

某热电厂 300MW 汽轮发电机机定子接地故障分析与处理

丁旭东

哈尔滨电机厂有限责任公司 黑龙江 哈尔滨 150040

DOI:

【摘要】本文介绍了某热电厂一台 300MW 水氢冷汽轮发电机发电机定子接地故障,并给出了故障过程中的一些机组运行数据。对故障原因进行了分析,确定了定子线圈汽端渐开线部位局部烧损的原因,并提出了现场定子故障修复方案。

【关键词】发电机;定子线圈;烧损;分析;修复方案

1 前言

某热电厂运行两台 300MW 水氢冷汽轮发电机,型号为 QFSN-300-2,自并励磁系统,2009 年 1 月投产。QFSN-300-2 型 300MW 水氢冷汽轮发电机是哈尔滨电机厂有限责任公司与美国西屋公司联合开发设计的大型发电设备。其特点是结构合理,性能先进,运行稳定,容量裕度较大,具有世界先进水平,该型发电机以其运行可靠赢得了用户的广大好评。主要性能指标:额定容量:353MVA,额定功率:300MW,功率因数:0.85,额定电压:20000V,额定电流:10190A,额定转速 3000r/min,额定功率:50Hz,相数:3,效率:98.7%,短路比:0.6。2018 年 7 月 15 日,该热电厂一台发电机发生定子接地故障,导致定子汽端线圈一处严重烧损,定子膛内铁心有多处磕碰伤,定子汽端附着大量碳粉。

2 故障经过

2018 年 7 月某日 17 时 56 分,该发电机组有功功率为 254.3MW,无功功率为 52.5MVAR,机组 CCS、AGC 投入正常运行;发电机定子电流 7548A,电压 19.93KV;定子冷却水流量为 32.32t/h,压力值为 0.2MPa,定子冷却水入口水温 41.4℃,出口水温 53.4℃,氢温 39℃,氢压 0.269MPa,发电机定子线圈出水温度 50~53℃,发电机定子线圈层间温度为 50~52℃;发电机轴系振动数据为:五瓦 8.06um、六瓦 14.57um,氢纯度:99.5%,密封油压差:82.3kpa,48 小时氢压降 4KPa(折算约 1.4 立方米/天)。机组各项运行参数均正常。17 时 56 分 22 秒发电机组产生跳闸动作,DCS 发生“发电机差动保护动作”,发变组保护产生“发电机差动”、“发电机差动速断”保护动作。17 时 59 分,DCS 操作员发出“转子一点接地”报警,发变组保护发出转子一点接地信号。

SOE 记录显示 2018 年 7 月某日 17 时 56 分 22 秒发电机差动保护发生动作。检查发变组保护装

置,A、B 屏差动速断及差动保护动作保护装置出口及信号灯为点亮状态,发变组保护装置 A 屏显示转子一点接地并发出信号。经查阅故障录波器录波文件,差动速断动作前 180ms,发电机 W 相电压为零,U、V 相电压升高至线电压 20KV;发电机差动保护动作前 25ms,发电机 U、V 相出现短路电流,短路电流峰值高达 94.84KA。经过检查,发电机油水分离器有水排出。对发电机三相绕组进行绝缘电阻测试,发电机三相绝缘对地均为 0MΩ,转子绕组绝缘为 0MΩ。检查其他相关设备均无异常。

3 损坏情况

故障发生后,现场打开发电机端盖检查发现,汽端定子线圈端部、转子本体端部表面有大量碳化物附着,定子端部有一根绝缘引水管及其绝缘盒损坏并脱落,定子线圈渐开线部位有一处严重烧损(见图 1)。发电机汽端铁心有多处表面磕碰伤。发电机汽端导风环在拆卸过程中发现缺少一组导风环上下半把合螺栓,而发电机定子励端完好无异常。

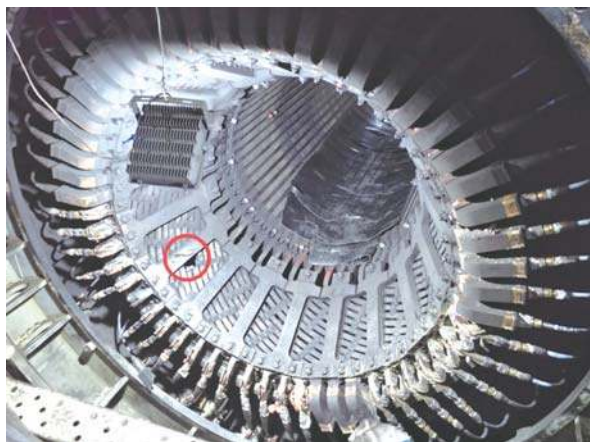


图 1

经检查发现发电机汽端损坏 7 根定子线圈,分别为 #20、#21、#26 槽上层线圈,#4、#8、#9、#

10 槽下层线圈,其中#20、#21 槽上层线圈为 W 相线圈, #26 槽上层和 #4、#8 槽下层线圈为 V 相线

圈, #9、#10 槽下层线圈为 U 相线圈。线圈局部烧熔,从励端看定子线圈位置分布见图 2。

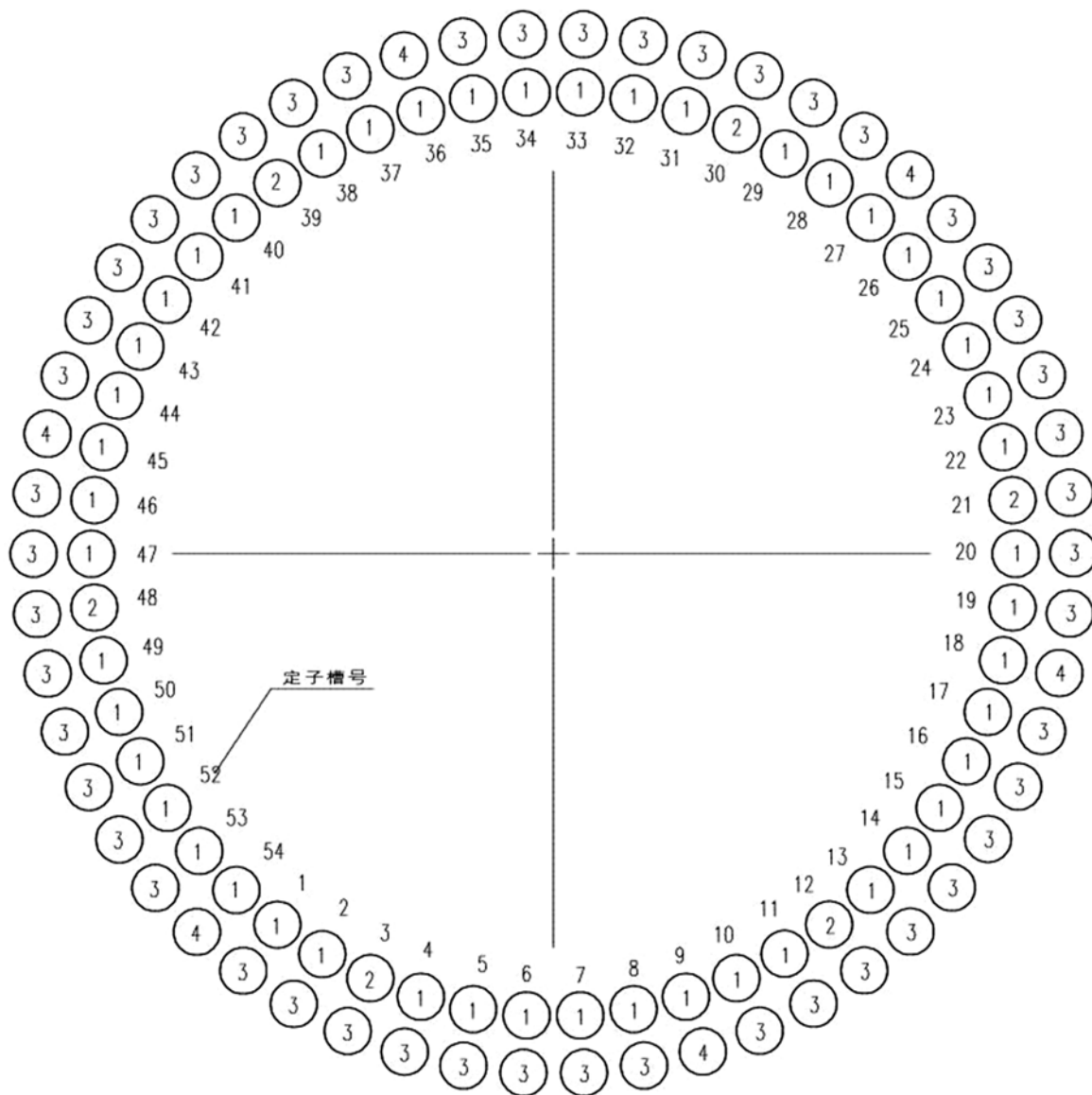


图 2

4 原因分析

因发电机定子线圈产生 V、W 相间短路,短路期间故障电流峰值达 94.84kA,大于差动速断保护动作值 40.8kA(一次值),因此发电机差动保护产生动作。抽出发电机转子后,可见定子汽端上层 #20、#21 槽线圈渐开线部位中间段有一处严重故障点(见图 3),故障点位置恰好在发电机汽端导风环缺失螺栓部位的正下方,由于螺栓是上穿装配,螺母松动后,螺杆螺纹与锁片产生磨损,当螺母完全松脱后,螺杆及螺杆侧的锁片脱落,锁片在掉落过程中接触到旋转的转子风叶,被风叶击中打落至定子汽端支架的空隙处,而螺母及螺母侧的锁片掉落至上层 #

20、#21 槽线圈渐开线部位。故障点上层 #20、#21 槽线圈位于 W 相,对应位置下层 #8 线圈为 V 相,下层 #9、#10 槽线圈为 U 相。脱落的螺母及锁片下落到 #20、#21 槽渐开线部位线圈之间的缝隙中,因发电机运行中存在振动,螺母和锁片使上层 #20、#21 槽线圈和下层 #8、#9、#10 槽线圈受到了不同程度的磨损,现场分析 W 相绝缘磨损最为严重,导致 W 相首先接地,随后引起 V、W 相绝缘击进而穿产生相间短路。在抬出所有发电机定子线圈后,对所有的线圈外观检查并进行线圈耐电压试验,均未见其它击穿部位,对定子进行铁损试验也未发现异常。



图 3

上层#26槽与下层#4槽线圈端部的故障属继发故障。分析原因为#20、#21槽上层线圈发生故障时,故障电流产生的高温使定子空心导线内的冷却水急剧汽化,水蒸汽流经到#26槽与#4槽线圈端部时形成汽阻,汽阻处#26槽与#4槽线圈发热使股线焊接处开焊造成烧损,烧损后导致绝缘盒碳化脱落(见图4)。



图 4

#20、#21、#8、#9、#10槽线圈发生短路故障时,掉落的螺母及锁片被定子膛内的气流吹起,随转子风扇产生的气流落入定子与转子的气隙之间,转子表面的刮痕即为螺母及锁片在转子惰走时所致。

5 发电机故障修复方案

5.1 铁心修复方案

对定子端部附着的碳粉进行全面清理。拆除定子线圈前、后分别进行铁损试验进行对比,拆除定子线圈后,对铁心过热点进行清理,采用硅钢片间插入云母片和采用电腐蚀消除铁心边缘毛刺的方法,恢

复铁心硅钢片之间的绝缘,并使恢复绝缘部位铁心段紧固。铁心处理完成后经铁损试验应无温度过热点。

5.2 烧损定子线圈更换方案

定子线圈在汽端渐开线部位上、下层共烧损7根线圈,考虑到上、下层线圈的对应位置关系和现场施工条件,采用拆除全部定子线圈,更换所有烧损线圈的方式。线圈更换工艺过程为:

a. 拆除发电机定子膛内风区隔板,退出全台定子槽楔。拆除定子两端全部绝缘盒和绝缘引水管。在定子端部垫好石棉纸进行防护,用气焊加热焊开线圈鼻端实心铜线,拆除全部线圈端部绝缘引水管接头。拆除上层线圈压板、剔除上层线圈绑绳,拆除线圈间隔块和鼻端垫块。拆除所有上层线圈。下层线圈拆除步骤与上层线圈相同。检查测定子测温元件,并更换损坏的元件。

b. 清理拆下的需要回装的零部件。

c. 铁心处理完成并且铁损试验合格后,清理定子下线槽和定子端部,检查线圈层间测温元件,合格后准备定子线圈工作。

d. 新线圈进行交流耐压、水压和气流量试验。合格后开始下线工作,下线后进行压型固化。全部线圈回装完成后进行交流耐压试验,合格后进行线圈端部实心线焊接工作,回装绝缘引水管,进行水压试验。包线圈鼻端手包绝缘,待固化后安装鼻端绝缘盒。装配定子槽楔、定子膛内风区隔板、线圈间隔块和端部压板。最后进行泄漏电流试验、绕组直流耐压试验、电位外移试验及交流耐压试验。全部试验合格后对定子膛内、端部进行彻底清理,线圈端部喷漆。

6 结 论

发电机在运行期间转子高速运转,同时定子与转子均存在一定的振动,任何零件散落进定子内部都是极端危险的,极易对发电机内部造成严重损伤,若被转子高速旋转产生的风力带入定子与转子的气隙中,严重者可导致发电机无法正常运行。电厂应杜绝此类事件发生,完善检修工艺规程及检修作业指导书,对螺栓锁片加强检查,确保使用锁片完好无损,对涉及到定子膛内螺栓的紧固增设W点,发电机检修过程中必须检查各类螺栓紧固情况,实施过程监督验收及记录。对DCS系统全面进行检查梳理,升级相应的软硬件,将发电机线圈出水温度、定子绕组温度、铁心温度等重要运行数据引入DCS历史站数据库。完善运行监测、分析手段,实现发电机定子线圈、线圈出水温度超温超差报警功能。

作者简介:丁旭东 2010年毕业于哈尔滨工业大学电气工程及其自动化专业,至今从事汽轮发电机电技术工作。