

热空气硫化硅橡胶电缆的起泡原因及控制技术分析

李章学

(四川川东电缆有限责任公司, 四川 大竹 635100)

摘要:分析热空气硫化硅橡胶电缆绝缘层和护套层起泡的原因及控制技术。以控制电缆内空气、水分和内外压力平衡为出发点,从硅橡胶性能、水分含量、混炼工艺、结构厚度、挤出模具、电缆结构设计以及温度方面着手,研究控制硅橡胶电缆产品起泡的技术要点和方法。通过多种控制技术的实施,有效解决了热空气硫化硅橡胶电缆绝缘层和护套层起泡的问题,提升了产品品质,降低了生产成本。

关键词:硅橡胶;电缆;热空气硫化;起泡;控制技术

中图分类号:TM249.3;TQ333.93

文献标志码:A

文章编号:2095-5448(2019)08-0443-04

DOI:10.12137/j.issn.2095-5448.2019.08.0443

硅橡胶电缆是电线电缆行业的一种特殊产品,其耐高温性能优异,制备时常采用甲基乙烯基硅橡胶作为原材料。硅橡胶电缆硫化工艺主要有3种,一是高压蒸汽连续硫化工艺,二是热空气硫化工艺,三是热水加热空气二段式硫化工艺。采用高压蒸汽连续硫化工艺生产硅橡胶电缆,可与通用橡胶护套电缆共用生产线,避免重复投资,且产品不易起泡,但该方法一次性投资较大,工艺复杂,还需对连续硫化生产线的喂料系统、挤出模具、硫化管等进行必要的改造才能生产出合格产品^[1]。热空气硫化工艺投资小,工艺简单,但由于硫化过程在常压下进行,需注意防止和克服产品起泡^[2]。采用热水加热空气二段式硫化工艺生产圆电缆时不起泡,但生产扁电缆起泡严重^[3],而且受低水温的影响,生产效率较低。

本工作分析热空气硫化硅橡胶电缆绝缘层和护套层起泡的原因及控制技术。

1 起泡现象及危害

起泡是热空气硫化硅橡胶电缆生产过程中的

作者简介:李章学(1972—),男,四川大竹人,四川川东电缆有限责任公司高级工程师,学士,主要从事电线电缆设计开发及管理工作。

E-mail:550503640@qq.com

常见问题。硅橡胶电缆经热空气硫化后,在硅橡胶结构(指硅橡胶电缆的绝缘层或护套层)上出现多种不同形式泡状现象,包括起泡但未穿透,起泡并穿透,以及从外观看不出起泡,但在横截面有稀疏微气孔或在内层有环状密集微气孔。硅橡胶电缆起泡危害较大,一是造成生产效率低,连续生产受到极大干扰;二是无法保证产品质量,出现火花击穿增多(即使未击穿,绝缘性能也会降低),物理性能不合格,外观差,修补困难,甚至无法交货等情况,即使通过出厂检验,使用寿命和安全运行也可能受到难以预见的影响。

2 起泡原因

硅橡胶的热传导性较好,热量交换快。在热空气硫化过程中,热量由外到内迅速传递到硅橡胶结构内部,硅橡胶完成硫化反应,形成交联结构,这就是硅橡胶电缆热空气硫化的原理。热空气在对硅橡胶加热时,也对电缆的结构元件进行加热。电缆的结构元件中存在空气和水分,当空气和水分受热剧烈膨胀时,形成高温和高气压,加之电缆结构比较紧密,使得这种内部气压无处释放,从而对硅橡胶结构造成巨大压力,当内外压力失去平衡,内压大于外压时就会形成不同形式的

泡状现象。由此可知,空气、水分和内外压力不平衡是引起起泡问题的关键因素。

3 控制技术

3.1 硅橡胶

从硅橡胶性能看,硅橡胶的硬度和拉伸强度越大,拉断伸长率越小,阻止电缆内部气压突破硅橡胶的能力越强。

表1为某公司不同型号挤出型硅橡胶的性能参数。

表1 不同型号挤出型硅橡胶的性能参数

项 目	型号			
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]
邵尔A型硬度/度	50±2	60±2	70±2	80±2
拉伸强度/MPa	8.0	7.5	7.5	7.0
拉断伸长率/%	440	380	250	180
撕裂强度(B型)/(kN·m ⁻¹)	20	20	20	20
体积电阻率×10 ⁻¹⁴ /(Ω·cm)	3	3	3	3

由表1可知,相比于其他型号硅橡胶,4[#]硅橡胶更有利于硅橡胶电缆起泡的控制,实践中应以综合性能选择和平衡。

从硅橡胶混炼工艺看,混合越均匀,硫化剂分散越均匀,硫化胶的性能越好,从而减少容易起泡的薄弱点。为保证胶料混合均匀,在开炼机上加硫化剂时,应在1~3 mm辊距下打三角包5次以上。同时也需注意控制硫化剂用量,过量的硫化剂容易喷霜,而用量过小则会出现硫化速度慢^[4-5],硫化剂用量一般控制在1.2~1.5份。

从硅橡胶中水分含量看,硅橡胶硫化前易吸潮,生产时应合理计算原料用量,控制硅橡胶的开包量,以免用不完的硅橡胶吸潮过多,不利于下一次使用。硅橡胶电缆横截面的微气孔往往是由硅橡胶中的水分引起的,需要使用有效期内包装完好的硅橡胶,也可对开包后存放时间稍长的硅橡胶进行烘干处理。

从硅橡胶结构厚度看,增大硅橡胶结构厚度,可增大电缆整体强度,有效抵御电缆内部气压的破坏力。但厚度的增大会增加电缆成本,一般不采用此法,但可适当增大小规格电缆绝缘层的厚度。

3.2 挤出模具

硅橡胶电缆挤出常采用挤压式模具,增大模具挤出压力,同时辅以抽真空(一般10 mm²以下规格电缆采用),可使电缆缆芯间隙填充更充分,减小电缆内部空气含量,降低电缆内部空气因受热而产生的压力,同时还可使硅橡胶结构更致密,进一步提高强度。通过增加模芯和模套之间的角度差和模间距,可有效增大挤出压力,一般角度差控制在35°左右,对于小规格电缆,模间距以空挤(即不穿线芯)刚好不空芯为宜;对于大规格电缆,模间距以空挤空芯约为模套定径的2/3为宜。挤出模具控制法特别适用于小规格电缆绝缘层起泡的控制。

3.3 电缆结构设计

若电缆缆芯未填充,将存在较大间隙,电缆受热形成的气压容易通过大间隙迅速释放,不易导致起泡。若硫化温度过高,电缆间隙中的空气多且膨胀快,超过硅橡胶结构对膨胀气体的束缚力,从而导致起泡。电缆缆芯未填充不仅电缆不圆整,影响外观,造成护套层消耗和成本增大,还会降低电缆载流量,负面影响较大。因此,电缆缆芯常采用非吸湿性填充料进行填充,可以减小电缆中水分含量,同时采用透气性好且非吸湿性无纺布作为电缆绕包带,在电缆绕包层里形成气压泄漏通道,大大减小电缆内部气压对硅橡胶结构的压力。这是阻止硅橡胶电缆起泡较为有效的方法,特别适用于大规格电缆绝缘层和护套层的起泡控制,且不影响电缆的美观和载流量。对于小规格电缆,在绝缘层外纵包聚酯带更利于气体释放,控制起泡效果较好。

3.4 温度

硫化前硅橡胶强度小,硫化后硅橡胶强度大幅提高。因此,使硅橡胶迅速硫化可大幅提高硅橡胶结构抵抗电缆内部气压的能力,这需要合理设置硫化温度和导体或缆芯预热温度。

图1为热空气硫化硅橡胶电缆生产线。

硫化箱硫化温度一般按“前高后低,大高小低”的原则进行设置,即生产线热空气硫化箱前段温度设置较高,后段设置较低;大规格电缆硫化温

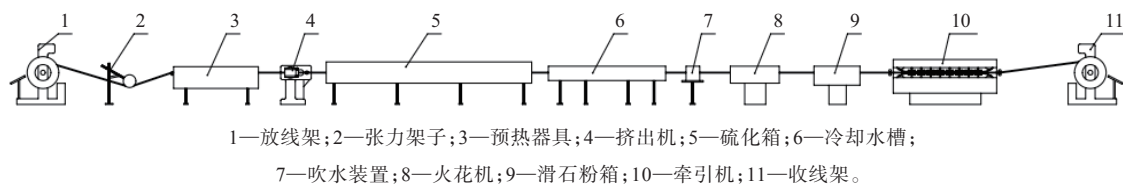


图1 热空气硫化硅橡胶电缆生产线示意

度设置较高(参考值为 $270\sim 240\text{ }^{\circ}\text{C}$),小规格电缆硫化温度设置较低(参考值为 $200\sim 180\text{ }^{\circ}\text{C}$),由前到后依次梯级降低,且温差梯度不能过大,总温差以不超过 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为宜。导体或缆芯预热的目的是除去所含水分,提升导体或缆芯温度,进一步促使硅橡胶结构迅速硫化,有利于减少起泡。导体或缆芯预热温度设置较高,一般为 $280\sim 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。表2为GX65/14硅橡胶电缆生产线生产的YGCB 450/750V $3\times 1.5\text{ mm}^2$ 硅橡胶扁电缆绝缘层预热温度和护套层硫化温度工艺设置实例及效果。

表2 YGCB 450/750V $3\times 1.5\text{ mm}^2$ 硅橡胶扁电缆
护套层工艺温度方案

方案	预热温度/ $^{\circ}\text{C}$	硫化温度/ $^{\circ}\text{C}$				效果
		一区	二区	三区	四区	
1	245	230	240	250	250	起泡较少
2	200	250	250	250	200	起泡多
3	280	195	195	190	190	起泡很少

从表2可以看出:硫化温度过高、预热温度过低,电缆更易起泡,这是因为硫化温度过高,电缆内的空气或水分膨胀较快,硫化和膨胀速度失衡;低硫化温度和高预热温度可减少起泡。

4 生产实例

以GX120/14硅橡胶电缆生产线生产的YGC 450/750V 2×95 硅橡胶电缆为例,制定控制起泡的关键技术方法,具体如下。

(1) 硅橡胶:兼顾产品成本和柔软性考虑,选用表1中3[#]硅橡胶,添加阿克苏公司双24硫化剂[过氧化二(2,4)二氯苯甲酰]1.4份,混炼辊距为 2 mm ,打三角包6次。

(2) 挤出模具:绝缘层的模套内锥角度为 60° ,模芯外锥角度为 25° ;护套层的模套内锥角度为 66° ,模芯外锥角度为 31° ;模间距根据经验空挤调整。

(3) 电缆结构设计:导体和缆芯均用 0.2 mm 厚的无纺布重叠绕包一层,缆芯填充料采用玻璃纤维。

(4) 温度:绝缘层的导体预热温度为 $280\text{ }^{\circ}\text{C}$,硫化温度在 $240\sim 210\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间,由前到后依次降低,线速度为 $5\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$;护套层的缆芯预热温度为 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$,硫化温度在 $270\sim 240\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间,由前到后依次降低,线速度为 $3\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ 。

通过上述方法生产的硅橡胶电缆绝缘层和护套层均未出现起泡现象,达到预期效果。

5 结语

通过硫化工艺原理分析了热空气硫化硅橡胶电缆起泡的原因,从硅橡胶性能、水分含量、混炼工艺、结构厚度、挤出模具、电缆结构设计以及温度方面着手,研究了控制起泡的技术要点和方法,并取得良好效果。在实际生产中,需具体情况具体分析,采用不同技术控制方法,多措施并举,不断创新,通过控制空气、水分和内外压力平衡等达到解决硅橡胶电缆起泡问题的目的,并提高产品质量和生产效率。

参考文献:

- [1] 余虎,柳尧裕,钱晓娟.连硫生产线生产硅橡胶电缆探索[A].中国电工技术学会电线电缆专业委员会2007年学术年会论文汇编[C].无锡:无锡市沪安电线电缆有限公司,2007:209-211.
- [2] 张秀松.电线电缆手册(第3版第3册)[M].北京:机械工业出版社,2017.
- [3] 刘登瑞,韩惠福.浅谈硅橡胶扁电缆的制造工艺[J].光纤与电缆及其应用技术,2016(3):16-18.
- [4] 范涛,崔海洋,朱玉萍.硅橡胶喷霜解决方案及连硫管水位控制系统改进[J].中国新技术新产品,2016(10):70-71.
- [5] 刘生辉,魏伯荣.橡胶制品喷霜的产生原因及解决措施[J].橡胶工业,2006,53(8):488-490.

收稿日期:2019-04-16

Root Cause Analysis of Blistering of Hot Air Cured Silicone Rubber Cable and Control Methods

LI Zhangxue

(Sichuan Chndo Cable Co., Ltd, Dazhu 635100, China)

Abstract: The root causes of blistering on the insulating layer and the sheath layer of hot air cured silicone rubber cable were analyzed and control methods were proposed. The possible factors such as the properties of silicone rubber, moisture content, mixing process parameters, part thickness, extrusion die, cable structure design and temperature, were studied. Then the control methods were proposed by considering the balance of air, moisture, internal and external pressure in the cable. Through the implementation of various control technologies, the blistering problem of insulating layer and sheath layer of hot air cured silicone rubber cable was effectively solved, the product quality was improved, and the production cost was reduced.

Key words: silicone rubber; cable; hot air curing; blistering; control technology

20号胶期货交易获批

2019年7月5日,上海期货交易所子公司上海国际能源交易中心宣布,中国证监会已批准上期能源开展20号胶期货交易,合约自2019年8月12日正式挂牌交易。这是上期能源上市的第2个国际化品种。

我国目前已成为全球第一大20号胶消费国和进口国。上期能源有关负责人表示,20号胶期货上市,既有利于构建全球天然橡胶市场的定价体系,助力我国橡胶工业的发展,服务我国天然橡胶企业“走出去”;又有利于进一步扩大我国天然橡胶期货市场影响力,推进我国期货市场对外开放。

中国橡胶工业协会副会长兼秘书长徐文英表示,中国作为全球20号胶的战略买家,推出自己的20号胶期货具有非凡意义。一方面符合下游终端的真实需求、符合天然橡胶产业的发展趋势;另一方面服务国家“一带一路”建设倡议,可加深我国

与东南亚各国的政经往来和金融合作。

海南天然橡胶产业集团股份有限公司、云南天然橡胶产业集团有限公司、广东省广垦橡胶集团有限公司的有关负责人表示,他们都在积极实施天然橡胶业务“走出去”战略,20号胶期货的上市将为他们提供更丰富的价格风险管理工具。

中信期货分析师童长征表示,从产业链角度来看,20号胶期货的上市,可以更好地发挥橡胶序列期货在国内橡胶相关产业链中的作用。从定价话语权的角度来看,由于此次20号胶期货是国际化品种,将会有更多的国际投资者参与交易,有利于提升我国在国际天然橡胶市场的定价权和话语权。

为迎接20号胶期货上市,上期能源已就其标准合约、交易、交割、结算、风险控制等相关业务规则的制定公开征求市场意见。

(摘自《中国化工报》,2019-07-10)

声 明

《橡胶工业》《轮胎工业》《橡胶科技》均不收取审稿费。任何机构、个人以任何名义向作者收取审稿费均为诈骗行为。请广大作者互相转告,勿信诈骗信息。作者投稿请直接登录官网(www.rubbertire.com.cn),在投稿系统中可查询稿件录用结果。有任何疑问请及时与编辑部联系。