



行政院所屬各機關因公出國人員報告書  
(出國類別：考察)

經濟部100年度台加技術合作人員訓練計畫

「加拿大水資源永續經營管理」  
技術研習出國報告

The Sustainable Water Resources  
Management in Canada

服務機關：經濟部水利署水利規劃試驗所

出國人職稱：副工程司

姓名：趙永楠

出國地區：加拿大

出國期間：民國 100 年 7 月 3 日至 7 月 30 日

報告日期：民國 100 年 11 月



行政院所屬各機關因公出國人員報告書  
(出國類別：考察)

經濟部100年度台加技術合作人員訓練計畫

「加拿大水資源永續經營管理」  
技術研習出國報告

The Sustainable Water Resources  
Management in Canada

服務機關：經濟部水利署水利規劃試驗所

出國人職稱：副工程司

姓名：趙永楠

出國地區：加拿大

出國期間：民國 100 年 7 月 3 日至 7 月 30 日

報告日期：民國 100 年 11 月



## 出國報告審核表

出國報告名稱：「加拿大水資源永續經營管理」技術研習出國報告		
出國人姓名	職稱	服務單位
趙永楠	副工程司	經濟部水利署水利規劃試驗所
出國類別	<input checked="" type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 實習 <input type="checkbox"/> 其他 _____ (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)	
出國期間：100年7月3日至100年7月30日		報告繳交日期：100年11月
計畫主辦機關審核意見	<input checked="" type="checkbox"/> 1.依限繳交出國報告 <input checked="" type="checkbox"/> 2.格式完整(本文必須具備「目的」、「過程」、「心得及建議事項」) <input checked="" type="checkbox"/> 3.無抄襲相關出國報告 <input checked="" type="checkbox"/> 4.內容充實完備 <input checked="" type="checkbox"/> 5.建議具參考價值 <input checked="" type="checkbox"/> 6.送本機關參考或研辦 <input checked="" type="checkbox"/> 7.送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 8.退回補正，原因： <input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略或未涵蓋規定要項 <input type="checkbox"/> 抄襲相關出國報告之全部或部分內容 <input type="checkbox"/> 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 <input checked="" type="checkbox"/> 9.本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表： <input checked="" type="checkbox"/> 辦理本機關出國報告座談會(說明會)，與同仁進行知識分享。 <input type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告 <input type="checkbox"/> 其他 _____ <input type="checkbox"/> 10.其他處理意見及方式：	
審核人	一級單位主管	機關首長或其授權人員
		

說明：

- 一、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 二、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「政府出版資料回應網公務出國報告專區」為原則。



## 謝 誌

本研習承蒙經濟部國合處提供訓練計畫經費以及經濟部水利署及水利規劃試驗所長官們的提薦，才得以成行，感謝所有長官及經濟部國合處的行政協助。此研習行程共參訪加拿大卑詩省、亞伯達省及安大略省 3 個省，透過諸多單位協助與參訪單位聯繫與安排，才能順利完成任務，這些協助的單位人員包括：駐加拿大台北經濟文化代表處經濟組周組長京懷以及鼎力協助的陳秘書新發、駐溫哥華台北經濟文化辦事處邱組長陳煜、卑詩省大溫管理局 Joan Liu、亞伯達省駐台辦事處陳麗安代表、亞伯達省國際關係部 Alex Qu、加拿大駐台北貿易辦事處陳幼欣經理等人，非常感謝他們的協助。

另外也感謝加拿大相關環境部會、水資源單位的熱情接待與解說，提供甚多寶貴經驗，讓此行收穫甚豐。主要接待人員包括加拿大聯邦政府環境部 Villeneuve 經理等人、國家水研究院 Dr. John Lawrence 主任及 Dr. Cheng He、卑詩省大溫管理局 Bob Cavill、Joan Liu、Jennifer Crosby、Marilyn Towill 及 Bob Jones 等人、BC Hydro 樓漸達博士、亞伯達省卡加利大學 Dr. Hamid R. Habibi 及 Dr. Leland J. Jasckson 等教授及 ACWA 的 Nuno M. Fragoso 經理、亞伯達省 Lethbridge 大學副校長 Dr. Daniel Weeks 及 Dr. Morgan Mengjuan Guo、亞伯達省農業部灌溉及農田水資源組 Brent Paterson 及 Jennifer Nitschelm、亞伯達省水資源研究所執行長 David Hill、亞伯達省卓越管理中心 Dr. Shouhai Yu、安大略省政府水資源創新計畫 Barb McMurray 及 Enrico Di Nino、Hatch 公司全球海淡部門執行長 Ken Goodboy 及亞洲水務主管 Mike Russell、Napier Reid 國際水處理公司副董事長 Frank Li、安大略省 Walkerton 水資源中心 Devendra Borikar 等，感謝他們的接待與經驗分享。

## 摘要

台灣的水資源發展囿於自然環境限制，需更重視資源管理與水環境之維護與保育，在永續經營的管理目標下，促使水資源長遠之供水穩定與用水安全，並保有水環境生態之多樣性。加拿大整體水資源雖然豐富，但仍積極發展水資源之永續經營管理技術，值得觀摩參考。

本研習為經濟部「台加技術合作人員訓練計畫」，規劃參訪加拿大3省13處產、官、學、研等機關單位，包括聯邦政府環境部、水科學與技術署、國家水研究院；卑詩省大溫哥華管理局；亞伯達省環境部及農業部、亞伯達省水資源研究所、廢棄物卓越管理中心、污水處理場及水回收再生廠；安大略省府水資源創新計畫、渥克頓水資源中心以及水利產業公司等，蒐集及研習該國水資源相關行政組織、管理措施、研究議題、永續經營之思維策略及水利產業發展現況。

加拿大在水資源管理上採取甚多符合永續與創新之措施，包括行政面之組織彈性、資源集中統籌管理；政策面跨域整合水質水量生態、設立計畫審議平台整合研究能量、鼓勵創新、重視資源再利用價值；研究面重視基礎監測及調查工作、著重產官學研合作，並期許朝產業化發展；學術面側重團隊合作、整合跨學門跨域研究；決策面則將時間尺度拉長，不以短期成本效益為考量、並將空間尺度擴大到關注整體水域生態系統而非僅重視人的需求。

台灣近來亦已逐漸關注整合型水資源管理措施，重視水環境生態之維護，未來需加強永續性管理作為，建議依循「全球思考、在地行動」之理念，拉長決策尺度，在行政面：組織應持續改造配合五都變革強化區域特性之管理效能；研究面加強基礎監測調查、強化產官學研之合作量能、成立水資源科技研究專責單位或系統整合平台；管理面重視農業與家戶用水效率之精進；在社會面應興辦水資源教育中心，以教育紮根，投資未來，同時並加強與國際接軌之準備，在水資

源的政策規劃與推行策略上期許有更開闊的高度、廣度與精度，將永續願景行動化。

整體而言，加拿大在既有的得天獨厚基礎下，仍努力提昇水資源管理技術，致力改善水資源經理效率，各產官學研單位對水資源的未來發展充滿豐厚的熱情與使命，在永續經營的願景下加強整合各項資源。台灣的水環境更加艱鉅，更需要亟思對策，籌謀因應，強化永續經營管理之作為，以期面對環境變遷之挑戰與社會發展之需求。

**關鍵字：水資源、加拿大、永續經營管理**

# 目 錄

謝 誌.....	I
摘 要.....	II
目 錄.....	IV
表目錄.....	V
圖目錄.....	V
第壹章 前 言.....	1
一、計畫緣起與目的.....	1
二、研習行程規劃.....	3
第貳章 研習過程與內容.....	7
一、加拿大水環境背景簡介.....	7
二、聯邦政府環境部(Environment Canada).....	8
三、聯邦政府環境部科技分部水科技署及國家水研究院.....	17
四、亞伯達省卡加利大學及加拿大創新污水資產研究中心.....	21
五、亞伯達省農業發展部灌溉與農田水利組.....	29
六、亞伯達省 Lethbridge 大學水資源研究中心.....	36
七、亞伯達省水資源研究所(AWRI).....	37
八、亞伯達省廢棄物(廢水利用)卓越管理中心.....	40
九、卑詩省大溫哥華管理局.....	44
十、安大略省政府水資源創新計畫.....	61
十一、安大略省渥克頓潔淨水研究中心(WCWC).....	63
十二、水利產業 Hatch 公司.....	65
十三、水利產業 Napier-Reid 國際水處理公司.....	72
第參章 研習心得與建議.....	75
一、研習心得.....	75
二、建議事項.....	79
參考文獻.....	84
附錄一、參訪照片.....	附-1

## 表目錄

表 1 研習行程規劃內容 .....	4
表 2 加拿大政府組織在水資源管理之分工 .....	9
表 3 各省分每人每日用水量之統計 .....	12
表 4 環境部科技分部轄下之各署及署內的組室 .....	14
表 5 海水取水系統 .....	66
表 6 海水淡化工程代表性實績 .....	71

## 圖目錄

圖 1 加拿大水文環境空間分布 .....	10
圖 2 加拿大人平均每人每日用水量 .....	11
圖 3 OECD 國家各國水費及污水費 .....	12
圖 4 決策支援系統之整合性模式 .....	15
圖 5 卡加利市家戶水表安裝之成長與影響 .....	24
圖 6 卡加利市降低需水量之目標與規劃工具 .....	25
圖 7 卡加利市用水效率之永續指標與管理目標 .....	26
圖 8 促進用水效率之核心策略 .....	26
圖 9 淨灌溉用水需求 .....	30
圖 10 中軸式噴灌系統之一 .....	30
圖 11 中軸式噴灌系統之二 .....	30
圖 12 灌區用水趨勢 .....	31
圖 13 灌溉用水之生產量指標 .....	31
圖 14 灌區內能源使用之型式 .....	32
圖 15 歷年灌溉能耗成本 .....	32
圖 16 灌溉發展中心試驗配置 .....	33
圖 17 亞伯達省水處理場及水回收再利用廠空照圖 .....	43
圖 18 大溫哥華管理局轄管 3 個集水區 .....	46
圖 19 Seymour 和 Capilano 兩水庫淨水聯通隧道 .....	47

圖 20 每人每日尖峰及平均用水量 .....	51
圖 21 冬季每人每日用水量 .....	52
圖 22 大溫管理局預估每人每年預算分配趨勢 .....	54
圖 23 大溫管理局預估水價趨勢 .....	54
圖 24 大溫地區降雨及需水分布 .....	56
圖 25 集水區規劃過程圖 .....	58
圖 26 Seymour-Capilano 過濾淨水場鳥瞰圖 .....	59
圖 27 海淡 RO 機組故障原因分析 .....	67
圖 28 不同水溫與薄膜通量之關係 .....	68
圖 29 不同淡化系統資本支出趨勢 .....	69
圖 30 各式過濾機制可去除物質之粒徑分佈 .....	73

# 第壹章 前言

## 一、計畫緣起與目的

由於台灣為一海島型水文環境，水資源系統主要仰賴降雨及儲存設施之調蓄，由於氣候變遷與水土流蝕之衝擊，供水穩定性並不高，過去為增加水源之供應，水資源工作著重於開發，尋求經濟發展所需的水資源。惟因時空變遷，在自然環境特性與社會現況之限制下，水資源政策除了需從「以需定供」轉成「以供定需」之管理導向外，未來亦需著重於資源管理與水環境之保育為核心，在永續發展之管理目標下，促進水資源長遠之供水穩定與用水安全，並保有水環境生態之多樣性。

經濟部自 2010 年起與加拿大建立「台加技術合作人員訓練計畫」平台，希望透過雙邊交流，增加經貿與技術之合作關係。加拿大的行政效能與國家競爭力皆為世界前茅，根據世界經濟論壇（WEF）公布的 2010 年全球競爭力報告<sup>1</sup>，加拿大排名第 9(台灣第 12)，而瑞士洛桑國際管理學院（IMD）2010 年所公布的世界競爭力年報顯示，加國名列世界第 7(台灣第 8)。

本研習計畫目的乃希望能多方蒐集國外水資源的永續經營管理方法，增加國際交流經驗與規劃管理能力；並對國際上氣候變遷的調適工作多所蒐集相關策略資訊，以強化水資源管理之能力。因此希望就底下幾個面向進行研習與交流：

1. 了解加拿大針對水資源管理的採行政策、法規制度、水資源管理技術及發展趨勢等資訊。
2. 參訪水資源相關設施，研習永續性管理作為，包括水庫管理、集水區保育、水源供應、用水效率之提昇、廢污水處理與再生利用、淨水處理技術、水環境生態保育等。

---

<sup>1</sup> 參閱「2009-2010 世界經濟論壇（WEF）全球競爭力報告排名分析」，李慧萍著。

3. 蒐集加拿大的水資源相關發展經驗、科學研究成果、學術研究方向，以供台灣水資源規劃與研究相關單位參考。
4. 建立初步聯繫管道，尋求未來與加拿大在水資源領域上更密切的技術交流與研究合作之機會。

## 二、研習行程規劃

由於先前臺灣並未與加拿大有過水資源合作交流計畫，今年是首次，因此行前花了不少時間準備研習功課，積極蒐集加拿大水資源政策資訊、發展特性及適宜參訪的單位資訊，再透過駐外單位協助聯繫、確認聯絡窗口，持續以電子郵件協調參訪細節，並於事先研擬討論議題、規劃交通行程及住宿等事項，最終規劃參訪卑詩省、亞伯達省及安大略等 3 個省 10 個城市之研習計畫，在有限時間內透過內陸飛機、長途灰狗巴士、捷運、地鐵、公車及租車等方式，完成 13 處機關單位之研習任務。

在溫哥華參訪資源集中管理的卑詩省大溫哥華管理局，研習行政管理與集水區管理、飲用水永續經營管理計畫。在亞伯達省部分，由於石油礦產、水電工程等相關產業發展迅速，對工業用水技術研究投入相當多心力，而南部則是農業重鎮，專注於農業用水效率之提升研究。在東部的安大略省部分，先至首都渥太華拜會聯邦政府環境部業務交流，再到多倫多研習安大略省府水資源創新計畫、參訪 Burlington 國家水研究院、渥克頓水資源管理中心以及 2 家水利產業公司。

整體研習行程包括水利產業界、大學院校、研究單位及官方機構，而官方機構亦涵蓋中央的聯邦政府水資源單位、省府以及地方政府水資源管理單位等。相關行程規劃及研習主題如下表：

表 1 研習行程規劃內容

訓練進修日期及時間 (Visiting Time)	訓練進修地點 (Location)	實際訓練進修機構及訪談對象 (Institutions & Persons to be visited)	訓練進修目的及討論主題 (Topics for Discussion)
Jul.3	溫哥華	往程	--
Jul.4~6	卑詩省: Vancouver	<b>Metro Vancouver &amp; Seymour and Capilano filtration Plant</b> 大溫哥華管理局及 Capilano 水庫淨水場  <u>Bob Cavill</u> , Manager <u>Jennifer Crosby</u> <u>Marilyn Towill</u> <u>Robert Jones</u> <u>Joan Liu</u>	1. 研習永續水資源經營管理措施: 水庫及集水區經營管理計畫 2. 參訪 Seymour and Capilano 水庫之供水及淨水過濾系統工程 3. 研習飲用水處理系統設計理念 1. Sustainable water resources management in reservoir and watershed. 2. Visit Seymour and Capilano filtration Plant. 3. Study on design concept of the drinking water treatment system
Jul.7~16	亞伯達省: Calgary、 Lethbridge 、Edmonton	<b>Calgary Wastewater Treatment Plant</b> 卡加利污水處理廠 <b>Advancing Canadian Wastewater Assets</b> 加拿大創新污水資產研究中心 <u>Nuno Fragoso</u> , Program Manager, <u>Dr. Hamid Habibi</u> , Director,  <b>University of Calgary – Institute of Environmental Toxicology</b> 卡加利大學 <u>Dr. Leland Jackson</u>  <b>University of Lethbridge – Water Research</b> <b>Lethbridge 大學水資源研究中心</b> <u>Dr. Daniel Weeks</u> , Vice-President <u>Dr. Morgan Mengjuan Guo</u> , Manager,	1. 污水處理及再生利用發展技術經驗交流 2. 水資源安全供水技術、水理試驗之學術交流 3. 研習農業用水管理計畫與灌溉效率提升技術 4. 蒐集亞伯達省水資源規劃與管理技術 1. Technical exchange of wastewater reuse. 2. Academic exchange of water supply for safe and clean. 3. Study on the management of agriculture and irrigation technique for improving efficiency. 4. Data collection about the

		<p><b>Alberta agriculture</b>  <b>Irrigation and Farm Water Division</b>  亞伯達省農業部灌溉及農田水資源組  Executive Director, <u>Brent Paterson</u>,  <u>Jennifer Nitschelm</u></p> <p><b>Alberta Environment</b>  亞伯達省環境部水政策組  <u>John Taggart</u></p> <p><b>Alberta Energy</b>  亞伯達省能源部  <u>Charles Ward</u>, Director</p> <p><b>Alberta Water Resources Institute</b>  亞伯達省水資源研究所  <u>David Hill</u>, Program Director</p> <p><b>Edmonton Waste Management Centre of Excellence</b> 亞伯達省廢棄物(廢水利用)卓越管理中心及水處理場  <u>Dr. Daryl McCartney</u>, Executive Manager  <u>Dr. Shouhai Yu</u></p>	<p>planning and management of water resources in Alberta.</p>
<p>Jul 17~28</p>	<p>安大略省: Ottawa、 Toronto</p>	<p><b>Environment Canada, Sustainable Water Management Division</b>  聯邦政府環境部水資源永續管理組  <u>Michel Villeneuve</u>, Manager  <u>Daphne Gerguson</u>, <u>Jean Bennett</u></p> <p><b>Water Science and Technology Directorate</b>  聯邦政府環境部水科技署  <b>National Water Research Institute</b>  聯邦政府環境部國家水研究院  <u>Dr. John Lawrence</u>, Director  <u>Dr. Cheng He</u></p> <p><b>Walkerton Clean Water Centre</b></p>	<p>1. 蒐集加拿大國家水資源研究發展現況資料。  2. 研習城鄉供水水質水量之風險管理。  3. 因應氣候變遷之調適策略。  4. 參訪飲用水系統運作、教育、培訓及尖端水處理技術。  5. 研習新興水資源淡化技術發展與水資源供水技術整合。  6. 研習安大略省水資源創新計畫</p> <p>1. Data collection about the research and development of water resources in Canada.  2. Risk management in water quality and quantity.  3. Adaptation strategy for climate</p>

		<p>安大略省渥克頓水資源中心 <u>Devendra Borikar</u></p> <p><b>Napier-Reid Ltd. &amp; Greenbrook Water Treatment Facility</b> Napier-Reid 國際水處理公司 <u>Frank Li</u>, Vice-president</p> <p><b>Hatch Water</b> Hatch 海水淡化技術全球總公司 <u>Kenneth Goodboy</u>, Global Director for Desalination, <u>Mike Russell</u></p> <p><b>Government Ontario</b> 安大略省政府水資源創新計畫 <u>Barb McMurray</u>, <u>Enrico Di Nino</u></p>	<p>change.</p> <p>4. Visit the training center of state-of-the-art technology in drinking water.</p> <p>5. Study on the technique of emerging water resources and integrated approach on the water supply.</p> <p>6. Study on water innovation program of Ontario.</p>
Jul 29~30	台北	返程	--

## 第貳章 研習過程與內容

### 一、加拿大水環境背景簡介

加拿大國土幅員遼闊，東濱大西洋，西臨太平洋，西北部鄰接美國阿拉斯加州，南面與美國本土相接，北面伸至北極圈，屬環北極海國家。東西長約 5,514 公里，南北距離 4,634 公里，國土總面積 9,970,610 平方公里，比整個歐洲面積還大，約為台灣 277 倍，為全球國土第 2 大國家，目前人口約 3450 萬人。

加國的地形大致呈現西高東低狀，西部卑詩省與亞伯達省交界的洛磯山脈有許多海拔超過 4,000 公尺的山峰，此處亦有多座國家公園，中部大平原為主要農牧區，東部普遍為緩坡丘陵，森林遍佈；東南部氣候適中，土壤肥沃；北部屬於寒帶，礦產資源豐富。加拿大為世界上湖泊最多的國家之一，包括西北區的大熊湖、大奴湖(Great Slave Lake)及東南區五大湖區的休倫湖和安大略湖等，主要河流有麥肯茲河(Mackenzie River)、聖羅倫斯河和育空河等，其中以麥肯茲河最長約 4,241 公里。加國擁有豐富森林、水力資源，同時也是農產輸出大國。

加拿大氣候屬於北歐型態的大陸型氣候，12 月至 3 月冬季氣候寒冷，7~8 月夏季較短，降雨大多集中春季 4~6 月。西部大城溫哥華是全加拿大冬季最暖和的城市，1 月平均氣溫為 3°C，7 月平均氣溫 17°C；東部大城多倫多 1 月平均氣溫 -6.7°C，7 月為 20.5°C。因為加拿大地大物博，發展亦早，為世界七大工業強國之一，在整體生活條件綜合評比下始終被公認為理想居住地，聯合國《1999 年人類發展報告》中認為加國是最適宜居住的國家之首，2010 年經濟學人智庫評估全球 140 個國家的生活環境，加拿大有 3 個城市名列前 10 名(溫哥華、多倫多、卡加利)。

加拿大政府體制為責任內閣制，由總理（多數黨黨魁）及各部首長組成，總理有權任免各部首長。其政府組織分聯邦、省府、市三級

政府。聯邦政府主要管轄外交、國防、通貨、銀行、貿易、運輸、印地安事務、移民暨公民身分、所得稅、失業保險等。而因加拿大屬於聯邦制國家，各省區有自己的政策體系，因此省政府有甚大之權力與組織之彈性，主要負責教育、勞工和社會福利、市級政府、民事案件、天然資源及省稅。市政府負責飲用水、下水道、市內街道、垃圾和交通等。

目前幣值匯率約 1 元加拿大幣(CAD)兌換新台幣 30 元(2011 年 7 月 4 日)，後文舉列相關水資源建設經費可以此匯率換算。

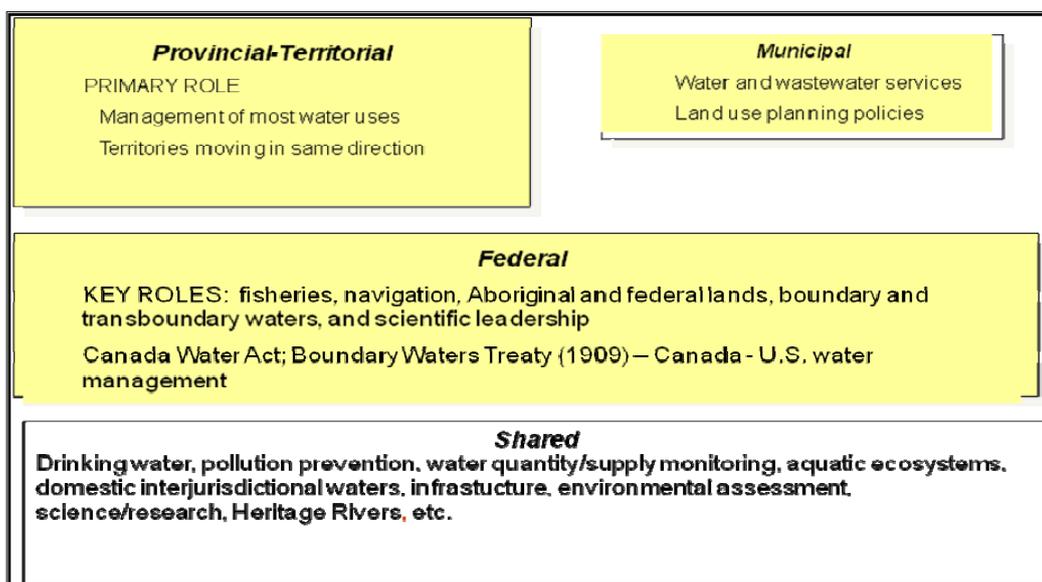
## **二、聯邦政府環境部(Environment Canada)**

### **(一)加拿大的水資源現況**

本拜會行程由駐加拿大台北經濟文化代表處經濟組周組長京懷及陳秘書新發協助安排，至渥太華聯邦政府環境部水資源永續管理組(Sustainable Water Management Division)進行業務交流，先由該組就加拿大的水資源現況進行簡報介紹，再由其轄下科室簡報業務、加拿大的水資源課題及其因應作法，最後由筆者簡報台灣的水資源環境現況、水利署及本所業務以及台灣目前面臨的挑戰等，最後彼此交換意見與問題。

由於水領域的治理範圍甚廣，在水資源管理之區分上，聯邦政府負責水產漁業、航運、原住民及聯邦土地和邊界間的水域以及科學研究之引導；省的主要任務則負責大部分的用水管理與支配權利；市政府提供水及廢污水處理之服務、區域土地使用之政策規劃。其他共同分工管理的工作包括飲用水、污染防治、水量及供水監控、水域生物系統、跨領域水資源、設備、環境評估、研究等，其組織分工如表 2。

表 2 加拿大政府組織在水資源管理之分工



根據環境部簡報資料，加拿大水資源豐沛，擁有世界 7% 的淡水資源，全世界的濕地有 25% 在此，溼地面積佔了加拿大土地面積的 14%，全部湖水和河水可填滿全國土地 2 公尺高，有 600 個水庫大壩，全國三分之二的電力是靠水力發電，總體而言，加國屬於水資源豐富的國家。但由於地形因素分布不均，60% 川流水都流向人煙稀少的北冰洋，而 85% 的人口卻聚集在南部靠近美國的邊界(如圖 1)，而洛磯山脈背風面大草原區(Alberta 省附近)則因降雨少，屬半乾旱區。

加拿大河川水有 80% 來自於溶雪，降雨大多集中於春季，西岸大溫哥華區則在秋冬季，但主要用水季節為夏季，加上國土廣大，各省區域亦因地理資源與環境特性之不同，水資源現況亦有不同差異，整體水資源分配亦有時間、空間分布不均的問題，約有 26% 的人依賴地下水，而全國則有 60 處大型的跨流域調度供水設施。

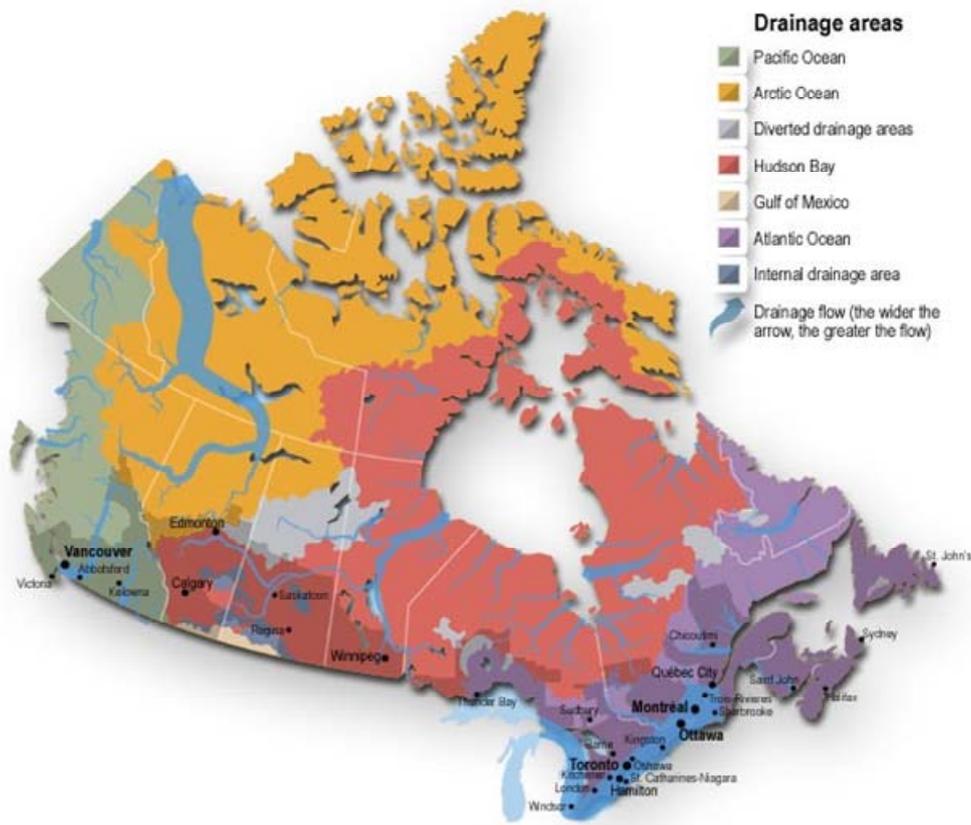


圖 1 加拿大水文環境空間分布

加國為世界第 3 大供水國，在供水比例上，家庭用水佔 8%，工業用水佔 22%，農業用水佔 70%。在家戶用水之統計上，沖廁 30%、洗澡 35%、洗衣 20%、飲用及烹調 10%、清潔 5%。全國 82% 的加拿大人位處污水下水道處理廠之服務範圍。

由於其工業發展甚早，並位處中高緯度地區，是氣候變遷衝擊之顯著區域，部分地區已陸續遭逢旱災、洪災以及地表水/地下水水質污染等問題。目前其水資源聚焦的議題包括：需求增加、乾旱與洪水、水質污染、氣候變遷衝擊、漁獲減少、原住民的權益爭議(水庫、漁獵、生態)、美加邊界水資源分配等。

這些挑戰使得加拿大政府體認到水資源的珍貴性，水資源利用政策亦隨環境、經濟及社會條件之改變而歷經三階段的調整轉型，從「開

發」、「管理」，重新定位為「永續經營管理」，近年來積極投入經費與人力，著重於--以生態系統法整合流域管理、地下水監測與管理、水質監測與改善以及氣候變遷調適因應等議題上進行相關研究與策略規劃。

根據環境部統計，加拿大年平均用水量比國際標準還多，過去較為浪費，但已逐年降低，2009 年統計資料顯示，家庭用水每人每日平均用水量已降至 274 lpcd，全部用水量(含工業、商業、團體機構等)為 510 lpcd，如圖 2。

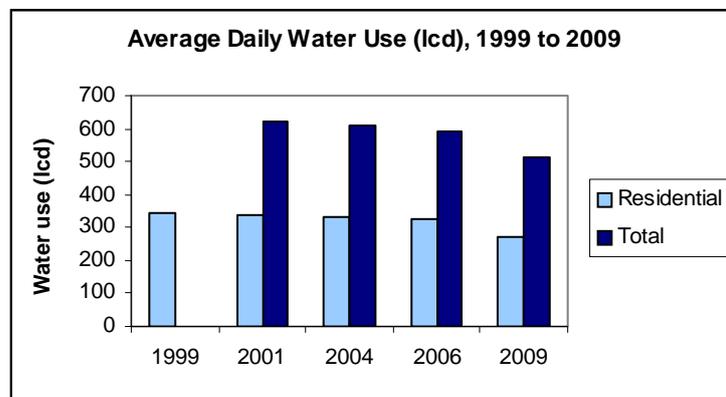


圖 2 加拿大人平均每人每日用水量

因為幅員遼闊，各省的自然環境條件、生活習慣與風俗民情不同，用水方式亦有不同差異性，各省統計資料之差異如表 3 所示，各省家戶用水者平均每人每日用水量約在 189~395 lpcd 之間，已從 2006 年的 327 lpcd 降至 274 lpcd，全部每人每日用水量則在 355~821 lpcd 間，各省視地理環境條件不同而有甚大差異。

另外在 OECD 國家資料中，統計各國水費以及污水費之比較圖如圖 3 所示，加拿大每立方公尺自來水及污水費平均為 1.58 元美金，各省間亦有很大差異，雖比台灣高，但在國際上尚屬低水費之國家。

表 3 各省每人每日用水量之統計

	Total Water Use per Capita (litres per capita per day)	Residential* Water Use per Capita (litres per capita per day)
Newfoundland & Labrador	804	395
P.E.I.	505	189
Nova Scotia	512	292
New Brunswick	821	394
Quebec	706	386
Ontario	409	225
Manitoba	355	199
Saskatchewan	518	238
Alberta	395	209
British Columbia Territories	606	353
<b>Municipal Population</b>		
Under 1000	756	426
1001-2000	528	371
2001-5000	712	385
5001-50 000	570	313
50 001-500 000	489	280
More than 500 000	497	251
<b>Total, 2009</b>	<b>510</b>	<b>274</b>
<b>Total, 2006</b>	<b>591</b>	<b>327</b>

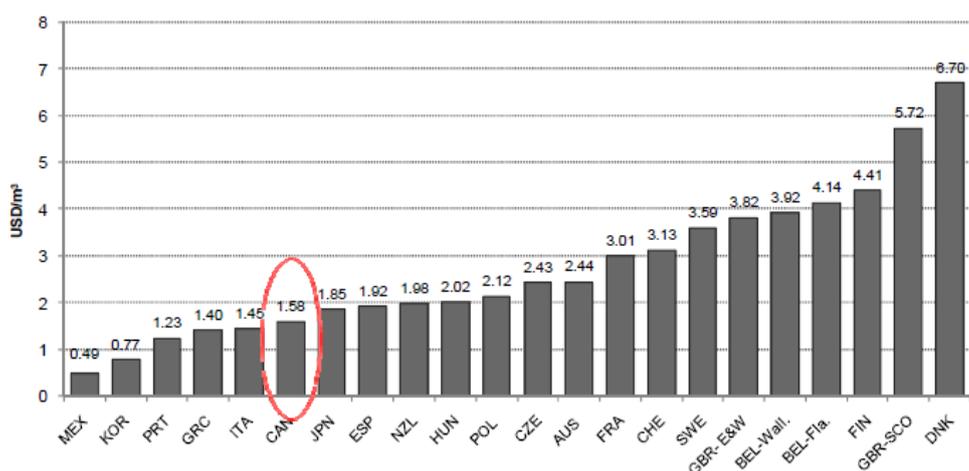


圖 3 OECD 國家各國水費及污水費

## (二)環境部組織分工

加拿大環境部自 2005 年起持續進行組織改造，目前約有 7000 多人，65% 分佈在首都渥太華之外地區工作，經彙整聯邦政府環境部網站，目前主要組織包括(摘錄)：

### ❖ 科學與技術分部：

底下有水科學與技術署(含國家水研究院)、大氣科學與技術署、野生動物與景觀科學署、科學與風險評估署、科學與技術策略署、環境科學與技術中心等單位。

### ❖ 環境管理分部：

法規事務、策略優先、能源與交通、公眾與資源部門、野生動物服務、化學物品管理、環境保護運作。

### ❖ 氣象局：

企業政策、氣候與環境監測、氣候與環境預測及服務、氣候與環境運作。

### ❖ 公園管理局

### ❖ 環境影響評估局

比較特別的是有關跨政府間事務、永續發展政策、策略資訊之整合等皆明定專責之助理副部長負責，督導專責單位推動跨政府間的橫向事務聯繫及優先政策之執行。

此外，在水科學與技術署底下有 6 個研究組，包括水生系統影響研究、水生系統管理研究、水生系統保護研究、緊急及操作分析實驗室及研究、水質監控與調查以及綠色技術組等，如表 4 之右側欄位，其業務及研究內容整理於下一節。另從科學與技術策略署裡可看到有科技整合組，主導科技事務之整合，另外還有科技聯絡組，強化科技研究產出對其他產業與公眾之聯繫溝通。

表 4 環境部科技分部轄下之署及署內的組室

Atmospheric Science and Technology Directorate	Science and Risk Assessment Directorate	Science and Technology Strategies Directorate	Water Science and Technology Directorate
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Air Quality Research</li> <li>• Climate Research</li> <li>• Adaptation and Impacts Research</li> <li>• Meteorological Research</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pollution Data</li> <li>• Greenhouse Gas</li> <li>• Programme Development and Engagement</li> <li>• Ecological Assessment</li> <li>• Emerging Priorities</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Science Policy and Priorities</li> <li>• Science and Technology Integration</li> <li>• Science and Technology Liaison</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aquatic Ecosystem Impacts Research</li> <li>• Aquatic Ecosystem Management Research</li> <li>• Aquatic Ecosystem Protection Research</li> <li>• Emergencies, Operational Analytical Labs &amp; Research</li> <li>• Water Quality Monitoring and Surveillance</li> <li>• Green Technologies</li> </ul>

(三)環境部水資源永續管理組(Sustainable Water Management Division)

本組底下分資料整合及分析、水資源整合、水資源策略等科室，根據參訪時之簡報說明，各科之工作分述如下：

資料整合及分析：

此部門引領地面水水量之科學及工程分析，其水利專家協助國家、國際和跨省分水管理議題，協助國際河流以及聯邦影響範疇內的主要資源發展計畫，並也負責國際河流改善法之管理。

此部門的主要工作為水資源的管理和使用：

- ❖ 國際河流改善法令之管理
- ❖ 在國家及國際層級和跨省集水區地表水量之水利技術分析
- ❖ 提供水利技術專家供國內省級以上單位諮詢
- ❖ 參與渥太華河川法規規劃局成員
- ❖ 美加間國際水議題及國際聯合委員會之參與及技術諮詢
- ❖ 關鍵水政策諮詢之提供
- ❖ 地表水水量及設施/資源發展之評估

❖ 水文和水力分析工具與方法之發展。

圖 4 為目前本單位正辦理決策支援系統之整合模式，將各用水者之過去統計資料與未來情境納入需求管理，再將氣候變遷的情境納入供需分析。

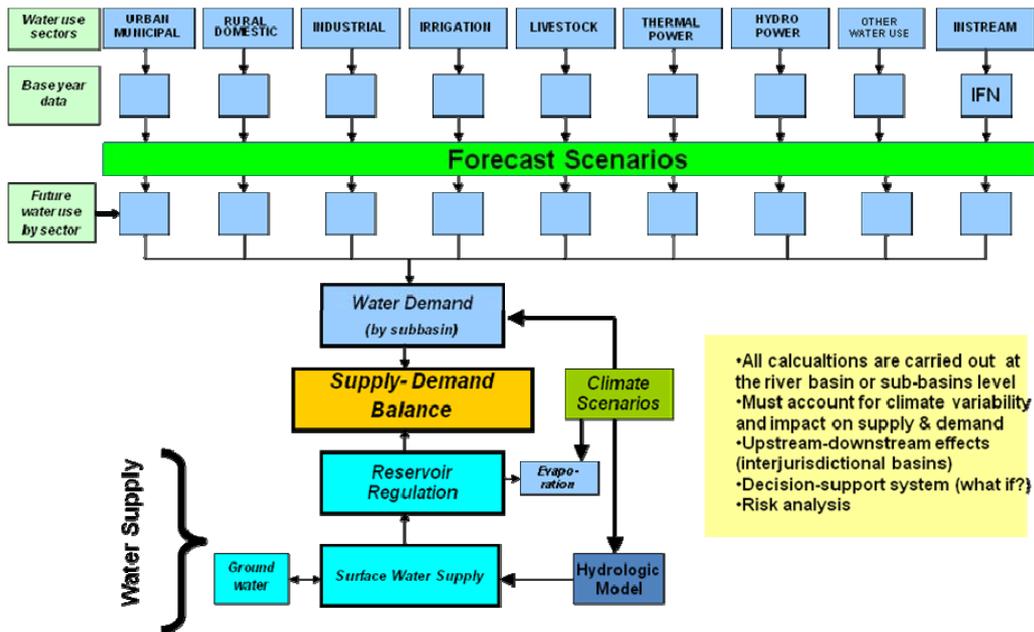


圖 4 決策支援系統之整合性模式

### 水資源整合：

工作目的：執行水資源整合方案，以確保加拿大能以永續的方式來經營、利用水資源。重點包括：

- ❖ 鼓勵各級政府、私人企業進行水資源相關決策與行動時，將社會、經濟和環境因子納入考量。
- ❖ 在加拿大水法和聯邦水政策下，促進水資源有效管理與使用。
- ❖ 發展水資源永續管理之概念、原則、最佳管理技術、政策和方法之整合。
- ❖ 促進各級政府及私人單位彼此合作之夥伴關係，齊力於水資源之管理與永續利用。
- ❖ 提升公眾對水質、水量、保育以及用水效率之重視。

主要負責工作包括：

- ▶ 加拿大環境部網站中有關水資源的部分及網站圖資管理。
- ▶ 不同行業用水分析與部門報告
- ▶ 水資源保育與效率(包括聯邦設備、標記與檢定(WaterSense))
- ▶ 水管理工具(含聯邦公共建設整備方案)
- ▶ 水資源政策支援(含集水區整合管理)
- ▶ 加拿大水法案年度報告

### 水資源策略：

本單位之工作任務：

- ❖ 提供用水、水資源可利用量(water availability)及水價資訊，促進水的需求管理。
- ❖ 提供效能管理資訊，以達永續之水資源管理。
- ❖ 就社會、經濟、環境面來研究水資源管理之永續性。

主要工作：

- ▶ 對市政水源及廢水調查資料(MWWS)的分析、報告與執行

MWWS 可提供市政水資源使用與水價基本資訊，資料可廣泛作為不同政府層級的決策支援，並作為永續水資源管理的決策基礎。

- ▶ 發展和報告水資源可利用量指標

水資源可利用量指河川的水量與人們正使用的水量之比較，在集水區內為水的需求量與水的有效量之比值。

- ▶ 提供 OECD 所需相關資料之彙整

### (四)心得短評

1. 加拿大總體水資源看似驚人，但亦因區域空間與時間分佈之不均，部分地區亦有缺水之問題，並有其他跨國邊界水源分配之壓力與原

住民權益問題。水資源屬區域中尺度之問題，需依區域特性研擬對策與解決方案。

2. 資訊整合與政策對外之溝通工作，是重要卻又不容易的任務，亟需強化協商與資訊溝通的能力，從環境部之組織分工發現，加國日益關注跨政府單位間的橫向聯繫、資訊整合與政策溝通，設有專責部門人員主導這些事務。

3. 水資源管理之上位政策普遍以水質、水量及生態保育整合管理。

### 三、聯邦政府環境部科技分部水科技署及國家水研究院

#### (一) 研習內容

水科學與技術署( Water Science and Technology Directorate)是加拿大最大的淡水研究和監測單位，職員超過 700 人，主要包括了 3 部分人力：國家水研究院(National Water Research Institute)、國家水質監測室(National Water Quality Monitoring Office)及 Saint-Laurent 中心(蒙特婁)。國家水研究院有 2 個主要辦公區，最大的辦公區是在加拿大內陸水研究中心(Canada Centre for Inland Waters)，另一處為國家水文研究中心(Saskatoon)，另有部分人員散布於其他各省。本研習參訪位於 Burlington 的加拿大內陸水研究中心。

本單位的任務是：經由研究和監測來產生知識並進行溝通，以儘早確認環境問題，發展政策與計畫，以支援以科學為基礎的決策。一般而言環境部每年提供 1.8~2 萬元加幣予研究人員作為基本研究之需，其他則透過外界提供或合作之研究計畫資金來挹注。轄下之組織分工包括 5 個主要研究領域：

#### 1. 水生生態系統之影響研究組

引領相關研究以了解和預測環境壓力對水生生態系統之水文與生態之衝擊。主要研究議題包括：

- ❖ 土地使用之干擾，含農業、森林、礦業對土地之影響。
- ❖ 大氣變化和變異性。
- ❖ 生物多樣性之壓力因子與累積效應。
- ❖ 集水區於脆弱的生態系統之經營(壩、濕地)。

## 2. 水生生態系統之管理研究組

引領相關研究以管理地表水與地下水系統因人為活動而產生之耗損問題。主要研究議題包括：

- ❖ 有關都市供水、排水、污水、納管之整合管理。
- ❖ 大型水生生態系統之物理性、化學性、生物性及湖沼化過程。
- ❖ 地下水水質評估，地下水污染物質的發生、流佈與宿命。
- ❖ 發展科學工具與模式以整合水質監控與研究。

## 3. 水生生態系統之保護研究組

引領相關研究以了解毒性化學物、致病菌、基因改造物和寄生蟲的效應，以保護水體生態系。主要研究議題包括：

- ❖ 研究水環境中毒性物質之產生、宿命、曝露途徑等。
- ❖ 毒性物質對水體生物之影響。
- ❖ 發展可預測化學物質對生態系的損害效應之指標。
- ❖ 研究大型河流生態系統中，污染物曝露與影響之整合評估。

## 4. 水質監測和調查組

引領淡水和海洋監測相關研究，以符合法規標準，提供決策資訊。主要研究議題包括：

- ❖ 彙整淡水水質現況與趨勢報告，包括加拿大環境永續指標，以符合加拿大水法相關規定。
- ❖ 評估水生環境的復育方法和風險管理決策，以符合加拿大環境保護法、化學物質管理計畫及空氣清淨法規定事項。
- ❖ 監控海洋水質和貝類採收區之污染源調查，支援加拿大貝類衛生管理計畫。

- ❖ 維護全球水質資料庫，評估全球內陸水質的現況與趨勢，支援聯合國環境計畫全球環境監控系統(GEMs)。

## 5. 緊急操作分析實驗和研究支援組

提供環境部研究、監控、執法和緊急計畫所需的實驗室科學需求，經由具成效之實驗室及符合國際品質標準的技術服務來提供水質管理之服務。

現階段該署(含國家水研究院)的優先任務是：

- ❖ 油砂監測與研究：發展世界級水質監控系統、持續環境部研究與監測以履行政府的法定義務。
- ❖ 傳達政府有關潔淨水行動計畫之科學性溝通
- ❖ 先進的都市污水處理：藥品(Pharmaceuticals and personal care products, PPCPs)與化學品污染之新興污染物(Emerging contaminants)課題。
- ❖ 都市水管理：暴雨管理及氣候變遷對都市水設施衝擊之改善、發展更好的 BMPs。
- ❖ 水質監控
- ❖ 實驗技術發展：發展研究所需之實驗科學能力、監控技術與緊急方案
- ❖ 水之可得性研究：評估氣候變遷之衝擊、水的永續蓄水量
- ❖ 生態系統所需流量：維繫河川生態系統多樣性與取水之河川基流量
- ❖ 生化污染物之衝擊影響：發展更敏感之曝露評估法、新興污染物之鑑定技術。

目前加拿大公眾及國家水研究院皆很關注的藥品及個人保健用品(PPCPs)以及新興污染物所引起的環境問題。當此行參訪卡加利的加拿大創新污水資產研究中心時、在安大略省府環境部參訪時以及在渥克頓潔淨水研究中心時，皆有研究人員討論到此議題，後來發現加

拿大國家水研究院曾結合了聯邦政府環境部、健康部、農業部以及安大略省府環境部、農業部、渥克頓潔淨水研究中心以及加拿大水資源網絡協會等跨部會、跨層級單位，成立工作團隊共同進行研究，包括對河川、地下水、飲用水、水生生物、農業等之污染與影響進行調查研究，最終於 2007 年出版 PPCPs 科學評估報告，提出「加拿大環境中的 PPCPs --研究與政策指引」報告，供大眾、政府、學術界與工業界了解。

## (二)心得短評

1. 加拿大的水資源管理對象不再只是供水端與需水端的質與量，而是延伸到水體內的水生態系統，以水體之全生命周期觀點來看待保育主體，將水資源保育範圍擴及所有住民、相關利害關係人與(動)物。
2. 加國提供聯合國及 OECD 相關水資源管理資訊，因此著重資訊統計分析，編制相關監測、統計人力，俾建立各種統計相關資訊提供國際交流。此部分因台灣礙於政治現實，國際合作管道有限，致統計相關資料往往不易與國際接軌，亦不易掌握國際間相關發展的動態、技術、理念與創新作法。
3. 組織作好分工合作才能發揮最大效益，政府若能在有限人力內進行跨部會合作，統籌資源、人力團隊，整合凝聚能量後再擴散出去，可增加效能與影響面向。發覺加拿大各級政府機關、學校與民間組織之間，常有很多相互參與合作的研究計畫，因此得以更全面、更廣泛地發揮效益。
4. 國家水研究院為加拿大中央級水環境科研計畫之專責單位，屬於規劃之前沿部隊，編有專屬研究人力及預算，較能專心致力於研究領域，毋須身兼前線救火員與後勤補給等事務。臺灣的水資源科研計畫散見水利署綜企組、保育組與水規所及委辦於大學、顧問公司等，尚無此水資源科學研究之專責單位與人力，而由行政

管理與規劃單位兼辦，且層級屬 4 級單位，長期恐將削弱國家研究發展能力。

#### 四、亞伯達省卡加利大學及加拿大創新污水資產研究中心 (ACWA)

##### (一)參訪加拿大創新污水資產研究中心 (Advancing Canadian Wastewater Assets, ACWA)及 Pine Creek Water Management Centre

亞伯達省的行程是透過亞伯達省駐台辦事處協助聯繫，中間再透過亞伯達省政府的國際及政府間關係部(Ministry of international and intergovernmental relations)所安排與帶領，我覺得這個國際關係部門很特別。在加拿大，省府的組織權力很大，亦很有彈性，由於亞伯達省政府相當重視對外擴展經貿合作關係，因此特別成立此部門，專門向世界各地引介亞伯達省的資源與技術，也積極尋求世界各地與亞伯達省進行經貿、技術與人員之交流合作。

雖然大家普遍認為加拿大是個水資源豐沛的國家，但是在工業與農業興盛的亞伯達省，其實仍有缺水的問題，而他們有什麼因應對策？

由於亞伯達省盛產石油及天然氣，吸引眾多國際大廠進駐本省艾德蒙頓(Edmonton)及卡加利(Calgary)等大城，本省第一大城卡加利市為全國第四大城，為新穎的工業及經貿大城，市區高樓大廈林立，據說是加拿大內工程師密度最高的城市，各項工業技術與研究都發展迅速，2010 年被評為世界最乾淨的城市之一。

此行參訪位於卡加利郊區的 ACWA 及松河水管理中心(Pine Creek Water Management Centre)，ACWA 是由卡加利市政府與卡加利大學合作成立的獨立創新研究單位，結合松河水管理中心(污水處理場)進行實場處理及試驗研究。此處佔地 320 英畝，污水處理量 10 萬立方公尺，可供本區未來增加 25 萬人口之需求，並可擴增至 70 萬立

方公尺，提供 175 萬人之污水處理所需，另有不同專長領域的教授常駐研究，期許在污水處理與再利用的領域裡作到世界級的技術研究。

當然這樣的企圖心需要有長遠的願景與充足的經費支持，所以此場的設施規模都很豪氣與先進，將永續概念納入實際的工程設計與規劃上，例如：技術上規劃了 BNR 生物處理、UF 模組、三級過濾設備、UV 及臭氧消毒等進行試驗，並以污泥沼氣發電，提供場區熱能需求、場區耗電亦有 50% 來自於風力發電；在監控上進行全面的化學、生物監控系統；在人力組織上，污水處理場有加拿大重點大學教授長期進駐與現地研究；場區管理大樓亦很用心，獲得 LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)<sup>2</sup>綠建築金質獎；在研究與實務系統上結合污水處理廠實務操作、處理技術提升之研究與污水再利用研究、放流河川模擬自然系統等進行 full-scale 之研究，並有 12 道於河床擴散之排水研究水道，該廠放流水回收再利用於場內使用，以及附近高爾夫球場和苗圃場之澆灌。

此處自 2004 年開始興建，2010 年啟用，是加拿大技術最先進、對環境最友善的污水處理場，2010 年即獲得美國環境工程學會之傑出環境工程獎。所有工程費用原為加幣 2.4 億元，後因物價上漲、世界金融海嘯等事件，完工時增至加幣 4.3 億元(約台幣 120 億元)。

目前卡加利大學教授們亦十分關心污水處理場及河川水體內的新興污染物(Emerging Contaminant)，正展開調查及處理研究，並著手對放流水及河川、魚類生態影響進行實務研究。

該中心未來將陸續設置 NF、RO 等高級試驗技術，並將作為研究、操作訓練、原型標準測試場地，同時也傳達十分希望能與台灣和世界各地機關單位進行合作。另外在其網站發現幾位教授亦在當地社區舉辦相關河川講座，結合自身專長與相關研究，與在地民眾共同關注當地河川水域之生態，對投入社區環境教育十分用心。

---

<sup>2</sup> 世界知名綠建築評級系統，強調以能源及環境永續為設計理念。

## (二)卡加利市的用水效率計畫與永續指標

### 1.氣候變遷之影響

卡加利市的水源來自洛磯山脈積雪融化，原以為氣候變遷之暖化效應會使此區有更多的融雪，水資源的供應量也會更多，但實際不然，根據所蒐集之資料顯示，卡加利的 Glenmore 水庫容量只有現有用水率的 20 天蓄水空間，因此系統的可靠度需要河川的穩定流量，當地河流-弓河(Bow river)主要水量來自冰雪融解，特別是在枯水期，過去 1970 年代 7~9 月枯水期時弓河約有 28%~47%的水來自於冰雪，但因暖化造成溶雪提早於春天發生，近三十年來弓河乾季水量平均僅有 5%~8%水量是從冰雪溶解而來。

研究分析春天的逕流增加造成夏天典型的草原區乾旱期延長，氣候變遷已延長了該區的乾旱時間、頻率和嚴重度，更長的夏季乾旱意味著八、九月河川水位降低，而此時間反而是卡加利市用水高峰。有學者即指出，暖化影響水的可得性、河川流量的時間規律性以及高山融雪的產水量，這些事件將導致當地很多濕地逐漸消失，並減少冷水魚和其他生物的棲地。

### 2.推動用水管理方案

卡加利市與很多北美城市不同，大部分家戶使用者仍屬固定費率的單一水價，既有用戶裝設水表並不普及。有研究顯示固定費率用水者之用水量比裝設水表計價者平均多出 30%~50%。該市曾於 1959、1966 年舉行 2 次公投表決是否要安裝水表計費，但贊成者只有 20%。到了 1989 年市政當局體認到水資源保育之重要，再次主導水表普及化(universal metering)之計費公投，惟此公投結果仍未達過半數同意。

為達成節水功效，安裝水表實有需要，才能透過量化計價之方式管控水資源用量，於是水資源局於 1991 年推出水表裝設獎勵方案(water meter incentive program)，為去除民眾擔心水費增加之心理，本

方案保證市民裝設水表後，若水費比原來的固定費率高，差價由政府吸收，同時允諾將水表拆除。自此每年約有 1 萬~1.2 萬個水表安裝，所省下的水量與因人口成長而增加的水量抵銷。本方案自 1991 年推行後，每年約有 3% 家戶加裝水表，2001 年達 57% 安裝。

此外，當 2002 年省府修法允許市議會可於公投後十年主導公投議題變化權，卡加利市議會修改地方法通過所有用戶應在 2014 年底以前安裝水表，自此加快水表安裝之推行，同時市府水資源局積極推行各式提升用水效率之技術與管理措施(包括補貼安裝低流量馬桶、室內外省水套件等)，並強化本身行政管理效能，隨後申請通過 ISO 14001 國際環境管理之認證，為當時加拿大少數通過認證之公有水資源管理單位。而到了 2006 年用戶有裝設水表者達 79%，此 15 年內平均每人每日需水量亦降低約 25%，用水管理成效甚佳，參如圖 5 所示。

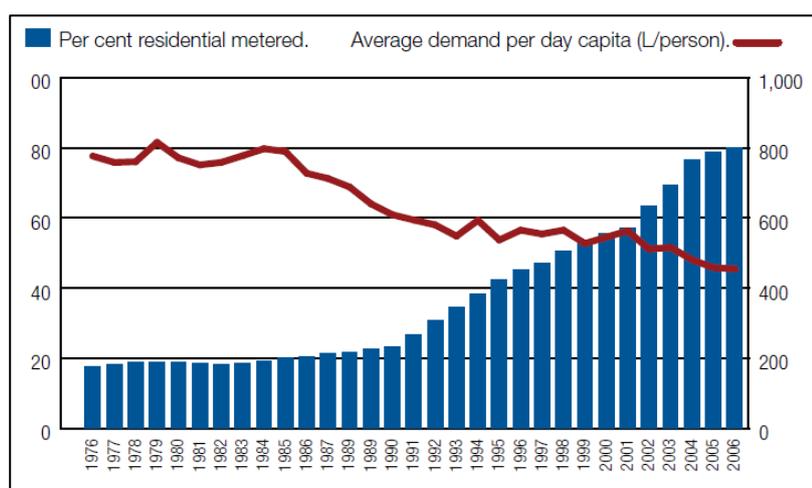


圖 5 卡加利市家戶水表安裝之成長與影響

### 3. 維持總用水量以符永續發展真義

為符合永續發展真義，不損及後代子孫之權益，該市評估至 2033 年人口約將成長至 150 萬人，因此為維持總用水量於現階段規模，每人每日用水量應降低 33%，以確保未來世代仍有現今我們所用的水量，因此該市預計在 2033 年前將每人每日用水量降低 30%，從 500 lpcd. 降至 350 lpcd.，如圖 6 所示，此處之每人每日用水量為總用水量

(包含家戶、工商業及市政用水等)除以總人口之粗用水量。其將透過各式行政管理工具來達成目標，包括：水處理操作效率(供水端)、法規政策、用戶端維護、工商業機構用水方案、教育計畫及水表普及化等措施。

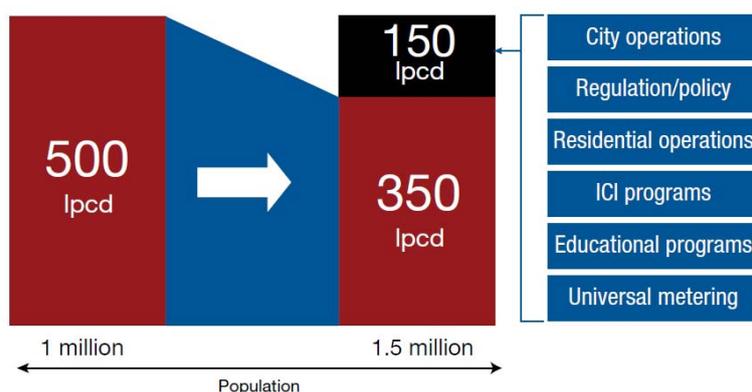


圖 6 卡加利市降低需水量之目標與規劃工具

#### 4. 用水效率改善計畫之永續指標

為發展用水效率改善計畫，需訂定可量測目標以界定成效。該市希望透過 4 個主要永續指標之管理，達成家戶用水效率之提升，圖 7 說明 4 個永續指標及個別目標。

- (1) 水表普及：因該市家戶水表尚未普遍裝設，商業客戶則已裝設，因此目標於 2014 年家戶水表安裝應達到 100%。
- (2) 每日尖峰用水量：保持在 95 萬立方公尺。
- (3) 每人每日用水量：降低 30%，如前小節說明，計畫在 2033 年前從 500 lpcd. 降至 350 lpcd.。
- (4) 無費水量：因為系統滲漏、爆管、無水表計量、消防用水或路面沖洗等損失的水，雖無改善具體目標，但體認到在配水系統中需要對無費水量有所量化、監控與標準，因此將繼續尋求各種方法減少系統中之無費水量。



圖 7 卡加利市用水效率之永續指標與管理目標

### 5. 用水效率之提昇策略

水資源永續經營管理是推動每一種保育行動的驅動力，為有效分配水資源，執行永續目標之方案，卡加利市發展幾個核心策略，包括結構性、系統性之改變，以及行為與態度之轉變，下圖 8 之左半部代表系統性改變，例如技術、過程和結構，右半部為行為之轉變，例如態度和習慣，分述如下：

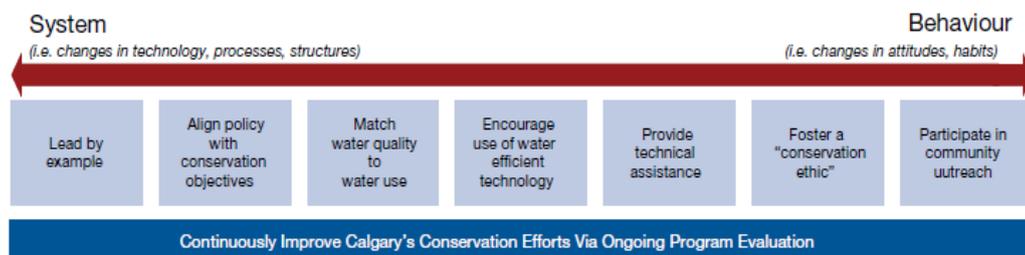


圖 8 促進用水效率之核心策略

- (1) 個案發展：公用設施應先檢視其操作過程之效率，作為市民表率，包括改善既有水處理場處理程序以減少河川取水、投入滲漏偵測與配水系統之維護、水的公用設施效率最佳化、使用資料追蹤並改善無費水量、鼓勵市府各單位有效降低用水量等。
- (2) 以保育目標進行政策排序：提供資訊鼓勵固定費率者換裝水表、持續推廣低耗水設施、催生高用水效率之產品、與其他市政府合作，確認障礙和達成省及國家層級之保育成效。
- (3) 水質管理應符合用水目的：提供資訊支持使用雨水灌溉、市府設施應增加使用非飲用水來建造或澆樹、引導當地試驗計畫、表揚地方成功案例並尋找合作夥伴以增加意識與接受度、考慮再利用設備與區域規劃、發展再利用指引等。
- (4) 鼓勵使用省水設備與技術：提供獎勵誘因以吸引人使用高效率技術產品、展示創新省水技術及效益、透過認證鼓勵使用符合用水效率之灌溉技術等
- (5) 提供技術協助：確認工商機構團體之用水需求型態以尋求降低用水，增加循環用水與提升效率、方案修訂以符合個別部門所需（如為用戶進行水的稽核），促進採用省水行為方法與技術、研究具效率之方法創新和技術之效益（如沖刷閥、冷卻水塔操作、感應式水龍頭與馬桶）、與其他工商團體分享省水技術、效益與經驗、發展計畫找出潛在障礙。
- (6) 培養保育倫理觀：發展計畫宣傳保育用水之效益與機會、提供機會使用水者理解他們的用水狀況、加強教育計畫使用水者採行更有智慧的用水行為、舉辦活動鼓勵人們採行永續的澆灌方式、針對市民對水源保育的行為與態度量度教育和行銷的成效、支持對年輕人的水資源教育機會。
- (7) 投入社區推廣：藉由參與社區活動促進用水效率之提昇、鼓勵

社區參與保育規劃與發展保育行動、與 NPO 合作進行保育行動和學校教育計畫，例如黃魚計畫(Yellow Fish Road)<sup>3</sup>。

### (三)心得短評

- 1.ACWA 由市政府與大學合作，市府建設污水處理廠，由大學教授常駐協助研究試驗，因此從設廠即依系統性試驗所需作規劃之考量，兼顧實務處理與長期研究試驗之需求，並以前瞻的角度設置新穎設備，投資未來。
- 2.ACWA 很希望能跟台灣和世界各地的水資源研究單位合作，由此處可提供先進的技術設施與實廠測試規模，對水資源研究發展之企圖心令人印象深刻。
- 3.過去卡加利市用水戶之水表安裝並不普及，用水無法依量計價，民眾用水習慣較浪費，經過市府採行符合人性心理之管理誘因，鼓勵安裝水表俾利透過以量計價來以價制量，用水量才得以逐年下降。
- 4.現階段的規劃普遍以益本比為決策，但現今的成本效益分析往往未把長遠的、不易量化的無形效益計入，使得規劃方案並未實際涵納真正的成本與效益，諸如綠建築的節能效益、雨水與再生水系統的初期基礎建置，也許在興建時需花費更多成本，但是若把眼光拉長，20 年、30 年趨勢下，這些節能、節水、減碳等對環境友善的外部效益，或是新興水源在分散系統中提供區域供水、分散缺水風險的效益，反而是值得投資的永續作為。
- 5.水中新興污染物之研究是加國公眾與政府十分關注之熱門議題，目前臺灣的台大環工所及成大公衛所等學術單位以及本所、水利署保育組、環保署環檢所等亦曾有相關研究。臺灣人口稠密，使用人造化學物及藥品甚為普遍，更需積極掌握新興

---

<sup>3</sup> 民間單位發起的河川保育行動，於雨水道溝蓋上漆上黃色魚圖型，提醒人們不要將有害物質倒入，以免影響下游水道生態。

污染物對地表水、地下水及水再生利用之影響，持續進行相關流佈、曝露以及對生態環境之影響調查。

6. 學校教授結合在地研究與專長，關注社區水生態環境，擔負社會環境教育之知識傳遞者，是很棒的社會實踐。

## 五、亞伯達省農業發展部灌溉與農田水利組

### (一) 研習內容

#### 1. 參訪農業發展部

亞伯達省南部為主要農業區，此區常缺水，因此省府負責灌溉研究及農田水利業務的農業發展部灌溉與農田水利組(Agriculture and Rural Development, Irrigation and Farm Water Division)及其灌溉發展中心便設在南部最大城市 Lethbridge 的城郊，負責全省農業灌溉、農田水利管理和研究等。

亞伯達省的都市生活用水佔 5.4%，工業用水佔 15%，其他 79% 為農業用水，灌溉是本省水資源最大用途，目前灌溉用水有 97.5% 引用地表水，2.5% 使用地下水，本區為加拿大主要的缺水區域，若持續缺水將需增加食物進口量，危及該國農糧之長遠發展以及食品安全管控問題。

亞伯達省列管的灌溉管區包含全省 85% 之受灌面積，涵蓋 13 個灌溉管區，面積 55.3 萬公頃，共有輸水管線 7,500 公里，其餘 15% 為私人管理之灌區。當地植物生長季節中，平均蒸發量 600 公厘(以一年 3 穫的紫苜蓿(alfalfa)為例)，平均降雨量則僅有 250 公厘，圖 9 為其淨灌溉用水需求，藍色為降雨量，年平均約 207 公厘，綠色為年作物需水量，年平均約需 577 公厘，可見此區屬於極度缺水區，需靠河川逕流、溶雪及儲水設施供水。

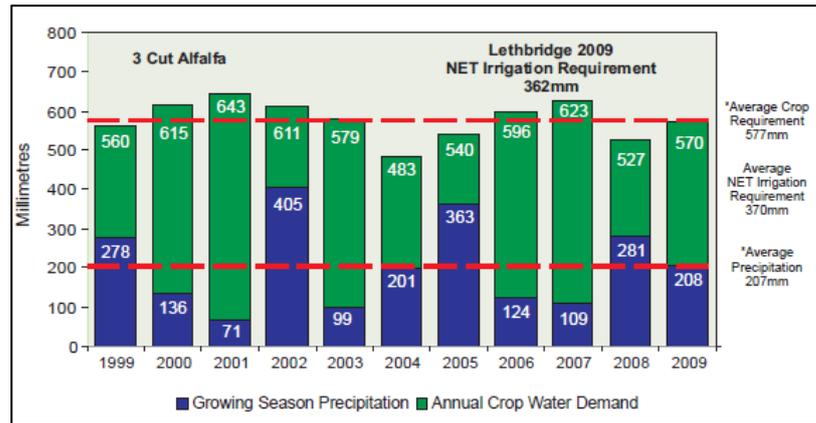


圖 9 淨灌溉用水需求

目前供水設施有 7 座在槽水庫，儲水量 11.72 億立方公尺，51 座離槽水庫，儲水量 18.36 億立方公尺。灌溉農作物以飼料為最大宗，佔 38.4%，五穀類佔 33.8%，油籽類佔 13.5%，餘為其他類作物。其灌溉系統經不斷研究改良，更替趨勢為使用中軸式噴灑系統(Centre Pivot Sprinkler systems)，如下圖所示。



圖 10 中軸式噴灌系統之一



圖 11 中軸式噴灌系統之二

經灌溉系統改良後，由於灌溉效率提昇，單位灌溉面積之用水量也相對降低，圖 12 為灌區用水趨勢圖，呈現逐年下降之趨勢，縱座標為單位面積分水量。

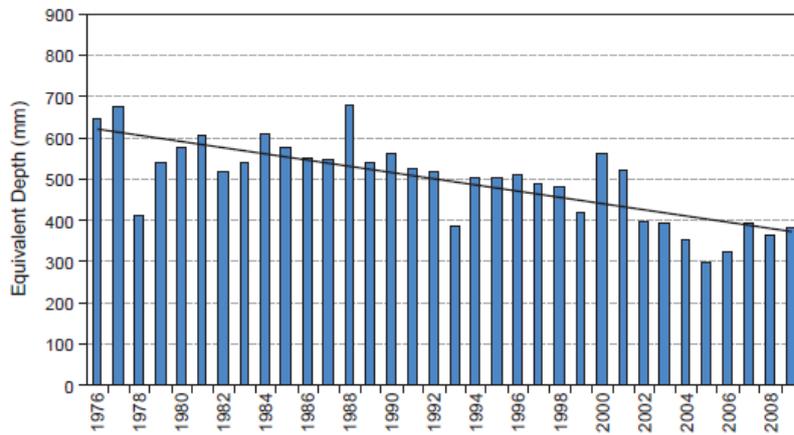


圖 12 灌區用水趨勢

由於用水效率提高及農作物產量增加，產量與單位配水量之比例亦呈逐年提高之趨勢，圖 13 為灌溉用水生產量指標，顯現用水效率之提昇能提高水資源效益，符合永續經營管理之目的。

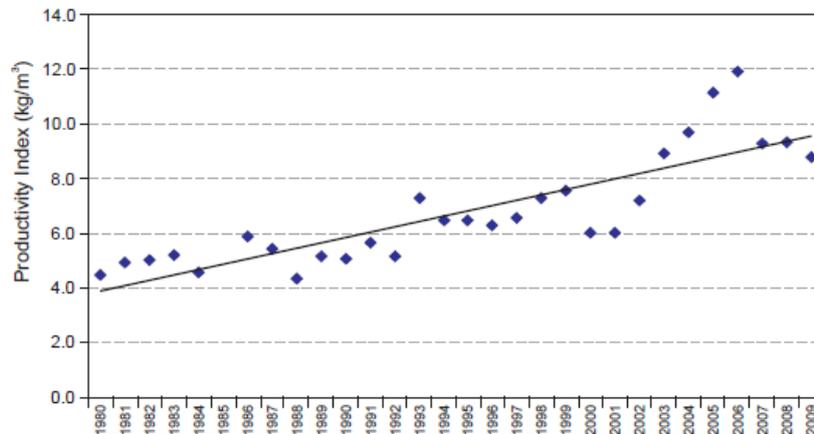


圖 13 灌溉用水之生產量指標

部分灌溉供水設施亦可作為水力發電，此處共有 8 個發電廠，每年發電量 450GWh。而灌溉所需動力之使用能源型式主要以電力為主，佔 48%，天然氣佔 33.8%，重力佔 10.2%，各能耗型式如圖 14，其單位成本如圖 15，以電力成本較高，近年的電力及天然氣成本有增大變動之趨勢，成本也有提高之趨勢，該區灌溉設施相關花費約佔農業 GDP 的 18~20%。

目前灌區收取的水費視各地環境條件不同而有不同費率，水費每公頃約加幣 0~55.6 元，水管水壓附加費每公頃每 psi 為 0.25~0.77 元。

Energy Type	BRID	EID	LNID	MID	RID	SMRID	TID	UID	WID	Average Energy Type
Electricity	68.0%	32.8%	45.9%	9.0%	32.9%	50.6%	57.2%	55.7%	32.4%	48.0%
Natural Gas	146,407	93,734	79,316	1,646	14,871	194,684	45,816	8,524	25,799	33.8%
Diesel	16.2%	28.7%	39.8%	57.1%	50.5%	39.9%	37.2%	10.1%	32.4%	
	34,885	81,902	68,895	10,454	22,842	143,993	29,770	1,548	25,756	
Diesel	3.8%	5.1%	0.7%	0.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.2%	9.6%	2.9%
	8,255	14,504	1,179	0	444	3,452	785	189	7,651	
Gravity	8.9%	28.1%	1.6%	17.5%	7.4%	2.1%	3.6%	19.5%	9.8%	10.2%
	19,201	80,307	2,775	3,199	3,330	7,539	2,869	2,984	7,824	
Gravity Pressure Pipeline	1.9%	2.3%	9.2%	16.2%	0.0%	2.7%	0.9%	9.6%	7.5%	3.7%
	4,121	6,698	15,887	2,971	0	9,567	708	1,470	5,977	
Pump Pressure Pipeline	0.2%	0.8%	0.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	3.3%	0.2%	0.3%
	402	2,332	879	0	0	0	0	505	125	
Other*	0.4%	0.9%	0.8%	0.2%	2.0%	0.4%	0.2%	0.2%	8.0%	1.1%
	865	2,706	1,332	30	891	1,333	170	23	6,389	
Unknown	0.5%	1.2%	1.6%	0.0%	6.4%	0.0%	0.0%	0.5%	0.0%	0.8%
	1,046	3,321	2,701	0	2,888	0	15	70	0	

Notes: - \* other includes gasoline, propane or butane  
 - AID, LID, MVID and RCID did not report any data

圖 14 灌區內能源使用之型式

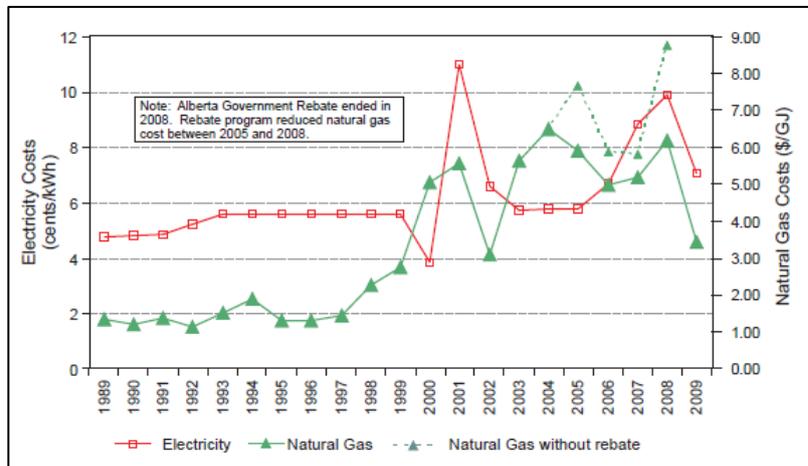


圖 15 歷年灌溉能耗成本

根據該處研究，過去該區傳統灌溉方式約有九成水被浪費虛耗，一般植物澆灌只有 45% 的水分有輸送至根部，因此如何在灌溉系統上提升用水效率成了當務之急。例如為減少灌溉輸水過程之蒸發，新近灌溉引水設施皆以管線方式埋地施作，以加強用水效率，目前 7,500

公里管線中約有 53% 是明渠、47% 是埋管，未來加拿大仍將朝埋管趨勢來規劃輸水設施。

## 2. 參訪灌溉發展中心

他們目前也有規劃新水庫之選址作業，但因面臨著不易被接受的情況，所以極力發展灌溉效率之提升及省水措施之相關研究，目前該部設有一處灌溉研究發展中心(如圖 16)，辦理流量觀測驗證、輸水效率、節水灌溉、以高科技進行灌溉自動化技術之研究及利用太陽能輔助灌溉設施之運作等試驗研究，強化用水控制與測量系統以促進各用水產業發展。

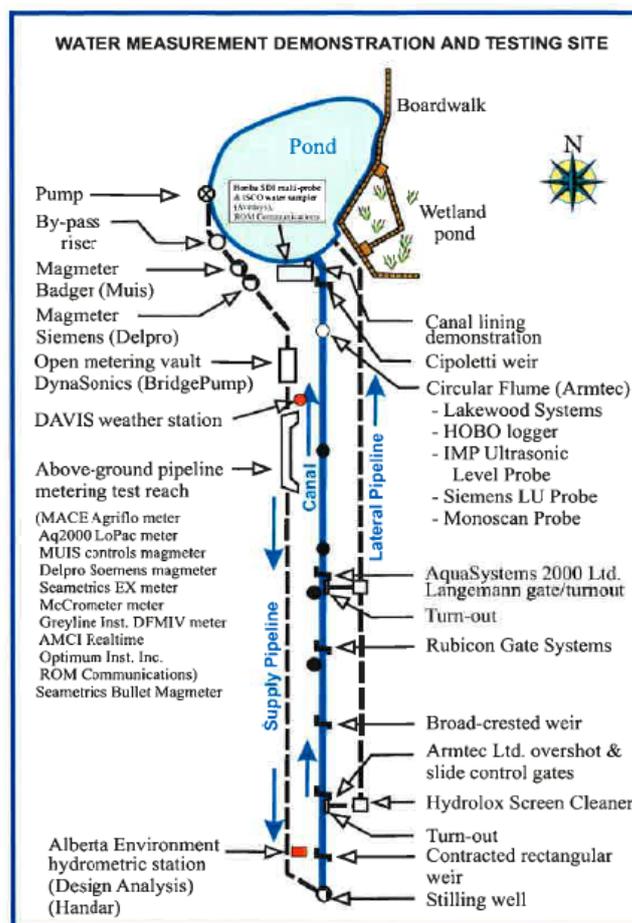


圖 16 灌溉發展中心試驗配置

其他進行中的研究重點還包括：

### 1.供水系統之水量測量儀器

為有效管理水資源，該部門很重視資訊管理與測量工作。誠如該單位資料上有一句標語寫著：In the water resource management business, it's been said...*"You can't manage what you don't measure!"*

研究人員除了在農業部內解說供水量測設備之研究模型外，亦帶領至灌溉研究發展中心現地參訪，針對各種量測設備、輸水管材、明渠鋪設結構、管閥套件以及結合太陽能的監控設施等等作介紹。該展示場支援新流量測量與控制技術之應用研究，以評估規劃設備系統或解決方案。

### 2.作物研究：

在不同的灌溉管理方式下，各種作物的產量變化？如何灌溉可以增產？

例如有研究提到紫苜蓿飼料(alfalfa)在溫度增加 2 度時，產量將減少 28%，溫度增加 4 度時產量將減少 63%。草坪灌溉一周只要一天，在早晨或黃昏一次即可達最佳效率，此研究為卑詩省制定草坪灌溉管理規則之依據之一。

### 3.農地灌溉系統效率：

目前本區超過半數以上皆採用 on-farm centre pivot sprinkler systems 田間中軸式灌溉系統，目前此種灌溉設備很普遍，可增加灌溉效率，亦為美國主要的噴灌方式，雖然剛開始投資較多(每公頃初設費 1500~1800 元加幣)，但灌溉效率甚高，使用亦甚方便，噴灑半徑最大可達 150 公尺，從卡加利市開車前來此處行經亞伯達省南部大片農作區時，經常可見此種灌溉系統。

### 4.耕作與泥土管理：

透過減少耕土之管理技術，降低作物需水量，改善水的入滲。

## (二)心得短評

### 1.水資源計量設施之重視

目前台灣各用水單位的計量設施、規格都不同，(農田)水利單位常使用堰(weir)計量水量，自來水單位則使用 B 級水表，雖因兩者尺度不同而不易統一，但渠流與管流之計量仍應有準則。

經查經濟部標檢局為符合國際規範之度量衡制度，促進度量衡產業國際化，自 97 年 7 月起依照新修定的水量計技術規範來認可水表型式。該型式認證水表的範圍由過去口徑在 100mm 以下擴大至 300mm 以下；另外增列水表品質分級制度，將水表區分為 A、B、C、D 四個度量等級，各有其用水量測之精確度。

國外用水單位普遍使用精確度較高之 C 級水表，而 B 級水表的精確度較差，在管理上容易產生漏洞。為了提高水表量測之精確度，減少計量差異與管理損失，未來台灣有需要提升用水計量設施之精準度，增加量測範圍、精度，加強檢校及認證標準之規範，提升管理效能，並盡量減少各標的用水者之間的計量差異，同時對相關計量設施亦需要有統一可信之型式驗證，對諸如雨量、水位、流速、流量等重要水文計量設施之檢校工作，提升水文觀測資料之品質。誠如亞伯達省農業部所言：“You can’t manage what you don’t measure!”

### 2.農業用水效率之提昇

農業用水佔台灣全部用水量的七成，為最大宗之用水者，但一般灌溉用水之效能不彰，在管理上尚有諸多可以改善的空間，尤其在氣候變遷下，農糧與水資源都將受到嚴峻衝擊，農糧作物更隱含虛擬水資源(virtual water)在內，未來之管理甚為關建，需從挑戰處找出新機會。台灣農作規模較小，不利於灌溉效率之提升，需要更精緻的用水

技術與方法，但在長期不平衡的水權結構下，此尚需有改善用水效率之誘因。技術上除了計量設施之統一與認證之外，亦需加強灌溉方式之改良研究、農糧作物用水研究、輸水效能等，俾保育珍貴水資源。

## 六、亞伯達省Lethbridge大學水資源研究中心

### (一)研習內容

#### 1. 大學與產業聯絡辦公室(UILO)

本行程接續在 Lethbridge 市參訪該省農業部之後驅車前往 Lethbridge 大學水資源研究中心參訪，此城距南方美國邊境約 100 公里。

此行由大學與產業聯絡辦公室(The University-Industry Liaison Office, UILO)接待，該單位由 Dr. Week 副校長帶領，主要工作為促進政府機關、工商團體和該校研究人員之間的聯繫，鼓勵並促進智慧財產權之傳播和研究工作之產業化與後續推廣。

經 UILO 秘書 Dr. Guo 帶領拜會副校長時，感受其對促進該大學和各機構共同合作之重視。該單位負責辦理技術評估、專利檢索、創新產業之育成及研發技術之轉移等服務，同時向世界各地尋求合作夥伴或投資者，讓研究創新之知識，開發成創新產品、工具或創新服務模式。UILO 亦專責研究人員涉及的智慧財產權的協議和合約，例如材料轉讓協定、研究服務協議或保密協議等，同時持續評估和開發新的商業化和知識的傳播方式與組織合作，確保大學能持續成長以引領技術之創新與變革。

#### 2. 水資源研究中心

該中心為跨領域跨學門之研究團隊，匯集不同領域專家進行跨域的環境問題研究，包括水資源、冰河變遷、魚類生態、遙測資訊、水利工程、地理學家、生物學家等。由於該中心是亞伯達省非常重要的

研發平台，由大學與聯邦政府環境部、衛生部、農業部及亞伯達省環境部和農業部等籌資合作成立，因此特別安置在新設立的亞伯達水與環境科學大樓，此大樓兼顧節水、節能、雨水貯留利用，符合 LEED 綠建築設計規範。

該中心現階段之研究重點包括：應用遙測分析(remote sensing)進行水資源之規劃技術、人為變化對流域逕流之影響、魚類及水生物之保育、水生魚類毒理試驗、化學污染對供水健康之影響、氣候變遷之衝擊模擬、冰河與氣候變遷之關係研究、氣候變遷對水環境之影響、水資源立法相關社會政策等。

## (二)心得短評

- 1.參訪 Lethbridge 大學水資源研究中心及拜會研發副校長 Dr. Week，感受該大學非常用心致力於向世界各地尋求合作夥伴或投資者，以及該大學對研發與產業機構合作之辦學用心。
- 2.重視創新：該校投注相當大的心力成立專責單位辦理產官學研合作之推廣，從基本的維護智財權之作起，以鼓勵創新研究，提供研究後續的行政支援，延伸研發量能，可提供研究人員得以專注、優質、創新的研究環境。
- 3.跨域整合：該水資源研究中心著重研發與實務之結合，跨域跨學門之團隊合作，我想此應為現在及未來的研究趨勢，需從跨界處來整合跨領域之知識，以解決越形複雜的水環境問題。

## 七、亞伯達省水資源研究所(AWRI)

### (一) 研習內容

亞伯達省水資源研究所(Alberta Water Research Institute, AWRI)是亞伯達省政府提撥經費，以基金會形式所成立的水資源研究單位，隸屬於 Alberta Innovates Energy and Environment Solution 底下。出國

前上網做功課了解其背景時，該單位正在改名及組織重整，原為 Alberta Ingenuity 亞伯達創新基金會底下的水資源研究所。AWRI 成立於 2007 年，為水資源研究的新單位，但設定並期許作為該省水資源的領導者和推動者，希望為亞伯達省的水資源問題尋求最佳的解決方案，單位的工作核心是 *water for life*。

AWRI 研究方向為支持 water for life 策略，三個永續策略為：

- ❖ 在水資源的供水上，確保安全的飲用水供應
- ❖ 在河川管理上，維繫健康的水生生態系統
- ❖ 維護可靠優質的供水促進經濟持續成長

目標：

1. 提供科學為基礎的資訊、分析、與技術，以支援水資源管理之決策與行動。
2. 發展整合、有效的水研究系統，為達成“生命之水”所需的知識與研究，以及轉化知識為行動。

研討議題：

亞伯達省北部蘊藏豐富石油及天然氣等礦產，擁有 14 萬平方公里之油砂面積，約為四個台灣大，蘊藏油量僅次於沙烏地阿拉伯，所以積極發展採礦、石油等重工業，亦因而產生一些水資源問題。該單位的工作為解決該省的水問題，提供預算經費進行研究與分析工作，以作為水資源管理的決策和政策參考，目前他們的問題包括北邊的採礦有油砂分離、廢水淨化處理的問題，南部農業用水缺水問題，還有全省的用水效率不佳、以及供水分配、技術創新、水資源教育等問題。

據亞伯達省環境部人員表示，由於水資源議題甚為重要且涉及領域廣泛，因此除了環境部負責的水資源的一般行政外，該省主由 AWRI 作相關研究與策略擬定以及相關經費的核撥與管控，期能創造更多的產能與價值。

AWRI 的所有計畫方案，都需與”water for life”策略目標有關，需要是跨學門、公共政策和實務產出，類型包括：

1. 策略研究方案(SRP)：研究型提案，需要是創新的、世界級的研究計畫，需是由學術研究社群或工業界專家提出。

目前計畫有：濕地健康--執行亞伯達濕地政策的挑戰與機會、油砂尾礦透過生物密實化以加速去水、生態系統服務之經濟評估、Rivers for life-精進河川流量評估工具和政策、促進整合式水源供給和保育等。

2. 策略機會研究(SOS)：聘請國外專家和不同領域的亞伯達省專家聚焦在政策或創新、特別的水議題上，在”water for life”策略裡，提出公眾政策的發展與分析以及深入研究和提供資訊分析等之諮詢。

目前計畫有：水的資料可得性計畫、以永續水資源管理工具為基的金融市場研究、亞伯達供水的動態研究(藍水與綠水之整合、發展水的風險與脆弱度空間圖資)、未來城市的永續水資源公共設施(未來 20 年內 OECD 國家最大的投資是供水設施的更新與建造，每人約 2 萬加幣)、水的分配政策、實務與產出。

3. 聯合研究合作(JRC)：都市水管理研究(與加拿大水協會合作，3 年各出 90 萬加幣研究都市淨水與廢水處理操作與決策)。

4. 技術發展：能解決亞伯達省的水問題，促使經濟成長的各種科學、技術和知識之試驗、發展或商業化方法。

目前與國際大廠 GE、Veolia 等公司共同撥款成立計畫合作，進行水處理、能源、薄膜科技之研究。

5. 教育與推廣：促使相關科學、技術和實務能與決策者、水資源從業人員及公眾分享；至少投資 5% 的資源在教育與推廣上；透過” Expert Speaker Series”、資深執行者及決策者參加 AWRI 年度” ideaSummit” 執行訓練計畫，擴大水議題的討論，包括省級、

國家級與國際級。

其中每項計畫皆載明 AWRI 投資金額、外部單位支助金額、每個計畫由哪些大學哪些教授執行，和哪些企業合作(大都由多所大學或企業機構合作)、預計產出目標等，幾乎都是產官學研共同合作案。

除了少數專職人員，AWRI 有周圍相關合作單位包括全省主要大學 Alberta、Calgary、Lethbridge 等大學教授合作，以及其他國際國內水資源專家，透過研究計畫與預算經費管理來尋求最佳的解決方案，以確保水質水量、長期安全、可永續發展的水資源。他們也在尋求與國內外機構進行科技發展、策略研究、教育訓練合作、跨領域整合研究、公眾政策等領域的合作，希望彼此激盪更多的創意與發展空間。而在上述的目標與期許下，編訂每年/每三年的工作與研究方向。

## (二)心得短評

1. AWRI 由省政府撥經費營運，負責該省整體的水資源策略性議題的擬定與計畫經費核撥與管控，透過研究方案與國際及國內大學及水資源專家合作研究，以尋求最佳解決方案。換言之，該省在行政組織之外另設人數不多之新單位，在有限時間內及專案目標下，透過產官學研之合作，整合人力與智財資源，以計畫審議平台之方式達到解決問題之目標。

## 八、亞伯達省廢棄物(廢水利用)卓越管理中心

### (一)參訪亞伯達省廢棄物(廢水利用)卓越管理中心(Edmonton Waste Management Centre of Excellence, EWMCE)

該中心是北美最大的整合式廢棄物處理及研究設施，佔地 233 公頃，由艾德蒙頓市政府、亞伯達大學、亞伯達研究委員會、EPCOR 公用事業公司等合資成立，其獨特性在於擁有多項專長，為市政廢棄物和污水管理提供創新研究、技術展示和培訓，以專業來建立符合環境永續的廢棄物與污水管理系統。

此處著重在廢棄物資源化、產業化之研究，例如把污泥處理成為有機土，因為吸水能力甚佳，可以作為抗洪抗旱的材料，在西雅圖亦用來作為保護路基之級配料源，防止侵蝕，也在加州熱賣。本區之污泥應用比例達 50%，仍不斷結合政商學研共同研發，希望繼續提升堆肥利用成效，全面多方向推行。

此外由於世界上普遍缺乏磷肥，污水處理過程已將氮、磷先集中濃縮在污泥裡，因此若能增加提煉技術之效能，可有效解決問題並創造新價值，目前本中心積極研究將污泥中的磷提煉出來製成肥料，也設置氣化站回收甲烷、乙烷，有 90%~95%可再利用。公眾也要求未來污泥不可再送掩埋場，太浪費資源，應該充分再利用，這些都是該中心的研發目標。

該中心之合作模式是由市政府、亞伯達創新基金會、設備公司三方合作，各派主管成立 Board of Director，設置執行經理，並有個 Advisory Board 進行決策。另外，亞伯達省已開始著手碳交易制度<sup>4</sup>，省府要求未來部分盈餘應提撥交本處基金會作為相關研發經費。

此處有先進的固體廢棄物及污水研究設備，以及實際運作的設備，為北美地區最大的混合堆肥及世界最先進的污水處理廠之一。該中心同時亦有一些研究議題正在進行，包括魚類生物監測分析研究、污泥產沼氣之發電性能、污泥堆肥的優化研究、廢棄物能源化、污泥脫水技術精進等。

該中心也積極延攬各類專家，期許成為一個創新研究中心，希望有特殊廢棄物管理問題之企業、對廢棄物處理實務感興趣的城鎮或尋找合作夥伴的研究人員，都能透過與該中心合作而找到解決方案，該中心甚至已有簡體中文介紹摺頁，期許能廣邀世界各地機構共同合作。

---

<sup>4</sup> 亞伯達省於 2007 年通過氣候變遷排放修正法案，是北美地區最早立法要求溫室氣體減量的地區，並透過抵減(offset)系統之規劃、碳排放價格之訂定(\$15 元/TCO<sub>2</sub>-e)與管理策略，逐步建立碳交易制度，以期實際減少溫室氣體。

## (二)亞伯達省水處理場(Edmonton Water Treatment Plant)、水再生廠及其污水科研及培訓中心

此處收集艾德蒙頓市 86 萬居民的生活污水，現階段處理量可達每日 31 萬立方公尺，並有污水回收再利用供工業用水之實際案例。原經 EWMCE 中心 Dr. Yu 協助安排進場參訪，惟至現場時因現場下大雨，加上人員調度問題致無法進入污水場及水再生廠，僅就其污水科研及培訓中心模廠進行參訪，同時蒐集該水再利用廠的書面資料。

此污水處理場於 1996 年即建立三級處理設施，利用生物除磷脫氮(BNR)技術，以缺氧-厭氧-缺氧等程序來去除氮磷，1998 年添設高強度紫外線進行消毒後再排放至河川。本場區特色包括生物除磷脫氮、污泥發酵、沼氣利用、以薄膜過濾(UF)來處理污水後進行再利用、提供工業排放監測與培訓設施。

## (三)污水回收再利用案例

亞伯達省府於 2003 年實行”water for life”戰略，為保護流域水源能持續提供該省人民健康之淡水資源，協調管制灌溉及工業用水，不再核發水權，在無新水權之情況下，新建的石化廠或因設備製程更新而有水源需求者，則有尋找新水源的壓力，是以廢污水廠再利用亦開始有其需求。

而後當聯邦政府發佈將於 2006 年實行聯邦燃料管理條例，要求加拿大的石油公司需在煉油製程上減少含硫量，而此預計將更需要大量用水，於是加拿大石油公司(Petro-Canada)位在 Strathcona 縣的煉油廠於 2003 年起與艾德蒙頓市政府合作進行廢污水再利用之試驗計畫，試驗成功後，於 2004 年達成正式合作關係，雙方一起建設此污水處理場放流水之再生處理設備，以 UF 薄膜過濾技術來進行水回收再利用之處理程序，2005 年 12 月完成，透過 5.5 公里輸水管線將處理後的回收水送至煉油廠，提供廠內製程所需(煉油廠區再加裝 RO

處理後，作為產氫精煉及產蒸氣使用)及冷卻使用(30%冷卻塔用水)，減少從河流取水。

其合作模式為：興建部分由加拿大石油公司負擔所有基建費用(加幣 2,500 萬元)，固定資產歸相關市鎮所有；後續營運部分，因煉油廠駐地為 Strathcona 縣，其縣政府為確保廠商投資，固守其對區域夥伴關係和創新的環保措施的承諾，由其向艾德蒙頓市(污水廠營管者)購買再生水，並代表加拿大石油公司來操作和維護管線，提供再生水予煉油廠，同時也提供多餘的水給沿河谷的其他用戶，包括用於市政公園湖泊及池塘之水源補注、公園及高爾夫球場灌溉等。

原先該煉油廠只需要每日 5,000 立方公尺，2008 年增加為每日 15,000 立方公尺，皆可從污水廠供給，未來該廠還可增大處理量至每日 45,000 立方公尺。其他效益方面，經從污泥中發酵產生的甲烷可作為廠區加熱熱源，每年可節省 100 萬元加幣之天然氣費用。



圖 17 亞伯達省水處理場及水回收再利用廠空照圖

(來源: <http://www.gewater.com/>)

#### (四)心得短評

- 1.省會艾德蒙頓市因為石油工業蓬勃，為加拿大發展最快的城市之一，除了往前持續發展，亦重視所產生的廢棄物的資源再生利用課題。所謂東西放對位置便是資源，因此該省結合資源成立 EWMEC，推動廢棄物資源化與再生價值之研究，並積極將研究成果產業化。
- 2.本計畫效益甚大，除了市府達成提升污水場水質處理層級及河川保育之效，企業亦得到保障新水源、提升形象與聲譽，兩者互利雙贏，同時建立了永續發展之新典範，也因此獲得環境管理、工程規劃及永續發展等獎章。此為加拿大第一個利用 UF 回收都市污水供工業再利用的計畫，樹立企業與政府污水場供需雙贏之範例。

### 九、卑詩省大溫哥華管理局

#### (一) 大溫哥華管理局(Metro Vancouver, MV)

本行程由駐溫哥華臺北經濟文化辦事處邱組長陳煜協助安排，至 Burnaby 大溫哥華管理局參訪研習，研習過程陸續與政策與規劃部的資深工程師、操作維護部水處理及系統控制處資深工程師、品管控制處經理、集水區管理處工程師等人會面，由各接待人員簡報或協助說明該局管理工作。

本單位很特別，它介於省政府及市級政府之間，由溫哥華市及其附近 21 市鎮及 1 個選舉區、1 個原住民自治區共 23 單位所組成的政府部門，負責整合辦理水資源供應、下水道及排水、空氣品質、廢棄物管理、公園、區域發展、住宅等公用設施之建設及管理，組織由各市依人口比例推派市議員或市長來成立董事會(Board)，此董事會選舉一位主席來決定組織各事務委員會(committee，如水、農業、公園、住宅等等)及分派其成員，並從外界聘任一位管理者來領導大溫哥華管理局約 1400 名公務員，辦理相關公用設施之規劃、施工、營運、

管理、監測等工作，提出評估報告或建議方案，作為委員會和董事會進行管理及決策之表決依據，而每市每 2 萬人口有 1 票委任投票權，每位董事最多 5 票，2011 年共有 37 位董事代表大溫哥華管理局轄區 230 萬人來管理、決策這些公用事務。

決策過程除了各管理分支委員會之外，亦設立市政諮詢委員會及公眾諮詢委員會，前者組成各同盟的市政府及大溫管理局職員，負責提出建議方案予各管理分支委員會；後者組成不同觀點、不同領域之專家與顧問，就特殊議題提出建議。在市民參與的部分，可透過參加當地的市議會、大溫哥華管理局的管理分支委員會(有各地區的議員代表)表達意見，或參加大溫哥華管理局為計畫方案所辦理的 open house 公眾會議及工作會議等，或直接聯繫大溫哥華管理局的職員或主管表達意見。

大溫哥華管理局所設首長職稱 CAO (Chief Administrative Officer)，而一般中階主管之公務員都以 manager 稱之，期許發揮企業管理效能，而市議員們所組成的委員會負責最後政策決策並向所有同盟的市政府及市民負責，此制度即是希望能整合區域資源，做最好的調度與利用，並將民意納入決策系統，讓居民有參與決策、共同承擔的考量。

本單位原名為 Greater Vancouver Regional District (GVRD)，成立於 1967 年，初期全區服務人口只有 95 萬人，期間陸續有新市政府加入同盟，組織亦有所變革與調整，近幾年才改稱 Metro Vancouver (MV)，目前有 24 個市鎮加入(含原住民自治區)，服務人口已增至 230 萬人，而其服務的目標為以持續、創新的行動方案來達成區域的永續發展。

此單位之組織分工不是一般習以為常的淨水、污水或水質、水量方式分開管理，而是以階段任務為分工依據，例如以水資源來說，分為設施規劃部( Utility planning department, UP)、工程與建造部

(Engineering & Construction, E&C)、操作與維護部(Operation & Maintenance, O&M)等，每一部門底下再分處，例如 O&M 部底下再分 water treatment & systems control、systems operations、watershed management、wastewater treatment 及 quality control division 等處。

而在水資源供給之分工部分，大溫哥華管理局負責開發水源，以及淨水處理，然後供應至各加盟的市政府成員，再由市政府負責供水至家戶及工業用水者。各市政府以批發價向大溫哥華管理局購水，然後再向終端用戶收水費，約 0.7~1 元加幣(因各市區位、季節而不等)，詳見下節說明。目前家戶用水量約為每人每日 325 公升，若含家戶、工商業、農業等用水量及系統漏水量則約為每人每日 580 公升。

此供水系統為北美最大的供水系統之一，共有 6 個壩、22 個配水系統水庫以及 15 個加壓站，超過 500 公里的供水幹管，主要水源包括 Coquitlam、Capilano、Seymour 等 3 個集水區(如圖 18)，面積超過 2,600 平方公里。

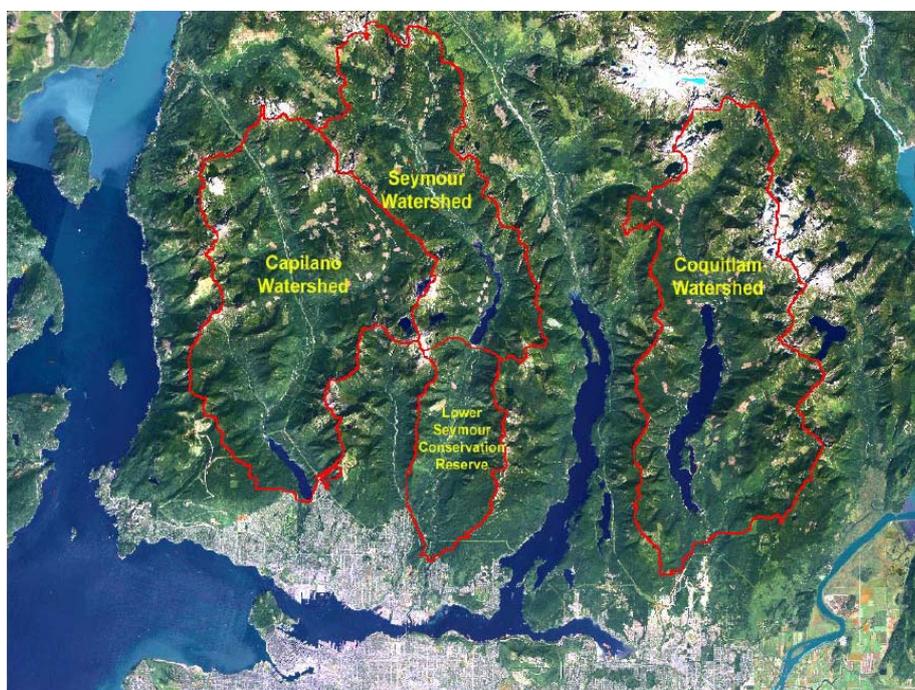


圖 18 大溫哥華管理局轄管 3 個集水區

1999 年增設 the Westerly Transfer 引水設施後，可以強化 3 個集水區水源間的彈性調度功能，以解決因暴雨產生的高濁度供水問題。

大溫哥華管理局目前亦正辦理連通 Capilano 及 Seymour 兩水源的淨水雙隧道，連通彈性 2 集水區之管，隧道減少山林破壞，將水源運送到 Seymour-Capilano filtration plant 加強處理(圖 19)，同時更新 Coquitlam UV 消毒設備，這 2 項工程預計 2013 年完成，將可降低濁度、有機物、重金屬及致病菌之生成，同時減少消毒副產物(DBPs)之生成，如 TTHMs、HAAS 等，可使區域供水更加穩定與安全。

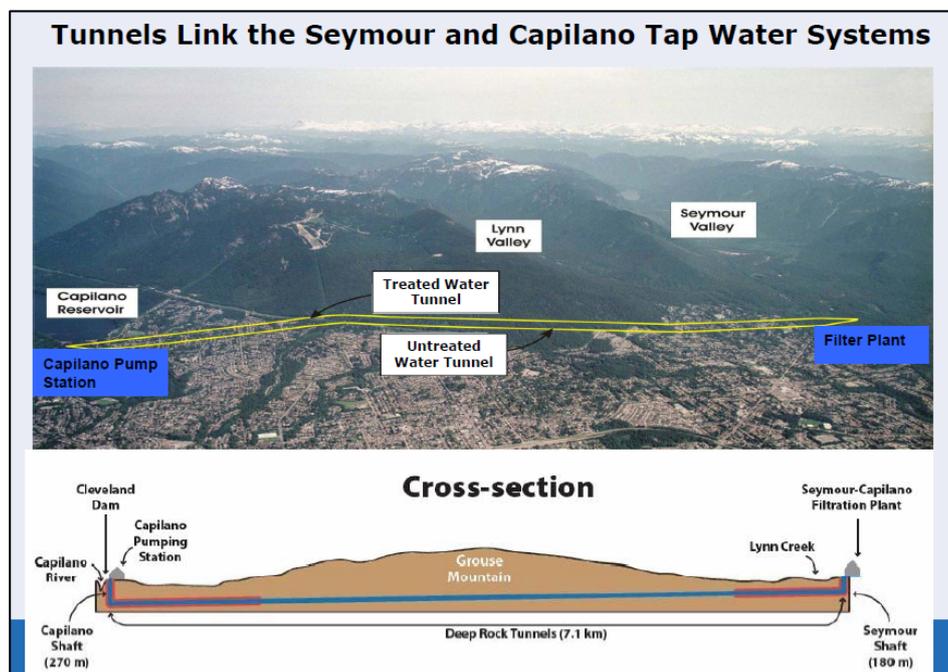


圖 19 Seymour 和 Capilano 兩水庫淨水聯通隧道

特別有印象的是，「永續發展」對這裡的員工來說，不只是口號而已，最近他們首長很重視將永續發展的理念納入實際的工作內容裡，因此該單位有系統地針對永續發展課題來規劃教育訓練課程，從外界聘請各式各樣的講師來為員工上課，此為該單位相當引以為豪並深具特色的地方。

## (二)飲用水管理計畫

大溫哥華管理局負責 23 個市鎮地區供水，因此定期提報飲用水管理計畫供各成員市政府了解。此飲用水管理計畫每 2~3 年提出進展報告，以確保此區域在未來 25 年裡，可以符合區域的供水需求與永續發展。

## 1. 願景

大溫哥華管理局希望能達成人們的渴望—擁有充滿文化活力、經濟繁榮、社會正義的優質生活，人們可以在美麗、健康的自然環境下得到滋養與教化。為達此願景，需要秉持永續的原則、堅定的承諾，努力讓現在及未來世代都能擁有安康福祉與健康地球。

此飲用水計畫將透過水資源在處理、供水、保育方案的投資，來增加供水穩定度，提升水質，透過公共建設之管理、水價結構調整、資源整備創新，確保未來符合用水需求及永續。

本管理計畫之主要目標有三：

**(1) 提供乾淨、安全的飲用水：**

**(2) 確保水的可持續利用**

**(3) 確保水資源的有效供給**

在各目標底下各有其執行策略與具體行動方案，需在 2 年內規劃核定，在計畫核准後 5 年內完成。底下分別就各目標之策略、方案略作說明。

## 2. 策略與行動方案

### 目標一：提供乾淨、安全的飲用水

**策略一：採取風險管理機制，從水源、供水系統到用水端使用多重把關方式，以保障水質。**

行動方案：

(1) 根據集水區管理計畫(watershed management plan) 持續管理集水區保護水源水質

(2) 完成 Seymour-Capilano filtration project

(3)從源頭到用水端之持續水質監控，並利用監控資料促使消毒系統最佳化，透過其他維護計畫持續保育水質。

(4)改善 Coquitlam 水源前處理之消毒程序以防隱孢子蟲 (Cryptosporidium)。

過去此淨水廠使用臭氧作為初級消毒，蘇打灰防止腐蝕，二階消毒採用氯，但發覺會有微生物污染風險(梨形鞭毛蟲 (Giardia)及隱孢子蟲)，新研究建議前消毒改以 UV 紫外線較能改善此問題。

### **策略二：經營管理集水區以提供乾淨安全水源**

#### 行動方案：

- (1)以最低的人為干預來經營集水區，使自然過程自然發生。
- (2)監控集水區之溪流、水庫水質、火災風險等，降低水質污染風險。
- (3)回復因人為活動造成的擾動，不必要的道路不再開放，以減低崩塌和侵蝕，降低維護成本。

### **策略三：確認及保證此區域的其他額外供水能力。**

#### 行動方案：

- (1)執行相關計畫以改善水質、提升供水能力。包括 Seymour-Capilano 過濾計畫、設立 Capilano 加壓站以增加水庫供水能力、增加 Coquitlam 水源淨水廠規模、建造新的 Coquitlam 水源取水口等。
- (2)藉由 Coquitlam 水源區管制與操作，增供 Coquitlam 水源量，並擴增 Seymour 和 Capilano 集水區的貯存能力。

#### 效能評估：

- 最佳前處理消毒(primary disinfection)供水百分比，以 100% 為目標。
- 處理水樣本的總菌落數(total coliforms)所佔百分比，越低越好。

➤ 處理水樣本的大腸桿菌數(E. coli bacteria)目標無檢出。

## 目標二：確保水的可持續利用

### 策略一：永續地使用飲用水

#### 行動方案：

- (1) 以具有成本效益和可永續性的經濟分析來比較需求管理方法，並發展教育方案促使人們改變行為以永續地使用水資源。
- (2) 致力調整水價結構以反映長期的區域供水的邊際成本。
- (3) 促使地方法規的一致性與整體發展，減少冷卻水用完即丟的浪費，要求水的設施應新建造及創新。
- (4) 促使地方法規的一致性與整體發展，以改善「缺水應變計畫」之執行與強化。

### 策略二：促使水質符合使用標的之需求

#### 行動方案：

- (1) 與下水道與排水部門完成 Annacis wastewater treatment plant pilot reclamation 計畫，評估廢污水回收再利用於工業用水之潛勢。
- (2) 與健康管理部門合作，修訂省級健康法規，允許家戶及商家使用再生水作為非飲用使用。

過去每人每日之家庭與工業用水量約有 580 公升，其中只有 10% 才真正需要用到飲用水等高等級的水質，其餘沖廁、洗車、澆花等用水，都無需使用到飲用水品質，此顯示在減少浪費、改善用水效率上仍有大的改善空間。

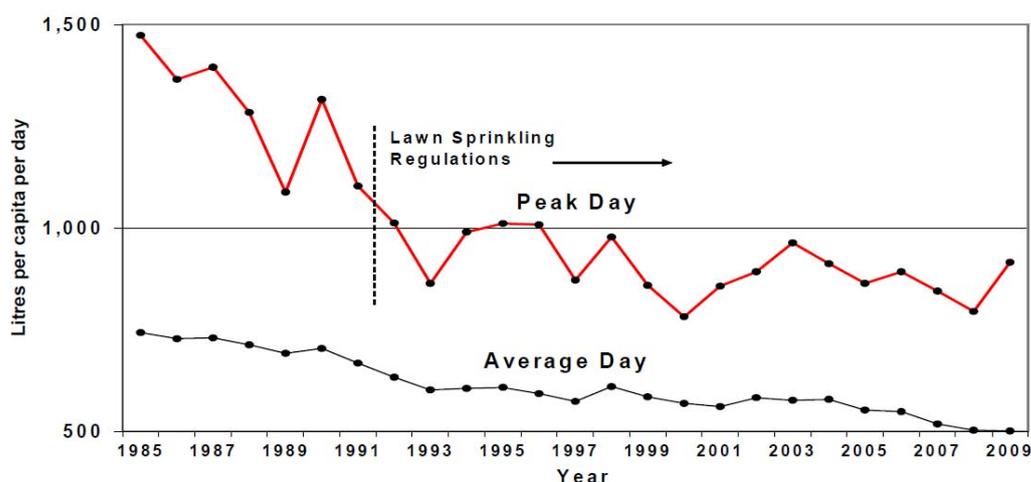
- (3) 與商業組織及 NGO 團體加強推動廢污水再生與利用。

後續評估：大溫管理局將研究各種可替代飲用水的可行性，例如儲存於屋頂水槽的雨水利用於灌溉、以河水或海水提

供濱水區的企業使用等。

### 效能評估：每人每日用水量的尖峰量與平均量

大溫管理局轄區每人每日尖峰及平均用水量如圖 20，包括所有用水人在家、工作、學校及系統漏水量之統計資料。根據統計分析，尖峰用水量與夏天氣候狀況連動性甚高，例如 2003 及 2009 年是乾熱夏季，尖峰用水量明顯上升；2000 年則是濕冷夏



季，尖峰用水量即下降。而自從 1992 年夏天開始實行草坪澆灌規定，可降低尖峰用水的 25%。

圖 20 每人每日尖峰及平均用水量(含所有用水者)

若以 2004 年平均每人每日用水量分別與卑詩省其他地區、加拿大及美國相比，則大溫管理局的用水量仍分別低了 12%、7%、13%。

另外，由於平均日用水量與全年氣候連動性，以冬季每人每日用水量之分析可以了解當戶外用水量最低時之用水趨勢，此時用水量與氣候較無關連，以月使用量作統計圖如圖 21，可以看出每年皆呈 1% 之下降趨勢。而自從 2005 年執行飲用水管理計畫後，冬季每人每日用水量每年約減少 2%，此乃由於：

- 馬桶沖廁水量從 1995 年的 20 公升，降為 2005 年的 6 公升(飲用水管理計畫)、再到 4.8 公升(2010.10)
- 法規要求使用更有能源效率及用水效率的設備。
- 在學校企業界及公眾的水資源保育推廣計畫。改善水量計量設備及減漏方案之成效。

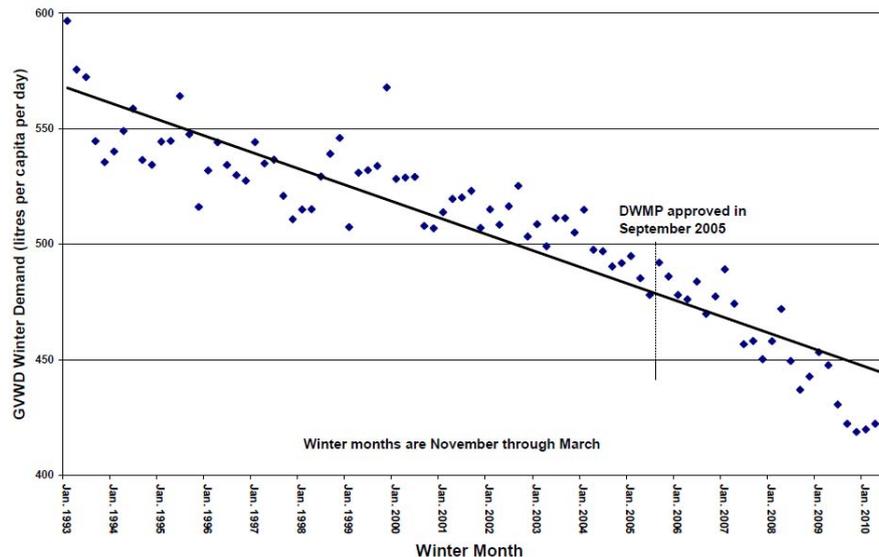


圖 21 冬季每人每日用水量(以月計)

### 目標三：確保水資源的有效供給

策略一：管理相關供水設施，確使供水符合成本效益、具可靠性和可持續性。

#### 行動方案：

- (1) 在維護與整備資產時，結合資料庫使決策最佳化。
- (2) 更新老舊設備，提供合適的服務水準，降低漏水。
- (3) 滲漏之確認和修復方案，降低漏水的操作方案之執行(例如降低操作壓力)。
- (4) 使用資產之全生命週期評估以決定設施的整備。

(5)成立資產管理準備基金，確保資產管理之永續經營。

後續評估：在規劃與執行過程中，遵循永續原則。

**策略二：經由有效的結盟合作使供水能力最佳化。**

行動方案：

- (1)在符合已批准的「成長管理計畫」下，大溫管理局的規劃與建造計畫應促進符合人口與經濟活動之成長。
- (2)提出一個確認與執行改善方案，以改善大規模的水量計量系統確保服務品質。此因預算與水價將明顯增加，需要改善水的計量系統。
- (3)從 2006 年開始執行季節差價，2008 年夏季水價是其他季的 1.25 倍，因夏天供水成本較高，差額水價更符合公平原則。
- (4)逐步增加操作的準備金，增加年操作預算 15%，以因應不尋常的氣候變化和售水不佳時之營運影響。

後續評估：再評估澆灌規定，可減少尖峰用水量之 10%

大溫管理局預算：隨著區域人口成長與需求增加，相關必需的處理設施亦有所成長，圖 22 為大溫管理局預估的每人平均預算，隨著年度增加及新供水設施之完成而上揚。例如為符合新的處理需求，2004 年新建的 Seymour- Capilano 過濾場建造費為 8.2 億加幣，因此該年度預算大幅增加，此亦為供水能力之效能指標。

大溫管理局水費：大溫管理局提供批發價給加盟的市政府，每立方公尺 0.2 元加幣(2003 年)，因夏季降雨量少、供給少，但需求多，自 2006 年起依照飲用水管理計畫採季節性差額水

價，2010 年尖峰夏季為 0.56 元加幣，離峰季為 0.45 元(如圖 23)，各市政府再向終端用水者收取 0.7~1 元加幣(因各市區位及季節不等)，此水價仍低於西雅圖(1.23 元)、卡加利(1.25 元)、艾德蒙頓(1.56 元)、多倫多(1.89 元)<sup>5</sup>。

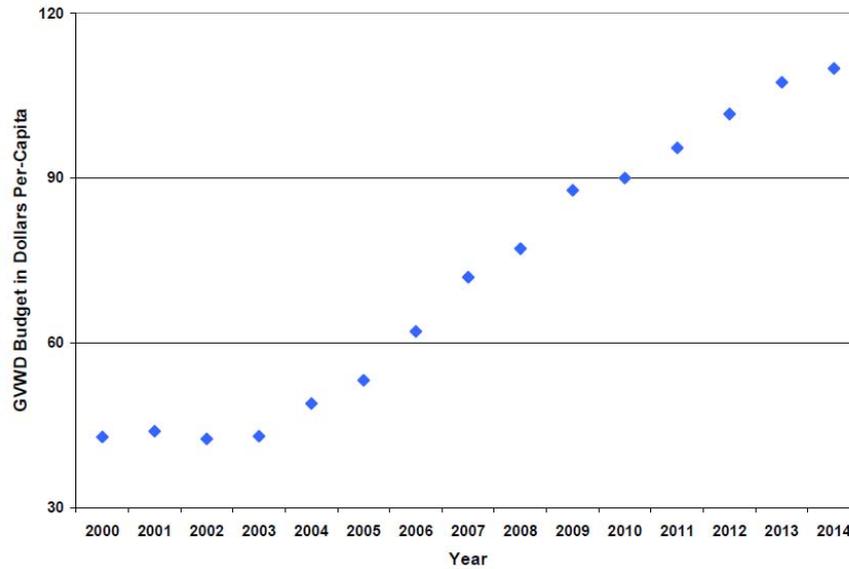


圖 22 大溫管理局預估每人每年預算分配趨勢

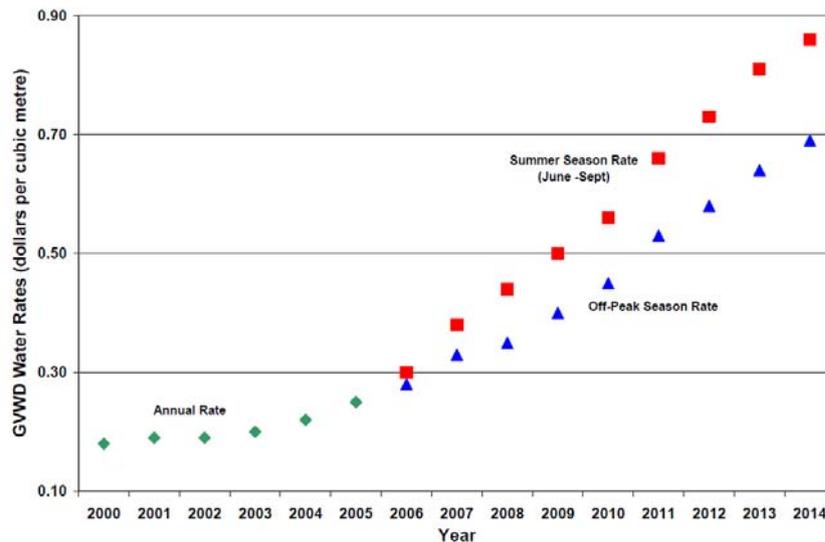


圖 23 大溫管理局預估水價趨勢

<sup>5</sup> 參見參考文獻 5。

漏水指標：設備漏水指標現在每年的損失量與不可避免的每年損失量。可呈現水資源經營之狀況，但因為在大面積的地底測量漏水受限於技術限制而不易量測，是未來可加強關注的工作。

### 3.其他有關飲用水管理計畫之行動方案

(1)2008 年大溫管理局因應新的水質過濾場計畫完成上場，調整向各加盟的市政府的水費為 0.37 加幣(2003 年為 0.2 元)，折合台幣約 11.1 元。

#### (2)草坪澆灌管理規則：

由於大溫地區的雨季是秋冬兩季，夏季可供水量少，但需求多，根據圖 24 顯示，在夏季的用水量幾乎是冬季的 2 倍，但降雨量卻最少。根據統計，大溫地區的草坪及公園澆灌用水佔夏季用水量的三分之一，為使需求不超過水庫蓄水與供水系統負荷，是以大溫管理局自 1992 年推動草坪澆灌管理規則。

每年夏天從 6 月 1 日到 9 月 30 日，住家地址是偶數者，澆灌草坪時間是周一三六的早上 4 點到 9 點；奇數者澆灌時間為周二四日的早上 4 點到 9 點之間。非住家地址是偶數者，為周一三早上 1 到 6 點，奇數者周二及周四的早上 1 到 6 點，所有非住家亦可於周五的早上 4 點到 9 點進行草坪澆灌。該規則希望以這種方式錯開尖峰用水時間，並以研究結果來推廣，鼓勵大眾每周只要 1 小時的澆灌即可符合大部分的庭園需求。

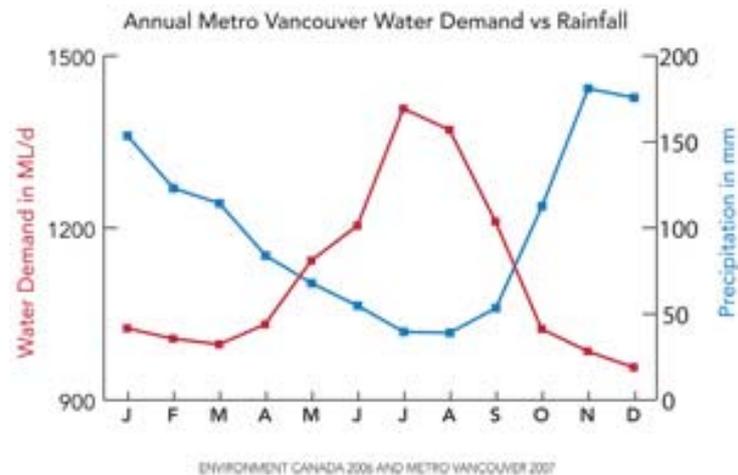


圖 24 大溫地區降雨及需水之時間分布

#### 4. 調適管理

隨著區域成長與改變，水資源之管理科學與公眾價值亦隨之變化，飲用水管理計畫亦須有所動態修正，調適管理方法需要隨著每 2 年的進展報告提出，並且每 5 年提出一個綜合修正報告。

#### (三) 集水區管理計畫

目的：經營和保護集水區成為大溫地區最重要的自然資產，以提供乾淨、安全的水資源。

原則：集水區管理策略應該以生態敏感、非不必要之最小程度干擾為基礎，遵循底下 5 個原則：

1. 大溫地區集水區主要目的為提供乾淨安全的水資源。
2. 集水區應該經營以促進區域的環境管理之託付，保護這些土地和其生態多樣性。
3. 區域管理計畫應該以盡量不需要干擾以達成管理目的。
4. 管理計畫應該包含讓受人為干擾的區域回復其自然面貌的

政策，持續其保護水質的主要目的。

5. 決策過程應該公開透明，讓民眾了解。

#### 管理策略：

1. 調適管理：大溫管理局將透過階段評估與逐步調適之管理方式，確保集水區之管理能符合計畫目標與原則。
2. 符合目的的集水區設施開發：根據管理計畫的目標與原則，辦理開發經營工作。
3. 自然系統之回復：恢復被人為干擾前的自然面貌，包括水道、道路，以保護水質。
4. 支持與水質安全、環境品質一致的自然過程：允許森林必要之演替、動植物交互作用、森林野火、自然侵蝕等，除非已影響水質和公眾安全才介入，因自然演替過程能提供生物多樣性的生態環境。
5. 以研究、監測、公眾參與來經營管理。
6. 成本效益管理：在大溫管理局有限預算下，執行集水區管理策略與方案，透過成本效益之管控，達成管理目標。
7. 提升符合省級管理策略和政策：透過規劃、營運作業之立法與政策，達成維護集水區生態至較嚴格之標準。

#### 執行方案：

1. 水體監控預測：確認集水區持續提供乾淨安全的供水。
2. 森林生態系統管理：減少對森林生態系統之人為干擾。
3. 火災管理：當需要確保水質、保護公眾安全與資產、維護空氣品質時需壓制野火。
4. 侵蝕控制：在供水系統之前減低泥砂沖蝕之影響。
5. 道路：減少集水區的道路數量。
6. 水系統設備：提供設備作為水源之儲存、傳送、處理，以保育集水區資源發揮最大效益。

7. 溝通與教育：以環境友善、負責、成本效益方法來維繫大溫管理局管理水資源的信心與信任。
8. 集水區安全：每年僅於夏季某段日期開放接受預約申請的集水區導覽活動(watershed tour)，並進行環境教育，其餘時間封閉集水區，以減低微生物、化學污染物和火災發生風險。
9. 緊急應變：執行緊急管理計畫以減低集水區與鄰近土地之潛在威脅。

集水區規劃過程：規劃內容與執行方案涉及公眾、利害關係者、市民和政府單位，需每 5 年修正，執行計畫則應以動態式評估每年適時檢討修正，即時調整，規劃過程如圖 25。

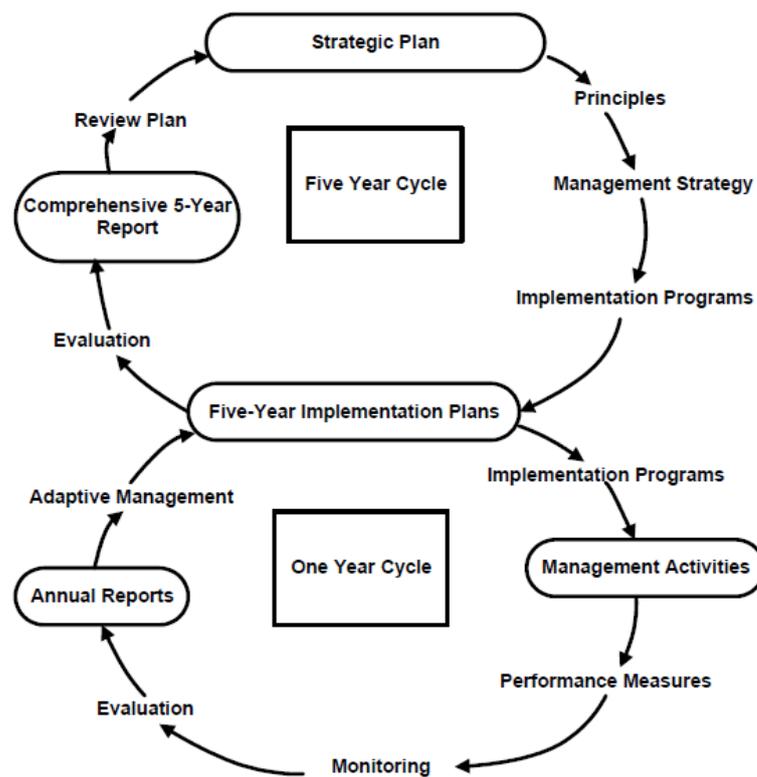


圖 25 集水區規劃過程示意圖

#### (四)現地參訪 Seymour-Capilano water filtration plant

現地參訪大溫管理局新建完成的 Seymour-Capilano water filtration plant(如圖 26)。這座過濾淨水場位於北溫哥華山區，自 2004 年開始興辦，歷經多年規設及環評過程，建造緣由乃因卑詩省之水資源雖然水量充足，但近年來此地的問題是水質有惡化之虞，附近 2 座水庫的沉砂變多，造成原水濁度上升，所以興建本淨水場。

此場處理量 1800ML/d，採用雙層砂濾系統及 actiflo 套裝系統，設計多重把關機制，包括將附近集水區封閉、整合供水調度管網系統、加強監控及品管系統，過程採用臭氧及 UV 消毒以減少氯的使用，管線並採用 soda ash 控制腐蝕，95% 污水都進行回收。



圖 26 Seymour-Capilano 過濾淨水場鳥瞰圖

整廠設計參採多項永續理念，包括開發過程盡力保留原來大樹、利用地熱、能源回收系統、採用 eco-smart 混凝土、屋頂綠化、場區雨排水利用管理、綠建築 LEED 設計，換句話說，在考量設施及營管的永續性以及綠色發展下，現階段的初設成本不是他們決策的衡量標

準，能更永續地使用、有精進空間及發展趨勢之考量，才是其設計選用的準則。

本場之設置目標與效能是希望降低濁度、有機物和致病菌，並減少系統末端的加氯殘留量，減少 DBPs-TTHMs、HAAs，以提升用水口感及健康。

在大溫哥華，其淨水場和廢水處理場都是由公務人員自行操作管理，少有私人營管，預算由各市政府提撥給大溫管理局，由於公眾對水質要求越來越嚴苛，此處人員非常注重品質控制。參訪時，解說人員除了進行簡報說明之外，也很熱心地進行現場操作，包括實驗室利用界達電位計檢測混凝膠體粒子的 zeta potential，以確保混凝加藥效果，並展示過濾系統的反沖洗程序。

由於此場位處北溫哥華山區，四周皆是大片森林，也有健行步道，因此曾引起 NGO 及山下民眾反對，後來他們辦了多次公聽會溝通，盡力讓民眾了解水場改善水質的目標、價值與整場採用符合綠建築標準的永續設計理念，才通過民意及環評審查。

#### (五)心得短評

- 1.大溫哥華管理局統籌 23 個市鎮機關之公用設施供需，將可供資源集中管理，組織靈活，並重視民眾溝通，網路資訊亦十分完備。
- 2.感覺上大溫管理局有很大的使命感與企圖心，希望在公用設施(水資源、排水、空氣、廢棄物管理、住宅等)的規劃與管理上，除了滿足轄區內用戶的生活需求之外，還能走在國際前端，將永續發展的願景真正落實到設施的規劃管理上，因此十分重視人員教育訓練，尤其在永續發展之理念與思維持續進行再教育與培訓。
- 3.雖然大溫哥華地區目前供水量已足夠，但除了積極強化用水安全的水質管理措施，亦開始為未來的水回收再利用作準備。
- 4.自從 911 之後，加拿大更重視各公用設施之安全維護，相關水庫、

集水區的保護更加嚴密。

## 十、安大略省政府水資源創新計畫

### (一)水資源創新展示計畫(Showcasing Water Innovation Program, SWI)

安大略省有 1300 萬人，98%住五大湖附近，75%飲用水為湖水，水資源豐富，但由於幅員廣闊，此區仍有社區面臨顯著的水資源挑戰，需要重建、投資水資產，為了未來的長遠發展，需要透過創新的技術方法以達成長期的設施永續和增加水資源的保育成效。

因此安大略省政府在 2011 年提出一個**水資源創新展示計畫(Showcasing Water Innovation Program)**，目的是為了鼓勵社會盡早採用創新、符合成本效益的方法和技術以促進水資源之整合與永續營管，其目標為設立一個基金支助安大略省有代表性的社群辦理水資源計畫(約 25 至 30 個計畫)，這些提案計畫必須符合幾項要點：

1. 能展示水資源之整合、永續性的技術、服務、策略、實際應用的計畫。
2. 計畫成果或產出需要是可推廣、應用於其他社群/社區的結果與知識。
3. 能展示經由夥伴參與、互助合作的正面影響力。
4. 提供一個能在實際社群裡具有市場潛力、成功的創新技術和應用的機會。

該計畫期程為期 3 年(2011 年 4 月~2014 年 3 月)，共提供 1700 萬加元(約台幣 5.1 億元)，每個核可的計畫最多補助成本之 50%，上限為台幣 3 千萬元，原住民區則可增至 90%。

補助的提案對象包括：市政府、市政組織法人、非營利組織(NPO)、公立研究機構、地方政府、保育專家、原住民社群及組織等，

其他不在此範圍內的技術單位、公司團體亦都可參與這些可提案單位，以夥伴關係參與計畫。

創新的水資源提案計畫之評選標準有：

1. 在社區內滿足水資源管理之需求。
2. 聚焦在整合型和具永續性的水資源管理。
3. 提案計畫對社區能產生財政收益之效益。
4. 使用新技術、創新的服務型態、策略或實際應用。
5. 至少要有一個合作夥伴。
6. 產生的結果及學習效益能應用於其他社群。

評選標準並根據申請案的合格度、完整度、社群種類區塊等進行排序，並透過評審團之專家平台由專家們給予修正建議。成功通過的申請案則可與省府簽訂資金補助合約。為了達到上述之效益，所有提案計畫尚需包含技術移轉計畫，以分享計畫結果與收穫心得，並需要自提績效考核計畫以評估效能是否符合預期。補助款以分期方式撥款，包括計畫開始撥第一期，中間符合省府審核的期中撥款，以及最終完成的尾款。

由於參訪時，此計畫正在評審提案，尚未公布最終簽約的所有提案，不過據承辦單位資料，已獲得審核通過的案例包括雨水貯集系統之開發、污水處理廠廠址最佳化規劃技術、公園之整合性暴雨管理計畫、學校設置生物過濾水處理系統示範計畫等。

## (二)心得短評

1. 我覺得此水資源創新計畫做法之立意與創意甚佳，水資源的研究或技術、方案可不限於由政府政策部門或研究部門提出，亦可向民間單位徵求構想與創意，援引民間創意，鼓勵創新、多元與永續概念之推行。

- 2.政府部門有很多計畫限於預算執行之壓力，往往得在一年內執行完成，這麼短的時間內實不易能有好的規劃品質，若能此以專案方式，突破預算執行時間之限，不施為一好方法。
- 3.省府在永續、創新之設定目標下，透過成立這樣的資金、平台運作，由各層級、各領域專家集思廣益，共同討論政策與推動計畫之優先排序及系統整合，並採行展示櫥窗之方式，亦增進後續的推廣效應，達到傳播應用之效，值得台灣辦理研究計畫之參考，惟若為基礎研究工作，仍應有專責單位長期投入。

## 十一、安大略省渥克頓潔淨水研究中心(WCWC)

### (一)研習內容

2000年加拿大 Walkerton 曾經發生飲用水處理不當，致發生大腸桿菌感染的致死事件，最終導致 7 人死亡，2300 多人致病，並引起社會恐慌。安大略省政府於此成立渥克頓潔淨水研究中心(Walkerton Clean Water Centre, WCWC)，目的為確保安大略省的飲用水安全。

此中心設有一模廠規模之淨水設施，並與一些單位進行合作，廠內亦有一些教育訓練之模組、設備或經費由企業提供，因此牆上掛有各合作廠商之企業標識，中心主要之任務為：

- 1.辦理飲用水系統操作人員及管理單位之教育訓練課程，包括從取水、輸送管線、管閥、採樣、飲用水水質、法規、消毒、檢驗分析、現場操作演練、維護保養等知識或技能進行教育訓練與培訓課程，此為該廠最主要的核心工作，同時亦有線上課程及行動訓練車，並有認證與收費機制。
- 2.與其他訓練機構合作辦理相關教育參訪。
- 3.展示先進的飲用水處理技術。
- 4.進行科學性研究、風險管理與決策分析研究。

據技術展示及研究部主管表示，安大略省面積廣大，各種淨水處理技術需要配合實際現況需求調整，因此在各地區飲用水系統亦有多種組合設施，該中心辦理訓練對象也包括偏遠地區的原住民小型飲用水處理技術、操作員訓練，是一個可以實地動手演練訓練的場所，此處也協助對企業及公眾辦理水資源處理及相關教育解說，亦常有高中及大專院校學生參訪。此處也歡迎預約申請技術導覽(technical tour)。

由於安大略省有很多湖泊是飲用水來源，所以該中心也針對湖水的翻轉效應、湖水中沉澱物的物化、生物反應機制及消毒副產物 TTHMs 的去除機制進行研究，亦針對隱孢子蟲(Cryptosporidium)、梨型鞭毛蟲(Giardia)等飲用水微生物以及個人藥品(PPCPs)等新興污染物之水質處理進行調查研究。

## (二)心得短評

1. 該中心設立的目標、任務明確，除了作為操作員講習與實體訓練之場所，並結合研究與教育展示功能，具有多功能使命，尤其往下紮根的教育工作更是水資源永續發展的重要一環。
2. 用水安全為一相當值得重視之議題，其衍生的消毒副產物 TTHMs 之研究在台灣亦有多年的研究，值得持續重視。同時應重視環境賀爾蒙等新興污染物之污染問題，關注飲用水中之微生物、大腸桿菌等水質安全。
3. 台灣目前為推動新興水源，亦規劃過水資源回收中心水再生試驗模廠、海水淡化試驗模廠等，但礙於經費、用地產權、上位目標不明確而尚未有實際設置案例，但筆者認為如此可以永續經營、常年辦理水資源教育與訓練之場所實有需要，可結合水質試驗需求、研究需求與環境教育功能，並將展示系統擴及水文循環、水資源發展演進、水利工程介紹、水資源保育等整體水循環之教育來展示，完整呈現水環境之珍貴與水源經營之不易，將是很有教育意義的工作。

## 十二、水利產業Hatch公司

### (一)公司簡介

Hatch 公司為全球著名之專業技術服務公司，企業總部位於安大略省 Mississauga 市，公司業務領域甚廣，包含採礦、能源、公用設施(水、交通、設施服務)等領域提供計畫與工程管理服務、工程設計、施工管理、採購、專家諮詢、運轉服務等。全球設有 65 個辦公室，員工人數達 9000 人。

Hatch Water 事業群則提供客戶有關水資源的整合與創新解決方案，包括設計、建造、委任、統包工程等，專業亦擴及環境與社會影響評估、規劃、流程設計、替代能源等。專業技術應用於下列領域：淡化技術(含熱能技術與薄膜技術)、淨水處理、廢污水處理、水再生利用、能源回收、油水分離、零排放(Zero Liquid Discharge)、地表水管理、發展創新技術等，全球海淡部門位於匹茲堡。

### (二)技術說明

本研習由 Hatch 公司全球海淡部門執行長 Mr. Goodboy 針對該公司在海淡技術之經驗，說明海淡廠規劃設計相關關鍵技術，包括取排水系統規劃技術、前處理規劃、海水逆滲透(SWRO)、能源回收、後處理與環境影響等關鍵議題，簡報及說明內容摘要如下：

#### 1. 取水與排水系統設計

(1) 海淡廠設計關鍵在於進流水水質，其應注意事項：

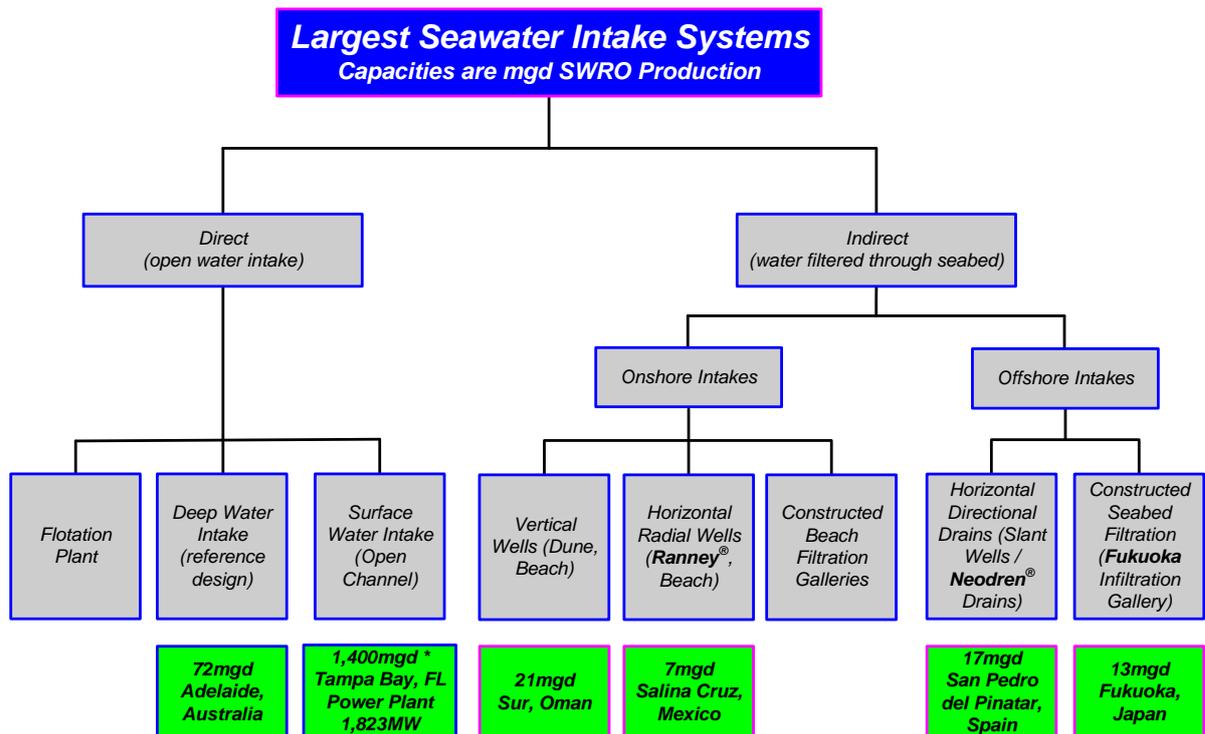
- ❖ 應評估海水溫度與鹽度之季節變化
- ❖ 取排水深度
- ❖ 海洋潮流、潮汐、波浪、風與暴潮
- ❖ 附近河流、廢污水處理排水
- ❖ 附近電廠取排水之影響
- ❖ 港口、漁船交通

❖ 藻華與水母等生物干擾事件

(2) 取水型式

目前海淡廠取水型式相當多元，需視當地地質條件、水文條件、環境生態等來個別規劃，主要有直接取水與間接取水 2 種，如表 5。

表 5 海水取水系統型式



- (3) 一般取水位置應於最低潮位以下 10 公尺，但過深則將水溫將降低，降低薄膜通量，每低 0.7 公尺將增加 1psi 泵壓。
- (4) 因海水溫度使藻類及水母滋長，明渠取水漸少使用。
- (5) 為減少生物干擾，一般進水速度小於 0.15m/s
- (6) 要避免藻類其他光合植物及有機物，取水深度應有足夠之考量。
- (7) 在環境影響面上其技術之排水溫度增加量應小於 1°C，濃度增加量小於 5%。
- (8) 使用銅鎳合金可比鋼類更減少貽貝類及藻類附著。

## 2. 前處理設計

- (1) 逆滲透前處理是全海淡技術最關鍵的設計之一。
- (2) 近來有關逆滲透前處理、藻類、水母和透明外聚合物顆粒(TEP)是前處理階段值得重視的問題。此因海水溫度逐漸增加，藻類及水母在世界各地都有增生趨勢，有些水母能長至 2 公尺、220 公斤，此皆可能毀壞淡化設備，澳洲、以色列、美國、印度、菲律賓等都曾有電廠因為水母被吸至取水口而當機。除此之外 TEP 這種黏性聚醣體亦常會造成前處理設備阻塞。
- (3) RO 前處理於 2000 年後以 UF 較多，2004 年更急速增加，因為比傳統混凝法可節省 SWRO 機組規模，整體價差不大，前處理設計不當是 SWRO 機組故障之主因，分析如圖 27 所示。

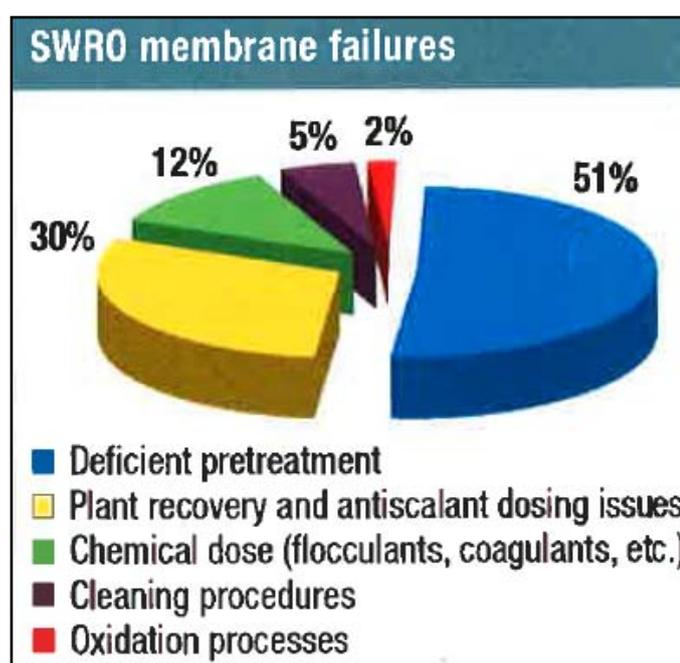


圖 27 海淡 RO 機組故障原因分析

- (4) 一般於 UF 前置溶解空氣浮除法(Dissolved Air Flotation)處理，可處理藻類問題，經 DAF/UF 處理後，水質濁度可小於 0.1NTU，SDI 可小於 2.8。

3. UF 可降低 Transparent Exopolymer Particles (TEPs) 和其他阻塞物，增加膜通量，故能降低 SWRO 廠的 23-26% 機組規模。
4. 溫度與膜通量之關係如圖 28，若以全球平均海水溫度 15°C 為參考點，在 29.08°C 時之薄膜通量約為 15°C 時的 1.4 倍。因此進水溫度變化範圍對逆滲透薄膜之處理量有很大之影響，規劃設計應重視。

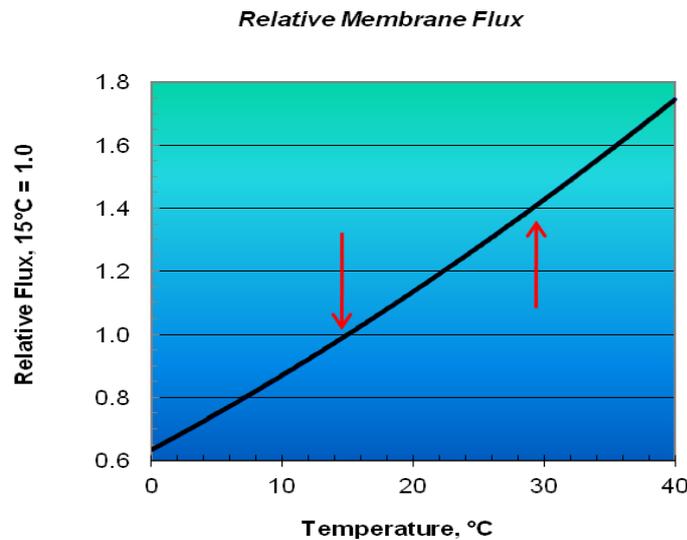


圖 28 不同水溫與薄膜通量之關係

### 5. 海淡技術與能源回收

- (1) 薄膜技術的革新可以降低操作壓力，處理更高的 TDS。
- (2) 現今新海淡廠已有 95% 高效率幫浦，已有公司發展新的 SSD 一段離心高壓幫浦，能在 42.3% 回收率、TDS 4 萬 mg/L 下，高壓迴路之能耗只有 2.64 kWh/m<sup>3</sup>(Turks and Caicos 廠)。
- (3) 海淡產水方式趨勢
  - ❖ 熱能技術用於有廢蒸氣時或者有高鹽度進水，以熱能與薄膜技術、區位條件、處理目標等綜合評估出最適合、最符成本效益之解決方案。

- ❖ 以前中東地區大部分以熱能蒸餾方式(多效蒸餾法 MED、多級閃化法 MSF)為主，但近年因 SWRO 能耗降低，濾水效能大幅進步，最近的海淡廠大都採用 SWRO 或 2 種方式之結合。如圖 29 之趨勢分析。

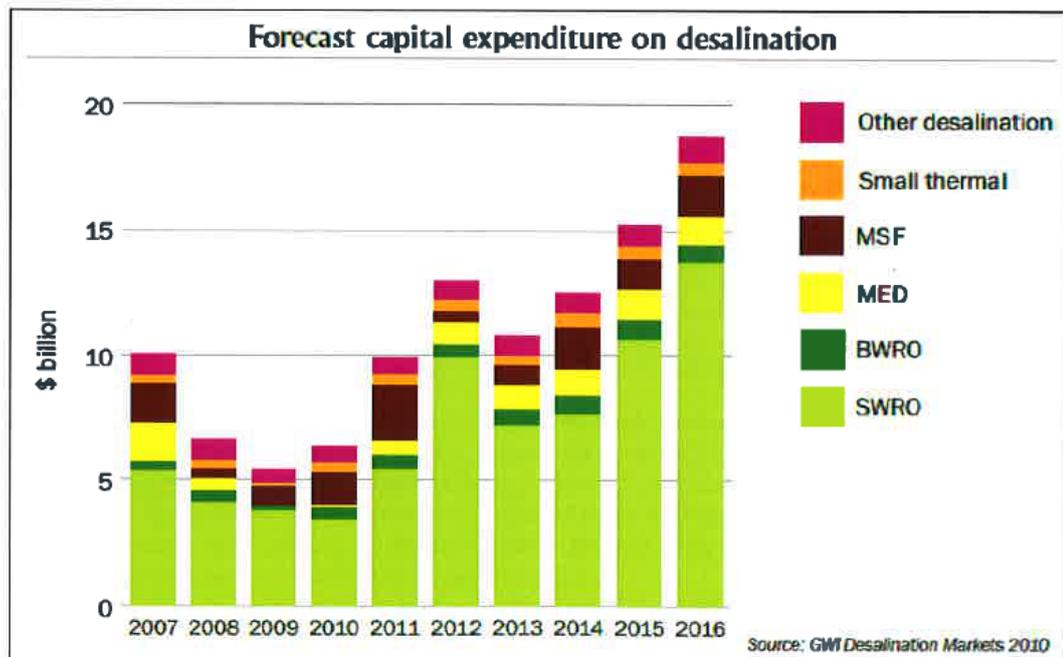


圖 29 不同淡化系統資本支出趨勢

#### (4) 最新管線技術

- ❖ 以鋼管取代延性鑄鐵管，因抗腐蝕性較佳且成本已接近
- ❖ 塗料亦從水泥砂漿改為 polyurethane (PU)
- ❖ 使用熔結環氧使壓降降低，同時減少腐蝕
- ❖ 使用空中雷射掃描，提供連結 GPS 的數位資訊
- ❖ 在下坡處裝設能源回收渦輪機

#### (5) 能耗降低的原因

- ❖ UF 前處理設備改善
- ❖ 低能耗的 SWRO 膜技術發展
- ❖ RO 膜組間設計(ISD)
- ❖ 能源回收裝置(ERDs)

- ❖ 超高效率幫浦和馬達
- ❖ 變頻驅動(VFDs)
- ❖ VFD 的熱幫浦/控制室

6. 國際水質規範：世界衛生組織(WHO)先前的硼標準濃度為 0.5 mg/L，近來已修正為 2.4 mg/L，美國環保署二級飲用水標準為 5 mg/L。

#### 7. 淡化後處理之再礦化技術

海淡水末端處理可以熟石灰加二氧化碳形成碳酸氫鈣，提升 pH 值，減少管線腐蝕性，並增加飲用水之可口度。



#### 8. 替代能源-風力與太陽能

近來有些海淡計畫會結合替代能源，而 Hatch 在風力與太陽能亦有廣泛技術能力(光電流與熱能)，該公司在加拿大愛德華王子島安裝了 V90-3MW 風力系統，為北美最大電力模組原型(一般個別風力渦輪機為 1.5~2MW)，現已完成超過 150 組風場計畫，超過 300MW。

該公司完成至少 25 個太陽能計畫，供電容量 100MW。在澳洲太陽能有時與風場和海淡廠結合，太陽能能以光電流型式產電或以太陽熱能轉能於流體方式於 400°C 產生蒸氣利用。

9. Hatch 公司近年代表性。實績列於表 6，可從其實績看出一般海淡廠之規模、產水種類趨勢等資料。

表 6 海水淡化相關工程代表性實績

年份	地點	種類	內容
2011~	智利	SWRO	統包建造，4 萬 CMD 海淡廠，100 公里供水管線
2011	智利	SWRO	統包建造，5 萬 CMD 海淡廠，80 公里供水管線
2011	南非	SWRO	統包，0.3 萬 CMD 海淡廠
2009~2010	澳洲布里斯班	再生水	設計、建造高級水處理廠 6.6 萬 CMD，南半球最大的再生水計畫。
2009~2010	南澳阿德萊德	海淡廠	取排水、廠址結構、抽水站與能源回收等系統工程。
2010	西澳 Preston 岬	SWRO	建造、委任 14 萬 CMD 海淡廠
2009	新蘇格蘭	--	統包，0.5 萬 CMD 海淡廠(SWRO)+7.5 萬 CMD 取水設施+0.2 萬 CMD 海淡廠(BWRO/EDI)+6.5 萬 CMD 排水設施。
2009	澳洲	MED	先期研究 180MW 結合太陽能循環電廠包括 1 萬 CMD 海淡廠
2009	美國佛羅里達坦帕灣	多階段處理	先期試驗、先期工程、設計、採購、安裝、委任。(multi-stage spent liquor 處理廠)
2008	美國佛羅里達坦帕	SWRO	細部設計、計畫管理、翻新改善，10 萬 CMD 海淡廠。為北美洲最大海淡廠，與電廠共構結合取排水。
2007~2009	智利	SWRO	統包，27.5 萬 CMD 海淡廠，202 公里供水管線，以創新設計橫越沙漠。
2008~	保密	濃鹵水	鹵水濃縮、蒸發研究
2007	西澳	熱能海淡廠	0.72 萬 CMD 海淡廠套裝採購、技術諮詢與委任協助。

\*摘錄自該公司說明資料

### (三)心得短評

1. 國際上海水淡化技術已甚成熟，取水設施及前處理技術則為重要之關鍵技術，薄膜處理技術與能源回收效率亦日益精進，成本持續下降中。
2. 由於臺灣水價偏低，海淡造水成本相對較高(目前台灣本島規劃之海淡廠興建營運成本約每立方公尺 30~33 元，美國大型廠約 0.7 美元(IDA-2010 年)，但個案需視水質條件、財務分析條件、興辦方式、油電價格、土地成本、環評作業、輸水管線有無涵蓋等不同估

算條件而異)，先前規劃的本島海淡廠因與自來水價之差額負擔問題而影響推動期程。

3. 海淡技術涉及較多之能源使用，由於臺灣自有能源比例較低，此為台灣發展海淡之劣勢，在節能減碳之趨勢下，結合再生能源發展(風力發電與太陽能發電)應是未來趨勢，惟短期內以再生能源供給常態產水機組之穩定性仍具挑戰。
4. 在技術成熟、台灣環海、成本趨勢逐漸下降之情況下，臺灣的海淡政策尚可從 3 面向來衡量：(1)策略面：海淡水能提供靠山吃山、靠海吃海之空間分散式供水策略、(2)風險管理面：海淡水源可以減少因氣候變遷導致降雨異常的缺水風險、(3)產業面：輔助水利產業之推動任務、增加高科技園區供水穩定性等。

### 十三、水利產業Napier-Reid國際水處理公司

#### (一)公司簡介

Napier-Reid 國際水處理公司位於安大略省大多倫多地區的 Markham 市。Napier-Reid 為系統供應商，包括淨水處理、廢水處理之工程服務與系統設備等，提供工程、製造、安裝、現場支援與電控設計等，具有創新、服務與整合能力之優勢，能聚焦在符合成本效益、簡潔的安裝與容易的維護保養為設計核心。

1950 年設立至今已完成超過 2900 件業績，近來該公司有很多技術輸出的業務，特別是在美國、加勒比海、中南美洲、中東國家、東南亞、非洲、埃及、印尼、蘇俄及東歐等地，其中有些是加拿大政府或國際金融機構(如世界銀行)提供資金的計畫。

#### (二)技術說明及現地參訪 Greenbrook Water Treatment Facility

該公司在淨水處理有多項產品，可參考該公司網站介紹，僅簡要說明高級淨水設備--NR-RO(逆滲透)系統，此為飲用水處理之高級處

理設備，具有高回收率之特性(75~90%)，操作壓力 75~500psi，過濾 0.0005 micron 的粒徑物質，可去除 99.99%的大腸桿菌、病毒、隱孢子蟲及梨型鞭毛蟲等，其設備可去除粒徑分佈如圖 30 所示。

該公司的污水處理設施亦有多項設備，其中較具特色的生物處理系統包括適合處理 BOD 及營養鹽的傳統套裝設備--Batch 式的活性污泥系統(Sequencing Batch Reactors, SBR)、旋轉生物圓盤 (Rotating Biological Contactors, RBC)以及近來逐漸普及的薄膜生物反應器 (Membrane Bio-Reactors, MBR)等。

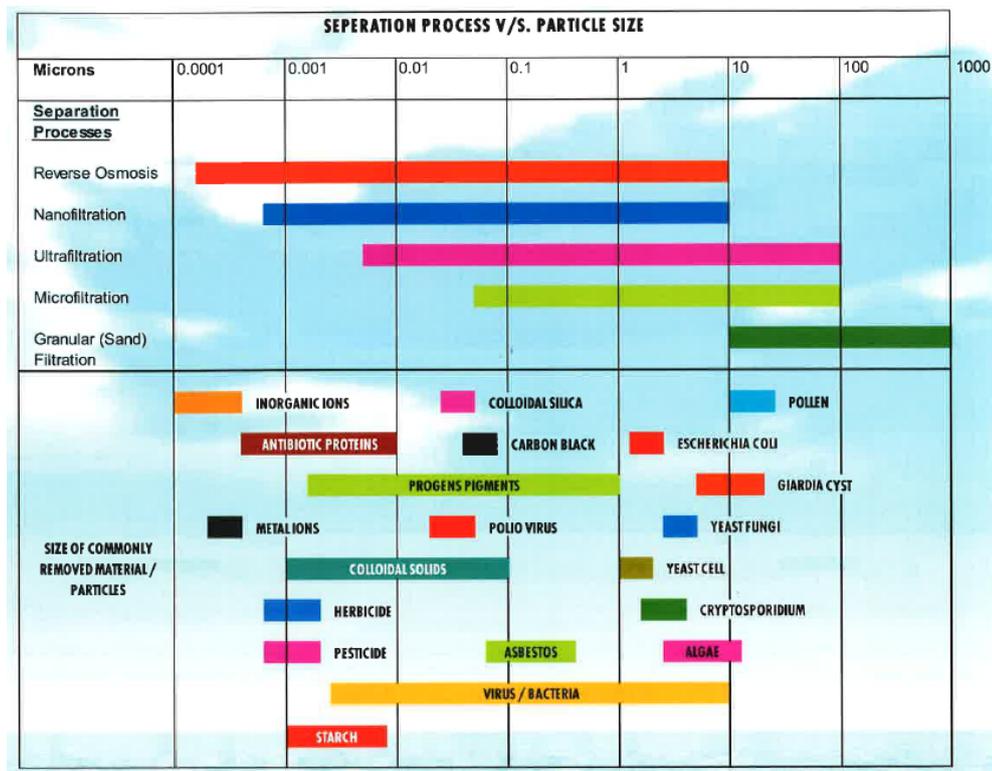


圖 30 各式過濾機制可去除物質之粒徑分佈

參訪 Greenbrook Water Treatment Facility：

參訪位於 Kitchener 的淨水廠，由於附近曾遭受地下水污染，從加油站滲漏 1-4 Dioxin，經過多次試驗研究後，利用 UV+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 高級氧化程序進行處理，藉由產生 Free radical 處理污染物質，H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 濃度約

為 20~30mg/L，殘餘 10 mg/L 需再以活性碳吸附去除，採用上流式處理流向可避免氣泡積留，本廠同時設計催化氧化系統可去除鐵錳。

### (三)心得短評

- 1.依據聯合國教科文組織於 2009 年發布的世界水發展報告指出，在 2030 年全球將有 47% 的人居住在容易缺水的地區。世界銀行亦提到 2030 年全世界的需水量將超過可供應量之 40%，可見水利產業是一潛力無窮之產業。臺灣雖有技術優良之水處理相關公司，惟因市場不大以及水價長期偏低，致發展空間受限，較少有自有的利基產品。近來水利署計畫透過將海水淡化、深層海水產業、水再生利用、小水力發電及溫泉產業納入水利產業推動計畫，並將現有水利設施之維修保養、更新替換皆納入，若能穩定發展，未來國內每年將有 1,000 億元之市場。
- 2.新興產業的發展需要有良善的環境，再配合市場機制，整個產業鏈才有發展空間與潛力。對水利產業而言，自來水價未能反映實際成本，致水的價值與市場機制被扭曲，是影響水利產業之關鍵因素。政府政策往往是影響產業發展的最大關鍵，需要創造與維護利於企業發展的良好環境，諸如法規制度、租稅優惠等以鼓勵新產業之穩定成長。
- 3.近來薄膜技術發展迅速，全球產值從 2003 年的 80 億美元增至 2008 年的 124 億元<sup>6</sup>，主要應用在水處理市場，舉凡 MF、UF、RO、MBR 等皆有廣泛應用，其中 MBR 市場成長甚為迅速，常應用在污水處理及水再生利用，主要用於美洲(43%)、歐洲(28%)、亞太(20%)、中東非洲(9%)等。未來的水利產業成長空間甚大，相關處理技術值得加強研發。

---

<sup>6</sup> 參閱經濟日報 2009.10.5 水再生利用專刊。

## 第參章 研習心得與建議

這些年，永續發展(sustainable development)的字眼常成為各行各業的目標或願景，聽多了反成飄渺的口號，但真正的願景不應只是空洞文字，而應是可以促使人們願意持續往前的力量與目標。法國作家聖修伯里曾說：「如果你想建造一艘船，別只叫一群人收集木材、分派任務和發號施令，而是誘導人們嚮往遼闊與無邊際的大海。」此說深切點出願景的價值與驅力。

本次研習實際走訪加國產官學研相關水資源管理與研究單位，深刻感受加國政府機關、企業界、學術界、研究單位等無不對水資源永續經營管理之工作目標抱有豐厚的使命與熱情。加拿大雖有得天獨厚的水資源，但卻仍能從積極管理之角度看待水資源，或許便是其能持續在國際世界保有風評良好的競爭力與國際聲譽<sup>7</sup>之特點與原因。

台灣自然環境與水資源境況雖與加拿大不同，但誠如聯合國在里約宣言所提「全球思考，在地行動」(Think globally, Act locally)理念，我們需要廣泛蒐集各國資訊，了解各方的管理思維與因應策略，參酌各國在過去摸索的過程與發展經驗，從其政策、組織、技術、人力、研究發展和行動方案中，找尋創新及符合永續價值之思維，並從臺灣環境特性中研析可以提供納入、參用的管理技術，以規劃符合在地、合宜適切的行動方案。

底下歸納本次參訪加拿大各單位之研習心得，並就台灣可以參考的創新思維與管理技術提出建議。

### 一、研習心得

#### (一)行政組織彈性以因應管理需求

由於加拿大屬聯邦政府，很多行政管理權在省府，加上加拿大幅員廣大，各省市之區域環境特性不一，因此賦予聯邦政府與

---

<sup>7</sup> 2011 年加國獲國際研究機構評為全球聲譽最佳國家。

省府持續組織改造之彈性。面對外在變動，政府部門需要在核心價值下保有彈性，尋求符合環境變化的管理方法，以應變新的挑戰。唯有求新求變的格局，才能迎接環境的變局。

## (二) 區域資源集中管理以發揮最大效益

卑詩省的大溫哥華管理(MV)在制度上彌補地方資源之不足，透過行政組織之創新，統籌環境資源之集中與分配，以使資源發揮更大效益，並著重管理效能之發揮與永續願景之行動。

## (三) 組織層級分工明確

加拿大聯邦政府主導科學研究，省府依據區域特性主導規劃方案，市府站在第一線執行與管理，管理層級組織分工明確，各有其專責屬性。水資源科技研究屬於規劃之前沿，需有專責機構來執行，加國即由國家水資源研究院來辦理，可專致於科學技術之研發與探勘，而省府則主導規劃及執行。

## (四) 重視用水效率之改善

1. 在農業用水上加強輸水計量與提升效率、灌溉技術、農糧安全、作物研究，以提高農業用水效率。
2. 在家戶用水管理上透過結構性、系統性之改變，以及行為、態度之轉變，以提升用水效率。

## (五) 水域系統整合管理

加拿大將水資源政策調整為永續經營管理後，管理對象從水量開發延伸到水質管理，再進階到生態棲地環境之完整性，以水域生態系統為關注標的與保育範圍，目前採水質、水量、水域生態系統之整合管理，持續進行水量量測、水質監控、水文測站調查分析。

由於水環境範圍廣泛，過去臺灣行政組織將水環境管理切成好幾塊，水質的部分偏向由環保署管理，水量的部分由水利署管理，水生態的部分偏向農委會，甚至一條河分上中下游，上游屬林務局轄區，中游為水保局，下游為水利署，由於權責分散，管理不易，缺少系統性的整合。

未來在氣候變遷之衝擊下，更需要強化系統之整合管理能力，俾提昇系統的強健度以面對不確定的衝擊。

#### (六)援引民間創意

政府提升效能方法之一是建置開放的環境與參與平台，設定待解決之問題與計畫目標，中間的解決方案則可援引外界民間的創意，透過鼓勵創新以達最終目標。安大略省於 2011 年提辦的水資源創新展示計畫(SWI)即為典範，可供參考。

#### (七)重視資源之珍稀與未來之價值

整體來說，加拿大雖有豐富的水資源，但體認到環境變遷對水環境之威脅日益嚴重，是以仍甚重視水再生之契機，成立專責廢棄物再利用之研究單位，積極研議水再生利用、廢棄物再利用之資源化、產業化研究，並結合產官學研整合資源，透過興辦水資源管理教育中心來強化資源保育教育，此在水資源相對豐富的加拿大來說，更令人感受其朝向永續發展之決心。

#### (八)重視跨學門、跨政府與民間企業之合作。

加國十分重視產官學研之合作，觀諸所參訪研習之各單位幾乎皆有以此合作模式辦理之業務，為此行很大的感想與特色。水環境問題十分廣泛，跨學門、跨單位合作可以集中各方資源與優勢，並可擴大後續研究成果之影響與應用層面。

#### (九)設立計畫審議平台

政策不應頭痛醫頭，腳痛醫腳，應以長期、整體之視野角度，尤其科專研究計畫，更需有長遠之系統化之籌謀。若能透過較高層級及領域之審議平台加以討論，重視研究計畫之系統性，排定政策優先，更能審視政策之優先順序。亞伯達省及安大略省都有計畫審議平台之作法，值得參考。

#### (十) 決策之時間空間尺度拉長

永續經營應看長遠，決策之時間尺度應超越現階段成本效益，決策之空間尺度亦應擴大，以水域生態系統為主，不再僅是供水端與需求端之管理。加拿大在 1995 年即開始在審計部審計長下設環境與永續發展委員長專責人員<sup>8</sup>，負責稽核政府施政計畫，作為是否符合永續發展之方向，稽核結果並向國會報告。換言之，在綠色成本尚不易被合理估算之前，任何工程或非工程管理措施之時間與空間之成本效益往往因無法被合理量化而被忽略，進而影響決策，在此缺陷下，需要行政部門更重視永續性的稽核。

#### (十一) 重視跨部協調、資訊共享與國際合作交流

加拿大工業發展早，又位處高緯度地區，受氣候變遷衝擊影響大，因此相當重視氣候變遷效應與研究。氣候變遷的衝擊為全球尺度課題，需要跨國資訊交流與合作。此外，此議題亦涉及行政機關很多跨部會業務，需強化跨部會協調與合作，此皆值得重視與因應。

---

<sup>8</sup> 參見參考文獻 15

## 二、建議事項

### (一)組織持續改造

由於臺灣的地理特性，水資源涉及土水林城等介面，往往跨及甚多不同單位權責，管理上更形困難與挑戰。有效的管理往往需要因時、因地調整，近年雖然啟動政府組織再造，但組織之改造不易一次到位，即需要有再漸進修正之彈性，加拿大之組織改造亦不斷因應調整，可供參考。

此外，由於流域土砂管理遍及上中下游，流域管理需要跨流域、跨資源之整合管理，長遠來看，仍需成立流域管理單位，並把水源、供水、淨水、廢水、河川管理等工作統籌。而在大五都成立後，臺灣國土已有大面積的直轄市區，應可修法賦予五都更大的權與責，俾依其各自的區域特性來發展水資源，中央則可專責水資源政策、法規與科學技術之研究。

### (二)加強水資源之基礎監測與調查工作

#### 1.加強基礎監測與調查

過去水利單位主以工程、個案開發為業務導向，因此對透過以法令規章之制定與行政手段之管理策略較不擅長，亦對基礎資料普查建置及前沿之科技研究較少聚焦投注預算與專責人力。而近年來每逢重大災害之後，亟需籌編上百億預算進行應急補強措施，但因此類作業往往需在短時期內趕工完成，在基礎資訊不足下只能治標不易治本。

如此經費若能平時即勻撥部分投資於相關基礎資料之監測與建置，從分析方法之建立與驗證、研究工具、基礎水文、水質、水體生態之量測上，建立通用格式之資料庫及資訊整合平台，此可提供學術界、產業界加值利用，以廣結外界資源，深入發揮科技應用、技術鏈結，從而推展產業等發展，可有長遠之效。

基礎調查研究猶如企業經營者之庫存與資產清點，應持續就資料不足的地下水或雨流量等水文監測基礎資料之建置，俾發揮管理之效，例如強化監測各河川水系之數位資訊、評估水資源之空間脆弱度、用水可得性評估、或對供水變化量、空間分布等建立系統圖資與遙測資訊，整合資訊之產出與易得性，可讓公眾”置身其內”懂得水資源之珍貴性，並認同水資源之開發與管理之重要，此為未來需加強的領域。

### (三)加強產官學研之合作

政府透過招標作業辦理研究計畫與大學、顧問公司合作；透過工程招標與工程界合作；但較少從概念發想、技術研發到完整的產業合作；但在加拿大各單位之產官學研合作現象卻很普遍。臺灣的氛圍常常擔心會有圖利廠商之情事，建議未來加強公開、公平制度之建立，針對廠商贊助、智財權保護、技轉規範、成果互利共享等事項健全相關法規與制度，才能鼓勵智力財力物力等資源之整合。

### (四)重視用水效率之提升

在工程開發不易下更需加強非工程措施之管理工作。包括農業用水效率之提昇、灌溉效率之提升。尤其在氣候變遷衝擊下之農糧安全課題，更值得投注心力。

在家戶用水效率方面亦應加強輔導水量計量設施驗證，管線更替之查減漏，持續提倡與研發省水設備之使用。

### (五)管理標的之進階：從水量水質到生態多樣性

過去水資源發展以人的需求為主，水資源開發策略為「以需定供」，以開發為導向。自從 70 年代美國率先將水資源策略轉為「以供定需」之管理導向後，各國逐漸亦以此為導向，但在面對多變與不確定性提高之此時，仍尚有不足。

從國家環境資源管理之角度來看，未來水資源保育範圍亦應跨越過去專注的工程業務範圍，不限於傳統的水資源主體(如水庫、河川、地下水等)，而應統整水環境或水生態為範圍，保育對象應擴及水環境生態系統，除了水量水質之外，水體棲地環境及生物多樣性都是水資源保育工作之核心，也是環境永續發展之方向。

#### (六)成立水資源科技研究之專責單位與系統整合平台

科技研究計畫為國家未來發展之需，具有前瞻性、非立即性之特色，需要有中長期的系統概念，透過研究、試驗，多方發想、嘗試，再漸漸聚焦，才能找出一些前瞻曙光、創新技術與管理構想。國家經費與人力不應全放在急迫性工程建設，平時即應有專責單位人力和籌編預算投資在對未來的探勘上，透過有系統之籌謀，才能在荒漠中開拓嶄新的契機。

是以水資源之科技發展需有長遠、有系統之研究單位，作為研究整合與系統發展的平台與核心，未來可長期著重於用水安全課題之研究、供水技術與效率之研發、氣候變遷對水資源之衝擊、提升輸配水系統之效率、新興污染物對供水之影響、飲用水消毒副產物及微生物處理、水處理淨化技術、水生生態系統評估、河川長期保育研究、水庫水質管理與污泥資源化、地下水污染流佈等調查技術，並對相對衍生的智財權、專利權以及產業化加強研究。

#### (七)興辦水資源教育中心

教育是紮根的事業，為利水資源的長遠發展，應設立一個可以常年辦理水資源教育與訓練之場所，可結合污水或淨水設施、各種水質試驗空間、研究需求與環境教育功能，並將展示系統擴及水文循環、水資源發展演進與保育等整體水循環，完整呈現水環境之珍貴與水源經營之不易，將是很有教育意義的工作。

## (八) 與國際接軌之需求與準備

### 1. 與國際接軌之需求

水資源原屬區域尺度問題，但氣候變遷之衝擊則已屬全球性議題，需要有專責單位人力與國際接軌。根據「2050 人類大遷徙」<sup>9</sup>作者研究指出，未來加拿大等環北極海國家將成為世界新經濟體與移民天堂，加國雖與台灣自然環境背景不同，但可加強相互交流，就氣候變遷資訊之掌握、氣候變化對水資源之衝擊及水資源管理、用水效率提升、用水之水質安全研究等課題加以合作，台灣並可提供在土砂管理防治之經驗。

### 2. 為國際化預作準備

臺灣雖礙於國際政治現實局勢而難以擴大國際交流，但在全球化及環境問題巨觀化的氣候變遷衝擊上，水利工作漸趨無國界，加國對台灣面對的水資源挑戰亦十分感興趣，臺灣可加強網站資訊之整合，以更全面性與系統性之呈現供外界了解，其他相關之英文簡介、能提供的服務優勢等都能透過網站呈現台灣的問題與專業。

## (九) 永續願景行動化

此次研習深切感受到，在加拿大，永續發展已不是口號，加國政府已把永續化為實際信念，透過種種作為付諸實行，並透過審計單位之稽核逐步修正政策方向，例如提升用水效率之種種管理措施、廣推節水節能之綠建築、執行水再生利用、廢棄物之資源化、組織彈性化、政策整合化、研究跨學門跨部會、決策尺度拉長、甚至著手推動碳排放權交易制等等，這些行動已然超出傳統以益本比作為計畫決策之依據。

---

<sup>9</sup> 「2050 人類大遷徙」作者為 UCLA 地理學家羅倫斯史密斯，其研究亦曾被收錄聯合國 IPCC 第 4 次報告。

因此，面對新時代氣候變遷之衝擊與挑戰時，臺灣亦需在永續經營管理之願景下，在水資源的政策規劃與推行策略上有更開闊的高度、廣度和精度，持續發展符合台灣環境特性之水資源永續營管概念、原則、最佳管理技術、政策和方法之整合，提升內部資源管理與外部交流合作之能量，並付諸行動，投資未來，以強化面對水環境變遷的風險管理能力。

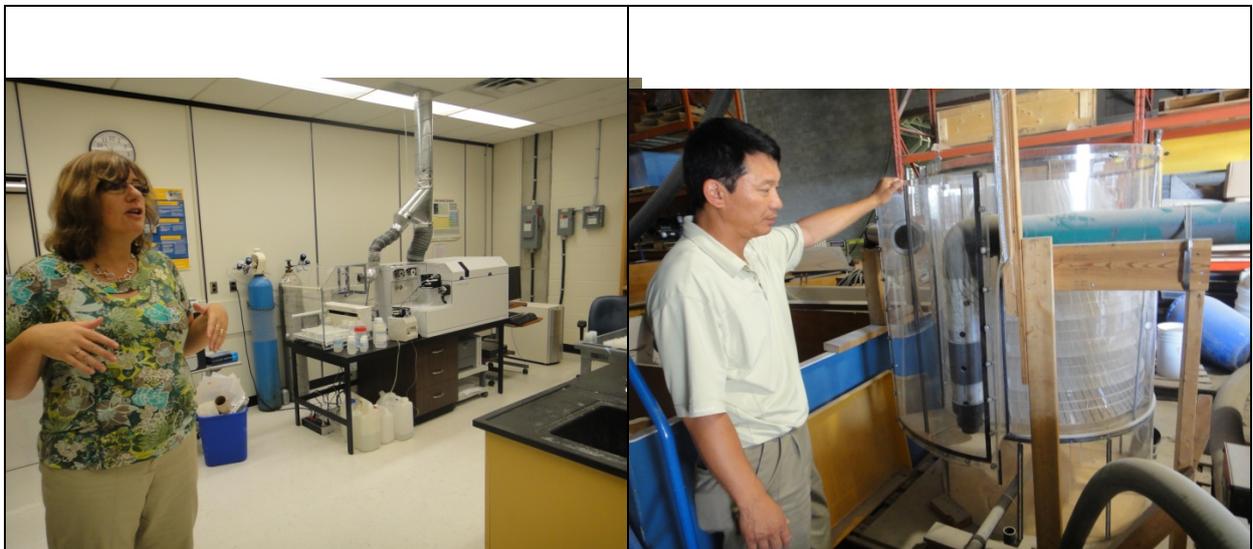
## 參考文獻

1. Government of Alberta, 2010, “Albert Irrigation Information”.
2. Greater Vancouver Regional District, “Taking care of our region, every day”.
3. Metro Vancouver, 2011, “Action Plan”.
4. Metro Vancouver, 2011, “Drinking water management plan-working draft.”
5. Metro Vancouver, 2010, “Progress report for the drinking water management plan.”
6. Metro Vancouver, 2007, “Drinking water management plan.”
7. Metro Vancouver, 2002, “Watershed management plan.”
8. The City of Calgary, 2007, “Water Efficiency Plan : 30-in-30, by 2033.”
9. <http://www.ec.gc.ca/>
10. <http://www.ene.gov.on.ca/environment/en/index.htm>
11. <http://www.epcor.ca/en-ca/>
12. <http://www.metrovancouver.org/Pages/default.aspx>
13. <http://www.waterinstitute.ca/>
14. <http://www.wcwc.ca/en/>
15. 行政院國家永續發展委員會，2011，2011 永續發展國際論壇講義
16. 經濟部水利署，2009，水資源科技長期發展計畫之規劃
17. 經濟部水利署，2010，水利建設因應全球氣候變遷白皮書

## 附錄一、參訪照片



照片 1 拜會聯邦政府環境部水資源永續管理組進行業務交流



照片 2 國家水研究院人員講解國家實驗室設備及分析作業

照片 3 國家水研究院 Dr. He 講解水力試驗設備及相關研究



照片 4 與卡加利大學 Dr. Habibi 等教授於 ACWA 合影



照片 5 參訪卡加利市 Pine Creek 水管理中心及 ACWA



照片 6 亞伯達省農業部灌溉發展中心現地參訪



照片 7 亞伯達省農業部水管理專員 Nitschelm 講解管流計量試驗



照片 8 亞伯達省農業部灌溉發展中心試驗展示場



照片 9 Lethbridge 大學水資源研究中心人員講解河川魚類水工試驗研究

照片 10 Lethbridge 大學水資源研究中心人員介紹中心研究現況與設備



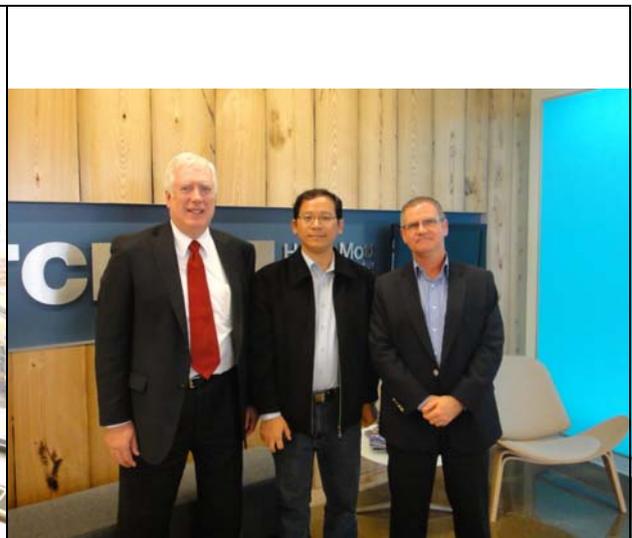
照片 11 亞伯達省卓越管理中心之污水科研及培訓中心與 Dr. Shouhai Yu 合影



照片 12 參訪亞伯達省卓越管理中心水處理試驗模廠



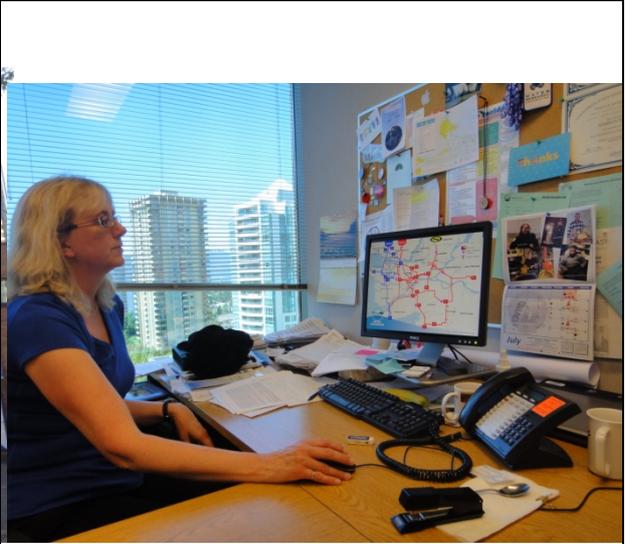
照片 13 與亞伯達省水資源研究所計畫執行長 David Hill 合影



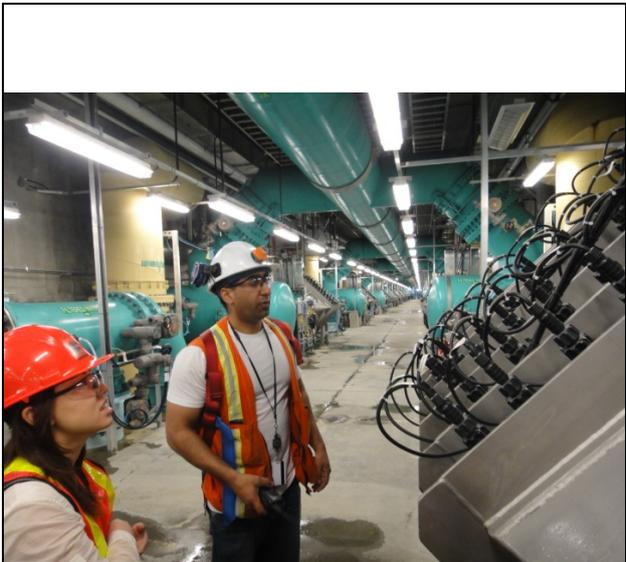
照片 14 與 HATCH 公司全球淡化部門主管 Mr. Goodboy 及亞洲區水務主管 Mr. Russell 合影



照片 15 至卑詩省大溫哥華管理局總部參訪



照片 16 大溫哥華管理局資深工程師講解水資源現況與集水區管理



照片 17 參訪大溫管理局設計興建營運之 Seymour-Capilano filtration plant



照片 18 參訪 Napier-Reid Ltd. 設計建造的 Greenbrook Water Treatment Facility



照片 19 北溫地區 Seymour-Capilano filtration plant 參訪



照片 20 Seymour-Capilano filtration plant 過濾池反沖洗操作



照片 21 Seymour-Capilano filtration plant 之淨水過濾處理



照片 22 Athabasca 冰河因全球氣候暖化而每年融溶退縮



照片 23 至安大略省環境部研習水資源創新計畫-大樓充滿綠意的前庭



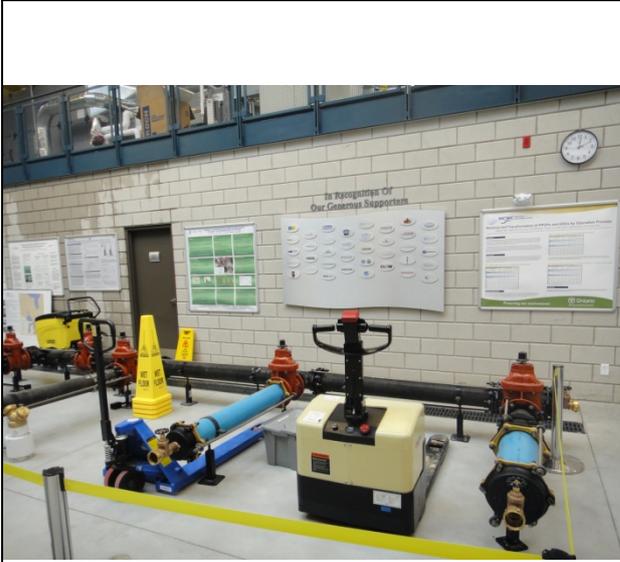
照片 24 與安大略省環境部負責推動水資源創新計畫的創新分部主管 Mr. Nino 與 Miss McMurray 合影



照片 25 渥克頓潔淨水研究中心廠房建築外觀



照片 26 渥克頓潔淨水研究中心內部淨水設施



照片 27 渥克頓潔淨水研究中心教育訓練設備(牆面中為贊助廠商名錄)



照片 28 與渥克頓潔淨水研究中心技術展示與研究處主管 Devendra Borikar 合影