

# 拖车轮胎耐久性能的影响因素分析

王君, 马丽华, 任振兴, 韩磊, 孙超, 项兵兵, 刘俊俊

(青岛双星轮胎工业有限公司, 山东 青岛 266400)

**摘要:**选取不同施工方案试制的ST235/80R16 10PR拖车轮胎,分别研究带束层胶片贴合方式、胎体帘布压延厚度、胎体帘线型号、胎体成型方式、三角胶高度及硫化条件等因素对其耐久性能的影响。结果表明:在硫化体系相同的前提下,低温硫化对轮胎耐久性能提升效果最为明显;在此硫化条件基础上,通过增大胎体强度,减少轮胎应力集中和降低生热,也可提升轮胎的耐久性能。

**关键词:**拖车轮胎;耐久性能;低温硫化;胎体强度

**中图分类号:**U463.341+.59

**文献标志码:**A

**文章编号:**1006-8171(2023)05-0313-04

**DOI:**10.12135/j.issn.1006-8171.2023.05.0313



OSID开放科学标识码  
(扫码与作者交流)

轮胎是车辆的重要组成部分,随着汽车工业的不断发展,用户对轮胎安全性能的要求越来越高。轮胎在行驶过程中承受着负荷和各种外力,轮胎内部产生应力应变,导致轮胎长期屈挠变形生热,在较高温度下使用容易造成内部结构损坏,特别是拖车轮胎,由于其用途的特殊性,耐久性能成为该类轮胎的重要性能指标,不仅关乎轮胎的使用寿命,甚至危及行车人的安全,因此提高轮胎的耐久性能至关重要<sup>[1-2]</sup>。耐久性能的测试方法通常有两种:一是实验室转鼓测试;二是实车测试。

本工作采用实验室转鼓测试法,以不同施工方案试制的ST235/80R16 10PR拖车轮胎为例,分析轮胎耐久性能的影响因素。

## 1 测试方法

按照FMVSS139进行轮胎的耐久性能和低气压耐久性能测试,测试温度为 $(35 \pm 3)^\circ\text{C}$ ,充气压力与负荷等级的关系如表1所示,耐久性试验条件如表2所示。

本试验要求轮胎耐久性能测试通过FMVSS139规定的35.5 h后,以100%负荷率保持不变继续试验,直至轮胎损坏为止。

**作者简介:**王君(1979—),男,天津人,青岛双星轮胎工业有限公司工程师,学士,主要从事轮胎研发和管理工作。

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

表1 不同负荷等级对应的充气压力 kPa

项 目	层 级		
	C (6PR)	D (8PR)	E (10PR)
耐久性能充气压力	260	340	410
低气压耐久性能充气压力	200	260	320

表2 FMVSS139的耐久性试验条件

步 骤	负 荷 率 / %	试 验 时 间 / h
阶段1	85	4
阶段2	90	6
阶段3	100	24
阶段4	100	1.5

注:试验速度为 $120\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ,阶段3结束后停机,检查外观,冷却 $15\sim 25\text{ min}$ ,期间测量充气压力并记录,按低气压标准调整,停放2 h后继续进行下一步试验,结束后检查轮胎是否完好。

## 2 施工方案

以ST235/80R16 10PR为代表规格,通过改变施工结构及硫化条件设计6个方案进行试制,施工方案如表3所示。

### 2.1 1<sup>#</sup>和2<sup>#</sup>带束层胶片贴合方式

方案A和B采用不同的带束层胶片贴合方式。方案A采用1<sup>#</sup>带束层贴边胶,2<sup>#</sup>带束层无贴边胶或包边胶;方案B中1<sup>#</sup>带束层取消贴边胶,2<sup>#</sup>带束层采用包边胶,主要是考虑轮胎在耐久性试验及正常使用过程中,带束层端点为应力集中部位,一方面,应力集中生热<sup>[3]</sup>易造成损坏,另一方面,轮胎反复剪切,两层带束层由于剪切作用产生相对位

表3 ST235/80R16 10PR轮胎的施工方案

方 案	1 <sup>#</sup> 和2 <sup>#</sup> 带束层胶片贴合方式	胎体帘布压延厚度/mm	胎体帘线型号	胎体帘布反包方式	三角胶高度/mm	硫化条件
常规方案	1 <sup>#</sup> 带束层贴边胶,2 <sup>#</sup> 带束层无	1.15	1670dtex/2	一正一反	45	正常硫化
方案A	1 <sup>#</sup> 带束层贴边胶,2 <sup>#</sup> 带束层无	1.15	1670dtex/2	一正一反	45	低温硫化
方案B	1 <sup>#</sup> 带束层无,2 <sup>#</sup> 带束层包边胶	1.15	1670dtex/2	一正一反	45	低温硫化
方案C	1 <sup>#</sup> 带束层无,2 <sup>#</sup> 带束层包边胶	1.30	1670dtex/2	一正一反	45	低温硫化
方案D	1 <sup>#</sup> 带束层无,2 <sup>#</sup> 带束层包边胶	1.45	2200dtex/2	一正一反	45	低温硫化
方案E	1 <sup>#</sup> 带束层无,2 <sup>#</sup> 带束层包边胶	1.45	2200dtex/2	双层反包	55	低温硫化
方案F	1 <sup>#</sup> 带束层无,2 <sup>#</sup> 带束层包边胶	1.45	2200dtex/2	一正一反	45	正常硫化

移,微观上钢丝端点处由于裁断会产生细小毛刺,若钢丝端点漏在外边,端点处胶料不足,毛刺端点处会缓慢开裂,导致1<sup>#</sup>与2<sup>#</sup>带束层之间开裂脱层或肩部鼓包,更容易造成损坏。为减少类似损坏的发生,方案B采用2<sup>#</sup>带束层包边胶,将带束层端点包裹。

## 2.2 胎体帘布压延厚度

方案B和C的胎体帘线型号均为1670dtex/2,正常生产中该型号帘布覆胶后的厚度为1.15 mm,方案C胎体挂胶后厚度改为1.30 mm,主要是考虑采用1670dtex/2帘线的安全倍数可达到要求,在方案B基础上,方案C仅增大胎体帘布的覆胶厚度,增大帘布厚度可以减少局部压延厚度不均或胎体帘线稀疏问题,同时增大帘线的渗胶率,从而减少帘线与胶料不断接触摩擦生热而产生的脱层和开裂问题<sup>[4]</sup>。

## 2.3 胎体帘线型号

方案C和D的胎体采用不同型号的帘线,尽管采用1670dtex/2帘线的安全倍数可达到要求,但为进一步增大胎体强度,减少胎体帘布损坏,方案D采用强度更大的2200dtex/2帘线。通过增大胎体强度,减少轮胎行驶过程中由于负荷增大导致胎体强度不足,进而造成胎侧部位胎体断裂而产生的爆胎问题。

## 2.4 胎体帘布反包方式和三角胶高度

方案D和E的胎体均采用2200dtex/2帘线,通过调整胎体帘布反包方式和三角胶高度进行试制:方案B—D均采用2层胎体帘布,且1<sup>#</sup>胎体帘布采用反包、2<sup>#</sup>胎体帘布采用正包的成型方式,三角胶高度为45 mm;为了提高胎侧和胎圈部位的强度,方案E的1<sup>#</sup>和2<sup>#</sup>胎体帘布均采用反包的成型方式,三角胶高度为55 mm,通过增大胎侧部位的强度来提高轮胎的耐久性能。

## 2.5 硫化条件

常规方案和方案A的胎体均采用1670dtex/2帘线,带束层均采用1<sup>#</sup>贴边胶,通过改变硫化条件进行试制:常规方案采用正常硫化,方案A采用低温硫化,其施工结构与常规方案一致,仅硫化条件不同。

方案D和F的胎体均采用2200dtex/2帘线,通过改变硫化条件进行试制:方案D采用低温硫化;方案F采用正常硫化,其施工结构与方案D一致,仅硫化条件不同。

## 3 测试结果与分析

### 3.1 耐久性能测试数据

以上各施工方案均选取2条轮胎进行耐久性测试,结果如表4所示。

从表4可以得出以下结论。

(1)方案A的耐久性能可满足35.5 h的法规要

表4 ST235/80R16 10PR轮胎的耐久性测试结果

方 案	累计行驶时间/h	试验结束时轮胎损坏形式	平均累计行驶时间/h	变化率 <sup>1)</sup> /%
常规方案	24.00	胎圈气泡	25.10	
方案A	26.20	胎肩掉块	36.60	+45.8
	37.20	胎肩鼓包		
方案B	43.00	胎侧鼓包	42.18	+68.0
	41.37	爆胎		
方案C	65.13	胎侧爆	66.06	+163.2
	67.00	胎圈爆		
方案D	70.10	胎侧爆	70.66	+181.5
	71.22	爆胎		
方案E	83.20	胎圈爆	83.60	+233.1
	84.00	胎圈爆		
方案F	40.33	胎肩掉块、胎圈气泡	40.66	+62.0
	41.00	胎圈气泡		

注:1)平均累计行驶时间以常规方案为基准进行对比。

求,常规方案采用正常硫化导致轮胎的耐久性能不合格,同施工、同硫化体系,低温硫化条件对保证轮胎的耐久性能至关重要;分析方案D和F测试结果,正常硫化轮胎耐久性能仅达到法规要求。可见在施工设计和成型工艺相同的条件下,硫化条件对轮胎耐久性能的影响极大。

(2) 方案B轮胎的耐久性能略优于方案A轮胎;试验结束时方案A轮胎的损坏集中在胎肩部位,而方案B轮胎的损坏主要在胎侧和胎圈部位。

(3) 方案C成本略高于方案B,但是方案C耐久性能提升较为明显,建议可列为优选方案之一。

(4) 方案D轮胎的耐久性能略优于方案C轮胎,结合试验结束时轮胎的损坏形式,方案D需增加较高的材料成本,且轮胎的耐久性能提升不明显。说明采用1670dtex/2帘线的胎体已达到耐久性能要求,在此基础上胎体再采用强度更大的帘线,轮胎的耐久性能提升效果也不明显。

(5) 方案E轮胎的耐久性能优于方案D轮胎,尽管方案E轮胎的胎圈及胎侧部位的强度远大于方案D轮胎,方案E的调整,导致轮胎用料成本及轮胎质量增大较多,综合考虑,不建议采用此方案。

### 3.2 损坏断面分析

轮胎的耐久损坏形式包括胎肩掉块或鼓包、胎圈爆<sup>[5]</sup>。切割轮胎断面可以看出其损坏形式有带束层端点脱层、三角胶横向断裂和帘布与胎侧或帘布之间出现脱层。

#### 3.2.1 带束层端点脱层

以方案A轮胎的胎肩鼓包为例,具体损坏部位断面如图1所示。

从图1可以看出,从2<sup>#</sup>带束层端点到胎侧中部出现断裂,判定开裂是从2<sup>#</sup>带束层端点开始,由于带束层端点屈挠现象最为明显,端点应力集中过大,两层带束层相对移动,钢丝与胶料摩擦产生较高热量,胎肩热量不易快速散发,同时带束层端点部位裁断会产生较多毛刺,更容易刺破胶料产生断裂,因此在带束层端点开裂后,逐步扩大至胎侧部位,产生鼓包问题。

#### 3.2.2 三角胶断裂

以方案C轮胎的胎侧爆和胎圈爆为例,具体损坏部位断面如图2和3所示。



图1 带束层端点脱层



图2 三角胶横向断裂



图3 轮辋保护下端胎圈裂口

分析认为,发生三角胶横向断裂和轮辋保护下端胎圈裂口的原因:一方面是三角胶设计尺寸不合理,三角胶强度不足;另一方面是胎体帘布强度不足,在轮辋上缘胎圈部位产生断裂,由于轮辋的限制作用,轮辋保护下端胎圈变形相对较小,使轮辋上缘胎圈部位不固定,在行驶过程中频繁出现屈挠变形,由于胎体强度不足或三角胶较小、较薄,在频繁的屈挠变形下,生热较高,胶料变得相对较脆,容易产生三角胶断裂问题。

### 3.2.3 帘布脱层

以方案D轮胎的爆胎为例,具体损坏部位断面如图4和5所示。

分析认为,由于轮辋上缘处是轮胎主要的屈挠变形部位,在行驶过程中也是主要的受力点,因



图4 胎侧与2#胎体帘布脱层



图5 1#与2#胎体帘布脱层

频繁的屈挠变形而产生较高的热量,如果帘布太薄或胎圈部位胶料过少,会使胶料结构受到破坏,从而产生脱层现象。

## 4 结论

拖车轮胎耐久性能的优化提升是困扰轮胎生产技术人员的一个难点问题。我公司选取不同施工方案试制了ST235/80R16 10PR拖车轮胎,按照FMVSS139进行耐久性能测试。分别研究带束层胶片贴合方式、胎体帘布压延厚度、胎体帘线型号、胎体成型方式、三角胶高度及硫化条件等因素对拖车轮胎耐久性能的影响。经验证分析,在硫化体系相同的前提下,低温硫化对轮胎耐久性能提升效果最为明显;在此硫化条件基础上,通过增大胎体强度,减少轮胎应力集中和降低生热,也可有效提高轮胎的耐久性能。

## 参考文献:

- [1] 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和解决措施[J].橡胶科技,2021,19(4):190-192.
- [2] 王进文.充气压力保持率对轮胎老化和耐久性的影响[J].世界橡胶工业,2008,35(11):19-24.
- [3] 吴晓东,王红彦,张海燕,等.0°带束层钢丝帘布对全钢载重子午线轮胎耐久性能的影响研究[J].轮胎工业,2021,41(9):533-535.
- [4] 张勇,郝鹏程,刘坤,等.胎体骨架材料对轿车子午线轮胎性能的影响[J].橡胶科技,2020,18(8):445-450.
- [5] 胡海明,武凯迪.成型辅鼓直径对轮胎耐久性能的影响[J].橡胶工业,2020,67(8):625-628.

收稿日期:2022-12-17

## Analysis on Influencing Factors of Durability of Trailer Tire

WANG Jun, MA Lihua, REN Zhenxing, HAN Lei, SUN Chao, XIANG Bingbing, LIU Junjun

(Qingdao Doublestar Tire Industry Co., Ltd., Qingdao 266400, China)

**Abstract:** ST235/80R16 10PR trailer tires trial-produced with different construction schemes were selected to study the effects of the laminating method of the belt sheet, the calendaring thickness of the carcass cord fabric, the type of carcass cord, the molding method of the carcass, the height of the apex and the vulcanization conditions, on the durability of the tires. The results showed that, with the same curing system, the tire durability was significantly improved by using low-temperature vulcanization process. In addition, under low-temperature vulcanization condition, the durability of the tire could also be improved by increasing the carcass strength, reducing stress concentration of the tire and reducing heat build-up.

**Key words:** trailer tire; durability; low-temperature vulcanization; carcass strength