

一起发电机注入式定子接地保护动作原因分析及检查处理

覃战, 李燕伟, 张彪, 蒋辽骥

华能西藏雅鲁藏布江水电开发投资有限公司藏木水电厂 西藏山南

【摘要】某水电站曾发生发电机组注入式定子接地保护动作导致停机事故, 通过检查发现引起事故的原因为机组出口电压互感器 A 相熔断器熔丝断线, 导致发电机出口零序电压异常, 最终引起发电机 A 套注入式定子接地保护动作, 本文从保护动作原理、保护动作报告、故障录波等信息着手, 分析事故的原因, 并进行检查处理, 为了避免此类事故再次发生造成经济损失和不安全事件, 根据发现的问题, 提出预防措施。

【关键词】发电机组; 定子接地保护; 保护动作; 检查处理

【收稿日期】2022 年 11 月 14 日 **【出刊日期】**2022 年 12 月 23 日 **【DOI】**10.12208/j.eea.20220072

Operation Analysis and Optimization of Leakage Drainage System of Hydropower Station

Zhan Qin, Yanwei Li, Biao Zhang, Liaoji Jiang

Huaneng Tibet YarlungZangbo Hydropower Development Investment Co, Ltd. Zangmu Hydropower Plant
Shannan Tibet

【Abstract】A hydropower station once had a shutdown accident caused by the injection type stator grounding protection action of the generator unit. Through inspection, it was found that the cause of the accident was that the fuse of phase A fuse of the voltage transformer at the outlet of the unit was broken, which led to the abnormal zero sequence voltage at the outlet of the generator, and finally caused the injection type stator grounding protection action of the generator set A. This paper starts from the protection action principle, protection action report, fault recording and other information, Analyze the cause of the accident and carry out inspection and handling. In order to avoid economic losses and unsafe events caused by such accidents, propose preventive measures according to the problems found.

【Keywords】 generator set; Stator grounding protection; Protection action; Inspection and handling

某水电站共装有 3 台发电机组, 其中#3 发电机组于 2020 年 12 月安装完毕, 各项试验合格后投入正常运行, 机组工况良好, 历次电气试验数据未见异常。见表 1。

发电机采用发电机组-主变压器组主接线方式, 发电机组中性点采用接地变压器接地。#3 发电机组 A、B 柜保护均采用北京四方继保公司 CSC-300F 型微机继电保护装置, 保护 A 柜机端电压取自机组出口 31PT, 保护 B 柜机端电压取自机组出口 32PT。

发电机组保护 A 柜的定子注入式接地保护

20Hz 电压接至 0.5kV 绕组, 两端并联电阻 0.66Ω , 回路接两组 CT (CT1 600/1A 二次绕组接至机组监控 LCU; CT2 400/5A 二次绕组接至发电机保护 A 柜的 Ig0), 0.1 kV 绕组分别接至发电机保护 A 柜的 Ug0 和机组故障录波装置。机组主接线如图 1 所示。

1 事故现象

(1) 07:43:51, 上位机报: “#3 发电机组电气事故 A”; (2) 07:43:51, 上位机报: “#3 发电机组保护 A 屏三相操作箱出口跳闸 1”; (3) 07:43:51,

作者简介: 覃战 (1989-) 男, 汉族, 四川达州, 本科, 中级工程师, 运维部运行值长, 研究方向: 水电站运行。李燕伟 (1989-) 男, 汉族, 河北张家口, 本科, 中级工程师, 运维部运行主管, 研究方向: 水电站运行。张彪 (1990-) 男, 汉族, 四川资阳, 本科, 中级工程师, 运维部运行值长, 研究方向: 水电站运行。蒋辽骥 (1998-) 男, 汉族, 四川内江, 本科, 助理工程师, 运维部运行值班员, 研究方向: 水电站运行。

上位机报：“#3 发电机组调速器紧急动作反馈”；
 (4) 07:43:51, 上位机报：“#3 发电机组保护 A 屏电气事故停机”；
 (5) 07:43:51, 上位机报：“#3 发电机组保护 A 屏定子接地保护动作”；
 (6) 07:43:51, 上位机报：“开关站安控装置 A 柜装置动作”；
 (7) 07:43:51, 上位机报：“开关站安控装置 B 柜装置动作”；
 (8) 07:43:51, 上位机报：“#3 发电机组水机电气事故停机启动信号”；
 (9) 07:43:51, 上位机报：“#3 发电机组电气事故停机启动信号”；
 (10) 07:43:51, 上位机报：“#3 发电机组励磁过压保护动作”；
 (11) 07:43:51 #3 发电机组保护 A 屏定子接地保护动作, #3 发电机组出口 133 开关跳闸, 甩负荷 58MW。

2 保护原理

2.1 注入式定子接地保护又称外加

20Hz 低频交流电源型定子接地保护, 可以保护发电机 100% 定子绕组、主变低压侧以及高厂变高压侧范围内的单相接地故障, 且不受发电机运行工况的影响。保护通过外加电源向发电机定子绕组中注入幅值很低的 20Hz 低频交流信号, 20Hz 信号约占发电机额定电压的 1% 至 3%。保护采集注入的 20Hz 电压信号和反馈回来的 20Hz 电流信号, 计算发电机定子绕组对地绝缘电阻。通过监视定子绕组的对地绝缘状况, 可以灵敏而可靠地探测到定子回路的接地故障。注入式定子接地保护接线和原理如图 2 和图 3 所示。保护通过测量图中 20Hz 低频交流信号回路的电压和电流矢量 UG_0 和 IG_0 , 计算出复合阻抗, 从而可以得出接地电阻的欧姆值。

2.2 当测量电阻值低于定值后保护动作, 保护设置为两段, 低定值段跳闸, 高定值段发信号

注入式定子接地跳闸段要判别发电机接地电流是否大于机组允许的安全接地电流, 根据规程要求当接地电流大于机组允许的安全接地电流时保护动作于跳闸。另外除了计算接地电阻外, 保护装置还通过监视接地地电流的有效值来反应定子接地事故, 接地电流考虑了所有的频率分量。当接地电流大于定值且机端开口三角电压大于 10V 时保护动作于跳闸, 用作后备保护段, 可以覆盖约 80% 到 90% 的保护范围。

2.3 注入式接地保护主要定值如下表 2

2.4 保护动作逻辑图如 4 所示

3 现场检查

某水电站#3 发电机异常停机后, 立即通知运行人员对一次、二次设备做好安全隔离措施, 专业人员检查情况如下: (1) 保护动作信息: #3 发电机组保护 A 套定子注入式接地保护动作, 如图 5 所示, 发电机保护 A 屏三相操作箱出口跳闸 1 动作。零序电压 U_0 为 11.25V, 发电机保护 B 套基波定子接地保护未动作。(2) #3 发电机组保护 A、B 套保护装置运行正常, 电压二次回路端子无松动、脱落、短接情况, 测量电压二次回路线缆绝缘电阻均大于 $100M\Omega$ 。(3) #3 发电机组定子无明显故障点, 测量定子绝缘电阻均大于 $1000M\Omega$, 发电机组出口设备无明显故障点。(4) 检查#3 发电机组出口电压互感器 31PT A 相熔断器, 电阻值为“无穷大”(正常值为 85Ω 左右), 判断该熔断器熔丝断线, 如图 6 所示。(5) 检查#3 发电机组故障录波装置, 发现因该事件发生时故障录波装置频繁动作导致导致装置死机, 未能正常记录故障信息。

4 现场处理

(1) 对#3 发电机出口电压互感器 31PT A 相熔断器进行了更换并检验合格, 如图 7 所示;

(2) 对#3 发电机出口电压互感器 31PT A 相进行绝缘电阻、直流电阻和变比试验, 试验结果合格, 试验数据如下表所示:

(3) 对#3 发电机及附属设备进行零起升压, 测量各 PT 二次电压值, 测值正常, 测量数据如下表所示:

5 事故原因分析

5.1 保护动作原因分析

(1) 检查发现, 在#3 发电机组投产前注入式接地保护的定值计算和设计均是使用电压互感器变比为 600/1A, 而现场实际安装使用的电压互感器变比为 400/5A, 数值相差了 7.5 倍。按照北京四方继保公司提供的 CT 电流变比, 零序电流 I_{g0} 定值应该为 0.55A, 而实际整定的是为 0.07A, 计算和整定的零序电流定值仅为实际值的 0.13 倍。机组正常运行中, 只要零序电流稍有较大漂移, 零序电流跳闸定值就会满足。

(2) #3 发电机组 A、B 两套保护机端电压分别取自机组出口 31PT 和 32PT 两组电压互感器, 由于 #3 发电机出口电压互感器 31PT A 相高压熔断器熔

丝断线, 导致#3 发电机出口电压互感器 31PT A 相电压异常, 产生 11.25V 出口零序电压, 大于 A 套定子注入式接地保护定值 10.0V, 同时 20Hz 注入回路的电流由于测量误差等原因, 检测到的电流 $I_{G0} \geq 0.07A$, 导致注入式定子接地保护动作逻辑条件满足, 延时 1s 后保护动作跳闸停机。B 套保护因电压取自出口电压互感器 32PT, 期间电压测量正常, 故 B 套基波接地保护未动作。

5.2 熔断器断线原因分析

现场对断线的#3 发电机出口电压互感器 31PT A 相熔断器进行拆解检查, 发现熔断器熔丝焊接点(导线与保险丝连接) 1cm 处出现明显断点, 断点处未发现明显烧熔现象。经分析该熔断器在制造焊接时熔丝断线处可能因受力引起折痕缺陷, 在运输和长期运行过程中由于振动、内部石英砂摩擦等因素, 导致熔断器熔丝断线, 如图 6 所示。

表 1 #3 发电机组主要参数

| 名称 | 参数 | 名称 | 参数 |
|-------------|----------------|---------------|--------|
| 机组型号 | SF120-54/11100 | 机组额定容量 (MW) | 120 |
| 机组额定电压 (kV) | 13.8 | 额定电流 (A) | 5737.6 |
| 额定功率因素 | 0.875 (滞后) | 额定转速 (r/min) | 111.1 |
| 制造厂家 | 浙江富春江 | 机组接地变压器 (kVA) | 90 |
| 额定电压 (kV) | 13.8 / 0.5/0.1 | | |

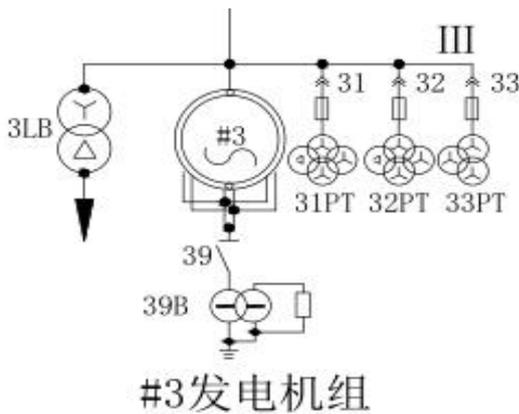


图 1 #3 发电机组主接线图

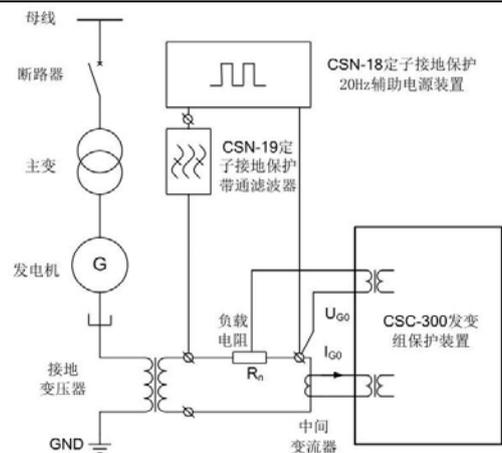


图 2 注入式定子接地保护接线图

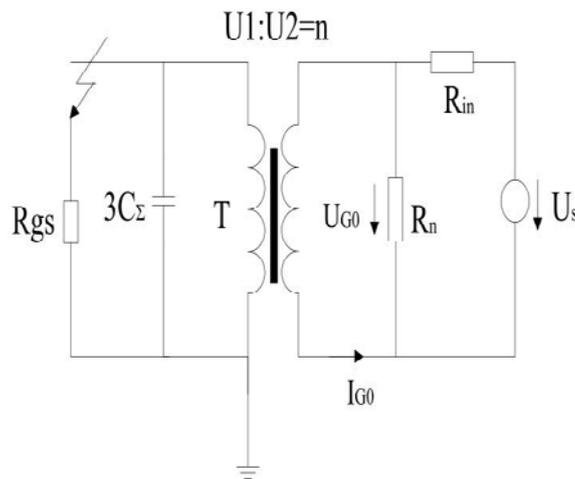


图 3 注入式定子接地保护原理图

表 2 注入式接地保护主要定值

| 序号 | 注入式接地保护 | 定值 | 备注 |
|----|----------|-------------|----------------------|
| 1 | 压板投入 | 1 | |
| 2 | 零序电压 | 10V | 机端 31PT 的零序电压 $3U_0$ |
| 3 | 零序电流 | 0.07A | 20Hz 的零序电流 I_{g0} |
| 4 | 告警段延时 T1 | 5s | 发信报警 |
| 5 | 跳闸段延时 T2 | 1s | T2 延时、跳闸、灭磁、停机 |
| 6 | 接地告警电阻 | 1k Ω | |
| 7 | 接地跳闸电阻 | 2k Ω | |

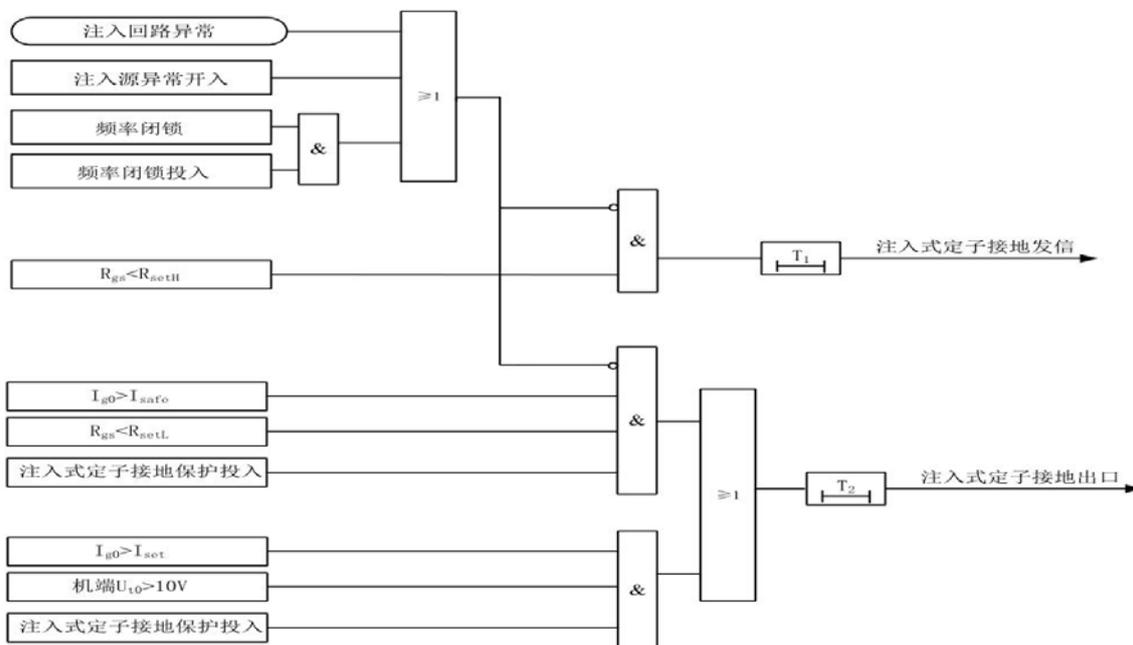


图 4 注入式定子接地保护动作逻辑图



图 5 #3 发电机组 A 套保护装置动作报告

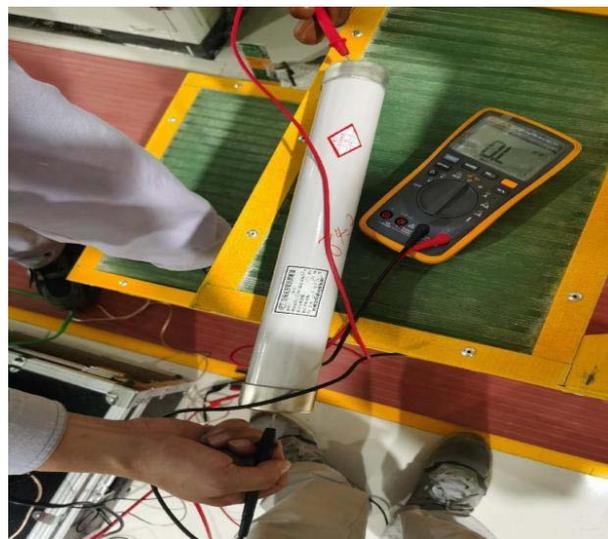


图 6 31PT A 相熔断器检查

表 3 绝缘电阻、直流电阻和变比试验结果数据

| | | 绝缘电阻 | | |
|---------|--------|-------------|------------|-------------|
| | | 电压 | 测值 | |
| 一次对二次及地 | | 2500V | >100GΩ | |
| | | 直流电阻 | | |
| | A-N | 1a-1n | 2a-2n | da-dn |
| 测试数据 | 966.7Ω | 45.77mΩ | 177.5mΩ | 163.7mΩ |
| | | 变比测试 | | |
| | | A-N/1a-1n | A-N/2a-2n | A-N/da-dn |
| 测试结果 | | 7.957/57.74 | 7.95/57.74 | 7.861/33.33 |

结论: 各项参数合格。

表 4 零起升压试验数据

| 机端电压百分比 | | 0.00% | 25.00% | 50.00% | 75.00% | 100.00% |
|--------------------|--------|-------|--------|--------|--------|---------|
| 测试位置 | | | | | | |
| 励磁调节屏 A 套发电机出口电压 | UAB(V) | 1.5 | 24 | 51 | 74.8 | 99.6 |
| | UBC(V) | 1.5 | 24 | 51 | 74.8 | 99.6 |
| | UAC(V) | 1.5 | 24 | 51 | 74.8 | 99.6 |
| 励磁调节屏 B 套发电机出口电压 | UAB(V) | 1.5 | 24 | 51 | 74.8 | 99.6 |
| | UBC(V) | 1.5 | 24 | 51 | 74.8 | 99.6 |
| | UAC(V) | 1.5 | 24 | 51 | 74.8 | 99.6 |
| LCU33-3 交采表发电机出口电压 | UAB(V) | 1.5 | 24 | 51 | 74.8 | 99.6 |
| | UBC(V) | 1.5 | 24 | 51 | 74.8 | 99.6 |
| LCU33-2 同期发电机出口电压 | UAB(V) | 1.5 | 24 | 51 | 74.8 | 99.6 |
| | UBC(V) | 1.5 | 24 | 51 | 74.8 | 99.6 |
| 发电机保护 A 柜发电机出口电压 | UAB(V) | 1.5 | 24 | 51 | 74.8 | 99.6 |
| | UBC(V) | 1.5 | 24 | 51 | 74.8 | 99.6 |
| | UAC(V) | 1.5 | 24 | 51 | 74.8 | 99.6 |
| | 3U0 | 0.76 | 1.54 | 2.98 | 4.4 | 5.7 |
| | UAB(V) | 1.5 | 24 | 51 | 74.8 | 99.6 |
| | UBC(V) | 1.5 | 24 | 51 | 74.8 | 99.6 |
| 发电机保护 B 柜发电机出口电压 | UAB(V) | 1.5 | 24 | 51 | 74.8 | 99.6 |
| | UBC(V) | 1.5 | 24 | 51 | 74.8 | 99.6 |
| | UAC(V) | 1.5 | 24 | 51 | 74.8 | 99.6 |
| | 3U0 | 0.76 | 1.54 | 2.98 | 4.4 | 5.7 |
| | UAB(V) | 1.5 | 24 | 51 | 74.8 | 99.6 |
| | UBC(V) | 1.5 | 24 | 51 | 74.8 | 99.6 |
| 调速器电柜发电机出口电压 1 | UAB(V) | 1.5 | 24 | 51 | 74.8 | 99.6 |
| | UBC(V) | 1.5 | 24 | 51 | 74.8 | 99.6 |
| | UAC(V) | 1.5 | 24 | 51 | 74.8 | 99.6 |
| 调速器电柜发电机出口电压 2 | UAB(V) | 1.5 | 24 | 51 | 74.8 | 99.6 |
| | UBC(V) | 1.5 | 24 | 51 | 74.8 | 99.6 |
| | UAC(V) | 1.5 | 24 | 51 | 74.8 | 99.6 |
| 故障录波柜发电机出口电压 | UAB(V) | 1.5 | 24 | 51 | 74.8 | 99.6 |
| | UBC(V) | 1.5 | 24 | 51 | 74.8 | 99.6 |
| | UAC(V) | 1.5 | 24 | 51 | 74.8 | 99.6 |
| PMU | UAB(V) | 1.5 | 24 | 51 | 74.8 | 99.6 |
| | UBC(V) | 1.5 | 24 | 51 | 74.8 | 99.6 |
| | UAC(V) | 1.5 | 24 | 51 | 74.8 | 99.6 |



图7 更换后 31PT A 相熔断器的电阻值



图8 31PT A 相熔断器熔丝断点



图9 #3 发电机组出口线电压变化曲线

6 暴露出的问题

(1) 站内继电保护装置的整定值使用电压互感器与现场实际安装使用的电压互感器不一致, 机组投产时, 设备验收工作不仔细。

(2) 调取计算机监控系统#3 发电机组出口线电压曲线(如图9所示)可知, 31PT A 相熔断器发生故障时, 机端线电压 U_{ab} 、 U_{cb} 从 13.66kV 左右逐渐下降, 而运行人员没有及时发现, 未快速作出事故处理, 造成事故停机。

(3) 站内#3 发电机组故障录波装置可靠性较低, 未能正常录波。

7 优化措施

(1) 对站内高压熔断器进行全面检查, 发现异常的熔断器及时进行了更换, 确保熔断器安全、可靠。

(2) 对高压熔断器进行市场调研, 采购质量可靠、稳定的高压熔断器, 利用主设备停电检修全部进行更换。

(3) 强化现场设备专业巡检力度, 并做好上位机运行人员监屏管理工作, 避免类似事件再次发生。

(4) 全面排查站内所有的 CT、PT 变比, 特别是用于计量和保护回路 CT、PT 变比, 逐一梳理, 做到图实一致。

(5) 在计算机监控系统中对发电机组定子线电压做计算机监控系统报警信号, 当机组运行电压低于 13.11kV 时, 上位机报: “发电机组定子电压底限报警信号”, 及时提醒运行人员, 尽快作出事故处理。

(6) 根据现场实际接线的零序电流 CT 变比重新计算定值, 调整发电机组保护 A 柜注入式定子接地保护的定值, 将零序电流 I_{g0} 跳闸定值由 0.07A

改为 0.55A, 安全电流定值由 0.06A 改为 0.47A。

(7) 联系厂家人员对站内故障录波装置进行升级改造。

8 结束语

通过对一起发电机组注入式定子接地保护动作的原因分析, 可以看出水电站一起事故的发生, 与诸多因素有关, 其中每一个因素都不容忽视, 否则一旦发生事故, 将给水电站造成严重的经济损失。因此, 在生产工作中应加强设备管理, 及时发现异常, 及时进行处理, 避免类似事故再次发生, 同时也为处理类似事故提供借鉴。

参考文献

- [1] 孙国凯 电力系统继电保护原理.
- [2] 高春如 大型发电机组继电保护整定计算与运行技术
- [3] CSC-300F 数字式发电机变压器组保护装置说明书

版权声明: ©2022 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS