

地球科學科

科別：地球科學科

組別：國中組

作品名稱：葫蘆墩圳的水流之美—水愈流電愈多的水力
發電

關鍵詞：水車扇葉、力矩、發電機

編號：030504

學校名稱：

台中縣立豐東國民中學

作者姓名：

郭庭妤、洪毓柔、蔡儒芳、簡碩廷

指導老師：

賴月琴、簡金標



摘要

我們自製「氣壓式的可回收水流裝置」以**節水**的方式來探討『**水車扇葉和水流速**』的關係得知不管水流速大小，**8 支的扇葉**水車設計轉數均較低扇葉的為佳。

在設計可實際帶動發電機轉動的水車模型中，我們以作圖及計算在水流速度為 118cm/s 下，水車的最適力柄大小為 27.3cm 長。

實地以自製設計的『**水車及發電機組做葫蘆墩圳的水力發電**』測量時，我們所設計的水車其發電情形也令人滿意。所以，我們證明了：『**只要流動中的水均可以設計合適的水車帶動發電機來發電**』。在能源短缺的今天，妥善運用這種「**取之不盡、用之不竭**」的大自然力量是最值得推廣的水力發電方式。

壹、研究動機

學校科展又在招募新血了，甄選條件之一是要先交一份科學觀察報告，正當我在苦思不出主題時，假日和同學騎上鐵馬，途經葫蘆墩圳時，不禁讓我停了下來…「聽聽潺潺的水流聲、欣賞美麗的景色、好不愉快！」。

當騎到雙重排洪、像小瀑布設計的『頂角潭』時，同學也驚嘆：「好有 Power 哦！」這句話，讓不經思索的冒出：「是呀！好有 Power，這樣的水力，政府為什麼不拿來發電？」同學立刻大笑回說：「妳少白痴了，如果能用來發電，那這幾百年怎會沒人拿來利用？」回家後，那一幕還是深深的震撼著我…。

於是，我花了三天時間交了這份「觀察報告」沒想到科展老師覺得我的主題很有挑戰性、想法有創意，而且頗值得研究，所以，我便與其他同感興趣的伙伴一起接受這項困難的挑戰！

貳、研究目的

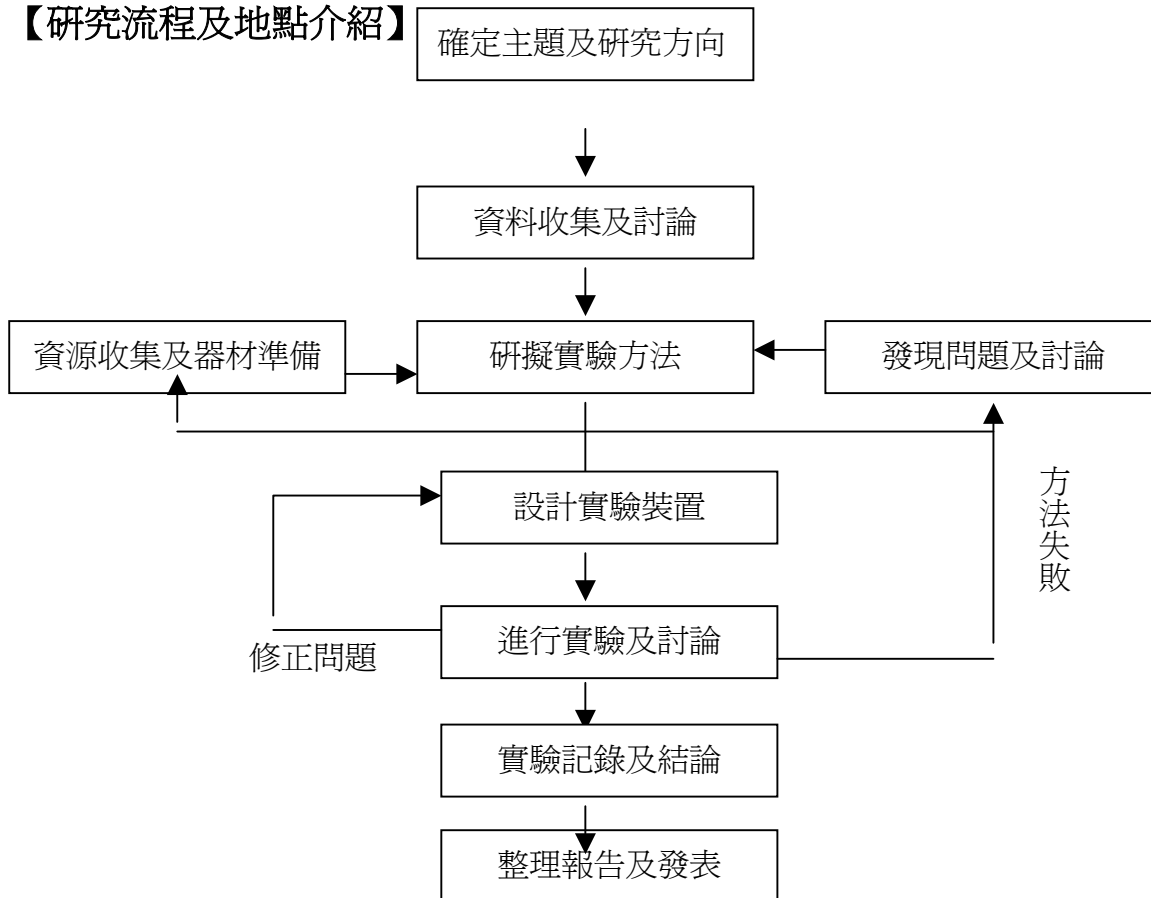
1. 探討水位高度和水流強度的關係
2. 探討出口孔徑和水流強度的關係
3. 自製氣壓式可回收水流裝置以探討水車扇葉和水流速的關係
4. 自製設計可帶動發電機轉動的水車探究
5. 以自製設計的水車及發電機組做葫蘆墩圳的水力發電探究

參、研究設備器材

No	器 材	No	器 材	No	器 材 或 藥 品
1	2 公升的牛奶塑膠空瓶	13	中空玻管	25	碼錶
2	回收 5 公升的塑膠瓶	14	L 型彎管	26	鋸尺刀
3	奇異筆	15	切割刀	27	軟尺
4	250ml 量筒	16	鐵絲	28	旗子
5	鐵架	17	木條	29	燈泡座
6	一米鋼尺	18	大橡皮塞	30	小風扇
7	碼錶	19	鑽孔器	31	數字型電錶
8	量角器	20	壓克力板	32	數位攝影機
9	棉線、繩子	21	金屬長柄勺子	33	數位相機
10	橡皮管	22	圓形滾輪	34	自製各種水車扇葉

肆、研究過程及方法

【研究流程及地點介紹】



美哉！『頂角潭』的制水閘門



『頂角潭』的排洪設計



『頂角潭』的另一道排洪設計，分水到東汴及西汴 雙排洪設計之水門，分水到軟埤仔溪
 註：兩雙排洪間有溢洪設計，洪水期，多餘的水便由左側越過溢洪，以保持一個安全的水位。



這是我們準備做水力發電的起點地~『三分水』 三分水的『第一排水閘門』
 或稱「人命水」



三分水的『口琴橋』，



三分水口琴橋處的『河道』



三分水另一側的『河道』氣勢磅礴



沿著三分水河道向下探尋的坡道水流之美

【研究一、探討水位高度和水流強度的關係】

想法及說明：

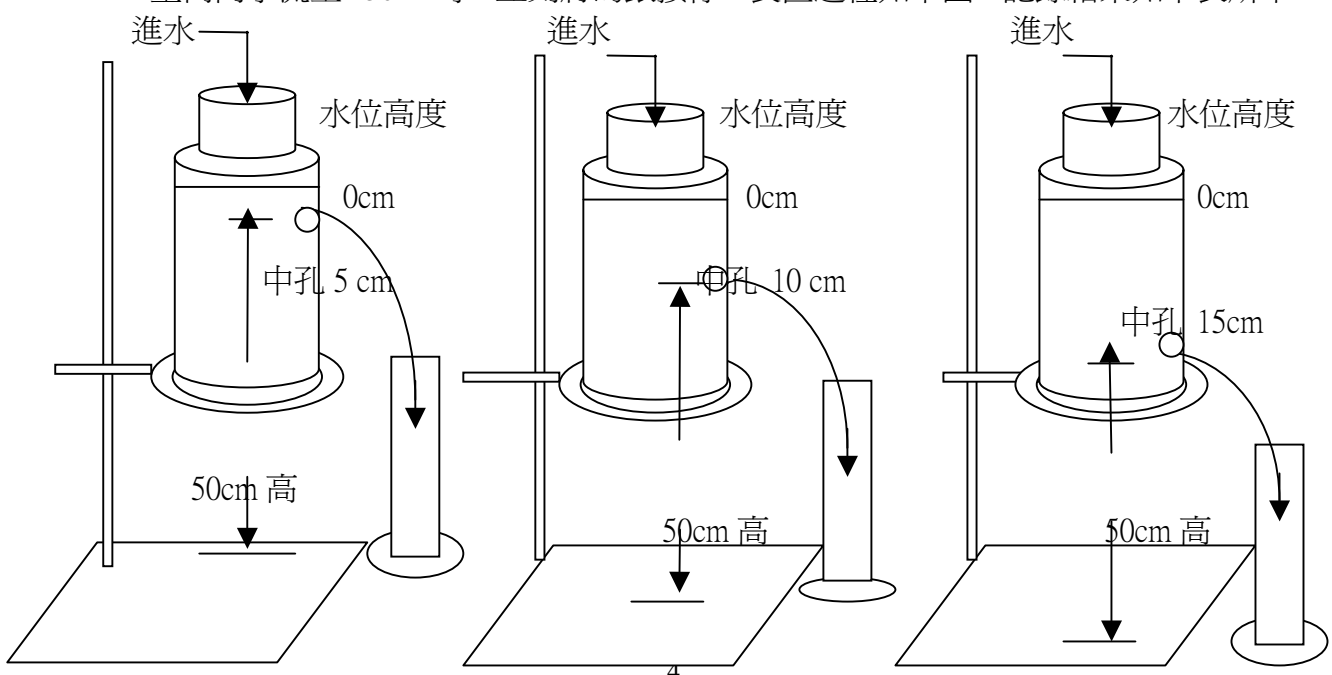
- 1 頂角潭的水從高處往下流，水位差至少有三公尺以上，水量也很多，如此危險急流，當然不可能有機會靠近實測，所以，應找個安全的地點，例如：有小坡道的小溪或小溝來做流速的測定及發電。
- 2 水力發電一定得有水位高度差才可以嗎？那平坦的溪流就不可能有水力發電嗎？老師說：「科學精神就是要實作查證，不宜先入為主」而我們不可能一天到晚常跑葫蘆墩圳，所以，在學校，我們決定要先模擬水位差和水流強度的關係。

器材：回收 2 公升的牛奶塑膠空瓶、奇異筆、焊筆、250ml 量筒、鐵架、一米鋼尺，碼錶、量角器、棉線

控制變因：同樣的容器規格、出水口孔徑大小均為中孔、同一玻璃量筒接收 250ml 水量

操縱變因：水位高度不同

- 步驟：**
- 1 牛奶塑膠空瓶先以奇異筆畫上高度計號並標示高度，鋼尺放在底座測量出水射程。
 - 2 以焊筆在不同的出水孔處打洞，將瓶以下圖裝置好，並架好一量角器以度量角度。
 - 3 由瓶口上方進水，並且盡量維持在 0 刻度的水平面。
 - 4 量筒內水流至 250ml 時，立刻將碼錶按停。裝置過程如下圖，記錄結果如下表所示。





測量出水角度



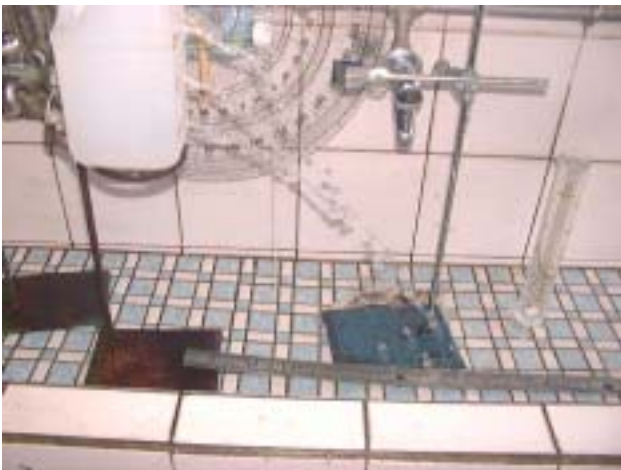
自來水自瓶口進水



測量出水射程距離



可看出水位差大者出水角度小、出水射程遠



可看出水位差大者出水射程可較遠

水位高度(cm)	5	10	15
出水射程最遠達(cm)	26	34	42
出水角度範圍	<u>40°~60°</u>	<u>10°~40°</u>	<u>0°~30°</u>
量筒集水 250ml 的時間	46.81、45.9、45.66	29.50、28.22、28.22	27.81、27.97、28.06
平均時間(秒)	42.13	28.64	27.95
水流強度(ml/秒)	5.934	8.729	8.945

結果與討論：

1 水位高度差愈大，水流強度愈大。

2 頂角潭的出水量那麼大，小溝的水流量比較小，所以，我們接下來也應模擬出口水量和水流強度的關係才是。

【研究二、探討出口孔徑和水流強度的關係】

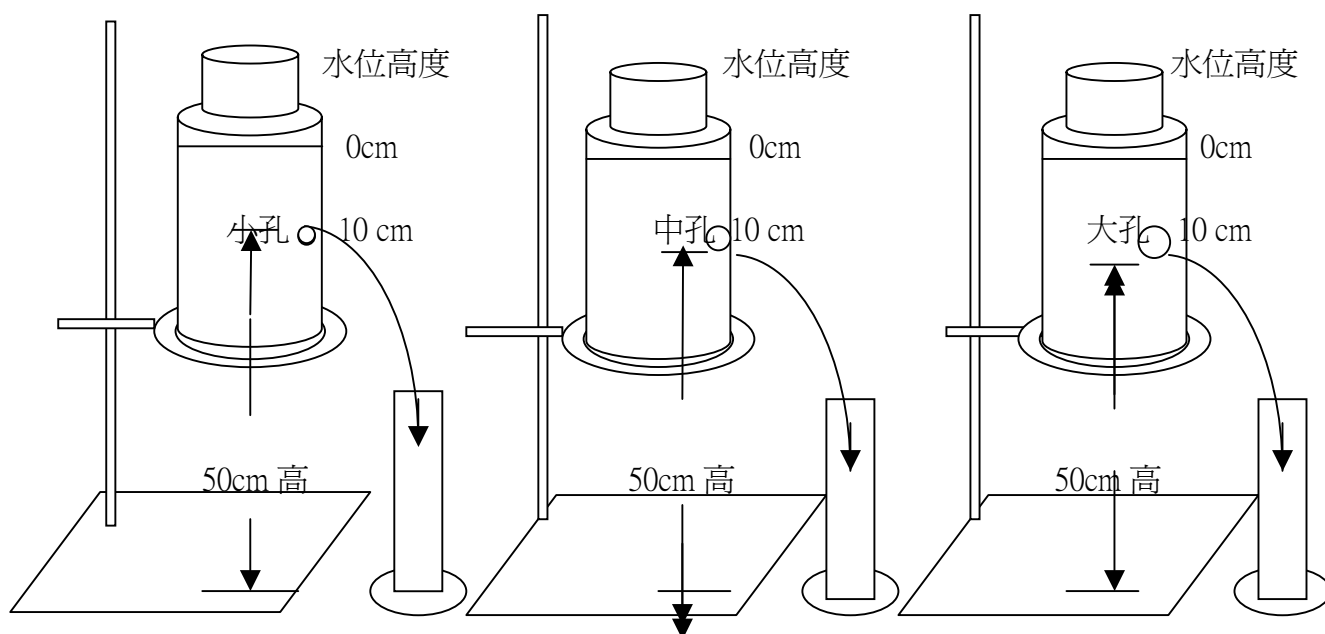
器材：同研究一

控制變因：同樣的容器規格、出水高度 10cm 高、同一玻璃量筒接收 250ml 水量

操縱變因：出水口孔徑大小不同

步驟：1 牛奶塑膠空瓶先以奇異筆畫上高度計號並標示高度，鋼尺放在底座測量出水射程。

2 以焊筆在相同的出水孔處打不同孔徑的洞，其餘步驟與研究一同。記錄結果如下表所示。



出口孔徑大小	小	中	大
出水射程最遠達(cm)	23	32	32
出水角度範圍	<u>0</u> ° ~ <u>50</u> °	<u>0</u> ° ~ <u>30</u> °	<u>0</u> ° ~ <u>35</u> °
量筒集水 250ml 的時間	142.78、 132.37 、133.9	28.63、29.00 、29.00	11.97、11.81 、11.81
平均時間(秒)	136.35	28.87	11.86
水流強度(ml/秒)	1.834	8.660	21.079

結果與討論：

1 出口孔徑（模擬水流的出水量）愈大，水流強度（ml/s）也愈大。

2 光是打個大、中、小的洞，三者的水流強速就差那麼多，那可想像頂角潭的出水量那麼大，水流強度可真是大啊！

3 由理化第 14 章電與生活單元可知：

電位能＝電量×電位差＝電流強度×電流動時間×電位差，我們可將之視為

$$E = Q \times V = I \times t \times V$$

水位能＝水量×水位差＝水流強度×水流動時間×水位差

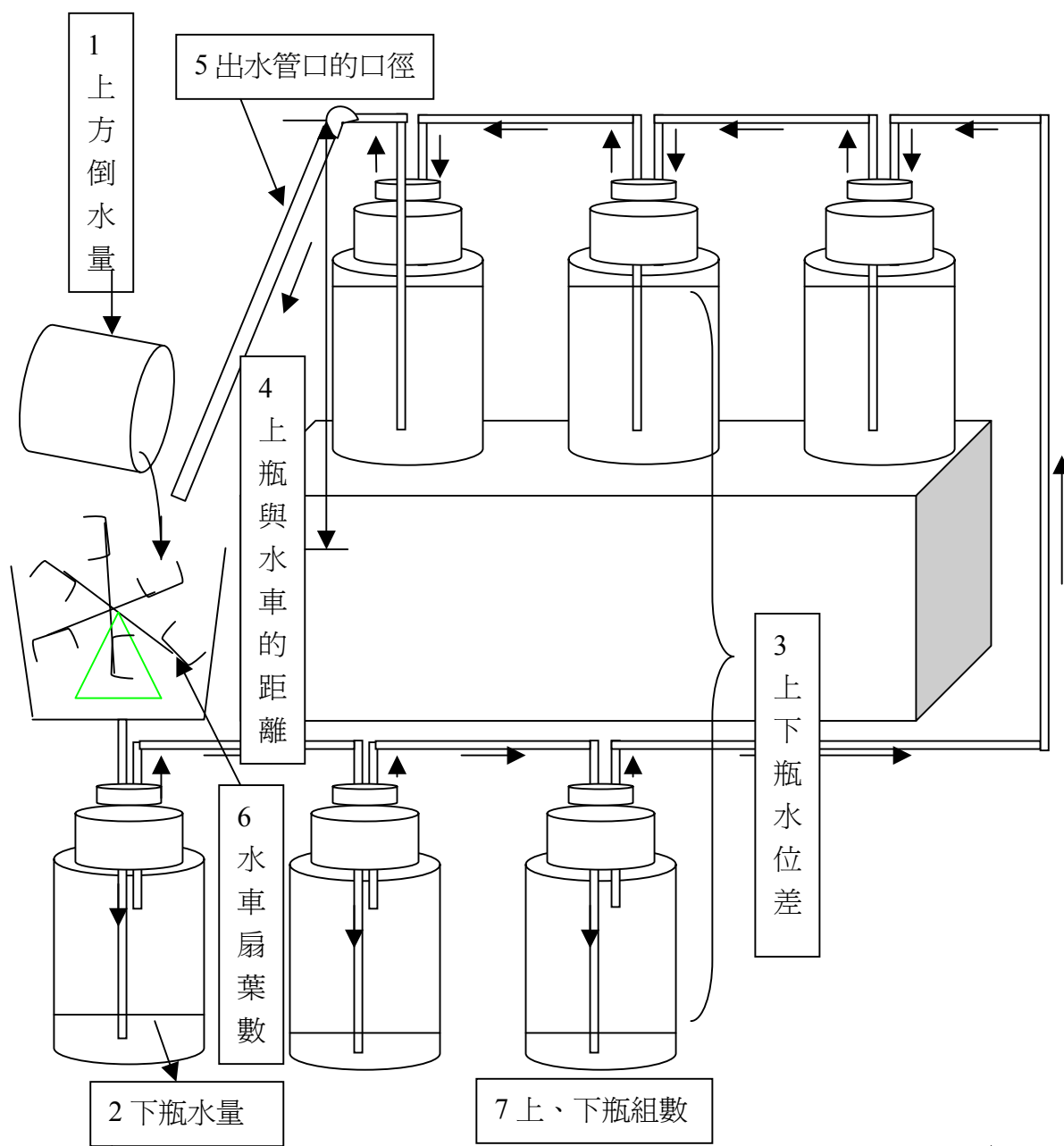
水流強度愈大，水位能也愈大，兩者成正比；水位差愈大，水位能也愈大，兩者也成正比。所以頂角潭的水位差大、水流強度也大，如此水位能還真不小哩！

- 4 如果不考慮能量轉換時的能量損失，那根據力學能守恒定律：任一處的位能加動能的總和應為固定值；亦即最高點的位能＝最低點的動能，所以高處的水位能可以轉換為低處的動能，而動能可以使發電機運轉而發電。即然高處的水可轉為動能而發電；那流動中的水當然具備有動能而能發電了。所以我們決定自製合適的水車，讓較安全且流動中的溪流也可以水力發電。

【研究三、自製氣壓式可回收水流裝置以探討水車扇葉和水流流速的關係】

想法及說明：

- 1 爲了適應有高度差及無高度差的水流，水車形狀是否會有不同？水車扇葉數是一定要先確定的，應爲幾個較好？2、4、6、還是8？爲了能找出最佳條件，我們不可能一直跑到葫蘆墩圳來做實驗，我們決定在實驗室把部份問題先解決再說。
- 2 但如此一來，每次做實驗時一定會浪費掉不少的水，爲了節水，我們自組了氣壓式可回收水流的裝置，我們以設計能穩定提供2分鐘水流的上下瓶密閉氣壓式可回收水流的裝置爲目標。



討論與分析：設計上發現應有7個變因，其中影響較大且須先探討的是前2項及第7項，至於組數，如果1組比2組好，那就不必做3組，若2組比1組好，則第3組也得做。



以碼錶定量上瓶每降低 300ml 時的水流時間 水流經橡皮管至接水槽的情形

(一組)實驗一 上方倒入不同的水量使下瓶內氣壓改變

控制變因①上瓶水量 5000ml

②下瓶水量 1000ml

③上、下瓶水位差 102cm

操縱變因：「水車上方倒水量 (ml)」

應變變因：出水口流速 (ml/min)

實驗數據：測各標誌流水量所需時間

倒水量 流掉水量	200(ml)	400		600		800		1000	
300ml	無 結 果	0 : 32	32	0 : 12	12	0 : 13	13	0 : 11	11
600		0 : 58	26	0 : 20	8	0 : 21	8	0 : 19	8
900		1 : 31	33	0 : 29	9	0 : 28	7	0 : 29	10
1200		2 : 03	32	0 : 39	10	0 : 37	9	0 : 39	10
1500		2 : 37	34	0 : 49	10	0 : 47	10	0 : 48	9
1800		3 : 21	44	1 : 00	11	0 : 58	11	0 : 59	11
2100		3 : 56	35	1 : 10	10	1 : 07	9	1 : 08	9
2400		4 : 36	40	1 : 20	10	1 : 17	10	1 : 17	9
2700		5 : 17	41	1 : 31	11	1 : 27	10	1 : 27	10
3000		6 : 04	47	1 : 42	11	1 : 37	10	1 : 36	9
平均流速	(ml/s)	8.24 ml/s		29.4 ml/s		30.93ml/s		31.25ml/s	

(二組)實驗二 上方倒入不同的水量使下瓶內氣壓改變

控制變因①上瓶水量 5000ml

②下瓶水量 1000ml

③上、下瓶水位差 102cm

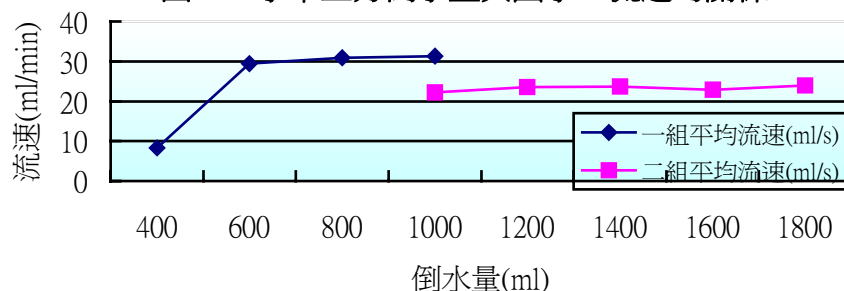
操縱變因：「水車上方倒水量 (ml)」

應變變因：出水口流速 (ml/min)

實驗數據：測各標誌流水量所需時間

倒水量 流掉水量	1000(ml)		1200		1400		1600		1800	
300ml	0 : 20	20	0 : 19	19	0 : 18	18	0 : 18	18	0 : 19	19
600	0 : 31	11	0 : 30	11	0 : 29	11	0 : 30	12	0 : 29	10
900	0 : 43	12	0 : 43	13	0 : 41	12	0 : 43	13	0 : 39	10
1200	0 : 56	13	0 : 54	11	0 : 52	11	0 : 55	12	0 : 51	12
1500	1 : 08	14	1 : 06	12	1 : 03	11	1 : 07	12	1 : 03	12
1800	1 : 22	14	1 : 18	12	1 : 15	12	1 : 22	15	1 : 15	12
2100	1 : 35	12	1 : 31	13	1 : 27	12	1 : 37	15	1 : 27	12
2400	1 : 50	15	1 : 44	13	1 : 39	12	1 : 48	11	1 : 39	12
2700	2 : 03	13	1 : 58	14	1 : 53	14	2 : 01	13	1 : 52	13
3000	2 : 16	13	2 : 11	13	2 : 05	13	2 : 13	12	2 : 05	13
3300	2 : 31	15	2 : 25	14	2 : 18	13	2 : 26	13	2 : 18	13
3600	2 : 45	14	2 : 39	14	2 : 32	14	2 : 39	13	2 : 30	12
3900	3 : 03	18	2 : 56	17	2 : 50	18	2 : 56	17	2 : 50	20
4200	3 : 14	11	3 : 02	6	3 : 01	11	3 : 07	11	2 : 59	9
4500	3 : 25	11	3 : 12	10	3 : 11	10	3 : 20	13	3 : 10	11
4800	3 : 36	11	3 : 24	12	3 : 22	11	3 : 31	11	3 : 22	12
5100	3 : 48	12	3 : 36	12	3 : 34	12	3 : 43	12	3 : 33	11
平均流速	22.27(ml/s)		23.6		23.72		22.87		23.94	

圖一、水車上方倒水量與出水口流速的關係



【結果與討論】：

- 1.倒水量（水質量 m ）愈多，水位能愈大（ $E_p = mgh$ ， $m \uparrow$ ， $E_p \uparrow$ ），再加上大氣壓力，所以，擠壓底瓶空氣體積的速率更大，依據波以耳定律【 $PV=K$ 】， V 愈小、 P 愈大，故能快速的將空氣擠壓至上瓶九分滿的水而形成水流。
- 2.我們也同時發現，2 組的水流強度不如 1 組的水流強度，所不 3 組的也就不必做了。

實驗三倒固定水量使下瓶內不同水量改變下瓶氣壓

控制變因①上瓶水量 5000ml ②水車上方倒水量 600 (ml)

③上、下瓶水位差 102cm

操縱變因：「下瓶水量 (ml)」

應變變因：出水口流速 (ml/min)

實驗數據：測各標誌流水量所需時間

下瓶水量 流掉水量	800(ml)		1000		1200		1400		1600	
300ml	0 : 17	17	0 : 12	12	0 : 12	12	0 : 12	12	0 : 11	11
600	0 : 36	19	0 : 20	8	0 : 21	9	0 : 19	7	0 : 19	8
900	0 : 47	11	0 : 28	8	0 : 31	10	0 : 28	9	0 : 28	9
1200	0 : 56	9	0 : 38	10	0 : 41	10	0 : 37	9	0 : 36	8
1500	1 : 05	9	0 : 47	9	0 : 50	9	0 : 46	9	0 : 45	9
1800	1 : 16	11	0 : 57	10	1 : 01	11	0 : 57	11	0 : 57	12
2100	1 : 25	9	1 : 06	9	1 : 12	11	1 : 06	9	1 : 05	8
2400	1 : 34	9	1 : 16	10	1 : 24	12	1 : 15	9	1 : 14	9
2700	1 : 44	10	1 : 26	10	1 : 34	10	1 : 25	10	1 : 23	9
3000	1 : 54	10	1 : 36	10	1 : 44	10	1 : 35	10	1 : 33	10
平均流速	26.32(ml/s)		31.25		28.85		31.58		32.26	

(二組)實驗四倒固定水量使下瓶內不同水量改變下瓶氣壓

控制變因①上瓶水量 5000ml ②水車上方倒水量 600 (ml)

③上、下瓶水位差 102cm

操縱變因：「下瓶水量 (ml)」

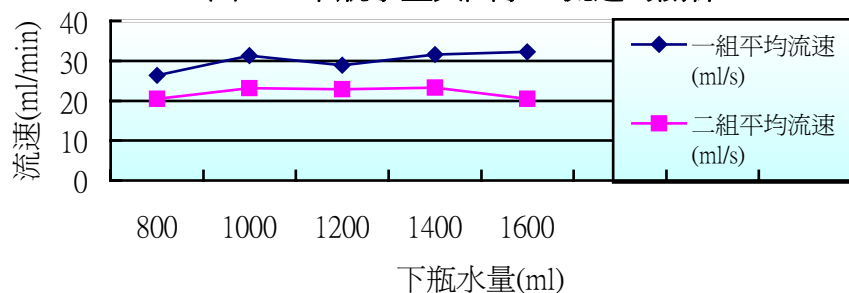
應變變因：出水口流速 (ml/min)

實驗數據：測各標誌流水量所需時間

倒水量 流掉水量	800(ml)		1000		1200		1400		1600	
300ml	0 : 21	21	0 : 18	18	0 : 20	20	0 : 20	20	0 : 18	18
600	0 : 31	10	0 : 29	11	0 : 32	12	0 : 31	11	0 : 29	11
900	0 : 43	12	0 : 40	11	0 : 43	11	0 : 43	12	0 : 43	14
1200	0 : 54	11	0 : 51	11	0 : 55	12	0 : 54	11	0 : 55	12
1500	1 : 06	12	1 : 02	11	1 : 07	12	1 : 06	12	1 : 10	15
1800	1 : 22	16	1 : 15	13	1 : 20	13	1 : 18	12	1 : 27	17
2100	1 : 35	13	1 : 26	11	1 : 31	11	1 : 31	13	1 : 42	15
2400	1 : 51	16	1 : 39	13	1 : 44	13	1 : 44	13	2 : 01	19
2700	2 : 05	14	1 : 51	12	1 : 57	13	1 : 57	13	2 : 15	14
3000	2 : 19	14	2 : 04	13	2 : 09	12	2 : 15	12	2 : 31	16
3300	2 : 35	16	2 : 16	12	2 : 22	13	2 : 32	17	2 : 47	16

3600	2 : 51	16	2 : 29	13	2 : 35	13	2 : 58	16	3 : 03	16
3900	3 : 11	20	2 : 49	20	2 : 56	21	3 : 08	10	3 : 26	13
4200	—	—	—	—	3 : 06	10	3 : 18	10	3 : 37	11
4500	—	—	—	—	3 : 17	11	3 : 29	11	3 : 50	13
平均流速	20.42(ml/s)		23.08		22.84		23.32		20.45	

圖二、下瓶水量與出水口流速的關係



【結果與討論】：

1. 底瓶水位的高度愈大，擠壓底瓶空氣體積的變化愈大。

依據波以耳定律【 $PV=K$ ，即 $P_1V_1=P_2V_2$ 】， P_1 與原大氣壓力相同， V_1/V_2 愈大， P_2 愈大，故愈能將至上瓶九分滿的水擠壓至出口而形成水流。分析列表如下：

底瓶大小空間 (ml)	5000	5000	5000	5000	5000
底瓶原水位體積 (ml)	800	1000	1200	1400	1600
V_1 底瓶剩餘空間 (ml)	4200	4000	3800	3600	3400
洗盆上方倒水量 (ml)	600	600	600	600	600
V_2 底瓶剩餘空間 (ml)	3600	3400	3200	3000	2800
V_1/V_2 體積比	42/36=1.167	40/34=1.176	38/32=1.188	36/30=1.200	34/28=1.214

2. 我們也同時發現，2 組的水流強度仍不如 1 組的水流強度，所不 3 組的也就不必做了。

(一組) 實驗五不同的上下瓶水位差影響水流速

控制變因 ① 上瓶水量 5000ml ② 水車上方倒水量 600 (ml)

③ 下瓶水量 1100ml

操縱變因：「上、下瓶水位差 (cm)」

應變變因：出水口流速 (ml/min)

實驗數據：測各標誌流水量所需時間

水位差 流掉水量	20(cm)		40		60		80		100	
300ml	0 : 29	29	0 : 21	21	0 : 17	17	0 : 16	16	0 : 12	12
600	0 : 52	23	0 : 35	14	0 : 30	13	0 : 21	5	0 : 20	8
900	1 : 20	28	0 : 53	18	0 : 44	14	0 : 34	13	0 : 29	9
1200	1 : 56	36	1 : 13	20	0 : 58	14	0 : 46	12	0 : 38	9
1500	2 : 43	47	1 : 33	20	1 : 13	15	0 : 58	12	0 : 47	9

1800	4 : 03	80	1 : 59	26	1 : 31	18	1 : 12	14	0 : 58	9
2100	—	—	2 : 28	29	1 : 45	14	1 : 23	11	1 : 07	9
2400	—	—	2 : 56	28	2 : 03	18	1 : 34	11	1 : 16	9
2700	—	—	3 : 26	30	2 : 17	14	1 : 47	13	1 : 26	10
3000	—	—	4 : 02	36	2 : 35	18	2 : 01	14	1 : 36	10
平均流速	13.95(ml/s)		12.40		19.35		24.79		31.9	

(二組)實驗六不同的上下瓶水位差影響水流速

控制變因①上瓶水量 5000ml ②水車上方倒水量 600 (ml)

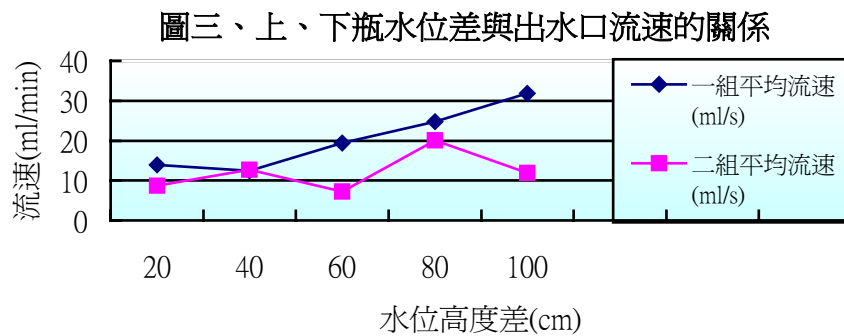
③下瓶水量 1100ml

操縱變因：「上、下瓶水位差 (cm)」

應變變因：出水口流速 (ml/min)

實驗數據：測各標誌流水量所需時間

水位差 流掉水量	20(cm)		40		60		80		100	
300ml	0 : 27	27	0 : 23	23	0 : 31	31	0 : 22	22	0 : 59	59
600	0 : 55	28	0 : 40	17	1 : 10	39	0 : 36	14	1 : 43	44
900	1 : 26	31	0 : 57	17	1 : 49	39	0 : 50	14	2 : 10	27
1200	2 : 00	34	1 : 18	21	2 : 31	42	1 : 05	15	2 : 30	20
1500	2 : 33	33	1 : 37	19	3 : 05	34	1 : 18	13	2 : 47	17
1800	3 : 26	53	2 : 01	24	3 : 47	42	1 : 35	17	3 : 06	19
2100	無 結 果		2 : 23	22	4 : 26	39	1 : 53	18	3 : 26	20
2400			2 : 48	25	5 : 09	43	2 : 09	16	3 : 49	23
2700			3 : 19	31	5 : 53	44	2 : 26	17	4 : 05	16
3000			3 : 48	29	6 : 38	45	2 : 44	18	4 : 22	17
3300			4 : 11	23	7 : 29	51	3 : 05	21	4 : 42	20
3600			4 : 43	32	8 : 06	37	3 : 26	21	5 : 10	28
3900			無 結 果		8 : 59	53	3 : 44	18	5 : 43	33
4200					無結果		無結果		6 : 00	17
4500									6 : 18	18
平均流速	8.74(ml/s)		12.72		7.23		20.10		11.90	



【結果與討論】：

- 1 水位差愈大，水流強度愈高，由上瓶水位減少速率 (ml/s) 可知出口的水流強度數據差異最大，可見得此條件的變因影響頗大。
- 2 水位差不夠大，光由氣壓要推動水流也是較困難的。我們也同時發現，2 組的水流強度不如 1 組的水流強度，所不 3 組的也就不必做了。

實驗七水車扇葉數影響水流速及水車轉動情形

控制變因①上瓶水量 5000ml ②水車上方倒水量 600 (ml)

③下瓶水量 1100ml

操縱變因：「水車扇葉數」

應變變因：出水口流速 (ml/min)、水車轉動圈數 (圈)

實驗數據：測各標誌流水量產生水車轉動圈數

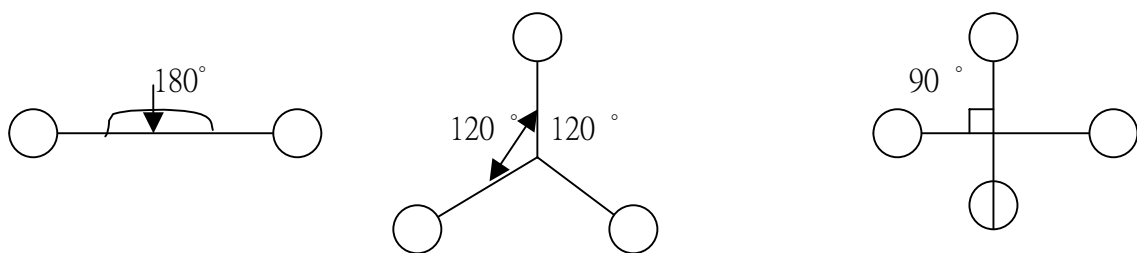
步驟：1 依據下圖角度將塑膠湯匙固定在硬吸管上。

2 橡皮軟管以鐵絲及竹棍固定成與水平面呈 75° 夾角的出水管。

3 上方倒水量 600ml，立刻計時，每 30 秒記錄各水車的轉動圈數，結果如下表。

水車各扇葉數的夾角比較如下圖所示

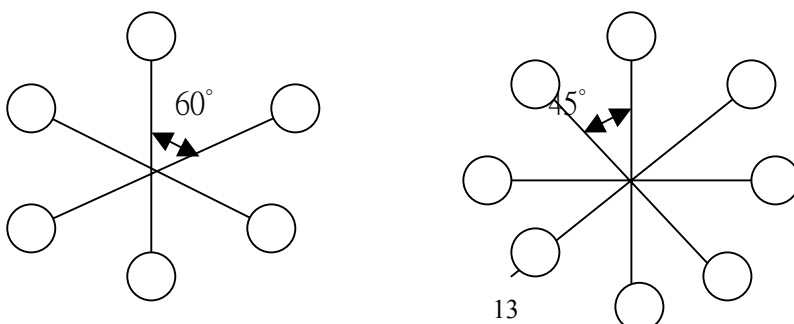
- 1.二個扇葉的水車夾角為 180°
- 2.三個扇葉的水車夾角為 120°
- 3.四個扇葉的水車夾角為 90°



120° 夾角的不易做、不易固定，實驗時也最易壞所以不予以考慮。

- 4.六個扇葉的水車夾角為 60°

- 5.八個扇葉的水車夾角為 45°



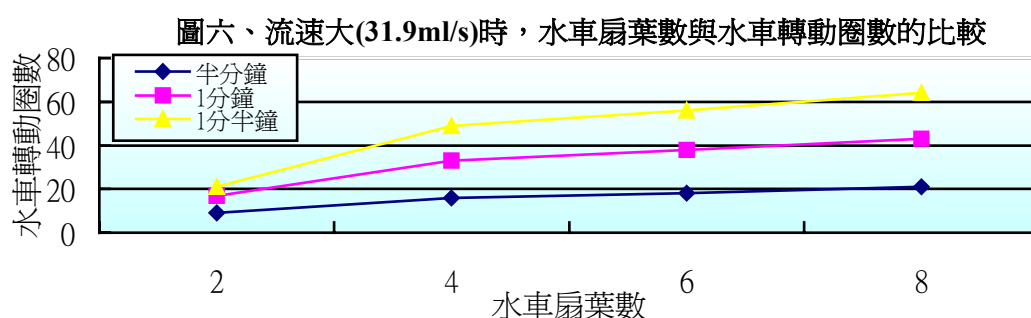
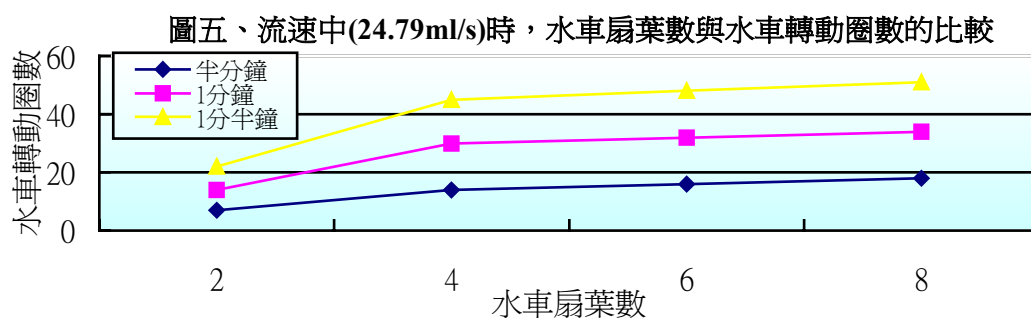
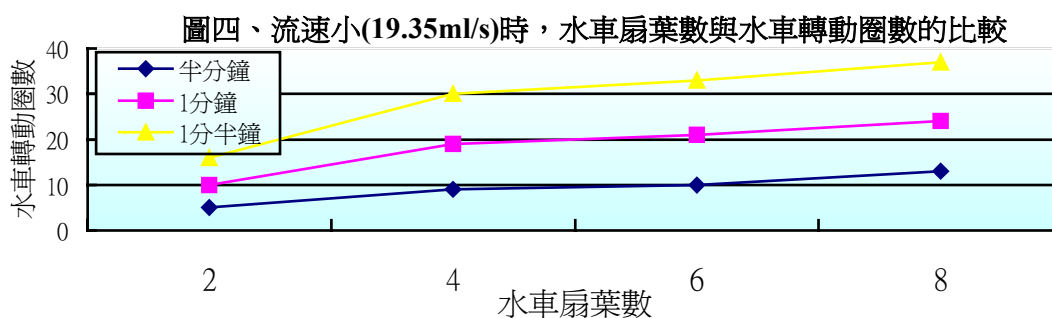


橡皮軟管以鐵絲及竹棍固定成與水平面呈
75°夾角的出水管

下方為四個扇葉的湯匙水車

實驗數據：測各水車水流每 30 秒的轉動圈數

流速小 選擇實驗 五水位差 為 60cm 流速約 19.35ml/s	扇葉數 流掉水量	2	4	6	8
	半分鐘	5	9	10	13
	1 分鐘	10	19	21	24
	1 分半鐘	16	30	33	37
流速中 選擇實驗 五水位差 為 80cm 流速約 24.79ml/s	扇葉數 流掉水量	2	4	6	8
	半分鐘	7	14	16	18
	1 分鐘	14	30	32	34
	1 分半鐘	22	45	48	51
流速大 選擇 實驗五水位 差為 100cm 流速約 31.9 ml /s	扇葉數 流掉水量	2	4	6	8
	半分鐘	9	16	18	21
	1 分鐘	17	33	38	43
	1 分半鐘	21	49	56	64



結果與討論：

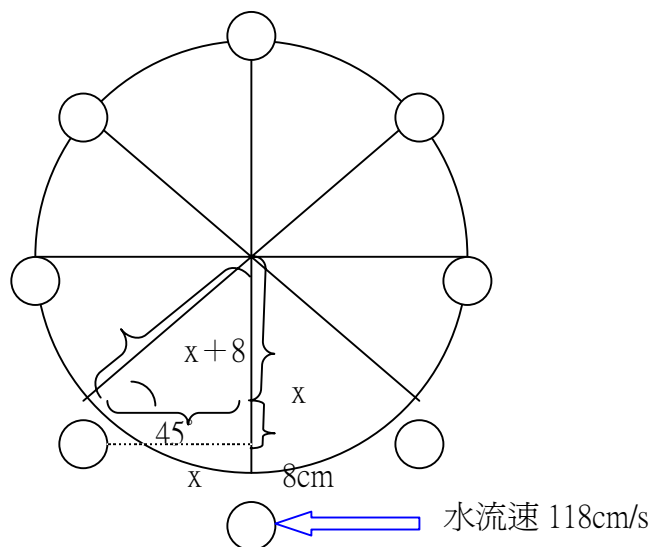
- 1 不管是水流速小還是流速大，使水車轉動的次數多的均是扇葉數為 8 個為最佳。
- 2 一個圓內角一圈為 360° ，若除以 8 則應為 45° 角，所以，我們製作上即先做兩扇葉為 180° 角的，再做兩扇葉與之互相垂直即為 90° 角，最後在每 90° 角中間再加一個扇葉即為 45° 角了。
- 3 我們已找出較佳扇葉數為 8 個，但實際若要讓轉動的水車帶動發電機轉動，光是如此小力矩的水車是不可能做到的。所以，下個實驗就是研究應設計多大的水車，才能讓實際的水車帶動發電機轉動。

【研究四、自製設計可帶動發電機轉動的水車探究】

想法及設計說明：

- 1 理想與實際的發電還有一段距離要走，我們可能得克服
 - (1) 找出容易轉動發電的小型發電機台(試過學校所有的小型發電機種，終於比較出一種最容易轉，且易掌握的日製發電機種)。
 - (2) 水車帶動發電機轉動的扭力要夠才行，根據力矩的槓桿原理：
 $\text{施力} \times \text{施力臂} = \text{抗力} \times \text{抗力臂}$ ，水車扇葉上的承載量就是施力，水車到轉軸點為施力臂；發電機座心為抗力，而其到轉軸點為抗力臂，若要使水車順利帶動發電機轉動則應「施力部份的力矩須大於抗力部份的力矩」才行。在水力不夠強的水流地區(相當於施力不夠大)，則

應有**夠長的施力臂**才可以省力(即水車的力臂)，但若太長的水車力臂，轉動起來的圓周面積均太大也較笨重，所以我們一定得先探試葫蘆墩圳的水流速大小再加以設計才不會嘗試太多次的錯誤。分析作圖及計算如下：



我們到葫蘆墩圳『三分水』的急流水溝某處實地量測水流速為 118cm/s 時，可使裝有負載(發電機)的木柄上升約 8 公分，因此，我們設計這個 8 支力柄的水車長度應為 27.3cm。計算如下：

$$\begin{aligned} x^2 + x^2 &= (x + 8)^2 \\ 2x^2 &= x^2 + 16x + 64 \\ x^2 - 16x - 64 &= 0 \\ x &\div 19.3(\text{負數不合}) \end{aligned}$$

∴我們水車的力臂(力柄)設定為 $19.3 + 8 = 27.3\text{cm}$

2 設計的實際水車在校內試驗的圖片如下



8 支湯匙柄加發電機的裝置



在學校男廁所洗拖把台處試轉動情形



已可使水車順利轉動



水流強度愈強時，水車轉動愈快

以上勺狀水車是專為有水位差的水流而設計的水車，為了也能使無水位差的水流也能轉動，我們想只要能撥動扇葉帶動水車轉動就可以了，所以設計了以下的平板形的扇葉：



已設計好的梯形壓克力板的水車及發電機



平板狀扇形水車及發電機



以手撥動水車可以順利轉動

因不知那種形狀的水車效果最好，所以再先行設計出長形扇葉、扁方形扇葉、高長方形扇葉的平板壓克力各八塊，待到實際現場實測比較之。
真希望能夠成功，加油！

【研究五、以自製設計的水車及發電機組做葫蘆墩圳的水力發電探究】

實驗八 葫蘆墩圳的水流速率的測定

準備：保特瓶，繩子、軟尺、旗子、碼錶、數位相機

控制變因 ① 同一個 5m 長的保特瓶 ② 同一天同一時刻測量

③ 每一定點同測五次 ④ 同一人揮旗同一人按碼錶

操縱變因：「不同地點的水流 500cm 長的時間（秒）」

應變變因：水流速率（cm/s）大小

步驟： 1、將繩子綁在保特瓶上，除了手上的繩長以外，另外需恰能放出 500 長的繩長。

2、一人拿旗子及綁了繩子的保特瓶蹲在安全的水流上游處另一人則拿碼錶站在以軟尺度量為 5 公尺的水流下游處，各就定位安全點後，等上游處的人一揮旗子，下游處的人就按上碼錶啟動開始時間，並等保特瓶流到眼前時，立刻再按下碼錶終止，將所測得的水流 500cm 長的時間記錄下來，重覆四次，算平均值，最後計算出水流速率大小。

3、流速特快的地點，則以 1000cm 繩長的保特瓶來度量同上步驟的水流時間，以減少較大的誤差。

實驗數據：測各地點水流 100cm 長所需的時間

時間(秒) \ 地點	1 三分水	2 離三分水下游約 200m 的急流水溝	3 離三分水下游約 220m 的微坡急流水溝	4 三分水下游的洗衣台	5 三分水下游的魚池
測定次數 1	4.90	8.69	8.60	16.84	水流長度太小，不適合以此法測量；且流速明顯慢，故決定不需以其他方法再測量的必要。
測定次數 2	4.62	8.94	8.49	13.38	
測定次數 3	5.19	8.41	8.40	14.69	
測定次數 4	5.28	8.03	8.68	13.56	
測定次數 5	5.12	8.25	8.63	12.51	
平均時間(s)	5.02	8.46	8.55	14.20	
平均流速(cm/s)	99.60	118.20	116.96	21.13	
備註 依地形地物及流速大小 適合測量的水流長度	500cm	1000cm	1000cm	300cm	

需照各地點的圖片及打旗號、放保特瓶、測水流時的情形

實驗九 葫蘆墩圳的水流速率與發電量的測定

準備：同實驗八、數位相機、數位攝影機、數字型電錶、含燈泡的電路板、自製各種水車扇葉、自製的水車發電裝置

控制變因 ① 同一個地點的水流 ② 同一天同一時刻持續測量

③ 同一人看碼錶 ④ 同一人計量電壓及電流大小

操縱變因：「各種水車扇葉入水深度 cm」

應變變因：每 10 秒計量水車轉動帶動發電機的電流強度、電壓

步驟：1 將自製的水車發電裝置組裝好，如下圖相片中所示。

2 以其中一種水車扇葉先入水 2cm 深，一人按下碼錶報時，另一人立即以數字型電錶量測電流及電壓大小並登錄之。

3 再依序將扇葉入水 4cm、6 cm 或 8 cm 深，同上述步驟測量之。

4 水車換另一種扇葉，同步驟 1~3 測量之。

5 換另一個葫蘆墩圳定點，再如步驟 1~4 測量之。



這是口琴橋旁的圳溝，水位差不小哩！
可惜安全考量，我們就不下去了



口琴橋旁的拱起的水溝

水力發電地點：葫蘆墩圳定點 1 三分水



葫蘆墩圳三分水地點 1 水流的水力發電實驗



以三用數字型電錶記錄電壓及電流大小



改以不同形狀的水車做水力發電的測量



以螺絲起子在換裝水車扇葉的情形



先以捲尺度量 500cm 長的距離，
拿著標示旗準備揮動並同時放下保特空瓶



其他同學在 500cm 長的距離處等待瓶子的到來，



瓶子來了，立即以碼錶量測水流時間



將已換裝好的其他水車扇葉再開始進行發電的
測量

【地點：葫蘆墩圳定點 1 三分水 ， 水流速率 = 99.60cm/s】

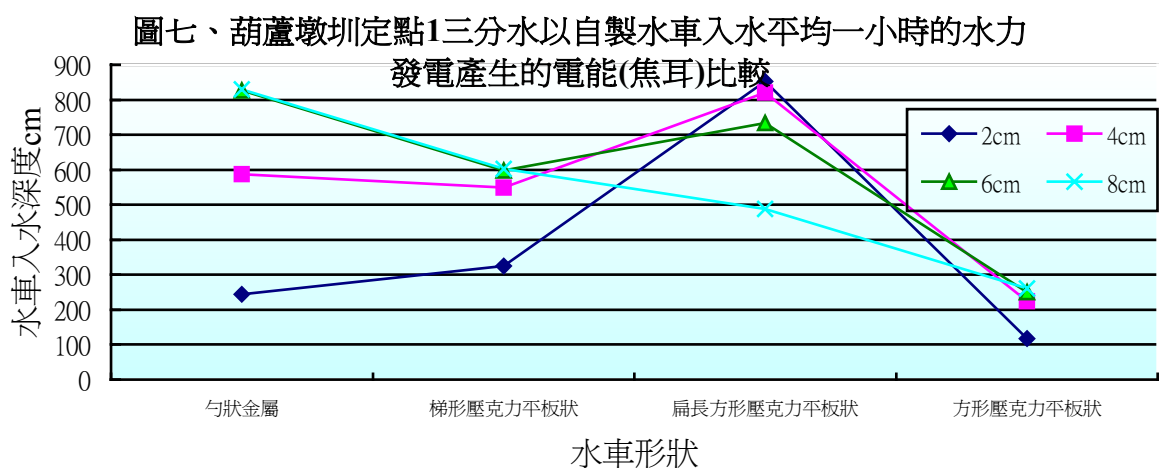
實驗數據：固定入水深度與測量水車每 10 秒發電的電流 (mA)及電壓(V)大小

水車扇葉形狀 入水深度及 發電時間(秒)		1 勺狀金屬		2 梯形壓克力 平板狀		3 扁長方形壓 克力平板狀		4 方形壓克力平 板狀	
		mA	V	mA	V	mA	V	mA	V
2cm	10	60	1.112	80	1.360	180	1.555	40	0.905
	20	80	1.380	70	1.510	170	1.454	60	1.051
	30	50	0.940	70	1.450	150	1.480	50	1.028
	40	50	0.930	60	1.520	190	1.664	30	0.941
	50	60	1.180	70	1.610	160	1.495	50	0.843
	60	70	0.990	60	1.480	150	1.497	40	1.020
	70	80	1.390	50	1.580	140	1.422	30	1.029
	80	60	0.960	70	1.520	160	1.518	10	0.822
	90	70	0.992	70	1.330	150	1.444	40	1.039
	100	50	0.917	60	1.363	130	1.408	30	0.651
	110	40	0.720	80	1.420	150	1.502	20	0.972
	120	90	1.390	60	1.455	180	1.615	30	0.677
	平均值	63.3	1.075	61.6	1.467	157.4	1.505	35.8	0.915
4cm	10	130	1.11	100	1.43	150	1.152	60	1.030
	20	120	1.34	120	1.64	140	1.311	50	1.055
	30	130	1.288	120	1.52	150	1.381	60	0.825
	40	110	1.176	80	1.54	170	1.344	50	1.031
	50	140	1.200	120	1.290	170	1.534	80	1.132
	60	160	1.402	120	1.247	140	1.407	60	1.031
	70	150	1.430	120	1.255	170	1.616	50	1.009
	80	120	1.340	90	1.057	160	1.408	60	1.014
	90	130	1.354	150	1.355	190	1.743	70	1.0140
	100	110	1.312	130	1.430	140	1.421	50	1.039
	110	110	1.192	120	1.470	150	1.453	60	1.056
	120	120	1.212	80	1.052	170	1.560	80	1.117
	平均值	127.5	1.280	112.5	1.357	158.3	1.441	60.0	1.039
6cm	10	150	1.461	170	1.610	160	1.494	70	1.075
	20	140	1.191	110	1.520	150	1.326	80	1.028
	30	130	1.430	110	1.370	160	1.515	60	0.886
	40	160	1.520	120	1.149	140	1.346	70	1.004
	50	170	1.621	140	1.458	160	1.540	80	1.120
	60	160	1.410	140	1.400	150	1.452	90	1.183
	70	140	1.430	120	1.448	140	1.278	70	1.019

	80	150	1.370	130	1.360	150	1.338	80	1.020
	90	160	1.570	130	1.360	130	1.336	90	1.061
	100	140	1.480	130	1.347	160	1.565	10	1.024
	110	170	1.600	130	1.338	130	1.241	10	1.063
	120	180	1.830	130	1.355	130	1.334	90	1.130
	平均值	154.0	1.492	130.0	1.279	146.0	1.397	66.0	1.051
8cm	10	130	1.150	130	1.456	120	1.334	80	0.900
	20	160	1.518	110	1.370	80	1.012	60	0.814
	30	170	1.632	120	1.241	110	1.034	90	0.806
	40	150	1.473	110	1.236	120	1.107	70	1.027
	50	120	1.250	120	1.229	130	1.267	80	1.031
	60	180	1.670	100	1.160	140	1.385	70	1.044
	70	150	1.450	120	1.358	130	1.241	80	1.122
	80	170	1.570	140	1.261	120	1.338	50	0.916
	90	140	1.453	130	1.361	80	0.987	80	1.071
	100	140	1.396	140	1.510	110	1.336	60	1.112
	110	190	1.70	140	1.410	130	1.347	70	1.038
	120	160	1.580	140	1.490	140	1.402	90	1.067
	平均值	155.0	1.486	125.0	1.340	110.0	1.232	73.0	0.995

綜合以上實測結果，我們計算在【葫蘆墩圳定點1 三分水】以自製不同水車形狀及不同入水深度一小時的平均水力發電的電能比較(單位：焦耳)如下表所示：

水車扇葉形狀	勻狀金屬	梯形壓克力平板狀	扁長方形壓克力平板狀	方形壓克力平板狀
2cm	243.81	325.32	852.79	117.93
4cm	587.52	549.59	821.20	224.42
6cm	827.16	598.57	734.26	249.72
8cm	829.19	603.00	487.87	261.49



水力發電地點：葫蘆墩圳定點 2 離三分水下游約 200m 的急流水溝



葫蘆墩圳三分水下游約 200m 的地點 2
水流的水力發電實驗(平板狀的壓克力扇葉)



扇葉快速轉動，激起不少的水花



葫蘆墩圳三分水下游約 200m 的地點 2
水流的水力發電實驗(金屬的勺狀扇葉)



扇葉也快速轉動，激起不少的水花

【地點：葫蘆墩圳定點 2 離三分水下游約 200m 的急流水溝

，水流速率 = 118.20cm/s】

實驗數據：固定入水深度與測量水車每 10 秒發電的電流 (mA)及電壓(V)大小

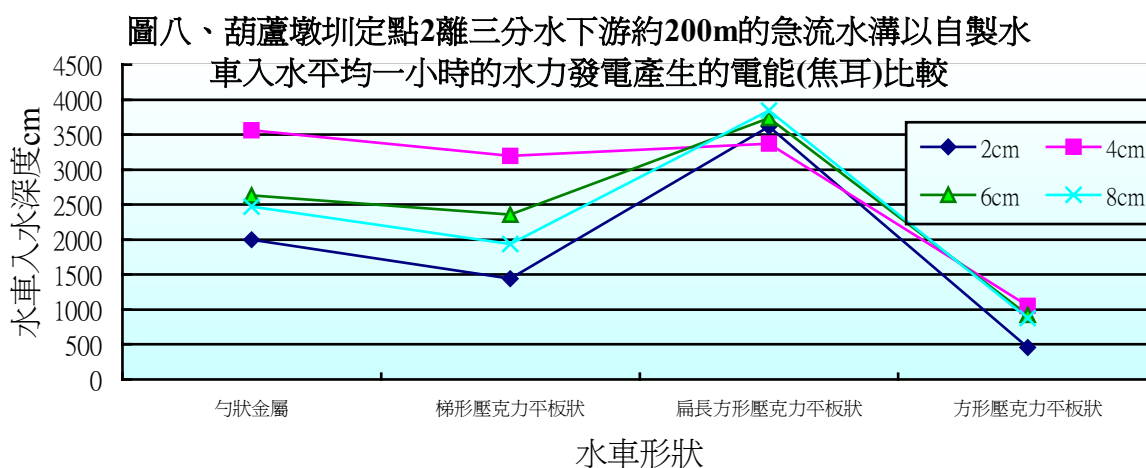
水車扇葉形狀 入水深度及 發電時間(秒)		1 勺狀金屬		2 梯形壓克力 平板狀		3 長方形壓克 力平板狀		4 方形壓克力平 板狀	
		mA	V	mA	V	mA	V	mA	V
2cm	10	240	2.66	210	2.53	330	2.84	100	1.23
	20	250	2.77	220	2.45	310	2.79	90	1.27
	30	190	2.61	200	2.25	360	2.88	120	1.25
	40	210	2.69	190	2.11	350	2.96	110	1.03
	50	190	2.77	180	2.02	340	3.01	80	0.98
	60	200	2.60	170	1.99	350	3.06	130	1.24

	70	210	2.86	180	1.89	360	3.01	110	1.09
	80	180	2.74	160	1.78	340	3.02	120	1.31
	90	190	2.85	180	1.95	330	2.99	110	1.20
	100	160	2.51	200	2.04	340	3.02	100	1.08
	110	210	2.73	190	2.10	300	3.07	120	1.17
	120	200	2.92	210	2.23	350	3.04	120	1.25
	平均值	202.0	2.72	190.0	2.11	338.0	2.97	109.0	1.17
4cm	10	320	3.08	280	3.00	340	2.96	130	2.12
	20	330	3.33.	300	2.96	320	2.83	110	2.41
	30	250	3.17	270	3.02	340	3.44	140	2.35
	40	320	3.16	310	3.07	340	3.20	140	2.43
	50	270	3.19	260	2.98	320	3.00	130	2.29
	60	300	3.27	310	3.13	290	2.88	120	2.06
	70	330	3.23	320	3.21	290	3.18	110	2.36
	80	320	3.18	300	3.03	260	2.91	100	2.04
	90	330	3.16	300	3.11	270	2.83	120	2.12
	100	310	3.11	300	2.96	310	2.87	140	2.33
	110	320	3.25	290	2.69	320	2.80	150	2.47
	120	330	3.21	310	3.05	340	3.29	160	2.17
	平均值	310.0	3.19	295.0	3.01	311.0	3.01	129.0	2.26
6cm	10	300	3.01	250	2.78	350	3.02	120	2.55
	20	190	3.06	270	2.94	330	3.12	100	2.34
	30	260	3.00	220	3.01	320	2.98	130	2.36
	40	300	3.12	240	3.16	340	3.16	120	2.17
	50	230	3.04	210	3.05	250	2.89	90	1.98
	60	170	3.06	190	3.02	370	3.25	130	2.02
	70	200	3.13	210	2.94	340	3.06	120	2.24
	80	180	3.30	200	2.85	370	3.23	90	2.37
	90	240	3.12	220	3.15	360	3.15	140	2.06
	100	300	3.26	240	3.09	330	3.04	120	1.94
	110	220	3.14	240	2.02	320	2.68	120	2.28
	120	240	3.12	230	2.85	380	3.29	130	2.16
	平均值	235.0	3.11	226.0	2.90	338.0	3.07	117.0	2.20
8cm	10	300	3.07	210	2.72	380	3.18	140	2.16
	20	270	3.18	220	2.63	370	3.15	120	2.29
	30	210	3.00	200	2.95	310	2.98	110	1.98
	40	270	3.03	230	2.89	360	3.07	120	1.86
	50	240	3.09	220	1.82	340	3.01	110	2.20
	60	210	3.03	230	2.65	330	2.99	100	2.08

	70	190	3.06	210	2.58	370	3.19	130	2.47
	80	270	3.01	210	2.74	350	3.08	120	2.27
	90	150	3.11	190	2.81	320	3.00	120	2.28
	100	190	3.06	190	2.96	350	3.11	100	2.09
	110	260	3.05	200	2.85	360	3.20	110	1.90
	120	200	3.08	220	2.82	330	3.02	110	1.94
	平均值	224.0	3.06	210.0	2.56	347.0	3.08	115.0	2.12

綜合以上實測結果，我們計算在【葫蘆墩圳定點2離三分水下游約200m的急流水溝】以自製不同水車形狀及不同入水深度一小時的平均水力發電的電能比較(單位：焦耳)如下表所示：

水車扇葉形狀	勺狀金屬	梯形壓克力平板狀	扁長方形壓克力平板狀	方形壓克力平板狀
2cm	1997.98	1443.24	3613.90	459.11
4cm	3560.04	3196.62	3370.00	1049.54
6cm	2631.06	2359.44	3735.58	926.64
8cm	2467.58	1935.36	3847.54	877.68



水力發電地點：葫蘆墩圳定點3 離三分水下游約 220m 的微坡急流水溝



流速很快，因水溝一段被遮閉，所以流速測量距離加長為 1000cm



以捲尺拉出 1000cm 長度



拿著標示旗準備揮動並同時放下保特空瓶時，其他人在 1000cm 長的距離處等待瓶測量水流時間



以勺狀水車及發電機組測量發電情形



勺狀水車發電時可讓玩具小風扇轉動



勺狀水車發電時也可讓須 3V 電壓才能發亮的小燈泡發亮

【地點：葫蘆墩圳定點 3 離三分水下游約 220m 的微坡急流水溝，水流速率=116.96cm/s】

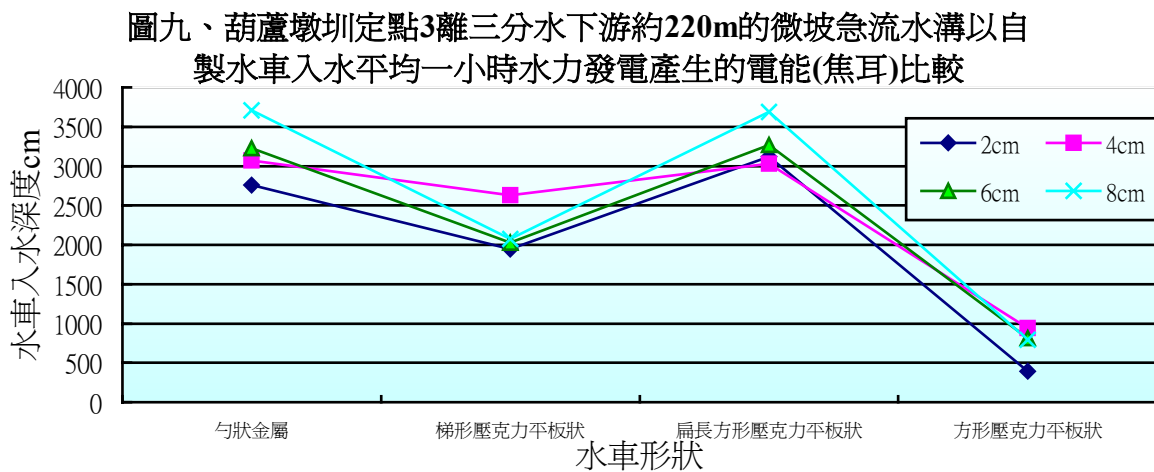
實驗數據：固定入水深度與測量水車每 10 秒發電的電流 (mA)及電壓(V)大

水車扇葉形狀 入水深度及 發電時間(秒)		1 勺狀金屬		2 梯形壓克力 平板狀		3 長方形壓克力 平板狀		4 方形壓克力平 板狀	
		mA	V	mA	V	mA	V	mA	V
2cm	10	260	2.59	190	2.27	310	2.65	100	1.12
	20	250	2.63	160	2.28	290	2.71	100	1.16
	30	270	2.71	180	2.47	320	2.47	110	1.14
	40	280	2.69	210	2.28	310	2.55	1010	1.00
	50	290	2.70	200	2.46	300	2.87	90	0.95
	60	280	2.49	210	2.36	320	2.90	120	1.04
	70	290	2.68	220	2.30	320	2.76	100	1.05
	80	310	2.78	220	2.34	310	2.88	110	1.11
	90	32	2.72	200	2.38	360	2.75	110	1.10
	100	300	2.76	200	2.25	330	2.98	100	1.01
	110	290	2.73	180	2.47	310	3.01	110	1.03
	120	280	2.81	180	2.40	310	3.12	110	1.05
	平均值	285.0	2.69	195.0	2.35	309.5	2.80	102.3	1.06
4cm	10	300	2.73	310	2.73	320	2.84	140	2.04
	20	310	2.70	290	2.70	300	2.71	100	2.33
	30	320	2.75	290	2.44	320	3.32	130	2.27
	40	300	2.74	290	2.60	320	3.08	130	2.35
	50	310	2.71	280	2.69	300	2.88	120	2.21
	60	300	2.77	300	2.53	270	2.76	110	2.00
	70	320	2.79	270	2.66	270	3.06	100	2.30
	80	310	2.78	290	2.50	270	2.79	100	2.00
	90	290	2.76	260	2.47	240	2.71	100	2.00
	100	310	2.87	300	2.74	290	2.76	140	2.25
	110	320	2.91	250	2.36	310	2.68	130	2.39
	120	310	2.79	300	2.44	310	3.17	150	2.09
	平均值	308.0	2.77	285.0	2.57	291.0	2.89	119.8	2.18
6cm	10	330	2.91	200	2.53	320	2.98	100	2.41
	20	320	3.10	190	2.55	300	3.17	100	2.20
	30	310	3.18	210	2.68	290	3.25	110	2.22
	40	320	3.06	230	2.51	310	3.10	110	2.03
	50	300	3.10	230	2.55	220	3.20	100	1.84
	60	300	3.21	220	2.62	340	3.28	110	1.88
	70	300	3.09	240	2.5	310	3.16	110	2.10

	80	330	3.24	260	2.54	330	3.31	100	2.23
	90	300	3.21	210	2.70	330	3.28	120	1.92
	100	310	3.17	230	2.66	300	3.24	120	1.80
	110	320	3.22	200	2.78	290	3.29	110	2.14
	120	310	3.11	180	2.75	350	3.18	130	2.02
	平均值	312.5	2.87	216.0	2.61	308.0	2.95	109.5	2.06
8cm	10	330	3.06	220	2.62	360	3.05	120	2.35
	20	310	3.20	220	2.59	350	3.02	120	2.15
	30	350	3.08	200	2.33	290	2.75	110	2.16
	40	320	3.10	200	2.49	340	2.94	100	1.97
	50	340	3.11	210	2.58	320	2.88	100	1.78
	60	330	3.00	230	2.42	310	2.86	110	1.82
	70	350	3.12	220	2.55	350	3.06	120	2.04
	80	340	3.00	230	2.39	330	2.95	120	2.17
	90	350	3.00	210	2.36	300	2.87	110	1.86
	100	330	3.04	240	2.63	330	2.98	120	1.74
	110	320	3.01	230	2.25	340	3.07	100	2.08
	120	340	3.05	240	2.33	310	2.89	100	1.96
	平均值	336.6	3.06	220.0	2.62	347.0	2.95	110.0	2.00

綜合以上實測結果，我們計算在【葫蘆墩圳定點 3 離三分水下游約 220m 的微坡急流水溝】以自製不同水車形狀及不同入水深度一小時的平均水力發電的電能比較(單位：焦耳)如下表所示：

水車扇葉形狀	勻狀金屬	梯形壓克力平板狀	扁長方形壓克力平板狀	方形壓克力平板狀
2cm	2759.94	1946.70	3119.76	390.38
4cm	3071.38	2632.82	3027.56	940.19
6cm	3228.75	2029.54	3270.96	812.05
8cm	3707.99	2075.04	3685.14	792.00



水流發電地點：葫蘆墩圳定點 4 三分水下游的洗衣台，水流速率 = 21.13cm/s



葫蘆墩圳三分水地點 4 勺狀水車只能緩慢轉動 記錄其發電的電流及電壓都不理想



放下保特空瓶以測量流速

其他人在 300cm 長的距離處等待瓶測量水流時間

註：因電流讀數太小，所以我們認為沒有測量下去的必要，不予考慮水流速太小的水流地區來發電。

伍、心得討論與建議

- 1 水力發電不一定得要有水位高度差才可以發電，平坦的急流也很適合做小型的水力發電設計。由此實驗，我們更可確信老師說的：「科學精神就是要實作查證，不宜先入為主」。
- 2 每次做實驗時一定會浪費掉不少的水，爲了節水，我們以設計能穩定提供 2 分鐘水流的上下瓶密閉氣壓式可回收水流的裝置爲目標，來探討水車扇葉和水流速的關係中得知不管水流速大小，8 支的扇葉水車設計轉數均較低扇葉的爲佳。
- 3 爲了適應有高度差及無高度差的水流，有坡道的水流適合勺狀的水車形狀，而平坦的急流則勺狀及平板狀的兩者差異並不大，影響較大的是入水深度，發現以水流速度來推算，至少須入水約 8 公分以上，約是我們設計扇葉長度的 $\frac{2}{3}$ 入水深。我們也發現入水太多，反而水流與水車可能因有附著力而形成阻力而電流變小。
- 4 不管是水流速小還是流速大，使水車轉動的次數多的均是扇葉數爲 8 個，扇葉間呈 45° 角爲最佳。
- 5 在研究應設計多大的水車模型，才能讓實際的水車帶動發電機轉動方面，我們以作圖及計算在水流速度爲 118cm/s 下，水車的最適力柄大小爲 27.3cm 長。
- 6 實地以自製設計的『水車及發電機組做葫蘆墩圳的水力發電』測量時，我們所設計的水車其發電情形也令人滿意。因爲它可以讓小型玩具電風扇轉動；可以讓須 3V 電壓才會亮的燈泡發亮。所以，若我們讓此小型發電機持續運轉而儲電，那儲存的電能一定也很可觀！我們終於證明了：『只要流動中的水均可以設計合適的水車帶動發電機來發電』的事實。在能源短缺的今天，希望這種「取之不盡、用之不竭」的水力發電方式能夠大大的推廣開來。

陸、未來展望

我們已非常確定且成功的設計出「水流的水力發電裝置」，不必像瀑布似的水流也可以發電，我們沿著葫蘆墩圳三分水而下，看到寬且有坡道的水域有多處可見，如下圖。如果能在這做出排水車，一起帶動更大的發電機轉動，相信可儲存的發電量一定很可觀，說不定可使圳邊一排排的路燈一起點亮這條美麗的葫蘆墩圳，也說不定整齊的一排排水車造就了這條圳的另類之美吧！



柒、參考資料

- 1 國中地球科學課本上、下冊 國立編譯館主編。
- 2 國中理化第四冊第十五章 國立編譯館主編。
- 3 高中物理發電機部分 國立編譯館主編。

評語

1 以葫蘆圳水流之美探究如何利用水流速來設計適合的水車並帶動發電機來發電的水力發電，甚具鄉土性及實用性價值。

2 以自製的氣壓式可回收水流裝置以節水方式分析出水車扇葉與水流速的關係具解決問題之創意。