

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2014.09.010

蜂巢式塑料轮胎力学性能研究

王若云, 贺建芸, 丁玉梅, 刘肖英, 杨卫民, 焦志伟

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

摘要: 基于聚氨酯弹性体优异的性能, 建立了3种不同密度的蜂巢式塑料轮胎模型, 并以ABAQUS软件为工具, 以同型号的传统橡胶轮胎为参照, 对比分析了稳态滚动工况下轮胎的接地性能和应力分布。分析结果表明, 与传统橡胶轮胎相比, 蜂巢式塑料轮胎的等效应力分布更加均匀。因此, 蜂巢式塑料轮胎局部发生过度磨损的可能性降低。此外, 蜂巢式塑料轮胎支撑板的受力情况与蜂巢密度密切相关。

关键词: 蜂巢式塑料轮胎; 聚氨酯; 应力分布; 传统橡胶轮胎

中图分类号: TQ317.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2014)09-0042-04

Research on the Mechanic Performance of Honeycomb Plastic Tire

Wang Ruoyun, He Jianyun, Ding Yumei, Liu Xiaoying, Yang Weimin, Jiao Zhiwei

(National Engineering Laboratory of Tire Design and Manufacturing Process, College of Mechanical and Electrical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract : Based on superior performance of polyurethane elastomer, three different density of honeycomb plastic tires models were established, the same model of the traditional rubber tires were taken as reference, and ABAQUS software was used as analysis tool to compare and analyze the grounding performance and stress distribution of the plastic tires under the steady rolling conditions. The results show that the equivalent stresses of honeycomb plastic tires distribute more uniformly than that of the traditional rubber tires. Therefore, the possibility of excessive wear of honeycomb plastic tires gets smaller. In addition, the stress conditions of support plates of the tires are closely related to honeycomb density.

Keywords : honeycomb plastic tire ; polyurethane ; stress distribution ; traditional rubber tire

长久以来, 橡胶材料一直是制作轮胎零部件的唯一选择, 但是近年来随着高分子材料行业的不断发展, 相关轮胎行业逐渐将目光转移到可替代橡胶材料的其它复合材料上。其中, 聚氨酯弹性体具备突出的高回弹性、优异的剪切强度、冲击性能和橡胶特性, 能适应不同热膨胀系数基材的粘合, 它在基材之间形成软-硬过渡层, 不仅粘接力强, 同时还具有优异的缓冲、减震功能。加之其生产工艺简单、投资少、废旧轮胎容易实现回收利用, 所以聚氨酯(PUR)弹性体已渐渐成为制造轮胎的理想材料^[1]。目前, 国内外针对聚氨酯轮胎进行了大量的实验研究, 广泛将聚氨酯胎面/橡胶胎体复合结构轮胎技术应用于叉车、载重汽车、轻型载重汽车和轿车轮胎的生产^[2]。采用该技术的蜂巢式塑料轮胎的结构如图1所示。这种轮胎采用PUR材料制成蜂巢式的支撑板, 由于PUR材料的优越性能, 既可以保证蜂巢式轮胎具有传统橡胶轮胎的优越性能, 又具备抗扎性能和传统橡胶轮胎不可比拟的负重能力。



图1 蜂巢式塑料轮胎结构图

基于上述蜂巢式塑料轮胎的优异性能, 针对其展开研究, 建立的蜂巢式塑料轮胎模型由胎面、轮辋和蜂巢式支撑板3部分组成。其中蜂巢式支撑板结构定义了不同的蜂巢密度, 图2所示的结构为蜂巢式支撑板的一个最小单位。最小单位沿周向阵列的个数就定义为轮胎的蜂巢密度, 从而考虑密度不同对轮胎力学性能的影响。

联系人: 焦志伟, 博士, 讲师, 主要从事高分子材料轮胎结构设计与有限元分析

收稿日期: 2014-06-25

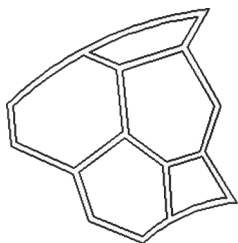


图2 蜂巢式胎体结构的最小单位

1 蜂巢式塑料轮胎有限元模型的建立

1.1 材料模型

稳态滚动状态下,力的相互作用主要涉及到轮胎与轮辋、轮胎与地面之间的摩擦。因此笔者定义了4个零部件包括胎面、蜂巢结构的胎体、轮辋和路面^[3]。其中,地面和轮辋定义为刚性体,蜂巢式支撑板选用聚氨酯弹性体材料,胎面仍采用橡胶材料,橡胶本构模型采用 Yeoh 模型,其应变能函数如下^[4]:

$$W = A_{10}(I_1 - 3) + A_{20}(I_1 - 3)^2 + A_{30}(I_1 - 3)^3$$

式中: I_1 —— $\lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2$,主伸长比的第一不变量;

λ_i ——3个主伸长比;

A_{10}, A_{20}, A_{30} ——测量得到的材料常数,通过修改三个系数来表征不同的橡胶材料。

共包括4个模型,A型为传统橡胶轮胎,B型是蜂巢密度为10的蜂巢式塑料轮胎,C型是蜂巢密度为12的蜂巢式塑料轮胎,D型是蜂巢密度为16的蜂巢式塑料轮胎,如表1所示。为了使3种塑料轮胎具有可比性,蜂巢支撑板的厚度保证一致。

表1 4种不同型号的轮胎

型号	轮胎类型
A型	橡胶轮胎(传统)
B型	密度为10的蜂巢式轮胎
C型	密度为12的蜂巢式轮胎
D型	密度为16的蜂巢式轮胎

1.2 单元模型

单元类型选择和网格划分时,轮胎与地面的摩擦接触计算中会产生较大的剪力,容易出现局部单元扭曲问题,故应采用线性单元;加强层、带束层的帘线与子午线方向呈一定角度,轮胎会发生绕旋转轴的扭转变形,故应采用扭转单元来模拟^[5]。因此,笔者采用8节点的完全积分常压力杂交6面体单元对其进行网格划分。而蜂巢式支撑板在施加载荷后会发生扭曲变形,所以应采用扭转单元来模拟,此外,由于三维模型通常采用8节点6面体减缩积分单元,故本研究中采用 C_3D_8R 来对蜂巢式支撑板进行网格划分。网格划分后的蜂巢式塑料轮胎模型

如图3所示。

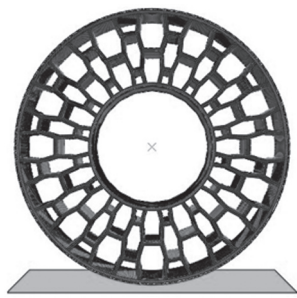


图3 蜂巢式塑料轮胎三维模型图

1.3 边界条件

橡胶轮胎模型的接触包括胎体与轮辋、轮胎和路面之间的接触,并采用罚函数法进行求解。而其余3种蜂巢式轮胎则采用 Tie 约束法^[6]将橡胶胎面、蜂巢式支撑板和轮辋良好地结合在一起。将地面和轮辋定义为刚体,摩擦系数定义为0.5。

1.4 载荷施加

在蜂巢式塑料轮胎和同型号的橡胶轮胎上施加竖直向下的标准载荷5000 N,稳态滚动是指轮胎以一个恒定角速度转动时,对轮胎进行加载分析。分析的基本过程是首先对轮胎进行静载分析,然后通过全制动工况计算出轮胎的稳态滚动角速度,最后根据计算出的角速度模拟轮胎稳态滚动工况。

2 有限元结果的分析与讨论

2.1 接地性能分析

图4~图6示出了4种轮胎在稳态滚动工况下沿接地印痕轴向中线的接地应力(包括法向接触压力、纵向接触应力和横向应力)分布曲线。由图4可知,传统橡胶轮胎在自由滚动工况下,其法向和纵向接触应力的分布与静负荷工况下十分相似,高应力主要分布在胎肩部位和胎冠,应力相对于胎冠中线基本呈对称分布。而蜂巢式塑料轮胎的法向接触应力,在胎冠中部与其同型号的橡胶轮胎的法向接触应力值十分相近,但是在胎肩部分比其同型号橡胶轮胎的法向接触应力值大,相差大约3倍左右。

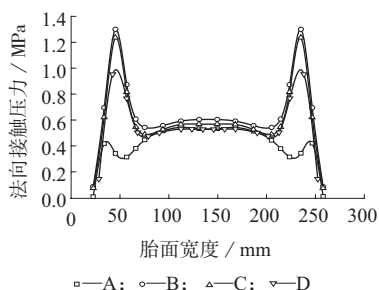


图4 稳态滚动状态下轮胎法向应力分布曲线图

从图5可以看出,蜂巢式塑料轮胎的纵向接触

压力在胎冠部分削弱了许多,约为原橡胶轮胎纵向接触压力的1/2。但是在胎肩部分比其同型号的橡胶轮胎的纵向接触应力值大,相差大约2倍左右。

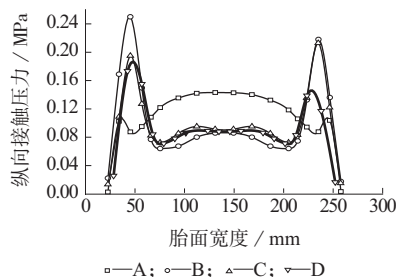


图5 稳态滚动状态下轮胎纵向应力分布曲线图

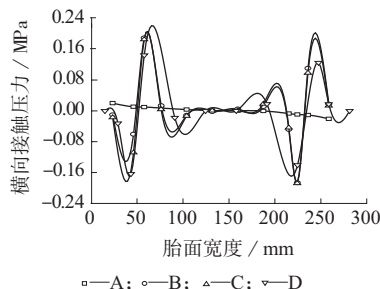


图6 稳态滚动状态下轮胎横向应力分布曲线图

从图6可以明显地看出,橡胶轮胎的横向接触压力曲线走势非常平缓,以零点为中心波动,波动量最大值仅为0.02 MPa。3种塑料轮胎的横向接触压力同样围绕零点上下波动,波动量最大值为0.19 MPa,为同型号橡胶轮胎的9.5倍。可以推测采用聚氨酯蜂巢结构作为轮胎的支撑结构,蜂巢式塑料轮胎的法向、纵向和横向接触压力均足够大,可以保证轮胎和地面的接触良好,满足轮胎的抓地性能。但是由于轮胎横向接触压力比传统橡胶轮胎值大很多,所以轮胎发生侧滑的可能性比传统橡胶轮胎大。

2.2 轮胎受力分析

4种轮胎在稳态滚动状态下接地区域的轮胎等效应力分布如图7所示。

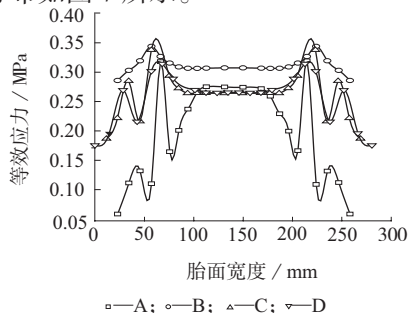
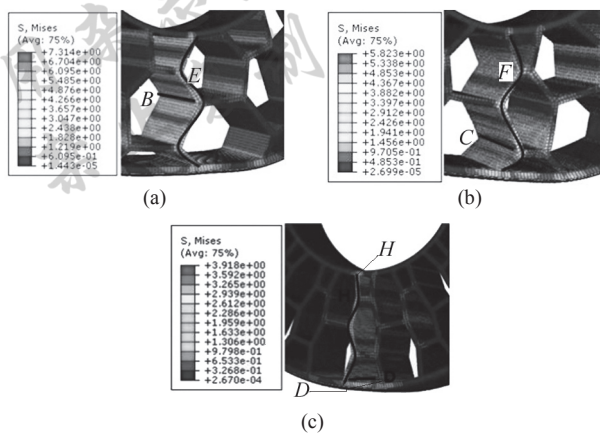


图7 稳态滚动状态下轮胎等效应力分布曲线图

由图7可见,等效应力曲线的走势基本相似,主

要区别在于橡胶轮胎等效应力的极大值和极小值相差较大,而B、C、D3种塑料轮胎等效应力的极大值和极小值之差相差相对较小,并且3种蜂巢式塑料轮胎的整体等效应力值比普通橡胶轮胎大。由此可以推测,由于聚氨酯弹性体是一种模量大、强度高的材料,轮胎接地部分的变形量较小,接地面积小^[7],所以蜂巢式塑料轮胎的整体等效应力比普通橡胶轮胎高;此外,由于其等效应力极值差较小,轮胎等效应力分布比较均匀,不会发生局部过度磨损的现象。综上所述,蜂巢式塑料轮胎的等效应力分布规律和传统轮胎大致相似,但是在均匀性方面其优化结果显著。

图8示出了3种蜂巢式塑料轮胎支撑板的受力分布云图。从图8可以明显看出,B、C、D型塑料轮胎的受力极限位置(如图8B、E、C、F、D、H所示),并且3种蜂巢式支撑板受力极限值是依次减小的。

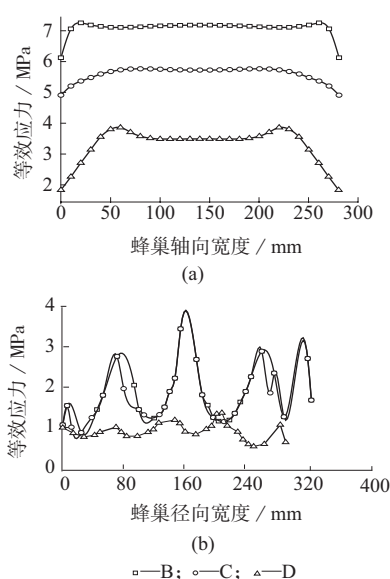


a—B型蜂巢支撑板受力云图;b—C型蜂巢支撑板受力云图;
c—D型蜂巢支撑板受力云图

图8 3种蜂巢式塑料轮胎支撑板的受力分布云图

图9为3种塑料轮胎蜂巢支撑板横向和径向受力分布曲线图。从图9a可以看出,B型轮胎蜂巢式支撑板横向受力最大,C型次之,D型轮胎蜂巢式支撑板横向受力最小。其中B型受力的极限值为D型的2倍。由图9b可知,B、C、D型轮胎支撑板径向受力分布曲线的走势是一致的。B、C型轮胎蜂巢支撑板沿径向受力非常相近,相差无几;而D型轮胎的支撑板径向受力明显小于前两者,小了约2倍多。无论是横向还是径向的等效应力,蜂巢密度为16的D型轮胎支撑板受力均是最小的,从而可以推测出,蜂巢密度为16的塑料轮胎是3种塑料轮胎中结构最优、强度最好的,其支撑板受力小且均匀,因此蜂巢支撑板变形量小,不易被压溃,有效地

提高了轮胎的承载性能。



a—3种塑料轮胎蜂巢支撑板内壁轴向受力分布图;

b—3种塑料轮胎蜂巢支撑板径向受力分布图

图9 蜂巢支撑板受力分析图

3 结论

(1) 蜂巢式塑料轮胎和同型号的橡胶轮胎相比,法向接触压力和纵向接触压力大致相似,能够保证轮胎和地面的接触良好,满足了轮胎的抓地性能。而横向接触压力比较大,轮胎发生侧滑的可能性较高。

(2) 蜂巢式塑料轮胎的等效应力分布规律和传统轮胎大致相似,且在均匀性方面其优化结果更加显著。轮胎局部发生过度磨损的可能性更小。

(3) 蜂巢密度为16的塑料轮胎的支撑板受力较小且均匀,是3种塑料轮胎中结构最优的。因此得出结论,蜂巢式塑料轮胎的支撑板受到了蜂巢密度的影响,蜂巢密度的多少与支撑板横向和径向受力密切相关,通过这种模拟手段,可以探索出结构最优的蜂巢支撑板密度。

参考文献

- [1] 刘道春. 聚氨酯材料开拓汽车轮胎市场的新蓝海[J]. 化学推进剂与高分子材料, 2012, 10(5): 266-272.
Liu Daochun. New blue ocean of automotive tire market developed by polyurethane materials[J]. Chemical Propellants & Polymeric Materials, 2012, 10(5): 266-272.
- [2] 赵冬梅. 聚氨酯轮胎与橡胶轮胎性能对比[J]. 轮胎工业, 2013, 33(2): 67-72.
Zhao Dongmei. Comparison of polyurethane tire and rubber tire performance[J]. Tire Industry, 2013, 33(2): 67-72.
- [3] 张阁. 免充气蜂巢式轮胎接地性能的有限元分析[J]. 轮胎工业, 2013, 33(11): 651-654.
Zhang Ge. Finite element analysis on contact performance of honeycomb non-pneumatic tire[J]. Tire Industry, 2013, 33(11): 651-654.
- [4] 危银涛, 杨挺青, 杜星文. 橡胶类材料大变形本构关系及其有限元方法[J]. 固体力学学报, 1991, 10(4): 282-286.
Wei Yintao, Yang Tingqing, Du Xingwen. On the large deformation rubber-like materials: constitutive laws and finite element method[J]. Acta Mechanica Solida Sinica, 1991, 10(4): 282-286.
- [5] 陈廷. 子午线轮胎的非线性有限元分析[D]. 青岛: 青岛理工大学, 2008.
Chen Ting. Nonlinear finite element analysis for radial tire[D]. Qingdao: Qingdao Technological University, 2008.
- [6] 赵鹏, 杨卫民. 胎体结构对塑料轮胎性能影响的仿真研究及结构优化[J]. 工程塑料应用, 2012, 40(11): 34-38.
Zhao Peng, Yang Weimin. Influence of plastic tire body structure on its performance and structure optimization[J]. Engineering Plastics Application, 2012, 40(11): 34-38.
- [7] 李俊, 陈晓东, 张海, 等. 采用 ABAQUS 对聚氨酯/橡胶复合轮胎应力场的有限元分析[C] // 中国聚氨酯工业协会第十五次年会论文集. 上海: 中国聚氨酯工业协会, 2010: 420-423.
Li Jun, Chen Xiaodong, Zhang Hai, et al. Finite element analysis of force field in polyurethane / rubber composite tire[C] // Fifteenth Annual Conference of China Polyurethane Industry Association. Shanghai: Cpuia Conference, 2010: 420-423.

中俄将成为未来全球 PP 产能扩张主要驱动力

知名市场研究机构 Global Data 日前发表报告称, 2013 年全球 PP 产量为 6500 万 t。过去十年, 其产出复合年增长率为 5.2%。预计 2018 年全球 PP 总产出有望增至 8600 万 t。

未来五年, 我国和俄罗斯将成为全球 PP 产能增长的主要推动力。届时两国新增 PP 联合产出将占全球新增产出的 45% 以上。市场需求的走强进一步促使 PP 生产商们进行产能扩张。Global Data 表示, 为实现其 748 万 t/a 的自给自足目标, 未来几年我国将率先掀起新一轮的产能扩张狂潮。其中, 97.6% 的新增 PP 将产自一些新建生产工厂。预测,

2018 年我国 PP 产量占亚洲及全球总产量的分别为 62.4% 和 35.5%。

作为推高全球 PP 产能的第二大驱动力, 近年来俄罗斯国内石化产品投资力度不断加大, 其 PP 市场前景十分可期。2012 年该国 PP 总产能仅为 65 万 t/a, 然而随着市场需求的日益增加, 2013 年这一数值增至 133 万 t/a。未来几年俄罗斯 PP 产能还将继续扩大, 预计 2018 年有望达到 348 万 t/a。

此外, Global Data 认为 2014~2018 年期间, 委内瑞拉和印度将分别成为全球第三大和第四大 PP 产出增长大国。

(工程塑料网)