

轿车轮胎均匀性影响因素试验研究

刘程, 刘振国, 张新峰, 杜天强, 田程

(中国汽车技术研究中心有限公司 试验所零部件研究部, 天津 300300)

摘要: 试验研究轿车轮胎均匀性的影响因素, 即建立利用均匀性试验机分析单一改变负荷、充气压力、规格、品牌等时轮胎均匀性参数变化规律方法。结果表明: 对轮胎均匀性参数影响程度从大到小依次是充气压力、负荷、品牌、规格、转向; 轮胎充气压力升高会引起部分均匀性参数增大, 负荷增大会引起轮胎均匀性参数均增大。

关键词: 轿车轮胎; 均匀性参数; 影响因素; 负荷; 充气压力; 规格; 品牌

中图分类号: TQ336.1

文章编号: 1000-890X(2019)01-0003-10

文献标志码: A

DOI: 10.12136/j.issn.1000-890X.2019.01.0003

随着我国道路状况的不断改善, 尤其是公路等级的提升, 路面引起的车辆振动越来越小。为了进一步提高整车舒适性、安全性以及操纵稳定性, 越来越多的研究者将研究聚焦在轮胎上面^[1-6]。轮胎均匀性是指在静态条件或动态条件下轮胎受力状态保持不变的属性。为了保证车辆安全行驶, 轮胎不同部位有不同功能, 对应不同组成材料^[3], 采用不同的加工设备和工艺, 最后将这些部件贴合并硫化制成成品轮胎^[7]。由于存在胎面和胎侧挤出不均匀、钢丝帘布或纤维帘布压缩厚度不均匀、帘布接头不均匀、带束层贴合不正、硫化不均匀等问题, 轮胎材料分布无法做到绝对均匀^[8-9]。

国内外轿车轮胎厂商使用均匀性试验机来检验轮胎的均匀度, 并根据检测结果对轮胎均匀性进行判别。均匀性试验方法目前已有规范, 一般情况下轮胎厂都是根据整车厂家提供的轮胎均匀性指标作为标准, 而整车厂家提供的指标主要根据车辆构造及最高速度确定。随着车辆行驶速度、安全性、舒适性、操控性能的提高, 对轮胎均匀性的要求越来越高^[2, 10]。

轮胎均匀性参数与轮胎的负荷、充气压力、规格、品牌、转向等因素有关^[11-12]。不同品牌轮胎由

于制造工艺和结构的差异使得其均匀性参数的变化趋势不同, 而知名轮胎企业的均匀性参数设计技术是企业核心技术, 一直处于保密状态。一般整车厂会根据自己的设计经验确定轮胎均匀性参数, 但是当更换车型以及轮胎供应商后, 需要花费大量时间和财力去重新确定轮胎均匀性参数。因此对比研究国内外市场份额较大的品牌轮胎均匀性参数设计规律, 分析典型因素对轮胎均匀性的影响具有重要意义。

本工作对轿车轮胎负荷、充气压力、规格、品牌、转向与均匀性参数间的关系进行试验研究(对利用均匀性试验机获得的大量样本数据进行处理和分析), 以期对轮胎的设计提供指导。

1 轮胎均匀性参数及其影响因素

1.1 均匀性参数

反映轮胎均匀性的客观参数很多, 其中一些应用广泛的参数定义如下^[13]。

(1) 径向力偏差(RFV)。是受载轮胎在固定负荷半径和恒定速度下, 1个或多个正转或反转周期内垂直于行驶面的径向受力的最大波动值。

RFV在低速时对车辆的影响不明显, 基本可以忽略, 但是在高速时对车辆的影响就会凸显出来。有时虽然仅有很小的差异, 但是当速度达到一定临界点时就会出现方向盘抖动, 造成驾驶员疲劳及乘坐舒适性差, 甚至会发出噪声及加快悬挂零部件的损坏。

作者简介: 刘程(1985—), 男, 湖北十堰人, 中国汽车技术研究中心有限公司工程师, 博士, 主要从事整车及零部件可靠试验研究工作。

E-mail: 363944446@qq.com

(2) 侧向力偏差(LFV)。是受载轮胎在固定负荷半径和恒定速度下,每转1周自身反复出现的侧向力的波动值。

LFV一般是由带束层贴合不正、胎圈帘布两面高低不均匀、胎侧两边厚度不均匀、帘线密度不均匀等造成的。LFV超过标准值会造成车辆无法直线行驶,出现车轮左右摇摆现象,影响车辆的操纵稳定性及行驶安全性,甚至会导致轮胎偏磨。

(3) 纵向力波动(TFV)。是受载轮胎在固定负荷半径和恒定速度下,每转1周自身反复出现的纵向力的波动值。

TFV更多地反映在高速时轮胎纵向力的波动,主要是由于轮胎固有频率引起的波动。

(4) 锥度效应(CON)。是指不因轮胎旋转方向改变而改变符号的侧向力偏移。

CON一般是由带束层贴合不正、带束层两端下垫胶厚度不均匀、两边肩部厚度不均匀等因素造成的。轮胎两侧不均匀导致轮胎在滚动时像一个滚动的锥体,通常用锥度力来表征CON。CON对车辆的影响与LFV的影响相似,CON控制不当容易造成车辆跑偏等现象。

$$CON=0.5(LFD_1+LFD_2)$$

LFD为侧向力偏移,轮胎正转时记为 LFD_1 ,反转时记为 LFD_2 。

(5) 角度效应(PLY)。是指随着轮胎旋转方向改变而改变符号的侧向力偏移。

$$PLY=0.5(LFD_1-LFD_2)$$

PLY主要反映了带束层的结构设计问题,例如带束层的排列、带束层帘线密度、带束层弯曲时的不平剪切力、带束层厚度不均匀等。PLY对车辆的操纵稳定性影响同CON的影响相近。

1.2 影响因素

轮胎均匀性与很多因素有关,如本身结构特征、受力状态、充气压力和磨损程度等。本研究主要分析以下影响因素对轮胎均匀性的影响。

(1) 轮胎负荷。在车辆行驶过程中,轮胎负荷表现为轮胎与地面接触而产生的垂直方向负荷,即试验过程中根据轮胎设计要求在试验台主轴上施加的负荷。

(2) 轮胎充气压力。轮胎充气压力是根据轮胎设计要求以及环境温度确定的,可以通过气压表来测量试验轮胎充气压力。

(3) 轮胎规格。根据轮胎的负荷、最高速度以及充气压力确定轮胎的规格。不同规格轮胎对应的轮辋型号不同,匹配对应的车辆也存在较大差异。

(4) 轮胎品牌。轮胎品牌不同,轮胎的结构、材料、工艺以及性能指标等存在较大差异,从而使轮胎均匀性存在较大差异。

2 轮胎均匀性试验机

2.1 工作原理

均匀性试验机是当前检测轮胎不均匀程度最普遍的设备之一^[14]。轮胎均匀性测量是在旋转轮胎加载情况下进行,测试轮胎安装在试验机主轴上,在测量过程中主轴与转鼓通过机械支撑保持不动,且轴线位置相互平行,转鼓模拟地面并给测试轮胎施加一定负载,相当于轮胎行驶过程中地面给轮胎的压力。轮胎转动过程中的振动会传递给转鼓,并将其传递给固定在转鼓两端的多相测力传感器。当主轴轴心与转鼓轴心距离稳定后,负荷传感器和主轴底部的旋转编码器可测出轮胎的RFV,LFV和TFV的周期性变化,并计算得到CON和PLY。

2.2 基本参数

采用德国采埃孚公司生产的HSU5.3型高速均匀性试验机(见图1)进行测试。转鼓参数为:直径 2 000 mm,表面跳动 0.02 mm,鼓宽 550 mm,平衡等级 2.5,最大转速 $300 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 。设备能力为:加载最大力 20 kN,测量精度误差 $\pm 5\%$ 。传感器测试能力:径向力 $\pm 15 \text{ kN}$,侧向力 $\pm 10 \text{ kN}$,切向力 $\pm 15 \text{ kN}$,回正力矩 $\pm 4\,000 \text{ N} \cdot \text{m}$,倾覆力矩 $\pm 4\,000 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。该试验机可用于轻型载重和载重子午线轮胎均匀性测试。可测试的轮胎参数为:轮辋直径 330.2~635.0 mm(13~25英寸),外直径 500~1 000 mm,断面宽 120~400 mm,滚动半径 240~500 mm。



图1 HSU5.3型高速均匀性试验机

3 轮胎均匀性试验

3.1 试验对象

选择6条当前国内市场份额占比较大的品牌轿车轮胎,测试轮胎在低速运动下均匀性参数RFV,LFV,TFV,CON和PLY随着轮胎负荷、充气压力、规格、品牌等的变化所引起的波动。

试验对象:选取轮胎规格为195/65R15,205/55R16和225/65R17。分别记为A轮胎(品牌1产品,195/65R15)、B轮胎(品牌1产品,205/55R16)、C轮胎(品牌1产品,225/65R17)、D轮胎(品牌2产品,205/55R16)、E轮胎(品牌3产品,205/55R16)、F轮胎(品牌4产品,205/55R16)。

3.2 试验条件

(1) 试验负荷。以650 kg为100%负荷,分别测试负荷率为70%,80%,90%和100%下轮胎的RFV,LFV,TFV,CON和PLY。

(2) 充气压力。分别测试充气压力为180,200,220,240,260,280,300,320和340 kPa下轮胎的RFV,LFV,TFV,CON和PLY。

3.3 试验方法

试验开始前,按照规定对轮胎进行充气,充气轮胎在室温条件下静置3 h后检查充气压力是否达到规定值,达到则进行试验:将轮胎安装在试验机上,移动试验转鼓使其与轮胎压合靠拢,直至达到规定负荷;轮胎以 $400 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 的转速启动,再降至 $60 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 作匀速转动;先进行顺时针旋转测试,再进行逆时针旋转测试,测试项目为RFV,LFV,TFV,CON和PLY;最后将试验轮胎与转鼓从试验机主轴上卸下^[14]。

4 结果与讨论

通过控制单一变量的方法分别探究轮胎负荷、充气压力、规格、品牌、转向对轮胎均匀性参数的影响。将轮胎均匀性参数分为两类进行对比分析,第1类是RFV,LFV和TFV,第2类是CON和PLY。

4.1 第1类均匀性参数

4.1.1 轮胎转向的影响

图2示出了正反转A轮胎第1类均匀性参数的变化趋势。对比图2(a), (b)和(c)可以看出,正转条件下,充气压力较小时,负荷对轮胎的RFV和LFV影响较大,对TFV影响较小;充气压力较大时,RFV和LFV受负荷的影响较小,TFV受负荷的影响较大。轮胎负荷一定时,随着充气压力的增大,轮胎的LFV先减小后增大,在充气压力为某一定值时最小;TFV随着充气压力的增大而增大。对比分析A轮胎正反转均匀性参数变化规律可知,轮胎旋转方向对轮胎均匀性变化趋势影响较小,但均匀性参数值会有所改变。总之,A轮胎充气压力增大会使RFV和TFV呈整体上升趋势,但是LFV呈整体下降趋势。选择合适的轮胎充气压力可将负荷对RFV,LFV和TFV影响降至较小。通过合适的充气压力和负荷组合可以使轮胎的不均匀参数值最小。

4.1.2 轮胎规格的影响

图3示出了同一品牌、不同规格轮胎B和C的第1类均匀性参数的变化趋势。从图3可以看出,轮胎规格不会影响LFV整体变化趋势,但是会引起RFV和TFV变化规律的改变。当负荷一定时,随着充气压力的增大,B轮胎的RFV一直增大,而C轮胎的RFV先减小后增大。对于轮胎的TFV,当负荷一定时,随着充气压力的增大,B轮胎的TFV缓慢增大,而C轮胎的TFV快速增大。

在轮胎设计过程中可以将同一品牌不同规格轮胎的RFV,LFV和TFV作为参考,但是RFV和TFV存在较大差异。

4.1.3 轮胎品牌的影响

同一规格不同品牌D,E和F轮胎第1类均匀性参数的变化趋势如图4—6所示。

从图4—6可以看出,D,E和F轮胎的RFV,LFV

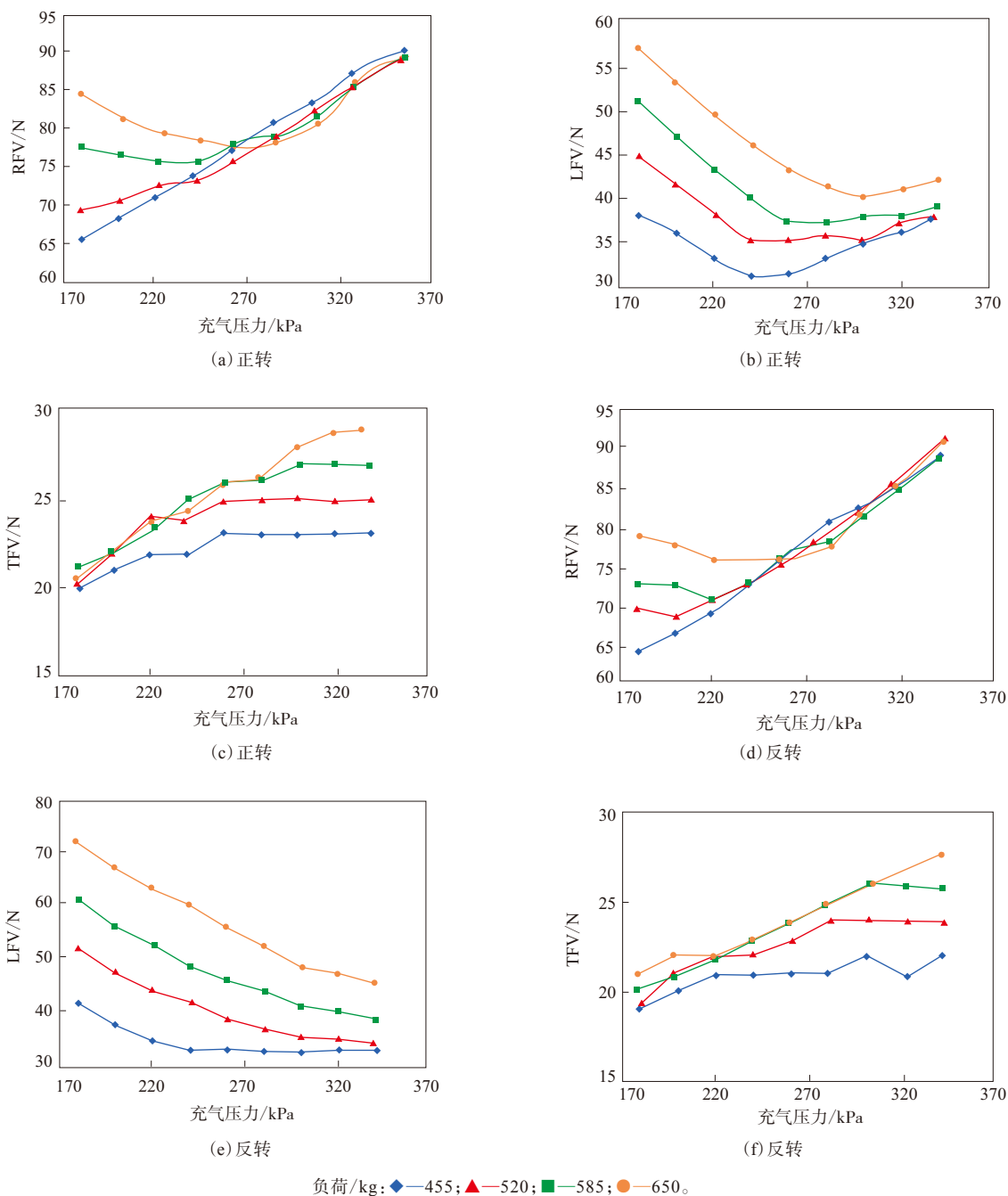
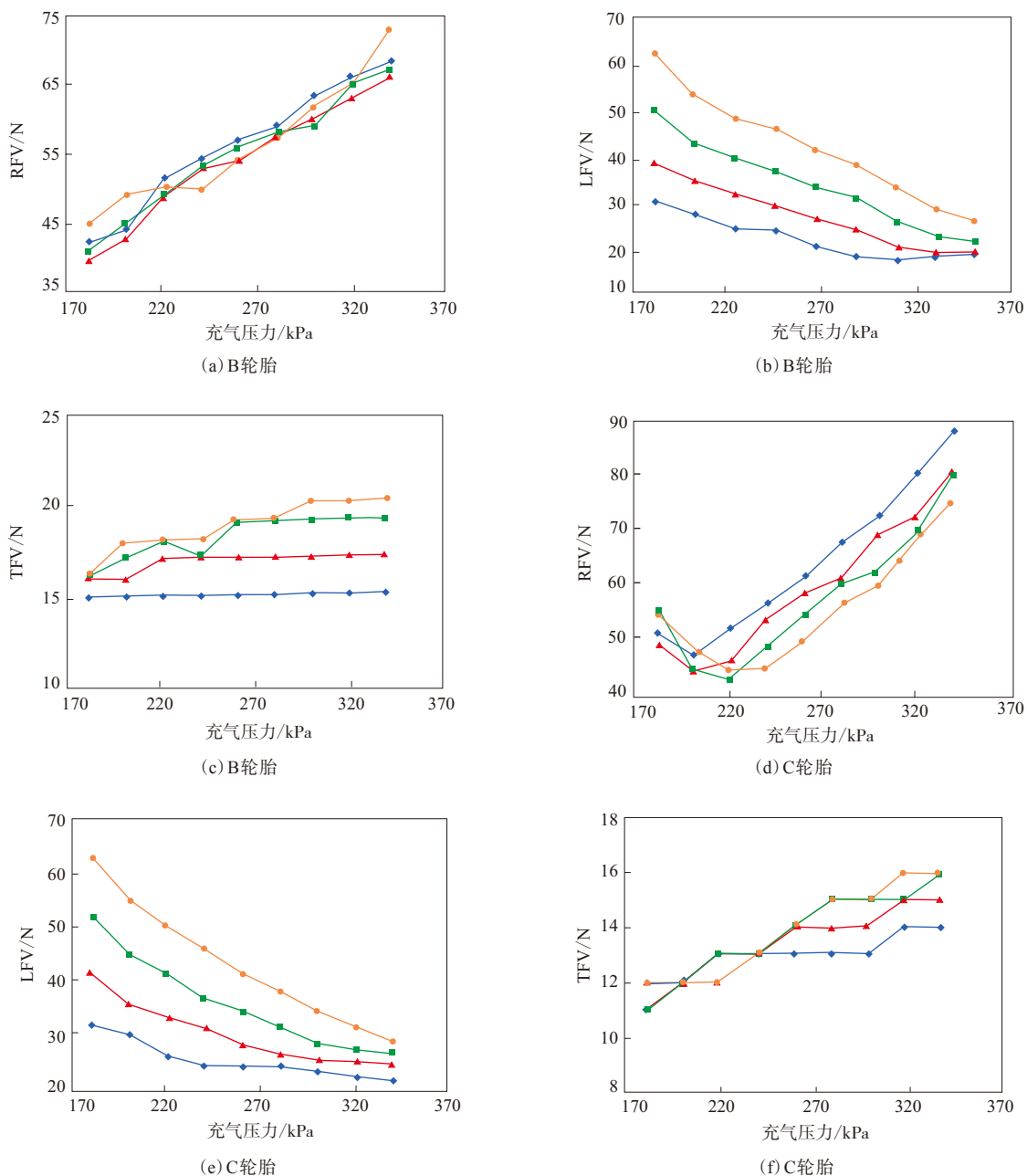


图2 正反转A轮胎第1类均匀性参数变化趋势

和TFV受充气压力和负荷的影响规律不同。轮胎负荷一定时,随着充气压力的增大,D轮胎的RFV先减小后增大,E轮胎的RFV缓慢增大,F轮胎的RFV快速增大;充气压力一定时,各品牌轮胎的LFV均随着负荷的增大而增大;负荷一定时,各品牌轮胎的LFV随着充气压力变化的变化规律显著不同,即D轮胎的LFV随着充气压力增大而变化不

大,E和F轮胎的LFV随着充气压力的增大而呈减小趋势。对比不同品牌轮胎的TFV可知:当充气压力一定时,负荷对D和E轮胎的TFV影响较小,F轮胎的TFV随着负荷的增大呈增大趋势;当负荷一定时,轮胎的TFV随着充气压力的增大而增大,D和E轮胎的TFV变化较快,F轮胎的TFV变化较小。

品牌对RFV,LFV和TFV整体变化趋势影响较



注同图2。

图3 同一品牌、不同规格轮胎B和C的第1类均匀性参数变化趋势

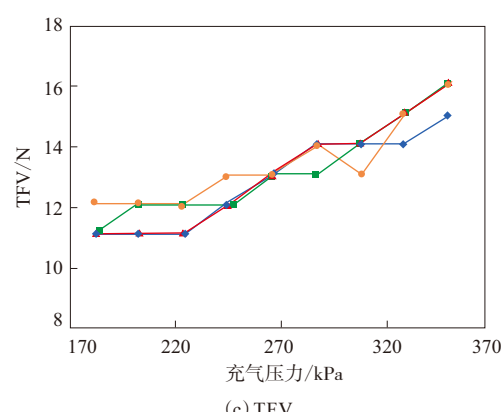
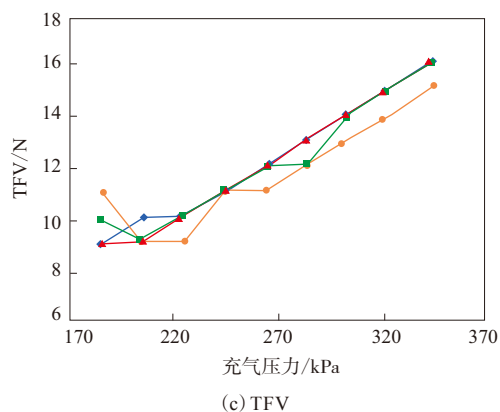
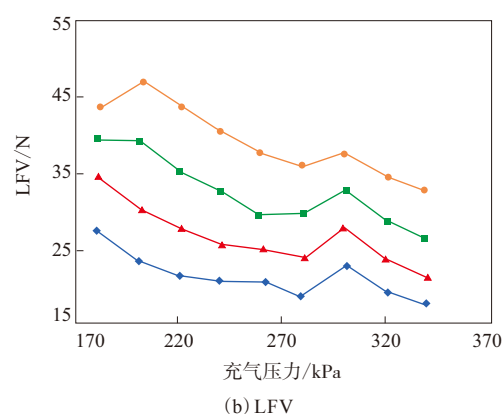
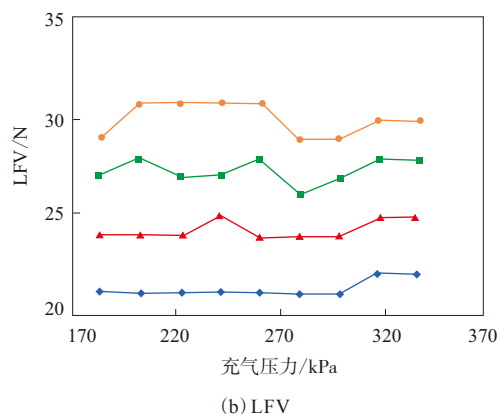
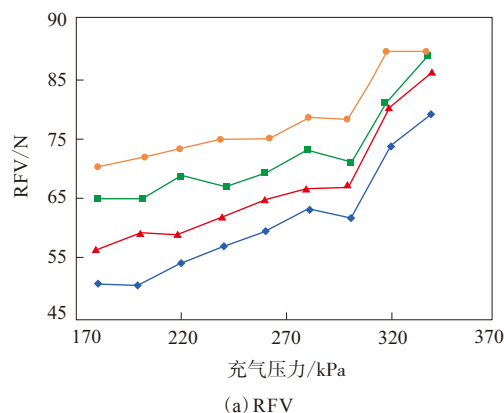
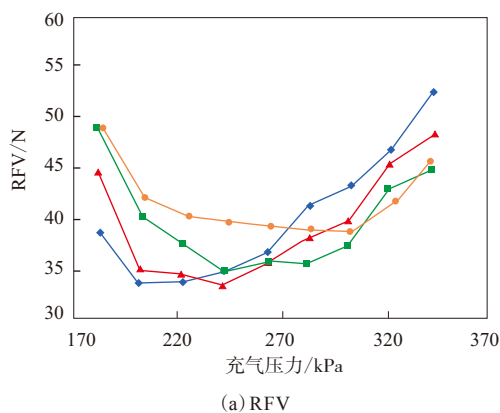
小,但是不同品牌轮胎对应的RFV,LFV和TFV受充气压力和负荷影响的变化规律存在一定差异。因此,在选择同一规格不同品牌的轮胎时,需要着重对比轮胎不均匀参数。

4.2 第2类均匀性参数

4.2.1 轮胎规格的影响

图7示出同一品牌、不同规格轮胎A,B和C的第2类均匀性参数的变化趋势。从图7可以看出,

A,B和C轮胎的CON和PLY变化趋势基本相同,但是对负荷的灵敏度有所差异。当充气压力一定时,A和C轮胎的CON随着负荷变化而发生的变化较为明显,而B轮胎的CON随着负荷变化而变化不明显;随着负荷的增大,A,B和C轮胎的PLY均增大。当轮胎负荷一定时,轮胎的CON随着充气压力的增大呈增大趋势,轮胎的规格越大,对应的CON随着充气压力变化的变化速度越大;随着充



注同图2。

注同图2。

图4 D轮胎第1类均匀性参数变化趋势

图5 E轮胎第1类均匀性参数变化趋势

气压力的增大,轮胎的PLY减小,轮胎的规格越大,对应的PLY随着充气压力变化的变化速度越小。当轮胎充气压力较小时,不同负荷对轮胎的PLY影响较小,当轮胎充气压力较大时,不同负荷对轮胎的PLY影响较大。

轮胎规格对轮胎的CON和PLY整体变化趋势影响不大,但是会改变负荷和充气压力对PLY和

CON的影响。

4.2.2 轮胎品牌的影响

图8示出了同一规格、不同品牌轮胎第2类均匀性参数的变化趋势。

从图8可以看出:当轮胎负荷一定时,不同品牌轮胎的CON随着充气压力变化的变化趋势不同;当充气压力一定时,不同品牌轮胎的CON随着

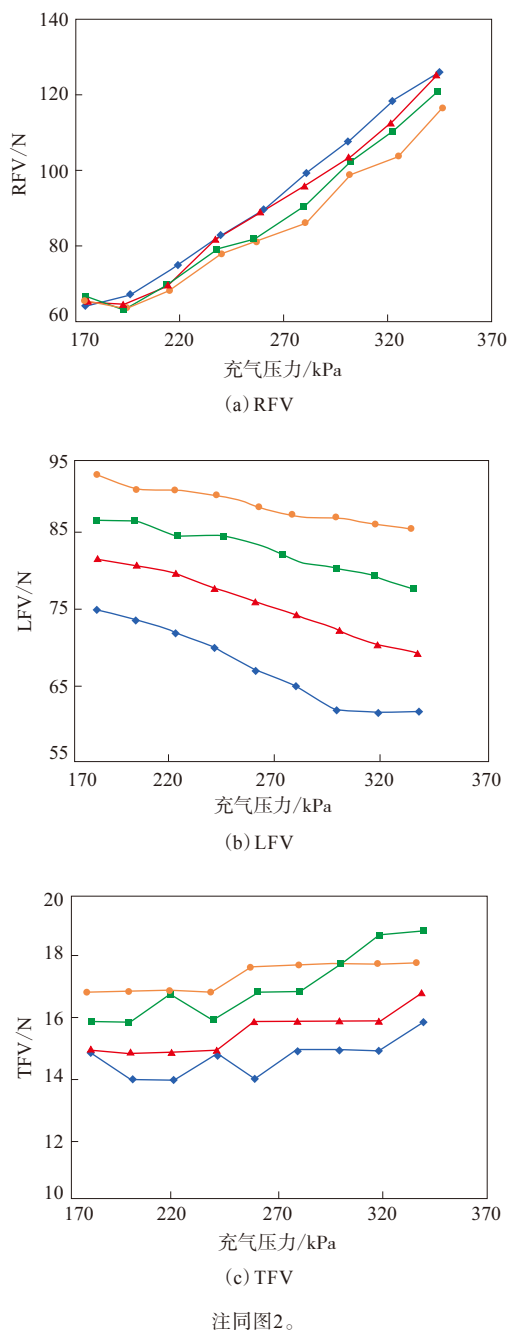


图6 F轮胎第1类均匀性参数变化趋势

负荷的增大而增大。品牌对轮胎的PLY整体变化趋势影响较小。总之,不同品牌轮胎的CON随着充气压力变化的变化规律不同,随着负荷变化的变化规律相同,PLY随着充气压力和负荷的变化规律均相同。

品牌对轮胎的CON变化趋势有较大影响,对PLY变化趋势影响较小;但在一定充气压力和负荷下,不同品牌轮胎的CON和PLY都存在较大

差异。

4.3 轮胎均匀性参数影响程度分析

轮胎负荷、充气压力、规格、品牌、转向都会对轮胎均匀性参数产生影响,但是不同参数的影响程度有所不同。表1示出了各影响因素对轮胎均匀性参数的影响程度。表2示出了各影响因素对轮胎均匀性参数变化趋势的影响。从表1可以看出,轮胎均匀性参数影响程度从大到小依次是充气压力、负荷、品牌、规格、转向。轮胎充气压力增大会引起某些均匀性参数增大,某些均匀性参数减小;轮胎负荷增大会引起轮胎均匀性参数整体增大。

表1 轮胎均匀性参数影响程度对比

影响因素	RFV	LFV	TFV	CON	PLY
负荷	***	***	***	***	***
充气压力	****	****	****	****	****
正反转	*	*	*	—	—
规格	**	**	**	**	**
品牌	***	***	***	***	*

注:****很大,***较大,**大,*一般。

表2 轮胎均匀性参数变化趋势对比

影响因素	RFV	LFV	TFV	CON	PLY
负荷	↑	↑	↑	↑	↑
充气压力	↑	—	↑	—	↓
规格	↑	↑	↑	↑	—

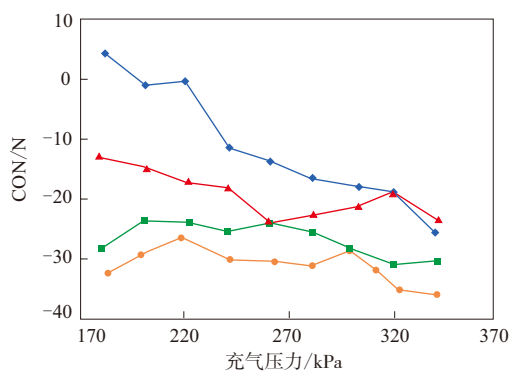
注:↑表示随着影响因素的增大而增大;↓表示随着影响因素的增大而减小;—表示不同轮胎的变化趋势不同。

因此在轮胎均匀性参数匹配时,应该根据轮胎的负荷要求,确定轮胎的品牌和规格,最后根据轮胎均匀性限值要求,确定轮胎的最佳充气压力。在轮胎使用过程中,需要根据轮胎的负荷来调整轮胎充气压力,以满足轮胎均匀性参数指标要求。

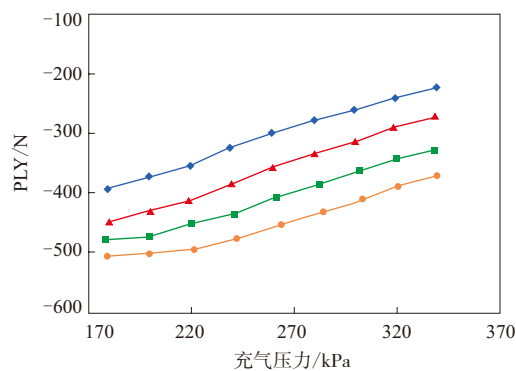
5 结论

本研究利用控制单一变量法建立一种研究轮胎均匀性参数随着负荷、充气压力、规格、品牌等因素变化的方法,通过对比当前轮胎国内市场份额占比较大的几个品牌轿车轮胎,得出以下结论。

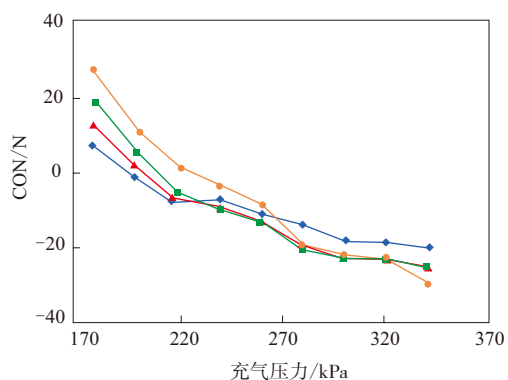
(1) 轮胎充气压力的变化对均匀性参数影响



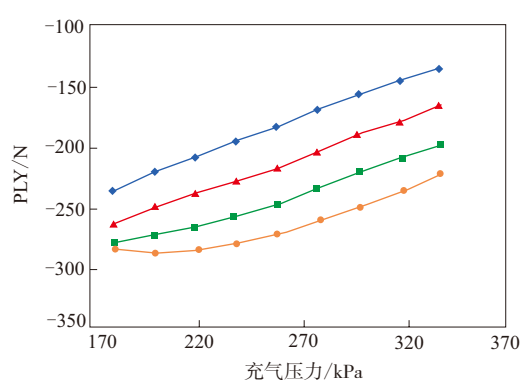
(a) A轮胎



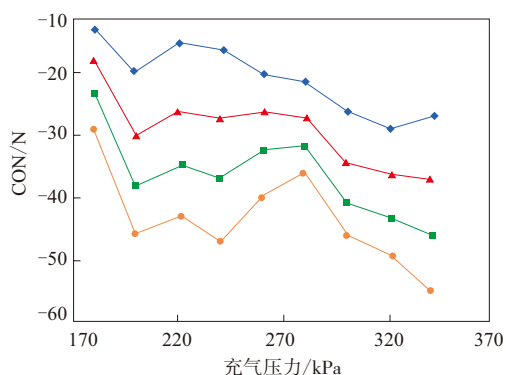
(b) A轮胎



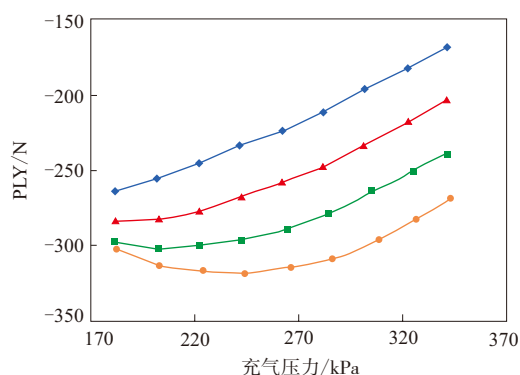
(c) B轮胎



(d) B轮胎



(e) C轮胎



(f) C轮胎

注同图2。

图7 同一品牌、不同规格轮胎第2类均匀性参数变化趋势

最大,充气压力增大会使均匀性参数产生变化,可以通过调整充气压力来改变轮胎均匀性参数。

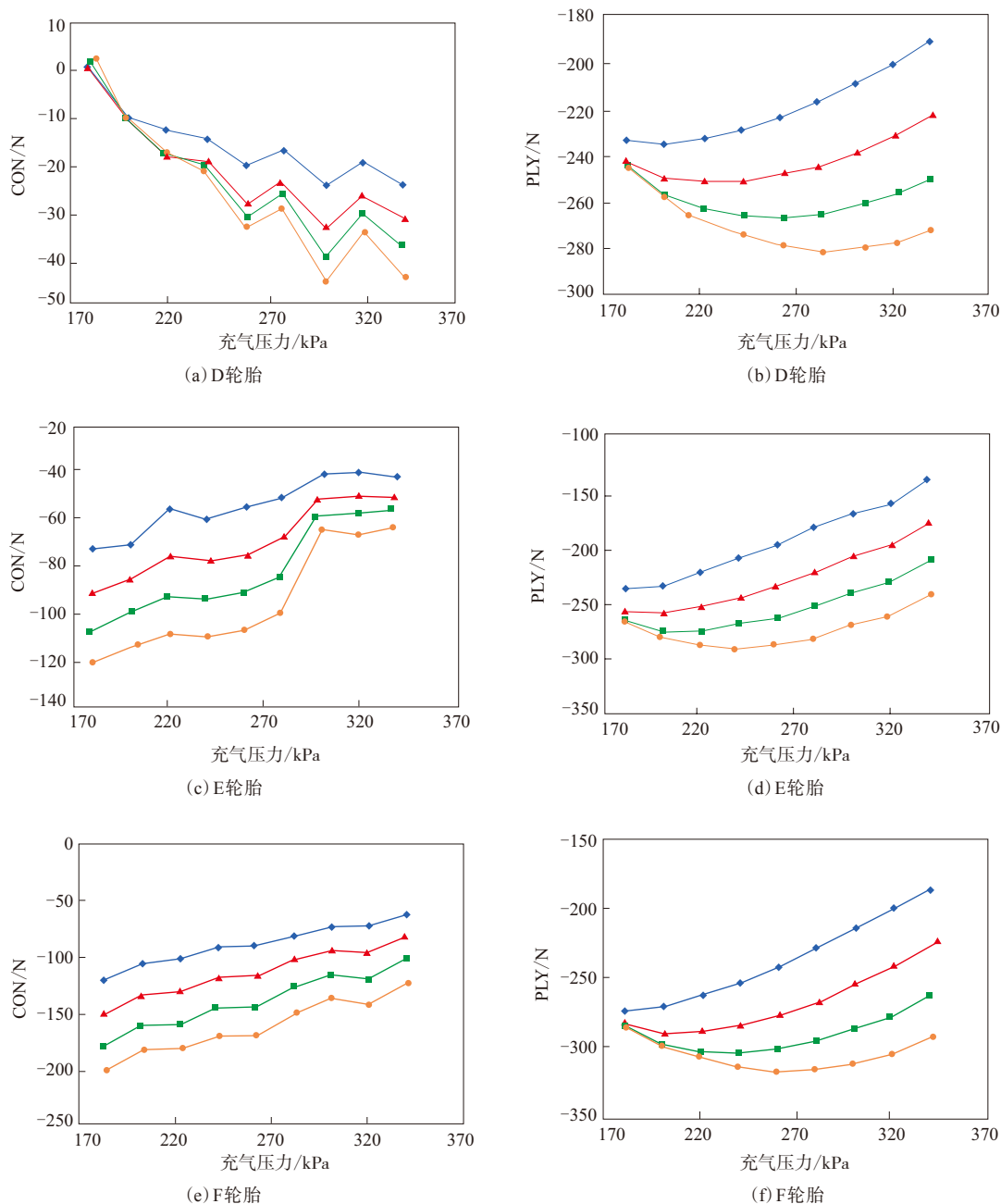
(2) 轮胎负荷的增大会引起轮胎均匀性参数朝着增大的方向发展,在轮胎均匀性参数匹配时,当轮胎负荷变化时可以通过调整充气压力来满足均匀性参数指标要求。

(3) 不同品牌轮胎对应的RFV,LFV和TFV随

着充气压力变化的整体变化趋势基本相同,但是变化速度存在较大差异,需要根据设计要求谨慎选择轮胎品牌。

参考文献:

- [1] 庄继德. 汽车轮胎学[M]. 北京:北京理工大学出版社,1995:125-132.
- [2] Ungoren A Y, Peng H. An Adaptive Lateral Preview Driver Model[J].



注同图2。

图8 同一规格、不同品牌轮胎第2类均匀性参数变化趋势

Vehicle System Dynamics, 2005, 43 (4): 245-259.

- [3] 宗长富, 郭孔辉. 汽车操纵稳定性的客观定量评价指标[J]. 吉林大学自然科学学报, 2000, 30 (1): 1-6.
- [4] 俞洪, 周峰, 丁剑平. 充气轮胎性能与结构[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 1998.
- [5] 刘琦, 孙学红, 李文东, 等. 低滚动阻力胎面胶配方优化设计[J]. 轮胎工业, 2017, 37 (7): 471-475.
- [6] 徐丽红, 牟守勇. 我国轮胎标签制度的形势分析[J]. 橡胶科技, 2017, 15 (1): 9-11.

- [7] 杭柏林, 姜丽娟, 管西刚. 轮胎均匀性测试数学模型的建立和数据分析[J]. 橡胶工业, 2007, 54 (4): 242-244.
- [8] 张健斌, 朱兰娟. 数据挖掘在轮胎均匀性试验数据上的应用[J]. 世界橡胶工业, 2016, 43 (7): 45-51.
- [9] 王黎黎, 王群. 影响轿车子午线轮胎均匀性的因素及控制措施[J]. 轮胎工业, 2002, 22 (9): 549-552.
- [10] 吴健, 张传兵, 徐春财, 等. 温度对胎面胶压缩力学性能的影响[J]. 橡胶工业, 2017, 64 (4): 422-425.
- [11] 姜涛, 穆太华, 郭秀珍, 等. 提高全钢载重子午线轮胎均匀性的工

- 艺措施[J]. 轮胎工业, 2000, 20(5): 300-302.
- [12] 缪一鸣. 全钢载重子午线轮胎均匀性测试及其影响因素[J]. 轮胎工业, 2005, 25(9): 571-573.
- [13] 王晓明, 杨梅胜. 轮胎均匀性的在线测试方法和系统[J]. 橡胶工业, 2005, 52(7): 432-435.
- [14] 蔡习舟, 吴美丹. 半钢子午线轮胎均匀性影响因素分析[J]. 橡胶科技, 2012, 10(2): 35-37.
- 收稿日期: 2018-11-04

Experimental Research on Influencing Factors of Passenger Tire Uniformity

LIU Cheng, LIU Zhenguo, ZHANG Xinfeng, DU Tianqiang, TIAN Cheng

(China Automotive Technology & Research Center Co. Ltd, Tianjin 300300, China)

Abstract: The influencing factors of passenger tire uniformity were studied experimentally, that was, a uniformity testing machine was used to analyze the variation rule of tire uniformity parameters with change of each factor: the load, inflation pressure, size and brand. The results showed that, the degree of influence of tire uniformity parameters decreased in the order of inflation pressure > load > brand > size > steering. Increasing the tire inflation pressure would cause the increase of some uniformity parameters. Increasing the load would cause the increase of all the uniformity parameters.

Key words: passenger tire; uniformity parameter; influencing factor; load; inflation pressure; size; brand

• 国内外动态 •

森麒麟推出F负荷等级Landsail R/T轮胎 美国《现代轮胎经销商》(www.moderntiredealer.com) 2018年10月31日报道:

森麒麟轮胎美国有限公司在拉斯维加斯2018特种设备市场协会(SEMA)展上展出其新崎岖地形轮胎, 见图1。



图1 Landsail CLX12 Rogueblazer R/T轮胎

R/T轮胎的推出标志着森麒麟轮胎美国有限公司为美国市场提供了全系列Landsail 轿车和轻型载重轮胎。据执行副总裁Max Wee称,此举是应市场需求。

“有一部分市场需要比A/T轮胎更激进一些的轮胎,但不需要达到M/T轮胎的程度。”

CLX12 Rogueblazer R/T轮胎具有以下特征。

- 激进的胎面花纹。公司称凿齿锤型大块花纹提供了杰出的越野抓着性能和牵引性能。

- 抗刺扎和耐磨性能。位于花纹沟槽的加强筋以及加强结构和材料设计提高了轮胎的抗刺扎性能,特殊的配方和优化的海陆比赋予轮胎卓越的耐磨性能。

- 湿操纵性能。深的直通式胎侧花纹和多形状花纹沟设计提高了湿操纵性能,并能够有效排出碎石路面上的石子,提高雪地牵引性能。

- 越野性能。坚固的胎肩花纹块增强了泥泞路面、沙土路面和积雪路面牵引性能。

R/T轮胎还具有“双胎侧”设计。用户可以选择动感十足的“R”(Rough)形,也可以选择更为传统的“T”(Tough)形。

这款轮胎共有19个规格,8个是12层级F负荷等级,规格范围从33×12.50R20 123R到LT325/45R24 127/124S,另外11个是10层级E负荷等级,规格范围从LT285/75R16 126/123S到LT325/60R20 126/123S。

销售总监Nick Gutierrez称:“对于新型皮卡,你需要一个F负荷等级的轮胎来匹配负荷率和压力。”

(马 晓摘译 吴秀兰校)