

嘉南藥理科技大學
環境工程與科學系

碩士論文

校園永續水資源管理與規劃

Sustainable Campus Water Resource Planning and
Management

指導教授：余光昌博士

研 究 生：許勝嘉

中華民國九十六年七月二十一日

嘉南藥理科技大學環境工程與科學系

Department of Environmental Engineering & Science

Chia-Nan University of Pharmacy and Science

碩士論文

Thesis for the Degree of Master

校園永續水資源管理與規劃

Sustainable Campus Water Resource Planning and Management

指導教授：余光昌 (Kuang-Chung Yu)

研 究 生：許勝嘉 (San-Chia Shu)

中華民國九十六年七月二十一日

21, July 2007

嘉南藥理科技大學
碩士學位考試委員會審定書

本校 環境工程與科學系 碩士班 許勝嘉 君

所提論文 校園永續水資源管理與規劃

合於碩士資格水準，業經本委員會評審認可。

考試委員：

李如孝

高志明

余光昌

指導教授：

余光昌

系主任（所長）：

林秀雄

中華民國九十六年 7 月



嘉南藥理科技大學 碩士論文全文電子檔案上網授權書

本授權書所授權之論文全文電子檔案，為本人於嘉南藥理科技大學，撰寫之碩士學位論文。(以下請擇一勾選)

- 同意立即開放
- 同意一年後開放，原因是：_____
- 同意二年後開放，原因是：_____
- 同意三年後開放，原因是：_____

以非專屬、無償授權嘉南藥理科技大學圖書館和國家圖書館。基於推動「資源共享、互惠合作」之理念，於回饋本校與社會作為學術研究目的之用，得不限地域、時間與次數，以紙本、光碟、學位論文全文系統、網路或其他各種方法收錄、重製、與發行，或再授權他人以各種方法重製與利用，以提供讀者基於個人非營利性質之線上檢索、閱覽、下載或列印。

研究生簽名： 許 蔭 嘉

論文名稱： 校園永續水資源管理與規劃

指導教授： 余光昌

系所： 校園永續水資源管理與規劃

學號： S9306006

日期：民國 96 年 7 月 21 日

備註：

1. 本授權書請填寫並以黑色筆親筆簽名後，裝訂於各紙本論文封面後之次頁。
2. 讀者基於非個人營利性質之線上檢索、閱覽、下載或列印上列論文，應依著作權法有關規定辦理。

中文摘要

在漆黑的太空中遠眺地球，地球是個美麗的藍色行星，因為地球表面有將近百分之七十的面積被水覆蓋，水是地球的生命之源，但是人類可利用的淡水資源卻僅佔地球全體水量的 2.5%，而且其中絕大部分保存於兩極的冰帽及以地下水之中，我們日常所能使用的水資源包含湖泊及河流卻僅佔所有淡水的 0.3%，人類面臨不斷增加的人口必須面對可用的水資源日漸缺乏，水資源的永續發展實為人類社會不得不面對的一個難題。

本研究希望透過學校作為落實水資源永續發展的環境，希望透過學生在學校接受教育的過程，明瞭水資源永續發展的重要性，並此理念推廣到家庭及社區。

本研究以我國教育體系下現行各級學制為主，挑選四所學校包含國小、國中、綜合高中及大學，藉由學校用水現況及用水點的分析以了解該校的用水現況，進而推估各用水點之用水量藉此繪製該校用水平衡圖，予以檢視校園內各用水點用水現況的合理性。在研究中視各個案例用水點用水現況及用水點特色，討論輔以水資源管理、節水器材的裝設、中水回收、污水處理及節水教育等技術，提供各校水資源管理人員對於校內節水設施或總務行政管理措施評估針對該校現況所能夠進行節水改善建議以及評估改善後之成效，並探討為因應日漸減少的水資源之下學校對於水資源永續發展的重要性。

Abstract

Viewed from the space, the Earth is a beautiful blue planet, because 70% of the planet is covered by water, the source of life. However, only 2.5% of the water is fresh water usable by humans, of which an overwhelming proportion is stored in the icecaps of the planet's two poles as well as underground. Therefore, only 0.3% of all fresh water is actually contained in lakes and rivers that we use in our everyday lives. The increasing population leads to the shortage of freshwater resources, making the sustainable development of water resources among the most pressing of global challenges today.

This study aims to make schools the environment for putting sustainable development of water resources into effect and educating students about the importance of this critical issue, and subsequently spreading the concept of cherishing water to families and communities.

Four schools, one for each classification of Taiwan's educational system: an elementary school, a junior high school, a senior high school and a university, participated in this study. These four schools' water consumption and points of water consumption were analyzed to obtain a clear picture of the water consumption status in schools, and then water consumption at each point was estimated to create the water balance diagram. The rationality of the schools' water consumption at each point was reviewed. Based on each school's water consumption at each point and characteristic of the point, issues such as water resources management, installation of water saving facilities, recycling of reclaimed water, treatment of wastewater, and water conservation education were all discussed. Recommendations for water conservation addressing each school's problems were proposed to the water resources administrators or general services administrators, as well as outcome assessments after improvements. This study also investigated the critical role of schools in the sustainable development of water resources responding to decreasing human resources.

誌謝

衷心感謝指導老師 余光昌教授和這幾年來的提攜與指導，不論是在學業上或是在為人處事上的諸多關心與教導，並給予我充分的自由與資源，因而達到研究及課業上事半功倍之成效，致使碩士論文及其研究順利完成；也要感謝口試委員 高志明教授和 李孫榮教授的不吝指正，並提供諸多寶貴意見與建議，使論文更臻於完整，在此表達個人最深的謝意。並感謝環工系與環管系李孫榮、錢紀銘、林秀雄、蔡文田、甘其銓及萬孟瑋等老師，在求學過程給予鼓勵。

感謝碩士班的同學在這段艱苦的日子，所給予的歡樂與砥礪。並感謝一直在我身邊關心我的朋友，如國鎔、曉恩、澄婷、玉菁、聖惠、幸倫、淑娟、玉玫及欣惠，但因為有你們的相伴，使我面對挫折與挑戰，也不氣餒及懼怕。

最後，要感謝我最親愛的太太淑芬及家人，他們一直是支持我最堅實的力量，感謝他們在這段時間無怨無悔的付出，讓我可以無後顧之憂的完成碩士學業。

僅以此論文獻給每一個愛護及關心我的人，願你們一起分享這喜悅。

目錄

第一章	前言	1
1.1	研究動機	1
1.2	研究目的	2
第二章	文獻回顧	4
2.1	水資源的匱乏	4
2.1.1	國際間水資源現況	7
2.1.2	國內水資源的現況	13
2.2	校園永續發展的意涵	16
2.2.1	永續觀念的沿革	16
2.2.2	永續校園的內涵	19
2.3	校園環境教育的重要性	21
2.3.1	校園環境教育的目的	21
2.3.2	校園環境教育的範疇	22
2.3.3	校園環境教育的重要性	23
第三章	研究方法	25
3.1	各級校園各類型用水點及用水量之探討	25
3.1.1	校園用水量及用水特性研究方法	25
3.1.2	各級校園用水點之探討及其用水量之推估	31

3.1.3 繪製用水平衡圖	40
3.2 校園節約用水管理措施	42
3.2.1 現行校園水資源管理模式探討	42
3.2.2 訂定用水計畫	42
3.3 節水器材在校園的應用	44
3.3.1 何謂節水器材	44
3.3.2 校園應用節水器材的種類	45
3.4 中/雨回收在校園的應用	49
3.4.1 各級校園中/雨水回收現況	49
3.4.2 校園中/雨水回收之探討	52
第四章 案例討論	56
4.1 案例 A(高雄縣某小型國小)	56
4.1.1 案例背景說明	56
4.1.2 案例用水點分析	57
4.1.3 該校用水平衡圖	63
4.1.4 用水管理及節水措施之建議	64
4.1.4.1 用水管理措施改善	64
4.1.4.2 更換節水器材設施	64
4.1.4.3 廚房用水減量	65

4.1.4.4 利用生態池處理廚房廢水並進行中水回收再利用	66
4.1.4.5 RO 製水排放水回收利用	67
4.1.4.6 節水教育及宣導.....	67
4.1.5 改善後用水平衡	69
4.1.6 節水潛力及經濟效益分析.....	70
4.2 案例 B(台南市某大型國中).....	72
4.2.1 案例背景說明	72
4.2.2 案例用水點分析	73
4.2.3 該校用水平衡圖	79
4.2.4 用水管理及節水措施之建議.....	80
4.2.4.1 用水管理措施改善.....	80
4.2.4.2 更換節水器材設施.....	80
4.2.4.3 利用游泳池排放水進行中水回收再利用	81
4.2.4.4 節水教育及宣導.....	82
4.2.5 改善後用水平衡	84
4.2.6 節水潛力及經濟效益分析.....	85
4.3 案例 C(台南市某綜合高中).....	87
4.3.1 案例背景說明	87
4.3.2 案例用水點分析	88

4.3.3 該校用水平衡圖	95
4.3.4 用水管理及節水措施之建議.....	96
4.3.4.1 用水管理措施改善.....	96
4.3.4.2 更換節水器材設施.....	96
4.3.4.3 RO 製水排放水回收利用	97
4.3.4.4 節水教育及宣導.....	97
4.3.5 改善後用水平衡	99
4.3.6 節水潛力及經濟效益分析.....	100
4.4 案例 D(台南縣某科技大學).....	102
4.4.1 案例背景說明	102
4.4.2 案例用水點分析	104
4.4.3 案例 D 用水平衡圖.....	112
4.4.4 用水管理及節水措施之建議.....	113
4.4.4.1 用水管理措施改善.....	113
4.4.4.2 更換節水器材設施.....	115
4.4.4.3 廚房用水減量.....	116
4.4.4.5 節水教育及宣導.....	122
4.4.5 改善後用水平衡	123
4.4.6 節水潛力及經濟效益分析.....	124

4.5 案例綜合分析	126
第五章 結論與建議	129
5.1 結論	129
5.2 建議	130
參考文獻.....	131

表目錄

表 2.1. 1、地球水及淡水的分佈 ⁽²⁾	6
表 2.1. 2、全球各洲逕流量及人口比例(1995 年)	7
表 2.1. 3、各國可在生水資源、人均可再生水資源及用水量占可再生水資源的比例比較表。 ⁽⁵⁾	9
表 2.1. 4、水貧乏指數之基本架構	11
表 2.1. 5、台灣與重要國家、亞洲主要國家之 WPI 排行比較 ⁽⁶⁾	12
表 2.1. 6、台灣與重要國家、亞洲主要國家之單位面積降雨量比較	13
表 3.1. 1、學校基本資料表	27
表 3.1. 2、用水設施基本資料表	28
表 3.1. 3、不同噸數冷卻水塔在相同條件的冷卻水蒸散量	35
表 3.1. 4、本研究個案例景觀用水池體一覽表	38
表 3.3. 1、省水器材其主要用途及產品種類	45
表 3.3. 2、節水龍頭水流方式區分及其省水比例	47
表 3.3. 3、依龍頭型式區分	47
表 3.4. 1、中水設置條件及用途評估表	49
表 3.4. 2、國內大專校園中水回收優良範例。	51
表 3.4. 3、中/雨水回收水質標準(草案)	53
表 4.1. 1、案例 A 學校基本資料表	56

表 4.1. 2、 案例 A 最近一年用水量及用水費一覽表.....	58
表 4.1. 3、 案例 A 用水設施基本資料表.....	59
表 4.1. 4、 案例 A 用水設施修正後用水量一覽表(CMD).....	62
表 4.1. 5、 案例 A 節水潛力及效益分析表.....	70
表 4.2. 1、 案例 A 學校基本資料表.....	72
表 4.2. 2、 案例 B 最近一年用水量及用水費一覽表.....	74
表 4.2. 3、 案例 B 用水設施基基本資料表.....	75
表 4.2. 4、 案例 B 用水設施修正後用水量一覽表(CMD).....	78
表 4.2. 5、 案例 B 節水潛力及效益分析表.....	85
表 4.3. 1、 案例 C 學校基本資料表.....	87
表 4.3. 2、 案例 C 最近一年用水量及用水費一覽表.....	89
表 4.3. 3、 案例 C 用水設施基本資料表.....	90
表 4.3. 4、 案例 C 用水設施修正後用水量一覽表(CMD).....	94
表 4.3. 5、 案例 C 節水潛力及效益分析表.....	100
表 4.4. 1、 案例 D 學校基本資料表.....	102
表 4.4. 2、 案例 D 最近一年用水量及用水費一覽表.....	104
表 4.4. 3、 案例 D 用水設施基基本資料表.....	105
表 4.4. 4、 案例 D 校區內中央空調主機分佈位置及其推估蒸發損失量....	108
表 4.4. 5、 案例 D 用水設施修正後用水量一覽表(CMD).....	111

表 4.4. 6、案例 D 節水潛力及效益分析表..... 124

圖目錄

圖 2.1. 1、台灣地區水資源結構圖(1996 年).....	15
圖 3.1. 1、研究流程.....	26
圖 3.1. 2、現地訪視流程.....	30
圖 3.1. 3、用水平衡示意圖.....	41
圖 4.1. 1、案例 A 校區建築及綠地配置示意圖.....	57
圖 4.1. 2、案例 A 用水平衡圖.....	63
圖 4.1. 3、案例 A 三槽式食材分段清洗程序圖.....	66
圖 4.1. 4、案例 A 改善後用水平衡圖.....	69
圖 4.2. 1、案例 B 校區建築及綠地配置示意圖.....	73
圖 4.2. 2、案例 B 用水平衡圖.....	79
圖 4.2. 3、案例 B 改善後用水平衡圖.....	84
圖 4.3. 1、案例 C 校區建築及綠地配置示意圖.....	88
圖 4.3. 2、案例 C 用水平衡圖.....	95
圖 4.3. 3、案例 C 改善後用水平衡圖.....	99
圖 4.4. 2、案例 D 校區建築及綠地配置示意圖.....	103
圖 4.4. 3、案例 D 用水平衡圖.....	112
圖 4.4. 4、案例 D 校園用水量網路系統架構.....	114
圖 4.4. 5、案例 D 三槽式食材分段清洗程序圖.....	117

圖 4.4. 6、案例 D 校本部污水廠因應中水回收增設程序圖.....	119
圖 4.4. 7、案例 D 校本部污水廠中水澆灌管網示意圖.....	119
圖 4.4. 8、案例 D 宿舍區污水廠新增中水管線示意圖.....	120
圖 4.4. 9、案例 D 宿舍區污水廠中水回收沖廁程序示意圖.....	121
圖 4.4. 10、案例 D 改善後用水平衡圖.....	123

第一章 前言

1.1 研究動機

在漆黑的太空中遠眺地球，地球是個美麗的藍色行星，這是因為地球表面有將近百分之七十的面積被水覆蓋，水是地球的生命之源，但是人類可利用的淡水資源卻僅佔地球全體水量的 2.5%，而且其中絕大部分保存於兩極的冰帽以及地下水之中，我們日常所能使用的水資源包含湖泊及河流卻僅佔所有淡水的 0.3%。

水資源對人類文明而言是關乎存續興亡的大事，水是彌足珍貴的資源。充足且衛生的水資源可以滿足人類基本需求、健康、糧食生產、生活環境維持以及生態系統之所需。聯合國統計目前全球六十億人口中，約有六分之一的民眾處於缺乏可用或衛生的水資源的窘況，如果對於全球日漸缺乏水資源這種既成的事實若不再正視，估計到西元 2025 年全球處於缺水或極度缺水的情況可達到世界總人口數的三分之二。

近年來我國國民教育水準普遍提高，迄民國九十五年為止，教育部登記在案學校所數達 8,254 所，雖然近年來國內學校數量成長已呈飽和狀態，但近十年來全國平均在學學生人數皆維持在 23~24%左右，伴隨著人口的成長持續增加。其中以高等教育受教人口成長幅度最大，迄 95 學年度為止教育部登記在案支大專院校為 164 所，其在學學生人數更達 111 萬人。

我國現行各級學校行政體系下，水資源管理多數為隸屬總務處所承辦的業務，業務承辦人員多為學校老師兼任或總務處行政人員，不具備水資源管理的專長，加上我國自來水用水費偏低，容易造成校方行政人員長期對於水資源管理的忽視，以致造成水資源的浪費。

教育是百年大計，在全球水資源日益匱乏情形下，更應加強民眾對於水資源的管理得教育與宣導。有鑑於我國教育的普及以及在學人口數屢創新高，加強各級學校對於水資源管理、換裝節水器材、中/雨水回收再利用及節水教育與宣導以提升全抵國民對於水資源永續發展的理念是為當務之急。

1.2 研究目的

本研究以我國教育體系下現行各級學制為主，挑選四所學校包含國小、國中、綜合高中及大學。藉由學校用水現況及用水點的分析以了解該校的用水現況，進而推估各用水點之用水量藉此繪製該校用水平衡圖，予以檢視校園內各用水點用水現況的合理性。

研究視各個案例用水點用水現況及用水點特色，並輔以該校用水平衡圖，討論個案例輔以水資源管理、節水器材的裝設、中水回收、汙水處理及節水教育等技術，提供各校水資源管理人員對於校內節水設施或總務行政管理措施評估針對該校現況所能夠進行節水改善建議以及評估改善後之

成效，並探討為因應日漸減少的水資源之下學校對於水資源永續發展的重要性。

本研究的目的是在於提供我國各級學校之決策者及水資源管理人員，因應日漸缺乏的水資源，就該校規模、學生人數、用水設備等基礎條件下討論目前水資源的使用情形是否合理、如何降低用水量及學校長期發展時水資源規劃如何有效的利用。

第二章 文獻回顧

2.1 水資源的匱乏

地球含水的總量自地質世紀以來幾乎不曾改變，但是地球人口越來越多，所有的人都完全仰賴水來維持生命(人體大部分由水組成)，人類消耗水、浪費水、棄置水、污染水又任意的改變水循環，根本不顧後果，最後導致太多的人口，太少的水源。⁽¹⁾

聯合國教科文組織為水資源(water resource)所下的定義：(Water available, or capable of being made available, for use in sufficient quantity at a location and over a period of time appropriate for an identifiable demand.)可解釋為，在一地區對於可去認的需求能長期提供質佳量穩的水源，依此定義，可將水資源的特性歸納為下列幾點：

1. 水是人类社會賴以生存和發展不可替代的自然資源。

自從地球的一個生命自四十年前的海洋孕育後，地球上每以種生命型態都離不開水，只要生活的環境缺乏水源生命便會死亡，人類也不例外，直到目前為止仍無法有任何元素或化合物可以取代水對生命的重要性。

2. 水資源具有可循環或可再生性。

水資源具有循環性，透過蒸發、凝集、降雨、匯流等型式循環不息，這是其他自然資源少有的特性。

3. 水資源是一種區域性很強的資源。

受到地球地形、地貌、緯度及氣候的影響，陸地上的水資源分佈極不均勻，有些地方終年潮濕有些地方卻草木不生，這說明了水資源是一種區域性分佈的自然資源。

4. 水資源具有很強的時間性。

因為水資源有著循環性會隨著當地季節及氣候的影響產生變化，使其具有獨特的時間分佈特性。

5. 水資源具有社會性和經濟性。

隨著人類社會的發展，水資源的用途越來越廣泛不僅是飲用水，耕種、航運、發電及觀光休憩都依賴當地水資源直雨量的穩定。

6. 水資源可以重複利用。

大部分自然資源消耗後即無法以原來的形態存在，是一種不可逆的過程，但是水資源卻不然，水遇熱蒸發但溫度下降後卻可回復原來液態水的型態。

地球的表面約百分之七十為海洋所覆蓋，但是其中卻只有百分之二點五是淡水，雖然淡水可透過蒸發、降雨等循環再生但是對地球上六十億的人口而言仍是相當有限。據 Maidment, D. R.⁽²⁾ 估算地球上約有 $13.86 \times 10^6 \text{ km}^3$ 的水，主要分佈在海洋、兩極的冰層、地下水、湖泊及河流等，其分佈推估如下表：

表 2.1. 1、地球水及淡水的分佈⁽²⁾

種類	體積 ($\times 10^3 \text{ km}^3$)	占全球的水源比例(%)	占全球淡水的比例(%)
海水	1,338,000	96.5	
地下水	10,530	0.76	30.1
地下海水	12,870	0.93	
土壤水	16.5	0.0012	0.05
冰	24,364.1	1.725	68.6
淡水湖泊	91.0	0.007	0.26
鹹水湖泊	85.4	0.006	
沼澤	11.47	0.0008	0.03
河川	2.12	0.0002	0.006
生物水	1.12	0.0001	0.003
大氣水	12.9		0.04
合計	1,385,946.61	100	
淡水合計	35,029.21	2.5	100

地球上約有 3500 萬立方公里的淡水，但其中以冰的型態占最大的比例存在於南北極、冰河及高山積雪約占總淡水量近七成，另外地下水佔近三成，其餘微小部分才存在於人類便於使用的湖泊河川中⁽³⁾。

2.1.1 國際間水資源現況

人類對水源的取得大多仍限制在河川或湖泊逕流之中，河川或湖泊的逕流量必須倚靠降雨或高山堆雪溶解予以補充，補充的情形必須受其地形及氣候條件所影響，各國條件不一。亞洲地區占世界 60%的人口卻只有 36% 逕流量，南美洲地區僅有 6%的人口越占有 26%，部分河流或湖泊位在高緯度或熱的地區等人煙稀少的地方，水資源輸送成本相當昂貴利用不易。下表為 1995 年全球各洲逕流量及人口比例：⁽⁴⁾

表 2.1.2、全球各洲逕流量及人口比例(1995 年)

地區	總逕流量(km ³)	占全球逕流量的比例(%)	占全球人口的比例(%)
歐洲	3,240	8	13
亞洲	14,550	36	60
非洲	4,320	11	13
北美洲	6,200	15	8
南美洲	10,420	26	6
澳洲及大洋洲	1,970	5	<1
總計	40,700	101(因四捨五入，不等於 100)	100

由於水是循環不息的，要評估一個地方水資源的總量可以以可再生水資源(renewable water resource)來表示，可再生水資源包含當地的因降雨所產生的河川逕流量及地下水補注量。當再生水資源量大代表當地可供人類利用的水資源數量較多，當然這個部分還必須考慮當地水利設施的建設及利用率。除了可再生水資源外我還可以用當地人口所能分配到的可再生水資源數量，用來檢視該水水資源是否充沛。以冰島為例，冰島為全世界每人每年可使用再生水資源最高的國家達 599944 m³/人，而科威特世界每人每年卻不到 10 m³/人，可見該國水資源的匱乏。各國可在生水資源及用水量，如下表：

表 2.1.3、各國可在生水資源、人均可再生水資源及用水量占可再生水資源的比例比較表。⁽⁵⁾

國家	可再生水資源(km ³)	人均可再生水資源(m ³ /人)	用水量(Mm ³)	人均用水量(m ³ /人)
巴西	8,233	47,125	54,870	359
加拿大	2,902	92,810	45,100	1,607
中國	2,830	2,186	525,489	439
剛果	832	259,547	40	20
埃及	58	830	66,000	1,055
法國	204	3,414	32,300	547
冰島	170	599,944	160	622
印度	1,879	1,822	500,000	592
以色列	2	265	1,620	287
日本	430	3,372	91,400	735
約旦	1	1,694	984	255
科威特	0.02	9.9	538	306
台灣	68	3,030	18,480	825

除了逕流量與可再生水資源的指數外，還可以使用水貧乏指數(Water Poverty Index, WPI)作為該地區或國家水資源是否缺乏的指標，該指數系統

之主要目的，在於以科學整合的數值測度水的存在性所代表的國民福祉，並指示因水的匱乏對人類衝擊的程度。指數系統中主要考量者包括一國家或地區水資源之可用度、可及性、人們可取用水的能力，與涵養水資源之背景環境品質。該指標的開發，使得針對國家或社區之間的排序與比較成為可能，並可將各種物理的與社經的因子一併納入水的匱乏性的考量。在2002年，WPI 研究單位已發表對於全世界共 147 個國家的 WPI 值與排行，其中前五名分別為：芬蘭、加拿大、冰島、挪威、蓋亞那；最後五名分別為：海地、尼日、衣索匹亞、厄立特利亞、馬拉威。

WPI 使用類似聯合國之人類發展指數 (Human Development Index, HDI) 的計算方式，測度一國家在全世界各國中的相對位置，1 分為最高分，0 分為最低分。WPI 包括五大面向，各面向由數個次面向或指標組成。該五大面向為：

- 1.水資源
- 2.取得水的途徑
- 3.取得用水的能力
- 4.水的使用
- 5.與水有關的環境

上述每個面向，均由二至六個次面向（指標）組成，其基本架構如下表所列，每一面向納入之指標均有其特定之代表性與意義。

表 2.1.4、水貧乏指數之基本架構

面向	次面向或指標與使用的資料
資源	內部淡水來源量、外來水量、人口數。
途徑	可取得潔淨水的人口百分比、可使用衛生設備的人口百分比、可接受灌溉的人口百分比。
能力	人均 GDP、五歲以下嬰兒死亡率、受教育比例、吉尼指數（所得分配）。
使用	每日民生用水量、工業用水與農業用水比例（以個別所佔 GDP 比例調整）。
環境	在 ESI（世界經濟論壇等開發之「環境永續力指數」，2001 年版本）架構中之水質、用水壓力、環境法令與管理、資訊容量、生物多樣性等指標。

台灣的WPI得分為63.5分，在全世界加入台灣後的148個國家中，名列第40名，位置約為前27%。下表列出台灣與世界上與亞洲若干重要國家五大面向與WPI之總分與相應之名次

表 2.1.5、台灣與重要國家、亞洲主要國家之 WPI 排行比較⁽⁶⁾

國家	資源	途徑	能力	使用	環境	總分
芬蘭	34	1	12	56	1	1
加拿大	8	1	6	129	2	2
英國	98	1	19	66	3	11
法國	84	1	12	114	11	18
美國	56	1	38	148	6	31
印尼	45	80	77	2	97	33
日本	82	1	4	139	36	34
德國	110	1	12	139	13	35
台灣	88	1	29	141	24	40
俄羅斯	26	85	42	87	20	41
南韓	118	28	20	106	54	44
澳洲	39	74	21	136	20	45
菲律賓	65	54	83	18	129	58
新加坡	142	1	36	116	108	80
印度	106	95	101	9	123	101
中國	103	106	88	28	121	107

2.1.2 國內水資源的現況

台灣地區由於降雨水文條件豐枯不均以及河川坡度很大，雖然年平均雨量高達2,510 公厘，約為世界平均值之2.6 倍，但因地狹人稠，每人每年所分配雨量約為世界平均值的七分之一，屬於水資源較為缺乏之國家，復以降雨在時間上之分布極不均勻，豐水期（五至十月）之雨量即佔全年之78%，且大部分降雨集中在颱風過境時，若颱風降雨較少，即面臨缺水之窘境。(7)

表 2.1.6、台灣與重要國家、亞洲主要國家之單位面積降雨量比較^(?)

國 家	臺灣	日本	中國	英國	法國	全球平均
單位面積降水量(mm/年)	2,510	1,820	890	800	760	730
單位人口分配之降水量 (M ³ /年/人)	4,348	6,060	9,720	3,400	7,810	28,300

對台灣地區而言，水資源彌足珍貴。水資源的分配因此成爲影響台灣整體發展的因子中最重要的一環。近年來，在持續的都市化與工業化的發展下，台灣地區之用水結構與需水量隨著產業結構之變遷有所變化，因而引發水源缺乏之問題，使得水資源不但成爲在區域發展之環境限制因子中最爲重要的一項，亦是地區永續發展中的決定機制。

由環境供給面分析，台灣地區 1996 年總降雨量為 1,030 億噸，扣除直接由河川排入海中之損耗，加上地下水之入滲量 40 億噸，所能供給之水量共約為 157 億噸/年。由下圖可得知，台灣地區 1996 全年之總用水量為 176.36 億噸，其中包括：民生用水 30.96 億噸，佔用水量的 17.50%；工業用水 16.51 億噸，佔用水量的 9.36%；農業用水 128.89 億噸，佔用水量的 73.08%。⁽⁸⁾

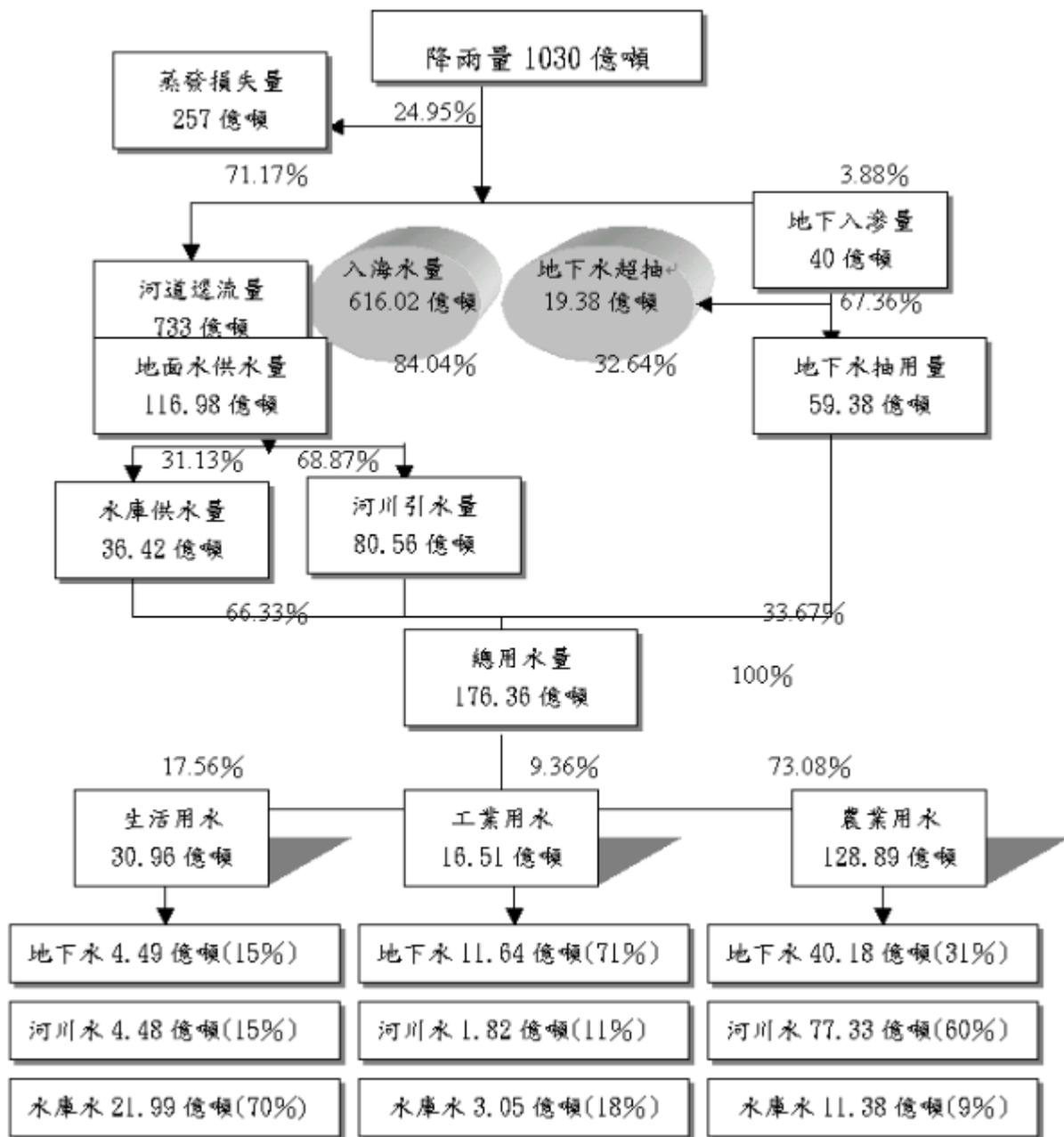


圖 2.1.1、台灣地區水資源結構圖(1996 年)

2.2 校園永續發展的意涵

2.2.1 永續觀念的沿革

永續發展 (sustainable development) 的概念，起源於西元 1972 年聯合國於瑞典首都斯德哥爾摩舉行「人類環境會議 (UN Conference on the Human Environment)」，發表「人類宣言」，是環保問題受到人們重視的開始。然而近幾十年工業、經濟的開發成長，導致溫室效應、臭氧層破壞等全球性危機日益嚴重，而威脅到地球生態⁽⁹⁾。

宣言中提到如果人們不能共同合作、攜手拯救地球，人類遲早會從地球上消失。於會議中促使已開發及開發中國家，強調各國在不違背聯合國憲章及國際法原則下，對該國資源雖有開發利用之權利，但亦有義務保證開發活動不會破壞其他國家環境進而開啓了國際間合作解決環境問題的共識，並訂定每年的六月五日世界環境日。

1980 年由國際自然保育同盟 (IUCN)、聯合國環境規劃署 (UNEP)、世界野生動物基金會 (WWF) 出版《世界自然保育方案》(World Conservation Strategy)⁽¹⁰⁾中首先提出「永續發展」的觀念：「研究自然的、社會的、生態的、經濟的以及利用自然資源體系中的基本關係，確保全球的永續發展」，然而並未引起國際間的回響。1983 年秋聯合國第 38 屆大會，成立「世界環境與發展委員會」(World Commission on Environment and

Development, WCED)，並制定「全球的變革日程」(A Global Agenda for Change)，提出今後十年中實現永續發展的長期環境對策，促進開發中國家與經濟及社會發展處於不同階段的國家更廣泛合作，使國際社會更有效地解決環境問題，確立世界社會的理想目標。

直到 1987 年秋天聯合國第 42 屆大會，布倫蘭德委員會 (Brundland Commission) 即環境與發展世界委員會 (World Commission on Environmental and Development) 出版《我們共同的未來》(Our Common Future) 報告書，定義「永續發展」之概念為「能夠滿足當前的需要又不危及下一代滿足其需要之能力的發展。」即提高地球所有人民的生活素質，而不增加使用自然資源，自此，「永續發展」的概念才為全球所接受，成為全球科學課題研究之對象，亦各國在制定發展計畫時優先考慮之基本原則。

自 1972 年至 1987 年間國際各國對未來環境趨勢的一連串表白與檢討，終於孕育出聯合國環境及發展委員會 (UNCED) 的設立，以及 1992 年地球高峰會議 (Earth Summit) 的召開。在這段期間，國際上又出現了兩份重要文獻 (國際自然保育聯盟，1986 及 1992)。其一是 1986 年發行的“關懷地球 (Caring for the Earth)；其二是 1992 年的全球生物多樣性保育策略 (The Global Biodiversity Strategy)。

1991 年 UNEP, IUCN 和 WWF 等機構出版「關懷地球——一個永續生存的策略」一書。建議建立以人爲中心，保育爲基礎的世界倫理(world ethic)。

1992 年 6 月，聯合國環境及發展委員會 (UNCED) 在巴西里約熱內盧召開的聯合國環境與發展大會 (UNCED)(又稱「地球高峰會議」(Earth Summit))，中簽署了「廿一世紀議程」及「里約宣言」。該會議爲了調整目前國際間的經濟秩序、變更生產與消費方式，並修正各國政策及加強國際間的約束及規範等，並確保地球環境不再遭受更大破壞，且仍可提供後代子孫延續享有足夠的自然資源與生存環境。

地球高峰會後五年 (1997 年)，聯合國召開「里約後五年 (Rio+5) 會議」，由各國政府報告依「廿一世紀議程」在其國內實施的狀況，以追縱全球「永續發展」執行之成果。2002 年 8 月 26 日至 9 月 4 日，「里約後十年 (Rio+10) 會議」再度於南非約翰尼斯堡展開，會中研討全球人口持續成長，對糧食、水、居所、衛生、能源、醫療服務及經濟保障等需求龐大，如何提昇經濟及社會發展，促進人類生活，同時保護自然環境及資源的問題，以落實「廿一世紀議程」的主張。永續發展的目標如環境保護、人口問題、能源問題、都市規劃與全球貿易合作等，已成全球共識。

我國爲求永續發展陸續成立「永續發展」的官方相關組織，有行政院
的「國家永續發展委員會」、經濟建設委員會的「永續發展論壇」及國家

科學委員會的「永續發展研究推動委員會」等，其他的工作小組有經濟部的「永續發展中心」（主要在推動水資源之永續發展，及執行海洋與水土資源管理），及我國立法院內立法委員籌組的「永續發展促進會」等。⁽¹¹⁾⁽¹²⁾

2.2.2 永續校園的內涵

永續校園可視為學校生態應建立生態文化環境與科技文明環境共生體系，此一學校環境生態文化與科技文明環境共生理論體系泛指：學校環境發展應具有生態觀、環保觀、學校建築及校園環境的安全、健康、舒適、美觀與科技具人性觀，學校建築及校園環境與自然環境、周圍環境具親與共生。⁽¹³⁾永續校園的規劃和設計必須要列入許多考慮因素，包括能源效率、環境影響、資源保護和空氣品質。永續校園的營造，包含層面既深且廣，要兼顧這些理念，需要各種專業的人員的加入如永續建築設計專家、建材專家、建築師、校方人員、學生及社區人士，並進行廣泛領域的事前計畫協調⁽¹⁴⁾。

2.2.3 國內綠建築標章中對於校園水資源的管理

國內綠建築政策為求簡化及量化目標採用氯化、基地保水、日常節能、CO₂減量、廢棄物減量、水資源、污水與垃圾改善、生物多樣性指標及室內環境指標等九項指標作為綠建築之評估系統。行政院90年3月8日並核定綠建築推動方案，方案中明定接受政府補助達二分之一或總工程造價達5000

萬者，自民國90年1月1日期必須取得綠建築標章並必須通過日常節能及水資源等量項指標，學校規劃水資源管理時須將指標納入規劃參考，設置節水器材及中/雨水回收設施外應注意下列項目：⁽¹⁵⁾

- 1.洗手檯水龍頭，除廚房或清洗供水之需外，宜全部採用瀑氣式、節水水栓。
- 2.大、小便器應採用符合國家標準之節水型器具，座式馬桶應採用兩段式節水器具。
- 3.設置親水設施、游泳池、噴水池、戲水池、SPA或三溫暖等耗水設施者，必須設雨水貯集利用或中水利用系統。
- 4.開發總樓地板面積20,000 m²以上或基地規模2公頃以上者，必須設置雨水貯集利用或中水利用系統。
- 5.污水垃圾改善指標大多為興建設備空間與營建管理有關的規定，學校須從規畫設計階段開始注意改善。
- 6.建築業者要在設計施工階段，即預留專用洗衣空間及排水孔，並確實督導水電設計及施工者將排水管接續至污水系統，即達指標合格要求。
- 7.依建築法規及環保法規等相關規定，校園應設廚房、餐廳、洗衣、教室、走廊、更衣及浴室空間的雜排水配管系統，應確實導入污水系統。
- 8.廚房應設有油脂截留器並定期清理。

校園設置中/雨水回收系統後必須依處理設備的需求進行操作及維護之工作，並訂定安全管理及維護計畫。計畫中應明定水質、水量及日常操作

相關頻率及標準，確保及使用不會發生衛生或感官上的不舒適感。對於水質的管理應並須明定期檢測項目及檢測頻率，如 pH、是否產生臭氣、餘氯及色澤外觀應每日檢視及分析，每月應對其法規管制項目進行檢測如生物需氧量、化學需氧量、大腸桿菌、濁度及懸浮固體物。⁽¹⁶⁾

2.3 校園境教育的重要性

2.3.1 校園環境教育的目的

1977 年聯合國教科文組織(UNESCO)在國際環境教育會議中對於環境教育所定義如下：「環境教育是一種教育過程，在這個過程中認人與社會應認識他們的環境以及組成這個環境中各種成分子間的交互作用，得到之是、技能與價值觀，並能個別或集體的解決現在和將來的環境問題。⁽¹⁷⁾人類為達成永續發展的理想目標必須使地球上每一位公民都具備負責任的環境行為，這也是環境教育的主要目的。⁽¹⁸⁾

人類為了提升國民生活素養以及培養專業技能設立有規劃及組織的特定場所，我們稱之為學校。學校是國際間目前皆採認及實施的一種基礎且正規教育。⁽¹⁹⁾學校的環境教育用以教導關愛環境、善用自然資源、維護自然生態與文化、及妥善處理生活周遭的環境問題，並透過教育的方法讓人們了解處在自然生態與社會環境中所對應的角色與互動，透過環境知識、

環境倫理與環保技能的提升進而保護人類所生存的社會以及自然環境。(20)

2.3.2 校園環境教育的範疇

校園環境教育的範疇是在建構人類適當的環境知識、技能、態度及參與感等環境素養。本質上，具有科際整合性、整體性、價值性、生活性、實踐性、終身性及全民性等七大特徵。(21)環境教育的發展目標，在於人類面對與處理環境議題時，能採取適當的環境決策與行動，以兼顧生態、經濟和社會的永續發展。希望透過學校教育的過程，加強國民在學階段奠立環境相關的知識、技能與倫理等的基本素養。學校實施環境教育在於增進學生有關環境的概念，培養愛護環境的知能與倫理及增進教師及工作人員充實的環境知能，提昇學校環境教學及校園環保工作成效。學校推動環境教育主要在增進學校教職員生對校園環境的認知與熱愛，並藉著落實校園生活環保將此理念推廣到社區中。

教育部於民國 87 年 9 月 30 日頒定的《國民教育階段九年一貫課程總綱綱要》即反應了迎接新世紀的教育理念，期能以新課程能培養具備人本情懷、統整能力、民主素養、鄉土與國際意識，以及能進行終身學習之健全國民。為實現國民教育階段的學校教育目的，我國中小學新課程綱領指出，須引導學生致力於「人與自我」、「人與社會環境」、「人與自然環境」等三個面向的學習。(22)

2.3.3 校園環境教育的重要性

我國推行環境教育以來，一直重視環境知識的傳授有關。單只具備環境知識與環境問題的覺知，是無法成功的轉化成環境行動⁽²³⁾。若只讓學生知道環境問題而不讓學生主動參與環境問題，老師再怎麼改變教法，也無法讓他們具有主動的行為。加上長久以來「由上而下」教育政策，迫使許多地方教育失去動力和彈性，執意達成既有的教育目標，卻犧牲教育過程，及限制發展地方特色教育的希望工程。⁽²⁴⁾

現在學校主要是由政府機構所贊助的經費推動環境教育，例如能源教育、水土保持教育、資源回收教育、飲用水衛生教育、水資源保育教育、野生動物保育教育、生態教材園推動等等。這些推廣教育受限於教育現況，「不得不」採用融入式教學，希望透過機會教育讓學生學習某些環境問題的重要性。⁽²⁵⁾這種政策施行方式，將教育視為一種政策延續的形式，絲毫未加考量學校本位的特色，學生所得到的只是粗淺的概念，對於在地化的環境問題的關心，自然是毫無引發動機。西方研究顯示，單注重生態基礎知識與環境問題的覺知之環境教育，並不易促進負責任的環境行為，甚至有時還會造成學生們的無力感。因此，如果台灣環境教育的主要目標，是要培育出具有動力的環境公民，那麼更多的環境行動研究與環境教育的介入研究將是必要的，如此，才能建構出有效的教學模式。現行制式化

的教育太強調學科的基本理論而非人文或生活環境的價值，我們對於地球生態系有太多的無知及無理的需求，人類應節制自對於物質的慾望。「地球不需要更多成功的人，但環境強烈的需要更多的調節者、醫治者、復原者、作家以及對所有事物的愛好者。」⁽²⁶⁾

台灣在伴隨經濟成就之後隱藏鄉土意識的日趨薄弱及環境問題日益嚴重。以學校及家庭為教育下一代環境教育的起點，最終的目的是培養學生正向的環境態度及價值觀，以正確、積極的環境行動愛護自己的家庭、校園及家鄉。讓學生藉由家庭及學校日持生活的觀察中，歸納出目前所面對的環境問題，透過環境教育讓學生更懂得珍惜水資源及努力實踐節水計畫；對垃圾減量產生責任感，願意主動做班級、校園及家庭垃圾分類回收，還有用心思考回收資源再利用的方法；也更主動關心、察覺、分析住家週遭環境及校園環境問題，進行家庭和校園的環保行動，成效良好。⁽²⁷⁾

台灣各級學校執行環境教育已經有了很長的一段時間。環境保護知識卻僅限在校園裡面對周遭社區的民眾裡成效不彰。學校執行環境教育除了能讓學生學習環境教育課程，並且把這些課程所獲得的相關知識傳達給他們的父母，讓水資源教育的觀念可以在社區中落實。⁽²⁸⁾

第三章 研究方法

3.1 各級校園各類型用水點及用水量之探討

3.1.1 校園用水量及用水特性研究方法

我國各級校園規模及人數差異性相當大，以本研究為例學生人數從數百人到一萬七千人皆有，視其學生人數多寡、學校占地面積大小、學校學制及補助經費的多寡，導致各個學校間用水量及用水設施差異性相對較大。目前我國各級學校對於水資源管理工作多劃歸為總務處下所負責的業務，對於水資源管理的工作也視乎承辦老師或職員的態度而有程度不一的重視。

本研究主要以實地訪視及現場訪談各校總務人員，藉由實地訪視調查學校各類用水點，並藉由現場訪談校方總務人員了解其用水點用水特性及用水量。藉由調查用水點及推估其用水量建立基本用水特性資料，並繪製用水平衡圖，以檢視各級學校用水現況差異性。利用該校用水平衡圖評估各種用水管理措施、裝設節水器材、中/雨水回收等方法輔以現場訪視總務人員及該校現況討論其適用性及經濟效益。

檢視建議之用水管理措施、裝設節水器材、中/雨水回收等方法，評估推動該項建議可帶來之經濟效應及推動的困難度，依校園規模大小之不同釐定事宜該校的中長期節水規劃，擬盼校方管理單位將其計畫視為校園長

期發展之規劃。該項規畫可視為節水教育的一環，相望將水資源保育及珍惜水資源除能在學校推廣外，更能帶入社區帶入家園，水資源短缺的台灣可以早日邁向水資源永續發展的目標而努力。

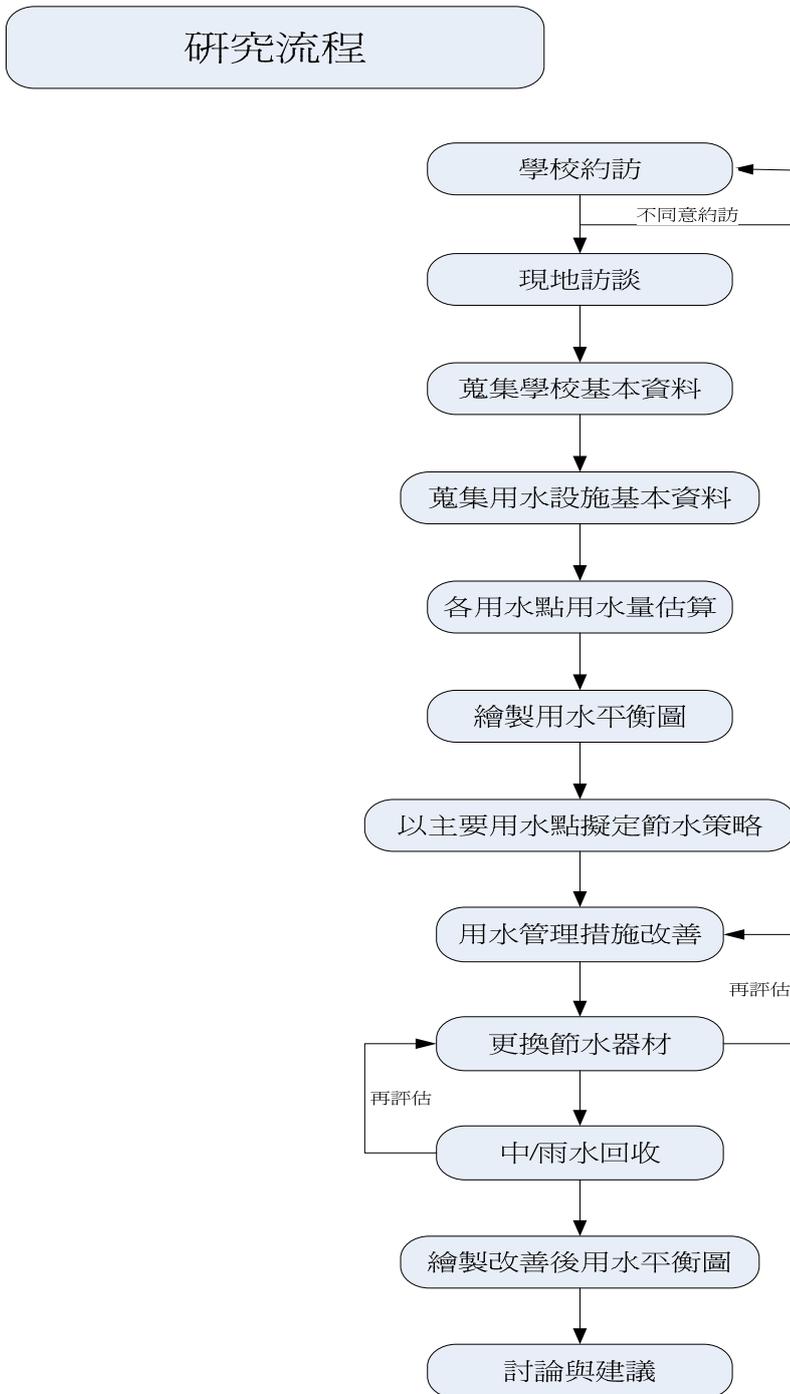


圖 3.1. 1、研究流程

本研究第一步先以電話訪談各學制學校總務人員了解該校基本資料，並詢問使否有意願參與本次研究，待校方人員有意願配合並約定訪談時間後著手整理該校基本資料包含其學制、規模、所在地等相關基本資料。抵達學校所在地，聯絡校方配合訪談人員，其配合訪談人員多為總務處專職或兼任老師。訪談時先行針對校方基本資料予以蒐集，校方基本資料如下表：

表 3.1.1 學校基本資料表

項目	資料取得	用途
校名	訪談	基本資料
佔地面積	訪談	了解學校面積大小
主要水源	訪談	了解是否以自來水為主要水源
自來水水號	訪談	了解其自來水用量
綠地面積	訪談	了解學校需澆灌綠地面積大小
教職員人數	訪談	了解學校教職員人數
學生人數	訪談	了解學校學生人數
學制	訪談	了解學校各時段師生人數分配情形
平面圖	訪談	了解學校各用水設施配置情形

蒐集基本資資料後，與該校配合訪談人員確認無誤後，著手針對用水設施部分蒐集用水設施基本資料及其用水量，校方用水設施基本資料如下表：

表 3.1.2、用水設施基本資料表

用水設施	資料取得	用途
廚房烹調用水	訪談	以每日供餐量推估其用水量
綠地澆灌方式或頻率	訪談	以綠地澆灌方式或頻率推估其綠地澆灌用水量
空調冷卻用水	訪談	以空調主機形式、噸數大小、開啓時間推估空調冷卻水塔用水量
RO 製水	訪談	以 RO 每日製水量推估其耗水量
衛生設施數量	訪談	以師生人數及衛生設施數量推估其馬桶、水龍頭及小便斗等用水量
景觀用水及其補充頻率	訪談	以景觀水池大水及其自來水源補充頻率推估其景觀用水量

配合現地訪談的內容及該校用水設施的統計，本研究試圖合理的推估各校用水點及其用水設施用水量，繪製該校用水平衡圖，並找出用水點及用水量，予以討論該校用水特性。再以上述推估結果輔以節約用水管理措

施、裝設節水器材的成效、中/雨水回收系統的設置，評估其節水潛力及成果。並藉由上述研究方法找出最適合該校的節水建議及未來規劃方向。

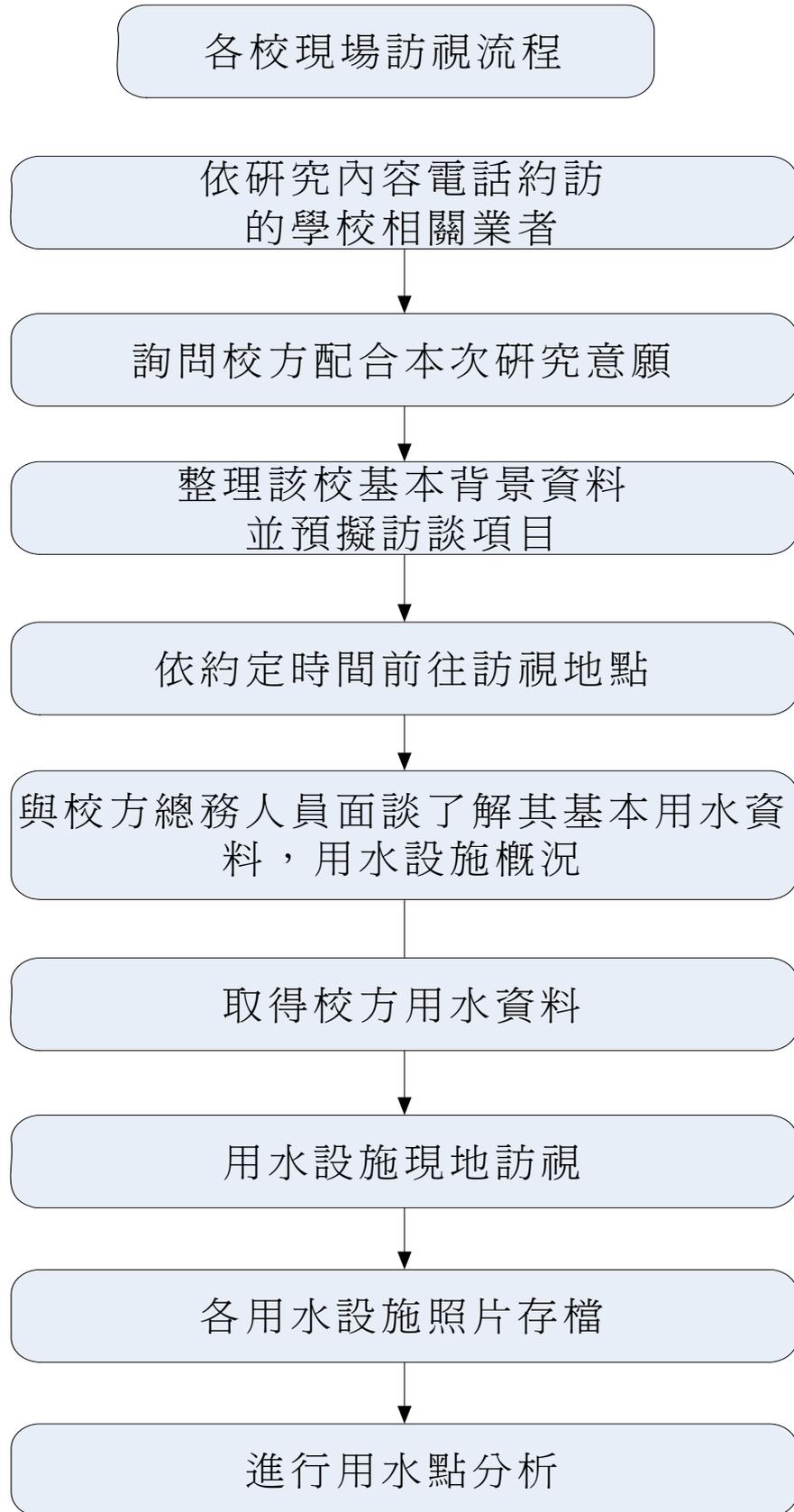


圖 3.1.2、現地訪視流程

3.1.2 各級校園用水點之探討及其用水量之推估

本研究至各校實地訪談後發現校方並未針對其用水設施裝設獨立水錶，因使用者及使用模式之不同，同樣的用水設備其估算用水量有所差異，導致下節估計各用水點用水量時多以該校總務人員訪談內容為主或本研究主觀推估，各校間估算式少數並非一體適用。以下估算各用水點之用水量：

1. 學校單日用水量估算:

學校單位每月用水量分佈不均，寒暑假學生未上課期間因學生人數減少導致用水量明顯減少。本研究中四個案例為便於推估個案例學校平均單日用水量，本研究預計以該校過去一年總用水量扣除寒暑假月份 2、7、8 月份等三個月，總用水日數以 275 日計算，計算該校過去一年之平均單日用水量(單位：CMD)，如下式：

$$\begin{aligned} \text{學校單日用水量} &= (\sum 95/03 \text{ 至 } 96/02 \text{ 扣除寒暑假月分用水量}) / \text{用水日數} \\ &= (\sum 95/03 \text{ 至 } 96/02 \text{ 用水量} / 275 \text{Day}) \end{aligned}$$

2. 師生住宿生活用水量估算：

本研究中僅案例 D 校內有住宿學生，研究中住宿人口之生活用水量以自來水公司 95 年度我國每人每日用水量為基準，為 352 L/day，換算為 0.352 CMD。如下式：

師生住宿生活用水量=(住宿師生人數 × 95 年度我國每人每日用水量)

3. 廚房烹調用水量估算：

本研究四個學校樣本中，僅案例 A 及案例 D 兩所學校製備學生及教職員用各式餐點，因供餐規模及供餐型態差異極大，於本研究中兩案例之推估用水量模式也相對不同。

案例 A(高雄縣某國小)該校設中央廚房以烹製全校師生營養午餐為主，依該校總務人員表示極少烹製早晚餐，該案例以該校全體師生視為該校廚房備餐人數，並以每日僅提供中餐為原則。據該校廚房工作人員該校每日供餐人數約為 300 人，依逢甲大學土木及工程研究所「合理生活用水量之探討研究」調查指出⁽²⁹⁾，台灣地區每人每天用於炊煮之用水量為 58 lpcd，故將每人每日用於炊煮營養午餐洗滌之號水量設定為台灣地區每人每天用於炊煮之用水量的三分之一約為 19 lpcd，並藉此估算該校每日廚房用水量。如下式：

案例 A. 廚房烹調用水量=(師生人數 × 我國每人每日烹調用水量 × 1/3)

案例 D(台南縣某科技大學)該校師生人數達 18,000 人，校內有數座用餐場所，各場所均設置獨立廚房，皆未裝設獨立水錶。以該案例而言全校之用餐人口無法有效統計，因並非所有學生皆在學校餐廳用餐。且該校設有進修部及推廣教育，上述學制學生較少在校用餐。該案例因宿舍住宿學

生因已估算每人每日用水量，本案例中估算該校烹調用水量必須該扣除其人數方為合理，在案例 D 預計以該校日間部人數扣除住宿人數的三分之一推估該校烹調用水量，如下式：

$$\text{案例 D. 廚房烹調用水量} = ((\text{日間部師生人數} - \text{住宿人數}) \times 1/3) \times (\text{我國每人每日烹調用水量} \times 1/3)$$

4. 綠地澆灌用水量估算：

我國各級學校校地配置中均包含大量綠地供師生休憩及環境美化之用，然綠地面積之澆灌量需視其該校所種植的植被種類以及澆灌的頻率，然本研究四個案例中澆灌綠地均以自來水為唯一水源，且其澆灌用水並未裝設獨立水錶，澆灌方式並非定時定量性的澆灌端看工友之判斷，因此澆灌水量無法得到確切的估計，除了上述之綠地澆灌用水量無法估計外，本研究中各個案例其總務人員均不知其每日澆灌之綠地面積。

本研究僅能以該校粗略之綠地面積比例及每公頃澆灌用水量估算，經濟部水利署用水計畫書中每公頃綠地的建議澆灌量為 20 CMD，本研究中案例綠地每日灌溉量，如下式：

$$\text{綠地澆灌用水量} = (\text{綠地面積} \times \text{澆灌頻率} \times \text{每公頃建綠地澆灌量})$$

5. 空調冷卻用水量估算：

空調冷卻用水於本研究中僅案例 D 台南縣某綜和科技大學中使用，其他三個案例皆使用窗型冷氣或氣冷型廂型空調主機，無冷卻用水之需求。空調冷卻用水主要為冷卻散熱之用途，其耗水量必須視乎冷卻水塔型式、空調主機大小及形式、空調主機開啓時間、冷卻水管理的模式(回流比、導電度、清洗頻率)及當地的氣候條件，若該案例未裝設獨立水錶即無法得知其確切的用量。

在本研究中僅針對空調主機的大小及開啓時間作一粗略性的用水量估算，參考 2004 年冷卻水塔之節水策略論文⁽³⁰⁾中良機實業型號 LBC 式水塔於台南市之實測蒸散資料如表 3.1.3 推估案例 D 中相同空調噸數之冷卻用水蒸散量(空調冷卻用水)，並以該蒸散量推估案例 D 之空調冷卻用水量。

表 3.1.3、不同噸數冷卻水塔在相同條件的冷卻水蒸散量⁽³⁰⁾

各冷卻噸數水塔在台南市(年均溫24.1℃、相對濕度78%)以每天24小時每月30天連續運轉之月平均蒸發量。			
噸數(tons)	風扇馬達(HP)	送風量(m ³ /min)	蒸發損失量(kg)
3	1/6	25	1600
10	1/4	100	6400
50	1 1/2	330	21120
100	3	700	44800
400	15	2600	166400

以案例 D 之空調規模大小及開啓時間，本研究援用上表推算其空調冷卻用水量，如下式：

空調冷卻用水量

$$= (\text{空調主機噸數所對應之蒸發損失量} \times \frac{\text{每日開啓時數}}{24} \times \frac{\text{每月開啓日數}}{30.5}) / 1000$$

6.RO 製水用水量估算：

目前我國各級學校中普遍設置逆滲透飲水機提供全像師生飲用或廚房烹製餐點用，在本研究四個案例中均設有各型的逆滲透系統，案例 B、D 中均為小型飲水機系統但裝設數量較多，該類型飲水機系統每日產水量落差極大無法有效統計，在本研究中將不納入計算。

案例 A、C 中，兩校雖設置中型逆滲透飲用水系統，但該系統並未裝設其獨立水錶，僅以該校總務人員提供之每日製水量推估其製水用水量。但逆滲透飲水機之製水耗水量需視其機型、操作壓力、逆滲透模的種類等條件而有所不同，本研究援引行政院環保署認識淨水器專刊中第六篇淨水器設置時機及種類，⁽³¹⁾提出平均每製造一公升逆滲透水需排放兩公升廢水之比例與以推估，如下式：

$$\text{RO 製水用水量}=(\text{RO 製水產量}\times 3)$$

7.衛生設施用水量估算：

本研究衛生設施之用水量推估預計援引經濟部水利署民生及公共大用水戶節水輔導計畫中，針對馬桶、水龍頭及蓮蓬頭等用水設施用水量及其裝設節水器材之節水量推估。⁽³²⁾該項推估中使用人數、使用頻率及使用時間視其左右期用水量最大的因數，這部分除非確實針對各用水點進行使用人數統計或裝設專用水錶，方能取得實際的用水量。本研究限於人力及經

費，無法就各個案例逐一調查或裝設水錶，預計以主觀的推估方式估算個案之衛生設施用水量。

如同上述，針對馬桶、水龍頭及蓮蓬頭等用水設施本研究預計以使用人數、使用頻率及使用時間推估其用水量，針對馬桶部分於各個案例皆設定為每人每日使用 0.5 次，若為住宿師生則設定為每人每日使用四次，傳統馬桶每次用水量為 12 L，已裝設節水器材、兩段式沖水馬桶及獲得節水標章認證之馬桶，每次用水量為 9 L。

針對水龍頭部分本研究中各個案例中設定為每人每天使用四次，每次開啓時間為 5 sec，傳統水龍頭流量為 9 L/min，裝設節水器材或獲得節水標章認證之水龍頭流量為 6 L/min。

針對蓮蓬頭部分本研究中各個案例中設定為每人每天使用兩次，每次開啓時間為 15 min，傳統水龍頭流量為 10 L/min，裝設節水器材或獲得節水標章認證之水龍頭流量為 5 L/min。

馬桶每日用水量=(學生人數×使用次數×馬桶用水量)

水龍頭每日用水量=(學生人數×使用次數×使用時間×水龍頭流量)

蓮蓬頭每日用水量=(學生人數×使用次數×使用時間×蓮蓬頭流量)

若將傳統衛生用水設施加裝節水器材或更換具省水標章之衛生用水設施其改善後用水量估算，如下式：

馬桶每日用水量=(學生人數×使用次數×節水馬桶用水量)

水龍頭每日用水量=(學生人數×使用次數×使用時間×節水水龍頭流量)

蓮蓬頭每日用水量=(學生人數×使用次數×使用時間×節水蓮蓬頭流量)

8.景觀用水用水量估算：

在本研究中，景觀用水定義為校內之噴水池、生態/景觀池及溢洪池等人工池體，本研究各案例池體數量統計，如下表：

表 3.1.4、本研究個案例景觀用水池體一覽表

項目	案例 A	案例 B	案例 C	案例 D
噴水池	1	1	1	1
景觀/生態池	0	0	0	1
人工溼地	0	0	0	1
溢洪池	0	0	0	1

本研究各個案例之景觀用水池體期補充用水來源僅部分為自來水，如案例 D 中之人工濕地為處理污水處理廠之放流水，該瀉洪池亦為人工濕地處理後放流水之儲存池，兩者皆未使用自來水為其補充水源。針對使用自來水作為補充水源之池體，因未裝設獨立水表，本研究以池體面積及台南夏季每日蒸發量，日平均蒸散量援引自台灣西南部青灰岩(泥岩)地區植物生

態研究中，⁽³³⁾西元 1968 年~1973 年台灣西南地區蒸發量平均值為 4.42×10^{-3} m/day，在不考慮降雨及溢流水量下以平均蒸發量及水池面積作為推估其用水量，如下式：

$$\text{水池每日用水量} = (\text{水池面積} \times \text{日平均蒸發量})$$

9.運動及其他設施用水量估算：

在本研究中，動及其他設施用水定義為游泳池或 SPA 設施等，運動或休閒用途之人工池體。此類池體用水量視其池體用途、操作條件及操作頻率而有所不同，例如案例 B 之游泳池為露天式導致池中多有落葉，根據游泳池管理人員表示，部分學生家長擔心游泳池水質是否受影響，於是建議游泳池管理人員增加其換水之頻率。本研究中之用動及其他設施用水量將採案例中池體管理人員操作維護經驗及池體大小估算其用水量。

$$\text{池體每日用水量} = (\text{水池容積 } m^3 \times \text{每週換水頻率} / 7)$$

3.1.3 繪製用水平衡圖

所謂用水平衡在本研究中個案例定義為：各校各用水點或用水設施及水資源輸入水量的和，等於輸出水量減去回用水量之和，如下式：

輸入水量(WI) = 各用水設施用水量(WU) - 中/雨水回收回用水量(WR)

$$\sum WI = \sum WU - \sum WR$$

輸入水量(WI)本研究定義為透過各種取水管到索取的可用水源，包含自來水(民生系統或契約供給系統)、地下水、地面水、海水、雨水、臨時購入之水源...等。輸入水量之統計本研究以每日用水量(CMD)為主，利用該校水費單據計算其用水量，該用水量為求客觀予以扣除其未上課天數，每年 2、7、8 月等三個月分不列入計算，每年總用水天數統計為 275 天。

各用水設施用水量(WU)本研究將其定義為學校進行教學活動及維持校園正常運作所需之用水量，包含廚房用水、景觀用水、空調冷卻用水、生活用水、衛生設施用水、其他設施等用水量。

針對中/雨水回收用水量(WR)本研究定義為校內設置中雨水回收設施或 RO 製水用排放水回收等，據國內中水相關法規所限，該項用水用途僅限為民生二級用水，不得與人體接觸或飲用。

因輸入水量及輸出水量其估算方式不同，本研究個案間又未裝設獨立水表，導致輸入水量必不等同於輸出水量。用水平衡圖與本研究中為該校

各用水點用水量之示意圖，為顯示該校各用水點用水量之比例，為使用水平衡圖符合比例原則，本研究推算各點用水量後必須再進行各用水點其用水比例之修正，修正因子推導如下式：

$$\text{修正因子} = (\Sigma WI) / (\Sigma WU + \Sigma WR)$$

本研究個案例之污水排放量計算方式為各用水設施其用水量之 80% 予以計算及污水量。

各用水點用水量經修正因子修用後，將其用水量以圖示方式繪製，以了解個案例間各用水點用水概況及其用水比例。水平衡圖依下圖格式繪製：

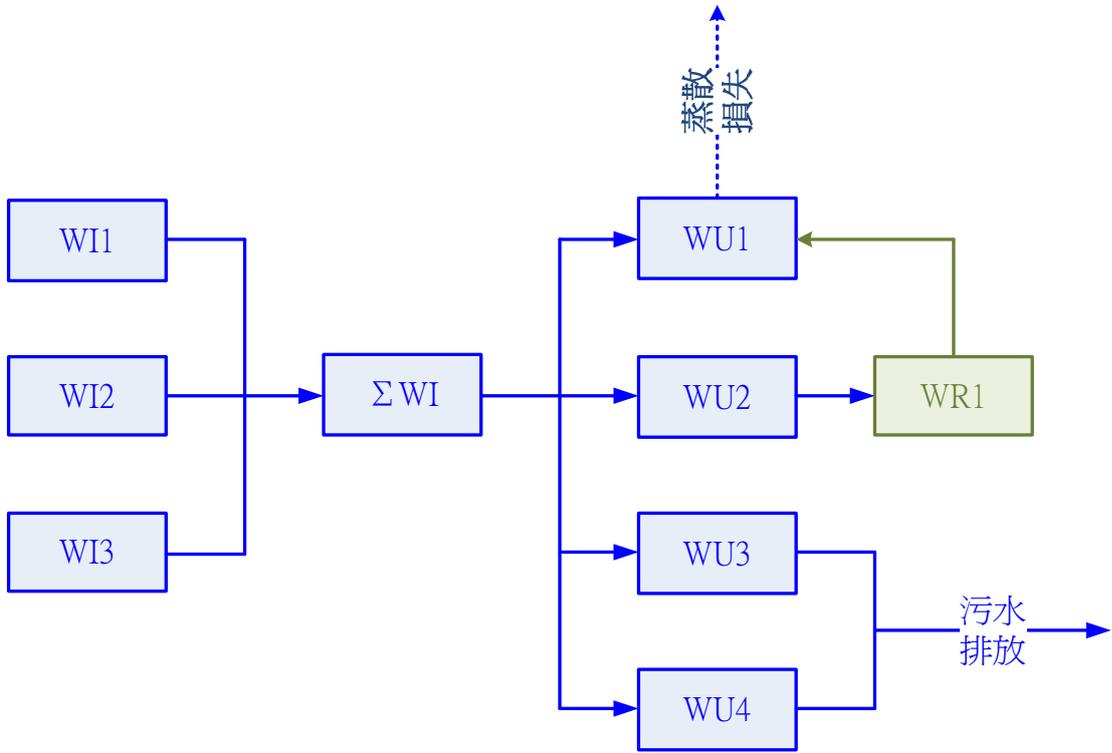


圖 3.1.3、水平衡示意圖

3.2 校園節約用水管理措施

3.2.1 現行校園水資源管理模式探討

我國現行各級學校行政體系下，用水管理多數為隸屬總務處所承辦的業務，業務承辦人員多為學校老師兼任或總務處行政人員，並不具備水資源管理的專長或用水設施管理的認知，加上我國自來水用水費偏低，容易造成校方行政人員長期對於水資源管理的忽視，以致造成校園內水資源的浪費。因此建立校園用水管理措施及制定用水管理措施是為校方管理單位當務之急，必須讓校內業務承辦人員認知以目前學校的規模、學生的數量以及校內用水設施的規模，應該所耗用的自來水量是否合理，並思考是否有使用替代水源或者是用水管理措施的改善，藉此釐定校內用水計畫及制定用水管理措施，定期追蹤考核。

3.2.2 訂定用水計畫

學校於用水計畫中應明訂組織成員、計畫範圍、計畫目標、計畫進行方式，並於每學期進行計畫目標及師生執行成果討論並訂來年目標及方向。透過訂定用水計畫的方式達到節水的觀念宣導，並落實全校教職員生養成良好節水習慣。透過訂定節水計畫可以達到下列目標：

- 1.將節約用水觀念，融入日常教學活動之中，讓師生都能明瞭用水資

源的重要性。

- 2.經由定期辦理各項水資源保育的活動及宣導，由日常生活落實節約用水的實務。
- 3.將全校師生落實任務編組，隨時隨地舉報漏水點並通知總務單位盡速維修，提昇用水設備效率。
- 4.結合社區人士及學生家長，共同參與學校的節水計畫，並將節約用水的觀念融入到社區及家庭之中。
- 5.建立用水設備定期檢修及節水措施的績效責任制度，以落實節約用水的績效。

3.2.3 用水管理模式

各級學校規模大小不一，用水管理模式應需視其學校規模、特色、用水模式及水資源管理單位而定。以國小為例，因為學生人數及用水設施少，相對比較便宜，校方重視度亦不足；且水資源管理工作多數為老師兼任對於該項工作多數為日常用水費的報支作業，用水設施修繕由工友擔任，校內並未針對用水設施管理訂出管理辦法或模式。針對規模較小人數較少的學校，建議可採取下列用水管理措施：

- 1.排定校內老師或工友，每日下班前檢查各處水龍頭是否關緊。
- 2.組織服務小組定時檢查各項用水設施，加強管線檢查與維護，若遇有滲漏情形請立即向總務處報修。

- 3.妥善規劃景觀花木澆灌時間及用量。建議澆灌時間可以清晨或傍晚為主已降低陽光蒸散量，並考慮栽種耐旱植物以減少澆灌用水量。
- 4.非上課時間考慮管制各樓層水源開關，僅留部份區域供到校民眾使用或緊急用水之用。
- 5.減少用水設施數量或用水量。可將小便池自動沖水器沖水量調小、裝設節水龍頭或兩段式沖水馬桶。
- 6.定期評估用水量及檢討節約用水成效。
- 7.提升硬體設備，汰換舊式用水用水設施(馬桶、小便斗)，改採省水型設備，並定期檢視管線是否有漏水情形，避免水資源的浪費。
8. 新設建築物考慮設置雨水及中水回收系統。

3.3 節水器材在校園的應用

3.3.1 何謂節水器材

節水器材可廣泛定義為：「在不影響原用水設施功能條件下使用較小水量之用、控水器材」，就使用者的角度省水器材應具有以下特性：

1. 必須具備省水效益：省水器材必須經標準方法測試其省水效果及主管機關所認證。國內經濟部水利署(前身為經濟部水資源局)於民國

87 年推行省水標章，除了提供業者將其用水產品予以檢測認證外亦提供消費者選購之指標。

2. 產品必須具備品質與耐用性：省水器測除需具備省水功能外，品質與其耐久性亦為業者換裝之重要經濟考量。
3. 產品之適用條件：產品適用條件須於包裝加以詳細說明。

3.3.2 校園應用節水器材的種類

廣義的省水器材包含家庭及公共衛生給水器材、工業用水設備、農業用水器材及設備及經省水標章認證之產品。下表整理出上述四大用途之節水器材種類：

表 3.3.1、省水器材其主要用途及產品種類

主要用途	省水產品種類
家庭及公共衛生給水器材	<ol style="list-style-type: none">1. 馬桶水箱節水配件、水龍頭節流閥等.2. 空調用水節水設備等.3. 馬桶、小便斗、水龍頭、蓮蓬頭等.4. 洗碗機、洗衣機等.
工業用水設備	<ol style="list-style-type: none">1. 給水流量控制器.2. 冷卻用水設備.

	<ol style="list-style-type: none"> 3. 洗滌或清洗設施. 4. 自動洗車機.
農業用水器材及設備	<ol style="list-style-type: none"> 1. 農業用水給水噴頭. 2. 抽水設備. 3. 給水閥.
經省水標章認證之產品	其他經省水標章認證之產品

在本研究中四個案例，節水器材使用的範圍大多界定為衛生設施如水龍頭、馬桶、小便斗及蓮蓬頭等項目。以下分別針對上述項目作一簡單之種類的區分並參照行政院水利署水與綠手冊及節約水資源網節水標章產品節水功能作一簡單之介紹：

水龍頭：市面上常見的節水水龍頭可依功能設計大略區分為一般式龍頭、

感應式龍頭及自閉式龍頭。依水流方式區分又可分為噴霧狀、水流狀及氣泡狀，兩者互相搭配效果更佳。除了節水龍頭外尚有各式市售的水龍頭配件可達到其節水功能。

表 3.3.2、節水龍頭水流方式區分及其省水比例

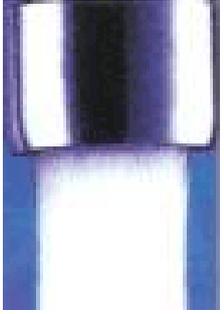
型式	噴霧狀	水柱狀	氣泡狀
示意圖			
省水比例	90%	80%	70%

表 3.3.3、依龍頭型式區分

型式	龍頭流量可調式	感應式龍頭	壓力式
示意圖			
說明	多數設計為龍頭或管線上有一可調閥門，可控制水流大小，減少水資源的浪費。	一般採電子感應式，感應後僅會開啓數秒，可避免龍頭連續開啓而造成水源的浪費。	一般採氣壓或油壓式復位設計，可避免龍頭連續開啓而造成水源的浪費。

省水馬桶: 定義為在一段式沖水的情形下, 每次沖水量須在 6 公升以下(含), 且馬桶尿液殘留測試之稀釋倍數須在 100 倍以上。或二段式沖水的情形下, 每次沖水量大號須在 9 公升以下(含), 小號須在 4.5 公升以下(含), 且大號尿液殘留測試之稀釋倍數須在 100 倍以上。

省水蓮蓬頭: 產品在每平方公分 1 公斤流水壓力及 4 分管(二分之一英吋)管徑之測試條件下, 產品每分鐘最大流量不得超過 10 公升, 但最小流量不得低於 5 公升。如蓮蓬頭含控制開關者, 則須提供 5 萬次以上之使用測試證明。

感應式小便斗: 在每平方公分 1 公斤壓力及 4 分管(二分之一英吋)管徑之測試條件下, 一次沖水量(第一段加第二段)合計不得超過 3 公升, 但不得低於 1 公升。產品沖水時間須為非使用者可調整式, 且連續使用時須有省水設計。產品如為嵌入式須連同小便斗通過 CNS 3221 洗淨試驗。產品須提出符合 CNS 12566 及 EMC(電磁相容性)之品質相關證明。產品須提供 20 萬次以上之使用測試證明。若使用電池, 一次電池(組)須提供 10 萬次以上使用。

3.4 中/雨回收在校園的應用

3.4.1 各級校園中/雨水回收現況

我國現行環保相關法規中並未對中/雨水回收訂定明確規範，僅綠建築相關規範中約略提到必須不作為飲用或與人體接觸之用途，相形之下在校園中多數作為綠地澆灌、景觀用水、沖廁用水、空調冷卻用水及消防用水等用途。

在本研究四個案例中針對中/雨水回收其原水情形、設置條件及用途等，可區分為下表：

表 3.4.1 中水設置條件及用途評估表

	廚房廢水回收	汗水處理設施放流水回收	RO 製水之排放水回收	雨水回收
原水品質	高污染	中度污染	低污染	低污染
系統穩定度	中等	高	中等	低
需污染減量	Yes	No	No	V(??)
需過濾處理	Yes	No	No	Yes
需消毒處理	Yes	Yes	No	No

設置面積	小	中	小	大
操作技術門檻	中等	高	低	低
建議可應用範圍	澆灌使用 景觀用水	澆灌使用 景觀用水 沖廁使用	澆灌使用 景觀沖廁沖 廁用水 空調冷卻	澆灌使用 景觀用水 沖廁用水

多數學校因經費、技術門檻及回收年限等問題，校區中未設置中/雨水回收系統或已設置卻未使用的情形非常普遍，在本研究四個案例中均未設置中/雨水回收系統。

本研究為了解中雨水回收系統所遇到的困難，實地的與校方總務人員及工友進行訪談，多數皆表示因經費有限未獲得相關單位補助無法設置，或校內不具有相關技術人員無法操作或維護該系統以及以現今低廉的水價造成回收年限過程或是根本無法回收。以至於不願在學校推動設置中/雨水回收設施或系統。

但推動中/雨水回收實為目前水資源日漸缺乏所不得不作的課題。中/雨水回收除了消極面的減少自來水用水量及降低用水費外，就學校而言更是個教育師生如何珍惜水資源的一個極佳的示範場所。下表為目前國內各大專院校設置中/雨水回收再利用系統的範例，可供各級學校作為參考。

表 3.4.2 國內大專校園中水回收優良範例。

校名	附加程序	再生用途	再生水量 (CMD)	回收率 (%)
慈濟技術學院	過濾 活性炭	沖廁用水 綠地澆灌	868	65.6
雲林科技大學	混凝 過濾 加氯	沖廁用水 綠地澆灌 景觀用水	906	74.3
環球技術學院	過濾 加氯	沖廁用水 綠地澆灌	137	89.5
高雄第一科大	過濾 加氯 活性炭	綠地澆灌 景觀用水	540	100
義守大學	消毒	沖廁用水 綠地澆灌	272	38.6
高雄海洋科技大學	過濾 加氯 活性炭 臭氧	綠地澆灌	10	2.9

3.4.2 校園中/雨水回收之探討

校園推動中/雨水回收的基本認知上，必須滿足合適的處理、合宜的使用以及系統設備基礎必須建立在安全而穩定的水質標準內。校園中/雨水回收之基礎必須建立在：

1. 不需藉由高級水處理程序即可取得。
2. 中/雨水回收的用途必須建立在以健康風險的管理前提上。
3. 不應破壞目前的用水設備及增加原有用水系統或輸配管網之負擔。

依據建築技術規則「綠建築」專章規定，綠建築設計包括「建築基地綠化」、「建築基地保水」、「建築物節約能源」、「建築物雨水及生活雜排水回收再利用」與「綠建築構造及綠建材」等五項內容，目前國內僅實施者為「建築基地綠化」、「建築基地保水」、「建築物節約能源」等三項設計指標，至於「建築物雨水及生活雜排水回收再利用」與「綠建築構造及綠建材」設計指標，實施日期另訂。

在建築物雨水及生活雜排水回收再利用辦法中提到，再生水源的選擇應以優質生活雜排水為考量，如冷卻水、沐浴或盥洗排水、洗衣排水等生活污水都事宜作為再生水源的來源。對於再生水源的用途該辦法明定作為沖廁、景觀、消防、洗車、消防及其他不與人體接觸之用途。

行政院水利署並配合推出的『建築物生活雜排水回收在利用水質基準草案』中亦提到基準規劃的使用範圍將限定在沖廁、景觀澆灌、清洗及冷卻用水，目前草案規劃之水質標準如下表：

表 3.4.3、中/雨水回收水質標準(草案)

項目	單位	景觀澆灌	沖廁用水
大腸桿菌	CFU/100mL	不得檢出	不得檢出
餘氯	mg/L	結合餘氯 0.4 以上	結合餘氯 0.4 以上
外觀	-	無不舒適	無不舒適
濁度	NTU	5 以下	-
生物需氧量 BOD ₅	mg/L	10 以下	10 以下
臭氣	-	無不舒適	無不舒適
pH	-	6.0~8.5	6.0~8.5

建築物雨水及生活雜排水回收再利用辦法中並針對再生水處理系統規劃，因其規劃較具專業性應委由環工技師或其事務所規劃設計，依各校背景、用水設施及用水人數所設計，建議各校中/雨水回收處理系統之設計考量應包含下列項目：

1. 再生水處理系統設置位置的選擇考量應包含設備空間需求、各種影響並考慮用水點及產水點之關係及週邊環境狀況，以利操作管理。

2. 再生水處理設施原則上以每日再生水最大用水量設計為原則，並考慮水流方向、水位關係及作業方便性。
3. 再生水各單元之設計應充分考慮用水點與產水點之水質關係、處理效率及操作維護之簡易性。
4. 再生水系統應具經濟性或教育價值。
5. 再生水處理設施面積配置應具合理性，並考慮將來擴充系統之可能性。
6. 再生水處理設施應對設置地點、照明、通風、噪音、給/排水及點=電力供應等項目作通盤考量。
7. 應評估在生水設置後對原污水處理系統其處理能力之影響。
8. 再生水處理流程設計條件應包含系統可承受水質水量之變動範圍、操作管理容易、設備容量及規模適當及符合經濟及教育價值。
9. 當再生水源水質惡化或水源不足時系統再生水之替代方案。
10. 各項處理設施及管線應具備清楚標示，並符合相關勞工安全相關法規。

為維持校區內中/雨水回收處理設施正常操作，並使使用者可以安心的使用，應製定各中/雨水回收系統之操作維護手冊。手冊中應明訂下列事項：

1. 設備詳細規格及其操作條件，並明定標準操作規範。
2. 各項處理設備維護、操作、維修及檢點頻率。

3. 當水質來源或產水水質惡化實之緊急應變措施。
4. 各項處理設備維護業者之聯絡方式。

第四章 案例討論

4.1 案例 A(高雄縣某小型國小)

4.1.1 案例背景說明

該國小位於高雄縣湖內鄉，自民國九年創校迄今已屆 86 年。校地占地面積約 2 公頃，該校學區居民人數約為九千人，居民多從事農耕及工業為典型之工商混合住宅社區。

目前該校班級數共為 19 班包含特教班 1 班，學生人數共約 515 人。該校教職員人數為 39 人包含老師 34 人，專職行政人員及技工等 5 人。

表 4.1.1 案例 A 學校基本資料表

學校概況	
佔地面積	2 公頃
主要水源	自來水
綠地面積	約 1.2 公頃
教職員人數	39 人
學生人數	515 人
學制	國小

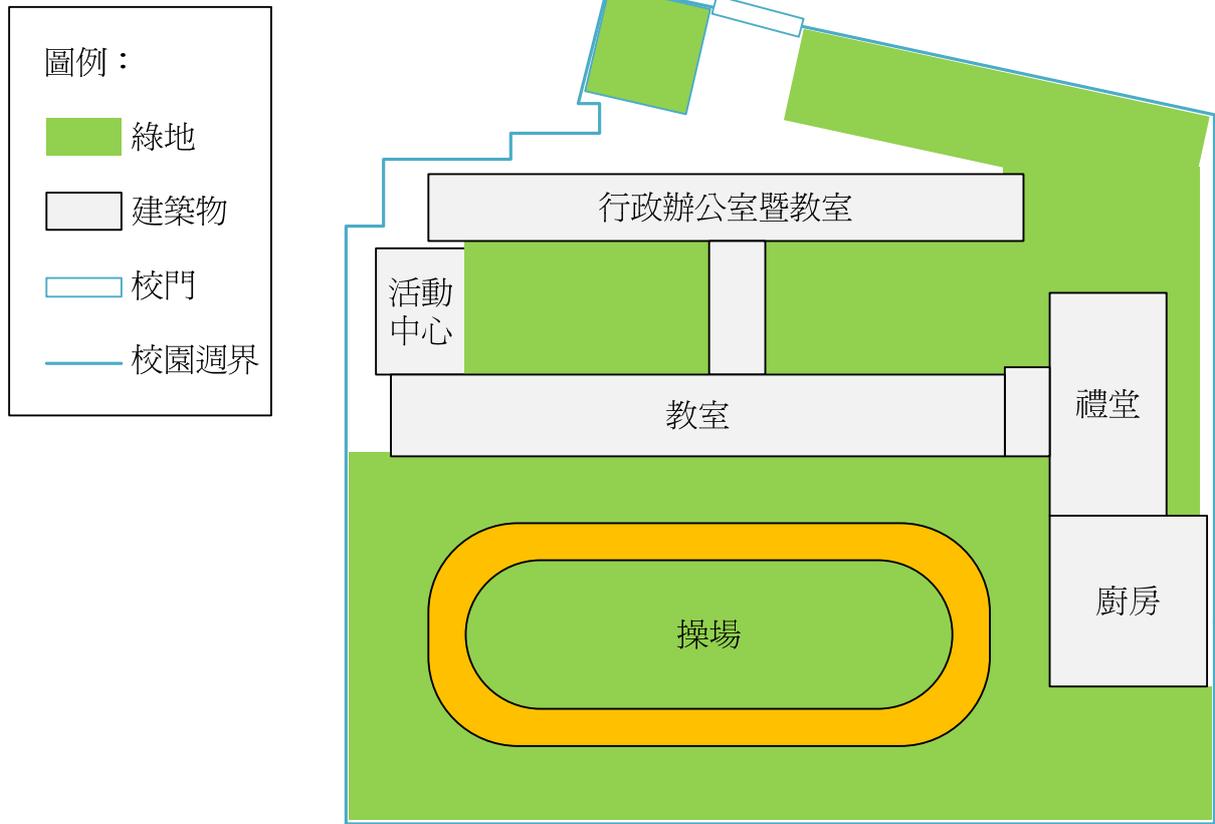


圖 4.1.1、案例 A 校區建築及綠地配置示意圖

4.1.2 案例用水點分析

校內各項用水均使用自來水為其主要水源，並未設置中/雨水回收蒐集系統，亦未抽取地下水或山泉水作為水源使用。根據學校所提供該校最近一年用水量之自來水用水量資料，如下表：

表 4.1.2、 案例 A 最近一年用水量及用水費一覽表

年度/月份	實際用水量(m ³)	使用水費(NT\$)	備註
96/02	189	2069	寒假期間
96/01	434	4667	
95/12	497	5334	
95/11	473	5081	
95/10	524	5620	
95/09	441	4740	
95/08	92	1041	暑假期間
95/07	124	1380	暑假期間
95/06	386	3038	
95/05	476	3732	
95/04	360	2838	
95/03	462	3624	

由上表可知，學校單位用水量分佈不均，寒暑假學生未上課期間用水量明顯減少。為便於推估個案例學校平均單日用水量，本研究以過去一年總用水量扣除寒暑假月份 2、7、8 月份等三個月，計算該校過去一年之平均單日用水量(單位：CMD)，計算式如下：

$$\begin{aligned} \text{單日平均用水量} &= (\Sigma 95/03 \text{ 至 } 96/02 \text{ 扣除寒暑假月份用水量}) / \text{用水日數} \\ &= (4053 \text{ m}^3 / 275 \text{ Day}) \\ &= 14.6 \text{ CMD} \end{aligned}$$

本研究蒐集該校基本資料後，與該校配合訪談人員確認無誤後，著手針對用水設施部分蒐集用水設施基本資料及其用水量，校方用水設施基本資料如下表：

表 4.1.3、案例 A 用水設施基本資料表

用水設施及用水點	用水規模
師生住宿生活用水	無住宿人口。
廚房烹調用水量	每日供餐人數約為 300 人。
綠地澆灌用水量估算	約 1.2 公頃。
空調冷卻用水量估算	無空調用水
RO 製水用水量估算	每天製水 300 公升
衛生設施用水量估算	全校總人數約為 554 人
景觀用水用水量估算	景觀池一座，面積約為 3 m ²
運動及其他設施用水量	無運動或其他用水設施。

該校各用水點及用水設施其用水量，估算如下：

師生住宿生活用水：

經實地訪視及與該校總務人員訪談後，該校並未設置宿舍，該校教職員生日常均未住宿於校內，無生活用水之需求。

廚房烹調用水量：

經實地訪視及與廚房工作人員訪談後得知，該校設有廚房，每日需調製校內教職員生中餐，烹調營養午餐食部分使用該校之 RO 水，而清洗餐盤及食材時使用自來水作為清洗用途。該校廚房並未裝設獨立水表，故用水量僅能以每日製餐人數予以推估，據該校廚房工作人員該校每日供餐人數約為 300 人。用水量推估如下式：

$$\begin{aligned}\text{廚房烹調用水量} &= (\text{師生人數} \times \text{我國每人每日烹調用水量} \times 1/3) \\ &= (554 \text{ 人} \times 58 \text{ lpcd} \times 1/3) / 1000 \\ &= 10.7 \text{ CMD}\end{aligned}$$

綠地澆灌用水量估算：

經實地訪視及與該校總務人員訪談後得知，該校綠地面積約為 1.2 公頃，澆灌頻率約為每週一次，綠地面積澆灌用水量估算如下式：

$$\begin{aligned}\text{綠地澆灌用水量} &= (\text{綠地面積} \times \text{該校澆灌頻率} \times \text{每公頃建綠地澆灌量}) \\ &= (1.2 \text{ 公頃} \times 1/7 \times 20 \text{ CMD}) \\ &= 3.4 \text{ CMD}\end{aligned}$$

空調冷卻用水量估算：

經實地訪視及與該校總務人員訪談後得知，該校空調系統皆為窗型或分離式冷氣，校內無空調冷卻用水之需求。

RO 製水用水量估算：

根據該校總務人員告知，該校每天 RO 製水所需用水量每日約為 1CMD，產製 RO 水每日約為 300 公升。

衛生設施用水量估算：

依該校用水人數推估其衛生設施用水量如下式：

馬桶每日用水量=(使用人數×使用次數×傳統馬桶用水量)

$$=(554 \text{ 人} \times 0.5 \times 12 \text{ L}) / 1000$$

$$=3.3 \text{ CMD}$$

水龍頭每日用水量=(使用人數×使用次數×使用時間×水龍頭流量)

$$=(554 \text{ 人} \times 4 \text{ 次} \times 5 \text{ sec} \times 0.15 \text{ L/sec}) / 1000$$

$$=1.7 \text{ CMD}$$

衛生設施用水量=馬桶每日用水量+水龍頭每日用水量

$$=3.3 \text{ CMD} + 1.7 \text{ CMD}$$

$$=5 \text{ CMD}$$

景觀用水用水量估算：

經實地訪視及與該校總務人員訪談後得知，僅一座景觀噴水池，其水池體積約為 3 m³，該校景觀用水量推估如下式：

水池每日用水量=(3 m³ × 4.42 × 10⁻³ m/Day)

$$=0.01 \text{ CMD}$$

運動及其他設施用水量：

經實地訪視及與該校總務人員訪談後得知，該校無運動及其他設施用水量之需求。

根據上述各用水點用水量推算，發現學校實際用水量與各用水設施推估用水量有部分差距，本研究將各用水點用水量乘以修正因子求其各用水點較為合理之用水量，修正因子如下式：

$$\begin{aligned} \text{修正因子} &= (\Sigma WI) / (\Sigma WU + \Sigma WR) \\ &= (14.6 \text{CMD}) / (20.11 \text{CMD}) \\ &= 0.73 \end{aligned}$$

表 4.1.4、案例 A 用水設施修正後用水量一覽表

用水設施及用水點	原用水量 (CMD)	修正後用水量 (CMD)	備註
師生住宿生活用水			
廚房烹調用水量	10.7	7.8	
綠地澆灌用水量估算	3.4	2.6	
空調冷卻用水量估算			
RO 製水用水量估算	1	0.7	
衛生設施用水量估算	5	3.5	
景觀用水用水量估算	0.01	0.007	數值過小不予計算
運動及其他設施用水量			

4.1.3 該校用水平衡圖

利用 4.1.2 內該校各用水點之推估用水量，繪製該校用水平衡圖，如下

圖：

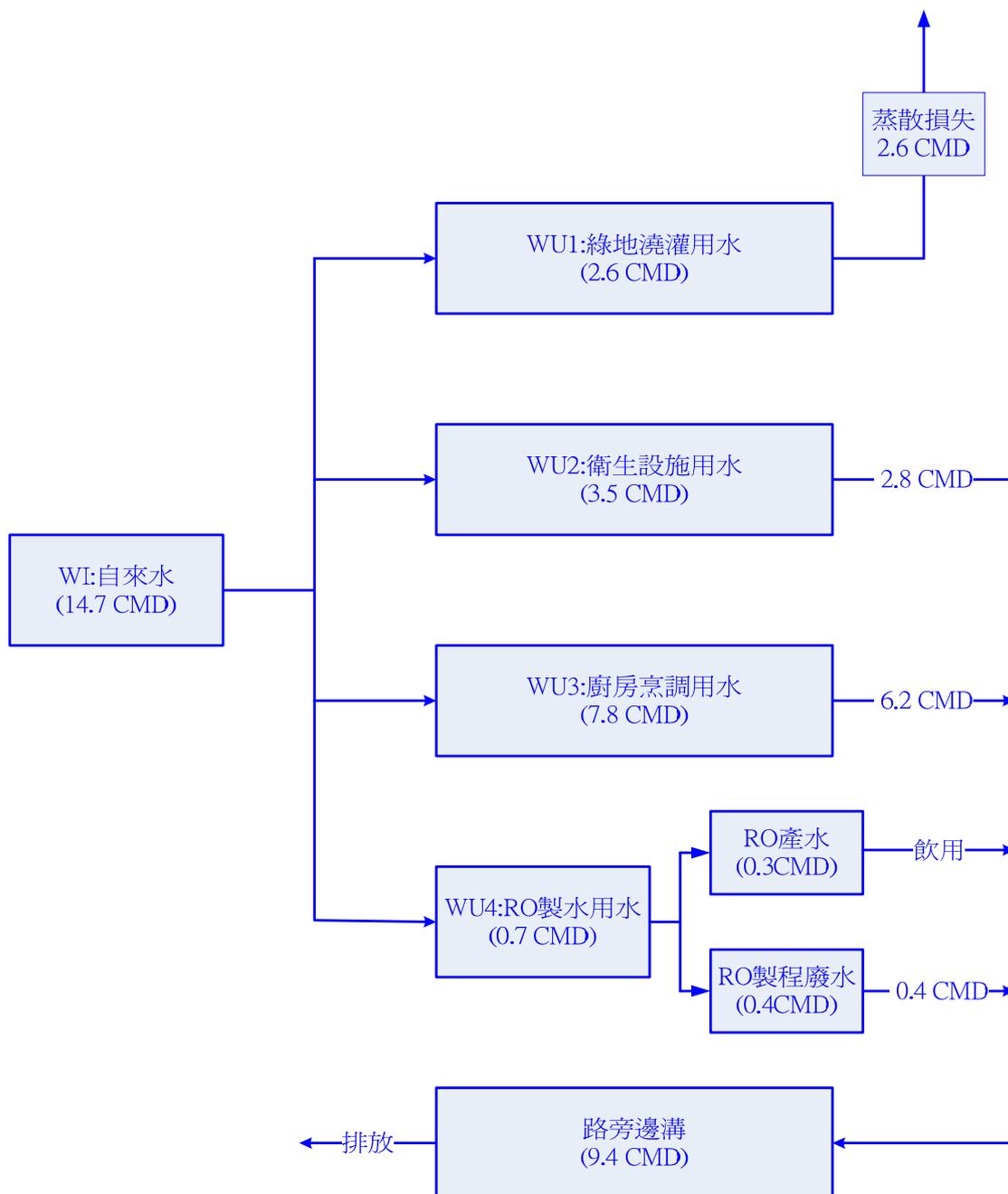


圖 4.1.2、案例 A 用水平衡圖

4.1.4 用水管理及節水措施之建議

4.1.4.1 用水管理措施改善

以本案學校規模是為小學體系校內師生人數較少，行政人員多為老師兼任，校方目前並未針對水資源管理制訂用水計畫及用水管理措施。在此建議應視學校目前發展現況、校地規劃、學生人數及用水設施等，訂定用水計畫並設立節水目標。

該校建校迄今已 86 年，不管用水設施或者是自來水管線皆有可能因老舊而漏水，為因應該情形校方應制訂用水管理措施，並於該措施明定用水設施及管線之年限，並視年限定期進行檢視、修繕及汰舊換新等工作並師生配合宣導通報漏水點的工作，以徹底解決用水設施及管線老舊漏水的問題。

4.1.4.2 更換節水器材設施

校區內共有廁所四座馬桶數量約為 20 座，校區內未加裝節水設施水龍頭約為 32 個，若將其全數馬桶更換為節水水龍頭及節水型馬桶，預計每日用水量可由 5 CMD 降低至 3.65 CMD 為原用水量的 73 %。

針對水龍頭用水減量部分建議換裝省水型水龍頭或者調整出水流量小（每分鐘 6 公升）換裝後每分鐘可減少 3 公升,即每秒 0.05 公升。針對馬桶

用水減量部分建議換裝省水型馬桶(每次 6 公升),或加裝二段式省水器材,換裝後每次可減少 6 公升,換裝後水量計算如下:

$$\begin{aligned}\text{馬桶每日用水量}&=(\text{使用人數}\times\text{使用次數}\times\text{傳統馬桶用水量}) \\ &=(554 \text{ 人}\times 0.5\times 9\text{L})/1000 \\ &=2.5\text{CMD}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{水龍頭每日用水量}&=(\text{使用人數}\times\text{使用次數}\times\text{使用時間}\times\text{水龍頭流量}) \\ &=(554 \text{ 人}\times 4 \text{ 次}\times 5\text{sec}\times 0.1\text{L/sec})/1000 \\ &=1.1 \text{ CMD}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{衛生設施用水量}&=(\text{馬桶每日用水量}+\text{水龍頭每日用水量})\times \text{修正係數} \\ &=(2.5 \text{ CMD} + 1.7 \text{ CMD}) \times 0.73 \\ &=3.1 \text{ CMD}\end{aligned}$$

4.1.4.3 廚房用水減量

該校廚房自來水主要使用於清洗蔬菜食材及清洗地板等用途,據該校廚房工作人員表示烹煮部分所需水源已由 RO 水所取代。為節省自來水用量並提高用水效率,建議將原有清洗用水槽變更為三槽式設計,如圖 4.1.3 所示,在清洗蔬菜食材時利用逆洗方式(由最後一槽供水再溢流至前一水槽)將清洗水槽分階段沖洗使用,並將水槽內乾淨的排放水回收供沖洗地板使用,並建議廚房工作人員改變使用水流進行冷凍食材退冰之習慣,綜合上述應可降低廚房用水量為原有之 80%。

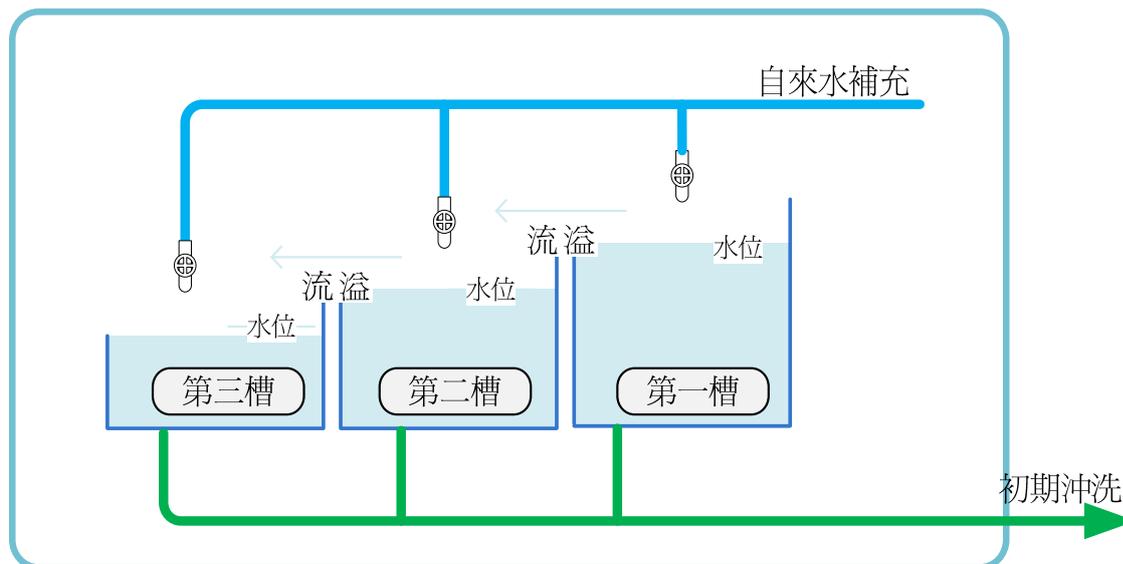


圖 4.1.3、案例 A 三槽式食材分段清洗程序圖

4.1.4.4 利用生態池處理廚房廢水並進行中水回收再利用

該校目前並未設置污水處理設施及下水道系統，由 4.1.2 中可知廚房用水為該校主要用水點之一，廚房烹調及食材洗滌後所產生的汗水在為逕行處理的情形下排入路旁邊溝，污水產生量推估約為 6.2 CMD 占全校廢水產生量的 66%。考慮該校目前尚未設置生態/景觀池，且生態/景觀池具有生態、景觀、休閒及教育等多項功能，建議可考慮將廚房旁空地設置生態池，予以處理廚房所產生污水，並將處理放流水予以回收作為景觀用水及植栽噴灌使用，將可取代部分景觀澆灌用水。

為提升生態/景觀池處理效率，建議將廚房原有汗水排放溝渠端加設油脂截留器及菜渣過濾裝置管線，以降低生態/景觀池不易分解的油脂及固體

物，經截流之油脂及菜渣更可做為堆肥之原料，一舉數得。國內目前已有
多所小學設置生態/景觀池處理廚房每日烹調污水，例如龍肚國小、雙蓮國
小、深坑國小、白河國小等皆已設置。

4.1.4.5 RO 製水排放水回收利用

據該校總務人員表示，校內 RO 逆滲透製水機每日約使用自來水 1CMD
產製 RO 水，每日平均產水約為 0.3 CMD 供師生日常飲用及廚房烹煮營養
午餐。推估每日應有 0.4 CMD 之 RO 製水排水排入路旁邊溝，RO 製成排水
水質情況多屬良好不經前處理即可做為民生次級用水使用，建議可將該排
水暫存儲水塔及加壓馬達可供綠地澆灌使用。

4.1.4.6 節水教育及宣導

學校師生的日常用水行為與習慣，會影響其用水時間、用水次數、用
水強度、用水方式等，因此養成正確的用水觀念，需靠學校教育與宣導。
為了向下紮根、及早養成愛水、惜水的生活習慣，可藉由師生間各項日常
教學活動與以推廣，建議校方可藉由下列活動予以宣導：

- 舉辦節水小常識有獎徵答活動。
- 節水標語書法比賽。
- 舉辦節約用水繪圖或漫畫比賽。

- 舉行節水徵文比賽。
- 製作節水之旅學習單一彙整上述各項比賽成果並介紹本校節水型水龍頭、衛廁之雨水供水系統、樓頂 RO 至水回收設施等。除讓、孩子們切身感受到學校節水之用心之外，也讓他們認識實際上的供水工程讓學生與節約用水的觀念做更緊密的結合。
- 節水楷模選拔。
- 利用學校朝會及各項場合，加強宣導愛水、惜水觀念。
- 校方可製作節水壁報或壁畫，在學生參與創作過程、讓深思節水的意義。
- 學校廁所為校內主要用水量場所，建議校方可將上述各類優選作品，護貝後張貼各廁所，除了具宣導功效，更可美化廁所。

學校總務處方面除了配合在廁所及水龍頭等位置張貼節水標語外，更應推廣節水及中水回收設備的裝設，並藉裝設位置設立說明或介紹板，並定期舉辦宣導，教育下一代節約用水的良好觀念，使水資源得以永續發展。

4.1.5 改善後用水平衡

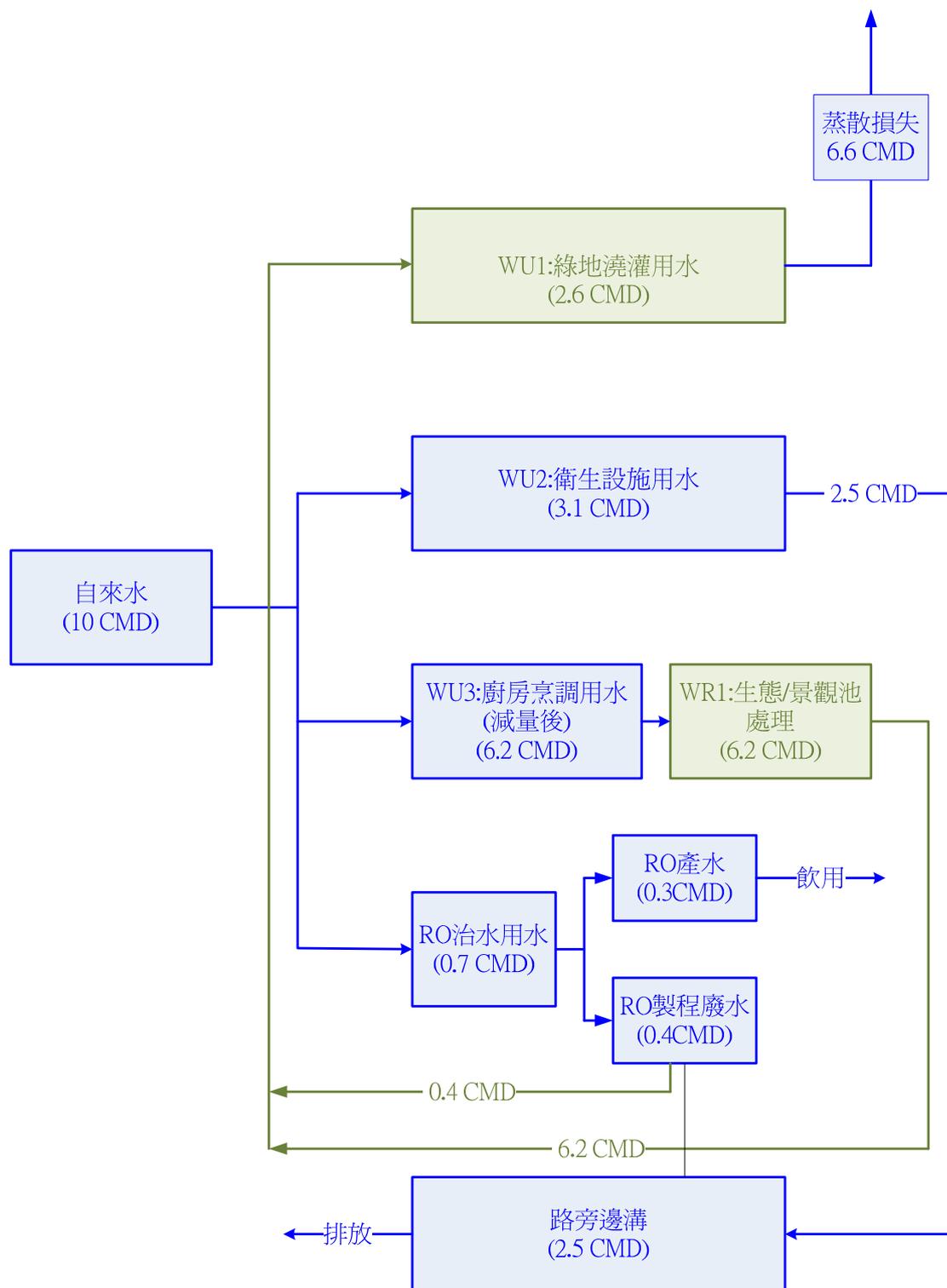


圖 4.1.4、案例 A 改善後用水平衡圖

4.1.6 節水潛力及經濟效益分析

由表 4.1.5 產水點與用水點分析表可知，經由加強用水管理及教育宣導、更換節水器材及廚房清洗作業流程的變更，推估每日約可減少 2.1 CMD 的用水量；RO 排放水的回收及廚房中水回收，每日平均約可收集約 2.6 CMD，可利用於校園綠地澆灌使用，總計每日可減少 4.7 CMD 用水量。

表 4.1.5、案例 A 節水潛力及效益分析表

項目名稱 項次	1	2	4	5	總計
1.產水點	原用水	廚房用水	廚房用水	RO 水回收	--
2.用水點	衛廁用水	廚房用水	澆灌用水	澆灌用水	--
3.原用水可減少量 (CMD)	0.4	1.7	2.6	0	4.7
4.可回用中水量 (CMD)	0	0	6.2	0.4	6.6
5.擬採用之回用中水量 (CMD)	0	0	2.6	0.4	2.6
6.處理方式	節水器材	清理流程	景觀/生態	設置儲水	

	池	塔
7.原取水量(CMD)	14.7	
8.改善後取水量 (CMD)	10	
9.原回收率(%)	0	
10.改善後回收潛力 (%)	17.7	
11.總節水潛力(%)	32%	

以自來水費而言，目前台灣省平均水價約為 11.5 元/噸，以每天可節約之水量達到 4.7CMD 估算，每年（以上課時間平均約 9 個月估算）可省下之取水成本約為 1.5 萬元。

4.2 案例 B(台南市某大型國中)

4.2.1 案例背景說明

該國中座落於台南市東區緊臨國立成功大學，附近各級學校林立如台南一中、勝利國小、東光國小、長榮中學等。校區之兩側緊鄰市立公園。校地面積約 6.5 公頃，目前全校班級數共 105 班學生人數約為 4300 人，為一大型國民中學，目前該校教職員人數約為 280 人。

表 4.2.1、案例 A 學校基本資料表

學校概況	
佔地面積	6.5 公頃
主要水源	自來水
綠地面積	約 4 公頃
教職員人數	280 人
學生人數	4300 人
學制	國中

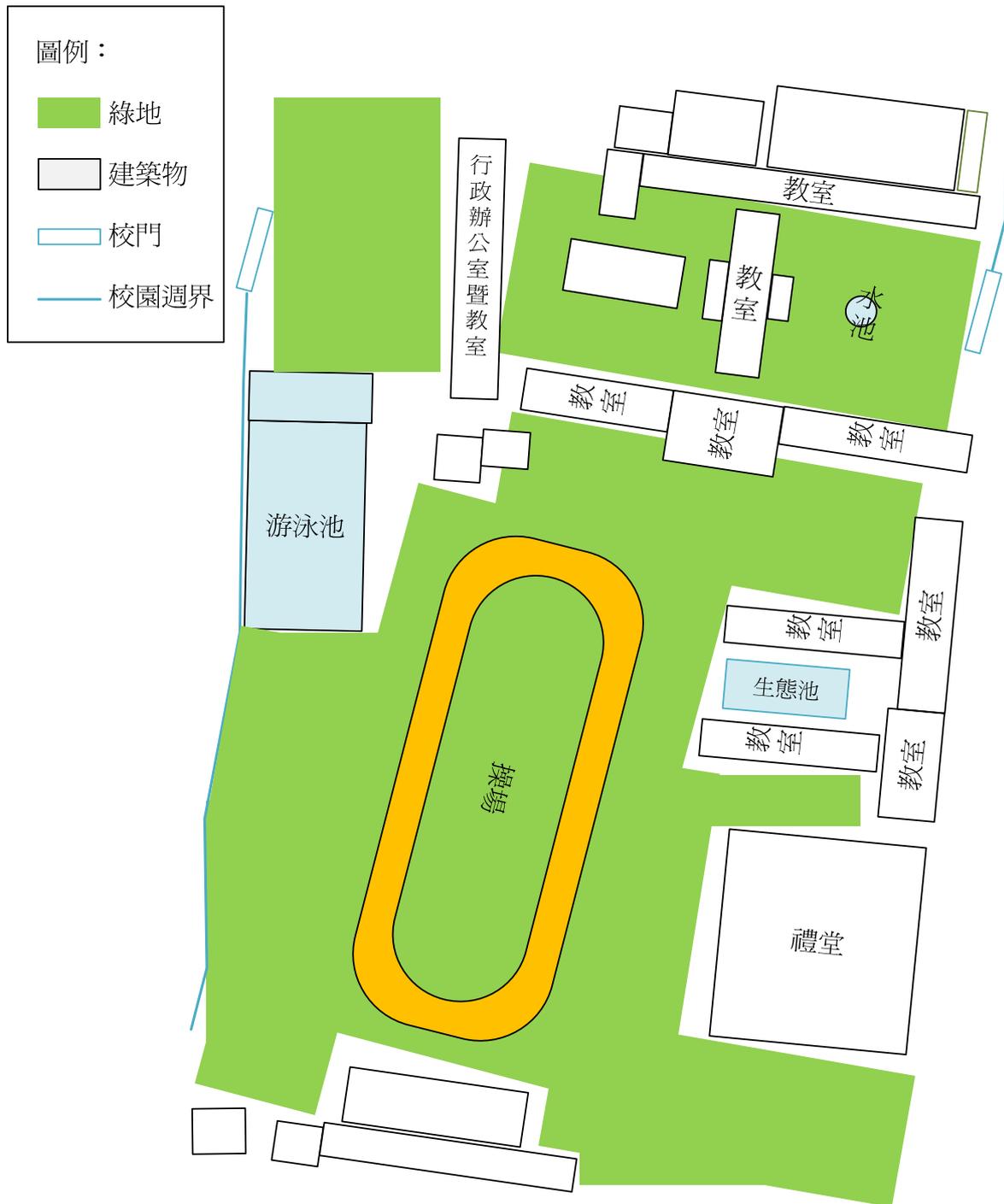


圖 4.2.1、案例 B 校區建築及綠地配置示意圖

4.2.2 案例用水點分析

校內各項用水均使用自來水為其主要水源，並未設置中/雨水回收蒐集

系統，亦未抽取地下水或山泉水作為水源使用。根據學校所提供該校最近一年用水量之自來水用水量資料，如下表：

表 4.2.2、 案例 B 最近一年用水量及用水費一覽表

年度/月份	實際用水量(m ³)	使用水費(NT\$)	備註
96/06	6884	91499	
96/05	5957	80932	
96/04	6861	95254	
96/03	6627	84546	
96/02	4900	64173	
96/01	4340	57317	寒假期間
95/12	5027	68375	
95/11	4624	63560	
95/10	3514	47943	
95/09	4663	63431	
95/08	3893	51460	暑假期間

95/07	4140	56051	暑假期間
-------	------	-------	------

由上表可知，學校單位用水量分佈不均，寒暑假學生未上課期間用水量明顯減少。為便於推估個案例學校平均單日用水量，本研究以過去一年總用水量扣除寒暑假月份 2、7、8 月份等三個月，計算該校過去一年之平均單日用水量(單位：CMD)，計算式如下：

$$\begin{aligned} \text{單日平均用水量} &= (\Sigma 95/07 \text{ 至 } 96/06 \text{ 扣除寒暑假月份用水量}) / \text{用水日數} \\ &= (49057 \text{ m}^3 / 275 \text{ Day}) \\ &= 178.4 \text{ CMD} \end{aligned}$$

本研究蒐集該校基本資料後，與該校配合訪談人員確認無誤後，著手針對用水設施部分蒐集用水設施基本資料及其用水量，校方用水設施基本資料如下表：

表 4.2.3、案例 B 用水設施基基本資料表

用水設施及用水點	用水規模
師生住宿生活用水	無住宿人口。
廚房烹調用水量	未設置廚房，無廚房烹調用水之需求。
綠地澆灌用水量估算	約 4 公頃。
空調冷卻用水量估算	無空調用水需求。
RO 製水用水量估算	無 RO 製水需求。
衛生設施用水量估算	全校總人數約為 4580 人

景觀用水用水量估算	景觀池兩座，面積各為 5 m ²
運動及其他設施用水量	游泳池一座，容量約為 750 m ³

該校各用水點及用水設施其用水量，估算如下：

師生住宿生活用水：

經實地訪視及與該校總務人員訪談後，該校並未設置宿舍，該校教職員生日常均未住宿於校內，無生活用水之需求。

廚房烹調用水量：

經實地訪視及與該校總務人員訪談後，該校並未設置廚房，該校教職員生日常均向業者訂購餐盒，無廚房烹調用水之需求。

綠地澆灌用水量估算：

經實地訪視及與該校總務人員訪談後得知，該校綠地面積約為 1.2 公頃，澆灌頻率約為每週一次，綠地面積澆灌用水量估算如下式：

$$\begin{aligned}
 \text{綠地澆灌用水量} &= (\text{綠地面積} \times \text{該校澆灌頻率} \times \text{每公頃建綠地澆灌量}) \\
 &= (4 \text{ 公頃} \times (1/7) \times 20 \text{ CMD}) \\
 &= 11.4 \text{ CMD}
 \end{aligned}$$

空調冷卻用水量估算：

經實地訪視及與該校總務人員訪談後得知，該校空調系統皆為窗型或分離式冷氣，校內無空調冷卻用水之需求。

RO 製水用水量估算：

根據該校總務人員告知該校皆為小型 RO 飲水機，所需用水量無法有效估計，因用水量較少固本研究不列入計算。

衛生設施用水量估算：

依該校用水人數推估其衛生設施用水量如下式：

馬桶每日用水量=(使用人數×使用次數×傳統馬桶用水量)

$$=(4580 \text{ 人} \times 0.5 \times 12\text{L})/1000$$

$$=27.5\text{CMD}$$

水龍頭每日用水量=(使用人數×使用次數×使用時間×水龍頭流量)

$$=(4580 \text{ 人} \times 4 \text{ 次} \times 5\text{sec} \times 0.15\text{L/sec})/1000$$

$$=13.7\text{CMD}$$

衛生設施用水量=馬桶每日用水量+水龍頭每日用水量

$$=27.5\text{CMD}+13.7\text{CMD}$$

$$=41.2\text{CMD}$$

景觀用水用水量估算：

經實地訪視及與該校總務人員訪談後得知，僅一座景觀噴水池，其水池體積約為 3 m²，該校景觀用水量推估如下式：

水池每日用水量=(5m²×4.42×10⁻³ mDay)

$$=0.02 \text{ CMD}$$

運動及其他設施用水量：

經實地訪視及與該校游泳池人員訪談後得知，該校設有游泳池一座面積為 20m x 25m 水深約為 1.5m，因未設置專用水表，本研究僅以泳池體積

及該校泳池管理人員表示之換水頻率予以估計其用水量。

$$\begin{aligned} \text{池體每日用水量} &= (\text{水池容積 } m^3 \times \text{每周換水頻率} / 7) \\ &= ((20 \times 25 \times 1.5 m^3) \times 1 / 7) \\ &= 107.1 \text{CMD} \end{aligned}$$

根據上述各用水點用水量推算，發現學校實際用水量與各用水設施推估用水量有部分差距，本研究將各用水點用水量乘以修正因子求其各用水點較為合理之用水量，修正因子如下式：

$$\begin{aligned} \text{修正因子} &= (\Sigma WI) / (\Sigma WU + \Sigma WR) \\ &= (178.4 \text{CMD}) / (159.7 \text{CMD}) \\ &= 1.12 \end{aligned}$$

表 4.2.4、案例 B 用水設施修正後用水量一覽表(CMD)

用水設施及用水點	原用水量	修正後用水量	備註
師生住宿生活用水	0	0	
廚房烹調用水量	0	0	
綠地澆灌用水量估算	11.4	12.8	
空調冷卻用水量估算	0	0	
RO 製水用水量估算	0	0	
衛生設施用水量估算	41.2	46.1	
景觀用水用水量估算	0.02	0.007	數值過小不予計算
運動及其他設施用水量	107.1	119.5	

4.2.3 該校用水平衡圖

利用 4.2.2 內該校各用水點之推估用水量，繪製該校用水平衡圖，如下

圖：

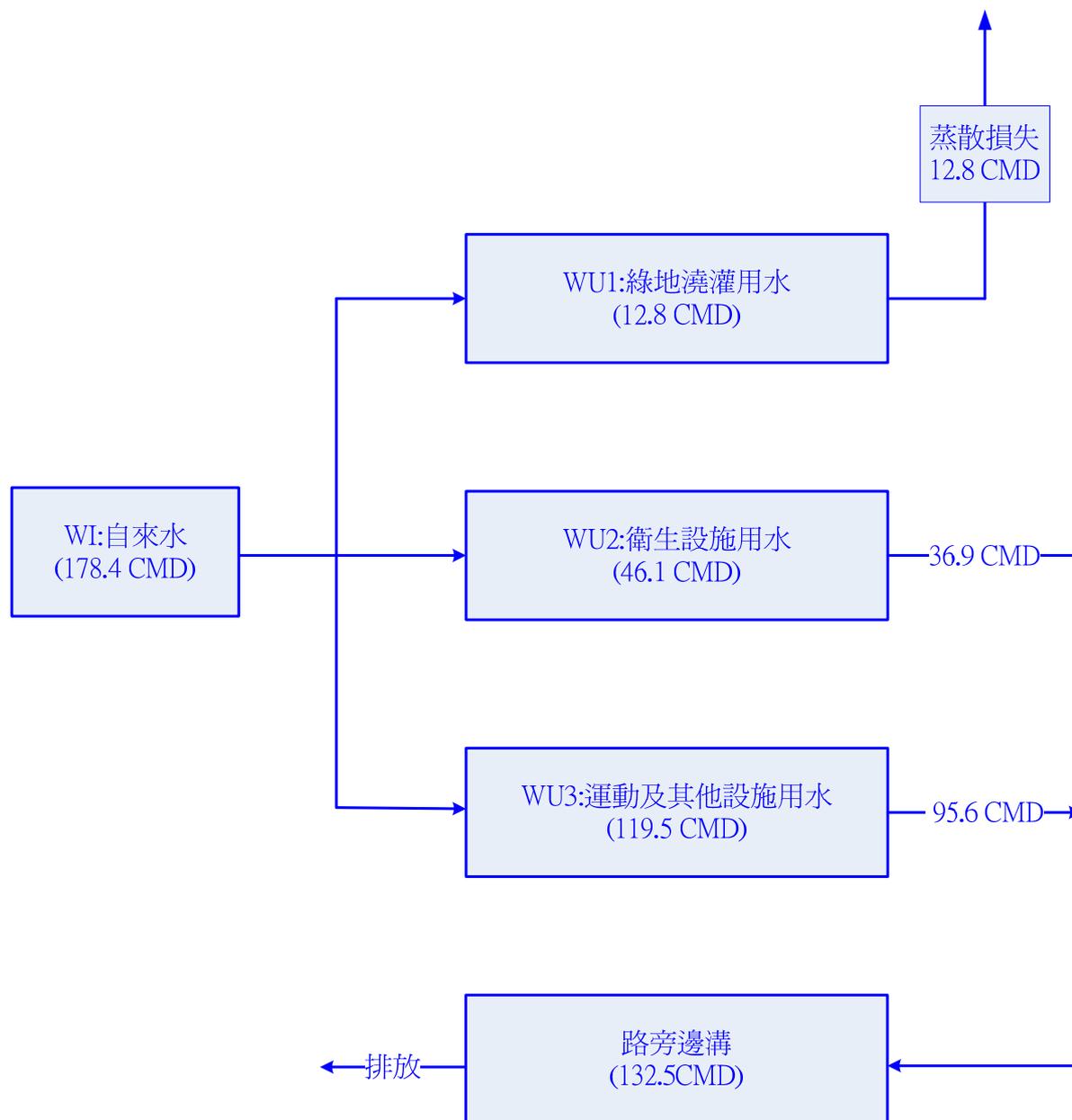


圖 4.2.2、案例 B 用水平衡圖

4.2.4 用水管理及節水措施之建議

4.2.4.1 用水管理措施改善

以本案學制是為國中體系，校內學生人數相對其他國中為多，該校行政人員多為老師兼任，校方目前並未針對水資源管理制訂用水計畫及用水管理措施。在此建議應視學校目前發展現況、校地規劃、學生人數及用水設施等，訂定用水計畫並設立節水目標。

該校為近年所新設之學校，建議校方應及早制訂用水管理措施，並於該措施明定校內各項用水設施及管線之年限，並視年限定期進行檢視、修繕及汰舊換新等工作並請全校師生配合宣導通報漏水點的工作，以確實執行用水計畫並達成節水目標。

4.2.4.2 更換節水器材設施

校區內共有廁所約 12 座，部分為腳踏式沖水無水箱設計，據該校總務人員表示馬桶數量約為 40 座，校區內未加裝節水設施水龍頭約為 60 個，若將其全數馬桶更換為節水水龍頭及節水型馬桶，預計每日用水量可由 5 CMD 降低至 3.65 CMD 為原用水量的 73 %。

針對水龍頭用水減量部分建議換裝省水型水龍頭或者調整出水流量小（每分鐘 6 公升）換裝後每分鐘可減少 3 公升，即每秒 0.05 公升。針對馬桶

用水減量部分建議換裝省水型馬桶(每次 6 公升),或加裝二段式省水器材,換裝後每次可減少 6 公升,換裝後水量計算如下:

$$\begin{aligned}\text{馬桶每日用水量}&= (\text{使用人數} \times \text{使用次數} \times \text{傳統馬桶用水量}) \\ &= (4580 \text{ 人} \times 0.5 \times 9\text{L}) / 1000 \\ &= 20.6\text{CMD}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{水龍頭每日用水量}&= (\text{使用人數} \times \text{使用次數} \times \text{使用時間} \times \text{水龍頭流量}) \\ &= (4580 \text{ 人} \times 4 \text{ 次} \times 5\text{sec} \times 0.1\text{L/sec}) / 1000 \\ &= 9.2\text{CMD}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{衛生設施用水量}&= (\text{馬桶每日用水量} + \text{水龍頭每日用水量}) \times \text{修正係數} \\ &= (20.6 + 9.2) \times 1.12 \\ &= 33.4\text{CMD}\end{aligned}$$

4.2.4.3 利用游泳池排放水進行中水回收再利用

該校設有露天式游泳池一座,具游泳池管理人員表示該泳池最大的困擾是落葉問題,因為泳池週遭的植栽落葉容易掉入泳池,致使泳池水質遭受影響並且影響視覺觀瞻造成學生家長投訴。泳池管理人員為維持泳池水質品質及避免過度加氯消毒,於是降低泳池池水之循環比,每日皆補充大量自來水。

該泳池排放水水質相當優良,目前該校作法僅部分用來澆灌泳池週遭花木其他全數排放,實屬水資源之浪費。本研究建議可考慮將校內所有二級用水全數以泳池排放水所取代,不足之部分再以自來水補充。可取代項

目預計如下：

1. 沖廁用水：校內沖廁用水換裝省水設施後每日仍需 20.6CMD 之用水量，本研究建議該部分用水可考慮使用泳池排放水所取代。但必須克服原有衛生設施管線配置問題。
2. 綠地澆灌用水：該校綠地面積達 4 公頃，每日澆灌用水達 12.8CMD，本研究建議該部分用水可考慮用泳池排放水所取代。此部分工程經費較低建議可先行採用。

4.2.4.4 節水教育及宣導

學校師生的日常用水行為與習慣，會影響其用水時間、用水次數、用水強度、用水方式等，因此養成正確的用水觀念，需靠學校教育與宣導。爲了向下紮根、及早養成愛水、惜水的生活習慣，可藉由師生間各項日常教學活動與以推廣，建議校方可藉由下列活動予以宣導：

- 舉辦節水小常識有獎徵答活動。
- 舉辦節約用水繪圖或漫畫比賽。
- 舉行節水徵文比賽。
- 製作節水之旅學習單一彙整上述各響比賽成果並介紹本校節水型水龍頭、衛廁之雨水供水系統、樓頂 RO 至水回收設施等。除讓、孩子們切身感

受到學校節水之用心之外，也讓他們認識實際上的供水工程讓學生與節約用水的觀念做更緊密的結合。

- 節水楷模選拔。
- 利用學校朝會及各項場合，加強宣導愛水、惜水觀念。
- 校方可製作節水壁報或壁畫，在學生參與創作過程、讓深思節水的意義。
- 學校廁所為校內主要用水量場所，建議校方可將上述各類優選作品，護貝後張貼各廁所，除了具宣導功效，更可美化廁所。
- 安排校外觀摩，了解污水處理及中水再利用等知識。

學校總務處方面除了配合在廁所及水龍頭等位置張貼節水標語外，更應推廣節水及中水回收設備的裝設，並藉裝設位置設立說明或介紹板，並定期舉辦宣導，教育下一代節約用水的良好觀念，使水資源得以永續發展。

4.2.5 改善後用水平衡

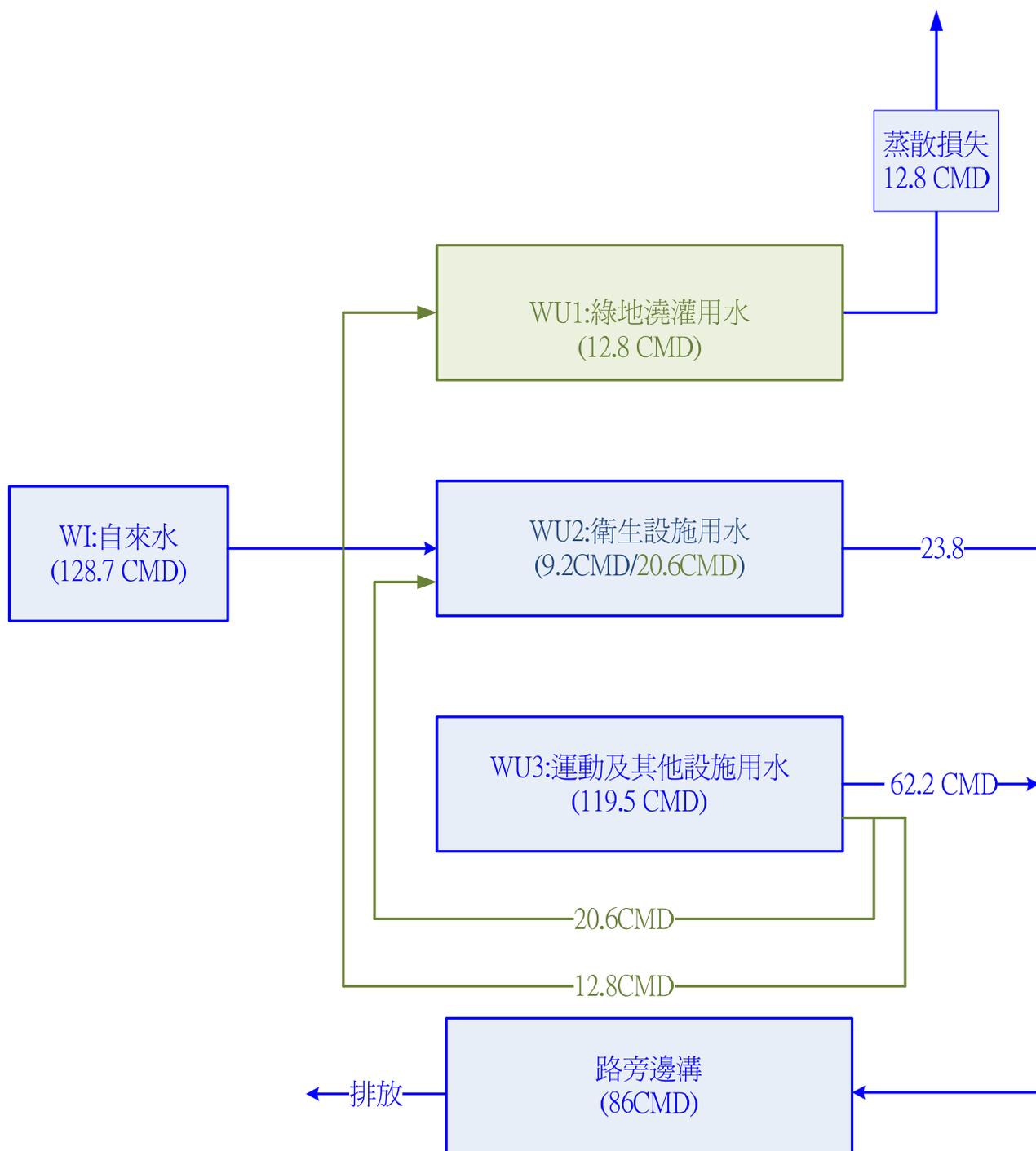


圖 4.2.3、案例 B 改善後用水平衡圖

4.2.6 節水潛力及經濟效益分析

由表 4.2.5 產水點與用水點分析表可知，經由加強用水管理及教育宣導及更換節水器材，推估每日約可減 16.4CMD 的用水量； RO 排放水的回收及廚房中水回收，每日平均約可收集約 33.4 CMD，可利用於校園綠地澆灌使用，總計每日可減少 49.7 CMD 用水量。

表 4.2.5、案例 B 節水潛力及效益分析表

項目名稱 項次	1	2	4	5	總計 (CMD)
1.產水點	原用水	泳池水 回收	泳池水 回收		--
2.用水點	衛廁用水	澆灌用水	沖廁用水		--
3.原用水可減少量	16.3	12.8	20.6		49.7
4.可回用中水量	0				
5.擬採用之回用中水量	0	12.8	20.6		33.4
6.處理方式	節水器材	管線設置	管線設置		
7.原取水量	178.4 CMD				

8.改善後取水量	128.7 CMD
9.原回收率(%)	--%
10.改善後回收潛力(%)	18.7%
11.總節水潛力(%)	27.9%

以自來水費而言，目前台灣省平均水價約為 11.5 元/噸，以每天可節約之水量達到 49.7CMD 估算，每年（以上課時間平均約 9 個月估算）可省下之取水成本約為 15.7 萬元。

4.3 案例 C(台南市某綜合高中)

4.3.1 案例背景說明

該綜合高中位於台南市區，源於自西元 1885 創校迄今，為一歷史悠久的綜合高中。該校地面積約 7.1 公頃，學制包含國中部、九年一貫學制、高中部、進修部、推廣教育及附設幼稚園。綜合高中部設有商業經營科、國際貿易科、資料處理科、綜合高商科、電機科、電腦製圖科、美工科及資訊科。進修部及推廣教育設有商業經營科、資料處理科、文書事務科、商用日文科、幼兒保育科、餐飲管理科、電工科、電腦製圖科、美工科、資訊科等及第二專長班。該校總班級數為 156 班，各學制學生人數約為 9000 人，教職員及技工人數為 275 人。

表 4.3.1、案例 C 學校基本資料表

學校概況	
佔地面積	7.1 公頃
主要水源	■自來水,□地下水,□山泉水,□其他:_____
綠地面積	約 3.5 公頃
教職員人數	275 人
學生人數	9000 人

學制	綜合高中
----	------

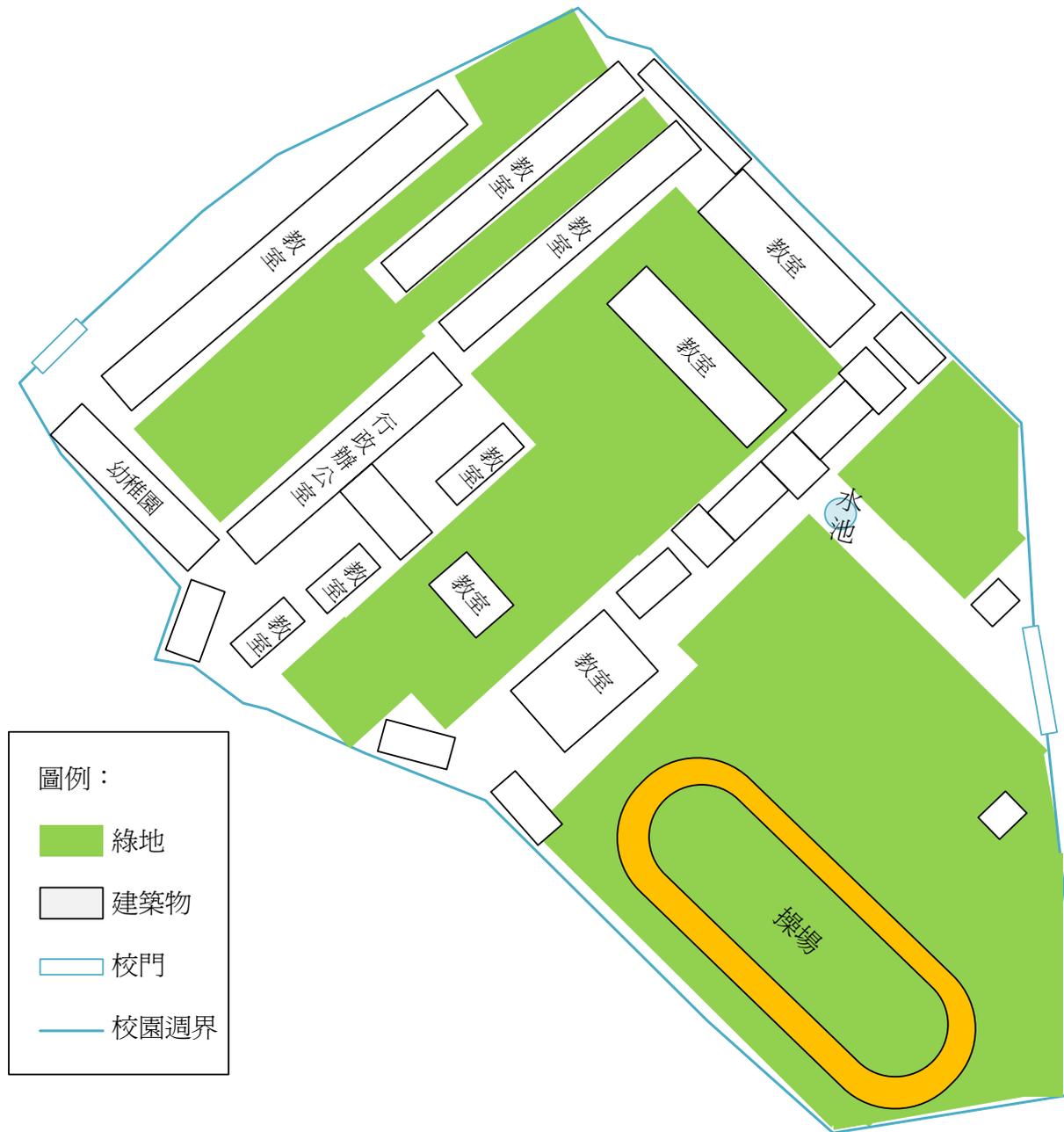


圖 4.3.1、案例 C 校區建築及綠地配置示意圖

4.3.2 案例用水點分析

校內各項用水均使用自來水為其主要水源，並未設置中/雨水回收蒐集

系統，亦未抽取地下水或山泉水作為水源使用。根據學校所提供該校最近一年用水量之自來水用水量資料，如下表：

表 4.3.2、 案例 C 最近一年用水量及用水費一覽表

年度/月份	實際用水量(m ³)	使用水費(NT\$)	備註
96/03	4,902	56,375	
96/02	3,771	43,369	寒假期間
96/01	4,394	50,532	
95/12	6,095	70,088	
95/11	6,279	72,213	
95/10	6,315	72,617	
95/09	5,913	68,000	
95/08	4,618	53,108	暑假期間
95/07	4,720	54,276	暑假期間
95/06	5,332	61,322	
95/05	5,965	68,594	

95/04	7,320	84,179	
-------	-------	--------	--

由上表可知，學校單位用水量分佈不均，寒暑假學生未上課期間用水量明顯減少。為便於推估個案例學校平均單日用水量，本研究以過去一年總用水量扣除寒暑假月份 2、7、8 月份等三個月，計算該校過去一年之平均單日用水量(單位：CMD)，計算式如下：

$$\begin{aligned} \text{單日平均用水量} &= (\Sigma 95/04 \text{ 至 } 96/03 \text{ 扣除寒暑假月份用水量}) / \text{用水日數} \\ &= (50555 \text{ m}^3 / 275 \text{ Day}) \\ &= 183.8 \text{ CMD} \end{aligned}$$

本研究蒐集該校基本資料後，與該校配合訪談人員確認無誤後，著手針對用水設施部分蒐集用水設施基本資料及其用水量，校方用水設施基本資料如下表：

表 4.3.3、案例 C 用水設施基本資料表

用水設施及用水點	用水規模
師生住宿生活用水	無住宿人口。
廚房烹調用水量	無供餐人口。
綠地澆灌用水量估算	約 3.5 公頃。
空調冷卻用水量估算	大型冰水主機兩部總計為 1000 噸。
RO 製水用水量估算	RO 製水機兩部。
衛生設施用水量估算	全校總人數約為 9275 人

景觀用水用水量估算	景觀池一座，面積約為 20 m ²
運動及其他設施用水量	無運動或其他用水設施。

該校各用水點及用水設施其用水量，估算如下：

師生住宿生活用水：

校區內設有宿舍乙棟，該棟宿舍約可容納 50 人住宿，但該校師生日常均未住宿其中，僅舉辦大型學生活動時開放遠地學生住宿，因非常態性使用本研究不將該用水點納入計算。

廚房烹調用水量：

該校未設有廚房每日生施所需餐點由餐盒供應商提供或師生自行向外採購，校內不需烹製營養午餐因而不需廚房用水。本研究預計不將該用水點納入計算。

綠地澆灌用水量估算：

經實地訪視及與該校總務人員訪談後得知，該校綠地面積約為 3.5 公頃，澆灌頻率約為每週兩次，綠地面積澆灌用水量估算如下式：

$$\begin{aligned}
 \text{綠地澆灌用水量} &= (\text{綠地面積} \times \text{該校澆灌頻率} \times \text{每公頃建綠地澆灌量}) \\
 &= (3.5 \text{ 公頃} \times 2/7 \times 20 \text{ CMD}) \\
 &= 20 \text{ CMD}
 \end{aligned}$$

空調冷卻用水量估算：

該校空調系統為大型冰水主機兩部總計為 1000 噸，提供行政及教學大樓使

用，其他為窗型或分離式冷氣。該校冰水主機用冷卻水塔未裝設獨立水表，無法確實估算其用水量，本研究針對空調主機的大小及開啓時間作一粗略性的用水量估算，參考 3.1.2 各級校園用水點之探討及其用水量之推估中表 X-XX 推估案例 D 中相同空調噸數之冷卻用水蒸散量(空調冷卻用水)，並以該蒸散量推估空調冷卻用水量。

$$\begin{aligned}
 & \text{空調冷卻用水量} \\
 &= (\text{空調主機噸數所對應之蒸發損失量} \times \frac{\text{每日開啓時數}}{24} \\
 & \quad \times \frac{\text{每月開啓日數}}{30.5}) / 1000 \\
 &= (44800 + 166400 + 166400 \times \frac{8}{24} \times \frac{22}{30.5}) / 1000 \\
 &= 90.8\text{CMD}
 \end{aligned}$$

RO 製水用水量估算：

該校設置 RO 製水機兩部，提供師生飲用。該校 RO 製水機亦未裝設獨立水表，根據該校總務人員及負責工友告知，每天 RO 製水所需用水量每日約為 10CMD。

衛生設施用水量估算：

依該校用水人數推估其衛生設施用水量如下式：

馬桶每日用水量=(使用人數×使用次數×傳統馬桶用水量)

$$= (9275 \text{ 人} \times 0.5 \times 12\text{L}) / 1000$$

$$= 55.7\text{CMD}$$

水龍頭每日用水量=(使用人數×使用次數×使用時間×水龍頭流量)

$$\begin{aligned} &=(9275 \text{ 人} \times 4 \text{ 次} \times 5 \text{ sec} \times 0.15 \text{ L/sec})/1000 \\ &=27.8 \text{ CMD} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{衛生設施用水量} &= \text{馬桶每日用水量} + \text{水龍頭每日用水量} \\ &= 55.7 + 27.8 \\ &= 83.5 \text{ CMD} \end{aligned}$$

景觀用水用水量估算：

經實地訪視及與該校總務人員訪談後得知，僅一座景觀噴水池，其水池體積約為 3 m^3 ，該校景觀用水量推估如下式：

$$\begin{aligned} \text{水池每日用水量} &= (20 \text{ m}^2 \times 4.42 \times 10^{-3} \text{ m/Day}) \\ &= 0.09 \text{ CMD} \end{aligned}$$

運動及其他設施用水量：

經實地訪視及與該校總務人員訪談後得知，該校無運動及其他設施用水量之需求。

根據上述各用水點用水量推算，發現學校實際用水量與各用水設施推估用水量有部分差距，本研究將各用水點用水量乘以修正因子求其各用水點較為合理之用水量，修正因子如下式：

$$\begin{aligned} \text{修正因子} &= (\Sigma WI) / (\Sigma WU + \Sigma WR) \\ &= (183.8 \text{CMD}) / (204.39 \text{CMD}) \\ &= 0.90 \end{aligned}$$

表 4.3.4、案例 C 用水設施修正後用水量一覽表(CMD)

用水設施及用水點	原用水量	修正後用水量	備註
師生住宿生活用水	0	0	
廚房烹調用水量	0	0	
綠地澆灌用水量估算	20	18	
空調冷卻用水量估算	90.8	81.7	
RO 製水用水量估算	10	9	
衛生設施用水量估算	83.5	75.1	
景觀用水用水量估算	0.09	0.08	數值過小不予計算
運動及其他設施用水量			

4.3.3 該校用水平衡圖

利用 4.3.2 內該校各用水點之推估用水量，繪製該校用水平衡圖，如下

圖：

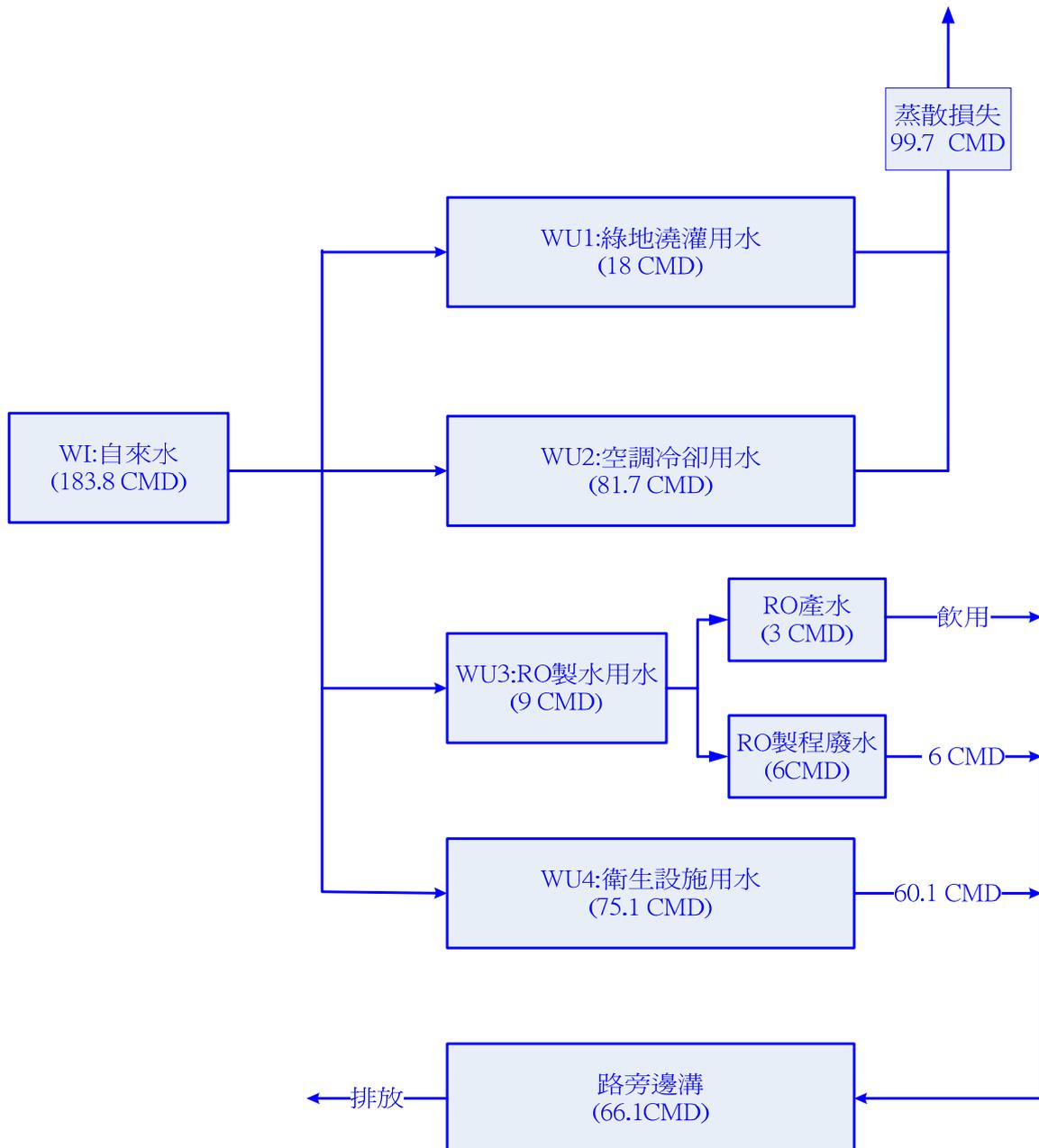


圖 4.3.2、案例 C 用水平衡圖

4.3.4 用水管理及節水措施之建議

4.3.4.1 用水管理措施改善

以本案學校規模是為綜合高中校內師生人數較多，寒暑假期間因設有推廣教育及其他課程，在加上該校歷史悠久導致校內寒暑假期間用水並未減少。該校行政人員多為老師兼任，校方目前並未針對水資源管理制訂用水計畫及用水管理措施。在此建議應視學校目前發展現況、校地規劃、學生人數及用水設施等，訂定用水計畫並設立節水目標。

該校建校迄今已 86 年，不管用水設施或者是自來水管線皆有可能因老舊而漏水，為因應該情形校方應制訂用水管理措施，並於該措施明定用水設施及管線之年限，並視年限定期進行檢視、修繕及汰舊換新等工作並師生配合宣導通報漏水點的工作，以徹底解決用水設施及管線老舊漏水的問題。

4.3.4.2 更換節水器材設施

本研究至該校訪談實據該校總務人員指出，該校多數為衛生設施用水已裝設節水器材，實無加裝節水器材或更換節水馬桶之空間。校區內共有

廁所 26 座，該校馬桶除了殘障用外，多數業以改善為腳踏式沖水馬桶並且除了清洗及特殊用途之水龍頭其他皆裝設節水龍頭或將裝節水器材。

4.3.4.3 RO 製水排放水回收利用

據該校總務人員表示，校內 RO 逆滲透製水機每日約使用自來水 9CMD 產製 RO 水，每日平均產水約為 3 CMD 供師生日常飲用。推估每日應有 6 CMD 之 RO 製水排水排入路旁邊溝，RO 製成排水水質情況多屬良好不經前處理即可做為民生次級用水使用，建議可將該排水暫存儲水塔及加壓馬達可供綠地澆灌使用。

4.3.4.4 節水教育及宣導

學校師生的日常用水行為與習慣，會影響其用水時間、用水次數、用水強度、用水方式等，因此養成正確的用水觀念，需靠學校教育與宣導。為了向下紮根、及早養成愛水、惜水的生活習慣，可藉由師生間各項日常教學活動與以推廣，建議校方可藉由下列活動予以宣導：

- 舉辦節水小常識有獎徵答活動。
- 節水標語書法比賽。
- 舉辦節約用水繪圖或漫畫比賽。

- 舉行節水徵文比賽。
- 製作節水之旅學習單一彙整上述各項比賽成果並介紹本校節水型水龍頭、衛廁之雨水供水系統、樓頂 RO 至水回收設施等。除讓、孩子們切身感受到學校節水之用心之外，也讓他們認識實際上的供水工程讓學生與節約用水的觀念做更緊密的結合。
- 節水楷模選拔。
- 利用學校朝會及各項場合，加強宣導愛水、惜水觀念。
- 校方可製作節水壁報或壁畫，在學生參與創作過程、讓深思節水的意義。
- 學校廁所為校內主要用水量場所，建議校方可將上述各類優選作品，護貝後張貼各廁所，除了具宣導功效，更可美化廁所。

學校總務處方面除了配合在廁所及水龍頭等位置張貼節水標語外，更應推廣節水及中水回收設備的裝設，並藉裝設位置設立說明或介紹板，並定期舉辦宣導，教育下一代節約用水的良好觀念，使水資源得以永續發展。

4.3.5 改善後用水平衡

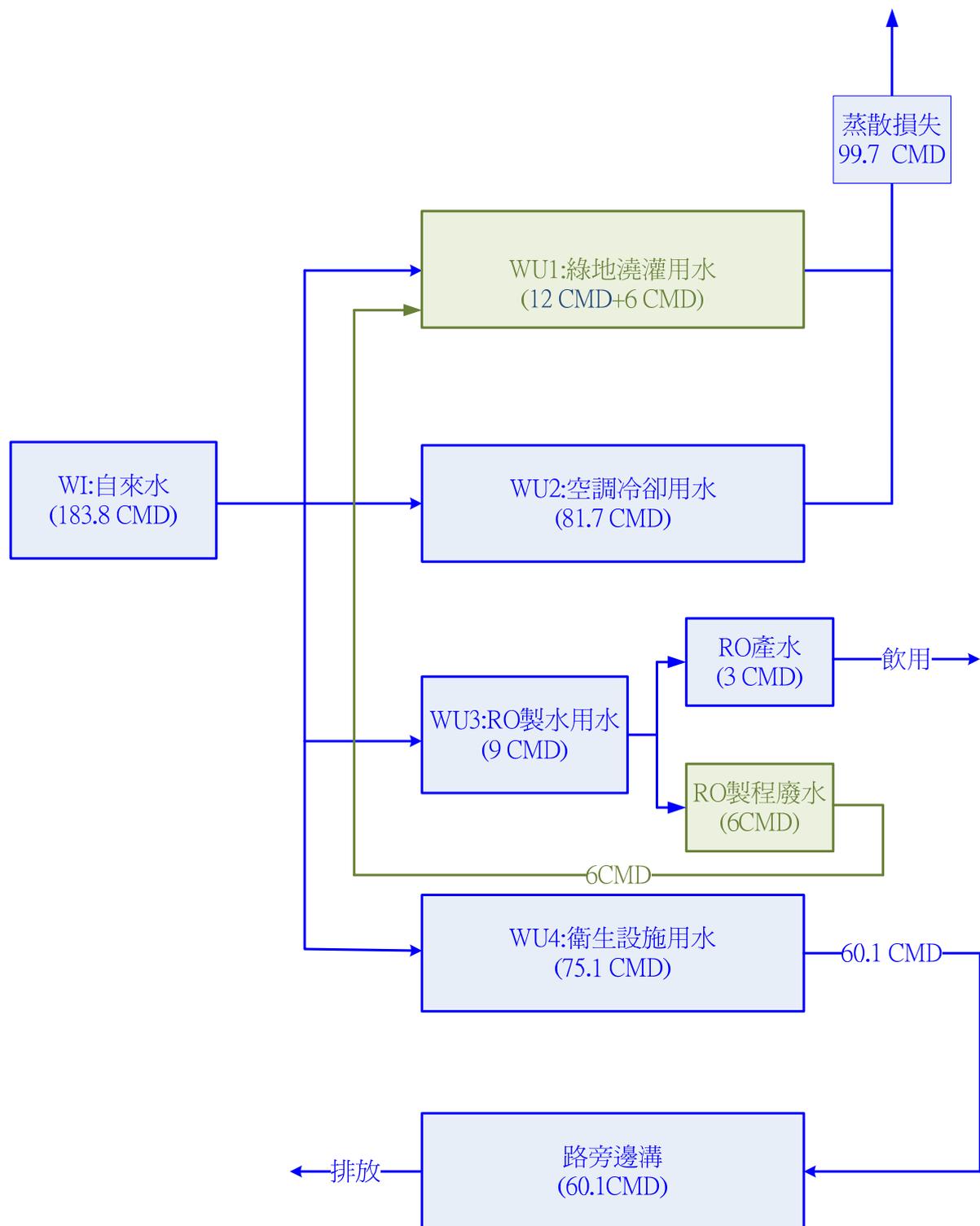


圖 4.3.3、案例 C 改善後用水平衡圖

4.3.6 節水潛力及經濟效益分析

由表 4.3.5 產水點與用水點分析表可知，經由 RO 排放水的回收每日平均約可收集約 6 CMD，可利用於校園綠地澆灌使用，總計每日可減少 6 CMD 用水量。

表 4.3.5、案例 C 節水潛力及效益分析表

項目名稱 項次	1	2	4	5	總計 (CMD)
1.產水點	RO 水回收				--
2.用水點	澆灌用水				--
3.原用水可減少量	6				6
4.可回用中水量	6				6
5.擬採用之回用中水量	6				6
6.處理方式	設置儲水塔				
7.原取水量	183.8 CMD				

8.改善後取水量	177.8 CMD
9.原回收率(%)	0%
10.改善後回收潛力(%)	3%
11.總節水潛力(%)	3%

以自來水費而言，目前台灣省平均水價約為 11.5 元/噸，以每天可節約之水量達到 4.7CMD 估算，每年（以上課時間平均約 9 個月估算）可省下之取水成本約為 1.9 萬元。

4.4 案例 D(台南縣某科技大學)

4.4.1 案例背景說明

該綜合科技大學位於台南縣境內，源於自民國 53 年創校迄今，為一歷史悠久的綜合科技大學。該校地面積約 29.6 公頃，學制包含大學部、進修部、推廣教育及附設幼稚園。該校設有四大學院共 26 個系所及中等學校教師與幼稚園教師二個教育學程。(1)藥理學院：藥物科技研究所、化粧品科技研究所、藥學系、醫藥化學系、化粧品應用與管理系、生物科技系(含碩士班)；(2)民生學院：營養與保健科技研究所、食品科技系、嬰幼兒保育系、保健營養系、生活應用與保健系、餐旅管理系；(3)社會科學暨管理學院：醫療資訊管理研究所、醫務管理系、資訊管理系、應用外語系、社會工作系、文化事業發展系；(4)環境學院：產業安全衛生與防災研究所、溫泉產業研究所、職業安全衛生系、環境工程與科學系(含碩士班)、環境資源管理系、休閒保健管理系、觀光事業管理系、運動管理系。該校各學制學生人數約為 17000 人，教職員及技工人數為 611 人。

表 4.4.1、案例 D 學校基本資料表

學校概況	
佔地面積	29.6 公頃

主要水源	自來水
綠地面積	約 10 公頃
教職員人數	600 多人
學生人數	18000 多人
學制	大學



圖 4.4. 1、案例 D 校區建築及綠地配置示意圖

4.4.2 案例用水點分析

校內各項用水均使用自來水為其主要水源，並未設置中/雨水回收蒐集系統，亦未抽取地下水或山泉水作為水源使用。根據學校所提供該校最近一年用水量之自來水用水量資料，如下表：

表 4.4.2、 案例 D 最近一年用水量及用水費一覽表

年度/月份	實際用水量(m ³)	使用水費(NT\$)	備註
95 年 3 月	60224	764845	
95 年 4 月	59684	757987	
95 年 5 月	65116	826973	
95 年 6 月	60411	767220	
95 年 7 月	49267	625691	暑假期間
95 年 8 月	40125	509588	暑假期間
95 年 9 月	53865	684086	
95 年 10 月	57357	728434	
95 年 11 月	55290	702183	

95 年 12 月	56017	711416	
96 年 1 月	47672	605434	
96 年 2 月	37389	474840	寒假期間

由上表可知，學校單位用水量分佈不均，寒暑假學生未上課期間用水量略有減少。為便於推估個案例學校平均單日用水量，本研究以過去一年總用水量扣除寒暑假月份 2、7、8 月份等三個月，計算該校過去一年之平均單日用水量(單位：CMD)，計算式如下：

單日平均用水量=(\sum 95/03 至 96/02 扣除寒暑假月分用水量)/用水日數

$$=(515636\text{m}^3/275\text{Day})$$

$$= 1875 \text{ CMD}$$

本研究蒐集該校基本資料後，與該校配合訪談人員確認無誤後，著手針對用水設施部分蒐集用水設施基本資料及其用水量，校方用水設施基本資料如下表：

表 4.4. 3、案例 D 用水設施基基本資料表

用水設施及用水點	用水規模
師生住宿生活用水	校內住宿約 2800 人
廚房烹調用水量	校內師生人數為 17611 人
綠地澆灌用水量估算	校內綠地面積約 10 公頃

空調冷卻用水量估算	校內中央空調主機約 19 部
RO 製水用水量估算	校內各樓層皆設有 RO 飲水機
衛生設施用水量估算	校內師生人數為 17611 人
景觀用水用水量估算	校內景觀池兩座面積各為 150 m ² 及 250m ²
運動及其他設施用水量	校內設有游泳池及 SPA 池，體積各為 875 m ³ 及 450 m ³

該校各用水點及用水設施其用水量，估算如下：

師生住宿生活用水：

經實地訪視及與該校總務人員訪談後，該校校區設置宿舍共 7 棟總住宿人口約為 2800 人，生活用水以自來水公司 95 年度我國每人每日用水量為基準，為 352 L/day，推算該校師生住宿生活用水之需求，如下式：

$$\begin{aligned}
 \text{師生住宿生活用水量} &= (\text{住宿師生人數} \times 95 \text{ 年度我國每人每日用水量}) \\
 &= 2800 \text{ 人} \times 352 \text{ L/day} \\
 &= 985.6 \text{ CMD}
 \end{aligned}$$

廚房烹調用水量：

經實地訪視及與廚房工作人員訪談後得知，該校廚房為外界商家所承包約有 13 家，其用餐人數及其烹調用水量難以有效估算，因並非所有學生皆在學校餐廳用餐。且該校設有進修部及推廣教育，上述學制學生較少在校用餐。

該案例因宿舍住宿學生因已估算每人每日用水量，本案例中估算該校烹調用水量必須該扣除其人數方為合理，在案例 D 預計以該校日間部人數扣除住宿人數的三分之一推估該校烹調用水量，如下式：

$$\begin{aligned}\text{廚房烹調用水量} &= (\text{日間部師生人數} - \text{住宿人數}) \times 1/3 \times (\text{我國每人每日烹調用水量} \times 1/3) \\ &= (9611 \text{ 人} - 2800 \text{ 人}) \times 1/3 \times (58 \text{ Lpcd} \times 1/3) / 1000 \\ &= 43.9 \text{ CMD}\end{aligned}$$

綠地澆灌用水量估算：

經實地訪視及與該校總務人員訪談後得知，該校綠地面積約為 10 公頃，澆灌頻率約為每週一次，綠地面積澆灌用水量估算如下式：

$$\begin{aligned}\text{綠地澆灌用水量} &= (\text{綠地面積} \times \text{該校澆灌頻率} \times \text{每公頃建綠地澆灌量}) \\ &= (10 \text{ 公頃} \times 1/7 \times 20 \text{ CMD}) \\ &= 28.6 \text{ CMD}\end{aligned}$$

空調冷卻用水量估算：

經實地訪視及與該校總務人員訪談後得知，該校空調數量眾多，本研究僅以 10RT 以上之中央空調製主機納入計算。空調冷卻之用水量視乎當地氣候條件、冷卻水塔型式、空調主機大小及形式、空調主機開啓時間、冷卻水管理的模式(回流比、導電度、清洗頻率)等條件，若未裝設獨立水表即無法得知其確切的用量。在本研究中僅針對空調主機的大小及開啓時間作

一粗略性的用水量估算。研究以表 3.1.3 推估案例 D 中相近空調噸乘以其比直數之冷卻用水蒸散量(空調冷卻用水)，並以該蒸散量推估該校空調冷卻用水量。校內空調主機分佈及主機容量如下表：

表 4.4.4、案例 D 校區內中央空調主機分佈位置及其推估蒸發損失量

位置	噸數(RT)	數量	對應之蒸發損失量(kg)
幼稚園	150	1	$100RT \times 1.5 \times 1 = 67200$
餐旅系	30	1	推估表列 $50RT \times 0.6 \times 1 = 67200$
	60	4	推估表列 $50RT \times 1.2 \times 4 = 101376$
國際會議廳	15	1	推估表列 $10RT \times 1.5 \times 1 = 9600$
	10	1	推估表列 $10RT \times 1 \times 1 = 6400$
	30	1	推估表列 $50RT \times 0.6 \times 1 = 12672$
	40	2	推估表列 $50RT \times 0.8 \times 2 = 33792$
	100	2	推估表列 $100RT \times 1 \times 2 = 89600$
圖書館	20	2	推估表列 $10RT \times 2 \times 2 = 25600$
	100	2	推估表列 $100RT \times 1 \times 2 = 89600$
	360	2	推估表列 $400RT \times 0.9 \times 2 = 299520$
總計:			802560kg

本研究以上表所列之各空調主機大小估算其空調冷卻用水量如下式：

$$\begin{aligned} & \text{空調冷卻用水量} \\ & = (\text{空調主機噸數所對應之蒸發損失量} \times \frac{\text{每日開啓時數}}{24} \\ & \quad \times \frac{\text{每月開啓日數}}{30.5}) / 1000 \\ & = (802560 \times \frac{12}{24} \times \frac{22}{30.5}) / 1000 \\ & = 289.4 \text{CMD} \end{aligned}$$

RO 製水用水量估算：

根據該校總務人員告知，該校各大樓各樓層間均設置 RO 飲水機，各飲水機製水量少但數量相當多，無法予以有效估算，本研究將不計其 RO 飲水機之製水量。

衛生設施用水量估算：

該校進修部人口約占全體學生人數的 47%但其在校時間恐不如日間部學生的 1/2，本研究衛生設施用水量皆以該校師生人數計算，在本案例因進修部學生人數較多，本研究設定進修部學生之衛生設施用水量應為日間部學生的 1/2。該校校本部水龍頭皆已裝設節水器材，水龍頭用水部分以已裝設節水器材之流量估算，本研究依該校用水人數推估其衛生設施用水量如下式：

$$\begin{aligned} \text{馬桶每日用水量} & = (\text{使用人數} \times \text{使用次數} \times \text{傳統馬桶用水量}) / 1000 \\ & = (9000 + (8000 \times 1/2) \text{人} \times 0.5 \times 12\text{L}) / 1000 \end{aligned}$$

$$=78\text{CMD}$$

水龍頭每日用水量=(使用人數×使用次數×使用時間×水龍頭流量)/1000

$$=(9000+(8000\times 1/2)\text{人}\times 4\text{次}\times 5\text{sec}\times 0.15\text{L/sec})/1000$$

$$=26\text{CMD}$$

衛生設施用水量=馬桶每日用水量+水龍頭每日用水量

$$=78\text{CMD}+26\text{CMD}$$

$$=104\text{CMD}$$

景觀用水用水量估算：

經實地訪視及與該校總務人員訪談後得知，校內設有兩座景觀噴水池使用自來水作為其水源，其水池體積總共約為 400m^3 ，該校景觀用水量推估如下式：

$$\text{水池每日用水量}=(400\text{m}^3\times 4.42\times 10^{-3}\text{ m/Day})$$

$$=1.8\text{ CMD}$$

運動及其他設施用水量：

經實地訪視及與該校總務人員訪談後得知，該校設有游泳池及 SPA 設施各一座，游泳池納水體積約為 875 m^3 ，SPA 設施納水體積粗估約為 450 m^3 。因上述兩座池體皆未裝設獨立水表，用水量僅以操作人員所表示之換水頻率估算以求得運動及其他設施用水量之需求，估算如下式：

$$\text{游泳池體每日用水量}=(\text{水池容積 } \text{m}^3\times \text{每周換水頻率}/7)$$

$$=(875\text{ m}^3\times 1/7)$$

$$=125\text{CMD}$$

$$\text{游泳池體每日用水量}=(\text{水池容積 } \text{m}^3\times \text{每周換水頻率}/7)$$

$$=(450\text{ m}^3\times 2/7)$$

$$=128.6\text{CMD}$$

池體每日用水量=(游泳池體每日用水量+游泳池體每日用水量)

$$=125\text{CMD}+128.6\text{CMD}$$

$$=253.6\text{CMD}$$

根據上述各用水點用水量推算，發現學校實際用水量與各用水設施推估用水量有部分差距，本研究將各用水點用水量乘以修正因子求其各用水點較為合理之用水量，修正因子如下式：

$$\text{修正因子}=(\Sigma WI)/(\Sigma WU+\Sigma WR)$$

$$=(1875\text{CMD})/(1706.9\text{CMD})$$

$$=1.1$$

表 4.4.5、案例 D 用水設施修正後用水量一覽表

單位：CMD

用水設施及用水點	原用水量	修正後用水量	備註
師生住宿生活用水	985.6	1082.8	
廚房烹調用水量	43.9	48.2	
綠地澆灌用水量估算	28.6	31.4	
空調冷卻用水量估算	289.4	317.9	
RO 製水用水量估算	--		
衛生設施用水量估算	104	114.2	
景觀用水用水量估算	1.8	2	
運動及其他設施用水量	253.6	278.5	

4.4.3 案例 D 用水平衡圖

利用 4.4.2 內該校各用水點之推估用水量，繪製該校用水平衡圖，如下

圖：

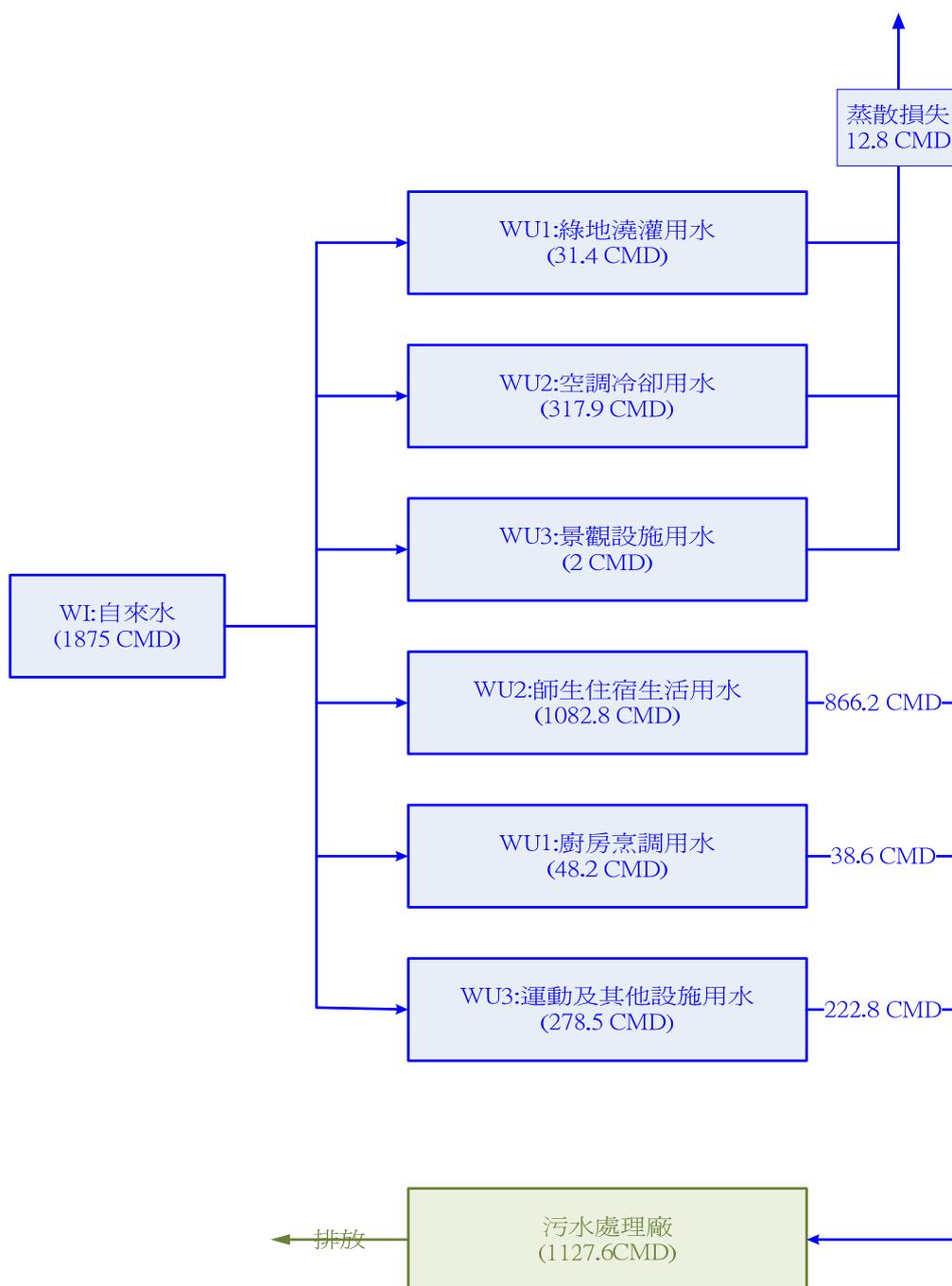


圖 4.4.2、案例 D 用水平衡圖

4.4.4 用水管理及節水措施之建議

4.4.4.1 用水管理措施改善

本研究四個案例中，本案不僅學校規模最大，師生人數各是國內首屈一指，全校師生人數高達一萬八千餘人。校方總務等行政人員非為老師兼任，建議校方應針對水資源管理制訂用水計畫及用水管理措施並視乎學校長期發展、校地規劃、學生人數及用水設施增加與否等，訂定用水計畫並設立節水目標。

該校建校自民國 53 年創校迄今，學校規模由原來之專科體制陸續升格為科技大學，校地及校園建築歷經多次擴建，不管用水設施或者是自來水管線皆有可能因老舊而漏水，為因應該情勢校方除應制訂用水管理措施，並於該措施明定用水設施及管線之年限，並視年限定期進行檢視、修繕及汰舊換新等工作並考慮建置更有效之用水管理措施，以彌補人力之不足。

在本案例中，校園面積遠較其他案例為大且各式建築物多達三十餘棟，無法如其他案例僅由師生配合宣導通報漏水點的工作，來解決用水設施及管線老舊漏水的問題。本案例中僅宿舍區之衛生設施水龍頭及馬桶數目即多達數千座(每位學生擁有獨立之衛浴設施)，實無法一一由人力巡視洩漏與否。

本研究建議第一步可先確認該校自來水管網配置，針對用戶端水表之後至各大樓自來水進流之前，裝設網路型電子水表並蒐集各大樓間及用水設施各時段間之用水狀況，建議系統架構如下圖：

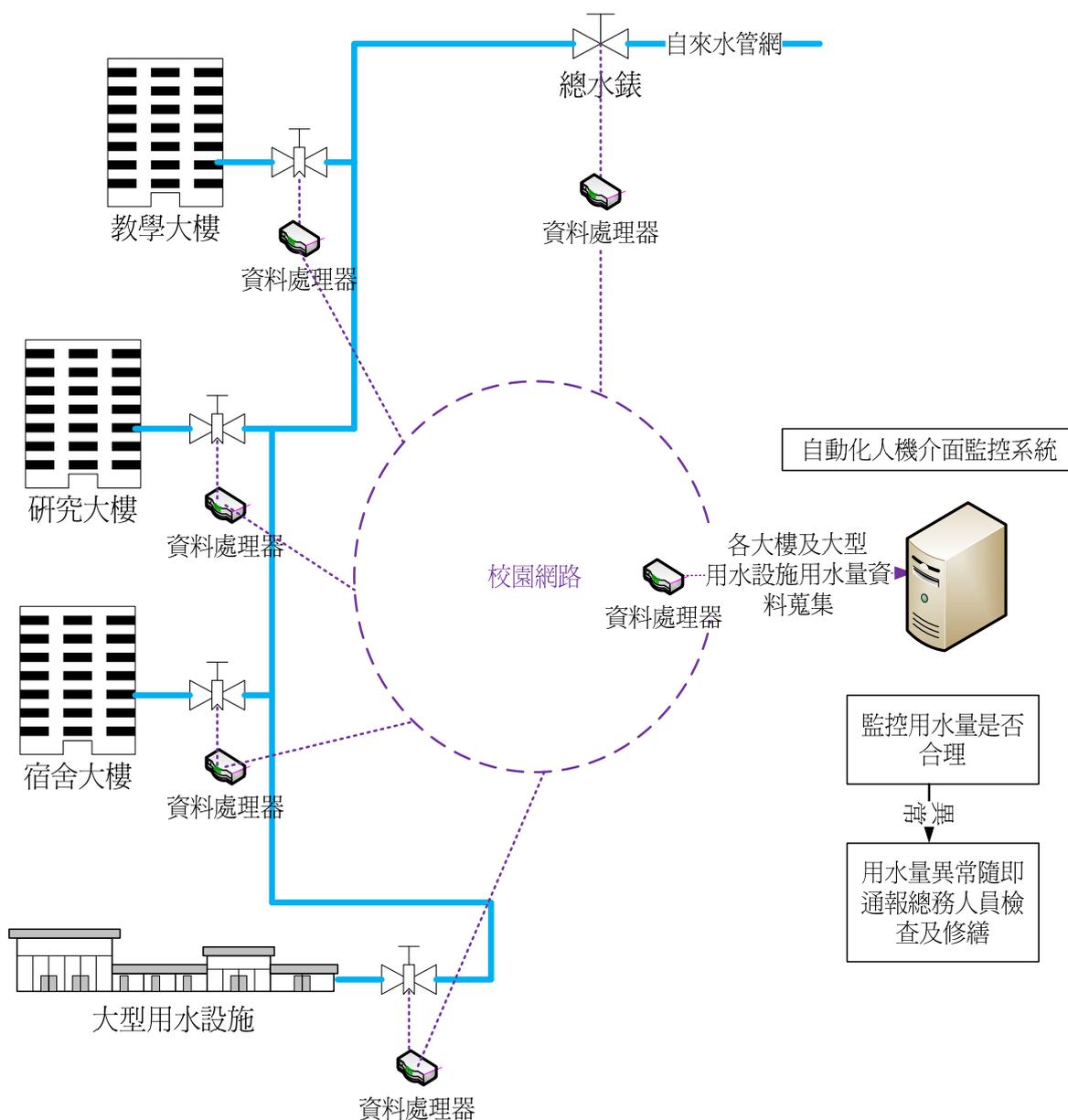


圖 4.4. 3、案例 D 校園用水量網路系統架構

4.4.4.2 更換節水器材設施

依該校案例而言，更換節水設施將針對宿舍區為主，因校本部多數除殘障專用外，皆為腳踏式沖水之蹲式廁所相對裝設節水設施其節水空間較小，據該校總務人員表示校本部內水龍頭多數已裝設節水器材。本節更換節水器材將以宿舍區為主，計算更換節水器材後其生活用水之節水效益。

宿舍區內各式馬桶、水龍提及蓮蓬頭數量約有 2800~3000 組左右，確切數目無法提供，校內住宿學生皆擁有自己的衛浴設備。本研究建議該校宿舍區全數更換為省水型龍頭、節水龍頭及節水型馬桶，預計每日生活用水量可由 1082.8 CMD 降低至 861.6 CMD 為原用水量的 79.6%，其中以換裝節水蓮蓬頭省水效益最高。

針對水龍頭用水減量部分建議換裝省水型水龍頭或者調整出水流量小（每分鐘 6 公升）換裝後每分鐘可減少 3 公升，即每秒 0.05 公升。換裝後水量計算如下：

$$\begin{aligned} \text{水龍頭每日節水量} &= (\text{學生人數} \times \text{使用次數} \times \text{使用時間} \times \text{節水水龍頭節水量}) / 1000 \\ &= (2800 \text{ 人} \times 4 \text{ 次} \times 5 \text{ sec} \times (12-9 \text{ l/min}) / 1000 / 60 \\ &= 2.8 \text{ CMD} \end{aligned}$$

針對馬桶用水減量部分建議換裝省水型馬桶（每次 6 公升），或加裝二段式省水器材，換裝後每次可減少 6 公升，換裝後水量計算如下：

馬桶每日節水量=(學生人數×使用次數×節水馬桶節水量)/1000

$$=(2800 \text{ 人} \times 4 \text{ 次} \times (12-9 \text{ l}) / 1000$$

$$=33.6 \text{ CMD}$$

針對蓮蓬頭用水減量部分建議換裝省水型蓮蓬頭（每分鐘 10 公升），或加裝二段式省水器材，換裝後每分鐘可減少 5 公升，換裝後水量計算如下：

蓮蓬頭每日節水量=(學生人數×使用次數×使用時間×節水蓮蓬頭節水量)/1000

$$=(2800 \text{ 人} \times 1.5 \text{ 次} \times 15 \text{ min} \times (10-5 \text{ l/min}) / 1000$$

$$=315 \text{ CMD}$$

換裝節水器材後生活用水量=原生活用水量-(水龍頭每日節水量+馬桶每日節水量+蓮蓬頭每日節水量)

$$=1082.8 \text{ CMD} - (2.8 \text{ CMD} + 33.6 \text{ CMD} + 315 \text{ CMD})$$

$$=731.4 \text{ CMD}$$

4.4.4.3 廚房用水減量

該校廚房自來水主要使用於清洗蔬菜食材及清洗地板等用途，為節省自來水用量並提高用水效率，建議各將原有清洗用水槽變更為三槽式設計，如圖 4.4.4 所示，在清洗蔬菜食材時利用逆洗方式（由最後一槽供水再溢流至前一水槽）將清洗水槽分階段沖洗使用（如圖 4.4.5 所示），並將水槽內

乾淨的排放水回收供沖洗地板使用，並建議廚房工作人員改變使用水流進行冷凍食材退冰之習慣，綜合上述應可降低廚房用水量為原有之 80%。

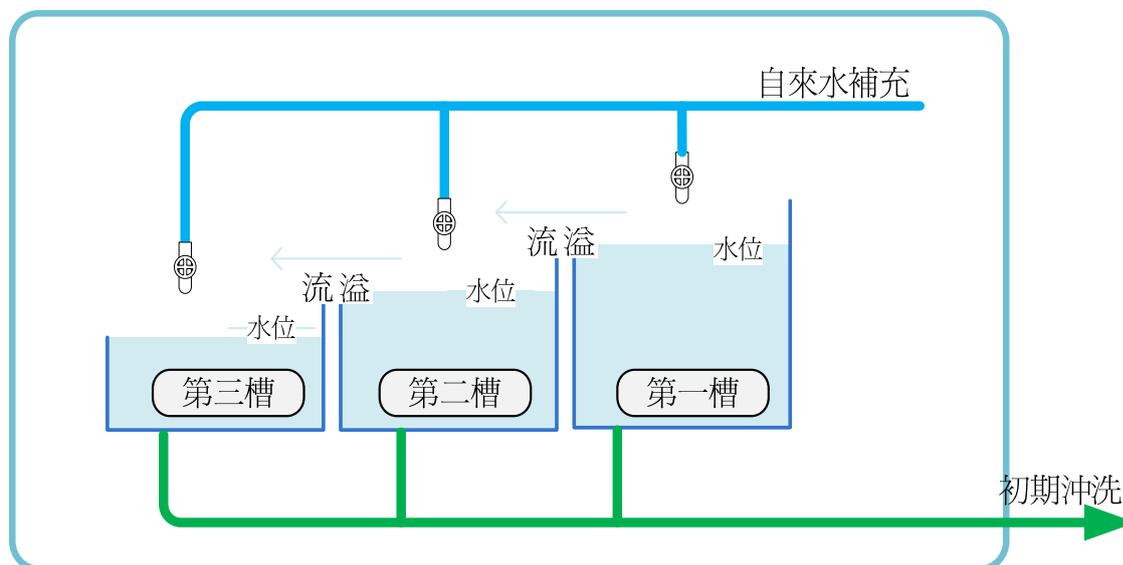


圖 4.4.6、案例 D 三槽式食材分段清洗程序圖

4.4.4.4 利用污水處理廠放流水並進行中水回收再利用

該校目前設置汙水處理設施三座，處理全校師生日常生活汙水，配置如圖 4.4.1 所示，該校汙水處理廠處理後水質良好符合放流水標準。以 96 年度該校定期檢測報告，放流水水質指標中化學需氧量(COD)各為 24.4mg/l、28.9mg/l、21.8mg/l，生化需氧量各為 4.7mg/l、9.7mg/l、6.2mg/l，懸浮固體物各為 4.5mg/l、13.6mg/l、3.0mg/l，放流水質情形良好。

國內一般中水回收再利用主要用途為民生次級用水，不得為飲用、烹調或與人體接觸之用途。在學校的案例中水回收主要作為衛生設施中之沖

廁用水、綠地澆灌用水及景觀用水，以下針對上述三個用途以各別污水處理廠回收規劃予以討論：

案例 D 中，該校受有三座污水處理廠，各廠介紹如下：

1 校本部污水處理廠：處理校本部師生日常生活廢水，其處理方式為批次式活性污泥法(SBR)，最大設計容量為 600CMD，另該廠放流水並混合校區周界住宅生活廢水供本校人工濕地教學研究用途。

2 宿舍區污水處理廠：處理宿舍區住宿學生日常生活廢水，其處理方式為接觸式活性污泥法，最大設計容量為 800CMD。

3 資訊館污水處理廠：處理本校資訊館(Q 棟)日常生活廢水，其處理方式為生物薄膜法(MBR)，最大設計容量為 350CMD。

本研究建議以該校校本部污水廠搭配人工濕地及架設澆灌管線處理後之放流水，灌溉校區內綠地以取代灌溉用水量及取代景觀用水量。

原校本部污水廠原始設計中並未規劃中水回收用途，建議為因應中水回收校本部污水處理廠除原有處理設施外，必須加設中水儲水槽、砂濾機(或其他過濾設備)及加壓管線以因應日後規畫中水回收用途，除進行上述硬體規劃變更外，未符合我國水污染防治法及其相關規定須進行排放許可變更工作，該部分工作依法須經技師簽證。

建議其系統規劃如下圖：

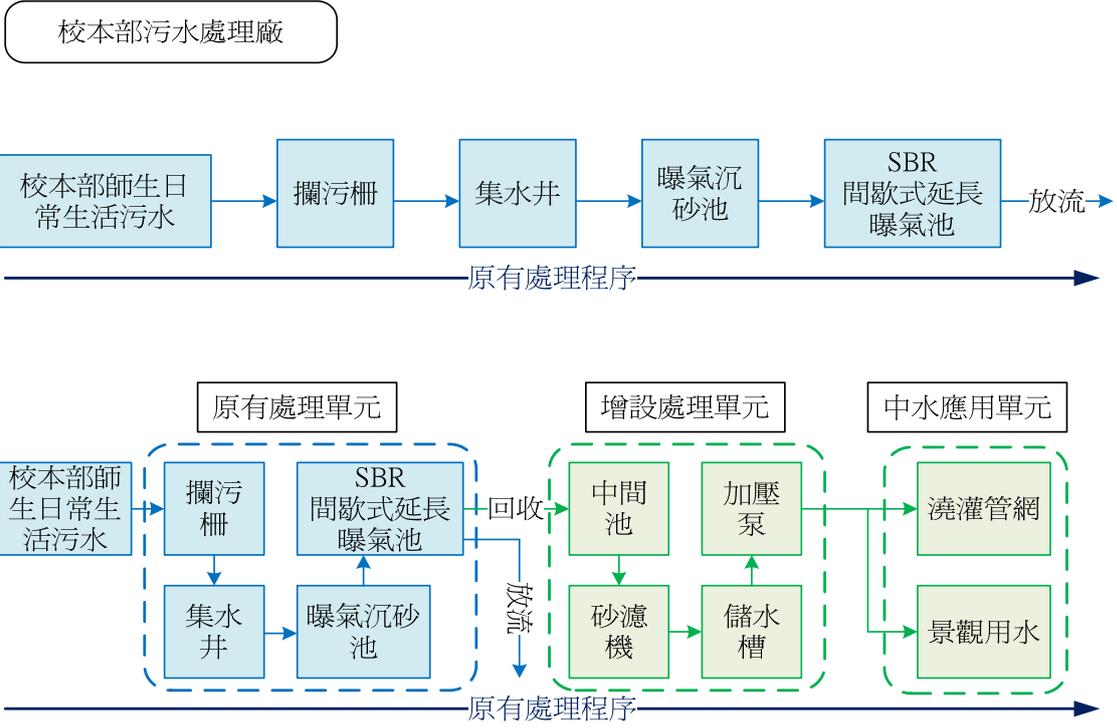


圖 4.4.7、案例 D 校本部污水廠因應中水回收增設程序圖

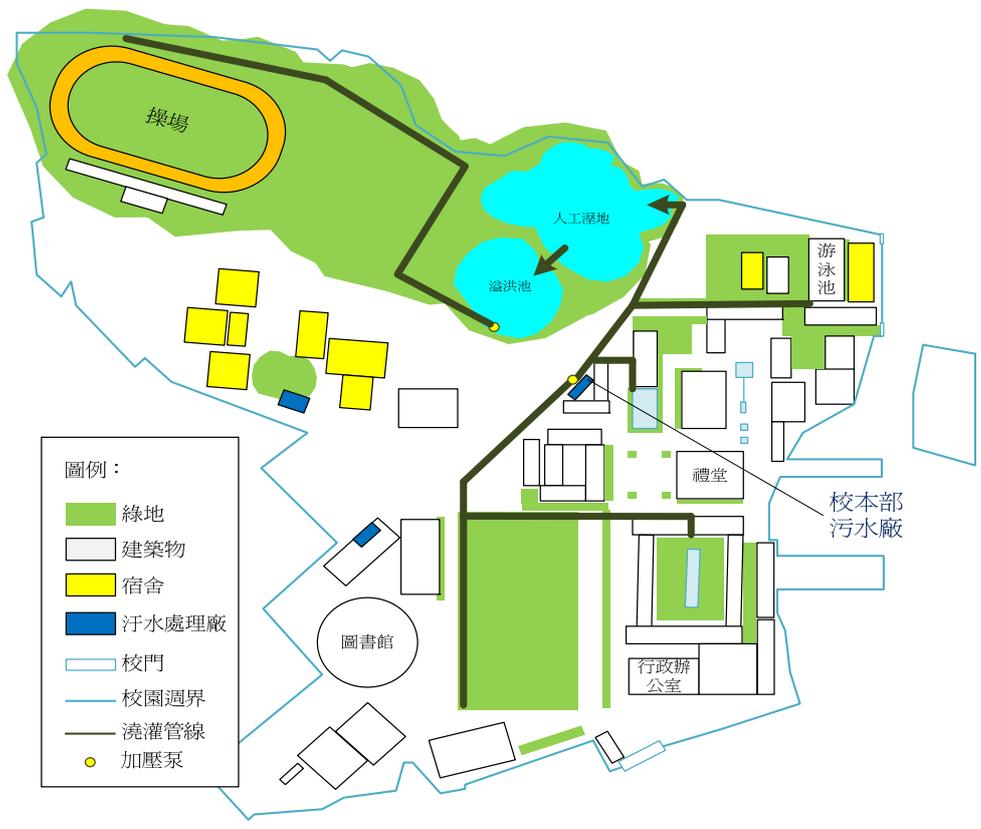


圖 4.4.8、案例 D 校本部污水廠中水澆灌管網示意圖

預計藉由該系統以中水取代原有自來水作為水源之綠地澆灌用水量及景觀用水，每日可節約之用水量達 33.4CMD。

針對宿舍區污水廠本研究建議將放流水經加氯消毒處理後，搭配中水管線以取代原有五棟宿舍衛生設施之沖廁用水。

該廠原始設計中並未規劃中水回收用途，建議為因應中水回收該廠除原有處理設施外，必須加設加氯消毒系統、中水儲水槽)及加壓管線以因應日後規畫中水回收用途，除進行上述硬體規劃變更外，未符合我國水污染防治法及其相關規定須進行排放許可變更工作，該部分工作依法須經技師簽證。

建議其系統規劃如下圖：

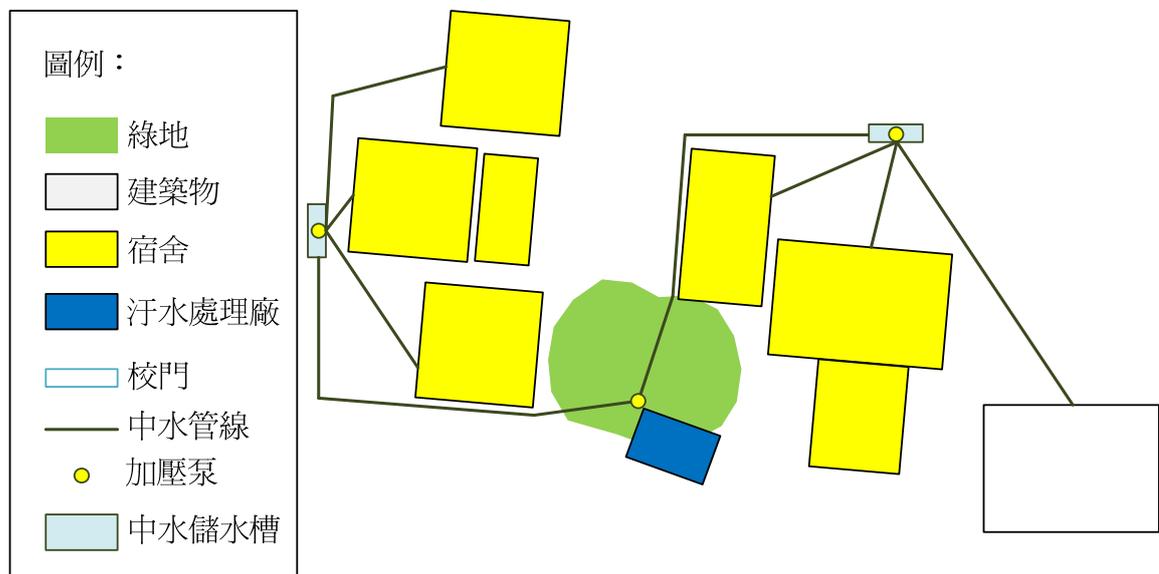


圖 4.4.9、案例 D 宿舍區污水廠新增中水管線示意圖

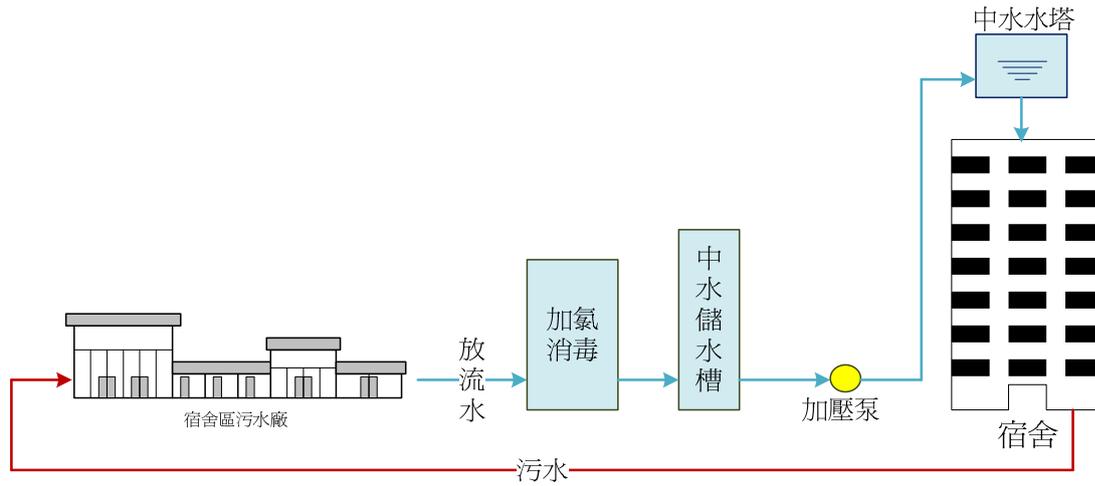


圖 4.4. 10、案例 D 宿舍區污水廠中水回收沖廁程序示意圖

預計藉由該系統以中水取代原有自來水作為宿舍區各棟宿舍衛生設施
沖廁用水，每日可節約之用水量計算如下式：

$$\begin{aligned}
 \text{馬桶每日用水量} &= (\text{使用人數} \times \text{使用次數} \times \text{節水馬桶用水量}) / 1000 \\
 &= (2800 \text{ 人} \times 4 \times 9\text{L}) / 1000 \\
 &= 100.8\text{CMD}
 \end{aligned}$$

4.4.4.5 節水教育及宣導

學校師生的日常用水行爲與習慣，會影響其用水時間、用水次數、用水強度、用水方式等，因此養成正確的用水觀念，需靠學校教育與宣導。爲了向下紮根、及早養成愛水、惜水的生活習慣，可藉由師生間各項日常教學活動與以推廣。

學校總務處方面除了配合在廁所及水龍頭等位置張貼節水標語外，更應推廣節水及中水回收設備的裝設，並藉裝設位置設立說明或介紹板，並定期舉辦宣導。學務處方面可配合學生通報、週會、導師時間及新生訓練等場合配合宣導水資源保護、管理及永續發展等觀念，定期舉辦環保週、環保營及各項競賽。教務處方面可將環境教育及水資源永續發展等環境教育相關課程納入通識課程。

4.4.5 改善後用水平衡

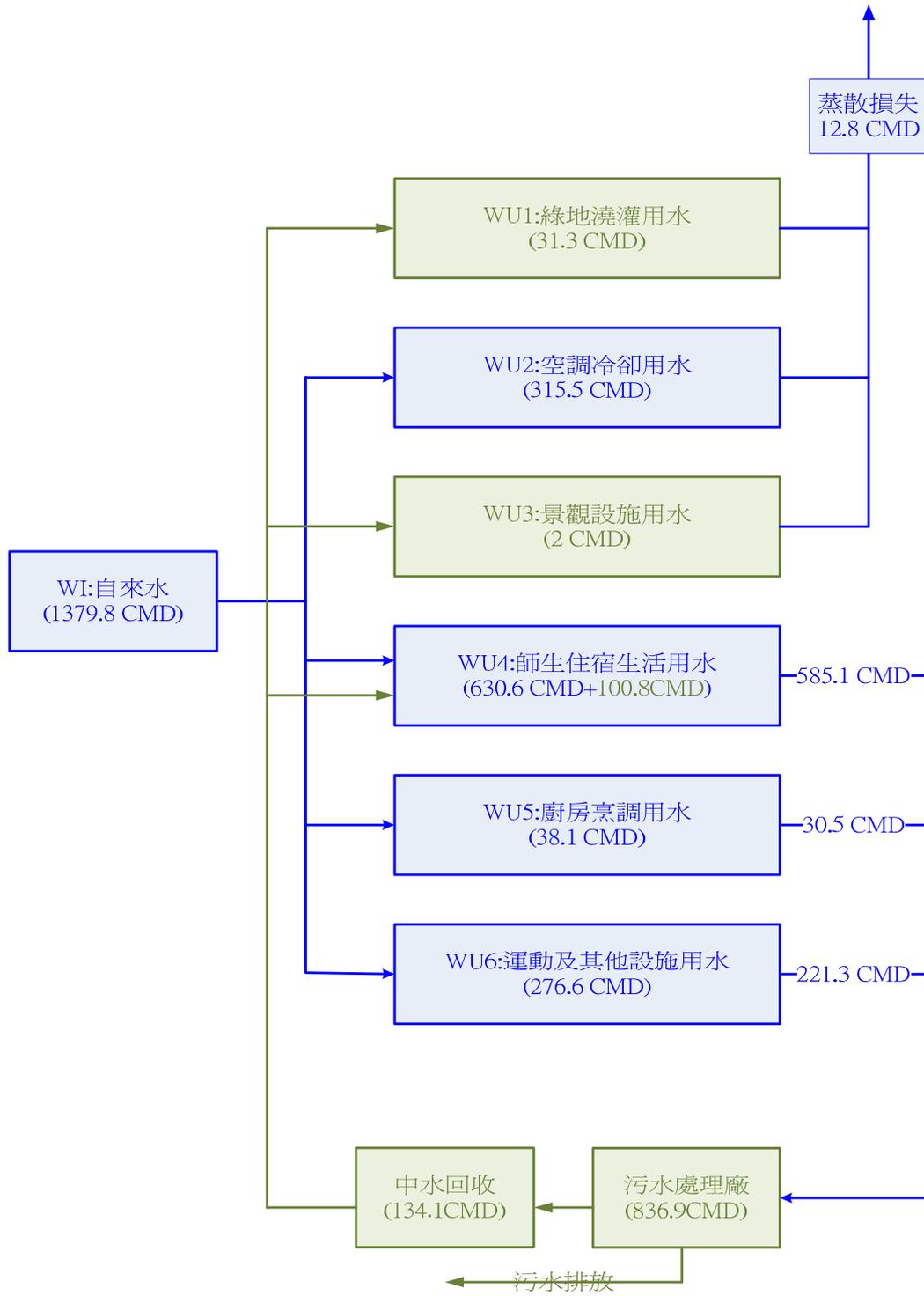


圖 4.4. 11、案例 D 改善後用水平衡圖

4.4.6 節水潛力及經濟效益分析

由表 4.4.6 產水點與用水點分析表可知，經由加強用水管理及教育宣導、更換節水器材及廚房清洗作業流程的變更，推估每日約可減少 361CMD 的用水量；執行污水廠中水回收計畫，可利用於校園綠地及沖廁澆灌使用，總計每日可減少 133.4 CMD 用水量。

表 4.4.6、案例 D 節水潛力及效益分析表

項目名稱 項次	1	2	4	5	總計
1.產水點	原用水	原用水	中水回收	中水回收	--
2.用水點	衛生設施	廚房用水	衛生設施	澆灌、 景觀	--
3.原用水可減少量 (CMD)	351.4	9.6	100.8	33.4	495.1
4.可回用中水量 (CMD)	0				
5.擬採用之回用中水 量(CMD)	0		100.8	33.4	133.4
6.處理方式	節水器材	清理流程	景觀/生態	設置儲水	

			池	塔	
7.原取水量(CMD)	1875				
8.改善後取水量 (CMD)	1379.8				
9.原回收率(%)	0				
10.改善後回收潛力 (%)	7.1				
11.總節水潛力(%)	26.4				

以自來水費而言，目前台灣省平均水價約為 11.5 元/噸，以每天可節約之水量達到 495.1CMD 估算，每年（以上課時間平均約 9 個月估算）可省下之取水成本約為 156.3 萬元。

4.5 案例綜合分析

本研究過程與各用水點之用水量因各校皆未裝設獨立水錶，以致用水量為研究者主觀的判斷，相對的個案例間用水點與用水量再現性可能會因為評估者主觀判斷以及各個案例間校園規模、學生人數、用水設備、用水習慣及所在地理位置之不同而不同，有其不確定性。但本研究內容中，各用水點用水量之判斷多以該校總務人員實地訪談內容作為首要的判斷參數，再輔以該校規模、學生人數、用水設備等條件，各用水點或用水量或許無法與實際情形相符合，但其差異因子皆控制在 15% 的條件內，期望所繪製的水平衡圖可以更貼近該校實際的用水量。

在各個案例的建議，不外乎以用水管理、裝設節水器材及中/雨水回收設施等三個方向規劃，其中裝設節水器材及設置中/雨水回收系統所帶來的效益可以依該校的基本條件予以量化並繪製改善後用水平衡圖，可以立即明瞭改善後的效益。但筆者認為，校園水資源管理與目前國內各項常見環保問題如空氣汙染、資源回收、垃圾減量等問題一樣，問題在於人。不管是教育及宣導或者是各類型的管理措施，都必須極端仰賴全校教職員生的配合。本研究案例 A、B、C 三個案例的總務人員都表示，衛生設施的節水器材容易遭受學生的破壞，尤其以節水水龍頭為主，足見節水觀念宣導的重要性。

除了節水觀念的宣導外，國內長期因水費偏低導致各校決策主管或總

務人員忽視水資源的浪費，本研究案例中皆未訂定用水計畫及節水目標，於校內例行性主管會議甚少討論該項問題。各校因專任技工人力或專業能力不足，對於校園各項用水設備僅消極的檢查是否洩漏，僅能消極的等待該校師生通報用水設備漏水時才前往查修，往往不能即時修復造成水資源的浪費。當學校規模小的時候或許不易察覺其嚴重性，但在案例 D 中日用水量達 1875CMD 之用水規模時，衛生及各項用水設備高達數千項，實無法以傳統人力巡查之方式予以修繕，更有甚者若地下管線洩漏時該如何察覺？

本研究案例 A、C、D 個案例皆屬歷史悠久之學校，用水管線的洩漏與否因涉及開挖等工程實為各校總務人員不願面對的問題。各校間除了水公司所裝設的水錶外，並未針對大型用水設備或大樓裝設獨立水錶，本研究認為應積極加強對於用水設備或各大樓用水量的管控並裝設獨立水錶，建立各用水設施或大樓之用水資料庫並以人力或網路等模式定期查抄，以確認各用水設施之用水量是否合理及是否洩漏。

本研究中並認為學校之決策單位應建立有效之用水管理措施，為各級學校的當務之急，並製訂校園內之節水任務編組，以各校決策者為任務召集人，總務及學務主管為當然成員，成員中並包含教師及學生代表，定期檢討校前現行水資源使用現況是否合理，並訂定節水目標。該任務小組可以與節能及資源回收等核定編組。讓全校教職員生了解校方的努力以及決

心並予以全力配合。

中/雨水回收目前在國內校園推廣或應用，在本研究與案例間各校總務人員訪談的經驗，前提必須滿足穩定的水量或水質及合理的用途兩項目標。不管是水資源的缺乏或中水回收所具備經濟價值及教育的意義，都是校園中水回收的正面價值，但各校礙於經費、技術甚至是中水的用途，致使中水回收在國內各校園間的普及率始終無法提高。

本研究中四個案例，以穩定的水質或水量而言案例 A、B、D 各設置廚房、游泳池及汙水處理廠，皆可認定為穩定的中水來源。現行中水在校園間大多數的用途為沖廁、澆灌、景觀、清掃及冷卻用水等非與人體接觸用水，但最令各校管理人員困擾的問題是回收後的中水無處使用，就沖廁而言若建築物規劃初期未設中水管線，案於經費及美觀於建築物完成後亦難以置。就澆灌及景觀用途外除了校園綠地規模大小及景觀池體的體積是否足以滿足回收之中水量外，於民國 95 年水污染防治法修訂之前，環保主管機關認為中水回收視為水污染防治法中之土壤處理，必須依法進行相關檢測及申報作業易導致中水澆灌綠地用途推廣的困難。關於上述各項用途若設立學校之初未設置中水管線，導致中水產源與應用點間管線配置困難，由以歷史規模悠久的學校為甚，埋設管線的經費與困難度往往比中水所能帶來的效益令人卻步。

第五章 結論與建議

5.1 結論

本研究內容中，各用水點用水量之判斷多以該校總務人員實地訪談內容作為首要的判斷參數，再輔以該校規模、學生人數、用水設備等條件，各用水點或用水量或許無法與實際情形相符合，但其差異因子皆控制在 15% 的條件內，期望所繪製的水平衡圖可以更貼近該校實際的用水量。

各個案例的建議皆以用水管理、裝設節水器材及中/雨水回收設施等三個方向為規劃方向，依該校各用水點之推估用水量予以量化並繪製改善前後之水平衡圖，可立即明瞭改善後的效益。但筆者認為校園水資源管理的問題在於人。不管是教育及宣導或者是各類型的管理措施，都必須極端仰賴全校教職員生的配合，足見節水觀念宣導的重要性。

除了節水觀念的宣導外，本研究案例中皆未訂定用水計畫及節水目標，校內主管甚少討論該項問題並因專任技工人力或專業不足，只能得等待該校師生通報用水設備漏水時才前往查修，往往不能即時修復造成水資源的浪費，當學校規模小的時候或許不易察覺其嚴重性，但在綜合大學內其用水設備高達數千項，實無法以傳統人力巡查之方式予以修繕。本研究中並認為校內決策單位應建立有效之用水管理措施並實施校園節水任務編組，定期檢討校前現行水資源使用現況是否合理，並訂定節水目標。

中/雨水回收目前在國內校園推廣或應用，在本研究與案例間各校總務人員訪談的經驗，前提必須滿足穩定的水量或水質及合理的用途兩項目標。不管是水資源的缺乏或中/雨水回收所具備經濟價值及教育的意義，都是校園中/雨水回收的正面價值，但各校礙於經費、技術甚至是中水的用途，致使中/雨水回收在國內各校園間的普及率始終無法提高。

5.2 建議

- 1.建立有效之用水管理措施並進行節水任務編組。
- 2.裝設各大型用水點及大樓間獨立水錶，並每日查抄件利用水量資料庫，異常時立刻派員查修。
- 3.推廣節水教育及宣導師生對於節水器材正確的使用觀念，並將其推廣至各個家庭以及所屬社區。
- 4.裝設節水器材並定期查修。
- 5.推廣設置中/雨水回收設施。
- 6.主管機關於新設學校或舊有校地及建築物擴建應強制設置污水處理及中/雨水回收系統，以提高其普及率及設置意願。

參考文獻

1. Marq de Villiers 著，楊麗貞譯，水:瞭解人類最珍貴的資源，閱讀地球文化事業有限公司，台北市，2005。
2. Maidment, D. R., “Handbook of Hydrology”, McGraw-Hill Inc.
3. 蕭政宗，水:水資源的歷史、戰爭與未來，商周出版，台北市，2004。
4. Sandra P. 著，劉志堅譯，被瓜分的水資源：糧食安全、生態系的健康及匱乏政治學，綠科資訊，台北市，1998。
5. World Resources Institute, ”World Resources 2002-2004: Decisions for the Earth: Balance, Voice, and power” , 2003.
6. 趙永清委員、環境品質文教基金會新聞稿，台灣「水貧乏指數」國際評比與德、日、美幾乎並駕齊驅，2003。
7. 潘禎哲，人工湖之水源運用及經營管理，經濟部水利署，2006。
8. 陳永森、陳章波，臺灣水資源環境空間永續利用，台灣環境資訊協會，2000。
9. 王鑫，邁向二十一世紀永續發展的環境教育行動策略，教育部，1998。
10. ed. Robert, Prescott-Alan. , “World Conservation Strategy”, 內政部營建署，1998。
11. 盧誌銘、黃啓峰，全球永續發展的源起與發展，工業技術研究院能源與資源研究所，1995。

- 12.張隆盛、廖美莉，我國NGO 參與聯合國重大議題會議之官民策略-以永續發展議題為例，台灣如何擴大參與具聯合國諮商地位之國際非政府組織研討會，中華經濟研究院，2001。
- 13.陳錦賜，論三體環境共生學校建築之可持續發展觀，永續發展的校園與建築，1-10，2003。
- 14.Moore, D. P. “Sustainable school: An investment in our future”. *School Planning & Management*, 38(5), 10-11, 1999.
- 15.湯志民，學校綠建築規劃之探析，永續發展的校園與建築，11-80，2003。
- 16.教育部96年度生活污水處理再生利用示範場址觀摩會手冊，81-83，2007。
- 17.王鑫、許韻珣，全球環境教育，中華民國八十七年環境教育研討會論文集，國立台中師範學院環境教育中心，7-19，1998。
- 18.Hines J., Hungerford H.R. and Tmoera A.N., “Analysis and synthesis of research on responsible environmental behavior: A meta-analysis,” *Journal of Environmental Education* 187.18(2), 1-8, 1986.
19. 陳木金(民)，學校本位課程領導模式之行動研究與省思，學校行政論壇第十次學術研討會—學校行政人員的忙與茫：省思與調適論文集，中華民國學校行政研究學會，164-184，2002。
- 20.汪靜明，國內環境教育活動設計架構與特色之探討，環境教育季刊(5)，58-66，台北，1990。
21. 楊冠政，環境教育，明文書局，台北，320-321，1997。

- 22.汪靜明，學校環境教學的理念與原理，環境教育季刊(43)，11-27，2000。
- 23.許世璋()，我們真能教育出可解決環境問題的公民嗎？論環境教育與環境行動，中等教育(52：2)，52-75，2001。
- 24.張真嫻，環境公民教育歷程之探討---以國小學生校園惜水行動研究為例，國立東華大學環境政策研究所，2002。
- 25.陳佩正，國內環境教育總體檢與建議，90 年度環境教育國際學術研討會，國立師範大學環境教育研究所，45-50，2001。
- 26.]Orr, D.W. , *What Is Education For ? Earth in Mind – On Education, Environment, and the Human Prospect*, Island Press, Washington, DC, 1994.
- 27.吳慧貞，應用價值澄清法實施國小四年級學生環境教育之研究，國立臺北教育大學自然科學教育學系碩士班，2006。
- 28.林佩薇，中小學生將環境知識傳遞給家長可行性之探討－以水資源教育為例，國立高雄師範大學環境教育研究所，2006。
29. 林秋裕、李漢鏗，合理生活用水量之探討(第一年)，中華民國自來水協會，1995。
30. 謝博丞，冷卻水塔之節水策略，國立成功大學機械工程學系碩博士班2003。
31. 中華民國淨水協會王騰謙，淨水器設置時機及種類，行政院環保署認識淨水器專刊，第六篇，2007。
32. 工研院，民生及公共大用水戶節水輔導計畫，經濟部水利署，2006。

33. 邱創益，台灣西南部青灰岩（泥岩）裸露地植生復舊之研究，屏東農專學報，26，59-8，.1985。