

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 物理科

080104

衝吧！究極針筒空氣動力車

學校名稱： 新北市三重區集美國民小學

作者： 小六 廖晨宇 小六 張容瑄 小六 盧鈺昇 小五 胡佑順	指導老師： 吳昆霖 楊圳欽
---	-------------------------

關鍵詞： 空氣動力車、針筒、大氣壓力

衝吧！究極針筒空氣動力車

摘要

我們實驗目的主要是探討影響空氣動力車行進距離的因素為何？瞭解其在車身大小與重量相同時，藉著改變針筒大小、針筒容量、重心、車輪大小與車頭，來瞭解影響空氣動力車行進距離的因素，並針對改造車體結構對行進距離的影響來進行實驗與探討，驗證我們的推論。藉此充份掌控一些空氣動力車的製作技巧，期望最終能夠做出一台可以跑得最遠的「究極空氣動力車」。

壹、前言

一、研究動機：

兩年前，我們四年級時，上到了自然與生活科技「運輸工具與能源」時。老師帶領我們製作了橡皮筋動力車，這項活動引發了我們濃厚的興趣，同學間更展開了熱烈的PK競賽。隔年，探討力與運動的相關知識，這時我們接觸到了空氣動力車的影片，對它能夠如此快速前進的原理感到好奇。老師解釋了空氣動力車上的針筒是如何利用大氣壓力來推動車輪前進，並鼓勵我們討論是否能自製空氣動力車。老師引領我們進行了一系列的動手實驗，進而了解到空氣動力車的移動，是利用拉開封閉的針筒所產生的負壓，牽引針筒推桿，帶動拉線拖曳著空氣動力車的車輪前進，並協助指導我們透過動手實驗來找出影響空氣動力車能夠跑得更遠等的各項因素！

二、研究目的：

- (一)探討針筒大小不同，負壓容量對木製空氣動力車行進距離的影響。
- (二)探討針筒大小不同，推桿拉伸長度對木製空氣動力車行進距離的影響。
- (三)木製空氣動力車針筒與動力傳遞之研究分析。
- (四)二代空氣動力車的研發與設計。
- (五)二代積木空氣動力車針筒與動力傳遞之研究分析。
- (六)探討針筒大小不同，負壓容量對二代積木空氣動力車行進距離的影響。
- (七)探討針筒大小不同，拉桿伸長度對積木空氣動力車行進距離的影響。

(八)探討大小針筒**拉力不同**對積木空氣動力車行進距離的影響

(九)探討**車輪大小與配置**對積木空氣動力車行進距離的影響。

(十)探討**重心不同**對積木空氣動力車行進距離的影響。

(十一)探討**車頭形狀**不同對積木空氣動力車行進距離的影響。

三、文獻探討

在本研究所採取的空氣動力車原型，是參照影片教學影片得來，包括：Owen來造真空動力車（上）如何用針管來驅動一輛車、How to make air pressure powered car等，而其他部分皆為獨創。實驗與探討過程中涉及一些物理相關的概念，為了能更正確的針對實驗結果進行討論，我們需先進行相關概念的研究，包含了角動量、功等。







一、角動量：是物體的位置向量和動量的乘積，通常寫做 $L=r \times p$ 。 L 表示角動量， r 表示物體的位置向量； p 表示動量。

二、功：作用力與物體沿作用力方向的位移的乘積，稱為功。 $W = F \times d$ ， W 為功，單位為焦耳（J）； F 為作用力，單位為牛頓（N）； d 為位移，單位為公尺（m）。

貳、研究設備及器材

※本研究所有實驗相關照片均為作者/指導老師所拍攝

(一)測量器材：





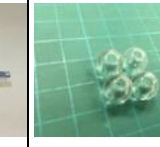
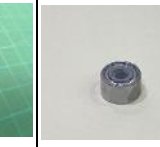
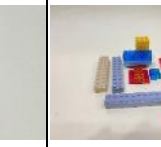

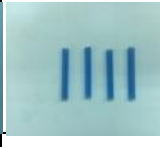



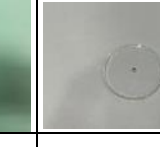

					
電子秤	轉速器	捲尺	拉力秤	砝碼	黏土

(二)製作工具：

					
剪刀	刀片	鋸子	鋼尺	研磨機	鑽孔機
					
熱熔槍	油性簽字筆	原子筆	切割墊	AB膠	強力膠

					
割圓器	小型電鑽	透明膠帶	尖嘴鉗	砂紙	保麗龍膠

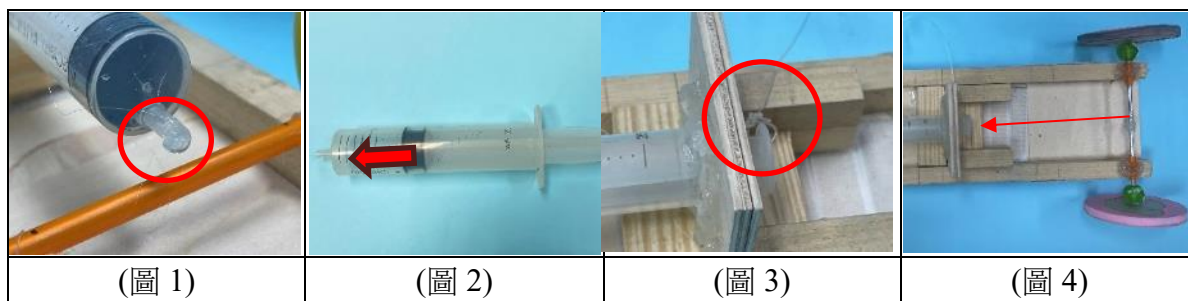
三、裝置材料：

						
木板	木條	鐵製車軸	針筒	串珠	培林	樂高積木
						
木製輪胎	塑膠管	氣球	魔鬼氈	釣魚線	壓克力輪胎	粗橡皮筋

參、研究過程方法和結果

一、空氣動力車前進原理：

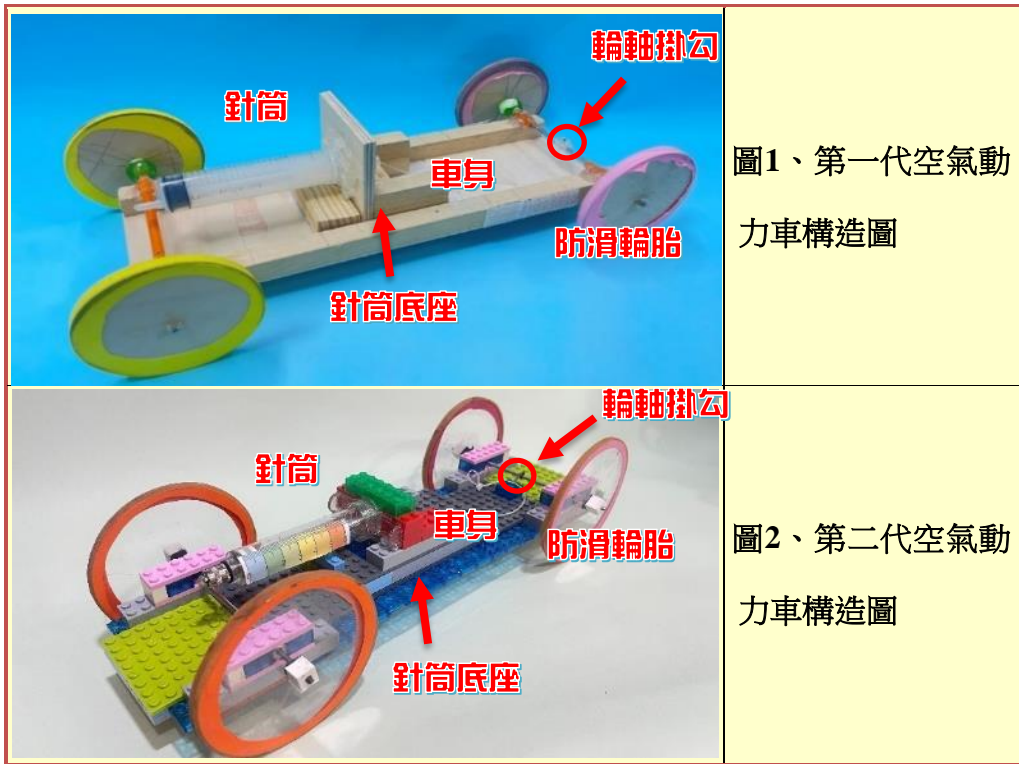
空氣動力車前進的原理，是利用將針筒的前端塞住(圖1)，把針筒的推桿往後拉帶動活塞，當活塞遠離針筒前端的時候，因為大氣壓力的緣故，使得針筒的內部產生負壓(圖2)，這會使得活塞產生一股向前拉的動力，我們將針筒推桿的尾端綁上繩子(圖3)，讓它帶動輪軸，使它成為車子前進的動力(圖4)，因為這是利用大氣壓力來推動的車子，所以我們就給它稱為空氣動力車。



二、空氣動力車的製作方法：

我們的空氣動力車是參考網路，依照實驗的需求加以改裝。車身的構造分為針筒、針筒底座、車身、車輪、輪軸掛勾等等。但做過多次實驗後發現，木造的空氣動力車，其在針筒的選擇與車身的結構上有諸多的缺失，導致部分實驗結果與我們的假設有所出入，甚至部分不符合物理特性。於是我們重新研究設計並採用樂高積木來製作出全新獨創的空氣



動力車，也換上新的壓克力針筒，使車體更能夠標準化，大大增加了實驗的準確性。




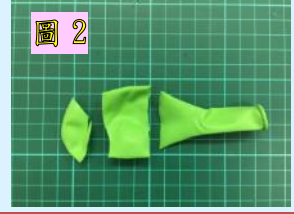




(一) 針筒底座製作：

第一代空氣動力車	第二代空氣動力車
<ol style="list-style-type: none"> 我們將木板裁切有 7 公分×7 公分，並將中間挖洞，裁切成針筒截面積的大小，讓針筒可以穿過。 將針筒底部連接在木板上 用木條固定住木板並增加底座的長度，以便加強針筒推桿拉出時所需的支撐力。再將底座的部分加上魔鬼粘完成。 	<ol style="list-style-type: none"> 採用標準積木製作，盡量壓低高度，減少風速。 底座加長至13公分，以避免實驗時負壓過大，使底座翻起。 拼接積木之前，上熱熔膠加以穩固。 針筒後方積木留空隙讓針筒推桿可以拉伸。






(二) 車身製作方法：

第一代空氣動力車	第二代空氣動力車
	
<ol style="list-style-type: none"> 1. 裁切 10 公分×30 公分的木板，兩側用白膠貼上的方形木條以支撐車身 2. 車身貼上塑膠吸管，讓車軸可以穿進去，再將底座的部分加上魔鬼粘完成。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 採用樂高積木底板製作，共計疊合三層，以加強底盤結構。 2. 拼接積木之前，上熱熔膠加以穩固。

(三) 車輪製作方法：

第一代空氣動力車		第二代空氣動力車	
 <p>圖 1</p>	 <p>圖 2</p>	 <p>圖 5</p>	 <p>圖 6</p>
 <p>圖 3</p>	 <p>圖 4</p>	 <p>圖 7</p>	 <p>圖 8</p>
<ol style="list-style-type: none"> 1. 我們購買以雷射雕刻的直徑 5 公分與 8 公分的木片當作車輪(圖 1)。 2. 將氣球裁切成三段一中間最寬的部分剪下 (圖 2)，套上車輪的邊緣，以增加車輪行進時的摩擦力(圖 3)。 4. 將不鏽鋼衣架的一段用鋸子裁切 15 公分，當作輪軸(圖 4)。 		<ol style="list-style-type: none"> 1. 木製輪子比較脆弱，平整度稍差，所以我們改以雷射雕刻的直徑10公分與15公分的壓克力圓板當作車輪(圖1)。 2. 將氣球裁切剪下，套上車輪的邊緣(圖 2)，再套上同樣寬度的大橡皮圈，以加強車輪行進時的摩擦力(圖3)。 3. 購買15cm長，直徑3mm的鐵棒當作輪軸(圖4)。 	

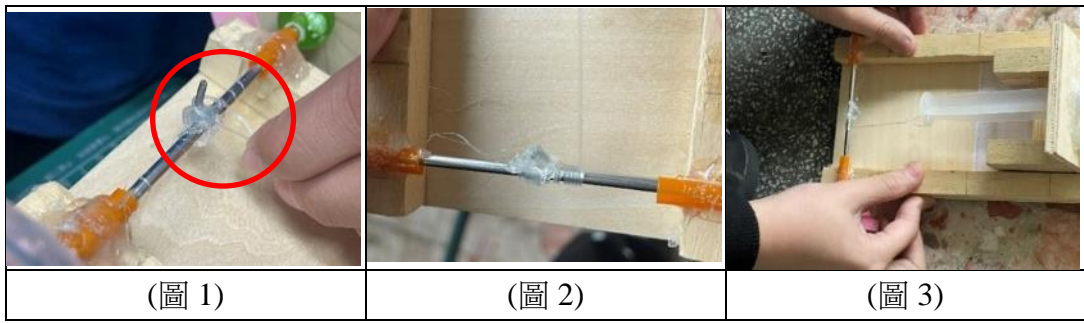
(四) 空氣動力車的組合與安裝：

第一代空氣動力車		第二代空氣動力車	
			
			
<ol style="list-style-type: none">1. 將鐵質輪軸穿入車輪的一端，中間加入串珠，用來避免車輪前進時所產生的摩擦力(圖 1)，最後熱溶膠與以輪胎固定。2. 將後輪軸的中央剪一小段鐵絲黏貼在中間當成掛勾(圖 2)。4. 利用魔鬼粘將針筒底座與車身連結5. 將針筒的推桿底部綁上釣魚線，釣魚線的另一端打成圓圈狀，方便我們勾住輪軸上的鉤子(圖 3)。6. 最後再將針筒前端用熱溶膠封住(圖 4)。這樣空氣動力車就終於完成了。		<ol style="list-style-type: none">1. 將培林嵌入樂高積木之中，上下加上熱溶膠予以固定，當做輪軸的底座(圖5)。2. 將鐵質輪軸穿入輪軸的底座，以AB膠固定，再把輪子黏在輪軸的兩側，外面用方形塑膠塊予以固定(圖6)。3. 將輪軸的底座連同輪胎安置於車體上。4. 直接將針筒底座與車身連結。5. 將針筒的推桿底部鐵桿，綁上釣魚線(圖 7)，釣魚線的另一端打成圓圈狀，方便我們勾住輪軸上的鉤子。6. 最後再將針筒前端用熱溶膠封住(圖8)。這樣空氣動力車就終於完成了。	

三、實驗記錄方式說明

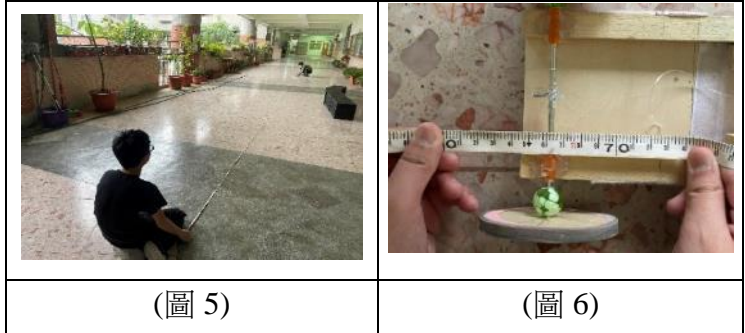
(一) 空氣動力車操作說明：

1. 操作前先將釣魚線的圓環勾住後輪軸中央的勾勾(圖 1)。
2. 將輪子往後轉讓繩子纏繞在輪軸上，要注意纏繞的時候不要讓線重疊(圖 2)，這樣會讓輪子的轉動不夠順暢。
3. 將車子的尾端對出發點，釋放車子的時候要給有一點下壓的力量(圖 3)，以免車輪打滑造成能量的損失而影響實驗的正確度。
4. 檢視車子是否順利前進，如受其他因素影響(如胎皮繩子卡住等)，則再重新啟動。



(二) 空氣動力車行進距離記錄方式：

1. 在空氣動力車行進過程當中，針筒推桿拉住釣魚線帶動後輪軸往前轉動，使空氣動力車前進，當繩子轉動完畢時，末端繩環會脫離輪軸，因為慣性作用的緣故，

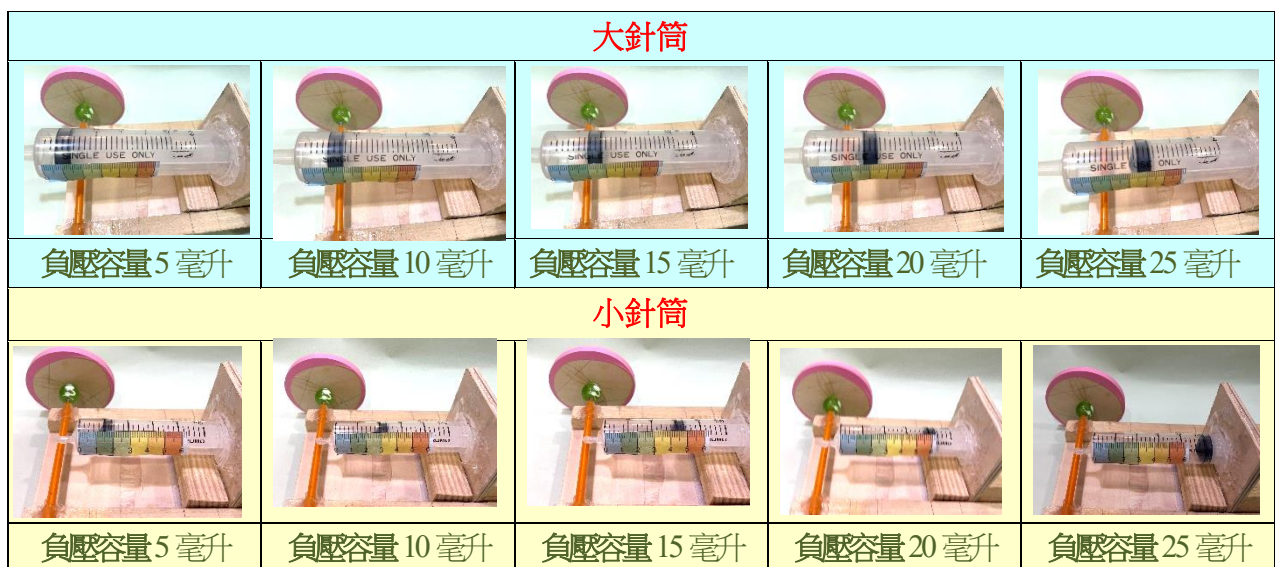


空氣動力車會繼續往前直到停止。我們就用皮尺測量起跑線到車尾的距離(圖 5，圖 6)。

2. 每次採計的測量單位為公尺(用車尾的位置為測量依據)，以**四捨五入方式計算到小數第 2 位**，每個實驗項目做 **12 次**，扣除兩次上下極端值，取 **10 次有效數據**做統計分析。

四、活動一：探討針筒大小不同，負壓容量對木製空氣動力車行進距離的影響。

我們有一個想法，如果針筒的大小(截面積)不同，但針筒內負壓的容量相同，會對空氣動力車的行進距離會有什麼不一樣的改變？。



(一)實驗步驟

- 我們將針筒依照它的容量，把推桿分別拉伸至5毫升、10毫升、15毫升、20毫升、25毫升，共分成五類，用相同容量的負壓，但截面積不同的大、小針筒來做整體比較。
- 因為大針筒與小針筒的重量不同，**要比較兩種動力車時，我們必須讓車體重量一致**。由於採用相同的車架，我們只要量出大針筒含底座(93.55克，圖1)以及小針筒含底座(78克，圖2)的重量，相減就可以算出空氣動力車的重量差距(15.55克)。
- 我們是以2公克重的小砝碼做為平衡的依據，將重量差距 $15.55 \div 2 = 7.775$ ，得知需要7.775個小砝碼，我們取概數8，用8個小砝碼來平衡重量(圖3)，誤差0.225克應可忽略不計。



(二)實驗結果

針筒負壓容量	5毫升	10毫升	15毫升	20毫升	25毫升
大針筒車平均行進距離(m)	1.78	3.47	5.71	7.86	8.83
小針筒車平均行進距離(m)	5.65	9.77	11.65	12.94	13.58

表4-1 各類大、小針筒車負壓容量的空氣動力車平均行進距離記錄表

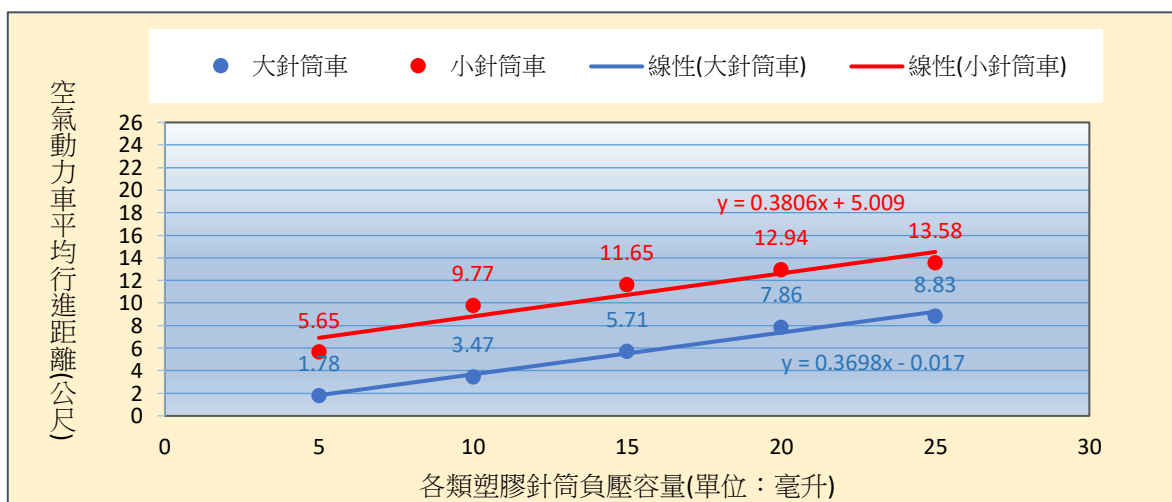


圖4-1 各類負壓容量大、小針筒車的平均行進距離趨勢圖

(三) 發現




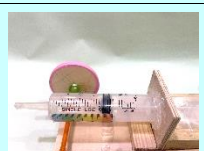




1. 大、小針筒車都是負壓容量越大，行進距離越遠。
2. 圖上方程式X項係數，代表著趨勢線的斜率，可以看出隨著負壓容量增加行進距離的增加趨勢。
3. 如果針筒內負壓容量相同，**小針筒車的行進距離會比大針筒車行進距離明顯比較遠。**

五、活動二：探討針筒大小不同，推桿拉伸長度對木製空氣動力車行進距離的影響。

老師告訴我們，同樣的大氣壓力之下面積越大的力量就越大。所以我們想知道，如果針筒變大了之後，在截面積變大的情形之下，**同樣的拉伸長度的針筒推桿，對於空氣動力車的行進距離是否也會有增加的情況。**

(一)、實驗步驟

1. 我們使用**截面半徑 1.5 公分**，大針筒，與**截面半徑 1 公分**，小針筒進行實驗，比較針筒大小不同其推桿**拉伸長度**與行進距離的關係。
2. 將空氣動力車分別置換大針筒和小注射進行實驗，大小針筒分別將推桿往後拉 1 公分、2 公分、3 公分、4 公分、5 公分、6 公分，共分為 12 組。
3. 我們將直尺列印成紙條，貼在針筒上，幫助我們識別推桿拉伸的距離。
4. 因為大小針筒的重量不同，所以用砝碼來平衡大小針筒不同的空氣動力車重量。

大針筒					
					
推桿拉 1cm	推桿拉 2cm	推桿拉 3cm	推桿拉 4cm	針推桿拉 5cm	針推桿拉 6cm
小針筒					
					
推桿拉 1cm	推桿拉 2cm	推桿拉 3cm	推桿拉 4cm	推桿拉 5cm	針推桿拉 6cm

(二)實驗結果

推桿拉伸長度	1cm	2cm	3cm	4cm	5cm	6cm
大針筒車平均行進距離(m)	3.36	5.62	8.34	9.37	10.28	10.96
小針筒車平均行進距離(m)	2.73	4.95	8.14	10.32	11.79	12.88

表5-1 各類拉伸長度之大、小針筒車平均行進距離記錄表

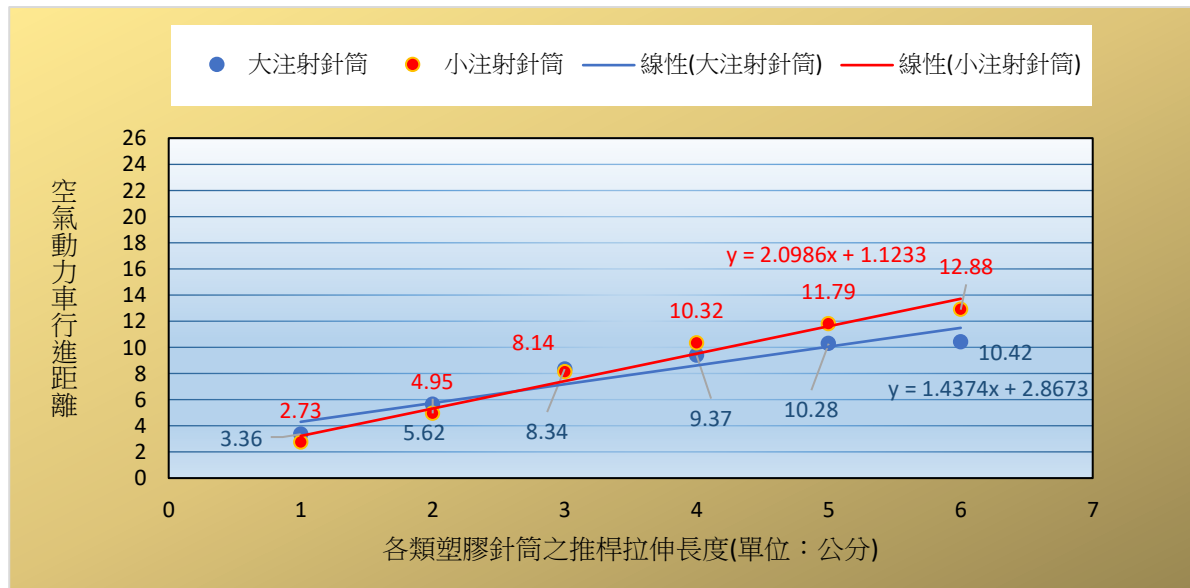


圖5-1 各類拉伸長度之大、小針筒車平均行進距離平均行進距離趨勢圖

(三)發現

1. 大、小針筒車針筒推桿的拉伸長度越長，行進距離越遠。
2. 大、小針筒車隨著針筒推桿的拉伸長度增加，行進距離增加的幅度卻有減少的趨勢。
3. 小針筒車隨著針筒推桿的拉伸長度增加，行進距離增加的幅度比大針筒車大。
4. 如果推桿的拉伸長度4~6公分後，小針筒車的行進距離比大針筒車的行進距離更長。

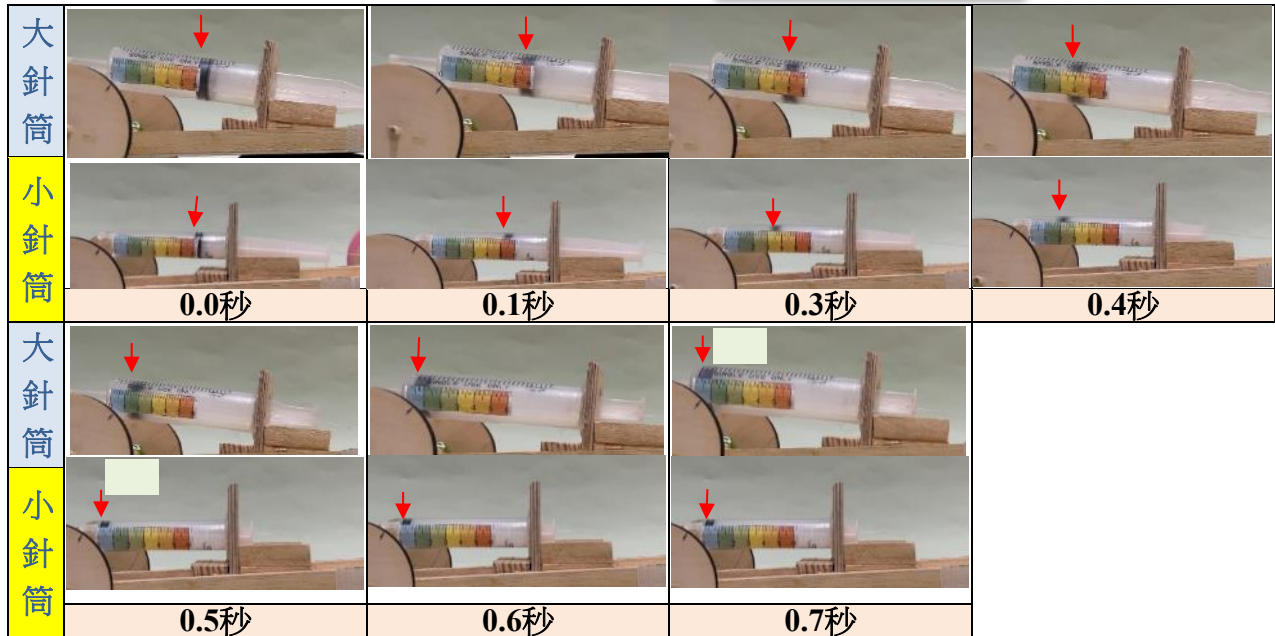
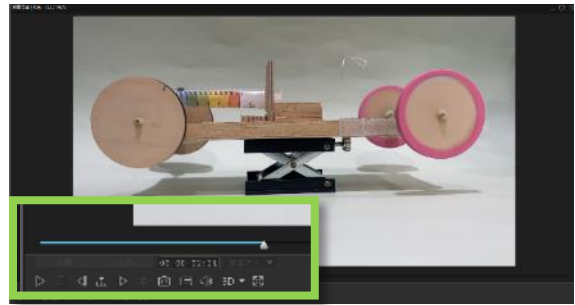
六、活動三：木製空氣動力車針筒與動力傳遞之研究分析。

在活動二的時候我們發現，截面積比較大的針筒車，在同樣的推桿拉伸長度之下反而沒有比截面積小的針筒車行進距離來得遠，這跟我們一般所認知大針筒比較有力，空氣動力車會行進的比較遠，好像有所的差異，這令我們感到好奇，為了找出原因，我們進行了以下的探究與實驗。

(一)針筒推桿活塞運作時間的探究：

1. 我們將空氣動力車架高，觀察大、小針筒推桿活塞推桿被拉出後縮回的情況，拍成影

片，使用威力導演軟體，利用定格截圖的方式(影片1秒有30個畫格，所以每3個畫格就是0.1秒)，找出推桿拉至6公分放開後回到原位所需花費的時間。



2. 我們計算出大針筒的推桿退回去原位的花了0.7秒，但小針筒的推桿只花了0.5秒，這表示小針筒推桿退回的速度比較快，大針筒在力量的傳遞上可能不如小針筒來得好。

(二)針筒推桿帶動輪子旋轉時間的探究：

1.為了證實我們的推論，我們讓大、小針筒帶動輪子做轉動時間測量，如果力量較大的輪子轉動的時間應該會比較長。我們分別以大、小針筒將針筒車進行實驗，將推桿往後拉1公分、2公分、3公分、4公分、5公分、6公分，共分為12組，利用拍攝影片配合撥放軟體，記錄輪子轉動從開始到結束的時間，每一類測量4次，扣掉極端值取平均數。

2.實驗結果：

推桿拉伸長度	1cm	2cm	3cm	4cm	5cm	6cm
大針筒車輪子轉動時間(秒)	9.1	11.4	13.2	14.1	14.8	15.3
小針筒車輪子轉動時間(秒)	8.5	10.7	12.3	14.7	16.2	18.3

表6-1 各類拉伸長度之大、小針筒車之輪子平均轉動時間記錄表

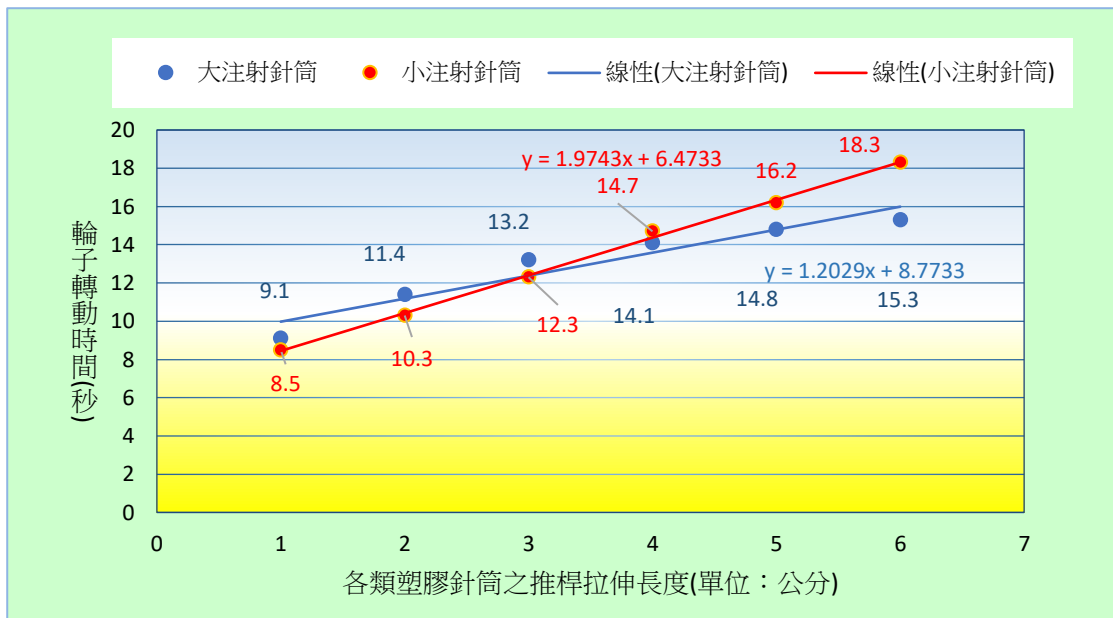


圖6-1 各類推桿拉伸長度之大、小針筒車之輪子平均轉動時間趨勢圖

3. 發現：

(1)推桿拉伸長度(1~3公分)大針筒轉動帶動輪子轉動的時間較長；推桿拉伸長度(4~6公分)

小針筒轉動帶動輪子轉動的時間較長。

(2) 小針筒車隨著針筒推桿的拉伸長度增加，輪子轉動時間增加的幅度比大針筒車大。

(三)空氣動力車輪子轉速的探究：

1. 為了進一步驗證小針筒所帶動輪子產生的角動量較大，我們利用雷射測速器來測量大小針筒所帶動輪胎的平均轉速最大值，我們在輪子上貼上感應貼紙(圖)，各測量5次如果有極端值就捨棄重做求平均值，四捨五入至整數位。



2. 實驗結果：

推桿拉伸長度	1cm	2cm	3cm	4cm	5cm	6cm
大針筒車輪子轉速最大值(rpm)	780	1011	1368	1745	2048	2294
小針筒車輪子轉速最大值(rpm)	672	937	1241	1870	2287	2530

表6-2 各類推桿拉伸長度之大、小針筒車之輪子每分鐘轉速最大值記錄表

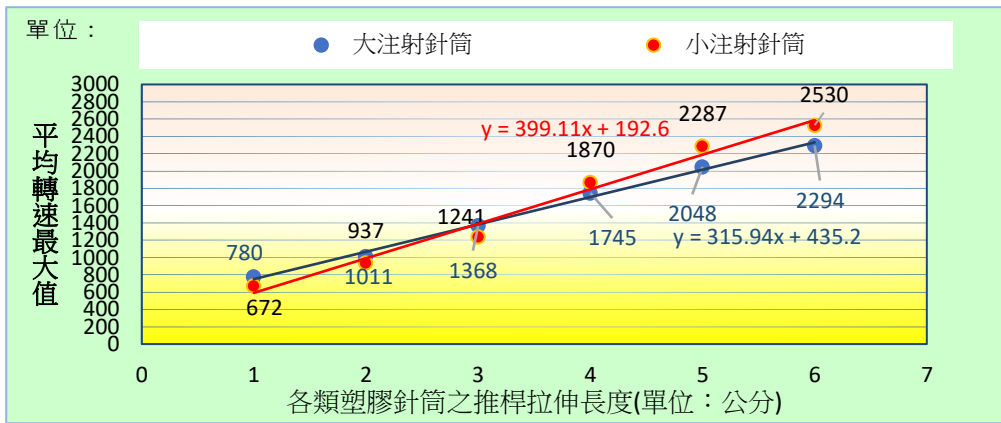
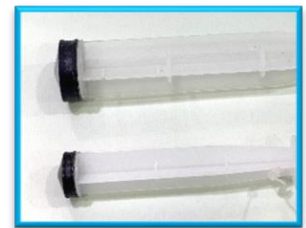


圖6-2 各類推桿拉伸長度之大、小針筒車之**每分鐘輪子轉速**趨勢圖

發現：小針筒帶動車輪轉速的最大值，拉伸長度短時(1~3公分)會小於大針筒，但推桿伸長至4公分後，轉速明顯大於大針筒。

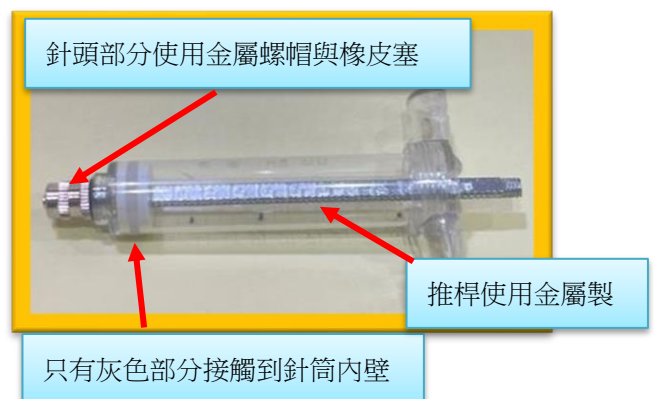
- 3.由以上實驗推究其原因，我們觀察了針筒的構造後，**發現大針筒推桿的活塞寬度較大而且與針筒內側的接觸面積也比較多**，所以移動時產生的摩擦力，可能阻礙了針筒拉桿的縮回的速度進而影響了負壓所產生的拉力。



七、活動四：二代空氣動力車的研發與誕生-樂高積木空氣動力車。

找出了小針筒行進距離比較遠的原因之後，我們便想要改良我們的空氣動力車。針對木造空氣動力車的三項缺點，我們對於第一代空氣動力車進行了改造。

- 針筒的改造**：由於原來的大針筒推桿橡皮塞的摩擦力過大，導致針筒在拉伸過程當中力量受到阻礙；多次使用之後橡皮塞出現伸縮不靈活的情況，所以我們花了很多的時間去找到適合的針筒，終於發現一款用壓克力(塑鋼)製作的針筒，它的針筒前端有**螺絲與橡皮塞可以加強密合度**，推桿裡面的橡皮塞改用**矽膠**，接觸針筒內側的面積也較小，**延展性與密合度也大大的提升**。



- 車身的改造**：由於舊的空氣動力車是木製的，在手工測量制作的情況之下，偏斜與不平衡在所難免，於是我們改採用樂高積木來製作車身，它的好處是可以依據我們的需要來

做改變，在平衡與重量的分配上也比較好調整。更重要的是在他們原來的針筒底座的安裝上，比原來用魔鬼沾的方式密合度增加很多。

3.輪軸與車輪的改造：

(1)第一代木製空氣動力車輪軸與車身的摩擦力比較大，我們找了適當大小的培林，將其嵌入在積木中，以減少輪軸轉動時的摩擦力，增加旋轉的圈數。

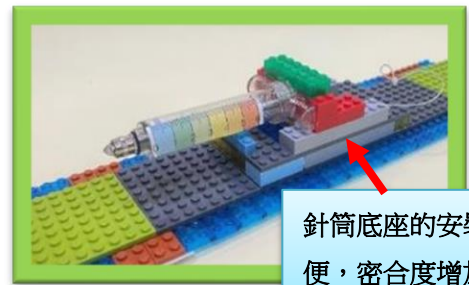
(2)原來木製的輪胎我們是直接包上氣球皮，但發現氣球皮過薄，容易磨損，摩擦力也比較不足，二代我們改採硬度較高寬度0.5mm的壓克力來當做新式的輪胎，包上氣球皮之後，再加上特製的0.5mm寬版橡皮圈套住，用來增加車輪的抓地力。

(3)從木製空氣動力車發現，針筒車的拉力過強，在釋放車輛的時候，如果沒有將車輛適度的下壓，摩擦力不足，車胎有時會有快速轉動情況，導致針筒產生的能量太早被釋放出來，無法被有效地被運用，因此在二代空氣動力車我們加大了輪子的直徑。原來的5公分與8公分兩種木造輪胎改成10公分與15公分的壓克力輪胎。這樣輪胎與地面摩擦力增加之後所產生的力矩，就能夠避免拉力過大導致啟動之初空轉的情況。

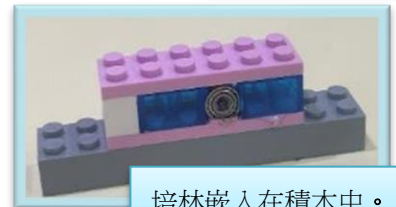
(4)由於積木可拆卸的特性，也使得我們在更換大小輪子上方便了許多不必重新製造新的車身，而且能夠保持重量的一致性。

八、活動五：二代空氣動力車針筒與動力傳遞之研究分析。

二代空氣動力車製做完成之後，我們就利用與活動三相同的方式進行探究以驗證是否二代空氣動力車在各項性能上有所提升。



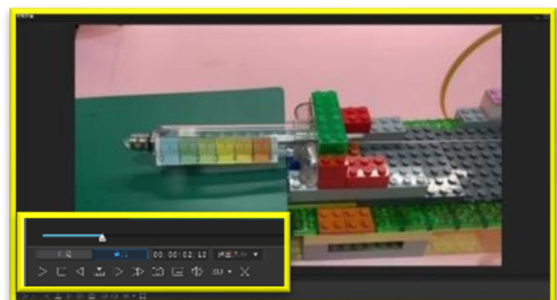
針筒底座的安裝方便，密合度增加。



培林嵌入在積木中。

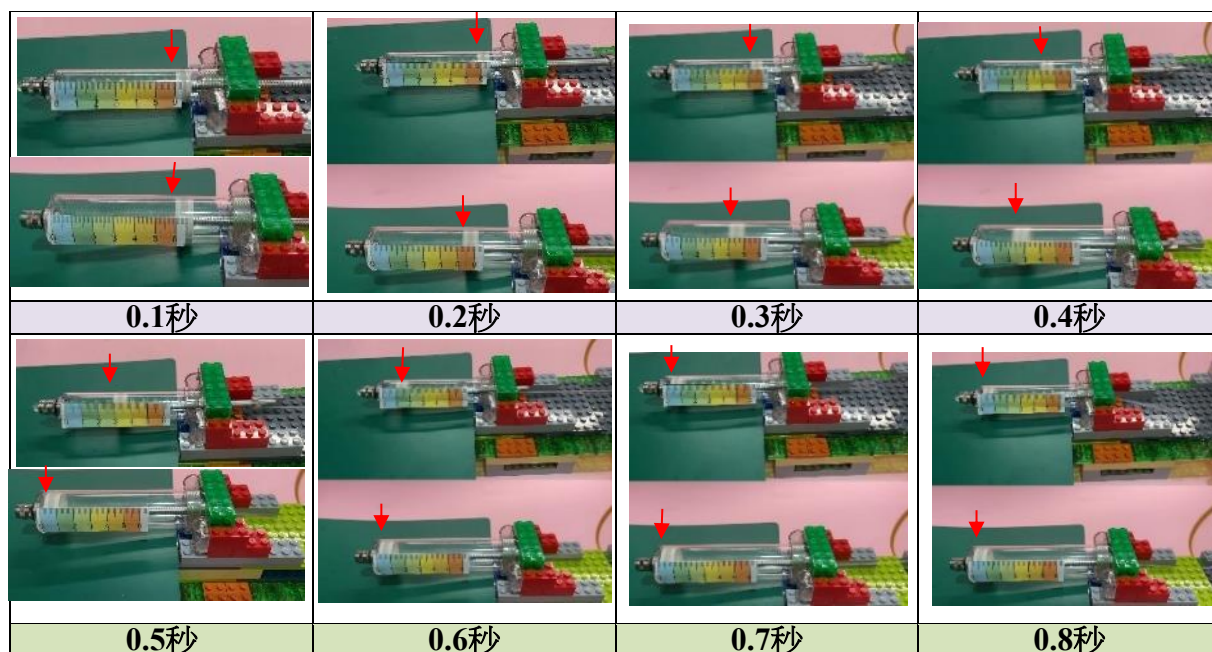


厚橡皮圈包覆在車輪外。



(一) 二代針筒推桿活塞運作時間的探究：

- 我們將二代空氣動力車以積木架高，讓輪胎懸空，用與活動三相同的方法，找出推桿拉至6公分放開只回到原位，所需花費的時間。



- 我們計算出大針筒的推桿退回去原位的僅花了0.5秒，但小針筒的推桿只花了0.8秒，這表示大針筒推桿退回的速度比較快，這表示改良後的新式大針筒在力量的傳遞上比小針筒來得好很多。

(二) 二代針筒推桿帶動輪子旋轉時間的探究：

- 接著我們測量大、小針筒帶動輪子來做轉動時間的測量，來證明新式的二代大針筒的確比小針筒有力量。我們分別以大小針筒將空氣動力車進行實驗，將推桿往後拉1公分、2公分、3公分、4公分、5公分、6公分，共分為12組，利用拍攝的影片配合威力導演軟體，記錄輪子轉動從開始到結束的時間，每一類測量5次取平均數至小數第一位。

2. 實驗結果：

推桿拉伸長度	1cm	2cm	3cm	4cm	5cm	6cm
大針筒車輪子轉動時間(秒)	75.3	88.6	97.4	108.9	122.7	137.4
小針筒車輪子轉動時間(秒)	52.6	69.7	81.1	91.3	99.3	105.0

表8-1 各類拉伸長度之大、小針筒車之輪子平均轉動時間記錄表

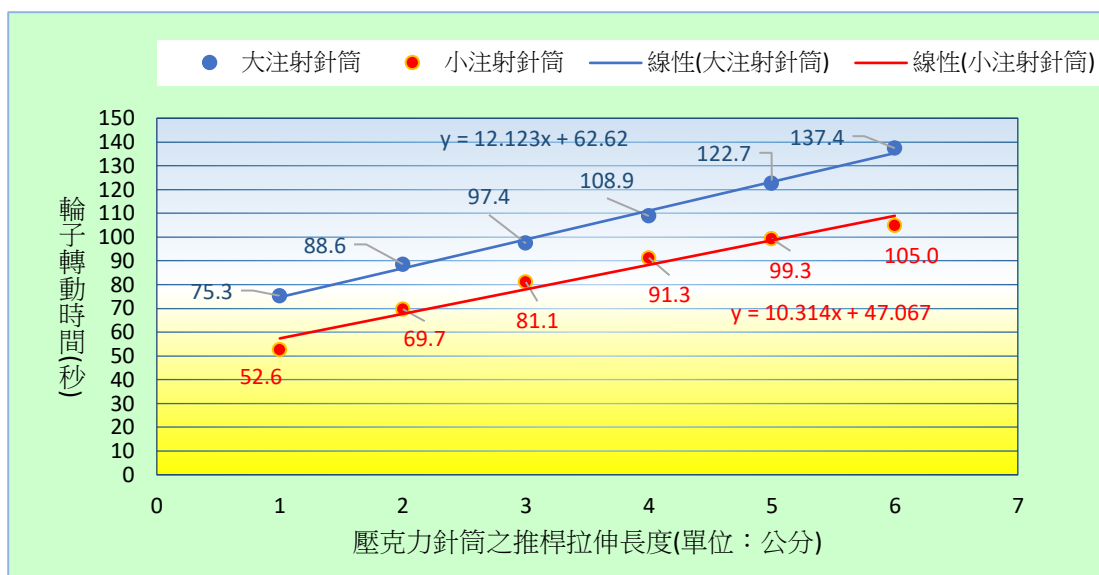


圖8-1 各類拉伸長度之大、小針筒車之輪子平均轉動時間記錄表趨勢圖

3.發現：跟舊式針筒相比較起來，新式針筒帶動輪子轉動時間有非常明顯的提升，實驗顯示大針筒動輪子的轉動的時間比小針筒較長，比起舊式針筒，比較合乎一般正常情況。

(三)二代空氣動力車輪子轉速的探究：

1. 我們利用雷射轉速器來測量二代的空氣動力車大小針筒所帶動輪胎的平均轉速最大值，我們在輪子上貼上感應貼紙(圖)，各測量5次如果有極端值就捨棄重做求平均值至整數位。



2. 實驗結果：

推桿拉伸長度	1cm	2cm	3cm	4cm	5cm	6cm
大針筒車輪子轉速最大值(rpm)	645	810	1160	1432	1804	2115
小針筒車輪子轉速最大值(rpm)	493	775	907	1279	1638	1844

表8-2 各類推桿拉伸長度之大、小針筒車之輪子每分鐘轉速最大值記錄表

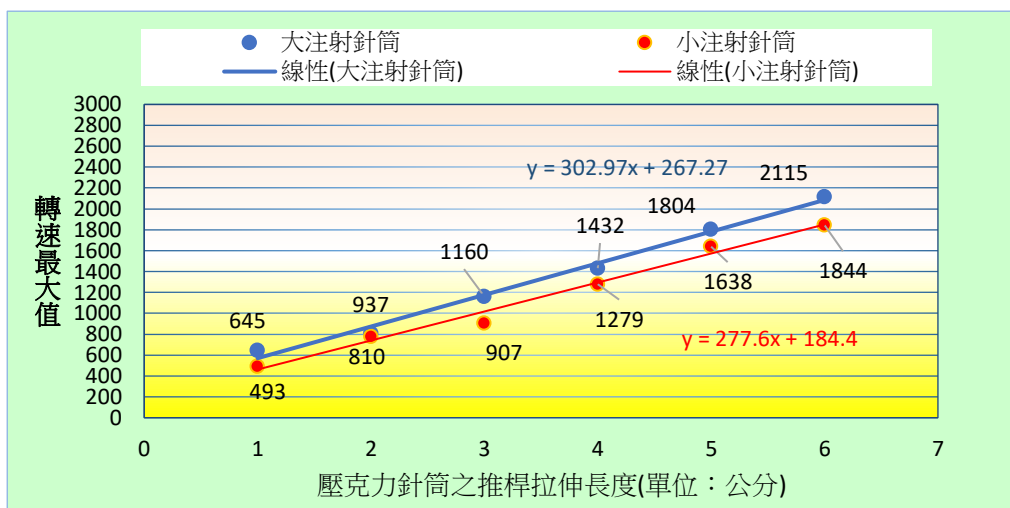


圖8-2 各類推桿拉伸長度之大、小針筒車之輪子轉速趨勢圖

4. 發現：二代大針筒帶動車輪平均轉速的最大值，均大於小針筒，也再次證明大針筒拉動輪子所產生的力量較大。

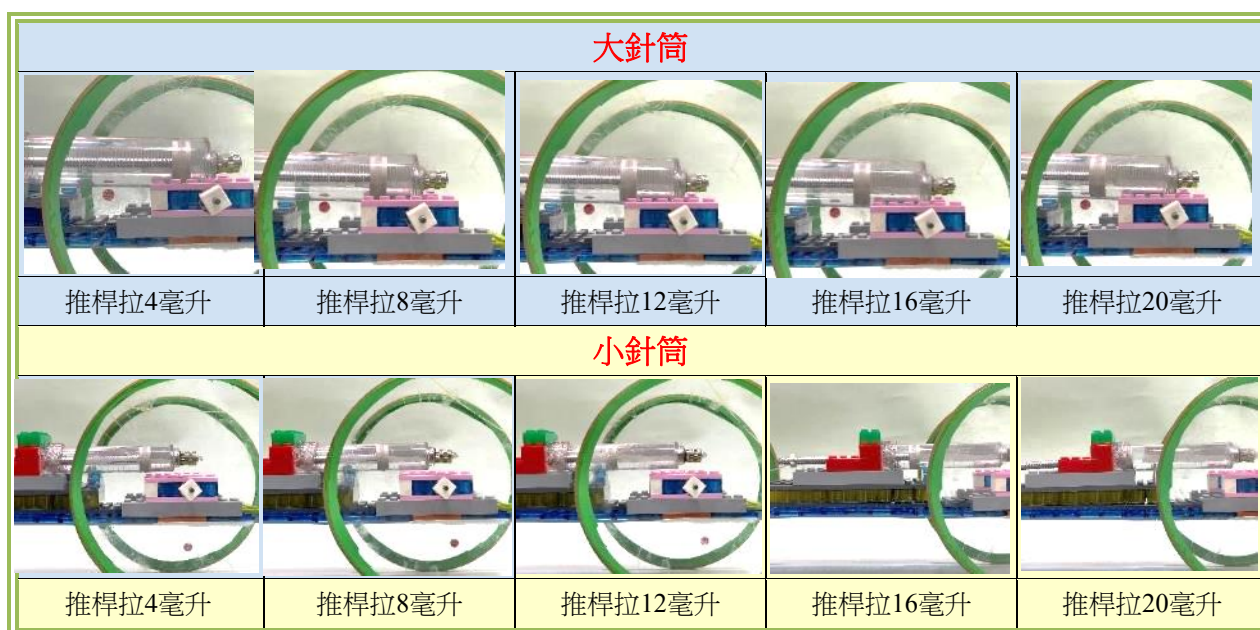
有上面的實驗當中，可以證明我們二代的新式大針筒力量大於二代小針筒，合乎一般的物理原理，所以接著就可以用我們的二代積木動力車來繼續進行實驗探究。

九、活動六：探討針筒大小不同，負壓容量對二代積木空氣動力車行進距離的影響。

二代空氣動力車完成之後，我們將活動一的內容重做一遍看看是否結果有所改變。

(一)實驗步驟

1. 因為新式的小針筒最大容量只有20毫升，我們一樣分成五類，將針筒依照它的容量，把推桿分別拉伸至4毫升、8毫升、12毫升、16毫升、20毫升。



- 因為我們在測試實驗當中發現，直徑15公分的大輪行進的距離會比直徑10公分的小輪子來的遠，所以實驗使用的是直徑15公分的大輪子。
- 因為大針筒車的重量817.8公克與小針筒車的重量788.6公克有差異，不過只差了29.2公克，我們就秤出29.2公克的零碎積木將其拼在車體中央用來平衡大、小針筒車的重量。

(三)實驗結果

針筒負壓容量	4毫升	8毫升	12毫升	16毫升	20毫升
大針筒車平均行進距離(m)	3.74	7.62	9.33	12.97	15.82
小針筒車平均行進距離(m)	3.62	6.88	10.03	14.32	17.14

表9-1 各類負壓容量之大、小針筒車平均行進距離記錄表

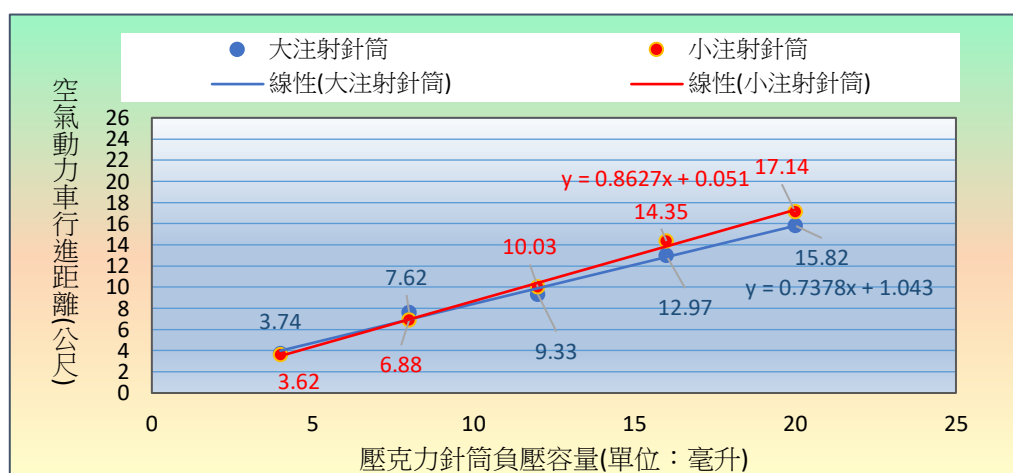


圖9-1 各類大、小針筒負壓容量的空氣動力車平均行進距離趨勢圖

(三) 發現

- 大、小針筒車的針筒負壓容量越大，行進距離越遠。
- 如果針筒內負壓容量相同，小針筒車的行進距離的增加趨勢比大針筒車大。

十、活動七：探討大、小針筒拉桿伸長度對二代積木空氣動力車行進距離的影響。

二代空氣動力車完成之後，我們將活動二的内容重做一遍看看是否結果有所改變。

(一)、實驗步驟

- 將空氣動力車分別置換大針筒和小注射進行實驗，大小針筒分別將推桿往後拉 1 公分、2 公分、3 公分、4 公分、5 公分、6 公分，共分為 12 組。

2. 因為大小針筒的重量差了29.2公克，所以我們同樣用29.2公克的零碎積木將其拼在車體的中央來平衡大、小針筒車的重量。



(二)實驗結果

推桿拉伸長度	1cm	2cm	3cm	4cm	5cm	6cm
大針筒車平均行進距離(m)	5.12	9.09	13.47	18.54	21.73	24.32
小針筒車平均行進距離(m)	2.26	4.63	6.99	8.50	11.87	14.39

表10-1 各類推桿拉伸長度之大、小針筒車平均行進距離記錄表

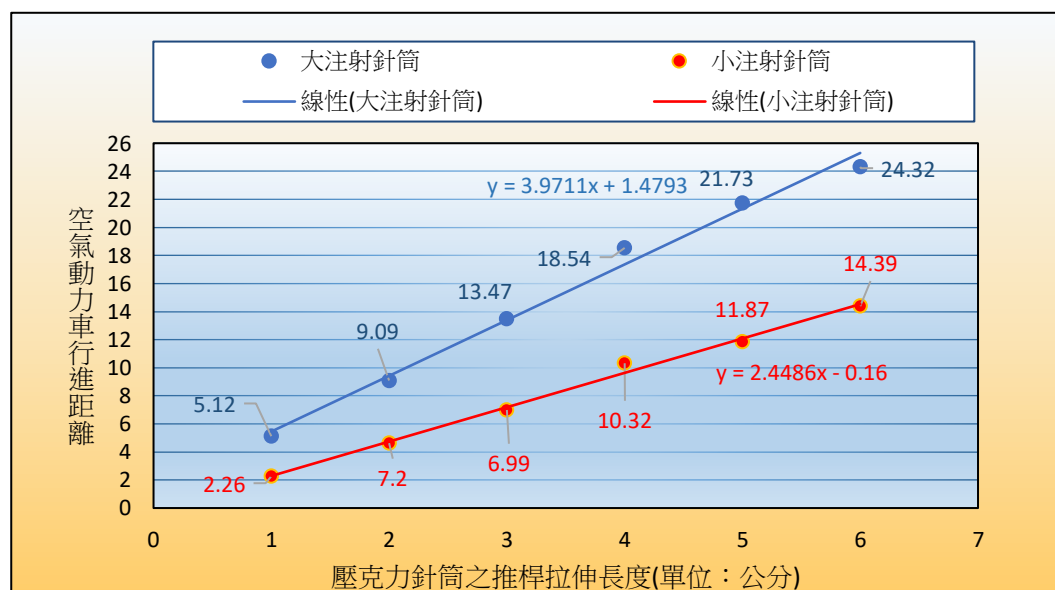


圖10-1 大小針筒推桿之拉伸長度的空氣動力車平均行進距離趨勢圖

(三)發現

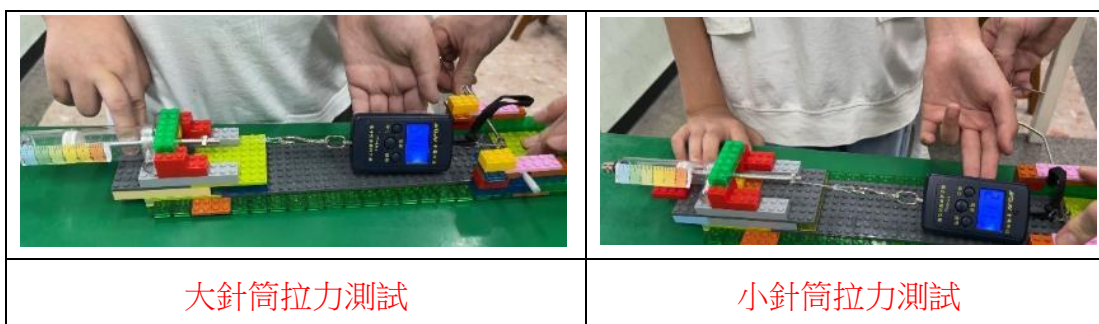
- 1.大針筒車和小針筒車一樣，針筒推桿的拉伸長度越長，行進距離越遠。
- 2.大針筒車和小針筒車一樣，隨著空氣動力車推桿拉伸長度增加，行進距離增加的幅度卻有減少的趨勢。
3. 如果推桿的拉伸長度相同，大針筒車的行進距離比小針筒車的行進距離更長。
4. 隨著空氣動力車推桿拉伸長度增加，大針筒車的行進距離增加的幅度大於小針筒車。
- 5.跟一代空氣動力車比較，二代空氣動力車的大針筒車行進距離有大幅的提升(10.42m→24.32m)，而小針筒車僅提升了一些(12.88m→14.39m)。

十一、活動八：探討大小針筒拉力不同對空氣動力車行進距離的影響

之前的活動我們都只是利用測量轉動時間以及轉速來推斷針筒的所帶動的力量大小，為了想更進一步探討大小針筒的力量，我們對於二代針筒進行的拉力的測試。

(一)實驗步驟

1. 我們設計了一台拉力測試器，構想來自於動力車本身，測試器利用車架當做底盤，將針筒的底座連接在底盤前方，將推桿末端的釣魚線連接著拉力秤，拉力秤的另一端連接著衣架做成的轉軸，隨著轉軸將釣魚線慢慢地向後捲動，中央加上勾勾就會拉伸推桿，中間拉力秤也同時被拉起，此時拉力秤上的讀數慢慢的增加，我們利用手機以腳架架著拍攝，就可以同時拍攝拉桿的拉伸長度以及相對應的拉力值，最後在利用回放定格的方式找出針筒負壓形成的拉力。



2. 我們分別測試大針筒和小針筒推桿的拉伸長度與拉力的關係，分類的方式如同實驗二。
3. 大、小針筒分別來比較，每一個拉力測試4次，扣掉一次極端值，取三次平均值來作為我們測量的結果，以公斤為單位記錄到小數點下兩位。

4. 再將活動二空氣動力車行進距離與推桿拉伸長度的拉力資料重新製成組合圖做比對。

(二)實驗結果

推桿拉伸長度	1cm	2cm	3cm	4cm	5cm	6cm
大針筒拉力(kg)	3.34	4.19	4.63	5.27	5.53	5.83
小針筒拉力(kg)	1.89	2.14	2.37	2.64	2.75	2.86

表11-1 各類推桿拉伸長度之大、小針筒之拉力記錄表

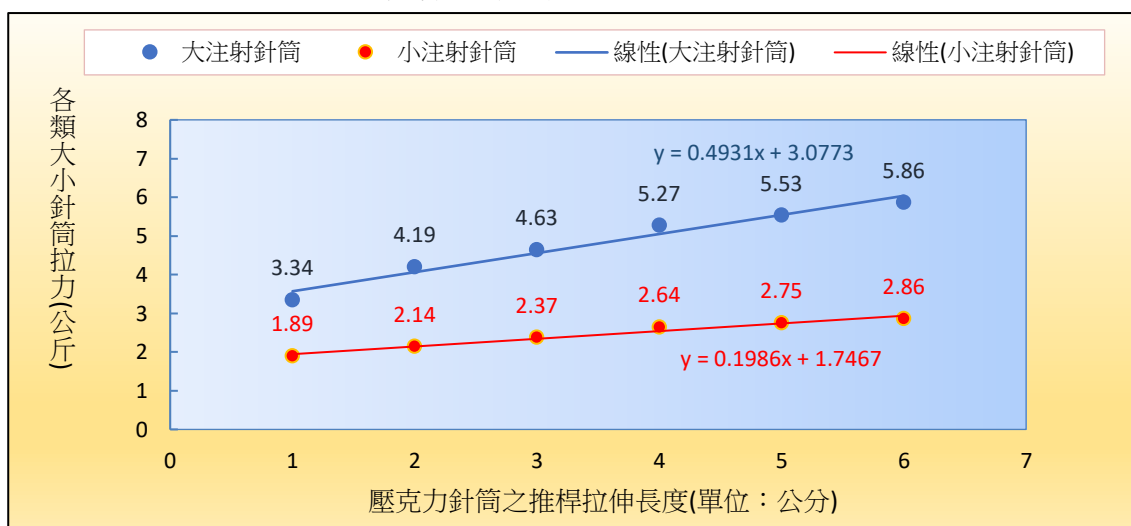


圖11-1 大、小針筒之各類推桿拉伸長度拉力趨勢圖

我們再將活動十各類拉伸長度的針筒動力車行進距離加入綜合比較完成了下列的組合圖

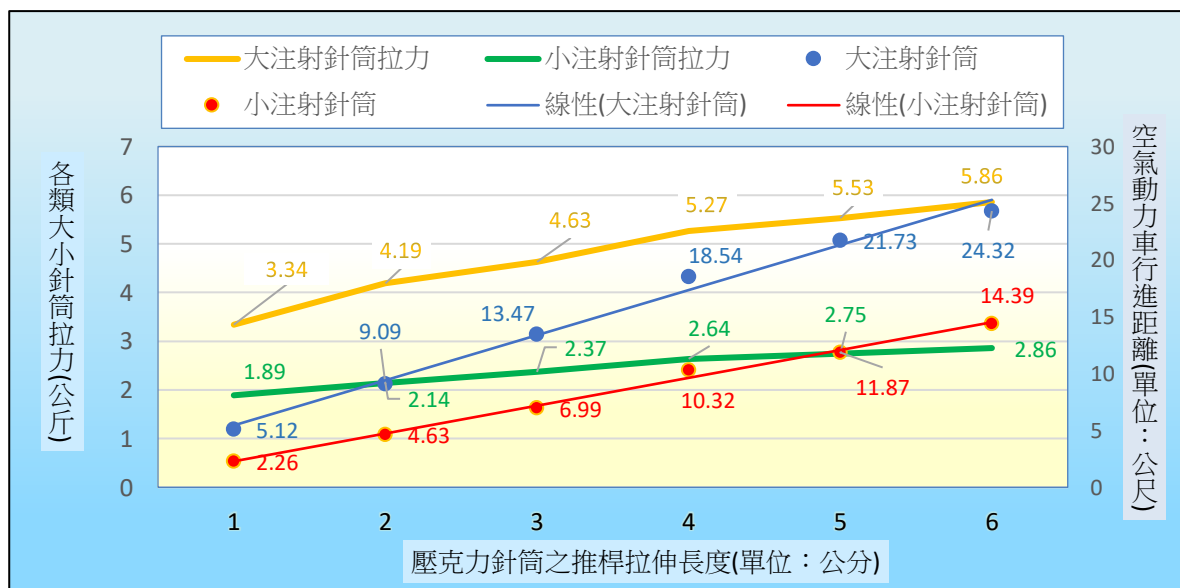


圖11-2 各類推桿之拉伸長度拉力之大小針筒車平均行進距離組合圖

(三)發現

1.大、小針筒車均相同，拉力越大行進的距離越遠。

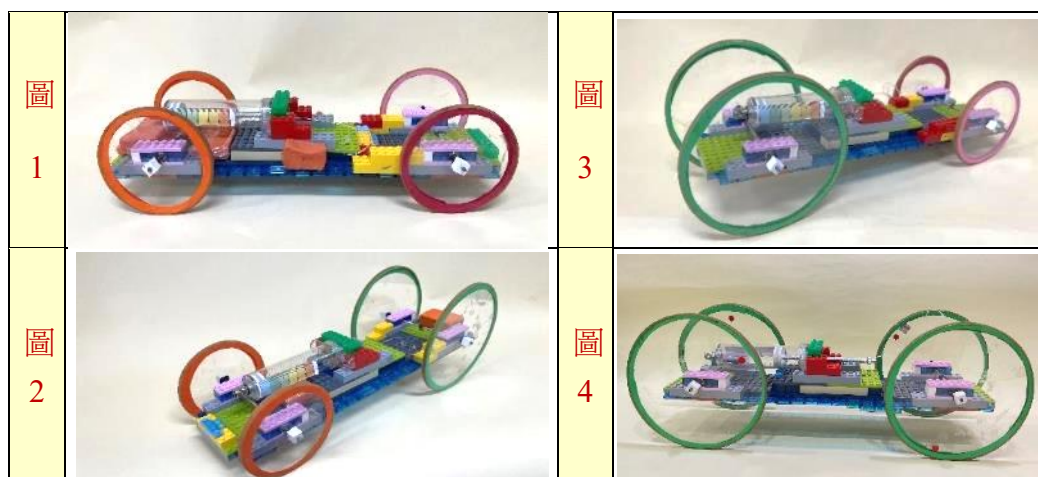
2. 大針筒的推桿拉伸至 3 公分之後，拉伸 4 公分至 6 公分的拉力大約是 5 公斤多，拉力並沒有明顯的再增加；小針筒推桿的拉力也是有相同的趨勢。
3. 隨著推桿的拉伸，空氣動力車拉力沒有明顯的增加，但行進距離卻仍有增加的趨勢，而且大針筒車增加的幅度比小針筒車來得更大。

十二、活動九：探討車輪大小與配置對空氣動力車行進距離的影響。

在做實驗的同時，我們研究了有關車子的結構，發現輪子的大小不同，會影響到車輛抓地的能力。另外，耕耘車前輪小後輪大的輪胎配置也引起我們的興趣，所以我們也想試著利用大小不同輪胎配置來探究，對於空氣動力車的行進距離有什麼影響？

(一)實驗步驟

1. 我們分別以直徑10公分與直徑15分的兩種大小車輪，分別做排列組合，第一類為前後皆為小輪胎(圖1)，第二類為前輪小後輪大(圖2)，第三類為前輪大後輪小(圖3)，第四類為前後皆為大輪胎(圖4)，共分為4個類別。
3. 由於大小輪胎的重量有差異，所以我們利用電子秤來測得各類空氣動力車重量，並使用積木來平衡重量差距，方法如活動二，以避免重量造成的測量誤差。



(二)實驗結果

二代大針筒 空氣動力車	第一類車前輪 小後輪小	第二類車前輪 小後輪大	第三類車前輪 大後輪小	第四類車前輪 大後輪大
平均行進距離(m)	15.82	22.59	18.45	24.32

表12-1 各類車輪配置空氣動力車平均行進距離記錄表

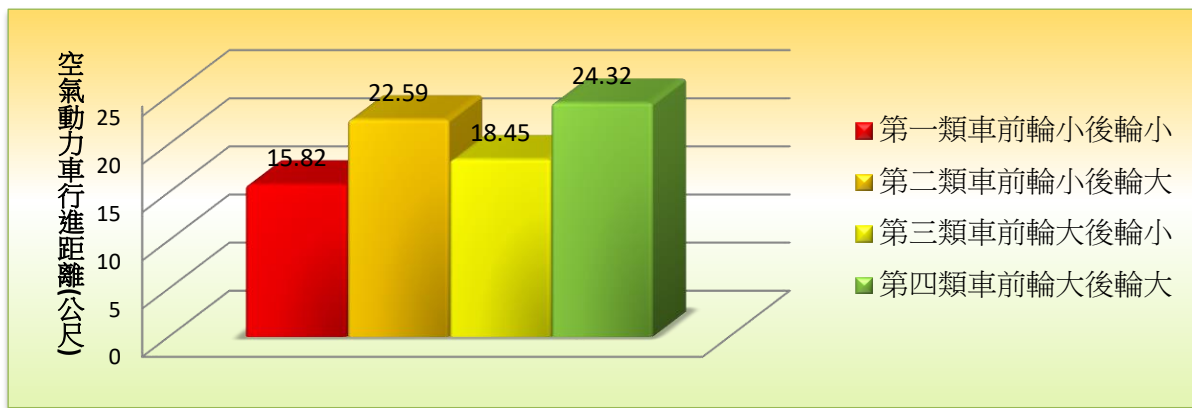


圖12-1 各類車輪配置空氣動力車平均行進距離長條圖

(三) 發現

1. 從表8-1中發現直線行進距離：第四類車輪（前輪大後輪大）> 第二類車輪（前輪小輪、後輪大輪）> 第三類車輪（前輪大輪、後輪小輪）> 第一類車輪（前輪小後輪小）
2. 影響空氣動力車行進距離比較大的因素是在於後輪，後輪較大時空氣動力車的行進的距離明顯增加。

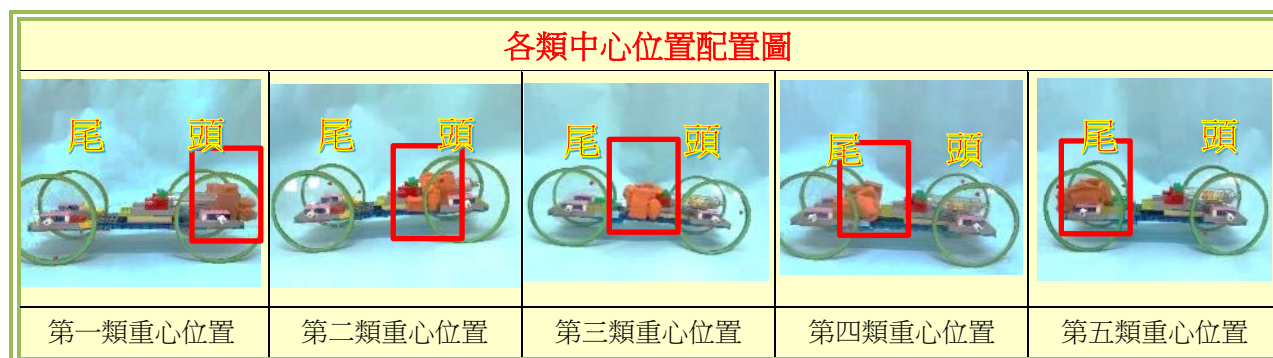
十三、活動十：探討重心不同對空氣動力車行進距離的影響。

我們的二代空氣動力車是以對稱方式設計，針筒底座也裝置在車輛的中央，基本上重心會位於車身的中央位置，但我們想了解車身的重心對於空氣動力車行進距離的影響，決定以黏土來改變車身的重心。



(一) 實驗步驟

我們以車身的長度分成五等份，用黏土在這5個位置上平均分配，採用的黏土重量設定為車身重量817.8公克的1/3，大約是272.6五公克，所以共分成五類車身重心位置。並採用直徑15公分大車輪以及壓克力大針筒來測試。



(二)實驗結果

二代大針筒 空氣動力車	第一類重 心位置	第二類 重心位置	第三類 重心位置	第四類 重心位置	第五類 重心位置
平均行進距離 (m)	18.42	19.10	22.57	21.67	19.87

表13-1 各類重心位置空氣動力車平均行進距離記錄表

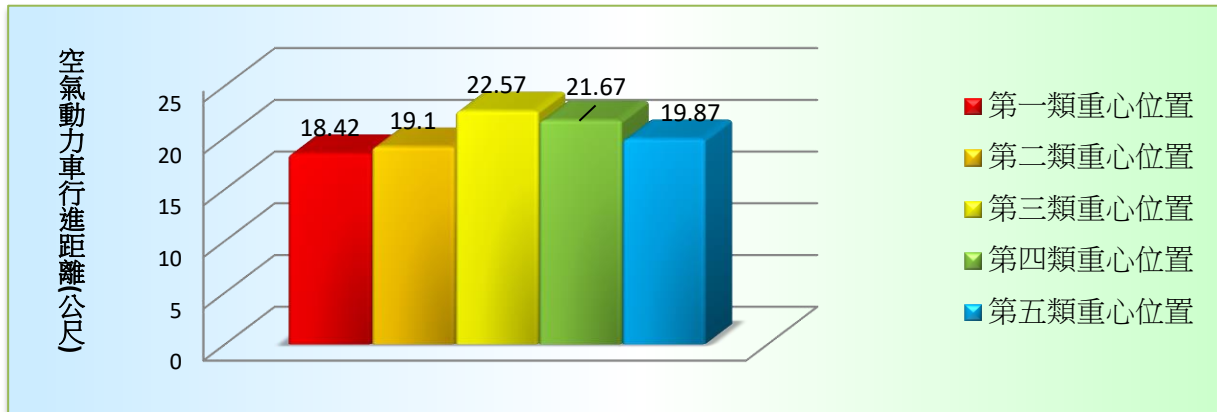


圖13-1 各類重心位置空氣動力車平均行進距離長條圖

(三) 發現

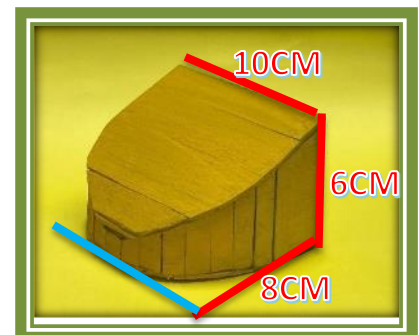
1. 第三類重心位置為中央的空氣動力車行進距離最遠，第一類重心位置最前面的空氣動力車行進距離最近。
2. 重心偏中後方的空氣動力車行進距離會比重心偏前方的空氣動力車行進距離來的遠。
3. 可能是黏土的重量還不夠，所以重心改變對空氣動力車行進距離產生的影響不大，不過仍然能能夠看出趨勢。

十四、活動十一：探討車頭形狀不同對空氣動力車行進距離的影響。

一般車輛在前進的時候會產生風阻。我們想試試看幫空氣動力車裝上不同形狀的車頭，對車子行進距離的影響，我們設計了六種不同的車頭，希望能透過實驗，找出最適合空氣動力車的車頭。

(一)實驗步驟

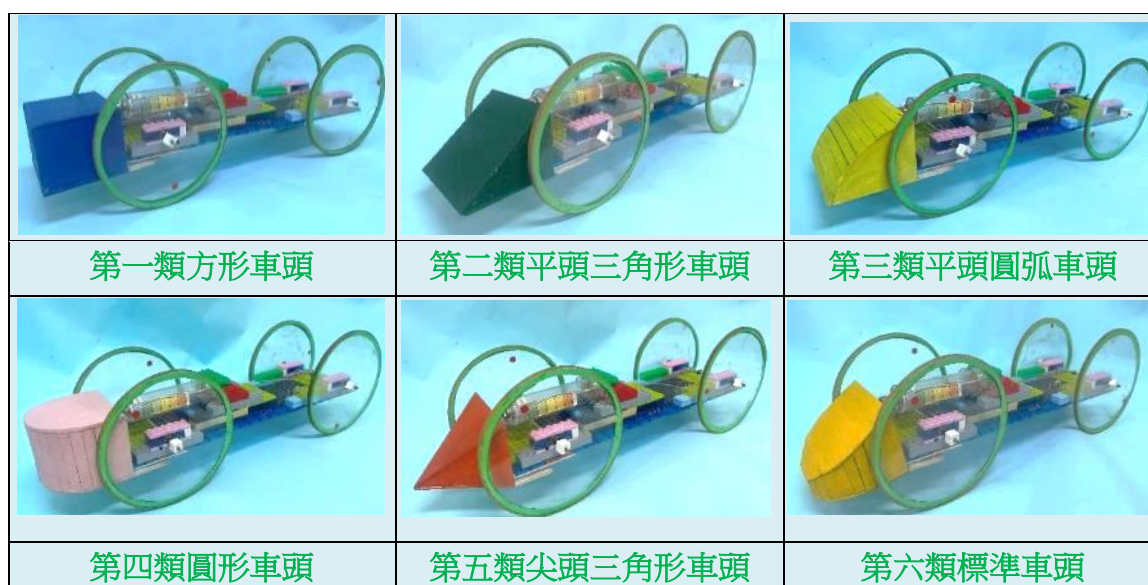
1. 我們設計的原則是以長8公分，寬10公分，高6公分的空間，用飛機木製作出六種不同的車頭形狀，分別為：第



一類方形車頭、第二類平頭三角形車頭、第三類平頭圓弧車頭、第四類圓形車頭、第

五類尖頭三角形車頭、第六類標準車頭，共六類。並採用直徑15公分大車輪以及壓克力大針筒來測試。

2. 車頭底部加裝魔鬼粘方便跟車身黏貼與置換。



3. 因為車頭的重量不同，所以如活動二我們秤出各個車頭的重量之後，再以小積木來補足與最重圓形車頭的重量差距，以減少車頭重量不同而造成的實驗誤差。



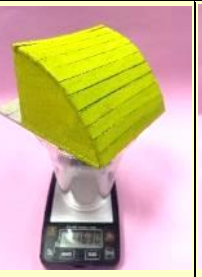


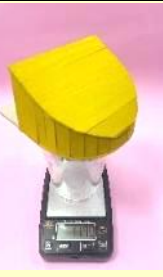
					
第一類方形 17.45克	第二類平頭三 角形11.75克	第三類平頭圓 弧16.3克	第四類圓形 19.25克	第五類尖頭三 角形8.10克	第六類標準車 頭11.70克

圖 14-1 各類車頭形狀重量測量圖

(二)實驗結果

二代大針筒車 車頭	第一類 方形	第二類 平頭三角 形	第三類 平頭圓弧	第四類 圓形	第五類 尖頭三角 形	第六類 標準車頭
平均行進距離 (m)	22.13	24.67	23.01	22.53	25.11	23.42

表14-1 各類車頭形狀的空氣動力車平均行進距離紀錄表

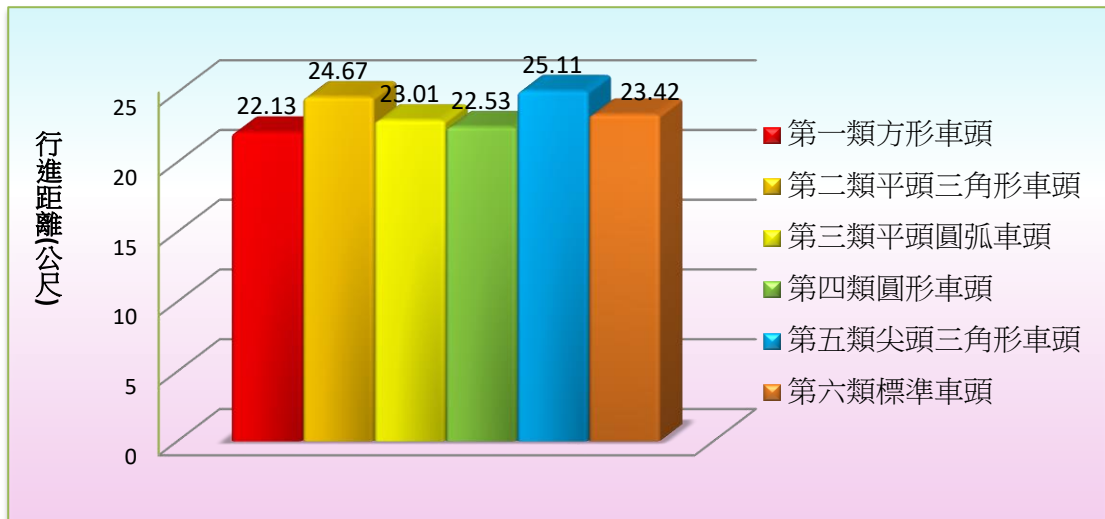


圖 14-2 各類車頭形狀空氣動力車行進距離平均值長條圖

(三) 發現

1. 第五類車頭尖頭三角頭車頭空氣動力車行進距離最遠，且比沒裝車頭時遠。
2. 車頭越趨向於扁平的空氣動力車行進的平均距離會比較遠。
3. 車頭的形狀雖然會影響到空氣動力車的行進距離但總體來說影響不大。

肆、討論

- 一、在製作一代木製空氣動力車的過程中發現，車輪與空氣動力車的車體在行進間會互相摩擦，造成測量距離的誤差變大，經過多方嘗試錯誤後，決定在車輪與車體間加入串珠，大幅降低車輪與車身的摩擦力，而在二代空氣動力車時則是直接加上培林，以減少能量的耗損，讓空氣動力車的行進更遠。
- 二、在實驗中，在進行空氣動力車的行進距離的實驗中發現，後輪車輪的氣球外皮，比較容易產生破損的情形，推究是因為後輪組車軸是空氣動力車的轉動軸，轉動軸在傳動受力時，對後車輪產生較大的摩擦力，易造成後車輪外皮的磨損，這跟日常生活中，後輪驅動車輪後輪摩擦破損較嚴重，有一樣的現象發生，所以我們在二代空氣動力車時則是加上厚橡皮圈，來增加抓地力與耐磨程度。
- 三、在做實驗的時候，我們必須把針筒的前面密封，讓針筒內部產生負壓，但是實驗幾次過後，但多次實驗後，多少會有空氣從針筒活塞滲進，導致實驗結束後推桿的活塞回不到最前面位置，影響到實驗結果。所以每一次實驗完畢之後我們都會檢查，如有空

氣滲入，我們就必須把熱熔膠拆掉重新黏針頭開口。二代空氣動力車的針筒因為密合度較佳，很少有漏氣的情況發生，萬一有漏氣的情況，就將針筒前端是螺絲跟橡皮塞打開再重新拴緊就可以，方便了許多。

四、活動一中空氣動力車塑膠針筒的負壓容量越大，行進距離也會明顯變大，我們推論是因為負壓容量越大，拉力越大，拉桿拉伸長度也較多，纏繞後輪軸圈的圈數多，所以鈞魚線帶動輪軸轉動的作用時間也比較長，行進距離也會比較遠。由趨勢圖斜率觀察，隨著負壓容量越大，大、小針筒車行進距離增加的趨勢也相當一致。

五、活動一中我們發現以同樣負壓容量的大小塑膠針筒比較，小針筒的截面積較小，所以推桿拉伸的長度會比較長，可以讓輪軸纏繞的圈數也比較多，另外，我們在活動三中也得到舊式塑膠小針筒產生的能量(角動量)比較大，所以可以行進比較遠的距離。

六、在活動二中，大、小塑膠針筒的推桿拉伸的實驗，推桿往後拉由 1 公分往 6 公分移動，推桿後拉的距離愈遠，空氣動力車行進距離也皆越遠，實驗結果發現，大、小針筒第六類推桿拉伸 6 公分的空氣動力車跑得的平均距離最遠，依序遞減。

七、在活動二中，當推桿活塞拉伸4~6公分時，小針筒車的行進距離比大針筒車遠，這樣的情況並不合理！所以我們針對針筒推桿活塞運作時間的探究，發現小針筒的推桿退回速度比大針筒快得多，這顯示小針筒帶動車子前進的力量可能比較大，而從針筒推桿帶動輪子旋轉時間與輪子最大轉速的測量顯示，我們也獲得了證實，老師跟我們說這個可使輪子持續旋轉的能量叫做角動量，當推桿活塞拉伸4~6公分時，小針筒帶動輪子的產生的角動量比較大，所以小針筒車會走的比較遠。

八、仔細研究塑膠針筒構造後，發現大塑膠針筒推桿活塞比小針筒推桿活塞寬度較大與針筒內側的接觸面積也比較多，移動時產生的摩擦力可能阻礙了針筒拉桿的縮回的速度，進而影響了負壓所產生的拉力，這應該就是小針筒車能夠贏過大針筒車的原因。

九、在活動三實驗中，發現大針筒車推桿活塞拉伸1~3公分時帶動輪子旋轉時間與輪子最大轉速都比小針筒稍微大一些，原因可能是活塞拉伸的長度1~3公分拉力較小，活塞產生的摩擦力也會較小。

十、因為木造空氣動力車的諸多缺點，導致實驗結果不符合預期，所以我們進行了研發，

製作出一臺獨創的積木空氣動力車，包含：針筒使用了更高精密度的壓克力針筒，車身採用標準的積木，針筒底座也減少了體積，加了培林減少輪軸的摩擦力，並且在原本的輪胎外皮上加了橡皮筋增加了輪胎的摩擦力。我們充分利用積木可拆卸的特性，標準化了車身，並且在後續實驗時替換輪胎上獲得了極大的方便性。

十一、製作好的積木空氣動力車，經過與活動三一樣的測試發現，包含不論二代大、小針筒，帶動輪子轉動時間均大幅度的增加，這表示培林起了很大的作用，減少了轉動的摩擦力。在轉動最大速度測試方面，木質輪胎的轉速比較快，推究其原因應該是輪胎重量的關係，但壓克力輪胎比較重的話產生的轉動慣量會比較大持續的會比較久。

十二、如果針筒變大，相對的輪子也要加大才能夠避免能量的損耗，與地面的摩擦力較大能使得力量可以穩定的輸出，避免打滑，也才能夠幫助空氣動力車走更遠的距離。

十三、在改良壓克力針筒之後重新做了拉力的測試發現拉力越大，行進的距離就可以越遠，而且大針筒的力量大，行進的距離就更遠了，這樣比較符合正常的物理狀態，老師跟我們說力量乘以作用的距離就等於功， $W=F*S$ ，我們將針筒拉力與推桿拉伸的長度比對，發現做功越多，行進的距離就越長，雖然推桿拉伸長度在4~6公分以後拉力增加不大，但推桿仍然拉伸了比較長的距離，作的功較大，車子可以行進的較遠。

十四、活動十二中發現直線行進距離：第四類車輪（四輪大輪）> 第二類車輪（前輪小輪、後輪大輪）>（前輪大輪、後輪小輪）>（四輪小輪）。如果車子採用直徑較大的車輪，空氣動力車的行進距離較遠。輪軸是槓桿的變形運用，所以車輪的直徑如果變大，雖然是較費力，但是車輪變大，行進的距離會變遠。當車輪較小時，轉動車輪雖然較省力，但觀察到空氣動力車的拉力釋放會瞬間導致拉動車輪的後輪軸轉速過快，甚至產生空轉情形，無法有效的讓後車輪轉動貼地平順的情狀發生！因為空氣動力車是後輪驅動的車，後輪是大輪，行進距離較遠。前輪若是小輪，實務上是可以增加轉向的靈活性。而實驗中發現前輪若是大輪在行進距離會更好，只是兩者差異不算大。

十五、在重心的探討上面，我們發現重心在中央，行進距離最遠，原因應該是輪胎能夠平均受力，摩擦力能夠充分的運用；重心偏中後方的針筒車因為傳動軸在後方，加速的能力比較好，行進距離次遠；重心偏前方車頭的針筒車，前輪則可能會產生較大的摩擦力

而影響了前進的距離，不過整體而言影響不大。

十六、從活動十四實驗中，發現尖頭三角形車頭的空氣動力車行進距離是最遠的，再來是平頭三角形，而方形的車頭走得最近，這與我們預先猜想的一致，原因是尖頭三角形能夠把風阻降到比較低。裝了尖頭三角形車頭與未裝車頭的空氣動力車比較：發現裝了車頭的空氣動力車重量雖然增加，但風阻降低之後，行進的距離反而更遠，推測原因跟可能與空氣動力車的構造有關，因為空氣動力車的中央有一個針筒底座，而架設針筒的木板剛好與車身前進方向垂直，前進時會造成較大的風阻，所以我們在設計空氣動力車的車頭時刻意把高度調成與底座底版的高度一致，希望能夠降低前進時的風阻，實驗後發現雖然距離差別不大，但的確有效。

伍、結論

- 一、空氣動力車針筒的負壓容量越大，行進距離也會越大。但隨著空氣動力車針筒的負壓容量增加，行進距離增加的幅度卻有減少的趨勢。
- 二、如果針筒內負壓容量相同，一、二代小針筒車的行進距離大多都比大針筒車行進距離較遠。但二代積木大、小針筒車大小針筒間的行進距離較為接近。
- 三、針筒推桿拉伸長度相同但大小不同，空氣動力車行進距離會有明顯差異。
 - (一)比較大、小針筒推桿拉伸長度由近到遠的趨勢變化，發現推桿拉伸長度與行進距離呈正相關。
 - (二)一代木製小針筒車行進距離，在推桿的拉伸長度4~6公分後比大針筒車的行進距離更長；二代積木大針筒車行進距離，在推桿的拉伸長度1~6公分時，皆比大針筒車的行進距離更長
- 四、木製一代空氣動力車，因為大針筒的摩擦力較大導致行進距離反而比小針筒空氣動力車來得近。
- 五、比較輪子轉動持續時間，二代積木針筒車均大於一代空氣動力車。而一代木製空氣動力車，因為輪子重量較輕，剛開始時轉速雖然較大，但輪軸摩擦力大的關係，反而轉動的時間比較短。
- 六、比較壓克力針筒拉力後發現，針筒拉力越大，推桿拉伸的長度越長，做的功越大，行

進平均距離越遠。

- 七、二代積木動力車行進的距離遠大於一代積木動力車的主要原因是減少了輪軸的摩擦力以及增加的輪子的半徑與重量，使輪胎與地面的滾動的摩擦力加大，讓輪子可以穩定的輸出動力。
- 八、**重心在中央的空氣動力車，因為輪胎能夠平均受力行進距離最遠。**
- 九、**影響空氣動力車行進距離比較大的因素是在於後輪，**後輪較大時輪軸轉一圈能夠行進的距離比較遠，也較能避免能量的耗損，讓空氣動力車的行進的距離明顯增加。
- 十、**尖頭三角形車頭的空氣動力車行進距離是最遠的，**所以車頭越趨向於扁平與尖銳的空氣動力車平均的行進距離會比較遠。
- 十一、綜合以上實驗結果，空氣動力車各項最佳的數據如下：採用**50 毫升大針筒，長 30 公分的積木車體，尖頭三角形車頭，直徑 15 公分的輪胎。**最後，我們終於做出了屬於我們的「究極空氣動力車」，YA！

陸、參考資料

- 一、自然與生活科技～四年級上學期第三單元：運輸工具與能源(民 104)。台南，翰林。
- 二、自然與生活科技～六年級下學期第一單元：力與運動(民 104)。台南，翰林。
- 三、2 年一測！前驅動前輪耗損快 後驅則相反，取自：
<http://news.tvbs.com.tw/life/news-623537/>
- 五、Owen 來造 | 真空動力車 (上) 如何用針管來驅動一輛車，取自：
<https://www.youtube.com/watch?v=QkVCQ8qjVIo>
- 七、不用汽油也能開! 超可愛"空氣車"來了 | 中視新聞 20170428，取自：
<https://www.youtube.com/watch?v=dfjlTM-T7go>
- 八、How to make air pressure powered car | Atmospheric pressure powered car | science project，取自：
<https://www.youtube.com/watch?v=WphilMvY-Ro>
- 九、引擎擺放位置解析，取自：
<https://www.kingautos.net/200875>

【評語】 080104

本研究探討大氣壓力推動活塞做功形成動力的針筒空氣動力車。整個工作改變的多個變因來討論車子的運行情況。研究內容包括負壓容量，推桿拉伸長度改變，如何減少摩擦力，車子重心位置的改變等。工藝很精巧，討論的面向也很完整。唯一比較缺乏的地方是沒能對於實驗的結果能有更進一步的理論說明或是較具科學的基礎來陳訴。若能簡易的理論分析搭配相關的改進方案，會是個更佳成果。

作品簡報



衝吧！

究極針筒空氣動力車

壹、前言

一、研究動機：

兩年前，我們四年級時，上到了自然與生活科技「運輸工具與能源」時。老師帶領我們製作了橡皮筋動力車。隔年，探討力與運動的相關知識，我們接觸到了空氣動力車的影片，對它能夠如此快速前進的原理感到好奇。老師解釋了空氣動力車上的針筒是如何利用大氣壓力來推動車輪前進，並協助指導我們透過動手實驗來找出影響空氣動力車能夠跑得更遠的各項因素！

二、研究目的：

- (一) 探討針筒大小不同，負壓容量對木製空氣動力車行進距離的影響。
- (二) 探討針筒大小不同，推桿拉伸長度對木製空氣動力車行進距離的影響。
- (三) 木製空氣動力車針筒與動力傳遞之研究分析。
- (四) 二代空氣動力車的研發與設計。
- (五) 二代積木空氣動力車針筒與動力傳遞之研究分析。
- (六) 探討針筒大小不同，負壓容量對二代積木空氣動力車行進距離的影響。
- (七) 探討針筒大小不同，拉桿伸長度對積木空氣動力車行進距離的影響。
- (八) 探討大小針筒拉力不同對積木空氣動力車行進距離的影響。
- (九) 探討車輪大小與配置對積木空氣動力車行進距離的影響。
- (十) 探討重心不同對積木空氣動力車行進距離的影響。
- (十一) 探討車頭形狀不同對積木空氣動力車行進距離的影響。

三、文獻探討

在本研究所採取的空氣動力車原型，包括：Owen 來造真空動力車 - 如何用針管來驅動一輛車、How to make air pressure powered car 等影片，其他部分皆為獨創。而實驗與探討過程中涉及一些物理相關的概念，包含了角動量、功等。

貳、研究設備及器材

- 一、測量器材：電子秤、塑膠量杯、轉速器、捲尺、拉力秤、黏土等。
- 二、製作工具：剪刀、刀片、鋸子、鋼尺、研磨機、熱熔槍、小型電鑽、透明膠帶、尖嘴鉗、砂紙等。
- 三、裝置材料：木板、木條、塑膠管、氣球、魔鬼氈、木製輪胎、培林、樂高積木、氣球、魔鬼氈、釣魚線等。

參、研究過程方法和結果

一、空氣動力車前進原理：

空氣動力車是利用將針筒前端塞住，針筒推桿往後拉產生負壓，產生一股向前的拉力，帶動輪軸使它成為車子前進的動力。

二、空氣動力車的各部構造：

我們的空氣動力車是參考網路，依照實驗的需求加以改裝製作，依照製作的演進共分為兩代。

三、實驗記錄方式說明

(一) 空氣動力車操作說明：

1. 操作前將釣魚線的圓環勾住後輪軸中央的勾勾(圖1)。
2. 將輪子往後轉讓繩子纏繞在輪軸上，不要讓線重疊(圖2)。
3. 將車子的尾端對出發點，釋放車子的時候要給有一點下壓的力量(圖3)。

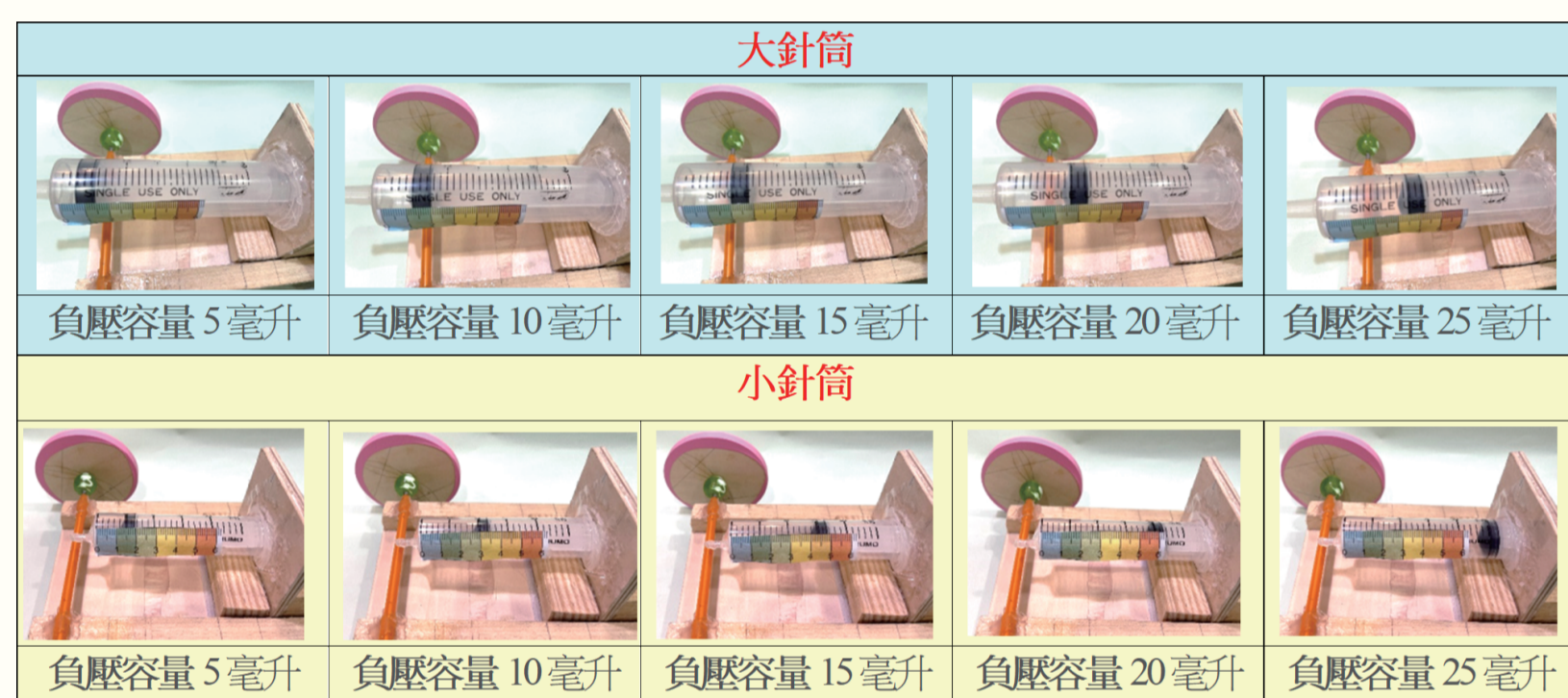
(二) 空氣動力車行進距離記錄方式：

1. 我們就利用皮尺測量起跑線到車尾的距離(圖4)。
2. 每次採計的測量單位為公尺(用車尾的位置為測量依據)，以四捨五入方式計算到小數第2位，每個實驗項目原則上做12次，扣除兩次上下極端值，共計實驗10次。

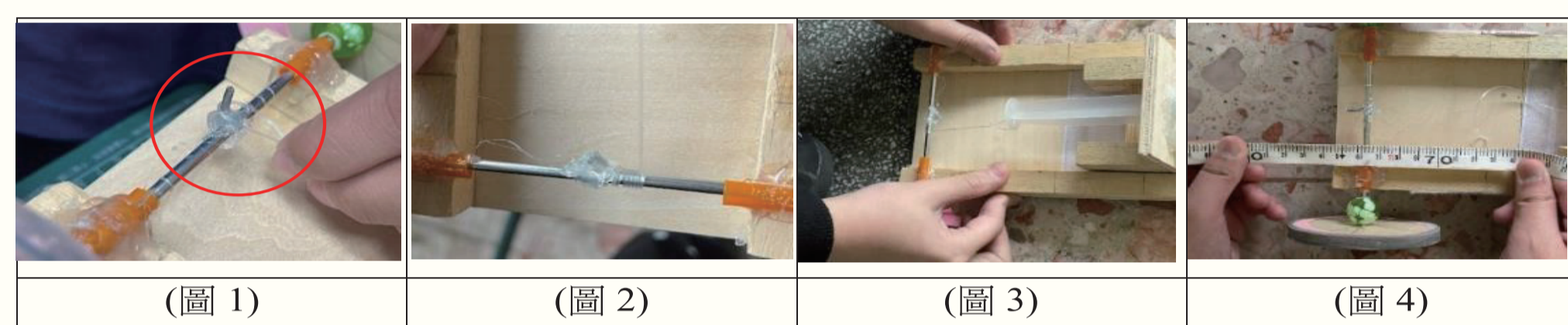
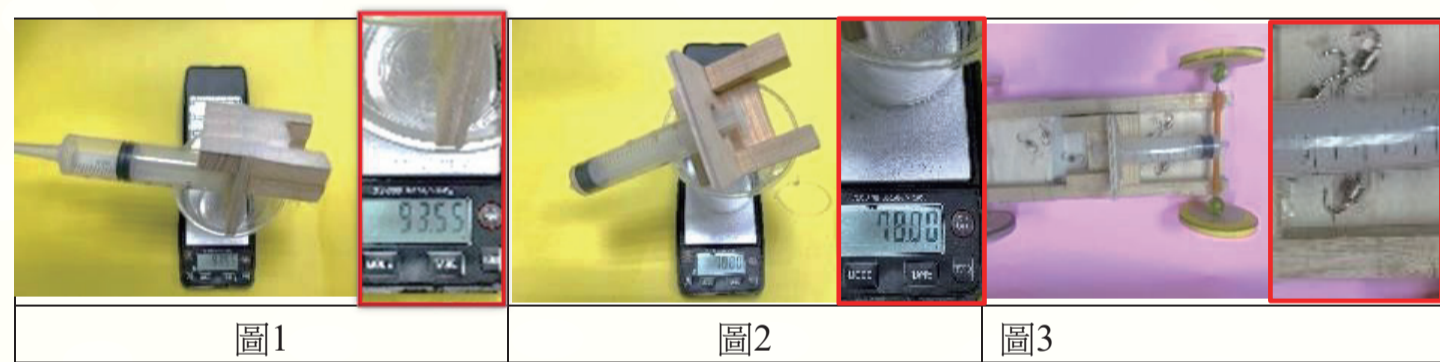
四、活動一：探討針筒大小不同，負壓容量對木製空氣動力車行進距離的影響。

(一) 實驗步驟

1. 我們將針筒依照它的容量，把推桿拉伸長度分成五類，並利用截面積不同的大、小針筒來做整體比較。



2. 因為大針筒與小針筒的重量不同，我們算出重量差距(15.55克)，用8個2公克重的小砝碼來平衡(圖1-3)。



(二) 實驗結果

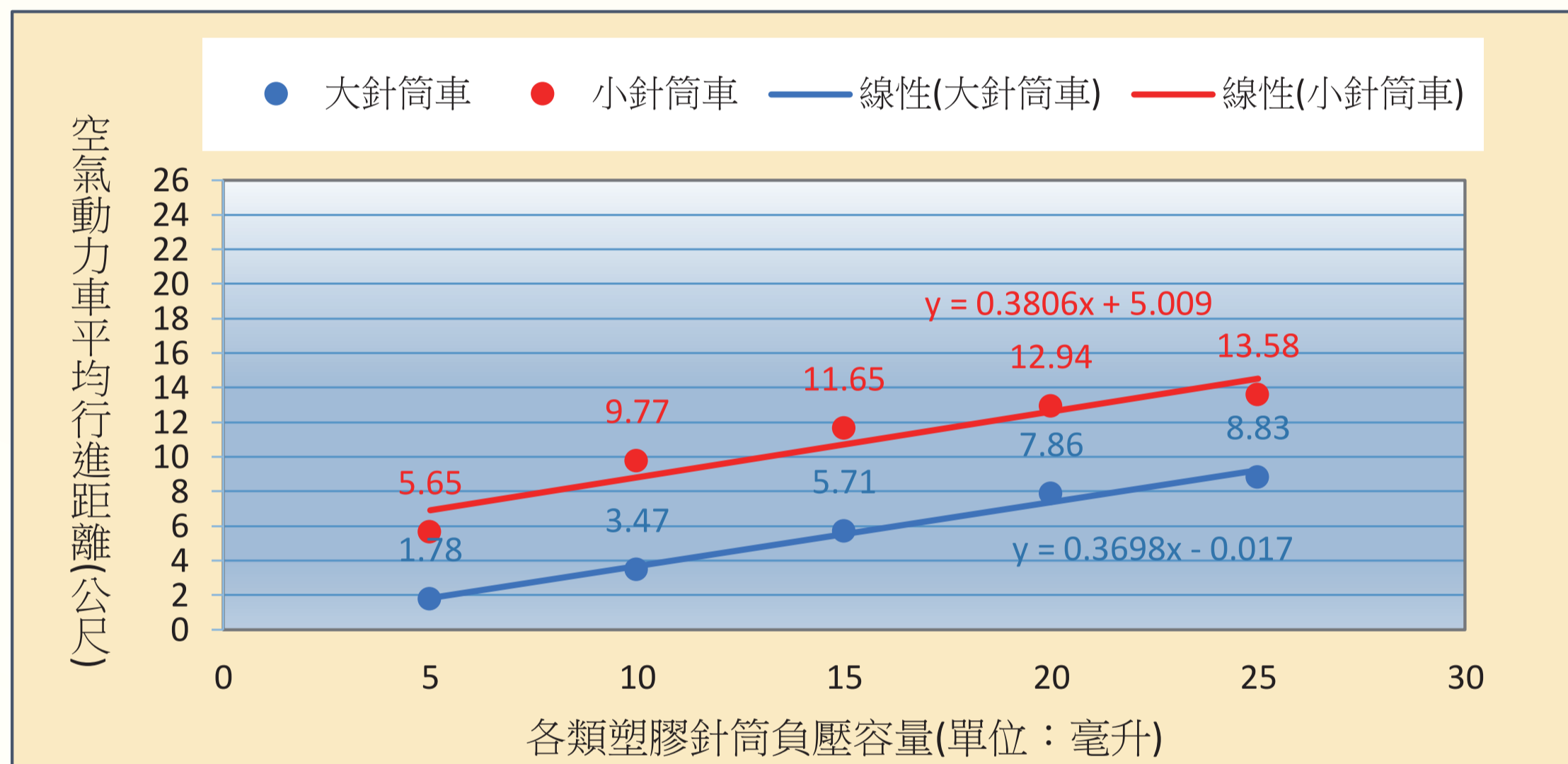


圖 4-1 各類負壓容量大、小針筒車的平均行進距離趨勢圖

(三) 發現：負壓容量相同時，小針筒車的行進距離會比大針筒車行進距離明顯比較遠。

五、活動二：探討針筒大小不同，推桿拉伸長度對木製空氣動力車行進距離的影響。

(一) 實驗步驟

1. 我們使用內徑3公分與內徑2公分的大、小針筒進行實驗，比較針筒大小不同其推桿拉伸長度與行進距離的關係。

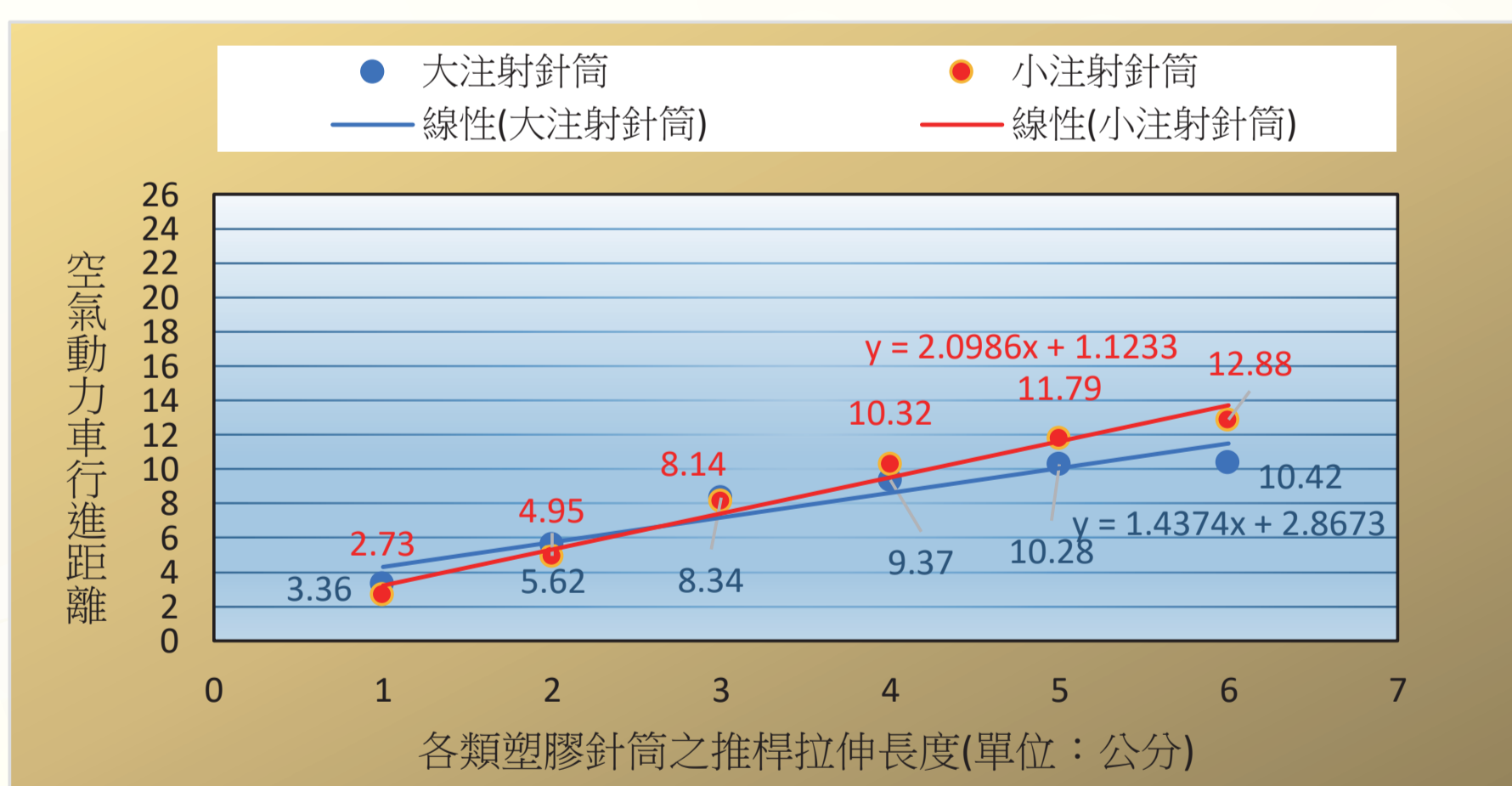


圖 5-1 各類拉伸長度之大、小針筒車平均行進距離趨勢圖

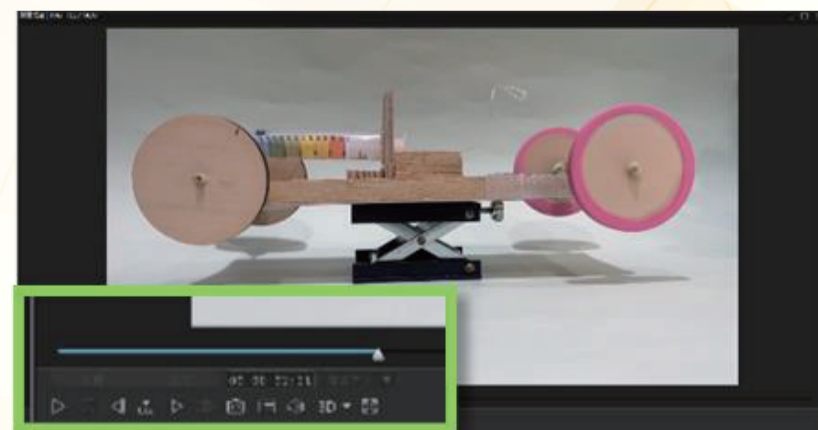
(三) 發現：小針筒車隨著針筒推桿的拉伸長度增加，行進距離增加的幅度比大針筒車大。

六、活動三：木製空氣動力車針筒與動力傳遞之研究分析。

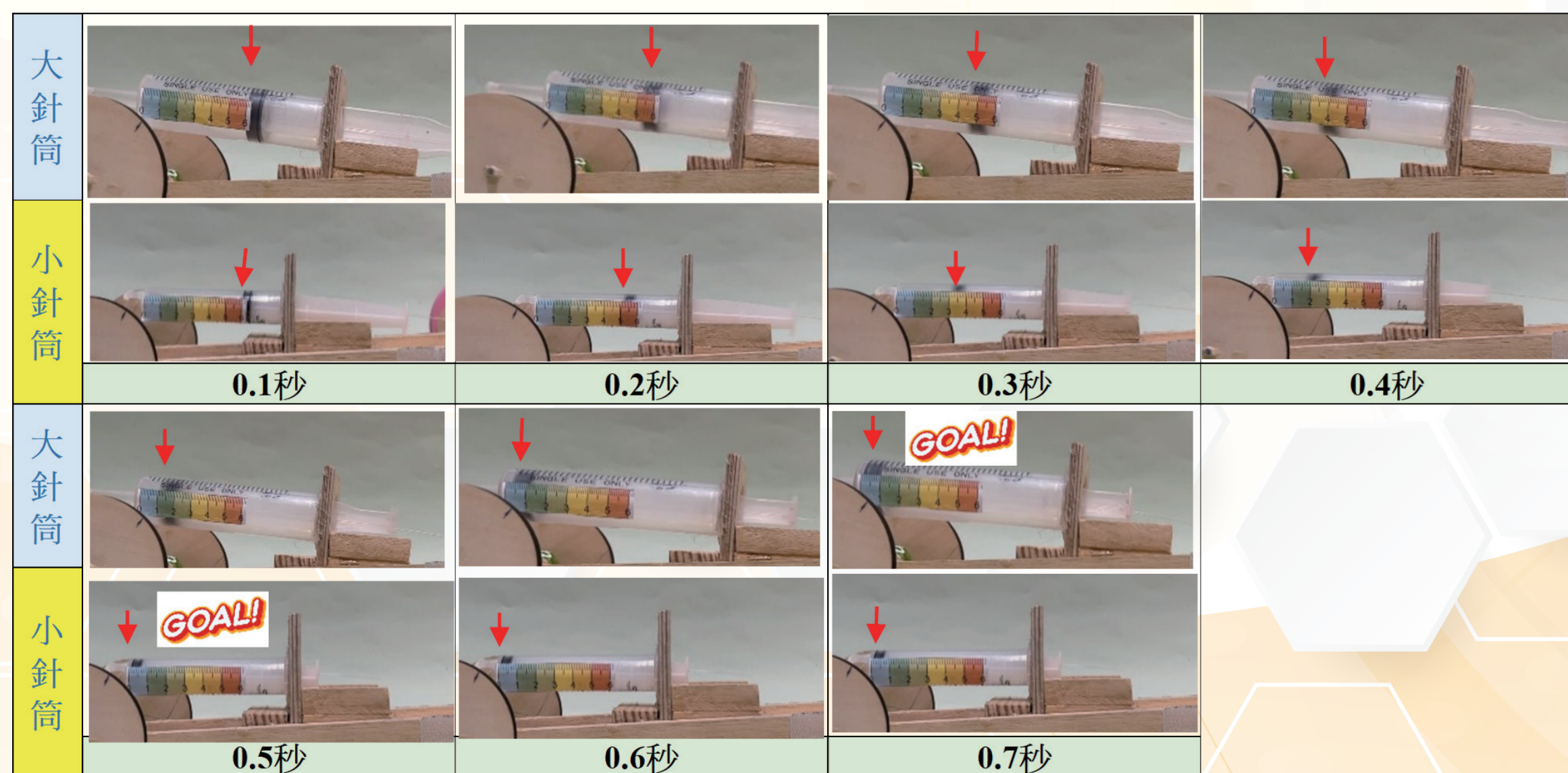
我們發現截面積比較小的針筒車，在同樣的推桿拉伸長度之下比截面積大的針筒車行進距離來得遠，這跟一般所認知有所的差異，所以我們進行了以下的探究與實驗。

(一) 針筒推桿活塞運作時間的探究：

1. 我們觀察大、小針筒推桿活塞推桿被拉出後縮回的情況，拍成影片，利用定格截圖的方式，找出推桿拉至6公分放開後回到原位所需花費的時間。



2. 我們計算出大針筒的推桿退回去原位的花了0.7秒，但小針筒的推桿只花了0.5秒，這表示小針筒推桿退回的速度比較快，大針筒在力量的傳遞上可能不如小針筒來得好。



(二) 針筒推桿帶動輪子旋轉時間的探究：

1. 為了證實推論，我們以大、小針筒進行實驗，記錄輪子轉動從開始到結束的時間。
2. 實驗結果：

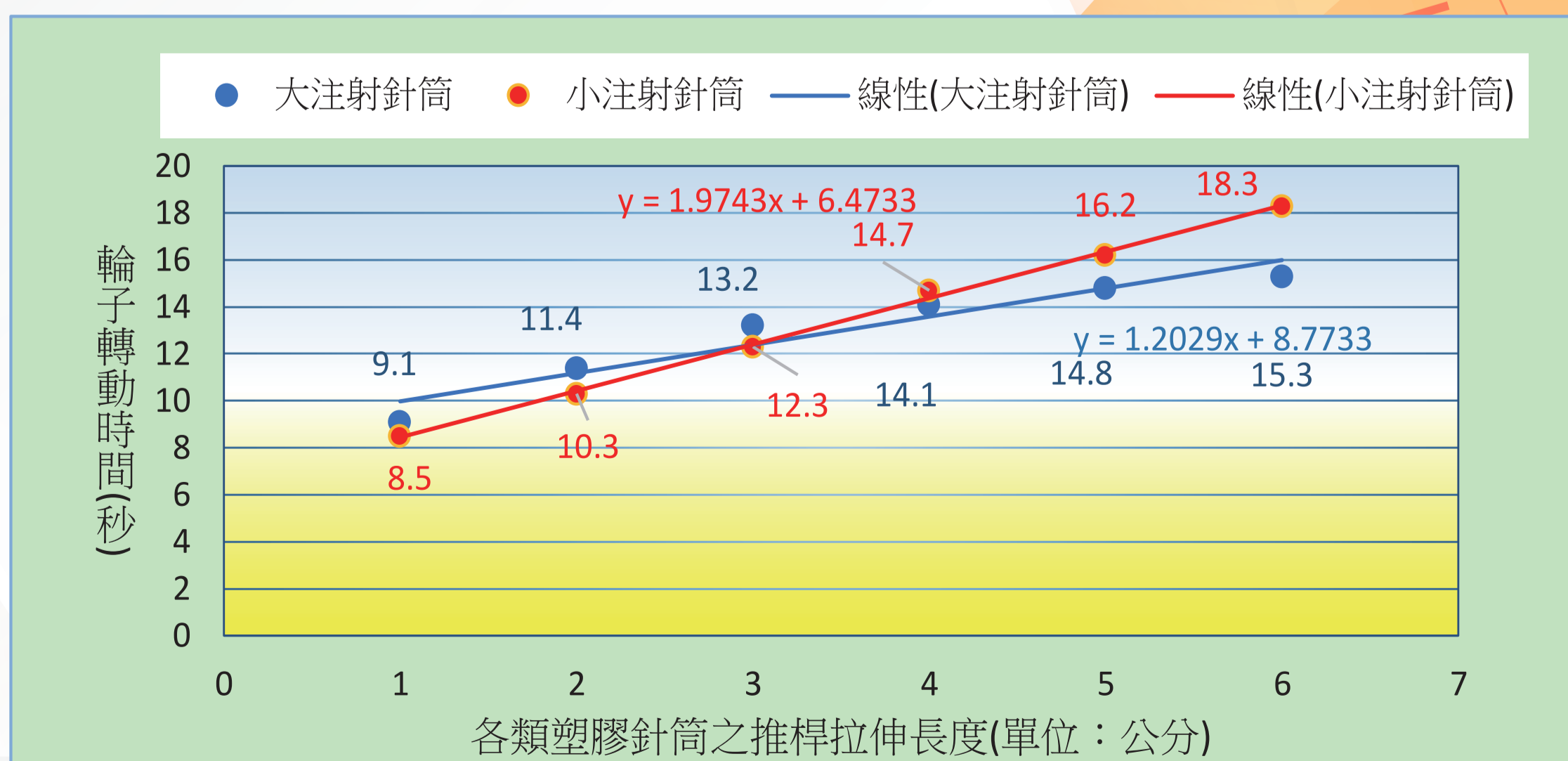


圖 6-1 各類推桿拉伸長度之大、小針筒車之輪子平均轉動時間趨勢圖

3. 發現：小針筒車隨著針筒推桿的拉伸長度增加，輪子轉動時間增加的幅度比大針筒車大。

(三) 空氣動力車輪子轉速的探究：

1. 我們利用雷射測速器來測量大小針筒所帶動輪胎的平均轉



2. 實驗結果：

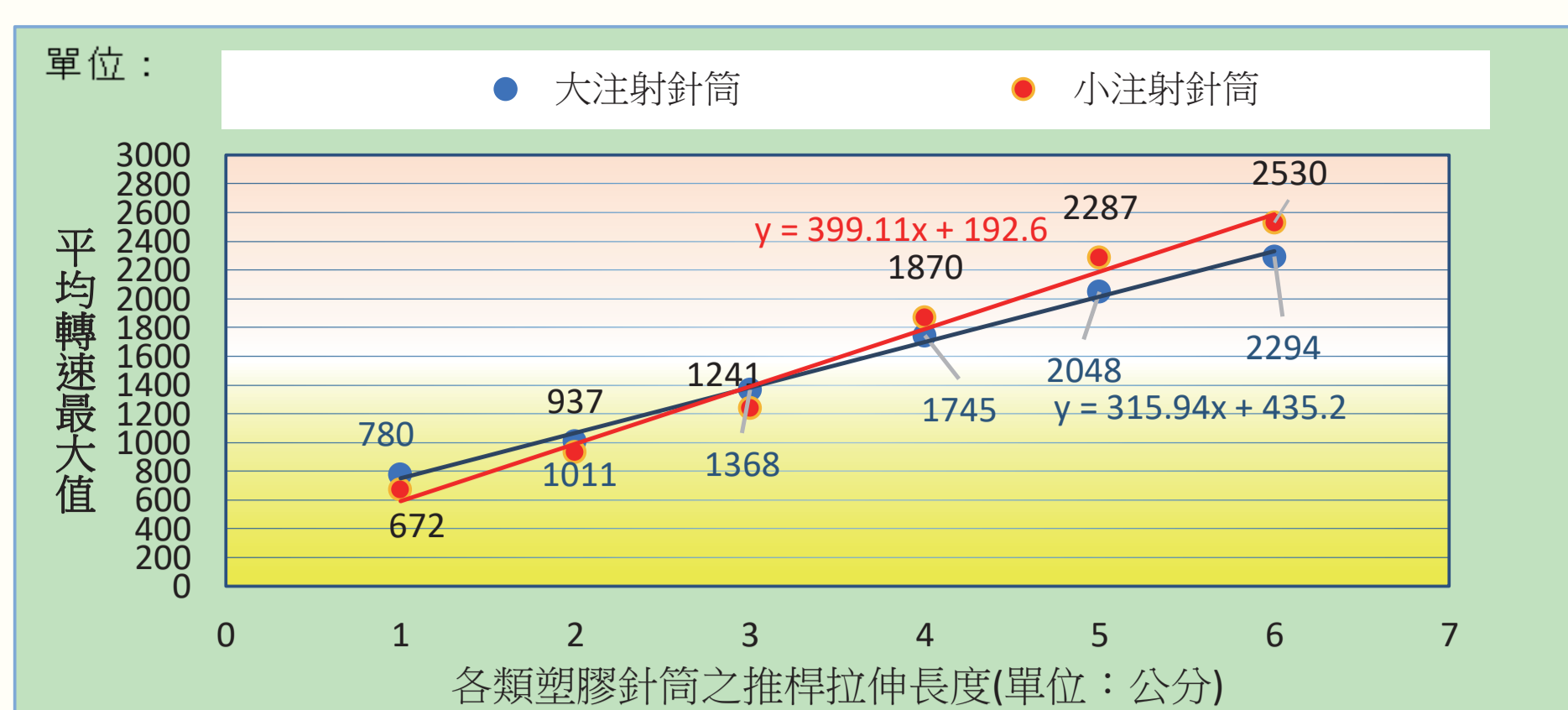


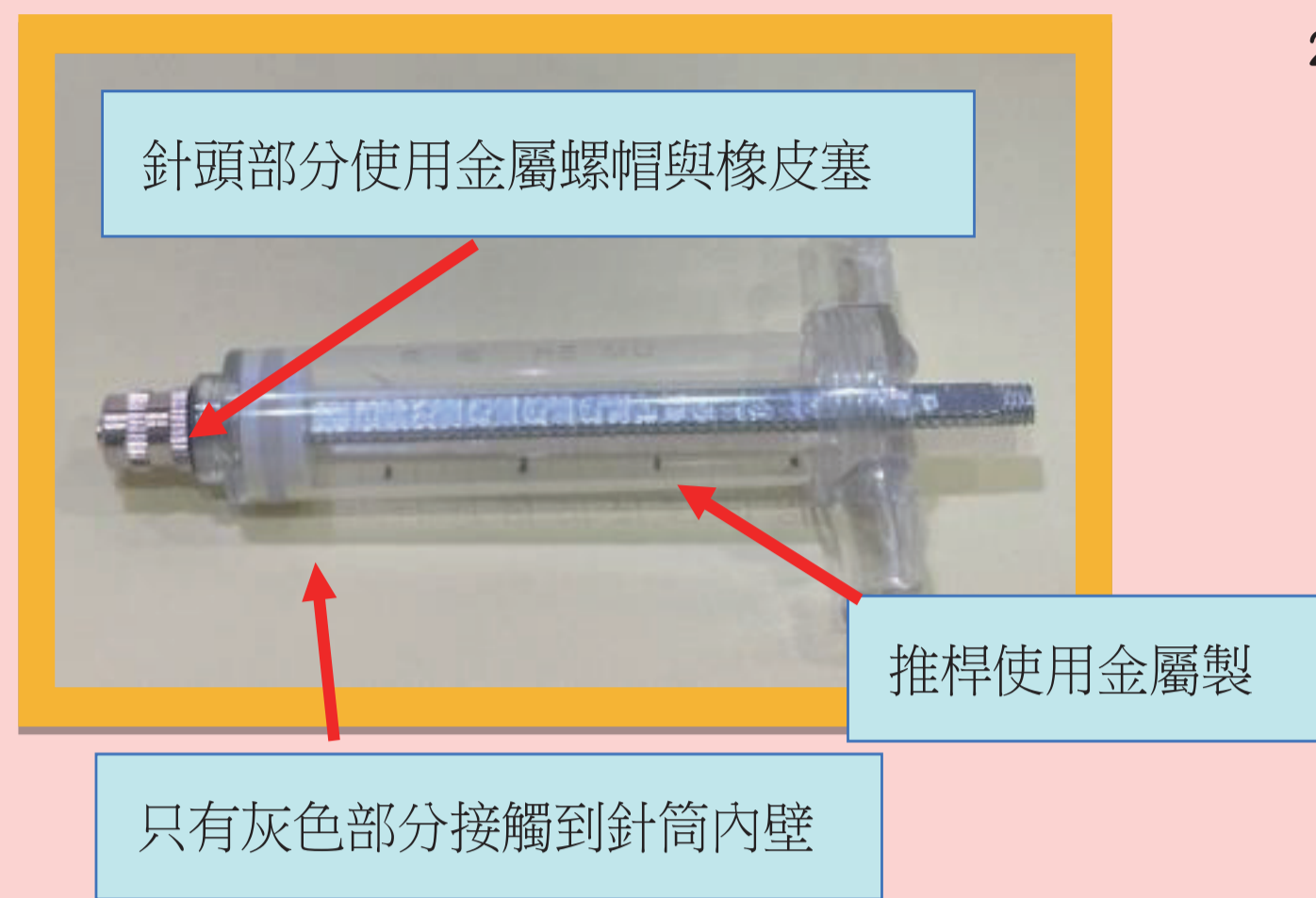
圖 6-2 各類推桿拉伸長度之大、小針筒車之每分鐘輪子轉速趨勢圖

3. 發現：大針筒推桿的活塞寬度較大而且與針筒內側的接觸面積也比較多，所以摩擦力較大。

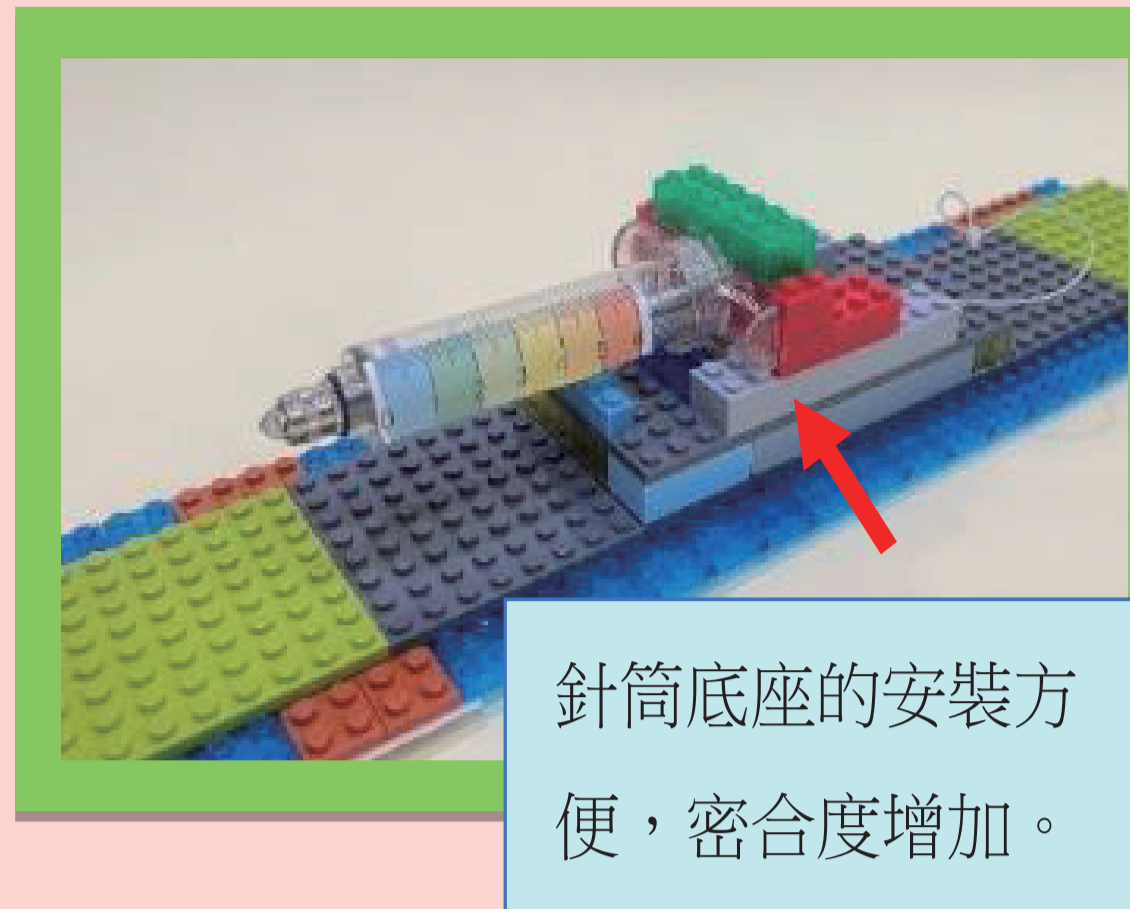


七、活動四：二代空氣動力車的研發與誕生 - 樂高積木空氣動力車。

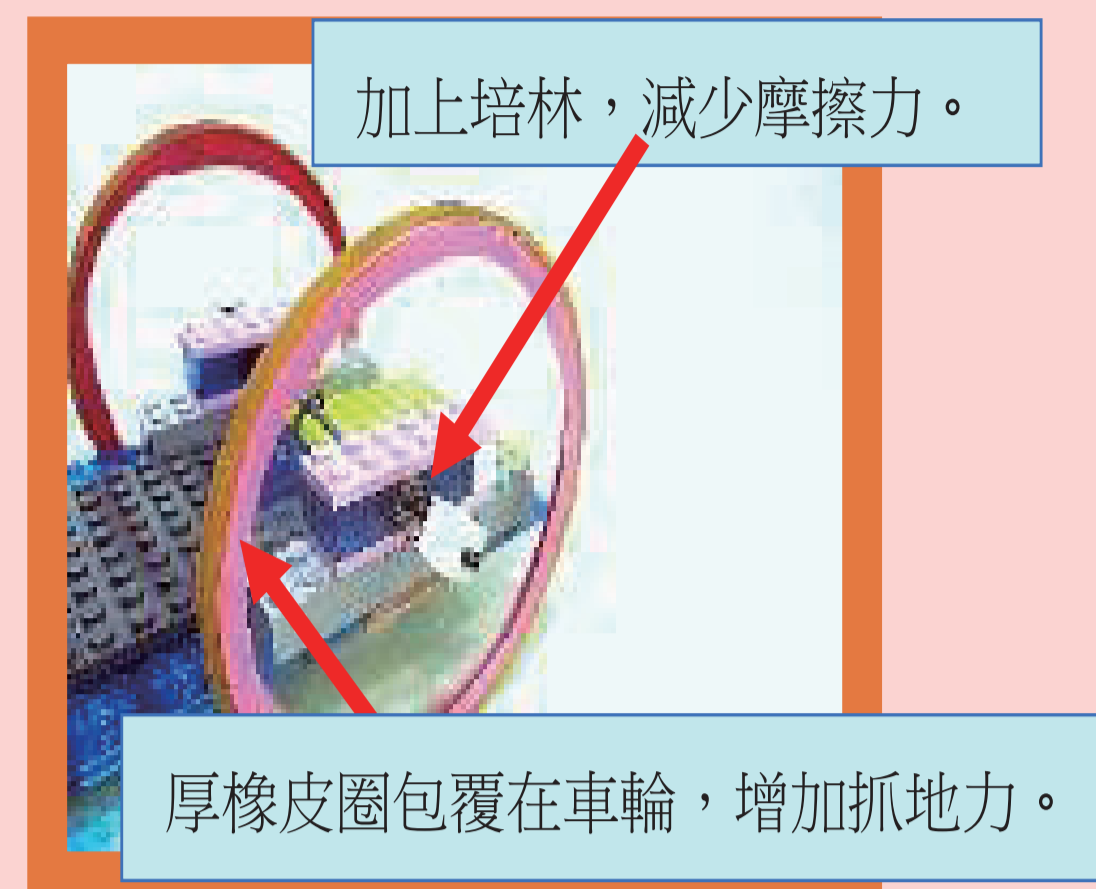
1. 針筒的改造：



2. 車身的改造：

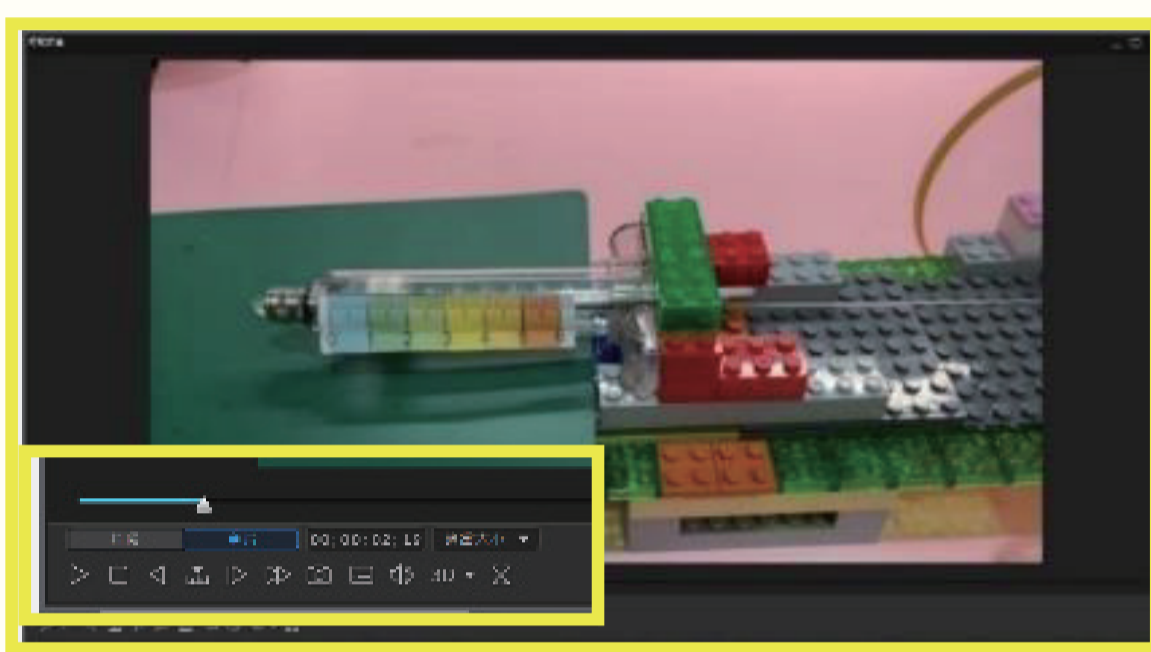


3. 輪軸與車輪的改造：



八、活動五：二代空氣動力車針筒與動力傳遞之研究分析。

二代空氣動力車製成完成之後，我們就利用與活動三相同的方式進行探究以驗證是否二代空氣動力車在各項性能上有所提升。



(二) 二代針筒推桿帶動輪子旋轉時間的探究：

1. 實驗結果：

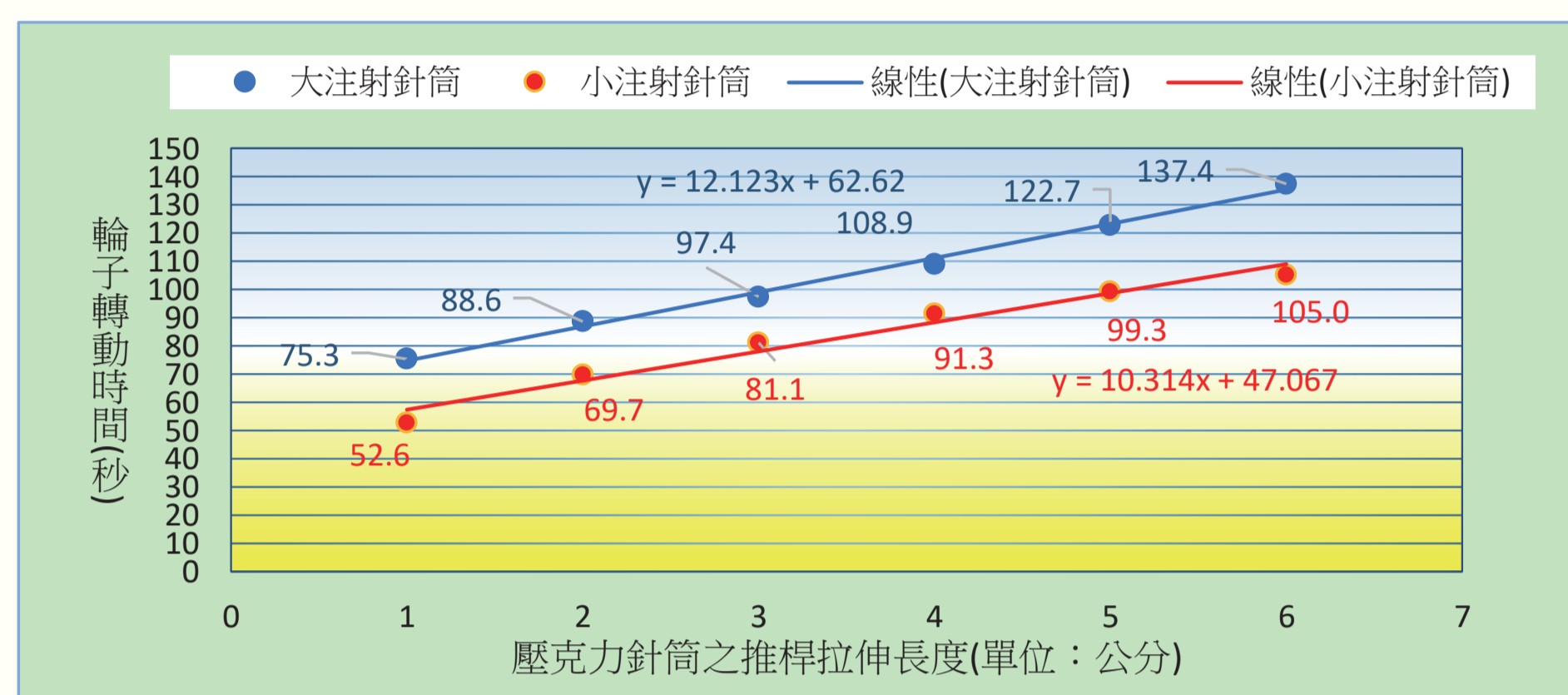


圖 8-1 各類推桿拉伸長度之大、小針筒車之輪子平均轉動時間趨勢圖

2. 發現：大針筒輪子的轉動的時間比小針筒較長，比起舊式針筒，較合乎一般正常情況

(一) 二代針筒推桿活塞運作時間的探究：

1. 我們找出推桿拉至 6 公分放開只回到原位，所需花費的時間。

針筒	0.1秒	0.2秒	0.3秒	0.4秒
小針筒				
大針筒				
小針筒				
大針筒				

2. 我們算出大針筒的推桿退回去原位的僅花了 0.5 秒，但小針筒的推桿卻花了 0.8 秒。

(三) 二代空氣動力車輪子轉速的探究：

1. 我們利用雷射測速器來測量二代的空氣動力車大小針筒所帶動輪胎的轉速最大值。

2. 實驗結果：

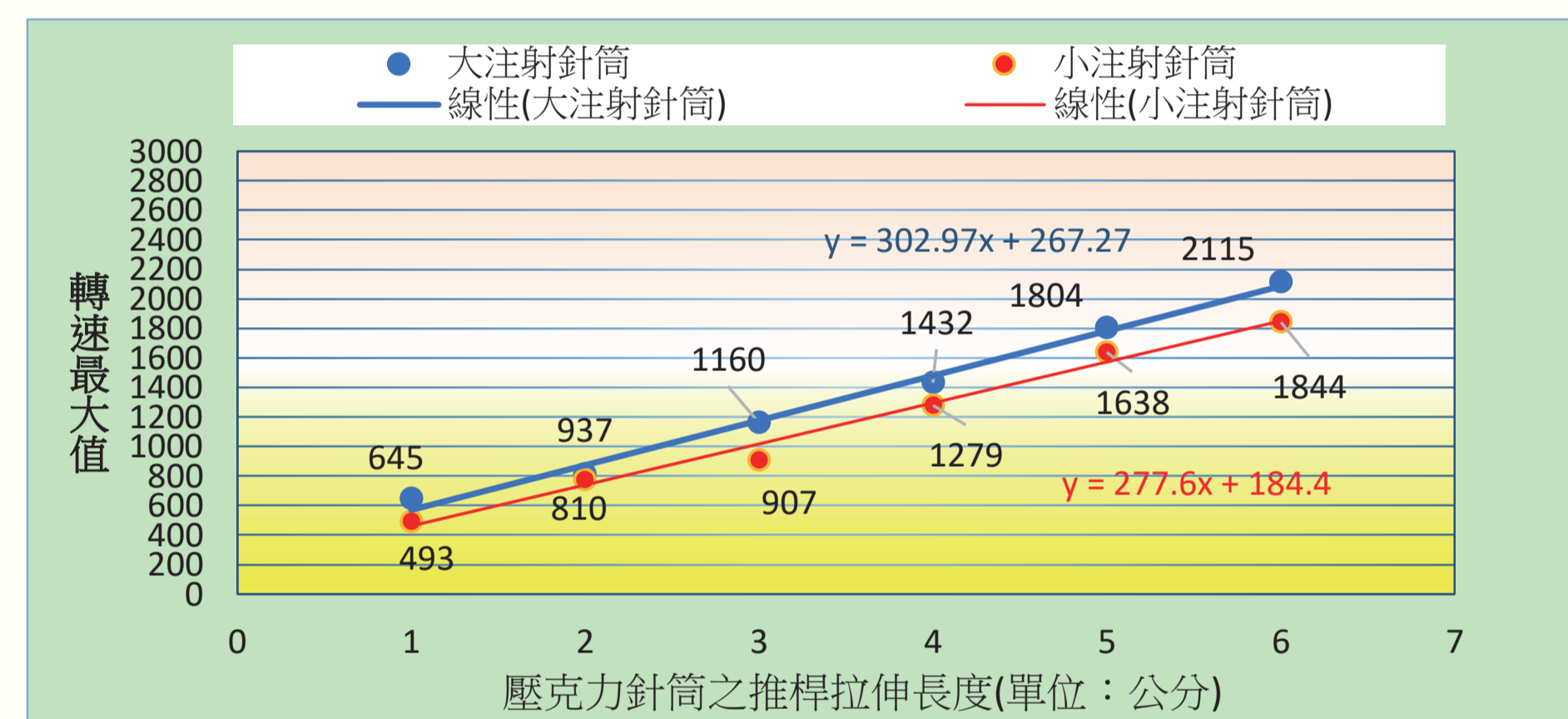


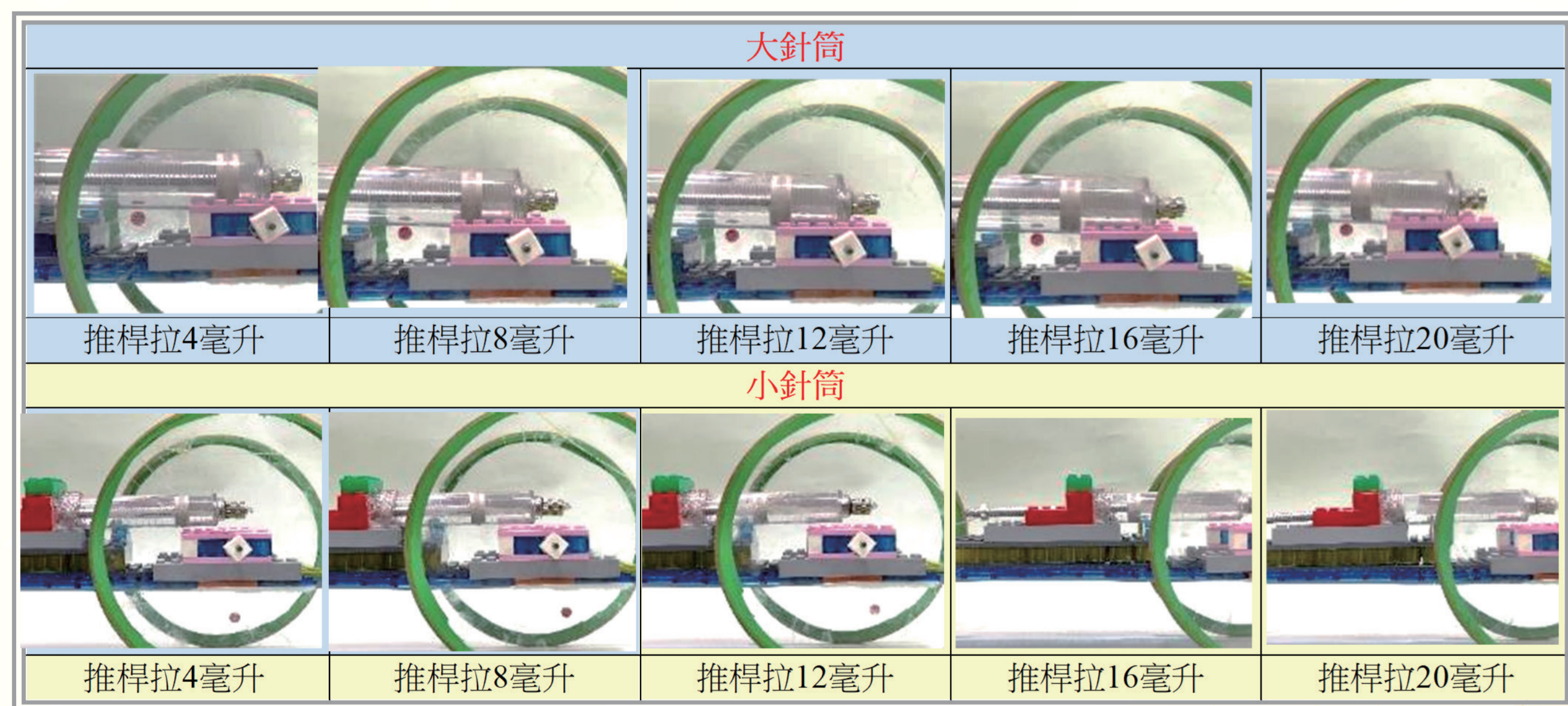
圖 8-2 各類推桿拉伸長度之大、小針筒車之每分鐘輪子轉速趨勢圖

3. 發現：二代大針筒帶動車輪平均轉速的最大值，均大於小針筒，也再次證明大針筒拉動輪子所產生的力量較大。

九、活動六：探討針筒大小不同，負壓容量對二代積木空氣動力車行進距離的影響。

(一) 實驗步驟

1. 新式的小針筒最大容量只有 20 毫升，我們一樣分成五類，每一類差 4 毫升。



(二) 實驗結果

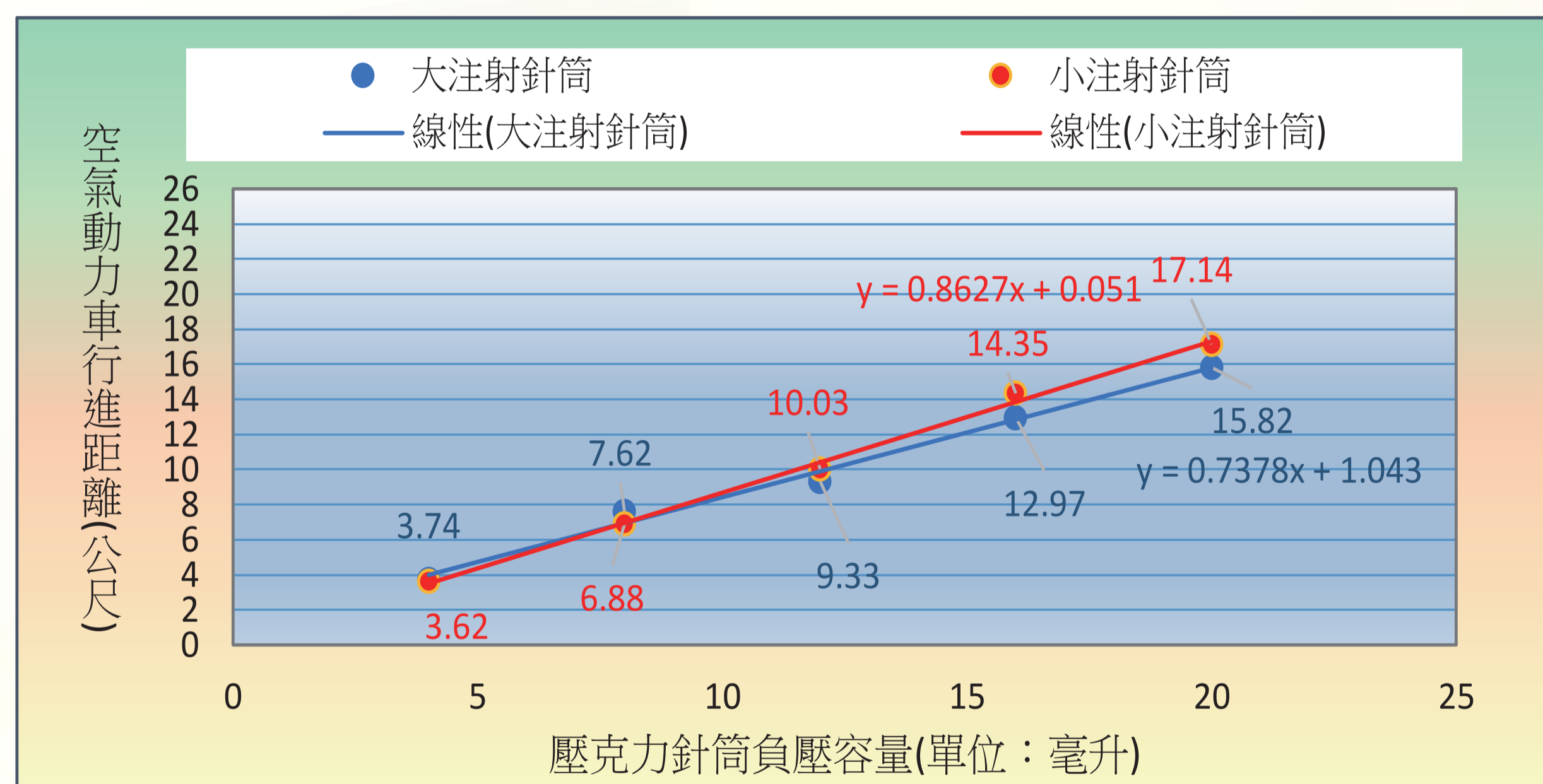
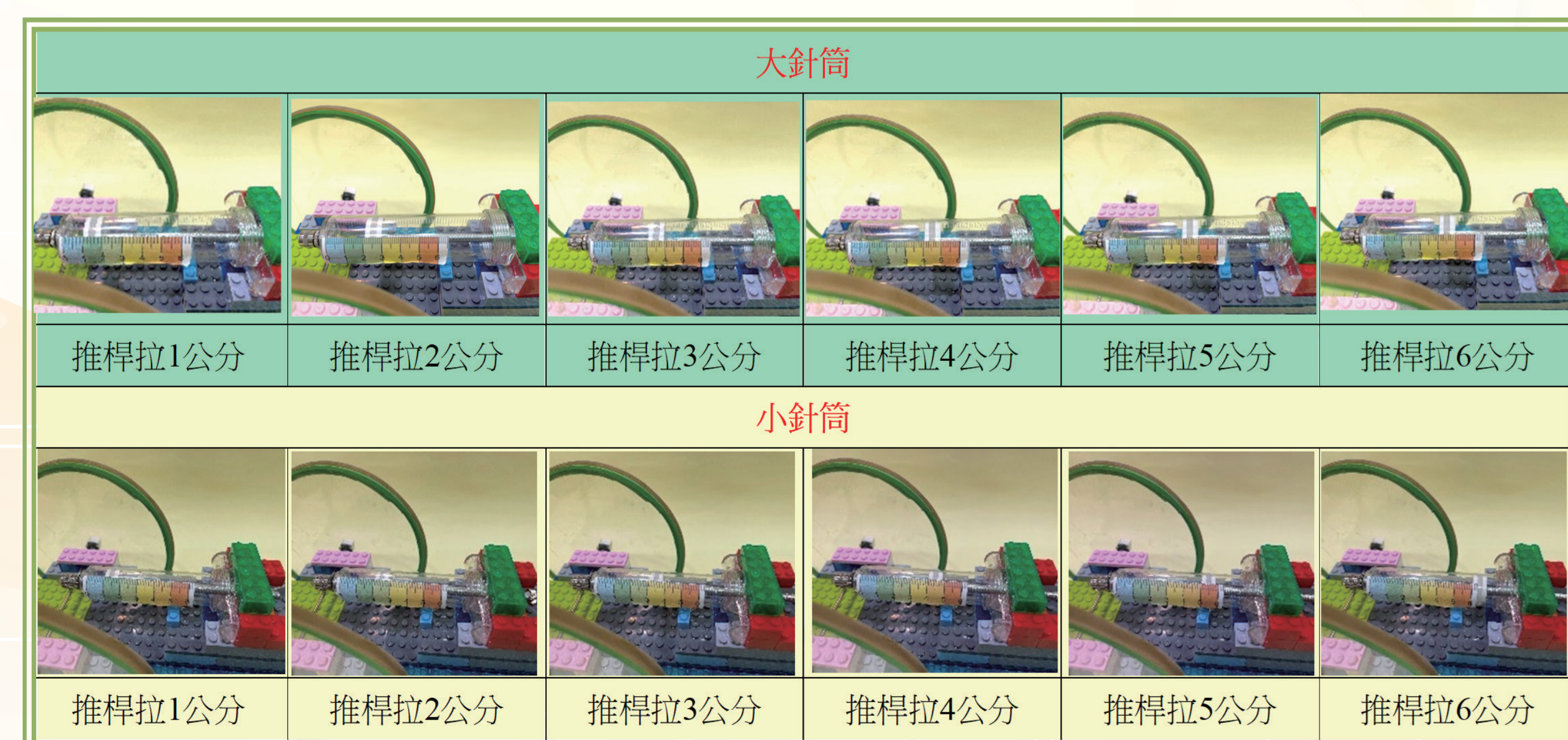


圖 9-1 各類大、小針筒負壓容量的空氣動力車平均行進距離趨勢圖

(三) 發現：隨著針筒內負壓容量增加，小針筒車的行進距離的增加趨勢比大針筒車大。

十、活動七：探討大、小針筒拉桿伸長度對二代積木空氣動力車行進距離的影響。

(一) 實驗步驟



(二) 實驗結果

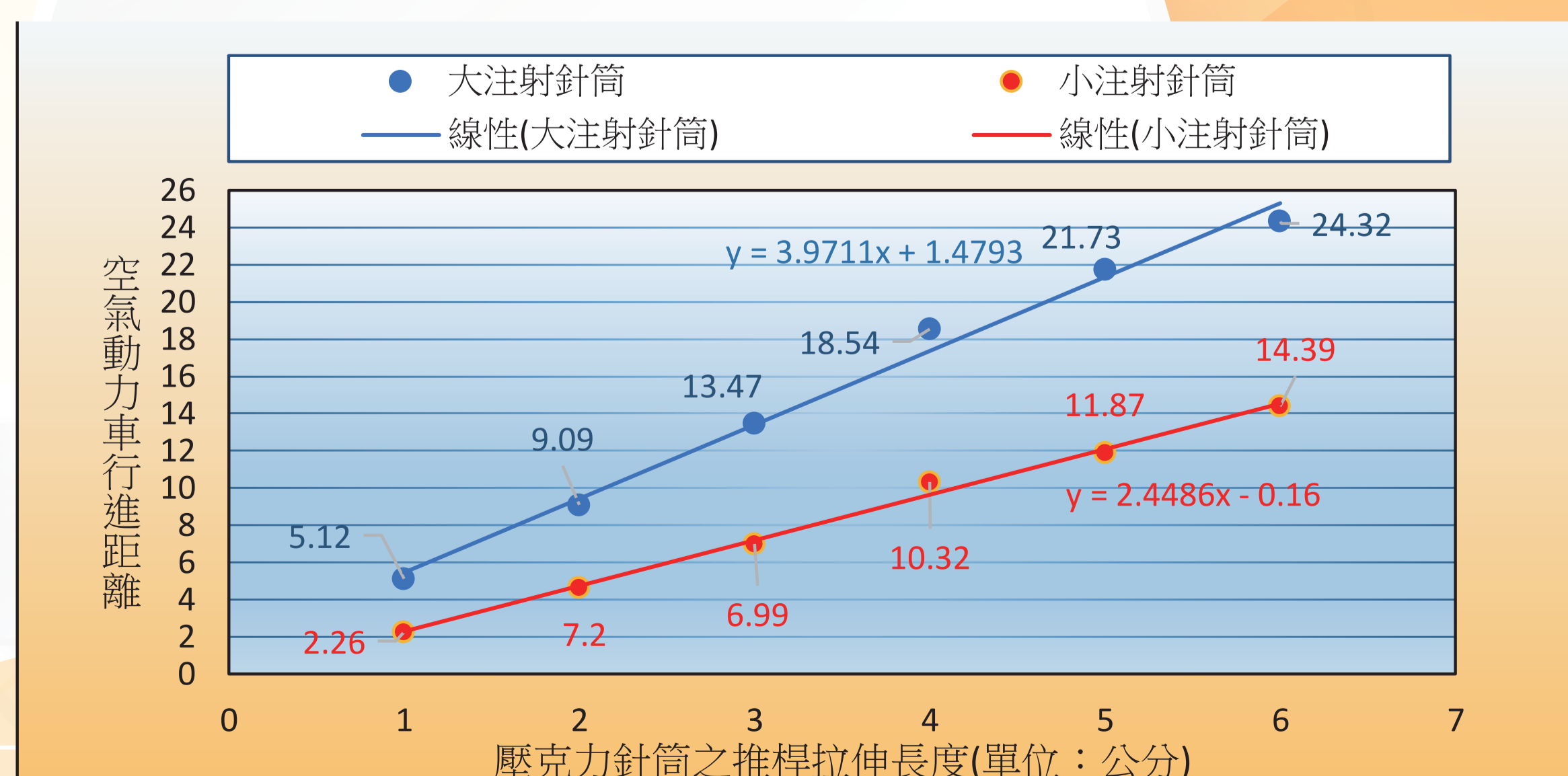
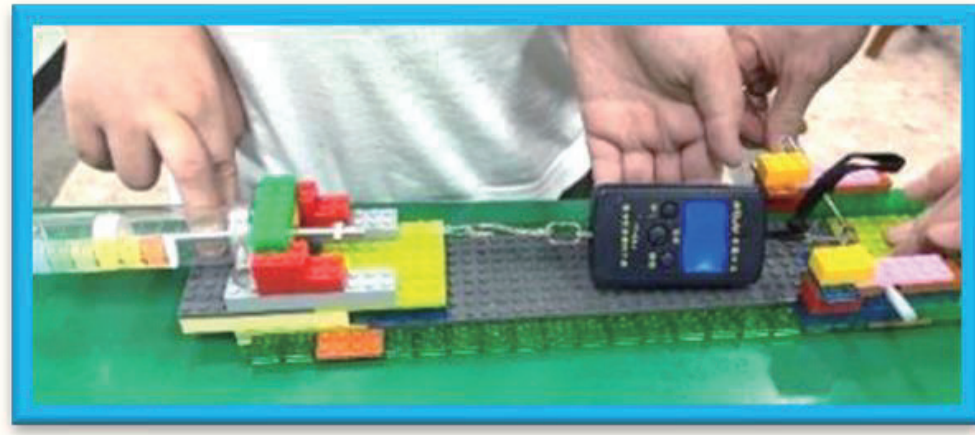


圖 10-1 大小針筒推桿之拉伸長度的空氣動力車平均行進距離趨勢圖

(三) 發現：如果推桿的拉伸長度相同，大針筒車的行進距離比小針筒車的行進距離更長。

十一、活動八：探討大小針筒拉力不同對空氣動力車行進距離的影響

(一) 實驗步驟：我們設計了一台拉力測試器，利用回放定格的方式找出針筒負壓形成的拉力。



(二) 實驗結果

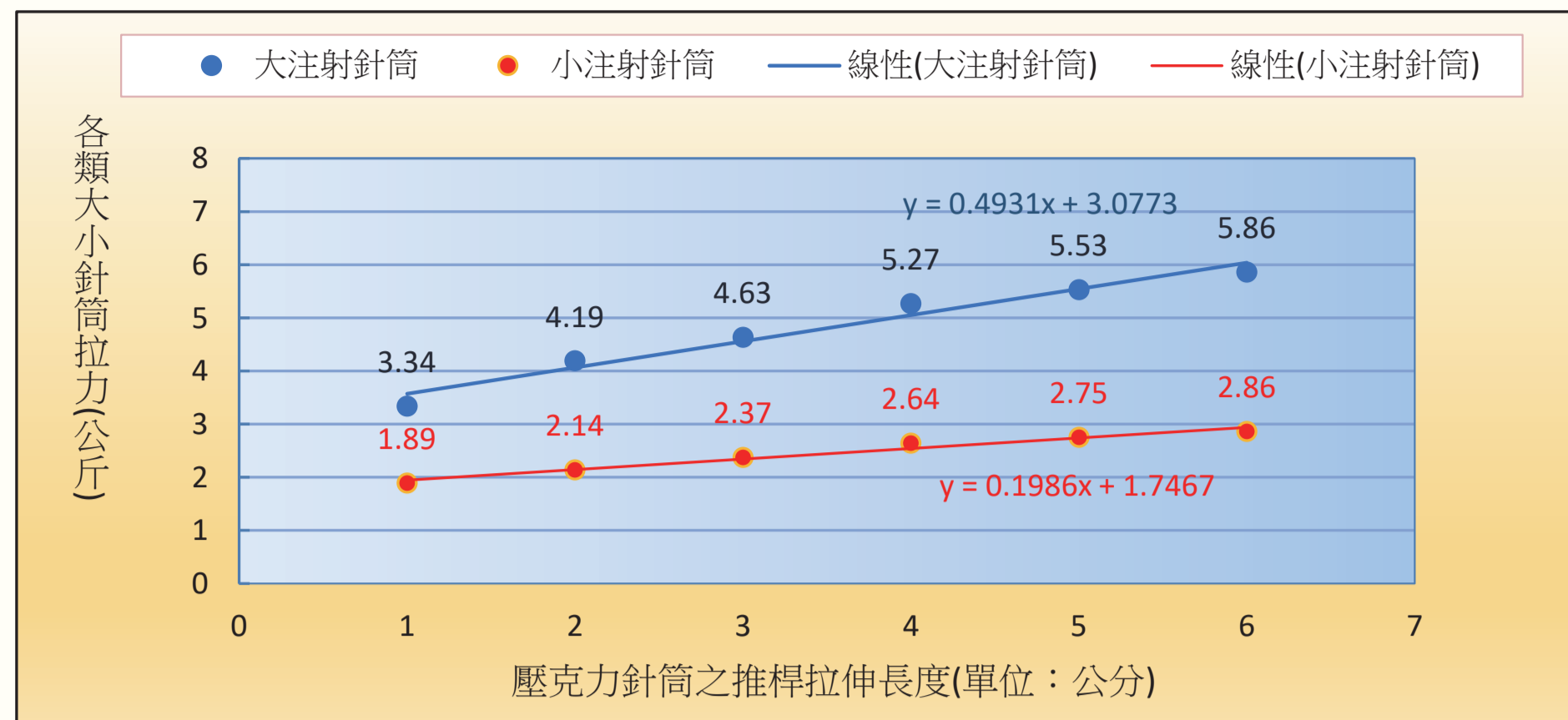


圖 11-1 大、小針筒之各類推桿拉伸長度拉力趨勢圖

我們再將活動十各類拉伸長度的針筒動力車行進距離加入綜合比較完成了下列的組合圖

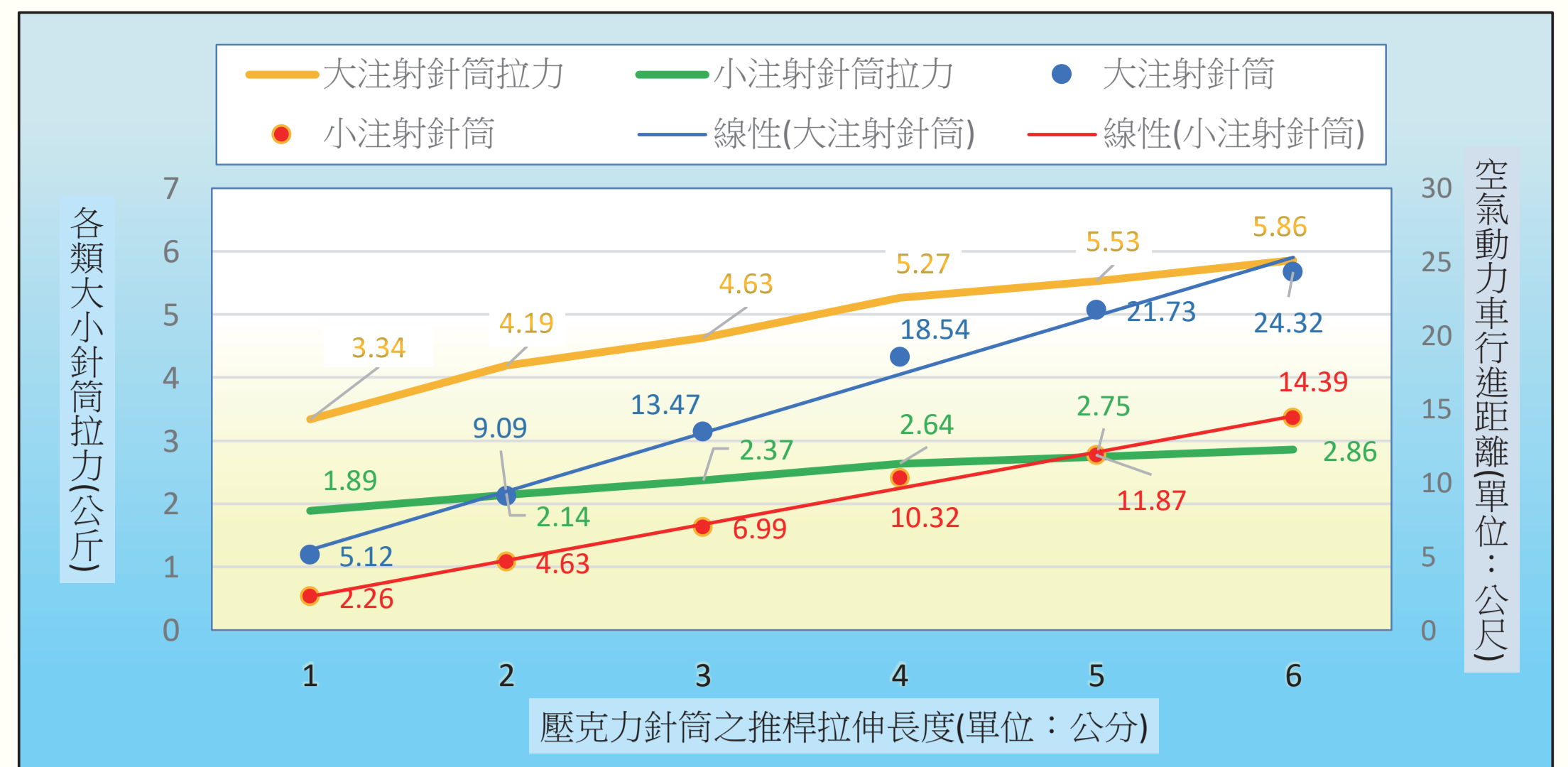


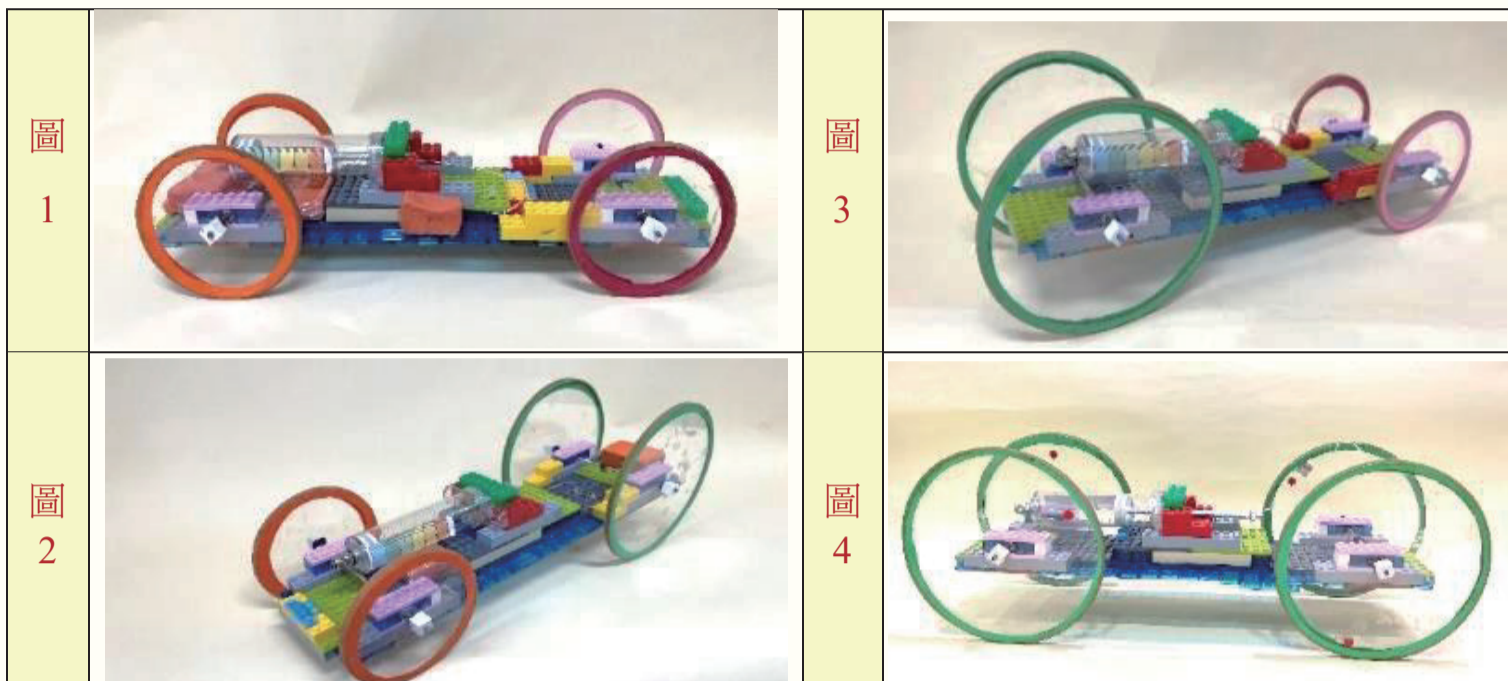
圖 11-2 各類推桿之拉伸長度拉力之大小針筒車平均行進距離組合圖

(三) 發現：隨著推桿的拉伸，空氣動力車拉力沒有明顯的增加，但行進距離卻仍有增加的趨勢，而且大針筒車增加的幅度比小針筒車來得更大

十二、活動九：探討車輪大小與配置對空氣動力車行進距離的影響。

(一) 實驗步驟

1. 我們分別以直徑 10 公分與直徑 15 分的兩種大小車輪，分別做排列組合，共分為 4 個類別。



(二) 實驗結果

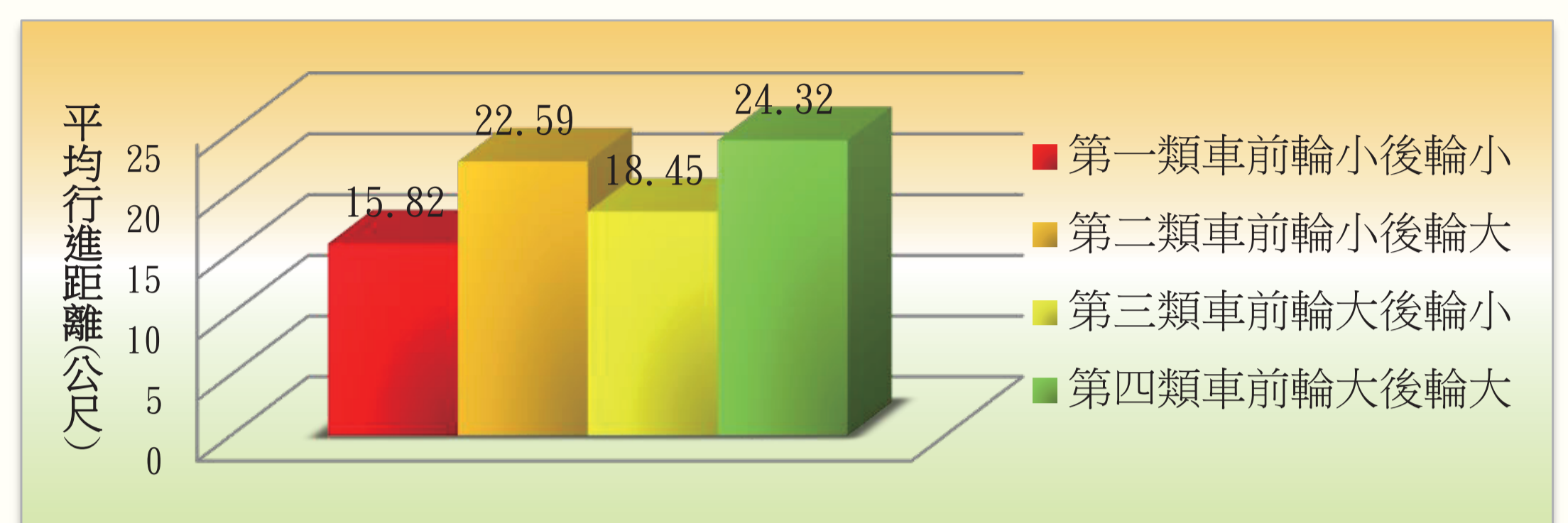


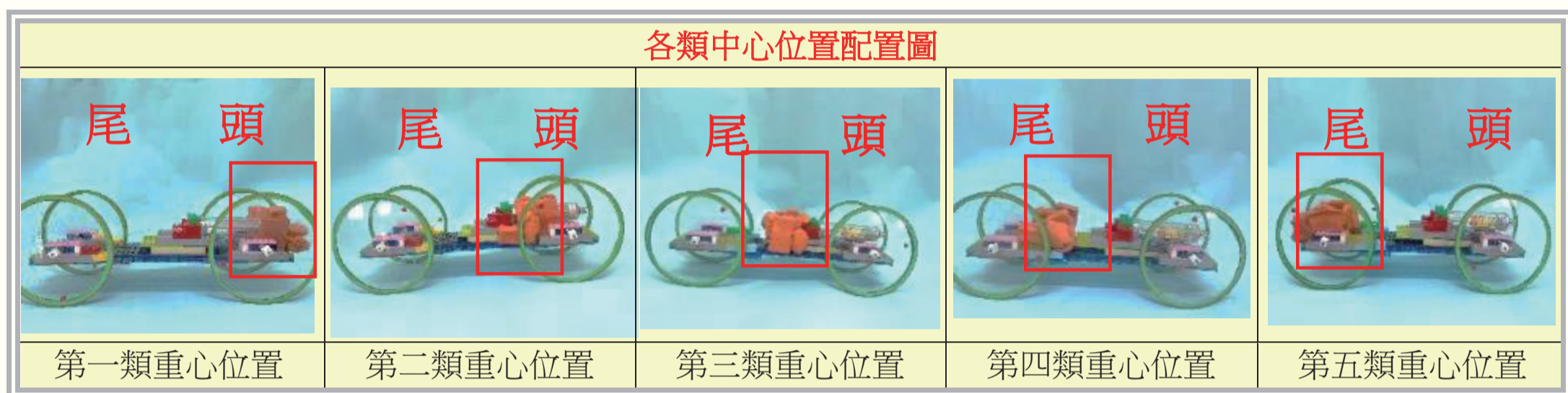
圖 12-1 各類車輪配置空氣動力車平均行進距離長條圖

(三) 發現：後輪較大時，空氣動力車的行進的距離明顯增加。

十三、活動十：探討重心不同對空氣動力車行進距離的影響。

(一) 實驗步驟

我們以車身的長度分成五等份，用 272.6 克的黏土在這 5 個位置上改變重心。



(二) 實驗結果

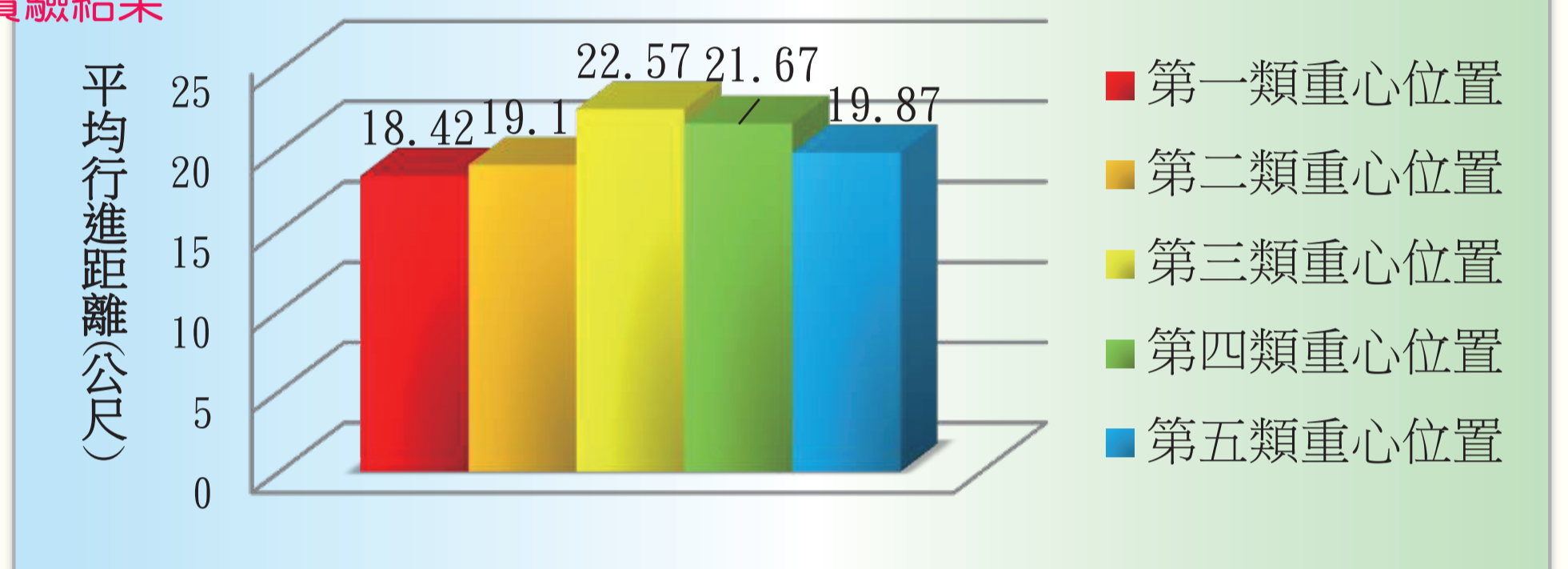


圖 13-1 各類重心位置空氣動力車平均行進距離長條圖

(三) 發現：第三類重心位置為中央的空氣動力車行進距離最遠，第一類重心位置最前面的空氣動力車行進距離最近。

十四、活動十一：探討車頭形狀不同對空氣動力車行進距離的影響。

一般車輛在前進的時候會產生風阻。我們想試試看幫空氣動力車裝上不同形狀的車頭，對車子行進距離的影響。

(一) 實驗步驟

我們設計的原則是以長 8 公分，寬 10 公分，高 6 公分的空間，用飛機木製作出六種不同的車頭形狀。

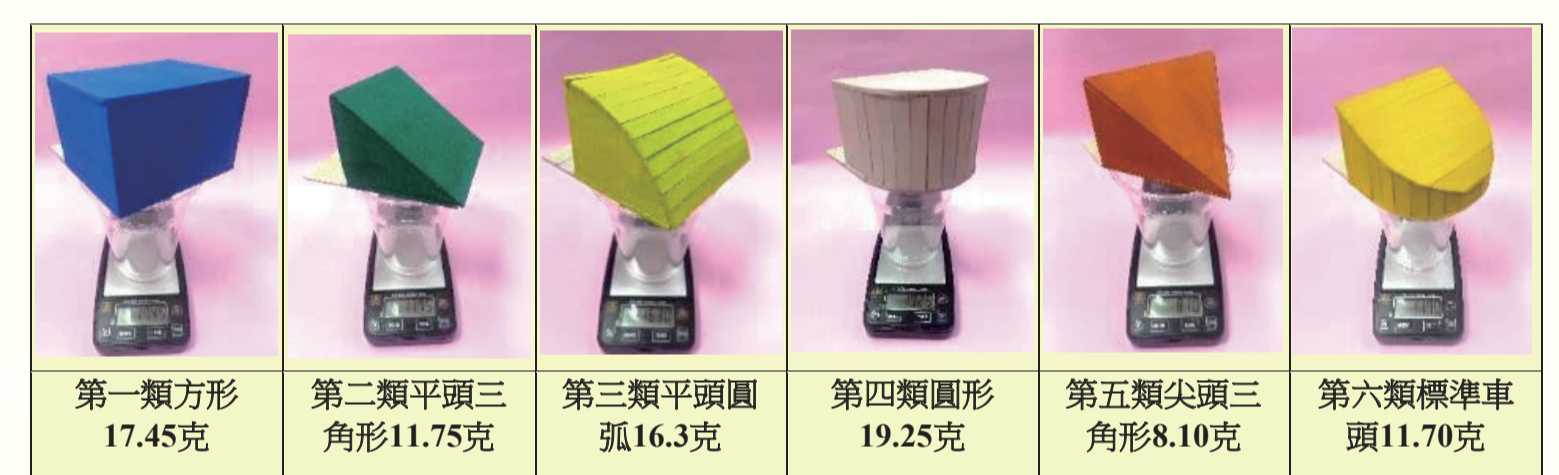
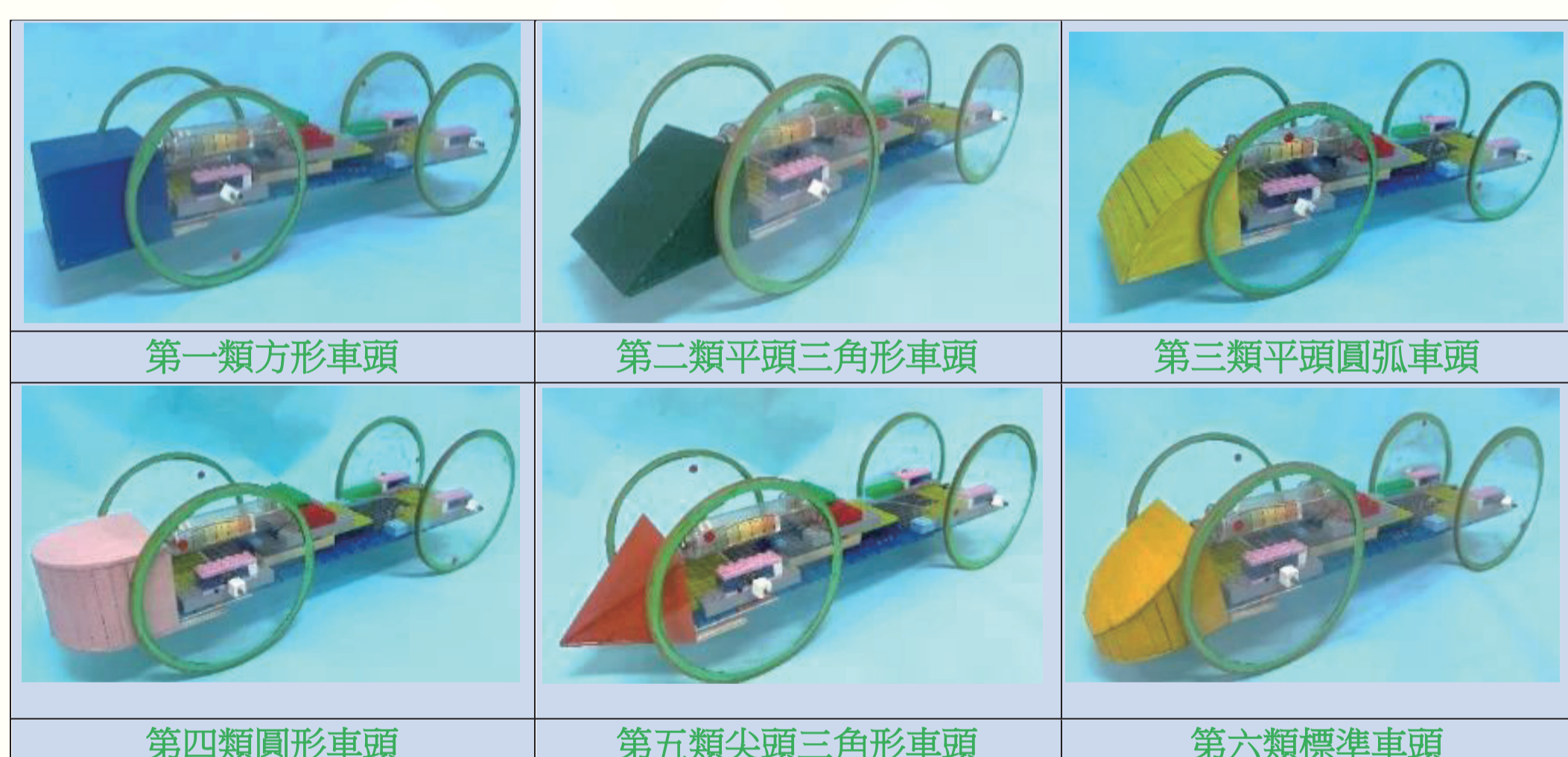
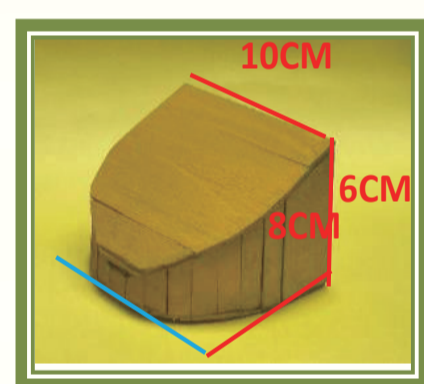


圖 14-1 各類車頭形狀重量測量圖

(二) 實驗結果

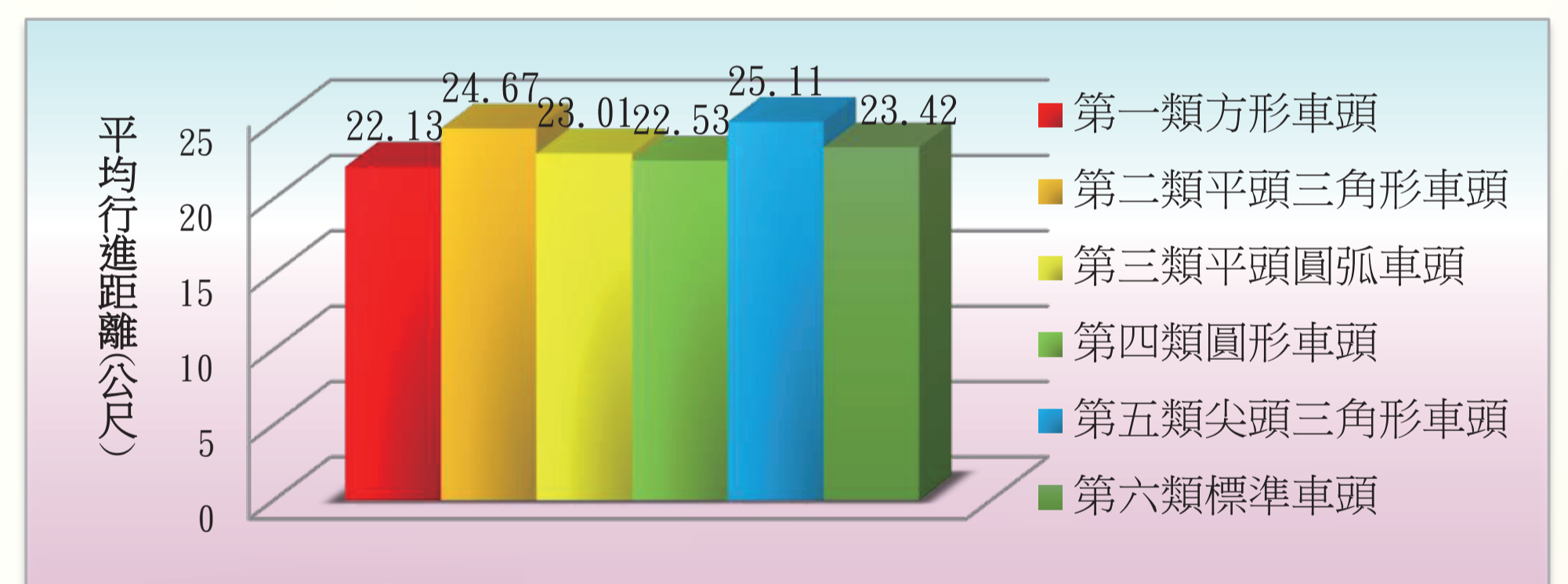


圖 14-2 各類車頭形狀空氣動力車行進距離平均值長條圖

(三) 發現：第五類車頭尖頭三角車頭空氣動力車行進距離最遠，且比沒裝車頭時遠。

肆、討論

- 活動一中我們發現同樣負壓容量，小針筒的截面積較小，所以推桿拉伸的長度會比較長，可以讓輪軸纏繞的圈數也比較多，行進比較遠的距離。
- 在活動二中，推桿拉伸的距離愈長，空氣動力車行進距離越遠。
- 在活動三中，經測量輪子旋轉時間與最大轉速後發現，小塑膠針筒帶動輪子所產生的角動量比較大，所以小針筒車會走得比大針筒車遠。
- 大塑膠針筒推桿活塞比小針筒推桿活塞寬度較大，與針筒內側的接觸面積也比較多，移動時產生的摩擦力可能阻礙了拉桿縮回的速度，進而影響了負壓所產生的拉力。
- 二代積木空氣動力車，因改用培林減少了轉動的摩擦力，輪子轉動時間大幅增加。一代木質輪胎因為輪胎比較輕，最大轉速比較快；但壓克力輪胎產生的轉動慣量比較大，持續的會比較久。
- 如果針筒變大，相對輪子也要加大，使與地面摩擦力產生的力矩變大，讓拉力可以穩定輸出，避免打滑，幫助空氣動力車走更遠的距離。
- 改用壓克力針筒之後做了拉力測試，發現大針筒拉力越大，行進的距離就可以越遠，這樣比較符合正常的物理狀態，老師跟我們說力量乘以作用的距離就等於功， $W=F \cdot D$ ，我們將針筒拉力與推桿拉伸的長度比對，發現作功越多，行進的距離就越長，雖然推桿拉伸長度在 4-6 公分以後拉力增加不大，但推桿仍然拉伸了比較長的距離，作的功較大，車子可以行進的較遠。
- 後輪較大時輪軸轉一圈能夠行進的距離比較遠，行進的距離明顯增加。
- 裝了尖頭三角形車頭的空氣動力車因為車頭高度與中央注射筒底座的高度一致，前進時能有效降低風阻，行進的距離反而較遠。

伍、結論

- 空氣動力車針筒的負壓容量越大，行進距離也會越大。
- 一代木製小針筒車在推桿的拉伸長度 4-6 公分後比大針筒車的行進距離更長。
- 比較壓克力針筒拉力後發現，針筒拉力越大，推桿拉伸的長度越長，做的功越大，行進平均距離越遠。
- 二代積木動力車減少了輪軸的摩擦力以及增加了輪子的半徑與重量，使輪胎與地面的滾動的摩擦力加大，讓輪子可以穩定的輸出動力，比一代動力車行進距離大很多。
- 重心在中央的空氣動力車，因為輪胎能夠平均受力，行進距離最遠。
- 後輪較大的空氣動力車，行進的距離比後輪較小的空氣動力車來的遠。
- 尖頭三角形車頭的空氣動力車行進距離是最遠的，所以車頭越趨向於扁平與尖銳的空氣動力車平均的行進距離會比較遠。
- 綜合以上實驗結果，空氣動力車各項最佳數據如下：50 毫升大針筒，長 30 公分的積木車體，尖頭三角形車頭，直徑 15 公分的輪胎。屬於我們的「究極空氣動力車」，終於完成了，YA！

陸、參考資料

- 自然與生活科技~四年級上學期第三單元：運輸工具與能源 (民 104)。台南，翰林。
- 自然與生活科技~六年級下學期第一單元：力與運動 (民 104)。台南，翰林。
- 2 年一測！前驅動前輪耗損快 後驅則相反，取自：<http://news.tvbs.com.tw/life/news-623537/>
- Owen 來造！真空動力車 (上) 如何用針筒來驅動一輛車，取自：<https://www.youtube.com/watch?v=OkVQC8qjVlo>
- 不用汽油也能開！超可愛「空氣車」來了 | 中視新聞 20170428，取自：<https://www.youtube.com/watch?v=dfjITM-T7go>
- How to make air pressure powered car | Atmospheric pressure powered car | scienceproject，取自：<https://www.youtube.com/watch?v=WphiIMvY-Ro>
- 引擎擺放位置解析，取自：<https://www.kingautos.net/200875>