

校園中水道二元供水系統推廣現況 --以國立雲林科技大學為例

萬騰州*、譚仲萍**、張乙森**、花建佑**、張文秀***

摘要

水再生、回收及再利用更是二十一世紀現代化的指標之一，目前先進國家中，包含日本、美國、澳大利亞、政府皆有推廣水回收再利用之實質成效，並將水再生、回收及再利用之規範明文定於相關法令中，在國內包含知名大型企業如聯電、台積電、中華映管等公司、長庚醫院等有感於台灣地區水資源短缺及企業形象問題，皆著力於廠區水再生技術之開發與提升用水效率。

本文以國立雲林科技大學之中水道二元供水系統為例，藉以說明校園中水道二元供水系統之設置規劃、設計、操作管理及成本實務分析，國立雲林科技大學中水道包括宿舍區及校園中水道供水系統，用途如宿舍區次級用水，校園景觀、灑水、人工湖補注水及消防等，每年可節省約 25~30 萬噸水量。

【關鍵字】

1. 水再生、回收及再利用 (water reclamation, recycling, and reuse)
2. 中水道二元供水系統 (dual water supply system)
3. 再生水 (reclaimed water)

*國立雲林科技大學 環境與安全工程研究所 副教授

**國立雲林科技大學 環境與安全工程研究所 碩士班

***國立雲林科技大學 環境與安全工程研究所 研究助理

一、前　　言

水是人類生存、國家經濟、民生發展的基本要素。由於在人口急劇成長、工商業大量成長造成可利用的水資源嚴重的不足。目前台灣地區之水資源開發，已至瓶頸之階段，因此從節約用水及水資源再生、回收及再利用已成為開發水資源新趨勢與重要途徑。

所謂之水再生、回收及再利用（water reclamation, recycling, and reuse）主要係將雨水或事業廢水、生活污水經過處理符合再利用之標準後回用於日常生活雜用水、工業製程、冷卻等次級用水用途。經過處理符合再利用標準之回收水謂之「再生水（reclaimed water）」，由於其水質介於上水（自來水）與下水水質之間，故日本稱之為「中水」，在產業方面又稱「循環水」及「回用水」（沈光范，1992）。

中水系統的建設是節約用水的有效途徑之一。在人們日常生活使用的總水量中，僅廁所沖洗就佔 35%左右。因此，可在機關、學校、住宅、旅館、飯店等小區域建立中水系統，將這些小區域或大樓的污水就近收集、就地處理、就近回用，作為城市雜用水（中水），用於沖洗廁所、清洗車輛、綠化、噴灑街道，作為景觀用水及河湖補充水等。設立中水系統供應城市雜用水，可緩解供水的吃緊旱象。中水道二元供水系統示意圖如圖 1 所示：

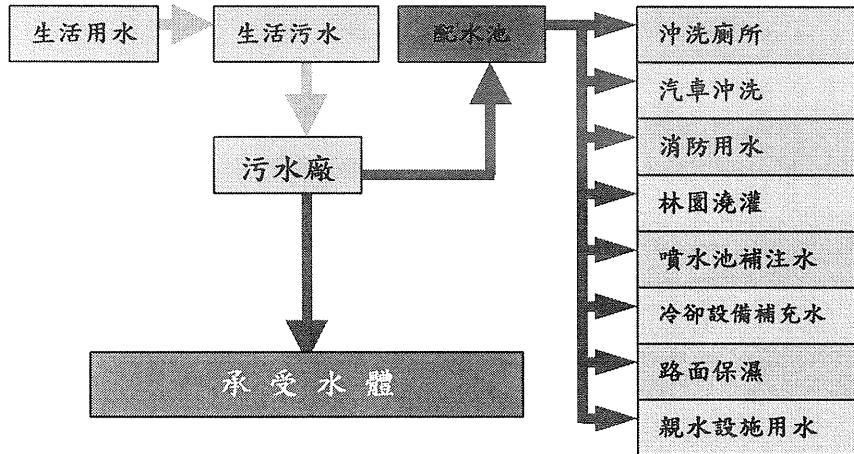


圖 1 中水道二元供水系統示意圖

(資料來源：萬騰州，2000)

二、先進國家推動水回收再利用現況

2.1 日本

福岡縣於昭和 53 年發生嚴重缺水事件，於是在昭和 54 年成立「下水處理水循環利用模式事業」，將水再利用之用途拓展至建築物之廁所沖洗用水、消防用水及花木澆灌之用。而日本東京都市政主管機關更明定下水經處理後有導入回收再利用系統之義務，以東京某民生污水處理廠為例，該廠至 1994 年統計資料顯示，每日可處理 510 萬噸污水，其中約 45 萬噸供作都市大樓作為再利用水之用。

日本推行下水處理及再利用之工作已多年，其效益如以下三點：

1. 減少水庫過度開發
2. 穩穩定乾旱期給水
3. 提升日本國際形象

2.2 美國加州

美國加州重視水回收再利用之品質，並將回收水依不同之用途以大腸菌數做為非飲用用途之限制，並區分為四個大腸菌落數限制等級，分別訂定不同之處理方式，如表 1 所示：

表 1 美國加州再生水回收再利用於非飲用用途之限制

| | 總大腸菌數 含量極限 | 處理需求 |
|---|---------------|---|
| 用於果園、播種用澆灌；排入公共下水道 | - | 二級處理 |
| 高爾夫球場或遊憩用草地之澆灌、栽植牧場乳牛飼料、觀賞用草坪、或商業用冷卻水等非霧狀噴灌之澆灌方式，揚塵控制，道路清潔等 | <23/100mL | 二級處理及殺菌 |
| 食用性作物表面澆灌、蓄水量有限之土地澆灌。 | <2.2/100mL | 二級處理及殺菌 |
| 食用性作物根部澆灌、廁所沖洗、工業用水、觀賞用噴水池、商業用洗衣、建築消防、工商業冷卻用水可採用霧狀噴灌方式 | <2.2/100mL | 二級處理（大於 5NTU，95% 之間）及殺菌、混凝、過濾（濁度需小於 2NTU） |

(資料來源：California Department of Health Services, Drinking Water Program, Sacramento, 1998)

2.3 中國北京市

北京市地處乾燥之華北地區，旱季長，降雨量少，故水資源十分珍貴。根據 1986 年北京市人民政府第 56 號文件規定，凡新建建築面積 2 萬平方公尺以上之旅館、飯店、公寓及建築面積 3 萬平方公尺以上之機關、科學研究單位、大專院校和大型文化、體育館之建築，應配套建設水再生、回收及再利用設施，並與主體建築工程同時設計、同時施工、同時交付使用，目前使用中水道系統之大樓諸如亞洲大酒店、北京結核病醫院、首都機場等建築。

2.4 澳大利亞

和加州類似的是澳大利亞，也是以大腸桿菌菌落數作為規範地方水回收再利用之標準。1998 年澳洲政府提出以「五星階級」之大腸桿菌菌落數含量最小限值之五個等級，其分級主要係依再生水與人體接觸的風險性而分，如表 2 所示：

表 2 澳洲對循環水之水質分級及處理方式建議

| 級 數 | 種 類 | FC/100mL | 處理方式 |
|-----------------------|------------|----------|----------------------------------|
| 5 star | 飲用 | 0 | 以多重處理方式達到去除微生物及化學物質 |
| 4 star | 適於飲用外之其他用途 | <1 | 二級處理+薄膜過濾+殺菌 二級處理+混凝+過濾+殺菌 |
| 3 ^{1/2} star | 高接觸頻率 | <10 | 二級處理+過濾+殺菌 |
| 3 star | 普通接觸頻率 | <100 | 二級處理+殺菌 |
| 2 star | 低接觸頻率 | <1000 | 二級處理+殺菌 一級處理+過濾+殺菌 厭氧處理+殺菌 |
| 1 star | 禁止與人接觸 | <10000 | 氧化塘 |

(資料來源：Anderson J., 2000)

三、我國水回收再利用現況

依據行政院於 87 年 12 月 27、28 日召開之「全國國土及水資源會議」提出「節約用水行動方案」。該方案中明確指出民國一百年達成生活用水平均每人每日用水量由目前之 290 公升降低至 250 公升，工業用水平均回收率由 32% 提昇至 65% 以上。為達成上述目標，未來節水重點將著重於民生公共節水及工業節水，其中水回收再利用之推動，若再配合未來水污費之開徵，除可有效解決水資源問題外，更可有效節省水污費之支出。

我國近年來在經濟部水資源局大力推廣下，包括台積電、聯電等知名之大型企業

已紛紛設置中水道供水系統。中水道供水系統之水源主要來自非製程用水（如 RO 廢水、冷卻用水）或生活污水，廢（污）水經收集處理後用途如表 3 所示：

表 3 中水用途

| | |
|------|---|
| 工業使用 | 空調冷卻、冷卻水塔、製程清洗、生產線（不適用於飲用、食品加工業及餐飲業廢水於飲用水、食品加工、烹調等製程） |
| 環保工程 | 污水廠消泡、調藥，廢氣洗滌塔 |
| 生活使用 | 衛廁沖洗、花木澆灌、消防用水、洗車用水、景觀用水、親水設施用水 |
| 其他 | 道路揚塵抑制 |

目前國內中水道系統設置之成功案例，包含統一企業楊梅廠、國立雲林科技大學、台中火力發電廠、台積電、聯電、雲林縣文安國小、高雄長庚醫院、高雄縣鳳林國小、中華映管股份有限公司、國立中山大學等，其中水及自來水成本分析如圖 2 所示，中水成本約佔自來水成本（自來水水價）之 7%~81% 不等，平均中水成本約為自來水成本之 37%。

四、校園中水道供水系統推廣

校園廢（污）水水源主要係生活污水及少量實驗室廢水，實驗室廢水目前皆以分類貯存、回收處理之方式清除，而生活污水除少數學校設置污水處理廠將污水經過處理逕行放流或回收再利用外，在學生人數較少之中小學校，生活污水以排入市鎮下水道較為普遍。由於校園廢（污）水水質單純，適於設置水循環再利用系統，其設置優點如下，校園設置水再生在利用系統之管線配置如圖 3 所示：

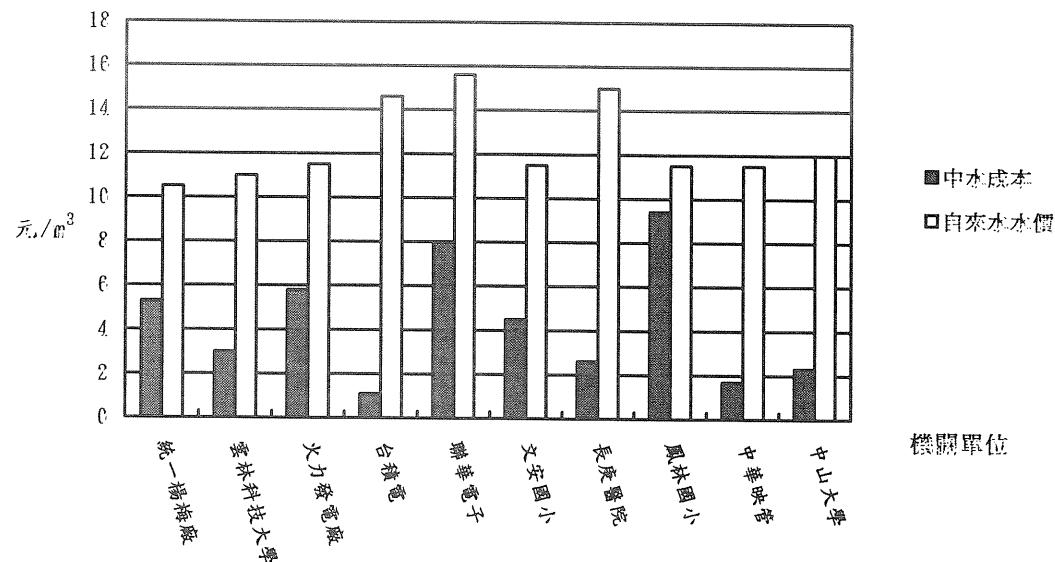


圖 2 中水道供水系統案例成本分析比較

(資料來源：萬騰州，2000)

1. 節省校園用水量及用水開支，進而發揮校園節水績效。
2. 校園中水道供水系統之流程一般為回收水收集、沉澱、接觸式生物濾材處理、砂濾、消毒，其處理流程簡單，操作維護容易，適於校園污水處理。
3. 校學中水道系統可作為校園推動能源教育之活教材；大專院校設置中水道供水系統更可做為相關科系教學實習場所。
4. 穩穩定校園供水水量，緩和乾季缺水時能達到校園穩定之供水量。

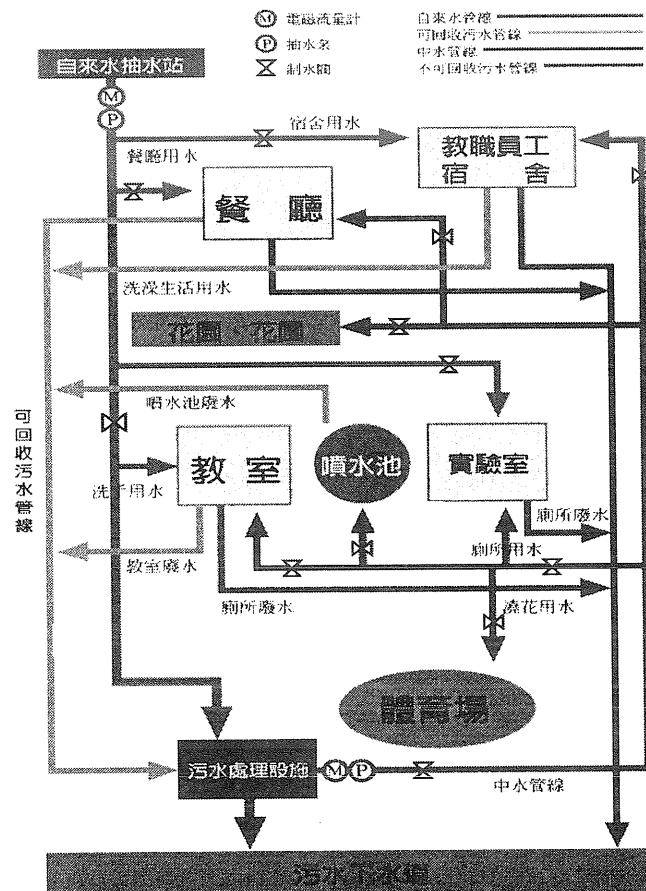


圖 3 一般校園設置水再生再利用系統之管線配置方式

(資料來源：萬騰州，2000)

4.1 中水道供水系統之設置、操作與管理

中水道系統應用的意義和作用有下列三點：(1)緩和供水不足的一種措施(2)減輕污水工程負擔(3)促進區域水資源的有效利用。另外中水道的用途須考慮社會和人民能接受的程度、用戶的心理作用及衛生安全等因素，故中水水質須有下幾項要求：(1)無衛

生的問題(2)利用時無嗅覺或視覺上的不快感(3)對管道等設備，不產生腐蝕和堵塞等不良的影響(4)要有穩定的水處理技術等(沈光范、徐樹森，1992)。根據中央大學歐陽嶠暉教授及中原大學李錦地教授之建議，再生水水質依不同用途與人體接觸頻率之風險水質標準如表 4 所示，目前政府對於再生水之再利用標準、操作、維護之管理仍在積極立法規範中。

表 4 中水道二元供水系統建議的水質標準

| 項目 用途 | 散水用水 | 景觀用水 | 廁所沖洗用水 |
|------------------|-----------|-----------|---------|
| 大腸菌數(個/100mL) | 不能檢出 | 不能檢出 | 10 以下 |
| BOD(mg/L) | — | 10 以下 | — |
| pH | 5.8-8.6 | 5.8-8.6 | 5.8-8.6 |
| 濁度 (NTU) | 10 以下 | 5 以下 | — |
| 臭氣 | 無不舒適 | 無不舒適 | 無不舒適 |
| 外觀 | 無不舒適 | 無不舒適 | 無不舒適 |
| 色度 (度) | 40 以下 | 10 以下 | 40 以下 |
| 餘氯(mg/L) | 0.4 以上 | 臭氧消毒 | 保有餘氯 |
| 說 明 | 不與人體接觸為原則 | 不與人體接觸為原則 | - |
| 散水用水包括：灑水用水、澆灌用水 | | | |

(資料來源：歐陽嶠暉，1996；李錦地，1997)

中水道二元供水系統之設計與施工

設置中水道二元供水系統應注意項：

1. 中水道系統用水以不與人體接觸為原則。
2. 中水道系統規劃以符合經安全、利於辨識、方便維修為原則。
3. 中水水質應符合中水道系統建議水質標準。
4. 中水水管與自來水管應分開設置，並應以顏色(如中水道可漆為綠色，自來水系統可漆為藍色)作為區隔，以防止錯接。
5. 不同類型的建築應依照下列各項決定之：
 - (1) 未預留中水管路之既有建築物須視建築物用途，以明管的方法加裝，管路設計的位置儘量以原有之管道為宜，以節省工程經費。
 - (2) 已預留中水道管路之建築物須與建築物原設計圖詳細對照，以確認管線不會有錯誤情況，新建完工後仍須以追蹤劑進行測試，以防止管線錯接。
 - (3) 正進行規劃建造之新建築物如已有污水處理設備，則應在規劃時將中水道系統納入設計中，如尚未有污水處理設備，則管道間須預留中水道管線，並漆上草綠色油漆以為辨識。

中水系統之維護管理係在維持水循環再利用之正常功能，避免因懸浮物質沉積腐敗而造成回收水水質惡化，中水道供水系統須注意的維護工作如下五點：

1. 輸送中水的金屬管線應每年定期檢視維修一次為原則。
2. 由於處理過後的中水仍含有少量懸浮固體物（SS），容易沉澱於貯存水塔底部，必須定期清理水塔底部。
3. 儲存水塔需加以覆蓋，以防止灰塵、蚊蟲等雜質進入，且覆蓋需牢固。
4. 中水不足時，必須即時打開制水閥補充自來水。
5. 中水水質必須定期檢驗，以符合中水水質標準，並隨時注意污水廠操作狀況。

4.2 國立雲林科技大學校園中水道系統設置實例介紹

國立雲林科技大學之中水道二元供水系統，係於 86 年度及 88 年度，經由經濟部水資源局之經費補助，設置校園中水道二元供水系統，包括宿舍區中水道供水系統及校園中水道供水系統，國立雲林科技大學校區污水處理廠建置於民國 80 年，目前實際廢污水量為 800 m³/日，污水經二級延長式活性污泥法處理後，部份放流水再經由三級砂濾及化學混凝（機動性調整），以供回收使用，污水處理廠如圖 4 所示。

1. 宿舍區中水道供水系統

國立雲林科技大學將十五棟學生宿舍之廁所沖洗用水改由污水廠的放流水提供，目前可提供 2,728 位學生使用。其水回收設施包括供水管線、貯存水塔、配水管及用水設備。

- (1) 集配水水管：為區別中水水管與自來水水管，以防止錯接情形，中水水管一律漆為草綠色、並在適當距離及轉接處標示「中水水管」字樣，如圖 5 所示。中水水管之配置應儘量採管道間或開放式架設以方便後續維修。
- (2) 貯存水塔：中水水塔與自來水水塔之間須有連接管線設備以作為中水不足時，自來水補充之用，而連接之管線須以單向逆止閥隔絕，以防止中水過溢時迴流至自來水系統；並在水塔頂部設置溢流口，水塔側邊設置一溢流口，以溢流多餘之中水如圖 6 所示。



圖 4 校園污水廠



圖 5 中水水管

本系統投資成本為 480 萬元，若換算每產生 $1m^3$ 中水所需的費用，則約為 3 元/ m^3 ，比當地的自來水費便宜。宿舍區在未使用中水供水系統前，宿舍生活用水皆以自來水供應，其管線如圖 7 所示；中水管道架設如圖 8 所示，主要係將廁所沖水管線改裝中水水管，並將中水、自來水分流，加裝逆止閥以避免中水迴流至自來水管線中。宿舍中水與自來水用水比例如圖 9 所示，平均一年約可節省

25,000~30,000 m³ 的用水量，相當於宿舍區 3 個月自來水供應量。

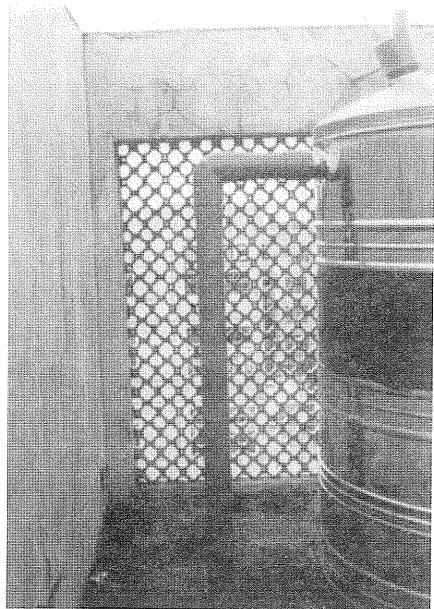


圖 6 中水水塔溢流口

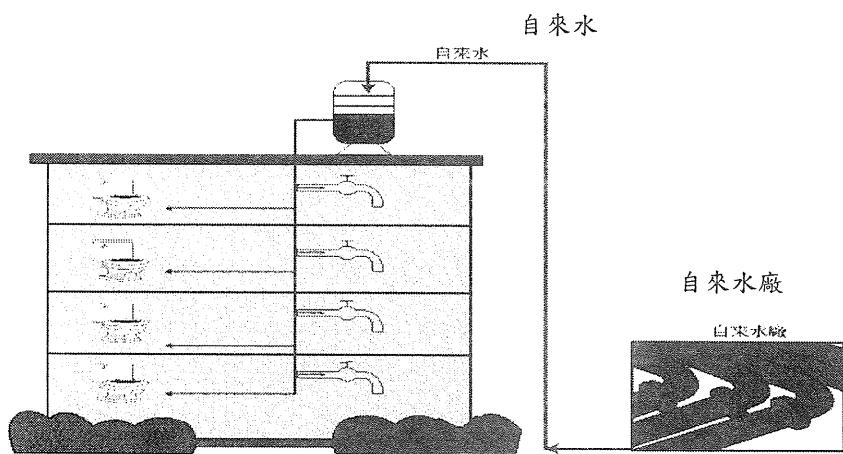


圖 7 國立雲林科技大學宿舍未使中水道系統宿舍供水情形

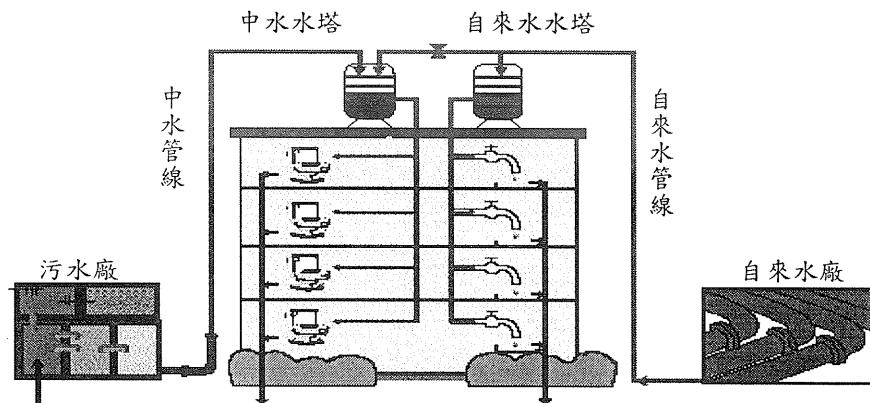


圖 8 國立雲林科技大學宿舍中水道供水系統

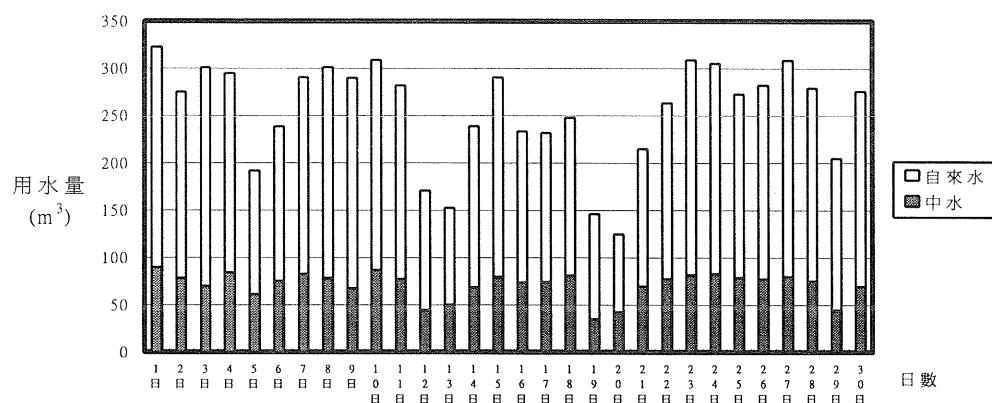


圖 9 國立雲林科技大學宿舍中水使用概況圖

2.校園中水道系統

本校於民國 82 年將污水處理廠之三級放流水引至地下水供水系統，以替代原來之地下水，作為校區景觀用水、消防用水及人工湖補注之用，校區污水回收再利用前後用水配置如圖 10 及圖 11 所示，回收水收集、貯存、使用流程如圖 12 所示。每年所節省之水量約 250,000 ~300,000 m³（視下雨天數多寡而定）。

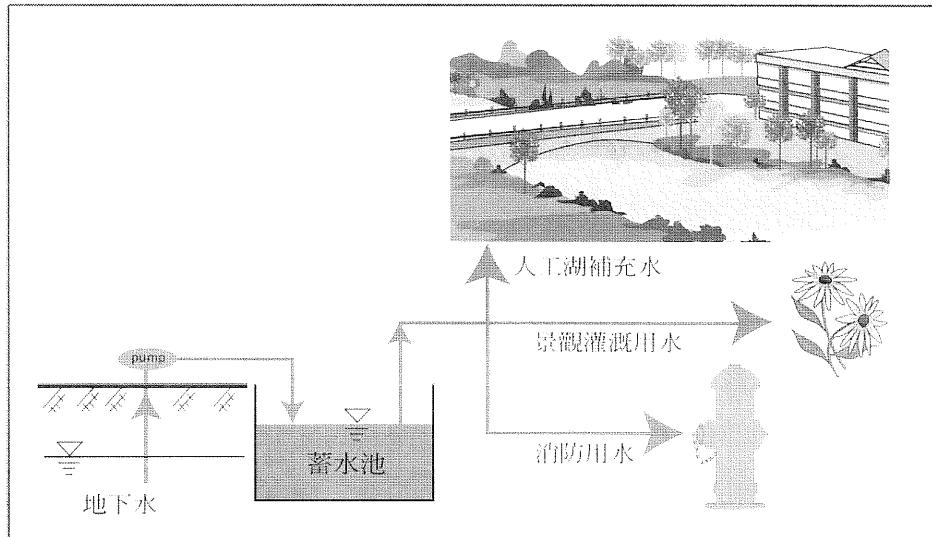


圖 10 國立雲林科技大學中水道設置前，景觀灌溉、消防用水

、人工湖補充水之供水情形。

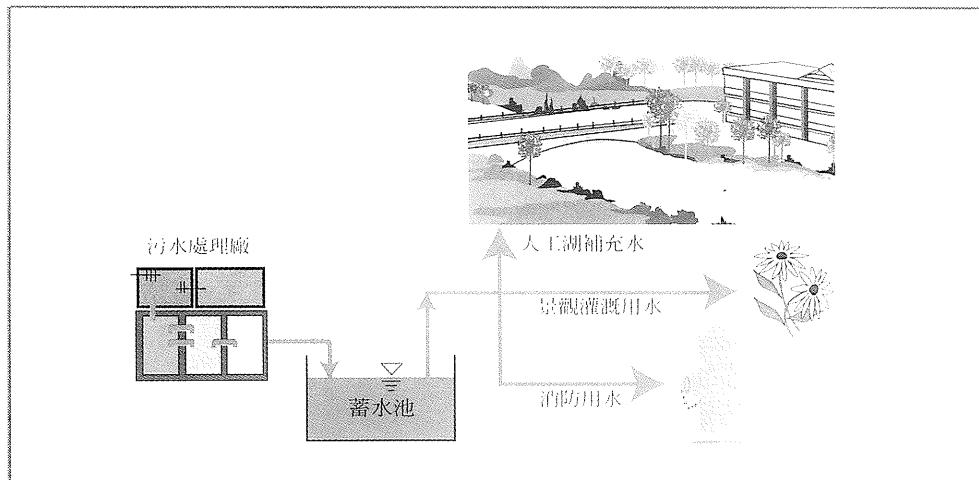


圖 11 國立雲林科技大學中水道設置後，景觀灌溉、消防用水

、人工湖補充水之供水情形。

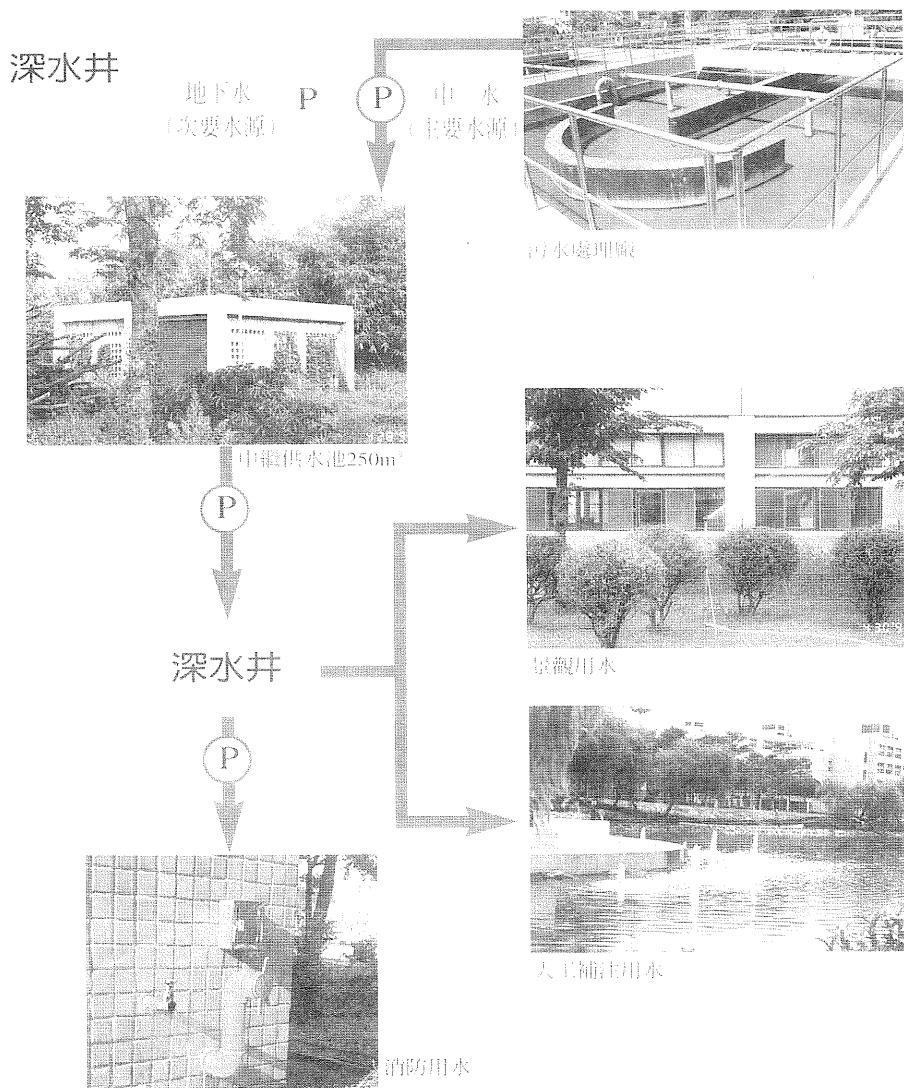


圖 12 國立雲林科技大學校區回收水供水流程圖

影響中水道供水系統推行的因素，除了經濟成本與技術問題外，另一個重要的因素即是學生對於使用中水的可接受度，為了解中水道系統在國立雲林科技大學推廣執行時使用者的觀感，因此採用問卷調查的方式，由問卷中分析使用者對系統之反應。

本調查採抽樣調查，對象為本校中水道系統使之住宿學生，共收集 85 份有效問卷，問卷內容針對中水使用觀感、水資源回收再利用理念等進行調查，其結果如圖 13 至圖 16 所示，受訪學生對本系統之反應，約 70%以上學生對使用本系統持正面評價。

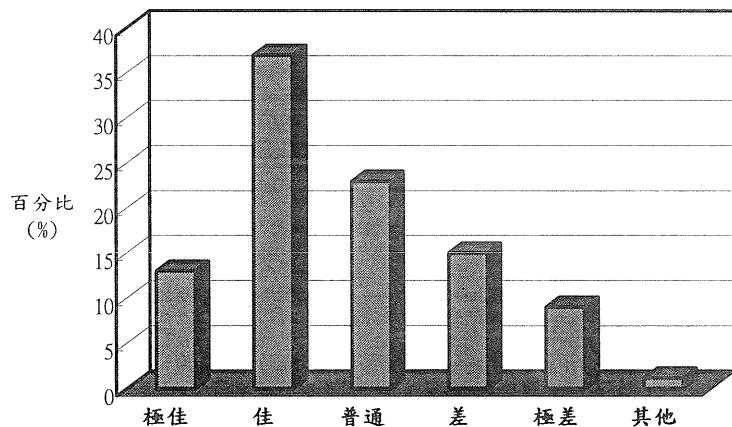


圖 13 問卷調查綜合反應情形

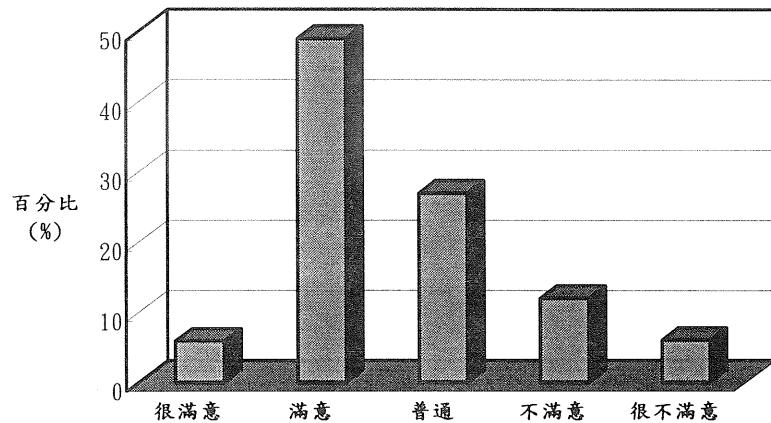


圖 14 問卷調查對系統持續穩定供水滿意度分析

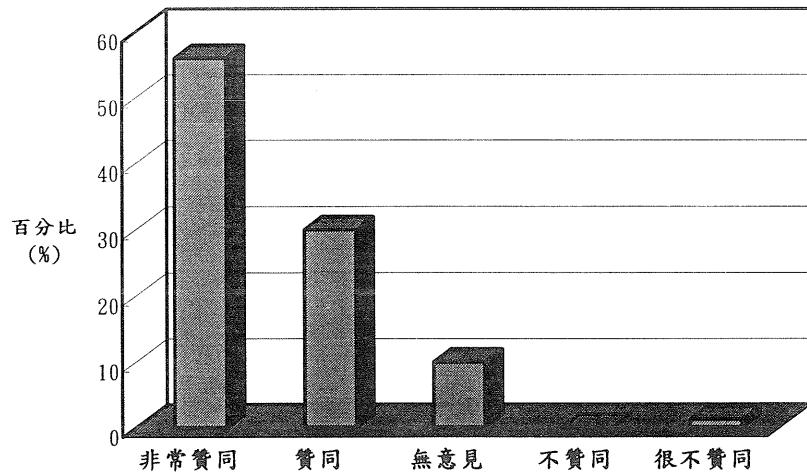


圖 15 學生對中水道水循環再利用之贊同程度分析

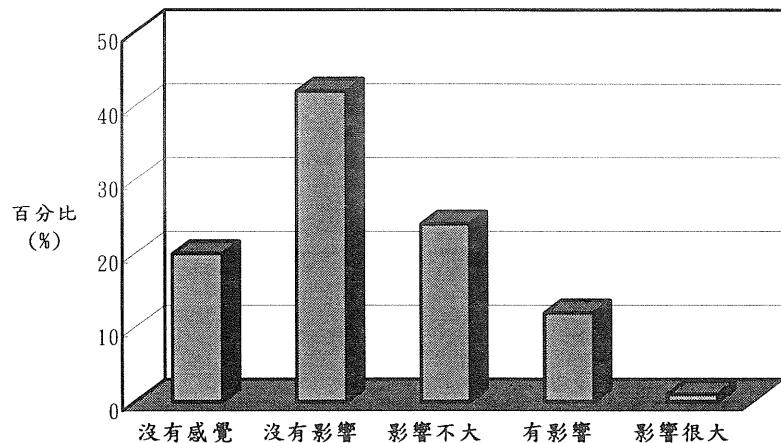


圖 16 回收水對學生味覺之影響

五、結論

資源是一種公共財產，任何人都有權利使用，然卻無法獨占或破壞，使水資源不致消耗殆盡，再加上經濟繁榮對水資源的迫切需求，只有保有足夠水資源，使水資源能永續利用。節約能源最重要的兩種觀念即為開源及節流，這正是中水道二元供水系統設置之意義，在經濟部水資源局的大力推廣下，中水道供水系統在產業界降低用水量，大幅降低水費開支頗受好評。在校園設置中水道系統其省水成效則視學校規模而定，然而只要學校在水回收用途、回收水管線設計上多用巧思，校園中水道系統之推廣除了達到節約用水成本外，更有樹立良好能源教育典範之附加價值。

六、參考文獻

1. 萬騰州，雨水貯留及中供水系統推廣補助計畫（Ⅲ），經濟部水資源局委託研究計畫，民國 89 年。
2. State of California, Draft Proposed Groundwater Recharge Regulation. California Department of Health Services, Drinking Water Program, Sacramento, California, 1998.
3. Anderson J., Adin A., Crook J., Davis C., Hultquist R., Jimenez -Cisneros B., Kennedy W., Sheikh B., Van-Der Mewe B. "Climbing the ladder: A step by step approach to international guidelines for water recycling." 3rd International Symposium on Wastewater, Reclamation, Recycling, and Reuse, 2000,
4. 沈光范、徐樹森，中水道技術，中國環境科學出版社，pp.1-5，民國 81 年。
5. 萬騰州，雨水貯留及中水道二元供水系統應用手冊第二版，經濟部水資源局委辦計畫，pp.19-22，民國 89 年。
6. 李錦地，中水道及二元次供水系統相關技術與法規之研究，經濟部水資源局委託研究計畫，中華民國環境工程學會執行，民國 86 年。
7. 蘇昭郎、歐陽嶠暉，”再生生活雜用水水質標準之探討”，合理用水及造水技術研討會，民國 86 年。
8. 蘇昭郎、歐陽嶠暉，”都市污水再生利用技術應用之研究”，第二屆水再生及再利用研討會論文集，民國 85 年，pp.23-32。