

汽车开发中的空气动力学研究

Aerodynamic Study During The Automotive Development

郑鑫 张建立

(沈阳华晨汽车工程研究院, 辽宁 沈阳 110141)

摘要：空气动力学是汽车的重要性能之一，本文对某款轿车在开发的不同阶段，有无后视镜，有无发动机舱的情况进行了空气动力学仿真，进而评价后视镜和发动机舱对轿车外流场特性的影响。

关键词：空气动力学；汽车；不同阶段；外流场特性

Abstract: Aerodynamic is one of the important performance to a car, different stages in the development, the Aerodynamic Simulation Analysis of the sedan with or without rear-view mirror, with or without the engine compartment, in order to evaluate rear-view mirror and engine compartment to the influence to the sedan of flow field characteristic.

Keywords: Aerodynamic; car; different stages; flow field characteristic

1 前言

汽车外流场主要影响汽车的燃油经济性。由实验可知，风阻系数越小，被空气阻力消耗掉的功率越少，同等容量的燃料，带来的实际功率也就越高；同等速度下，风阻系数每下降 10%，燃油就可节省 7%。同样重量条件下，风阻系数每降低 10%，车辆的百公里加速能提高 23%。为了减少汽车燃料的消耗，现代汽车的外形设计越来越趋于流线型，使得轿车的风阻系数越来越小。

在汽车开发的各个阶段，都要进行空气动力学的评估，如概念设计阶段、详细设计阶段和样车试制阶段。本文利用 CFD 流体软件 STAR-CCM+ 对某一款轿车在开发的不同阶段有无后视镜，有无发动机舱情况下的空气动力学特性进行了数值模拟，研究了后视镜和发动机舱对整车气动性能的影响。

2 理论基础

控制所有流体流动的基本定律：质量守恒定律、动量守恒定律和能量守恒定律。由基本定律可以导出连续性方程、动量方程和能量方程。

由质量守恒导出的连续性方程

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho V) = 0 \quad (1)$$

由动量守恒导出的运动方程

$$\rho \frac{dV}{dt} = \rho F + \text{div} P \quad (2)$$

由能量守恒导出的能量方程

$$\rho \frac{dU}{dt} = P : S + \text{div}(k \text{grad} T) + pq \quad (3)$$

其中 ρ 、 F 、 V 、 P 和 U 分别代表流体的密度、力、速度、压力和总能量。 μ 、 μ' 为粘性系数， k 为热传导系数， T 为温度， S 为变形速度张量。

在空气动力学中，任一运动物体所受到的空气阻力可表示为：

$$F_d = \frac{1}{2} \rho v^2 C_d A \quad (4)$$

式中： F_d ——空气阻力； ρ ——空气密度； v ——汽车行驶速度； C_d ——空气阻力系数； A ——汽车迎风面积； C_d 通常被认为是形状、诱导和表面摩擦三个气动阻力分量系数之和，即 $C_d = C_s + C_i + C_f$ 。其中 C_s 为形状阻力系数，与物体外形或气流在形体周围产生涡流的程度有关， C_i 为诱导阻力系数，通常认为正比于物体所受空气升力的平方， C_f 为摩擦阻力系数^[2]。

3 外流场模拟

3.1 几何模型建立

本文对一轿车三种状态进行几何建模，分别是有后视镜车身外表面，无后视镜车身外表面，带发动机舱的车身外表面。我们先在 Hypermesh 软件中分别对以上三种状态的几何模型划分三角形表面网格，这样表面的连接和修补相对容易，对模型关键部位，如后视镜、发动机舱内部件、格栅需要细化，然后输出为 nastran 格式，作为表面网格再导入到 star-ccm+

中划分体网格。如图 1 所示。



图 1 几何模型

3.2 计算网格划分

考虑到几何模型 1、2 的对称性，选取车身的一半为计算对象；由于模型 3 中发动机舱内部为非对称结构，选取整车为计算对象。选定流体计算域，车前为 2 倍车长，车后为 4 倍车长，宽度为 4 倍车宽，高度为 5 倍车高，如图 2 所示。对空气流动变化剧烈的区域，进行网格加密，如后视镜处的网格尺寸为 3mm，并且对车头部进气隔栅、发动机盖、雨刮附近、车底部和车尾部也进行了不同程度的网格加密，局部放大图，如图 3 所示。



图 2 计算网格

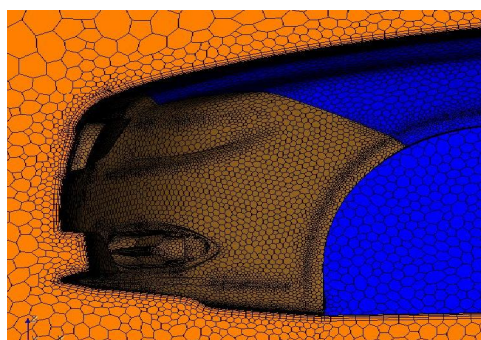


图 3 局部放大图

3.3 边界条件确定

车辆处于半载状态，设定进口风速为 120kph。模型中考虑路面效应，选用 $\kappa-\varepsilon$ 湍流模型，出口为 OUTLET 边界条件，车身中面所在平面为 Symmetry 对称边界条件，侧面及顶部采用滑移壁面边界条件。模拟的过程中，对车辆的外型轮廓网格进行细致划分，保证了汽车外型的准确。

4 计算结果及分析

为考虑后视镜和发动机舱对汽车外流场的影响,我们分别要对有无后视镜外流场和有无发动机舱外流场的模拟结果进行对比,观察整车压力分布,速度分布,阻力系数变化。结果对比表明:后视镜本身的阻力系数比较大,对整车外流场有一定影响;考虑发动机舱后,阻力系数有较大增加,发动机舱对整车外流场影响比较大。

4.1 后视镜影响分析

通过计算,我们取 $y=0.85\text{m}$ 的切面观察压力分布可以知道,在没有后视镜的情况下,整车最大的压力分布主要在轮胎处。存在后视镜的情况下,最大压力分布在后视镜前方,在其后方压强急剧下降,形成压力差,而且数值上,提高了 141.4Pa 。由于后视镜的存在,改变了整车的压力分布^[3],如图 4 所示。

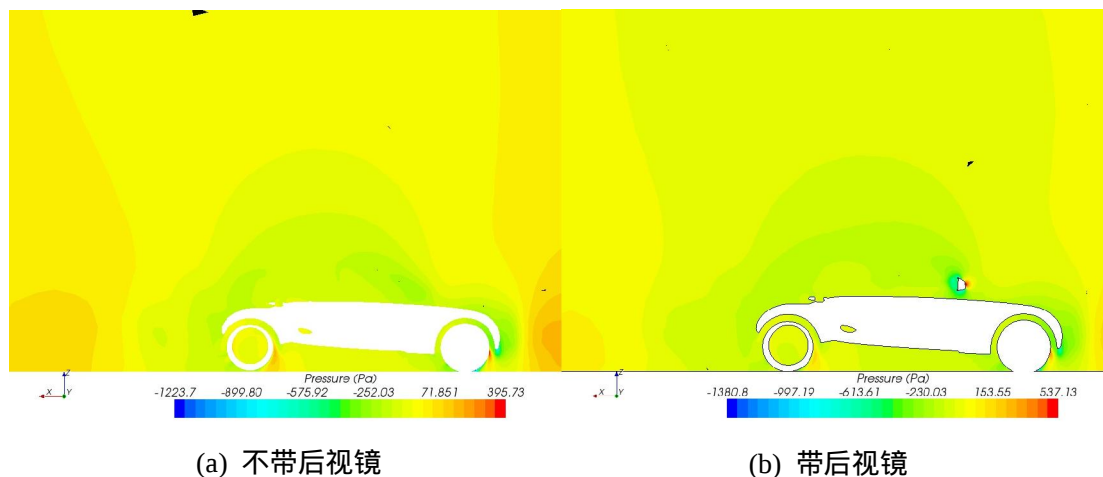


图 4 $y=0.85\text{m}$ 切片压力分布

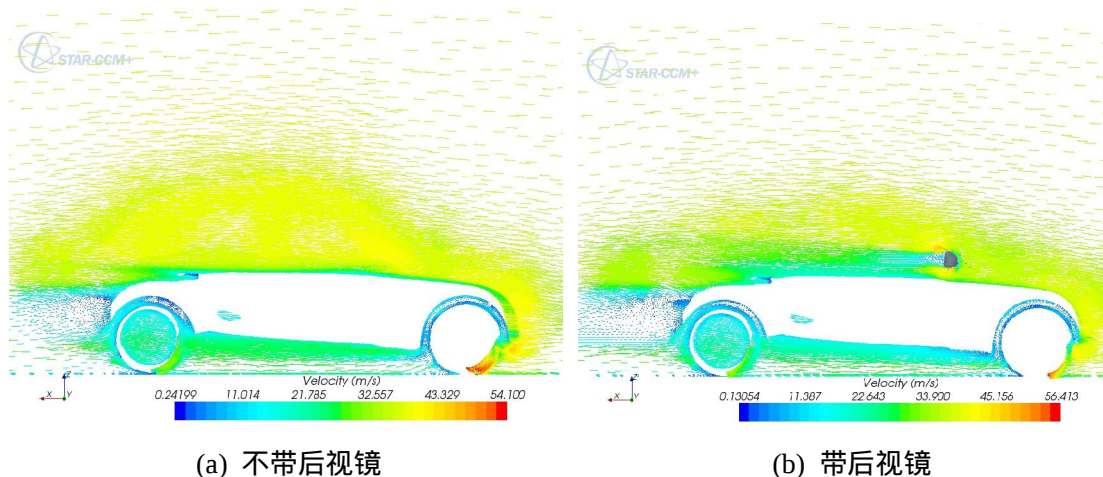


图 5 $y=0.85\text{m}$ 切片速度矢量图

从图 5 速度矢量图中可以看出，后视镜前后的速度变化比较剧烈。

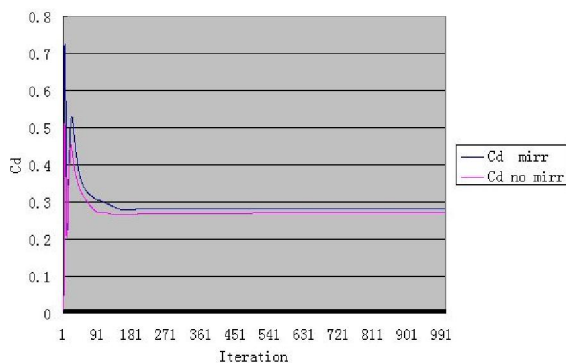


图 6 整车阻力系数曲线

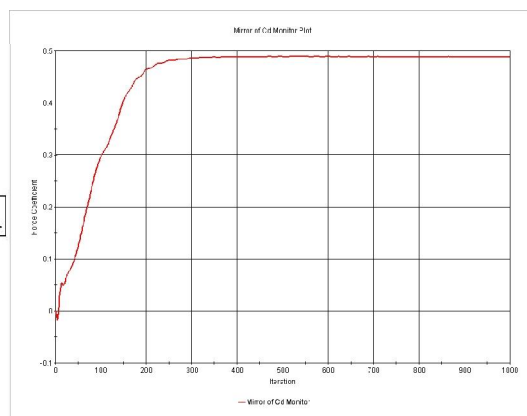
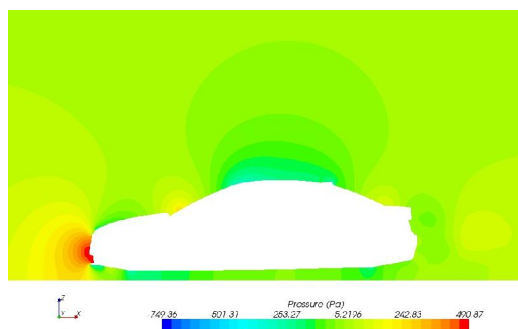


图 7 后视镜阻力系数曲线

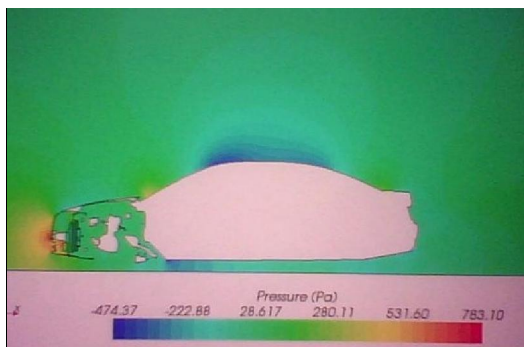
由于后视镜的存在，阻力系数由 0.27 增加到 0.2808，相比增加了 4%，如图 6 所示。图 7 为后视镜自身的阻力系数 0.49。

4.2 发动机舱影响分析

对比分析可知，在不带发动机舱的情况下，压力集中在进气格栅附近，向外扩散；而带发动机舱的情况下，由于空气进入发舱内部，发动机舱内部件，如冷却系统、发动机、变速器等会对气流起到阻挡作用，造成阻力增大。



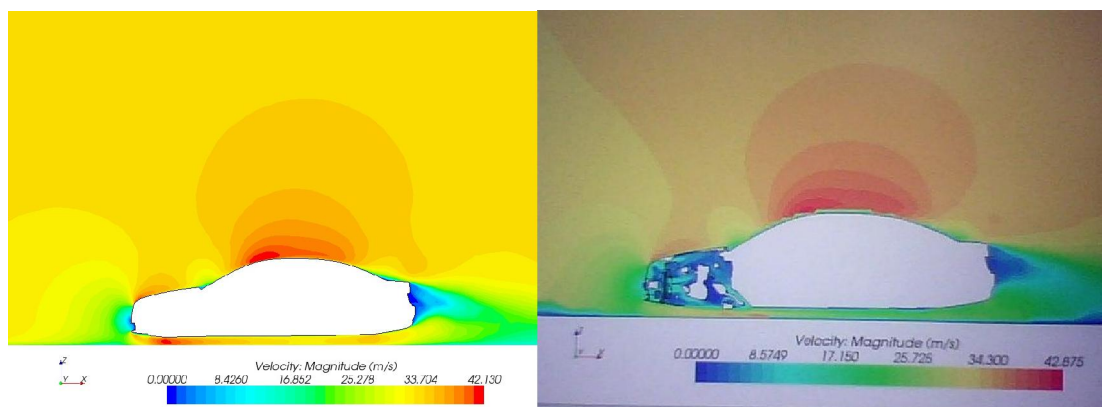
(a) 不带发动机舱



(b) 带发动机舱

图 8 对称面压力分布

如图 9 所示，由于发动机舱存在的状态更接近于实车情况，从发舱进入的气体经由发舱底部流出，充填了车底部的流动空间，因此更好的反应出实车的空气动力学特性。



(a) 不带发动机舱

(b) 带发动机舱

图 9 对称面速度分布

不带发动机舱的整车阻力系数为 0.281, 带发动机舱的整车阻力系数为 0.303, 风洞试验测得的带发动机舱整车阻力系数为 0.315。带发舱的模拟结果和实际试验值相差 3.8%, 由表 1 可知, 在我们仿真的过程中, 模型处理的越详细, 越接近实车, 模拟的结果就越准确。但相应的计算工时就越多。

表 1 阻力系数

	无后视镜	有后视镜	带发动机舱	试验值
阻力系数 (Cd)	0.27	0.281	0.303	0.315
Cd值与试验误差	14.3%	10.8%	3.8%	0%

5 结论

(1) 运用 STAR-CCM分析软件对某车型进行空气动力学模拟, 可以较准确的得到该车型在不同情况下的空气动力学参数及其它详细信息。

(2) 分析模拟结果可知, 后视镜的阻力系数比较大, 但对整车外流场影响大约在 3%-5% 之间; 模拟过程中加入发动机舱, 模拟结果更接近于实车试验结果。

(3) 在新开发产品的过程中, 运用 CFD方法, 可以大大节省开发费用, 提高研发效率。

6 参考文献

- [1] D.E.Calkins,W.T.Chan, CD aero-A Parametric Drag Prediction Tool, SAE 980398
- [2] 谷正气, 汽车空气动力学 北京: 人民交通出版社, 2005
- [3] 谷正气、黄天泽, 轿车车身表面压强分布的数值模拟, 湖南大学学报, 1994年 8月第 21卷第 4期

- [4] 张丕杰、王开春，国产新型轿车空气动力特性的三维仿真计算，汽车工程，2000年第 5 期
- [5] 张扬军等，汽车空气动力学数值仿真研究发展，汽车工程，2001年第 2期