

一起水轮发电机转子匝间短路故障分析与处理

徐青彪, 熊荣, 袁林

(国电大渡河检修安装有限公司, 四川 乐山 614000)

摘要:研究转子匝间短路故障的分析与处理对策,通过转子交流阻抗试验数据的异常,进一步确认试验条件,通过往年数据的比对分析,得出试验数据变化率,并通过直流电阻法、交流阻抗和功率损耗法、线圈电压法、极间电压法、重复脉冲法、匝间电压分布法等高压试验方法,实现匝间短路故障的诊断与定位,随后将线圈与铁心分离,然后对短路部位进行修补,得出了匝间绝缘材质缺陷、磁极制造工艺问题及运行环境不良会造成转子匝间短路故障。

关键词:发电机转子;匝间短路;高压试验;交流阻抗;试验分析

中图分类号:TK73;U464.331+.1;U472.42

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2020)增1-0095-03

Analysis and Treatment of an Inter Turn Short Circuit Fault of Hydro-generator Rotor

XU Qingbiao, XIONG Rong, YUAN Lin

(Guodian Dadu River Maintenance & Installation

Co., LTD, Leshan, Sichuan, 614000)

Abstract: This paper studies the analysis and treatment measures of rotor inter turn short circuit fault. Through the abnormal data of rotor AC impedance test, the test conditions are further confirmed. Through the comparison and analysis of previous years' data, the change rate of test data is obtained. By taking high voltage test methods, such as DC resistance method, AC impedance and power loss method, coil voltage method, inter electrode voltage method, repetitive pulse method and inter turn voltage distribution method, the fault diagnosis and location of inter turn short circuit is realized. Then the coil is separated from the core, and the short circuit position is repaired. It is concluded that the inter turn insulation material defects, magnetic pole manufacturing process problems and poor operating environment will cause the rotor inter turn short circuit fault.

Key words: generator rotor; inter turn short circuit; high voltage test; AC impedance; test analysis

0 引言

水轮发电机转子绕组的匝间短路是大型发电机最常见的电气故障之一,这需要在相类似的测试环境条件下进行特定的高压测试,进行相关数据对比后才能发现,由于发电机转子匝数均在20~30匝之间,且转子磁极众多,轻微的匝间短路故障特征较弱,数据变化不明显,但故障一旦发生,则伴随着转子励磁电流升高、转子绕组温度升高、发电机输出无功功率降低、发电机轴系振动增大等现象,极大地影响水轮发电机的稳定运行。本文通过A电厂发电机转子交流阻抗试验异常现象、试验条件确认、试验数据对比论证、故障位置定位、全面处理的经验,阐述了缺陷现象、试验

检查方法、故障处理方案等等,对于类似故障的检查处理具有参考价值。

1 转子高压试验异常情况的发现^[1]

2019年1月10日,在A电厂2号发电机定子大修期间,转子绕组的交流阻抗和功率损耗试验按照《电力设备预防性试验规程》的要求进行。交流阻抗降低到修前的49%,功率损耗升高到修前的159%,引起了试验人员的注意。通过将现场试验条件对比,发现发电机修后试验条件为定子中性点已恢复并接地,而修前试验条件为定子中性点拆引,具体试验数据见表1 A电厂2号发电机转子绕组的交流阻抗和功率损耗试验数据,试验条件示意图见图1 A电厂2号发电机转子绕组的交流阻抗和功率损耗测试条件示意图1。

收稿日期:2020-10-15

表1 A电厂2号发电机转子绕组的交流阻抗和功率损耗试验数据

项目	交流阻抗 / Ω	变化率 /%	功率损耗 /W	功率损耗 /W
修前试验(20℃)	232.7	降低 49%	32	升高 159%
修后试验(20℃)	113.63		51	

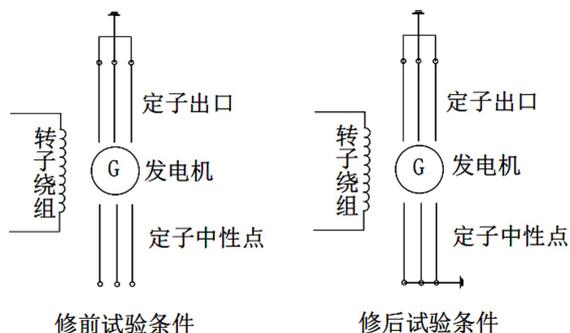


图1 A电厂2号发电机转子绕组的交流阻抗和功率损耗测试条件示意图

2 匝间短路故障的检测与定位方法^[2]

按照参考标准 DL/T1525—2016《隐极同步发电机转子匝间短路故障诊断导则》的要求,发电机转子匝间短路故障检测与定位方法有直流电阻法、交流阻抗和功率损耗法、线圈电压法、极间电压法、重复脉冲法、匝间电压分布法等。2019年1月11日,试验人员结合现场实际情况,采用了直流电阻试验、交流阻抗和功率损耗试验、线圈电压法、重复脉冲法用于诊断和定位转子的匝间短路故障。

2.1 直流电阻法^[3]

试验人员查看了2号发电机近三年来转子直流电阻试验数据,如下表2 A电厂2号发电机转子直流电阻试验数据。发现历年直流电阻相对于此次测量数据并未发生明显变化,2019年1月10号测量数据与交接试验直流电阻相差0.46%,满足 DL/T596—1996《电力设备预防性试验规程》规定:与初次(交接或大修)所测结果比较,其差别一般不超过2%。由于直流电阻法灵敏度差,当匝间短路的匝数很少时,不能有效地检测出转子匝间短路故障。由于直流电阻定位灵敏度低,因此不能用于判断转子的匝间短路。

2.2 交流阻抗和功率损耗法

测试仪可以查看 A 电厂 2 号发电机静态下多年来的交流阻抗和功率损耗数据,如表 2 表 2 A 电厂 2 号发电机转子直流电阻试验数据所示,在相同的试验条件下(中性点拆引),转子绕组交

流阻抗和功率损耗数据并未发生明显变化;而在中性点连接并接地的情况下,试验外部条件发生变化,造成试验数据发生较大变化。

表2 A电厂2号发电机转子直流电阻试验数据

时间	20℃电阻测量值 / $m\Omega$	交接试验电阻值 / $m\Omega$	变化率(100%)
2016.12.23	195.2	195.3	0.05%
2017.12.10	195.1	195.3	0.10%
2018.11.20	194.8	195.3	0.25
2019.01.10	194.4	195.3	0.46%

表3 A电厂2号发电机转子年交流阻抗及功率损耗试验数据

时间	电压 /V	电流 /A	功率 /W	阻抗 / Ω
2016.12.23	250	1.04	32	232.6
2017.12.10	250	1.04	32	232.6
2018.11.20	250	1.04	32	232.7
2019.01.10	250	2.20	51	113.63

注:标准 DL/T1525—2016《隐极同步发电机转子匝间短路故障诊断导则》规定:当交流阻抗值和出厂数据和历史数据比较,减小超过10%。在中性点接引并接地状态下,得到的数据则为220,与往年数据相差不大,并未超过标准 DL/T1525—2016《隐极同步发电机转子匝间短路故障诊断导则》规定:当交流阻抗值和出厂数据和历史数据比较减小8%,同时损耗和出厂数据和历史数据比较增加超过8%。

2.3 线圈电压法

试验人员为进一步确认故障磁极,采用了线圈电压法试验,在转子两滑环上施加200V交流电压,对33对磁极测量两侧电压,具体数据见表4 A电厂2号发电机转子33对磁极两侧电压数据。可见36号线圈电压与3号磁极线圈电压差值远超过标准 DL/T1525—2016《隐极同步发电机转子匝间短路故障诊断导则》规定:相应位置线圈间的电压差值超过最大电压值的3%。

2.4 重复脉冲法(RSO)

检修人员随后拔出了36号磁极,对该磁极进行进一步的试验,采用重复脉冲法(RSO)开展故障精确定位,找出匝间短路的具体位置。这是通过故障点处的交流阻抗波形反映匝间短路缺陷大小的测试方法,波形凸出的位置即存在异常,且凸出的幅度与故障的严重程度成正比,试验人员通

表 4 A 电厂 2# 发电机转子 33 对磁极两侧电压数据

磁极序号	电压差(100%)	磁极序号	电压差(100%)
第 1 对	0.33%	第 18 对	0.34%
第 2 对	4.12%	第 19 对	0.33%
第 3 对	42.50%	第 20 对	0.34%
第 4 对	0.33%	第 21 对	0.68%
第 5 对	1.00%	第 22 对	0.99%
第 6 对	1.34%	第 23 对	0.33%
第 7 对	0.67%	第 24 对	0.34%
第 8 对	0.33%	第 25 对	0.33%
第 9 对	1.00%	第 26 对	0.34%
第 10 对	0.34%	第 27 对	0.33%
第 11 对	1.02%	第 28 对	1.00%
第 12 对	0.33%	第 29 对	0.67%
第 13 对	0.34%	第 30 对	0.33%
第 14 对	0.34%	第 31 对	0.66%
第 15 对	0.66%	第 32 对	0.33%
第 16 对	0.66%	第 33 对	0.34%
第 17 对	0.33%		

过该试验方法精确测量到出现匝间短路位置,36 号磁极匝间短路位置见图 2。



图 2 36 号磁极匝间短路位置

3 匝间短路故障处理及分析^[4]

检修人员随后拔出了 36 号磁极,对磁极外观做了如下检查:整体无机械损伤,无烧损、爬电痕迹;下绝缘法兰密封良好,上绝缘法兰与铁心间略有松动;上部连接片角部有凹坑,可能是磁极拆除时磕碰或撞击所致。初步判断,匝间短路非外部原因导致。而后根据交流阻抗试验数据与出厂试验数据进行对比,阻抗值大幅度减小,进一步证实该磁极存在匝间短路。随后利用大电流法测线圈

短路位置,发现集电环侧转角处,距转子侧 1~8 匝部位有明显发热现象,利用分压法成功锁定为 4~5 匝出现匝间短路。

找出匝间短路位置后,将线圈、铁心分离,然后对短路部位进行修补,修复作业流程如下:

(1)线圈通电加热至 100℃~110℃,趁热用环氧楔子打入线圈、铁心极靴侧间隙,有抬高后用吊带垫入线圈脱离铁心。

(2)清理线圈内腔绝缘杂质、余胶;将下绝缘法兰清理干净,将其烘干后备用。

(3)撑开匝间(磁轭侧 4~5 匝),用环氧楔子铲刮短路部位匝间绝缘,不得损伤到铜排。随后铲刮长度以短路点为中心,两边各 100 mm 区域。裁剪并垫入新的上胶 Nomex 纸,垫入长度以原匝间绝缘搭接 50 mm 以上、延伸至铜排打开末端为原则,并刷上 Nomex 原胶。用卡兰卡紧修复部位,烘箱加热 3 h(100℃)。

(4)线圈套入铁心前,检查并清理磁极铁心、上、下绝缘法兰、极身绝缘及调整片等表面污渍、异物。将线圈套接在铁心上,调整其与铁心之间的间隙,随后塞入调整片。

(5)封口绝缘前,检查线圈与上绝缘法兰间隙,并用硅胶填充下绝缘法兰装配,调整与铁心极身绝缘端面处间隙四周均匀,刮绝缘硅胶封口,并用卡兰卡紧固化。

(6)修后电气试验。

分析磁极匝间短路原因,主要从匝间绝缘材质、磁极制造工艺及运行环境这三方面出发,结合 36 号磁极的检查试验、处理情况进行综合分析,主要原因如下:①匝间绝缘老化而导致的匝间短路故障;②制造工艺缺陷引起的匝间短路;③线圈内、外表面有很多油渍、粉尘,磁极长期高速运转、震动,且受到外部水汽、粉尘、油雾等侵蚀,匝间绝缘薄弱处扩展而引起匝间短路。

4 结 语

转子绕组出现匝间短路故障,在相同的试验条件下,试验数据会发生明显变化,具体是交流阻抗降低与功率损耗升高。根据现场实际情况,可以采用直流电阻试验、交流阻抗和功率损耗试验、线圈电压法、重复脉冲法对用于诊断和定位转子的匝间短路故障。在找出匝间短路位置后,将线

(下转第 100 页)

力头初始时腐蚀磨损比较严重,拆出后表面有许多大小不一的斑坑。经过长期运转,紧配合部位出现松动,这时,外来应力作用加强,磨损速度加快,机组振动加剧,剧烈的振动加速了磨损作用,如此恶性循环,最终机组运转的稳定性遭受严重破坏。

3 处理措施

基于以上分析,对机组推力头松动制订出以下几点处理措施:

(1)重新加工推力头,但维修成本大,而且需要比较长的时间。

(2)采用堆焊后再根据现有轴颈尺寸精车的方法进行修复处理,但必须注意防止焊接变形和产生裂纹及如何消除焊接应力,否则很难达到修复效果。

(3)对于轴颈接触面的斑坑可采用冷焊修复的工艺^[4]进行修复,冷焊修复的原理是将电源储存的高能量在瞬间高频释放,使母材表面产生瞬间高温、高压区,离子态的电极材料在微电场作用下熔渗到母材的基体,形成冶金结合。

通过对推力头难以拔出的原因进行分析探索后,在该电站的机组检修中处理推力头结合面时,采用冷修复的工艺。由于该工艺是瞬间的高温→冷却过程,可使熔焊的补材和母材表面产生结合度很高的冶金结合堆焊及强化层^[5],具有较高补焊精度、较小补焊冲击、极小热影响和较高结合度等性能特点,这种工艺方法使推力头在修复过程中始终处于常温状态,不产生内应力,修复后不变形,无裂纹、无退火软化现象;无断裂的潜在影响,

而且结合强度高,不产生脱落现象;无硬点,修复精度高,修补处的机械性能高。修复后的轴颈在硬度、耐磨、耐腐蚀等方面远比用常规方法处理推力头结合面时效果更好。

4 结语

通过对某电站机组推力头松动的实际情况与检修工艺结合,去探索导致其推力头产生松动的各种可能因素,进而研究对推力头进行修复的方法,从生产成本及检修工艺出发,寻找到生产成本低,检修方便快捷的修复方法,从根本上提高了水电检修人员施工的质量并缩短了检修工期,提高了检修效率,增强了水电机组检修的安全性和便捷性,提升了电力检修质量和工作效率。

参考文献:

- [1] 罗煜. 3号水轮发电机组推力头松动原因分析及处理[J]. 新疆有色金属, 2010, 01: 85.
- [2] 邓有任. 推力头松动的原因分析及处理[J]. 水电站机电技术, 1984, 04.
- [3] 唐明智, 金东海, 郭昕, 桂幸民. 叶轮机通流模型周向脉动应力项建模及分析[J]. 工程热物理学报, 2018, 09: 1935-1944.
- [4] 周玉柱, 彭勇辉, 周雄, 邵志强. 液压活塞杆坑伤冷焊修复工艺[J]. 机械制造文摘(焊接分册), 2011, 05: 40-41.
- [5] 郑卫华. 模具的修复及冷焊设备的发展[J]. 现代制造, 2004, 09: 59-60.

作者简介:

黄晓波(1973-),男,四川安岳人,专科,高级技师,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;
周玮(1993-),男,四川自贡人,大学本科,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;
梁鹏翔(1993-),男,甘肃会宁人,大学本科,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)

(上接第97页)

圈、铁心分离,对绕组短路部位进行修补,并进行修后试验。根据上述研究分析,引起转子匝间短路故障的原因主要有以下三个方面:匝间绝缘材质、磁极制造工艺及运行环境。

参考文献:

- [1] 隐极同步发电机转子匝间短路故障诊断导则, DL/T1525-2016[S].
- [2] 电力设备预防性试验规程, DL/T596-1996[S].
- [3] 姚勇. 水轮发电机转子绕组匝间短路测定新方法[J]. 水力发电, 2003(1): 38-39.
- [4] 孙善华. 一起发电机转子绕组匝间短路故障分析和处理

[J]. 山东电力技术, 2018(5): 73-75.

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。

(责任编辑:卓政昌)