

屏東縣第 64 屆國中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：物理科

組 別：國中組

作品名稱：

- " 風 " 火車 -

-模擬不同形狀的火車頭在鐵道上疾駛時車頭重量、車身附近的氣壓

變化-

關 鍵 字：康達效應、火車頭、流線型

編 號：B2013

製作說明：

1. 說明書封面僅寫科別、組別、作品名稱及關鍵詞。
2. 編號：由承辦學校統一編列。
3. 封面編排由參展作者自行設計。

摘要

無論是哪一種車種的重量都有減輕，而且按低、中、高速風他們減輕的量，我們用線性回歸 R^2 幾乎都有八、九成以上。在高、中速風裡減重的百分比較高速風少，且比較流線型的車頭減重的百分比是比較好的，其大小順序為 EMU3000>E1000>EMU800>EMU500。在低速風裡，車頭重量減輕的比率比較低。但是 EMU500 還是比較差。越流線型的車頭阻力小，氣流過的速度較快，車頭前端和車頂部壓差大，減輕的效果更好。在高速風下 EMU 3000 >E1000> EMU800>EMU500。中速風下 E1000> EMU 3000 >EMU800>EMU500。低速風下雖順序改變，但是最差的還是方正型的 EMU500。

壹、研究動機

理化老師和我們都是鐵道迷，特別是老師愛搭火車旅行，台鐵的列車因為需求不同會有不同種類，站站停的區間通勤列車（EMU500 和 EMU800 車頭）、行駛速度較快的新自強號（EMU3000）與自強號（為推拉式車頭）。我們覺得這幾種車頭形狀有點不一樣，E1000、EMU3000 車頭傾斜且流線，而 EMU800 車頭是傾斜，EMU500 是正方車頭。

火車在鐵軌上奔馳的時候，都會受到風的阻力影響。所以行車速度比較快的自強號（最高速 130km/hr）和區間車（最高速 110km/hr）車頭的設計也會因載客的需求也有所不同。區間車需要站站停，站與站之間僅數公里，車速不宜過快。而自強號要在短時間內到達各大城市，距離較遠，所以車速要快。目前台鐵的區間車和自強號機車頭不太相同，我們跟老師討論後就想研究不同形狀的機車頭對於行車時，其身邊的氣流的強弱是否會對車子本身有所影響，是變輕呢？還是變重？若是能變輕則或許可以節省電力或燃料的輸出。

貳、文獻回顧

流線型是物體的一種外部形狀，通常表現為平滑而規則的表面、並沒有大的起伏和尖銳的稜角。而且流體在流線型物體表面主要表現為層流，沒有或很少有湍流，表示物體受到的阻力較小。通常流線型物體比較美觀，所以常出現在產品外觀設計中。

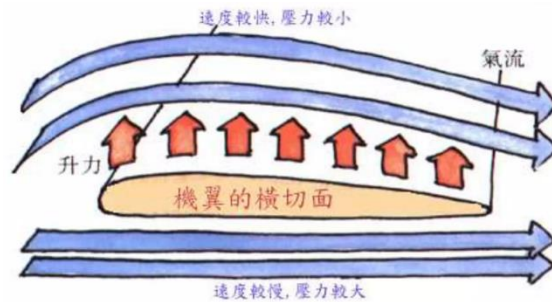
流線型的起源可以追溯到 19 世紀對自然生物的研究，以及對於魚、鳥等有機形態的效能的欣賞。這些最初應用在潛艇和飛艇的設計中，以減少湍流和阻力。於第一次世界大戰前後流線型更是用於小汽車的外型設計上。直到今天，汽車、火車、飛機和輪船等交通工具早已採用了流線型的設計。（參考資料：[維基百科 https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%B5%81%E7%BA%BF%E5%9E%8B](https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%B5%81%E7%BA%BF%E5%9E%8B)）

而流體流過一個曲面的障礙物時，流體（水流或氣流）與它流過的物體表面之間有表面摩擦，近物體表面的流體流速會減緩，近面流體離開原本的流動方向，改為隨著凸出的物體表面流動之傾向，並使周圍遠面流體逸入此一噴流中；由於流體流速的減緩和移動方向的改變（流線彎曲）使得噴流外界的壓力（大氣壓力）大於噴流內側和曲面交界處的壓力，因此噴流依附在曲面壁流動。噴流的附壁效應，會使曲面壁上的壓力小於噴流外界的大氣壓力，

而產生向曲面壁的吸力，此稱附壁吸力（Coandă force）。而這樣的效應稱為康達效應，或又稱為附壁效應。

（參考資料：維基百科 [https://zh.wikipedia.org/zh-](https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%AF%AC%E5%BE%B7%E6%95%88%E6%87%89%E5%9C%A8%E7%A9%BA%E6%B0%94%E5%8A%A8%E5%8A%9B%E5%AD%A6%E4%B8%AD%E7%9A%84%E5%BA%94%E7%94%A8)

[tw/%E5%AF%AC%E5%BE%B7%E6%95%88%E6%87%89%E5%9C%A8%E7%A9%BA%E6%B0%94%E5%8A%A8%E5%8A%9B%E5%AD%A6%E4%B8%AD%E7%9A%84%E5%BA%94%E7%94%A8](https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%AF%AC%E5%BE%B7%E6%95%88%E6%87%89%E5%9C%A8%E7%A9%BA%E6%B0%94%E5%8A%A8%E5%8A%9B%E5%AD%A6%E4%B8%AD%E7%9A%84%E5%BA%94%E7%94%A8)）



圖片出處：陳國益 資工系 虎尾科技大學 <https://www.slideshare.net/lukuchen/ss-253664287>

若是應用在飛機上，是讓飛機升空的重要因素。若是在光滑的軌道上疾駛的火車，該會有甚麼影響呢。是否讓火車重量減輕呢？

參、研究問題

根據以上的文獻回顧，我們思考火車頭的設計跟上述資料有甚麼關聯。是否符合康達效應呢？所以我們提出以下的問題並且設計實驗來討論。


- 一、各車種的火車頭，在與風洞相同距離，不同風速下，車體重量的變化。
- 二、承第一點，每輛車體重量均不同，所以我們想計算其重量變化的百分率。
- 三、各車種的火車頭，在與風洞相同距離，不同風速下，上方壓力的變化。
- 四、找出各車種的火車頭重量發生變化的可能因素。

肆、研究器材與實驗設計

一、研究器材

自製風洞、風扇、風速計、手機 APP 壓力計(phyphox)、電子天平、捲尺 1/100000 縮小比例自製火車頭模型火車頭(EMU800) 火車頭(EMU3000) 火車頭(EMU500) 火車頭(E1000)

表 3-1 實驗器材與實驗配置

| | | | |
|---|---|--|--|
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
| EMU3000 | EMU800 | EMU500 | E1000 |
|  |  |  | |
| 風洞 | 風速計 | 實驗器材 | |



實驗設置

二、研究方式

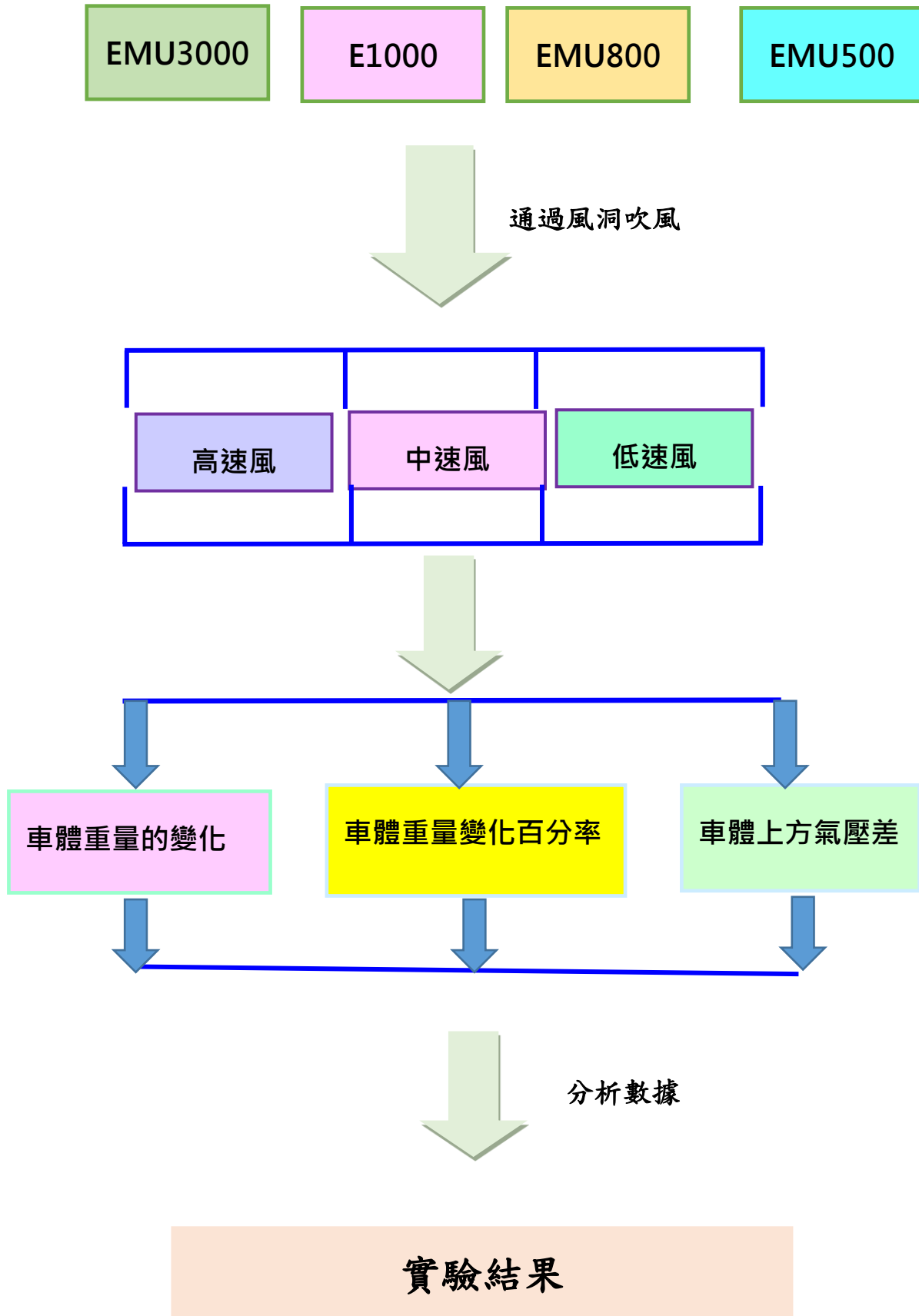
1、我們把 EMU3000、E1000、EMU500 和 EMU800 車頭大小以 1/100000 比例尺寸縮小製作模型，車頭底部加裝寶特瓶蓋當作輪胎，底盤離地面約 1.5cm，置於電子天平上秤重。

2、為了產生穩定和直線的氣流，我們在風扇後和車頭之間放置一個由大吸管組成的風洞。將自製風洞放置於風扇前方 30 公分處，並把 EMU3000 火車頭放分別置於距離風洞 10 公分處。為了模擬車速的快慢造成的氣流變化（車速快、氣流強。車速慢，氣流弱）。所以我們用電風扇的風速切換為**低速風**、**中速風**、**高速風**作為車速快慢的因子來，測出 EMU3000 車頭重量的改變情形。

3、利用手機 APP 壓力計(phyphox)測量 EMU3000 車頭的上壓力和側壓力。看其壓力如何變化。

4、用 E1000、EMU500 和 EMU800 車頭重複步驟 1~3

三、實驗架構

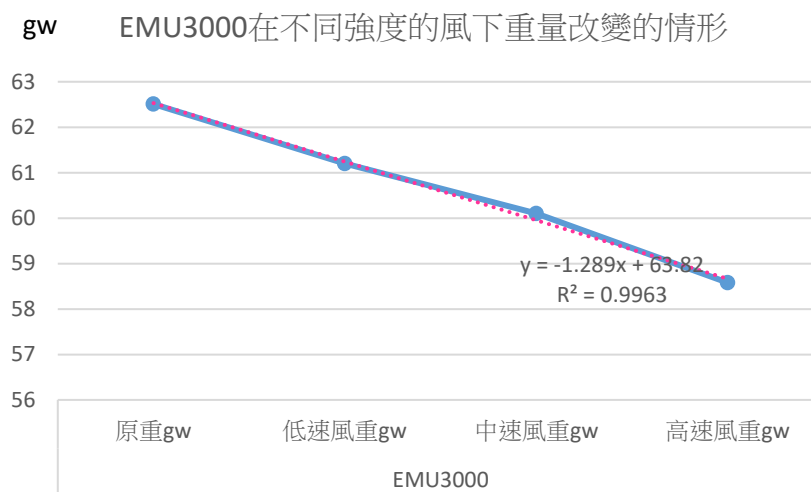


伍、研究結果

- 一、 各式車頭在電風扇的低速風、中速風、高速風下通過風洞後產生的重量變化
各式車頭在風洞

表 5-1、各式車頭在電風扇的低速風、中速風、高速風下的重量變化

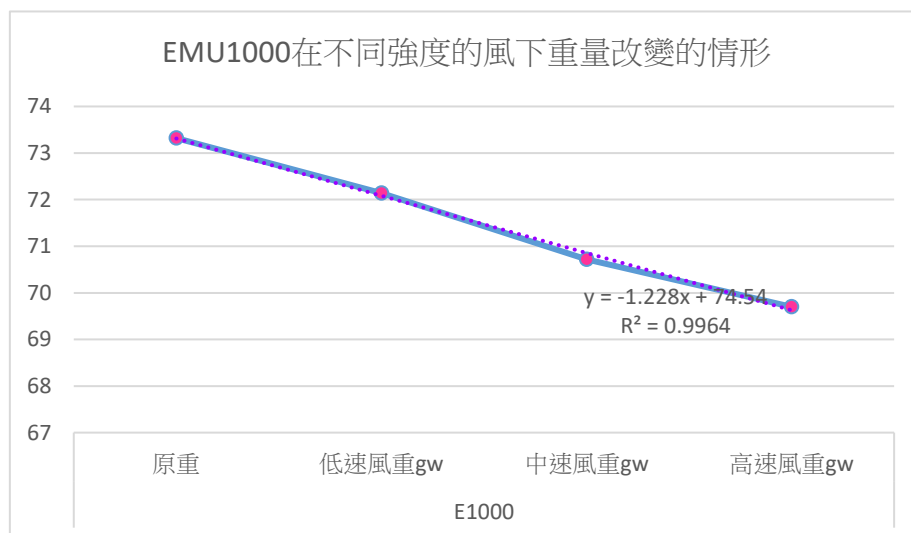
| EMU3000(新自強號) | | | |
|---------------|---------|---------|---------|
| 原重 gw | 低速風重 gw | 中速風重 gw | 高速風重 gw |
| 62.51 | 61.2 | 60.1 | 58.58 |



我們發現 EMU3000 車頭在電風扇的低速風、中速風、高速風下通過風洞後，我們都發現他們均會讓 EMU3000 的重量減少，而且風速越強，重量減輕的越多。我們做線性回歸進行分析，發現它的直線 R^2 高達 0.9963，屬於高度相關的直線。

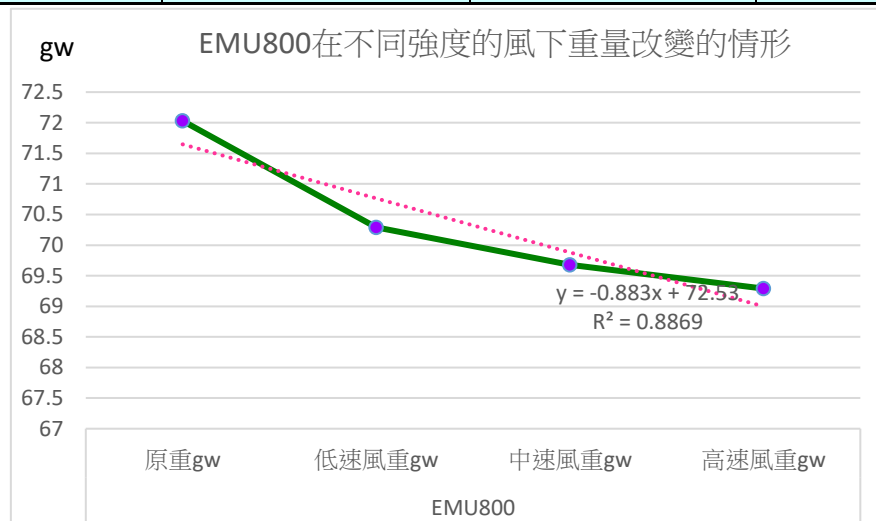
E1000(自強號)

| 原重 gw | 低速風重 gw | 中速風重 gw | 高速風重 gw |
|-------|---------|---------|---------|
| 73.32 | 72.14 | 70.72 | 69.7 |



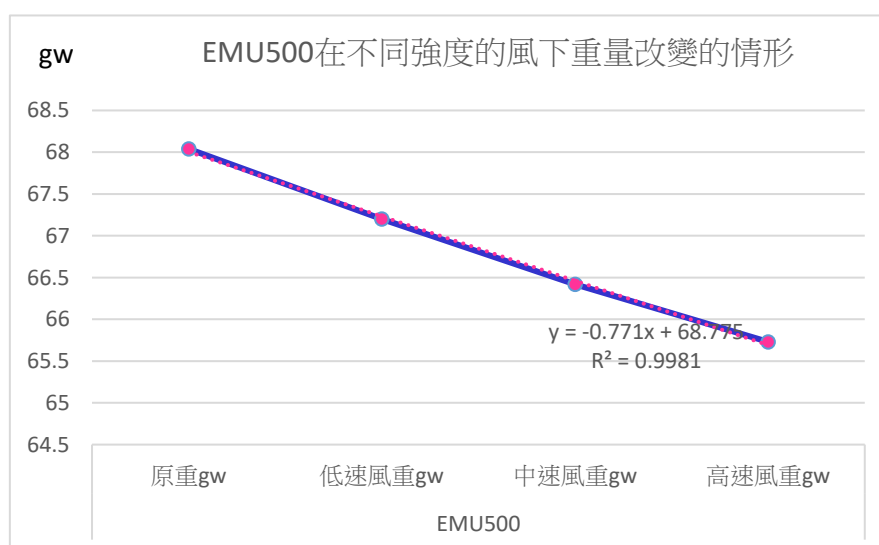
我們發現 E1000 車頭在電風扇的低速風、中速風、高速風下通過風洞後，我們都發現他們均會讓 E1000 的重量減少，而且風速越強，重量減輕的越多。我們做線性回歸進行分析，發現它的直線 R^2 高達 0.9964，屬於高度相關的直線。

| EMU800(區間車) | | | |
|-------------|---------|---------|---------|
| 原重 gw | 低速風重 gw | 中速風重 gw | 高速風重 gw |
| 72.03 | 70.29 | 69.68 | 69.29 |



我們發現 EMU800 車頭在電風扇的低速風、中速風、高速風下通過風洞後，我們都發現他們均會讓 EMU800 的重量減少，而且風速越強，重量減輕的越多。我們做線性回歸進行分析，發現它的直線 R^2 也有 0.8869，也是屬於高度相關的直線。

| EMU500 (區間車) | | | |
|--------------|---------|---------|---------|
| 原重 gw | 低速風重 gw | 中速風重 gw | 高速風重 gw |
| 68.04 | 67.2 | 66.42 | 65.73 |



我們發現 EMU500 車頭在電風扇的低速風、中速風、高速風下通過風洞後，我們都發現他們均會讓 EMU500 的重量減少，而且風速越強，重量減輕的越多。我們做線性回歸進行分析，發現它的直線 R² 高達 0.9981，屬於高度相關的直線。

根據以上實驗結果，我們發現只要車頭迎風吹，重量都會減輕，風速越強，減輕越多。但是到底哪一種車頭減輕比較多呢?每一種車頭的原來重量均不同。請看我們以下的分析。

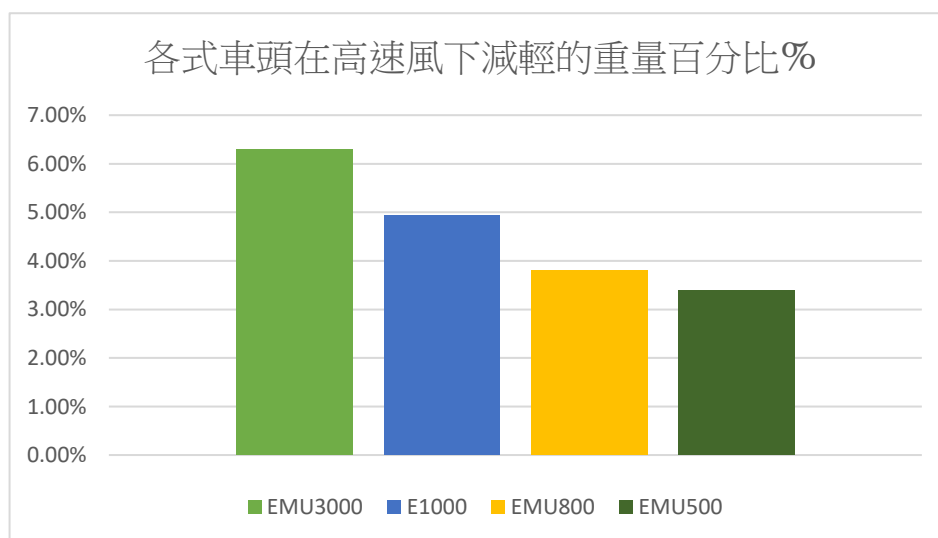
二、因為每一種車頭製作時，使用的材料多寡不同，若是只參考減輕的重量，較不易觀察到各車頭之間的減重效能，因此我們設計以下公式來計算車頭在風吹時減輕的百分率來做比較。我們做每一種風速的減輕百分率的比較。

公式：車頭減輕的百分率% = [(車頭原來的重量 - 減輕時的重量) / 車頭原來的重量] %

我們的結果如下：

表 5-2 各式車頭在高中低速風的減重百分比

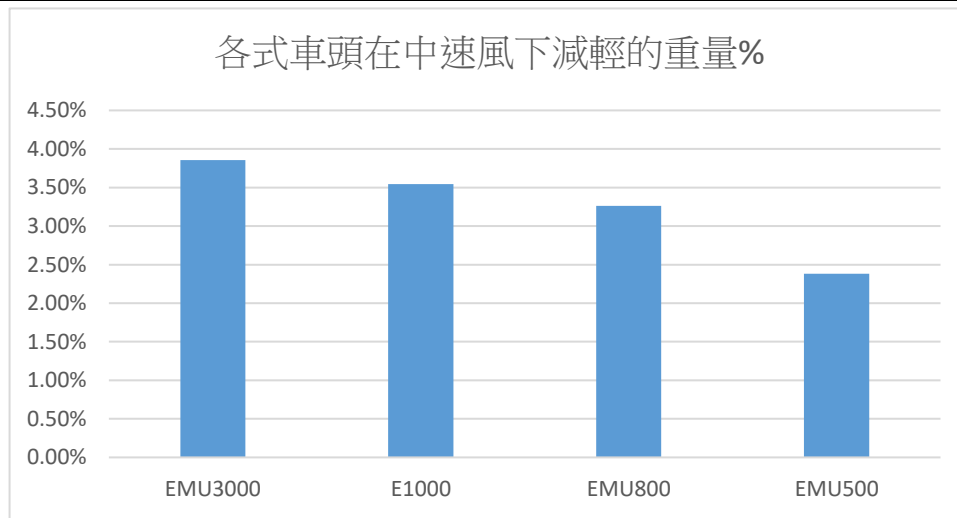
| | EMU3000 | E1000 | EMU800 | EMU500 |
|-----------|---------|-------|--------|--------|
| 原重 gw | 62.51 | 73.32 | 72.03 | 68.04 |
| 高速風重 gw | 58.58 | 69.7 | 69.29 | 65.73 |
| 高速風下減輕 gw | -3.93 | -3.62 | -2.74 | -2.31 |
| 高速風下減輕% | 6.29% | 4.94% | 3.80% | 3.40% |



我們發現在高速 MU3000 減輕的重量百分比最高，達 6.29%，其次 E1000 為 4.9%，最差的是 EMU500 僅 3.40%，因為可能前 3 種車頭形狀比較流線其大小順序為：

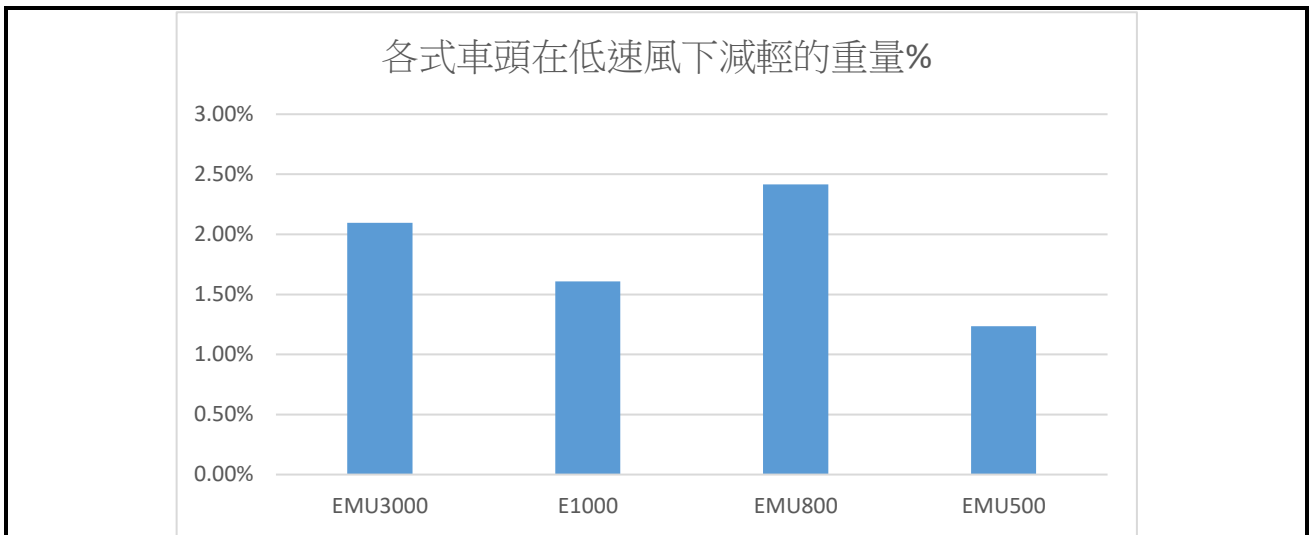
EMU3000>E1000>EMU800>EMU500

| | EMU3000 | E1000 | EMU800 | EMU500 |
|-----------|---------|-------|--------|--------|
| 原重 gw | 62.51 | 73.32 | 72.03 | 68.04 |
| 中速風重 gw | 60.1 | 70.72 | 69.68 | 66.42 |
| 中速風下減輕 gw | -2.41 | -2.6 | -2.35 | -1.62 |
| 中速風下減輕% | 3.86% | 3.55% | 3.26% | 2.38% |



我們發現在中速風裡減重的百分比比較高速風少，且比較流線型的車頭減重的百分比是比較好的，其大小順序為 **EMU3000>E1000>EMU800>EMU500**

| | EMU3000 | E1000 | EMU800 | EMU500 |
|-----------|---------|-------|--------|--------|
| 原重 gw | 62.51 | 73.32 | 72.03 | 68.04 |
| 低速風重 gw | 61.2 | 72.14 | 70.29 | 67.2 |
| 低速風下減輕 gw | -1.31 | -1.18 | -1.74 | -0.84 |
| 低速風下減輕% | 2.10% | 1.61% | 2.42% | 1.23% |

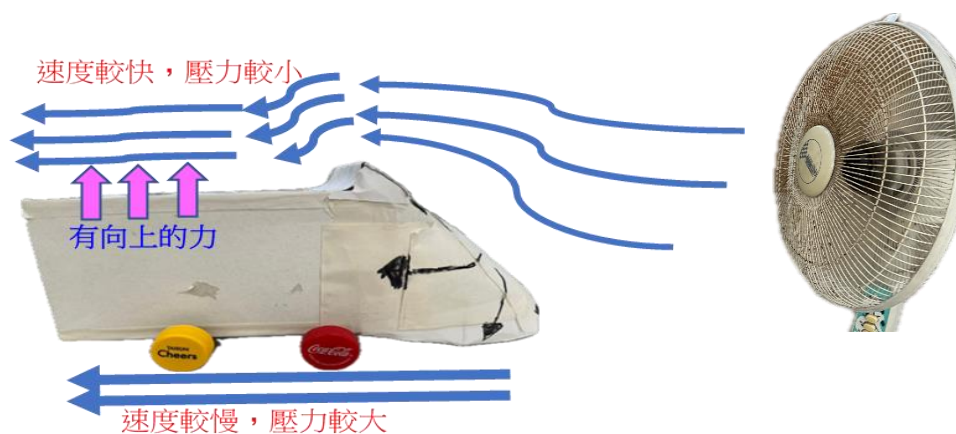


我們發現在低速風裡，車頭重量減輕的狀況就不是很明顯，減輕的比率比較低。所以看起來差不多，但是 EMU500 還是比較差。

我們分析到這裡，比較流線型的車頭看來減輕中重量的比率較高，表示有一個向上的力讓車頭重量減輕，我們推測這個和康達效應有關係。所以我們測量了車頭周圍的氣壓，請看我們以下的分析：

三、各車頭前方和上方在高速風和中速風下的氣壓

因為我們合理推測減輕重量的因素和康達效應有關係，也就是說，車體下方氣壓 > 上方氣壓，才會使重量減輕。但是又因為下方測量手機氣壓感測器無法放入，所以我們就改用測量車體前端和上方的氣壓的氣壓差來進行分析，若氣壓越大，表示車體上方的氣



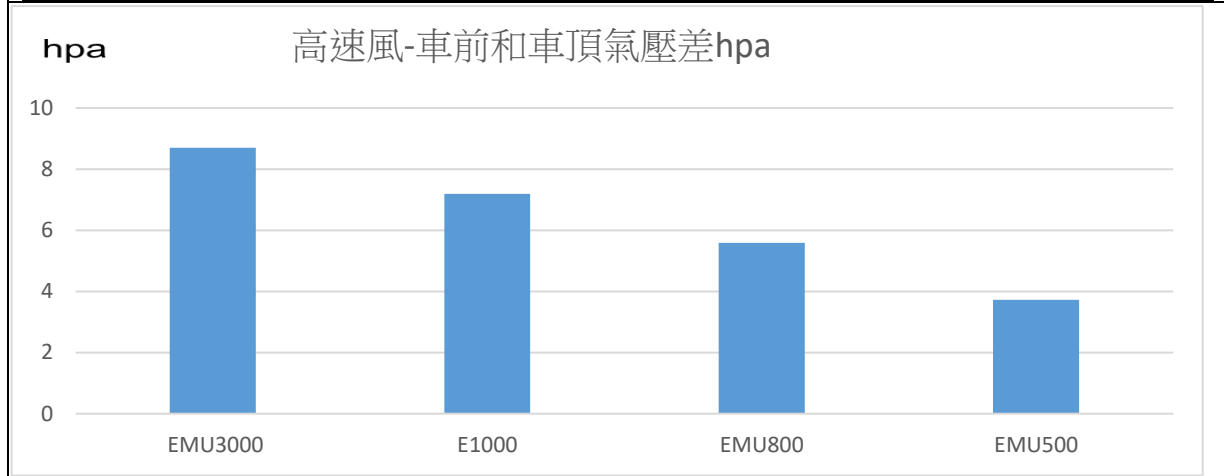
流流速越快。

圖 5-1 氣流流向示意圖

所以我們針對高速風和中速風來進行分析

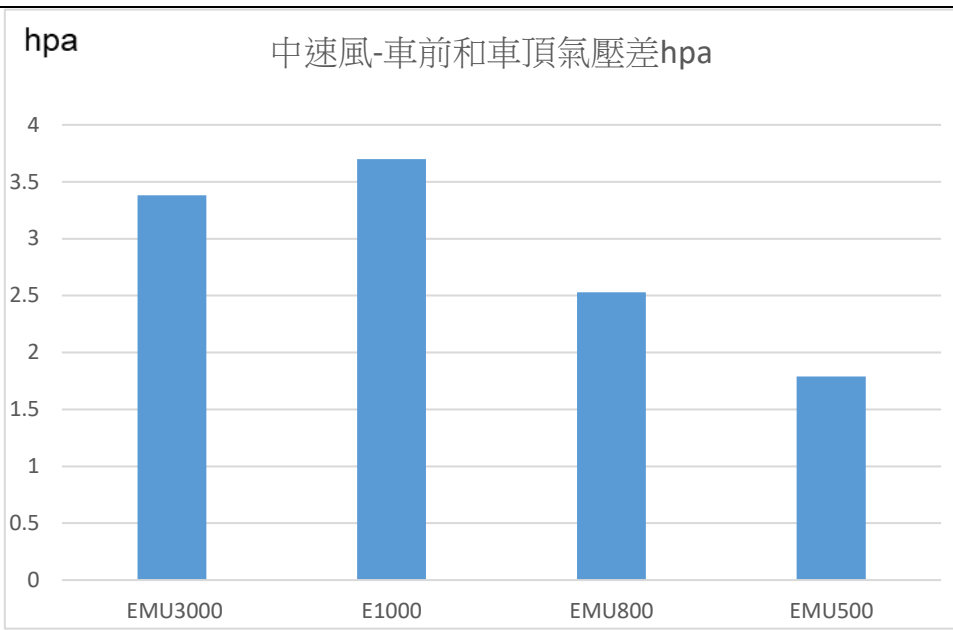
表 5-3 各車頭前方和上方在高、中、低速風下的氣壓

| 高速風 | 車頭前 hpa | 上方氣壓 hpa | 氣壓差 hpa |
|---------|---------|----------|---------|
| EMU3000 | 1021.44 | 1012.74 | 8.7 |
| E1000 | 1020.14 | 1012.95 | 7.19 |
| EMU800 | 1019.13 | 1013.54 | 5.59 |
| EMU500 | 1019.09 | 1015.36 | 3.73 |



我們發現車頭前和車頭上方的氣壓差，以 EMU3000 差異最大，最小的是 EMU500。我們推測前面 3 種車頭都屬於流線型的車，EMU3000、E1000 更是流線阻力小，所以車頭的形狀會影響重量減輕的程度因此符合我們所推測的結果。氣壓差異順序為 EMU3000>E1000>EMU800>EMU500

| 中速風 | 車頭前 hpa | 上方氣壓 hpa | 氣壓差 hpa |
|---------|---------|----------|---------|
| EMU3000 | 1016.5 | 1013.12 | 3.38 |
| E1000 | 1016.06 | 1012.36 | 3.7 |
| EMU800 | 1020.45 | 1017.92 | 2.53 |
| EMU500 | 1012.63 | 1010.84 | 1.79 |

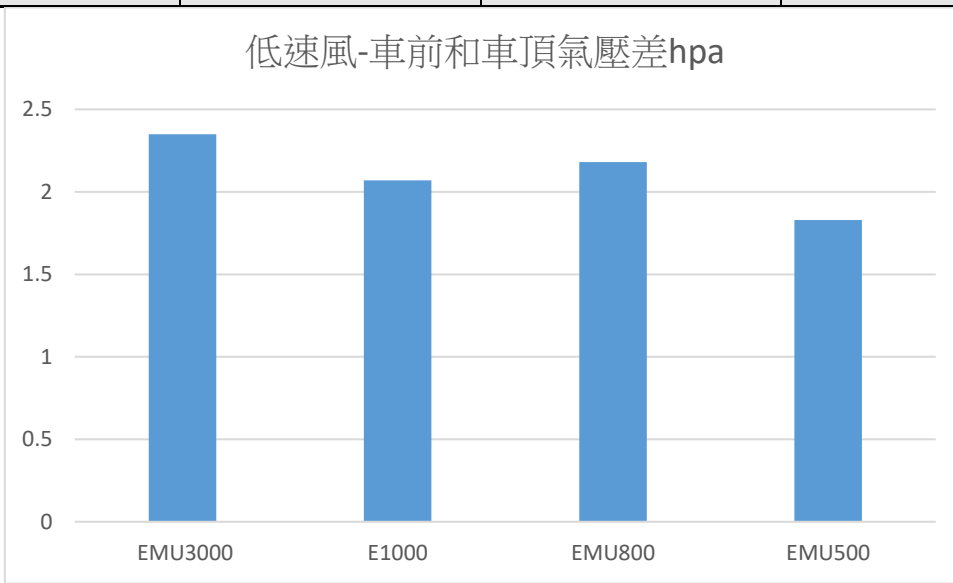


我們發現車頭前和車頭上方的氣壓差，以 E1000 略高於 EMU 3000，最小的是 EMU500。我們推測前面 3 種車頭都屬於流線型的車所以車頭的形狀影響重量減輕的程度增加，而 EMU500 因為它的形狀過於正方，不易產生高速的氣流使頂上的壓力降低。，因此符合我們所推測的結果。氣壓差異順序為

E1000> EMU 3000 >EMU800>EMU500

但是和高速風比起來，它們的差異就比較小。

| 低速風 | 車頭前 hpa | 上方氣壓 hpa | 氣壓差 hpa |
|---------|---------|----------|---------|
| EMU3000 | 1016.17 | 1013.82 | 2.35 |
| E1000 | 1016.19 | 1014.12 | 2.07 |
| EMU800 | 1018.94 | 1016.76 | 2.18 |
| EMU500 | 1017.97 | 1016.14 | 1.83 |

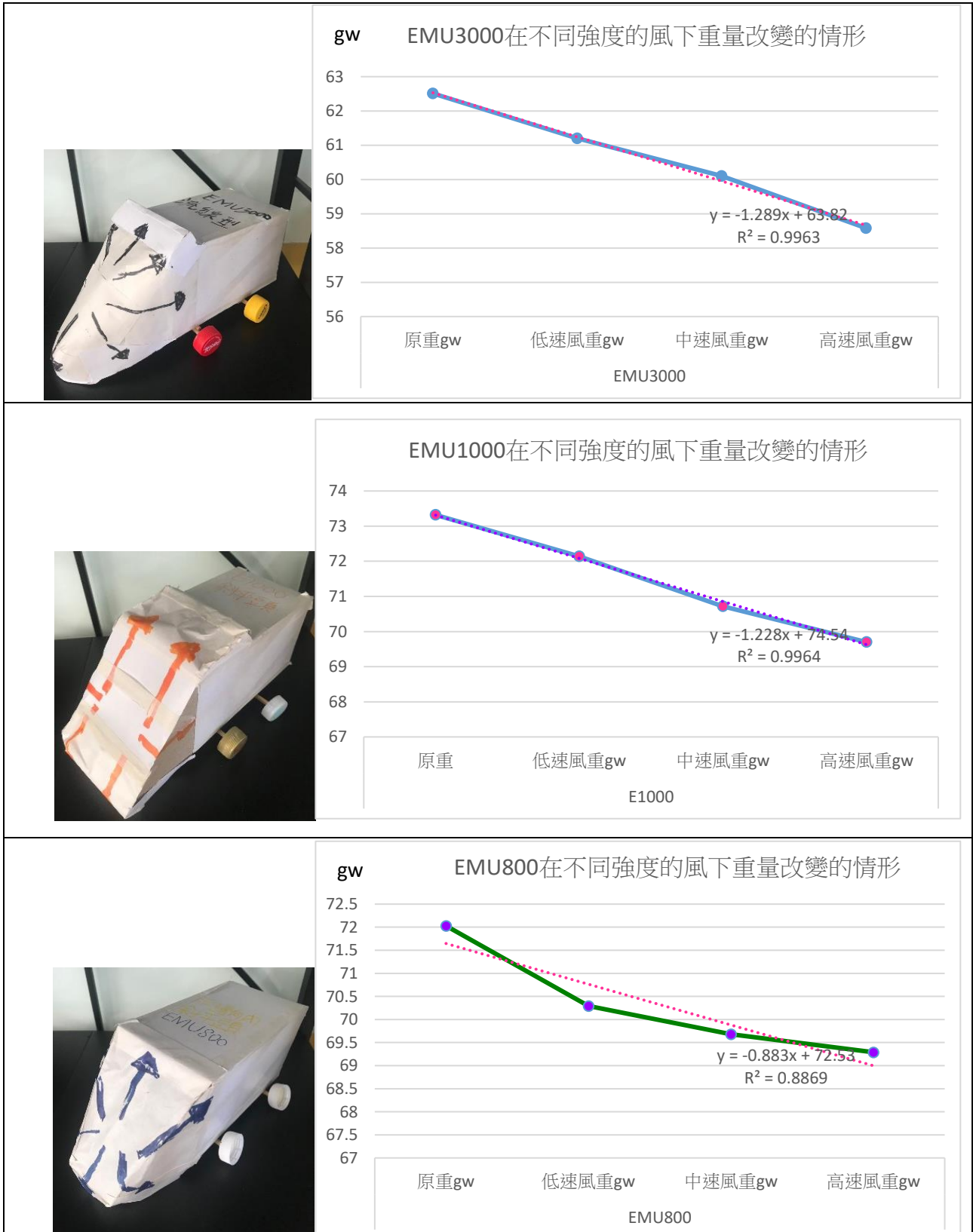


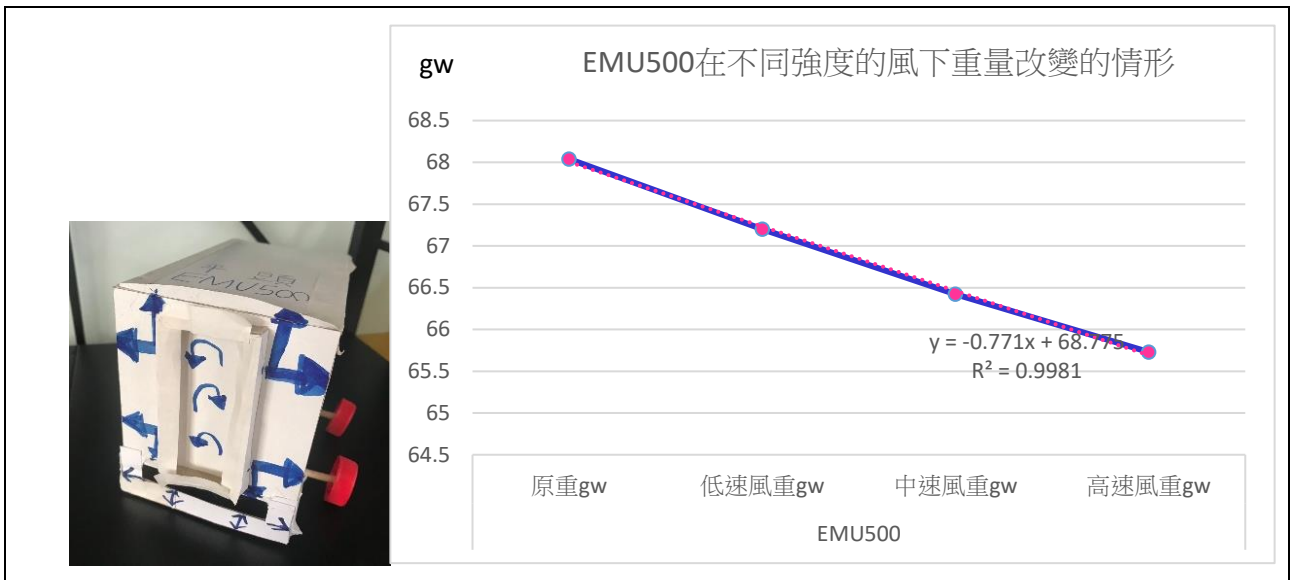
我們發現車頭前和車頭上方的氣壓差，EMU 3000、E1000、 EMU800 的差異越來越接近了，最小的還是 EMU500 ，所以還是符合我們所推測的結果。
氣壓差異順序為 EMU 3000 > EMU800>E1000> EMU500

陸、研究與討論

1、在高、中、低速風下 EMU3000、E1000、EMU800、EMU500 的車頭重量都有減輕。

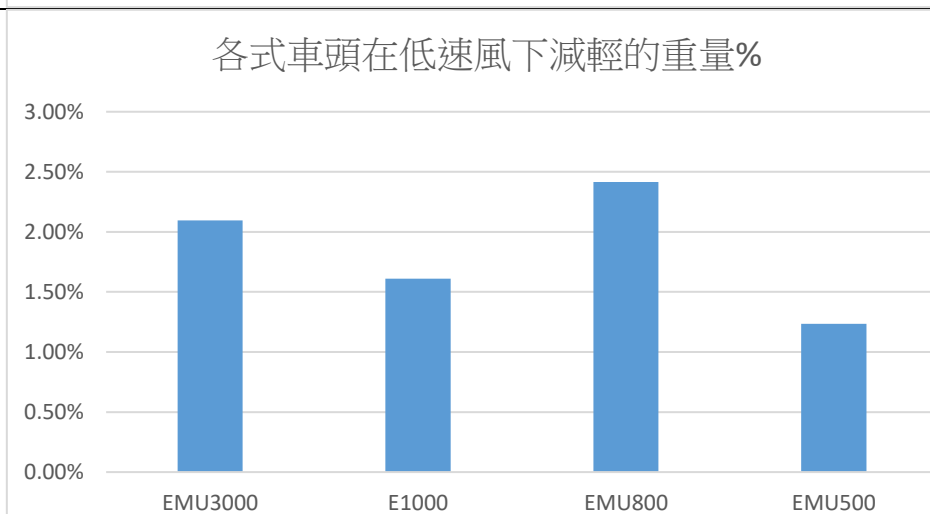
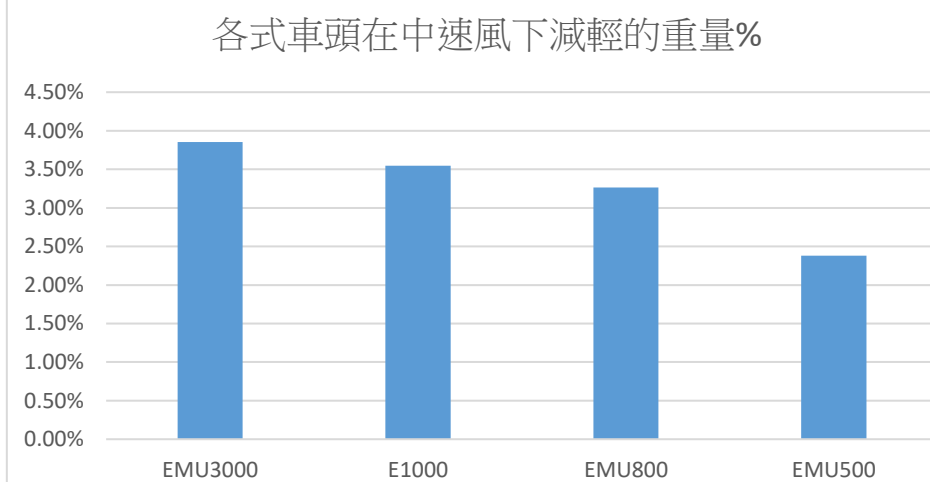
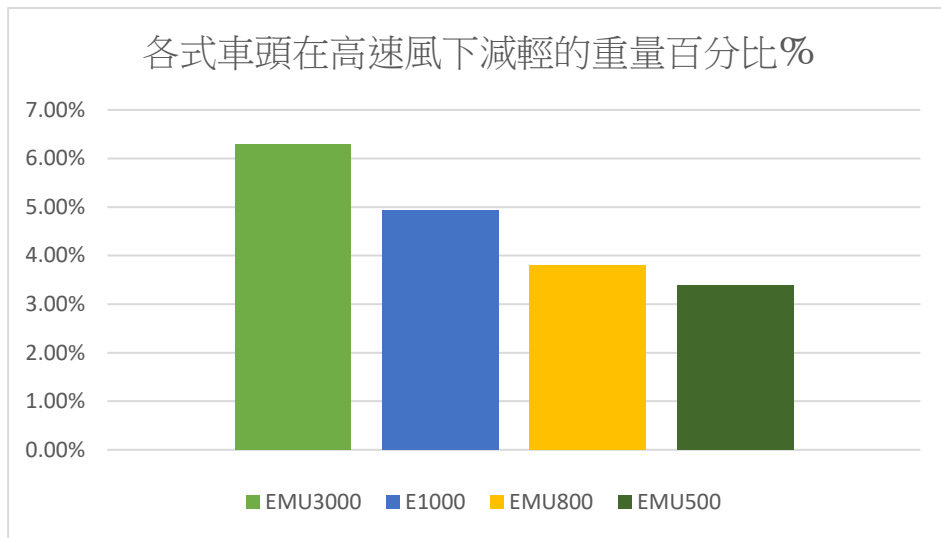
表 6-1 四種車頭的各自減輕的情形



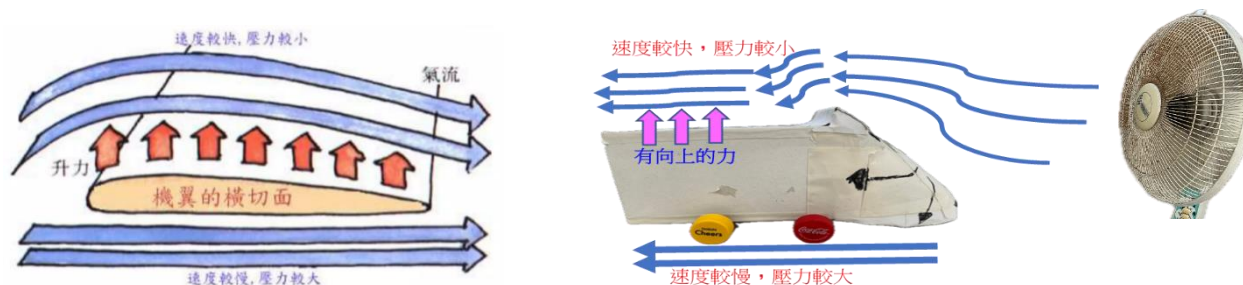


無論是哪一種車種的重量都有減輕，而且按低、中、高速風他們減輕的量，我們用線性回歸 R^2 幾乎都有八、九成以上。表示有一個向上的力讓車頭重量減輕，所以我們合理推測康達效應在這四種車頭有發生，越流線的車頭，康達效應越明顯，減輕重量也越明顯，所以符合我們的推論。

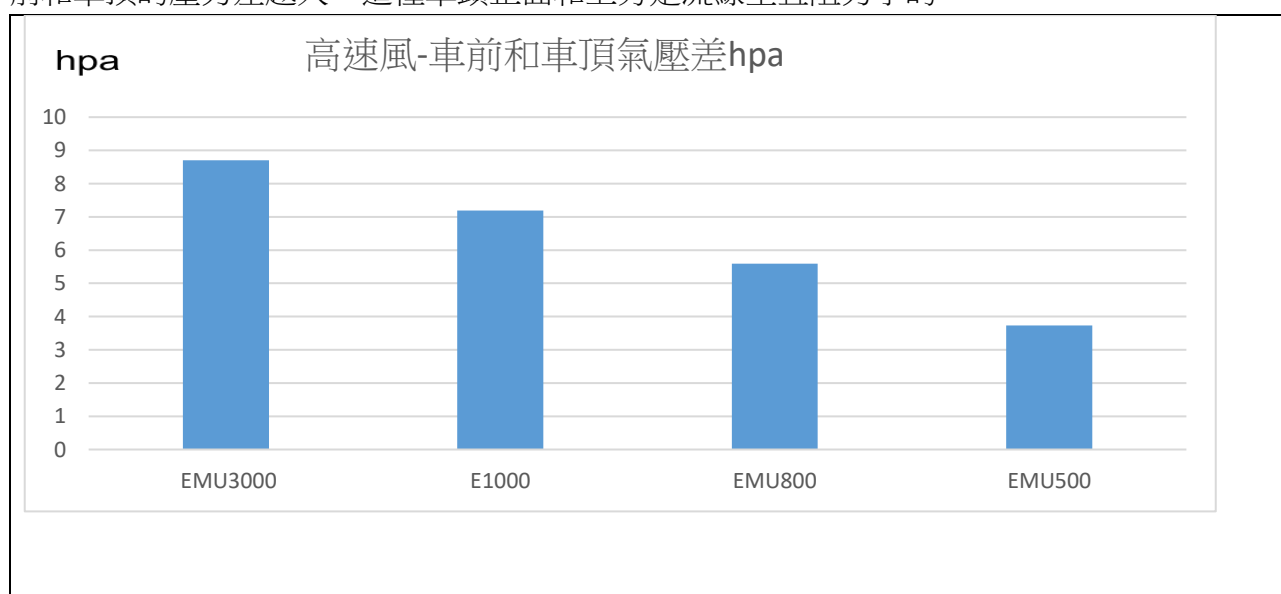
二、因每一種車頭製作時，使用的材料多寡不同，重量也不同，我們計算車頭在風吹時減輕的百分率來做比較。

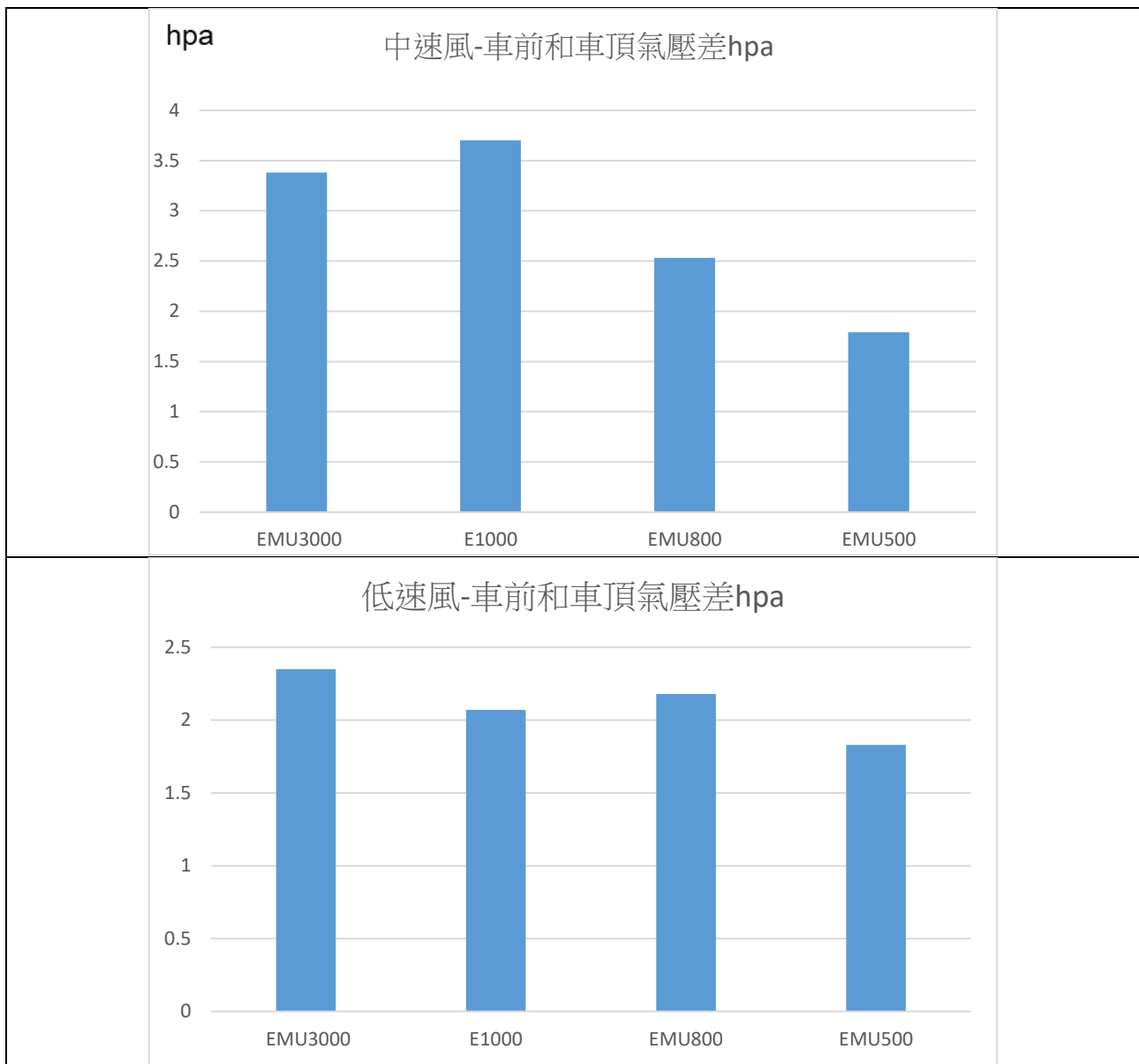


我們發現高速風和中速風下，EMU3000、E1000、表現都是很好的，EMU800 也緊跟在後面。我們推測前面 3 種車頭都屬於流線型的車，EMU3000、E1000 更是流線，依照康達效應的理論，流體在越流線距離越長的物體表面其流速越快壓力越小。若是物體上面是弧形底部是水平，風通過物體時則上面流速快壓力小、下面流速慢則壓力大，因此重量會減輕。所以車頭是否有上述這種形狀，就會影響重量減輕的程度。EMU800 因為正面傾斜，它減輕的百分比效果也很好。然而 EMU500 的車頭減輕的比率低，也是因為它的形狀過於正方，不易產生高速的氣流使頂上的壓力降低。



三、車體底下不易放置手機，所以我們退而求其次測量 EMU3000、E1000、EMU800、EMU500 以上四種車頭前和車頂的氣壓差來驗證、我們發現重量減輕最多百分比的車頭，車前和車頂的壓力差越大。這種車頭正面和上方是流線型且阻力小的。





因此我們發現越流線型的車頭阻力小，氣流過的速度較快，底部和頂部壓差大，減輕的效果更好。在高速風下 EMU 3000 > E1000 > EMU800 > EMU500。中速風下 E1000 > EMU 3000 > EMU800 > EMU500。低速風下雖順序改變，但是最差的還是 EMU500。因為車體過於方正。

四、從以上實驗結果初步顯示，快速穿越各大城市的 EMU 3000 和 E1000 流線型車頭，在行駛時受空氣通過車頂上和車底下時，會減輕重量，因此車速相對容易快速提升，這麼說來是不是也可以減少電力和燃料的損耗呢？而 EMU500 行駛在鄉間小站則不需要快速，但是相對易受風阻力而容易減速停止，這是值得我們探討的一個題目。

柒、結論

一、無論是哪一種車種的重量都有減輕，而且按低、中、高速風他們減輕的重量，我們用線性回歸 R^2 幾乎都有八、九成以上。

二、在高、中速風裡減重的百分比較高速風少，且比較流線型的車頭減重的百分比是比較好的，其大小順序為 EMU3000>E1000>EMU800>EMU500。在低速風裡，車頭重量減輕的狀況就不是很明顯，減輕的比率比較低。所以看起來差不多，但是 EMU500 還是比較差。

三、我們發現越流線型的車頭阻力小，氣流過的速度較快，車頭前和車頂部壓差大，減輕的效果更好。在高速風下 EMU 3000 >E1000> EMU800>EMU500。中速風下 E1000> EMU 3000 >EMU800>EMU500。低速風下雖順序改變，但是最差的還是 EMU500。因為車體過於方正。

捌、文獻探討

1. 維基百科 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%B5%81%E7%BA%BF%E5%9E%8B>
2. 維基百科 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%AF%AC%E5%BE%B7%E6%95%88%E6%87%89%E5%9C%A8%E7%A9%BA%E6%B0%94%E5%8A%A8%E5%8A%9B%E5%AD%A6%E4%B8%AD%E7%9A%84%E5%BA%94%E7%94%A8>