

原材料·配方

农用机械橡胶履带胶料的配方改进及性能研究

聂万江¹, 李文东¹, 曾季¹, 韩慧¹, 云霄碧²

(1. 北京橡胶工业研究设计院有限公司, 北京 100143; 2. 上海华向橡胶履带有限公司, 上海 201407)

摘要:改进农用机械橡胶履带胶料的配方, 采用炭黑/白炭黑并用补强体系, 并添加少量抗撕裂助剂, 以提高橡胶履带胶料的抗切割性能。结果表明, 与生产配方胶料相比, 改进配方胶料的门尼粘度和焦烧时间相近, F_L 和 F_{max} 减小, 300% 定伸应力和500%定伸应力稍有提高, 拉伸强度、撕裂强度和耐老化性能相近, 拉伸伸长率降低, 抗切割性能提高, 这有助于解决橡胶履带沟底裂的早期损坏问题。

关键词:橡胶履带; 农用机械; 配方; 炭黑/白炭黑并用; 抗撕裂助剂; 抗切割性能

中图分类号: TQ336.5

文献标志码: A

文章编号: 1000-890X (2022) 06-0445-04

DOI: 10.12136/j.issn.1000-890X.2022.06.0445



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

橡胶履带是一种橡胶材料制成的环形胶带制品, 与金属履带相比, 其具有接地压力小、振动噪声低、不损伤路面、密度小、速度快和多路况运行等优点, 其缺点是在沙石较多的粗糙路面上运行容易损坏^[1-5]。目前, 市场上部分农用机械橡胶履带在砂石粗糙路面上使用时出现沟底裂的早期损坏情况, 导致其使用寿命较短。

为解决橡胶履带沟底裂的问题, 除了要求橡胶履带胶料具有优异的拉伸性能和抗撕裂性能以及较低的压缩生热外, 还要求橡胶履带胶料具有良好的抗切割性能^[6-11]。这是因为良好的抗切割性能有助于减缓橡胶履带沟底裂的发生, 延长橡胶履带的使用寿命。胶料的抗切割性能属于高分子材料抗冲击破坏性能, 高分子材料的冲击破坏过程包含裂纹引发阶段和裂纹扩展阶段^[12-17]。裂纹引发能与高分子材料的主价键力、内聚强度、耐疲劳性能相关, 裂纹扩展能与高分子材料的结晶、裂纹尖端塑弹形变相关。凡是能够影响高分子材

料裂纹引发能和扩展能的因素都会影响材料的抗切割性能。

本工作改进农用机械橡胶履带胶料的配方, 采用炭黑/白炭黑并用补强体系, 并添加少量抗撕裂助剂, 以提高橡胶履带胶料的抗切割性能。

1 实验

1.1 主要原材料

天然橡胶(NR), SCR1, 云南天然橡胶产业集团有限公司产品; 炭黑N220和N234, 美国卡博特公司产品; 白炭黑, 德国赢创工业集团产品; 抗撕裂助剂, 上海君宜化工有限公司产品。

1.2 配方

生产配方: NR 100, 填料 50, 硫黄/促进剂 2.5, 其他 15。

试验配方设计的主旨是在保证胶料其他性能变化不大的情况下, 提高胶料的抗切割性能。为此, 试验配方采用炭黑/白炭黑并用补强体系, 并添加少量抗撕裂助剂, 见表1。

作者简介: 聂万江(1981—), 男, 安徽安庆人, 北京橡胶工业研究设计院有限公司高级工程师, 硕士, 主要从事橡胶轮胎及制品的配方和工艺研究工作。

E-mail: niewanjiang@163.com

引用本文: 聂万江, 李文东, 曾季, 等. 农用机械橡胶履带胶料的配方改进及性能研究[J]. 橡胶工业, 2022, 69(6): 445-448.

Citation: NIE Wanjiang, LI Wendong, ZENG Ji, et al. Study on formula and properties of rubber track compound for agricultural machinery[J]. China Rubber Industry, 2022, 69(6): 445-448.

表1 试验配方
Tab. 1 Experimental formulas

组 分	试验配方				份 phr
	SY1	SY2	SY3	SY4	
NR	100	100	100	100	
白炭黑	15	15	15	0	
炭黑N220	50	50	0	25	
炭黑N234	0	0	40	25	
抗撕裂助剂	3	3	3	3	
硫黄和促进剂	2.45	2.65	2.45	2.45	
其他	15	15	15	13.5	
合计	185.45	185.65	175.45	168.95	

1.3 主要设备和仪器

XK-160A型开炼机,上海橡胶机械厂产品;
Banbury 1.57 L密炼机,英国法雷尔公司产品;
M200E型门尼粘度计、C2000E型硫化仪、T2000E
型拉力机和Y3000E型压缩生热试验机,北京市友
深电子仪器有限公司产品;RCC-1型橡胶动态切
割试验机,北京万汇一方仪器有限公司产品。

1.4 试样制备

胶料采用两段混炼工艺。一段混炼在密炼
机中进行,密炼机的转子转速为 $80\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$,先用
废胶洗车,密炼室温度达到 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时提压砣,投入
NR,破胶30 s;提压砣,加入炭黑、白炭黑、偶联剂
Si69、油及其他小料,压砣2 min;提压砣、清扫、
压砣(视情况可再提压砣1—2次),温度达到 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$
时排胶,胶料采用开炼机下片。二段混炼在开
炼机上进行,加入一段混炼胶、硫黄和促进剂,混
炼均匀后下片。

1.5 性能测试

抗切割性能采用RCC-1型橡胶动态切割试
验机测试,试验条件:胶轮转速 $725\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$,打
击速度 $120\text{ 次}\cdot\text{min}^{-1}$,打击时间 15 min。

胶料其他性能按照相应国家标准或行业标准
进行测定。

2 结果与讨论

2.1 硫化特性

混炼胶的门尼粘度和硫化特性见表2。

从表2可以看出:试验配方SY1—SY4胶料的
门尼粘度和焦烧时间与生产配方胶料相近, F_L 和
 F_{max} 小于生产配方胶料;试验配方SY4胶料的 t_{90} 最
长,硫化速度稍慢。

表2 混炼胶的门尼粘度和硫化特性
Tab. 2 Mooney viscosities and vulcanization
characteristics of compounds

项 目	试验配方				生产 配方
	SY1	SY2	SY3	SY4	
门尼粘度[ML(1+4)100 $^{\circ}\text{C}$]	68	77	64	63	68
门尼焦烧时间(127 $^{\circ}\text{C}$)					
t_5/min	17.88	14.95	18.82	14.80	17.77
t_{35}/min	22.88	19.13	23.80	18.80	20.68
硫化仪数据(151 $^{\circ}\text{C}$)					
$F_L/(\text{dN}\cdot\text{m})$	0.94	1.06	0.83	0.84	2.04
$F_{max}/(\text{dN}\cdot\text{m})$	2.26	2.33	1.91	2.37	3.14
t_{10}/min	4.35	4.08	4.75	4.15	4.50
t_{50}/min	5.98	5.37	6.13	5.77	5.95
t_{90}/min	10.35	7.62	8.35	14.17	9.52

2.2 物理性能

胶料的物理性能见表3。

从表3可以看出:与生产配方胶料相比,试验
配方SY1—SY4胶料的300%定伸应力和500%定伸
应力稍有提高,拉伸强度和撕裂强度相近,拉断伸
长率有不同程度降低;试验配方SY1和SY2胶料的
压缩疲劳温升相近,试验配方SY3和SY4胶料的压

表3 胶料的物理性能
Tab. 3 Physical properties of compounds

项 目	试验配方				生产 配方
	SY1	SY2	SY3	SY4	
邵尔A型硬度/度	68	70	64	66	67
300%定伸应力/MPa	13.3	14.5	11.4	12.9	10.1
500%定伸应力/MPa	22.1	23.6	21.3	24.2	20.3
拉伸强度/MPa	23.5	24.1	24.8	27.3	25.3
拉伸伸长率/%	540	514	580	559	616
拉断永久变形/%	18	20	17	19	24
撕裂强度/($\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$)	99	115	107	105	113
压缩疲劳性能 ¹⁾					
压缩率/%	4.18	3.41	1.56	0.38	2.41
温升/ $^{\circ}\text{C}$	50.6	48.0	41.0	39.7	48.1
永久变形/%	8.74	8.02	5.40	4.80	7.40
100 $^{\circ}\text{C}\times 24\text{ h}$ 老化后					
邵尔A型硬度/度	65	68	62	63	
邵尔A型硬度变化/度	-3	-2	-2	-3	
拉伸强度/MPa	21.3	22.2	23.4	25.1	22.8
拉伸强度变化率/%	-9	-8	-6	-8	-10
拉断伸长率/%	436	434	513	510	546
拉断伸长率变化率/%	-19	-16	-12	-9	-11
压缩疲劳性能 ¹⁾					
压缩率/%	1.28	1.91	—	—	
温升/ $^{\circ}\text{C}$	47.1	45.6	38.1	40.5	
永久变形/%	4.26	4.44	3.76	3.01	

注:硫化条件为151 $^{\circ}\text{C}\times 25\text{ min}$ 。1)硫化条件为151 $^{\circ}\text{C}\times 40\text{ min}$;试验条件为冲程 4.45 mm,负荷 1.0 MPa,温度 55 $^{\circ}\text{C}$ 。

缩疲劳温升较低。

从表3还可以看出:100℃×24 h老化后,试验配方SY1—SY4胶料的邵尔A型硬度变化和拉伸强度变化率相差不大,其中拉伸强度变化小于生产配方胶料;压缩疲劳温升总体降低,压缩永久变形减小。试验配方胶料的耐老化性能与生产配方胶料总体相近。

2.3 抗切割性能

胶料的抗切割性能如表4所示。

表4 胶料的抗切割性能
Tab. 4 Cutting resistances of compounds

项 目	试验配方				生产配方
	SY1	SY2	SY3	SY4	
初始质量/g	25.390	25.696	24.937	24.565	25.415
切割后质量/g	24.656	24.945	24.226	23.714	24.446
质量损失/g	0.734	0.751	0.711	0.851	0.969
质量损失率/%	2.890	2.923	2.851	3.465	3.813
切割性能指数	132	130	134	110	100

从表4可以看出:试验配方SY1—SY4胶料的质量损失和质量损失率均小于生产配方胶料,表明其抗切割性能好于生产配方胶料;试验配方SY1,SY2和SY3胶料的抗切割性能相近,优于试验配方SY4胶料,这可能与其配方中炭黑与白炭黑并用有关,表面能较高的白炭黑在胶料变形过程中能够消耗更多的变形能,抑制裂口的增长。

3 结论

为了解决农用机械橡胶履带在砂石粗糙路面上使用出现沟底裂的早期损坏问题,在胶料的试验配方中将炭黑与白炭黑并用,同时少量添加抗撕裂助剂。结果表明,与生产配方胶料相比,试验配方胶料的门尼粘度和焦烧时间相近, F_L 和 F_{max} 减小,300%定伸应力和500%定伸应力稍有提高,拉伸强度、撕裂强度和耐老化性能相近,拉断伸长率降低,抗切割性能提高,这有助于解决橡胶履带沟底裂的早期损坏问题。

参考文献:

- [1] 姜在胜,潘蔡艳. 工程机械橡胶履带耐切割配方设计[J]. 中国橡胶,2021,37(5):60-61.
- JIANG Z S, PAN C Y. Design of cutting resistant formula for rubber track of construction machinery[J]. China Rubber, 2021, 37(5):60-

61.

- [2] 蒋建国. 无帘线橡胶履带结构设计与制造工艺的研究[J]. 橡塑技术与装备,2021,47(21):1-7.
- JIANG J G. Research on the structure design and manufacturing process of cordless rubber track[J]. China Rubber/Plastics Technology and Equipment, 2021, 47(21):1-7.
- [3] 赵瑞时. 工程机械用环形橡胶履带[J]. 世界橡胶工业,2005,32(8):16-18.
- ZHAO R S. Annular rubber track for construction machinery[J]. World Rubber Industry, 2005, 32(8):16-18.
- [4] 王渥民. 橡胶履带的开发与应用概况[J]. 橡塑技术与装备,2008,34(2):36-38.
- WANG W M. Development and application of rubber track[J]. China Rubber/Plastics Technology and Equipment, 2008, 34(2):36-38.
- [5] 王丽莉,王克成. 橡胶履带质量问题的原因分析及解决措施[J]. 橡胶科技,2015,13(1):37-43.
- WANG L L, WANG K C. Root cause analysis of the quality issues of rubber track and corrective actions[J]. Rubber Science and Technology, 2015, 13(1):37-43.
- [6] 郑凯. 工程机械橡胶履带耐切割配方设计[J]. 建筑工程技术与设计,2021(24):461.
- ZHENG K. Cutting resistant formula fdesign of construction machinery rubber track[J]. Architectural Engineering Technology and Design, 2021(24):461.
- [7] 吴小丁. 橡胶履带使用常见病疵及其原因分析[J]. 杭州化工,2012,42(1):40-42.
- WU X D. Common defects and cause analysis of rubber crawler[J]. Hangzhou Chemical Industry, 2012, 42(1):40-42.
- [8] 王克成. 国内橡胶履带发展趋势及优化设计综述[C]. 2011《中国橡胶》杂志社年会论文集. 昆明:《中国橡胶》杂志社,2011:128-141.
- [9] 杨瑞蒙,肖程远,谭莲影,等. 整体式橡胶履带用胶料抗切割性能的配方影响因素研究[J]. 橡胶科技,2018,16(1):31-33.
- YANG R M, XIAO C Y, TAN L Y, et al. Study on formulation factors influencing cut resistance of compound for integral rubber track[J]. Rubber Science and Technology, 2018, 16(1):31-33.
- [10] 蒋国良,洪津,王耀华,等. 橡胶履带附着性能的测试分析[J]. 工程机械,1997(11):12-14.
- JIANG G L, HONG J, WANG Y H, et al. Test and analysis of the adherent performance of rubber tracks[J]. Construction Machinery and Equipment, 1997(11):12-14.
- [11] 娄云,赵卫兵,刘庆庭,等. 拖拉机橡胶钢筋履带弯曲刚度计算方法与试验验证[J]. 农业工程学报,2006,22(9):106-108.
- LOU Y, ZHAO W B, LIU Q T, et al. Approach to calculating bending rigidity of rubber-reinforced track of tractors and its experimental verification[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22(9):106-108.
- [12] 李明枝. 工程轮胎胎面配方试验室耐切割性能试验[J]. 世界橡胶工业,2012,39(2):37-42.

- LI M Z. Laboratory test of cut-resistant performance for OTR tire tread compound[J]. World Rubber Industry, 2012, 39(2): 37-42.
- [13] 吴晓辉. 粘土/橡胶纳米复合材料抗裂纹增长及耐破坏性能研究[D]. 北京:北京化工大学, 2010.
- [14] 张晨昊, 蒋海伦, 崔大杰. 用疲劳裂纹扩展分析仪来表征胎面配方的耐切割性能[J]. 杭州化工, 2021, 51(1): 29-33.
- ZHANG C H, JIANG H L, CUI D J. Characterization of cutting resistance of tread formulation by fatigue crack growth analyzer[J]. Hangzhou Chemical Industry, 2021, 51(1): 29-33.
- [15] 郑云. 黏土/天然橡胶纳米复合材料结构性能及其在工程胎面中的应用研究[D]. 北京:北京化工大学, 2011.
- [16] 陈成. 不同类型填料对天然橡胶综合性能的影响[D]. 北京:北京化工大学, 2011.
- [17] 黄黔, 黄凯, 杨尚毅. 抗切割树脂CSR200在全钢工程机械子午线轮胎胎面胶中的应用[C]. “赛轮金宇杯”第19届中国轮胎技术研讨会论文集. 武夷山:《轮胎工业》《橡胶工业》编辑部, 2016: 370-372.

收稿日期: 2022-02-10

Study on Formula and Properties of Rubber Track Compound for Agricultural Machinery

NIE Wanjiang¹, LI Wendong¹, ZENG Ji¹, HAN Hui¹, YUN Xiaobi²

(1. Beijing Research and Design Institute of Rubber Industry Co., Ltd, Beijing 100143, China; 2. Shanghai Huaxiang Rubber Track Co., Ltd, Shanghai 201407, China)

Abstract: The formula of rubber track compound for agricultural machinery was modified by using carbon black/silica blending reinforcement system and adding a small amount of tear resistant additives, to improve the cutting resistance of rubber track compound. The results showed that, compared with the production formula compound, the Mooney viscosity and scorch time of the improved formula compound were similar, F_L and F_{max} were reduced, the modulus at 300% elongation and modulus at 500% elongation slightly increased, the tensile strength, tear strength and aging resistance were similar, the elongation at break was reduced, and the cutting resistance was improved, which helped to solve the early damage problem of rubber track groove bottom cracks.

Key words: rubber track; agricultural machinery; formula; carbon black/silica blending; tear resistant additive; cutting resistance

专利2则

由北京橡胶工业研究设计院有限公司、中铁工程装备集团有限公司和北京橡院橡胶轮胎检测技术服务有限公司申请的专利(公布号 CN 113801411A, 公布日期 2021-12-17)“耐磨氟橡胶及其应用以及密封制品的无痕分段硫化方法”, 涉及的氟橡胶配方为: 氟橡胶 100, 炭黑 10~50, 复合耐磨剂[聚酰亚胺/聚四氟乙烯/聚乙烯蜡/木质素/聚苯酯并用比为(0~10)/(0~10)/(0~10)/(0~10)] 1~10, 高活性氧化镁 2~5, 氢氧化钙 3~10, 复合硫化剂[双酚AF/BPP并用比为(1~5)/(1~5)] 1~5。采用该添加了复合耐磨剂的氟橡胶胶料生产的密封制品的摩擦因数显著减小, 耐磨性能和抗压缩永久

变形性能提高。

由中国建筑材料科学研究总院有限公司申请的专利(公布号 CN 113831653A, 公布日期 2021-12-24)“用于拉丝机机械手夹爪的三元乙丙橡胶材料及其制备方法”, 涉及的三元乙丙橡胶(EPDM)材料包括EPDM、炭黑、改性滑石粉、胶粉、氧化锌、硬脂酸、石蜡油、环氧大豆油、防老剂、石油树脂、酚醛增粘树脂、三烯丙基异氰脲酸酯、过氧化二苯甲酰和硫黄。该EPDM材料的表面粘性降低, 耐磨擦性能和表面防划伤能力提高, 工艺操作性能显著改善, 且制造工艺简单可靠稳定, 适用作光学纤维丝自动拉丝机机械手夹爪材料。

(本刊编辑部 赵敏)