

# 自行車風洞測試 車架與輪組之風阻量測

財團法人自行車暨健康科技工業研究發展中心 / 邱文彬

本研究將建置一套可量測車架與輪組之阻力量測系統。再以實驗方式探討車架與輪組在速度 (V) 為 13.3 m/s 與側向角度 0、5、10、15、20 間，風洞品質之紊流強度約為 0.3% 時的空氣動力特性。實驗首先量測車架與輪組之阻力隨側向角之變化情形，再利用 CFD 模擬重復相同的邊界條件，再與實驗量測之結果相互比對即定義出實驗與 CFD 模擬之差距。



## 一、前言

本次 CFD 模擬實驗採用 Ansys 之 CFX 商業軟體來模擬，設定 Turbulent model 為 k-epsilon model。依本次 CFD 模擬與風洞實驗來比對，其結果車架 CFD 數值約為風洞實驗數值之 50%，輪組 CFD 數值約為實驗數值之 70%。主要誤差為現今 Turbulent model 為理論加經驗公式，無法完全代表流體實際狀況與行為而產生的落差。

最後，藉此實驗研究之結果可適當的修正 CFD 模擬數據，以目前設定，建議車架 CFD 模擬加乘 1.8 倍，輪組 CFD 模擬加乘 1.2 倍，較符合本實驗機台風洞實驗之實驗數值。冀望本研究可供業界自行車零阻件 CFD 快速設計參考，協助業界縮短開發時間與減少設計成本。

## 二、風阻實驗量測機台

機台各部功能，含風洞轉盤固定座、馬達滾輪固定座、車架與輪組夾持治具、後輪可調夾持治具固定座、皮帶傳動設計、伺服控制器配置、sensor 固定座，與包覆外殼設計。馬達 1000W(ECMA-C10807ES)，最大扭力 9.54(N-m)，最高轉速 5000RPM。

風洞轉盤固定座主要為提供一與旋轉平台之連接使與零配件安裝使用，馬達滾輪可提供整車輪組之所需轉速；後輪可調夾持治具可依實驗需求進行車架尺寸調整變更；皮帶傳動可使前後輪同步等速運動；搭載伺服控制器來進行馬達速度控制；利用 sensor 量取阻力值；外殼包覆主要提供一安全及美觀與防流場干擾工作平台設計。

測試平台整機尺寸約為

長 1800mm × 寬 800mm × 高 235mm

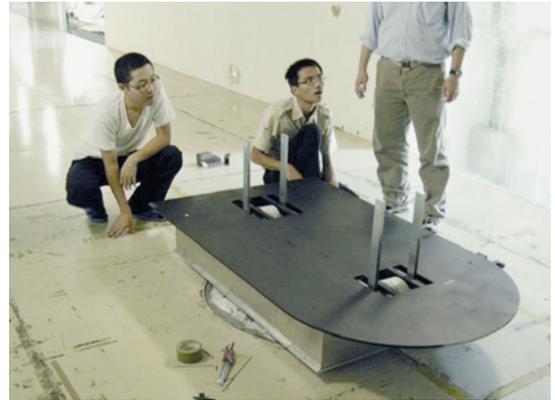


圖 1. 測試平台架設風洞實驗旋轉平台



圖 2. 車架測試平台



圖 3. 輪組測試平台

### 三、感測系統

本計劃使用容量為 5 lb 之單軸向荷重元，其主要功能為能將感測受力連續以高精度品質輸出，採樣頻率可達 2k Hz。此單軸感測器系統，可解決當訊號高速輸出時產生之軸間偏移與雜訊等問題，且適用於多種電腦與作業系統。

### 四、車架模型

本實驗所使用的車架模型採用 2013 年 Cervelo S5 無塗裝板 (圖 4)。



圖 4. Cervelo S5 無塗裝板

類型：公路車 (含前叉與座管)

車架大小：56 cm (詳細尺寸如下圖)

車架材質：碳纖維

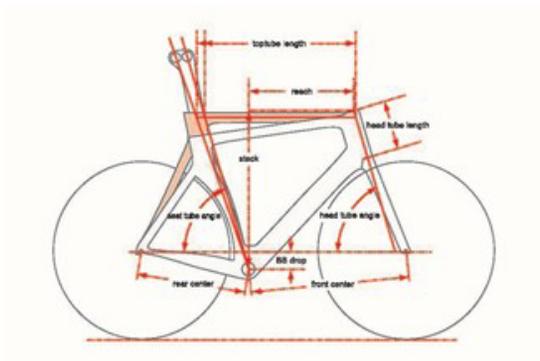


圖 5. Cervelo S5 車架幾何

#### S5 GEOMETRY

Size	46	51	54	56	58	61
Wheel Size	700c	700c	700c	700c	700c	700c
Head Tube Angle	70.5°	72.2°	73.1°	73.5°	73.5°	73.5°
BB Drop	68	68	68	68	68	68
Top Tube	516	531	548	564	581	597
Head Tube Length	114	134	154	179	205	231
Front Centre	575	577	575	587	604	620
Rear Centre	405	405	405	405	405	405
Stand Over Height	693	723	753	784	815	846
Stack	505	530	555	590	605	630
Reach	390	399	378	387	396	405
Effective Seat Tube Angle *	73.0°	73.0°	73.0°	73.0°	73.0°	73.0°

\* Two position post: front position is zero offset, rear position is 40mm offset

### 五、輪組模型

本實驗所使用的輪組模型採用 2013 年 ZIPP 404 Firecrest Carbon-Tubular (圖 6)。



圖 6. ZIPP 404 Firecrest Carbon-Tubular

ZIPP 前輪：(詳細尺寸如圖 7)

鋼絲數：16

#### Front Wheel

Weight	630g
Hub Used	88
Rim Depth	58mm
Brake Track Width (center)	25.34mm
Max Width	26.53mm
Spoke Count	16
Spoke Pattern	Radial
Spoke Length	244mm
Track Adaptable	Yes
Dimpled Surface	Yes
Ceramic Bearing	Aftermarket
External Nipples	Yes

圖 7. Zipp404 規格表

## 六、研究成果

本實驗主要在風洞內利用 Load Cell 量測車架與輪組阻力。

### (一)、車架實驗



圖 8 車架風洞實驗

#### 1. 車架邊界條件

- (1) 風速 30 mile(13.3m/s)
- (2) 車架旋轉角度

車架旋轉角度	0	5	10	15	20
--------	---	---	----	----	----

車架風洞實驗，車架阻力數據擷取如 (圖 9)

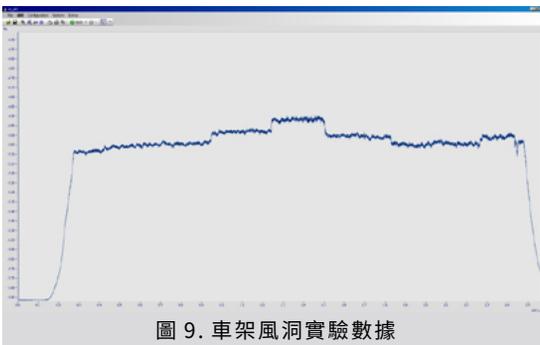


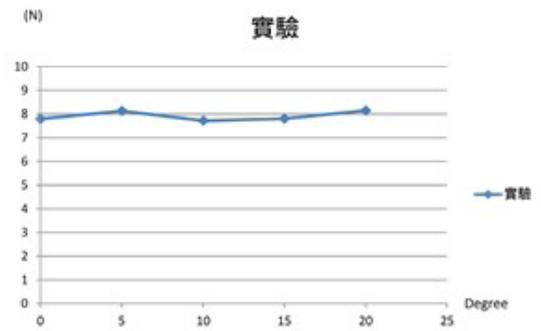
圖 9. 車架風洞實驗數據

(3) 整理表格如下：

車架旋轉角度	0	5	10	15	20
阻力值(N)	7.79124	8.12838	7.71661	7.80181	8.14452

(4) 整理圖表如下：

表 1. 車架實驗數據圖表



### (二)、輪組實驗



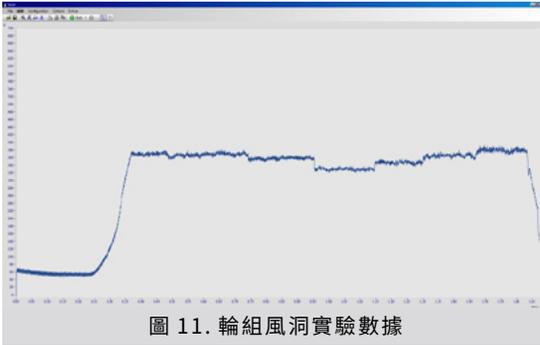
圖 10. 輪組實驗

#### 1. 輪組邊界條件

- (1) 風速 30 mile(13.3m/s)
- (2) 輪組旋轉角度 381.4 (rpm)

輪組風洞實驗，阻力數據擷取如 (圖 11)

輪組旋轉角度	0	5	10	15	20
--------	---	---	----	----	----



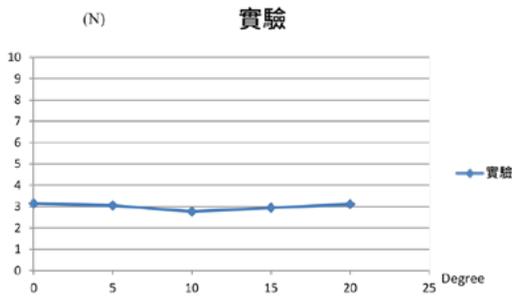
(四)、目前自行車之風洞實驗技術，最困難的地方在於治具之設計，不易忠實呈現實際裝況。例如，輪組的旋轉，需借由外部驅動力驅動，並固定其運動姿態。因需提供其穩定的狀態，治具的架設可能干擾流場，影響物件真正所受的風阻。

(3) 整理表格如下：

輪組旋轉角度	0	5	10	15	20
阻力值 (N)	3.15	3.05	2.77	2.94	3.11

(4) 整理圖表如下：

表 2. 輪組實驗數據圖表



## 七、結語

經由實驗數據比對驗證後，本研究以修正 CFD 模擬車架與輪組的空氣動力特性，的數值參數分析，我們有以下的結論：

(一)、判斷模擬失真原因：

1. 風洞洞壁和模型支架的干擾影響。
2. 風洞流場的非均勻性、湍流度和雜訊影響。

(二)、以目前之邊界條件，還有修正改善的空間，後續可再嘗試其它 turbulent model，以求 CFD 的阻力值較接近實驗值。

(三)、目前建議車架 CFD 模擬加乘 1.8 倍，輪組 CFD 模擬加乘 1.2 倍。