

不同花纹轮胎水滑特性分析

孙熙林^{1,2}, 卢京^{1,2}, 王新宇^{1,2}, 王安迎^{1,2}, 王伟^{1,2*}

(1. 青岛科技大学 高分子科学与工程学院, 山东 青岛 266042; 2. 青岛科技大学 山东省橡塑材料与工程重点实验室, 山东 青岛 266042)

摘要:以205/55R16子午线轮胎为研究对象, 选用Abaqus软件建立轮胎有限元模型, 采用先隐式后显式的方法对5种花纹轮胎进行水滑特性分析。结果表明: 基于欧拉-拉格朗日方法(CEL)的轮胎滚动模型可实现轮胎花纹排水的流-固耦合仿真, 可较好地预测轮胎行驶时的水流印痕; 5种花纹轮胎排水能力由大到小的顺序为纵向沟槽花纹轮胎、正向V形花纹轮胎、反向V形花纹轮胎、纵向S形花纹轮胎、横向S形花纹轮胎; 随着轮胎行驶速度的增大, 轮胎与路面的接触区从完全接触区向完全上浮区转变。

关键词:水滑特性; 水滑机理; 轮胎; 花纹; 有限元分析

中图分类号: TQ336.1; U463.341; O242.21

文献标志码: A

文章编号: 1000-890X(2019)11-0809-05

DOI: 10.12136/j.issn.1000-890X.2019.11.0809



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

轮胎作为车辆与路面接触的唯一部件, 其性能对车辆行驶状况影响重大。轮胎的重要性能包括滚动阻力、耐磨性能和湿滑性能, 这3项性能被称为轮胎“魔三角”性能^[1]。轮胎水滑特性一直以来是研究的热点, 其中轮胎花纹排水性与行驶安全息息相关, 具有重要的研究价值^[2]。

不同类型轮胎花纹适合不同的行驶路况。例如, 越野车辆多在石块和泥泞道路上行驶, 为提高抓着性能, 其轮胎多选用块状花纹; 为保证高速性能, 飞机轮胎一般选用光面或纵沟槽花纹; 由于负荷较低, 为兼顾经济性、舒适性和安全性, 轿车轮胎多采用形式复杂的花纹, 但总的来看, 其花纹多是纵向花纹与斜向花纹或/和横向花纹的组合。研究不同花纹的排水性能对探索组合花纹的排水性能具有重要意义。

本工作主要以205/55R16子午线轮胎为研究对象, 考察5种花纹对轮胎水滑特性的影响并分析轮胎的水滑机理。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(21274072); 山东省自然科学基金资助项目(ZR2018MEM022)

作者简介: 孙熙林(1993—), 男, 山东淄博人, 青岛科技大学硕士研究生, 主要从事载重子午线轮胎有限元分析研究工作。

*通信联系人(wv@qust.edu.cn)

1 轮胎水滑机理

当轮胎经过涉水路面时, 轮胎与路面之间会形成水膜, 轮胎滚动时挤压并推动水膜前进。由于水膜自身的惯性和粘性作用, 会在轮胎行驶方向的胎面与地面之间的楔形区域产生水流动压力, 该水流动压力影响了轮胎行驶时垂直负荷与地面之间反作用力的平衡, 使地面的反作用力减小, 轮胎被部分抬起或有被抬起的趋势。轮胎行驶速度越大, 轮胎与水膜之间的相互挤压作用越明显, 水流动压力越大, 轮胎被抬起部分越多。当达到一定条件时, 轮胎被水完全抬起, 就会发生“水滑现象”^[3]。

涉水路面轮胎接地区域如图1所示。

从图1可以看出, 涉水路面轮胎接地区域分为

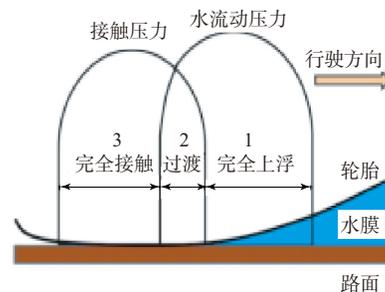


图1 涉水路面轮胎接地区域示意

3部分^[4]:第1部分是轮胎完全上浮区,第2部分是过渡区,第3部分是完全接触区^[5]。在完全上浮区中,轮胎在行驶时会挤压并推动行驶前方的楔形水膜,被推动的水膜将水的内能转化为水流动压力,在水流动压力的作用下,轮胎会发生形变且被全部抬起。因此,第1部分的滑水也常被称为“动力滑水”。第1部分楔形水膜在轮胎的挤压作用下被部分排出,其余部分则经过胎面花纹排出,使轮胎与地面部分接触,即形成第1部分与第3部分的过渡区域,为第2部分,该部分的水滑属性被称为“粘性滑水”。第3部分是完全接触区,轮胎与路面完全接触,不存在水滑现象,也是车辆驱动和制动的主要控制部分,对于车辆的操控性和行驶安全性至关重要^[6]。

2 轮胎有限元模型

205/55R16子午线轮胎的断面宽为205 mm,高宽比为55%,行驶面宽度为172 mm,外直径为628 mm,轮辋规格为7.5J×16。

本研究采用Abaqus软件,参考相关文献^[7-8],在一个节距的轮胎花纹模型基础上,编辑INP文件,借助SMG (Symmetric Model Generation) 指令将一个花纹节距的模型旋转一定角度完成轮胎三维模型的建立。建立的纵向沟槽花纹、横向S形花纹、纵向S形花纹、正向V形花纹和反向V形花纹轮胎有限元模型如图2所示,轮胎滚动方向由图中箭头所示;设定花纹沟槽尺寸相差不大,5种花纹块饱和度和约为70%。

本研究还借助耦合的欧拉-拉格朗日 (CEL,

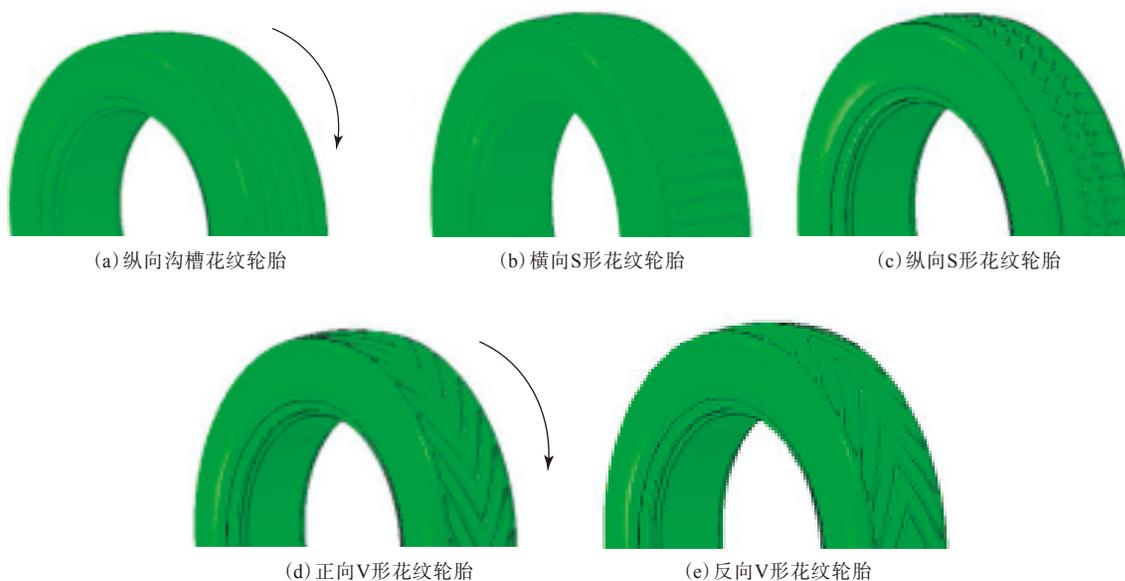


图2 不同花纹轮胎有限元模型

Coupling Euler-Lagrange) 方法实现轮胎与水流的流-固耦合作用^[9],轮胎滚动模型设计为初始水膜厚度为10 mm,负荷为4 000 N,充气压力为0.23 MPa,在0.75 s内从30 km·h⁻¹的初始速度加速至100 km·h⁻¹,实现了5种花纹轮胎的水滑仿真。

3 轮胎水滑特性

随着行驶速度的逐渐增大,轮胎受路面支持作用逐渐减小,当路面法向支持力为零时,发生的水滑称为临界水滑。

发生临界水滑时5种花纹轮胎的水流印痕俯

视图如图3所示(从水膜上方俯视以观察水流印痕,不显示轮胎模型)。CEL方法可以较好地表征轮胎行驶时的水流印痕。

从图3可以看出,不同花纹的轮胎发生临界水滑时水流印痕不同,其水流印痕与轮胎花纹形状一致。

从图3还可以看出,尽管发生了水滑现象,在水流动压力作用下轮胎被抬起,但是此刻水流并未完全进入轮胎与路面的接触区,仅是路面法向支持力为零。随着轮胎行驶速度的持续增大,水流才会完全阻隔轮胎与路面的接触,使轮胎完全

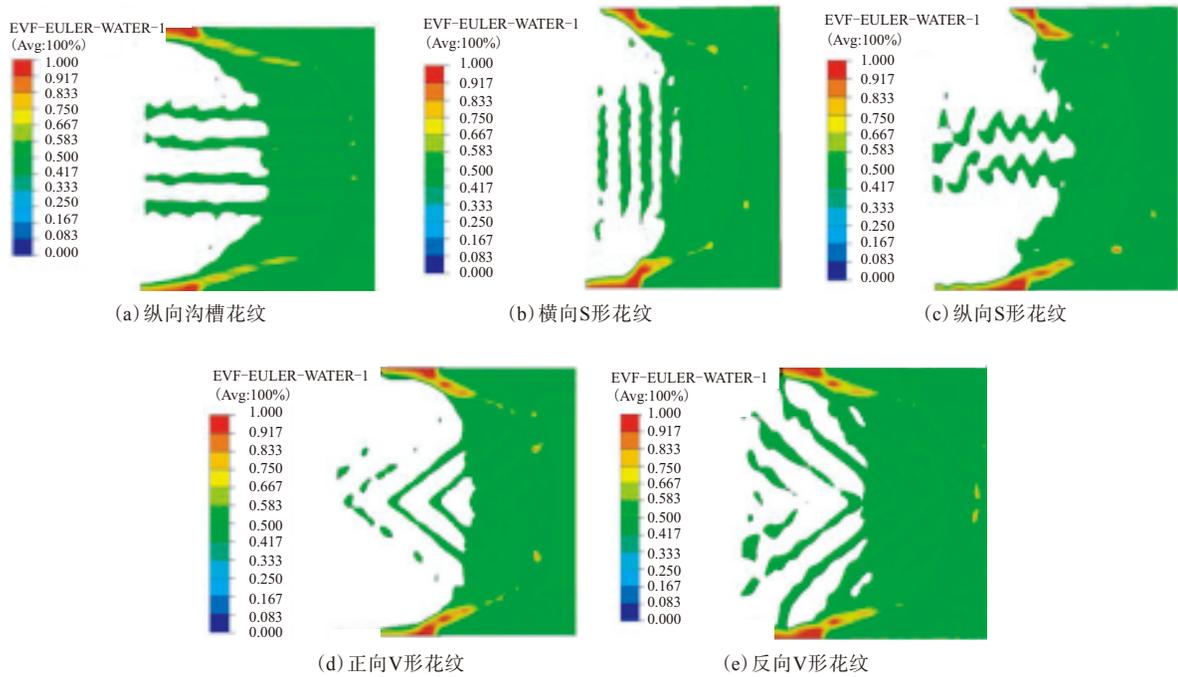
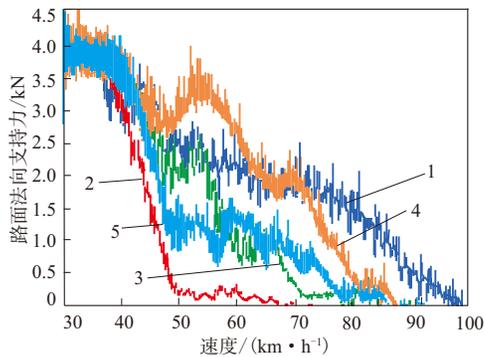


图3 发生临界水滑时不同花纹轮胎水流印痕俯视图

上浮。轮胎临界水滑与水流侵入轮胎与路面的接触区并不是完全相同,临界水滑是轮胎完全浮起的临界状态。

不同花纹轮胎临界水滑速度如图4所示。



1—纵向沟槽花纹;2—横向S形花纹;3—纵向S形花纹;
4—正向V形花纹;5—反向V形花纹。

图4 不同花纹轮胎临界水滑速度

从图4可以看出:随着行驶速度的增大,轮胎的路面法向支持力均逐渐减小;横向S形花纹、纵向S形花纹、反向V形花纹、正向V形花纹和纵向沟槽花纹轮胎的路面法向支持力减小至零时的临界水滑速度依次为67,78,86,88和96 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 。不同花纹的排水能力区别明显,在花纹饱和度相同时,轮胎排水能力由大到小依次为纵向沟槽花纹轮

胎、V形花纹轮胎、S形花纹轮胎,其中纵向S形花纹轮胎的排水能力大于横向S形花纹轮胎,正向V形花纹轮胎的排水能力大于反向V形花纹轮胎,纵向沟槽花纹轮胎的排水能力最佳。

此外,比较图4轮胎的路面法向支持力的变化趋势可发现不同花纹轮胎涉水的共性。轮胎以30 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 的初始速度进入涉水路面时,轮胎的路面法向支持力测试值大于轮胎的路面法向支持力理论值(即负荷力减去水流提供的浮力),所以轮胎行驶速度小于45 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 时,轮胎的法向支持力随着行驶速度的增大而迅速减小;当轮胎行驶速度大于45 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 后,轮胎的路面法向支持力随着行驶速度的增大而减小的趋势变缓。

4 典型花纹轮胎与路面的接触压力

以纵向沟槽花纹的水滑特性为例进行分析。不同行驶速度纵向沟槽花纹轮胎与路面接触压力分布如图5所示。

从图5可以看出,不同行驶速度下纵向沟槽花纹轮胎与路面接触的3个区域接触压力发生了如下变化。

轮胎行驶速度为50 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 时,轮胎与路面以完全接触区域为主,胎面与路面接触的3个峰值区

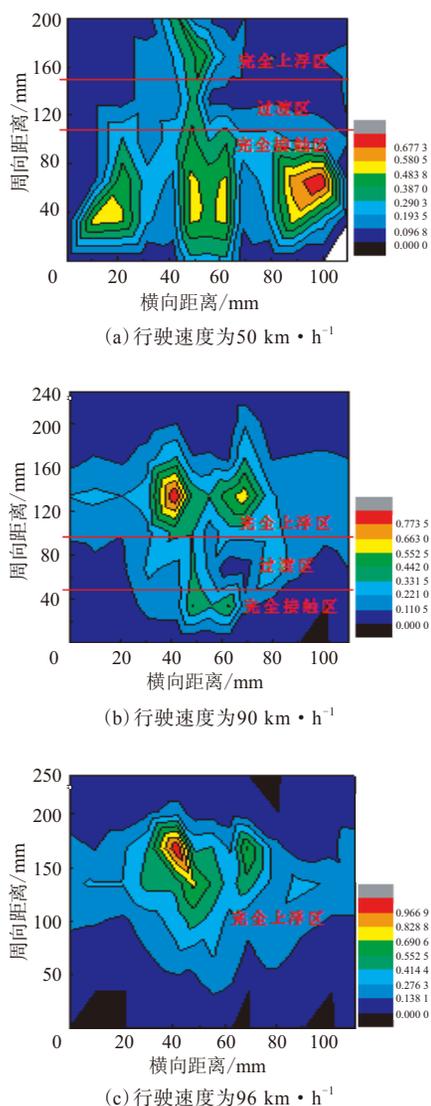


图5 不同速度纵向沟槽花纹轮胎与路面接触压力分布区域区分明显;轮胎与路面的接触压力远大于轮胎与水膜的接触压力,水对轮胎的动压力主要集中在完全上浮区对应胎面的中间位置。

轮胎行驶速度为 $90 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 时,轮胎与路面的完全接触区面积大幅缩减,轮胎与水膜接触的完全上浮区成为主要接触区;轮胎与路面、与水膜接触区的接触压力峰值出现在完全上浮区,且轮胎与水膜的接触压力平均值远大于轮胎与路面接触压力平均值,说明水流对轮胎的“支持”作用;接触压力2个峰值对应中间条形花纹块边缘位置。

轮胎行驶速度达到临界水滑速度 $96 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 时,轮胎与路面的完全接触区、过渡区已经消失,接触区全部变成完全上浮区,轮胎完全被水抬起,

与路面脱离,车辆会完全失去操控性。

图5所示轮胎与路面的接触压力分布形象地揭示了轮胎水滑机理所述的3个特征区域,并给出其演变过程,这对深刻理解轮胎的水滑机理有着重要的意义。

在轮胎行驶速度逐渐增大时,轮胎最大接触压力区从路面接触区向楔形水膜接触区转移,理论上将路面法向支持力为零(也有人认为为负荷的20%)的临界水滑速度作为衡量花纹排水性能的重要指标,但当水膜的流动压力对轮胎的支持作用大于路面对轮胎的支持作用时车辆的行驶安全性还有待进一步研究。

5 结论

本研究采用Abaqus有限元软件建立了5种花纹轮胎的三维模型,并对各种花纹轮胎的水滑特性进行了模拟,得出以下结论。

(1) 基于CEL方法的轮胎滚动模型可实现轮胎花纹排水的流-固耦合仿真,也可以较好地预测轮胎行驶时的水流印痕。

(2) 在标准工况下,5种花纹轮胎排水能力由大到小的顺序为纵向沟槽花纹轮胎、正向V形花纹轮胎、反向V形花纹轮胎、纵向S形花纹轮胎、横向S形花纹轮胎。

(3) 轮胎行驶速度逐渐增大,轮胎最大接触压力区域从路面接触区向楔形水膜接触区转移;在逐渐发生水滑的过程中,轮胎与路面的接触区从完全接触区向完全上浮区转变。

参考文献:

- [1] 唐源,张春华,田庆丰,等.高性能轮胎胎面胶“魔三角”性能平衡研究进展[J].橡胶工业,2019,66(5):388-394.
- [2] 刘娜,程钢,程强,等.湿滑路面上子午线轮胎的爬坡性能分析[J].弹性体,2013,23(1):29-32.
- [3] 闫治仲.积水路面轮胎抓着性能仿真研究[D].吉林:吉林大学,2017.
- [4] 王国林,薛开鑫,杨建.非光滑结构对轮胎抗水滑性能的影响[J].橡胶工业,2016,63(4):235-239.
- [5] Wise B, Rorger B, Mundl R. Influence of Pattern Void on Hydroplaning and Related Target Conflicts[J]. Tire Science and Technology, 2009, 37(3):187-206.
- [6] 王长建.复杂花纹子午线轮胎水滑特性仿真研究[D].广州:华南理

- 工大学, 2002.
- [7] 燕山, 王伟. 复杂胎面花纹轮胎有限元分析及试验研究[J]. 橡胶工业, 2016, 63 (2) : 102-106.
- [8] Wang W, Yan S, Zhao S G. Experimental Verification and Finite Element Modeling of Radial Truck Tire under Static Loading[J]. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 2013, 32 (7) : 490-498.
- [9] 冯希金, 朱作勇, 王亦菲, 等. 轿车轮胎水滑现象仿真技术研究[J]. 橡胶科技, 2017, 15 (8) : 19-24.

收稿日期: 2019-07-11

Analysis of Hydroplaning Characteristics for Tires with Different Tread Patterns

SUN Xilin, LU Jing, WANG Xinyu, WANG Anying, WANG Wei

(Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266042, China)

Abstract: Taking 205/55R16 radial tire as the research object, the finite element model of tire was established by using software Abaqus, and the hydroplaning characteristics of five tires with different tread pattern were analyzed by using the multistep method with implicit method in the first step and explicit method in the second step. The results showed that the tire rolling model based on CEL method could achieve the fluid-solid coupling simulation of tire pattern drainage, and also could well predict the water flow prints when the tires were rolling. The decreasing order of drainage capacity of five tested tires was longitudinal groove pattern tire, normal V-pattern tire, reverse V-pattern tire, longitudinal S-pattern tire and transverse S-pattern tire. With the increase of tire driving speed, the contact area between tire and road changed from full contact area to full hydroplaning area.

Key words: hydroplaning characteristics; hydroplaning mechanism; tire; pattern; finite element analysis

美国消费替换轮胎量增长在第2季度助力固特异 美国《现代轮胎经销商》(www.moderntiredealer.com) 2019年7月26日报道如下。

固特异公布截至2019年6月30日第2季度净销售额为36亿美元,净收入为5 400万美元。相比之下,2018年同期销售额为38亿美元,净收入为1.57亿美元。公司的净收入与销售额之比为1.5%。

分部营业收入从3.24亿美元下降到2.19亿美元,降幅为32.4%。固特异公司表示,降幅反映出原材料成本上升、产量下降以及“其他轮胎相关业务和不利货币的业绩疲软”。如果不是因为“有利的价格/组合、前几个季度美国产量增大带来的间接费用分摊的改善以及净成本下降”,这一降幅将会更大。

轮胎产量下降4.1%,从3 900万条降至3 740万条。固特异公司表示,替换轮胎出货量下降不到1%,而原配轮胎出货量下降了11%,这反映出全球汽车生产和战略装备选择性下降。

固特异已报告第1季度亏损。

到目前为止,固特异的净销售额为72亿美元,净亏损为700万美元。相比之下,2018年前2个季度销售额超过76亿美元,收入为2.32亿美元。分部营业收入下降32.4%,而轮胎产量下降3.3%。

2019年上半年包括几个重要项目,其中最突出的是1.07亿美元合理化费用,主要与固特异先前宣布的其在德国两个轮胎厂的现代化计划有关。

在美洲业务部门,2019年第2季度的销售额下降2%,至20亿美元,“这反映了不利的外币汇率、较少的第三方化学品销售额和销售量,其中部分被价格/组合的改善所抵消。”营业收入下降了13%。

轮胎出货量下降1.1%,但替换轮胎出货量上升1%,美国消费替换轮胎量增长4%,432 mm (17英寸)及以上规格轮胎的增长率领先。

固特异表示,原配轮胎销量下降9%,“这完全归因于消费原配轮胎下降12%,原因是汽车生产和战略装备选择性下降。”

(和 燕摘译 吴秀兰校)