

出國報告（出國類別：考察）

新加坡廢污水處理技術及回收再利用

服務機關：科學工業園區管理局

姓名職稱：張金豐主任秘書

游靜秋專門委員

柯季伯科長

吳冬齡技正

派赴國家：新加坡

出國期間：102年8月26日至30日

報告日期：102年11月4日

目錄

摘要.....	1
壹、前言.....	3
貳、考察對象與行程.....	4
參、新加坡廢污水處理與新生水的發展.....	8
肆、心得與建議.....	15
參考資料.....	19

摘要

新加坡國土狹小、水資源稀少，為了達到水資源自給自足的目標，政府積極開源節流。因此早在 1972 年即著手進行污水回收再生的研究與試驗計畫，將污水廠放流水回收，再經過高級處理，製成「新生水」(NEWater)，目標在 2060 年新生水供水比例由現行 30%提升為 55%。

本次到新加坡考察的主要目的是要瞭解新加坡在水資源的開發、污水再生技術及再生水利用等發展現況。拜會單位包括新加坡公用事業局 (PUB)、Bedok 新生水廠、聯電新加坡廠、友達新加坡廠，及參觀濱海堤壩、廢水人工溼地處理。

本次考察主要心得：(1) 新生水再生程序讓已使用過的水變成一種有用的資源，可以為家戶或工業間接或直接再度利用，水資源得以循環使用、生生不息。(2) 廢水處理及水再生的一元化管理體系，在 2001 年新加坡將污水處理廠重新命名為水再生廠，不僅處理家庭、工廠等所使用過的水，亦將水再生成為非直接飲用的水源。同時將水的再生納為廢污水處理的一體規劃與管理，包括對廢污水收集、納管水量、水質的管制等同時考量再生需求。(3) 工業用水及直接飲用水分離供應，依據用水水質需求不同，決定適當的污水再生處理流程，少部分新生水回注水庫補充水源，多數則透過新生水專管提供給工業用水使用，使自來水以供應生活使用為主。(4) 廠內回收廢水再利用仍需繼續的投入，廠區回收再利用可透過原水分類收集處理，處理效能高，且省去輸送管路等設置減低成本，在再生水供應的標的及地區規劃時，應要將此類好的作法納入考量。(5) 自來水水費影響再生水的使用，新加坡透過水再生技術與設備的研發投資，降低新生水成本，目前新生水價格（每立方米約 1.22 元新幣）與自來水價格（每立方米約 1.52 至 2.03 元新幣）相較為低，新生水的使用具有經濟誘因。相較於目前國內自來水價每噸僅 12 元，目前再生水廠供水成本若一併考量建造及營運成本，則每噸將達 15 至 30 元（依污水廠條件及水質需求而訂），價格相對相高，使用推廣需克服。(6) 水源開發、漏水率及個人日需水量整體思考以滿足水資源供應，新加坡提出以價制量、訂定節水措施、推廣節水裝置等作為，希望每人每天用水量在 2030 年降到 140 公升。同時定期維修及更新輸水管路，漏水率降低至約 5%，其對供水量及供水品質的提昇均具正面效果，值得國內重視的。

本次考察所提主要建議事項：(1) 國內污水處理廠升級為水資源中心，重新定位

污水處理系統，讓其將水的資源再利用功用納入，轉型為水資源中心。(2) 工業區設置分離式工業用水系統，讓水質需求較低的用水減低處理成本，同時也更擴大其水源供應面。(3) 園區節水措施的精進作為，放寬園區土地使用管制，以利廠商增設節水設施。(4) 環保設施可成為環境教育重要的場域之一，不再被視為避鄰設施。可參考新加坡新生水廠展示中心軟硬體設施，持續精進污水廠環境教育教案內容、改善環境教育館設施，使竹科污水廠成為具有特色的環境教育場所。

壹、前言

台灣位於亞熱帶地區，年雨量超過 2,000 公釐，惟因為降雨過於集中，且受到地形影響，河川流短，水資源不易蓄積，若按世界標準已屬於缺水地區之一，加上全球氣候變遷因素，豐枯季節恐將越來越顯著，更不利於水資源的穩定供應。因此國內早已著手進行節水、用水回收、海水淡化、污水再生等發展，以降低對原水資源的需求，同時提高供水的穩定。

新加坡位於熱帶地區，年雨量也超過 2,000 公釐，但新加坡的面積僅台灣的 1/50，人口密度卻有台灣的 10 倍之多，與台灣同樣列為缺水國家，水資源問題影響國家的存亡，因此，新加坡政府非常積極地「開源節流」。新加坡的水源除了向鄰國馬來西亞買水之外，為防止購水合約到期及污染影響向馬來西亞購水之水源供應，新加坡積極在國內開闢水庫或蓄水池收集地表逕流水、發展海水淡化技術，更回收污水經過高級處理後成新生水（NEWater）為水源之一。新生水（NEWater）目前已提供該國工業使用，且已少部分加入水庫做為非直接之飲用水源使用。

科學園區為高科技產業聚落的代表，為減少能資源的消耗，落實減碳政策，園區內早已推動節水節電等措施，以降低對大環境的衝擊，惟在枯水季節，仍不免發生供水不足的潛在風險。因此經濟部水利署為增加國內工業水源供應除推動海水淡化廠設置之外，並積極推動廢水回收再利用技術研發、先驅模組廠等工作，更於台灣本島屬缺水高風險地區（如高雄、台南、台中、桃園等）推動再生水發展計畫，預訂至民國 120 年達到再生水生產每日 120 萬噸的目標，現階段更已完成「再生水資源發展條例」草案，未來經完成立法程續後做為推動之依據。另內政部營建署亦配合擬定「公共污水處理廠放流水回收再利用示範推動計畫」，於 102 年至 109 年間執行，將推動 6 座公共污水處理廠為示範案例，目標為每日回收 28 萬噸污水放流水。

綜上所述，國內再生水的發展仍屬模範與示範個案的階段，對於再生水廠的建造與營運模式、經濟規模、再生水使用的宣傳推廣等，仍有待政府詳加規劃，提出有效的執行計畫。針對這些課題，新加坡已有成功的推行經驗，也是本次考察的重點項目。

貳、考察對象與行程

本次到新加坡考察的主要目的是要瞭解新加坡在水資源的開發、污水再生技術及再生水利用等發展現況。考察行程包括拜會新加坡公用事業局(PUB)、聯電新加坡廠、友達新加坡廠，及參觀 Bedok 新生水廠、廢水人工溼地處理及濱海堤壩。

一、拜會新加坡公用事業局

(一) 參觀新生水展示中心、Bedok 新生水廠：

Bedok 新生水廠為新加坡最早興建的新生水先導廠，並且在此建立新生水展示中心，將新生水的發展、處理技術，以及節水的觀念等，向一般社會大眾進行教育；而且展示中心的動線就直接與 Bedok 新生水廠的生產流程結合，因此不僅看到電腦模擬畫面或展示的設備，更可以看到實廠的設施，這種體驗讓參觀者印象深刻。

(二) 與新加坡公用事業局 5 位主管及工程師會談：

新加坡公用事業局這次由羅光副署長率毛頌梁高級助理署長等 5 位同仁陪同，先行參觀新生水展示中心，然後在會客室進行座談，本局向公用事業局分別詢問有新生水處理技術、新生水廠規劃、營運、水價制定等問題，公用事業局亦詢問有關新竹科學園區推動用水回收、節水輔導等作法，達到雙向交流的效果。

二、參觀友達光電新加坡廠廢水處理及回收處理廠

友達光電新加坡廠為該公司 2010 年收購的 AFPD Pte. Ltd.改組而成，友達擁有 100%股權，原 AFPD 是一家專注於低溫多晶矽技術(LTPS)的 LCD 面板製造公司，友達併購之後將能迅速進入高階筆記型電腦及智慧型手機等市場。本次拜會活動由該公司新加坡廠謝獻彰總經理(Managing Director)、環安部古晏菁經理及廖庭寬副理等陪同，先聽取該公司有關污水處理、水回收及新生水利用等簡報與意見交換，並參觀其污水處理設施及超純水製造設施，該廠新引入 MBR 處理程序，可將廢水處理後做為製程及次級用水使用。

目前該廠所使用的製程用水與生活用水分屬不同水源，生活用水為一般公共給水(即自來水)，製程用水則來自新生水，由於政府政策支持，新生水免收耗水稅 30%，因此比自來水便宜，而且水中導電度也遠低於自來水，大幅降低業者純

水的處理成本，也提高業者使用新生水的意願。此外，由於工業廢水經業者前處理至納管標準時，始得排放至公共污水下水道，再經公共污水處理廠處理之放流水，成為新生水的水源之一，為使新生水的來源充足及穩定，政府並未積極推動業者實施廠內用水回收或雨水回收。

三、拜會聯華電子新加坡廠

聯電新加坡廠為聯電第 2 座 12 吋晶圓製造廠，於 2000 年籌設，2004 年進入量產階段，原屬於聯電子公司（UMCi），2004 年底正式收購改名為 UMC Fab 12i，目前單月晶圓產能為 45,000 片。本次拜會活動由該廠務部門廖政一經理等陪同，聽取該公司有關污水處理、水回收及新生水利用等簡報並交換意見。值得一提的是，聯電新加坡廠為新加坡國內第 1 家使用新生水的工廠，另配合新生水的產製，該廠亦被要求進行懸浮固體的管制，以避免造成膜的阻塞。

四、參觀 Marina Barrage 濱海堤壩、新加坡資源永續展覽館

濱海堤壩為橫跨新加坡河口濱海水道的大型堤壩，長度達 350 公尺，堤壩共有 9 個閘門，為新加坡最城市化的蓄水池，兼具蓄水、防洪、休憩等用途。其集水區面積占新加坡總面積 1/6，蓄水量可供給全國 10% 水源，且在大豪雨時可利用開啟閘門（低潮時）或抽水機（漲潮時）將多餘的水抽到海洋，以解決低窪地區淹水問題。

此外，堤壩旁建有新加坡資源永續展覽館，介紹新加坡水資源及環境永續的發展，館內有靜態展示，亦有互動式數位模擬。整個建築物屋頂由草坪覆蓋，可降低室內溫度，另設置 405 片太陽能板，發電量足供室內照明，及所需電力的一半。

五、參觀 Lorong Halus Wetland 生態修復系統

Lorong Halus 衛生掩埋場位於新加坡東北區域，面積共 234 公頃，於 1970 年啟用，1999 年結束掩埋，經回填後一直未再利用，而成為臨海一處賞鳥地點。惟因鄰近的 Serangoone 水庫的興建並於 2011 年 7 月啟用，為防止掩埋場滲出水污染源，PUB 在 ABC（Active, Beautiful and clean）目標之下，以生態復育手法，建置人工溼地做為廢水處理系統。



圖 1、新加坡新生水展示中心



圖 2、Bedok 新生水廠 RO 系統



圖 3、聆聽新生水展示中心專人導覽



圖 4、與 PUB 人員進行座談

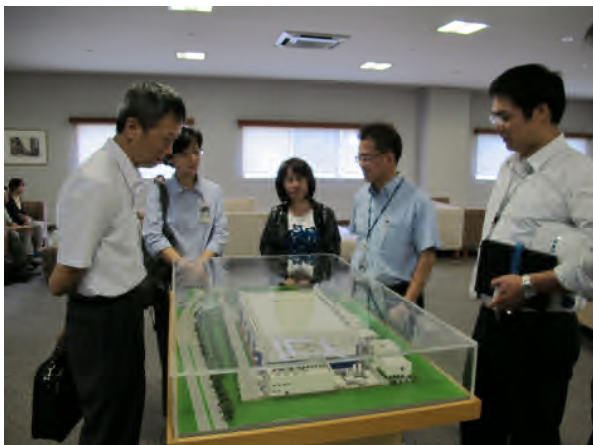


圖 5、友達新加坡廠古經理介紹廠區模型



圖 6、參觀友達新加坡廠污水處理設施



圖 7、與友達人員進行座談



圖 8、與聯電人員進行座談



圖 9、Lorong Halus Wetland 生態公園



圖 10、巧遇當地學校於生態公園辦理戶外教學



圖 11、新加坡資源永續展覽館內的濱海堤壩模型



圖 12、展覽館屋頂上的太陽能公園

參、新加坡廢污水處理與新生水的發展

一、新加坡新生水發展歷史

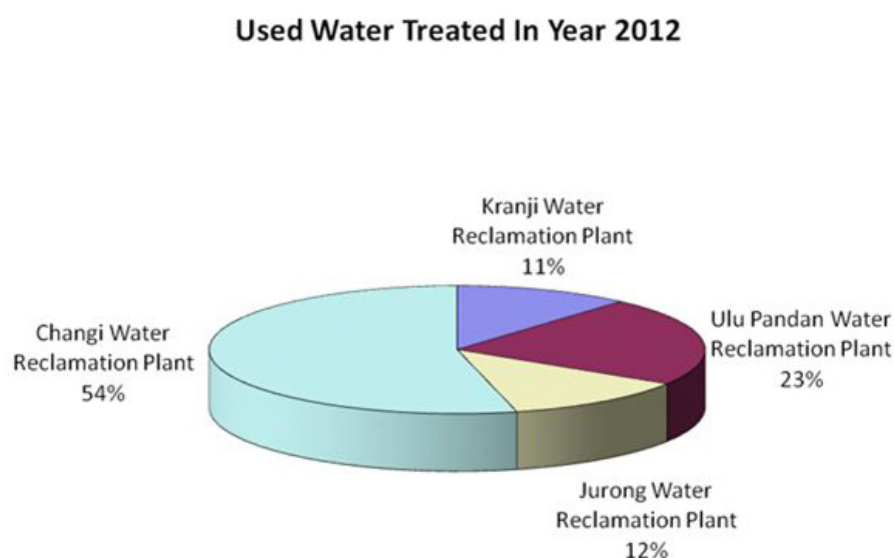
新加坡面積僅台灣 1/50，人口卻為台灣的 1/4 弱，年雨量約 2,400mm，與台灣不相上下，卻因為國土小，河流短，可蓄水的區域有限，政府為確保水資源，提出了國家四大水源，稱為「城市的四大水龍頭」(Four National Taps)：包含興建水庫、向馬來西亞買水、發展新生水，以及海水淡化。但由於與馬來西亞簽訂的 2 個買水契約，一個已在 2011 年到期，一個將在 2060 年到期，因此未雨綢繆，政府積極尋找其他替代水源，希望達到自給自足，因此早在 1972 年即著手進行污水回收再生的研究與試驗計畫，將污水廠放流水回收，經由高級處理後再生的水叫做「新生水」(NEWater)，並於 1974 年建置先導廠。至今新生水廠已有 5 座，分別是 Bedok、Kranji、Seletar、Ulu Pandan、Changi，其中 Seletar 水再生廠已營運 30 年，因 Changi 水再生廠完工，為將污水集中於 Changi 進行處理，因此 Seletar 水再生廠於 2011 年停止運轉，其新生水廠亦同時退役，目前營運中有 4 座，新生水產量每天約 53 萬噸，佔全國供水 30%。



圖 13、新加坡新生水廠的分布

二、新生水的處理技術

新加坡的家庭污水及工業廢水皆排放進入共同的下水道系統，惟工業廢水在排放之前必須由業者自行前處理至排放標準，始能納入公共下水道系統，再經由水再生廠（water reclamation plants，即一般所稱污水處理廠）的處理而可被再利用。新加坡現有 Kranji、Jurong、Ulu Pandan 及 Changi 4 座水再生廠，採用傳統活性污泥法處理，2012 年全年處理的總水量為 5.63 億噸。



圖、14、2012 年新加坡 4 座水再生廠處理水量之比例

大量處理過後的放流水若直接排放至海洋，對於極度缺水的新加坡而言是一種浪費，為了充分利用珍稀的水資源，新加坡早在 1966 年即興建了裕廊工業供水系統（Jurong Industrial Water Works），將 Ulu Pandan 水再生廠處理（UPWRP）之後的放流水回收再處理，供應給裕廊、Tuas 工業區，主要使用標的有冷卻水、清洗及再進一步處理成為更高階的工業用水，供水量從最初的 45,000CMD，最多曾達 125,000CMD，可稱為新生水的前身；而自 2007 年 4 月這 2 處工業區改用新生水之後，裕廊工業供水系統僅供裕廊島上的工廠使用。

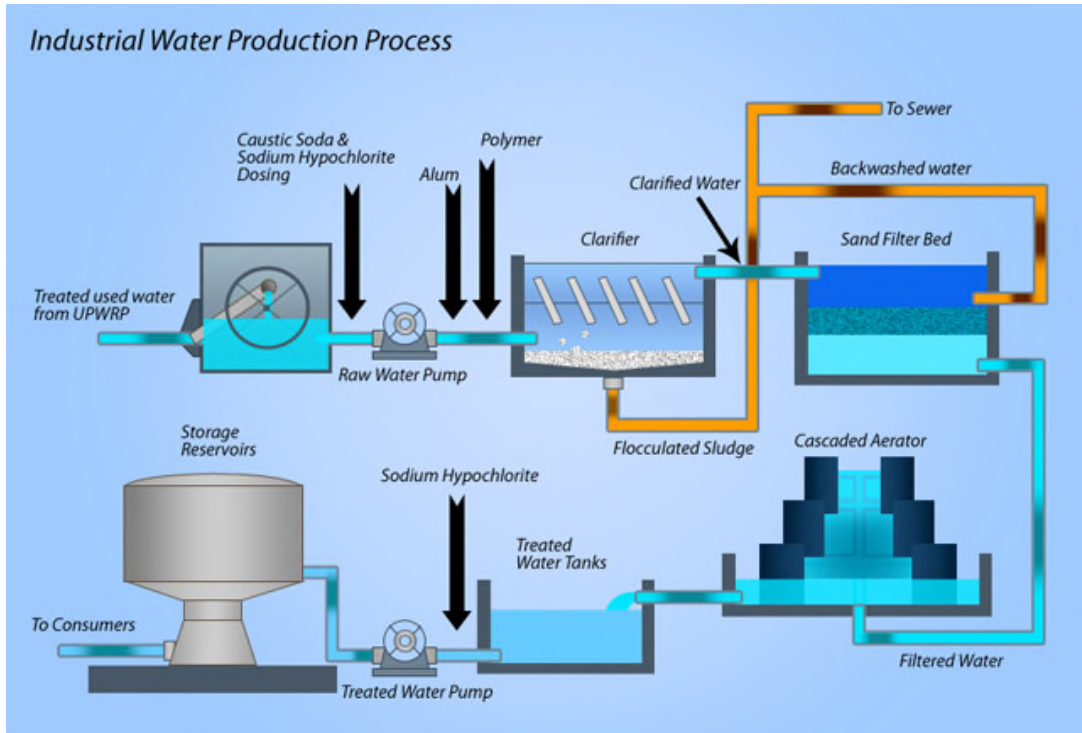


圖 15、裕廊工業供水系統圖

新生水是新加坡引以為傲的水再生利用的成就，將已被使用過的水經傳統污水處理後，再以先進膜技術處理所產生的一種逆滲透高級潔淨水，使稀有的水資源得以源源不絕地循環使用（如圖 16、新加坡的水循環）。自 2003 年起部分新生水被注入水庫做為間接飲用水源，其量約等於新加坡每日所需飲用水量的 1%，其餘則提供 Woodlands、Tampines、Pasir 和 Ang Mo Kio 等工業區的工業用水。

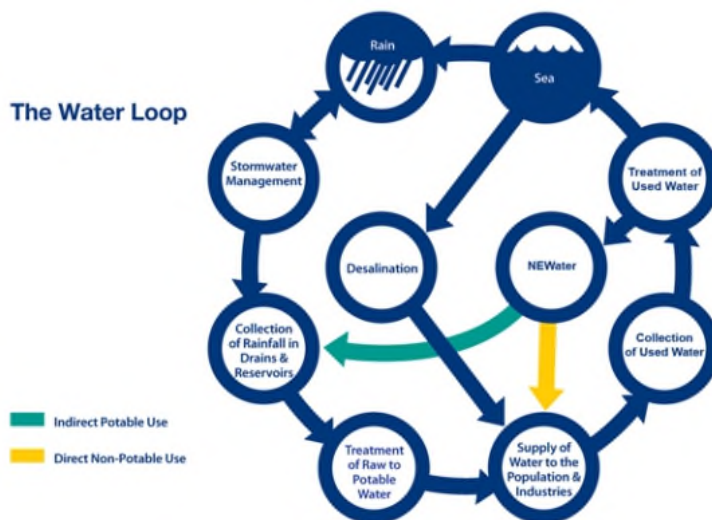


圖 16、新加坡的水循環

新生水是經由多層次的再製程序（water reclamation process）處理：

- （一）第一層為污水處理廠的傳統廢水處理。
- （二）第二層也是新生水的第一階段生產程序，是使用微過濾/超過濾(UF)來移除懸浮固體、膠體顆粒、致病性細菌、部份病毒和原生動物的孢子，經過膜過濾的水僅含有溶解性的鹽和有機分子。
- （三）新生水第二階段生產程續是使用逆滲透（reverse osmosis，RO），一種半透性膜（semi-permeable membrane）過濾出污染物，如細菌、病毒、重金屬、硝酸鹽、氯鹽、硫酸鹽、消毒副產物、環氧碳氫化物和殺蟲劑，因此階段處理後之水是已去除了細菌和病毒，僅含有低濃度的鹽類和有機物質，在此階段，水質其實已達飲用水的品質。
- （四）新生水第三階段生產程序是一種為安全的考量所採取的預防方法－紫外線消毒（UV disinfection），以確保偶有的生物體都不活躍和保證水的潔淨度。最後加入一些鹼性化學物質來重建酸鹼值的平衡後，新生水已被產出而可以使用了。

新生水為逆滲透處理產生的水，其水質與美國環保署及世界衛生組織建議飲用水質標準比較毫不遜色（詳表 1），但因做為直接飲用的接受度尚待建立，惟做為晶圓製造製程用水使用時，因其經逆滲透處理使導電度約為 $60 \mu\text{s/cm}$ ，較自來水的 $250 \mu\text{s/cm}$ 為低，有助於減低用水純化成本。

表 1、新生水質比較表

水質指標	新生水(NEWater)	美國環保署及世界衛生組織標準
	A)物理特性	
濁度 (NTU)	<5	
色度 (Hazen units)	<5	15 / 15
電導度 ($\mu\text{S/cm}$)	<250	Not Specified(- / -)
pH 值	7.0 - 8.5	6.5-8.5 / -
總溶解性固體 (mg/L)	<150	500 / 1000
總有機碳 (mg/L)	<0.5	- / -
總硬度 (CaCO_3) (mg/L)	<50	Not available
	B) 化學特性 (mg/L)	

氨氮 (as N)	<1.0	- / 1.2
氯鹽 (Cl)	<20	250 / 250
氟鹽 (F)	<0.5	4 / 1.5
硝酸鹽 (NO ₃)	<15	10 / 11
矽石 (SiO ₂)	<3	- / -
硫酸鹽 (SO ₄)	<5	250 / 250
餘氯 (Cl, Total)	<2	4 / 5
總三鹵甲烷 (as mg/L)	<0.08	0.08 / -
	C) 金屬類 (mg/L)	
鋁 (Al)	<0.1	0.05-0.2 / 0.2
鋇 (Ba)	<0.1	2 / 0.7
硼 (B)	<0.5	- / 0.5
鈣 (Ca)	4 - 20	- / -
銅 (Cu)	<0.05	1.3 / 2
鐵 (Fe)	<0.04	0.3 / 0.3
錳 (Mn)	<0.05	0.05 / 0.4
鈉 (Na)	<20	- / 200
銻 (Sr)	<0.1	- / -
鋅 (Zn)	<0.1	5 / 3
	D) 細菌性	
Total Coliform Bacteria (Counts/100 mL)	Not detectable	Not detectable
Enterovirus	Not detectable	Not detectable
Heterotrophic Plate Count (CFU/mL, 35°C, 48 h)	<300	<500 / -

三、新生水廠的營運

目前營運中的 4 座新生水廠，有 2 座為 PUB 直接營運，分別是 Bedok 及 Kranji，PUB 從技術開發、模廠試驗、建立實廠，進而確認產業的需求之後，再以引進民間投資的方式，即所謂「設計－建造－營運－所有」(Design-Build-Operation-Own, DBOO)，來建造 Ulu Pandan 及 Changi 兩座新生水廠。新生水廠的 DBOO 案係開放為國際標，PUB 所設定的主要投標條件包括設計水量、處理技術、營運年期等，其中遴選的重要因素之一為水價的訂定，如 Changi 新生水廠得標公司 Sembcorp 提出第 1 年水價為每立方米 0.29966 美元，將近新台幣 9 元的價格售予 PUB。

新加坡的水源管理、原水處理、配水、污水處理、新生水及海水淡化等硬體建設與營運管理皆由公用事業局統籌辦理，因此相關的建設與營運成本就充分反映在水價的訂定之上，一般家戶的用水計價採累進稅率，以每個月 40 立方米為界，水費、耗水稅及污水處理費率有所不同（如表 2），此外新生水水費較自來水便宜，以鼓勵工業大戶使用。

表 2、新加坡水費結構

用水類別	用水量 (m ³ /月)	水費 (新幣元 /m ³)	耗水稅 (%)	水費小計 (新幣元/ m ³)	污水處理 費 (新幣元/ m ³)	衛生設施 費 (新幣元 /個/月)
家庭用水	1-40	1.17	30	1.52	0.30	3
	>40	1.40	45	2.03	0.30	3
非家庭用水	-	1.17	30	1.52	0.60	-
新生水	-	1.22	-	1.22	0.56 (未含貨物稅)	

四、新生水的未來展望

目前新生水產量約供給全國 30% 的水，到了 2060 年則希望提高至 50 至 55%，其中約 70% 直接由工業使用，其餘 30% 則注入水庫，成為自來水水源之一。目前因此政府一方面提高污水回收再生的比例，一方面建構全國下水道網絡。其中重點計畫為耗資約 34 億新幣的「深隧道下水道系統」(Deep Tunnel Sewerage System，簡稱 DTSS) 計畫，號稱建構未來 100 年新加坡再生水的高速公路。

DTSS 計畫於 2008 年已完成第一期建設包括：(1) 總長度 60 公里聯合下水道，管徑 3.3 公尺，深度約 10 至 30 公尺，收集既有污水管線之污水；(2) 總長度 48 公里深隧道，管徑 6 公尺，深度約 20 至 50 公尺，收集聯合下水道所收集的污水，送到 Changi 水再生廠處理；(3) Changi 水再生廠，設計處理水量為 80CMD，廠區透過精實設計，僅佔地 32 公頃，為同級污水處理廠用地的 1/3，且設施全面室內化，亦免於保留大面積的緩衝帶，可有效運用稀少的土地資源；(4) Changi 水再

生廠 2 條 5 公里長的海洋放流管。本計畫的目的在確保收集所有污水進入樟宜水再生廠處理，部分處理之後的水再進入 Changi 新生水廠進行高級處理，可使新生水水源得以永續。

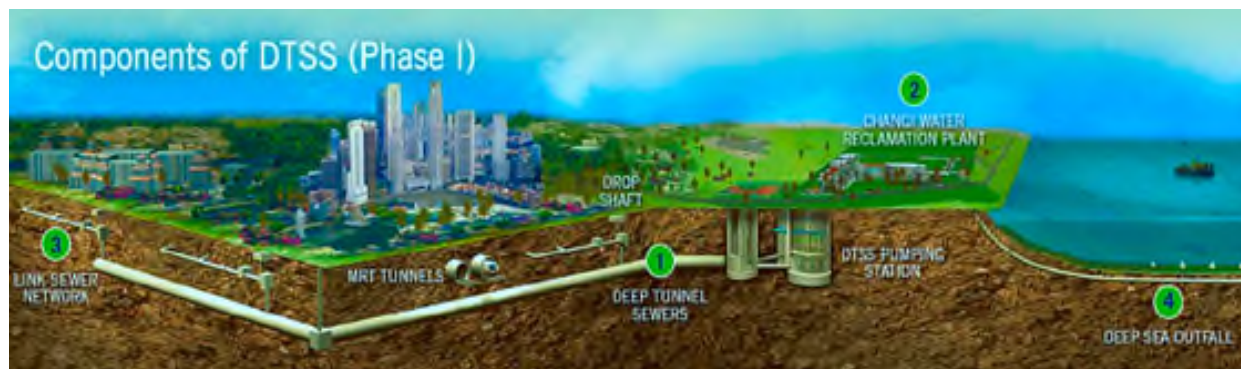


圖 17、新加坡 DTSS 計畫概念圖

肆、心得與建議

一、心得

(一) 新生水 (NEWater) 再生程序讓已使用過的水變成一種有用的資源

新生水是新加坡引以為傲的水再生利用的成就，將已被使用過的水經傳統污水處理後，再以先進過濾膜技術處理所產生的一種逆滲透高級潔淨水，水質的潔淨度可以為飲用或工業水源所利用，經由再生程序讓已使用過的水變成一種資源，水資源得以循環使用、生生不息。

(二) 廢水處理及水再生的一元化管理體系

為了強調水的回收再利用，在 2001 年新加坡將 Bedok、Jurong、Kim Chuan、Kranji、Seletar 及 Ulu Pandan 等六個污水處理廠重新命名為水再生工廠 (Water Reclamation Plants, WRPs)，來強調它們新的角色，不僅處理家庭、工廠等所使用過的水，亦將水再生成為非直接飲用的水源。同時將水的再生納為廢污水處理的一體規劃與管理，包括對廢污水收集、納管水量、水質的管制等同時考量再生需求。且再生水處理是利用高級膜處理技術，其原水由廢水處理廠提供，且再生處理過程中仍有高濃度排水需處理，故兩者結合可減少再生水廠重複設置廢水處理及排放設施，降低投資成本。

(三) 工業用水及直接飲用水分離供應

依據用水水質需求不同，部分工業用水僅經超微過濾 (ultra filtration, UF) 後提供給工廠做為空調系統之冷卻用水，或洗滌塔 (scrubber) 之洗滌用水；部分經過超微過濾之水，再經過逆滲透膜處理產製新生水 (NEWater)，少部分新生水回注水庫補充水源，多數則透過新生水專管提供給工業用水使用，如商業及機構大樓空調冷卻，及晶圓工廠造、電子和發電廠製程用水，替代原先使用自來水，使自來水以供應生活使用為主。用途不同水質要求亦不同，分離供應可依需求調整處理程序，減低處理成本的投入，亦可利用品質較差之水源做為非直接飲用水源，擴大水的供應來源。

(四) 廠內回收廢水再利用仍需繼續的投入

新加坡在整體水源供應的規劃與建設相當的完整，但是對於廠商的自我減量、回收再利用等推動則不如我國積極。目前國內各科學園區均設定各類廠

商製程或全廠水回收率，廠商亦均配合執行，成果豐碩，此類作為亦為新加坡所希望引進該國推廣。在廠區回收再利用可透過原水分類收集處理，處理效能高，且省去輸送管路等設置減低成本，在再生水供應的標的及地區規劃時，應要將此類好的作法納入考量。

(五) 自來水水費影響再生水的使用

新生水的超微過濾及滲透膜過濾技術之成本主要受到原水水質、電費及膜成本的影響，在各國間的差異不大，但新生水成本與自來水價間之差距將會影響使用意願。新加坡透過水再生技術與設備的研發投資，降低新生水成本，目前新生水價格(每立方米約 1.22 元新幣)與自來水價格(每立方米約 1.52-2.03 元新幣)相較為低，新生水的使用具有經濟誘因。相較於目前國內自來水價每噸僅 12 元，目前再生水廠供水成本若一併考量建造及營運成本，則每噸將達 15 至 30 元(依污水廠條件及水質需求而訂)，價格相對相高，使用推廣需克服。

(六) 水源開發、漏水率及個人日需水量整體思考以滿足水資源供應

新加坡除了增加地表水源收集面積、海水淡化及開發新生水，以達到水資源供給面永續之外，需求面亦須同步進行管理，才能真正達到對資源與環境的友善。新加坡主要提出以價制量、訂定節水措施、推廣節水裝置等作為，從 2003 年到 2012 年新加坡每人每天用水量從 165 公升降為 152 公升，並希望在 2030 年降到 140 公升。同時定期維修及更新輸水管路，嚴厲的取締盜水，鼓勵民眾通報漏水事故，目前已將漏水率降低至約 5%，比其他國家的 10-30% 為低。此類用水量及漏水降低的努力在國內較不受重視，但其對供水量及供水品質的提昇均具正面效果，值得國內重視的。

二、建議

(一) 國內污水處理廠升級為水資源中心

國內可重新定位污水處理系統，讓其將水的資源再利用功用納入，轉型為水資源中心，如國內垃圾焚化廠藉由熱能回收利用，轉為能資源中心。惟既有公共污水廠多數採用二級處理，只需再增設三級或超微過濾，甚至更高級的逆滲透處理設施，即可提供不同水需求的應用，未來規劃公共污水廠時，建

議應要將水資源再生設計一次到位，或是預留增設所需用地，供未來所需，使再生設施提昇效率及降低投資成本。如新加坡水再生廠仍有部分高濃度放流水是透過原廢水處理廠排放進入海洋。

(二) 工業區設置分離式工業用水系統

為使資源有效運用，工業區可設置分離工業用水系統，讓水質需求較低的用水減低處理成本，同時也更擴大其水源供應面。

(三) 園區節水措施的精進作為

科管局自 84 年即與園區同業公會協調成立水電氣管理委員會，彙整廠商用水資訊與規劃各項節水措施，如推動廢水回收再利用之用水減量計畫，以減低當時水資源不足對工業成長的影響。91 年再成立園區節約用水指導委員會，由專家、學者、水利署代表、園區公會水電氣管理委員會、工研院節水服務團及相關顧問公司等組成，積極推動工廠節約用水、冷卻水塔之操作管理、製程用水回收、製程用水減量、放流水回收及雨水貯留等節約用水措施，至今已輔導逾 100 案次，節水成效應該是國內各工業區及科學園區之典範。儘管新加坡公用事業局在水資源開發與保育技術發展已居全球領先位置，屢獲國際性獎項，惟對園區辦理節水輔導及訂定之用水平衡圖等仍具有相當的興趣，也對園區致力推動節約用水之努力有所肯定。目前本局每年仍會對 10 家廠商進行節水輔導，並達成每年節水潛量 50 萬噸以上之量化目標，專家學者對廠商所提出之節水建議方案，因多數投資回收年限不長，經追蹤結果，近兩年之執行率分別達 94.4%及 70.1%，顯示輔導確達一定成效。現階段部分投資回收年限較長之節水方案（如雨水貯留回收系統等），對規模不大之廠商仍不易推動，尚需本局與廠商共同努力克服；另部分舊廠因管線分流不易，或受空間限制無法增設大型節水設備，應可比照增設環保設施，放寬土地使用之管制。

(四) 環保設施可成為環境教育重要的場域之一

以往社會上將環保設施視為避鄰設施，惟目前在環境永續、資源回收再利用等觀念之下，污水處理廠轉型為水資源回收中心、垃圾焚化廠轉型為能資源中心，皆成為環境教育重要的場域。新加坡新生水廠展示中心融合平面看板、

模型、短片、電腦模擬動畫、實廠等方式，將國家節水政策及目標、新生水技術及發展歷程等做了生動、簡明的介紹，最後更讓訪客親自飲用新生水瓶裝水，實際體驗新生水的品質。目前竹科污水廠正申請國內環境教育設施場所認證，即將進入大會審議階段，若取得認證，將會是第一座工業區聯合污水處理廠成為環境教育認證場域，為宣導水資源保育、園區環境保護工作成果，未來可持續精進教案內容、改善環境教育館設施，成為具有特色的環境教育場所。

參考資料

1. 新加坡公用事業局網站 www.pub.gov.sg。
2. 內政部營建署「公共污水處理廠放流水回收再利用示範推動計畫（草案）」，民國 102年5月。
3. 經濟部水利署「水資源再生發展條例（草案）」。
4. 經濟部水利署「再生水廠建置/營運推動策略論壇」簡報資料（民國 102 年 10 月 1 日）。
5. 財團法人中興工程顧問社朱敬平副理，102 年 8 月 2 日「水再生利用之推動」簡報資料。