

基于 CFD 技术的子午线轮胎滚动工况的流场分析

刘臣才,程冬冬,束永平*

(东华大学 机械工程学院,上海 201620)

摘要:从计算流体动力学的角度,以 12.00R20 全钢载重子午线轮胎在速度 $70 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 下的滚动工况为研究对象,通过 Abaqus 有限元分析,将模型的速度及形变变化信息经 C 语言程序处理后重划网格,最后经 Fluent 的 UDF 自定义函数导入,并进行流体动力学分析。Fluent 中的流场分析拆分为多个时刻,中间以插值的形式进行衔接,从而进行轮胎逐步滚动的流体动力学模拟,得到轮胎滚动时的流场,研究轮胎花纹块对气动阻力系数和流场压强的影响。结果表明,带复杂花纹轮胎的气动阻力系数较大,且出现湍流现象,流场压强明显增大。

关键词:子午线轮胎;计算流体动力学;流场;插值;气动阻力系数;有限元分析

中图分类号:U463.341⁺.6;O241.82 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-890X(2014)10-0614-04

汽车流体动力学是研究汽车与周围流体作相对运动时两者之间相互关系及运动规律的学科^[1]。汽车在行驶过程中,各部分与空气构成一个复杂的系统,而轮胎周围的流体与轮胎相互作用,对汽车行驶产生影响。轮胎滚动时复杂的空气运动过程影响轮胎阻力系数和流场压强,进而影响轮胎的气动噪声性能。因此研究并改进带复杂花纹轮胎附近的流场对改善其空气动力学性能及气动噪声性能有着至关重要的作用。

目前针对轮胎的流体动力学分析,可采用计算流体动力学(CFD)方法。由于 CFD 数值模拟的迅速发展及其周期短、费用低的优势,使得该技术的应用越来越广泛。本研究以 CFD 分析为基础,结合 Abaqus 有限元分析、伪拉普拉斯权值插值算法等,对带复杂花纹滚动轮胎周围的流场运动进行仿真和分析,并将其阻力系数和流场压强与光面轮胎进行分析对比。

1 轮胎模型有限元仿真数据处理

以 12.00R20 全钢载重子午线轮胎为研究对象,建立带有复杂花纹块的轮胎模型。采用 Abaqus 有限元分析软件,经过隐式静态分析、隐式稳态分析及显式动力学分析模拟轮胎在路面滚

动至稳定时的受力状态。

从有限元分析中分别提取各个时刻(一个花纹块滚过的时间内)轮胎模型的速度和形变状况。将提取的模型形变数据由 C 语言程序读取并处理成 JOU 文件,以 JOU 日志文件的形式在 gambit 中自动生成并导出网格文件,获得各时刻轮胎在空气中滚动时的状态,如图 1~3 所示。

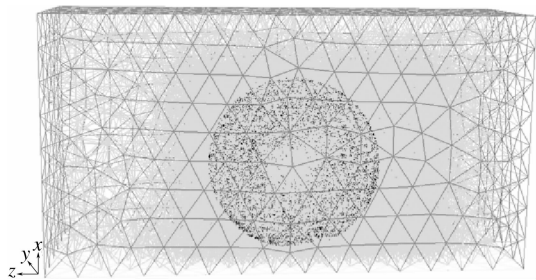
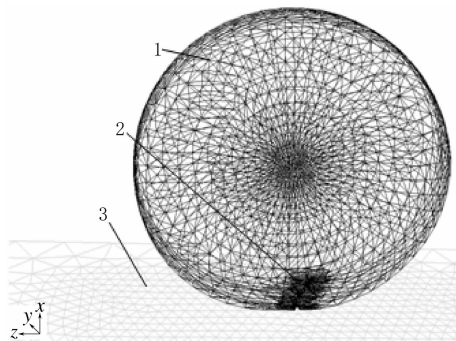


图 1 流场区域网格(分区划分)



1—轮胎壁面;2—花纹块;3—路面。

图 2 轮胎与路面接触的网格划分

作者简介:刘臣才(1987—),男,江西吉安人,东华大学在读硕士研究生,主要从事机械设计及理论研究。

* 通信联系人

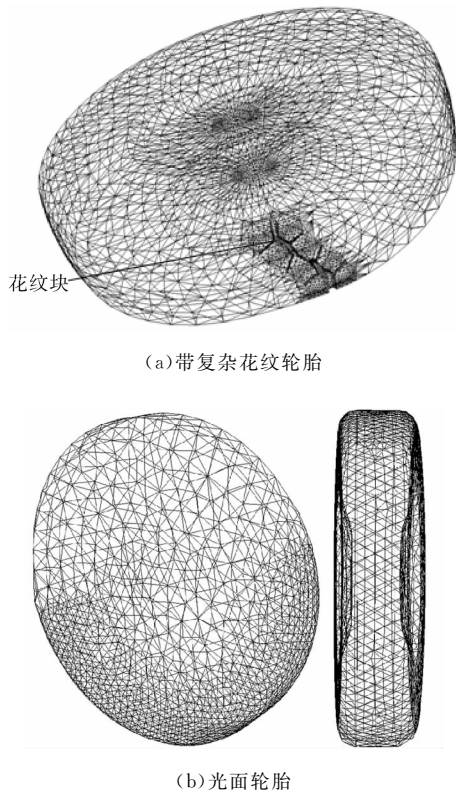


图 3 轮胎底部花纹块网格细化

该过程为 Fluent 流场分析提供了轮胎滚动的边界情况。

JOU 文件是由所有点的生成命令 vertex create 到线的连接命令 edge create 再到面与体的组合处理,最终可以编辑划分网格、定义边界并导出模型的相关指令,实现了批量自动划分多个时刻的网格。

轮胎在各时刻、各节点的速度信息通过 C 语言程序进行分类及插值处理。

该过程为 Fluent 流场分析提供了轮胎滚动的速度情况。

2 轮胎模型的流场分析

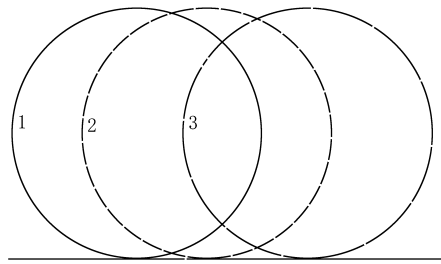
根据流体动力学物理量(如速度、压力、温度等)是否随时间变化,将流动分为定常与非定常两大类^[2]。轮胎在滚动时物理量随时间变化时为非定常流动。轮胎在一个充满流体的区域内滚动,且轮胎运转速度较大,为了能准确有效地求解可以采用耦合求解器,湍流模型采用 Realizable $k-\epsilon$ 湍流模型(k 为湍动能, ϵ 为耗散率)^[3]。

本研究每一时刻的网格模型中,以 UDF 的

形式将轮胎滚动速度及其他流场内的信息加载至流场区域的单元中。第 1 个时刻的模型以先稳态后瞬态的求解方式实现。

3 流场数据插值

插值用于衔接前后两个时刻流场区域内的数据。将上一时刻的模型算至一时刻,轮胎滚动并形变,网格重划后,单元发生变化,流场数据需衔接以便继续迭代分析,故采用插值的形式实现整个分析流程的衔接,如图 4 所示。

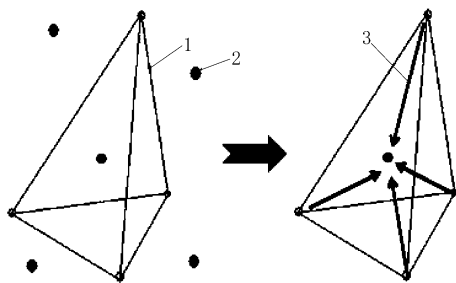


1—第 1 时刻;2—第 2 时刻;3—第 3 时刻。

图 4 轮胎滚动示意

后续每一时刻模型的仿真求解都通过其前一时刻流场的求解结果进行流场数据的插值,再将插值的结果导入 Fluent 中作为初始条件重新进行 CFD 求解。

插值分为贡献单元和背景单元,贡献单元由 4 个节点组成,而背景单元的节点进行匹配,若在某个贡献单元内,则实施 4 个节点对该节点的插值,如图 5 所示。



1—贡献网格单元及节点;2—背景网格节点;3—插值方向。

图 5 插值示意

插值采用伪拉普拉斯权值插值方法^[4]。

插值的过程通过 C 程序实现,将前一步流场的压力、压力梯度和速度等一系列数据,通过节点之间的坐标匹配和对比分析,进行体单元中的节

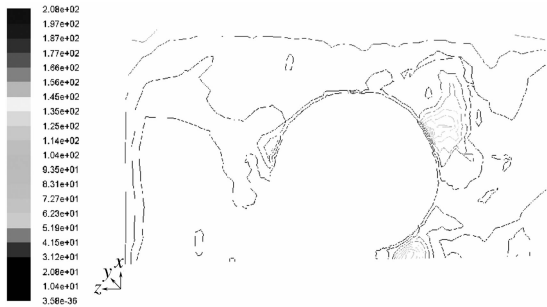
点插值运算,并将 4 个节点的数据转换为单元质心的数据。

4 结果与讨论

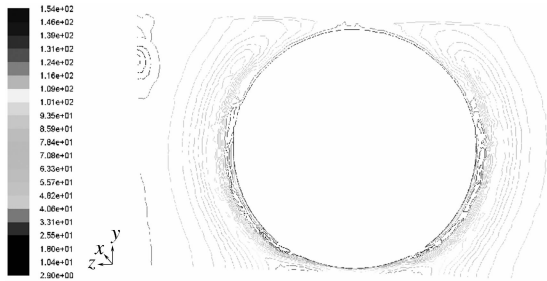
Fluent 中通过残差监测判断收敛的标准,初始化后进行迭代计算。经过多次网格重划、外部插值和 Fluent 分析,直至完成整个流场的分析。除花纹块部分外,本研究模拟的参数中光面轮胎与带复杂花纹轮胎的直径和宽度等所有参数皆一致,滚动速度均为 $70\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

4.1 流场速度分布对比

模型在完成全部求解之后,得到整个流场区域的速度分布图。截取内部一个横截面如图 6(a)所示,在该截面内,带花纹轮胎流场速度分布随机、紊乱,其中花纹块与地面接触部分速度较高。光面轮胎模型如图 6(b)所示,速度等值线分布均匀、规律,矢量值整体小于带花纹轮胎模型。



(a)带复杂花纹轮胎

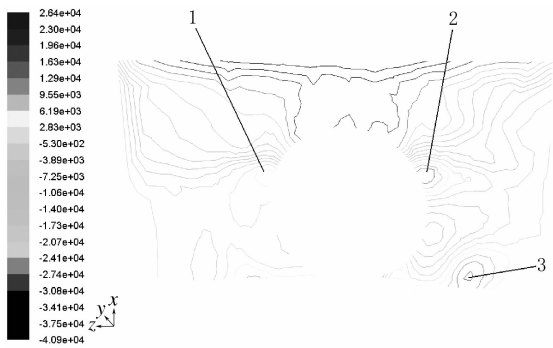


(b)光面轮胎

图 6 轮胎截面速度矢量等值线图

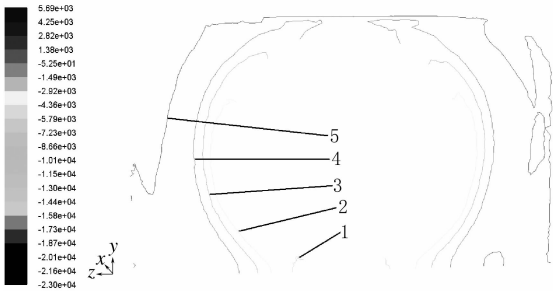
4.2 流场压强分布对比

图 7(a)所示为带花纹轮胎内部截取的一个横截面内压强等值线,在环绕轮胎一周的附近区域,压强较大;轮胎后侧有一个较大的涡流,前侧、底部和后侧形成分布散乱的涡流。图 7(b)所示



1—后侧涡流;2—前侧上方涡流;3—前侧下方涡流。

(a)带复杂花纹轮胎



静压等值线 1~5 分别为 $-5\,792.42$, $-4\,357.44$, $-2\,922.47$, $-1\,487.50$ 和 -52.52 Pa 。

(b)光面轮胎

图 7 轮胎截面压强等值线

为光面轮胎滚动时横截面的压强等值线,分布规则、均匀。由图 7 可知,光面轮胎模型流场压强整体数据小于带花纹轮胎模型。

4.3 花纹块对阻力系数等的影响

轮胎相对于空气和地面以 $70\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 的速度滚动,由于轮胎的复杂花纹块泵吸过程和花纹形状的影响,其流体分布相对光面轮胎有较大改变,花纹底部区域及轮胎前后侧涡流影响了轮胎的阻力和阻力系数,计算结果如表 1 所示。

表 1 轮胎阻力与阻力系数计算值比较

项 目	带复杂花纹轮胎	光面轮胎
阻力/N	36.899 3	21.333 8
阻力系数	0.558 0	0.317 8

由此可见,在提高轮胎抓着性能的同时,也有必要优化设计花纹块,改善流场分布和轮胎阻力系数,从而减小轮胎行驶过程的阻力。

另外,轮胎与空气的泵吸过程是产生轮胎噪声的主要因素之一^[3],应优化设计花纹块的结构,

改善流场压强分布,即减小轮胎行驶过程的声压值。因此,该流场数值模拟为进一步实现噪声值求解和花纹块的优化设计提供了基本条件。

5 结论

(1)通过 C 语言程序、JOU 文件编辑、UDF 辅助编译及流场数据插值交换等技术实现了有限元技术与 CFD 技术相结合,完成了轮胎滚动的固-液耦合流场分析,得到轮胎三维模型在空气中滚动时空气的运动状况。

(2)通过带复杂花纹轮胎与光面轮胎的数值模拟和对比,分析了花纹块对流体的速度和压强分布的影响。

(3)相同结构的带复杂花纹轮胎相对于光面轮胎,行驶中阻力系数较大,阻力变大,泵吸过程明显,对轮胎的噪声性能构成一定影响。

参考文献:

[1] 李萍锋,张翠平,李红渊,等. Fluent 在某轿车外流场中的应用[J]. 农业装备与车辆工程,2009(9):10-12.
[2] 王福军. 计算流体动力学分析——CFD 软件原理与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2004:9.
[3] 于增信,肖旺新. 轮胎花纹沟泵气噪声模型[J]. 汽车工程,2008,30(8):692-695.
[4] 叶靓. 基于非结构网格的直升机旋翼流场及噪声研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2009.

收稿日期:2014-04-27

Flow Field Analysis on Radial Tire under Rolling Condition Based on CFD Technology

LIU Chen-cai ,CHENG Dong-dong ,SHU Yong-ping

(Donghua University,Shanghai 201620,China)

Abstract: The finite element model of the 12. 00R20 all steel truck and bus radial tire under rolling condition was established using Abaqus software. Under the rolling at the speed of $70\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, the change of speed and deformation of the model were processed by C programming language and the finite element grid was redrawn based on computational fluid dynamics(CFD). Then, the custom function was imported by using UDF in Fluent, and the fluid dynamics analysis was carried out. The Fluent analysis of the flow field was split into multiple time points and the interpolated values of the function were used in between. Then, the fluid dynamics simulation of gradually rolling tire and the flow field were obtained, and the effect of pattern blocks on the aerodynamic drag coefficient and flow field pressure was investigated. The results showed that, the aerodynamic drag coefficient of the tire with complex pattern blocks was bigger, where turbulence phenomena appeared, and the flow field pressure increased significantly.

Key words: radial tire; computational fluid dynamics; fluid-field; interpolation; aerodynamic drag coefficient; finite element analysis

一种改进型导热合成橡胶材料

中图分类号:TQ336.9 文献标志码:D

由青岛融鑫源橡胶机械有限公司申请的专利(公开号 CN 103087527A,公开日期 2013-05-08)“一种改进型导热合成橡胶材料”,涉及的改进型导热合成橡胶材料配方为:有机硅氧烷 5.48~7.29,羟基硅油 3.5~5.5,硬脂酸

3.26~4.93,陶土 2.3~5.4,流动剂 2.1~3.5,加工助剂 2.6~3.8。该橡胶材料具有高热导率、耐热性和低压缩性的优点,改善了辊轮的操作性和脱模性能;以其为原料的制品在贮存期间具有非常好的稳定性;可应用于需要足够耐热性、热导率和弹性的导热材料或散热材料。

(本刊编辑部 赵敏)