

寬視野低風阻省油車新設計概念之可行性分析

巫均運¹ 王嘉聖¹ 吳佩學^{1*} 楊旻洲² 胡浩瑀² 張智斐²

¹大葉大學機械與自動化工程學系

²大葉大學工業設計學系

51591 彰化縣大村鄉學府路 168 號

*pswu@mail.dyu.edu.tw

摘要

爲了減少行車風阻，以往國內外超級省油車車型皆採用細長、流線型且低車身的設計，造成駕駛視野狹隘與駕駛舒適度不佳。欲克服此問題，本研究探討高視野與舒適坐姿的油車設計概念，打造出短軸距且高車身設計之車體外型，藉由ANSYS STATIC STRUCTURAL 與 ANSYS FLUENT 等軟體，從車架結構應力與轉彎時同時受離心力與最大側風是否翻車等兩方面進行安全性分析，並與先前低車身省油車設計在直行的風阻係數方面做比較，以驗證本概念性車型的可行性，期能使省油車在未來能有不同以往的發展概念。

關鍵詞：超級省油車，高視野，風阻係數。

Feasibility Analysis of a Novel Design Concept for Supermileage Cars with Wide Vision and Low Drag

JUN-YUN WU¹, CHIA-CHIAN WANG¹, PEY-SHEY WU^{1*}, MIN-JHO YOUNG², HAO-YU HU² and CHIH-FEI CHANG²

¹Department of Mechanical and Automation Engineering, Da-Yeh University

²Department of Industrial Design, Da-Yeh University

No.168, University Rd., Dacun, Changhua 51591, Taiwan, R.O.C.

*pswu@mail.dyu.edu.tw

ABSTRACT

To reduce running resistance, the external shape of supermileage cars previously employed slender, streamlined, and low-height design concepts, resulting in a narrow field of view and low driver comfort. To overcome these problems, this study investigated a novel design concept for widening the field of view and improving drive comfort, and developed a new car shape with a short axle distance and attractive appearance. The feasibility of the proposed design was verified from the aspects of frame stress, rollover safety when subjected to the maximum crosswind and centrifugal acceleration while cornering, and by comparing the drag coefficient of the present with that of previous low-height cars while driving in a straight line. The analysis was conducted using ANSYS STATIC STRUCTURAL and ANSYS FLUENT software. The results of this study may inspire new design concepts for developing supermileage cars in the future.



Key Words: Supermileage cars, wide field of view, drag coefficient.

一、前言

超級省油車（或稱超級里程車 supermileage vehicles）製作競賽在國際上受到高度的重視，台灣自動機工程學會（SAE）每年舉辦之全國大專院校環保節能車大賽，其中的比賽項目之一 -- 燃油動力環保節能車（以下簡稱省油車），為本研究之探討對象。此種車輛系統架構可分為車身、車架、動力、傳動與底盤（懸吊和轉向），而比賽的勝負關鍵不外乎兩個大方向，減少阻力與增進引擎的燃油效率，其中阻力可劃分為內部阻力，包含傳動與結構產生的阻力，與外部阻力，包含輪胎和空氣的阻力，有鑑於此，每一項阻力具有密不可分的連帶關係，因此設計上就得綜合考量、進行取捨。

以往省油車為了能減少風阻以及風阻係數，多半將其設計成狹長的流線車型，以達到最小之前向投影面積。為了達成此種的車型設計，內部的駕駛姿態需要平躺，僅將頭部抬起。然而，因為省油車皆無避震懸吊等設計，行駛過坑洞或路上細碎震動皆會直接的傳達到駕駛體內，造成駕駛者的不適，進而使此種極度需要行駛策略車種的操控能力降低，提早對車況的掌握疲乏。另外，因為駕駛的躺姿與力求最小正面投影面積的外型設計考量，駕駛的視野往往相當狹隘，且執行行車速度策略時，車速會維持一定梯度的變化，進行比賽時，容易因狹小的視野，加減速或轉彎時無法注意到其它車輛是否過度靠近，經常造成比賽中省油車的相互擦撞。

本研究為了改善上述諸問題，以駕駛者舒適的角度出發，提出新型態的油車外型與車架形式，使省油車外型能同時兼具美觀、寬廣視野與操作流暢的空間設計，為了達到上述目的，本次研究將以往細長流線型之長車軸的車架設計進行縮短，車身抬高，同時達到減少車架重量以及捨棄不必要的多餘外殼重量，車架的設計方針，不只是本身的結構強度，還須以施工容易的結構以確保加工的精度，同時維持輪胎定位的平行度，以達到減少行車阻力之效果。

將車軸減短、車身抬高以改善駕駛姿態的設計必須進行可行性的分析。本設計概念首先須確保車架結構應力以及車身承受側風與轉彎離心力時均無安全上的疑慮，並且需要確保新車型設計在正向行駛時仍然可以維持低風阻的特性。因此，本研究主要分成車架結構應力、轉彎時同時受最大側風而翻車的安全性以及直行的風阻係數等三方面作探討。茲將

相關文獻回顧如下。

由於本新型態省油車車體重心比一般省油車來的高，故是否會受到強大側風與轉彎離心力而翻覆需特別考量。現今一般市售車所搭載之車輛動態穩定系統（ESC）是以抑制車輛動態為主軸，而ARTC李明鴻等人[1]所提出的車輛翻覆早期預防安全系統，乃是藉由影像裝置來偵測車道曲率搭配加速規等感測器來取得翻覆角與側向加速度，來達到防止車輛翻覆之功能。在省油車競賽之中，除了致力增加引擎本體的燃燒效率，另外行車阻力對油耗的也是不容小看的一點，在ARTC顧詠元等人[3]所提出重型商用車輛行駛阻力對能耗影響之研究中有詳細對於商用車輛行車阻力的分析，而其中速度上升所造成的油耗影響呈現指數關係，由此得知，省油車競賽中行車速度的掌控是絕不可忽略的一環。在CFD模擬的相關研究中，Bayraktar and Bayraktar [5]以簡化的Ahmed body車輛模型的背後傾角（backlight angle）採25度，以三維數值模擬，在不同的RANS（Reynolds averaged Navier-Stokes）方程式的紊流模型下與實驗比較阻力的相符性，結果顯示正向阻力係數Cd的誤差 $k-\omega$ 紊流模型為0.7%、 $k-\epsilon$ 為3%，升力係數的誤差 $k-\epsilon$ 為1.5%。國外省油車外型相關研究中，文獻[10]的團隊利用ANSYS Fluent的套裝商業軟體，以穩態假設，紊流數學模組選擇 $k-\epsilon$ ，以2-D模擬探討傳統流線型的水滴狀機翼外型與以平面機翼尾段的Kamm-tail的阻力係數決定車輛外型，並指出需要能適當的提高車體離地面的高度，能有效減少下壓力，同時減低輪胎對地面的摩擦阻力。Lopes and Carvalheira[8]利用數值模擬分析，壓力與速度連結採SIMPLEC的計算方法，紊流模組以low-Reynolds number $k-\omega$ ，對兩款15th Shell Eco-Marathon contest 1999的長軸車架的車殼，探討車體的壓力分佈與阻力係數，結果顯示將車頭抬高有效減少下壓力，但同時會增加阻力，也就是減少車底與地面間的流體加速度。在真實車輛模型對空氣阻力的影響方面，Daryakenari et al.[6]利用Catia建立幾何模型、OpenFoam的CFD軟體，以四面體網格， $k-\omega$ SST的紊流模型，探討簡易的Ahmed Body中的Slant angle 30度與實際的1比4的轎車模型在不同的側壁角（side wall angle）變化下對空氣阻力的影響，結果顯示Cd會隨側壁角增加而減少，他們提到阻力主要是有車體前頭的高壓力分佈所造成的，若能在車體背後增加壓力將有助於產生推力、降



低阻力。Guilmineau[7]以CNRS and Ecole Centrale de Nantes所發展的ISIS-CFD對fastback和光滑底盤的DrivAer模型做分析，採EARSM (Explicit Algebraic Reynolds Stress)與DES (Detached Eddy Simulation)的兩種紊流模組，均勻進口流速為40m/s，雷諾數(Re)為 4.87×10^6 ，網格式樣有兩種：mesh 1 含有牆壁函數(wall function)，網格總數為1,930萬，車體的面網格數量270萬，平均的 y^+ 為6.2；mesh 2採用低雷諾數紊流模型，網格總數為3870萬，車體的面網格數量290萬，平均的 y^+ 為0.3，經過適切性的網格精化數量成2,500與4,500萬，結果顯示Cd的預測都相當符合，但升力係數只有DES較為接近，作者解釋是因為DES與RANS的尾流大不相同所造成之。Marklund et al.[9]在車底擾流的設計中，以FLUNT模擬Saab9-2二箱及三箱型車種裝置不同角度之擴散器以及前後車輪蓋之外流場，其車型模擬真實車輛之底盤，加入引擎室與排氣管於底盤中，且使其輪胎以旋轉座標法模擬真實情況，並實驗不同角度之擴散器以減低風阻係數並同時減少車後紊流的產生。

二、探討之問題

(一) 車架應力設計可行性分析

本研究因車架設定車軸縮短，引擎與傳動系統、油路等必須重新做配置，情況與以往平輪式省油車大不相同，但行車阻力之中，車重與行車阻力成正比關係[3]，故須在結構強度與輕量化之間取得平衡，因此需重新進行車架的應力分析。

(二) 最大側風翻覆安全性分析

因省油車前後車軸軸距減小，駕駛姿態抬高，整體重心比平輪式設計升高甚多，故在車輛轉彎時，如果同時受到強大側風的作用，是否會產生翻覆的問題值得探討。由氣象資料得知比賽場地平均風速約30 km/hr，本研究考慮車輛側面直接接受瞬間側風最大風速40 km/hr之情形，利用CFD模擬以預估翻滾力矩，驗證承受最大側風並有過彎離心力一起作用的最惡劣狀況之安全性。

(三) 驗證低風阻特性

在不同的進口均勻流速分別為8、16、24、32、40 km/hr變化下，比較所分析的寬視野車型與以往分析出的低視野設計([4]與[2])的正向風阻係數(或阻力)對雷諾數(或行駛速度)的曲線，以驗證寬視野的車殼設計是否可維持低風阻的特性。

三、車架應力設計可行性分析

以往省油車車架為了維持低正面投影面積，使風阻係數減少，會將前後軸長度拉至2公尺長(圖1)，讓外型呈現如水滴的流線型車身。但由於省油車在進行競賽時，時速鮮少超過40km/hr。故風阻占整體行駛阻力的比例並不如想像中的來的高。故為了減少整體車重與增進駕駛者的駕駛舒適性，此次構思出的概念性車架設計(圖2)，此車架規格係由經測量環保車賽事車手四肢長度以及肩寬等因人因資料而量身設計打造而成。預估車軸長度僅有1030 mm，左右輪距640 mm，單車架重量1.5kg為在CAD軟體上完成整車繪製後，添加材料特性後估算而得。

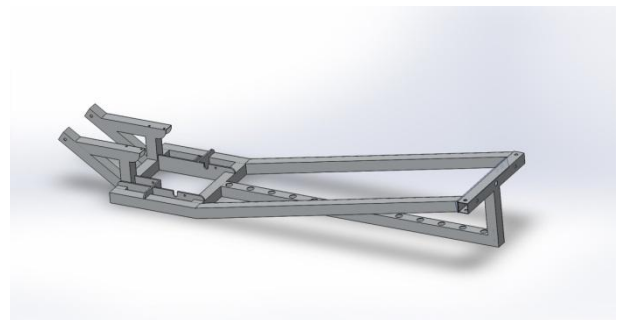


圖 1. 細長型長車軸省油車車架



圖 2. 初步新概念車架

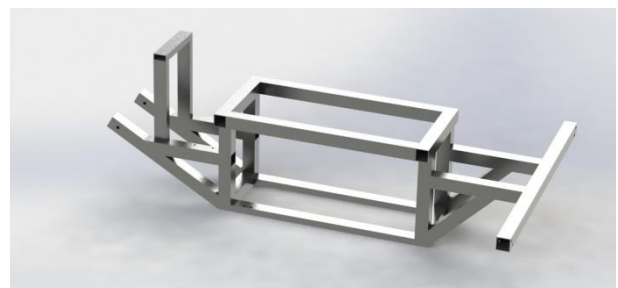


圖 3. 最終成型車架



在此車架設計完成之初，因周邊配置以及引擎放置位置與固定方式等因素進行改良進成實際採用車架如圖 3。車架尺寸如圖 4(前視圖)、圖 5(側視圖)，總長度 1289.48 mm，前後軸軸距 1235 mm，左右輪距依據車輛翻覆安全性分析作適當調整，實際車架重量約為 4.5 kg。

在完成車架定稿後，以 ANSYS STATIC STRUCTUAL 進行有限元素分析。找出此次車架之應力集中處弱點處並改善。而使用之車架為鋁管材 AL-6065 之材料(表 1)。以前輪輪距 800mm 為例，車架分析網格數約為 23 萬，以非結構性網格建立如圖 6。

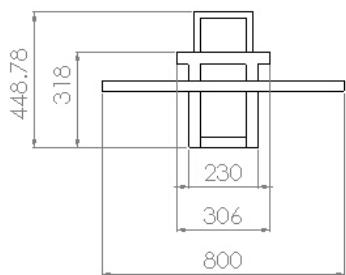


圖 4. 車架前視圖尺寸(單位: mm)

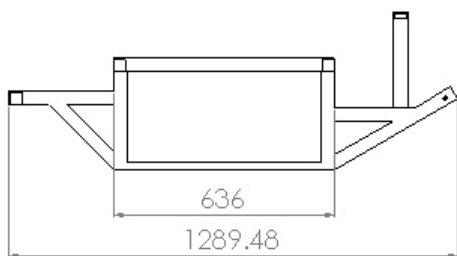


圖 5. 車架側視圖尺寸(單位: mm)

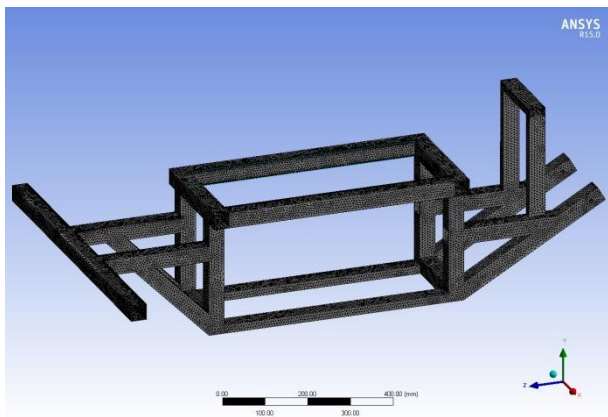


圖 6. 整體的車架網格顯示

表 1. AL6061-T6材料性質表

密度 (kg / m ³)	2703
楊氏模數 (Pa)	7.1e+10
波松比	0.33
張力降伏強度 (Pa)	2.76e+8
壓力降伏強度 (Pa)	6.017e+8

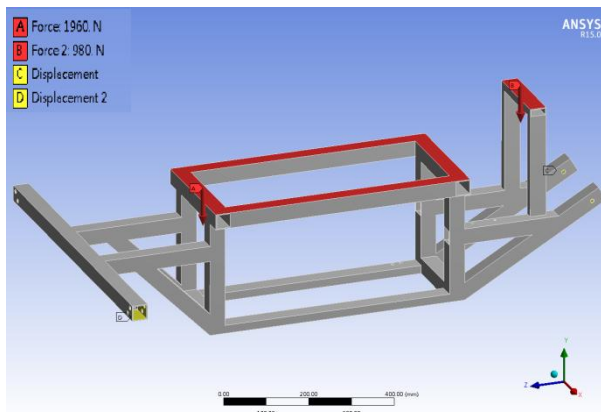


圖 7. 車架應力分析邊界條件

假設整台車以特定區域施壓 200kg 進行模擬，作用力係經一般環保車以往車重最多 60kg 加上車手重量 60kg 共 120kg。而環保車賽事路面大多為平面道路，鮮少有凹凸坑洞，根據以往經驗，安全係數至少取 1.3 即可，本研究取安全係數 1.66 乘上 120kg 得 200kg 做為作用力。邊界條件設定如圖 7，而固定點面積如圖中標示的 C、D 位置因實際製作時會塞入橡膠塊以避免應力集中，故內部設有一定面積當作固定點，而受力區域如圖中 A、B 之區域，此為駕駛者體重主要分布區域，本研究 A、B 兩區採 2:1 的力量大小比例並以均勻分布力作為分析條件。

四、氣動力之 CFD 模擬

車殼外型的氣動力分析方面，以計算流體力學 (CFD) 的商業型套裝軟體 ANSYS Fluent 為分析工具，探討問題為驗證寬視野車殼設計承受側風的速度場與壓力場，以及直行風阻的計算。在側風安全性的部分，將 CFD 計算結果的翻覆力矩加上車輛轉彎的離心力矩，並與重力提供的回正力矩做比較，以判定其安全性。在直行風阻的部分則比較本研究高車身設計與以往低車身設計在相同風速下的阻力係數與阻力，以確保本研究新設計概念仍能維持低風阻特性。



計算區域為矩形體，以省油車的長（L）、寬（W）、高（H）為基準，承受側風安全性之模擬區域的長寬高分別為 $8L+W$ 、 $5L$ 、 $6H$ ，車體側邊距離進口為 $2L$ ，車體採側擺的方式（圖8）；正向行駛時的氣動力的模擬的計算區域長寬高則分別為 $8L$ 、 $9W$ 、 $6H$ ，車體離進口距離為 $2L$ 。

邊界條件的假設如下，進口為均勻流速最高達40 km/hr，側面及上壁面設為對稱條件（symmetry）；在直行風阻分析上，由於車子在行進時會與地面做相對運動，因此地面的條件設為運動壁的邊界條件，其運動速度與方向和進口的設置相同，但在側風分析時，則假設最極端之狀況，將車輛側擺無側向速度下，直接遭受側風影響，則地面設定為停滯壁（Stationary Wall）；出口為壓力出口（pressure outlet），車體設為固體牆壁（wall）。

（一）幾何模型

新設計概念的高視野車型為大葉大學2014年的22屆的B隊比賽車，以下簡稱Car 22B（圖9），也是本研究分析的對向。依據最終分析修改完成的車架為基礎，車體設計理念，主要來自於水上高速行駛的快艇，剛強的外型與明確的視野辨識位置，除了將車殼側視最高點視為車手頭部位置點，使車手的視野變寬廣，另外將堅不可摧之意象融入於車殼中，為了不使車殼看起來笨重，側視車型的最長曲線，由下往上的流線性使車型分為兩個視覺印象，使其上方的車殼扇形部分保護下車身，並用其理念來表達剛強的感覺，而車體中間部分，採用魚形，降低車行駛時的風阻，車體兩側則是加入碟形的元素，表現車型的現代科技感。

為了瞭解新概念外型設計在提高車身後對於風阻的影響，本文的正向行駛風阻係數的研究以先前兩款低視野車型作為比較，圖10為國內第十七屆環保節能車大賽的參賽車之一（Landmark），以下稱為Car 17[2]，圖11則為第二十屆的比賽車[4]，以下簡稱Car 20。表二為車殼模型的幾何參數。Car 17與Car 20為低車身的傳統設計，由於整車重新低，在側風風速時速40公里內基本上不會有翻覆的問題，因此，本文只作為前向行駛風阻係數與風阻的比較之用。

表2. 車殼的幾何模型參數

	長度L (m)	高度H (m)	寬度W (m)	正向投影面積A (m ²)	側投影面積A _{side} (m ²)
Car 22B	2.11	0.814	0.47	0.302	1.07
Car 17	2.78	0.805	0.61	0.691	
Car 20	3.335	0.704	0.87	0.403	

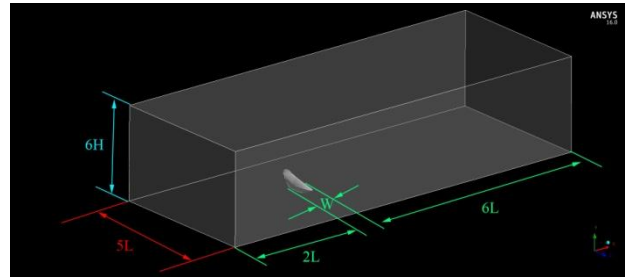


圖 8.側風模擬的計算區域

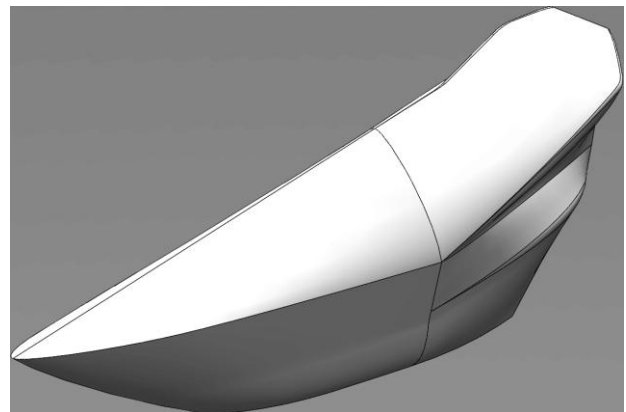


圖9. Car 22B的CAD模型

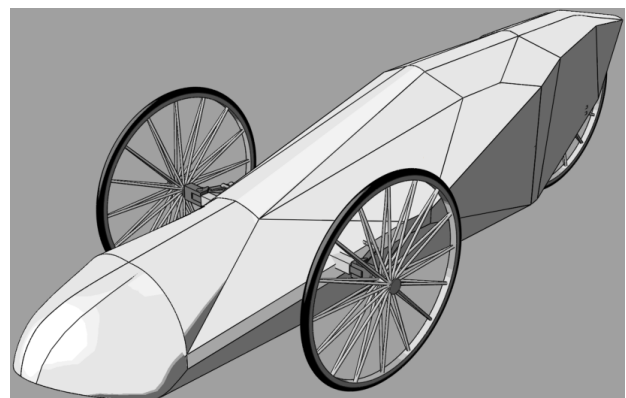


圖10. Car 17為第十七屆的比賽車[2]

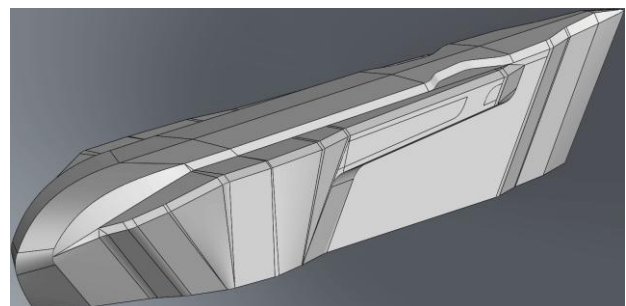


圖11. Car 20為第二十屆比賽車[4]



(二) 網格劃分

網格劃分由ANSYS ICEM建置，採混合式網格，由於車殼外型複雜，為了減低網格數量過多導致硬體效能的浪費以及因網格歪斜度過高產生計算發散的現象，因此，本模擬將車殼附近的計算區域個別劃分出來以不同形式網格進行劃分，為了確保所使用的網格不影響計算結果，以Car 22B在車速40 km/hr下改變離車體表面第一層網格距離做為網格測試的依據，其結果為圖12所示，當第一層網格距離由0.1mm變化到0.05mm的同時，網格數量由150萬變到160萬，所計算出的Cd值相差0.32%。另外為了要求謹慎，固定第一層網格距離為0.1mm之下，改變車體表面的網格尺寸由最初的25mm變化到20mm和17.5mm，結果都顯示出Cd值變化小於0.5%。

經由網格相依性測試結果決定出網格數量，在車殼表面與附近的流場以四面體 (tetrahedron) 網格，尺寸平均為25mm作劃分，在車體表面建立20層的棱柱層 (prism layer) 的網格，離第一點的隔點距離為0.1mm，而車殼附近外則以結構性的網格劃分，並採漸擴式的比例拉伸，拉伸尺寸範圍為50~500mm。側風模擬渦旋結構較複雜，網格總數量控制在約220萬，如圖13與14，正向風阻則控制在約150萬，由計算結果得出本研究所計算出無因次的牆壁座標皆為 $y^+ < 2$ ，因此近壁面的數學模型皆採用Enhanced wall Treatment。

(三) 數值方法

在 ANSYS Fluent 的問題假設，以三維模擬，工質空氣為定常性質，流體為不可壓縮，採穩態假設，統御方程式以雷諾平均納維爾 - 史托克斯 (Reynolds-averaged Navier-Stokes) 方程式的直角坐標張量 (Cartesian tensor) 表示式如下：

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_l}{\partial x_l} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{u_i' u_j'}) \tag{2}$$

其中 i 和 j 為張量下標 ($i=1,2,3$ 和 $j=1,2,3$)， $-\rho \overline{u_i' u_j'}$ 為雷諾應力 (Reynolds stresses)，本研究紊流計算的數學模組選用 standard $k-\epsilon$ 。

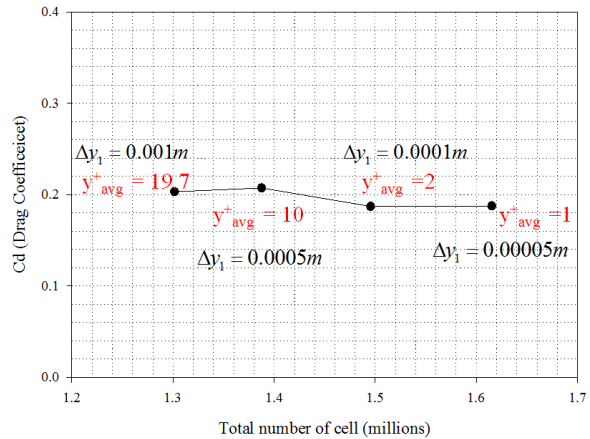


圖12. 網格相依性測試

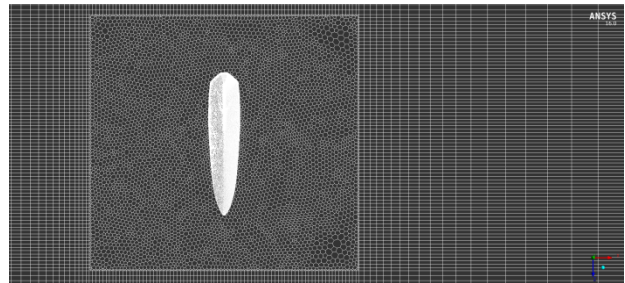


圖13. 局部的網格顯示

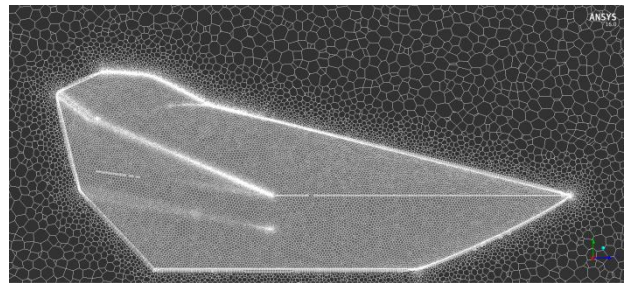


圖14. 中心截面的網格

本研究氣動力之計算採用基於有限體積法的套裝 CFD 軟體 ANSYS Fluent 15.0，在求解設定上，壓力與速度耦合採用 SIMPLEC scheme，動量方程式和紊流方程式的 k 與 epsilon 皆採用二階上風法 (second order upwind)，變數的殘值收斂標準為 $10E-4$ 。

五、結果與討論

(一) 應力分析

依據前述之應力分析設定，執行計算後得到本次車架的安全係數最低處為1.36，發生在車架桿件接合處(圖15)，



此區域由於焊接車架時，此處會有焊料補足，故在實際上只要焊接品質良好就無安全之疑慮。

(二) 最大側風安全性氣動力驗證

本文探討的 Car 22B 承受最高側風 40km/hr 的迎風面壓力場如圖 16 所示。由於車身下半部的表面與風向呈比較垂直的角度，導致流體在車身迎風側面的停滯現象比較明顯，該區域呈現高壓的分布。車身上半部則比較傾斜，不會造成大的停滯壓。整體的壓力分布顯示主要側風對於車子的推力主要集中在車身的下半部，減小了翻覆車輛的作用力臂。因此，本車型設計不至於造成太大的側風翻覆力矩。

側風經過車身後，每間隔 2m 的截面速度場如圖 17 所示。高停滯壓區域的流體到達車身邊緣時產生分離現象，造成下游的渦旋。由於高停滯壓的區域面積甚大，側風所造成的下游渦流範圍也很大，而且尾流可以持續一段長的距離才消散（圖 18）。圖 17 也顯示在車頭尖處產生了另一個較小的渦旋，此渦旋的形成乃由於車身下半部高壓流體與上半部低壓流體在尖頭處會合後脫離車身時所產生，有如機翼的翼端渦流現象。

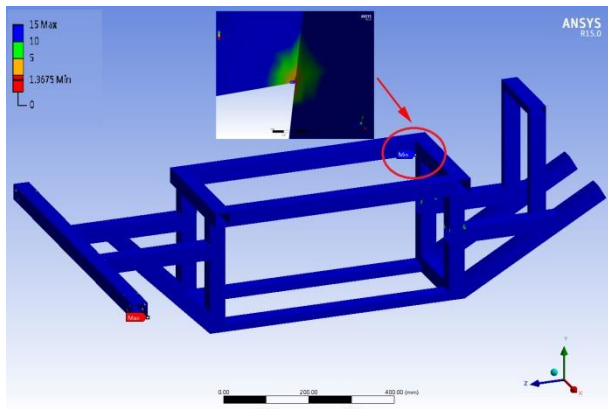


圖 15. 安全係數

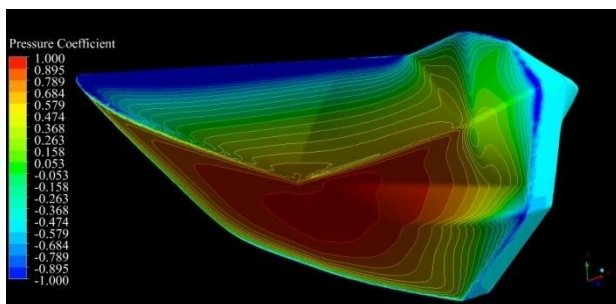


圖 16. Car 22B 承受側風 40km/hr 的迎風面壓力場

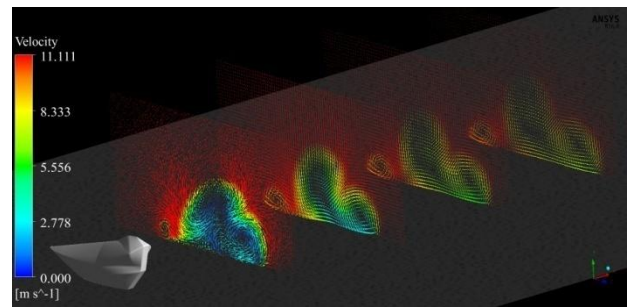


圖 17. Car 22B 側風流過之截面速度場 (間隔 2m)

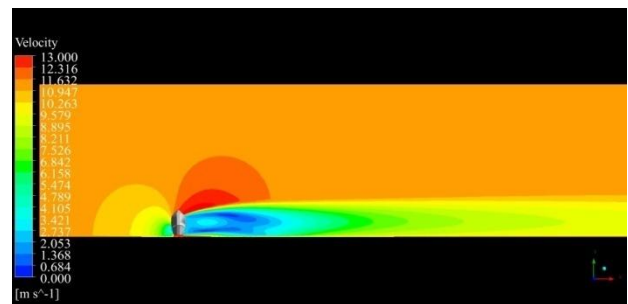


圖 18. 車長一半處的截面速度場

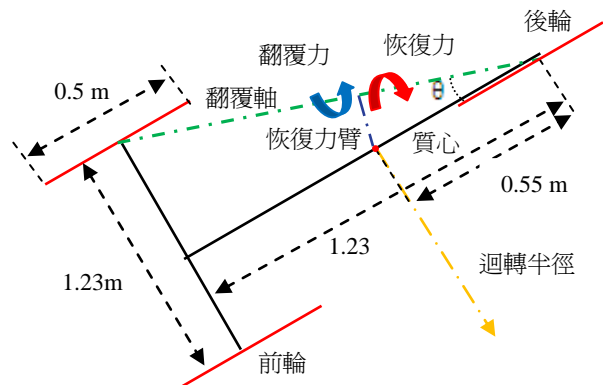


圖 19. 翻覆力矩計算示意圖 (無按比例)

在省油車過彎時會產生離心力，此離心力與側風造成的推力會形成車輛的翻覆力矩，忽略輪胎變形與後傾角變化，這些翻覆力矩必須由車體重量形成的恢復力矩（或回正力矩）克服之。若翻覆力矩大於車體重量形成之恢復力矩，則車輛有翻覆之可能。省油車的比賽賽道乃環型賽道，在轉彎處的迴轉半徑為 25 公尺，此外，環保車大賽大會規定比賽車手體重限定至少 60 公斤，而歷年省油車總車重約落在 40-55 公斤之間，因此將車重設在 120 公斤條件下計算。

車體恢復力矩與翻覆力矩之計算如圖 19 所示。翻覆軸為一前輪與後輪之連線。恢復力矩為車體（含駕駛）重量乘以恢復力臂。車體過彎的翻覆力矩為質心高度與質量乘積再



乘上速度平方，再除以迴轉半徑；側風的翻覆力矩則以壓力合力作用在壓力中心對於翻覆軸的力矩做計算。本研究的實車計算結果如表 3，其中翻覆力矩為翻滾力矩加上 CFD 所分析出的側風力矩。結果顯示，即使側風到達 40km/hr 時回正力矩依然大於翻覆力矩，證實設計無翻覆之疑慮。

(三) 正向風阻

圖20顯示本研究新設計概念寬視野車型 (Car 22B) 與兩種傳統低視野車型設計 (Car 17 [2] 與Car 20 [4]) 的正向行駛的阻力係數Cd (Drag coefficient) 對雷諾數 (以車長為特性常) 的變化曲線，其中由於車長不統一，在相同行駛速度下所對應的雷諾數座標不相同。結果顯示，寬視野、高車身的外型在車速變化時，阻力係數的變化較小。Car 22B 的阻力係數遠低於Car 17，跟Car 22B和Car 20的曲線接近且有相交的情形。阻力係數Cd的定義為

$$C_d = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho V^2 A} \quad (3)$$

其中 F_D 為阻力， A 為車身正向投影面積，由表1的正向投影面積數據與 (3) 式可知，將圖17轉換成 F_D (阻力) 對行駛速度作圖時，結果如圖21，該圖顯示本研究提出的寬視野、高車身設計的車型事實上擁有最小的阻力 (F_D)。由此可見，只要車殼外型設計得適當，寬視野、高車身的外型也能達到低風阻的特性。

六、結論

本文探討省油車拉高車身使駕駛者有較佳視野與較舒適坐姿的外型新設計概念，由車架結構與氣動力的分析來探討新設計概念的可行性。本研究所建立的寬視野、高車身省油車，分析結果可得以下結論：

- (一) 本研究縮短車長之車架結構可以安全的承受負載，然而必須注意車架桿件接合處的焊接品質與可靠性。
- (二) 在最大側風與過彎離心力同時作用下可能造成車輛翻覆的問題，分析結果證實並無安全上的疑慮。本研究的寬視野車型整體的壓力分布顯示主要側風的推力集中在車身的下半部，減小了翻覆車輛的作用力臂，不至於造成太大側風翻覆力矩。
- (三) 與以往低車身、窄視野的車型比較，本研究的高車身、寬視野車型設計實際上擁有最小的空氣阻力。本研究

結果證實了以往以低車身來減小風阻的做法並非必要，事實上，只要車殼外型設計得適當，高視野的外型也能達到低風阻的特性。

表 3. 過彎與側風齊作用之翻覆可能性分析

行駛速度 $V(m/s)$	24	32	40
側風合力 $F_p(N)$	19.34	33.96	52.77
壓力中心高度 $y_{cp}(m)$	0.3685	0.3680	0.3676
翻滾力矩 $M_{CG}(N \cdot m)$	75.73	134.64	210.37
側風力矩 $M_{SW}(N \cdot m)$	7.1	12.5	19.4
翻覆力矩 $M_f(N \cdot m)$	82.83	147.14	229.77
恢復力矩 $M_r(N \cdot m)$	289.6		

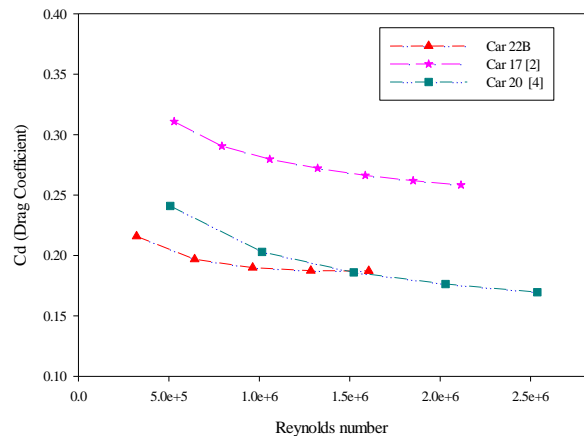


圖20. 寬視野與低視野的正向行駛阻力係數比較

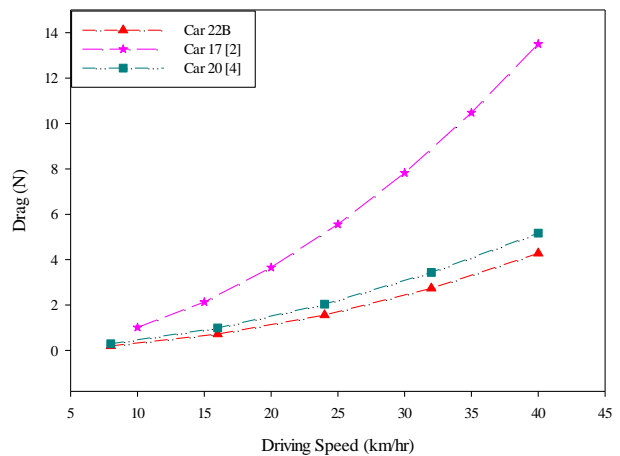


圖21. 寬視野與低視野的正向行駛阻力比較



誌謝

本論文為大葉大學之專案計畫，編號ORD-102047，由於大葉大學的支持，使本計畫得以順利進行，特此致上感謝之意。

參考文獻

1. 李明鴻、姚啓駿、徐錦衍、廖育昇、黃世杰、張光仁（民 101），車輛翻覆即時警示系統之開發研究，中國機械工程學會第二十九屆全國學術研討會，高雄。
2. 黃鈺、陳政宇、李沛頡、李國鼎、楊昀諭、趙晏泰、張哲豪、黃俊穎、劉楷捷、李政昌（民 98），中華民國第十七屆全國大專院校環保節能車大賽完工報告書--黑色風暴，大葉大學機械與自動化工程學系及工業設計學系，彰化。
3. 顧詠元、林克衛、許龍興、陳銘旭（民 100），重型商用車輛行駛阻力對能耗影響之研究，中華民國第十六屆車輛工程學術研討會，台北。
4. 蕭守志、蔣竣宇、詹小瑩、蕭又升、洪新洲、廖堂博、陳聖文、許睿達（民 101），中華民國第二十屆全國大專院校環保節能車大賽完工報告書--Team Killer Whale，大葉大學機械與自動化工程學系及工業設計學系，彰化。
5. Bayraktar, I. and T. Bayraktar (2006) Assessment of reynolds averaged turbulence models in predicting structure behind a generic automobile body. *SAE Technical Paper Series* 2006-01-0139.
6. Daryakenari, B., S. Abdullah and R. Zulkifli (2013) Reducing vehicle drag force through a tapered rear side wall. *SAE International Journal of Commerical. Vehicles.*, 6(2), 582-588.
7. Guilmineau, E. (2014) Numerical simulations of flow around a realistic generic car model. *SAE International Journal of Passenger Cars-Mechanical Systems.*, 7(2), 646-653.
8. Lopes, A. M. G. and P. Carvalheira (2000) Numerical aerodynamics optimization of a low fuel consumption car body shape. *SAE Technical Paper Series* 2000-01-0492.
9. Marklund, J., L. Lofdahl,, H. Danielsson and G. Olsson (2013) Performance of an automotive under-body diffuser applied to a sedan and a wagon vehicle. *SAE International Journal of Passenger Cars-Mechanical Systems*, 6(1), 293-307.
10. Mizell, D. (2011) *SAE Supermileage Competition Design Report*, Michigan Technological University, Houghton, MI.

收件：104.04.13 修正：104.05.18 接受：104.06.27

