

嘉義縣第 52 屆國民中小學科學展覽會
作品說明書

科別：物理科

組別：國小組

作品名稱：

自得「騎」樂

—腳踏車變速系統與動力之探討

關鍵詞：簡單機械、槓桿原理、輪軸應用

編號：

自得「騎」樂

— 腳踏車變速系統與動力之探討

摘要

自然課學到輪軸的原理時，我們產生了一個疑問：腳踏車到底是省力還是費力的裝置？所以開始進行腳踏車變速系統與動力的實驗，希望可以了解：腳踏車是省力還是費力的裝置？不同情況可使用的適當變速組合有哪些？以及腳踏板施力、曲柄力臂、曲柄角度與輸出力的關係。實驗結果發現：一、腳踏車是一種費力的機械裝置。二、變速系統各種組合產生不同的齒輪比和輸出力，可以適應啓動、加速和爬坡等各種需求。三、腳踏板施力越大，輸出力量越大，反之，輸出力量越小。四、曲柄力臂越長，它的輸出力越大。反之，輸出力越小。五、曲柄角度 0 度(保持水平)產生的輸出力最大，曲柄角度越大產生的輸出力越小。當曲柄角度等於 90 度時，輸出力等於 0。

壹、研究動機

腳踏車是現代人重要的一種休閒及交通工具，通常大家認為腳踏車騎起來很輕鬆，感覺比走路省力多了。但是自然課簡單機械單元學到輪軸的原理時，我們產生了一個疑問：腳踏車到底是省力還是費力的裝置？特別是變速腳踏車，看起來構造很複雜，有各種不同變速的組合，到底什麼樣的組合才是比較適合的呢？才能讓人比較省力，也可以減少車子的磨損。所以我們開始進行腳踏車變速系統的實驗，希望可以了解：腳踏車是省力還是費力的裝置？不同情況可使用的適當變速組合有哪些？以及腳踏板施力、曲柄力臂、曲柄角度與輸出力的關係。

貳、研究問題

我們的研究問題有以下五個：

- 一、腳踏車是省力還是費力的裝置？
- 二、不同情況可使用的適當變速組合有哪些？
- 三、腳踏板施力與輸出力有什麼關係？
- 四、踏板的曲柄力臂與輸出力有什麼關係？
- 五、曲柄角度與輸出力有什麼關係？

參、研究設備與器材

27 段變速腳踏車一輛、電子秤一個、水平儀一個、量角器一個、水瓶、鐵鉤長短鉤子各一支、支撐柱一個、墊高板一個、測量力臂紙一張。

肆、研究過程與結果

一、腳踏車是省力還是費力的裝置？

(一) 腳踏車變速器的構造

我們借用一輛 27 段變速的腳踏車來進行實驗，它的變速器構造如下：

1.前大盤有 3 個鏈輪：大鏈輪（44 齒）、中鏈輪（32 齒）和小鏈輪（22 齒）等。

2.後飛輪有 9 個鏈輪，由小而大分別是：第 1 鏈輪（11 齒）、第 2 鏈輪（13 齒）、第 3 鏈輪（15 齒）、第 4 鏈輪（17 齒）、第 5 鏈輪（20 齒）、第 6 鏈輪（23

齒)、第 7 鏈輪 (26 齒)、第 8 鏈輪 (30 齒)、第 9 鏈輪 (34 齒)。

3.變速器的設計：前大盤及後飛輪各有一個變速器，由人控制把手上的前後變速器操作桿。

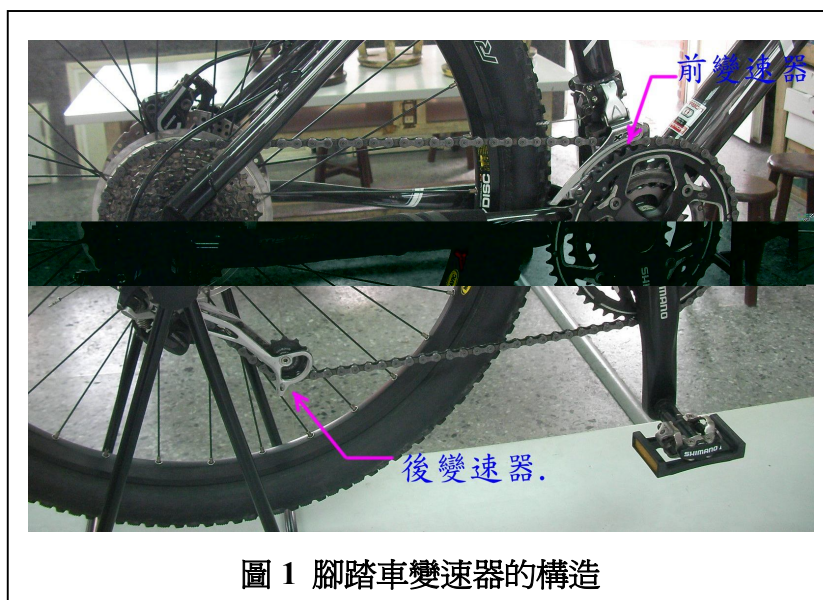


圖 1 腳踏車變速器的構造

(二) 實驗設計

1.比較「腳踏車踏板的施力」與「後輪瞬間啓動的輸出力」，來證明腳踏車是省力或費力的裝置。以裝水 2000gw 的水瓶掛在腳踏板，做爲「腳踏車踏板的施力」，以電子秤鉤住後輪來測量「後輪瞬間啓動的輸出力」。

2.操作程序：

(1) 調整變速器的組合。

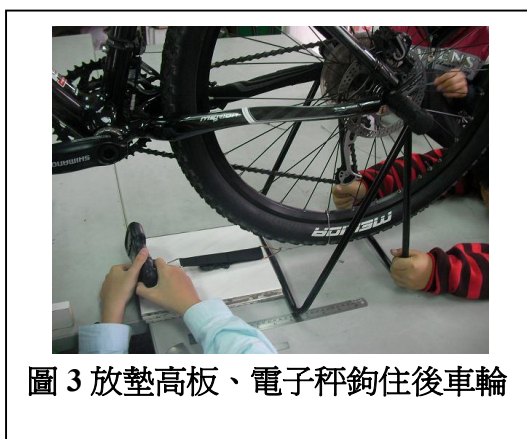
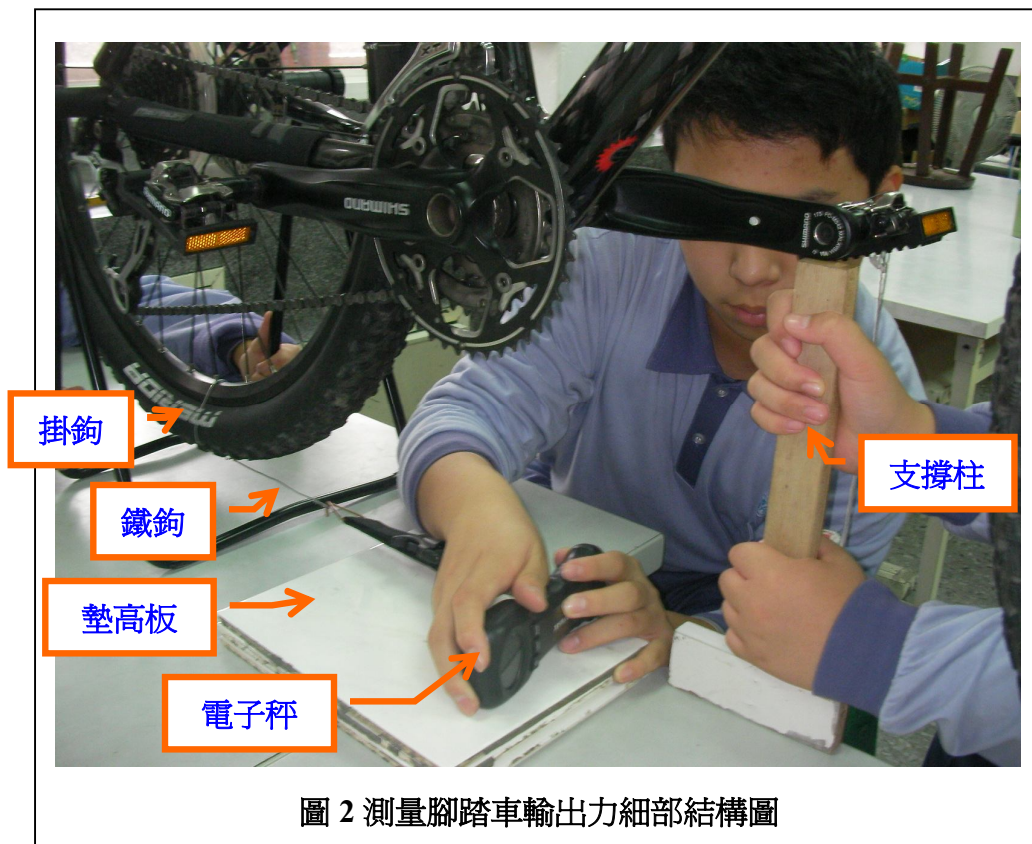
(2) 放墊高板使電子秤和後車輪正下方邊緣同高，再把鐵鉤鉤住後車輪的掛鉤上，並鉤住電子秤，然後把支撐柱放在踏板下以支撐踏板。支撐柱的功能是操作相同步驟的實驗時，能把腳踏車的曲柄踏板固定在水平相同的位置。

(3) 掛上 2000gw 的水瓶做爲踏板施力，掛水瓶時需控制水瓶的穩定，避免搖晃。

(4) 雙手施力於電子秤，同時向前輪方向移動，電子秤因拉動掛勾，踏板會轉動一點小角度 (約 1 度左右) 而離開支撐柱的瞬間，測量讀出後輪輸出的力量數值。以電子秤拉動掛鉤時，必須與後輪保持一直線，並固定腳踏車不讓它滑動。

(5) 重複施測 5 次，並求得後輪瞬間輸出力的平均數。

(6) 每次將大盤鏈輪固定，然後逐一調整飛輪鏈輪，將各種的變速組合輪流施測並紀錄。



(三) 實驗結果

我們依照實驗設計的操作程序，測量三個大盤鏈輪與飛輪鏈輪各種變速組合的輸出力。結果分別如表一、表二和表三，最後整理各種變速組合輸出力平均總表如表四。

表一 各變速組合與輸出力一覽表（大盤大鏈輪：44 齒）

輸出齒數	次數					平均
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	
飛輪第 1 鏈輪（11 齒）	260	260	260	260	260	260
飛輪第 2 鏈輪（13 齒）	300	300	300	300	300	300
飛輪第 3 鏈輪（15 齒）	360	360	360	360	360	360
飛輪第 4 鏈輪（17 齒）	380	380	380	380	380	380
飛輪第 5 鏈輪（20 齒）	440	440	440	440	440	440
飛輪第 6 鏈輪（23 齒）	520	520	520	520	520	520
飛輪第 7 鏈輪（26 齒）	580	580	580	580	580	580
飛輪第 8 鏈輪（30 齒）	680	680	680	680	680	680
飛輪第 9 鏈輪（34 齒）	760	760	760	760	760	760

表二 各變速組合與輸出力一覽表（大盤中鏈輪：32 齒）

輸出齒數	次數					平均
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	
飛輪第 1 鏈輪（11 齒）	340	340	340	340	340	340
飛輪第 2 鏈輪（13 齒）	400	400	400	400	400	400
飛輪第 3 鏈輪（15 齒）	460	460	460	460	460	460
飛輪第 4 鏈輪（17 齒）	560	560	560	560	560	560
飛輪第 5 鏈輪（20 齒）	660	660	660	660	660	660
飛輪第 6 鏈輪（23 齒）	740	740	740	740	740	740
飛輪第 7 鏈輪（26 齒）	760	760	760	760	760	760
飛輪第 8 鏈輪（30 齒）	900	900	900	900	900	900
飛輪第 9 鏈輪（34 齒）	1040	1040	1040	1040	1040	1040

表三 各變速組合與輸出力一覽表（大盤小鏈輪：22 齒）

輸出齒數	次數					平均
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	
飛輪第 1 鏈輪（11 齒）	480	480	480	480	480	480
飛輪第 2 鏈輪（13 齒）	560	560	560	560	560	560
飛輪第 3 鏈輪（15 齒）	660	660	660	660	660	660

飛輪第 4 鏈輪 (17 齒)	760	760	760	760	760	760
飛輪第 5 鏈輪 (20 齒)	900	900	900	900	900	900
飛輪第 6 鏈輪 (23 齒)	1040	1040	1040	1040	1040	1040
飛輪第 7 鏈輪 (26 齒)	1240	1240	1240	1240	1240	1240
飛輪第 8 鏈輪 (30 齒)	1400	1400	1400	1400	1400	1400
飛輪第 9 鏈輪 (34 齒)	1580	1580	1580	1580	1580	1580

表四 不同變速組合輸出力平均總表

輸 出 力 飛 輪	大 盤 力	大盤大鏈輪 44 齒	大盤中鏈輪 32 齒	大盤小鏈輪 22 齒
飛輪第 1 鏈輪 (11 齒)		260	340	480
飛輪第 2 鏈輪 (13 齒)		300	400	560
飛輪第 3 鏈輪 (15 齒)		360	460	660
飛輪第 4 鏈輪 (17 齒)		380	560	760
飛輪第 5 鏈輪 (20 齒)		440	660	900
飛輪第 6 鏈輪 (23 齒)		520	740	1040
飛輪第 7 鏈輪 (26 齒)		580	760	1240
飛輪第 8 鏈輪 (30 齒)		680	900	1400
飛輪第 9 鏈輪 (34 齒)		760	1040	1580

由以上的統計表可知：各種變速組合的輸出力都小於輸入力（2000gw）。也就是說，騎這部一般可變速的腳踏車時，我們在踏板所施的力大於腳踏車輪輸出的力，因此一般可變速的腳踏車是一種費力的裝置。




(三) 討論

1. 腳踏板與大盤鏈輪（前齒盤）的關係是輪軸原理的應用。它們的結合是以**輪帶動軸**，腳踏板是輪，大盤鏈輪是軸，施力在輪上去帶動軸，所以踩踏板讓大盤鏈輪轉動是省力的。（如圖 5 所示）

2. 前齒盤和後飛輪是靠鏈條來傳送動力，當前齒盤用 22 齒，後飛輪用 34 齒，以**小齒輪帶動大齒輪是省力的組合**，當腳踏板轉一圈，前齒盤 22 齒齒輪就轉一圈，後飛輪 34 齒齒輪跟著轉不到 1 圈，所以可以省力（如圖 6 所示）

3. 後飛輪裝在後輪的軸心上，也是輪軸原理的應用，後車輪和後飛輪的結合是以**軸帶動輪**，而且輪軸的半徑分別是 33 公分及 6.5 公分，半徑相差很大，這個時候是施力在軸上讓車輪轉動，所以是很費力的。（如圖 7 所示）

4.雖然腳踏板和大盤鏈輪是省力的結合，但是後車輪和後飛輪的半徑相差很大，必須很費力才能帶動後車輪。也就是「腳踏板帶動大盤鏈輪」(圖 5) + 「前齒盤帶動後飛輪」(圖 6) 的省力，遠小於「後飛輪帶動後車輪」(圖 7) 的費力，所以腳踏車是費力的裝置。由表四的實驗結果可知：最大的輸出力 1580gw 都還小於輸入力 2000gw，與上述分析一致。

		
<p>圖 5 腳踏板和前齒輪以輪帶動軸，是省力的結合。</p>	<p>圖 6 用大盤小鍊輪帶動飛輪大齒輪是省力的組合。</p>	<p>圖 7 後飛輪和後車輪以軸帶動輪，是費力的結合。</p>

二、不同情況可使用的適當變速組合有哪些？

騎乘腳踏車時會利用變速組合來適應各種不同的路況或需求，除了有輸出力的因素之外，還有齒輪比(扭力值)。計算齒輪比的方式是：大盤齒數 ÷ 飛輪齒數。假設大盤齒數是 43 齒(43t)，飛輪齒數是 15 齒 (15t)，那麼齒輪比就是 $43 \div 15 = 2.87$ 。在表五 A 組中控制固定大盤鏈輪齒數(44 齒)與輸入力(水瓶重 2000gw)在相同的情形下，只操作改變不同的飛輪齒數，發現其輸出力和齒輪比二者成反比的關係。因此，我們再計算 B 組、C 組各種變速組合的齒輪比，也列出前面輸出力的測量結果，然後算出二者的乘積值。表五是各種變速組合的輸出力和齒輪比，以及它們的乘積值。

表五 各種變速組合的「輸出力和齒輪比之乘積值」一覽表

	A 組：大盤大鏈輪 44 齒			B 組：大盤中鏈輪 32 齒			C 組：大盤小鏈輪 22 齒		
	輸出力	齒輪比	乘積值	輸出力	齒輪比	乘積值	輸出力	齒輪比	乘積值
飛輪第 1 鏈輪 (11 齒)	260	4	1040	340	2.91	989	480	2	960
飛輪第 2 鏈輪 (13 齒)	300	3.38	1014	400	2.46	984	560	1.69	946
飛輪第 3 鏈輪 (15 齒)	360	2.93	1055	460	2.13	980	660	1.47	970
飛輪第 4 鏈輪 (17 齒)	380	2.59	880	560	1.88	1053	760	1.29	980
飛輪第 5 鏈輪 (20 齒)	440	2.20	968	660	1.60	1056	900	1.10	990
飛輪第 6 鏈輪 (23 齒)	520	1.91	993	740	1.39	1029	1040	0.96	998
飛輪第 7 鏈輪 (26 齒)	580	1.69	980	760	1.23	935	1240	0.85	1054
飛輪第 8 鏈輪 (30 齒)	680	1.47	999	900	1.07	963	1400	0.73	1022
飛輪第 9 鏈輪 (34 齒)	760	1.29	980	1040	0.94	978	1580	0.65	1027

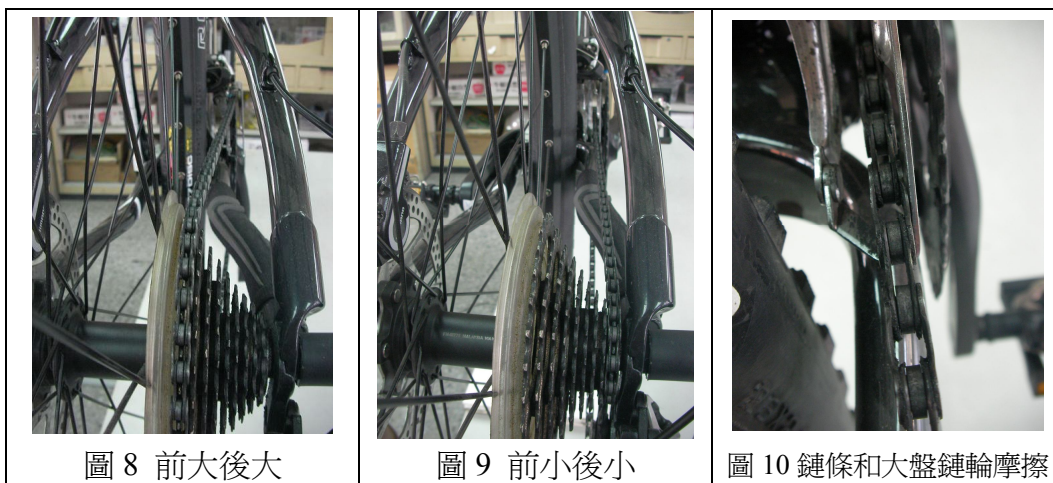
結果分析：

1.當飛輪齒數固定時，大盤的齒數越少，輸出力就越大；大盤的齒數越多，輸出力就越小。

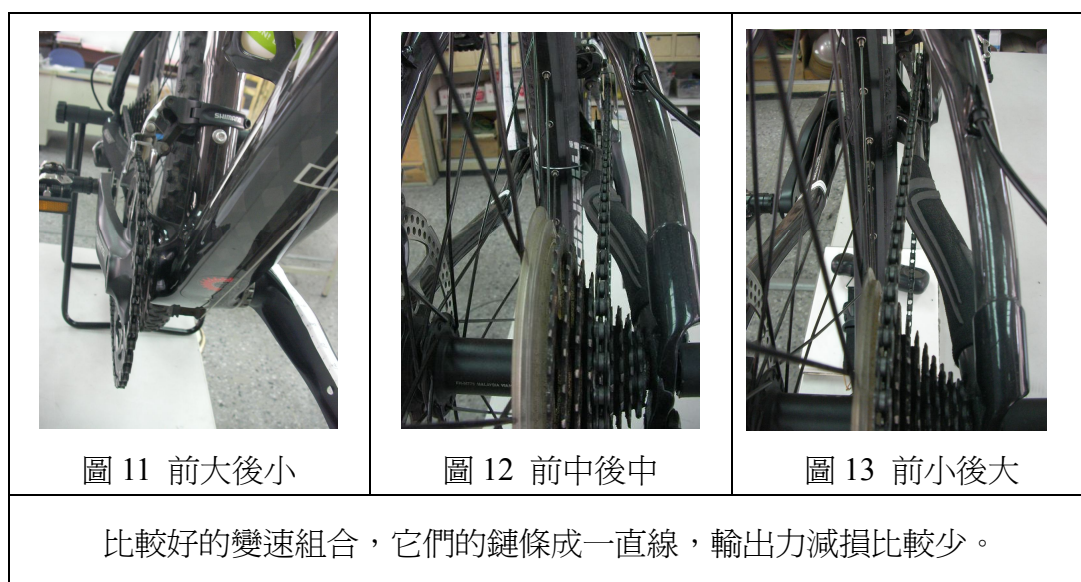
2.當大盤齒數固定時，飛輪的齒數越多，輸出力就越大；飛輪鏈輪的齒數越少，輸出力就越小。

3.當控制大盤鏈輪齒數和輸入力（水瓶重 2000gw）固定時，齒輪比與輸出力二者成反比關係，齒輪比（扭力值）越大，輸出力越小，也越費力，但可以騎得越快。例如，「大盤大鏈輪 44 齒」配「飛輪第 1 鏈輪 11 齒」（前大後小），它的齒輪比是 44：11，比值等於 4，表示踏板踩一圈，大盤也跟著轉動 1 圈，可以使飛輪轉動 4 圈，所以可以騎得最快。但輸出力最小（260gw），必須很費力才能使腳踏車瞬間啓動。又如，「大盤小鏈輪 22 齒」配「飛輪第 9 鏈輪 34 齒」（前小後大），它的齒輪比 22：34，比值等於 0.65，表示踏板踩一圈，大盤也跟著轉動 1 圈，但只能帶動飛輪轉動 0.65 圈，所以騎得最慢。但是它的輸出力最大（1580gw），可以很輕鬆就能使腳踏車瞬間啓動，適合於爬較陡峭的山坡。

4.理論上，表五分別去看 A 組、B 組、C 組中，當控制大盤鏈輪齒數和輸入力（水瓶重 2000gw）固定時，其輸出力與齒輪比是成反比關係。但是輸出力和齒輪比的乘積值很接近，但並非都相同，推測其原因可能是：測量誤差、轉動腳踏車機件產生的摩擦力、不良的變速組合等而減損了輸出力。例如，有些變速組合（前大後大、前小後小）前後鍊輪的盤面不在同一平面上，鏈條沒有成一直線，鏈條和鏈輪的動摩擦力增加，會因此減損了輸出力。有些變速組合（前大後小、前小後大、前中後中）的鏈條線比較接近一直線，其鏈條和鏈輪動摩擦力比較小，傳送動力時輸出效能較高，是良好的鏈輪組合。如下圖所示：



不良的變速組合，它們的鏈條偏斜沒有成一直線，鏈條被拉動時和大盤鏈輪會接觸而磨損，也會因此減損了輸出力。



5.從輸出力和齒輪比的乘積值來看，乘積值越大表示輸出力的效能比較好，磨損比較少。如果以 1000 為基準，大於 1000 的變速組合應是比較好的。由此可以找到輸出力大概相等，以「磨損較小」的組合來替代「磨損較大」的組合，提

高輸出力效能，並減少鏈條和鏈輪及鏈條和變速器的磨損：

(1) 以「大盤中鏈輪 32 齒」配「飛輪第 4 鏈輪 17 齒」(前中後中)(輸出力是 560gw、齒輪比 1.88，乘積值 1053)。可以替代「大盤小鏈輪 22 齒」配「飛輪第 2 鏈輪 13 齒」(前小後小)(輸出力是 560gw、齒輪比 1.69，乘積值 946)、「大盤大鏈輪 44 齒」配「飛輪第 7 鏈輪 26 齒」(前大後大)(輸出力是 580gw、齒輪比 1.69，乘積值 980)。

(2) 以「大盤中鏈輪 32 齒」配「飛輪第 5 鏈輪 20 齒」(前中後中)(輸出力是 660gw、齒輪比 1.60，乘積值 1056)。可以替代「大盤小鏈輪 22 齒」配「飛輪第 3 鏈輪 15 齒」(前小後小)(輸出力是 660gw、齒輪比 1.47，乘積值 970)、「大盤大鏈輪 44 齒」配「飛輪第 8 鏈輪 30 齒」(前大後大)(輸出力是 680gw、齒輪比 1.47，乘積值 999)。

(3) 以「大盤中鏈輪 32 齒」配「飛輪第 6 鏈輪 23 齒」(前中後中)(輸出力是 740gw、齒輪比 1.39，乘積值 1029)。可以替代「大盤小鏈輪 22 齒」配「飛輪第 4 鏈輪 17 齒」(前小後中)(輸出力是 760gw、齒輪比 1.29，乘積值 980)、「大盤大鏈輪 44 齒」配「飛輪第 9 鏈輪 34 齒」(前大後大)(輸出力是 760gw、齒輪比 1.29，乘積值 980)。

(4) 以「大盤小鏈輪 22 齒」配「飛輪第 5 鏈輪 20 齒」(前小後中)(輸出力是 900gw、齒輪比 1.10，乘積值 990)。可以替代「大盤中鏈輪 32 齒」配「飛輪第 8 鏈輪 30 齒」(前中後大)(輸出力是 900gw、齒輪比 1.07，乘積值 963)。

(5) 以「大盤小鏈輪 22 齒」配「飛輪第 6 鏈輪 23 齒」(前小後中)(輸出力是 1040gw、齒輪比 0.96，乘積值 998)。可以替代「大盤中鏈輪 32 齒」配「飛輪第 9 鏈輪 34 齒」(前中後大)(輸出力是 1040gw、齒輪比 0.94，乘積值 978)。

6.根據以上分析的結果，我們提出適應不同路況或需求的變速組合建議：

(1) 「大盤小鏈輪 22 齒」搭配「飛輪大鏈輪 (26、30、34 齒)」輸出的力較大 (1240、1400、1580gw) (藍色格子)。這些組合產生的動力大，適用於爬坡時。尤其大盤鏈輪 (22 齒) 搭配飛輪鏈輪 (34 齒) 輸出的力最大 (1580gw)。(前小後大輸出的力最大)，爬陡坡啓動時可以用這種組合。

(2) 「大盤大鏈輪 44 齒」搭配「飛輪小鏈輪 (11、13、15 齒)」的齒輪比較大 (4、3.38、2.93) (橘色格子)，運轉速度較快。這些組合的速度較快，適用於需要騎快車時 (如比賽)。尤其大盤大鏈輪 (44 齒) 搭配飛輪小鏈輪 (11 齒) 的齒輪比 (4) 最大，可以產生最快的速度，騎快車時可以用這種組合。但這些組合輸出的力較小 (260、300、360gw)，如果要產生較大的輸出力，在踏板上就需要輸入更大的力，尤其瞬間啓動時更需要很大的力，所以這種組合很費力。

(3) 在一般平路騎腳踏車時，建議使用「大盤中鏈輪 32 齒」搭配「飛輪中

鏈輪（17、20、23 齒）」（綠色格子），這些組合的輸出力與速度適中，在啓動加速時會比較不費力，又不至於起動速度太慢。而且啓動行走後，也能很快地變速到自己想使用的檔位。所耗費力量不大，可以輕鬆的騎乘，可再依個人的身體狀況，變換到較高齒輪比的檔位，使得腳踏車的行車速度加快。

7.從磨胎點來尋找比較適當的變速組合：

除了以上從輸出力和齒輪比的乘積值找出適當的變速組合，另外也補充從磨胎點來尋找比較適當的變速組合。由於曲柄位置和後輪會有相當規律的相對位置，同時，踩踏板通常是一腳前一腳後，所以輪胎接觸地面的點就有可能會落在固定的幾個點上面。磨胎點的算法是：首先把選用前齒盤齒數和飛輪齒數分別放在分數的分子與分母位置，將分數簡化之後，分母就是磨胎點了。例如齒輪比 45：15，套用公式是 $45/15$ 簡化成 $3/1$ ，磨胎點就只有 1；齒輪比 46：18， $46/18$ 簡化成 $23/9$ ，磨胎點就是 9。如果齒輪比選得不理想的話，只會固定磨後輪的幾個點，讓輪胎提早報銷。如果要提昇輪胎的壽命，磨胎點越多越好。表六是本實驗變速腳踏車各種變速組合的磨胎點一覽表。

表六 各種變速組合的磨胎點一覽表

磨胎點 大盤 飛輪	大盤大鏈輪 44 齒	大盤中鏈輪 32 齒	大盤小鏈輪 22 齒
飛輪第 1 鏈輪（11 齒）	1	11	1
飛輪第 2 鏈輪（13 齒）	13	13	13
飛輪第 3 鏈輪（15 齒）	15	15	15
飛輪第 4 鏈輪（17 齒）	17	17	17
飛輪第 5 鏈輪（20 齒）	5	5	10
飛輪第 6 鏈輪（23 齒）	23	23	23
飛輪第 7 鏈輪（26 齒）	13	13	13
飛輪第 8 鏈輪（30 齒）	15	15	15
飛輪第 9 鏈輪（34 齒）	17	17	17

根據上表來考慮磨胎點因素，提出騎乘的建議：

（1）爬較大坡度一般騎乘建議使用：「大盤小鏈輪 22 齒」配「飛輪第 6、7、8、9 鏈輪」（前小後大），這些組合的輸出力比較大，磨胎點較多（23 點、13 點、15 點或 17 點）、輪胎使用壽命較長。

（2）騎乘平路或下坡時，一般騎乘建議使用：「大盤大鏈輪 44 齒」配「飛輪第 2、3、4 鏈輪」（前大後小），這些組合的齒輪比較大、磨胎點較多（13 點、

15 點或 17 點)，可以騎乘比較快、磨胎點較多，輪胎使用壽命較長。

(3) 但是如果是在競速時，或爲了加速及縮短騎乘時間，就不用考慮磨胎點的因素了。

三、腳踏板施力與輸出力有什麼關係？

(一) 實驗設計：

1. 將裝不同重量的水瓶掛在腳踏板，做爲「腳踏車踏板的施力」，以電子秤鉤住後輪來測量「後輪瞬間啓動的輸出力」，來比較「腳踏板不同的施力大小」與「後輪瞬間啓動的輸出力」兩者之間的關係。

2. 操作程序：

(1) 固定變速器的組合：大盤鏈輪（22 齒）搭配飛輪第 9 鏈輪（34 齒）。

(2) 放墊高板使電子秤和車輪同高，再把鐵鉤鉤住後車輪的掛鉤上，並鉤住電子秤，然後把支撐柱放在踏板下以支撐踏板。

(3) 掛上水瓶做爲踏板的施力，掛水瓶時需控制水瓶的穩定，避免搖晃。

(4) 電子秤拉動掛勾，測量後輪瞬間輸出的力量。以電子秤拉動掛鉤時，必須與後輪保持一直線，並固定腳踏車不讓它滑動。

(5) 重複施測 5 次，並求得後輪瞬間輸出力的平均數。

(6) 將 2 公斤、1.75 公斤、1.5 公斤、1.25 公斤、1 公斤、0.75 公斤、0.5 公斤、0.25 公斤等不同重量的水瓶，輪流施測並紀錄。



圖 14 測量水瓶 1.25 公斤重的輸出力

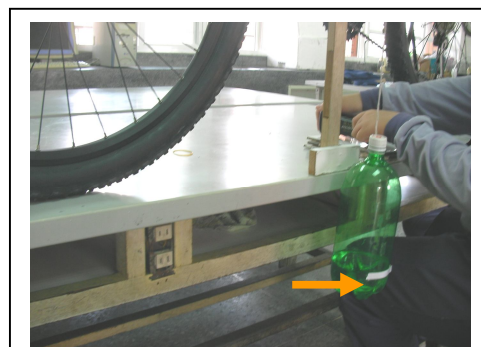


圖 15 測量水瓶 0.5 公斤重的輸出力

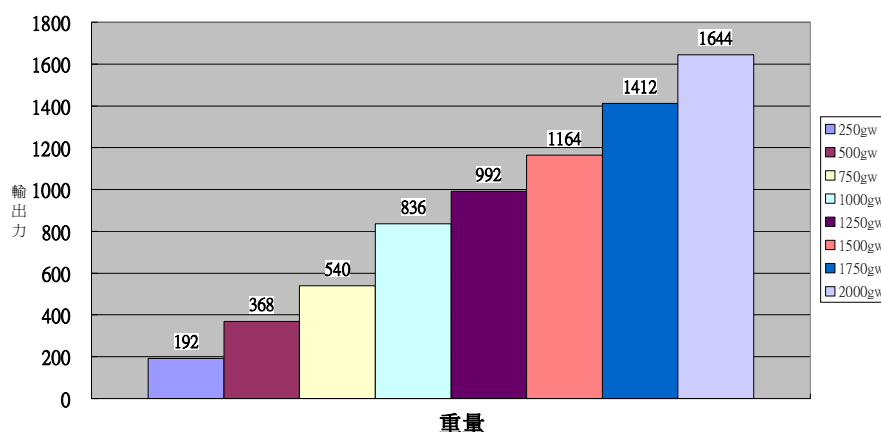
(二) 實驗結果

依照實驗設計的操作程序，得到測量的結果如表七。

表七 不同重量與輸出力的比較表

輸 入 力	次 別	輸出力					平均
		第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	
250gw		200	200	200	180	180	192
500gw		380	380	360	360	360	368
750gw		520	560	520	560	540	540
1000gw		840	820	840	840	840	836
1250gw		1000	960	980	1000	1020	992
1500gw		1220	1160	1140	1140	1160	1164
1750gw		1420	1400	1420	1420	1400	1412
2000gw		1600	1600	1660	1680	1680	1644

不同重量與輸出力的統計圖



由以上的統計圖表可以知道：水瓶重量越重，它的輸出力越大。反之，水瓶重量越輕，它的輸出力越小。也就是說，在腳踏板施力越大，輸出力量越大，在腳踏板施力越小，輸出力量越小。

(三) 討論

1.根據槓桿原理：施力臂相同時，施力越大所產生的力越大，施力越小所產生的力越小。所以水瓶越重，輸出的力量就越大，水瓶越輕輸出的力量就越小。

2.由於變速組合可能產生輸出力的耗損，以及測量誤差的影響，水瓶重量雖以倍數增加，但產生的輸出力並沒有呈現倍數關係。

3.騎腳踏車時在踏板施力時，可以帶動大盤鏈輪、鏈條、飛輪和後輪，然後使整台腳踏車前進。踩踏板的力量越大，輸出的力量就越大，可以使腳踏車騎得

較快或爬得較高；踩踏板的力量越小，輸出的力量就越小，騎腳踏車的速度較慢或爬得較低。

四、踏板的曲柄力臂與輸出力有什麼關係？

(一) 實驗設計

1.將裝相同重量的水瓶掛在腳踏板，做為腳踏車踏板的施力。將水瓶掛在踏板曲柄不同的位置，以電子秤鉤住後輪來測量「後輪瞬間啟動的輸出力」，來比較「踏板曲柄的力臂長短」與「後輪瞬間啟動的輸出力」兩者之間的關係。

2.操作程序：

(1) 在踏板曲柄上從軸心為起點，分別劃上 0 公分、2 公分、4 公分、6 公分、8 公分、10 公分、12 公分、14 公分、16 公分、18 公分做為不同力臂。

(2) 固定變速器的組合：大盤鏈輪（22 齒）搭配飛輪第 9 鏈輪（34 齒）。

(3) 放墊高板使電子秤和車輪同高，再把鐵鉤鉤住後車輪的掛鉤上，並鉤住電子秤，然後把支撐柱放在踏板下以支撐踏板。

(4) 將水瓶（固定重 2000gw）掛在踏板曲柄作記號的位置（不同力臂），掛水瓶時需控制水瓶的穩定性，避免搖晃。

(5) 電子秤拉動掛勾，測量後輪瞬間輸出的力量。以電子秤拉動掛鉤時，必須與後輪保持一直線，並固定腳踏車不讓它滑動。

(6) 重複施測 5 次，並求得每一曲柄力臂所產生後輪瞬間輸出力的平均數。

(7) 依照上述步驟，將水瓶掛在不同曲柄力臂的位置，輪流施測並紀錄。

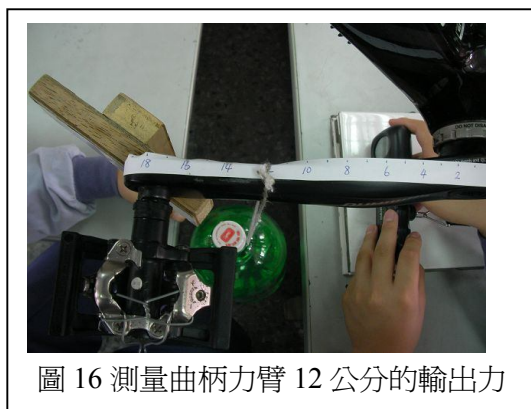


圖 16 測量曲柄力臂 12 公分的輸出力

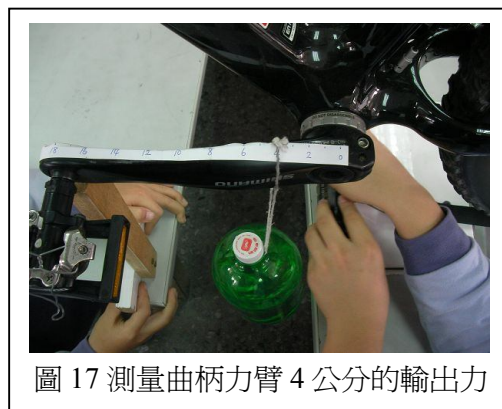


圖 17 測量曲柄力臂 4 公分的輸出力

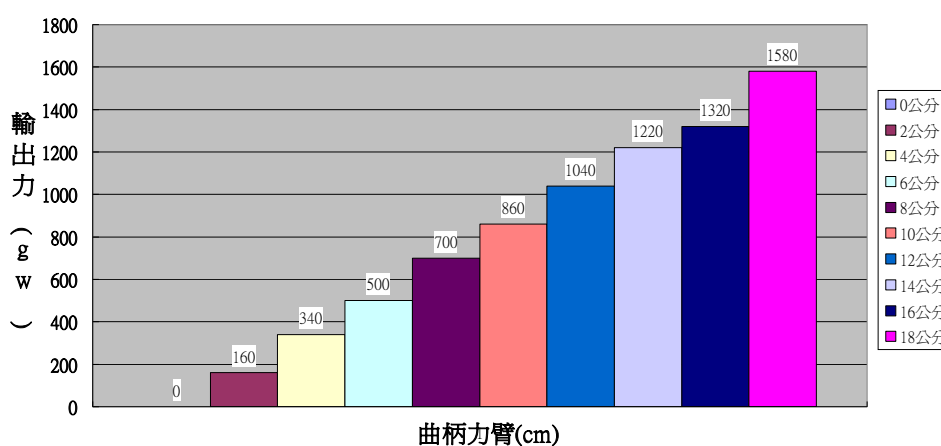
(二) 實驗結果

依照實驗設計的操作程序，得到測量的結果如表八。

表八 (水瓶固定重 2000gw) 不同曲柄力臂與輸出力比較表

輸 出 力 長 度	次 別 力	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
		0 公分	0	0	0	0	0
2 公分		160	160	160	160	160	160
4 公分		340	340	340	340	340	340
6 公分		500	500	500	500	500	500
8 公分		700	700	700	700	700	700
10 公分		860	860	860	860	860	860
12 公分		1040	1040	1040	1040	1040	1040
14 公分		1220	1220	1220	1220	1220	1220
16 公分		1320	1320	1320	1320	1320	1320
18 公分		1580	1580	1580	1580	1580	1580

不同曲柄力臂與輸出力統計圖



由以上的統計圖表可以知道：曲柄力臂越長，它的輸出力越大。反之，曲柄力臂越短，它的輸出力越小。

(三) 討論

1. 根據槓桿原理：施力相同時，施力臂越長所產生的力矩越大；施力臂越短所產生的力矩越小。所以把水瓶掛在曲柄力臂越長的位置，後輪胎邊緣輸出的力量就越大，把水瓶掛在曲柄力臂越短的位置，後輪胎邊緣輸出的力量就越小。

2. 由於曲柄是有些彎曲而不是平直的桿子，所以力臂位置 2 公分、4 公分、6

公分.....16公分、18公分等，並不完全是等距的，加上變速組合可能產生輸出力的耗損，以及測量誤差的影響，不同力臂產生的輸出力並沒有呈現倍數關係。

3.曲柄連接大盤鏈輪和腳踏板，當我們騎腳踏車時在踏板施力，就可以帶動大盤鏈輪、鏈條、飛輪和後輪，然後使整台腳踏車前進。曲柄力臂越長，所產生的力矩越大，後輪胎邊緣輸出的力量就越大，我們騎腳踏車會比較不費力（但並不是省力）。曲柄力臂越短，輸出的力量就越小，我們騎腳踏車就更費力。所以騎腳踏車時，以腳踩踏板出力，其曲柄力臂最長，所產生的力矩越大，才最不費力。

五、曲柄角度與輸出力有什麼關係？

（一）實驗設計

1.將裝相同重量的水瓶掛在腳踏板，做為腳踏車踏板的施力。調整踏板曲柄不同的角度，以電子秤鉤住後輪來測量「後輪瞬間啟動的輸出力」，來比較「踏板曲柄的角度」與「後輪瞬間啟動的輸出力」兩者之間的關係。

2.操作程序

（1）固定變速器的組合：大盤鏈輪（22齒）搭配飛輪第9鏈輪（34齒）。

（2）實驗時先調整量角器的度數到我們想要的角度，並和水平儀組合在一起，利用這種組合去調整踏板曲柄的角度到正確的位置，再用手固定後輪不動，使踏板曲柄停在我們想測量的角度。（曲柄角度分別為0度、15度、30度、45度、60度、75度、90度）

（3）掛上水瓶（固定重2000gw）做為踏板的施力，掛水瓶時需控制水瓶的穩定，避免搖晃。

（4）放墊高板使電子秤和後車輪同高，再把鐵鉤鉤住後車輪的掛鉤上，並鉤住電子秤。

（5）為求實驗的準確度，再一次調整踏板曲柄的角度到正確的位置。

（6）電子秤拉動掛勾，測量後輪瞬間輸出的力量。以電子秤拉動掛鉤時，必須與後輪保持一直線，並固定腳踏車不讓它滑動。

（7）重複施測5次，並求得每一曲柄角度所產生後輪瞬間輸出力的平均數。

（8）依照上述步驟，調整不同曲柄角度，輪流施測並紀錄。



圖 18 利用水平儀與量角器測量曲柄角度

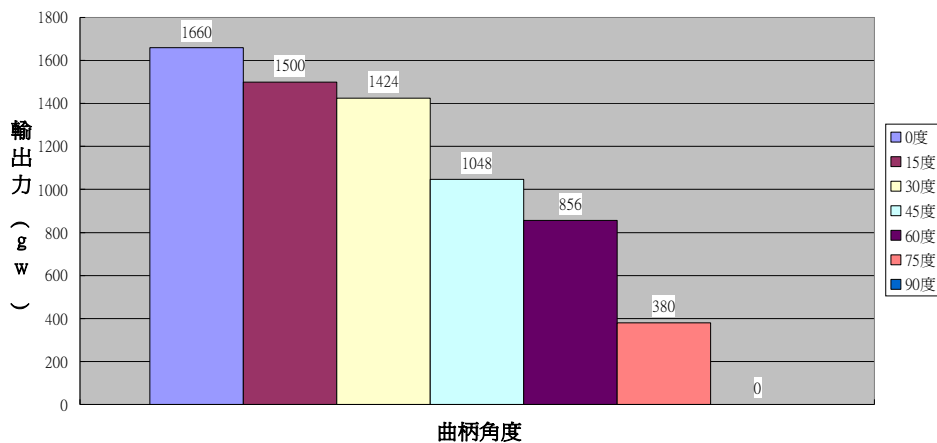
(二) 實驗結果

依照實驗設計的操作程序，得到測量的結果如表九。

表九 (水瓶固定重 2000gw) 不同曲柄角度與輸出力比較表

輸出 角 度	次 別 力	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
		0 度	1660	1660	1660	1660	1660
15 度		1500	1500	1500	1500	1500	1500
30 度		1380	1420	1440	1440	1440	1424
45 度		1080	1100	1020	1020	1020	1048
60 度		840	860	860	860	860	856
75 度		380	380	380	380	380	380
90 度		0	0	0	0	0	0

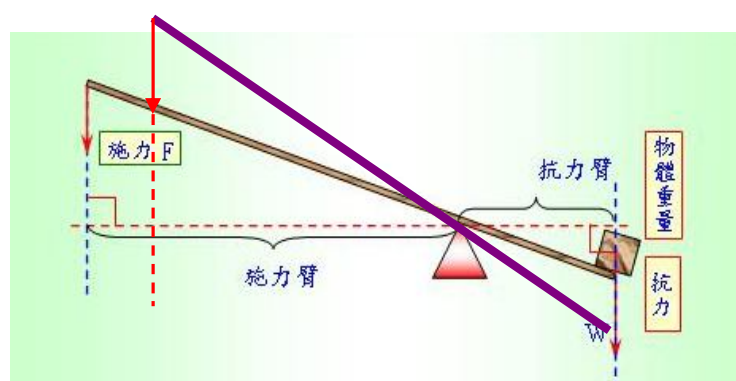
不同曲柄角度與輸出力統計圖



由以上的統計圖表可以知道：曲柄角度 0 度（保持水平）時，有效的力臂長最長，所產生的力矩最大，它的輸出力最大；曲柄角度越大，有效的力臂長越短，所產生的力矩越小，它的輸出力就越小。當曲柄角度等於 90 度時(有效的力臂長等於 0)，其輸出力就等於 0。

(三) 討論

1.根據槓桿原理：施力相同時，施力臂越長所產生的力矩越大，施力臂越短所產生的力矩越小。所以曲柄角度 0 度（保持水平）時，是力臂最長的位置，輸出的力量最大。當曲柄角度越大，曲柄有效力臂長就越短（如下圖），輸出的力量就越小。當曲柄角度等於 90 度時，產生的力矩等於 0，是因為施力經過轉軸，有效力臂長等於 0，所以後輪胎邊緣輸出的力量就等於 0。



2.由於曲柄角度 0 度（保持水平）時，輸出的力量最大。因此，我們騎腳踏車幾乎都在曲柄快接近呈水平時，雙腳才用力踩踏板，這樣輸出的力量最大，也比較容易施力。曲柄偏斜角度時，不但輸出力較小，也不容易施力。

伍、結論

根據實驗結果提出以下的結論：

一、腳踏車是一種費力的機械裝置。

二、腳踏車的變速系統是利用不同大盤與飛輪齒輪的組合，產生不同的齒輪比和輸出力，可以適應啓動、加速和爬坡等各種需求。但不是每一種組合都是適當的，有些組合會使鍊條產生偏斜，耗損輸出力而缺乏效能，並且增加鍊條和變速器的磨損。而且，不適當的變速組合也可以用其他的組合來替代，這樣可以比較輕鬆省力和減少鍊條和變速器的磨損。一般情況下，比較適當的變速組合原則是：

(一)「大盤大鏈輪配飛輪小鏈輪」：適用於快速騎乘。

(二)「大盤中鏈輪配飛輪中鏈輪」：適用於休閒騎乘。

(三)「大盤小鏈輪配飛輪大鏈輪」：適用於爬較大的斜坡。

三、腳踏板施力越大，輸出力量越大，在腳踏板施力越小，輸出力量越小。所以踩踏板越用力，可以產生較大的力，使腳踏車速度加快。

四、曲柄力臂越長，它的輸出力越大。反之，曲柄力臂越短，它的輸出力越小。所以騎腳踏車時要踩在踏板上，它的輸出力最大。

五、曲柄角度 0 度（保持水平）時，它的輸出力最大，曲柄角度越大，它的輸出力越小。當曲柄角度等於 90 度時，輸出力等於 0。所以二邊踏板位置要在水平時，腳用力踩，後輪才可以產生較大的輸出力，使腳踏車速度加快。

資料來源

http://zh-tw.facebook.com/note.php?note_id=157066254315810&comments

<http://beardude.com/1665>

http://140.111.34.194/teach/query.php?action=read_content&p=872&d=1309378719