

## 西歐自來水處理程序發展之近況

# The Recent Development in Drinking Water Treatment Processes in Western Europe

葉宣顯

國立成功大學  
環境工程研究所

本文首先介紹西歐英、荷、法等國自來水淨水程序發展之近況，未來之展望，隨後再指出其特點，及其中可供我們借鏡之處。

### I、西歐數國自來水處理程序發展之近況

#### (一)英國

以英國最大之水公司泰晤士水公司(Thames Water Utilities, 簡稱TWU)為例，目前該公司每日出水量約二百萬立方公尺，供大倫敦地區約七百萬人口之用水。TWU共有七個淨水廠，其中最新的Walton高級處理廠，於1995年開始運轉，設計容量二十萬立方公尺／日，佔地約18公頃。Walton之原水取自泰晤士河(River Thames)，首先蓄積於三個水庫。水到達淨水廠時，先加少量之臭氧，接觸時間約5分鐘，然後流到「對流式溶解空氣浮除及砂濾池」(Counter Current Dissolved Air Flotation and Filtration, 簡寫為CoCoDAFF)，在流入前加硫酸鐵為混凝劑，CoCoDAFF事實上是將溶解空氣浮除與砂濾兩個程序組合在同一池內，含混凝劑之水及含溶解空氣之迴流水均由池深度之中央部位進入，氣泡帶著包含雜質之膠羽往上走，在池表面形成污泥氈(sludge blanket)，而被刮除。水則往下走，經無煙煤及砂之雙層濾料濾

床。溶解空氣浮除設施主要針對藻類之問題，但同時亦有增進膠凝，節省初設費等效果。過濾後，水進入主要之臭氧接觸槽，接觸時間15分鐘。在Walton臭氧係由液態純氧所生產而來；同時備有雙氧水貯槽，需要時可進行 $O_3/H_2O_2$ 之高級氧化程序，以對付頑強之有機物。臭氧化之水，先經粒狀活性碳床（空床接觸時間EBCT 18分鐘），再經慢砂濾床，水在流入配水系統之前，加少量之氯。另外Walton亦備有一套廢水處理設施，反沖洗水經沈澱後，再經無煙煤及砂之雙層濾料濾床過濾後，再排放。所產生之污泥則經污泥濃縮槽濃縮後，再經壓濾（press plates）脫水成泥餅後，再運至衛生掩埋場處置。<sup>(1)</sup>

但目前TWU約90%之出水，最主要之處理程序仍是慢砂濾。TWU為了提昇對有機物之去除效果，特別是農藥（歐體飲用水水質標準，單一農藥濃度不得超過 $0.1 \mu g/L$ ，總濃度不得超過 $0.5 \mu g/L$ ）。在經過模型及現場試驗，同時考量經濟性及時效性，決定將傳統慢砂濾床改為所謂「粒狀活性碳三明治濾床（GAC Sandwich Filter）」，即是在慢砂濾床之濾砂中加入約75-200mm之GAC夾層。如此上層之砂可保護GAC免於受懸浮固體物之阻塞，同時可維持慢砂濾床原有之生物膜功能；下層之砂則可阻擋GAC上之生物流入清水中。再者因慢砂濾床內之GAC層，可有很長之空床接觸時間（約30-60分鐘），故含GAC夾層之慢濾床對農藥，以及背景有機物如TOC、UV254及氯化有機物之前驅物質，均較傳統慢砂濾床有較高之去除率。<sup>(2)</sup>

## （二）荷蘭

### （1）阿姆斯特丹自來水公司（Amsterdam Water Supply，簡稱AWS）

AWS 1995年之日平均供水量約25萬立方公尺，其中約三分之二來自Leiduin淨水廠，其原水來自萊茵河（The Rhine），先在

Nieuwegein進行前處理，包括以氯化鐵混凝，沈澱及快砂濾後，以苛性鹼(NaOH)調整pH值，然後利用管線北送到阿姆斯特丹西邊之沿海地帶，進行沙丘人工補注(dune artificial recharge)，利用平均寬度35公尺，總長25公里之渠道，使水慢慢滲入地下之砂層，約停留60到400天後，再以總長約37公里之集水渠收集到蓄水池，然後以泵打到Leidum淨水廠，AWS平常在沙丘地帶之地下蓄存有兩個月之用水量。

Leidum淨水廠之處理程序原為結晶軟化、快砂濾及慢砂濾，1987年發現阿姆斯特丹之飲水遭受農藥bentazon之污染，震驚荷蘭民眾。AWS隨即進行提昇處理程序之計畫，經過規劃、設計及施工，於1995年完工開始運轉。現有之處理程序為氣曝、快砂濾、臭氧、流動床式結晶軟化(pellet softening)、生物活性碳及慢砂濾。氣曝以增加沙丘地下水之溶氧。快砂濾以去除懸浮固體物、部份有機物、氨氮、藻類及鐵、錳。臭氧加量約為1mg/L，接觸時間15分鐘，臭氧可與有機物作用，以增加其生物分解性，同時亦有消毒之作用，並可改善水之色、臭及味。結晶軟化係利用流體化床式之反應器，在底部注入氫氧化鈉溶液及噴入石榴石(Gavnet)細砂，使水中之鈣與碳酸根離子在石榴石之表面形成碳酸鈣之結晶，使硬度降低到1.5 mmol/l。在進入活性碳床之前，先以鹽酸調降pH值。活性碳床係兩段串聯式，活性碳層厚度2.5公尺，最大過濾速度10m/hr，總接觸時間平均約20分鐘。第一段主要將吸附之有機物，進行生物分解，第二段則將生物分解性不高之殘餘有機物吸附；故新的或剛再生之活性碳係使用於第二段，稍後再換成第一段。因生物作用會消耗溶氧，故活性碳床之出水均注入純氧以補充之。最後一道程序慢砂濾，濾砂厚度約1公尺，濾速0.5m/hr，約3~12個月刮砂一次。主要目的在去除殘餘之有機物，以增進水質之生物穩定性，同時去除可能殘存之細

菌，以確保水質之安全性。Leidum亦有備用之次氯酸鈉溶液及氯接觸槽，以為緊急狀況下使用。該廠另有廢水處理設施，以處理快濾池及活性碳床之反沖洗水，主要以加少量之氯化鐵，然後進行直接過濾，濾液則回到氣曝，回收使用。<sup>(3)</sup>

為了應付將來出水量需要增加，但基於環境保護之原因，補注到沙丘之水量不能增加之情況。AWS目前正在研究不經沙丘補注，而將經混凝、沈澱、快砂濾前處理之萊茵河水直接處理成飲用水之可行性。目前之模廠試驗正在比較前處理水經臭氧、GAC濾床、慢砂濾及逆滲透(RO)，與逆滲透前僅經慢砂濾兩種程序。另外AWS之Leidum廠內目前亦有一INKA project在執行，係由荷蘭之四個單位共同合作之計劃，包括 IHE (International Institute of Infrastructure, Hydraulics, and Environmental Engineering), Norit N.V., KIWA, 及AWS。其主要內容在研究臭氧-GAC之生物活性碳(biological activated carbon)程序對農藥(如Atrazine)等微量有機物之去除，亦包括如何控制此一程序，以減少溴酸鹽(bromate)之生成。<sup>(4)</sup>

## (2) 歐港自來水公司(Europoort Water Works, 簡稱EWW)

EWW負責供應自來水給鹿特丹及其臨近地區。在1960年代時，其原水來自萊茵河，經微篩、折點加氯，加混凝劑及粉狀活性碳(PAC)於污泥氈式膠凝沉澱池，然後再經快砂濾及後氯。1963年發生海水入侵，淨水廠清水之氯鹽高達2,000mg/L。經研究後，將水源改為Meuse河，並在Biesbosch地區建造巨型之蓄水庫數個。除調節河川之洪、枯流量外，因停留時間可長達數個月之久，水質可因自淨作用而改善，另外亦將苛性鹼加入其中之一水庫，以進行軟化。<sup>(5)</sup>

目前EWW平均日供水量約四十二萬立方公尺，由五個淨水廠供水，原水除小部份地下水外，絕大部份來自前述之Biesbosch地區蓄

水庫。以最大之淨水廠Berenplaat（平均日出水量二十七萬立方公尺）為例，目前之處理程序為微篩、預氯（約 $1\text{mg/L Cl}_2$ ），加硫酸鐵於污泥氈式膠凝沉澱池進行混凝沉澱，然後經粒狀活性炭濾床（GAC厚度1公尺）及後氯。另外值得一提的是：該廠對沉澱池所產生之污泥及GAC床之反沖洗水亦自一套處理設施，經污泥塘後，再經機械脫水、加溫乾燥，固體污餅則送至煉鋼廠回收提煉。

然自1991年起Berenplaat廠為提昇清水水質，如避免在淨水程序中使用氯，增加對農藥及其他微量有機污染物之去除，提昇對濾過性病毒及Giardia, Cryptosporidium等微生物之消毒效率，改善水之臭及味，及提昇清水之生物穩定性等，進行一序列有關臭氧、活性炭之研究，首先是 $10\text{m}^3/\text{hr}$ 之小型試驗，然後進行 $100\text{m}^3/\text{hr}$ 之模廠試驗。最後決定之處理流程為微篩、污泥氈膠凝沉澱、臭氧/ $\text{H}_2\text{O}_2$ 高級氧化程序、粒狀活性炭床過濾、微篩及最後紫外光(UV)消毒。臭氧加量約 $1.6\text{mg/L}$ ，接觸時間10分鐘；GAC床為二段式，空床接觸時間(EBCT)各為15分鐘。 $\text{H}_2\text{O}_2$ 可依需要才加。此一程序主要利用臭氧/ $\text{H}_2\text{O}_2$ 高級氧化程序來氧化頑強之微量污染物，及對有害微生物之消毒，配合後續之生物活性炭(biological activated carbon)可將有機物分解，同時提高處理水之生物穩定性。最後之微篩及UV消毒，則可阻絕可能由GAC床流出之微生物。新的處理設施預計在1999年完工供水。<sup>(6)</sup>

### (3)PWN公司(Provincial Water-Supply Company of North - Holland, 北荷蘭省自來水公司)

PWN公司之平均日出水量約20萬立方公尺，其原水一購自WRK公司，係萊茵河水經硫酸鐵混凝、沉澱及快砂濾，然後以管線送至北荷蘭省，先注入沙丘地下水層，約停留一個月之時間後，再打出；在PWN公司之三個淨水廠進一步處理成飲用水。另一股原水則來自荷蘭

北部之內陸湖Ijssel，在Andijk淨水廠直接處理成飲用水，其處理程序為微篩、預氯、混凝、沉澱、快砂濾、GAC濾床及二氧化氯消毒。

為了應付未來供水量增加之需求，PWN公司預計在公元2000年前在Heemskerk建造一新的淨水廠，取Ijssel湖水為原水。預計所取原水，1/4直接處理成飲用水，3/4則經前處理後，注入沙丘地下水層。但該湖水目前有鹽份（特別是鈉鹽）、硬度偏高及微量有機污染物，如農藥等問題。且為了保護自然資源，希望提昇注入沙丘地下水層之水質。PWN公司經在Andijk進行長時間之模廠試驗後，決定Ijssel湖水之前處理程序為鐵鹽混凝，污泥氈膠凝沉澱、上流式砂濾，然後3/4之水量經GAC濾床，及臭氧—雙氧水高級處理程序，然後補注到沙丘地下水層。希望將微量有機污染物先經GAC吸附，極性較大不易被吸附者，則再經高級氧化程序氧化之，從沙丘地下水層取出之水，則先經流動床式結晶軟化，以降低硬度後，再經快砂濾。另外1/4之前處理水則經超過濾(ultrafiltration)及逆滲透(reverse osmosis)兩道薄膜程序。超過濾可去除懸浮固體物，包括濾過性病毒及細菌，以防止逆滲透膜之阻塞(fouling)；逆滲透則可去除鹽類及大部份之微量污染物。然後經沙丘補注及直接薄膜處理之兩股水混合，經紫外光(UV)消毒，即可進入配水系統。<sup>(7),(8)</sup>

(4)DZH公司 (The Dune Water Company of South Holland，南  
荷蘭自來水公司)

DZH公司之主要供水區域為海牙及其臨近之鄉鎮，其前身為成立於1874年之「海牙沙丘水公司」(The Dune Water Works of the Hague)。當時主要以挖渠道方式自海岸旁沙丘地區引流地下水為水源。該含水層係幾百年來，因雨水滲入地下所形成浮於鹽水上之一稜鏡形淡水層。早期因取水量不高，且每年降雨補注量高達750萬立方

公尺，故含水層之狀況維持穩定，但1900年以後不久，取水量已超過自然補注量，故地下淡水面開始下降。至1920年代中期，在某些地區已開始抽到鹽水。然後開始考慮抽取表面水，經處理後，再補注到地下含水層。1950年代中期首先抽取萊茵河支流Lek河河水，經快砂濾後，以管線送至沙丘地區，經地表入滲池補注到地下。後來因萊茵河河水污染過於嚴重，於1970年代改自Meuse河取水。<sup>(9)</sup>

目前DZH公司在Meuse河之某一河段內加硫酸鐵進行混凝，以去除水中之磷。水打起後，經沉澱、快砂濾之前處理後，再將水打到沙丘地區，以地表人工入滲池補注到地下。1990年起，為了應付需水量之增加，需增加地下補注量。但為了減少對自然環境之影響，新增之部份改採深井補注(deep-well infiltration)。其作法是將上述經前處理之河水，再經鋁鹽混凝、浮除及快砂濾，然後以深井補注到地下，目前每年依此法補注之水量約4百萬立方公尺。

從沙丘地下水層打出之水，則先加粉狀活性碳，然後經流動床式結晶軟化，以降低硬度。DZH流動床式結晶軟化設施之特點，在於其鹼劑不使用苛性鹼，而使用石灰，以求不增加清水中鈉鹽之含量。但使用石灰，為防止配製鹼液之水中的二氧化碳，與鈣生成 $\text{CaCO}_3$ 之固體，而阻塞加藥管線，故需有一套加酸及氣提之設備，以去除水中之 $\text{CO}_2$ 。軟化後之水，經調整pH值，再經氣曝、快砂濾及慢砂濾再送入配水系統。<sup>(10)</sup>

### (三) 法國

巴黎郊區之自來水由Compagnie Generale des Eaux(CGE)公司之三個大型淨水廠來供給，總出水量為1,800,000立方公尺/日，其水源為表面水。以其中之一的Mery-Sur-Oise廠為例，在1960年代時，其處理程序為預氣，加多元氯化鋁及粉狀活性碳進行混凝、沉

澱，然後砂濾，臭氧消毒，在進入配水系統之前，加一點氯，以維持餘氯。後因原水污染，而產生氯化有機物及臭味等問題。在1980年代，處理程序改為原水先加少量臭氧，然後導入原水蓄水庫內貯存，水自蓄水庫打出後，經第二段加臭氧，然後經鋁鹽或鐵鹽混凝（必要時亦可加粉狀活性炭）、沉澱、砂濾後，再經臭氧／雙氧水高級氧化程序，及粒狀活性炭濾床，最後經後加氯消毒後，水再進入配水系統。上述程序中，第一段加臭氧之目的在打破重金屬（如鉛與鎘）與腐植物質間之錯合作用，同時可加速蓄水庫內之自淨作用，而利於氨氮、重金屬，及病原菌數量之降低。第二段加臭氧之目的，則在於加強混凝—沉澱—砂濾程序中硝化作用及對有機物之去除。第三段 $O_3/H_2O_2$ 則可氧化頑強之微量污染物，如農藥，同時提高其生物分解性；並在粒狀活性炭床內造成一個有利於微生物生長之環境，如此可促進有機物之生物分解、硝化作用及延長活性炭之再生間隔。

到1990年代CGE公司準備將Mery-Sur-Oise之出水量提高一倍，至每日四十萬立方公尺，同時為應付未來更嚴格之水質標準及用戶之要求，準備採用創新性之處理方法。經實驗室及模廠試驗後，預計以nanofiltration(NF)之薄膜程序來取代現有程序中之臭氧—活性炭吸附，同時以現有之前臭氧、混凝、沉澱、砂濾為NF之前處理。因為他們發現NF可去除約90%之溶解性有機物，將砂濾水之需氯量由 $3.0\text{mg/L}$ 降低至 $0.1\sim 0.2\text{mg/L}$ ，故可大幅降低消毒副產物。同時NF亦可去除兩價之離子及細菌、濾過性病毒，故有軟化及消毒之功用。<sup>(11)</sup>

1992年7月CGE公司在Mery-Sur-Oise完成一容量2,800立方公尺／日之小規模NF實廠。其原水來自砂濾床出水，首先以硫酸或鹽酸降低pH值，以防止積垢(Scaling)。然後經低壓抽水機打入預濾設施，以去除大於 $5\mu\text{m}$ 之顆粒，以防止NF膜之阻塞。在預濾之前，同

時加入 sodium hexametaphosphate 為 sequestering agent，以降低由膠體物及無機鹽所引起之 fouling。

預濾後，水經高壓抽水機(7~15 bars)，打入薄膜模組。NF 模組有兩套，每套各有4個 stages，第1,2,3,4 stage 各有8,4,2,1個壓力管(pressure tubes)，每一壓力管含6個直徑8英吋，長40英吋之 elements，NF 膜係 spiral wound 之 thin film composites。薄膜程序之後處理則包括氣提塔，以去除 CO<sub>2</sub>，及以 NaOH 調整 pH 值，以避免沈積或腐蝕。此一薄膜廠亦包括許多即時(on line)之偵測或分析儀，以得到一些即時之程序資訊，如壓力、水溫、流量、pH 值、導電度及顆粒數目等。其中尤以顆粒計數器為重要，因為由水中顆粒數目，可瞭解薄膜或系統內之止水設施有無破損。

自1993年二月起此一NF薄膜廠之出水，已進入人口6,000之 Auvers-sur-Oise 社區之配水系統。預計由其操作結果，作為未來每日二十萬立方公尺薄膜廠設計之依據。<sup>(12)</sup>

## II、西歐自來水處理程序發展之特性及其對我們之啓示

由前面所述英、荷、法等國晚近自來水工程發展的一些例子，可以看出其具有以下之特點；同時我們亦談談其中可供國內自來水工程未來發展參考之處。

### (一) 重視水源之可靠性及其保護

西歐之水公司大都非常注意原水之蓄積，蓄水量可達數個月之所需，除了利用水體之淨化作用，以提昇水質外，亦備河川發生污染事件時，供水之所需。對採用地下水，而抽取量超過自然補注量者，均將表面水經過處理後，再補注到地下。除利用土壤層對氮氮、有機物、微生物等之淨化作用外，亦有將水蓄積於地下，以備表面水發生污染事件時，可自地下取水。地下蓄水，亦有防止海水入侵或污染之

表面水滲入地下之功用。同時許多水廠均有兩處以上之原水來源及兩套原水供水管線。

國內河川因洪、枯流量差異甚大，直接利用甚為困難。而最近欲築庫蓄水，亦常遭環保抗爭。地下水方面，在我國未來加入世界貿易組織，開放農產品市場，而致稻作面積減少後，地下水補注量將更形減少。如何在沿海地帶選擇適當之地方，將豐水期之表面水處理後，補注到地下，以供枯水期之所需，同時防止海水入侵，應該是值得重視的一個問題。然地下補注涉及多領域之知識，需水文、水力、地質、環工…等方面之專家共同合作。

## (二) 水處理程序上對有害物質多層阻絕(multiple barrier)之觀念

從前面之介紹，可知西歐新近完成或正在規劃、設計之淨水場，其處理程序均相當複雜，除傳統之混凝、沉澱、砂濾外，尚包含沙丘補注、臭氧（或 $O_3/H_2O_2$ ）、活性炭、慢砂濾或薄膜程序等。一處理程序可能包含十幾個單元，其目的在於使原水中之有害物質如未在前面之單元中被去除，亦會被後續之單元所去除，以確保水質之安全性。

## (三) 強調清水水質之生物穩定性(biological stability)

國內目前判斷配水管網內水質之完整性，仍以視其餘氯量是否在標準範圍內為主。但根據文敵之報導，即使有餘氯存在，亦不能完全保證無大腸菌或致病菌之存在<sup>(13)</sup>。特別是附著於管壁上生物膜內之細菌抗氯性更強<sup>(14)</sup>，目前為了消毒副產物及臭味之問題，先進國家更有降低餘氯量或完全不使用氯之趨勢。

為了防止微生物在配水管網內之生長（所謂「後生長」(regrowth)），及其可能引起之水質惡化、管線腐蝕…等問題，目前認為最有效之方法是控制微生物之營養源。對大部份之水而言，即是控制可作為微生物生長基質之有機碳。水中所含此類有機碳之濃度

低，即表示其生物穩定性高，其定量之參數有所謂AOC (assimilable organic carbon) 或BDOC (biodegradable dissolved organic carbon)。(15)

目前西歐在檢討水處理程序時，除了注意微生物、微量污染物之去除外，亦注意處理水之生物穩定性。如臭氧可增加水中生物可分解之有機碳，故需後接活性碳或／及慢砂濾等生物濾床，以提高清水之生物穩定性，如荷蘭希望將清水之AOC值控制在 $10\mu\text{g acetate-C/L}$ 以下，而可免除後加氯。(16)

#### (四) 重視薄膜技術在水處理上之運用

以往一提到薄膜在水處理上之運用，總想到脫鹽或海水淡化，但隨著薄膜技術之發展，其在水處理上之運用已日益廣泛，在西歐逆滲透膜(RO)除用於去除離子外，亦用於農藥及其他微量污染物之去除。Nanofiltration(NF)用於降低硬度，去除微量污染物及細菌等。Ultrafiltration(UF)除可作為RO之前處理外，亦用於反沖洗砂水之回收，再者隨著薄膜技術之發展，所需之壓力越來越低，使其更具競爭力。對國內之淨水廠而言，今後欲提昇處理程序，如採用軟化、臭氧、活性碳，甚或慢砂濾等單元之組合，則所需土地面積甚大。相形之下，如將現有混凝、沉澱、砂濾之傳統程序保留作為前處理，而後接薄膜，則所需增加之土地面積將大為減少，應為一值得加以比較之替代方案。

#### (五) 重視環境保護

從前面之敘述可知西歐新近完工之淨水廠，都附有完善之廢水及污泥處理設施，而荷蘭之淨水廠大多以鐵鹽為混凝劑，除考慮殘餘鋁問題外，鐵污泥較易回收使用，亦為因素之一。另荷蘭之水公司亦負責管理地下水補注之沙丘地區，目前基於自然環境保育之理由，用於

表面補注(Surface infiltration)之土地面積已不能再增加，故必需採用深井補注(deep-well infiltration)，或以薄膜程序來取代之。

#### (六) 重視研究發展

西歐諸國除了有全國整合性，世界著名之水研究中心外（如英國之WRC；荷蘭之KIWA，法國之CIRSEE等，前已有專文介紹，此不再重覆<sup>(17)</sup>），各自來水公司亦都有自己之研發部門。如英國Thames Water於1992年以四佰萬英磅建立一「水高級處理中心」(Advanced water Treatment Centre, AWTC)，用以進行如臭氧／活性碳等高級處理技術之研究。荷蘭之水公司，有些規模小於國內之一個區處，但亦都有專人從事模廠試驗等研發工作。如DZH公司正在從事流動床式結晶軟化之模廠試驗，PWN公司則已從事十餘年之薄膜程序研究。

阿姆斯特丹自來水公司(AWS)則在其組織架構下，設有「研究、發展及規劃(Resenrch, development and planning)」部門，主事者為國際知名之Dr. A. Grnveland，下分設處理程序、水文、生態、技術發展等組。該公司在Leiduin淨水廠內設有規模相當龐大之模廠試驗設施。前數年剛完成臭氧／活性碳等研究，而促成Leiduin廠之現代化。現仍積極從事薄膜等相關程序之研究，為下一世紀之水廠作準備。另AWS之研發工作亦常結合水公司、研發機構、學術界及廠商之力量。如前述之INKA project，研究生以水公司之模廠進行試驗，所得結果除撰寫論文外，亦可直接供水廠規劃、設計之用。諸如此類之作法，均有值得我們借鏡之處。

#### 誌 謝

承行政院國家科學委員會之科技人員海外研究進修之經費補助，服務單位國立成功大學給予一年休假研究進修之機會，及成大環工所

同仁在這一年內協助料理國內事務，使作者能在荷蘭KIWA完成一年之研究進修，並略窺西歐自來水工程發展之近況，謹此敬致感謝之忱。

#### 參考文獻

- (1)"Walton Advanced Water Treatment Works", Thames Water Utilities 提供之資料。
- (2)"Sandwich break: a novel idea brings about the first major change in the way London's water is purified in 130 years," Feature paper, Water Services, Feb. 1994.
- (3)"Ozonation and carbon filtration - the OCF systems of Leiduin waterworks, Amsterdam Water Supply, 1995.
- (4)Upadhyaya, A. K. Modelling Competitive Adsorption of Pesticides and Natural Organic Matter, M. Sc. Thesis, IHE-Delft, the Netherlands, 1995.
- (5)The Water Storage Corporation Brabantse Biesbosh, Europoort Water Works 提供資料。
- (6)"Production locations Berenplant, Kralingen, Baanhoek," Europoort Water Works 提供資料。
- (7)"Delicious drinking water and preserved nature" PWN公司提供資料。
- (8)"Delicious drinking water due to advanced research," PWN公司提供資料。
- (9)"A bird's-eye view of The Hague Dune Water Works," The Dune Water Works of the Hague, 1983.
- (10)"Pure water from a clean environment," The Dune Water Company of South Holland, 1993.
- (11)Bourbigot, M.M., Cote, P.L. and Agbekodo, K. "Nanofiltration: an Advanced Process for the Production of High Quality Water," Proceeding of the AWWA/IWSA Membrane Technology Conference, Baltimore, Maryland, pp. 207-211, August 1993.

- (12)Cote, P., Kopp, V., Tanghe, N. and Faivre, M. "Nanofiltration for Surface Water Post-Treatment:: The Case of Mery-Sur-Oise in the Suburb of Paris," Proceeding of the AWWA/IWSA Membrane Technology Conferece, Baltimore, Maryland, pp. 777-782, August 1993.
- (13)Wierenga, J. T. "Recovery of Coliforms in the Presence of a Free Chlorine Residual," Jour. AWWA, 77:11:83, 1983.
- (14)Ridgway, H. F. and Olson, B. H. "Chlorine Resistance Patterns of Bacterin from Two Drinking Water Distribution Systems," Appl. Envir. Microbiol., 44:4:972, 1982.
- (15)Huck, P. M. "Measurement of Biodegradable Organic Matter and Becterial Growth Potential in Drinking Water," Jour. AWWA, 82:7:78, 1990.
- (16)Van der Kooij, D. "Significance and Assessment of the Biological Stability of Drinking Water," in The Handbook of Environmental Chemistry, Vol.5, J.Hrubec, Editor, Springer, Verlag, Berlin, pp. 89-102, 1995.
- (17)葉宣顯、陳耀楠，"各國自來水研發機構之介紹及我國之展望," 中華民國自來水協會第十一屆自來水研究發表會論文集，第1-15頁，1994。