

汽车外流场分析

Vehicle External Flow Analysis

黄涛, 张鲲鹏, 戴轶

(上汽集团股份有限公司技术中心/安全与虚拟技术部, 上海, 201804)

摘要: 该文以上汽自主品牌某车型为案例, 对汽车外流场 CFD 计算分析过程与结果做了通用性的描述, 通过与实验和设计数据进行对比, 得到了比较合理的结果. 文章对于汽车虚拟技术平台 CFD 分析应用流程做了初步的归纳与总结, 能给自主品牌汽车以后相关的分析设计流程以参考性的建议。

关键词: 汽车外流场、CFD、Starccm+

Abstract

An external flow analysis of a self-owned brand vehicle of SAIC has been carried out to investigate the aerodynamic performance. A general and constructive CFD analysis method of vehicle external flow has been described. Compared with the value of the design target and the vehicle test, reasonable results can be achieved. In this article, CFD analysis workflow has been concluded and summarized initially to well establish the virtual technology platform of vehicle, which promotes the establishment of the related analysis workflow and the development of self-owned brand.

Keyword: vehicle external flow, CFD, Starccm+

1 引言

随着汽车工业的快速发展, 对汽车的设计要求越来越高, 对汽车舒适性、环保、节能等成为衡量汽车品质的一些重要标准。而这些特性都与汽车空气动力学息息相关, 在传统的汽车空气动力学研究中, 大多采用风洞实测的方法, 该方法造价高、耗资大, 而且试验周期长, 在竞争如此激烈的汽车市场上, 为了节约成本、缩短开发周期等, 对一款车型进行大量的风洞试验不太可行。近年来, 随着计算机技术和湍流技术的发展, 把原来只能在风洞中进行的试验转化到计算机上来。尽管一般认为试验的可信度高, 但是在模型风洞试验中存在着动力相似和几何相似的影响, 还要考虑风洞边界条件的影响和湍流、风速、风向、雷诺数等, 试验结果要进行换算, 而且还存在采集数据的测量误差等问题, 尽管试验技术在不断地完善, 但是还仍然存在一些问题。道路试验还受到自然条件、交通状况的限制, 要得到准确的结果, 需要非常谨慎。

随着计算机技术和湍流理论的发展, 计算流体力学 CFD(Computational Fluid Dynamics)的方法被运用到汽车空气动力学研究中。汽车外流场数值模拟就是利用数值模拟的方法对汽车行驶中的外流场进行分析, 与传统的研究方法结合, 有效地改善汽车性能、节约研究资金、提高研究效率。

汽车车身的外形设计的主要依据是机械工程学、人机工程学和空气动力学。前两者决定了汽车的基本骨架, 从内部制约了汽车车身的外形, 空气动力学则是来自汽车外形的制约条件。空气动力特性直接影响着汽车的驱动特性、稳定性、操作性、燃油经济性、加速性能和

噪声特性等。有的时候甚至直接影响行驶安全。其研究内容有以下几方面：

- (1) 汽车行驶中所受气动力和气动力矩可以分解为阻力、升力、侧向力、横摆气动力矩、纵倾气动力矩和侧倾气动力矩 6 个分量。对汽车性能影响的研究主要是指气动阻力、气动升力、气动侧向力及各气动力矩对汽车操纵稳定性影响的研究,同时也包括了汽车周围压力场的研究、气动力和气动力矩形成机理的研究、空气阻力对汽车动力性和经济性影响的研究等;
- (2) 汽车行驶中各部位的流场研究;
- (3) 汽车发动机的冷却和车内通风的研究,包括车身表面压力分布的研究、发动机冷却气流和车内通风气流等;
- (4) 汽车气动噪声的研究,包括气动噪声形成机理和控制方法的研究等。

空气阻力的研究不仅仅是从提高车辆性能的要求考虑,更重要的是具有重大经济意义。目前世界汽车保有量已达 6 亿多辆,汽车运输量占总运输量的 70% 左右。这些车辆在运输中几乎全部采用石油燃料,需消耗世界石油产品的 1/4。在长期的开发过程中,人们已经运用多种途径来达到节油的经济目的,如改进燃油品质,用柴油机代替汽油机,采用复合动力装置,采用新型替代燃料及制定先进的标准等办法。但是节能效果最为明显的就是减小汽车的空气阻力、滚动阻力和改善发动机微机控制等方法,因为汽车结构所限,再多的变化与新技术的运用仍然要考虑到减小空气阻力和动力输出。

2 CFD 建模分析

2.1 网格建模

几何文件 (.stl 等格式) 可以直接输入 Starccm+ 中,输入的几何文件都自动转化为很多小面来构成几何表面,输入到 Starccm+ 中后的几何外形如图 1。

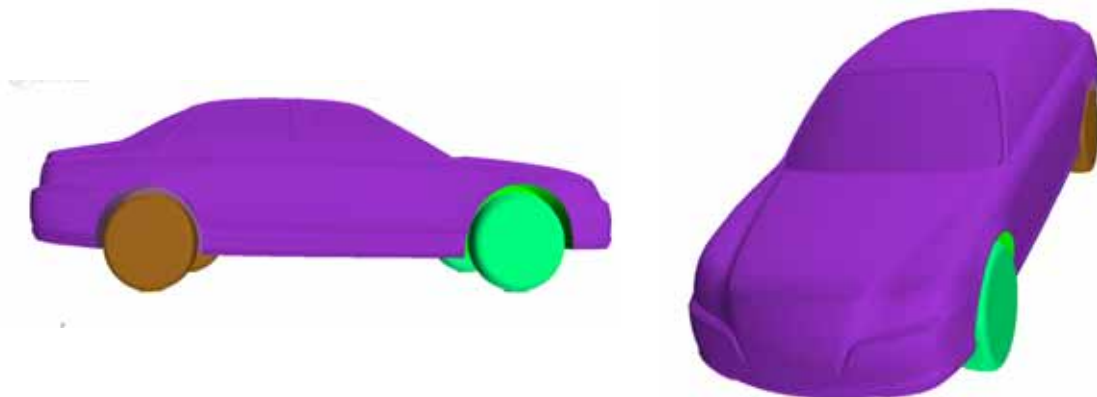


图 1 车身几何模型

对几何进行必要的修复和简化后,指定网格尺寸,可以直接生成体网格,也可先生成面网格再生成体网格。网格生成根据汽车外流场不同部分流场的不同情况,进行合理分区,使用具有相适应特征的网格就有助于显著提高解题的精度、计算的收敛性和稳定性。Starccm+ 中可以生成的四面体或多面体网格,且可以生成边界层网格。在此次分析中采用了四面体和边界层网格,网格数为 3,518,231,节点数为 869,111 如图 2 所示:

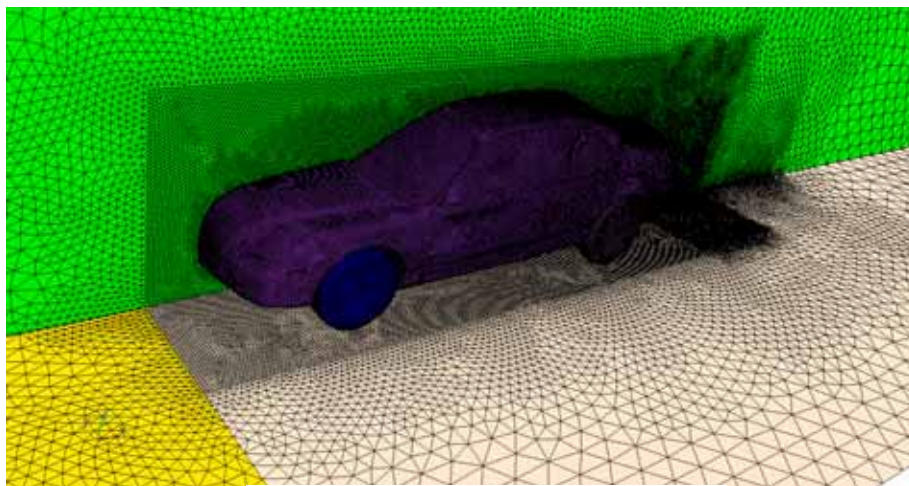


图 2 网格分布图

2.2 分析条件

该分析采用 2 阶离散格式，湍流模型为 RNG K-E 湍流模型，进口为速度进口，速度为 27m/s,出口为压力出口边界。

2.3 分析结果

分析完成后，在 Starccm+ 中进行后处理，图 3 为车身的静压云图。从压力分布云图可以看出，前端制止区的影响范围较大，增大了阻力；空调新风区域高压区较小，会影响进风效率；尾涡区的压力梯度变化较小，会减少尾涡区域的影响范围，减小阻力。

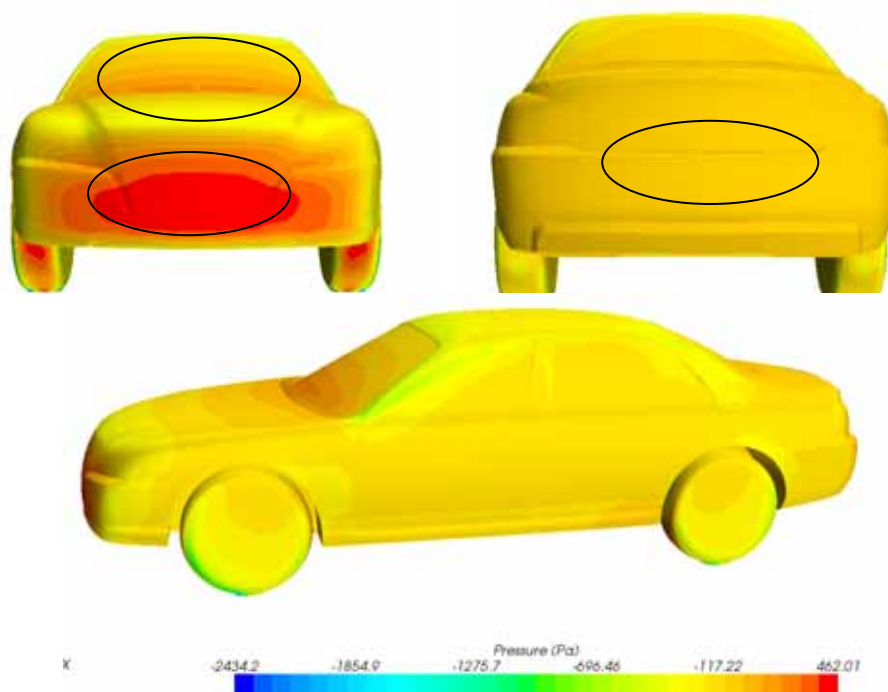


图 3 车身压力分布图

从前端进风压力系数云图（图 4）可以看出，下格栅的进风区域比较合理，上格栅的进

风效率会有影响。下挡风玻璃的压力分布不是最有利于空调新风口进风，高压区的影响范围小，位置偏上。

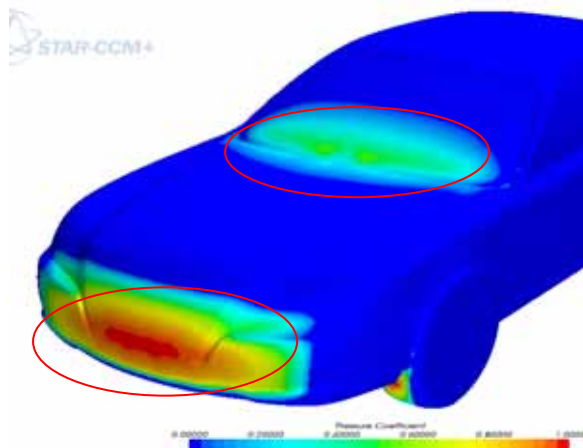


图 4 格栅前端和空调口附近压力

从图 5 中可以看出，前蒙皮和格栅区域的设计合理，没有发生大的流动分离现象。前轮罩下游区域发生的流动分离区域很小，说明贴体流动性能良好，风阻小。整车后窗玻璃，后蒙皮区域有较大的流动分离，增大了阻力。

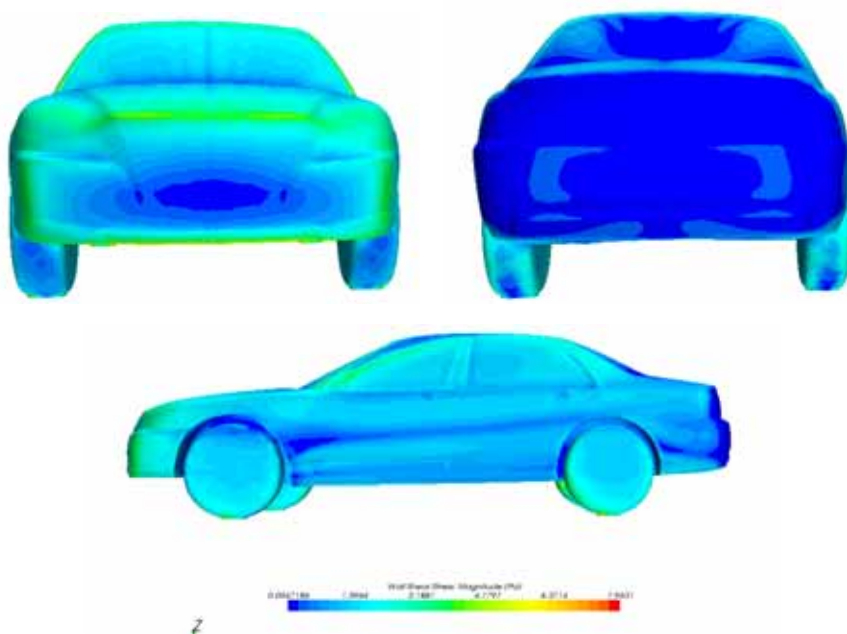


图 5 车身剪切应力分布

从车身表面油流（图 6）可以看出，整车表面流线光滑没有大曲率的流动曲线，回流曲线少，整车表面流动状态较好。前轮罩后部区域有回流曲线；后窗-C 柱以及后窗-顶盖区域流线强行向中部区域靠拢，增大阻力。



图 6 车身表面油流

从整车流线图（图 7）也可以观察到前轮罩后部区域的回流现象；后窗-C 柱以及后窗-顶盖区域流线强行向中部区域靠拢，增大阻力。此外，流线经过 A 柱、前翼子板后发生较大的流动分离现象，增大了阻力。后窗和后舱盖流线贴体性较好，后部尾涡区影响范围较小，具有减阻的作用。

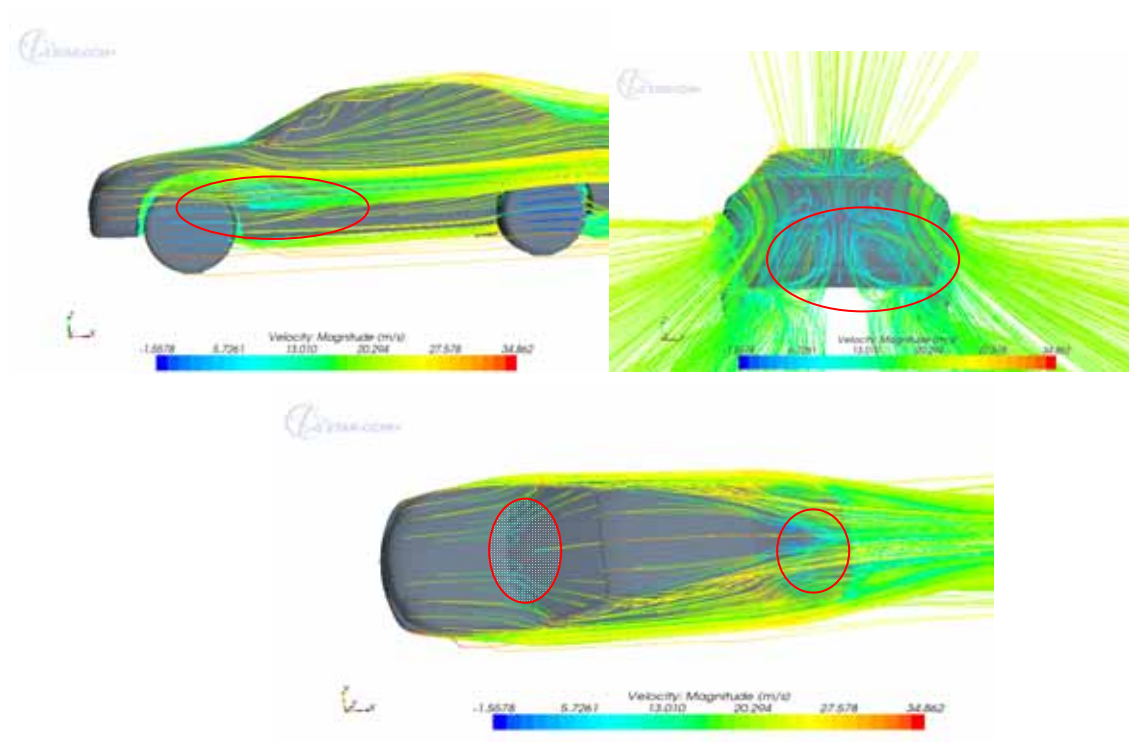


图 7 车身表面流线图

2.4 分析结果与设计和实验值对比

	CFD	VTS	TEST
DragCoefficient (Cd)	0.294	0.31	0.316
Front area	2.05m ²	2.18 m ²	2.18 m ²
Dragfactor (Cd*A)	0.60	0.66	0.69

3 结论

1 整车 CFD 分析得到的空气动力学参数如下：阻力系数 $C_d=0.294$ ，阻力因子 $C_d*A=0.60$ ，升力系数 $C_l=0.0756$ ，都小于 VTS 目标值，以及试验相应值。但是 CFD 分析由于没有考虑后视镜，地板进行光顺处理，因此实际的阻力和阻力系数会大些，简化对该系数的影响比较大，以后分析中将尽量把发动机舱的流动一起进行分析。

2 从流场各个特性显示可以看出，整车总的流动状态较好，有很好的贴体流动性能，整车表面流线光顺没有大曲率的流动曲线，驻点区的分离再附着性能好，除了尾涡区没有大的回流和流动分离现象，Underbody 流动有利于减小尾涡区尺寸，尾涡区的压力梯度变化较小，影响范围小，减小阻力。

3 但是在局部区域还是有一些增加阻力或降低系统性能的因素，例如：前端进风压力会影响上隔栅的进风效率，下挡风玻璃的压力分布不是最有利于空调新风口进风，前轮罩后部区域有回流曲线，后窗-C 柱以及后窗-顶盖区域流线强行向中部区域靠拢，流线经过 A 柱、前翼子板后发生较大的流动分离现象，增大阻力。

计算流体力学依赖计算机技术的发展在汽车设计和分析中得到应用，能够节约大笔试验费用，并且可以得到很好的数值模拟结果。经过计算流体力学家们的长期努力，汽车流场数值模拟使计算流体力学(CFD)在汽车工程领域中具体应用，这个领域已取得了许多重要的进展，建立和开创了许多理论和方法，提高了新型车型的设计效率。

参考文献

- 1 傅立敏，汽车空气动力学。
- 2 Star-CD 帮助文档。