

基于故障录波的 500 kV 线路故障点快速判断方法

梁成刚, 刘江红, 杨自聪, 王凯, 何欢

(雅砻江流域水电开发有限公司, 四川 成都 610051)

摘要:分析故障录波装置记录的各种信息,可以较准确地计算出故障点。介绍了锦屏一级水电站故障录波装置改造后的故障点判断方法,结合改造前后的两起线路跳闸事故案例进行故障点判断分析,且经实际事故处置经验证明:改造后只需分析故障录波图即可快速判断 500 kV 线路故障点是否在站内,无需过多的数据分析、计算,能够及时地向调度中心汇报故障的基本情况,有利于迅速消除故障,及时恢复供电,减小经济损失。可为其他同类型电站的相关设计、改造提供参考。

关键词:故障录波;500 kV 线路;故障点;判断方法

中图分类号:U226.8+1;U213;C31 **文献标识码:** B **文章编号:**1001-2184(2022)04-0131-04

Fast Fault Point Judgment Method of 500 kV Transmission
Line Based on Fault Recording

LIANG Chenggang, LIU Jianghong, YANG Zicong, WANG Kai, HE Huan

(Yalong River Hydropower Development Co., Ltd, Chengdu, Sichuan 610051)

Abstract: By analyzing various information recorded by the fault recording device, the fault point can be located more accurately. This paper introduces the fault point judgment method after the transformation of the fault recording device of Jinping I Hydropower Project. The fault point judgment analysis is carried out in combination with the two line tripping accident cases before and after the transformation. The actual accident disposal experience shows that after the transformation, it can quickly judge whether the fault point of 500kV Line is in the station without too much data analysis and calculation. It is beneficial to promptly report the basic situation of the fault to the dispatching center, quickly eliminate faults, restore power supply in time and reduce economic losses. It can provide a reference for the relevant design and transformation of other similar power projects.

Key words: fault recording; 500 kV line; fault point; judgment method

1 概 述

锦屏一级水电站位于四川省盐源县、木里县交界的雅砻江干流,是雅砻江水能资源最富集的中、下游河段五级水电开发中的第一级。水库正常蓄水位 1 880 m,相应库容 77.6 亿 m³,调节库容 49.1 亿 m³,为年调节水库^[1]。电站装有 6 台单机容量 600 MW 的水轮发电机组,总装机容量 3 600 MW,设计年利用小时数 4 616 h,设计多年平均年发电量 166.20 亿 kWh。锦屏一级水电站首台机组于 2013 年 8 月 30 日正式投产发电,2014 年 7 月 12 日 6 台机组全部投产发电。锦屏一级水电站作为西电东送主要电源点之一,对确保电力送出通道安全以及电力系统安全稳定运行

尤为重要。

锦屏一级水电站共有 3 回 500 kV 送出线路,线路长度为 81 km。送出线路经过地质条件复杂的高山峡谷地带,部分经过区域海拔高度超过 2 000 m,当送出线路经过区域出现大风、冰雪、山火、暴雨、雷电等异常情况时,极易出现线路故障跳闸,同时锦屏一级水电站送出线路曾出现两次因站内 GIL(SF₆ 气体绝缘管道母线)异常放电而导致线路跳闸不安全事件。根据调度中心要求,当线路故障跳闸后须在 15 min 内汇报电站设备是否具备试送电条件,因此对电站运行人员快速判断故障点是否在站内提出了更高的要求。同时若将站内故障误判为站外故障而进行试送电,将有可能造成故障扩大甚至烧损设备,造成严重

的经济损失^[2]。

2 锦屏一级水电站故障录波系统介绍

锦屏一级水电站故障录波系统由 1~6 号发变组故障录波装置、GIS 1 号故障录波装置、GIS 2 号故障录波装置组成。其主要功能是当电气设备或系统发生故障或事故时,通过故障量的启动,记录故障前后一段时间内电气量与非电气量的变化过程并生成录波数据^[3,4],为分析事故提供依据,以加快事故处理速度,保证设备及系统的安全运行。

GIS 故障录波装置能实现 500 kV 系统故障全过程的信息和数据计算处理结果。进行电流、电压幅值、峰值、有效值、频率计算;有功、无功功率计算;谐波、向量、序量的分析等。具有连续监视 500 kV 线路故障和系统振荡的能力,当任一启动元件动作时,即开始记录,故障消除或系统振荡平息后,启动元件返回,经预先整定的时间后停止记录,在线路单相重合闸过程中也能记录。

3 综合多种信息判断线路故障点

3.1 分析方法介绍

锦屏一级水电站输出线路安装有两组 CT,第一组安装于线路刀闸内侧的出线 T 区,第二组安装于出线套管处,两组 CT 位于 GIL 两端,500 kV 线路出线 CT 原理图见图 1。出线套管处 CT 接入安控装置,线路刀闸处 CT 接入故障录波装置。由于安控装置提供的电流采样周期为 5 ms,仅能采集幅值且测值上限为 18 000 A,所以故障时无法准确采集到最大电流,其严重制约了故障分析。

500 kV 线路故障定位分析过程中主要应用基尔霍夫电流定律,在集总电路中,任何时刻,对任意结点,所有流出结点的支路电流的代数和恒等于零。即对任一结点有: $\sum i = 0$ 。根据基尔霍夫电流定律,当故障点在站内 K1 处时,线路保护差流值等于出线场 CT 值加隔刀侧 CT 值,且出线场 CT 测量值应与换流站测量值一致。当故障点在线路侧 K2 处时,出线场 CT 测量值与隔刀侧 CT 值一致,线路保护差流应为本侧故障电流加上对侧故障电流。同时结合行波测距、故障录波测距、线路保护装置测距以及对侧行波测距装置进行测距分析,便可以判断故障点是否为站内故障。500 kV 线路出线 CT 位置简化示

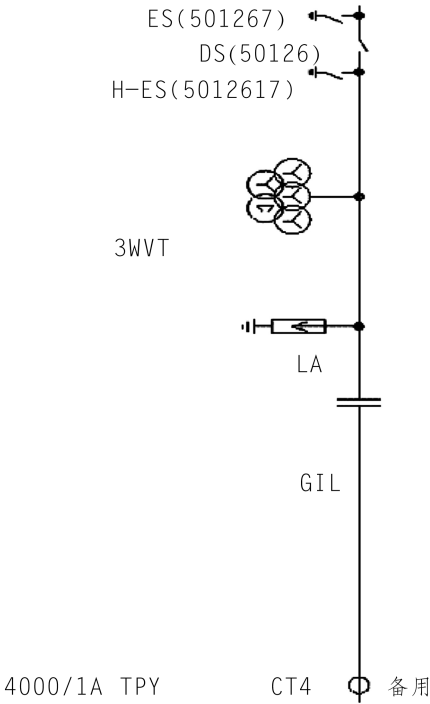


图 1 500 kV 线路出线 CT 原理图

意图见图 2。

3.2 案例分析

3.2.1 事件经过及现象

2016 年 6 月,锦屏一级水电站西锦Ⅲ线线路保护 1、2 动作,跳开线路两侧开关 B 相,经重合闸动作重合于故障后,线路保护 1、2 三跳。线路保护装置测距结果为 0 km,行波测距装置单端测距结果为故障点距离锦屏换流站 82.588 km(即距离本站 0.662 km)。因此需要确认故障点位于站内还是线路区域。

3.2.2 故障分析过程

由图 2 可知,若接地故障发生在线路侧,则对于安控装置和故障录波装置的 CT 回路而言,该电流为穿越性电流,两组 CT 所测量电流及相位应相同。如果故障点发生在安控装置所用 CT 和故障录波装置所用 CT 之间,由于故障录波装置所测量电流为该侧母线给故障点直接提供的故障电流,而安控装置所测量电流为锦屏换流站通过线路(存在线路阻抗)提供的故障电流^[5],因此故障录波所测量电流会大于安控装置所测量电流。

根据事故处理时现场抄录的数据可知,在故障时,故障录波装置所测量最大电流为 24 472 A,而安控装置所测量最大电流仅为 6 480 A。两

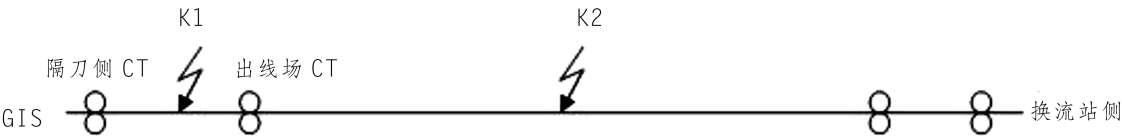


图 2 500 kV 线路出线 CT 位置简化示意图

组 CT 所测量电流大小不一致,由于安控装置仅能记录电流有效值数据,而不能记录波形,因此无法进行相位比较。

该次故障排查范围包含了西锦Ⅲ线 GIL 和 GIS 的西锦Ⅲ线故障录波所用 CT 外的 T 区部分,根据上述分析可以判断西锦Ⅲ线接地故障点应位于安控装置所用 CT 和故障录波装置所用 CT 之间,即为站内故障。

3.3 存在的问题

该次故障,虽然利用现有条件分析得出站内故障的结果,也通过事后验证,但分析过程不精准,存在以下问题:(1)在安控装置上查看线路故障瞬时最大电流值和最小电压值的操作步骤较为繁杂,存在误操作风险。(2)现场同时查看安控装置和故障录波装置上线路故障瞬时最大电流值和最小电压值耗时较长,经现场实际操作发现,不能满足国调规程在规定时间内汇报相关信息的要求。(3)线路保护装置测距与行波测距装置测距结果存在误差,无法确定故障点位于站内区域还是线路区域。需要大量的数据采集与分析,排查范围也需扩大,增加了人力资源成本和时间成本。

4 基于故障录波判断线路故障点

4.1 分析方法介绍

为更好地对比出线套管处 CT 与线路刀闸处 CT 的电流相位与幅值,快速判断故障点是否在站内,锦屏一级水电站在 2019 年利用线路检修机会,先后将三回线路出线场线路电流引入到 GIS 故障录波装置。目前出线套管处 CT 和线路刀闸处 CT 已接入锦屏一级水电站 GIS 故障录波装置中,实现高频准确采样,分别采集出线场侧线路电流和 GIS 侧线路电流。

由图 2 可以看出,当故障发生在出线套管处 CT 和线路刀闸处 CT 之间的 K1 处(即站内)时,从故障录波波形上来看,故障相出线场侧电流和 GIS 侧电流方向相反,必为一正一负。当故障发生在线路侧 K2 处(即站外)时,从故障录波波形

上来看,故障相出线场侧电流和 GIS 侧电流方向相同。因此,在故障发生后只需根据故障录波波形对比故障时刻线路 GIS 侧电流与出线场侧电流相位即可。

4.2 案例分析

4.2.1 事件经过及现象

2019 年 11 月,锦屏一级水电站西锦Ⅲ线线路保护 1、2 动作,跳开线路两侧开关 C 相,开关重合闸动作成功。线路保护装置测距结果为 46.4 km,行波测距装置单端测距结果为 65.48 km,双端测距结果为 57.62 km。其故障录波波形见图 3。

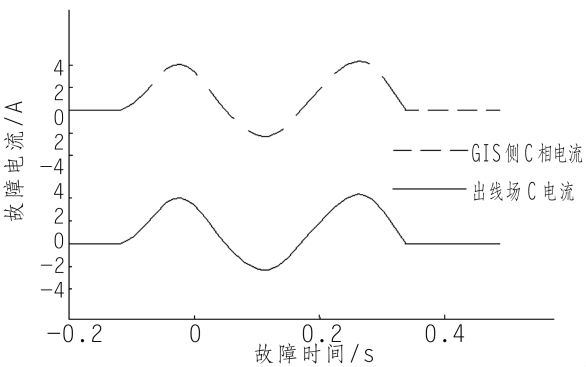


图 3 故障录波波形图

4.2.2 故障分析及结论

故障时刻线路 GIS 侧电流与出线场侧电流幅值及相位均相同,可以准确判断出故障点位于站外。结合行波测距及线路保护测距结果也进一步验证了其分析结果的正确性。

4.3 基于故障录波判断线路故障点方法的优点

(1)故障定位仅需对比故障录波波形图即可,无需大量的数据采集与分析。目前锦屏一级水电站中控室已接入全厂故障录波装置终端,送出线路发生故障后,无需到继电保护室查看,在中控室故障录波终端即可查看故障录波波形,减少了人力资源成本和时间成本,能满足国调规程在规定时间内汇报相关信息的要求,同时也减少现场检查误操作的风险。

(2)当故障点靠近站内时,由于故障测距结果存在一定误差,导致无法精确判断故障点是否在站内,通过故障录波波形对比故障时刻线路 GIS 侧电流与出线场侧电流相位,则能够准确地判断出故障点位于站内区域还是线路区域。

5 结 语

将出线套管处 CT 与线路刀闸处 CT 接入故障录波装置,同时采集出线场侧线路电流和 GIS 侧线路电流,在线路发生故障时通过故障录波波形直观地对比出线套管处 CT 与线路刀闸处 CT 的电流相位,能够快速、准确地判断出线路故障点是否位于电站内。通过锦屏一级水电站的多次线路故障事故处置经验证明,通过故障录波波形判断线路故障点的方法极大地缩短了查看数据和故障分析所需的时间,且能准确地判断出线路故障点是否位于电站内,有利于及时恢复线路运行,确保送出通道安全,保障电力系统安全稳定运行。

基于故障录波判断线路故障点的方法对同类型水电站相关设计、改造具有很好的借鉴意义,建议后续同类型电站输出线路在进行设计或改造时,可设计两组 CT 用来测量出线场侧及开关站侧线路电流,并将两路线路电流均引入故障录波

装置,即可通过故障录波图快速判断线路故障点是否位于站内。

参考文献:

[1] 四川省雅砻江锦屏一级水电站枢纽工程运行说明书(2019 版)[R]. 西昌:某水力发电厂,2019.
[2] 梁玩添.关于 500kV 输电线路故障定位与故障综合研究[J].电子测试,2020(09):118-119.
[3] 于步亚,王刚.大型水电站故障录波数据在线路故障分析中的应用[J].水电与新能源,2016(03):46-51.
[4] 高赫,邵琴.故障录波器在电力系统中的应用[J].江苏电机工程,2009,28(04):22-24.
[5] 王升.一起 GIL 单相永久接地故障范围分析[J].水电与新能源,2019,33(03):48-50.

作者简介:

梁成刚(1996-),男,甘肃天水人,助理工程师,工学学士,从事水电站运行管理工作;
刘江红(1987-),男,四川自贡人,工程师,工学学士,从事水电站运行管理工作;
杨自聪(1989-),男,四川宜宾人,工程师,工学学士,从事水电站运行管理工作;
王 凯(1995-),男,山西阳泉人,助理工程师,工学学士,从事水电站运行管理工作;
何 欢(1995-),男,甘肃白银人,助理工程师,工学学士,从事水电站运行管理工作。

(责任编辑:吴永红)

(上接第 5 页)

负荷变化后,前池内会出现回流旋涡等不良流态,但水流流态能尽快恢复稳定,机组全甩负荷 100 s 后前池内回流旋涡基本消失,第四台机组增负荷 600 s 后,供流基本稳定。

基于第三方试验数据验证过的 CFD 方法,对引水渠—前池系统的水力过渡过程三维流场进行了数值计算,得到了试验中不易获得的流场结构,计算结果可为引水渠道—压力前池体型设计提供技术支撑,采用三维 RNG $k-\epsilon$ 湍流模型模拟引水渠—压力前池系统的水力过渡过程是可行的。

参考文献:

[1] 刘启钊,胡明.水电站(第 4 版)[M].中国水利水电出版社,2010.
[2] 中华人民共和国水利部.水电站引水渠道及前池设计规范:SL 205-2015[S].北京:中国水力水电出版,2015.
[3] 巨江,刘菁,诸亮,等.水电站引水—尾水管道系统水力过渡过程模型试验与计算[J].水利学报,2005(10):1165-1170.
[4] 曾赞,胡岚平.无压引水渠道及前池非恒定流计算模型构建原理与方法[J].水电能源科学,2013,31(09):82-85.

[5] 王福军.计算流体力学分析:CFD 软件原理与应用[M].北京:清华大学出版社,2004.
[6] Hirt C W, Nichols B D. Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries[J]. Journal of Computational Physics, 1981, 39(1):201-225.
[7] 张建梅.水电站引水发电系统无压隧洞水力过渡过程研究[D].四川大学,2005.
[8] M. Hanif Chaudhry. 实用水力瞬变过程[M].程永光,等译.中国水利水电出版社,2015.
[9] 中华人民共和国水利部.水利水电工程进水口设计规范:SL 285—2003[S].北京:中国水力水电出版,2003.

作者简介:

李华江(1997-),男,甘肃通渭人,硕士研究生,研究方向为水力学及河流动力学;
张法星(1979-),男,山东嘉祥人,博士,副教授,从事水力学及河流动力学研究工作;
张恩宝(1979-),男,河南灵宝人,硕士研究生,高级工程师,从事水工结构设计工作;
张晓龙(1998-),男,甘肃通渭人,硕士研究生,研究方向为水力学及河流动力学;
蔡爱玲(1997-),女,重庆彭水人,硕士研究生,研究方向为水力学及河流动力学。

(责任编辑:吴永红)