

[差动保护]

一起发电机差动保护TA二次开路故障引发保护动作的分析及处理

文/陈 斌
国能（福州）热电有限公司

以600 MW超临界汽轮发电机组发电机中性点TA二次引线开路故障引发发电机差动保护动作的事故为例，对事故原因进行分析和判断，提出处理与预防方案。在后续发电机运行过程中，应加强该部位的巡视监测和维护，制定事故预案，为后续发电机组稳定运行提供有力保障。

国能（福州）热电有限公司一期工程为2×600 MW发电机机组，该发电机机组为上海汽轮发电机有限公司生产的QFSN-600-2型汽轮发电机，发电机保护采用两套美国通用电气公司（General Electric Company）生产的G60型微机发电机保护装置，按A、B屏双重化冗余设计模式配置，发变组保护A屏发电机保护装置编号为G60-I，发变组保护B屏发电机保护装置编号为G60-II。发电机机端配置4组TA（编号为TA5~TA8），发电机中性点侧配置4组TA（编号为TA1~TA4），其中第一组电流互感器TA1与TA8构成A柜G60-I装置中的发电机差动保护一，第二组电流互感器TA2与TA7构成A柜G60-II装置中的发电机差动保护二，TA参数及具体接线情况如图1所示。某日，该厂1#机运行中，发电机中性点TA1中B相二次引出线过热烧断，保护A屏G60-I套装置报“发电机差动保护”动作，机组解列。

故障经过

某日，在发变组保护装置动作前，国能（福州）热电有限公司1#发电机运行负荷577 MW，定子电流为16 657 A，机组运行方式为AGC运行方式，锅炉、汽机和电气各设备运行参数正常，运行曲线无明显大幅异常波动。09:53，1#机发电机1#发

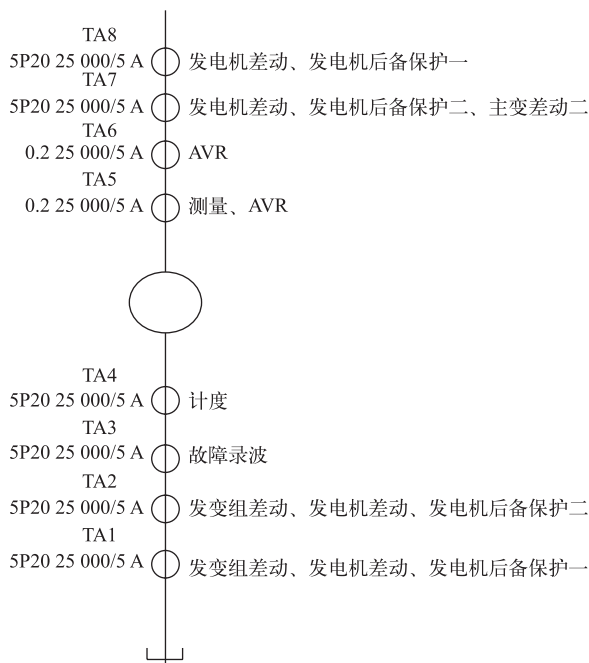


图1 发电机保护TA配置图

变组保护A屏触发“保护TA断线”“发电机差动保护”动作信号，汽机机组跳闸主汽门关闭，锅炉触发MFT逻辑，锅炉灭火，逻辑触发跳开1#主变高压侧5011、5012断路器、跳励磁开关41E、1#机6 kV厂用工作A、1#机6 kV厂用工作B段快切动作正常，6 kV启动备用变压器正常供电。

机组跳闸后，运行人员立即就地检查位于1#机继保间发变组保护装置动作情况。检查发现1#发变组保护A屏G60-I套装置报“发电机差动保护动作”，而双重化配置的1#发变组保护B屏G60-II套装置无报警信号发出，装置未动作。通常情况下，一次设备发生永久性故障时，1#发变组保护A、B屏保护装置应同时动作并且发出同样故障报文。

调阅1#发变组故障录波器参数，确认1#发电机在跳闸前A、B、C三相电流为 $3.337I_e$ 、 $3.342I_e$ 和 $3.349I_e$ 。故障发生时，发电机中性点侧B相电流变为 $0.447I_e$ ，而机端B相电流仍为 $3.342I_e$ ，其余电气量无变化，A、C相无差流。在故障录波器中未发现G60-II装置上电气参数突变的情况，该数据可进一步验证一次设备发生永久性故障的可能性较低。

保护动作的分析和故障排除

通过对保护动作情况和故障录波器参数的分析：在仅有发电机差动保护一中的发电机中性点侧B相电流有突变，而其余电气量无变化的情况下，突变的电流达到了比率差动启动电流值 $0.2I_e$ ，同时保护装置无其他明显异常现象，可以基本确定故障原因为B相的电流差达到了比率差动启动要求，进而引起G60-I装置发电机差动保护动作。而保护B屏中的G60-II套装置无报警信号发出，装置未动作，可以排除发电机本体故障的可能，故障点应在发电机组二次回路上。根据经验分析，引起该现象的原因基本有两种：TA本体故障或二次回路中的二次电缆发生故障。

为了排除故障，国能（福州）热电有限公司做了以下工作：

1) 检查G60-I装置本身运行情况，排除装置异常或故障误发保护动作指令的可能。

2) 全面检查自G60-I装置起的二次回路到中性点TA各电流端子紧固情况，重点检查端子有无松动、虚接或搭接异常等情况。通过检查，未发现以上现象。

3) 利用万用表等检测设备，在保护A屏处测量TA1二次绕组直流电阻，测量情况见表1。

表1 测量情况

TA1	A-N	B-N	C-N
直流阻值/ Ω	6.7	∞	6.6

4) 采取自上而下逐级排查的原则，不放弃每一个细节，自1#发变组TA端子箱处开始，解开TA1的连接片，重新测量TA1二次绕组直流电阻，得到的结果与保护A屏处结果基本一致。鉴于此，可以排除TA1二次回路中保护A屏至1#发变组TA端子箱的二次电缆故障的可能，故障范围缩小至1#发变组TA端子箱至TA1本体的范围内。通过测量保护A屏至TA端子箱二次电缆直流阻值验证了上述结论。

5) 为精准找出故障点，该公司故障查找攻关小组决定打开发电机底部TA二次引出线接线盒，检查接线盒内部二次线情况。经过检查发现TA1二次引出线B相在接线盒接线柱处烧断情况，环氧树脂板上有过热烧黑痕迹，具体情况如图2所示。鉴于此，可以确认本次1#机组跳闸故障原因为发电机中性点侧TA1中B相二次引出线开路引起。



图2 TA二次引线接烧断情况

6) 为尽快恢复1#发电机组正常运行，攻关小组重新对TA1中B相二次引出线进行引接，同时紧固其余端子。

7) 在快速恢复1#发变组TA端子箱内相关连接片后，重新测量TA1二次绕组直流电阻，具体数值见表2。

表2 测量情况

TA1	A-N	B-N	C-N
直流阻值/ Ω	6.7	6.5	6.6

8) 由于TA1的电流比很大，二次开路时会产生很高电压，可能会损坏电缆和设备本身，甚至发生火灾，检查相关电缆和TA外观，未发现异常。为了进一步验证TA1二次引出线开路是否造成TA1本体故障，除了进行直流电阻测试外，还进行了伏安特性试验、绝缘测试、通流测试和外观检查等，经过试验可知，各项试验结果均合格。

9) 保险起见,对发电机进行相应的电气试验,使用发电机专用绝缘电阻表测量发电机定子绕组1 min和10 min的绝缘值,绝缘值与之前各次正常停机后测量值接近,极化指数满足要求;测量A、B、C三相直流阻值也满足要求。验证发电机一次设备没有存在故障的可能。

10) 故障排除后,国能(福州)热电有限公司向福建省电力调度中心申请1#机开机重新并网运行。

TA二次开路的原因分析

根据现场检查情况,发现故障点TA本体内部引出线接至TA端部就地接线柱处的环氧树脂板上有过热烧黑和TA二次引线在线鼻子烧融碳化的情况,故障抢修攻关小组经过分析,确认造成此次TA二次开路的原因主要有以下几点:

1) TA1 B相内部引出线接线工艺较差,施工人员在剥线时存在力度控制不当,造成线芯受损而未及时发现并更换受损线芯。长期运行情况下,致使引线在接线鼻子处烧断;或施工人员压线鼻子的质量不到位,引线与线鼻子接触不良,造成引线长期过热烧断。

2) TA端部就地接线盒位于发电机底部出线罩区,该位置运行环境相对恶劣,在机组运行期间处于高频振动状态且电磁感应严重,接线柱上的紧固螺母会出现松动或线鼻子松动的情况,接线松动后,线缆的接触电阻增加造成过热,引线烧断;而且TA端部就地接线盒所处的位置散热条件较差,环境温度相对较高,接线盒温度长期高于60℃,二次引出线氧化的程度加重,绝缘老化,引起不正常的发热。

3) 通过查阅检修记录,1#发变组先后进行过多次大小修,但由于各种原因,维护人员均未对该处进行检查,进而没有及早发现该处隐患。

整改及预防措施

1) 制定专项巡视检查方案,利用红外成像装置、红外测温枪等仪器,对发电机底部的TA接线盒进行日常测温检查,记录温度变化曲线,同时定期抄录差流参数,综合分析TA运行状态。

2) 将发电机底部出线罩区处的各TA及接线盒

的测温工作纳入定期工作清单中,同时增加通风设备设施,做好该区域的通风降温工作,提高运行环境状态,降低风险。

3) 制定专项检修方案,利用机组停运大小修契机,全面检查发变组各TA端子状态,重点检查接线是否有松动,接线柱和引线处是否有过热和损伤现象,同时测量保护屏至TA直流电阻,对比各相偏差值。

4) 将发变组各TA接线盒纳入机组大小修必查项目,检查端子紧固情况,连接片是否腐蚀、连接是否可靠等,并且对TA进行相应的试验,如直阻测量等,防范于未然。

5) 考虑将TA二次引出线连接处增加点焊或将硬连接改成多股软铜线的软连接,用于减少机组正常运行过程中振动引起接线紧固螺母松动的几率。

结束语

大容量机组中发变组所用TA电流比较大,TA二次开路时会产生较高的过电压,严重的会引起火灾事故,损坏设备,威胁机组安全运行。发变组所用TA独有的特色,也是目前大容量机组广泛采用TA断线不闭锁差动保护的原因。因此,在基建期间,对设备安装工艺要求及验收环节要严上加严,将隐患扼杀在萌芽状态,在现场运行和维护过程中,也需要定期对TA、TV等二次回路巡视和维护,全面提高发电机安全运行水平。EA

(收稿日期:2022-10-15)

参考文献

- [1] 宋俊峰,曹建民,等.机端TA故障致主变差动保护动作的分析及预防[J].电力安全技术,2016,18(8):28-30.
- [2] 唐芳轩.电流互感器故障使发电机差动保护动作分析[J].电力设备,2004,32(1):63-64.
- [3] 周宁.和应涌流对变压器差动保护影响分析[J].电气应用,2021,40(3):73-78.
- [4] 倪继文,杨世强,张钢,等.制动电流对变压器差动保护起动电流校验的影响[J].电气应用,2021,40(1):79-82.