

CFD 在汽车造型中的应用

Application of CFD analysis method in vehicle exterior design

王俊, 陈如意, 王树苹

(吉利汽车研究院工程分析部, 浙江临海, 31700)

摘 要: 本文将从整车外流场分析和后视镜分析入手, 阐述 CFD 技术在我国某自主品牌汽车的造型设计研发中的应用。应用压力系数分布图分析造型中存在问题, 并通过大涡模拟和快速傅立叶变换对后视镜尾部流场中作用于车窗的压力进行频谱分析, 得到声压频谱图, 来协助后视镜的改型。

关键字: CFD, 汽车外流场, 后视镜, STAR-CCM+

Abstract: This article is base on vehicle exterior flow analysis and rearview mirror evaluation, CFD analysis method for exterior design and development in self-owned brand vehicle of Geely has been described. Pressure coefficent distribution is adopted to search the problem in exterior design, based on large eddy simulation and FFT, Spectrum analysis is used to research the fluctuation pressure on side glass, which is induced by the rearview mirror, sound pressure level of test point is obtained to help us modifying the mirror.

Key words: CFD, vehicle exterior flow evaluation, rearview mirror, STAR-CCM+

1 前言

汽车空气动力学仿真分析是借助于计算机将 CFD 应用于汽车空气动力学研究的一种方法。亦即运用数值分析的方法计算模拟汽车的空气动力学问题, 为指导设计获得良好的汽车外形造型提供科学依据。与风洞实验相比, 汽车空气动力学计算机仿真除了节省开发时间和费用外, 还有利于与 CAD/CAM 系统相衔接, 并可获得比风洞实验更多的信息。CFD 汽车空气动力学造型与汽车美学造型之间即对立又统一, 两者之间存在一个谐调的过程。一个优秀的车身造型不仅是美的艺术品, 更是符合空气动力学的科学产品。因而可以说, CFD 旨在追求汽车空气动力学造型与汽车美学造型之间的完美统一。

CFD 在汽车造型中的分析项目包括如下几个方面, (1) 整车外流场分析: 分析整车的气动特性, 按照低阻车型设计的原则, 提出改进建议, 并且为车型选型提供技术支持; (2) 后视镜分析: 对后视镜附近的流场分析, 以降低后视镜噪声源为目标的辅助性设计; (3) 尾翼分析^[1]: 分析尾翼定位、尾翼攻角和尾翼截面形状对整车气动特性的影响, 为尾翼的设计和安装提供技术支持; (4) 车轮辐板分析^[2]: 分析辐板上开孔面积和布置对车轮和整车的气动特性的影响, 为选型提供技术支持。本文将从整车外流场分析和后视镜分析入手, 阐述 CFD 技术在我国自主品牌汽车设计研发中的应用。

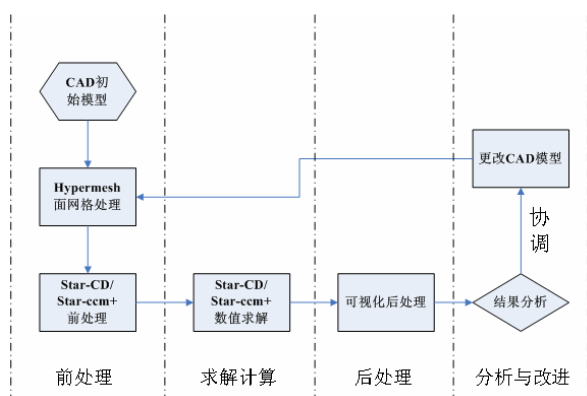


图 1 CFD 应用于造型设计的流程图

Fig.1 Flow chart for exterior design by CFD technology

2 整车外流场分析

整车外流场分析可以对空气动力学特性研究，发动机舱进气和空调进风效率评估，尾翼评估，尾涡考查，背门泥污染分析等，可以作为改型与选型的依据。

2.1 前处理与分析条件

将 CAD 模型导入 Hypermesh 中进行面处理，不作简化，保留车门把手等细小特征。面网格导入 STAR-CCM + 后，建立求解域，求解域尺寸：45.2m × 7m × 7m，进口距车身 16.2m，车前 2m 处切分前后地面。设置多个局部加密区，Remesh 后进行网格的修整。体网格划分，模型中 TRIM 体网格单元为 2,506,936 个，节点 1,783,977 个。

设定模型入口的风速为 33.33m/s，无侧风影响，出口为压力出口边界条件，环境温度为 20℃，空气密度为 1.205kg/m³，湍流模型为 RNG K-Epsilon 模型，差分格式为二阶迎风格式，车轮及地板抹平。边界条件中，分为两种情况 A：后地面切向速度，其值等于车速，车轮转动的角速度等于车速除以车轮半径（模拟道路行驶）；B：地面固定不动（模拟风洞实验）。图 2 为原后视镜方案，图 3 为改型方案，两图除后视镜外其他均一致。另说明：本文分析均基于边界条件 A，只在风阻系数对比中计算 B，并且在整车外流场采用后视镜 A 的模型。

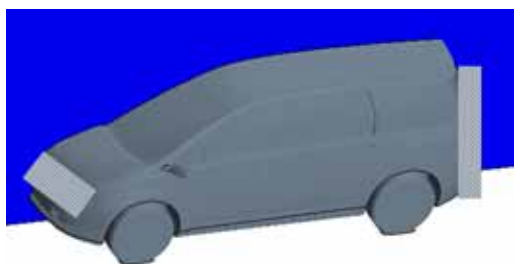


图 2 带后视镜 A 的模型
Fig.2 Model with Mirror A

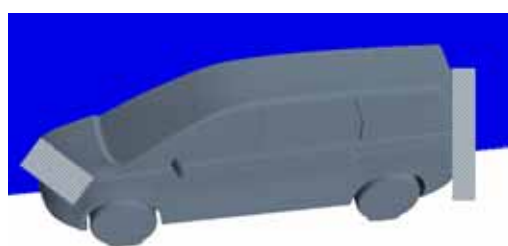


图 3 带后视镜 B 的模型
Fig.3 Model with Mirror B

2.2 车身压力分布

在车头 A 处存在一个高压区，下格栅的进风区域比较合理，上格栅的进风效率会有些影响。高压区 B 位于挡风玻璃上，此高压区稍微偏上，最好位于机舱盖与挡风玻璃交界处，这样有利于空调进风。（图不附上）

后窗玻璃处于低压区，越靠近 C 柱压力越低，其压力系数值约为-0.25 ~ -0.4，该低压区会增大压差阻力，使风阻系数变大。后保险杠的中间区域存在一个较高的压力区，其压力系数值约为-0.12。压力系数在车顶逐渐的增大，但是到了尾翼，其值变小，可见尾翼不能起到降低气动升力的作用，需要作改进。

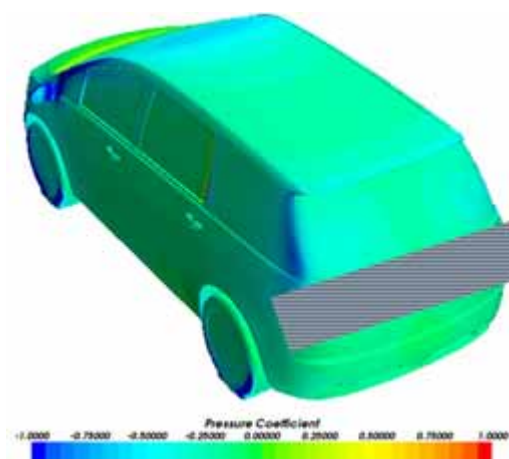


图 4 车身压力系数分布图

Fig.4 Pressure coefficient field

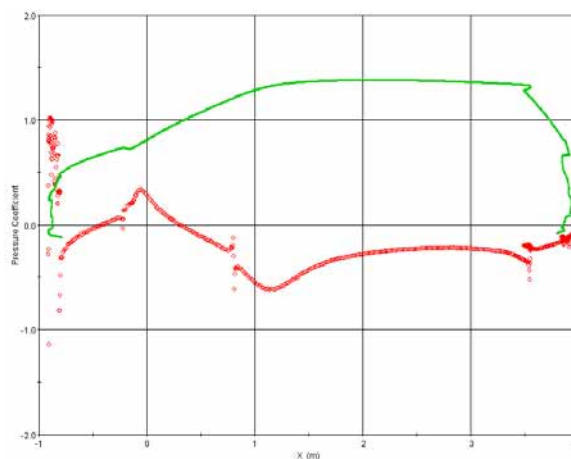


图 5 对称面压力系数图

Fig.5 Pressure Coefficient distribution on Symmetry Plane

对称面压力分布图显示出了前保险杠上沿处的压力为极大值，而在保险杠下沿处的压力值为极小值。前保险杠上沿处到发动机罩前沿，压力急骤降低，随后恒定增加直至达到前挡风玻璃下沿处。在前挡风玻璃下沿处到其后的一小段距离内，压力继续较快的增加到约 0.3，同样可以看出此高压区稍微偏上，不利于空调进风。从前挡风玻璃下沿稍高处到车顶，压力开始恒定的减小。由于保留了前挡风玻璃与车顶间的台阶类细小特征，出现了曲线断开的情形。从车顶到尾翼之前，压力出现很缓慢的增加。整个尾翼的压力处于下降的状态，显然尾翼需要改进。车尾的压力短暂的下降后迅速的提高，有利于降低阻力。

2.3 尾涡观察

在车的尾部产生很明显的尾涡流，上部的涡流在后窗玻璃下部的水平面处，下部的涡流在后保险杠中部的水平面处。后部尾涡区域影响范围较小，有利于降低气动阻力。从车底过来的气流受车身上部气流的压制，其带动的灰尘不会上扬到后窗玻璃上，有利于保持后窗的清洁。后保险杠下底面的倾角比较合理，整体尾部设计比较合理。

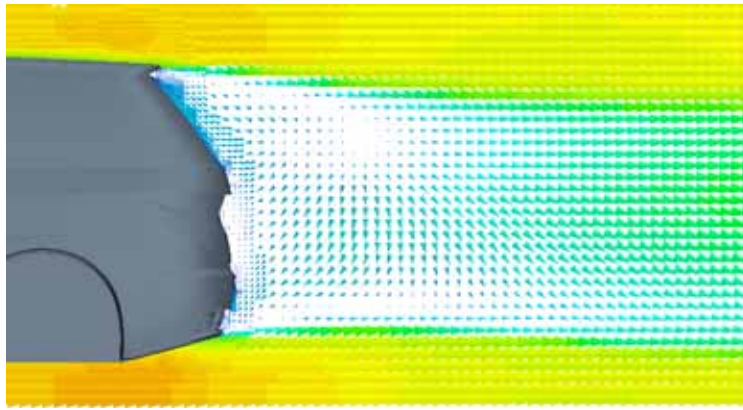


图 6 尾涡速度矢量图

Fig.6 Velocity field (longitudinal plane)

2.4 风阻系数

表 1 为两种边界条件下，计算所得的风阻系数，可以看出其差值很小。等样车数据出来，可以做包括发动机舱和底盘的风阻系数计算，进行比较。

表 1 计算风阻系数值

Tab.1 Cd value by CFD

边界条件	A (模拟道路行驶)	B (模拟风洞实验)
风阻系数 Cd	0.330	0.335

3 后视镜分析

由于造型、通用化及布置需求，后视镜模型的整体和安装位置进行了变更。由于后视镜模型 B 为借用件的基础上进行了修改，设计部门要求进行对比分析后视镜位置和形状对风噪的影响及协助造型改进。后视镜稳态分析可以直接用整车外流场的计算结果。

3.1 稳态计算分析

替换后视镜模型 B 后，重新划分体网格，计算收敛到 10^{-5} 后进行后处理，得到模型 B 的压力系数分布图和流线图。

对比图 7 中的 (a) 和 (b)，可知后视镜的形状和位置对 A 柱区域的压力系数产生了较大的影响，其同样会影响 A 柱区域的流动状况和由 A 柱引起的漩流产生的气动噪声。图 (b) 中 a 处的立柱可能成为新的噪声源，但安装在 a 处的立柱上可以获得更好的视野，同时 A 柱区域的压力分布也稍好些。由于后视镜 A 更接近于流线型造型，其压力梯度要好于后视镜 B 的压力梯度。综合考虑造型、通用化及总布置的要求，采用后视镜 B，但可作局部修改。

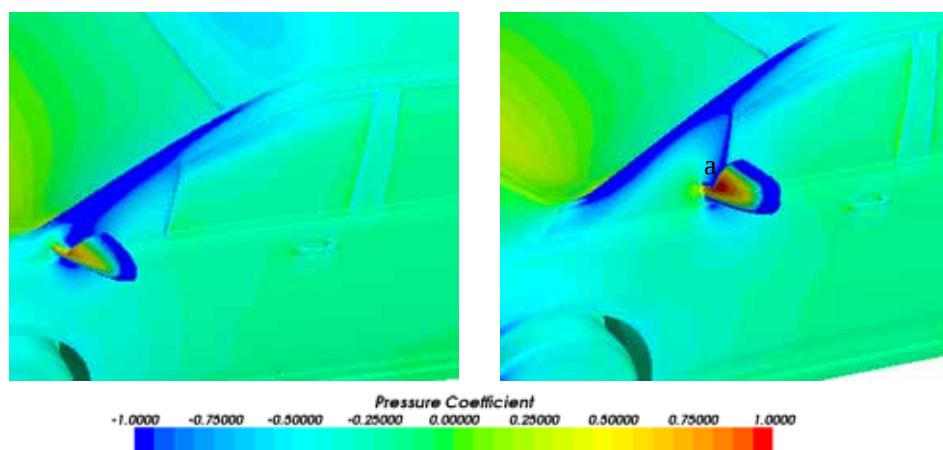


图 7 整车压力系数分布对比

(a) 模型 A (b) 模型 B

Fig.7 Pressure Coefficient distribution comparison of vehicle

(a) Model A (b) Model B

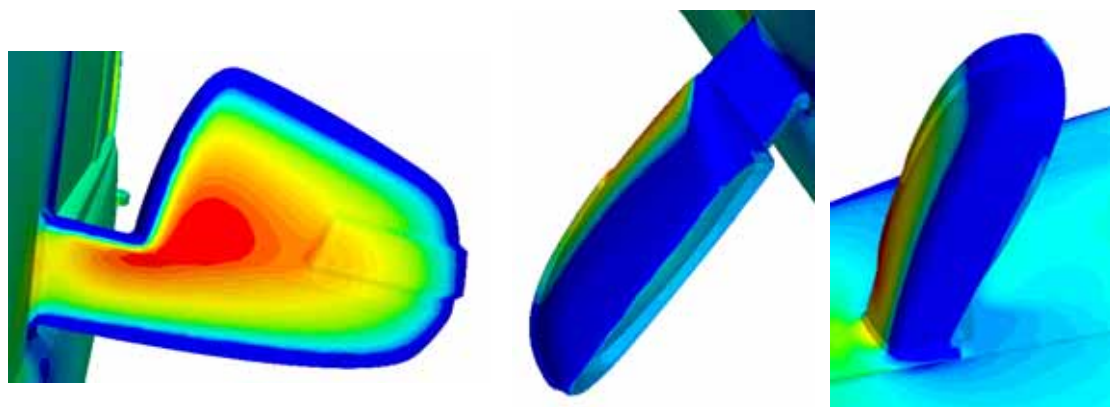


图 8 后视镜的压力系数图

Fig.8 Pressure Coefficient distribution of Mirror

该后视镜的迎风面较大，减少后视镜的迎风面积，可以减少后视镜背风面的涡流区的面积，降低噪声。后视镜与车身的连接区域的构形应该使用流线型物面，避免硬朗的线条与型面。降低后视镜表面区域的压力梯度，避免产生强烈的脉动压力场，脉动压力场是产生风噪的主要因素^[3~5]。

气流流经后视镜后，未撞击到车身表面或车窗玻璃，因此，后视镜与车身的连接距离没有问题。

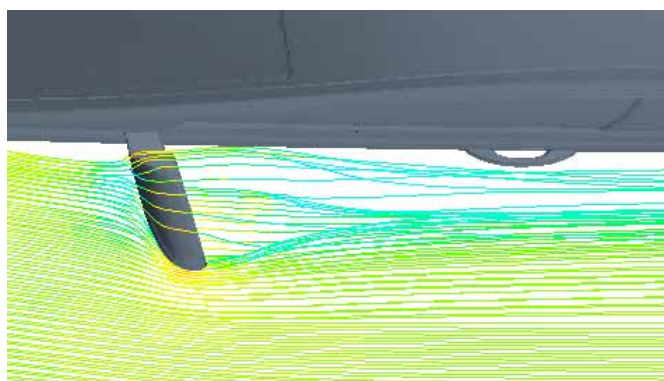


图 9 后视镜流线图

Fig.9 Velocity pathlines of mirror

3.2 瞬态计算分析

在稳态计算收敛后,其结果作为瞬态计算的初始值,瞬态过程采用 LES 模型,Smagorinsky 亚格子模型,时间步长为 10^{-4} s,根据香农定理采样频率可以达到 5KHz。计算后可以获得脉动压力场,取 0.05s 到 0.1s 的测点压力值进行 FFT (快速傅立叶变换),将脉动压力转换到频域,得到声压频谱图,来协助后视镜的改型。

测点有 4 个,分别考察后视镜影响区域和再附着区域,其中再附着区域的测点 R 用来表征驾驶员左耳处噪声值。

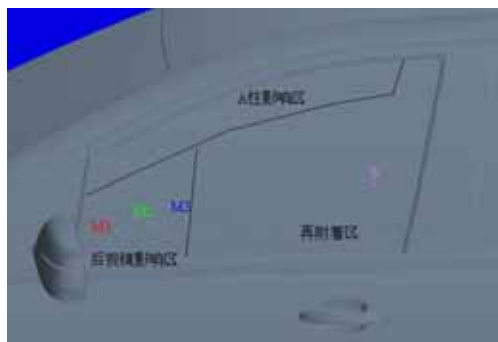


图 10 测点分布

Fig.10 Location of test Points

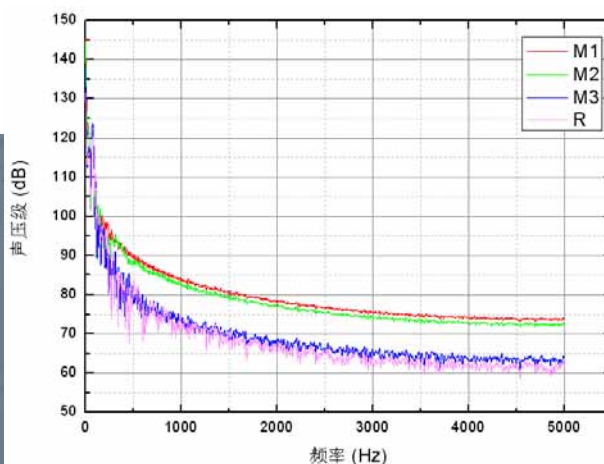


图 11 测点的计算频谱图

Fig.11 Numerical simulation of sound pressure level

人的听觉对 2000 ~ 6400Hz 的噪声最为敏感^[3],在此区间内, M1 点计算值为 74dB ~ 78dB, M2 点计算值为 72dB ~ 77dB, M3 点计算值为 63dB ~ 68dB, R 点计算值为 62dB ~ 67dB。从 M1 点到 M2 点噪声降低很小,但是 M2 点到 M3 点下降约 9dB。M3 点到 R 点下降很小,约 1dB。后视镜尾涡在 M3 点前,因此,可以将 M2 点定为后视镜噪声评估点。

3.3 后视镜的修改

对后视镜 B 作局部修改,修整连接臂迎风区域型面成流线型,去除转向灯台阶,整合成一体式或将转向灯移至翼子板处,修改后的模型见图 12,再进行稳态计算,得到后视镜附近区域的压力系数分布图,如图 13 所示。

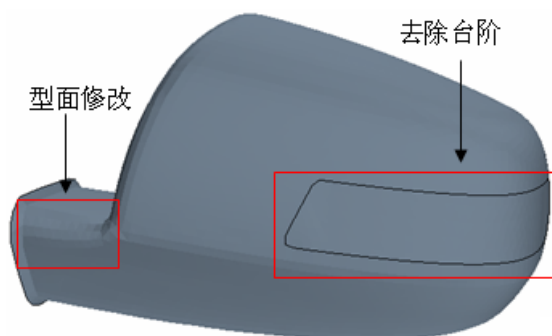


图 12 修改后的后视镜模型 (M1)

Fig.12 CAD Model of modified mirror

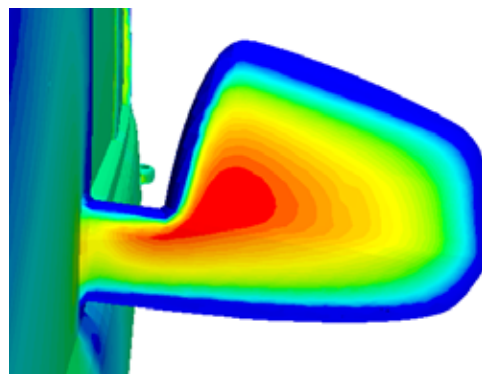


图 13 修改的后视镜的压力系数图

Fig.13 Pressure Coefficient distribution of modified mirror

后视镜与车身的连接臂的迎风区域的压力梯度有所改善，从而尽量缩小分离区，推迟附面层流动分离。台阶的取消使得原台阶附近混乱的压力分布情况消失。

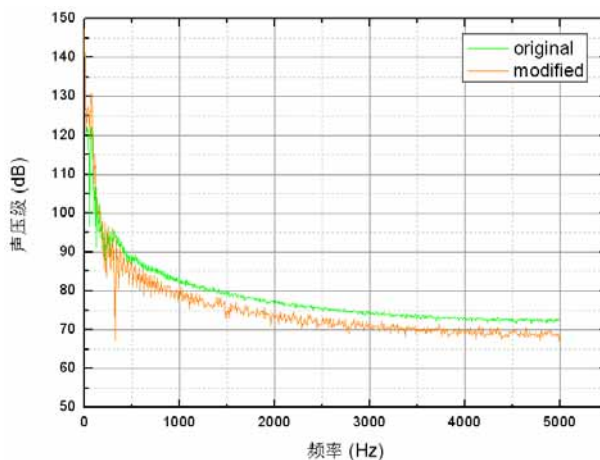


图 14 测点 M2 修改前后的频谱对比

Fig.14 Numerical simulation comparison of sound pressure level for Point M2

在修改后视镜计算稳态的基础上，应用大涡模拟，得到测点 M2 的频谱图，对比可知，在 2000 到 5000Hz 的区间内，修改后后视镜后，M2 点噪声降低很明显，约为 4dB。虽然计算值的精确性尚需试验论证，但是趋势是合理的，是可以在样车或样件还未制造，无法试验时，作为改型及选型的参考。接下来，我们将对样车进行试验论证。

4 结论

(1) 通过压力分布可以评估发动机舱和空调进风效率，以及尾翼的性能，尾涡分析可以考查后保险杠设计和背门泥污染评估等。风阻系数方便将来实车的风洞实验对比验证。

(2) 利用 LES 方法进行数值模拟，可以在造型初期预测后视镜的噪声，减少后期实验次数，并为改进提出指导依据，可以降低研发成本，提高汽车性能。

5 参考文献

- [1] 姜岩,康宁.尾翼定位对斜背式轿车气动特性影响的研究[J].车辆与动力技术, 2004, (3): 9 ~ 131.
- [2] 傅立敏,胡兴军,张世村.CFD 仿真在汽车轮辋辐板设计中的应用研究[J].汽车技术, 2006, (5): 16 ~ 19.
- [3] 洪四华,丁能根,吴阳年.某 SUV 后视镜气动噪声模拟研究[J].车辆与动力技术, 2007, 108(4): 12 ~ 15.
- [4] 杨万里,李明江,刘国庆.乘用车风噪声模拟研究[J].华中科技大学学报, 2005, 33 (11) : 77 ~ 79.
- [5] 王志亮,刘波,桑建兵.汽车后视镜气流噪声的数值模拟和实验研究[J].机械强度, 2008, 30(4): 692 ~ 695.