

产品·设计

橡胶缓冲器的研制

孙军平,张作鑫*,朱鹏刚,李楠,迟洲勋

(中车青岛四方车辆研究所有限公司 减振事业部,山东 青岛 266000)

摘要:介绍橡胶缓冲器的研制。根据橡胶缓冲器故障件分析及产品性能要求,分别选择氯丁橡胶为胶料的主体材料和N,N,N'-三甲基硫脲为促进剂;通过优化硫化工艺和模具结构,解决了产品拔坑、分型面处炸边和融痕问题。本研制橡胶缓冲器性能满足要求,该产品已投入批量生产。

关键词:橡胶缓冲器;氯丁橡胶;促进剂;硫化工艺;模具结构

中图分类号:TQ366.4⁺2;TQ333.5

文献标志码:A

文章编号:1000-890X(2021)03-0202-06

DOI:10.12136/j.issn.1000-890X.2021.03.0202



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

橡胶缓冲器主要应用于地铁车辆上,作用于列车车钩位置(见图1),吸收相应的缓冲和牵引载荷,同时允许车钩在水平和垂直方向摆动以及一定角度的扭转运动^[1]。橡胶缓冲器的自由端形状像法兰(见图2),安装时先将套管连接在法兰上,再把缓冲器连接在车钩杆上,列车运行时产生的牵引力和缓冲载荷由缓冲器各橡胶缓冲单元吸收^[2]。如果橡胶缓冲器失效,列车运行时产生的巨大纵向冲击和牵引载荷会直接作用到转向架上^[3],造成列车运行不稳,振动严重,乘客乘坐舒适性降低,严重时会造成列车出轨、翻车等重大安全事故,使国家和人民群众财产造成重大损失,因此橡胶缓冲器在地铁车辆上具有不可替代的作用。

但是目前国内市场上的橡胶缓冲器均为进口件,其价格较高,质量不稳定,同时供货周期受外方控制,经常出现断供等情况,严重影响了国内地铁车辆生产。为了实现橡胶缓冲器的国产化,进一步提高产品的质量和稳定性,我公司按照地铁产品技术要求,依靠自主创新,对橡胶缓冲器进行了研发。通过故障件分析,经过胶料配方确定以



图1 橡胶缓冲器应用实例

Fig. 1 Application example of rubber buffer



图2 橡胶缓冲器

Fig. 2 Rubber buffer

及硫化工艺和模型结构优化,研制出满足性能要求的橡胶缓冲器。现将其研制情况简介如下。

作者简介:孙军平(1981—),男,山东威海人,中车青岛四方车辆研究所有限公司工程师,学士,主要从事橡胶减振件工艺研究工作。

*通信联系人(352734125@qq.com)

引用本文:孙军平,张作鑫,朱鹏刚,等.橡胶缓冲器的研制[J].橡胶工业,2021,68(3):202-207.

Citation:SUN Junping, ZHANG Zuoxin, ZHU Penggang, et al. Development of rubber buffer[J]. China Rubber Industry, 2021, 68(3): 202-

1 实验

1.1 主要原材料

氯丁橡胶(CR), 牌号S-40V, 日本电气化学公司产品;天然橡胶(NR), RSS-1, 印度尼西亚产品;丁苯橡胶(SBR), 牌号1502, 中国石化齐鲁石化公司产品。

1.2 配方

配方1: CR 100, 炭黑N550 50, 轻质碳酸钙 20, 氧化锌 5, 氧化镁 4, 硬脂酸 2, 防老剂ODPA 4, 环烷油 8, 促进剂(变品种) 2。

配方2: NR 100, 炭黑N550 50, 氧化锌 5, 硬脂酸 2, 芳烃油 5, 防老剂4020 2.5, 防焦剂CTP 0.5, 硫黄 1, 促进剂NOBS 1.5, 促进剂D 1, 促进剂MBT 1。

配方3: NR 70, SBR 30, 炭黑N550 50, 氧化锌 10, 硬脂酸 2, 芳烃油 5, 防老剂4010NA 1.5, 防老剂RD 2, 硫黄 0.5, 促进剂CBS 1。

1.3 主要设备和仪器

X(S)K-160型开炼机, 上海双翼橡塑机械有限公司产品;QLN-N 400×400型平板硫化机, 上海第一橡胶机械有限公司产品;M-3000A型无转子硫化仪, 中国台湾高铁科技股份有限公司产品;JDL-2500N型电子万能试验机, 扬州市天发试验机械有限公司产品;401A型老化试验箱, 上海实验仪器有限公司产品;Ozone Test Cabinet 903型臭氧老化箱, 英国SATRA测试仪器公司产品;HZ-7004型橡胶低温脆性试验仪, 东莞市力显仪器科技有限公司产品;YHD32-40型四柱压力机, 江苏铭格锻压设备有限公司产品。

1.4 试样制备

首先将开炼机的辊距调到1 mm, 生胶加入后薄通3次, 下片待用。将开炼机辊距调到2 mm, 投入薄通好的生胶, 待其包辊后先加入小料, 左右割刀各3次, 打3次三角包;再加入炭黑等填料, 左右割刀各3次, 打3次三角包;最后加入硫化体系等, 左右割刀各3次, 打5次三角包, 调大辊距, 下片。混炼胶停放16 h后采用无转子硫化仪测试硫化特性。混炼胶在平板硫化机上硫化, 硫化条件为150 °C/10 MPa× t_{90} 。硫化胶片停放6 h以上进行裁片和性能测试。

1.5 测试分析

(1) 硫化特性: 采用无转子硫化仪按照GB/T 16584—1996《橡胶 用无转子硫化仪测定硫化特性》测试, 测试温度为150 °C。

(2) 物理性能: 采用邵氏硬度计按照GB/T 531.1—2008《硫化橡胶或热塑性橡胶 压入硬度试验方法 第1部分: 邵氏硬度计法(邵尔硬度)》测试邵尔A型硬度, 测试温度为室温;采用电子万能试验机按照GB/T 528—2009《硫化橡胶或热塑性橡胶 拉伸应力应变性能的测定》测试拉伸性能和按照GB/T 529—2008《硫化橡胶或热塑性橡胶撕裂强度的测定(裤形、直角形和新月形试样)》测试撕裂强度(直角形试样), 测试温度均为室温, 拉伸速率均为500 mm·min⁻¹。

(3) 耐热空气老化性能: 采用热空气老化试验箱按照GB/T 3512—2001《硫化橡胶或热塑性橡胶热空气加速老化和耐热试验》测试, 老化条件为100 °C×96 h。

(4) 耐臭氧老化性能: 采用臭氧老化箱按照GB/T 7762—2014《硫化橡胶或热塑性橡胶 耐臭氧龟裂 静态拉伸试验》测试, 试样伸长率为20%, 臭氧质量分数为100×10⁻⁸, 老化条件为40 °C×48 h。

(5) 压缩永久变形: 压缩试样放入热空气老化试验箱按照GB/T 7759.1—2015《硫化橡胶或热塑性橡胶压缩永久变形的测定 第1部分: 在常温及高温条件下》测试, 试样压缩率为25%, 测试条件为100 °C×24 h。

(6) 低温脆性温度: 采用低温脆性试验仪按照GB/T 1682—1991《硫化橡胶低温脆性的测定 单试样法》测试。

(7) 静压性能: 采用四柱压力机按照公司标准测试, 常温下将产品静压(40±2) mm, 压缩速度为1 mm·s⁻¹, 记录最大压力值, 试验方法如图3所示。

2 结果与讨论

2.1 故障件分析

目前国内市场上的橡胶缓冲器均为进口件, 质量不稳定。通过对故障件(见图4)进行分析发现, 部分产品在承受大载荷冲击时会出现压溃情况, 从而无法吸收冲击能, 直接失效。同时, 发

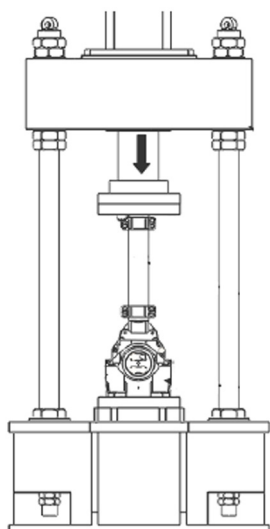


图3 静压性能试验方法示意

Fig. 3 Example of static pressure performance test method



图4 压溃的橡胶缓冲器

Fig. 4 Crushed rubber buffer

现破损产品内部出现局部较光滑的融合界面,说明此处的胶料在混炼或/和硫化过程中未充分融合。结合使用过程中的受力工况,初步判断该产品胶料存在自粘性差的问题,造成产品在承受较大冲击载荷时从融合不良处断裂,进而导致整个产品压溃。

通过对产品进一步分析发现,尽管该产品外形结构简单,但使用工况比较恶劣,性能要求极为苛刻,需要承受高达500 kN的载荷,而变形量仅为40 mm。为了避免上述问题,在研制橡胶缓冲器时应从胶料配方、硫化工艺和模具结构等方面进行综合考虑。

2.2 胶料配方研究

2.2.1 主体材料选择

根据橡胶缓冲器的性能特点,分别采用以CR, NR^[4-5]和NR/SBR并用胶为主体材料的配方1—3进行产品试制^[6-7]。

对试制的产品进行静压性能试验,结果如表1和图5所示。

从表1和图5可以看出:采用NR或NR/SBR并用胶为主体材料的两种产品可承受的冲击载荷较小,同时静压试验后永久变形较大,表面出现裂纹;采用CR为主体材料的产品^[8]可承受的冲击载

表1 3种配方产品静压性能测试结果

Tab. 1 Results of three formula products static pressure performance test

主体材料	最大压力值/ kN	状态
CR (配方1)	513.2	无永久变形,无裂纹
NR (配方2)	476.5	约4 mm永久变形,裂纹明显
NR/SBR (配方3)	447.9	约4 mm永久变形,裂纹明显



(a) CR



(b) NR



(c) NR/SBR

图5 3种配方产品静压试验后的状态

Fig. 5 States of three formula products after static pressure performance test

荷和拉伸载荷符合产品性能要求,同时静压试验后无永久变形,无裂纹。

在产品开发过程中发现,采用CR为主体材料生产橡胶缓冲器这种厚制品,存在胶料自粘性差、对硫化温度较敏感和硫化过程中产生较多挥发性气体等缺陷,造成产品容易出现炸边、裂口和融痕等问题,因此需要对配方和硫化工艺进行调整。

2.2.2 促进剂选择

针对CR胶料在硫化过程中产生挥发性刺激性气体、自粘性差和焦烧时间短的问题,首先从促进剂入手进行改进。

CR^[9-10]常用的促进剂是硫脲类促进剂,最常用的硫脲类促进剂有1,2-亚乙基硫脲、N,N'-二乙基硫脲、N,N,N'-三甲基硫脲和四甲基硫脲等。由于促进剂种类对胶料的焦烧时间有较大影响,因此分别对这几种促进剂混炼胶的硫化特性(150℃)进行测试,结果如表2所示(采用配方1)。

表2 促进剂种类对CR胶料硫化特性的影响
Tab.2 Effect of accelerator types on curing characteristics of CR compounds

项 目	促进剂种类			
	1,2-亚乙基硫脲	N,N'-二乙基硫脲	N,N,N'-三甲基硫脲	四甲基硫脲
$F_L/(N \cdot m)$	0.85	0.84	0.80	0.81
$F_{max}/(N \cdot m)$	7.98	8.23	7.37	7.45
t_{10}/min	2.11	1.18	3.37	5.20
t_{90}/min	18.53	12.48	13.25	16.44

由于本产品采用注射充模方式进行生产,因此胶料的 t_{10} 不能太短。根据实际工艺条件,要求胶料的 t_{10} 在2 min以上,以保证胶料的加工安全性。由表2可知,促进剂种类对胶料的 F_L 和 F_{max} 影响不大,对 t_{10} 和 t_{90} 影响较大。由于1,2-亚乙基硫脲和N,N'-二乙基硫脲作为促进剂,胶料的 t_{10} 较短,影响其加工安全性,会对产品性能造成不良影响,因此选择N,N,N'-三甲基硫脲和四甲基硫脲进行胶料物理性能对比试验,结果如表3所示。

从表3可以看出,两种促进剂胶料的拉断伸长率和压缩永久变形差异较大,其他性能基本相同。考虑到产品的实际使用工况,要求产品压缩后恢复性较好,即产品的压缩永久变形要小,因此最终选用N,N,N'-三甲基硫脲作为促进剂。

2.3 硫化工艺和模具结构优化

由于该产品为纯CR厚制品,硫化温度、压力、

表3 促进剂种类对CR胶料物理性能的影响
Tab.3 Effect of accelerator types on physical properties of CR compounds

项 目	促进剂种类	
	N,N,N'-三甲基硫脲	四甲基硫脲
邵尔A型硬度/度	79	78
拉伸强度/MPa	19.5	19.6
拉断伸长率/%	268	305
撕裂强度/(kN·m ⁻¹)	39	38
低温脆性温度/℃	-35	-35
压缩永久变形/%	11	14
耐臭氧老化性能	无龟裂	无龟裂
100℃×96 h热空气老化后		
邵尔A型硬度变化/度	+5	+4
拉伸强度变化率/%	-6.5	-6.3
拉断伸长率变化率/%	-8.1	-9.1

时间和注胶量控制不好,都容易引发产品质量问题,比如炸边和融痕等,需要在试制过程中不断调整硫化工艺,以在保证产品质量的前提下提高生产效率。

在产品试制过程中出现了注胶柱断裂的情况,简称拔坑,如图6所示。经分析主要是由于CR的抗热撕裂性能较差,产品硫化后注胶塞拔出注料腔时模具及注料腔内形成真空环境,对注胶柱有非常大的向外拉扯力,导致注胶柱断裂。通过硫化工艺调整,即产品硫化完成后先下沉模具再拔出注胶塞,避免了模具及注料腔内形成真空,解决了该问题。



图6 产品拔坑现象
Fig.6 Product pit phenomenon

在产品试制过程中出现了分型面处轻微炸边现象,如图7所示。经分析这主要是由于注胶孔、溢胶孔和排气孔开设位置不合理造成的,即注胶孔、溢胶孔和排气孔全部开设在下模与上模分型面上,使这些孔的位置全部集中在模具的合模线上,从而易使产品出现炸边现象。鉴于此,合理设置产品的分型面并调整注胶孔、溢胶孔和排气孔



图7 产品炸边现象

Fig. 7 Product edge burst phenomenon

的位置,避免了此问题。

对于易炸边的CR产品,一般采用低温长时间硫化。但低温长时间硫化的生产效率较低,因此对模具进一步改进,将模腔数量从一模两腔增大到一模四腔,极大地提高了生产效率。

在产品试制过程中出现了融痕现象,如图8所示。在胶料配方和模具结构优化的基础上,通过一体成型硫化技术和不断优化硫化参数,提高充模的初始温度,改善胶料的流动性,增大其自粘性,避免了此问题。



图8 产品融痕现象

Fig. 8 Product melting mark phenomenon

3 成品性能

对最终产品进行静压试验,结果证明该橡胶缓冲器性能满足要求,产品合格。通过对橡胶缓冲器进行剖析,未发现产品变形、融痕以及表面和内部裂纹等不良现象。

4 结论

(1) 根据橡胶缓冲器故障件和产品性能要求,分别选择CR为胶料的主体材料和N,N,N'-三甲基硫脲为胶料的促进剂。

(2) 通过硫化工艺和模具结构优化,制得满足性

能要求的橡胶缓冲器,且该产品已投入批量生产。

参考文献:

- [1] 周长峰,张建润. 橡胶缓冲器有限元分析[J]. 弹性体, 2004, 14(1): 39-42.
ZHOU C F, ZHANG J R. The model of rubber damp analyzed by the finite element method[J]. China Elastomers, 2004, 14(1): 39-42.
- [2] 桑建兵. 橡胶缓冲器及其接触分析[J]. 河北工业大学学报, 2006, 35(1): 21-24.
SANG J B. Study on buffer with rubber like material and its contact analysis[J]. Journal of Hebei University of Technology, 2006, 35(1): 21-24.
- [3] YAO S G, LI Z X, MA W, et al. Experimental investigation of the quasi-static and impact tests on the energy absorption characteristics of coupler rubber buffers used in railway vehicles[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part F: Journal of Rail & Rapid Transit, 2019, 233(9): 937-950.
- [4] 袁兆奎,李玲丽,陈涛,等. 天然橡胶老化过程中的结构和性能变化及储存寿命预测[J]. 橡胶工业, 2019, 66(7): 495-498.
YUAN Z K, LI L L, CHEN T, et al. Change in structure and property of NR during aging and its storage life prediction[J]. China Rubber Industry, 2019, 66(7): 495-498.
- [5] GHOSH, ARUP K. Characterization and evaluation of a novel renewable plant product(RPP) gum as a flame retardant additive in chloroprene and natural rubber[J]. International Journal of Plastics Technology, 2015, 19(1): 19-29.
- [6] 张春蕾. 混炼工艺对丁苯橡胶-天然橡胶共混耐热性能的影响[J]. 橡塑技术与装备, 2017, 43(7): 33-34.
ZHANG C L. Effect of mixing process on heat resistance of styrene-butadiene rubber and natural rubber blends[J]. China Rubber/Plastics Technology and Equipment, 2017, 43(7): 33-34.
- [7] 魏继军,刘英杰,高晟强,等. 不同苯乙烯含量丁苯橡胶与天然橡胶并用的研究[J]. 橡胶工业, 2019, 66(11): 825-829.
WEI J J, LIU Y J, GAO S Q, et al. Study on properties of blends of NR and SBR with different styrene content[J]. China Rubber Industry, 2019, 66(11): 825-829.
- [8] 孔明明,刘浩,王玉杰. 氯丁胶的研究现状与发展趋势[J]. 中国胶粘剂, 2017, 26(5): 61-63.
KONG M M, LIU H, WANG Y J. Research status and development trend of neoprene adhesives[J]. China Adhesives, 2017, 26(5): 61-63.
- [9] 曾宪奎,褚福海,郝建国,等. 基于微观表征方法的氯丁橡胶胶料热氧老化机理的研究[J]. 橡胶工业, 2018, 65(3): 335-338.
ZENG X K, CHU F H, HAO J G, et al. Study on thermal-oxidative aging mechanism of neoprene compound based on microscopic characterization methods[J]. China Rubber Industry, 2018, 65(3): 335-338.
- [10] AZAR F, EN M. Effects of accelerator type on stress relaxation

behavior and network structure of aged natural rubber/chloroprene rubber vulcanizates[J]. Journal of Elastomers and Plastics, 2016, 49

(5): 23-26.

收稿日期: 2020-10-17

Development of Rubber Buffer

SUN Junping, ZHANG Zuoxin, ZHU Penggang, LI Nan, CHI Zhouxun

(CRRQ Qingdao Sifang Rolling Stock Research Institute Co., Ltd, Qingdao 266000, China)

Abstract: The development of rubber buffer was introduced. According to the analysis of rubber buffer failure part and requirements of product performance, chloroprene rubber (CR) was selected as the main material of the compound and N,N,N'-trimethylthiourea as the accelerator. By optimizing the vulcanization process and mold structure, the problems of product pits, edge burst on the parting surface and melting mark were solved. The performance of the developed rubber buffer met the requirements, and this product has been put into mass production.

Key words: rubber buffer; CR; accelerator; vulcanization process; mold structure

一种橡胶材料热解成分测试装置及方法 由郑州大学申请的专利(公布号 CN 111795940A, 公布日期 2020-10-20)“一种橡胶材料热解成分测试装置及方法”,涉及的橡胶材料热解成分测试装置包括加热炉、电加热棒、流量计、气阀、温度传感器、进气管、出气管、电源、继电器、智能温控仪、光谱仪和载气瓶。加热炉的进气口通过进气管与载气瓶连接,流量计和气阀设置在进气管上,加热炉的出气口通过出气管与光谱仪的气室连接,电加热棒和温度传感器均设置在加热炉内,电源通过继电器与电加热棒连接,电源与继电器之间设有开关,智能温控仪的信号输入端与温度传感器连接,智能温控仪的信号输出端与继电器连接。该测试装置结构简单、操作简便、测试数据精确,可对不同橡胶材料进行热解测试,测试出其热解气体分解物。

(本刊编辑部 赵 敏)

一种POSS改性硅烷封端液体氟橡胶、胶粘剂及制备方法 由湖北航天化学技术研究所申请的专利(公布号 CN 111925529A, 公布日期 2020-11-13)“一种POSS改性硅烷封端液体氟橡胶、胶粘剂及制备方法”,提供了一种笼形聚倍半硅氧烷(POSS)改性硅烷封端液体氟橡胶及其胶粘剂的制备方法。将预除水处理后的端羟基液体

氟橡胶置于反应釜中,加入异氰酸酯和催化剂,在惰性气氛下升温至60~100℃并反应2~4h;将羟基官能度不小于2的POSS溶解在溶剂中,然后滴加到反应釜中,继续保温反应;将反应体系降温至30~50℃,并向其中滴加氨基硅烷偶联剂进行封端,滴加完毕后保温反应至异氰酸酯基团反应完全;反应结束后除去体系中的溶剂即制得改性液体氟橡胶。将改性液体氟橡胶、纳米无机物(颗粒)和催化剂混合均匀即制得胶粘剂。该发明采用硅烷水解缩合的固化方式替代传统的异氰酸酯基团固化,制备的氟橡胶胶粘剂易于使用,更加安全环保,且力学性能和耐油性能优异。

(本刊编辑部 赵 敏)

可溶性聚氨酯橡胶及其制备方法和应用

由中国石油大学(北京)申请的专利(公布号 CN 111944299A, 公布日期 2020-11-17)“可溶性聚氨酯橡胶及其制备方法和应用”,涉及的可溶性聚氨酯橡胶配方为:聚氨酯橡胶 95~105,补强剂 10~50,水解剂 10~60,交联剂 0.5~3,其他助剂 0.5~50。该可溶性聚氨酯橡胶具有良好的耐压性能,在室温下即可快速完全水解,且水解速度可控,能够满足储层改造技术中对可溶性耐压产品的使用要求。

(本刊编辑部 赵 飞)