理辦公室專案經理 Julie 小姐、水資源處專案經理徐俊國博士、CHEMTRAC 公司行銷總監 Joseph 先生，Benicia 市淨水場所長 Scott 先生等人於考察期間陪同解說，並提供具體建議與書面資料，受益匪淺，感謝他們的辛勞與用心。

柒、參考文獻資料

一、網路資料

1. 南加州大都會水務署(MWDSC) <http://www.mwdh2o.com/>
2. City of Lakewood <http://www.lakewoodcity.org/>
3. 洛杉磯郡衛生署(LACSD) <http://www.lacsd.org/>
4. 橘郡水務署(OCWD) <http://www.ocwd.com/>
5. 洛杉磯水電局(LADWP) <http://www.ladwp.com/>

6. <https://blockainc.wordpress.com/e-a-fairbairn-water-treatment-plant/>
7. City of Sacramento <http://www.cityofsacramento.org/>
8. 普萊瑟郡水務局(PCWA) <https://www.pcwa.net/>
9. City of Benicia <http://www.ci.benicia.ca.us/>
10. 美國環保署(USEPA) <http://www3.epa.gov/>

二、文獻資料

1. Connie Schreppel (2010) *Plant Performance Picture Emerges With Instrumentation*, Opflow
2. S. Muzi Sibiya (2014) *Evaluation of the streaming current detector (SCD) for coagulation control*, Procedia Engineering
3. Robert L. Bryant (2005) *Innovative Instrumentation Reduces RO Fouling*, Chemtrac
4. Daniel Edney, *Introduction to the Theory of the Streaming Current Meter*
5. David Teasdale (2007) *Net Charge Equals Positive Change*, Opflow
6. Robert L. Bryant (2004) *Optimizing Pretreatment Key to Boiler Feedwater Quality*, Chemtrac
7. Robert L. Bryant (2004) *Water Treatment Control using the Streaming Current Monitor*, Chemtrac