

特约来稿

$4+3\times 0.33$ ST钢丝帘线在全钢载重子午线轮胎带束层中的应用及压延工艺探讨

王培滨¹, 柯增光², 郭念贵¹, 赵年鹏², 刘应军², 王爱萍²

(1. 三角轮胎股份有限公司, 山东 威海 264200; 2. 江苏兴达钢帘线股份有限公司, 江苏 泰州 225721)

摘要: 研究 $4+3\times 0.33$ ST钢丝帘线替代 $3\times 0.20+6\times 0.35$ HT钢丝帘线在全钢载重子午线轮胎带束层中的应用, 重点探讨 $4+3\times 0.33$ ST钢丝帘线的压延工艺。结果表明: 与 $3\times 0.20+6\times 0.35$ HT钢丝帘线相比, $4+3\times 0.33$ ST钢丝帘线具有线密度低、渗胶性能好、覆胶弯曲刚度高等优点, 可以实现等强度、等密度替代, 在保证轮胎各项性能的同时, 满足轮胎轻量化和降低制造成本的需求; 由于 $4+3\times 0.33$ ST钢丝帘线为不规则结构, 在压延时需要匹配合适的压力辊和整经辊槽径, 避免压延时跳线的发生。

关键词: 钢丝帘线; 全钢载重子午线轮胎; 带束层; 轻量化; 压延工艺

中图分类号: U463.341⁺.3/.6; TQ330.38⁺9

文献标志码: A

文章编号: 1006-8171(2022)02-0067-05

DOI: 10.12135/j.issn.1006-8171.2022.02.0067



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

交通运输对全球气候变暖影响巨大, 温室气体排放的20%来自陆地运输, 其中20%~30%来自轮胎^[1]。具有低燃油消耗、低滚动阻力、高安全性能、长使用寿命和可翻新性等突出特性的绿色轮胎已成为全球轮胎行业的发展趋势^[2-5]。随着碳达峰、碳中和等相关政策的陆续出台更刺激了轮胎企业对绿色轮胎的开发研究。

轮胎作为汽车与地面接触的唯一部件, 其质量对汽车的燃油消耗影响较大。载重子午线轮胎中钢丝帘线的质量占比达到20%左右, 其对轮胎的质量、安全性能、燃油消耗、使用寿命和可翻新性等方面起到重要的作用。更高强度的钢丝帘线可以在满足帘布强度的情况下, 减小钢丝帘线用量和帘布质量, 进而减小轮胎质量和滚动阻力, 实现减少燃油消耗和二氧化碳排放。使用更高强度的钢

丝帘线成为制造低滚动阻力和轻量化轮胎的首要考虑方法, 也是实现轮胎产业升级的必由之路。

本工作研究 $4+3\times 0.33$ ST钢丝帘线替代传统 $3\times 0.20+6\times 0.35$ HT钢丝帘线在全钢载重子午线轮胎带束层中的应用, 重点探讨其压延工艺。

1 实验

1.1 主要原材料

$4+3\times 0.33$ ST和 $3\times 0.20+6\times 0.35$ HT钢丝帘线, 江苏兴达钢帘线股份有限公司产品。

1.2 主要设备和仪器

CG4/610X1730-S型压延机, 意大利鲁道夫公司产品; CM-G3800-5型裁断机, 德国Fisher公司产品; XLB-Q型平板硫化机、三辊弯曲疲劳试验机 and 渗透检测仪, 江苏兴达钢帘线股份有限公司自行研制; 2000-C型体式显微镜, 德国蔡司公司产品; 150-E型双向摆式V-5刚度仪, 美国Taber公司产品; ZBC7550-2型塑料摆锤冲击试验仪, 美特斯工业系统(中国)有限公司产品。

1.3 性能测试

钢丝帘线性能按GB/T 11181—2016《子午线轮胎用钢帘线》和企业标准进行测试。轮胎各项性能均按相应国家标准和企业标准进行测试。



作者简介: 王培滨(1971—), 男, 山东威海人, 三角轮胎股份有限公司高级工程师, 学士, 先后从事子午线轮胎生产工艺技术管理、原材料技术标准制定及开发管理、供应商技术质量管理等工作。先后参与完成了5项国家标准、1项国际标准的修订工作; 申请专利6项(其中1项获“中国专利优秀奖”); 多次获得优秀共产党员、公司标兵及董事长特别奖等荣誉称号。

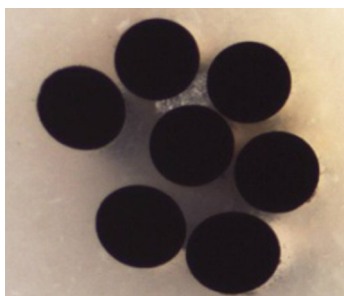
E-mail: wangpeibin@triangle.com.cn

2 结果与讨论

2.1 钢丝帘线性能

2.1.1 钢丝帘线结构

4+3×0.33ST 钢丝帘线和 3×0.20+6×0.35HT 钢丝帘线的横截面结构对比如图1所示。



(a) 4+3×0.33ST 钢丝帘线



(b) 3×0.20+6×0.35HT 钢丝帘线

图1 两种钢丝帘线的横截面结构对比

从图1可以看出:4+3×0.33ST 钢丝帘线为不规则结构,外层3根钢丝对内层钢丝不完全包覆,为全渗胶型钢丝帘线;3×0.20+6×0.35HT 钢丝帘线为规则结构,外层钢丝围绕芯股钢丝编捻,3根芯线呈三角形结构,形成闭合型空腔。

2.1.2 基本性能

4+3×0.33ST 钢丝帘线和 3×0.20+6×0.35HT 钢丝帘线的基本性能对比如表1所示。

表1 两种钢丝帘线的基本性能对比

项 目	4+3×0.33ST	3×0.20+6×0.35HT
帘线直径/mm	1.10	1.13
线密度/(g·m ⁻¹)	4.74	5.34
捻距/mm	∞/18	10/18
捻向	S	S/Z
最小破断力/N	1 850	1 850
单位直径最小破断力/(N·mm ⁻¹)	1 682	1 637
单位线密度最小破断力/[N·(g·m ⁻¹) ⁻¹]	390	346

从表1可以看出,两种钢丝帘线的最小破断力相同,但4+3×0.33ST 钢丝帘线单位线密度最小破断力比3×0.20+6×0.35HT 钢丝帘线提高了12.7%,在保证同等帘布强度下,可以减小材料用量,有利于轮胎轻量化。

2.1.3 渗胶性能

4+3×0.33ST 钢丝帘线和 3×0.20+6×0.35HT 钢丝帘线的渗胶率检测结果如表2所示。

表2 两种钢丝帘线的渗胶率对比 %

项 目	4+3×0.33ST	3×0.20+6×0.35HT
第1次	100	91
第2次	98	90
第3次	95	95
平均值	98	92

从表2可以看出,4+3×0.33ST 钢丝帘线的渗胶性能好于3×0.20+6×0.35HT 钢丝帘线。

2.1.4 弯曲刚度

4+3×0.33ST 钢丝帘线和 3×0.20+6×0.35HT 钢丝帘线的弯曲刚度检测结果如表3所示。

表3 两种钢丝帘线的弯曲刚度对比 TSU

项 目	覆胶前		覆胶后	
	4+3×0.33ST	3×0.20+6×0.35HT	4+3×0.33ST	3×0.20+6×0.35HT
第1次	135	131	273	191
第2次	140	133	289	194
第3次	141	137	272	196
平均值	139	134	278	194

从表3可以看出,两种钢丝帘线弯曲刚度相当,但覆胶后4+3×0.33ST 钢丝帘线弯曲刚度明显提高,比3×0.20+6×0.35HT 钢丝帘线提高了43.3%。这可能是由于4+3×0.33ST 钢丝帘线为半包覆、全渗胶型,便于橡胶对所有钢丝帘线的完全包覆,使得覆胶后弯曲刚度提升。带束层是轮胎的主要受力部位,对轮胎的接地面积和耐磨性能有很大影响,刚度的提升有利于减小轮胎的下沉量,改善轮胎的滚动阻力性能。

2.1.5 抗冲击性能

4+3×0.33ST 钢丝帘线和 3×0.20+6×0.35HT 钢丝帘线的冲击吸收能检测结果如表4所示。

从表4可以看出,两种钢丝帘线的冲击吸收能相当。

表4 两种钢丝帘线的冲击吸收能对比 J

项 目	$4+3\times 0.33$ ST	$3\times 0.20+6\times 0.35$ HT
第1次	3.910	3.869
第2次	3.865	3.908
第3次	3.874	3.791
平均值	3.883	3.856

2.1.6 耐疲劳性能

在相同负荷(配重15 kg)下对比覆胶后两种钢丝帘线的耐交变应力疲劳性能。 $4+3\times 0.33$ ST 钢丝帘线和 $3\times 0.20+6\times 0.35$ HT 钢丝帘线的耐疲劳性能检测结果如图2所示。

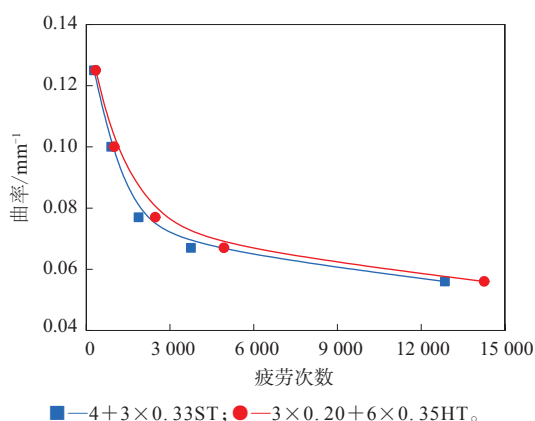
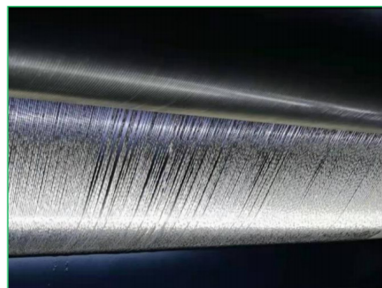


图2 两种钢丝帘线的耐疲劳性能对比

从图2可以看出,两种钢丝帘线的耐疲劳性能相当。

2.2 压延工艺探讨

$4+3\times 0.33$ ST 钢丝帘线与 $3\times 0.20+6\times 0.35$ HT 钢丝帘线的直径相当,采用与 $3\times 0.20+6\times 0.35$ HT 钢丝帘布相同压延工艺进行压延,压延时频繁出现跳线现象,如图3所示。

图3 工艺调整前 $4+3\times 0.33$ ST 钢丝帘布的压延状况

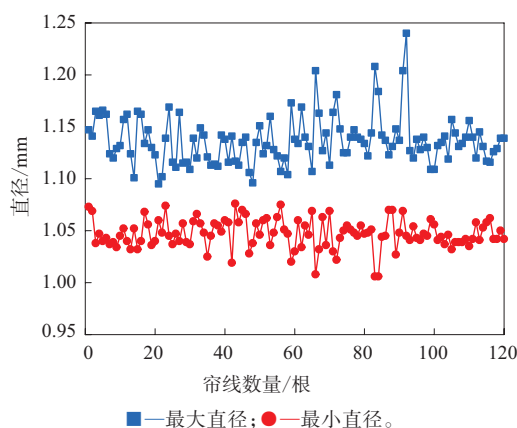
压延过程中跳线不仅影响生产效率,还会导致帘布中帘线排布不均匀,影响轮胎的质量。

2.2.1 钢丝帘布压延跳线原因分析

$4+3\times 0.33$ ST 钢丝帘线为不规则结构,对压

延工艺要求较高,压力辊和整经辊槽径与帘线直径匹配度、锭子架至整经辊/压力辊的距离以及钢丝帘布进入压力辊的角度均有可能导致压延过程中出现跳线现象。

$4+3\times 0.33$ ST 钢丝帘线在同一横截面上绕轴向旋转不同角度检测钢丝帘线的直径时存在较大差异,而 $3\times 0.20+6\times 0.35$ HT 钢丝帘线为规则结构,在同一横截面上绕轴向旋转不同角度检测的直径相差不大。随机选取120根 $4+3\times 0.33$ ST 钢丝帘线进行直径检测,在同一横截面上绕轴向旋转测得的帘线最大直径和最小直径结果如图4所示。

图4 $4+3\times 0.33$ ST 钢丝帘线的直径检测结果

从图4可以看出, $4+3\times 0.33$ ST 钢丝帘线最大直径与最小直径存在较大差异,最大直径均值达到1.137 mm,最小直径均值为1.040 mm。

根据图4对 $4+3\times 0.33$ ST 钢丝帘线最大直径分布进行统计发现,其最大直径大部分处在1.11~1.17 mm之间。

由于 $4+3\times 0.33$ ST 钢丝帘线为不规则结构,同一横截面上不同角度的钢丝帘线直径存在差异,且钢丝帘线存在扭转,在压延过程中会发生一定的旋转,因此 $4+3\times 0.33$ ST 钢丝帘线最大直径和最小直径在压力辊和整经辊处出现的概率相同,由于 $4+3\times 0.33$ ST 钢丝帘线最大直径大部分处在1.11~1.17 mm之间,当压力辊和整经辊槽径小于大部分 $4+3\times 0.33$ ST 钢丝帘线最大直径时,帘线将会从整经辊槽中跳出,导致跳线。因此需要对压力辊和整经辊槽径进行重新设计,使绝大部分 $4+3\times 0.33$ ST 钢丝帘线都能卡在槽内。通过对 $4+3\times 0.33$ ST 钢丝帘线最大直径进行统计可

知, $4+3\times 0.33\text{ST}$ 钢丝帘线压力辊和整经辊槽径至少为 1.15 mm 才能保证绝大部分 $4+3\times 0.33\text{ST}$ 钢丝帘线都能卡在槽内, 避免钢丝帘线出现跳线现象。

另外, 应控制锭子架至整经辊/压力辊的距离, 一般在 15 m 左右, 如果锭子架至整经辊/压力辊的距离过长, 会导致钢丝帘线的张力波动, 钢丝帘线更容易出现跳动现象, 在压延过程中出现跳线风险增大。可以通过安装压托辊和梳线板来减少帘线晃动翻转, 稳定钢丝帘线的张力, 降低压延过程中钢丝帘线的跳线风险。

此外, 钢丝帘布进入压力辊时应尽可能保持水平, 如果钢丝帘布进入压力辊的角度较大, 钢丝帘线更容易从压力辊槽中跳出。

2.2.2 压延工艺调整

通过对压力辊和整经辊槽径进行重新设计, 将压力辊槽径由原来的 1.13 mm 调整为 1.15 mm , 并在压力辊前增加梳线板来稳定钢丝帘线的张力, 再次对 $4+3\times 0.33\text{ST}$ 钢丝帘布进行压延, 整个压延过程顺畅, 无跳线、稀并线情况发生, 帘布表面正常, 达到改善效果, 压延工艺调整后 $4+3\times 0.33\text{ST}$ 钢丝帘布的压延状况如图5所示。



图5 工艺调整后 $4+3\times 0.33\text{ST}$ 钢丝帘布的压延状况

虽然压延过程顺畅, 但通过对 $4+3\times 0.33\text{ST}$ 钢丝帘线最大直径统计发现仍有部分处在 $1.15\sim 1.17\text{ mm}$ 之间, 存在跳线风险。将压力辊槽径改为 1.17 mm 进行验证, 效果较好, 但是在压延速度提升至 $30\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ 以上时仍有跳线现象, 沟槽直径需设计为 1.2 mm , 并要有合适的角度。

2.3 成品轮胎性能

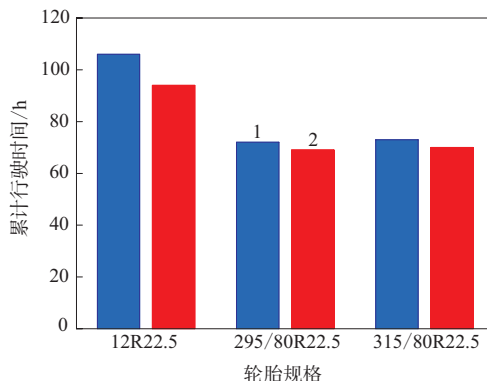
2.3.1 压穿强度

采用 $4+3\times 0.33\text{ST}$ 钢丝帘线生产的 $12\text{R}22.5$, $295/80\text{R}22.5$ 和 $315/80\text{R}22.5$ 轮胎的压穿强度试验结果分别为 $3\ 827.3$, $3\ 478.1$ 和 $3\ 928.3$

J, 明显高于国家标准要求, 达到国家标准值 1.4 倍以上。

2.3.2 耐久性能

采用 $4+3\times 0.33\text{ST}$ 钢丝帘线和 $3\times 0.20+6\times 0.35\text{HT}$ 钢丝帘线生产的 $12\text{R}22.5$, $295/80\text{R}22.5$ 和 $315/80\text{R}22.5$ 轮胎的耐久性能试验结果对比如图6所示。



1— $4+3\times 0.33\text{ST}$; 2— $3\times 0.20+6\times 0.35\text{HT}$ 。

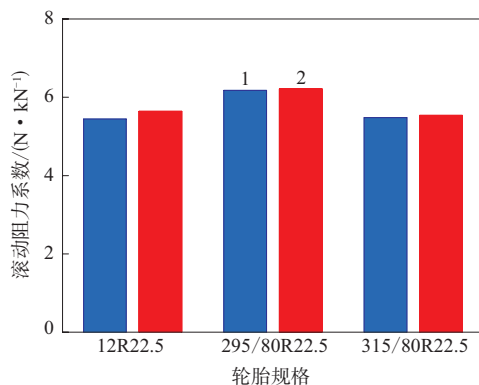
图6 2种钢丝帘线成品轮胎的耐久性能试验结果对比

从图6可以看出, 采用 $4+3\times 0.33\text{ST}$ 钢丝帘线生产的3种规格轮胎的耐久性能均好于采用 $3\times 0.20+6\times 0.35\text{HT}$ 钢丝帘线生产的相同规格轮胎, 耐久性能提升超过4%。

2.3.3 滚动阻力

采用 $4+3\times 0.33\text{ST}$ 钢丝帘线和 $3\times 0.20+6\times 0.35\text{HT}$ 钢丝帘线生产的 $12\text{R}22.5$, $295/80\text{R}22.5$ 和 $315/80\text{R}22.5$ 轮胎的滚动阻力试验结果对比如图7所示。

从图7可以看出, 采用 $4+3\times 0.33\text{ST}$ 钢丝帘线生产的3种规格轮胎的滚动阻力略低于采用 $3\times$



注同图6。

图7 2种钢丝帘线成品轮胎的滚动阻力试验结果

0.20+6×0.35HT钢丝帘线生产的相同规格轮胎,滚动阻力下降幅度不大。

2.4 成本分析

采用帘布等强度替代原则,使用4+3×0.33ST钢丝帘线替代3×0.20+6×0.35HT钢丝帘线时,钢丝帘线及胶料用量对比如表5所示。

表5 两种钢丝帘线及胶料用量对比

项 目	4+3×0.33ST	3×0.20+6×0.35HT
压延密度/(根·dm ⁻¹)	60	60
帘布强度指数	100	100
帘线质量指数	89	100
胶料质量指数	103	100
帘布质量指数	93	100

从表5可以看出,采用4+3×0.33ST钢丝帘线等强度替代3×0.20+6×0.35HT钢丝帘线进行帘布压延时,钢丝帘线质量和帘布质量分别减小11%和7%,有利于减小轮胎质量,降低轮胎制造成本,减少能源消耗。

3 结论

(1) 4+3×0.33ST钢丝帘线外层钢丝对内层钢丝不完全包覆,渗胶性能优良,有利于提高轮胎的使用寿命,覆胶后4+3×0.33ST钢丝帘线弯曲刚度比3×0.20+6×0.35HT钢丝帘线明显提高,

有利于减小轮胎的下沉量,改善轮胎的滚动阻力性能。

(2) 由于4+3×0.33ST钢丝帘线为不规则结构,需要对压力辊和整经辊槽径进行重新设计,使绝大部分4+3×0.33ST钢丝帘线都能卡在槽内,并在压力辊前增加梳线板来稳定钢丝帘线的张力,避免钢丝帘布压延时出现跳线现象。

(3) 采用4+3×0.33ST钢丝帘线等强度替代3×0.20+6×0.35HT钢丝帘线用于全钢载重子午线轮胎带束层,可以减小钢丝帘线质量和帘布质量,实现轮胎轻量化,减少原材料和能源消耗,符合绿色轮胎的发展方向。

参考文献:

- [1] 刘晓芳,隋海涛,张正伟,等. 3+9+15×0.20ST钢丝帘线在全钢载重子午线轮胎胎体中的应用[J]. 轮胎工业,2018,38(10):617-619.
- [2] 李再琴,刘强,单振,等. 湿法混炼白炭黑母胶在全钢载重子午线轮胎胎面胶中的应用[J]. 橡胶工业,2020,67(1):39-44.
- [3] 徐嘉辉. 高性能改性粘合树脂在绿色轮胎中的应用研究[D]. 青岛:青岛科技大学,2021.
- [4] 张利召. 抗湿滑低滚动阻力轮胎胎面胶的研究[D]. 太原:中北大学,2021.
- [5] 蔡磊,宗鑫,张新萍,等. 硫化温度对绿色轮胎胎面胶结构与性能的影响[J]. 中国科学:化学,2021,51(4):476-484.

收稿日期:2021-11-16

Study on Application and Calendering Process of 4+3×0.33ST Steel Cord in Belt of Truck and Bus Radial Tire

WANG Peibin¹, KE Zengguang², GUO Nianguai¹, ZHAO Nianpeng², LIU Yingjun², WANG Aiping²

(1. Triangle Tire Co., Ltd, Weihai 264200, China; 2. Jiangsu Xingda Steel Tyre Cord Co., Ltd, Taizhou 225721, China)

Abstract: The application of 4+3×0.33ST steel cord to replace 3×0.20+6×0.35HT steel cord in the belt of truck and bus radial tire was studied, and the calendering process of 4+3×0.33ST steel cord was discussed. The results showed that, compared with 3×0.20+6×0.35HT steel cord, 4+3×0.33ST steel cord had the advantages of low linear density, good rubber permeability and high bending stiffness with rubber coating, which could realize equal strength and equal density replacement to meet the needs of tire lightweight and reducing manufacturing cost while ensuring various properties of the tire. Because 4+3×0.33ST steel cord had an irregular structure, it was necessary to appropriately match the groove diameter of pressure roller and warping roller to avoid skipping of the steel cord during the calendering process.

Key words: steel cord; truck and bus radial tire; belt; lightweight; calendering process