

## 美國家庭用水量結構監測實例分析

工研院 ■ 王先登

### 一、前言

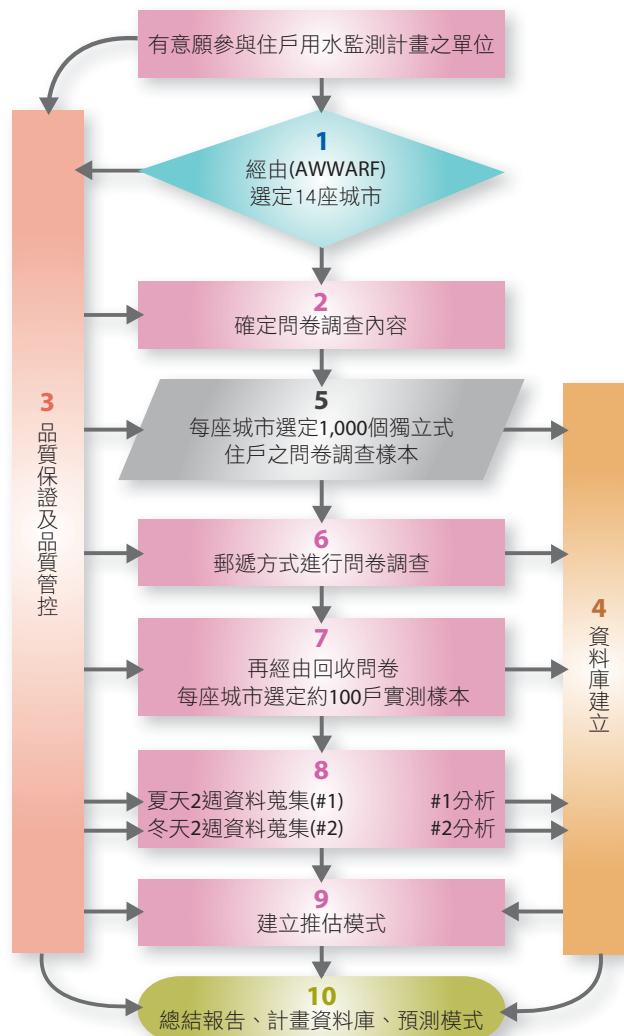
由於各國水資源環境、雨量、水文環境、氣候型態、季節、區域、居住型式、城鄉差距、庭院大小、家庭收入、常住人口、用水習慣、住屋年齡、水價高低、供水壓力及省水器材使用比例等情況均有所差異，因此家庭用水量與其結構亦有所不同。各研究文獻指出，為了解實際家庭用水情形，各國均透過問卷調查與實際監測方式進行比較分析。然各案例規模大小有所不同，其中以美國水務協會研究基金會(AWWARF)1996年至1999年於美國及加拿大地區，針對1,188戶獨立式住戶所進行之用水量監

測案例最具規模。本文擬針對此案例之重點內容加以說明，提供作為國內推動相關計畫之參考。

### 二、研究步驟與流程

為使研究計畫推動順利，AWWARF在執行過程中針對參與研究團隊之責任及義務、研究對象之選定、問卷調查內容之設計、資料蒐集與分析之方式及推估模式之建立等，均依循所規劃的步驟與流程（如圖一），且為避免干擾因素影響研究結果，各步驟均採行品質管制與品質保證(QAQC)等原則。茲將其重點說明如下：

計畫研究步驟與工作流程圖



(一) 由 AWWARF 邀請加入研究計畫，參與單位多為各區域之水公司，參與者須投入經費及提供區內相關服務性工作。此計畫涵蓋美國及加拿大六大區域14座城市，又可歸納為12個研究地點(Study Sites)，包括：

1. 西海岸區域：加州San Diego，Walnut Valley，Las Virgenes，Lompoc等城市
2. 西南區域：亞利桑那州Phoenix，Scottsdale，Tempe等城市
3. 西北區域：華盛頓州Seattle，奧立岡州Eugene等城市
4. 落磯山區域：科羅拉多州Boulder 及 Denver等城市
5. 中西部/加拿大區域：多倫多Waterloo，Cambridge等城市
6. 東南區域：佛羅里達州 Tampa

(二) 此計畫進行除實際監測用水狀況外，亦包括寄送住戶問卷調查，為確保回收問卷調查之可信度，住戶選定是依各城市所有獨立式住戶之用水戶數，扣除空戶及不正常用水住戶後，按用水量高低排序，然後依電腦隨機比例方式選出約1,000戶左右寄送問卷。

(三) 問卷調查之內容經過計畫諮詢委員會(PAC)審查同意，問卷內容共分A4紙8頁，共含41個問題，涵蓋範圍甚廣，包括戶內用水、戶外用水、用水設備種類、用水人口、用水習慣及供水情形等地理因素，問卷作答時間約需10-15分鐘，回收問卷目標訂為25%，由於加強追蹤工作，實際回收狀況各城市均超過此目標。

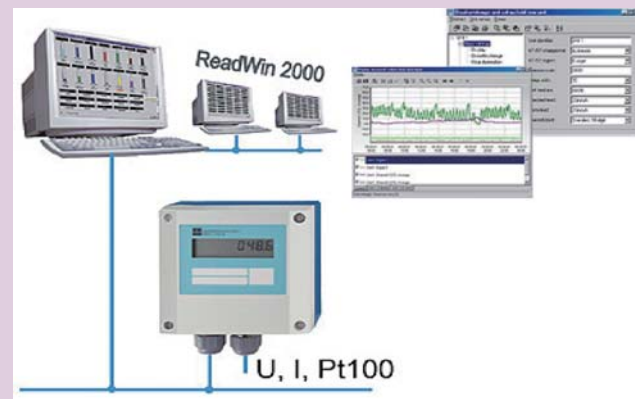
(四) 為確保家庭用水量實測值之可信度，各城市從回收問卷中再依住戶房價及收入等因素排序，並依電腦隨機取樣方式選定約100戶，作為本計畫之實測樣品，進行資料蒐集器(Data logger)之安裝。

(五) 本計畫所使用之資料蒐集器係來自Brainards公司所生產之Meter Master(如圖二)，其為一特殊之資料蒐集器，可安裝於現有磁感應式水表上(Magnetic Flow Meter)，此資料蒐集器每10秒可蒐集一筆資料，總計每一住戶共監測四周(其中兩週在夏天，兩週在冬天)，此兩星期每戶可監測超過12萬筆資料，此計畫總計監測1,188戶，完成後可得資料共2億8,740萬筆。

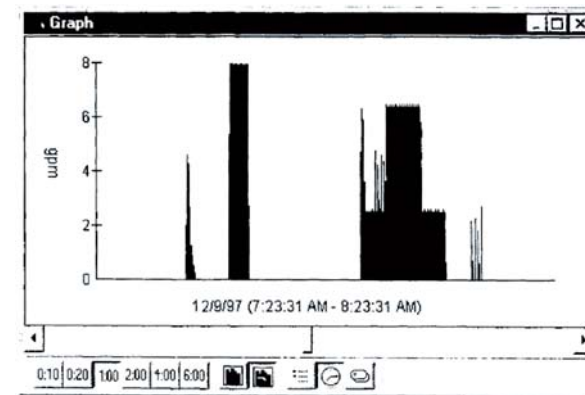
(六) 本計畫所使用之電腦分析軟體為Aquacraft Inc.公司所發展之流量追蹤分析系統(Flow Trace Analysis)，此系統可將資料蒐集器之資料，依各用水設備之用水量特性進行分析(如圖三)。



圖二 Meter Master 之資料蒐集器 (Data logger)



圖三 Aquacraft Inc 發展之電腦軟體分析系統



圖四 電腦軟體流量追蹤分析系統顯示2小時用水分析圖

以圖四為例，此電腦軟體分析系統可將資料蒐集器之資料，依各用水設備之用水量特性進行判讀(早上7點至8點)，得知此1小時內共有一次馬桶沖水、一次多重循環之洗衣機用水及一次沐浴用水。

(七) 採用此實際監測方式之優點包括兩方面：

1. Data Logger可安裝於既有水錶上(需為磁感應式水錶Magnetic Flow Meter)，因此不需要太多水錶安裝工作。

2. 此方式完全不需要進入住戶內，不影響住戶用水習慣，也不因安裝過多水錶而使供水壓力下降，而導致資料偏差。然而此方式所需資料蒐集器及電腦軟體分析系統較貴，且住戶水頭低於8M之低壓系統恐不適用。

### 三、結果比較分析

(一) 每人每日用水量(LPCD)分析比較

由表一顯示，此12個研究地點之每人每日用水量，以華盛頓州之Seattle 216公升最低，最高則為奧立岡州 Eugene 316公升，相差達46.3%(如表一)。

(二) 每人每日戶內用水量分析(公升/日)

由表二顯示，各研究地點戶內用水量依各用水設備而有所不同。例如馬桶沖水，以Eugene 86.7公升最高，Las Virgenes 59.4公升最低。而漏水現象則以Scottsdale & Tempe 達66.6公升最為顯著，Boulder 最少僅12.9公升(如表二)。

表一 每人每日用水量(LPCD)分析比較表

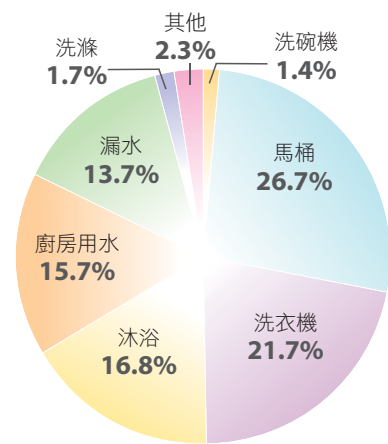
城市名稱	監測住戶數量(戶)	平均住戶用水人數(人)	平均每人每日戶內用水量(公升/日)
Seattle	99	2.8	216
San Diego	100	2.7	221
Boulder	100	2.4	248
Lompoc	100	2.8	249
Tampa	99	2.4	249
Walnut Valley	99	3.3	257
Denver	99	2.7	262
Las Virgenes	100	3.1	263
Waterloo & Cambridge	95	3.1	267
Phoenix	100	2.9	294
Scottsdale & Tempe	99	2.3	308
Eugene	98	2.5	316
總計12個研究地點	1188	2.8	262

表二 每人每日戶內用水量分析比較表 (公升/日)

城市名稱	馬桶	洗衣	沐浴	廚房	漏水	其他	臉盆	洗碗	合計
Seattle	64.7	45.4	43.1	32.9	22.3	0.0	4.2	3.8	216
San Diego	60.0	61.7	34.1	40.9	17.4	1.1	1.9	3.4	221
Boulder	75.0	53	49.6	43.9	12.9	0.8	5.3	5.3	245
Lompoc	62.8	57.9	42.0	37.5	38.2	3.4	4.5	3.0	249
Tampa	63.2	53.7	38.6	45.4	40.9	1.1	4.2	2.3	249
Walnut Valley	68.1	53.4	44.3	46.6	28.8	8.7	3.8	3.0	257
Denver	79.8	59.0	48.8	39.7	22.0	1.9	6.1	4.5	262
Las Virgenes	59.4	63.6	43.1	42.4	42.4	4.2	4.9	3.4	263
Waterloo & Cambridge	76.8	51.9	31.4	43.1	31.0	22.7	7.2	3.0	267
Phoenix	74.2	64.0	47.3	36.3	56.0	8.3	4.5	3.0	294
Scottsdale & Tempe	69.6	54.9	47.7	42.4	66.6	18.9	3.4	4.2	308
Eugene	86.7	64.7	57.2	45.0	51.5	0.4	5.7	5.3	316
總計12個研究地點	70.0	56.8	43.9	41.3	36.0	6.1	4.5	3.8	262

(三) 獨立式住戶戶內用水結構分析

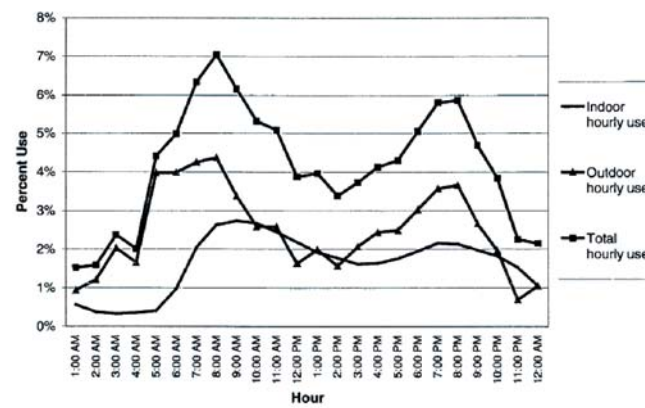
由圖五顯示，住戶戶內用水結構以馬桶沖水佔 26.7% 比例最高，其次是洗衣、沐浴及廚房用水分別佔 21.7%、16.8% 及 15.7%。



圖五 獨立式住戶戶內用水結構分析圖

(四) 每天 24 小時戶內用水與戶外用水之比較分析

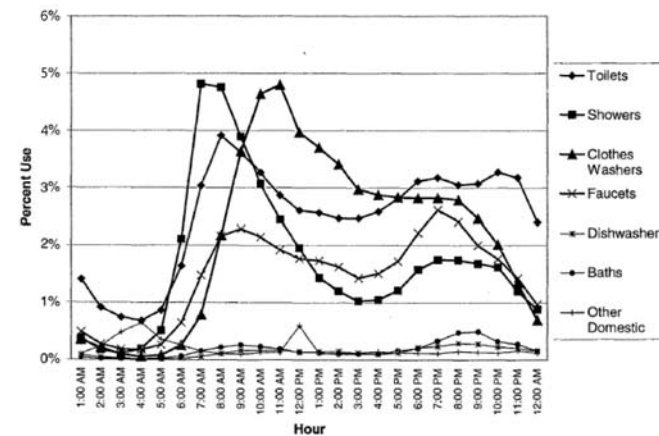
由圖六顯示戶外用水以早上 5 點至 8 點及晚上 6 點至 8 點兩段為高峰，戶內用水則以早上 7 點至 11 點最多，其次是晚上 6 點至 10 點。



圖六 每天 24 小時戶內用水與戶外用水之比較分析圖

(五) 每天 24 小時戶內各用水設備用水之比較分析

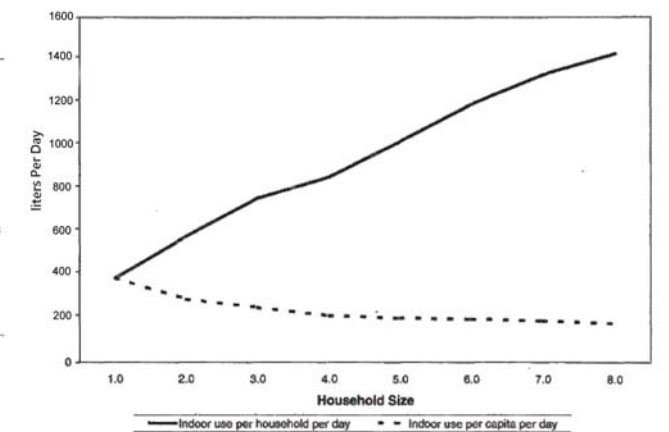
由圖七顯示，各用水設備用水時間高峰均不相同，但多以早上 6 點至晚上 10 點用水較多。



圖七 每天 24 小時戶內各用水設備用水之比較分析圖

(六) 住戶用水人口數與總用水量、每人每日用水量之關係

由圖八得知，住戶人口數愈多，總用水量愈高，但每人每日用水量 (LPCD) 反呈現降低。



圖八 住戶用水人口數與總用水量、每人每日用水量之關係圖

四、結語

(一) 本計畫 AWWARF 使用之資料搜集器及電腦軟體流量追蹤分析 (Flow Trace Analysis) 系統，已被證實是很實用的用水量監測及結構分析之工具，可使用在大量住戶之樣本上。此方式較不具干擾性，且可很科學地取得龐大的監測資料，因此已有愈來愈多機構採用。

(二) 本計畫執行時，無論參與城市的選定、問卷調查內容設計、寄送住戶及監測住戶樣本的取樣方式等，在過程中均採行隨機取樣原則，並符合 QAQC 要求。加上各城市自來水單位提供住戶水單資料，藉此提高此計畫用水量監測分析的代表性與信賴度。

(三) 本用水量監測研究案例係以 1,188 戶獨立式住戶為對象，多具有戶外庭園而須澆灌，因此戶外用水比例較高 (約佔 58.7%)，平均每人每日用水量約為 650 公

升，其中戶內用水平均每人每日約 262 公升 (約佔 41.3%)，若比較戶內用水結構，則以沖廁、沐浴及洗衣等所佔比例較高。

(四) 國內過去缺乏住戶用水量實際監測案例，因此本計畫之推動方式及執行成效頗值得參考。唯國外多為直接供水，供水壓力較高，而國內多為間接供水，水壓一般偏低，本計畫所使用之資料搜集器監測方法，及電腦軟體流量追蹤分析系統是否可應用於國內，尚待進一步評估。

參考資料

Residential End Uses of Water, AWWA Research Foundation (1999)