

轮胎接地印痕与设计因素的相关性研究

胡德斌,李进*,郭磊磊

(中策橡胶集团股份有限公司,浙江 杭州 310018)

摘要:研究轮胎接地印痕与设计因素的相关性。试验研究发现,随着钢丝带束层角度的减小,1[#]带束层宽度、锦纶冠带层层数和线密度的增大,轮胎接地印痕矩形率减小,接地印痕由矩形趋向圆形。基于Abaqus仿真分析结果,利用Isight软件进行统计分析,得到单因素变量对轮胎接地印痕的影响与试验结果一致;影响接地印痕矩形率的参数权重从大到小依次为钢丝带束层角度、锦纶冠带层层数、胎体模量、钢丝带束层模量、三角胶模量和三角胶高度,影响胎冠中心与胎肩压力差的参数权重从大到小依次为钢丝带束层角度、三角胶高度、锦纶冠带层层数、胎体模量、钢丝带束层模量和三角胶模量。

关键词:轮胎;接地印痕;仿真分析;正交设计;统计分析;权重分析

中图分类号:U463.341

文献标志码:A

文章编号:1006-8171(2023)03-0138-06

DOI:10.12135/j.issn.1006-8171.2023.03.0138



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

轮胎是车辆与路面接触的唯一部件,其接触地面后留下的痕迹为轮胎接地印痕。由于轮胎为双曲率壳体,在周向和径向都有不同的曲率半径,决定了其接地特性的复杂性^[1]。一般轮胎接地印痕的力学研究包括接地印痕形状和接地压力分布,其不仅与轮胎的静态性能有关,而且与乘坐舒适性、噪声、耐久性能、滚动阻力、耐磨性能、牵引/制动性能有关^[2-4]。均匀的接地压力分布对轮胎耐磨性能有利。接地印痕形状与轮胎性能有如下关系:圆形的接地印痕有利于轮胎的平顺性、低噪声和湿地牵引性能;矩形的接地印痕有利于操纵性、干地牵引性和耐磨性能^[5]。由于轮胎接地印痕形状与充气压力和负荷有关,对给定规格的轮胎(充气压力和负荷一定),设计参数对轮胎接地印痕的影响尤为重要^[6]。

本工作先通过试验研究不同设计参数对轮胎接地印痕的影响,再建立有限元模型获得轮胎接地特性,然后利用Isight软件进行统计分析,探究轮胎接地印痕与设计因素的相关性。

1 实验

1.1 试验轮胎

选取规格为205/55R16的半钢子午线轮胎为

作者简介:胡德斌(1978—),男,辽宁海城人,中策橡胶集团股份有限公司工程师,硕士,主要从事轮胎结构设计工作。

*通信联系人(1525178161@qq.com)

试验轮胎。

1.2 试验设备

TMT-2轮胎五刚性综合试验机,汕头市浩大轮胎测试装备有限公司产品。

1.3 试验条件

轮胎静态接地压力分布按照GB/T 22038—2018《汽车轮胎静态接地压力实验方法》进行测试。试验条件为:试验轮辋 6.5J×16标准轮辋,充气压力 180 kPa,负荷 6 027 N。

1.4 试验方案

分别调整钢丝带束层角度、1[#]带束层宽度、锦纶冠带层层数、锦纶冠带层线密度,其他条件均相同,设计8种试验方案,如表1所示。

2 结果与分析

各方案轮胎接地印痕基本数据如表2所示。

表1 试验方案

方案编号	钢丝带束层角度/(°)	1 [#] 带束层宽度/mm	锦纶冠带层层数	锦纶冠带层线密度/dtex
A1	24	175	1.5	930
A2	30	175	1.5	930
B1	24	175	1.5	930
B2	24	185	1.5	930
C1	24	175	1.0	930
C2	24	175	1.5	930
D1	24	175	1.5	930
D2	24	175	1.5	1 440

表2 各方案轮胎接地印痕基本数据

方案编号	接地印痕长轴长度/mm	接地印痕短轴长度/mm	接地印痕矩形率/%
A1	186	167	79.9
A2	199	165	83.7
B1	183	169	86.6
B2	192	165	81.1
C1	185	168	91.4
C2	199	160	82.0
D1	183	169	86.6
D2	189	167	77.9

从表2可以看出:比较方案A1与A2,钢丝带束层角度增大,接地印痕长轴长度和矩形率增大,接地印痕由圆形趋向矩形,有利于改善轮胎的抓着性能和均匀耐磨性能;比较方案B1与B2,1[#]带束层宽度增大,接地印痕长轴长度增大,接地印痕短轴长度和矩形率减小,接地印痕由矩形趋向圆形^[7];比较方案C1与C2,锦纶冠带层层数增大,冠带层对胎体箍紧作用更强,尤其胎肩位置表现明显,同时接地印痕矩形率变小,接地印痕由矩形趋向圆形;比较方案D1与D2,锦纶冠带层线密度增大,接地印痕矩形率减小,这是由于材料强力增大后,对胎体的紧箍作用更强,接地印痕矩形率减小,同时,轮胎接地印痕由矩形趋向圆形。

3 轮胎接地特性仿真分析及正交试验设计

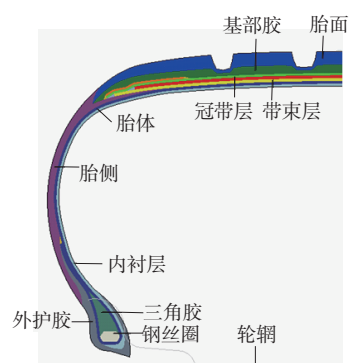
通过试验验证单因素变量对轮胎接地印痕的影响,可以得到轮胎接地印痕与设计参数的关联。在实际工作中,由于设计参数的多样性及变量间的交互作用,常用正交试验设计并结合有限元仿真分析的方法研究轮胎接地印痕问题^[8-9]。

3.1 有限元模型的建立及验证

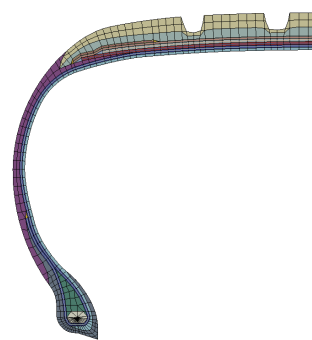
为了验证轮胎有限元模型(见图1)的准确性,选用试验轮胎进行接地印痕分析,利用Abaqus软件建立有限元模型并分析计算;选用Yeoh本构模型描述橡胶材料,其单元类型采用CGAX3H和CGAX4H;选用Rebar单元描述骨架材料,其单元类型采用SFMGAX1。网格数量为3 000,轮胎有限元模型简化了花纹横向沟槽^[10-11]。

轮胎接地印痕实测与仿真结果对比见图2和表3。

通过表3可以得出,接地印痕长轴长度、短轴

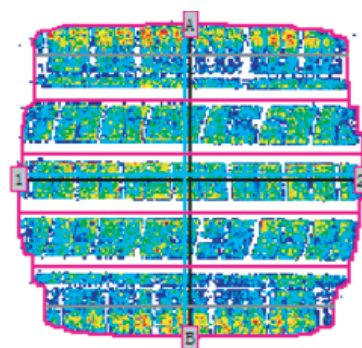


(a) 材料分布图

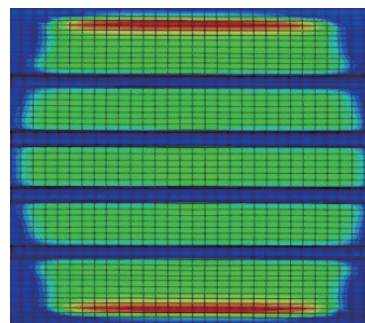


(b) 网格划分图

图1 轮胎有限元模型



(a) 实测



(b) 仿真

图2 轮胎实测与仿真接地印痕

表3 轮胎接地印痕实测与仿真数据对比

项 目	实测结果	仿真结果
接地印痕长轴长度/mm	183	188
接地印痕短轴长度/mm	168	164
接地印痕矩形率/%	87.8	86.3
胎肩与胎冠中心压力差/MPa	0.219	0.226

长度、矩形率、胎肩与胎冠中心压力差的实测和仿真结果偏差分别为2.7%、2.4%、1.7%和3.2%。因此,仿真结果可靠,可以作为后续分析的依据。

3.2 正交试验设计

为进一步探究轮胎结构对接地印痕的影响,利用Isight软件进行正交试验设计和结果分析。选取胎体模量、钢丝带束层模量、钢丝带束层角度、三角胶高度、三角胶模量、锦纶冠带层层数6个因子,每个因子有3个水平,进行L27正交试验。响应值为接地印痕矩形率、胎肩与胎冠中心压力差。

正交试验设计方案及结果如表4所示。各因子对接地印痕矩形率的主效应(只考虑一个自变

量对因变量的效应)如图3所示。

从图3可以得出各因子与接地印痕矩形率的对应变化趋势:钢丝带束层角度与接地印痕矩形率呈正向关系,钢丝带束层角度越大,接地印痕矩形率越大;胎体模量和锦纶冠带层层数与接地印痕矩形率呈反向关系,即胎体模量越大、锦纶冠带层层数越多,接地印痕矩形率越小。

基于仿真分析的结果,利用Isight软件分析得出各因子对接地印痕矩形率的影响权重从大到小依次为钢丝带束层角度、锦纶冠带层层数、胎体模量、钢丝带束层模量、三角胶模量和三角胶高度,其中钢丝带束层角度影响权重占比为60%,为正效应,锦纶冠带层层数影响权重占比为33%,为负效应。

各因子对胎肩与胎冠中心压力差的主效应如图4所示。

表4 正交试验设计方案及结果

方案编号	胎体模量/MPa	钢丝带束层模量/MPa	钢丝带束层角度/(°)	三角胶高度/mm	三角胶模量/MPa	锦纶冠带层层数	接地印痕矩形率/%	胎肩与胎冠中心压力差/MPa
1	4 895	92 400	22	15	15.6	1.0	81.89	0.229
2	4 895	92 400	22	15	22.3	1.5	80.64	0.220
3	4 895	92 400	22	15	29.0	2.0	80.40	0.215
4	4 895	132 000	26	20	15.6	1.0	90.53	0.231
5	4 895	132 000	26	20	22.3	1.5	85.70	0.223
6	4 895	132 000	26	20	29.0	2.0	85.62	0.219
7	4 895	171 600	30	25	15.6	1.0	90.97	0.215
8	4 895	171 600	30	25	22.3	1.5	86.68	0.203
9	4 895	171 600	30	25	29.0	2.0	86.25	0.206
10	6 993	92 400	26	25	15.6	1.5	86.61	0.225
11	6 993	92 400	26	25	22.3	2.0	85.63	0.230
12	6 993	92 400	26	25	29.0	1.0	90.43	0.237
13	6 993	132 000	30	15	15.6	1.5	84.31	0.191
14	6 993	132 000	30	15	22.3	2.0	85.83	0.194
15	6 993	132 000	30	15	29.0	1.0	90.79	0.204
16	6 993	171 600	22	20	15.6	1.5	79.71	0.225
17	6 993	171 600	22	20	22.3	2.0	79.83	0.227
18	6 993	171 600	22	20	29.0	1.0	81.03	0.231
19	9 091	92 400	30	20	15.6	2.0	86.89	0.201
20	9 091	92 400	30	20	22.3	1.0	91.04	0.208
21	9 091	92 400	30	20	29.0	1.5	84.25	0.196
22	9 091	132 000	22	25	15.6	2.0	78.51	0.227
23	9 091	132 000	22	25	22.3	1.0	81.32	0.237
24	9 091	132 000	22	25	29.0	1.5	79.89	0.230
25	9 091	171 600	26	15	15.6	2.0	85.01	0.211
26	9 091	171 600	26	15	22.3	1.0	90.37	0.227
27	9 091	171 600	26	15	29.0	1.5	86.80	0.219

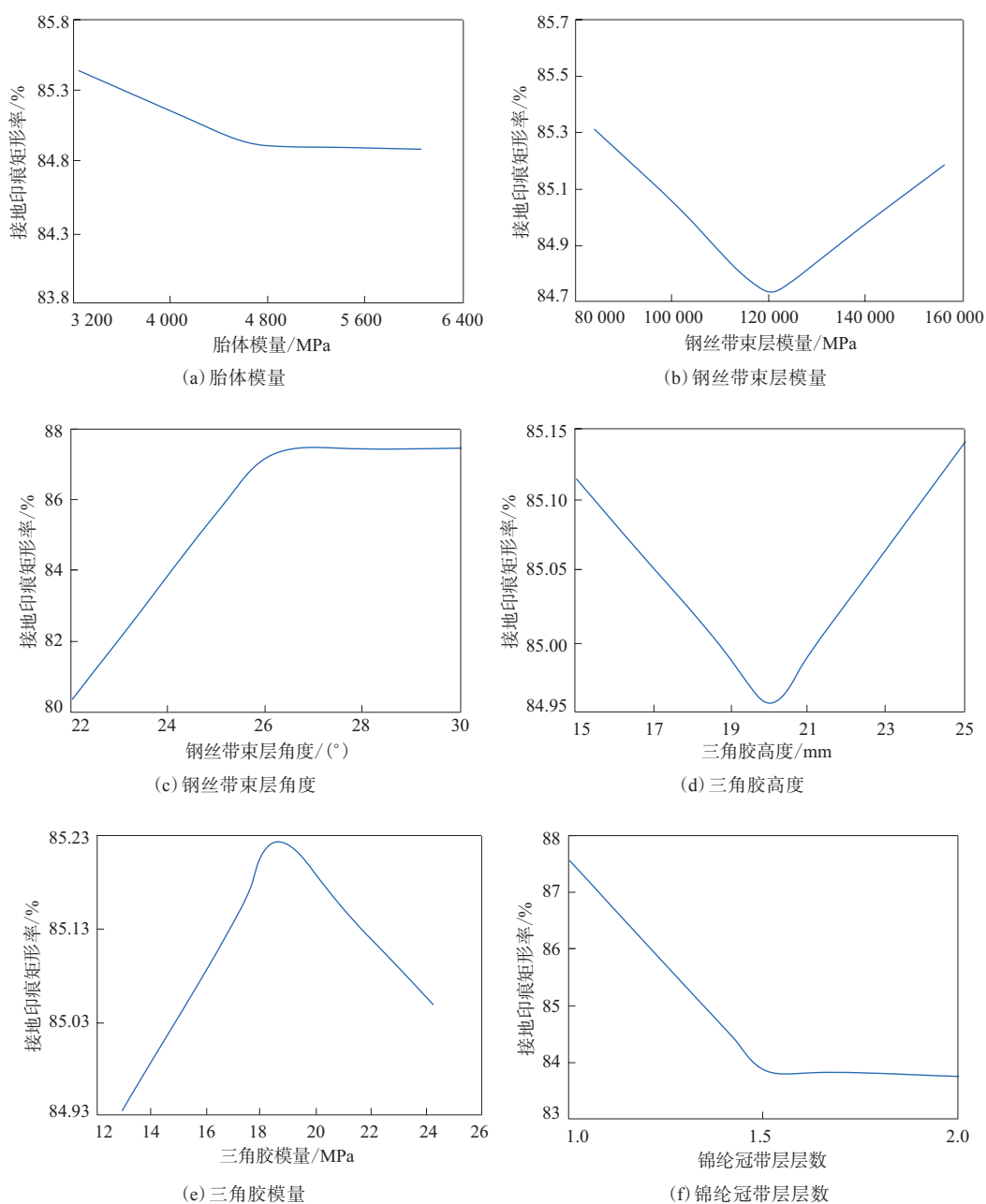


图3 各因子对接地印痕矩形率的主效应

从图4可以得出各因子跟胎肩与胎冠中心压力差的对应变化趋势:其中三角胶高度同胎肩与胎冠中心压力差成正比,即三角胶高度越大,胎肩与胎冠中心压力差越大;钢丝束束层角度和锦纶冠带层层数跟胎冠与胎肩中心压力差呈反向关系,即钢丝束束层角度越大、锦纶冠带层层数越多,胎肩与胎冠中心压力差越小。

基于仿真分析的结果,利用Isight软件分析得

出各因子对胎肩与胎冠中心压力差影响权重从大到小依次为钢丝束束层角度、三角胶高度、锦纶冠带层层数、胎体模量、钢丝束束层模量和三角胶模量,其中钢丝束束层角度影响权重占比为60%,为负效应;三角胶高度影响权重占比为23%,为正效应。

4 结论

(1) 轮胎试验结果表明,随着钢丝束束层角度

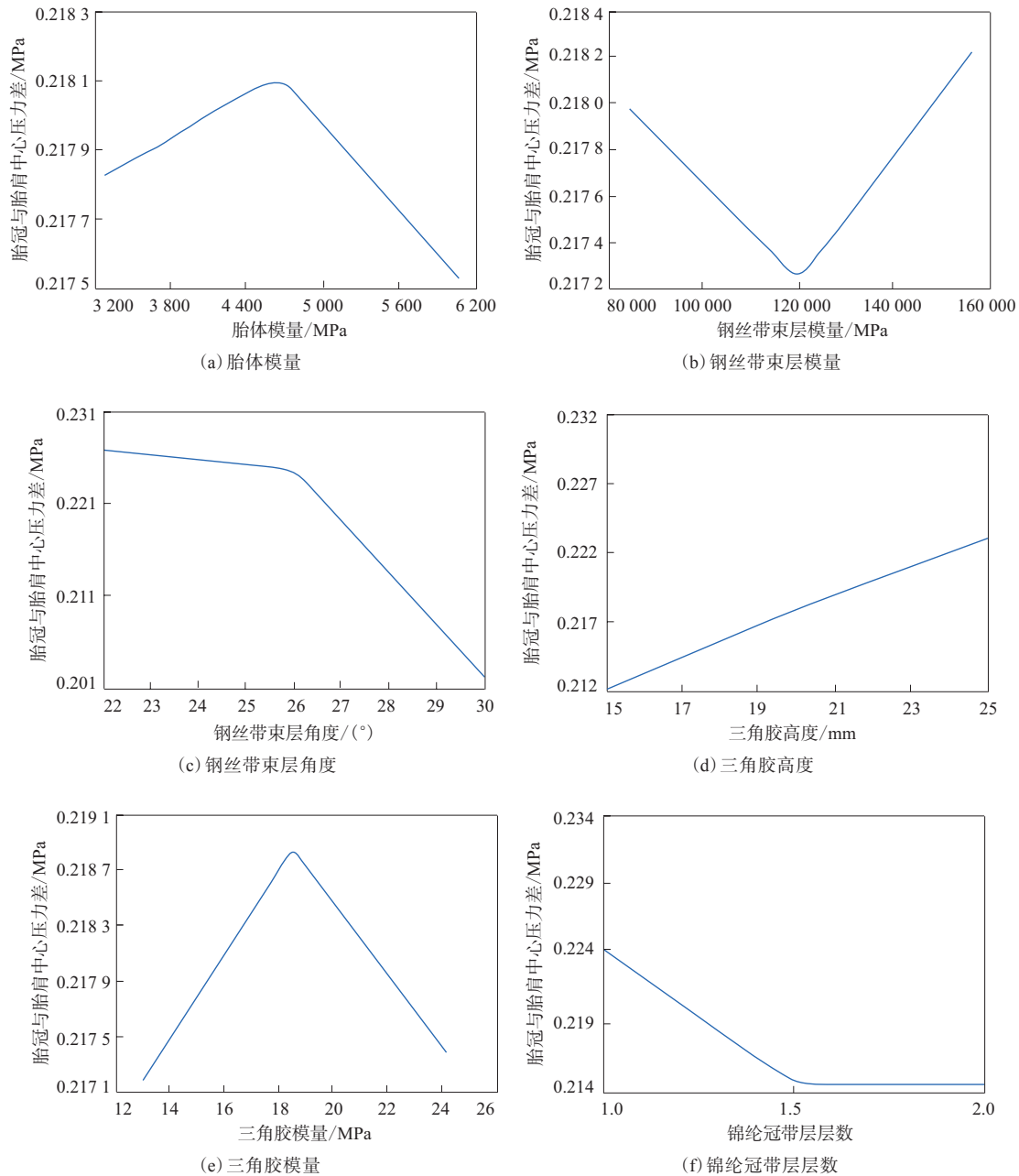


图4 各因子对胎肩与胎冠中心压力差的主效应

减小、1[#]带束层宽度增大、锦纶冠带层层数或线密度增大,轮胎接地印痕矩形率减小,接地印痕由矩形趋向圆形。

(2) 轮胎接地特性的仿真分析与其试验结果有较好的吻合性,仿真结果可靠,可以作为后续分析的依据。

(3) 轮胎接地印痕矩形率的影响权重从大到小依次为钢丝束层角度、锦纶冠带层层数、胎体模量、钢丝束层模量、三角胶模量和三角胶高

度;其中钢丝束层角度影响权重占比为60%,为正效应,锦纶冠带层层数影响权重占比为33%,为负效应。

(4) 胎肩与胎冠中心压力差的影响权重从大到小依次为钢丝束层角度、三角胶高度、锦纶冠带层层数、胎体模量、钢丝束层模量和三角胶模量;其中钢丝束层角度影响权重占比为60%,为负效应;三角胶高度影响权重占比为23%,为正效应。

(5) 使用Abaqus与Isight软件进行轮胎建模与

统计分析,对特定目标的多因素设计有较好的指导作用。

参考文献:

- [1] 王蒙,王旭飞,张重阳,等. 充气压力和负荷对轮胎静态接地印痕的影响[J]. 轮胎工业,2020,40(3):142-147.
- [2] 崔志博,侯丹丹,苏召乾,等. 带束层膨胀对轮胎接地印痕的影响研究[J]. 橡胶工业,2021,68(1):10-16.
- [3] 张伟伟,王海艳,任世夺,等. 基于Abaqus的全钢轮胎接地印痕仿真分析[J]. 橡胶科技,2021,19(1):11-14.
- [4] 崔鲁欣,谢东健,张浩银. 12R22.5规格载重子午线轮胎接地印痕和压力分布优化改进[J]. 橡塑技术与装备,2018,44(19):52-56.
- [5] 王志勇,罗哲,张彦军,等. 165/70R13 79T接地印痕改善[J]. 中国橡胶,2020,36(5):40-42.
- [6] GENT A N, WALTER J D. 轮胎理论与技术[M]. 北京:清华大学出版社,2013:158-165.
- [7] 俞淇. 子午线轮胎结构设计与制造技术[M]. 北京:化学工业出版社,2005:122.
- [8] 田旭东,周平,廖发根,等. 轮胎结构偏差对接地印痕影响的试验和仿真研究[J]. 橡胶工业,2021,68(10):774-778.
- [9] 傅相诚,张伟伟,车明明,等. 基于Abaqus的轮胎接地印痕优化分析[J]. 轮胎工业,2019,39(6):330-333.
- [10] 曾攀. 有限元分析及应用[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- [11] 潘涛. 子午线轮胎轮廓设计理论的相关研究[D]. 广州:华南理工大学,2011.

收稿日期:2022-11-11

Relationship between Tire Footprint and Design Factors

HU Debin, LI Jin, GUO Leilei

(Zhongce Rubber Group Co., Ltd, Hangzhou 310018, China)

Abstract: The relationship between tire footprint and design factors was studied. The experimental study found that when the steel belt angle was reduced, and the width of the 1[#] belt, the number of nylon crown ply layers and the linear density of the nylon crown ply were increased, the rectangular ratio of the footprint decreased, and the shape of tire footprint tended to change from rectangular to round. Moreover, the influence of single factor on the tire footprints was obtained by simulation analysis using Abaqus and statistical analysis using Isight software, which was consistent with the experimental test results. The significance of parameters that affecting the rectangular ratio of the footprint in the order from high to low were as follows: steel belt angle, number of nylon crown ply layers, carcass modulus, steel belt modulus, apex modulus, and apex height. The significance of parameters that affecting the pressure difference between the crown center and the shoulder in the descending order were as follows: steel belt angle, apex height, number of nylon crown ply layers, carcass modulus, steel belt modulus, apex modulus.

Key words: tire; footprint; simulation analysis; orthogonal design; statistical analysis; weight analysis

使用膨胀微球发泡的聚氨酯轮胎填充料及其制备方法

由山东一诺威聚氨酯股份有限公司申请的专利(公布号 CN 114920981A, 公布日期 2022-08-19)“使用膨胀微球发泡的聚氨酯轮胎填充料及其制备方法”,涉及一种使用膨胀微球发泡的聚氨酯轮胎填充料及其制备方法。使用膨胀微球发泡的聚氨酯轮胎填充料由预聚物和固化剂以质量比(0.9~1.1):1混合而成;预聚物由5~25

份聚醚多元醇A、5~25份聚醚多元醇B、9~15份异氰酸酯、55~65份增塑剂制备得到;固化剂由5~10份交联剂、30~35份聚醚多元醇C、1~3份膨胀微球、0.1~0.5份催化剂及55~65份增塑剂组成。本发明聚氨酯轮胎填充料弹性体发泡均匀细密,可以明显改善轮胎的减震效果,有效减小了轮胎自身质量,提高了弹性体强度,延长了轮胎的使用寿命。

(本刊编辑部 马 晓)