

中華民國第 53 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

030804

別再晃了吧—吊扇擺動校正研究

學校名稱：彰化縣私立精誠高級中學(附設國中)

作者： 國二 張奇恩 國二 蔡育泰 國二 張育騰	指導老師： 郭琬玲
---	------------------

關鍵詞：吊扇、重心偏移、擺動

作品名稱：別再晃了吧！吊扇擺動校正研究

摘要

本研究藉由光學理論的應用，希望建立以最低成本的方式，達到快速校正吊扇偏擺狀況。我們利用雷射光直線前進的特性，將吊扇偏擺的振幅顯示放大，並反射顯示於我們設計的同心圓盤上，再利用數位相機拍攝同心圓盤上光點的位置，這樣可以確認吊扇偏心的位置及大小，透過圓盤上光點軌跡的角度大小，可以計算出吊扇的轉速，經過數學的推算後，就可以知道需要搭配的配重重量及位置。

壹、研究動機

有一天坐在教室，同學們都很安靜的溫習功課，這時候只有吊扇聲音陪我們看書，抬頭一看，哇！有的吊扇晃的好嚴重，好像要掉下來似的，聲音也特別大，有的吊扇運轉就很順暢，也不會有搖晃的感覺，為什麼會這樣呢？這開啟了我們想要探討吊扇擺動的原因。觀察水電工的調整方式時，發現他們都是使用錯誤嘗試法，利用配重塊來調整重心，如果要調整到非常平衡的狀況，有時就要花費很長的時間，有沒有更快速簡便而且準確的方法呢？還有吊扇偏擺時，對耗能是否有影響，這些都是值得我們去研究的地方。

貳、研究目的

- 一、了解吊扇偏擺的原因及相關因素的關係
- 二、如何測量吊扇偏擺的振幅
- 三、設計偵測吊扇重心偏擺位置
- 四、設計快速校正吊扇偏擺問題的方法
- 五、吊扇偏擺對耗能之影響

參、研究設備、器材及與課程關聯性

- | | |
|------------|------------|
| 一、電腦 | 五、自製萬向反光鏡組 |
| 二、數位相機 | 六、高速車床 |
| 三、同步轉速儀 | 七、吊扇 |
| 四、自製雷射投射裝置 | 八、瓦特計 |

表一 研究過程與學校課程教材相關單元

研究內容	相關教材	章節
雷射光應用	自然與生活科技第三冊	4-2 光的反射與折射
單擺運動	自然與生活科技第五冊	1-1 時間的測量
圓周運動	自然與生活科技第五冊	第 2 章 圓周運動與離心力
雷射切割應用	自然與生活科技第一冊	7-3 科技發展的重要基礎
同步轉速儀使用	自然與生活科技第三冊	3-1 波的傳播與特性
車床使用	自然與生活科技第四冊	8-2 加工處理

肆、研究過程或方法

一、研究流程圖

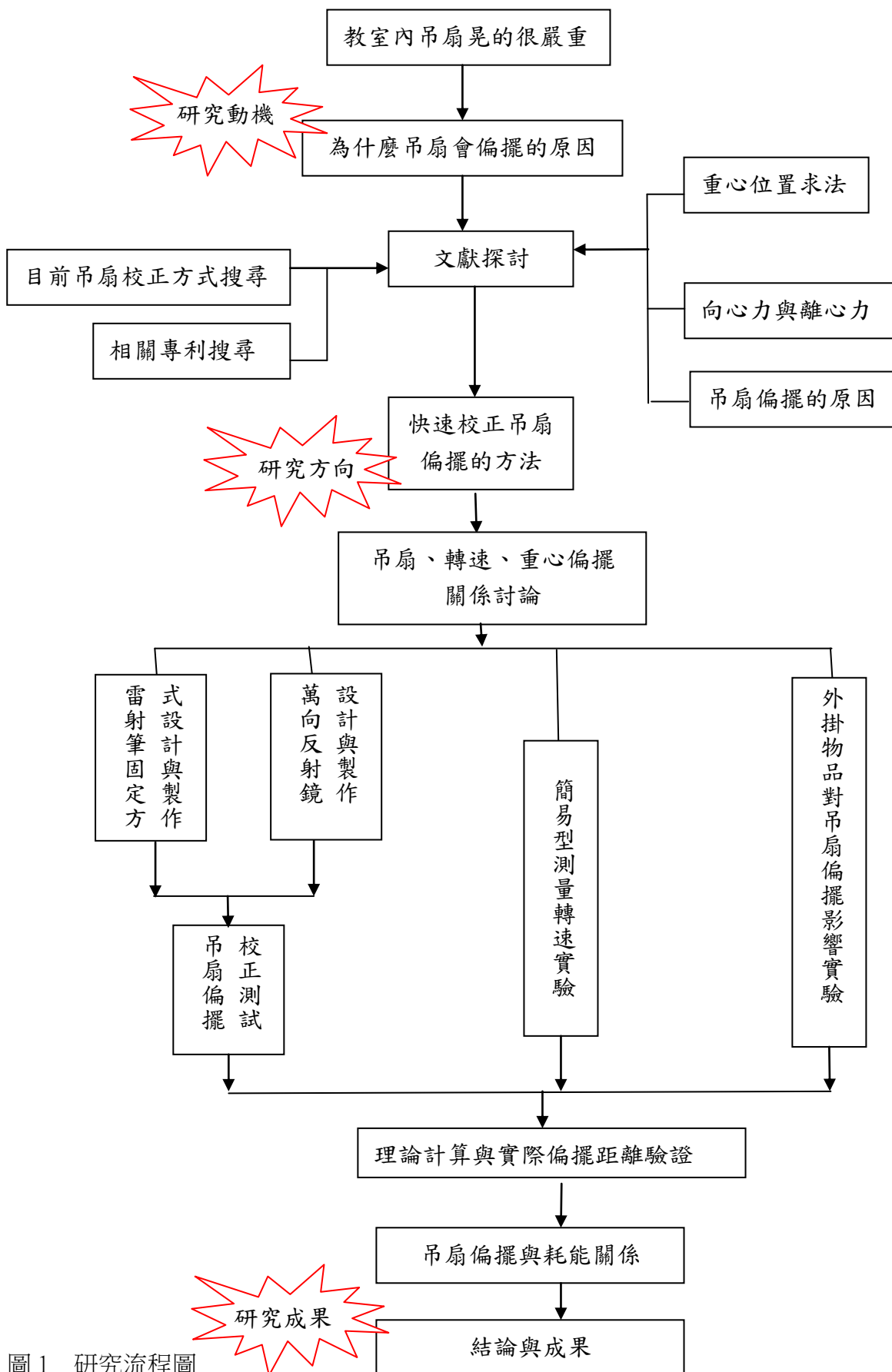


圖 1 研究流程圖

二、文獻探討

(一)吊扇偏擺原因討論

1. 馬達轉子沒有校平衡或是吊扇馬達老舊導至機件間隙太大。

為了解吊扇的馬達運轉是否有偏擺，我們將吊扇扇葉拆下，只有吊扇主機運轉，如圖 2 所示，經過雷射光源反射後，發現也有偏擺的現象，如圖 3 所示，其中藍色編號點為雷射光源，紅色編號點為反射後投影的軌跡，也有一些的偏擺現象。由於吊扇固定的方式是懸吊，因此一點點的不平衡就可能造成吊扇主機晃動。



圖 2 無扇葉吊扇試運轉

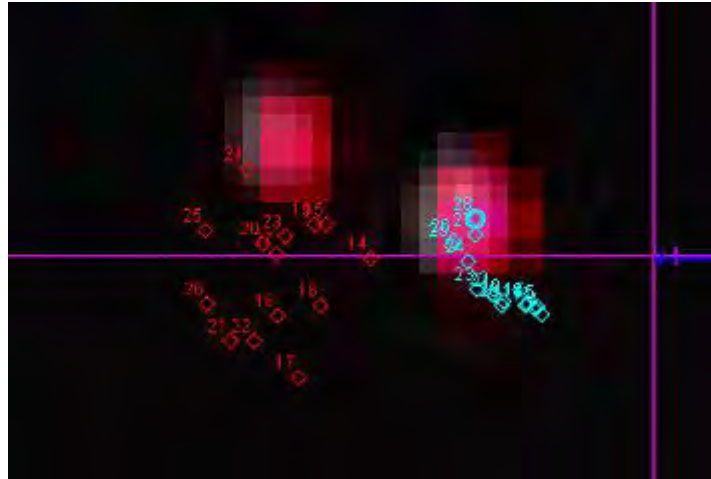


圖 3 無扇葉運轉雷射光點軌跡(藍色為光源，紅色反射光)

2. 各扇葉的扭轉角度不同

扇葉是由木質扇葉及金屬柄構成，目前常見為五片扇葉，若其中有一片扇葉的扭轉角度略有偏差，轉動時受力就不同，因此就可能造成偏擺，所以有人針對這點設計精確調整扇葉扭轉角度的調整法。

3. 各扇葉的材質不均勻，重量不均

我們將扇葉拆下後逐一編號秤重如圖 4，發現有三個扇葉重量為 445g、一個 446g、一個為 447g，重量差異性也會造成吊扇偏擺。



圖 4 扇葉秤重



圖 5 吊扇扇葉變形

4. 扇葉變形，形狀不同

扇葉變形部分如圖 5 所示，若扇葉材質不佳容易受潮就可能變形，這點也可能會造成吊扇晃動[1]。

5. 外力作用，如風吹、碰到物品等

6. 吊扇安裝錯誤

綜合上面幾點討論，這些吊扇偏擺的因素都會對扇葉造成某種程度的影響，這些因素會互相影響，有所謂的交互作用，在探討上就更複雜了，所以我們只針對組裝後的吊扇進行調整，希望以比較簡單的方式完成這項校正工作。

(二)專利搜尋

我們蒐尋中華民國專利資訊檢索系統後[2]，發現有兩種調教吊扇的專利，專利證號 141503 之吊扇偏擺不正之光電檢測法，如圖 6 所示，他的設計是利用光電感應的方式，將吊扇偏擺的位置顯示於地面上的靶紙上，檢測時需要將光電裝置固定在吊扇控制盒上，加上感應貼紙的黏貼，都增加作業的困難度，同時光電感應裝置偏移一側，應該對其偏擺有影響。另外一個為專利證號 178730 之吊扇旋轉不正之檢測器結構，如圖 7 所示，裝設更為困難，同時驅動機構對吊扇也可能造成影響。

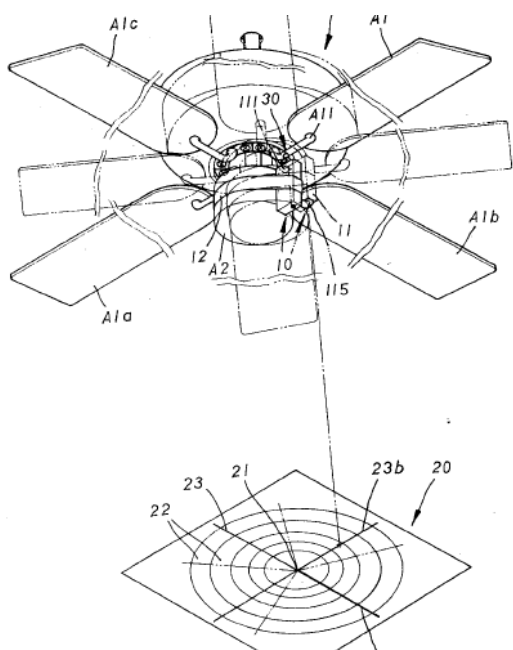


圖 6 吊扇偏擺不正之光電檢測法

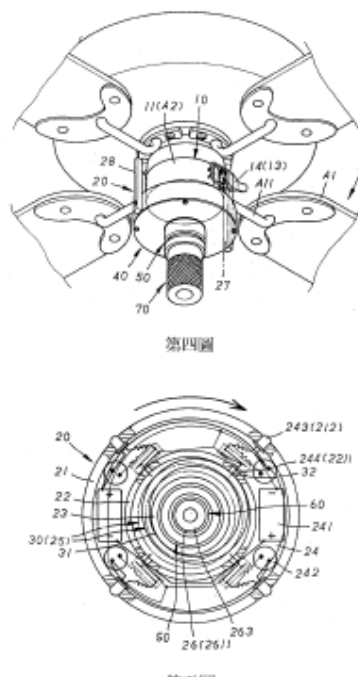


圖 7 吊扇旋轉不正之檢測器結構

(三)精確調整吊扇的方式

我們在資料蒐尋時也發現有『吊扇葉片晃動的終極解決法』[3]這個網頁，如圖 8 為測量各扇葉角度偏差，圖 9 為調整扇葉角度誤差的方法。

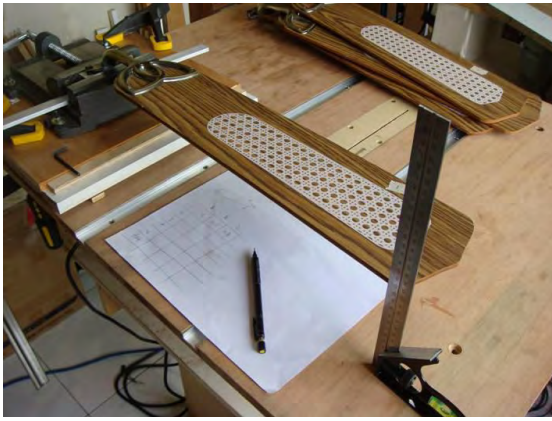


圖 8 吊扇測量扇葉歪斜程度



圖 9 扇葉角度調整

三、研究方法與過程

(一)物體重心的求法

所謂重心是指物體重量分布的中心點[4]，假設物體由無數個小質點構成，每一點質點都受重力影響，產生向下的平行力，這些平行力的合力就是物體的總重量，其作用位置就是重心，如圖 10 所示。要如何知道重心的位置？簡單幾何形狀的物體其重心可以用計算的方式求得，而較複雜的物品可以使用懸吊法求得重心位置。如圖 11 所示，台灣的圖形經過至少兩次不同位置的懸掛，就可以知道其重心位置為懸吊線延伸線交點處。

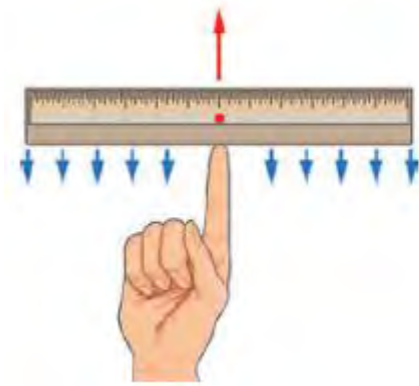


圖 10 重心的定義

摘錄自機械力學，台科大[4]

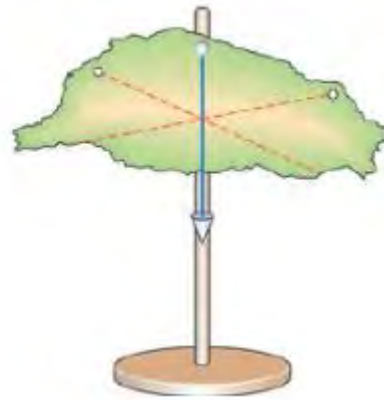


圖 11 懸吊法求物體重心

摘錄自機械力學，台科大[4]

(二)圓周運動

由於風扇旋轉是圓周運動的應用，因此我們也探討各種圓周運動的計算公式[4]。

1.角速度

圓周運動之物體上的質點，其單位時間內的角位移稱為角速度（angular velocity），以 ω 為符號，最常用的單位為弧度/秒（rad/s）。

$$\omega = \frac{\theta}{t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f = \frac{2\pi N}{60}$$

圓周運動切線速度與角速度的關係如下：

$$V = r\omega$$

2.切線加速度

作曲線運動之物體，若其切線速度的大小隨時間變化而有改變者，表示在切線方向有加速度，此一加速度稱為切線加速度(tangential acceleration)，以 a_t 為符號。

$$a_t = r\alpha$$

3.法線加速度

此加速度係用來改變切線速度的方向，其方向恆指向圓心，所以稱為向心加速度，又稱為法線加速度 (normal acceleration)，或徑向加速度。以 a_n 為符號。

$$a_n = \frac{V^2}{r} = r\omega^2$$

合加速度

$$a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2}$$

(三)向心力及離心力

產生向心加速度的力即稱為向心力(centripetal force)，以 F_n 來表示，其計算式為

$$F_n = ma_n$$

$$F_n = \frac{mV^2}{r} = mr\omega^2$$

離心力 (centrifugal force)，其大小與向心力相等，但方向相反。以 F_n' 表示，而 $F_n' = -F_n$ 。將物體以繩子綁緊，使其在水平面上作圓周運動，圖 12(a)所示為水平面圓周運動之俯視圖。圖 12(b)為汽車轉彎時會產生離心力的示意圖。

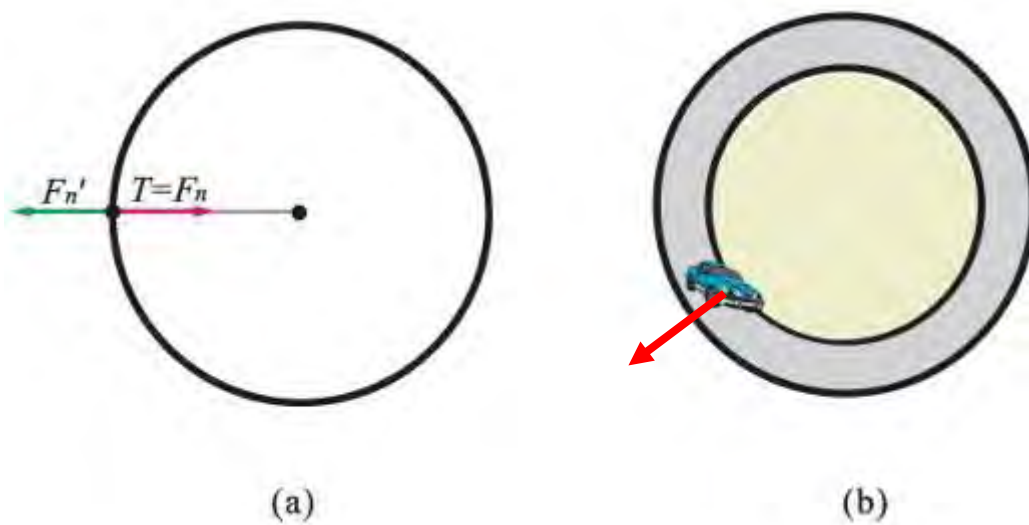


圖 12 平面圓周運動時，力的作用方式

(四)吊扇偏擺理論計算

吊扇的運轉是迴轉運動，我們假設各扇葉是平衡狀態，當我們夾上一個 3g(m)的長尾夾如圖 13 所示，迴轉後長尾夾就會產生離心力 F_n 。離心力 F_n 會造成整個吊扇如錐擺般擺動。我們測量吊扇各部位尺寸繪出如圖 14~15，其中吊扇馬達重量 4.8Kg，雷射筆重量 200g，扇葉總重 2.228Kg，扇葉的迴轉半徑為 60cm，天花板至雷射筆裝置距離 28cm，扇葉以 200RPM 轉速回轉。

先求出長尾夾造成的離心力 F_n

$$F_n = ma_n$$

其中 $m=3g=0.003KG$ ， $N=200RPM$

$$F_n = 0.003 \times 0.6 \times \left(\frac{2\pi \cdot 200}{60} \right)^2$$

計算得 $F_n=0.789567N$ 同時 $\omega = 20.943rad/sec$

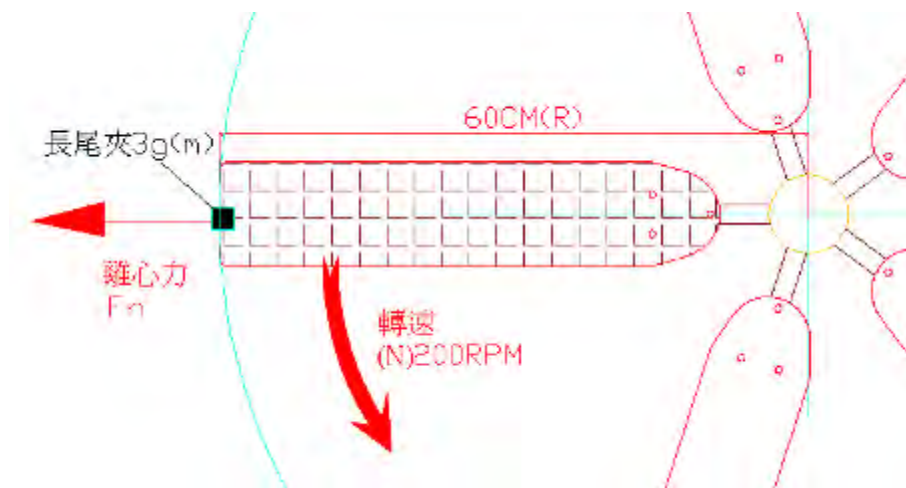


圖 13 吊扇迴轉平面圖

如圖 14 中，我們假設吊桿會承受一個拉力 T

則

$$T \times \frac{r}{0.28} = 7.228 \times (r \times \omega^2)$$

$$T \times \frac{r}{0.28} = 7.228 \times (r \times 20.943^2)$$

計算得 $T=887.754N$

根據同平面力系原理，吊桿的拉力的水平分力等於離心力

$$T \times \sin \theta = 0.789567$$

$$\sin \theta = \frac{0.789567}{887.754} = 0.000889398$$

計算得 $\theta = 0.050958782$ 度，表示夾一個 3g 的長尾夾會造成吊扇產生這個角度的偏擺。

如圖 15 中實際量測雷射筆至反射鏡的距離為 2m

則

$$\tan \theta = \frac{X}{4}$$

$$X = 4 \times \tan \theta = 4 \times 0.000889398 = 0.003557595m = 3.557595mm$$

經過換算後可以知道一個 3g 長尾夾會造成半徑 3.5mm 的圓圈。

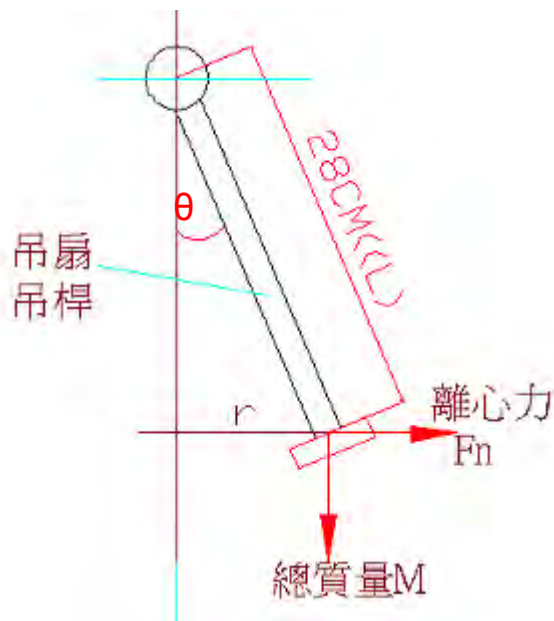


圖 14 吊扇擺動位置示意圖

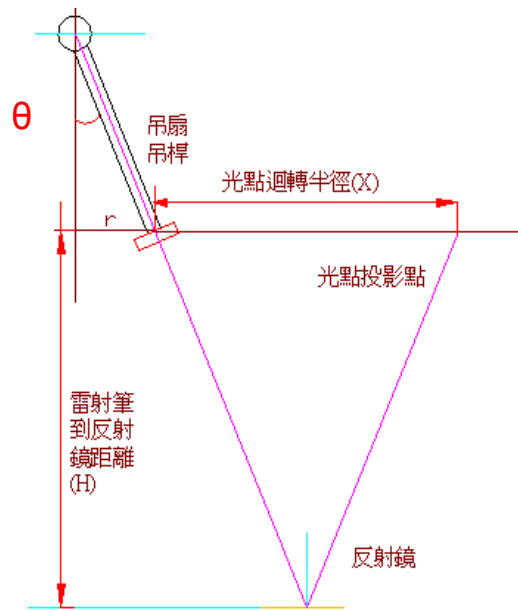


圖 15 雷射反射光路示意圖

(五)吊扇偏擺振幅測量的方式設計與測試

在討論過程中，我們初步構想的方式，是考慮離心力會使偏擺有一定的頻率與振幅，想辦法讓離心力造成的偏擺位置方向顯示出來，再利用非接觸式轉速計，來確認偏擺的扇葉編號與重心顯示的相對位置，再作配重調整。所以如何讓方向顯示出來？離心力偏擺顯示方式可利用鋼珠導電，可以知道方向，可是偏移位置不知，除非可以測量鋼珠對開關的壓力。其實好像直接用透明的盒子，加上有顏色的珠子，就可以了解離心力的影響及位置。

後來上生活科技的物理課程時[5]，同學拿雷射筆在牆上繞圈圈時，發現雷射光點轉動的樣子，就好像吊扇在擺動的樣子，這個發現給我們一些靈感，老師說光線經過反射鏡時，入射角會等於反射角，加上距離與角度的關係，會有放大的效果，也就是說雷射光從吊扇下射出後，會在地面轉圈圈，同時會將晃動的情況放大。

可是我們必須知道吊扇重心是偏向那一個扇葉，我們討論後決定使用反射鏡讓雷射光反射回去，可以看到光點在吊扇下呈現，那如何偵測位置呢？這時我們使用數位相機來拍照時，竟然發現光點的位置都會固定在某一扇葉那一側，所以就有這樣的構想來設計快速光學校正吊扇偏擺的工具如圖 16 所示。

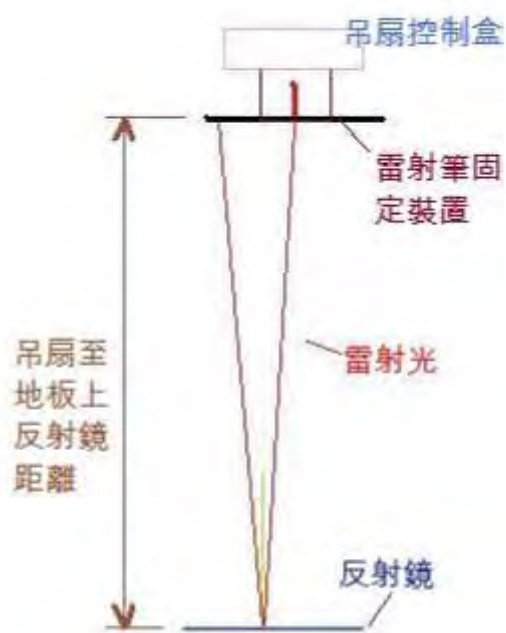


圖 16 雷射光反射路徑示意圖

我們起初設計的雷射筆盒如圖 17 所示，拆解雷射筆後將雷射頭固定在一塑膠盒內，再裝設電池盒及磁鐵，讓這個裝置可以吸附在吊扇下方的控制盒如圖 18。完成後我們就進行吊扇的振幅實驗，在地面上放置同心圓紙張，觀察吊扇偏擺與雷射紅點的可觀察性。假設偏擺越多，紅點會繞越大的圈圈，如圖 19 所示。



圖 17 初步製作的雷射筆固定盒



圖 18 雷射筆固定盒吸附在吊扇下方

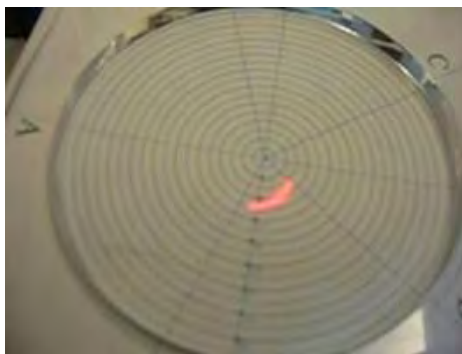


圖 19 雷射光點顯示在同心圓標靶紙上

1. 新設計雷射筆固定裝置

由於前面製作的雷射筆盒重量不平均，加上反射後的光點需要容易觀察，因此我們重新設計雷射筆吸附裝置，利用雷射加工機加工壓克力板材，製作過程如圖 20，完成的雷射筆同心圓盤如圖 21，其中雷射從圓心處發射出來。



圖 20 雷射切割實驗設備

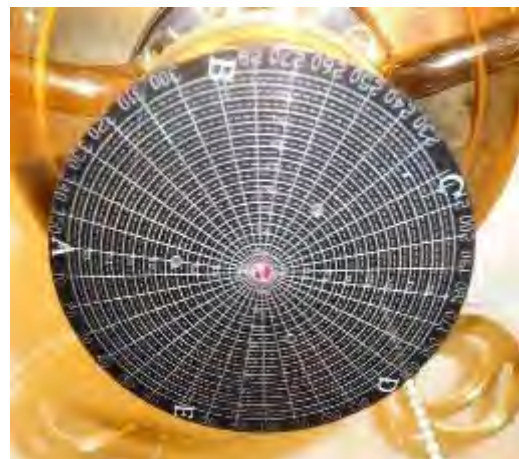


圖 21 雷射筆同心圓盤

雷射光部分直接使用書局購買的雷射筆，不再拆開，設計機構可以從外側開啟電源開關，設計製作時也考慮平衡對稱，拆裝如圖 22 所示。完成如圖 23 裝置，上面裝設 3 顆強力磁鐵，可以吸附在吊扇的控制盒上。



圖 22 雷射筆裝置組裝

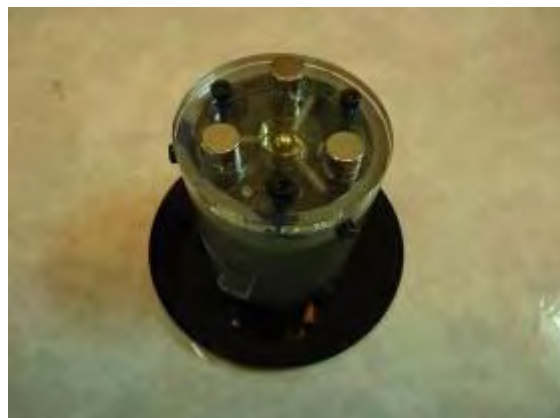


圖 23 雷射筆固定裝置使用磁鐵

2. 萬向反射鏡設計

在使用反射鏡時，需要調整其角度，因此原本考慮使用相機三腳架的雲台，可是在調整角度時不容易微細調整，因此我們設計互相垂直的兩軸，可以分別調整角度，這樣調整上就比較容易，完成的反射鏡組如圖 24 所示，有兩個旋轉螺絲，可以控制 X 軸及 Y 軸位置。這組反射鏡也可以安裝在三腳架上，更容易調整與觀察雷射光點，如圖 25 所示。



圖 24 反射鏡萬向調整設計



圖 25 萬向反射鏡安裝於相機腳架上

3. 雷射筆擺置位置對光點的影響(討論控制盒上的重心位置影響)

吊扇會偏擺不正的原因主要是重心位置偏移，因此外加物品對吊扇而言，會改變其重心位置，加上之前搜尋的專利設計構造是不是合理？也是我們想要探討的地方，因此我們也針對這個問題設計實驗。雷射裝置吸附不同位置時是否會影響偏擺(地面同心圓錄影或照相)，因為物理老師上課有介紹一套免費軟體 **Tracker**，Tracker 軟體是一個建立於 Open Source Physics (OSP) Java 架構下的免費影像分析與建模工具[6]，因此我們計畫使用 Tracker 來分析。

圖 26 是雷射投影幕上方影像，圖 27 是原本的實驗架構，讓數位相機在投影幕下方錄影，盡量讓螢幕在中間，可是實驗時調整不易，因此修改如圖 28 的錄影方式，只是需要將相機盡量垂直紙面，圖 29 為實驗過程。

A. 實驗設備：雷射筆吸附裝置、同心圓標靶紙、數位相機及腳架。

B. 實驗步驟：

- (1) 吊扇扇葉為沒有夾上任何長尾夾狀況
- (2) 將雷射筆裝置吸附於吊扇控制盒正中央。
- (3) 啟動吊扇最高轉速，運轉約 1 分鐘
- (4) 將同心圓標靶紙放置於地板上，調整紅點繞同一圓轉
- (5) 若紅點為近似橢圓或一直線移動，則將標靶紙的 X 軸轉向紅點長移動的中間位置
- (6) 使用數位相機及腳架錄影，盡量垂直紙張錄影，使用小便條紙說明實驗條件。
- (7) 移動雷射筆至 X 軸最外側，重複 3-6 動作。
- (8) 移動雷射筆至 Y 軸最外側，重複 3-6 動作。

將吊扇一個扇葉夾上 1 個長尾夾，重複實驗 1-8 步驟，並記錄

將吊扇一個扇葉夾上 2 個長尾夾，重複實驗 1-8 步驟，並記錄



圖 26 同心圓標靶紙投影幕



圖 27 原本設計錄影位置



圖 28 直接將標靶紙放於地面錄影



圖 29 實驗過程

4. 簡易量測物體轉速的方法

在理論分析時，我們發現吊扇轉速會影響離心力大小，要如何測量吊扇的轉速呢？我們有借到一組**同步轉速儀**，可以測量迴轉運動的轉速，可是其價格不低，是否有簡易的測速方式呢？經過幾次討論後，我們發現也許可以利用數位相機來測量，因為相機的快門速度可以讀出，經過換算後就可以得到轉速，精確度如何呢？我們針對這問題設計如下實驗。

將雷射筆裝置於迴轉物體上，並將雷射照射於一刻畫有**同心圓及角度**的圓盤，以設定的轉速迴轉，再利用數位相機拍照，經過換算以求得轉速。

A. 實驗設備：高速車床、數位相機(兩種牌子)、雷射筆裝置、自製同心圓盤、同步轉速儀

B. 實驗步驟

- (1) 安裝尾座同心圓盤及數位相機如圖 30。
- (2) 安裝雷射裝置於夾頭上，偏心圓約 40mm，如圖 31。
- (3) 設定轉速 120RPM，以同步轉速儀測試頻率實際轉速，如圖 32~34。
- (4) 以數位相機拍攝尾座上的雷射軌跡(有及無閃光燈拍攝)，SONY 及國際牌各拍 6 張。
- (5) 設定轉速 210RPM、350RPM 重複上述拍照動作。
- (6) 調整偏心 80mm，重複上述動作。



圖 30 簡易測量轉速實驗架構



圖 31 實驗過程



圖 32 同步轉速儀



圖 33 測量實際轉速



圖 34 轉速記錄

5. 光學快速調校吊扇偏擺方法設計

要調校吊扇的偏擺狀況，我們需要使用雷射筆吸附裝置、數位相機、萬向反射鏡、及一張小標籤，調整方式如下：

- (1) 將雷射筆吸附於吊扇下方的控制盒中央，並貼一張標籤於其中一個扇葉上。
- (2) 開啟雷射筆開關，使雷射朝地面射出雷射光。
- (3) 開啟吊扇開關，以最快轉速迴轉。
- (4) 將萬向反射鏡放置於雷射光照射區，使雷射光反射至天花板。
- (5) 調整萬向反射鏡方向，使繞圈圈的雷射光點投射到同心圓盤上。
- (6) 微調至雷射光點繞同一個同心圓迴轉。
- (7) 使用數位相機照相，需要開啟閃光燈(若軌跡不是全圓，將相機水平軸與光點長軸對應)。
- (8) 照相若干照片，可以直接從相機的檢視功能，觀察扇葉偏擺的相對位置及距離。
- (9) 計算及分析需要調整的扇葉及重量位置。

圖 35 為調整反射鏡實作照片，圖 36~38 為數位相機拍攝的結果，在相機上將相片放大，可以清楚發現吊扇偏擺扇葉的相對位置。我們測試其他吊扇結果如圖 39 及 40，也可以發現扇葉順序與偏擺相對位置。



圖 35 吊扇調正偏擺實作

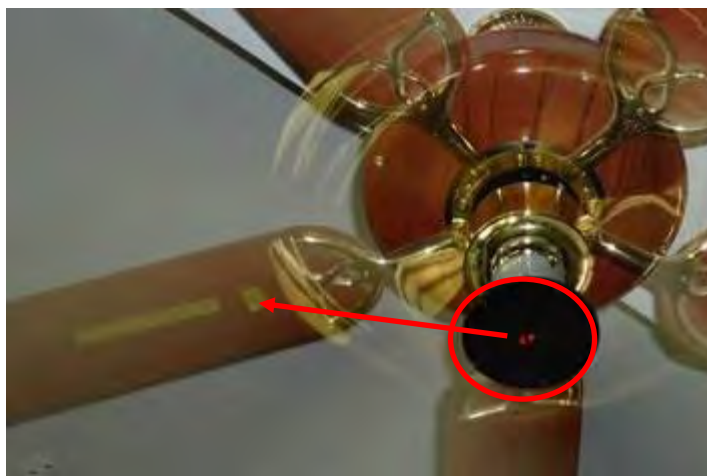


圖 36 以數位相機拍攝照片 1

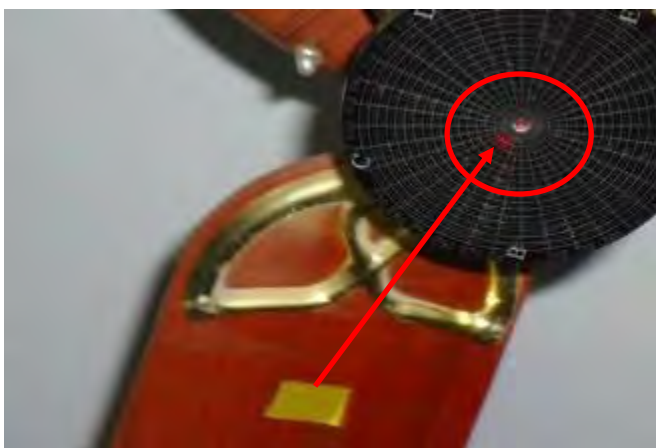


圖 37 以數位相機拍攝照片 2



圖 38 數位相機拍攝照片 3

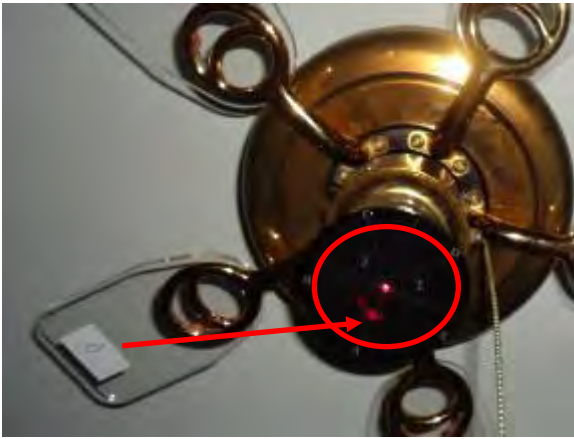


圖 39 不同吊扇偏擺位置照相 1



圖 40 不同吊扇偏擺位置照相 2

伍、研究結果

一、簡易測量轉速方式實驗結果

針對簡易測量轉速的實驗中，使用有 SONY 的 DSC-W530 相機及 Panasonic 的 DMC-FX7 相機，完成的實驗照片如附錄一所示。將實驗記錄完成製表如附錄二，將這些資料繪製圖表如圖 41~42，分別說明如下，圖中 S 表示 SONY 相機，P 表示 Panasonic 相機，數值表示偏心距離 4cm 及 8cm。

運用公式為 $[(\text{角度}/\text{快門速度})/360]*60=\text{轉速(RPM)}$

例如編號 S4120-1 照片，快門速度為 1/40、估計角度約 20 度，換算得約 133RPM 轉速。

- (一) 比較圖 41 後可以發現 SONY 的相機誤差較大，Panasonic 相機的誤差較低。
- (二) 圖 41 中，SONY 相機在雷射光點迴轉半徑較大時(S8)，量測值誤差跳動較大。
- (三) 如圖 42 在較高轉速時，兩台相機的標準差都較大，表示測量誤差較大，使用相機照相測量轉速時只適合於低轉速(約 200RPM 以下)。

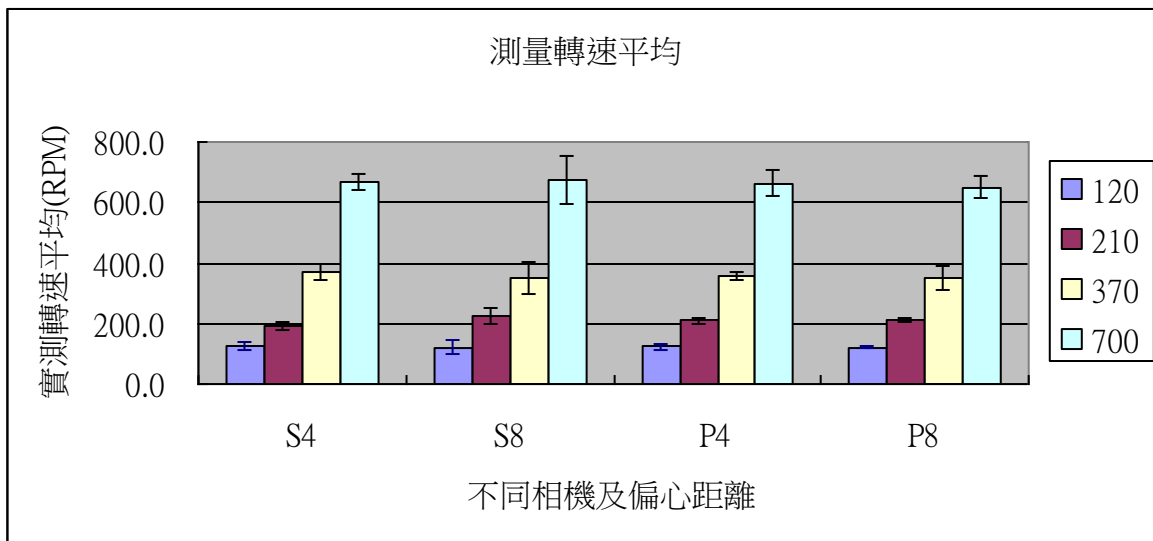


圖 41 相機測量轉速誤差比較圖

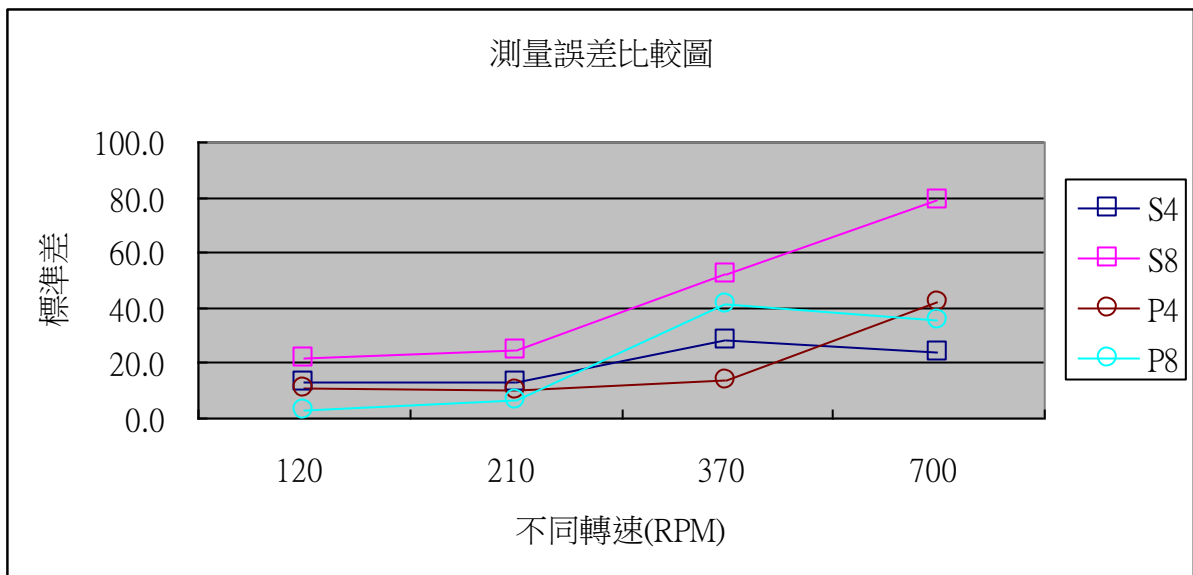


圖 42 相機量測不同轉速時的標準差比較

在研究過程中也發現吊扇擺動的軌跡，有時候並不是全圓，有可能是往復的運動軌跡，所以我們也利用 Tracker 來測量吊扇擺動的頻率，如圖 43 為吊扇偏擺的軌跡之一，很明顯為左右往復的運動軌跡，將往復的時間繪製如圖 44，取出重複位置的 A 點及 B 點資料，可以換算出其來回一次的週期。

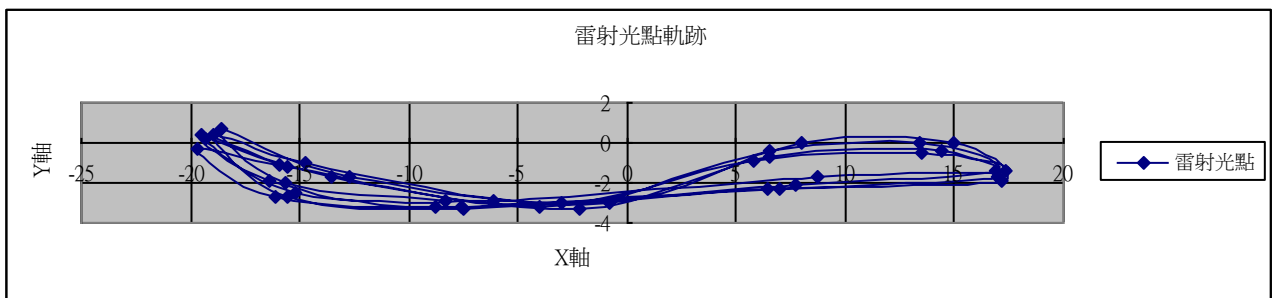


圖 43 接近往復運動的軌跡

A 點時間：0.133 秒

B 點時間：0.434 秒

時間差為 $0.434 - 0.133 = 0.301$ 秒

表示週期為 0.301 秒

頻率 = $1 / 0.301 = 3.3225913$ 轉/每秒

每分鐘 = $3.3225913 * 60 = 199.335546$ RPM

實際測量轉速約為 201.4RPM，誤差較小。

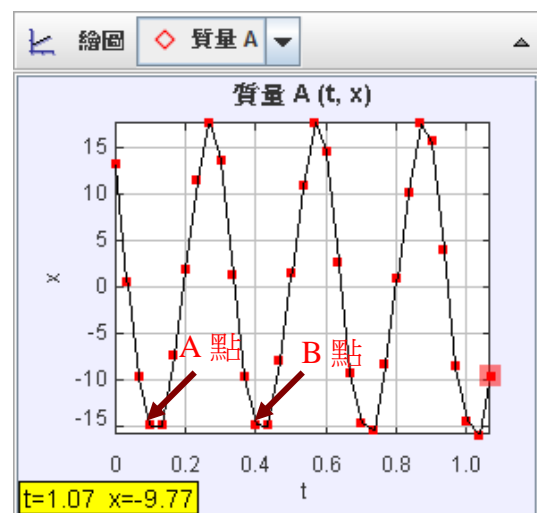


圖 44 直線往復偏擺軌跡週期圖

二、雷射裝置對吊扇的偏擺影響結果

測試時，使用畫有 X 軸及 Y 軸的靶紙，靶紙上繪製有一標準長度作為 Tracker 校正桿比對用，將運動軌跡描繪出來，由於相機錄影格式為 30fps，所以每一個影格為 1/30 秒，實際繪製光點軌跡如圖 45，在繪圖部分以 X-Y 軸形式顯示，但是軸向大小比例不同，所以必須將數據輸出，再以 EXCEL 軟體處理，Tracker 處理錄影資料如附錄三，資料表如附錄四。

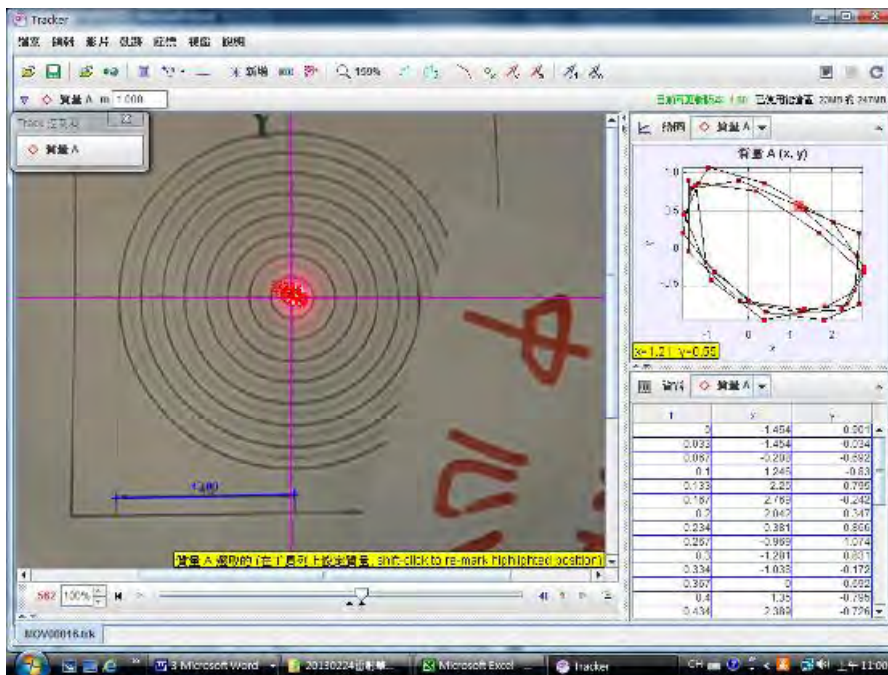


圖 45 以 Tracker 軟體描繪光點軌跡圖

經過 EXCEL 處理的結果如圖 46~48 所示，圖形拖曳至 X 軸與 Y 軸比例相同，從圖中可以發現吊扇下方控制盒上放置物品時，對吊扇的偏擺是有影響的，當將雷射筆裝置放置偏移中心時，吊扇的偏擺軌跡就會改變，不管是輕微偏擺(0 個長尾夾)或是重度偏擺(兩個長尾夾)都會有影響，經過這個實驗後可以發現當我們在校正吊扇時，需要將雷射筆固定於中心位置。同時之前文獻探討的校正專利中，其所安裝的附件都是偏移於吊扇中心，因此對吊扇原本的偏擺會有

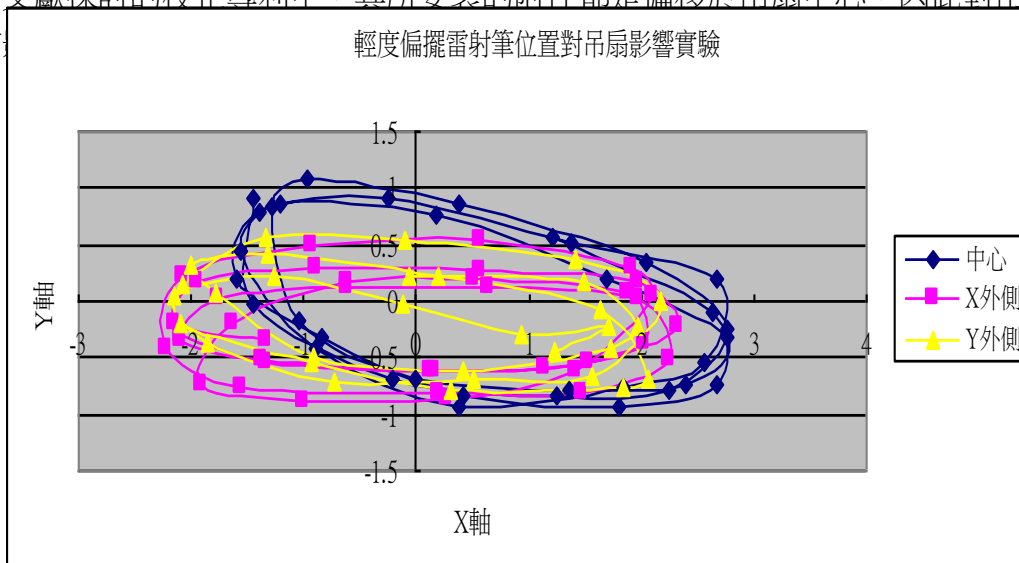


圖 40 吊扇輕微偏擺時軌跡圖(0 長尾夾)

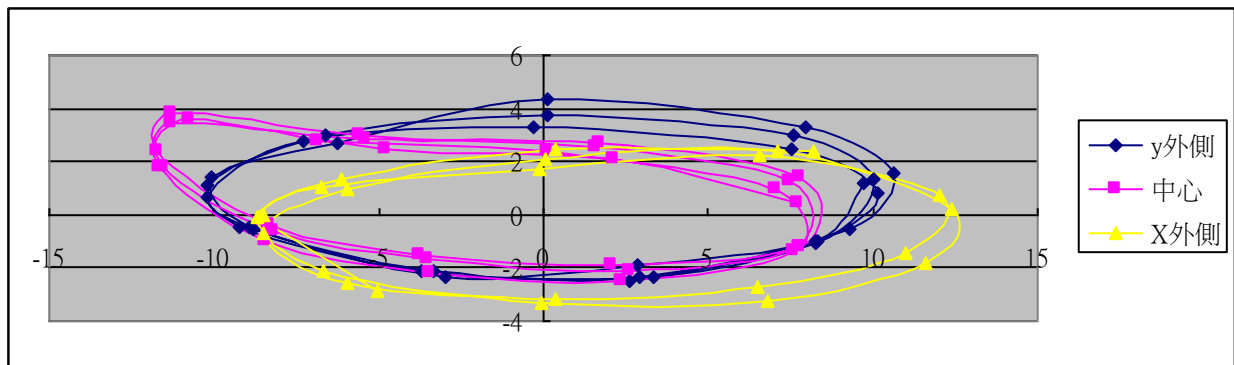


圖 47 吊扇中度偏擺時軌跡圖(1 個長尾夾)

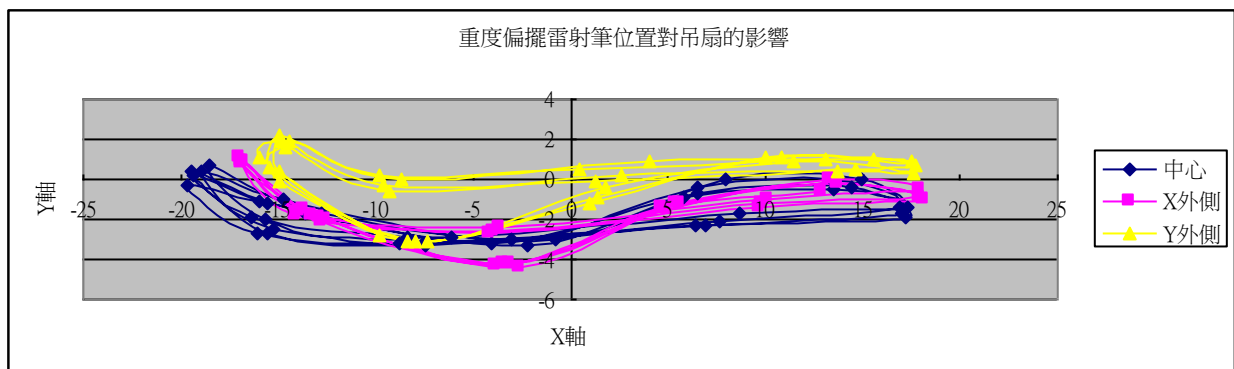


圖 48 吊扇嚴重偏擺時軌跡圖(2 個長尾夾)

我們以另外一組全新吊扇做實驗如圖 49，希望了解長尾夾數量對吊扇偏擺的影響，重新錄影如圖 50 所示使用最高轉速約為 213RPM，經過處理後的雷射光點軌跡如圖 51，實驗時將雷射筆固定於吊扇控制盒中心，夾上不同數目的長尾夾，0 中心表示無長尾夾，中心 1 表示加掛一只長尾夾於扇葉外緣，同樣的中心 2 表示加掛兩只長尾夾，其他同理。從圖中可以發現長尾夾數目增加時偏擺的半徑會增加，但是圖形會接近，從不同的實驗結果可以發現新吊扇的穩定性及平衡皆較好，舊吊扇的偏擺軌跡就不一致。



圖 49 全新吊扇安裝



圖 50 以 P310 相機錄影雷射光點

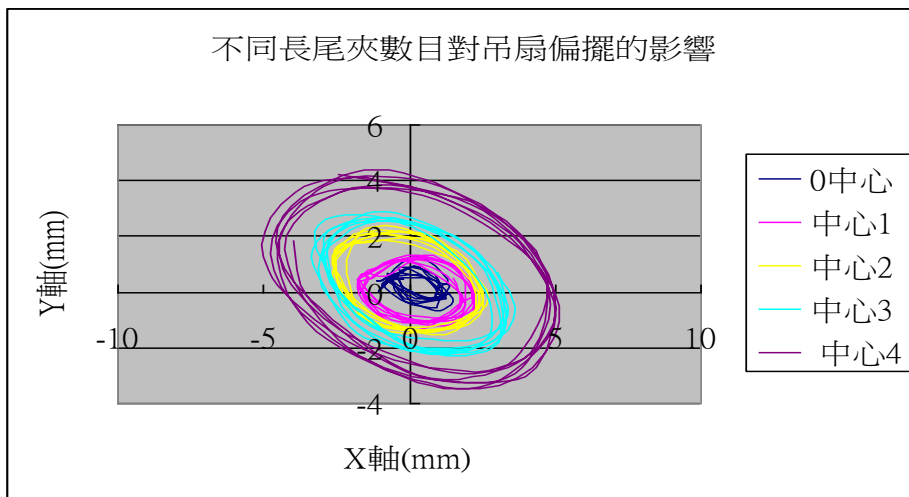


圖 51 不同數目長尾夾對吊扇偏擺的影響軌跡圖

陸、討論

一、調整的公式驗證結果討論

我們從偏轉的光點半徑推算吊扇旋轉的離心力，再推算出對應的重量與旋轉半徑，透過這個公式，可以很容易使用已知重量的配重，來算出應該放置的半徑位置。圖 52~55 是使用 Tracker 來測量偏移半徑。圖 56 是實測與理論的比較圖，實測結果大致符合理論曲線。

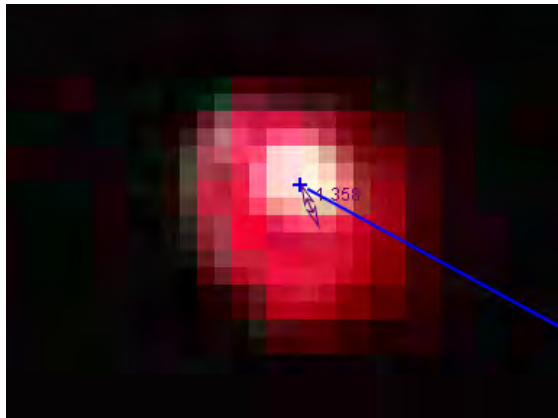


圖 52 起始狀態

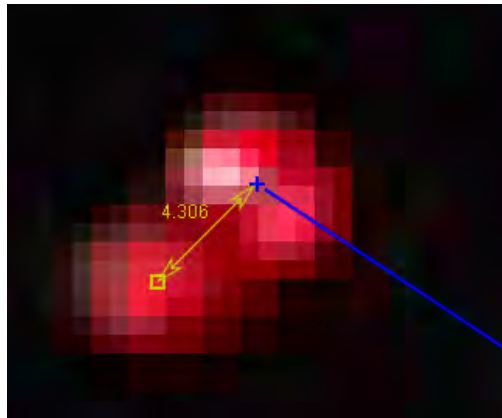


圖 53 一個長尾夾

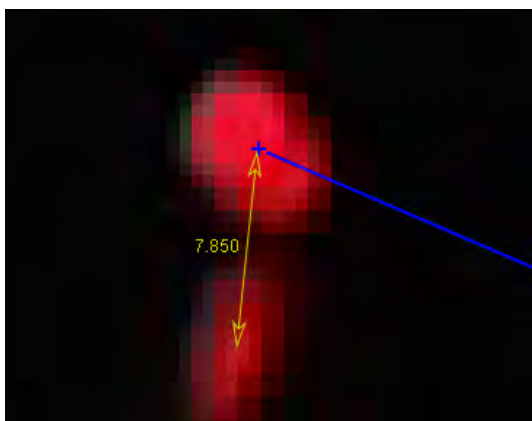


圖 54 二個長尾夾

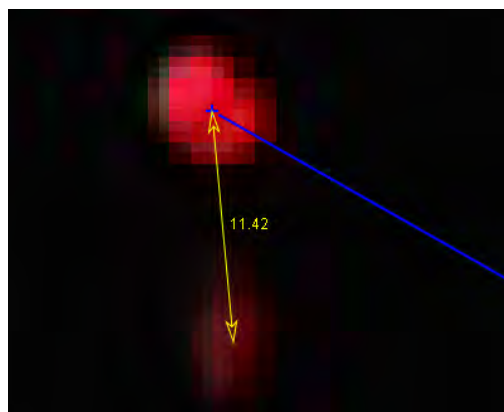


圖 55 三個長尾夾

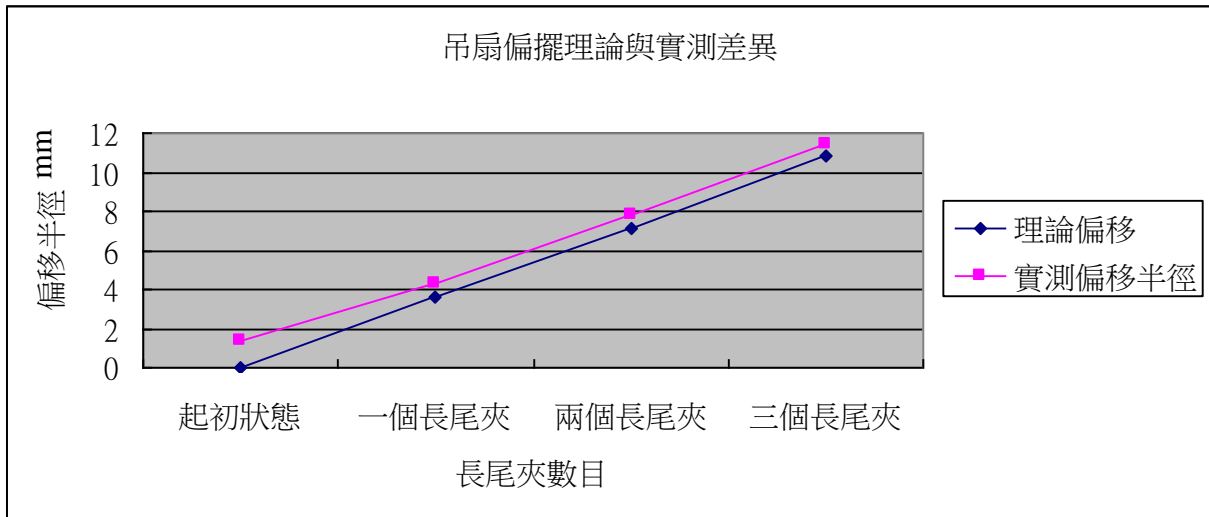


圖 56 吊扇偏擺理論與實測差異比較

我們將之前的公式再作精簡推導，得到如下公式，從圖 57 中可以發現吊桿拉力 T 的水平分力即為離心力 F_n

$$T \times \sin \theta = T \times \frac{r}{L} = M \times r \times \omega^2$$

整理後得

$$T = M \times L \times \omega^2$$

由於水平分力亦為配重 m 造成的離心力，所以

$$M \times L \times \omega^2 \times \sin \theta = m \times R \times \omega^2$$

由於角速度 ω 一樣，因此

$$M \times L \times \sin \theta = m \times R$$

θ 可由下列反射鏡距離及光點迴轉半徑求得

$$\theta = \tan^{-1} \frac{X}{2H}$$

所以最後推得

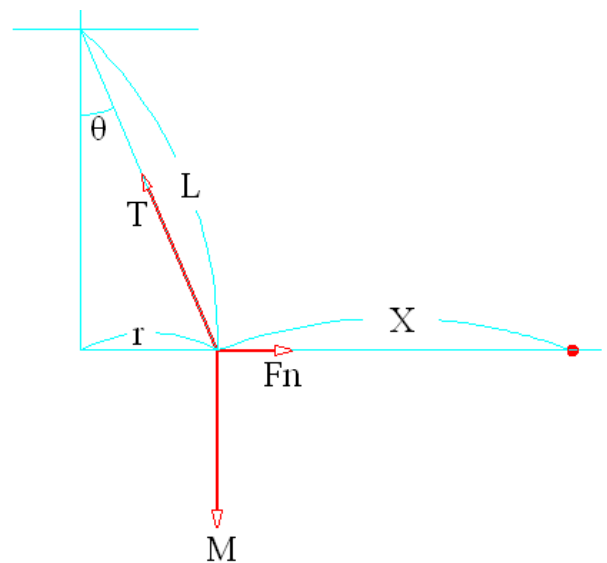


圖 57 力學分析圖

$$m \times R = M \times L \times \sin(\tan^{-1} \frac{X}{2H})$$

運算時

m：配重重量，單位 g

M：吊扇整體重量，單位 g

R：配重位置，單位 cm

L：天花板至雷射圓盤距離，單位 cm

X：光點旋轉半徑，單位 cm

H：雷射圓盤與反射鏡距離，單位 cm

從公式中可以發現吊扇的轉速 N 不見了，離心力不是跟轉速有關嗎？我們與老師討論後認為，雷射光點反射的位置 X 已經將離心力大小呈現出來，也就是當吊扇轉速較慢時，X 值會變小；當吊扇轉速較快時，X 值會變大，因此我們只要將實際測量的 X 值及 H 值代入公式，就能算出配重 m 及位置 R 的乘積，這樣就能直接由現有的配重塊知道配重的位置及距離。

二、吊扇擺動模式討論

由於實驗過程中發現吊扇擺動的方式不一定為圓形，有些情況為橢圓形，如前面研究結果，觀察吊扇組裝零件時，發現吊扇的固定座如圖 58 中的球型槽有一凸出的塊狀體，而吊桿的球頭上也有一個凹槽如圖 59，這兩個特徵必須配合一起，用來抵抗吊扇旋轉時的扭矩，這個限制會影響吊扇的擺動特性。



圖 58 吊扇固定座上的圓球槽
(注意上方有一凸塊)



圖 59 吊扇吊桿上的球頭
(上方有凹槽)

由於部份吊扇雷射反射光點不是圓形，因此我們設計不同的投影幕，上面有不同長短軸的橢圓形圖案，完成的圓盤如圖 60，上面有編號 ABCDEF 六種模式，校正吊扇偏擺時，若雷射光點移動接近橢圓形或是直線往復型態時，可以將這片投影幕裝在原本投影幕下方，可以旋轉不同角度，使用時將雷射光點投影至圓盤上，調整反射鏡使光點移動的延伸線通過中心位置，並且接近半徑的中間，轉動投影幕使雷射光點在某一形態圖形中移動，微調使雷射光點在橢圓形狀的長軸及短軸中對稱移動，再使用相機照相即可觀察偏差位置。

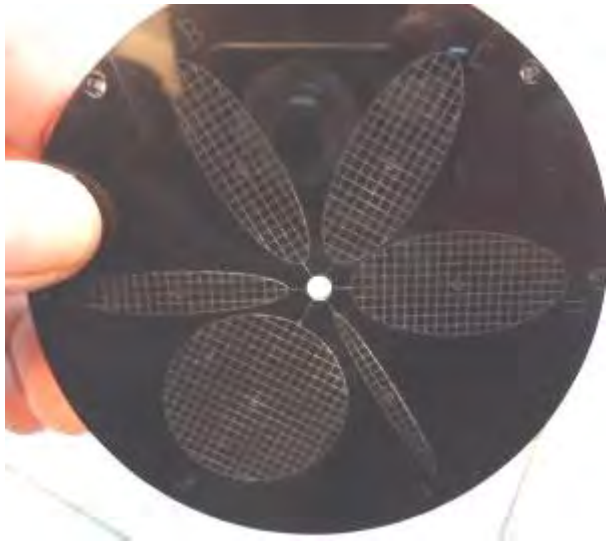


圖 60 因應不同偏擺軌跡下繪製的投影幕

三、吊扇晃動程度與耗能關係

吊扇偏擺程度會不會影響功率消耗呢？我們利用瓦特計來作實驗，初步測試時發現電器用品上標註的使用功率為其最大的消耗功率，例如電風扇標註為 65W，表示其在最高速時消耗的功率為 65W，中速及慢速為較低的功率消耗。

A. 實驗設備：

- (1) 瓦特計
- (2) 同步轉速儀
- (3) 吊扇
- (4) 數位相機

我們先以壓克力吊扇作實驗，如圖 61 所示，將電源以電線拉出後裝設插頭可以插到瓦特計的插座位置如圖 62，再將瓦特計連接電源就可以讀出消耗功率。

B. 壓克力吊扇實驗步驟：

- (1) 先以輕微偏擺測試在快、中、慢不同速度下吊扇上吸的消耗功率。
- (2) 再以輕微偏擺下吹狀態，分別測量不同轉速下的實測轉速及消耗功率。
- (3) 調整吊扇為嚴重偏擺，下吹狀態，分別測量不同轉速下的實測轉速及消耗功率。
- (4) 統計製表二。



圖 61 吊扇電源另外拉出



圖 62 瓦特計測量耗電功率

表二、小壓克力扇葉轉速與消耗功率實驗記錄圖

吊扇轉 動段數	輕微偏擺	輕微偏擺(下吹)		嚴重偏擺(下吹)	
	上吸時耗能(W)	實測轉速(RPM)	耗能(W)	實測轉速(RPM)	耗能(W)
快	61.9	208.9	62	208.4	62.5
中	46	199.8	46	199.3	46.7
慢	29.5	182.8	29.5	182.2	29.8

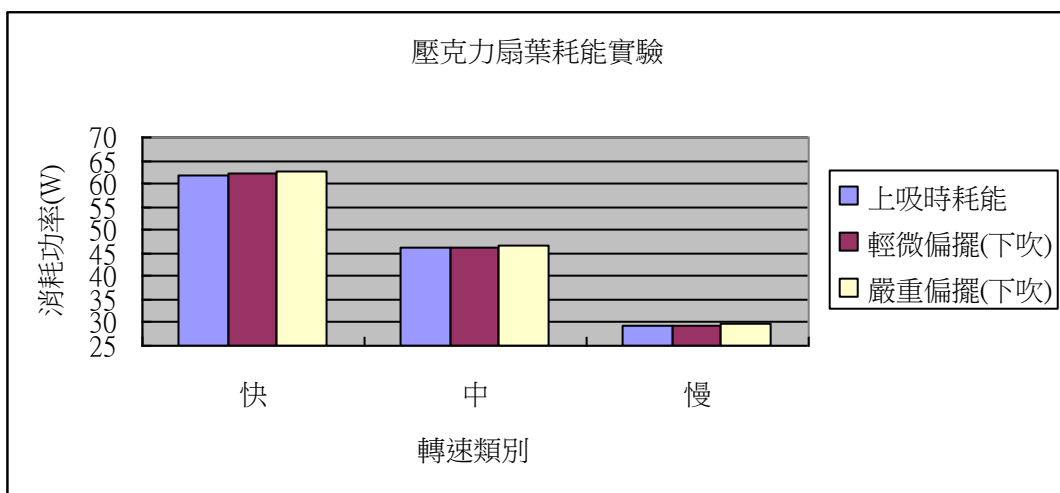


圖 63 不同轉速及偏擺下吊扇消耗功率比較圖

從圖 63 中可以發現嚴重偏擺時的消耗功率會比較平衡時高，大約在 0.5W 左右。由於實驗的吊扇扇葉與正常使用不同，因此我們再更換上正常的扇葉，重作一次實驗，如下說明。

C.正常木質吊扇實驗步驟：

- (1) 將吊扇調整為較平衡狀態
- (2) 使用最高轉速
- (3) 將電源連接瓦特計，使吊扇運轉
- (4) 計時 5 分鐘，每隔 30 秒記錄瓦特數
- (5) 同時測轉速一次並記錄
- (6) 調整吊扇偏擺為中度偏擺，重複步驟 2-5
- (7) 調整吊扇偏擺為重度偏擺，重複步驟 2-5

表三、正常扇葉耗能實驗記錄表

偏擺	次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
輕度	時間	1'	1'30"	2'	2'30"	3'	3'30"	4'	4'30"	5'	5'30"	
	轉速	201.4	201.9	201.2	201.1	201.4	201.4	201.5	201.4	201.5	201.5	201.43
	耗能	92.2	92	92.3	92.1	92.1	92.2	92.1	91.9	92.4	92.3	92.16

中度	時間	1'	1'30"	2'	2'30"	3'	3'30"	4'	4'30"	5'	5'30"	
	轉速	201.4	201.9	201.5	201.6	201.4	201.5	201.5	201.6	201.6	201.7	201.57
	耗能	92.7	92.3	93	92.6	93	92.9	92.1	92	93	93	92.66

重度	時間	1'	1'30"	2'	2'30"	3'	3'30"	4'	4'30"	5'	5'30"	
	轉速	201.5	201.5	201.2	201.4	201.5	201.7	201.5	201.6	201.5	201.6	201.5
	耗能	92.4	92.2	93	92.2	92.3	92.5	92.8	93	92.6	92.6	92.56

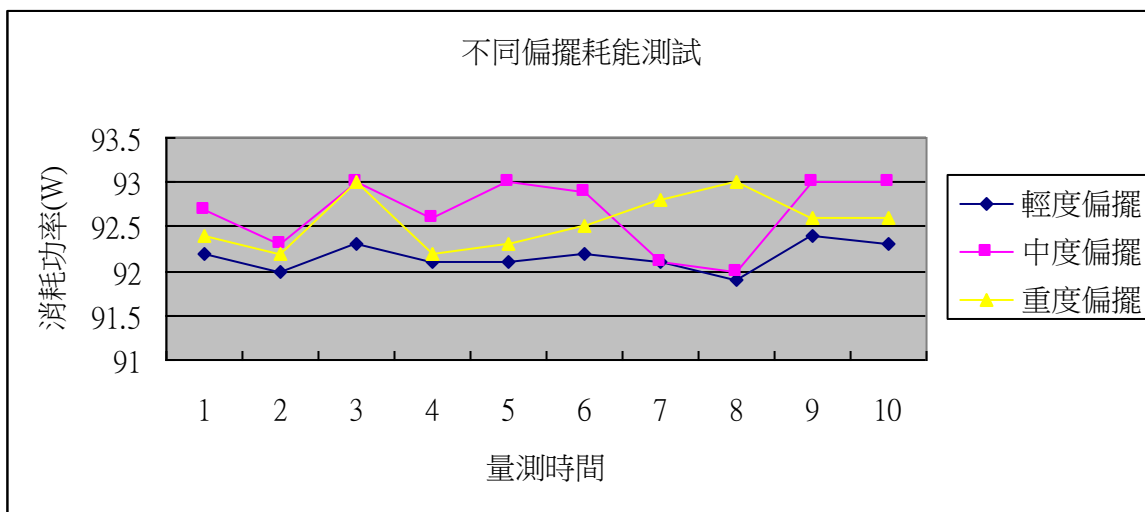


圖 64 吊扇消耗功率與偏擺關係

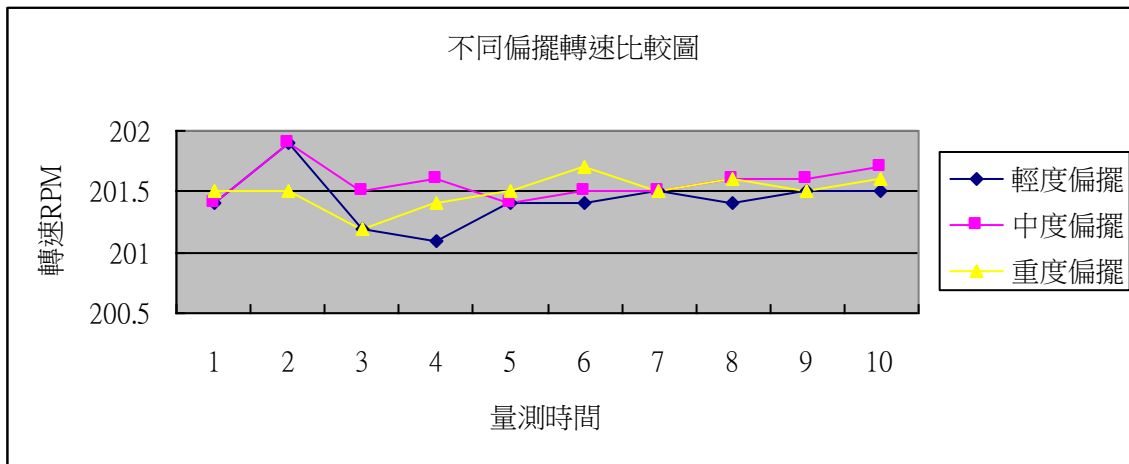


圖 65 吊扇偏擺對轉速的影響

在新的耗能實驗結果如圖 64 可以發現，吊扇偏擺的確會影響吊扇的消耗功率，圖中的中度及重度偏擺的量測曲線大都在輕微偏擺曲線上方，表示偏擺現象的確會比較耗電，大約在 0.5W 左右。至於偏擺對轉速的影響如圖 65，也接近消耗功率的形式，偏擺嚴重時，轉速會略為增加 0.3 轉左右，對風量並沒有實質的影響。

四、其他應用

雷射筆及同心圓盤裝置也可以應用於其他測量轉速的場合，我們測量電風扇的轉速，將一片小鏡子黏接於電風扇的迴轉中心上如圖 66，黏接時須要使鏡面微微傾斜一個角度，將雷射筆吸附在腳架上的鐵板上如圖 67，只要將雷射光對準小鏡子，再調整相關位置可以得到如圖 68~70 的光點軌跡圖，同樣的方式就可以計算出立扇扇葉轉動的速度，因為風扇轉速較高所以誤差較大。



圖 66 迴轉中心黏接一片鏡子



圖 67 雷射裝置吸附在腳架上

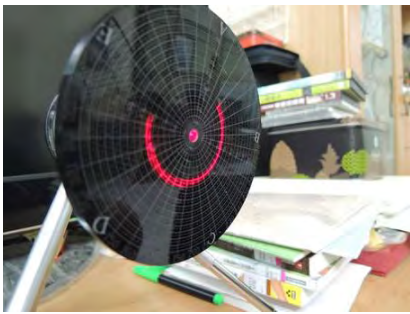


圖 68 電扇反射光點軌跡



圖 69 電扇反射光點軌跡 2



圖 70 電扇反射光點軌跡 3

在生活科技課程中老師，老師有提到史特林引擎的運轉，由於加熱源的關係，輸出的轉速不是穩定的迴轉，使用同步轉速儀測量固定轉速是可行，如果要測量變化轉速的話，就比較困難。經過我們這一次的研究過程後，我們有下一個研究的方向，如何將不是穩定迴轉的物體轉速測量出來，例如史特林引擎、風車、水車等。同樣利用雷射光達到非接觸測量，經過錄影後以 Tracker 處理影像，希望能繪出時間-轉速的關係圖。圖 71 為直流馬達經由電壓變化而有不同的轉速輸出。



圖 71 直流馬達運轉轉速量測

柒、結論

本研究透過簡單的自製實驗設備，能快速檢驗吊扇的偏擺幅度及位置，經由照相顯示雷射反射點的位置就可以計算出需要的配重及位置，經過實際測試應用，可以達到快速校正吊扇的功能。我們利用數位相機、自製的雷射筆裝置及同心圓盤實驗，發現國際牌 DSC-TX7 的量測誤差較小，同時轉速較低時其誤差較小。理論推論結果，不需要測量吊扇轉速，就能計算出偏擺的配重位置，但是這個過程讓研究更為完整。在吊扇下方外掛物品對吊扇偏擺的影響實驗中，發現附加在控制盒上的物品位置也會影響吊扇的偏擺，因此實際應用校正時，需要將雷射筆掛在控制盒的中心。經由耗能的測試實驗結果，發現吊扇偏擺狀況會增加消耗功率，在節能減碳的時代裡，能將這些能源節省下來，也是一件好事，同時也能增加吊扇零件的使用壽命，所以我們要將吊扇偏擺校正至平衡狀態。

捌、參考資料及其他

1. 中華民國 第 50 屆中小學科學展覽會 搶"風"頭---彎曲吊扇與風力的探討 高雄市三民區民族國民小學。
2. 中華民國專利資料檢索系統
<http://twpat.tipo.gov.tw/tipotwoc/tipotwk>
3. 吊扇葉片晃動的終極解決法，民 102 年 1 月 2 日，取自
http://www.diycomm.com/wp-content/uploads/file/ultimate_solution_ceiling_fan_wobble.pdf
4. 黃達明，**機械力學 I**，台科大圖書股份有限公司，民 100 年，新北市。
5. 國中自然與生活科技，康軒文教事業，民 101 年 2 月出版，台北。
6. 楊仲準，**Tracker 軟體安裝與使用教學**，中原大學物理系，民 101 年 12 月 10 日，取自
<http://c002.ndhu.edu.tw/ezfiles/25/1025/img/1231/581613291.pdf>
7. 蕭俊宇，**細說國中理化講義**，建弘出版社，101 年。

【評語】 030804

利用簡易設施，以雷射筆及電磁鐵輔助吸附於電扇下方，由數位相機輔助紀錄運動軌跡，藉由判讀偏振方位調整配重(長尾夾)以達調整偏心、減低噪音的目的。在基本原理的學習上還有很大的發揮空間。