第 16 卷　第 1 期　　复　合　材　料　学　报　　Vol 16　No. 1
1999 年　2 月　　ACTA MATERIAE COMPOSITAE SINICA　　February　1999

低局放玻璃纤维/环氧基复合材料实验研究

袁剑雄　　刘芳辉　　张显友
(哈尔滨理工大学281信箱, 哈尔滨 150040)

摘　要　介绍了低局放、低介损的玻璃纤维/环氧基复合材料制造方法。试件制备采用了专门设计的成型设备与工艺。试件测试采用原西德产局放仪和介损电桥分别按国标 GB 7354-87和 GB 1408-76进行。测试结果表明固化物具有低局放(小于2pc)和低介损(tgδ小于0. 01)特点, 初步分析了实验成功的主要原因。目前该方法已应用到低局放高压缘材料生产中。

关键词　复合材料, 专用设备, 局部放电, 介电性能
中图分类号　TQ 327. 1, TB 302

玻璃纤维/树脂基复合材料(GFRP)具有优异的机械强度和电气性能, 然而在高压环境中使用, 高压局部放电和介电损耗将引起 GFRP 材料的发热与老化。这一现象越来越受到人们的关注, 为此, 在高压环境中的绝缘材料, 我国电力部门规定其局部放电量应小于10pc, 介电损耗角正切应小于0. 03。国际上对这些指标要求更严, 故我国出口到德国等发达国家的电气设备中配套的高压绝缘材料要求其局部放电量应小于3pc, 介电损耗角正切应小于 0. 01。如何采用普通的材料与简单的工艺方法, 制造高品质的耐高压绝缘材料是我们研究的出发点。本文介绍了试件制造与测试结果, 分析了试件制备成功的主要原因。

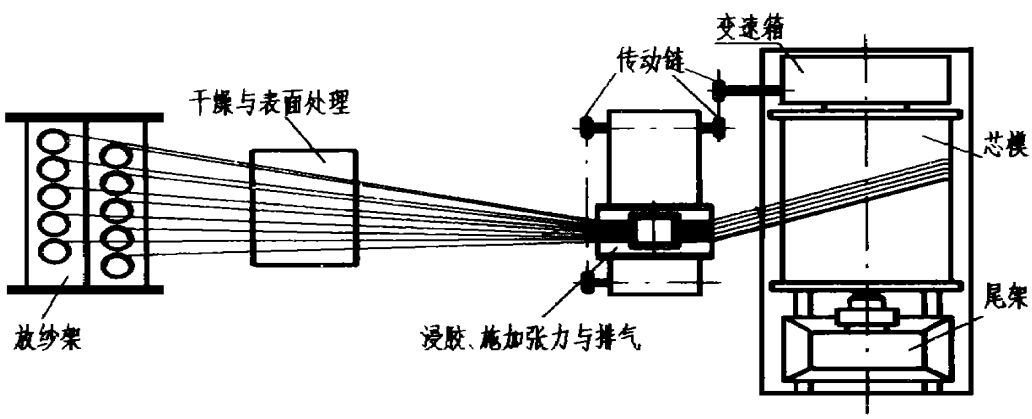


图1　试件缠绕成型设备示意图

Fig. 1　Schematic drawing of equipment for fabricating the sample

收修改稿、初稿日期: 1997-11-25, 1997-07-07

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

1 实 验

1.1 原材料

玻璃纤维: E-玻璃纤维无捻粗纱; 基体树脂: 双酚A 型环氧(E-54), 环氧0.53; 固化剂: 甲基四氢邻苯二甲酸酐的同分异构混合物(MeTHPA), 酸酐当量164～168; 促进剂: DMP-30; 偶联剂: 甲基丙烯酸氯化铬的络合物(沃兰)。

1.2 设备与试件制备

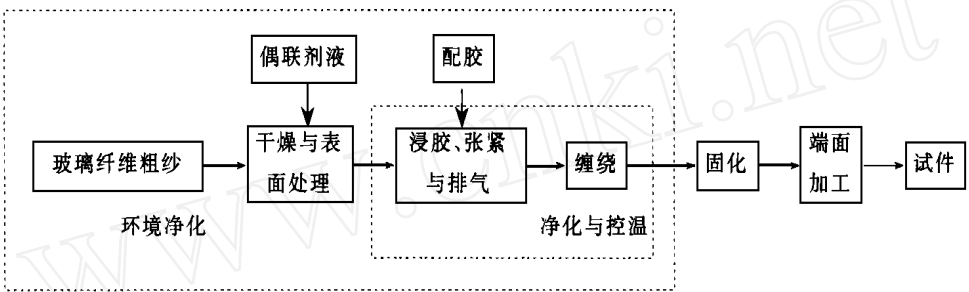
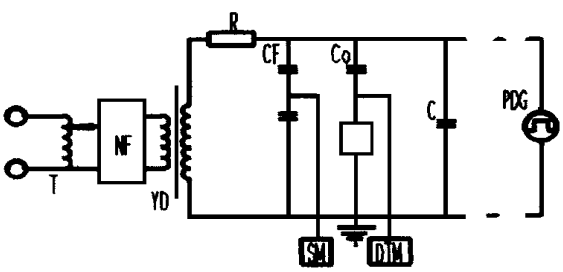


图2 试件制备流程

Fig. 2 The flow chart for fabricating the sample

(1) 成型设备: 缠绕机, 自行设计并委托制造。其工作原理如图1所示, 选择适当变速箱的变速比及链传动的变速比及可使一定宽度的浸胶玻璃丝紧密排绕在芯模上, 调整张力装置, 可改变玻璃纤维无捻粗纱的张力大小。

(2) 试件制备: 试件制备采用预紧玻璃丝浸胶后连续缠绕成型。试件2制备时严格净化环境与原料, 心模部分加罩。试件1制备时未严格环境净化。试件制备工艺过程如图2所示。



T-调压器; NF-低通滤波器; YD-500kV 试验变压器; R-保护电阻; CF-电容分压器; C_0-1000PF 偶合电容器; PDG-校正方波; SM-峰值电压表; DTM-局放仪; C-试件

图3 试件测试设备

Fig. 3 Instruments for testing the sample

1.3 试件测试

局部放电量按 GB 7354-87在高压试验大厅进行测试。

(1) 测试设备

测试设备如图3, 全部仪器均由原西德引进, 校正方波前沿小于50ns, 局放仪放大频带40～220kHz。

(2) 测试环境

温度: 4 1℃; 相对湿度: 76%; 试验大厅背景噪声小于1pc。

(3) 试件测试状态如图4所示。

(4) 局部放电量测试结果

试件按图4状态放置, 对两试件分别按正、反两个放置方向加压测试局部放电量, 电压150kV 起逐次提高, 每次加压时间为1min。测试结果列于表1中。

(5) 介电损耗测试

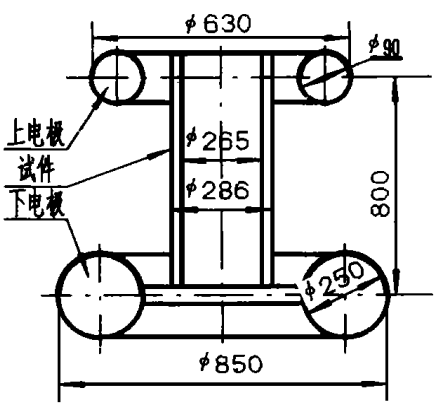


图4 试件测试状态

Fig. 4 The sample state under testing

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

介电损耗角正切按 GB 1408-76在德国MWB 公司产VFM 71型介损电桥上测试, 电容 C_x = 32. 6PF。表2列出了试件介电损耗角正切测试值, 作为比较表中还列出了文献报导中单一材料的有关数据。

表1　局部放电量测试结果

Table 1　Results of testing sectional electrion

序号	放置方向	测试情况				序号	放置方向	测试情况			
		电压/kV	150	200	220			电压/kV	150	200	220
1	↑	局部放	1	1. 2	1. 5	2	↑	局部放	1	1	1
		电量(pc)	1	1. 2				电量(pc)	1	1	
		电压/kV	150	200	220			电压/kV	150	200	220
号	↓	局部放	1	1	1	号	↓	局部放	1	1	1
		电量(pc)	1	1				电量(pc)	1	1	

表2　介电损耗测量结果

Table 2　Results of measuring dielectric loss

性能/试件	玻璃纤维	环氧树脂	1号(未严格净化)	2号(严格净化)
树脂含量 V_r/%	0	100	约50*	约50*
介电损耗 tgδ(50Hz)/%	0. 13[2]	0. 53[2]	2. 44	0. 9

*: 由于材料废弃损耗及挥发损耗, 该值由材料用量算得, 仅作参考。

2　结果分析与讨论

双酚A 型环氧树脂是电力系统常用的绝缘材料原料, 由于其产量大, 价格低廉, 因此它占整个环氧树脂用量的90% 以上, 从测试结果来看, 用此类树脂能制造出低局放, 低介损的高质量的耐高压绝缘材料。酸酐类固化剂, 固化后的树脂有较好的电气性, 是耐高压的热固性树脂优先选用的固化剂。除此以外, 从测试结果的表1和表2可见杂质的影响是引起介电损耗与局部放电量变大的重要原因, 这是由于导电杂质与极性杂质的混入, 增加了环氧基体的电导电流和极化率, 引起介电损耗增大。同时这也降低了固化物内部局部范围内材料的介电强度。因此在高电压的环境中, 容易发生局部放电现象。水在10^3MHz 下介电损耗正切 tgδ为6. 5% 是能明显增加环氧基体介电损耗的极性杂质, 应尽可能避免混入试件中去, 这可以在成型前先使玻璃纤维经过干燥处理, 除去玻璃纤维表面吸附的水汽。空气的介电强度约为3MV/m, 比环氧基体的介电强度(16～20MV/m)要低得多。当环氧基体中混入气泡后在高压电场作用下, 气泡将首先发生电离放电, 形成局部放电, 因此应尽可能避免气体混入试件中, 这可以在成型之前排除混入环氧基体中与浸胶后玻璃纤维表面的气泡。此外油污也是介电强度较低的杂质。成型加工中应严格控制设备相对运动部分润滑油汽的扩散与挥发, 避免它们混入到环氧基体之中, 可采用耐高温且不易挥发的润滑油脂。

偶联剂为极性分子, 玻璃纤维表面经沃兰处理后将沃兰带入了环氧基体之中, 增加了基体分子偶极矩的平均值, 通常基体材料的介电常数和介电损耗也将有所增大。但另一方面经过沃兰处理后在偶联剂极性分子的作用下, 玻璃纤维表面具有较低的浸润活化能, 能较好地被环氧基体所浸润, 从而使玻璃纤维与环氧基体间界面分子间的作用力增强, 有效地消除了玻璃纤维表面吸附的微小空气, 减少了界面层中气隙含量, 加之经沃兰处理后玻璃纤维表面残存的活性基团少, 自由能低, 在外电场作用下产生较弱的界面极化作用, 因而较大地降低了材料介电损耗。在两个方向因素的共同作用下, 总的效果是固化物的介电损耗有所降低。另外, 界面层的气隙量的减少, 有效地降低了绝缘材料的局部放电量, 同时也降低了因界面气隙的存在而引起的

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

沿玻璃纤维表面产生银屑裂纹的概率, 从而提高了固化物的机械强度。固化物中玻璃纤维的状态与含量对固化物的强度与电气性能也有影响。在复合材料中受到拉伸预紧力的玻璃纤维类似于预应力钢筋混凝土中的预应力钢筋的作用, 可以均匀每根纤维的受力, 使固化物具有更高的机械强度, 另一方面在成型过程中, 由拉伸力引起的挤压作用, 将增大玻璃纤维在复合材料中的含量, 对提高材料的电气性能是有益的。增大玻璃纤维的含量还可以从增加玻璃纤维排列密度着手, 这需要对成型机械作专门设计, 确定合适的传动比, 因此高密度的受预紧拉力的玻璃纤维复合材料的制造需要设计专门的成型机械。以上是我们对高电压中低局放、低介损的玻璃纤维/环氧基复合材料制备中获得成功的主要原因所作的分析讨论。进一步提高产品的性能还可以在选料与适当增加其它填料的方面进一步作实验研究。

3 结 论

(1) 普通的双酚A 型环氧与 E 型玻璃纤维可以固化出低局放、低介电损耗耐高压的高品质绝缘材料;

(2) 偶联剂可以改善玻璃纤维与树脂基体界面的结合力, 降低界面气隙含量。选择合适的偶联剂可以降低复合材料的局放量与介电损耗值;

(3) 净化环境, 避免水、气及油污等杂质混入树脂基体是获得高品质绝缘材料的关键措施;

(4) 对玻璃纤维施加合理的张力, 可以提高固化物的玻璃纤维的密度与机械强度, 专用的成型机械与工艺是高品质绝缘材料制品生产的保证。

参 考 文 献

1 Yuan Jianxong, Liu Fanghui. The computer aided process control for the dry-type transformer. Intelligence, knowledge and integration for manufacturing. *Southeast University Press*, 1995. 3. 南京: 231～235

2 陈平, 陈辉, 刘其贤. 偶联剂对玻璃纤维/环氧基复合材料界面性能的影响研究. 复合材料学报, 1993, 13(3): 1～4

3 何曼君, 陈维孝, 董西侠. 高分子物理. 上海: 复旦大学出版社, 1983. 246～296

EXPERIMENTAL STUDY OF GLASS FIBER/EPOXY MATRIX COMPOSITES WITH LOW SECTIONAL ELECTRION

Yuan Jianxiong Liu Fanghui Zhang Xianyou
(Harbin University of Technology, Box 281, Harbin 150040)

Abstract A method of fabricating glass fiber/epoxy matrix composites with low sectional electrion and dielectric loss has been introduced. The composite was fabricated by using the special equipment and process and tested by using the instruments of sectional electrion and dielectric loss bridge, all made in German, in accordance with GB7354-87 and GB1408-76 respectively. The results show that the solidified composite has properties of low sectional electrion (less than 2pc) and low dielectric loss tangent (less than 0.01) and the chief reasons of successful experiment have been also discussed. At present, this method has been used in production.

Key words composites, special equipment, sectional electrion, dielectric loss

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net