

非充气塑料轮胎对整车气动性能的影响

谢 非¹, 丁玉梅¹, 秦 柳¹, 虞华春², 杨卫民¹

(1. 北京化工大学 机电工程学院, 北京 100029; 2. 宁波格林美孚新材料科技有限公司, 浙江 宁波 315000)

摘要:以 SAE(美国机动车工程师学会)汽车模型为载体, 分别装载普通轮胎、蜂窝式塑料轮胎和辐板式塑料轮胎, 采用计算流体力学数值模拟的方法研究轮胎对整车气动性能的影响。通过比较 3 种模型的气动阻力、气动升力、速度场、压力场和湍流动能, 分析造成差异的原因。结果显示, 塑料轮胎对整车的气动阻力影响较小, 但能够减小气动升力, 尤其是辐板式塑料轮胎减小升力达 13.27%。

关键词:SAE 模型; 计算流体力学; 塑料轮胎; 气动性能

中图分类号:TQ336.1; O241.82

文献标志码:A

文章编号:1006-8171(2015)03-0131-05

轻量化已经成为目前公认的汽车发展趋势, 塑料轮胎因为耐用、不需充气、原材料成本低和防爆等特征, 逐渐成为轮胎发展的新趋势^[1]。2005 年初米其林公司发布 Tweel 辐板式塑料轮胎, 通过辐板的变形吸收振动能量^[2]; 美国 D. B. Gass 等^[3]开发了蜂窝式塑料轮胎, 通过蜂窝式结构代替充气结构。上述两种轮胎已经应用于军事、航空等方面。

目前关于塑料轮胎接地性能的研究已经有一定深度, 但对于外形与传统轮胎差异较大的塑料轮胎对车身气动性能的影响还未展开研究。现有研究表明, 由于轮胎的旋转效应, 轮胎外形对汽车的气动阻力和气动升力有显著影响^[4-5]。

本工作研究塑料轮胎对汽车气动性能的影响, 将相同外形尺寸米其林 Tweel 辐板式塑料轮胎、蜂窝式塑料轮胎和普通轮胎分别安装在 SAE (美国机动车工程师学会)模型上进行计算流体力学(CFD)数值模拟, 对比流场性质差异并分析造成差异的原因。

1 物理模型的建立

1.1 车身模型

车身模型采用阶背 SAE 标准模型, 重要参数(单位均为 mm)如下^[6]: 总长 4 200, 总宽 1 600, 车高 1 200, 离地间隙 200, 轴距

2 450, 轮距 1 300, 胎宽 175, 横向倒角半径 200, 纵向倒角半径 250。外形如图 1 所示。

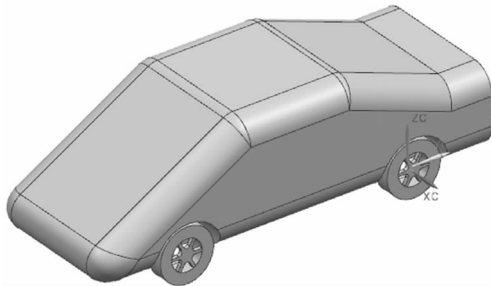


图 1 SAE 标准模型

1.2 轮胎模型

为研究辐板式和蜂窝式结构的轮胎对汽车气动性能的影响, 分别建立辐板式塑料轮胎、蜂窝式塑料轮胎和普通轮胎的模型, 轮胎模型尺寸规格均为 175/70R14, 统一在各轮胎模型上安装按照市面某品牌精确建模的五孔辐板, 如图 2 所示。

2 数值模拟与试验验证

2.1 计算域及网格划分

将 3 种轮胎分别安装在 SAE 标准模型上并进行计算对比。取外部流场的一半作为计算对象, 车前取 2 倍车长, 车后取 7 倍车长, 宽度取 4 倍车宽, 高度为 6 倍车高。运用 Gambit 进行网格划分。六面体规则网格虽然质量高, 但是不适合应用在结构复杂的车身附近, 因此本研究采用结构网格和非结构网格相结合的方式, 在车身周

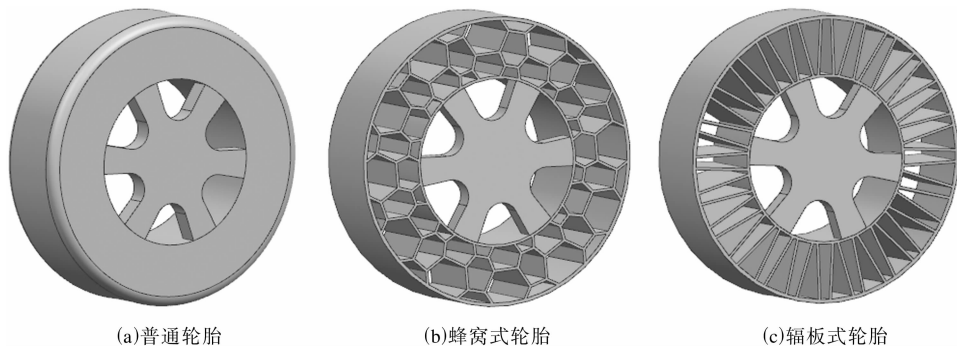


图2 轮胎模型

围向外依次采用适应性较强的三棱柱和四面体网格。车身周围、尾涡区域和车轮区域计算精度要求高,因此进行适当加密,流体最外侧运用六面体网格,密度稍小^[7-8],经过划分后安装有3种轮胎的3个SAE模型网格数都大约为210万。为了

在保证网格质量的前提下精确描述轮胎的接地变形,对轮胎变形进行适当简化^[9],如图3所示。为了减小网格差异对计算结果的影响,3种模型采用相同的划分方法,除了轮胎处网格有差别之外,其余部分网格保持一致。

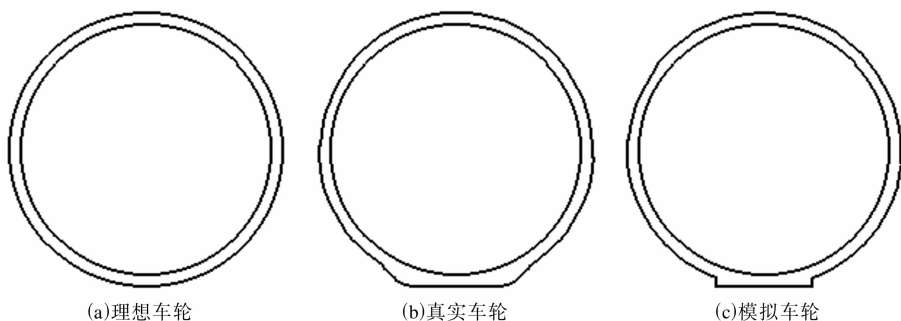


图3 车轮接地变形示意

2.2 边界条件

速度入口,空气流速设置为 $40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; 压力出口,压力为标准大气压; 车身设为无滑移壁面; 地面设为移动壁面,速度为 $40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; 轮胎设为旋转壁面,根据车速与轮胎直径的关系得出转速为 $1\,328.14 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$; 选用 Realizable $\kappa\text{-}\epsilon$ 湍流模型。

2.3 试验验证

为了保证边界条件设置的合理性,将安装普通轮胎的SAE模型阻力系数仿真结果与风洞试验结果进行对比,其气动阻力仿真计算值为 290.09 N ,计算阻力系数为 0.276 ,而风洞试验值为 0.269 (美国宾夕法尼亚州州立大学利用 $40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 亚声速风洞对不同尾部上翘角和不同离地间隙的SAE标准模型进行试验所得,本研究所用模型尾部上翘角为 0° ,离地间隙为 200 mm)。模拟计算值与试验值误差小于 3% ,证明本研究

所用数值模拟方法可行,可确保下面3种模型间流场对比的可靠性。

3 计算结果与讨论

气动阻力和气动升力是表征车身气动性能最主要的2个指标。装备普通轮胎、蜂窝式轮胎和辐板式轮胎的模型分别记为模型1、2和3。3种模型经过CFD数值计算,气动阻力和气动升力如表1所示。

从表1可以看出,两种塑料轮胎相对于普通轮胎气动阻力有所降低但不够明显,其中模型3气动阻力降幅大约为 1.7% ,但是两种塑料轮胎对气动升力的优化结果较为明显,模型2相对模型1气动升力优化 8.69% ,模型3相对模型1优化 13.27% 。

将对3种模型的外流场进行对比,并分析造成差异的原因。

表 1 模型受力比较

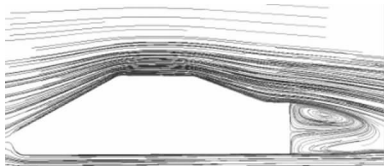
项 目	模型 1	模型 2	模型 3
气动阻力	290.09	290.03	285.22
气动升力	101.92	93.06	88.40

3.1 速度场

气流与车身正面相遇一般被车头分为上下两股,于车尾处汇合并形成涡流。3 种不同轮胎的 SAE 模型流线如图 4 所示。从图 4 可以看出,轮胎的类型并没有对气流运动轨迹产生较大影响,尾涡形状及尾涡中心位置基本一致。



(a) 普通轮胎



(b) 蜂窝式轮胎



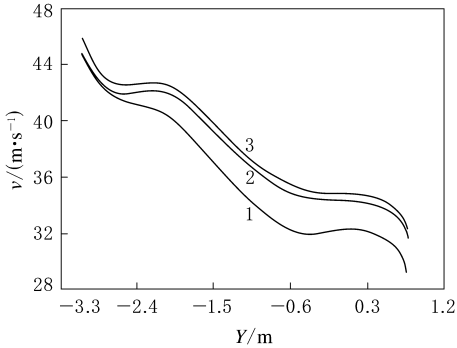
(c) 辐板式轮胎

图 4 模型流线对比

为了研究不同类型轮胎旋转对车身下方气流速度的影响,分别在 3 种模型的纵对称面距车身底部 5 mm 处设置速度采集点并绘制速度曲线图, Y 为车头到车尾方向的纵向坐标, v 为气流速度。从图 5 可以看出,在车身下方、车头和前轮处,3 种模型的速度差异并不明显,气流经过前轮之后,塑料轮胎模型的气流速度相对普通轮胎模型出现变化,塑料轮胎模型的车身底部总体速度分布较高。

3.2 压力场

经过数值模拟计算对比,发现塑料轮胎对车身上方的流场性质并没有影响,但是轮胎旋转对车身下方流场产生一定影响,车身下方压力云图



1—普通轮胎;2—蜂窝式轮胎;3—辐板式轮胎。

图 5 速度对比曲线

对比如图 6 所示。从图 6 可以看出,3 种模型的车头部分压力分布趋于一致,但当气流经过轮胎前部时出现差异,模型 1 底面靠近前轮前端和后轮前端的位置与其他两种模型同一位置相比压力值偏大,并直接影响模型 1 底部具有更大的压力值。可以看出,压力值差异较大的两个位置分别是前后轮胎的前端,也进一步验证了轮胎外形对流场的影响作用。

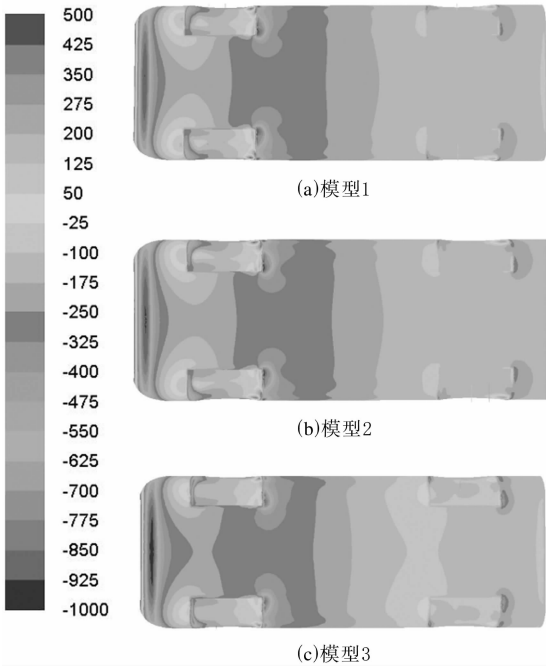


图 6 模型底部压力云图(色标单位:Pa)

3.3 湍流动能

湍流动能为气流经过模型时的能量耗散。湍流动能大,说明气体湍流剧烈,能量耗散多,气动阻力升高,反之则减小。在距离车尾 300 mm 的

平面上湍流动能云图对比如图7所示。从图7可以看出,相比模型1,模型2和3在湍流团左下和右下两个区域动能有一定减小,中心区域动能减小明显。

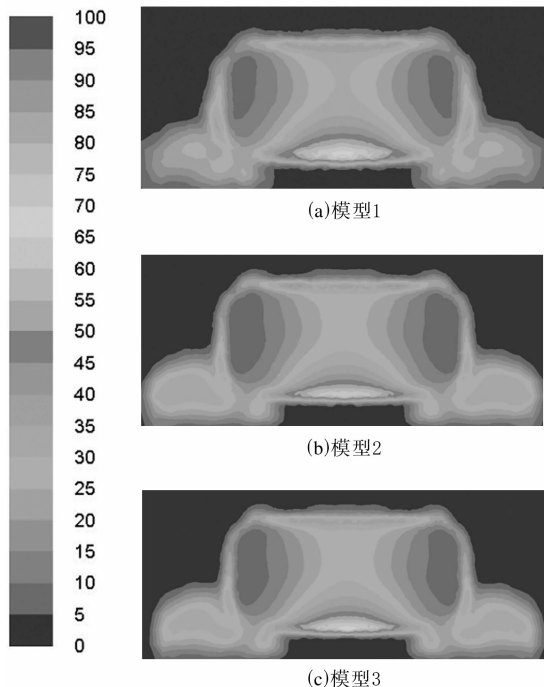


图7 湍流动能云图(色标单位: $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$)

3.4 机理分析

在汽车行驶过程中,车头将来流分为两股,由于车身与地面相对运动,车身下方的气流将保持相对较高的速度,流速较高的地方压力较低;车轮外侧流速较低,有较高气压,且在车轮外侧靠近车轮前端与来流正面相遇的位置形成高压区,该局部压差将产生横向流动,在正常行驶状态时,这股气流将与整车气流形成涡流。当使用两侧贯通的塑料轮胎时,横向气流会出现新流动方向,随着车轮的转动,通过轮胎的贯通结构流向车身底部,增大了车身底部气流流量,提高了局部气流速度,在一定程度上降低了车身底部的压力,使车身底部压力更近于车身顶部最大负压区的压力,减小上下压差,可在一定程度上减小气动升力。模型3轮胎纵对称面上气流矢量分布如图8所示。从图8可以看出,除了随着车轮旋转的气流,有很多垂直于此面流入内侧的气流矢量,验证了此理论。新产生的横向气流与整车气流汇合后对湍流动能

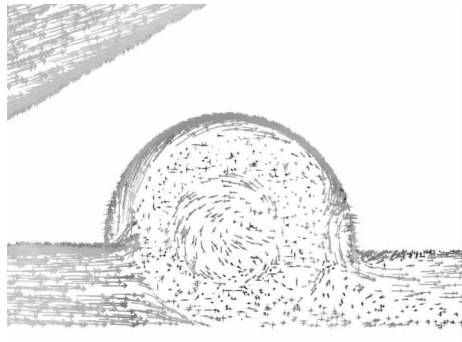


图8 模型3前轮纵对称面气流矢量分布的影响可能间接影响了气动阻力,但并不明显。

4 结论

(1)非充气式塑料轮胎对气动阻力影响较小,但是对气动升力有明显影响,本研究中辐板式塑料轮胎对整车的气动升力减小达13.27%。

(2)非充气式塑料轮胎的内外贯通式结构将有助于产生从外侧流向汽车底部的横向气流,加大了车身底部气流流量,减小了车身底部压力,可降低气动升力。

(3)非充气式塑料轮胎的特殊外形结构不仅耐用,且在一定程度上优化了整车的气动性能,将会成为轮胎发展的新趋势。

参考文献:

- [1] 马鸣图,易红亮,路洪洲,等.论汽车轻量化[J].中国工程科学,2009,11(9):20-29.
- [2] 刘伯林.米其林开发塑料轮胎[J].国外塑料,2005,23(2):61.
- [3] Gass D B, Bennett J D, Brady L J, et al. Non-pneumatic Tire [P]. USA:USP 802 474, 2013-03-13.
- [4] 傅立敏,胡兴军,张世村.不同几何参数车轮的汽车流场数值模拟研究[J].汽车工程,2006,28(5):451-454.
- [5] Axon L, Garry K, Howell J. An Evaluation of CFD for Modeling the Flow Around Stationary and Rotating Isolated Wheels[R]. SAE 980032, 1998.
- [6] 叶辉.汽车尾部上翘角与离地间隙的CFD研究[D].长春:吉林大学,2006.
- [7] 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.
- [8] 涂尚荣,张扬军,谢今明,等.汽车外部流场仿真的复杂网格系统生成[J].汽车工程,2002,24(5):408-411.
- [9] 张英朝.汽车空气动力学数值模拟技术[M].北京:北京大学出版社,2011:24-30.

Influence of Airless Plastic Tire on Aerodynamic Characteristic of Car

XIE Fei¹, DING Yu-mei¹, QIN Liu¹, YU Hua-chun², YANG Wei-min¹

(1. Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China; 2. Ningbo GMF New Material Technology Co., Ltd, Ningbo 315000, China)

Abstract: Based on SAE (Society of Automotive Engineers) car models with normal tire, spoke plastic tire and beehive plastic tire, the influence of the tires on the aerodynamic characteristic of car was studied by computational fluid dynamics numerical simulation method. By comparing the air drag, air lift, velocity field, pressure field and turbulent kinetic energy of three kinds of models, the reason for the difference was analyzed. The results showed that, the plastic tire had little effect on the air drag, but could reduce the air lift, especially for the spoke plastic tire with air lift reduction of 13.27%.

Key words: SAE model; computational fluid dynamics; plastic tire; aerodynamic characteristic

BKT 推出两款农业轮胎

中图分类号: TQ336.1; U463.341 文献标志码: D

美国《现代轮胎经销商》(www.moderntire-dealer.com) 2014年11月17日报道:

Balkrishna 工业有限公司(BKT)及其意大利销售商于2014年11月12—16日在意大利博洛尼亚召开的2014国际农业及园艺机械展(EIMA)推出了两款轮胎并展出了其他产品。

Ridemax FL 693 M 轮胎是一款子午线轮胎(见图1),装配于经常在公路上行驶的拖拉机或箱式卡车上。根据其主要在路面上行驶的特点, Ridemax FL 693 M 轮胎设计时注重自洁性。BKT称, Ridemax FL 693 M 轮胎路面行驶时速度更高,且滚动阻力低,具有低燃油消耗性。

Ridemax FL 698 轮胎是在EIMA2014上推

出的另一款轮胎,该款全钢子午线轮胎路面行驶设计速度达到 $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, 是一款专为箱式卡车和肥料播撒机等倾倒车设计的轮胎,该轮胎的结构有助于提高承载能力及耐久性。

BKT 还展出了 Agrimax Force, Agrimax Teris, Agrimax RT 945, Agrimax Spargo 和 Multimax MP 522 系列轮胎。

Agrimax Force 轮胎是一款用于高功率(高于 186 kW)拖拉机的子午线轮胎。与同规格的标准轮胎相比,该轮胎在较低充气压力下的承载能力更强。其较大的接地印痕及特殊的花纹块设计提供了更好的牵引性能。

BKT 针对收割机等开发了 Agrimax Teris 子午线轮胎,该系列轮胎具有优异的高行驶性能和高承载能力。此外, Agrimax Teris 轮胎还具有特殊的胎侧以提高抗耐性。

用于洒水车及中耕机械的 BKT Agrimax RT 945 和 Agrimax Spargo 轮胎,减小了胎面宽度,能够保证农业机械在通过作物间隙时不损伤作物。

BKT 称, Multimax MP 522 轮胎采用增强的胎圈,且胎体采用钢丝束束层,抗刺扎性能优异,因此使用寿命延长,承载性能和稳定性提高。

(马 晓摘译 许炳才校)



图1 Ridemax FL 693 M 轮胎