

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2018.08.016

某大型水电站发电机两起定子一点接地故障分析

肖启露

(雅砻江流域水电开发有限公司 四川 成都 610021)

摘要: 发电机定子绕组单相接地故障,是发电机常见的一种电气故障。针对某大型水电站 6 号发电机两起定子一点接地故障保护动作,导致该发电机跳闸停运事故,通过对比分析故障前后发电机机端电压、主变低压侧电压、零序电压、零序电流的变化情况,以及故障后的绝缘耐压试验,找出故障原因,并以此判断故障位置,为事故处置及设备检修提供依据,缩短了机组从故障到恢复运行的时间。

关键词: 发电机; 定子一点接地; 保护原理; 基波零序电压; 故障分析

中图分类号: TM312 **文献标志码:** B **文章编号:** 1671-3354(2018)08-0067-04

Analysis of Two One-point Grounding Faults of Generator Stator in a Large-scale Hydropower Station

XIAO Qilu

(Yalong River Hydropower Development Co., Ltd., Chengdu 610021, China)

Abstract: The single-phase grounding fault of stator winding is a common electrical fault in power generators. In a large-scale hydropower station, a tripping shutdown accident happened in the 6# power generator, which is induced by two one-point grounding protection actions. Changes of the generator terminal voltage, the voltage of the main transformer low voltage side, the zero sequence voltage, and the zero sequence current before and after the faults are analyzed. Also, insulation resistance test is carried out. Possible reasons and locations of the faults are then determined. The results provide useful information for the accident treatment and equipment maintenance. The time for the unit to recover operation is shortened.

Key words: power generator; one-point grounding of stator; protection principle; fundamental zero sequence voltage; fault analysis

定子绕组单相接地是发电机最常见的故障之一,会导致非接地相对地电压升高为线电压,危及对地绝缘。如果非接地相绝缘较弱,则可能造成非接地相也发生接地故障,从而发展成相间接地短路^[1]。另外,定子绕组单相接地流过故障点的电容电流还会产生电弧,可能烧毁定子铁芯,进一步造成匝间短路或相间短路,使发电机遭受更严重破坏,破坏的严重程度取决于短路电流大小和持续时间长^[2-3]。大型发电机在电力系统中占有主导地位,而且结构复杂,损坏后修复困难,因此大型发电机安装定子接地保护装置显得尤为重要。我国《继电保护及安全自动装置设计技术规程》(GB/T14258-2006)规定,容量为 100 MW 及以上

的发电机应装设 100% 定子接地保护装置。

1 机组概况

某大型水电站 600 MW 机组发电机为某电机厂产品,额定容量 649 MVA,机端额定电压为 20 kV,采用双路径向无风扇密闭自循环全空冷冷却方式。发电机励磁系统采用某公司生产的自并励数字式静止可控硅励磁系统,由机端励磁变压器降压,经静止可控硅整流励磁。发电机与主变压器采用单元接线方式,发电机出口经离相封闭母线直接与发电机出口电压互感器(PT)、励磁变压器、发电机出口开关(GCB)、主变低压侧电压互感器(PT)、厂用变压器、主变压器、主变低压

收稿日期: 2018-05-10

作者简介: 肖启露,男,助理工程师,从事水电站运行方面的工作。

侧避雷器相连,升压后经 500 kV 母线向系统供电,发电机中性点经接地变压器进行接地。某大型水电站 600 MW 水轮发电机采用由“基波零序+三次谐波”定子接地保护和注入式定子接地保护构成双重化 100% 定子接地保护。

某大型水电站发变组故障录波为武汉某公司制造,每个发变组单元配置 1 台故障录波装置。故障录波器用于电力系统,可在系统发生故障时,自动、准确地记录故障前、后过程的各种电气量的变化情况,通过对这些电气量的分析、比较,对分析处理事故、判断保护是否正确动作、提高电力系统安全运行水平有着重要作用。

2 两起定子一点接地故障保护动作情况

1) 2013-10-10 日某大型水电站 6 号机定子一点接地保护动作过程。

2013-10-10 日 16:11,某大型水电站监控系统报“6 号机组事故跳发电机断路器 1(水机开出信号)动作、6 号机组 61YH 端子箱消谐装置接地报警、机组 6BYH 端子箱消谐装置接地报警、6 号发电机保护 A 屏定子接地跳闸动作、6 号发电机保护 B 屏定子接地跳闸动作、6 号发电机保护 A 屏频率保护跳闸动作、6 号发电机保护 B 屏频率保护跳闸动作”等信号,6 号机电气事故停机流程启动,发电机出口开关 GCB、灭磁开关 FCB 跳闸,机组解列,甩负荷 500 MW。通过对 6 号发电机保护装置和故障录波装置的数据分析(见表 1、表 2),可判断故障为发电机定子 B 相连接的一次回路发生故障。通过进一步分析故障录波数据,故障持续时间 0.5 s,在发电机保护动作断开 6 号 GCB 的同时机端故障量消失,发电机出口电压三相恢复平衡。

表 1 故障时发电机保护屏所测电气量

	动作值	动作定值
零序电流(二次值)/mA	923	450
定子接地电阻/kΩ	5.78	-
动作时间/ms	567	500
中性点零序电压/V	22.78	-
机端零序电压/V	24.9	-

表 2 故障时发电机出口 PT 所测电气量单位 V

U_a	U_b	U_c	$3U_0$
72.51	46.57	58.53	37

2) 2014-02-12 日某大型水电站 6 号机定子一点接地保护动作过程。

2014-02-12 日 04:39,某大型水电站监控系统报“6 号机组 61YH 端子箱消谐装置接地报警、6 号机组 6BYH 端子箱消谐装置接地报警、6 号发电机保护 A 屏定子接地跳闸动作、6 号发电机保护 B 屏定子接地跳闸动作”等信号。6 号发电机在开机并网发出同期合闸令后,GCB 合闸前定子一点接地保护动作,6 号机电气事故停机流程启动,灭磁开关 FCB 跳闸。6 号机组定子接地故障发生在机组空载态,通过对 6 号发电机保护装置和故障录波装置的数据分析(见表 3、表 4),据此判断故障点在发电机 B 相机端至 GCB 内侧连接的一次回路发生金属性接地故障。在 6 号发电机保护动作断开 6 号灭磁开关 FCB 后 2.6 s 发电机出口电压三相恢复平衡, U_a : 15.82 V、 U_b : 15.845 V、 U_c : 15.055 V 机端零序电压消失。

表 3 故障时发电机保护屏所测电气量

	动作值	动作定值
零序电流(二次值)/mA	4 014	450
定子接地电阻/kΩ	24.15	-
动作时间/ms	498	500
中性点零序电压/V	91.47	-
机端零序电压/V	99.76	-

表 4 故障时发电机出口 PT 所测电气量 V

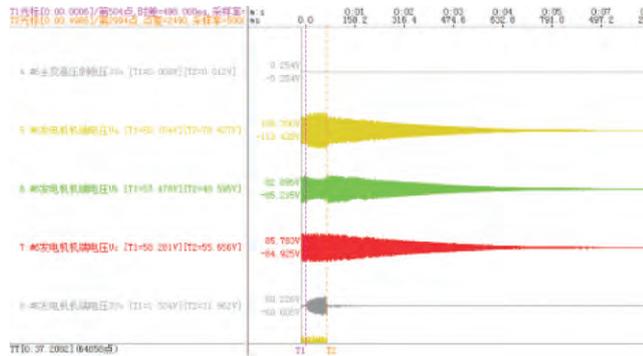
U_a	U_b	U_c	$3U_0$
100.12	0.235	100.06	98.744

3 故障点分析查找与处理

3.1 2013-10-10 日某大型水电站 6 号机定子一点接地故障点分析查找

1) 故障录波波形分析。通过查看故障录波波形图(见图 1) 6 号发电机 A、B 套保护装置定子接地保护正确动作,机组顺利解列停机。从故障录波波形图可以看出,机端零序电压突变为 36 V,经过 0.5 s 延时正常跳闸。故障发生后,发电机 A 相电压升高至 78 V,发电机 B 相电压降低至 42 V,发电机 C 相电压升高至 60 V,发电机定子绕组采用三相 6 分支 Y 形接线,此接线方式下发生接地故障后,明显特征是故障相电压降低,非故障相电压升高,由于 B 相电压并未降至接近 0 V,由此可以判断:故障类型为 B 相非金属性单相接地。从图 1 中可以看出,T1 时刻(即 0 ms)为接地故障开始时刻,经过 500 ms 延时,在 T2 时刻(即 500 ms)保护出口跳开发电机出口开关,之后发电机 B 相电压明显升高至与 A、C 相一致,且零序电压 $3U_0$ 立

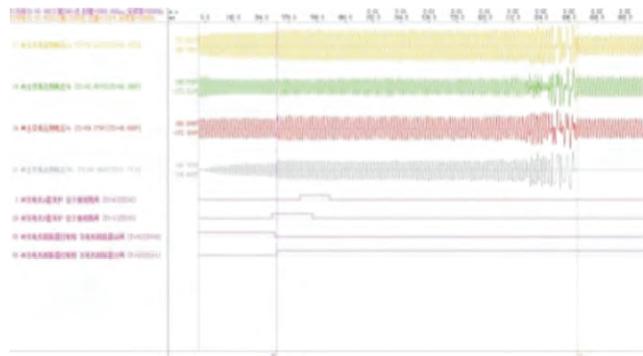
即消失,且其零序电压接近0 V,说明在发电机 GCB 跳开的瞬间从发电机中性点至 GCB 内侧的故障消失,从而判断故障位置有两种可能:①在 GCB 内侧,GCB 跳开过程中,瞬时故障正好消失;②在 GCB 外侧至主变低压侧或至厂高变高压侧或 IPB 封闭母线,不在 GCB 到发电机范围内。



注: T1时刻为接地故障开始时刻; T2时刻为保护动作跳开发电机出口开关时刻。

图1 6号机定子接地机端电压波形图

分析图2可以得出,发生故障后(即0 ms),主变低压侧A相电压升高至78 V,主变低压侧B相电压降低至43 V,主变低压侧C相电压升高至60 V,主变低压侧零序电压变为36 V。直到T1时刻(即500 ms)保护动作跳开发电机出口开关,在发电机出口开关 GCB 跳开后,主变低压侧三相电压及零序电压在1 700 ms内仍保持接地故障的波形,故障仍然存在,在1 700 ~ 2 000 ms时间段由于发生分频铁磁谐振,主变低压侧三相电压周期性轮流上升。发生铁磁谐振时,消谐装置投入,在T2时刻(即2 000 ms)后主变低压侧三相电压及零序电压恢复正常。据此判断故障点发生在GCB至主变低压侧范围内,包含主变低压侧、IPB,与IPB直连的厂高变高压侧、主变低压侧PT一次侧,发生瞬时性非金属接地一次故障。



注: T1时刻为保护动作跳开发电机出口开关时刻; T2时刻为主变低压侧三相电压及零序电压恢复正常时刻。

图2 6号机定子接地主变低压侧电压波形图

2) 试验检查分析。6号发电机20 kV系统转检修后,通过对发电机本体、GCB至发电机侧一次设备、GCB至发电机侧离相封闭母线进行全面检查、测量及耐压试验,均未发现明显异常,相应设备绝缘电阻、吸收比及极化指数均合格,进入IPB筒内检查支柱绝缘子、导体及CT,无放电痕迹。6号机组开机带GCB进行零起升压,电压分别升至10% U_e 、25% U_e 、50% U_e 、75% U_e ,每阶段持续10 min,升至105% U_e 时,持续时间40 min。零起升压过程中,发电机出口三相电压平衡,无零序电压,机组其他运行数据正常,发电机、IPB、励磁变、PT柜等一次设备运行正常。于是6号机组于10月11日11:08申请并网带500 MW有功运行。

10月29日利用线路停电计划,申请调度同意对6号机IPB进行全面检查、试验。对主变低压侧至GCB段IPB B相进行两次交流耐压试验,耐压至42.4 kV时,均出现击穿现象,伴有放电声音。通过声音判断故障点位于主变低压侧PT柜B相上方分支母线区域。进入IPB筒内检查,发现主变低压侧PT柜B相上方第一组支柱绝缘子中的1支绝缘子(每组3个支柱绝缘子)已碎裂成多块,其中上面一块从根部斜挂在筒体和母线导体之间,其余几块掉落(见图3)。

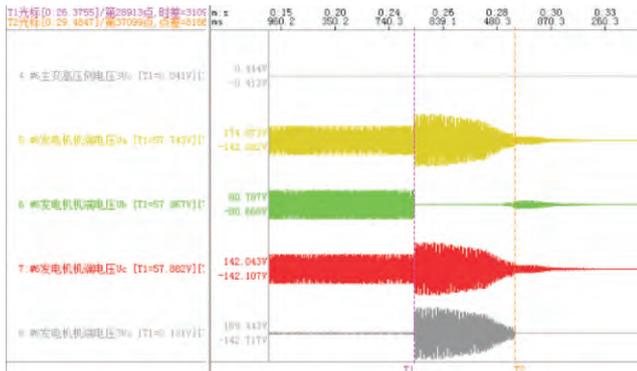


图3 主变低压侧PT柜上方故障支柱绝缘子破裂掉落

3.2 2014-02-12日某大型水电站6号机定子一点接地故障点分析查找

1) 故障录波波形分析。通过查看故障录波波形图6号发电机A、B套保护装置定子接地保护正确动作,灭磁开关FCB跳闸,机组顺利灭磁停机,成功将故障点隔离。故障发生后,发电机A相电压升高至100.12 V,发电机B相电压降低至0.235 V,发电机C相电压升高至100.06 V,机端零序电压突变为98.744 V,由于B相电压降至接近0 V,由此可以判断:故障类型为B相金属性单相接地。从图4中可以看出,T1时刻(即0 ms)为接地故障开始时刻,经过500 ms延时,在T2时刻(即500 ms)保护出口跳开灭磁开关,转子绕组通过非线性电阻灭磁后,发电机出口电压三相恢复平衡,机端零序电压 $3U_0$ 立即消失,由

此可以说明在灭磁开关 FCB 跳开灭磁后从发电机中性点至 GCB 内侧的故障电气量消失,从而断定故障位置在 GCB 到发电机范围内。



注: T1时刻为接地故障开始时刻; T2时刻为保护动作跳开灭磁开关时刻。

图4 6号机定子接地机端电压波形图

2) 试验检查分析。故障发生后,通过对发电机本体、GCB 至发电机侧一次设备、GCB 至发电机侧离相封闭母线进行全面检查、测量,均未发现明显异常,相应设备绝缘电阻、吸收比及极化指数均合格。经过两次交流耐压试验确定放电点位置,检查发现由于安装质量问题,离相封闭母线 CT(GCB 靠发电机侧)的等电位线未整理固定,因现场环境及设备振动,出现松动脱落,最后与 IPB 外壳绝缘距离不够(约 2 cm),导致运行中母线对地放电,等电位线及外壳出现明显的放电痕迹(见图 5)。经过专业班组对 CT 的等电位线进行整理固定,保证足够的绝缘距离后,再次对发电机至 GCB 间的 IPB 进行绝缘电阻测试及交流耐压试验(47 kV, 1 min),试验通过,故障消除。



图5 6号机离相封闭母线 CT(GCB 靠发电机侧)的等电位线与 IPB 外壳绝缘距离不够

4 6号机两起定子一点接地故障对比

从某大型水电站 6 号机两起定子一点接地机端电压波形图可以看出:在故障发生后,故障相电压均降低,非故障相电压均升高。在 6 号机第一次定子接地

故障 GCB 跳闸后,机端零序电压立即消失,故障相机端电压恢复至与非故障相一致,且其变化趋势也一致,另外结合定子接地主变低压侧电压波形图,GCB 跳闸后,主变低压侧故障相电压未恢复至与非故障相一致,且零序电压一直存在,而在 6 号机第二次定子接地故障中,由于机组在空载态发生的定子接地,灭磁开关 FCB 跳闸前,机端电压三相不平衡,当灭磁开关 FCB 跳闸灭磁过程中,故障相机端电压逐步恢复至与非故障相一致,直至机端电压三相消失。

从以上分析可以得出,当发电机定子发生接地故障时,GCB 跳开后,FCB 跳闸前,若故障相机端电压与非故障相机端电压仍保持与 GCB 跳闸前一致,且机端零序电压一直存在,同时故障相的主变低压侧电压与非故障相电压恢复至三相电压平衡,其变化趋势一致,则可判定接地故障发生在 GCB 内侧;当发电机定子发生接地故障时,GCB 跳开后,若故障相机端电压与非故障相机端电压恢复至三相电压平衡,其变化趋势一致,且故障相的主变低压侧电压与非故障相电压三相仍不平衡,同时零序电压一直存在,则接地故障发生在 GCB 外侧。

5 结 语

在发生发电机定子接地故障后,判断故障点的位置区间是现场检查的第一步^[4],以求高效、合理、经济地处理事故。注入式发电机定子 100% 一点接地保护和基波零序电压 + 三次谐波电压型发电机定子 100% 一点接地保护有机结合,形成定子保护双重化配置,综合提高了保护在机端和中性点附近的灵敏度^[5]。在外加电源故障或断线时仍然有基波零序保护,不存在无保护状态。定子接地多判据保护同时也提高了保护的可靠性,可以缩短保护延时,及时切除故障。保护动作后通过保护装置及故障录波提供的数据可以快速判断故障位置,分析故障原因和故障类型,有助于故障的快速处理,同时保证发电量和机组的安全运行。

参考文献:

[1] 郑华杰,张国民,王焕. 1000MW 机组定子接地事故分析与处理[J]. 电力安全技术,2016,18(1): 21-23
 [2] 梁颖. 发电机定子接地保护动作的原因分析及处理[J]. 高电压技术,2007,33(6): 194-195
 [3] 张建忠,张志猛,岳啸鸣,等. 600MW 发电机定子一点接地故障的查找及处理[J]. 华电技术,2013,35(3): 45-47
 [4] 高瑜,季杰,蔡显岗. 发电机定子一点接地故障快速定位法的分析和应用[J]. 水力发电,2016,42(7): 93-96
 [5] 王翔,张成,沈全荣. 一次典型的定子接地故障分析与优化保护原理[J]. 电力系统自动化,2006,30(11): 52-55