

泥地轮胎胎面胶配方的优化

刘会迎,汪燕,徐旗,李崇兵

[浦林成山(山东)轮胎有限公司,山东 荣成 264300]

摘要:对大规格泥地轮胎胎面胶配方进行优化。结果表明:与正常配方胶料相比,优化配方胶料的300%定伸应力增大,DIN磨耗性能提高,其他各项物理性能相当;60℃时的损耗因子降低约20%,压缩生热降低,压缩爆破时间延长;与生产轮胎相比,同规格优化轮胎的高速性能提高,符合企业标准要求。

关键词:泥地轮胎;胎面胶;配方优化;高速性能

中图分类号:TQ336.1

文献标志码:A

文章编号:1006-8171(2024)04-0232-04

DOI:10.12135/j.issn.1006-8171.2024.04.0232



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

越野轮胎在松软土壤、沙质地带、陡峭坡地等路况具有较好的通过性和较强的驱动力^[1],其类型主要包括全路况(A/T)轮胎、尖锐路况(R/T)轮胎和泥地路况(M/T)轮胎。

与其他轮胎相比,泥地轮胎的花纹具有纵横向沟槽深、花纹间距宽、花纹饱和度低的特点,能够慢速排泥和高速甩泥^[2],从而提高车辆的泥地脱困性能。泥地轮胎的块状花纹和特殊的胎面胶配方设计,使其具有良好的抗刺扎性能、抗崩花掉块性能和抗切割性能^[1,3]。泥地轮胎(尤其是较大规格的泥地轮胎)的大花纹块在反复剪切、压缩作用下,其内部生热较高,难以消散,易造成室内高速性能测试时轮胎早期爆破损坏,无法满足企业标准。

本工作对大规格泥地轮胎胎面胶配方进行优化,以期提升其高速性能。

1 实验

1.1 主要原材料

天然橡胶,SMR20,马来西亚产品;乳聚丁苯橡胶(ESBR),牌号1723和1502,国内A公司产品;顺丁橡胶(BR),牌号9000,国内B公司产品;中超耐磨炭黑,国内C公司产品;沉淀法白炭黑,国内D

公司产品。

1.2 主要设备与仪器

X(S)M-1.5型密炼机、XK(S)-160型开炼机和XLB-400-2000型平板硫化机,青岛科高橡塑机械技术装备有限公司产品;GK400型和GK270型密炼机,益阳橡胶塑料机械集团有限公司产品;MV2000型门尼粘度仪,美国阿尔法科技有限公司产品;MDR3000型硫化仪和邵尔A型自动硬度计,德国MonTech公司产品;VR-7130型橡胶动态粘弹性分析仪(DMA),日本上岛公司产品;Instron 3365型电子拉力机,美国Instron公司产品;GT-7017-ELU型热老化试验机、压缩生热测试仪和GT-7012-D型DIN磨耗机,中国台湾高铁检测仪器有限公司产品。

1.3 试样制备

1.3.1 小配合试验

小配合试验胶料分两段在X(S)M-1.5型密炼机中进行混炼。一段混炼工艺为:生胶→炭黑、白炭黑、偶联剂、软化剂→活化剂、防老剂→清扫→排胶(165℃),排胶后在开炼机上薄通、下片。二段混炼工艺为:一段混炼胶→硫磺和促进剂→清扫→排胶(100℃),排胶后在开炼机上薄通、下片。

胶料在平板硫化机上硫化,硫化条件为161℃×20 min。

1.3.2 大配合试验

大配合试验胶料分两段进行混炼。一段混

作者简介:刘会迎(1991—),男,山东临沂人,浦林成山(山东)轮胎有限公司工程师,学士,主要从事轮胎配方的设计开发工作。

E-mail:1813498421@qq.com

炼在GK400型密炼机中进行,初始转子转速为 $55\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$,混炼工艺为:生胶、偶联剂、软化剂、活性剂、防老剂→压压砣(15 s)→提压砣、转子转速调至 $40\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ →炭黑、白炭黑→压压砣(20 s)→提压砣、转子转速调至 $35\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ →油料→压压砣(30 s)→提压砣→压压砣至 $165\text{ }^{\circ}\text{C}$ →排胶。二段混炼在GK270型密炼机中进行,转子转速为 $20\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$,混炼工艺为:一段混炼胶、硫黄、促进剂→压压砣(20 s)→提压砣(5 s)→压压砣(20 s)→提压砣(5 s)→压压砣(20 s)→提压砣(5 s)→压压砣至 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ →排胶。

胶料在平板硫化机上硫化,硫化条件为 $161\text{ }^{\circ}\text{C}\times 20\text{ min}$ 。

1.4 性能测试

胶料各项性能均按照相应国家标准或企业标准进行测试。

2 结果与讨论

2.1 小配合试验

2.1.1 配方

小配合试验配方见表1。

组 分	试验配方编号			正常配方
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	
NR	30	45	50	45
ESBR1502	15	0	0	15
BR	15	15	10	0
白炭黑	0	0	12	0
偶联剂	0	0	0.96	0
炭黑	63	63	50	63
软化剂	1	1	0	1
硫黄	1.9	1.9	1.6	1.9
二苯胍类促进剂	0.5	0.5	0	0.5
秋兰姆类促进剂	0	0	0.7	0

注:配方其他组分和用量分别为ESBR1723 55,活性剂 5.5,防老剂 4.7,其他促进剂 1.8。

2.1.2 硫化特性

小配合试验胶料的硫化特性见表2。

从表2可以看出:与正常配方胶料相比,1[#]试验配方胶料的门尼粘度增大,这可能与炭黑与BR的亲和力有关,BR的加入使炭黑在NR/SBR/BR生胶体系中易分散不均;1[#]试验配方胶料的焦烧时间

表2 小配合试验胶料的硫化特性

项 目	试验配方编号			正常配方
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	
门尼粘度[ML(1+4)100 $^{\circ}\text{C}$]	58.0	58.0	58.6	51.7
门尼焦烧时间 t_5 (127 $^{\circ}\text{C}$)/min	15.57	13.67	24.33	13.32
硫化仪数据(161 $^{\circ}\text{C}$)				
F_L /(dN $\cdot$ m)	2.79	2.89	2.51	2.54
$F_{\max}$ /(dN $\cdot$ m)	19.70	19.70	19.20	18.32
t_{s1} /min	1.81	1.68	2.17	1.58
t_{s2} /min	2.08	1.91	2.36	1.83
t_{30} /min	2.33	2.13	2.59	2.06
t_{60} /min	2.86	2.56	3.11	2.58
t_{90} /min	5.18	4.51	6.37	5.00

延长,硫化速度减小,这可能与NR用量减小有关;3[#]试验配方胶料的焦烧时间明显延长,这可能与添加少量白炭黑有关,白炭黑表面易吸附促进剂。

2.1.3 物理性能

小配合试验胶料的物理性能见表3。

表3 小配合试验胶料的物理性能

项 目	试验配方编号			正常配方
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	
密度/(Mg $\cdot$ m ⁻³)	1.128	1.125	1.126	1.128
邵尔A型硬度/度	65	65	65	65
50%定伸应力/MPa	1.4	1.4	1.4	1.4
100%定伸应力/MPa	2.4	2.4	2.6	2.4
300%定伸应力/MPa	12.2	11.9	12.6	12.1
拉伸强度/MPa	20.8	21.2	19.0	21.8
拉断伸长率/%	456	467	411	471
撕裂强度/(kN $\cdot$ m ⁻¹)	33	40	39	37
DIN磨耗指数/%	170.1	161.4	160.6	138.9
100 $^{\circ}\text{C}\times 72\text{ h}$ 老化后				
邵尔A型硬度/度	70	70	68	69
50%定伸应力/MPa	2.1	2.0	1.8	2.1
100%定伸应力/MPa	4.1	4.0	3.6	4.1
拉伸强度/MPa	17.1	15.8	16.3	17.0
拉断伸长率/%	301	295	302	322
撕裂强度/(kN $\cdot$ m ⁻¹)	33	32	32	29

从表3可以看出:与正常配方胶料相比,1[#]试验配方胶料的DIN磨耗指数增大,这可能与BR等量替代NR有关;2[#]试验配方胶料的DIN磨耗指数增大,这可能与BR等量替代SBR有关,相比于NR或SBR,BR具有更低的玻璃化温度(T_g),相同温度下BR橡胶分子链柔顺性更好,耐磨性能更优。3[#]试验配方胶料的拉伸强度和拉断伸长率偏小,这可能与白炭黑的补强效果弱于炭黑有关。

2.1.4 动态力学性能

小配合试验胶料的动态力学性能见表4, E' 为储能模量,tan δ 为损耗因子。

表4 小配合试验胶料的动态力学性能

项 目	试验配方编号			正常配方
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	
$T_g/^\circ\text{C}$	-38.8	-43.8	-39.8	-32.8
$E'(-25^\circ\text{C})/\text{MPa}$	68.7	64.6	54.5	95.7
$\tan\delta$				
0 $^\circ\text{C}$	0.183	0.177	0.176	0.192
60 $^\circ\text{C}$	0.150	0.150	0.120	0.161

从表4可以看出,与正常配方胶料相比,1[#]—3[#]试验配方胶料的 T_g 降低,这可能与加入少量BR有关; E' 减小,表明胶料的雪地性能提升;60 $^\circ\text{C}$ 时的 $\tan\delta$ 减小,说明胶料因形变产生的生热降低^[4-5]。

结合目前大规格泥地轮胎因室内高速性能测试时胶料内部温升过高导致早期爆破损坏的情况,综合考虑1[#]—3[#]试验配方胶料的硫化特性、物理性能和动态力学性能,选择生热最低的3[#]试验配方继续优化以改善胶料的拉伸强度和拉断伸长率。

2.2 大配合试验

2.2.1 配方

大配合试验配方如表5所示。

表5 大配合试验配方

组 分	优化配方	组 分	优化配方
NR	50	炭黑	50
BR	10	硫黄	1.6
白炭黑	15	秋兰姆类促进剂	0.5
偶联剂	1.05		

注:配方其他组分和用量分别为SBR1723 55, 活性剂 5.5, 防老剂 4.7, 其他促进剂 1.8。

2.2.2 硫化特性

大配合试验胶料的硫化特性见表6。

从表6可以看出:与正常配方胶料相比,优化配方胶料的门尼粘度增大,焦烧时间延长, $F_{\max}$ 增大,硫化速度减小,这可能因为相对于小配合试验

表6 大配合试验胶料的硫化特性

项 目	优化配方	正常配方
门尼粘度[ML(1+4)100 $^\circ\text{C}$]	72.0	62.8
门尼焦烧时间 $t_5(127^\circ\text{C})/\text{min}$	28.65	20.70
硫化仪数据(161 $^\circ\text{C}$)		
$F_L/(\text{dN}\cdot\text{m})$	2.69	2.29
$F_{\max}/(\text{dN}\cdot\text{m})$	19.28	18.39
t_{s1}/min	2.27	1.53
t_{s2}/min	2.61	2.18
t_{30}/min	2.98	2.69
t_{60}/min	3.53	3.32
t_{90}/min	6.31	6.09

3[#]配方,优化配方增大了白炭黑用量,减小了秋兰姆类促进剂用量。

2.2.3 物理性能

大配合试验胶料的物理性能见表7。

表7 大配合试验胶料的物理性能

项 目	优化配方	正常配方
密度/($\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	1.132	1.130
邵尔A型硬度/度	65	65
50%定伸应力/MPa	2.0	2.0
100%定伸应力/MPa	2.6	2.3
300%定伸应力/MPa	13.5	12.6
拉伸强度/MPa	20.5	20.5
拉断伸长率/%	438	434
撕裂强度/($\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$)	43	42
DIN磨耗指数/%	168.9	151.2
100 $^\circ\text{C}\times 72\text{ h}$ 老化后		
邵尔A型硬度/度	69	70
50%定伸应力/MPa	2	2
100%定伸应力/MPa	3.9	3.8
300%定伸应力/MPa	17.3	15.7
拉伸强度/MPa	17.4	17.2
拉断伸长率/%	301	320
撕裂强度/($\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$)	36	37

从表7可以看出,与正常配方胶料相比,优化配方胶料的300%定伸应力、DIN磨耗指数增大,其他各项性能基本相当。

2.2.4 动态力学性能

大配合试验胶料的动态力学性能见表8。

表8 大配合试验胶料的动态力学性能

项 目	优化配方	正常配方
$T_g/^\circ\text{C}$	-41.8	-34.8
$E'(-25^\circ\text{C})/\text{MPa}$	62.9	88.4
$\tan\delta$		
0 $^\circ\text{C}$	0.183	0.192
60 $^\circ\text{C}$	0.135	0.169

从表4和8可以看出:与小配合试验3[#]配方胶料相比,优化配方胶料60 $^\circ\text{C}$ 时的 $\tan\delta$ 增大,这可能与增大白炭黑用量、减小秋兰姆类促进剂用量有关;与正常配方胶料相比,优化配方胶料60 $^\circ\text{C}$ 时的 $\tan\delta$ 减小约20%。

2.2.5 压缩生热和爆破性能

大配合试验胶料的压缩生热和爆破性能如表9所示。

从表9可以看出,与正常配方胶料相比,优化配方胶料的压缩温升降低,压缩爆破时间延长。

表9 大配合试验胶料的压缩生热和爆破性能		
项 目	优化配方	正常配方
压缩温升 ¹⁾ /℃	26.5	30.9
压缩爆破时间 ²⁾ /min	14	9

注:1) 频率 10 Hz, 冲程 5.71 mm, 预应力 1.0 MPa, 温度 55 ℃, 测试时间 25 min;2) 频率 30 Hz, 冲程 5.71 mm, 预应力 1.5 MPa, 温度 120 ℃, 测试时间为出现肉眼可见气泡点的最短时间。

表10 成品轮胎的高速性能						
项 目	优化配方				生产配方	
	LT285/75R16 126/123Q 10PR	200×13	190×13	190×23	LT285/75R16 126/123Q 10PR	LT285/70R17 121/118Q 10PR
通过阶段/(km·h ⁻¹ ×min)	200×4	200×13	190×13	190×23	180×17	180×25
轮胎损坏状态	胎肩起鼓、掉块	胎冠起鼓	胎冠花纹掉块	胎冠花纹掉块	胎冠花纹掉块	胎冠花纹掉块

注:高速性能按照GB/T 4501—2023《载重汽车轮胎性能室内试验方法》进行测试。行驶速度超过160 km·h⁻¹时,每30 min速度增大10 km·h⁻¹,直至轮胎损坏。

10PR规格的优化轮胎高速性能提升1个等级,均符合企业标准要求。

3 结论

- (1) 泥地轮胎胎面胶配方中加入BR后,胶料的 T_g 降低,DIN磨耗性能提高,雪地性能改善;使用白炭黑代替部分炭黑后,胶料的生热降低,60 ℃时的 $\tan\delta$ 减小。
- (2) 与正常配方胶料相比,优化配方胶料的300%定伸应力增大,DIN磨耗性能提高,其他各项物理性能相当;60 ℃时的 $\tan\delta$ 降低约20%,压缩生热降低,压缩爆破时间延长。
- (3) 与生产轮胎相比,LT285/75R16 126/123Q 10PR规格的优化轮胎高速性能提升2个

2.3 成品轮胎的高速性能

使用优化配方胶料试制LT285/75R16 126/123Q 10PR和LT285/70R17 121/118Q 10PR泥地轮胎,并进行高速性能试验,结果见表10。

从表10可以看出,与生产轮胎相比,LT285/75R16 126/123Q 10PR规格的优化轮胎高速性能提升2个等级,LT285/70R17 121/118Q

等级,LT285/70R17 121/118Q 10PR规格的优化轮胎高速性能提升1个等级,均符合企业标准要求。

参考文献:

[1] 李盈彩,马鹏举. 军用越野子午线轮胎胎面胶配方改进[J]. 轮胎工业,1996,16(8):469-471.

[2] 王玉海,张琳,刘震,等. 液相混炼母胶在泥地越野轮胎胎面胶中的应用[J]. 橡胶科技,2021,19(3):121-124.

[3] 任学鹏,庞军华. 二段成型全地形车子午线轮胎的开发[J]. 橡胶工业,2022,69(1):55-58.

[4] OKEL T A, RUEBY J A. Silica morphology and functionality: Addressing winter tire performance[J]. Rubber World,2016,253(5):21-33.

[5] AHAGON A, KOBAYASHI T, MLSAWA M. Friction on ice[J]. Rubber Chemistry & Technology,1988,61(1):14-35.

收稿日期:2023-12-16

Optimization of Tread Compound Formula for Mud Tires

LIU Huiying, WANG Yan, XU Qi, LI Chongbing
[Prinx Chengshan (Shandong) Tire Co., Ltd, Rongcheng 264300, China]

Abstract: The tread compound formula for large-sized mud tires was optimized. The results showed that compared with the normal formula compound, the modulus at 300% elongation of the optimized formula compound increased, the DIN wear was improved, and other physical properties were equivalent, the loss factor at 60 ℃ was reduced by about 20%, the compression heat build-up was reduced, and the compression burst time was prolonged. Compared with the production tire, the high-speed performance of the optimized tire improved, meeting the requirements of enterprise standards.

Key words: mud tire; tread compound; formula optimization; high-speed performance