

# 不同老化条件对轮胎耐久性能及损坏形式的影响

崔晓,于子涵,林子云,孙佳佳,聂本梁,周鹏程,董凌波\*

(三角轮胎股份有限公司,山东威海 264200)

**摘要:**研究氮氧老化、热氧老化和臭氧老化3种老化条件对轮胎耐久性能及损坏形式的影响。结果表明:热氧老化后轮胎耐久性能明显下降,氮氧老化后轮胎耐久性能略有下降,臭氧老化后轮胎耐久性能变化不大;氮氧老化和热氧老化后轮胎耐久损坏形式均为胎侧鼓包脱层,其中热氧老化后轮胎损坏更严重,而臭氧老化后轮胎耐久损坏形式为胎肩出现裂口;氮氧老化和热氧老化后剖析胎面胶的硬度和定伸应力增大,拉断伸长率减小,生热变化不大;臭氧老化对剖析胎面胶性能的影响不大。

**关键词:**氮氧老化;热氧老化;臭氧老化;轮胎;耐久性能;损坏形式;胎面胶;动态力学性能

**中图分类号:** TQ336.1

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1006-8171(2023)07-0441-04

**DOI:** 10.12135/j.issn.1006-8171.2023.07.0441



OSID 开放科学标识码  
(扫码与作者交流)

轮胎作为车辆与地面接触的唯一部件,其安全性对汽车的行驶安全起着关键作用。每年发生的交通事故不乏由于轮胎失效导致的。引起轮胎失效的原因有很多,如充气压力过大或不足、车辆超载、轮胎耐老化性能下降等,其中轮胎老化是影响轮胎安全耐久性能的一项重要因素。轮胎老化主要是轮胎内部橡胶组分受热、氧气、臭氧等外部因素综合作用的结果,在轮胎行驶过程中橡胶组分老化后发生热氧降解,导致轮胎的物理性能下降,造成不同形式的轮胎损坏,从而使耐久性能降低<sup>[1-2]</sup>。

本工作研究不同老化条件对轮胎耐久性能及损坏形式的影响,以便提供一种快速对比轮胎性能的有效评价测试方法,为分析改善市场反馈的轮胎损坏问题提供理论研究数据及改进建议。

## 1 实验

### 1.1 试验样品

我公司生产的245/70R19.5 16PR TR685轮胎,技术参数为:负荷指数 135/133,速度级别 L。

### 1.2 试验设备和仪器

Instron 3367型电子拉力试验机,美国英斯特

**作者简介:**崔晓(1982—),女,山东威海人,三角轮胎股份有限公司高级工程师,硕士,主要从事全钢轮胎配方设计开发工作。

\*通信联系人(donglingbo@triangle.com.cn)

朗公司产品;WORLDEK-TS1200型轮胎氮氧老化试验机,江苏昆山创研科技有限公司产品;Dyna OX-01型动态臭氧老化试验箱,江苏昆山弘达仪器股份有限公司产品;TJR-2-TB(Y)型轮胎高速耐久试验机,天津赛象科技股份有限公司产品;氧含量测定仪(氮气/氧气混合气体,氧气体积分数为0.5),深圳鹏雷科技有限公司产品;高力值动态粘弹性分析(DMA)仪,德国GABO公司产品。

### 1.3 试验条件

(1)氮氧老化。将轮胎装在试验轮辋上,用体积比为50:50的氮气/氧气混合气体按照标准充气压力(830 kPa)充入轮胎内部,测试温度为65℃,静置于氮氧老化试验机中,测试1个月,每周测量并补充充气压力。

(2)热氧老化。将轮胎装在试验轮辋上,静置于氮氧老化试验机中1个月,温度设定为65℃,用纯氧气充气至标准充气压力(830 kPa)。

(3)臭氧老化。将轮胎装在试验轮辋上,正常充入空气,静置于臭氧老化试验箱中行驶48 h,温度设定为40℃,试验负荷率为100%,试验速度为8 km·h<sup>-1</sup>,臭氧体积分数为500×10<sup>-8</sup>。

### 1.4 试样制备

氮氧老化、热氧老化和臭氧老化前后轮胎胎面剖析试样:从胎面纵向花纹块周向取样,避开花纹沟,根据GB/T 528—2009制备哑铃状试样。

## 1.5 测试分析

(1) 轮胎耐久性能。分别对氮氧老化、热氧老化和臭氧老化前后的轮胎按照国家标准进行室内耐久性试验。

(2) 剖析胎面胶物理性能。按照相应的国家标准进行测试。

(3) 剖析胎面胶动态力学性能。采用DMA仪进行测试,测试条件为:静态变形 10%,动态变形 5%,频率 10 Hz,温度范围 30~80 °C。

## 2 结果与讨论

### 2.1 氮氧老化对轮胎耐久性能及损坏形式的影响

氮氧老化前后轮胎的耐久性试验结果见表1。

表1 氮氧老化前后轮胎的耐久性试验结果

项 目	老化前	老化后
胎冠耐久时间/h	91.15	81.78
损坏形式	胎面龟裂	胎侧鼓包脱层

从表1可以看出,与老化前轮胎相比,氮氧老化后轮胎的耐久性能下降。分析认为,由于轮胎填充气体氮气与氧气的体积比为1:1,氮气的渗透率比氧气低,在一定程度上提高了保气性,降低了纯氧气对轮胎内部部件的老化降解程度。老化前轮胎的耐久损坏形式为常见的胎面龟裂,氮氧老化后胎侧出现鼓包脱层,高温地区市场退赔经常出现异常的鼓包脱层现象,因此氮氧老化试验可作为加速退赔轮胎优化改善试验的评价方法。

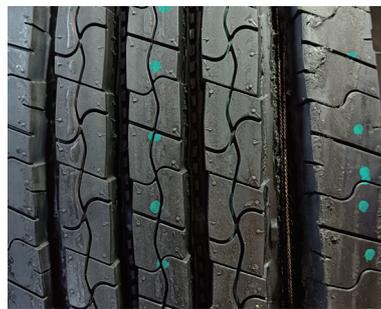
氮氧老化前后轮胎耐久损坏形式如图1所示。

从图1可以看出,氮氧老化后轮胎胎侧出现鼓包,胎体表面钢丝裸露,覆胶率几乎为零,胎侧与胎体之间直接脱层。分析认为,由于氮氧老化试验轮胎内腔充入50%体积分数的氧气,填充气体向轮胎内部扩散<sup>[1]</sup>,且在65 °C高温环境下,轮胎内部充气压力升高,加剧内部化合物氧化,轮胎的物理性能下降,胎侧与胎体粘合层之间的粘合性变差,在轮胎行驶过程中,由于受到反复机械形变,轮胎生热增加,最终导致胎侧鼓包脱层<sup>[3]</sup>。

### 2.2 热氧老化对轮胎耐久性能及损坏形式的影响

热氧老化前后轮胎的耐久性试验结果见表2。

从表2可以看出:与老化前轮胎相比,热氧老化后轮胎的耐久性能明显下降;轮胎损坏形式明



(a) 氮氧老化前



(b) 氮氧老化后

图1 氮氧老化前后轮胎耐久损坏形式

表2 热氧老化前后轮胎的耐久性试验结果

项 目	老化前	老化后
胎冠耐久时间/h	90.25	64.28
损坏形式	胎面龟裂	胎侧脱层龟裂

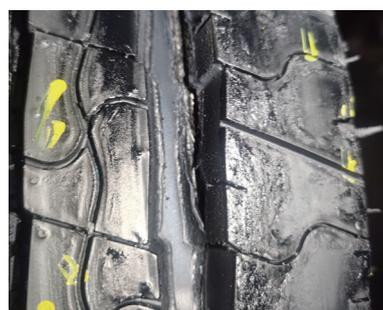
显不同,老化前轮胎耐久损坏形式为常见的胎面龟裂,热氧老化后轮胎损坏形式为胎体与胎侧层与层之间的脱层龟裂,其损坏比氮氧老化更严重。分析认为,由于轮胎内部全部填充氧气,氧气渗透至轮胎内部,加速了橡胶组分热氧老化降解,导致轮胎粘合层之间几乎失去粘合性,受力疲劳生热造成胎侧脱层。因此热氧老化试验也可作为加速退赔轮胎优化改善试验的评价方法。

热氧老化前后轮胎耐久损坏形式如图2所示。

从图2可以看出,热氧老化后轮胎胎侧整圈与胎体出现层间剥离,钢丝全部裸露,比氮氧老化后损坏更严重。分析认为,由于热氧老化试验轮胎内腔充入纯氧气,在高温环境下,氧气向内部急剧扩散,轮胎内部橡胶热氧化后降解严重,胶料的物理性能急剧下降,胎侧与胎体层间的粘合性变差,轮胎累积受热后最终导致胎侧脱层。

### 2.3 臭氧老化对轮胎耐久性能及损坏形式的影响

臭氧老化前后轮胎的耐久性试验结果见表3。



(a) 热氧老化前



(b) 热氧老化后

图2 热氧老化前后轮胎耐久损坏形式

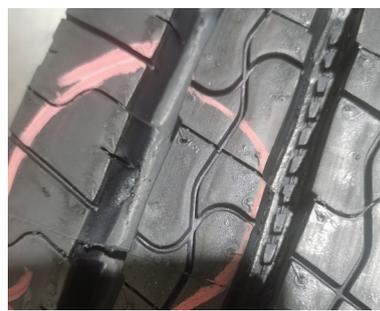
表3 臭氧老化前后轮胎的耐久性试验结果

项 目	老化前	老化后
胎冠耐久时间/h	85.15	81.23
损坏形式	胎面龟裂	胎肩鼓包裂口

从表3可以看出,与老化前轮胎相比,臭氧老化后的轮胎耐久性能变化不明显,损坏形式为胎肩应力集中部位的裂口损坏。分析认为,由于橡胶在应力应变的状态下才会受臭氧攻击发生龟裂,而臭氧测试条件为标准负荷,速度低,主要受力部位为胎侧及胎圈,出现了微小裂纹,在轮胎耐久性试验过程中,速度高,轮胎滚动过程中肩部带束层端点是应力集中点,累积热效应最大,极易出现损坏,胎圈部位小裂纹变化不足以影响轮胎整体耐久性能,这与氧气渗透至轮胎内部引起的热氧老化损坏形式不同<sup>[4]</sup>。

臭氧老化前后轮胎耐久损坏形式如图3所示。

从图3可以看出,臭氧老化后轮胎损坏形式为胎肩鼓包裂口,与老化前损坏形式相似,均为轮胎带束层端点应力集中点累积受热发生损坏,与氧气扩散至轮胎内部引起的损坏形式明显不同。



(a) 臭氧老化前



(b) 臭氧老化后

图3 臭氧老化前后轮胎耐久损坏形式

## 2.4 剖析胎面胶的物理性能和动态力学性能

### 2.4.1 物理性能

剖析胎面胶的物理性能见表4。

表4 剖析胎面胶的物理性能

项 目	老化前	氮氧老化后	热氧老化后	臭氧老化后
邵尔A型硬度/度	61	64	63	61
100%定伸应力/MPa	2.5	3.1	3.0	2.6
300%定伸应力/MPa	12.1	13.5	13.6	12.3
拉伸强度/MPa	23.9	23.1	23.0	23.7
拉断伸长率/%	520	487	490	516

从表4可以看出,与老化前剖析胎面胶相比,氮氧老化后剖析胎面胶的硬度显著增大,100%定伸应力和300%定伸应力提高,拉伸强度和拉断伸长率下降。分析认为,由于轮胎受热诱导产生化学自由基,自由基与氧气发生反应,氧气与高分子聚合物发生反应,硫键发生重排,交联密度增大<sup>[1]</sup>。

与老化前剖析胎面胶相比,热氧老化后剖析胎面胶的硬度显著增大,100%定伸应力和300%定伸应力提高,拉伸强度和拉断伸长率下降。同时可以看出,热氧老化前后剖析胎面胶的物理性能变化趋势与氮氧老化前后剖析胎面胶变化一致。

分析认为,由于两种老化形式区别仅在于氧气的体积分数,而剖析胎面胶均静置于65℃相同的热环境中,因此剖析胎面胶老化前后的物理性能变化情况相近。

与老化前剖析胎面胶相比,臭氧老化后剖析胎面胶的硬度、定伸应力、拉伸强度和拉伸率均没有明显变化。分析认为,臭氧老化试验温度为40℃,轮胎以标准负荷低速运行,胎面受力变形小,而臭氧主要攻击受力变形较大区域,如胎圈附近,因此臭氧老化对剖析胎面胶物理性能的影响不大。

#### 2.4.2 动态力学性能

剖析胎面胶的动态力学性能见表5, $G'$ 为储能模量, $G''$ 为损耗模量, $G^*$ 为复合模量, $\tan\delta$ 为损耗因子。

表5 剖析胎面胶的动态力学性能

项 目	老化前	氮氧老化后	热氧老化后	臭氧老化后
$G'$ /MPa	3.739	2.807	3.117	3.504
$G''$ /MPa	0.505	0.393	0.401	0.466
$G^*$ /MPa	3.773	2.835	3.143	3.535
60℃时的 $\tan\delta$	0.135	0.138	0.136	0.133

从表5可以看出:与老化前剖析胎面胶相比,3种老化试验后剖析胎面胶的动态力学性能变化趋势一致,剖析胎面胶的 $G'$ 、 $G''$ 和 $G^*$ 均同步减小,60

℃时的 $\tan\delta$ 基本没有变化,因此氮氧老化、热氧老化及臭氧老化对剖析胎面胶生热的影响均不大。

### 3 结论

(1)热氧老化后轮胎耐久性能的下降程度最大,氮氧老化后轮胎耐久性能略有降低,臭氧老化对轮胎耐久性能的影响不大。

(2)氮氧老化和热氧老化后轮胎耐久损坏形式相近,均表现为胎侧鼓包脱层,其中热氧老化损坏更严重,两种老化试验均可作为模拟市场故障轮胎的试验评价方法。

(3)氮氧老化和热氧老化后,剖析胎面胶的硬度和定伸应力显著增大,拉伸率明显减小,生热变化不大;臭氧老化对剖析胎面胶性能影响不大。

#### 参考文献:

- [1] 张又文,马良清,李红伟,等.老化对轮胎及轮胎材料性能的影响[J].橡胶工业,2018,65(2):548-551.
- [2] 孙奇涛,王庆,张腾飞,等.半钢子午线轮胎耐久性试验问题分析及解决措施[J].橡胶科技,2021,19(4):190-192.
- [3] 余本祎,邢程,蔡莹莹.提高轻型载重子午线轮胎老化耐久性能的结构优化设计[J].轮胎工业,2020,40(10):588-592.
- [4] 孙艳妮,何宁,孙钦军,等.轮胎动态臭氧老化性能的研究[J].青岛科技大学学报(自然科学版),2019,40(4):91-97.

收稿日期:2023-02-22

## Effect of Different Aging Conditions on Durability and Damage Forms of Tires

CUI Xiao, YU Zihan, LIN Ziyun, SUN Jiajia, NIE Benliang, ZHOU Pengcheng, DONG Lingbo

(Triangle Tire Co., Ltd, Weihai 264200, China)

**Abstract:** The effect of three aging conditions such as nitrogen oxide aging, thermo-oxidative aging and ozone aging on the tire durability and damage forms was studied. The results showed that the durability of tire decreased significantly after thermo-oxidative aging, decreased slightly after nitrogen oxide aging, and changed little after ozone aging. Usually, tire sidewall bulge and delamination occurred after nitrogen oxide aging and thermo-oxidative aging and tire damage was more serious after thermo-oxidative aging, while tire shoulder cracks occurred after ozone aging. After nitrogen oxide aging and thermo-oxidative aging, the hardness and modulus of the tread compound increased, the elongation at break decreased and the heat build-up changed little. Meanwhile, ozone aging had little effect on the properties of the tread compound.

**Key words:** nitrogen oxide aging; thermo-oxidative aging; ozone aging; tire; durability; damage form; tread compound; dynamic mechanical property