

# 中華民國第 52 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

高職組 電子、電機及資訊科

第一名

091009

逆·用

學校名稱：國立曾文高級農工職業學校

作者：  職三 陳奕嘉  職三 湯淙淇  職三 林柏宇	指導老師：  林怡君  吳景能
---	-----------------------------

關鍵詞：水資源利用、PLC

## 得獎感言

### 蹲低、是為了可以跳得更高

流淚撒種的必要歡呼收割，不論賢、愚、或不肖，上天賦予人是公平的，只要我們在所從事的工作上努力的經營，所謂的天助自助者，開始雖然慘淡，慢慢的困難的環境一直逆轉，以致漸入佳境，撥雲見日，過程雖然艱辛，酸、甜、苦、辣，百味雜陳，但其間造就了患難與共的同伴，加上殷切指導、叮嚀的師長，終於產生此次豐碩的成果，讓我體會科學是一群人努力、再努力，不斷戰勝挫敗的結果。

對於這次主辦單位的努力也給了我一次難忘的參賽經驗，這也是我的初體驗，也因為有這次的經歷，讓我對於學習上更有信心，也相信只要肯努力，就會有成功的機會，也感謝師長們提攜後進，讓我們有這次的機會能夠學習參與。

科展對我來說，是一個很寶貴經驗，研究時夥伴與師長們建立深厚的情誼，並從一次次的實驗中建立信心，且學習更多的知識，也了解團隊合作的重要性，一個好的團隊必須互助、互信、互相學習，也了解到要完成一件好的作品，必須不斷的努力從失敗中找尋錯誤，從錯誤中找尋答案，對於失敗不要氣餒，只要持續努力就能成功。

在實驗的過程難免會遇到挫折，有時候利用正確的方法卻不一定會得到相對的成果，有時候逆向思考，從不一樣的角度持續實驗，也能有意想不到的成果，研究的過程總是漫長的，但是只要能享受研究的過程，就能享受成功後的美好。

對於這次有這麼好的成果，最主要是感謝師長們以及曾經幫助過我們的同學，謝謝他們的大力幫忙，如果沒有他們的協助，我想我們也沒辦法得到這麼好的成績。

最後給予未來對於研究有期望的同學們，唯有擁有一顆感恩的心，與誠懇的學習態度，並在成功後不驕傲的人，才能使自己在學習上除了更加快樂。



這是我們患難與共的夢幻團隊



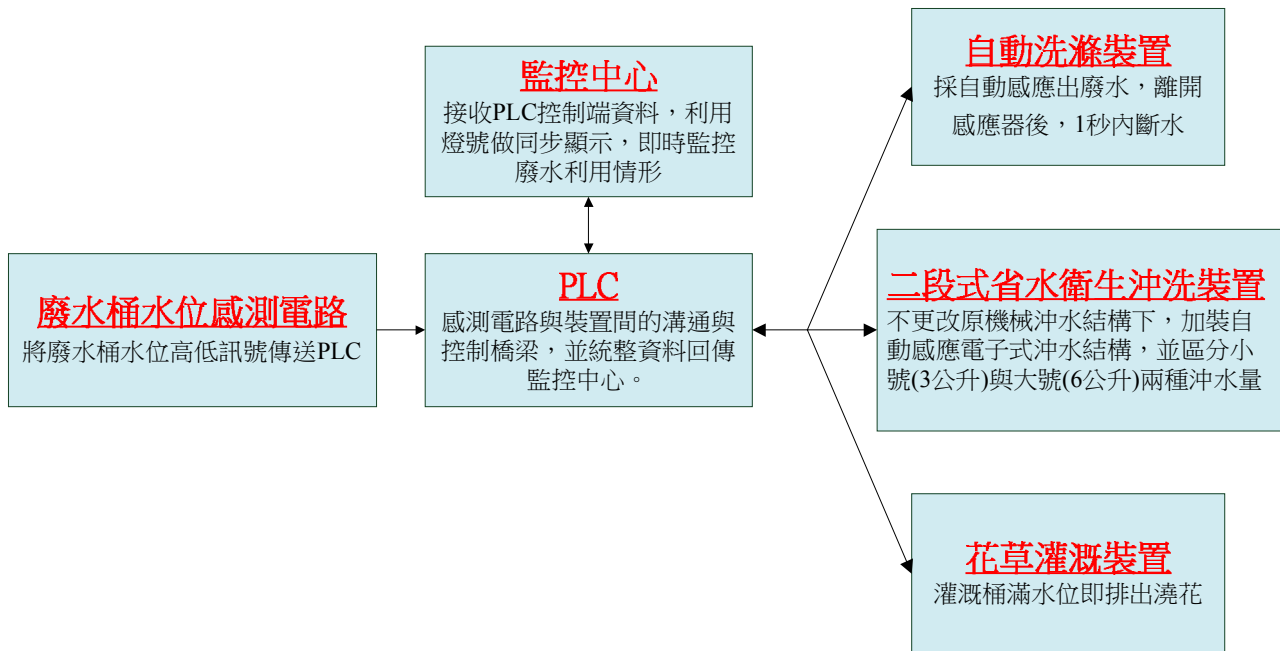
不斷的切磋與演練，讓我們更有默契，使我們進步再進步。



我們的努力終於開花結果，看！  
它是超高規格的产品，它將負起節能省水的重大任務。

## 摘要

"逆·用"就是運用 PLC 結合 RO 逆滲透完成廢水回收再利用自動化系統 "Recycling-Using Automatic Control System" (簡稱"RU")，也取"利用"諧音意義。廢水回收利用過程，若用手動完成，既麻煩又費時費力，因此我們要創造一個讓每個人都能輕鬆做環保的省水環境，達到節能減碳水循環，自動控制好方便的目標。



透過實驗結果得知，RO 純水 50 加侖/日，充分運用廢水量 622.08 公升/日，每個月可節省 19 噸的自來水，相當於節省 19 度，月省 158.55 元的水費，同時廢水經由檢驗後，沒有發現自來水水質內含汞與砷的成份，而且 TDS 低於 200ppm，代表目前南台灣水質還不錯，用於花草灌溉沒有污染土質之危害。

## 壹、研究動機

現今製作飲用水的方式有很多種，如蒸餾水、電解水、RO逆滲透等，其中以RO逆滲透所排出的廢水最多。大多數人們雖知道RO逆滲透會排出大量的廢水，但仍直接由水管排出，十分浪費水資源；而願意將廢水儲存再利用的家庭，因使用勞力難以持久。以上兩點的缺失，啟發本研究團隊建構一個同時"節省水資源"與"節省人力"的節能環境，並期能以低成本完成目標。

家用RO逆滲透一日最大製水量約50加侖至100加侖，純水(飲用水)與廢水比例約為1:3，代表4公升的自來水進RO後，製造1公升純水的同時，會排放掉約3公升的廢水，所以自來水真正使用率只有20~25%，另外高達75~80%是不要的，兩者關係如圖一所示。站在『節能減碳』及『珍惜水資源』的觀點上，我們深深覺得，這樣排放掉的廢水必須加以回收再利用。



圖一 自來水與純水即廢水比例

由台灣自來水公司資料顯示，99年度自來水每度用水排放CO<sub>2</sub>約當量=0.193公斤CO<sub>2</sub>/每度，  
 計算公式 =  $\frac{\text{本公司總用電量產生 CO}_2(\text{Kg}) + \text{本公司總用油量產生 CO}_2(\text{Kg})}{\text{總供水量(度)}}$ ，其中1度水=1000公升=1000公斤=1公噸=1立方公尺的水量。由此可知，每節省1度的用水，就能減少空氣中約0.193公斤碳的排放量，省水與減碳可以畫上等號，所以**節約用水就是節能減碳**。

表一為台灣自來水公司水費收費標準，按水表度數計算來收取不同的費用。以鄰近國家為例(文獻6)，日本東京每度為新台幣35.4元、新加坡32.3元、香港則為18.4元，台灣水費只有7.35元，雖相對便宜，但節約用水與廢水再利用仍是必要措施，積少成多累積下來的水量，在節省水費之外，能紓緩台灣的水資源匱乏，且降低地球表面的溫室效應，一舉數得。

表一 自來水水費收費標準（資料引源：台灣自來水公司）

段別	第一段	第二段	第三段	第四段
每度單位(元)	7.35	9.45	11.55	12.0765
實用度數(m <sup>3</sup> )	1-10 度	11-30 度	31-50 度	51 度以上

搜尋現有水資源再運用的實例：

1. 大型 RO 淨水系統排出廢水量很多，所以採取省水方式大都引導約 3 成廢水回流再過濾，缺點仍有 7 成廢水流失，因為越多廢水回流，會造成過濾器材極大的負擔，成本相對提高，本校 RO 淨水系統(每日造水量約 1600 加侖)即是運用此方式減少水資源浪費。
2. 「再生水利用供水系統」，利用供水系統係指將建築基地內的生活雜排水（如洗澡水、洗手水、洗碗水或輕度使用過之污排水，如洗澡水、洗手水或拖地污水）匯集處理控制後，達到一定的水質標準，能在一定範圍內重複使用於非與身體接觸用水、非飲用之再生水處理系統(文獻 2)。
3. 交通部公路總局新營工務段內部設置約 1 噸儲水桶收集冷氣水以及 RO 廢水，並透過抽水馬達提供洗車服務，如圖二所示。



圖二 RO 廢水運用實例

除了上述幾項方式，鮮少有透過自動化將RO廢水活用於家庭日常生活中，鑑於此，本研究實際完成一套省水系統，不僅將廢水重新利用且收集雨水、冷氣水，更透過二段式省水衛

生沖洗、自動洗滌出水、監控系統等自動化裝置，將省水效益提升至最大。

以下幾點比較本作品與現況之不同處，詳細說明創新部分，以及改善的目標。

現況描述	本系統創新部分	改善目標
RO逆滲透廢水直接排掉	設置RO廢水儲存桶，並裝置水位控制器，自動檢測水位高低。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.節省水資源，儲存廢水再利用</li> <li>2.透過水位控制可避免廢水儲存時，造成滿溢現象。</li> </ol>
人力手動	儲存廢水與沖水藉由感應器、水位控制、數位電子電路等，達成廢水再利用自動化系統，由PLC自動判斷供水與沖水等動作。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.節省人力。</li> <li>2.提供全自動水資源再利用環境，避免因耗時耗力而造成生活不便。</li> </ol>
RO逆滲透無標示情況	設計同步搭配RO逆滲透與廢水利用過程之監控系統。包含RO製水過程、各儲存桶的水位顯示、進水或排水管線的水流顯示。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.清楚標示所有水資源分配情形</li> <li>2.提高使用者辨識能力，使其系統更加有效率以及人性化。</li> </ol>
馬桶單段機械式沖水裝置	不改變原機械結構，加裝電子式二段自動感應省水沖水裝置。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.節省水資源，符合水利署規定之省水標準：小號3公升，大號6公升。</li> <li>2.自動感應而不需直接碰觸，使用方便且衛生。</li> <li>3.不受停電影響，可透過原機械式沖水。</li> </ol>
手動出水	在水龍頭下端加裝感應器，完成自動感應出水裝置。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.節省水資源，避免遺忘關上水龍頭而造成水的流失浪費。</li> <li>2.使用方便，自動出水。</li> <li>3.符合水利署規定之省水標準：離開感應器後，1秒內自動斷水。</li> </ol>

本研究所需的專業課程，包含數位邏輯(含實習)、電子學(含實習)、工業配線、室內配線、基本電學(含實習)等課程知識，將各課程融會貫通後，即能達成設定之目標。

## 貳、研究目的

本研究有以下幾個目的：

- 一、節省人力的觀點上，設計實際運用於家庭之自動化省水系統。
- 二、節省水力的觀點上，提高廢水利用率與價值。
- 三、節省成本的觀點上，製作兼具實用性與功能性之系統。
- 四、高度親和力的人機介面，結合監控系統，使其系統更加有效率化、人性化、易於使用。

本研究結合數位電子電路及具程式可高度彈性編寫之PLC，搭配控水元件電磁閥，完成一個完善廢水再利用之自動化系統，具有系統單純穩定之特點。

## 參、研究設備及器材

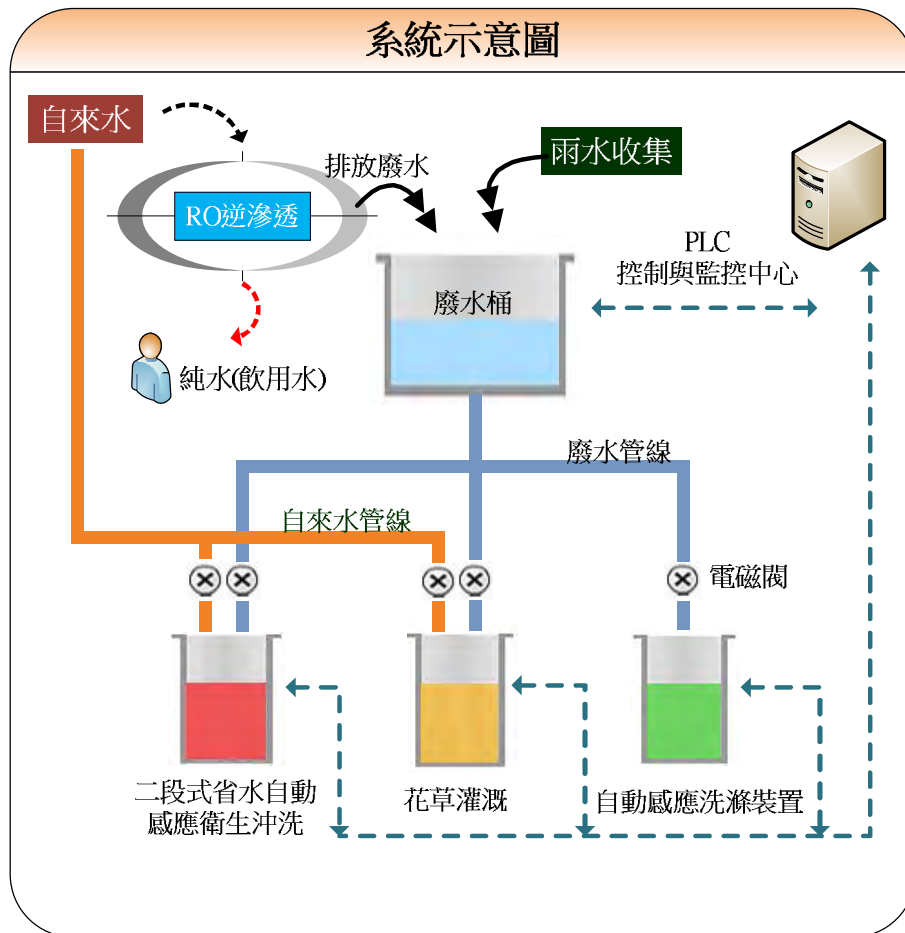
設 備					工 具				
項次	名稱	規格	單位	數量	項次	名稱	規格	單位	數量
1	桌上型電腦	586 以上	台	1	1	尖嘴鉗	150mm (6")	支	1
2	PLC	FX2N	台	1	2	斜口鉗	150mm(6")	支	1
3	示波器	20MHz	台		3	剝線鉗	AWG 14-22	支	1
4	電源供應器	30A	台	1	4	電烙鐵	30W	支	1
5	三用電表	KT-998	台	1	5	麵包板	224x150x20mm 1680p	塊	1
材 料									
項次	名稱	規格	單位	數量	項次	名稱	規格	單位	數量
1	PCB雕刻板	47 ×73 mm	片	3	17	電晶體(npn)	3904	個	8
2	PVC 導線	0.6mm	包	1	18	數位 IC	4017	個	12
3	PVC 導線	1.25mm <sup>2</sup> ,黃色	卷	1	19	數位 IC	74LS04	個	1
4	鋁軌	120cm	條	12	20	數位 IC	4081	個	2
5	壓克力板	100×50cm	個	3	21	數位 IC	4071	個	2
6	壓接端子	1.25mm <sup>2</sup> -3,Y 型	包	1	22	繼電器	5V,2a2b	個	6
7	電磁閥	AC110V，常開接點	個	8	23	束帶	2.5W×100L mm	包	1
8	電阻	510 歐姆	個	7	24	木條及木板	15W×20L×2Hcm	片	5
9	電阻	1K 歐姆	個	4	25	電力電繹	110V	個	10
10	電阻	3K 歐姆	個	2	26	按鈕開關	2PSPST OFF-(ON)	個	5
11	電阻	330 歐姆	個	7	27	光電開關	LS3-15MT(X)	個	3
12	電阻	47K 歐姆	個	2	28	LED	強光型(紅、藍)	個	40
13	電阻	100 歐姆	個	2	29	LED	強光型(黃、綠)	個	30
14	電阻	470 歐姆	個	3	30	LED	強光型(粉紅)	個	10
15	快速 L 行接頭	2 分管-2 分外牙	個	14	31	螺紋接套/立布	2 分外牙-2 分外牙	個	12
16	快速 T 行接頭	2 分管-2 分管-2 分外牙	個	8	32	2 分 RO 管	1m	條	5

## 肆、研究過程或方法

在研究過程中，首先要了解逆滲透製水過程，運用PLC自動控制原理，配合電磁閥、數位IC、電子電路等元件，將RO逆滲透所排放之廢水，用於衛生沖洗、花草灌溉及洗滌等，達成節約用水目標，在分析數據方面，統計廢水回收系統之供給量，推估計算每月自來水節省水量與水費。針對本研究主題，我們由以下幾個方向來加以說明如何來完成。

### 一、系統介紹

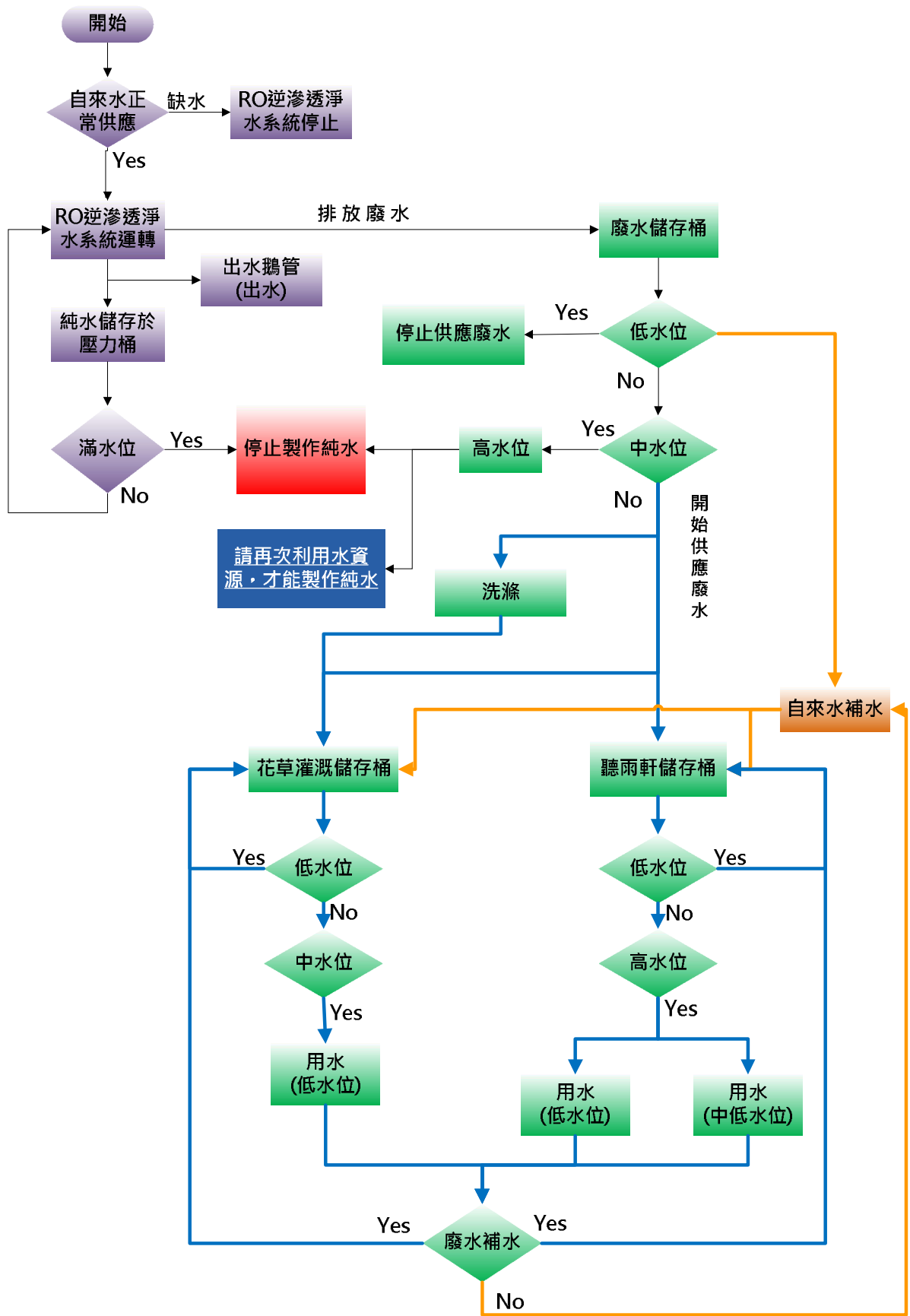
圖三為系統示意圖，由圖可知，將 RO 逆滲透排出的廢水與雨水，會統一導引至廢水桶內，做為提供聽雨軒、花草灌溉與洗滌等的水源，若廢水不足，則直接由自來水提供，避免因無廢水而造成日常生活不便的窘境。所有系統的動作，皆由 PLC 做自動化處理，具有高度彈性的軟體撰寫，隨時可改變水資源分配的動作，依使用者實際住家使用狀況而不同，最後結合監控系統與系統同步執行，所有水資源的運用情形一目了然。



圖三 系統示意圖

圖四為系統動作流程圖。分為兩部分，紫色為 RO 製作純水過程，綠色為廢水運用過程。RO 逆滲透產生純水的同時，也會排放廢水，所以必須考慮兩種情況，一則為當壓力桶達到滿水位時，必須停止製造純水，避免純水溢出；另一則為廢水桶達到高水位時，也要停止製造純水，避免廢水溢出，這兩種情況均會使 RO 逆滲透馬達停止運轉。壓力桶的水位可由高壓開關檢測，而廢水桶的水位是透過水位極棒由 PLC 程式判讀。





圖四 系統動作流程圖

動作說明如下：

### (一) 正常供水情況

1. RO 開始製作純水，若無出水，會將純水儲存於壓力桶內，壓力桶滿水位後，停止 RO 馬達運轉。
2. 製作純水同時會排放廢水，導引廢水至廢水儲存桶。若廢水儲存桶水位太低，廢水桶抽水馬達必須停止，避免空轉；中水位時，開始供應廢水使用，到達高水位後，必須停止 RO 馬達運轉（或廢水引流），否則造成廢水滿溢情況。
3. 衛生沖洗儲水桶必須隨時處在滿水位，以保持可沖水狀態，所以在無廢水提供下，由自來水供應，等到廢水開始提供，再依廢水為主，自來水為輔。此外，不改變原單一耗水機械型沖洗裝置，加裝電子式自動感應二段沖水裝置，沖水量符合水利署規定之省水標準：小號 3 公升，大號 6 公升。既符合省水目標，也達到衛生安全。
4. 洗滌為自動抽取廢水使用，採用自動感應水龍頭出水，離開感應器後，1 秒內自動斷水，符合水利署規定之省水標準。若出水量不夠，再次感應即可再次出水。將洗滌後所排出的污水匯整後，當作花草灌溉之水源。
5. 花草灌溉的水源由每次廢水洗滌排出之污水所匯集而成，一來花草灌溉水質不需太好，二來也不需時時刻刻灑水灌溉，所以可以藉由等待每次洗滌排出的污水來匯集，只要到達滿水位，即會排出廢水灌溉花草。當花草灌溉已達高水位，為了避免洗滌水又一直灌入，造成滿溢現象，所以當高水位時，系統會啟動另一排出管線，將洗滌水直接排掉，不會再匯集到花草灌溉的水源中。若有急迫性，可手動選擇直接由廢水或自來水供應使用。

### (二) 缺水模擬情況

因本系統期望能實際運用在現實環境中，所以利用開關來模擬自來水缺水時的狀態，如圖五。當模擬開關斷開水源，RO 入水停止，低壓開關檢測到水壓降低，切斷 RO 馬達電源，避免空轉過熱，發生危險，等待正常供應自來水後，低壓開關檢測水壓正常，RO 馬達再度運轉，繼續未完成製水工作。

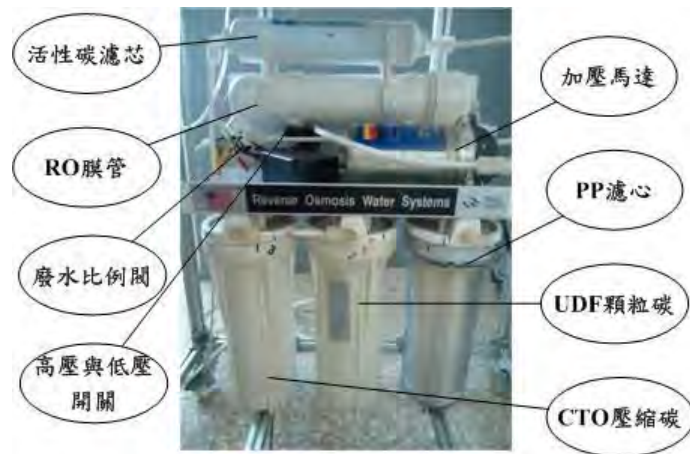


圖五 模擬自來水缺水

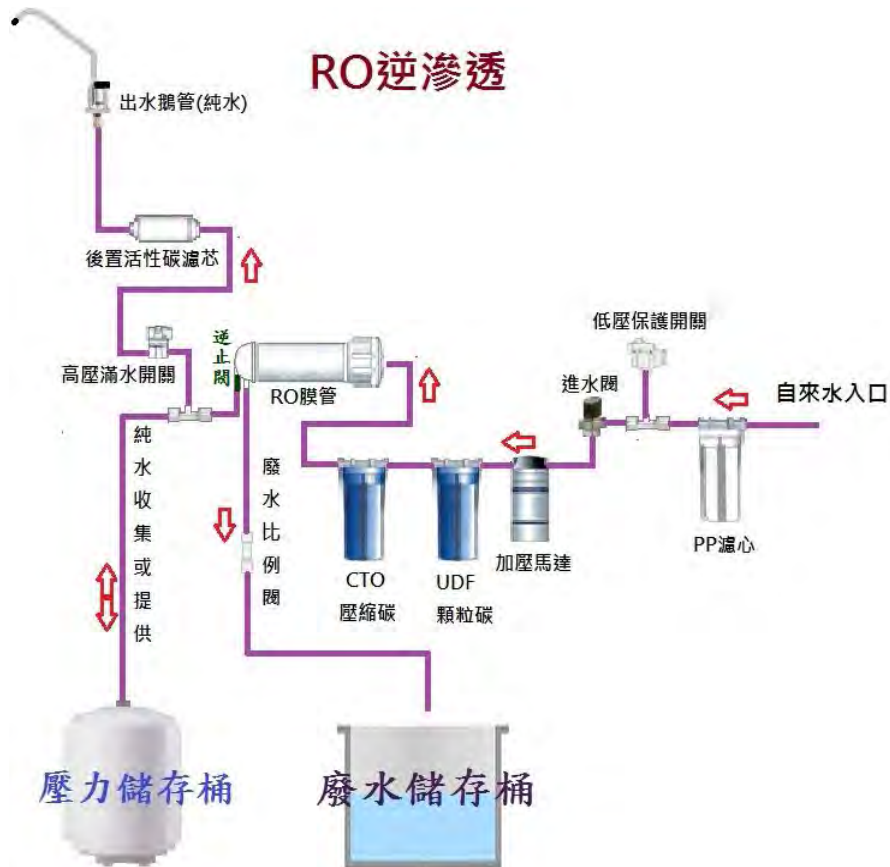
## 二、RO 逆滲透

Reverse Osmosis 簡稱 RO，實體圖如圖六(a)。製作純水過程如圖六(b)。由圖可知是將原水(自來水)透過三道前置濾心，先過濾較大顆粒的雜質與除氯等，再利用加壓馬達，使水分

子穿透約只有  $0.0001\mu$  大小孔徑的 RO 薄膜，有效去除 99%水中總固體溶解值(Total Dissolved Substance 簡稱 TDS)，能穿透薄膜而產生出的水也就是乾淨無菌的純水(飲用水)。



(a)RO 實體圖

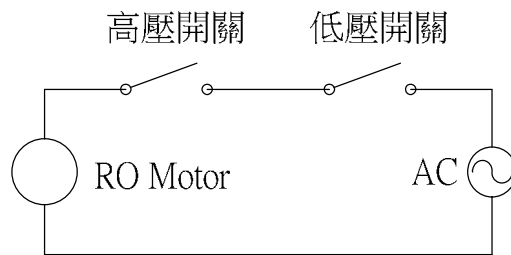


(b)RO 製水過程

圖六 RO 逆滲透



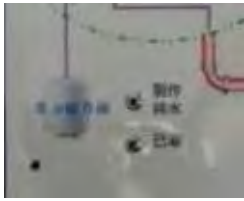
在整個產生純水的過程當中，有兩個非常重要的保護開關，分別為無水低壓斷電開關與滿水高壓斷電開關。兩個開關都是利用水壓大小控制內部接點導通與否，可用三用電表『 $\Omega$ 』檔來判斷開關的狀態。低壓開關：水壓約在 3~6psi(磅/平方英吋)之間不導通，阻值『 $\infty$ 』，正常水壓約在 5~8 psi 導通，阻值『0』；高壓開關：製水水壓約在 20~25psi 導通，阻值『0』，滿

水壓約在 30~40psi 不導通，阻值『∞』。電路結構如圖七所示，兩個開關與 RO 馬達成串聯迴路。



圖七 RO 馬達保護電路

自來水缺水時，低壓開關因水壓太低而斷開電路，避免 RO 馬達抽不到水而空轉；若壓力桶內滿水，水會因桶內壓縮空氣壓力回推，使 RO 膜管逆止閥與前端加壓機提供高壓水流形成壓力平衡，當平衡壓力達到高壓開關所設定的壓力，則高壓開關會斷開電路，馬達停止，不能再存入純水。這兩種情況，在家中 RO 系統並無明確指示是什麼原因造成馬達停止，所以在本研究當中，用『燈號』來告知使用者目前為製作純水還是滿水，並模擬自來水缺水時，能自動斷電，以符合實際安全考量。

燈號顯示	代表意義
	<p>表示RO製作純水中。</p>
	<p>兩種情況會亮起已滿燈號，此時RO停止運轉：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.廢水桶已達高水位，可由廢水桶水位指示得知</li> <li>2.壓力桶已達高水位</li> </ol>
	<p>當兩個燈都熄滅，代表此時自來水缺水，RO停止運轉。</p>

### 三、系統電力消耗及安全措施


#### 1. 電源 110V，計算本系統之耗電量。

系統待機耗電量：9~10W		滿載耗電量：50~60W	
	所有輸出點皆未動作，於電源端量測總電流為 0.087A，總功率 =VI=110*0.087=9.57W		當系統處於滿載情況下，於電源端量測總電流為 0.486A，總功率=VI=110*0.486=53.46W

#### 2. 裝設內附漏電斷路器之 NFB(無熔絲斷路器)作系統短路及漏電保護。

### 四、硬體製作

本研究的目標是能建立一套高度親和性的自動化省水系統，總覺得結果老是不滿意，改進再改進，所以研製過程大致分為三代，先透過模擬實驗，再建立實用系統，最後統整，展現可用性且易於推廣介紹，透過實驗證明本作品實用性與功能性非常高。

系統介紹	優點	待改進之處
<b>RU1.0 模擬系統</b>	研發階段，便於實驗以及觀察	用於實際狀況結果未知
<b>RU2.0 實際系統</b>	實際應用於生活場所，證明此系統實際可用	1.較難展示與推廣 2.回收範圍不夠廣
<b>RU3.0 整合系統</b>	1.加裝雨水與冷氣水收集器，多方收集可回收之水資源 2.展現此系統的可用性，易於推廣介紹 3.高度的親和力：雖然系統功能很強，但以幾個簡單的燈號與按鈕就可監視和控制，操作非常簡單，如下圖所示。 	1.控制器可使用價錢較低的晶片 2.思考降低系統耗電量

圖八為三代之實體圖。

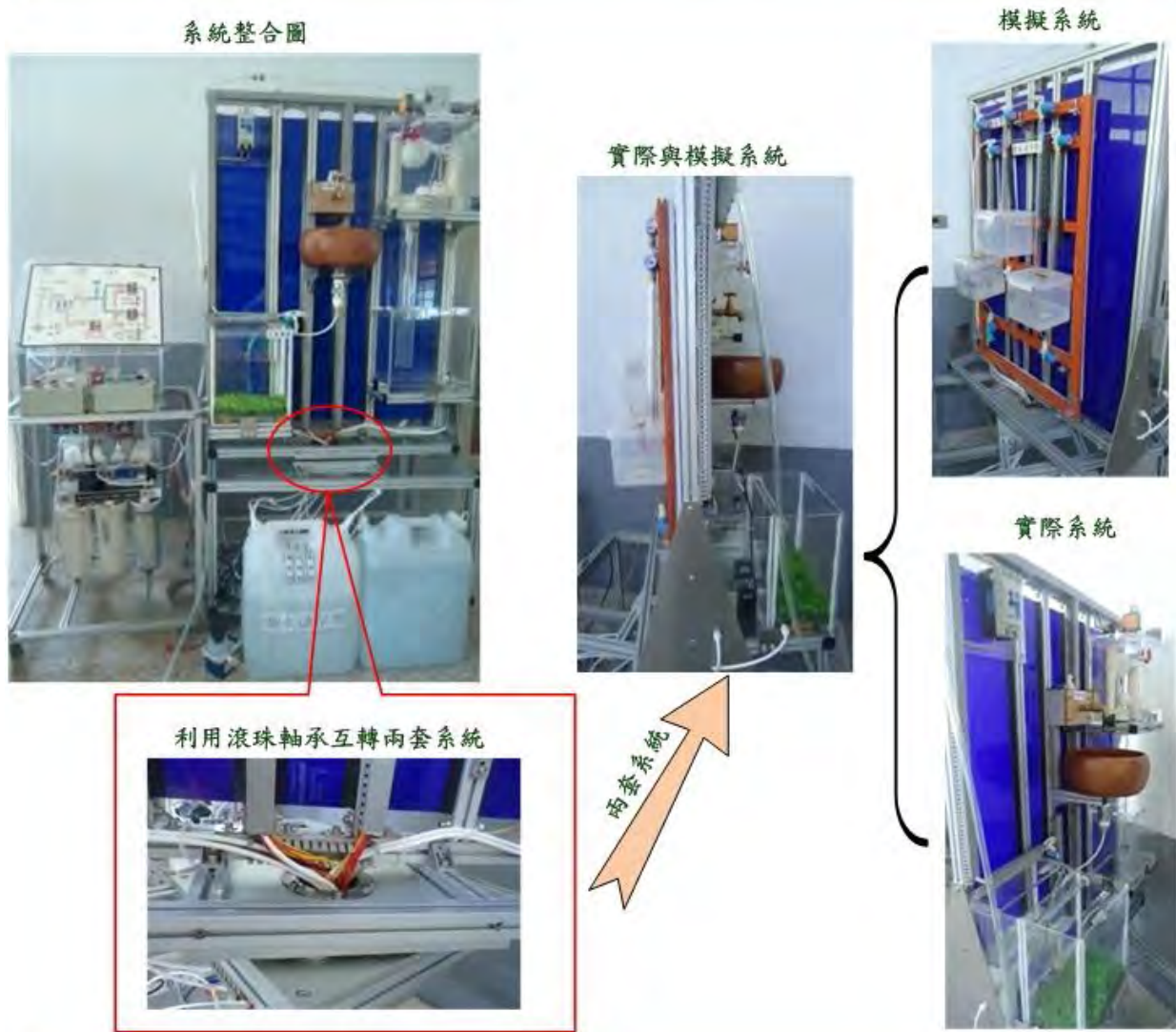


圖八(a) RU1.0 系統



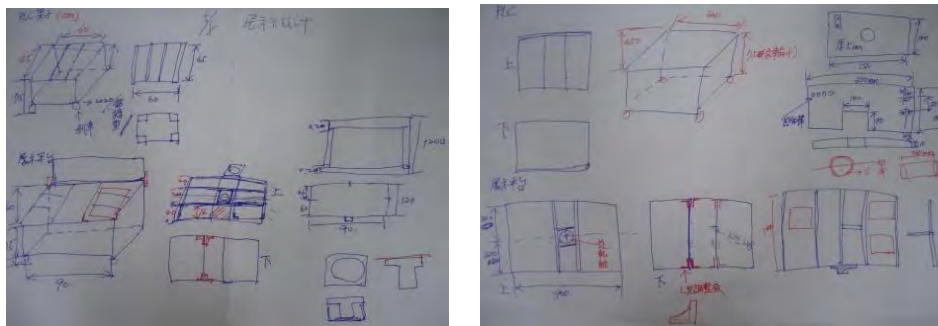
圖八(b) RU2.0 系統

# RU3.0 實際與模擬系統整合圖



圖八(c) RU3.0 系統

RU3.0 是為了在實驗中，對照與改進，同時也為了展示與推廣，需考慮物件之負荷重量，所以請本校機械科協助製作鋁合金展示架，兼顧安全與美觀，將 RU1.0 與 RU2.0 分別掛上，中間搭配滾珠軸承，可以轉動展示架，方便操作與說明。展示架設計圖如圖九。

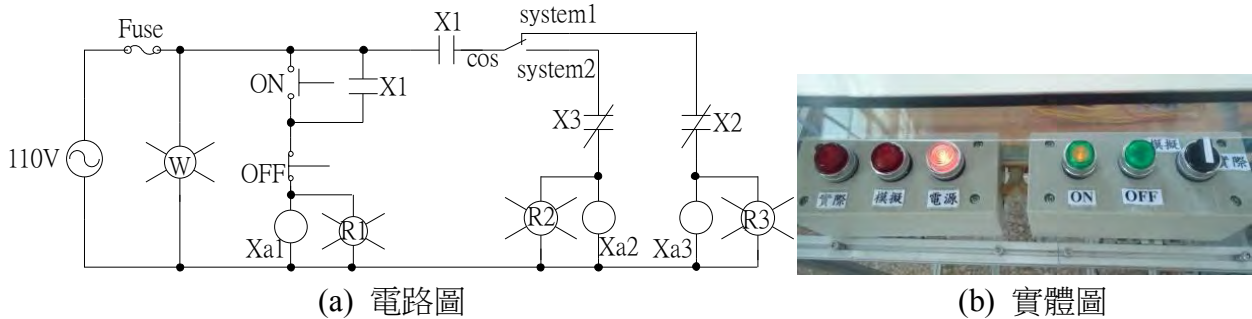


圖九 展示台設計草圖

接下來說明硬體方面的製作過程：

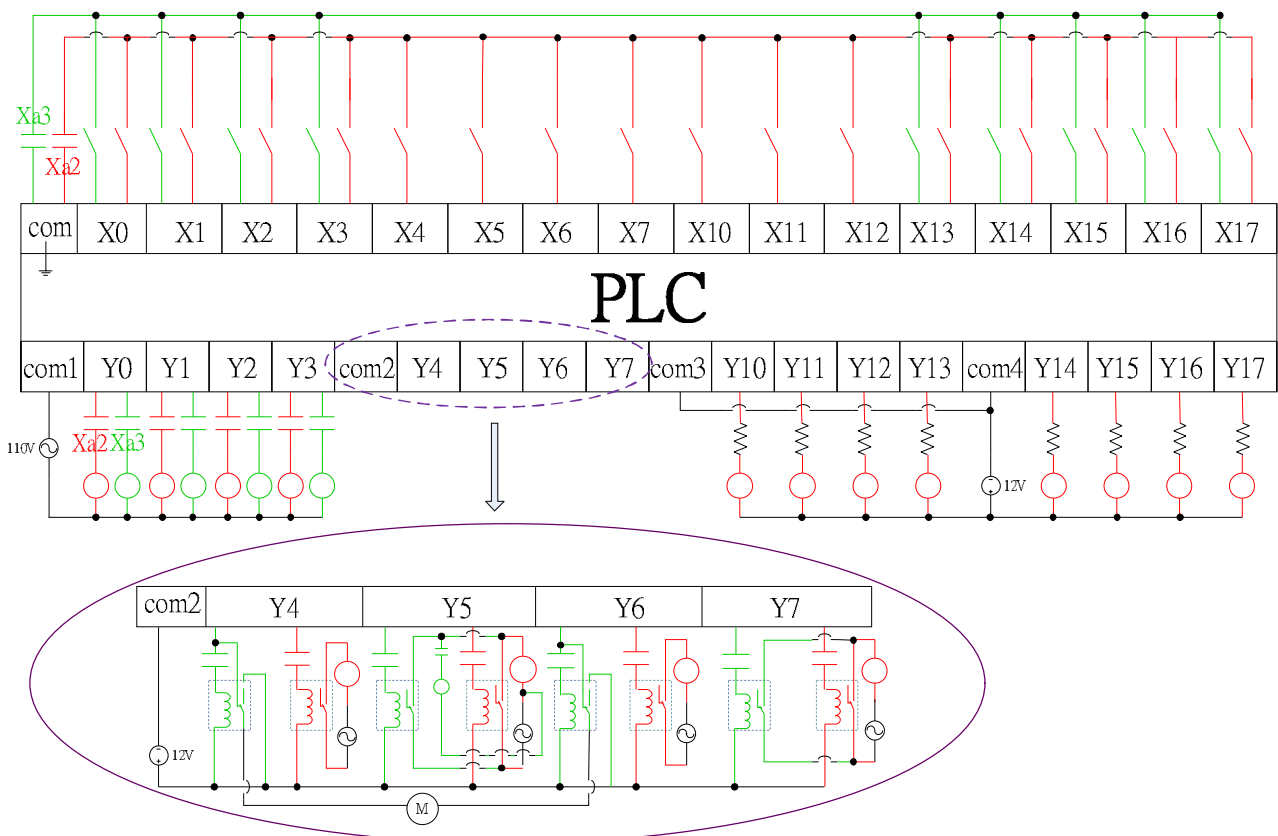
### (一) 系統切換電路

RU3.0 整合模擬與實際系統，所以在 PLC 控制端必須做切換動作，在本研究中，利用工業配線所學的 COS 切換開關來互切，電路圖如圖十(a)，實體圖如圖十(b)所示。



圖十 系統切換電路

本研究所使用的 PLC 為三菱火狐狸 FX2，輸入點與輸出點皆有 16 點，共 32 點。因同時提供模擬與實際環境兩方控制，有些輸出入點須共用，為避免兩套系統相互影響，所以當 COS 切換時，利用 relay 的常閉與常開接點切斷訊號。電路設計如圖十一所示。

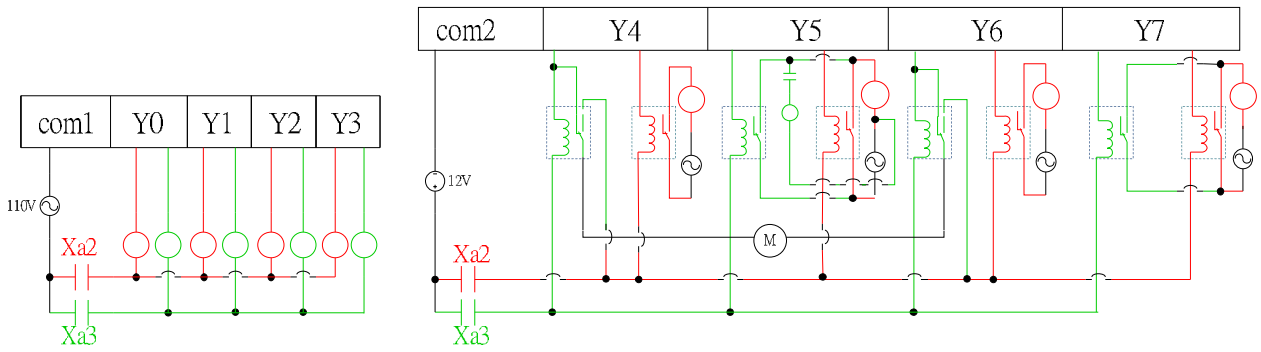


圖十一 PLC 輸入與輸出接線圖

### ✚ 問題：信號如何阻斷

兩套系統共用 PLC 輸出入點，最怕互相干擾，如何阻斷不要的訊號，是發展 RU3.0 主要的問題。其中輸入點只要切換 com 接地點即可，但輸出點若用相同方式切換，如圖十二，不論是交流或直流都一樣發生輸出端電壓下降情況，造成誤動作。





圖十二

➤ 改善作法

重新檢示輸出接法，發現當切換共同點時，因另一端 Y 點是兩個輸出並接，所以假設當 X2a 讓模擬系統動作時，卻因 Y 點並接，讓輸出端的阻抗有一串聯路徑，導致輸出端有分壓情況發生，所以會有誤動作；X3a 動作亦同。改善方法就是在每個輸出進 Y 點時，都用常開接點阻斷，如此一來，訊號即為正常，缺點為需多組常開接點。

PLC 輸出入點之規劃如表二(a)所示。

表二(a) 輸入點

	X0	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17
模擬系統	洗滌自動感應檢測點	聽雨軒自動感應檢測點(大)	聽雨軒自動感應檢測點(小)	自來水供應花草灌溉	聽雨軒手動設定中低水位	聽雨軒手動設定低水位	花草灌溉手動設定低水位	廢水供應花草灌溉	自來水缺水檢測	廢水桶中水位檢測點	廢水桶高水位檢測點	花草灌溉桶中水位檢測點	花草灌溉桶高水位檢測點	聽雨軒桶中低水位檢測點	聽雨軒桶中高水位檢測點	聽雨軒桶高水位檢測點
實際系統	洗滌自動感應檢測點	聽雨軒自動感應檢測點(大)	聽雨軒自動感應檢測點(小)	馬達上下限檢測	不變	不變	不變	不變	不變	不變	不變	花草灌溉桶中水位檢測點	花草灌溉桶高水位檢測點	聽雨軒桶中低水位檢測點	聽雨軒桶中高水位檢測點	聽雨軒桶高水位檢測點

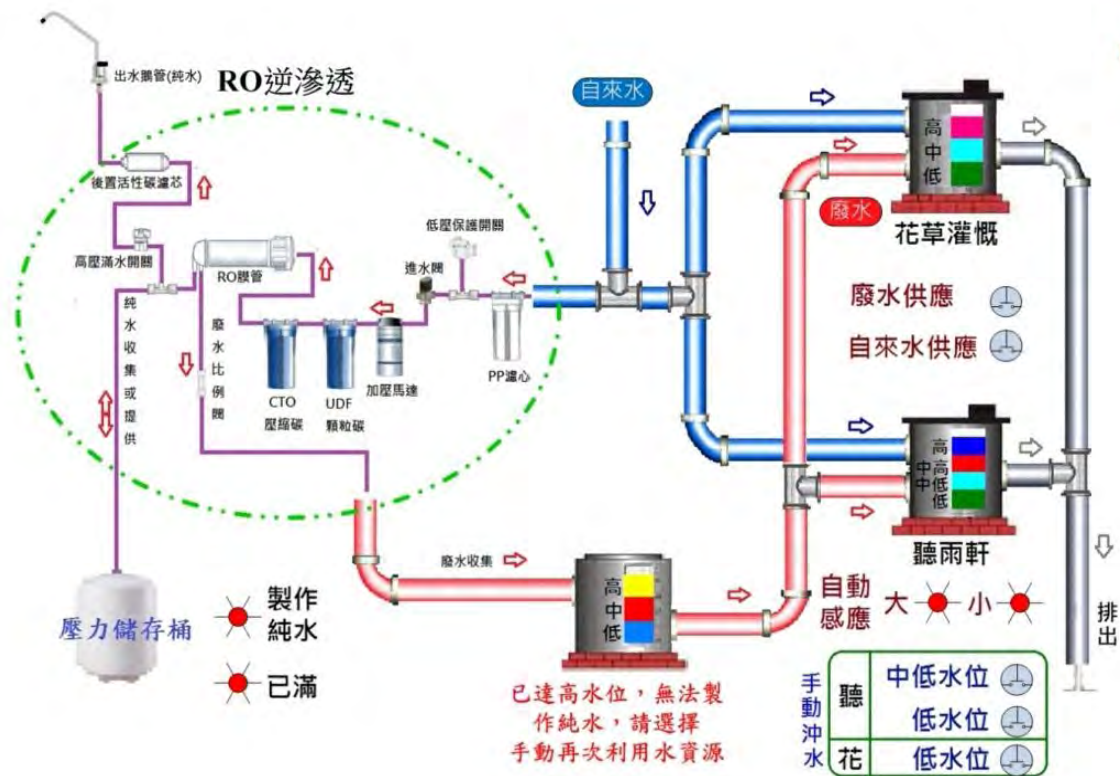
表二(b) 輸出點

	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y10	Y11	Y12	Y13	Y14	Y15	Y16	Y17
模擬系統	自來水進聽雨軒電磁閥	廢水進花草灌溉電磁閥	廢水進聽雨軒電磁閥	廢水進洗滌電磁閥	自來水進花草灌溉電磁閥	花草灌溉排出電磁閥	洗滌排出電磁閥	聽雨軒排出電磁閥	斷開RO馬達	廢水桶中水位指示燈	廢水桶高水位指示燈	花草灌溉桶中水位指示燈	花草灌溉桶高水位指示燈	聽雨軒桶中低水位指示燈	聽雨軒桶中高水位指示燈	聽雨軒桶高水位指示燈
實際系統	自來水進聽雨軒電磁閥	廢水進花草灌溉電磁閥	廢水進聽雨軒電磁閥	廢水進洗滌電磁閥	馬達 out1 花草灌溉排出電磁閥	花草灌溉排出電磁閥	馬達 out2	聽雨軒排出電磁閥	不變	不變	不變	不變	不變	不變	不變	不變

(二) 監控中心

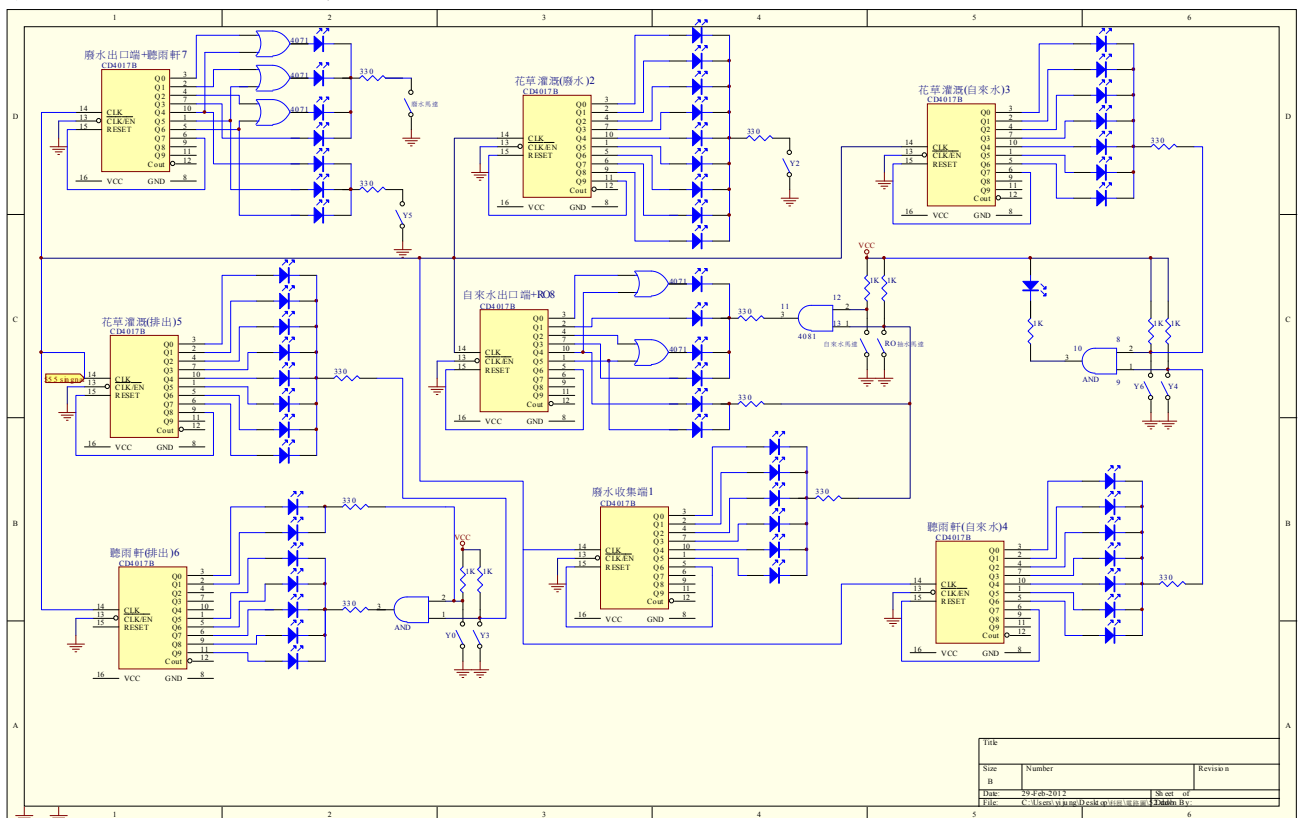
圖十三為本系統監控中心，目的在於即時監控廢水運用過程。由圖可知，左半部為 RO 逆滲透內部結構，透視製水過程；右半部為本研究開發之廢水再利用系統，以下分點來說明：

1. 三個儲存桶。分別於廢水、花草灌溉及聽雨軒等儲存桶，內部各自有水位高低指示。
2. 三條管線。分別為兩條由自來水或廢水提供花草灌溉及聽雨軒之進水管線，1 條排出管線，利用隱藏式 LED 顯示管線中水的流動。
3. 五個指示燈。分別為系統燈、RO 製水燈、製水完成(或廢水滿水)燈、聽雨軒自動感應燈號。
4. 五個手動設定按鈕。分別為兩個設定由廢水還是自來水提供花草灌溉水源，另外三個設定聽雨軒與灌溉的沖水量。



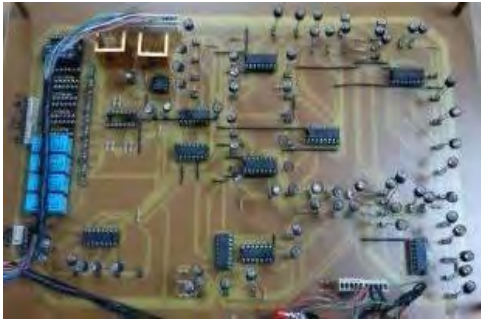
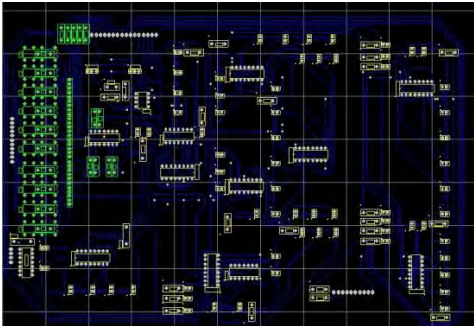
圖十三 監控中心

在監控中心內部有隱藏式 LED 顯示電路，如圖十四所示。每條管線 LED 皆為獨立控制，利用 AND 閘及 OR 閘來驅動兩組以上的 LED 同時動作。





圖十四 監控中心內部隱藏式 LED 顯示電路

電路製作說明如下。

<p style="text-align: center;">PCB</p>  <p style="text-align: center;">Protel 99SE PCB Layout</p> 	<p>(1)起初硬體電路透過麵包板的接線來測試，確定動作無誤，再洗成PCB板，因洗電路的過程會用到氯化鐵，丟棄會造成環境汙染，回收也是困擾，故用科內雕刻機來完成PCB 板的製作。</p> <p>(2)用Protel 99SE 軟體完成電路結構。</p> <p>(3)規畫元件位置，因電路板為單面，所以為了接下來的佈線方便，元件位置必須分配適當，再來注意線寬及線與元件間間距。</p> <p>(4)雕刻機在雕刻銅箔時，刀尖分有90 度及60 度，分別對應雕刻大、小間距，以科內機台為例，分界點大約在0.3mm 左右。</p> <p>(5)最後要考慮焊點的大小，元件PIN 腳大小不一，如果焊點設定太小，鑽孔後剩餘的銅箔，會少到無法吃錫；若焊點設定太大，又太浪費，故對於焊點大小必須依實際元件PIN 腳的寬度來決定。</p>
--	--

### (三) 管閥選用

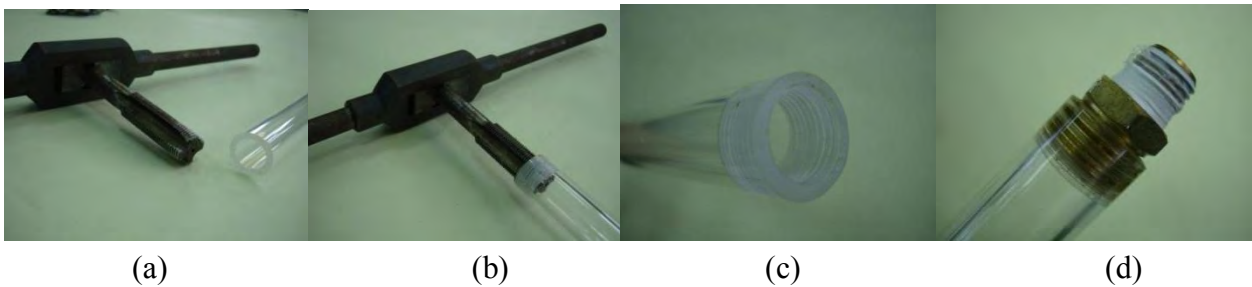
<p style="text-align: center;">RU1.0</p>	<p>本研究使用透明壓克力管做為水管，如圖十五(a)所示，主要原因在於實驗時，可以清楚水的流動；控水元件選用市面上常用的二口電磁閥-圓形-1/4"(110V) ，如圖十五(b)所示。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <p style="text-align: center;">圖十五(a) 3 分壓克力管      圖十五(b) 110V 二口電磁閥</p> <p>電磁閥是一種[常關]型電子控制元件，當提供電源時，電磁閥內部出水孔便會打開，讓水源通過，如果電源斷掉，出水孔就會關閉，水源便無法通過。電磁閥電源有 DC24V 及 AC110V 兩種，DC24V 在使用上，受限於直流不好取得，雖然 PLC 有提供直流 24 V，但為了往後有較大的重複利用空間，所以選擇 AC110V 。</p>
<p>RU2.0、RU3.0</p>	<p>直接由兩分或三分水管做為導水管線，控水元件選擇相同電磁閥使用。</p>

✚ 問題：水管選擇

我們要做水資源再利用的模擬環境，希望清楚顯示廢水當下的流動，所以在選擇水管時，不能挑灰色不透明的 PVC 管，於是考慮透明的玻璃管或是壓克力管，這兩個有其優缺點，玻璃管表面不會刮傷而模糊，看起來也較漂亮，但容易破裂；壓克力管使用久後，表面會有霧化的問題，但安全性較高，取其輕重，最後選擇壓克力管。但壓克力管當水管使用，出現幾項問題：(1)是否有廠商製作如水管直徑尺寸大小的壓克力管？(2)光滑透明的壓克力管如何與電磁閥相接？

✓ 改善作法

- (1) 詢問維修本校 RO 人員，並接洽製作壓克力的廠商，深談製作管子的想法及動機後，廠商樂於協助製作 3 分管的壓克力管。
- (2) 利用銅製雙頭直接頭與電磁閥連接，分為母牙與公牙直接頭，兩者差異在於壓克力管的攻牙處不同，若用母牙，壓克力管必須攻外牙，公牙則攻內牙，兩者比較，攻內牙較符合本研究所需。經游標卡尺測量公牙直接頭螺紋距為 1.25mm，選用 M12-1.25 攻牙組，每支管頭攻 3 次同間距但不同粗細的螺紋，一攻為細紋，二攻為較粗紋，三攻粗紋，壓克力管材質較脆，容易破裂，透過先細攻，慢慢加深螺紋深度，降低破裂機率，攻牙過程如圖十六所示。



圖十六 攻牙過程

(四) 進水管線燈號顯示 (RU1.0)

因水是透明無色，所以在流動過程當中，希望可以讓人們清楚了解目前水的分配情形，於是利用 LED 製作成跑馬燈的型式，來代表水的流動。在本研究上，共有五組燈號顯示電路分別對應 a.自來水提供花草灌溉、b.自來水提供聽雨軒、c.廢水提供花草灌溉、d.廢水提供聽雨軒、e.廢水提供洗滌。如圖十七所示。各組 LED 會同步顯示該組水的流動。

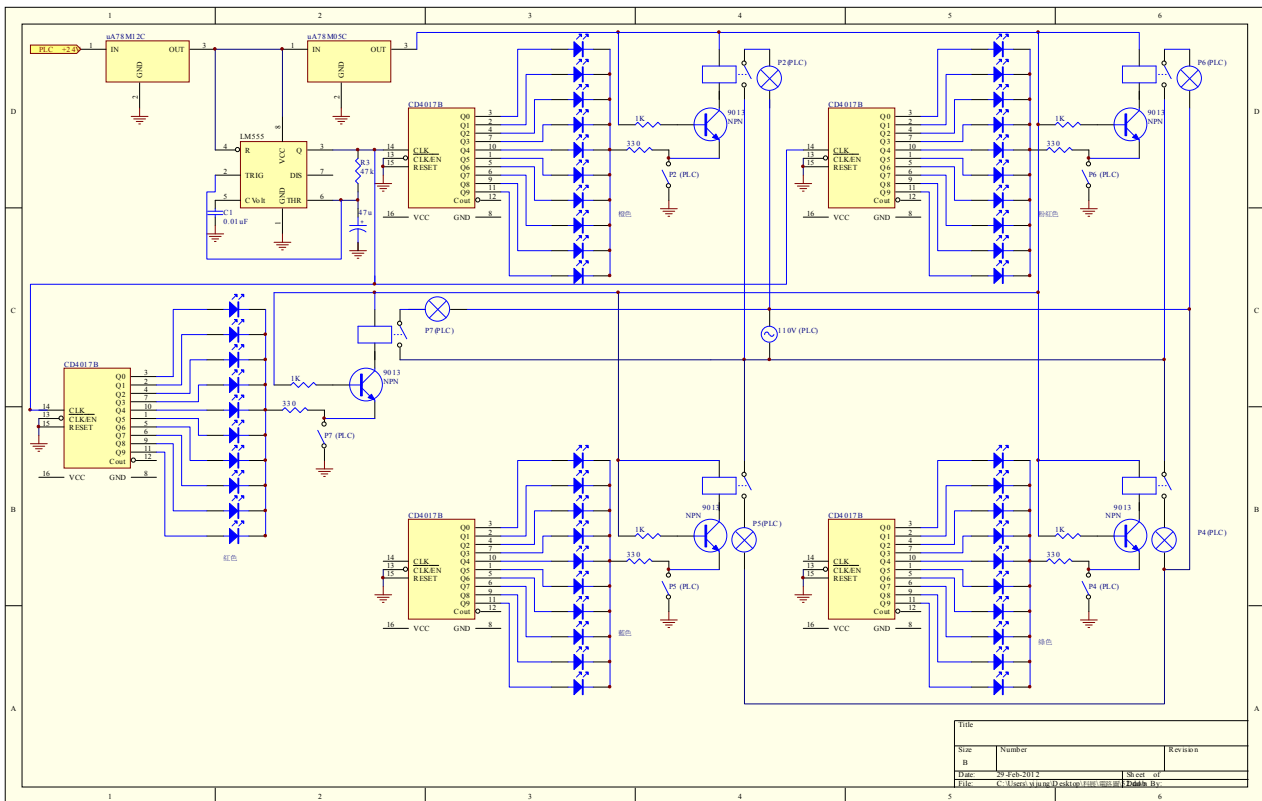
PLC 本身已提供直流 24V，所以不需再製作整流電路。跑馬燈型式的控制，選用 CMOS 系列的 4017，主要原因在於此 IC 為十進制解碼器，共有十個輸出，每次只有單一訊號輸出，且 CMOS 工作電壓範圍大，3~18V 皆可，非常符合本研究所需，由 datasheet 可知，4017 pin14 為訊號輸入腳位，依輸入訊號快慢決定輸出 LED 顯示快慢，在本研究係利用 555 無穩態振盪出約 0.5 秒的 clock 送入 4017，那麼每個輸出 LED 過 0.5 秒即會 change。



圖十七 進水管線顯示燈號

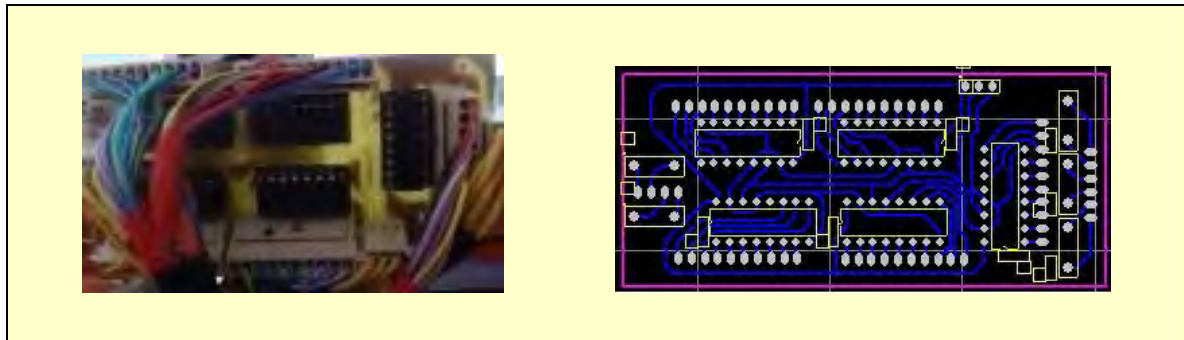
圖十八為進水管線顯示燈號電路圖，由圖可知，共有五組 4017 跑馬燈，PLC 輸出電壓

24V，透過 7812 降壓提供 4017 工作電壓 12V，再透過 7805 降壓提供 relay 工作電壓 5V，配合 PLC 輸出 Y 的動作，relay 控制電磁閥，利用 BJT 開關電路讓 LED 與導水電磁閥同步動作，達成燈號顯示水的流動。



圖十八 進水管線顯示燈號電路圖

同樣利用 Protel 99SE 軟體+雕刻機完成 PCB。



(五) 自動感應裝置

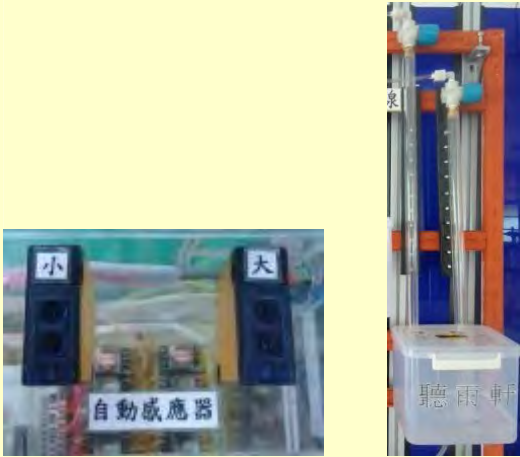


本研究採 A3R-1MX 直接反射式光電開關，如圖十九，感應距離與供應電源有關，直流供應(0~24V)可調整較短的感應距離，交流供應(0~220V)的距離較遠，以本研究需求，感應距離不可太遠，所以選擇 12V 直流。



圖十九 光電開關

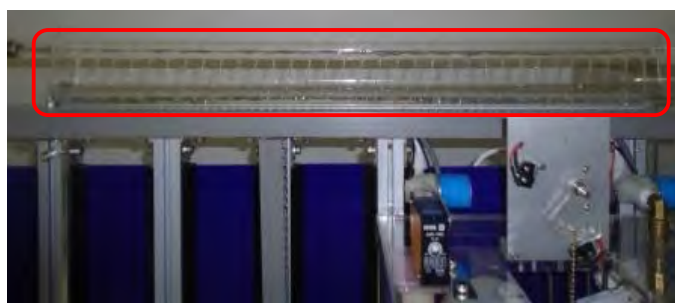
(六) 三代系統之實驗及演進過程

限於篇幅，例舉：電子式兩段省水衛生沖洗裝置。

<p><u>RU1.0</u></p> <p>原先只考慮進水與排水，透過自動感應控制水位高低。</p> <p>優：模擬馬桶入水與出水狀況，易於將構想實現完成。</p> <p>缺：離實際應用生活場所尚覺不足。</p>	
<p><u>RU2.0</u></p> <p>加裝 2RPM 減速馬達帶動馬桶沖水閥</p> <p>優：可實際應用生活場所，功能 OK。</p> <p>缺：無法精確測量沖水量。</p>	
<p><u>RU3.0</u></p> <p>1.使用透明壓克力製作水箱，並在各集水箱標示刻度，可精算水量，以便觀察。</p> <p>2.控制出水量符合現行省水標準。</p> <p>優：可精確測量沖水量。</p>	

### (七) 雨水及冷氣水收集器

RU3.0 擴大前兩代的水資源回收範圍，加裝雨水及冷氣水收集器，因夏天雨水與冷氣水也是相當可觀，如圖二十，提供家中更多水資源的運用。為了有下雨的感覺，所以製作長條型約 70 公分的壓克力管，每 2 公分鑽孔，只要馬達抽水進管內，水會順著孔洞向下流出，形成如下雨一般的水柱，最後再將雨水及冷氣水收集入廢水桶再次利用。



圖二十 雨水收集器

## 伍、研究結果

本研究以省水為主要目標，所以先分析省水效益，並推估節省水量與水費；再來檢驗廢水水質成份，探討廢水可以清潔的範圍；接著實際運轉自動化廢水再利用系統。

### 一、分析省水效益

家用 RO 依飲用水多寡來決定製水與廢水量，因每日不同難以明確推估省水效益，所以為了明確分析效益，本研究以 RO 當日最大製水量所排出的廢水為主，此時回收的廢水量最多，假設當日最多廢水回收水量為提供該日最大的耗水量，那麼就可推估出當月份所節省的水量與水費。

首先，以實際運轉 RO 五分鐘來統計純水與廢水水量，再推算連續運轉 24 小時之後的水量。實驗結果純水量為 660c.c/5min，廢水量為 2160c.c/5min，符合本研究使用比例約 1:3 的廢水比例閥。透過實驗數據得知製水量為 190.08 公升/日，約每日 50 加侖；廢水量為 622.08 公升/日=18662.4 公升/月(30 天)=18.6624 公噸/月。假設耗水量等於最大廢水回收量，則每月可減少約 19 公噸的自來水量，相當於節省 19 度，約 158.55 元的水費，一年省下 1902.6 元，將近 2 千元。此外，每年可減少空氣中約 46 公斤的碳排放量。

### 二、水質檢驗

#### 1. TDS 檢驗

要檢驗 TDS 很簡單，只需一支 TDS 水質檢驗筆。下方缺口處為感知器，直接放入水源當中，由上方螢幕顯示數值，如圖二十一。



圖二十一 TDS 水質檢驗筆

用此方式分別測量自來水、純水、廢水等 TDS 數值，如圖二十二所示，水質取樣於民國 101 年 3 月 15 日當日自來水。實驗結果如圖所示，自來水數值為 156PPM，純水數值為 22PPM，廢水數值為 171PPM。由數據可知，該日自來水的乾淨程度算不錯。



(a)自來水

(b)純水

(c)廢水

圖二十二 三種水質 TDS 檢驗

#### 2. 廢水成份檢驗

自來水經由 RO 薄膜過濾後，會將含有雜質或重金屬的廢水排出，這些物質對肉眼來看，幾乎感受不到，因為廢水看起來仍清澈透明，所以許多家庭會將廢水收集後，拿來洗碗或洗手，但安全嗎？是否會有殘留重金屬而吃進肚子？雖然 TDS 能測出水中的可導電物質數量，






卻無法說明內含何種細菌、病毒或重金屬。所以如果只依據 TDS 數值來判定水質好壞，欠缺說服力。這問題相信也是大家所疑惑的，所以在經費有限下，先檢驗廢水中含汞及砷的成份。汞與砷容易殘留，而且在身體內即使 20 年也不易代謝，所以重金屬中，這兩類較嚴重。水質取樣於民國 101 年 3 月 18 日當日 RO 廢水，送驗至財團法人食品工業發展研究所，化驗結果如圖二十三所示。

試驗項目 (Item)	單位 (Unit)	結果 (Result)	方法 (Method)
(Pb)	ppm	未檢出	石墨爐原子吸收法
(As)	ppm	未檢出	石墨爐原子吸收法

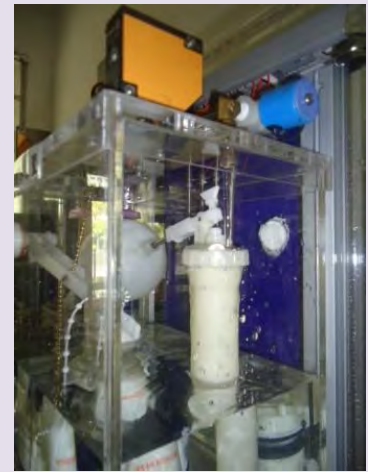
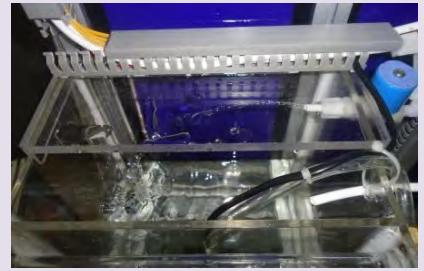
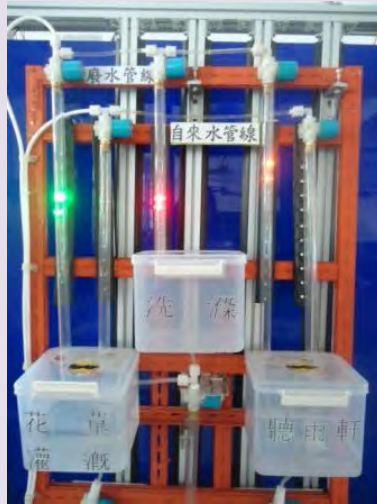
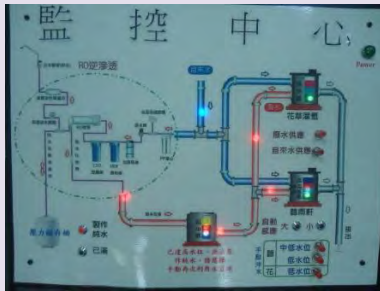
圖二十三 化驗報告書

由化驗結果得知，在 PPM 的單位下，這兩種重金屬在廢水中未檢出，值得高興的是自來水本身含這兩種重金屬的成份非常低或根本就不存在，對人體的傷害降低許多，但是否代表可以用來清洗碗筷等入口器具？因本研究目前只檢驗兩種重金屬，廢水中仍有許多尚未檢驗之成份，所以還是建議用廢水洗滌時，盡量排除與人體接觸的物品，如碗筷、衣服等，也因沒有汞與砷，所以用於花草灌溉是很好的選擇。

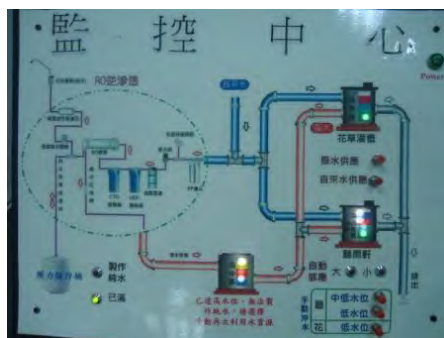
### 三、系統動作

動作說明	RU1.0	RU3.0
<p>1. 無廢水時(廢水桶低水位),聽雨軒直接由自來水提供,花草灌溉可手動設定由自來水提供,手動廢水提供按鈕與自動感應洗滌出水口無作用。</p> 		

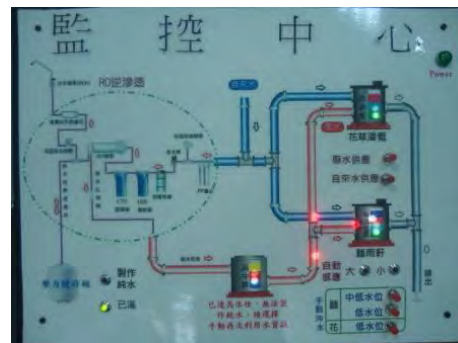
2. 開始提供廢水(廢水桶中水位),此時若有自來水供水,則會馬上切換成廢水提供,減少自來水的用水量。除非廢水桶水位下降至低水位,否則所有用水皆由廢水供應。



3. 廢水桶高水位或壓力桶滿水位時,RO逆滲透會停止製作純水,已滿燈號亮起,製作純水燈號熄滅。RO逆滲透要再次運轉,必須解決高水位問題,若為前者情形,只需透過手動再次利用廢水沖洗,降低廢水桶水位即可,如圖二十四(a);若為後者情形,則需多喝飲用水(有益身體),降低壓力桶水位,如圖二十四(b)所示。

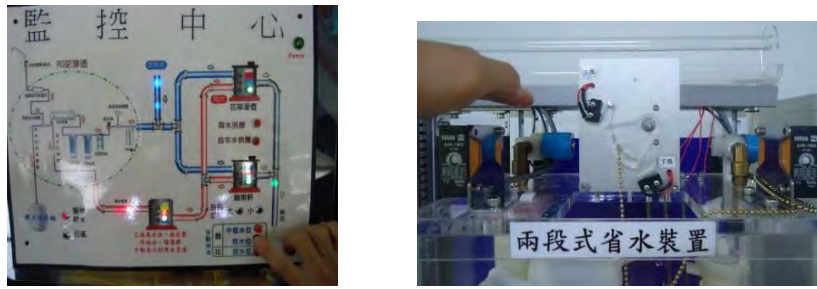


圖二十四(a)



圖二十四(b)

4. 當衛生沖洗水箱達到高水位，等待使用者沖水，可利用自動感應，也可透過手動設定沖水，如圖二十五所示，以下說明沖水過程。



圖二十五

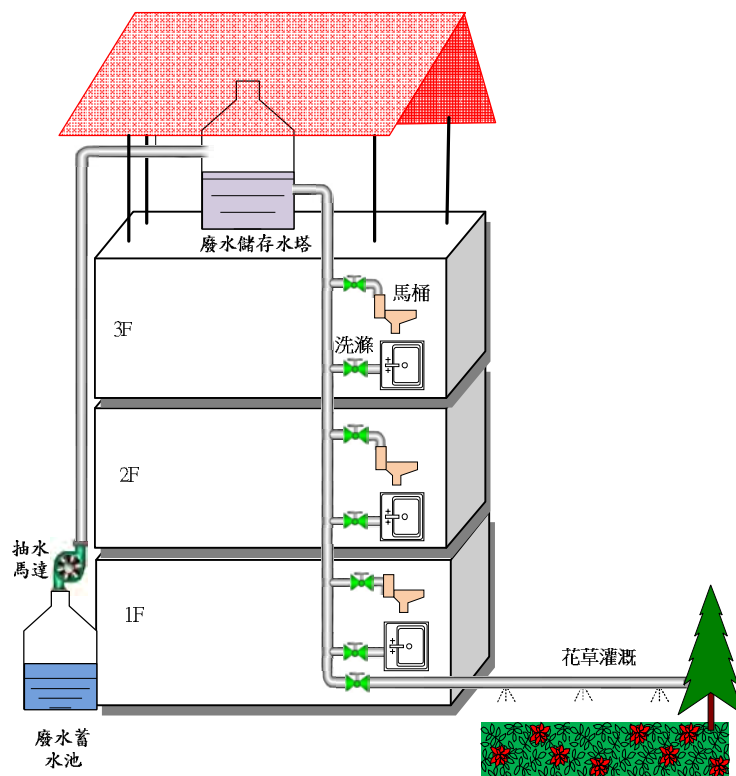
	馬達啟閉角度	沖水閥啟閉角度	沖水量計錄
小號	<p>開啟角度:90度 90.0 閉合角度:0度</p>	<p>開啟角度:14度 14.0 閉合角度:0度</p>	<p>小號沖水至中高水位後停止放水</p> <p>3公升</p> <p><math>30\text{cm}(\text{長}) \times 20\text{cm}(\text{寬}) \times 5\text{cm}(\text{高}) = 3000\text{cm}^3 = 3\text{公升}</math></p>
大號	<p>開啟角度:113.5度 113.5 閉合角度:0度</p>	<p>開啟角度:32.7度 32.7 閉合角度:0度</p>	<p>大號沖水至中低水位後停止放水</p> <p>6公升</p> <p><math>30\text{cm}(\text{長}) \times 20\text{cm}(\text{寬}) \times 10\text{cm}(\text{高}) = 6000\text{cm}^3 = 6\text{公升}</math></p>

## 陸、討論

在整個研究過程當中，遇到的問題不計其數，但每次透過問題的解決，專業知識就增加許多。以下來探討思考未來可應用的方向。

### ✚ 省水經濟效益探討

本研究所完成的自動化廢水再利用系統絕對可裝設於家中環境，相信更可延伸至使用 RO 淨水系統的學校或機關，唯一需考慮的是架設成本問題，每個月所省下的水費，相對於投資成本，是否符合投資報酬率？如圖二十六所示，以一戶三層樓的家庭為主，RO 逆滲透裝設於一樓，將廢水抽往樓頂廢水蓄水塔存放，再提供給各樓層衛生沖洗與洗滌，以及戶外花草灌溉之需求，透過案例的規劃來粗估架設成本。以本研究所預估每戶家庭每年可省水費 2 千元為前提，進而探討投資報酬率。



圖二十六 屋內廢水再利用系統配置圖

成本需求：

- (1) 廢水儲存桶一個，容量 500 公升，成本加工錢約 6000 元。
- (2) 抽水馬達 1/4HP：約 1200 元
- (3) 廢水輸送管線：約 1000 元
- (4) 控制電路(液位控制+自動化控制)：約 1000 元
- (5) 電磁閥等零件：電磁閥七個約 2100 元，加一些零件，總約 2500 元。

由以上成本推估為 11700 元，若用每年節省 2 千水費來算，大約 6 年就可以將成本打平，投資報酬率從保護水資源角度來看，只用 6 年來換取更長遠的發展與運用，這樣的投資報酬率簡直太棒了。

有了初步預算後，未來朝向實際完成家中廢水再利用之構想，目前廢水以 RO 產生以及雨水為主，如果可以再匯集家中其他輕度的汙水，相信對省水的經濟效益一定會更大。

## 柒、結論

本團隊研發之廢水回收再利用自動化，有以下特點：

1. 高度親和力：可自動收集家庭內廢水，包括 RO 廢水、雨水、冷氣水等，只要輕按按鈕即可完成費力的儲水與沖水，可以說彈指之間作環保。
2. 實用性與功能性：以最經濟、最簡單完成衛生沖洗、花草灌溉、洗滌等用水場所之自動化控制，。

透過實驗結果得知，以 RO 每日造水 50 加侖為例，充分利用排出 19 噸的廢水，每個月即可節省 19 噸的自來水，並年省 2 千元，同時廢水經由檢驗後，沒有發現自來水水質內含汞與砷的成份，而且 TDS 低於 200ppm，代表目前南台灣的水質還不錯。此外，雖然實際運用所需成本約為每年節省水費的 6 倍，但水資源是必須永續經營以及保護，用 6 年來換取更長遠的發展，絕對是物超所值。另一面，因它的方便性，提醒大家做環保是容易的，只要細心觀察，用心思考，運用現有的知識與技術就足以完成，並不是高不可攀。是否有那麼一天，當人們見面時，會說"Hi，你今天"Ru"了嗎?"

有水當思無水之苦，珍惜水資源，人人有責，一點一滴的有效利用，保護的不只是眼前人們便利生活的意義，更包含對後代子孫永續的資源享用，愛護地球，讓我們多盡一點心力。

## 捌、參考資料及其他

- [1]陳福春。感測器。台北：全華科技圖書。
- [2]節約用水資訊網 <http://www.wcis.itri.org.tw/reuse/reusewater.asp>
- [3]台灣自來水公司 <http://www.water.gov.tw/>。
- [4]<http://tw.myblog.yahoo.com/water-ionizer/>
- [5]彭錦銅。可程式控制實習-設計實務。台北：台科大科技圖書。
- [6]自來水會刊第27卷第4期，文/廖宗盛、周國鼎
- [7]<http://www.chuanchiu.com.tw/gustar/front/bin/partprint.phtml?Part=2-007&Category=&Style=1>
- [8]<http://blog.yam.com/raymondsun/article/20844167>
- [9]廖文賢。三菱可程式控制器。台北，文笙書局。
- [10]廖成旺。三菱可程式控制器-GPPW中文使用手冊完整版。台北，文笙書局。

## 【評語】 091009

1. 作品完成度很高且功能完整並與省水環保及自動化相結合，深具有實際應用價值及商品化之潛力。
2. 團隊對作品的預期目標的掌控度與研發改進的精神深獲肯定。
3. 若能在數位電子電路與 PLC 的設計部分多呈現該作品的創意與特色說明則更佳。