

# 行政院所屬各機關出國報告

(出國類別：訓練，編號：PIO/P No.: 484-C05-50339)

## 人工湖之水源運用及經營管理

服務機關：經濟部水利署水利規劃試驗所

姓名：潘禎哲

職稱：副研究員

赴派國家：荷蘭

出國期間：中華民國 94 年 12 月 13 日至 95 年 2 月 10 日

報告日期：中華民國 95 年 5 月

## 摘要

台灣地區由於降雨水文條件豐枯不均以及河川坡度很大，雖然年平均雨量高達 2,510 公厘，約為世界平均值之 2.6 倍，但因地狹人稠，每人每年所分配雨量約為世界平均值的七分之一，屬於水資源較為缺乏之國家，復以降雨在時間上之分布極不均勻，豐水期（五至十月）之雨量即佔全年之 78%，且大部分降雨集中在颱風過境時，若颱風降雨較少，即面臨缺水之窘境，故對水源利用率低之河川應興建蓄水空間以保留珍貴水資源，採蓄豐濟枯方式調蓄水源，傳統上以往即是以興建高壩水庫來因應，由於近年來開發高山水庫或於河川主流上興建高壩之工程推動不易，開發平地水庫由於對環境之衝擊較低，同時具備採取砂石，環境保全與國土保育等附加效益，故為水利署積極推動之多元化水源開發方案策略之一。

台灣早期人工湖關建主要功能為農業灌溉使用，且大部分利用天然窪地鑿深、原有小湖擴建或築堤而成，或利用挖掘埤塘方式，儲存地面水或雨水，形成如桃園地區所謂之「百里埤塘」，隨著人工湖關建之需求，其使用與功能可能包括有飲用水源、灌溉、防洪與滯洪、魚產、砂石或礦產、消防或儲冰、社區池塘、能源與工業用水、低耗能水質淨化、湖面及湖岸交通、休閒、保育與生物多樣性、訓練與教育等，各種使用與功能均依需求者之立場來區分主次要標的，並依立地條件（如供水缺口、水源水量、水質、地形、地質、區域發展計畫、土地利用、生態環境營造）以進行規劃，基本上，一個人工湖形成之水體，除其水源之利用外，配合週邊土地利用，均適合發展為某種程度下休閒、保育、生物多樣性，以及水資源訓練與教育之計畫。

荷蘭土地面積約 41,160 km<sup>2</sup>，四分之一面積位於海平面以下，如沒有興建海堤、河堤或堰壩等設施，65%土地面積將至淹水，故荷蘭水利工程首重抵禦海潮，以保護生命及財產安全，故沿海之數個河口區位均已以堰壩等設施阻隔海潮之侵襲，如近年之三角洲計畫（Delta Work）。

在河川防洪部分，由於更高的堤防潰堤後將導致更大的安全危害，為增加河道之通洪能力，荷蘭政府已不再以加高堤防方式，而採取浚深與加寬（deepening and widening）之策略，原則上採現有高水堤防退縮，高灘地浚深之方法，以增加河川水道之空間。

區域排水部分，低窪地區主要是以圍築堤防防止外水流入，豐水期降雨造成之多於內水則以抽水站抽至所謂的 BOEZEM，其為為暫存水量之空間，實際上 BOEZEM 即是遍佈各地之運河，如運河之容量不足以容納，則再抽至主要河川，再於設有大型抽水站之河口堰處抽至外海，枯水期之操作係為防止部分低窪地區地下水質鹹化，將暫存於 BOEZEM 之水量排

入此區，以維持地力與生態。

在水源供給方面，自 1850 年起，由於地下水具水質穩定與處理費用低廉之因素，私人或公家之水公司大多抽取地下水作為飲用水與工業用水，2002 年之統計資料顯示水公司之年飲用水供水量約 1,168 百萬立方公尺，家用約為 709 百萬立方公尺，商業用約為 225 百萬立方公尺，工業用 177 百萬立方公尺，其他用水約 67 百萬立方公尺。另工業用水有其自有水源，多取自地表水，部分抽取地下水，依 1990 年統計資料，地表水為 1,200 百萬立方公尺，地下水為 200 百萬立方公尺。一般而言，荷蘭河川地表水充裕，故沒有水源不足之問題，亦無需限制對地表水開發及使用，但由於長期地下水超抽、地下水鹽化等導致植生與景觀枯旱等所謂之 *verdroging* 現象，其中水公司抽取自地下水之比例由 1992 年之 67% 降至 57%，減抽之原地下水供應量則轉由地表水源替代。在水源利用方面，荷蘭與本國最大不同之處為發展航運及與水相關之休閒觀光，故其於總長約 3,500 km 之河川及運河內多處設有活動堰與閘門，以保持為航運需求之水位，在與水相關之休閒觀光產業方面，依 1998 年之統計資料，其年營業額達 1,200 百萬歐元，平均之觀光旅遊收入自 1990 至 1998 年增加 6%。

本次赴荷蘭參訪觀摩了該國有關「水源利用」、「採取砂石」、「儲存污泥」、「水質淨化」及「休閒」等類型之人工湖，並就其設置目的與人工湖之功能及使用進一步了解。BIESBOSCH RESERVOIR 為一供給飲用水之人工湖，其區位與部分水文條件類似國內高屏大湖，極具高屏大湖計畫推動之參考價值。阿姆斯特丹供水公司之沙丘入滲抽出系統上之補注人工湖之功能係為水質淨化所施設之設施，其設置之理由與條件以及目前荷蘭政府已禁止興建補注湖而改以補注井的經驗值得國內部份人士提倡補注人工湖之需求時引以為借鏡。位於 Tiel 之採取砂石人工湖、Slufter 儲存淤泥之海岸人工湖及數個休閒人工湖，以及參觀多項防潮堰等水利工程設施，使筆者對人工湖有多方面之認識，並留下深刻之印象。

## 目次

### 摘要

|           |    |
|-----------|----|
| 壹、目的..... | 4  |
| 貳、過程..... | 5  |
| 參、心得..... | 6  |
| 肆、建議..... | 19 |

## 壹、目的

本國近年來人工湖規劃主要以水源利用為主，包括高屏大湖、桃園大湖、雲林大湖、麥寮人工湖、溪洲人工湖、崙背人工湖、溪洲人工湖、台南大湖，其他尚有南科滯洪池及為地下水保育之烏塗人工湖及萬隆人工湖等規劃，均為在平地上以挖掘方式，形塑蓄水空間，引入河川水源蓄儲。

國內人工湖計畫方興未艾，各界為某種程度下之水土資源利用，提出許多人工湖方案，事實上人工湖為水土資源之綜合規劃，其計畫之經濟效益主要是以水源、土地費用與取得、週邊土地整體規劃等條件為關鍵，由於不同功能與使用之人工湖應依其設置條件而定，故於規劃階段研選人工湖設置之區位即因計畫功能之主次要標的而有不同之思考方向與取捨。

筆者歷年來承辦高屏大湖、桃園大湖、雲林大湖、麥寮人工湖、溪洲人工湖、崙背人工湖、溪洲人工湖、台南大湖及烏塗人工湖等之規劃工作，其中高屏大湖已完成可行性規劃及通過環境影響評估審查，並已奉行政院核定實施，麥寮人工湖亦已完成可行性規劃，惟未通過環境影響評估審查，其餘人工湖尚於初步規劃階段，經評估後部分人工湖經濟可行性不高，現階段不具推動價值。鑒於數年來人工湖規劃、推動高屏大湖工程計畫相關經驗、聽取環保團體及地方人士提出類似荷蘭補注地下水人工湖等意見，是以，本次出國訓練前往荷蘭研習「人工湖之水源運用及經營管理」，為期六十天，研習與觀摩荷蘭地區之各人工湖類型，吸取人工湖設置規劃經驗，蒐集是否有類似高屏大湖之案例與釐清補注地下水人工湖等問題，以助於國內推動人工湖計畫之規劃參考。

## 貳、過程

荷蘭戴伏特工藝大學協助荷蘭政府規劃研究許多水利工程計畫，如三角洲計畫，為歐洲以土木水利工程著名之大學，本次赴荷蘭研習即於戴伏特工藝大學土木與地質研究所，並於 Henk Jan Verhagen 教授之指導下進行研習討論與參訪，行程表如下：

| 訓練進修日期及時間<br>(Visiting Time) | 訓練進修地點<br>(Location)     | 實際訓練進修機構及訪談對象<br>(Institutions & Persons to be visited)   | 訓練進修目的及討論主題<br>(Topics for discussion)  |
|------------------------------|--------------------------|---|---|
| 12/13<br>-12/14<br>2005      | Taipei 台北 -<br>Delft 戴伏特 | 往程轉機  |   |
| 12/15<br>2005-<br>1/12 2006  | Delft<br>戴伏特             | Delft University of<br>Technology<br>荷蘭戴伏特工藝大學研習<br>Henk Jan Verhagen<br>教授<br>Stevinweg 1<br>2628 CN Delft | 1. Functions of Artificial<br>Lakes<br>人工湖功能研析<br>2. Principles of Selection<br>Lake sites<br>人工湖選址原則擬定<br>3. Water utilization of<br>Lakes with<br>multi-functions<br>多功能人工湖水源運用 |
| 1/13/2006                    | Amsterdam<br>阿姆斯特丹       | Henk Jan Verhagen 教授陪同參<br>觀堤防及人工湖 Afsluitdike<br>and IJssel Lake   | Observational visits<br>觀摩實習  |
| 1/14 -1/16<br>2006           | Delft<br>戴伏特             | Delft University of<br>Technology<br>荷蘭戴伏特工藝大學研習<br>Henk Jan Verhagen<br>教授<br>Stevinweg 1<br>2628 CN Delft | Water utilization of Lakes<br>with multi-functions<br>多功能人工湖水源運用  |
| 1/17/2006                    | Rotterdam<br>鹿特丹         | Henk Jan Verhagen 教授陪同參<br>觀人工湖 Biesbosch Reservoir   | Observational visits<br>觀摩實習  |
| 1/18-1/19<br>2006            | Delft<br>戴伏特             | Delft University of<br>Technology<br>荷蘭戴伏特工藝大學研習<br>Henk Jan Verhagen                                       | 1. Water utilization of<br>Lakes with<br>multi-functions  |

|                   |                             |   |   |
|-------------------|-----------------------------|---|---|
|                   |                             | 教授<br>Stevinweg 1<br>2628 CN Delft  | 多功能人工湖水源運用<br>2. Planning / Management of<br>Lakes with<br>multi-functions<br>多功能人工湖規劃及經營<br>管理   |
| 1/20/2006         | Rotterdam<br>鹿特丹            | Henk Jan Verhagen 教授陪同參<br>觀防潮閘水利工程<br>Waterway storm surge barrier   | Observational visits<br>觀摩實習  |
| 1/21-1/24<br>2006 | Delft<br>戴伏特                | Delft University of<br>Technology<br>荷蘭戴伏特工藝大學研習<br>Henk Jan Verhagen<br>教授<br>Stevinweg 1<br>2628 CN Delft | 1. Water utilization of<br>Lakes with<br>multi-functions<br>多功能人工湖水源運用<br>2. Planning / Management of<br>Lakes with<br>multi-functions<br>多功能人工湖規劃及經營<br>管理 |
| 1/25/2006         | Amsterdam<br>阿姆斯特丹          | Henk Jan Verhagen 教授陪同參<br>觀砂丘計畫水利工程 Dunes<br>project   | Observational visits<br>觀摩實習  |
| 1/26/2006         | Rotterdam<br>鹿特丹            | Henk Jan Verhagen 教授陪同參<br>觀三角洲計畫水利工程 Delta<br>Work   | Observational visits<br>觀摩實習  |
| 1/27-2/8<br>2006  | Delft<br>戴伏特                | Delft University of<br>Technology<br>荷蘭戴伏特工藝大學研習<br>Henk Jan Verhagen<br>教授<br>Stevinweg 1<br>2628Delft     | Planning / Management of<br>Lakes with multi-functions<br>多功能人工湖規劃及經營<br>管理   |
| 2/9-2/10<br>2006  | Delft 戴伏特<br>- Taipei<br>台北 | 返程  |   |

### 參、心得

依據 S.E.Jorgensen 「Lake And Reservoir Management ,2005」之定義，水庫（reservoir）即為人工湖（artificial lake），而天然湖泊（natural lake）經人工圍堤、

築壩改善以為利用即與人工湖相同，基本上，兩者之使用與管理極為類似。在名詞上，小規模人工湖為池塘、大規模可稱為水庫或人工湖。

荷蘭由於地勢低窪與平坦，依其國土利用與環境空間規劃與都市計畫，四處遍佈小型之社區池塘或溼地，諸多的池塘作為降雨地表逕流儲蓄之空間以及維持水環境之生態與休閒的景象，在這些池塘上隨時可見綠頭鴨悠游於水面（如圖片 1），有的池塘甚至連通其小型航運渠道，基本上，其水源並不做為其他使用。在大型之人工湖方面，荷蘭現有之人工湖設施設置之目的多以飲用水源、灌溉用水、工業用水、砂石、儲存淤泥、低耗能水質淨化及休閒等功能與使用，筆者將其分類為水源利用、砂石、儲存淤泥、水質淨化及休閒等類型並分述如下：



圖片 1 四處遍佈小型之社區池塘

#### 一、水源利用

荷蘭西北部萊茵河出海口之須德海(Zuydezsee)鄰近北海，由於海水暴潮造成內陸極大之淹水災害，1916 年之水災，刺激荷蘭政府決定展開封堵河口抵禦暴潮及同時進行須德海之土地墾植計畫，此計畫包括了四個主要的理由：洪犯保護、避免土地鹽化、枯水期水源以及土地墾植。1932 年完成了長 32 公里設有高流量閘門的圍堰(Afsluitdijk)，其後再興建了圍堰(Houtribdijk)，形成 **IJsselmeer** 與 **Markermeer**



等 2 個人工湖約 25 萬公頃，並創造 17 萬公頃之良田，此人工湖由於長期接受上游萊茵河之水量注入，水質由原本鹹水逐漸轉變為淡水，利用其表層 20cm 範圍內之水位操作，約有 5 億立方公尺之淡水作為荷蘭北部飲用水之水源之一(如圖片 2、圖片 3、圖片 4)。



圖片 2 艾瑟湖 (Lake IJssel) 位置示意圖



圖片 3 Afsluitdijks 南端鳥瞰



圖片 4 Afsluitdijk 右邊為 IJssel Lake

在水源利用之人工湖部分，以位於萊茵河與馬仕河匯流前之 **BIESBOSCH RESERVOIR** 較為著名，地理位置約位於荷蘭中南部，有 3 個湖區，分別為 De Gijster、Honderd en Derting 與 Petrusplaat，為一圍堤及挖掘形成之人工湖，其於馬仕河水質良好時引入蓄儲，三個湖區串聯使用，供應荷蘭西南部如鹿特丹等城鎮之飲用水源。圍堤高於地面約 3-5 公尺，De Gijster 與 Honderd en Derting 最大水深約 27 公尺，Petrusplaat 最大水深約 15 公尺，三個湖區總面積約 615 公頃，總庫容約 8,600 萬立方公尺，由於蓄水位高於地表，加上地下水位淺，湖水滲漏間接抬高地下水位及維持週邊之溼地，後為水源保育與休閒之目的，包括 BIESBOSCH RESERVOIR 及其週邊數十平方公里範圍內之土地已規劃成為荷蘭之國家公園(如圖片 5、圖片 6、)。



圖片 5 BIESBOSCH RESERVOIR 位置示意圖



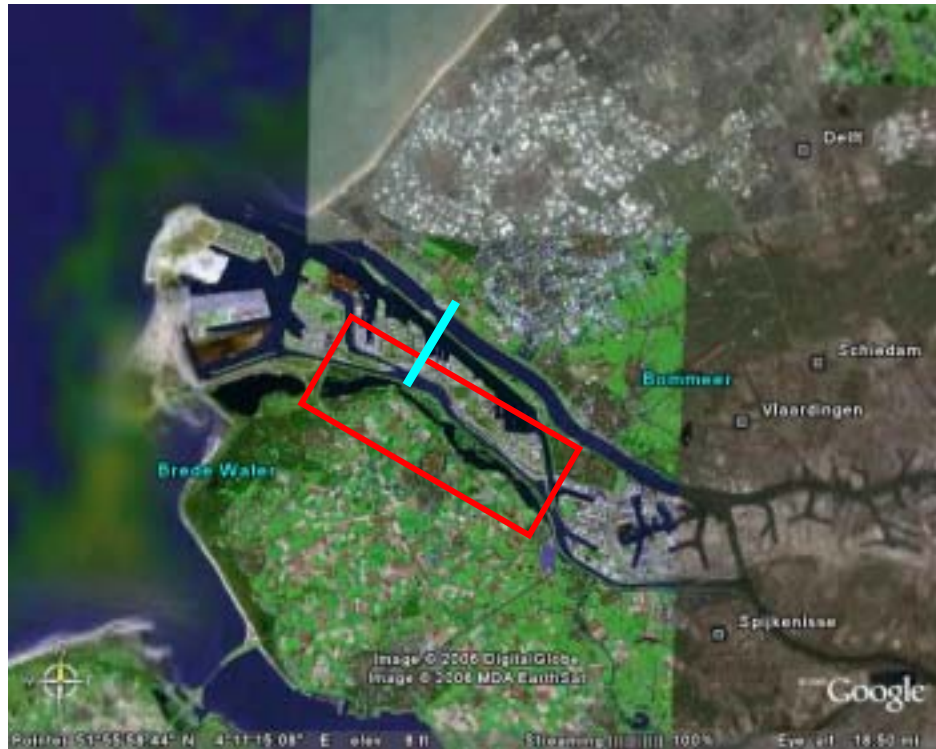
圖片 6 Petrusplaat 湖區一景

另外供飲用水使用的人工湖有位於荷蘭中南部鄰近 Dordrecht 之人工湖（如圖片 7），其引入萊茵河之水源，週邊並圍籬保護，同時限制人數進入湖區進行風帆（wind surfing）等水上活動。而在鹿特丹附近萊茵河下游南岸有一供農業用水使用之人工湖（如圖片 8），水源經由管線穿越運河及工業區下方至鹿特丹農業區使用。



圖片 7 Dordrecht 飲用水人工湖位置示意圖





圖片 8 鹿特丹農業用水人工湖位置示意圖

## 二、砂石

開車行駛於荷蘭高速公路旁，隨處可見類似社區型池塘，其為挖掘採砂以作為公路填築之用，之後將池塘作為為地表逕流儲蓄，並維持溼地之生態景觀。本次有關大型人工湖之參觀類型中，位於荷蘭中部之城鎮 Tiel 有一以採取砂石為目的之人工湖（如圖片 9、圖片 10），其水源主要為週邊降雨逕流與出滲之地下水，本身水體主要作為景觀、划船與休閒功能，並不作其他水源利用，砂石場設於湖區旁，正處理由採砂船挖掘之砂石，湖區週邊已興建漂亮之別墅，形成湖邊休閒住宅，惟由於砂石場鄰近且作業中，整體景觀有些突兀。

## 三、儲存淤泥

位於萊茵河出海口南岸有一造價成本很高之海岸人工湖 Slufter，其用途為暫存由河川或港灣挖掘出之**污染底泥**，這些底泥經處理達到標準再排入北海或在對環境影響限制下作為填土使用（如圖片 11、圖片 12）。



圖片 9 Tiel 附近之採砂石人工湖位置示意圖



圖片 10 Tiel 砂石人工湖旁漂亮別墅與作業中之砂石廠

#### 四、水質淨化

荷蘭西部沿海地區由於地形與風向形成很多海岸沙丘(DUNES)，其為抵禦海潮之天然屏障，亦為受降雨入滲補注率較高的區位，故地下水位豐富且水位埋深淺，早期供水公司多抽取此處地下水以作為飲用水與工業用水，隨用水需求成長，降雨補注之地下水已不足以供應，造成地下水位下降與水質鹹化，遂引入河川水源透過

沙丘上之人工補注溝入滲地下以抬高地下水位，再由抽取系統抽取地下水，輸送至淨水場處理，簡要而言，荷蘭人利用地層淨化水質之功能，將河川水源間接作為飲用水源，同時進行沙丘地區之土地復育，即所謂的沙丘計畫(DUNES PROJECT)。



圖片 11 Slufter 儲存淤泥人工湖位置示意圖



圖片 12 Slufter 儲存淤泥人工湖衛星影像圖

本次出國程中請阿姆斯特丹供水公司(AWS)安排觀摩其河川-沙丘供水系統(River-Dune Water Supply System)，並由該公司人員陪同於場址解說，AWS 透過此供水系統，年產約 6,600 萬噸水量，此系統主要包括有 3 個主要階段，1. Nieuwegein 前處理 2. AWS 沙丘入滲與抽出 3. Leiduin 淨化與輸送。在前處理部分，此系統水源主要由 10 個抽水站抽取萊茵河河水，部分混合抽自 120 公尺深之地下水，於 Nieuwegein 場址進行膠凝與快速砂濾後透過 3 條總長約 210 公里之管線輸送至沙丘場址，AWS 則利用其中 2 條為其前處理水源輸送管線，前處理水輸送至沙丘區域後則改由渠道輸水，如圖片 13，可看到此經前處理後之水已是相當清澈，惟尚有一些化學物質尚未處理。



圖片 13 沙丘區域之輸水渠道水質清澈

在 AWS 之沙丘入滲與抽出部分可分為入滲系統與抽出系統，此為筆者主要關切有關「補注」人工湖之部分，整個沙丘區域面積 36 平方公里，為一封閉型之保育地區，禁止車輛進入，主要分布有 5 個入滲區，共有 40 條補注溝 (artificial recharge channel) (如圖片 14)，補注溝平均寬約 35 公尺，總長約 25 公里，為去除水中之病菌與有機微生物，補注水停留在地下含水層中淨化之時間至少 2 個月，補注溝下方設有總長約 9 公里之集水管(drain)，以重力方式並透過 12 個出水口將水送至汲水渠



道(abstraction channel) (如圖片 15 )，此渠道總長度有 33 公里長，是用來擷取由補注溝入滲地下再由前述集水管與出水口或直接由渠道邊坡重力滲出之水量，最後再輸送至調整池(ORANJECOM POND)，並由抽水站抽水至淨水場，整個計畫區內設有 239 口深井，在絕對必要的時候才啟用抽取深層之地下水，整個入滲與抽出系統位置示意如圖片 16，其入滲與抽出過程如圖片 17 所示。

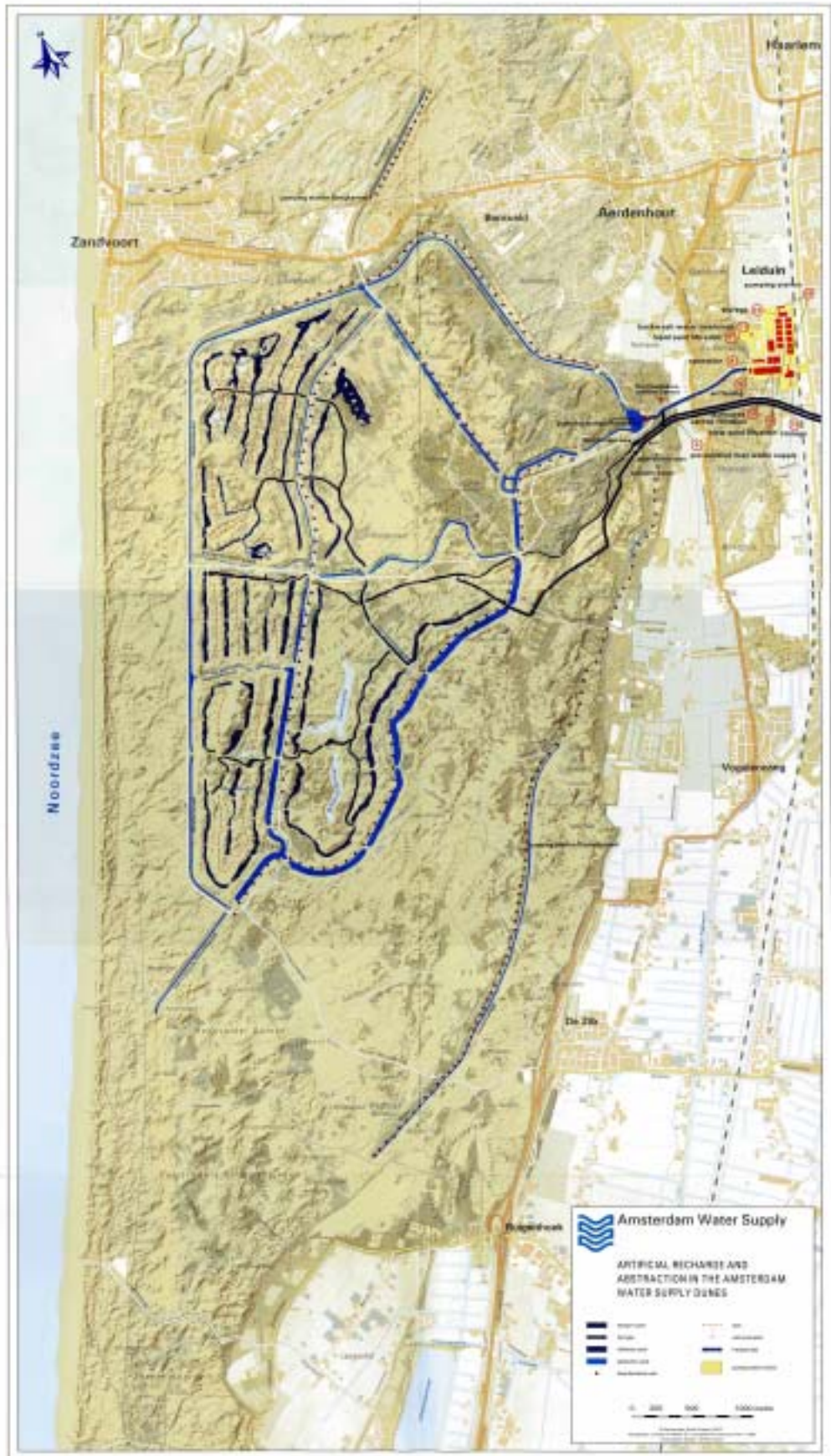


圖片 14 AWS 沙丘計畫之補注溝

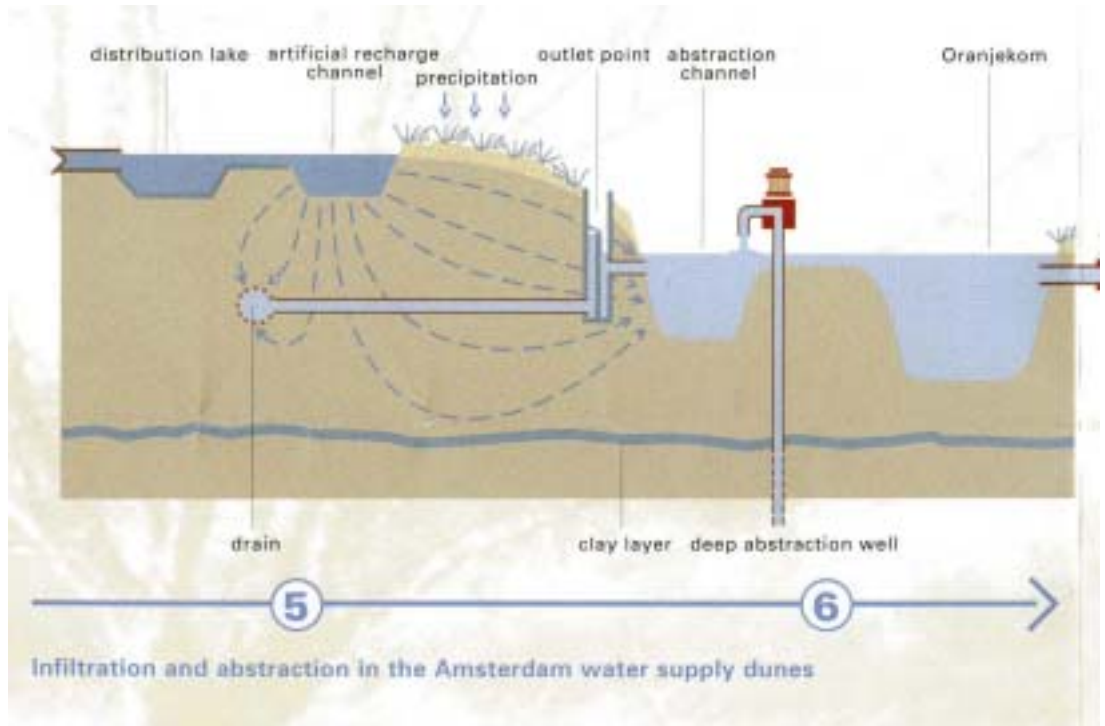


圖片 15 AWS 沙丘計畫之汲水渠道與集水管出水口





圖片 16 AWS 入滲與抽出系統位置示意圖



圖片 17 入滲與抽出過程示意

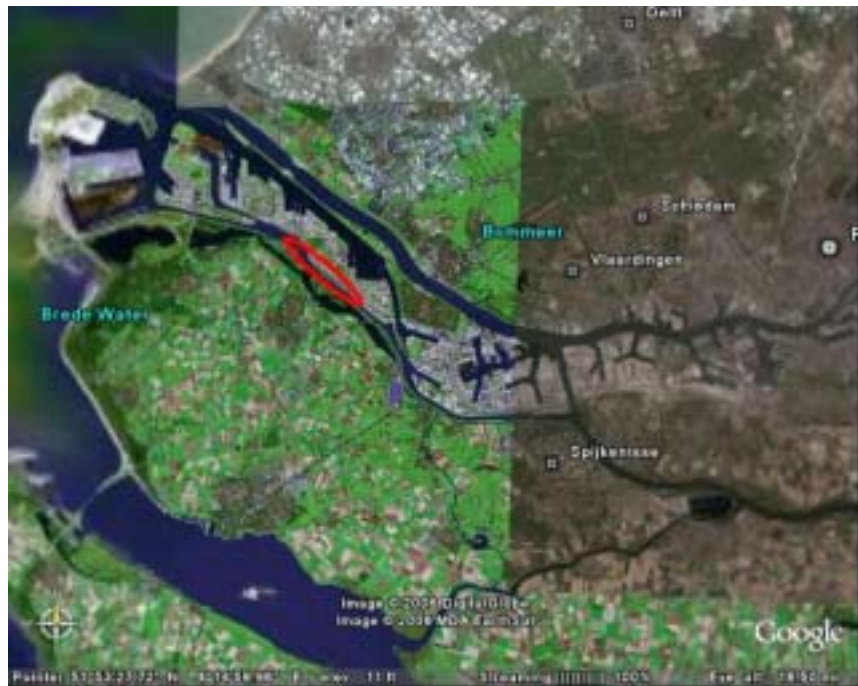
由於社會與經濟之轉變以及生態環保意識之考量，在供水無虞之條件下，鑒於沙丘地區入滲與抽出系統造成地下水位不正常擾動、水質前處理與相關入滲與抽出等工程設施、維護管理人員之活動等因素，荷蘭政府目前已禁止任何補注溝之計畫，而此類設置人工湖之開放補注(open recharge)方式必要時則以井補注(well recharge)方式取代。

## 五、休閒

荷蘭有很多人工湖是在不影響主要標的用水或者配合主要標的下而發展為休閒用途，如前述 Dordrecht 飲用水人工湖及 Tiel 砂石人工湖，而特別大型的以海岸人工湖莫屬，如荷蘭西南部已完工之三角洲計畫(Delta Project)中位於河口之 Haringvliet dam, Brouwers dam 及 Eastern Scheldt dam 等設有閘門之河口堰，透過海水流入與上游河水注入之循環交換，形成半鹹水水質之大區域海岸人工湖，供作潛水、風浪、捕魚及許多水上游憩等休閒活動，如圖片 18 之位置示意圖。另位於鹿特丹南邊鄰近前述鹿特丹農業用水人工湖附近設有一個以休閒為主要功能之淡水人工湖，其週邊土地規劃為露營區使用，水源引自來茵河河水，湖區則利用來划船與小型船隻之航運，其位置如圖片 19 所示。



圖片 18 休閒為主之半鹹水海岸人工湖位置示意



圖片 19 休閒為主之淡水人工湖位置示意



## 肆、建議

- 一、 國內目前推動中之高屏大湖計畫，就其區位與地下水位埋深，類似於本次於荷蘭觀摩位於萊茵河與馬仕河匯流間之 BIESBOSCH RESERVOIR，兩者均挖深超過地下水位，且以蓄儲地表水為主，荷蘭之 BIESBOSCH RESERVOIR 做為飲用水水源，營運狀況良好，且其週邊土地並成為國家公園保育地，少量的地下水入滲剛好可維持溼地之生態，水利署推動高屏大湖計畫之說明時應可參考此案例。
- 二、 荷蘭 AWS 之沙丘計畫就「水」的部分，主要為水處理之程序，其補注與抽出之效果主要係建立在此區之水文地質條件，砂質土壤有利於入滲，地下含水層不深處有一延續之阻水層，有利於補注水之蓄儲而不致流失，更重要的是為較可靠的掌握這些經地層過濾之水量，於補注溝不遠處就必須將入滲地層之水量取用，故國內部份人士亟力建議之補注人工湖與回用計畫應謹慎考慮「因地制宜」，並檢視各方面條件與計畫功能是否可行為宜，勿錯將荷蘭沙丘計畫之案例置入本國貿然實施。
- 三、 荷蘭以水利工程著名，特別是為了「與海爭地」所興建之河海堤及防潮堰，本次觀摩其水利工程，經了解各項公共工程在計畫形成階段均透過長時間之規劃與進行相關研究，計畫之利害關係人並允許政府在社會環境變遷時做某部分之標的與營運方式修正，此點「計畫彈性」之保留值得國內政府與人民學習，例如 AWS 淨化水質之沙丘計畫由原先之抽取地下水轉為補注地下水並進而成為以淨化水質為標的，由於沙丘地區之人造自然(man-made nature)所需，目前反而以生態保育為主。
- 四、 須得海 Afsluitdijk 河口堰之興建解決了水患、創造大面積良田及形成大面積之人工湖，增加可用之水資源以穩定供水，同時有充足但水質稍差之備用水源，國內由於高山水庫或河川中游地區人工湖之推動興建相當不易，可考慮於烏溪、濁水溪之下游興建河口堰，取其表層較佳之水源，同時配合上游污水排放之管制，以維持較佳之水質。
- 五、 「ROOM FOR RIVER」為荷蘭河川防洪採行之策略，在方法方面除加深高灘地與移除水流障礙物之外，部分河段並將現有堤防拆除並往內退縮新建堤防，雖然此策略早已為各國採行，但荷蘭政府落實本項策略之執行面與實事求是之精神值得國內學

習。

六、 國內雖然沒有很多之運河，部分地區之灌溉渠道似可發揮 BOEZEM 之功能，用以暫儲低窪地區之降雨逕流，其效果與水源操作利用值得進行研究。