

一起发电机保护动作原因分析及优化配置

何碧红

大唐甘肃发电有限公司碧口水力发电厂, 甘肃 陇南 746412

[摘要] 简要介绍了某水电站一起变压器低压侧封闭母线短路引发的事故, 分析了变压器及发电机保护动作情况, 发现了保护配置和整定存在的问题以及不足, 并提出了优化配置的原则和策略。

[关键词] 保护; 配置; 优化

DOI: 10.33142/hst.v7i12.14684

中图分类号: TM31

文献标识码: A

Cause Analysis and Optimization Configuration of Generator Protection Action

HE Bihong

Bikou Hydropower Plant of Datang Gansu Power Generation Co., Ltd., Longnan, Gansu, 746412, China

Abstract: This article briefly introduces an accident caused by a short circuit in the low-voltage side enclosed busbar of a transformer at a hydropower station. It analyzes the protection actions of the transformer and generator, identifies problems and deficiencies in the protection configuration and setting, and proposes principles and strategies for optimizing the configuration.

Keywords: protection; configuration; optimization

引言

某电站共有两台轴流转桨式水轮发电机组, 单机容量 16MW, 总装机容量 32MW, 两台主变通过一条 110kV 线路送至电网。设计多年平均发电量 14300 万 kW·h, 年利用小时数 4469 小时。2014 年 10 月投运发电。

1 事故情况简要介绍

某日, 电站 1 号机带 14.4MW 负荷, 2 号机带 13.7MW 负荷运行, 两台机通过 1、2 号主变送 110kV 线路, 线路负荷 27.8MW, 线路电压 116.5kV、频率 50.5Hz。13 时 07 分, 1 号主变差动保护动作, 主变高低压侧开关 1101、101 跳闸。1、2 号发电机机复压过流后备保护动作, 两台机组出口开关 111、112 跳闸, 1、2 号机事故停机甩负荷, 机组出现轰鸣声, 10kV 室有烟雾并伴有焦味。后检查发现 1 号主变低压侧至 101 开关共箱母线内 C 相铜母排连接螺栓松动, 产生过热、放电, 造成 1 号主变低压侧 B、C 相相间短路, 短路弧光引起 A、B、C 三相短路。

2 保护动作情况:

事故发生后, 1 号主变差流速断保护及比率差动保护动作, 跳开 1 号主变高、低压侧 1101、101 开关, 1 号发电机及 2 号发电机后备保护复压记忆过流 I 段、II 段保护动作, 1 号、2 号发电机组全停。

3 原因分析

由电站电气主接线图可以看出, 由于故障点位于 1 号主变低压侧 CT 安装位置以内, 属于 1 号主变压器差动保护范围, 且其故障电流远大于其整定值, 故 1 号主变差流速断及比率差动保护动作。1 号主变主保护动作后, 故障点已切除, 主变后备保护不动作。由于电站发电机出口 10kV 母线为单母线接线方式, 故障点也属于发电机后备保护范围内, 此时

如果满足后备保护动作条件, 发电机保护动作。

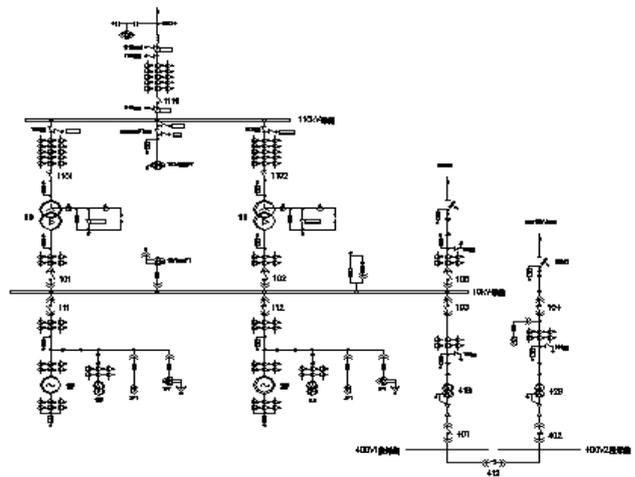


图 1 电站电气主接线图

由 1 号主变动作报告可以看出, 第一次故障即 B、C 相间短路时, B、C 相差动电流达 32A (整定值 27.8A), 差流速断保护瞬时动作出口。由于开关固有分闸时间为 60ms, 在此期间, 故障进一步扩大, B、C 相间短路弧光放电引起 A、B、C 三相短路 (此时开关尚未跳开), 三相差动电流均达到 80A 以上, 28ms 后 A、B、C 三相比率差动保护动作, 1101 开关、101 开关跳闸。1 号主变压器差动保护动作属于正确动作。

1 号主变差动保护动作后, 故障已切除, 但在故障 614ms 时后发电机复压过流 I 段保护动作停机, 由故障录波图可以看出, 此时机端电压已基本恢复 (91V 左右), 3146ms 后, 发电机复压过流 II 段保护动作。

WBH-815A/B1/R1 变压器保护

| | | | |
|------|----------|--------|----------------------------|
| 厂站名称 | 装置编号 | 装置地址 | 037 |
| 打印项目 | 保护动作报告 | 打印时间 | 2015年08月06日 13时41分12秒 |
| 故障序号 | 44 | 启动动作时间 | 2015年08月06日 13时07分31秒821毫秒 |
| 序号 | 动作元件名称 | 动作组别 | 动作相对时间 |
| 01 | 差流速断保护动作 | | 013毫秒 |
| 02 | 比率差动保护动作 | | 041毫秒 |

| 序号 | 名称 | 量值 | 序号 | 名称 | 量值 |
|----|------------|-------------|----|-----------|--------------|
| 01 | A相差动电流 | 0.235 A | 10 | 中压侧 A相电流 | 0.006∠000 A |
| 02 | B相差动电流 | 32.641 A | 11 | 中压侧 B相电流 | 0.006∠000 A |
| 03 | C相差动电流 | 32.468 A | 12 | 中压侧 C相电流 | 0.006∠000 A |
| 04 | 高压侧 A相电流 | 2.176∠017 A | 13 | 低压侧 A相电流 | 2.410∠198 A |
| 05 | 高压侧 B相电流 | 7.116∠036 A | 14 | 低压侧 B相电流 | 25.689∠050 A |
| 06 | 高压侧 C相电流 | 9.206∠212 A | 15 | 低压侧 C相电流 | 23.712∠233 A |
| 07 | 高压侧内桥 A相电流 | 0.006∠000 A | 16 | 低B分支 A相电流 | 0.006∠000 A |
| 08 | 高压侧内桥 B相电流 | 0.006∠000 A | 17 | 低B分支 B相电流 | 0.006∠000 A |
| 09 | 高压侧内桥 C相电流 | 0.006∠000 A | 18 | 低B分支 C相电流 | 0.006∠000 A |

| 序号 | 名称 | 量值 | 序号 | 名称 | 量值 |
|----|------------|--------------|----|------------|--------------|
| 01 | A相差动电流 | 84.351 A | 12 | 高压侧内桥 C相电流 | 0.006∠000 A |
| 02 | B相差动电流 | 84.117 A | 13 | 中压侧 A相电流 | 0.006∠000 A |
| 03 | C相差动电流 | 81.366 A | 14 | 中压侧 B相电流 | 0.006∠000 A |
| 04 | A相制动电流 | 18.091 A | 15 | 中压侧 C相电流 | 0.006∠000 A |
| 05 | B相制动电流 | 17.649 A | 16 | 低压侧 A相电流 | 60.219∠130 A |
| 06 | C相制动电流 | 16.931 A | 17 | 低压侧 B相电流 | 59.676∠008 A |
| 07 | 高压侧 A相电流 | 24.203∠125 A | 18 | 低压侧 C相电流 | 57.542∠250 A |
| 08 | 高压侧 B相电流 | 24.488∠003 A | 19 | 低B分支 A相电流 | 0.006∠000 A |
| 09 | 高压侧 C相电流 | 23.924∠243 A | 20 | 低B分支 B相电流 | 0.006∠000 A |
| 10 | 高压侧内桥 A相电流 | 0.006∠000 A | 21 | 低B分支 C相电流 | 0.006∠000 A |
| 11 | 高压侧内桥 B相电流 | 0.006∠000 A | | | |

图2 1号主变动作报告

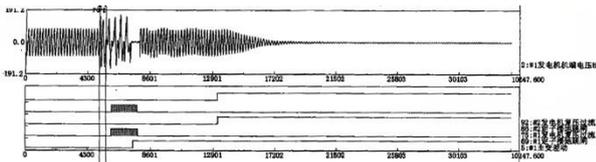


图3 故障录波图

由于1、2号机组出口10kV母线为公共段母线，1号主变低压侧相间短路点，在1、2号机组后备保护范围之内，且由于定值设置复压过流I段保护复压功能退出，电流记忆功能投入，故短路发生后，1、2号机组复压过流I段保护由于电流记忆功能动作停机（I段定值16.8A），机组全停后复压过流II段满足低压条件，同时也由于电流记忆功能，复压过流II段保护动作。

4 保护配置及存在问题

电站发电机保护采用许继公司 WFB-811A/R1 型保护装置，主变压器保护采用许继公司 WBH-815A(差动)、WFB-815/R1(后备)，具体保护配置如下：

表1 发电机保护配置

| 保护类别 | 保护名称 | 备注 | 动作后果 |
|------|--------------|----------------------|------|
| 主保护 | 发电机差动 | 含比率差动、差流越限、TA异常 | 全停 |
| | 励磁变电流速断 | | 全停 |
| | 励磁变差动 | 含比率差动、差流速断、差流越限、TA异常 | 全停 |
| | 故障分量负序方向匝间保护 | | 全停 |
| | 纵向零序电压匝间保护 | | 全停 |
| | 零序电流型横差保护 | | 全停 |
| 后备保护 | 复压记忆过流 | 复压及记忆功能可投退，2段各1时限 | 全停 |
| | 基波零序电压定子接地 | 高、低定值 | 发信号 |

| | | |
|------------|-----------------|-----|
| 三次谐波电压定子接地 | | 发信号 |
| 零序过流定子接地 | | 发信号 |
| 转子一点接地 | 高、低定值 | 发信号 |
| 转子两点接地 | | 全停 |
| 逆功率 | | 发信号 |
| 程跳逆功率 | | 发信号 |
| 对称过负荷 | 定、反时限 | |
| 负序过负荷 | 定、反时限 | |
| 负序过流 | 2段各1时限 | |
| 低励失磁 | | 全停 |
| 发电机过电压 | 2段各1时限 | 全停 |
| TV异常 | 0:电压平衡式;1:单PT断线 | |
| 励磁变过负荷 | | 发信号 |
| 励磁回路过负荷 | 定、反时限 | 发信号 |
| 励磁变过流 | | 全停 |

表2 主变保护配置

| 保护类别 | 保护名称 | 备注 | 动作后果 |
|---------|------------|------------------|------|
| 主保护 | 差动速断保护 | | 跳两侧 |
| | 差动保护 | | 跳两侧 |
| 高压侧后备保护 | 复合电压闭锁过流保护 | 复合电压固定投入，固定取各侧电压 | 跳两侧 |
| | 零序过流保护 | 取主变中性点CT | 跳两侧 |
| | 间隙零流保护 | 取专用间隙CT电流 | 跳两侧 |
| | 零序过压保护 | | 跳两侧 |
| | 过负荷 | | 发信号 |
| | 启动通风 | | 发信号 |
| 低压侧后备保护 | 闭锁调压 | | 发信号 |
| | 复合电压闭锁过流保护 | 复合电压固定投入，固定取本侧电压 | 跳本侧 |
| | 限时速断保护 | | 跳本侧 |
| | 过负荷 | | 发信号 |
| | 零压告警保护 | | 发信号 |

10kV 母线未配置专用的保护装置，故发电机后备保护同时作为10kV母线保护。发电机复压过流I段保护按电流速断保护整定，复压功能退出，但记忆功能投入，作为10kV母线的主保护。如果任一台主变低压侧故障时，即便故障切除后，由于其电流记忆功能，只要此时故障电流满足其动作值，保护均会动作停机，造成停电范围扩大。

5 保护配置优化

由电站电气主接线图可以看出，主变低压侧至发电机出口侧区间故障可以分为三种情况：(1)故障点位于主变低压侧引线至主变低压侧开关CT安装位置以内（即主变差动保护范围内）时，主变差动保护瞬时动作跳开主变高低压侧开关，故障即可切除，此种情况下主变差动保护作为主保护，主变高、低压侧过流保护作为后备保护，均能满足要求。(2)故障点位于机组出口至发电机出口开关

CT 安装位置以内（即发电机差动范围内）时，发电机差动保护瞬时动作跳开发电机出口开关，故障即可切除，此时发电机差动保护作为主保护，发电机复压过流保护作为后备保护，均能满足要求。（3）故障点位于 10kV 母线或者主变低压侧开关及发电机出口开关至 10kV 母线引线。此种情况下，由于故障点位于发电机及主变差动保护范围之外，需要由主变及发电机后备保护同时动作跳开主变低压侧开关及发电机出口开关来切除故障点。

根据 DL/T 584-2017《3kV-10kV 电网继电保护装置运行整定规程》的规定：如果变压器低压侧母线无母线差动保护，电源侧高压线路的继电保护整定值对低压母线又无足够灵敏度时，应按以下原则考虑保护问题：（1）如果变压器高压侧的过流保护对低压母线的灵敏系数满足规程规定时，则在变压器低压侧断路器与高压侧断路器上配置的过流保护将成为该低压母线的主保护及后备保护。在此种情况下，要求这两套过流保护由不同的保护装置（或保护单元）提供。

（2）如变压器高压侧的过流保护对低压侧母线的灵敏系数不满足规程规定时，则在变压器的低压侧断路器上应配置两套完全独立的过流保护作为该低压母线的主保护及后备保护。在此种情况下，要求这两套过流保护接于电流互感器不同的绕组，经不同的直流熔断器供电并以不同时限作用于低压侧断路器与高压侧断路器（或变压器各侧断路器）。

根据以上整定原则，为确保设备及厂用系统安全，防止事故扩大，对石鸡电站的保护配置进行优化。

- （1）主变低压侧过流保护整定按原整定值不变。
- （2）发电机复压过流保护整定方案：

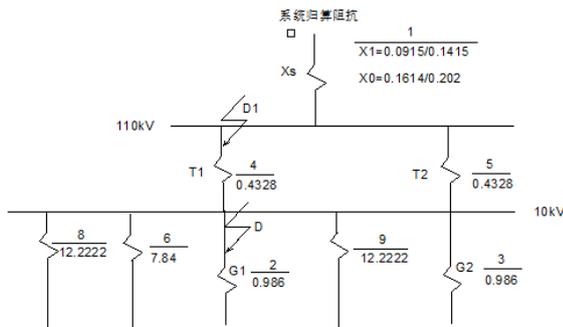


图 4 等值阻抗图 1

表 3 短路电流表

| 短路点 | X _{max} | X _{min} | I ⁽³⁾ _{max} | I ⁽²⁾ _{min} |
|-----------|------------------|------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| D（发电机出口） | 0.493 | 0.986 | 11156.2A | 4830.6A |
| D1（主变高压侧） | 0.7094 | 1.4188 | 7753.0A | 3357.1A |

退出发电机过流 I 段记忆功能，定值不变，按水电站最大运行方式下，变压器高侧故障最大短路电流整定，作为发电机后备保护，同时作为 10kV 母线的主保护，复压过流 II 段保护定值不变。

改变前的具体整定计算如下：

发电机复压过流 I 段定值按水电站最大运行方式下，变压器高侧故障最大短路电流整定

流过保护安装处的电流为： $I^{(3)}_{\max} / 2 = 7753.0 / 2 = 3876.5A$

则动作电流为： $I_{dz} = K_k I^{(3)}_{\max} = 1.3 \times 3876.5 = 5039.5A$

二次值： $I_{dz} = 5039.51 / 300 = 16.8A$

过流 I 段时限与变压器差动保护配合 $t_1 = 0.3 + 0.3 = 0.6s$ 跳发电机出口开关。

改变后的具体整定计算：

发电机过流一段按延时电流速断保护进行整定

考虑到记忆功能退出后，故障电流值将随时间延长有所衰减，可靠系数应适当地减小，故可靠系数 K_k 取 1.15

侧动作电流： $I_{dz} = K_k I^{(3)}_{\max} = 1.15 \times 3876.5 = 4457.4A$

二次值： $I_{dz1} = 4457.4 / 300 = 14.9A$

过流 I 段动作时限按延时电流速断保护进行整定取 0.3s，考虑到与主变差动保护配合 $t_1 = 0.3 + 0.05 = 0.35s$

表 4 过流一段保护改变前后的参数对比

| 名称 | 改变前 | 改变后 | 备注 |
|---------------|-------|-------|----------------|
| 可靠系数 K_k | 1.3 | 1.15 | $K_k \geq 1.1$ |
| 动作电流 I_{dz} | 16.8A | 14.9A | |
| 动作时限 t_1 | 0.6s | 0.35s | |
| 复压功能 | 0 | 0 | 退出 |
| 记忆功能 | 1 | 0 | 退出 |

过流 II 段定值保持不变，按发电机额定负荷下能够可靠返回整定。取 $I_{dz2} = K_k / K_f * I_{Le} = 1.3 * 1099.7 / 0.9 / 300 = 5.3A$ ，灵敏度按小方式下，变压器高压侧两相短路流过保护安装处的最小短路电流校验，经奇校验，灵敏度满足要求。动作时限按与主变过流保护最长时限配合整定，取 $t_2 = t + \Delta t = 2.1 + 0.3 = 2.4s$ 动作停机。

6 结论

通过对以上机组保护的优化配置，确保了电站机组的安全可靠运行，有效避免了在类似事故情况下由于保护动作的不正确造成停电范围扩大，从而引发其他事故的发生。

【参考文献】

[1] 能源部西北电力设计院编. 电力工程电气设计手册(电气二次部分)[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
[2] 《3kV-10kV 电网继电保护装置运行整定规程》[Z]. DL/T584-2017.
[3] 《继电保护及安全自动装置运行管理规程》[Z]. DL/T 587-2016.

作者简介：何碧红（1974.10—），女，毕业院校：西北电力职工大学，所学专业：电力系统及其自动化，当前就职单位：大唐甘肃发电有限公司碧口水力发电厂，职务：生产技术部电气二次专工，职称级别：中级。