

[发电机]

# 某大型水电站600 MW发电机 转子一点接地故障处理及原因分析

文/雅砻江流域水电开发有限公司 丁中民 王 贺

介绍了一例大型水轮发电机转子一点接地故障的原因分析、处理过程及防范措施，为后续投产发电机组故障处理提供借鉴作用，避免同类事故再次发生。

某大型水电站安装有6台600 MW立轴式水轮发电机组。定子绕组为3相6分支Y形联结，采用双层条形波绕组结构；转子为凸极结构，共有21对磁极；发电机采用双路径向无风扇密闭自循环全空冷冷却方式，每台发电机各有14个空气冷却器，均匀地布置在定子外缘，并用来自机组技术供水系统的水进行冷却；发电机励磁为自并励数字式静止晶闸管励磁系统，配备四个功率柜，单元整流桥并列运行；发电机保护采用双重化装置，A套装置配置了发电机注入式转子接地保护，B套装置配置了发电机乒乓式转子接地保护，正常时，只允许其中一套转子接地保护投入运行。

转子一点接地故障是水轮发电机组常见的故障形式之一，发生一点接地故障时励磁绕组与地间尚未形成电气回路，影响较小，但若未及时排查故障，导致发电机转子两点接地或多点接地故障时，破坏定、转子间气隙磁场，严重时烧损转子绕组、定子铁心，造成事故。因此，当发电机转子出现一点接地后，应立即组织人员查找故障、消除故障。当发电机发生转子一点接地保护报警时，可从保护装置误报、集电环刷架接地、接地电刷接触不良、转子绕组绝缘受损或老化、励磁回路接地，转子磁极及其附件在离心力作用下产生位移或变形导致的动态接地等方面进行逐次排查。

发电机转子受潮的干燥方法有铁损干燥法、

直流电源干燥法、短路电流干燥法、直流电源干燥法、空载运行干燥法、外加热源干燥法及热风干燥法。转子轻度受潮的情况下，一般开机空转几个小时即可恢复绝缘。受潮严重的情况下，则应使用电流干燥或外部热源干燥。直流电源干燥法是用直流电源通入定（转）子绕组使其利用绕组本身电阻发热来排出内部潮气，这种方法简单易行，适用于小型水轮发电机。短路干燥法的缺点是控制不好容易造成局部高温过热，安全性较低。本文介绍的发电机转子一点接地故障是由于发电机空冷器排气阀接头在运行期间发生断裂、喷水，导致发电机转子淋水受潮，其干燥方法可根据机组大小和现场实际情况决定，应用外加热源干燥法（投用加热器）与空载运行干燥法。

## 故障现象

2015年03月31日17:54，运行中控室监控系统上报“一号机组发电机注入式转子接地保护装置报警、一号机组发电机注入式转子接地动作”。

17:55，报“一号机组发电机注入式转子接地保护装置报警复归、一号机组发电机注入式转子接地动作复归”。

18:05，运行人员将转子接地保护切至乒乓式转子接地保护装置后，中控室监控系统上报“一号机组发电机乒乓式转子接地动作”、“一号机组发

电机乒乓式转子接地保护装置报警”，乒乓式转子接地保护测量转子对地绝缘电阻为8 k $\Omega$ 。

18:09，中控室监控系统上报“一号机组发电机乒乓式转子接地动作”“一号机组发电机乒乓式转子接地保护装置报警”“一号机组发电机乒乓式转子接地保护跳闸”“一号机组发电机保护B屏发电机保护停机动作”“一号机组发电机保护B屏外部重动3动作”，一号机组动作停机。乒乓式转子接地保护动作跳闸时转子接地电阻测量值为3.16 k $\Omega$ 。

现场检查#1机组故障录波装置，在17:54~18:09时间段，故障录波装置频繁启动，1#发电机乒乓式转子接地保护动作跳闸故障录波波形（不同时段）如图1、图2所示（注：因通道描述错误，波形图中注入式转子接地报警实际应为乒乓式转子接地报警），在跳闸时刻，#1发电机机端电流、励磁电流、励磁电压仍然没有发生明显变化，说明此阶段转子仍然为经过渡电阻一点接地故障。#1发电机乒乓式转子接地保护动作相关数据如表1所示。

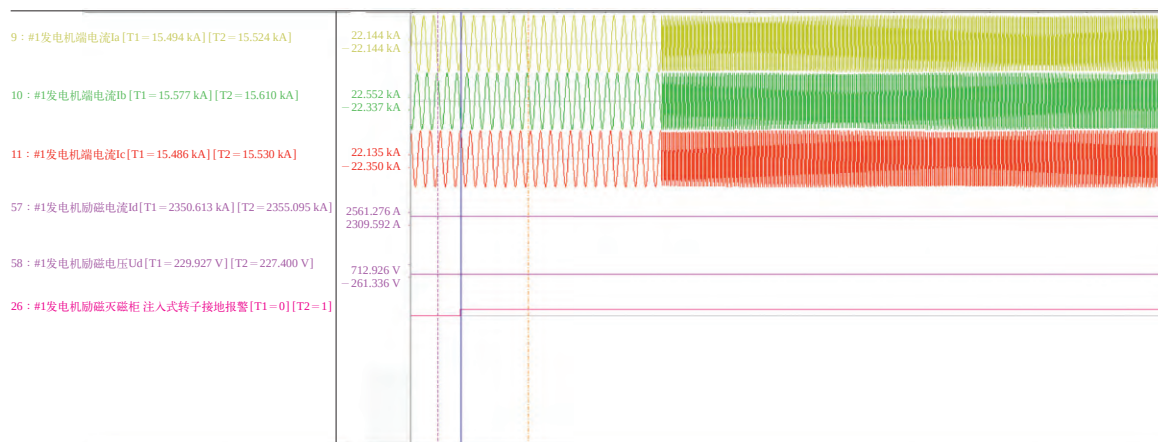


图1 #1发电机乒乓式转子接地保护动作跳闸故障录波波形 (17:59:39)

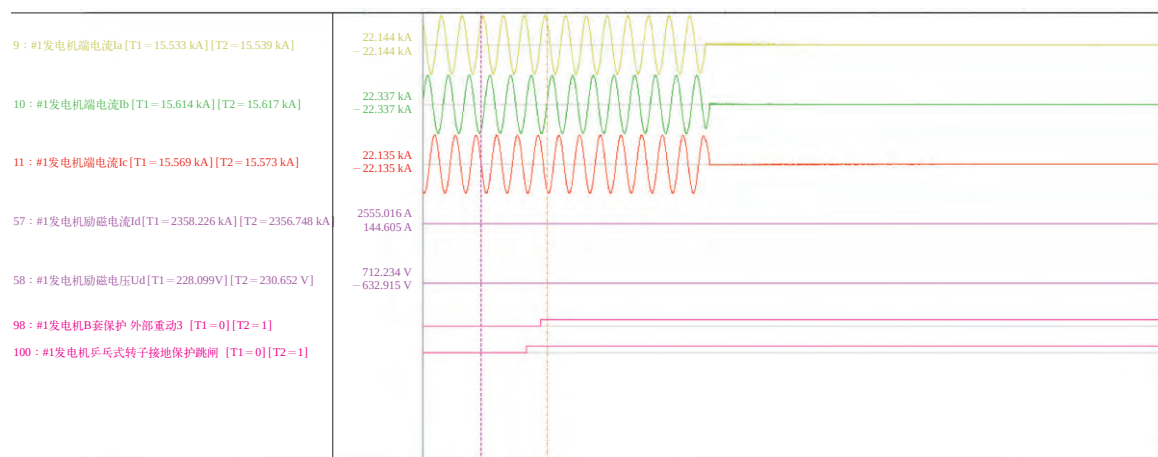


图2 #1发电机乒乓式转子接地保护动作跳闸故障录波波形 (18:09:40)

表1 #1发电机乒乓式转子接地保护动作相关数据

| 序号 | 参数名称 | 数值/k $\Omega$ | 延时/s |
|----|------|---------------|------|
| 1  | 报警值  | 10            | 5    |
| 2  | 跳闸值  | 5             | 10   |

## 故障处理

(1) 将发电机乒乓式转子接地保护切换至发电机注入式转子接地保护，检查测量转子对

地绝缘电阻为30 k $\Omega$ ，转子对地绝缘电阻值仍出现异常，可排除保护装置误报或参数不匹配的可能性。

(2) 对发电机定子上下端部、中性点、转子磁极、大轴接地碳刷、励磁系统等部位进行检查，外观无明显异常。

(3) 检查励磁系统报警信号“ExternalTrip”（外部跳闸信号），检查灭磁开关分闸正常，灭

磁开关灭弧栅外壳无明显弧痕,非线性灭磁电阻无异常,检查转子定位绝缘监测装置显示转子接地电阻 $0.037\text{ M}\Omega$ 。

(4) 现地检查发现靠近14#空冷器侧的定子线棒上端部、定子机座、中性点电流互感器设备表面均有水迹,发电机风洞内地面有大量积水,14#空冷器上水箱进水侧排气阀掉落于13#空冷器与14#空冷器间加热器旁,且14#空冷器上水箱进水侧排气阀仍不断漏水,14#空冷器断裂的排气阀接头如图3所示。

(5) 关闭14#空冷器滴水排气阀的前端球阀。

(6) 清理发电机转子、定子、线棒、空冷器、风洞地面、下机架等处积水,全面检查发电机有无受损情况。

(7) 将#1机组空冷器进水阀全关、出水阀全开,投入发电机风洞内加热器。

(8) 测量发电机转子绝缘电阻值为 $0.1\text{ M}\Omega$ ,定子绝缘电阻值为 $162\text{ M}\Omega$ 。

(9) 将#1机组开机至空转,对发电机定、转子进行加热烘干。

(10) 动态测量发电机转子绝缘电阻值为 $0.148\text{ M}\Omega$ ,静态测量发电机转子绝缘电阻值为 $0.114\text{ M}\Omega$ 。

(11) 经1#发电机空转运行14 h除潮后,静态测量1#机转子绝缘电阻值为 $2.08\text{ M}\Omega$ ,合格;1#机定子绝缘电阻值 $R_{60\text{ s}}$ 为 $198\text{ M}\Omega$ , $R_{15\text{ s}}$ 为 $85.4\text{ M}\Omega$ ,吸收比为2.32,合格。

(12) 1#机组发电态到达,开机并网,机组运行正常。



图3 14#空冷器断裂的排气阀接头

## 原因分析

### (1) 直接原因

#1发电机14#空冷器排气阀接头在运行期间发生断裂,冷却水通过排气管大量喷向#1发电机中性点电流互感器上,其中,一部分水进入到转子内部,降低转子绝缘,导致#1发电机转子一点接地保护动作。

### (2) 间接原因

检查排气阀断裂痕迹,发现排气阀接头处有旧裂纹,排气阀材质为黄铜,质地较脆,安装时排气阀内部极易断裂,且不易被发现,因此,有裂纹的排气阀随着机组运行产生疲劳,裂纹逐步扩大,直至断裂,导致空冷器冷却水直接喷至定子机座并飞溅至转子内部。

## 防范措施

(1) 更换合格的空冷器排气阀,关闭其他机组发电机空冷器排气阀前端球阀,避免同类故障再次发生。

(2) 更换材质好、强度高、管壁厚的空冷器排气阀,增强排气阀自身所能承受的应力。

(3) 完善并明确机组检修工序卡、技术交单单中相关技术要求,如:排气阀安装使用力矩,有效避免机组检修对设备造成的一次损伤。

(4) 研讨技术改造方案,将现有自动排气阀更改为浮球式排气阀,将浮球式排气阀排气口通过管路连接至机组风洞排水沟处。若浮球损坏,水流通过相应管路排至风洞排水沟处,避免定、转子因淋水受潮导致接地的风险。

(5) 严把设备安装、机组检修质量关,不可忽略验收细节与关键部位。

(6) 加强运维人员安全责任心,做实运行巡检及监测维护,巡检时注意检查保护装置中转子一点接地的电阻值是否有跳变趋势,确保有效、高效地开展机组状态检修工作。

## 结束语

(1) 引发水轮发电机转子一点接地故障的原因有多种,需要维护人员根据不同运行状态下发电机转子接地电阻测量值的变化特点,确定查找方法,快速排查故障点,恢复机组安全稳定运行。

(2) 本文介绍的发电机转子淋水受潮,采取投入机坑加热器、同时将发电机投入空转,取得了较好的干燥效果。

(3) 本文介绍的乒乓式及注入式发电机转子一点接地保护准确地反映发电机转子一点接地情况,接地保护动作可靠,有效避免了主设备故障扩大。

(4) 针对大型水轮发电机组,在运行过程中,应全面排查可能导致发电机转子一点接地的隐患。EA

(收稿日期:2015.04.10)

(编辑:白文亭)