

# 汽车空气动力学仿真

## Aerodynamic Simulation Of The Vehicle

昃强 刘鹏

( 长城汽车股份有限公司技术研究院 CAE 部 071000 )

**摘 要:** 应用 STAR-CCM+软件对长城汽车某款轿车进行整车空气动力学仿真分析。通过仿真分析发现了影响空气阻力系数的关键零部件,并对中网和尾翼进行了优化,改进效果明显。通过与试验的对比分析,结果拥有良好的一致性,验证了整车空气动力学仿真分析的有效性和可行性。

**关键词:** 汽车,空气动力学,STAR-CCM+

**Abstract:** This paper introduces the Aerodynamic Simulation Analysis of one car of GWM Company using STAR-CCM+. We found the key parts that affect drag coefficient and it is better than before by optimizing the grill and rear spoiler. Contrasting analysis results on actual vehicle test verified the validity and feasibility of the Aerodynamic Simulation Analysis, and made up for the shortage of the Clay Model Aerodynamic Simulation Analysis.

**Key words:** vehicle, Aerodynamic Simulation, STAR-CCM+

### 1 前言

在过去的十几年中,随着计算机技术的发展,CFD技术被越来越多的应用到了汽车设计中。空气动力学指标是汽车(特别是轿车)最重要的参数之一,它对汽车的动力性、经济性、操纵稳定性等有着极其重要的影响。当车速在100 km/h时发动机80%的动力用来克服气动阻力,整车空气动力学性能提高10%,油耗就会降低4%~5%;重量轻的汽车,特别是重心靠后的汽车,对前轮的升力特别敏感,这种情况对行驶中的汽车非常危险,即当前轮有升力使汽车上浮时,升力又随着车速的增加而继续增加,由于前轮失去附着力而使汽车失去控制。升力和俯仰力矩对于高速行驶汽车的操纵稳定性影响很大。对于轿车来说,如果在设计阶段没有充分考虑升力的问题,升力在强风时可达几十甚至几百公斤。这个附加力使前轮减轻了负荷,从而破坏了汽车的操纵稳定性;在后轮减少了负荷,使驱动力减小,产生的升力与侧向力的合力具有二次曲线式的增加趋势,对侧风稳定性影响很大。

世界汽车工业发达国家(如美国、日本、德国等)都十分重视汽车空气动力学理论和实验的研究。许多国际知名的大型汽车公司除了具备汽车专用的模型风洞和实车风洞以外,还在汽车空气动力学计算机仿真方面投入了大量的人力和财力,旨在缩短新车开发周期,以降低成本、增强产品的市场竞争能力。为获得良好的气动外形,国外每种大批生产的轿车都需经过1 000小时以上的风洞实验。

油泥模型空气动力学计算无法评价中网造型、机舱内附件及底盘各零部件对空气动力学的影响，故本文将叙述整车空气动力学的仿真分析。

## 2 模型建立

### 2.1 基本理论

控制所有流体流动的基本定律是：质量守恒定律、动量守恒定律和能量守恒定律。由它们可以分别导出连续性方程、动量方程(又称纳维尔 - 斯托克斯方程)和能量方程。由它们联立得到纳维尔 - 斯托克斯方程组，简称 N - S 方程组，N - S 方程组是流体流动所需遵守的普遍规律。现在工程中最广泛应用的是雷诺时均 N-S 方程：

$$\begin{aligned} (\bar{u}_i)_t + \bar{u}_j (\bar{u}_i)_{x_j} + \frac{(p)_{x_i}}{\rho} - \gamma \cdot \nabla^2 \cdot (\bar{u}_i) + \frac{(\rho \bar{u}_j \bar{u}_i)_{x_j}}{\rho} &= 0 \\ (\bar{u}_j)_{x_j} &= 0 \end{aligned}$$

其中， $i = 1, 2, 3$  表示坐标轴的三个方向， $x_i$  是坐标的三个分量。

求解偏微分方程的数值方法主要分为有限差分法、有限元法及有限体积法 3 种。它们中的任意一种都可以用来求解偏微分方程，但求解的精度各不相同。一般对椭圆型方程使用有限元法，对抛物型和双曲型方程使用有限体积法。STAR-CCM+使用的是有限体积法。

### 2.2 计算模型建立

由于机舱内零部件对空气动力学的性能产生很大影响，故仿真中考虑中网、冷凝器、散热器、风扇、发动机、变速器、进排气系统等大体积零部件对风阻系数的影响，并对关键零部件进行不同程度的细化。

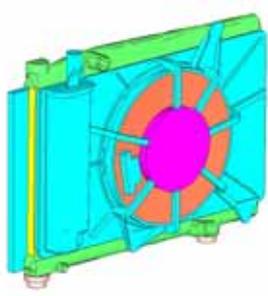


图 1 冷却系统面网格



图 2 机舱内面网格

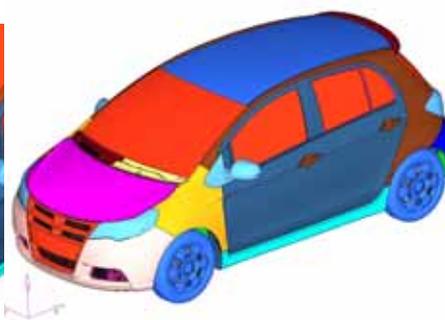


图 3 车体面网格

计算域的建立,车前 2 倍车长,车后 3.5 倍车长;整个宽度为 6 倍车宽;整个高度为 5 倍车高;车前 2000mm 为滑移地面与非滑移地面的分界线;考虑实际车轮承载后的变形,地面抬高 20mm。

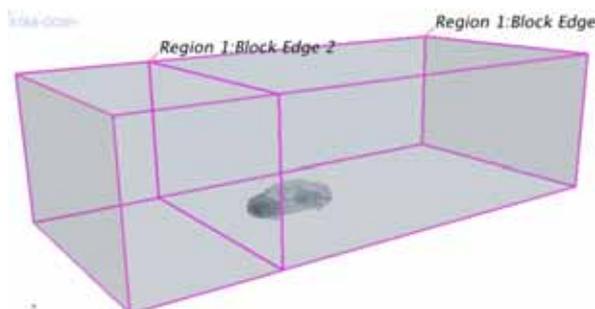


图 4 计算域的建立

对面网格进行必要的检查与修复后,生成体网格。为了提高计算的精度、计算的收敛性和稳定性,对体网格按区域进行了不同程度的细化,并有选择的生成边界层及边界层的厚度、数目。使用 STAR-CCM+中 Trimmed 网格形式,共生成网格 8,051,431 个,节点 9,741,977。



图 5 计算模型

为有效监测冷却系统空气流量,需分别监测冷凝器、散热器和风扇的上游迎风面和下游迎风面。通过 Internal Interface 实现冷却系统体网格和车体体网格的耦合。冷却系统体网格生成根据实际情况选择不同网格大小和边界层厚度、数目。使用 STAR-CCM+中 Trimmed 网格形式,共生成网格。

## 2.3 边界条件

湍流模型使用 K-E 湍流模型,进口为速度进口边界,速度为 30m/s,出口为压力出口边界。车体与风扇 Region 为流体属性,冷凝器与散热器 Region 为多孔介质属性并分别给定  $\mu$  值。地面前部为滑移壁面,其他为非滑移壁面。车轮赋予旋转边界。

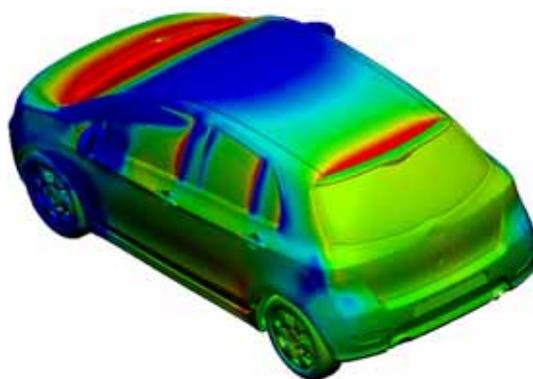


图 6 车身压力云图

## 3 解算分析

使用后处理工具观察结果。观察车身整体压力云图可得知,外部突出物(门把手、后视镜) 车身头部区域及尾翼处的压力分布较大,增大了空气阻力,且下格栅较上格栅压力分布大,冷却系统有效迎风面空气流量充足。

观察仰视压力云图,机舱下导流板对降低底盘件对空气阻力的影响起到一定的作用,但机舱内零部件及后保险杠处产生较大的压力分布,增大空气阻力。同时平整的底盘布局可有效减少底部涡流的产生,减少对流动的影响。

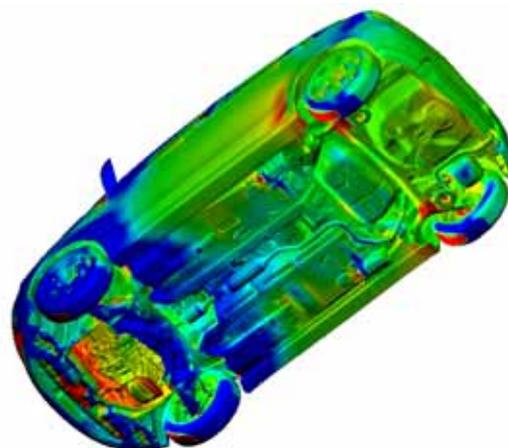


图 7 车身仰视压力云图

观察整车流线分布，车体尾部产生一个很大的尾涡，红圈标出，增大了空气阻力，从阻力系数分布曲线也可看出在尾部区域阻力系数增长速度很快，空气阻力很大。尾部的造型设计对整车空气阻力产生了较大的影响。

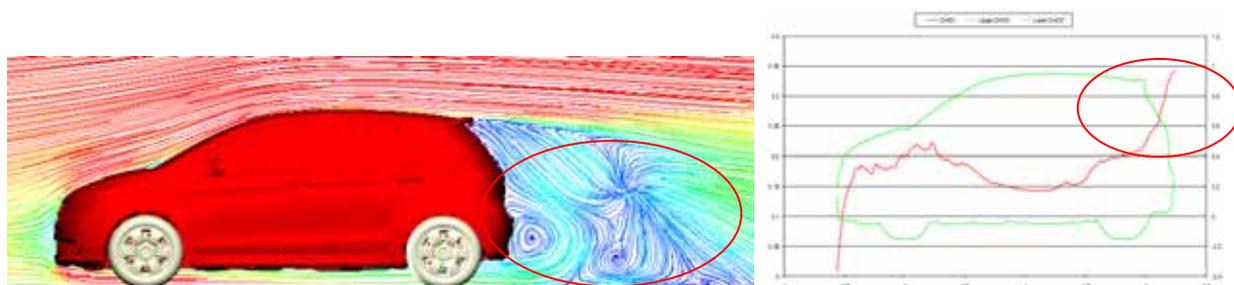


图 8 车身整体流线图

观察速度等值面分布，A 柱、后视镜及侧窗等区域均有小范围的涡流产生，影响了流动的平顺性，增大了空气阻力；底盘上由于导流板的设计和密封性不理想，产生了较多的涡流，增大了空气阻力；同样观察此图也可看到尾部区域大范围的涡流对空气阻力产生很大影响。

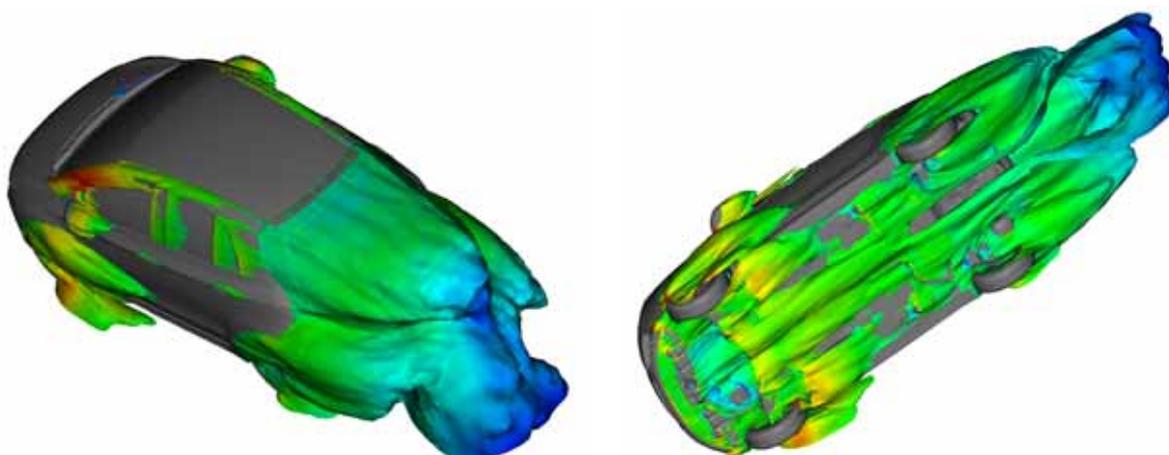


图 9 车身速度等值面分布

对于中网设计，观察机舱剖面速度分布（图 10 所示），发现有部分对冷却系统散热基本无影响的气流流经，增大空气阻力。红圈标出。同时，观察前部视图，中网两侧也有部分对冷却系统散热基本无影响的气流流经。应在不阻挡冷却系统有效散热面的前提下，对中网进行必要的密封。

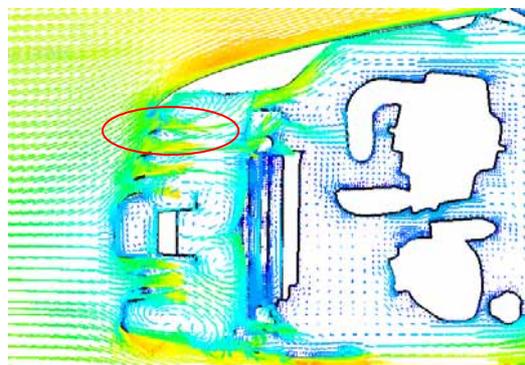


图 10 机舱剖面速度分布

#### 4 设计改进及实验对比

从上述分析中可以看出后视镜、尾翼设计及中网、底盘的密封对空气阻力产生较大影响，故将中网进行必要的密封并将尾翼的走势更改为贴近整车流线走势，如图 11，计算结果如下表所示，

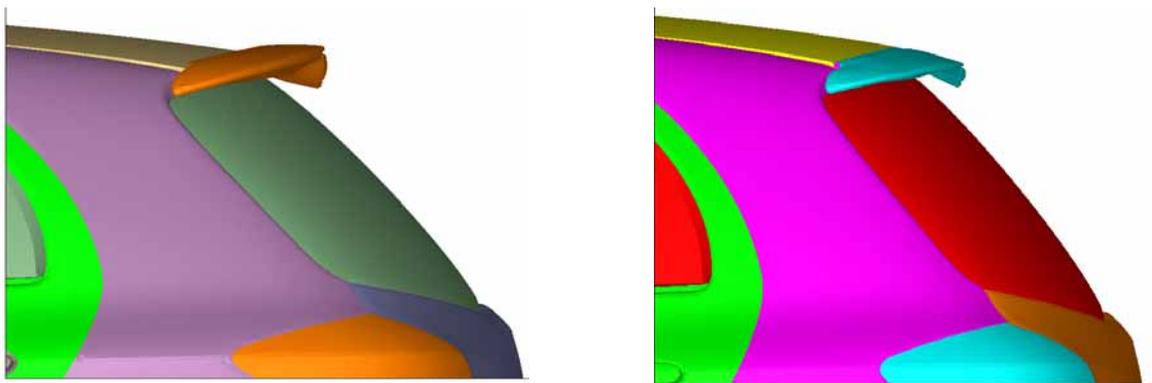


图 11 尾翼更改

表 1 实验对比

	油泥 仿真	油泥 实验	误差	更改前 仿真	更改前 实验	误差	更改后 仿真	更改后 实验	误差
<b>A(m<sup>2</sup>)</b>	2.06	2.18		2.174	2.174		2.174	2.23	
<b>Cd</b>	0.272	0.284	4.23%	0.365	0.346	5.21%	0.347	0.328	5.47%

## 5 结论

由于测量冷却系统，值的试验存在误差，且建模过程中本身无法精确表示车身结构，故造成空气动力学仿真与试验存在 5 %左右的误差。

从分析结果可知通过冷却系统的密封性优化及尾翼的设计优化可用来降低风阻系数，出于成本的考虑，将酌情选择合理的优化设计方案。

对比看出整车空气动力学仿真与油泥空气动力学仿真具有相当的精度，但整车空气动力学的模拟具有一定的难度，其中数据的收集和模型的建立过程中细节的处理方法是很重要的两方面。同时充分说明使用 STAR-CCM+进行空气动力学仿真具有实际的指导意义。

## 6 参考文献

- [1] 王福军编 《计算流体力学分析》清华大学出版社
- [2] STAR-CCM+ 帮助文档