

轿车后视镜气动噪声优化

Acoustic Analysis and Optimization of SVM

任素雅 周健

(上海汽车集团公司技术中心)

摘要: 后视镜是汽车气动噪声的主要来源之一。由于其复杂的湍流结构和非定常性, 在进行 CFD 模拟时存在一定的困难。本文使用 STAR-CCM+对轿车后视镜进行气动噪声分析和优化, 采用 LES 模型捕捉后视镜的尾流。通过头部曲线优化, 后视镜阻力系数下降至 0.258, 气动噪声降低了 10dB 左右。

关键词: 后视镜、气动噪声、STAR-CCM+、LES

Abstract: The side view mirror (SVM) is an important source of aerodynamic noise. Because the wake of SVM is highly transient and unsteady, it is difficult to be simulated. In this paper, aero-acoustics analysis and optimization have been carried out with STAR-CCM+ for SVM. The LES model has been used to capture the wake of SVM. Through optimization of the head-line, Cd of SVM is reduced to 0.258. And SPL is reduced by about 10dB.

Key words: SVM, Aero-acoustic, STAR-CCM+, LES

1 前言

气动噪声研究的是由于湍流、非定常涡流以及流体中的固壁作用引起的噪声^[1]。随着发动机噪声、进排气噪声、传动系噪声和轮胎噪声得到较好控制, 气动噪声已成为车辆主要噪声源之一, 引起人们越来越多的重视。

后视镜是暴露在高速气流中的汽车部件。后视镜的尾流会在汽车门窗上造成强大的压力脉动, 从而形成噪声。

本文利用 STAR-CCM+对汽车的后视镜流场进行了数值模拟, 经过优化, 后视镜的阻力和气动噪声性能都有所改善。

2 计算模型的建立

2.1 几何模型与网格

由于车身是左右对称的, 故只取左后视镜进行分析。

将其底座简化为一个平面并延展, 视为简化的车身表面, 基于此平面建立一个风洞, 风洞大小是 30m×10m×20m。使用 ANSA13.0.1 进行流场的网格划分。控制后视镜表面网格尺寸在 3mm 左右, 生成贴体边界层网格共 5 层, 总体网格数 800 万左右。最

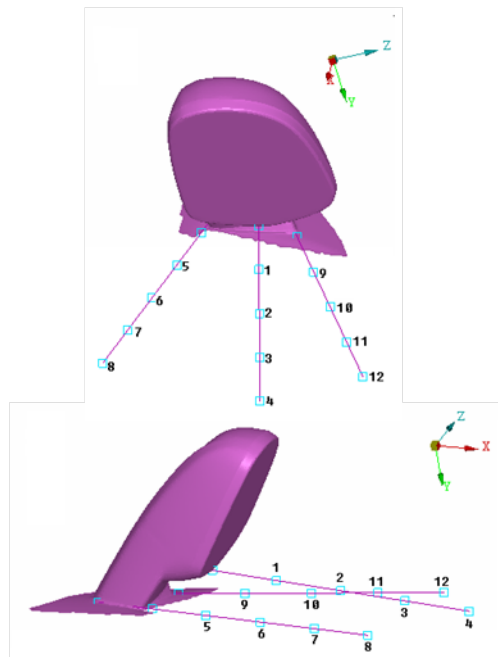


图1 几何模型及12个测试点位置

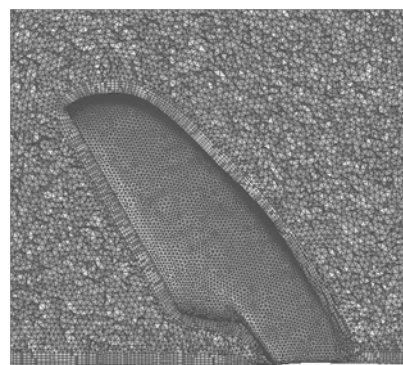


图2 后视镜网格剖视图

后将体网格导入 STAR-CCM+ 5.04.006, 进行后续的建模和分析。

2.2 数学模型

2.2.1 假设

- 1、考虑到整个流动区域速度较低、压力变化较小, 采用不可压缩理想气体假设;
- 2、将车身简化为一个平面, 赋以对称边界条件;
- 3、假设汽车在静止的空气中(无风条件下)、平直的路面上等速直线运动。这样汽车与地面、汽车与空气的相对速度均为汽车行驶速度;
- 4、x 轴方向与整车的来流方向一致。

稳态计算

2.2.2 边界条件

- 1、入口边界为速度边界, 行驶速度为 60km/h;
- 2、出口边界为压力边界;
- 3、车身平面为对称边界;
- 4、风洞的顶面和侧面赋以滑移壁面边界条件;
- 5、后视镜表面为无滑移壁面边界条件。

非稳态计算

2.2.3 计算模型

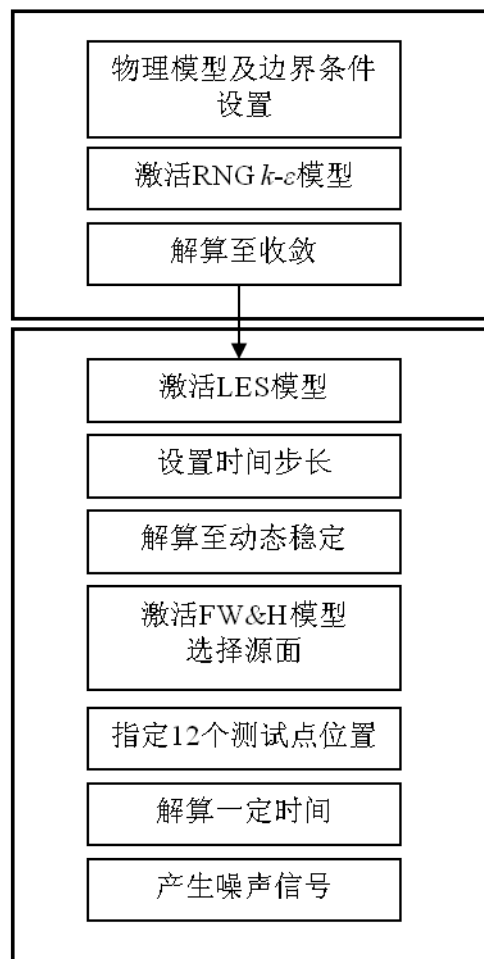


图3 CFD分析流程

图3描述了整个计算过程的各个步骤。先用RNG $k-\epsilon$ 湍流模型求稳态解, 然后将稳态解作为非稳态LES模型的初始条件。LES模型广泛地应用于气动噪声求解中。LES模型要求的网格质量比RANS模型更高, 但通常能够把握到更精细的涡流信息, 得到更精确的模拟效果。该模型的基本思路是: 对流场中大于一定尺度的涡旋进行直接模拟, 而小于一定尺度的涡旋用湍流模型进行模拟。由于引起噪声的来源主要是流场里的大涡旋, 所以选用LES模型模拟气动噪声是合适的^[2]。

在进行非稳态计算时, 时间步长从 0.1s 逐渐减小至 0.0001s, 待解算至动态稳定后, 开始应用 Ffowcs-Wiliams & Hawkins (FW&H) 模型计算噪声。12 个测试点的位置如图 1 所示, 每条线上相邻两个点之间的距离是 80mm。

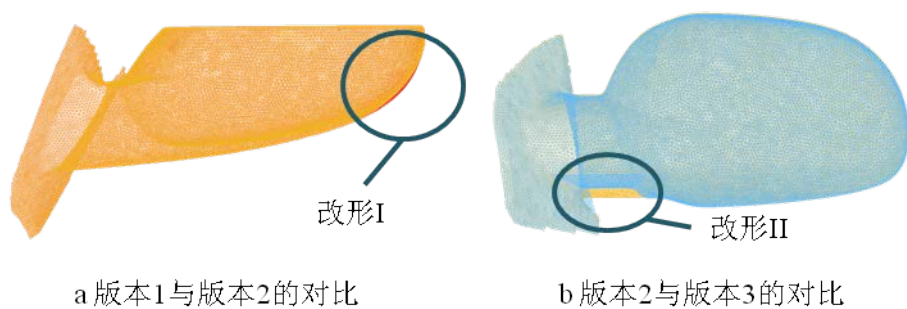


图4 三个版本几何模型对比

3 优化及结果分析

计算的流动持续时间是 2s。从图 5 的剖面速度云图看，图中框选出的部位气流的分离现象比较明显。改形 I 尝试对该部位的剖面曲线（头部曲线）进行优化，得到 Version2，看是否能改良后视镜的阻力和气动噪声性能。

在 Version2 基础上，Version3 对后视镜进行更大的几何改动，见图 4 (b) 所示的改形 II。图 4 中，红色、黄色和蓝色模型分别代表 Version1、Version2 和 Version3。

从表 1 来看，三个版本阻力系数从大到小排序是 Version1，Version3，Version2。其中，Version2 后视镜阻力对整车阻力的贡献比 Version1 降低了 0.7 个百分点。

从图 5 所示的速度云图来看，Version2 和 Version3 的尾流区边缘较为平整，他们的分离点也比较靠后，这可能是因为他们都接受了改形 I。

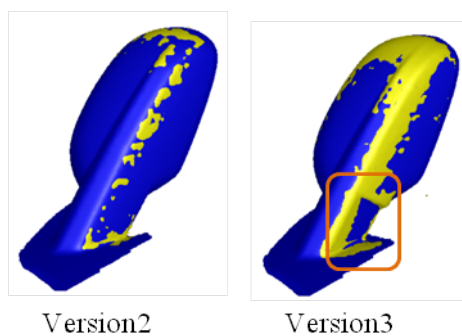


图6 等涡面图比较

Version2 大，并且改形 II 处出现新的噪声源，这是因为改形 II 增加了外形的尖锐度。

通过比较三个版本 12 个 Receiver 的 SPL 图的趋势线，三个版本按声压级水平（Sound Pressure Level）从高到低排序

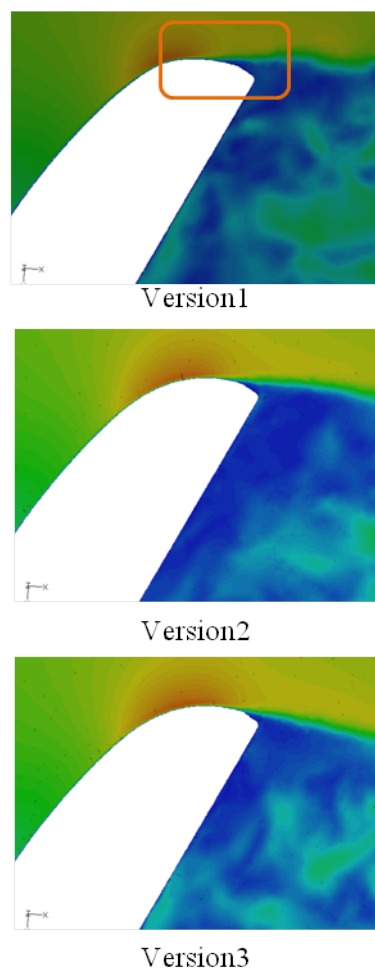


图5 三个版本剖面速度云图比较

依次是: Version3, Version1, Version2。以 Receiver9 的 SPL 值(图 7)为例——Receiver9 处的 SPL 值是 12 个测试点中最高的——三个版本 SPL 值最大值分别是: 82.6dB、76.9dB、86.2dB。Version2 的最大 SPL 值比 Version3 降低了 9.3dB (10.8%)。

表 1 三个版本阻力性能分析

模型	来流速度 (km/h)	阻力投影面 积(m^2)	阻力系数 C_d	总阻力(N)	占整车阻力 百分比(%)
整车半模 Version1	60	1.491	0.24	60.9	100
后视镜模型 Version1	60	0.04954	0.309	2.596	4.26
后视镜模型 Version2	60	0.04954	0.258	2.168	3.56
后视镜模型 Version3	60	0.04935	0.287	2.402	3.94

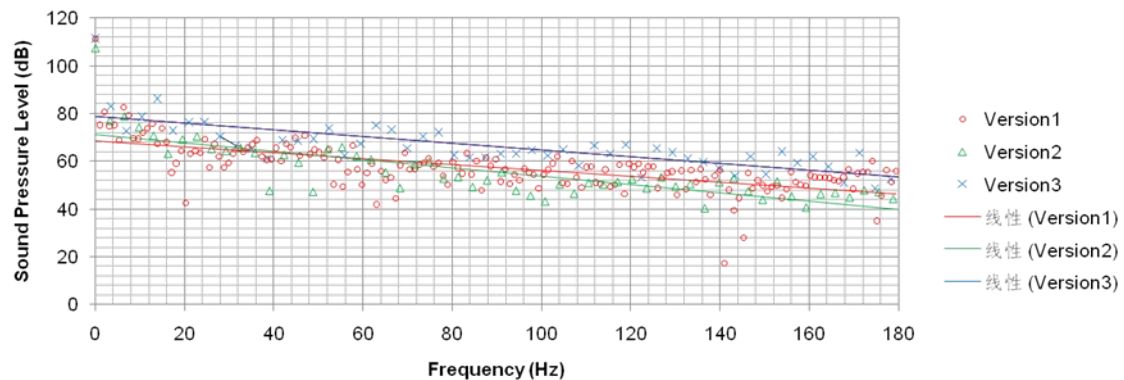


图7 三个版本SPL值比较 (在Receiver9)

4 结论

本文建立了四面体与贴体边界层的复合网格模型, 网格质量较高, 能够较成功地与 LES 湍流模型结合。分析模型较为细致地捕捉到后视镜的尾流流场信息。

从分析结果来看, 气动噪声主要发生在气流分离和湍流剧烈的区域, 突变的几何形状和突出物通常是噪声源产生的位置。优化这些形状对于后视镜的阻力性能和气动噪声性能的提高具有重要的意义。

5 参考文献

- [1] MengWang, Jonathan B. Freund, and Sanjiva K. Lele, "Computational Prediction of Flow-Generated Sound", Annu. Rev. Fluid Mech. 2006.3.
- [2] Fred Mendonca etc., "Towards Understanding LES and EDS for Industrial Aeroacoustic Predictions", International workshop on "LES for Acoustics", 2002.10.