

貨車導風板對風阻及油耗之影響

關鍵字：

導風板 (Air deflector)

風阻係數 (Drag coefficient)

油耗 (Fuel consumption)

風洞 (Wind tunnel)

計算流體力學 (Computational Fluid Dynamics 簡稱 CFD)

一、前言

在交通發達貿易繁榮的今天，貨車在貨物運送功能上扮演相當重要之角色。依據交通部統計資料顯示，去年(民國 90 年)我國高雄港與基隆港海運裝卸貨櫃分別為 743 萬個及 196 萬個，中正機場空運裝卸貨 121 萬公噸，而銜接陸運主要交通工具為行駛於高速公路之貨櫃曳引車及箱式大貨車。

為了裝載較多之貨物，柴油貨車之體積都相當龐大，且外形為方正之長方體，當高速行駛時必產生極大之空氣阻力，進而影響耗能。據估算一部大貨車每年行駛的路程約為 160,000 公里，消耗 40,000 公升之燃料，因此可見在貨車數量眾多的我國每年消耗之燃料相當可觀，假如能夠採取有效且容易達成之省能措施，例如於大貨車加裝導風板可減少風阻節省燃料，對經濟將有重大貢獻。

二、車輛運動之力學基本原理

根據牛頓運動定律，車輛在公路行駛時之運動方程式如式(1)所示：

$$F_T = D + R + m \frac{dV}{dt} + mg \sin \alpha \quad (1)$$

其中， F_T 為引擎牽引力量； D 為空氣阻力； R 為輪胎滾動阻力； m 為車體質量； V 為車輛行駛速度； g 為重力加速度； α 為路面傾斜角度； $m \frac{dV}{dt}$ 又稱為加速阻力 (Acceleration resistance)； $mg \sin \alpha$ 又稱為爬坡阻力 (Climbing resistance)。

(一)、空氣阻力與風阻係數

1. 空氣阻力

空氣阻力 (Drag: D) 是車輛行駛時空氣阻止其向前方運動之力量，空氣阻力包含磨擦阻力 (Friction drag: D_f) 及面壓阻力 (Pressure drag: D_p) 兩種，即 $D = D_f + D_p$ 。此兩種阻力之意義如下所示：

(1) . 磨擦阻力

當空氣流過車輛時，由於空氣黏滯性的影響，在車輛表面將形成剪應力 (Shear stress)，並衍生磨擦阻力。

(2) . 面壓阻力

當空氣流向車輛時，在空氣正面吹向車輛之處將形成面壓阻力。

2. 風阻係數

車輛行駛時所造成之空氣阻力 D 如下式所示：

$$D = C_D A \frac{\rho}{2} V^2 \quad (2)$$

即風阻係數 (Drag coefficient: C_D) 為：

$$C_D = \frac{D}{\frac{\rho}{2} V^2 A} \quad (3)$$

其中， ρ 為空氣密度； V 為車輛行駛速度； A 為車輛投影在行駛

方向垂直面之面積(即投影面積)； $\frac{\rho}{2}v^2$ 為車輛上游空氣之動壓。

(二)、 阻力與油耗之關係

1979年國外的研究報告〔1〕指出，40噸的貨車在很低的車速行駛於山路時，2.5%的油耗(Fuel consumption)用來克服風阻，25%的油耗用來克服輪胎滾動阻力，其餘的72.5%用來克服增減速及爬坡之阻力。在平均速度57km/h行駛於公路時，10%的油耗用來克服風阻，32%的油耗用來克服輪胎滾動阻力，其餘的58%用來克服增減速及爬坡之阻力。在平均速度72km/h行駛於平坦路面時，35%的油耗用來克服風阻，65%的油耗用來克服輪胎滾動阻力。

上述貨車之風阻降低量及油耗關係隨行駛路況的不同而有所差異；在崎嶇不平的路面，風阻降低量35%時，油耗節省1%；在一般公路，風阻降低量35%時，油耗節省2.2%；在水平路面定速行駛時，風阻降低量35%時，油耗節省可高到12%。

三、 車輛風阻與油耗測試

一般的貨車，其外型多為直角方型，且正面投影面積很大，故產生很高之空氣阻力，若外型能加以設計或適當的安裝導風板，引導空氣流向，將大大地降低風阻。進行這方面的研究，通常採用風洞(Wind tunnel)測試、電腦模擬分析、及實車測試等三種，茲分述如下：

(一)、 風洞測試

早期電腦不像今天般進步，那時車輛之風阻係數幾乎都是在風洞中測試而獲得，雖然說利用整部車輛在風洞中進行實驗可得到最真實的風阻係數，但是花費太大，因為須要很大的風洞及空氣動力源，以目前世界上最大的風洞都很難測到小貨車或小巴士之1:1模型，如40

噸大貨車就無法進行 1:1 模型測試，故通常是利用縮小模型作實驗，採用縮小模型必須注意幾何外型及流體力學（即雷諾數）之相似性。美國 SAE J1252（12）介紹了貨車風洞測試方法，其中對風洞測試段與測試車輛模型大小均提供建議值。例如：模型正面之投影面積不能超過風洞測試段面積的 5%，模型高度不能超過風洞測試段高度的 30%，模型前端至少要有兩倍模型長度之距離，模型後端至少要有四倍至六倍模型長度之距離，測試段內部之空氣流速不要大於 92m/s，以避免馬赫數接近 1 時之空氣壓縮效應等等。

利用風洞量測風阻係數之前，可先在風洞中使用煙霧進行流體流動特性之流場觀測，以瞭解空氣流過車輛時穩順或擾亂之部位與程度。圖 8(上)是煙霧由車頭平行流向車尾之照片，圖 8(下)是煙霧以 30 度角度流向車輛之照片，原本平順的流體流向卡車時，會沿著車輛外型移動，在車頭與貨櫃車箱之頂部（與自由流體平行之水平方向），邊界層逐漸成長；在整體流場之中，車頭與貨櫃車箱之間的空隙，流場最混亂。由此可推斷，車頭與貨櫃車箱之間的距離(s)，以及車頭頂端與貨櫃車箱頂端之高度差(h)，是影響流場與空氣阻力的兩大因素，如圖 2 所示。

風洞測試常使用之儀器有五種：(1)力量(Force)或力矩(Moment)量測儀器：置於風洞內部之車輛模型可利用支撐台或吊線(如圖 3 所示)固定在風洞測試段中，再利用荷重單元(Load cell)或應力計(Strain gauge)量測車輛承受之力量或力矩。圖 4 標示了安裝導風板之貨車行駛途中所受到之三個力量與三個力矩。(2)投影面積量測儀器：用來量測車輛正面之投影面積，儀器有雷射光源、X-Y 位移平台、及投影平面。(3)風速計：用來量測流過車輛之空氣速度，儀器有葉輪式風速計(Vane anemometer)、熱線風速計(Hot-wire anemometer)、或雷射測速儀(Laser-Doppler anemometer)。(4)風向計：用來量測流過車輛之

氣流方向，儀器有多孔皮氏管。(5)溫度計：用來量測測試段之空氣溫度。圖 5 是韓國現代汽車公司 2001 年建造完成的風洞，它屬於閉迴路 Goettigen 型式，測試段面積為 28m^2 ，最大空氣流速為 55.6m/s ，它可測試 1:1 小客車之風阻與噪音，因此用到很大之空氣動力源，其中風扇規格為外徑 8.4m ，流量 $1560\text{m}^3/\text{s}$ ，風壓 1420Pa ，驅動馬力為 $2,550\text{kW}$ ，如圖 6 所示。

(二)、電腦模擬分析

為了符合客戶求新求變的需求同時擁有產品競爭性，今日的汽車製造廠必須不斷的開發較低價位、較安全、及駕駛舒適性的車輛，以立足於市場上。新車型的開發若依據傳統的風洞測試與實車測試，則時程相當久，如此往往會喪失市場先機。今天由於電腦及流體力學理論的進步，使得利用計算流體力學(Computational Fluid Dynamics 簡稱 CFD)以設計性能優異之車輛外型已成為車輛業界產品開發必備的工具。經驗證實，它有逐漸取代風洞測試的趨勢。誠如德國的 CFD 專家 Ahmed 博士所說，『風洞』與『計算流體力學』都屬於流場模擬工具，風洞是類比模擬工具(Analog simulator)，計算流體力學是數位(Digital)模擬工具；兩者各有特性，同時使用具有互補功效。今日借助多次風洞測試之車型開發工作，可能會被將來的「先利用多次電腦 CFD 分析，最後再進行風洞測試，以驗證分析結果」研發方式所取代。

計算流體力學是借助電腦來模擬流體運動的一門學問，它結合了流體力學、電腦科技、數值分析、及數學方法。近幾年來，由於電腦的進步以及 CFD 技術成熟，市面上已有許多商用軟體可用來分析流過車輛之外流場，例如：CFX FIDAR Fluent、STAR-CD TASCflow UNIC..... 等等。一般商用 CFD 軟體都包含有下列三部份：

(1) 前處理部份，即網格建立(Grid generation)：主要是建立物

體幾何外型的網格分佈。網格優劣與否會影響計算時間及計算結果，由於車輛外型複雜，故通常利用複合區塊(Multiblock)方法將整個模型區分為數個小區域，不同區域其網格疏密度也可以不同。一般的網格構建流程有五：(a)選取合適的計算區域，(b)將整個模型分為數個小區域，(c)依據邊界條件適當調整小區域之邊界網格，(d)建構網格，(e)將網格平順化，利用視覺將不合適的網格加以調整；如圖 7 所示。

(2) 計算核心(Solution)：主要是訂定邊界條件(Boundary condition)並利用數值方法求解統御方程式(Governing equation)。一般而言，高速行駛之車輛外界氣流相當紊亂，其雷諾數超過 10^6 ，此時求解的方程式包含連續方程式、動量方程式、及能量方程式，並配合紊流模式(Turbulence model)。

(3) 後處理部份：將計算結果(如流場分佈、壓力分佈等)繪成圖形，此項工作可利用市售軟體(如 Tecplot)繪製。

CFD 分析對於「車輛外型改變會如何影響流場」之判斷相當有幫助，當利用它來計算風阻係數時必須借助較合理的邊界條件才能得到較準確的答案；因此若先有 CFD 分析結果，將有助於風洞測試的「測試前規劃工作、測試過程中的狀況判斷、及測試後之結果驗證」，如此將提高風洞測試之功效。

(三)、實車測試

前面描述的風洞測試與電腦模擬分析，可得到車輛有否安裝導風板之風阻係數的差異，以及不同的導風板對車輛風阻之影響；至於導風板與車輛油耗之關係，就必須借助實車測試才能獲得解答。

實車測試是將「未安裝導風板之車輛」與「安裝導風板之車輛」在特定的道路上實際行駛進行測試，分別紀錄行車里程、行車時間、外界側風速度、以及消耗之燃料，經過計算即可得到該導風板對車輛

油耗之影響。在以下的討論中將會描述國內外實車測試之案例與結果。

四、外界側風對風阻係數之影響

(一). 無風狀態時之風阻係數

表 1 列出四種類型車輛之投影面積及及外界空氣靜止時之風阻係數範圍，大致上，公車之 C_D 是小客車的 1.5 倍、貨車之 C_D 是小客車的 2 倍。

表 1 各型車輛之投影面積及風阻係數

車輛	小客車	休旅車	公車	貨車	曳引車
A (比例)	2	4	7	9	9
C_D	0.25-0.45	0.32-0.5	0.4-0.65	0.47-0.75	0.55-0.85

(二). 有側風時之風阻係數

式 (2) 適用於外界空氣靜止之狀態，事實上，外界空氣通常都不是靜止，而是以側風 V_w 吹向車輛，如圖 8 所示。車輛以速度 V 向前行駛，負的車輛行駛速度 $-V$ 與側風 V_w 之合向量 V_∞ 是空氣直接吹向車輛之淨速度， $-V$ 與 V_∞ 之夾角 ψ 即為風向偏離角度 (Yaw angle)。

Gardell, L. (5) 於 1980 年在瑞典量測離地面 2 公尺高度之全年風速分佈，由他的實驗可看出，一年當中最高風速約為 7.5m/s，且風速高於 20km/h (即 5.5m/s) 之時間約占 20%。若以 5.5m/s 之側風垂直吹向車輛，且車輛之速度為 80km/h (即 22.2m/s)，則風向偏離角度為 14 度；假如車輛之速度為 100km/h (即 27.8m/s)，則風向偏離角度為 11 度。

參考資料顯示，空氣以合向量 V_∞ 吹向車輛，在這個方向所形成之

力量即為空氣阻力 D 。通常車輛行駛之速度很大，且 V_w 很小，即 V_w 與 $-V$ 相比非常小，故夾角 ψ 也不會太大，大約在 8 度以內，因此在美國， T 通常被用來表示為空氣阻力。

一般而言，有側風時 ($\psi \neq 0^\circ$) 之風阻係數比無側風時要高，又導風板外形不同，因側風造成 C_D 之增加量也不一樣，如表 2 所示。

表 2 側風角度對車輛風阻係數之影響

	$\psi=0^\circ$	$\psi=5^\circ$	$\psi=10^\circ$	$\psi=15^\circ$
沒有安裝導風板之車輛	$C_D=0.75$	$C_D=0.78$	$C_D=0.87$	$C_D=0.9$
駕駛室頂端安裝導風板之車輛	$C_D=0.54$	$C_D=0.64$	$C_D=0.74$	$C_D=0.82$
貨櫃前端安裝導風板之車輛	$C_D=0.52$	$C_D=0.56$	$C_D=0.63$	$C_D=0.67$

早期歐洲車輛降低風阻之研究動機主要是用來提升車輛之最高車速，後來由於油價逐漸升高及油耗與廢氣污染法規之訂定，使得人們漸漸重視車輛之風阻。過去 20 年來，世界汽車製造廠商都致力於降低油耗之研究，他們發覺到車輛油耗與空氣阻力、輪胎滾動阻力、駕駛習慣 (Driving habits)、與路況等因素有關，其中降低風阻是一個相當有用之作法。

五、貨車加裝導風板對空氣阻力之影響

(一)、未裝導風板之空氣阻力

根據空氣動力學理論，貨車都是由車頭、車箱及車架等數個元件所組成，在高速流動之流場中，元件與元件彼此間會干擾到速度分佈與壓力分佈。由風洞測試結果得知，當側風為零時 ($\psi=0^\circ$)，貨車之車頭、車箱、與車輛底盤所形成之 C_D 比值約為 3:4:2，若增大車頭與車

箱之間的距離 s ，則 C_D 略微增加。

圖 9(上)之貨車〔沒有導風板〕，當側風不為零且 ψ 逐漸增加時，“只有車頭及貨櫃底架”之 C_D 略微上升，“只有車箱”之 C_D 顯著上升，“整部車”之 C_D 最高且與“只有車箱”之 C_D 平行。圖 9(下)之貨車，當測風不為零且 ψ 逐漸增加時，“只有第二節車箱”之 C_D 最小，“只有車頭與第一節車箱”之 C_D 中等程度上升，“整部車”之 C_D 顯著增加。

圖 10 描述車頭形狀與 C_D 之關係。當側風不為零且 ψ 逐漸增加時，相同的貨櫃，直角外形的車頭 $C_D \approx 0.5 \sim 0.8$ ，流線外形的車頭 $C_D \approx 0.5 \sim 0.6$ ，由此可見，車頭形狀與 C_D 之關係不大。若只有車頭，直角外形的車頭 $C_D \approx 0.45 \sim 0.5$ ，流線外形的車頭 $C_D \approx 0.1$ ，因此當只有車頭而沒有貨櫃時，車頭形狀與 C_D 之關係相當大。

(二)、加裝導風板之空氣阻力

1980 年間義大利 FIAT Research Center 的 Bertis, C., 及 Bonis, B.〔3〕兩人製作 1/2 比例之貨車、曳引車、與巴士模型，在風洞中進行風阻測試；圖 11 顯示貨車未加裝與加裝導風板之風阻係數的差異，經整理如表 4 所示：

表 4、不同貨車車箱表面粗糙度與各型導風板之風阻係數比較

車頭	貨櫃箱	底架	C_D	C_D 降低比例
未加裝導風板	粗糙表面	未加裝側板	0.863	
未加裝導風板	粗糙表面	加裝側板	0.82	4.2
未加裝導風板	平滑面，導角	未加裝側板	0.673	22

裝 2D 導風板 (後半板為粗糙面)	粗糙表面	未加裝側板	0.663	23.2
裝 2D 導風板 (平滑面 a)	粗糙表面	未加裝側板	0.660	23.5
裝 2D 導風板 (平滑面 b, 面積 <a)	粗糙表面	未加裝側板	0.657	23.8
裝 2D 導風板 (平滑面 c, 含固定夾)	粗糙表面	未加裝側板	0.668	22.6
裝 2D 導風板 (平滑面 d, 長度 <a)	粗糙表面	未加裝側板	0.680	21
裝 3D 導風板	粗糙表面	未加裝側板	0.656	24
裝 3D 導風板	粗糙表面	加裝側板	0.629	27.1
裝 3D 導風板	平滑面, 導角	未加裝側板	0.568	34.1
裝 2D 導風板 (平滑面 d, 長度 <a)	平滑面	未加裝側板	0.609	29.4

他們的研究結果發現，若搭配性能優良之導風板，則貨車之風阻係數可降低 30%，曳引車之風阻係數可降低 45%，巴士之風阻係數可降低 30%；這也表示貨車可節省油耗 10.5%，曳引車可節省油耗 9%。

圖 12 比較加裝六種不同形式導風板之貨車 C_D 降低百分比，其降低比例 ΔC_D 介於 9% 至 30%，一般常見的二維幾何外型之導風板 $\Delta C_D=28\%$ ，三維幾何外型之導風板 $\Delta C_D=30\%$ ，兩者幾乎相等，此表示二維與三維幾何外型之導風板效果相差不多。通常道路上常見之貨車導風板多屬二維幾何外型，由此可見，貨車加裝導風板必可顯著降低風阻並節省油耗。

圖 13 所示 FORD 公司貨車與 MAN 公司貨車等兩種車型均為輕型貨車，因貨櫃箱截面積較大，在未加裝導風板之前風阻係數較高 (0.78)，經特別設計，在車頭與貨櫃箱之間間隙平順地蓋滿導風板，此時風阻係數降為 0.50，降低比例為 36%，這種設計之導風板效果最佳。

Gilhaus, A. 與 Hau, E. (6) 兩人在 1982 年的 International Symposium on Vehicle Aerodynamics 中以專文討論貨車兩節車箱之間隙對風阻之影響，如圖 14 所示。在第二節車箱前端安裝圓滑導風板，風阻係數降低比例為 5.5%；若導風板改為整流直板，風阻係數降低比例為 6.5%；若導風板是整流直板與圓滑板之總和，風阻係數降低

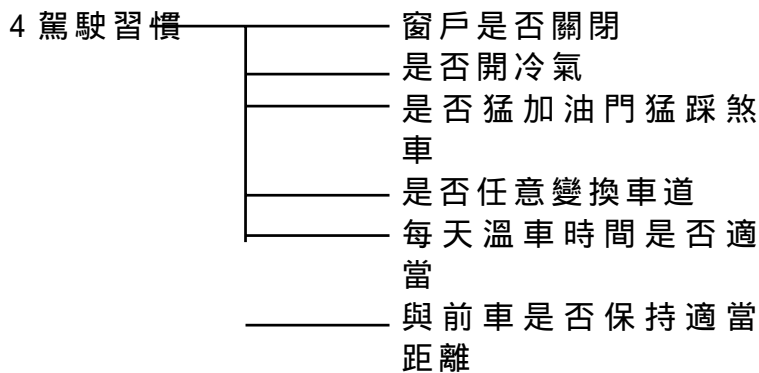
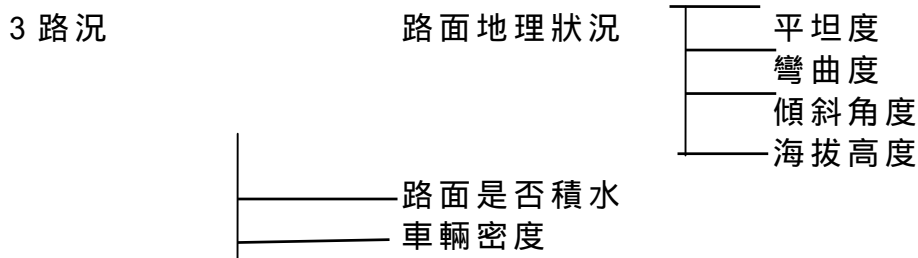
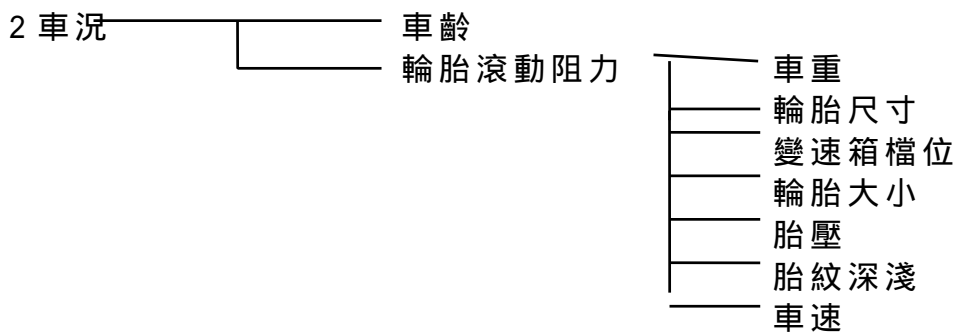
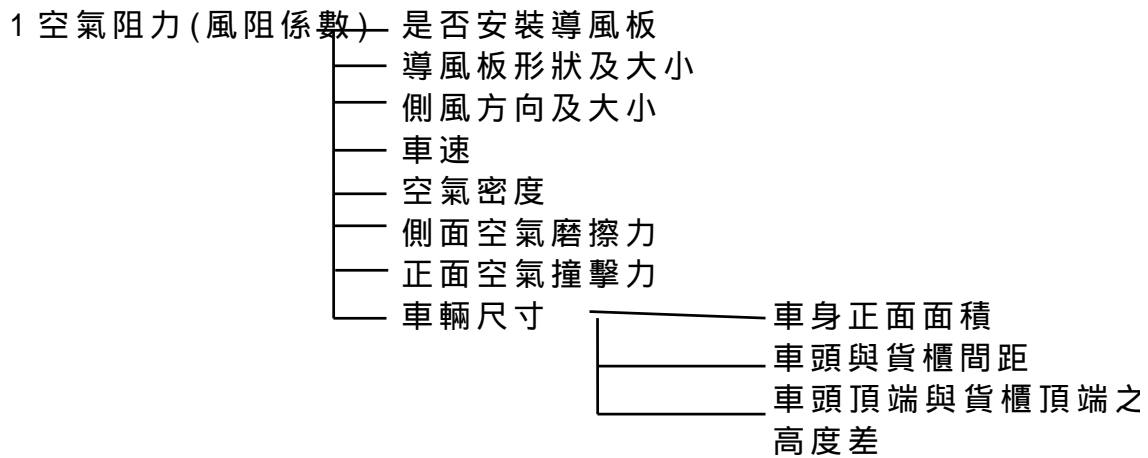
比例為 10%；若兩節車箱中間之間隙封閉，風阻係數降低比例為 12%，此表示減少作用於車箱之風壓有助於降低風阻係數。

氣流經過車體到達車輛尾端，會產生負壓而造成氣流分離現象，此時對風阻係數將造成影響，雖然有此現象，但實驗結果顯示車輛尾端加裝導風板之效果似乎不明顯。Mason, W. T. 與 Beebe, P. S. (10) 之研究發現，在車輛尾端中間加裝一倍車箱寬度之水平板或垂直板，或是在車輛尾端上緣、左緣、及右緣加裝 1/4 倍車箱寬度之直板或圓弧板，如圖 15 所示，加裝此種導風板所得到之風阻係數只改變一些或者根本沒有改變。

借助氣流干擾效應也可降低風阻係數，此現象可在密集車隊行駛 (Driving in convoy) 之風洞實驗中獲得驗證。若車輛以較密集的程度在公路上行駛，則第一輛車子尾端所產生之氣流分離，將降低第二輛車子前端之氣流動壓。參考圖 16 與圖 17 可發現，兩輛前後行駛之巴士，若前後距離 20m，則風阻係數降低 30%；三輛前後行駛之巴士，若前後距離 20m，則第三輛巴士之風阻係數降低 40%；以 40 噸卡車而言，當車輛間距介於 20m 至 80m 之間，第二輛車子大約可節省 9% 之燃料。

六、 影響車輛油耗之因素

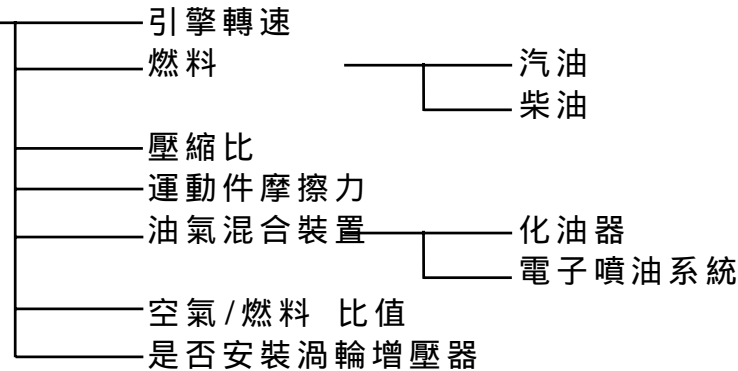
影響車輛油耗之因素很多，例如：空氣阻力(即風阻係數)、車況、路況、駕駛習慣、天氣、動力系統(包含引擎與傳動機構)等項目，每個項目又有其影響次因素，分別如下所示。



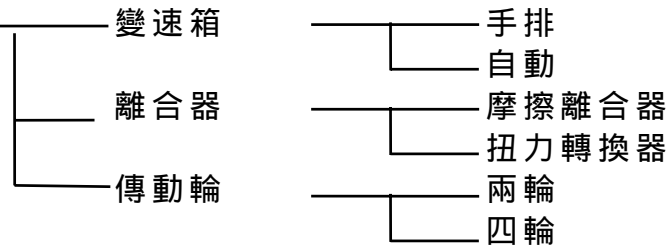
—— 晴天或雨天
 —— 是否下雪

6 動力系統

6.1 引擎



6.2 傳動機構



七、 實車路試

在 Kumar, H. 等人〔9〕於 1995 年發表的文章中提到，雖然導風板可降低風阻節省燃料，但是貨車車體設計基本上並沒有考慮導風板之額外負荷。有些人認為高速行駛車輛之導風板承受外界風壓時將對車頭頂端產生很大之作用力，此現象對前輪輪軸、輪胎、及駕駛都會造成影響，這種說法反應出安裝導風板時應注意組裝之安全性問題。

(一)、美國 Buckley 等人進行之測試

Buckley, F. T., Jr. 等人〔4〕於 1978 年在美国國科會資助下進行一項全世界規模最大的實車路試計畫，當時由於油源日益短缺，使得人們逐漸重視車輛之油耗問題。他們利用 1/8 比例縮小模型之車

輛進行風洞測試，同時也規劃實車測試，並比較兩者之差異。此省油測試起始點是美國東部的 College Park, Maryland，到達美國西部的 San Diego, California 後，再折返至東部的起始點，全程共計 9347km，大部份是在高速公路行駛。測試車輛為大貨車三部，型式幾乎相同，其中一部自始至終都沒有安裝導風板，稱為控制車輛 (Control vehicle)，另外兩部安裝導風板，稱為測試車輛 (Test vehicle)；第一部車安裝商用導風板 (Wind deflector & Vortex stabilizer-WD&VS)，第二部車安裝在馬里蘭大學研發之新型導風板 (Streamlined fairing & Gap seal-SF&GS)。此外，一部隨行之客車用來裝載測試儀器。如圖 18 所示。

全部測試時間為 12 天，進行方式是第 1,2,3 天安裝導風板，第 4 天不裝導風板，第 5,6,7 天安裝導風板，第 8 天不裝導風板，第 9,10,11 天安裝導風板，第 12 天不裝導風板，不裝導風板那一天的測試數據是用來當作校正用途。進行測試之車輛的重量控制在 $13,545 \pm 13.6\text{kg}$ 之間，輪胎壓力定期檢查，以便維持測試之準確度。側風角度及相對風速是利用裝在車頂上的葉輪式風速計等儀器測得，電子輸出訊號連續擷取五分鐘再加以計算得到一個平均值。距離是利用裝在車輛經過校正之里程錶量測，空氣溫度定時記錄，高度參考高速公路路標。測試車輛前後距離保持在 400 公尺以避免前後車輛之干擾。第一部車輛定期移到最後面，以避免前導車輛之量測誤差。此外，同一部車輛都由同一個人駕駛，以降低油耗誤差。導風板及渦流消除器是由 Rudkin-Wiley Corporation 製造，安裝時依循該公司之安裝程序。

風洞測試是在馬里蘭大學進行，它是截面 $2.36\text{m} \times 3.36\text{m}$ 的低速風洞，八分之一大小的模型車安裝在離地面一定高度以便量測空氣阻力，如此可減低邊界層的影響，測試風速 $V=160.9\text{km/h}$ ($=44.7\text{m/s}$)，以車輛寬度 L 當作特徵長度所算出之雷諾數 $Re=10^6$ ，此雷諾數大約是 1:1 模型車輛以 88.5km ($=24.6\text{m/s}$) 之速度行駛所得到的雷諾數之

1/4。

測試結果顯示，安裝 WD&VS 導風板可省油 6.2%，安裝 SF&GS 導風板可省油 11.8%，由此看來，安裝導風板確實可節省不少燃料。Buckley 等人認為另一個影響油耗之因素是車子重量，這次測試空車時之平均車重為 13,545kg，假如車重增加到 25,000kg，則引擎之操作性能將提高，如此油耗可降低。經過推算，車重增加到 25,000kg 時，安裝 WD&VS 導風板可省油 7.4%，安裝 SF&GS 導風板可省油 12.7%。

(二)、我國工研院進行之測試

工研院機械所於去年執行車輛耗效率提升計畫時，對柴油車加裝導風板進行實車路試，以比較安裝導風板前後的耗能影響程度，測試貨車如圖 19 所示。

試驗方式為將貨車安裝導風板以定速 90km/h 於實際道路上行駛，前後兩天儘量保持相當的行駛條件。第一天車輛安裝導風板，第二天車輛不裝導風板。總共行駛距離為 191 公里/天×2 天 = 382 公里。

道路選擇北二高桃園大溪至新竹香山交流道。行程規劃如下：上午於關西休息站中油加油站加油，記錄里程數，出發時間，北上大溪交流道，迴轉南下至香山交流道，往返二次，回至關西休息站，記錄里程數及抵達時間；下午於中油加油站加油，記錄里程數，出發時間，北上大溪交流道，迴轉南下至香山交流道，往返二次，回至關西休息站，於中油加油站加油，記錄里程數，抵達時間。

試驗車輛有下列幾種(1) 3.5 噸小貨車一輛，35 噸貨櫃拖車一輛，及 15 噸大貨櫃車一輛；(2) 35 噸貨櫃拖車 4 輛，15 噸大貨櫃車 6 輛。

測試結果如下：小型貨車省能效果為 2.5%，15 噸大貨櫃車省能效果分佈 7.4~15.4%，平均為 12.3%，35 噸貨櫃拖車省能效果分佈 8.6~23.8%，平均為 16.4%。

八、 結論

本文先介紹導風板之型式及製作方法，並描述車輛運動之力學原理，隨後說明風阻係數與車輛油耗之量測方法，包括風洞測試、電腦模擬分析、與實車測試等，接著討論導風板與外界側風對貨車空氣阻力之影響。文中也列表說明影響貨車耗油之因素，其中包括：風阻係數、車況、路況、駕駛習慣、天氣、動力系統等等，這些因素中風阻係數扮演很重要之角色。由技術資料得知，貨車未裝與安裝導風板，風阻係數差異很大；又不同型式之導風板，其風阻係數也顯著不同，一般而言，貨車若安裝適當的導風板，則風阻係數可降低 30%，油耗可節省 10%，因此，適當地安裝導風板必可節省燃料費。

九、 參考文獻

1. Wolf-Heinrich Hucho, 1998, Aerodynamics of Road Vehicles, Fourth Edition, SAE International.
2. 李添財, “汽車空氣動力學,” 全華科技圖書公司, 中華民國 88 年。
3. Berts, C., and Bonis, B., 1980, “Experimental Shape Research of Ideal Aero-dynamic Characteristics for Industrial Vehicles,” SAE Paper 801402.
4. Buckley, F. T., Jr., Watson, W. H., Jr., and Marks, C. H., 1978, “Fuel Savings from Truck Aerodynamics Drag Reducers and Correlation with Wind-Tunnel Data,” Journal of Energy, Vol. 2, No.6, pp. 321-329.
5. Gardell, L., 1980, “Low Drag Truck Cabs,” Scania Div. Saab-Scania, Hausmitteilung. (摘自參考文獻〔1〕)
6. Gilhaus, A., and Hau, E., “Drag Reduction on Trucks by Aerodynamic Parts and Covers,” Int. Symposium on Vehicle Aerodynamics, Wolfsburg, December 1982. (摘自參考文獻〔1〕)
7. Ingram, K. C., 1978, “The Wind-Averaged Drag Coefficient Applied to Heavy Goods Vehicles,” Department of Environment, Department of Transport, Transport and Road Research Laboratory Report SR 392, Crowthorne. (摘自參考文獻〔1〕)
8. Kim, M. S., Lee, J. H., Kee, J. D., and Chang, J. H., 2001,

- “Hyundai Full Scale Aero-acoustic Wind Tunnel,” SAE Paper No. 2001-01-0629.
9. Kumar, H., Watkins, S., and Saunders, J. W., 1995, “Investigation of The Loads on Truck Cabin Aerodynamic Devices,” Heavy Vehicle Systems, Int. J. of Vehicle Design, Vol. 2, No.3/4, pp. 208-224.
 10. Mason, W. T., Jr., and Beebe, P. S., “The Drag-Related Flow Field Characteristics of Trucks and Buses,” in Sovran, et al. (摘自參考文獻〔1〕)
 11. Williams, J., Quinlan, W. J., Hackett, J. E., Thompson, S. A., Marinaccio, T., and Robertson, A., 1994, “A Calibration study of CFD for Automotive Shapes and CD,” SAE Paper No. 940323.
 12. “Surface Vehicle Recommended Practice: SAE Wind Tunnel Test Procedure for Trucks and Buses,” SAE J1252, 1981.

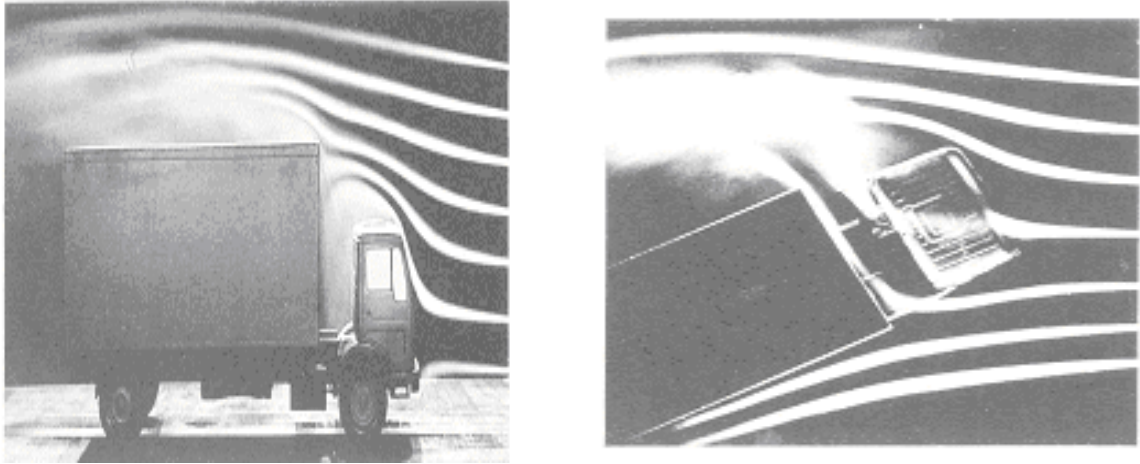


圖 1. 貨車煙霧流場觀測圖；
上圖：風向平行車輛
下圖：風向與車輛呈 30 度
(摘自參考文獻〔1〕)

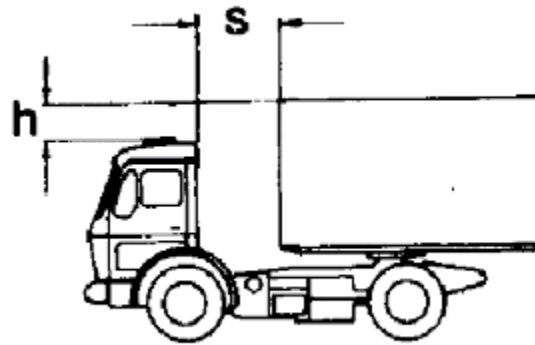


圖 2 貨車之車頭與車箱之間距關係尺寸
(摘自參考文獻〔1〕)

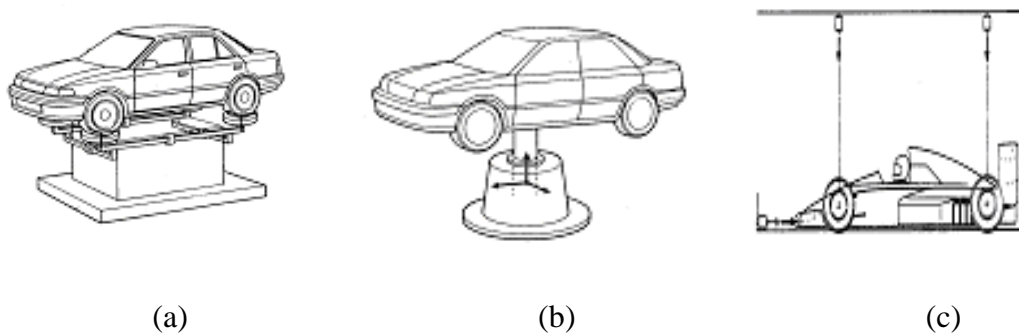


圖 3. 風洞測試模型車支撐機構
(摘自參考文獻〔2〕)

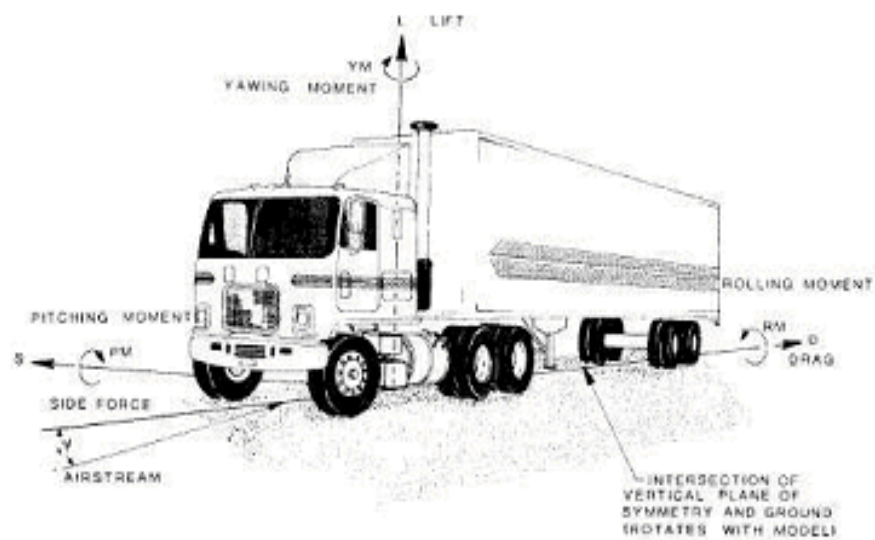


圖 4. 行駛貨車之受力圖
(摘自參考文獻〔12〕)

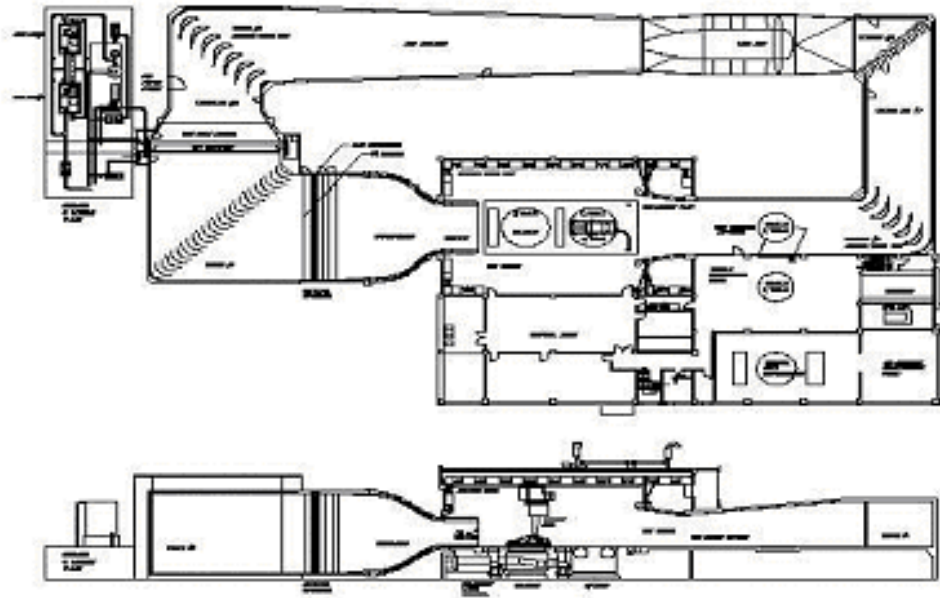


圖 5. 風洞結構
(摘自參考文獻〔8〕)

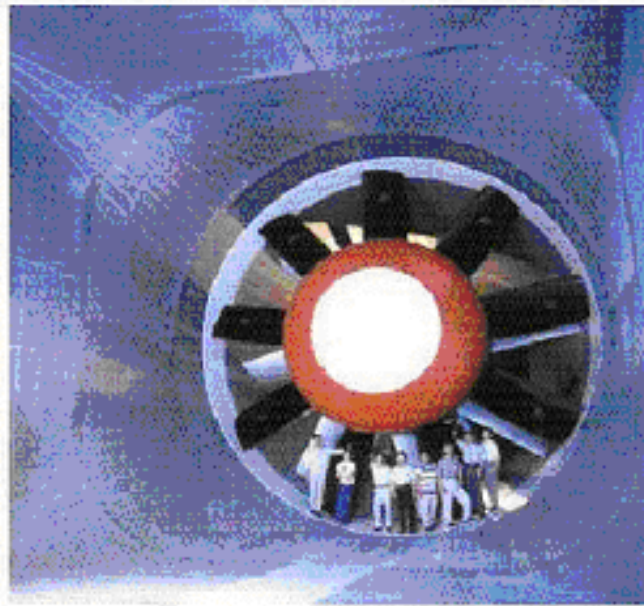


圖 6. 用於風洞中之風扇
(摘自參考文獻〔8〕)

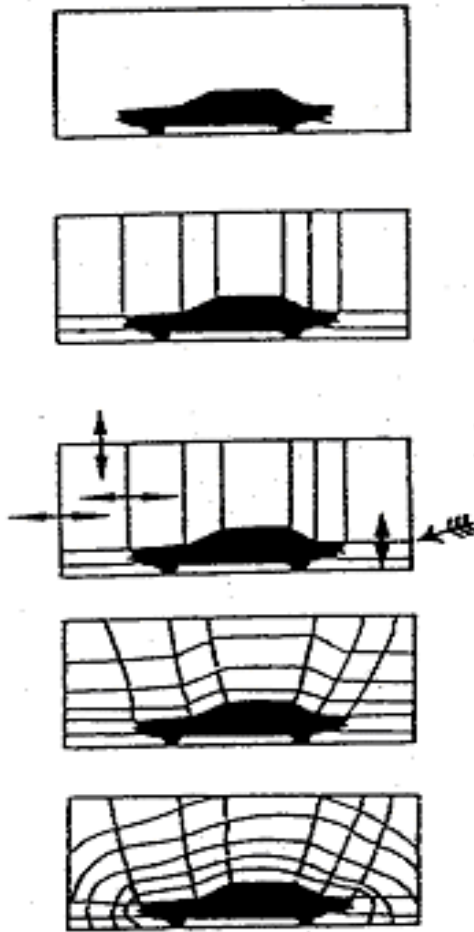


圖 7. 網格構建
(摘自參考文獻 (1))

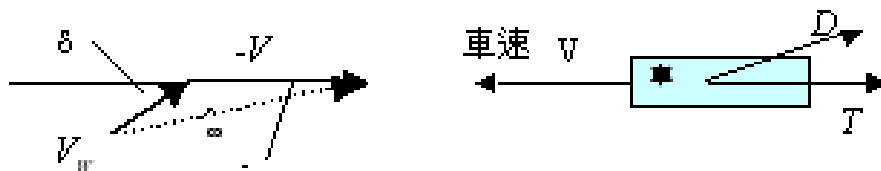


圖 8、車輛行駛於側風時之速度及作用力向量圖

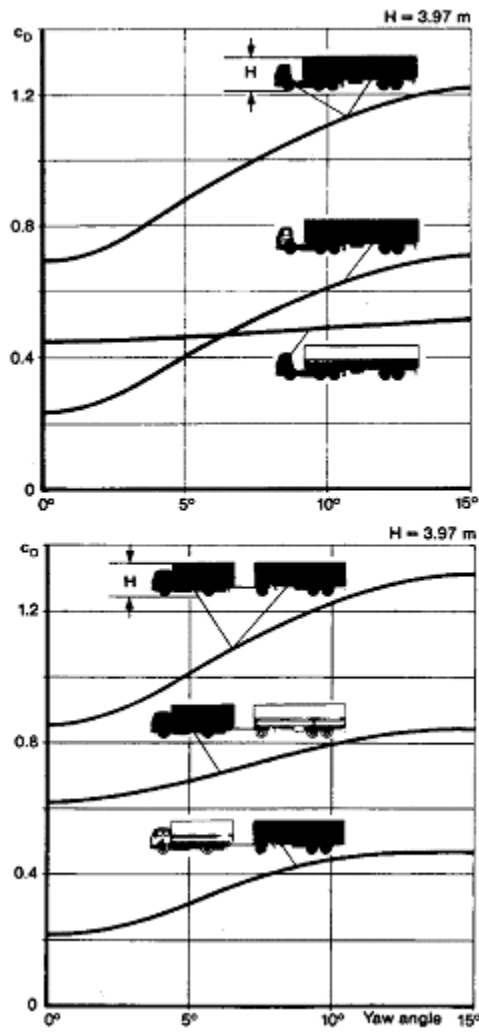


圖 9. 未裝導風板貨車之車頭、底架、車箱、與整車之風阻係數分佈
(摘自參考文獻〔1〕)

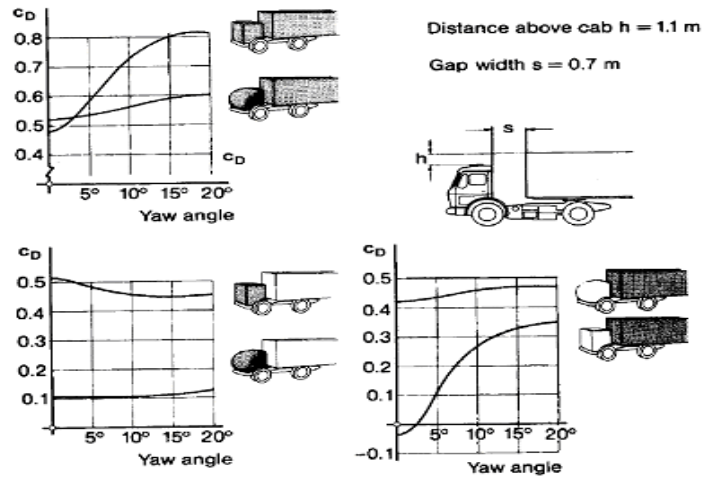


圖 10. 不同貨車車頭形狀對風阻係數之影響
(摘自參考文獻〔1〕)

	C_D	C_D Reduction %		C_D	C_D Reduction %
	0.863			0.656	24
	0.663	23.2		0.629	27.1
	0.660	23.5		0.820	4.2
	0.657	23.8		0.673	22
	0.668	22.6		0.568	34.1
	0.680	21		0.609	29.4

圖 11 貨車車箱表面粗糙度與各型導風板對風阻係數之影響
(摘自參考文獻〔1〕)

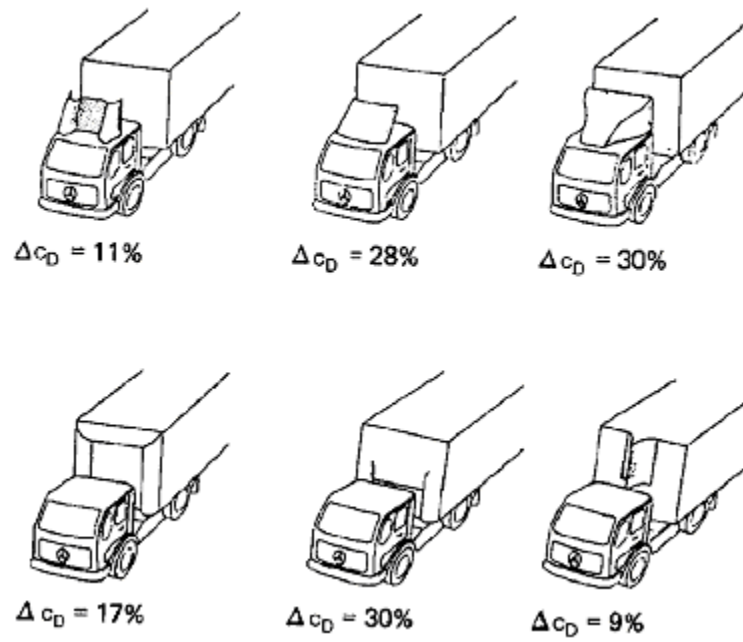


圖 12. 貨車加裝六種不同形式導風板之 C_D 降低量比較
(摘自參考文獻〔1〕)

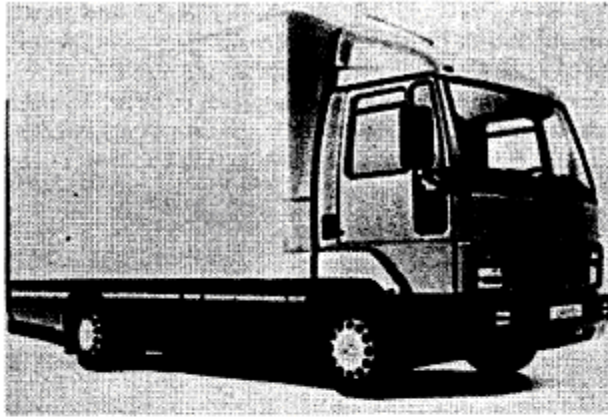


Fig. 9.36 FORD Concept Cargo.



Fig. 9.37 MAN Concept.

圖 13. FORD 公司貨車(上圖)與 MAN 公司貨車(下圖)之導風板
(摘自參考文獻〔1〕)

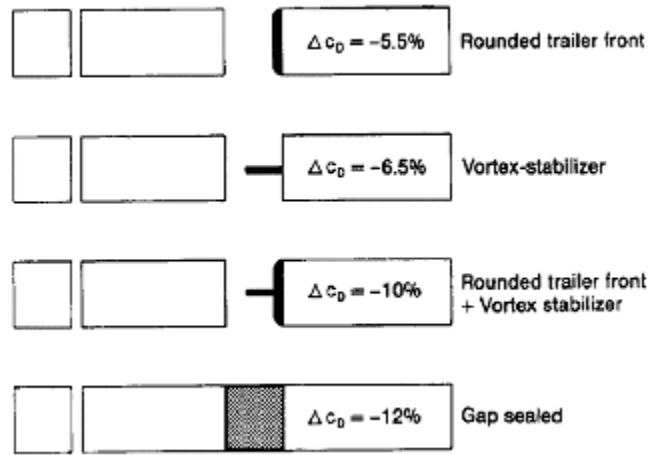


圖 14. 曳引貨車後車箱前加裝之導風板
(摘自參考文獻〔1〕)

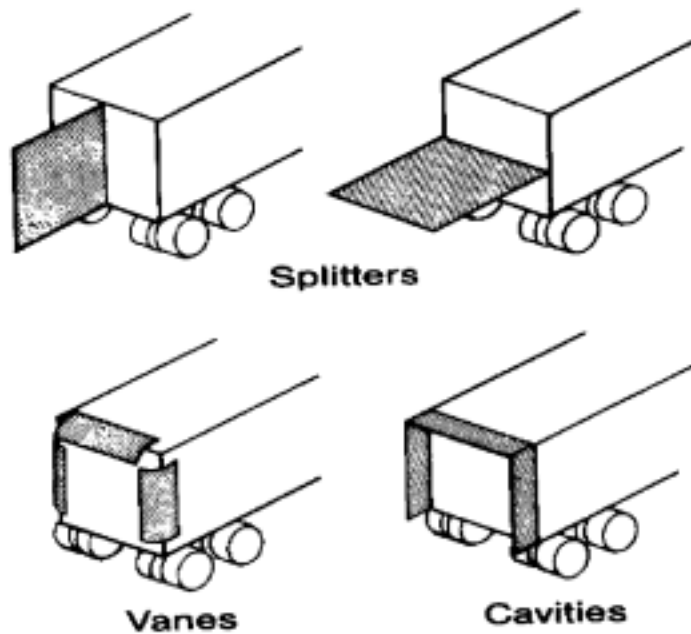


圖 15. 車輛尾端加裝之導風板
(摘自參考文獻〔1〕)

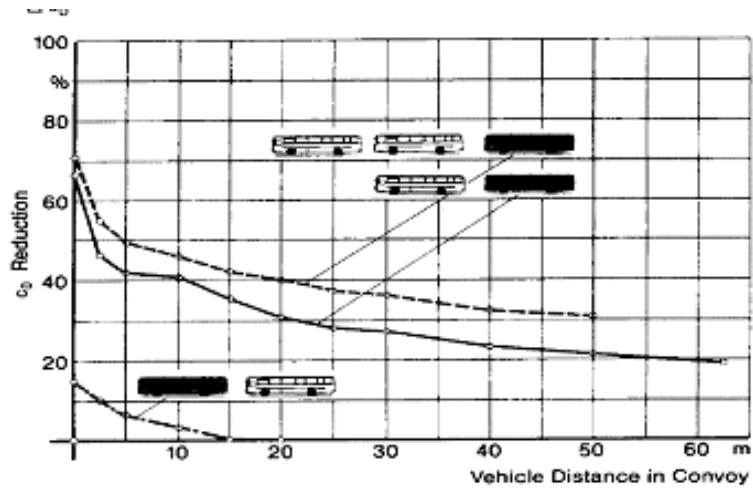


圖 16. 並排行駛之巴士前後距離與風阻係數降低量之關係
(摘自參考文獻〔1〕)

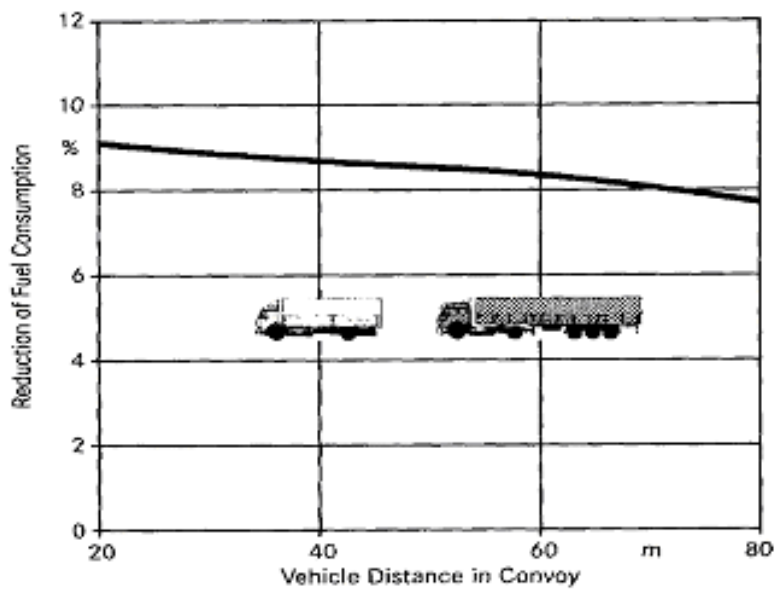


圖 17. 並排行駛之貨車前後距離與油耗降低量之關係
(摘自參考文獻〔1〕)



(a)



(b)



(c)

圖 18. Buckley 等人的測試車輛
(a)安裝商用導風板，(b)安裝自致導風板
(c)裝載測試儀器
(摘自參考文獻〔4〕)



(a)



(b)

圖 19. 工研院進行測試之貨車
(a)未裝導風板、(b)安裝導風板