

The Reason Study of Insulating Hollow Tube Shortening after Injection

Caihong Pan*, Jianbing Ding, Bo Song, Xiaolei Yu, Xiaojuan Chen, Qiang Wang

Jiangsu Shenma Electric Co., Ltd., Nantong Jiangsu
Email: 841331308@qq.com

Received: Apr. 22nd, 2015; accepted: May 12th, 2015; published: May 18th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

The reasons for the contraction of the tube after injection are as follows: incomplete curing degree, not-fully-released internal stress of the tube, and MTHPA hydrolysis because of the environmental humidity. Furthermore, this paper gives effective solutions for the above problem.

Keywords

Composite Insulating Tube, Shorten, Curing Degree, Internal Stresses, Curing Agent

空心绝缘管注射后缩短原因分析

潘彩红*, 丁建兵, 宋 波, 于晓蕾, 陈小娟, 汪 强

江苏神马电力股份有限公司, 江苏 南通
Email: 841331308@qq.com

收稿日期: 2015年4月22日; 录用日期: 2015年5月12日; 发布日期: 2015年5月18日

摘 要

复合绝缘管在注射后长度出现缩短现象。其主要原因包括以下三个方面: 固化程度不完全、绝缘管内应

*通讯作者。

力未完全释放、环境湿度大导致固化剂甲基四氢苯酐水解；且外，本文对绝缘管注射后缩短给出了有效的解决方案。

关键词

复合绝缘管，缩短，固化程度，内应力，固化剂

1. 前言

近年来，复合绝缘子由于优良的绝缘性、重量轻、防污性能好、安全系数高等性能作为一种理想的结构材料和功能材料在电力行业中得到快速的发展,并在 SF6 及油浸式电流、电压互感器、全封闭组合电器进出线套管、电力变压器套管、电力电容器、高电缆终端、SF6 及真空断路器领域得到了广泛的应用[1]。复合绝缘管作为复合绝缘子的重要结构之一，经过缠绕固化成型后需经真空注射硅橡胶伞群，而绝缘管在注射后长度常常会缩短，本文对绝缘管注射后缩短的原因进行详细分析并给出解决绝缘管二次受热后缩短的解决方案。

2. 绝缘管注射后长度缩短分析

酸酐类固化剂对皮肤刺激性小，使用周期长，用它作为环氧树脂固化剂其介电性能比胺类固化剂优异，本文采用甲基四氢苯酐作为环氧树脂固化剂，玻璃纤维为增强材料通过缠绕工艺制备绝缘筒[2]。而绝缘筒注射后长度缩短的原因主要有以下几方面：

2.1. 固化程度

环氧树脂/甲基四氢苯酐随着反应程度的进行从低分子量环氧树脂经过溶胶凝胶最后形成三维交联网络结构，随着交联密度增大、分子链末端的缠结、化学键合和分子间作用力的共同作用使得胶液体系中可参加反应的官能团不能全部完全反应。影响环氧树脂固化物交联密度的重要因素有：1) 固化工艺包括固化时间和固化温度；2) 环氧树脂与固化剂甲基四氢苯酐的配比,固化剂含量较低导致环氧树脂固化不完全。

当绝缘管的固化温度较低、固化时间较短使得缠绕胶液中有较多的官能团未参加反应，反应胶粘程度较低，车削后的绝缘管在注射时二次受热，环氧树脂会进一步的与固化剂发生反应，而环氧树脂的固化收缩率在 1%~2%之间，导致绝缘管的长度缩短。

另一方面，我司采用湿法缠绕法进行绝缘筒的制备，在缠绕前需先制衬，为了内衬与胶液的浸润性更好，采用高温制衬的方式并对内衬进行淋胶处理；环氧树脂的沸点大于 200℃，在制衬时基本不挥发，甲基四氢苯酐的沸点在 115℃~155℃之间，因此当芯模温度较高时甲基四氢苯酐就会挥发掉一部分，这使得环氧树脂不能完全固化。

2.2. 内应力

环氧树脂/甲基四氢苯酐在固化过程中需要升温，固化后降温过程中，由于纤维与树脂的热膨胀系数不同，树脂会收缩而纤维变性不大，纤维将受压树脂受拉，这样在纤维和树脂间的界面产生内应力。M. Shimbo 等[3]对环氧树脂固化过程中的内应力机理作了深入研究。

绝缘管长度缩短的另一个主要原因是产品内应力不能完全松弛掉在绝缘管内部形成残余内应力，而残余内应力在绝缘管二次受热后冷却的过程中完全释放出来，这就导致了玻璃钢筒长度缩短的异常。

造成残余内应力未能完全释放的主要原因是毛坯筒在从脱模到车削之间的停放时间过短，导致玻璃钢筒内部应力不能完全释放；我司从实验数据来看，毛坯停放时间小于 24 h 的产品尺寸极不稳定，而毛坯停放时间大于 24 h 的产品尺寸相对比较稳定。

2.3. 环境因素

我司采用甲基四氢苯酚作为环氧树脂的固化剂，甲基四氢苯酚在湿度较大的环境中会发生水解反应生成游离酸，而游离酸的反应活性低于酸酐的反应活性，使得固化剂的性能下降，胶液固化体系的速度下降，只有进一步提高固化温度才能使环氧树脂的固化程度提高。

3. 绝缘管注射长度缩短的解决方案

1) 固化温度过低或者固化时间过短导致环氧树脂/甲基四氢苯酚固化不完全，可根据胶液的放热曲线进行固化工艺调整，提高固化温度或延长固化时间，但是鉴于实践生产的需要，固化工艺要调整适当，否则会造成设备和能源的浪费。

2) 针对甲基四氢苯酚在较高温度下挥发问题，我司一方面调整了胶液中固化剂的比例，增加了甲基四氢苯酚的含量，另一方面研发出内衬制衬时淋胶的胶液，降低了制衬温度，防止甲基四氢苯酚挥发。

3) 在绝缘管固化后毛坯的停放时间大于 24 h 或者进行后固化程序将绝缘管内部的残余应力全部释放出来再进行车削，这样可避免内应力给绝缘管长度带来影响。

4) 甲基四氢苯酚吸湿水解成游离酸影响缠绕胶液的固化程度，在实际生产中，可通过除湿机控制环境的湿度 < 40%，缠绕胶液在 6 h 内全部用完，这样避免胶液在空气中时间过长吸湿水解。

4. 结论

绝缘管注射后缩短主要是由于固化程度不高、绝缘管内部应力未完全释放导致。通过固化工艺调整、降低固化剂甲基四氢苯酚的挥发或者增加固化剂含量、控制生产环境湿度和缠绕胶液的使用时间降低甲基四氢苯酚的水解可提高复合绝缘管的固化程度，延长绝缘管毛坯的停放时间是绝缘管内部残余应力完全释放同时来解决绝缘管注射后缩短异常。

参考文献 (References)

- [1] 马斌 (2003) 复合空心绝缘子产品及制造技术. *变压器*, **8**, 35-38.
- [2] 陈平, 刘胜平, 王德中 (2011) 环氧树脂及其应用. 化学工业出版社, 北京.
- [3] M. Shimbo, M. Ochi, Y. Shigeta, 高炳华 (1986) 环氧树脂在固化过程中的收缩与内应力. *绝缘材料通讯*, **4**, 42-46.