

免充气蜂巢式轮胎接地性能的有限元分析

张 阁, 杨卫民*

(北京化工大学 轮胎设计与制造工艺国家工程实验室, 北京 100029)

摘要:建立免充气蜂巢式轮胎与地面接触的有限元模型,进行接地性能的相关分析。研究结果表明,与充气轮胎相比,胎面采用聚氨酯弹性体、胎体采用聚甲醛塑性材料的免充气蜂巢式轮胎具有更大的径向刚度和横向刚度,表明在降低滚动阻力和增强操控稳定性方面有优势,但是其胎面中心区域的接触应力最大,造成该区域磨损较为严重。

关键词:免充气蜂巢式轮胎;径向刚度;横向刚度;接地性能;有限元分析

中图分类号:TQ336.1;O241.82 **文献标志码:**B **文章编号:**1006-8171(2013)11-0651-04

随着汽车工业的迅猛发展,轮胎工业也在不断进行着新的技术革命,从木轮、石轮到橡胶充气轮胎,从有内胎到无内胎,从斜交结构到子午线结构,轮胎更新换代的脚步从未停止过。在轮胎技术发展史上,共经历了两次较大的跨越发展:其一是 1946 年法国米其林公司发明子午线结构轮胎^[1];其二是 20 世纪 80 年代后以日本普利司通公司为代表提出的基于有限元分析的轮胎优化设计理论^[2-3]。目前轮胎的发展潮流是具有优异的舒适性、安全性、节能性,近几年一些公司已相继开发出免充气新型结构轮胎,不仅制造工艺简单,节约橡胶原材料,而且可以保证具有普通充气轮胎的基本性能,安全性大幅提高,彻底避免爆胎事故的发生,最具有代表性的是法国米其林公司的 Tweel 轮胎和美国固铂公司研发的军用蜂巢式轮胎。本研究以蜂巢式轮胎结构为原模型,采用有限元分析软件对其接地性能进行仿真模拟。

1 免充气蜂巢式轮胎模型的建立

根据免充气蜂巢式轮胎结构(见图 1),运用三维绘图软件建立相应的几何模型,然后通过igs 格式导入分析软件中,进行模拟分析的前处理。这主要包括材料属性定义、单元选择、网格划分以及载荷边界条件确定等。

作者简介:张阁(1987—),男,山东烟台人,北京化工大学在读硕士研究生,现在潍柴动力股份有限公司工作,主要研究方向为聚合物加工及仿真模拟。

* 通信联系人



图 1 免充气蜂巢式轮胎

1.1 材料模型

本研究由于考虑了轮胎与轮辋、轮胎与地面之间的摩擦,因此在建立的虚拟模型中共定义了 4 个部件,包括胎面、蜂巢结构的胎体、与胎体接触的轮辋以及地面,其中将地面和轮辋假设为刚性体,胎面与胎体则运用聚氨酯弹性体和聚甲醛塑性材料,其中胎面部分采用杨氏模量为 238 MPa 的聚氨酯弹性体材料,其不仅具有较高的弹性、优异的耐磨性,而且有很好的耐油性和低温性能^[4]。蜂巢结构的胎体部分采用杨氏模量为 2 600 MPa 的聚甲醛塑性材料,其拥有极高的强度和刚度,特别是具有突出的耐疲劳性能^[5]。

1.2 单元模型

在单元选择与网格划分中,采用三维 Stress 缩减积分单元类型,运用扫略网格划分技术中的进阶算法,并选择映射网格划分选项,以提高网格质量^[6],将胎体和胎面的几何模型划分为六面体

单元 C3D8R,得到较为均匀的网格,其有限元简化模型如图 2 所示。

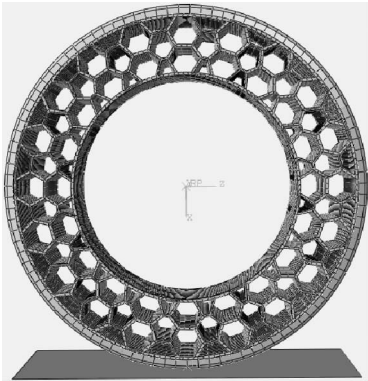


图 2 免充气蜂巢式轮胎有限元简化模型

1.3 边界条件

轮胎的接地分析一般涉及轮胎与轮辋及地面两种接触问题。对于求解接触问题,最常用的方法有 Lagrange 乘子法、罚函数法以及基于求解器的直接约束法^[7]。在本模型分析中对轮胎与地面的接触问题运用罚函数法求解,而对轮胎与轮辋、胎体与胎面则采用绑定约束法,使得轮辋与蜂巢结构胎体、胎体与胎面可以很好地结合在一起。在轮胎与地面的接触分析中,假定二者之间的摩擦因数为 0.8,轮辋处承受垂直载荷为 5 000 N。

2 计算结果与讨论

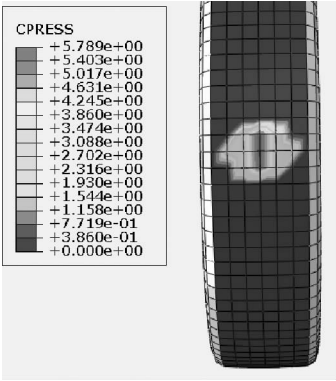
2.1 静载接地分析

在静态条件下,为了更真实地模拟轮胎实际状态的受力情况,对免充气蜂巢式轮胎的轮辋处施加一竖直向下的承重载荷,由于免充气蜂巢式轮胎采用特殊的结构和材料,其静载接地分析结果与充气轮胎相比有较大的不同。免充气蜂巢式轮胎承载后的等效应力分布如图 3 所示。从图 3 可以看出,承载后轮胎的蜂巢式支撑结构可以很好地分散负荷,避免应力过于集中在接地区域。

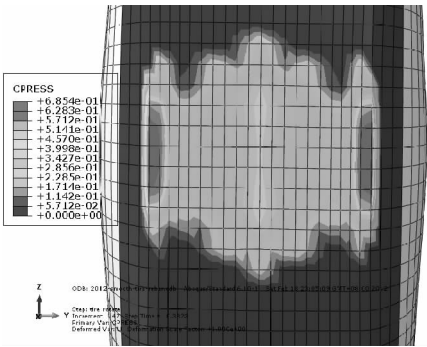


图 3 轮胎等效应力分布

轮胎与地面的接触应力分布如图 4 所示。从图 4 可以看出,蜂巢式轮胎承载后,接地区域接触应力最大部位在胎面中部,而普通充气轮胎在胎面两侧区域受到的接触应力最大,表明此种结构和材料的新型轮胎在胎面中间区域磨损较快。



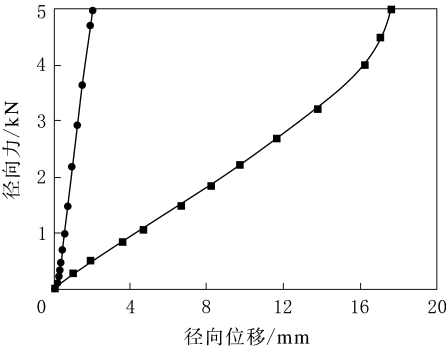
(a)蜂巢式轮胎



(b)充气轮胎

图 4 轮胎与地面的接触应力分布

在径向刚度方面,本研究采用轮辋中心点处径向力-径向位移的对应关系来表征,如图 5 所示。



●—蜂巢式轮胎;■—充气轮胎。

图 5 轮胎径向刚度对比

从图 5 可以看出,蜂巢式轮胎的径向刚度明显大于普通充气轮胎,这是由于蜂巢式轮胎采用胎体支撑结构且其材料为杨氏模量较大的聚甲醛塑性材料,因此其在承受较大载荷后产生较小的径向位移,使得接地面积比同载荷下的充气轮胎小,很好地保持了轮胎的刚性真圆度,减小了翻转力矩,有效降低了滚动阻力,但同时也表明蜂巢式轮胎的制动性能和减震缓冲性能还有待于进一步改善和提高。

2.2 稳态滚动分析

在对蜂巢式轮胎稳态滚动的分析过程中,通过对轮胎施加一前进速度,模拟研究其在行驶过程中与地面接触应力的变化情况。研究发现,轮

胎在稳态滚动过程中其接地应力呈周期性变化。蜂巢式轮胎在行驶过程中接地应力的一个变化周期如图 6 所示。从图 6 可以看出,接触应力随轮胎滚动产生连续变化,但其最大值始终在胎面中间区域。这表明蜂巢式轮胎在滚动过程中胎面中间区域磨损最严重,胎面会产生不均匀磨损。

轮胎在侧向力作用下的接触应力分析对比如图 7 所示。可以看出,在侧向力作用下,蜂巢式轮胎的最大接触应力区域比充气轮胎更偏向于胎面中部。

横向刚度是影响轮胎方向反应动态特性的主要因素之一^[8]。本研究采用轮辋中心点处侧向力-侧向位移的对应关系来表征,如图 8 所示。

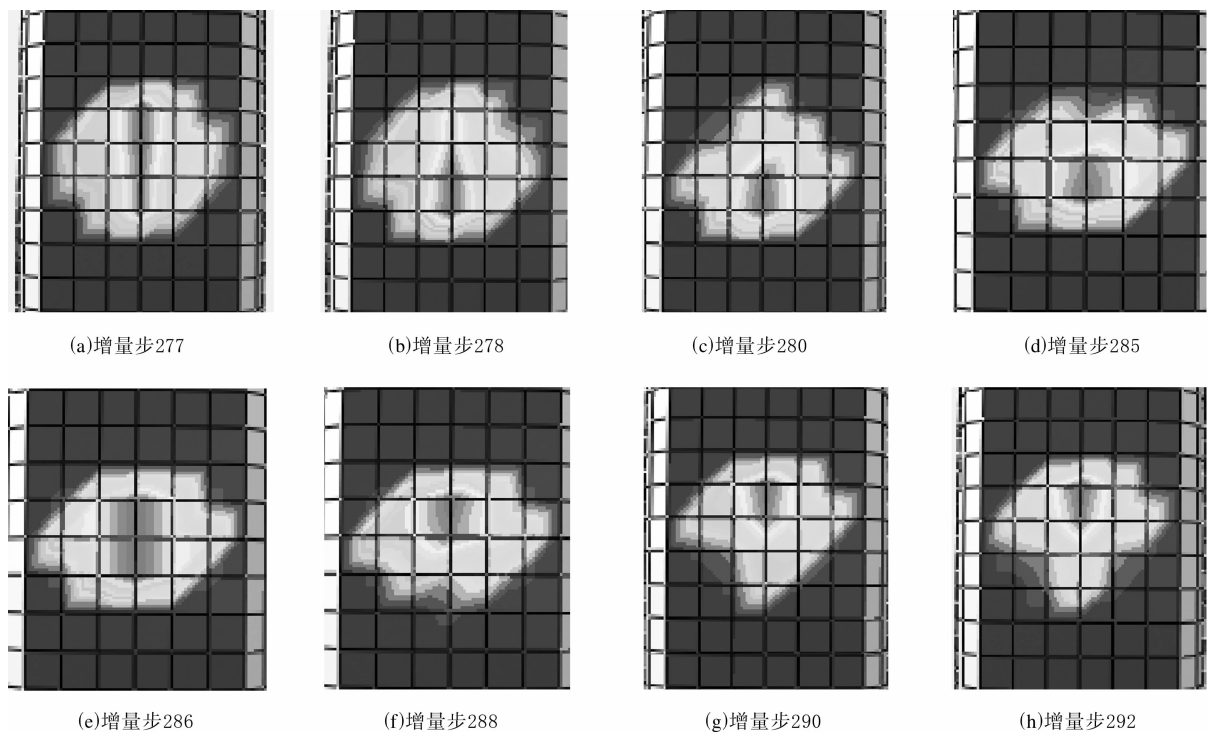


图 6 轮胎滚动分析中接触应力云图的变化周期

从图 8 可以看出,免充气蜂巢式轮胎的横向刚度远大于充气轮胎,这是由于本模型中蜂巢结构胎体采用杨氏模量较大的聚甲醛塑性材料,一定载荷条件下相对形变较小,因此免充气蜂巢式轮胎在操控性能和转弯稳定性方面更加优异。

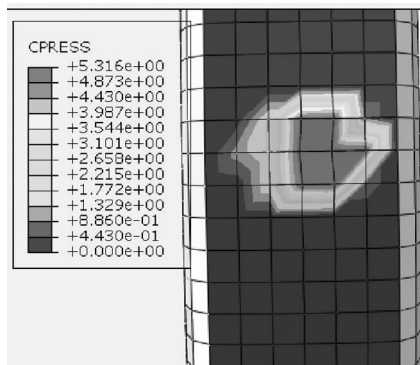
3 结论

通过建立免充气蜂巢式轮胎的有限元模型,对其接地性能进行相关分析,得到如下结论。

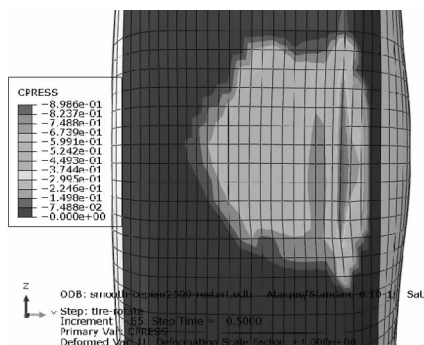
(1)在静态加载过程中,免充气蜂巢式轮胎接地区域接触应力最大部位在胎面中部,蜂巢式胎体结构的承载能力较高,其径向刚度明显大于充气轮胎,在一定程度上可以降低轮胎的滚动阻力。

(2)免充气蜂巢式轮胎在滚动过程中与地面的接触应力连续变化,且最大值一直位于胎面中间区域,因此可以预测免充气蜂巢式轮胎在稳态滚动过程中胎面中间部位磨损最为严重。

(3)免充气蜂巢轮胎的横向刚度大于充气轮



(a) 蜂巢式轮胎

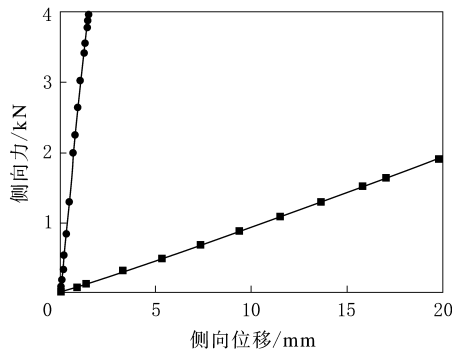


(b) 充气轮胎

图7 轮胎在侧向力作用下的接触应力分析对比胎,其在操控性能和转弯稳定性方面更加优异。

参考文献:

[1] 赵旭升,贾德民.国内外子午线轮胎发展概况[J].化工进展,



注同图5。

图8 轮胎横向刚度对比

1998,17(3):6-8.

- [2] 刘勇,杨卫民.轮胎结构设计理论研究进展[J].弹性体,2011,11(1):45-49.
- [3] 马双华,田栢苓,胡慧杰,等.子午线轮胎发展综述[J].轮胎工业,2009,29(7):387-390.
- [4] 陈晓东,周南桥,张海.国内外聚氨酯轮胎的研究进展[J].轮胎工业,2007,27(2):67-71.
- [5] 叶昌明,吴周安.聚甲醛工程塑料的制备、改性及应用[J].工程塑料应用,2000,28(9):46-49.
- [6] 刘展.ABAQUS6.6基础教程与实例详解[M].北京:中国水利水电出版社,2008:45-64.
- [7] 石亦平,周玉蓉.ABAQUS有限元分析实例详解[M].北京:机械工业出版社,2006:126-136.
- [8] 缪红燕.子午线轮胎刚度和侧偏性能的有限元分析[D].北京:北京化工大学,2000.

收稿日期:2013-05-29

Finite Element Analysis on Contact Performance of Honeycomb Non-pneumatic Tire

ZHANG Ge, YANG Wei-min

(Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: The finite element model of honeycomb non-pneumatic tire contacting with ground was established to analyze the contact performance. The results indicated that, compared with pneumatic tire, the honeycomb non-pneumatic tire made of polyurethane elastomer for tread and polyformaldehyde plastic materials for carcass possessed higher radial stiffness and lateral stiffness, indicating lower rolling resistance and better driving stability. But the maximum contact force was at the central part of the tread for honeycomb non-pneumatic tire, resulting in serious wear of that part.

Key words: honeycomb non-pneumatic tire; radial stiffness; lateral stiffness; contact performance; finite element analysis