

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 物理科

第一名

030103

不離不棄的保麗龍箱-模擬高速行駛下小貨車後
斗空氣流動的變化及應用

學校名稱：新北市立福和國民中學

作者： 國二 劉詠豐 國二 蔡文翔 國二 韓佳策	指導老師： 翟雲楓
---	------------------

關鍵詞：卡門渦街、汽車油耗、保麗龍箱

得獎感言

堅持走到最後，才能帶來最好的成績

流體力學對國二學生而言，是一門非常困難且不熟悉的課程，更不用說才剛要從國一要升上國二的我們，但正是因為不熟悉，才使的我們產生想要更加深入探索的實驗精神，以及那期許突破自我的想法，要學的理论也越來越多，科學就是在研究過程中，發現問題並加以改善，並從中獲得經驗，才讓我們能夠獲得如今的佳績。

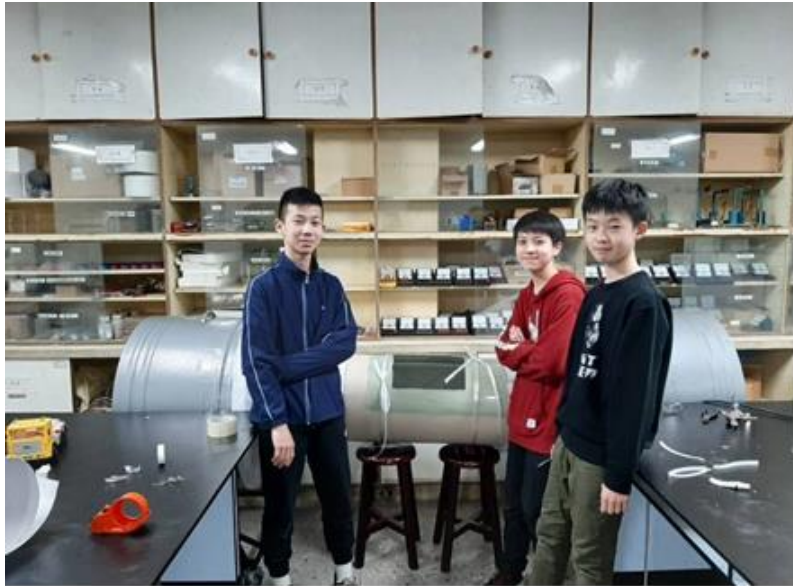
物理一直是我們認為難度最高的，但同時也是我們最感興趣的，從決定主題開始，我們就遇到了困難，不了解科展的主題大概是往哪個方向，與老師討論之後，最後才決定了主題，跨出了我們科展的第一步，在做科展的這段期間，我們遇到了很多困難，像是遇到從沒看過的現象，又或是當我們遇到沒有學過的理論，最後都在翟雲楓老師的講解下和網路自學的方式，把問題一一克服。

在校展的時候，我們的主題一直不被看好，因為我們這項主題的最終目標一定是模擬實際情況，而要成功在實驗室中重現當時偶然發生的現象，實在是非常困難，而我們的校展準備時間非常短，所以內容都零零散散，做出來的研究也差強人意。市展時我們的準備時間就較為充裕，因此就按照我們校展的評審以及我們和老師討論出來的問題加以修正，最後獲得特優，並取得進入國展的資格。

當初做國展說明書的最後衝刺階段，我們時常做實驗或打報告到很晚，甚至會拿午休來趕進度，雖然身心俱疲，但想到在市展看到許多厲害的作品，我們能夠從中脫穎而出，並從校展一路進軍到國展，是一件非常不容易且榮耀的事情，這讓我們有更加勤奮的動力，也更期待我們究竟在國展能夠取得怎樣的成績，但是因為疫情的關係，這次全國科展變成線上發表，這對影片非常有趣的我們來說，是一大壞消息，不過我們利用了把影片擷取重要影格片段的方法，把我們精彩的重現實驗展現給各個評審老師觀看。

俗話說：「三言和兩語不該成為你成長的阻力，把批評和否認全部轉化成助力。」，在成功的背後，必然得經歷一次次的失敗，把他人的質疑轉為做事的動力，相信自己，堅持走到最後，才能嘗到甜美的果實。要帶著每次的收穫，持續在我們人生中的道路前行，這才是科展的主旨，科展的結束絕對不代表抵達終點，而是接觸科學的起點，我們將會繼續在科學的路上前行——nonstop。

這一年來真的很感謝指導老師願意空出時間來與我們進行研究，也很感謝市賽的評審老師在市賽過後給我們很多實用的建議，最後謝謝我們的家人，在這段期間給予我們很多的肯定與支持，才能有今天的我們。



1月28號，製作快滿一個月的風洞終於完工。



4月16號，第一次參加大型比賽，心情非常緊張。



6月1號保麗龍箱彈回，那是一天難忘的日子，最困難的實驗終於成功！

摘要

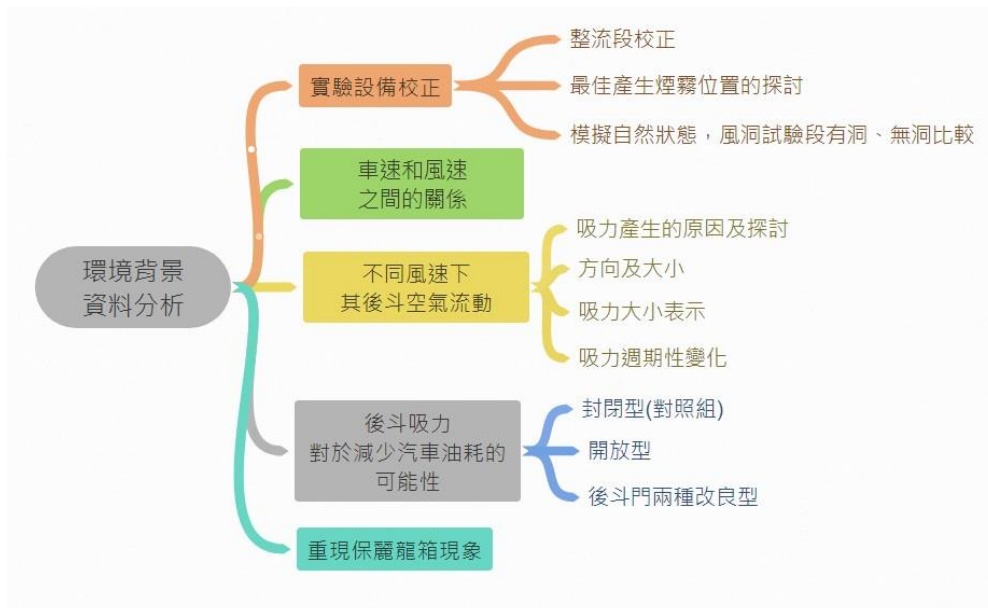
我們發現了一段離奇的新聞:貨車上的保麗龍箱在快速道路上掉落後，竟反彈回車上，究竟是什麼力量造成的呢?實驗發現，當小貨車行駛時，後端因為形狀而產生卡門渦街，當靠近後斗口中間的渦街把空氣帶入後斗口內，就會造成一個往內的吸力。且隨著速度變快，吸力也逐漸增強(約可增加 1.2-2 倍)。我們經過不斷測試，發現風洞兩側鑽洞後，會在後斗口除卡門渦街外，另外造成一個上進下出的氣流，所以最後成功的還原出當時比中獎機率還低的新聞畫面。我們也研究這個吸力是否能成為車子前進的助力，經實驗發現，其空氣阻力減少率不論是無門後斗或是另外兩種改良型，都比有門後斗多出 20% 以上，其中 V 型後斗門甚至可以接近 40%，明顯達到減少汽車油耗的效果。

壹、研究動機

偶然機會下，看到新聞在播放一則離奇事件，一台小貨車的後斗掉下一個保麗龍箱，但這保麗龍並沒有如想像中向後滾，反而是彈起，旋轉再彈回車上，而且連續發生 2 次，記者訪問物理老師此現象，該物理老師回答說，這機率比中獎還低，應該是後斗內有產生類似真空的情形，造成吸力所形成的。

但真的一個開放空間的後斗會有吸力產生嗎?那麼這個吸力是如何形成的?這個吸力是否能夠變成一種車子前進的助力呢?我們可能複製出相同情況嗎?這一連串的疑問，引起了我們的興趣。

貳、研究目的、流程



- 一、環境背景資料分析
- 二、實驗設備校正
 - (一)整流段校正
 - (二)最佳產生煙霧位置的探討
 - (三)風洞試驗段有洞無洞之比較
- 三、車速與風速的相對關係
- 四、在不同風速下，其後斗空氣流動的方向、大小及週期的變化
- 五、後斗吸力產生原因探討
- 六、後斗吸力的大小
- 七、後斗吸力減少汽車油耗的可能性研究
- 八、重現保麗龍箱現象

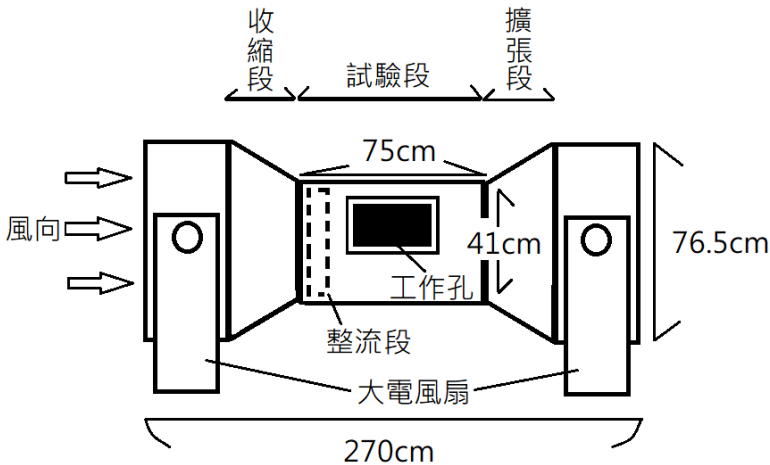
參、研究設備及器材

器材名稱	規格	用途
模型卡車		模擬實際之小貨車
壓克力板	19.2*12.3cm 12.3*9.5cm 19.2*9.5cm	製作小貨車的透明後斗
熱熔槍		黏接壓克力
工業風扇	30吋	收縮端送風
排風扇	30吋	擴張端排風
調速器(轉速控制器)	0-220V	無段式調整電風扇的轉速
風速器		測量電風扇所造成的風速大小
計時器		計時
彈簧秤	500gw	測量電風扇作用於模型車的外力大小
手機		攝影及拍攝
電腦		製作報告
煙餅(藍、紅、白、黃)		製造出實驗所需之煙霧
厚紙板	3000P(磅)	用於風洞製作
整流段 PVC 水管	長 11cm，直徑 4.5cm	整流
追蹤器軟體	Tracker	測量角度、時間
影片剪輯軟體	Cyberlink Power Director	慢速撥放影片

肆、研究過程或方法

一、風洞製作

為了模擬高速情形，故向學校借用兩台大型風扇，其直徑為 76.5cm，單台最高風速可達 7.2m/s，但不足以滿足我們實驗需求，故於風洞收縮段前安裝一台送風扇，另在擴張段後安裝一台排風扇，使其最高風速可達 15.2m/s。



圖一、風洞示意圖



圖二、實際風洞試驗段

- (一)利用厚紙製作兩個尺寸如圖一的錐形筒，其底部直徑為 76.5cm，並分別加裝於兩台工業風扇的前後，分別作為收縮段及擴張段。
- (二)利用紙板製作尺寸如圖一的空心圓柱，長 75cm，直徑 41cm，並加裝在兩個錐形筒的中央，當成試驗段。
- (三)在空心圓柱外壁挖上一個工作孔，並用透明墊加裝於挖空處做為試驗段，方便進行觀察及錄影，如圖二。
- (四)取長度為 11 公分，直徑為 4.5 公分的 PVC 水管 43 根，並加裝於收縮段內，作為整流段，如圖三。



圖三、整流段

- (五)利用厚紙板製作出平台，並加裝於空心圓柱內，使模型車能夠放置於平面上。
- (六)前後兩台大型風扇，均加裝調速器(轉速控制器)，以利調整風速。
- (七)原則上先使用前方風扇，風力不足時，再開啟後方風扇作為輔助。
- (八)因為大型風扇啟動時有一個電流門檻，常常經過此門檻後，轉速即迅速提高，導致控制風速的困難，因此決定每次實驗前再重新測量風速。

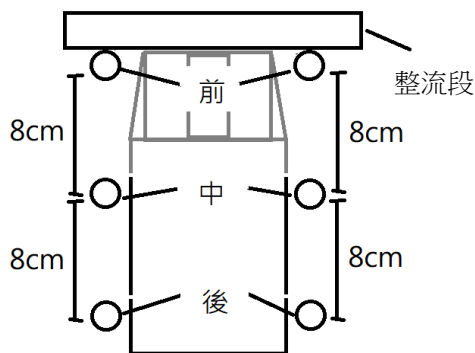
二、實驗設備校正

(一) 整流段校正

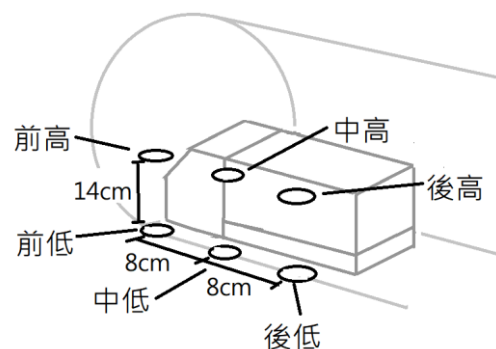
1. 開啟風扇，利用調速器(轉速控制器)將風速分別調整為 7.2、8.2、9.1m/s(車速 60、70、80km/hr)
2. 分別利用風速計在風洞左上、左下、右上、右下量測風速。
3. 紀錄實驗數據。

(二) 最佳煙霧產生位置探討

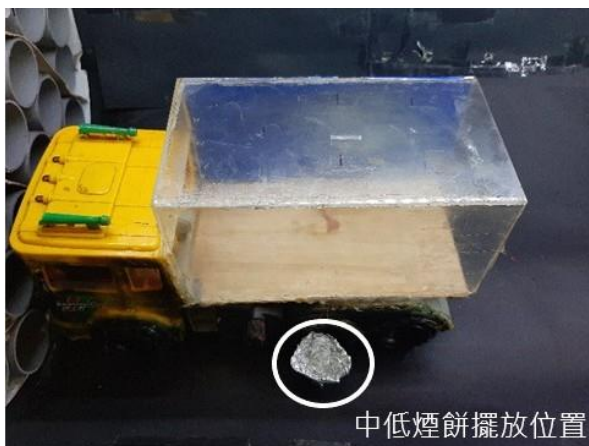
1. 將模型車車頭貼齊整流段，並置於中央位置，將鋁箔紙折成碗狀(直徑 2.5 公分)，盛裝煙餅。
2. 在模型車左右兩側從最前端開始往後每 8cm 做標記，並挖洞方便之後固定碗狀鋁箔，共六個，分別為前、中、後，位置如圖四說明。
3. 另外為分辨出煙位置高低對於生成煙霧位置的影響，另外將鋁箔紙折成高腳杯形式架高煙餅(高為 14cm)，總共六組實驗。每次實驗模型車左右兩側都各有一塊煙餅，點燃煙餅後開啟風扇，拍攝並記錄，煙餅放置位置分別為:前低、中低、後低、前高、中高和後高，如圖五、圖六。
4. 在模型車後區隔出三個大小相同的區域，定義為 A 區、B 區和 C 區，位置如圖七。
5. 開啟風扇，點燃煙餅，並拍攝影片。
6. 分析影片，並計算煙餅在不同位置時，其產生煙霧分布在 B 區的比例。



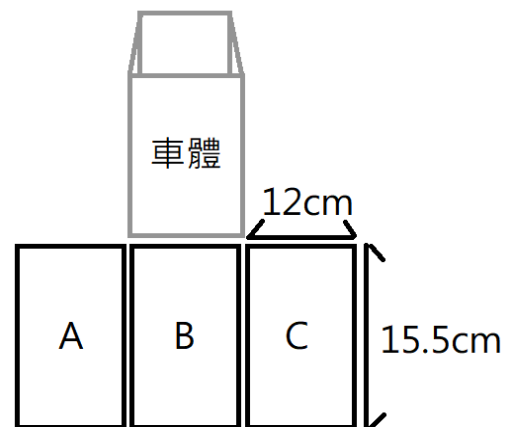
圖四、煙餅放置位置(一)



圖五、煙餅放置位置(二)



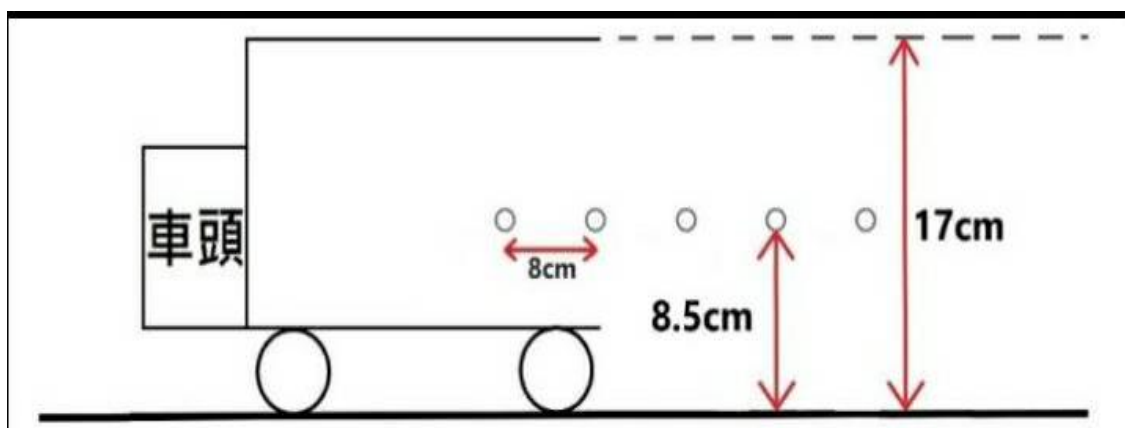
圖六、煙餅擺放位置



圖七、A 區、B 區和 C 區

(三) 模擬自然狀態，風洞試驗段有、無開洞比較

- 1.為模擬自然狀態下行車時的氣流實況，在風洞左右兩側各鑽 5 個孔洞(孔徑 0.3cm)，使側邊氣流可以由孔洞壓入風洞中(第二個孔洞對齊後斗口)，如圖八。
- 2.每兩個洞中間相隔 8cm，並距離底面 8.5cm。
- 3.將有鑽孔之風洞定義為有洞風洞，未鑽洞前之風洞定義為無洞風洞。
- 4.在後斗內中間放置鋁箔小碗，內裝 4g 白色煙餅，因此以下實驗均做 2 遍，一次為有洞狀態，一次為無洞狀態。
- 5.開啟風扇，設定慢速為 4.5m/s，點燃煙餅，並用遮掩物遮住後斗口，等 10 秒後移開遮掩物，同時拍攝上方、側面兩種影片連續 40 秒，之後進行影片分析。
- 6.另一種實驗為，由前面最佳煙霧位置，決定為中低位置。
- 7.在小貨車兩側的中低位置處，放置鋁箔小碗。
- 8.兩側各放置不同顏色的彩色煙餅。
- 9.開啟風扇，點燃煙餅，速度為 4.5m/s。
- 10.由上方拍攝後斗後方影片，並進行影片分析。



圖八、風洞側面開孔位置

三、車速與風速的相對關係

- (一)選擇一天室外風速 $<2\text{m/s}$ 。
- (二)實際開車定速為：40、50、60、70、80、90 km/h。
- (三)將風速計伸出車窗距車身約 20cm 處，進行風速測量並記錄之。

四、模擬不同風速下貨車後斗空氣流動的情形

- (一)本實驗在風洞側面有穿孔洞的狀態下進行。
- (二)在後斗內外，各貼上長 10cm，寬 1cm 的硬質紙片。共貼 8 張，位置如圖九{未按實際比例繪製}。

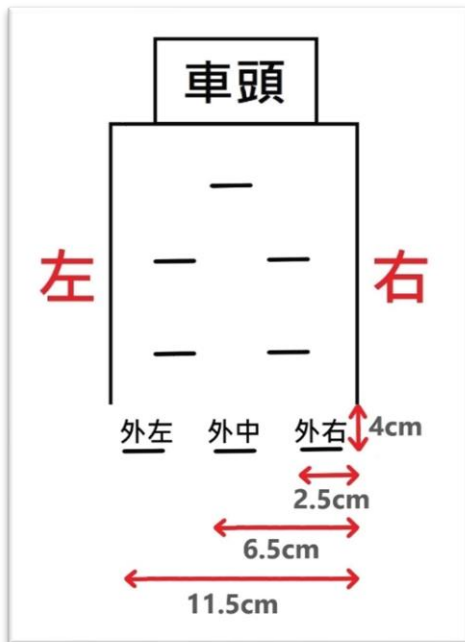
(三)根據行車產生的風速結果，利用前後調速器，調整風扇轉速，使其在試驗段內使用風速計測量風速，依序為 7.2、8.2、9.1 m/s (車速 60、70、80 km/h)。

(四)在模型車右側貼一暗色壁報紙，避免反光，風洞內也貼黑色讓拍攝的實驗影像更加清楚。

(五)手機固定於工作孔外，連續拍攝 40 秒，如圖十。

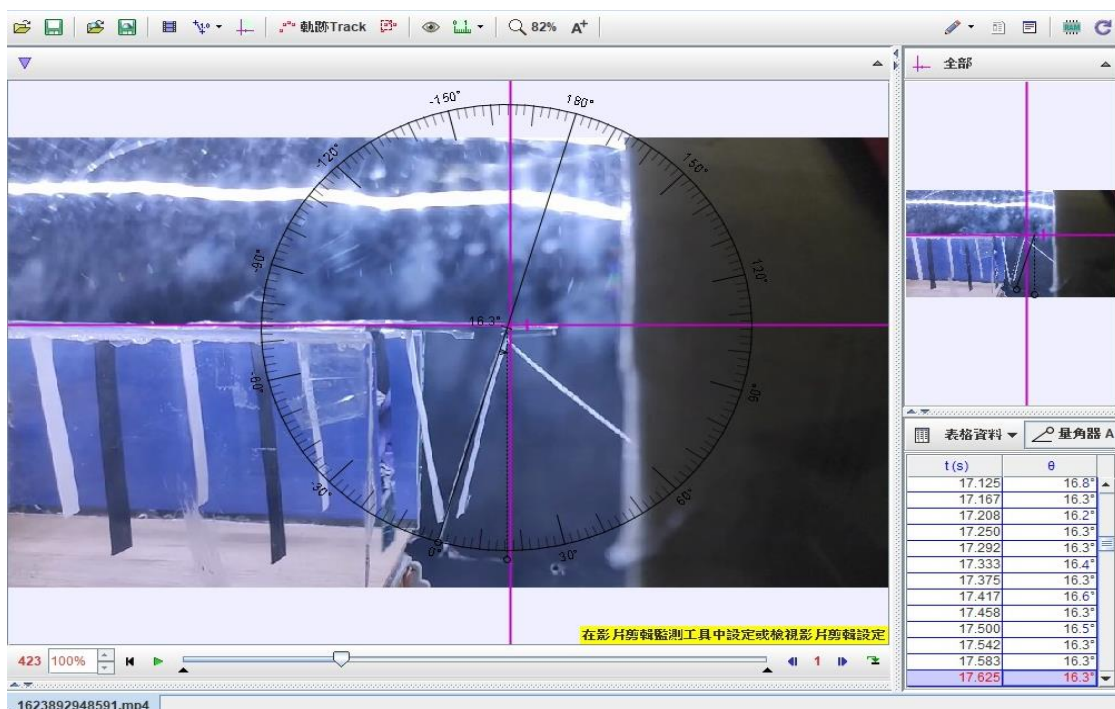
(六)將拍攝的影片，利用影片編輯軟體，存成慢動作播放影片。

(七)利用 tracker 軟體，分析紙片偏轉角度、時間，並紀錄之，如圖十一。



圖九、模型車紙片示意圖

圖十、手機架設



圖十一、Tracker 分析角度

五、貨車後斗吸力產生原因探討

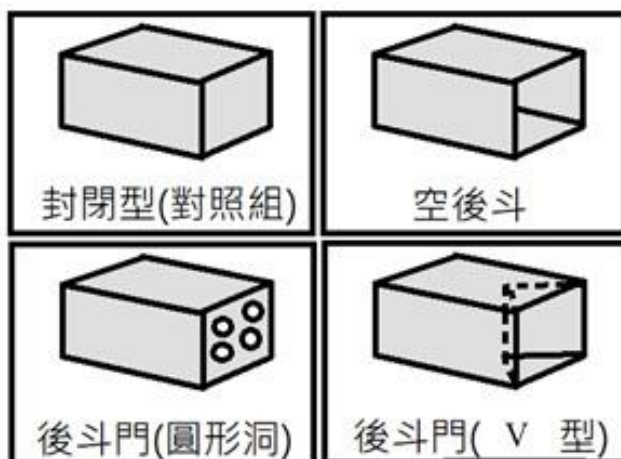
- (一) 本實驗在風洞側面有穿孔洞的狀態下進行。
- (二) 分析比較使用煙餅標記風洞中氣流流向的影片與卡門渦街影片的異同。

六、貨車後斗吸力的大小

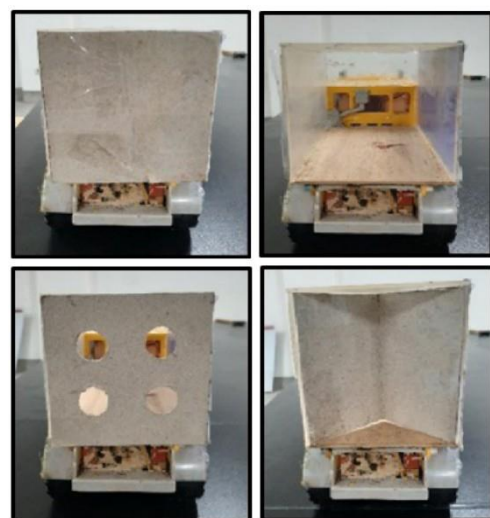
- (一) 本實驗在風洞側面有穿孔洞的狀態下進行。
- (二) 同實驗三的步驟 4-5，利用 4g 白色煙餅將模型車後斗內充滿煙霧，並將模型車置於風洞中。
- (三) 利用調速器將風扇的風速定在 7.2、8.2、9.1 m/s，相當於車速 60、70、80 km/h。
- (四) 將模型車放在已調好風速，並已開啟超過 10 秒的風扇前，同時拍攝影片 40 秒。
- (五) 將影片慢動作回放，並記錄在不同風速下其煙霧完全消散的時間。

七、貨車後斗吸力減少汽車油耗的可能性研究

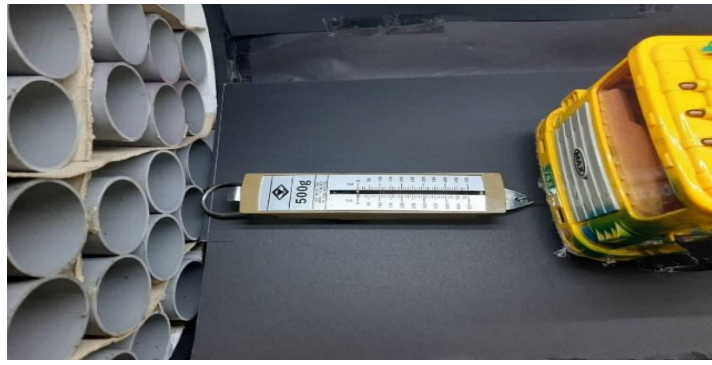
- (一) 本實驗在風洞側面有穿孔洞的狀態下進行。
- (二) 利用紙板做出封閉、圓洞(直徑為 2cm 的圓洞)、V 型(長 13.5*高 9.05cm)三種不同類型的後斗門並加裝於模型後斗口，以及不加裝紙板門(空後斗)等四種類型來進行實驗，如圖十二、十三。(本實驗不考慮摩擦力因素，因為模型車重 842gw，後方加裝的紙板只有約 2gw，因此每一次的摩擦力均相同，故不列入考慮)
- (三) 將彈簧秤底部固定黏貼在風洞試驗段前端底板，秤鈎端連接模型車，如圖十四。
- (四) 彈簧秤歸零，開啟電扇。
- (五) 利用調速器將風扇的風速定在 7.2、8.2、9.1 m/s，相當於車速 60、70、80 km/h。
- (六) 記錄風速穩定時彈簧秤所測得的最大拉力數值。
- (七) 每一種後斗門，都重複測試 3 次取平均值。



圖十二、四種後斗門示意圖



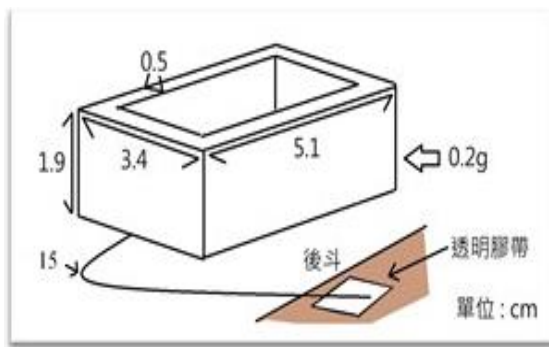
圖十三、四種後斗門照片



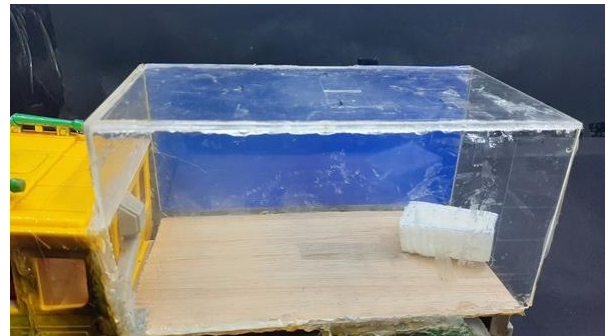
圖十四、彈簧秤及模型車擺放位置

八、重現保麗龍箱現象

- (一) 本實驗在風洞側面有穿孔洞的狀態下進行。
- (二) 我們按照實際保麗龍箱的尺寸大小等比例縮小(1:12)，切割出一塊保麗龍長 5.1cm、寬 3.4cm、高 1.9cm，接著從上方挖掉多餘的保麗龍，使其成為保麗龍箱，壁厚 0.5cm、質量為 0.2g，如圖十五。
- (三) 用透明膠帶將一條細線，一端黏至保麗龍箱，另一端黏至後斗內，讓保麗龍箱自由活動的細線長度為 15cm (此目的只是為了避免因為實驗失敗，導致保麗龍被吸入後方排風扇)。
- (四) 將保麗龍箱擺放至後斗內最接近新聞影片裡所呈現的位置，如圖十六，開啟風扇(風速 9.1m/s，車速 80km/h)，拍攝並紀錄影片。
- (五) 將影片慢動作回放，並觀察保麗龍箱運動軌跡。



圖十五、保麗龍箱尺寸示意圖



圖十六、保麗龍箱擺放位置示意圖

伍、研究結果

特殊名詞解釋

1. 雷諾數

雷諾數代表慣性力與黏滯力的比例關係，在實驗上雷諾數還決定了亂流是否發生。我們可以將黏滯力視為穩定流體的力量，它趨向使流體的速度變得一致，因此當雷諾數小的時候，粒子的動量低，向四周衝撞逸散的效果被黏滯力抵銷，因此流體沿著同一方向運動，保持穩定的層流。所謂的層流，即局部來看流體的方向是平行的。當雷諾數逐漸變大時，粒子的動量高，不穩定產生了，微小的干擾無法快速地被黏滯力耗散掉，因此隨著時間演進，原本平行的流體開始擴散開來，造成流動方向不一致，即是所謂的亂流。
[ρ 流體密度(kg/m^3)、 V 是平均流速（國際單位： m/s)、 D 管直徑（一般為特徵長度）(m)、 μ 流體動力黏度（ $\text{Pa}\cdot\text{s}$ 或 $\text{N}\cdot\text{s/m}^2$ ）]

$$\text{(雷諾數) } Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

$Re < 2100$ 為層流、 $Re 2100-4000$ 為過渡狀態、 $Re > 4000$ 亂流、 $Re \gg 10000$ 完全亂流(見參六)

2. 渦流

是由被干擾的流體，所形成渦漩的一種運動型態。通常為亂流的主要組成部分。根據白努力定律，形成渦流附近壓力會變小。

3. 白努力定律

在流體力學中，白努力原理（Bernoulli's Principle）指出，對一不可壓縮流體（流體的密度不因外力而改變，大部分的液體皆可視為此類）而言，在外界不做功的情況下，當液體流速增加時，將會造成液體的壓力或是重力位能減少

4. 卡門渦街定義

流體中安置的阻流體，在特定條件下會出現不穩定的邊界層分離，阻流體下游的兩側，會產生兩道非對稱地排列的旋渦，其中一側的旋渦循時針方向轉動，另一旋渦則反方向旋轉，這兩排旋渦相互交錯排列，各個旋渦和對面兩個旋渦的中間點對齊，如街道兩邊的街燈一般，故名渦街(見參 7)。

卡門渦街起因流體流經阻流體時，流體從阻流體兩側剝離，形成交替的渦流。這種交替的渦流，使阻流體兩側流體的瞬間速度不同。流體速度不同，阻流體兩側受到的瞬間壓力也不同，因此使阻流體發生振動。振動頻率與流體速度成正比，與阻流體的正面寬度成反比。

卡門渦街頻率與流體速度和阻流體（旋渦發生體）寬度有如下關係：

$$f = SrV/d$$

其中： f =卡門渦街頻率； Sr =斯特勞哈爾數(~ 0.2)； V =流體速度(m/s)； d =阻流體迎面寬度(m)

一、事件發生背景說明



圖十七、保麗龍彈回新聞照片

經查該台小貨車的型號應該是中華三菱 A190 小貨車，2020/6/1 行駛在西濱快速道路南下彰化路段，本路段經查交通局快速道路網站(見參 1)該路段最高限速 90km/hr(25m/s)，另外查歷史天氣觀測資料-彰化芳苑站(見參 2)，當天是晴天，風速約 0.89m/s。這部小貨車在該路段高速行駛下，一個沒有固定好的空保麗龍箱，連續兩次掉落，但都會又反彈回車上，見圖十七。(見參 3)

該型號小貨車後斗尺寸長 230.6cm、寬 148.1cm、高 114cm，因此我們決定先自製一部比例 1:12 的模型小貨車，故模型車的後斗尺寸為 19.2*12.3*9.5cm。

且當天天氣為晴天，風速相對於車速小很多，因此在下列實驗中，均不考慮外部的風速。只考慮小貨車自身移動過程中，車速對於小貨車後斗內外空氣壓力變化的影響。

二、實驗設備校正

(一)整流段校正

- 1、由四個區域發現，四個區域測量值的差值，落在 0.1~0.4m/s 之間，代表整流段有確實發揮良好整流的效果。
- 2、由表一得知，平均測量值和我們真正需要風速，經過整流段校正後，差異值控制

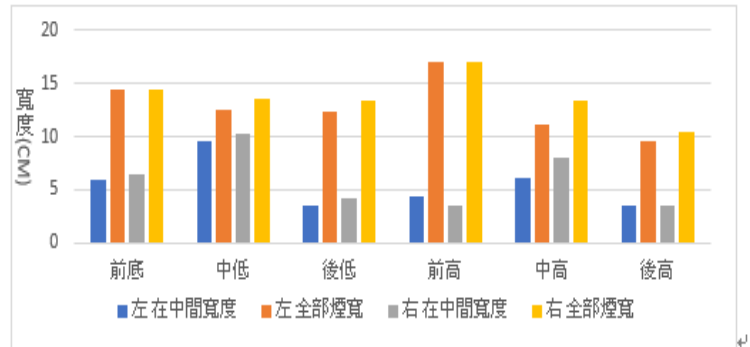
在 0.1~0.2m/s 之間。

(二) 最佳煙霧產生位置探討

- 1、我們希望可以找出煙餅放在哪個位置，煙霧會在後斗口(B 區)出現的比例最多，以利後面的觀察。
- 2、由圖 十八可知，低位置時，煙霧總寬度和前後相關性不大，而以中位置在 B 區出現的比例最多；另外高位置發現，愈前面總寬度愈大，但在 B 區寬度也會比較小，可是煙霧的清晰度較佳。
- 3、綜合以上結果，決定選擇中低位置，作為接下來實驗時煙餅的擺放位置，雖然高位置清晰度較佳，但是阻力增加，造成危險性提高，所以不採用。

表一、整流段校正數據

φ	50km/h ^φ	60km/h ^φ	70km/h ^φ	80km/h ^φ
左上(m/s) ^φ	4.3 ^φ	7 ^φ	8.4 ^φ	9 ^φ
左下(m/s) ^φ	4.4 ^φ	6.8 ^φ	8.1 ^φ	8.8 ^φ
右上(m/s) ^φ	4.6 ^φ	7.2 ^φ	8.5 ^φ	9.2 ^φ
右下(m/s) ^φ	4.3 ^φ	6.9 ^φ	8.3 ^φ	9 ^φ
平均值(m/s) ^φ	4.4 ^φ	7.0 ^φ	8.3 ^φ	9.0 ^φ
理想風速(m/s) ^φ	4.5 ^φ	7.2 ^φ	8.2 ^φ	9.1 ^φ



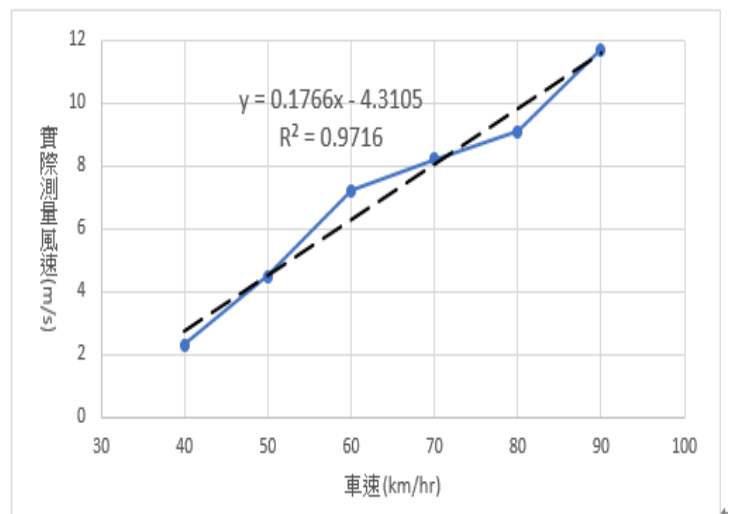
圖十八、最佳煙霧產生位置數據

三、車速與風速之間的相對關係

(一) 數據

表二、車速和風速之關係

車速(km/h) ^φ	車速換算成風速(m/s) ^φ	實際測量風速(m/s) ^φ
40 ^φ	11.1 ^φ	2.3 ^φ
50 ^φ	13.9 ^φ	4.5 ^φ
60 ^φ	16.7 ^φ	7.2 ^φ
70 ^φ	19.4 ^φ	8.2 ^φ
80 ^φ	22.2 ^φ	9.1 ^φ
90 ^φ	25 ^φ	11.7 ^φ



圖十九、車速和實測風速關係圖

(二)討論

1.由表二得知，車速和**實際測量的風速**，有非常明顯的差距，幾乎只剩下車速的一半，推測是因為外界的整個空氣塊是靜止的，只靠著車子移動所造成的風，並沒有實際造成的空氣壓力差，所以空氣只有部分相對移動，大部分空氣仍然靜止，且還要考慮和車子之間的摩擦力，因此**風速會只剩下車速的一半不到**。

2.由圖十九得知，在車速和實際測量風速之間有一個線性關係，關係式為：

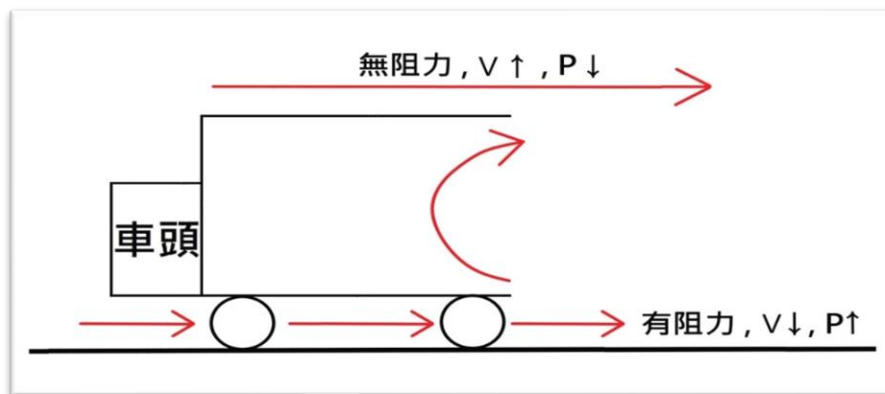
$y = 0.1766x - 4.3105$ 。(y=實測風速，x=車速)。因此以下實驗均用實測風速模擬車速。

四、模擬自然環境下風洞試驗段有洞無洞之比較

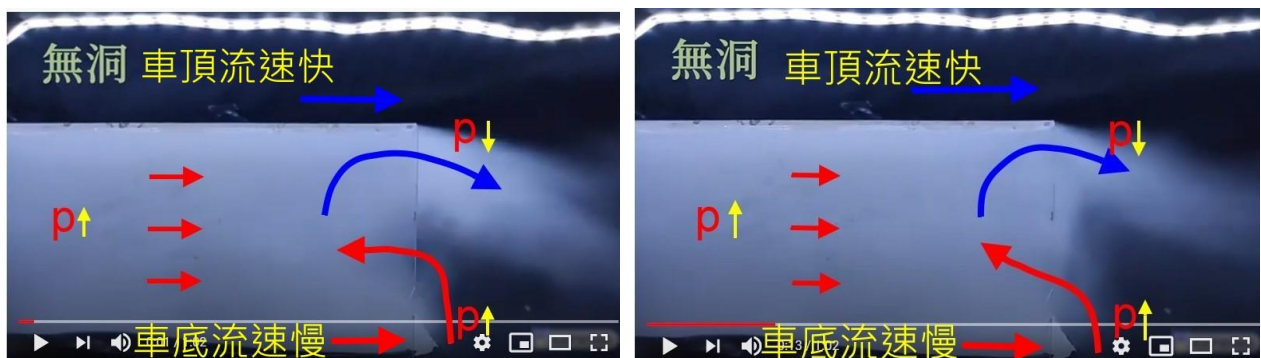
(一)、後斗內煙霧

1. 風洞試驗段無洞

由**後斗內置煙餅**實驗可以看出，當風洞試驗段**無洞**時，因為**模型車下方有輪子、地面**等因素，所以**風速降低**，根據伯努力定律，流速**慢**，**壓力會上升**，而**模型車上方**，因為**無阻力**，風速**快**，造成**壓力較小**，因此模型車後斗口上下壓力，為**下方壓力較大**，**上方壓力較小**，造成後斗口的空氣流向為**下進上出**，如圖二十、二十一。



圖二十、上下風阻力圖

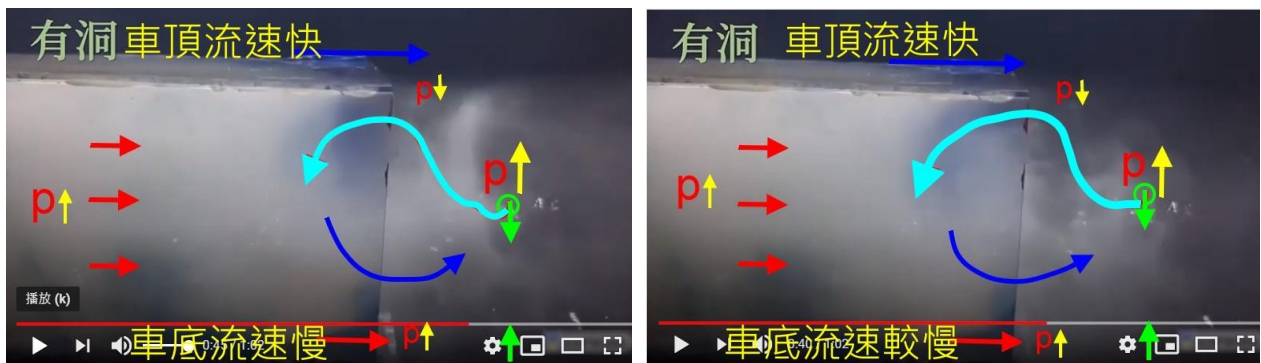


圖二十一、無洞情況下、煙霧流動情形

2. 風洞試驗段有洞

(1) 我們做實驗時，發現在高速行駛的情況，因為氣流在風洞流動很快，造成整個風洞內的壓力，和外面比起來較小，有點造成類似真空的效果，會讓我們試驗段有向內凹的情形，但是真正在自然的情況下，小貨車附近並不會有類似真空的現象，因為空氣是流動的，因此為了使實驗更貼近自然狀態，故我們選擇在後斗口前後，兩側對稱各鑽 5 個孔，以利壓力平衡，作為有洞型的風洞，以下敘述簡稱有洞。

(2) 由有洞的內置煙餅實驗發現，側面觀察煙霧流向，和無洞相比，其方向剛好相反，流向變為上進下出，我們推測，因為原本小貨車上方流速快，壓力小，四周空氣要補充進來時，會先從壓力最小的開始補充，補充到某一個瞬間造成上方壓力大於下方，因此空氣慣性變成上進下出，如圖二十二。

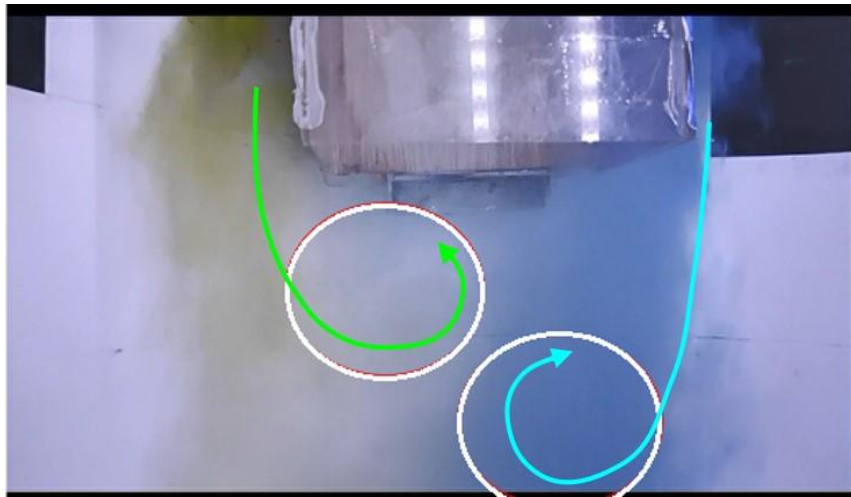


圖二十二、有洞情況下、煙霧流動情形

(二)卡門渦街

1.無洞風洞

從影片中得知，同時左右兩側放煙餅，可以看到後斗後面，左右兩側各有一個順時針跟逆時針的渦流，樣子雖不是太清楚，但在慢速攝影下，還是可以分辨出左右的渦流且看得出位置，可分辨出右側為順時針，左側為逆時針。代表有形成卡門渦街，如圖二十三。



圖二十三、無洞左右渦流位置截圖

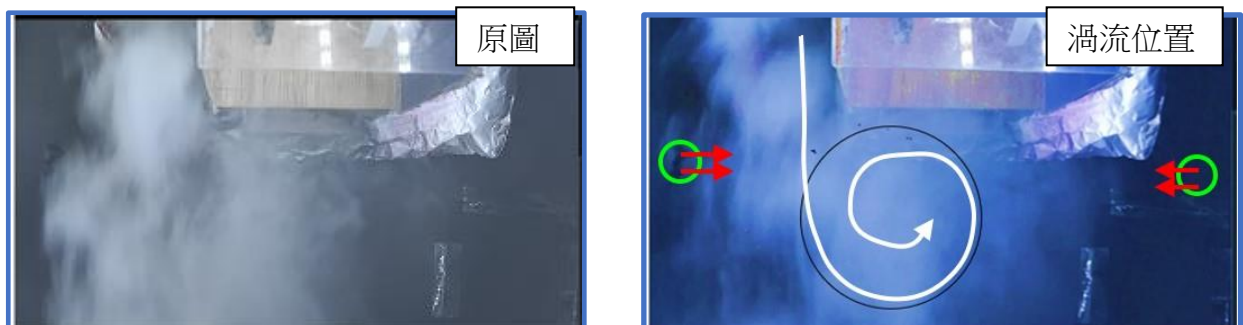
2.有洞風洞

有洞的煙餅實驗，本想重複無洞的實驗，但是重複多次依然無法看到兩個渦流，只知道有渦流，但因為煙全部混和，導致影片中左右渦流無法分辨。

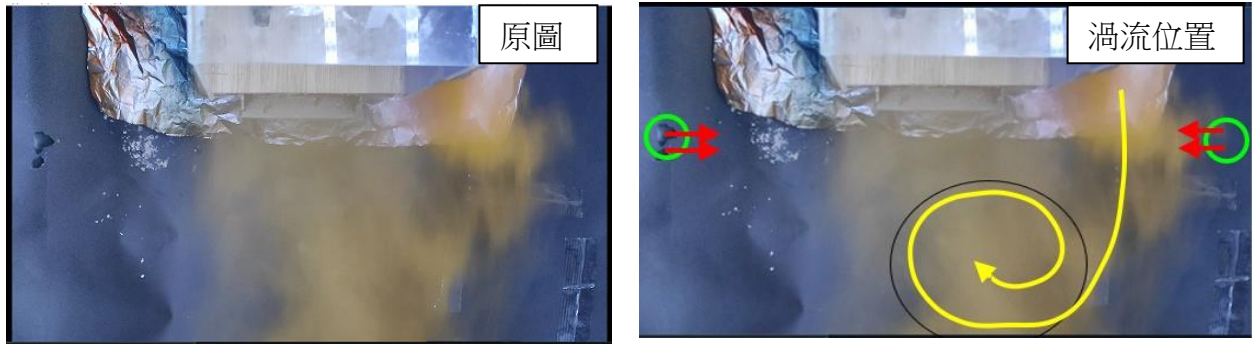
因此我們更換方法，用左右單側放煙餅，左右各做一次，如圖二十四、二十五，等拍完影片，再將影片截圖，將左右兩側渦流位置重疊，如圖二十六。由影片中發現，左右兩側和無洞的情形類似，一樣兩側都有渦流，右側為順時針，左側為逆時針，方向和無洞相同，渦流的中心點位置也接近，明顯的差別為，有洞時渦流的範圍較大，導致這兩個渦流在邊界的部分有明顯的重疊，如圖二十六，因此之前影片無法拍攝清楚。我們推測是因為當風洞兩側鑽洞後，導致風洞外空氣(壓力大)往風洞內壓入，因此煙霧渦流越往中間旋轉移動，渦旋的範圍較大。風洞有無鑽洞之比較，如表三所示。

表三、有洞、無洞之比較

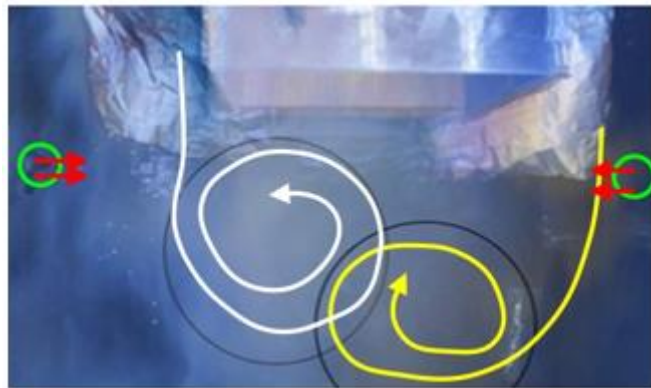
	無洞	有洞
後斗口上下氣流方向	下進上出	上進下出
後斗口外 卡門渦街	左渦流-逆時針 右渦流-順時針	左渦流-逆時針 右渦流-順時針
渦流範圍大小	小	大



圖二十四、有洞左測渦流位置截圖



圖二十五、有洞右測渦流位置截圖



圖二十六、有洞左右渦流重疊圖

(三)討論

我們發現，風洞側面有開小洞狀態，氣流煙霧在貨車後斗後方的卡門渦街狀態和理論狀態接近(後面描述)，因此下面實驗進行均採風洞側面有鑽洞狀態。

五、在不同風速下，其開放後斗空氣流動的方向，大小及周期的變化

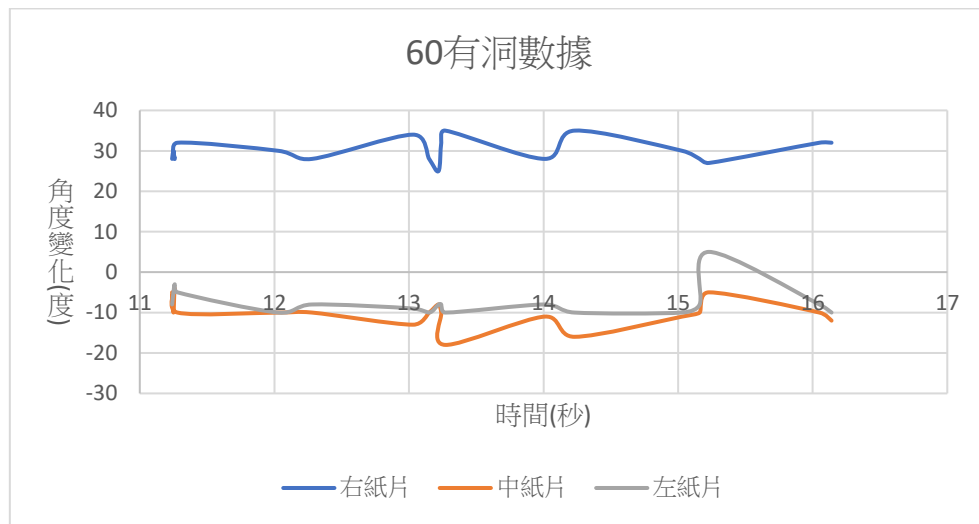
我們將小貨車後斗外的三個硬紙片，定義為外右、外左、外中，如右圖，模擬在不同車速下，三個紙片移動的角度，紀錄如下。



1. 車速 60 km/hr(定義角度往內 -, 往外 +)

表四、車速 60 km/hr 紙片角度測量值

時間(秒)	外右(度)	外中(度)	外左(度)	時間(秒)	外右(度)	外中(度)	外左(度)
11.24	28.2	-5.1	-8.3	13.24	32.8	-10.3	-8.6
11.25	30.1	-10.8	-5.1	13.27	35.3	-18.4	-10.1
11.26	28.4	-4.4	-3.8	14.01	28.8	-11.0	-8.4
11.28	32.3	-10.1	-5.1	14.23	35.1	-16.4	-10.1
12.03	30.3	-10.0	-10.4	15.03	30.4	-11.2	-10.1
12.28	28.1	-10.1	-8.8	15.16	28.1	-10.1	-8.8
13.03	34.5	-13.8	-9.4	15.23	27.3	-5.4	5.1
13.15	28.8	-10.5	-10.5	16.05	32.1	-10.6	-8.6
13.22	25.1	-8.1	-8.1	16.14	32.4	-12.0	-10.1

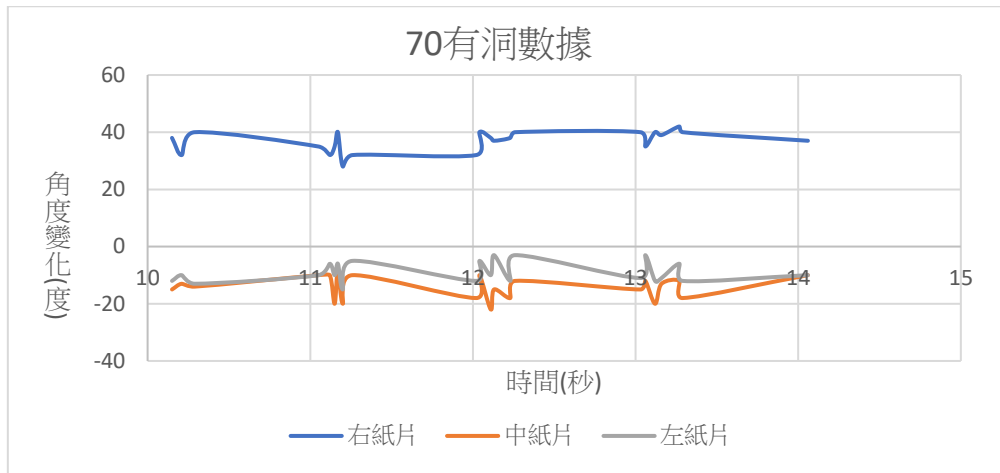


圖二十七、車速 60 km/hr 紙片角度時間圖形

2. 車速 70 km/hr (定義角度往內 -, 往外 +)

表五、車速 70 km/hr 紙片角度測量值

時間(秒)	外右(度)	外中(度)	外左(度)	時間(秒)	外右(度)	外中(度)	外左(度)
10.15	38.1	-15.2	-12.1	12.11	38.8	-22.4	-10.4
10.21	32.8	-13.2	-10.1	12.13	37.4	-15.1	-3.1
10.29	40.4	-14.8	-13.6	12.23	38.6	-18.8	-12.1
11.05	35.3	-10.6	-10.4	12.26	40.1	-12.6	-3.4
11.12	32.1	-10.6	-6.1	13.03	40.0	-15.4	-11.1
11.15	35.8	-20.1	-10.4	13.06	35.2	-12.1	-3.3
11.17	40.4	-8.6	-6.3	13.12	40.1	-20.0	-12.8
11.2	28.8	-20.0	-15.7	13.16	39.6	-13.8	-11.6
11.26	32.1	-10.1	-5.4	13.27	42.1	-12.3	-6.8
12.02	32.3	-18.0	-12.0	13.29	40.8	-18.5	-12.1
12.04	40.3	-10.1	-5.1	14.06	37.3	-10.7	-10.4

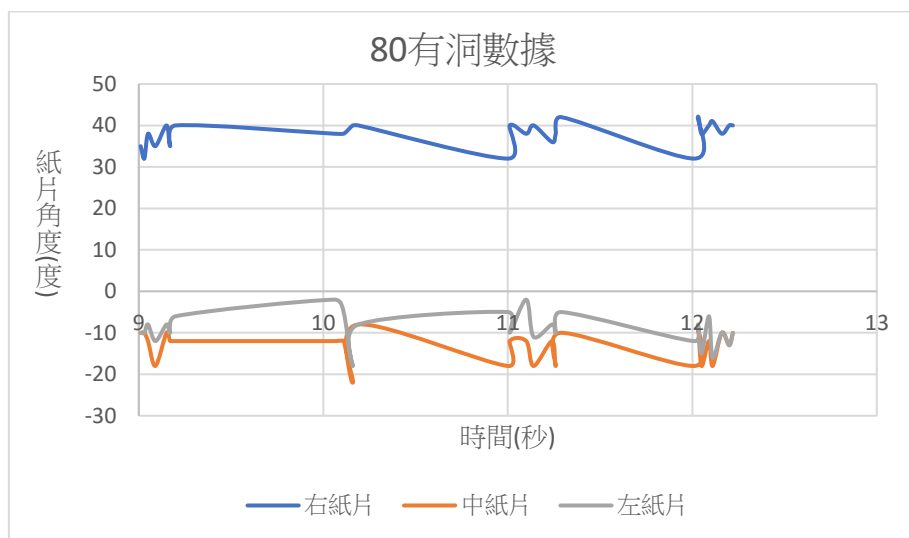


圖二十八、車速 70 km/h 紙片角度時間圖形

3.車速 80 km/hr (定義角度往內 -, 往外 +)

表六、車速 80 km/hr 角度測量值

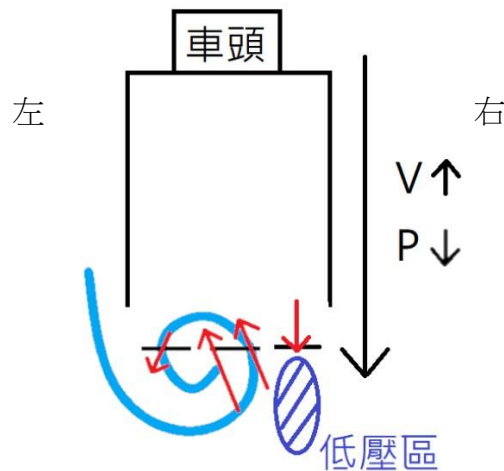
時間(秒)	外右(度)	外中(度)	外左(度)	時間(秒)	外右(度)	外中(度)	外左(度)
9.01	35.1	-10.1	-10.1	11.1	38.1	-12.4	-2.2
9.03	32.3	-10.4	-10.6	11.14	40.4	-18.1	-11.1
9.05	38.8	-12.7	-8.1	11.24	36.8	-12.6	-8.8
9.09	35.3	-18.6	-12.8	11.26	38.2	-18.3	-10.1
9.15	40.8	-10.4	-8.4	11.29	42.0	-10.4	-5.6
9.17	35.1	-12.1	-10.7	12.01	32.1	-18.1	-12.8
9.2	40.4	-12.3	-6.1	12.03	42.3	-9.3	-8.3
10.06	38.8	-12.4	-2.0	12.05	38.1	-18.1	-15.1
10.11	38.2	-12.2	-5.4	12.09	40.1	-12.1	-6.6
10.16	40.0	-22.1	-18.1	12.11	41.3	-18.0	-16.8
10.19	40.1	-8.3	-8.0	12.16	38.1	-10.1	-10.1
11	32.7	-18.3	-5.5	12.2	40.9	-13.4	-13.3
11.01	40.0	-12.0	-10.1	12.22	40.1	-10.4	-10.7



圖二十九、車速 80 km/hr 紙片角度時間圖形

(二)討論

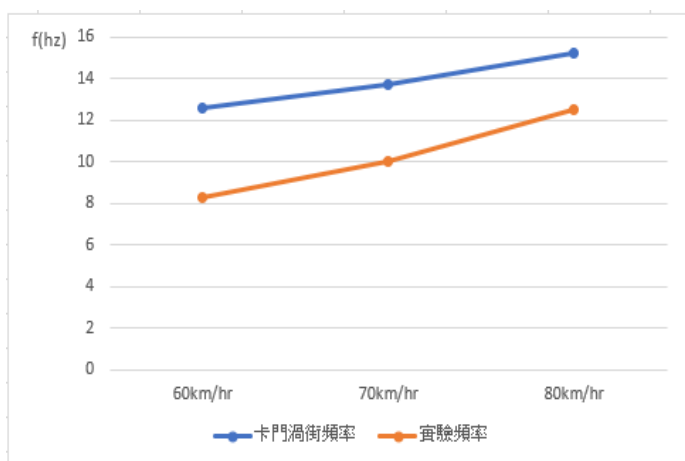
- 1.不論何種風速下，後斗內的五個紙片變化不明顯，因此以下均不討論，只討論放在後斗口外側的3個紙片，分別命名為外右、外中、外左。
- 2.左側渦流的位置，如圖三十所示。由圖三十得知，外中的位置，其空氣流向向內，所以不論在何種速度下外中紙片方向向內，而外左的位置，由圖形看來空氣流向應該往外，但是實際不論在何種速度下外左方向均向內，代表渦流向內的範圍比較大，所以外左同時受到內外兩種力，導致外左方向雖然向內，但向內角度小於外中，至於外右的方向是向外，因為位置距離左側渦流較遠，因此主要是受到右側快速流動的氣流，造成低壓區，因此外右的方向往外，而且角度大於外中及外左。



圖三十、左側渦流風向示意圖

- 3.車速 60km/hr，外右的角度在+28~+35°之間，外中角度在-5~-18°之間，外左角度在3~-10°之間，其週期為 0.12 秒， $f=8.3\text{Hz}$
車速 70km/hr，外右的角度在+32~+40°之間，外中角度在-10~-22°之間，外左角度在-3~-15°之間，其週期為 0.1 秒， $f=10\text{Hz}$
車速 80km/hr，外右的角度在+32~+42°之間，外中角度在-10~-22°之間，外左角度在-2~-18°之間，其週期為 0.08 秒， $f=12.5\text{Hz}$
- 4.由表四、表五得知，我們可以發現當車速由 60 到 70km/hr 時，三個紙片的擺動角度均有明顯變大，以外中為例，約為 1.2~2 倍，但是當車速由 70 到 80km/h 時，三個紙片的擺動角度增加卻不明顯。推測是因為當調到車速 80km/h 時，後面的排風扇轉速也提高，因此後面的吸力加強，導致破壞了後面的渦流形成，所以紙片擺動的角度沒有再繼續增加。而速度愈大，其擺動週期愈短。
- 5.外中、外左這兩個紙片，不論在何種速度下，兩者變化趨勢一致。即外中角度若變大，外左也會變大；反之亦然，代表這兩個紙片如前面兩點所推論的，這兩者

均是由於受左側渦流影響，所以這個變化也是合理的。前面有提到車速 60km/hr， $f=8.3\text{Hz}$ ，若是計算卡門渦街的話則 $f=\frac{SrV}{d}=\frac{0.2\times 7.2}{0.12}=12.6\text{Hz}$ 、車速 70km/hr， $f=10\text{Hz}$ ，計算卡門渦街的 $f=\frac{SrV}{d}=\frac{0.2\times 8.2}{0.12}=13.7\text{Hz}$ 、車速 80km/hr， $f=12.5\text{Hz}$ ，計算卡門渦街的 $f=\frac{SrV}{d}=\frac{0.2\times 9.1}{0.12}=15.2\text{Hz}$ 。由圖三十一得知，我們實驗得到的頻率雖比理論值小，但是變化的趨勢，幅度都與理論值相似。



f(Hz)	卡門渦街頻率	實驗頻率
60km/hr	12.6	8.3
70km/hr	13.7	10
80km/hr	15.2	12.5

圖三十一、卡門渦街和實驗之 f 值比較

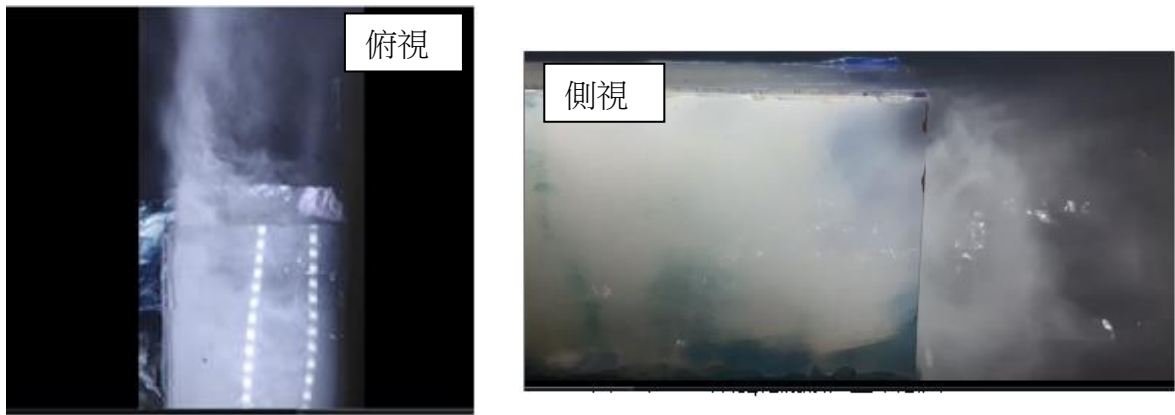
六、後斗吸力產生原因探討

(一) 我們想過許多產生吸力的原理，像是白努力定律、附壁效應等，但是因為附壁效應主要是用在圓弧形的物體上，因此本例子較不適用，因此想到可能是因為卡門渦街的原因，故朝這方向實驗，也成功被我們拍出來。

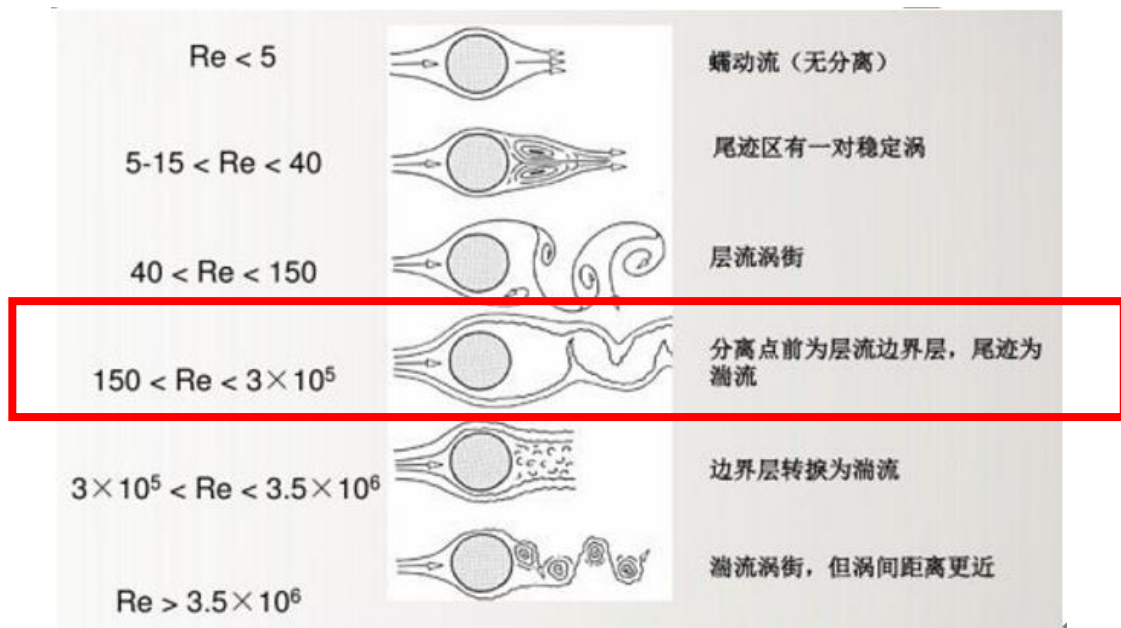
(二) 我們進行這個實驗，為了讓渦流清楚，因此選用低速進行(風速 4.5 m/s)，且風洞有鑽孔，經過計算其雷諾數為 $Re = \frac{\rho VD}{\mu} = \frac{1.205 \times 4.5 \times 0.123}{1.8 \times 10^{-5}} = 37053$ ，由圖三十三可知，

當 $150 < Re < 3 \times 10^5$ 時，會有卡門渦街產生，但是其層流邊界層不清楚，左右兩側的渦流之間的距離較短，且並不是旋轉的很明顯。此時的卡門渦街，稱為湍流卡門渦街。雷諾數愈高，其慣性效應相較於黏性效應較占主導地位。而在前面風洞有、無洞比較的部分，已經說明左、右兩側渦流有部分重疊，邊界層不清楚，和理論接近。

(三) 所以後斗內的吸力，主要是因為卡門渦街的旋轉方向，剛好從後斗口中間旋入，造成所謂的吸力。由圖三十二，可以清楚的看出，不論從上方，或是側面拍攝，均可以看到後斗內煙霧明顯受到往內吹的氣流。



圖三十二、後斗口俯視、側視煙霧流動示意圖



圖三十三、雷諾數大小對應渦流型態(見參八)

七、後斗吸力的大小

(一) 數據

模型車後斗容積=19.2*12.3*9.5(cm)=2243cm³=2.2 公升

車速 km/hr (風速 m/s)	煙霧完全消散時間 (秒)	公升/分(LPM)	台吸塵器 (Panasonic)
40(2.3)	5.39	$\frac{2.2}{5/60} = 24$	$\frac{1}{500}$
50(4.5)	2.10	$\frac{2.2}{2/60} = 60$	$\frac{1}{196}$
60(7.2)	1.08	$\frac{2.2}{1/60} = 120$	$\frac{1}{100}$
70(8.2)	0.43	$\frac{2.2}{0.43/60} = 279$	$\frac{1}{42}$
80(9.1)	0.15	$\frac{2.2}{0.15/60} = 800$	$\frac{1}{14.5}$

(二)討論

利用市面上吸塵器的吸力表示法

$$\text{氣動功率 AW(Air Watt)} = \frac{0.249 \times \text{kpa} \times \text{cfm}}{8.5}$$

註: $\text{cfm} = \text{ft}^3 / \text{min}$ $\text{kpa} = \text{千帕}$

若以市售 Dyson(V11)為例

AW=185 、 kpa=28 ，計算得到 $\text{cfm}=225=6382\text{LPM}$

而車速 80km/hr 時，換算為相當於 800LPM，但是這個空氣流量就是吸入+流出造成的效果，故先用一半計算代表吸入量 $\frac{800}{2}=400\text{LPM}$ ， $\frac{400}{6382}$ 約等於 $\frac{1}{16}$ 台 Dyson。但是用 Panasonic (MC-BJ980)吸塵器 AW=120 、 kpa=20 、計算得到 $\text{cfm}=204.8=5796.4\text{LPM}$ 。

所以 80km/hr 時，其吸入量 $=\frac{400}{5796.4}$ 約等於 $\frac{1}{14.5}$ 台 Panasonic，因為空氣吸入大於流出，故後斗造成的吸力一定大於 $\frac{1}{14.5}$ 台的 Panasonic。

八、後斗吸力減少汽車油耗的應用

(一)由側面煙霧可以發現，無門的後斗，其會有 1 個上進下出的氣流，而且左側渦流也會造成一個向內的氣流，這個氣流，除了讓保麗龍會被吸回去外，是否有可能轉換為車子前進的助力?因此我們設計 4 種後斗口，希望證實我們想要的想法。分別是無門後斗(空後斗)、有門後斗(封閉型)、圓形洞後斗門及 V 型後斗門。

(二)由表七得知，無門後斗及 2 種改良型的後斗門，跟對照組(有門後斗)相比，因為有吸力的關係，因此在 60 至 80km/hr 車速下，都有讓彈簧秤數值變小。

(三)由圖三十四可以看出來，在 60、70、80km/hr 下其減少率最佳分別為無門後斗、V 型，其空氣阻力減少率都有超過 20%，有明顯減少油耗。

(四)從表八中發現，在時速 60~70km/hr 時其三種的減少值及減少率都是越來越大，也就是吸力變強。但是當車速到達時速 90km/hr 時，反而減少值急速下降到甚至是比時速 60km/hr 還要低，推測是因為在風洞中後方負責吸的風扇，因為高速時後面排風扇吸力加強，破壞了後斗後方的旋轉氣流所致。

(五)由表九得知，由煙霧實驗中發現有門後斗，看不到上進下出的氣流，且和無門後斗相比形成漩渦氣流的數量明顯較少，或許可以解釋為何有門後斗較無吸力的原因，但是因為疫情影響，此實驗沒有再繼續下去。

(六)綜合所有結果來看，V 型的減少率在不同速度下幾乎都是最多，推測是因為 V 型，後斗門形狀不平整所致。

表七、各種後斗在不同速度下的彈簧秤數值(單位:gw)

單位:gw	對照組 (有門後斗)	空後斗 (無門後斗)	後斗門 (圓形洞)	後斗門 (V型)
60km/hr	81.6	61.6	70	60
70km/hr	120	73.3	80	81.6
80km/hr	150	118.3	116.6	95
90km/hr	198.3	195	203.3	181.6

表八、各種後斗在不同速度下的的空氣阻力減少值、減少率

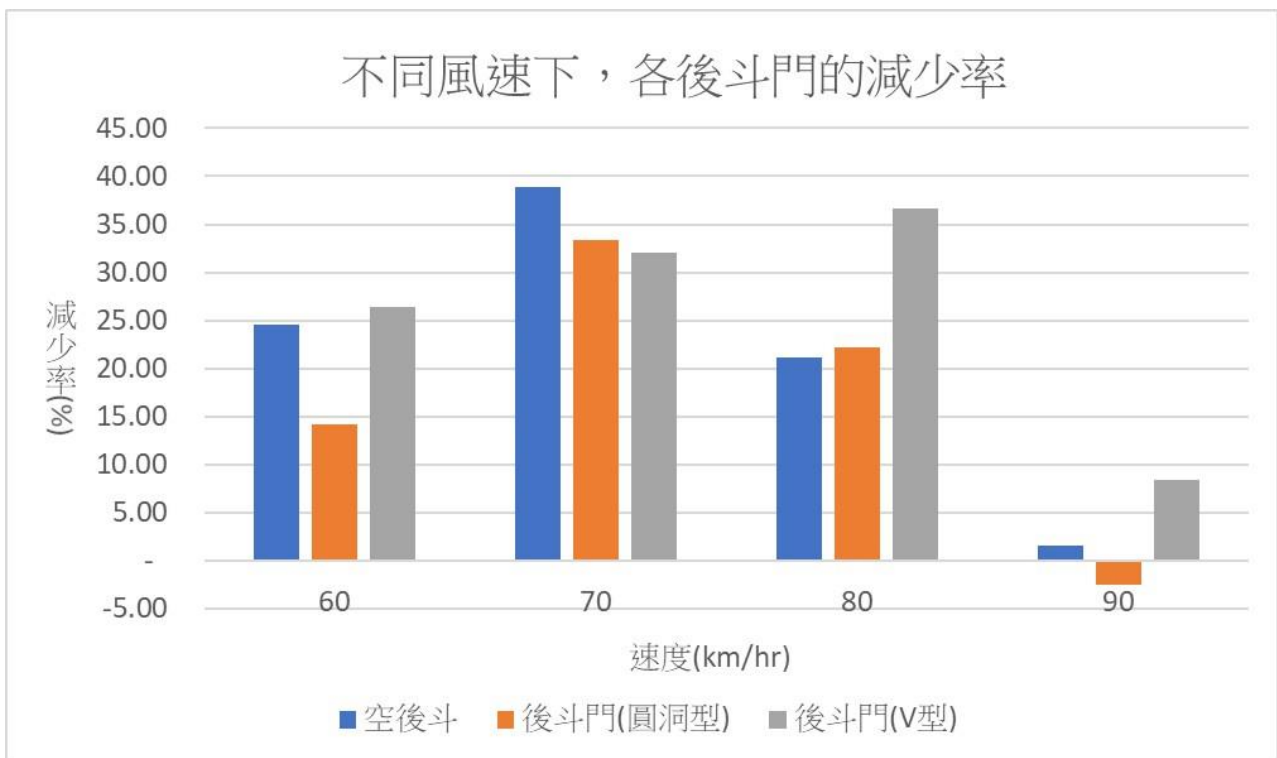
後斗配置 km/hr	減少值/率	空後斗 (無門後斗)	後斗門 (圓型洞)	後斗門 (V型)
60	減少值(gw)	20	11.6	21.6
	減少率(%)	24.5%	14.2%	26.4%
70	減少值(gw)	46.7	40	38.4
	減少率(%)	38.9%	33.3%	32%
80	減少值(gw)	31.7	33.4	55
	減少率(%)	21.1%	22.2%	36.6%
90	減少值(gw)	3.3	-5	16.7
	減少率(%)	1.6%	-2.5%	8.4%

(附註:減少率= $\frac{\text{對照組}-\text{測量值}}{\text{對照組}} \times 100\%$)

表九、各速度下有無門後斗的漩渦情況及減少率

後斗配置 km/hr	有門後斗	無門後斗	
	有無漩渦氣流	有無漩渦氣流	減少率(%)
60	○	○○	24.5
70	○	○○	38.9
80	△	○	21.1
90	×	×	1.6

附註:(○○有明顯 2 個漩渦、○有明顯 1 個漩渦、△無明顯漩渦、×無漩渦)



圖三十四、不同風速下各後斗的減少率

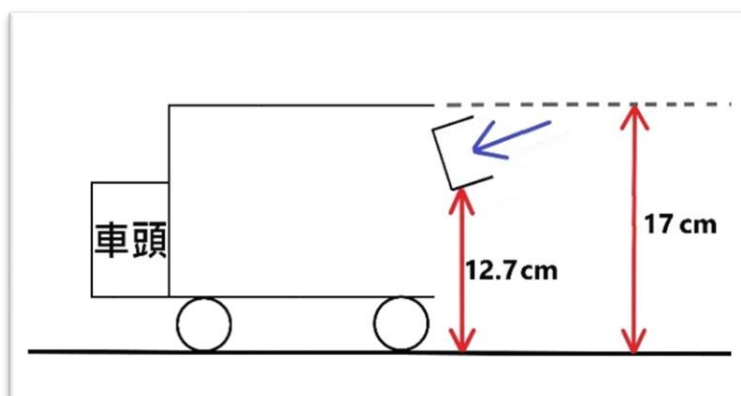
九、重現保麗龍箱現象

(一)我們由以上吸力產生原因及探討，可以得知，由側面看空氣是上進下出，上面看空氣由中間偏右進入，對照新聞影片，其保麗龍運動的軌跡，和我們觀察到的現象非常吻合，所以我們決定使用和新聞畫面中相同位置，保麗龍箱採取直擺而且稍微斜向的位置，這方向和風向可以達到最大合力的效果，如圖三十五。另外因為無法預期實驗是否可以順利複製，因此我們在保麗龍箱底部先貼一條細線，避免如果失敗，保麗龍箱會被風吹到後方的風扇內，而造成損壞（細線是為了操作方便）。

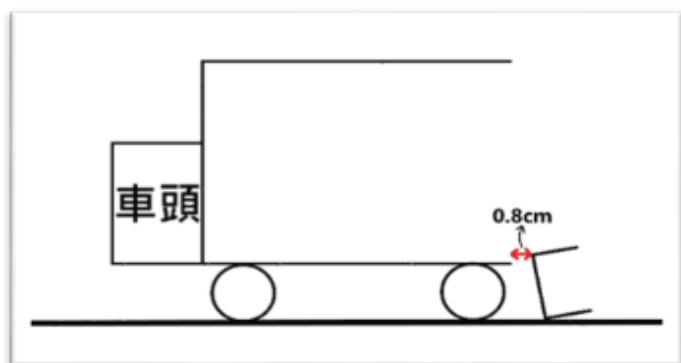


圖三十五、保麗龍擺放位置示意圖

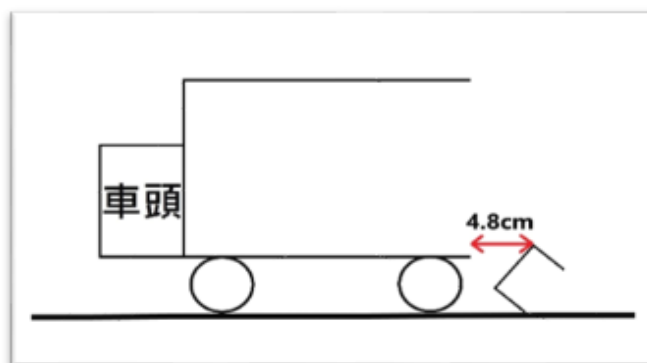
(二)我們全部重做了 20 次，而在第 21 次成功，發現保麗龍要成功彈回，其掉落點非常重要，要落在左側渦流內，借助彈力及左下渦流逆時針旋入的力量將保麗龍箱帶往向內高點（超過車子高度一半以上，如圖三十六所示；在最高點再借由偏右側上進下出且中間偏右的順時針氣流向內推送，而且保麗龍箱剛好開口面朝向外側氣流方向，才能順利將保麗龍箱吹進後斗內。(由影片中知道細繩沒有被拉直，所以可排除繩張力彈回的影響)



圖三十六、保麗龍箱成功彈起最高位置



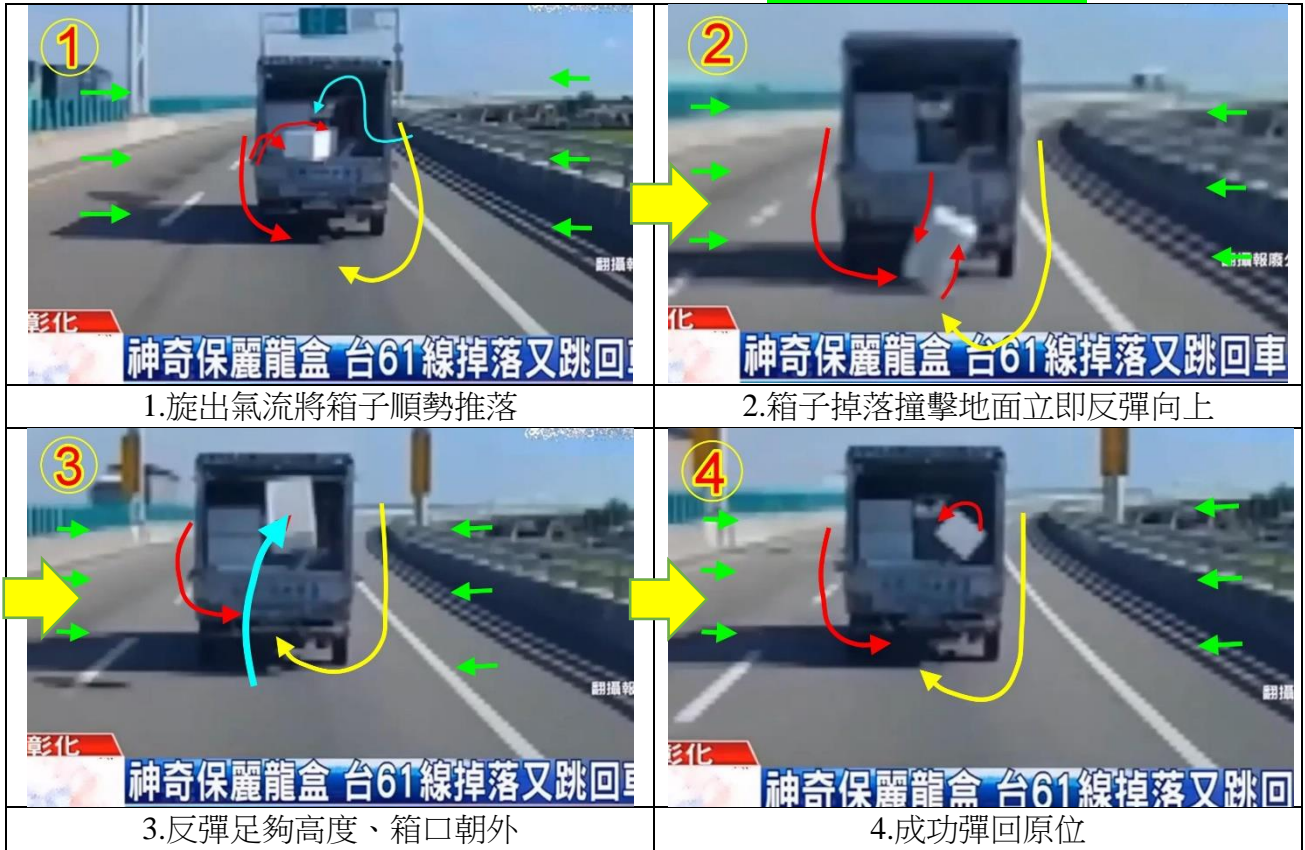
圖三十七、保麗龍箱失敗掉落位置



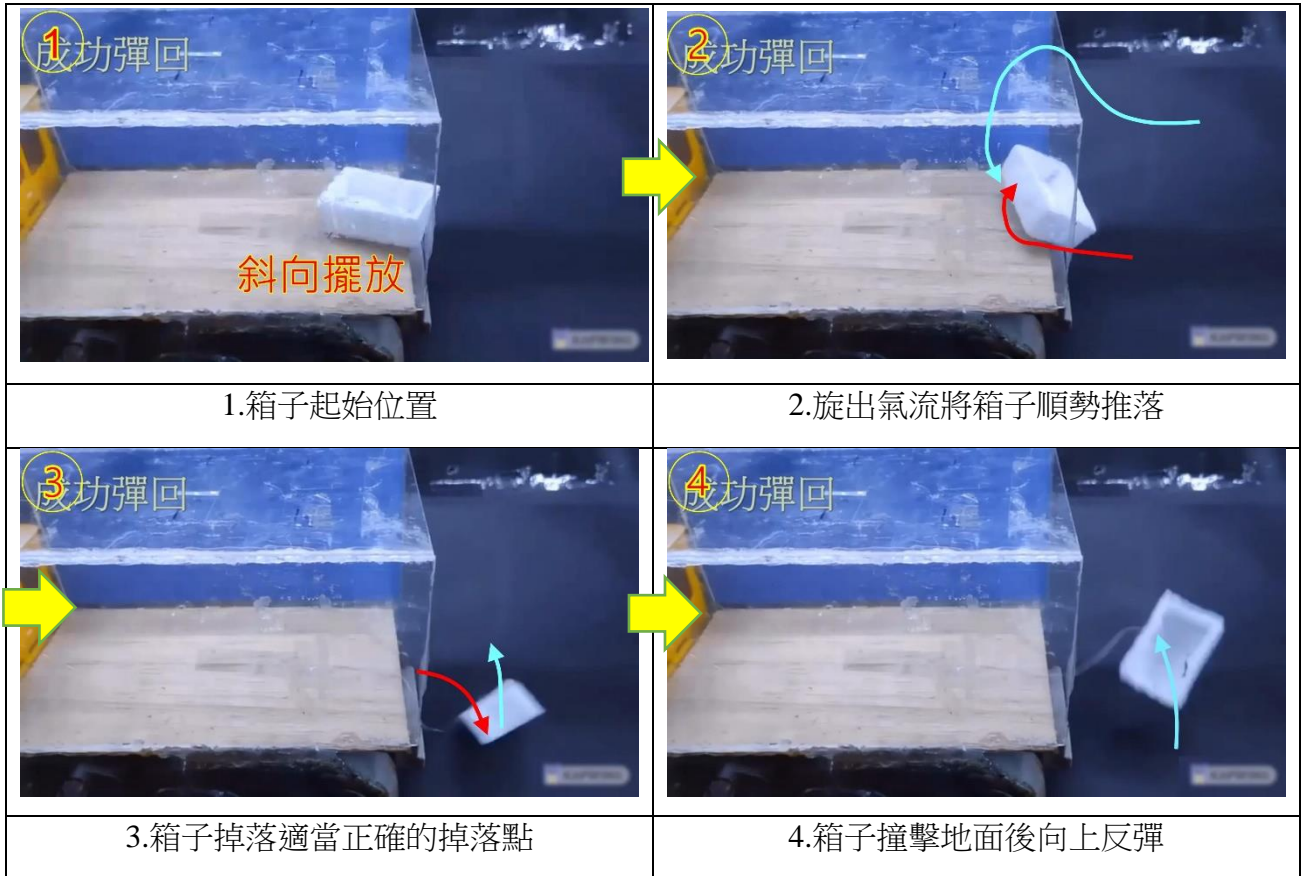
圖三十八、保麗龍箱成功掉落位置

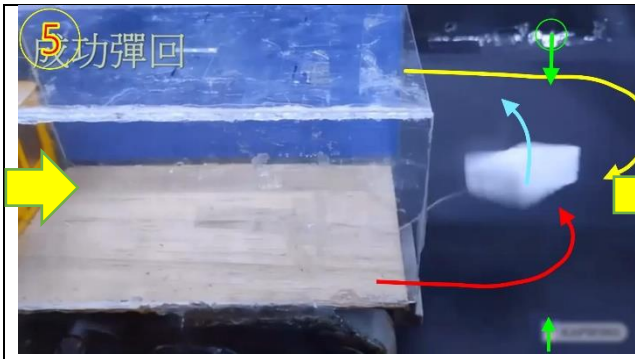
(三)我們發現成功的掉落點，如圖三十八所示，大約要距離後斗口約 4.8 公分左右，因為這個距離根據上面實驗，發現就是左側渦流的位置，保麗龍箱會受到左側逆時針旋入渦流的向內推送。而失敗位置的掉落點，如圖三十七所示，離車子太近，所以比較不會受到渦流的影響，因此無法彈回而失敗。

*新聞影片：箱子掉落後成功彈回分解動作影格 → 綠色箭頭表示周圍氣壓

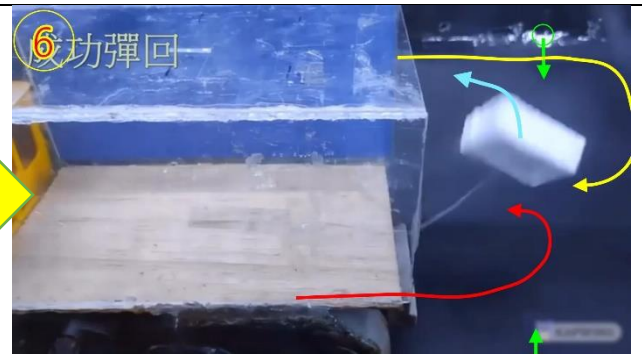


*風洞實驗：箱子掉落後成功彈回分解影格

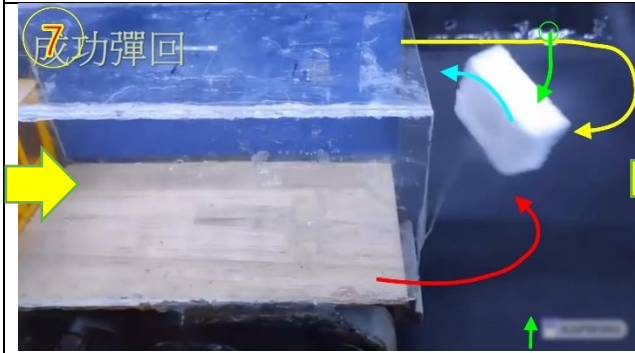




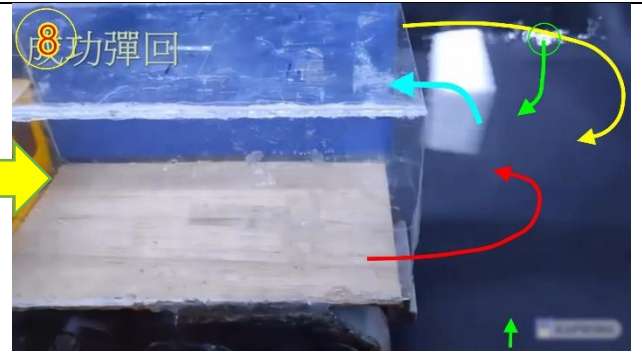
5.持續彈升 + 旋入渦流使箱子翻轉



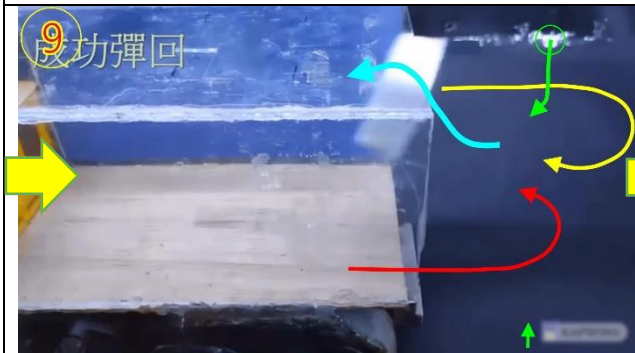
6.持續彈升 + 旋入渦流使箱子翻轉



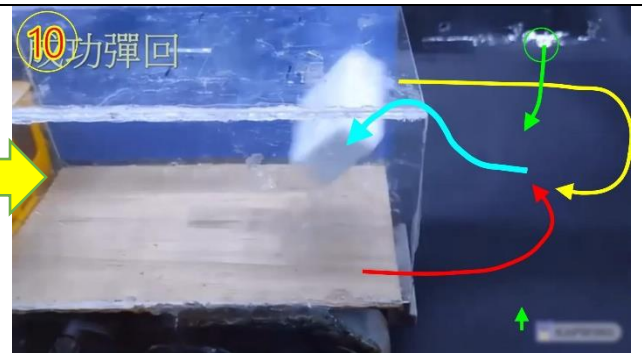
7.持續彈升 + 旋入渦流使箱子翻轉



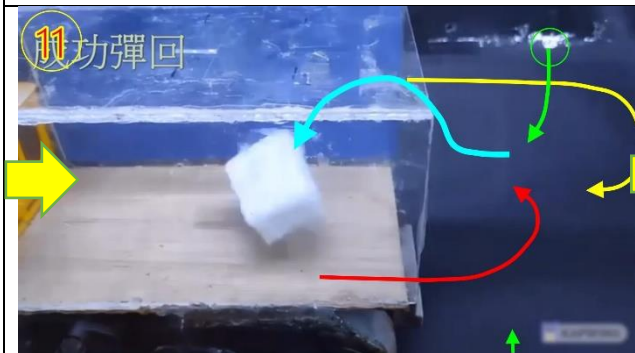
8.持續翻轉彈升至最高點、箱口朝外



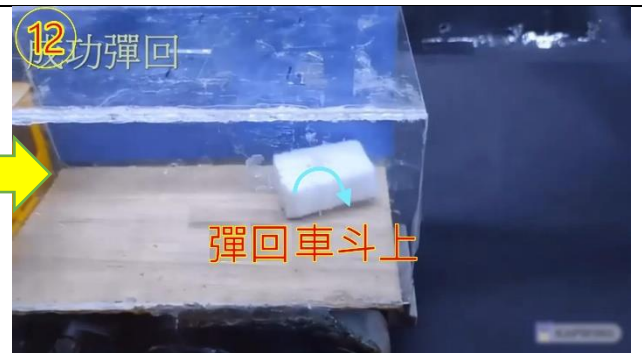
9.箱口正面迎向上進下出的氣流



10.上進下出的氣流持續推進箱子

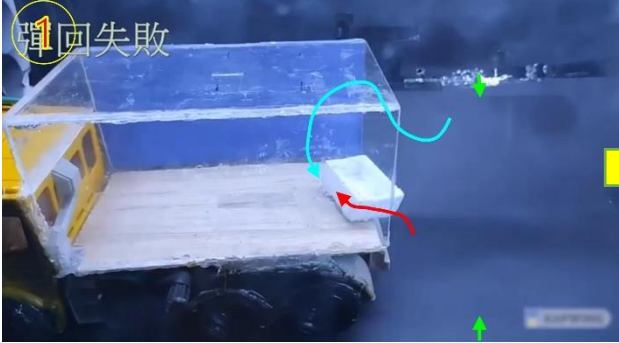
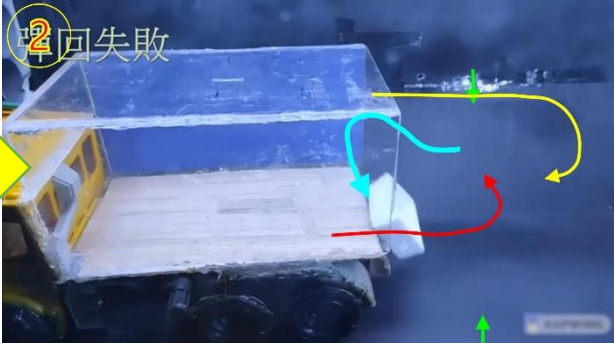
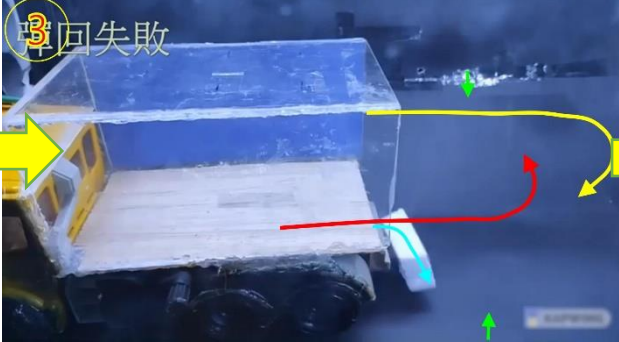
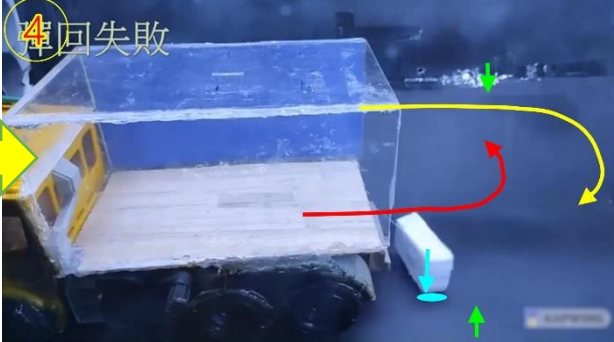
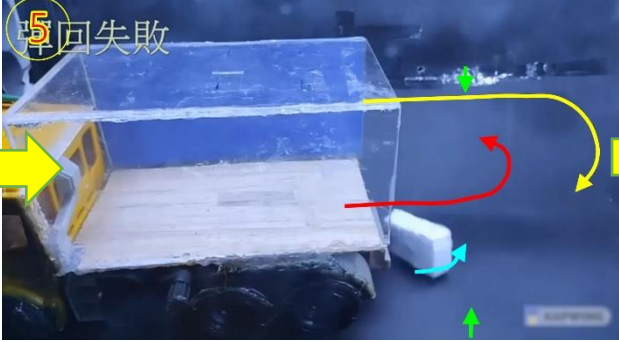
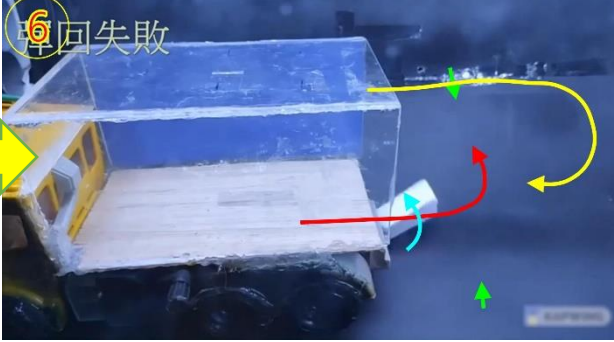


11.不離不棄成功反彈回車斗上



12.不可能的任務，完美創造奇蹟。

*風洞實驗：箱子掉落後失敗無法彈回分解影格

 <p>1. 箱子起始位置</p>	 <p>2. 旋出氣流將箱子順勢推落</p>
 <p>3. 箱子掉落點不佳，離車尾太近。</p>	 <p>4. 箱子掉落點不佳 + 反彈無力</p>
 <p>5. 箱子緊貼地面向車右方偏移</p>	 <p>6. 持續沉落車底，反彈失敗。</p>

(四) 綜合以上條件，保麗龍箱要成功彈回的必備要件有：夠快的車速(本實驗模擬車速 80km/h)、箱子開始擺放位置有些斜向 (由上進下出且中間偏右的氣流順勢吹落)、要有正確的掉落點、反彈後要有足夠高的高度、且保麗龍箱彈起的開口要朝外，正好迎向向內旋入的氣流。要具備有這麼多因素同時存在，真可謂比被雷劈到還難。

陸、討論

一、事件發生背景說明

當天西濱南下彰化段，風速只有 3.2km/hr(0.89m/s)和車速限速 90km/hr(25m/s)相比，明顯小很多，因此本實驗只考慮小貨車移動過程中，因為車速所造成的後斗空氣流動的變化。

二、實驗設備校正(比較風洞試驗段有洞、無洞之差異)

(一)由後斗側面觀察:無洞的空氣流向為下進上出，而有洞的空氣流向為上進下出。而根據新聞影片，實際情況明顯和有洞情況吻合，代表有洞情況和自然狀態空氣流向接近。

(二)由後斗上方觀察:不論有洞或無洞，在試驗段後方均因為模型小貨車形狀會形成卡門渦街，只是無洞的情況下，左右兩個渦街的位置較分開；而有洞的情況下，左右兩個渦街的範圍變大，而導致有部分重疊，但其中心點的位置差不多。左渦流較靠近後斗，逆時針轉；右渦流則相對較遠離後斗，順時針轉。

三、車速與風速之間的關係

實際開車測風速，發現測量到的風速只剩車速一半不到。推測因為是靠車子移動造成的風，而大部分的空氣是緩慢移動的，而且還有和車子之間的摩擦力。而我們得到車速和實際風速的關係式為 $y = 0.1766x - 4.3105$ (x=車速 km/hr、y=實際測量風速 m/s)。

四、在不同風速下，其後斗空氣流動的方向、大小及週期的變化

(一)由紙片實驗中發現，後斗內的紙片擺動均不明顯，因此只探討後斗口外的三個紙片。而外左和外中的紙片方向均向內，且外中的擺動角度大於外左，代表吸入的氣流的位置主要是在中間，且範圍廣，整個後斗口寬度的 $\frac{2}{3}$ 都是吸入。

(二)車速 60-70km/hr，車速愈快，外中的角度愈大，由 $-5^\circ \sim -18^\circ$ 增大到 $-10^\circ \sim -22^\circ$ ，吸力增加 1.2 到 2 倍。而車速 80km/hr，三個紙片的角度卻都沒有明顯再增加的趨勢。推測是後方風扇轉速加大，破壞了後方渦流所致。而車速愈快，渦流的週期愈短、頻率愈大。

(三)我們實驗得到的頻率，車速 60km/hr， $f=5.3\text{Hz}$ ，而卡門渦街理論中的 $f=12.6\text{Hz}$ ；車速 70km/hr， $f=10.0\text{Hz}$ ，理論中的 $f=13.67\text{Hz}$ ；車速 80km/hr， $f=12.5\text{Hz}$ ，理論中的 $f=15.2\text{Hz}$ 。實驗得到的 f 值較理論值略小，但是頻率變化趨勢，幅度與理論值很類似。

五、後斗吸力產生原因探討

(一)經計算後得雷諾數=37053，根據文獻，在這個雷諾數下，其左右兩個渦流的邊界層會因為慣性因素加大，而導致邊界層不清楚且兩個渦流會有部分重疊現象。這和我們影片結果接近，所以後斗口的吸力是因為卡門渦街的渦流造成的。

(二)後斗的左右吸力主要受到左側逆時針旋轉的渦流影響，此氣流由中間吸入，剛好在中間部分將空氣吹入後斗內。

(三)而後斗上下的吸力方向，因為上進下出，推測是因為原先上方氣流阻力小、速度快、壓力小，造成四周空氣優先從上方補入，在某一瞬間變為上面壓力大，因而上進下出。

六、後斗吸力大小

利用市售的吸塵器標示 AW(Air Watt)氣動功率，帶入公式，換算成空氣流量。Dyson 空氣流量為 6382L PM(L/min)，在車速 80km/hr(9.1m/s)模型車空氣流量計算為 400LPM，相當於 $\frac{1}{16}$ 台 Dyson。但若是 Panasonic 吸塵器，空氣流量為 5796.4LPM，因此 $\frac{400}{6382}$ 相當於 $\frac{1}{14.5}$ 台 Panasonic。

七、後斗吸力減少汽車油耗的應用

(一)無門後斗(開放型)或是兩種改良型的後斗門，與有門後斗(封閉型)相比，其彈簧秤讀值，在車速 60-80km/hr，其空氣阻力減少率都有>20%，代表後斗吸力確實有明顯減少汽車油耗的效果。

(二)而 V 型改良後斗，幾乎在任何速度下，其減少率都是最佳(甚至接近 40%)。這種後斗門可以讓後斗有封閉的效果又可有效減少汽車油耗。

八、重現保麗龍箱彈回現象

(一)我們利用和新聞畫面相同的擺法，與後斗口垂直且稍微斜向的位置，這方向可以和氣流方向達到最大合力的效果，而保麗龍的掉落位置須接近左側渦流的中心點，藉由彈力及渦流力量將保麗龍帶往高處。

(二)等到保麗龍箱彈到車子一半高度以上，同時保麗龍箱開口須朝外，增加受力面且正好迎向向內旋入的上進下出氣流，將保麗龍箱帶回後斗內。

(三)要有如此多的巧合，才會發生這樣的事件，真可謂比中獎機率還低。

柒、結論

本研究希望可以知道無門小貨車的後斗，在高速行駛下，能否有吸力產生？這個吸力是否可以變成前進的助力？能否重現比中獎機率還低的彈回新聞畫面？

經由實驗得知，在**高速行駛**下，因為貨車形狀的關係，在**後端**會形成**卡門渦街**，**左側**渦街**逆時針**旋轉，**右側**渦街**順時針**旋轉，而**左側**渦街較**靠近後斗口**，因此會在後斗口**中間處**造成一個**向內的氣流**，並產生吸力。另外當**風洞兩側鑽洞**後，後斗口上下氣流變為**上進下出**，可以幫助保麗龍箱順勢掉落。

而觀察後斗口空氣流動的方向、大小及週期性，發現**氣流流動只在後斗口附近**，**後斗內**空氣流動呈現**穩定**狀態。而**後斗口的中間、左側**的氣流均**往內**，**右側**氣流**往外**，**往內的氣流**主要是**受到左側卡門渦街影響**。**車速越快**，**向內**的力量越強，約 1.2~2 倍，**周期**也越短，而實驗得到的**頻率**，跟**同速度下理論的卡門渦街頻率**，**變化幅度類似**。而在車速 80km/hr 下，其吸力相當於 $\frac{1}{14.5}$ 台 Panasonic 吸塵器。

在後斗吸力減少汽車油耗的應用得知，**無門後斗或是兩種改良型的後斗門**，都因為產生吸力，而讓**空氣阻力減少率>20%**，證明此吸力可以變成車子前進的助力，有明顯**減少汽車油耗**的效果，而其中又以**V 型**的後斗門效果**最佳**，甚至空氣阻力減少率可以接近**40%**。

在確定上下、左右氣流方向後，我們模仿新聞畫面，將保麗龍擺放在後斗口，在**實驗第 21 次成功複製新聞畫面**，複製出的情況，不論在角度方向，高度上都和新聞非常相似，證明我們分析的吸力原因和真正的狀況接近。

捌、參考文獻

一、交通部公路總局西濱公路時速限制.取自

<https://168.motc.gov.tw/theme/car/post/1906121102321>

二、觀測資料查詢.取自 <https://e-service.cwb.gov.tw/HistoryDataQuery/index.jsp>

三、民視新聞-不離不棄!神奇保麗龍二度彈回.取自

<https://www.youtube.com/watch?v=IZHHL62VZig>

四、John M. Cimbala and Yunus A. Cengel.2011.流體力學.初版.143~151.台北市.滄海書局.

五、小峯龍男.流體力學.初版.70~71.新北市.瑞昇文化事業股份有限公司

六、雷諾數-科學 Online.取自 <https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=59422>

七、卡門渦街-維基百科，自由的百科全書.取自 <https://reurl.cc/R0Xy6e>

八、Wind turbine blade tip analysis using CFD. Retrieved Dec 12, 2011, from

<https://sites.google.com/site/ee535test/andrew-baker>

【評語】 030103

本研究設計相當嚴謹，並以實際的實驗方法真實的重現新聞事件，對於每一個設計的細節均想像周到。是一件相當優秀的科展作品。

作品簡報

不離不棄的保麗龍箱

模擬高速行駛下小貨車後斗空氣流動的變化及應用

國中組物理科

編號:030103

翻攝報廢公社

彰化

神奇保麗龍盒 台61線掉落又跳回車2次

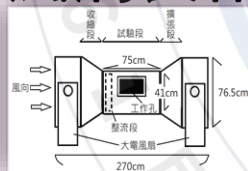
一.前言

一則離奇的新聞，小貨車的後斗掉下一個**保麗龍箱**，撞擊地面立即**反彈****向上**並成功彈回車上。這一神奇現象激起了我們探究的興趣。

為了解開這個謎題，實際開車定速前行進行風速測量，並嘗試**建立風洞****模擬自然狀態下行車時的氣流實況**，探討不同風速下，後斗空氣流動的**方向**、**大小**、**週期及吸力**的變化，也比較了後斗型態是否能有效**減少汽車油耗**？更藉由**煙霧氣流與影格**分析成功解析保麗龍箱不離不棄掉落又彈回的現象。

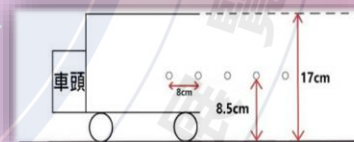
二.研究方法與過程

風洞製作



車速與風速的 相對關係

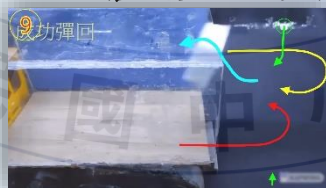
風洞渦流現象比較



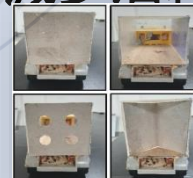
吸力原因探討 後斗氣流方向週期頻率



重現保麗龍箱實驗



吸力減少油耗的應用



三.結果與討論

(一).風速與車速間的相對關係

車速 km/h	車速換算成風速(m/s)	實際測量風速(m/s)
40	11.1	2.3
50	13.9	4.5
60	16.7	7.2
70	19.4	8.2
80	22.5	9.1
90	25	11.7

實際風速 < 車速換算成風速的1/2

造成明顯差距的原因：

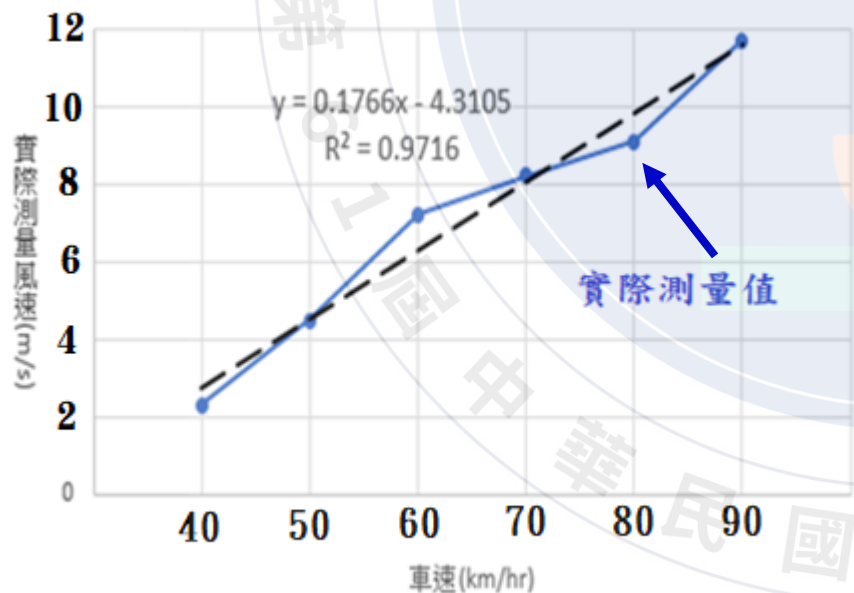
1. 靠著車子移動所造成的風，並沒有實際造成空氣壓力差。大部分空氣仍然靜止，只有部分相對移動。

2. 車子之間的摩擦力。

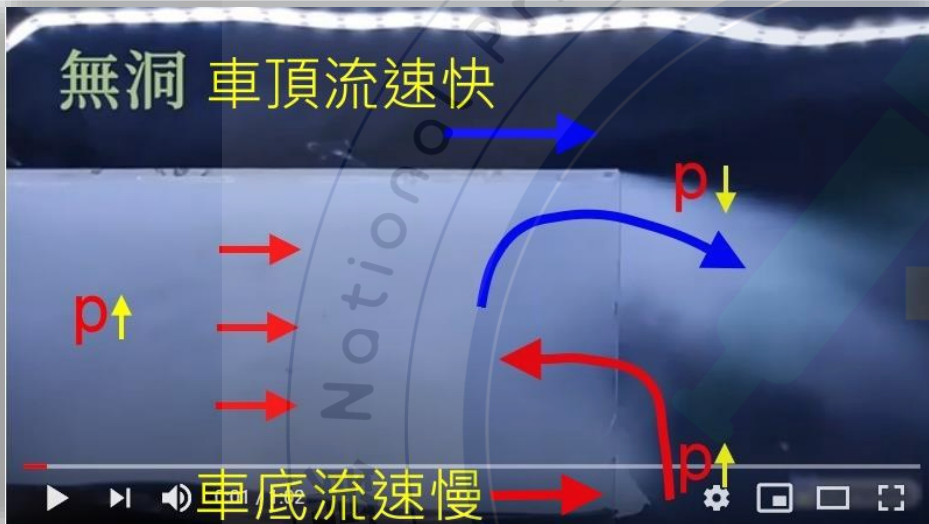
車速和實際測量風速之間有一個線性關係：

$$y = 0.1766x - 4.3105$$

(y=實測風速，x=車速)



(二).風洞試驗段側邊有無鑽洞之比較 -上下渦流



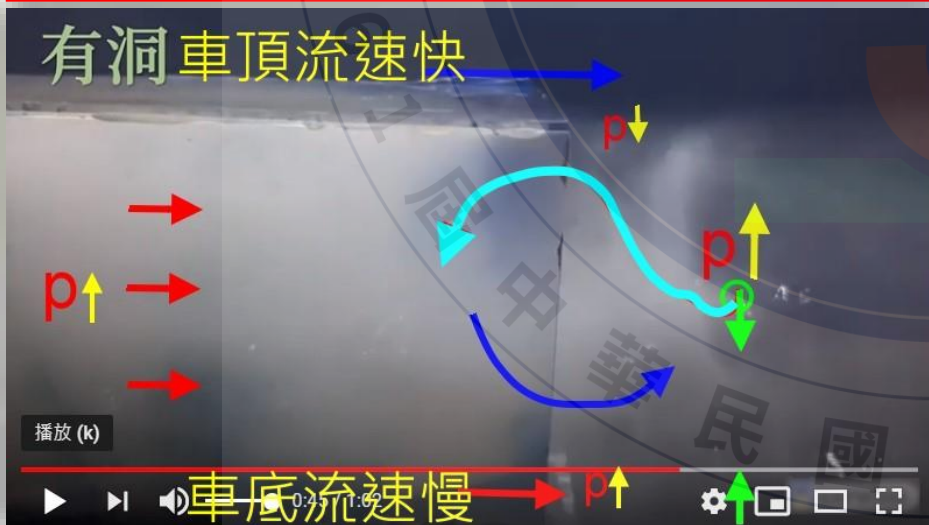
1. 側邊無鑽洞

模型車下方，因**流速慢**，造成**壓力較高**

模型車上方，因**流速快**，造成**壓力較小**

下方壓力較大，上方壓力較小

空氣流向為**下進上出** (如實驗影片)



2. 側邊有鑽洞

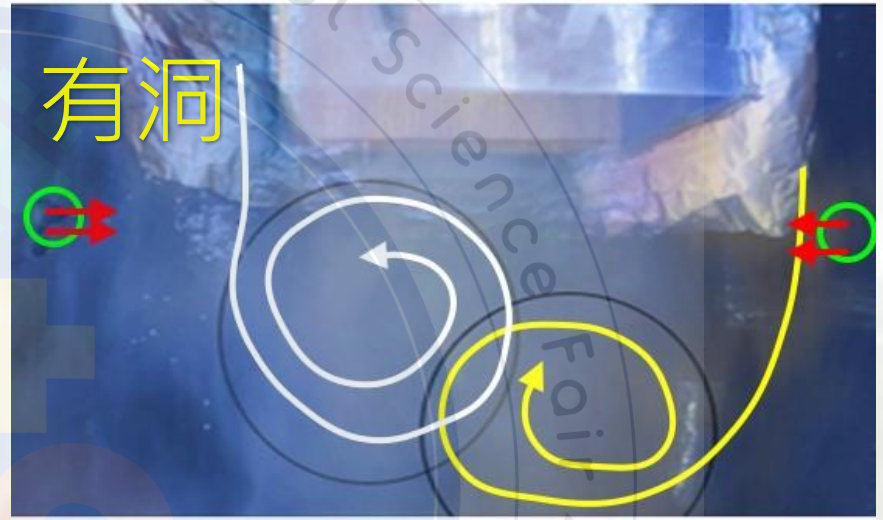
原本小貨車上方**流速快**，**壓力小**

空氣要補入時，優先從壓力最小的開始

在某一時間點，上方壓力大於下方

使空氣慣性變成**上進下出** (如實驗影片)

(三).風洞試驗段側邊有無鑽洞之比較 -左右渦流



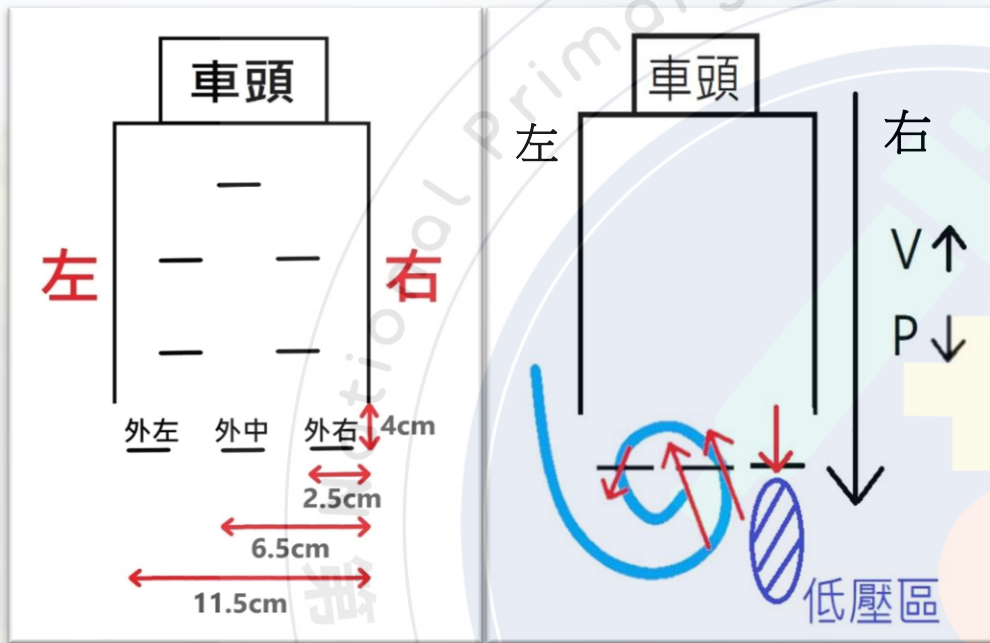
1. 有洞左右單側放煙餅的方式，左右各做一次；無洞左右煙餅同時放(如實驗影片)

2. 將有洞左右兩側影像疊圖和無洞的情形類似，兩側皆有渦流，右側為順時針，左側為逆時針方向和無洞相同，渦流的中心點位置接近。

3. 有洞時渦流的範圍較大，兩個渦流在邊界的部分有明顯的重疊。

	無洞	有洞
後斗口 氣流方向	下進上出	上進下出
後斗口 卡門渦街	左渦流- 逆時針 右渦流- 順時針	左渦流- 逆時針 右渦流- 順時針
渦流範圍 大小	小	大

(四).後斗空氣流動的方向大小及週期

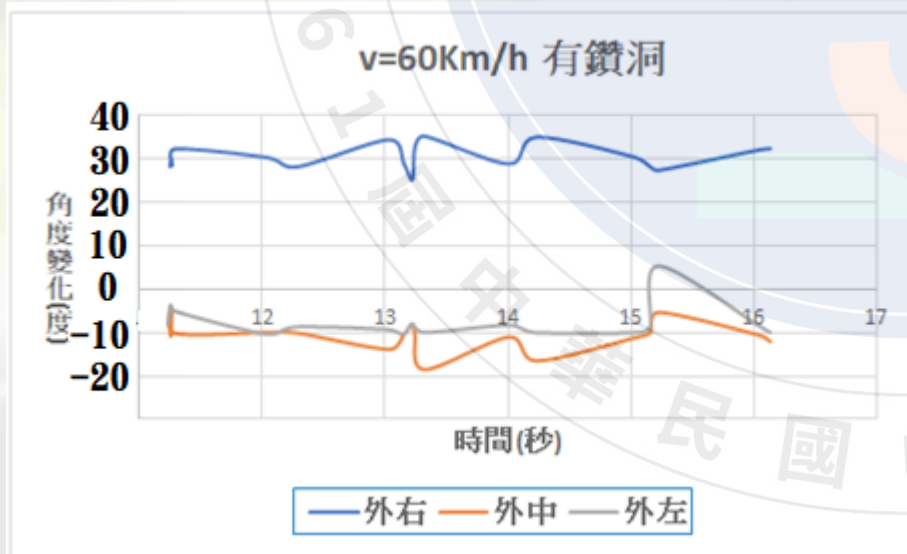


1. 不論在何種速度下**外中**、**外左**紙片**方向向內**。

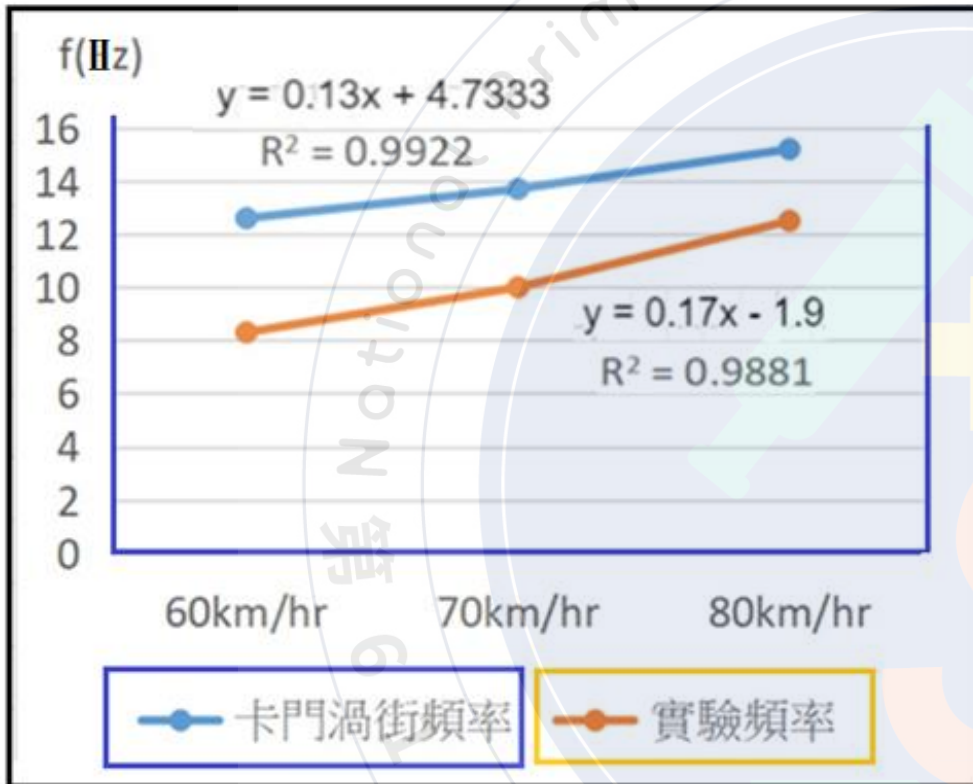
2. 因為渦流**向內的範圍比較大**，**外左**同時受到**內外兩種力**，導致**向內角度小於外中**。

3. **外右**的方向是**向外**，是受到右側快速流動的氣流，造成**低壓區**。

4. **外右**角度**大於外中及外左**。



(五).後斗空氣流動的週期、頻率變化



1. 車速60km/hr:
週期為0.12秒 $f=8.3\text{Hz}$
2. 車速70km/hr
其週期為0.1秒 $f=10\text{Hz}$
3. 車速80km/hr,
其週期為0.08秒 $f=12.5\text{Hz}$
4. 雖然實驗值較理論值小，
但是變化趨勢類似

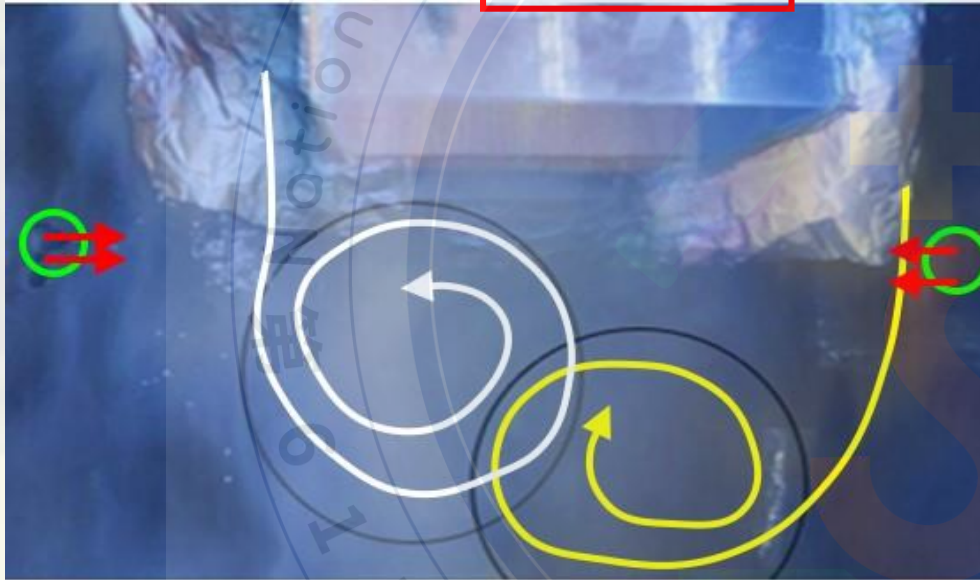
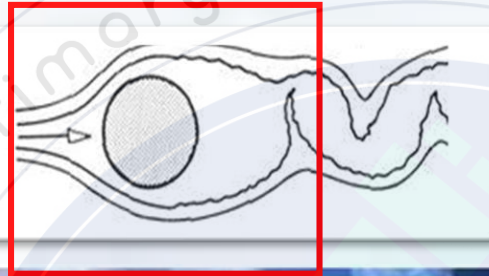
f(Hz)	卡門渦街頻率	實驗頻率
60km/hr	12.6	8.3
70km/hr	13.7	10
80km/hr	15.2	12.5

卡門渦街 (60km/hr) 理論頻率

$$\frac{SrV}{d} = \frac{0.2 \times 7.2}{0.12} = 12.6$$

(六).後斗吸力產生原因探討

$$150 < Re < 3 \times 10^5$$



1. 選用有洞且低速進行

2. 推測原因為卡門渦街

3. 經過計算其雷諾數為37053，會有卡門渦街產生，為湍流卡門渦街

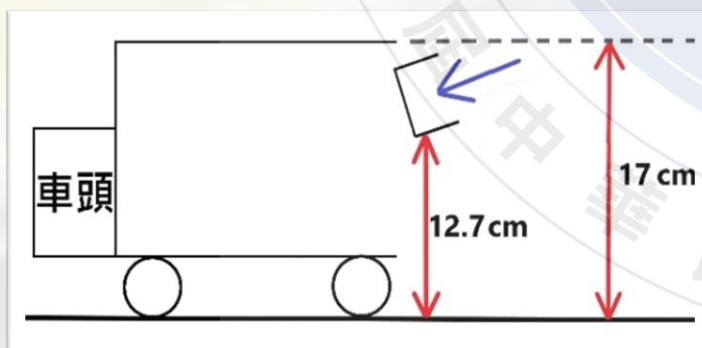
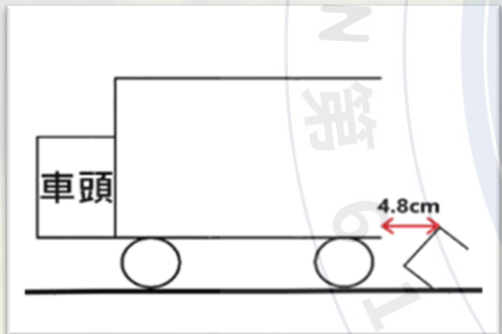
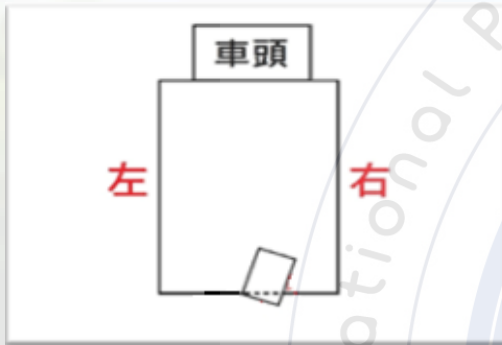
$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{1.205 \times 4.5 \times 0.123}{1.8 \times 10^{-5}} = 37053$$

4. 卡門渦街的旋轉方向，剛好從後斗口中間旋入

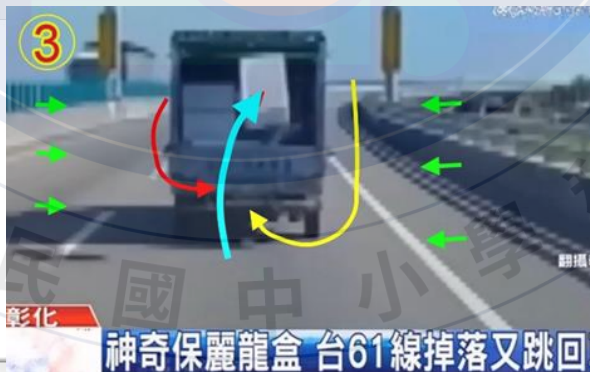
5. 可在影像分析實驗時，看出煙霧明顯受到往內吹的氣流。

(七).重現保麗龍箱現象

重現實驗



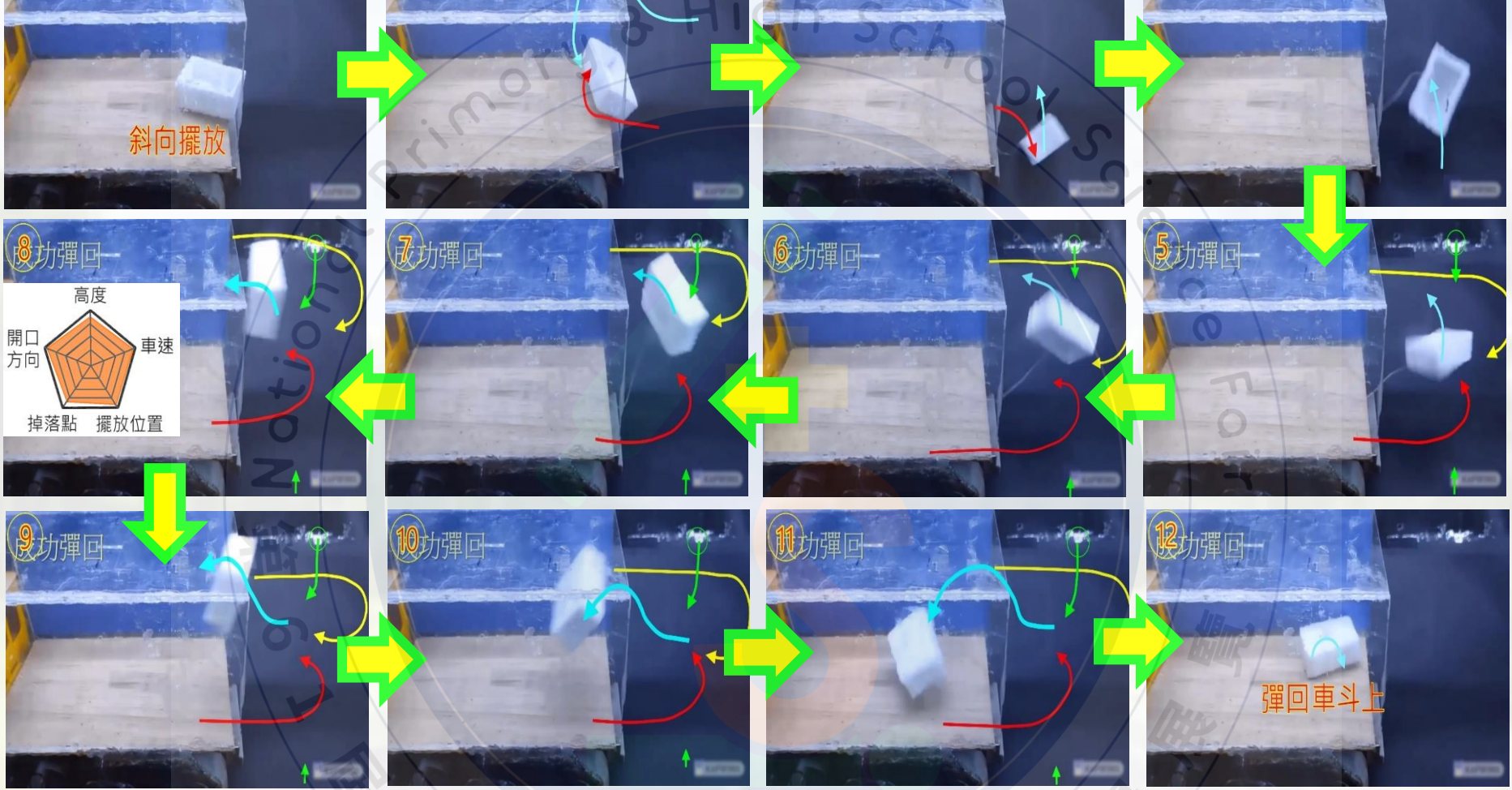
新聞影片



1. **新聞**的保麗龍運動軌跡，和**風洞**觀察到的現象非常**吻合**。
2. 保麗龍箱採取**直擺**而且**稍微斜向**，可達到**最大合力**的效果。
3. **旋出氣流**將箱子順勢推落，**撞擊地面立即反彈向上至高點**（**箱口朝外**），成功彈回原位。

我們在第21次終於實驗成功。

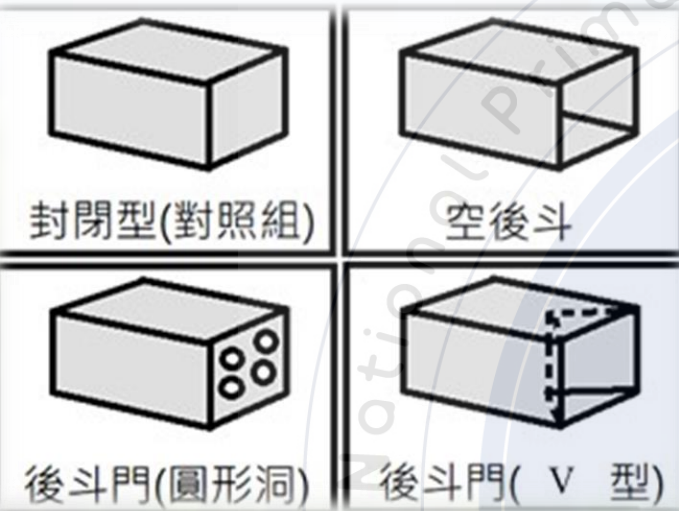
成功彈回



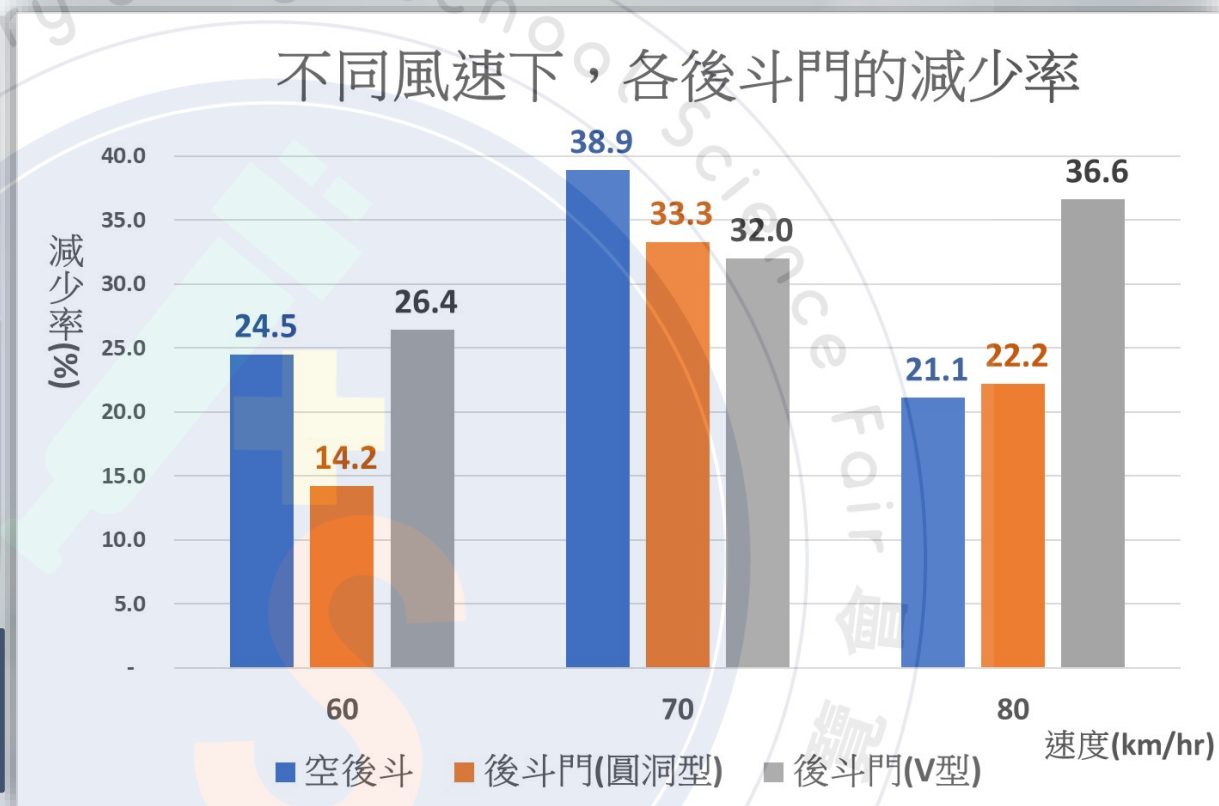
彈回失敗



(八).後斗吸力減少汽車油耗的應用



$$\text{減少率} = \frac{\text{對照組} - \text{測量值}}{\text{對照組}} \times 100\%$$



1. 在60至80km/hr車速下，實驗組都有正的汽車油耗減少率。
2. 60、70、80km/hr下其減少率最佳分別為V型、無門後斗、V型。
3. V型的減少率在不同速度下幾乎都是最多，推測是因為V型後斗門形狀內凹不平整所致。

四.結論

1. 貨車後斗的吸力，是因為左側逆時針卡門渦街的緣故，及上下壓力差，造成的上進下出的氣流。
2. 中間、左側的氣流均往內，右側氣流往外，且車速越快，向內的力量越強，週期也越短。
3. 實驗得到的頻率，跟同速度下理論的卡門渦街頻率，變化幅度斜率相當。
4. 後斗的吸力，都可以讓空氣阻力減少率 $>20\%$ ，其中又以V型的後斗門效果最佳，空氣阻力減少率甚至接近 40% 。
5. 實驗第21次成功複製新聞畫面，證明風洞側面鑽洞成功模擬自然狀態。
6. 保麗龍箱成功彈回必備要件：夠快的車速、斜向擺放的空箱、正確的掉落點、反彈足夠的高度、彈起的箱口朝外，向內旋入的氣流順勢推入車斗。

五.參考資料

1. <https://www.youtube.com/watch?v=IZHHL62VZig> 民視新聞-不離不棄!神奇保麗龍二度彈回貨車
2. <https://sites.google.com/site/ee535test/andrew-baker>, Wind turbine blade tip analysis using CFD