

500 kV 线路避雷器保护失效分析及改进措施研究

刘守豹,侯玉成,盛明珺,方 圆,童 理,韦昌伟
(大唐水电科学技术研究院有限公司,广西南宁 530007)

摘要:线路避雷器是防止输电线路雷击跳闸的有效手段,随着高电压等级线路避雷器的使用,出现了因安装方式导致的线路避雷器保护失效问题。针对某 500 kV 输电线路发生的线路避雷器在大幅值雷电流反击下对绝缘子串保护失效的问题,采用电磁暂态分析软件 ATP-EMTP 建立了仿真分析模型,分别对雷电流绕击和反击情况下绝缘子串和线路避雷器两端承受的电压进行了量化,得出了导致反击情况下线路避雷器保护失效的原因;提出了对现有 500 kV 线路避雷器安装方式的改进方案,并对改进方案下反击雷电流导致的绝缘子串和线路避雷器两端电压波形进行了比较,验证了改进措施的有效性。所研究成果对于 500 kV 及以上电压等级线路避雷器的使用具有重要参考价值。

关键词:输电线路;线路避雷器;绕击;反击;保护失效

中图分类号:TM 723 文献标志码:A 文章编号:1003-6954(2022)02-0028-05

DOI:10.16527/j.issn.1003-6954.20220206

Analysis on Protection Failure and Research on Improvement Measures of 500 kV Line Arrester

LIU Shoubao, HOU Yucheng, SHENG Mingjun, FANG Yuan, TONG Li, WEI Changwei

(Datang Hydropower Science & Technology Research Institute Co., Ltd., Nanning 530007, Guangxi, China)

Abstract:The line arrester is an effective means to prevent the transmission line from lightning trip-out. With the use of line arresters with higher voltage class, the protection failure of line arrester caused by the installation mode appears. Taking the failure of line arrester in a 500 kV transmission line under the counterattack of large lightning current as a research case, the simulation model is established by using the electromagnetic transient analysis software ATP-EMTP, the voltage of insulator string and line arrester under shielding failure and counterattack is respectively qualified, and the reasons for protection failure of line arrester under the condition of counterattack is obtained. An improvement plan for the installation mode of 500 kV line arrester is proposed, and the voltage waveforms of insulator string and line arrester caused by lightning current under the improvement plan are compared, which verifies the effectiveness of the proposed improvement plan. The research results have an important reference value for the use of line arresters with 500 kV and higher voltage class.

Key words:transmission line; line arrester; shielding failure; counterattack; protection failure

0 引 言

雷击是输电线路跳闸的主要原因^[1-4],线路避雷器是进行架空输电线路防雷治理的重要设备,由于其工作原理清楚、防雷效果可查、运行维护简单、可靠性较高,在线路防雷工作中被广泛采用^[5-8]。

当雷击输电线路时,被保护绝缘子串和线路避雷器同时承受过电压,理想情况下二者承受电压相同,但线路避雷器动作电压低于绝缘子串击穿电压,因此

线路避雷器起到保护绝缘子串的作用^[9-10]。但实际运行中,由于避雷器安装方式不同,会出现雷击下线路避雷器未动作而绝缘子串闪络的故障。500 kV 线路避雷器由于长度较大,安装方式与低电压等级线路避雷器不同,存在安装不当导致保护失效的问题。

下面针对某已安装线路避雷器的 500 kV 杆塔发生的雷击跳闸故障,采用 ATP-EMTP 建立电磁暂态仿真分析模型,对雷电反击情况下杆塔电位分布情况进行计算,得出导致绝缘子闪络而避雷器未动作的原因,提出避免 500 kV 避雷器保护失效的改进措施。

1 线路跳闸情况

某 500 kV 线路在雷雨天气中发生跳闸,重合闸成功,两侧行波测距均显示故障点位于该线路 52 号杆塔处,跳闸相位为 A 相(右相),如图 1 所示。通过查询雷电定位系统显示故障时刻该杆塔附近出现幅值为 176 kA 的雷电流,杆塔接地电阻为 12Ω ,因此确认此次跳闸为大幅值雷电流反击导致。



图 1 故障杆塔全貌

从图 1 可知,故障杆塔左右两相均安装有线路避雷器,由此可知线路避雷器在此次雷击故障中并没有发挥其防雷功效,出现了线路避雷器对线路雷击防护失效的问题。

为了对此次 500 kV 线路避雷器保护失效进行研究,将各电压等级线路避雷器安装方式进行展示,见图 2。

从图 2 可知,在电压等级较低时,线路避雷器一般采用与绝缘子串并联安装的方式,见图 2(a)一图 2(b),即避雷器的零电位点与绝缘子串的零电位点处于同一水平位置。随着电压等级升高,线路避雷器长度增加,安装方式也随之变化,避雷器的零电位点转移至绝缘子串零电位点的下方,见图 2(c)一图 2(f)。

对于工频电压而言,导体上传播路径十几米甚至几十米的差异不会造成明显的电压差异,而雷电流行波的波头时间是微秒级,零电位点较小的空间差异将造成巨大的电位差异。因此,对于 500 kV 及以上电压等级线路避雷器,均存在因安装原因导致的避雷器保护失效问题。



(a) 110 kV 线路用支撑串联间隙复合外套避雷器



(b) 220 kV 线路用纯空气间隙复合外套避雷器



(c) 500 kV 线路用支撑串联间隙复合外套避雷器



(d) 500 kV 同塔双回交流线路座式安装



(e) ± 500 kV 单回直流线路立塔式安装



(f) ± 800 kV 直流线路复合绝缘子斜拉式安装

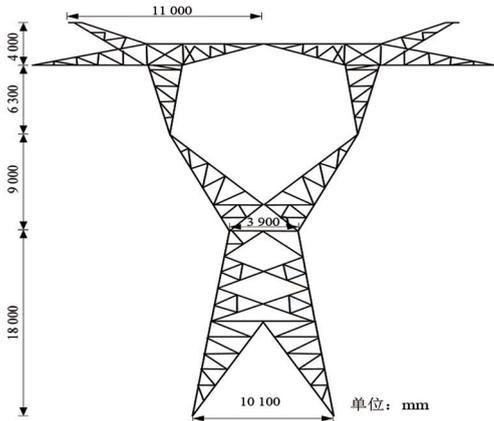
图 2 不同电压等级线路避雷器安装方式

2 仿真模型介绍

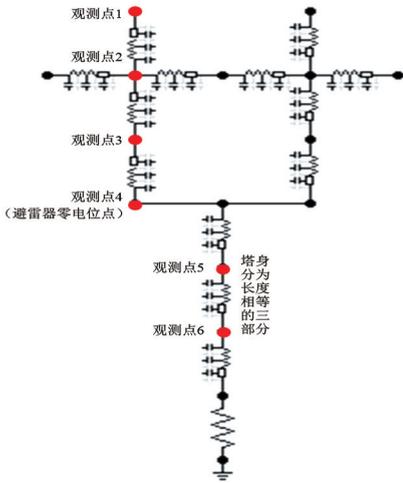
以 500 kV 某线路 52 号杆塔为分析对象,在 ATP-EMTP 中建立对应的杆塔多段波阻抗模型^[11],如图 3 所示。为方便观测雷电流传播过程中在杆塔内各部位的电压波形,从上至下设置 6 个电压观测点,将杆塔塔身进一步细分为长度相同的三段,其中将避雷器零电位点设置于观测点 4。

典型的 500 kV 线路避雷器安装方式(也是 52 号杆塔线路避雷器安装方式)如图 4 所示,线路避雷器类型为 YH20CX1-396/1050,其中避雷器的接地点为计数器安装点。

建立仿真模型如图 5 所示,其中雷电流由双指数波模拟,波形为 $1.2/50 \mu\text{s}$,绝缘子串干弧距离为 4.3 m,线路避雷器复合支撑件干弧距离为 1.5 m,对应的伏秒特性曲线根据参考文献[12-13]中的公式



(a) 杆塔尺寸



(b) 多段波阻抗模型

图 3 杆塔及其波阻抗模型

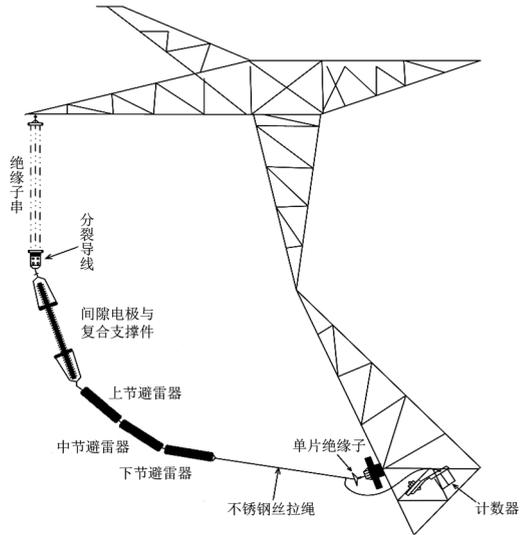


图 4 典型 500 kV 线路避雷器安装方式

进行模拟,其中避雷器伏秒特性曲线为复合支撑件干弧距离伏秒特性曲线与线路避雷器直流 1 mA 参考电压(561 kV)相加^[14-15],线路避雷器和绝缘子串的伏秒特性曲线如图 6 所示。

根据参考文献[16-17]避雷器要有效保护绝缘子串,其冲击放电电压必须低于绝缘子冲击放电电压的 85%。由图 7 所示线路避雷器与绝缘子串的伏秒特性曲线之比,可知在冲击电压作用下,线路避雷动作电压最大也只有绝缘子串的 65%,且当波头越陡时该型号的 500 kV 线路避雷器对绝缘子串的保护性能越好,即雷电波达到最大值的上升时间越短则一定是

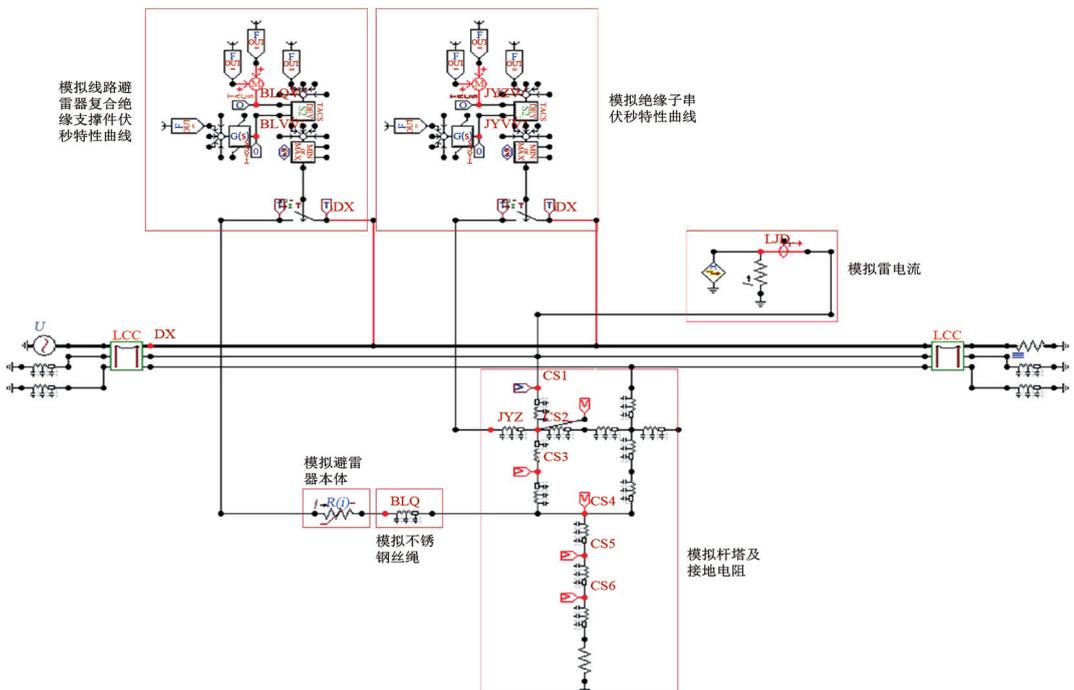


图 5 避雷器安装方式有效性验证模型

避雷器-复合支撑件先击穿(避雷器动作)。

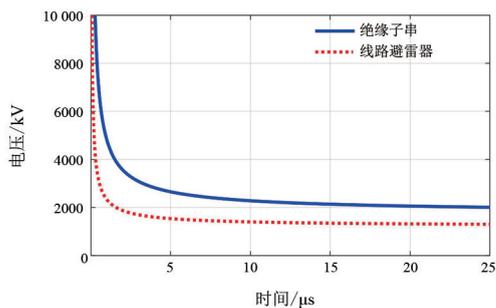


图 6 绝缘子串及线路避雷器伏秒特性曲线

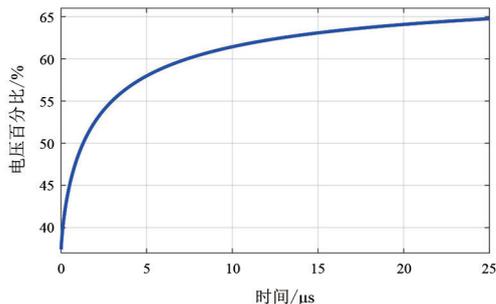


图 7 线路避雷器伏秒特性曲线与绝缘子串伏秒特性曲线之比

3 避雷器防护有效性分析

在 10 kA 雷电流绕击杆塔 A 相导线时,绝缘子串和线路避雷器两端的电压波形如图 8 所示。

从图 8 可知,绕击情况下线路避雷器和绝缘子串承受的电压波形几乎没有差别,由于线路避雷器动作电压低于绝缘子串冲击放电电压,所以线路避雷器将能够有效防止绝缘子串绕击闪络。

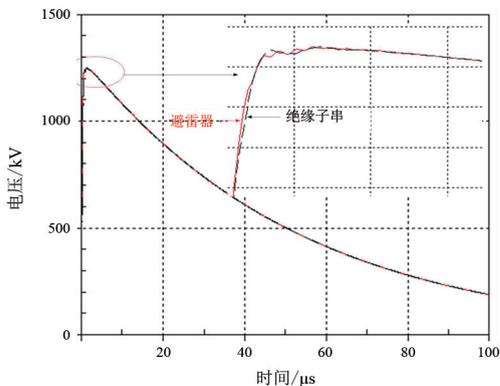


图 8 绕击情况下线路避雷器和绝缘子串承受的电压波形

采用 100 kA 雷电流反击塔头(观测点 1),得到各个观测点电压波形如图 9 所示。

从图 9 可知:1)过电压达到峰值的时间为 0.3 μs,而雷电流达到峰值的时间为 1.2 μs,雷电波从杆塔塔

顶入地的传播时间为 0.14 μs,因此在接地电阻较小的情况下雷电反击导致的过电压最大幅值不是出现在雷电流的峰值;2)观测点过电压起始值从上至下依次过零,是雷电波在杆塔内部传播的体现;3)各观测点电位从上至下依次递减,反映了地电位对杆塔电位的钳制作用。

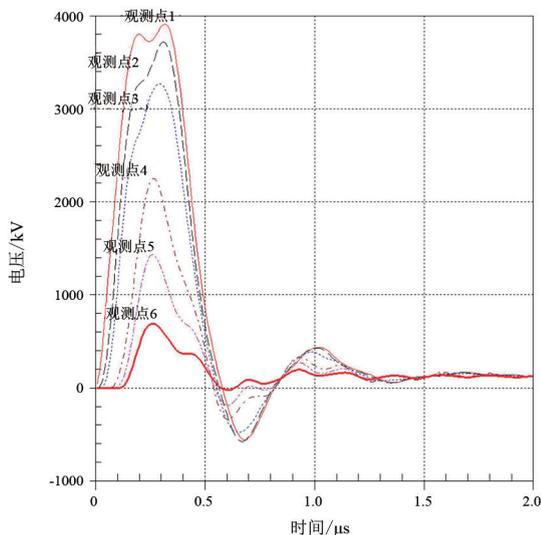


图 9 反击雷电作用下各观测点电压波形

在典型的 500 kV 线路避雷器安装方式下,绝缘子串两端电压实际上是导线和观测点 2 之间的电位差,线路避雷器两端电压实际上是导线和观测点 4 之间的电位差,波形如图 10 所示。其中线路避雷器和绝缘子串承受过电压峰值的比值为 0.54,即线路避雷器承受的最大电压只有绝缘子串承受最大电压的 54%。对应图 10 中峰值出现时刻,线路避雷器

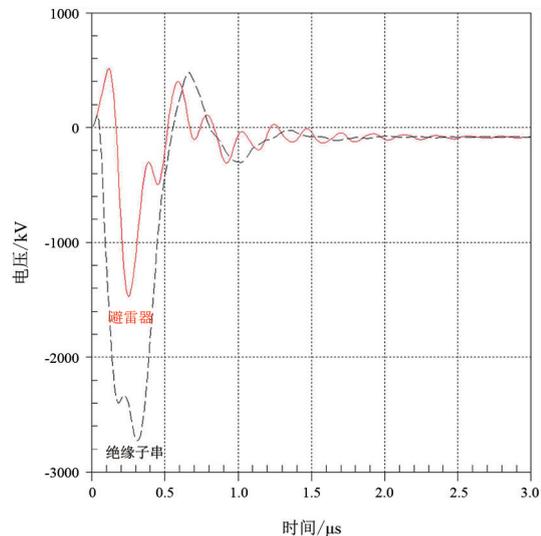


图 10 反击情况下线路避雷器和绝缘子串承受的电压波形

参考文献

- [1] 中华人民共和国国务院.“十三五”国家信息化规划[R/OL].(2016-12-27)[2021-04-07].http://www.gov.cn/zhengce/zhengceke/2016-12/27/content_5153411.htm.
- [2] 李群湛,连级三,高仕斌.高速铁路电气化工程[M].成都:西南交通大学出版社,2006.
- [3] 于坤山,周胜军,王同勋.电气化铁路供电与电能质量[M].北京:中国电力出版社,2011.
- [4] 万庆祝.牵引供电系统负序问题研究[D].北京:清华大学,2008.
- [5] 李海军.神朔电铁 SVC 静止补偿装置实例研究[D].北京:清华大学,2006.
- [6] 李群湛.中国高速铁路牵引供电系统发展的若干关键技术问题[J].铁道学报,2010,32(4):119-124.
- [7] 李群湛.论干线铁路与城市轨道统一牵引供电方式[J].中国科学:技术科学,2018,48(11):1179-1189.
- [8] 李群湛,张进思,贺威俊.适于重载电力牵引的新型供电系统的研究[J].铁道学报,1988,10(4):23-33.
- [9] 黄小红,赵艺,李群湛,等.电气化铁路同相储能供电技术[J].西南交通大学学报,2020,55(4):856-864.
- [10] SHU Zeliang, XIE Shaofeng, LI Qunzhan. Development and Implementation of a Prototype for Co-phase Traction Power Supply System[C].2010 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC),2010:1-4.
- [11] DAI Ningyi, HUANG Mincong, LAO Kengweng, et al. Modelling and control of a railway power conditioner in co-phase traction power system under partial compensation[J].IET Power Electronics,2014,7(5):1044-1054.
- [12] 郭尽朝.同相供电技术在神朔铁路的应用前景研究[J].机车电传动,2013(4):47-50.
- [13] 黄小红,李群湛.基于模块化多电平变流器和组合式变压器的高速铁路同相牵引供电系统[J].高电压技术,2016,42(1):97-104.
- [14] 夏焰坤,李群湛,解绍锋.电气化铁道贯通同相供电变电所控制策略研究[J].铁道学报,2014,36(8):25-31.
- [15] 刘飞,解绍锋,侯东光,等.基于器件结温的同相补偿变流器可靠性评估[J].电力自动化设备,2018,38(1):149-155.
- [16] 张恒,王辉,李群湛,等.采用自耦变压器供电的重载铁路牵引电缆贯通供电系统供电方案[J].电力自动化设备,2021,41(1):204-210.
- [17] 张宇,王辉,李群湛,等.基于 Dd 匹配变和 SVG 的牵引变电所群贯通供电系统负序治理方案及控制策略[J].高电压技术,2021,47(1):150-158.
- [18] 张丽艳,梁世文,李鑫,等.新型电缆贯通供电系统运行特性分析[J].中国电机工程学报,2020,40(16):5529-5239.
- [19] 常非,冯金博,赵丽平.同相贯通牵引供电系统综合潮流控制器设计[J].电力系统及其自动化学报,2012,24(1):54-58.
- [20] 张睿.贯通式同相供电系统电能变换器的研究[J].电气化铁道,2012,23(4):19-22.
- [21] 张丽艳,梁世文,李鑫,等.新型电缆贯通供电系统载流机制研究[J].西南交通大学学报,2021,56(3):650-658.
- 作者简介:
夏焰坤(1984),男,博士,副教授,研究方向为电力系统分析、电能质量分析与控制技术。
(收稿日期:2021-09-24)
-
- (上接第 32 页)
- [9] 万帅,张伟,陈家宏,等.特高压±800 kV 直流输电线路用避雷器的研制[J].高压电器,2017,53(5):48-55.
- [10] 万帅,曹伟,陈家宏,等.银东线雷电防护线路避雷器开发与应用[J].高电压技术,2018,44(5):1612-1618.
- [11] 李云阁.ATP-EMTP 及其在电力系统中的应用[M].北京:中国电力出版社,2016.
- [12] 阮耀莹.高海拔地区 110 kV 绝缘子雷击闪络特性及闪络判据研究[D].广州:华南理工大学,2018.
- [13] 唐力,韩永霞,郝艳捧,等.高海拔地区特高压直流线路绝缘子的正极性先导发展法闪络判据[J].高电压技术,2016,42(6):1900-1906.
- [14] S Furukawa, O Usuda, T Isozaki, et al. Development and applications of lightning arresters for transmission lines[J].IEEE Transactions on Power Delivery,1989,4(4):2121-2129.
- [15] K Ishida, K Dokai, T Tsozaki, et al. Development of a 500 kV transmission line arrester and its characteristics [J].IEEE Transactions on Power Delivery,1992,7(3):1265-1274.
- [16] 邹建章,张宇,胡京,等.220 kV 带串联间隙线路避雷器保护性能研究[J].高压电器,2016,52(10):148-152.
- [17] 全国高电压试验技术和绝缘配合标准化技术委员会.绝缘配合 第 2 部分:使用导则:GB/T 311.2—2013 [S].北京:中国标准出版社,2013.
- 作者简介:
刘守豹(1983),男,博士,正高级工程师,主要研究方向为电力系统暂态分析与工程电磁场数值计算。
(收稿日期:2021-08-08)