

基于 Fluent 的考虑旋转车轮影响的汽车外流场分析

谭妍玮, 张众华, 刘秋生

(西华大学汽车与交通学院, 成都 610039)

摘 要:以某型轿车为基础,建立了包含后视镜、车轮及车身造型的整车外流场模型,利用 Fluent 软件对车轮在静止与旋转条件下的外流场进行了数值模拟,并进行对比分析。仿真结果表明:旋转车轮影响整车所受的气动阻力和气动升力,同时旋转车轮还对车身底部和尾部以及后视镜处的涡流形态和尺度有很大影响。可见,旋转车轮对整车外流场的分析结果具有重要影响,不可忽略。

关键词:旋转车轮;CFD;外流场

中图分类号:U462

文献标志码:A

引 言

汽车空气动力学是流体力学的一部分,它是研究汽车与周围空气在相对运动时两者之间相互作用力的关系及运动规律的科学^[1]。对于空气动力学的研究主要采用理论分析、数值计算和实验三大类方法。传统的研究大多是在风洞中进行实验,费用昂贵、开发周期长。随着计算机技术的快速发展,计算流体力学(CFD)蓬勃兴起,由于 CFD 方法能够解决一些理论分析法和实验法难以处理的复杂流动问题,而且费用低、周期短,被广泛地应用到汽车的空气动力学特性研究中^[2-4]。

汽车外流场是一种复杂的扰流流动,车轮的旋转使得车体周围的流场更加复杂^[5]。在以前的汽车外流场的研究中,常常对汽车做了很多的简化,模型的建立上没有考虑后视镜、车门柱等车身附件的影响,同时忽略了车轮的旋转对整车外流场形态的影响,结果尽管具有一定的参考价值,但是与真实情况还是存在一定的差异^[6-8]。本文建立了包含后视镜等附件的汽车模型,利用 Fluent 软件对汽车外流场进行了数值模拟,得出了静止车轮和旋转车轮的汽车外流场特性。

1 模型的建立与网格划分

1.1 三维模型

采用 Solidworks 软件来建立轿车的三维模型,模型基本参数为车身长: $L = 4500$ mm;车宽: $W = 2200$ mm;车高: $H = 1350$ mm。此次建模过程中保留了后视镜、门柱、车身腰线等主要特征,对汽车表面和底部做了相应的平整处理,以平整面替换车底的真实凹凸形状。计算区域设置为:前方为 3 倍车长,后方为 7 倍车长,单侧宽度为 2 倍车宽,车顶面为 5 倍车高^[9-10]。轿车模型如图 1 所示。

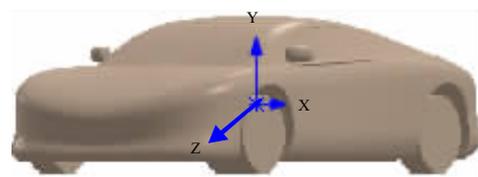


图 1 轿车三维模型

1.2 网格划分

考虑到车身曲面的复杂性,本文采用了混合网格划分方法,该方法可以充分发挥四面体网格贴合性好和六面体网格计算精度高的优点^[11]。首先采用整体控制法

收稿日期:2015-06-09

基金项目:西华大学研究生创新基金(ycyj2015034)

作者简介:谭妍玮(1990-),女,四川广安人,硕士生,主要从事汽车性能测试与仿真方面的研究,(E-mail)tanyanwei1205@163.com

将计算域的网格尺寸控制在 4 mm ~ 8 mm 之间;然后对车身壁面周围的网格进行整体细化,单元体长度尺寸控制为 5 mm,车身、轮胎及轮罩的近壁面采用了膨胀层网格,以提高近壁面的计算精度。在保证网格质量的前提下,尽量减少网格的数量,总网格数约为 840 万。网格划分结果如图 2 所示。

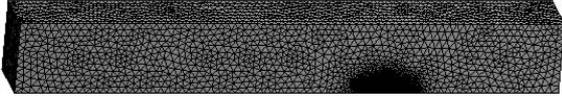


图2 网格划分结果

1.3 边界条件

一般认为汽车外流场是三维、等温、定常、不可压的湍流运动。本文为了避免求解整个计算域,减少计算成本,采用了对称边界条件,将计算量减少一半,这里将汽车的纵向对称平面(YZ平面)设置为对称边界条件。进口边界速度设定为 28 m/s,出口边界为压力出口。对于静止车轮,利用移动壁面条件模拟汽车与地面的相对运动,移动速度为 28 m/s,而旋转车轮,除了设置移动壁面外,还利用旋转壁面条件模拟车轮的旋转运动,即设置车轮的壁面为 moving wall,并给定旋转角速度为 100 rad/s。

由于雷诺平均法是工程中应用最为广泛的方法,因此本文选用雷诺方程(RANS)来进行汽车外流场数值模拟计算。在数值模拟求解过程中,必须选取适当的湍流模型使该方程闭合,因为 RNG 湍流模型考虑了旋转流动,能更准确地模拟轿车复杂外流场的流动情况,因此这里选择 RNG 湍流模型进行求解^[12]。

2 结果分析

由仿真结果可以得到汽车所受到各个气动力,以及汽车外流场在任意截面上的速度矢量图、流线和压力分布图等。

2.1 对称面流速和压力分析

汽车向前行驶时,所承受的空气作用力是比较复杂的。旋转车轮对称面速度矢量如图 3 所示,压力云图如图 4 所示。首先当前方均匀来流到达车头时气流受到阻滞,流速降低,压力增大,在头部产生一个高的正压区。然后气流产生分支,一部分从车底流过,大部分沿发动机罩和门窗向顶部和侧面流去,气流基本上沿着车身表面平滑流动,流动过程中速度增大,压力减小,并在车身顶部形成了负压区。而来自汽车顶部和底部的两股气流在汽车车尾处形成涡流。

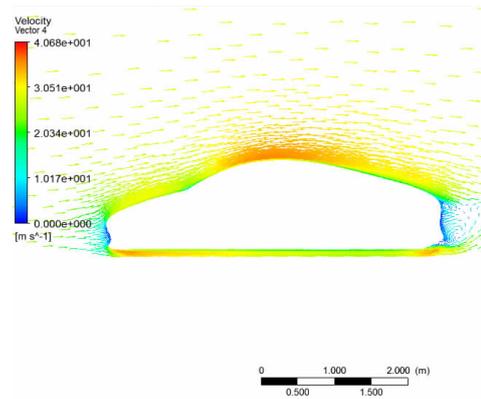


图3 对称面速度矢量图

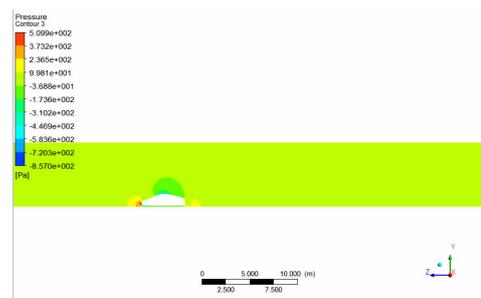


图4 对称面压力云图

2.2 整车气动力分析

汽车行驶过程中,车轮的旋转对整车的气动性能产生重要的影响,这里对比分析静止车轮和旋转车轮的整车气动力大小可以发现,旋转车轮的存在使得整车的阻力和升力增大(表 1)。由此可见车轮旋转带动车底气流流动,引起整车的压力变化,进而影响车身的气动力。

表 1 整车气动力

	阻力/N	升力/N
静止车轮	190.766	117.322
旋转车轮	212.985	125.943

2.3 车轮气动力和压力分析

车轮的旋转是影响车轮周围气流流动的因素。这里将整车里的前后车轮剥离出来分析,见表 2 和表 3。对比数据可以看到,不论车轮处于静止还是转动条件,汽车后轮受到的阻力和升力都小于前轮所受的阻力和升力,这是因为汽车的前轮直接面对迎面而来的气流,气流经过前轮后流向后轮,即后轮处于前轮的尾流影响中,所以前后轮所处流场的初始条件不同,进而产生的气动力大小有很大的差异。

表 2 静止车轮气动力

	阻力/N	升力/N
静止车轮		
前轮	23.671	25.098
后轮	12.013	11.053

表 3 旋转车轮气动力

旋转车轮	阻力/N	升力/N
前轮	24.148	28.658
后轮	12.698	10.852

将静止车轮和转动车轮的气动力进行比较,可知不论前轮还是后轮,车轮在转动条件下产生的阻力大于静止车轮,而升力方面,旋转车轮的前轮升力大于静止车轮,后轮升力却小于静止车轮。这是由于车轮旋转过程中在轮罩周围产生了复杂的流场,对阻力和升力产生了影响。

图 5 和图 6 为静止车轮和旋转车轮的前后轮表面压力分布云图,由云图可以看出轮胎正前方下方呈现高压分布,这是因为气流沿车底流动首先流向车轮正下方,速度减小、压力增大。对比前后轮可以发现:由于前轮直接受到来流的冲击,表面气流流速加快,于是表面压力低于后轮。对比静止车轮和旋转车轮的压力可知:车轮在旋转的过程中,车轮带动其附近的气流一起旋转,引起旋转车轮上半部分的压力大于静止车轮。

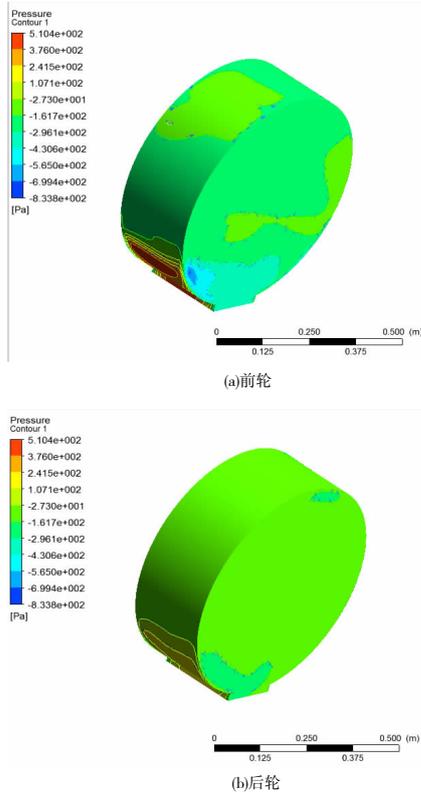


图 5 静止车轮表面压力分布图

2.4 静止车轮和旋转车轮的外流场对比分析

流经车身底部的气流一部分沿着平滑的车身顺利流向车尾,另一部分则通过轮胎与轮罩之间的间隙流向车尾。图 7 为汽车前轮附件速度矢量图,分析车身底部车轮处的流场发现,由于车轮的旋转方向与气流速度方

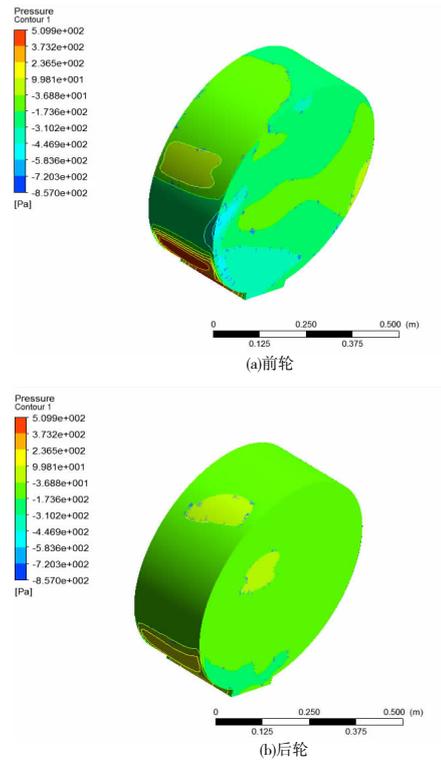


图 6 旋转车轮表面压力分布图

向相反,进一步阻碍了气流流动,使流向轮胎两侧的空气流量增大,从而诱发涡流的产生。

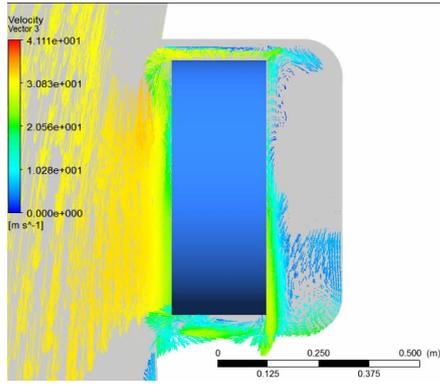
流经车身侧面的气流经过后视镜时,由于后视镜的阻碍作用,速度降低,加上车轮旋转产生的作用,使后视镜后面产生的涡流发生了一定的变化。这里在后视镜后方 0.1 m 且平行于 XY 平面的地方建立一个截面来观测后视镜处的涡流,如图 8 所示(图 1 已经建立了坐标系),可以看到车轮静止和旋转条件下,在后视镜后方均产生上下两个涡流,旋转车轮使得上方涡流尺度变小,下面涡流尺度增大,并使下方涡流位置上移。

图 9 为静止车轮和旋转车轮对称面尾部的速度矢量图。车轮静止时,来自前方的气流顺利经过车顶、挡风玻璃和行李舱盖到达汽车尾部时气流突然失去附着,产生气流分离,在尾迹区产生了顺时针和逆时针两个涡流,并形成一定的压差阻力。对于旋转的车轮,它将气流推向汽车的尾部和侧面,最后导致尾迹区涡流的位置和形态发生变化。尾部上方产生了一个较大的拖曳涡,它是由顶盖和后窗上气流翻卷形成。

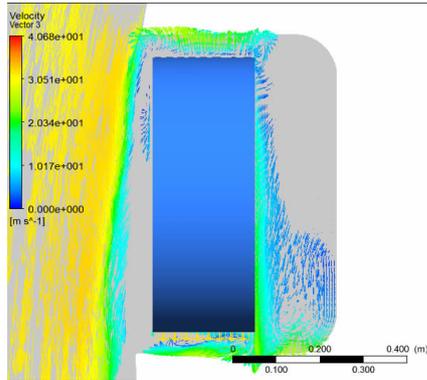
3 结论

(1) 本文基于 Fluent 软件得到了汽车的气动力以及汽车外流场的速度矢量图和压力云图等。

(2) 本文创建的包含后视镜、车轮及车门柱等特征

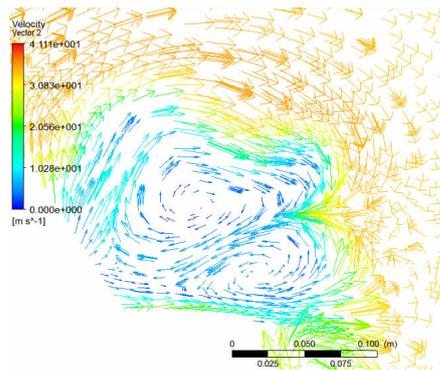


(a)静止车轮

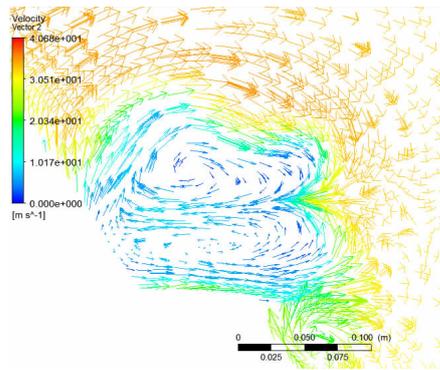


(b)旋转车轮

图7 车身底部前轮附近的速度矢量图



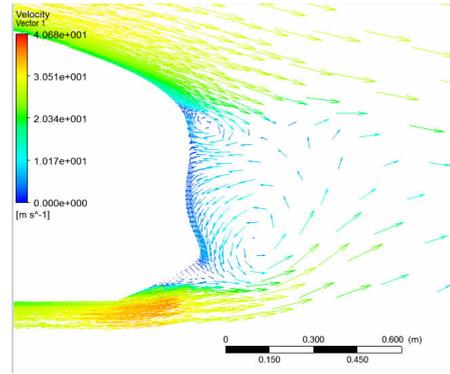
(a)静止车轮



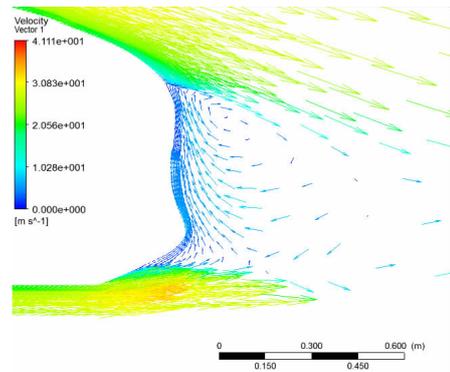
(b)旋转车轮

图8 距离后视镜后方0.1 m处速度矢量图

的数值模型提高了计算精度,采用 RNG 湍流模型和 In-



(a)静止车轮



(b)旋转车轮

图9 车身对称面尾部的速度矢量图

flation 近壁面网格方法成功捕捉到了车尾和后视镜等处的湍流运动。

(3)通过对比车轮静止和旋转情况下的流场差异,可知旋转车轮的存在对轿车外流场特性有很大的影响,不仅影响气动力的大小,同时还影响车身底部轮罩处和轿车尾部附件以及后视镜处的涡流形态和尺度。

参考文献:

[1] 王福军.计算流体动力学分析[M].北京:清华大学出版社,2004.

[2] 熊可嘉,杨坤,王毅刚,等.轿车外流场及气动噪声的建模与仿真[J].汽车科技,2011(5):42-45.

[3] 许志宝.汽车外流场 CFD 模拟[J].合肥工业大学学报:自然科学版,2007,30(12):162-164.

[4] 赵婧.汽车风洞地面效应的数值仿真研究[D].长春:吉林大学,2011.

[5] 甄华翔.转动车轮对轿车外流场影响的数值模拟[D].大连:大连理工大学,2007.

[6] 林铁平.汽车流场 DES 模拟研究[D].长沙:湖南大学,2010.

[7] 安震,李旭,李居莉,等.某轿车外流场数值模拟与分

- 析[J].农业装备与车辆工程,2012,50(12):48-52.
- [8] 王东,章辰益,李理光,等.敞篷车与硬顶车流场特性的 CFD 对比研究[J].汽车工程,2015,37(1):78-82,106.
- [9] 饶紫微,乔维高,杨松,等.某车型外流场特性的数值仿真研究[J].武汉理工大学学报:交通科学与工程版,2014,38(2):450-453.
- [10] 顾文领,崔俊杰.基于 Fluent 的汽车外流场特性研究[J].农业装备与车辆工程,2014,52(3):55-57,65.
- [11] 董立伟,谷正气,刘水长,等.网格划分对汽车外流场数值计算影响的研究[J].汽车科技,2012(1):12-15.
- [12] 夏起,单希壮,杨志刚,等.不同湍流模型在列车外流场计算中的比较[J].同济大学学报:自然科学版,2014,42(11):1687-1693.

Analysis of Automobile External Flow Field With the Influence of Rotating Vehicle Wheel Based on Fluent

TAN Yanwei, ZHANG Zhonghua, LIU Qiusheng

(School of Automobile and Transportation, Xihua University, Chengdu 610039, China)

Abstract: On the basis of a certain type of car, the external flow field model including rearview mirror, wheels and body modeling is established, and the outflow field of wheels under the condition of static and spinning is numerically simulated, compared and analyzed by Fluent software. The simulation results show that the rotating wheels affect the aerodynamic drag and the aerodynamic lift of the whole automobile, at the same time, the rotating wheels also have a great influence on the bottom of the body, stern and the eddy current form and scale at rearview mirror. Therefore, the rotating wheels have an important influence on the analysis of vehicle outflow field, which should not be neglected.

Key words: rotating wheel; CFD; outflow field