中華民國第55屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組　物理科

080121

"風"情萬種的模型跑車
-模型跑車水平阻力與抬升阻力的探討

學校名稱：高雄市鹽埕區光榮國民小學

作者：	指導老師：
小六 許家維	邱甯維
小六 陳顥之	黃雪芳
小六 黃楷評	

關鍵詞：水平阻力、抬升力

摘要

本研究是探討行進中的車子遇到風時所產生的水平空氣阻力與抬升力。實驗過程所拍攝的影片使用Avidemux免費軟體擷取和照片使用Xview免費軟體縮圖。我們使用米箱自製風洞並使用二氧化錳加雙氧水製造煙霧，來觀察製造的直流風。我們採用迎風面30度、車尾30度的模型跑車，車前端高度2cm、車末端高度3cm的車體，使用電子秤測量出車子行進的水平空氣阻力和抬升力。我們發現2cm寬、與水平面向上夾60度角的珍珠板最能擾動氣流，防止模型跑車因白努力現象造成升抬現象，也使因車後方因無風區所造成的吸力減少阻力，讓車子的行駛暨快速又安全。

壹、 研究動機

平常我們會搭父母親的車上學，學校老師也會開車到學校，形形色色的車子很吸引我們，尤其車後加裝一塊板子的車子(爸爸說這是擾流板)就更酷了。自然課本四年級上學期〔運輸工具與能源〕中學習到交通工具運動原理，四年級下學期〔有趣的力〕中學習到各種力的作用，所以我們想利用以前學到的知識，研究車子行駛時會有什麼阻力，加裝擾流板會有什麼效果，為了瞭解這其中的奧妙，我們決定對這些有趣的科學現象進行有系統的觀察！

貳、研究目的

一、 探討相同風速下，不同車身所造成的水平空氣阻力。

二、 探討各種風速下模型跑車駕駛座前不同的迎風角度造成行駛中的空氣阻力。

(一)、相同風速下，不同迎風角度的模型跑車行駛中所造成的水平空氣阻力。

(二)、相同風速下，相同迎風角度，不同車尾角度的模型跑車行駛中所造成的抬升力。

(三)、相同風速下，相同迎風角度，不同車尾角度的模型跑車行駛中所造成的車尾的空氣狀態。

三、 探討各種風速下模型跑車後方使用珍珠板對車子所造成的抬升力。

(一)、相同風速下，不同珍珠板角度在行駛中的抬升力。

(二)、相同風速下，不同珍珠板寬度在行駛中的抬升力。

(三)、相同風速下，不同珍珠板位置在行駛中的抬升力。

四、 探討各種風速下模型跑車在車尾前方 3cm 處，裝不同形狀珍珠板，在行駛中的上升空

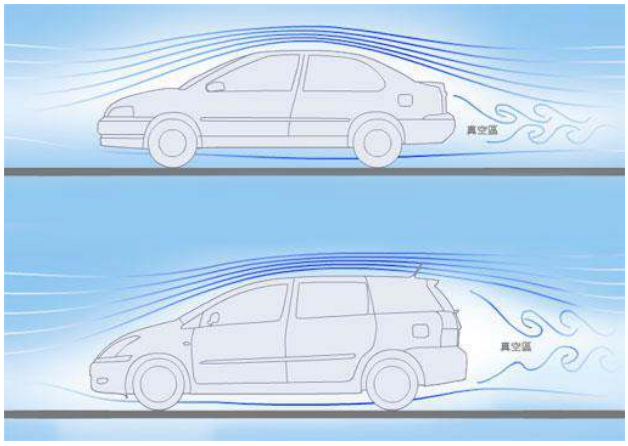
氣阻力。

參、研究設備及器材

數位相機、數位錄影機、筆記本、透明塑膠盒、紙板、台車、鼓風風扇、電子秤、砝碼、棉線、瓦楞板、雙氧水、二氧化猛、保麗龍箱、輪軸、油土、保麗龍、風速計、砝碼、迴紋針、雙腳釘、竹籤。

肆、定義與理論探討

一、風阻是車輛行駛時來自空氣的阻力，一般空氣阻力有三種形式，第一是氣流撞擊車輛正面所產生的阻力，就像拿一塊木板頂風而行，所受到的阻力幾乎都是氣流撞擊所產生的阻力。第二是摩擦阻力，空氣與劃過車身一樣會產生摩擦力，然而以一般車輛能行駛的最快速度來說，摩擦阻力小到幾乎可以忽略。第三則是外型阻力(下圖可說明何謂外型阻力)，一般來說，車輛高速行駛時，外型阻力是最主要的空氣阻力來源。外型所造成的阻力來自車後方的真空區，真空區越大，阻力就越大。一般來說，三廂式的房車之外型阻力會比掀背式休旅車小。



文字和圖片來源 ：

http://classroom.u-car.com.tw/classroom-detail.asp?cid=35

二、白努力定律簡單的說就是"流體流速愈大 壓力愈小"。飛機能飛在空中即利用此原理，飛機向前飛，在機頭的空氣不管是背部或腹部皆須同時到達機尾，因為飛機背部呈弧形，腹部成平面狀，所以背部的空氣流速快，相對腹部壓力就較小 ，所以壓力大的腹部空氣可以支撐飛機的重量 飛機也就飛起來了 。

文字來源 ： http://cedesign.me.ncu.edu.tw/~tka/008/show.php?serial=16&team=0

三、車輛在行駛時，氣流撞擊車輛正面所產生的阻力，定義為水平空氣阻力。因為車輛外形所造成的白努力現象，也就是壓力差造成的升抬，這是向上的垂直力，因為車輛在行駛時輪胎需要摩擦力，所以這個向上的垂直力定義為抬升力。

伍、研究過程或方法

實驗設備研究

(一)、簡易風洞製作：製作一個氣流穩定的風洞，分為動力段、整流段、測試段、尾段。

【步驟】

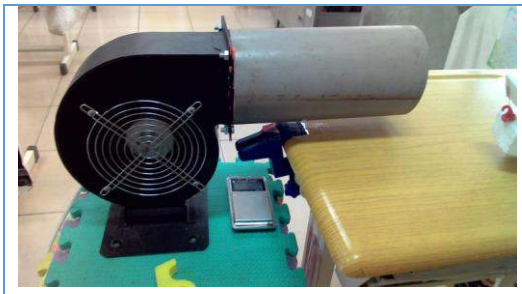
1、動力段的部份，尋找市面適用的製造風的鼓風風扇，鼓風風扇無法調節風速，所以另外串聯了一個調節開關， 再用風速計量其風速，在調節器上標示記號，得到五段式調節開關，採吹入式的動力。

2、整流段的部份，我們用水電用PVC塑膠放入一個風箱再接上一個6吋長的珍珠奶茶吸管排列成風的通道，試圖將風整流成均勻而穩定的直線方向的風，馬達接上一有吸管的塑膠管測試風是否為直線前進。

3、測試段的部份，透明塑膠盒當風洞測試段，側面觀察區挖開貼上投影片膜以利觀察和拍照。

4、尾段的部份，我們用瓦楞板做成長方體黏於透明塑膠盒，透明塑膠盒尾部挖開，將風送出時才能使測試段的風平穩送出，不受外在氣流影響。

水平空氣阻力測量方法：

	
照片1 鼓風風扇	照片2 塑膠水管塞滿吸管

風洞內前端設計：

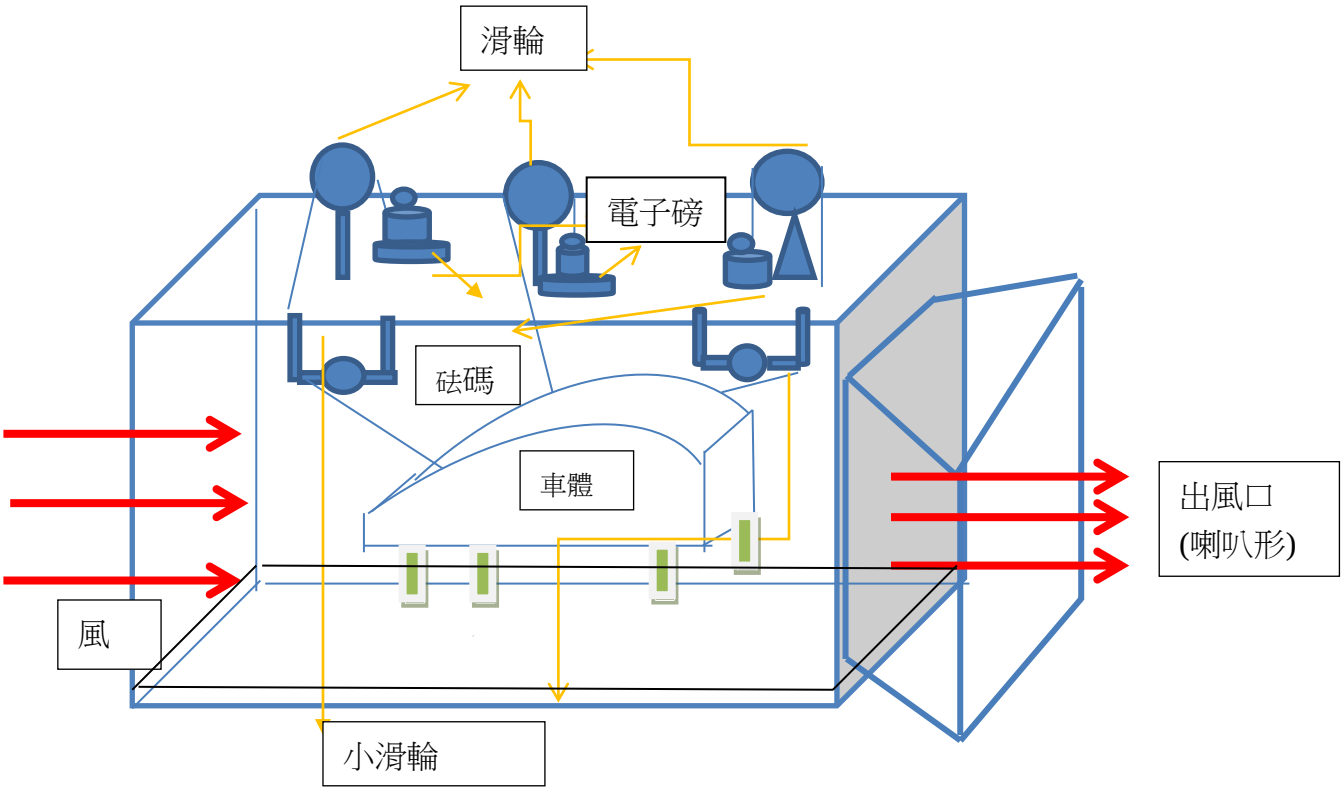
照片3 保麗龍煙箱可儲存風讓風更均勻	照片4 使用油土防止風外洩

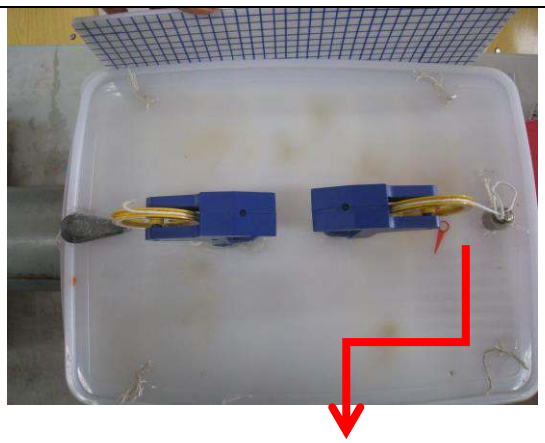
(二)、鼓風風扇以吹入式測試風洞的氣流

【步驟】

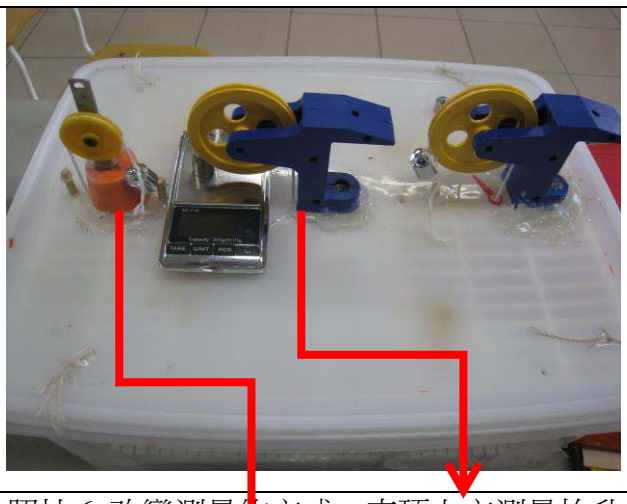
(1)、對於不穩定度的測試：讀取電子天平上的讀數時，數值是不停跳動的，有一個震盪範圍，我們做記錄時，統一讀取數值跳動時停留5秒以上的數值。

(2)、保麗龍箱當風箱，接上鼓風風扇，過氧化氫加入二氧化錳(催化劑)放入風箱、測試煙霧效果。測試段內壁的部分貼上黑色壁報紙當作煙霧觀察的背景，目標製造出一束一束的直線煙霧，讓我們能夠更清楚的觀察與記錄。 圖 1

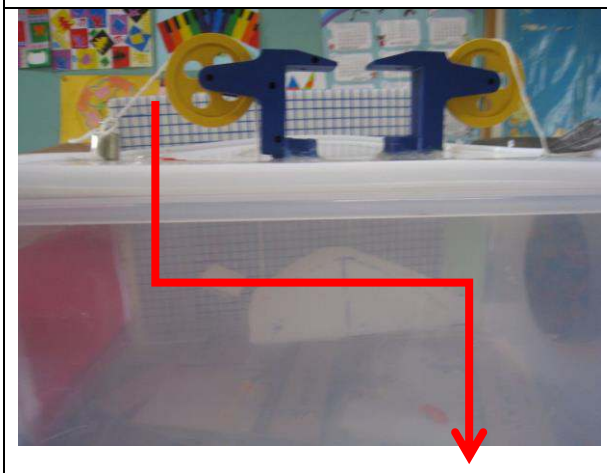




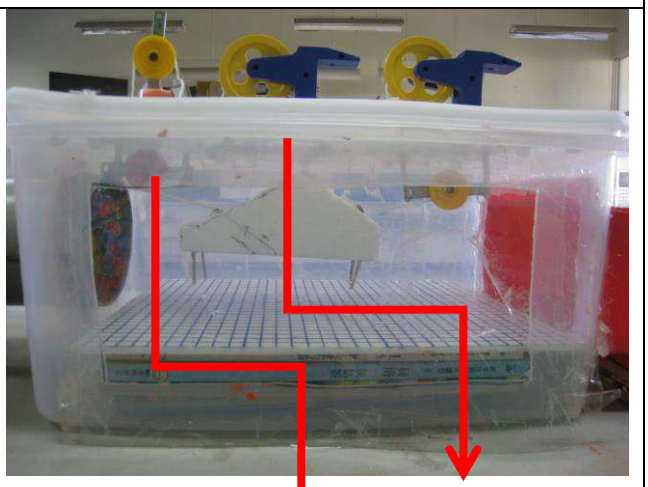
照片 5 原本測量的方式，箱頂實驗設計，車尾測量抬升力



照片 6 改變測量的方式，車頂上方測量抬升力，亦可測量車前水平空氣阻力



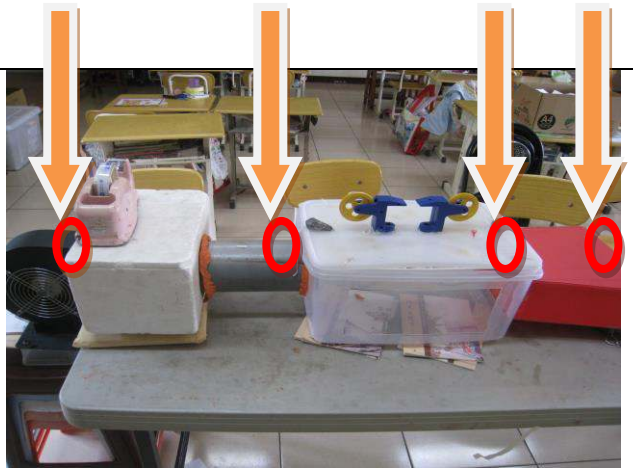
照片 7 原本箱內實驗方式，車尾測量抬升力



照片 8 改變箱內實驗方式，車頂中間上方測量抬升力，車前方測量水平空氣阻力，墊高地板，模擬車子行駛。

1 號區　　2 號區　　3 號區　　4 號區

照片 9 長方形出口



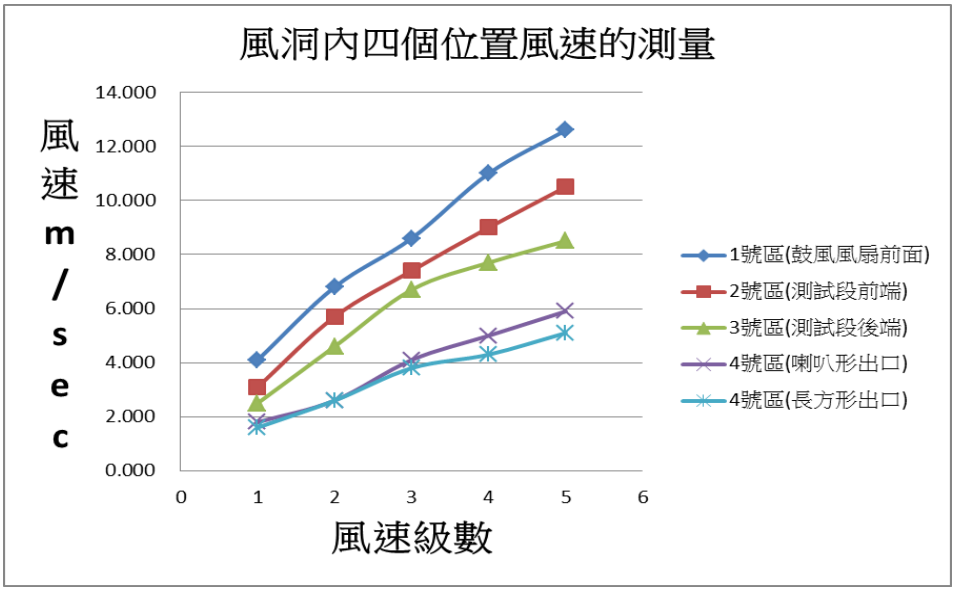
照片 10 喇叭形出口

(三)、測試結果與討論：

表 1　製造五個級速的風

風速 (m/sec) \ 風速	一級風	二級風	三級風	四級風	五級風
1 號區(風扇前)	4.100	6.800	8.600	11.000	12.600
2 號區(水管候後端)	3.100	5.700	7.400	9.000	10.500
3 號區(實驗後端)	2.500	4.600	6.700	7.700	8.500
4 號區(尾端喇叭形出口)	1.800	2.600	4.100	5.000	5.900
4 號區(尾端長方形出口)	1.600	2.600	3.800	4.300	5.100

圖表一



1. 使用風速器測量風洞內的風速可以知道風速會隨距離變小。
2. 圖表一縱向分析，1 號區到 3 號區，測試段風速越大，差異越大，表示風因為米箱的大小風受擾動的程度越高。4 號區排出的風與 3 號排出的風因風速越大差異越大，讓風排出更順利需要再改善。
3. 尾端的材料是平滑的瓦楞板。圖表一橫向分析時，當一級風到三級風時，喇叭形出口和長方形出口數值較無差異，表示風速小時形狀並不影響風的排出，當四級風到五級風時，喇叭形出口比長方形出口數值更大，表示風速大時喇叭形出口更能把風給順利排出。
4. 測試段後端與測試段前端風速差異：一級風相差 0.6 m/sec，二級風相差 1.1 m/sec，三級風相差 1.7 m/sec，四級風相差 2.1 m/sec，五級風相差 3.1 m/sec。風速越大，風在箱內的干擾越大，所以要把車子架在測試段前端，避免干擾影響。

觀察各種接觸面風的行進路徑：

風箱底面打了48個孔 ：

直流風

照片 11 製造直流風 1

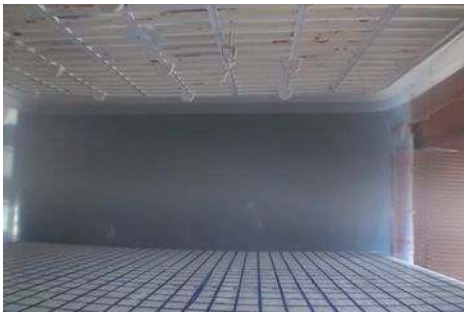
照片 12 製造直流風 2

照片 13 製造直流風到達 48 孔洞無法順利排出而回彈

照片 14 無法順利排出的風與後來吹出的風混在一起而煙霧瀰漫

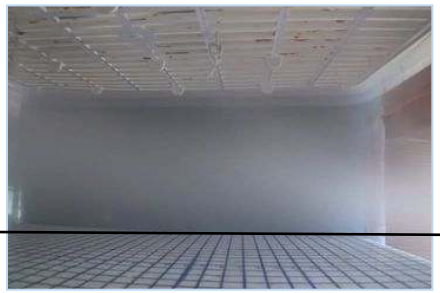
箱底開出長方體導風口後：

照片 15 製造直流風 1



照片 16 製造直流風 2

照片 17 製造直流風並順利排出箱外



照片 18 順利排出箱外減少回彈

1. 針對每級風持續 10 秒的風速量測，確認鼓風風扇可以提供穩定的風源。

2. 由照片 12 可見風直線吹出，但在測試段箱子本來打了 48 個孔讓風自然流出，但風扇打開實驗進行時，風無法順利排出，產生嚴重風的回彈，如照片 13 和 14。為避免風回彈擾亂直流風的行進，測試箱底開出長方形出風口，接上長方形和喇叭形瓦楞板管，讓風力受測物儘量只受到風洞入射風的作用，如照片 17 和 18。

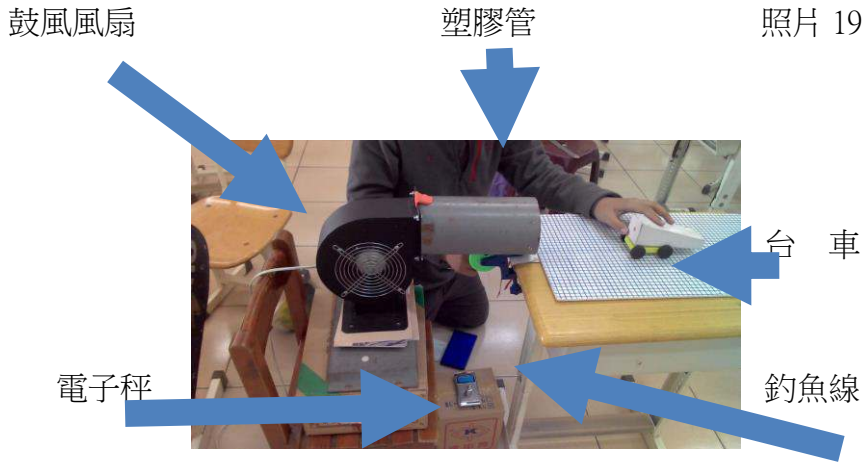
研究一、探討相同風速下，不同車身所造成的水平空氣阻力。

【步驟】

1、使用厚紙板製作出八種矩形車體模型。

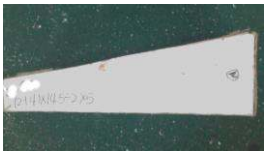
2、使用鼓風風扇設備，水電用PVC塑膠接上一個6 吋長的珍珠奶茶吸管排列成風的通道，使風直線前進。電子秤上放上20g砝碼，每次歸零，車頭向前，測試其減少的力，即為模型車所受到的阻力。

3、以下研究水平空氣阻力的測量均是使用此方法。



照片 19 水平空氣阻力測量

照片 20　車子 1 車前面積：5cm X　6cm 車後面積：5cm X　6cm	照片 21　車子 2 車前面積：5cm X　6cm 車後面積：2cm X　6cm	照片 22　車子 3 車前面積：4cm X　6cm 車後面積：2cm X　6cm	照片 23　車子 4 車前面積：3cm X　6cm 車後面積：2cm X　6cm

			
照片 24　　車子 5 車前面積：2cm X　6cm 車後面積：2cm X　6cm	照片 25　　車子 6 車前面積：2cm X　6cm 車後面積：3cm X　6cm	照片 26　　車子 7 車前面積：2cm X　6cm 車後面積：4cm X　6cm	照片 27　　車子 8 車前面積：2cm X　6cm 車後面積：5cm X　6cm

研究二、探討各種風速下模型跑車駕駛座前不同的迎風面造成行駛中的空氣阻力。

	照片 28 A1 號車體：車前迎風面與水平面 90 度 A2 號車體：車前迎風面與水平面 75 度 A3 號車體：車前迎風面與水平面 60 度 A4 號車體：車前迎風面與水平面 45 度 A5 號車體：車前迎風面與水平面 30 度

(一)、相同風速下，不同迎風角度的模型跑車行駛中所造成的水平空氣阻力。

【步驟】

使用鼓風風扇裝上有吸管的塑膠管，將各種車子形狀黏於台車上裝上棉線，電子秤上放上 20g 砝碼，每次歸零，測試其減少的力，即為模型車所受到的水平空氣阻力。

(二)、相同風速下，相同迎風角度，不同車尾角度的模型跑車行駛中所造成的抬升力。

【步驟】

使用研究二、(一) 不同迎風角度阻力最小的 A5 號車體，再製作車尾 3cm 高與水平面夾 90 度 B1 號車體、車尾 3cm 高與水平面夾 75 度 B2 號車體、車尾 3cm 高與水平面夾 60 度 B3 號車體、車尾 3cm 高與水平面夾 45 度 B4 號車體、車尾 3cm 高與水平面夾 30 度 B5 車體，電子秤上放上 20g 砝碼，每次歸零，放入風洞測試區中測試其抬升力。

	照片 29 B1 號車體：車尾 3cm 高與水平面夾 90 度 B2 號車體：車尾 3cm 高水平面夾 75 度 B3 號車體：車尾 3cm 高與水平面夾 60 度 B4 號車體：車尾 3cm 高與水平面夾 45 度 B5 號車體：車尾 3cm 高與水平面夾 30 度

(三)、相同風速下，相同迎風角度的模型跑車行駛中所造成的車尾的空氣狀態。

【步驟】

1. 方法一，在車後方使用 0.5cm 厚 1cm x 1cm 面積的珍珠板整齊放入 6 X 6 塊。如照片 30， 在密閉教室內將 B5 號車體放在鼓風風扇前，以一級風到五級風測量車後的空氣狀態。
2. 方法二，在車後方使用風速器，如照片 31，將 B5 號車體放在風洞測試區中，以一級風到五級風來測量車後的風速大小。

照片 30　密閉教室內測量車後的空氣狀態	照片 31　風洞內測量車後的空氣狀態

研究三、探討各種風速下模型跑車後方使用珍珠板對車子所造成的抬升力。

(一)、相同風速下，不同珍珠板角度在行駛中的抬升力。

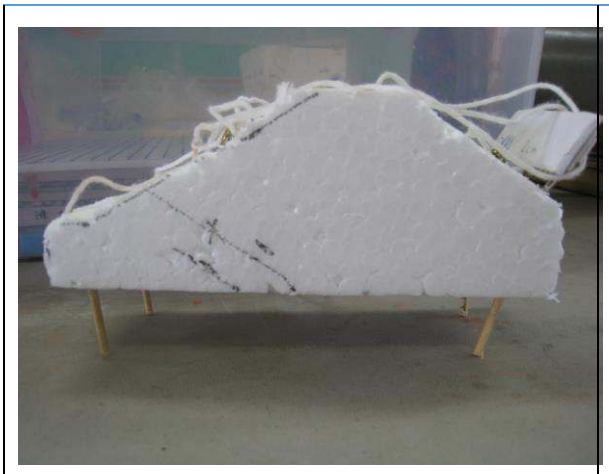
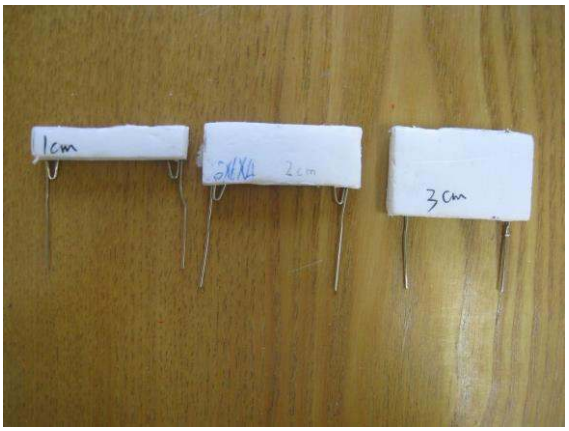
【步驟】

1. 如上，研究二 B5 模型跑車後方利用迴紋針插上 0.5 公分厚，2 公分寬，6cm 長的珍珠板放置與水平面向上呈 0 度、15 度、30 度、45 度、60 度、75 度、90 度，電子秤上放上 20g 砝碼，每次歸零，在風洞測試區中測量車子的抬升力。

(二)、相同風速下，不同珍珠板寬度在行駛中的抬升力。

【步驟】

1. 使用 B5 車體，在模型跑車後方利用迴紋針插上 1 公分、2 公分、3 公分寬，0.5 公分厚，6cm 長的珍珠板。珍珠板與水平面夾 60 度，電子秤上放上 20g 砝碼，每次歸零，在風洞測試區中測量車子的抬升力。

	
照片 32　車體掛上珍珠板	照片 33 不同珍珠板寬度

(三)、相同風速下，不同珍珠板位置在行駛中的抬升力。

【步驟】

1. 如上，研究三(一) 模型跑車後方利用迴紋針插上 3 公分寬，2 公分厚，6cm 長的珍珠板放在離車體 2cm 高、離車體 1cm 高、離車體 0cm 高，電子秤上放上 20g 砝碼，每次歸零，在風洞測試區中測量車子的抬升力。

研究四、探討各種風速下模型跑車在車尾前方 3cm 處，裝不同形狀珍珠板，在行駛中的抬升力。

【步驟】

1. 如上，B5 模型跑車後方利用迴紋針插上 2 公分厚的珍珠板在底部挖空 0cm、0.5cm、1cm、1.5cm 高，3 公分寬，6cm 長的珍珠板，珍珠板插掛在車尾前 3cm，與水平面呈 0 度角。利用迴紋針插上 2 公分厚的珍珠板在底部挖空 0cm、0.5cm、1cm、1.5cm、上下 0.5cm 兩個洞、左右 1cm 兩個洞五種形狀，3 公分寬，6cm 長的珍珠板，電子秤上放上 20g 砝碼，每次歸零，測試其減少的力，即為模型車所受到的抬升力。。

照片 34 底部挖空 0cm、0.5cm、1cm、1.5cm 高，3 公分寬，2 公分厚的珍珠板	照片 35　底部挖空 0cm、0.5cm、1cm、1.5cm、上下 0.5cm 兩個洞、左右 1cm 兩個洞，3 公分寬，2 公分厚的珍珠板

伍、結果與討論

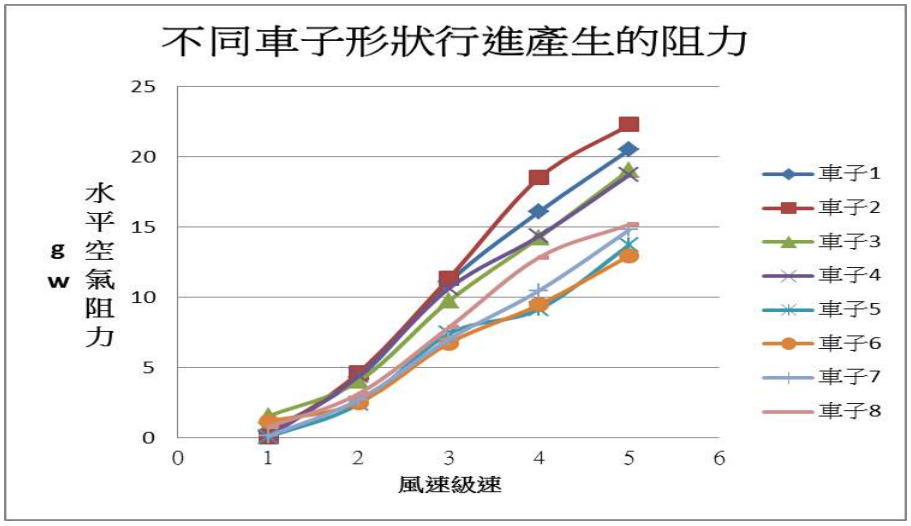
研究一、探討各種風速下不同模型跑車形狀接觸風的阻力。

(一)、相同風速下，不同車身所造成的水平空氣阻力。

實驗結果：

表 2　　單位:gw

風速 車體	1 級風	2 級風	3 級風	4 級風	5 級風
車子 1	0.45	4.27	11.09	16.09	20.51
車子 2	0.09	4.64	11.36	18.51	最大 22.29
車子 3	1.54	4.04	9.74	14.27	19.07
車子 4	最小 0.05	4.41	10.64	14.37	18.72
車子 5	0.06	2.41	7.41	9.16	13.73
車子 6	最大 1.17	2.52	6.74	9.47	最小 12.97
車子 7	0.12	2.72	7.02	10.48	14.81
車子 8	0.77	3.14	7.86	12.84	15.19



圖表 2

研究討論：

1、　由圖表 2 可知，無論哪一種車型，風速越大，水平空氣阻力越大。也就是車速越快，車子的水平空氣阻力就越大。

2. 由圖表 2 可發現，在一級風時候，最大值與最小值相差 1.12gw，每一台車子水平空氣阻力差 距不明顯，而在四級風和五級風，也就是風比較大的時候，水平空氣阻力最大的車子和水平空氣阻力最小的車子數據差距變大， 最大值與最小值相差 9.32gw。
3. 在實驗設計時已將車子分類為三大類，

第一類(表二，白色部分)	第二類(表二，橘色部分)	第三類(表二，藍色部分)
迎風面面積和背風面面積一樣大	迎風面面積大於背風面面積	迎風面面積小於背風面面積
車子 1 迎風面面積 5cm、 車子 5 迎風面面積 2cm。	車子 2、車子 3、車子 4	車子 6、車子 7、車子 8

由實驗發現，迎風面面積較大的車子 1、車子 2、車子 3 車子 4，相對的水平空氣阻力就比較大，相反的，迎風面面積較小的車子的 5、車子 6、車子 7 車子 8，水平空氣阻力就很小。

4. 由表 2 可知，當二級風以上時，車的迎風面面積由大而小，水平空氣阻力則由大而小。第一類 車子 5 水平空氣阻力 < 車子 1；第二類 車子 4 水平空氣阻力 < 車子 2、車子 3；第三類車子 6 水平空氣阻力 < 車子 5、車子 7。
5. 由圖表 2 可發現，由數據可知，車子 5 和車子 6 水平空氣阻力最小，表示車子越貼地水平空氣阻力可越少。車子 6 水平空氣阻力最小，所以以下實驗加入駕駛座採用迎風面面積 2cm X 5cm，背風面面積 3cm X 5cm 的保麗龍車體實驗。

研究二、探討各種風速下模型跑車駕駛座前不同的迎風面造成行駛中的空氣阻力。

(一)、相同風速下，不同迎風角度的模型跑車行駛中所造成的水平空氣阻力。

實驗結果：

表 3 A5 號車:車前迎風面 30 度水平阻力實驗

單位：gw

風速 / 實驗次數	一級風	二級風	三級風	四級風	五級風
1	0.05	0.47	1.31	2.67	3.86
2	0.09	0.65	1.04	2.78	4.92
3	0.04	0.47	1.96	2.81	3.75
4	0.00	0.49	1.84	2.14	3.82
5	0.00	0.54	2.00	3.28	4.65
平均	0.036	0.524	1.630	2.736	4.285

表 4 A4 號車:車前迎風面 45 度水平阻力實驗

單位：gw

風速 / 實驗次數	一級風	二級風	三級風	四級風	五級風
1	0.30	2.20	2.75	3.71	4.79
2	0.30	2.28	2.99	3.34	4.85
3	0.38	2.33	2.95	3.27	4.65
4	0.25	2.37	3.07	3.33	4.66
5	0.32	2.31	3.09	3.71	4.85
平均	0.310	2.298	2.970	3.472	4.760

表 5 A3 號車:車前迎風面 60 度水平阻力實驗

單位：gw

風速 / 實驗次數	一級風	二級風	三級風	四級風	五級風
1	0.34	2.38	3.28	5.22	6.23
2	0.44	2.08	3.01	5.23	6.35
3	0.36	2.57	3.07	5.04	6.28
4	0.41	2.46	3.04	5.12	6.39
5	0.38	2.33	3.29	5.71	6.04
平均	0.386	2.364	3.138	5.264	6.258

表 6 A2 號車:車前迎風面 75 度水平阻力實驗

單位：gw

風速 / 實驗次數	一級風	二級風	三級風	四級風	五級風
1	0.50	2.91	3.34	6.18	7.31
2	0.55	2.93	3.45	6.01	7.57
3	0.49	2.82	3.32	6.38	7.68
4	0.57	2.71	3.34	6.35	7.47
5	0.58	2.95	3.44	6.48	7.48
平均	0.538	2.864	3.363	6.280	7.502

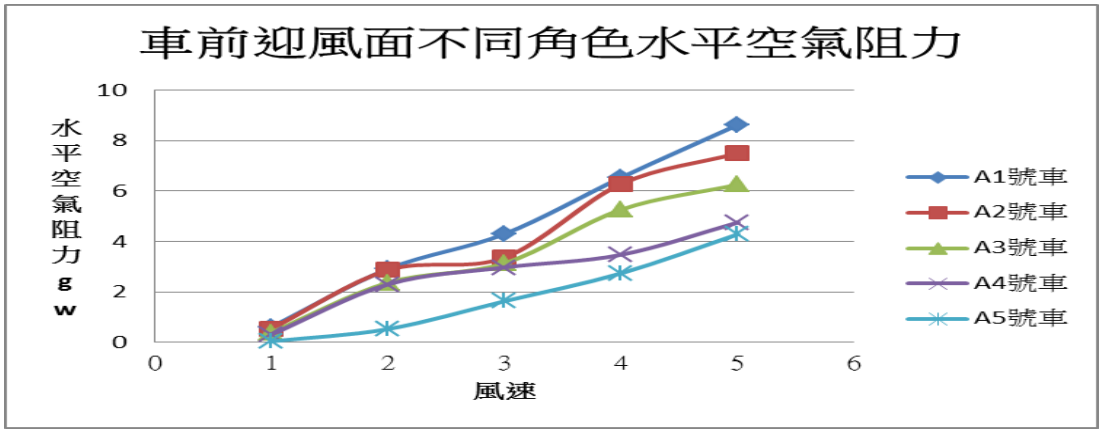
表 7 A1 號車:車前迎風面 90 度水平阻力實驗 單位：gw

風速 / 實驗次數	一級風	二級風	三級風	四級風	五級風
1	0.56	2.96	3.95	5.89	8.46
2	0.75	2.94	4.18	6.86	8.73
3	0.58	2.85	4.48	6.62	8.81
4	0.52	2.96	4.58	6.55	8.61
5	0.61	2.83	4.39	6.76	8.53
平均	0.604	2.908	4.298	6.536	8.628

表 8 表 3 ~ 表 7 平均值 單位：gw

風速 / 各種車頭	一級風	二級風	三級風	四級風	五級風
A1 車(車尾 90 度)	0.604	2.908	4.298	6.536	8.628
A2 車(車尾 75 度)	0.538	2.864	3.363	6.28	7.502
A3 車(車尾 60 度)	0.39	2.36	3.14	5.26	6.26
A4 車(車尾 45 度)	0.310	2.298	2.970	3.472	4.754
A5 車(車尾 30 度)	0.036	0.524	1.630	2.736	4.285

圖表 3



研究討論：

1. 風速越快時各種車前迎風面角度跑車的水平空氣阻力都越大。
2. 由圖表 3 可知在一級風和二級風下，A1 號車、A 2 號車、A 3 號車、A 4 號車、A 5 號車水平空氣阻力平均值差異不高，四級風和五級風時，水平空氣阻力 A 1 號車(90 度迎風

面) > A 2 號車 > A3 號車 > A4 號車 > A5 號車(30 度迎風)，由此可知同樣車速時，車子迎風面越流線阻力越小。所以我們使用 A5 號車(30 度迎風面角度)作為以下研究的基礎。

(二)、相同風速下，相同迎風角度，不同車尾角度的模型跑車行駛中所造成的抬升力。

實驗結果：

表 9　B1 號車 車尾 3cm 高與水平面夾 90 度抬升力實驗　單位：gw

風速 / 實驗次數	一級風	二級風	三級風	四級風	五級風
1	0.00	1.29	2.16	2.29	2.56
2	0.00	1.39	2.15	2.36	2.55
3	0.00	1.45	2.10	2.39	2.58
4	0.00	1.27	2.10	2.35	2.59
5	0.00	1.39	2.17	2.31	2.51
平均	0.000	1.358	2.136	2.340	2.558

表 10　B2 號車 車尾 3cm 高與水平面夾 75 度抬升力實驗　單位：gw

風速 / 實驗次數	一級風	二級風	三級風	四級風	五級風
1	0.19	2.22	3.30	3.36	3.68
2	0.17	2.21	3.32	3.37	3.65
3	0.20	2.25	3.33	3.39	3.66
4	0.23	2.23	3.34	3.32	3.65
5	0.23	2.22	3.34	3.39	3.66
平均	0.20	2.226	3.326	3.366	3.660

表 11　B3 號車: 車尾 3cm 高與水平面夾 60 度抬升力實驗　單位：gw

風速 / 實驗次數	一級風	二級風	三級風	四級風	五級風
1	0.34	2.30	3.24	3.66	3.84
2	0.43	2.28	3.44	3.62	3.92
3	0.00	2.33	3.87	3.52	3.89
4	0.40	2.25	3.65	3.72	3.95
5	0.38	2.23	3.38	3.69	3.94
平均	0.310	2.278	3.516	3.642	3.908

表 12　B4 號車: 車尾 3cm 高與水平面夾 45 度抬升力實驗　單位：gw

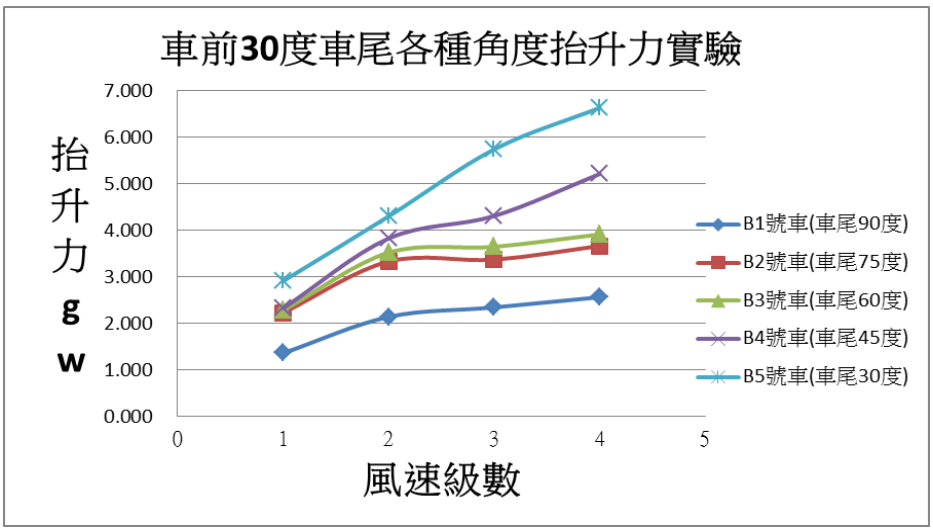
風速 / 實驗次數	一級風	二級風	三級風	四級風	五級風
1	0.55	2.33	3.78	4.53	5.29
2	0.49	2.30	3.88	4.13	5.26
3	0.52	2.33	3.83	4.31	5.21
4	0.54	2.34	3.79	4.27	5.27
5	0.52	2.32	3.83	4.28	5.01
平均	0.524	2.324	3.822	4.304	5.208

表 13　B5 號車:車尾 3cm 高與水平面夾 30 度抬升力實驗　單位：gw

風速 / 實驗次數	一級風	二級風	三級風	四級風	五級風
1	0.56	2.96	3.95	5.89	6.46
2	0.75	2.94	4.18	5.86	6.73
3	0.58	2.85	4.48	5.62	6.81
4	0.52	2.96	4.58	5.55	6.61
5	0.61	2.83	4.39	5.76	6.53
平均	0.604	2.908	4.298	5.736	6.628

表 14　表 9 到表 13 的平均值　單位：gw

風速 / 實驗次數	一級風	二級風	三級風	四級風	五級風
B1 號車	0.000	1.358	2.136	2.340	2.558
B2 號車	0.200	2.226	3.326	3.366	3.660
B3 號車	0.310	2.278	3.516	3.642	3.908
B4 號車	0.524	2.324	3.822	4.304	5.208
B5 號車	0.604	2.908	4.298	5.736	6.628



圖表 4

研究討論：

1. 由圖表 4 可知，車尾角度不同時會在車子行駛時造成不同的抬升力。一級風到五級風時 B5 號車(車尾 3cm 高與水平面夾 30 度) 抬升力大於各種不同的車尾，風速越大越明顯。我們推測是 B5 號車相較於其他車型更流線，風吹送時更順利，白努利現象越明顯所造成的。
2. 在風速越大時抬升力越大，B1 號車(車尾 3cm 高與水平面夾 90 度) < B2 號車 < B3 號車 < B4 號車 < B5 號車，B1 號車車後高起不利於車頂空氣流動順暢，所以車子的升台現象就小於其他車型。
3. 我們使用 B5 號車(30 度迎風面角度)作為以下研究的車款。

(三)、相同風速下，不同迎風面的模型跑車行駛中所造成的車尾的空氣狀態。

實驗結果：

方法一：如照片 30 在密閉教室內測量

表 15

單位：gw

風速 / 實驗次數	1 級風	2 級風	3 級風	4 級風	5 級風
1	36	36	20	5	3
2	36	35	20	5	3
3	36	36	25	8	3
4	36	36	24	5	3
5	36	36	23	7	3
平均	36	35.8	22.4	6	3

方法二：如照片 31 在風洞內測量車後的空氣狀態

表 16　離地 B5 車子迎風面 30 度車尾 30 度車尾風速

(車後 1cm 測)　　單位：gw

風速 / 實驗次數	1 級風	2 級風	3 級風	4 級風	5 級風
1	0.000	0.800	1.200	1.500	1.900
2	0.000	0.800	1.200	1.600	1.900
3	0.100	0.900	1.300	1.500	1.800
4	0.000	0.800	1.300	1.400	1.900
5	0.000	0.800	1.300	1.600	1.900
平均	0.020	0.820	1.260	1.520	1.880

表 17　離地 B5 車子迎風面 30 度車尾 30 度車尾風速

(車後 3cm 測)　　單位：gw

風速 / 實驗次數	1 級風	2 級風	3 級風	4 級風	5 級風
1	0.000	0.900	1.500	1.900	2.200
2	0.200	0.900	1.500	1.900	2.100
3	0.100	0.900	1.500	1.900	2.100
4	0.000	0.900	1.500	1.900	2.100
5	0.000	0.900	1.400	1.900	2.100
平均	0.060	0.900	1.480	1.900	2.120

表 18　B3 車子迎風面 30 度車尾 60 度車尾風速

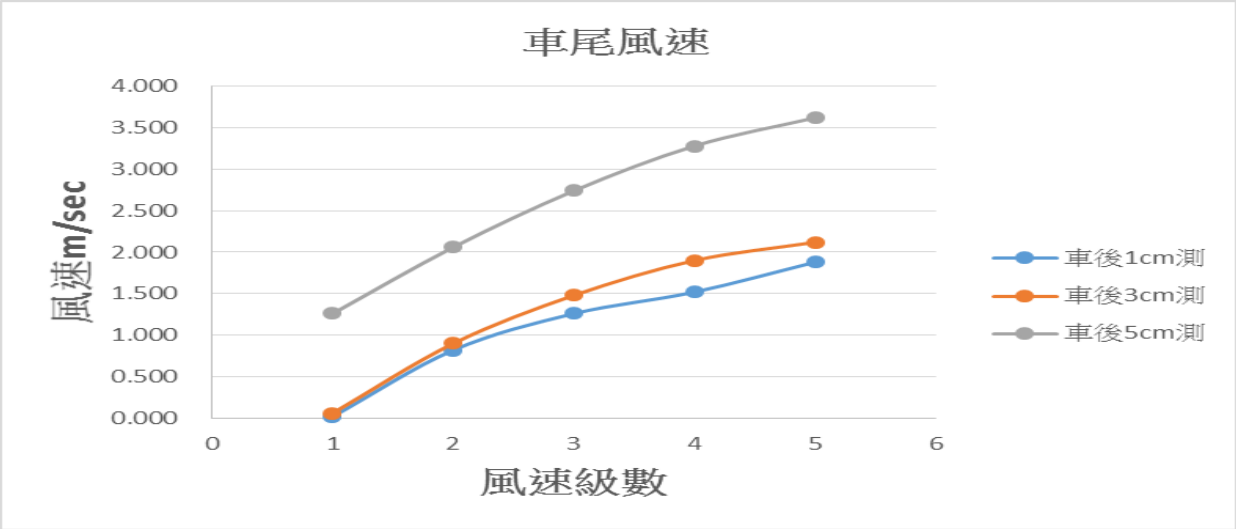
(車後 5cm 測)　　單位：gw

風速 / 實驗次數	1 級風	2 級風	3 級風	4 級風	5 級風
1	1.300	2.000	2.700	3.300	3.600
2	1.200	2.100	2.800	3.300	3.600
3	1.300	2.100	2.700	3.300	3.600
4	1.200	2.100	2.800	3.300	3.700
5	1.300	2.000	2.700	3.200	3.600
平均	1.260	2.060	2.740	3.280	3.620

表 19　表 16 到表 18 的平均風速

單位：gw

風速 / 測量區域	1 級風	2 級風	3 級風	4 級風	5 級風
車後 1cm 測	0.020	0.820	1.260	1.520	1.880
車後 3cm 測	0.060	0.900	1.480	1.900	2.120
車後 5cm 測	1.260	2.060	2.740	3.280	3.620



圖表 5

研究討論：

1. 方法一，一級風時所有的小珍珠板方塊都沒有飛走，我們認為風力需要大過小珍珠板方塊的重量才能把它帶走。二級風時所有的小珍珠板方塊沒想到沒有飛走，三級風時開始飛走一些，賸下平均 22 塊小珍珠板方塊 ，四、五級風時還留下一些小珍珠板方塊，所以我們發現無風區是存在的。
2. 方法二，一級風時全部的車子車尾風速均小於 1m/sec，差異不大。B5 的車子車尾風速均小於 1.1m/sec，一級風到五級風時車子車尾風速 B1 < B2 < B3 < B4 < B5。數據均大於 0，我們推斷放入車體後米箱箱壁有風的反彈，所以無法形成無風區。
3. 若依照方法二圖表 5 和方法一表 15 綜合的結果，我們推斷當真實的汽車在道路行駛時，車速越快無風區 B1 > B2 > B3 > B4 > B5，無風區最大的是車尾 90 度的車子，所以水平空氣阻力越大。

研究三、探討各種風速下模型跑車後方使用珍珠板對車子所造成的抬升力。

(一)、相同風速下，不同珍珠板角度在行駛中的抬升力。

實驗結果：

表 20 車頭 30 度車尾 30 度珍珠板 2cm90 度抬升力實驗　　單位：gw

風速 / 實驗次數	一級風	二級風	三級風	四級風	五級風
1	0.00	0.18	0.47	0.96	1.46
2	0.00	0.24	0.53	0.84	0.31
3	0.00	0.20	0.39	0.71	0.43
4	0.00	0.28	0.62	0.63	0.40
5	0.04	0.30	0.61	0.64	0.35
平均	0.008	0.240	0.524	0.756	0.590

表 21 車頭 30 度車尾 30 度珍珠板 2cm75 度抬升力實驗　　單位：gw

風速 / 實驗次數	一級風	二級風	三級風	四級風	五級風
1	-0.26	-0.34	-0.36	-0.46	-0.58
2	-0.24	-0.42	-0.54	-0.75	-1.09
3	-0.25	-0.41	-0.52	-0.74	-1.09
4	-0.23	-0.43	-0.53	-0.72	-1.07
5	-0.22	-0.45	-0.51	-0.70	-0.90
平均	-0.240	-0.410	-0.492	-0.674	-0.946

表 22 車頭 30 度車尾 30 度珍珠板 2cm60 度抬升力實驗　　單位：gw

風速 / 實驗次數	一級風	二級風	三級風	四級風	五級風
1	0.52	-0.39	-0.65	-0.81	-1.12
2	0.47	-0.47	-0.64	-0.83	-1.29
3	0.13	-0.58	-0.62	-0.84	-1.28
4	0.09	-0.45	-0.68	-0.89	-1.37

表 23 車頭 30 度車尾 30 度珍珠板 2cm60 度抬升力實驗　　單位：gw

風速 / 實驗次數	一級風	二級風	三級風	四級風	五級風
1	-0.05	-0.21	-0.41	0.73	-1.63
2	0.00	-0.18	-0.40	-0.62	-1.15
3	-0.05	-0.20	-0.44	-0.68	-1.09

5	0	-0.39	-0.6	-0.87	-1.38
平均	0.242	-0.456	-0.638	-0.848	-1.288

4	-0.04	-0.20	-0.46	-0.69	-1.16
5	-0.05	-0.21	-0.45	-0.69	-0.96
平均	-0.038	-0.200	-0.432	-0.390	-1.198

表 24 車頭 30 度車尾 30 度珍珠板 2cm30 度抬升力實驗　　單位：gw

風速 / 實驗次數	一級風	二級風	三級風	四級風	五級風
1	0.00	0.00	0.00	-0.12	-0.23
2	0.04	0.39	0.62	0.92	1.11
3	0.15	0.05	0.71	0.96	1.02
4	0.09	0.42	0.82	1.18	1.22
5	0.10	0.40	0.45	0.90	1.04
平均	0.076	0.252	0.520	0.768	0.832

表 25 車頭 30 度車尾 30 度珍珠板 2cm15 度抬升力實驗　　單位：gw

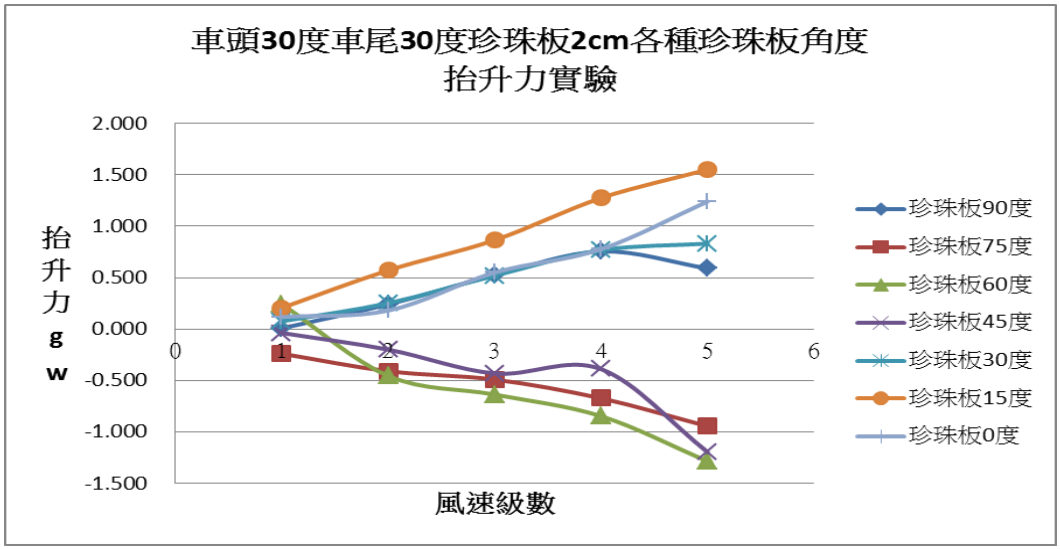
風速 / 實驗次數	一級風	二級風	三級風	四級風	五級風
1	0.29	0.61	0.81	1.26	1.48
2	0.18	0.62	0.96	1.25	1.53
3	0.25	0.63	0.92	1.37	1.64
4	0.24	0.61	0.82	1.41	1.68
5	0.07	0.39	0.82	1.09	1.43
平均	0.206	0.572	0.866	1.276	1.552

表 26 車頭 30 度車尾 30 度珍珠板 2cm0 度抬升力實驗　　單位：gw

風速 / 實驗次數	一級風	二級風	三級風	四級風	五級風
1	0.17	0.15	0.56	0.73	1.21
2	0.14	0.20	0.56	0.72	1.24
3	0.13	0.19	0.57	0.82	1.25
4	0.00	0.18	0.54	0.84	1.24
5	0.15	0,18	0.51	0.78	1.27
平均	0.118	0.180	0.550	0.778	1.242

表 27 表 20 到表 26 平均風速　　單位：gw

風速 / 各珍珠板角度	一級風	二級風	三級風	四級風	五級風
珍珠板 90 度	0.008	0.240	0.524	0.756	0.590
珍珠板 75 度	-0.240	-0.410	-0.492	-0.674	-0.946
珍珠板 60 度	0.242	-0.456	-0.638	-0.848	-1.288
珍珠板 45 度	-0.038	-0.200	-0.432	-0.390	-1.198
珍珠板 30 度	0.076	0.252	0.520	0.768	0.832
珍珠板 15 度	0.206	0.572	0.866	1.276	1.552
珍珠板 0 度	0.118	0.180	0.550	0.778	1.242



圖表 6

研究討論：

1. 由研究二表 14 知，跑車在適當的裝設擾流板，實驗數值小於沒有裝上珍珠板，抬升力較小，具有擾流效果，如果如夾角 0 度、15 度、30 度、90 度裝設擾流板無法達到效果，指能成為裝飾品。
2. 由圖表 6 可知，線的斜率為負的，珍珠板與水平面向上夾 45 度、60 度和 75 度時，風速越大抬升力越小，表示效果優於夾 0 度、15 度、30 度、90 度。綜合討論 1 和討論 2，以 60 度為最佳的角度。
3. 以下研究以珍珠板與水平面夾 60 度為實驗方式，看哪一種寬度珍珠板最有效率。

(二)、相同風速下，不同珍珠板寬度在行駛中的抬升力。

實驗結果：

表 28 車頭 30 度車尾 30 度珍珠板 1cm 60 度抬升力實驗　　單位：gw

風速 / 實驗次數	一級風	二級風	三級風	四級風	五級風
1	0.00	0.00	0.00	-0.32	-0.42
2	-0.10	-0.30	-0.54	-0.81	-1.02
3	-0.10	-0.11	-0.14	-0.34	-0.42
4	0.00	0.00	-0.13	-0.39	-0.46
5	-0.04	-0.40	-0.22	-0.35	-0.41
平均	-0.048	-0.162	-0.206	-0.442	-0.546

表 29 車頭 30 度車尾 30 度珍珠板 3cm 60 度抬升力實驗　　單位：gw

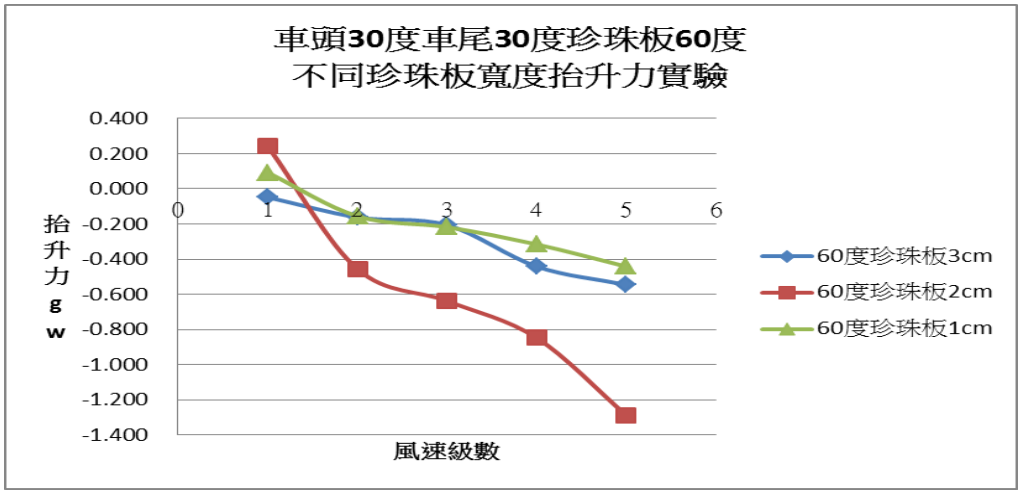
風速 / 實驗次數	一級風	二級風	三級風	四級風	五級風
1	0.20	0.00	-0.10	-0.26	-0.42
2	0.00	-0.11	-0.20	-0.39	-0.40
3	0.00	-0.23	-0.31	-0.32	-0.45
4	0.26	-0.21	-0.16	-0.31	-0.47
5	0.00	-0.23	-0.32	-0.30	-0.47
平均	0.092	-0.156	-0.218	-0.316	-0.442

表 30 表 22、表 28、表 29 平均值

單位：gw

風速 / 珍珠板寬度	一級風	二級風	三級風	四級風	五級風
珍珠板 3cm	0.092	-0.156	-0.218	-0.316	-0.442
珍珠板 2cm	0.242	-0.456	-0.638	-0.848	-1.288

珍珠板 1cm	-0.048	-0.162	-0.206	-0.442	-0.546



圖表 7

研究討論：

1. 由圖表 6 知，模型跑車車尾搭配 1cm、2cm 和 3cm 珍珠板時，電子秤讀數 2 低於 0，珍珠板有擾流效果。電子秤讀數越低於 0，越可以阻擋車體所造成的抬升力，使車子的輪子能有摩擦力行駛。。
2. 2cm 珍珠板與水平面夾 60 度時，三級風到五級風時，優於 1cm 和 3cm 珍珠板，表示 2cm 珍珠板適合這款模型跑車。
3. 無論 1cm、2cm 和 3cm 珍珠板在一級風時未能展現擾流板的功用，但三級風到五級風風速越大，擾流板效果越好。
4. 以下研究以 2cm 珍珠板與水平面夾 60 度為實驗方式，看哪一種高度珍珠板最有效率。

(三)、相同風速下，不同珍珠板位置在行駛中的抬升力。

實驗結果：

表 33 車頭 30 度車尾 30 度珍珠板 2cm60 度高 1cm 抬升力實驗　　單位：gw

風速 / 實驗次數	一級風	二級風	三級風	四級風	五級風
1	0.23	-0.39	-0.55	-0.71	-0.8
2	0.25	-0.34	-0.6	-0.73	-0.92
3	0.24	-0.30	-0.42	-0.74	-1.01
4	0.27	-0.40	-0.58	-0.69	-0.96
5	0.25	-0.34	-0.48	-0.77	-0.93
平均	0.248	-0.354	-0.526	-0.728	-0.924

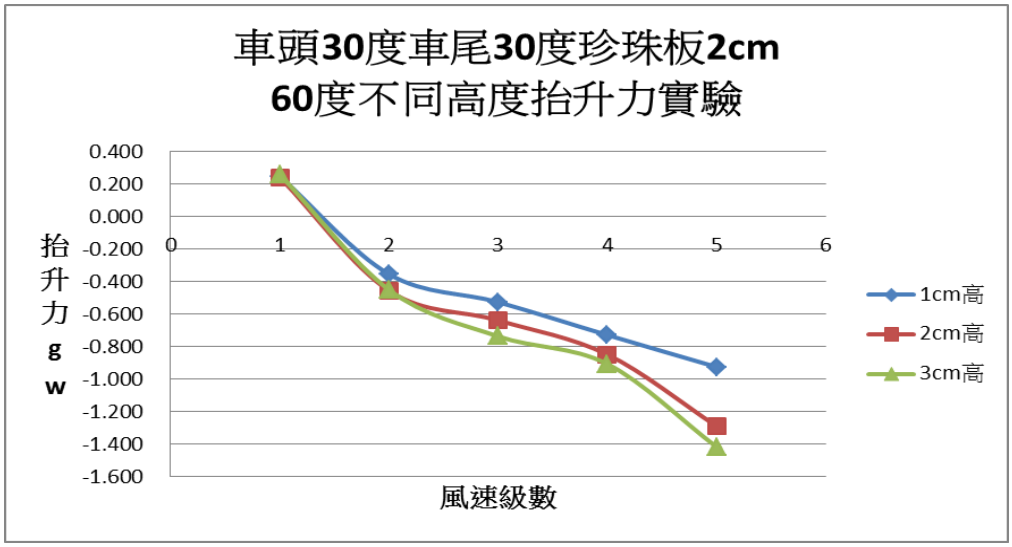
表 34 車頭 30 度車尾 30 度珍珠板 2cm60 度高 3cm 抬升力實驗　　單位：gw

風速 / 實驗次數	一級風	二級風	三級風	四級風	五級風
1	0.52	-0.39	-0.65	-0.81	-1.12
2	0.47	-0.47	-0.64	-0.83	-1.29
3	0.13	-0.58	-0.62	-0.84	-1.28
4	0.09	-0.45	-0.68	-0.89	-1.37
5	0	-0.39	-0.6	-0.87	-1.38
平均	0.242	-0.456	-0.638	-0.848	-1.288

表 35 表 24、表 33、表 34 平均值　單位：gw

風速 / 珍珠板不同高度	一級風	二級風	三級風	四級風	五級風
1cm 高	0.248	-0.354	-0.526	-0.728	-0.924
2cm 高	0.242	-0.456	-0.638	-0.848	-1.288
3cm 高	0.258	-0.45	-0.736	-0.906	-1.416

圖表 8



研究討論：

1. 由圖表 8 可知，圖形的斜率為負。使用珍珠板的抬升力數值低於 0，風越大或車速越快時，

珍珠板在上方更能發揮作用，使抬升力減少。

2. 二級風到五級風時都有使模型跑車達到減阻效果，珍珠板放在離車 3cm 高的數值小於離車高 1cm 和離車高 2cm，表示珍珠板離車高 3 公分的車子，更能擾動空氣，克服抬升力，使車子平穩行駛，表示擾流板要在高一點的位置才能發揮功效。

研究四、探討各種風速下模型跑車車尾末端 2cm 處，裝不同形狀珍珠板，在行駛中的抬升力。

實驗結果：

表 36　1 號珍珠板底部挖空 0cm 的 3 公分寬，2 公分厚的珍珠板　單位:gw

風速 / 實驗次數	1 級	2 級	3 級
1	0.17	0.45	0.53
2	0.09	0.24	0.47
3	0.05	0.17	0.52
4	0.22	0.35	0.31
5	0.2	0.46	0.6
平均	0.146	0.334	0.486

表 37　2 號珍珠板底部挖空 0.5cm，3 公分寬，2 公分厚的珍珠板　單位:gw

風速 / 實驗次數	1 級	2 級	3 級
1	0.17	0.33	0.46
2	0	0.12	0.23
3	0	0.24	0.38
4	0.06	0.22	0.44
5	0.08	0.23	0.39
平均	0.062	0.2275	0.38

表 38　3 號珍珠板　底部挖空 1cm，3 公分寬，2 公分厚的珍珠板　單位:gw

風速 / 實驗次數	1 級	2 級	3 級
1	0	0.17	0.38
2	0.01	0.2	0.35
3	-0.09	0.25	0.36
4	0.07	0.27	0.4
5	0.21	0.25	0.39
平均	0.04	0.228	0.376

表 39　4 號珍珠板　底部挖空 1.5cm，3 公分寬，2 公分厚的珍珠板　單位:gw

風速 / 實驗次數	1 級	2 級	3 級
1	0.04	0.19	0.29
2	0	0.19	0.25
3	0	0.11	0.21
4	0.09	0.21	0.31
5	0.08	0.25	0.36
平均	0.042	0.19	0.284

表 40　5 號珍珠板底部挖空上下 0.5cm 兩個洞，3 公分寬，2 公分厚的珍珠板　單位:gw

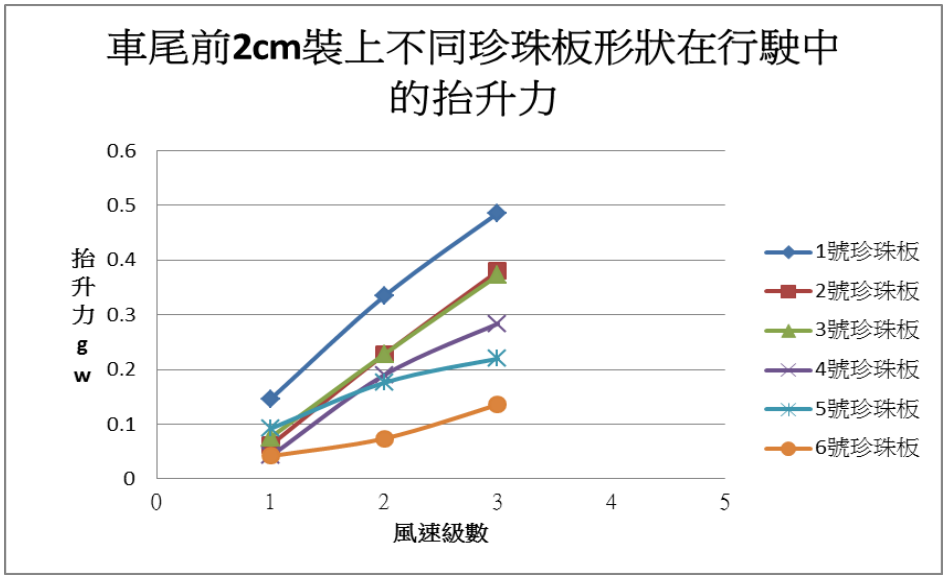
風速 / 實驗次數	1 級	2 級	3 級

表 41　6 號珍珠板底部挖空左右 1cm 兩個洞，3 公分寬，2 公分厚的珍珠板　單位:gw

風速 / 實驗次數	1 級	2 級	3 級

1	0.04	-0.05	-0.08			1	0	0.09	0.09
2	0.08	-0.04	-0.08			2	0.15	0.34	0.32
3	0.09	0.18	0.26			3	0.06	0.13	0.24
4	0	0.13	0.26			4	0.11	0.18	0.21
5	0	0.15	0.32			5	0.14	0.14	0.24
平均	0.042	0.074	0.136			平均	0.092	0.176	0.22

圖表 9：



研究討論：

1. 在同一車款下，風速越大，珍珠板作用的差異越明顯。
2. 二級風和三級風時，上升空氣阻力平均值；1 號珍珠板 > 2 號珍珠板 > 3 號珍珠板 > 4 > 5 號珍珠板 > 6 號珍珠板， 6 號珍珠板平均值抬升力最小，5 號珍珠板抬升力第 2 小；二級風時，可以讓減少阻力 1 號珍珠板比較不好 擾動氣效果比較不好。雖然珍珠板厚 2cm，但因有孔洞，使氣流改變，珍珠板更能將抬升力減小的效果。

3 由表 13 和表 36 到表 41 比較，探討三多一塊 2cm 珍珠板在一級風到三級風和 1~6 號珍珠板放入後有明顯將抬升力減小的效果。

陸、結論

1、研究實驗設備，風洞使用PVC塑膠水管內裝吸管排列成風的通道，試圖將風整流成均勻而穩定的直線方向的風，這是整流段。我們使用鼓風式風扇比電風扇更平穩更強，所以不需加速段，使用風速調節器將風劃分成五級做成記號。

2、實驗設備測風區尾端本以48個孔排出前端送出的風，沒想到風無法順利排出而回彈，造成亂流，所以把底面挖空接上喇叭形瓦楞板做成的排風管，使風能順利排出。

3、研究用的模型車重6.8 gw，在水平空氣阻力實驗加上台車可以增加重量，風速大也可以順利得到數據。風洞測試段以懸吊式實驗，在不斷的測試和改進下，我們克服風速大，四級到五級時，車身輕，容易　動盪，就無法取得資料的問題。加入箱內兩個定滑輪，改變力的方向，有些就可同時在測試段取得水平空氣阻力和上升空氣阻力數據。

3、　風速越大，各種車型的上升阻力越強越明顯。抬升力會造成電子秤讀數增加，若空氣阻力數值而言，越趨近於0或低於0，，它能抵消一部分抬升力，減少風阻影響，使汽車能貼著道路行駛，進而提高車子行駛的穩定性，讓車子的效能越好。

5、車體前低後稍高，車體貼近地面，車子受到的水平空氣阻力越小，車子越順暢、省油。也就是車速越快時，如果要讓風阻變少，迎風面要流線，所以車身的設計要在高速前進時才可發現設計的好壞。

6、由研究二(一)、相同風速下，不同迎風角度的模型跑車行駛中所造成的水平空氣阻力。可知，迎風面角度 A1 車最大，所以車在行駛中接觸風較多，風在迎風面聚集，阻力較多；A5 車較流線可以將風順利後送，阻力較小，使車子在行駛時更平順安全。

7、由研究二(二)、相同風速下，相同迎風角度，不同車尾角度的模型跑車行駛中所造成的抬升力。所以，我們使用此車型做為以下研究的對象。由研究二(三)、我們可以知道無風區的存在，它會造成前後壓力差，成為車子行駛的阻力。

8、由研究三、探討各種風速下模型跑車後方使用珍珠板對車子行駛中的抬升力。可知，為了克服車子因形狀而造成的抬升力，所以，我們在車子尾端裝上不同寬度的珍珠板，太小的珍珠板作用小，2cm 的珍珠板會對 B5 號模型跑車(車尾 3cm 高與水平面夾 30 度)產生擾流作用，產生較少的抬升力。每一輛車都有適合自己的擾流板。

10、由研究三可知，厚0.5公分、長6公分、寬3公分的珍珠板與地板呈90度數值低，風速變大時讓車動盪不安，表示這是不恰當的方式。珍珠板與地板呈向上60度，讓抬升力變小，圖表斜率為負的，表示風速變大，效果越好。

11、由研究三可知，珍珠板放在離車 3cm 高的位置比離車高 2cm 和離車高 1cm，更能擾動空

氣，克服抬升力，防止氣流回彈，使車子平穩行駛，所以 F1 賽車的擾流板都架得高高的。

12、風速越大，珍珠板作用的差異越明顯，裝設適當的珍珠板效果也越好，若訪間有如此車款可以以長和寬比值為 3 的比例放大的擾流板放置於車尾 60 度。

13、由研究三可知，擾流板裝設的位置很重要，將珍珠板裝設在車尾，擾流板與車身之間有孔洞擾流板會減少更多的抬升力。若已經把擾流板架高，擾流板的形狀就沒有那麼重要了。

14、現在是講求環保愛地球的時代，良好的交通工具不僅使交通便利也能顧及減少資源的浪費，讓我們做事更有效率。一位良好的跑車設計師需要盡量把車身降低，車身流線型設計，裝上擾流板，把擾流板架高，使重心平穩，讓這台車暨美觀、安全又省能源。

柒、參考資料及其他

一、 翰林書局主編(民 103)。自然與生活科技第一冊。第三單元空氣和風。台南：翰林書局。

二、 翰林書局主編(民 103)。自然與生活科技第四冊。第一單元有趣的力、第三單元運輸工具和能源。台南：翰林書局。

三、 翰林書局主編(民 103)。自然與生活科技第八冊。第一單元力與運動。台南：翰林書局。。

四、 天下文化。物理馬戲團(1)。沃克著。葉偉文翻譯。

五、 天下文化。觀念物理(Ⅰ)。休伊特著。常雲惠翻譯。

六、 汽車空氣動力學 ppt。授課者：永達技術學院 張永福副教授。

http://www1.ytit.edu.tw/edu/tw/me/142/A01.ppt

【評語】080121

能設計空氣阻力實驗器驗證理論，可以再嘗試改變更強風速探討不同風速的影響。