

公務出國報告

(出國類別：考察)

一〇五年度經濟部台灣自來水公司

「前往新加坡 PUB WATER 考察水質管理、水處理研究及相關教育訓練等之運作」

出國報告書

服務機關：台灣自來水公司

出國人員：姓名：何承嶧、李貞慧

職稱：組長

出國地區：新加坡

出國期間：105.07.10~105.07.15

報告日期：105.9.23

系統識別號：C10502351

公務出國報告提要

頁數：40 含附件：否

報告名稱：一〇五年度經濟部台灣自來水公司「前往新加坡 PUB WATER 考察水質管理、水處理研究及相關教育訓練等之運作」出國報告書

主辦機關：經濟部台灣自來水公司

聯絡人：黃柏耀（04-22244191-757）

出國人員：何承嶧、李貞慧

台灣自來水公司

出國類別：考察

出國地區：新加坡

出國期間：105 年 07 月 10 日至 105 年 07 月 15 日

報告日期：105 年 9 月 23 日

分類號/目：770 環境保護

關鍵詞：水安全計畫、水質研究

內容摘要：本次研習重點為參加 2016 新加坡國際水週(Singapore International Water Week, SIWW)及參訪公共設施局(Public Utility Board, PUB)。SIWW 自 2004 年開始每 2 年舉辦一次，迄 2016 年已延續至第 7 屆，其招商規模之盛大、與水實務相關研討會之多元(包括自來水、污水及環境永續...等議題)及主題探討之切合時運潮流(例如：領袖會議、城市論壇...等)，所有研討會活動及參訪行程對水公司推展與國際水相關事業接軌均極具指標意義，所得嶄新觀念與精神可做為水公司推動 WSP 的重要佐參資料。

摘 要

新加坡政府相當重視新加坡國際水週 (The Singapore International Water Week, SIWW) ，因此指定公部門之環境及水資源部 (Ministry of the Environment & Water Resources) 及公共設施局 (Public Utility Board, PUB) 主辦。SIWW 可提供當地政府觀摩世界最新水處理技術，並藉由兩年一次的研討會內容與國際各水事業進行交流，做為決策發展重要參考依據。

SIWW 總是不斷研發並執行許多旗艦計畫，例如：頒發李光耀自來水獎 (Lee Kuan Yew Water Prize) 鼓勵貢獻者；舉辦水事業領袖及年青領袖會議 (Water Leaders and Young Water Leaders Summit)，用同樣高度共謀水問題解決方案；開闢自來水各主題研討會、經濟論壇、工業用水問題解決方案論壇、自來水設備展示會、科技交流 (TechXchange) 和執行水事業相關創新且符合法規的最新處理技術等計畫，吸納全球各方碩彥豐富經驗，並以全方位角度審視新加坡用水議題並積極落實及執行改善。

本次第七屆新加坡國際水週於 10th-14th, July, 2016 隆重登場，盛況正如預期浩大。今年與往年相較同時新增二項研討主題：包括國際城市論壇 (World Cities Summit, WCS) 及新加坡環境清潔研討會 (CleanEnviro Summit Singapore, CESS)，前者有著「他山之石，可以攻錯」的參照價值；而後者則是針對新加坡近來執行的 ABC 計畫 (Active, Beautiful, and Clean Plan, ABC-Plan) 進行檢討，並廣徵各國建議，以適時修正執行方向正確性。

水公司近來積極與國際接軌，設置有研究單位持續觀察供水系統的問題種類，及負責引入新技術，朝向兼具專業檢測、科學研究及技術創新之制度化水質單位發展，為推動水安全計畫 (Water Safety Plan, WSP) 奠基，期望未來能有效提昇水公司經營績效及用戶服務水準。

目錄

摘要	3
目錄	4
壹、目的	5
貳、考察內容與行程	7
參、考察心得	10
一、SIWW Water Convention.....	12
二、PUB Water Hub - Water Quality Office.....	14
三、PUB Combined Control & Operations Centre.....	32
四、Site Visit –Cck Plant & Marina Barrage	34
肆、心得與建議	38
伍、謝誌	40

壹、目的

台灣島雨量豐沛，但地形坡度大，大部分水流入海，加上工廠廢水、生活污水對水源的污染，水源之開發日漸困難，開發成本相對升高，可用的水資源相形見絀。然工商業持續發展，國民生活水準日益提昇，用水量逐年提高。台灣自來水公司(Taiwan Water Corporation, TWC, 以下簡稱水公司)需肩負政府政策任務提供 676 萬用戶（自來水公司統計年報，104 年）用水要求。然平均單位售價 10.78 元自來水水價偏低，無法反映成本，使得水公司經營更加困難。

又近期全球氣候異常，更造成水質變動相當大，尤其是濁度，汛期時原水水質高達數千或數萬 NTU，而水庫藻類優養化衍生臭味、總有機碳偏高等，常超出淨水場處理負荷能力，水質管理遭遇相當大的挑戰；此外，水公司自民國 63 年合併各地水廠成立公司時為提高供水普及率，其新埋管線多採用經濟管種，迄今已逾 40 年，加上我國地震頻繁，導致漏水嚴重。面對這些問題，水公司仍基於「品質、創新、信賴、專業」之經營理念，積極推動水源開發利用多元化規劃、水源聯合調配運用及充實供水系統備援備載能量等作為。

近來水公司為加強水質管理，朝向自行進行水質處理相關研究以提升水質處理技術，並投入相當人力、成本強化防漏及水壓管控工作，以中、小區管網分析評估有高缺水風險及漏水嚴重之區域，積極推動檢漏作業及管線汰換，有效控制供水系統及管線之漏水復原，以達成水公司「提供量足、質優自來水，以提升國民生活水準、促進經濟發展」使命。

水公司為能解決缺水問題，需多方評估擇選最佳方案。因此，水公司極需培養具水處理全流程(含淨水、廢水及污泥)操作、管理及研發的人才，並需具備外語能力，可適用引進國外最新技術，以因應多變的供水環境，達到與國際同步發展的水準。

本次研討會及參訪研習內容對水公司刻正發展研究業務、與國際接軌正面相關，及推動水安全計畫(Water Safety Plan, WSP)，針對 WHO 制訂(德國)波昂安全飲用水憲章(The Bonn Charter for Safe Drinking Water)，用以強調自來水水源、淨水場、管網系統至用戶端之整體飲用水水質管理架構等發展極具正面助益。

在 PUB 進行多國種語言(國、台、英、粵)的交流過程，可以瞭解新加坡從事水事業人員除國際化的自我要求外，亦見其不忘對使用母語的堅持，值得尊重與學習。

貳、考察內容與行程

本次研習重點為參加 2016 新加坡國際水週 (Singapore International Water Week, SIWW)及參訪公共設施局(Public Utility Board, PUB)。SIWW 自 2004 年開始每 2 年舉辦一次，迄 2016 年已延續至第 7 屆，其招商規模之盛大、與水實務相關研討會之多元(包括自來水、污水及環境永續...等議題)及主題探討之切合時運潮流(例如：領袖會議、城市論壇...等)，所有研討會活動及參訪行程對水公司推展與國際水相關事業接軌均極具指標意義，所得嶄新觀念與精神可做為水公司推動 WSP 的重要佐參資料。

水公司自 2014 起將水安全計畫(Water Safety Plan, WSP)由七區澎湖所七美淨水場開始導入，時值台灣地區自來水事業刻正與國際水質安全概念接軌，藉由此行與多國進行實務交流研討獲益良多，相關研討會議及參訪行程詳參表 1 所示。

表 1 PUB Visit & SIWW Workshop 10-15, Jul_Programme

Day	Main activities for day	Morning	Afternoon
Sunday 10 Jul	Arrive; Opening ceremony & Welcome Reception	EVA Air –BR215 (09:25) Arrive at Singapore at 13:50 Hot Issues Workshop	Hot Issues Workshop Opening Ceremony
Monday 11 Jul	Visit of PUB-Water Hub-Water Quality Office; Water Convention Poster Presentation	PUB-Water Hub-Water Quality Office (Chief, Lim Mong Hoo) *10AM-13PM - Water Quality Management - Water Treatment Research - Water Quality Education and Training - Water Quality Monitoring (Fish & Oil Waste) - Water Regulation - Water Quality and Laboratory Design	Water Convention Poster Presentation (Poster: Towards Including Water Quality In Climate Adaptation Frameworks) (Poster Presentation) *1330PM Visit Cck Plant
Tuesday 12 Jul	Water Convention Opening Plenary	Water Convention Opening Plenary	Water Convention Parallet Tracks Smart Water Forum
Wednesday 13 Jul	Water Convention Parallet Tracks	Water Convention Parallet Tracks	Water Convention Parallet Tracks Water Convention closing Plenary Desalination and Water Reuse Business Forum

Day	Main activities for day	Morning	Afternoon
			Theme 1A: Delivering Water From Source to Tap – Networks (2:00-3:30 PM) (Oral: The Response Action of Taiwan Water Corporation for Drought Resistance)
Thursday 14 Jul	Site & CCOC Visits	Visit Marina Barrage	1330 Arrive at Woodleigh Complex Blk 2 1400 – 1430 Introduction of PUB & Water Supply Network 1430 – 1530 Tour of CCOC (Combined Control & Operations Centre) - Water Services and Operations Centre - PUBOne - Water Supply Control Centre 1530 – 1600 Sharing on Leak Detection Programme 1600 – 1700 Tour of Meter Workshop
Friday 15 Jul	Check out & Departure	Accommodation check out	EVA Air –BR216 departure at 15:10 TPE at 20:00

參、考察心得

水安全計畫針對「水源管理、配水及用戶，不是僅有淨水場而已」的論述，與本次研討會以規畫整體飲用水水質管理架構完全吻合，在導入研習焦點之前，首先介紹水安全計畫架構(詳圖 1)及製訂流程(詳圖 2)，用以說明 WSP 構架及其重要性。至於完整水安全計畫建置與實施流程則請參看圖 3。

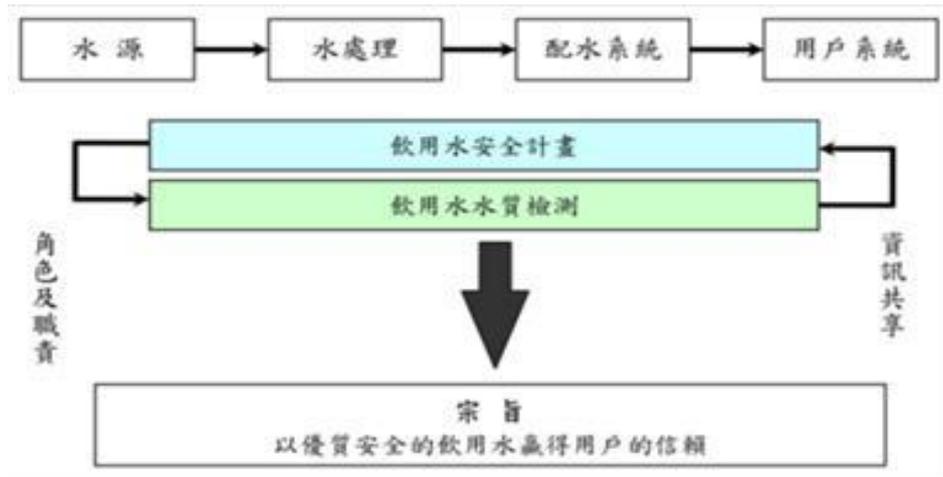


圖 1 水安全計畫架構圖

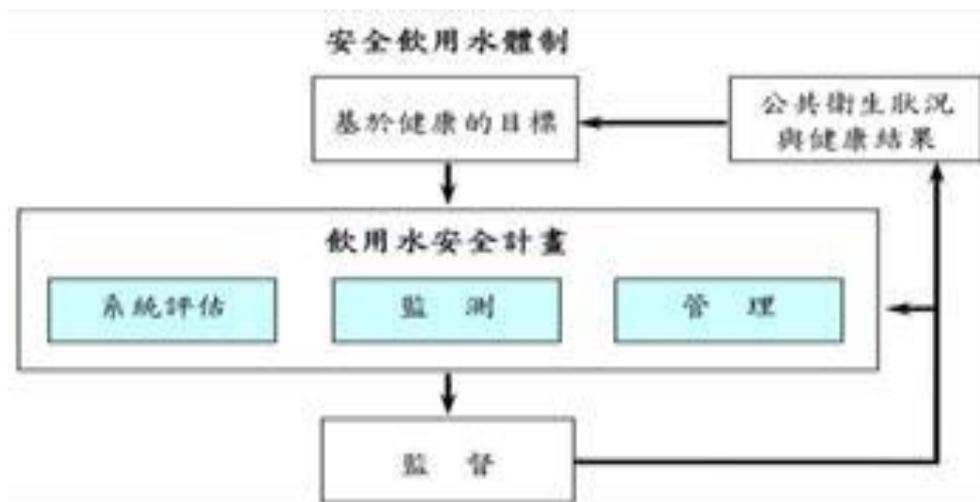


圖 2 飲用水水質標準製訂及驗證流程圖

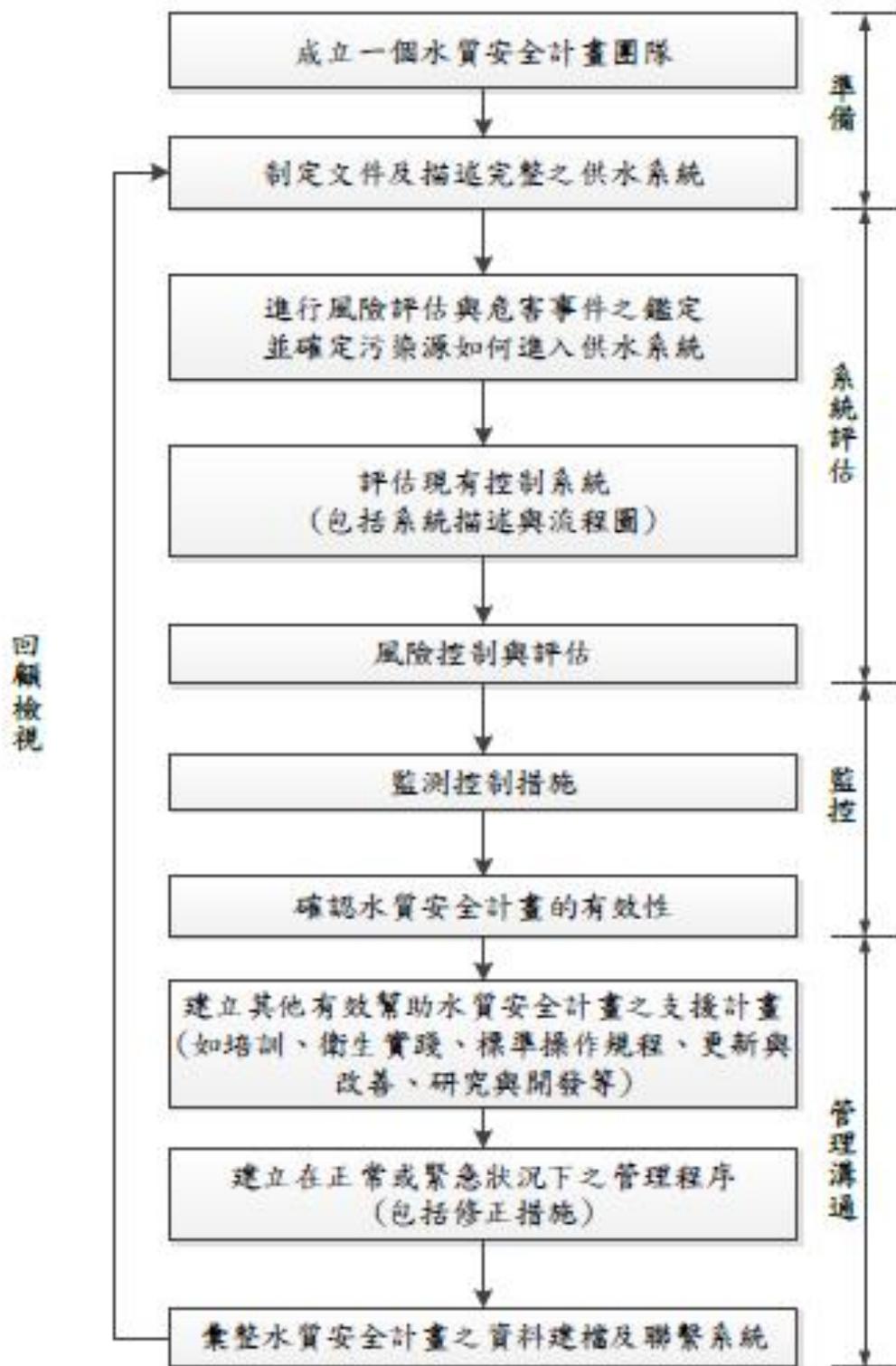


圖 3 水安全計畫建置與實施流程圖

一、 SIWW Water Convention

(一) 大會口頭簡報及海報展示

本次水會議有 Delivering Water from Source to Tap、Effective and Efficient Wastewater Management、Water for Liveability and Resilience、Water Quality and Health 及 Water for Industries 五大主題。

次外，本次本公司以參加主題「Delivering Water from Source to Tap」為主，並針對「104 年台灣西部地區旱災期間台水公司之因應作為」作 15 分鐘之口頭報告(詳圖 4)。本次海報展示，本公司總經理投稿「氣候變遷對水庫水質之整合性評估：以新山水庫為例」一篇，並獲得主辦單位海報展示之邀請(詳圖 5)。



圖 4 本公司代表於新加坡水務論壇口頭簡報

(二) Poster 海報版及全文

Towards Including Water Quality in Climate Adaptation Frameworks

N.-T. Hu*, **T.-F. Lin****, **L.-Y. Cai****, **C.-H. Chang****, **L. van der Linden*****, and **M. Burch*****

* **Taiwan Water Corporation, Taichung City, Taiwan ROC.**
 (E-mail: tchen@mail.water.gov.tw; chihhua@mail.ncku.edu.tw)
 ** **Department of Environmental Engineering and Global Water Quality Research Center, National Cheng Kung University, Tainan City, Taiwan ROC.**
 *** **Australian Water Quality Centre, SA Water, Adelaide, SA, Australia.**

Introduction

Resilience to climate change is a major challenge to the water industry as they make decisions under the profound uncertainty that surrounds climate change.

Methods have been developed to adapt to the challenges have focused on water quantity issues. Including water quality aspects is challenging and often neglected, despite the well understood potential negative impacts of climate change on water quality.

This international cooperative program, jointly studied by Australia, Taiwan and USA, demonstrates the ability to include climate change impacts on water quality in a variety of decision support planning methods.

Using Taiwan's Hsinshan Reservoir (HSR) as a primary example, the value of an integrated modelling approach to assess the effects of climate change on water quality is present.

Methodology

Results & Discussion

Impacts of climate change on catchment flow and water quality

Figure 2: Near-term (2020-2039) and long-term (2080-2099) projections of monthly catchment flow and water quality under A1B scenario.

Case/Model	Flow (mm)	WT (mg/L)	DO (mg/L)	TP (mg/L)	Chl (mg/L)
2004-2012 Reservoir	—	0.013	0.018	0.49	8.4
2004-2012 Catchment	11.4	0.091	0.023	0.71	8.7
2020-2039 Catchment	8.6	0.088	0.02	0.72	8.6
2080-2099 Catchment	10.1	0.087	0.02	0.72	8.6
	(7.8-13.8)	(0.087-0.088)	(0.02-0.02)	(0.72-0.73)	(8.5-8.6)

Coupling watershed and reservoir models, to assess the impacts of climate change on the water quality of an off-channel reservoir in a humid-subtropical climatic region

Figure 3: Risk exceedance probability for the levels of WT and DO in surface layer.

The rising temperatures will significantly lower the water quality in HSR through greater thermal stability and DO stratification, resulting in reduced DO concentrations in deeper layers of the reservoir and increased release of phosphorus from sediments.

Figure 4: Risk exceedance probability for the levels of nutrients in surface and bottom layers.

Figure 5: Risk exceedance probability for the levels of phytoplankton.

- The flux of phosphorus in the hypolimnion may not support algal growth in the epilimnion during summer stratification.
- Nutrients are projected to increase throughout the reservoir, since the HSR is well-mixed in late fall/winter.
- The projected earlier arrival of spring should be noted. If the presence of nutrients is high, the prolonged growing season will increase the expected frequency of algal blooms.

Conclusions

The rising temperature associated with future climate is projected to significantly lower the water quality in HSR. The tools developed in this project allow the assessment of adaptive responses to these climate change impacts.

The authors would like to express appreciation for the support of the sponsors:

圖 5 「氣候變遷對水庫水質之整合性評估：以新山水庫為例」海報

二、PUB Water Hub - Water Quality Office

(一)PUB 組織

PUB 隸屬環境與水資源部(Ministry of the Environment and Water Resources)(詳圖 6)，主要職責在於提供乾淨的自來水(Clean Water)給民眾飲用，其對等單位為國家環境局(National Environment Agency)，相輔相成為新加坡的環境永續(Environmental Sustainability)努力。

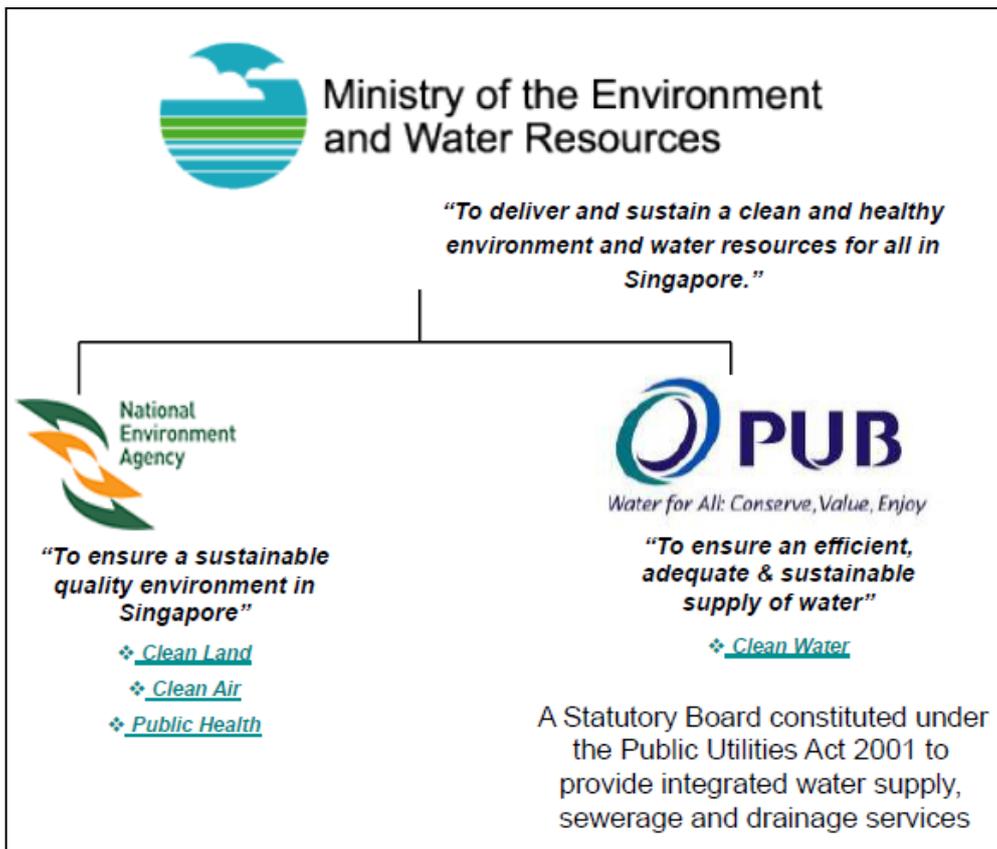


圖 6 新加坡環境與水資源部組織圖

PUB 遵循 ISO 17025，為 WHO 委任飲用水安全管理和城市水源綜合管理合作中心，該局共分三組，分別為水科學組(主操作、支援第一線及安全判斷)、實驗組(相關實驗室設備如圖 7 所示)及 QAQC 組(品保品管、確保質水安全、採樣及每月進行檢討)。實驗組部分有普通化學、有機化學、無機化學、高等生物科技、生物及微生物等 6 個實驗室(詳圖 8)，共計約 80 人(包含 15 位博士)。



超微量分析實驗室(HPLC-ICP-MS)



有機分析實驗室

無機分析實驗室

圖 7 PUB 實驗室設備



圖 8 PUB Analytics & Research Laboratories

(二) 新加坡水源

新加坡有 4 大水源(詳參附圖 9)：包括有海淡水(Desalinated Water)、新生水(NEWater)、進口水 Imported Water)(自馬來西亞桑納(Johor)輸入)、以及集水區湖庫水(Water from Local Catchment)。其中所謂 NEWater，即為生活污水回收再處理所得的水資源，其主要供應對象為工業用水，必要時亦引入淨水場與生活用水參配使用。另為宣傳之需亦做成包裝水，以提供會議參加人員飲用(詳參附圖 10)。

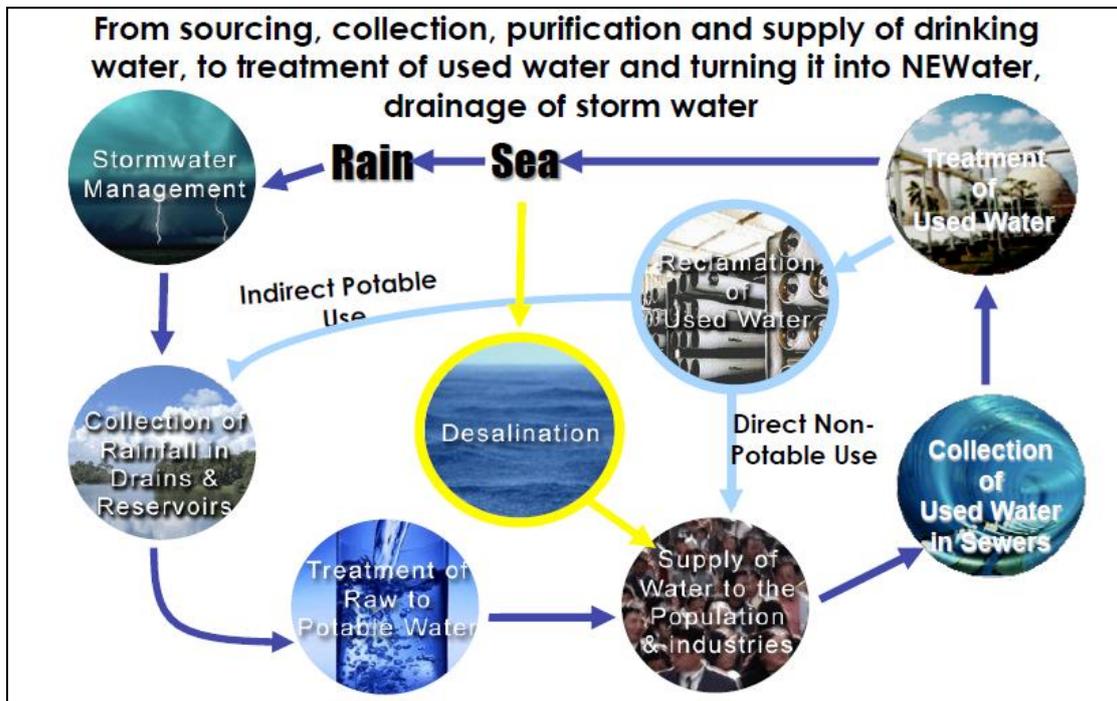


圖 9 新加坡水源及水循環示意圖



圖 10 NEWater 保特瓶示意圖

早期新加坡生活困苦，水利等公共設施設施簡陋，但是經過整體水循環管理(包括雨水、海淡水及新生水)，以及對水運用採取「蒐集每一滴雨水」、「蒐集每一滴用戶水」、「循環每一滴水」的原則後，水環境已大幅改變。

- 蒐集每一滴雨水(Collect Every Drop of Rain Water):目前新加坡對於雨水蓄存於 17 座蓄水池，而新加坡已有 2/3 的土地面積是做為 17 座蓄水池的集水區。
- 蒐集每一滴用戶水(Collect Every Drop of Used Water):目前 4 座再生水廠將透過興建深隧道污水系統及新設 1 座更大型再生水廠取代原兩個較小型再生水廠。
- 循環每一滴水(Recycle Every Drop of Water):未來新生水及海淡水占整體用水比率，要各提升至 30% 及 25%。

新加坡水源保護措施包含 5 大面向：包括有

1. 集水保護區：禁止所有污染物流入(例如只准使用電動船，不得使用使用油料的船隻)。
2. 非集水保護區：要求家庭污水及非污染性的工業廢水需經嚴格水處理技術管控得宜後始得排入承受水體。
3. 集水區監控(Catchment Surveillance)。
4. 藻類控制(Algae Control)：定期移除水中藻類。
5. 線上監測儀器監管水質變化(Water Quality Monitoring)。

(三)新加坡自來水法規

水安全計畫(Water Safety Plan, WSP)(詳圖 11)就像保護傘，捍衛全體用水人的飲水安全和身體健康。目前新加坡針對水質法規訂定相當完善，而自來水部分主要依循 WSP 網領制訂環境公共衛生法(Environmental Public Health Regulations)項下的管線輸送飲用水水質規範(Quality of Piped Drinking Water)。甚或針對法規未規範水質項目，蒐羅並依據國際認可標準檢測方法自行檢驗，並將結果建立資料庫(例如奈米產品多元運用後之殘留物質及其濃度)，其吸收國際最新水處理及檢測技術之未雨綢繆遠見值得學習。



圖 11 WSP of Singapore

新加坡公共設施局擁有全面強大的採樣和監測計劃，從源頭至水龍頭全面符合新加坡飲用水水質標準(詳表 2)及新生水水質標準(詳表 3 所示)。

表 2 Singapore Drinking Water Quality Standard

Characteristics	Unit	WHO 2011 GV (4th Edition)	Environmental Public Health (Quality of Piped Drinking Water) Regulations 2008. (updated 1 Nov 2010)	PUB Water Quality, Average	PUB Water Quality, Range	PUB Water Quality, Compliance
Microbiological Parameter						
Escherichia coli (E. coli)	cfu/100ml	<1	<1	<1	<1	P
Physical Parameters						
Colour	Hazen	-	15	<5	<5-5	P
Conductivity	uS/cm	-	-	256	92-527	-
Odour	TON	-	-	Unobjectionable	Unobjectionable	-
pH Value	Units	-	6.5-9.5	8.1	7.7-8.4	P
Total Dissolved Solid	mg/L	-	-	161	54-344	-
Turbidity	NTU	5	5	0.19	0.11-1.30	P
Radiological Parameters						
Gross Alpha	Bq/L	0.5Note (1)	0.5	0.040	<0.017-0.190	P
Gross Beta	Bq/L	1Note (1)	1	0.173	<0.021-0.499	P
Radon 222	Bq/L	-	100	<0.6	<0.6-0.89	P
Chemical Parameters						
Acrylamide	ug/L	0.5	0.5	<0.5	<0.5	P
Alachlor	ug/L	20	20	<1	<1	P
Aldicarb	ug/L	10	10	<2.5	<2.5	P
Aldrin and Dieldrin	ug/L	0.03	0.03	<0.01	<0.01	P
Antimony	ug/L	20	20	<1	<1-2	P
Arsenic	ug/L	10	10	<5	<5	P
Atrazine	ug/L	100Note (2)	2	<0.5	<0.5	P
Aluminium	mg/L	-	0.1, 0.2 Note (3)	0.029	<0.019 - 0.162	P
Barium	mg/L	0.7	0.7	0.021	<0.004 - 0.053	P
Benzene	ug/L	10	10	<5	<5	P
Benzo[a]pyrene	ug/L	0.7	0.7	<0.2	<0.2	P
Boron	mg/L	2.4	2.4	0.022	0.008 -0.052	P
Bromate	mg/L	0.01	0.01	<0.005	<0.005-0.007	P
Bromodichloromethane	ug/L	60	60	10.69	<5 - 25.00	P
Bromoform	ug/L	100	100	<5	<5 - 8.3	P
Cadmium	ug/L	3	3	<0.5	<0.5	P
Carbofuran	ug/L	7	7	<2.5	<2.5	P
Carbon Tetrachloride	ug/L	4	4	<1	<1	P
Chlorate	mg/L	0.7	0.7	<0.043	<0.043 - 0.358	P
Chlordane (total isomers)	ug/L	0.2	0.2	<0.02	<0.02	P
Chlorine Note(4)	mg/L	5	5	2.5	1.8 - 3.0	P
Chlorite	mg/L	0.7	0.7	<0.015	<0.015	P

Characteristics	Unit	WHO 2011 GV (4th Edition)	Environmental Public Health (Quality of Piped Drinking Water) Regulations 2008. (updated 1 Nov 2010)	PUB Water Quality, Average	PUB Water Quality, Range	PUB Water Quality, Compliance
Chloroform	ug/L	300	300	17	<5-47	P
Chlorotoluron	ug/L	30	30	<2.5	<2.5	P
Chlorpyrifos	ug/L	30	30	<0.1	<0.1	P
Chromium	mg/L	0.05	0.05	<0.005	<0.005	P
Copper	mg/L	2	2	<0.002	<0.002	P
Cyanazine	ug/L	0.6	0.6	<0.6	<0.6	P
Cyanide	mg/L	-	0.07	<0.03	<0.03	P
Cyanogen chloride (as cyanide)	ug/L	-	70	<50	<50	P
Chloride	mg/L	-	-	26	6 - 82	-
2,4-D(2,4- dichlorophenoxyacetic acid) in free acid form	ug/L	30	30	<2.5	<2.5	P
2,4-DB[4-(2,4- Dichlorophenoxy) butyric acid]	ug/L	90	90	<2.5	<2.5	P
DDT and metabolites	ug/L	1	1	<0.01	<0.01	P
Di(2-Ethylhexyl) phthalate	ug/L	8	8	<1	<1	P
1,2-Dibromo-3-Chlor opropane (DBCP)	ug/L	1	1	<0.2	<0.2	P
Dibromoacetonitrile	ug/L	70	70	<10	<10	P
Dibromochloromethan e	ug/L	100	100	<5	<5 - 18	P
Dibromoethane (Ethylene Dibromide) 1,2-	ug/L	0.4	0.4	<0.05	<0.05	P
Dichloroacetate	ug/L	50	50	13	<5 - 41	P
Dichloroacetonitrile	ug/L	20	20	<1	<1 - 3.1	P
Dichlorobenzene, 1,2-	ug/L	1000	1000	<1	<1	P
Dichlorobenzene, 1,4-	ug/L	300	300	<1	<1	P
Dichloroethane, 1,2-	ug/L	30	30	<2	<2	P
Dichloroethene, 1,2-	ug/L	50	50	<5	<5	P
Dichloromethane	ug/L	20	20	<5	<5	P
Dichloropropane, 1,2-	ug/L	40	40	<5	<5	P
Dichloropropene, 1,3-	ug/L	20	20	<10	<10	P
Dichlorprop	ug/L	100	100	<2.5	<2.5	P
Dimethoate	ug/L	6	6	<0.1	<0.1	P
Dioxane, 1,4	ug/L	50	50	<1	<1	P
Endrin	ug/L	0.6	0.6	<0.01	<0.01	P
Epichlorohydrin	ug/L	0.4	0.4	<0.4	<0.4	P
Ethylbenzene	ug/L	300	300	<1	<1	P
Edetic acid (EDTA-Ethylene Diamine Tetraacetic Acid) in free acid form	ug/L	600	600	<1	<1	P
Fenoprop (2,4,5-TP; 2,4,5- trichlorophenoxy propionic acid)	ug/L	9	9	<2.5	<2.5	P
Fluoride	mg/L	1.5	0.7	0.47	0.36-0.66	P
Hexachlorobutadiene	ug/L	0.6	0.6	<0.01	<0.01	P
Isoproturon	ug/L	9	9	<2.5	<2.5	P

Characteristics	Unit	WHO 2011 GV (4th Edition)	Environmental Public Health (Quality of Piped Drinking Water) Regulations 2008. (updated 1 Nov 2010)	PUB Water Quality, Average	PUB Water Quality, Range	PUB Water Quality, Compliance
Iron	mg/L	-	-	0.005	<0.003 - 0.013	-
Lead	ug/L	10	10	<2	<2	P
Lindane	ug/L	2	2	<0.01	<0.01	P
MCPA (4-Chloro-2-methylph enoxyacetic acid)	ug/L	2	2	<2	<2	P
Mecoprop (MCPP; [2(2-methyl-chlorophe noxy) propionicacid])	ug/L	10	10	<2.5	<2.5	P
Mercury, in inorganic form	ug/L	6	6	<0.03	<0.03	P
Methoxychlor	ug/L	20	20	<0.01	<0.01	P
Metolachlor	ug/L	10	10	<1	<1	P
Microcystin-LR	ug/L	1	1	<0.1	<0.1	P
Molinate	ug/L	6	6	<1	<1	P
Monochloramine Note(5)	mg/L	3	3	1.9	0.5-2.5	P
Monochloroacetic acid (chloroacetic acid)	ug/L	20	20	<10	<10	P
Manganese	mg/L	-	0.4	0.004	<0.002 - 0.010	P
Molybdenum	mg/L	-	0.07	<0.004	<0.004 - 0.005	P
Nickel	mg/L	0.07	0.07	<0.003	<0.003	P
Nitrate (as N)	mg/L	11	11	0.31	<0.01 - 1.13	P
Nitrilotriacetic acid (NTA)	ug/L	200	200	<1	<1	P
Nitrite (as N)	mg/L	0.9	0.9	<0.01	<0.01	P
Nitrate plus nitrite combined	units	1	1	0.029	<0.011 - 0.103	P
Nitrosodimethylamine (NDMA)	ng/L	100	-	<2 Note (6)	<2 - 4.24 Note (6)	P
Pendimethalin	ug/L	20	20	<1	<1	P
Pentachlorophenol	ug/L	9	9	<1	<1	P
Permethrin, where used as a larvicide for public health purposes	ug/L	-	300	<2	<2	P
Pyriproxyfen	ug/L	-	300	<10	<10	P
Selenium	ug/L	40	10	<10	<10	P
Simazine	ug/L	2	2	<1	<1	P
Styrene	ug/L	20	20	<5	<5	P
Sulphate	mg/L	-	-	48	10-220	-
Silica (as SiO2)	mg/L	-	-	3.62	0.47-7.26	-
Terbutylazine (TBA)	ug/L	7	7	<1	<1	P
Tetrachloroethene	ug/L	40	40	<5	<5	P
Toluene	ug/L	700	700	<5	<5	P
Trichloroethene	ug/L	20	20	<5	<5	P
Trichlorophenol 2,4,6-	ug/L	200	200	<1	<1	P
2,4,5-T(2,4,5- Trichlorophenoxyaceti c acid)	ug/L	9	9	<2.5	<2.5	P
Trichloroacetate	ug/L	200	200	8.5	<5 - 23.3	P
Trifluralin	ug/L	20	20	<1	<1	P
Total Trihalomethanes Ratio	units	<1	<1	0.30	<0.2 - 0.65	P
Total Organic Carbon (TOC)	mg/L	-	-	1.4	0.4 - 4.8	-
Total Alkalinity(as CaCO3)	mg/L	-	-	19	5 - 43	-
Total Hardness (as	mg/L	-	-	66	26 - 203	-

Characteristics	Unit	WHO 2011 GV (4th Edition)	Environmental Public Health (Quality of Piped Drinking Water) Regulations 2008. (updated 1 Nov 2010)	PUB Water Quality, Average	PUB Water Quality, Range	PUB Water Quality, Compliance
CaCO ₃)						
Total Phosphorous (as P)	mg/L	-	-	0.013	<0.003 – 0.034	-
Uranium	ug/L	30	15	0.008	<0.001 - 0.016	P
Vinyl Chloride	ug/L	0.3	0.3	<0.3	<0.3	P
Xylenes	ug/L	500	500	<15	<15	P

* The quality of our drinking water is regulated by the Environmental Public Health (EPH) (Quality of Piped Drinking Water) Regulation 2008 (updated 1 Nov 2010).

The drinking water standards set out under the EPH Regulations were based on the World Health Organisation (WHO) Guidelines for Drinking-water Quality.

Note (1) : These are WHO screening values and not guideline values.

Note (2) : The WHO Guideline value is for Atrazine and its chloro-s-triazine metabolites.

Note (3) : Code of Practice on Piped Drinking Water Sampling and Safety Plans

Aluminium controlled at 0.1mg/L or less in large water treatment facilities that serve 10,000 or more people. (Applicable to all Singapore and Johor Waterworks except Pulau Tekong Waterworks)

Aluminium controlled at 0.2mg/L or less for in small facilities that serve less than 10,000 people.

(Applicable only to Pulau Tekong Waterworks)

Note (4) : Chlorine data included all waterworks.

Note (5) : Monochloramine data included all waterworks except Pulau Tekong Waterworks. No monochloramine was used in Pulau Tekong Waterworks as a secondary disinfectant.

Note (6) : Six readings were recorded at 4.24 ng/L , 3.70 ng/L, 2.92 ng/L, 2.82 ng/L, 2.78 ng/L and 2.15 ng/L. All other data showed non-detect. The average reading was <2 ng/L.

表 3 Singapore New Water Quality Standard (Typical value)

Characteristics	Unit	WHO 2011 GV (4 th Edition)	Typical value
Microbiological Parameter			
<i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>)	cfu/100ml	<1	<1
Heterotrophic Plate Count (HPC)	cfu/mL	-	<1
Physical Parameters			
Colour	Hazen	-	<5
Conductivity	uS/cm	-	<250
pH Value	Units	-	7.0-8.5
Total Dissolved Solids (TDS)	mg/L	-	<150
Turbidity	NTU	5	<5
Chemical Parameters			
Ammonia (as N)	mg/L	-	<1.0
Aluminium	mg/L	-	<0.1

Characteristics	Unit	WHO 2011 GV (4 th Edition)	Typical value
Barium	mg/L	0.7	<0.1
Boron	mg/L	2.4	<0.5
Calcium	mg/L	-	4-20
Chloride	mg/L	-	<20
Copper	mg/L	2	<0.05
Fluoride	mg/L	1.5	<0.5
Iron	mg/L	-	<0.04
Manganese	mg/L	-	<0.05
Nitrate (as N)	mg/L	11	<15
Sodium	mg/L	-	<20
Sulphate	mg/L	-	<5
Silica (as SiO ₂)	mg/L	-	<3
Strontium	mg/L	-	<0.1
Total Trihalomethanes Ratio		<1	<0.04
Total Organic Carbon (TOC)	mg/L	-	<0.5
Total Hardness (as CaCO ₃)	mg/L	-	<50
Total Residual Chlorine	mg/L	5	<2
Zinc	mg/L	-	<0.1

台灣地區就水質法規面而言，主管機關行政院環保署已明確訂有水污染防治法、飲用水水源水質標準及飲用水水質標準等，並且針對環境變遷、新興污染物及國際水處理發展技術趨勢進行定期檢討，故本國水質法規面嚴謹程度堪稱國際水準，然而對水公司經營本質而言，挑戰及衝擊相對變大，但基於社會責任，水公司責無旁貸，因此需學習新加坡作法，持續以 WSP 概念進行審視供水水質，並檢討與世界先進各國同步，以建立先備的因應機制。

(四)新加坡自來水水質管理策略

因應多變的環境及水質變化，PUB 採取整體考量的水質管理策略(Holistic Water Quality Management)，其設定目標有三：

1. 確保所有收集的水可以處理至符合安全飲用的標準。
2. 維持消費者對 PUB 生產出來的自來水具有高度信心，縱使該水源可能來自非傳統水源(例如：Reclaimed Water of Wastewater)。
3. 永遠達到經營績效指標(Key Performance Index, KPI)。

PUB 在預防性考量方面採用「水安全計畫(WSP)」和「危害分析暨關鍵控制點規範(Hazards Analysis and Critical Control Point Principle, HACCP)」；另採取「多重屏障方法(Multi-Barrier Approach)」(詳圖 12 & 圖 13)確保自來水從水源、處理、輸送及至用戶端等諸多面向流程中可確保預防策略有效性。

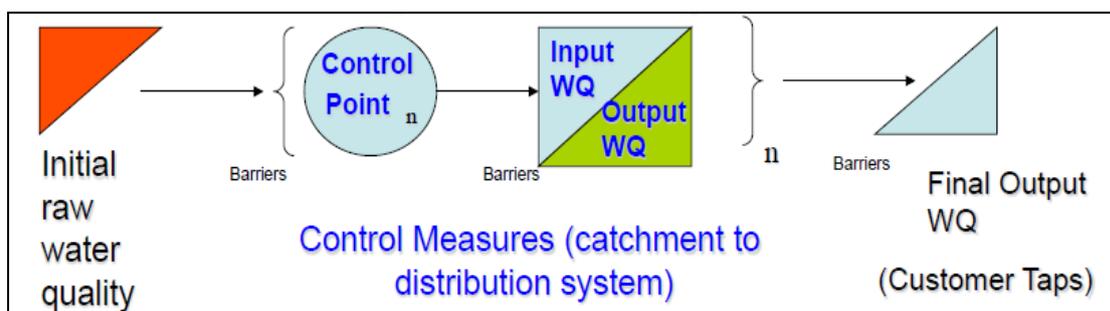


圖 12 Multi-Barrier Approach

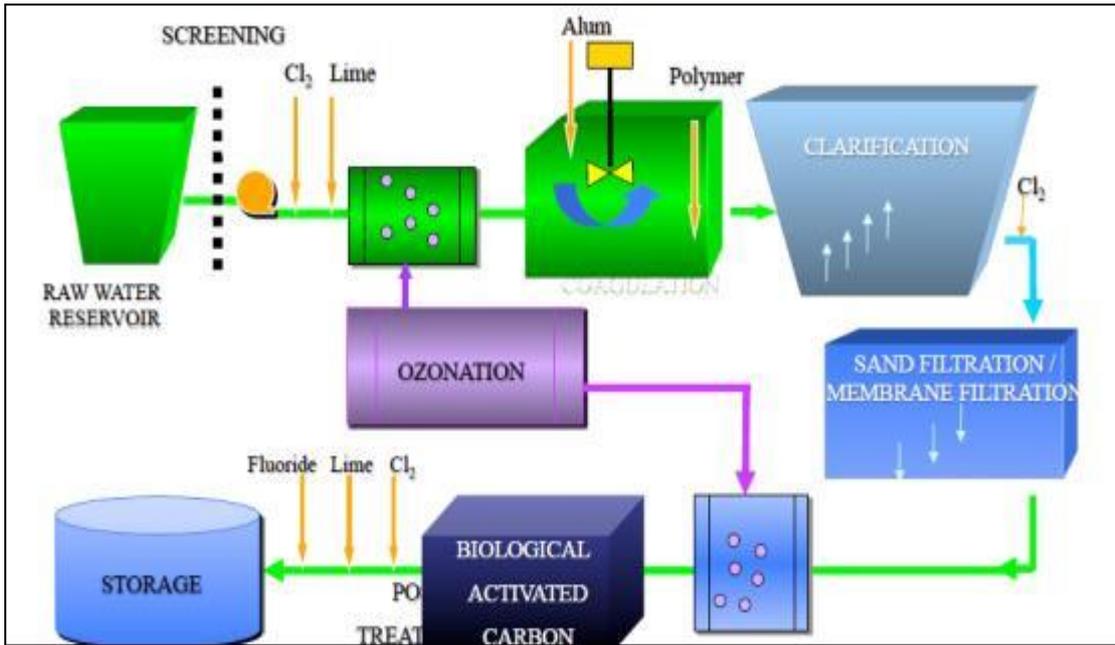


圖 13 Multi-Barrier Concept of Water Treatment Plant

新加坡自來水水質管理策略(詳圖 14)係以 WSP 為前導，輔以「智慧管理系統(Intelligent Water Management System)」及「改善水質研發(R&D in Water Quality)」，再以持續監控及稽核以確保水質安全。



圖 14 新加坡自來水複合式水質管理策略示意圖

WSP 執行步驟詳如圖 15 所示，其起始步驟需成立小組負責

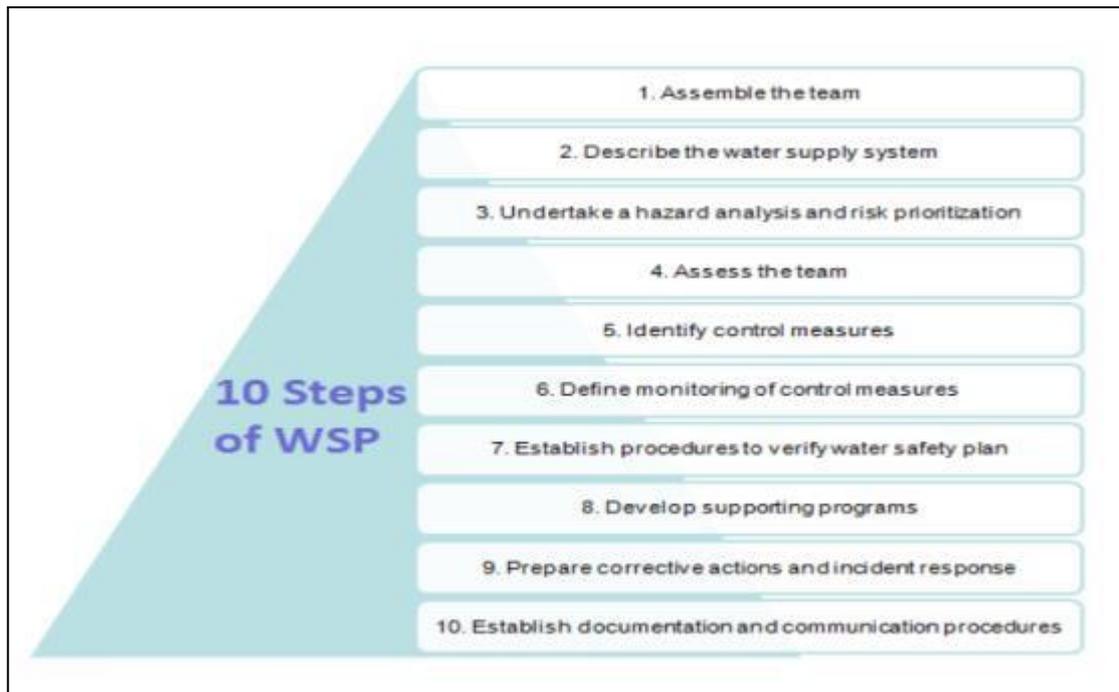


圖 15 10 Steps of WSP in Singapore

然而具體而微的執行細節(詳圖 16), PUB 重點則放在定期且持續的檢討及檢視, 惟有如此才能隨時偵測得知水質的變化, 並予以即時應變。

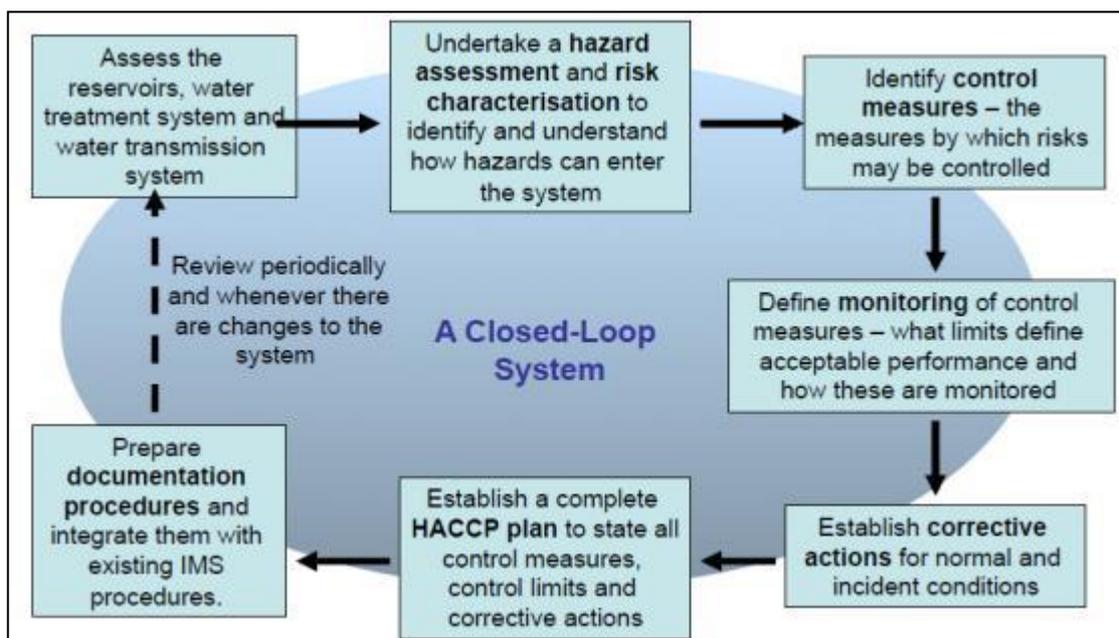


圖 16 PUB's WSP

(五) PUB 水質監測策略

根據 WSP 概念，PUB 監控採全面涵蓋管理策略，鎖定水源、淨水、配水及用戶端，應用在線(on-line)系統及定期採樣(regular sampling)方式全面監控各淨水單元及各階段的水質符合要求。相關流程及示意圖詳參圖 17~圖 18。

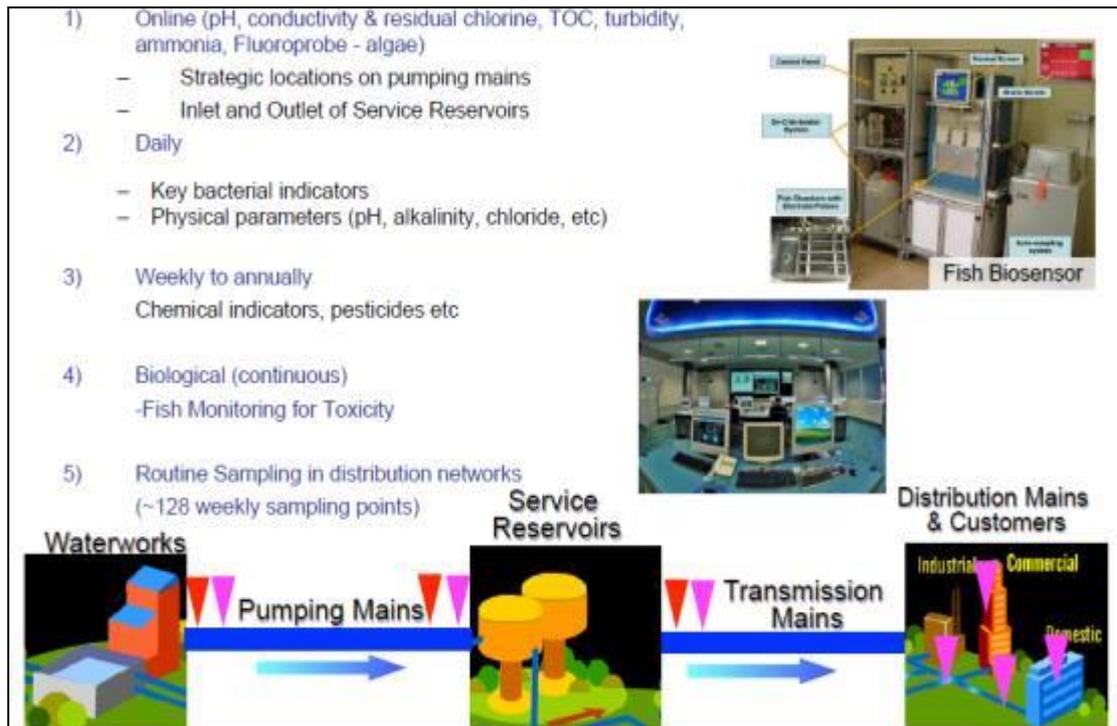


圖 17 PUB Water Quality Monitoring Strategy

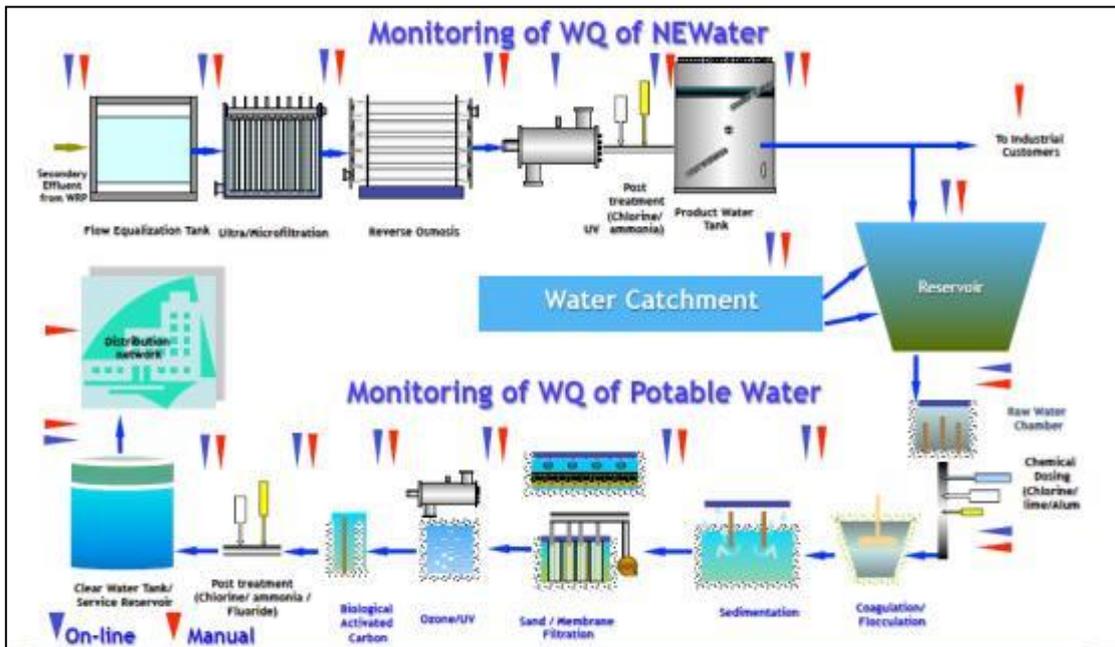


圖 18 PUB On-line & Manual Sampling Plan in Monitoring Strategy

(六)PUB 水質稽核策略

PUB 為有效檢討水質管理策略符合國際趨勢，運用「專家管理系統」協助執行內部稽核作業(Internal Audit Panel, IAP)，其整體架構說明如下，需進一步的水質相關研究建議亦將於稽核過程提出。

1. 設稽核小組，主席由新大坡大學(National University of Singapore)教授擔任。
2. 小組成員共 7 人，其中 2 人為新加坡本地碩彥，另 5 人則延攬國際知名水處理專擔任。目前(2016)成員名冊詳參表 4。
3. 稽核頻率：每半年乙次。

表 4 PUB IAP Experts

External Audit Panel	Area of expertise
Prof Joan Rose (Chairperson)	Microbiology
Prof Thomas Grizzard	Environmental Engineering/Water Quality Monitoring
Prof Wolfgang Kühn	Water Chemistry
Prof Laszlo Somlyody	Environmental Engineering/Water Quality Monitoring
Mr Michael Wehner	Water Quality and Water Technology
Prof Ong Choon Nam	Human Health and Toxicology
Prof Lee Hian Kee	Environmental and Analytical Chemistry

至於其稽核項目則包括如下項目：

1. 所有水質之取樣及分析資料，包括新生水(NEWater)、水庫原水及自來水。
2. 檢視及驗證所有淨水場及新生水(NEWater)維運機制。
3. 新興污染物對飲用水的影響。
4. 進行從業人員教育訓練及測試其專業能力。
5. 持續追蹤各主要與自來水相關計畫，例如 NEWater, Desalination, and Marina Barrage Projects，並驗證其執行成效，俾適時修正偏離方向，以朝預計規劃如期如質達成目標。

(七)新加坡環境友善管理策略

新加坡政府針對用戶公用事業帳單採「多合一(All in One)」方式收費，將自來水費、污水費及電費統整成一份帳單，除了節能減碳的功能外，對用戶繳付各項費用亦相對方便(減少繳費次數)，是雙贏的政策，值得本國各國營及事業帳單整合參考(詳參圖 19)。而新加坡的水價每度為新幣 1.17 元(2016)(約折合新台幣 28 元)，但需收取新幣 0.3 元污水費及 30%耗水費，及非常特別的馬桶費(每座 3 元新幣)。

Payment received on or after 11.07.2015 may not be included in this bill.

CURRENT MONTH CHARGES	<i>Usage</i>	<i>Rate (\$)</i>	<i>Amount (\$)</i>	<i>Total (\$)</i>
Electricity Services				
Electricity Estimated on 10-07-2015				
Electricity	4290 kWh	0.2087	895.32	
	2146 kWh	0.2241	480.92	1,376.24
Water Services by Public Utilities Board				
Water Estimated on 10-07-2015				
Water	0.0 Cu M	1.1700	0.00	
Waterborne Fee	0.0 Cu M	0.5607	0.00	0.00
Water Conservation Tax				
	\$0.00	30%	0.00	0.00
Total Charges			1,376.24	1,376.24
Goods & Services Tax				
	\$1,376.24	7%	96.34	96.34
Total Current Charges Inclusive of GST				\$1,472.58

Our staff will be at your premises on 12.08.2015 to read your meters. You may call us at tel no. 1800 2222333 to verify the identity of our staff.

With effect from 1 Jul, electricity tariff is 22.41 cents/kWh.

圖 19 新加坡公用事業「多合一(All in One)」帳單示意圖

新加坡近來執行水安全 ABC 計畫 (Active, Beautiful, and Clean Plan, ABC-Plan)相當成功，經觀察分析其主要成功因素係全國人民普遍參與，主動以水為核心，進行各項河川整治、美化水岸，進而朝向水安全目標前進。除此之外，新加坡政府並定期舉辦各項論壇及研習會議廣徵各國建議，以適時修正執行方向。其具體成果已成功顯現在大家眼前，由此行所接觸到的新加坡，確實可以清楚看到新加坡政府的企圖心和具體達成親水、愛水、及惜水的全國共識氛圍。

三、PUB Combined Control & Operations Centre

新加坡環境及水源部包含國家環境局及公共設施局，國家環境局主管公共衛生、污染管制、垃圾處理，而公共設施局則是全民水源能節省，珍惜，享用而且確保高效、充足和可持續的供水。

自 2001 年，由公共設施局統一管理整個水的循環，包括了排水，收集水源，淨化和供應食水，收集和處理用後水，生產和供應新生水。換言之，PUB 負責供應全新加坡民生用水及工業用水，新加坡目前人口 540 萬，每日供水 182 萬 CMD。

目前 PUB 推動新生水計畫，將用後水 100% 回收再生，目標於 2020 年日需水量的 40% 由再生水供應，並於 2060 年提高至 50%，另海水淡化廠已建置兩座，至 2015 年已負責供應新加坡日需水量之 30%。

PUB 控制中心分為三塊，位於同一辦公室，以透明玻璃隔音間隔，每一區均有大電視牆顯示各即時監控資訊，位於最左邊為客戶服務中心，全天候 24 小時服務，接聽用戶進線反映問題，若無法立即解決或需要協助，則轉接到第二中心(水質及維修中心)，該中心監看水網漏水等問題；水務維修車輛也在此中心負責調度，螢幕上結合 GIS 顯示各車輛 ID 及位置，可同步監看車上維修用 CCTV 影像，可協助確認維修或檢測的現場狀況及問題。第三中心位於右方，負責調度供水量及監看水質，水質監視系統包含固定 sensor 如電導度等。詳細配置請參閱圖 20。



圖 20 PUB Combined Control & Operations Centre

四、Site Visit –Cck Plant & Marina Barrage

(一) Cck Plant

蔡厝港(Cck Plant)自來水廠 36.4 萬噸/日，分為兩期，第一期 1976 竣工，集水區為 96.7 平方公里，產量為 18.2 萬噸/日，蓄水池為克蘭芝蓄水池、班丹蓄水池（包括裕廊湖），其處理流程請詳參圖 21。第二期 1981 竣工，集水區為 41.2 平方公里，產量為 18.2 萬噸/日，蓄水池為西部集水區(包含登格、波揚、慕萊及莎琳汶)(如圖 22 所示)。

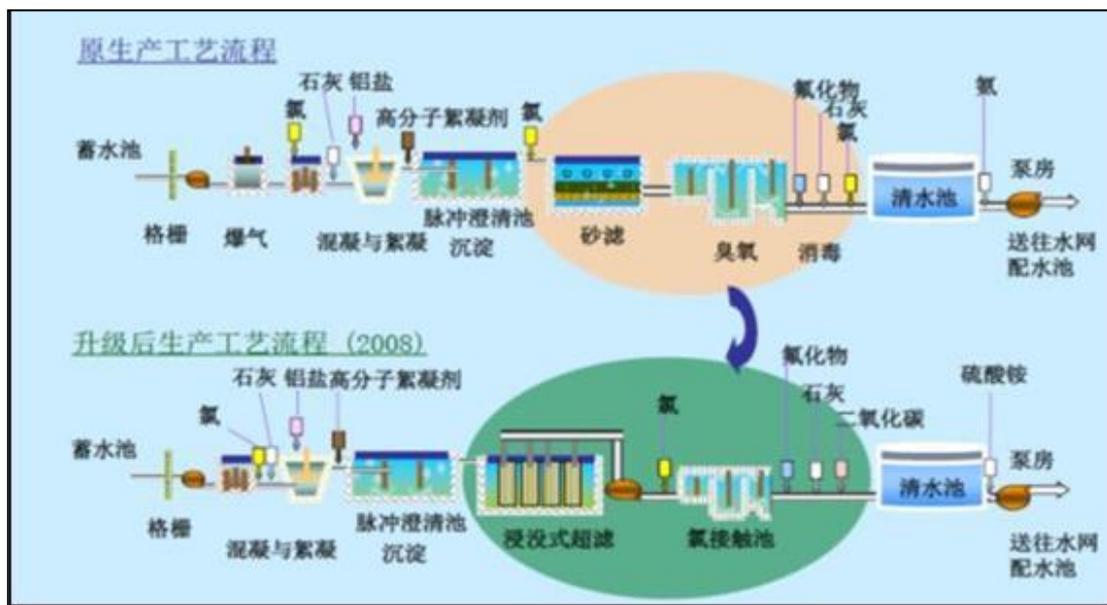


圖 21 蔡厝港自來水廠處理流程示意圖(第一期)

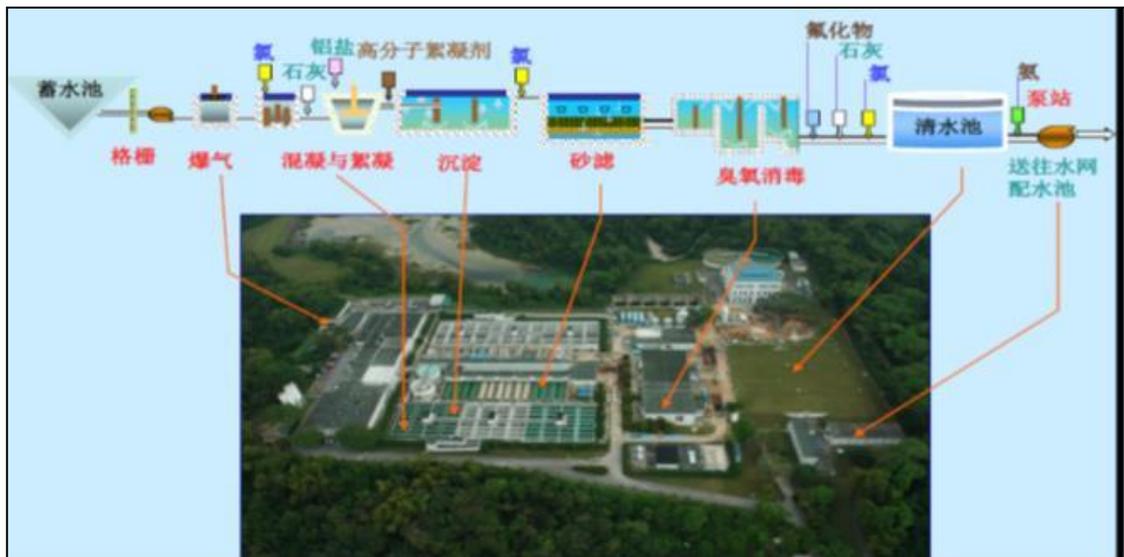


圖 22 蔡厝港自來水廠處理流程示意圖(第二期)

蔡厝港自來水廠擁有魚類活動監控系統 (FAMS)，這是由公共設施局(PUB)和訊息通訊研究所(I2R)的合作項目，不同於傳統的養魚箱須至發現魚群暴斃死亡方知水質出現異常，該系統利用全天候自動化攝影機監控魚的物理行為產生的剪影和軌跡來評估水質，遇到異常狀況能即時應變處理。 PUB 進行水質監測魚種選擇老虎倒鈎魚，因為它已被發現對毒性為更敏感的物種之一。相關資料請詳參圖 23。

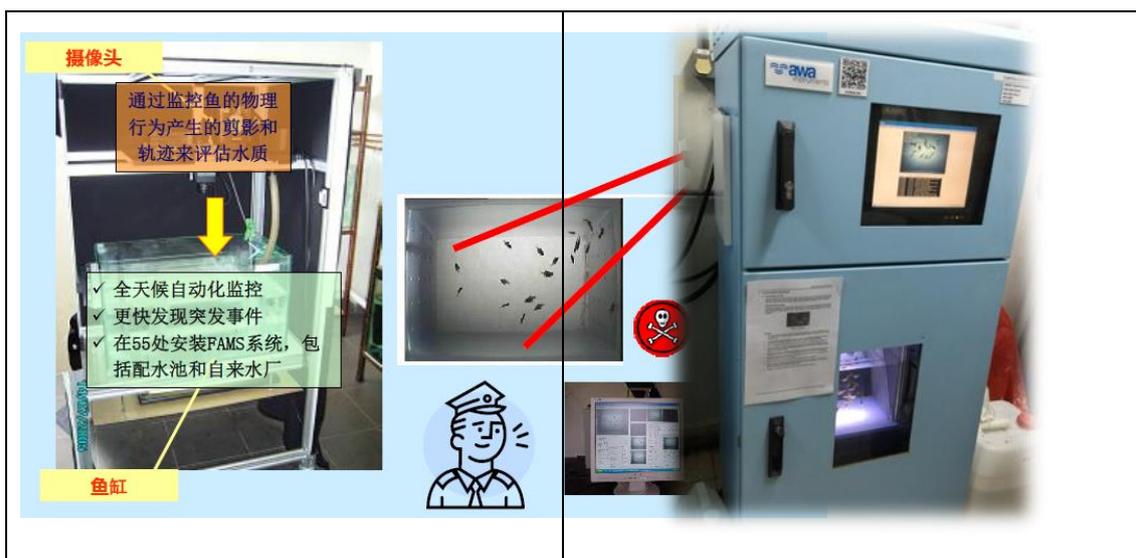


圖 23 魚類活動監視系統(FAMS)

(二) Marina Barrage

1960 年代新加坡僅有 3 座水庫，常面臨無水可用之窘境，目前新加坡已有 17 座水庫，2/3 國土面積用於蒐集水源。位於市中心的濱海堤壩(Marina Barrage)(詳參圖 24)於 2008 年興建完成，周圍環繞濱海花園、魚尾獅、金沙酒店等國際知名地標，主要除了蓄水之外，尚提供新加坡市區防洪應變之功能，另也提供民眾休憩、進行水上活動的親水公園。

濱海堤壩是著名的 ABC 水域計畫地點，是一座城市中的蓄水池，堤壩可參觀主要設施如下：

1. 濱海大橋：大橋橫跨 350 米寬的濱海水道，堤壩由 9 道冠形閘門組成，將淡水和海水隔開，形成濱海蓄水池。漫步大橋上，你可將迷人的市區風景線和新加坡海峽風光盡收眼底。
2. 濱海蓄水池：濱海集水區面積約為新加坡總面積的 1/6，蓄水池可滿足新加坡約 10% 的總供水需求。堤壩的水位常年保持穩定，是民眾盡情體驗各種水上活動樂趣的絕佳地點。
3. 冠形鐵閘：9 道冠形閘門組成防浪堤，阻擋海水湧入蓄水池中。這有助於改善濱海灣周圍低窪地區如牛車水、駁船碼頭、惹蘭勿剎和芽籠的淹水問題。當下豪雨碰上海水處於低潮時，閘門就會打開，把過量的雨水排入大海。
4. 抽水站：在抽水站內的 7 部抽水機，是濱海堤壩防洪系統中不可或缺的部分。每一部抽水機可在一分鐘內，排放相等於一個奧林匹克級游泳池的水量(約 1,000 噸)。一旦豪雨驟下又逢漲潮之際，這些抽水機就被啟動，將過量的雨水抽出排入海中。當這 7 部抽水機同時使用時，排放時間就能縮短到 9 秒鐘。

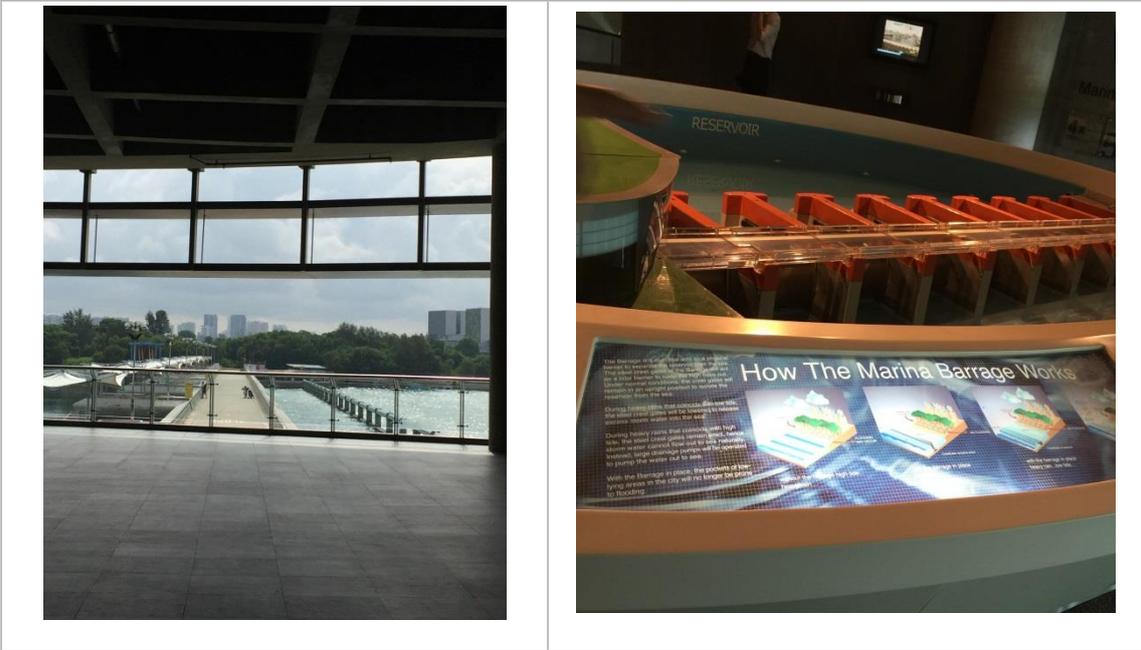


圖 24 Marina Barrage 實景(左)及展館模型(右)

肆、心得與建議

- 一、政府於民國 105 年 8 月 16 日頒佈「新南向政策綱領」，正是水公司研究業務當即努力目標與方向，尤其在人才交流及國際合作部分更為貼近，本次參訪及考察主題與上揭綱領完全吻合：
- (一) 總體與長程目標有二：第一在促進台灣與東協、南亞及紐澳等國家的經貿、科技、文化等各層面的連結，共享資源、人才與市場，創造互利共贏的新合作模式，建立經濟共同體的意識；第二，建立廣泛的對話與協商機制，形塑與東協、南亞及紐澳等國家的合作共識，有效解決問題與分歧，逐步累積互信和共同體的意識。
- (二) 短中期的目標，有四個部分：第一，結合國家的意志、政策誘因及企業的商機，促進並擴大貿易、投資、觀光、文化及人才等雙向交流；第二，配合經濟發展新模式，推動產業新南向的戰略布局；第三，充實並培育新南向人才，突破發展瓶頸；第四，擴大多邊和雙邊協商與對話，加強經濟合作，化解爭議與分歧。
- (三) 新南向政策的行動準則，包括：第一，長期深耕，建立經濟共同體意識；第二，適切定位台灣在未來區域發展的角色，希望扮演「創新者、分享者及服務者」三種角色；第三，推動「軟實力、供應鏈、區域市場、人和人」等四大連結策略；第四，充實並培育南向人才；第五，推動雙邊和多邊制度化合作；第六，規畫完整配套及有效管控風險；第七，積極參與國際合作；第八，全面強化協商對話機制；第九，兩岸善意互動及合作；第十，善用民間組織及活力。

- 二、水公司應與世界接軌達成水質安全目標：未來水質問題可能會來的既快又猛，如淨水場遭遇原水低濁度難處理案件(濁度 250 NTU 以下)及新興污染物(Contaminants of Emerging Concerns, CECs)在檢驗技術和適用法規等議題，除建立平時各淨水場對緊急水質事件的應變機制外，常態聯結外部諮詢管道(包括國內外專精水處理之學者及業界)，輔以蒐集先進國家或組織規定、作法或科學性論證資料及方法，並參酌環保主管機關水質標準等法令規定，亦同等重要。因此，持續參與國際性與自來水相關會議實屬必要，其預期效益除可提昇水公司從業人員對緊急事件的認知能力進而應變得宜外，而持續參與國際會議及國際合作亦可提昇水公司國際能見度，甚而對於確保民眾用水安全更多一層保障。
- 三、新加坡政府針對用戶公用事業帳單採「多合一(All in One)」方式收費，將自來水費、污水費及電費統整成一份帳單，除節能減碳功能外，並可減少用戶繳付各項費用次數，是雙贏的政策，值得作為本國各國營及事業單位整合帳單參考。新加坡水價每度新幣 1.17 元(2016)(約折合新台幣 28 元)，並外加新幣 0.3 元污水費、30%耗水費及非常特別的馬桶費(每座 3 元新幣)。
- 四、新加坡近來執行水安全 ABC 計畫 (Active, Beautiful, and Clean Plan, ABC-Plan)相當成功，經觀察分析其主要成功因素係全國人民普遍參與，形成全民運動。其主要精神係以水為核心，進行各項河川整治及美化水岸工程，以水安全為終極目標。除此之外，新加坡政府並定期舉辦各項論壇及研習會議廣徵各國建議，以適時修正執行方向。其具體成果已成功顯現在大家眼前，由此行所接觸到的新加坡，確實可以清楚看到新加坡政府的企圖心和具體親水、愛水及惜水的行動氛圍，值得水公司及主政單位學習。

伍、謝誌

本次研習參訪可供聯繫確認行程時間甚為侷促，雖僅短短六日研習參訪行程，但先前聯繫確認行程細節耗費相當人力及時間，惟因為落實推動水安全計畫具有指標性意義終於圓滿達成任務，因此由衷感謝在此過程中提供協助的單位及朋友，謝謝您們(內容倘有疏漏，敬祈見諒)：

經濟部、經濟部水利署賴建信副署長、水公司郭俊銘董事長、胡南澤總經理、王國堅副總經理、水質處洪世政處長、漏水防治處李丁來處長、水處理研究組刁文儀工程師、及本案各業管同仁(會計處許永旭帳檢及人力資源處黃柏耀組員)、**PUB**, Senior Deputy Director, Mr. Chong Hou Chun (Singapore); Senior Deputy Director, Mr. Ng Han Tong (Singapore); Chief Specialist, Mr. Wong Kee Wei (Singapore); Chief Specialist, Dr. LIM, Mong Hoo (Singapore); Principal Specialist, Dr. Zhang Lifeng (Singapore); Principal Specialist, Dr. Zhang Hai Bao (Singapore); Engineer, Mr. Tan Hong Hak (Singapore); Engineer, Ms. Low Pei Chin (Singapore); Engineer, Mr. Qiu Tien (Singapore); **USEPA**, Environmental Scientist, Dr. H. Jeol Allen (U.S.A.); **SydneyWater**, Engineer, Dr. David Zhang (Australia).

Thank you so much