

3+9+15×0.225ST钢丝帘线在全钢工程机械轮胎中的应用

何跃,周亚兵,薛利杰,陈宇

(风神轮胎股份有限公司,河南 焦作 454003)

摘要:研究3+9+15×0.225ST钢丝帘线在全钢工程机械轮胎中的应用。结果表明:与3+9+15×0.225HT钢丝帘线相比,3+9+15×0.225ST钢丝帘线捻向、捻距、帘线直径、线密度和粘合力基本一致,破断力明显提高,钢丝帘线渗胶性能更好,以其替代3+9+15×0.225HT钢丝帘线用于全钢工程机械轮胎胎体,工艺性能良好,帘布质量减小;与7×7×0.22+0.15HT钢丝帘线相比,3+9+15×0.225ST钢丝帘线单位直径破断力和单位线密度破断力提高,钢丝帘线渗胶性能更好,以其替代7×7×0.22+0.15HT钢丝帘线用于全钢工程机械轮胎带束层,压延和成型工艺性能良好。在部分小规格全钢工程机械轮胎的胎体和带束层中使用3+9+15×0.225ST钢丝帘线后,轮胎承载能力满足要求,轮胎耐久性能提升,同时由于减小了帘布压延厚度和质量可以节约生产成本。

关键词:钢丝帘线;超高强度;全钢工程机械轮胎;胎体;带束层;耐久性能;成本

中图分类号:U463.341⁺.5;TQ330.38⁺9

文献标志码:A

文章编号:1006-8171(2021)09-0568-04

DOI:10.12135/j.issn.1006-8171.2021.09.0568



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

2008年全球经济危机时期,我国大规模地进行基础设施建设,因此对煤炭、砂石、矿石等需求量增长迅速,期间应运而生的具有更大运载能力、更高运输效率、更低成本的矿用宽体自卸车得到大力发展,其配套使用的宽体自卸车专用小规格工程机械轮胎需求量也得到迅猛增长^[1-4]。

我公司一直在推进与配套整车厂商更深度地合作,设计开发符合其车辆在不同工况环境下使用要求的轮胎。为满足市场实际需求以及公司近年“转型升级、以质取胜”的战略主题,进行了大量的提质降本工作。宽体自卸车轮胎因其在矿山环境使用中的特殊运载方式,要求其具备胎面耐磨和抗割裂划伤、超高的承载能力、抗冲击等特性。针对目前矿山市场轮胎使用情况,通过在部分小规格工程机械车辆即矿用自卸车轮胎胎体和带束层中应用3+9+15×0.225ST钢丝帘线进行试验,以期在提高产品性能的同时降低成本以及生产复杂性。

根据市场上现有全钢工程机械轮胎的使用

特点和使用量以及我公司生产使用的钢丝帘线品种,选定市场需求量大、替换周期短、应用范围广泛的14.00R25轮胎进行对比验证。

1 实验

1.1 主要原材料

3+9+15×0.225ST和7×7×0.22+0.15HT钢丝帘线,贝卡尔特沈阳钢帘线有限公司产品;3+9+15×0.225HT钢丝帘线,国内某公司产品。

1.2 主要设备和仪器

S型四辊钢丝帘布压延机,意大利鲁道夫公司产品;90°钢丝帘布裁断机和钢丝帘布斜裁机,天津赛象科技股份有限公司产品;OTR2-1D型一次法成型机,北京恒驰科技有限公司产品;1 727.2 mm (68英寸)热板式双模硫化机,桂林橡胶机械有限公司产品;2836型X光机,德国COLLMANN公司产品;GX-YLN-1214型1.7 m转鼓耐久试验机,青岛高校测控技术有限公司产品。

1.3 生产工艺

本试验需进行骨架材料强度核算,首先通过比德尔曼计算公式,按照现行GB/T 2980—2018《工程机械轮胎规格、尺寸、气压与负荷》中

作者简介:何跃(1989—),男,重庆人,风神轮胎股份有限公司工程师,学士,主要从事轮胎结构设计工作。

E-mail:15139176216@139.com

14.00R25★★★的充气压力与负荷指标,计算满足所需轮胎胎体和带束层的安全倍数后,根据钢丝帘线品种设计不同的帘线密度、带束层角度分布等,然后在相同的设备上裁出具有相同的宽度和角度的半成品进行轮胎成型与硫化。

1.4 性能测试

钢丝帘线与胶料的粘合力按照 ASTM D2229—2014 进行测试,其他物理性能按照我公司原材料标准试验方法进行检测;成品轮胎外缘尺寸按照 GB/T 2980—2018 进行测试,耐久性能按照参考 GB/T 30193—2013《工程机械轮胎耐久性试验方法》制定的企业标准方法进行测试。

2 结果与讨论

2.1 钢丝帘线性能

3+9+15×0.225ST,3+9+15×0.225HT 和 7×7×0.22+0.15HT 钢丝帘线性能指标对比见表 1。

表1 3种钢丝帘线性能指标对比			
项 目	3+9+15× 0.225ST	3+9+15× 0.225HT	7×7×0.22+ 0.15HT
单丝直径/mm	0.225±0.01	0.225±0.01	0.22±0.01
帘线直径/mm	1.38±0.07	1.39±0.07	2.22±0.11
捻向	Z/Z/Z	Z/Z/Z	S/Z/S
内层捻距/mm	6.30±0.30	6.30±0.30	12.50±0.60
中间层捻距/mm	12.50±0.60	12.50±0.60	
外层捻距/mm	18.00±0.90	18.0±0.90	20.00±1.00
外缠丝捻距/mm			5.00±0.25
线密度/(g·m ⁻¹)	8.63±0.45	8.63±0.43	15.20±0.76
破断力/N	≥3 510	≥3 200	5 300±300
单位直径破断力/ (N·m ⁻¹)	2 543	2 302	2 409
单位线密度破断力/ [N·(g·m ⁻¹) ⁻¹]	407	371	349
与胶料粘合力/N	≥1 400	≥1 400	≥1 700

针对上述3种钢丝帘线性能分析如下。

(1)帘线结构。3+9+15×0.225ST与3+9+15×0.225HT 钢丝帘线的捻向、捻距、帘线直径和线密度等基本一致,而7×7×0.22+0.15HT 钢丝帘线则存在较大差异,其层与层之间捻向不同且存在外缠丝,使其使用中受到的剪切力更大,不耐磨损。从钢丝帘线耐磨损方面考虑,无外缠丝、捻向一致的结构具备先天优势^[5-6]。

(2)破断力。3+9+15×0.225ST 钢丝帘线的

破断力明显大于3+9+15×0.225HT 钢丝帘线,而7×7×0.22+0.15HT 钢丝帘线的破断力最大,且帘线直径更大,单根钢丝刚度更高,对轮胎冠部刚性有利。但从钢丝帘线的单位直径破断力和单位线密度破断力来看,3+9+15×0.225ST 钢丝帘线最具优势,其具备了通过帘布压延生产的设计优化来提高整体性能的前提,工艺条件满足的前提下是可以替代帘线破断力更高的7×7×0.22+0.15HT 钢丝帘线的。

(3) 钢丝帘线与胶料粘合力。3+9+15×0.225ST 和 3+9+15×0.225HT 钢丝帘线与胶料粘合力处于相同水平,7×7×0.22+0.15HT 钢丝帘线虽然粘合力最大,但是其帘线直径更大,通过电镜扫描钢丝渗胶截面发现其渗胶能力反而是最差的,这将缩短轮胎实际使用寿命。通常,3+9+15×0.225ST 钢丝帘线只用于部分承载要求较高的载重轮胎,通过以上对比可见,其优势具备了替代其他两种钢丝帘线在部分工程机械轮胎中应用的可能。

2.2 工艺性能

为满足宽体自卸车用轮胎市场的超高充气压力和高负荷使用情况,保证轮胎胎体的承载能力及冠部强度,在保证轮胎各部位强度的基础上适当调整钢丝帘布压延密度和压延厚度。3种钢丝帘布压延工艺参数对比见表2。

表2 3种钢丝帘布压延工艺参数对比			
项 目	3+9+15× 0.225ST	3+9+15× 0.225HT	7×7×0.22+ 0.15HT
帘线直径/mm	1.38	1.39	2.22
帘布密度/(根·dm ⁻¹)	50	52	33
帘布厚度/mm	3.0	3.0	4.2
覆胶量/(kg·m ⁻²)	2.590	2.543	3.361
帘线质量/(kg·m ⁻²)	4.315	4.488	5.016
帘布质量/(kg·m ⁻²)	6.905	7.031	8.377
帘线间距/mm	0.62	0.54	0.81

针对3种钢丝压延帘布及工艺参数分析如下。

(1)3种钢丝帘布由于钢丝帘线直径差异导致压延帘布厚度和密度也存在差异,3+9+15×0.225ST 钢丝帘线的压延帘布质量和帘线质量最小,帘线间距与帘线直径比值最大,单位间隙内的胶料比例更大,能够提升钢丝帘线的渗胶性

能及耐腐蚀能力。

(2) 相对 $3+9+15\times 0.225\text{HT}$ 钢丝帘线, $3+9+15\times 0.225\text{ST}$ 钢丝帘线在压延过程中除了可以采用相同的压延厚度、压延速度、压延张力等工艺参数外,压延时更不易跳线,钢丝帘线排列更均匀。相对 $7\times 7\times 0.22+0.15\text{HT}$ 钢丝帘线, $3+9+15\times 0.225\text{ST}$ 钢丝帘线直径小,单根钢丝帘线锭子满锭长度能够长1倍多,帘布厚度也相对较小,单辊压延帘布更长,生产效率也更高,有限的空间布局情况下有利于产能提升。

(3) 3种钢丝帘布均可以采用与载重轮胎生产相同的小型帘布裁断机生产线, $3+9+15\times 0.225\text{HT}$ 和 $3+9+15\times 0.225\text{ST}$ 钢丝帘布的裁断通过性及半成品质量几乎一致,而 $7\times 7\times 0.22+0.15\text{HT}$ 钢丝帘布在裁断时受到钢丝帘线本身性能、帘布压延工艺质量及裁断卷曲张力等的影响,存在帘布钢丝端点散开、带束层大头小尾等问题,裁断机的裁刀损耗过快,尤其是在裁断小角度的带束层时这些问题更加突出。

(4) $3+9+15\times 0.225\text{ST}$ 钢丝帘线在成型工艺性能方面也具有一定优势。 $3+9+15\times 0.225\text{HT}$ 钢丝帘线主要应用于载重轮胎及部分小规格工程机械轮胎胎体, $7\times 7\times 0.22+0.15\text{HT}$ 钢丝帘线则主要应用于较大规格工程机械轮胎的胎体和带束层,存在中间性价比帘线区域。 $3+9+15\times 0.225\text{ST}$ 钢丝帘线能够用于含20.5R25及以下规格工程机械轮胎的胎体和带束层。在部分规格轮胎的带束层中使用 $3+9+15\times 0.225\text{ST}$ 钢丝帘线替代 $7\times 7\times 0.22+0.15\text{HT}$ 钢丝帘线时,冠带层厚度减小,刚度降低,轮胎成型时胎冠部分更容易辊压贴合。总的来说,在满足工艺通过性要求情况下, $3+9+15\times 0.225\text{ST}$ 钢丝帘线能够适应更广的应用范围。

(5) $3+9+15\times 0.225\text{ST}$ 钢丝帘线的优越性主要体现在替换 $7\times 7\times 0.22+0.15\text{HT}$ 钢丝帘线使用方面,其钢丝帘布厚度更小,使得成型后胎冠部分整体厚度有所减小^[7-9],这有利于缩短轮胎硫化时间。结合公司对部分产品由蒸锅式硫化改热板式硫化的提产改进项目^[10-11],钢丝帘线的替换在一定程度上促进了轮胎性能和产量提升。

2.3 成品性能

考虑到14.00R25轮胎充气压力、负荷及实际使用安全倍数,将 $3+9+15\times 0.225\text{ST}$, $3+9+15\times 0.225\text{HT}$ 和 $7\times 7\times 0.22+0.15\text{HT}$ 钢丝帘线应用于轮胎带束层或/和胎体进行不同组合方案以生产14.00R25★★★宽体自卸车用全钢工程机械轮胎,成品轮胎性能测试结果见表3。

表3 3种方案成品轮胎性能测试结果

项 目	方案1	方案2	方案3
胎体钢丝帘线结构	$3+9+15\times 0.225\text{HT}$	$3+9+15\times 0.225\text{HT}$	$3+9+15\times 0.225\text{ST}$
带束层钢丝帘线结构	$3+9+15\times 0.225\text{HT}$	$7\times 7\times 0.22+0.15\text{HT}$	$3+9+15\times 0.225\text{ST}$
轮胎外径/mm	1 356	1 350	1 348
轮胎断面宽/mm	365	368	370
耐久性能 ¹⁾			
累计行驶时间/h	71	70	73
试验结束时轮胎状况	肩空	冠空	肩空
实际使用情况 ²⁾	冠爆比例 大于30%	使用正常	使用正常, 下沉量略大

注:1) 前3阶段按GB/T 30193—2013《工程机械轮胎耐久性试验方法》进行,第4阶段试验负荷为额定负荷的110%,试验时间为10 h;第5阶段试验负荷为额定负荷的120%,速度由 $20\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 提升至 $25\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$,试验时间为10 h;第6阶段试验负荷为额定负荷的130%,速度由 $25\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 提升至 $30\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$,试验直至轮胎损坏为止。企业标准要求累计行驶时间超过57 h判定为合格。

2) 由于缺乏适合测试范围能力的工程机械轮胎专用强度试验机,对不同方案轮胎进行市场实际使用跟踪,结合市场实际情况进行汇总评价。

2.4 实车路试性能

将试制的14.00R25★★★宽体自卸车用全钢工程机械轮胎发往内蒙古、新疆、福建等省和自治区进行装车试验跟踪对比。结合该型轮胎市场使用周期普遍在3~6个月,经过近半年的实际使用跟踪,方案2和方案3轮胎在超高充气压力、超高负荷情况下使用时爆胎尤其是冠爆的发生率比方案1轮胎大幅降低至小于1%,满足了客户对轮胎承载能力的要求。方案3相对方案2在实际使用情况下存在下沉量较大问题,实际测量下沉量增大8~15 mm,但能够满足使用要求,且舒适性有适当提升。

2.5 成本分析

用 $3+9+15\times 0.225\text{ST}$ 钢丝帘线替代 $3+9+15\times 0.225\text{HT}$ 钢丝帘线应用于全钢工程机械轮胎

胎体,帘布质量略有减小,但钢丝帘线成本略有增大,替换后的整体成本持平。3+9+15×0.225ST钢丝帘线相对7×7×0.22+0.15HT钢丝帘线成本每吨节约约440元,将其应用于14.00R25★★★全钢工程机械轮胎带束层时,帘布质量大幅减小,单胎质量减小约2.7 kg,单胎成本降低约65元,同时过程损耗也得到降低,过程及能耗损失每万元大约减少2.5元。

3 结语

在宽体自卸车用全钢工程机械轮胎14.00R25★★★中采用3+9+15×0.225ST钢丝帘线替代3+9+15×0.225HT钢丝帘线应用于胎体、替代7×7×0.22+0.15HT钢丝帘线应用于带束层,轮胎胎体承载能力显著提升,胎冠强度满足实际应用要求,成品轮胎整体强度和耐久性能有所提高,满足市场要求。

在大规模工业化生产中,通过钢丝帘线品种优化及合并使用,在降低轮胎物料成本的同时可降低半成品生产的复杂程度及过程损耗,提升产能效率,符合公司发展战略。

参考文献:

- [1] 贺红娟,刘二强,王宜.一种非公路宽体自卸车单边窄体驾驶室的人机工程布置[J].重型汽车,2020(4):21-22.
- [2] 郭其焰,许志展,蔡文山,等.7×7×0.22+0.15HT钢丝帘线在OTR轮胎带束层中的应用[C].第五届中国高校采矿技术与装备论坛,贵阳:中国有色金属学会采矿学术委员会,2014:112.
- [3] 席学斌,孙林伟,王青松,等.非公路宽体自卸车滚翻保护结构的设计与测试[J].工程机械与维修,2019(6):44-47.
- [4] 武梅丞,李文东,杨茂林,等.巨型工程机械子午线轮胎的变温硫化工艺研究[J].橡胶工业,2019,66(2):142-145.
- [5] 刘兴华,胡湘琦.2+7×0.30ST钢丝帘线在全钢载重子午线轮胎带束层中的应用[J].轮胎工业,2020,40(7):428-430.
- [6] 王佳莉.天然橡胶与钢丝帘线的粘合及微观结构研究[D].青岛:青岛科技大学,2017.
- [7] 杨清芝.现代橡胶工艺学[M].北京:中国石化出版社,2004.
- [8] 梁星宇,周木英.橡胶工业手册(修订版)第三分册 配方与基本工艺[M].北京:化学工业出版社,1989.
- [9] 马明强.子午线轮胎中的钢丝帘线/橡胶界面结构及其动态演变[D].青岛:青岛科技大学,2013.
- [10] 魏利萍.基于硫化测温技术的轮胎硫化工艺改善和配方优化[D].青岛:青岛科技大学,2015.
- [11] 吴畏.轮胎无胶囊定型硫化设备及工艺研究[D].北京:北京化工大学,2017.

收稿日期:2020-08-18

Application of 3+9+15×0.225ST Steel Cord in All-steel Off-The-Road Tire

HE Yue, ZHOU Yabing, XUE Lijie, CHEN Yu

(Aeolus Tyre Co., Ltd, Jiaozuo 454003, China)

Abstract: The application of 3+9+15×0.225ST steel cord in all-steel off-the-road tire was studied. The results showed that, compared with 3+9+15×0.225HT steel cord, 3+9+15×0.225ST steel cord had basically the same twist direction, twist length, cord diameter, linear density and adhesive force; however, the breaking force of 3+9+15×0.225ST steel cord was significantly higher, and the compound penetration of steel cord was better. Using 3+9+15×0.225ST steel cord to replace 3+9+15×0.225HT steel cord in the carcass of all-steel off-the-road tire, the processing performance was good, and the cord weight was reduced. Compared with 7×7×0.22+0.15HT steel cord, the breaking force per unit diameter and per linear density of 3+9+15×0.225ST steel cord were higher, and the compound penetration of the steel cord was better. Using 3+9+15×0.225ST steel cord to replace the 7×7×0.22+0.15HT steel cord in the belt of all-steel off-the-road tire, the calendaring and building process performance were good. Using 3+9+15×0.225ST steel cords for the carcass and belt of some small-sized all-steel off-the-road tires, the load-bearing capacity of the finished tire met the product requirements, the durability of the tire was improved, and the production cost was reduced due to the reduction of the thickness and weight of the cord fabrics.

Key words: steel cord; super high tenacity; all-steel off-the-road tire; carcass; belt; durability; cost