

环保高强度再生胶在半钢轮胎胎面胶配方中的应用

汪燕,徐旗,于建伟,徐文龙,孙世悦,崔雪静,邱海强,李崇兵

[浦林成山(山东)轮胎有限公司,山东 威海 264300]

摘要:研究环保高强度再生胶在半钢轮胎胎面胶中的应用。结果表明:与未添加环保高强度再生胶的胶料相比,添加环保高强度再生胶对胶料的加工性能、滚动阻力和抗湿滑性能基本无影响;胶料老化前后的拉伸强度和拉伸伸长率有下降趋势,其他物理性能及耐磨性能相当;成品轮胎的高速和耐久性能相当,均达到企业标准要求;路试轮胎耐磨性能略有下降,胎面无异常磨损问题。

关键词:环保高强度再生胶;半钢轮胎;胎面胶;磨损

中图分类号:TQ330.3

文献标志码:A

文章编号:1006-8171(2023)04-0210-05

DOI:10.12135/j.issn.1006-8171.2023.04.0210



全球每年有数千万吨废橡胶产生,2020年仅我国的废旧轮胎就有1 390万t,如何对其进行有效处理已成为全社会普遍关注的问题。自1910年起,各国科学家纷纷研究更为有效的废橡胶再生处理技术^[1-2]。近年来我国再生橡胶加工工艺不断完善,下游应用领域逐渐广泛,2020年我国再生橡胶产量为460万t。

再生橡胶是指废旧硫化胶经过粉碎、加热、机械处理等物理和化学过程,使其从弹性状态变成具有塑性和粘性的、能够再硫化的橡胶。再生橡胶一直是世界橡胶工业的重要原材料,一方面可以代替橡胶,缓解天然橡胶的严重匮乏;另一方面可实现橡胶制品的回收再利用,解决了废橡胶的环境污染问题^[3-8]。

本工作使用的环保高强度再生胶采用全钢子午线轮胎胎面材料生产,软化剂为环保型植物软化剂,旨在研究环保高强度再生胶对半钢轮胎胎面胶性能的影响。

1 实验

1.1 主要原材料

溶聚丁苯橡胶(SSBR,苯乙烯质量分数为25%)、乳聚丁苯橡胶(ESBR)1723、丁苯橡胶

(SBR)1502、顺丁橡胶(BR)9000、炭黑N234、白炭黑、硅烷偶联剂Si75和环保高强度再生胶,国内厂家产品。

1.2 配方

SSBR/ESBR/SBR 80, BR 20, 炭黑N234 60, 白炭黑 20, 硅烷偶联剂Si75 1.8, 活性剂 4, 软化增塑剂 3.5, 防老剂 4.5, 硫黄 2, 促进剂 2.3, 环保高强度再生胶 变量。

配方1—4中环保高强度再生胶的用量分别为0, 5, 10和15份。

1.3 主要设备和仪器

X(S)M-1.5型密炼机和XK(S)-160型开炼机,青岛科高橡塑机械技术装备有限公司产品;GE420/GE800型串联密炼机和GK270型密炼机,益阳橡胶塑料机械集团有限公司产品;V502H-18X型平板硫化机,美国WASBASH MPI公司产品;UM2050型门尼粘度仪,青岛育肯仪器有限公司产品;MDR 3000型无转子硫化仪,德国Montech公司产品;Instron 3365型拉力试验机,美国Instron公司产品;VR-7130型动态热机械分析仪和AB-1154型兰伯恩磨耗试验机,日本株式会社上岛制作所产品;GT-7012-D型DIN磨耗机,中国台湾高铁检测仪器有限公司产品;GT-7012-A型阿克隆磨耗机,高特威尔科学仪器(青岛)有限公司产品。

作者简介:汪燕(1985—),女,山东临清人,浦林成山(山东)轮胎有限公司工程师,硕士,主要从事轮胎配方设计开发工作。

E-mail:yawang@prinxschengshan.com

1.4 混炼工艺

1.4.1 小配合试验

胶料在密炼机中分两段进行混炼。
一段混炼转子转速为70 r·min⁻¹,压砣压力为0.5 MPa,混炼工艺为:加入生胶、环保高强度再生胶、白炭黑和硅烷偶联剂→压压砣30 s→加入活性剂、防老剂、软化增塑剂和炭黑→压压砣30 s,转子转速降至55 r·min⁻¹→中到位清扫,压压砣25 s→提压砣,转子转速降至45 r·min⁻¹→压压砣(150 ℃),恒温混炼60 s→排胶,开炼机出片,冷却。

二段混炼转子转速为45 r·min⁻¹,压砣压力为0.5 MPa,混炼工艺为:加入一段混炼胶、硫黄和促进剂→压压砣20 s,中到位清扫,转子转速降至35 r·min⁻¹→压压砣20 s→提压砣保持10 s→压压砣至100 ℃→排胶,开炼机出片,冷却。

1.4.2 大配合试验

胶料在串联密炼机进行一段混炼,在GK270型密炼机中进行终炼。

一段混炼上密炼机转子转速为50 r·min⁻¹,压砣压力为0.4 MPa,混炼工艺为:加入生胶、环保高强度再生胶、白炭黑、硅烷偶联剂、软化增塑剂和防老剂→压压砣25 s→加入炭黑,转子转速降至40 r·min⁻¹→压压砣20 s→提压砣,转子转速降至30 r·min⁻¹→压压砣20 s→加入活性剂→压压砣至155 ℃,排胶。

一段混炼下密炼机混炼工艺为:转子转速为25 r·min⁻¹,恒速混炼50 s→转子转速升至40 r·min⁻¹,温度升至150 ℃,恒温混炼60 s,排胶。

终炼转子转速为20 r·min⁻¹,压砣压力为0.4 MPa,混炼工艺为:加入一段混炼胶、硫黄、促进剂→压压砣30 s→提压砣保持10 s→压压砣30 s→提压砣保持10 s→压压砣至100 ℃→排胶。

1.5 性能测试

胶料各项性能均按照相应国家标准测试。

2 结果与讨论

2.1 环保高强度再生胶的理化性能

环保高强度再生胶的理化性能见表1。
从表1可以看出:环保高强度再生胶的拉

表1 环保高强度再生胶的理化性能

项 目	实测值	指标要求	试验方法
外观	黑色质地的均匀胶块	黑色质地的均匀胶块	
加热减量/%	0.71	≤1.2	(80±2) ℃×1 h
灰分质量分数/%	7.42	≤10	GB/T 4498.1—2013
丙酮抽出物质量分数/%	13.84	≤20	GB/T 3516—2006
硫质量分数/%	1.42		
密度/(Mg·m ⁻³)	1.161	≤1.2	GB/T 533—2008
门尼粘度[ML(1+4)100 ℃]	58	≤80	GB/T 1232.1—2016
拉伸强度/MPa	11.3	≥10	GB/T 13460—2016
拉断伸长率/%	353	≥330	GB/T 13460—2016
湾区氢质量分数/%	0.19	≤0.5	GB/T 29614—2021

伸强度和拉断伸长率高于指标要求;多环芳烃的湾区氢质量分数为0.19%,符合欧盟REACH法规第17附件(轮胎多环芳烃湾区氢质量分数不大于0.35%)的要求;其他各项理化性能均符合指标要求。

2.2 小配合试验

2.2.1 硫化特性

小配合试验胶料的硫化特性如表2所示。

表2 小配合试验胶料的硫化特性

项 目	配方编号			
	1	2	3	4
门尼粘度[ML(1+4)100 ℃]	75	76	75	75
门尼焦烧时间 t_5 (127 ℃)/min	20.72	20.92	20.43	20.70
硫化仪数据(161 ℃)				
F_L /(dN·m)	2.97	3.06	2.99	3.04
F_{max} /(dN·m)	18.59	18.39	17.91	17.54
$F_{max}-F_L$ /(dN·m)	15.62	15.33	14.92	14.50
t_{s1} /min	1.94	1.98	1.95	1.95
t_{s2} /min	2.46	2.50	2.46	2.46
t_{30} /min	2.98	3.01	2.96	2.93
t_{60} /min	3.93	3.98	3.92	3.89
t_{90} /min	7.59	7.75	7.56	7.50

从表2可以看出:添加环保高强度再生胶对胶料的加工性能基本无影响;随着环保高强度再生胶用量的增大,胶料的交联密度有下降趋势,这可能与环保高强度再生胶的加入消耗了部分硫化剂有关。

2.2.2 物理性能

小配合试验胶料的物理性能如表3所示。
从表3可以看出,添加环保高强度再生胶

表3 小配合试验胶料的物理性能

项 目	配方编号			
	1	2	3	4
邵尔A型硬度/度	68	68	68	67
50%定伸应力/MPa	1.54	1.57	1.54	1.52
100%定伸应力/MPa	2.65	2.67	2.65	2.63
300%定伸应力/MPa	13.54	12.86	12.57	12.34
拉伸强度/MPa	19.42	17.88	16.80	16.09
拉断伸长率/%	434	432	403	376
撕裂强度(不割口)/ (kN·m ⁻¹)	37	38	37	42
回弹值/%				
室温	31.8	30.5	30.9	30.5
60℃	41.2	41.1	40.1	41.1
DIN磨耗量/mm ³	94	96	97	101

注:硫化条件为161℃×20 min。

后,胶料的拉伸强度和300%定伸应力有下降趋势,这可能与再生胶的特性有关。再生胶是弹性硫化胶经特殊加工处理后得到的塑性材料,再生后其分子内的结合力减弱,再次硫化后也不能恢复到原有的弹性水平。

2.2.3 动态性能

小配合试验胶料的动态性能如表4所示。

表4 小配合试验胶料的动态性能

项 目	配方编号			
	1	2	3	4
玻璃化温度(T_g)/℃	-27.9	-26.9	-27.9	-27.8
损耗因子(tanδ)				
0℃	0.255	0.257	0.253	0.249
25℃	0.201	0.201	0.200	0.200
60℃	0.176	0.171	0.174	0.178
tanδ _{max}	0.474	0.488	0.494	0.484
储能模量(E')/MPa				
25℃	30.218	27.456	27.571	29.301
60℃	17.893	16.108	15.942	16.742

注:同表3。

研究表明0℃时的tanδ越大,胶料的抗湿滑性能越好,湿滑指数越高,安全性越高;60℃时的tanδ越小,滚动阻力越低,节油效果越好^[9-10]。从表4可以看出,添加少量环保高强力再生胶对胶料的抗湿滑性能和滚动阻力基本无影响。

2.3 大配合试验

综合小配合试验结果,选择配方1和3进行大配合试验。

2.3.1 硫化特性

大配合试验胶料的硫化特性如表5所示。

表5 大配合试验胶料的硫化特性

项 目	配方1	配方3
门尼粘度[ML(1+4)100℃]	77	75
门尼焦烧时间 t_5 (127℃)/min	22.37	22.01
硫化仪数据(161℃×20 min)		
F_L /(dN·m)	2.76	2.78
F_{max} /(dN·m)	17.23	17.02
$F_{max}-F_L$ /(dN·m)	14.47	14.24
t_{s1} /min	2.28	2.27
t_{s2} /min	2.84	2.75
t_{30} /min	3.45	3.28
t_{60} /min	4.68	4.46
t_{90} /min	9.57	9.30
硫化仪数据(161℃×60 min)		
F_L /(dN·m)	2.72	2.70
F_{max} /(dN·m)	17.64	16.93
t_{s1} /min	2.25	2.27
t_{s2} /min	2.83	2.77
t_{30} /min	3.46	3.31
t_{60} /min	4.75	4.53
t_{90} /min	10.35	10.10
$T_{R97}^{1)}/min$	52.30	51.79

注:1)硫化返原3%的时间。

从表5可以看出,添加10份环保高强力再生胶对胶料的焦烧时间和门尼粘度等加工性能及硫化返原性基本无影响,胶料的交联密度有下降趋势,与小配合试验趋势一致。

2.3.2 物理性能

大配合试验胶料的物理性能如表6所示。

从表6可以看出,添加了10份环保高强力再生胶的胶料老化前后的拉伸强度和拉断伸长率下降,对其他性能影响不大。

2.3.3 耐磨性能

大配合试验胶料的耐磨性能如表7所示。

从表7可以看出,与配方1胶料相比,加入10份环保高强力再生胶的配方3胶料的DIN磨耗量、阿克隆磨耗量和兰伯恩磨耗量相当。

2.3.4 动态性能

大配合试验胶料的动态性能和挤出外观分别如表8和图1所示。

从表8可以看出,与小配合试验结果相同,添加10份环保高强力再生胶对胶料的抗湿滑性能和滚动阻力基本无影响。

从图1可以看出,添加环保高强力再生胶的胶料挤出表面有肉眼可见的小胶粒,这可能与再生胶中含有少量未脱硫的胶粒有关。

表6 大配合试验胶料的物理性能

项 目	配方1	配方3
邵尔A型硬度/度	68	68
50%定伸应力/MPa	1.45	1.50
100%定伸应力/MPa	2.50	2.55
300%定伸应力/MPa	11.65	11.35
拉伸强度/MPa	19.90	17.40
拉伸伸长率/%	468	421
撕裂强度(不割口)/(kN·m ⁻¹)	39	38
回弹值/%		
室温	29.4	29.0
60℃	39.9	39.9
100℃×72 h热空气老化后		
邵尔A型硬度/度	73.5	75.3
50%定伸应力/MPa	2.50	2.65
100%定伸应力/MPa	4.80	5.05
拉伸强度/MPa	18.10	15.20
拉伸伸长率/%	297	240
撕裂强度(不割口)/(kN·m ⁻¹)	39	39
回弹值/%		
室温	31.7	31.4
60℃	45.3	45.9

注:同表3。

表7 大配合试验胶料的耐磨性能

项 目	配方1	配方3
DIN磨耗量/mm ³	93.3	98.7
阿克隆磨耗量/cm ³	0.133	0.140
兰伯恩磨耗量/cm ³	0.113 4	0.104 2

注:同表3。

表8 大配合试验胶料的动态性能

项 目	配方1	配方3
T _g /℃	-26.9	-27.8
tanδ		
0℃	0.260	0.251
25℃	0.210	0.204
60℃	0.181	0.182
tanδ _{max}	0.453	0.464
E'/MPa		
25℃	30.539	30.500
60℃	19.004	18.214

注:同表3。

2.4 成品轮胎性能

采用配方1和3胎面胶生产195/60R15 91H轮胎,并按照GB/T 4502—2016进行成品轮胎室内性能测试,结果如表9所示。

从表9可以看出,在胎面胶配方中添加10份环保高强度再生胶对轮胎的高速和耐久性能基本无



(a) 配方1



(b) 配方3

图1 大配合试验胶料的挤出外观对比

表9 成品轮胎室内性能测试结果

项 目	配方1	配方3	企业标准
高速性能			
最高行驶速度/(km·h ⁻¹)	240	240	210
最高速度行驶时间/min	3	6	10
损坏形式	胎圈爆破	胎圈爆破	
耐久性能			
累计行驶时间/h	80	80	38.5
试验结束时轮胎状况	未损坏	未损坏	未损坏

影响。

2.5 路试耐磨性能

将采用配方1和3胎面胶生产的195/60R15 91H轮胎装配在A和B车,进行路试耐磨性能测试,结果如表10所示。

表10 轮胎路试耐磨性能测试结果

项 目	A车		B车	
	配方1	配方3	配方1	配方3
平均磨耗量/mm	0.475	0.530	0.400	0.433
单位磨耗量行驶里程/(km·mm ⁻¹)	23 615	21 164	19 728	18 224
预计里程/km	133 423	119 577	111 460	102 966

从表10可以看出,胎面胶配方中添加环保高强度再生胶,对轮胎的耐磨性能有一定影响,需关注轮胎后期的耐磨性能。从路试轮胎的外观看,添加环保高强度再生胶的胎面无异常磨损问题。

3 结论

研究了环保高强度再生胶在半钢轮胎胎面胶配方中的应用。结果表明,与未添加环保高强度再生胶的胶料相比,增加环保高强度再生胶对胶料的加工性能、滚动阻力和抗湿滑性能基本无影响;胶料老化前后的拉伸强度和拉伸伸长率有下降趋势,其他物理性能及耐磨性能相当;成品轮胎的高速和耐久性能相当,均达到企业标准要求,路试轮胎的耐磨性能略有下降,胎面无异常磨损问题。

参考文献:

- [1] 张小杰,周睿,董月,等.再生橡胶制备中氧化程度控制对再生橡胶性能的影响[J].橡胶工业,2018,65(4):451-455.
- [2] 胡洪芬.废旧橡胶再生新技术研究进展[J].安徽化工,2009,35(2):12-13.
- [3] 卢俊杰,唐伟强,朱亚峰.废旧橡胶再生方法的研究进展[J].特种橡胶制品,2004,25(4):55-58.
- [4] 李再琴.中长途耐磨全钢载重子午线轮胎胎面胶配方的优化[J].轮胎工业,2020,40(11):674-677.
- [5] 王湘,周志峰,戚桂村,等.超细全硫化粉末橡胶对胎面胶性能的影响[J].石油化工,2022,51(2):175-180.
- [6] 张丙旭.再生橡胶与40目硫化胶粉并用在农业胎面胶中的应用[J].橡塑资源利用,2019(5):6-10,29.
- [7] 郭磊,张鲁琦,王晓睿,等.低温密炼法制备再生橡胶的影响因素[J].橡胶工业,2019,66(7):542-546.
- [8] 马继,徐彦红,赵桂英,等.再生胶的制备及性能研究[J].橡塑技术与装备,2018(17):32-35.
- [9] WANG M J. The role of fillers networking in dynamic properties of filled rubber[J]. Rubber Chemistry and Technology, 1998, 71(3): 520-589.
- [10] WANG L, ZHAO S H, LI A, et al. Study on the structure and properties of SSBR with large-volume functional groups at the end of chains[J]. Polymer, 2010, 51(9): 2084-2090.

收稿日期:2022-12-09

Application of Environment-friendly High Strength Reclaimed Rubber in Tread Compound Formula of Steel-belted Tire

WANG Yan, XU Qi, YU Jianwei, XU Wenlong, SUN Shiyue, CUI Xuejing, QIU Haiqiang, LI Chongbing
[Prinx Chengshan (Shandong) Tire Co., Ltd, Weihai 264300, China]

Abstract: The application of environment-friendly high strength reclaimed rubber in the tread compound formula of steel-belted tires was studied. The results showed that, compared with the compound without the addition of environment-friendly high strength reclaimed rubber, the addition of the reclaimed rubber basically had no negative effect on the processing properties, rolling resistance and wet skid resistance of the compound. With addition of the reclaimed rubber, the tensile strength and elongation at the break of the compound before and after aging tended to decrease; however, other physical properties and wear resistance of the compound were equivalent. Moreover, the high speed performance and durability of the finished tire were equivalent, and all met the requirement of enterprise standards. Even though the wear resistance of the road test tire decreased slightly, the tread had no abnormal wear problem.

Key words: environment-friendly high strength reclaimed rubber; steel-belted tire; tread compound; wear

启事 《轮胎工业》《橡胶工业》《橡胶科技》不向作者收取审稿费。任何机构、个人以任何名义向作者收取审稿费均为诈骗行为。请广大作者互相转告,勿信诈骗信息。有任何疑问请及时与编辑部联系。《轮胎工业》《橡胶工业》《橡胶科技》投稿渠道为官方网站 <http://www.rubbertire.com.cn> 与 <http://www.rubbertire.cn>, 任何其他网上投稿渠道均为假冒。