

产品·设计

空气弹簧橡胶气囊胶料的配方研究

王静¹, 康振冉², 王涛², 危银涛¹

[1. 清华大学 车辆与运载学院, 北京 100084; 2. 易瑞博科技(北京)有限公司, 北京 100083]

摘要:对汽车用空气弹簧橡胶气囊胶料的配方进行研究。结果表明:与天然橡胶(NR)/氯丁橡胶(CR)并用胶相比, CR胶料的300%定伸应力和拉伸强度增大, 耐热老化性能和耐疲劳性能提高;在空气弹簧橡胶气囊的试制中, NR/CR并用胶采用传统压延工艺制备, 预期生产出的橡胶气囊壁厚约为2 mm, CR胶料采用层芯喷注工艺制备, 预期生产出的橡胶气囊壁厚约为1.6 mm。

关键词:空气弹簧; 橡胶气囊; 氯丁橡胶; 天然橡胶; 耐疲劳性能

中图分类号: TQ336.4⁺2

文献标志码: A

文章编号: 1000-890X(2023)00-0000-05

DOI: 10.12136/j.issn.1000-890X.2023.00.0000



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

随着汽车工业和交通运输业的高速发展,人们对汽车的乘坐舒适性和平稳性等有了更高的要求。空气弹簧作为一种利用空气压缩弹性进行工作的柔性弹性密闭容器,在汽车的减震、缓冲和高频隔震方面具有不可替代的作用^[1-2]。目前国内市场上的汽车用空气弹簧主要为进口产品,价格较高。从空气弹簧橡胶气囊来看,国产空气弹簧橡胶气囊胶料所用胶种较多,如天然橡胶(NR)、顺丁橡胶、氯丁橡胶(CR)、丁苯橡胶及其并用胶,制得的空气弹簧橡胶气囊的壁较厚,减震性能较差,而国外空气弹簧橡胶气囊胶料一般使用CR,制得的空气弹簧橡胶气囊的壁薄、质轻、强度大。

2001年,贵州前进橡胶有限公司开发了NR/氯化丁基橡胶并用的客车空气弹簧橡胶气囊胶料的配方,胶料的物理性能和成品性能均达到国外产品水平^[3]。黄良平等^[4]进行了空气弹簧橡胶气囊胶料的配方设计及空气弹簧的性能试验,优化配方胶料的性能达到了Contitech公司的空气弹簧橡胶气囊胶料的性能指标要求。王付胜等^[5]优化了空气弹簧橡胶气囊外层胶的配方,使空气弹簧

橡胶气囊的耐老化性能得到提高。Vibracoustic公司使用CR胶料,采用注射和编制工艺,生产出强度高、壁超薄(1.6 mm)的空气弹簧橡胶气囊。

本工作对汽车用空气弹簧橡胶气囊的NR/CR并用胶与CR胶料的性能进行对比研究,以期开发出能与国外空气弹簧性能相当的橡胶气囊胶料的配方。

1 实验

1.1 主要原材料

NR, 1[#]烟胶片, 泰国产品; CR, 牌号CR126, 德国朗盛公司产品; 氧化锌和氧化镁, 分析纯, 山东阳谷华泰化工股份有限公司产品; 炭黑N330, N550和N660, 江西黑猫炭黑股份有限公司产品; 白炭黑, 山东联科白炭黑有限公司产品; 偶联剂Si69, 安徽硅宝有机硅新材料有限公司产品; 防老剂4020和促进剂CBS, 山东尚舜化工有限公司产品。

1.2 主要设备和仪器

BB-1600IM型密炼机和BL-6175-AL型开炼机, 宝轮精密检测仪器有限公司产品; XLB-D型平

基金项目:国家自然科学基金青年基金项目(52003142)

作者简介:王静(1989—), 女, 山东济宁人, 清华大学助理研究员, 博士, 主要从事高分子材料的合成、表征及性能研究。

E-mail: wangjing9917@126.com

引用本文:王静, 康振冉, 王涛, 等. 空气弹簧橡胶气囊胶料的配方研究[J]. 橡胶工业, 2023, 70(4): 258-262.

Citation: WANG Jing, KANG Zhenran, WANG Tao, et al. Study on formulations of rubber bladder compounds for air spring bellows[J]. China Rubber Industry, 2023, 70(4): 258-262.

板硫化机,湖州东方机械有限公司产品;MDR2000型无转子硫化仪,美国阿尔法科技有限公司产品;5965型电子万能材料试验机,美国英斯特朗公司产品;SS-8610型橡胶疲劳试验机,凯尔测控技术(天津)有限公司产品。

1.3 试样制备

胶料分两段混炼,一段混炼在密炼机中进行,转子转速为 $90\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$,混炼工艺为:生胶和小料→压压砣混炼25 s→提压砣加炭黑和白炭黑→压压砣→提压砣混炼至 $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ (CR胶料不高于 $120\text{ }^{\circ}\text{C}$)→压压砣→提压砣混炼至 $135\text{ }^{\circ}\text{C}$ (CR胶料不高于 $120\text{ }^{\circ}\text{C}$)→压压砣混炼至 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ (CR胶料不高于 $120\text{ }^{\circ}\text{C}$)→排胶。二段混炼在开炼机上进行,胶料包辊后左右割刀1次,加入硫黄和促进剂,待吃料完全后,左右割刀3次,减小辊距,打三角包5次,调大辊距,胶料包辊,表面光滑无气泡后下片。

胶料在平板硫化机上硫化,硫化条件为 $160\text{ }^{\circ}\text{C}\times 10\text{ min}$ 。

1.4 性能测试

(1)耐臭氧老化性能:按ISO 1431—1:2004测试,试验条件为: $40\text{ }^{\circ}\text{C}\times 48\text{ h}$,相对湿度 55%,臭氧体积分数 50×10^{-8} 。

(2)疲劳裂纹扩展试验:对带预制裂口的疲劳测试试样(如图1所示)进行动态循环加载试验,通过控制试样内裂尖部位的裂纹扩展驱动力,并跟踪裂纹扩展轨迹,得到试样的疲劳裂纹增长速率与撕裂能之间的关系曲线。测试条件为:试样尺寸 $150\text{ mm}\times 15\text{ mm}\times 2\text{ mm}$,预制缺口长度 25 mm ,循环载荷频率 10 Hz ,试验温度 $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

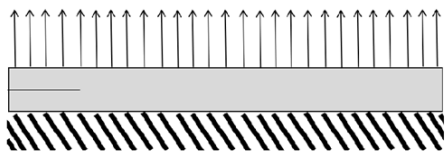


图1 带预制裂口的疲劳测试试样

Fig. 1 Fatigue test specimen with prefabricated crack

对同一配方胶料取3个试样进行重复性裂纹扩展试验,试验结果取平均值。试验过程中逐步提高循环控制最大撕裂能,并实时监测裂纹扩展形态。

(3)其他性能均按照相应的国家标准进行测定。

2 结果与讨论

2.1 胶料的配方设计

空气弹簧橡胶气囊的生产工艺复杂,在胶料混炼后需要经过压延、成型、烘坯和装模硫化等工艺过程制成,因此要求胶料的焦烧时间长、压延时不粘辊以及成型时有粘性等。空气弹簧橡胶气囊可采用层芯喷注工艺制备,该工艺较为简单,操作方便,且生产的橡胶气囊的壁较薄。

2.1.1 NR/CR并用胶的配方

NR/CR并用胶的配方见表1。

表1 NR/CR并用胶的配方				份
Tab. 1 Formulations of NR/CR blends				phr
组 分	配方编号			
	A1	A2	A3	
NR	50	70	70	
CR	50	30	30	
炭黑N330	10	10	15	
炭黑N660	25	30	30	
白炭黑	0	10	0	
偶联剂Si69	0	2	0	
氧化锌	5	5	4	
氧化镁	3	0	0.5	
硬脂酸	1.5	2	2	
防老剂4020	5	4.5	4.5	
硫黄	2	2.5	1.5	
促进剂CBS	1	1	1	
其他	3	6	6	

注:A1—外层胶;A2—帘布层胶;A3—内层胶。

2.1.2 CR胶料的配方

CR胶料的配方(B配方,用于外层胶、帘布层胶、内层胶)(用量/份):CR 100,炭黑N330 12,炭黑N550 15,白炭黑 10,氧化锌 5,氧化镁 4,硬脂酸 1,防老剂4020 3,微晶蜡 1.5,促进剂CBS 1.5,其他 11。

2.2 胶料的性能

2.2.1 硫化特性和物理性能

不同配方胶料的硫化特性和物理性能见表2。

从表2可以看出,与NR/CR并用胶相比,CR胶料的 t_{90} 和硬度相近,300%定伸应力和拉伸强度增大,粘合性能和耐热老化性能提高。

2.2.2 耐疲劳性能

在100%应变下,不同配方胶料的疲劳裂纹扩展曲线如图2所示。

从图2可以看出,配方B胶料的耐疲劳性能最

表2 不同配方胶料的硫化特性和物理性能
Tab.2 Vulcanization characteristics and physical properties of compound with different formulations

项 目	配方编号			
	A1	A2	A3	B
硫化仪数据 (160 ℃)				
t_{s2}/min	2.01	2.77	2.71	2.65
t_{90}/min	7.06	7.89	6.87	6.98
硫化胶性能				
邵尔A型硬度/度	59	61	56	60
300%定伸应力/MPa	10.52	10.36	8.70	11.60
拉伸强度/MPa	25.65	26.97	25.88	28.91
拉断伸长率/%	578	560	591	603
H抽出力/N		79		86
100 ℃×7 d热老化后				
邵尔A型硬度变化/度	+5	+6	+5	+3
拉伸强度变化率/%	-10	-11	-10	-7
拉断伸长率变化率/%	-15	-16	-14	-9
臭氧老化等级	0	1	1	0
100万次屈挠龟裂等级	0	0	0	0

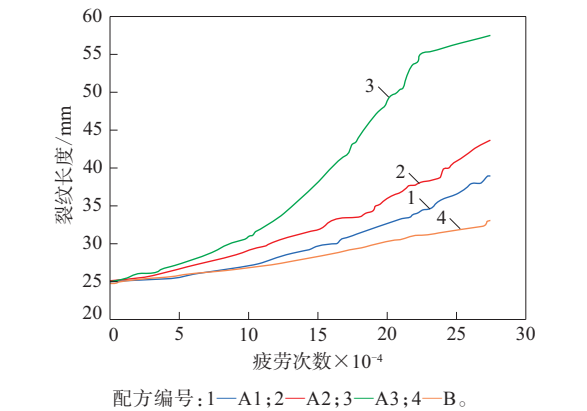


图2 不同配方胶料的疲劳裂纹扩展曲线
Fig.2 Fatigue crack growth curves of compounds with different formulations

好,配方A3硫化胶最差。可见CR胶料的耐疲劳性能优于NR/CR并用胶。

不同配方胶料的疲劳裂纹增长速率-撕裂能曲线如图3所示, G 为撕裂能($\text{J} \cdot \text{m}^{-1}$), C 为裂纹长度(mm), N 为疲劳次数。

从图3可以看出,在裂纹增长速率迅速增大的区域^[6-10],NR/CR并用胶的裂纹急剧增大,说明撕裂能增大到一定程度后,可能是NR/CR界面处不牢固,使得胶料的抗疲劳破坏能力大大减小^[11-14]。

不同配方胶料的疲劳极限曲线如图4所示。胶料常处于大变形状态,若平均应变保持在0.5以上,从图4可知控制应变振幅在0.5以下时CR胶料的疲劳寿命仍能达到10万次;应变振幅在0.2以下时,不

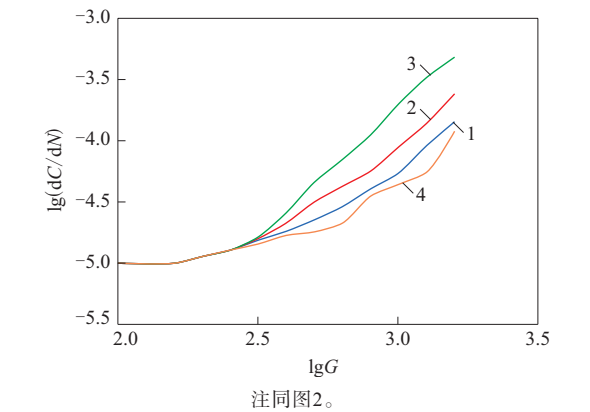


图3 不同配方硫化胶的疲劳裂纹增长速率-撕裂能曲线
Fig.3 Fatigue crack growth rate-tear energy curves of compounds with different formulations

管是CR胶料,还是NR/CR并用胶,胶料的疲劳寿命都可达到100万次。

2.2.3 空气弹簧橡胶气囊

目前,CR胶料及NR/CR并用胶在空气弹簧橡胶气囊中的应用均处于产品试制阶段。NR/CR并用胶采用传统压延工艺制备橡胶气囊,预期生产出的橡胶气囊的壁厚约为2 mm,CR胶料采用层芯喷注工艺制备橡胶气囊,预期生产出的橡胶气囊的壁厚约为1.6 mm。

3 结论

本研究配方的汽车用空气弹簧橡胶气囊胶料的物理性能良好,CR胶料的性能优于NR/CR并用胶,两种配方胶料均用于样品试制。NR/CR并用胶和CR胶料分别采用传统压延工艺和层芯喷注工艺生产空气弹簧橡胶气囊。

参考文献:

[1] 丁志华,游世辉. 磁流变弹性体橡胶空气弹簧的结构设计[J]. 机械设计与制造,2008(10):17-18.
DING Z H, YOU S H. Structural design of magnetorheological elastomers air spring[J]. Machinery Design & Manufacture, 2008(10):17-18.
[2] 叶伟强,曹宽宽,邓益民,等. 磁流变弹性体汽车减振实验装置设计及实验研究[J]. 机械科学与技术,2011,30(6):1011-1015.
YE W Q, CAO K K, DENG Y M, et al. Design and experimental study of an automobile vibration reduction system based on magnetorheological elastomer[J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering,2011,30(6):1011-1015.
[3] 陈亚洲. 汽车用橡胶空气弹簧胶料配方的研究[J]. 橡胶工业,

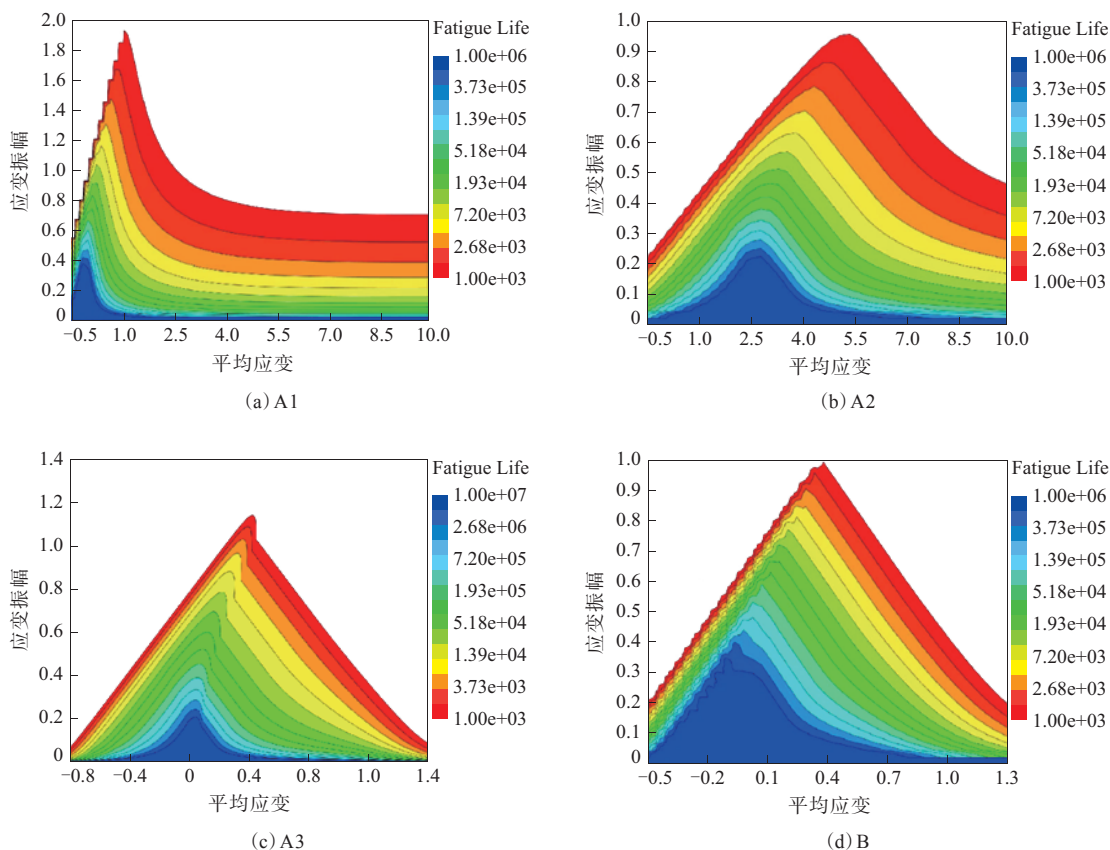


图4 不同配方胶料的疲劳极限曲线

Fig. 4 Haigh curves of compounds with different formulations

- 2001, 48 (10): 612-614.
- CHEN Y Z. Formulation of rubber air-spring for automobile[J]. China Rubber Industry, 2001, 48 (10): 612-614.
- [4] 黄良平, 唐先贺, 杨军. 空气弹簧橡胶气囊配方的研究[J]. 橡胶工业, 2004, 51 (3): 162-164.
- HUANG L P, TANG X H, YANG J. Formulation of rubber bladder for air spring[J]. China Rubber Industry, 2004, 51 (3): 162-164.
- [5] 王付胜, 朱鹏刚, 李吉刚. 空气弹簧橡胶气囊外层胶配方优化设计[J]. 橡胶工业, 2011, 58 (5): 301-306.
- WANG F S, ZHU P G, LI J G. Optimized design of outer layer formula of rubber diaphragm for air spring[J]. China Rubber Industry, 2011, 58 (5): 301-306.
- [6] ZHANG W, GONG X L, SUN T L, et al. Effect of cyclic deformation on magnetorheological elastomers[J]. Chinese Journal of Chemical Physics, 2010, 23 (2): 226-230.
- [7] WANG T, ZHU Z W. A new type of nonlinear hysteretic model for magnetorheological elastomer and its application[J]. Materials Letters, 2021, 301: 130176. 1-4.
- [8] LI W H, NAKANO M. Fabrication and characterization of PDMS based magnetorheological elastomers[J]. Smart Materials & Structures, 2013, 22 (5): 05503512. 1-5.
- [9] RIGBI Z, JILKÉN L. The response of an elastomer filled with soft ferrite to mechanical and magnetic influences[J]. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 1983, 37 (3): 267-276.
- [10] NI Z C, GONG X L, LI J F, et al. Study on a dynamic stiffness-tuning absorber with squeeze-strain enhanced magnetorheological elastomer[J]. Journal of Intelligent Material Systems and Structures, 2009, 20 (10): 1187-1194.
- [11] SAINUMSAI W, TOKI S, MNUAYPORSRI S, et al. Dependence of the onset of strain-induced crystallization of natural rubber and its synthetic analogue on crosslink and entanglement by using synchrotron X-ray[J]. Rubber Chemistry and Technology, 2017, 90 (4): 728-742.
- [12] HUNEAU B, MASQUELIER I, MARCO Y, et al. Fatigue crack initiation in a carbon black-filled natural rubber[J]. Rubber Chemistry and Technology, 2016, 89 (1): 126-141.
- [13] SJÖBERG M M, KARI L. Non-linear behavior of a rubber isolator system using fractional derivatives[J]. Vehicle System Dynamics, 2002, 37 (3): 217-236.
- [14] PAN X Y, SHANGGUAN W B, CHAI G Z, et al. Dynamic modeling of carbon black filled rubber vibration isolator based on hyperelasticity, fractional derivative and friction model[J]. Journal of Vibration and Shock, 2007, 26 (10): 6-10.

收稿日期: 2022-03-22

Study on Formulation of Rubber Bladder Compounds for Air Spring

WANG Jing¹, KANG Zhenran², WANG Tao², WEI Yintao¹

[1. Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. E-Rubber Technology (Beijing) Co., Ltd, Beijing 100083, China]

Abstract: The formulation of rubber bladder compounds for automotive air spring was studied. The results showed that compared with natural rubber (NR)/chloroprene rubber (CR) blend, the tensile stress at 300% and tensile strength of CR compound increased, the heat aging property and fatigue resistance were improved. In the trial production of the rubber bladder for air spring, NR/CR blend adopted the traditional calendering process to prepare, the expected wall thickness of the rubber bladder produced was about 2 mm and CR compound adopted a layer core injection process to prepare, the expected wall thickness of the rubber bladder produced was about 1.6 mm.

Key words: air spring; rubber bladder; CR; NR; fatigue resistance