

# 轿车轮胎耐撞击性能试验影响因素研究

徐任春, 杨通, 吕剑, 张文清, 吴健, 俞旻

(中策橡胶集团股份有限公司, 浙江 杭州 310018)

**摘要:** 基于现行双胎法轮胎耐撞击性能标准试验方法, 研究轿车轮胎摆锤法耐撞击性能试验影响因素。结果表明: 轮胎个体的耐撞击性能测试结果存在一定的差异, 鼓包破坏能平均差为62.9 J; 轮胎不同位置及累积撞击造成的鼓包破坏能测试结果平均差为37.1 J; 轮胎充气压力越大, 耐撞击性能越好, 但不同轮胎的耐撞击性能随充气压力变化的趋势不同; 轮胎与摆锤的撞击外倾角越大, 轮胎越容易鼓包; 悬挂摆锤接触轮胎与接触轮辋的耐撞击性能测试结果没有显著差异, 但摆锤中心对胎肩与对胎面中心测试结果差异显著。

**关键词:** 轿车轮胎; 耐撞击性能; 双胎法; 摆锤法; 充气压力; 撞击外倾角; 接触点; 鼓包破坏能

**中图分类号:** U463.341<sup>+</sup>.4; TQ330.7

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1006-8171(2023)05-0309-04

**DOI:** 10.12135/j.issn.1006-8171.2023.05.0309



OSID开放科学标识码  
(扫码与作者交流)

轮胎鼓包问题涉及行车安全, 近年来一直占据轮胎质量问题投诉榜前3位。轮胎鼓包的产生原因一部分是制造过程中帘线稀疏或搭接不到位, 这种类型的鼓包分布在轮胎两侧<sup>[1-2]</sup>, 目前轮胎企业通过胎侧凹凸度检测并对其进行管控<sup>[3]</sup>。但造成轮胎鼓包更主要的原因是在使用过程中轮胎受到过大冲击导致帘线断裂, 这种类型的鼓包主要分布在轮胎一侧, 通常由驾驶者或轮胎本身的耐撞击性能问题造成。当下轿车轮胎的发展方向是利用扁平化、轻量化来提升操控性和降低滚动阻力<sup>[4-5]</sup>, 却忽略了轮胎基本安全性能中的耐撞击性能。

轮胎耐撞击性能的试验方法主要包括实车法的深坑法和路牙石法, 室内法的摆锤法和楔块法以及仿真分析方法<sup>[6]</sup>。汽车企业对轮胎耐撞击性能的要求通常建立在实车法的测试结果上, 而轮胎企业通常基于室内耐撞击性能做方案初选。相对于室外法, 室内法最大的优势在于测试结果的重复性较高, 相对于楔块法, 摆锤法更接近实际轮胎遭受撞击的过程。摆锤法耐撞击试验设备最早来源于SAE J 1981—2005。国内于2011年开始轮胎耐撞击性能试验设备的研究, 并先后发布了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》,

并根据不同名义高宽比对轮胎耐撞击因子做出限值要求。

由于轮胎制造的特殊性, 很难保证轮胎质量的一致性, 因此摆锤法耐撞击性能试验一般以双胎法测试结果为准。本工作主要以双胎法轮胎耐撞击性能试验数据为基准, 对双胎法进行升级, 以适用于多工况耐撞击性能试验, 并探讨双胎法耐撞击性能试验在不同试验条件下的灵敏度。

## 1 实验

### 1.1 双胎法测试

(1) 将轮胎充气压力调整至200 kPa, 撞击外倾角调至6°, 并确保摆锤自由悬挂时摆锤中心正好接触轮胎胎肩。

(2) 选择第1条轮胎上的一点进行撞击, 若轮胎未鼓包则递增10°撞击角度进行撞击, 直至该点出现鼓包现象(出现裂口但未漏气视为鼓包, 轮胎漏气则停止试验, 下同), 记录轮胎出现鼓包时的破坏能为 $E_0$ 。

(3) 将轮胎旋转30°, 以首点出现鼓包时的撞击角度减去10°进行撞击, 若轮胎未鼓包则将轮胎旋转30°并递增5°撞击角度进行撞击, 直至轮胎再次出现鼓包, 记录此时的鼓包破坏能为 $E_1$ 。

(4) 更换第2条轮胎, 选择轮胎上的一点以第1条轮胎首点出现鼓包时的撞击角度减去10°进行撞击, 若轮胎未鼓包则将轮胎旋转30°以及递增5°撞

**作者简介:** 徐任春(1988—), 男, 浙江衢州人, 中策橡胶集团股份有限公司工程师, 硕士, 主要从事轮胎性能测试研究工作。

**E-mail:** xurench@163.com

击角度进行撞击,直至轮胎出现鼓包,记录此时的鼓包破坏能为 $E_2$ 。

## 1.2 多工况灵敏度试验

鉴于轮胎不同位置及累积撞击造成的测试结果的差异小于轮胎个体之间的差异,因此摆锤法撞击试验条件灵敏度试验在1条轮胎上进行。以原撞击角度递增 $5^\circ$ 的方式试验,若递增量过大,造成试验误差较大;但递增量过小,试验量会大幅增加。因此,采用1条轮胎多工况粗略摸底测试,另1条轮胎多工况精细测试,称之为升级双胎法。具体测试方法为:将两条轮胎均按照对比试验条件数量进行等分,调整好充气压力和撞击外倾角,并确认摆锤自由悬挂时摆锤中心接触位置。轮胎上的每个等分点对应一个试验工况,第1条轮胎上的每个等分点均以递增120 J撞击能的方式进行撞击,记录每个工况出现鼓包时的破坏能为 $E_0'$ ;然后以 $E_0' - 120$  J的初始撞击能对第2条轮胎相对应的工况进行撞击,未鼓包则递增40 J或20 J(第3次起递增均为20 J),记录该条轮胎每个工况出现鼓包时的破坏能为 $E_2'$ 。试验以第2条轮胎的鼓包破坏能作为对比。

抽取4个规格轮胎,235/55R19、215/55R18、195/55R16 A品牌,195/55R16 B品牌,采用升级双胎法分别进行5个充气压力工况(300,250,220,200和180 kPa)、5个撞击外倾角工况( $6^\circ, 8^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$ )和4种摆锤自由悬挂摆锤中心接触位置的3项对比试验条件灵敏度试验。

## 2 结果与讨论

### 2.1 双胎法测试结果

#### 2.1.1 轮胎个体耐撞击性能差异

收集国内外品牌轮胎双胎法耐撞击性能测试数据,共计210组。对比 $E_1$ 和 $E_2$ 以及对应的鼓包角度,差异分布情况如表1所示。

由表1可见:鼓包时撞击角度差异基本能够控制在 $0^\circ \sim 10^\circ$ 范围内,平均撞击角度差异约为 $3.8^\circ$ ;鼓包破坏能差异基本控制在200 J以内,平均鼓包破坏能差异为62.9 J。若以不超过一次撞击角度细分递增量( $5^\circ$ )的鼓包破坏能差异作为轮胎个体之间是否存在明显耐撞击性能差异的判定条件,则所收集的数据中轮胎个体之间存在明显耐撞击性

表1 轮胎个体耐撞击性能差异分布情况

撞击角度差异/ $^\circ$	平均鼓包破坏能差异/J	轮胎条数	占比/%
0	0	91	43.33
5	85.3	80	38.10
10	156.3	37	17.62
15	297.0	2	0.95

能差异(撞击角度差异 $5^\circ$ 以上)的比例为18.57%。

#### 2.1.2 轮胎不同位置及累积撞击造成的耐撞击性能差异

对比210组数据中第1条轮胎出现鼓包时的 $E_0$ 和 $E_1$ 以及对应的产生鼓包的撞击角度,除去首点漏气无法统计 $E_1$ 的19组数据,样本总量为191组,其差异分布情况如表2所示。

表2 轮胎不同位置及累积撞击造成的耐撞击性能差异分布情况

撞击角度差异/ $^\circ$	平均鼓包破坏能差异/J	轮胎条数	占比/%
0	0	121	63.35
5	91.5	50	26.18
10	159.0	19	9.95
15	202.4	1	0.52

由表2可见, $E_0$ 和 $E_1$ 的差异主要来自轮胎不同位置之间的差异以及单点累积撞击和单点单次撞击之间的差异,撞击角度差异平均值为 $2.2^\circ$ ,鼓包破坏能差异平均值为37.1 J,差异分布范围与轮胎个体差异相同,但差异均值小于轮胎个体造成的差异。同样以不超过一次细分撞击角度递增量( $5^\circ$ )的鼓包破坏能差异作为轮胎不同位置之间是否存在明显耐撞击性能差异的判定条件,则轮胎不同位置及累积撞击方式造成测试结果明显差异的比例为 $9.95\% + 0.52\% = 10.47\%$ ,该比例也低于轮胎个体存在明显差异的比例。

### 2.2 多工况灵敏度

#### 2.2.1 充气压力灵敏度试验数据分析

不同充气压力试验所得第2条轮胎的鼓包破坏能如图1所示。

从图1可以看出,充气压力越大,鼓包破坏能越大,充气压力与鼓包破坏能之间具有明显的线性相关性,拟合优度可达0.98以上。4组轮胎的 $E_2'/$ 充气压力的变化率在 $2.2 \sim 2.6 \text{ J} \cdot \text{kPa}^{-1}$ 范围内,该变化率与轮胎规格以及轮胎刚度有关。由于轮胎不同位置以及累积撞击方式造成的鼓包破坏能

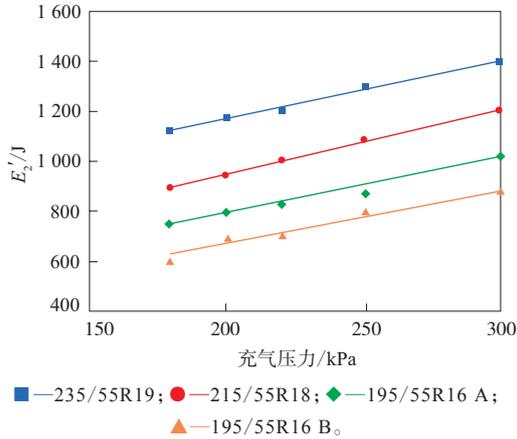


图1 不同轮胎充气压力下鼓包破坏能对比

差异均值约为37.1 J,因此两个充气压力工况差需要超过15 kPa,才能有明显的耐撞击性能测试结果差异。如果不同工况测试在不同轮胎个体之间进行,则两个工况充气压力差需要超过25 kPa,才能有明显的耐撞击性能测试结果差异。

2.2.2 撞击外倾角灵敏度试验数据分析

试验过程中发现,大撞击外倾角(20°及以上)条件下,第1条轮胎的撞击能递增幅度为120 J时,轮胎很容易跳过出现鼓包或轻微裂口现象,直接出现漏气现象,无法有效进行后续试验。因此撞击能递增幅度均调整为20 J,其他条件不变。4组轮胎试验结果如图2所示。

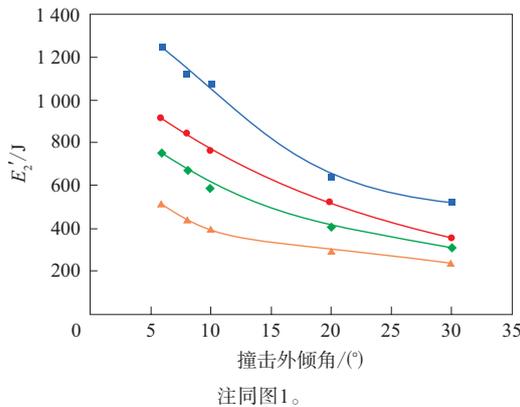


图2 不同撞击外倾角鼓包破坏能对比

从图2可以看出,2°的撞击外倾角差异对试验结果有较大影响,随着撞击外倾角的增大,鼓包破坏能减小,鼓包破坏能随撞击外倾角的变化率和不同规格轮胎之间的鼓包破坏能差异也减小。

2.2.3 自由悬挂摆锤接触和对点方式

摆锤自由悬挂时,摆锤法撞击鼓包试验主要

有两种接触方式,摆锤接触轮胎和接触轮辋,两种对点方式为摆锤中心对胎面中心和胎肩位置。

其他测试条件相同,不同摆锤接触和对点方式轮胎的鼓包破坏能如表3所示。

表3 不同接触和对点方式轮胎的鼓包破坏能 J

项 目	摆锤接触轮胎		摆锤接触轮辋	
	摆锤中心对胎面中心	摆锤中心对胎肩	摆锤中心对轮辋中心	摆锤中心对胎肩
235/55R19	1 320	1 200	1 340	1 200
215/55R18	1 100	940	1 080	960
195/55R16 A	780	720	820	740
195/55R16 B	620	540	620	560
平均值	955	850	965	865

由表3可以看出,摆锤中心对胎肩的撞击方式均比摆锤中心对胎面中心更容易使轮胎损坏,鼓包破坏能减小60~160 J,平均减小100 J左右,大于轮胎不同位置造成的鼓包破坏能平均差。这是因为相同撞击能下,摆锤中心对胎肩方式的撞击过程中摆锤与轮胎的接触面积较小,变形量较大。

从表3还可以看出,自由悬挂摆锤接触轮胎的形式更易使轮胎损坏。对于这两种接触方式(见图3),摆锤均先接触轮胎,最后接触轮辋(极限位置),由于摆杆旋转半径(L)远大于轮胎断面高(H),摆锤对轮胎的最大做功行程约等于H。因此两种接触方式,从接触轮胎到接触轮辋的高度差(h1)≈L-Lcos(H/L)。

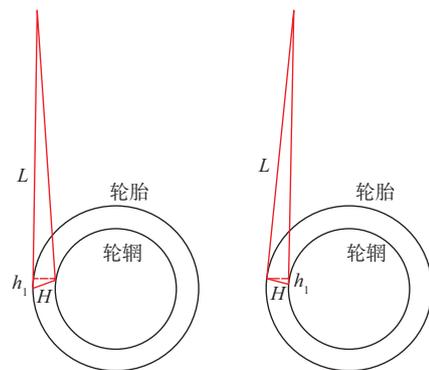


图3 轮胎撞击过程高度差示意

由于轮胎胎侧与胎圈位置存在一定的厚度(hd),造成撞击时摆锤因不能完全接触到轮辋而产生一定的高度差(h2),h2≈L-Lcos(hd/L)。设m为撞击质量,摆锤撞击轮胎过程中,对于摆锤自由悬挂接触轮胎的方式,摆锤提供动能的变化过程为E0至E0-mgh1+mgh2;而对于接触轮辋的方式则为

$E_0 - mgh_1$ 至 $E_0 - mgh_2$ 。

可以发现在相同撞击能条件下,接触轮胎的方式摆锤提供的动能水平略高于接触轮辋的方式,因此原则上接触轮胎的方式撞击轮胎更容易使轮胎发生鼓包。

GB/T 30195—2013规定的设备 $L$ 为1 835 cm, $m$ 为60 kg,对于大多数轿车轮胎 $H$ 不超过20 cm,则 $mgh_1$ 不超过7 J, $mgh_2$ 更小,远小于轮胎在不同位置及累积撞击造成的差异,因此摆锤法撞击试验没有足够的灵敏度区分两种摆锤自由悬挂接触方式,可认为两种接触方式基本等效。

### 3 结论

(1) 轮胎个体的耐撞击性能测试结果存在一定的差异,鼓包破坏能差主要分布在0~200 J,平均差约为62.9 J。存在明显耐撞击性能差异的轮胎占比为18.57%。

(2) 轮胎不同位置和累积撞击造成的鼓包破坏能测试结果差主要分布在0~200 J,平均差约为37.1 J。存在明显耐撞击性能差异的轮胎占比为10.47%,轮胎个体差异较小。

(3) 轮胎充气压力越大,耐撞击性能越好,但不同轮胎的耐撞击性能随充气压力变化的趋势不一致。升级双胎法理论上可以区分轮胎充气压力

差最小为15 kPa时的耐撞击性能差异。

(4) 在撞击外倾角 $6^\circ \sim 30^\circ$ 范围内,轮胎与摆锤的撞击外倾角越大,轮胎越容易鼓包,且大撞击外倾角下轮胎易跳过鼓包阶段而直接呈现漏气现象。 $2^\circ$ 及以上的撞击外倾角差异对耐撞击性能试验结果有显著差异,且外倾角越小,不同规格轮胎之间的耐撞击性能差异越大。

(5) 悬挂摆锤接触轮胎和接触轮辋两种方式对轮胎耐撞击性能试验结果没有显著差异,但对于摆锤中心对胎肩和对胎面中心两种方式,试验结果有显著差异。

### 参考文献:

- [1] 刘植榕,汤华远,郑亚丽. 橡胶工业手册(修订版) 第八分册 试验方法[M]. 北京:化学工业出版社,1989.
- [2] 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.
- [3] 陈振喜. 轮胎外形轮廓检测方法的研究[D]. 青岛:青岛科技大学, 2010.
- [4] 于清溪,郑玉胜. 轮胎工业的技术进步(上)[J]. 橡塑技术与装备, 2008(11):6-15.
- [5] 乔奉亮,康玉霞,沈照杰. 子午线轮胎扁平率与接地特性的关系[J]. 橡胶工业,2021,68(12):895-903.
- [6] 王志平,裴权华. 全钢子午线轮胎胎圈鼓包机理的有限元分析[J]. 轮胎工业,2019,39(8):463-466.

收稿日期:2022-12-29

## Study on Influencing Factors of Impact Resistance Test of Passenger Car Tire

XU Renchun, YANG Tong, LYU Jian, ZHANG Wenqing, WU Jian, YU Min

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

**Abstract:** Based on the current twin-tire impact resistance test standard method, the influencing factors of the impact resistance test of passenger car tires by pendulum method were studied. The results showed that there was some difference in the impact resistance test results of individual tires, and the average difference of bulge destructive energy was 62.9 J. The average difference of the test results of bulge destructive energy caused by different tire positions and cumulative impact was 37.1 J. The higher the inflation pressure of the tire was, the better the impact resistance was, but the change trend of impact resistance with the inflation pressure of different tires was different. The greater the impact camber angle between the tire and the pendulum was, the easier the tire was to bulge. There was no significant difference between the test result from the impact on the tire and the result from the impact on the rim. However, the test result obtained by centering the pendulum towards tire shoulder was significantly different from that by centering the pendulum towards tire tread.

**Key words:** passenger car tire; impact resistance; twin tire method; pendulum method; inflation pressure; impact camber angle; contact point; bulge destructive energy