

# 轻型载重轮胎高速/耐久性能的提升

刘坤, 王君, 罗宝玉, 王朝华, 刘文国  
(青岛双星轮胎工业有限公司, 山东 青岛 266555)

**摘要:**介绍轮胎高速/耐久性能试验的测试原理和方法,分析轻型载重轮胎常见失效模式及不同部位的受力,提出提升轮胎高速/耐久性能的措施。高速性能和耐久性能试验中轮胎失效模式较为相似,但高速性能试验轮胎失效部位较多体现在胎肩,而耐久性能试验轮胎失效部位较多体现在胎圈。合理的外轮廓与材料分布有利于轻型载重轮胎保持较好的高速/耐久性能,胎面/胎侧薄层化以及帘布层覆胶厚度增大等可有效提升轮胎高速性能;采取2层胎体帘布反包、使用低硬度三角胶、贴增粘补强胶片以及使用覆胶厚度大的胎体帘布等措施均有利于提高轮胎耐久性能。

**关键词:**轻型载重轮胎;高速性能;耐久性能;道路测试

**中图分类号:**TQ336.1

**文献标志码:**A

**文章编号:**1006-8171(2024)04-0209-05

**DOI:**10.12135/j.issn.1006-8171.2024.04.0209



OSID开放科学标识码  
(扫码与作者交流)

高速/耐久性能试验是轻型载重轮胎新产品开发过程中必须要进行的基础试验,广义上包括室内高速性能和耐久性能试验以及室外高速环道和综合耐久性能道路试验。室内高速性能和耐久性能试验是轮胎新产品设计完成后必须要做的法规试验项目,也是为保证量产轮胎产品质量稳定性而定期进行例查的试验项目<sup>[1-5]</sup>。轮胎高速性能和耐久性能必须满足相应国家标准和企业标准要求,通常企业标准要求高于国家标准要求。此外,原则上同一胎面花纹和配方的轮胎小批量投入市场时,其中至少1个规格轮胎需要安装在相关车辆上按照相关标准规定的负荷、充气压力和行驶速度,在综合强化路况下进行路试验证。

一般投入市场的轮胎产品已经通过了室内外高速性能和耐久性能试验验证,但实际使用过程中载重汽车存在高承载条件下使用情况,受此影响,车辆行驶过程中经常发生轮胎生热鼓包、胎侧脱层、胎冠脱层和肩空等问题。此外,轻型载重轮胎长期在山路等条件恶劣路况下行驶,易发生花纹掉块等导致轮胎使用寿命缩短的情况。用户和经销商时常对市场上的各种轮胎产品的高速性能和耐久性能进行对比和评判。基于以上背景,我

公司对市场上轻型载重轮胎进行调研后,进行了提升轮胎高速性能和耐久性能的研究,现将相关情况介绍如下。

## 1 轮胎高速/耐久性能试验的测试原理和方法

### 1.1 高速/耐久试验机运行与测试

轮胎高速/耐久试验机一般是双工位,高速性能和耐久性能测试可同时运行。该设备主要由电动机、液压站、转鼓和支架组成。其中,电动机提供运行动力以驱动转鼓转动,转鼓再驱动轮胎旋转;液压站主要用于加载轮胎需要承受的负荷;支架用来连接电动机和转鼓,并给予支撑。同时,该试验机还可以提供模拟实际车辆轮胎运行时的侧偏角和侧倾角。每个规格和充气压力轮胎承受的负荷按照GB/T 4501—2023和FMVSS119等相关标准和法规规定进行加载。该试验机能在室内有效模拟汽车在公路平整路面上,在标准充气压力下承受标准负荷时的运行状况。

轻型载重轮胎室内高速性能和耐久性能测试方法主要参考GB/T 4501—2023,GB 9744—2015和FMVSS-119等制定,以国内市场某轻型载重轮胎175R14LT 8PR 99/97R为例,高速性能的简要测试方法为:转鼓驱动轮胎在标准规定的恒定负荷和充气压力下转动,试验速度逐渐增大,通过试验阶段6则达到国家标准要求,为合格产品,试验继

**作者简介:**刘坤(1986—),男,山东日照人,青岛双星轮胎工业有限公司工程师,硕士,主要从事轮胎结构与性能研究。

**E-mail:**liukunlk@doublestar.com.cn

续进行直至轮胎损坏,如表1所示。

表1 轮胎高速性能试验步骤

试验阶段	试验速度/( $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ )	时间/min
1	0~150	10
2	150	10
3	160	10
4	170	10
5	180	10
6(合格)	190	10
7	200	10
8(极限)	每10分钟速度增大 $10 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$	直至损坏

注:负荷率为90%,充气压力为450 kPa。

耐久性能试验的简要测试方法为:转鼓驱动轮胎在标准规定的恒定负荷和充气压力下转动,试验速度不变,通过试验阶段3则达到国家标准要求,为合格产品,试验继续进行直至轮胎损坏,如表2所示。

表2 轮胎耐久性能试验步骤

试验阶段	负荷率/%	时间/h
1	75	4
2	95	6
3(合格)	115	24
4	135	24
5(极限)	135	直到损坏

注:试验速度为 $120 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ,充气压力为450 kPa。

## 1.2 试验场耐久性能测试

室内试验机转鼓表面不能完全等效室外公路/山路等不同路况,不能完全模拟不同路况下轻型载重轮胎行驶状况,因此需要根据不同的使用条件,在不同路况路面上进行轮胎可靠性耐久性能路试。

一般路试可以分为高速环道测试、沥青路上的磨耗测试、综合强化路面上的苛刻耐磨性能测试。高速环道测试基本上可以用室内高速耐久试验机进行替代性测试;普通沥青路面主要侧重验证轮胎的普通耐磨性能;综合强化路面是鹅卵石路、比利时路和石块路等不同路面的组合,主要考验轮胎胎面抗切割、抗撕裂性等性能。

## 2 轻型载重轮胎受力分析及常见失效模式

### 2.1 高速/耐久性能试验

对于轻型载重轮胎,高速/耐久性能试验主要

破坏端为带束层的两 endpoint 位置和胎圈部位2#胎体帘布 endpoint 部位,这两部位的帘线与周围橡胶存在刚性差级,往往是应力集中的区域<sup>[2]</sup>。

在轮胎高速性能试验中,由于负荷恒定,速度每隔10 min不断增大,向外的离心力逐渐增大到临界极限位置,肩部带束层 endpoint 位置为应力集中点,生热多,散热慢,导致肩部带束层位置的带束层与胎面橡胶脱层,具体表现为肩空现象。由于胎体帘布与胎侧之间的粘合性能不够好,贴合不够牢固,高速行驶产生的热量多且无法有效释放导致高温下胶料物理性能下降,容易产生脱层、鼓包、帘线断裂甚至爆胎等现象<sup>[6]</sup>。此外,胎面胶生热多,因高温导致胶料物理性能发生变化,也容易产生胎肩部位花纹崩花掉块现象。在超高速性能试验中,轻型载重轮胎出现肩空和胎面脱层的概率较大。

在轮胎耐久性能试验中,试验速度恒定,负荷不断变化,比较考验轮胎下胎侧部位的支撑能力和耐屈挠性能以及轮胎各部位的耐热性能。由于胎圈部位刚性相比于其他部位较大,又存在帘线 endpoint、内衬层 endpoint、三角胶 endpoint 等,反复屈挠时易产生应力集中<sup>[7-8]</sup>。市场上反馈和耐久性能测试统计结果表明:长时间在超负荷条件下行驶,轻型载重轮胎胎圈部位更易疲劳,胎圈裂口、胎圈与胎体脱层等失效模式相对较多,同时也存在肩空、胎面掉块和爆胎等其他失效模式。

高速性能和耐久性能试验中轮胎失效模式较为相似,不同点在于高速性能试验轮胎失效模式较多体现在胎肩部位,耐久性能试验轮胎失效部位较多体现在胎圈部位。

### 2.2 耐久性能测试

路试分为以沥青路面为主的使用环境和以山路为代表的强化耐久路面上的测试。

(1) 沥青路面主要侧重于普通磨耗测试,主要考验胎面的耐磨性能。

(2) 试验场综合强化路面起伏不平,路况条件恶劣,胎面与路面接触时承受不规则小石块不同方向上的剪切力,能较为真实地反应轮胎胎面耐磨性能、抗剪切性能和抗撕裂性能。非驾驶原因导致的轮胎损坏的部位主要为胎面,具体特征是胎面花纹掉块、掉渣。

### 3 轮胎高速/耐久性能改善

轮胎平衡轮廓理论是研究轮胎性能的基础理论,合理的轮胎外轮廓与材料分布可以保证轮胎受力较为均匀,对于轮胎保持较好的高速/耐久性能非常重要。

#### 3.1 室内高速性能

##### 3.1.1 外轮廓设计

(1) 轮胎行驶面弧度高越大,相应肩部下沉量越小,肩部厚度相对中间胎冠部位厚度较大,肩部生热多,散热慢,容易导致肩部过早失效。另外,对于轻型载重轮胎来说,肩部直线形或者反弧设计可以减小肩部的总体厚度,从而避免肩部失效模式发生。

(2) 断面水平轴位置( $H_1/H_2$ )取值应在0.96~1.03范围内, $H_1/H_2$ 大于1,轮胎肩部受力相对较小,肩部生热减少,有利于提高轮胎高速性能。

##### 3.1.2 材料分布

依据平衡轮廓设计理论,应尽量避免轮胎头(肩部)重脚(胎圈)轻或者相反的情况,一个部位的粗壮往往意味着另一区域的薄弱,薄弱区域会过早地遭受应力破坏。通过有限元仿真分析,可以模拟轮胎各部位受力情况,对轮胎设计提供参考依据。

大量试验结果表明,带束层角度在 $20^\circ\sim 30^\circ$ 范围内时,带束层角度越大,轮胎的高速性能越好。胎面基部胶具有生热低、散热快的特点,基部胶厚度较大则不利于改善轮胎高速性能。冠带条缠绕设计对于带束层的紧箍起到补充作用,强度较大的冠带条材质和较大的缠绕张力有利于提高轮胎的高速性能。此外,胎侧垫胶量增加,会造成肩部厚度变大,导致肩部生热多,散热困难。胎体和带束层帘布的高覆胶率能有效增加不同材质半成品部件之间的粘合性能,有利于提升耐热性能,延缓老化,延长轮胎的使用寿命。

对于不同速度级别的轻型载重轮胎,冠带条缠绕方式一般使用1层平铺(8PR以下)和1层平铺+肩部缠绕(8PR及以上),如图1所示。

总之,轮胎高速性能改善的主要原则是生热少、散热好、蓄热低、耐热性能优异。因此,胎面/胎侧薄层化以及帘布层覆胶厚度增大等都是提升

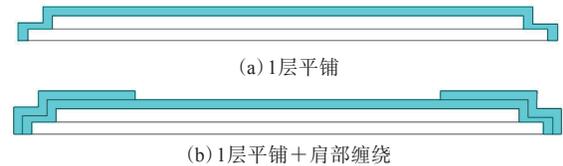


图1 冠带条缠绕方式

轮胎高速性能较为有效的方法。

#### 3.2 室内耐久性能

##### 3.2.1 外轮廓设计

$H_1/H_2$ 取值小于1,胎圈部位受力相对较小,对提高轮胎的耐久性能有利。

##### 3.2.2 材料分布

由于胎圈部位硬度相对于上胎侧较大,耐屈挠性能相对较差,选择硬度相对较低的三角胶,可改善胎圈部位的耐屈挠性能,有利于提高轮胎耐久性能。

常见的轻型载重轮胎因高承载而导致的耐久性能试验的失效模式为胎圈脱层和胎圈鼓包。从减少胎圈部位应力集中、提高胎体帘布层与胶部件间粘合性能、减小帘布与周围胶部件剪切力、降低胎圈部位刚性、提升下胎侧部位耐屈挠性能等方面采取措施改善轻型载重轮胎耐久性能,即在基准方案的基础上,采取在2#胎体帘布与下胎侧圈耐磨胶之间贴1层0.5 mm厚度左右的增粘补强胶片(见图2)、使用不同硬度的三角胶和不同覆胶厚度的胎体帘布等改善措施,设计了方案1—4进行施工。以市场反馈的有胎圈脱层、鼓包现象的175R14LT 8PR 99/98R轮胎为例,采取改善措施前后其耐久性能如表3所示。

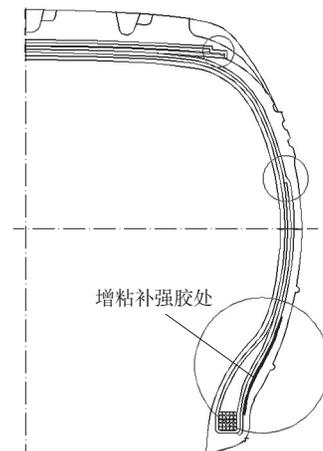


图2 贴增粘补强胶片示意

表3 轮胎耐久性能改善结果对比

项 目	基准方案	方案1	方案2	方案3	方案4
成型					
胎体帘布正反包	2层胎体帘布反包	2层胎体帘布反包	1层胎体帘布正包+ 1层胎体帘布反包	1层胎体帘布正包+ 1层胎体帘布反包	2层胎体帘布反包
三角胶邵尔A型硬度/度	90	79	90	90	90
增粘补强胶片	无	无	无	增粘补强胶片	无
胎体覆胶厚度/mm	1.10	1.10	1.10	1.10	1.15
耐久性能试验					
累计行驶时间/h	56.0	61.6	58.7	62.0	57.8
失效模式	胎圈鼓包	胎肩脱层	胎圈脱层	胎面掉块	胎圈脱层

从表3可以看出,对于175R14LT 8PR 99/98R轮胎,采取2层胎体帘布反包、使用低硬度三角胶、贴增粘补强胶片以及使用覆胶厚度大的胎体帘布等措施,均有利于提高轮胎耐久性能。

### 3.3 室外路试耐久性能

#### 3.3.1 胎面胶配方

为提升轮胎室外路试耐久性能,应根据不同

的使用环境,有针对性地进行胎面胶配方设计。设计验证的主要方式是同经销商运输车队合作进行道路测试跟踪与验证。经过实际设计与道路试验验证,得出公路和山路使用环境中轮胎胎面胶成分与性能的关联,如表4所示。

从表4可以看出,两种路况条件下胎面胶配方与轮胎耐久性能的相关性。其他具体问题还需要

表4 公路和山路使用环境中轮胎胎面胶成分与性能的关联

使用环境	成品轮胎侧重性能	胎面胶侧重性能	主要关联原材料	
			生胶体系	填料体系
公路	普通耐磨性能	较高硬度和高定伸应力	溶聚丁苯橡胶+天然橡胶+顺丁橡胶	低结构炭黑/白炭黑用量比相对较大
山路	抗切割和抗撕裂性能	较低硬度和高撕裂强度	乳聚丁苯橡胶+顺丁橡胶	低结构炭黑/白炭黑用量比相对较小

具体分析,例如热带地区,某轻型载重汽车在普通沥青公路上行驶,在未超载的正常使用条件下,市场反馈少量轮胎在使用3—6个月时间内出现胎面掉块现象。经调研分析得出湿热环境容易促进胎面胶的老化,并且湿热环境意味着轮胎容易打滑,车辆频繁启动和制动而加剧了胎面掉块。解决这一问题的总体思路是:(1)使用防护效果更好的防老剂;(2)炭黑与白炭黑并用时,略微增大白炭黑的用量,以减少胎面生热与变形。这些措施能适度增强胎面胶的抗撕裂性能,避免或减少胎面掉块现象。

#### 3.3.2 胎面花纹

胎面花纹纵向沟槽的深度和倾斜角度影响花纹刚度,相较乘用车轮胎,轻型载重轮胎的速度级别较低,负荷较大,使用路况较恶劣,应适当增大主沟的拔模角度,以增强花纹块的刚性,同时避免花纹沟底撕裂。

轻型载重轮胎胎面花纹增设钢片(见图3)可以平衡花纹块的刚性和接地压力,同时改善轮胎花纹的散热性能,消除花纹块的应力集中点,可以

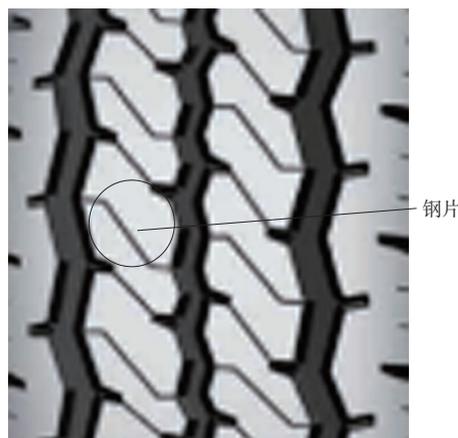


图3 胎面花纹钢片分布

有效延长轮胎的磨损里程和使用寿命。在实际应用中,钢片深度调整可以作为一个思考方向来进行验证。

轻型载重轮胎耐久性能的提升验证,还需要综合考虑满足其他性能的需求,如外缘尺寸、强度和脱圈阻力等,性能改善验证的周期相对较长,需要提前进行充分的技术储备,验证全面通过,轮胎方可投入市场。

#### 4 结论

本研究从轮胎高速/耐久性能试验的测试原理、轻型载重轮胎失效模式、力学分析、结构设计等方面进行提高轻型载重轮胎高速/耐久性能相关方案的设计与验证。

(1) 高速性能和耐久性能试验中轮胎失效模式较为相似,不同点在于高速性能试验轮胎失效模式较多体现在胎肩部位,耐久性能试验轮胎失效部位较多体现在胎圈部位。

(2) 合理的轮胎外轮廓与材料分布有利于轻型载重轮胎保持较好的高速/耐久性能,胎面/胎侧薄层化及帘布层覆胶厚度增大等可有效地提升轮胎高速性能;采取2层胎体帘布反包、使用低硬度三角胶、贴增粘补强胶片以及使用覆胶厚度大的胎体帘布等措施均有利于提高轮胎耐久性能。

(3) 室外高速性能测试可近似通过室内高速性能试验来替代,室外耐久性能主要体现在不同路况下的耐磨性能和抗切割性能上。轻型载重轮胎在普通公路环境下主要侧重于耐磨性能,山路环境下主要侧重于抗切割和抗撕裂性能,产品小批量完成后,应根据实际需求进行道路耐久性能验证。

(4) 在实际分析与解决问题的过程中,应尽可能地还原使用环境,多因素多维度思考,找出问题产生的根本原因,以利于后期进行针对性的研究与改进工作。某项轮胎性能验证通过后,在产品投放市场前,其他必要的性能如外缘尺寸、强度和脱圈阻力等也需一并验证通过。

#### 参考文献:

- [1] 孙奇涛,王庆,张腾飞,等. 半钢子午线轮胎耐久性能试验问题分析及解决措施[J]. 橡胶科技,2021,19(4):190-192.
- [2] 余本祯,邢程. 半钢子午线轮胎胎圈脱落原因分析及解决措施[J]. 轮胎工业,2018,38(12):733-736.
- [3] 陈志宏,胡浩,赵敏. 创新,综合创新,再创新——共同实现轮胎全行业高质量发展[J]. 橡胶工业,2023,70(9):643-654.
- [4] 刘华侨,王中江,李红卫,等. 不同使用路况的出租车轮胎胎面胶耐磨性能研究[J]. 轮胎工业,2020,40(1):20-23.
- [5] 陈国胜,桑贤顺,徐兴国,等. 7.00R16LT轻卡胎胎圈耐久性能提升[J]. 中国橡胶,2022,38(5):42-44.
- [6] 潘义,韩德上,隋雁俊,等. 增粘树脂在全钢子午线轮胎胎面胶中的应用[J]. 橡胶工业,2023,70(8):589-595.
- [7] 秦增辉,徐兴国,李明,等. 轻型载重子午线轮胎耐久性能提升的研究[J]. 中国橡胶,2023,39(3):52-55.
- [8] 刘剑美,赵彦伟. 结构设计对补气保用轮胎零气压耐久性能的影响[J]. 轮胎工业,2023,43(5):268-270.

收稿日期:2024-01-22

## Improvement of High-speed/Durability Performance of Light Truck and Bus Tire

LIU Kun, WANG Jun, LUO Baoyu, WANG Chaohua, LIU Wenguo

(Qingdao Doublestar Tire Industry Co., Ltd, Qingdao 266555, China)

**Abstract:** The principle and method of high-speed/durability test of tires were introduced, the common failure modes and stresses on different areas of light truck and bus tires were analyzed, and measures to improve the high-speed/durability performance of the tire were proposed. The failure modes of the tire in high-speed performance and durability performance tests were relatively similar, but the failure areas of the tire in the high-speed performance test were more reflected in the shoulder, while those in the durability performance test were more reflected in the bead. Reasonable profile and material distribution were beneficial for maintaining good high-speed/durability performance of light truck and bus tires. Thinning of the tread/sidewall and increasing the thickness of the ply coating could effectively improve the high-speed performance of the tire. Measures such as using 2-layer carcass cords for reverse wrapping, using low hardness apex, applying adhesive reinforcement film, and using carcass cords with thick adhesive coating were all conducive to improving the durability performance of the tire.

**Key words:** light truck and bus tire; high-speed performance; durability performance; road testing