

# Study on the Curing Method of Epoxy FRP Pipes

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

Jiangsu Shenma Electric Co., Ltd., Nantong Jiangsu  
Email: [\\*love-water555@163.com](mailto:love-water555@163.com)

Received: Apr. 22<sup>nd</sup>, 2015; accepted: May 12<sup>th</sup>, 2015; published: May 18<sup>th</sup>, 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 diversification of the methods for curing FRP tube further makes FRP products devisable. This paper mainly focuses on researching three kinds of curing methods, including the traditional thermal radiation, infrared heating in the microwave and the inner heating curing. Infrared microwave curing methods can be applied if the wall is thin, while the heat curing methods should be used if the wall is thick and internal pressure is high. Engineers can choose the appropriate way of curing, according to the performance characteristics of products.

## Keywords

FRP Pipes, Curing, Heat Radiation, Infrared Microwave, Internal Heating

---

# 环氧玻璃钢管固化方式研究

丁建兵\*, 于晓蕾, 宋 波, 陈小娟, 潘彩红, 汪 强

江苏神马电力股份有限公司, 江苏 南通  
Email: [\\*love-water555@163.com](mailto:love-water555@163.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

---

\*通讯作者。

## 摘要

随着纤维增强玻璃钢管的固化方式多样化,进一步增加了玻璃钢产品的可设计性。本文主要研究了传统的热辐射、红外微波及内加热三种加热固化方式;当产品壁厚较薄可使用红外微波固化方式,当产品壁厚较厚、内压力较高可使用内加热固化方式。工程师可以根据自己产品的性能特点,选择合适的固化方式。

## 关键词

玻璃钢管, 固化, 热辐射, 红外微波, 内加热

## 1. 前言

纤维增强环氧树脂复合缠绕玻璃钢管具有优异的电气绝缘性能和机械性能,在其基础上包覆伞裙制造的空心绝缘子产品,广泛应用于电力输变电设备上,正逐渐代替瓷绝缘子[1]。

纤维增强环氧树脂玻璃钢管的固化过程是基体材料从流动状态转变为固态的过程,是一个复杂的热、化学和力学性能急剧变化的过程[2],由于热效应以及化学效应导致残余应力甚至分层裂纹的产生,固化不完全还会导致热变形温度下降以及受热后二次变形。玻璃钢筒产生裂纹会导致电流击穿,给电力行业带来严重损失。因此,复合玻璃钢管的固化过程相当重要。

目前固化方式主要有:传统热辐射固化[3]、红外微波固化[4]、内加热固化[5]等。

## 2. 传统热辐射固化

传统的热辐射固化方式,通过烘箱内部温控系统控制烘箱加热系统启动、关闭,然后通过风循环鼓风系统将热量吹至内部,并形成热流循环。所以固化过程,实际是产品周围外部的热量向内部传递的过程,而树脂基体的导热系数低,因此固化速度慢、周期长、成本高;材料内部温度梯度大,造成沿厚度方向上的固化度不同,使树脂固化很难均匀和完全,易产生较大内应力和二次收缩。传统的热辐射产品的内部、外部及环境温度检测结果见图1。

在这种情况下,固化工艺与烘箱温度的匹配性以及烘箱的功率和温度的均匀性,显得尤为重要。

固化工艺的如果与温度不匹配,则会导致如图2。

产品的实际温度一直偏低低于烘箱环境温度,凝胶点之前的保温时间过短,容易造成固化分层,壁厚越厚的产品,时间越长。

同时,烘箱温度不均匀会导致不同的烘箱之间以及同一个烘箱不同位置之间存在固化度差异。

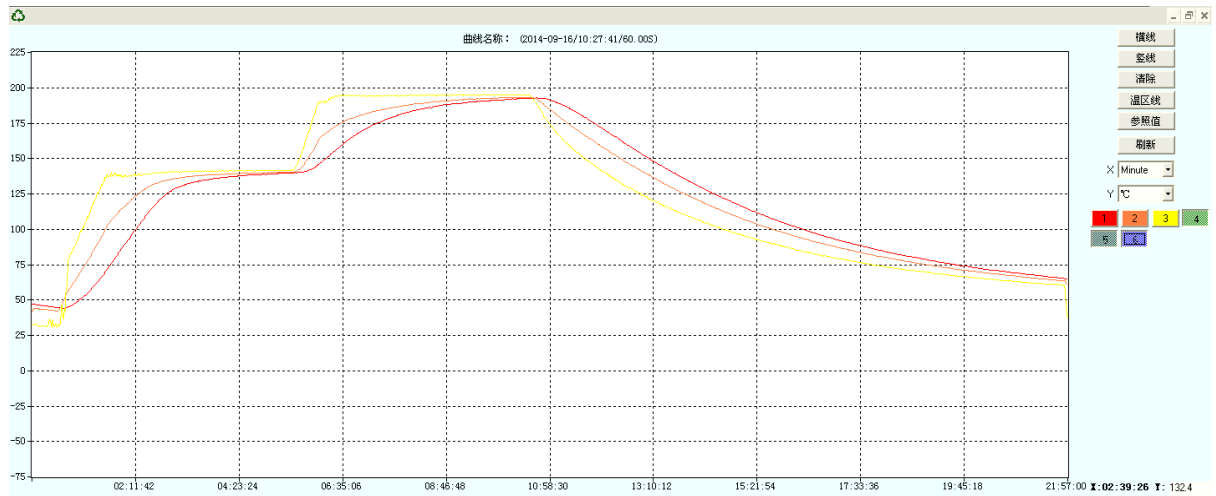
另外,使用传统热辐射的固化方式固化,产品内部的胶液会出现往外迁移的现象,导致内壁贫胶,承受内压力的性能降低。

为了降低成本,通常通过增加胶液促进剂的含量,来实现降低固化温度,缩短固化时间的目的。

## 3. 红外微波固化

红外微波固化是利用极性物质在微波电磁的作用下发热的机理,实现产品的升温固化的技术,红外微波固化技术具有控制效果好、加热速度快、传热效率高、固化速度快、界面性能好等优点,正逐渐走进人们的视野中。传统的热辐射加热固化与红外微波固化的产品性能结果对比见表1。

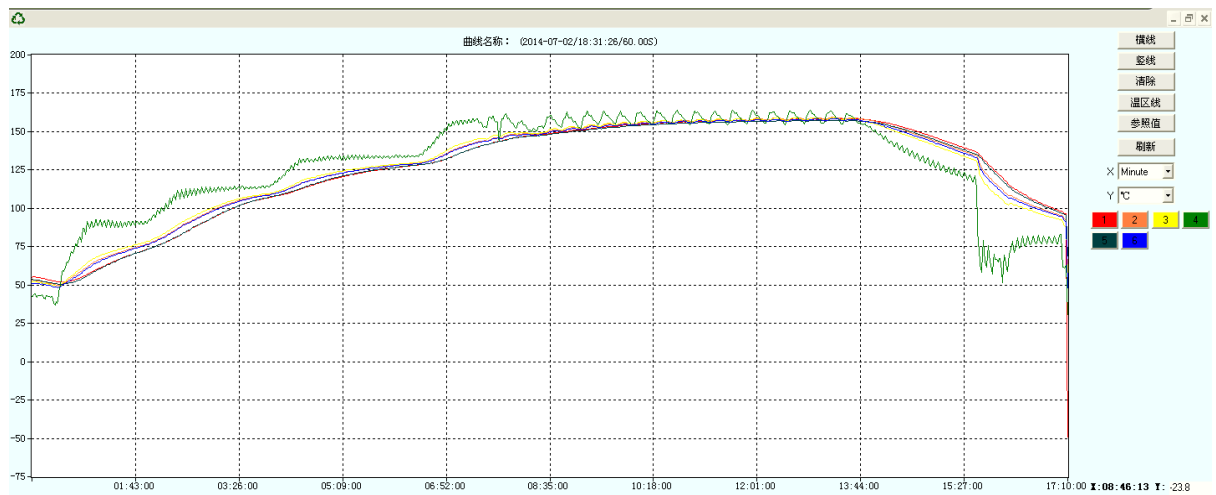
从表格数据看,红外微波加热固化的产品致密度更好,固化效果更好。但由于红外微波的穿透力受限制,导致该固化方式不适用于厚壁厚的产品。厚壁厚产品固化温度见表2。



黄线代表环境温度、浅红线代表产品表面温度、深红线代表内部温度。

**Figure 1.** The detection comparison of inside, external and environmental temperature of the traditional thermal radiation products

**图 1.** 传统热辐射产品的内部、外部以及环境温度检测对比



绿线代表环境温度、其余代表产品内部温度。

**Figure 2.** Mismatching of the curing temperature and the actual temperature

**图 2.** 固化温度与实际温度不匹配

**Table 1.** Comparison of traditional thermal radiation heat cured product performance with infrared microwave curing at the same curing time

**表 1.** 相同固化时间下传统热辐射加热固化与红外微波固化的产品性能对比

项目	传统热辐射加热固化	红外微波固化	标准
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.07	2.08	1.9~2.1
树脂含量 (%)	20.95	20.50	15~22
吸水率 (%)	0.037	0.035	<0.050
水扩散 (Ma)	0.019	0.016	<0.5
Tg (°C)	113.9	116.4	≥110

**Table 2. The cured temperature difference of thick wall thickness product**  
**表 2. 厚壁厚产品固化温差对比**

编号	内外层最大温差 $T_1$	凝胶点后最大温差 $T_2$
A 传统热辐射加热固化	26.5	15.2
B 红外微波加热固化(长波)	37.8	21.7
C 红外微波加热固化(短波)	38.5	24.2

厚壁厚产品使用红外微波固化，内外温差较大，容易产生裂纹。

另外，红外微波固化使用的加热灯管的维保与寿命问题还有待研究。高温固化过程中产生的烟雾，会附着到灯管上，导致加热效果降低。

#### 4. 内加热固化

生产高强度内压力管，国内大部分企业都已经使用内加热的固化形式。他是一种加热金属模具，由模具直接传热的加热过程，固化效率极高，热量损耗极低，而且内壁树脂含量好，气泡率低，内压力性能强。

但这种固化方式需求蒸汽系统或者油压系统，有一定的危险性，并且温度不易检测。

#### 5. 结论

纤维增强玻璃钢管的固化方式多样化，更增加了玻璃钢产品的可设计性。工程师可以根据自己产品的性能特点，选择合适的固化方式。如内压力要求高的产品选择内加热固化，壁厚较薄的产品选择红外固化。

同时，随着对固化能耗降低需求的提高，也促进了树脂配方活性的优化，使玻璃钢产品更加快速的发展。

#### 参考文献 (References)

- [1] 马斌 (2003) 复合空心绝缘子产品及其制造技术. *变压器*, **8**, 35-37.
- [2] 张宝华, 叶俊丹, 陈斌, 等 (2009) 固化温度对环氧树脂固化物性能的影响. *塑料工业*, **9**, 64-66.
- [3] 王伟 (2001) 环氧树脂固化技术及其固化剂研究进展. *热固性树脂*, **3**, 29-33, 37.
- [4] Nadir, B. and Albert, G. (1988) Microwave curing of epoxy resins with diaminodiphenylmethane—IV. Average electrical power and pulse length dependence in pulsed irradiation. *European Polymer Journal*, **24**, 265-270.
- [5] 许家忠, 尤波, 胡海燕, 王雄健 (2007) 内加热固化环氧玻璃钢管制造系统. *材料科学与工艺*, **1**, 102-106.