

# 中華民國第 57 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

最佳(鄉土)教材獎

030803

川流式水車的製作與場址設計

學校名稱：宜蘭縣立吳沙國民中學

作者：  國一 謝玕芸  國一 曹峻森  國一 張祖榕	指導老師：  蕭朝安  許志成
---	-----------------------------

關鍵詞：川流式水車、水力發電

## 摘要

本研究設計一具可變動扇葉角度的水車，目的在探討水車扇葉的角度以及水圳場址與水車運轉速度的關係，我們以校園旁的水圳來測試水車，水圳水流速度約40 cm/s，流量約242 L/s，水車半徑60 cm，重量87.4 kg，扇葉寬度30 cm，深度25 cm，負載為200 W的發電機。研究結果：一、以水圳的自然流速很難轉動水車，需用鐵板擋住水車兩側，使水流集中在中間的扇葉，才能轉動水車。二、擋水鐵板與圳岸的角度呈45度時，可有效防止水草卡住水車。三、扇葉的角度呈45度時水車運轉速度最高。四、擋水鐵板改以全罩式擋住水流，水流速度和水位差增加，發電機轉速可達600 rpm，產生13.7伏特電壓。本研究顯示扇葉的角度45度以及水圳裝擋水鐵板，可提高水車運轉速度，使發電機發電。

## 研究動機

人類自工業革命大量使用石化燃料，帶來許多的便利性，但也對地球造成了全球增溫和氣候變遷加劇等現象，對整個自然生態各個層面造成了許多負面衝擊，自1997年12月聯合國在京都，通過京都協議書後全球積極的提倡節能外，也減少排放溫室氣體，所以為促進溫室氣體減量，強化節能減碳措施、推動綠色科技及綠能產業發展，已逐漸成為世界各國的共識，也是未來我們國家發展的重點。

從課程的學習中老師告訴我們，台灣山高水急，可以興蓋水庫來發電，但是蓋水庫會影響環境，人們已漸漸不使用蓋水庫的方式來發電，如果可以利用一般水圳來發電，雖然發電效率比較低，但也許可行，因為水圳分布廣泛，又很接近我們的生活圈，發電後可以直接使用，也無須蓋變電廠、高壓電鐵塔，浪費輸電的能源，小電量積少成多，有人估計全國的水圳發電量可以跟一座核四的電廠差不多，因此，我們想設計一座適合校園旁邊水圳運轉的水車，並研究水圳場址和水車轉速的關係，希望能提高水車的轉速，增加水車的發電效率，未來可以提供本校戶外籃球場夜間照明，提供社區民眾夜間休閒的場所。

## 壹、研究目的

- 一、了解校園旁水圳是否具有發電潛能。
- 二、探討水車扇葉的角度跟水車的轉速的關係。
- 三、改善水圳的場址是否可以增加水車的運轉速率。

## 貳、研究設備及器材

器材名稱	數量	用途
鋼板 (半徑 60 cm, 厚度 0.2 cm)	2 片	水車圓輪
鐵板 30×20×0.5 cm	12 片	水車扇葉
鐵板 75×60×0.5 cm、60×30×0.5 cm	2 片	阻擋水流
全罩式鐵板模具	一組	阻擋水流
螺絲	若干	固定扇葉與水車
L 型鋼架 1800 cm	2 根	發電機支架和水車平衡
輪軸 (半徑 30、16、5、4 cm)	各 1 個	水車變速
皮帶	兩條	水車傳動發電機
軸承	兩個	支撐水車運轉
車用發電機	一具	發電，但線圈重繞，功率為 200 瓦。
流速計	一具	測量水流速度
工具	一批	測量水圳、組裝水車、調整扇葉

## 參、研究過程或方法

### 一、水車的設計

#### (一) 草圖設計

由老師引導，帶領我們設計水車各部位零件 (圖 1)，依水圳的水流速度和流量，採用水車半徑 60 cm，重量 87.4 kg，扇葉寬度 30 cm、深度 25 cm，扇葉可變動角度，負載為 200 W 的發電機，水車裝設一平衡拉桿，拉桿上可懸掛重物，可平衡水車，使水車在水中的吃水深度固定，以維持其轉速。



手繪水車模型

水車設計討論

圖 1 水車設計過程。由手繪圖後慢慢跟老師討論，決定手稿後，再從電腦上修圖。

## (二) Solidwork 電腦軟體出圖

使用電腦繪圖軟體 solidwork，將手繪水車模型轉成數位圖形（圖 2），以方便修改和出圖，並可以跟雷射切割機結合，可切出與圖形一樣的鋼板實體。

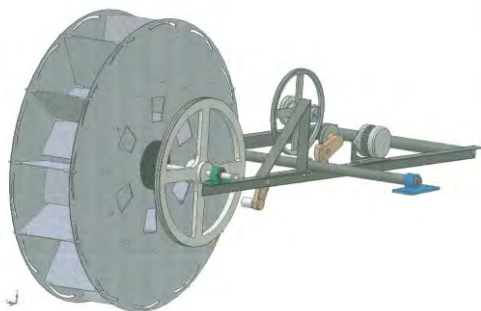
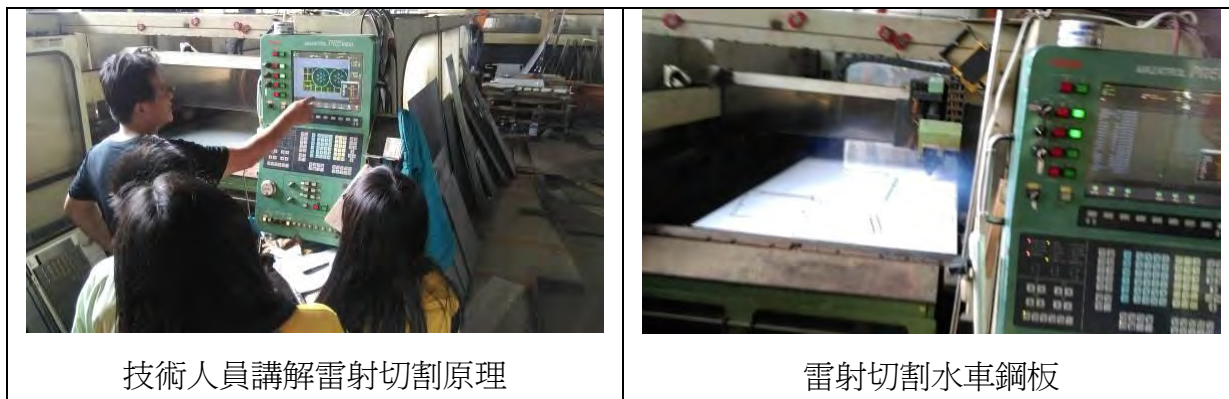


圖 2 使用電腦軟體將水車模型繪製成圖檔

## 二、水車的製作

### (一) 工廠雷射切割

至附近的鐵工廠，將 solidwork 的圖檔輸入雷射切割機，雷射切割機便可以自動切出所需的水車零件鋼材（圖 3）。



技術人員講解雷射切割原理

雷射切割水車鋼板

圖 3 雷射切割機切割水車零件的作業情形

## (二) 組裝

為防止水車零件生鏽，鋼材在工廠塗上油漆（圖 4），之後運回學校組裝（圖 5）。

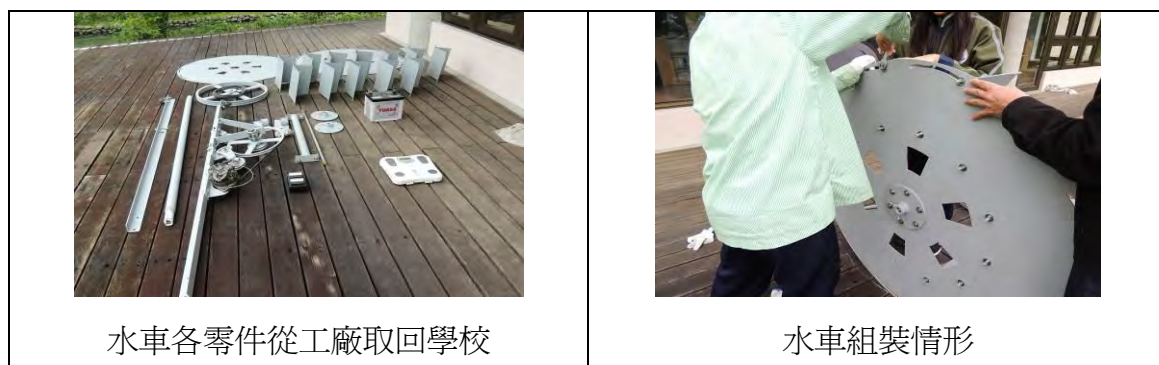


圖 4 水車零件及組裝過程

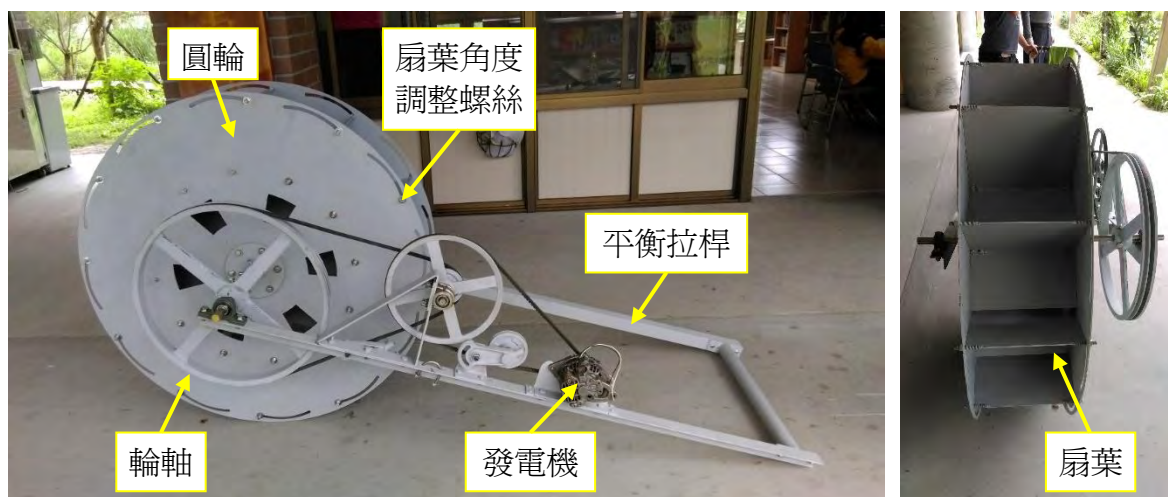


圖 5 組裝完成後的水車實體

## (三) 現場安裝

組裝後的水車用推車推至學校旁的水圳進行安裝（圖 6），水車重量很大，請學校工友、同學幫忙安裝。

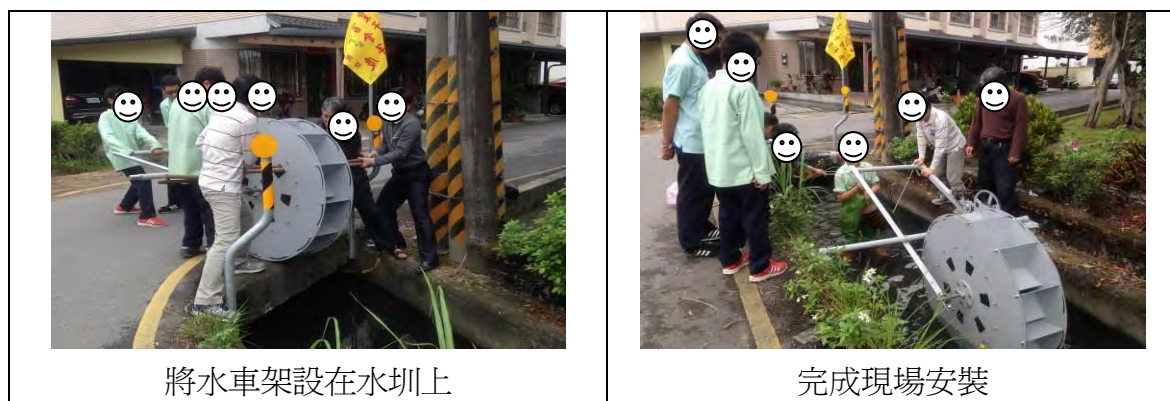


圖 6 水車現場安裝情形

### 三、水圳的場址特性

#### (一) 水圳的大小、流速、流量

1. 以捲尺測定水圳寬度、深度和水深等水圳基本資料。
2. 以流速計測量水圳的流速。測量時多測幾次不同位置、深度，最後採平均值(圖7)。



圖 7 測量水圳的大小、流速、流量。

#### (二) 以鐵板擋水增加水流速度和水位

在水車兩側加裝「活動鐵板」擋水，鐵板放入水中後，受水流的推力很大，我們在鐵板後端加裝水泥塊，來支撐鐵板，當調整鐵板與圳岸的角度時，可先把水泥塊搬到旁邊，固定角度後再把水泥板壓住鐵板。但因水流速度還是不夠快，我們改以「全罩式鐵板」擋住水流，全罩式的鐵板的兩側固定在水圳的牆壁上，鐵板沈入水中時會產生很大的水壓，鐵板會上浮，必須用水泥塊壓住，然而鐵板的底度跟河床間還是有很大的縫隙，水會大量從縫隙流出，我們用 12 塊沙袋填入縫隙，可馬上發現水位上升了，通過水車的水流也變的比較快(圖8)。



圖 8 在水車前架設擋水鐵板。

### (三) 改變扇葉與轉軸的徑向的角度

以扳手鬆動扇葉上的螺絲，並調整不同的扇葉角度，測試不同角度下水車的運轉速率（圖 9）。



圖 9 調整扇葉角度的測試情形

### (四) 自動調整水車吃水深度

平衡桿上放置水泥塊，當水位降低時，水車可以隨著水位降低，水位升高時，水泥塊重量會拉起水車，使水車吃水的深度固定（圖 10）



圖 10 水車運轉時的外觀。

#### (五) 水草淤積的清除

工作過程中，有時水圳中會有水草飄過來卡住水車，以人力清除，使水車繼續轉動（圖 11）。



水圳中漂流的水草

清理水草情形

圖 11 清除水中的水草

## 肆、研究結果

### 一、水圳的基本資料

以捲尺和流速計測量水圳基本資料，結果為：水圳寬度 173 cm、深度 80 cm，水深 35 cm，水流流速為 40 m/s，流量以流速乘以水圳寬度以及水深，大約為 242 L/s（流量= $(40 \times 173 \times 35) / 1000 = 242$  L/s）。但因附近有水閘門，閘門關閉時，水深會達 70 公分。



## 二、改善水圳的場址

### (一) 原場址水車運轉效率很差

水車放入水圳後，水車無法自行轉動，需以人工轉動一下水車，水車才會緩慢的轉動，水車約 7.3 秒轉一圈（表 1），因此，水圳的水流速度若小於 40 cm/s，必須設法增加水流的速度，才可以驅動水車。

### (二) 水車加裝擋水鐵板

在水車兩側加裝活動擋水鐵板後，我們發現通過水車的水流速度明顯增加了，鐵板與圳壁、河床、水泥板間的狹縫會湧出很多水，阻擋狹縫可增加水流速度，但這些狹縫的水流不易阻擋。鐵板與圳岸不同的夾角似乎會產生不同的流速，測試結果：

1. 以鐵板與圳岸呈 90 度時的水流速度最大，此時鐵板的受力也最大，需增加水泥塊來防止鐵板被水流沖走。水中水草容易卡住鐵板和水車，水草卡住水車時，水車的運轉速度變慢，必須經常清理水草。
2. 鐵板與圳岸呈 45 度時，水車轉速較 90 度慢，但水車仍可驅動發電機，而且水中水草可順利通過水車。此時，鐵板上游的水深增加至 38 cm，下游的水深降低至 29 cm，兩者水位差約 9 cm，水流流經水車的流速約 90 cm/s。
3. 採用全罩式鐵板可有效擋住流水，此時鐵板上游的水位會上升，上、下游的水位差可達 50 cm，水流速度增加至 160 cm/s，流水集中通過水車，水車的轉速增快至每圈只需 2 秒（圖 12），即每分鐘 30 轉，水車與發電機的轉速比約 1:20，估計發電機的轉速約每分鐘 600 轉（600 rpm）。

表 1 加裝鐵板與水車轉速的關係情形

加裝鐵板情形	不用鐵板	活動鐵板	全罩式鐵板
水車轉速（轉一圈所需的秒數）	7.3	5.2	2.0

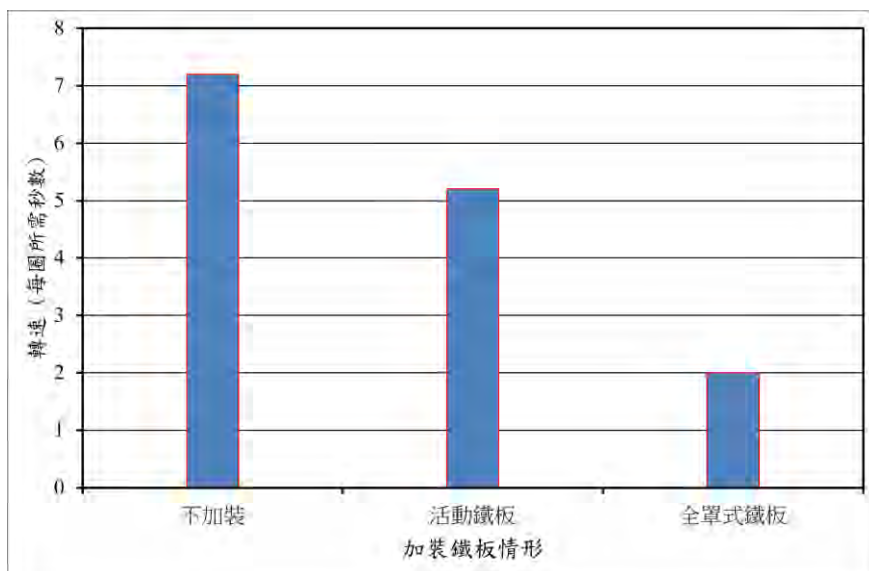


圖 12 加裝鐵板情形跟水車轉速圖

### 三、改變扇葉與轉軸的徑向的角度

我們比較兩者角度為 45 度和 90 度時，水車的運轉情形，結果如表 2。

表 2 扇葉不同角度對水車產生之運轉情形

	角度為 45 度	角度為 90 度
水流拍打在扇葉的聲音	較小	較大
水車轉動時震動	較小	較大
水車兩側濺起的水花	較小	較大

### 四、水車吃水深度與水車運轉的關係

我們比較水車吃水深度分別為 25 cm、19 cm 和 15 cm 時，水車的運轉速度，其中以吃水深度 25 cm 轉速最高，小於 15 cm 時，水車無法轉動，結果如表 3 和圖 13。

表 3 25cm、19 cm 和 15 cm 不同吃水深度跟水車轉速的情形

吃水深度 (公分)	25 cm	19 cm	15 cm
水車轉速 (轉一圈所需的秒數)	4.3	5.2	6.3

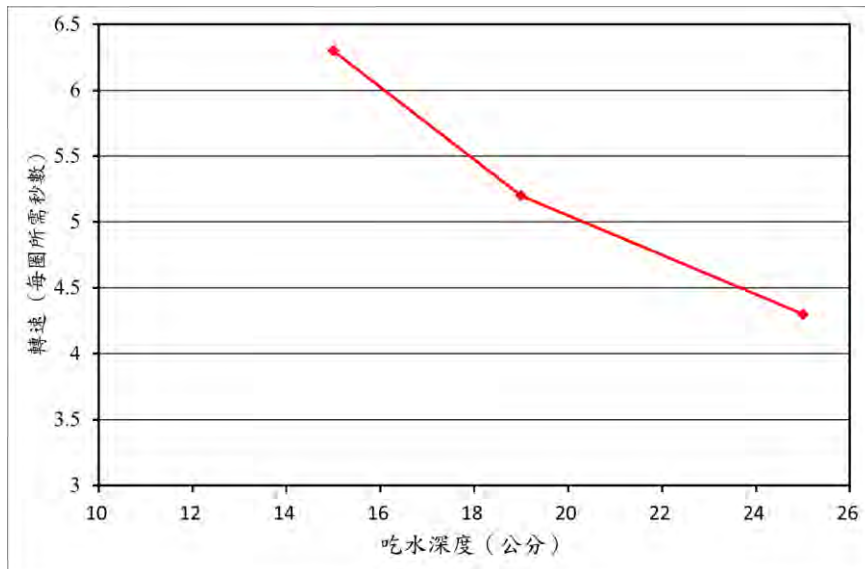


圖 13 吃水深度跟水車轉速圖

## 伍、討論

1. 自然的水流流速 40 cm/s 很難驅動水車，必須增加擋水鐵板提高流速，當流速增加至 90 cm/s 水車兩側的水位達 9 cm 以上時，即可有效帶動發電機。因此在場址設計上，應加裝擋水版，盡量使所有的水流通過扇葉，以增加水車轉動能力。
2. 擋水鐵板與圳岸的角度會影響水流速度和上、下游兩側的水位差，擋水鐵板與圳岸成 90 度時，雖然可得到最大的流速，但是水圳中的水草容易卡住鐵板和水車，降低水車運轉效率，必須清理，角度改為 45 度後，水草即可順利通過水車，因此，考慮長期運轉效率，鐵板的角度應該以 45 度較有利。
3. 簡單的活動式擋水鐵板可使水車轉速從原先的每圈 7.3 秒增加至 5.2 秒，若改用全罩式鐵板可更有效擋住水流，使水車的轉速提高至每圈 2 秒，此時發電機的轉速約 600 rpm，一般車用 12 伏特發電機到達此轉速後即可以發電。
4. 水圳要供水給農田，是重要的水力設施，我們被告知不能在水圳中設置永久固定物，以免影響下端的供水，然而若不有效阻擋水流，讓所有的水流都從水車通過，勢必會減少水車的運轉功率，此為水力發電一大課題，未來需與水利單位協商，才能提高水力發電的可行性。
5. 水車的吃水深度跟水車轉速有很大的關係，我們發現水車扇葉沈在水中的深度從 0 cm 逐漸

增加到 15 cm 時，水車才開始轉動，15 cm 是驅動水車最小的深度，吃水深度越深，水車的轉速也越大，吃水深度與扇葉深度一樣時，可得到最大轉速，但轉速隨吃水深度的增加比例上並非成線性，而是呈一曲線。

6. 扇葉的角度以 45 度和 90 度的比較結果，角度 45 度會對水車有比較好的運轉效率，這是因為呈 45 度時，在進水端可以留住較多的水，當扇葉中的水推動車轉動時，扇葉往下，水比較不易流出扇葉。扇葉經過最低點後，扇葉往上，扇葉中的水因角度的關係，比較容易流出扇葉，扇葉在水中的阻力減小，因此，整體水車運轉效率會增加。
7. 平衡桿可以讓水車保持在水中一定的深度，因此水車的轉速不太會變動，這個好處是可以讓發電機的轉速固定，產生的電流比較穩定。

## 陸、結論

水車在水圳上的運轉效率跟水車扇葉、水流流速、流量等有關，本研究結果：

1. 一般水圳若水流速度達 100 cm/s、流量達 250 L/s，即有 200 W 以上的發電能力。
2. 若能加裝擋水板，使大部分的水流流經扇葉，可提高水車運轉效率。
3. 考慮水圳中可能經常有水草等異物，擋水鐵板與圳壁的角度可以採 45 度，可有效減少水草纏住水車。
4. 使用全罩式鐵板可使水車轉速增加至每圈只需 2 秒，此時發電機轉速約 600 rpm，對車用發電機而言，已到達發電門檻。
5. 扇葉與轉動軸的徑向夾角會影響水車轉速，45 度比 90 度能讓水車轉的更快。
6. 水車的吃水深度與扇葉深度相同時水車轉速最大，吃水深度小於 15 cm 時，水車不會轉動。
7. 若要得到一穩定電流，水車的轉速需固定，可設計一平衡桿，使水車的吃水深度固定便可以使水車的轉速維持不變。

## 柒、參考資料及其他

國家發展委員會。微水力發電的展望，經建會新聞稿歷史資料區（2001~2014/1/21），民 106

年 3 月 2 日取自：

[http://www.ndc.gov.tw/News\\_Content.aspx?n=C90548F2DB23E8B9&sms=AB593F5AE64A02BE&s=756DDED25B7E915C](http://www.ndc.gov.tw/News_Content.aspx?n=C90548F2DB23E8B9&sms=AB593F5AE64A02BE&s=756DDED25B7E915C)。

王醴教授、李東璟、陳龍億、余俊穎、陳恕增。微型水力發電系統之研製，國立成功大學 發電機系輸電系統研究室，民 106 年 3 月 2 日取自：

<http://www.tairoa.org.tw/school/PDF/2009/35.pdf>

徐享崑和陳賜賢（民104）。再生能源活用--微型水力發電之探討，民106年3月2日取自：

[http://www.hydraulic.org.tw/new/upfile/post/02\\_10%E5%BE%AE%E5%9E%8B%E6%B0%B4%E5%8A%9B%E7%99%BC%E9%9B%BB%E5%88%A9%E7%94%A8%E4%B9%8B%E8%A8%AD%E8%A8%88%E6%8E%A2%E8%A8%8E\\_%E9%99%B3%E8%B3%9C%E8%B3%A2.pdf](http://www.hydraulic.org.tw/new/upfile/post/02_10%E5%BE%AE%E5%9E%8B%E6%B0%B4%E5%8A%9B%E7%99%BC%E9%9B%BB%E5%88%A9%E7%94%A8%E4%B9%8B%E8%A8%AD%E8%A8%88%E6%8E%A2%E8%A8%8E_%E9%99%B3%E8%B3%9C%E8%B3%A2.pdf)

## 【評語】 030803

1. 很用心製作水車。水車的製作可能非常精巧。研究顯示(1)扇葉的角度 45 度最佳；(2)水圳裝擋水鐵板，增加水流速提高水車運轉速度，使發電機發電；(3)使同學習得：圖檔輸入雷射切割機，雷射切割機可自動切出所需的水車零件鋼材等技術；(4)水車模場大型，已具實用價值；(5)扇葉吃水深度與水車轉速關係圖呈現水車性能。
2. 待改進：動能、位能、電能之理論相關性及效率未納入討論。水車上既然有發電機為何不進一步量測輸出電流電壓結果？並換算功率。
3. 為何選擇鐵質水車沒有太多著墨，太重使得浮力處理困難？另外水圳主要功能為灌溉農田，但研究結果為要裝擋水鐵板才能提高水流速度，顯然可行性會遭到很大挑戰。

# 摘要

本研究設計一具可變動扇葉角度的水車，目的在探討水車扇葉的角度以及水圳場址與水車運轉速度的關係，我們以校園旁的水圳來測試水車，水圳水流速度約40 cm/s，流量約242 L/s，水車半徑60 cm，重量87.4 kg，扇葉寬度30 cm，深度25 cm，負載為200 W的發電機。研究結果：一、以水圳的自然流速很難轉動水車，需用鐵板擋住水車兩側，使水流集中在中間的扇葉，才能轉動水車。二、擋水鐵板與圳岸的角度呈45度時，可有效防止水草卡住水車。三、扇葉的角度呈45度時水車運轉速度最高。四、擋水鐵板改以全罩式擋住水流，水流速度和水位差增加，發電機轉速可達600 rpm，產生13.7伏特電壓。本研究顯示扇葉的角度45度以及水圳裝擋水鐵板，可提高水車運轉速度，使發電機發電。

## 壹、研究動機

人類自工業革命大量使用石化燃料，帶來許多的便利性，但也對地球造成了全球增溫和氣候變遷加劇等現象，對整個自然生態各個層面造成了許多負面衝擊，自1997年12月聯合國在京都，通過京都協議書後全球積極的提倡節能外，也減少排放溫室氣體，所以為促進溫室氣體減量，強化節能減碳措施、推動綠色科技及綠能產業發展，已逐漸成為世界各國的共識，也是未來我們國家發展的重點。

從課程的學習中老師告訴我們，台灣山高水急，可以興蓋水庫來發電，但是蓋水庫會影響環境，人們已漸漸不使用蓋水庫的方式來發電，如果可以利用一般水圳來發電，雖然發電效率比較低，但也許可行，因為水圳分布廣泛，又很接近我們的生活圈，發電後可以直接使用，也無需蓋變電廠、高壓電鐵塔，浪費輸電的能源，小電量積少成多，有人估計全國的水圳發電量可以跟一座核四的電廠差不多，因此，我們想設計一座適合校園旁邊水圳運轉的水車，並研究水圳場址和水車轉速的關係，希望能提高水車的轉速，增加水車的發電效率，未來可以提供本校戶外籃球場夜間照明，提供社區民眾夜間休閒的場所。

## 貳、研究目的

- 一、了解校園旁水圳是否具有發電潛能。
- 二、探討水車扇葉的角度跟水車轉速的關係。
- 三、改善水圳的場址是否可以增加水車的運轉速率。

## 參、研究設備及器材

器材名稱	數量	用途
鋼板 (半徑60 cm, 厚度0.2 cm)	2片	水車圓輪
鐵板 (30×20×0.5 cm)	12片	水車扇葉
鐵板 (75×60×0.5 cm, 60×30×0.5 cm)	2片	阻擋水流
全罩式鐵板模具	一組	阻擋水流
螺絲	若干	固定扇葉與水車
L型鋼架 180 cm	2根	發電機支架和水車平衡

器材名稱	數量	用途
輪軸 (半徑30、16、5、4 cm)	各1個	水車變速
皮帶	兩條	水車傳動發電機
軸承	兩個	支撐水車運轉
車用發電機	一具	發電，但線圈重繞，功率為200瓦。
流速計	一具	測量水流速度
工具	一批	測量水圳、組裝水車、調整扇葉

## 肆、研究過程或方法

### 一、水車的設計

#### (一) 草圖設計

由老師引導，帶領我們設計水車各部位零件(圖1)，依水圳的水流速度和流量，採用水車半徑60 cm，扇葉寬度30 cm、深度25 cm，扇葉可變動角度，負載為200 W的發電機，水車裝設一平衡拉桿，拉桿上可懸掛重物，可平衡水車，使水車在水中的吃水深度固定，以維持其轉速。

#### (二) Solidwork電腦軟體出圖

使用電腦繪圖軟體solidwork，將手繪水車模型轉成數位圖形(圖2)，以方便修改和出圖，並可以跟雷射切割機結合，可切出與圖形一樣的鋼板實體。

### 二、水車的製作

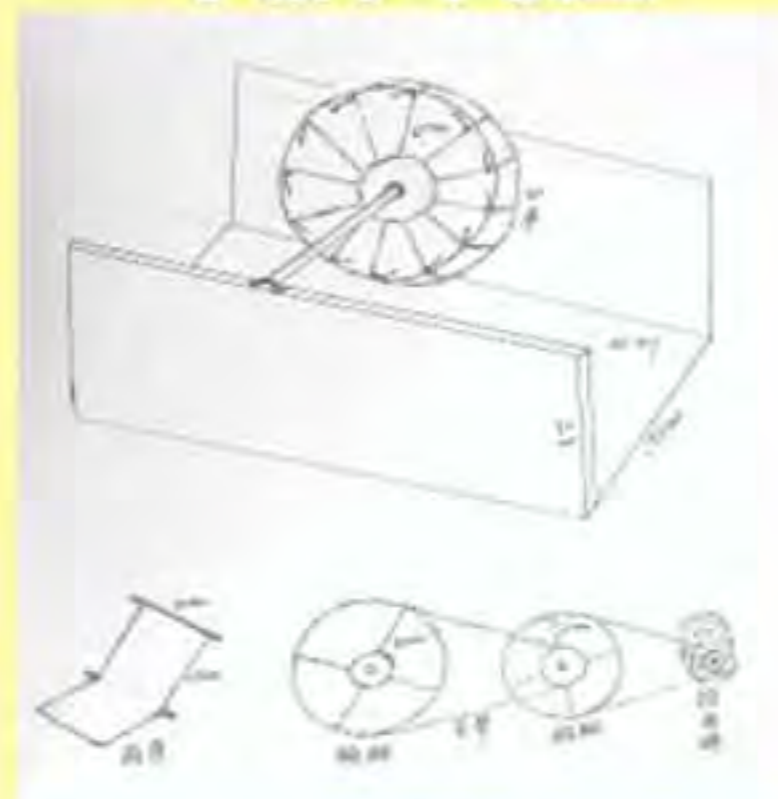
#### (一) 工廠雷射切割

至附近的鐵工廠，將solidwork的圖檔輸入雷射切割機，雷射切割機便可以自動切出所需的水車零件鋼材，總重量87.4 kg(圖3)。

#### (二) 組裝

為防止水車零件生鏽，鋼材在工廠塗上油漆(圖4)，之後運回學校組裝(圖5)。

手繪水車模型



水車設計討論



圖1 水車設計過程。由手繪圖後慢慢跟老師討論，決定手稿後，再從電腦上修圖。

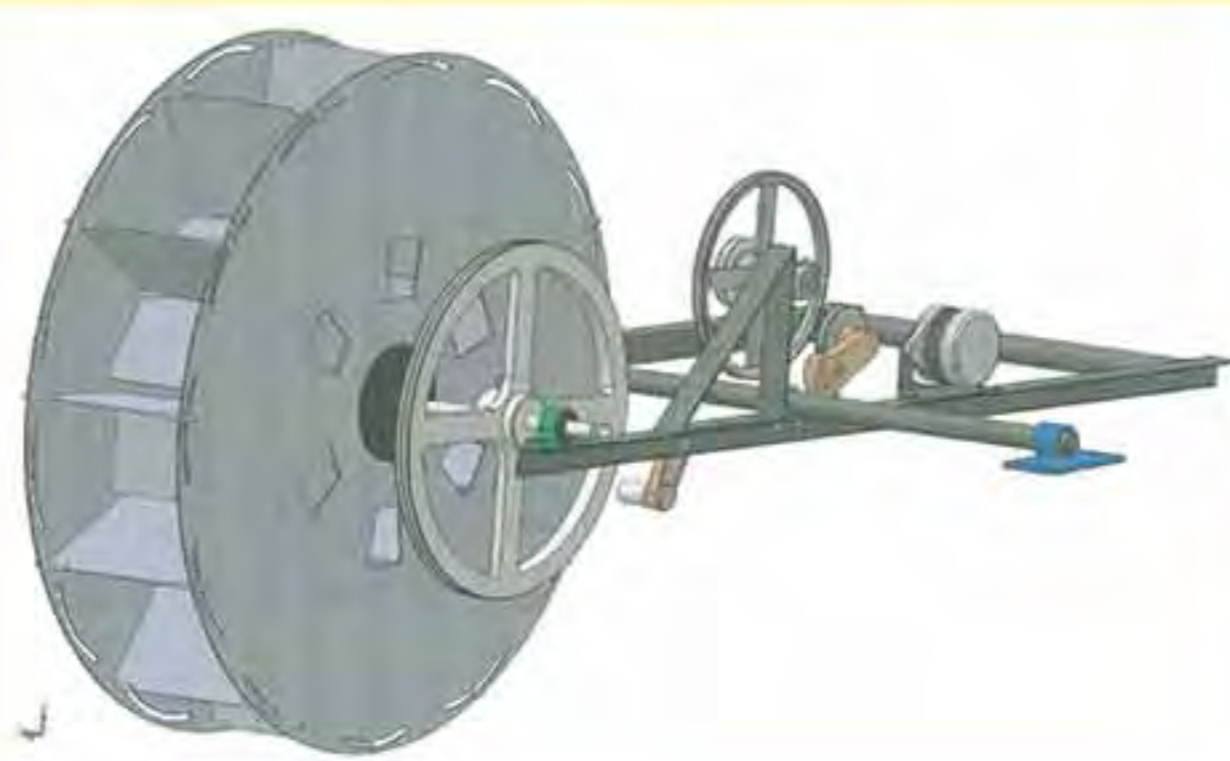


圖2 使用電腦軟體將水車模型繪製成圖檔

技術人員講解雷射切割原理



雷射切割水車鋼板



圖3 雷射切割機切割水車零件的作業情形

水車各零件從工廠取回學校



水車組裝情形



圖4 水車零件及組裝過程

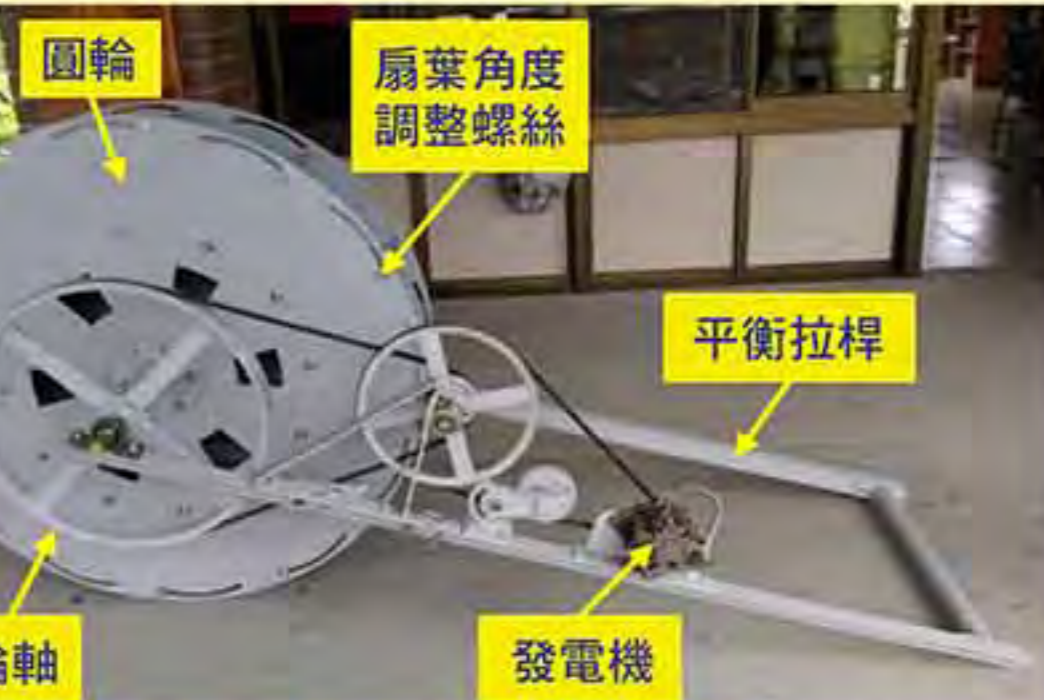


圖5 組裝完成後的水車實體

### (三) 現場安裝

組裝後的水車用推車推至學校旁的水圳進行安裝(圖6)，水車重量很大，請學校工友、同學幫忙安裝。

將水車架設在水圳上



完成現場安裝



圖6 水車現場安裝情形

## 三、水圳的場址特性

### (一) 水圳的大小、流速、流量

1. 以捲尺測定水圳寬度、深度和水深等水圳基本資料。
2. 以流速計測量水圳的流速。測量時多測幾次不同位置、深度，最後採平均值(圖7)。

### (二) 以鐵板擋水增加水流速度和水位

在水車兩側加裝「活動鐵板」擋水，鐵板放入水中後，受水流的推力很大，我們在鐵板後端加裝水泥塊，來支撐鐵板，當調整鐵板與圳岸的角度時，可先把水泥塊搬到旁邊，固定角度後再把水泥板壓住鐵板。但因水流速度還是不夠快，我們改以「全罩式鐵板」擋住水流，全罩式的鐵板的兩側固定在水圳的牆壁上，鐵板沈入水中時會產生很大的水壓，鐵板上浮，必須用水泥塊壓住，然而鐵板的底度跟河床間還是有很大的縫隙，水會大量從縫隙流出，我們用12塊沙袋填入縫隙，可馬上發現水位上升了，通過水車的水流也變得比較快(圖8)。

### (三) 改變扇葉與轉軸的徑向的角度

以扳手鬆動扇葉上的螺絲，並調整不同的扇葉角度，測試不同角度下水車的運轉速率(圖9)。

### (四) 自動調整水車吃水深度

平衡桿上放置水泥塊，當水位降低時，水車可以隨著水位降低，水位升高時，水泥塊重量會拉起水車，使水車吃水的深度固定(圖10)。

### (五) 水草淤積的清除

工作過程中，有時水圳中會有水草漂過來卡住水車，以人力清除，使水車繼續轉動(圖11)。



圖10 水車運轉時的外觀

測量水圳寬度、深度



測量水流速度

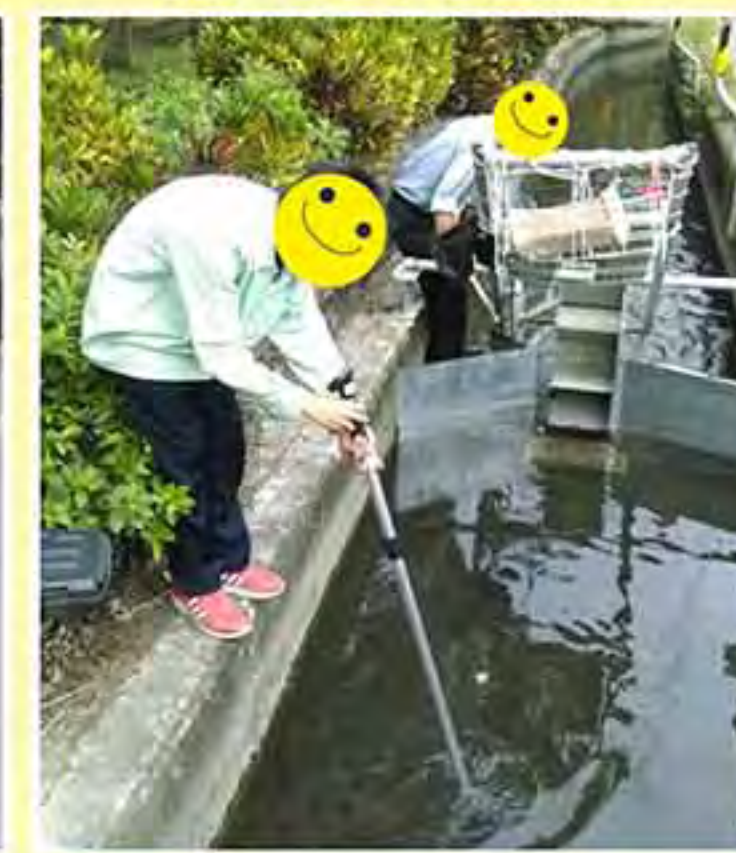


圖7 測量水圳的大小、流速、流量

架設擋水鐵板



水車在鐵板架設完後即可自行轉動



改用全罩式鐵板擋水



全罩式鐵板擋水後發電機可產生13.7伏特電壓



圖8 在水車前架設擋水鐵板

旋轉扇葉螺絲以改變扇葉角度



調整扇葉角度



圖9 調整扇葉角度的測試情形

水圳中漂流的水草



清理水草情形



圖11 清除水中的水草

## 伍、研究結果

### 一、水圳的基本資料

以捲尺和流速計測量水圳基本資料，結果為：水圳寬度173 cm、深度80 cm，水深35 cm，水流流速為40 cm/s，流量以流速乘以水圳寬度以及水深，大約為242 L/s (流量=(40×173×35)/1000=242 L/s)。但因附近有水閘門，閘門關閉時，水深會達70公分。

### 二、改善水圳的場址

#### (一) 原場址水車運轉效率很差

水車放入水圳後，水車無法自行轉動，需以人工轉動一下水車，水車才會緩慢的轉動，水車約7.3秒轉一圈(表1)，因此，水圳的水流速度若小於40 cm/s，必須設法增加水流的速度，才可以驅動水車。

#### (二) 水車加裝擋水鐵板

在水車兩側加裝活動擋水鐵板後，我們發現通過水車的水流速度明顯增加了，鐵板與圳壁、河床、水泥板間的狹縫會湧出很多水，阻擋狹縫可增加水流速度，但這些狹縫的水流不易阻擋。鐵板與圳岸不同的夾角似乎會產生不同的流速，測試結果：

1. 以鐵板與圳岸呈90度時的水流速度最大，此時鐵板的受力也最大，需增加水泥塊來防止鐵板被水流沖走。水中水草容易卡住鐵板和水車，水草卡住水車時，水車的運轉速度變慢，必須經常清理水草。
2. 鐵板與圳岸呈45度時，水車轉速較90度慢，但水車仍可驅動發電機，而且水中水草可順利通過水車。此時，鐵板上游的水深增加至38 cm，下游的水深降低至29 cm，兩者水位差約9 cm，水流流經水車的流速約90 cm/s。
3. 採用全罩式鐵板可有效擋住流水，此時鐵板上游的水位會上升，上、下游的水位差可達50 cm，水流速度增加至160 cm/s，流水集中通過水車，水車的轉速增快至每圈只需2秒(圖12)，即每分鐘30轉，水車與發電機的轉速比約1:20，估計發電機的轉速約每分鐘600轉(600 rpm)，經用電表測量發電機電壓測得電壓為13.7伏特。

表1 加裝鐵板與水車轉速的關係情形

加裝鐵板情形	不用鐵板	活動鐵板	全罩式鐵板
水車轉速 (轉一圈所需的秒數)	7.3	5.2	2.0

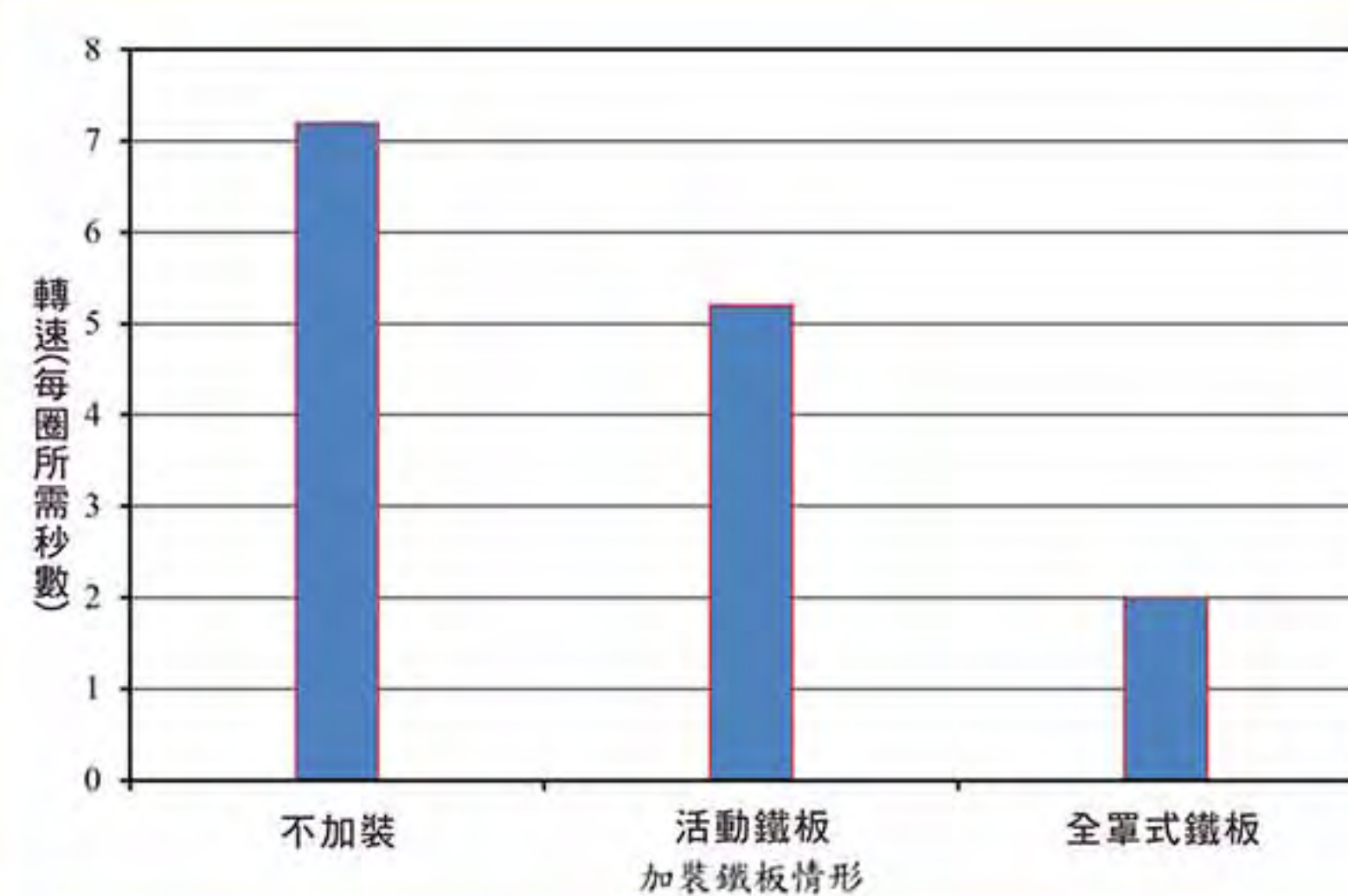


圖12 加裝鐵板情形跟水車轉速圖



### 三、改變扇葉與轉軸的徑向的角度

我們比較兩者角度為45度和90度時，水車的運轉情形，結果如表2。

表2 扇葉不同角度對水車產生之運轉情形

	角度為45度	角度為90度
水流拍打在扇葉的聲音	較小	較大
水車轉動時震動	較小	較大
水車兩側濺起的水花	較小	較大

### 四、水車吃水深度與水車運轉的關係

我們比較水車吃水深度分別為25 cm、19 cm和15 cm時，水車的運轉速度，其中以吃水深度25 cm 轉速最高，小於15 cm時，水車無法轉動，結果如表3和圖13。

表3 25cm、19cm和15cm不同吃水深度跟水車轉速的情形

吃水深度(公分)	25cm	19cm	15cm
水車轉速 (轉一圖所需的秒數)	4.3	5.2	6.3

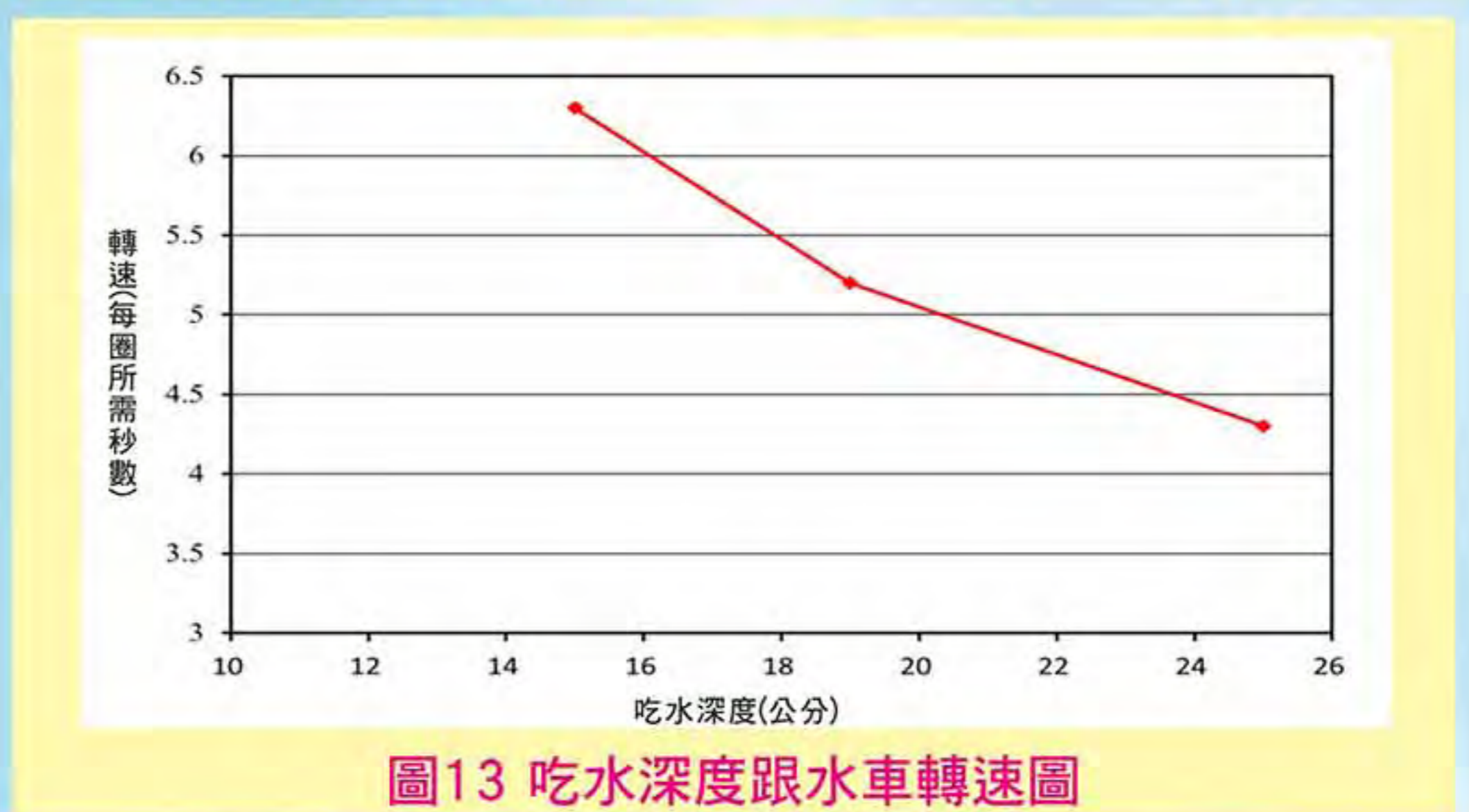


圖13 吃水深度跟水車轉速圖

## 陸、討論

1. 自然的水流流速40 cm/s很難驅動水車，必須增加擋水鐵板提高流速，當流速增加至90 cm/s水車兩側的水位達9 cm以上時，即可有效帶動發電機。因此在場址設計上，應加裝擋水版，盡量使所有的水流通過扇葉，以增加水車轉動能力。
2. 擋水鐵板與圳岸的角度會影響水流速度和上、下游兩側的水位差，擋水鐵板與圳岸成90度時，雖然可得到最大的流速，但是水圳中的水草容易卡住鐵板和水車，降低水車運轉效率，必須清理，角度改為45度後，水草即可順利通過水車，因此，考慮長期運轉效率，鐵板的角度應該以45度較有利。
3. 簡單的活動式擋水鐵板可使水車轉速從原先的每圈7.3秒增加至5.2秒，若改用全罩式鐵板可更有效擋住水流，使水車的轉速提高至每圈2秒，此時發電機的轉速約600 rpm，測得發電機電壓13.7伏特，經連接12伏特電池後，可對電池充電，並使日光燈發光。
4. 水圳要供水給農田，是重要的水力設施，我們被告知不能在水圳中設置永久固定物，以免影響下端的供水，然而若不有效阻擋水流，讓所有的水流都從水車通過，勢必會減少水車的運轉功率，此為水力發電一大課題，未來需與水利單位協商，才能提高水力發電的可行性。
5. 水車的吃水深度跟水車轉速有很大的關係，我們發現水車扇葉沈在水中的深度從0 cm逐漸增加到15 cm時，水車才開始轉動，15 cm是驅動水車最小的深度，吃水深度越深，水車的轉速也越大，吃水深度與扇葉深度一樣時，可得到最大轉速，但轉速隨吃水深度的增加比例上並非成線性，而是呈一曲線。
6. 扇葉的角度以45度和90度的比較結果，角度45度會對水車有比較好的運轉效率，這是因為呈45度時，在進水端可以留住較多的水，當扇葉中的水推動車轉動時，扇葉往下，水比較不易流出扇葉。扇葉經過最低點後，扇葉往上，扇葉中的水因角度的關係，比較容易流出扇葉，扇葉在水中的阻力減小，因此，整體水車運轉效率會增加。
7. 平衡桿可以讓水車保持在水中一定的深度，因此水車的轉速不太會變動，這個好處是可以讓發電機的轉速固定，產生的電流比較穩定。

## 柒、結論

水車在水圳上的運轉效率跟水車扇葉、水流流速、流量等有關，本研究結果：

1. 一般水圳若水流速度達100 cm/s、流量達250 L/s，即有200 W以上的發電能力。
2. 若能加裝擋水板，使大部分的水流流經扇葉，可提高水車運轉效率。
3. 考慮水圳中可能經常有水草等異物，擋水鐵板與圳壁的角度可以採45度，可有效減少水草纏住水車。
4. 使用全罩式鐵板可使水車轉速增加至每圈只需2秒，此時發電機轉速約600 rpm，測得發電機電壓13.7伏特，已達發電能力。
5. 扇葉與轉動軸的徑向夾角會影響水車轉速，45度比90度能讓水車轉得更快。
6. 水車的吃水深度與扇葉深度相同時水車轉速最大，吃水深度小於15 cm時，水車不會轉動。
7. 若要得到一穩定電流，水車的轉速需固定，可設計一平衡桿，使水車的吃水深度固定便可以使水車的轉速維持不變。

## 捌、參考資料及其他

國家發展委員會。微水力發電的展望，經建會新聞稿歷史資料區 (2001~2014/1/21)，民106年3月2日取自：

[http://www.ndc.gov.tw/News\\_Content.aspx?n=C90548F2DB23E8B9&sms=AB593F5AE64A02BE&s=756DDED25B7E915C](http://www.ndc.gov.tw/News_Content.aspx?n=C90548F2DB23E8B9&sms=AB593F5AE64A02BE&s=756DDED25B7E915C)。

王醴教授、李東璟、陳龍億、余俊穎、陳恕增。微型水力發電系統之研製，國立成功大學 發電機系輸電系統研究室，民106年3月2日取自：<http://www.tairoa.org.tw/school/PDF/2009/35.pdf>

徐享崑和陳賜賢（民104）。再生能源活用--微型水力發電之探討，民106年3月2日取自：

[http://www.hydraulic.org.tw/new/upfile/post/02\\_10%E5%BE%AE%E5%9E%8B%E6%B0%B4%E5%8A%9B%E7%99%BC%9%9B%BB%E5%88%A9%E7%94%A8%E4%B9%8B%E8%A8%AD%E8%A8%88%E6%8E%A2%E8%A8%8E\\_%E9%99%B3%E8%B3%9C%E8%B3%A2.pdf](http://www.hydraulic.org.tw/new/upfile/post/02_10%E5%BE%AE%E5%9E%8B%E6%B0%B4%E5%8A%9B%E7%99%BC%9%9B%BB%E5%88%A9%E7%94%A8%E4%B9%8B%E8%A8%AD%E8%A8%88%E6%8E%A2%E8%A8%8E_%E9%99%B3%E8%B3%9C%E8%B3%A2.pdf)