

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生活與應用科學(二)科

(鄉土)教材獎

032914

“風起水湧” --- 綠能魚塭水車效能之研究

學校名稱：臺中市立居仁國民中學

作者： 國一 王玟珺 國一 張予曦	指導老師： 李敏瑜 蔡明致
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：垂直式風車、轉動慣量、阿基米德汲水器

摘要

全臺魚塢因全天候用電開啟的增氧機衍生非常大的費用，我們可以利用魚塢的水和風力製做綠能水車增氧機來節省電費。

本實驗主要製做打水曝氣系統，包括：八葉垂直型風車、阿基米德汲水器、垂直式阿基米德螺紋葉風車、水車，各個裝置之間可以有效地動力轉移。

以管長、噴水口寬度、輪軸比、長寬比等變因測量整個系統的噴水量及轉速，藉以評估一個有效的打水曝氣系統。

研究結果顯示：阿基米德汲水器的管長越長得到越高的灑水水柱，噴水口越寬得到水柱的水量越大，輪軸比及長寬比越大的風車能造成整個系統的轉速提升、噴水量變大，合力的結果使水車得以有效的打水曝氣。

我們成功製做出一個有效結合綠能(水力、風力)的打水曝氣系統。

壹、研究動機

臺灣西南沿岸養殖業盛行，因此出現極多不同深度的魚塢，需要有足夠的溶氧量，才能使產量提升，不至於在炎熱的夏天出現魚蝦大量死亡的新聞，所以用電量極高的增氧機就普遍大量使用在各式魚塢中。根據農委會統計，全臺一年魚塢的用電總量相當於台積電用電量的6成，以及全天候開啟的增氧機（高耗電、馬達維修），衍生非常大的費用（約佔總生產成本的2~4成），為了解決漁民的困擾及臺灣的用電危機，因此尋找一個節能的增氧機來達到「節約用電」的目標，就是我們刻不容緩的一件事，引發了我們找尋相關資料的念頭。不用電源的「綠能」結合水車是不是符合我們的需要呢？魚塢最多的東西是水及上面的風，我們是不是可以拿來運用呢？因此我們想利用風力及水力來克服水的阻力並有效推動水車。垂直式風車可以充分利用不定風向的強風來帶動水車，而阿基米德汲水器能汲取低處的水至高處形成具高位能的水柱衝擊水車，所以綠能水車增氧機就孕育而生了。



圖 1-1 成大先進動力系統研究中心
風力節能水車

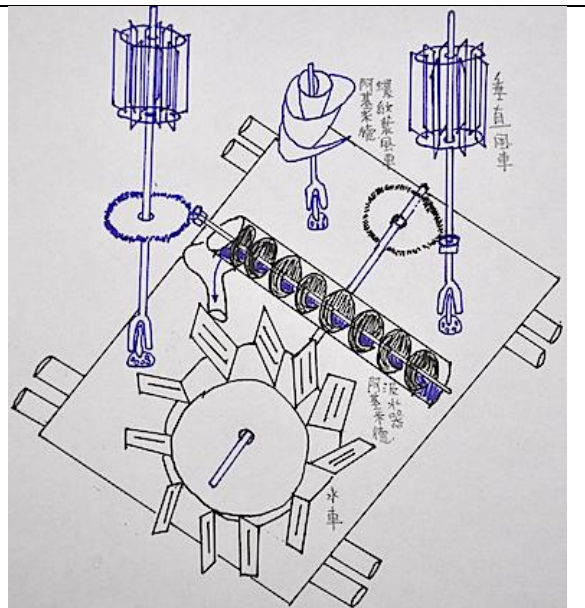




























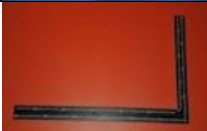
圖 1-2 綠能水車增氧機 發想圖

貳、研究目的

- 一、管長對於噴水式汲水器灑水高度的影響。
- 二、噴水口寬度對於噴水式汲水器灑水程度的影響。
- 三、垂直風車輪軸比對於噴水式汲水器灑水程度的影響。
- 四、垂直風車長寬比對於噴水式汲水器灑水程度的影響。

參、研究設備及器材

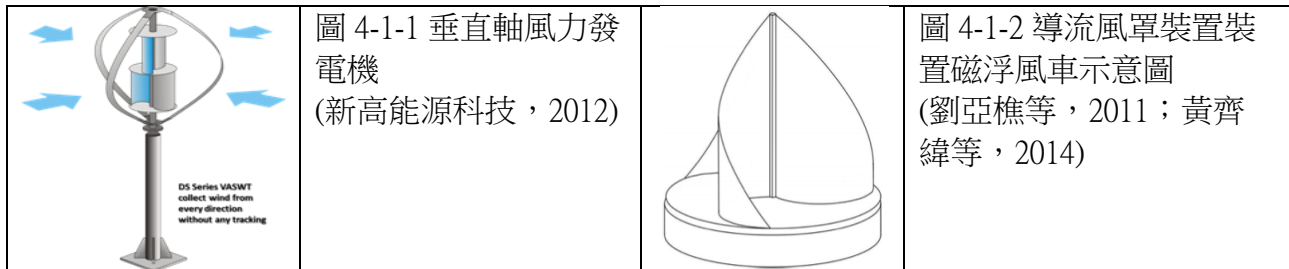
研究器材與規格	照片	研究器材與規格	照片
橘色 0.4 cm、白色 0.3 cm 厚度 瓦楞板		熱熔槍 & 熱熔膠	
WD-40 潤滑油		7 個立式軸承座	
寬度 30 cm 南亞保鮮膜二卷		鐵製束帶 8 個	
外徑 2.9 cm 南亞塑膠水管(66 cm、76 cm、88 cm 各一)		外徑 11.3 cm、120 cm 長水管 4 支	
外徑 0.8 cm 長 100 cm 螺絲軸四支		外徑 11.7 cm 白色蓋子	
小鐵盒 (3 個)		白、藍、紅 波浪板各一	
2.2 公升寶特瓶 (2 個)		各型長短角鋼 15、16、19、30、39、46、61、91cm	
65° 20 齒傘齒輪 (2 個)		45° 20 齒傘齒輪 (2 個)	
熱烘槍		電鑽	
板手(角鋼螺母) 板手(5/32 螺母)		1.5 mm & 2.5 mm 六角螺絲板手	
慢速切割機 (附切割鋸片)		18 吋工業用電風扇	

量杯(1200 cc)		量筒(100 cc)	
風速計		轉速計 (附銀色偵測帶)	
5 m 捲尺		黑色大型直角尺	

肆、研究過程或方法

一、重要名詞解釋

(一)直立式風車：垂直式風力發電機之轉動軸與風向成垂直。此型之優點為設計較簡單，因為不必隨風向改變而調整方向。可分為打蛋形轉子(Darrieus)和桶形轉子(Savonius)等。桶形轉子係採用阻力型 S 型葉片，葉片之轉動是藉作用於順風和逆風葉片部份之阻力差異。

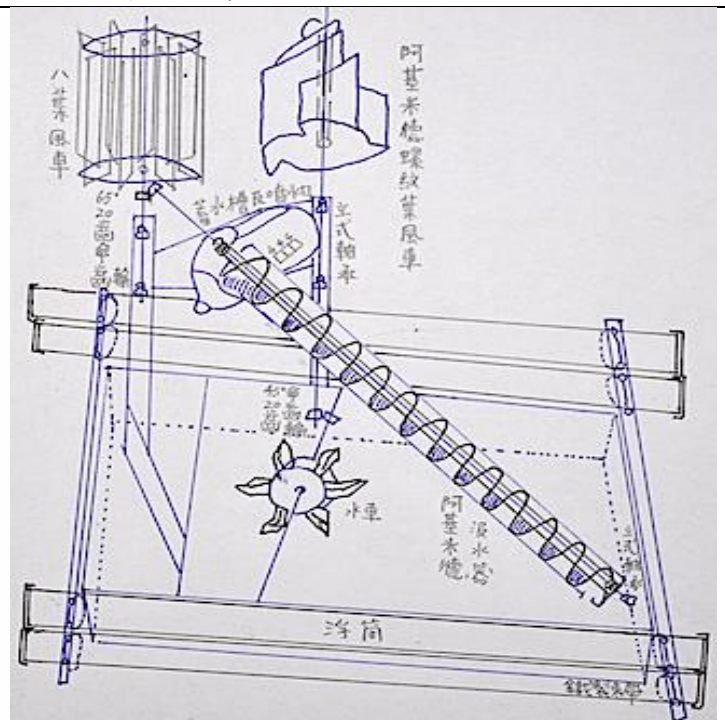


(二)阿基米德螺旋式抽水機 (Archimedes screw or screw pump)：是一種水幫浦，應用螺旋機制，藉著螺旋曲面繞著旋轉軸做旋轉運動，將水從低處傳輸至高處。根據陳琮仁等(2018)的研究，轉速 150 rpm 斜坡角度 30° 對出水量可達最大效率。



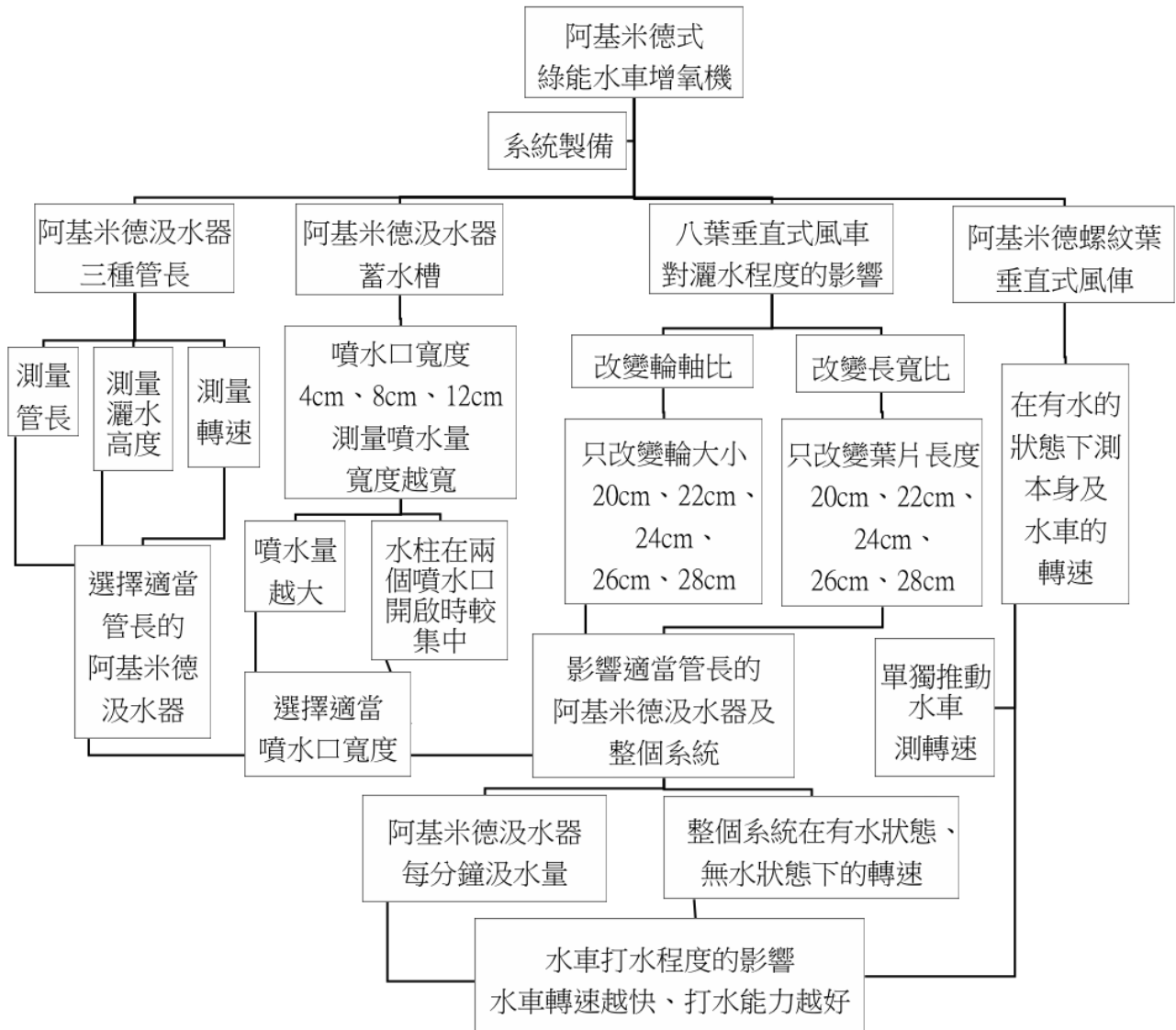
圖 4-1-2

阿基米德式「外螺旋」抽水機 (擷取自：環宇廣播電台，2016)，但因進水口徑較小，所以我們選用較大口徑的「內螺旋」汲水器來進行實驗。如右圖



阿基米德式綠能水車增氧機設計圖

二、實驗研究架構圖



三、研究步驟

(一) 綠能水車式增氧機設計流程

1. 傳統曝氣機的缺失：高電費、馬達維修、走在魚塭邊會勾到電線。2. 綠能困境：(1) 取代馬達需克服馬力不足的問題，因水阻力太大。(2) 單獨的風力恐不足以推動水車。(3) 使用抽水馬達抽水將水送至高處需用電。3. 綠能設計(1) 風：設計動能大的風車。包括：不定風向的垂直式螺旋葉風車、垂直式八葉輕量化風車。(2) 水：提高水的動能，將水提至高處(提高位能)：使用阿基米德汲水器透過傾斜而上的通道至水車頂部，直向衝擊水車。解釋：使用大管徑螺旋通道，汲水量大，增加與空氣接觸的面積，將足夠水量的水柱，儘量拉至最高，水柱下來時衝擊力量也大(動能大)，使水車易轉動。4. 水車設計：輕量化：湯匙狀的葉片(大面積)用以增加打水範圍及氣體進入水中的機會。

(二) 整個綠能打水曝氣系統的設計

1. 垂直式風車：分成兩個部分製作：上、下兩個圓形底板、八個長方形葉片，按改變輪軸比、長寬比的風車規格製作，共十個風車。圖 1-3

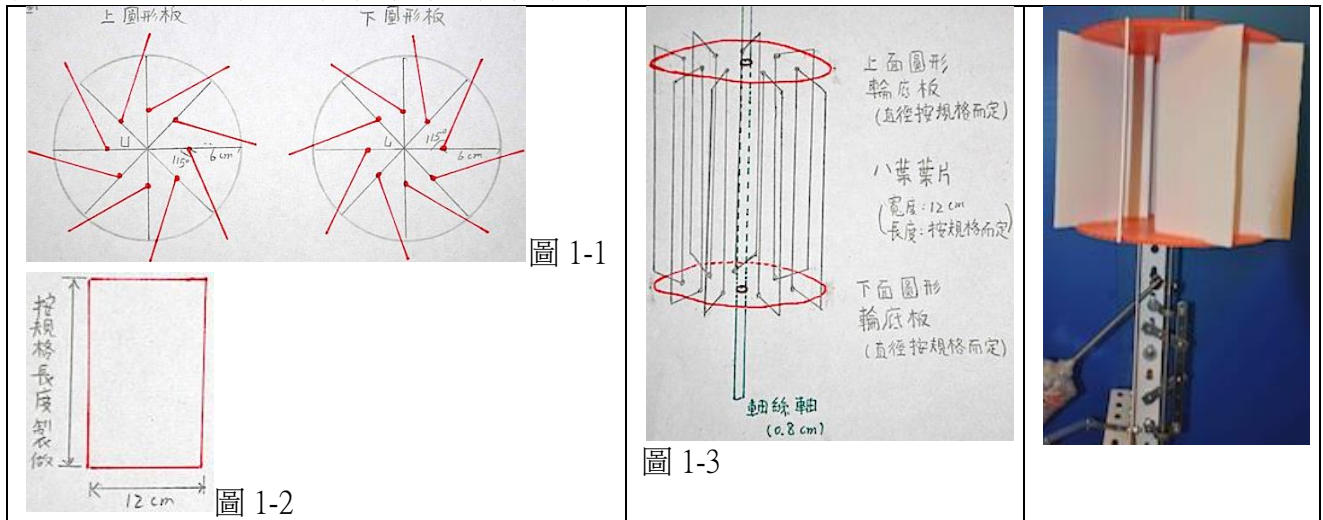
(1) 改變輪軸比 (風車的軸固定為 0.8 cm 螺絲軸)

輪 cm	20	22	24	26	28
長方形葉片 cm ²	12*24	12*24	12*24	12*24	12*24

(2)改變長寬比

輪 cm	20	20	20	20	20
長方形葉片 cm ²	12*20	12*22	12*24	12*26	12*28

(1)輪：上、下兩個圓形底板一樣大，使用橘色 0.4 cm 厚度的瓦楞板製作上、下兩個圓形輪底板，按圖 1-1 劃記，葉片 12 cm 的邊與四條直徑成 115° 與半徑交錯點距圓 6 cm，按規格製作上、下兩個圓形底板共十組。(2)長方形葉片：每一個風車八片共 10 組，寬邊都是 12 cm，長邊按規格製作，使用白色 0.3 cm 厚度的瓦楞板製作。(3)風車製作：按圖 1-3 製作，使用熱熔膠黏合。(4)八葉垂直式風車的位置：距支架左側 16 cm、垂直往上 62 cm 處頂端座標(16,74,62)；65° 20 齒傘齒輪放置在螺絲軸的座標(16,74,54)。兩個立式軸承放在螺絲軸上(用以固定風車軸)座標(16,74,50)；(16,74,32) 如圖 10。



2. 阿基米德汲水器：

(1) 阿基米德汲水器的製作方式：分成內螺旋葉片、外環、中軸三個部份製做。

(A) 內螺旋葉片：斜線部份切除，依直線切開(如圖 2-1)，並撐高 3 cm，使用熱烘槍烘軟並冷卻固定在 CD 成型固定座上。如圖 2-2，1 號黑邊接 2 號藍邊；2 號黑邊接 3 號藍邊；依此類推旋轉上(1 on 2；2 on 3；3 on 4；4 on 5...) (B) 外環：包裹在連接成型的內螺旋葉片組的外圍，使用保鮮膜包裹內螺旋葉片組 5 層；使用熱熔膠固定保鮮膜，要確保與內螺旋葉片外緣緊密結合，管內的水才不會因為重力而滲漏。(C) 阿基米德汲水器中軸製作：0.8 cm 螺絲軸(包裹 3 cm 水管)：兩端以兩個 2.3 cm 的墊片夾在上下兩個螺母間，剛好可以將螺絲軸卡在水管的正中央，熱熔膠將水管口與螺絲軸黏合固定，螺絲軸可以固定在水管中央成 3 cm 中軸。(圖 2-3)，三組阿基米德汲水器的中軸材料及長度。

水管	64 cm	76 cm	88 cm
螺絲軸	100 cm	100 cm	100 cm

另外螺絲軸底端(沒入水中端)有一「立式軸承」，鎖在 45° 的橫放角鋼上。如圖 2-6，而螺絲軸頂端有一 65° 20 齒傘齒輪連接垂直式風車底端 65° 20 齒傘齒輪。(圖 5-1)。矯正誤差的裝置：定位螺母，螺絲軸底端有一螺母剛好接觸立式軸承上端，因旋轉原因，有時螺絲軸會往上移動，以至於 65° 20 齒傘齒輪無法正常運作，此時可調整「定位螺母」，將螺絲軸導入正常位置。(圖 2-6)。

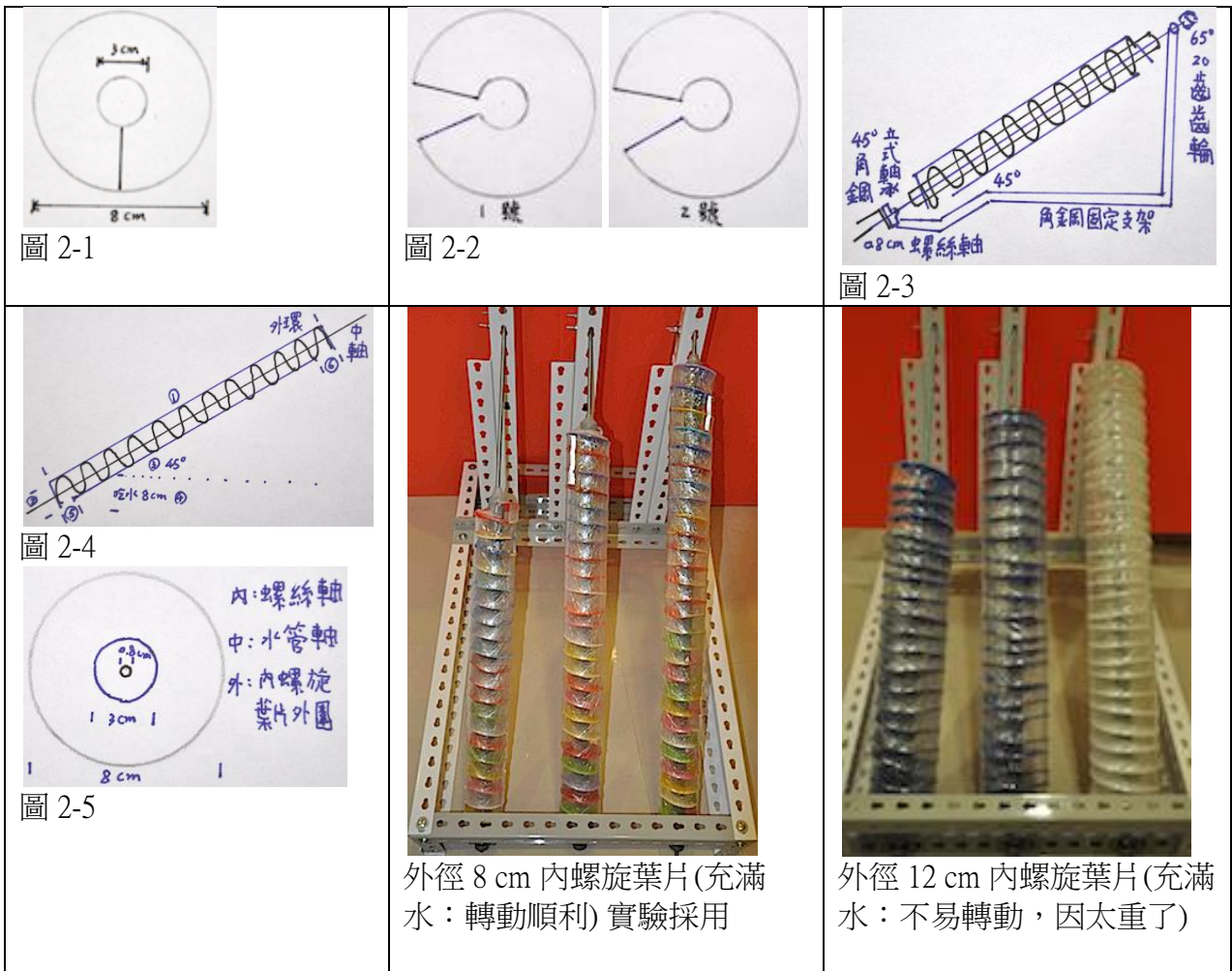
(2)阿基米德汲水器規格：如圖 2-4。管長：定義進水口至出水口的長度，設定為

管長 (cm)	61.1	73.5	83.6
內螺旋葉片數目 (個)	20	24	28

管徑(圖 2-5)的外圈是 8 cm 內螺旋葉片外徑；中軸的組成為水管軸(3 cm)包裹正中央螺絲軸(0.8 cm)，而阿基米德汲水器擺放的角度為 45°，其中進水口吃水的深度為 8 cm (每次加水

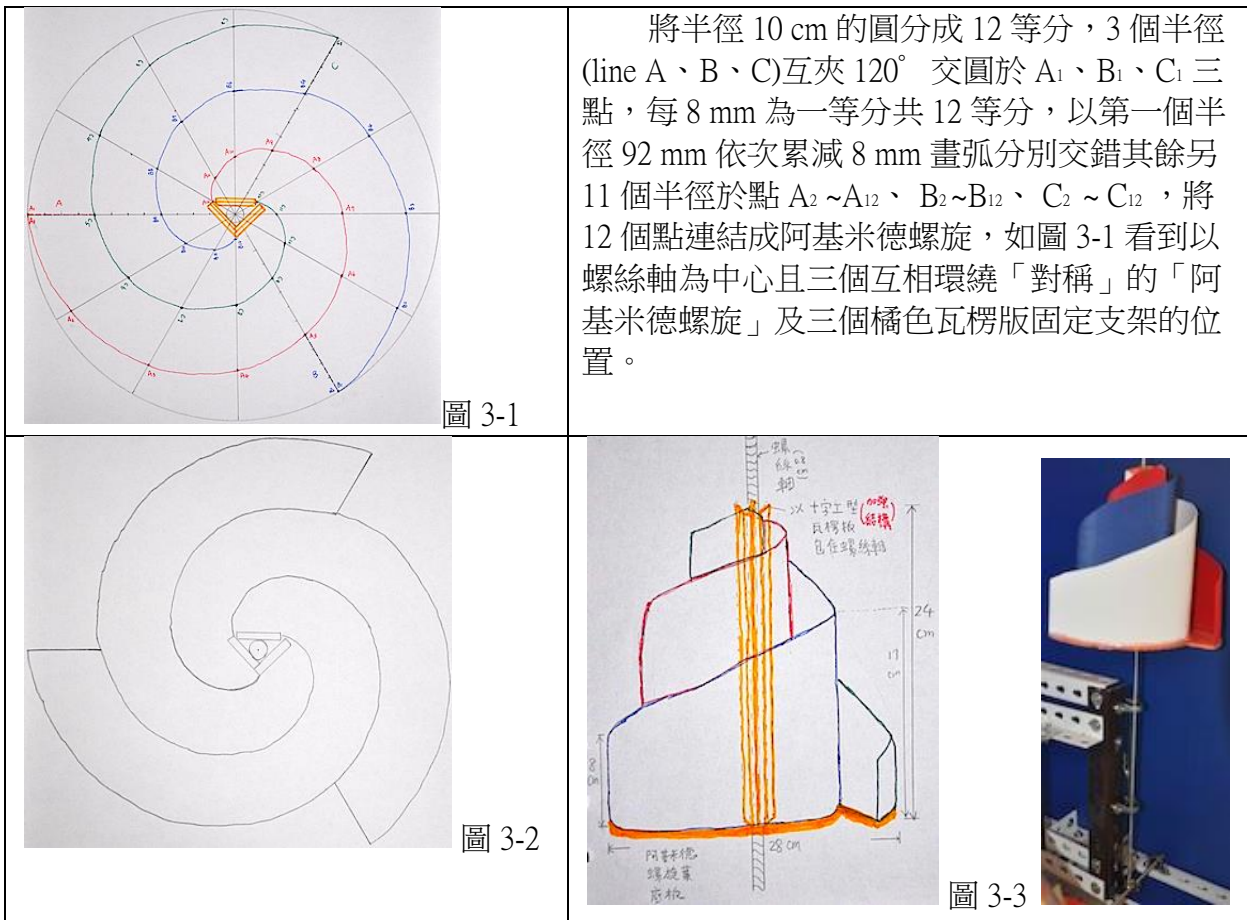
至測試水池內時，加到的水平高度)，另外進水口寬度設定為 3 cm，出水口寬度設定為 3 cm。

(3) 阿基米德汲水器放置的位置：如圖 10；阿基米德汲水器螺絲軸底端置放距左側 16 cm、垂直往下 15 cm 座標(16,0,-15)；螺絲軸頂端(16,73,54)；螺絲軸穿過角鋼的位置 (16,71,52)。



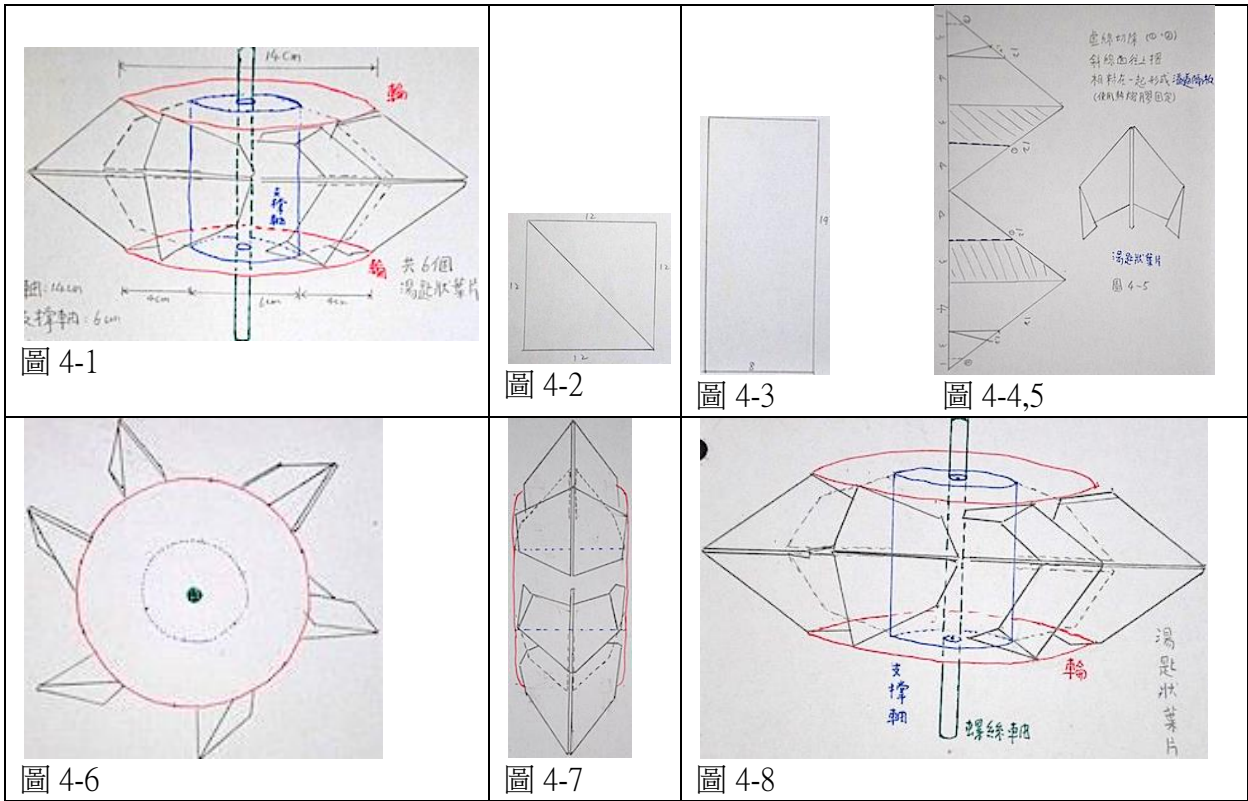
3. 阿基米德螺紋葉風車：(1) 製作過程分為底板、支架、螺旋葉片三個部分。底板(阿基米德螺旋底板)由三股阿基米德螺旋互相對稱於中心軸環繞而外開，按圖 3-1 製作，再描繪成圖 3-2，再放大 1.4 倍成輪 28 cm 的底板，底板上按放大圖描繪三條互相環繞對稱的阿基米德

螺旋，底板使用橘色 0.4 cm 厚度的瓦楞板製作。如圖 3-1、3-2。支架則使用橘色 0.4 cm 瓦楞板製作成 3 片寬 2 cm、高 24 cm 的支架 3 支，以十字工型交錯環繞中心軸而支撐固定在底板上。如圖 3-3。而螺旋葉片則使用藍、白、紅色波浪板製作各一片梯型葉片(上底：8 cm；下底：24 cm；高：40 cm)。(40 cm 邊)沿著阿基米德螺旋環繞至支架中心軸上，最後(24 cm 邊)與支架中心軸相黏合，(40 cm 邊)要確實與阿基米德螺旋底板相黏合，使用熱熔膠把(40 cm 邊)的內外確實牢靠地垂直固定在底板上，一片固定好後，等待 10 分鐘，再固定另一片，接續完成。使用熱熔膠固定而成阿基米德螺紋葉風車。如圖 3-3 (2) 阿基米德螺紋葉風車置放的位置：如圖 10；阿基米德螺紋葉風車螺絲軸座標。底端(45° 20 齒傘齒輪附著處)：(50,47,3)，頂端(連接底板)：(50,47,47)，兩個立式軸承(固定螺絲軸於角鋼處)：(50,47,35)；(50,47,17)。

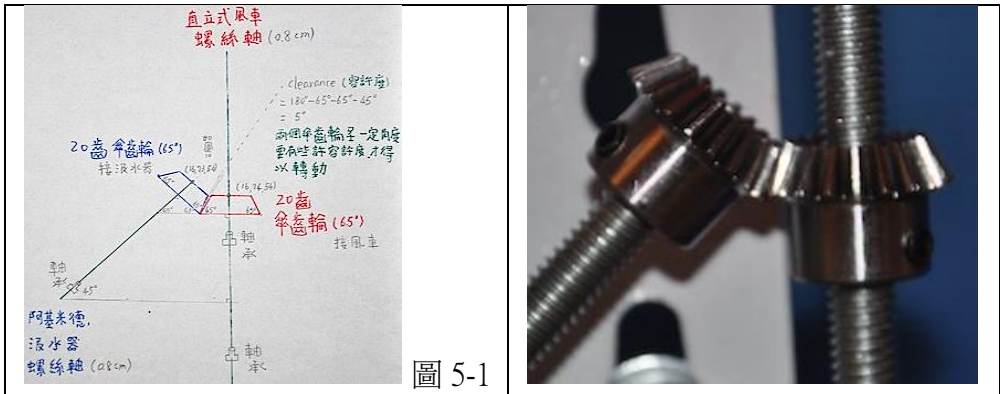


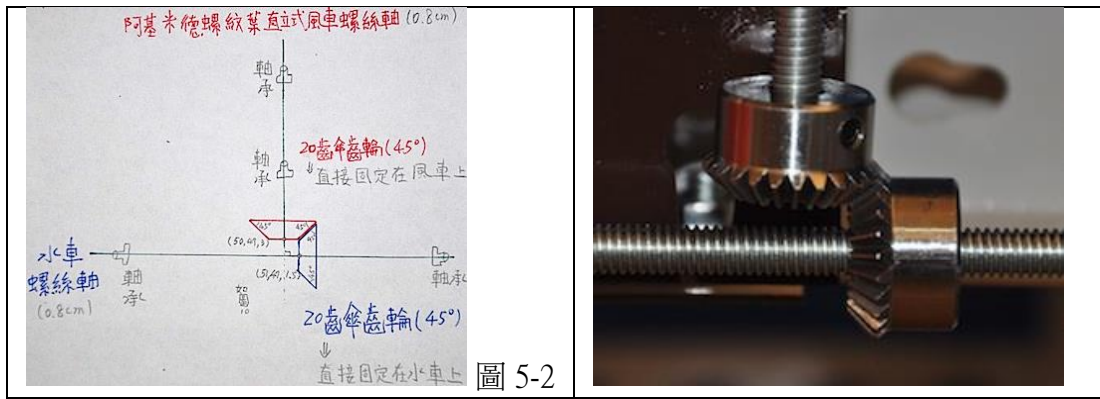
4. 水車：若綠能動力充足，我們使用瓦楞板製作水車：如圖 4-1

(1) 上、下兩片圓形橘色 0.4 cm 厚度的瓦楞板製作為固定輪底板(直徑 14 cm)，以 60° 為一區置放一個葉片。(2) 中央支撐軸以白色 0.3 cm 厚度的長方形瓦楞板(長 19 cm、寬 8 cm)製作為支撐兩個輪底板的圓筒狀支撐軸(直徑 6 cm)。如圖 4-3 (3) 葉片設計(共六片)：湯匙狀葉片，使用白色 0.3 cm 厚度的瓦楞板切成六片 12*12 cm² 正方形板子。如圖 4-2，由對角線切成一半並且水平置放，按 1、3、4、3、4 畫垂線，切除虛線處。如圖 4-4，斜線面往上摺相黏在一起形成溢道隔板。距 3、4 間垂線 1.2 cm 兩側往中間摺，形成湯匙狀葉片。如圖 4-5，黏接處以熱熔膠結合 (4) 水車整合：如圖 4-6、4-7、4-8 (5) 水車的葉片尖端吃水 4 cm，擁有較大的水與空氣混合的空間，每次加水至測試水池時，加水的高度，可滿足水車葉片尖端吃水 4 cm (6) 水車置放的位置：如圖 10，水車中心座標為(31,47,1.5)，兩個立式軸承(水車螺絲軸固定在角鋼處)：(0,47,1.5) & (62,47,1.5)。

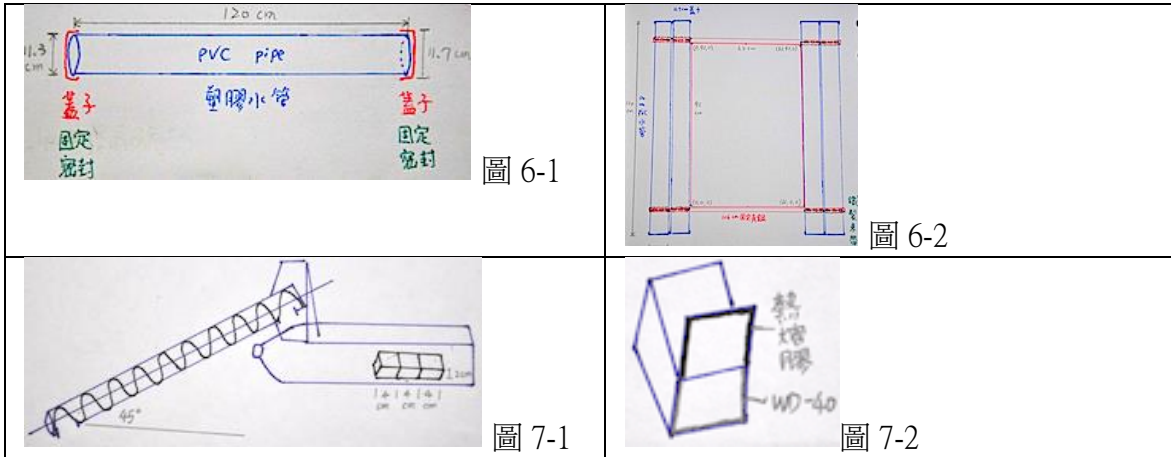


5. 動力承接轉軸 (1) 阿基米德汲水器與垂直式風車齒輪動力傳承模式：如圖 5-1、圖 10，使用兩個 65° 20 齒的傘齒輪傳接動力，一個固定在垂直式風車的螺絲軸上，一個固定在阿基米德汲水器的螺絲軸上，使用 WD-40 潤滑油潤滑保養，兩個 65° 傘齒輪咬合經實驗要有 5° 的容許度，才得以轉動。(2) 水車與阿基米德螺紋葉風車齒輪動力傳承模式：使用 2 個 20 齒 45° 傘齒輪傳接動力，一個固定在垂直式阿基米德螺紋葉風車的螺絲軸上，一個固定在水平置水車的螺絲軸上，使用 WD-40 潤滑油潤滑表面。

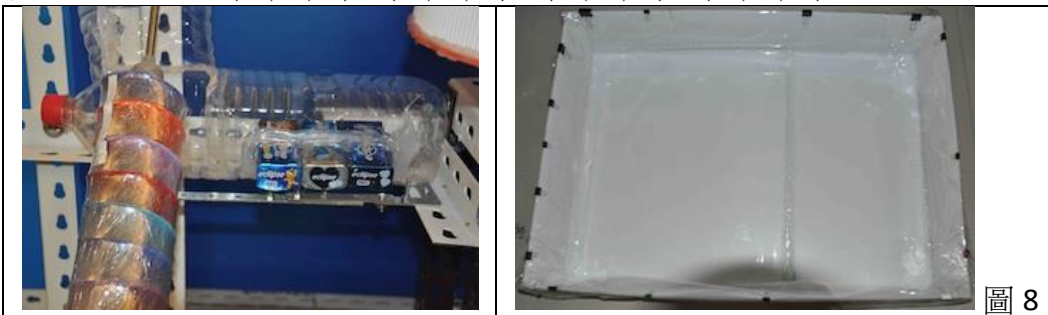




6. 浮臺：(1) 長 120 cm 外徑 11.3 cm 大型水管，兩端覆蓋外徑 11.7 cm 的蓋子並密封構成浮筒，共四個。如圖 6-1，以鐵製束帶固定在兩個 106 cm 的角鋼上，再固定在長方形角鋼支架 (62 cm*92 cm) 上，形成浮臺。如圖 6-2,10 (2) 浮力計算：一個浮桶： $B=VD$
 $3.14 \times (11.3/2) \times (11.3/2) \times 120 \times 1 = 12028$ ；一個浮桶的浮力約 12000 公克=12 公斤；四個浮桶的最大浮力約 48 公斤。



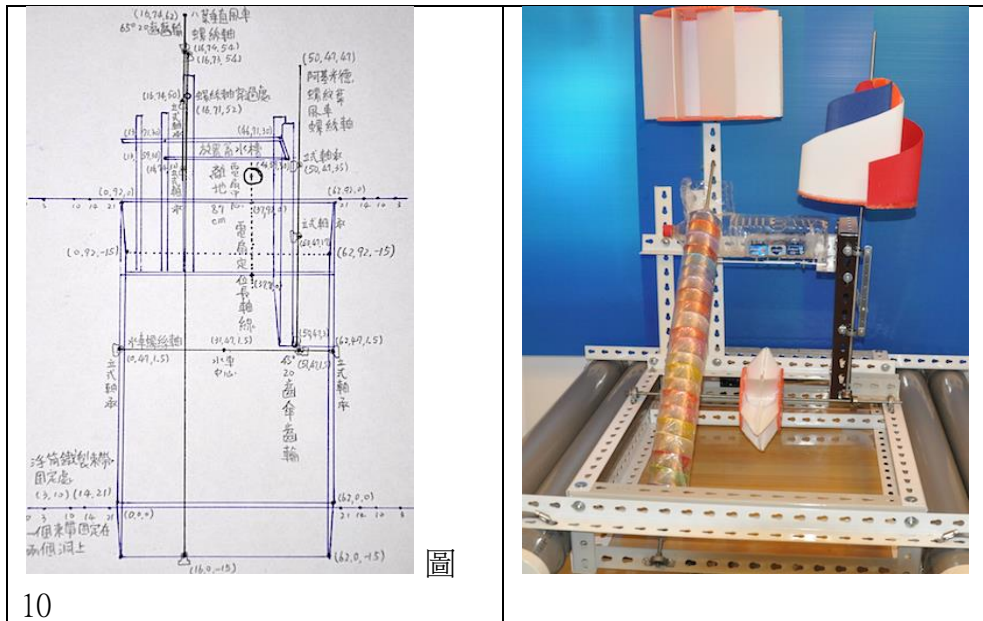
7. 蓄水槽及噴水口設置：(1) 蓄水槽：約 9 cm*10 cm*35 cm (2) 蓄水槽上噴水口寬度設定為 4 cm、8 cm、12 cm 高度均是 2 cm，如圖 7-1 (3) 在蓋子上使用熱熔膠前，我們在盒子口周圍塗滿 WD-40，但蓋子上不塗。(4) O-ring：(熱熔膠) 如圖 7-2 經測試金屬蓋與金屬盒子間會有滲漏，我們使用熱熔膠環繞蓋子內側周圍，如此就可密接盒子而不會滲漏。(5) 蓄水槽放置的位置座標為：如圖 10 (13,71,30)、(13,59,30)、(46,71,30)、(46,59,30)。



8. 測試水池：如圖 8 以瓦楞板製作長 100 cm、寬 69 cm、高 20 cm 的水池，覆以不透水的塑膠布(以夾子夾住)，用以當作「測試水池」。

9. 風力來源：(1) 使用 18 吋工業用電風扇一台 (2) 電風扇定位：置於兩個風車的中間後側，於整個系統的支架上畫上「電扇定位長軸線」：頂點(37,92,0)、頂點(37,71,0)二點連線。如圖 10，使用直角尺對準「電扇定位長軸線」連接電風扇的旋轉中心，電扇旋轉中心離地面 87 cm (3) 風量定量：轉至電風扇的「風速 2」，使用「風速計」測風速為 5.1 m/s。

10. 固定支架：由角鋼架設而成，使用專用角鋼螺絲固定。



10

(三) 實驗測試與操作步驟

1. 實驗一：管長對噴水式汲水器灑水高度的影響。

測試長度 (1) 管長：使用 5 公尺捲尺測量管長約 61 cm、73 cm、83 cm 的三個阿基米德汲水器。各測試 5 次並記錄、平均。(2) 灑水高度：使用 L 型大型直角尺量測，在測試前先將該量測的阿基米德汲水器放置在平台上，架設兩支 L 型大型直角尺在平台上測量。各測試 5 次並記錄、平均。(3) 測試各式阿基米德汲水器的轉速(有水的狀態)：使用輪 20 cm、葉片 $12*24 \text{ cm}^2$ 的風車作為動力來源，使用「轉速計」量測，各測試 5 次並記錄、平均。

2. 實驗二：噴水口寬度對於噴水式汲水器灑水程度的影響

測量不同噴水口寬度 (4 cm、8 cm、12 cm) 的每分鐘出水量，來評估灑水程度 (水柱的量)

(1) 使用輪 20 cm、葉片 $12*24 \text{ cm}^2$ 風車當作動力來源 (2) 使用 73.5 cm 管長、外徑 8 cm 的阿基米德汲水器，傾斜 45° ，並且汲滿水。(3) 水槽的水位設定在出水口下緣，只要一進水即可由出水口出水。(4) 以水桶接水，汲滿每分鐘的水量，各測試 5 次並記錄、平均。

3. 實驗三：垂直式風車輪軸比對於噴水式汲水器灑水程度的影響

實驗條件：(1) 在同一個 73.5 cm 管長、外徑 8 cm、傾斜 45° 的阿基米德汲水器 (2) 風車的軸固定在 0.8 cm (3) 固定葉片大小 $12*24 \text{ cm}^2$ (4) 改變輪直徑：20 cm、22 cm、24 cm、26 cm、28 cm (5) 固定噴水口的寬度：8 cm (6) 風速：5.1 m/s。

實驗：測量並評估對噴水式汲水器灑水程度的影響。

(1) 每種形式的風車造成阿基米德汲水器汲水的每分鐘出水量。測量 5 次並記錄、平均。

(2) 測量改變輪軸比造成整個系統的轉速的影響(有水狀態、無水狀態)及整個系統在有水狀態及無水狀態的轉速比較，使用轉速計測量、測量 5 次並記錄、平均。

(3) 測量只有阿基米德螺紋葉風車推動水車的轉速，測量 5 次並記錄、平均。

4. 實驗四：垂直式風車長寬比對於噴水式汲水器灑水程度的影響

實驗條件：(1) 在同一個 73.5 cm 管長、外徑 8 cm、傾斜 45° 的阿基米德汲水器 (2) 風車的軸固定在 0.8 cm、輪固定在 20 cm (3) 固定葉片寬度 12 cm (4) 改變葉片長度：20 cm、22 cm、24 cm、26 cm、28 cm (5) 固定噴水口的寬度：8 cm (6) 風速：5.1 m/s。

實驗：測量並評估對噴水式汲水器灑水程度的影響。

(1) 每種形式的風車造成阿基米德汲水器汲水的每分鐘出水量。測量 5 次並記錄、平均。

(2) 測量改變長寬比造成整個系統的轉速的影響(有水狀態、無水狀態)及整個系統在有水狀態及無水狀態的轉速比較，使用「轉速計」測量、測量 5 次並記錄、平均。

伍、研究結果

分成四個部分來呈現結果：

一、實驗一：管長對噴水式汲水器灑水高度的影響 (一) 量測灑水高度 (二) 量測轉速：八葉風車及阿基米德汲水器。

二、實驗二：噴水口寬度對於噴水式汲水器灑水程度的影響量測三種噴水口寬度的每分鐘出水量。

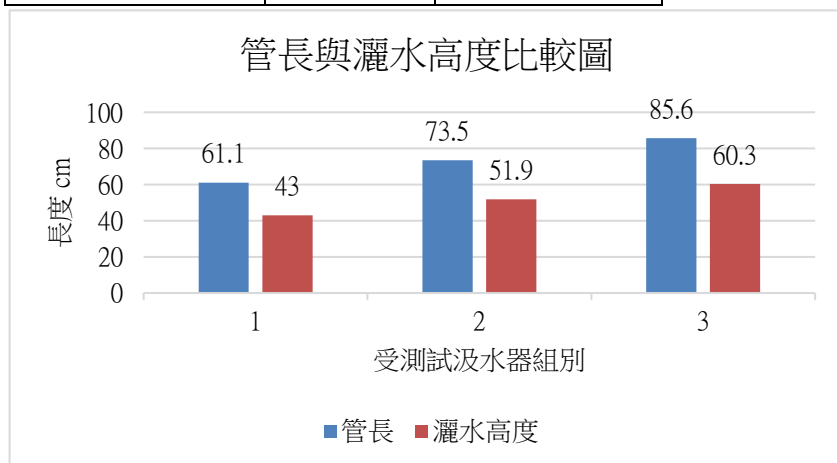
三、實驗三：垂直風車輪軸比對於噴水式汲水器灑水程度的影響 (一) 量測不同輪軸比的每分鐘出水量 (二) 量測在有水狀態、無水狀態下，影響整個系統的轉速及整個系統在有水狀態及無水狀態的轉速比較 (三) 只有阿基米德螺紋葉風車推動水車的轉速 rpm。

四、實驗四：垂直風車長寬比對於噴水式汲水器灑水程度的影響 (一) 量測不同長寬比的每分鐘出水量 (二) 量測在有水狀態、無水狀態下，影響整個系統的轉速及整個系統在有水狀態及無水狀態的轉速比較。

一、實驗一結果：管長對噴水式汲水器灑水高度的影響。

(一) 量測灑水高度：三種管長的阿基米德汲水器 (內螺旋葉片外徑 8 cm)

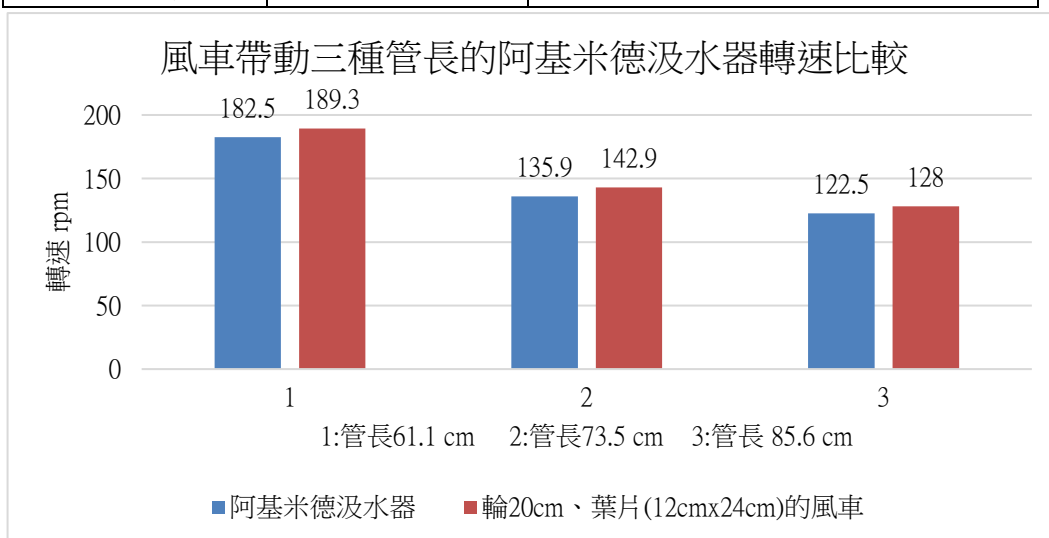
受測試汲水器	管長 (cm)	灑水高度 (cm)
管長(1)測量五次	61.0	42.8
	61.2	42.9
	61.1	43.2
	61.3	43.1
	61.1	42.9
平均	61.1	43.0
管長(2)測量五次	73.5	51.9
	73.3	52.0
	73.6	51.7
	73.7	51.8
	73.6	52.0
平均	73.5	51.9
管長(3)測量五次	85.6	60.4
	85.5	60.3
	85.7	60.5
	85.7	60.2
	85.6	60.0
平均	85.6	60.3



(二) 量測轉速：八葉風車及阿基米德汲水器在有水的狀態下：以輪 20 cm、葉片(12*24 cm²)的

風車帶動三種管長的阿基米德汲水器，測試二者轉速。

汲水器	阿基米德汲水器	輪 20 cm、葉片(12*24 cm ²)的風車
管長 (cm)	轉速 (rpm)	轉速 (rpm)
(1)61.1 測試五次	183.2	188.8
	180.4	186.7
	181.2	189.8
	183.4	187.7
	184.3	193.3
平均	182.5	189.3
(2)73.5 測試五次	132.1	147.5
	134.8	141.0
	138.7	143.0
	137.2	140.9
	136.5	142.0
平均	135.9	142.9
(3)85.6 測試五次	121.8	129.3
	124.6	127.8
	121.3	129.5
	124.5	128.2
	120.5	125.4
平均	122.5	128.0

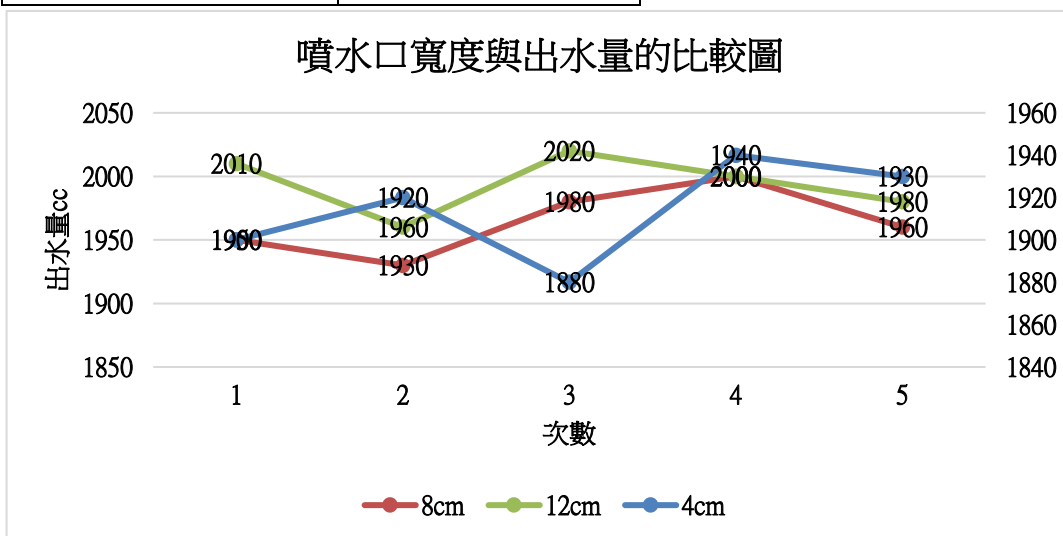


二、實驗二結果：噴水口寬度對於噴水式汲水器灑水程度的影響

以輪 20 cm、葉片(12*24 cm²)的風車轉動傾斜角度 45°、管長 73.5 cm 的阿基米德汲水器測試三種噴水口寬度的每分鐘出水量。

噴水口寬度 (cm)	每分鐘出水量 (cc)
(1)4 cm 測試五次	1900
	1920
	1880
	1940
	1930
平均	1914

(2)8 cm 測試五次	1950 1930 1980 2000 1960
平均	1964
(3)12 cm 測試五次	2010 1960 2020 2000 1980
平均	1994

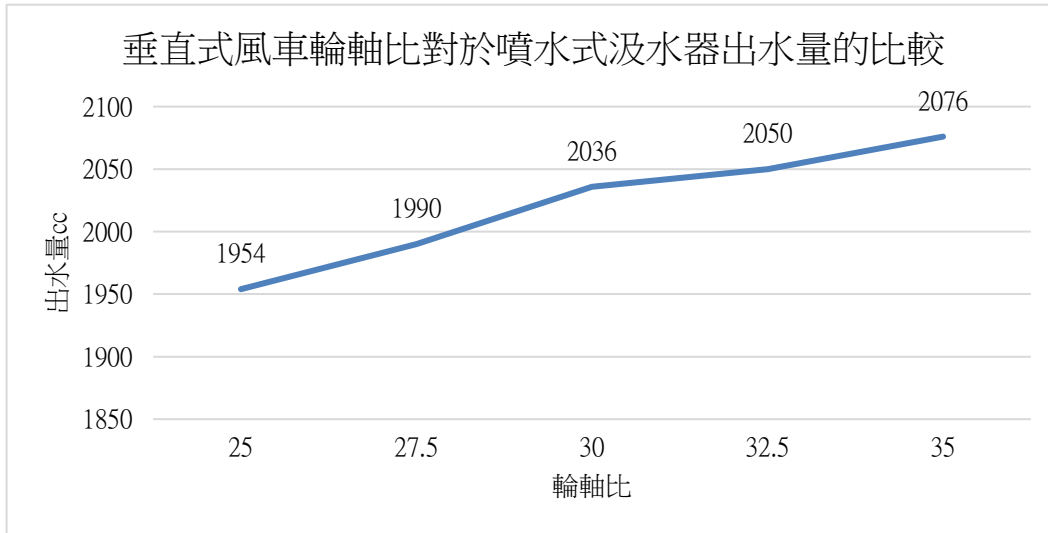


三、實驗三結果：垂直風車輪軸比對於噴水式汲水器灑水程度的影響
 改變輪軸比風車 風扇風速：5.1 m/s

(一) 垂直式風車輪軸比對於噴水式汲水器出水量的比較

輪直徑 cm	輪軸比	每分鐘出水量 cc	平均 cc
20	20/0.8=25	1940 1950 1970 1960 1950	1954
22	22/0.8=27.5	1970 1980 2000 2010 1990	1990
24	24/0.8=30	2000 2030 2050 2060 2040	2036
26	26/0.8=32.5	2040 2050	2050

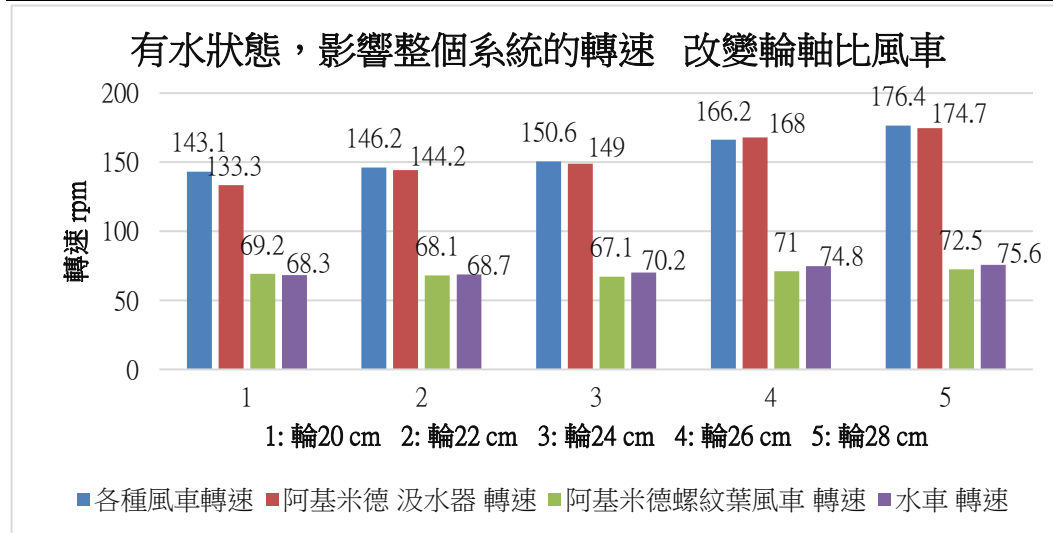
		2030 2060 2070	
28	28/0.8=35	2100 2050 2080 2090 2060	2076



(二) 1.有水狀態，影響整個系統的轉速 改變輪軸比風車 風扇風速：5.1 m/s

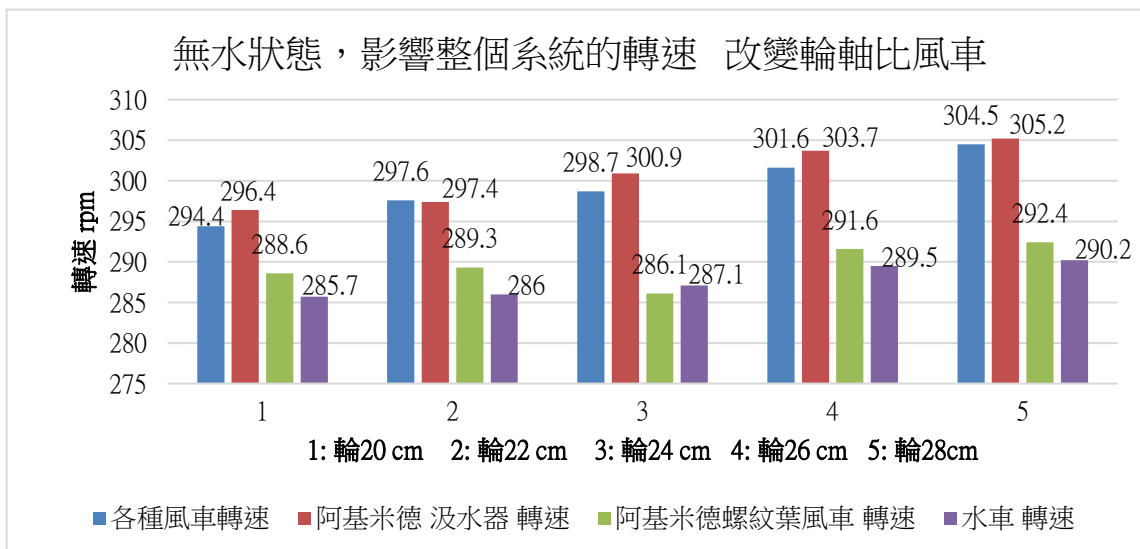
	輪 20 cm 葉片 12*24cm ²	22 cm 12*24 cm ²	24 cm 12*24 cm ²	26 cm 12*24 cm ²	28 cm 12*24 cm ²
各種風車 轉速 rpm	140.1	148.3	152.7	159.7	181.9
	140.8	147.5	152.6	165.6	171.9
	144.6	146.9	147.3	166.9	169.8
	143.5	147.8	151.1	168.2	178.6
	146.3	145.7	149.2	170.8	179.7
平均	143.1	146.2	150.6	166.2	176.4
阿基米德 汲水器 轉速 rpm	135.4	137.9	154.7	175.8	182.1
	138.5	146.8	147.8	169.7	171.9
	133.4	151.2	146.7	166.5	171.7
	129.9	144.7	147.1	164.2	176.1
	129.5	140.4	148.5	163.6	171.5
平均	133.3	144.2	149.0	168.0	174.7
阿基米德 螺紋葉風車 轉速 rpm	67.6	68.5	66.2	69.8	69.0
	70.3	69.7	66.4	72.9	71.7
	69.1	68.9	71.0	71.4	73.1
	71.6	66.2	64.0	68.7	73.5
	67.2	67.3	67.9	62.3	75.3
平均	69.2	68.1	67.1	71.0	72.5
水車 轉速 rpm	70.6	69.2	74.4	73.2	80.1
	68.6	67.8	69.3	75.8	76.2
	67.9	68.4	68.5	74.9	75.2

	66.1	69.4	70.6	75.3	72.7
	68.2	68.9	68.3	74.7	73.8
平均	68.3	68.7	70.2	74.8	75.6



2. 無水狀態，影響整個系統的轉速 改變輪軸比風車 風扇風速：5.1 m/s

	輪 20 cm 葉片 12*24 cm ²	22 cm 12*24 cm ²	24 cm 12*24 cm ²	26 cm 12*24 cm ²	28 cm 12*24 cm ²
各種風車 轉速 rpm	294.2	297.6	299.4	301.8	305.7
	290.2	297.8	298.3	300.5	301.7
	296.3	297.3	301.1	302.3	306.7
	294.2	298.1	295.8	299.8	307.2
	292.2	297.1	298.8	303.4	301.1
平均	294.4	297.6	298.7	301.6	304.5
阿基米德 汲水器 轉速 rpm	296.8	297.1	303.5	302.8	307.2
	293.8	296.9	296.8	304.7	303.6
	296.8	297.7	303.9	301.8	301.6
	296.7	298.1	301.8	305.7	307.7
	297.8	297.3	298.7	303.6	305.7
平均	296.4	297.4	300.9	303.7	305.2
阿基米德 螺紋葉風車 轉速 rpm	289.2	287.3	284.0	290.7	296.9
	286.9	289.5	291.4	289.8	287.7
	286.3	291.2	284.8	291.4	293.2
	287.8	288.4	285.7	293.2	294.5
	292.8	290.1	284.7	292.8	289.9
平均	288.6	289.3	286.1	291.6	292.4
水車 轉速 rpm	282.8	285.4	296.3	290.5	291.2
	287.3	286.5	282.2	289.4	287.3
	283.6	285.2	284.7	288.9	294.7
	283.3	284.6	288.7	291.1	291.2
	291.6	288.1	283.6	287.8	286.7
平均	285.7	286.0	287.1	289.5	290.2



3. 整個系統在有水狀態及無水狀態的轉速比較：八葉風車改變輪軸比的轉速比較

轉速 rpm	輪 葉片	20	22	24	26	28
	cm ²	12*24	12*24	12*24	12*24	12*24
各種風車 平均轉速 rpm	有水	143.1	146.2	150.6	166.2	176.4
	無水	294.4	297.6	298.7	301.6	304.5
阿基米德汲水器 平均轉速 rpm	有水	133.3	144.2	149.0	168.0	174.7
	無水	296.4	297.4	300.9	303.7	305.2
阿基米德螺紋葉 風車平均轉速 rpm	有水	69.2	68.1	67.1	71.0	72.5
	無水	288.6	289.3	286.1	291.6	292.4
水車 平均轉速 rpm	有水	68.3	68.7	70.2	74.8	75.6
	無水	285.7	286.0	287.1	289.5	290.2

(三)、只有阿基米德螺紋葉風車推動水車的轉速 rpm

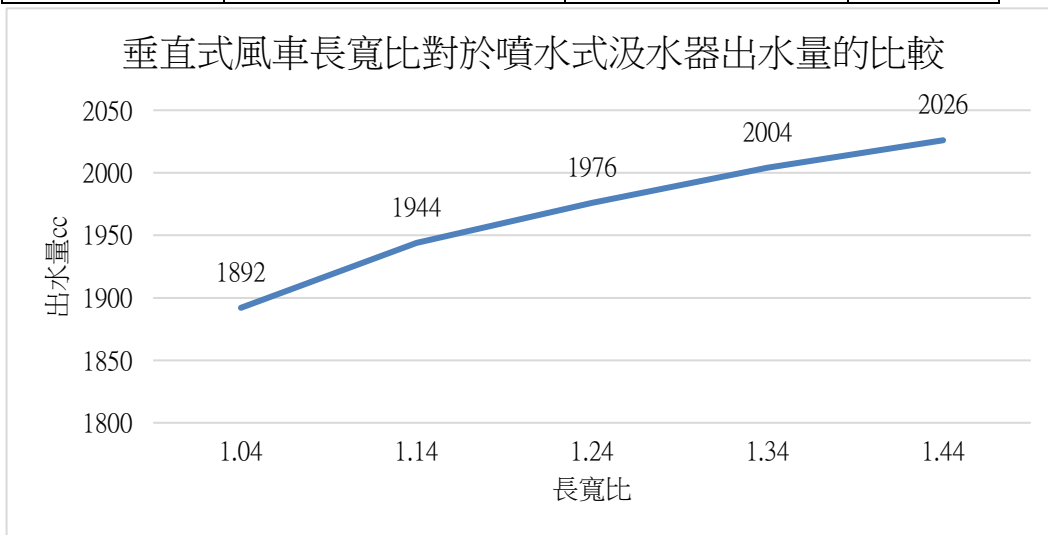
61.8	61.6	58.0	57.4	58.5	平均 59.5
------	------	------	------	------	---------

四、實驗四：垂直風車長寬比對於噴水式汲水器灑水程度的影響

(一) 量測不同長寬比的每分鐘出水量

葉片長度 cm	風車長寬比	每分鐘出水量 cc	平均 cc
20	$(20+0.4+0.4)/20=1.04$	1920	1892
		1860	
		1850	
		1900	
		1930	
22	$(22+0.4+0.4)/20=1.14$	1970	1944
		1960	
		1930	
		1940	
		1920	
24	$(24+0.4+0.4)/20=1.24$	1940	1976
		1950	
		2000	
		2010	
		1980	
26	$(26+0.4+0.4)/20=1.34$	1990	2004

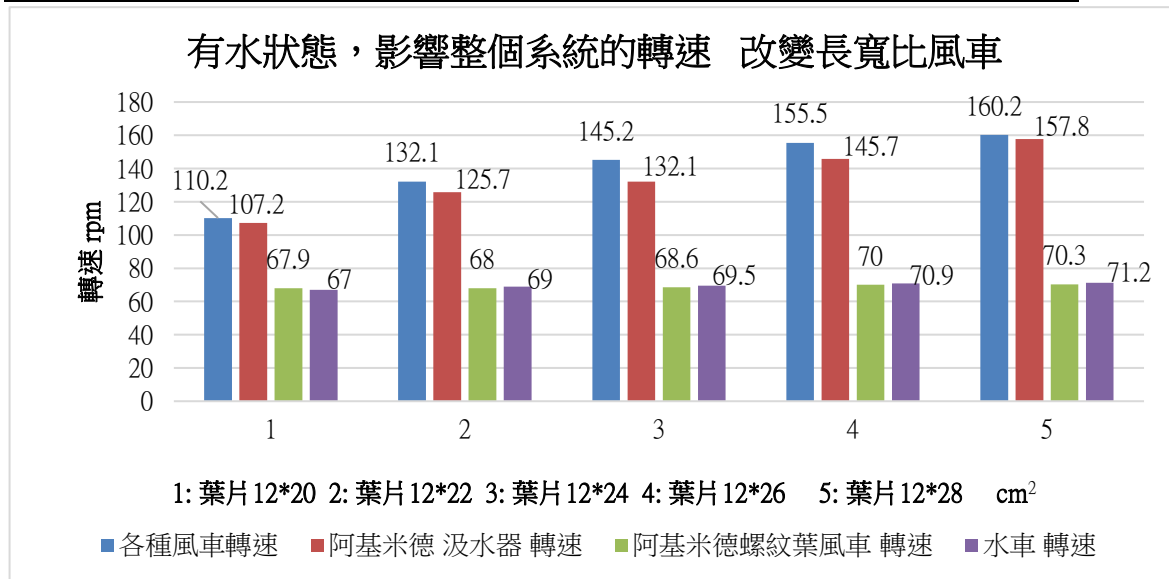
		2000 2020 2010 2000	
28	$(28+0.4+0.4)/20=1.44$	1950 2050 2100 2020 2010	2026



(二) 1. 有水狀態，影響整個系統的轉速 改變長寬比風車 風扇風速：5.1 m/s

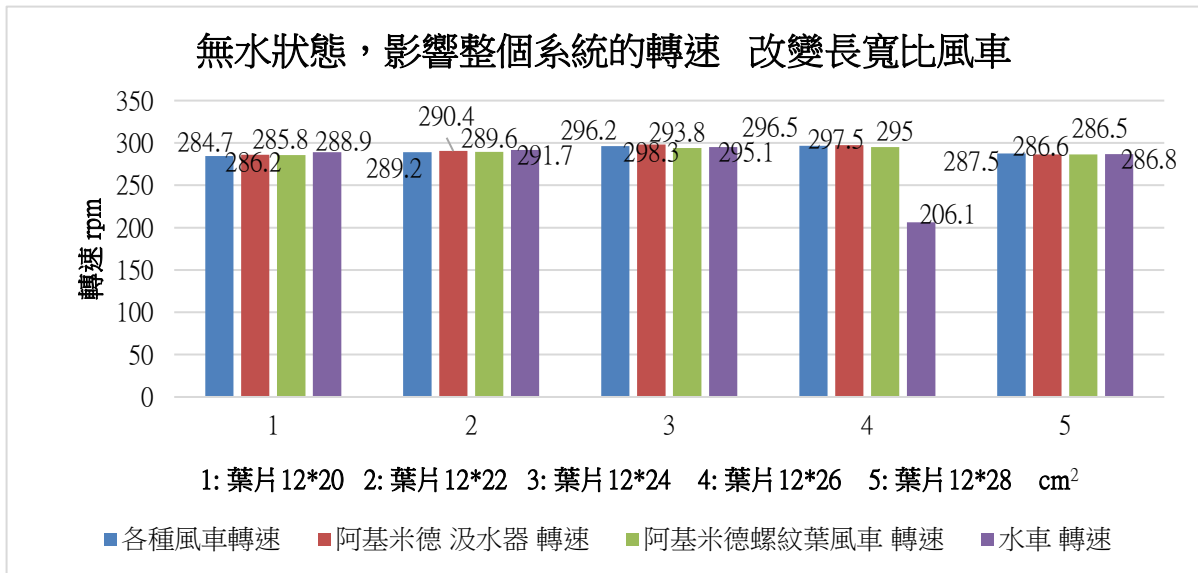
	輪 20 cm 葉片 12*20 cm ²	20 cm 12*22 cm ²	20 cm 12*24 cm ²	20 cm 12*26 cm ²	20 cm 12*28 cm ²
各種風車 轉速 rpm	114.5 110.1 108.3 106.5 111.6	123.5 131.6 137.2 129.8 138.4	143.5 148.1 147.5 143.8 143.3	152.7 154.8 157.9 156.4 155.6	161.8 167.2 163.1 162.1 146.6
平均	110.2	132.1	145.2	155.5	160.2
阿基米德 汲水器 轉速 rpm	112.2 104.6 103.1 103.5 112.8	130.9 125.7 127.3 123.6 120.8	128.7 132.9 139.4 129.8 129.5	151.8 147.5 144.7 140.9 143.6	139.4 158.7 159.4 167.2 164.1
平均	107.2	125.7	132.1	145.7	157.8
阿基米德 螺紋葉 風車 轉速 rpm	66.9 69.5 68.7 67.0 67.5	69.8 68.7 69.5 68.3 67.4	65.9 70.0 68.6 66.8 71.5	70.4 69.7 70.7 68.7 69.3	72.8 70.8 68.5 68.2 71.1
平均	67.9	68.0	68.6	70.0	70.3
水車 轉速 rpm	63.1 68.7	68.5 70.7	68.9 69.1	72.1 70.9	69.7 70.7

	66.9	68.4	68.3	71.5	71.1
	69.7	67.9	71.7	69.7	72.0
	66.8	69.5	69.4	70.1	72.6
平均	67.0	69.0	69.5	70.9	71.2



2. 無水狀態，影響整個系統的轉速 改變長寬比風車 風扇風速：5.1 m/s

	輪 20 cm 葉片 12*20 cm ²	20 cm 12*22 cm ²	20 cm 12*24 cm ²	20 cm 12*26 cm ²	20 cm 12*28 cm ²
各種風車 轉速 rpm	284.5	286.8	296.4	297.8	286.4
	289.0	289.3	294.8	296.5	285.0
	284.0	291.4	297.2	298.4	287.5
	281.7	289.6	297.7	294.5	286.7
	284.2	288.7	294.8	295.1	292.1
平均	284.7	289.2	296.2	296.5	287.5
阿基米德 汲水器 轉速 rpm	282.9	287.2	296.8	297.8	286.5
	289.9	288.9	301.1	299.8	287.7
	287.3	289.5	299.9	296.5	285.7
	284.2	292.8	298.2	293.7	288.7
	286.7	293.4	295.7	299.5	284.5
平均	286.2	290.4	298.3	297.5	286.6
阿基米德 螺紋葉 風車 轉速 rpm	284.7	287.9	291.1	294.8	287.2
	285.2	291.2	291.9	295.6	287.3
	281.0	287.9	294.1	290.7	283.2
	287.2	288.5	296.9	297.3	289.3
	291.1	292.7	294.9	296.5	285.7
平均	285.8	289.6	293.8	295.0	286.5
水車 轉速 rpm	287.2	294.1	290.8	296.1	287.7
	283.2	292.3	298.8	295.7	282.2
	289.2	291.7	295.9	297.3	292.2
	291.2	289.5	297.2	294.8	284.3
	293.9	290.8	292.7	296.7	287.4
平均	288.9	291.7	295.1	296.1	286.8



3. 整個系統在有水狀態及無水狀態的轉速比較

八葉風車改變長寬比的轉速比較

轉速 rpm	輪 cm	20	20	20	20	20
	葉片 cm ²	12*20	12*22	12*24	12*26	12*28
各種風車	有水	110.2	132.1	145.2	155.5	160.2
平均轉速 rpm	無水	284.7	289.2	296.2	296.5	287.5
阿基米德汲水器	有水	107.2	125.7	132.1	145.7	157.8
平均轉速 rpm	無水	286.2	290.4	298.3	297.5	286.6
阿基米德螺紋葉風車平均轉速 rpm	有水	67.9	68.0	68.6	70.0	70.3
	無水	285.8	289.6	293.8	295.0	286.5
水車	有水	67.0	69.0	69.5	70.9	71.2
平均轉速 rpm	無水	288.9	291.7	295.1	296.1	286.8

陸、討論

一、分成四個實驗討論

- (一) 實驗一：儘量讓水柱的水位越高，水下來的動能也越大。
- (二) 實驗二：噴水口寬度越寬則出水量越大。
- (三) 實驗三：改變輪軸比的影響，輪越大及水量越大，轉速也越大。
- (四) 實驗四：長寬比越大，每分鐘出水量越大，轉速也越大。

二、整個系統原理的討論：風能轉變動能、水位位能轉變成動能。

三、阿基米德汲水器汲水原理：斜面原理及汲水效能。

四、整個系統設計時困難與改善。

五、阿基米德螺紋葉風車的改善。

六、根據不同輪軸比所構成系統對於水車打水能力所做的探討。

七、根據不同長寬比所構成系統對於水車打水能力所做的探討。

八、實驗結果討論與原理探討。

九、一個有趣的現象，實驗過程中一定要檢查的誤差。

一、分成四個實驗討論

(一) 實驗一：1. 水位越高，水下來的動能越大： $mgh = \frac{1}{2}mv^2$ 位能轉換成動能，推動水車的能力就越大。管長越長，灑水高度越高，水位越高，動能越大。

管長	85.6 cm	73.5 cm	61.1 cm
灑水高度	60.3 cm	51.9 cm	43 cm

2. 但雖然管長越長的阿基米德汲水器能將水送至更高的位置，但是充滿水之後的阿基米德汲水器勢必也越重，越難轉動。所以我們選擇適當量體(管長 73.5 cm)和汲水至適當高度(51.9 cm)的阿基米德汲水器。

管長	61.1 cm	73.5 cm	85.6 cm
轉速	182.5 rpm	135.9 rpm	122.5 rpm

3. 如果光靠阿基米德汲水器送至的高度而產生的動能不足，將來可考慮使用水幫浦 (water pump), 將水送至更高的位置以產生更大的動能，我們做了一個水幫浦將來可做進一步測試。

(二) 實驗二：1. 噴水口寬度越寬則出水量越大 (1) 以由 4 cm 增至 8 cm 時增加水量較大(增加 20 cc 至 120 cc/min)平均增加水量為 50 cc/min (2) 以由 8 cm 增至 12 cm 時增加水量較小(增加 10 cc 至 90 cc/min)平均增加水量為 30 cc/min 2. 出水口水量 4 cm 內為最大量；4 至 8 cm 次之，但已經少很多；8 至 12 cm 最少，推測因三個出口水平設置，彼此競爭水量的結果，所呈現出來的現象。3. 不管噴水口的寬度是 (4 cm、8 cm、12 cm)、每次測量每分鐘出水量約有 50 cc 的差別，研判是風能轉變為旋轉動能傳送的不穩定，或是當阿基米德將水甩出時，整體的重量因水量改變不穩定，造成阿基米德汲水器旋轉的重量改變而形成出水量不穩定。

(三) 實驗三：1. 風車軸固定為 0.8 cm 輪越大，風車本身轉動的動能也越大，轉移至阿基米德汲水器的旋轉動能也越大，以至汲水器的能力也越好。輪 28 cm (2076 cc/min) > 輪 26 cm (2050 cc/min) > 輪 24 cm (2036 cc/min) > 輪 22 cm (1990 cc/min) > 輪 20 cm (1952 cc/min)。

2. 風車 (輪 20、22、24、26、28 cm) 均能幫助阿基米德汲水器 (8cm 內螺旋轉葉片) 成功克服非常大的水阻力 (比起空氣阻力大)，均能轉動。3. 試圖以風車輪 (20、24、28 cm)、葉片 (12*24 cm²) 轉動(管長 73 cm、12 cm 內螺旋葉片)的阿基米德集水器，結果只有輪 28 cm 的風車才能些許轉動汲滿水的阿基米德汲水器，可見要克服水阻力不是一件簡單的事。4. 改變輪軸比的風車影響風車和阿基米德汲水器的轉速，均是輪越大、轉速越快，尤其到了輪 (26、28 cm) 陡升飛快，判斷是風車動能變大且非常穩定的旋轉，才能提供源源不絕的旋轉動能來穩地轉動的阿基米德汲水器。5. 改變輪軸比的風車影響水車和阿基米德螺旋葉風車的轉速，由輪 (20 cm) 到輪 (28 cm) 是緩步增加並沒有明顯的陡升現象，研判是水阻力所造成，不太容易明顯的增加轉動。6. 改變輪軸比的風車影響阿基米德汲水器的汲水量，平均來說是緩步上升，但是每次每分鐘的汲水量卻是呈現 50 cc 的上下變化，研判是風能轉為動能旋轉阿基米德汲水器時，有時因為水的重量造成旋轉不穩定，間接影響了汲水量。

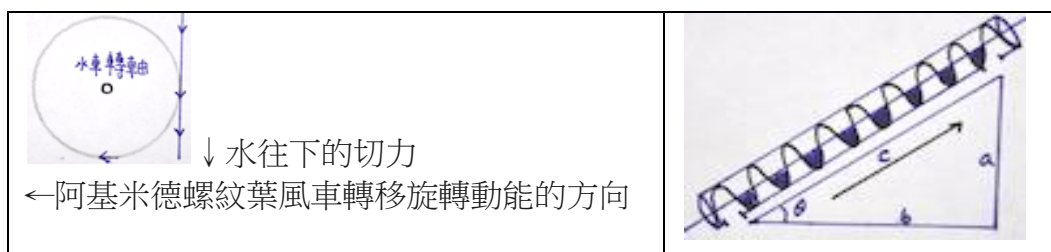
7. 整個系統運轉的順暢度 (1) 由 (輪 20 cm、葉片 12*24 cm²) 風車推動：系統運轉順暢、風車穩定、阿基米德汲水器順利汲水蓄積噴出、阿基米德螺紋葉風車穩定推動水車、水柱有效幫助推動水車 (轉速由 59.5 rpm 提升至 68.3 rpm) 使風車更易推動水車 (但幫助程度風車大於水柱) (2) 由 (輪 24 cm、葉片 12*24 cm²) 風車推動：系統運轉順暢、風車動力輸出更穩定、阿基米德汲水器轉動更順利、更快速汲水蓄積噴出(噴出量達 2036 cc/min)、阿基米德螺紋葉風車雖然能穩定推動水車但水柱對水車的推動幫助更大(因阿基米德螺紋葉風車的轉速低於水車) (3) 由(輪 28 cm、葉片 12*24 cm²)風車推動：系統運轉更順暢、風車動力更大更快速，但是非常穩定才能使動力轉移更順暢成功轉動阿基米德汲水器更快速(轉速 174.7 rpm 接近風車的轉速 176.4 rpm)且噴水量達 2076 cc/min，水柱與穩定的阿基米德螺紋葉風車同時對水車的轉動均有更大的幫助(因阿基米德螺紋葉風車轉速也提升至 72.5 rpm，接近轉速更快的水車 75.6 rpm)。

(四) 實驗四：1. 長寬比越大則每分鐘出水量越大。2. 越接近長寬比(1 比 1)的風車轉動越穩定，出水量也越穩定。3. 葉片長度越長時，每分鐘出水量也越大，也就是 $mgh = \frac{1}{2}mv^2$ 儲存水的質量變多，所以將來給予水車的動能也變大，施予水車轉軸的切力也變大。4. 因為風車的輪設定為 20 cm，所以當葉片長度增為 28 cm 時，雖然進入風車的風量變大，使得整體動

能變大，但是因為固定葉片的風車輪只有 20 cm，所以有時系統不穩定，造成出水量有時大、有時小，但整體平均的出水量是變大的。5. 改變長寬比的風車影響阿基米德汲水器的汲水量，平均來說是緩步上升，但是每次每分鐘的汲水量，有時卻是呈現 70 cc 的差別，研判是風車的葉片較高(28 cm)時，風車的動能有時不穩定。而風車的葉片較低(20 cm)時，風車的動能有時不足，均造成轉動阿基米德汲水器時，因為水的重量和不能提供源源不絕穩定旋轉力量，所以影響了汲水量些許的不穩定。6. 改變長寬比的風車，影響風車和阿基米德汲水器的轉速，均是葉片越高，也就是長寬比越大，轉速越大，不過與改變輪軸比的風車比較不同的是：當葉片由 20 cm 增至 22 cm 時，轉速就急遽上升，之後葉片再增高時，均呈現穩定上升，研判是葉片在 20 cm 時，風車的動能明顯不足，而葉片增加至 22 cm 時，風車的旋轉動能明顯增加且穩定，之後葉片增至 24 cm、26 cm、28 cm 時，均能提供源源不絕的穩定旋轉動能，適時地轉動阿基米德汲水器。7. 改變長寬比的風車，影響水車和阿基米德螺旋葉風車的轉速，由葉片高 20cm 至葉片高 28cm(固定寬度)，也就是長寬比越大時，均是緩步增加，並沒有明顯的陡升現象，研判是水阻力所造成，這就它為什麼不太容易明顯地增加轉動的原因了。8. 整個系統運轉的順暢度 (1) 由(輪 20cm、葉片 12*20 cm²)風車推動：整個系統雖然運作順利、穩定，但動能稍嫌不足：風車的轉速只有 110.2 rpm，阿基米德汲水器的轉速也只有 107.2 rpm(非常接近風車)，雖然動力有成功轉移，但每分鐘噴水量只有 1892 cc，所以水柱對水車轉動的幫助有限，而水車的轉動主要由阿基米德螺旋葉風車維持轉速(二者轉速幾乎相等，水車 67.0 rpm；阿基米德螺旋葉風車 67.9 rpm) (2) 由(輪 20 cm、葉片 12*24 cm²)風車推動：系統運轉順暢、風車穩定、阿基米德汲水器順利汲水蓄積噴出，水柱與穩定的阿基米德螺旋葉風車均有效推動水車(轉速由 59.5 rpm 提升至 68.6 rpm)比起狀況 (3) 因為噴水量(1976 cc > 1952 cc)，所以水柱對水車的幫助更大一些，而阿基米德螺旋葉風車的轉速略低於水車(68.6 rpm < 69.5 rpm) (4) 由(輪 20 cm、葉片 12*28 cm²)風車推動：整個系統的穩定性稍嫌不足，風車的轉速雖快(160.2 rpm)，但上下震盪，導致阿基米德汲水器的轉速也上下震盪，但平均也有 157.8 rpm，因動力成功轉移，所以噴水量達 2026 cc/min，所形成的水柱與穩定的阿基米德螺旋葉風車(轉速 70.3 rpm)同時幫助推動水車(水車的轉速由 59.5 rpm 提升至 71.2 rpm)。

二、整個系統原理的討論

(一) 固定葉片大小，風車的輪越大產生的動能越大，除了自己轉速快外，還能將整個系統的轉速顯著提升：包括阿基米德汲水器、阿基米德螺旋葉風車、水車的轉速，均能提升至最高。另外也能將阿基米德汲水器的出水量提升至最高，也就是成功將風車最大的動能轉移至阿基米德汲水器上，順利將水汲取至 51.9 cm 高(每分鐘汲取水量達 2076 cc)，並將動能轉換成位能，此時 51.9 cm 高的水儲存在蓄水槽內，再由 8 cm 噴水口往下至水車湯匙狀葉片上，此時將水的位能轉換成動能($mgh = \frac{1}{2}mv^2$)來推動水車。(二) 結合阿基米德螺旋葉風車本身旋轉的動能，以 45° 傘齒輪垂直轉移至水車的旋轉軸上，成功克服水阻力來轉動水車。水柱往下對水車轉軸而言是一種切力，而形成旋轉與阿基米德螺旋葉風車轉移的旋轉動能，巧妙地結合在一起，一起轉動水車(剛好不會抵消彼此的動能，才能克服非常大的水阻力)。



三、阿基米德汲水器的汲水原理

(一)由於重力，水會蓄積在下一個螺旋的低點處，由於轉動的力量會將水遞接而上，就像用「斜面」將貨物以省力的方式運至上方，斜面越長和傾斜角越小就越省力。「螺紋的原理」類似「斜面原理」；螺紋間的距離越小、越密，表示斜面越長越省力地將水運至上方。原理：沿斜面施力對物體作功，轉成物體的重力位能。沿斜面施力 = 物重 x (斜面高/斜面長) 因為斜面高小於斜面長，所以斜面越長就越省力。

(二)這次由於風車轉移動力至阿基米德汲水器的傘齒輪為 65°，兩個 65° 20 齒的傘齒結合，剛好使阿基米德汲水器呈現傾斜角 45°，是一個靠「斜面原理」運水而上還不錯的角。一般傾斜角以 30° 最佳，但動力來源的轉速超過 100 rpm 時，則在「出水時間」上：傾斜角 30° 與傾斜角 45° 並無差異，而我們的各型風車在有水狀態的系統下，所測得的轉速為(110 rpm 到 176 rpm)，均達到此標準。因此我們使用這些風車當作動力來源，來轉動阿基米德汲水器時，運送水的效率還不錯，計算「出水時間」：7.2 到 7.6 秒，其中以輪 26 cm、葉 12*24 cm² 的風車，所轉動的阿基米德汲水器「出水時間」最快為 7.2 秒。

(三)將來可將輪螺紋間距改變成 3 cm、2 cm、1 cm (在同一管長內比較一下「出水時間」、「轉速」、「每分鐘出水量」。討論：同樣管長，內螺旋葉片：螺距越小(類似斜面越長)，按斜面原理，所施予的力就越小、越省力。

討論中的小實驗：以「出水時間」評估由低處運送水至高處的效率：出水時間越短，運送效率越高(順時針送水)。前提：每一次實驗前，均將阿基米德汲水器「逆時針旋轉」將水排乾。小實驗結果：

	改 變	輪	軸	比		改 變	長	寬	比		
風車	輪 cm	20	22	24	26	28	20	20	20	20	
	葉	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	片 cm ²	*24	*24	*24	*24	*24	*20	*22	*24	*26	*28
阿基米德汲水器	管長	7.6	7.5	7.2	7.2	7.4	7.6	7.4	7.6	7.8	7.7
	73.5	7.4	7.5	7.3	7.2	7.5	7.6	7.2	7.7	7.4	7.6
	cm	7.5	7.4	7.4	7.2	7.3	7.5	7.8	7.6	7.6	7.8
	出水時間 sec	7.6	7.5	7.2	7.3	7.4	7.6	7.5	7.5	7.7	7.4
		7.5	7.6	7.3	7.2	7.5	7.9	7.7	7.4	7.5	7.5
sec	平均	7.5	7.5	7.3	7.2	7.4	7.6	7.5	7.6	7.6	7.6

四、整個系統設計時的困難與改善：在無水狀態下，整個系統的轉速為 285 rpm ~ 305 rpm，但當呈現在「有水狀態下」，整個系統的轉速大幅降為 67 rpm ~ 177 rpm。呈現兩組降幅狀態 (一) 67 rpm ~ 76 rpm：阿基米德螺紋葉風車、水車。(二) 107 rpm ~ 177 rpm：風車、阿基米德汲水器。原因：水的阻力讓轉速大幅降低，使得我們在設計實驗裝置時困難重重，必須做一些改善：包括 1. 尋找一定風量的工業用電風扇 2. 水車量體縮小(由輪 20cm 縮小為 14cm) 即可轉動順利。另外(輪 20cm)的水車，在每個葉片尖端打 20 個小洞，以減少水阻力後，即可轉動。3. 阿基米德汲水器量體縮小：內螺旋葉片由 12 cm 縮小為 8 cm，但管長不變，即可順利轉動汲水。4. 將來可將瓦楞板(pp 片)改用材料 0.3 mm 厚的鋁板代替，輕量化之後，以大幅減少水阻力所造成的影響。5. 如果要增加水車的曝氣能力，可將水車(輪 14 cm)：風車(輪 28 cm) = 1：2 等比例放大，預測系統將能穩定輸出動能，轉而增加水車打水曝氣能力。6. 水車本身葉片的設計亮點：(1) 湯匙狀的葉片可承接並儲存剛衝擊而下的水柱，而此水柱相信可以產生最大的動能，可以做進一步的實驗。(2) 湯匙狀的葉片中間隔開左右，各有一個溢道，可以將水順勢帶出，以減少水的阻力。

五、阿基米德螺紋葉風車在「無水的狀態」下：我們設計的阿基米德螺紋葉風車(輪 28cm、螺紋葉高度 24 cm)有不錯的轉動效能(轉速 286 rpm ~ 293 rpm)接近各種形式的風車(轉速 284

rpm ~ 304 rpm)，但在「有水狀態」下推動水車後轉動效能變為(轉速 67 rpm ~ 72 rpm)，因為水的阻力的關係而下降，如何提高阿基米德螺紋葉風車的效能(一) 輪距：螺紋葉片高度 = 28 cm : 24 cm，調成接近 1 : 1 (二) 將製作的材料，由瓦楞板改為 0.3 mm 厚度的鋁板替代，將鋁板製的螺紋葉片旋轉入中央軸焊接而成一體，整個風車輕量化的結果，讓整個系統更加穩定、轉動的動能更大。(三) 底板調整成更接近動力轉移中心(兩個 45° 20 齒傘齒輪連接處)，使得轉動保持一個更穩定的旋轉狀態，讓轉速更大、旋轉動能更大。

六、根據不同輪軸比所構成系統，對於水車打水能力所做的探討

改變輪軸比風車的系統比較(有水狀態)

輪 葉片	20 cm 12*24 cm ²	22 cm 12*24 cm ²	24 cm 12*24 cm ²	26 cm 12*24 cm ²	28 cm 12*24 cm ²
各種風車轉速 rpm	143.1	146.2	150.6	166.2	176.4
管長 73.5 cm、內螺旋 管徑 8 cm 阿基米德 汲水器 轉速 rpm	133.3	144.2	149.0	168.0	174.7
阿基米德螺紋葉 風車 28 cm 轉速 rpm	69.2	68.1	67.1	71.0	72.5
輪 14 cm 水車 轉速 rpm	68.3	68.7	70.2	74.8	75.6
管長 73.5 cm、內螺旋 管徑 8 cm 阿基米德 汲水器 每分鐘出水量 cc	1954	1990	2036	2050	2076

(一) 整個系統的轉速越大，阿基米德汲水器的出水量也越大，水車的轉速也變快，水車打水能力變強，使得整個系統對水的曝氣效能變好！(二) 改變風車的輪軸比，我們得到一個最佳打水曝氣效能的系統組合為：1. 輪 28 cm、葉片 12*24 cm² 的風車 2. 管長 73.5 cm、內螺旋管徑 8 cm 的阿基米德汲水器 3. 輪 28 cm、葉片 24 cm 高的阿基米德螺紋葉風車 4. 輪 14 cm、支撐軸 6cm、葉片 12 cm (製成湯匙狀葉片) 的水車。

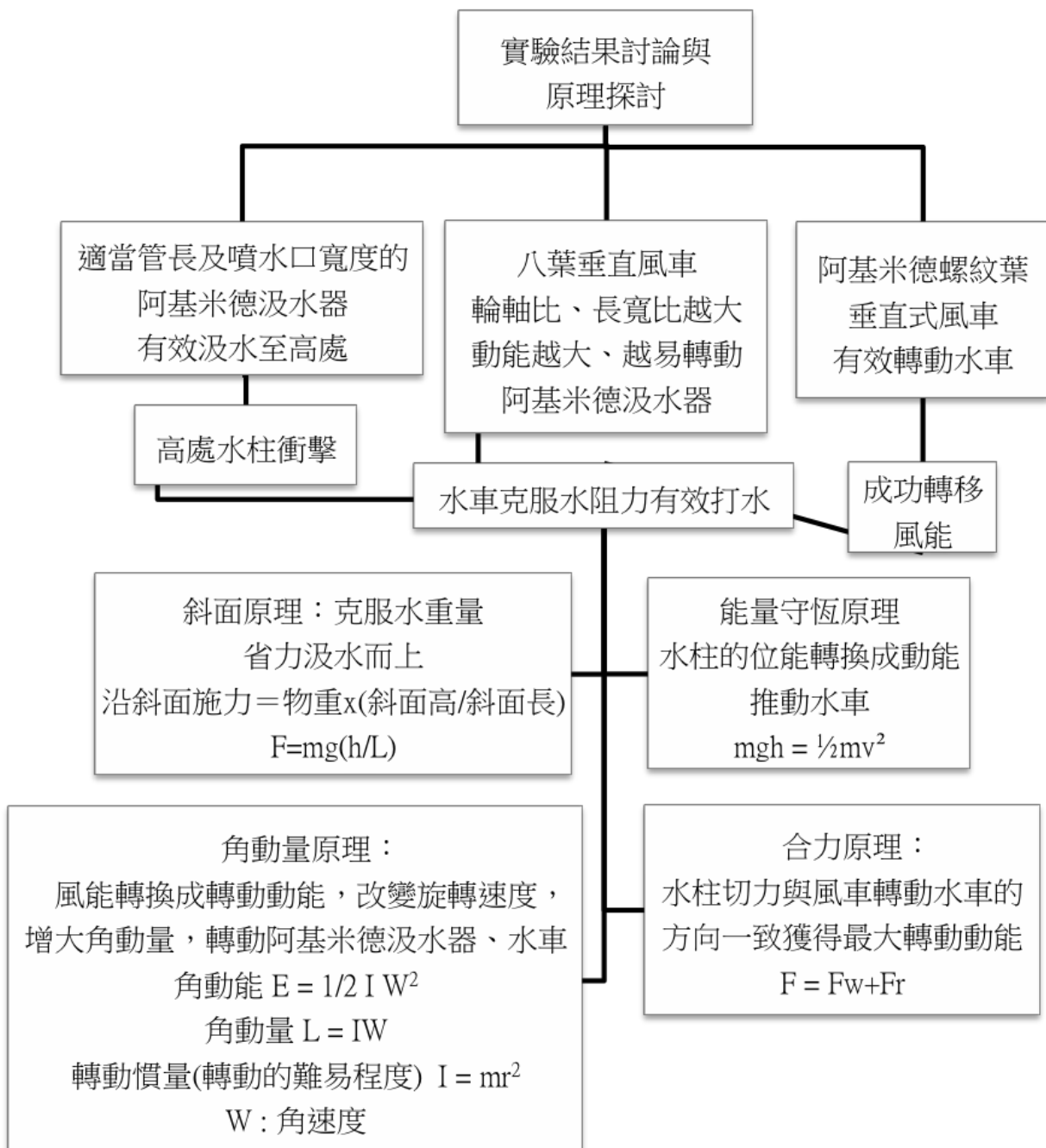
七、根據不同長寬比風車所構成系統，對於水車打水能力所做的探討

改變長寬比風車的系統比較(有水狀態)

輪 葉片	20 cm 12*20 cm ²	20 cm 12*22 cm ²	20 cm 12*24 cm ²	20 cm 12*26 cm ²	20 cm 12*28 cm ²
各種風車轉速 rpm	110.2	132.1	145.2	155.5	160.2
管長 73.5 cm、內螺旋 管徑 8 cm 阿基米德 汲水器轉速 rpm	107.2	125.7	132.1	145.7	157.8
阿基米德螺紋葉 風車 28 cm 轉速 rpm	67.9	68.0	68.6	70.0	70.3
輪 14 cm 水車 轉速 rpm	67.0	69.0	69.5	70.9	71.2
管長 73.5 cm、內螺旋 管徑 8 cm 阿基米德 汲水器 每分鐘出水量 cc	1892	1944	1976	2004	2026

(一) 整個系統由於風車的葉片變高 1. 使得風車轉速逐漸變大 2. 帶動阿基米德汲水器轉速也逐步變大，使得出水量也逐步變大，提供給水車動能的「水質量」變大，所儲存的「位能」變大，當位能轉變為動能時，對水車轉動的衝擊也變大，而帶動水車快速打水轉動。3. 另外受水車連帶影響的阿基米德螺紋葉風車也稍加變快轉動，進而也帶動水車快速轉動，轉動的動能是「提升」而不是互相抵消。4. 整個系統使得水車能克服非常大的水阻力而逐步快速轉動，使得水車打水能力變強，使得整個系統對水的曝氣效能變好！(二) 改變風車的長寬比，我們得到一個最佳打水曝氣效能的系統組合為 1. 輪 20 cm、葉片 12*28 cm² 的風車 2. 管長 73.5 cm、內螺旋管徑 8 cm 的阿基米德汲水器 3. 輪 28 cm、葉片 24 cm 高的阿基米德螺紋葉風車 4. 輪 14 cm、支撐軸 6 cm、葉片 12 cm (製成湯匙狀葉片) 的水車。

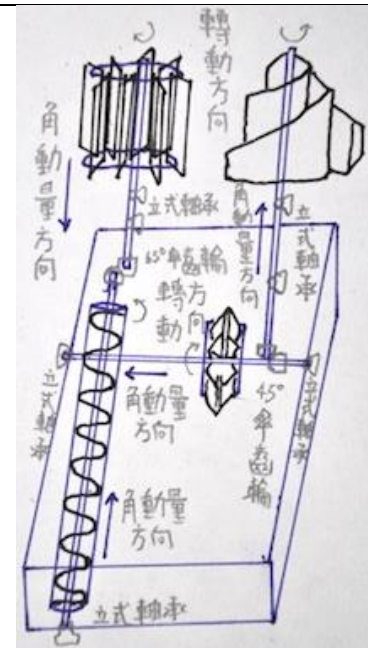
八、實驗結果討論與原理探討



九、一個有趣的現象，實驗過程中一定要檢查的誤差。
 (一)下列情況發生時，定位螺母與立式軸承環會分開。1. 阿基米德汲水器螺絲軸整支往上方移動 2. 水車螺絲軸整支往左移動 3. 八葉垂直式風車螺絲軸往下移動 4. 阿基米德螺紋葉風車螺絲軸往上方移動 (二)立式軸承以軸承環上的兩個小螺絲固定螺絲軸，有時這兩個螺絲會鬆開 (三)螺絲軸所移動的方向：該裝置旋轉裝置「角動量的方向」。

角動量原理：(1)依力矩轉動的方向是「右手原則」的「四指方向」(2)螺絲軸移動的方向即是「拇指指向」的「角動量方向」。

改善方式：(1)在立式軸承上，可使用黏膠或墊片卡死螺絲軸與立式軸承間的空隙，也就是完全固定。(2)每次實驗前，均檢查每一個裝置是否在最初的位置上。



柒、結論

一、阿基米德汲水器管長越長、灑水高度越高、水的位能也越大，水量轉成對水車的旋轉動能也越大。但汲水後，越長的阿基米德汲水器的量體也越重，越不容易被風車所轉動。

二、阿基米德汲水器汲水後，噴水口的寬度越寬則噴水量越大。

三、在改變輪軸比的風車系統中，輪軸比越大，風車轉動阿基米德汲水器的能力也越好，以輪 28 cm、葉片 12*24 cm² 的風車轉速最高，轉動阿基米德汲水器的汲水量和轉速也最高，而以輪 20 cm、葉片 12*24 cm² 的風車轉速最低，轉動阿基米德汲水器的汲水量和轉速也最低。在高位能的水柱以切力方向往下沖刷與阿基米德螺紋葉風車轉移的旋轉動能巧妙地結合在一起，互相帶動而轉動水車。

四、在改變長寬比的風車系統中，長寬比越大，風車轉動阿基米德汲水器的能力也越好，以輪 20 cm、葉片 12*28 cm² 的風車轉速最高，轉動阿基米德汲水器的汲水量和轉速也最高。而以輪 20 cm、葉片 12*20 cm² 的風車轉速最低，轉動阿基米德汲水器的汲水量和轉速均最低。足夠水量的高處水柱與阿基米德螺紋葉風車的風能轉移成動能並且穩定地轉動水車。

五、在有水的狀態下，無論是改變輪軸比或長寬比的風車帶動管長 73.5 cm 阿基米德汲水器和水車的轉速分別為 (107~174 rpm) 和 (67~75 rpm)。所以兩個 65° 和 45° 20 齒傘齒輪(動力承接轉軸)均有效地將風能轉移成旋轉動能。

六、我們設計的阿基米德螺紋葉風車，其底板為三個互相對稱的阿基米德螺旋所構成而環繞中軸，三個葉片高度由 8 cm 至最高 24 cm，沿著阿基米德螺旋環繞而上，風柱能使風車產生不錯的轉速 (285 ~ 295 rpm)，在無水的狀態下，類似八葉垂直型風車的轉速。

七、水車中湯匙狀的葉片可承接並儲存剛衝擊而下的水量，衝擊的切力加上水的重量，適時轉動水車。而湯匙狀葉片中間隔開左右各有一個溢道，可將水順勢帶出以減少水的阻力。

八、綜合以上各點：越大輪軸比、長寬比的垂直式風車越有效轉動適當管長、噴水口寬度的阿基米德汲水器汲水至高處，成為有效水柱推動水車，而阿基米德螺紋葉垂直式風車有效結合水柱克服水阻力轉動水車，我們成功製做出一個有效結合綠能(水力、風力)的打水曝氣系統，而最佳系統組合為：(1) 輪 28 cm、葉片 12*24 cm² 的八葉風車 (2) 管長 73.5 cm、內螺旋管徑 8 cm 的阿基米德汲水器 (3) 輪 28 cm、葉片 24 cm 高的阿基米德螺紋葉風車 (4) 輪 14 cm、支撐軸 6 cm、葉片 12 cm 製成的湯匙狀葉片的水車。

捌、參考資料

陳善南(2015) 台灣水產養殖業至少有 100 萬台增氧機，1 年用電量 85 億度。20201008 節錄自：

<https://www.storm.mg/article/338628?page=1>

林于蘊(2020) 台積電全球能源消耗量為 143.3 億度 20201008 節錄自：

<https://news.xfastest.com/tsmc/84443/2019-tsmc-power-consumption/>

陳奕中(2015) 水產養殖節電現況及展望。20201007 節錄自：

<https://www.coa.gov.tw/ws.php?id=2503585>

林龍富(2019) 綠能優先之養殖魚塭節能。能源教育資源總中心。20200929 節錄自：

<https://learnenergy.tw/index.php?inter=knowledge&caid=4&id=351>

洪薇棋(2016) 風生水起-直立式風力魚塭曝氣器之研究。20201004 節錄自：

<https://www.ntsec.edu.tw/ScienceContent.aspx?cat=&a=0&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=69&sid=13063>

溫昀哲(2012) 風力節能水車。行政院農業委員會。20201006 節錄自：

https://tatm.coa.gov.tw/event/2012/2012_C01.pdf

黃齊緯(2014) 磁旋追能，中華民國第 54 屆中小學科學展覽會作品說明書。20201021 擷取自：<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/54/pdf/030820.pdf>

新高能源科技(2012) 小型垂直軸風力發電機。20201021 擷取自：http://www.hi-vawt.com.tw/tw/tw_why_vaswt.html

劉亞樵(2011) 磁浮風車之轉動效能。20201021 節錄自：

<https://www.shs.edu.tw/works/essay/2011/11/2011110922114504.pdf>

陳琮仁(2018) 阿基米德的小秘密，中學生網站小論文作品集。20201021 節錄自：

<https://www.shs.edu.tw/works/essay/2018/11/2018111615092991.pdf>

環宇廣播電台(2016) 阿基米得螺管水車提水的操作技巧，youtube。20201021 擷取自：

https://www.youtube.com/watch?v=fIN_Q8SbUr8

Pelton water wheel (impulse turbine)(2020) 可受衝擊的湯匙狀葉片水車 20201012 擷取自：

https://energyeducation.ca/encyclopedia/Pelton_turbine

蔡文居(2011) 水簾式滾輪水車，電力節省一半，成大先進動力系統研究中心的風力節能水車，自由時報。20201022 節錄自：<https://news.ltn.com.tw/news/local/paper/501645>

NTCU(2009) 科學遊戲 Lab：螺旋鑽 螺紋的原理和斜面相同，斜面愈長或斜面高愈短即斜角愈小，則愈省力 20201006 擷取自

www.ntcu.edu.tw/scigame/engine/engine-011.html

國立臺灣科學教育館 (2011) 力學能守恆定律:滾球的運動情形， $U(\text{位能})=mgh= E(\text{動能})=\frac{1}{2}mv^2$ 20201224 擷取自

[file:///Users/apple/Downloads/\[%E5%8A%9B%E5%AD%B8%E8%83%BD%E5%AE%88%E6%81%86%E5%AE%9A%E5%BE%8B%E8%AA%AA%E6%98%8E%E5%96%AE_727%20\(1\).pdf](file:///Users/apple/Downloads/[%E5%8A%9B%E5%AD%B8%E8%83%BD%E5%AE%88%E6%81%86%E5%AE%9A%E5%BE%8B%E8%AA%AA%E6%98%8E%E5%96%AE_727%20(1).pdf)

中山大學(2012) 101 學年看板：角動量原理 $I(\text{轉動慣量}) = M(\text{質量}) \times R^2(\text{半徑平方})$; $L(\text{角動量}) = I(\text{轉動慣量}) \times \omega^2(\text{轉速})^2$; 角動能 $E = \frac{1}{2}I\omega^2$ 20201015 擷取自

<http://www2.nsysu.edu.tw/physdemo/2012/B3/%E8%A7%92%E5%8B%95%E9%87%8F-101%E5%AD%B8%E5%B9%B4%E7%9C%8B%E6%9D%BF.pdf>

【評語】 032914

本作品利用風力製作綠能水車增氧機來節省魚塭打水機所需的電費。研究內容涉及八葉垂直型風車、阿基米德汲水器、垂直式阿基米德螺紋葉風車、水車，打造一個綠能的打水曝氣系統。實驗中探討了水位，噴水口寬度垂直風車輪軸比和長寬比對灑水程度的影響，細心探討變因的影響，並克服困難完成作品。概念發想圖手繪非常詳細與到位，顯示研究團隊用心及投入，且研究架構規劃細緻，方便理解實驗流程，組裝與測試架構完整且實驗數據整理用心。

以下建議：

1. 建議可增加探討水中溶氧量、化學需氧量是否可藉由此裝置提升，另外水中之有機污染物濃度、氨氮、亞硝酸鹽氮等是否能有效被降低。
2. 建議評估多元設備與複雜的機構是否導致後續維修保養以及故障頻率高問題。
3. 投影片第一張標題頁建議使用自己的成果。

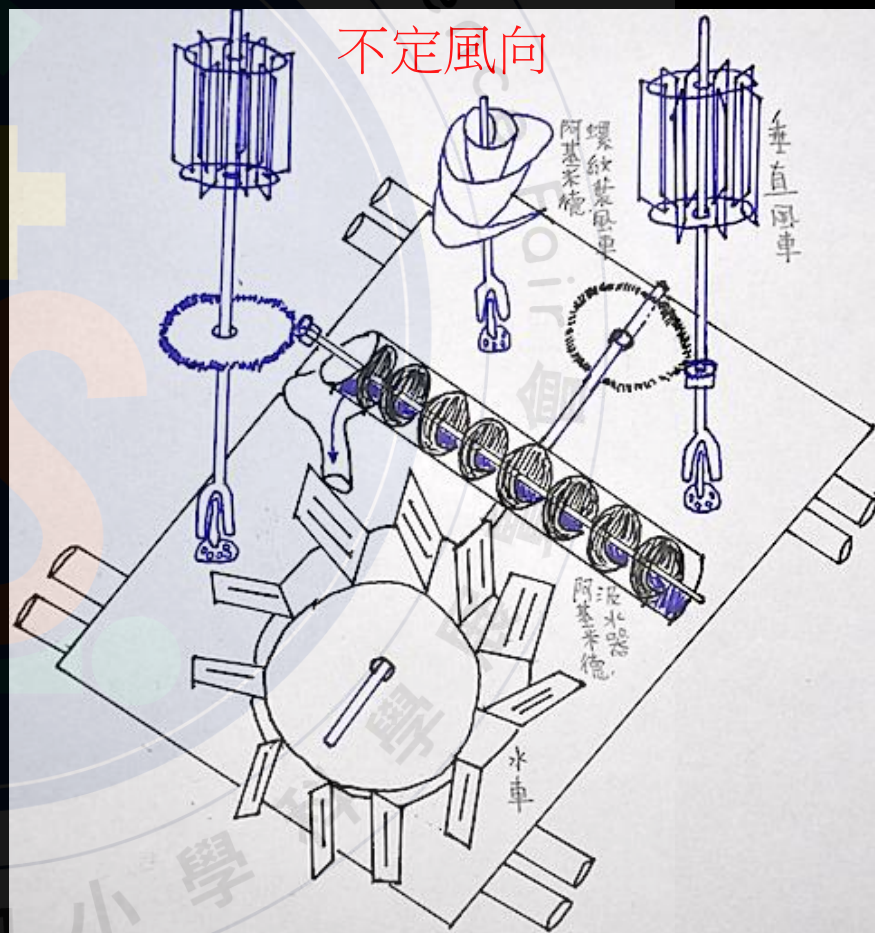
作品簡報

“風起水湧” 綠能魚塢水車效能之研究

研究動機

全臺魚塢因全天候用電開啟的增氧機衍生出高電費，我們可以利用魚塢的水和風力製做綠能水車增氧機來節省電費。

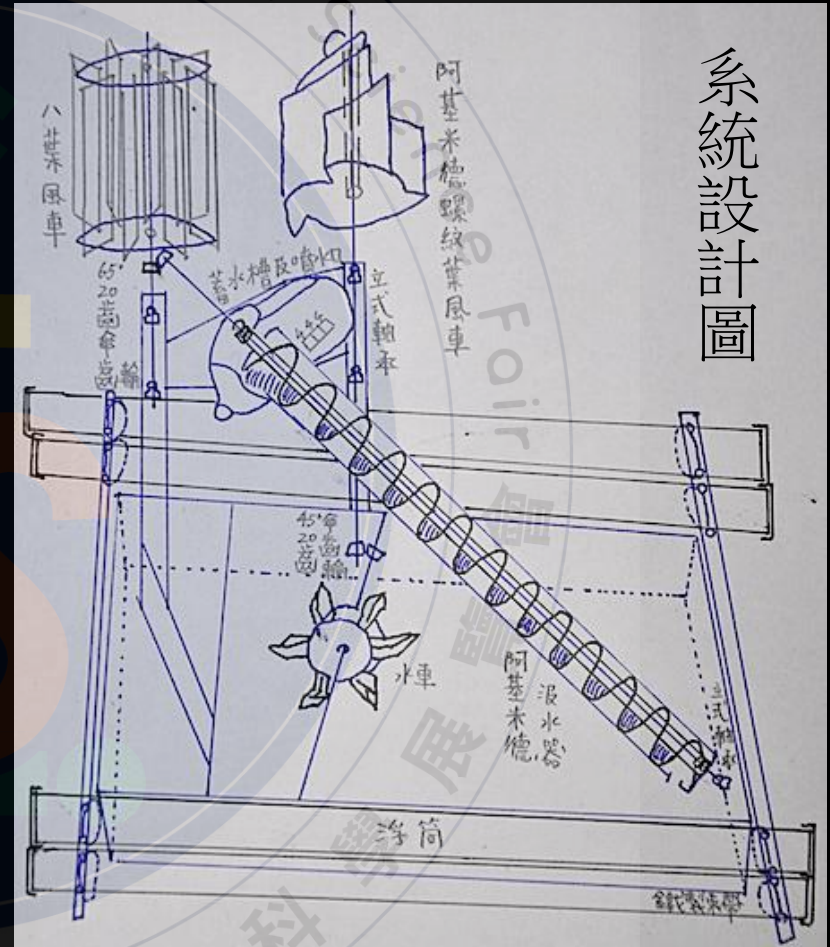
綠能水車增氧機發想圖



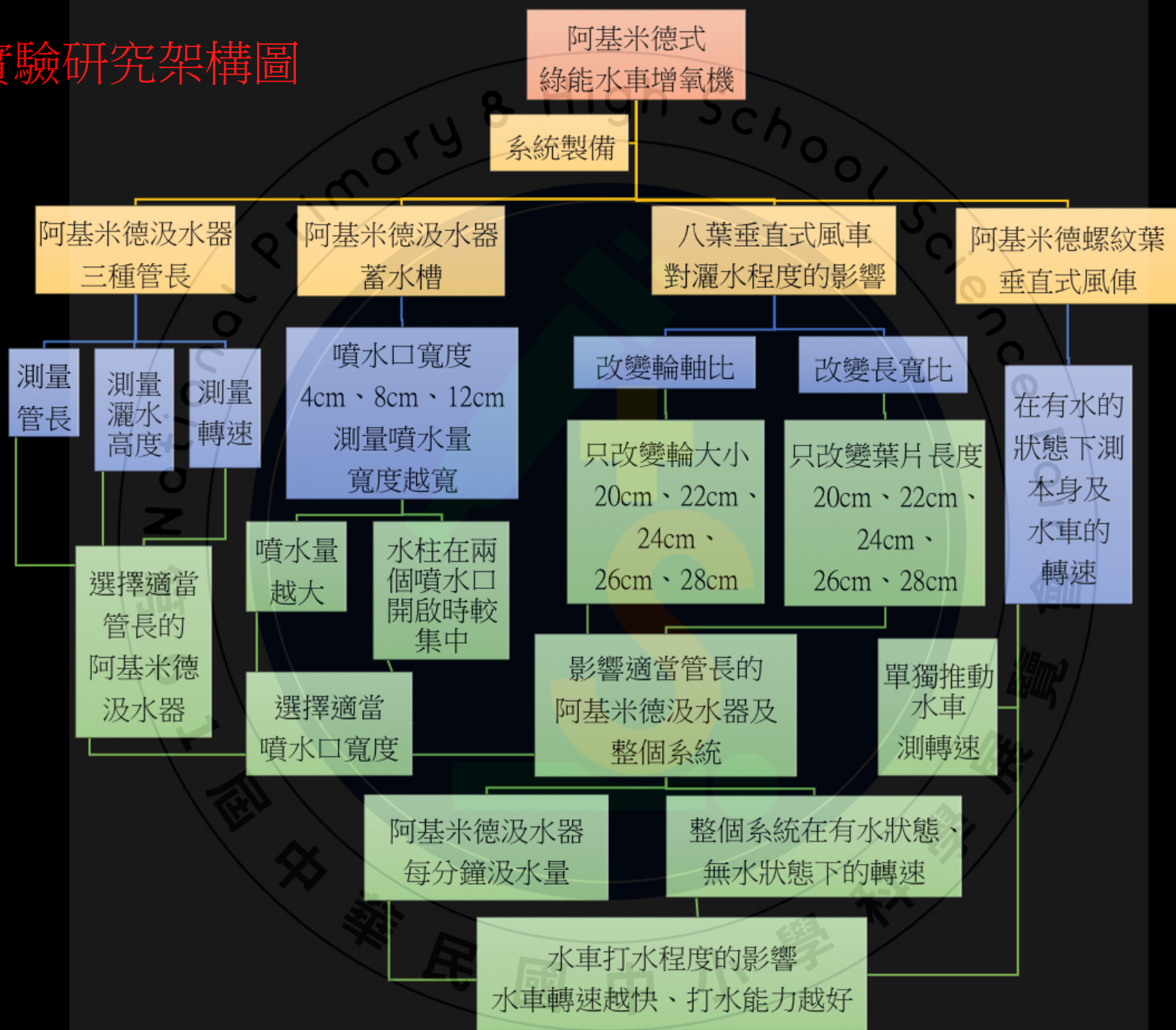
研究目的

- 一、管長對於噴水式汲水器灑水高度的影響。
- 二、噴水口寬度對於噴水式汲水器灑水程度的影響。
- 三、垂直風車輪軸比對於噴水式汲水器灑水程度的影響。
- 四、垂直風車長寬比對於噴水式汲水器灑水程度的影響。

系統製備



實驗研究架構圖





改變輪軸比

角動量原理：風能轉換成轉動動能，改變旋轉速度，增大角動量，

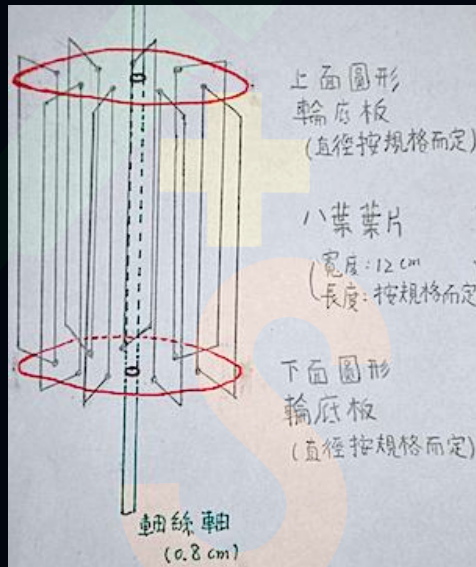
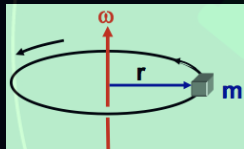
轉動阿基米德汲水器、水車

角動能 $E = 1/2 I W^2$

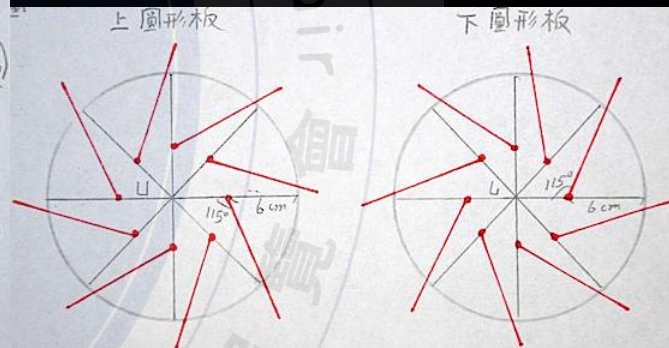
角動量 $L = IW$

轉動慣量(轉動的難易程度) $I = mr^2$

W : 角速度



八葉垂直式風車



改變長寬比



葉片 12*20

葉片 12*22

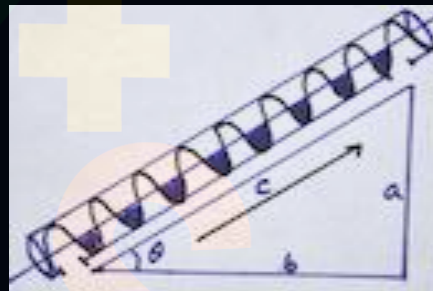
葉片 12*26

葉片 12*26

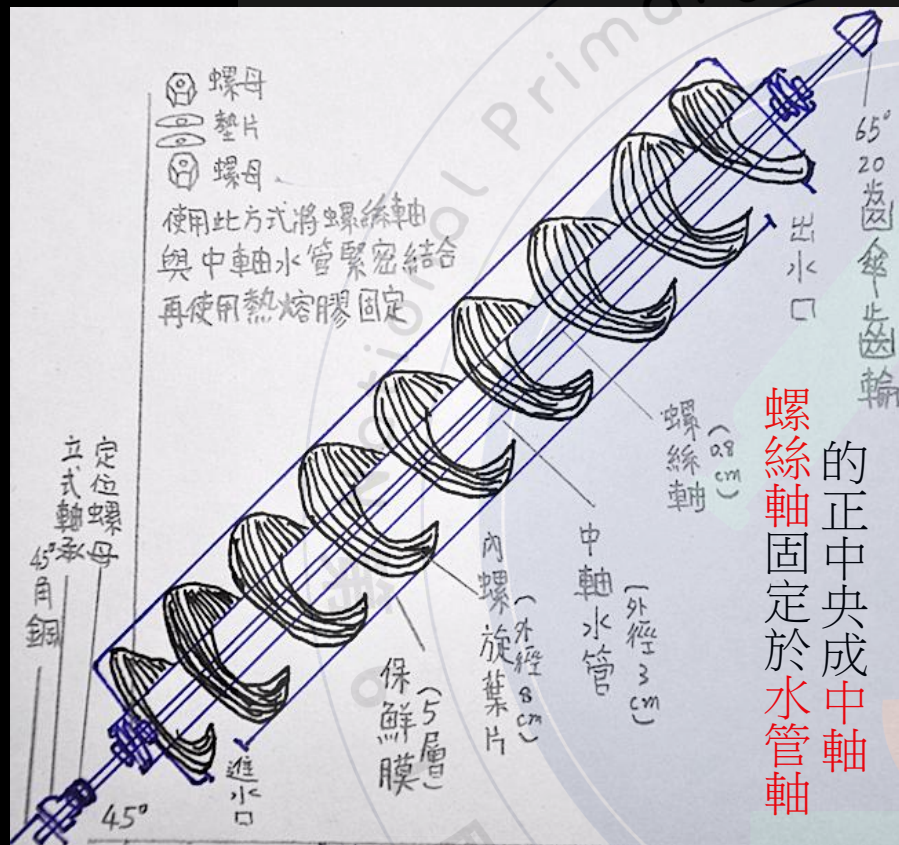
葉片 12*28

阿基米德汲水器

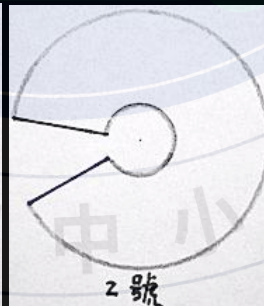
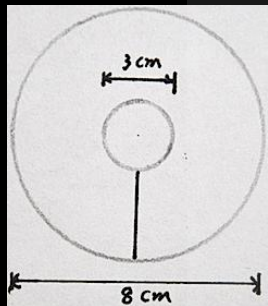
適當管長及噴水口寬度的阿基米德汲水器有效汲水至高處。運用斜面原理克服水重量，省力汲水而上。

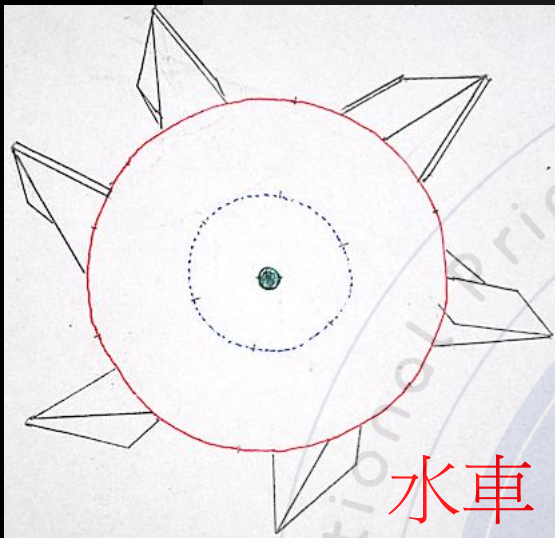


沿斜面施力 = 物重 X (斜面高/斜面長)
 $F = mg(h/L)$

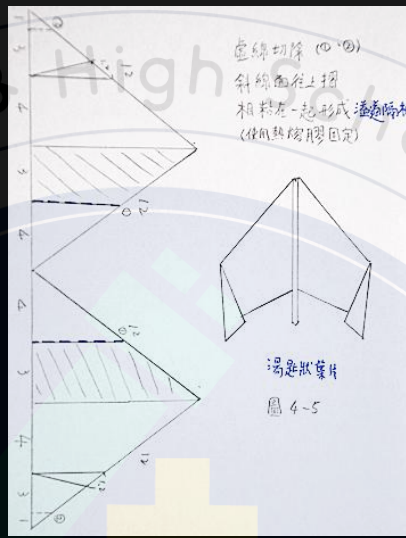
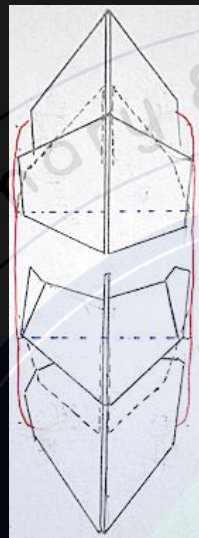


螺絲軸固定於水管軸的正中央成中軸

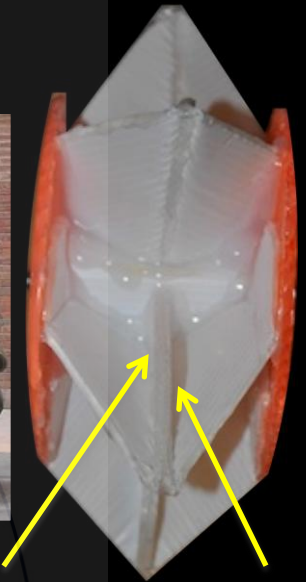




水車

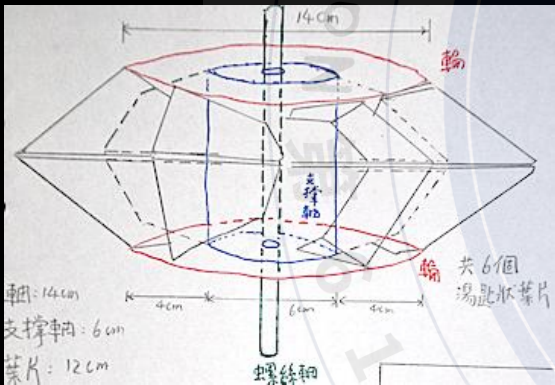


Pelton (2020)



溢道

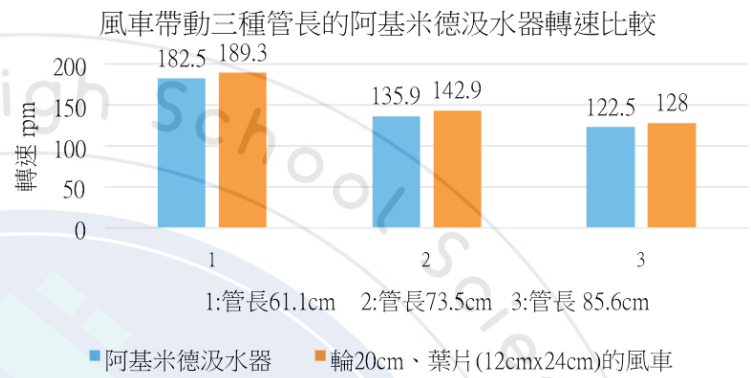
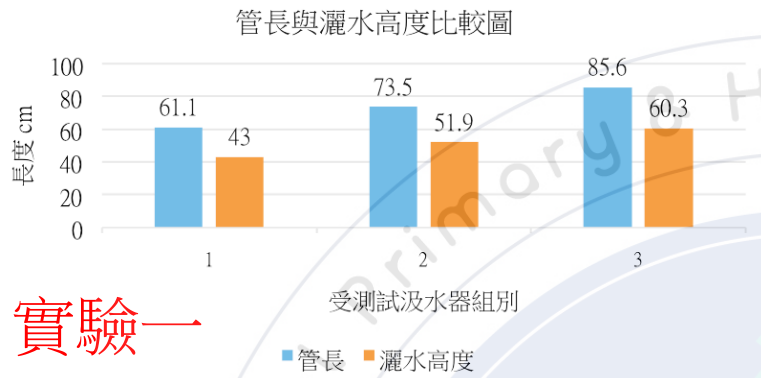
溢道



水車克服水阻力有效打水

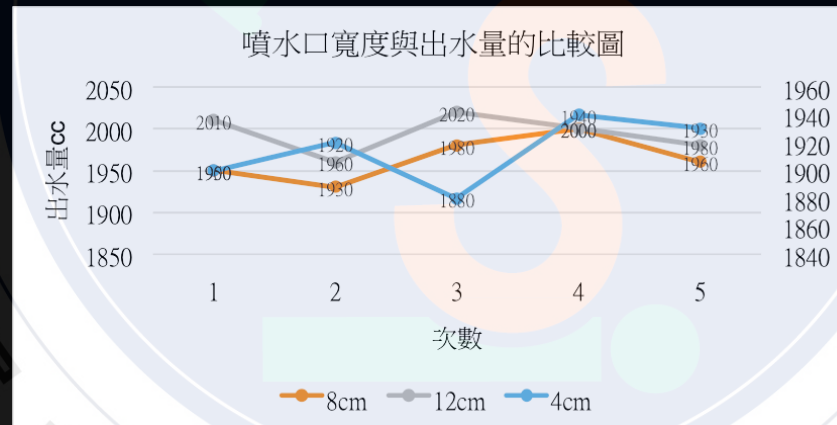
- ✓ 水車中湯匙狀的葉片可承接並儲存剛衝擊而下的水量，衝擊的切力加上水的重量，適時轉動水車。
- ✓ 湯匙狀葉片中間隔開左右各有一個溢道，可將水順勢帶出以減少水的阻力。

實驗一



1. 管長越長，灑水高度越高，水位越高，動能越大。
2. 雖然管長越長的阿基米德汲水器能將水送至更高的位置，但是充滿水之後的阿基米德汲水器勢必也越重，越難轉動。

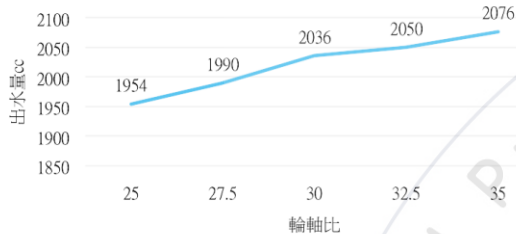
實驗二



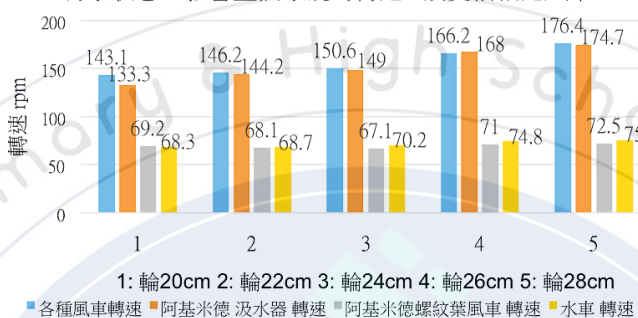
1. 噴水口越寬則出水量越大。
2. 第一出水口為最大量；第二個次之，但少很多；第三個最少，推測因出水口採水平設置，彼此競爭水量的結果。

實驗三

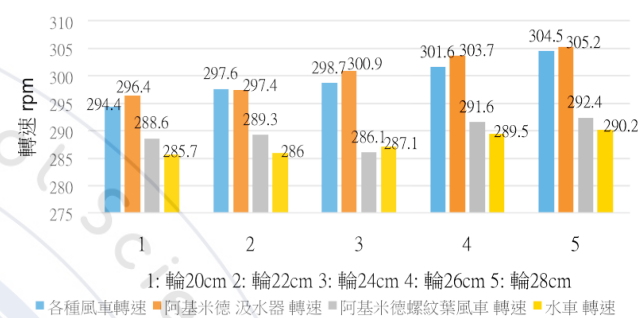
垂直式風車輪軸比對於噴水式汲水器出水量的比較



有水狀態，影響整個系統的轉速 改變輪軸比風車



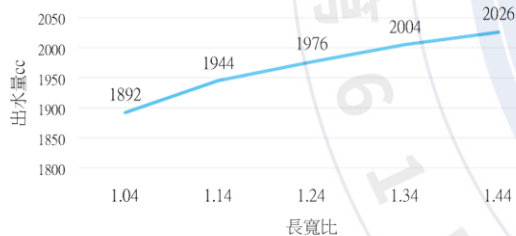
無水狀態，影響整個系統的轉速 改變輪軸比風車



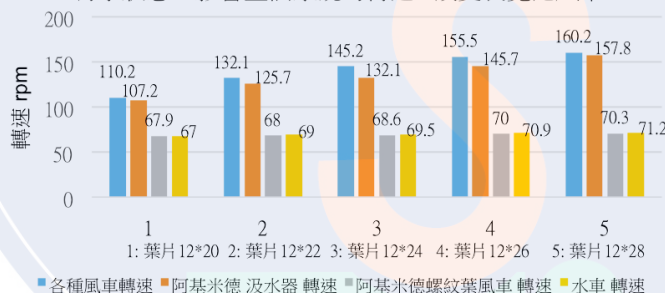
改變輪軸比的影響，無論在有水、無水狀態下，輪軸比越大則每一個裝置的轉速越大，阿基米德汲水器的每分鐘出水量也越大。每一個裝置的穩定性均足夠。

實驗四

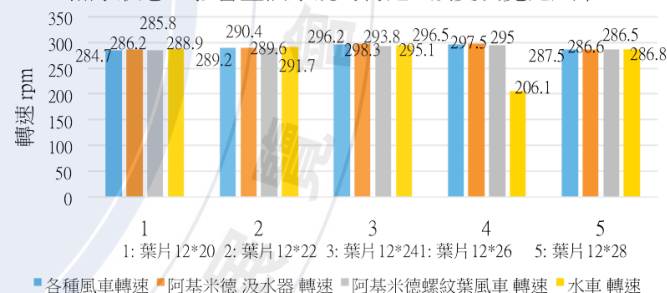
垂直式風車長寬比對於噴水式汲水器出水量的比較



有水狀態，影響整個系統的轉速 改變長寬比風車

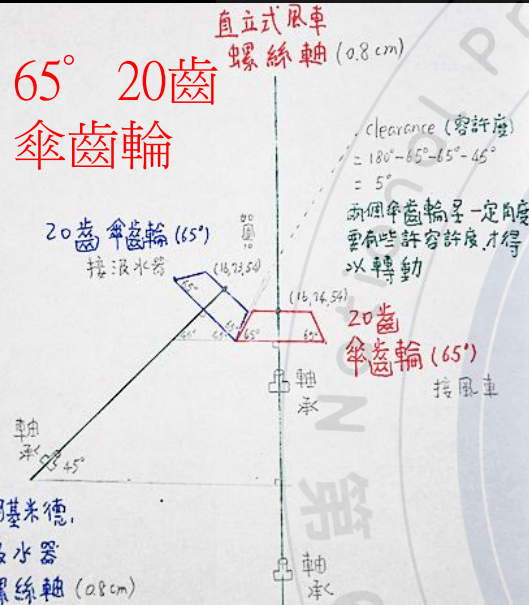


無水狀態，影響整個系統的轉速 改變長寬比風車

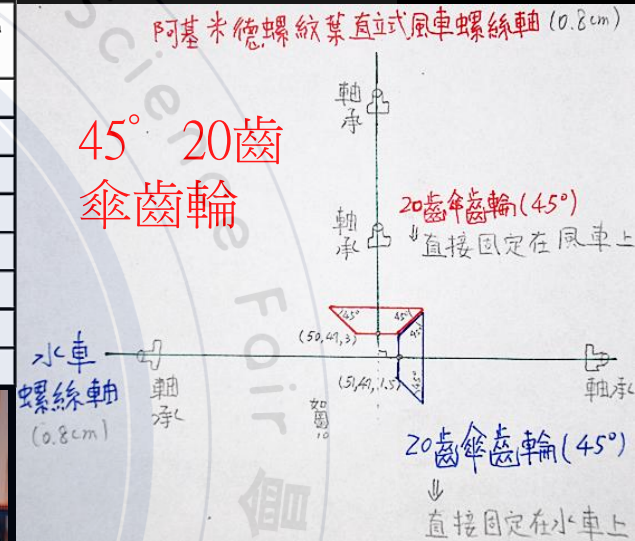


改變長寬比的影響，無論在有水、無水狀態下，長寬比越大則每一個裝置的轉速越大，阿基米德汲水器的每分鐘出水量也越大。但以輪20 cm葉片 12*28 cm²的風車穩定性稍嫌不足。

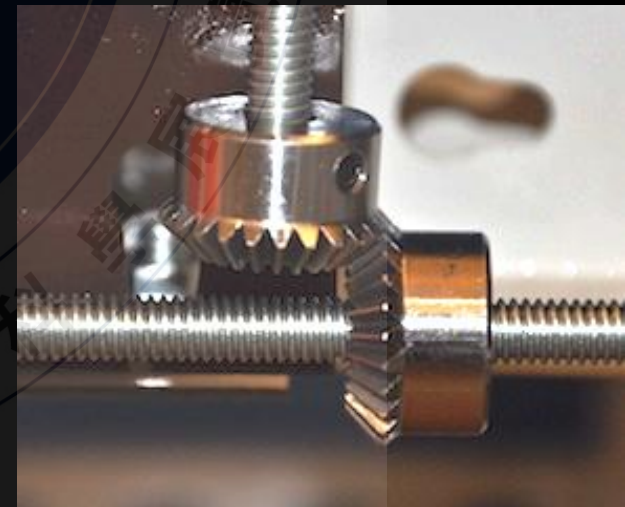
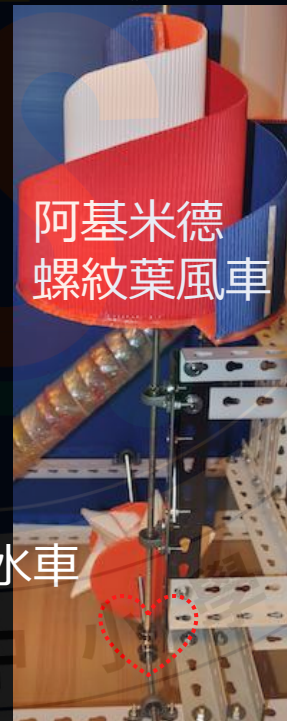
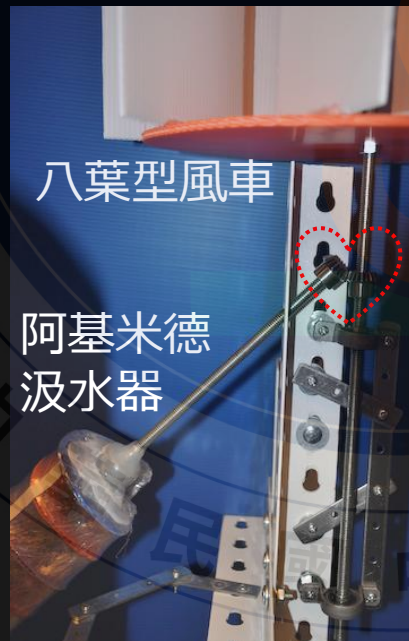
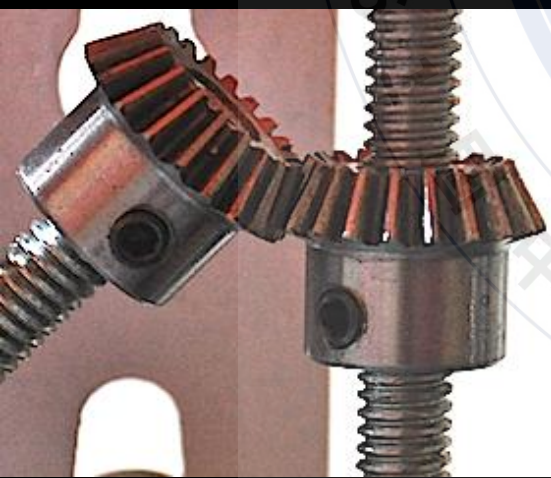
在有水狀態下，無論是改變輪軸比或長寬比的風車帶動管長73.5 cm阿基米德汲水器和水車的轉速分別為 (107~174 rpm) 和 (67~75 rpm)。所以兩個65° 和 45° 20齒傘齒輪 (動力承接轉軸) 均有效將風能轉移成旋轉動能。



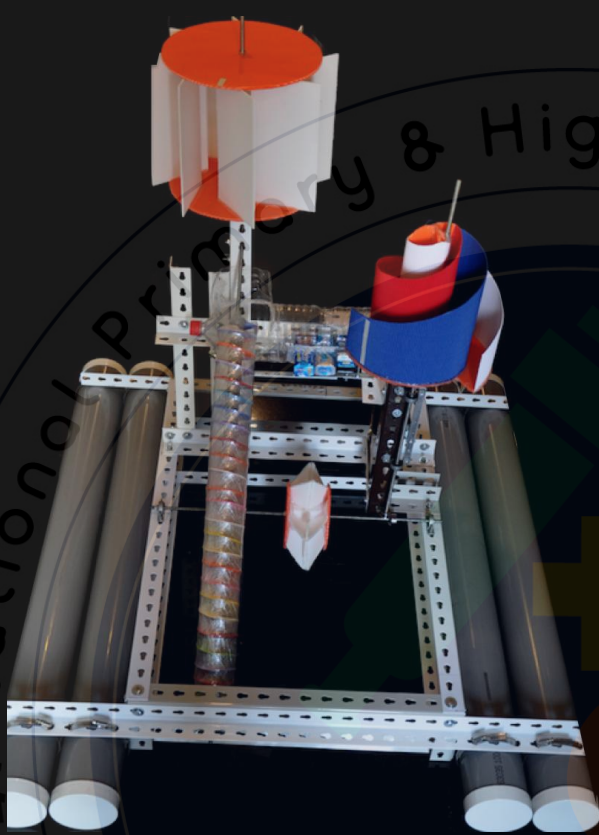
轉速 rpm		改變輪軸比 轉速變化	改變長寬比 轉速變化
各種風車	有水	143~176	110~160
平均轉速 rpm	無水	294~304	284~296
阿基米德汲水器	有水	133~174	107~157
平均轉速 rpm	無水	296~305	286~298
阿基米德螺紋葉	有水	69~72	67~70
風車平均轉速 rpm	無水	288~292	285~295
水車	有水	68~75	67~71
平均轉速 rpm	無水	285~290	288~296



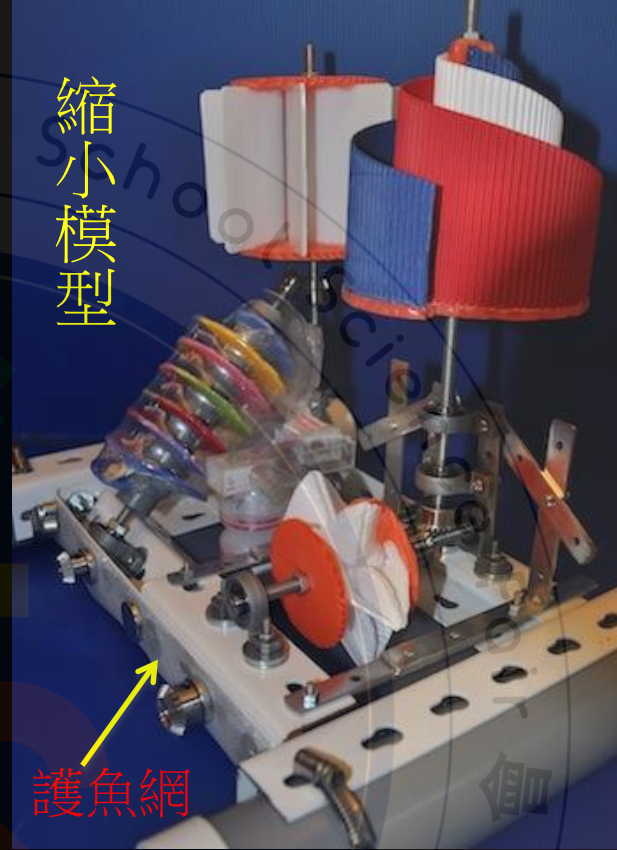
動力承接轉軸



綠能水車增氧機



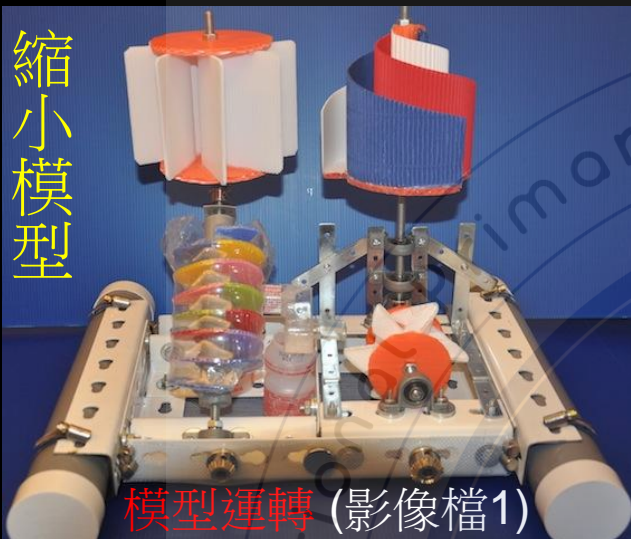
縮小模型



結論：

- 一、阿基米德汲水器管長越長、灑水高度越高和蓄水槽噴水口越寬而產生的水柱量越大。
- 二、越大輪軸比、長寬比的垂直式風車越有效轉動適當管長、噴水口寬度的阿基米德汲水器汲水至高處，產生有效的水柱推動水車。
- 三、阿基米德螺紋葉垂直式風車有效結合水柱克服水阻力轉動水車。
- 四、我們成功製做出一個有效結合綠能(水力、風力)的打水曝氣系統。

縮小模型

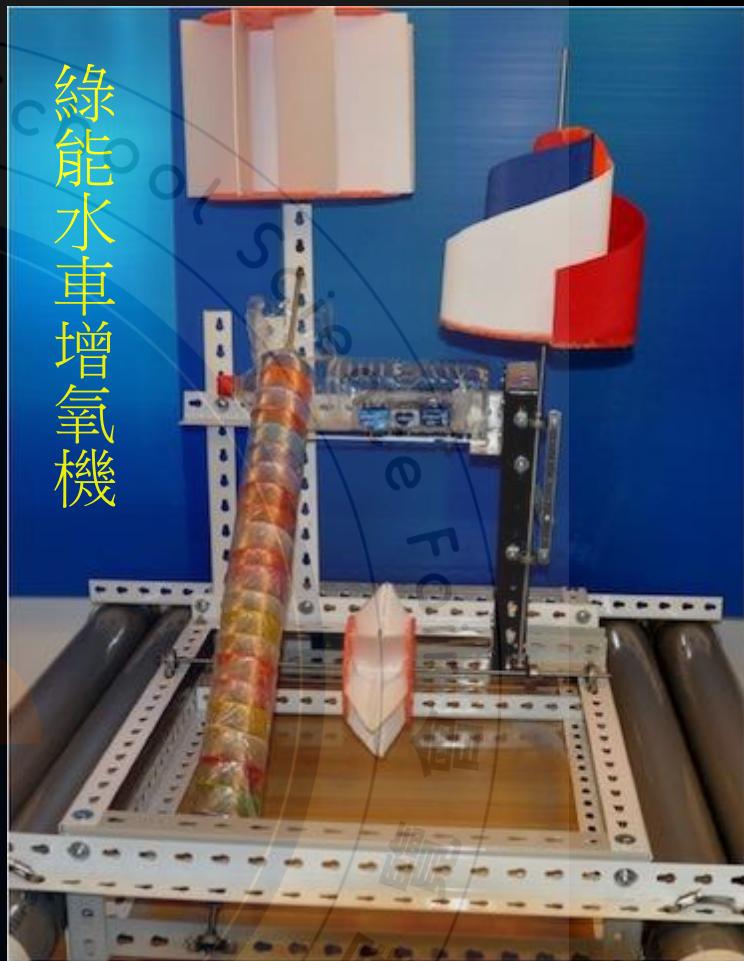


模型運轉 (影像檔1)

發想 運作

設計 成型

綠能水車增氧機

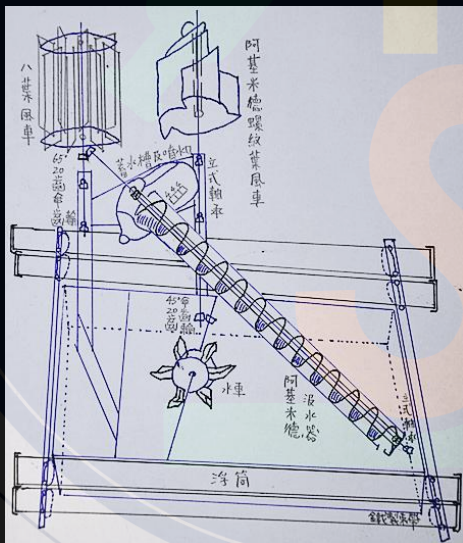
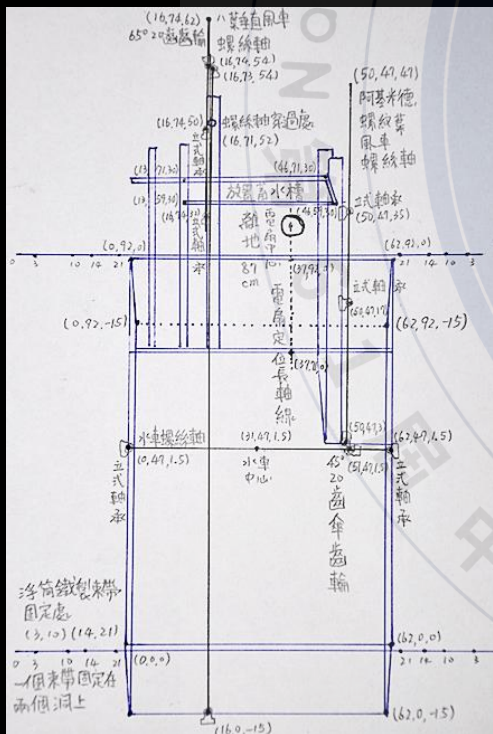


綠能水車增氧機無水運轉

(影像檔2)

綠能水車增氧機有水運轉

(影像檔3)



穩定的支架才能將

動能完整的傳遞