

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生活與應用科學科(一)

第二名

032808

問君哪得清如許~探討永續節能自動化水質檢測
及淨化的可能性

學校名稱： 高雄市立明華國民中學

作者： 國二 莊喬茵 國二 林柔妘 國二 喻宥鈞	指導老師： 陳晏閔 李冠徵
---	-----------------------------

關鍵詞： 水質檢測、水質淨化、永續節能

摘要

水質同時受到有機染料與無機鹽類污染，現行處理流程常分段進行，能源又受天候限制。為此，本研究開發一套整合「即時檢測-自動啟動-光觸媒淨化」的**太陽能驅動水質清淨機**。分別以有機染劑的亞甲藍以及無機鹽類的磷酸鹽(優養化)、亞硝酸鹽(生物毒性)為污染代表，檢測儀使用 Arduino 以反應試劑的 RGB 顏色變化檢測，汙染濃度超標則啟動水質清淨機進行降解。清淨機利用二氧化鈦光觸媒來淨化水質，作動結果顯示在光觸媒的作用下，不同的污染物濃度均能大幅下降，達成水質清淨目的。在能源的利用上，採用太陽能板儲能以提供陰天、夜間光觸媒所需的紫外燈電力，有效解決除汙的時間及天候限制，達成全天高效水質淨化，符合節能等永續理念，值得大力推廣。

壹、研究動機

居家常見的觀賞水族箱、校園的生態池與台灣西部海邊的養殖池，都面臨著水質污染的問題。不論是有毒物的累積，或是更嚴重的優養化，都與水中的含氮物質與磷化物有關。因此清除這些有害的化合物，即能達成清淨水質的目標。查尋文獻發現，以光觸媒為訴求的空氣清淨機早有市售機種出現。去年有研究想到：利用相同的光觸媒方式來解決水質中的污染源呢初步打造一台水質清淨機，我們認為可以再加以改進。二氧化鈦光觸媒就是利用紫外光來激發以達成清除有害物質，而天然的紫外線就是源源不絕的陽光。但在夜晚或多雲的天氣，紫外線微弱時就可以使用省電的紫外線 LED 提供光源。因此，我們開始思考，若有水質惡化嚴重是否可以在日夜均可提供紫外線的方式來加強淨化水質。反之，若水質無虞時，是否有辦法自動準確監測水質，一條龍方式減少不必要的浪費，那就更加節能環保了。

於是我們想由生態池的水質的監測與改善開始，試著製作全天候隨叫隨動的節能水質清淨機，期待可將太陽能轉換儲存成電能進行有效利用，用以達成循環經濟與節能的目的。

貳、研究目的

- 一、研究設計自動化顏色偵測水質檢測儀
- 二、研究改進二氧化鈦光觸媒水質清淨機
- 三、兩機整合永續節能自動化水質檢測及淨化

【背景資訊及文獻資料】

一、各種大小水域水質汙染問題紛雜，急需尋求有效的改善方法

各種水域的水質汙染，一直以來都是政府及相關單位極力解決的問題。觀賞水族及養殖相關產業在台灣一直都是蓬勃發展，也都曾寫下輝煌的歷史。不論是水體較小的觀賞水族，或是水體較大的公園生態池，甚至養殖產業，不可避免的就是面臨水質不佳問題，其中最重要的就是水質汙染，還有汙染造成的溶氧量下降。

水質汙染，如水中生物的排泄物、或過多的餌料等，就會造成含氮廢物(氨、硝酸、亞硝酸)以及磷酸鹽等化合物過多，不僅直接造成生物體中毒，也會間接導致溶氧量下降。其中，溶氧量的下降是由於細菌轉換含氮廢物過程中會消耗大量氧氣。家庭廢水排放含磷酸鹽也會造成優養化的可能性上升，水體中藻類過量滋生，更讓溶氧量大幅下降。目前優養化的水域仍屬於一大難題，幾乎只能依靠換水來進行解決。



圖 a1 社區公園生態池水質汙染(作者拍攝)

現今民間或研究單位對於解決水質問題，主要均使用額外添加的微生物(硝化細菌)來處理，但在製成微生物藥劑及其運費，消耗了不少的能源，由於必需定期添加所以花費昂貴；在大面積的養殖時為了預防溶氧量不足除了添加菌種外改善之外，則需運用水車不斷的曝氣，又大量耗費電力。由此可知水族、生態池，以至於高經濟價值的養殖業，皆會面臨水質不良的情形。整體而言，小範圍的水體以換水改善，或持續添加微生物製劑，至於大範圍的水域則只能仰賴高耗電的水車，急需改善。

二、永續節能發展太陽能應用，加入自動化實時監控

近年來政府的大力推動，產業結構成功地轉型為高知識密集、低資源耗損的綠色產業，綠色設計、生產與服務的綠色產業供應鏈建立，生態環保科技園區林立，使台灣成為全球環保經濟的成功典範，而永續節能的理念也普及至一般民眾及年輕的下一代。綠色永續產業有：再生能源產業、節能產業、節能服務業蓬勃發展，每年能源效率提高 2% 以上，114 年發電系統中低碳能源占比增至 55% 以上，其中以太陽能發電發展最迅速。

水產養殖業為了改善大量耗能的水車以及達成綠能的目標，也開始了魚電共生的綠能產業，除了可提供乾淨能源以驅動水車，也可將多餘電能儲存利用。近期韓國仁川大學科研團隊近日成功研發出新一代透明太陽能電池，他們採用二氧化鈦（ TiO_2 ）與氧化鎳（ NiO ）兩種環保半導體材料，不僅能吸收紫外線發電，還具備極高的透明度。新的透明太陽能電池發電效率較以往顯著提升，未來若能量產對於水產養殖業魚電共生的影響，便能在環境視覺美觀上大幅度的改善，不再是黑壓壓的一片而能還給大地本色。由於台灣地處北回歸線太陽能源源不絕，因此未來的運用還是十分看好。

較大面積的養殖池確實因為魚電共生實施而得以改善，但觀賞水族及生態池的部分尚無良方，僅能以定期換水或添加化學、生物性製劑來處理。而且水質問題的根源～污染問題依然未獲解決。大自然生態若不平衡：水中某物種大量繁殖提高水中含氮廢物，藻類增生產生優養化使得含氧量下降，亦可能造成水質惡化，如果我們能提早發現問題，便能著手介入改善水質減少災害。一般而言，包括 pH 值、溶解氧、懸浮物、重金屬（如鉛、汞）、細菌（如大腸桿菌）等常見的水質檢測項目都會受到監控。隨著科技進步，雖然許多檢測已經可以使用自動化儀器進行，但建置設備都頗為昂貴。僅仰賴政府機構和環保組織負責水質監測，並定期發布水質報告，雖可確保公共水源的安全，但檢測成本也是所費不貲。隨著物聯網和人工智慧技術的發展，未來應更加自動化實時監控水質變化以節省人力物力。

綜合上述，我們嘗試設計與製作能「永續節能自動水質檢測清淨機」，期待能提早發現並且改善不同水域遭遇的污染問題。小至水族（淡、海水魚缸）的含氮、磷化物的清除，大至生態池、養殖業的全天候持續有毒物質處理。不僅清除污染源頭，並進一步增加溶氧的可能，更降低了大量的能源消耗，還能達成省能、儲能與永續的理念。

三、Arduino 相容微電腦自動監控及物聯網 (IoT) 應用

Arduino 相容微電腦自動控制和物聯網 (IoT) 應用中具有許多優點和特色，首先 Arduino 提供簡單易用的開發環境，同時適合初學者和專業開發者。它擁有網路上豐富的文件、範例程式和社群支援，方便學習和開發。資料是開源的，使用者可以自由修改製作出自己的版本。各種大小的控制板價格都很便宜，適合各種小額預算的專案。擴展性高可搭配多樣的擴展板、傳感器及驅動來擴展功能，能滿足各種的需求。對環境變化能即時反應，適用於自動控制系統，用簡單的程式碼即可實現複雜的控制邏輯，方便快速開發原型。



圖 a2 Arduino 相容微電控(作者拍攝)

Arduino 在物聯網與無線通信的整合上支持多種無線通信協議（如 Wi-Fi、藍牙、LoRa 等），方便與其他設備和雲端服務連接。能夠收集並傳輸數據到雲端，便於進行數據分析和遠程監控。總結來說 Arduino 都能提供良好的解決方案。

四、二氧化鈦 (TiO_2) 光觸媒

光觸媒是一種利用光照下的光催化反應來進行空氣或水質淨化的技術。二氧化鈦 (TiO_2) 為一種常見的光觸媒催化劑，當紫外光照射到二氧化鈦表面時，它會產生一個稱為光生電子-電洞對的反應。其具有高度活性，可以與周圍的物質進行反應。當這些有害物質接觸到光觸媒表面時，會與它們進行氧化還原反應，將它們轉化為無害或毒性較弱的物質。在水質淨化中，光觸媒可以分解水中的有機污染物。光觸媒的優點是具有高效、無二次污染和長效性等特點。其效果會受到光波頻率、光照強度、催化劑種類和反應條件等因素的影響。

家中常見的水族箱、校園的生態池與台灣西部海邊的養殖池，都面臨水質污染的問題。不論是有毒物的累積，或是更嚴重的優養化，都與水中的含氮物質與磷化物有關。因此清除這些有害的化合物，即能達成清淨水質的目標。市面上的水質淨化，在水族、生態池至養殖業方面，大多以微生物製劑為主，但綠能清除污染的概念仍不多見。

由於創新的光觸媒應用讓它極具實用價值及重要性，我們的水質清淨機能全天候除污，

結合太陽能與紫外線 LED，達成全時除污目標。目前市售僅有光觸媒空氣清淨機，我們的光觸媒水質清淨機是創新的，運用於改善水質絕無僅有。我們的光觸媒水質清淨機將利用太陽能板儲電供電帶動水泵，及特殊水流閘設計能減緩水速，增加反應作用的時間，達成高效清除污染。我們以太陽能為動力的水質淨化機，不僅能於水中持續運轉，也能利用儲電裝置儲存電能，達成能源有效利用，且降解污染源目標，並防止優養化的發生，一舉多得。

五、文獻探討

- 文獻一：第 58 屆全國科展 家家有污水槽，溪水環境更美好－開發智慧型家庭污水處理槽系統設計之研究。

此研究使用 Arduino 作為核心，配合氧化還原感測器、pH 計感測器、濁度感測器 及溫度感測器，將測量到的值，經由藍芽模組傳送至手機 App 程式，再由 Arduino 程式 定時抽水、打氣、回抽污泥及滴入次氯酸鈉，另 外若濁度高 NTU 就會將污泥以百分 0.03~0.05 比例回抽至曝氣池，提供菌種，協助分解有機質，以降低濁度、BOD 及 COD，再利用太陽能板發電作為整個處理槽的供電以節約能源。其利用 Arduino 進行控制抽水、打氣等自動化，並將所測得的水質數據利用藍芽傳訊給手機 APP，提供即時訊息的方式值得參考。

- 文獻二：第 60 屆全國科展 回收式·自製光觸媒廢水脫色大作戰

此研究自製二氧化鈦光觸媒用於淨水並著手製作其薄膜使易於回收或具磁性吸取再利用。實驗中找到「檸檬酸鈦」來源可以在「水」中利用簡單的沉澱反應製作 TiO_2 ，實驗發現：市售的「保利龍膠」有利於裝薄膜其中醇/膠比率 1~2，調和膠/粉體比率 4.5~9 之間能固定粉體並保有通透性能促進薄膜於日照下使亞甲藍模擬廢水迅速脫色。實驗也嘗試利用檸檬酸鈦結合 Fe_3O_4 製成具磁性的 TiO_2 ，製作出兼具良好脫色效果及良好磁性的磁力光觸媒。提供具通透性薄膜製作方式值得參考。

- 文獻三：第 57 屆全國科展 「陽極」變魔術，「鈦」舊換新 --以陽極處理法探討 TiO₂ 奈米管最佳形成與應用

此研究找出最佳生長二氧化鈦奈米管的電壓與電流，經退火後產生降解效果最佳的銳鈦礦相。利用陽極處理法在不同參數下找到生成二氧化鈦奈米管最佳降解條件，結果顯示，降解亞甲基藍在 60 min 已超過 50%，甚至在 90 min 可達近 100%，製作過程有三大優點：(1)製作二氧化鈦奈米管只在常溫下利用電壓供電，不需要許多試劑或是複雜的過程，符合綠色環保。(2)降解過程十分快速有效，只要在紫外線照射下，即可以降解。(3)屬於固態表面催化，操作簡單易。提供鈦薄片製作二氧化鈦並運用光照表面催化的方式值得參考。

- 文獻四：永續綠能水質清淨機 2024 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

作者們提出構想並驗證一台二氧化鈦粉末塗佈的光觸媒水質淨化機有初步的效果。製作的材料、方法、程序可再改進。而且，並未整合檢測機制，可能水質已經達到清淨標準了還一直在運作降解，會無端浪費資源。

六、研究系統流程圖：









圖 a3 研究系統流程圖(作者自製)

參、研究設備及器材

一、硬體設備及工具：

(一) PC with Windows 11	(九) USB 行動電源
(二) WeMos D1 WiFi 開發版	(十) 6V 微型水泵
(三) L293D 馬達驅動擴展板	(十一) 5V 微型沉水馬達
(四) TCS3200 RGB 顏色模組	(十二) 步進馬達
(五) 單波長紫外線 275nm LED	(十三) 繼電器
(六) 二氧化鈦粉末	(十四) 塑膠針筒+水管
(七) 鈦箔片	(十五) 各式手工具
(八) 太陽能板軟板	(十六) 矽利康、AB 膠

二、開發環境及軟體

		
1.Flag's Block 開發環境	2.Arduino IDE 開發環境	3.Fritzing 電路設計軟體
		
4.Notepad++	5.MSExcel	6.MSWord

1~6 所用圖片由作者親自拍攝或製作










肆、研究流程及結果

實驗一、檢選適合用於開發檢測裝置之元件及材料

(一) 可應用於本研究之電子元件簡介：

元件名稱	功能與應用	技術規格與特性	優點
1. WeMos D1 WiFi 開發版 (圖一-1)	作為系統的控制核心，可自動檢測 NO ₂ 濃度，若汙染超標會自動啟動水質清淨機。可配合手機即時傳輸控制。	1. 晶片：ESP-8266EX 2. 外型：與 Arduino UNO 相容 3. 開發環境：Arduino IDE，配合 ESP8266 函式庫 4. 連線：WiFi 2.4GHz IEEE 802.11 b/g/n 5. 電源：Micro USB 6. 數位 I/O 腳位：11 個 7. ADC 腳位：1 個 (輸入 0-3.3V) 8. 支援：OTA 上傳	1. 具 WiFi 功能，方便雲端資料傳輸與手機控制 2. 與 Arduino UNO 相容，擴充性佳 3. 支援 OTA 上傳，免除傳輸線
2. L293D 馬達驅動擴展板 (圖一-2)	驅動直流馬達，控制水泵精準水量。可控制伺服馬達與步進馬達	1. 晶片：293D 晶片 (小電流直流電機驅動晶片) 2. 相容性：與 Arduino 相容 3. 直流馬達：可接 4 個雙向直流馬達，皆可 PWM 調速 (0.5%解析度) 4. 伺服馬達：2 個 5V 伺服馬達控制 5. 步進馬達：2 個步進馬達正反轉，支援單/雙步控制、交錯/微步及旋轉角度控制 6. H-橋：4 路 H-橋，每路提供 0.6A 電流 (峰值 1.2A)	1. 常用且穩定的直流電機驅動模組 2. 與 Arduino 相容，方便快速串接開發 3. 可精準控制水泵水量，並支援多種馬達類型
3. TCS34725 RGB 顏色模組 (圖一-3)	用於偵測檢測藥水系的顏色變化，以準確及提早檢出水質汙染	1. 晶片：TCS34725 2. 功能：通過光學感應來識別物體的表面顏色 3. 特性：紅、綠、藍(RGB)三原色，及明光感應，可以輸出對應的數值，幫助還原彩。 4. 應用：水質檢測，透過偵測試劑顏色變化判斷水質狀況	1. 低成本能夠準確識別顏色變化 2. 在傳感器底部添加了一塊紅外遮光片使 RGB 讀值更準確 3. 可程式化轉換頻率，增加靈活性

		<p>為了提高精度，防止周邊環境干擾，我們特意在傳感器底部添加了一塊紅外遮光片，最大程度減小了入射光的紅外頻譜成份，讓顏色管理更加準確。TCS3472 器件提供紅、綠、藍(RGB) 以及明光感應的數字返回值。</p>	
<p>4. 單波長紫外線 275nm LED (圖一-4)</p>	<p>研究所需的225-275nm殺菌用紫外線波長的元件，作為照射二氧化鈦光觸媒的光源</p>	<p>1.單波長 LED 可以讓消費者挑選指定的波長 2. 亮度與顏色：有高亮度，不同顏色的產品可選用，可供作替代光學的分光分色模組。 3. 大小與形式：有不同的大小與形式可供挑選，常見的直徑 5mm、3mm 或方形、晶片型，以符合各式電子產品設計上的需求。</p>	<p>1.體積小、功耗低、即點即亮等，可將紫外線封閉在小空間中，易於防控洩漏，可做到人機共存。 2.可開關次數更多，為殺菌光源新選擇。 3.可直接網路上找商家訂購。</p>
<p>5. 太陽能板軟板 (圖一-5)</p>	<p>可對 USB 行動電源充電同時直接供應系統 5V 電源</p>	<p>1.規格：6V 10W 太陽能板軟板，配合 5V 專用穩壓模組，額定電流為 1600mA，USB 母頭引線。 2.網路賣場上可找到各種尺寸及電壓規格可供組合，搭配串、並聯接線使用。</p>	<p>1.具部分可繞性不易破損。 2.可將兩片並聯以防止一片故障或被遮蔽時降低電力損失風險。</p>
<p>6. USB 行動電源 (圖一-6)</p>	<p>可供應系統 5V 電源，儲存太陽能。</p>	<p>1.電池容量:10000mAh/38Wh 2.額定容量輸入電壓/電流: 5V/6500mAh : 9V/3500mAh : 12V/2600mAh 3.具 Type C 埠 : DC5V/3A : DC9V/2.2A(20W) 4.雙 USB-A :DC5V/3A(15W)同時輸出 DC5V/3A) 5.輸出功率:20W</p>	<p>1.簡單有效的儲電、儲能 2.統一電源 5V 供電</p>
<p>7. ULN2003 + 5V 步進馬達 (圖一-7)</p>	<p>可控制噴瓶，準確控制藥水液量</p>	<p>1.5V 4 相 5 線 28BYJ-48 2.電壓：5V 3.步進角度：5.625 /64 4.減速齒輪減速比：1/64 5.直徑：28mm 6 軸徑: 5mm</p>	<p>1.精準控制步進角度推送藥水準確定量</p>

		
圖一-1 D1 WiFi 開發板	圖一-2 L293D 馬達控制板	圖一-3 TCS4725 RGB 顏色模組
		
圖一-4 紫外線 LED	圖一-5 太陽能板軟板	圖一-6 USB 行動電源
		
圖一-7 ULN2003 + 5V 步進馬達	圖一-8 磷酸一鈉	圖一-9 亞硝酸鈉

圖一-1~9 所用圖片由作者親自拍攝或製作

(二) 分析與討論

1. 電子元件部份：若以 D1 控制板整合，配合 L293D 馬達驅動擴展板，可控制 6V 微型氣泵可以抽取待檢測的水樣，同樣可以在控制另外兩個 6V 微型氣泵注入檢測藥水，經過 4 分鐘呈色所需的時間，啟動 TCS4725 RGB 顏色模組讀取 RGB 值經過運算，與檢量線所得的數值對照出 NO₂ 的濃度，若超標變啟動循環降解水泵及紫外線 LED 燈進二氧化鈦光觸媒降解。所需電力可由太陽能板收集，將電能儲存於行動電源，再由行動電源供應 D1 控制板控制所有的抽水馬達推送水樣及測試劑藥水，並驅動感測器、控制循環水泵和 LED 用的繼電器。
2. 化學材料部份：二氧化鈦粉末、鈦箔片為光觸媒水質淨化機的主要材料，希望設計製造出高效能的清淨機降解水中污染物。磷酸一鈉、亞硝酸鈉等藥品主要用於模擬汙染水源，需調製各種不同汙染濃度(ppm)供檢測驗證使用。

實驗二、Arduino 控制 TCS34725 感測 RGB 顏色讀值以建立檢量線：

實驗二 A、水質被亞甲藍液色素汙染建立 RGB 顏色讀值檢量線

1. 取出 0.1%亞甲藍水溶液
2. 配製 1.0，2.0，3.0，4.0，5.0ppm 亞甲藍水溶液，及純水，共 6 種不同濃度亞甲藍水溶液取出，分置於試管中備用。(圖二 A-1)
3. 使用 Arduino 控制 TCS34725 感測 RGB 顏色讀值並記錄。(圖二 A-2) (圖二 A-3)



圖二 A-1(作者拍攝)



圖二 A-2(作者拍攝)

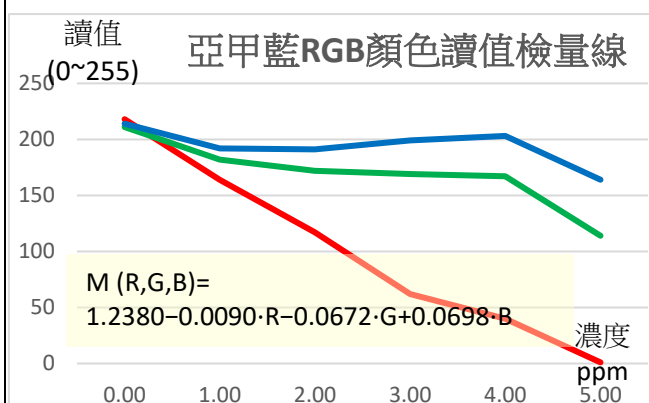


圖二 A-3(作者拍攝)

4. 將經由 Arduino 控制 TCS4725 感測 RGB 顏色讀值再 Excel 中製表分析

濃度 (ppm)	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
顏色						
R	218	164	117	62	40	1
G	211	182	172	169	167	114
B	214	192	191	199	203	164
總和	643	538	480	430	410	279
顏色						

圖二 A-4 (作者自製)



圖二 A-5 (作者自製)

5. 寫入 Arduino 程式中，於 RGB 顏色感測器讀值後直接轉換濃度值(ppm)，再次驗證。

分析與討論

1. 根據亞甲藍液濃度與 RGB 值的數據，經過線性回歸分析，亞甲藍液濃度 M 與 R, G, B 值的關係函數如下： $M(R,G,B) = 1.2380 - 0.0090 \cdot R - 0.0672 \cdot G + 0.0698 \cdot B$ 。其中：M 代表亞硝酸濃度（單位：ppm），R 紅色光強，G 綠色光強，B 藍色光強 此模型的 $R^2 = 0.9952$ ，模型能夠解釋數據的變異性，即 R,G,B 值能夠高度預測亞甲藍液濃度。

實驗二 B、水質被亞硝酸鹽污染建立 RGB 顏色讀值檢量線

1. 取出亞硝酸試劑及色卡(圖二 B-1)
2. 配製 0.05, 0.15, 0.25, 0.50, 1.00, 1.70, 3.00 ppm 亞硝酸鈉水溶液，加上純水，共 8 種不同濃度亞硝酸水溶液取出，分置於試管中備用，依序將亞硝酸試劑 1 和 2 滴入不同濃度亞硝酸水溶液試管中(圖二 B-2)
3. 等待 4 分鐘呈色變化，依照照色卡進行雙重確認(圖二 B-3)，並使用 Arduino 控制 TCS34725 感測 RGB 顏色讀值並記錄。



圖二 B-1(作者拍攝)



圖二 B-2(作者拍攝)

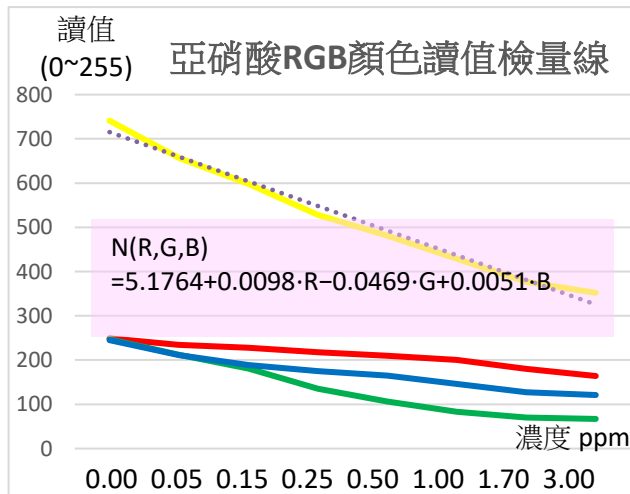


圖二 B-3(作者拍攝)

4. 將經由 Arduino 控制 TCS34725 感測 RGB 顏色讀值再 Excel 中製表分析

濃度 (ppm)	0.00	0.05	0.15	0.25	0.50	1.00	1.70	3.00
顏色								
R	249	234	228	218	210	200	180	164
G	247	212	181	135	106	83	70	67
B	245	211	189	175	165	146	127	121
總和	741	657	598	528	481	429	377	352
色卡對應 顏色								

圖二 B-4 (作者自製)



圖二 B-5(作者自製)

5. 寫入 Arduino 程式中，於 RGB 顏色感測器讀值後直接轉換濃度值(ppm)，再次驗證。

分析與討論

1. 根據亞硝酸濃度與 RGB 值的數據，經過線性回歸分析，亞硝酸濃度 N 與 R, G, B 值的關係函數如下： $N(R,G,B)=5.1764+0.0098\cdot R-0.0469\cdot G+0.0051\cdot B$ 。其中：N 代表亞硝酸濃度（單位：ppm），R 紅色光強，G 綠色光強，B 藍色光強 此模型的 $R^2 = 0.9996$ ，模型能夠解釋數據的變異性，即 R,G,B 值能夠高度預測亞硝酸濃度。

實驗二 C、水質磷酸鹽 PO₄ 汙染建立 RGB 顏色讀值檢量線

1. 取出磷酸試劑及色卡
2. 配製 0.25，0.50，1.00，2.00，5.00，10.00 ppm 磷酸一鈉水溶液，加上純水，共 7 種不同濃度磷酸鹽水溶液取出，分置於試管中備用，依序將磷酸試劑 1 和試劑 2(各 4 滴)滴入不同濃度磷酸水溶液試管中(圖二 C-1)
3. 等待 4 分鐘呈色變化，依照照色卡進行雙重確認(圖二 C-2)，並使用 Arduino 控制 TCS34725 感測 RGB 顏色讀值並記錄。



圖二 C-1(作者拍攝)

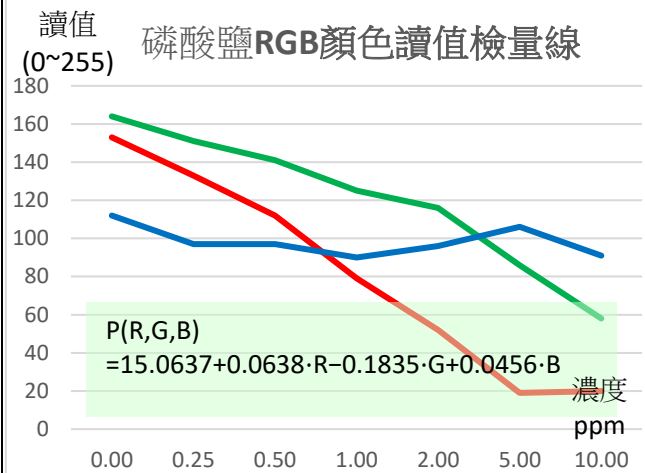


圖二 C-2(作者拍攝)

4. 將經由 Arduino 控制 TCS34725 感測 RGB 顏色讀值再 Excel 中製表分析

濃度 (ppm)	0.00	0.25	0.50	1.00	2.00	5.00	10.00
顏色							
R	153	133	112	79	52	19	20
G	164	151	141	125	116	86	58
B	112	97	97	90	96	106	91
總和	741	657	598	528	481	429	377
色卡 對應 顏色							

圖二 C-4 (作者自製)



圖二 C-5(作者自製)

5. 寫入 Arduino 程式中，於 RGB 顏色感測器讀值後直接轉換濃度值(ppm)，再次驗證。

分析與討論

1. 根據磷酸鹽濃度與 RGB 值的數據，經過線性回歸分析，磷酸鹽濃度 P 與 R, G, B 值的關係函數如下： $P(R,G,B)=15.0637+0.0638 \cdot R-0.1835 \cdot G+0.0456 \cdot B$ 。其中：P 代表磷酸鹽濃度（單位：ppm），R 紅色光強，G 綠色光強，B 藍色光強 此模型的 $R^2 = 0.9928$ ，模型能夠解釋數據的變異性，即 R,G,B 值能夠高度預測磷酸鹽濃度。
2. 在非線性關係明顯的數據範圍外，可能需要更更多的數據來提高準確性。

實驗三、第一代水質檢驗裝置

實驗三-1、第一代樂高積木發想之水質檢驗裝置

我們使用樂高科技積木，搭建一個初步構想的模型如圖所示。首先使用 EV3 控制器經由自己寫的程式控制，操作第一個 EV3 中型馬達，推動推桿帶動注射桶，抽取代檢測水樣。接著控制兩隻大型 EV3 馬達，推動推桿帶動注射桶，分別將兩劑藥水分別注入反應的注射桶，等待藥水呈色反應，便可對照顏色量表判定待檢測水樣的亞硝酸濃度。



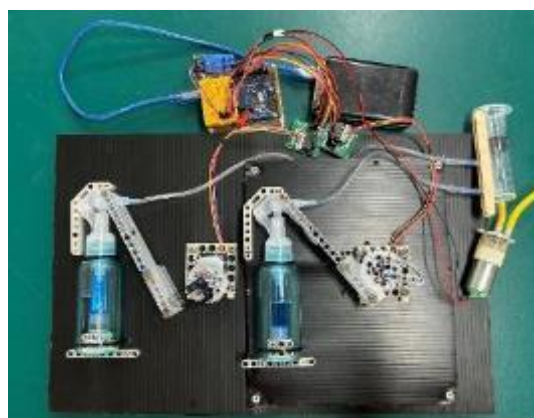
圖三-1 樂高發想水質檢驗概念(作者拍攝)

分析與討論：

1. 利用注射桶抽取水樣的時候，抽取量可以由程式精確的控制。
2. 反應所需的等待時間也可以由程式控制。
3. 樂高科技積木價格昂貴，不可能裝置於現場。
4. 抽取水樣跟排出水樣有同一個出入口無法將實驗過後的廢水排出，應該設計一進一出。
5. 藥水的推送透過推桿十分的不方便應該在尋找其他替代方案。

實驗三-2、第一代步進馬達推動噴瓶之水質檢驗裝置

我們改用 Arduino 作為我們的控制器，推送藥水的注射桶也改成了一般常用的噴瓶。接著我們操作步進馬達帶動凸輪轉動來推動噴瓶的壓杆。由於所需的力量不足，我們延長壓杆的力臂，利用槓桿省力操作便可將藥水由噴瓶的噴嘴出去，經由透明軟管注射到反應桶。噴瓶的設計有內外兩瓶，方便於藥水使用完時，可以任意抽換內瓶，無需拆除外瓶。



圖三-2 樂高發想水質檢驗概念(作者拍攝)

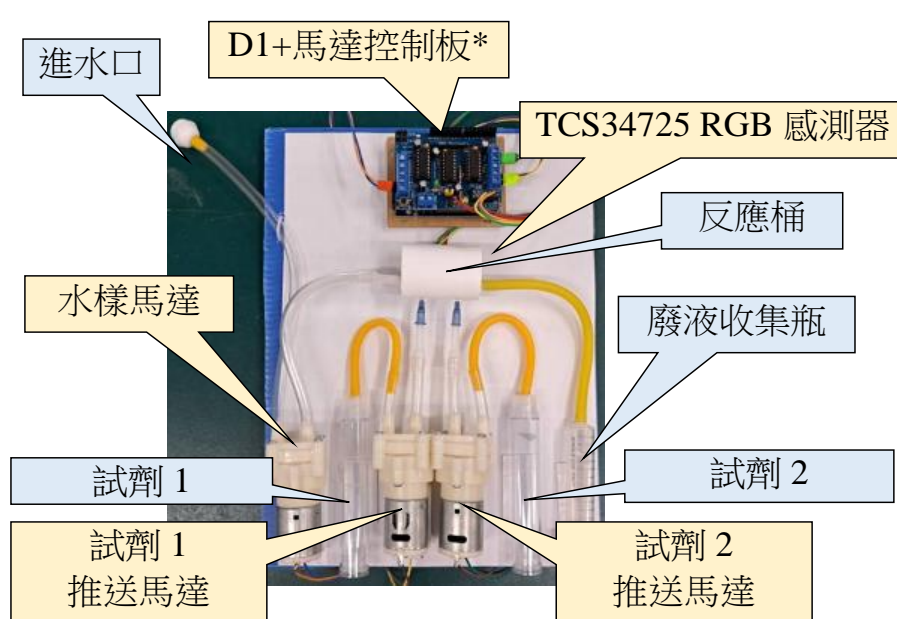
抽取水樣的部分我們改由 **Arduino** 控制一顆抽水馬達可以將外部的水抽取進來。

配合反應槽有兩個出水孔一進一出，當新的水樣進來的時候，便可將舊的排除。也可以經由推送一段時間清洗反應桶。

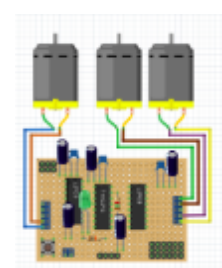
分析與討論：

1. 使用 5 伏特步進馬達進的推動力稍嫌不足，想要利用機械結構作為精細的控制，能力上稍嫌不足。
2. 雖然我們可以精準控制藥水的份量，但是由於噴瓶的體積較為龐大，整個裝置的藥水控制體積無法再縮小，應該再尋找其他替代方案。
3. 抽水馬的使用與控制精準方便，應該將噴瓶改由抽水馬達來替代。

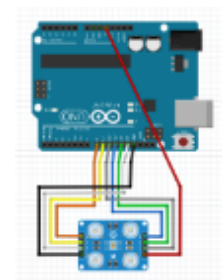
實驗四、第二代 **Arduino** 控制水泵 RGB 藥水顏色檢知之水質檢測裝置



圖四-1 水質檢測發想示意圖(作者拍攝自製)



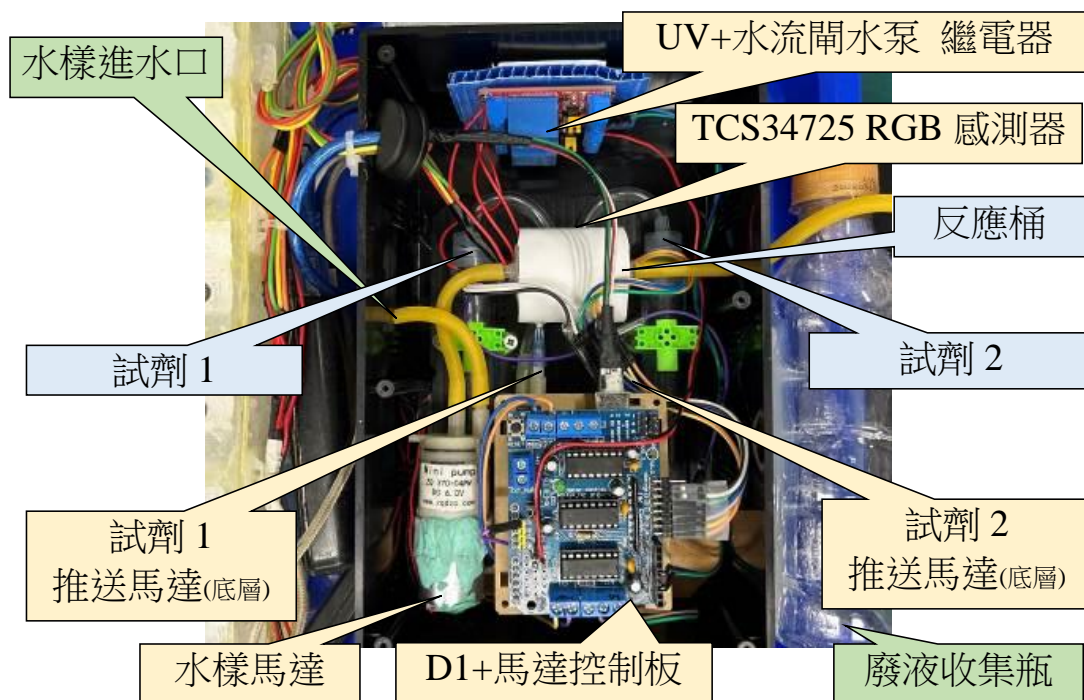
*上層：馬達控制板



*下層：D1 微控板

由於前面設計的經驗，經由討論改良之後，我們決定整合以一個 **Arduino** 控制器加上一塊可以驅動四個馬達的馬達控制板來帶動三個馬達。一個是抽取水樣的馬達，其他兩個是用來推送檢測的兩劑藥水。顏色反應桶的部分：我們將 2 個 PP 注射筒的尾巴切除掉只留頭，即可連接注射針頭的部分，並用 A B 膠將兩個頭的部分反向對接，形成一個有雙頭的反應筒。因為我們的反應筒有兩個接頭，一端可以進水另一端可以出水，利用注射筒是透明的狀態，我

們可以將 RGB 顏色感測器直接安裝貼附在筒壁上面，這樣我們就可以寫程式控制讀取反應筒裡面的顏色讀值，再經由以做好的檢量線的查表或計算差值轉換，便可得出待測水樣的藥硝酸濃度。如此我們便能在控制馬達的同時也可以控制顏色感測器正常運作。以下是我們的硬實體裝置完成的照片。



圖四-2 水質檢測發想示意圖(作者拍攝自製)

由於我們將裝置利用空間縮小體積，將許多元件都疊在一起。圖片中最上層可看到馬達控制器。其正下方疊在一起看不到的就是我們的 **Arduino** 控制器，這是因為兩個控制器是所有的接腳上下直接對接。放置在控制器的正下方就是兩個推送藥水的馬達。藥水的推送出口是以注射針頭直接連接到反應桶，即照片當中白色圓筒狀的部分。因為注射針筒是透明的所以 **RGB** 顏色感測器在讀值的時候會看到反應筒背後的顏色造成偏差。於是我們將反應筒的外側包覆一片白色的弧形背板，這樣可以擋掉背景顏色。此外，所有裝置會密封在黑色不透光的控制盒內，避免 **RGB** 顏色讀值誤差。

再來，反應筒連接出去的部分由上方走就是接到抽水馬達。這一側是將水樣送進反應筒的，反應筒的下方這一側有另外一條管子直接連到檢測器的外部，可以將廢水排出。接著可以看到反應筒的右側有兩顆繼電器是分別控制水質清淨機的循環馬達以及紫外線 **LED** 的。最後右上角一個 **USB** 接頭是要連接太陽能板為行動電源充電用。

程式碼及註解說明：

```
1 #include <stdio.h>
2 #include <string.h>
3 #include <AFMotor.h>           //匯入 L298D 馬達控制函式庫
4 #include <Wire.h>             //匯入 I2C 驅動函式
5 #include "Adafruit_TCS34725.h" //匯入 TCS34725 RGB 感測器 驅動函式
6
7 /* TCS34725 RGB 感測器 接 Arduino 接線
8     LED    接 A3      //黃
9     SDA    接 A4      //綠
10    SCL    接 A5      //橙
11    V33    接 3.3V    //紅
12    GND    接 GND     //棕
13 */
14 Adafruit_TCS34725 tcs = Adafruit_TCS34725(TCS34725_INTEGRATIONTIME_50MS,
15 TCS34725_GAIN_4X); //TCS34725 初始化
16
17 AF_DCMotor motor1(1); //11.停用
18 AF_DCMotor motor2(2); //3.待測水質 取樣馬達
19 AF_DCMotor motor3(3); //6.試劑 1 推送馬達
20 AF_DCMotor motor4(4); //5.試劑 2 推送馬達
21 //pin 3, pin 6, pin 5 => motor2,motor3,motor4 PWM 信號
22
23 int PUMP = 2; //pin 2 WP 繼電器腳位
24 int enPUMP = 0; //水泵開關
25 int UV = 4; //pin 4 LED 繼電器腳位
26 int enUV = 0; //紫外線開關
27 int readBTN = 7; //pin 7 啟動檢測<測試用>
28 int reading_fg = 0; // 全域變數，讀值旗標
29
30 float red = 0; //設定全域 RGB 初始值
31 float green = 0;
32 float blue = 0;
33
34 // NO2-index 亞硝酸鹽色度指標
35 int NO2_R[8]={249,234,228,218,210,200,180,164};
36 int NO2_G[8]={247,212,181,135,106,83,70,67};
37 int NO2_B[8]={245,211,189,175,165,146,127,121};
38 int NO2_index[8]={741,657,598,528,481,429,377,352};
39 char NO2_ppm[8][4]={"0.00","0.05","0.15","0.25","0.50","1.00","1.70","3.00"};
40
41 //<副程式>-----
42 //馬達轉速值,以轉速%對照輸入
43 int pspeed(int percent) // 將馬達轉速 0%~100% 對照到 數值 0~255.
44 {
45     return map(percent, 0, 100, 0, 255);
46 }
47
48 void relay_active()
49 {
50     if (enPUMP){
51         digitalWrite(PUMP, HIGH);
52     }else{
53         digitalWrite(PUMP, LOW);
54     }
55 }
```

```

55
56   if (enUV){
57       digitalWrite(UV, HIGH);
58   }else{
59       digitalWrite(UV, LOW);
60   }
61 }
62
63 //反應桶洗滌
64 void clear()
65 {
66     motor2.run(FORWARD);           //注入反應桶
67     motor2.setSpeed(pspeed(100)); //速度 100%
68     delay(60000);                  //持續 60 秒
69     //motor2.run(FORWARD);
70     motor2.setSpeed(pspeed(0));    //速度 0% (停止)
71     motor2.run(BRAKE);
72 }
73
74 //水質加藥水檢測
75 void water_test()
76 {
77     motor2.run(FORWARD);           //注入池水進行取樣
78     motor2.setSpeed(pspeed(100)); //速度 100%
79     delay(5000);                  //持續 5 秒
80     //motor2.run(FORWARD);
81     motor2.setSpeed(pspeed(0));    //速度 0% (停止)
82     motor2.run(BRAKE);
83     //delay(10000);
84     //注入試劑 1 (REAG1)
85     motor3.run(FORWARD);           //正轉送出試劑 1
86     motor3.setSpeed(pspeed(70));  //速度 70%
87     delay(2000);                  //持續 2 秒 (0.8ml)
88     //motor2.run(FORWARD);
89     motor3.setSpeed(pspeed(0));    //速度 0% (停止)
90     motor3.run(BRAKE);
91     //delay(10000);
92     //注入試劑 2 (REAG2)
93     motor4.run(FORWARD);           //正轉送出試劑 2
94     motor4.setSpeed(pspeed(70));  //速度 70%
95     delay(2000);                  //持續 2 秒 (0.8ml)
96     //motor2.run(FORWARD);
97     motor4.setSpeed(pspeed(0));    //速度 0% (停止)
98     motor4.run(BRAKE);
99     delay(240000);                //等待反應呈色時間 240 秒
100 }
101
102 //藥水顏色檢知 讀取 RGB 值，並在序列埠窗口顯示監控
103 void RGB_detect()
104 {
105     tcs.setInterrupt(false);       //點亮補光 LED
106     delay(60);                    // 控制 50ms 讀值間隔
107     tcs.getRGB(&red, &green, &blue); // 讀取 RGB 值
108     tcs.setInterrupt(true);        // 熄滅補光 LED
109

```

```

110 //讀值初始化設定：純水(84,93,70)，修正 RGB
111 red = red/84*255;
112 green = green/93*255;
113 blue = blue/70*255;
114
115 Serial.print(" R 值: "); //序列埠窗口顯示 R,G,B 顏色感測器輸出值
116 Serial.print(red, DEC);
117 Serial.print(" G 值: ");
118 Serial.print(green, DEC);
119 Serial.print(" B 值: ");
120 Serial.print(blue, DEC);
121 Serial.println();
122 delay(300);
123 }
124
125 //樣水顏色檢知(未加藥水)
126 wather_color()
127 {
128     Clear(); //反應桶洗滌並注水
129     RGB_detect(); //RGB 顏色檢知
130     int clean = red + green + blue; //總顏色明度值(0~767)
131     if ( clean < 720){ //若明度<720，樣水有顏色啟動降解
132         enUV = 1;
133         enPUMP = 1;
134     }
135     relay_active(); //確認 水泵，紫外燈 開關動作
136 }
137
138 //亞硝酸色度指標檢測報告
139 int NO2_level()
140 {
141     int ppm_level = 0;
142     int sample = red + green + blue;
143     for (i = 1 ; i < 8 ; i++)
144     {
145         if ( sample > NO2_index[i-1])
146         {
147             ppm_level++;
148         }
149     }
150     return ppm_level;
151 }
152 //-----
153 void setup() //初始設定
154 {
155     Serial.begin(9600); // 設定串列傳輸速率 9600bps
156     if (tcs.begin()) { // 確認 TCS34725 工作狀態
157         Serial.println("TCS34725 工作中...");
158     } else {
159         Serial.println("未連接 TCS34725,等待檢查接線...");
160         while (1); //暫停等待
161     }
162
163     Serial.println("啟動水質檢測程序>>>");
164

```

```

165 //硬體接腳宣告
166 pinMode(readBTN, INPUT); //啟動檢測按鈕輸入
167 pinMode(enUV, OUTPUT);
168 pinMode(enPUMP, OUTPUT);
169
170 digitalWrite(enPUMP, LOW); //水泵初始值為關
171 digitalWrite(enPUMP, LOW); //紫外線初始值為關
172 }
173
174 void loop()
175 {
176     char* result = ""; // 設定 NO2-濃度儲存字串初值
177     // <檢查是否按下讀值按鈕>
178     if( digitalRead(readBTN) == LOW ) { // 當按下按鈕
179         delay( 60 ); // 等待 60ms 防彈跳, 再確認
180         if( digitalRead(readBTN) == LOW ) {
181             reading_fg = 1; // fg=1, 啟動讀值
182             // dataString += "RB:";
183             Serial.println("readBTN Pressed");
184         } else {
185             reading_fg = 0; // fg=0, 停止讀值
186         }
187     }
188     // 讀值旗標同時傳送序列埠視窗
189     // Serial.print("fg= "); Serial.println(reading_fg);
190
191     if( reading_fg == 1 ) // <啟動水質檢測讀值>
192     {
193         reading_fg = 0;
194         wather_color(); //樣水顏色檢知(未加藥水)
195
196         clear(); //反應桶洗滌
197         water_test(); //水質加藥水檢測
198         RGB_detect(); //RGB 顏色檢知
199         clear(); //反應桶洗滌
200
201         int level = NO2_level(); //NO2 等級判定
202         if (level >= 0 && level < 8) {
203             result = NO2_ppm[level];
204             Serial.print("NO2 濃度(ppm):"); //序列埠窗口顯示 NO2 濃度
205             Serial.println(result);
206         }
207         if (level >= 5){ //設定啟動降解的等級為 5 : NO2 濃度=1.00ppm
208             enUV = 1;
209             enPUMP = 1;
210         }
211         relay_active(); //確認 水泵, 紫外燈 開關動作
212     }
213 }
214
215

```


實驗五、第一代二氧化鈦粉末塗層之水質清淨機

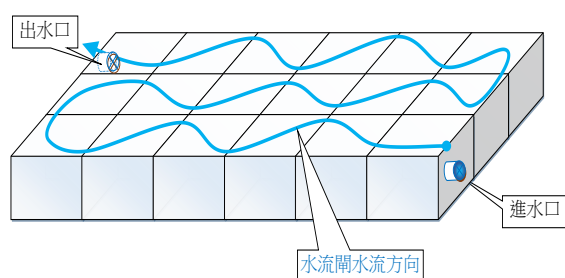
一、設計發想：

我們的永續綠能水質清淨機的設計發想先是光觸媒裝置的設計，包括載體選擇及塗佈方式，經日光照射 3 小時初步實驗證明降解亞甲藍液效果極佳(如圖五-a)。接著為光觸媒水流閘結構的設計(圖五-b)，主要是為了降低水流速，增加光觸媒反應時間，以提升水質淨化效能。最後為全天候潔能節能永續環保的設計(如圖五-c)。

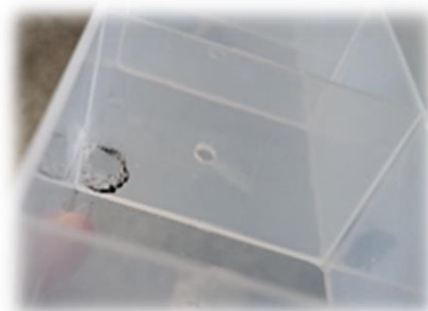


圖五-a 光觸媒單格亞甲藍液降解試驗(作者拍攝)

首先，我們發想的初心是嘗試將細小的二氧化鈦粉末使用各種黏著劑塗佈黏著在玻璃片。經由多次的反覆測試各種黏著劑(保麗龍膠、熱熔膠、水性填縫膠、中性透明矽利康)，最後選擇具有高黏著力防水對環境無害又方便操作的的中性透明矽利康作為黏著劑。使用矽利康塗佈並黏著二氧化鈦粉末的玻璃片放入裝盛含有含氮廢物的水族箱，經過日光的曝曬，來降解含氮廢物(氨、硝酸、亞硝酸)以及磷酸鹽等化合物。



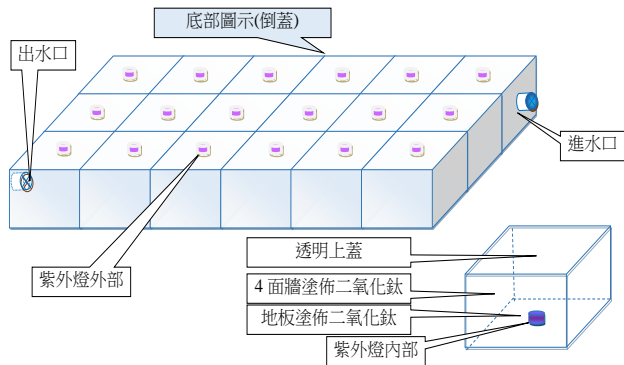
圖五-b設計孔洞控制流向，增加接觸光觸媒(作者自製)



(作者拍攝)

接著我們嘗試設計光觸媒水流閘結構讓水緩慢的流過以增加二氧化鈦與水接觸的面積，並降低水流速度增加二氧化鈦與水接觸的時間，來提升水質淨化效能(如圖五-b)。為了製作加工方便我們選擇具有許多小型方格 PP 材質的塑膠盒，並將其相鄰的方格依次打

通形成只有唯一的 S 形迷宮通道貫穿每一格。當污水以水泵從左上角的格子送進光觸媒水流閘通過無數的格子，與每個格子內側塗佈的二氧化鈦接觸以進行含氮廢物的降解，最後通過了所有的格子並由右下角排出光觸媒水流閘。經過日光的曝曬，可有提升降解含氮廢物(氨、硝酸、亞硝酸)以及磷酸鹽等化合物的效能。

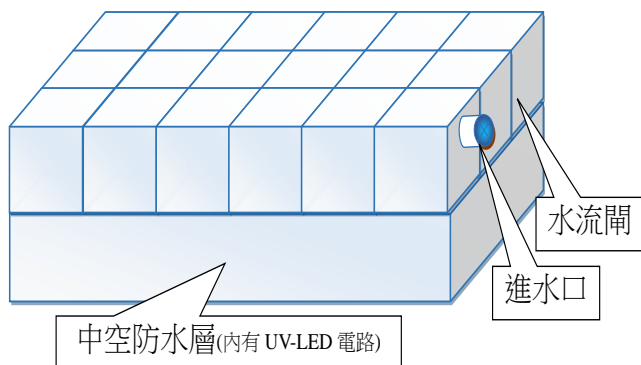


圖五-c(作者自製)

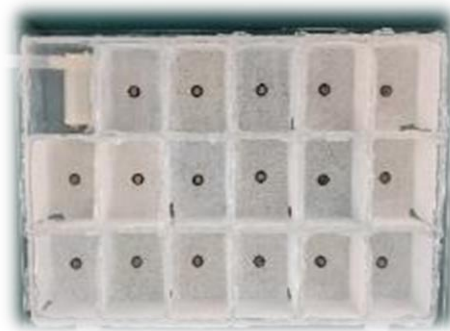


(作者拍攝)

最後我們設計加上紫外線 LED 燈照射二氧化鈦光觸媒讓裝置在夜間或陰暗日的低光環境能全天候的除污，加上太陽能板以及儲電行動電源，能將太陽能儲存為電能以供應水泵及紫外線 LED 使用，讓清淨機不只能淨化環境更是完全使用潔淨的太陽能(如圖五-c)。除此之外為了節省能源消耗，於日光充足的時候能透過光敏電阻的感應控制將紫外線 LED 燈關掉，僅由陽光照射二氧化鈦光觸媒；於無太陽的夜間或陰暗日才啟動紫外線 LED 燈，以達成節能永續的運作。



圖五-d中空防水層保護電路，並提供浮力 (作者自製)



(作者拍攝)

二、組裝水質清淨機本體：

1. 取出有 18 個小型方格 PP 材質的塑膠盒，並將其每一格底部正中央鑽一直徑 5mm 的圓洞(圖五-1.1)，作為安裝紫外線 LED 用。相鄰的方格依次打通形成只有唯一的 S 形迷宮通道貫穿每一格(圖五-1.2)，作為降解汗水的流動路徑。
2. 將口罩不織布取下共 18 片備用，並依塑膠盒格子做成無蓋長方體十字形展開圖範圍塗佈中性矽利康，並且快速均勻地撒上二氧化鈦粉末(圖五-2)，靜置放乾使其確實黏附。



圖五-1.1(作者拍攝)



圖五-1.2(作者拍攝)



圖五-2(作者拍攝)



圖五-3(作者拍攝)

3. 將已塗佈二氧化鈦粉末的十字形展開圖正中央剪出一直徑 5mm 圓洞(圖五-3)，
4. 並依各格控制水流的小孔位置剪出一洞(圖五-4)，等待塗膠貼附於格中。
5. 將已塗佈二氧化鈦粉末的十字形展開圖翻至背面，均勻塗上中性矽利康薄層(圖五-5)。
6. 並將其固定到塑膠盒格子中，並確實壓實黏牢(圖五-6)。



圖五-4(作者拍攝)



圖五-5(作者拍攝)



圖五-6(作者拍攝)



圖五-7(作者拍攝)

7. 將 LED 固定座安裝至中央預留的圓洞(圖五-7)，並用中性矽利康確實黏牢達防水程度。
8. 將 LED 依照相同的接腳極性方向固定於中央 LED 固定座中(圖五-8)，以便後續連接線路。
9. 將 LED 以並聯接線(圖五-9.1)、此次運用母頭端子座並用壓接端子頭方便固定(圖五-9.2)，並為方便以後維修 LED 進行更換時只需拔除更新，無須動用焊接。



圖五-8(作者拍攝)



圖五-9.1(作者拍攝)



圖五-9.2(作者拍攝)

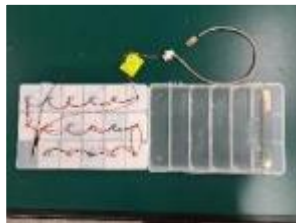


圖五-10(作者拍攝)

10. 電路確認無誤後串聯一 680 歐姆電阻接至 5 伏特 USB 行動電源檢測(圖五-10)。
11. 將最左上角預留空間以電鑽鑽一洞作為出水口，並將抽水馬達安裝於格中(圖五-11)，推送降解後的水排出 S 形降解路徑。
12. 若線路無誤 LED 可以確實點亮(圖五-12)，便可將防水底蓋以 AB 膠固定，並用中性透明矽利康塗佈接縫處，務必確實達成防水。



圖五-11(作者拍攝)



圖五-12(作者拍攝)

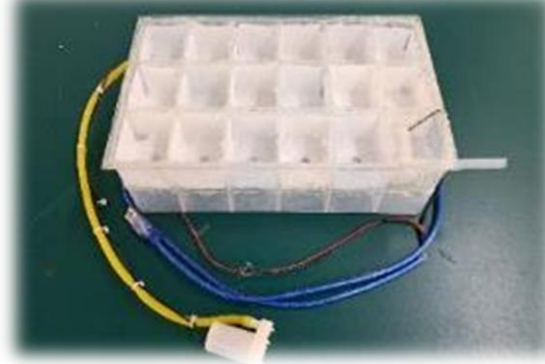


圖五-13(作者拍攝)



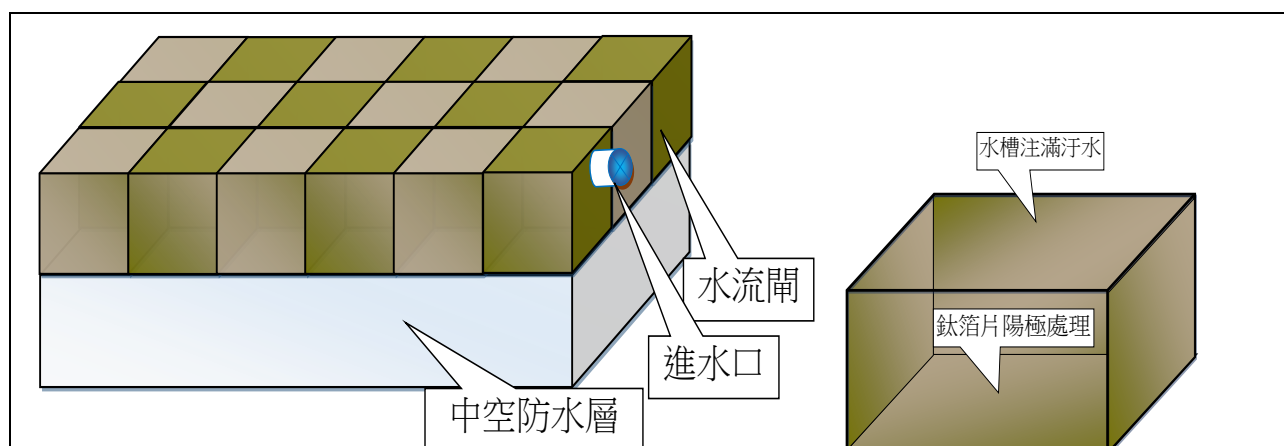
圖五-14(作者拍攝)

13. 最後裝上壓克力上蓋，並以 AB 膠進行 18 格水路上蓋密封(圖五-13)，使得水流能依照規畫的 S 形降解路徑流動，增加與光觸媒接觸的機會和時間。
14. 在右下角的格子上以電鑽鑽出一進水口，以橡膠軟管接上一沉水馬達做為汙水的進水口的推動馬達 (圖五-14)
15. 將兩個沉水的電源並聯後，接上電源線，也將 LED 線路接上另一條電源線，如此便裝置完成。之後便可以依需要啟動工作。(圖五-15)



圖五-15 完成圖(作者拍攝)

實驗六、第二代水質清淨機(鈦片陽極處理)



圖六-1 (作者自製)

圖六-2 (作者自製)

為了改善降解效率以及排除經久黏附膠體老化二氧化鈦粉末脫落的隱憂，於是我們便想運用陽極處理於鈦箔片表面生成不易脫落的二氧化鈦管，製作時使用硫酸作為電解液的濃度通常在 0.5 M 到 2.0 M 之間。具體的濃度選擇會影響奈米二氧化鈦管的結構、直徑和長度。硫酸濃度的影響。低濃度 (0.5 M) 會生成較細的奈米管，且生長速率較慢。生成的氧化膜較厚，需要較長的陽極處理時間。中等濃度 (1.0 M) 是一個較常用的濃度，可以在合理的時間內產生適中的奈米管直徑和長度。這個濃度通常能夠平衡生長速率和奈米管的結構品質。高濃度 (1.5 M 到 2.0 M)：可能會導致較快的生長速率，但也可能增加奈米管的缺陷或不均勻性。生成的奈米管直徑可能會變大，且結構可能不如中等濃度時的奈米管穩定。

關於陽極處理條件，其電流密度通常設置在 10 mA/cm^2 到 50 mA/cm^2 之間。最佳生長二氧化鈦奈米管的電壓與電流，奈米管的生長與電壓有關，而電流太大則無法長較佳的二氧化鈦奈米管，因此我們利用每兩秒向上調 1 伏特，保持電流大小，直到穩定後，電壓加到 50 V ，以生成最佳的二氧化鈦奈米管。處理的時間根據所需的奈米管特性，可在 1 小時到數小時之間。在進行陽極處理時，務必保持良好的通風，並採取適當的安全措施，因為硫酸是一種強腐蝕性化學品。完成陽極處理後，需使對奈米二氧化鈦管進行後處理，對奈米二氧化鈦管進行熱處理，以提高其結構的穩定性和性能，並使其晶相轉變為更穩定的相（如金紅石相或銳鈦礦相）。

二、組裝第二代水質清淨機：

1. 依塑膠盒格子做成無蓋長方體十字形展開圖裁切鈦箔片(圖六-1)，並將其摺疊成立體圖形以減少長寬所佔空間。
2. 調配 0.5M 硫酸電解液(圖六-2)。
3. 取用丙酮將鈦箔片清洗(圖六-3a)，再用清水清洗一次(圖六-3b)。



圖六-1(作者拍攝)



圖六-2(作者拍攝)



圖六-3a(作者拍攝)



圖六-3b(作者拍攝)

4. 以直流電 50V 進行鈦箔片陽極氧化處理，時間 2 小時(圖六-4)。
5. 陽極處理完成後以清水處理後經由 450 度 C 高溫熱處理，其後室溫冷卻備用。
6. 配置 3ppm 亞硝酸鈉水溶液，做光觸媒降解實驗 (圖六-6)。



圖六-4(作者拍攝)



圖六-5(作者拍攝)



圖六-6(作者拍攝)



圖六-7(作者拍攝)

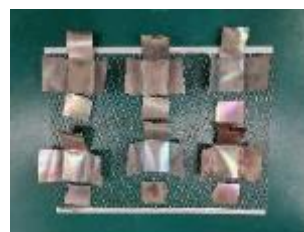
7. 以自製紫外線照射箱進行照射講解 2 小時，驗證鈦箔片陽極處理降解能力(圖 7)，確實可以有效降解。
8. 重複第 4 第5.步驟(圖六-8a)，製備 18 份，逐一完成鈦箔片陽極處理程序(圖六-8b)。



圖六-8a(作者拍攝)



圖六-8b(作者拍攝)



圖六-9(作者拍攝)

9. 鈦箔片陽極處理後，以 450 度 C 進行高溫熱處理(圖六-9)。其後室溫冷卻備用。

10. 將陽極處理後的十字形展開圖修剪，背面均勻塗上中性矽利康薄層(圖六-10)。仔細瓶貼於 PP 塑膠殼內部。
11. 若線路無誤 LED 可以確實點亮(圖六-11)，便可將防水底蓋以 AB 膠固定，並用中性透明矽利康塗佈接縫處，務必確實達成防水。



圖六-10(作者拍攝)

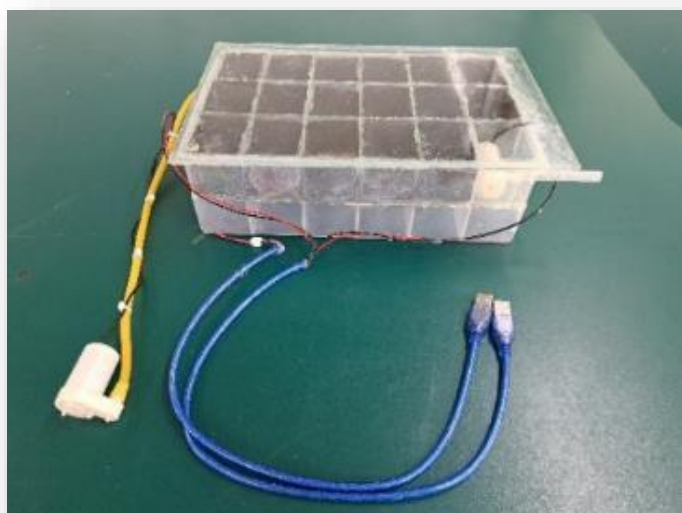


圖六-11(作者拍攝)



圖六-12(作者拍攝)

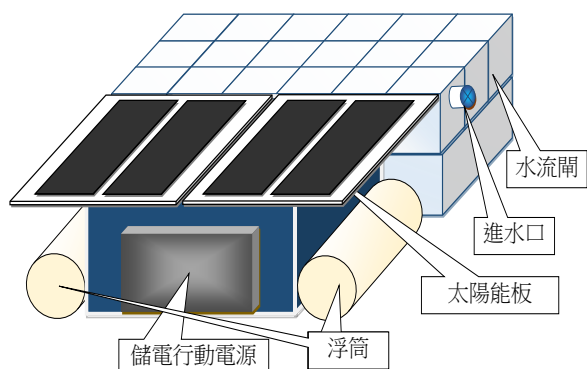
12. 最後裝上壓克力上蓋，並以 AB 膠進行 18 格水路上蓋密封(圖六-12)，使得水流能依照規畫的 S 形降解路徑流動，增加與光觸媒接觸的機會和時間。
13. 在右下角的格子上打出一進水口，以橡膠軟管接上一沉水馬達做為污水的進水口的推動馬達 (圖六-13)。將兩個沉水的電源並聯後，接上電源線，也將 LED 線路接上另一條電源線，如此便裝置完成。之後便可以依需要啟動工作。



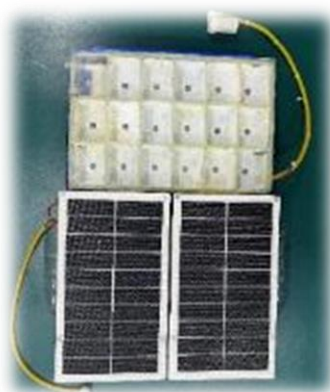
圖六-13 完成圖(作者拍攝)

實驗七、整合自動檢測、水質清淨及太陽能

我們整合自動化水質檢測儀控制光觸媒水質清淨機並使用太陽能供電：



圖七-1



(作者拍攝)

首先我們將清淨機放置於戶外生態池或養殖池的水面上，太陽能板會將太陽能轉換成電力儲存於行動電源，如圖七-1。當偵測到水質惡化水泵會以行動電源所儲存的電力驅動，讓水緩慢的流過水流閘。當污水以水泵從左上角的格子送進光觸媒水流閘通過無數的格子，水流通道貫穿每一格與內側塗佈的二氧化鈦接觸以進行含氮廢物的降解，最後由右下角排出光觸媒水流閘。陽光照射在光觸媒水流閘結構，經過日光的曝曬，便會高效率地降解含氮廢物及磷酸鹽等化合物。在夜間或陰暗日的低光環境，會利用光敏電阻控制啟動紫外線 LED 燈照射二氧化鈦光觸媒讓裝置進行除污。除此之外為了節省能源消耗，可於日光充足的時候透過光敏電阻的感應控制將紫外線 LED 燈關掉，僅由陽光照射二氧化鈦光觸媒；於無太陽的夜間或陰暗日才啟動紫外線 LED 燈。

二、整合測試與結果

以水槽測試機組穩定性十分優異，配製 5ppm 亞硝酸鹽水溶液 5 公升，水質檢測儀可偵測出超標，>3ppm，啟動水質清淨機配合日照可於 30 分鐘內快速降解恢復 0.5ppm 水準，3 小時可完全降解至未偵測出汙染。



圖七-2 (作者拍攝)

伍、討論與結論

- 一、 本研究水質檢測儀主要是使用 RGB 顏色感測器，偵測檢測藥水細微顏色變化，能準確及提早檢出水質汙染，並啟動水質清淨機淨化水質，節省人力物力。
- 二、 本研究水質清淨機主要是使用二氧化鈦光觸媒來淨化水質，去除含氮廢物及磷酸鹽等污染物、能方便又有效地降低汙染改善水質，改善水生環境。
- 三、 機體使用對環境十分友善的低汙染可回收材料減少對環境的衝擊。能大量推廣使用將對中小型水體有很大的幫助，可有效減少優養化並降低水質的毒性，大幅改善水生生物的生存環境。不但環保節能更能節省養殖成本，解決水產養殖的困境。
- 四、 本作品的構成主要由方格盒(水流閘)、防水太陽能軟板、高亮度紫外線 LED 燈、水泵、儲電行動電源、二氧化鈦塗佈(矽利康膠+不織布)。製作原料方便取得，組裝的工序可再優化改進，成效上可達到環保、節能等永續理念，值得大力推廣。



圖八-1 永續節能自動化水質檢測淨化示意圖(作者自製)

陸、未來展望

1. 希望更加掌握二氧化鈦奈米管的製作技術，或是新的材料製程，提升水質改善的效果。
下一步希望能加入 AI 功能自行學習判斷提供提早預警。
2. 未來若能找到更便宜，且適用可見光波的光觸媒材料，便無須再用紫外光，如此對生物的影響及對環境衝擊會更小。
3. 本作品的構成製作原料方便取得，組裝的工序可再優化改進，成效上可達到環保、節能等永續理念，希望能夠推廣普及。

柒、參考資料

- 一、家家有污水槽，溪水環境更美好－開發智慧型家庭污水處理槽系統設計之研究 第 58 屆全國科展 生活應用科學(一)科 臺中市立溪南國民中學 林俐妤，劉慧真，廖佳琳。
<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/58/pdf/NPHSF2018-032814.pdf>
- 二、回收式·自製光觸媒廢水脫色大作戰 第 60 屆全國科展 生活應用科學(二)科 台南私立瀛海高中國中部 鄭伊宸，郭哲瑋，隋以安。
<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/60/pdf/NPHSF2020-032919.pdf>
- 三、「陽極」變魔術，「鈦」舊換新 --以陽極處理法探討 TiO₂ 奈米管最佳形成與應用
第 57 屆全國科展 工程學科(二)科 高雄市立高雄女子高級中學 林品汝。
<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/57/pdf/052406.pdf>
- 四、永續綠能水質清淨機 2024 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】張睿恩，莊雅煊，陳冠好，周哲瑋。
- 五、超圖解 Arduino 互動設計入門 趙英傑 旗標出版社

【評語】 032808

這項水質檢測太陽能驅動光催化水質清淨機的研究展現了良好的構想與整合能力，結合自動檢測、光觸媒淨化技術，從概念發想到實際成型的完整開發。研究兼具環保永續理念與實用價值，整體構想完整且具應用潛力。不過實務面略有不足，建議未來可加強實驗的重複性驗證，並評估環境因素與 RGB 感測濃度的限制，若能進行長期實地測試，定量說明水淨化的能力與處理量，將使研究更具說服力。

作品海報

問君哪得清如許~

探討永續節能 自動化水質檢測及淨化的可能性

壹、研究動機

居家常見的觀賞水族箱、校園的生態池和西海岸的水產養殖池，都可能面臨水質污染的問題。查詢文獻發現，以光觸媒為訴求的空氣清淨機早有市售機種出現，於是我們想由生態池的水質的監測與改善開始，試著研發開發一套整合「即時檢測-自動啟動-光觸媒淨化」的太陽能驅動水質清淨機。在白天有源源不絕的紫外線，在夜晚或多雲時我們還可以啟動紫外線 LED 驅動光觸媒加強淨化水質，並且配合自動化準確的檢測，以一條龍的方式監測並改善水質。為了更環保節能，我們也將太陽能轉換成電能儲存並利用，達成循環經濟的目標。

貳、研究目的

- 一、研究設計自動化顏色偵測水質檢測儀
- 二、研究改進二氧化鈦光觸媒水質清淨機
- 三、整合永續節能自動化水質檢測及淨化

背景知識



圖 A1.公園生態池水質汙染

一、各種大小水域水質汙染問題紛雜急需有效改善：水中生物的排泄物或過多的餌料，就會造成含氮廢物(氨、硝酸、亞硝酸)的水質污染，生物體中毒，並導致溶氧量下降。家庭廢水排放含磷酸鹽會造成優養化使水體中藻類過量滋生，更讓溶氧量下降。小的水體雖可換水改善或持續添加微生物製劑，大的水域則只能仰賴高耗電的水車，急需有效改善。

二、永續節能應用太陽能及自動化實時監控：據調查水產養殖業為了改善大量耗能的水車以及達成綠能的目標，也開始了太陽能魚電共生的綠能產業，除了可提供乾淨能源以驅動水車，也可將多餘電能儲存利用。隨著科技進步，雖然許多檢測已經可以使用自動化儀器進行，但建置設備都頗為昂貴。我們嘗試設計與製作能「永續節能自動水質檢測清淨機」，期待能提早檢出並且改善不同水域遭遇的污染問題。



圖 A2. Arduino 相容

三、Arduino 相容微電腦自動監控及物聯網應用：Arduino 有各種大小的控制板價格便宜，適合各種小額預算專案。擴展性高可搭配多樣的擴展板、傳感器及驅動來擴展功能，方便快速開發原型，在物聯網與無線通信的整合上支持多種無線通信協議（如 Wi-Fi、藍牙、LoRa 等），方便與其他設備和雲端服務連接，提供良好的解決方案。

四、二氧化鈦（TiO₂）光觸媒：光觸媒是一種利用光照下的光催化反應來進行空氣或水質淨化的技術。二氧化鈦（TiO₂）為一種常見的光觸媒催化劑，當紫外光照射時，它會產生一個稱為光生電子-電洞對 的反應。當這些有害物質接觸到光觸媒表面時，會與它們進行氧化還原反應，將它們轉化為無害或毒性較弱的物質。創新的光觸媒水質清淨機可利用特殊水流閘設計能減緩水速，增加反應作用的時間，達成高效清除污染。不僅能於水中持續運轉，也能利用儲電裝置儲存電能有效利用，且降解污染源目標，防止優養化的發生一舉多得。

五、研究系統流程圖：



參、研究設備及器材

- 1.PC with Windows11 2.WeMos D1 WiFi 開發版 3.L293D 馬達驅動擴展板 4.TCS4725 RGB 顏色模組 5.紫外線 275nm LED
- 6.二氧化鈦 7.鈦箔片 8.太陽能板 9.行動電源 10.微型 6V 水泵 11.步進馬達 12.繼電器 13.塑膠針筒+水管 14.各式手工具

肆、研究過程及結果

實驗一、檢選適合用於開發檢測裝置之元件材料

1.電子元件部份：設計以 D1 控制板(圖 1.1)配合 L293D 馬達驅動擴展板(圖 1.2)，可控制 6V 微型氣泵抽取待檢測的水樣，及注入檢測藥水，經過 4 分鐘呈色所需的時間，啟動 TCS4725 RGB 顏色模組(圖 1.3)讀取 RGB 值經過運算，與檢量線所得的數值對照出 NO₂ 的濃度，若超標便啟動循環降解水泵及紫外線 LED 燈進行二氧化鈦光觸媒降解。並由太陽能板收集電能儲存於行動電源，再供應 D1 控制板控制抽水馬達推送水樣及測試劑藥水並驅動感測器、控制循環水泵和紫外線-LED。

2.化學材料部份：設計塗佈二氧化鈦粉末、鈦箔片為光觸媒水質淨化機的主要材料，希望設計製造出高效能的清淨機降解水中污染物。磷酸氫鈉、亞硝酸鈉等藥品主要用於模擬汙染水源，需調製各種不同汙染濃度 (ppm)供檢測驗證使用。



圖 1.1



圖 1.2



圖 1.3

實驗二、Arduino 控制 RGB 感測器讀值以建立檢量線

A、水質被亞甲藍液色素汙染建立 RGB 顏色讀值檢量線

1. 取出 0.1%亞甲藍水溶液
2. 配製 1.0，2.0，3.0，4.0，5.0ppm 亞甲藍水溶液，及純水，共 6 種不同濃度亞甲藍水溶液取出，分置於試管中備用。(圖 2A.1)
3. 使用 Arduino 控制 TCS34725 感測 RGB 顏色讀值並記錄。(圖 2A.2, 2A.3)



圖 2A.1



圖 2A.2



圖 2A.3

4. 將經由 Arduino 控制 TCS4725 感測 RGB 顏色讀值在 Excel 中製表分析，建立函數 $M(R,G,B)=1.2380-0.0090*R-0.0672*G+0.0698*B$ 及「預測濃度 vs 實際濃度」散點圖

濃度 顏色	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
R	218	164	117	62	40	1
G	211	182	172	169	167	114
B	214	192	191	199	203	164
總和	643	538	480	430	410	279
M(R,G,B)	0.03	0.94	1.96	3.21	3.83	5.02
顏色						

圖 2A.4

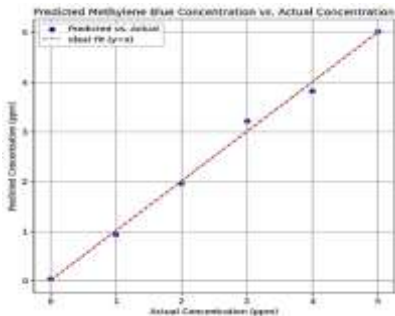


圖 2A.5

肆、研究過程及結果(續1)

實驗二、Arduino 控制 RGB 感測器讀值以建立檢量線

B、水質被亞硝酸鹽污染建立 RGB 顏色讀值檢量線

1. 配製 0.05，0.15，0.25，0.50，1.00，1.70，3.00 ppm 亞硝酸鈉水溶液，加上純水，共 8 種不同濃度亞硝酸水溶液取出，分置於試管中備用，依序將亞硝酸試劑 1 和 2(圖 2B.1) 滴入不同濃度亞硝酸水溶液試管中. 等待 4 分鐘呈色變化(圖 2B.2)
2. 依照色卡進行雙重確認，並使用 Arduino 控制 TCS4725 感測 RGB 顏色讀值並記錄(圖 2B.3)。在 Excel 中製表分析(圖 2B.4)



圖 2B.1



圖 2B.2



圖 2B.3

3. 建立函數 $N(R,G,B)=12.2904-0.0751*R+0.0035*G+0.0224*B$ 及「預測濃度 vs 實際濃度」散點圖 (圖 2B.5)

濃度	0.00	0.05	0.15	0.25	0.50	1.00	1.70	3.00
顏色								
R	249	234	228	218	210	200	180	164
G	247	212	181	135	106	83	70	67
B	245	211	189	175	165	146	127	121
總和	741	657	598	528	481	429	377	352
N(R,G,B)	0.00	0.08	0.13	0.31	0.59	0.83	1.86	2.92
顏色								

圖 2B.4

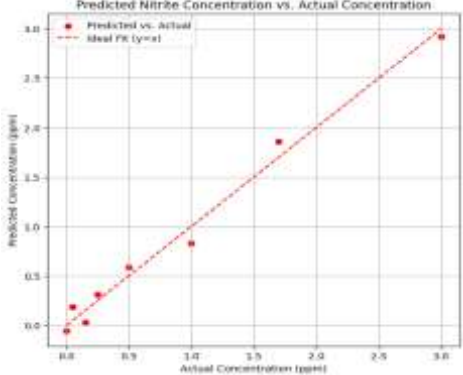


圖 2B.5

C、水質磷酸鹽污染建立 RGB 顏色讀值檢量線

1. 取出磷酸試劑及色卡
2. 配製 0.25，0.50，1.00，2.00，5.00，10.00 ppm 磷酸一鈉水溶液，共 7 種不同濃度磷酸鹽水溶液取出，分置於試管中備用，依序將磷酸試劑 1 和試劑 2(各 4 滴)滴入不同濃度磷酸水溶液試管中(圖 2C.1)
3. 等待 4 分鐘呈色變化，依照色卡雙重確認(圖 2C.2)，以 TCS34725 感測 RGB 顏色讀值並記錄在 Excel 中製表分析(圖 2C.3)。



圖 2C.1



圖 2C.2

4. 建立函數 $P(R,G,B)=15.0637+0.0638*R-0.1835*G+0.0456*B$ 及「預測濃度 vs 實際濃度」散點圖 (圖 2C.4)

濃度 (ppm)	0.00	0.25	0.50	1.00	2.00	5.00	10.0
顏色							
R	153	133	112	79	52	19	20
G	164	151	141	125	116	86	58
B	112	97	97	90	96	106	91
總和	741	657	598	528	481	429	377
P(R,G,B)	0.06	0.26	0.76	1.27	1.47	5.33	9.85
色卡對應							

圖 2C.3

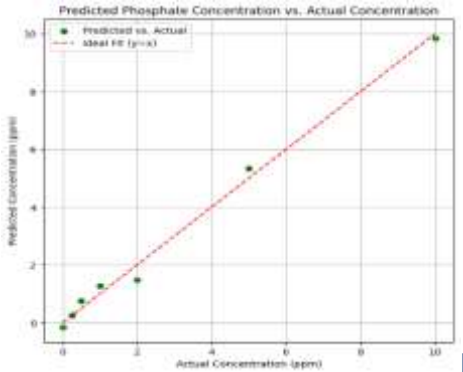


圖 2C.4

實驗三、水質檢測儀自動藥水混合呈色

使用樂高搭建模型。用 EV3 控制器操作 1 個 EV3 中型馬達，推動注射筒抽取水樣。接著控制 2 隻 EV3 大型馬達推送注射筒，分別將藥水注入反應筒，等待判定待檢水樣的亞硝酸濃度。



圖 3.1

分析與討論：

- 利用注射筒抽取水樣的時候，抽取量可以由程式精確的控制。
- 反應所需的等待時間也可以由程式控制。
- 樂高科技積木價格昂貴，不適合裝置於現場。
- 抽取水樣跟排出水樣應更改為一進一出可順利將實驗過後的廢水排出。藥水的推送不方便應再尋找替代方案。

我們用 Arduino D1 作為控制器，推送藥水也改成噴瓶。用步進馬達推動噴瓶的壓杆。經軟管注入反應筒。噴瓶的設計有內外兩瓶，方便於藥水使用完時，可以任意抽換內瓶，無需拆除外瓶。



圖 3-2

改由 Arduino 控制一顆抽水馬達可以將外部的水樣送進來。配合反應筒有兩個出水孔一進一出，當新的水樣進來的時候，便可將舊的排除。也可以經由推送一段時間清洗反應筒。

分析與討論：

- 特步進馬達的推動力不足，機械結構精細的控制力度不足。
- 噴瓶的體積較為龐大，應再尋找替代方案
- 抽水馬達的使用與控制精準方便，應該全改由抽水馬達來替代。

實驗四、水質檢測儀自動顏色檢知汙染濃度

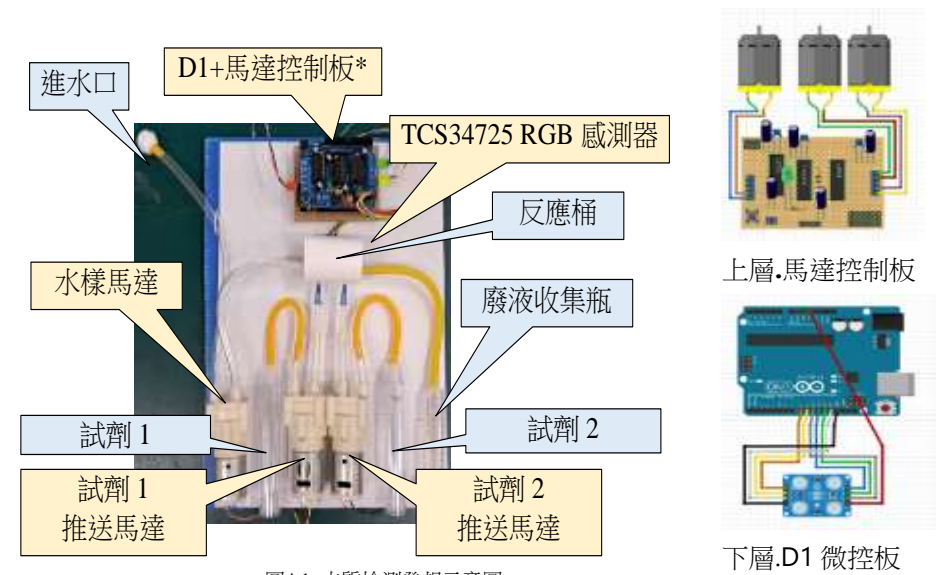


圖4.1 水質檢測發想示意圖

經討論改良決定整合以一個 **Arduino 控制器**加上一塊**馬達控制板驅動四個馬達**，來帶動三個**抽水馬達**。一個馬達抽取水樣的，兩個推送檢測藥水的馬達。反應筒有兩個接頭，一端進水另一端出水，**注射筒是透明的狀態，將 RGB 顏色感測器直接安裝貼附在筒壁上面，這樣我們就可以寫程式控制讀取反應筒裡面的顏色讀值，最後再經由已做好的檢量線的函數計算轉換濃度，超標則控制啟動淨水裝置。**

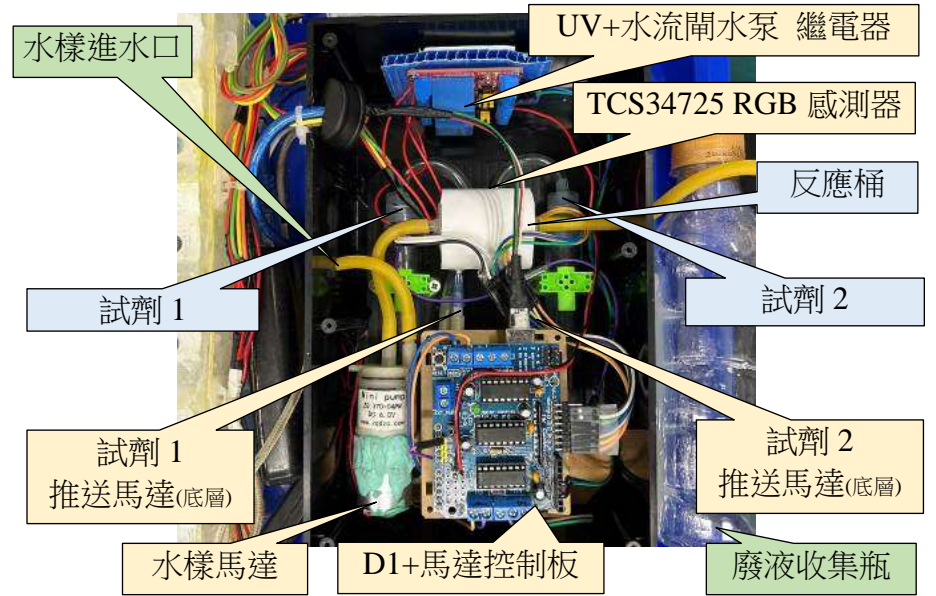


圖4.2 水質檢測示意圖

由於將裝置體積縮小許多元件疊在一起。**因為注射筒是透明的，所以 RGB 顏色感測器在讀值的時候會看到反應筒背後的顏色造成偏差。於是我們將反應筒的外側包覆一片白色的背板，這樣可以擋掉背景顏色。**反應筒連接到抽水馬達。這一側是將水樣送進反應筒的，反應筒的下方這一側有另外一條管子直接連到檢測器的外部，可以將廢水排出。接著可以看到反應筒右側有兩顆繼電器是分別控制水質清淨機的**循環馬達**以及**紫外線 LED** 的。

▼程式碼(部分) 圖 4-3

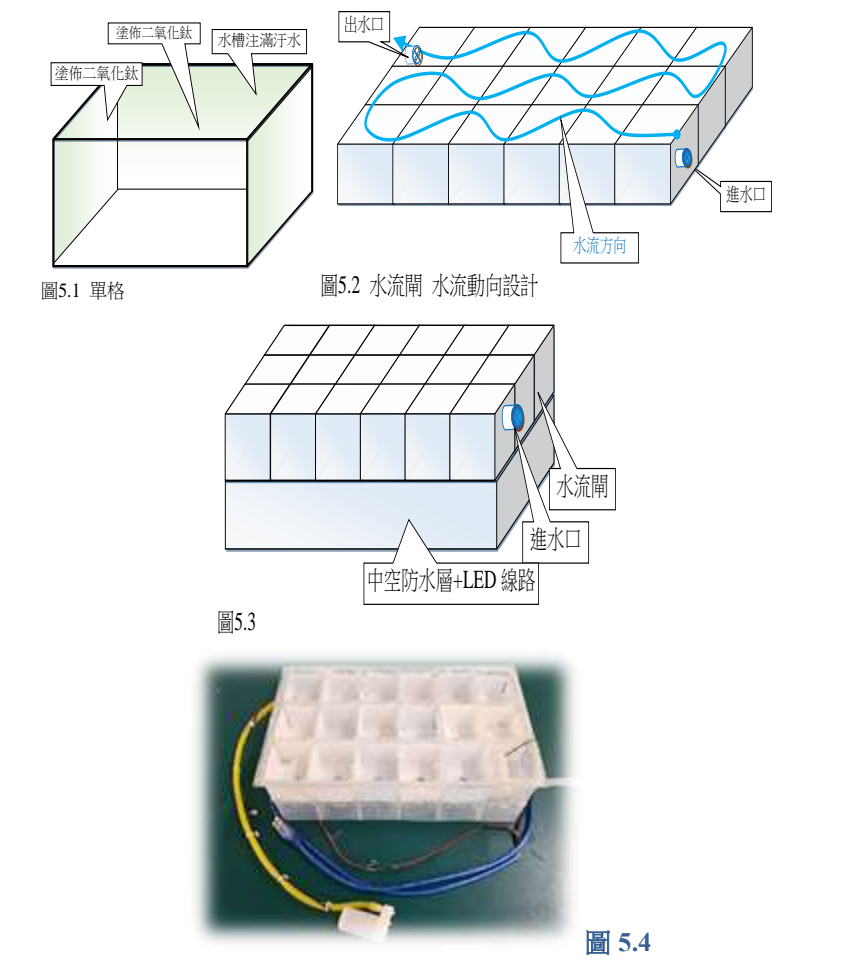
```
void setup(){ //初始設定
  Serial.begin(9600); // 設定串列傳輸速率 9600bps
  if (tcs.begin()) { // 確認 TCS34725 工作狀態
    Serial.println("TCS34725 工作中...");
  } else {
    Serial.println("未連接 TCS34725, 等待檢查接線...");
    while (1); //暫停等待
  }
  Serial.println("啟動水質檢測程序>>>");
  //硬體接腳宣告
  pinMode(readBTN, INPUT); //啟動檢測按鈕輸入
  pinMode(UV, OUTPUT);
  pinMode(PUMP, OUTPUT);
  digitalWrite(PUMP, LOW); //水泵初始值為關
  digitalWrite(UV, LOW); //紫外線初始值為關
}

void loop() {
  char* result = ""; // 設定 NO2-濃度儲存字串初值
  // <檢查是否按下讀值按鈕>
  if( digitalRead(readBTN) == LOW ) {
    delay( 60 ); //當按下按鈕等待 60ms 防彈跳, 再確認
    if( digitalRead(readBTN) == LOW ) {
      reading_fg = 1; // fg=1, 啟動讀值
      Serial.println("readBTN Pressed");
    } else {
      reading_fg = 0; // fg=0, 停止讀值
    }
  }
  if( reading_fg == 1 ){ // <啟動水質檢測讀值>
    reading_fg = 0;
    water_test(); //水質檢測
    color_detect(); //藥水顏色檢知
    Serial.print(" R 值: ",red); //序列埠顯示 R,G,B 顏色輸出值
    Serial.print(" G 值: ",green);
    Serial.print(" B 值: ",blue);
    Serial.println();
    delay(300);
    result =12.2904-0.0751*red+0.0035*green+0.0224*blue;//計算 NO2 濃度
    Serial.print("NO2 濃度 (ppm): "); //序列埠顯示 NO2 濃度
    Serial.println(result);
    int level = NO2_level(); //對應汙染級別
    if (result >= 1){ //達等級 5 的 NO2 濃度=1.00ppm 啟動清淨機
      enUV = 1;
      enPUMP = 1;
    }
    relay_active(); //確認 水泵, 紫外燈 開關動作 }
  }
}
```

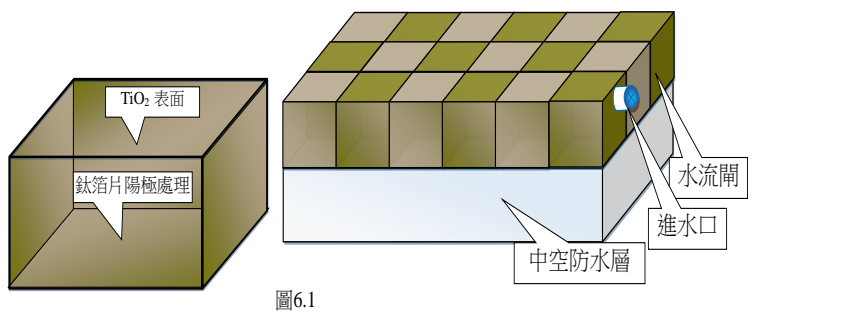

肆、研究過程及結果(續2)

實驗五、TiO2 粉末塗層水質清淨機

我們的永續綠能水質清淨機的設計發想先是光觸媒裝置的設計如圖 5.1，包括載體選擇及塗佈方式。接著為光觸媒水流閘結構的設計如圖 5.2，主要是為了降低水流速，增加光觸媒反應時間，以提升水質淨化效能。統整最為全天候節能永續環保的設計如圖 5.3、圖 5.4。



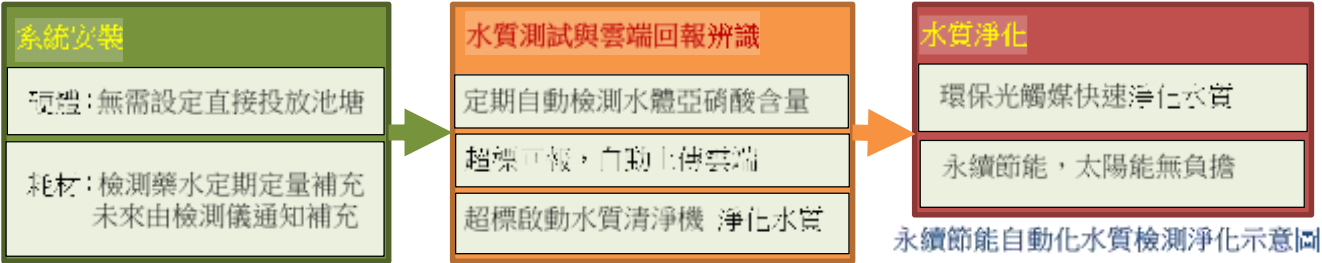
實驗六、鈦片陽極處理水質清淨機



為了改善降解效率以及排除黏附膠體老化二氧化鈦粉末脫落的隱憂，於是我們便想運用陽極處理於鈦箔片表面生成不易脫落的二氧化鈦管。其最主要的優點為二氧化鈦密鋪與鈦片表面比粉末黏附增加數倍作用面積，提升降解效率。

伍、結論

- 一、本研究水質檢測儀以 RGB 顏色感測器偵測試劑顏色變化檢出水質汙染，自動啟動水質清淨機，節省人力物力。
- 二、本研究使用二氧化鈦光觸媒來淨化水質，去除含氮廢物及磷酸鹽等污染物、改善水質汙染環保高效。
- 三、機體使用對環境十分友善的低汙染可回收材料減少對環境的衝擊。對中小型水體有很大的幫助，可有效減少優養化並降低水質的毒性，大幅改善水生生物的生存環境。不但環保節能更能節省養殖成本，解決養殖的困境。
- 四、本作品的構成主要由方格盒(水流閘)、防水太陽能板、水泵、紫外線 LED 燈、儲電行動電源、二氧化鈦塗佈(矽利康膠+不織布)。製作原料方便取得，成效上可達到環保、節能等永續理念，值得大力推廣。



本研究所有照片圖片皆由作者拍攝製作

陸、未來展望

- 1. 希望更加掌握鈦片陽極處理的製作技術，提升水質改善，並加入 AI 功能自行學習判斷提供提早預警。
- 2. 若能找到更便宜，且適用可見光波的光觸媒材料，少用紫外光，對生物的影響及對環境衝擊會更小。
- 3. 希望能夠推廣普及：本作品製作原料方便取得，組裝工序可再優化，成效上可達到環保、節能等永續理念。
- 4. 此次研究的環保節能水質檢測及淨化裝置已組裝完成並測試的確可行，但礙於時間因素，數據正著手收集中，期待數據的收集完成，讓此裝置更有實用價值，得以改善水質上難以解決的諸多問題。

柒、參考資料

- 1. 家家有污水槽，溪水環境更美好－開發智慧型家庭污水處理槽系統設計之研究第 58 屆全國科展臺中市立溪南國民中學 林俐妤，劉慧真，廖佳琳。
- 2. 回收式・自製光觸媒廢水脫色大作戰 第 60 屆全國科展 生活應用科學(二)科 台南私立瀛海高中國中部 鄭伊宸，郭哲瑋，隋以安。
- 3. 「陽極」變魔術，「鈦」舊換新 --以陽極處理法探討 TiO2 奈米管最佳形成與應用
- 4. 第 57 屆全國科展 工程學科(二)科 高雄市立高雄女子高級中學 林品汝。
- 5. 永續綠能水質清淨機 2024 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】張睿恩，莊雅煊，陳冠好，周哲瑋。

實驗七、整合自動檢測、水質清淨及太陽能

整合太陽能自動化水質檢測儀控制光觸媒水質清淨機：

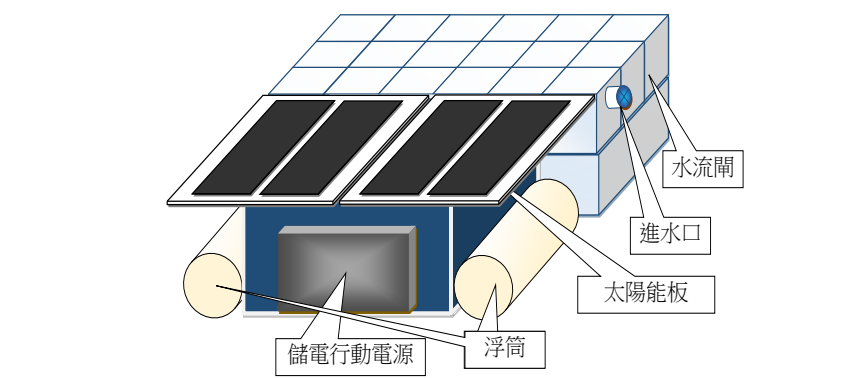


圖7.1

首先我們將清淨機放置於戶外生態池或養殖池水面上，太陽能板會將太陽能轉換成電力儲存於行動電源。當偵測到水質惡化，水泵會讓水緩慢的流過水流閘。當污水貫穿每一格與內側塗佈的二氧化鈦接觸以進行含氮廢物的降解，最後由對角排出。陽光照射在光觸媒水流閘結構，便會降解含氮廢物及磷酸鹽等化合物。在夜間或陰暗日的低光環境，亦可利用光敏電阻控制啟動紫外線 LED 讓裝置進行降解除污，此外為了節省能源消耗，於日光充足的時候能透過光敏電阻的感應控制將紫外線 LED 燈關掉，由陽光照射光觸媒即可。



圖 7.2

二、整合測試與結果

以水槽測試機組運作效能及穩定性，如圖 7.3，配製 5ppm 亞硝酸鹽水溶液 5 公升，水質檢測儀可偵測出超標，>3ppm，啟動水質清淨機配合日照可於 30 分鐘內快速降解恢復 0.5ppm 水準，2 小時可完全降解至未偵測出汙染。如圖 7.3



圖 7.3