

跑气保用轮胎在静负荷和稳态侧偏工况下力学性能的研究

薛梓晨^{1,2}, 贺建芸^{1,2}, 丁玉梅^{1,2}, 杨卫民^{1,2}, 焦志伟^{1,2*}

(1. 北京化工大学 机电工程学院, 北京 100029; 2. 轮胎设计与制造工艺国家工程实验室, 北京 100029)

摘要:基于 ABAQUS 软件建立 225/40R18 跑气保用轮胎和普通轮胎的三维有限元模型, 分析标准负荷下 2 种轮胎在静负荷和稳态侧偏工况下的力学性能。结果表明, 静负荷工况下, 高应变能密度主要集中在支撑胶、带束层和冠带层端部, 且在缺气状态下表现更明显, 跑气保用轮胎胎肩处的接地压力大于普通轮胎, 且径向刚度高于普通轮胎, 缺气状态下跑气保用轮胎胎侧变形小于普通轮胎, 且胎肩接地压力集中程度高; 稳态侧偏工况下, 在标准充气压力和缺气状态下, 随着侧偏角的增大, 跑气保用轮胎的接地印痕从矩形变为梯形, 普通轮胎的接地印痕从矩形变为三角形。

关键词:跑气保用轮胎; 胎侧; 支撑胶; 静负荷; 侧偏; 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)06-0335-06

车辆在高速行驶过程中轮胎一旦被扎破后漏气, 胎侧就会塌陷, 严重时会导致爆胎, 威胁到驾驶者和乘坐者的安全。为了降低爆胎的发生率, 跑气保用技术应运而生, 该技术能使轮胎在缺气状态下依靠胎侧刚性或支撑结构继续行驶一段距离, 避免爆胎现象发生。

本工作基于 ABAQUS 软件建立 225/40R18 跑气保用轮胎和普通轮胎的三维有限元模型, 对 2 种轮胎的力学性能进行有限元分析, 以期优化轮胎结构设计提供参考。

1 轮胎有限元模型的建立

1.1 材料选择

考虑到胎面胶、胎侧胶、三角胶和气密层胶等橡胶材料以及各类帘线均为正交各向异性材料, 冠带层锦纶帘线、带束层钢丝帘线和胎体聚酯帘线均采用 Rebar 嵌入式单元处理, 并采用 Yeoh 模型^[1]进行研究。

1.2 接触算法

本研究采用罚函数法。罚函数约束机制允许较小的界面穿透, 虽然牺牲了一定的计算精度, 但计算结果的数值震荡较小^[2]。轮辋和路面定义为

解析刚体, 胎圈与轮辋为过盈配合, 并将胎圈与轮辋之间的摩擦因数设为 0.3, 稳态侧偏滚动时的胎面与地面之间的摩擦因数设为 0.8。

1.3 网格划分

基于 225/40R18 普通轮胎, 在 ABAQUS 软件中建立 225/40R18 跑气保用轮胎的二维轴对称模型, 并对其进行网格划分, 如图 1 所示, 二维单元为 651 个, 节点为 749 个。利用 SYMMETRIC MODEL GENERATION 功能, 对轮胎接地部分进行网格细分, 生成三维有限元模型, 并选取标准 8J 轮辋进行装配, 如图 2 所示, 单元总计为 41 664 个, 节点为 47 936 个。本研究忽略复杂的胎面花纹, 仅考虑胎面的纵向花纹沟。

1.4 边界条件及载荷定义

充气条件: 在始终垂直于轮胎气密层的内表面上分别施加均布压力 150 和 250 kPa (标准充气压力)。

静态加载工况: 轮辋固定, 对地面施加竖直向上的标准负荷 5 600 N。

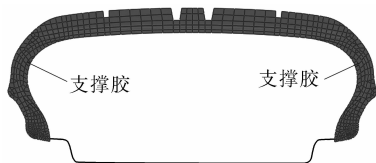


图 1 二维断面网格

作者简介:薛梓晨(1989—), 男, 甘肃金昌人, 北京化工大学在读硕士研究生, 主要从事轮胎结构与仿真模拟研究。

* 通信联系人



图2 三维模型的有限元网格

稳态侧偏工况:由于侧偏刚度受滚动速度的影响较小^[3],本研究忽略该影响,固定地面,滚动速度设为 $10 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,并将其施加在轮胎和轮辋上,同时对轮胎和轮辋在施加平动速度时设定侧偏角(α)为 8° ;轮胎承受标准负荷 $5\,600 \text{ N}$ 。

2 有限元分析结果

2.1 静负荷工况

图3和4分别示出了静负荷工况下跑气保用轮胎和普通轮胎接地断面的应变能密度分布。从图3和4可以看出,高应变能密度主要集中在支撑胶、带束层端部和冠带层端部,尤其在缺气状态下表现更加明显,说明这些部位变形较大,因变形产生的热量也较大,这与实际使用中轮胎在缺气状态下支撑胶、带束层和冠带层的端部由于大变形而生热过多导致脱层现象一致。当轮胎处于缺气状态下时,普通轮胎胎侧变形很大,胎圈几乎贴在轮辋上,而跑气保用轮胎胎侧变形相对较小。这是由于跑气保用轮胎胎侧增设了较硬的支撑胶结构,从而提高了轮胎整体负荷能力和胎侧耐屈挠性能,当轮胎充气压力不足时,支撑胶起到临时支撑车身质量的作用,防止轮胎轮廓变形较大。

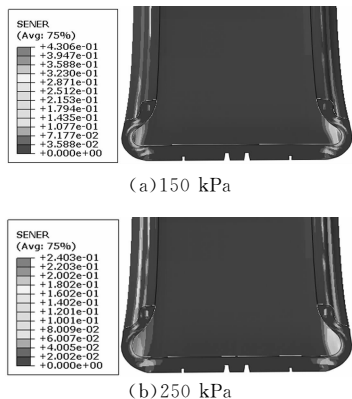


图3 静负荷工况下跑气保用轮胎接地断面的应变能密度分布

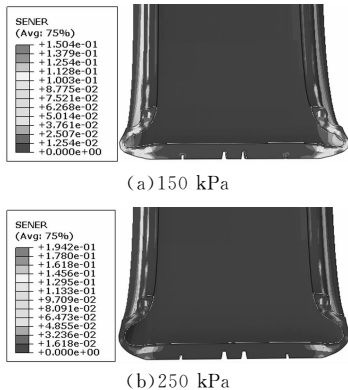


图4 静负荷工况下普通轮胎接地断面的应变能密度分布

图5和6分别示出了在静负荷工况下跑气保用轮胎和普通轮胎的接地印痕。从图5和6可以看出:在标准负荷下,当充气压力为 250 kPa 时,跑气保用轮胎和普通轮胎的接地印痕可近似为矩形,且前者的接地面积小于后者;当充气压力降为 150 kPa 时,两种轮胎的接地压力主要集中在两侧胎肩区域,前者胎肩接地压力集中程度明显高于后者。由于两种轮胎胎侧变形程度不同,因此胎

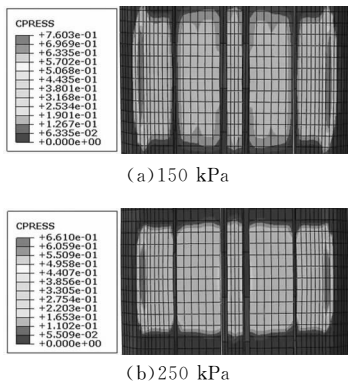


图5 静负荷工况下跑气保用轮胎的接地印痕

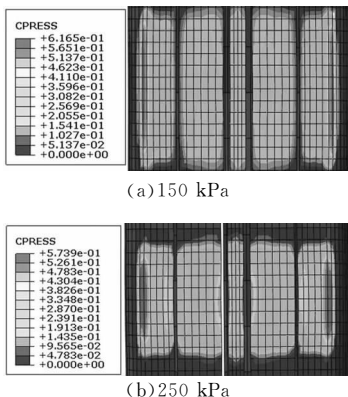


图6 静负荷工况下普通轮胎的接地印痕

冠中央附近发生了不同程度的翘曲现象。

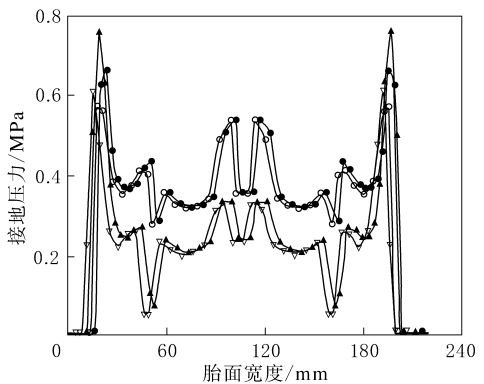
图 7 示出了跑气保用轮胎和普通轮胎接地断面沿胎面横向的接地压力分布对比。从图 7 可以看出,无论是处于标准充气压力下还是缺气状态下,跑气保用轮胎在胎肩处的接地压力均大于普通轮胎,且从标准充气压力变为缺气状态时,跑气保用轮胎在胎肩处的接地压力增幅明显高于普通轮胎。分析认为,缺气状态时,跑气保用轮胎利用胎侧较硬的支撑胶支撑车身质量,支撑胶通过自身弯曲产生的反弹力一方面承受车身重力,另一方面反作用于胎肩,使胎肩处的接地压力明显增大,因此要求支撑胶具备很高的抗压和抗弯曲强度。

车辆在凹凸不平的道路上行驶时,轮胎的径向刚度对车辆的平顺性有较大的影响,合适的径向刚度不仅能保证驾驶者和乘坐者的舒适性,还能减轻货物由于道路颠簸所造成的损害^[4]。图 8 示出了跑气保用轮胎和普通轮胎的径向刚度特性

曲线。从图 8 可以看出,无论是处于标准充气压力下还是缺气状态下,跑气保用轮胎在承受约 2 000 N 载荷时的径向刚度均明显高于普通轮胎。这是由于胎侧支撑胶提高了胎侧的刚度,使胎侧弯曲变形较小。随着充气压力的降低,跑气保用轮胎的径向刚度下降幅度明显低于普通轮胎,说明跑气保用轮胎在充气压力不足时胎侧变形不会过大,依然可以依靠胎侧来支撑车身质量。

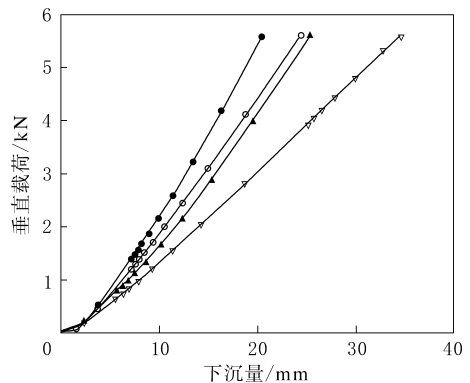
2.2 稳态侧偏工况

图 9 和 10 分别示出了充气压力为 250 kPa 时稳态侧偏工况(α 分别为 0° , 2° , 4° , 6° 和 8°)下跑气保用轮胎和普通轮胎的接地压力分布。从图 9 和 10 可以看出:在标准充气压力下,随着 α 的不断增大,两种轮胎接地印痕和接地压力沿胎面宽度方向向一侧移动,且接地印痕面积不断减小,跑气保用轮胎的接地印痕形状逐渐由矩形变为梯形,普通轮胎的接地印痕形状逐渐由矩形变为三角形;两种轮胎在一侧的胎肩附近开始出现接地压力集中现象,接地压力最大值随着 α 的不断增



●—跑气保用轮胎, 250 kPa; ○—普通轮胎, 250 kPa;
▲—跑气保用轮胎, 150 kPa; ▽—普通轮胎, 150 kPa。

图 7 轮胎接地断面沿胎面横向的接地压力分布



注同图 7。

图 8 轮胎径向刚度特性曲线

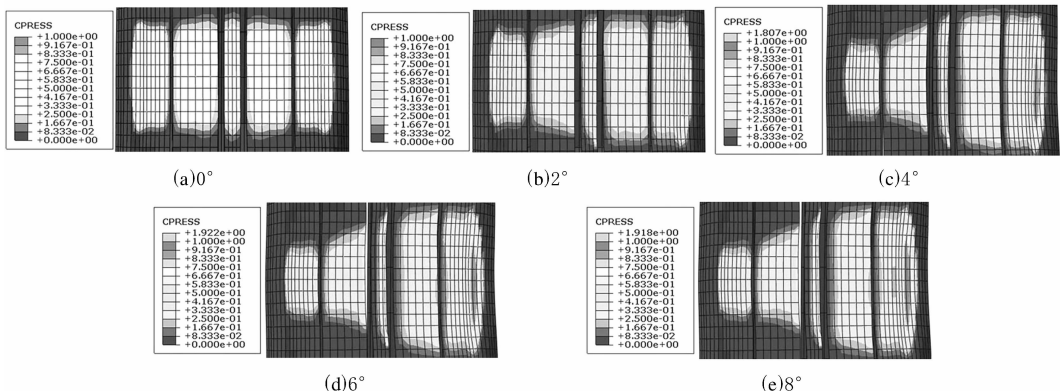


图 9 充气压力为 250 kPa 时稳态侧偏工况下跑气保用轮胎的接地压力分布

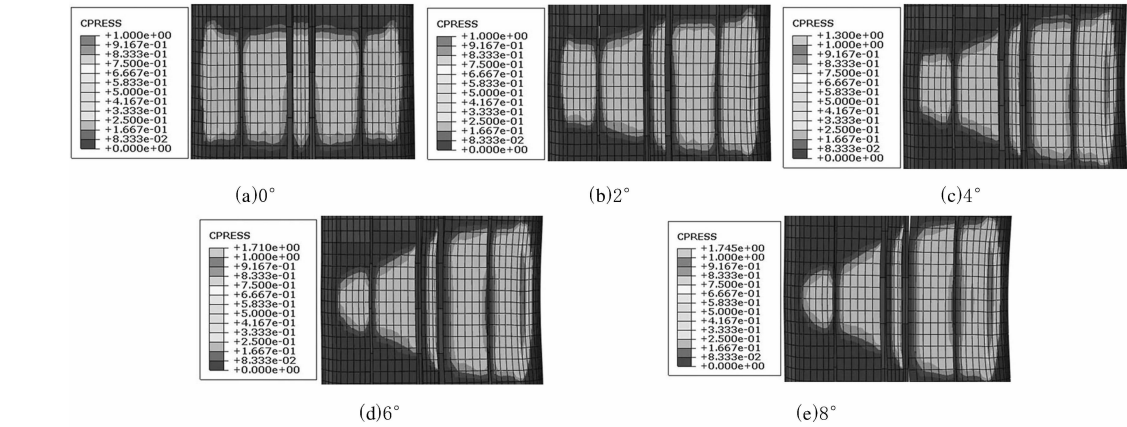


图 10 充气压力为 250 kPa 时稳态侧偏工况下普通轮胎的接地压力分布

大沿胎面圆周方向不断扩展,造成单侧胎肩接地压力集中程度越来越严重,沿胎面宽度方向上的接地压力分布越来越不均匀,易引起轮胎转向时

因接地区域的单侧接地压力大而产生过多磨损。

图 11 和 12 分别示出了充气压力为 150 kPa 时侧偏工况(α 分别为 0° , 2° , 4° , 6° 和 8°)下跑气保

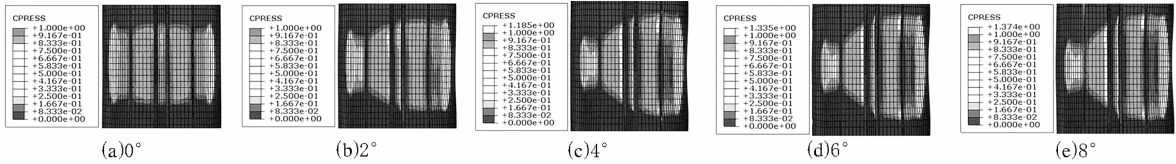


图 11 充气压力为 150 kPa 时稳态侧偏工况下跑气保用轮胎的接地压力分布

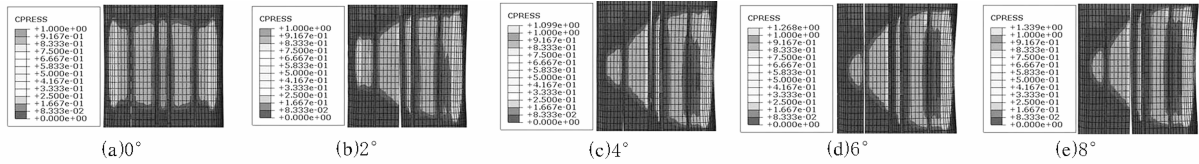


图 12 充气压力为 150 kPa 时稳态侧偏工况下普通轮胎的接地压力分布

用轮胎和普通轮胎的接地压力分布。

从图11和12可以看出:缺气压状态下,随着 α 的不断增大,两种轮胎在靠近接地压力集中区域附近开始出现胎面翘曲现象,且翘曲面积随着 α 的增大而不断增大;跑气保用轮胎的接地印痕从矩形变为梯形,而普通轮胎的接地印痕从矩形变为三角形。跑气保用轮胎在沿横向水平速度的相反方向的一侧接地压力集中区域大于普通轮胎。

图 13 示出了在标准负荷、不同充气压力下跑气保用轮胎和普通轮胎(α 为 8°)的接地压力分布。从图 13 可以看出:无论是处于标准充气压力下还是缺气状态下,跑气保用轮胎沿水平方向滑移的反方向一侧胎肩的接地压力均高于普通轮胎。充气压力为 250 kPa 时,跑气保用轮胎在胎冠中央部位的接地压力比普通轮胎高,两种轮胎

沿水平滑移方向的胎侧处的接地压力明显高于另一侧;充气压力为 150 kPa 时,跑气保用轮胎沿胎面横向方向的接地压力分布与普通轮胎相差不大。

侧偏特性主要是指侧偏滚动工况下的 α 、侧

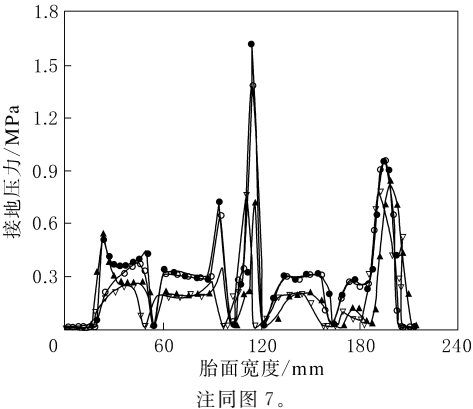
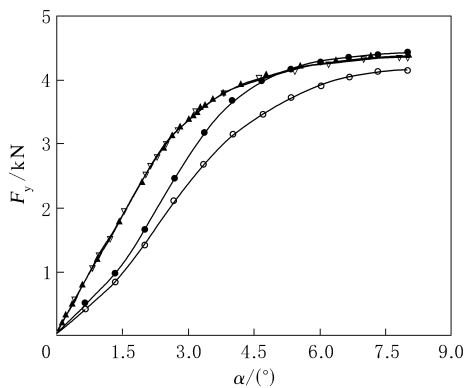


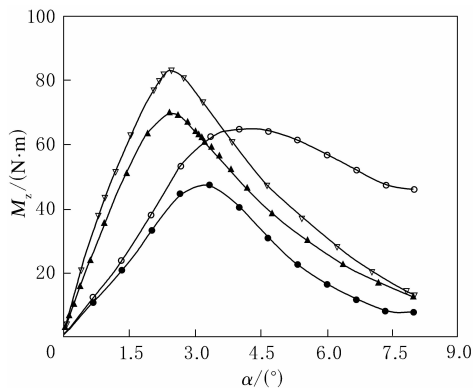
图 13 轮胎接地压力分布

向力(F_y)和回正力矩(M_z)三者之间的相互关系,是研究车辆操纵稳定性的基础。图 14 和 15 分别示出了在标准负荷、不同充气压力下跑气保用轮胎和普通轮胎的 F_y - α 和 M_z - α 曲线。



注同图 7。

图 14 轮胎的 F_y - α 曲线



注同图 7。

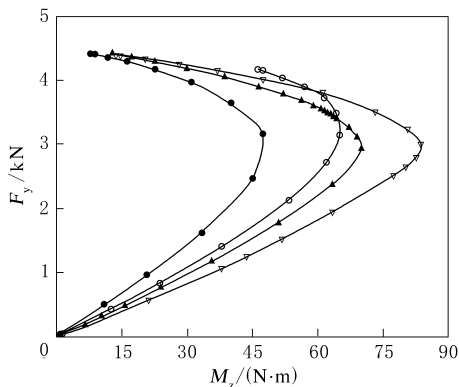
图 15 轮胎的 M_z - α 曲线

从图 14 可以看出:当 α 为 0° 时, F_y 并不为零,这是由于带束层结构不对称所造成的;当 α 较小时, F_y 与 α 近似呈线性关系,表明此时在轮胎的整个接地区域内尚未发生明显的侧滑;当 α 大于某一角度时,随着 α 的不断增大, F_y 增幅明显减小,说明此时在轮胎的部分接地区域内出现了较为明显的侧滑;当 α 趋近于 8° 时, F_y 与 α 的关系曲线趋于水平,这表明此时轮胎的 F_y 将达到附着极限,轮胎的整个接地区域内各处均开始发生侧滑^[5]。取 $\alpha=0^\circ$ 处的曲线斜率称为侧偏刚度(K_y)。当充气压力为 250 kPa 时,跑气保用轮胎的 K_y 大于普通轮胎,这是由于其胎侧增设了较硬的支撑胶结构使刚性提高的缘故;当充气压力降为 150 kPa 时,跑气保用轮胎的 K_y 增幅小于普

通轮胎,这与实际情况下跑气保用轮胎操纵稳定性优于普通轮胎现象一致。

从图 15 可以看出:当 α 为 0° 时, M_z 并不为零,这也主要是由于带束层结构不对称造成的。当 α 较小时, M_z 随着 α 的增大而增大;当 α 较大时, M_z 随着 α 的增大而减小。充气压力对 M_z 具有较大的影响,随着充气压力的降低, M_z 的最大值增大,同时其对应的 α 减小。分析认为,轮胎充气压力越低,接地印痕面积越大,从而轮胎拖距越大,造成 M_z 增大。在相同充气压力和 α 下,跑气保用轮胎的 M_z 始终小于普通轮胎,这是由于跑气保用轮胎胎侧刚性较大导致接地印痕较小的缘故。取 $\alpha=0^\circ$ 处的曲线斜率称为回正刚度(A),充气压力从 250 kPa 降至 150 kPa 时,跑气保用轮胎的 A 增幅大于普通轮胎。

图 16 示出了跑气保用轮胎和普通轮胎的 F_y - M_z 曲线。 M_z 最大值所对应的 α 称为临界侧偏角(α_c),是影响车辆操纵性能的重要因素。从图 14 和 16 可以看出:充气压力为 250 和 150 kPa 时,跑气保用轮胎的 α_c 始终小于普通轮胎,说明跑气保用轮胎比普通轮胎更容易发生侧滑。



注同图 7。

图 16 轮胎的 F_y - M_z 曲线

3 结论

(1) 静负荷工况下,高应变能密度主要集中在支撑胶、带束层端部和冠带层端部,在标准充气压力和缺气状态下跑气保用轮胎胎肩处的接地压力均大于普通轮胎,且径向刚度高于普通轮胎;缺气状态下跑气保用轮胎胎侧变形小于普通轮胎,且胎肩接地压力集中程度高。

(2) 稳态侧偏工况下,在标准充气压力和缺气

状态下,随着侧偏角的增大,跑气保用轮胎的接地印痕从矩形变为梯形,普通轮胎的接地印痕从矩形变为三角形。

参考文献:

[1] 黄建龙,解广娟,刘正伟.基于 Mooney-Rivlin 模型和 Yeoh 模型的超弹性橡胶材料有限元分析[J].橡胶工业,2008,55(8):467-472.

[2] 庄茁等. ABAQUS 非线性有限元分析与实例[M].北京:科学出版社,2004:318-320.

[3] 石琴,陈无畏,洪洋,等.基于有限元理论的轮胎刚度特性的仿真研究[J].系统仿真学报,2006,18(6):445-449.

[4] 喻凡,林逸.汽车系统动力学[M].北京:机械工业出版社,2005:30-67.

[5] 庄继德.汽车轮胎学[M].北京:北京理工大学出版社,1996:237-249.

收稿日期:2013-12-07

Mechanical Properties of Run-flat Tire in Static Load and Steady Cornering Condition

XUE Zi-chen^{1,2}, HE Jian-yun^{1,2}, DING Yu-mei^{1,2}, YANG Wei-min^{1,2}, JIAO Zhi-wei^{1,2}

(1. Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China; 2. National Engineering Laboratory of Tire Design and Manufacturing Process, Beijing 100029, China)

Abstract: Based on ABAQUS software, the three dimensional FEA models of 225/40R18 run-flat tire and traditional tire were established and the mechanical properties of tires under standard load in static load condition and steady cornering condition were analyzed. The results showed that, in the static load condition, either with normal tire pressure or under inflated pressure, high strain energy density was mainly on self-supporting rubber, belt and cap ends, especially in under-inflation state. In addition, the contact pressure at tire shoulder and radial stiffness of the run-flat tire were higher than traditional tire. When tires were under inflated, the sidewall deformation of run-flat tire was smaller than traditional tire, and the concentration level of contact pressure in tire shoulder was much higher than traditional tire. When tires were under steady cornering condition, either with normal tire pressure or under inflated pressure, the footprint of run-flat tire changed from rectangular shape into trap-ezoid with the increase of side cornering angle, while the footprint of traditional tire changed from rectangle into triangle.

Key words: run-flat tire; sidewall; self-supporting rubber; static load; cornering; FEA

一种采用异向双螺杆挤出机再生废橡胶的方法

中图分类号: TQ330.4⁺4; X783.3 文献标志码: D

由北京化工大学申请的专利(公开号 CN 102911399A, 公开日期 2013-02-06)“一种采用异向双螺杆挤出机再生废橡胶的方法”, 提供了一种采用异向双螺杆挤出机再生废橡胶的方法, 即将废胶粉与再生剂于搅拌机内在 60~120 °C 下预处理 1~15 min, 在 50~100 °C 下静置 12~36 h 后加入异向双螺杆挤出机, 控制挤出机加热段温度为 150~220 °C, 反应段温度为 220~320 °C, 冷却段温度为 80~220 °C, 反应 1~10 min 后由挤出机挤

出, 然后经冷却装置二次冷却至 80 °C 下后精炼出片制得再生胶。其中异向双螺杆挤出机为全啮合异向双螺杆挤出机、部分啮合异向双螺杆挤出机或非啮合异向双螺杆挤出机的一种, 废胶粉为轮胎胎面或胎体废胶粉、边角余料、废胶鞋、废乙丙橡胶、废丁基橡胶和废丁腈橡胶中的一种, 再生剂包括软化剂(煤焦油、松焦油、妥尔油、环烷油、双戊烯、石蜡油、油酸、松香的一种或几种的混合物)和活化剂(芳烃二硫化物、多烷基苯酚硫化物、苯基硫醇、胺基化合物的一种或几种的混合物), 废胶粉与软化剂、活化剂的质量比为 100 : (5~20) : (0.1~3)。

(本刊编辑部 赵敏)