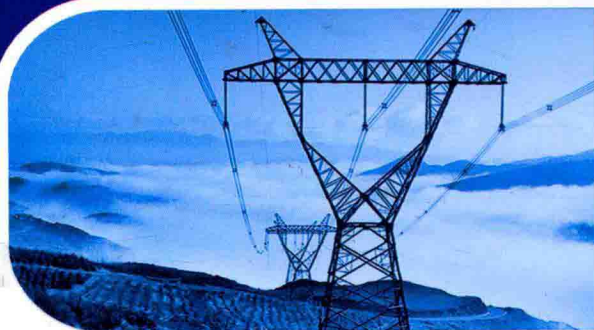


输变电设备典型故障 案例分析

SHUBIANDIAN SHEBEI

DIANXING GUZHANG ANLI FENXI



国网北京市电力公司电力科学研究院 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

输变电设备典型故障 案例分析

SHUBIANDIAN SHEBEI

DIANXING GUZHANG ANLI FENXI

国网北京市电力公司电力科学研究院 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

《输变电设备典型故障案例分析》包括架空输电线路典型故障分析案例、高压电缆线路典型故障分析案例和变电设备典型故障分析案例 3 个章节, 收录了 40 余个案例, 所选取的案例均具有代表性, 同一设备案例的故障原因不同, 案例不重复。对每个案例故障产生的现象、发现、处理过程、故障设备解体、试验检测、运行信息、故障原因等进行了深入剖析, 并根据分析结果提出明确的分析结论与技术建议。

本书可作为从事电力运维检修人员、管理一线人员及相关技术人员、设备生产厂家的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

输变电设备典型故障案例分析/国网北京电科院编. —北京:
中国电力出版社, 2016. 12

ISBN 978-7-5198-0281-3

I. ①输… II. ①国… III. ①输电—电气设备—故障检测—案例 ②变电所—电气设备—故障检测—案例 IV. ①TM72
②TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 007454 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 http://www.cepp.sgcc.com.cn)

北京博图彩色印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

2016 年 12 月第一版 2016 年 12 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 11 印张 182 千字

印数 0001—1500 册 定价 65.00 元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

编 委 会

主 任：陈 平 王 鹏

副主任：周松霖 娄奇鹤 李国昌 张学哲

朱 洁 张宏宾 周 宇 林 涛

薛 强 韩 良 王继永 常立智

委 员：李 伟 马 锋 赵永强 赵进科

徐绍军 于希娟 段大鹏 杨清华

沈 静 程 序 冯 义 陶诗洋

王晓晨 郝振昆 仇 晋

本书编写组成员

任志刚	周 恺	齐伟强	石 磊	刘弘景	赵雪骞
刘若溪	李 伟	赵建勇	叶 宽	程 序	陆宇航
聂卫刚	谭 磊	任健聪	李春生	王 谦	张祎果
蔡瀛森	杨 博	郑秀玉	吴 彬	赵留学	张竞成
桂 媛	郭 卫	徐兴权	高明伟	马慧远	李 洋
李邦彦	杨 亮	钱梦迪	秦 欢	王文山	吴麟琳
周 峰	李明忆	谢 欢	邵文君	耿江海	车 瑶
张 琛	董方舟	杨 芮	于 彤	方 烈	于桂利
程志宏	赵 静				

前言

电力是现代工业的血液，坚强电网连接着千家万户，关系到国计民生。输变电设备作为整个电网的关键节点，也是电力安全生产的重中之重。随着各类新技术、新设备的不断应用，客户对供电可靠性和电能质量的要求不断提高。电力设备故障会影响电力系统的安全稳定运行及供电可靠性，专业深入的故障分析工作有助于查明故障原因、提前采取必要的措施，避免类似故障的发生，对于提高电力设备健康运行水平以及技术人员综合素质具有重要意义。

本书以大量的实际案例为纲，以精辟的理论分析为目，以提高运行与检修人员事故或异常的实际处置能力为本，体现了理论与实践相结合的重要特色，也是本书的一个亮点，希望广大读者在本书的指导下，从日常生产实践中学习、探索、提高，为电网安全稳定做出贡献。

本书最大的特点是理论联系实际、实用性强、通俗易懂、简明扼要、由浅入深、容易被现场人员接受，既可以给运行、检修人员提供启示与思考，还可以为电力设计、施工人员提供一些提示和参考，也给电力设备生产厂商提供一定的设备运行信息。

限于编写人员水平，加之时间仓促，书中难免存在疏漏和不妥之处，敬请广大读者批评指正。



2016年12月

目 录

前言

第一章 架空输电线路典型故障分析案例	1
第一节 架空输电线路故障概述	2
第二节 雷击故障典型案例	4
案例一 雷电绕击造成架空输电线路故障	4
案例二 雷电反击造成架空输电线路故障	6
案例三 雷击造成架空地线断线故障	10
第三节 覆冰故障典型案例	13
案例一 导地线覆冰造成架空输电线路故障	13
案例二 绝缘子冰闪故障	15
第四节 风偏故障典型案例	19
案例 风偏造成架空输电线路故障	19
第五节 外力破坏故障典型案例	22
案例一 施工碰线造成架空输电线路外力故障	22
案例二 异物造成架空输电线路外力故障	24
第六节 鸟害故障典型案例	27
案例一 鸟粪造成绝缘子闪络	27
案例二 鸟粪造成避雷器闪络故障	29
第七节 污闪故障典型案例	31
案例 绝缘子污闪故障	31
第八节 其他典型故障案例	33
案例一 短路热容量不满足要求造成地线断线故障	33
案例二 安装不规范导致避雷器失效故障	38
案例三 避雷器安装不规范造成避雷器脱落	40
案例四 运维原因造成雷击掉线故障	41

案例五 施工质量原因造成线路导线掉线故障	45
第二章 高压电缆线路典型故障分析案例	53
第一节 高压电缆线路故障概述	54
第二节 电缆本体典型故障案例	56
案例一 产品质量不良造成电缆本体故障	56
案例二 施工质量不良造成电缆本体故障	60
案例三 接地线被盗造成电缆本体故障	63
第三节 电缆中间接头故障典型案例	65
案例一 电树枝造成电缆中间接头故障	65
案例二 安装质量不良造成电缆中间接头故障	69
案例三 线路过电压造成电缆中间接头故障	71
第四节 电缆终端故障典型案例	73
案例一 环氧套管质量不良造成 GIS 电缆终端故障	73
案例二 金属应力锥电场控制不良造成变压器电缆终端故障	76
案例三 安装工艺不良造成 GIS 电缆终端故障	79
案例四 接地不良造成户外终端温度异常	82
第三章 变电设备典型故障分析案例	87
第一节 变电设备故障概述	88
第二节 变压器故障典型案例	88
案例一 匝间短路造成所内变故障	88
案例二 吊车碰线造成 110kV 变压器中性点间隙击穿故障	95
第三节 电流互感器故障典型案例	98
案例 220kV 电流互感器存在质量问题在雷击过电压作用下 造成故障	98
第四节 电压互感器故障典型案例	105
案例 谐振过电压造成电压互感器故障	105
第五节 GIS 设备故障典型案例	111
案例一 产品结构问题导致 110kV GIS 故障	111
案例二 盆式绝缘子沿面放电造成 GIS 故障	119
第六节 补偿设备故障典型案例	124
案例一 10kV 电容器极间绝缘薄弱造成故障	124
案例二 产品质量问题造成 10kV 并联干式电抗器故障	130

第七节 母线故障典型案例.....	136
案例一 受潮造成 10kV 母线接地故障	136
案例二 等电位不良造成 10kV 绝缘母线悬浮放电	141
第八节 开关柜故障典型案例.....	149
案例一 分闸掣子滚轮断裂造成 10kV 断路器故障	149
案例二 母排绝缘距离不足造成 10kV 开关柜故障	155
第九节 二次与直流设备故障典型案例.....	161
案例一 风冷全停造成 110kV 变压器跳闸	161
案例二 差动保护动作不正确造成 110kV 变电站全停故障	163



第一章

架空输电线路典型故障分析案例

第一节 架空输电线路故障概述

架空输电线路长期暴露在户外，运行环境相对恶劣，受外界自然因素及人为因素影响较大。长期运行经验表明，引起输电线路故障的主要因素有雷击、冰害、外力破坏、鸟害、污闪、施工质量、运维不当等各类原因。本节就 35kV 及以上电压等级架空输电线路常见故障归纳如下。

1. 雷击故障

雷击故障主要是指因自然界发生雷电现象，雷电击中输电线路附近大地，导致线路感应电压抬升，或者雷电直接击中线路设备本体而引起瞬时电压抬升，导致绝缘击穿的故障。其主要分为感应雷故障和直击雷故障，直击雷故障按照雷电是否绕过避雷针而击于本体又分为反击故障与绕击故障。

感应雷故障是指雷电击中输电线路附近大地，在线路感应出电荷，引起线路感应电压抬升，从而导致线路跳闸故障，此类雷击故障主要发生于 35kV 线路上，而在 110kV 及以上电压等级线路上，因线路绝缘配置较高，因此感应雷而发生故障跳闸的概率很小。

直击雷故障是指雷电直接击中线路设备本体而引起瞬时电压抬升，导致绝缘击穿的故障。其主要分为反击故障和绕击故障。

反击故障是指雷电击于杆塔本体或避雷线，造成杆塔本体侧瞬时电压抬升，本体与导线间存在较大的电位差，导致绝缘击穿闪络的故障。运行经验表明，35、110kV 线路上反击雷发生概率较大。

绕击故障是指避雷线屏蔽失效，雷电绕过避雷线而直接击于导线，造成导线侧瞬时电位抬升，本体与导线间存在较大的电位差，导致绝缘击穿闪络的故障。运行经验表明，110kV 及以上线路上绕击雷发生概率较大。

2. 冰害故障

冰害故障主要是指自然界发生雨雪冰冻天气，输电线路因覆雪、覆冰而引起的线路故障。其可分为机械类故障和电气类故障两类。一类是机械类故障。冰雪大量覆盖于线路本体上，大大增加导线、地线、杆塔质量，当超过设计载荷值后，将可能出现覆冰断线、绝缘子断裂、横担弯曲变形等故障，严重的可引起线路杆塔倾覆。另一类是电气类故障。冰雪覆盖于线路本体上，在融

冰时可能在绝缘子上出现水膜，引起绝缘失效，在覆冰脱落时可能因不同期脱冰而引起线路跳跃，都可能引起线路闪络故障。

3. 风害故障

风害故障主要是指自然界发生大风现象，引起线路导线或地线摆动，空气距离不够导致放电闪络，或者强风导致杆塔本体倾斜甚至倾覆的故障。其可分为机械类故障和电气类故障两类。一类是机械类故障。因强风吹向线路设备本体，当风速超出设计值，强风可引起线路断线、塔材弯曲、杆塔倾覆等故障；另一类是电气类故障，主要是风偏类故障，线路导地线因大风而摆动，引起导地线与本体间、导地线间、线路相间等处空气绝缘距离变小，发生绝缘击穿放电故障。

4. 外力破坏故障

外力破坏故障主要是分为两类，一类是异物搭接，异物搭接至线路本体，造成绝缘距离减小或者直接形成短路，常见的异物有金属丝、塑料布、彩钢板、树枝、渔线、风筝线等，引起线路绝缘闪络；另一类是指机械碰线类故障，以人为因素为主，主要包括线下吊车违章作业、线下翻斗车作业、车辆碰线、线下堆土等情况。

5. 鸟害故障

鸟害故障主要是指因鸟类活动引起的线路跳闸故障，主要有鸟粪类故障和鸟巢类故障两种。鸟粪类故障是指鸟粪滴落至绝缘子表面造成闪络，或滴落至绝缘子旁边，造成绝缘子附近空气距离减小等，引起故障。鸟巢类故障是指鸟巢树枝搭接到杆塔绝缘薄弱处，空气绝缘距离缩短，或者遇到下雨等天气造成短路搭接等，引起闪络故障。

6. 污闪故障

污闪故障主要是指因绝缘子表面污秽，在潮湿条件下，其可溶物逐渐溶于水，在绝缘表面形成一层导电膜，大大降低绝缘水平，导致线路跳闸故障。

7. 其他类故障

其他能够引起输电线路故障的因素还包括人为因素、施工质量因素、运维

因素、设备安装不规范、实际运行情况超过设计容量等各种因素。

第二节 雷击故障典型案例

案例一 雷电绕击造成架空输电线路故障

1 故障简介

2014年3月28日1时36分,某220kV线路保护动作跳闸,重合闸成功,故障相别B相。现场检查发现,故障点位于56号杆塔,B相玻璃绝缘子有放电痕迹,导线有麻点。故障现场如图1所示。



(a) 绝缘子顶端有放电烧蚀痕迹



(b) 导线有白色麻点

图1 故障现场

故障线路于2006年12月1日投运,架空线路杆塔92基,线路全长37.173km,全线导线型号为LGJ-630/45,地线型号为JLB30-120。故障杆塔为56号塔,型号为SZ73,为鼓型塔,负保护角,呼高36m。导线、地线型号分别为LGJ-630/45、JLB30-120,绝缘子型号为 $2\times\text{FC160P}/155$,接地形式为放射型,山地地形。

2 故障原因分析

2.1 雷电监测系统查询分析

经查询雷电监测系统,故障发生时刻,故障线路附近范围有3次雷电活动,回击性质分别为主放电和后续第1、2次回击,最大雷电流幅值为一15kA。雷电监测系统查询情况如图2所示。

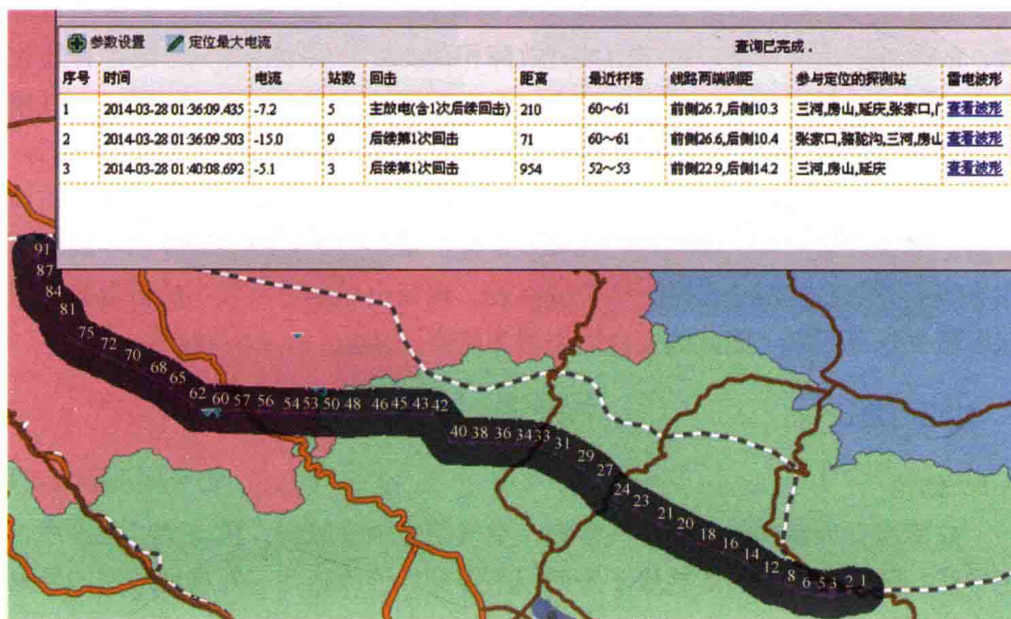


图 2 雷电监测系统查询情况

2.2 现场勘测分析

技术人员对该线 56 号塔进行了现场勘察。故障杆塔现场环境情况如图 3 所示。

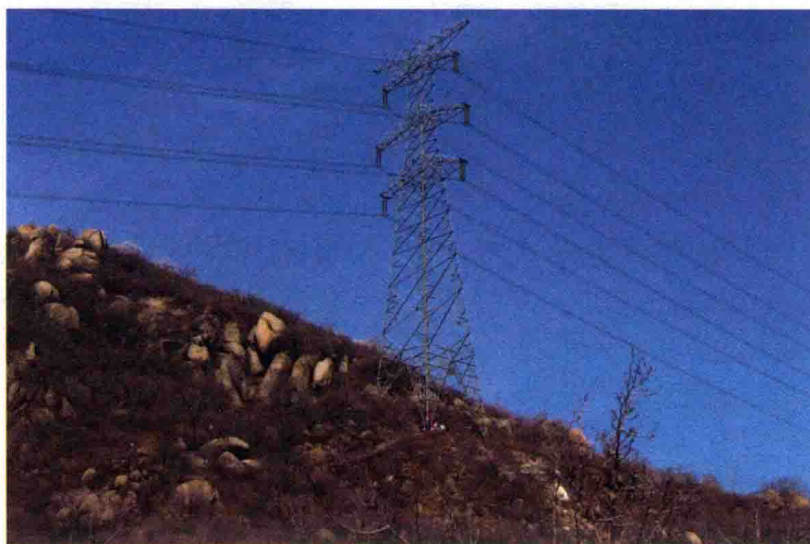


图 3 故障杆塔现场环境情况

通过现场勘查，故障区段线路为东西走向，采取双地线负保护角防雷配置。故障杆塔为鼓型塔，位于山坡，故障相为山坡外侧下相导线。故障杆塔位于山坡之上，周围空旷，无高大树木，无鸟类活动迹象，加上故障当日天气情况，综合分析可以排除外力、鸟害、风偏、冰闪等因素。

从该杆塔位置来看，故障侧位于山坡外侧，从雷击角度来说，该侧雷击面暴露范围大，易引雷。虽然该杆塔采取负保护角配置，且鼓型塔中相导线较下相导线更易绕击，但考虑到放电烧蚀痕迹、现场山坡地形及较小的雷电流易引起屏蔽失效等因素，因此判定故障类型为绕击。

3 结论与建议

3.1 结论

故障当日为雷雨天气，空气湿润，空气绝缘强度减弱，雷电绕过避雷线击于导线，瞬时雷电流引起绝缘子表面闪络击穿，该故障为一起典型的绕击导致雷击跳闸故障。

3.2 建议

一是开展输电线路雷击风险评估工作，并根据评估结果进行差异化防雷改造；二是新建线路设计时可采用减小保护角等方式，提高线路绕击耐雷水平，在运线路可视情况安装防绕击避雷器等，降低绕击风险；三是雷雨季期间加强线路巡视，做好输电线路防雷运维工作。

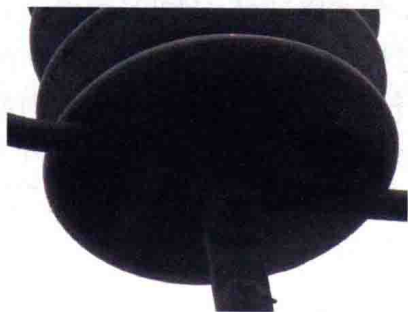
案例二 雷电反击造成架空输电线路故障

1 故障简介

2014年4月23日18时41分，某110kV线路保护动作跳闸，故障相别ABC相，重合闸成功。现场检查发现，故障点位于54号杆塔，三相导线悬垂线夹有放电痕迹，并联间隙有放电痕迹，导线无断股，线路可以继续运行。故障现场如图1所示。

故障线路于1984年11月1日投运，全路为平原、山地混合地区，架空线路杆塔85基，线路全长29.8279km，故障杆塔为54号塔，塔型号为SZ，呼高24m。导线、地线型号分别为LGJ-240、GJ-50。绝缘配置：1×7π—4.5直线瓷质绝缘子，山地地形。

故障区段当日天气情况为雷阵雨，21℃，风力3级。



(a) 绝缘子底部有放电烧蚀痕迹



(b) 并联间隙球头烧蚀痕迹

图 1 故障现场

2 故障原因分析

2.1 雷电监测系统查询分析

经查询雷电监测系统，故障发生时刻，故障线路附近范围有 6 次雷电活动，最大雷电流幅值为 145.9kA，位于 52、53 号塔附近，如图 2 所示。

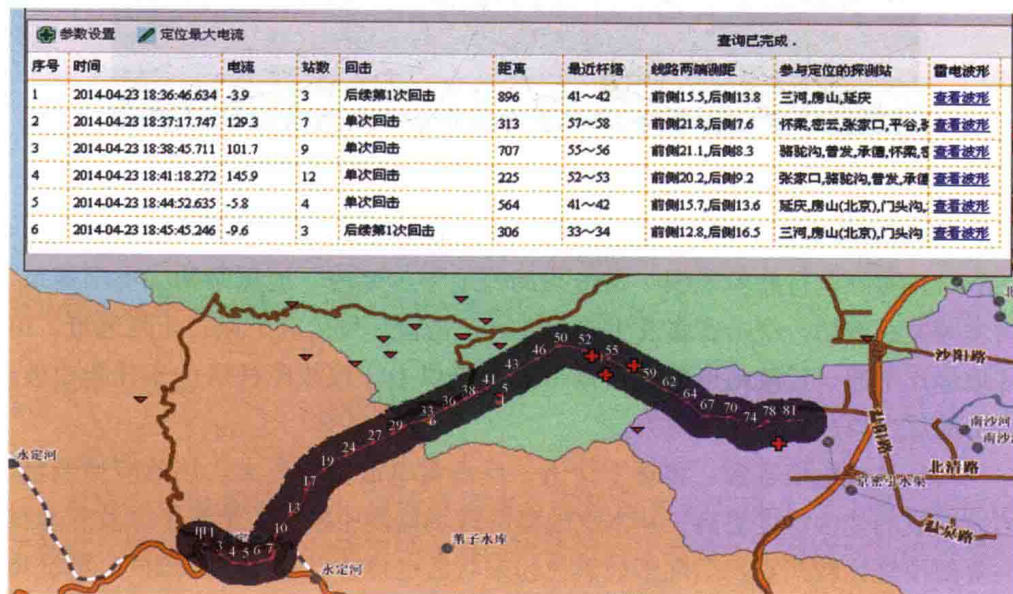


图 2 雷电监测系统查询情况

2.2 现场勘测分析

技术人员对该线 54 号塔进行了现场勘察。现场环境情况如图 3 所示。

故障区段线路为直线塔，为 110kV 该线和 220kV 另一回线同塔双回架构。

防雷配置采取双避雷线，故障相为 110kV 侧线路三相，110kV 绝缘子上加装放电间隙，横担头安装侧针。因该线 54 号杆塔 A、B、C 三相安装并联间隙及横担头侧针防雷措施，雷击时绝缘子未损伤，线路重合闸成功，并联间隙起到防雷保护作用。现场植被主要为灌木丛，无高大树木，鸟类活动现象较少，故障铁塔位于丘陵山坡，此类地形比较容易引雷，故障当日为雷雨天气，故障时刻，在故障杆塔附近恰好有高幅值落雷，综合以上情况判断，该故障为雷击故障。



图 3 故障杆塔现场环境情况

2.3 雷击故障类型分析

(1) 实际运行经验表明，雷击与局部地形、地貌、地质结构、周围建筑、树木等关系密切。绕击雷多发生在山坡，反击雷多发生在平原、丘陵地带，山区地形比平原、丘陵地形的绕击概率高 3 倍以上。该故障杆塔位于丘陵山坡，雷击的反击风险比绕击风险大。

(2) 从放电痕迹看，相对于绕击，反击雷电流幅值更大，热效应更明显，因而造成的烧蚀程度更高。从本次故障的现场勘测中发现，绝缘子以及悬垂线夹等部位烧蚀较严重，呈现多处黑色粉末状放电痕迹，与反击故障放电特征吻合度较高，因此反击的可能性很大。

(3) 从雷电流幅值来看，反击故障雷电流幅值数值较大，一般都在几十到上百千安，而绕击雷电流一般在十几千安左右。从该故障时刻的雷电定位系统捕获的雷电流数值来看，故障时刻该杆塔附近恰好落雷，雷电流为 145.9kA，如此大的雷电流足以造成反击闪络，因此反击的可能性非常大。

(4) 从电压等级上看,一般来说,对于 110kV 线路,反击故障比绕击故障发生概率大。该故障线路电压等级为 110kV,而且该线路与一条 220kV 线路同塔并架,杆塔保护角按照 220kV 等级线路防雷水平设计,因此相对于该 110kV 线路来说,该杆塔防绕击措施较强,较难发生绕击,倘若该次故障为绕击,则更可能发生在 220kV 线路侧,这与故障实际情况不符。

从地形地貌、放电痕迹、雷电流大小及电压等级等方面综合判断,该雷击故障类型应为反击。

2.4 反击耐雷水平计算

根据经典理论,反击故障的杆塔耐雷水平计算公式为

$$I = \frac{U_{50\%}}{(1-k)\left(\beta R_{ch} + \beta \frac{L_{gt} h_b}{2.6} + \frac{h_b}{2.6}\right)}$$

式中 k ——架空地线与导线的耦合系数,一般取 0.2~0.3;

h_b ——导线的悬挂高度,取呼称高;

β ——杆塔分流系数;

R_{ch} ——冲击接地电阻;

L_{gt} ——杆塔单位电感;

h_h ——杆塔高度;

$U_{50\%}$ ——绝缘子 50% 冲击放电电压。

将实际参数代入上式进行计算,经计算可知:故障杆塔反击耐雷水平理论计算值约为 30.96kA,而雷电定位系统查询的雷电流幅值为 145.9kA,远大于反击耐雷水平值,因此引起反击跳闸。

3 结论与建议

3.1 结论

故障当日为雷雨天气,故障杆塔附近有幅值为 145.9kA 的落雷,雷电击于杆塔,瞬时雷电流引起绝缘子表面闪络放电,该故障为一起典型的反击导致雷击跳闸故障。

3.2 建议

(1) 开展输电线路雷击风险评估工作,并根据评估结果进行差异化防雷改造;

(2) 针对雷击故障多发线路区段,安装避雷器、并联间隙等防雷装置,提