

充气压力和负荷对轮胎静态接地印痕的影响

王蒙,王旭飞,张重阳,焦登宁,谭飞

(陕西理工大学机械工程学院,陕西汉中 723000)

摘要:以205/55R16半钢子午线轮胎为例,对轮胎静态接地印痕进行试验测量和有限元分析,研究充气压力和负荷对轮胎接地印痕的影响。结果表明,轮胎接地印痕半长和半宽在一定负荷下随充气压力的增大而减小,在一定充气压力下随负荷的增大而增大,且充气压力的影响较负荷大。根据一定充气压力下轮胎接地印痕半长随负荷变化的规律,得到标准充气压力240 kPa下轮胎接地印痕半长随负荷变化的计算公式。

关键词:轮胎;充气压力;负荷;接地印痕;试验;仿真

中图分类号:TQ336.1⁺1;O241.82

文献标志码:A

文章编号:1006-8171(2020)03-0142-06

DOI:10.12135/j.issn.1006-8171.2020.03.0142



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

轮胎是汽车与路面之间传递力的基本结构元件,轮胎的特性直接影响汽车的加速、制动和转向等行驶性能,更与汽车的行驶安全性紧密相关^[1]。因此对轮胎力学特性的研究尤为重要。负荷的种类和大小、充气压力以及汽车制动、转弯、侧倾等不同工况都会对轮胎接地印痕产生影响^[2]。J. E. Bernard等^[3]假设接地印痕内压力为梯形分布,考虑各向异性的滑移刚度和摩擦因数,对侧偏纵滑复合工况下的纵向力和侧向力特性进行了详细推导。M. K. Salaani等^[4]假设接地印痕压力分布为椭圆形,采用刷子模型,建立了考虑侧偏、侧倾以及纵滑的理论模型,分析了纵向力、侧向力、回正力矩以及侧翻力矩特性,并进行了试验验证。A. J. C. Hmeitz等^[5]采用SWIFT模型,通过引入充气压力对轮胎垂直刚度的影响,并结合接地印痕半长与轮胎垂直变形的关系,拓展了SWIFT模型对充气压力的表达能力。郭孔辉等^[6-8]先后建立了具有任意接地印痕压力分布的轮胎侧偏特性简化理论模型、纵滑侧偏特性简化理论模型和考虑轮胎弹性的侧偏特性一般理论模型。卢荡^[9]考虑轮胎接地印痕更新,在UniTire模型理论上建立轮

胎负荷、侧偏特性离散模型,对轮胎任意动负荷和任意侧偏运动下的力学特征进行了研究。阳超^[10]通过在六自由度试验台上直接给轮胎施加一定的充气压力和负荷对相关性能进行测量,在考虑充气压力影响的轮胎稳态模型研究中提出,充气压力和负荷对纵滑刚度的影响在于对轮胎接地印痕半长的影响,他提出的侧偏刚度表达式的分子和分母中也均含有接地印痕半长。白帆^[11]在基于接地印痕分析的轮胎力学模型研究中分别验证了在侧向力、纵向力作用下,轮胎接地印痕面积变化与接地压力分布的关系。由于轮胎复杂的物理结构和橡胶材料属性,接地印痕内胎面单元的滑移速度分布和摩擦力分布都十分复杂。张现超^[12]在考虑接地印痕内橡胶动摩擦分布的轮胎侧偏、纵滑特性研究中采用离散仿真模型将轮胎接地印痕离散化,逐点计算接地印痕内胎面单元的滑移速度及摩擦,从而实现了切向力方向变化的表达。

目前已通过接地印痕对轮胎力学性能做了深入研究,而对轮胎接地印痕的影响因素和变化规律研究较少。本工作利用实车试验和仿真分析研究充气压力和负荷对轮胎静态接地印痕的影响。

1 试验

在汽车垂直负荷作用下,水平路面上滚动的轮胎在径向上产生变形,于是在路面上形成了轮胎接地印痕。随着负荷种类和大小及充气压力的

基金项目:陕西省工业攻关项目(2016GY-050);陕西省重点实验室项目(2018JS020)

作者简介:王蒙(1993—),女,陕西富平人,陕西理工大学在读硕士研究生,主要从事车辆工程研究。

E-mail:1101852703@qq.com

变化,轮胎接地印痕的形状、长度、宽度都有不同程度的变化。通过轮胎静态试验分析充气压力和负荷对轮胎接地印痕半长和半宽的影响,采用控制变量的方法进行试验研究。

1.1 工况和参数

轿车整备质量 1 700 kg,满载载荷 2 400 N,轮胎规格 205/55R16,标准充气压力 240 kPa。试验充气压力分别为40,80,120,160,200,240 kPa,整车质量加载荷分配到轮胎上的负荷分别为4 250,4 400,4 550,4 700,4 850 N。

1.2 原理和数据分析

1.2.1 试验原理及方法

轮胎接地印痕试验原理如图1所示,所需仪器和工具主要包括轿车、气压表、轮胎充气泵、卧式千斤顶、白纸和水笔等。

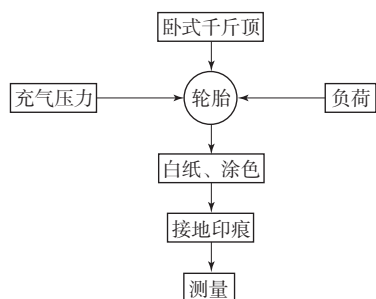


图1 轮胎接地印痕试验原理示意

利用实车进行试验,把千斤顶放置在规定的位上,顶起轿车直到与地面有一定间隙,用蘸有蓝色墨水的毛笔在轮胎底部均匀涂抹,在轮胎正下方放置一张白纸,加载相应的负荷后,缓慢地放下千斤顶直到轮胎完全压在白纸上;再次顶起轿车与地面有一定间隙,抽出有接地印痕的纸,并勾勒出印痕的大致边框,测量接地印痕的长度和宽度(精确到小数点后两位)。重复上述步骤并利用轮胎充气泵改变轮胎的充气压力,使用气压表测

量轮胎的充气压力。

1.2.2 数据统计与分析

轮胎实际接地印痕并非标准的矩形,如图2所示(印痕沿X轴方向定义为长,沿Y轴方向定义为宽),因此需要利用面积相等和长宽比不变的原则进行等效计算^[10]。

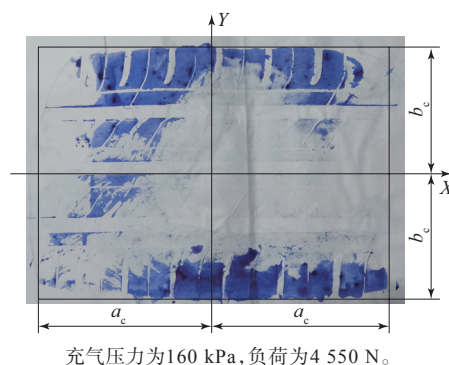


图2 轮胎接地印痕参数示意

等效计算公式为

$$\begin{cases} A_c = 4ab \\ \frac{a}{b} = \frac{a_c}{b_c} \end{cases} \quad (1)$$

式中, A_c 、 a_c 和 b_c 分别为轮胎实际接地印痕的面积、半长和半宽; a 和 b 分别为等效接地印痕的半长和半宽。

定性分析充气压力和负荷对轮胎接地印痕的影响,重点在于接地印痕参数随充气压力和负荷变化趋势的表达,不要求在数值上完全对应。为减小误差,本次试验共进行5次,求平均值并进行绘图处理。

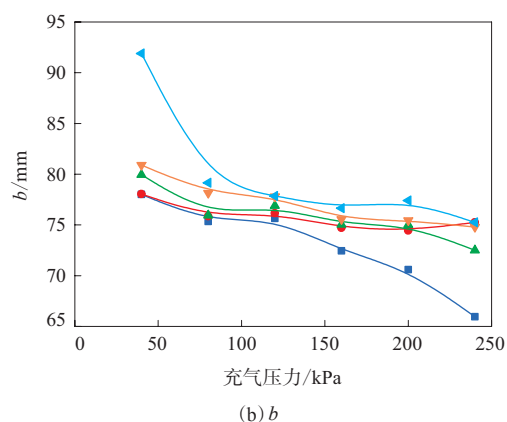
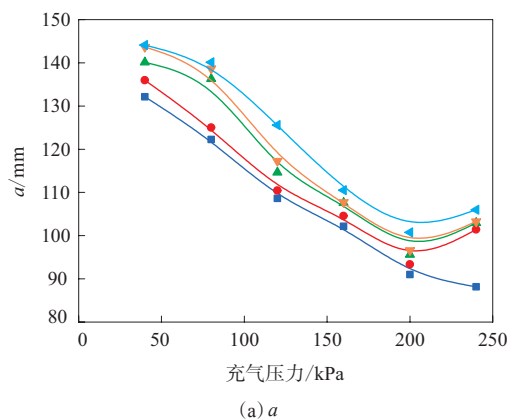
不同充气压力和负荷下轮胎 a_c 和 b_c 的试验平均值如表1所示。

等效后获得的 a 和 b 随充气压力和负荷的变化曲线如图3和4所示。

由图3(a)可以看出:在一定负荷下, a 随充气

表1 不同充气压力和负荷下轮胎 a_c 和 b_c 的试验平均值

充气压力/ kPa	负荷4 250 N		负荷4 400 N		负荷4 550 N		负荷4 700 N		负荷4 850 N	
	a_c	b_c	a_c	b_c	a_c	b_c	a_c	b_c	a_c	b_c
40	132.15	78.00	135.95	78.05	140.10	79.95	143.65	80.90	144.10	91.90
80	122.25	75.35	125.00	75.85	136.30	75.95	138.65	78.15	140.10	79.15
120	108.60	75.65	110.45	76.15	114.65	76.90	117.25	77.80	125.60	77.85
160	102.15	72.45	104.55	74.70	107.60	75.05	107.70	75.55	110.50	76.65
200	91.00	70.60	93.35	74.45	95.60	75.00	96.60	75.45	100.75	77.40
240	88.15	65.95	101.40	75.25	102.95	72.50	103.25	74.80	106.00	75.25



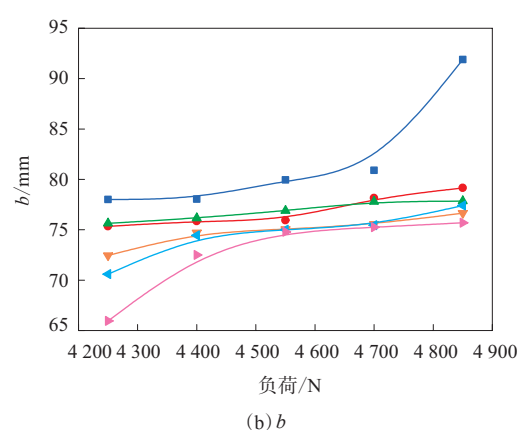
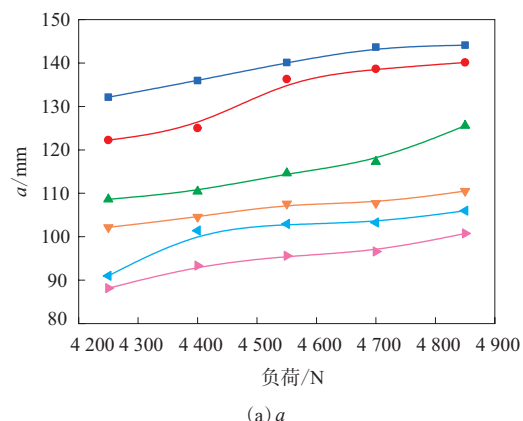
负荷/N: ■—4 250; ●—4 400; ▲—4 550; ▼—4 700; ◀—4 850。

图3 轮胎接地印痕试验 a 和 b 随充气压力的变化曲线
压力的增大而减小;充气压力一定时, a 受负荷影响较小。由图3(b)可以看出:在一定负荷下, b 随充气压力的增大而减小;充气压力一定时, b 受负荷影响较小(除异常数据)。

由图4(a)可以看出:在一定充气压力下, a 随负荷的增大而增大,但增幅不大;负荷一定时, a 受充气压力影响较大。由图4(b)可以看出:在一定充气压力下, b 随负荷的增大而增大,但增幅较小。

2 仿真分析

由于试验具有一定的偶然性,且试验数据存在测量误差,因此利用Abaqus软件建立205/55R16半钢子午线轮胎的有限元分析模型,进行轮胎接地印痕仿真分析^[13-14],加载与试验相同的充气压力和负荷,观察轮胎接地印痕半长和半宽的变化情况。轮胎三维有限元仿真模型和接地压力分布如图5所示。不同充气压力和负荷下轮胎 a_c



充气压力/kPa: ■—40; ●—80; ▲—120; ▼—160;
◀—200; ▶—240。

图4 轮胎接地印痕试验 a 和 b 随负荷的变化曲线

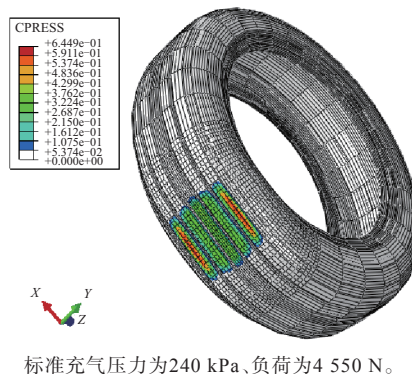


图5 轮胎三维有限元仿真模型和接地压力分布
和 b_c 的仿真数据如表2所示。

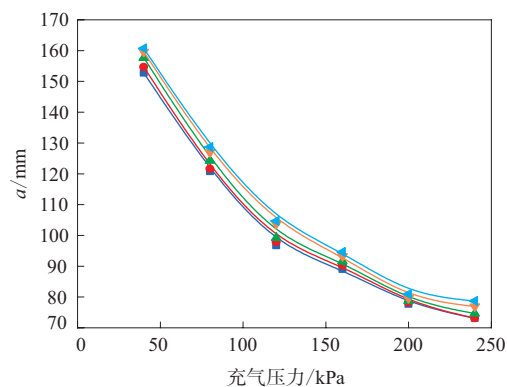
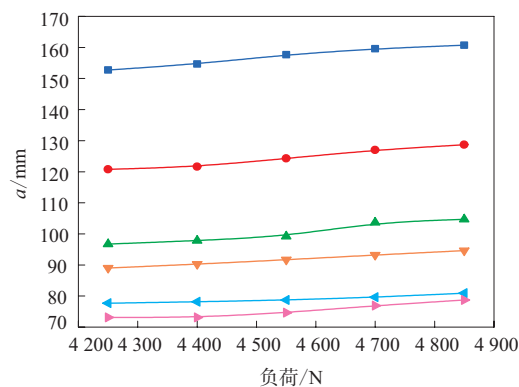
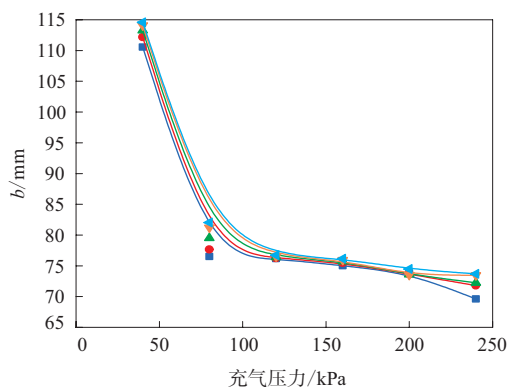
2.1 仿真数据统计与处理

仿真获得的 a 和 b 随充气压力和负荷的变化曲线如图6和7所示。

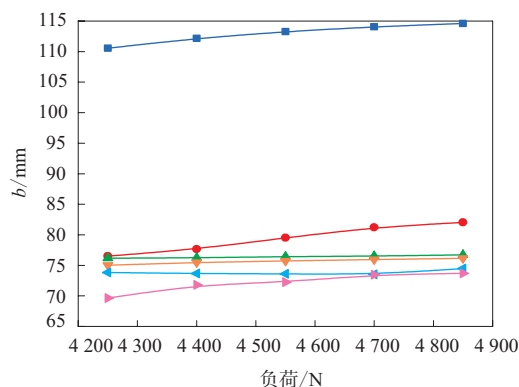
由图6(a)可以看出:在一定负荷下, a 随充气

表2 不同充气压力和负荷下轮胎 a_c 和 b_c 的仿真数据

充气压力/ kPa	负荷4 250 N		负荷4 400 N		负荷4 550 N		负荷4 700 N		负荷4 850 N	
	a_c	b_c	a_c	b_c	a_c	b_c	a_c	b_c	a_c	b_c
40	152.72	110.57	154.69	112.17	157.65	113.26	159.59	114.07	160.70	114.59
80	120.75	76.51	121.64	77.64	124.27	79.53	127.01	81.21	128.67	82.03
120	96.72	76.18	97.84	76.24	99.18	76.42	103.65	76.51	104.70	76.72
160	89.01	75.03	90.24	75.46	91.65	75.72	93.18	75.94	94.59	76.15
200	77.70	73.82	78.17	73.67	78.73	73.61	79.64	73.51	80.95	74.48
240	73.14	69.63	73.10	71.80	74.65	72.25	76.90	73.45	78.70	73.69

(a) a (a) a (b) b

注同图3。

(b) b

注同图4。

图6 轮胎接地印痕仿真 a 和 b 随充气压力的变化曲线
压力的增大而减小,并且在40~120 kPa区间内变化明显;充气压力一定时, a 受负荷影响很小。由图6(b)可以看出:在一定负荷下, b 随充气压力的增大而减小,在40~80 kPa区间内变化最明显;充气压力一定时, b 受负荷影响很小。

由图7(a)可以看出:在一定充气压力下, a 随负荷的增大而增大,但增幅较小;负荷一定时, a 受充气压力影响较大。由图7(b)可以看出,在一定的充气压力下, b 随负荷的增大而增大,但增幅

图7 轮胎接地印痕仿真 a 和 b 随负荷的变化曲线
较小。

2.2 轮胎仿直接地印痕变换拟合

在很多轮胎模型中, a 都是非常关键的参数,为了更好地研究负荷对轮胎力学特性的影响,需要准确描述负荷对 a 的影响,因此根据实车试验和仿真分析,得到标准充气压力下 a 随负荷的变化曲线,如图8所示。

由于实车试验过程中寻找接地印痕轮廓时存在一定的误差,导致整体数据较仿真偏大,但定性

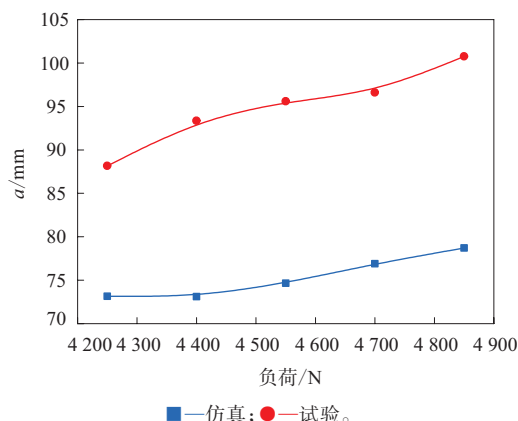


图8 轮胎接地印痕仿真与试验 a 随负荷变化曲线的对比
描述 a 随负荷变化的趋势一致,即在一定充气压力下, a 随负荷的增大而增大。因此利用仿真数据拟合出在标准充气压力下, a 随负荷增大的变化曲线和公式。为了得到更多有效的数据点,同时仿真了负荷0~4 250 N范围内 a 的变化情况。

设在标准充气压力下 a 随负荷(x)的变化如下式:

$$a = A + B_1x + B_2x^2 + B_3x^3 \quad (2)$$

由仿真拟合分析可得: $A=4.723$, $B_1=0.037$, $B_2=-7.830 \times 10^{-6}$, $B_3=6.910 \times 10^{-10}$, 因此可得在标准充气压力下 a 随负荷变化的公式:

$$a = 4.723 + 0.037x - 7.830 \times 10^{-6}x^2 + 6.910 \times 10^{-10}x^3 \quad (0 < x < 6\,387.5) \quad (3)$$

在标准充气压力下,轮胎仿真 a 随负荷变化的拟合曲线如图9所示。

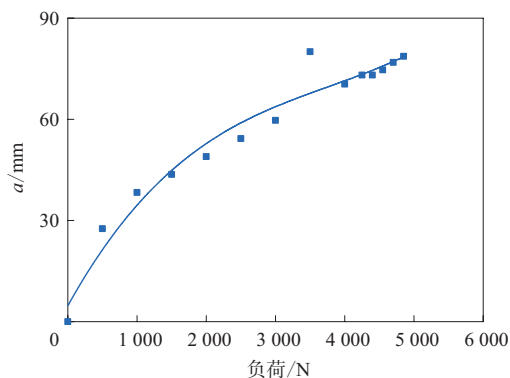


图9 轮胎接地印痕仿真 a 随负荷变化的拟合曲线

3 结语

由于外界因素与试验设备的局限,对相应工

况诸多简化,但是经过试验数据的整理分析,以及与同等条件下软件仿真结果对比,得到的轮胎接地印痕半长和半宽随充气压力和负荷变化的定性趋势是肯定的。轮胎接地印痕半长和半宽在一定负荷下随充气压力的增大而减小,在一定充气压力下随负荷的增大而增大,且充气压力的影响较负荷大。通过Abaqus软件仿真数据推导出在标准充气压力下,轮胎接地印痕半长随负荷变化的定量表达公式。试验过程中负荷与充气压力之间相互影响,二者交互效应对轮胎接地印痕的影响还有待进一步探究。

参考文献:

- [1] 王梦蛟. 绿色轮胎的发展及其推广应用[J]. 橡胶工业, 2018, 65(1): 105-112.
- [2] 葛超, 李亚东, 张晓鹏, 等. 轮胎有限元仿真接地印痕边缘提取程序设计[J]. 轮胎工业, 2019, 39(2): 73-76.
- [3] Bernard J E, Segel L, Wild R E. Tire Shear Force Generation during Combined Steering and Braking Maneuvers[Z]. SAE Transactions 770852, 1977.
- [4] Salaani M K. Analytical Tire Forces and Moments with Physical Parameters [J]. Tire Science and Technology, 2008, 36(1): 3-42.
- [5] Hmeitz A J C, Besselink I J M, De Hoogh J, et al. Extending the Magic Formula and SWIFT Type Models for Inflation Pressure Changes[J]. VDI Berichte, 2005, 19(12): 201.
- [6] 郭孔辉. 轮胎侧偏特性的一般理论模型[J]. 汽车工程, 1990, 12(3): 1-12.
- [7] Guo K H, Sui J. A Tire Side Slip Model with Flexible Tire Carcass and the Identification of Tire Structural Parameters[A]. Proc. of 13th International Modal Analysis Conference, Nashville, USA, 1995.
- [8] 朱遥, 陈志强, 杨振. 轿车轮胎附着因数-滑移率特性的测试及其与整车制动效能的相关性研究[J]. 橡胶工业, 2019, 66(10): 785-789.
- [9] 卢荡. 轮胎动载侧偏特性建模及对汽车操作稳定性影响[D]. 长春: 吉林大学, 2003.
- [10] 阳超. 考虑充气压力影响的轮胎稳态模型研究[D]. 长春: 吉林大学, 2017.
- [11] 白帆. 基于接地印痕分析的轮胎力学模型研究[D]. 长春: 吉林大学, 2016.
- [12] 张现超. 考虑印痕内橡胶动摩擦分布的轮胎侧偏纵滑特性研究[D]. 长春: 吉林大学, 2016.
- [13] 王健. 考虑充气压力的非稳态轮胎力学特性研究[D]. 长春: 吉林大学, 2017.
- [14] 王川. 充气压力对轮胎力学特性影响的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2016.

收稿日期: 2019-12-05

Influence of Inflation Pressure and Load on Static Footprint of Tire

WANG Meng, WANG Xuwei, ZHANG Chongyang, JIAO Dengning, TAN Fei

(Shanxi University of Science and Technology, Hanzhong 723000, China)

Abstract: The influence of inflation pressure and load on the tire static footprint was studied based on the test and finite element analysis by taking 205/55R16 steel-belted radial tire as an example. The results showed that the half length and half width of the tire footprint decreased with the increase of the inflation pressure under a certain load, and increased with the increase of the load under a certain inflation pressure, and the inflation pressure had greater effect than the load. The calculation formula of the half length of the tire footprint under the standard inflation pressure of 240 kPa using the load as the variable was then obtained.

Key words: tire; inflation pressure; load; footprint; test; simulation

轮胎轮廓的驱动读取器扫描胎面花纹深度

美国《现代轮胎经销商》(www.moderntiredealer.com)2019年12月4日报道如下。

轮胎轮廓公司正在推广其TreadSpec驱动轮胎读取器设备,该公司在近期举办的专业设备市场协会(SEMA)展上展出了该设备。

轮胎轮廓官方称,TreadSpec扫描每条轮胎横截面数百个点(见图1),并可以判断出胎面花纹深度(精度在 ± 0.2 mm内)。扫描过程完成后,系统会提供一份报告,重点介绍车辆的轮胎磨损和定位诊断,从而使商店人员“有机会与车主讨论解决方案和下一步行动”。



图1 TreadSpec扫描每条轮胎横截面数百个点

轮胎轮廓公司首席执行官David Boyle说:“增加销售收入的关键是以电子方式抓住100%的机会,从而确保经销商和商店经理不会错过提供所需销量的任何机会。通过电子方式可以根据数据采取行动。”

TreadSpec不需要人工,因为软件可以在一个

简单的步骤中自动捕获数据。

该公司还提供了另一种选择,即手持GrooveGlove设备,以移动方式应用TreadSpec技术。

David Boyle说:“客户教育和透明度是我们为服务中心或经销商提供服务的重要组成部分。我们提供了一种更快、更准确的方式来交流轮胎磨损和贸易模式,以确保做出正确的更换轮胎决定,从而保证汽车在路上行驶和消费者安全。”

(赵 敏摘译 吴秀兰校)

一种雪地胎胎面胶及其制备方法和应用

由肇庆骏鸿实业有限公司申请的专利(公开号 CN 110511461A,公开日期 2019-11-29)“一种雪地胎胎面胶及其制备方法和应用”,其中胎面胶配方为:双末端改性溶聚丁苯橡胶 35~75,天然橡胶 5~35,稀土顺丁橡胶 20~35,炭黑 5~35,白炭黑 35~65,硅烷偶联剂 3.5~6.5,氧化锌 2~8,硬脂酸 1~5,软化剂 2~25,分散剂 1~5,发泡剂 1~8,塑解剂 0.3~1.5,防老剂 1~5,防护蜡 2~4,硫黄 2~7,促进剂 3~15。其制备方法包括混炼和挤出压片。采用该胎面胶制得的雪地轮胎不仅具有较好的抗冰滑性能,而且滚动阻力更低,使汽车油耗减小,二氧化碳排放量降低。

(本刊编辑部 储 民)