

# 中華民國第 55 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

高職組 機械科

最佳團隊合作獎

090902

力『跋』山河『器』蓋世

學校名稱：臺北市立木柵高級工業職業學校

作者：  職二 楊 叡  職二 劉棋之  職二 陳家懷	指導老師：  張冠彥  許哲勝
---	-----------------------------

關鍵詞：離心力、自動變速

## 摘要

現今的自行車多使用鏈輪變速系統，雖已達成舒適騎乘的目的，但使用者對於換檔的認知不同，還是存在換檔時機不恰當的缺點。本研究希望在變速機構中導入離心力的概念，設計一機械式腳踏車自動變速器，以達成自動變速的目的。本設計是利用後輪加上配重、輪盤和彈簧組合成一離心機構，當自行車下坡時，車輪轉速變快，配重產生較大的離心力，配重的位置改變，去推動輪盤帶動變速器作動，將鍊條推向小齒輪方向，進而變到較高的檔位，踏板變重，就不會發生速度過快而踩空的情況；反之當上坡時離心力變小，配重因承受彈簧力而被推回靠近軸心的位置，輪盤也跟著被推回，同時離心變速機構也會將鍊條拉向大齒輪，進而變到較低的檔位，就可輕鬆完成上坡動作。

## 壹、研究動機

自行車是一種由人力驅動的交通工具，其優點為無噪音、無污染、重量輕、結構簡單、造價低廉、使用與維修方便等，不但能作為代步和運載貨物的功用，又能用於休閒、體育鍛鍊上，因而為人們所廣泛使用之。

受到道路狀況的影響，多段變速的自行車應運而生，上坡時可將轉速調至低檔位增加扭力，達成上坡的目的，而下坡時可將轉速調到高檔避免踩空安全下坡，但是由於現今市面上的變速自行車，多使用手動變速系統，儘管已達成變速的目的，但能否正確地變速受到使用者認知所影響，距離成功仍有一段路要努力，所以我們希望設計出能自動變速至最佳檔位之變速裝置。

## 貳、研究目的

現行的自行車之基本形式，早在一百多年前即已完全定型，其基本構造大致相同，僅裝備不斷地進步創新、改良以適應現代的生活環境而已，早期自行車只配有前後各一個鏈輪並由鏈條來驅動，騎乘者常因為逆風，上坡或凹凸的外在路況環境而倍感困擾；為了改善騎乘者的不便並使自行車能應付外在路況環境，變速系統才漸漸被發展出來。

自動變速器在各種汽機車中卻已相當普遍也成為各種車輛的基本配備。在自行車的應用上卻發展的較為緩慢，其原因是 1.變速系統所佔之成本比較高、2.重量負荷大，所以我們希望可以發展，一種可使用於自行車上的機械式自動變速系統，解決以上的問題。

## 參、研究設備及器材

### 一、設備

名稱	規格	廠牌	照片
虎鉗	150mm	僑光	
鑽床	KSD-340	金剛	
車床	400*750	台中精機	
焊槍	2.5kg	育安	

### 二、量具

名稱	單位	數量	照片
游標高度規	支	1	
游標卡尺	支	1	

### 三、刀具

刀具	單位	數量	照片
鑽頭Φ3mm	支	1	

## 肆、研究過程或方法

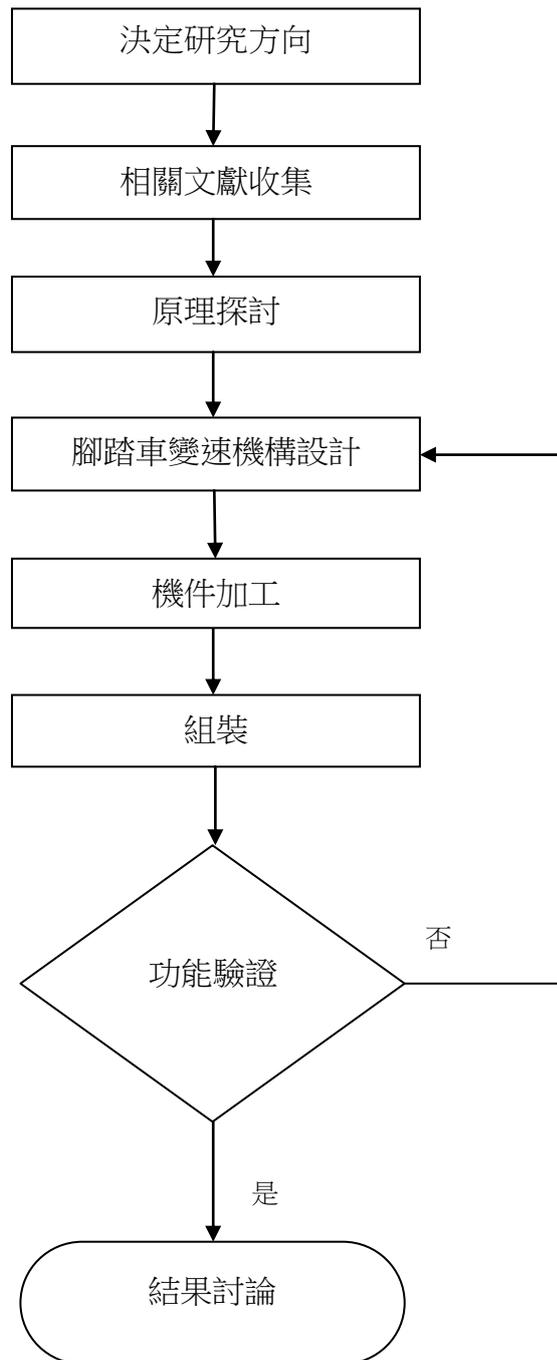


圖 1 流程圖

#### 步驟 1：決定研究方向

人們在騎乘腳踏車的時候，在上坡與下坡的時候，常常因為來不及變速所以導致騎乘上的不方便，甚至導致大大小小的事故發生，所以我們希望能夠尋找一種機制能夠讓腳踏車自動變速。

#### 步驟 2：相關文獻收集

利用專利檢索系統及圖書館，研讀自行車變速器相關資料，尋找是否有類似構想之設計，作為我們設計的參考。

#### 步驟 3：原理探討

利用課程中所學之機械力學與機件原理，了解離心力、鏈條傳動、凸輪等等作動原理。

#### 步驟 4：腳踏車變速機構設計

利用 inventor 繪製出 3D 的腳踏車變速機構設計圖。

#### 步驟 5：機件加工

量測車輪直徑，決定凸輪的直徑，利用車床車削凸輪、配重及凸輪從動件。

#### 步驟 6：組裝

將加工完成的凸輪利用焊接，固定在後輪軸上，接著將三個重量相同的配重裝置於車輪支架(細肋)上，再把凸輪從動件焊接在變速器上，完成組裝。

#### 步驟 7：功能驗證

組裝完成後，我們試著用不同的配重進行離心力大小的測試，是否符合我們的需求，若無法進行變速，需再進行改良。

#### 步驟 8：結果討論

提出此機構有那些缺點，並加以改良。

## 一、離心力：

根據牛頓第二運動定律  $F=ma$  可知，當一個  $m$  質量的物體受到一力  $F$  就產生一加速度，物體作旋轉運動時，會有兩個加速度，分別為向心加速度跟切線加速度，產生向心加速度的力，就稱為向心力。

$$F = m \frac{v^2}{r}$$

其中：

表 1 離心力物理意義

	物理意義	單位
F	力量	牛頓(N)
m	質量	公斤(kg)
v	速度	公尺/秒(m/s)
r	迴轉半徑	公尺(m)

## 二、鏈條傳動：

鏈條傳動是兩輪軸間動力傳達的主要方式之一。當兩輪軸間距離太遠，不適合齒輪傳動，且速比相對精確時。以鏈條傳動最為適宜

- 優點：
- (一)、無滑動現象，速比正確
  - (二)、兩軸距離遠近皆可適用
  - (三)、傳動時僅在緊邊有張力，鬆邊張力幾乎近於零，有效挽力較皮帶大
  - (四)、不受潮溼冷熱影響

- 缺點：
- (一)、不適合高速傳動，因為速度快的時候容易產生噪音。
  - (二)、製造成本高，維護及裝置較複雜。
  - (三)、較容易磨損

速比公式：

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{D_2}{D_1}$$

其中：

表 2 速比公式物理意義

	物理意義	單位
$N_1$	主動輪轉速	rpm
$N_2$	從動輪轉速	rpm
$D_1$	主動輪節圓直徑	mm
$D_2$	從動輪節圓直徑	mm
$T_1$	主動輪齒數	--
$T_2$	從動輪齒數	--

### 三、壓縮彈簧公式：

$$k = \frac{G \times d^4}{8 \times Dm^3 \times N} (\text{kgf/mm})$$

其中：

表 3 壓縮彈簧公式物理意義

	物理意義	單位
G	線材之鋼性模數	kgf/mm <sup>2</sup>
d	線徑	mm
Dm	中心徑	mm
N	線圈數	--

### 四、手動變速器：

擁有多段變速的功能，在爬坡時有省力的效果，且在一般平地騎乘時，也有不錯的速度。我們發現當在騎車時，車子的方向是以把手來控制的；而腳踏車前進的速度與力量，是以腳踏板來控制的，腳踏板連接著前齒輪，腳踏板踩一圈，前齒輪就會跟著轉動一圈，所以騎乘者能夠以腳踏板來控制前齒輪的轉動；那後齒輪方面，鏈條把前齒輪和後齒輪鏈接在一起，當騎乘者踩動腳踏板使前齒輪轉動時，就會帶動後齒輪跟著轉動，使腳踏車前進。因此，當地面給予車輪的阻力及車輪的半徑都是固定時，後齒輪的半徑愈小時，所需要踩踏的力就愈大，也就是愈費力，以固定前齒輪為例，前齒輪是固定大小，而後齒輪則有好幾個不同大小的齒輪可以變換。

表 4 齒輪轉速比

T(大齒輪)	t(小齒輪)	e(輪系值)	前後輪齒比	機械利益
47	13	3.61	13 : 47	0.1
	15	3.13	15 : 47	0.12
	17	2.76	17 : 47	0.13
	20	2.35	20 : 47	0.15

機械利益公式：

$$M = \frac{2R\eta}{D} \times \frac{N_A}{N_B} = \frac{2R\eta}{De}$$

輪系值公式：

$$e = \frac{\text{末輪轉速}}{\text{首輪轉速}} = \frac{\text{首輪齒數}}{\text{末輪齒數}}$$

表 5 機械利益公式物理意義

	物理意義	單位
R	踏板至齒輪中心距離	mm
$\eta$	機械效率(在此使用 0.8)	--
D	車輪直徑	mm
$N_A$	末輪轉速	rpm
$N_B$	首輪轉速	rpm

由表 4 得知，根據機械利益定義，越大越省力，而 13 齒與 20 齒來比較，確實是 20 齒的較為省力，不同的前後齒輪搭配可以有不同的速度，所以可視騎乘之路況調整前後齒輪的搭配，當後齒輪越大，機械利益就越大，速度則越慢但是越省力；反之齒輪越小，機械利益就越小，速度則越快但是越費力。通常爬坡時使用小的齒比；反之下坡時使用大的齒比，所以依照不同的路況，使用正確的檔位，將可協助我們輕鬆地完成爬坡的動作，下坡時也可以避免危險的發生。

## 五、機車用離心裝置

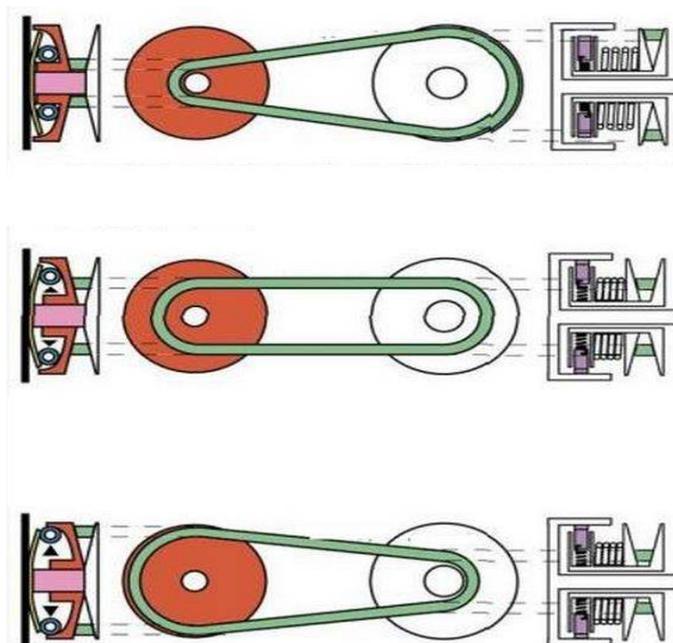


圖 2 機車變速示意圖[六]

當動力傳導到後方遠心離合器時，因離合器旋轉，造成離心力，然後離合器之摩擦片向外甩開，貼於離合器外碗（俗稱碗公）同時帶動碗公旋轉，而碗公與軸心由多個鍵固定，所以碗公與軸心同時被帶動，再經一固定變速比之齒輪組傳動到後輪軸，使機車向前行走。低速時，皮帶位於普利盤內端、開閉盤外端，此時可發揮較高的扭力，易於推動機車前進，而皮帶位置慢慢變化，到達位於普利盤外側、開閉盤內側，此時機車已達高速狀態。我們從機車用的離心變速器的概念中，發現離心變速不一定是只能適用於機車，也可以經過改良，利用配重、平面凸輪，裝置於腳踏車上的自動變速器。

## 伍、研究結果

### 一、加工步驟：

為了實際測試本研究所設計離心自動變速機構。首先，利用市售之變速自行車進行改裝，由於一般自行車之變速器多位於後輪，因此改裝的重點，將放在鏈輪與自行車的後輪部分，在後輪上加入凸輪機構與離心機構並與原有之變速器相互接合以達到傳動的效果，1.將相關配件配重、圓盤、圓環先行加工至所需之大小與外型 2.將自行車後輪拆下，車輪內的細肋取下，3.將彈簧及配重安裝於細肋上，1.把圓盤與自行車後輪心軸結合，將肋條裝回，5.利用電焊的方式，透過 3 支小圓桿將圓盤及圓環相接合為一體，6.在原有的變速器外側焊接一圓環與一滾動軸承作為凸輪機構與變速機構間動的橋樑 7.將後輪裝回原自行車體上，完成改裝。

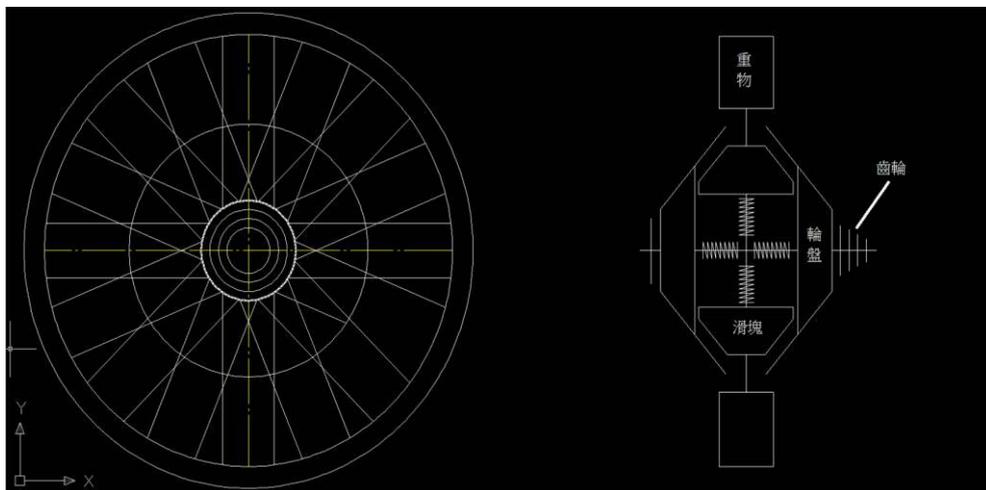


圖 3 AutoCaD 繪製系統設計圖

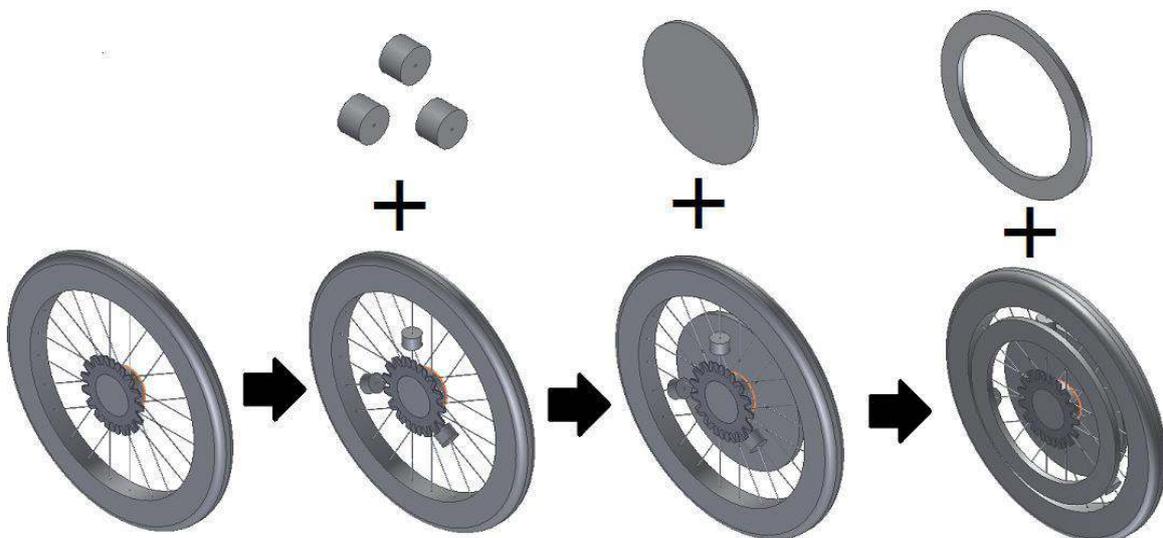


圖 4 加工流程圖

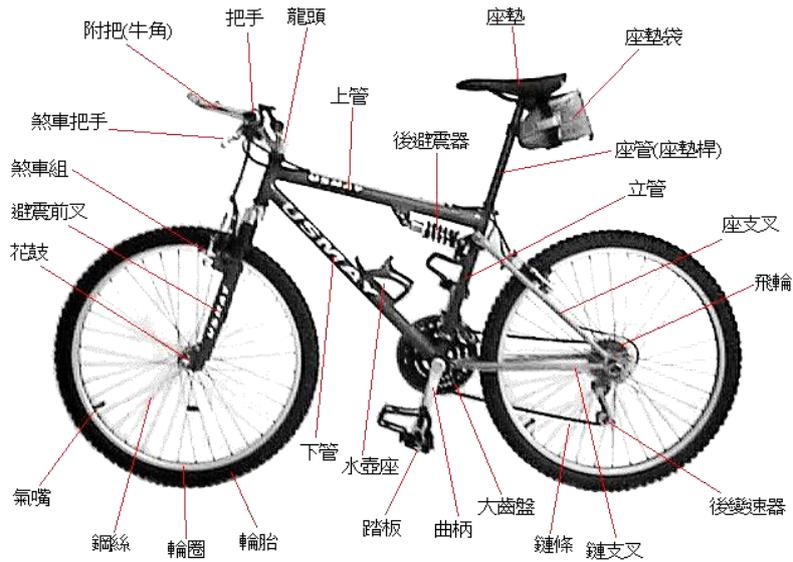


圖 5 單車結構圖[七]



圖 6 普通腳踏車之變速裝置



圖 7 裝有離心變速機構之腳踏車

## 二、離心自動變速器原理：

離心自動變速機構其作動原理如下：由於本研究在細肋上加裝配重，當騎乘自行車的速度較快時，細肋上的配重受到離心力的作用，會產生沿細肋方向的運動，輪胎轉速越快，配重所受到的離心力就越大，因細肋一端接在輪框正中間另一端接在心軸的外側，造成細肋本身存在一角度，並非與輪框互相垂直，因此當配重與凸輪機構接觸後，會將凸輪機構向外側推動，離心力越大，則推動的距離就越大，透過由圓桿與滾動軸承組成的凸輪從動件將此一運動傳給變速器，改變變速器的位置，進而達到變速的目的，如此一來，變速的時機將取決於車輪轉速所產生的離心力大小，當車輪轉速快離心力越大檔位在高速檔；反之車輪轉速越慢離心力越小檔位在低速檔，避免因騎乘者的認知而產生的不正確使用。

針對不同的路況(上坡或下坡)，如圖 6 所示，左邊是較為扭力較大的鏈輪組，後面的齒輪是比較大的，速度比較慢，由扭力的定義  $T=Fr$  可知，扭力大小跟從動輪直徑成正比，所以直徑越大，扭力越大，又因為直徑與轉速為反比，直徑越大轉速越慢，因為上坡時，阻力較大，所以踩踏的速度也會較慢，此時配重受到離心力變小，檔位變輕較適合爬坡；反之，右邊是扭力較小的鏈輪組，後面的齒輪是比較小的，速度比較快，因此在騎乘一般道路時，會有較好的加速效果，在下坡時也不會發生踩空的情況。

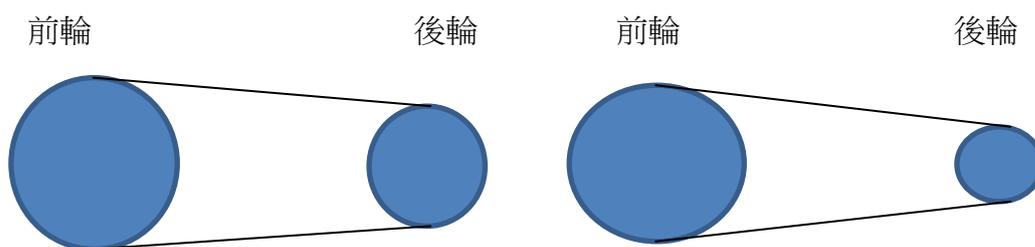


圖 8 鏈輪配合示意圖

表 6 扭矩公式物理意義

	物理意義	單位
T	扭矩	N-mm
F	摩擦力	N
r	半徑	mm

表 7 齒輪間、齒輪與變速器的間距

檔位	後齒輪各階間距	齒輪與變速器的間距
1 檔	0.8cm	3.5 cm
2 檔	0.8 cm	4.3 cm
3 檔	0.8 cm	5.1 cm
4 檔	0.8 cm	5.9 cm
5 檔	0.8 cm	6.7 cm
6 檔	0.8 cm	7.5 cm
7 檔	0.8 cm	8.3 cm

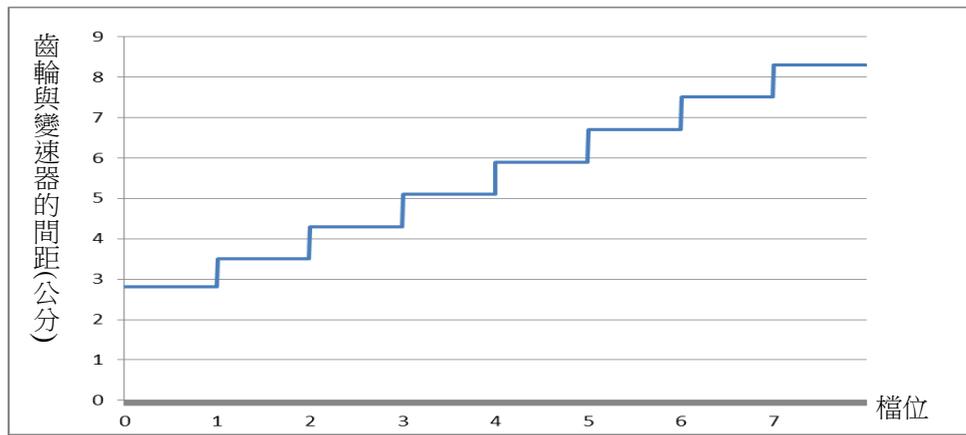


圖 9 檔位距離折線圖

從自行車的騎乘過程中發現，現有自行車的變速器作動是因為使用者扳動變速器的把手到不同的位置透過變速器將此一運動傳達給變速器，讓變速器的位置改變，引導鏈條到不同大小的鏈輪上，達成變換檔位的目的，本研究之離心自動變速器，凸輪的行程影響到變速器是否能精確地變換到所要的檔位，所以去測量各檔位時，變速器與齒輪間的時間距離，結果如圖九，作為離心自動變速器之凸輪機構行程設計的依據。這樣的話，就可以配合後輪的轉速不同，產生不同大小的離心力，改變配重的位置，確實的達成自動變換轉速的目的，經過測試後發現，配重直徑為 45mm、重量 170 克的狀況下凸輪的行程最符合我們的需求。

## 陸、討論

一、變速器的目的是為了調節不同的檔位，設置在腳踏車後輪飛輪的輪軸上，因此變速器的結構常常處於潮濕的環境下，且必定會與雨水有所接觸，本設計所加裝變速器是否有生鏽或保養的問題？

變速器生鏽方面，在正常的情況下應會直接與雨水接觸到，因此變速器有生鏽的可能，所以我們自行加工的相關機件，可以做材料的改變，例如：使用不鏽鋼製成我們所需要的零件，如此一來就可以徹底的解決因潮濕而造成生鏽的問題；另外在保養方面，我們應該要定期上油保養，達到潤滑與防止生鏽的效果。

二、我們的變速會不會有過重造成速度變慢及不方便的問題？

自行車本來就是做為代步工具所誕生的。近年來因為人類生活品質的進步，自行車需要更多的功能，其中以重量的減輕最為重要，因此製作我們所設計的離心變速機構時，選用較輕的金屬材料去製作，使離心變速機構更符合輕量化的需求。

三、電子式與機械式變速器的差別？

本文的機械式動離心變速機構並不使用電能，單純以機械作動，因此不需考慮電能的問題；而電子式自動離心變速器，需要電能運作單晶片來偵測腳踏車之轉速並且啟用變速系統，來進行腳踏車的變速。

四、優點與缺點

機械式較不容易受氣候的影響且比較耐用，維修的費用較為低廉。電子式容易受潮，在台灣這種濕熱的環境，容易故障，雖現今電子式普及化，但電子式的離心自動變速系統的維修費較高。

## 柒、結論

根據實驗的結果發現，本研究所設計的離心自動變速機構確實可以藉由離心力來達成變速目的，並因應各種不同的路況(上下坡)產生自動變速。在配重部分，最後選擇使用直徑45mm，長度45mm且重量為170克的配重，因經過比較後發現此配重在使用離心力變速中的表現是最佳的，變速的情況較為精準確實且反應迅速。本設計為純使用機械式的方式來達成離心自動變速，在穩定性上來說，機械式優於電子式，因電子式可能會受到工作溫度跟工作環境的限制，導致零件故障，系統穩定性較低；而本研究的自動離心變速器，主要使用的是物理上離心力的原理，只要有旋轉一定會伴隨著離心力的產生，轉速快時離心力大，導致配重位移量較多，推動凸輪帶動變速器，變速到較低的段速，轉速慢時離心力小，配重位移量較少，變速至較高的段速，此一機制不容易有失常的情形發生，自動變速系統的可靠性較電子式優。經由本研究後發現騎乘自行車所產生的離心力確實可以用來作動我們的變速器，達到自動變速的效果，有效的降低因使用者錯誤的認知，而不正確的變速之情況，完成舒適騎乘的目的。

## 捌、參考資料及其他

- 一、 黃達明編著，機械力學 I，台科大圖書股份有限公司，新北市，民 100 年。
- 二、 柯雲龍、潘建安編著，機件原理 I，台科大圖書股份有限公司，新北市，民 101 年。
- 三、 鄭偉盛、許春耀編著，機構學（第四版），新文京開發出版股份有限公司，新北市，民 103 年。
- 四、 自行腳踏車機構介紹  
[http://pel.me.ntu.edu.tw/ntume\\_am/application/bike/7.%E8%AE%8A%E9%80%9F%E7%B3%B%E7%B5%B1/UntitledFrameset-7.htm](http://pel.me.ntu.edu.tw/ntume_am/application/bike/7.%E8%AE%8A%E9%80%9F%E7%B3%B%E7%B5%B1/UntitledFrameset-7.htm)
- 五、 變速車原理  
<http://www.bud.org.tw/Hu/hu10.htm>
- 六、 機車用離心裝置  
<http://mypaper.pchome.com.tw/huaracing/post/1297850611>
- 七、 單車構造  
<http://203.72.29.236/~dpd/99/web11/html/contents1-3.htm>

## 【評語】 090902

本創作之自行車自動變速裝置設計，可隨車速而自動調整齒輪變速，自動變速機構的設計，係採用離心力機構調控凸輪機構，離心力機構含有適當配重，引動凸輪繼而改變變速器齒輪位置，達到自動換齒輪檔，車速快離心力大可自動換高速檔，反之低車速則自動切換至低速齒輪組。此裝置之機械設計、加工、與測試驗證的難度相當高，研發過程有賴團隊成員同心協力，緊密合作。團隊已經完成自行車後輪硬體裝置，並已經進行變速實驗、也產生自動變速功能，找到配重質量大小，可達成換檔目的。不過，本創作僅以自行車單一後輪之硬體裝置進行實驗測試，尚未於完整自行車上，進行實車動態測試，此為美中不足之處。