

# 轿车轮胎耐撞击性能试验的研究

李红伟, 孙炳光, 周奎武, 曹铁坚, 刘宇晨

(北京橡胶工业研究设计院有限公司 国家橡胶轮胎质量检验检测中心, 北京 100143)

**摘要:**对轿车轮胎耐撞击性能试验进行研究,探讨轮胎耐撞击性能的主要影响因素,为轿车轮胎耐撞击性能评价方法的完善提供大量有价值的信息。根据GB/T 38528—2020对轮胎耐撞击因子( $f$ )的规定,参加摆锤撞击试验的轮胎的耐撞击性能总体达标率为66.1%;按照轮胎系列(高宽比)来确定 $f$ 不够科学,轮胎断面高是耐撞击性能最重要的影响因素,建议以轮胎断面高来确定 $f$ ;实车撞击与摆锤撞击试验结果相关性研究表明,摆锤撞击试验得到的 $f$ 与实车撞击试验中轮胎损坏时速度之间存在一定的相关性,可以采用摆锤撞击试验方法评价轮胎耐撞击性能。

**关键词:**轿车轮胎;耐撞击性能;摆锤撞击试验;实车撞击试验

**中图分类号:**TQ336.1<sup>+1</sup>

**文献标志码:**A

**文章编号:**1006-8171(2023)08-0499-08

**DOI:**10.12135/j.issn.1006-8171.2023.08.0499



OSID开放科学标识码  
(扫码与作者交流)

近年来,我国汽车保有量持续增加,轮胎配套和零售市场进一步繁荣,与此同时,轮胎质量问题的投诉也在增加<sup>[1-5]</sup>。轮胎鼓包在轮胎质量问题投诉中占比很高<sup>[6]</sup>。大部分轮胎鼓包是车辆通过不平整路面或撞击到障碍物时,轮胎遭受巨大冲击而导致胎体帘线发生断裂,在内部气压的作用下出现鼓包现象<sup>[7-11]</sup>。轮胎鼓包后如果没有及时更换而继续使用,存在很大的爆胎风险,对车辆行驶安全造成非常大的威胁。

轮胎鼓包现象在欧美发达国家并不突出,其没有制定相关法规的急迫性;我国制定了相应标准来加以规范和明确<sup>[12-13]</sup>。一些主机厂使用实车轮胎路缘撞击试验来评价轮胎的耐撞击性能,试验条件与实际使用情况接近,评价效果不错。但是实车撞击方法费用高昂、费时费力。为了以一种易于操作、成本低廉、设备维护方便的室内试验方法来达到与实车撞击试验相当的评价效果,全国轮胎轮辋标准化技术委员会组织制定了一种基于摆锤撞击试验机的室内轮胎耐撞击性能评价方法,有助于轮胎企业提高相关技术水平,也为主机厂和消费者正确使用轮胎提供帮助<sup>[14-15]</sup>。

**作者简介:**李红伟(1975—),男,河南濮阳人,北京橡胶工业研究设计院有限公司国家橡胶轮胎质量检验检测中心正高级工程师,学士,主要从事轮胎检测、认证、质量分析相关工作。

**E-mail:**lihongwei0902@126.com

我国在2013和2020年分别发布了基于摆锤撞击试验机的GB/T 30195—2013《汽车轮胎耐撞击性能试验方法》和GB/T 38528—2020《轿车轮胎耐撞击性能评价》。其中,GB/T 38528—2020属于国际首创标准,没有任何国际标准或其他国家和地区的标准可以借鉴,具体的实用性和合理性还需要更多的试验数据佐证,因此,开展更多关于轮胎耐撞击性能相关的试验研究尤为重要。

轮胎撞击试验的作用是模拟轮胎在车辆行驶过程中遇到凹坑、马路牙子、路缘凸起等路面障碍时抵御冲击的能力。近年来,随着城镇化的迅速发展,国内的汽车行驶路况有了很大提高,但是整体路况相较于欧美发达国家还不是很完善,凹坑和不平路段并不少见。如果轮胎的耐撞击性能不好,或者车辆行驶过程中速度过快,或者以小角度撞击马路牙子等,轻则发生轮胎鼓包漏气,重则发生爆胎等安全事故,造成严重的生命财产损失,因此轮胎耐撞击试验具有非常重要的实际意义。

## 1 轿车轮胎摆锤撞击试验及试验数据分析

### 1.1 摆锤撞击试验

#### 1.1.1 试验目的

使用轮胎耐撞击试验机对国内外参与课题研究的轮胎进行摆锤撞击试验,了解市场上多个品牌和规格轮胎产品的耐撞击性能水平并形成直观

的量化数据,从而有利于改进轮胎结构设计。同时,试验结果将为制定或完善轮胎耐撞击性能评价标准提供参考依据。

### 1.1.2 试验设备和仪器

#### 1.1.2.1 轮胎耐撞击试验机

轮胎耐撞击试验机(天津久荣车轮技术有限公司产品)由主体框架结构、撞击锤、伺服电机系统和控制系统等组成。

(1)主体框架结构。现有的国家标准没有明确规定一个确切的摆杆支撑框架和设备底座,但框架必须有足够的刚性,并且牢固地嵌入地面,以免在撞击时发生剧烈的震动而产生大量的能量耗散。

(2)撞击锤。任何撞击试验都需要1个摆锤。由于路面障碍的形状多种多样,因此设计试验时首先要考虑摆锤的锤头形状。一些车轮设计师认为,较严重的路面撞击会在车轮轮缘上产生一个V字形缺口。因为有120°夹角的锤头能产生与凹坑试验相似的破坏形式,因此锤头被设计成有50 mm圆角的120°夹角形状。

(3)提升系统。摆杆由伺服电机系统提升到程序设定的下落高度或者撞击角度,然后离合器松开使摆杆自由下落,摆杆回弹到最高点时离合器自动闭合,使摆杆停止下落以防止对轮胎的二次撞击。

(4)轮辋固定装置。轮辋固定装置与底座相连,轮辋用螺栓固定在夹持装置上,此装置要承受很高的冲击,有保证刚度的要求,防止在撞击过程中产生变形。

(5)控制系统。设备启停、摆杆升降、试验结果记录、环境温度和轮胎充气压力的实时监测均由控制系统完成。

#### 1.1.2.2 鼓包测量仪

轮胎受到撞击后,发现有或可能有鼓包情况,应使用鼓包测量仪对鼓包位置进行检测,如图1所示。

#### 1.1.2.3 图像记录设备

试验中出现轮胎鼓包或漏气时应采用彩色、清晰、可存储的图像记录设备记录。



图1 使用鼓包测量仪检测轮胎鼓包位置

### 1.1.3 试验条件

(1)试验轮胎在硫化后应停放24 h以上,其外观质量应符合HG/T 2177—2011要求。

(2)试验环境温度为20~30℃。

(3)除使用柔性轮辋的情况外,试验轮辋应为轿车轮胎耐撞击性能试验专用钢制轮辋,其尺寸应与GB/T 2978—2014中规定的测量轮辋一致;对于装配柔性轮辋的车辆所使用的轮胎,应使用与车辆要求一致的柔性轮辋进行试验,并在试验报告中加以说明。

(4)将试验轮胎安装在试验轮辋上(安装时可使用润滑剂),充气使轮胎充气压力达到200 kPa。

(5)充气后轮胎和轮辋组合体应在20~30℃的环境中停放3 h以上。

(6)沿轮胎圆周方向确定10个大致等间距分布的试验点,逐一做标记、编序号。

(7)轮胎耐撞击试验机的撞击锤角度固定在6°,偏差在±0.5°之内。

### 1.1.4 试验程序

为尽可能准确地得到使轮胎产生不小于1 mm鼓包的动能( $E_{SVD}$ ),按以下程序进行试验。

$E_{SVD}$ 的计算公式为

$$E_{SVD} = 0.5I\omega^2$$

式中, $I$ 为摆杆支点的转动惯量, $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ ;  $\omega$ 为撞击角速度, $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

(1)将停放后的试验轮胎的充气压力重新调整为(200±2) kPa;如果试验轮胎的充气压力有异常损失,应观察试验轮胎和轮辋的状况,重新准备试验轮胎。

(2) 将校正充气压力后的试验轮胎和轮辋组合体按照GB/T 30195—2013规定安装在试验装置上,并将轮辋进行锁定,使其在周向上不能转动,按标记序号逐点进行试验。

(3) 将摆杆调整到自由悬挂状态,使轮胎旋转中心与撞击锤顶部处于同一水平线上;沿水平方向横向调整轮胎位置,使轮胎胎肩触及撞击锤中部。摆杆因轮胎触及撞击锤产生的摆杆角位移不应超过 $0.1^\circ$ 。

(4) 提升摆杆到初始的撞击高度或撞击角度,撞击动能根据经验选取,锁定摆杆。

(5) 使摆杆从锁定位置自由下落,撞击试验轮胎;摆杆反弹时由锁定装置锁定摆杆,防止二次撞击,再将轮胎后退,摆杆缓缓下落到自由悬垂状态。

(6) 轮胎撞击后使用鼓包测量仪对撞击点附近进行测量,记录最大鼓包高度。

(7) 以小量调整摆杆角度(不大于 $5^\circ$ )进入下一个试验点撞击。每次进入下一个试验点进行撞击前,应将试验轮胎的充气压力重新调整到规定值(偏差不超过 $\pm 2$  kPa),同时检查撞击锤的紧固螺栓是否松动。

(8) 重复试验步骤(6)和(7),直到出现不小于1 mm鼓包,减小撞击角度继续撞击,直到不出现不小于1 mm鼓包为止,记录产生不小于1 mm鼓包的最小撞击能即为最小鼓包破坏能( $E_{bu}$ )。

(9) 如果1条轮胎不足以找到和确认 $E_{bu}$ 值,需要另外1条相同规格的轮胎继续进行试验。

### 1.1.5 耐撞击性能评价

GB/T 38528—2020规定了摆锤法轿车轮胎耐撞击性能的评价要求、试验方法、判定规则和试验报告。该标准采用耐撞击因子( $f$ )作为轮胎耐撞击性能的评价指标。按照轮胎系列(轮胎名义高宽比)进行分类,即65,60和55系列轿车轮胎的 $f$ 不小于80;50系列不小于65;45和40系列不小于50;35和30系列不小于30。

将轮胎的 $f$ 代入下式,计算得出试验轮胎应通过的 $E_{bu}$ 。

$$E_{bu} = fL_1 \left( \frac{C}{H} \right)^{2.5} \times \frac{200}{D}$$

$$H = \frac{S_n A_r}{100}$$

$$D = D_r + 2H$$

式中, $L_1$ 为轮胎负荷指数,标准型轮胎采用标准型轮胎的负荷指数,增强型轮胎采用与该规格对应的标准型轮胎的负荷指数,只有增强型没有标准型的轮胎,负荷指数为增强型轮胎的负荷指数减4; $C$ 为常量, $C=80$  mm; $H$ 为轮胎名义断面高(取整数),mm; $D$ 为轮胎外径(取整数),mm; $S_n$ 为轮胎名义断面宽,mm; $A_r$ 为轮胎名义高宽比; $D_r$ 为轮辋名义直径,mm。

### 1.1.6 轮胎选取

本试验所选全新轿车轮胎均符合GB 9743—2015要求,断面宽为195~275 mm,高宽比为30~65,轮辋直径为381~508 mm(15~20英寸)。每个品牌、每个规格轮胎数量为2条,总计16个品牌、8个系列、167组轮胎(同品牌同规格的2条轮胎为1组,每组轮胎出1个试验结果)参与试验,其中以45,55和65系列试验轮胎样本最多。

## 1.2 试验数据分析

根据GB/T 38528—2020对 $f$ 的规定,参加本次摆锤撞击试验的所有规格轮胎的 $f$ 达标率为66.1%,下面分别从轮胎品牌、规格和系列方面进行试验数据分析。

### 1.2.1 各品牌轮胎达标情况

各品牌轮胎达标情况如表1所示。

从表1可以看出:16个品牌中K品牌轮胎达标率最高,为91.7%,有12个规格参加测试,11个规格达标;P品牌轮胎达标率最低,为0,参加测试的2个规格都没有达标。

从表1还可以看出:各品牌未达标的轮胎规格很接近,名义断面宽以195和205 mm为主,系列以45和55系列为主;未达标规格轮胎有一个共同点是断面高比较小。

### 1.2.2 各规格轮胎达标情况

各规格轮胎达标情况如表2所示(仅分析轮胎组数为3组及以上的规格)。

从表2可以看出:195/45R15(共5组)和195/55R15(共15组)规格轮胎的达标率为0;205/45R16(共7组)、205/55R16(共18组)和215/45R16(共6组)规格轮胎的达标率分别为

表1 各品牌轮胎达标情况

| 品牌代号 | 轮胎组数/组 | 达标轮胎组数/组 | 达标率/% | 未达标轮胎规格    | 未达标轮胎胎f | 品牌代号 | 轮胎组数/组 | 达标轮胎组数/组 | 达标率/% | 未达标轮胎规格    | 未达标轮胎胎f |
|------|--------|----------|-------|------------|---------|------|--------|----------|-------|------------|---------|
| A    | 12     | 6        | 50.0  | 245/35 R19 | 29.98   | H    | 10     | 7        | 70.0  | 205/45ZR16 | 40.84   |
|      |        |          |       | 245/40 R18 | 39.88   |      |        |          |       | 195/55 R15 | 56.55   |
|      |        |          |       | 255/40 R19 | 46.85   |      |        |          |       | 205/55 R16 | 72.27   |
|      |        |          |       | 215/45 R18 | 40.82   |      |        |          |       | 205/45 R16 | 32.42   |
|      |        |          |       | 215/45 R17 | 40.42   |      |        |          |       | 215/45 R16 | 46.79   |
| B    | 7      | 5        | 71.4  | 215/45 R17 | 46.38   | I    | 12     | 8        | 66.7  | 195/55 R15 | 48.80   |
|      |        |          |       | 195/55 R15 | 74.67   |      |        |          |       | 195/55 R15 | 65.81   |
|      |        |          |       | 215/45 R16 | 47.95   |      |        |          |       | 205/45 R17 | 28.96   |
|      |        |          |       | 195/45 R16 | 26.19   |      |        |          |       | 195/55 R15 | 51.22   |
|      |        |          |       | 215/45ZR16 | 43.53   |      |        |          |       | 235/45 R17 | 45.46   |
| C    | 11     | 7        | 63.6  | 195/55 R15 | 54.31   | J    | 4      | 1        | 25.0  | 195/55 R15 | 54.54   |
|      |        |          |       | 205/55 R16 | 69.39   |      |        |          |       | 205/55 R16 | 72.64   |
|      |        |          |       | 195/45 R15 | 26.94   |      |        |          |       | 195/45 R15 | 24.92   |
|      |        |          |       | 205/45ZR16 | 34.33   |      |        |          |       | 195/45 R15 | 26.03   |
| D    | 11     | 7        | 63.6  | 195/55 R15 | 51.54   | K    | 12     | 11       | 91.7  | 195/55 R15 | 51.22   |
|      |        |          |       | 205/55ZR16 | 60.77   |      |        |          |       | 235/45 R17 | 45.46   |
|      |        |          |       | 195/45 R15 | 19.40   |      |        |          |       | 195/55 R15 | 54.54   |
|      |        |          |       | 205/45 R16 | 33.43   |      |        |          |       | 205/55 R16 | 72.64   |
|      |        |          |       | 215/45 R16 | 33.02   |      |        |          |       | 195/45 R15 | 24.92   |
| E    | 12     | 7        | 58.3  | 195/55 R15 | 48.79   | L    | 9      | 6        | 66.7  | 205/55 R16 | 72.64   |
|      |        |          |       | 205/55 R16 | 63.95   |      |        |          |       | 205/55 R16 | 72.64   |
|      |        |          |       | 195/45 R15 | 25.29   |      |        |          |       | 195/45 R15 | 24.92   |
|      |        |          |       | 195/55 R15 | 50.32   |      |        |          |       | 195/45 R15 | 26.03   |
|      |        |          |       | 205/55 R16 | 62.56   |      |        |          |       | 195/55 R15 | 45.59   |
| F    | 9      | 5        | 55.6  | 215/55 R16 | 78.42   | M    | 10     | 5        | 50.0  | 195/55 R16 | 62.13   |
|      |        |          |       | 195/45 R15 | 25.29   |      |        |          |       | 195/55 R16 | 62.13   |
|      |        |          |       | 195/55 R15 | 50.32   |      |        |          |       | 205/55 R16 | 72.64   |
|      |        |          |       | 205/55 R16 | 62.56   |      |        |          |       | 205/55 R16 | 72.64   |
|      |        |          |       | 215/55 R16 | 78.42   |      |        |          |       | 205/55 R16 | 72.64   |
| G    | 12     | 10       | 83.3  | 195/50 R15 | 36.44   | N    | 12     | 8        | 66.7  | 205/55 R16 | 72.64   |
|      |        |          |       | 205/55 R16 | 70.77   |      |        |          |       | 205/55 R16 | 72.64   |
|      |        |          |       | 195/45 R15 | 25.29   |      |        |          |       | 205/55 R16 | 72.64   |
|      |        |          |       | 195/55 R15 | 50.32   |      |        |          |       | 205/55 R16 | 72.64   |
|      |        |          |       | 205/55 R16 | 62.56   |      |        |          |       | 215/55ZR16 | 70.75   |
| P    | 2      | 0        | 0     | 215/55 R16 | 78.42   | O    | 12     | 8        | 66.7  | 195/55 R15 | 46.65   |
|      |        |          |       | 205/55 R16 | 70.77   |      |        |          |       | 205/55 R16 | 72.63   |
|      |        |          |       | 195/50 R15 | 36.44   |      |        |          |       | 205/55 R16 | 60.94   |
|      |        |          |       | 205/55 R16 | 70.77   |      |        |          |       | 215/55ZR16 | 70.75   |
|      |        |          |       | 205/55 R16 | 70.77   |      |        |          |       | 205/55 R16 | 72.63   |

表2 各规格轮胎达标情况

| 轮胎规格       | 轮胎组数/组 | 达标轮胎组数/组 | 达标率/% | 断面高/mm | f           |               |
|------------|--------|----------|-------|--------|-------------|---------------|
|            |        |          |       |        | 未达标轮胎       | 达标轮胎          |
| 195/45 R15 | 5      | 0        | 0     | 87.75  | 19.4~26.94  |               |
| 195/55 R15 | 15     | 0        | 0     | 107.25 | 45.59~74.67 |               |
| 195/65 R15 | 12     | 12       | 100.0 | 126.75 |             | 94.48~153.64  |
| 205/45 R16 | 7      | 1        | 14.3  | 92.25  | 28.21~40.84 | 51.78         |
| 205/55 R16 | 18     | 4        | 22.2  | 112.75 | 53.81~78.72 | 85.00~99.35   |
| 215/45 R16 | 6      | 1        | 16.7  | 96.75  | 33.02~47.95 | 55.77         |
| 215/55 R16 | 13     | 11       | 84.6  | 118.25 | 70.75~78.42 | 80.38~113.38  |
| 215/65 R16 | 11     | 11       | 100.0 | 139.75 |             | 162.70~243.22 |
| 235/45 R17 | 10     | 9        | 90.0  | 105.75 | 45.46       | 52.22~81.76   |
| 235/45 R18 | 3      | 3        | 100.0 | 105.75 |             | 65.78~79.70   |
| 235/55 R17 | 9      | 9        | 100.0 | 129.25 |             | 108.67~165.36 |
| 235/65 R17 | 12     | 12       | 100.0 | 152.75 |             | 239.1~271.34  |
| 245/45 R18 | 3      | 3        | 100.0 | 110.25 |             | 65.77~94.16   |

14.3%, 22.2%和16.7%;其他规格轮胎的达标率均较高,有6个规格轮胎的达标率为100%。轮胎达标率为0的规格和达标率很低的规格均为本系列轮胎样本规格中名义断面宽较小的,也是本系列轮胎规格中断面高较小的。

### 1.2.3 各系列轮胎达标情况

各系列轮胎达标情况如表3所示(30,35,40,50和60系列轮胎由于样本数据量较少,未做统计分析)。

从表3可以看出,45,55和65系列轮胎的达标

表3 各系列轮胎达标情况

| 系列    | 轮胎组数/组 | $f$         |     | 达标轮胎组数/组 | 达标率/% |
|-------|--------|-------------|-----|----------|-------|
|       |        | 实测值         | 标准值 |          |       |
| 30和35 | 3      | 30.0~44.0   | 30  | 2        | 66.7  |
| 40    | 4      | 39.9~56.4   | 50  | 2        | 50.0  |
| 45    | 42     | 19.4~100.6  | 50  | 20       | 47.6  |
| 50    | 5      | 36.4~95.4   | 65  | 4        | 80.0  |
| 55    | 61     | 45.6~172.1  | 80  | 30       | 49.2  |
| 60    | 5      | 100.0~173.0 | 80  | 5        | 100.0 |
| 65    | 48     | 94.5~506.4  | 80  | 48       | 100.0 |

率分别为47.6%, 49.2%和100.0%。GB/T 38528—2020中55, 60和65系列轮胎对应的 $f$ 都是80, 将这3个系列的数据合并分析, 其 $f$ 达标率为72.8%, 与标准制定的二八原则(20%未通过, 80%通过)接近。

从表3还可以看出: 55和65系列轮胎达标率呈现明显两极化特征, 55系列轮胎近半数达不到 $f$ 为80的规定, 达标率只有49.2%; 而65系列轮胎的 $f$ 远超80, 达标率为100.0%。结合55和65系列轮胎样本数量可知, 按照轮胎系列来确定 $f$ 存在一定的局限性。当然由于受本次对比试验轮胎规格范围和数量所限, 上述数据能否代表所有轮胎规格尚不确定, 但是仍然能够反映出一些问题, 现行GB/T 38528—2020按照轮胎系列(高宽比)来确定 $f$ 不够科学, 从现有数据来看, 按照轮胎断面高来确定 $f$ 更合理。

若以断面高来确定轮胎 $f$ , 如表4所示。

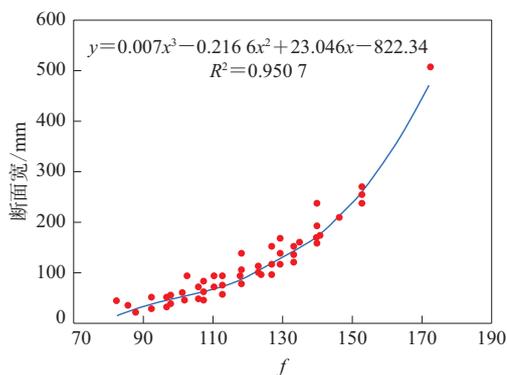
表4 以断面高来确定 $f$ 

| 断面高/mm  | $f$ | 轮胎组数/组 | 达标轮胎组数/组 | 达标率/% |
|---------|-----|--------|----------|-------|
| 80~100  | 30  | 30     | 20       | 66.7  |
| 100~110 | 50  | 31     | 24       | 77.4  |
| 110~120 | 70  | 42     | 32       | 76.2  |
| 120~130 | 100 | 27     | 22       | 81.5  |
| 130~140 | 140 | 23     | 17       | 73.9  |
| 140以上   | 240 | 15     | 12       | 80.0  |

虽然表4的 $f$ 值是基于本次对比试验数据, 按照标准制定的二八原则粗略统计出来的, 且由于试验轮胎规格和数量有限, 表4的 $f$ 值不能完全代表行业整体水平, 但是仍然能够看出按照断面高来确定 $f$ 的合理性。

图2示出了轮胎断面高与实测 $f$ 的关系曲线,  $R^2$ 为相关因数。

从图2可以看出,  $R^2=0.9507$ , 轮胎断面高与实测 $f$ 相关性显著。

图2 轮胎断面高与 $f$ 值的关系曲线

$f$ 是轮胎耐撞击性能的评价指标, 表征轮胎的耐撞击性能。轮胎断面高是影响 $f$ 的最重要因素, 建议以轮胎断面高确定 $f$ 。按断面高来确定 $f$ , 能够让用户对于轮胎耐撞击性能有更加明确和直观的认识, 断面高小的轮胎耐撞击性能相对于断面高大的轮胎有明显的不足, 用户可根据自己的需求进行取舍。在现有的技术条件下, 轮胎性能的整体评价很难通过单一性能指标进行, 但是通过建立合理的单项性能评价方法, 一方面有助于企业在整体水平上提高轮胎的综合性能, 另一方面可以帮助用户构建轮胎性能的直观认识, 帮助用户结合自身情况更加合理地选择轮胎。

## 2 实车撞击与摆锤撞击试验对比及试验数据分析

### 2.1 试验目的

摆锤撞击试验结果是否真正能满足预期需要进行实车撞击试验的验证。为进一步验证摆锤撞击试验和实车撞击试验的相关性, 将几组参与上述试验研究的轮胎分别进行这两种试验, 探究能否表现出较为一致的试验结果, 即研究两种试验结果的相关性。

实车撞击试验采用与整车厂一致的试验方法, 通过结合车辆悬挂、结构和自身质量并使用与车辆行驶方向成 $45^\circ$ 角的工装来评估轮胎的耐撞击性能。

### 2.2 实车撞击试验设备和设施

试验设备为VBOX3i-V5型速度测试系统, 撞击梁(试验工装)尺寸(长×宽×高)为1 000 mm×

100 mm×80 mm,试验车辆为高尔夫7(前轴和后轴设计载荷分别为900和860 kg),试验车轮为6 1/2J×16,7 1/2J×17和8J×18。

### 2.3 实车撞击试验条件

(1)将每条试验轮胎安装在试验车辆的右前轮位置,使用铝合金轮辋并适当地对轮胎进行预充气。

(2)按照试验场加载程序对试验车辆进行加载,直至试验车辆的前轴和后轴负荷分别达到100%和85%的设计载荷。

(3)给试验轮胎充气使充气压力达到200 kPa。

(4)试验工装布置为图3所示(方向呈45°角),以便轮胎和车轮外侧部分首先接触试验工装。

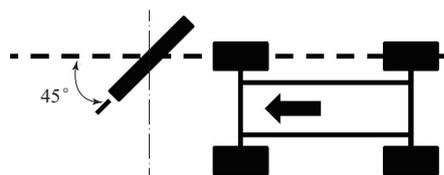


图3 试验工装方向

(5)必须确保试验道路为干地状态,没有冰雪和任何明显松散的材料如砾石或沙子。

### 2.4 实车撞击试验程序

(1)用彩色粉笔涂覆试验工装的冲击区域,以指示轮胎上的冲击位置。在试验车辆行驶并冲击试验工装前,应再次检查轮胎的充气压力,并根据要求进行调整并记录充气压力。

(2)车辆以20 km·h<sup>-1</sup>的初始速度冲击试验工装。为了高效地进行测试,初始速度可以基于轮胎断面高来调整,例如断面高大的测试轮胎可以调整为更高的初始速度,而断面高小的测试轮胎可以调整为更低的初始速度。

(3)在驾驶车辆通过路缘工装后,立即在最近允许的检查位置查看轮胎充气压力,记录并在必要时恢复到所需的充气压力;同时记录车辆实际行驶速度,检查轮胎是否损坏,例如是否存在胎侧鼓包、胎圈裂口和漏气等,并进行描述记录以及照片记录。

(4)只要轮胎没有损坏,则重复试验程序(2)

的冲击和(3)的检查,但每个速度最多只能进行2次冲击(包含第1次)。

(5)如果轮胎在试验程序(3)和(4)中未发现任何损坏,则将车速提高5 km·h<sup>-1</sup>并重复试验程序,直至轮胎损坏或车速达到60 km·h<sup>-1</sup>为止。

### 2.5 试验数据分析

共计对6个品牌、6个规格、13组轮胎(每组4条轮胎,其中2条用于实车撞击试验,2条用于摆锤撞击试验)进行实车撞击试验和摆锤撞击试验。

#### 2.5.1 实车撞击试验结果

实车撞击试验结果如表5所示。

表5 实车撞击试验结果

| 品牌 | 规格                | 轮胎编号               | 损坏时速度/(km·h <sup>-1</sup> ) | 损坏形式  |
|----|-------------------|--------------------|-----------------------------|-------|
| A1 | 225/45 R17 94W XL | 1-1                | 45(第2次)                     | 胎圈裂漏气 |
|    |                   | 1-2                | 50(第1次)                     | 胎圈裂漏气 |
| B1 | 205/55 R16 91V    | 2-1                | 60(第1次)                     | 胎圈裂   |
|    |                   | 2-2                | 50(第2次)                     | 胎圈裂   |
| C1 | 205/55 R16 91V    | 3-1                | 50(第1次)                     | 胎圈裂漏气 |
|    |                   | 3-2                | 50(第1次)                     | 胎圈裂   |
| D1 | 205/55 R16 91V    | 4-1                | 55(第2次)                     | 胎圈裂   |
|    |                   | 4-2                | 50(第1次)                     | 胎圈裂   |
|    | 215/45 R17 91V XL | 5-1                | 35(第1次)                     | 胎圈裂漏气 |
|    |                   | 5-2                | 35(第1次)                     | 胎圈裂   |
|    | 225/40 R18 92W    | 6-1                | 25(第1次)                     | 胎圈裂   |
|    |                   | 6-2                | 25(第1次)                     | 胎圈裂   |
| E1 | 205/55 R16 91W    | 7-1 <sup>1)</sup>  | 45(第2次)                     | 胎侧鼓包  |
|    |                   | 7-2                | 45(第1次)                     | 胎侧鼓包  |
|    | 225/50 R17 94V    | 8-1                | 60(第1次)                     | 胎侧鼓包  |
|    |                   | 8-2                | 60(第2次)                     | 胎侧鼓包  |
|    | 235/45 R17 97W XL | 9-1 <sup>2)</sup>  | 50(第2次)                     | 胎圈裂漏气 |
|    |                   | 9-2                | 40(第2次)                     | 胎侧鼓包  |
| F1 | 205/55 R16 91V    | 10-1 <sup>3)</sup> | 60(第1次)                     | 胎圈裂   |
|    |                   | 10-2               | 60(第1次)                     | 胎圈裂   |
|    | 225/45 R17 91W    | 11-1               | 40(第1次)                     | 胎圈裂   |
|    |                   | 11-2               | 40(第1次)                     | 胎圈裂   |
|    | 215/45 R17 91Y    | 12-1               | 35(第1次)                     | 胎圈裂漏气 |
|    |                   | 12-2               | 30(第1次)                     | 胎圈裂   |
|    | 225/50 R17 98W    | 13-1               | 60(第2次)                     | 胎圈裂   |
|    |                   | 13-2               | 通过                          |       |

注:1)45 km·h<sup>-1</sup>第1次撞击,有裂口,裂口宽度为2 mm左右;2)50 km·h<sup>-1</sup>第1次撞击,胎侧有鼓包现象,但不明显;3)55 km·h<sup>-1</sup>第1次撞击,胎圈处有鼓包现象,但不明显。

#### 2.5.2 实车撞击与摆锤撞击试验结果相关性

摆锤撞击试验按照GB/T 38528—2020进行,根据轮胎出现1 mm鼓包的 $E_{bu}$ ,代入公式计算出 $f$ 。表6列出了轮胎 $f$ 与实车撞击试验中轮胎损坏时速

表6 实车撞击与摆锤撞击试验结果对比

| 品牌 | 规格             | $E_{bu}/J$ | 断面高/mm | $f$   |     |                                           |
|----|----------------|------------|--------|-------|-----|-------------------------------------------|
|    |                |            |        | 实测值   | 标准值 | 损坏时速度/( $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ ) |
| D1 | 225/40R18 92W  | 717        | 90.00  | 33.33 | 50  | 25                                        |
| D1 | 225/40R18 92W  | 717        | 90.00  | 33.33 | 50  | 25                                        |
| D1 | 215/45R17 91V  | 690        | 96.75  | 38.13 | 50  | 35                                        |
| D1 | 215/45R17 91V  | 690        | 96.75  | 38.13 | 50  | 35                                        |
| F1 | 215/45ZR17 91Y | 945        | 96.75  | 52.22 | 50  | 35                                        |
| F1 | 215/45ZR17 91Y | 945        | 96.75  | 52.22 | 50  | 30                                        |
| E1 | 205/55R16 91W  | 659        | 112.75 | 53.95 | 80  | 45                                        |
| E1 | 205/55R16 91W  | 659        | 112.75 | 53.95 | 80  | 45                                        |
| C1 | 205/55R16 91V  | 664        | 112.75 | 54.36 | 80  | 50                                        |
| C1 | 205/55R16 91V  | 664        | 112.75 | 54.36 | 80  | 50                                        |
| F1 | 225/45R17 91W  | 982        | 101.25 | 61.67 | 50  | 40                                        |
| F1 | 225/45R17 91W  | 982        | 101.25 | 61.67 | 50  | 40                                        |
| A1 | 225/45R17 94W  | 1 001      | 101.25 | 63.57 | 50  | 45                                        |
| A1 | 225/45R17 94W  | 1 001      | 101.25 | 63.57 | 50  | 50                                        |
| E1 | 235/45R17 97W  | 919        | 105.75 | 63.85 | 50  | 50                                        |
| E1 | 235/45R17 97W  | 919        | 105.75 | 63.85 | 50  | 40                                        |
| B1 | 205/55R16 91V  | 889        | 112.75 | 72.79 | 80  | 60                                        |
| B1 | 205/55R16 91V  | 889        | 112.75 | 72.79 | 80  | 50                                        |
| D1 | 205/55R16 91V  | 963        | 112.75 | 78.84 | 80  | 55                                        |
| D1 | 205/55R16 91V  | 963        | 112.75 | 78.84 | 80  | 50                                        |
| E1 | 225/50R17 94V  | 1 020      | 112.50 | 83.57 | 65  | 60                                        |
| E1 | 225/50R17 94V  | 1 020      | 112.50 | 83.57 | 65  | 60                                        |
| F1 | 205/55R16 91V  | 1 038      | 112.75 | 84.98 | 80  | 60                                        |
| F1 | 205/55R16 91V  | 1 038      | 112.75 | 84.98 | 80  | 60                                        |
| F1 | 225/50R17 98W  | 1 113      | 112.50 | 87.46 | 65  | 60                                        |
| F1 | 225/50R17 98W  | 1 113      | 112.50 | 87.46 | 65  | —                                         |

度的对应关系。

以实测 $f$ 为横坐标,以实车撞击试验中轮胎损坏时速度为纵坐标,得到两者相关性的关系曲线如图4所示。

从图4可以看出,轮胎 $f$ 与实车撞击试验中轮胎损坏时速度呈线性关系, $R^2=0.7978$ 。

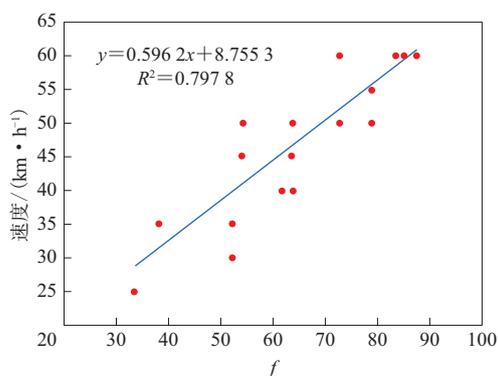


图4  $f$ 与轮胎损坏时速度的关系曲线

由上述分析可知,对于同一辆车,同样的实车载荷,室内摆锤撞击试验得到的 $f$ 与实车撞击试验中轮胎损坏时速度之间存在一定的相关性,可以采用摆锤撞击试验方法评价轮胎的耐撞击性能。

### 3 结论

耐撞击性能是轮胎的重要性能之一,表征轮胎在行驶时的抗冲击能力。本工作旨在加深对轮胎耐撞击性能试验的认知,探讨轮胎耐撞击性能的主要影响因素,为轿车轮胎耐撞击性能评价方法的完善提供有价值的的数据。

(1)本次研究汇总并分析了市场上16个品牌、8个系列、167组、共334条轿车轮胎的摆锤撞击试验数据,试验所选轮胎均为符合GB 9743—2015要求的全新轿车轮胎,轮胎的断面宽为195~275 mm,高宽比为30~65,试验测得 $E_{bu}$ 范围为432~

1 723 J,  $f$  范围为 19.40~271.34, 将各组轮胎的  $f$  值与 GB/T 38528—2020 中  $f$  限值进行对比, 得出本次试验轮胎的耐撞击性能总体达标率为 66.1%。

(2) 按照轮胎系列(高宽比)来确定  $f$  不够科学; 轮胎的断面高是轮胎耐撞击性能最重要影响因素, 建议尽快修订 GB/T 38528—2020, 以轮胎断面高确定轮胎  $f$  值, 从而对轮胎耐撞击性能进行科学合理评价, 促进我国轮胎产品耐撞击性能的提升。

(3) 实车撞击与摆锤撞击试验结果相关性研究表明, 本次试验条件下, 对于同一辆车, 同样的实车载荷, 摆锤撞击试验得到的  $f$  与实车撞击试验轮胎损坏时的速度之间存在一定的相关性, 可以采用摆锤撞击试验方法评价轮胎的耐撞击性能。

#### 参考文献:

- [1] 徐志坚, 张心光, 刘宁宁. 汽车保有量的预测建模[J]. 上海工程技术大学学报, 2016, 30(3): 191-194.  
 [2] 陈秀娟. 全国汽车保有量达 2.81 亿辆[J]. 汽车观察, 2021(1): 7.  
 [3] 俞杰, 李素华. 基于“互联网+”的汽车养护网点服务体系[J]. 汽车实用技术, 2022, 47(11): 158-162.

- [4] 赵玺龙. 浅析新能源汽车发展现状与问题[J]. 技术与市场, 2021, 28(7): 88-89.  
 [5] 姚宝光. 普利司通轮胎开裂投诉量暴增[J]. 产品可靠性报告, 2016(6): 28-29.  
 [6] 佚名. 轮胎起包成上半年汽车投诉重点[J]. 橡塑机械时代, 2014(9): 19.  
 [7] 李果, 黎新福. 简析汽车轮胎鼓包故障[J]. 装备制造技术, 2013(9): 51-53.  
 [8] 张伟旗. 汽车轮胎常见故障分析及失效检查处理[J]. 汽车零部件, 2016(10): 83-86.  
 [9] 丁家翔, 程鹏, 陶亚诚. 子午线轮胎鼓包问题的研究[J]. 轮胎工业, 2011, 31(10): 585-588.  
 [10] 沈伟. 轮胎质量一致性的管控[J]. 轮胎工业, 2021, 41(10): 645-650.  
 [11] 贾永辉. 浅析轮胎鼓包产生原因及预防措施[J]. 装备制造技术, 2015(9): 170-172, 177.  
 [12] 佚名. 《汽车轮胎耐撞击性能评价方法》将有国家标准[J]. 中国橡胶, 2017, 33(10): 30.  
 [13] 田曼. 解读《轿车轮胎耐撞击性能评价》标准[J]. 产品安全与召回, 2020(2): 68-71.  
 [14] 周晓琴, 金汉杰, 王琰, 等. 基于摆锤冲击试验的轮胎耐撞击性能研究[J]. 橡胶工业, 2020, 67(12): 939-941.  
 [15] 金汉杰, 肖凌云, 王琰, 等. 胎体结构对轮胎耐撞击性能的影响研究[J]. 橡胶工业, 2022, 69(9): 709-713.

收稿日期: 2023-03-05

## Research on Impact Resistance Test of Passenger Car Tire

LI Hongwei, SUN Bingguang, ZHOU Kuiwu, CAO Tiejian, LIU Yuchen

(Beijing Rubber Industry Research and Design Institute Co., Ltd, Beijing 100143, China)

**Abstract:** The impact resistance test of passenger car tires was studied, the main influencing factors were discussed, and a large amount of valuable data for the improvement of evaluation methods for the impact resistance of passenger car tires was obtained. According to the provisions of GB/T 38528—2020 on the impact resistance factor ( $f$ ) of tires, the overall compliance rate of the impact resistance of tires participating in the pendulum impact test was only 66.1%, which indicated that the determination of  $f$  based on the tire series (aspect ratio) was not accurate or reliable. It was found that the cross-section height was the most important factor affecting the impact resistance, and thus it was recommended to determine the  $f$  value based on the cross-section height. The research results showed that there was a certain correlation between the  $f$  value obtained from indoor pendulum impact test and the speed at which the tire was damaged during the real vehicle impact test. Therefore, the pendulum impact test method could be used to evaluate the tire's impact resistance.

**Key words:** passenger car tire; impact resistance; pendulum impact test; real vehicle impact test