

# 线路避雷器在 220 kV 山越线雷害治理中的应用

李晓东<sup>1</sup>, 刘守豹<sup>2</sup>, 江来<sup>1</sup>, 孟令川<sup>1</sup>, 崔涛<sup>2</sup>, 刘强<sup>2</sup>

(1. 国网凉山供电公司, 四川 凉山 615001;

2. 国网四川省电力公司电力科学研究院, 四川 成都 610072)

**摘要:** 雷害是导致输电线路跳闸的主要原因, 其中 110 kV 及以上电压等级线路雷击跳闸中绕击跳闸占大多数。线路避雷器是公认的治理线路绕击雷害的有效措施, 对于地形复杂的山区线路尤其如此。首先利用电气几何模型对地形参数对线路绕击雷害的影响进行了分析; 接着基于电磁暂态分析软件 ATP-EMTP 对线路避雷器工作原理及使用中的注意事项进行了研究; 最后以凉山电网 220 kV 山越线防雷治理为对象, 介绍了线路避雷器在雷害严重的山区输电线路防雷治理中的巨大功效。

**关键词:** 绕击; 线路避雷器; 电气几何模型; ATP-EMTP

**Abstract:** Lightning disturbance is the main cause for the tripping of transmission lines, in which the tripping caused by shield failure is in the majority for transmission line of 110 kV and above. Line arrester is an effective mean for shielding failure protection, especially for the transmission line in the complicated mountain area. Firstly, the impact of terrain parameters on shielding failure of typical 220 kV line is analyzed based on electrical geometric model, and then the working principle and points for attention of line arrester are studied with ATP-EMTP. Finally, taking 220 kV Shanyue transmission line in Liangshan power grid as the object of protection against lightning, the good results in protection treatment against lightning for the transmission lines in mountain area which have a serious lightning disturbance are introduced.

**Key words:** shielding failure; line arrester; electric geometry method; ATP-EMTP

中图分类号: TM863 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2015)01-0025-04

## 0 引言

雷击跳闸是输电线路跳闸的主要原因, 而绕击跳闸又占线路雷击跳闸的大多数<sup>[1-4]</sup>, 根据 2006—2013 年四川电网雷击跳闸情况统计显示, 220 kV 线路中绕击跳闸占雷击跳闸总数的 89.2%, 因此防治线路绕击跳闸对于线路雷害治理具有重要意义<sup>[5-7]</sup>。

线路避雷器是治理线路绕击跳闸的有效手段<sup>[8-11]</sup>, 在四川复杂地形山区线路中被广泛使用, 取得了很好效果, 大幅减少了绕击跳闸现象。实际工作中, 对于线路易绕击区段的评估, 避雷器安装的位置及配制方式的确定还存在很多误区, 阻碍了线路避雷器正常发挥其防雷功效<sup>[12]</sup>。

下面以凉山电网 220 kV 山越线防雷治理为对象, 使用电气几何模型<sup>[5, 13, 14]</sup>对典型 220 kV 线路在不同地形条件下最大绕击雷电流的幅值进行了计

算; 使用电磁暂态程序 ATP-EMTP<sup>[15]</sup>对线路避雷器工作原理及配合方式进行了阐述; 通过对比山越线雷害治理工作前后雷击跳闸数据, 说明了在正确进行防雷评估和使用线路避雷器的前提下, 山区线路雷害治理可以取得实效。

## 1 地形因素对线路防绕击的影响

这里研究地形因素对输电线路最大绕击雷电流的影响, 选取地面倾角和导线对地高度两个重要参数作为变量<sup>[16]</sup>, 使用电气几何模型对典型 220 kV 猫头塔(如图 1 所示)的最大绕击雷电流进行计算。

### 1.1 地面倾角对雷击跳闸率的影响

当线路位于山坡或者山顶时, 由于地面倾角的作用使得地面对外侧边相导线的屏蔽作用减弱, 导致大幅雷电流侵入, 基于图 1 所示模型尺寸的导线及地线挂点位置如图 2 所示。

图中  $\theta$  表示地面倾角, 逆时针方向为正。改变

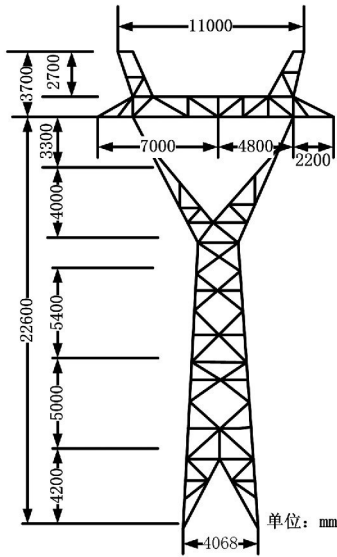


图1 典型220 kV杆塔尺寸

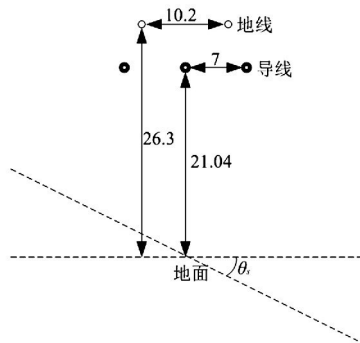


图2 线路尺寸与地面倾角

地线之间的间距(亦即改变地线保护角)在不同地面倾角情况下外侧边相导线的最大绕击电流见图3。

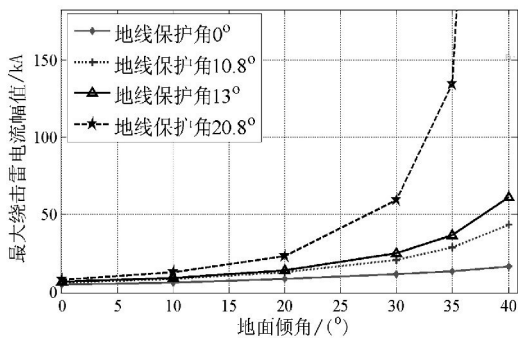


图3 不同地线保护角和地面倾角时最大绕击雷电流幅值

从图3可以知道,地线保护角对绕击雷电流具有重要影响,对于部分采用大地线保护角的山区线路,其遭受绕击雷害的问题尤为突出;随着地面倾角的增大,线路外侧边相的最大绕击电流迅速增大,导致线路遭受大雷电流绕击的概率增加。

### 1.2 大跨越对线路绕击跳闸率的影响

大跨越对线路绕击跳闸的影响主要表现在:大

跨越杆塔的高度较普通杆塔高,当导线跨越峡谷地带时由于峡谷深度的影响,导线中间部分对地高度增加,地面对导线屏蔽减弱,最大绕击侵入电流增加。表1给出了按图2方式布置的导线,边相导线对地高度改变时其最大绕击电流变化情况。

表1 不同导线对地高度下最大绕击电流

边相导线对地高度 / m	最大绕击电流 / kA
25	9.9
30	13.4
35	17.9
40	23.4
45	30.3

由此可知,线路绕击受地形地貌影响明显,在复杂地形区域,杆塔难免位于山顶、大倾角山坡并跨越山谷,使得线路无法避免大幅值雷电流的绕击。

## 2 大雷电流绕击引起高电位转移

在ATP-EMTP中建立220 kV绕击分析模型如图4所示,其中中间杆塔的A相为雷电流绕击相,左右两侧杆塔距中间杆塔均为300 m,杆塔接地电阻为10 Ω。

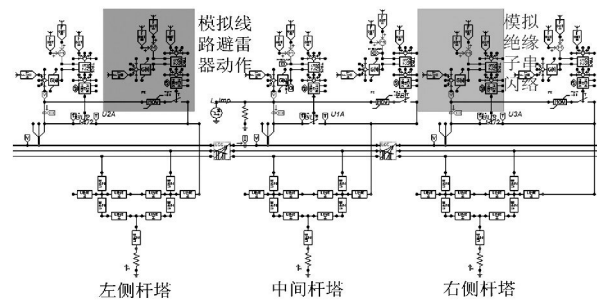


图4 连续3基塔A相安装线路避雷器时的仿真模型

其中杆塔波阻抗模型依据图1中杆塔尺寸计算,线路避雷器型号为YH10CX1-192/560。绝缘子串和线路避雷器串联空气间隙的伏秒特性曲线如图5所示,在模型中通过控制系统实现间隙击穿。

雷击时刻对应A相的初始相角取0°时,该线路绕击电流耐受能力为10.6 kA。如果仅中间杆塔的A相安装线路避雷器,在12 kA绕击电流作用下,相关电气参数波形如图6所示。

从图6可以看出,在幅值不大的绕击雷电流作用下,中间杆塔的避雷器动作,保证了中间杆塔和右

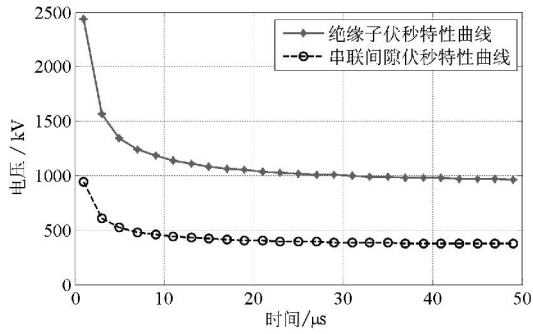
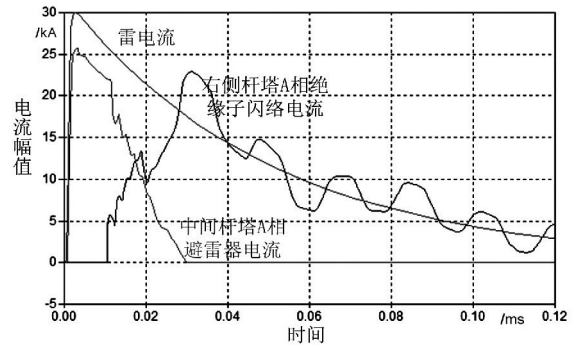
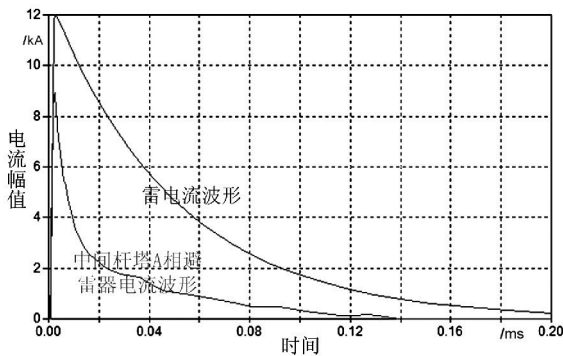


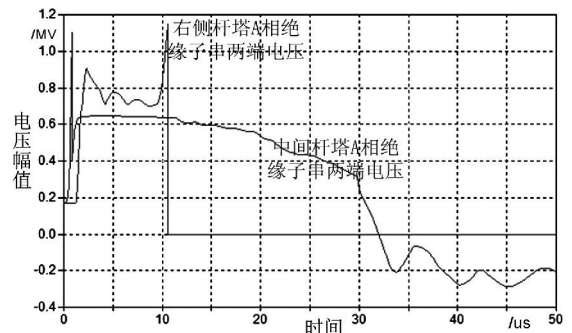
图5 绝缘子串与避雷器串联空气间隙  
伏秒特性曲线



(a) 电流波形

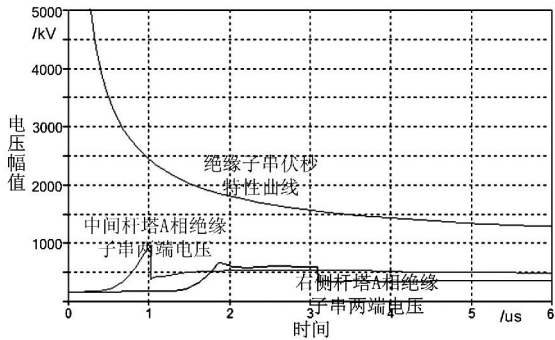


(a) 电流波形



(b) 电压波形

图7 30 kA 雷电流绕击时的参数波形



(b) 电压波形

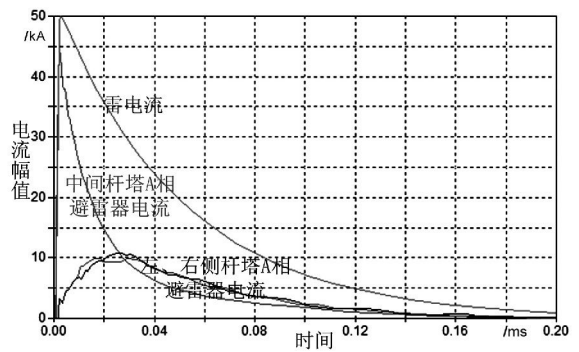
图6 20 kA 雷电流绕击时的参数波形

侧杆塔的 A 相绝缘子串电压波形与绝缘子串伏秒特性曲线不相交,线路不发生绕击跳闸。

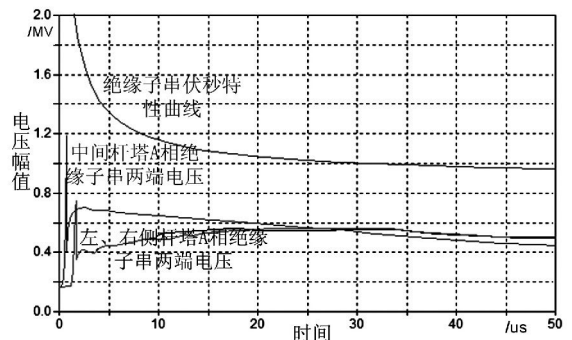
随着绕击雷电流幅值增大,将出现即使中间杆塔避雷器动作,相邻杆塔绝缘子串仍被击穿的情况。绕击雷电流为 30 kA 时,仿真得到的相关电气参数波形如图 7 所示。

从图 7 可知,在大雷电流绕击下,虽然中间杆塔 A 相避雷器动作,部分雷电流得到了释放,但由于雷电流太大,仍然使得右侧杆塔绝缘子串被击穿。

对于所用模型,当中间杆塔 A 相绕击雷电流幅值大于 30 kA 就会引起相邻杆塔的 A 相绝缘子串闪络。线路避雷器动作后并不能无限泄放雷电能量,当绕击雷电流幅值不断增大时会出现高电位转



(a) 电流波形



(b) 电压波形

图8 连续安装线路避雷器 50 kA 雷电流  
绕击时参量波形

移,导致本基杆塔被保护但相邻杆塔仍发生绝缘子串闪络的情况。

### 3 连续多基杆塔安装线路避雷器

为防止大幅值雷电流绕击导致的高电位转移,可以采用连续多基杆塔安装线路避雷器的方式进行防治,如图3所示。当50 kA的雷电流绕击中间杆塔的A相时,相关电气参量波形如图8所示。

从图8可知,此种情况下大绕击雷电流将使3支线路避雷器先后动作,使得中间杆塔线路避雷器无法充分泄放的雷电能量在相邻杆塔得到了释放。线路避雷器动作钳制了导线电压,抑制了绕击高电位转移。

为对3基塔连续安装线路避雷器情况下线路的绕击耐受能力进行分析,将中间杆塔A相的绕击雷电流幅值增大至100 kA,右侧杆塔下基塔A相绝缘子承受的电压波形如图9所示。

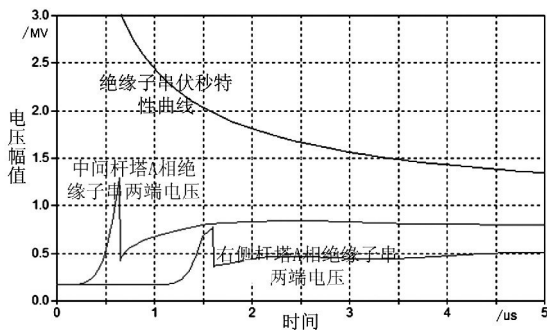


图9 右侧杆塔下基杆塔A相绝缘子串电压波形

从图9可以看出,从理论上讲在3基塔连续安装线路避雷器的情况下,中间杆塔遭受100 kA雷电流绕击也不至于因高电位转移导致线路跳闸。实际运行中发生100 kA及以上幅值的雷电流绕击220 kV导线还未见报道,由此可以认为使用在易受大雷电流绕击杆塔及其两侧临近杆塔连续安装线路避雷可以有效防止绕击高电位转移,避免雷击跳闸。

### 4 220 kV 山越线防雷治理

凉山电网220 kV山越线途经丘陵、高山大岭地区,跨越多个微气候地区,线路走廊所经地形极其复杂,且线路沿途有丰富的矿产资源,加上线路走廊内雷电活动频繁(2006—2012年走廊平均落雷密度见图10),防雷问题突出。线路2006年投运至2012年防雷改造前共发生9次雷击跳闸,其中因绕击引起的跳闸5次。

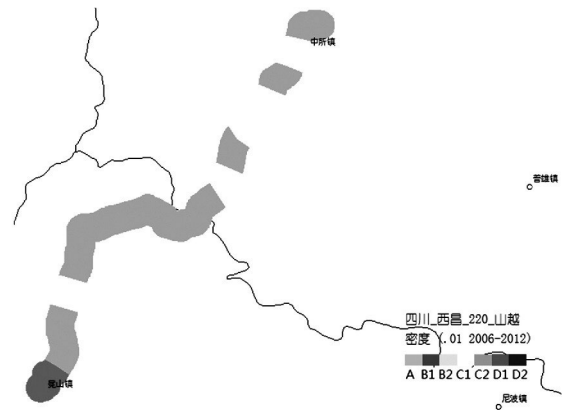


图10 山越线2006—2012年平均地闪密度

为此,国网四川省电力公司电科院与凉山供电公司一起于2012年年初对该线路实施了防雷评估和改造,重点关注易绕击线路区段,经现场勘测找到容易绕击杆塔35基,其中14基绕击风险尤其大。在改造过程中共安装线路避雷器52只,其中直线23基,31只;耐张12基,21只。部分杆塔如28~30号,由于位于坡度较陡的山腰,采取了连续3基塔安装线路避雷器的方式;36~37号跨越山谷,采用连续两基塔安装线路避雷器的方式。

改造至今,山越线仅发生两次雷击跳闸,均为反击雷电引起,证明了以线路避雷器为主要防雷手段的复杂地形多雷地区输电线路防雷改造工作的有效性。

### 5 结语

- (1) 对于复杂山地输电线路,由于其不可避免地位于大坡度山腰或山顶以及跨越山谷,绕击雷害较为突出;
- (2) 大幅值雷电流绕击将引起高电位转移,在本基杆塔线路避雷器动作的情况下仍会导致相邻杆塔绝缘子串闪络;
- (3) 使用在易受大幅值雷电流绕击杆塔及其相邻杆塔连续安装线路避雷器的方式可以有效防止高电位转移,从而避免绕击跳闸;
- (4) 基于线路避雷器的220 kV山越线防雷改造的成功,显示了在正确安装线路避雷器的情况下,绕击雷害可以得到很好的治理。

#### 参考文献

[1] 束洪春,曹璞麟,张广斌,等. 雷电流波形参数检测视角下±800 kV直流输电线路导线绕击分析[J]. 高压技术,2011,37(5): 1203-1215.

(下转第91页)

革新,因而设置的此项费用。项目技术服务费中的前期工作费以建安工程费为取费基数,与2013版“预规”中前期工程费取费基数一致,但费率不分专业,统一为2.75%。

2013版《预规》其他费用比2010版技改《预规》在其他费用的设置上增加生产准备费、大件运输费,但不包括新技术应用研究测试费。这种设置是与两种计价定额适用的工程建设性质相配套的。但2013版《预规》将基本预备费从其他费用中独立出来,形成单独的项目。2013版《预规》项目建设管理费比2010版技改《预规》中增加了“工程结算审核费”,这适应了近年来电网工程结算审核工作中引进工程造价咨询机构这一现象,并为其发生的费用计取提供了必要依据。电网技术改造工程在此方面也可借鉴电网建设管理中的先进经验,引入工程造价咨询机构,为技术改造工程合理准确定价提供有力保证。

## 5 结语

通过上述分析,归结出电网建设工程和技术改造工程计价依据呈现出以下3方面的差异化:①不同时期编制的计价定额造成的价格水平差异;②新技术、新设备、新工艺的运用造成的定额子目差异;

(上接第28页)

[2] 曹晓斌,马御棠,吴广宁,等. 利用地形参数计算超高压输电线路绕击跳闸率[J]. 高电压技术, 2010, 36(5): 1178-1183.

[3] 何俊佳,姚帅,贺恒鑫,等. 复杂地形下500kV超高压输电线路的绕击耐雷性能[J]. 高电压技术, 2010, 36(8): 1877-1883.

[4] 姚陈果,王婷婷,杨庆,等. 特高压交流输电线路绕击耐雷性能仿真分析[J]. 高电压技术, 2013, 39(3): 526-533.

[5] 杜颖. 超(特)高压输电线路耐雷性能计算方法综述[J]. 广东电力, 2010, 23(9): 15-20.

[6] 郝俊琦,李琳,王平. 基于蒙特卡罗法的超高压输电线路绕击跳闸率的计算[J]. 华北电力大学学报, 2012, 39(5): 35-41.

[7] 赵立进,袁明仁,谭进,等. 高原山地500kV输电线路雷电屏蔽特性试验研究[J]. 高电压技术, 2011, 37(7): 1663-1669.

[8] 王兰义,赵冬一,胡淑慧,等. 线路避雷器的研究进展[J]. 电瓷避雷器, 2011(1): 26-34.

③不同建设性质造成的其他费用计取差异。虽然两种计价依据存在一定程度的差异,但作为电网建设工程计价依据,在分析比较电网建设项目造价水平合理性和科学性等方面仍有其重要的参考价值 and 值得分析探讨之处。

## 参考文献

[1] 国家能源局. 电力建设工程预算定额(第三册)电气设备安装工程(2013年版)[M]. 北京:中国电力出版社, 2013.

[2] 国家能源局. 电力建设工程预算定额(第四册)输电线路工程(2013年版)[M]. 北京:中国电力出版社, 2013.

[3] 国家能源局. 电力建设工程预算定额(第五册)调试工程(2013年版)[M]. 北京:中国电力出版社, 2013.

[4] 国家能源局. 电网工程建设预算编制与计算规定(2013年版)[M]. 北京:中国电力出版社, 2013.

[5] 国家能源局. 电力技术改造工程预算定额(第一册)电气工程(试行)[M]. 北京:中国电力出版社, 2010.

[6] 国家能源局. 电力技术改造工程预算定额(第二册)送电线路工程(试行)[M]. 北京:中国电力出版社, 2010.

[7] 国家能源局. 电力技术改造工程预算定额(第三册)调试工程(试行)[M]. 北京:中国电力出版社, 2010.

[8] 国家能源局. 电网技术改造工程预算编制与计算标准(试行)[M]. 北京:中国电力出版社, 2010.

[9] 电力工程造价与定额管理总站. 电网工程建设预算编制与计算标准[M]. 北京:中国电力出版社, 2007.

(收稿日期:2014-10-22)

[9] 马春华. 线路避雷器和绝缘子串的伏秒特性配合问题研究[J]. 高压电器, 2007, 43(1): 68-70.

[10] 胡中. 500kV线路型不带支撑件串联间隙MOA[D]. 武汉:武汉大学, 2003.

[11] 张益民,申萌,罗六寿,等. 带外串联间隙线路避雷器续流切断试验探讨[J]. 电瓷避雷器, 2012(6): 91-96.

[12] 郭清滔,廖福旺,黄海鲲. 220kV棉紫线线路避雷器安装方案研究[J]. 电瓷避雷器, 2011(6): 89-95.

[13] 吴广宁,熊万亮,曹晓斌,等. 输电线路绕击特性的三维分析方法[J]. 高电压技术, 2013, 39(2): 374-382.

[14] 袁海燕,傅正财,魏本刚,等. 综合考虑风偏、地形和工作电压的特高压交流线路雷电绕击性能[J]. 电工技术学报, 2009, 24(5): 148-153.

[15] 陈冬,刘建华,贾晨曦. 基于ATP-EMTP的耐雷水平研究[J]. 电瓷避雷器, 2011(5): 8-12.

[16] 马御棠,吴广宁,曹晓斌,等. 微地形下输电线路绕击闪络率的计算方法[J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(22): 135-141.

(收稿日期:2014-10-14)