

2016 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 100011
參展科別 工程學
作品名稱 自行車離心自動變速器
得獎獎項 大會獎：三等獎

就讀學校 臺北市立木柵高級工業職業學校
指導教師 張冠彥、許哲勝
作者姓名 楊叡、劉棋之、陳家懷

關鍵字 離心力(centrifugal force)、
自動變速(automatic transmission)

作者簡介



我是木柵高工機械科的學生劉棋之，因為國中考試失利進入了高職體系，後來聽說有科展這項比賽，於是找指導老師討論並報名參加科展，從中體驗到做研究的樂趣，我主要負責的部分是繪製 AutoCAD 和 Inventor3D 立體圖，在練習時常常吃螺絲，經過指導老師和同學們的指正，正式比賽時有好一點點。兩次的科展比賽我很感謝兩位指導老師和同學的幫忙。



我是木柵高工機械科楊叡，英文名字是 Ricky，因為家裡開機械工廠，對於機械有基本的認知，於是跟同學一起報名參加科展比賽。我負責的部份是成品的加工。因為看到別人騎腳踏車時常常因為變速的問題讓自己騎乘時感到疲累，所以最後決定做腳踏車自動變速器。我找了有關腳踏車變速器相關資料，並拿市售變速腳踏車進行改裝。



我是木柵高工機械科的陳家懷，因緣際會和兩個要好的朋友一起報名參加科展，我主要負責的是打報告，本身對於機械很有興趣，所以報名參加科展，開啟了這條研究之路，從小的教育就是全力以赴做每件事，不得馬虎，不能說放棄就放棄，也因為這樣的教育，讓我在這條研究之路上能走得比較順利，也因為這條研究之路，奠定了我日後的方向。

摘要

本研究將離心力的概念導入變速機構中，設計一機械式自行車自動變速器，以達成自動變速的目的。在自行車變速系統中加上配重、凸輪和槓桿組合成一離心機構。從初步的機構模型實驗後得知，車輪轉速變快，配重承受到的離心力越大，配重的位置改變去推動凸輪帶動變速器作動，將鏈條推向小齒輪方向，變速到較高的檔位，踏板變重，避免發生速度過快而踩空的情況，反之當車輪轉速變慢，配重因承受離心力降低而被推回靠近軸心的位置，凸輪跟著被推回，變速器將鏈條拉向大齒輪，進而變速到較低的檔位，達到離心力驅動變速的效果。道路騎乘實驗中可知，裝有離心自動變速機構的自行車，在上坡時能依據踏板速度降低檔位，讓騎乘者可輕鬆完成上坡工作；下坡時則會變速到較高檔位，避免發生踩空情況；平地加速時，檔位也會處於較重檔位，達到準確變速輕鬆騎乘的目的。

Abstract

This paper introduces the concept of centrifugal force into the transmission mechanism and designs a mechanical automatic transmission for bicycles in order to achieve the purpose of automatic transmission. We add the weight, the cam and the lever into the bike transmission system to assemble the centrifugal mechanism. From results in preliminary experiments, we find out the faster the wheel rotation speed is the greater centrifugal force the weight bears. Changes of the weight position can push the cam to drive the transmission actuator, and it can push the chain move to the direction of small gear transmission and change to the shifting position of higher speed, making peddles become heavier to avoid that the excessive speed causes feet stepping on the air. On the contrary, when the wheel speed becomes lower, the weight will be push back to position close to the axle center due to bearing the gravity, and the cam will also return. The transmission will pull the chain to the large gear and change to the shifting position of lower speed to achieve effects of transmission driven by the centrifugal force. Based on the actual road riding experiments, bicycles with the centrifugal automatic transmission mechanism can lower their shifting positions according to their pedal speed in their uphill riding, making riders can complete their uphill work in an easy way; when the bikes comes to the downhill, they can change to higher shifting positions to avoid feet stepping on the air. When riders speed up in their normal road ridings, shifting positions will stay in heavy to achieve the purpose of accurate transmission for easy riding.

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

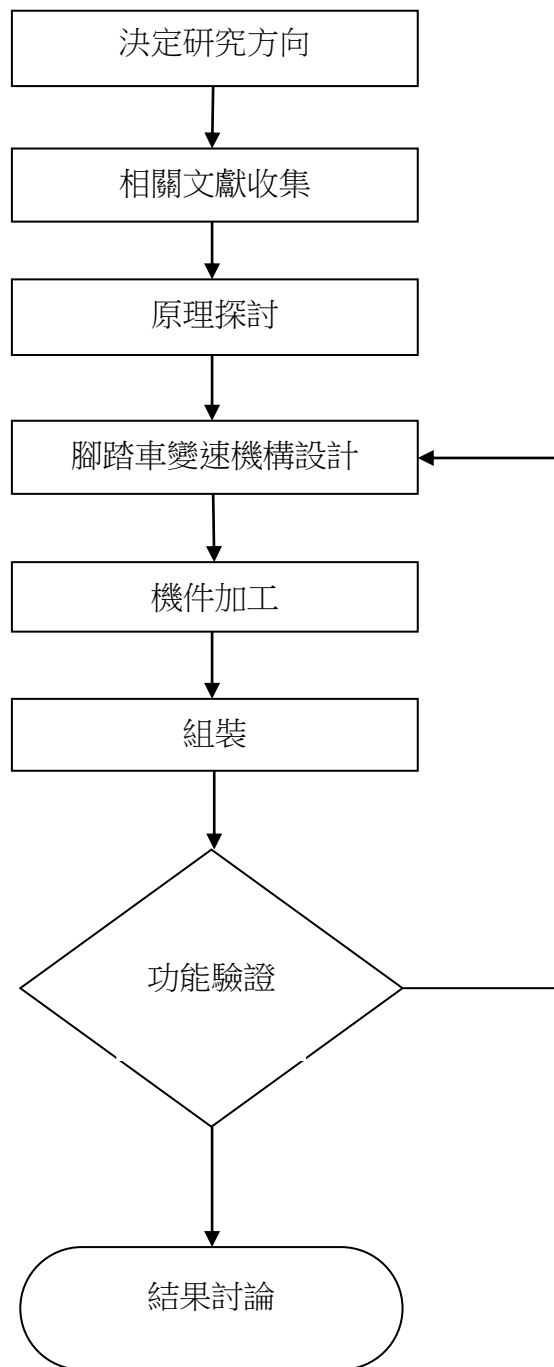


圖 1 流程圖

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：實際騎乘

將變速機構加裝到自行車的後輪，實際騎乘在道路上，驗證此機構的效能，是否能達到因應不同的路況，進行自動變速。

步驟 9：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，故有效挽力較皮帶大。

（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 ²
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
η	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

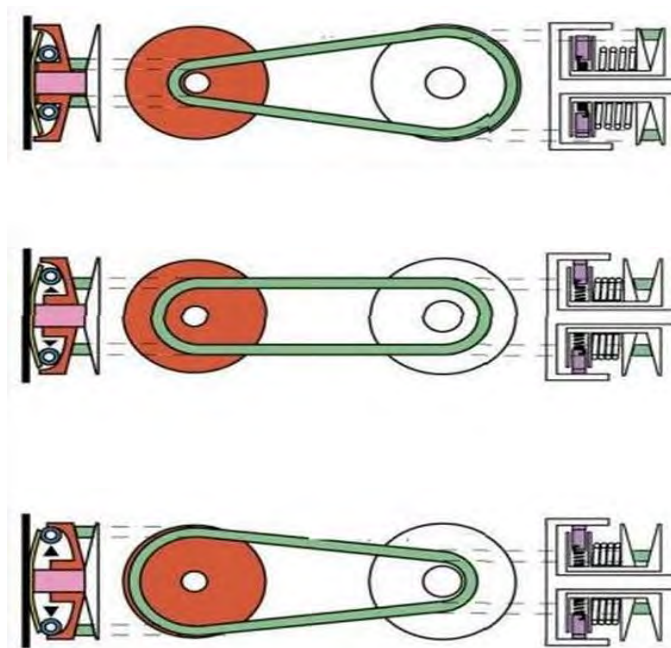


圖 2 機車變速示意圖[六]

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。

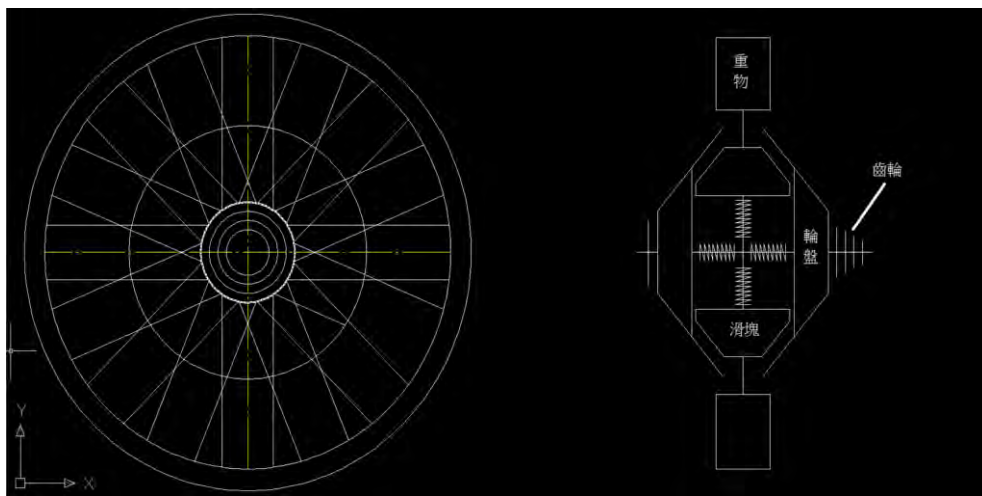


圖 3 AutoCaD 繪製系統設計圖

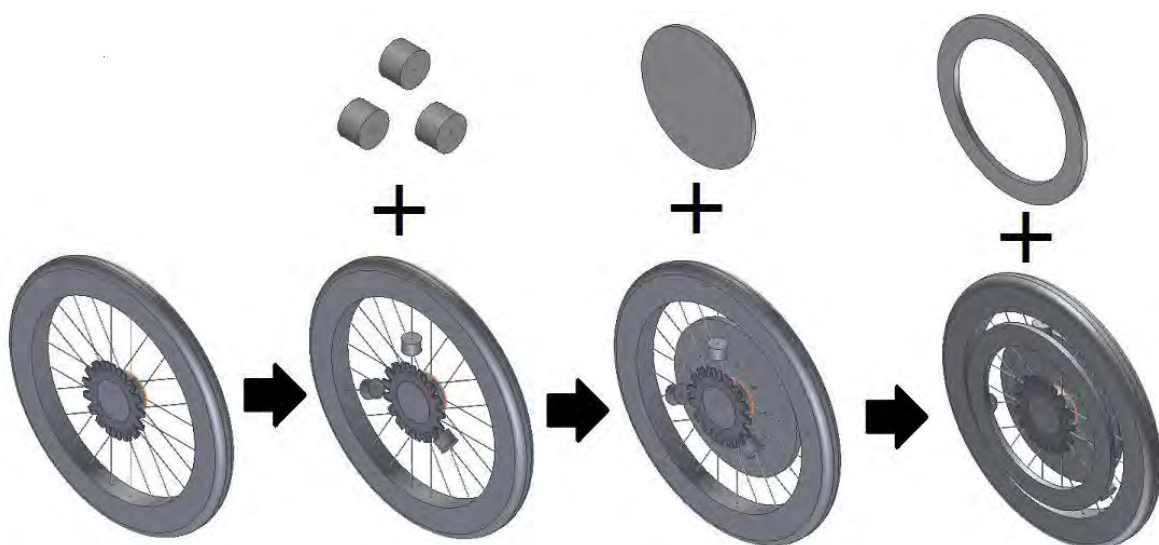


圖 4 加工流程圖

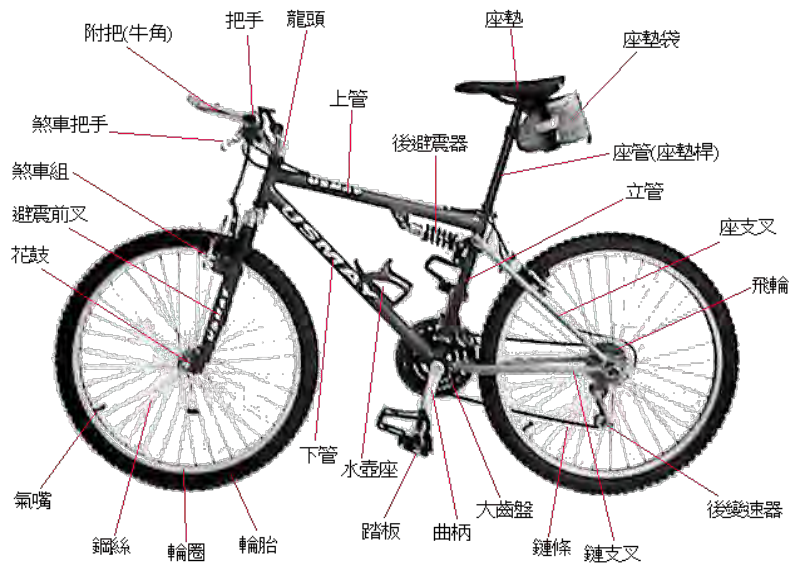


圖 5 單車結構圖[七]



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相接觸後，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。

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。

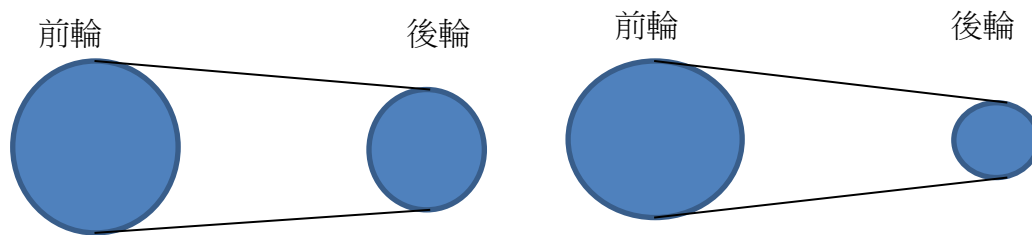


圖 8 鏈輪配合示意圖

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

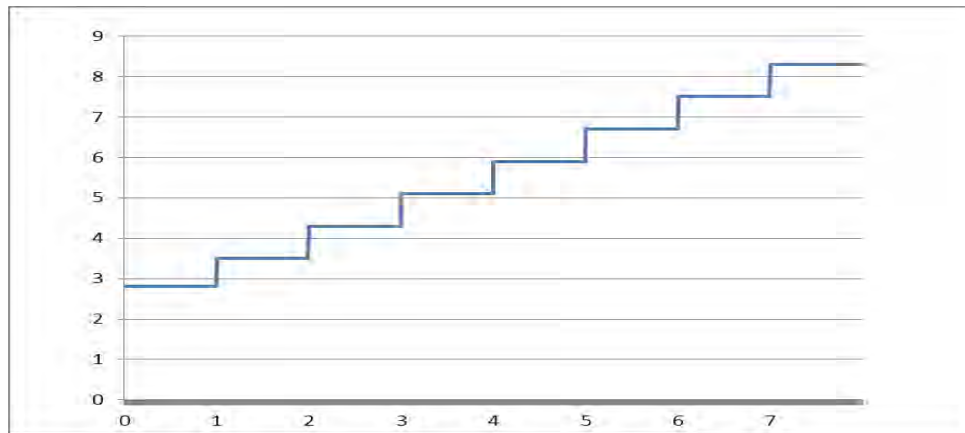


圖 9 檔位距離折線圖

測試的結果發現，本機構係用離心力變速，速度影響離心力的大小，改變配重的位置，但第一代的機構換檔並不確實，因為凸輪變速過敏感，檔位與檔位之間變速的情況不明顯，可能會從第一檔瞬間跳到第三檔，而且有噪音的問題。如圖 10 與圖 11 是第一代變速機構。由以上的研究結果發現，為了改善上述問題，我們將本機構進行改良，如圖 12 為改良後的離心變速機構，為了縮小本機構的尺寸，我們拆掉輪框改用軌道取代讓原本串在細肋上的配重改為在軌道內滑動，使配重能夠隨著離心力的大小內外滑動，並在各零件的間隙間灌入矽膠，吸收噪音與減少零件之間的碰撞，降低噪音產生的問題，經過以上改良後，實驗的結果，本機構確實能夠能依據車速的快慢改變離心力的大小達成自動變速的目的。

我們也實際將變速機構加裝到現有的自行車上驗證機構的功能，並騎乘在道路上，嘗試各種不同的路況，例如：上坡與下坡。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，避免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，同時離心變速器也會將鍊條拉向大齒輪，進而變到較低的檔位，可輕鬆完成上坡動作，達到舒適騎乘的目的。



圖 10 第一代離心自動變速器 圖 11.第一代離心自動變速器



圖 12.改良後離心自動變速器

四.實際騎乘

根據我們所做的實驗結果顯示，我們所設計之離心自動變速機構，確實能依照踏板不同的轉速改變鏈輪的配合情況，但是實際道路騎乘能否能夠有如此的效果則有待商榷，引起了我們的好奇心，因此為了驗證本機構的功能，我們將離心自動變速機構加裝到自行車の後輪上，並在實際道路上與一般變速自行車進行騎乘測試與比較，車身由於目前仍在實驗的階段，加裝離心自動變速機構的自行車，機構所使用的材料皆為鐵材故比一般自行車來的重，搬運時較吃力，在實際騎乘重量的影響可忽略，實際騎乘上坡後發現，一般自行車的檔位變換需依靠騎乘者以手動的方式進行變換，如果變速的時機不正確，輕者上坡更費力，重者甚至可能導致鏈條斷裂，而使用離心自動變速機構的自行車，由於騎乘者的一般心理反應，在上坡前都會刻意增加踏板的踩踏速度，增加自身的動能降低上坡的費力程度，下坡前則會放慢踩踏的速度，恰與我們所設計的離心自動變速機構原理相符合，因此可達到準確變速輕鬆騎乘的目的，也避免了換檔不正確的情況發生。

為了驗證本設計與一般變速自行車差異，我們對騎乘者進行心跳的測試，用實驗測試的結果來測量騎乘省力與否，找三位不知情的騎乘者在相同的路程中進行騎乘測試，同樣的騎乘者，在間隔半個小時的休息時間分別對傳統自行車與離心自動變速自行車，進行騎乘的心跳測試，結果發現離心自動變速機構自行車騎乘後得到的心跳數皆較一般自行車來的少，確可達到輕鬆騎乘的目的且換檔動作確實，不會造成自行車的騎乘者在爬坡上花費許多的體力，讓騎乘者感到較不疲累，一般變速自行車，無法因應騎乘者的騎乘習慣變換到適合的檔位，造成必須花費較多的力氣在爬坡上，增加騎乘者的負擔，但裝有離心自動變速機構的自行車，卻能因應騎乘者的習慣在爬坡時變換到適合騎乘者騎乘的檔位，不會因為換檔的問題，造成騎乘者騎乘的負擔，替騎乘者節省花費在爬坡時所需的力氣，讓騎乘者不再為了惱人的爬坡問題所煩惱，而是能克服爬坡的困難。

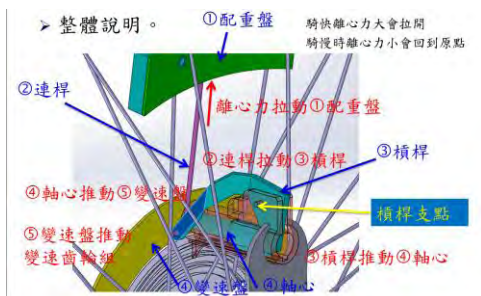


圖 13. 實際安裝說明圖

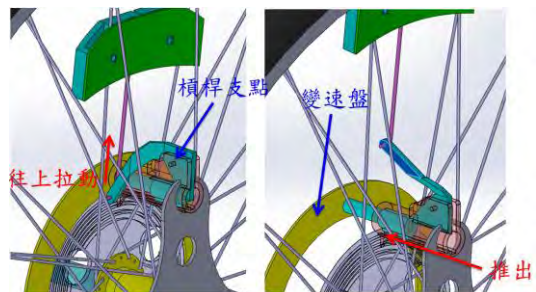


圖 14. 離心變速動圖

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。

五、跟市售的電動變速腳踏車比較

表 9 離心自動變速腳踏車與電動算腳踏車的比較

	離心自動變速腳踏車	電動變速腳踏車
價格方面	便宜	較貴
保養方面	只需上油保養	必須更換零件
維修費用	便宜	較貴
使用時間	不受電量限制	受電量限制

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，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，主要使用的是離心力的原理，只要有旋轉一定會伴隨著離心力的產生，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。

藉由實際騎乘發現，裝有離心自動變速器的自行車較一般變速自行車能減少騎乘者的負擔且能達到變速確實的效果。藉由心跳測試的結果可以得知，騎乘一般變速自行車的心跳數較高，騎乘裝有離心自動變速自行車的人心跳數較低，由此得知，本設計較一般變速自行車變速確實而且省力，達到降低騎乘者爬坡時所花的體力。

捌、參考資料及其他

- 一、 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。
- 二、 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。
- 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、 http://pel.me.ntu.edu.tw/ntume_am/application/bike/7.%E8%AE%8A%E9%80%9F%E7%B3%BB%E7%B5%B1/UntitledFrameset-7.htm 自行腳踏車機構介紹
- 五、 <http://www.bud.org.tw/Hu/hu10.htm> 變速車原理
- 六、 <http://mypaper.pchome.com.tw/huaracing/post/1297850611> 機車用離心裝置
- 七、 <http://203.72.29.236/~dpd/99/web11/html/contents1-3.htm> 單車構造

【評語】 100011

本研究是開發一種自動化而又不需要電路之自行車變速器。這個構想相當具實用潛力而機構原理又頗具創意，是很值得肯定之作品。