

水轮发电机组定子绝缘盒内绝缘材料劣化缺陷分析与处理

徐青彪, 熊荣, 袁林, 严东

(国电大渡河检修安装有限公司, 四川 乐山 614000)

摘要: 绝缘盒在现场安装过程中, 灌注胶配比中稀释剂过量使用, 会导致绝缘盒出现溢胶、裂纹, 随着发电机长时间的运行, 会造成绝缘材料热老化变色, 加之线棒端头及连接板表面氧化层清理不干净, 会在绝缘树脂与导体之间产生间隙, 这些间隙或空隙会在发电机运行中产生微放电, 导致绝缘灌注材料出现焦化甚至发黑的劣化缺陷。因此, 在机组安装过程中, 应通过钻孔、剖切、敲除等方法进行抽样检查, 对仅出现溢胶或者裂纹的个别绝缘盒, 及时清理溢出的绝缘胶, 利用绝缘硅胶封堵裂缝的过渡方式进行处理, 待后期具备条件后, 进行绝缘盒的更换。

关键词: 机组定子; 绝缘盒; 缺陷; 处理

中图分类号: [TV734.2+1]; U464.331+.2; TU594 **文献标识码:** B

文章编号: 1001-2184(2020)增1-0080-05

Analysis and Treatment of Insulation Material Deterioration Defects in Stator Insulation Box of Hydro-Generator Unit

XU Qingbiao, XIONG Rong, YUAN Lin, YAN Dong

(Guodian Dadu River Maintenance & Installation Co., LTD, Leshan, Sichuan, 614000)

Abstract: During the installation of the insulation box on site, the excessive use of diluent in the perfusion glue ratio will lead to the glue overflow and cracks of the insulation box. With the long-term operation of the generator, the thermal aging and discoloration of the insulation materials will be caused. In addition, if the oxide layer on the end of the bar and the connecting plate surface is not cleaned up, it will create a gap between the insulation resin and the conductor, and these gaps or voids will produce micro discharge during the operation of the generator, resulting in coking and even blackening of the insulating perfusion materials. Therefore, during the process of generator unit installation, sampling inspection should be carried out by drilling, cutting, knocking out and other methods. For individual insulation boxes with only glue overflow or cracks, the spilled insulating glue should be cleaned up in time, and use insulating silica gel to seal the cracks as transition mode, and then replace the insulation box after meeting the later preparation conditions.

Key words: generator stator; insulation box; defects; treatment

0 引言

在我国提出低碳环保发展理念下, 水电站更是作为绿色可再生能源, 它提供的优质清洁电能, 在国家制造业发展中的地位变得尤为重要, 有力地推动国民经济稳定向前发展。作为发电机组中的一个重要组成部分——绝缘系统, 它直接决定发电机组的安全稳定运行与使用寿命, 而发电机绝缘系统中的一个关键部分, 就是发电机定子绕组末端绝缘盒内的绝缘材料, 其材料、比例、灌注过程等, 影响着发电机组的绝缘性能, 与发电机组

的安全稳定运行关系密切。

1 定子绝缘盒缺陷现象及描述

国内某水电站, 共装设4台水轮发电机组, 单机容量为165 MW, 为立式轴流转桨式水轮发电机组, 采用密闭自循环全空气冷却, 2011年7月5日全部投产发电, 发电机绝缘等级为F级, 定子绝缘盒内部绝缘材料主要由石英粉、稀释剂、固化剂、环氧胶、增韧剂等成分按一定比例混合配制而成。近几年, 在对该站的检修维护过程中, 发现4台发电机组定子绝缘盒均出现不同程度的开裂、溢胶、蜂窝状气泡、泡沫状夹层、变质、碳化等缺

收稿日期: 2020-07-23

陷,严重影响着机组的安全运行。

1.1 定子绝缘盒表面开裂及溢胶缺陷^[1]

在机组投运后2~3年内,检修人员发现部分绝缘盒开始出现裂纹及溢胶缺陷,裂纹深度大约3 mm,部分裂纹长度约60 mm,单台机组出现裂纹的绝缘盒数量最高达115槽,而出现溢胶缺陷的绝缘盒主要分布在绝缘盒顶部,溢出的灌注胶颜色呈暗黄状。

1.2 定子绝缘盒内部绝缘材料劣化缺陷^[2]

(1)绝缘盒内部绝缘材料出现焦化变黑(图1),黑色物质厚度为3~4 mm,部分绝缘盒内灌注胶与线棒端部接触部位有海绵状气孔(图2)。

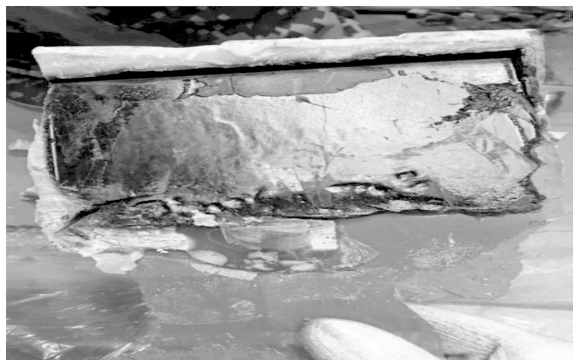


图1 灌注胶焦化现象

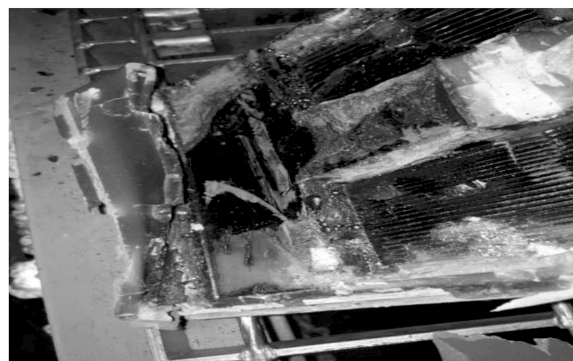


图2 海绵状气孔

(2)绝缘盒内部中心位置(上下层线棒与并头块之间)的绝缘材料出现发软、未充分固化现象,个别绝缘盒在拆除过程中出现褐色焦化油。

2 缺陷分析

2.1 绝缘盒内部绝缘材料出现裂纹、溢胶缺陷原因分析^[3]

通过开展绝缘材料模拟配比试验,探索分析绝缘材料配比中稀释剂的添加量与固化的关系,具体分析数据见表1,从中可以看出:(1)稀释剂

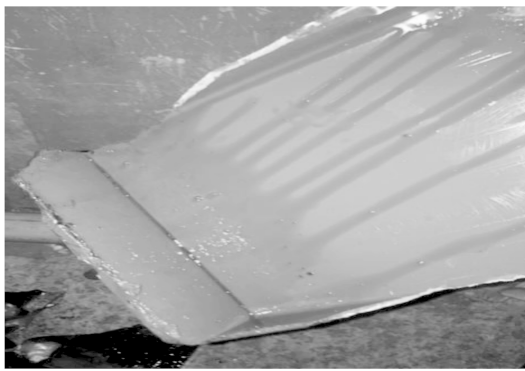


图3 绝缘盒内的褐色焦化油

主要成分为环氧丙烷丁基醚,它与固化剂反应消耗了固化剂,因此,该类型的灌注胶不能充分固化。(2)通过开展绝缘材料内的稀释剂添加量与热收缩性能试验,分析稀释剂添加量与热收缩之间的关系,其试验现象为:当稀释剂配方含量1/5时,在130℃的温度下,持续加热48 h后,该样品发生热收缩性裂纹。(3)当稀释剂配方含量1/10以下时,在130℃的温度下,持续加热48 h后,无热收缩裂纹出现。

综合以上分析可知:发电机定子绝缘盒内部绝缘材料出现裂纹、溢胶缺陷,是由于绝缘盒在现场安装过程中,灌注胶配比中稀释剂过量使用,导致绝缘灌注胶固化不良,表现为固化后树脂变为弹性体,未完全硬化,出现溢胶缺陷,而稀释剂配比过量的绝缘灌注胶在长时间受热过程中,就会出现裂纹现象。

2.2 定子绝缘盒内绝缘材料劣化分析^[4]

造成定子绝缘盒内绝缘材料劣化主要有以下几种可能:机组运行温度过高、线棒连接板焊接质量不良、绝缘材料配比不当。

从机组运行温度过高来分析,绝缘盒实际运行过程中的实测温度小于100℃,远未达到绝缘灌注胶所允许的最高工作温度。在此温度下,正常绝缘灌注胶在长期运行过程中,是不会出现发黑缺陷的。

从线棒连接板焊接质量不良造成温度过高来分析,如果部分线棒端头连接片为充分焊透,存在未熔透现象,且测量线棒连接板的焊接接触电阻不符合相关标准要求,会使绝缘盒运行温度升高,也可能造成绝缘灌注胶劣化。

从绝缘材料配比方面来分析,该水电站发电

表 1 稀释剂的添加和固化关系试验分析表

样品编号	固化剂	SiO ₂	稀释剂	环氧	丙酮	固化情况
1	65	70	0	100		48 h 后充分固化
2	65	70	5	100		48 h 后已固化
3	65	70	8	100	0	48 h 后基本固化
4	65	70	15	100	0	48 h 后偏软
5	65	70	5	100	3	48 h 后略软,表面呈气泡状态
6	65	70	0	100	15	48 h 后基本软化,表面呈大量气泡状
7	65	40	2-25	100	0	48 h 后软
8	50	40	2-25	100	0	48 h 后较样品 7 软
9	40	40	2-25	100	0	48 h 后十分软
10	65	40	2-25	100	10	48 h 后较软
11	65	40	53	100	0	48 h 后,表面依然呈液态,室温下可流,但较粘稠

机定子绝缘盒内的绝缘灌注胶主要成分为 E₄₄ (低分子量液态双酚 A 环氧树脂)、H₄ (650 低分子聚酰胺)、石英粉、501 稀释剂。其中 501 稀释剂的主要作用为降低体系黏度,但它不会挥发,会参与固化反应,若添加量过大,就会造成固化后体系胶结度不足,引起固化物发软,耐热性能明显下降,其耐热温度降低到接近机组定子绝缘盒的正常运行温度,造成绝缘材料热老化变色。同时,在绝缘材料在灌注绝缘盒之前,针对线棒端头及连接板表面氧化层清除不充分,会使树脂与导电体的粘接更差,机组运行一段时间后,绝缘树脂与导体之间局部或大面积产生间隙,并且过量稀释剂在绝缘树脂与导体之间也会形成孔洞空隙,在机组运行过程中,这些间隙或空隙发生微放电,致使树脂出现焦化甚至发黑的劣化缺陷。

3 绝缘盒内绝缘材料缺陷的检查与处理对策

3.1 缺陷发展初期的安全评估检查

对发生缺陷初期的绝缘盒树脂进行有关性能测试,表明原绝缘盒树脂的耐热性能没有达到要求,导致热氧化而发黑,但仍有适当的耐电压能力,并且绝缘盒的壳体本身也具有一定的绝缘能力,在 2~3 年的时间里,发电机运行是安全的。但要仔细检查是否有绝缘盒发生开裂、松动及脱落的情况。同时,应进行以下检查(在机组停机状态下):将绝缘盒表面清理干净后,整圈均匀分布 10 处,粘贴在绝缘盒表面,在跟踪检查过程中,与红外温度计相结合,来记录温度变化。抽检 3~5 个温度相对较高的绝缘盒,定期观察绝缘盒树脂

的颜色变化情况。若有条件,选取若干个劣化程度不同的绝缘盒,将绝缘盒表面清理干净后,涂抹凡士林粘贴锡箔电极,测量绝缘盒表面泄漏电流。最好选取以往有数据记录的位置进行测试对比,根据测试结果判断是否要进行绝缘盒更换。以上测试及记录过程中若出现数据明显变化的情况,就需要进行进一步的检查分析,确认其是否可以满足机组安全运行。

3.2 缺陷发展后期的处理方法

对于发电机定子绝缘盒内绝缘材料劣化缺陷发展后期,定子绝缘盒出现大规模的变黑、焦化等情况,从机组长远安全运行的角度考虑,需要对定子绝缘盒做彻底更换,以下将以该水电站定子绝缘盒全面更换为例,阐述定子绝缘盒大规模更换的施工方案与注意事项。

3.2.1 定子绝缘电阻试验

按照《电力预防性试验规程》DL/T596 进行定子绝缘电阻试验(试验电压为 2 500 V;在相近的温湿度试验条件下,绝缘电阻应不小于历年正常值的 1/3;各相绝缘电阻值的差值应不大于最小值),在试验前应将测温元件、机壳及铁芯、端箍等可靠接地,非试验部件也应可靠接地,检查无其它影响试验安全及结果的异物混入。若绝缘电阻不合格,需查明原因后再进行后续作业^[5]。

3.2.2 遮盖、封堵相关设备

试验数据合格后,在定子绝缘盒拆除前,需要对相关设备用塑料布和包装布遮盖,封堵容易被环氧粉末、环氧颗粒污染的部位,如:线棒端部、铁

芯表面、汇流母线表面等。

3.2.3 拆除绝缘盒

绝缘盒拆除,首先用角向磨光机,割开绝缘盒两侧小面,切割过程中不能损伤其余部件,然后用锋钢刀撬开绝缘盒,后用锋钢刀或穿心螺丝刀铲下包覆在线棒端头的环氧胶,拆除时要用力适当,严禁用榔头直接敲击,使线棒发生变形或过度震动,在清除绝缘盒胶时,四周应做适当的防护措施,严禁损伤线棒。

3.2.4 焊接质量测试

连接片焊接质量检查及绝缘盒清理后,用大电流微欧表对所有线棒并头块焊接质量进行测试,重点关注异形并头块焊接质量及连接片有明显过热现象的位置。具体试验方法如下:

采用直流电阻法测量,如图4所示,测量“2”与“3”两处的焊接接触电阻,测量电极位置距离连接板12 mm;每槽上、下端头的接触电阻与其平均电阻的偏差不应大于平均电阻的1.35倍。对于接触电阻超标的部分再次检查焊接状况,分别检测“2”与“1”以及“3”与“1”之间的接触电阻,对

焊接不良位置重新焊接,并达到要求。焊接后将焊疤打磨干净。线头检查处理完毕后,将所有引线头表面氧化层打磨清理干净,注意要防止粉末飞溅。打磨完成后仔细进行清扫。

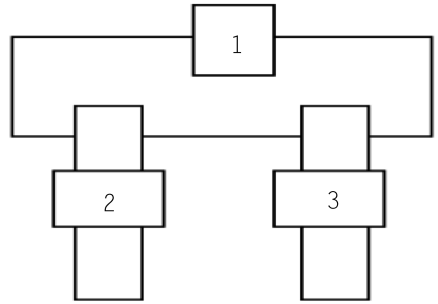


图4 直流电阻法测量示意图

3.2.5 检修过程试验

检修过程试验,准备工作有以下几点:①检查定子线棒高阻部位无损伤及污染现象。②检查定子铁心槽内无遗落物品,③利用干燥的压缩空气及带点清洗液清扫定子铁心及线棒端部,保证线棒端部清洁无污染。④检查机组测温元件、机壳及非试验设备接地良好。试验项目及表2:

表2 修中试验项目及表求

序号	试验项目	试验要求
1	绝缘电阻、吸收比及极化指数	1、试验电压:2 500 V; 2、在相近的温湿度试验条件下,绝缘电阻应大于历年正常值的 1/3; 3、各相绝缘电阻值的差值应小于最小值; 4、吸收比 ≥ 1.6 ;极化指数 ≥ 2.0 。
2	泄漏电流和直流耐压试验	1、试验电压:2.0Un=DC31.5 kV; 2、各相泄漏电流的差值应小于最小值;泄漏电流不随着时间的延长而增加; 3、DC31.5 kV 在 1 min 后线棒无击穿等不良情况发生。
3	交流耐压试验	1、试验电压:1.5Un=AC23.6 kV; 2、1 min 耐压试验中线棒无击穿,端部烧损等不良情况发生。 备注:若由于空间距离不足等引起放电无法实施时,可以用 40 kV 的直流耐压试验替代。

3.2.6 绝缘盒的安装

(1)检查绝缘盒应无绝缘分层、油污污染、气泡、裂纹等缺陷,绝缘盒外壁厚度应满足设计图纸要求;将绝缘盒内壁的脱模剂清理干净,并做磨砂处理;使用前,再次进行清扫后,用无水酒精清洗后晾干。

(2)在绝缘盒环氧胶搅拌前先搅拌均匀,搅拌时,搅拌器具要上下、左右移动,要充分搅拌均匀,保证容器内各处的颜色要相同。每次配比用量控制在能灌注 10 个绝缘盒以内,作业时,搅拌好的绝缘灌注胶尽量在 20 min 内使用完毕。

(3)上端部绝缘盒的安装,以铁心端面为基准,用绝缘记号笔在每根上层线棒内径侧端部和下层线棒外径侧端部划出绝缘盒安装高度位置线。用塑料绑扎带将环氧垫条固定在绝缘盒安装高度位置线处,上层线棒内径侧和下层线棒外径侧各一条。然后将 E 型板平铺在已固定环氧条上形成平台,搭接处适当用透明胶带固定,防止攒动。将环氧腻子 AB 组分别混合均匀(H-7315AB A:B=1:1 重量比)后在平台表面平铺一层,厚度控制在不大于 10 mm。平铺约安装 10 个绝缘盒的范围后,将绝缘盒扣放在腻子表面,内

部可以用涤纶毡进行填充固定(不允许导体和绝缘盒内壁直接接触),调整好位置后,轻按绝缘盒顶部,使绝缘盒嵌入腻子约 5~8 mm,用环氧片拨动绝缘盒周边腻子使绝缘盒下口密封。依次进行上绝缘盒固定。检查腻子固化情况,待腻子固化后(室温固化 24 h 以上),将内部固定涤纶毡抽出。绝缘盒环氧胶 AB 组混合均匀后(H-7105AB A:B=5:1 重量比),先在每个绝缘盒中浇入约 10 mm 的绝缘盒胶,仔细检查绝缘盒胶是否有渗漏,确定无渗漏后(浇注 24 h 后)将绝缘盒浇满。固化后(室温固化 24 h 以上),表面低于绝缘盒 3 mm 以上时,应用绝缘盒胶补充填满。然后拆除环氧条、E 型板等辅助物品,将超出绝缘盒范围的腻子用锋钢刀清理干净,操作时需谨慎作业,避免损伤线棒绝缘。

(4)下绝缘盒的安装,首先按照图纸预装绝缘盒,以铁心端面为基准,用绝缘记号笔在每根上层线棒内径侧端部和下层线棒外径侧端部划出绝缘盒安装高度位置线。将绝缘盒胶混合均匀后,将约 5 个左右绝缘盒间隔均匀放置在木板上,先在绝缘盒内倒入约 2/3 高度(以绝缘盒套入后胶基本填满,但又不满出为标准),两人平稳抬起木板,调整好绝缘盒对线棒的位置,利用尼龙扎带将木板固定在线棒端部,然后微调高度及绝缘盒间隙均匀。全部调整检查好后,再依次用适当容器将绝缘盒灌满树脂。待室温固化 24 h 以后,拆除木板等支撑物。胶面低于绝缘盒的应用绝缘盒胶补充填满。

3.2.7 定子检查及干燥

检查、清扫发电机定子,严禁钥匙等金属杂物遗留在定子铁心通风沟或者定子线棒的缝隙中以及定子绑绳的缝隙内。整个定子使用加热器进行外加热干燥,加热器规格及布置数量根据现场情况进行调整。干燥温度为 75℃—80℃ 以下(线棒表面温度),干燥时间不少于 72 h。

3.2.8 修后试验结果

修后试验,相关实验项目及要求与修中试验一致。

4 结 语

绝缘盒在现场安装过程中,灌注胶配比中稀

释剂过量使用,会导致绝缘盒出现溢胶、裂纹,随着发电机长时间的运行,会造成绝缘材料热老化变色,加之线棒端头及连接板表面氧化层清理不干净,会在绝缘树脂与导体之间产生间隙,这些间隙或空隙会在发电机运行中产生微放电,导致绝缘灌注材料出现焦化甚至发黑的劣化缺陷。因此,在机组安装过程中,应通过钻孔、剖切、敲除等方法进行抽样检查,对仅出现溢胶或者裂纹的个别绝缘盒,及时清理溢出的绝缘胶,利用绝缘硅胶封堵裂缝的过渡方式进行处理,待后期具备条件后,进行绝缘盒的更换。

出现焦化甚至发黑的劣化缺陷的绝缘盒,应在该缺陷发展初期,通过粘贴测温试纸、红外测温仪监测绝缘盒温度,并抽样监测绝缘盒表面泄漏电流,对绝缘盒温度和泄流电流数据进行统计分析,对绝缘盒运行状态进行全面的安全评估,来确认其是否可以满足机组安全运行。在该缺陷发展后期,应该对定子绝缘盒进行彻底更换,更换施工严格按照工艺技术要求,确保施工质量。

参考文献:

- [1] 沈如涓. 塑料老化性能的考察[J]. 工程塑料应用, 1978(2): 45—48.
- [2] 郑建民. 发电机定子绝缘盒内绝缘材料常见问题解析[J]. 人民长江, 2013(13): 97—99.
- [3] 贺胜利. 发电机定子端部绝缘盒脱落的处理[J]. 电力安全技术, 2006(5): 43—44.
- [4] 陈文添. 浅谈水轮发电机定子端接头绝缘与处理[J]. 大电机技术, 2001(4): 25—29.
- [5] 电力预防性试验规程, DL/T596—1996[S].

作者简介:

徐青彪(1989-),男,河南舞阳人,华北水利水电大学电气工程及其自动化专业本科毕业,助理工程师,国电大渡河检修安装有限公司从事水轮发电机组的安装检修工作;

熊 荣(1989-),男,四川营山人,西华大学电气工程及其自动化专业本科毕业,助理工程师,国电大渡河检修安装有限公司从事水轮发电机组的安装检修工作;

袁 林(1988-),男,四川仁寿人,四川大学电气工程及其自动化专业本科毕业,助理工程师,国电大渡河检修安装有限公司从事水轮发电机组的安装检修工作;

严 东(1993-),男,四川内江人,重庆三峡学院电气工程及其自动化专业本科毕业,助理工程师,国电大渡河检修安装有限公司从事水轮发电机组的安装检修工作。

(责任编辑:卓政昌)