

三元乙丙橡胶/氯化聚乙烯并用胶在输电线路 阻尼间隔棒中的应用

徐 鹏^{1,2}, 何 红¹, 杜继红²

(1. 北京化工大学 机电工程学院, 北京 100029; 2. 四平线路器材厂, 吉林 四平 136001)

摘要: 研究三元乙丙橡胶/氯化聚乙烯并用胶在高压输电线路阻尼间隔棒中的应用。结果表明: 采用本试验确定的配方(并用比为70:30的三元乙丙橡胶/氯化聚乙烯橡胶并用胶)和硫化工艺(压力 10 MPa, 温度 175 ℃, 时间 8 min), 胶料的硫化时间缩短; 硫化胶的阻尼性能、物理性能和耐臭氧性能达到电力行业标准要求; 产品的生产成本降低, 生产效率提高。

关键词: 高压输电; 阻尼间隔棒; 三元乙丙橡胶; 氯化聚乙烯橡胶; 并用胶; 硫化速率; 阻尼性能; 耐臭氧性能

中图分类号: TQ333. 4; TQ333. 92 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-890X(2018)00-0000-04

我国地域广阔, 东西部经济发展不均衡。将西部欠发达地区的煤炭、水力资源输送到东部经济发达地区, 是我国生产力发展布局的客观要求。高压输电具有线损低、占地少、距离远、容量大的优势, 在国民经济发展中发挥着重要作用。阻尼间隔棒应用于多分裂导线高压输电线路, 能够抑制导线微风振动和次档距(分裂导线两间隔棒之间)振荡, 保障高压输电线路的安全运行, 是不可缺少的关键防护金具^[1]。目前, 我国正处在高压输电线路建设的高峰期, 阻尼间隔棒年需求量达几十万套, 与之配套的橡胶件用量巨大。

20世纪六七十年代, 发达国家对阻尼间隔棒配套橡胶件进行了集中研究开发, 但橡胶件的组成成分和制造方法都是保密的。由于电力行业与橡胶行业跨距大, 技术衔接性差, 导致我国对阻尼间隔棒配套橡胶件配方和性能研究不多。

目前, 常用的阻尼橡胶件原材料主要为三元乙丙橡胶(EPDM)和丁基橡胶并用胶, 其硫化胶具有良好的阻尼性能、物理性能和耐臭氧老化性能, 但也存在不足之处, 如胶料的硫化速率小、生产成本高等。因此, 研制新型胶种, 缩短硫化时间, 提高生产效率, 对提高橡胶产品使用性能、降低生产

成本具有重要意义。

本工作研究EPDM/氯化聚乙烯并用胶在高压输电线路阻尼间隔棒中的应用。

1 EPDM/氯化聚乙烯并用胶的研制

文献^[2-3]介绍了EPDM及其并用胶的种类和性能, 其中电线电缆行业使用的EPDM/氯化聚乙烯并用胶与输电线路间隔棒用橡胶的使用条件和使用性能相近^[4-5]。

EPDM主链是饱和碳链, 具有极高的化学稳定性、良好的耐候性能和耐臭氧性能、优良的耐热性能。由于分子链上无极性取代基, 分子间内聚能较低, 因而EPDM存在自粘性和互粘性较差、硫化速率小等缺点。

氯化聚乙烯是含氯的饱和碳链高分子, 具有优良的耐臭氧性能、耐候性能、耐老化性能和耐化学药品性能, 优异的高填充性和化学特性, 价格低廉, 与EPDM相容性较好^[6]。

1.1 氯化聚乙烯品种的选择

氯化聚乙烯品种较多, 常用的3个品种分别为氯化聚乙烯CPE-135A、橡胶型氯化聚乙烯(粉状)CM-352L和橡胶型氯化聚乙烯(胶状)CM-352LF。将3种氯化聚乙烯分别与EPDM进行混炼、硫化后测试其基本性能, 除配方所用氯化聚乙烯品种不同, 其他条件均相同。试验设备采用广

作者简介: 徐鹏(1970—), 男, 吉林四平人, 北京化工大学在职硕士研究生, 主要从事电力金具设计、电力工程用橡胶研发工作。

E-mail: spdljj@163.com

州广材试验仪器有限公司生产的XLD-2500E型电力拉力机和上海六菱仪器厂生产的LX-A型邵式橡胶硬度计,测试结果见表1。

表1 EPDM与不同品氯化聚乙烯并用胶的物理性能

项 目	氯化聚乙烯品种		
	CPE-135A	CM-352L	CM-352LF
邵尔A型硬度/度	67	68	67
300%定伸应力/MPa	—	—	11.66
拉伸强度/MPa	9.13	11.47	13.38
拉断伸长率/%	≥264	220	342

注:EPDM/氯化聚乙烯并用比为60/40。

由表1可知,在混炼条件相同的情况下,EPDM/氯化聚乙烯并用胶均具有更好的物理性能。后续试验氯化聚乙烯的品种选用CM-352LF。

1.2 试验配方的确定

1.2.1 EPDM/氯化聚乙烯并用比

在配方其他组分和用量相同情况下,制备不同并用比EPDM/氯化聚乙烯并用胶,以相同条件混炼、硫化后,利用美特斯工业系统(中国)有限公司生产的CMT4204型微机控制电子万能试验机测试硫化胶的力学性能,结果见表2。

表2 不同并用比EPDM/氯化聚乙烯并用胶的力学性能

项 目	EPDM/氯化聚乙烯并用比			
	90/10	70/30	50/50	30/70
300%定伸应力/MPa	7.12	6.19	5.42	4.57
拉伸强度/MPa	18.25	14.97	10.76	8.20
拉断伸长率/%	650	703	709	672

由表2可知,随着氯化聚乙烯用量增大,硫化胶的300%定伸应力和拉伸强度减小。考虑配方经济性,氯化聚乙烯用量越大越好,但由于本配方产品性能应符合DL/T 1098《间隔棒技术条件和试验方法》中的合成橡胶元件性能指标要求,300%定伸应力和拉伸强度不能过小,综合各种因素,确定EPDM/氯化聚乙烯并用比为70/30。

1.2.2 硫化体系

EPDM/丁基橡胶并用胶的硫化体系为硫黄/促进剂TMTD的低硫高促硫化体系,与之不同的是,EPDM和氯化聚乙烯具有共硫化特性,均可采用过氧化物进行硫化。EPDM/氯化聚乙烯并用胶硫化时,交联和断裂反应同时发生,为抑制断裂反应同时加大硫化速率,配方中需添加具有官能团的共硫化剂^[3]。本试验选用过氧化物DCP。

1.2.3 补强体系和其他助剂

EPDM属于非结晶型橡胶,本身强度并不高,需加入补强填料才能使胶料具有较好的物理性能。高耐磨炭黑N330粒径较小,结构度高,活性点多,比表面积大,具有良好的补强效果,可提高胶料的模量、拉伸强度、拉断伸长率、撕裂强度和耐磨性能,降低压缩永久变形和口型膨胀率,但会使胶料的门尼粘度增大,因此用量不宜过大^[7]。本试验确定炭黑N330用量为50份。

其他助剂(软化剂、防老剂等)根据实际情况酌情少量添加。当主体材料用量为100份时,补强剂和其他助剂的总用量不超过70份。

综上所述,本试验配方确定为:EPDM/氯化聚乙烯 70/30,炭黑N330 50,氧化锌 4,过氧化物DCP 4,硫黄 1,其他(软化剂、防老剂等) 11。

1.3 硫化工艺条件的确定

硫化工艺条件主要包括压力、温度和时间。硫化压力越大,硫化胶质量越好,但过大的硫化压力会造成能源浪费。依据阻尼橡胶件生产实际情况,硫化压力以10 MPa为宜。根据时温等效原理,硫化温度越高,硫化时间越短。为缩短硫化时间,宜采用高硫化温度,但温度过高会引起氯化聚乙烯分解,因此,硫化温度不宜超过175 °C。根据试验配方制备的EPDM/氯化聚乙烯混炼胶停放后,采用北京瑞达宇辰有限公司生产的MR-C3型无转子硫化仪测定其165,170和175 °C下的硫化曲线^[8],如图1所示。

从图1可以看出,硫化曲线符合时温等效原理,随着硫化温度升高,硫化时间缩短。根据硫化

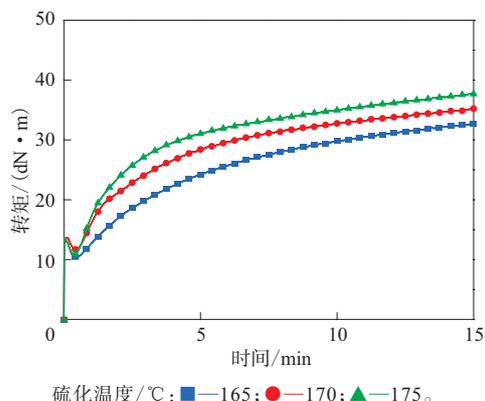


图1 不同温度下EPDM/氯化聚乙烯混炼胶的硫化曲线

曲线,并综合各种因素,确定硫化工艺条件为:硫化压力 10 MPa,硫化温度 175 °C,硫化时间 8 min。

2 阻尼间隔棒配套橡胶的性能

阻尼间隔棒是利用关节橡胶作阻尼材料来消耗导线振动能量,对导线振动产生阻尼作用,从而降低导线振动水平。阻尼橡胶的基本性能要求主要针对对于关节橡胶(不包括间隔棒线夹内衬垫)^[9],体现在阻尼性能、物理性能和耐臭氧老化性能等方面。按照电力标准DL/T 1098中常用合成橡胶元件主要性能要求的检验项目,对EPDM/氯化聚乙烯并用胶进行基本性能测试。

2.1 阻尼性能

阻尼间隔棒利用关节橡胶件的弹性获得所需刚度,以便在具有充分活动性的使用条件下保持分裂导线的几何尺寸。利用关节橡胶件的粘性在交变应力下消耗足够能量,以达到抑制次档距振荡和微风振动的目的^[1]。

橡胶动态粘弹行为表现为滞后现象,应变响应落后于应力一个相位角(δ), δ 越大,橡胶材料的滞后损失越大,阻尼性能越好,消耗导线的振动能量越多,抑制导线次档距振荡和微风振动的能力越强。这种力学损耗也称滞后损失或内耗,通常以特征参数 $\tan\delta$ 值的大小表征^[10]。

阻尼橡胶件在交变力场作用下,应变响应滞后于应力变化的现象即为滞后现象,此时的模量为复数模量(E^*),即:

$$E^* = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} \cos \delta + i \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} \sin \delta = E' + iE''$$

式中, σ_0 为最大应力, ε_0 为最大应变; $E' = \sigma_0/\varepsilon_0 \cos \delta$ 是实数部分,称为储能模量,反映弹性,是能量的储存部分,简称实模量; $E'' = \sigma_0/\varepsilon_0 \sin \delta$ 是虚数部分,称为损耗模量,反映粘性,是能量的耗损部分,简称虚模量。

用于描述每一周期内能量损耗与最大弹性变形能关系的表征量称为损耗因子($\tan\delta$),即 $\tan\delta = E''/E'$ 。

由于应变滞后于应力,则每一个振动周期(形变周期),应力-应变的拉伸和回缩曲线(见图2)将包围成“滞后环”。这个迟滞回线(滞后环)所包含的面积(ABCA)表示在一个振动周期中单位体积

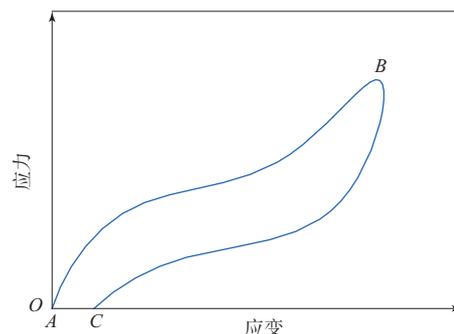


图2 橡胶拉伸和回缩的应力-应变曲线的能量损耗(ΔW)。 ΔW 与 $\tan\delta$ 正相关,公式如下:

$$\Delta W = \pi \sigma_0 \varepsilon_0 \sin \delta = \pi E' \varepsilon_0^2 \tan \delta$$

利用法国01dB-Mettravib公司生产的VA3000型动态机械分析仪(DMA)测定EPDM/氯化聚乙烯并用胶在-40~+40 °C、25 Hz条件下的 $\tan\delta$,结果见图3。

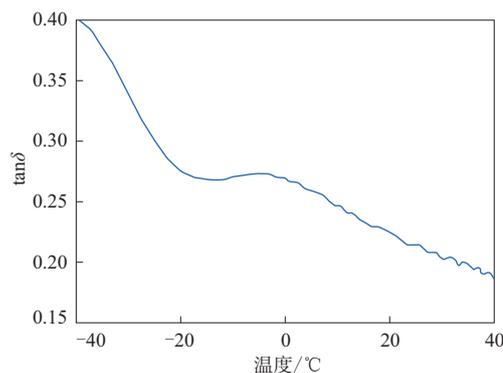


图3 EPDM/氯化聚乙烯并用胶的 $\tan\delta$

从图3可以看出, $\tan\delta$ 值随着温度升高而减小,在-18~0 °C出现区域阻尼损耗峰,数值范围为0.4~0.18,高于电力行业标准规定范围(0.4~0.1)。

2.2 物理性能

物理性能反映橡胶材质的好坏,EPDM/氯化聚乙烯并用胶的物理性能见表3。

由表3可知,EPDM/氯化聚乙烯并用胶的物理性能达到电力行业标准要求。

2.3 耐臭氧老化性能

高压输电线路易于发生电晕放电现象,产生臭氧、氮的氧化物等有害物质。臭氧是橡胶龟裂的主要因素,因此要求阻尼橡胶有很好的耐臭氧老化性能。通过人工模拟强化臭氧条件进行臭氧老化试验,可以检验橡胶的耐臭氧老化性能。利用高铁检测仪器公司生产OZ-0500AH型臭氧试验

表3 EPDM/氯化聚乙烯并用胶的物理性能

项 目	试验值	标准值
邵尔A型硬度/度	69	67~73
300%定伸应力/MPa	11.21	≥9.8
拉伸强度/MPa	16.47	≥16.1
拉断伸长率/%	475	≥350

机,按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》相关要求,在温度 25 ℃、臭氧体积分数 50×10^{-8} 、拉伸率 20%的试验条件下测试EPDM/氯化聚乙烯并用胶的耐臭氧老化性能,老化时间为72 h,测试结果见图4。

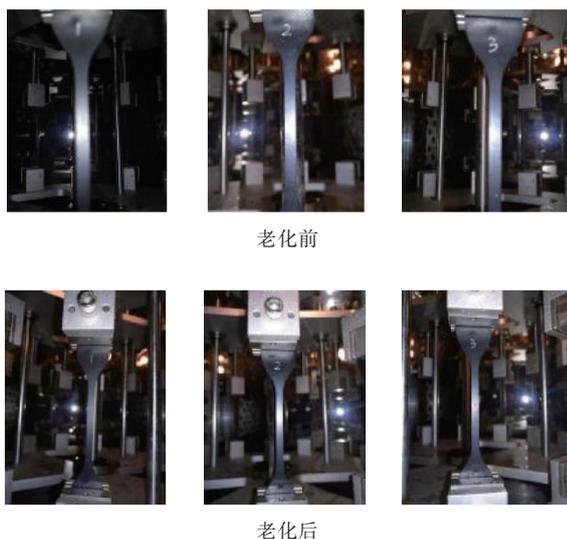


图4 EPDM/氯化聚乙烯并用胶的耐臭氧老化性能

由图4可见,老化前后3个哑铃状EPDM/氯化聚乙烯并用胶试样均未出现裂纹,表明其具有良

好的耐臭氧老化性能。

3 结论

采用本试验确定的配方和硫化工艺,胶料的硫化速率增大,硫化时间缩短;硫化胶的阻尼性能、物理性能和耐臭氧老化性能均达到电力行业标准要求;产品的生产成本降低,生产效率提高。

参考文献:

- [1] 刘振亚. 特高压直流输电线路[M]. 北京:中国电力出版社,2009:175,182.
- [2] 吕百龄. 实用橡胶手册[M]. 2版. 北京:化学工业出版社,2009:42-47,53-55.
- [3] 贾芳,陈福林,张兴华,等. 三元乙丙橡胶共混改性的研究进展[J]. 特种橡胶制品,2008,29(2):46-51.
- [4] 彭立新,王金银. 氯化聚乙烯/EPDM空调器电线电缆线芯的研制[J]. 橡胶工业,2001,48(8):481-483.
- [5] 彭立新,王金银. 氯化聚乙烯在线缆行业中的应用[J]. 橡胶工业,2002,49(4):222-224.
- [6] 高洪强,张培亭,肖建斌. 三元乙丙橡胶/氯磺化聚乙烯橡胶并用胶的性能研究[J]. 橡胶工业,2016,63(8):453-457.
- [7] 王晓强,陈春花,辛振祥. 炭黑品种对三元乙丙橡胶/氯化聚乙烯橡胶并用胶性能的影响[J]. 橡胶工业,2013,60(5):284-288.
- [8] 刘植榕,汤华远,郑亚丽. 橡胶工业手册 第八分册 试验方法[M]. 修订版. 北京:化学工业出版社,1992:543-546.
- [9] 程应镗. 送电线路金具的设计安装试验和应用[M]. 北京:水利电力出版社,1989:163-168.
- [10] 傅政. 橡胶材料性能与设计应用[M]. 北京:化学工业出版社,2003:177-190.

收稿日期:2018-03-16

Application of EPDM/Chlorinated Polyethylene Blend in Damped Spacer of Transmission Lines

XU Peng^{1,2}, HE Hong¹, DU Jihong²

(1. Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China; 2. Siping Power Line Hardware Works, Siping 136001, China)

Abstract: The application of EPDM/chlorinated polyethylene blend in damping spacer of high voltage transmission lines was investigated. The results showed that, using the formula (EPDM/CM blending ratio 70/30) and curing process (pressure 10 MPa, temperature 175 ℃, time 8 min) determined in this experiment, the curing time of compounds was shortened, the damping property, physical property and ozone resistance of vulcanizate met the requirements of power industry standard, and the production cost was reduced and the production efficiency was improved.

Key words: high voltage transmission; damping spacer; EPDM; chlorinated polyethylene; blend; curing rate; damping property; ozone resistance