

出國報告（出國類別：考察）

考察美國都市污水處理及資源再利用與 都市排水規劃經驗

服務機關：內政部營建署

姓名職稱：杜鐵生 課長

周世銘 課長

派赴國家：美國

出國期間：105年9月6日至105年9月15日

報告日期：105年10月15日

摘要

近年來環境資源保護及再利用觀念受到全球的重視，再加上現今全球氣候變遷、極端氣候及強降雨等天氣型態已漸漸形成常態，可利用之水資源也越來越有限，故下水道系統建設之推動勢必納入資源再利用之概念；而建設之觀念亦須與時俱進，不論是工法、材料及概念上亦不斷推陳出新，爰此，藉由實地參觀、拜訪等，以污水處理、污泥處理與回收水機構等相關設施為訪查對象，期瞭解各設施之實際執行狀況，蒐集整理相關數據與規劃構想，吸取相關經驗作為後續規劃參考。

本次考察於洛杉磯市，主要參訪Hyperion Wastewater Treatment Plant與Donald C. Tillman Water Reclamation Plant兩座污水處理廠，瞭解兩廠目前執行上遭遇之困難與未來改進之方向，並了解洛杉磯市對於再生水之發展與建設，目前主要使用於工業、農業與民生，部分採地下水補注。而於丹佛市則參訪Metro Wastewater Reclamation District，亦瞭解丹佛市之再生水發展，目前主要使用於工業與澆灌，另外由於丹佛市對於都市防洪能力發展甚早，本次參訪多處LID現場，並瞭解城市對防洪建設的重視。

觀察兩城市下水道之發展，皆以尊重過去、尊重環境、資源再利用、務實操作的企圖與思維，值得我們借鏡。

目次

頁碼

摘要.....	1
壹、考察目的.....	3
貳、考察行程與說明.....	4
參、心得及建議.....	43

壹、考察目的

美國部分城市之下水道建設已有百年歷史，發展至今已累積不少經驗，本次考察係前往美國洛杉磯與丹佛二都市，期透過訪談及實地勘察，以了解目前二都市公部門施政重點與目標，俾利我國未來下水道相關計畫之規劃設計及問題改善；本次考察重點如下：

- 一、 都市防洪對策
- 二、 都市低衝擊開發解決方案及實例
- 三、 下水道污泥處理與再利用
- 四、 污水處理廠營運管理與污泥處理利用狀況現地勘查
- 五、 再生水中心之經營與問題探討
- 六、 下水道事業現狀面臨之課題

貳、考察行程與說明

本次考察行程人員由本署下水道工程處杜課長鐵生、周課長世銘參與。考察行程於 105 年 9 月 6 日至 9 月 15 日，共計 10 日，行程如下表，並將各參訪重點說明如后。

行程	日期	內容	預定參訪行程
第 1 天	9/6(二)	台北啟程 抵洛杉磯	考察人員於 105 年 9 月 6 日搭乘上午 10 時 10 分長榮航空(BR6)班機由桃園機場前往美國洛杉磯，抵達洛杉磯國際機場後，搭車前往住宿飯店，調整時差並準備相關參訪資料
第 2 天	9/7(三)	洛杉磯	參訪 Edward C Little Water Recycling Facility 再生水廠 參訪 Hyperion Wastewater Treatment Plant 污水處理廠
第 3 天	9/8(四)	洛杉磯	拜訪洛杉磯市污水工程處 參訪洛杉磯市污水管線臭味控制設備
第 4 天	9/9(五)	洛杉磯	參訪 Donald C. Tillman Water Reclamation Plant 污水處理廠
第 5 天	9/10(六)	洛杉磯	本日進行相關資料整理及後續行程聯繫確認
第 6 天	9/11(日)	洛杉磯 至 丹佛	本日於上午 8 時出發至洛杉磯機場，搭乘 11 時聯合航空(UA544)班機至丹佛，並於 14 時 20 分抵達丹佛機場，後續即搭車前往住宿飯店，準備後續參訪資料。
第 7 天	9/12(一)	丹佛	拜訪丹佛公共事務部污水管理處 拜訪丹佛市都市排水及防洪局 參觀丹佛市低衝擊開發(LID)設置實例
第 8 天	9/13(二)	丹佛	參訪 Metro Wastewater Reclamation District 污水處理廠 參訪 Water Recycle Plant 水再生廠
第 9 天	9/14(三)	丹佛返回 台北	本日上午 5 時 30 分出發至丹佛國際機場，搭乘 8 時 22 分聯合航空(UA447)班機至洛杉磯國際機場，再轉機搭乘 12 時 5 分長榮航空(BR5)班機返台
第 10 天	9/15(四)	台北	於本日 17 時抵達台灣桃園國際機場

一、洛杉磯市 Hyperion 污水處理廠

洛杉磯市之污水下水道系統採分流制，包含二個污水收集管線系統，分別為 Hyperion 服務區 (Hyperion Service Area) 及 Terminal 島上之獨立收集系統。Hyperion 服務區面積約為 400 平方英里，區內人口數約為 400 萬人，污水收集管線總長度約為 6,500 英里，共設有三座污水處理廠，分別為 Hyperion 污水處理廠、Donald C. Tillman 水資源再生廠及 Glendale 水資源再生廠；惟後二廠僅處理污水，其於污水處理過程中所產生之污泥，則再投入污水收集系統內，流至下游之 Hyperion 污水處理廠集中處理。

Hyperion 污水處理廠之設計日平均進流污水量為 450MGD(約 1,700,000CMD)，目前實際每日平均進流污水量約為 275MGD(約 1,039,000CMD)，實際每日平均進流污水量低於設計日平均進流污水量之主要原因，係洛杉磯市自 1985 年起推展節省用水之成效。茲將本廠處理程序與參訪心得如后。

(一)、處理流程

Hyperion 污水處理廠之處理程序如圖 1。

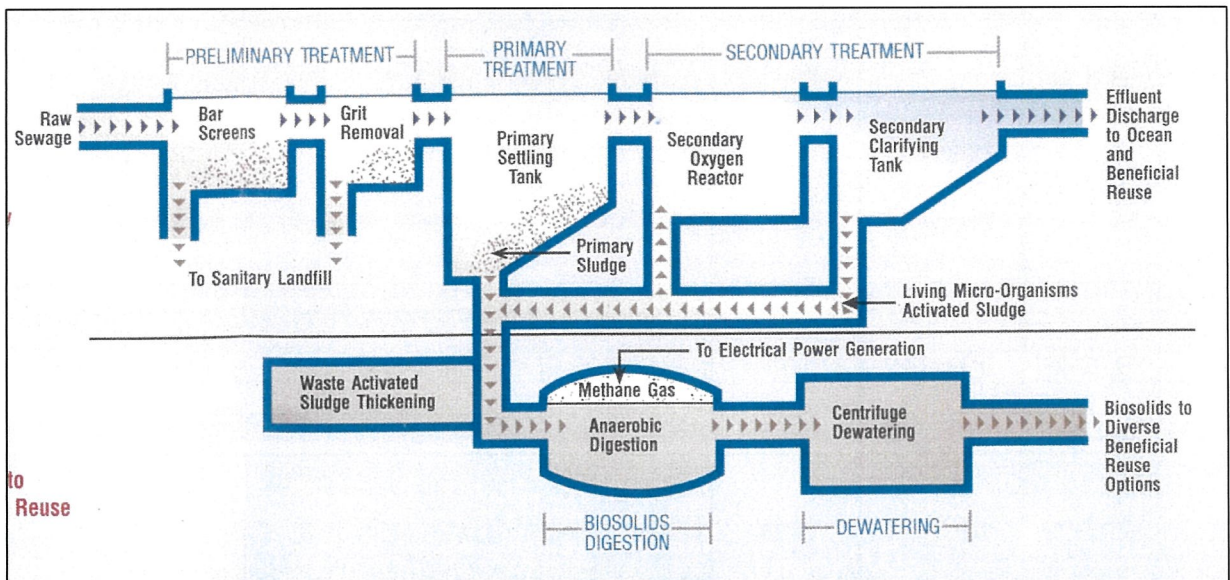


圖 1 Hyperion 污水處理廠之處理程序圖

1. 進流流量
 - (1) 晴天進流量：275 MGD
 - (2) 最大日進流量：450 MGD
 - (3) 雨天尖峰流量：800 MGD
2. 前處理系統
 - (1) 機械式攔污柵：柵距 3/4 吋(約 19mm)，8 組。
 - (2) 沉砂系統：曝氣沉砂池，每 24 小時約有 885,000 磅砂及有機物被去除。
 - (3) 目前攔污柵所攔除之垃圾掉落至渠道經由水輸送至螺旋壓榨輸送機後再由卡車運送出廠，如圖 2 所示。



圖 2 本廠攔污柵操作現況

3. 初級處理

- (1) 初沉池：地下式，約 300 呎長 15 呎深(91.5m 長，4.6m 深)，水力停留時間 2 小時
- (2) 去除率：固體物(solid) 70~75%，有機物 50~55%(前處理系統上游加入氯化鐵，及於初級沉澱池前端加入陰離子 polymer，以進行懸浮固體物之混凝及膠凝，故去除率提升)
- (3) 初級至二級處理單元利用中繼加壓站(Intermediate Pump Station (IPS))輸送，設置有 10 組直徑 12 呎的螺旋式抽水機(Archimedes Screw Pumps)，每組輸送量：110~125 MGD，如圖 3 所示。



圖 3 本廠中繼加壓站

4. 二級處理

- (1) 生物反應池原採純氧曝氣，每日約需純氧 220 噸，採用高壓冷凍設備製成。生物反應池內 MLSS 維持在 1,000~1,500mg/L，出水端之溶氧值控制於 5~10 mg/L，水力停留時間約 6 小時，污泥停留時間約為 1~1.5 天。
- (2) 1998 年時，Hyperion 污水處理廠將部份生物反應池第一段改為缺氧段之菌種選擇池，以改善生物污泥之沉降性，經此操作條件之調整後，生物污泥之污泥沉降指數 (SVI) 由 300~500 降至 100~150；由於生物污泥沉降性之改善成效良好，現所有生物反應池均將第一段採缺氧處理，如圖 4 所示。
 - (3) 經過生物處理後出流水進一步由圓形終沉池沉澱，如圖 5。



圖 4 改建後之生物處理池缺氧槽

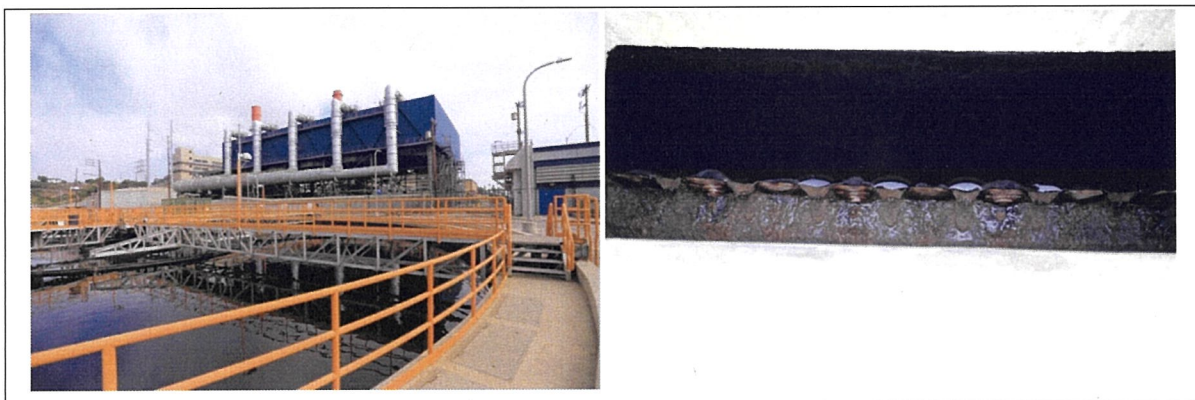


圖 5 圓形二次沉澱池操作現況

5. 放流

經過二級處理之 Hyperion 污水處理廠放流水則以海洋放流管排放於 Santa Monica 灣，海洋放流管全長約 5 英哩，排放深度約為 190 英呎(約 58 公尺)，在放流管末端之 4,000 英呎起設有擴散管。Hyperion 污水處理廠放流水在流量低於 325MGD 時可採重力排放；超過 325MGD 時則需以抽水機加壓排放。

6. 污泥處理

- (1) 廢棄之生物污泥需先經濃縮後，併同初沉污泥於厭氧消化槽進行消化。Hyperion 污水處理廠生物污泥係以離心式濃縮機進行濃縮，生物污泥之平均濃度介於 0.5~1% ，經濃縮後污泥濃度可達 5% 以上，實際操作上甚至可達 7% 。
- (2) 初沉污泥、浮渣及濃縮後生物污泥一起送至厭氧消化槽消化，以減低污泥中之揮發性物質。Hyperion 污水處理廠設有 18 座圓柱型及 18 座蛋型消化槽，惟目前僅操作蛋型消化槽。操作方式原設計採二段式中溫消化法，消化溫度以蒸氣注入及機械攪拌控制在 95°F (即 35°C)，污泥停留時間約 15 天，揮發性固體物可減少 60~65% ，產氣量每天可達 740 萬立方英呎，其中甲烷含量約 64% ，大部份之產氣送至鄰近之 Scattergood 蒸氣發電廠作為燃料，以交換 Hyperion 污水處理廠可享有該電廠提供之優惠電價，每年可為 Hyperion 污水處理廠節省約 480 萬美元之電費；小部份之產氣則留作廠內污泥加熱之用，如圖 6。

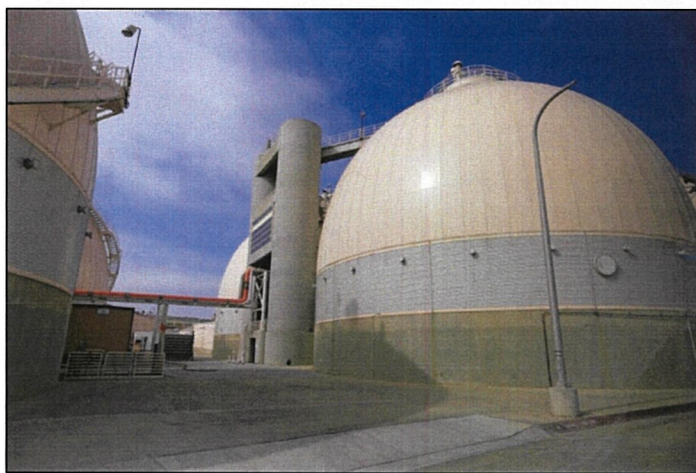


圖 6 本廠蛋形消化槽

- (3) 消化後之污泥則進行脫水處理，污泥脫水設備係為離心式脫水機，消化污泥之濃度約為 1.5% ，經脫水後污泥餅之固體物含量可達 27% 以上，脫水濾液之懸浮固體物含量約 1,200mg/L，消化污泥脫水前將加入 polymer 以增加脫水性，polymer 添加量係以偵測濾液中懸浮固體物含量自動調整，Hyperion 污水處理廠每天產生之污泥餅總量約 800 噸。
- (4) 以往 Hyperion 污水處理廠每天產生之污泥餅中約 80% 作為農業用途以種植非食用性作物，另 20% 則予衛生掩埋，後來加州對於污泥餅利用之法規標準提高，因此 Hyperion 污水處理廠將原設計為中溫消化之消化槽操作溫度提升，改採高溫操作。現 Hyperion 污水處理廠之消化槽操作溫度約為 130°F (即 55

℃)，在此操作條件下污泥停留時間可縮短為 11 天，產生之消化污泥經脫水後，可符合污泥餅利用於農業用途之法規標準。

- (5) 農業用途主要以將污泥餅與土壤表土混和後，種植農作物供家畜食用。衛生掩埋則先經過堆肥後再與木屑混合掩埋。

(二)、參訪心得

1. 本廠管廊維持良好整潔狀態，管線少有滲水情況，管廊通風良好並無明顯異味產生，設備狀態良好，雖為營運基本事項，但仍值得作為我國污水處理廠借鏡。



2. 廠內所設置民眾參訪及環境教育場所，展示教具內容活潑，亦有多種互動設施，未來我國污水處理廠設置環境教育場所時，可參採朝向活潑、多元、互動的方向進行教具設置。



3. 加州目前污水處理人員之訓練方式：

- (1) 污水處理人員至污水處理廠任職時，須具備有污水處理技師資格，共分為五級，第五級為最高級。第一級污水處理技師僅負責操作維護單一種類設備，且經過實務考試後並有污水處理廠操作年資 2 年才可正式取得第一級污水處理技師證書。第二級則負責操作維護一個小系統之污水處理設施，依此類推至第五級時才可擔任廠長一職。
- (2) 同一等級擔任技術職與管理職之薪資相同，避免技術斷層或無人願意從事技術性工作。
- (3) 於污水處理廠任職時為類師徒制，皆有上一級人員帶領實作，並定期進行考核，以確保每一級人員確實完成該負責之操作及維護工作。
- (4) 建議我國於污水處理廠操作及維護人員證照考試，參考加州做法，需同時通過實務考試及具有一定時間之實廠工作經驗才發給證照，以取代目前廢水處理專責人員僅考筆試，且無實廠工作經驗之方式。

二、洛杉磯市 Edward C Little 再生水廠

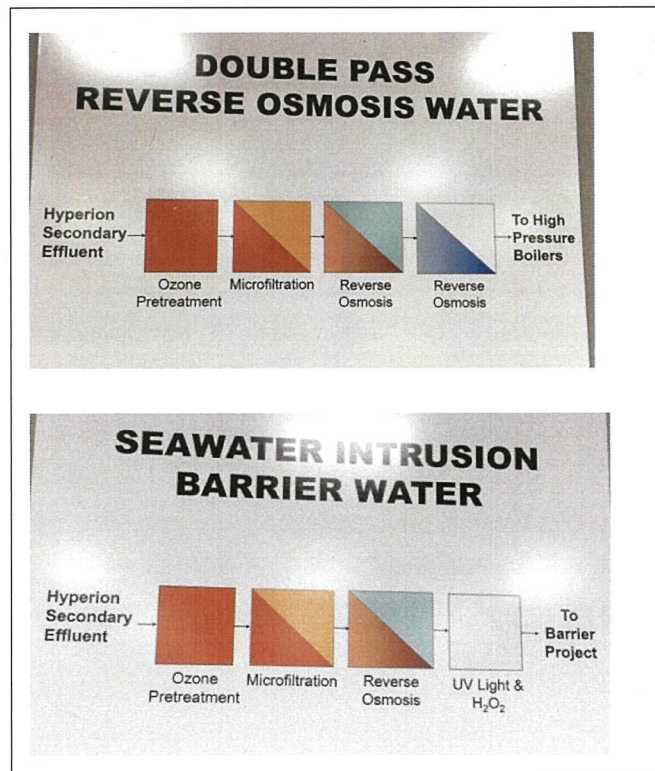
主要自洛杉磯 Hyperion 廠內之二級放流水抽水站泵送至本廠再進一步處理，以符合加州回收水法規 Title 22 相關規定後進一步提供給景觀、工業及地下水補注等需求。目前本廠的處理量為 46.8 MGD(百萬加侖/日)，經過第五期擴建後將可於 2020 年前達到處理量 72.2 MGD。而目前依照不同使用需求，其處理設計量如下表 1，茲將本廠處理程序與參訪心得分述如下。

表 1 Edward C Little 再生水廠處理設計量表

EXISTING CAPACITY OF THE EDWARD C. LITTLE WATER RECYCLING FACILITY	
Recycled Water Type	Capacity
Title 22 Water	38.0 mgd
Barrier Feed Water (softened Reverse Osmosis water)	12.5 mgd
Chevron Boiler Feed Water	5.0 mgd

(一)處理流程

照不同的使用目標，採用不同程序包括：臭氧預處理、MF(微濾)、RO(逆滲透)、及 UV(紫外線)消毒，如下圖 7 所示：



14

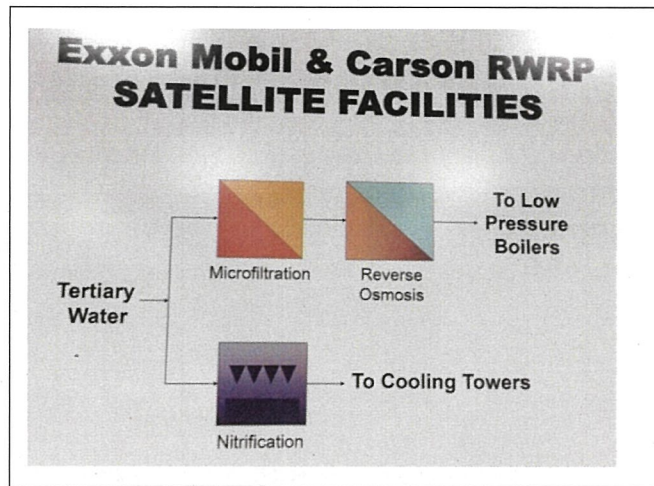


圖 7 水再生處理程序

臭氧預處理主要是進一步將二級處理水中的有機物進一步氧化，以利後續處理程序可發揮更大效果。MF 主要去除懸浮固體、原生動物及細菌，本場所採用為中空絲 MF 膜型式，其形式如圖 8 所示。其反沖洗方式藉由空氣提供之剪力進行膜外層攔除物之清除，每 20 分鐘反沖洗一次，每週則再進行一次藥洗。



圖 8 本廠 MF 所採用的膜型式及 MF 之模組單元操作情形

RO 主要去除溶解性礦物質、病毒、有機物等，其模組型式如下圖 9。



圖 9 本廠 RO 所採用的膜型式及 RO 之模組單元操作情形

UV 消毒程序中，添加 H_2O_2 進一步分解低分子量有機物及其他可能有害物質。UV 燈管的使用壽命約為 12,000 小時，每根燈管售價為 125 美金(約新台幣 4,000 元)，如圖 10。



圖 10 本廠 UV 單元操作情形

(二)參訪心得

- 1.本廠再生水用戶皆為簽約用戶，所提供之再生水單價除考量處理程序(等級差別)外，另外將視用戶簽訂之需求量、契約時間長短、或是否為滿足用戶水質需求而增設設施等考量，訂定出再生水價的費率表。
- 2.再生水管網有材質腐蝕問題，但似乎無法避免，另外本再生水廠須對用戶端水質負起完全責任，所面臨最大的考驗為管網末端或用水頻率降低時，就容易造成水質不佳之情況。
- 3.本廠經處理後的 25%的出水注入地下水層，防止海水入侵地下水層；由於地下水為加州飲用水水源之一，故處理後水質須達直接飲用標準，但不直接供給作為自來水。
- 4.本廠雖採用 UV 消毒，但與加氯消毒相較，水中具有餘氯將可強化供水安全性，另外考量操作成本，未來本廠將走向加氯消毒。
- 5.代操作年期為 5+5 年，營運交接時需確認並記錄其初始狀態，每 6 個月需紀錄設備功能狀態。設備更新或更換是受到公部門之監督，需提出設備功能狀態紀錄及平日維修保養紀錄向公部門說明，經同意後才可利用部分收入進行設備更新。

三、洛杉磯市污水工程處

洛杉磯市污水工程處(Wastewater Engineering Service Division)屬於洛杉磯市公共事務部門轄下環保局 22 處其中一處，該處主要負責污水工程之規劃與施工，並考量經濟性與功能性，本次由處長 Ali Poosti 負責接待，並與處內人員 Kwasi Berko 與污水收集處(Wastewater Collection Systems Division)人員 Brian McCormoick 與 Paul E. Blasman 進行會議討論，於會中先說明洛杉磯市目前污水管線建設概況，整個洛杉磯市收集面積超過 600 平方英里，範圍內人口為 400 萬人，建設管線已達 6,700 英里並包含超過 140,000 座人孔，污水收集系統包含 44 座污水抽水站與 4 座污水處理廠。

洛杉磯市主要都市區域污水收集後由上游 Donald C. Tillman 與 Glendale 兩座污水廠進行定量處理，其餘部分則輸送至最下游 Hyperion 污水廠收集處理，而洛杉磯市南部港口區域則收集至 Terminal Island 污水廠處理，收集區域與管線系統如圖 11 所示。

洛杉磯市污水下水道系統內使用之管徑由 6 吋至 144 吋，其中 90%的管徑小於 15 吋，而至今已有 63%的管線使用超過 50 年，管材選用 86%為 VCP，10%為 RCP，目前市府建設以系統維護為主要工作，透過規劃評估選擇主要維護方案，而市府已針對系統範圍內建置完整的 GIS 資訊系統，其中包含了系統內污水管線位置、維護紀錄、流量資料、TV 檢視資料與臭味控制資訊等，GIS 系統如圖 12 所示。

洛杉磯市將系統污水管線管徑 16 吋以上的稱之為主要污水管(Primary Sewer)，將全市分為 26 個集污區收集，每年會有結構與水力性的改善計畫，預估經費約在 4,000 萬美金。污水管線管徑小於 16 吋則稱為次要污水管(Secondary Sewer)，每年亦有結構、水力與操作性的改善計畫，相關計畫主要性質為管線修繕更新為主，每年投入經費約在 4~5,000 萬美金。管線更新則透過電腦分析，評估使用時間、材質、管徑、TV 檢視結果等因子來排列更新優先順序。

對於系統維護部分，洛杉磯市設定目標為以最低的成本達成維護管線 100%的水理容量，注重收集成本提升效能，提供有效的工作準則，提供準確的維護紀錄，以正確方式解決有問題的區域。而目前管線最容易受到的破壞則為樹根侵入。洛杉磯市府亦致力於污水工程的宣傳工作，雖然不像日本有類似科學館的教育方式，市府仍會請工程師定期與市內各級學校接洽，至該校辦理相關教育說明，讓學生能了解下水道的重要性，而本次會後該處亦贈送相關宣導品，其環保袋設計色彩鮮明，頗具特色。

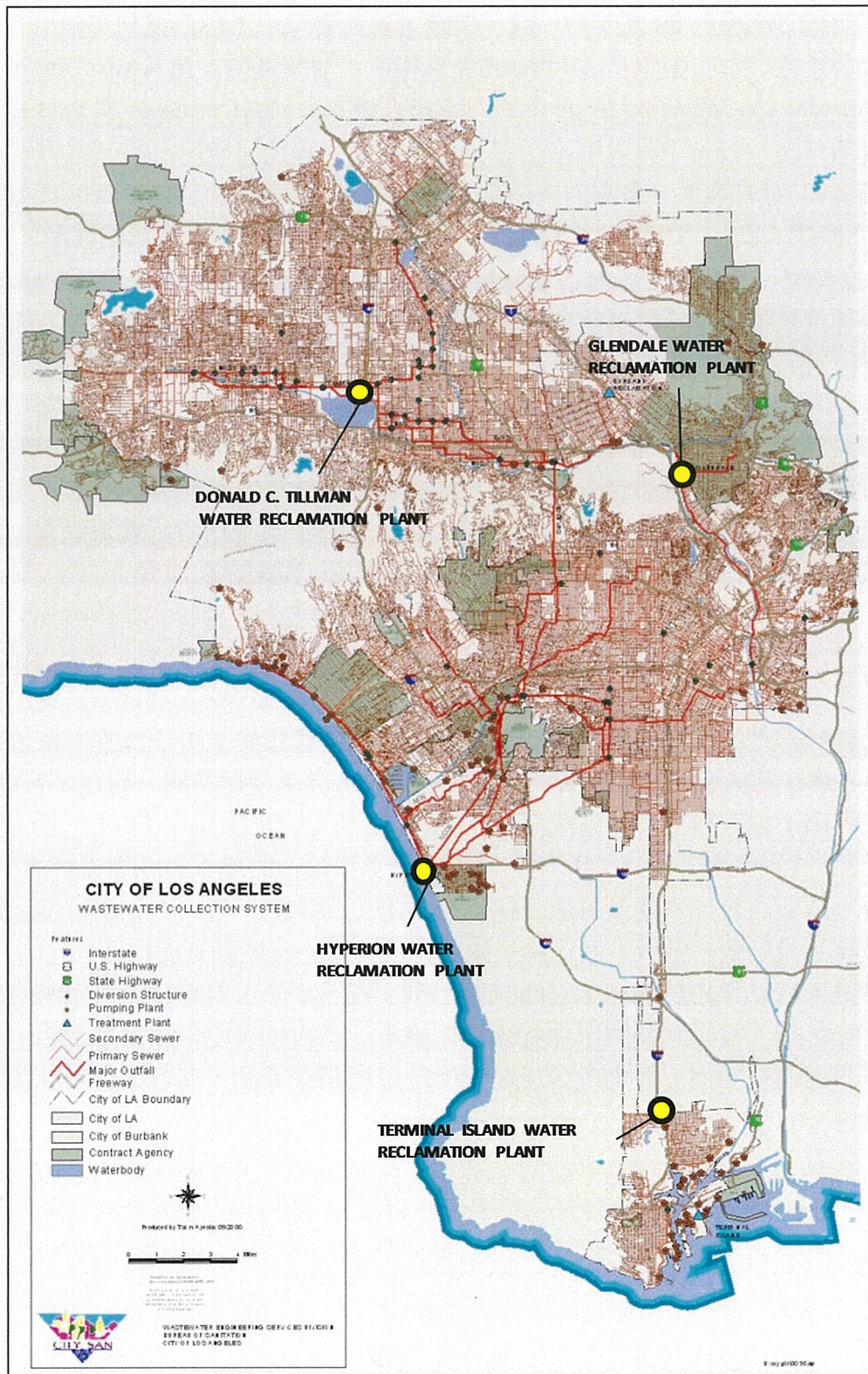


圖 11 洛杉磯市污水收集系統圖

81

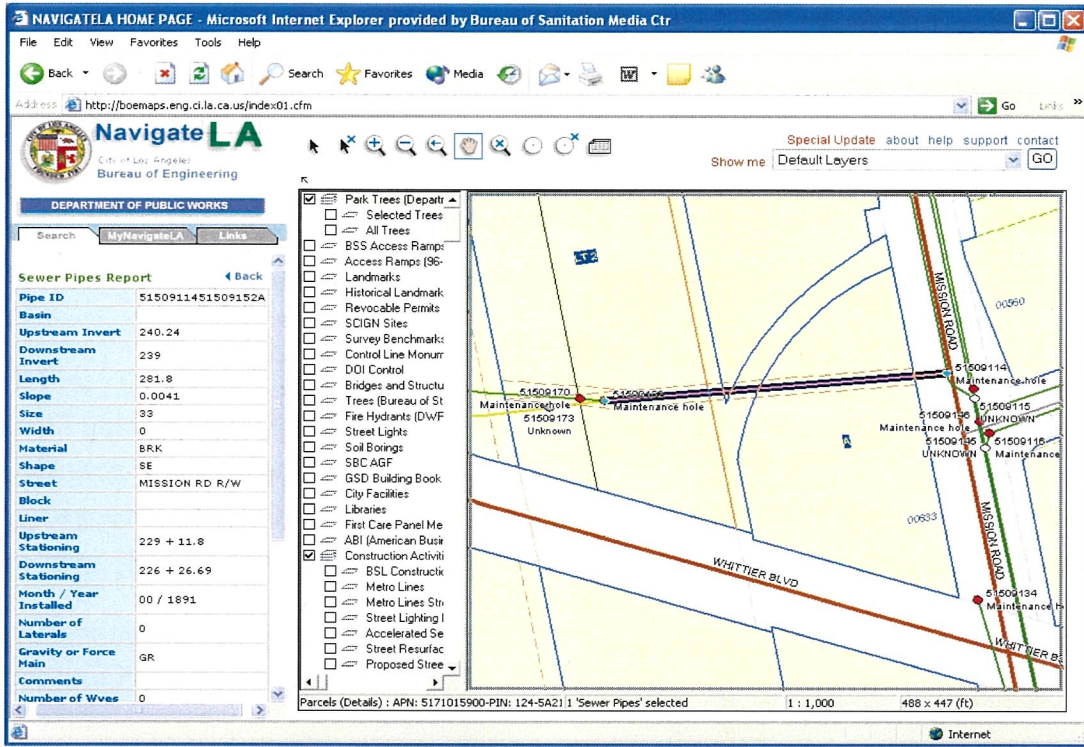


圖 12 洛杉磯市污水 GIS 系統示意圖



圖 13 拜訪洛杉磯市污水工程處照片

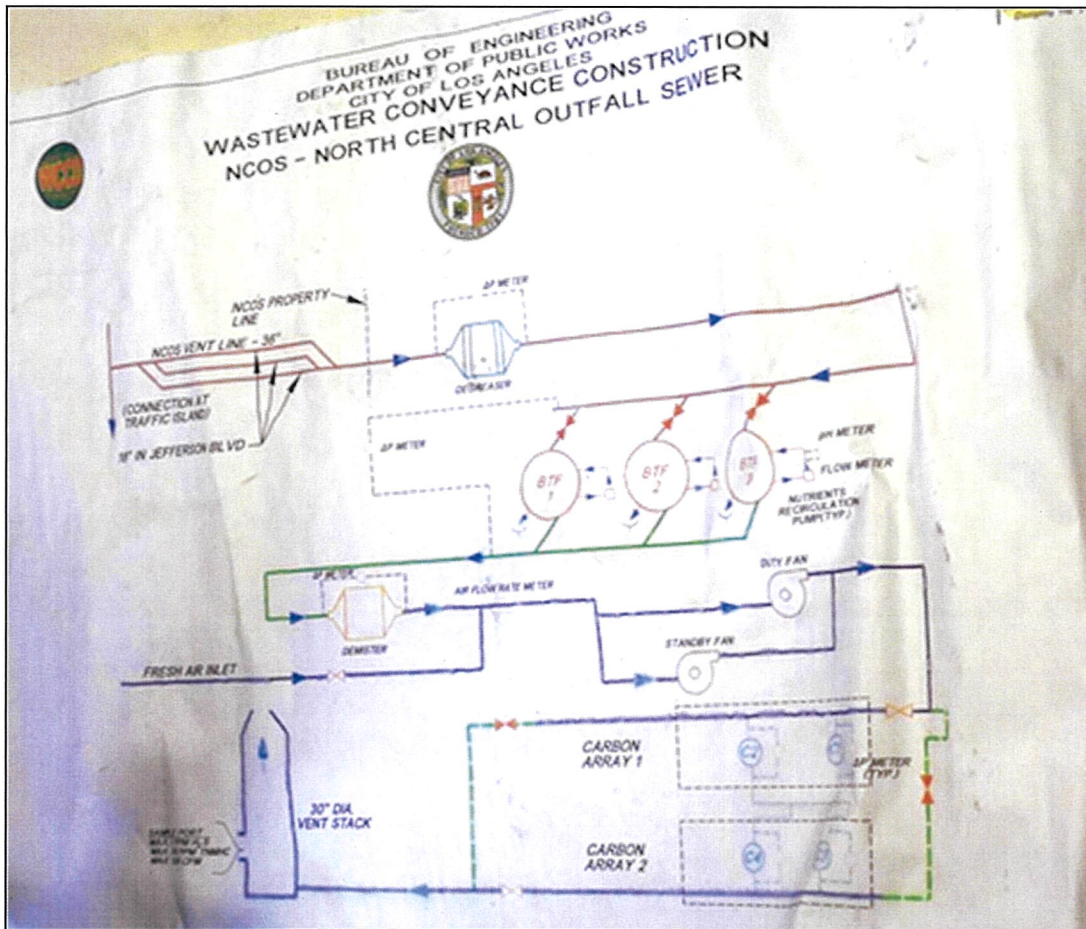


圖 15 North Central Outfall Sewer -Air Treatment Facility 流程圖

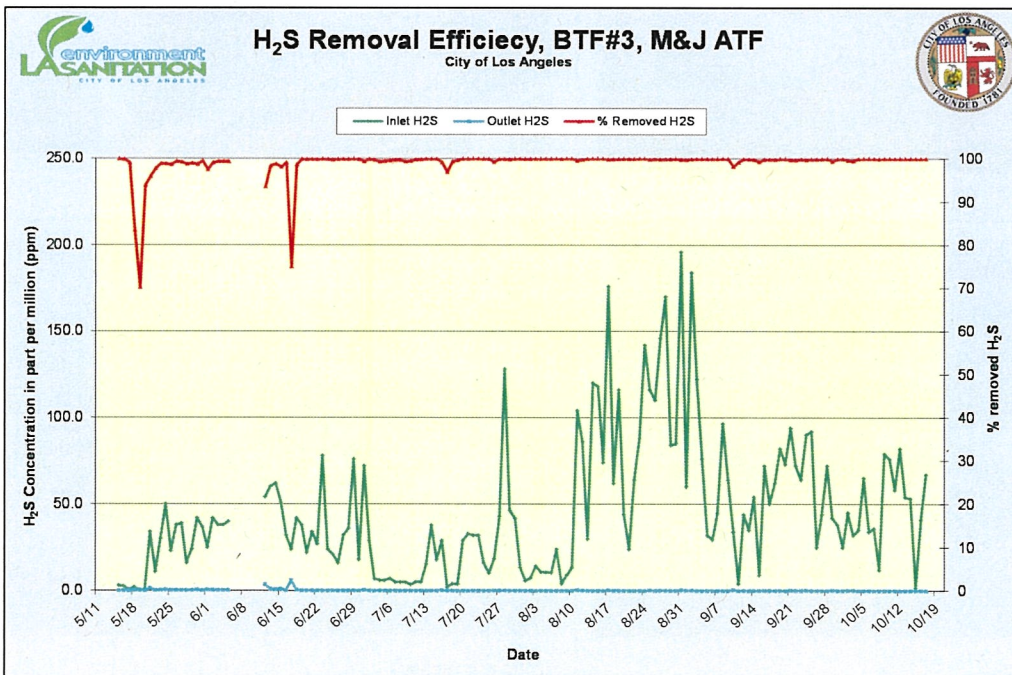


圖 16 硫化氫 H₂S 去除率

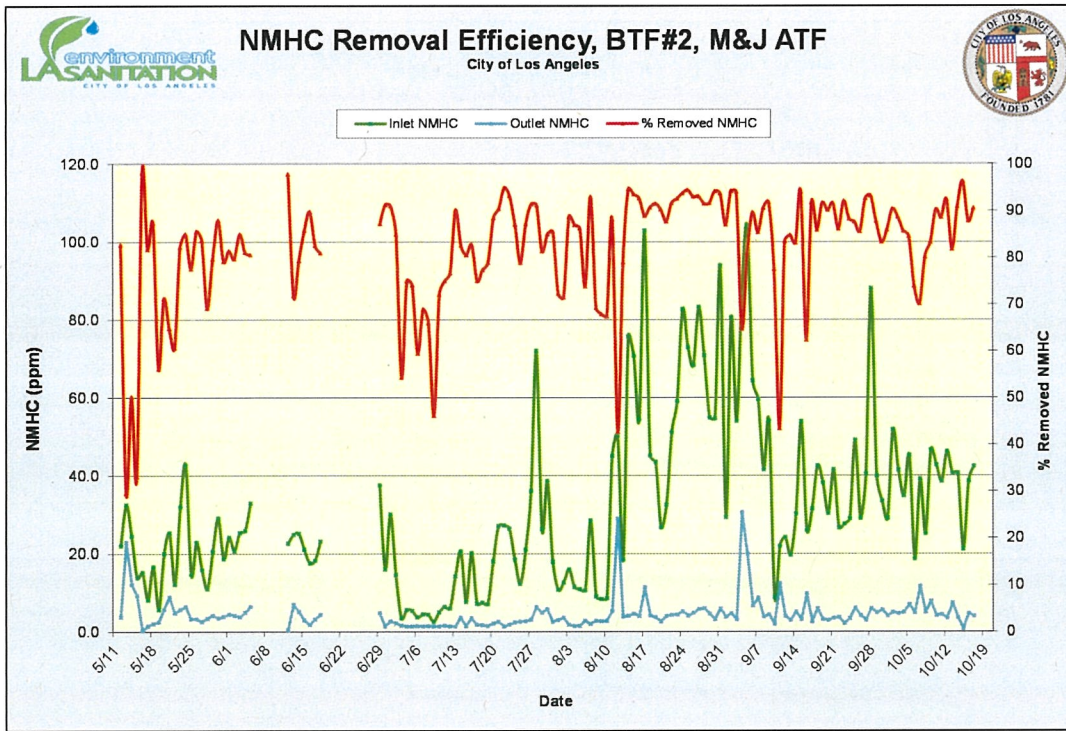
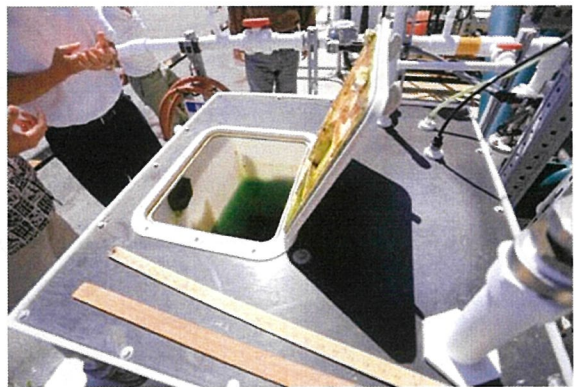


圖 17 總非甲烷碳氫化合物 NMHC 去除率



設備施工階段



加藥口



生物滴濾塔



活性炭過濾

圖 18 洛杉磯市臭味控制設備設置照片

五、洛杉磯市 Donald C. Tillman 污水處理廠

本廠在洛杉磯污水下水道管網系統中為 Hyperion 的上游廠，本廠自 1985 年開始營運，本廠的命名是由於當初的建廠工程師 Mr. Tillman 有鑑於污水處理廠向來都是鄰避設施，為了打造一個不只處理污水且讓民眾可以放鬆的愉悅環境，藉此讓民眾多了解水再生廠之運作，故於本廠旁打造一座日本花園，也因此讓本廠成為洛杉磯景點，如圖 19，茲將本廠處理程序與參訪心得分述如后。



圖 19 Donald C. Tillman 污水處理廠日本花園與本廠大廳

(一)處理流程

Donald C. Tillman 污水處理廠之處理程序如圖 20。

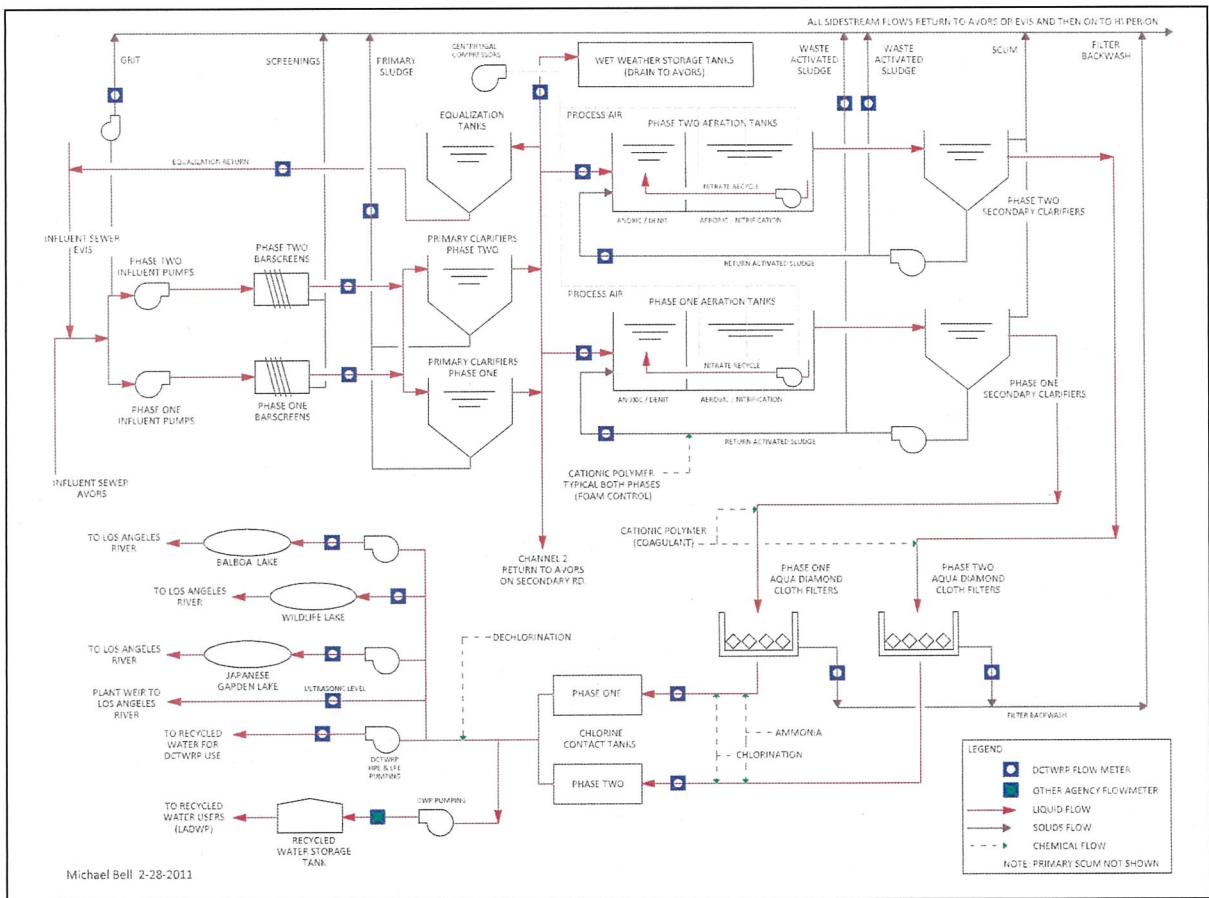


圖 20 Donald C. Tillman 污水處理廠之處理程序圖

1. 進流流量

- (1) 平均進流量：設計量為 80 MGD(約 300,000 CMD)，本廠為 Hyperion 的上游廠，目前僅定量取水 40MGD，多餘的水量則由 Hyperion 處理。
- (2) 日平均流量 40%來自於商業，60%來自於居民。
- (3) 本廠上游集污區因為管線或人孔入滲，雨天尖峰水量會達平均進流量的 2 倍，但本廠仍僅取 40 MGD。

2. 前處理系統

- (1) 前處理單元採用攔污柵去除樹枝、塑膠及布類等大型物後到沉砂系統進行沉砂
- (2) 沉砂後利用 8 組螺旋抽水機將水揚升 30 呎，之後各單元皆採重力水頭，目前螺旋抽水機正進行整修中，如圖 21。

24



圖 21 螺旋抽水機(整修中)

3.初級處理

初沉池採用加蓋式矩形沉澱池，減少臭味逸散。本廠未設置污泥處理系統，故初沉污泥再泵送至污下水道系統，送至 Hyperion Water Reclamation Plant 處理，如圖 22。

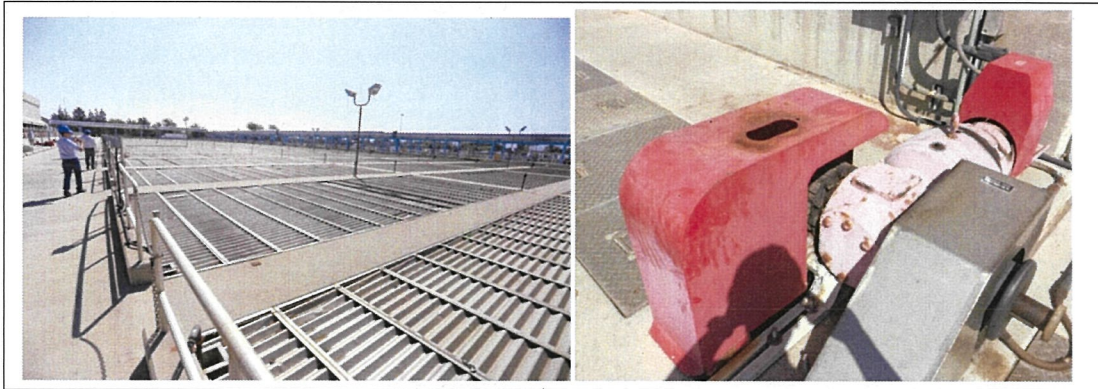


圖 22 本廠初步沉澱池及刮泥機驅動機

4.二級處理

- (1) 生物處理單元採用硝化-脫硝處理程序(MLE 除氮程序)，內循環硝化液的迴流倍數經過本廠依實際水質水量經過多次試誤後，得到約為進流量之 3 倍為最佳值，如圖 23 所示。
- (2) 硝化單元供氧加速硝化及有機物分解，採用的供氧設備為鼓風機搭配細氣泡散氣盤。
- (3) 經過生物處理後出流水進一步由矩形終沉池沉澱，終沉池的廢棄污泥亦送至 Hyperion Water Reclamation Plant 處理。





圖 23 本廠生物處理池採用 AO 除氮程序，二沉池採用矩形沉澱池(非金屬鍊條刮泥機)

5.三級處理

- (1) 經過二級處理後之出流水，加混凝劑後到快濾池進一步處理。過濾設備採用菱形濾布快濾池(diamond-shaped cloth filters)，可過濾大於 $10\ \mu\text{m}$ 之顆粒，如圖 24 所示。
- (2) 消毒採兩階段，第一階段用添加液態次氯酸鈉，並於 2 小時後，第二階段再除氯(利用亞硫酸氫鈉 sodium bisulfite 還原)。

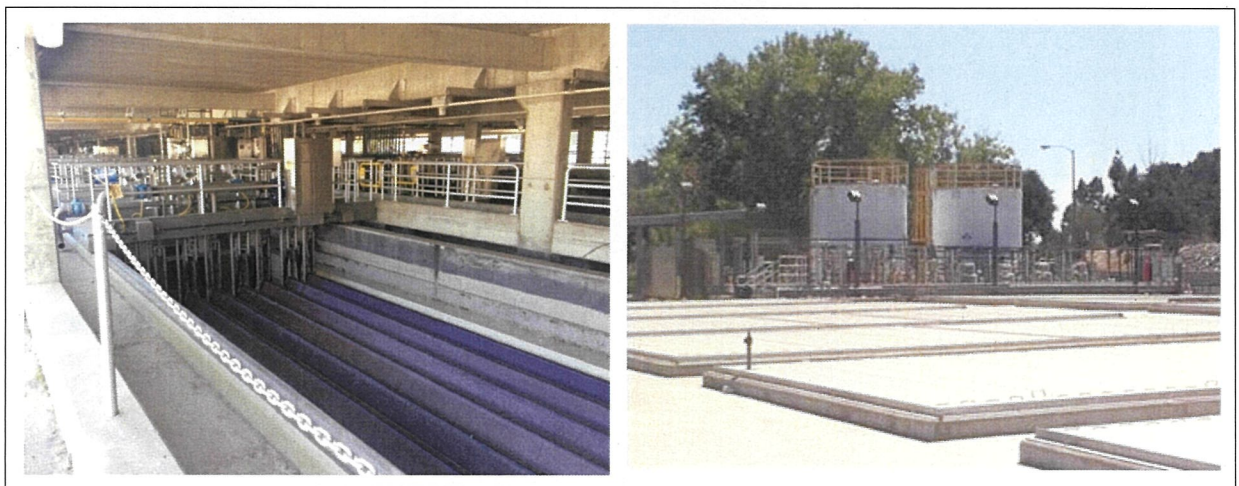


圖 24 本廠菱形濾布快濾池及消毒與除濾池

6.放流水再利用

提供日本花園景觀澆灌用水、補助人工湖或放流至洛杉磯河。

(二)參訪心得

- 1.本廠因 Mr. Tillman 建置日本花園，打破早期一般污水處理廠的設置概念，使民眾願意親近污水處理廠而進一步了解。惟本座花園之每年維護管理費為 200 萬美金，實為一沉重之負擔，部分雖由花園參觀售票所得可支應，但仍有不足，需要有足夠財源才可因應此龐大支出。對於我國而言，目前部分水資源回收中心已將此概念納入設計，結合生態景觀設置公園供鄰近居民使用，但時間久後因維護費用或人力無法支應，反造成景觀雜亂現象，如為避免此現象產生，應於代操作契約訂定明確之維護範圍及費用，以免減損當時設置景觀公園之美意。
- 2.本廠設施維護保養及環境整潔，可作為國內污水處理廠設施維護借鏡，以初沉池刮泥機驅動設施為例，雖外殼有部分銹蝕情況，但觀察其驅動鍊輪於鍊條間無污物附著，顯示其日常清潔保養確實，亦可減少操作時因污物影響而造成設備故障。
- 3.本廠生物處理池隔牆原採 RC 構造，但曾因地震造成隔牆裂損，目前已改採紅木隔牆，除可達到隔槽目的外，亦利用木板隔牆之韌性，減少地震可能帶來 RC 池牆裂損之影響。
- 4.本廠未來亦朝向更高級的處理程序，來增加再生水可使用的範圍，目前廠內正建置模廠中，納入模廠的處理程序共有六種，每種程序未來除比較處理效能外，亦會比較其經濟性、穩定性以及所提供之水質等即進行綜合評估後，選出最適當程序在進行實廠建置，如圖 25。



圖 25 本廠建置中之高級處理試驗模廠

六、丹佛市公共事務部污水管理處

丹佛市污水管理處(Wastewater Management Division)屬於丹佛市公共事務部門所轄 12 個管理處其中之一，主要負責雨、污下水道管理相關規劃、設計、施工營運與維護管理，由處長 Reza Kazemian 負責接待與討論，於會中說明丹佛市目前污水管線建設概況，丹佛市屬於分流制收集系統，污水管線系統全長約 1,516 英哩，有 5 座揚水站，排水系統全長約 550 英哩，並包含 10 座抽水站。污水管線建設已有百年歷史，主要管材為黏土管與鋼筋混凝土管，丹佛市總收集污水量 80MGD，並輸送至下游 Metro Wastewater Reclamation District 的 Robert W. Hite Treatment Facility 處理，其中 Metro Wastewater Reclamation District 收集區域圖如圖 26，丹佛市管線圖如圖 27 所示。

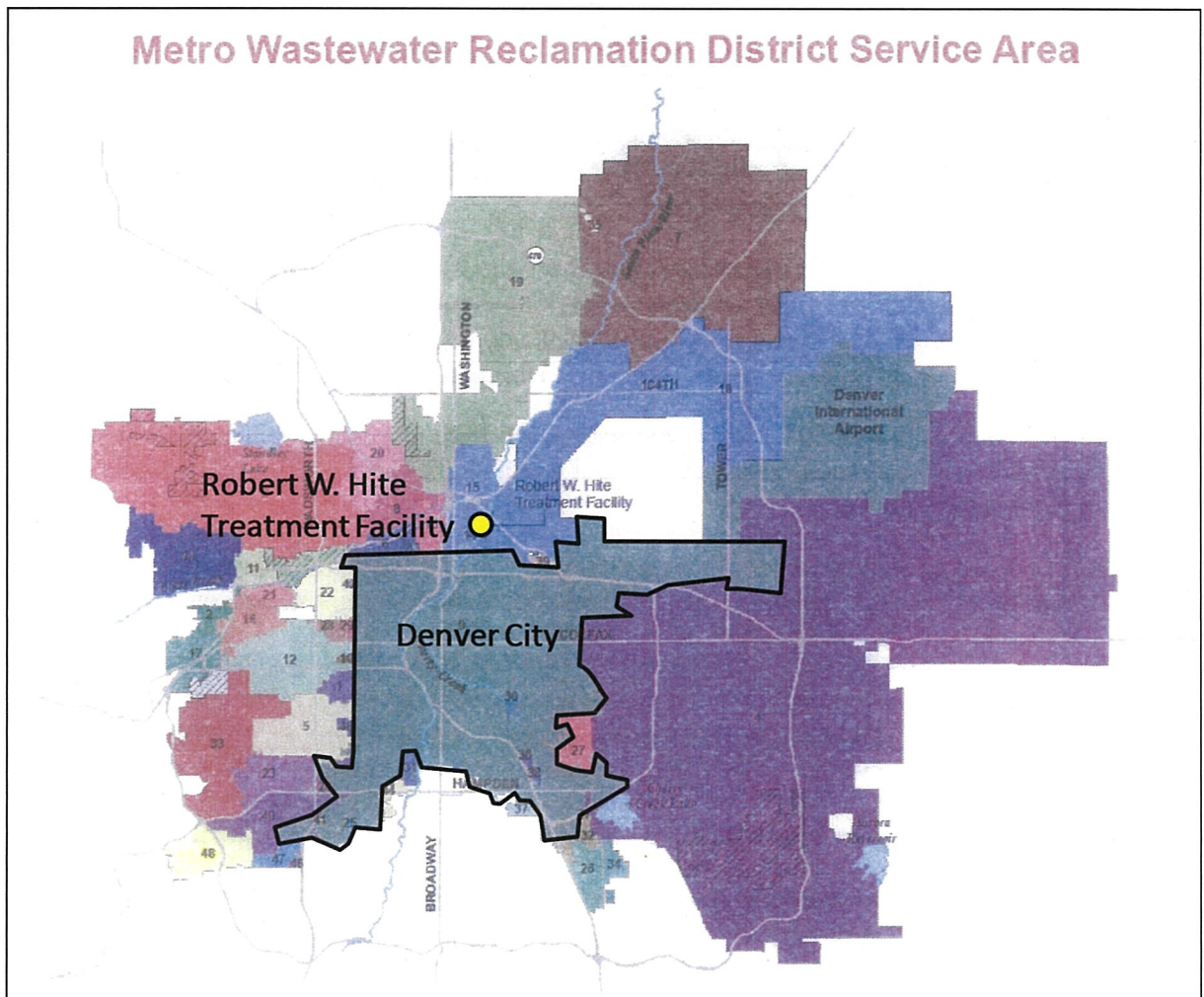


圖 26 Metro Wastewater Reclamation District 收集範圍圖

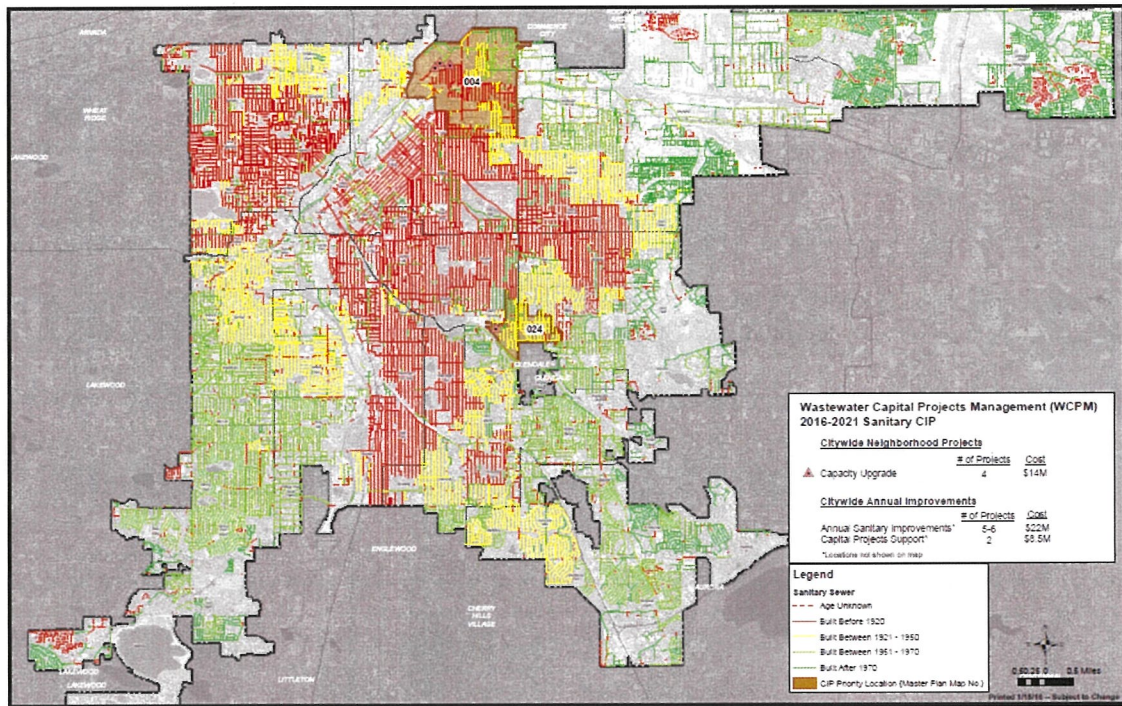


圖 27 丹佛市管線示意圖

Reza 亦說明丹佛市污水下水道興建的方式主要以明挖為主，但也要盡量避免影響民眾交通，故也有不少管段採推進工法施工，在管線興建工法上與台灣類似，由於丹佛市污水管線已有百年的歷史，目前的建設主要以管線修繕維護為主，經成本評估與施工環境考量後，主要採用內襯工法或明挖置換方式，也有對於區域內管線進行紓流之工程，如圖 28。而該單位每年的經費來源，主要為向民眾收取污水處理費，政府並無補助相關費用，因此要能在有限的經費內又能使系統發揮最大效能，相當具有挑戰性。丹佛市下水道已建置完整 GIS 系統，可以於系統上確認各管線建設狀況。

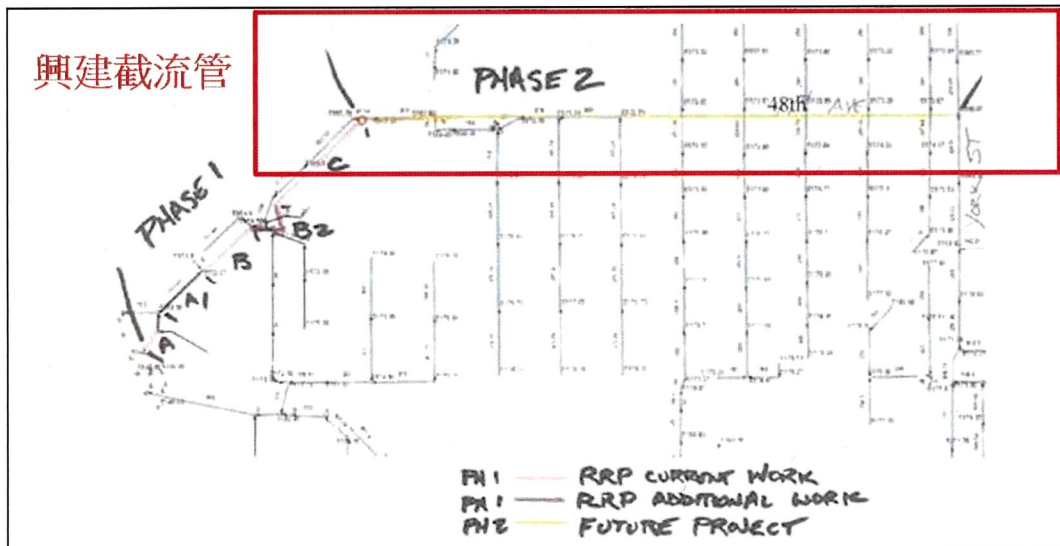


圖 28 管線興建計畫圖

20



丹佛市公共事務部污水管理處

意見交流

GIS 系統

會後合影

圖 29 拜訪洛杉磯市污水工程處照片

七、丹佛市都市排水與防洪局

丹佛都市排水與防洪局(Urban Drainage and Flood Control District)為 1969 年科羅拉多州議會為協助丹佛市的地方政府與多個管轄區的排水與防洪，而成立丹佛市排水防洪局，管轄地區約 1,608 平方英哩，包括丹佛在內的 6 個周邊城市，及約 32 個城市和城鎮的部分。該局負責整備丹佛市防洪相關資訊與防洪工程規劃、設計、施工與維護，及制定相關設計規範與準則，並廣泛被使用，以確保民眾安全。本次由經理 Ken A. Macenzie 負責接待與並由局內 Barbara Chongtoua, Bryan W. Kohlenberg 與 David J. Skudas 三位工程師說明丹佛市目前進行的防洪計畫，由於該局已利用 GIS 建置淹水地圖(屬公開資訊)，如圖 30，以 100 年機率之降雨強度評估丹佛市之淹水狀況，並利用排洪(conveyance)、分洪(diversion)、滯洪(detention)、蓄洪(Retention)與澇洪(Wetland)方式來減少淹水的狀況，而除了工程方式外，丹佛市對工程完成後的景觀亦相當重視，盡量避免讓民眾看到過多的混凝土結構物，而盡量將工程包覆自然植物與景色融合。防洪局亦針對城市防洪編製了排水手冊，詳細內容可至防洪局網站下載 (<http://udfcd.org/criteria-manual>)，如圖 31。

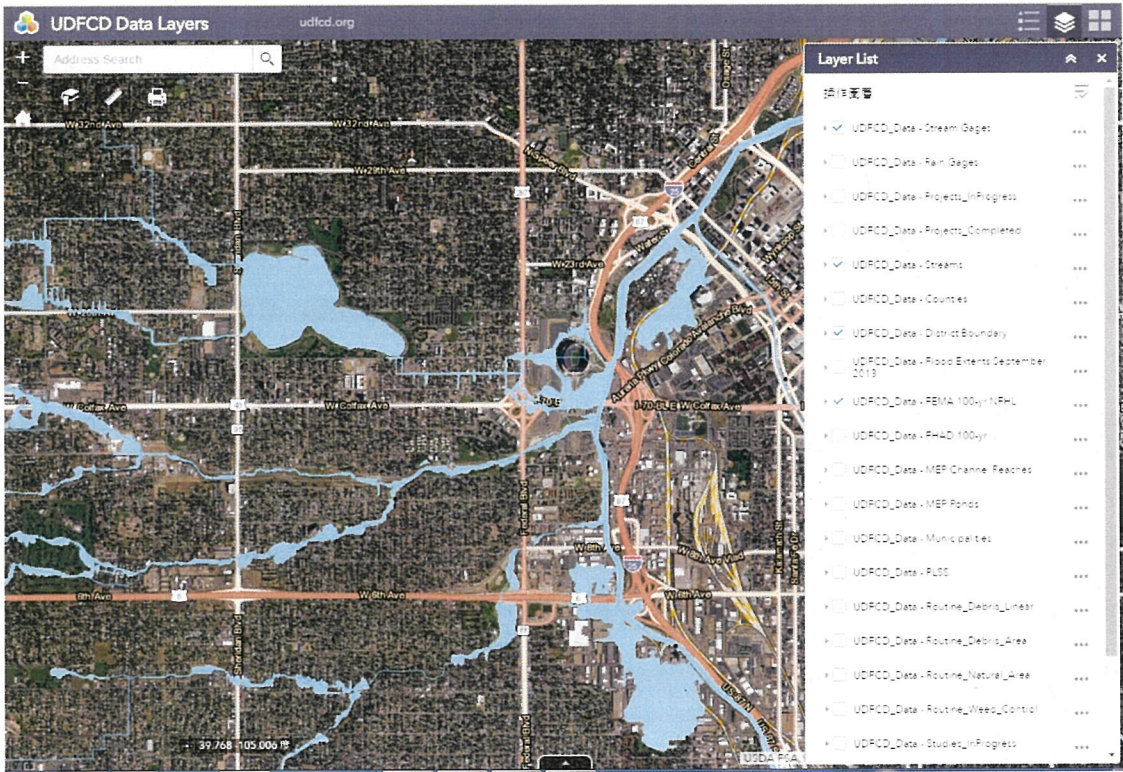


圖 30 丹佛市防洪局 GIS 建置淹水地圖

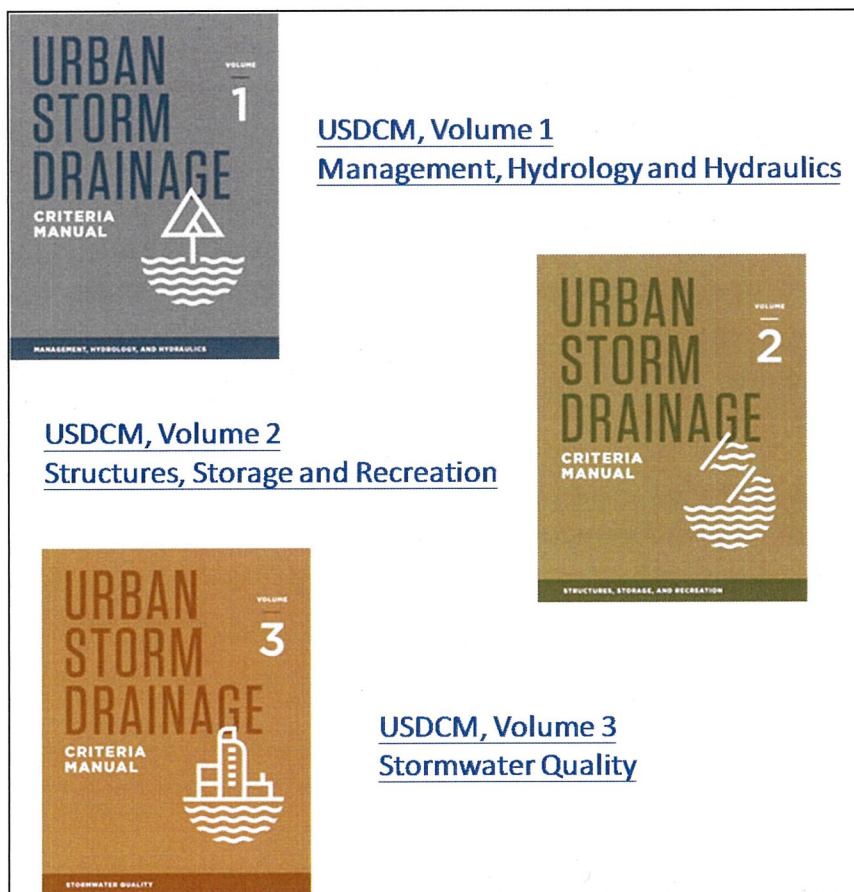
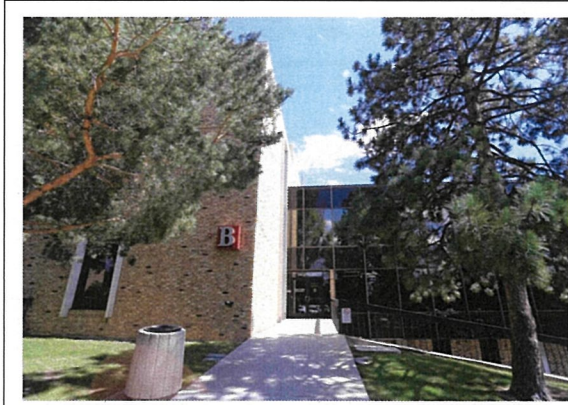


圖 31 丹佛市防洪局都市排水手冊

32



丹佛市都市排水與防洪局



意見交流



意見交流



會後合影

圖 32 拜訪丹佛市都市排水與防洪局照片

八、丹佛市低衝擊開發(LID)設置實例

本參訪行程由科羅拉多大學郭純園教授與其研究生 Omer Karaketir 帶領，進行適合小空間的低衝擊開發設施的現場實例勘查，整個勘查行程的內容包括透水鋪面、砂過濾器和生物滯留(雨水花園)設施等的實際案例。所參觀的設施，在該區域皆已成功地達到濾水、滯洪的效果外，並對周邊景觀亦有提升。

1. 21st street and Iris Rain Garden

本站位於 21 街和 Iris 街邊附近，於 2011 年由丹佛防洪局建置完成，地表逕流流入 LID 設施後，先予以貯留，再經砂與石濾層將逕流水淨化後，再流入雨水下水道系統，其中設有水質與流量監測設備可確認其成效，由外表無法看出為一 LID 設施，與周遭環境融合一體。



圖 33 21st street and Iris Rain Garden 勘查照片

2. Morse Park Bioretention

本站位於 20 大道 8180 號，以生物滯留池方式取代原本的混凝土池塘，於 2013 年完成，主要收集周邊公園停車場與道路之地表逕流，面積約為 15 英畝，進流處設置前池(Forebay)可使一些固體物沉澱，並由清掃車定期清理，後續透過砂與石濾層將逕流水淨化後，再流入雨水下水道系統。



34



後方砂石濾層與植物



郭教授講解

圖 34 Morse Park Bioretention 勘查照片

3. Sloan's Lake Forbay

本站位於 Byron Place 4700 號，在周邊雨水管線收集後將排放至 Sloan's Lake，而於出水口設置前池進行濾水，可以減少地表逕流之污染進入末端水源與河川，一般出水口尺寸如大於 24 吋，皆會設置前池，此處於現場參觀時發現前池有積水，積水高度並未達溢流水位，而池中已生長出水草，將會影響水質及視覺上之觀感，經與郭教授之解說與討論，應將前池加深至 2m 以上，避免水草生長。



Sloan's Lake 湖邊



排水出口設有前池

圖 35 Sloan's Lake Forbay 勘查照片

4. Walmart 商場

本站位於 Walmart 商場旁，收集道路與停車場地表逕流共有三處進流口，於入口處皆有前池之設計，經過濾後再流入雨水下水道，而進入雨水下水道前有一 micro pool 設計，可以提升淨水的能力。



收集商場停車場逕流水

道路側溝收集逕流

出流 micro pool 設計

設施全景

圖 36 Walmart 商場勘查照片

5. Broken Tee Golf Course

本站位於 Broken Tee Golf Course 停車場邊，由停車場排水渠道收集地表逕流至 LID 設施，先經過一量水堰與前池，後續透過砂與石濾層將逕流水淨化後排入南普拉特河，而目前河道正進行景觀之改造，利用石塊與仿石塊之混凝土置於河岸與河道內，兩側河岸進行植被，使景觀更整齊且自然，視覺煥然一新。



收集停車場逕流水

進流設流量堰



圖 37 Broken Tee Golf Course 勘查照片

6. Highland Bridge Lofts Rain Garden

本站位於一座公寓大樓停車場旁，將其所產生的地表逕流進行蒐集後進入生物滯留池，同時也提供該社區公眾活動的區域。其設計方式是以一個可供人行走的平台從中平分該項設施，增加對於民眾之吸引力。



圖 38 Highland Bridge Lofts Rain Garden 勘查照片

7. 其他低衝擊開發設施

丹佛市 LID 設施已相當普遍，於公路邊或於各都市區塊一角皆可見 LID 設施，而丹佛市之作法在全美亦為較進步之範例，其他城市皆開始仿效丹佛市作法。



住商區塊一側 LID 設施



公路邊 LID 設施

圖 39 其他 LID 勘查照片

九、丹佛市 Metro Wastewater Reclamation District 污水處理廠

本廠位於科羅拉多丹佛市北邊約 5 哩之水再生廠，是洛磯山脈西側最大之污水處理廠，設計處理水量為 220 MGD(約 830,000 CMD)，目前實際處理水量約 130 MGD(約 490,000 CMD)。本廠於 1990 年開始提高生物處理程序之水中溶氧，主要是要減少放流水中氨氮以維持河川水質，未來亦將規劃設置除磷程序，茲將本廠處理程序與參訪心得分述如后。

(一)處理流程

污水處理廠之處理程序如圖 40。

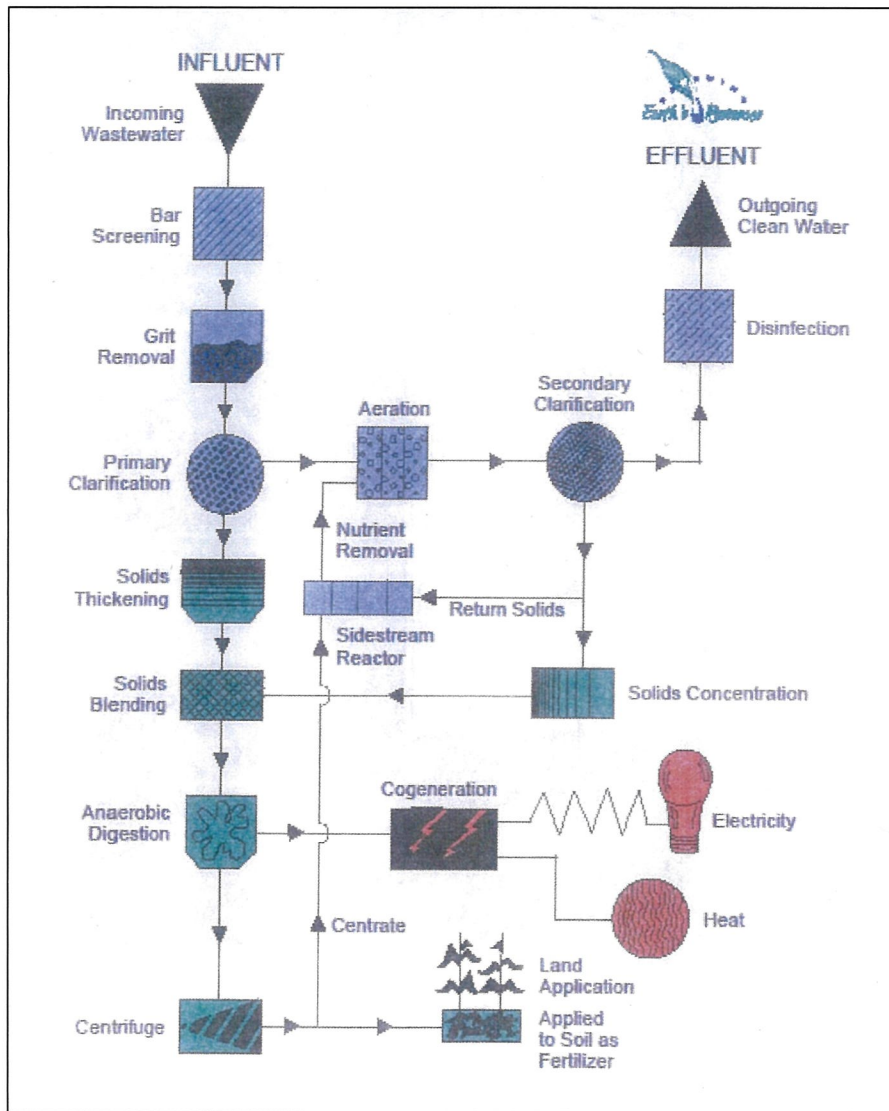


圖 40 丹佛市 Metro Wastewater Reclamation District 污水處理廠處理程序圖

1. 中控室

本廠中控室以電腦圖控為主，並未設置馬賽克流程板，若有訪客參訪時則傳輸至大型液晶銀幕進行解說。全廠圖控係由 ABB 公司所編寫，如圖 41。

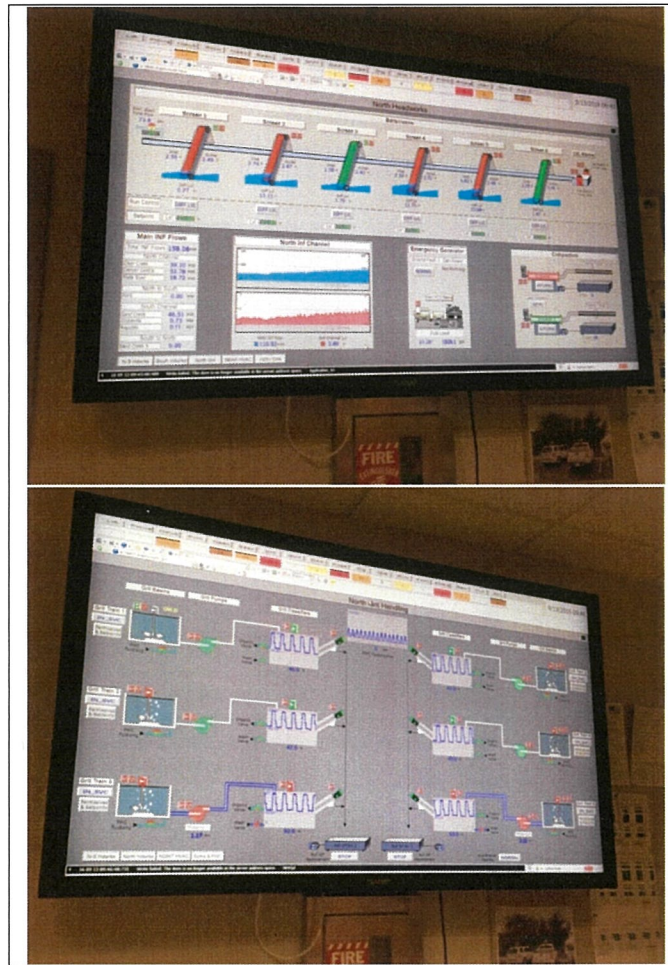
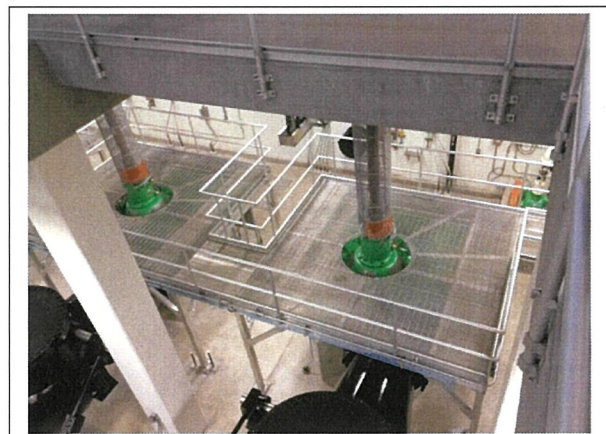


圖 41 污水處理廠中控室

2.初級出流水抽水機房

設置有 5 台豎軸非阻塞型離心泵，每台抽水量為 56.25 MGD，馬力數為 450 Hp 並且採變頻操作，主要操作 2 台，操作流量介於 30~80 MGD，如圖 42。



70



圖 42 出流水抽水機房

3. 鼓風機房

鼓風機房設置有 5 台單段離心式鼓風機，每台出口風量為 29,260 SCFM，馬力數為 2,000 Hp，並輔以變頻器進行風量控制。平日同時操作 2 台，輪流運轉，如圖 43。



圖 43 離心式鼓風機

4. 生物處理池

本廠採用活性污泥法，主要有 6 大池，長 526 呎(約 160 公尺)、寬 57 呎(約 17.4 公尺)、深 20 呎(約 6.1 公尺)，每池容積為 4.5 MG(約 17,000m³)。

此外，本廠為有效降低水中氨氮，採用 CaRRB，將其中一部分迴流污泥引入 CaRRB 槽中，宣稱效果為可強化主流程中的生物硝化效果，及節省混和液泵浦設置及操作費等。本廠 CaRRB 槽設置 3 槽，長 65 呎(約 19.8 公尺)、寬 55 呎(約 16.8 公尺)、深 20 呎(約 6.1 公尺)，每槽容積為 1.05 MG(約 2,029m³)，如圖 44。



圖 44 生物處理池

5. 迴流污泥泵

迴流污泥泵設置 14 台，採用橫軸臥式離心泵，每台容量為 11.4MGD(約 43,153CMD)，每台馬力數為 75Hp，輔以變頻器操作，如圖 45。



42



圖 45 迴流污泥泵

6. 實驗室

經由參觀污水廠實驗室，了解污水廠對於各階段之水質相當注重，設備儀器相當齊全，可當場做諸多實驗，經取樣分析水質後，再回饋資訊調整操作參數，使污水廠人員對於全廠操作細節可更深入，如圖 46。

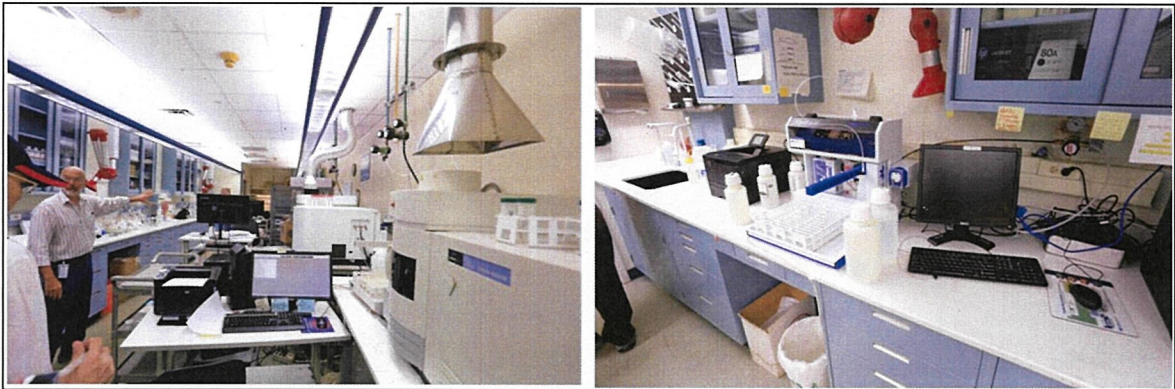


圖 46 本廠實驗室

(二) 參訪心得

1. 本廠設置有污泥厭氧消化槽，但由於行程時間短暫，無法參訪此一單元。但由廠方說明，本廠污泥完全的資源化及能源化，與 Hyperion 廠類似，能源化的部分則供應廠內電力使用，資源化則提供做為農作物肥料，並且嚴格控制重金屬含量。相對於國內目前多數污水處理廠污泥餅仍以廢棄物方式進行處理，且須付出昂貴處理費，如何促進污泥餅的資源化，值得國內相關單位思考，建議可進行小型試辦計畫。
2. 本廠以五年為一期，已規劃 2016 年至 2035 年本廠設施提升目標，在處理量部分並未增加，但對於水中 TN 及 TP 的去除則有逐年提升放流水標準之目標規劃。以總磷來說將分期由 1 mg/L 降低至最終期目標 0.08 mg/L。對於本廠而言，增加處理設施並非因為放流水標準加嚴，而是考量到放流河川中的生態棲息地是否遭受到影響，此思考角度亦值得國內借鏡。

十、丹佛市 Water Recycle Plant 水再生廠

本廠主要進一步處理 Metro Water 的二級放流水，提供做為工業冷卻水及公園、高爾夫球場、學校之景觀澆灌用水。每日處理量約為 30MGD(約 113,000CMD)。茲將本廠處理程序與參訪心得分述如后。

(一)處理流程

本廠先經過 BAF(Biological Aerated Filter)，其特殊菌種係植於聚苯乙烯粒子上 (polystyrene beads)可進一步去除水中氨氮，其出流水再進一步加混凝劑於管中進行混和(管中攪拌器)。膠凝池為三段，採用橫軸膠凝機，每段提供不同 G 值以利水中粒狀污染物膠凝為較大顆粒。經過膠凝後則進入傾斜板式沉澱池進行沉澱，採用斜板沉澱池在有限的沉澱池容積下可增加沉澱效率，如圖 47。沉澱池出流水再次經過深層快濾池過濾，本廠所採用的濾水器為較為特殊形式之雙通道濾水器，可有效減少濾池深度。最後經過加氯消毒後進入貯水池供應各用水戶再生水之使用，如圖 48 與圖 49。



圖 47 本廠膠凝池



圖 48 本廠傾斜板沉澱池及深層快濾池

44



圖 49 快濾池管廊

(二)參訪心得

- 1.本廠所採用之再生水流程，並未使用 MF 及 RO 之處理程序，僅進一步將二級放流水再次進行混凝、沉澱及過濾等淨水處理程序，與加州 Edward C. Little Water Recycling Facility 所採用程序不同，應與用戶端所需之水質及各州再生水標準不同所致。綜觀所採用之處理程序，與國內自來水廠所採用淨水處理技術相當，惟管廊配置精簡，值得學習參考。
- 2.本廠係進一步處理來自 Metro Water 的二級放流水，由於 Metro Water 廠現階段並未能有效除氮，所以需進一步於廠內設置除氮設施。若未來污水處理廠有再生水使用需求規劃時，建議應於污水處理程序納入除氮程序並計算其效率是否符合再生水使用需求，減少以減少重複設置生物處理單元，節省工程費，使用地效益最大化。

參、心得與建議

本次國外實務案例訪查綜整下列幾項心得與建議：

- 1、美國洛杉磯 Hyperion 污水處理廠自 1892 年開始運轉，為因應排放標準越趨嚴格，自 1950 年開始提升為二級廠，於 1998 年全廠二級處理設備重建完成，可知洛杉磯市相當注重穩定與乾淨的排放水質，而我國台北近郊污水下水道系統最下游為八里污水廠，處理水量與 Hyperion 廠相近，為大台北地區污水重要之末端處理，目前僅為初級處理海洋放流，如以美國為借鏡，仍有提升為二級處理，提高放流水質之空間，期能提升對環境之貢獻。
- 2、目前美國洛杉磯 Hyperion 污水處理廠近期提升之方向為(1)處理水質提升供再生水使用，(2)增加去氮處理能力因應未來心氮氨排放標準，(3)持續提升污泥脫水程序以節省藥品成本，(4)更純淨的甲烷氣以轉換電力。而 Tillman 污水處理廠近期之方向為提高再生水質達人體可接觸之標準。上述方向與趨勢可供我們借鏡。
- 3、美國洛杉磯市由於水資源較缺乏對於再生水之水質，依不同使用用途訂定有明確之標準，使水資源回收廠/再生水廠可依據相關水質標準，擬定處理程序，並針對關鍵水質進行監控，以保障再生水水質之穩定性，並強制工業用戶需使用再生水；而相對丹佛市因周邊有洛磯山脈水庫，較不缺水源，並無強制用戶使用再生水，故僅供澆灌、灌溉使用。
- 4、污水廠建立實驗室可當場視需要做多項實驗，經取樣分析水質後，再回饋資訊調整操作參數，使污水廠人員對於全廠操作更深入，除可提升處理成效，亦有助於營運管理。
- 5、美國洛杉磯市目前污泥經硝化、脫水處理後最終處置主要為掩埋與堆肥，而丹佛市目前污泥經處理後，則全部採堆肥方式，相對於國內目前多數污水處理廠污泥餅仍以廢棄物方式進行處理，且須付出昂貴處理費，如何促進污泥餅的資源化，值得國內相關單位思考，建議可進行小型試辦計畫。
- 6、丹佛市以集水區匯入河川處的低窪地區配合 100 年重現期的設計洪水，搭配增加滯、蓄洪池進行區域防洪，並成立丹佛都市排水防洪局進行相關規範的制定、研發及後續的管理，並委由科羅拉多大學協助研究部分，持續的合作與實際執行使丹佛市在防洪觀念與做法領先美國各城市。
- 7、河川防洪規劃先由水文模式進到水力模式，再經由流域排水計畫進行沿岸兩側依匯流面積作流量分配，定點上做出水管制。
- 8、都會區排水計畫是依河川允許放流量的來決定是否需要洪水減災。運用洪水減災時應選擇適當的水工結構物，先由河川出水口的滯洪集水區開始，再逐一的加上 LID 或滯洪設施，並進行全面性考量。
- 9、完善建置下水道 GIS 屬性資料除可應用於後續維護管理，並可與防災結合。
- 10、下水道設計應導入風險管理元素，於設計階段應預留餘裕量供不時之需可調配運用。

46/46