

非傳統水資源開發實例-新加坡新生水系統介紹

工研院節水團/李東峰、溫子文 經濟部水利署/張廣智

一、前言

新加坡天然水資源缺乏，雖然年降雨量達 2,400 公厘，但集水面積只有 350 平方公里，約為全國一半的面積（我國台北市面積為 271.8 平方公里）；日用水量達 135 萬立方公尺，約有一半左右的用水仰賴進口，主要由馬來西亞的 Johor 河川配水至新加坡。在這種用水受制於他國的情況下，新加坡政府不斷致力於降低用水依賴度；除了在節約用水及減少配水漏失率*上頗有成就外（目前每人每日用水量已降至 164 公升左右，而配水漏失率則降至 5.3%），於開發新水源上更是不遺餘力。目前除了積極評估開發海水淡化為另一供水來源外，已實際將生活污水淨化處理後產生“新生水”（NEWater），作為工業及民生的另一個用水來源。本文將針對新加坡用水環境、用水管理及新生水系統現況加以介紹，提供水資源開發規劃上的另一思考方向。

註：新加坡之配水漏失率含因水表不精確之漏失及管路漏水等，近年來 PUB 除致力於漏水檢修外，更大力汰換精度較高的電子式水表，以提升實質售水率。

二、新加坡用水環境介紹

新加坡人口約 400 餘萬人，總面積 682km²，由新加坡島及附近 60 個小島組成，其中新加坡島占全國面積的 91.6%。地勢低平，平均海拔 15 米，最高海拔 166 米，海岸線長 193 公里。屬熱帶海洋性氣候，常年高溫潮濕多雨。年平均氣溫 24~27℃，日平均氣溫 26.8℃，年平均降水量 2344 毫米，年平均濕度 84.3%。

目前新加坡主要由公用事業局（Public Utilities Board）掌管全國用水事務。新加坡水源包括水庫、由馬來西亞進口水（Johor Water）、新生水（NEWater）及海水淡化水（目前尚未開始供水）等四類，2001 年時供水量約 125 萬 CMD。目前新加坡自有的水源有收集降雨的水庫儲水及每天可產 72,000CMD 的新生水，水庫約佔總供水的一半左右，新生水則約 5.8%；其他不足的部分則由進口水來供應。新生水是指將處理後的生活污水再經高級處理至符合飲用水水質標準的再生水，目前除供應工業用水約 63,000CMD 外，尚補充至水庫 9,000CMD 作為民生用水水源。

圖 1 新加坡水庫及自來水廠分布圖



而在進口水的供應狀況上，馬來西亞與新加坡現有的供水合約共兩份，1961 年簽署至 2011 年為期 50 年合約，及 1962 年簽署將於 2061 年到期的 1 百年合約。兩份合約規定大馬每日供給新加坡的生水總水量為 157.5 萬 CMD，售價是每 4.5 噸 3 分錢（以馬幣計）。馬來

西亞希望能夠在 2002 年至 2007 年間，將水價提高到每 4.5 噸馬幣 6 角，並於 2007 年至 2011 年，再調高到每 4.5 噸馬幣 3 元。新加坡方面的想法是在第一項供水條約期滿後，以每 4.5 噸 45 分的價格向馬來西亞購水；第二份合約期滿後，則提高水價至每 4.5 噸 6 角，並每 5 年調整水價。在這種雙方認知差異下，新加坡承受相當大的供水依賴壓力。

1.

2. 水源及淨水場設施

(1) 公用事業局水供應系統包括 19 個未淨化水水庫、6 個淨水廠、15 個存儲或服務水庫和大約 5,150 公里管道的供水網路(如圖 1)。

(2) 新加坡目前主要有 6 座淨水場，分述如表 1。

3. 公用事業局目前預定之新水源開發方案

為了降低依賴鄰國的需水壓力，新加坡不斷的努力尋找水源，目前主

要的方向如下圖 3，目標在 2012 年將外購水量降至 25%左右，50%由降雨供應，25%則由新生水及海淡水來替代。

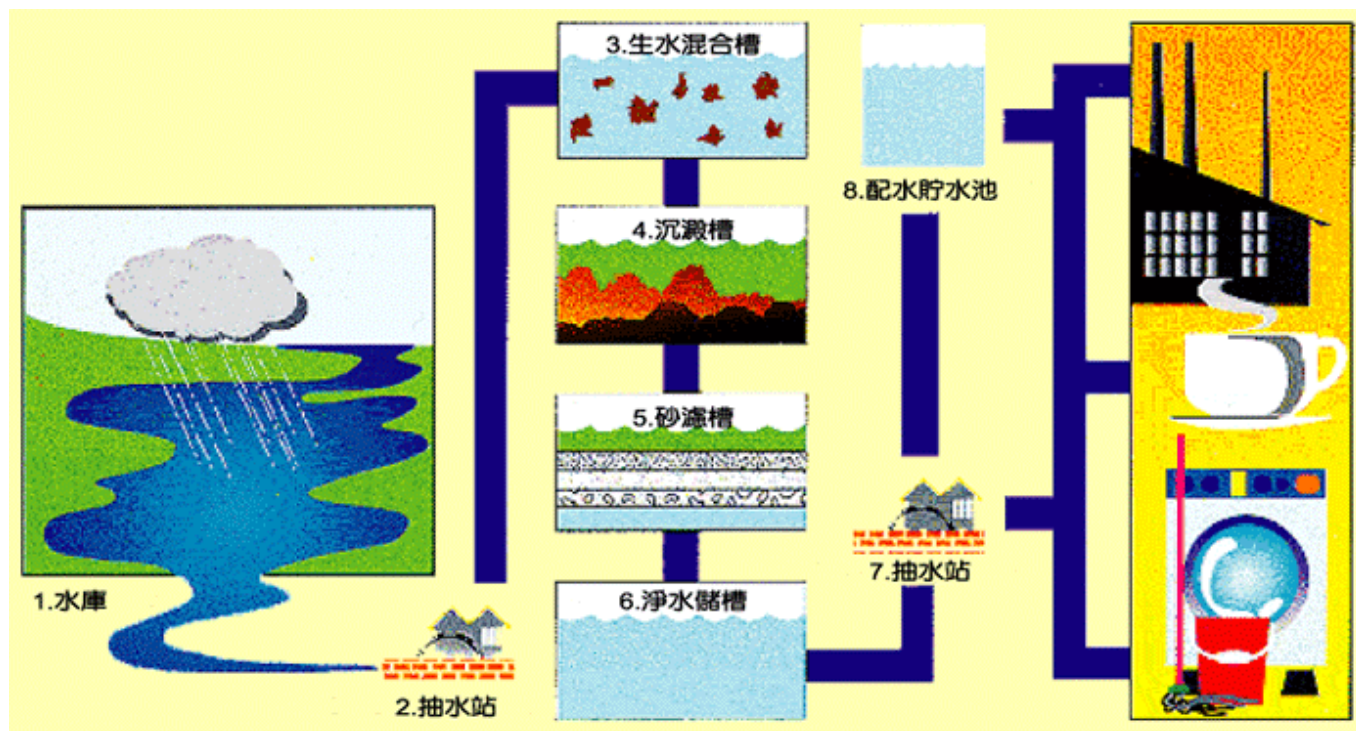
表 1 新加坡淨水場設施

淨水場	最大處理量(CMD)	完成年份
Bedok	136,000	1986年完成
Choa Chu Kang	364,000	1975年完成， 1981年擴建
Chestnut Avenue	273,000	1975年完成
Woodleigh	227,000	1912年年完成， 1969年擴建
Bukit Timah	73,000	1889完成，1942 和1950年翻修
Pulau Tekong	6,800	1979年完成
合計	1,067,100	

(1) 集水面積開發：目前全國有 1/2 左右的面積為集水區，目標於 2011 年擴充至全國面積的 2/3 為集水區。

(2) 非傳統水源開發：新加坡計畫於 2012 年將海水淡化及新生水地供水比例提升至總供水的 25%。其中，海水淡化供水目標為 135,000CMD，新生水為 295,000CMD。

►圖 2 新加坡配水系統說明圖

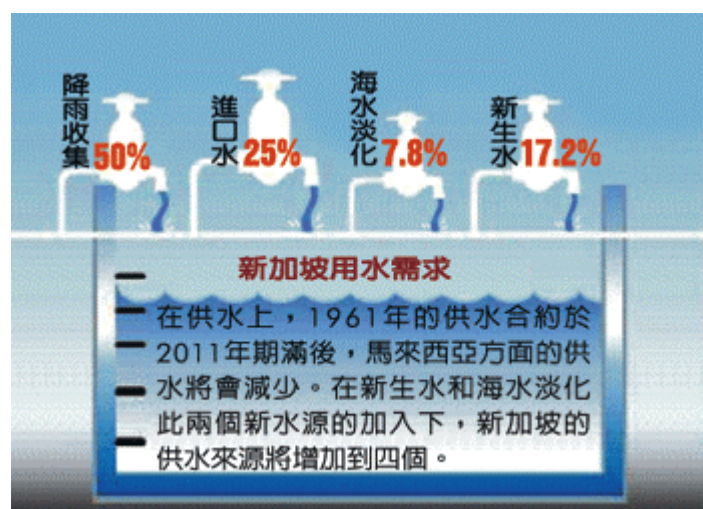


三. 新加坡用水需求管理

為降低用水需求，新加坡由兩個方向下手，一是減少所謂的配水漏失率：UFW（包含漏水、流量計讀數的誤差及其他造成配水與用水差異的水量），方法有控制配水管線的漏水量、精確的流量計、正確的計算用水及嚴格的立法；另一個則是實質的降低用水量；如此一來，珍貴的水資源就能被有效使用。整個 UFW 的比例已從 1989 年的 10.6%，降低到於 2002 年的 4.8%；各管理要點如下所述：

1. 管線漏水控制 方法上包括使用品質較佳的管線、主要管線的定期汰換、主動偵測漏水點及對大眾回報立即處理。在管線的更新上，於 1995 年即開始汰換每年每公里有三個裂縫以上

►圖 3 新加坡水資源 2012 年水源規劃圖



之主供水管線；於 2000 年開始汰換 50 年以上的老舊主供水管，這些行動使回報的漏水點數量由 1991 年的 7,386 點，降低至 2002 年的 3,424 點。

2. 流量計精確度控制 為達到 100%的量測到所有的流量，水廠一律使用電子式流量計，而用戶的水表誤差控制於 3%以下，且需定期的更換（15mm 的水表為 10 年更換一次，大型水表為 7 年更換一次）。為了能夠提高非家庭用大型水表的量測範圍，在管線旁另加一較小管線及水表；且有專門的流量工廠進行流量計的測試服務工作。
3. 降低實際用水量 這方面的工作包括使用省水器材及利用替代水源（如新生水、海水及工業廢水再用等），在省水器材上，推動使用 4.5L/次的省水馬桶（一般 9L/次），水龍頭則安裝省水片降低流量（已由一般 8~12L/min 左右降低至 6~9L/min，目前進行部份降低至 2L/min 的測試）；由於新加坡的民生用水佔總用水的 55%，省水器材推廣可有效的降低整體用水需求。其他如使用新生水於冷卻水塔、使用海水沖洗船身等，也可有效減少自來水用水需求。
4. 教育宣導 除了各項工作的推行之外，要徹底高效率地使用水資源必須要全體國民的共同配合；所以到學校對學生進行宣導、節水宣傳品的製作、發放等都能有效促進節約水資源，減緩整體用水需求的成長。

四.新生水系統介紹

1. 發展過程及使用現況

於 1970 年代，新加坡政府即開始針對水回收科技進行研究，讓回收水的水質符合工業用水需求。其研究過程中發現，應用尖端的水處理流程（如除氮、離子交換、活性碳吸附等）可讓回收水質達飲用水標準；其中，RO 膜的處理方式確認相當有效，但以當年技術上來說，費用門檻偏高。這幾年來在膜處理科技的進步下，將多種不同來源的水（如海水、處理後之污水）可靠的處理至符合飲用水水質標準已為可行，且所需之費用已降至可接受範圍內。於 1998 年，新加坡政府開始兩年的研究，測試使用膜處理流程是否能將處理過之污水再淨化至符合飲用水標準。在新生水處理評估廠的實際運轉下，處理水水質可完全符合飲用水水質要求（表 2），新生水處理評估廠基本資料如下所示：

- a. 開始操作時間：2000 年 5 月。
- b. 處理水量：10,000CMD。
- c. 建造時間：7 個月。

d. 建造費用：6.5 百萬新加坡幣。

e. 處理流程：微過濾（Microfiltration）+ 逆滲透（Reverse Osmosis）+ 紫外線殺菌（UV Disinfection）（圖 4）目前新加坡政府將新生水分為兩大用途，一是直接提供工業用水，另一則為補注水庫與雨水混合，再配送供民生用水；整個新生水的配送流程如圖 5 所示。

▶圖 4 新生水廠處理流程圖



▶圖 5 新加坡新生水及海淡運用說明圖



▶圖 6 兩座新生水廠位置圖

(1) 直接供應非飲用工業用水

目前有 Bedok 和 Kranji 兩座新生水廠（如圖 6），供應量 72,000CMD；主要供應工業及建築物冷卻水塔用水；預定於 2012 年達到 250,000CMD 的新生水供應量。

(2) 非直接供應民生用水

新生水供應民生用水方面，並非直接將新生水配送至家庭使用，而是將新生水送至水庫與雨水等其他水源混

合；目的主要是提高民眾的使用意願，減少民眾使用新生水於生活及飲用的心理障礙。目前供應量為 9,000CMD，預定於 2012 年達到 45,000CMD。

圖 6 兩座新生水廠位置圖



▶表 2 新生水水質及飲用水標準對照表

Water Quality Parameters	NEWater	USEPA /WHO Standards
A) Physical		
Turbidity (NTU)	<5	5 / 5
Colour (Hazen units)	<5	15 / 15
Conductivity (μ S/cm)	<250	Not Specified(- / -)
pH Value	7.0 - 8.5	6.5-8.5 / -
Total Dissolved Solids (mg/L)	<180	500 / 1000
Total Organic Carbon (mg/L)	1.0 - 2.0	- / -
Total Alkalinity (CaCO ₃) (mg/L)	5 – 16	- / -
Total Hardness (CaCO ₃) (mg/L)	<30	Not available
B) Chemical (mg/l)		
Ammonia (as N)	<0.5	- / 1.5
Chloride (Cl)	<30	250 / 250
Fluoride (F)	<0.5	4 / 1.5
Phosphorus (as P)	<0.003 - 0.05	- / -
Silica (SiO ₂)	< 5	- / -
Sulphate (SO ₄)	< 5	250 / 250
Residual Chlorine (Cl, Free)	<0.01	Not available
Residual Chlorine (Cl, Total)	<2	- / 5
Cyanide (CN)	<0.05	0.2 / 0.7
C) Metals (mg/l)		
Aluminium	<0.1	0.05-0.2 / 0.2
Antimony (Sb)	<0.02	0.006 / 0.005
Arsenic (As)	<0.0017	0.05 / 0.01
Barium (Ba)	<0.1	2 / 0.7
Beryllium (Be)	<0.004	0.004 / ND
Boron (B)	<0.5	- / 0.9
Cadmium (Cd)	0.0002	0.005 / 0.003
Calcium (Ca)	<30	- / -
Chromium (Cr)	<0.007	0.1 / 0.05
Copper (Cu)	<0.05	1.3 / 2
Iron (Fe)	<0.05	0.3 / 0.3
Lead (Pb)	<0.0005 - 0.002	0.01
Manganese (Mn)	<0.05	0.05 / 0.5
Mercury (Hg)	<0.00003	0.002 / 0.001
Molybdenum	<0.004 - 0.018	- / 0.07
Nickel (Ni)	<0.003 -0.013	- / 0.02
Potassium (K)	0.5-0.8	- / -
Selenium (Se)	<0.001	0.05 / 0.01
Sodium (Na)	<20	- / 200
Zinc (Zn)	<0.1	5 / 3
D) Bacteriological		
Total Coliform Bacteria (Counts/100 ml)	Not detectable	Not detectable
Enterovirus	Not detectable	Not detectable

2. Bedok 新生水廠簡介

Bedok 新生水廠（如照片 1-5），目前的處理流程為：微過濾（Microfiltration）+ 逆滲透（Reverse Osmosis）+ 紫外線殺菌（UV Disinfection）。其設計上為兩段式 RO 處理，可達 75% 的回收率，RO 膜每 6 個月需清洗一次；目前本廠處理量為 32,000CMD，主要直接供應工業用水。

本廠除了處理設施之外，主要設有一多媒體展示中心-新生水展覽館，本館包含六大部分：

(1) 入口處：以平面及多媒體介面表現新加坡水資源開發歷史，說明水資源與整個新加坡發展上的密切相關性。

(2) 視聽中心：藉由影片的說明讓參觀者對於地球上水資源的缺乏狀況，及目前新加坡整體用水環境都能有所了解，並初步說明和強調新生水技術對於新加坡未來整體給水系統規劃上的重要性。

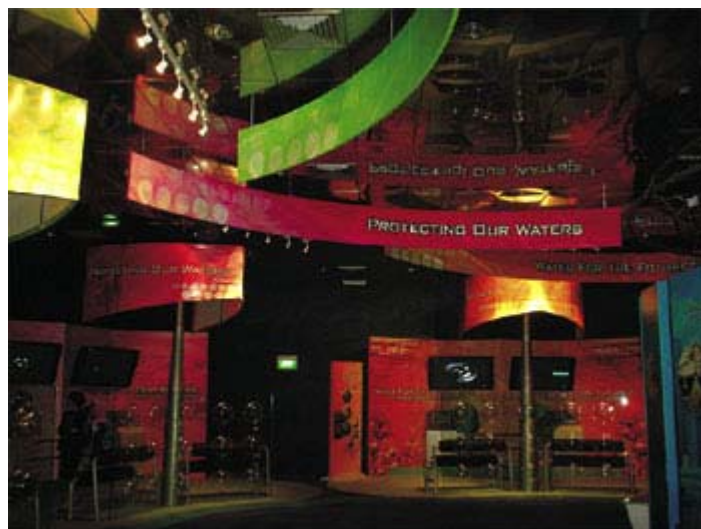
(3) 多媒體中心：藉由各種不同的電腦遊戲讓參觀的民眾對於整體水資源開發及新生水系統有更深刻的印象。

(4) 國內外的淨化水：介紹其他國家的再生水用水現況，主要讓參觀者了解，回收生活污水處理之後用於補充生活用水水源是全世界水資源規劃的趨勢之一，藉由正確的規劃及嚴密的監控操作下，新生水這種非傳統的新水源是安全且可讓人信賴的。

(5) 新生水製作過程實際參觀：讓參觀者實際目睹淨水科技的硬體設備及實際操作流程，現場並放有 MF 膜及 RO 膜實品的剖開模型，加強參觀者對於高科技淨水處理流程的信心。

(6) 新生水大挑戰：展示中心特別在出口處設立有關新生水常識的問答遊戲，不但可以再一次強化

▶多媒體的新生水展示介面



▶新生水展示中心入口



參觀者對於新生水特性上的了解、強化印象外；更能達到寓教於樂，讓參觀者自然而然吸收展示中心所希望說明的主題。

雖然整個展示中心設計的有如進入高科技的新生水主題遊樂公園，不但生動活潑且聲光效果十足；但是所有的規劃都突顯了新加坡在水資源開發的窘境及新生水的重要性這兩個嚴肅的主題。讓各年齡層的參觀者都能在充滿驚奇及愉快的情境下充分認識”新生水”。不但讓民眾充分了解政府的政策方針，更可以從小培養學生正確的用水觀念，影響他們的家人，進而改善整體社會認知。

五、結論

在以上的介紹後，提出以下幾點思考方向：

1. 新加坡，街道乾淨；公共政策嚴謹，再加上民眾配合度高，節水成效極易展現。
2. 新加坡本身缺乏水資源，在需進口用水的情況下，對於用水的節約及管理可說異常小心；不但民眾日用水量低，且極願意配合政府各項解決方案。
3. 雖說再生水用於飲用在處理技術上已非問題，價格上也漸趨合理，但是就民眾心理障礙上實非一朝一夕即可克服。在台灣的應用上，尚不需將再生水用於補充飲用水源；除了配水費用高昂外，台灣水資源的調配上尚能有更多元的規劃。
4. 新加坡於再生水技術上花費相當多的時間，在深入了解之後實際將其運用於解決問題；這種對於技術深入了解並調整政策以有效發揮科技力量的精神令人敬佩。
5. 國內偏低的水價造成日常節水推廣上的障礙，地下水管理上的不足造成豐沛的地下水資源未能有效應用，配水管線的管理不佳造成漏水率偏高，新加坡在這方面的努力足為我國借鏡。
6. 新生水雖已符合飲用水標準，但是將其在水庫與雨水混合後再行配送供民眾使用可以有效降低民眾心理障礙及提高使用上的安全性；另外一方面，工業上新生水則可直接使用，因其無心理方面的影響，可以完全以水質上的要求來決定是否使用新生水。但基於心理層面的考量，新生水還是以供應工業需求為主，民生之飲用水應在乾旱時再考慮補入新生水較為合適。
7. 新加坡在有效率的應用新科技的同時，對於民眾的教育宣導工作更是積極，其新生水展示中心利用多媒體的聲光效果、深入淺出地展示內容，讓各年齡層的參觀者都能夠對於新加坡的缺水現況有深入的體認，並且藉由對於產水新科技的認識來消除使用新生水的疑慮。
8. 新加坡地勢低平，配送水距離不長，所以用水的運送成本較低；台灣高低起伏大，配送至太遠的地區需耗費較大的管路與動力成本，所以各地水資源的調度運用複雜且困難。缺水問題的解決不外乎開源與節流；在開源上，應用新科技產生再生水及海水淡化為目前全球的新

水源開發趨勢；而節流上，可由用水點的實際減量及降低配水過程中的漏失著手。雖說原理簡單，但卻是最有效的解決方案。而新加坡在政府強勢且民眾守法精神佳的條件下，不但積極對民眾宣導節水觀念，實際到各家庭中安裝節水器材，以降低民生用水需求，且透過嚴密的管線漏水控制，徹底減少配水過程中的漏失。新加坡在這種嚴重缺乏天然水資源下的規劃、管理經驗，可以作為我國水資源未來開發設計上的重要參考資料。

六、資料來源

1. Water Demand Management, Mr Chong Hou Chun, Deputy Director (Transmission & Distribution), Water Department., Taiwan WRA & PUB Technical Seminar, 2003/2/28
2. Overview of Singapore Water Supply , Mr. Koh Boon Aik, Deputy Director(Development), Water Department., Taiwan WRA & PUB Technical Seminar, 2003/2/28
3. 新加坡 PUB 網站 : <http://www.pub.gov.sg>
4. 新加坡新生水網站 : <http://www.pub.gov.sg/NEWater>
5. Public Utilities Board Annual report 2001, Singapore PUB

▶ 新生水 MF 膜處理設備說明模型



▶ 新生水參觀出口處-新生水知識大挑戰

