

Drag Reducation Study of a Compact SUV

Zhicheng Wei

School of Mechatronics and Vehicle Engineering, Chongqing jiaotong university, Chongqing, 400074, China

Abstract: Based on the simulation analysis of SUV, corresponding additional devices are added at the top and the tail of the vehicle to reduce the disturbance of the airflow at the rear of the vehicle, thus achieving the purpose of drag reduction. The results show that the aerodynamic drag coefficient of the prototype vehicle is 0.3562, and the aerodynamic drag coefficient of the SUV after adding the additional device to the roof is 0.3392, and the drag reduction rate reaches 4.8%. After adding an additional device at the rear of the vehicle, the SUV has aerodynamic drag coefficient of 0.3426 and a drag reduction rate of 3.8%.

Keywords: SUV; Aerodynamic drag; Attachment; Optimization

某紧凑型 SUV 减阻研究

魏志成

重庆交通大学机电与车辆工程学院, 重庆, 400074

摘要: 基于对 SUV 的仿真分析, 在车尾顶部与尾部分别添加相应的附加装置来减小气流在车尾的扰动, 从而达到减阻的目的。结果表明, 原型车辆的气动阻力系数为 0.3562, 在车顶加上附加装置后的 SUV 气动阻力系数为 0.3392, 减阻率达到 4.8%; 在车尾加上附加装置后 SUV 气动阻力系数为 0.3426, 减阻率达到 3.8%。

关键词: SUV; 空气阻力; 附加装置; 优化

1 引言

随着我国汽车保有量的不断增加, 汽车尾气排放带来了严重的环境污染。其次, 随着车速不断的提高, 气动阻力所消耗的功率呈速度的三次方增加, 化石燃料被过度的使用, 直接导致石油价格的飙升, 加大了人民日常出行成本[1]。因此, 如何通过汽车空气动力学来减小汽车的行驶阻力已经成为关键的课题。根据文献[2]可知, 汽车的行驶阻力主要来源于车身的压差阻力, 而压差阻力主要是因为气流在车身尾端发生分离, 使得气流在尾端形成尾涡且伴随着能量发生损耗, 导致汽车尾部存在大片负压区, 基于此, 本篇文章将会分别在车尾顶端与车尾底端添加附加装置, 以此延缓气流在车尾端部发生分离, 削弱车尾端部的涡流强度, 以此减小汽车行驶阻力, 实现节能减排的目的。

2 SUV 的外流场模拟与分析

2.1 SUV 的模型选取

本文所选取的 SUV 是某紧凑型的实车模型, 因为

研究的是汽车外流场, 所以把汽车内部器件全部除去, 为了提高网格划分精度, 忽略汽车外部的门把手和透视镜等部件, 同时对汽车底部做平整简化处理, 从而形成一个简化车型。在 CATIA 三维建模中, 生成如下图所示的实车模型。

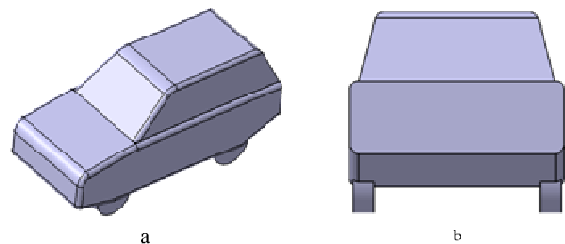


Figure 1. SUV basic model diagram

图 1. SUV 的基本模型图

2.2 计算域的确定

在风洞试验中, 计算域边界的选取距离车身有足够远的距离。在数值模拟中, 因为计算机本身的限制, 计算域边界的选取不可能无限大[3]。因此, 本次

计算域的具体尺寸为车前 3 倍车长，车后 7 倍车长，宽度为 3.5 倍车宽，高度为 5 倍车高，满足了阻塞比小于 5% 的要求[4]。下图为 SUV 的计算域示意图。



Figure 2. SUV computational domain view
图 2. SUV 计算域示意图

2.3 网格的划分

网格的划分是数值模拟的关键一步，网格质量直接决定模拟是否具有准确性。在实际运用中，网格的划分占据整个模拟的一大半时间，极为耗时且容易出现网格质量较低的一面。

在三维软件中建好实车模型后，导入到 star-ccm+ 中进行网格划分。在网格划分过程中，首先对模型进行包面和重构的命令，以此提高面网格质量，为生成体网格做准备[5]。本文体网格选取的是非结构化的四面体网格，为了网格质量进一步的提高，需要对车轮进行垫块处理。具体计算域体网格如下图所示。

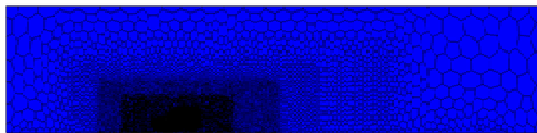


Figure 3. Computational domain grid
图 3. 计算域体网格

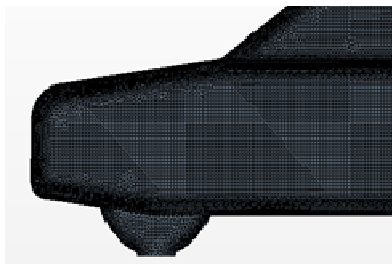


Figure 4. Wheel block processing
图 4. 车轮的垫块处理

在生成体网格后，对其质量进行诊断，结果如下所示。

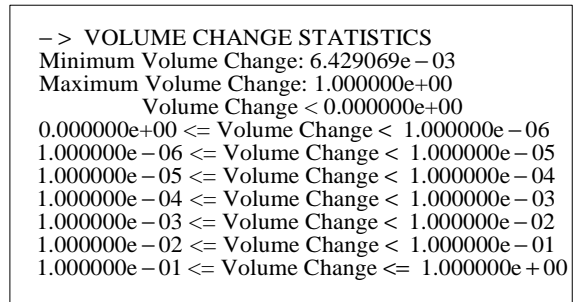


Figure 5. Volume grid diagnostic view
图 5. 体网格诊断视图

2.4 边界条件的设置

根据实际情况，给 SUV 设置一个 30m/s 的入口速度条件以及一个标准大气压的出口压力条件。墙壁设为滑移壁面，车身以及车轮设置为无滑移无滑移壁面。流体方程选择 RNS 方程，采用 SST K- ω 湍流模型[6]。

2.5 计算域的收敛

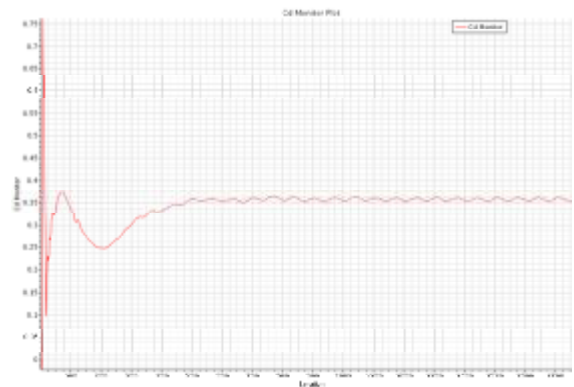


Figure 6. Resistance coefficient iteration graph
图 6. 阻力系数迭代图

在 star-ccm+ 中对 SUV 进行仿真模拟，得到如上图所示的阻力系数迭代图，计算得到气动阻力系数 $C_d = 0.3562$ 。

2.6 计算结果分析

在对 SUV 进行仿真模拟后，需要对模型进行后处理，以此来介绍汽车在高速行驶的时候的流场情况。

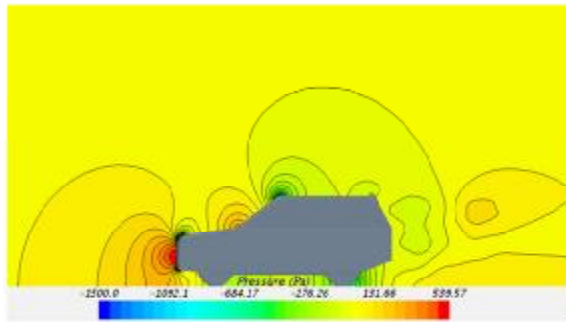


Figure 7. SUV symmetry plane pressure cloud map
图 7. SUV 对称面压力云图

由图可知，汽车在实际行驶过程中，前方气流遇到汽车前脸时，气流速度会急速下降，导致气流在汽车前脸处形成高压区。接着气流会发生流动分离，在汽车前脸处形成低压区。当上方气流流经发动机盖的末端时，由于前风窗的阻挡，气流速度会再次下降，形成高压区[7]。然后气流沿着前风窗一路加速向上，当气流行至车顶时，因为速度过快会发生分离，形成一片低压区。

由图可知，SUV 的车尾背部存在大片低压区，因为低压区的存在，使得车身前后存在压差阻力。因此本文下面章节将会介绍如何通过添加附加装置，以此达到减阻的目的。

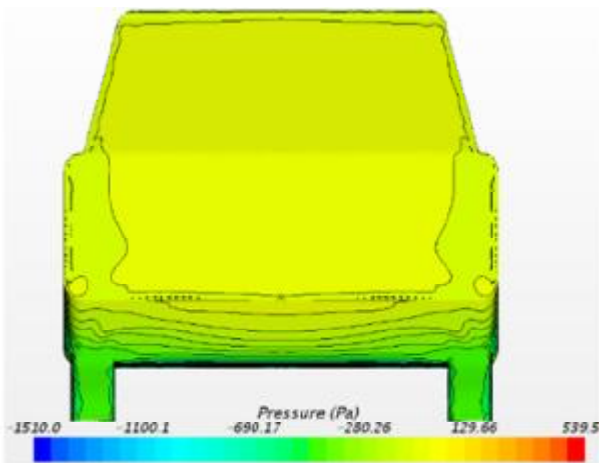


Figure 8. Pressure map of the rear of the car
图 8. 车尾背部压力云图

3 顶部附加装置的设计

合适的附加装置可以延缓车尾顶部气流在车后的

分离，减小车身尾部的涡流强度。因此，本文添加了如下图所示的车顶附加装置。

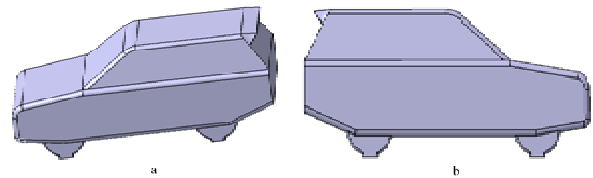


Figure 9. Roof spoiler layout
图 9. 车顶扰流板布置图

在车顶添加附加装置后，运用上述内容中的模拟条件进行仿真模拟，最终得到 SUV 的气动阻力系数为 0.3392。将计算完的模型进行后处理得到对称面处的压力云图与湍动能图。

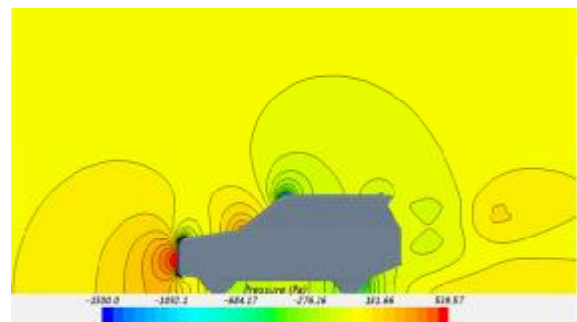


Figure 10. SUV symmetry plane pressure cloud map
图 10. SUV 对称面压力云图

对比图 7 可以明显看出，添加车顶附加装置后，车尾后部的负压区减小，说明因为添加车顶附加装置的缘故，车尾顶部的流场得到改善，气流扰动减小，减小了车身前后的压差比，使得汽车的动力学性能得到提高[8]。

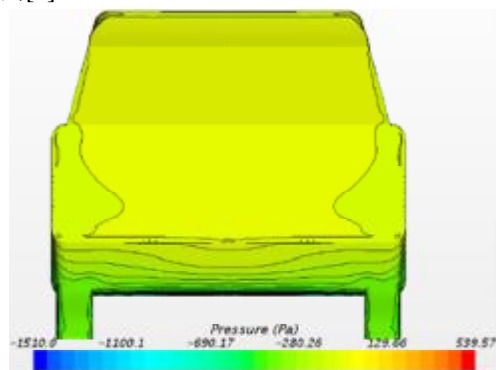


Figure 11. Pressure map of the rear of the car
图 11. 车尾背部压力云图

对比图 8 可以明显看出, 在压强范围为-1510 pa—569.57 pa 的前提下, 在车尾顶端添加附加装置后, 图 14 中的高压区面积增加了很多, 这有利于增加车身尾部压强, 减小车身后压差阻力, 有利于减小 SUV 气动阻力。

4 车底尾端附加装置的设计

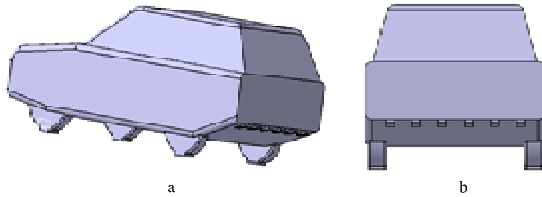


Figure 12. Car bottom attachment layout
图 12. 车底附加装置布置图

在车尾底端添加附加装置后, 运用上述内容中的模拟条件进行仿真模拟, 最终得到 SUV 的气动阻力系数为 0.3426。将计算完的模型进行后处理得到对称面处的压力云图与湍动能图。

对比图 7 可以明显看出, 在车尾底端添加附加装置后, 车尾后部的负压区出现明显变小, 说明因为在车尾底端添加附加装置的原因, 车尾底部紊乱的流场得到改善, 气流得到更好的梳理, 削弱了车尾后端涡流强度, 从而减小了车身后端的负压区面积, 有利于减小 SUV 的行驶阻力。

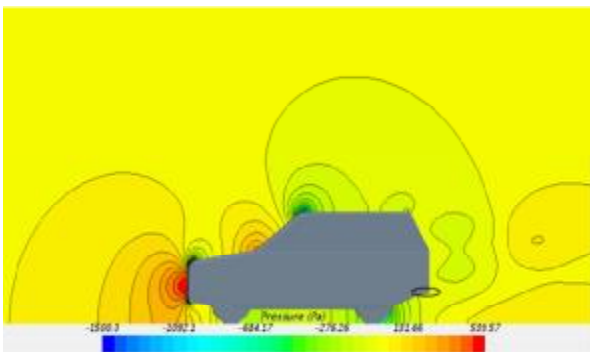


Figure 13. SUV symmetry plane pressure cloud map
图 13. SUV 对称面压力云图

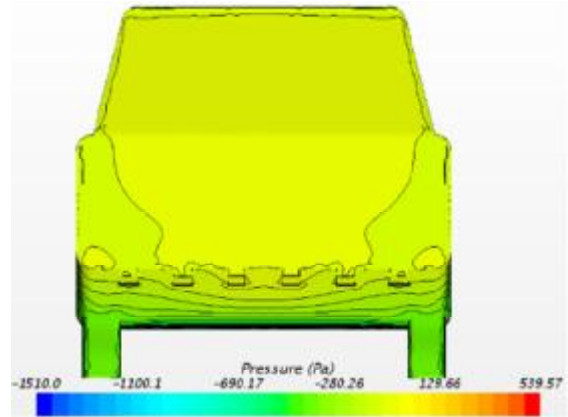


Figure 14. Pressure map of the rear of the car
图 14. 车尾背部压力云图

对比图 8 可以明显看出, 在压强范围为-1510 pa—569.57 pa 的前提下, 在车尾底部添加附加装置后, 图 14 中的高压区面积增加了很多, 这有利于增加车身尾部压强, 减小车身后压差阻力, 有利于减小 SUV 气动阻力。

5 结论

本文基于对 SUV 仿真模拟, 在车尾顶端与车尾底端分别添加附加装置, 得到以下结论:

(1) 汽车在高速行驶的时候, 因为车尾气流发生分离的缘故, 将会形成尾涡, 造成车尾后端存在大片低压区。

(2) 分别在车尾顶端添加附加装置与车尾底端添加附加装置, 使得汽车后端流场得到不同程度的改善, 削弱了尾涡的强度, 减小汽车的行驶阻力。其中, 在车顶添加附加装置后的 SUV 气动阻力系数为 0.3392, 减阻率达到 4.8%。在车尾添加附加装置后的 SUV 气动阻力系数为 0.3426, 减阻率达到 3.8%, 说明上述两种方案用来减阻是可行的。

References (参考文献)

- [1] Yang Y., Shen X.W., Gu Z.Q., Zhang W. Aerodynamic Optimization of Variable Post-Spirator Based on Approximate Model. China Journal of Highway and Transport, 2012, 25, 05, 146-151. 杨易, 沈夏威, 谷正气, 张文阁. 基于近似模型的可变后扰流器气动优化[J]. 中国公路学报, 2012, 25, 05, 146-151.
- [2] Gu Z.Q. Automotive Aerodynamics. Beijing: China Communications Press, 2005, 83-84. 谷正气. 汽车空气动力学. 北京: 人民交通出版社, 2005, 83-84.
- [3] Wan J. Numerical simulation and modeling optimization of the external flow field of the car. Hefei University of Technology,

-
2014.
万举晔. 赛车外流场数值模拟及造型优化. 合肥工业大学, 2014.
- [4] Chang L.W., Zhang T.L. Aerodynamic simulation of the design stage of a SUV vehicle. *Agriculture Equipment and Vehicle Engineering*, 2014, 52, 9, 59-61
常利伟, 张腾龙. 某 SUV 车造型设计阶段的空气动力学仿真模拟[J]. *农业装备与车辆工程*, 2014, 52, 9, 59-61.
- [5] Liu Y. Simulation of aerodynamic characteristics of cars considering engine compartment and bottom details. Chongqing Jiaotong University, 2013.
柳叶. 计及发动机舱和底部细节的轿车气动特性模拟. 重庆交通大学, 2013.
- [6] Wu D.J., Hu X.J., Yang B. Study on the wake field simulation of the back-seat car model. *Automotive Engineering*, 2014, 36, 7, 790-793.
吴德久, 胡兴军, 杨博. 阶背式轿车模型尾流场仿真研究[J]. *汽车工程*, 2014, 36, 7, 790-793.
- [7] Gao B., Chen X.J. Three-dimensional numerical simulation of the external flow field of a car based on CFD analysis software. *Modern Manufacturing Engineering*, 2007, 2007, 5, 64-66.
高斌, 陈细军. 基于 CFD 分析软件对某轿车外流场三维数值仿真[J]. *现代制造工程*, 2007, 2007, 5, 64-66.
- [8] Zhang F., Wang J., Huang X et al. Numerical Simulation and Optimization Design of Vehicle External Flow Field. *Mechanical Design & Manufacturing*, 2016, 2, 223-227.
张峰, 王剑, 黄霞, 等. 汽车外流场数值模拟及优化设计[J]. *机械设计与制造*, 2016, 2, 223-227.
-