

## 結語

本團隊探討台灣地區中水系統於室內設計之應用，針對室內空間需求、中水處理流程、節水效能及節水技術等，藉由中水設計操作流程，可對於中水系統於室內空間設計，快速地提供概略性設計決策等，可藉由中水技術文獻回顧與相關國內外案例收集，以住宅為使用對象，於提供家庭簡單中水循環回收使用系統為運用重點，將浴缸內部空間或淋浴槽底部作為儲水空間之設計，另中水來源為自洗衣機、洗臉盆、廚房與淋浴之用水，經過過濾處理裝置後，再透過馬達將水送至馬桶水箱作沖廁用，整個系統可適用於新建或舊有住宅、旅館及百貨公司。

有效利用水資源與研發相關技術，已成為全球永續發展非常重要的課題。住宅為民生用水之最大宗，減少民生用水的需求量與生活用水的再利用，實為解決未來水資源問題的重要途徑。本系統提出一種創新的綠色水資源解決方案，以安裝在住宅單元內即可達成的水系統為主要考量，符合「經濟、再利用、永續效益」等觀點，來呼應未來水資源的再利用議題。而「綠色水系統」之設計理念，旨在針對住家生活的用水問題提出一種更環保與更綠的嘗試，以在未來達到水資源永續循環與再利用之目標。

## 參考文獻

1. Deepika Mandala, Pawan Labhasetwarb, Shankar Dhonea, Ajay Shankar Dubeya, Gangadhar Shindec, Satish Watea (2011). Water conservation due to gray water treatment and reuse in urban setting with specific context to developing countries, Resources, Conservation and Recycling 55, 356–361
2. S. Liu, D. Butler, F.A. Memon, C. Makropoulos, L. Avery, B. Jefferso (2010). Impacts of residence time during storage on potential of water saving for grey water recycling system. Science Direct / Water Research 44, 267–277
3. Nolde & Partner. (2000). Gray water reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings - over ten years' experience in Berlin, Urban Water, 32, 43–53
4. E. Donner, E. Eriksson, DM. Revitt, L. Scholes, H-C Holten Lützhøft, A. Ledin (2010). Presence and fate of priority substances in domestic gray water treatment and reuse systems, Science of the Total Environment 408, 2444–2451
5. G. Wade Miller (2006). Integrated concepts in water reuse: managing global water needs, Desalination 187, 65–75
6. Zhe Li, Fergal Boyle, Anthony Reynolds (2010). Rainwater harvesting and gray water treatment systems for domestic application in Ireland, Desalination 260, 1–8
7. Enedir Ghisi, Daniel F. Ferreira (2007). Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil, Building and Environment 42, 2512–2522
8. Sam Godfrey, Pawan Labhasetwar, Satish Wate (2009). Greywater reuse in residential schools in Madhya Pradesh, India—A case study of cost-benefit analysis, Resources, Conservation and Recycling 53, 287–293
9. S.A. Prathapar, A. Jamrah, M. Ahmed, S. Al Adawi, S. Al Sidairi, A. Al Harassi (2005). Overcoming constraints in treated gray water reuse in Oman, Desalination 186, 177–186
10. Hiroaki Furumai (2008). Rainwater and reclaimed wastewater for sustainable urban water use, Physics and Chemistry of the Earth 33, 340–346



阮怡凱

現職 | 國立台灣科技大學建築系助理教授

學歷 | 國立台灣科技大學建築所 博士 (2004.9-2006.6)

經歷 | 美國史丹福大學(Stanford University)訪問學者

美國喬治亞理工學院(Georgia Institute of Technology)博士  
後研究學者

聯絡方式 | [rik@mail.ntust.edu.tw](mailto:rik@mail.ntust.edu.tw)



## 建築水資源永續利用

廖朝軒 教授



### 前言

講到水資源，從台灣來看水資源議題，台灣水資源碰上什麼問題，有先天問題，也有後天問題，先天問題就是台灣每年平均降雨量多，但是每人每年可以平均到的水量少？我們可以從世界各國平均降雨量與每人每年平均分類水量來看，台灣每年大概是 2,515 公釐左右，除了印尼比我們多之外，我們台灣算是遙遙領先的，所以說台灣確實是寶島沒有錯。

但是，如果我們今天換個指標來看，每人每一年度可以分配到多少水資源，這要怎麼計算呢？把這個量乘上台灣面積約 36,000 平方公里，再除以 2,300 萬人口，平均每個人可以從自然上拿到多少水資源，這樣算起來台灣大概只有 4,184 立方公尺左右，這個值比起世界平均是小非常多，大概只有全世界的 1/6~1/8 左右，印尼大概只有 1/7，比起菲律賓是 1/3，比起沙烏地阿拉伯是 1/4，所

以這樣看起來台灣雨雖然降很多，但我們領土比較小，人口太密集，這樣算下來每個人所分配到的雨量是非常非常少，所以台灣是全世界排名第 18 的缺水國家，水資源確實是很緊張，但是大家對水資源似乎不是那麼在意？

曾經有個笑話，非洲國王或是皇族出國時，特別去買了許多水龍頭，看到歐美電影打開就有水流出來，所以大量買水龍頭到處牆壁插一插，以為就出水來，事實卻不是如此，水資源必須層層收集、過濾處理，再耗費許多能源以運輸、加壓，最後才能送到我們手裡，所以水資源真的不是憑空而來的。

### 氣候變遷與降雨

我們知道台灣受到氣候變遷的影響是非常嚴重的，從台灣年平均日百年一遇的降雨勢中可以發現，每一年度平均的降雨量逐漸往下滑，以近 5 年的移動平均值



整體趨勢正往下滑，所以台灣整個降雨日數與降雨量是明確減少的；過去洪水年與風雨年的間隔是每 17~18 年發生一次，乾旱則是大約 5~6 年發生一次，但目前發生頻率與周期都在改變中，所以是不管是乾早年或是洪水年的降雨量，其變化也是非常大的，這都是值得我們與後代子孫去領悟與仔細思考的事情。

首先第一個問題是年降雨量問題，再來就是降雨量豐枯懸殊問題，常常發生要限水了，但是又忽然下大雨了，再加上我國的河川很陡，導致台灣大約 80% 的降雨量都直接流到海底去了，雖然我們建很多水庫沒有錯，但是我們水庫都很小，像大陸長江三峽大壩有 250 億立方公尺的蓄水量，而台灣全部加起來大概就 10 幾億而已，所以台灣問題也很多，很多水都流到海水裡很可惜，如何把水資源蓄留住是很重要的。其次就是集水區地質不佳，沖蝕量很大，因為台灣常地震，所以不論土質或土壤都非常不穩定，一旦碰到大雨的時候，泥土就帶到水庫裡面去了，所以我們說台灣的泥沙淤積是非常嚴重的，造成現今諸多水庫都呈現淺碟化的現象。

台灣在未來 30 年之後，整體水資源會變成如何其實也沒有人曉得，因為過去在我們這一代水庫蓋了很多，但現在大部分水庫都被淤積掉了，所以台灣的水資源不管是先天或後天，都有許多問題值得我們思索。

## 都市化

過去未大規模都市化前，在自然地表面，當一場降雨下來之後，大概有 50% 的水是滲到地下去的，另外 10% 變地表逕流，10% 變成蒸發循環，而近年來經過我們所謂的

不透水表面大幅增加與都市化之後，以台北市而言，大概有 70-80% 的地表不透水率，所以現在同樣一場暴雨下來，我們的入滲量少了 2/3 左右，蒸發量也減少 10%，地表逕流量卻增加 5.5 倍左右，所以只要一下雨，都市就淹水了，同時地下水也無法進行補注。

而蒸發量減少的 10%，以台灣來說量並不大，但是對整個都市氣候影響卻非常大，因為我們知道當水分蒸發上去時，亦會將熱量帶走，每蒸發一克的水，它大概需要 500 多克熱量帶走，所以蒸發量少 10% 之後，就把整個大氣熱量留在都市中，所以我們知道都市熱島效應就特別嚴重，對整個社會影響其實是非常大的，而當留下來的水變少時，以後發生類似乾旱等災害時，我們能取用的地下水量亦將相對減少甚多。

## 政策思維的改變

過去我們用水的觀念，常說人定勝天，當工業革命之後，大家都認為人類是最偉大的生物，可能連神社都不看在眼裡，任何事情都可以克服，所以世界各地都大興土木再建水庫、堤防、污水處理廠等，蓋很多大的建築，都是以經濟發展為主，以工程為手段，流域管理為分工，需要多少用水量，各國政府可能就盡量提供，直到現在大家都發覺不對勁了，畢竟台灣這個國家很小，資源是很有限的，所以我們對於水資源的整體觀念正逐漸在改變，應當要尊重以及順應自然，任何工程都要考慮永續發展，強調非工程措施，水資源開發採總量管制，不要說你要說少就給多少，並要導向管理，配合多元向的導向開發。



## 新生水源的範疇與來源

過去我們談到的地面水及地下水，或是所謂的傳統水源及水庫水等，這兩個水源使用大概各佔一半左右，這樣的水源(傳統水源)開發實際上是有問題的，所以我們必須要開發所謂的新生水源，包含生活雜排水(中水)及事業廢水等，把這兩項回收再利用，還有所謂的海水或半鹹水，這個部分的水遠處理也許可以做為沖廁使用，就像香港一樣，同時要做好雨水貯集再利用，目前水利署正朝這幾個方向在努力中，未來規劃應該把這幾個新生水源方向比例逐漸增加，而傳統水源在這幾個量的部分則要逐漸減少，才能確保水資源永續利用。

## 建築用水分類

接下來我們來看建築用水分類，建築大致上可分為住宅建築、公共建築及工業建築等，建築用水則可分為室內用水及室外用水等，建築內用水包含生活用水、生產用水(冷空調及冷卻系統運轉所需水源)、消防用水及其他相關用水(例如清洗等)，室外用水包含消防用水、景觀與環境用水、綠化與道路用水、車輛清洗及其他用水(管路漏水)等，由於台灣漏水情形普遍而言堪稱嚴重，但因目前水價相對便宜，而輸送水之管線維修費用卻十分高昂，因此兩者之取捨與輕重，值得再詳加探討。

所以一般建築水資源的管理策略，包含所謂的開源(生態建設)及節流(用水管理)，用水管理包含節水器材、宣導教育、考核指標、管理組織及用水量平衡等，而生態建設包含屋頂花園、灰污水回收利用、滲透管溝

、透水鋪面、雨水貯集再利用及耐旱性植物之栽植等。另一方面，由於我們談所謂的建築節水技術，一般統稱 **water saving** 或 **water conservation**，這兩個名稱都有人使用，而 **water saving** 指的是純粹把水節省，而 **water conservation** 範圍則是比較廣泛的，像是說我在這個措施在經濟條件下，能夠達到節水目的的話，就可稱為 **water conservation**，所以雨水利用及中水再利用也都符合 **water conservation** 的技術與定義。

## 水平衡測試

一般所謂的水平衡測試，即是每棟建築物中，我們可以知道進來多少水量，使用在那些途徑，並消耗多少水量，這樣我們再使用水層面好好管理的話，就可以節省很多的水量，但是目前國內許多建築物，尚未清楚的把不同標的用水量詳細計算出來，這也是未來我們可以持續努力的。而在節水器材部份，當然目前方法與種類有很多，包含節水龍頭、節水馬桶……等，設備層面的、管理層面的都可以包含在其中，過去水利署推動節水器材也推動許久，不同的節水器材，在什麼不同情況之下，其優先使用的排序應該有所不同，我與所屬研究團隊成員，曾以節水成本觀念來看待整體成本，當以節水成本進行計算時，其結果為負值且數值較大的話，表示它被優先使用的機會是越高的，所以我們進行很多種評估，假設以 1 層樓之平地住戶進行節水成本計算，並以 1 戶人家大概 4 個人，30 坪大小來做評估，分析其計算結果可知，省水蓮蓬頭是優先被使用，第二項是省水水龍頭，再來是 1 噸雨水利用設施



，第四是省水馬桶，最後則是省水洗衣機。同樣的計算方式，應用於山坡地建築或其他規模的建築類型，亦將有不同之結果，端看實際使用情形與現地條件概況。

### 創造未來世代的衛生科技議題

在去年 2010 年，「創造未來世代的衛生科技」(create the next generation of sanitation technologies)是去年 2010 年 8 月 19 日比爾與美琳達蓋茲基金會向全球科研界公開徵求的五項全球健康研究課題之一，脫穎而出的研究計畫最高可以獲得 100 萬的美金研究經費，此基金會認為衛生科技非常重要，但是卻長期受到忽視，他們認為傳統的衛生系統，指沖水馬桶及公共污水下水道，都是仰賴水、能源及資本高度密集的處理設備攜帶及處理人體排泄物，此類系統面臨許多挑戰，包含對能源及水資源的高度需求、非常高的建設成本及不小的維護成本，但對於許多開發中國家而言，能源、水資源及資金原本就是稀有的資源，以致於多數人民生活於不衛生的環境，造成嚴重的健康與環境污染問題，即使是已有完善下水道系統的已開發國家，也面臨全球氣候變遷與能源危機帶來能源危機及水資源危機的威脅，於不久的未來是否有足夠的水資源與能源以維持傳統的衛生系統，也是個必須正視的課題。

該基金會於「創造未來世代的衛生科技」中選擇了永續性的衛生系統，在過去的方式中，亦即是我們講的廁所，將尿液收集起來後，再把糞尿分離，其後大便也進行收集，經過簡單的推肥即可變成肥料，剩餘的水分就可以拿到化糞池去處理，經過人工濕

地，再經過排水排流，而類似我們的生活雜排水，經過簡單程序的處理之後，再將其排出去建築，這樣就可以減少很多我們需要的水源及能源，這個系統基本上我們不太需要污水下水道系統的存在，只是目前建置這個系統仍然需要一定的成本。

### 生態廁所與水資源

目前衛生系統有非常多的形式，大致上可分為 6 種形式，而所謂的生態廁所，這與我們過去傳統廁所並沒有太大差異，以前我們小時候上廁所，就是挖個洞兩板一架就 ok 了，通常也不太需要水，使用竹子進行清潔即可，但就是危險性較高，下雨時較容易滑倒，糞坑內水位也會隨著外面下雨漲跌，雖然很危險，但是它的優點是不需要很多能源跟水資源。

目前的生態廁所就像化糞池一樣，下方先挖掘一個槽體，裡面以水泥施作，再從上方蹲坐使用，之後排泄物蓄存在裡面。過去我們的廁所很臭，原因是過去是排泄物一直堆疊，糞坑中也沒有孔隙，所以它的分解是厭氧分解，它所產生的氣體是  $\text{CH}_4$ (甲烷)及  $\text{CO}_2$ ，其中甲烷非常臭，所以過去我們傳統的廁所都非常臭，而歐洲國家就針對這點加以改進，亦即所謂生態廁所，當每次上完廁所之後，就灑一些木屑或是稻殼，把每次的排泄物隔開，所以它中間就會有些縫隙，這時候的排泄物分解屬於耗氧分解，耗氧分解的分解物是  $\text{CO}_2$  及  $\text{H}_2\text{O}$ ， $\text{CO}_2$  是沒有味道的，可以靠通風口將其排走，這樣較不會中毒， $\text{H}_2\text{O}$  在內部就會變成水，因此排泄物就可以自動分解成天然堆肥一樣，大約三個月



時間可以分解成堆肥，所以這種廁所也不需要水源進行沖廁，所以過去我們常講，沖水馬桶是人類一個很重要的發明，但是它需要耗費大量水資源，且沖水馬桶在我們現在看起來是一個非常不好的產物，所以我們必須去改進這樣的觀念。

### 成本效益分析

傳統衛生系統與永續性衛生系統的成本效益分析比較，傳統衛生系統它需要固定成本，包含馬桶、污水下水道及污水處理廠，其中污水下水道及污水處理廠需要花費大量金錢，那變動成本包含用水量、污水下水道的營運與維護，以及污水處理廠的營運與維護等，而環境成本則包含開發水源與生產自來水之生產成本與環境成本，建造污水下水道的環境成本，以及污水排放造成的環境負荷等，而傳統衛生系統與永續性衛生系統差異在於，污水下水道及污水處理廠可以不用建造，要也是很建造簡易型污水處理廠即可，所以建置成本較少，在變動成本減低的情況下，相對的環境成本也會降低很多，所以永續性衛生系統建造成本大約為傳統衛生系統的 1/3 左右，變動成本大約 2/3 左右。

### 我國污水下水道發展概況

我國正在建造的污水下水道，目前已經進行到第四期計畫，總費用大約為 2,047 億元左右，總接管戶大約為 947,100 戶，所以平均每戶接管費用約 21 萬元，而整個台灣污水的接管率大概到民國 98 年為止為 19.50%，另台北市約為 91.04%，所佔比例最高；高雄市大約為 53.73%，台灣省大概只有

6.69%，另外有 9 個縣市是完全沒有這個系統存在的，未來如果將來我們要大量構築污水下水系統時，大概需要花費多少經費呢？當全國接管率提升至 100% 時，估計大約需要花費 1.3 兆元，但我們將來有沒有必要投入這麼多經費呢，去建造污水管及污水處理廠？也許台灣的接管率不一定要一下衝到高接管率的標準，而是要採循序漸進，以及多提倡中水再利用等，都是很好的觀念與做法。

我國的能源大約 97.9% 是進口的，只有 2.1% 是自產能源，包含 0.6% 是天然氣及 1.5% 是水力發電，但建築產業耗能量卻佔全國總耗能 28.30% 左右，所以我們台灣既沒有自產能源，加上水資源又是全世界第 18 個缺水國家，資金上也是相對缺乏，台灣究竟還有多少錢可以投入污水下水系統的建設，也許這個問題可以讓台灣衛浴文化協會的諸位先進共同思考這個問題，所以過去我們大量使用沖水馬桶的觀念，也許可以趁這個機會好好思考，未來應該如何去改進這個馬桶與機構，這也許是長遠值得思考的方向。

### 建築物雨水利用系統

建築雨水收集系統之型式，包含獨棟建築雨水系統、高樓建築雨水系統、多棟建築雨水系統、建築物結合地面雨水系統及區域型雨水供水系統，那它當然有很多優點，第一它不需要長途運輸，我們知道自來水是水庫水抽到淨水廠處理之後，再加壓送到我們家的地下室受水槽，再經由抽水馬達將其抽送至屋頂高架水塔之後再下來，所以它沿途抽水輸送成本是非常高的。雨水的第二個特點是其無水區之爭議，第三為提供各種緊急

之用水補給，減少缺水之損失，第四為對環境衝擊很小，第五為施工方法簡便設備維護容易且維護費用低，第六為雨水貯集設施可視需要彈性擴張，不受早期工程之限制。而缺點則是第一由於屋頂材料，水質不易管理，第二為初期投資成本，第三為設施沒有一定建造規範，供用者及推動者來遵循。

### 雨水貯集利用技術系將降雨收集後經處理並收集利用之小型系統，它有三個優點，首先是雨水就地收集，就地利用；其次可增加水資源量，並且可將過剩雨水回收，紓解都市供水緊張情勢；最後則可改善區域水環境，減輕都市雨洪壓力等，雨水再利用未來是具備發展性的。

### 雨竟無水可用

台灣桃園下大雨的時候，百姓就倒楣，因為水庫的水濁度達一萬左右，所以自來水廠沒有辦法處理，所以外面雖然下著大雨，但沒有水喝也無水可用，造成工廠也停成 5 億或 10 億的損失，這是一個很嚴重的現象。但是大家再想想，如果我們每個家庭都施做小型雨水再利用設施，當外下大豪雨時，雖然同樣沒有自來水可用，卻不愁沒有沖廁的水源可供使用，至解決人類基本需求。

做過簡單計算，針對我們都市計畫區建築屋頂部份收集，北部大概有 558.1 百萬噸/年的潛能，中部地區約為 220.9 百萬噸/年的潛能，南部地區約為 398.0 百萬噸/年的潛能，東部地區約為 60.0 百萬噸/年的潛能，外島為 15.1 百萬噸/年的潛能，全台灣約為 1252.0 百萬噸/年的潛能，這是建築屋頂部份，但是對於非都市計畫區的屋頂來說，約可到 4 億多噸，因此，總和加起來約有 17.18 億噸，上述只是針對建築物屋頂部份，如果再加上建築物垂直立面的話會更可觀，這些量我們拿 1/10 或是 1/1000，那供水對於我們國內影響其實是非常大的。總計台灣地區每年可利用潛勢為 17.33 億噸(含各離島地區)，依建築物、公園、綠地及學校等土地使用類型分類，建築物可利用潛勢為 15.66 億噸/年，公園及綠地可利用潛勢為 0.65 億噸/年，學校可利用潛勢微 1.02 億噸/年，若以雨水跟污水回收再利用，比較兩者哪個可能性比較大，工業廢水及生活污水於現況(民國 100 年)及 105 年與 110 年情形，工業用水現在每年回收大約為 1.0 億噸/年左右，105 年可以達到 1.3 億噸/年，110 年達到 1.4 億噸/年，生活污水則包含一級處理跟二、三級處理，現況為 8.2 億噸/年，105 年為 9.2 億噸/年，110 年可達 10.9 億噸/年，所以兩者加起來為 12 億噸/年左右，因此工業廢水及生活污水的潛勢遠小於雨水再利用的潛勢，雨水再利用潛勢比污水高出許多。