

超高强度钢丝帘线的压延工艺研究

王欢,张春学

(风神轮胎股份有限公司,河南 焦作 454003)

摘要:研究超高强度钢丝帘线的压延工艺。以 $0.22+6+11\times 0.205\text{ST}$ 钢丝帘线替代 $3+9+15\times 0.175+0.15$ 钢丝帘线用于全钢载重子午线轮胎胎体,通过采取调整压延机辊筒速比、补偿压延机辊筒挠度及调整粘合胶料门尼粘度等措施,有效解决了 $0.22+6+11\times 0.205\text{ST}$ 超高强度钢丝帘线压延过程中出现的钢丝帘线表面覆胶差、裁断过程中出现的接头缝合质量差及充气定型过程中钢丝与胶料分离等质量问题,提升了轮胎生产过程的稳定性和工艺性能。

关键词:全钢载重子午线轮胎;超高强度钢丝帘线;压延工艺;钢丝帘布剥离力;钢丝帘线渗胶性;胶料门尼粘度

中图分类号:U463.341⁺.3/.6;TQ330.38⁺9

文献标志码:A

文章编号:1006-8171(2020)12-0756-05

DOI:10.12135/j.issn.1006-8171.2020.12.0756



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

随着国家持续推进蓝天保卫战及配套行动计划的实施以及我国道路状况的改善,商用车整车轻量化已成为国内各主机厂的发展目标。轮胎作为车辆的重要组成部分,轻量化已成为一种发展趋势^[1]。因此,根据钢丝帘线的性能指标和轮胎的设计指标,轮胎行业大多采用超高强度钢丝帘线替代普通强度钢丝帘线^[2]。

我公司全钢载重子午线轮胎胎体采用 $0.22+6+11\times 0.205\text{ST}$ 超高强度钢丝帘线替代 $3+9+15\times 0.175+0.15$ 钢丝帘线后,通过优化压延工艺参数,有效改善了 $0.22+6+11\times 0.205\text{ST}$ 钢丝帘线压延后表面覆胶和渗胶情况以及成型充气过程中钢丝帘线与胶料分离等质量问题。现将研究情况简要介绍如下。

1 钢丝帘线物理性能对比

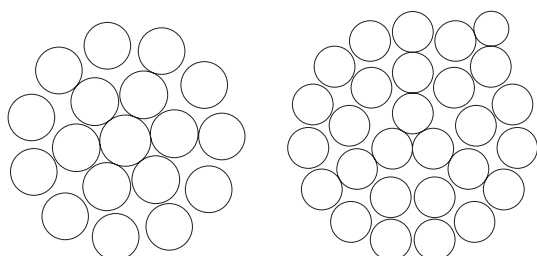
1.1 结构

$0.22+6+11\times 0.205\text{ST}$ 和 $3+9+15\times 0.175+0.15$ 钢丝帘线结构如图1所示。

从图1可以看出: $0.22+6+11\times 0.205\text{ST}$ 钢丝帘线为开放型结构,排列简单,直径小,强度大,有利于胶料渗透,无外缠丝切割造成帘线疲劳断裂

作者简介:王欢(1990—),男,河南兰考人,风神轮胎股份有限公司助理工程师,学士,主要从事全钢载重子午线轮胎生产工艺管理和研究工作。

E-mail:wanghuan2703@163.com



(a) $0.22+6+11\times 0.205\text{ST}$ (b) $3+9+15\times 0.175+0.15$

图1 两种钢丝帘线结构

的风险; $3+9+15\times 0.175+0.15$ 钢丝帘线为普通结构(股绳的捻向与帘线的捻向相反),内层与中间层捻向一致,均为S向,单丝之间为线接触,接触面积大,接触压力小,外缠丝提高了钢丝帘线结构紧密程度,可有效防止裁断后帘线散头。

1.2 性能指标

$0.22+6+11\times 0.205\text{ST}$ 和 $3+9+15\times 0.175+0.15$ 钢丝帘线基本性能对比如表1所示。

从表1可以看出, $0.22+6+11\times 0.205\text{ST}$ 钢丝

表1 钢丝帘线基本性能对比

项 目	$0.22+6+11\times 0.205\text{ST}$	$3+9+15\times 0.175+0.15$
帘线直径/mm	1.03	1.34
线密度/($\text{g}\cdot\text{m}^{-1}$)	4.79	5.42
帘线捻距/mm	16.00	5/10/16/3.5
帘线捻向	SS	SSZS
残余扭转(6 m)/捻	0	0
破断力/N	$\geq 1\ 930$	$\geq 1\ 830$

帘线的直径和线密度略小于 $3+9+15 \times 0.175+0.15$ 钢丝帘线,但最小破断力有所提高,可提升材料使用效率。此外, $0.22+6+11 \times 0.205$ ST钢丝帘线采用超高强度单丝,可以增大胎体帘布强度,改善帘线渗胶性能,减缓帘线腐蚀。

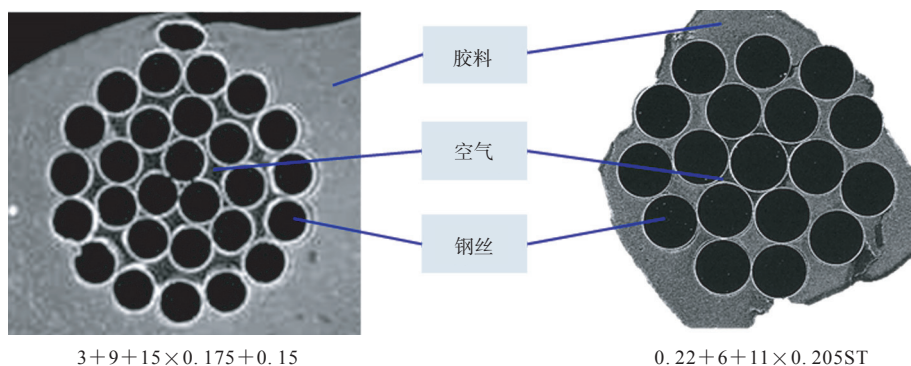


图2 两种覆胶钢丝帘线截面对比

帘线,捻向为SSZS,单丝之间接触面积大,在压延过程中渗胶性能较差; $0.22+6+11 \times 0.205$ ST钢丝帘线截面中空气占比较小,因其为开放型结构,捻向为SS,排列结构简单,单丝之间接触面积相对较小,渗胶性能较好。

钢丝帘线空气含量可以表征其渗胶情况。通过钢丝帘线空气含量测试, $3+9+15 \times 0.175+0.15$ 和 $0.22+6+11 \times 0.205$ ST钢丝帘线的空气含量指数分别为1和0.58。进一步说明采用开放型全渗胶结构的 $0.22+6+11 \times 0.205$ ST钢丝帘线的空气含量较小、渗胶率较高,帘布粘合强度高,有利于提升轮胎的耐久性能。

2.2 钢丝帘布剥离力

钢丝帘布剥离力测试结果如图3和4及表2和3所示。

从两种钢丝帘布剥离试验结果可以得出: $0.22+6+11 \times 0.205$ ST钢丝帘布剥离力均值为174.18 N,帘布剥离试样表面覆胶等级为5级(覆胶率100%),且覆胶厚度均匀; $3+9+15 \times 0.175+0.15$ 钢丝帘布剥离力均值为131.13 N,帘布剥离试样表面覆胶等级同样为5级(覆胶率100%),但覆胶厚度不均匀。

从分子级别而言,当钢丝帘线与橡胶分子链的粘合力大于橡胶分子间的粘合力时,钢丝帘线与橡胶的粘合力即达到了钢丝帘布的设计标准。

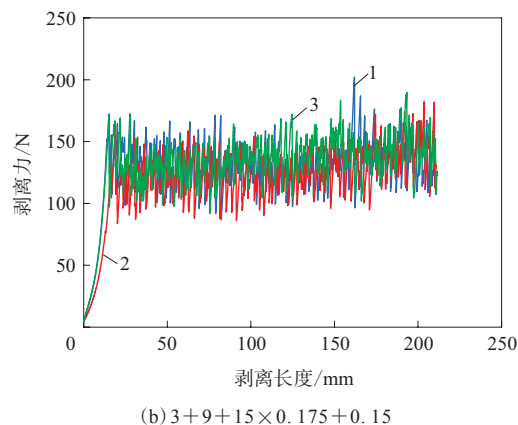
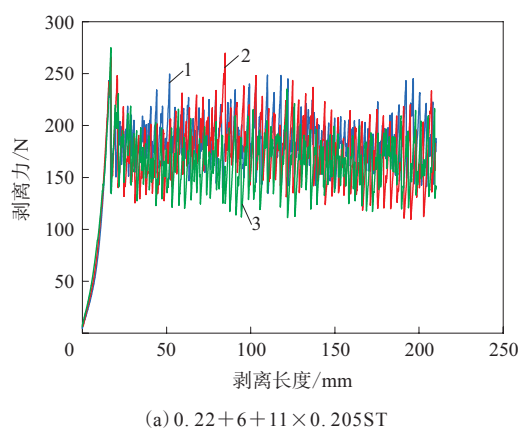
2 钢丝帘布检测性能对比

2.1 钢丝帘线渗胶情况

两种覆胶钢丝帘线截面对比如图2所示。

从图2可以看出: $3+9+15 \times 0.175+0.15$ 钢丝帘线中空气占比较大,因其属于普通结构钢丝

钢丝帘布剥离力(钢丝帘线与橡胶的粘合力)可用



1—试样1;2—试样2;3—试样3。

图3 钢丝帘布剥离力测试结果



(a) 0.22+6+11×0.205ST



(b) 3+9+15×0.175+0.15

图4 钢丝帘布剥离试样外观

表2 0.22+6+11×0.205ST钢丝帘布剥离力测试数据

项目	F_a/N	F_{max}/N	F_{min}/N	F_{max}/N	F_{min}/N	n	R/N
试样1	185.44	212.59	158.54	249.74	131.62	70	54.05
试样2	174.24	209.78	143.40	268.92	108.07	58	66.39
试样3	162.86	190.54	136.52	234.65	110.43	76	54.01
x_a	174.18	204.30	146.15	251.10	116.71	68	58.15
S	11.292	12.003	11.263	17.176	12.966	9	7.134
$v/\%$	6.48	5.87	7.71	6.84	11.11	13.48	12.27

注： F_a 为全过程拉力均值， F_{max} 为拉力过程中峰值均值， F_{min} 为拉力过程中谷值均值， F_{max} 为全过程拉力最大值， F_{min} 为全过程拉力最小值， n 为峰数， R 为拉力稳定后峰谷极差， x_a 为样本均值， S 为标准差， v 为偏移系数（参考值）。

表3 3+9+15×0.175+0.15钢丝帘布剥离力测试数据

项目	F_a/N	F_{max}/N	F_{min}/N	F_{max}/N	F_{min}/N	n	R/N
试样1	132.44	152.05	114.01	201.97	86.94	84	38.04
试样2	125.01	144.19	106.87	173.88	85.92	74	37.32
试样3	135.94	152.93	118.72	189.63	92.30	78	34.21
x_a	131.13	149.72	113.20	188.49	88.39	79	36.52
S	5.582	4.815	5.968	14.076	3.428	5	2.04
$v/\%$	4.26	3.22	5.27	7.47	3.88	6.40	5.58

注：同表2。

于表征压延钢丝帘布的质量和工艺稳定性、胶料性能以及轮胎粘合界面性能等^[3]。

从两种规格钢丝帘布剥离力测试结果可以得出，开放型结构钢丝帘线渗胶率和剥离后的覆胶效果优于紧密型结构钢丝帘线，进一步证实了开放型结构钢丝帘线的优势。

3 钢丝帘布压延工艺对比

两种钢丝帘布参数对比如表4所示。

表4 两种钢丝帘布参数对比

项 目	0.22+6+11×0.205ST	3+9+15×0.175+0.15
帘布密度/(根·dm ⁻¹)	55	55
帘布厚度/mm	2.1	2.3
钢丝帘布覆胶量/(kg·m ⁻²)	1.970	2.282
单位面积钢丝帘线质量/(kg·m ⁻²)	2.635	2.981
单位面积钢丝帘布质量/(kg·m ⁻²)	4.605	5.263
钢丝帘线间距/mm	0.55	0.55

从表4可以看出，两种钢丝帘布的密度均为55根·dm⁻¹，由于0.22+6+11×0.205ST钢丝帘线直径小，在保证钢丝帘布强度不降低的前提下，一定程度上减小了帘布的覆胶厚度，从而减小了帘布的整体厚度。单位面积下0.22+6+11×0.205ST钢丝帘布质量比等帘布密度下的3+9+15×0.175+0.15钢丝帘布减小0.658 kg·m⁻²。通过减小帘布质量、更换结构更优的钢丝帘线可以降低帘线磨损，从而延长胎体寿命。

3.1 压延机辊筒速比

钢丝帘布压延机S形分布的辊筒如图5所示。

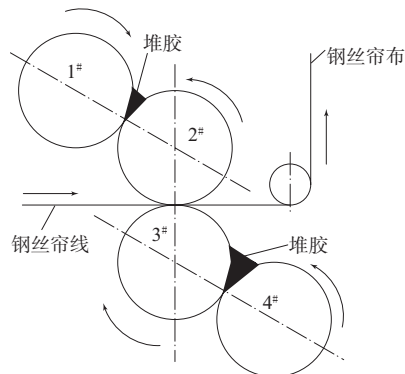


图5 钢丝帘布压延机S形分布的辊筒

从图5可以看出，钢丝帘线通过配套的整经辊和压力辊排列好后到达压延机，压延机1#和2#辊筒及3#和4#辊筒分别压出一定厚度的胶片，将排列好的钢丝帘线夹在胶片中间经过2#和3#辊筒复合成为钢丝帘布。辊筒速比参考范围为：1#辊筒转速小于75%的2#辊筒转速，4#辊筒转速小于75%的3#辊筒转速，2#辊筒转速小于95%的3#辊筒转速。

采用3+9+15×0.175+0.15钢丝帘线生产C55-175W规格钢丝帘布时压延机1#、2#、3#、4#辊筒最优速比为0.8:1:1:0.8。由于钢丝帘线带外缠丝，帘布挂胶效果较好。

采用0.22+6+11×0.205ST钢丝帘线生产

C55-205ST规格钢丝帘布时,由于钢丝帘线不带外缠丝,帘布覆胶效果较差,因此需要调整速比。根据覆胶原理和反复试验最终得出1[#],2[#],3[#],4[#]辊筒最优速比为0.8:0.93:1:0.8。2[#]和3[#]辊筒之间有转速差,通过转速差可以增大胶片与钢丝帘线之间的相对速度(称为钢丝帘线的覆胶速度),2[#]和3[#]辊筒的速比即为覆胶速比。

在钢丝帘布生产过程中,为使钢丝帘布覆胶达到最优,根据钢丝帘线直径和帘布厚度,每个规格钢丝帘布生产过程中都有其最佳的覆胶速比。

3.2 压延机辊筒挠度

压延时胶料在辊筒表面旋转摩擦力作用下被带入辊筒间,受到辊筒挤压和剪切作用而发生塑性流动变形。胶料在辊筒间的位置不同,所受的压力和流速也不一样。压延时胶料对辊筒有反作用力,即为横压力。一般而言,胶料粘度越大,压延速度越大,辊温越低,供胶量越多,压延半成品的厚度和宽度越大,横压力也越大。

压延过程中,辊筒在胶料横压力作用下会产生轴向弯曲弹性变形,变形量用辊筒轴线中央偏离原来水平位置的距离表示,称为辊筒挠度。挠度的产生使压延半成品沿宽度方向上的断面厚度不均匀,中间厚度大于两边,从而产生帘布虚边的情况,给裁断和成型工序带来较多不便,甚至会产生大量不合格轮胎成品。

辊筒挠度补偿的目的是获得厚度均匀的压延制品,一般采用调整辊筒轴交叉的方法,如图6所示,采用专门机构使两辊筒的轴线由平行状态偏移,使辊筒轴线之间交叉形成夹角(α),即形成两端辊隙大、中间辊隙小的状态,与挠度对辊隙的作用相抵消,从而达到补偿辊筒挠度的目的。

一般来说, α 的调整范围为 $0^\circ \sim 2^\circ$ 。对于钢丝帘布压延机S形分布的辊筒,1[#]与2[#]辊筒之间为轴

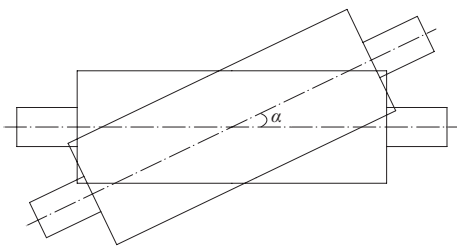
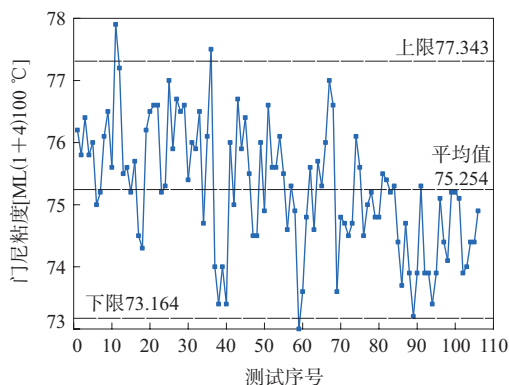


图6 压延辊筒轴交叉原理示意

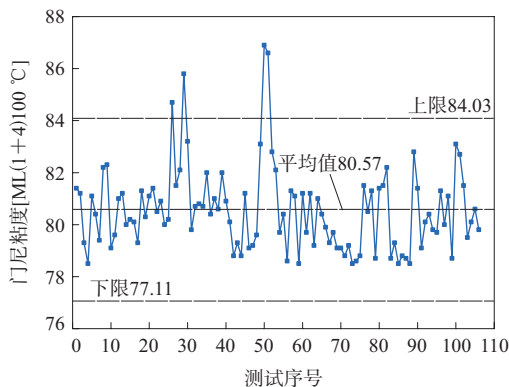
交叉;2[#]与3[#]辊筒之间为预负荷(轴弯曲);3[#]与4[#]辊筒之间为轴交叉。生产0.22+6+11×0.205ST钢丝帘布时, α 取 0.8° 。

3.3 胶料门尼粘度

采用0.22+6+11×0.205ST钢丝帘线替代3+9+15×0.175+0.15钢丝帘线生产全钢载重子午线轮胎胎体帘布,分析胎体粘合胶料门尼粘度对压延的影响。胎体粘合胶料门尼粘度单值控制图如图7所示。



(a) 门尼粘度均值为75的胶料



(b) 门尼粘度均值为80的胶料

图7 胎体粘合胶料门尼粘度单值控制图

胶料的门尼粘度可反映橡胶的加工性能和相对分子质量及其分布^[4-5]。橡胶分子链越长,其门尼粘度越高,可塑性和流动性越差。胶料的门尼粘度高,经压延后的胶片收缩率大,半成品产生的压延效应也就更大。在低压延效应和高压延效应下生产的0.22+6+11×0.205ST钢丝帘布如图8所示。

从图8可以看出,压延效应较高会造成钢丝帘布在裁切时出现翘头情况,影响钢丝帘布的缝合

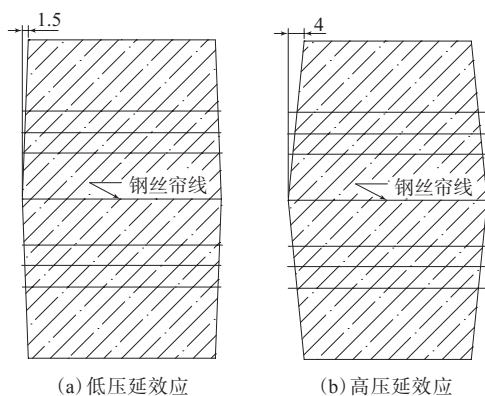


图8 胶料压延效应对0.22+6+11×0.205ST
钢丝帘布的影响

质量,因此可以通过控制胶料的门尼粘度缓解钢丝帘布压延过程中的胶料压延效应。

综合我公司胎体粘合胶料性能、压延过程参数控制、帘布测试结果以及裁断成型工序的使用反馈,认为门尼粘度控制在70~75可以有效提升超高强度钢丝帘线的加工和使用性能,降低成品轮胎帘线类缺陷。

4 结论

随着轮胎轻量化的推进,超高强度钢丝帘线在轮胎行业中得到广泛应用,提升超高强度钢丝帘线的工艺过程稳定性是目前轮胎行业面临的一项重要技术课题。

与3+9+15×0.175+0.15钢丝帘线相比,0.22+6+11×0.205ST钢丝帘线具有排列简单、直径小、强度大及渗胶性能好等优点。以0.22+6+11×0.205ST钢丝帘线替代3+9+15×0.175+0.15钢丝帘线用于全钢载重子午线轮胎胎体,通过采用调整压延机辊筒速比、补偿压延机辊筒挠度及调整粘合胶料门尼粘度以缓解胶料压延效应等措施,可以提升0.22+6+11×0.205ST超高强度钢丝帘线的压延过程和产品稳定性,提高裁断和成型工序的加工和使用性能,减少钢丝帘布损耗和成品轮胎帘线类缺陷,提高企业的经济效益。

参考文献:

- [1] 王梦蛟.绿色轮胎的发展及其推广应用[J].橡胶工业,2018,65(1):105-112.
- [2] 刘晓芳,隋海涛,丁宁,等.0.25+6+12×0.225ST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(2):102-104.
- [3] 杨海燕,朱宏明.帘布动态粘合性能测试方法[J].中国橡胶,2015(5):47-48.
- [4] 杨清芝.现代橡胶工艺学[M].北京:中国石化出版社,1997:622-636.
- [5] Jin H P, Li J G, Wang M, et al. Ensemble Just-in-time Learning—Based Soft Sensor for Mooney Viscosity Prediction in an Industrial Rubber Mixing Process[J]. Advances in Polymer Technology, 2020(3):1155.

收稿日期:2020-07-26

Study on Calendering Process of Super-High Tenacity Steel Cord

WANG Huan, ZHANG Chunxue

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

Abstract: The calendering process of super-high tenacity steel cord was studied in order to replace 3+9+15×0.175+0.15 steel cord with 0.22+6+11×0.205ST steel cord in the carcass of truck and bus radial tire. The test results showed that in the calendering process of the 0.22+6+11×0.205ST steel cord, by adjusting the roller speed ratio of the calender, compensating the roller deflection, and adjusting Mooney viscosity of the adhesive compound, the quality problems such as poor rubber coating on steel cord surface during the calendering process, poor joint stitching quality during the cutting process and delamination of steel cord and compound during the inflation setting process were effectively solved, and the stability and processing property of the tire production were improved.

Key words: truck and bus radial tire; super-high tenacity steel cord; calendering process; peeling force of steel cord; rubber permeation of steel cord; Mooney viscosity of compound