

中華民國第42屆中小學科學展覽會

∴ 作品說明書 ∴

國中-物理科

科 別：物 理 科

組 別：國 中 組

作品名稱：“流 形”的 趨 勢 ---- 風

關 鍵 詞：汽車風阻、有效面積、水平風壓

編 號：030104

學校名稱：

臺南縣立歸仁國民中學

作者姓名：

王筑玄、林書丞、李美岱、吳佳芙

指導老師：

潘志偉、馬玉娟



壹、摘要

我們由百科全書上看到風洞的介紹，和汽車外形不斷在改變——漸趨流線型而引起我們的興趣，便參考資料著手製作小型的汽車風洞模型，再利用此風洞模型探討不同造型的模型汽車，對風阻的影響以及模型所受水平風壓的研究。

一、製作小型的汽車風洞模型

原先的汽車風洞模型為抽氣裝置，但由於風扇太小，且氣流不甚穩定，後來在拆船貨中找到一個強力風扇，且找到一個 $0\text{ V} \sim 260\text{ V}$ 的變壓器來控制風速的快慢，於是製成第二個吹氣裝置的汽車風洞模型。後來又為了研究水平風壓又改良製作了第三種風洞。

二、測試不同造型的汽車模型在風洞中的情形

1. 我們將電子天平置入風洞模型的測試段中，當風扇開始運轉時才歸零，我們測試了 6 輛模型汽車，分別在車頭、車尾和側面迎風時，所受的阻力大小，阻力的測量方法，是以在風洞中所測得的重量減去原始的重量，由其重量變化的百分比，來說明風阻的大小。
2. 但可能由於車子重量太重，故重量變化的百分比亦不大。

三、改採小台(重量較輕)的汽車模型在風洞中來測試

雖然車子的重量減輕，但也因其受風力的面積減小，所以，車子重量變化的百分比亦不大。於是著手進行用保麗龍製作模型車。

四、將不同形狀的物體吊於風洞中，測試水平風壓的大小

將保麗龍球、蛋的模型、正立方體盒子和自製三台漸趨流線形的保麗龍模型車以進行水平風壓的實驗。

五、製作一概念車

根據水平風壓的實驗數據，找出哪些形狀風壓最小，再進行製作概念車，實驗結果發現自行製作的概念車無論風速為何，風壓都能夠很穩定。

貳、研究動機

從百科全書中，看到風洞之介紹而引起我們研究之興趣。所以就找相關書籍及製作風洞公司的網站而得到風洞的相關知識。但是其理論都只能適用於大型的風洞，於是便著手製作一小型的風洞。並利用風洞做汽車風阻的實驗（探討垂直方向上的受力情形），此時就利用理化第一冊 6-2 如何測量力的觀念解決；以及理化第一冊第六章力的方向。在水平風壓的實驗中再利用理化第一冊 6-6 壓力的觀念解決；同時力的分解就用選修理化的觀念解決。

參、研究目的

- 一、瞭解風洞各個部分的功用及運作原理，以便著手改良成為小型的風洞。
- 二、製作的風洞必須要有穩定且快速的氣流，並可調整風速。
- 三、利用風洞研究汽車模型的外型與阻力（垂直方向上的受力情形）的相關性。
- 四、研究物體在風洞中的水平受力情形與物體形狀的相關性。

肆、研究設備器材

透明壓克力、美耐板、保麗龍、吸管、電腦風扇（12cm×12cm 電壓 12V）、強力風扇（17.6cm×17.6cm 電壓 115V）、變壓器（0~240V）、小汽車模型（6 輛）、電子秤、厚紙板、熱熔膠。

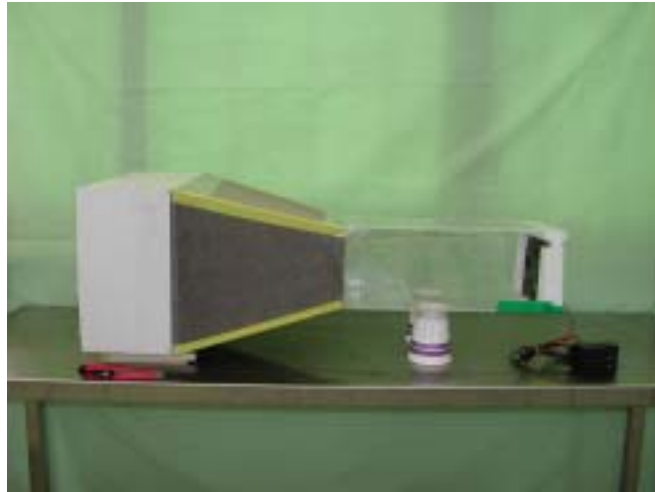
伍、研究過程或方法

一、風洞製作過程及氣流之測試

為了能夠更了解風洞的結構及各個部分的功能，於是上網找相關資料及書籍。一般而言，風洞分為四個部分：動力段、整流段、收縮段、測試段。在明白每個部分的功能後，開始從事風洞模型的製作。

（一）第一個風洞之製作過程

- 1 剛開始製作的風洞只有動力段以及測試段，並用保麗龍屑測試氣流，結果氣流紊亂，擾流的情形非常嚴重。所以我們認為可能進氣的氣流不穩定。
- 2 為了使進來的氣流穩定，於是在測試段的進氣口加裝了一個以厚紙板製成的四邊形外殼，並在氣流入口處貼上透氣薄棉，結果氣流有比較穩定了，但是還是稍嫌不理想。
- 3 最後在參考資料上瞭解蜂巢式的形狀能夠對整流最有幫助，而想到用小吸管替代透氣薄棉而進行填充，而結果是令人滿意的，氣流比之前任一情況穩定，至此氣流的穩定性就可克服。
- 4 礙於風扇動力小，使氣體流速不快，於是製作一收縮段可令氣體在通過測試段時，能夠比之前的速度快。加裝收縮段的確使氣流速度加快，但是氣流沒有之前的穩定。
- 5 第一個風洞之結構（如下圖）：由左至右依序為整流段（白色厚紙板裡面填充吸管）、收縮段（灰色美耐板）、測試段（透明壓克力）、動力段（風扇規格：長×寬 12cm×12cm 電壓：12 伏特）。



- (1) 整流段：整流段的材質為厚紙板利用膠水及膠帶粘合而成箱型，規格為 $32\text{cm} \times 27\text{cm}$ (長 $\times$ 寬)，內部填滿小吸管而形成蜂巢狀。
- (2) 收縮段：由美耐板用膠帶粘合而成梯形柱狀，光滑面朝內以減少阻力，其規格為上底： $32\text{cm} \times 27\text{cm}$ (長 $\times$ 寬)；下底： $16\text{cm} \times 13.5\text{cm}$ (長 $\times$ 寬) 高： 28cm 。
- (3) 測試段：測試段由透明壓克力用熱熔膠及快乾粘合而成箱型，規格為 $16\text{cm} \times 13.5\text{cm} \times 38\text{cm}$ (長 $\times$ 寬 $\times$ 深)。
- (4) 動力段：由一個抽風風扇構成，與測試段之間的空隙由保麗龍板填充使其密合。抽風風扇的規格為 12V (伏特) $12\text{cm} \times 12\text{cm}$ (長 $\times$ 寬)

6 為了使風速加快而多了收縮段，但是氣流並沒有因此而穩定，所以找一個風力更強的風扇是必須的。最後終於在拆船貨中找到一個強力的風扇(風扇規格：長 $\times$ 寬 $17.6\text{cm} \times 17.6\text{cm}$ 電壓： 120V 伏特)，而解決風力的問題，並進行著手製作第二個風洞。

(二) 第二個風洞之結構 (請參閱下圖)



- 1 . 此風洞由左至右分為動力段、整流段、測試段三個部分
- 2 . 動力段部分是由一個強力風扇構成。風扇的規格為 120V (伏特) $17.6\text{cm} \times$

17.6 cm (長×寬)

3. 整流段的材質為透明壓克力構成，規格為 17.6cm×17.6cm×9.7cm (長×寬×深)，內部填滿小吸管而形成蜂巢狀。
4. 測試段由透明壓克力用熱熔膠及快乾粘合而成箱型，規格為 17.6cm×17.6cm×40cm (長×寬×深)。
5. 後來又想要製作一個可以改變風速的風洞，於是終於想到使用變壓器(上圖最左邊的變壓範圍 0~240 伏特)來改變風速。
6. 最後為了探討外型和風壓的關係，因為實驗上的需要，最後將第二個風洞改良成第三種風洞。(稍後有詳述)

二、模型車風阻之測量(使用第二種風洞)

(一) 實驗方法

- 1 風阻的測量，我們所使用的方法是以汽車模型在風洞中以(1)車頭迎向風洞(2)車尾迎向風洞(3)車子的側面迎向風洞，將測量的重量減去原始的重量，所得到的重量與原始重量的百分比。
- 2 重量的測量是使用電子秤來測量，但是由於秤盤下方與儀器連接的地方有空隙，在實驗時會使氣流進入並因為浮力的影響而造成電子秤讀不到穩定的數據，所以著手改良電子秤。
- 3 改良的電子秤，如下圖。改良電子秤的方法是在秤盤前面加裝一片厚紙板，使氣流無法進入而且厚紙板不能碰到秤盤以免影響秤盤的準確度。



(二) 實驗步驟

- 1 測量每一台模型車在空氣中的重量
- 2 測量每一台模型車以(1)車頭迎向風洞(2)車尾迎向風洞(3)車子的側面，迎向風洞(在風扇電壓為 80V、100V、120V)時的重量。
- 3 在每一次測量前都需先將電子秤在風洞中歸零，不可在空氣中歸零再拿進風洞，否則會有誤差。
- 4 由於車子的側面及車尾的面積較大，所以當車子以側面及車尾迎向風洞時，由於風阻大所以車子會移動，此時就以雙面膠帶固定車輪與秤盤使之不會移動，實驗後再扣除膠帶的重量。
- 5 每一個風扇的電壓值均測量十次再求平均值。

三、探討車子外型與單位面積所受風壓的相關性(使用第三種風洞)

由於之前所研究的是汽車外型與重量在風洞中的變化(即鉛直方向的受力情形)，而沒有探討在水平方向上的受力情形，所以這個實驗的目的即在探討受試體在水平方向的受力情形。經由前一個實驗發現數據不明顯的主因是汽車模型的重量太重(金屬外

殼), 所以就改換成塑膠模型的小汽車以求取更輕的重量。但是由於受風的有效面積太小了, 所以數據也不明顯。最後我們只好以保麗龍自行製作汽車模型。

(一) 先探討基本外型的風壓 (如: 球體、立方體、蛋型)

1 實驗方法

- (1) 將球體、立方體、蛋型水平懸吊於風洞中, 受力的情形用相機拍照, 用作圖法量取角度 (θ)。
- (2) 改變風扇的電壓, 重複動作 (1)。
- (3) 利用三角函數的 $\tan$ 值和力圖分析以求取物體所受的水平力。 ($\tan \theta = \text{對邊}/\text{鄰邊} = F_{\text{水平}}/\text{重量 } W$, 所以 $F_{\text{水平}} = \text{重量 } W \times \tan \theta$)
- (4) 我們知道 $P(\text{壓力}) = F(\text{力})/A(\text{面積})$, 所以 $P(\text{風壓}) = F_{\text{水平}}/A(\text{有效面積})$
- (5) $A(\text{有效面積})$ 為物體在鉛直方向上的投影, 所以 $A(\text{有效面積}) = (\text{物體的橫向面積} \times \sin \theta) + (\text{物體的縱向面積} \times \cos \theta)$, 其中 θ 為擺角。

2 實驗時遭遇的困難

- (1) 由於此次實驗所測試的物體重量更輕, 對於氣流的穩定度要求更高, 所以第二種風洞無法使用, 於是便著手改良成第三種風洞。
- (2) 一開始懸吊物體的方法是三點式, 但是不穩定, 容易旋轉, 最後使用四點懸吊才能克服。

3 製作第三種風洞

- (1) 經由不斷的改良依然無法改進, 最後經由詢問漢翔航太公司藉由間接的幫忙得知一般大型的汽車風洞的測試段有 8 個車身長, 所以動手加長測試段 (加長 37cm)。加長的結果, 果然使懸吊的物體更穩定。
- (2) 改良整流段。原本的整流段是由小吸管平整的填充, 現在將整流段作成四角錐形, 凸起的那面面向測試段。
- (3) 經由這二個部分的改良, 使懸吊的物體比之前的第二種風洞穩定多了。

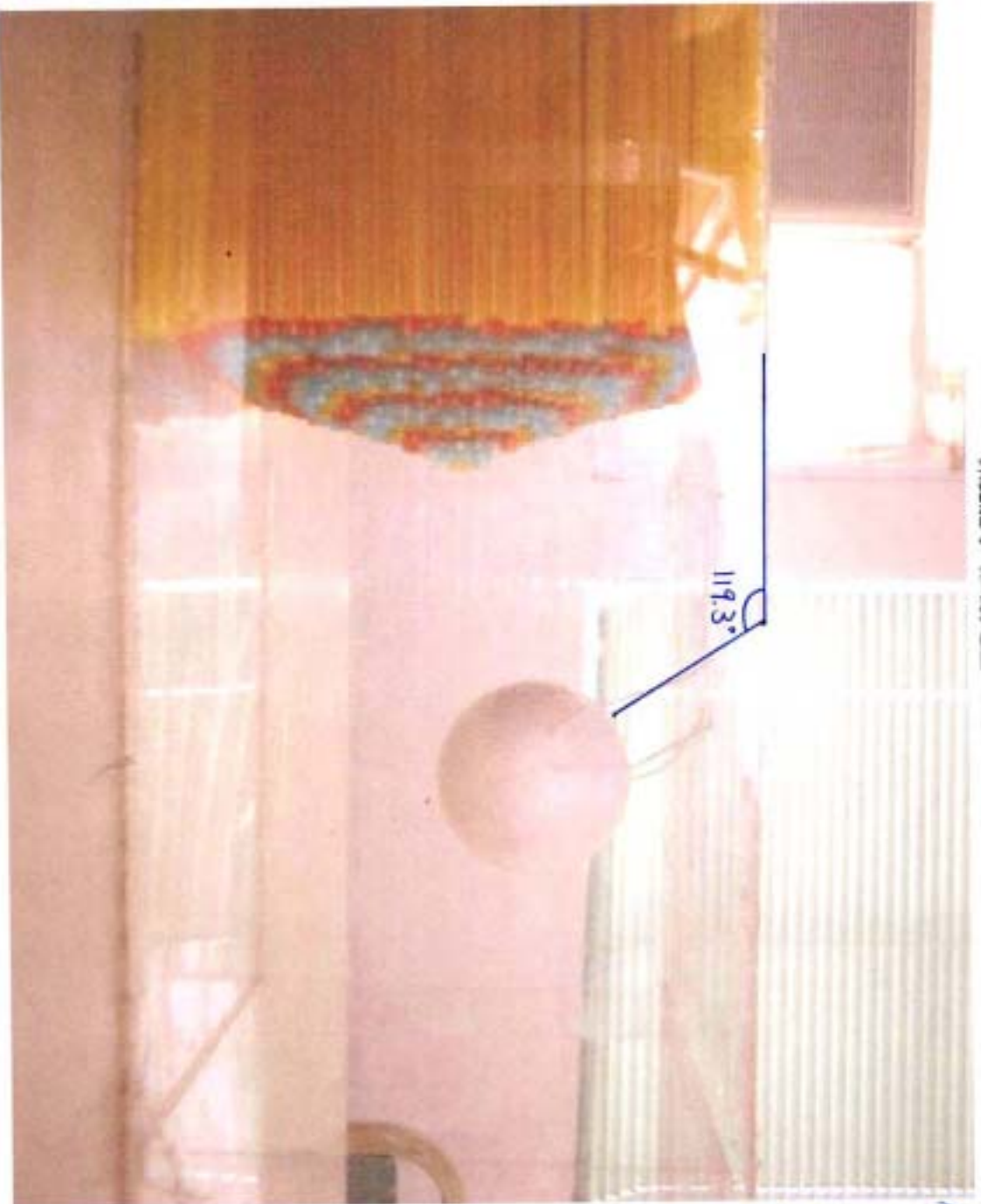
(二) 再探討汽車的外型和風壓的關係

1 實驗方法

- (1) 自行製作保麗龍車子, 探討的外型由長方體型漸趨流線型, 所以製作的車子有 Volvo 240、Volvo 850、跑車、未來概念車。
- (2) 將保麗龍模型車水平懸吊於風洞中, 受力的情形用相機拍照, 用作圖法量取角度 (θ)。
- (3) 改變風扇的電壓, 重複動作 (2)。
- (4) 利用三角函數的 $\tan$ 值和力圖分析以求取物體所受的水平力。 ($\tan \theta = \text{對邊}/\text{鄰邊} = F_{\text{水平}}/\text{重量 } W$, 所以 $F_{\text{水平}} = \text{重量 } W \times \tan \theta$)
- (5) 我們知道 $P(\text{壓力}) = F(\text{力})/A(\text{面積})$, 所以 $P(\text{風壓}) = F_{\text{水平}}/A(\text{有效面積})$
- (6) $A(\text{有效面積})$ 為保麗龍汽車模型在鉛直方向上的投影, 所以 $A(\text{有效面積}) = (\text{汽車模型的橫向面積} \times \sin \theta) + (\text{汽車模型的縱向面積} \times \cos \theta)$, 其中 θ 為擺角。

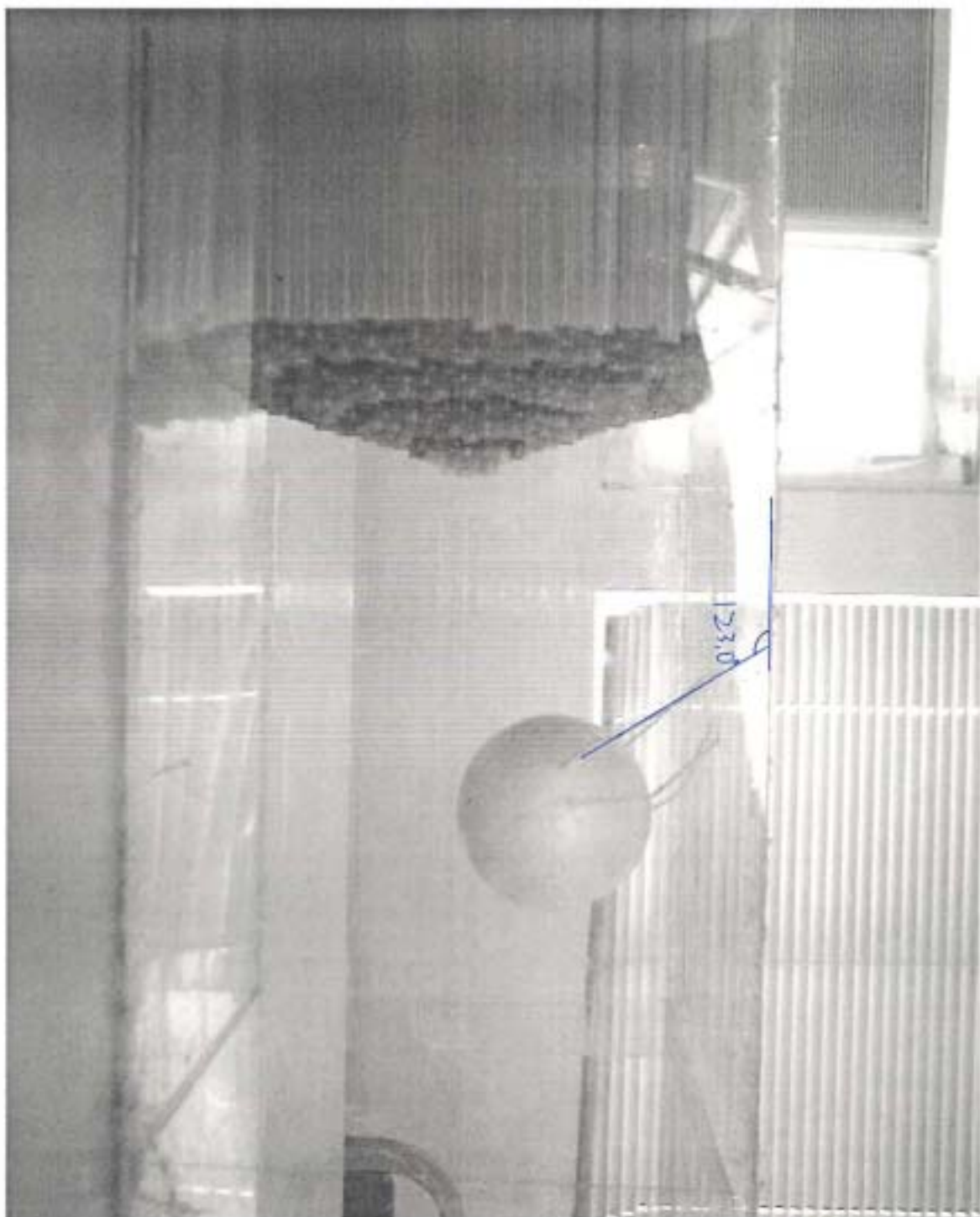
2 以下資料為實驗數據分析資料:

保麗龍球 (風扇電壓 80V)



保麗龍球在
空氣中重 2.40 gW
 $\tan(119.3^\circ)$
 ≈ 0.5611738
 所以水平力
 $F_{\text{水平}} = 2.40 \times \tan \theta$
 $\approx 2.47 \text{ gW}$

保麗龍球 (風扇電壓 90V)



$$T_{\text{max}} = 4.40 \times \tan(123.0^\circ - 90^\circ) \div 2.06 \text{ g}$$

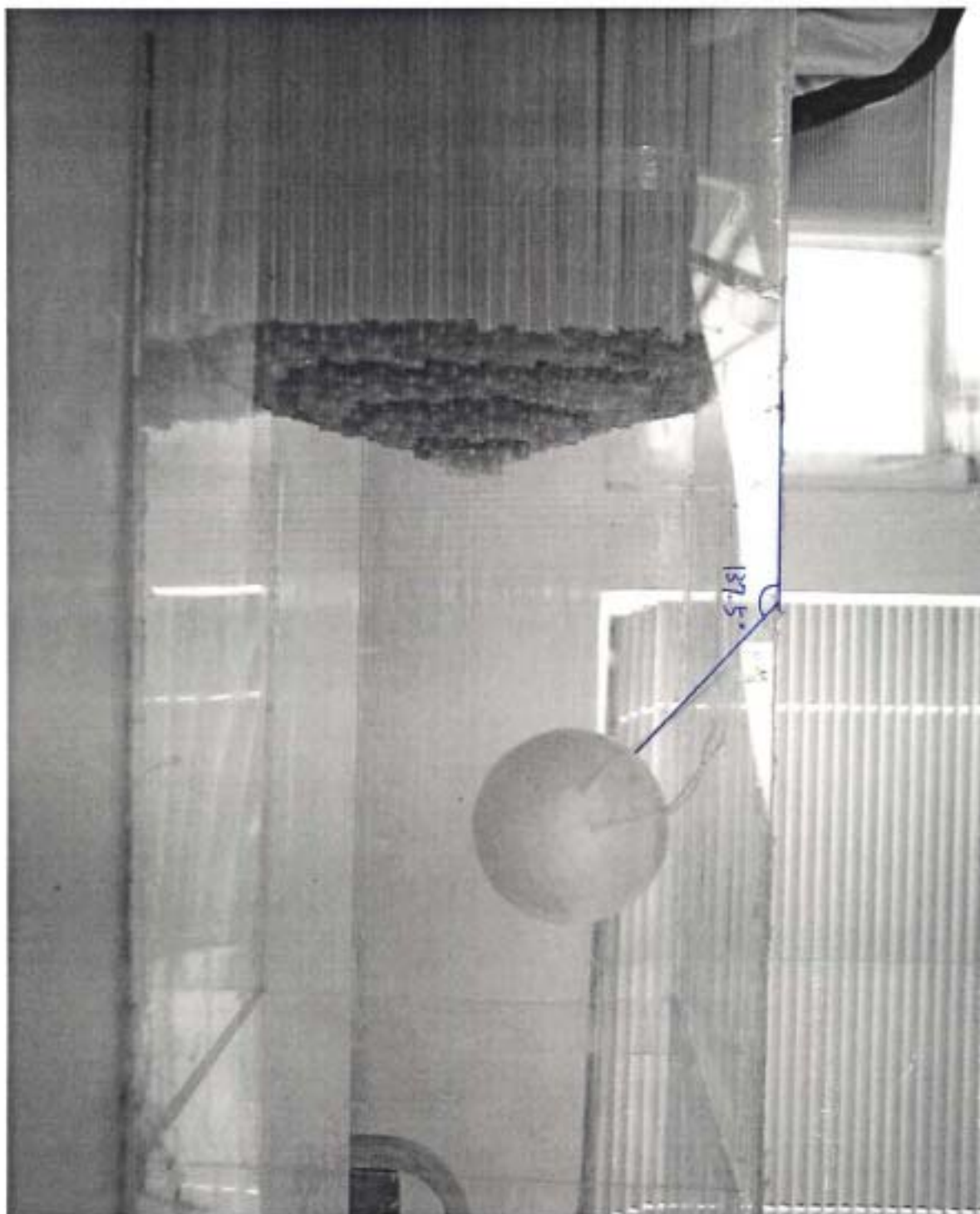
保麗龍球 (風扇電壓 100V)

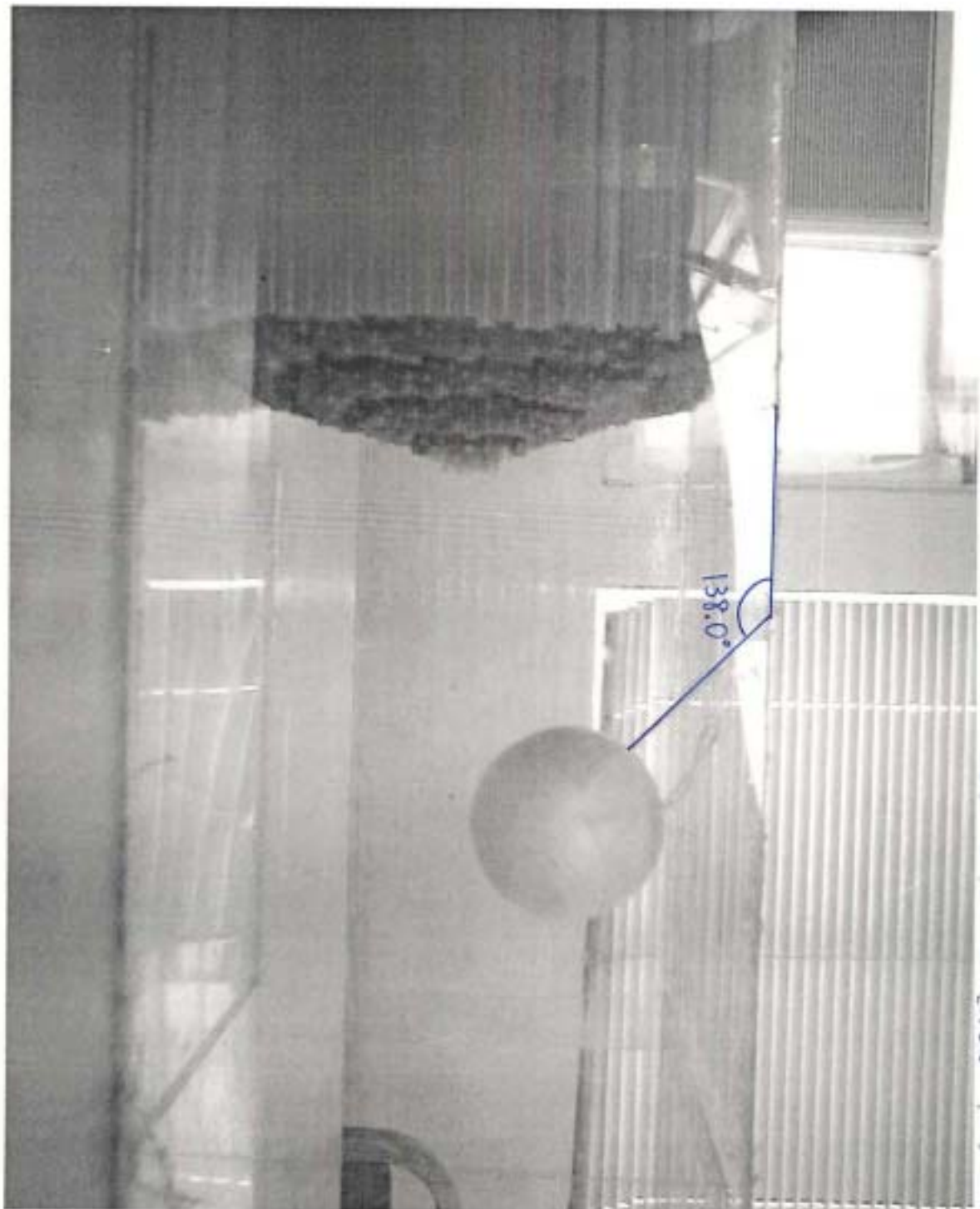


$$F_{\text{浮}} = 4.40 \times \tan(133.0^\circ - 90^\circ) \\ \approx 4.10 \text{ gW}$$

保麗龍球 (風扇電壓 110V)

$$T_{水平} = 4.40 \times \tan(137.5^\circ - 90^\circ) \approx 4.80 \text{ gms}$$





保屬龍球 (風扇電壓 120V) $F_{\text{風扇}} = 4.40 \times \tan(138.0^\circ - 90^\circ) \div 4.89 \text{ gm}$

保麗龍蛋 (風扇電壓 80V) 在空氣中重 340 gw

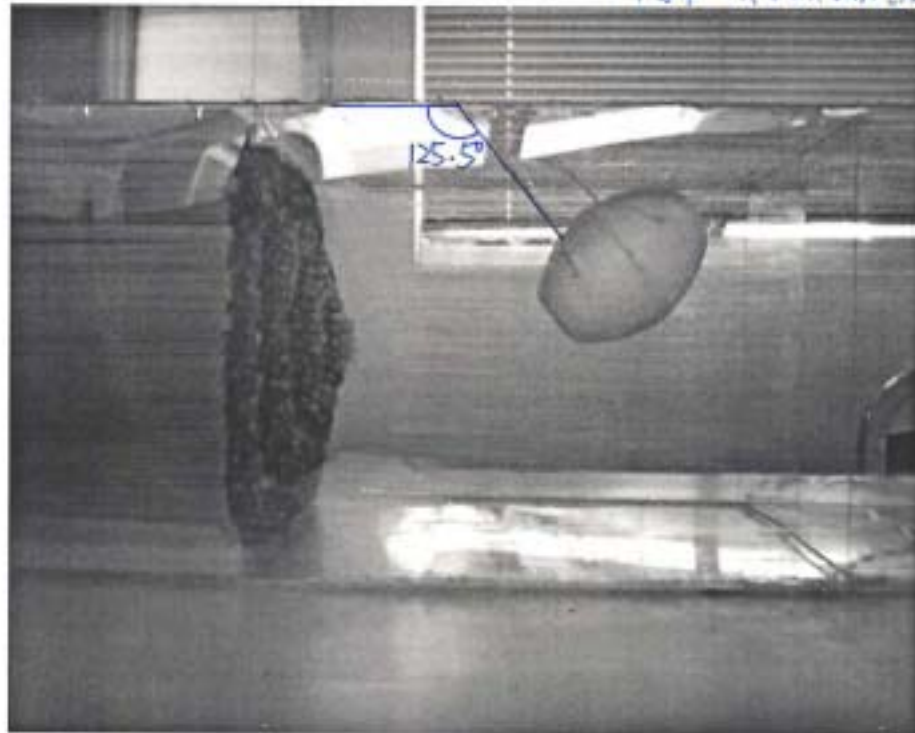


$$F_{\text{水平}} = 340 \times \tan(124.0^\circ - 90^\circ) \\ \div 2.29 \text{ gw}$$

保麗龍蛋 (風扇電壓 90V) $F_{\text{水平}} = 340 \times \tan(124.1^\circ - 90^\circ) \div 2.30 \text{ gw}$



保麗龍蛋 (風扇電壓 100V) $F_{\text{水平}} = 3.40 \times \tan(125.5^\circ - 90^\circ) \div 2.45 \text{ gm}$



保麗龍蛋 (風扇電壓 110V) $F_{\text{水平}} = 3.40 \times \tan(126.5^\circ - 90^\circ) \div 2.52 \text{ gm}$

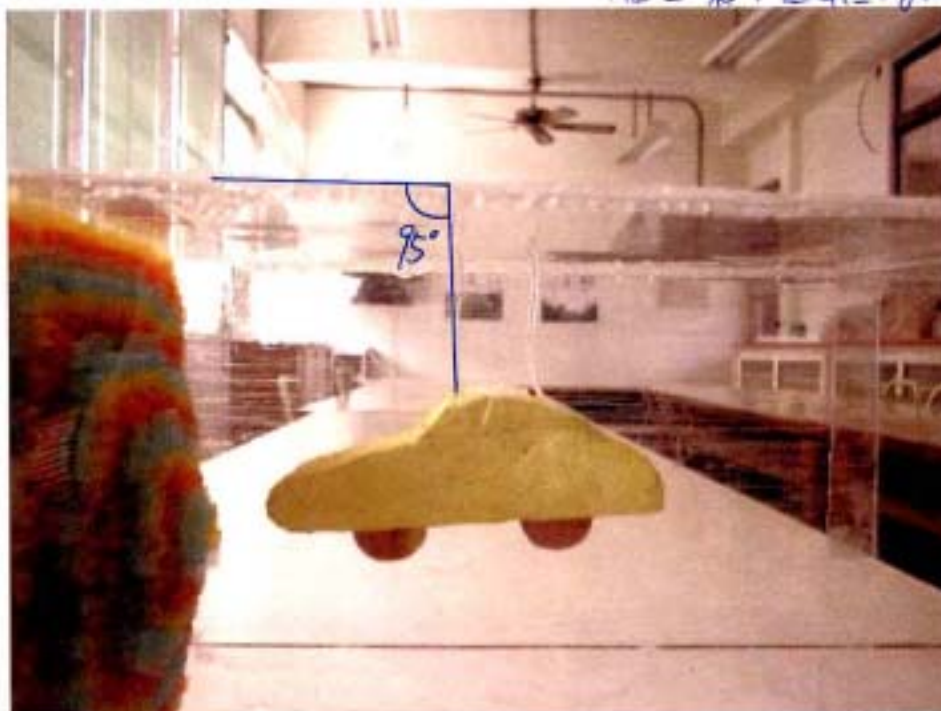


保麗龍蛋 (風扇電壓 120V)



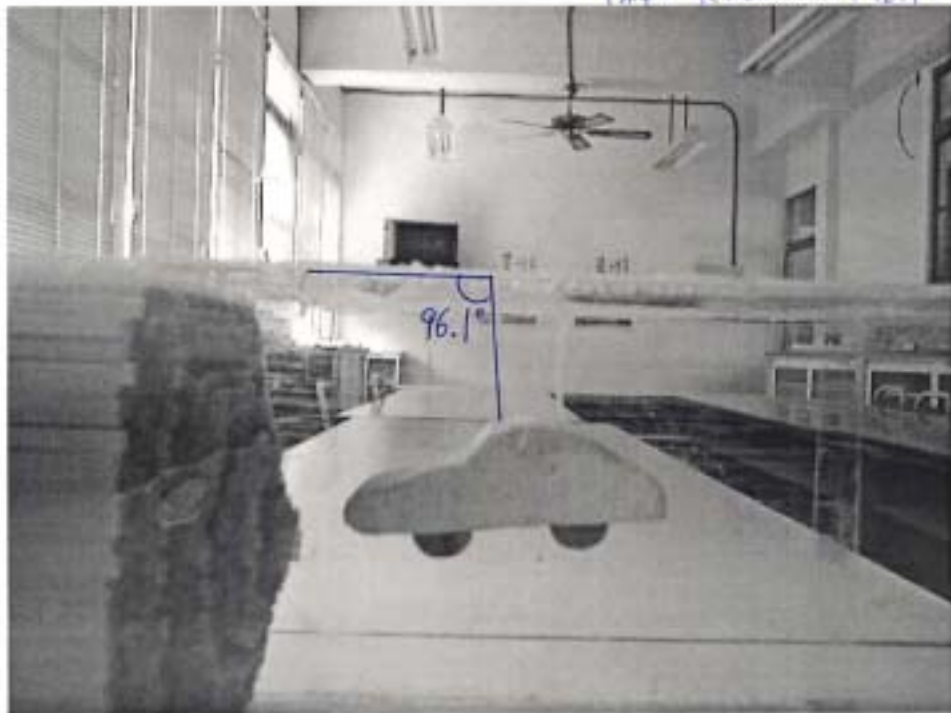
$$F_{\text{風}} = 3.40 \times \tan(130.0^\circ - 90^\circ) \div 2.85 \text{ gw}$$

跑車 (風扇電壓 80V) 在空氣中重 4.20 gw

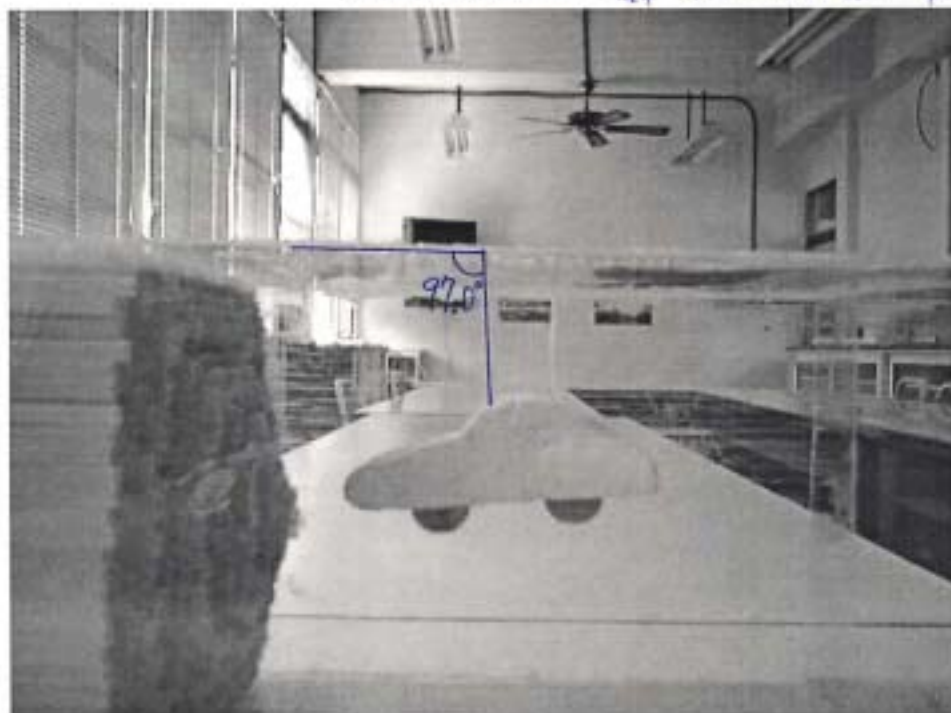


$$F_{\text{風}} = 4.20 \times \tan(95.0^\circ - 90^\circ) \div 0.37 \text{ gw}$$

跑車 (風扇電壓 90V) $F_{\text{air}} = 4.20 \times \tan(96.1^\circ - 90^\circ) \div 0.45 \text{ gw}$

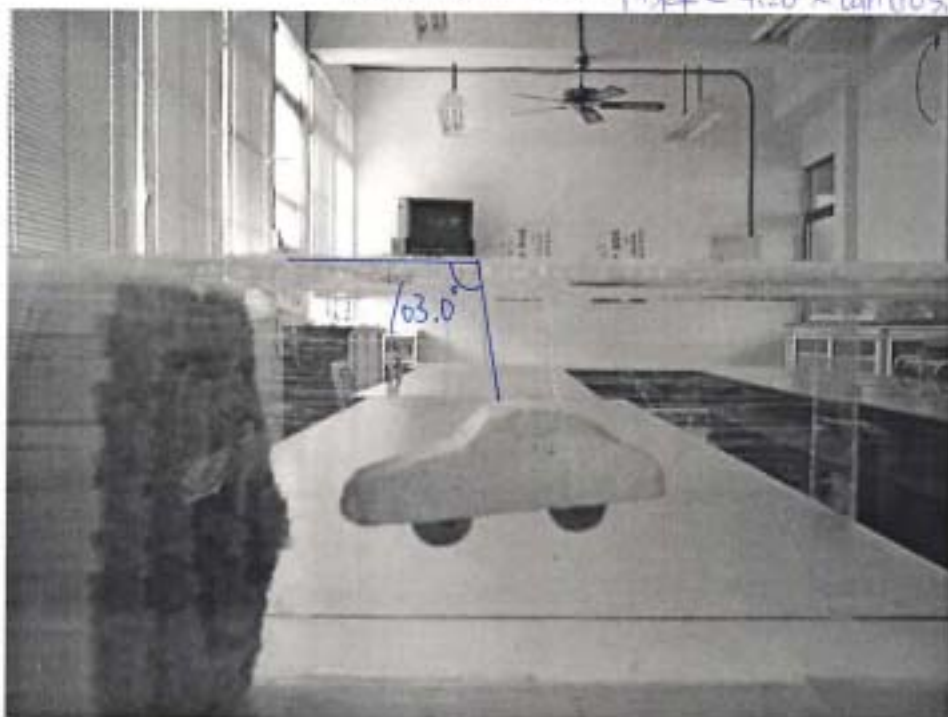


跑車 (風扇電壓 100V) $F_{\text{air}} = 4.20 \times \tan(97.0^\circ - 90^\circ) \div 0.52 \text{ gw}$



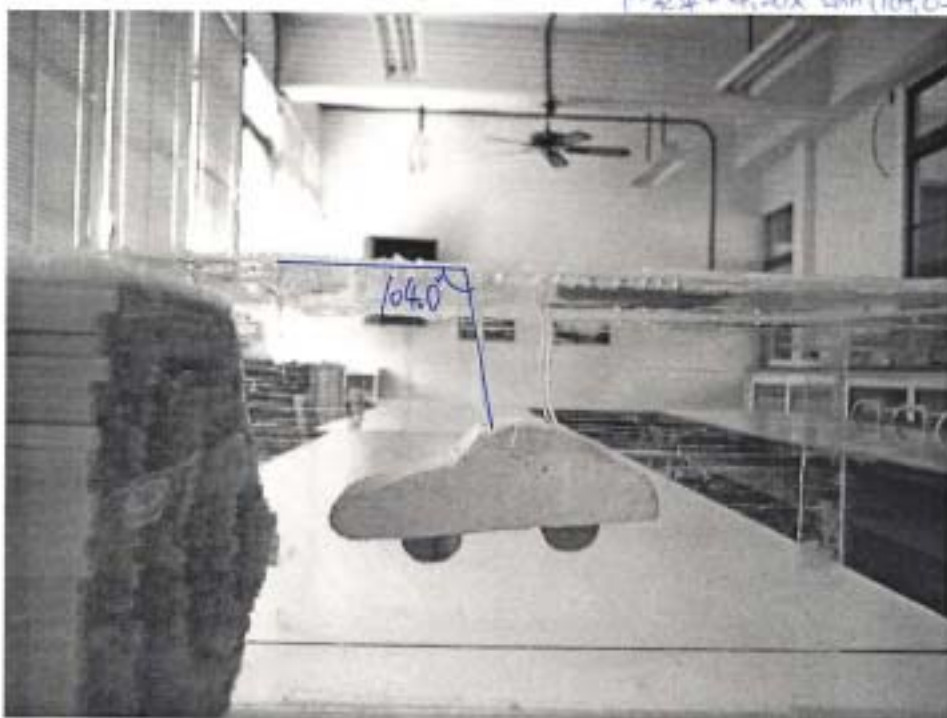
跑車 (風扇電壓 110V)

$$F_{\text{水平}} = 4.20 \times \tan(103.0^\circ - 90^\circ) \div 0.979 \text{ m}$$

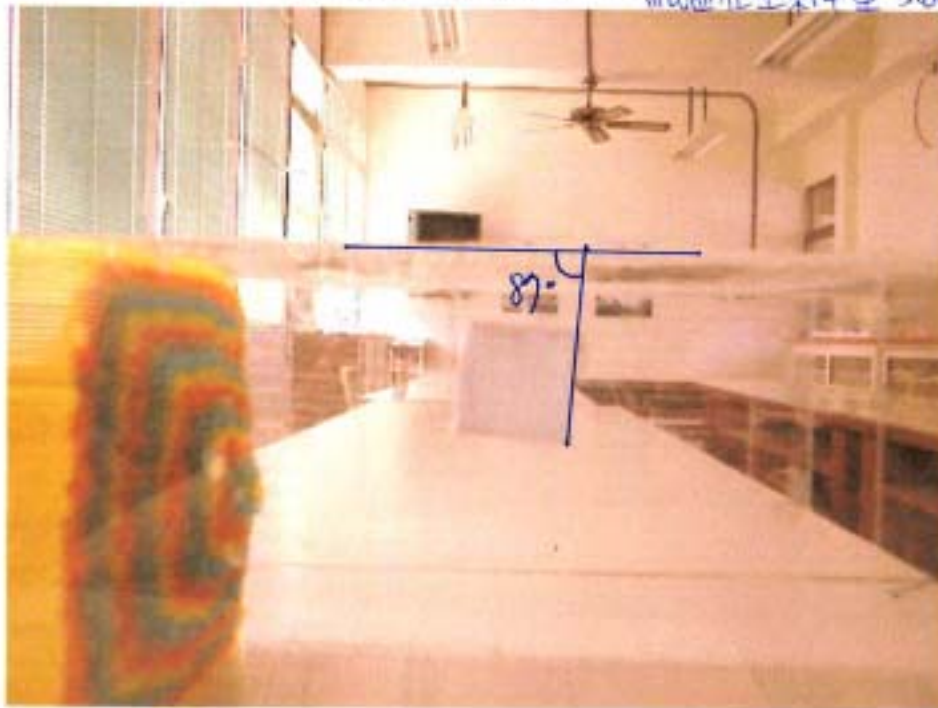


跑車 (風扇電壓 120V)

$$F_{\text{水平}} = 4.20 \times \tan(104.0^\circ - 90^\circ) \div 1.05 \text{ m}$$



立方體紙盒（風扇電壓 80V）紙盒在空氣中重 5.60 gr

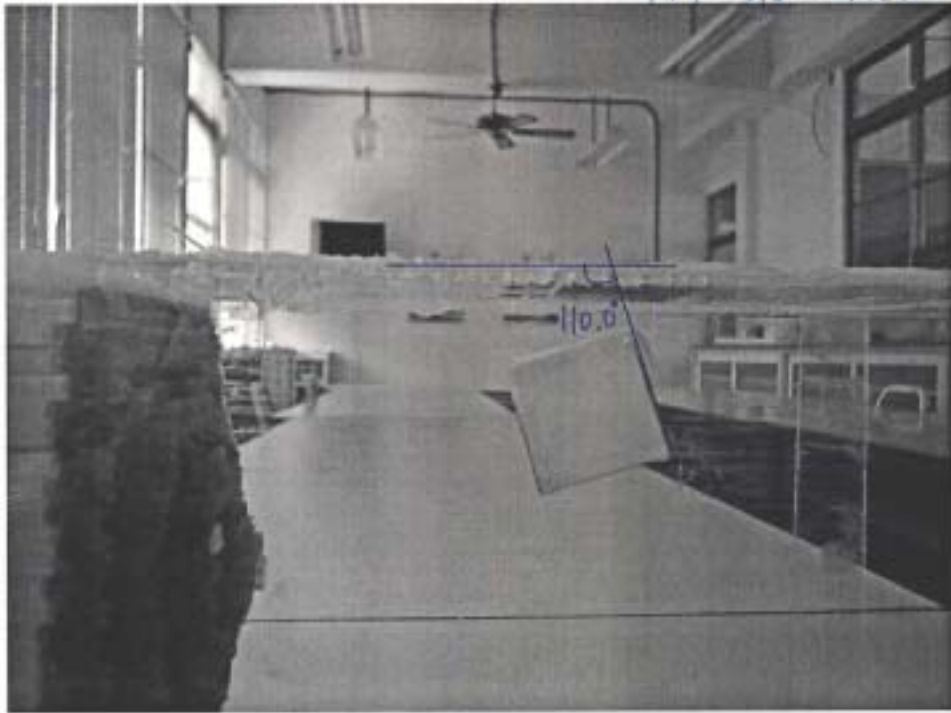


$$F_{\text{水平}} = 5.60 \times \tan(87.9^\circ - 90^\circ) \\ \div \therefore -0.29 \text{ gr} \\ (\text{往前!!})$$

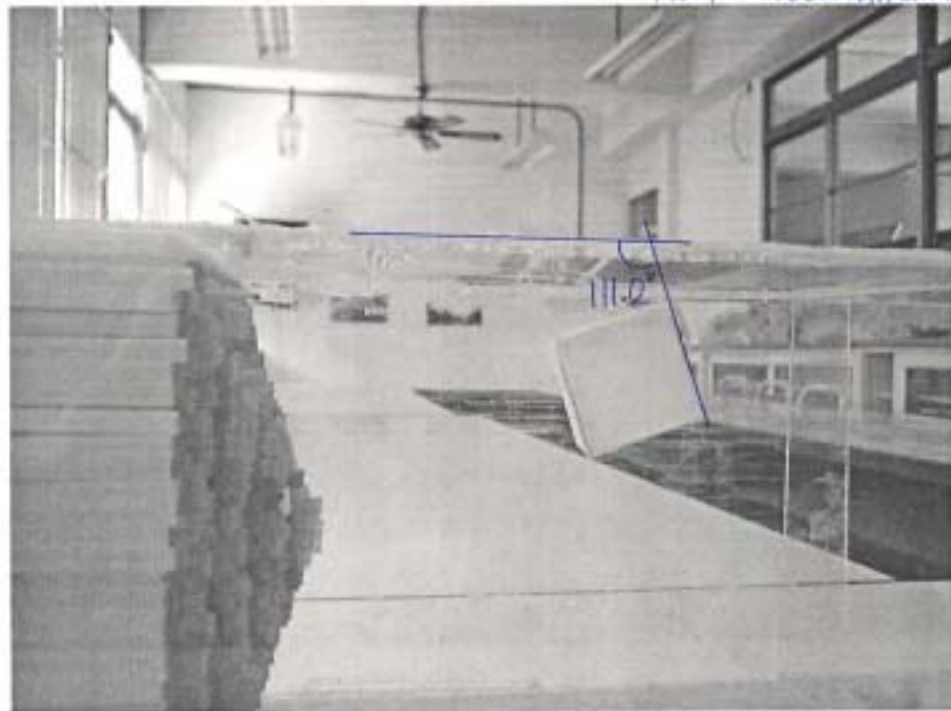
立方體紙盒（風扇電壓 90V） $F_{\text{水平}} = 5.60 \times \tan(106.9^\circ - 90^\circ) \div 1.70 \text{ gr}$



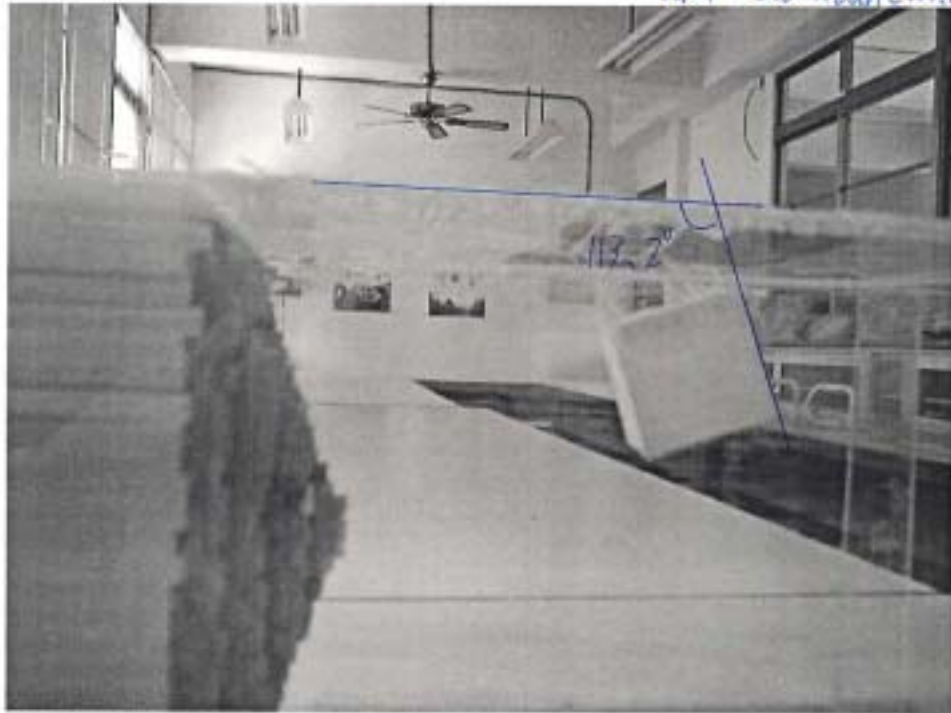
立方體紙盒 (風扇電壓 100V) $F_{水平} = 5.60 \times \tan(110.0^\circ - 90^\circ) \approx 2.048 \text{ N}$



立方體紙盒 (風扇電壓 110V) $F_{水平} = 5.60 \times \tan(111.0^\circ - 90^\circ) \approx 2.15 \text{ N}$



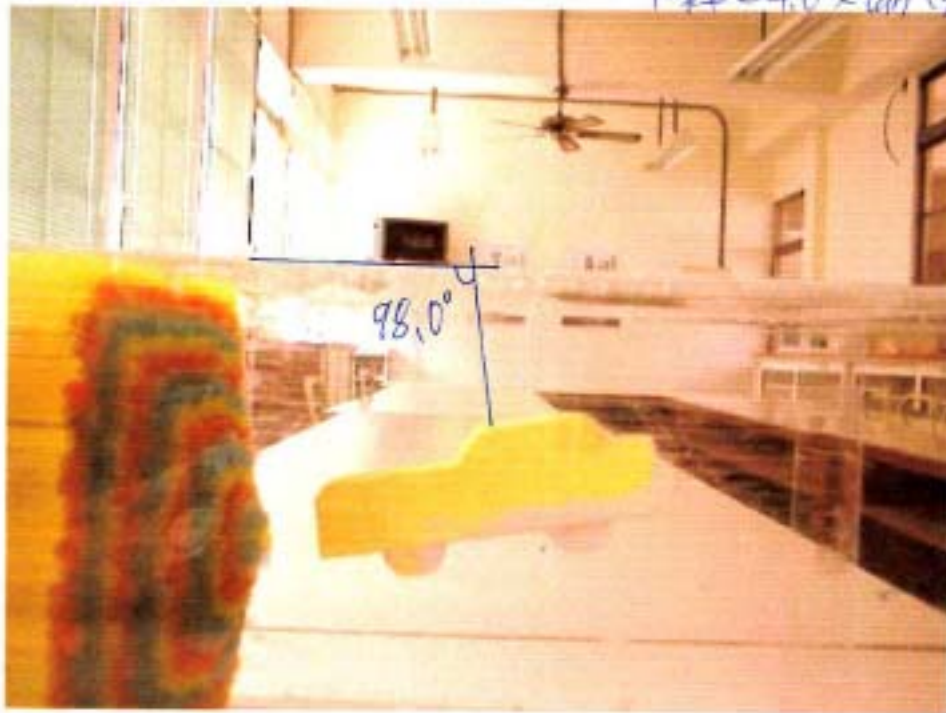
立方體紙盒 (風扇電壓 120V) $F_{水平} = 5.60 \times \tan(113.2^\circ - 90^\circ) \approx 2.40 \text{ N}$



Volvo240 (風扇電壓 80V)

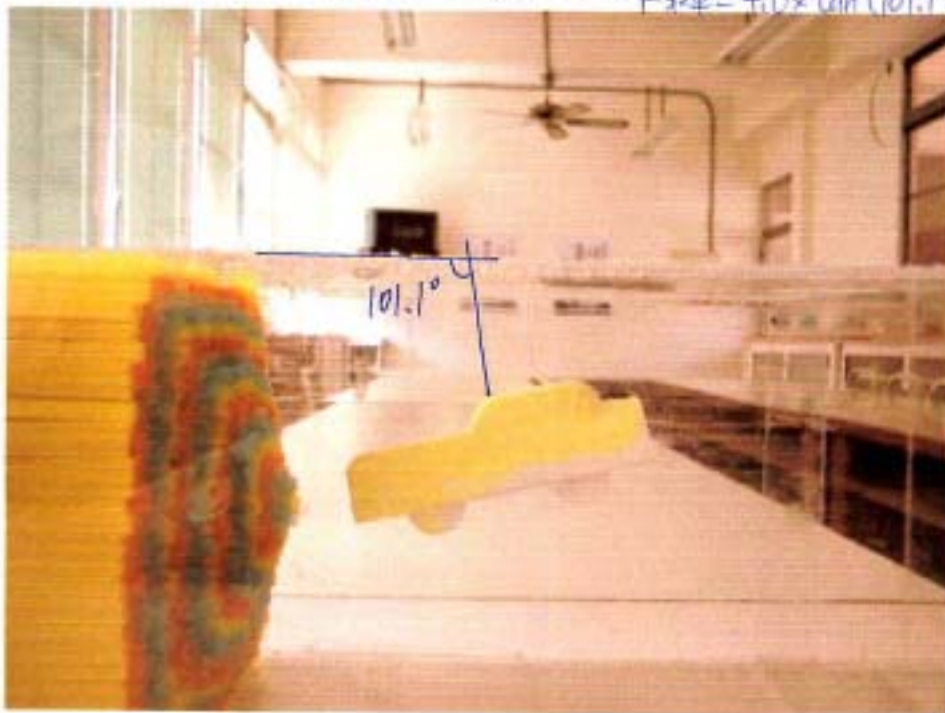
在空氣中重 4.0 gw

$$F_{水平} = 4.0 \times \tan(98.0^\circ - 90^\circ) \div 0.56 \text{ gw}$$

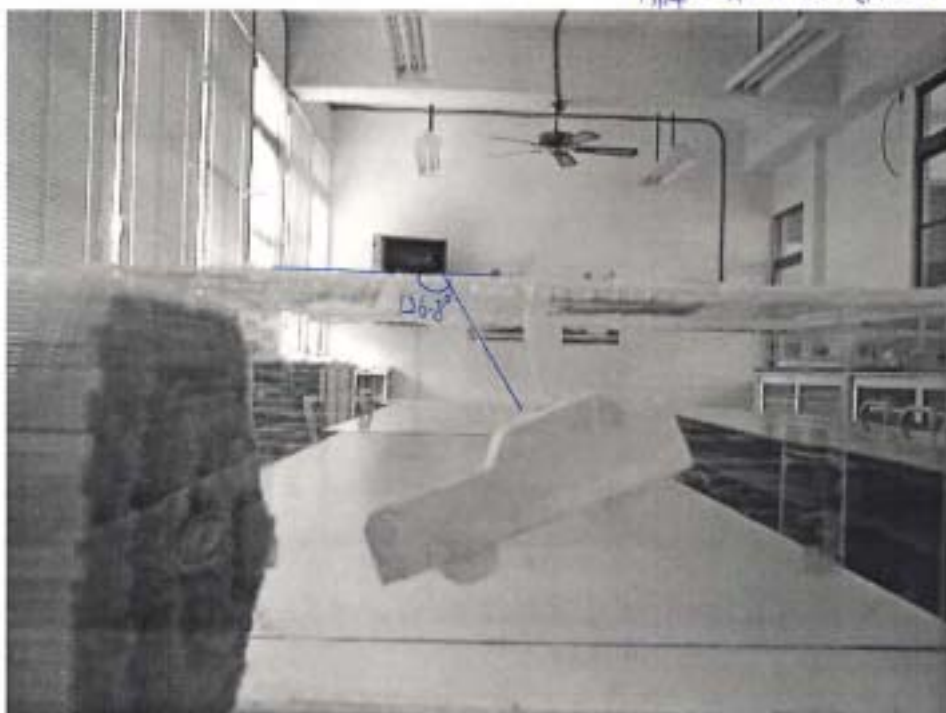


Volvo240 (風扇電壓 90V)

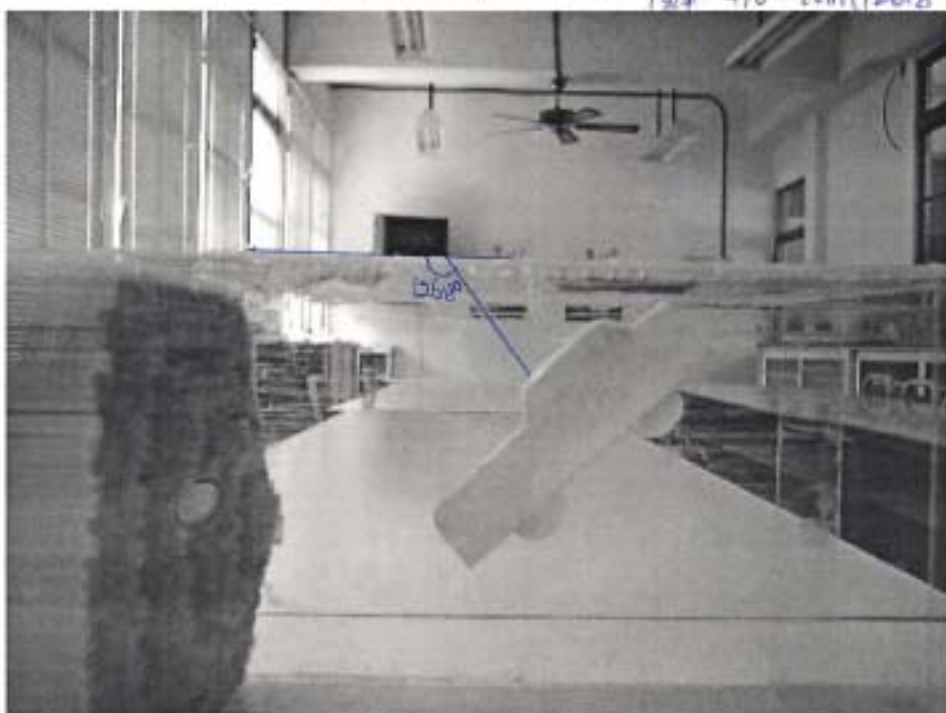
$$F_{水平} = 4.0 \times \tan(101.1^\circ - 90^\circ) \div 0.78 \text{ gw}$$



Volvo240 (風扇電壓 100V) $F_{\text{水平}} = 4.0 \times \tan(112.0^\circ - 90^\circ) \div 1.62 \text{ gw}$

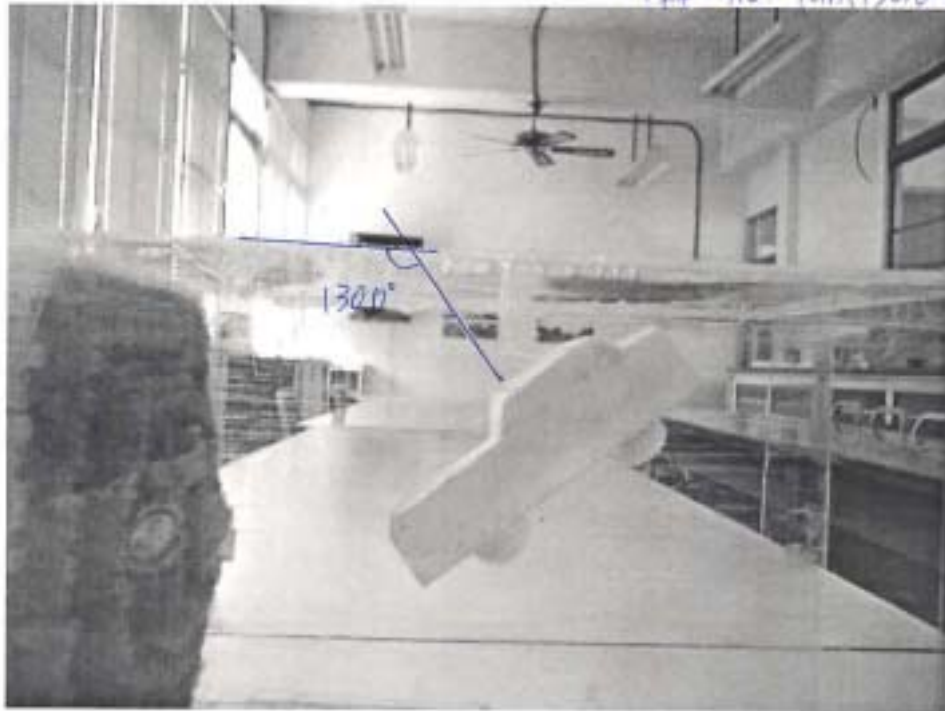


Volvo240 (風扇電壓 110V) $F_{\text{水平}} = 4.0 \times \tan(126.8^\circ - 90^\circ) \div 2.99 \text{ gw}$

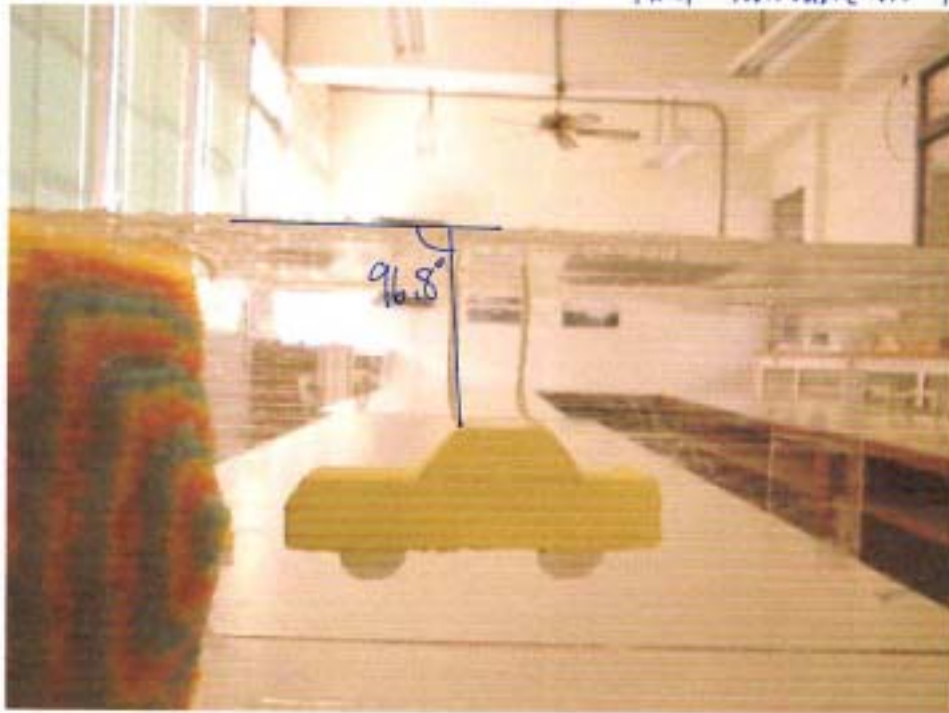


Volvo240 (風扇電壓 120V)

$$F_{\text{浮}} = 4.0 \times \tan(130.0^\circ - 90^\circ) \div 2.36 \text{ g}$$



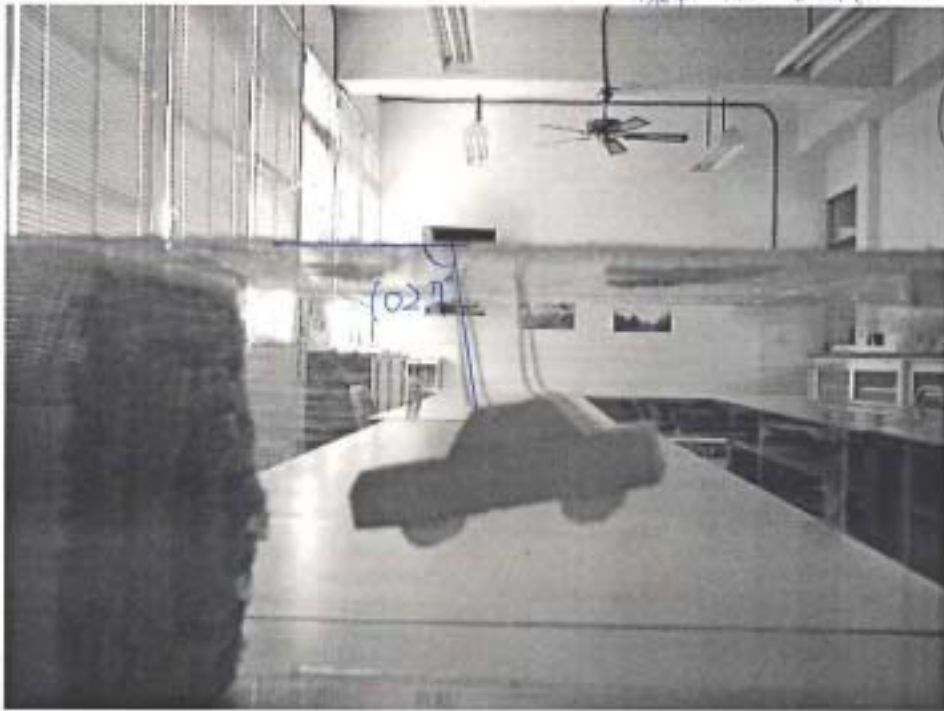
在空氣中重 4.6 gW
 Volvo850 (風扇電壓 80V) $F_{水平} = 4.6 \times \tan(96.8^\circ - 90^\circ) \div 0.55 \text{ gW}$



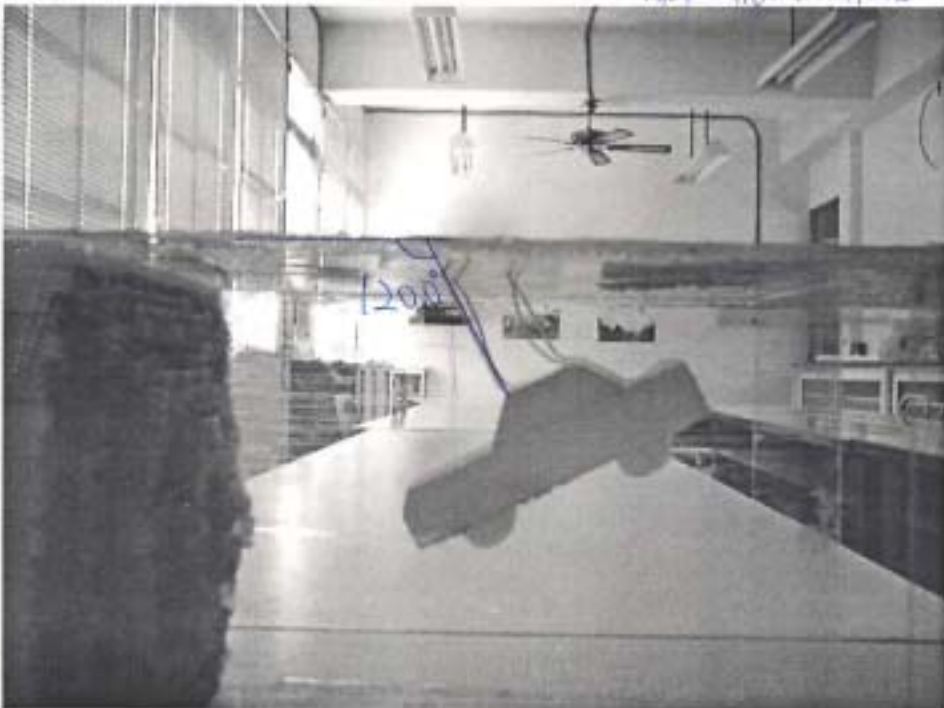
Volvo850 (風扇電壓 90V) $F_{水平} = 4.6 \times \tan(98.0^\circ - 90^\circ) \div 0.65 \text{ gW}$



Volvo850 (風扇電壓 100V) $F_{\text{風}} = 4.6 \times \tan(102.1^\circ - 90^\circ) \div 1.04 \text{ g}$

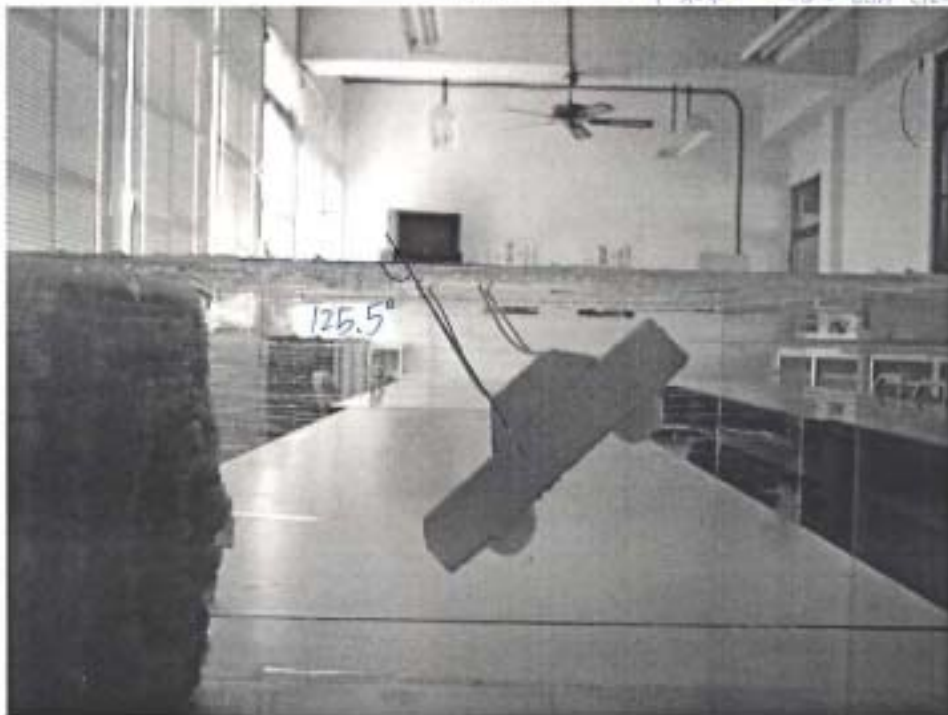


Volvo850 (風扇電壓 110V) $F_{\text{風}} = 4.6 \times \tan(120.0^\circ - 90^\circ) \div 2.66 \text{ g}$



Volvo850 (風扇電壓 120V)

$$F_{水平} = 4.6 \times \tan(125.5^\circ - 90^\circ) \\ \approx 3.28 \text{ gW}$$



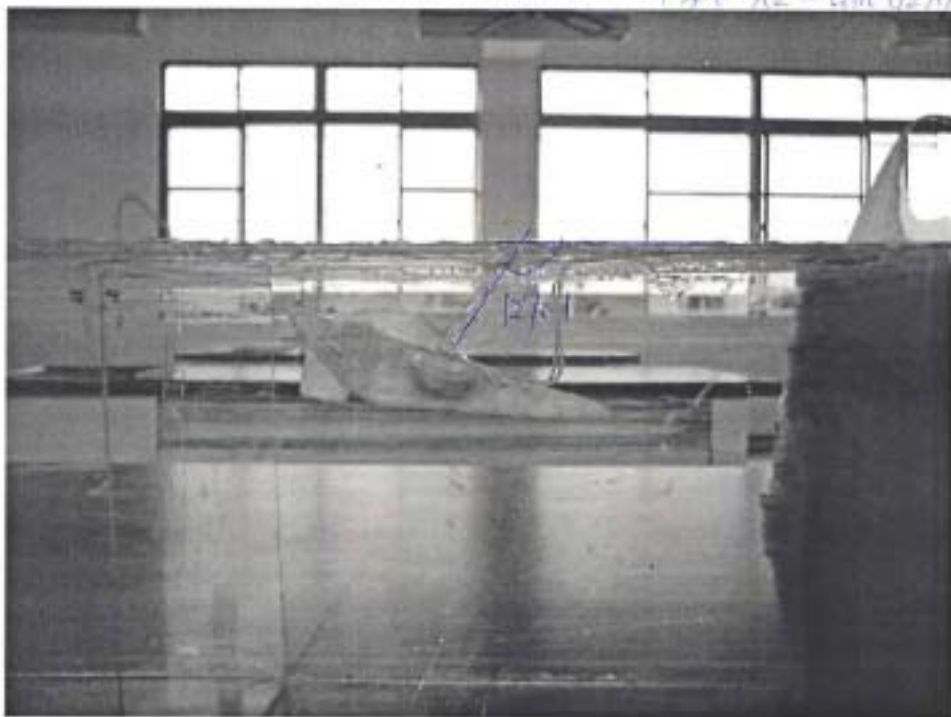
未來概念車 (風扇電壓 0V) 在空氣中重 1.2gw



未來概念車 (風扇電壓 80V) $F_{\text{水平}} = 1.2 \times \tan(122.1^\circ - 97.1^\circ) \approx 0.56\text{gw}$



未來概念車 (風扇電壓 90V) $F_{水平} = \frac{1}{2} \times \tan(127.1^\circ - 97.1^\circ)$
 $\div 0.6992$



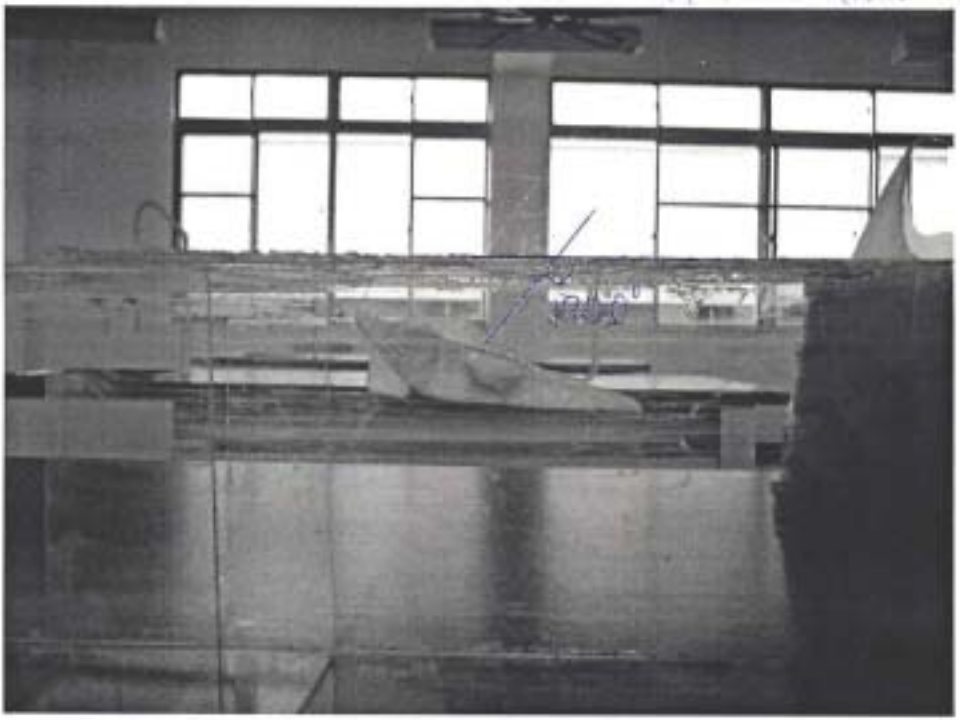
未來概念車 (風扇電壓 100V) $F_{水平} = \frac{1}{2} \times \tan(128.7^\circ - 97.1^\circ) = 0.74$
 gw



未來概念車 (風扇電壓 110V) $\overline{F}_{\text{風扇}} = 1.2 \times \tan(128.1^\circ - 92.1^\circ) \div 0.728 \text{ W}$



未來概念車 (風扇電壓 120V) $\overline{F}_{\text{風扇}} = 1.2 \times \tan(130.0^\circ - 92.1^\circ) \div 0.789 \text{ W}$



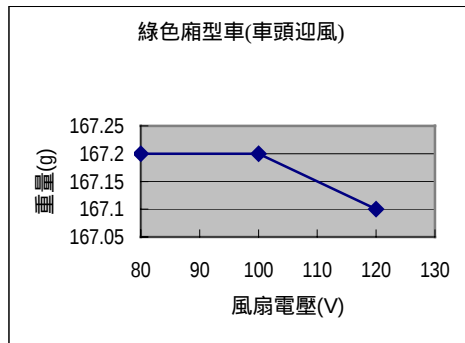
陸、研究結果

壹、 6 輛模型汽車在風洞中，分別在(一)車頭迎風、(二)車尾迎風、(三)側面迎風時，由其重量變化百分比，來判斷阻力的大小。

一、 綠色廂型車未置入風洞時的重量： 163.0 gw

置入風洞後的重量(gw)

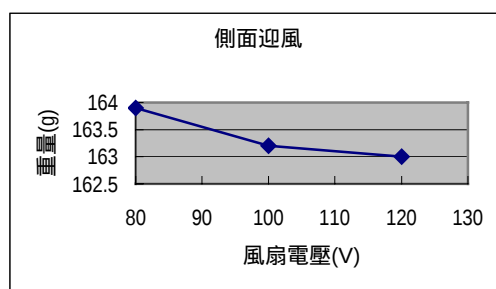
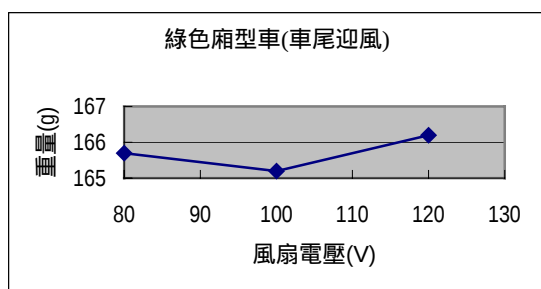
(一) 綠色廂型車(車頭迎風)			
風扇 電壓(V)	80V	100V	120V
1	167.0	167.4	167.2
2	167.2	167.6	167.6
3	167.0	167.2	167.0
4	167.2	167.0	166.8
5	167.4	167.2	167.2
6	167.2	167.2	167.0
7	167.0	167.2	166.8
8	167.2	167.0	167.0
9	167.4	167.4	167.0
10	167.2	167.2	167.2
平均值	167.2	167.2	167.1
標準差	0.14	0.17	0.22



置入風洞後的重量(gw)

(二) 綠色廂型車(車尾迎風)			
風扇 電壓(V)	80V	100V	120V
1	165.8	165.2	166.4
2	165.6	165.2	166.0
3	165.6	165.4	166.0
4	165.4	165.2	166.2
5	166.0	165.2	165.9
6	165.8	165.4	166.4
7	165.8	165.0	166.4
8	165.6	165.4	165.6
9	165.8	165.2	166.4
10	165.8	165.0	166.6
平均值	165.7	165.2	166.2
標準差	0.16	0.14	0.29

(三) 綠色廂型車(側面迎風)			
風扇 電壓(V)	80V	100V	120V
1	164.2	164.0	163.0
2	163.6	163.8	163.0
3	163.2	163.0	163.2
4	164.4	163.0	164.4
5	163.0	163.2	163.5
6	163.6	163.2	163.0
7	164.0	163.8	162.4
8	164.4	162.4	162.6
9	164.4	162.4	163.2
10	163.8	163.6	162.0
平均值	163.9	163.2	163.0
標準差	0.48	0.54	0.61

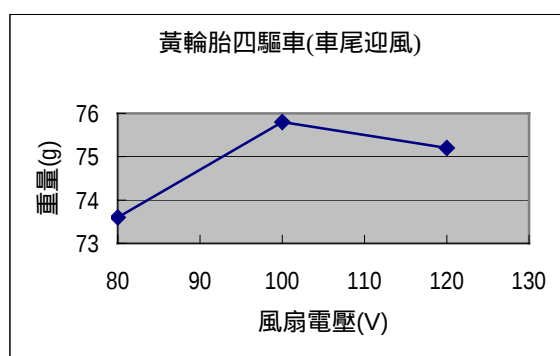
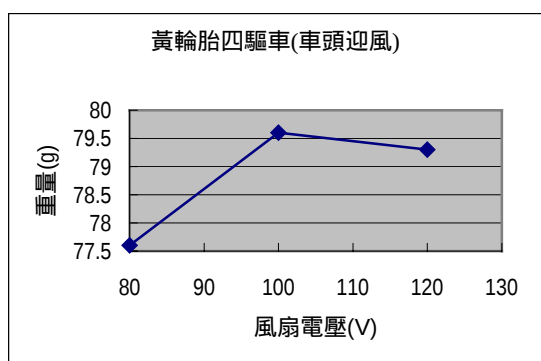


二、 黃輪胎四驅車未置入風洞時的重量： 73.4 gw

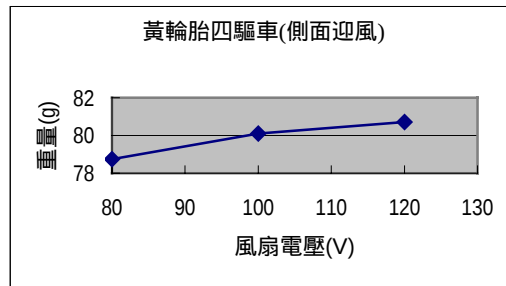
置入風洞後的重量(gw)

(一) 黃輪胎四驅車(車頭迎風)			
風扇電壓(V)	80V	100V	120V
1	77.6	79.2	79.4
2	77.6	79.4	79.6
3	77.4	79.8	79.4
4	77.8	79.6	79.2
5	77.4	79.6	79.2
6	77.6	79.6	79.2
7	77.6	79.6	79.4
8	77.6	79.8	79.4
9	77.6	79.6	79.2
10	77.4	79.6	79.4
平均值	77.6	79.6	79.3
標準差	0.12	0.17	0.13

(二) 黃輪胎四驅車(車尾迎風)			
風扇電壓(V)	80V	100V	120V
1	73.6	75.8	75.2
2	73.8	76.0	75.2
3	73.6	76.0	75.0
4	73.6	76.0	75.2
5	73.6	75.6	75.2
6	73.4	75.8	75.2
7	73.6	75.8	75.2
8	73.6	75.8	75.4
9	73.6	76.0	75.2
10	73.4	75.6	75.2
平均值	73.6	75.8	75.2
標準差	0.11	0.15	0.09



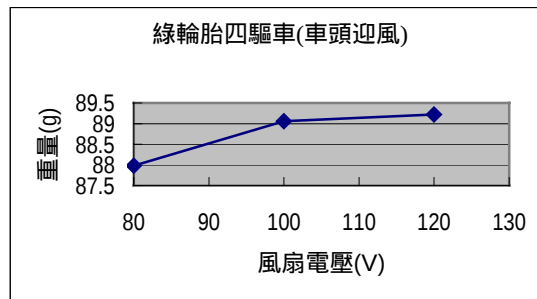
(三) 黃輪胎四驅車(側面迎風)			
風扇 電壓(V)	80V	100V	120V
1	78.8	80.0	80.6
2	79.0	80.2	80.4
3	78.8	80.0	80.8
4	78.8	80.0	81.0
5	78.8	80.2	81.0
6	78.4	80.0	80.6
7	78.8	80.2	80.8
8	78.6	80.2	80.8
9	78.6	80.0	80.6
10	78.8	80.2	80.6
平均值	78.74	80.10	80.72
標準差	0.16	0.10	0.18



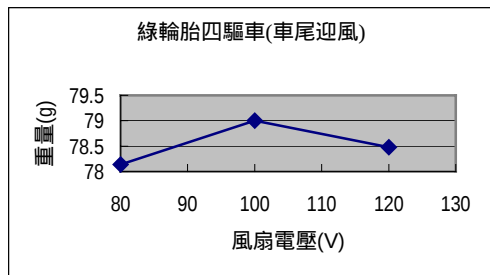
三、 綠輪胎四驅車未置入風洞時的重量： 78.8 gw

置入風洞後的重量(gw)

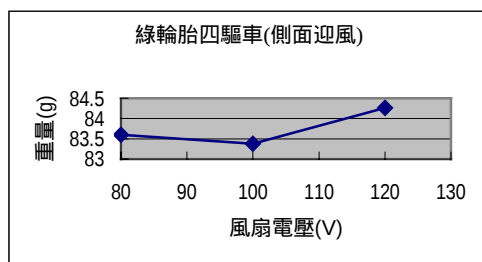
(一) 綠輪胎四驅車(車頭迎風)			
風扇 電壓(V)	80V	100V	120V
1	87.8	89.0	89.4
2	88.2	89.0	89.0
3	88.2	89.2	89.2
4	88.0	88.8	89.2
5	88.0	89.0	89.2
6	88.0	89.2	89.4
7	87.8	89.2	89.2
8	88.0	88.8	89.0
9	88.0	89.2	89.2
10	87.8	89.2	89.4
平均值	87.98	89.06	89.22
標準差	0.14	0.16	0.14



(二) 綠輪胎四驅車(車尾迎風)			
風扇 電壓 (V)	80V	100V	120V
1	78.4	79.2	78.4
2	78.2	79.0	78.6
3	78.2	78.8	78.2
4	78.2	79.0	78.4
5	78.0	79.0	78.4
6	78.2	78.8	78.6
7	77.8	78.8	78.4
8	78.0	79.0	78.6
9	78.2	79.2	78.6
10	78.2	79.2	78.6
平均值	78.14	79.0	78.48
標準差	0.16	0.15	0.13



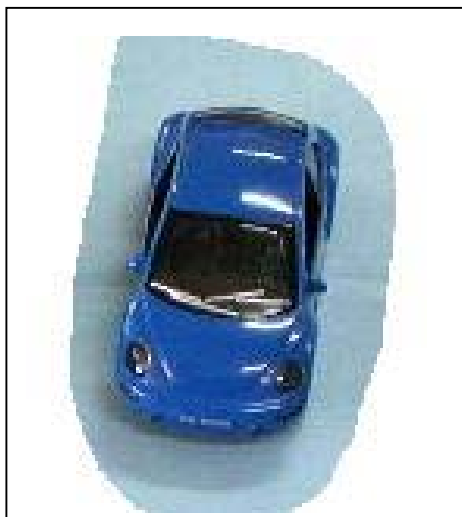
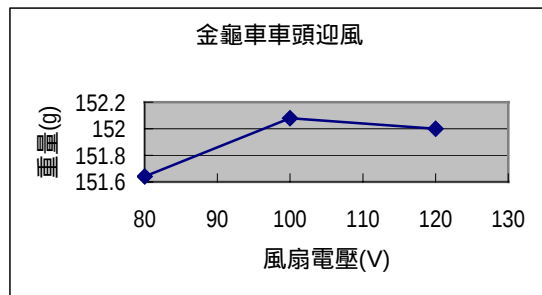
(三) 綠輪胎四驅車(側面迎風)			
風扇 電壓 (V)	80V	100V	120V
1	83.4	83.4	84.4
2	83.6	83.2	84.0
3	83.8	83.6	84.4
4	83.6	83.4	84.2
5	83.6	83.4	84.2
6	83.6	83.2	84.4
7	83.6	83.6	84.4
8	83.6	83.4	84.2
9	83.6	83.4	84.2
10	83.6	83.2	84.2
平均值	83.6	83.38	84.26
標準差	0.09	0.14	0.13



四、 福斯金龜車未置入風洞時的重量： 149.0 gw

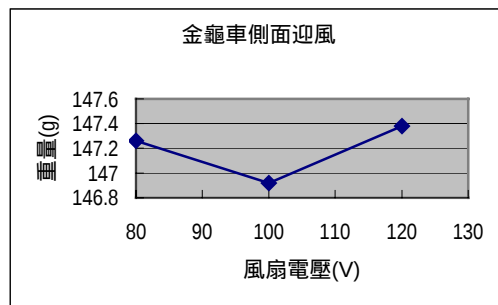
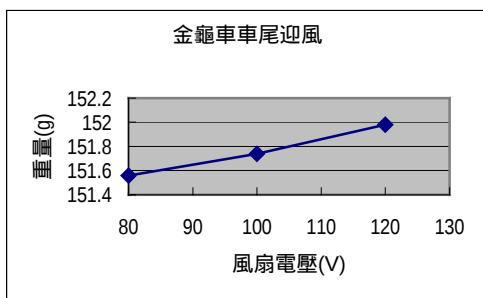
置入風洞後的重量(gw)

(一) 福斯金龜車(車頭迎風)			
風扇 電壓 (V)	80V	100V	120V
1	151.6	152.2	152.2
2	151.4	152.0	152.2
3	152.0	152.2	152.0
4	151.6	152.2	152.0
5	151.6	152.2	152.0
6	151.6	152.0	151.8
7	151.8	152.0	152.0
8	151.6	152.0	152.0
9	151.6	152.0	151.8
10	151.6	152.0	152.0
平均值	151.64	152.08	152.0
標準差	0.14	0.09	0.13



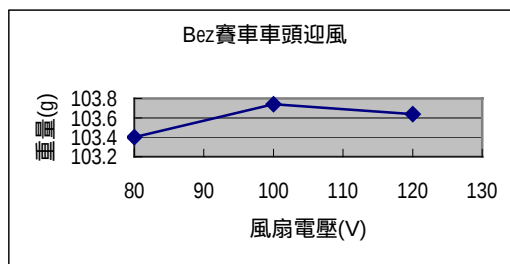
(二) 福斯金龜車(車尾迎風)			
風扇 電壓(V)	80V	100V	120V
1	151.6	151.8	152.0
2	151.2	151.8	152.2
3	151.6	151.6	151.8
4	151.6	152.0	151.8
5	151.4	151.8	152.4
6	151.6	151.8	152.2
7	151.8	152.0	152.0
8	151.6	151	151.2
9	151.6	151.8	152.2
10	151.6	151.8	152.0
平均值	151.56	151.74	151.98
標準差	0.15	0.27	0.31

(三) 福斯金龜車(側面迎風)			
風扇 電壓(V)	80V	100V	120V
1	147.4	147.0	147.0
2	147.0	147.0	147.6
3	147.0	147.0	147.4
4	147.4	146.8	147.6
5	147.0	146.6	147.2
6	147.2	146.8	147.2
7	147.6	146.8	147.6
8	147.2	147.0	147.0
9	147.4	147.0	147.6
10	147.4	147.2	147.6
平均值	147.26	146.92	147.38
標準差	0.20	0.16	0.24

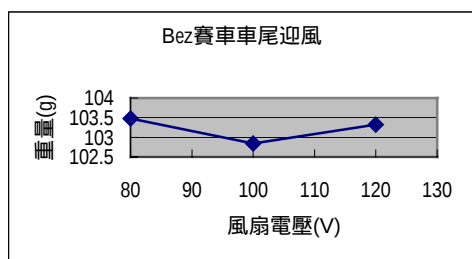


五、 Benz 賽車未置入風洞時的重量： 101.4 gw

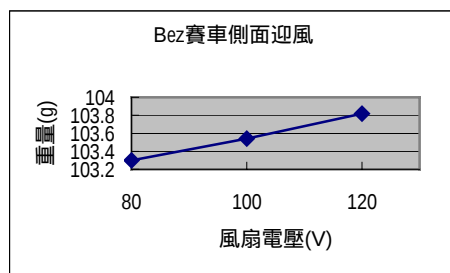
(一) Benz 賽車(車頭迎風)			
風扇 電壓(V)	80V	100V	120V
1	103.6	103.4	103.4
2	103.4	103.6	103.6
3	103.2	104	103.6
4	103.6	103.6	103.8
5	103.4	103.6	103.6
6	103.2	103.8	104.0
7	103.8	104.0	103.4
8	103.2	104.0	103.6
9	103.4	103.6	103.8
10	103.2	103.8	103.6
平均值	103.4	103.74	103.64
標準差	0.20	0.20	0.17



(二) Benz 賽車(車尾迎風)			
風扇 電壓(V)	80V	100V	120V
1	103.0	103.0	103.2
2	103.6	102.6	103.2
3	103.4	103.0	103.2
4	103.8	103.0	103.2
5	103.6	102.8	103.4
6	103.4	103.0	103.6
7	103.4	103.0	103.4
8	103.4	102.8	103.4
9	103.6	102.8	103.2
10	103.6	102.4	103.4
平均值	103.48	102.84	103.32
標準差	0.20	0.20	0.13

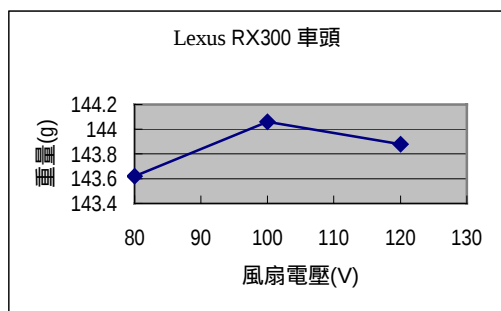


(三)Benz 賽車(側面迎風)			
風扇 電壓(V)	80V	100V	120V
1	103.2	103.8	104.0
2	103.0	103.8	103.8
3	103.6	103.6	103.6
4	103.2	103.8	104.0
5	103.0	103.0	104.0
6	103.0	103.6	103.6
7	103.4	103.6	104.0
8	103.4	103.4	103.4
9	103.6	103.4	104.0
10	103.6	103.4	103.8
平均值	103.3	103.54	103.82
標準差	0.24	0.24	0.21



六、 Lexus RX-300 未置入風洞時的重量： 139.0 gw

(一) Lexus RX300(1：36)(車頭迎風)			
風扇 電壓(V)	80V	100V	120V
1	143.4	144.2	143.8
2	143.6	144.0	144.0
3	143.6	144.0	143.6
4	143.6	144.0	144.0
5	143.6	144.2	143.8
6	143.8	144.2	143.8
7	143.6	144.0	144.0
8	143.6	144.2	144.0
9	143.8	143.8	144.0
10	143.6	144.0	143.8
平均值	143.62	144.06	143.88
標準差	0.11	0.13	0.13

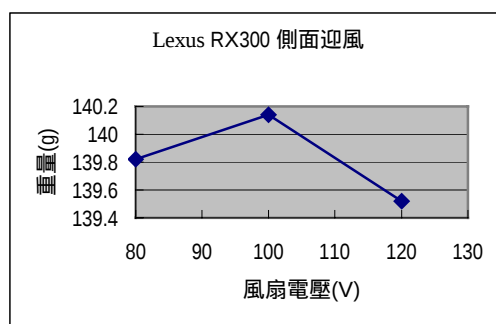
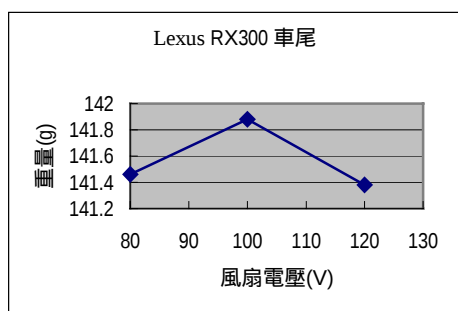


(二) Lexus RX300(1 : 36) (車尾迎風)

風扇 電壓(V)	80V	100V	120V
1	141.4	141.8	141.4
2	141.6	142	141.4
3	141.4	142	141.4
4	141.2	142	141.2
5	141.2	141.8	141.4
6	141.6	141.8	141.4
7	141.6	141.8	141.4
8	141.6	141.8	141.2
9	141.6	141.8	141.4
10	141.4	142.0	141.6
平均值	141.46	141.88	141.38
標準差	0.16	0.10	0.11

(三)Lexus RX300(1 : 36) (側面迎風)

風扇 電壓(V)	80V	100V	120V
1	139.8	140.6	139.6
2	139.8	140.2	139.6
3	139.6	140.4	139.2
4	140.0	140	139.6
5	140.0	140.2	139.6
6	139.6	140.4	139.8
7	140.0	140.0	139.2
8	139.8	140.0	139.6
9	139.8	140.0	139.6
10	139.8	139.6	139.4
平均值	139.82	140.14	139.52
標準差	0.14	0.27	0.18



車頭的風阻 : (風洞中的重量 - 原始重量) / (原始重量) × 100 %

模型車\風扇電壓	80V	100V	120V
綠色廂型車	2.58 %	2.58 %	2.45 %
黃輪胎四驅車	5.72 %	8.45 %	8.04 %
綠輪胎四驅車	11.65 %	13.02 %	13.22 %
福斯金龜車	1.77 %	2.07 %	2.01 %
Benz 賽車	1.97 %	2.31 %	2.21 %
Lexus RX-300	3.32 %	3.64 %	3.51 %

車尾的風阻： $(\text{風洞中的重量} - \text{原始重量}) / (\text{原始重量}) \times 100 \%$

模型車\風扇電壓	80V	100V	120V
綠色廂型車	1.66	1.35	1.96
黃輪胎四驅車	0.27	3.27	2.45
綠輪胎四驅車	-0.84	0.25	-0.41
福斯金龜車	1.72	1.84	2.00
Benz 賽車	2.05	1.42	1.89
Lexus RX-300	1.77	2.07	1.71

側面的風阻： $(\text{風洞中的重量} - \text{原始重量}) / (\text{原始重量}) \times 100 \%$

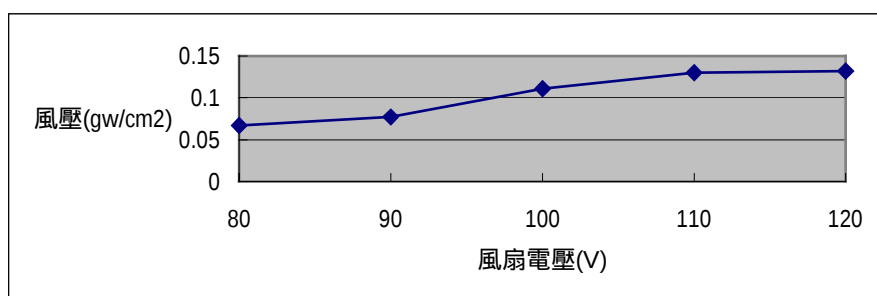
模型車\風扇電壓	80V	100V	120V
綠色廂型車	0.55	0.12	0
黃輪胎四驅車	7.28	9.13	9.97
綠輪胎四驅車	6.09	5.81	6.93
福斯金龜車	-1.17	-1.40	-1.09
Benz 賽車	1.87	2.11	2.39
Lexus RX-300	0.59	0.82	0.37

貳、車子外型與單位面積所受水平風壓的研究結果

(一) 保麗龍球：

- 1 在空氣中重：4.40gw
- 2 利用排水法量得體積：169.0 立方公分，所以半徑為：3.43 公分（體積 $V = \frac{4}{3} \pi r^3$ ）則在風洞中的有效面積為：36.96 cm^2 （面積 $A = \pi r^2$ ）

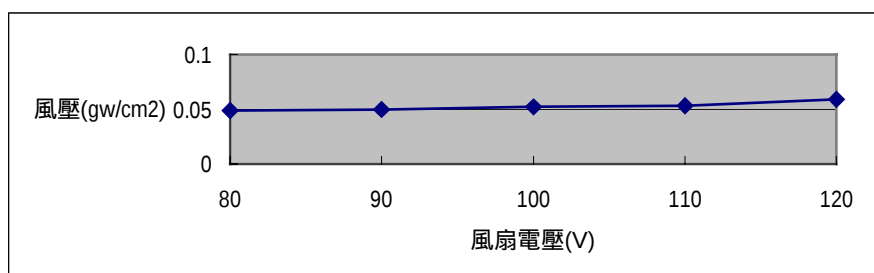
風扇電壓 (V)	F _{水平} (gw)	在風洞中的 擺角(度)	在風洞中的 有效面積 (cm^2)	風壓(gw/cm^2)
80	2.47	29.3	36.96	0.067
90	2.86	33.0	36.96	0.077
100	4.10	43.0	36.96	0.111
110	4.80	47.5	36.96	0.130
120	4.89	48.0	36.96	0.132



(二) 保麗龍蛋：

- 1 在空氣中重：3.40gw
- 2 將保麗龍蛋拆成對稱的兩部分，再將大圓壓在白紙上畫圓。
- 3 在圓上畫任意兩條弦並作中垂線，中垂線的交點及圓心。
- 4 從圓心畫一直線到圓上，此即為半徑。
- 5 量得半徑為 3.00 cm。
- 6 所以保麗龍蛋的正面投影面積為 $A = \pi r^2 = \pi \times (3.00)^2 = 28.27 \text{ cm}^2$ 。
- 7 保麗龍蛋的側面投影，形狀類似兩個上下對稱的梯形（上底為 2.50cm，下底為 6.00cm，高為 4.20cm），但是梯形的兩個腰邊也不是直線是有點弧度的（往外凸出），所以腰邊多出來的部分由邊長為 1cm 的方格紙剪碎填充，約得 5.3 cm^2 。所以側面投影的面積 = $[(\text{上底} + \text{下底}) \times \text{高} \div 2] \times 2 + 5.3 \text{ cm}^2 = [(2.50 + 6.00) \times 4.20 \div 2] \times 2 + 5.3 \text{ cm}^2 = 41.00 \text{ cm}^2$
- 8 在風洞中的有效面積 $A' = (\text{正面投影面積} \times \cos \theta + \text{側面投影面積} \times \sin \theta) = (28.27 \times \cos \theta + 41.00 \times \sin \theta)$

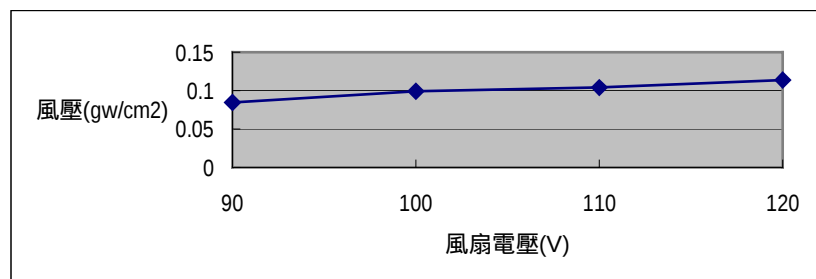
風扇電壓 (V)	F _{水平} (gw)	在風洞中的擺角(度)	在風洞中的有效面積 (cm ²)	風壓(gw/cm ²)
80	2.29	34.0	46.36	0.049
90	2.30	34.1	46.40	0.050
100	2.43	35.5	46.82	0.052
110	2.52	36.5	47.11	0.053
120	2.85	40.0	48.01	0.059



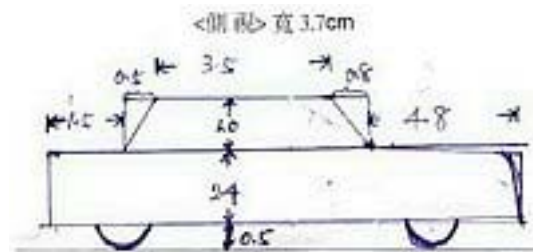
(三) 立方體紙盒：

- 1 在空氣中重 5.60 克重。
- 2 邊長為 4.00 cm^2 ，所以每一面的面積為 16 cm^2 。
- 3 在風洞中的有效面積 $A' = 16 \times \sin \theta + 16 \times \cos \theta$
 $= 16 \times (\sin \theta + \cos \theta)$

風扇電壓 (V)	$F_{\text{水平}}(\text{gw})$	在風洞中的擺角(度)	在風洞中的有效面積(cm^2)	風壓 (gw/cm^2)
80	-0.27	3.0	16.82	-0.016
90	1.70	16.9	19.96	0.085
100	2.04	20.0	20.51	0.099
110	2.15	21.0	20.67	0.104
120	2.40	23.2	21.01	0.114



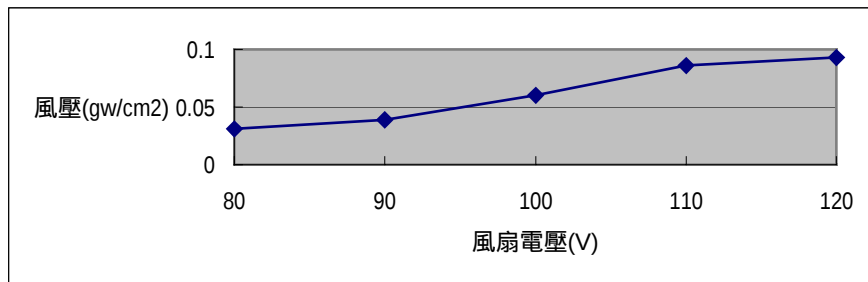
(四) Volvo 240 模型 模型設計圖



- 1 在空氣中重 4.00 克重。
- 2 Volvo240 的長×寬×高：11.10cm×3.70cm×3.40cm（如設計圖所示）
- 3 在風洞中的有效面積為 $A' = (\text{長} \times \text{寬} \times \sin \theta) + (\text{高} \times \text{寬} \times \cos \theta)$
 $= (11.10 \times 3.70 \times \sin \theta) + (3.40 \times 3.70 \times \cos \theta)$

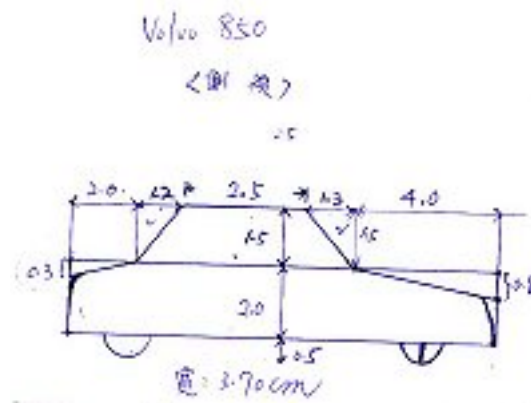
風扇電壓(V)	$F_{\text{水平}}(\text{gw})$	在風洞中的擺角(度)	在風洞中的有效面積(cm^2)	風壓 (gw/cm^2)
80	0.56	8.0	18.17	0.031
90	0.78	11.1	20.25	0.039
100	1.62	22.0	27.05	0.060
110	2.99	36.8	34.68	0.086

120	3.36	40.0	36.04	0.093
-----	------	------	-------	-------



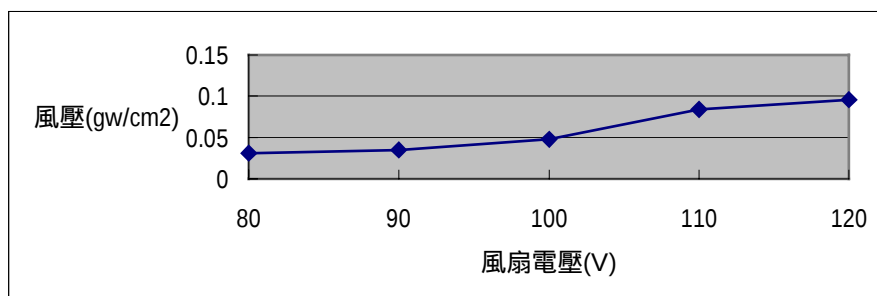
(五) Volvo 850 模型

模型設計圖：

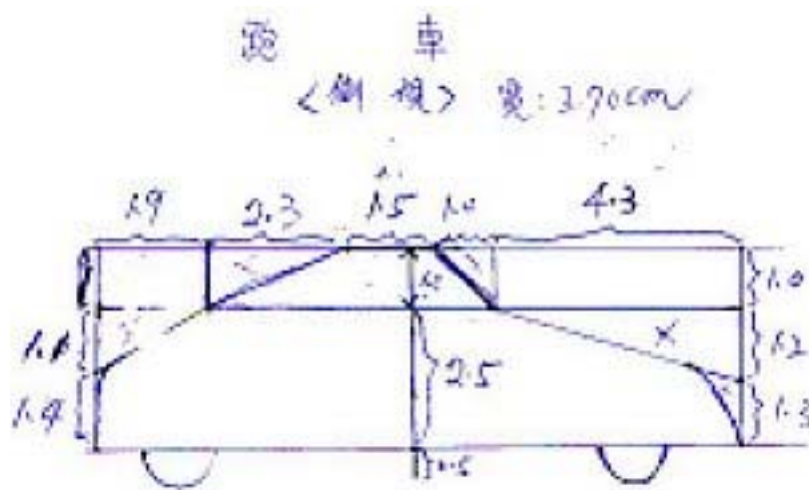


- 1 在空氣中重 4.60 克重。
- 2 Volvo850 的長×寬×高：11.00cm×3.70cm×3.50cm（如設計圖所示）
- 3 在風洞中的有效面積為 $A' = (\text{長} \times \text{寬} \times \sin \theta) + (\text{高} \times \text{寬} \times \cos \theta)$
 $= (11.00 \times 3.70 \times \sin \theta) + (3.50 \times 3.70 \times \cos \theta)$

風扇電壓 (V)	F _{水平} (gw)	在風洞中的擺角(度)	在風洞中的有效面積 (cm ²)	風壓 (gw/cm ²)
80	0.55	6.8	17.68	0.031
90	0.65	8.0	18.49	0.035
100	1.04	12.7	21.58	0.048
110	2.66	30.0	31.57	0.084
120	3.28	35.5	34.18	0.096

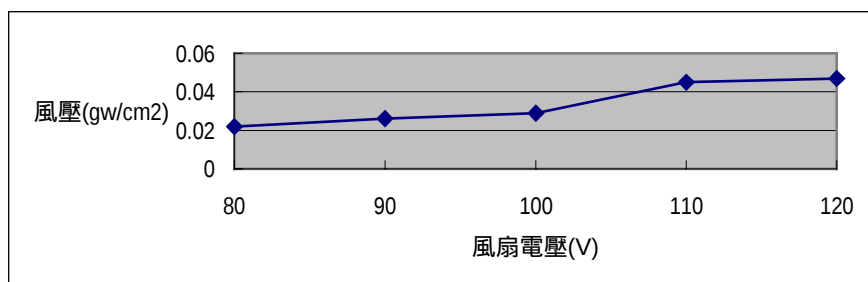


(六) 跑車模型



- 1 在空氣中重 4.20 克重。
- 2 跑車模型的長×寬×高：11.00cm×3.70cm×3.50cm（如設計圖所示）
- 3 在風洞中的有效面積為 $A' = (長 \times 寬 \times \sin \theta) + (高 \times 寬 \times \cos \theta)$
 $= (11.00 \times 3.70 \times \sin \theta) + (3.50 \times 3.70 \times \cos \theta)$

風扇電壓 (V)	F _{水平} (gw)	在風洞中的擺角(度)	在風洞中的有效面積 (cm ²)	風壓 (gw/cm ²)
80	0.37	5.0	16.45	0.022
90	0.45	6.1	17.20	0.026
100	0.52	7.0	17.81	0.029
110	0.97	13.0	21.77	0.045
120	1.05	14.0	22.41	0.047

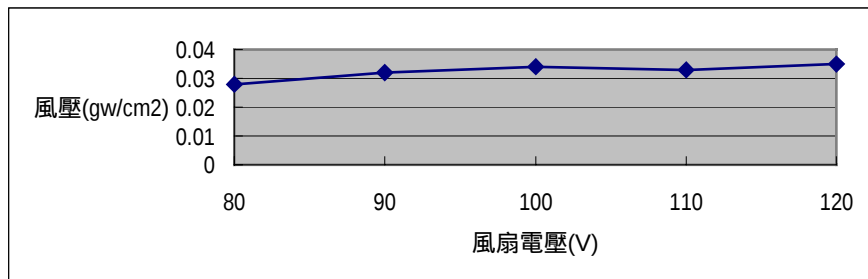


(七) 概念車模型



- 1 在空氣中重 1.20 克重。
- 2 概念車的長×寬×高：11.00cm×4.00cm×3.00cm，但是從車頂俯視時，投影為菱形，所以橫向面積=長×寬×0.5。
- 3 在風洞中的有效面積為 $A' = (長 \times 寬 \times 0.5 \times \sin \theta) + (高 \times 寬 \times \cos \theta) = (11.00 \times 4.00 \times 0.5 \times \sin \theta) + (3.00 \times 4.00 \times \cos \theta)$

風扇電壓 (V)	F _{水平} (gw)	在風洞中的擺角(度)	在風洞中的有效面積 (cm ²)	風壓 (gw/cm ²)
80	0.56	25.0	20.17	0.028
90	0.69	30.0	21.39	0.032
100	0.74	31.6	21.75	0.034
110	0.72	31.0	21.62	0.033
120	0.78	32.9	22.03	0.035

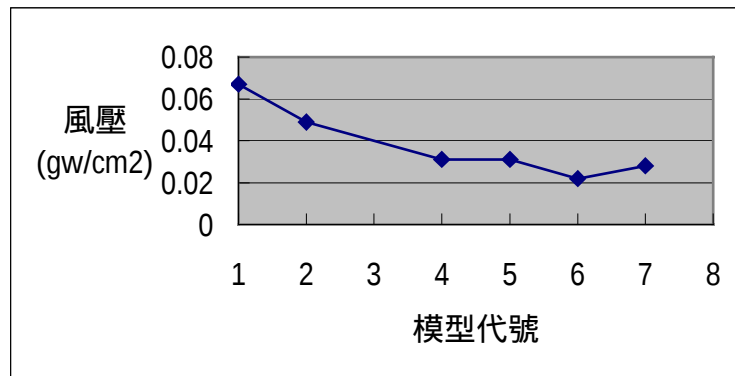


(八) 每個模型在不同風扇電壓下，所受風壓的比較 (單位：gw/cm²)

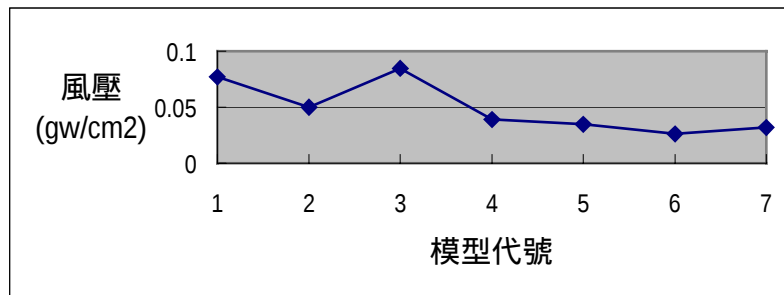
風扇電壓 (V)	保麗龍球 (1)	保麗龍蛋 (2)	立方體盒 (3)	Volvo 240 (4)	Volvo 850 (5)	跑車 (6)	概念車 (7)
80	0.067	0.049	-0.016	0.031	0.031	0.022	0.028
90	0.077	0.050	0.085	0.039	0.035	0.026	0.032
100	0.111	0.052	0.099	0.060	0.048	0.029	0.034
110	0.130	0.053	0.104	0.086	0.084	0.045	0.033
120	0.132	0.059	0.114	0.093	0.096	0.047	0.035

數字為每個模型的代號

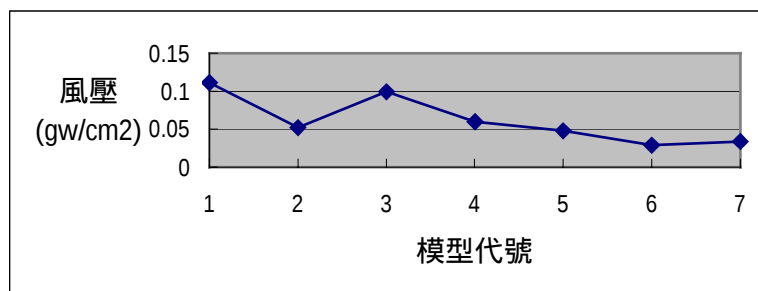
- 1 風扇電壓 80V



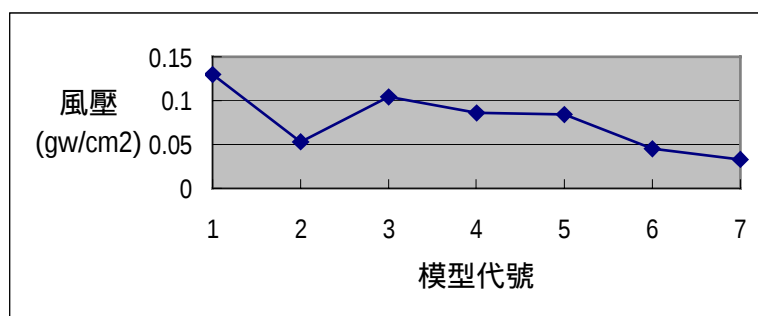
2 風扇電壓 90V



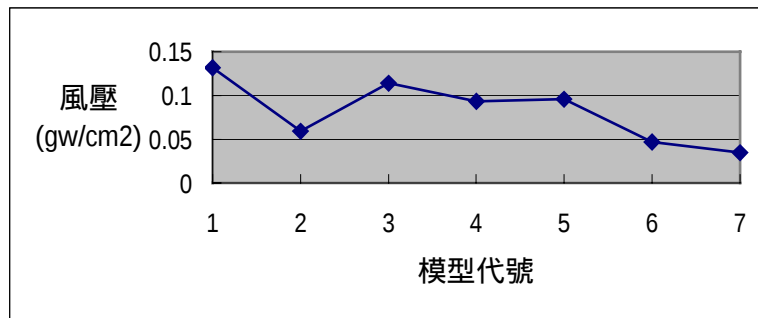
3 風扇電壓 100V



4 風扇電壓 110V



5 風扇電壓 120V



柒、討論

一、汽車風阻實驗

- (一) 由實驗結果得知物體在風洞中所受阻力與物體迎風的面積有關。
- (二) 車頭迎風時，不管風速大小，車子重量增加的百分比，由大而小，依次為
(1)綠輪胎四驅車、(2)黃輪胎四驅車、(3)Lexus RX-300、(4)綠色廂型車、
(5)Benz 賽車、(6)福斯金龜車。
- (三) 風速愈大，綠色廂型車、黃輪胎四驅車、福斯金龜車、Benz 賽車、Lexus RX-300
在 100V 時，會出現重量極大值，但是 120V 時重量反而減少，可見風速更強時，會
使這些車子因受空氣的浮力而稍微上浮。但是綠輪胎四驅車反而會隨
風速愈大，重量愈重。
- (四) 綜合以上兩點發現，難怪方程式賽車 (ex: F1) 的外型大都是像綠輪胎四驅車 or 黃
輪胎四驅車的造型，而又以綠輪胎四驅車的造型較佳，車速愈快，反而愈穩。
- (五) 車尾迎風時，綠色廂型車和福斯金龜車，在 120V 時，會出現重量極大值，
而黃輪胎四驅車、綠輪胎四驅車、Lexus RX-300，在 100V 時，會出現重量極大值，
但是 120V 時重量反而減少，尤其綠輪胎四驅車更出現負值，乃因風速更強又以車尾
迎風，所以車子後輪會上浮而使重量變輕。
- (六) 我們可推測，當車子緊急煞車時，有如車尾迎風時，綠色廂型車和福斯金龜車可較沈
穩的定住，而綠輪胎四驅車較有翻車的危險。
- (七) 側面迎風時，不管風速大小，車子重量增加的百分比，由大而小，依次為
(1)黃輪胎四驅車、(2)綠輪胎四驅車、(3) Benz 賽車、(4) Lexus RX-300、
(5) 綠色廂型車、(6)福斯金龜車，而福斯金龜車甚至出現負值
- (八) 側面迎風時，黃輪胎四驅車、綠輪胎四驅車、Benz 賽車，120V 時，出現重量極大值。
- (九) 我們可以推測當車子急轉彎時，有如側面迎風時，車體愈高的車子 (如: 綠色廂型車、
福斯金龜車)，容易有翻車的危險，而像黃輪胎四驅車、綠輪胎四驅車、Benz 賽車造型

的車子，則可沈穩的轉彎。

二、水平風壓實驗部分

(一) 由數據分析圖得知每一個模型所受的水平風壓是隨著風扇電壓的增大而增加。

(二) 綜合分析：將模型分成兩部分來探討，保麗龍球、保麗龍蛋、立方體為一組；Volvo 240、Volvo 850、跑車、概念車為一組。

1、風扇電壓為 80V 時，風壓大小為：保麗龍球 > 保麗龍蛋 > Volvo 240 = Volvo 850 > 概念車 > 跑車（立方體暫不討論）。

2、風扇電壓為 90V 時，風壓大小為：立方體 > 保麗龍球 > 保麗龍蛋 > Volvo 240 > Volvo 850 > 概念車 > 跑車。

3、風扇電壓為 100V 時，風壓大小為：保麗龍球 > 立方體 > Volvo 240 > 保麗龍蛋 > Volvo 850 > 概念車 > 跑車。

4、風扇電壓為 110V 時，風壓大小為：保麗龍球 > 立方體 > Volvo 240 > Volvo 850 > 保麗龍蛋 > 跑車 > 概念車。

5、風扇電壓為 120V 時，風壓大小為：保麗龍球 > 立方體 > Volvo 850 > Volvo 240 > 保麗龍蛋 > 跑車 > 概念車。

(三) 由以上的數據可以得知：

1、以球體的形狀所受到的風壓最大，立方體排名第二。

2、在風扇的電壓為 80 及 90V 時，風壓大小：保麗龍蛋 > Volvo 240 > Volvo 850

在風扇的電壓為 100V 時，風壓大小：Volvo 240 > 保麗龍蛋 > Volvo 850

在風扇的電壓為 110V 時，風壓大小：Volvo 240 > Volvo 850 > 保麗龍蛋

在風扇的電壓為 120V 時，風壓大小：Volvo 850 > Volvo 240 > 保麗龍蛋

由此可見，保麗龍蛋的外型、Volvo 240 的外型及 Volvo850 的外型在風速慢及擺角小的情況與風速快及擺角大的情況是截然不同的。

3、風扇電壓為 80V 時，Volvo 240 的風壓 = Volvo 850 的風壓

風扇電壓為 90、100、110V 時，Volvo 240 的風壓 > Volvo 850 的風壓

風扇電壓為 120V 時：Volvo 240 的風壓 < Volvo 850 的風壓

由數據可以發現，不管在任何電壓下，其實 Volvo 240 與 Volvo 850 的風壓相差不大，但由於 Volvo 850 較為流線，所以風壓稍微小了點。

4、車的造型是很流線的，經由實驗也發現其所受的水平風壓是最小的（在 80V、90V、100V），110V 及 120V 概念車所受的風壓是最小的。

5、我們自行製作的概念車所受的風壓是最穩定的，不管風扇的電壓為何，概念車所受的風壓變化不大。可見概念車的外型較不受風速的影響。

捌、結論

一、車子的外形若像綠輪胎四驅車的造型，則風速愈快，車子下壓的重量會增加所以，車子的穩定性愈高。但是，當車速很快，突然緊急煞車時，此類背面造型的車，易有翻車的危險。

二、綠色廂型車、福斯金龜車，雖然在高速行駛時，車子下壓的重量較少，車子會較不穩定。但是，當車速很快，突然緊急煞車時，綠色廂型車和福斯金龜車可較沈穩的定住。

- 三、我們可以推測當車子急轉彎時，有如側面迎風時，車體愈高的車子（如：綠色廂型車、福斯金龜車），愈容易有翻車的危險，而像黃輪胎四驅車、綠輪胎四驅車、Benz 賽車造型的車子，則可沈穩的轉彎。
- 四、球體形狀所受的水平風壓是最大的，立方體造型次之。所以，球體形狀不適合用來做車子的造型，因為可能會造成汽車的耗油量增加或輪胎磨損力偏高。
- 五、由於 volvo 240 與 volvo 850 的外形相似(volvo 850 較為流線形)，所以，兩者所測出的水平風壓數據相差不大。
- 六、我們自製的概念車，其最大的優點為： 不管風速快慢，其所受的水平風壓幾乎相等，所以，穩定性高。

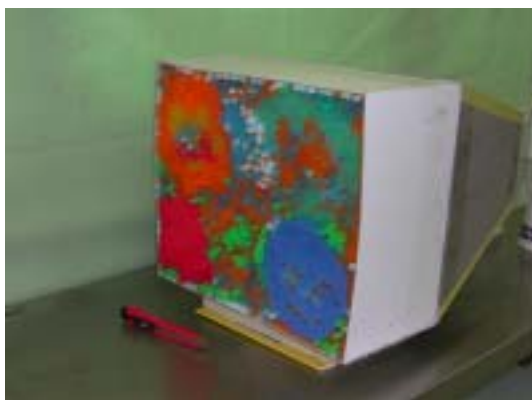
玖、參考資料及其他

一、參考文獻

- (一) 光武技術學院機械工程系 90 學年度學生專題製作報告 - 汽車風洞平台製作與實驗
- (二) 何碩科技有限公司的網站 網址：<http://www.hosotec.com>
- (三) 國中理化第三冊 國立編譯館
- (四) Fundamentals of Physics Extended
 - 1、作者：Halliday
 - 2、版次：第五版
 - 3、出版地：美國
 - 4、出版社：WILEY

二、實驗過程紀錄（實驗裝置圖及照片）

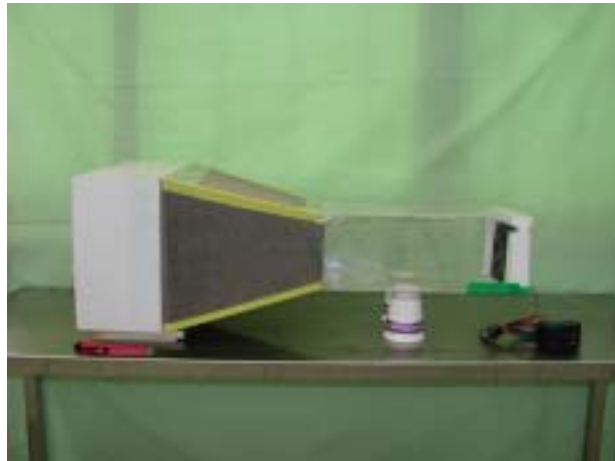
我們所製造的第一個風洞（包含整流段、收縮段、測試段、動力段）



整流段



動力段



第一個風洞之測視圖

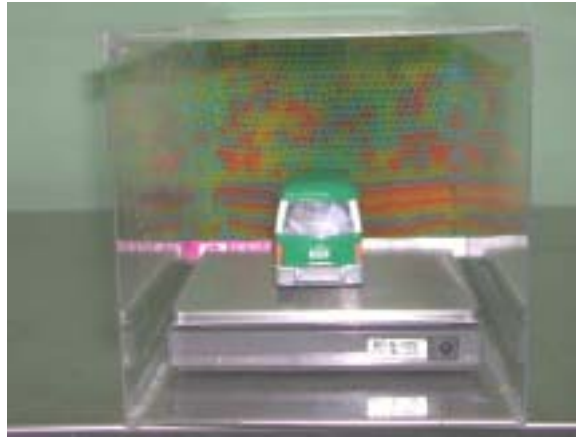
以下是我們所做的第二個風洞（改良後），也是實驗時使用的風洞。



0~240V 變壓器、風扇（115V）改良的電子秤、廂型車模型



操作實驗時的器材裝置圖



從風洞後方的後視圖（電子秤）



風洞之側視圖（整流段、動力段）



六台汽車模型（由左而右依序為：廂型車、黃輪胎四驅車、綠輪胎、福斯、Benz、Lexus）



六台汽車模型（由左而右依序為：上排：廂型車、福斯、Benz、Lexus RX300）
下排：黃輪胎四驅車、BEZ、綠輪胎四驅車



自製模型車側視圖

由左而右依序為：Volvo 240、Volvo 850、跑車、概念車

自製模型車前視圖

