

骨架材料对免充气轮胎承载性能和接地性能的影响

黄兆阁, 李 伟, 孟祥坤, 雍占福*

(青岛科技大学 高分子科学与工程学院, 山东 青岛 266042)

摘要:以规格为2.50-14的C形孔洞免充气轮胎为例,基于Abaqus有限元分析软件,建立免充气轮胎的三维有限元模型,针对接地应力分布不均的问题,嵌入不同宽度和厚度的高苯乙烯硬质弹性体层作为骨架材料,对免充气轮胎的承载性能和接地性能进行优化分析,得到硬质弹性体层的最优厚度和宽度。结果表明,硬质弹性体层宽度为40 mm、厚度为6 mm时免充气轮胎的承载性能和接地性能较好。

关键词:免充气轮胎;骨架材料;高苯乙烯含量;硬质弹性体层;厚度;宽度;承载性能;接地性能;有限元分析

中图分类号:TQ336.1;O241.82

文献标志码:A

文章编号:1000-890X(2020)04-0294-08

DOI:10.12136/j.issn.1000-890X.2020.04.0294



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

免充气轮胎的设计和制造完全打破了传统充气轮胎的理念,其具有免充气、防爆胎、安全、低滚动阻力、易加工成型等优点^[1-2]。本研究以规格为2.50-14的免充气轮胎(见图1)为研究对象,其C形孔洞之间的橡胶部分为支撑结构,起到支撑和缓冲作用,能够传递应力。但是,C形孔洞结构会使免充气轮胎在周向上的力传递不均,导致与支撑结构接触的胎面部位接地应力较大,而对应于孔洞的胎面部位接地应力较小,从而使免充气轮胎的接地应力分布不均。



图1 2.50-14免充气轮胎

本研究基于Abaqus有限元分析软件,建立免充气轮胎三维有限元模型;针对免充气轮胎接地应力分布不均的问题,嵌入不同宽度和厚度的高苯乙烯硬质弹性体层作骨架材料,对免充气轮胎的承载性能和接地性能进行优化分析,得到硬质弹性体层的最优宽度和厚度。

1 初始设计免充气轮胎有限元分析

1.1 有限元模型建立

1.1.1 有限元模型

2.50-14免充气轮胎的有限元模型如图2所示。

将免充气轮胎设为可变形体,路面设为解析

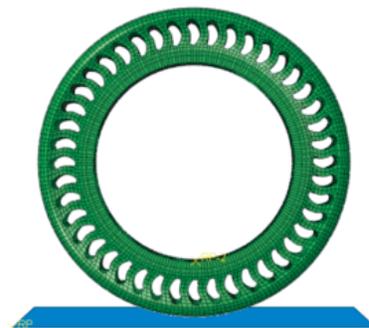


图2 2.50-14免充气轮胎的有限元模型

基金项目:山东省自然科学基金资助项目(ZR2017BEM015)

作者简介:黄兆阁(1968—),男,山东青岛人,青岛科技大学副教授,硕士,主要从事高分子材料高性能化的研究工作。

*通信联系人(03496@qust.edu.cn)

刚体。免充气轮胎主要由胎面、支撑结构和胎踵3部分组成,最里层胎踵采用一种硬质胶,其主要作用是卡住轮辋;中间支撑结构采用一种耐疲劳高弹性胶料,其主要作用是提供支撑和弹性;最外层胎面采用一种绿色环保胶料,其主要作用是使轮胎具有较低的滚动阻力、良好的抗湿滑性能和耐磨性能。

1.1.2 材料模型

免充气轮胎所用的橡胶材料是一种近似不可压缩的超弹性材料^[3-4],比较不同变形范围内橡胶材料各本构模型的拟合曲线与实际测试曲线,采用拟合效果最接近的Ogden三阶模型对橡胶材料进行描述。

1.1.3 负荷条件

根据作用力与反作用力大小相等、方向相反的原理,在刚体路面上施加竖直向上的力来等效代替免充气轮胎所受的竖直向下的力^[5-6]。在路面上施加方向竖直向上、大小为100 kg的负荷来模拟免充气轮胎近似负载两人时的受力状态。

1.1.4 接触和边界条件

对于免充气轮胎胎面与路面的接触问题,本研究采用罚函数法进行求解^[7]。胎面与路面之间的摩擦因数设为0.5,胎面、支撑结构和胎踵的橡胶材料采用自接触模式,摩擦因数设为0.3,从而使免充气轮胎成为一个整体,进而约束胎踵所有自由度^[8],模拟轮辋固定不动的状态,保证轮胎在受力状态下只存在径向变形。

1.2 轮胎承载性能

初始设计免充气轮胎的形变如图3所示。初始设计免充气轮胎承受100 kg负荷时产生的最大下沉量为9.428 mm。

免充气轮胎的径向刚度与承载能力有关,初始设计免充气轮胎径向刚度曲线如图4所示。

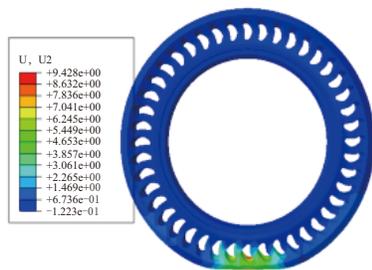


图3 初始设计免充气轮胎的形变

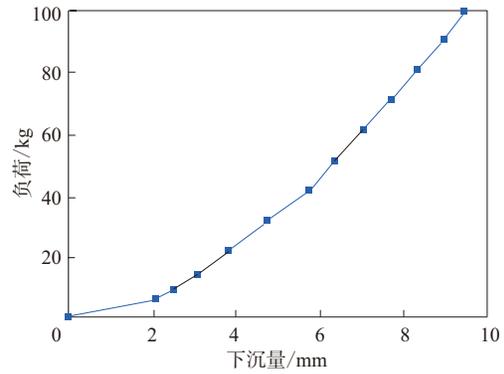
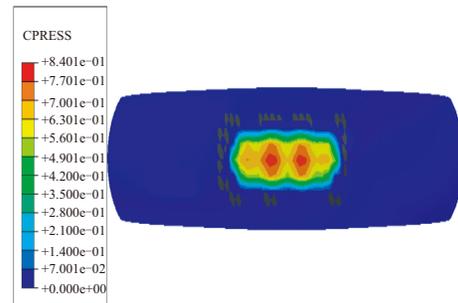


图4 初始设计免充气轮胎径向刚度曲线

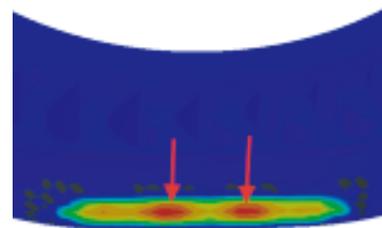
从图4可以看出:随着免充气轮胎所受负荷增大,其下沉量增大,两者呈现非线性关系;免充气轮胎的支撑结构可以在承担较大负荷的同时提供一定的舒适性。

1.3 轮胎接地性能

初始设计免充气轮胎的接地应力分布如图5所示。



(a) 接地应力云图



(b) “双峰”分布

图5 初始设计免充气轮胎的接地应力分布

从图5可以看出,初始设计免充气轮胎的接地应力沿胎面纵向呈“双峰”分布,最大接地应力为0.840 1 MPa。

初始设计免充气轮胎的3D接地应力分布如图6所示。

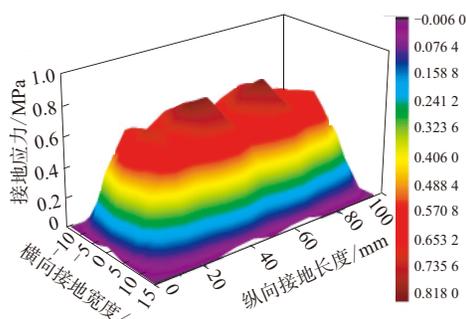


图6 初始设计免充气轮胎的3D接地应力分布

从图6可以更加形象地看出轮胎的接地应力呈现“双峰”分布。

接地应力分布不均会导致免充气轮胎胎面磨损异常,承载时接地应力较小的胎面部位会产生“拱起”的现象,导致轮胎接地面积减小,接地性能变差。

1.4 骨架材料(硬质弹性体层)

将支撑结构传递给胎面不均匀的力均匀分散可以解决上述问题,本研究在轮胎的支撑结构与胎面之间嵌入具有良好力学性能和弹性的高苯乙烯硬质弹性体层(与免充气轮胎所用的橡胶材料相比硬度较高)作为骨架材料。

硬质弹性体层在免充气轮胎中的相对位置如图7所示。

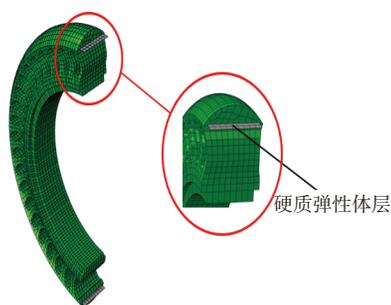


图7 硬质弹性体层在免充气轮胎中的相对位置

将硬质弹性体层设为可变形体,采用弹性材料模型,弹性模量为606 MPa,以骨架材料接触方式^[9-10]将其嵌入支撑结构与胎面之间,建立相应的免充气轮胎有限元模型,研究硬质弹性体层宽度与厚度变化对轮胎接地性能的影响。

2 优化方案设计

2.1 硬质弹性体层宽度

本研究免充气轮胎初始方案为C₁,优化方案为

A₁,B₁,D₁和E₁四种。方案C₁为未加入硬质弹性体层的免充气轮胎,胎面最宽处约为50 mm。根据胎面宽度,在方案A₁,B₁,D₁和E₁中设计硬质弹性体层宽度分别为46,44,42和40 mm,硬质弹性体层厚度均为5 mm。

2.2 硬质弹性体层厚度

固定硬质弹性体层宽度为40 mm,改变其厚度,免充气轮胎硬质弹性体层厚度的优化方案有A₂,B₂,C₂,D₂和E₂五种。

如果所用硬质弹性体层厚度太小,起不到均匀分散负荷的作用;硬质弹性体层厚度过大,则会导致胎面过硬,轮胎的接地性能也会变差。本研究在方案A₂,B₂,C₂,D₂和E₂中设计的硬质弹性体层厚度分别为3,4,5,6和7 mm。

根据上述方案,建立不同宽度和厚度硬质弹性体层免充气轮胎的有限元模型,设置相同的材料模型、负荷条件、接触边界和条件,进行有限元分析。根据分析结果可以得到硬质弹性体层宽度和厚度变化对免充气轮胎承载性能和接地性能的影响规律。

3 结果与分析

3.1 硬质弹性体层宽度对轮胎性能的影响

3.1.1 硬质弹性体层应力

不同宽度硬质弹性体层的应力分布云图如图8所示。

从图8可以看出,不同宽度硬质弹性体层的最大应力均位于靠近胎面接地部位,应力沿硬质弹性体层横向和纵向对称分布且最大应力相差不大。但硬质弹性体层的最大应力远大于免充气轮胎的最大应力,说明硬质弹性体层作为骨架材料起到了承担并分散负荷的作用。

3.1.2 轮胎承载性能

方案A₁,B₁,C₁,D₁和E₁免充气轮胎的最大下沉量分别为6.968,6.990,9.428,7.075和7.083 mm。可知,加入不同宽度硬质弹性体层后的4种免充气轮胎的最大下沉量相近,但与方案C₁初始设计的免充气轮胎相比,4种优化方案的免充气轮胎最大下沉量均减小。这是因为加入较硬的硬质弹性体层后,支撑结构的形变减小,胎面变硬,导

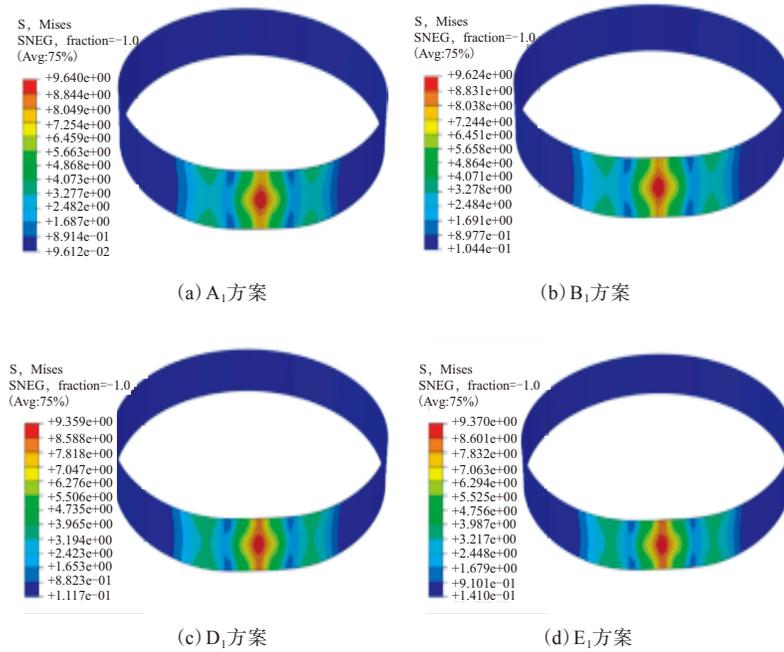


图8 不同宽度硬质弹性体层的应力分布云图

致免充气轮胎的下沉量变小,并且硬质弹性体层的宽度越大,胎面越硬,免充气轮胎的最大下沉量越小,承载能力越强。

3.1.3 轮胎接地性能

方案A₁, B₁, D₁和E₁(不同宽度硬质弹性体层)免充气轮胎的接地性能如表1所示。

项 目	方 案			
	A ₁	B ₁	D ₁	E ₁
接地面积/mm ²	1 173.38	1 173.49	1 213.66	1 213.93
最大接地应力/MPa	1.318	1.323	1.298	1.284

从表1可以看出:加入硬质弹性体层后,4种优化方案的免充气轮胎接地面积随着硬质弹性体层宽度的减小呈增大的趋势;与初始设计免充气轮胎相比,加入不同宽度的硬质弹性体层的免充气轮胎的最大接地应力明显增大,且随着硬质弹性体层宽度的增大而增大。

不同宽度硬质弹性体层免充气轮胎接地应力分布云图如图9所示。

从图9可以看出,初始设计免充气轮胎接地应力呈现明显“双峰”分布现象,加入不同宽度的硬质弹性体层后,免充气轮胎的接地应力分布明显变化,“双峰”现象减弱,免充气轮胎的接地性能

得到改善。

在免充气轮胎中加入一定厚度和宽度的硬质弹性体层,实际上是在支撑结构与胎面之间形成一层较硬的弹性层,在免充气轮胎承载时可以将支撑结构传递给胎面的不均匀力均匀分散,使免充气轮胎的接地应力分布连续、均匀,从而达到改善免充气轮胎接地性能的目的。

综上所述,4种优化方案的免充气轮胎的承载能力相差不大,在试验范围内方案E₁(硬质弹性体层宽度为40 mm)的免充气轮胎的接地面积最大,最大接地应力最小且接地应力分布最均匀。

3.2 硬质弹性体层厚度对轮胎性能的影响

3.2.1 硬质弹性体层应力

不同厚度硬质弹性体层应力分布云图如图10所示。

从图10可以看出,不同厚度硬质弹性体层的最大应力相差不大,5种优化方案中,方案D₂和E₂的硬质弹性体层在靠近胎面接地部位的应力分布较为连续、均匀。

3.2.2 轮胎承载性能

初始设计免充气轮胎的最大下沉量为9.428 mm,方案A₂, B₂, C₂, D₂和E₂免充气轮胎的最大下沉量分别为7.526, 7.311, 7.085, 6.852和6.613

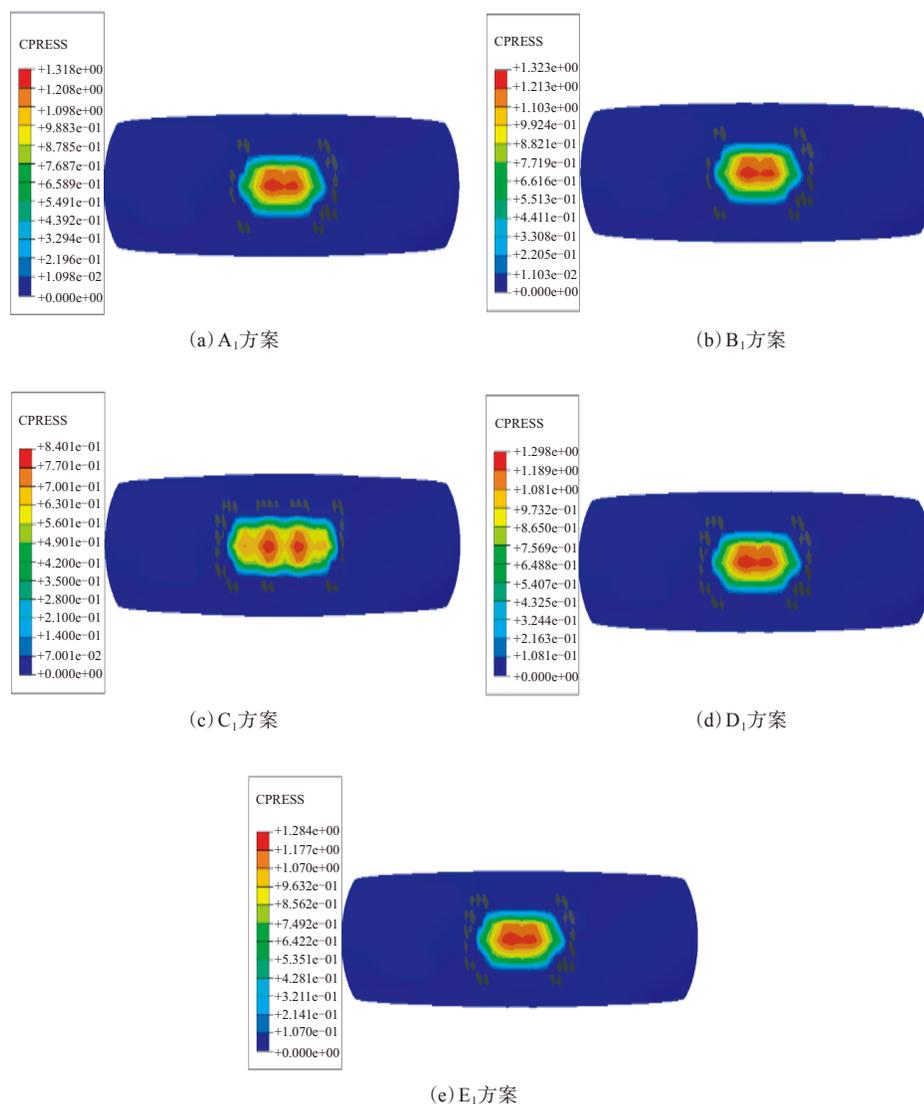


图9 不同宽度硬质弹性体层免充气轮胎的接地应力分布云图

mm,最大下沉量随着硬质弹性体层厚度的增大而减小。可知,在相同负荷下,与初始设计免充气轮胎相比,加入硬质弹性体层的免充气轮胎的刚度增大,承载能力增强,且随着硬质弹性体层厚度增大而增大,但相差不大。

3.2.3 轮胎接地性能

不同厚度硬质弹性体层免充气轮胎的接地性能如表2所示。

从表2可以看出,随着硬质弹性体层厚度的增大,免充气轮胎的接地面积逐渐减小。与初始设计免充气轮胎相比,加入不同厚度的硬质弹性体层的轮胎接地应力明显增大;随着硬质弹性体

层厚度的增大,免充气轮胎的最大接地应力逐渐增大。

免充气轮胎接地应力分布云图如图11所示。从图11可以看出,从方案A₂到E₂,随着硬质弹性体层厚度的增大,免充气轮胎的接地应力“双峰”分布现象明显减弱直至消失,方案D₂和E₂免充气轮胎的接地应力分布连续、均匀。

综上所述,方案为D₂和E₂(硬质弹性体层厚度分别为6和7 mm)时,免充气轮胎的承载能力均相对较强且相差不大,接地应力“双峰”分布现象均消失,接地应力分布连续、均匀。比较两种方案的免充气轮胎接地面积和最大接地应力可知,方案

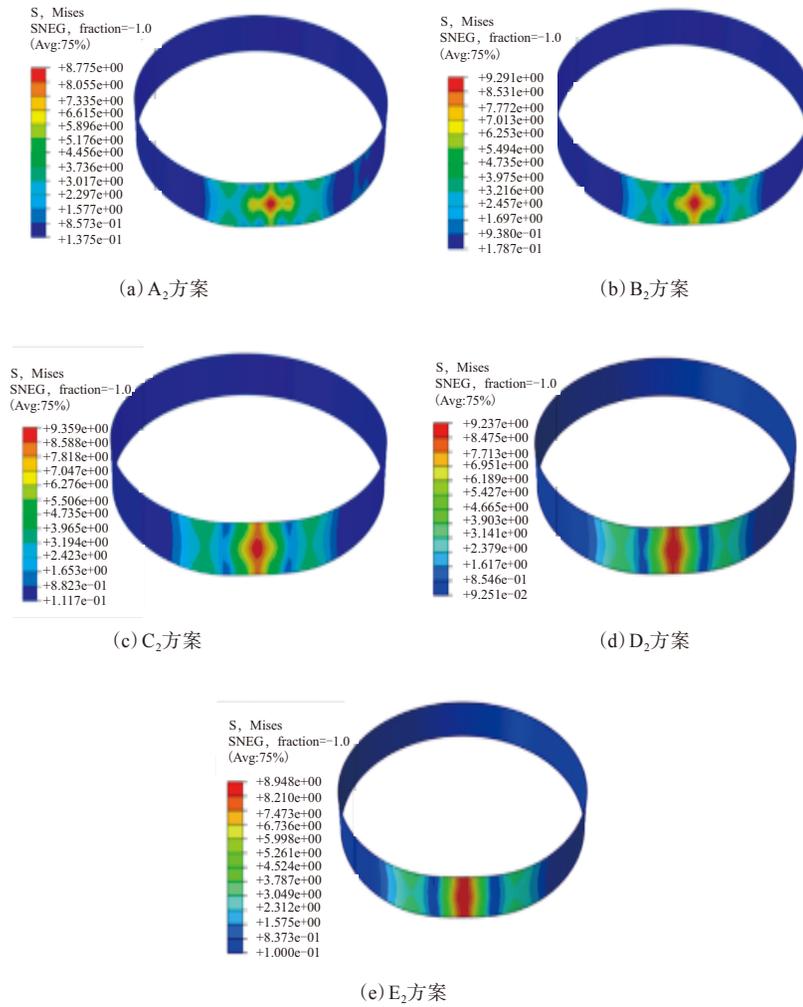


图 10 不同厚度硬质弹性体层的应力分布云图

表 2 不同厚度硬质弹性体层免充气轮胎的接地性能

项 目	方 案				
	A ₂	B ₂	C ₂	D ₂	E ₂
接地面积/ mm ²	1 356.32	1 278.02	1 213.66	1 154.66	1 119.93
最大接地应 力/MPa	1.117	1.203	1.298	1.386	1.461

D₂(硬质弹性体层厚度为6 mm)免充气轮胎的接地性能和承载性能较好。

4 结论

(1) 嵌入不同宽度硬质弹性体层后,免充气轮胎的刚度增大,承载能力增强,接地应力分布连续、均匀。硬质弹性体层宽度为40 mm时,免充气轮胎的接地面积最大,最大接地应力最小且接地

应力分布最均匀。

(2) 嵌入硬质弹性体层厚度增大,免充气轮胎的刚度增大,接地应力“双峰”分布现象减弱甚至消失。硬质弹性体层厚度为6 mm时,免充气轮胎的最大下沉量较小,接地应力分布较均匀。

(3) 在支撑结构与胎面间可嵌入一定宽度和厚度的硬质弹性体层作为免充气轮胎的骨架材料。硬质弹性体层宽度为40 mm、厚度为6 mm时免充气轮胎的承载性能和接地性能较好。

参考文献:

[1] Jin X C, Hou C, Fan X L, et al. Investigation on the Static and Dynamic Behaviors of Non-pneumatic Tires with Honeycomb Spokes[J]. Composite Structures,2018, 187:27-35.
[2] Lee Chihun, Ju Jaehyung, Kim Doo-Man. Vibration Analysis of

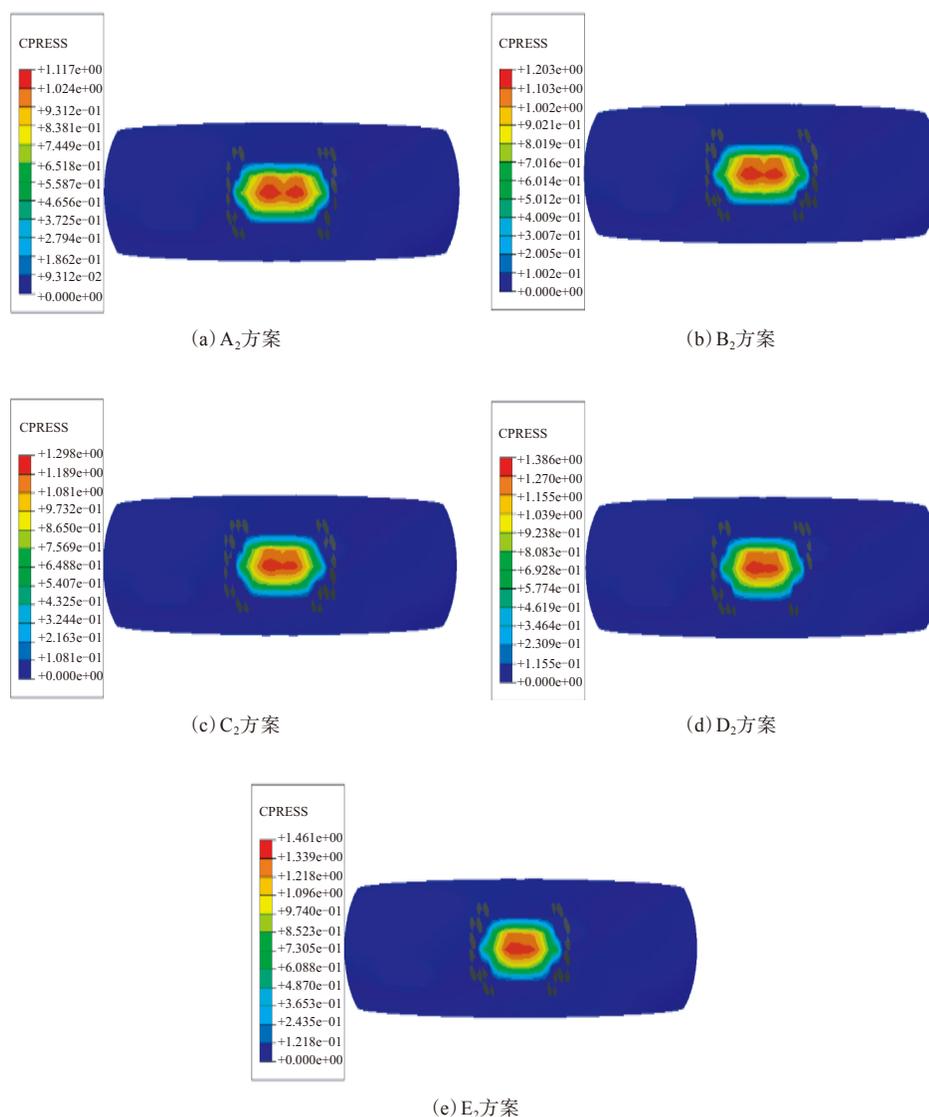


图11 不同厚度硬质弹性体层免充气轮胎的接地应力分布云图

- Non-pneumatic Tires with Hexagonal Lattice Spokes[A]. Proceedings of the ASME 2012 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference. Chicago: 2012:483-490.
- [3] Sarat Ghosh, Ranjan A Sengupta, Michal Kaliske. Prediction of Rolling Resistance for Truck Bus Radial Tires with Nanocomposite Based Tread Compounds Using Finite Element Simulation[J]. Rubber Chemistry and Technology, 2014, 87 (2) : 276-290.
- [4] Liu Hon H. Load and Inflation Effects on Force and Moment of Passenger Tires Using Explicit Transient Dynamics[J]. Tire Science and Technology, 2007, 35 (1) : 41-55.
- [5] 薛梓晨, 贺建芸, 唐霞, 等. 跑气保用轮胎侧倾滚动动力学性能有限元分析[J]. 北京化工大学学报(自然科学版), 2013, 40 (S1) : 50-55.
- [6] 刘肖英, 何雪涛, 邓世涛, 等. 蜂窝密度对蜂窝塑料轮胎性能的影响[J]. 塑料, 2014, 43 (6) : 97-100.
- [7] Surendranath. Effectiveness of Tetrahedral Finite Elements in Modeling Tread Patterns for Rolling Simulations[J]. Tire Society and Technology, 2014, 42 (2) : 101-114.
- [8] 张世豪. 基于稳健设计的非充气轮胎结构设计及优化[D]. 济南: 山东建筑大学, 2017.
- [9] Behroozi M, Olatunbosun O A, Ding W. Finite Element Analysis of Aircraft Tyre—effect of Model Complexity on Tyre Performance Characteristics[J]. Materials and Design, 2012, 35: 810-819.
- [10] 殷瑞婧, 雍占福, 冯启章, 等. 电动汽车轮胎滚动阻力与噪声协调设计及产品开发[J]. 轮胎工业, 2017, 37 (2) : 67-74.

收稿日期: 2019-10-23

Influence of Skeleton Material on Bearing Performance and Grounding Performance of Non Pneumatic Tire

HUANG Zhaoge, LI Wei, MENG Xiangkun, YONG Zhanfu

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

Abstract: Based on the Abaqus finite element analysis software, the three-dimensional finite element model of the C-hole non pneumatic tire with a specification of 2.50-14 was established in this study. Aiming at the problem of the uneven distribution of the ground stress, the high styrene hard elastomer layer with different width and thickness was embedded as the skeleton material. The bearing performance and grounding performance of the non pneumatic tire were optimized, and the optimum thickness and width of the hard elastomer layer were obtained. The results showed that when the width of the hard elastomer layer was 40 mm and the thickness was 6 mm, the bearing performance and grounding performance of the tire were better.

Key words: non pneumatic tire; skeleton material; high styrene content; hard elastomer layer; thickness; width; bearing performance; grounding performance; finite element analysis

玲珑轮胎进入曼恩供应商体系 2020年2月13日,山东玲珑轮胎股份有限公司(以下简称玲珑轮胎)发布消息,玲珑轮胎泰国载重子午线工厂顺利通过德国曼恩商用车股份公司的潜在供应商审核,成功进入其供应商体系。这也标志着玲珑轮胎泰国工厂已具备为国际一流商用车企业配套的资格和能力。

玲珑轮胎表示,通过曼恩潜在供应商评审,再次印证了玲珑轮胎泰国工厂历经近10年高质量发展,在技术研发、质量管理、及时交付等方面均已达到国际先进水平。同时,这也为公司加快推进品牌国际化、高端化奠定了坚实基础。

曼恩商用车股份公司是—家技术领先的商用车制造商和运输方案供应商,产品种类覆盖重型卡车、特种车、城市客车、豪华车、高端发动机和车用零部件等,生产基地和服务网络遍布世界各地。

(摘自《中国化工报》,2020-02-17)

—种高阻尼隔震橡胶支座 由江苏太平洋橡胶股份有限公司申请的专利(公开号 CN 110219932A,公开日期 2019-09-10)“—种高阻尼隔震橡胶支座”,涉及的高阻尼隔震橡胶支座的上下钢板之间设有橡胶座体,上钢板的底部通过

数个减震气囊与橡胶座体的上端连接,下钢板的上端通过数个减震块与橡胶座体的底部连接,橡胶座体的两侧壁上均安装有连接架,连接架的外侧壁上安装有导向套,上钢板的底部与下钢板的上端两侧均安装有导向杆,上下两个导向杆分别穿接在导向套内部的上下侧,导向杆的末端均安装有滑块,两个滑块之间通过连接弹簧连接,导向套的上下端均安装有限位封盖。该高阻尼隔震橡胶支座能实现快速减震与导向,稳定性提高,使用寿命延长。

(本刊编辑部 赵敏)

—种耐漏电起痕氟橡胶密封材料及其制备方法 由中国南方电网有限责任公司超高压输电公司检修试验中心申请的专利(公开号 CN 110283409A,公开日期 2019-09-27)“—种耐漏电起痕氟橡胶密封材料及其制备方法”,涉及的氟橡胶密封材料配方为:氟橡胶 100,白炭黑 5~20,纳米氮化硼 5~10,纳米层状硅酸盐 5~10,纳米三氧化二铝 10~40,氢氧化铝 50~70,氢氧化镁 40~80,活性氧化镁 3~7,硫化剂 2~4。该氟橡胶密封材料具有良好的热稳定性、耐电蚀损性及耐漏电起痕性能。

(本刊编辑部 赵敏)