

变压器油中腐蚀性硫对其电气性能的影响

窦 鹏

(江苏方天电力技术有限公司, 江苏 南京 211102)

摘 要: 近年来, 因变压器油中的腐蚀性硫与铜绕组反应生成硫化亚铜而导致多起高压设备发生绝缘故障, 研究腐蚀性硫对其电气性能的影响已成为当前电力部门主要关注的热点之一。本文模拟了变压器油老化实验, 通过电镜扫描观察, 添加 DBDS 油样的铜片出现了明显的腐蚀坑, 其击穿电压下降明显, 介质损耗因数快速升高, 很大程度上降低了油的绝缘性能。

关键词: 变压器油; 腐蚀性硫; 电气性能

The Effect Of Corrosive Sulfur in Transformer Oil on Electric Characteristics

Dou Peng

(JANGSU FRONTIER ELECTRIC TECHNOLOGY CO.LTD, NanJing, 211102 China)

Abstract: Recently, many faults of high voltage electric equipments happened due to the copper sulfide, which was formed by corrosive sulfur in transformer oil reacting with copper windings. Solving this problem has become the main concern for electric departments at present. The transformer oil aging experiment is simulated, the Influence of corrosive sulfur in transformer oil on the insulation performance is studied by the comparison experiment.

Key words: Transformer oil; Corrosive sulfur; Electric Characteristics

0 引言

最近 15 年内, 由于硫腐蚀问题造成变压器的大型故障约 100 台^[1], 在福建、深圳、华东、华北等地区电网相继在 220kV、500kV 的变压器故障检查中发现, 变压器高压绕组和绝缘纸上存在浅灰色或蓝紫色化合物沉积, 即硫化亚铜沉淀, 而二苄基二硫 (DBDS) 被认为是变压器油中具有腐蚀性硫化物^[2]。变压器线圈材料遭受硫腐蚀的问题越来越引起相关工程技术人员关注。

变压器油中硫元素的来源广泛, 不仅在炼制过程中存在腐蚀性的硫, 而且在运行过程中热、电的作用下会发生非腐蚀性硫到腐蚀性硫的转变^[3]。此外, 变压器油与外界环境的接触, 这也会增加油中硫元素的含量。本文通过实验模拟变压器绝缘系统, 探讨了变压器油中二苄基二硫对铜片的腐蚀以及对油绝缘性能的影响。讨论了变压器油中腐蚀性硫来源、定量测试方法、故障机理及减轻其危害的途径。

1 实验方案设计

选用 25#变压器油与油纸以 10: 1 的质量比例

分别置于 2 个碘量瓶中, 向其中 1 个碘量瓶中加入 0.5g 二苄基二硫 (DBDS)。

选取 6mm×25mm 的电解铜片, 经 63μm 碳化硅纸打磨, 弯曲成两腿为 12.5mm、夹角 60°的 V 形片, 相继用丙酮、蒸馏水和石油醚清洗, 放入盛有 250mL 油样的三通装置的碘量瓶中, 由高纯氮气将其压入 60℃温度的真空老化罐中 (真空度低于 70Pa 为合格) 干燥 24h, 除去氧气, 然后将油样抽回到碘量瓶迅速把瓶塞盖住瓶口。将碘量瓶放入温度控制在 140±2℃的烘箱中加热, 每 24 小时取油样检测其击穿电压、介质损耗因数和体积电阻率, 并通过扫描电子显微镜观察 DBDS 对铜片的腐蚀情况。

表 1 油样标号规定

Table 1 The oil sample label

油类型	二苄基二硫 (DBDS)	试样标号
25#变压器油	未添加	O1
25#变压器油	添加	O2

2 结果及分析

2.1 二苄基二硫对油中铜片形态的影响

冷却到室温后取出铜片, 将约为 35mm 长的金

属小条切割下来，用石油醚脱脂干燥，最后用扫描电子显微镜观察表面形态。



图1 未添加 DBDS 油样中铜片 48h 后的 SEM 表面形貌 (500 倍)
Fig1 the SEM surface morphology of copper sheet without the DBDS in oil sample 48h(500 times)

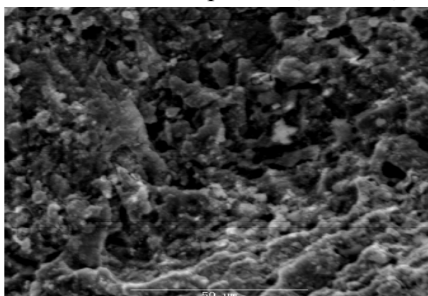


图2 添加 DBDS 油样中铜片 48h 后的 SEM 表面形貌 (500 倍)
Fig2 the SEM surface morphology of copper sheet adding the DBDS in oil sample 48h (500 times)

从 SEM 表征分析可以看出，未添加 DBDS 油样中铜带表面光滑，仍保持原来的结构完整，而添加 DBDS 油样的铜片则出现了明显的腐蚀坑，原来的金属结构遭到破坏，出现了颗粒状物质，这些颗粒状物质即为硫铜化合物，是半导体物质，它可能扩散到绝缘纸带中，使得纸带也部分导电，严重影响变压器油的绝缘性能。

2.2 DBDS 对油击穿电压的影响

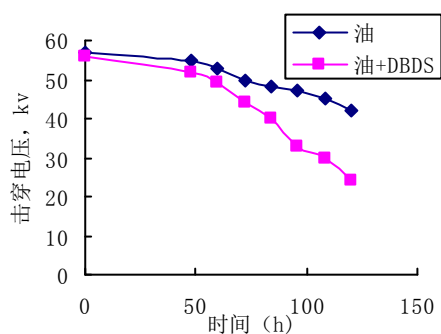


图3 油样老化过程中 DBDS 和击穿电压的关系图

Fig3 the relation between DBDS and breakdown voltage in the aging process of oil sample

由图3可见，添加 DBDS 的油样其击穿电压下降明显，一方面硫化亚铜有一定的导电性能，造成变压器油的绝缘强度减弱，最终导致击穿发生。另

一方面铜类物质又是油品老化的催化剂，变压器长期在热点，局部放电，电弧，水分和金属催化剂等其它周围环境作用会加速变压器绝缘材料的劣化。因此，采取合理有效的措施，减轻金属产物对绝缘油老化的催化加速作用，将对延长绝缘油使用寿命和提高绝缘油绝缘性能具有重要的意义。

2.3 DBDS 对油介质损耗的影响

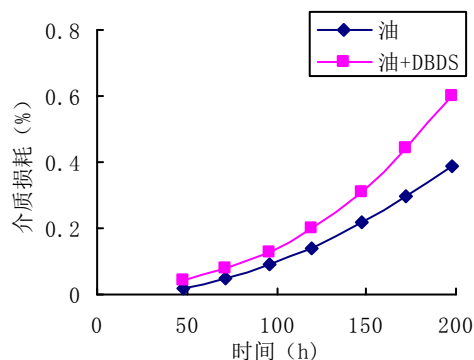


图4 油样老化过程中 DBDS 和 $\text{tg}\delta$ 的关系图

Fig4 the relation between DBDS and $\text{Tg}\delta$ in the aging process of oil sample

监督绝缘油的介质损耗因数可以灵敏反应出变压器油的绝缘特征^[4]。如图4所示，油样介质损耗因数随老化时间逐渐增大，添加二苄基二硫试样的介损值明显高于未加入的样本，因为 DBDS 的存在影响了油的纯度，进而提高了油的介损值。增加的介质损耗增加产生的热量，引起热点区域的形成。当热点区域产生热量的速度超过了热量分散到周围介质的速度，导致热的不稳定；热点处电流的强度也会不断增加，直至线圈间形成短路电流并导致击穿^[5]。这种情况对电力设备尤其是对油温较高的线圈上端烧焦部分也能做出有效解释。

2.4 二苄基二硫对体积电阻率的影响

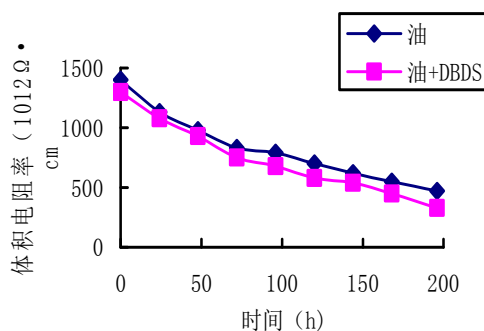


图5 油样老化过程中 DBDS 和体积电阻率的关系

Fig5 the relation between DBDS and Volume resistivity in the aging process of oil sample
图5所示，体积电阻率随老化时间逐渐降低，

而加入 DBDS 的试样与未加入 DBDS 的试样体积电阻率却相差不大, 是因为体积电阻率是直流电场下电导电流的大小, 结果更多地反映了油中极性物质对油品质的影响, 是判断油品受潮和生成极性物质多少的指标, 对油离子电导损耗的反映较为灵敏, 对检测 DBDS 不是很显著。

3 变压器油中腐蚀性硫的检测方法

目前, 我国变压器油腐蚀性硫检测方法有电力行业标准 DL/T285-2012《矿物绝缘油腐蚀性硫检测方法 裹绝缘纸铜扁线法》和石化行业标准 SH/T0804-2007《电气绝缘油腐蚀性硫试验(银片试验法)》。国外有国际标准化组织标准 ISO5662—1997《电气绝缘油腐蚀性硫试验法》、美国试验与材料协会标准 ASTM D1275-2006《电气绝缘油腐蚀性硫试验法》、德国标准 DIN51353-1985《电气绝缘油腐蚀性硫试验(银片试验法)》和国际电工委员会标准 IEC62535-2008《在用或未用绝缘油潜在腐蚀性硫检测的试验方法》。以上标准方法都是根据生成的硫化物腐蚀铜片而变色的情况以及绝缘纸是否有金属性沉积物来判断试验样品是否具有腐蚀性, 即都属于定性判断, 与试验人员经验有直接关系, 误差较大。因此, 如何准确定量分析油中 DBDS 含量, 并制定相应的行业标准将是以后研究的重点。

4 结论

(1) 经电镜扫描观察, 添加 DBDS 油样的铜片出现了明显的腐蚀坑, 金属结构遭到破坏, 出现了颗粒状物质, 这些颗粒状物质即为硫铜化合物。

(2) 实验结果表明, 添加 DBDS 的油样, 其击穿电压下降明显, 介质损耗因数快速升高, 很大程度上降低了油的绝缘性能, 而体积电阻率变化不大。

(3) 定量分析变压器油中腐蚀性硫的含量, 并制定相应的行业标准将是今后研究的重点。

参考文献:

- [1] 连鸿松, 变压器绝缘油硫腐蚀的原因与对策[J]. 福建电力与电工, 2008(4).
- [2] Scatiggio F, Tumiatti V, Maina R, et al. Corrosive sulfur in insulating oils: its detection and correlated power apparatus failures[J]. IEEE Transaction on Power Delivery,

2008, 23(1): 508-509.

- [3] Steve Krawiec, P.E. Production of Corrosive Sulphur Free Transformer Fluids[J]. IEEE, 2008.
- [4] 速水敏幸(日). 电力设备的绝缘故障[M]. 刘晓萱. 北京: 科学出版社, 2003.
- [5] Masanori Kohtoh, Shuhei Kaneko, Shigemitsu Okabe. Aging Effect on Electrical Characteristics of Insulating Oil in Field Transformer[J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Dec 2009, 16(6): 1698-1705.

作者简介:

窦 鹏 (1984-), 男, 硕士, 江苏方天电力技术有限公司, 工程师, 主要从事电力用油的监督与研究工作, E-mail: doupeng06@126.com。

地址: 南京市江宁区苏源大道 58 号, 邮编 211102, 邮箱, 江苏方天电力技术有限公司检测实验中心

联系电话 15905166916