

风电场箱式变压器铁芯发热故障分析

刘守豹¹, 杨耀武², 袁志³, 童理¹, 方圆¹, 韦昌伟¹

- (1. 大唐水电科学技术研究院有限公司, 广西南宁 530007;
2. 中国大唐集团有限公司重庆分公司, 重庆 400020;
3. 国网四川省电力公司检修公司, 四川成都 610041)

摘要: 箱式变压器是风电场进行能量传递的重要设备, 针对某风电场连续发生的3起箱式变压器铁芯发热故障, 对故障变压器开展油化分析、现场拆解, 找到了引起发热的故障点。为对故障原因进行机理分析, 采用有限元分析软件 ANSYS MAXWELL 建立涡流场分析模型, 对变压器绕组、铁芯的发热情况进行量化计算。通过分析确定箱式变压器制造工艺存在缺陷, 首端低压绕组与铁芯接触过于紧密是导致发热故障的原因。

关键词: 风电场; 箱式变压器; 发热故障; 有限元; 涡流场

中图分类号: TM247 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2020)05-0001-04

DOI: 10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2020.05.001

Analysis on Heating Fault of Package Transformer Core in Wind Farm

Liu Shoubao¹, Yang Yaowu², Yuan Zhi³, Tong Li¹, Fang Yuan¹, Wei Changwei¹

- (1. Datang Hydropower Science & Technology Research Institute Co., Ltd., Nanning 530007, Guangxi, China;
2. Chongqing Branch Company of China Datang Co., Ltd., Chongqing 400020, China;
3. State Grid Sichuan Maintenance Company, Chengdu 610041, Sichuan, China)

Abstract: Package transformer is an important equipment for energy transfer in wind farm. Aiming at three cases of package transformer core heating faults occurring continuously in a wind farm, oil analysis and disintegration of the fault transformer are carried out, and the fault points causing the heating are found. In order to analyze the mechanism of the fault, the eddy current field analysis model is established by using finite element analysis software ANSYS MAXWELL to analyze the change. Quantitative calculation is carried out for the heating condition of the winding and core. Through the analysis, it is determined that there are defects in the manufacturing process of package transformer, and the reason of heating failure is that the low-voltage winding at the head contacts too closely with the iron core.

Key words: wind farm; package transformer; heating fault; finite element method; eddy current field

0 引言

目前水电调度问题常用的求解方法有线性规划、非线性规划、混合整数线性规划、动态规划以及启发式现代智能算法等^[1], 其中混合整数线性规划变压器是风力发电机组能量转换过程中的重要组成部分, 它将风力发电机发出的电能转换成高电压低电流形式并输送至电网^[1-3]。铁芯是变压器传递和交换能量的重要部件, 为防止在运行电压作用下铁

芯出现悬浮电位放电, 铁芯通常采用单点接地^[4-5]。

实际运行中变压器由于设计、制造、材料等方面的问题, 会发生铁芯多点接地、铁芯接地不良引起的铁芯发热故障^[6-9]。根据铁芯发热程度可分为低温过热、中温过热和高温过热, 如果铁芯发热故障未得到控制和解决将会引发更大故障, 导致变压器无法运行^[10]。

下面以某风电场连续发生的3起箱式变压器铁芯发热故障为分析对象, 通过油化分析、现场拆解和仿真计算, 确定箱式变压器制造工艺存在缺陷, 首端低压绕组与铁芯接触过于紧密是导致发热故障的原因。

基金项目: 中国大唐集团有限公司科技项目资助(智能水电设备状态评估及仿真关键技术研究及应用)

1 故障简介

2009年5月某风电场第一台箱式变压器投运,2010年10月最后一台箱式变压器投运,该风电场共安装55台同厂家、同型号、同批次风机箱式变压器,其基本参数如下:

- 型号: ZGS - ZF - 1000/38.5
- 电压组合: 38.5 kV ±2 × 2.5% / 0.62 kV
- 联接组别: D/Yn11
- 阻抗电压: 6.31%

该变压器为三相、双绕组、油浸、自冷、低损耗、全密封、免维护电力变压器,其整体外观和绕组铁芯如图1所示。



图1 风电场箱式变压器

2016年5月巡检发现风电二回10号箱式变压器空载油面温度达65℃,吊芯发现A相低压线圈上部绝缘圈碳化,导线绝缘破坏,其中紧邻的两根导线从上到下绝缘碳化。

2017年1月风电二回21号箱式变压器电压异常,吊芯检查发现变压器铁芯有多处明显过热痕迹,铁芯至夹件引出连片已熔断,C相绕组有过热现象,A相低压侧线圈绕组烧断,线圈烧断处在6级铁芯表面有明显烧蚀痕迹。

2017年8月风电二回2号箱式变压器再次出现油

温过热问题,解体发现A、B、C三相低压出口端绕组与铁芯接触紧密,部分区域绝缘纸板已经发黑碳化。

2 故障原因分析

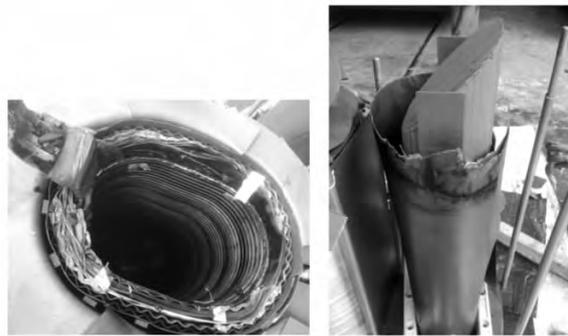
上述3台故障变压器具有共同的特点:变压器油色黄亮,油中有较浓的焦糊味,这表明变压器油出现异常。例如2016年5月在对10号箱式变压器解体前开展的油化分析发现大量氢、烃、一氧化碳、二氧化碳类气体,其中氢含量超过260 μL/L,总烃超过1000 μL/L,并出现乙炔,油化报告如表1所示。

表1 10号箱式变压器油化分析报告 单位: μL/L

成分	油样1	油样2	平均值
H ₂	266.02	273.65	269.84
CH ₄	574.32	597.09	585.71
C ₂ H ₄	168.08	171.19	169.64
C ₂ H ₆	267.37	271.83	269.60
C ₂ H ₂	1.73	1.01	1.37
CO	2 454.12	2 506.39	2 480.26
CO ₂	8 806.99	8 951.55	8 879.27
总烃	1 011.50	1 041.12	1 026.31

通过三比值法对表1的数据进行分析,表明变压器内部存在低温过热的问题,其中CO、CO₂、CH₄含量高表明变压器内部固体绝缘材料(绝缘纸、层压纸板、木块等)聚合物裂解,聚合物在裂解过程中产生的水与铁作用产生H₂; C₂H₂含量相对较低表明变压器内部未出现电火花。

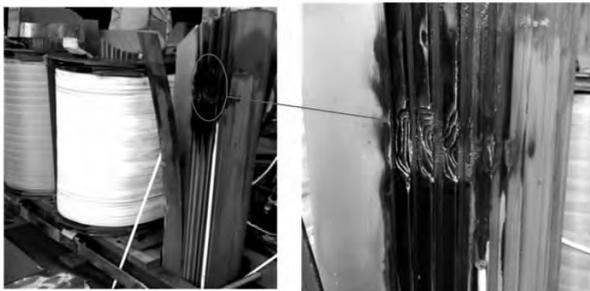
下面依次给出10号、21号、2号箱式变压器解体照片如图2—图4所示,可见变压器首端绕组与铁芯之间接触过于紧密,两者之间的绝缘材料有明显勒痕,勒痕处绝缘纸和绕组绝缘材料碳化。从3



(a) (b)
图2 10号变压器A相解体情况



(a) 铁芯接地铜排烧断 (b) 低压绕组引线绝缘碳化



(c) 铁芯表面烧蚀

图3 21号箱式变压器C相解体情况



(a) 低压首端绕组绝缘碳化 (b) 铁芯表面烧蚀



(c) 铁芯接地铜排烧断

图4 2号箱式变压器B相解体情况

台变压器的故障情况可以看出: 1) 故障点均位于低压绕组首端绕组和铁芯; 2) 低压绕组与铁芯紧密接触, 导致热量无法通过油循环散发; 3) 局部发热引起绝缘材料碳化, 进而使得低压绕组和铁芯之间绝缘丧失; 4) 低压绕组与铁芯紧密接触的部位通过大电流, 使得铁芯与绕组接触面被烧蚀, 大电流通过铁

芯接地铜排入地进而将铜排融化。

通过解体情况还可以得出如下结论: 该风电场的箱式变压器问题不是偶发故障, 而是在3台故障变压器中共同存在的, 故障点低压绕组首端和引出线与铁芯之间紧密接触不是个案, 因此判断厂家安装工艺存在缺陷。

3 铁芯发热的有限元分析

为了对变压器绕组和铁芯之间距离较近情况下绕组发热进行比较分析, 采用有限元分析软件 ANSYS MAXWELL 建立简化二维轴对称涡流场分析模型, 正常情况下绕组布置方式如图5所示, 其中铁芯采用层叠硅钢片, 高、低压线圈为铜导体。

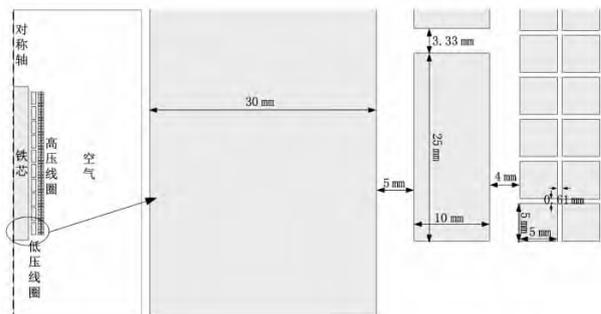
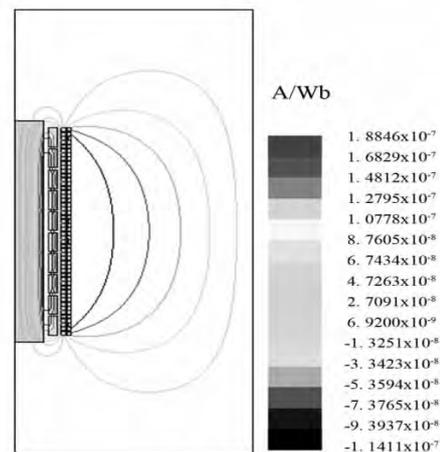


图5 验证模型空间布置

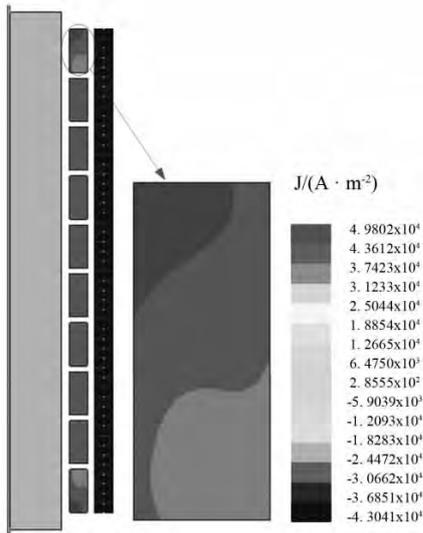
仿真计算得到正常布置方式下磁力线、电流密度、发热情况如图6所示。

从图6可知: 低压绕组的首尾匝绕组由于端部效应, 电流场分布较其他绕组不均匀, 在靠近铁芯的端部区域电流集中, 因此导致了首尾匝绕组部分区域成为“热点”。

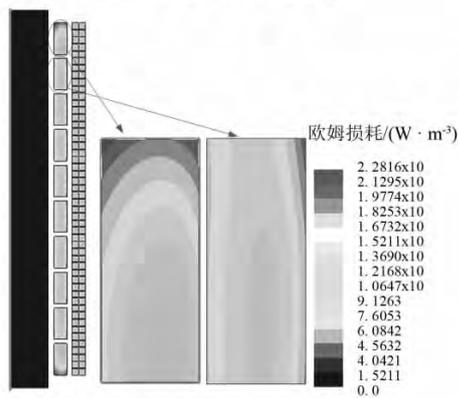
为了对低压绕组靠近铁芯情况下的发热进行分析, 将低压绕组从上往下数的第1、第3和第5匝向旋



(a) 磁力线分布



(b) 绕组电流密度分布

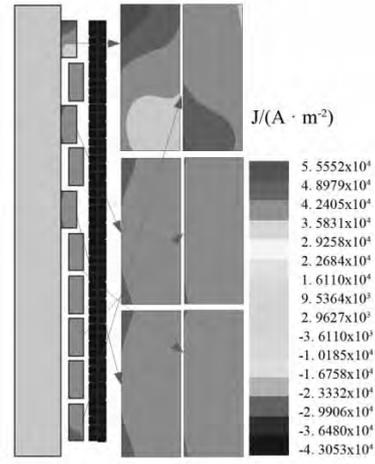


(c) 绕组发热分布

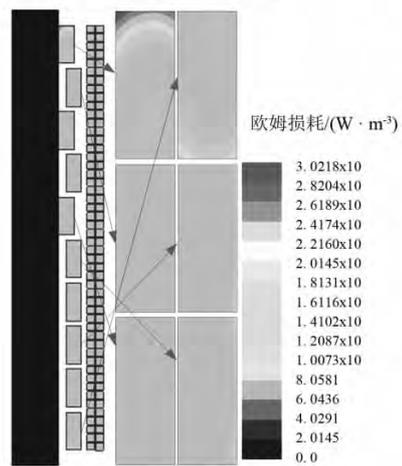
图6 正常布置方式下场计算结果

转轴方向内移4.5 mm,重新计算得到场量分析如图7所示。

从图7可知,在低压绕组靠近铁芯的情况下,绕组电流分布的不均匀程度会加重。从1号、3号到5号线圈,在同样靠近铁芯的情况下,电流分布的不均匀程度依次递减,这是因为1号线圈受端部效应的



(c) 绕组电流密度分布



(d) 绕组发热分布

图7 部分低压绕组靠近铁芯情况下场计算结果

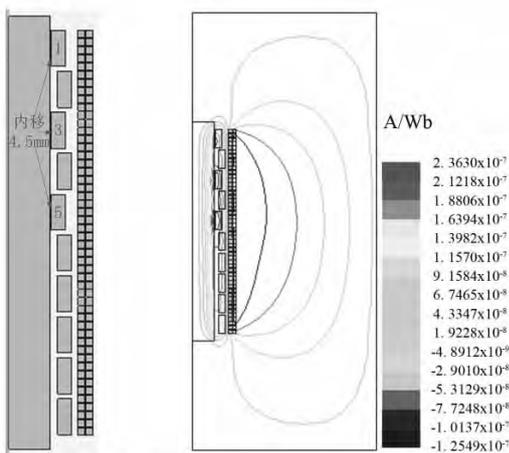
影响最严重。从发热情况来看,1号线圈发热集中区域面积和最大发热量较正常情况有明显提升,其中最大发热量从22.8 W/m³增加至30.2 W/m³。

4 结 语

1) 该风电场箱式变压器铁芯发热是由于低压首端绕组与铁芯紧密接触造成的,低压侧首端与铁芯紧密接触导致发热加剧,同时紧密接触处变压器油无法通过,热量无法有效散发,在长期发热作用下绝缘老化,电流经低压线圈首端绕组再经铁芯入地导致铁芯接地扁铁熔断。

2) 变压器绕组应与铁芯保持一定距离,铁芯与绕组接触紧密不仅导致绕组内部电流分布向局部区域集中,导致发热区域面积扩大和最大发热量升高,这种绕组与铁芯接触紧密引起发热增加的趋势对于

(下转第10页)



(a) 低压线圈内移3匝 (b) 磁力线分布

环境气象分类因子,实现了高原地区输电线路在线监测装置电源选择的环境气象分类。

3) 针对高原地区环境气象分类的典型气象特征,提出了相应气象区域的输电线路在线监测装置电源供电选择参考,具有工程应用意义。

参考文献

[1] 王炳强,岳嵩,吴元香,等. 高海拔地区 220 kV 输电线路带电作业安全距离技术研究[J]. 电力系统保护与控制,2017,45(24):158-162.

[2] 刘磊,田丰,李敏,等. 多物理因素影响下的高海拔特高压直流输电线路电磁环境预测[J]. 南方电网技术,2016,10(9):43-48.

[3] 胡建勋,刘凯,刘庭,等. 500 kV 高海拔紧凑型输电线路带电作业实验研究[J]. 高压电器,2010,46(4):35-39.

[4] 王力农,胡毅,刘凯,等. 500 kV 高海拔紧凑型线路带电作业研究[J]. 高电压技术,2005,31(8):12-14.

[5] 刘磊,李敏,李锐海,等. 高海拔地区 ±800 kV 特高压直流输电线路电磁环境中的气象参数影响[J]. 高电压技术,2012,38(12):3177-3181.

[6] 李敏,曾嵘,余占清,等. 高海拔地区直流输电线路的电晕损耗[J]. 高电压技术,2011,37(3):746-751.

[7] 陈忠华,俞容江,胡晨刚,等. 输电线路在线监测装置风光互补电源能量管理策略[J]. 电力与能源,2017,38(4):387-390.

[8] 褚强,李刚,张建成. 一种基于超级电容的输电线路在线监测系统电源设计[J]. 电力自动化设备,2013,33

(3):152-157.

[9] 肖俊明,韦学辉,李燕斌,等. 独立型风光互补系统分布式电源的优化设计[J]. 电测与仪表,2016,53(6):118-123.

[10] 张敏,覃煜,王红斌,等. 输电线路在线监测装置供电电源设计[J]. 广东电力,2018,31(10):94-100.

[11] 支理想,刘喆,张立东,等. 高压输电线路在线监测供电电源研究及应用[J]. 电源技术,2015,39(2):413-415.

[12] 李武云,江虹,何小利. 高压输电线路监测设备感应电源设计[J]. 自动化仪表,2019,40(2):23-29.

[13] 谢志远,毕亭亭,金慧莹,等. 高压输配电线路在线监测设备供电电源的研究[J]. 电测与仪表,2016,53(22):16-21.

[14] 朱永灿,黄新波,张冠军,等. 输电线路在线监测设备供电电源应用分析[J]. 高压电器,2018,54(7):231-236.

[15] 陈凯. 高压输电线路在线监测装置供能电源的研制[J]. 广东电力,2016,29(2):121-125.

[16] 李先志,杜林,陈伟根,等. 输电线路在线监测系统取能电源的设计新原理[J]. 电力系统自动化,2008,32(1):76-80.

[17] 焦斌亮,付伟,赵德功. 高压输电线路 CT 取能电源的设计[J]. 电源技术,2013,37(1):130-133.

[18] 熊兰,何友忠,宋道军,等. 输变电线路在线监测设备供电电源的设计[J]. 高电压技术,2010,36(9):2252-2257.

作者简介:

马小敏(1988),男,硕士,高级工程师,主要研究方向为电网设备在线监测及故障诊断、GIS带电检测等。

(收稿日期:2020-04-17)

(上接第4页)

首端绕组尤其显著。

3) 对于该风电场中仍在运行的箱式变压器,应该加强油色谱分析,一旦发生特征气体产气率升高,则极有可能是首端绕组制造工艺缺陷导致的,应该立即停止运行并进行大修处理。大修时应对低压绕组及铁芯表面的绝缘材料进行更换并增加首端绕组与铁芯之间的间隙。

参考文献

[1] 余光凯,张博,鲁铁成,等. 风电机组箱式变压器雷击事故分析与仿真研究[J]. 变压器,2017,54(2):62-65.

[2] 王稳. 山地风电场箱式变压器雷击损害事故分析及防范措施[J]. 电气应用,2017,36(9):37-40.

[3] 施广宇. 一起绝缘油硫腐蚀引发的变压器绝缘事故的分析[J]. 变压器,2019,56(3):85-86.

[4] 刘朝平. 海洋石油平台干式变压器铁心多点接地常见原因及预防措施[J]. 电气应用,2018,37(12):28-30.

[5] 黄俊. 变压器铁芯漏磁在线监测传感系统的研究[J]. 仪表技术与传感器,2017(1):101-105.

[6] 刘毅. 配电变压器铁心多点接地故障的有限元仿真研究[J]. 变压器,2018,55(7):41-46.

[7] 汪一雄,方毅平,董卓,等. 变压器铁芯夹件多点接地故障分析处理[J]. 湖南电力,2016,36(3):69-72.

[8] 赵坤,聂德鑫,汪泉,等. 一种变压器铁芯接地电流监测仪的校准方法及不确定度评定[J]. 仪表技术与传感器,2018(9):110-113.

[9] 洪亮,徐康健. 变压器铁芯接地电流异常的检查与处理[J]. 电工电气,2015(2):59-60.

作者简介:

刘守豹(1983),男,博士,高级工程师,主要研究方向为电力系统暂态分析与工程电磁场数值计算。

(收稿日期:2020-05-17)