

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2012.09.020

基于电绝缘性能要求绝缘盒材料的优化选择

安宝山¹, 陶永亮²

(1. 中国兵器工业集团第五三研究所, 济南 250031; 2. 重庆川仪工程塑料有限公司, 重庆 400712)

摘要: 针对高压电器绝缘盒在潮湿条件下的苛刻电绝缘性能要求, 对绝缘盒用团状模塑料(DMC)和片状模塑料(SMC)进行了水中交流 50 Hz, 15 kV 的耐电压试验。结果表明, 由 DMC 制备的绝缘盒无法满足水中耐电压试验 1 min 内不发生击穿的要求, 合格率仅为 20%; 而由 SMC 制备的绝缘盒能达到水中耐电压试验的要求, 合格率达 95%, 保证了绝缘盒的电绝缘性能, 经实际应用, 得到了用户的认同。

关键词: 绝缘盒; 耐电压试验; 团状模塑料; 片状模塑料; 材料选择

中图分类号: TM211 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2012)09-0079-04

Optimal Selection of Insulation Box Materials Based on the Electricity Insulation Performance Requirements

An Baoshan¹, Tao Yongliang²

(1. CNGC Institute 53, Jinan 250031, China; 2. Chongqing Chuanyi Engineering Plastic Co. Ltd., Chongqing 400712, China)

Abstract: According to the strict electricity insulation performance requirements of insulation boxes in high voltage electrical equipment under the conditions of humidity, the AC 50 Hz, 15 kV withstanding voltage test in water for dough molding compound (DMC) and sheet molding compound (SMC) used for preparing insulation boxes was carried out. The results indicated that the insulation boxes prepared by DMC could not meet the requirements of that the breakdown didn't occurred within 1 min during withstanding voltage test in water and the pass rate was only 20%. The insulation boxes prepared by SMC could meet the requirements of withstanding voltage test in water and the pass rate was 95%, this ensured the electricity insulation performance of the insulation boxes. The insulation boxes prepared by SMC were received by users through the practical application.

Keywords: insulation box; withstanding voltage test; DMC; SMC; material selection

不饱和聚酯片状模塑料(SMC)和团状模塑料(DMC)是由不饱和聚酯、填料、增稠剂、引发剂等组分组成的树脂糊浸渍短切纤维或毡片后,经固化和模压而制成的模塑料^[1]。由于它们具有较好的电绝缘性能,较高的比强度、比模量,以及模具灵活性,故对于在电性能、结构强度和轻质等方面均有较高要求的电器装置和部件来说,其是理想的可加工的电绝缘材料,广泛应用于电器罩壳、绝缘子、绝缘操作工具和高压开关零件等。

绝缘盒是应用在 15.75 kV 级定子绕组高压电器中一个零部件,在整个电器装配中成组安装,绝缘盒制品外形和尺寸如图 1 所示。绝缘盒四周壁厚均为 4 mm,其四周有 1.1° 的斜度,各处都有较大的倒角,外表面的粗糙度为 Ra0.4。绝缘盒的外观表面要求光滑平整,无气泡、裂纹和缺料等。

电气绝缘性能是绝缘盒最重要的性能,一般通过耐电压试验对其进行测试。耐电压试验持续时间一般为 1 min^[2],在此时间段内若绝缘盒不发生电

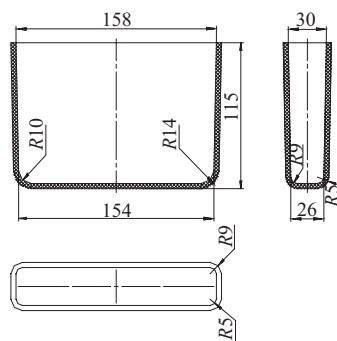


图 1 绝缘盒制品外形和尺寸图

气击穿现象,即认为其合格。由耐电压试验测试得到的耐电压特性反映了绝缘材料承受长期工作电压的能力,它应当包含耐电压值和对应的耐电压时间 2 个数值^[3]。由于 15.75 kV 级定子绕组高压电器属于水电设备,使用环境复杂,绝缘盒经常处在潮湿的环境下,故对绝缘盒电绝缘性能的要求非常苛

联系人: 陶永亮,高级工程师,主要从事塑料模具设计和制造工艺、成型工艺和产品质量管理工作

收稿日期: 2012-06-16

刻,即其在水中交流 50 Hz,15 kV 的耐电压试验中 1 min 内不发生电气击穿,以保证整个系统的绝缘性。笔者通过测试 SMC 和 DMC 在水中的耐电压试验情况,为绝缘盒材料的优化选择提供实际借鉴。

1 实验部分

1.1 主要原料

DMC : D544-2, 东方绝缘材料股份有限公司;
SMC : 4330-2, 东方绝缘材料股份有限公司。

1.2 主要设备及仪器

四柱液压机: YTD32-100E 型, 100 t, 滕州市鑫拓锻压机床厂;

绝缘盒模具: 自制;

电子秤: 显示分度值 0.1 g, 最小值为 20 g, 最大值为 3 kg, 广东中山衡新电子有限公司;

交直流高压实验变压器: PSSBJ 10 / 100 型, 扬州品胜电气科技有限公司。

1.3 试样制备

绝缘盒模具采用半闭合的压制模具^[4], 由上模(凸模)和下模(凹模)等组成, 模具采用 H13 材料制作, 均为 HRC40-44。上模固定在四柱液压机上工作面, 下模固定在四柱液压机下工作面, 利用四柱液压机控制开模和合模。将计量好的物料加入到模具的下模中, 然后合模压制成型。模具有加料室和挤压边, 模具上模与加料室的配合间隙或溢料槽可以让多余的塑料溢出, 同时溢料槽还兼有排除气体的作用, 采用导柱定位, 保证制品的壁厚均匀。

压制工艺参数设置为: 模具温度(160±10)℃, 压制压力 18~20 MPa, 压制时间 8~10 min, 制品定型 1 min。

1.4 性能测试

耐电压试验按企业标准 Q/KF1215-2000 进行。在耐电压试验中采用高压实验变压器, 它的作用是产生工频高压电, 使之作用于待测试样上, 以考核其承受长期工作电压及瞬时内过电压的能力^[5], 它的电压及容量由试样决定。高压实验变压器有一个调压控制装置, 调压器接在电源与实验变压器之间, 用来调节电压。

水中耐电压测试装置如图 2 所示。具体测试步骤为: 在绝缘盒内装入一定量的水, 然后放入盛有水的容器内至适当深度, 要保证有足够的爬电距离(两个导电部件之间, 或一个导电部件与设备及易接触表面之间沿绝缘材料表面测量的最短空间距离), 电压施加于放在绝缘盒内的高压电极(黄铜)和放

在容器内的接地电极(黄铜)上。根据测试结果, 绝缘盒在水中的交流 50 Hz, 15 kV 的耐电压试验中 1 min 内不发生电气击穿即为合格。

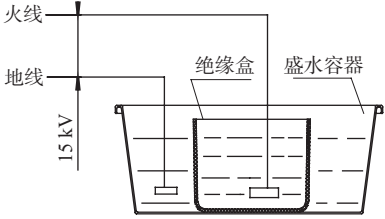


图 2 绝缘盒水中耐电压试验装置图

2 结果与讨论

2.1 DMC 和 SMC 性能对比

DMC 和 SMC 的主要物理力学性能和电学性能对比如表 1 所示。

表 1 DMC 和 SMC 的性能对比

项目	DMC	SMC
密度 / g · cm ⁻³	1.75~1.95	1.70~1.90
吸水性 [(23 ± 1)] °C / mg	≤ 25	≤ 20
热变形温度 (A 法) / °C	≥ 240	≥ 280
弯曲强度 / MPa	≥ 150	≥ 450
简支梁冲击强度 / kJ · m ⁻²	≥ 60	≥ 180
绝缘电阻 / Ω	≥ 1.0 × 10 ¹²	≥ 1.0 × 10 ¹²
电气强度 / mV · m ⁻¹	≥ 12	≥ 14
介质损耗因数 (1 MHz)	≤ 0.03	≤ 0.04
相对介电常数 (1 MHz)	≤ 5.5	≤ 7.0
耐漏电起痕指数 (PTI) / V	≥ 600	≥ 600
耐电弧性 / s	≥ 180	≥ 180

由表 1 可以看出, SMC 的物理力学性能和电学性能均高于 DMC, 具有较好的综合性能。但 SMC 的成本是 DMC 的 1 倍, 因此需要结合成本综合考虑绝缘盒材料的选择。

从电性能方面分析, DMC 的某些电性能和 SMC 相差不大, 耐电弧性也基本没有太大的区别^[6]。并且, 利用铝箔电极试验法对 DMC 进行测试, DMC 在交流 50 Hz, 15 kV 耐电压试验中 1 min 内没有发生击穿。同时, DMC 是“油灰状”的团状材料, 具有易成型、成本低、可着色, 电性能好等优点, 能够制造结构复杂的电器零部件。因此, 笔者首先选择 DMC 作为绝缘盒用模塑料, 通过水中耐电压试验以验证其是否能达到绝缘盒的苛刻要求。

2.2 DMC 的水中耐电压试验

采用 DMC 制备了 20 件绝缘盒, 从中任选了 6 件, 然后利用图 2 的装置对其进行了耐电压测试, 结果如表 2 所示。

表 2 DMC 制备的绝缘盒第 1 次水中耐电压试验结果

耐电压特性		试验现象	合格率 / %
耐电压值 / kV	耐电压时间 / min		
8		全部被击穿	0

由表2可以看出,当加电压至8 kV左右时,测试的6件绝缘盒全部被击穿,耐电压时间无法验证,绝缘盒被击穿时出现烟和火花,并产生气味,不符合绝缘盒的要求,合格率为0。

这种现象可以从绝缘材料的漏电起痕现象进行分析。绝缘材料在水里或表面受到潮气,以及受到具有正负离子污染物的污染时,在外加电压作用下其表面的泄漏电流要比干净的表面大得多。该泄漏电流将产生热量,蒸发潮湿污染物,使绝缘材料的表面处于不均匀的干燥状态,导致绝缘表面形成局部干燥点或干燥带。干燥区域使表面电阻增大,使绝缘材料的电场变得不均匀,进而产生闪络放电。在电场和热的共同作用下,绝缘材料表面发生碳化,生产的碳化物电阻小,会增大施加电压的电极尖端形成的电场强度,因而更容易发生闪络放电。如此恶性循环,直到引起施加电压的电极间绝缘材料的表面形成导电通道,发生漏电起痕现象。绝缘材料一旦发生漏电起痕现象,即出现三种现象:①出现碳化的黑色树枝状导电通道,经过连续多次放电,导电通道逐渐增加,当两电极被桥联起来时,绝缘材料便发生击穿破坏;②在多次放电作用下,材料着火,发生破坏;③材料出现一些凹坑,当放电继续进行,凹坑加深,产生电腐蚀,易发生击穿破坏。由此可见相对湿度对绝缘材料影响较大,一般相对湿度大于80%以上,可使绝缘材料受潮,导致电器装置绝缘性能大幅度降低^[7]。

绝缘材料电痕化时的闪络放电产生火花,火花作为热源,使绝缘材料表面的温度局部升高,使之逐渐发生化学组成上或结构上的变化,如氢气、低分子烃和其它气体的逸出;分子链发生断链或交联;分子链的支化度和结晶度发生变化及分子的同分异构体相互转变等。因此,在耐电压试验中,若绝缘材料有可燃性挥发物产生,就容易引起燃烧而破坏;若绝缘材料在闪络放电过程中不易残留碳痕和不易产生挥发物时,其耐电压特性必然较好。

对由DMC制备的绝缘盒被击穿现象进行观察分析,发现绝缘盒被击穿的地方有一个很微小的孔,周边被烧黑。材料某一表面被击穿是由于该处表面相对于其它表面疏松、不密实,导致材料表面性质出现不一致现象,在施加电压时,疏松的表面具有较低的电阻,从而使绝缘材料容易发生漏电起痕现象,最终形成击穿。这与DMC自身结构有关,DMC呈湿状、团状预浸料,称量时需要将DMC分成若干部

分,在每一部分中玻璃纤维(GF)和树脂的分布容易不均衡;另外,利用模具压制绝缘盒时,GF的流动性比较差,树脂的流动性比较好,容易造成GF和树脂的分布不均衡,GF多的部位其表面组织相对疏松、不密实,树脂多的部位其表面组织则相对较光滑、密实。

考虑到以上因素,在压制工艺中注意基体树脂和GF的分布均匀性,重新采用DMC制备了36件绝缘盒,任选20件进行水中耐电压试验,结果如表3所示。

表3 DMC制备的绝缘盒第2次水中耐电压试验结果

项 目	耐电压特性		试验现象	合格率/%
	电压值/kV	耐电压时间/s		
通过试验的绝缘盒(4件)	15	60	未击穿	20
未通过试验的绝缘盒(16件)	15	10~20	击穿	

由表3可以看出,虽然有4件绝缘盒通过了水中耐电压试验,但其余16件绝缘盒仍然在10~20 s内被击穿,产品合格率仅为20%。这说明DMC的电绝缘性能无法满足潮湿环境下绝缘盒在电绝缘方面的苛刻要求。

2.3 SMC的水中耐电压试验

由以上实验分析可以看出,DMC虽然成本较低,但其电学性能无法满足绝缘盒的苛刻要求,因此采用SMC制备了20件绝缘盒,对其进行了水中耐电压试验,结果如表4所示。

表4 SMC制备的绝缘盒水中耐电压试验结果

耐电压特性		试验现象	合格率/%
耐电压值/kV	耐电压时间/min		
17	≥ 1	仅1件被击穿	95

由表4可以看出,绝大多数SMC制备的绝缘盒通过了水中耐电压测试,其耐电压值可达1.7 kV,合格率达95%,基本保证了用户的需求。当绝缘盒能通过水中耐电压测试后,其再通过其它电绝缘性能测试基本没有任何困难。

SMC属于片状材料,其中的GF和树脂分布较均匀,压制时将剪裁一定长度的SMC放入模具或加料室里,不会存在GF和树脂分配不均匀的情况,因此也不会存在表面性质不一样的情况;同时,SMC在放电过程中不易残留碳痕及不易产生挥发物,其相比漏电起痕指数(CTI)较高(CTI ≥ 800),适宜在潮湿环境下使用,故其能够承受水中交流50 Hz,15 kV的耐电压测试。

2.4 绝缘盒材料的优化选择

从以上试验结果可以看出,DMC无法满足用

户对绝缘盒的质量要求,由其制备的绝缘盒经水中耐电压试验后合格率很低,无法应用在 15.75 kV 级定子绕组高压电器中。而 SMC 经水中耐电压试验后合格率比较高,由其制备的绝缘盒中仅有 1 件不合格,这也是由于压制工艺操作不当而引起的,如规范操作工艺,可以得到 100% 的合格率。这说明 SMC 比 DMC 在保证绝缘盒电绝缘性能方面更加可靠,用户容易接受。尽管 SMC 的价格成本是 DMC 的 1 倍,但由于绝缘盒最重要的性能是其在潮湿环境条件下的电绝缘性能,由 SMC 制备的绝缘盒水中耐电压试验合格率是 DMC 制备的绝缘盒的 4 倍多,因此最终确定 15.75 kV 级定子绕组高压电器绝缘盒用模塑料为 SMC,其它性能测试也均满足国家标准的要求^[8]。由 SMC 制备的绝缘盒经实际应用,完全满足在潮湿条件下对其电绝缘性能方面的苛刻要求。

3 结语

通过比较 SMC 和 DMC 在水中的耐电压试验,优选 SMC 作为制备绝缘盒的材料。试制和实际应用表明,SMC 可保证绝缘盒在潮湿条件下的电绝缘

性能,操作可行,得到了用户的认同。

参考文献

- [1] 张瑞华. 几种塑料成型加工初谈[C]//2007年中国工程塑料复合材料技术研讨会论文集. 济南:《工程塑料应用》杂志社, 2007: 190-192.
- [2] 白玉岷. 电气设备、元件、材料的测试及试验[M]. 北京:机械工业出版社, 2010: 62-64.
- [3] 《电气电子绝缘技术手册》编辑委员会. 电气电子绝缘技术手册[M]. 北京:机械工业出版社, 2008: 191-193.
- [4] 中国机械工程学会, 中国模具设计大典编委会. 轻工模具设计[M]//中国模具设计大典:第2卷. 南昌:江西科学技术出版社, 2003: 676-679.
- [5] 张仁豫, 陈昌渔, 王昌长. 高电压试验技术[M]. 北京:清华大学出版社, 2003: 1-3.
- [6] 《中国航空材料手册》编辑委员会. 塑料透明材料绝缘材料[M]//中国航空材料手册:第7卷.2版. 北京:中国标准出版社, 2002: 207-209.
- [7] 何利民, 尹全英, 刘家璵. 电工手册[M]. 2版. 北京:中国建筑工业出版社, 2002: 115-116.
- [8] 全国高电压试验技术和绝缘配合标准化技术委员会. GB/T 16927.1-1997 高电压试验技术第一部分:一般试验要求[S]. 北京:中国标准出版社, 1997.



余姚市汇合塑化有限公司

www.hh53.com

余姚市汇合塑化有限公司创立于二〇〇五年,公司下辖两个生产基地,一个检测公司,是开发碳纤维复合材料等前瞻性产品的专业改性公司。公司二〇〇七年通过环评认证,通过ISO9001:2000管理体系认证,是中国塑料加工工业协会改性委员会常务理事单位,是宁波地区唯一的科研实验开发生产基地,是中国工程塑料工业协会加工应用专业委员会委员单位。

产品简介

碳纤维复合材料系列

CFRPA6、CFRPA66、
CFRPC、CFRPP、
CFRABS、CFRPOM等

产品优点

密度小、高强度、高模量、耐腐蚀、耐高温、导电、耐磨、收缩率小、线膨胀系数低、耐磨性、尺寸稳定性好。

产品用途

可代替部分有色金属材料,广泛用于航空、航天、汽车、纺织、机械、电器、体育用品等行业。

无卤阻燃聚丙烯

注塑级、挤出级

产品优点

无卤阻燃,可达到UL94V-0级,不粘膜、不析出,灼热丝温度可达到960℃,热变形温度可达到142℃。

产品用途

可完全代替阻燃ABS,部分代替增强ABS和PBT,可制作小家电外壳,电视机后盖,电容器外壳,插座、空调、冰箱等配件。

工厂电话: 0574-62501577

传真: 0574-62532511

联系人: 李志刚 18958321380

地址: 浙江余姚舜汇东路96号 邮编: 315400

销售部电话: 0574-62530511

传真: 0574-62530511

联系人: 赵明 13857497450