

基于雷电定位系统对一起 220 kV 同塔双回输电线路 雷击跳闸故障查找与研究

魏文伟¹, 刘义平², 王 伟³

(1. 内江电业局 四川 内江 641000; 2. 天津市电力公司路灯处 天津 300151;
3. 十堰郧西县供电公司 湖北 十堰 442600)

摘要:结合 GPS 雷电定位系统提供的地闪电流值, 准确地对一起 220 kV 同塔双回输电线路雷击跳闸故障进行定位与查找, 通过对现场杆塔尺寸、保护动作及接地电阻等资料的收集, 采用反击耐雷水平和绕击几何电气模型等理论分析了线路跳闸原因, 并提出了相关的整改建议。

关键词:雷电定位系统; 同塔双回; 雷击; 研究

Abstract: Based on the current values of ground flash provided by GPS lightning location system, an accurate location and troubleshooting of tripping fault caused by lightning stroke in a 220 kV double-circuit lines on the same tower is achieved. According to the data collected in the tripping site such as the sizes of towers and poles, protection action and ground resistance etc., the theories, such as lightning withstand level of back flashover and electrical geometrical model of shielding failure are adopted to analyze the causes of line tripping, and the corresponding suggestions for improvement are proposed.

Key words: lightning location system; double-circuit lines on the same tower; lightning stroke; analysis

中图分类号: TM835 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2012)03-0070-04

0 引言

220 kV 输电线路作为内江电网主干骨架, 其安全稳定运行意义重大。但近年来, 雷害故障在 220 kV 输电线路运行中问题突出, 又由于同塔双回线路可减小走廊宽度、增大单位走廊宽度的输电容量, 且节省造价, 在 220 kV 及以上输电工程中被愈来愈多地采用^[1]。由于同塔双回线路杆塔高, 更易遭受雷击, 利用雷电定位系统测得的雷电参数, 对一起 220 kV 同塔双回输电线路(白凉东线)发生的跳闸事故进行故障定位查找, 对其耐雷性能进行了计算, 并对引起线路跳闸的原因进行分析, 提出相应的防雷整改建议。

1 220 kV 白凉东线简介及保护动作情况

1.1 220 kV 白凉东线简介

220 kV 白凉东线于 1985 年 9 月投运, 全线同塔架设, 共 87 基杆塔, 线路全长 35.686 km, 导线型号为 LGJ-400/35, 地线型号为 GJ-50, 绝缘子型号为 FXWB-220/100, 绝缘子防污等级按 II 级污秽区配

置, 是白马电厂与 220 kV 凉水井变电站的主要联络线。

1.2 保护动作情况

2010 年 6 月 18 日 23 时 50 分 220 kV 白凉东线两侧(白马电厂、凉水井变电站) 1 号、2 号高频闭锁距离、零序保护动作跳闸, 故障相相电流 $I_{\max} = 33.66 \text{ A}$, 故障零序电流值 $I_0 = 29.03 \text{ A}$, 选相 L2 相。白马侧双纵联保护动作, 保护测距 7.5 km, 凉水井侧保护测距 27.2 km, 重合闸成功。

2 雷电定位系统故障定位情况

发生雷击事故时当地天气情况为雷雨天气, 空气相对湿度较高, 气温 18℃左右。查询雷电定位系统, 当天 220 kV 白凉东线附近共落雷 169 次。在 23 时 50 分左右, 线路通道有 3 处雷区, 17-18 号、18-19 号、21-22 号, 距离分别为 695 m、319 m、303 m。于是巡视人员将故障点锁定在 17-22 号塔区段, 在巡视过程中发现 19 号塔 L2 相复合绝缘子串、均压环有明显放电闪络痕迹, 在对 19 号塔带电登塔检查时证实复合绝缘子和均压环遭雷击引发故障跳闸, 同时其

表1 220 kV 白凉东线雷击故障点查询

2010-06-18 搜索时间	电流 /kA	经度 /°	纬度 /°	回击 /次	杆号	距离 /m	序号
23:50:43.6450	-416.1	104.954 4	29.557 2	5	21~22	303	1
23:50:43.6752	-34.2	104.963 3	29.546 5	0	18~19	319	2
23:50:43.6915	-46.3	104.967 8	29.546 7	0	17~18	695	3

他段未发现异常。

2.1 雷电定位系统雷击故障点查询情况

查询情况如表1所示。

2.2 线路雷电活动分布情况(主要反映故障前后线路附近雷电流情况)

线路雷电活动分布见图1。



图1 线路通道情况 红色点表示落雷情况



图3 19号塔大盘径绝缘子金具连接处放电图

根据 DL/T 620-1997,同塔架设的双回输电线路,雷击杆塔时,其中一回输电线路绝缘被击穿的耐雷水平为^[2]

$$I = U_{50\%} / [(1-k)\beta R_{ch} + (h_a/h_t - k)\beta L_t / 2.6 + (1 - k_0 h_g/h_t) h_c / 2.6] \quad (1)$$

式中 $U_{50\%}$ 为绝缘子串 50% 冲击闪络电压, kV; k 为导线线间耦合系数; k_0 为电晕效应校正系数; β 为杆塔分流系数; R_{ch} 为杆塔冲击接地电阻, Ω ; L_t 为杆塔电感, μH ; h_g 为地线平均高度, m; h_c 为导线平均高度, m; h_t 为杆塔高度, m; h_a 为横担对地高度, m。

由式(1)可知,反击的形成与下列因素有着密切的关系:雷电流幅值与极性、雷电波陡度、接地电阻、避雷线耦合系数及分流系数、接地引下线与塔间接触电阻、杆塔形式等^[3]。

下面根据线路防雷设备运行状况和反击耐雷水平以及雷电流出现概率来进行分析。220 kV 白凉东线 19 号塔反击耐雷水平计算如下。

(1) 计算参数: 19 号塔塔型为 SZT3 直线塔, $h_a = 37.6 \text{ m}$, $h_t = 44.6 \text{ m}$, $U_{50\%} = 1150 \text{ kV}$, $k_1 = 1.25$, $\beta = 0.88$, $R_{ch} = 1.5 \Omega$, 导线弧垂 $f_c = 14.4 \text{ m}$, 地线弧垂 $f_g = 11.7 \text{ m}$, 地线型号 GJ-50, 绝缘子串长 $h_e = 2.2 \text{ m}$ 。

(2) 避雷线平均高度 $h_g = h_t - \frac{2}{3}f_g = 36.8 \text{ m}$

(3) 导线平均高度 $h_c = (h_a - h_e) - \frac{2}{3}f_c = 25.8 \text{ m}$

(4) 双避雷线对导线的几何耦合系数

$$k_0 = (Z_{13} + Z_{23}) / (Z_{11} + Z_{12}) = 0.237$$

3 铁塔雷击闪络原因分析

220 kV 白凉东线 19 号塔复合绝缘子型号为 FX-BW-220/100, 结构高度为 2150 mm, 2008 年线路经调爬加一片大盘径 XWP2-7 玻璃钢绝缘子, 绝缘总长度为 2200 mm, 爬电距离为 5425 mm。查找其出厂时试验报告知: 工频试验耐受电压 560 kV, 耐受时间 1 min 正常; 陡波冲击试验电压陡度为 1150 kV/FMS, 冲击次数 5 次正常。19 号塔绝缘子雷击放电情况见图 2 和图 3。



图2 19号塔复合绝缘子均压环放电图

3.1 反击耐雷水平的分析

(5) 电晕下的耦合系数 $k = k_1 k_0 = 0.296$

(6) 杆塔电感 $L_t = 0.5h_t = 22.3 \mu\text{H}$

将计算参数代入上述计算公式, 则反击耐雷水平为: $I = 88.18 \text{ kA}$, 则雷电流超过的概率为 $\lg P =$

$$-\frac{1}{88} \text{ 得出 } P = 9.95\%$$

从反击耐雷水平计算可知, 一般发生雷击故障杆塔的反击耐雷水平普遍较高, 同时通过测量19号塔雷击故障杆塔的工频接地电阻未超过其设计值(一般是 10Ω), 说明线路杆塔的反击耐雷水平比设计值还会更高, 具有较高的防止反击事故的能力, 反击一般难以形成。从GPS雷电定位系统提供的雷电流数据来看, 该线路当天落雷高达169次, 且在23时50分220 kV白凉东线故障跳闸时间段内, 19号塔附近出现了幅值为 -34.2 kA 的落雷, 其雷电流幅值远小于19号塔耐雷水平(88.18 kA), 故判断19号塔不具备发生反击的条件。

3.2 绕击原因分析

目前, 国内对绕击的分析主要有规程法、击距法两种。规程法计算方法简单, 但偏差较大。另一种方法是近年发展起来的电气几何模型法即EGM, 它利用“击距理论”较好地解释了运行中导线屏蔽失效时的雷电绕击机理。它考虑了杆塔几何尺寸、地形、雷击电流大小等因素, 反映了线路运行的实际情况, 得到较广泛应用^[4]。下面利用EGM法对线路雷击事故进行绕击分析。

2010年6月18日23时50分, 雷雨天气, 220 kV白凉东线L2相故障跳闸, 重合成功, 据GPS雷电观测系统反映, 雷击故障定位于17-18号、18-19号、21-22号之间, 并获得3个地闪雷电流, 均为负极性, 其幅值分别为 -46.3 kA , -34.2 kA , -416.1 kA 。

经现场检查发现19号塔L2相(外侧右边线)整串绝缘子有闪络痕迹。故障前测得接地电阻分别为 $1.5 \text{ k}\Omega$, 该塔位于斜山坡上, L2相为山坡外侧边导线, 山坡倾角约 30° , 塔型为SZT3直线塔, 绝缘配合为FXWB-220/100, 经调爬加一片大盘径玻璃钢绝缘子。两侧档距分别为205 m和469 m, 避雷线对导线的保护角为 $14^\circ 20' 30''$ 。

绕击计算分析如下。

(1) 临界击距 γ_{sc} 、临界电流 I_{sc} (EGM法、击距理论)

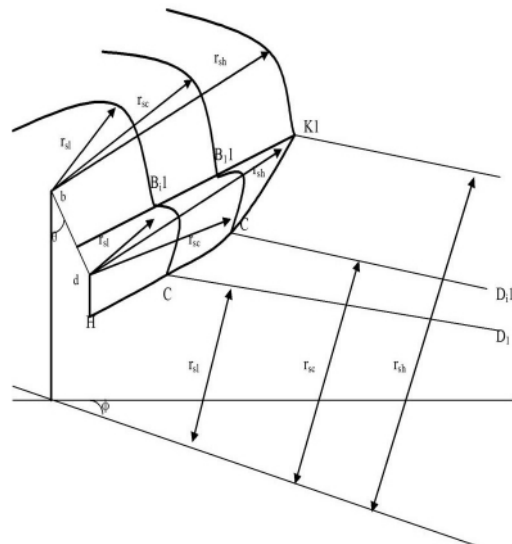


图4 输电线路绕击的电气几何模型

实际击距小于临界击距或实际雷电流小于临界电流的绕击, 不会使绝缘闪络。线路绝缘的绕击耐雷水平计算公式为

$$I_{sc} = 4 \times U_{50\%} / Z$$

式中, Z 为导线波阻抗, 按过电压规程 DL/T 620-1997 取为 400Ω , 则依据220 kV白凉东线19号塔的绝缘配置为

$$I_{sc} = 4 \times U_{50\%} / Z = 11.5 \text{ kA}$$

$$\text{由 } \gamma_{sc} = 7.1 I_{sc}^{\frac{3}{4}} \text{ 得出 } \gamma_{sc} = 44.34 \text{ m}$$

(2) 最大击距 I_{sc} 及相应雷电流 I_{smax}

这是由杆塔几何尺寸及地形决定的一个击距。击距大于 I_{smax} 的雷击只能对屏蔽线或地面闪络, 一般不会绕击相导线。

依据最大击距计算公式为

$$\gamma_{smax} = (h_g + h_c) / 2 [1 - \sin(\alpha + \theta)]$$

式中 h_g 为地线平均高度, m; h_c 为导线平均高度, m; α, θ 分别为避雷线保护角和山顶倾角。

220 kV白凉东线相应计算参数为 $h_g = 36.8 \text{ m}$, $h_c = 25.8 \text{ m}$, $\alpha = 14^\circ 20' 30''$, $\theta = 30^\circ$, 则 $\gamma_{smax} = (h_g + h_c) / 2 [1 - \sin(\alpha + \theta)] = 103.96 \text{ m}$ 。

$$I_{smax} = (\gamma_{smax} / 7.1)^{\frac{4}{3}} = 35.82 \text{ A}$$

计算绕击率 $I_g P'_\alpha = \frac{\alpha \sqrt{h_t}}{86} - 3.35$ 得出山丘地区

$P'_\alpha = 0.58\%$, 根据 $I_{sc} < I < I_{smax}$, 即19号塔雷电流幅值为 -34.2 kV , 在最大电流 $I_{smax} = 35.82 \text{ kA}$ 之内, 与最大绕击雷电流差 1.62 kA , 说明避雷线的屏蔽效果较好。可初步判断3个实测雷电流中, 有可能是 -34.2 kA 的雷绕击L2相导线, 造成事故跳闸。

3.3 反击与绕击对比分析

反击与绕击对比分析见表2。

表2 反击与绕击对比

比较项目	反击	绕击
雷电流幅值	大(相对杆塔耐雷水平)	小(相对杆塔耐雷水平)
接地电阻	大	小
闪络基数	一基多相或多基多相	单基单相或相邻二基同相
塔身高度	较高	较低
地形特点	一般,不易绕击	山坡及山顶易绕击处
闪络相别	耐雷水平较低相(如下相)	易绕击的相(如顶相、边相)

由本次雷击杆塔搜集的基本数据和特征(单基单相、小雷电流幅值等),再结合表2所列的个性特征和表象进行比较得出220 kV白凉东线19号塔发生雷绕击导致跳闸。

4 结论与建议

通过上述分析,本次220 kV白凉东线跳闸是雷电绕击19号塔所致。由于19号塔避雷线对边导线保护角和塔地面倾角的影响,降低了避雷线及地面屏蔽的有效性,在一定程度上增大了雷击杆塔时绕击的概率,从而导致了雷电绕击跳闸的发生。

为了避免以后输电线路雷击情况的发生,减小双回路高塔雷害事故的措施如下。

(1) 雷害事故预防要做到防反击与防绕击并举。对于防止反击来说,降低杆塔接地电阻,尽量减少杆塔高度及接地体长度至关重要;架设耦合地线,由于增大了避雷线与导线之间的耦合系数,减少了绝缘子串两端的反击电压和感应分量。对于防止绕击来说,应从加强线路绝缘(例如在塔头间隙尺寸允许的情况下,增加一至两片绝缘子),尽量采用分裂导线(减小波阻抗),加强屏蔽效果等方面采取措施;在易绕击地段,可考虑加装线路用的ZnO避雷器,以及加装防绕击避雷针。

(2) 对220 kV线路,由于地面倾角的影响,降低了避雷线及地面屏蔽的有效性,在设计选线中,应尽量避免山顶、连续斜坡等塔位,并尽量选用保护角较小甚至负保护角的塔型。

(3) 加强线路零值瓷瓶的检测,保证线路足够的绝缘强度。线路尽量采用钢化玻璃绝缘子,可以免去大量的零值测试工作。合成绝缘子对污秽严重地区作用明显,由于遭受雷击后巡查和雷击定点较困难,如果遭雷击后金属端部烧损严重,渗水性能下降,潮气进入,也极易引起次雷击芯棒烧损掉串。因此,合成绝缘子的金具或绝缘烧损后,要及时更换^[5]。

(4) 充分利用GPS雷电信息系统提供的资料,在落雷密度较大的线段提高线路的防雷设计等级,以提高线路的防雷能力。

参考文献

- [1] 金祖山,吴建儿. 220 kV同塔双回输电线路雷击跳闸原因分析[J]. 浙江电力, 2009(1): 51-53.
- [2] DL/T 620-1997, 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合[S].
- [3] 周泽存,沈其工,方瑜,等. 高电压技术(第三版)[M]. 北京:中国电力出版社, 2007.
- [4] 秦海波,李琳,赵志斌. 输电线路绕击跳闸率的改进电气几何模型[J]. 电力科学与工程, 2009, 25(5): 16-19.
- [5] 吴建儿. 浅谈输电线路雷电绕击与反击[J]. 浙江电力, 2007, 26(4): 43-46, 56.

作者简介:

魏文伟(1984),男,助理工程师,主要从事线路运行与检修等研究工作;

刘义平(1985),男,助理工程师,主要从事配电线路运行与检修等研究工作;

王伟(1984),男,助理工程师,主要从事线路运行与检修等研究工作。

(收稿日期:2012-02-12)

欢迎投稿 欢迎订阅