

浙江电网降低高压输电线路雷击跳闸率的措施分析

金祖山¹, 胡文堂¹, 龚坚刚², 吴明祥¹, 曾 嵘³

(1. 浙江省电力试验研究院, 杭州 310014; 2. 浙江省电力公司, 杭州 310007;
3. 清华大学电机系, 北京 100084)

摘 要: 为增强浙江电网高压输电线路的防雷能力, 已采取了各种防雷措施, 如降低杆塔接地电阻、加强绝缘水平、安装线路避雷器和增加耦合地线等, 计算分析采取这些措施对雷击(反击或绕击)跳闸率的影响, 提出了高压线路防雷的总体建议。

关键词: 高压线路; 防雷; 效果; 分析; 建议

中图分类号: TM862

文献标志码: B

文章编号: 1007-1881(2010)11-0001-05

Analysis of Measures to Reduce Lightning Trip-out Rate of High-voltage Transmission Lines in Zhejiang Power Grid

JIN Zu-shan¹, HU Wen-tang¹, GONG Jian-gang², Wu Ming-xiang¹, ZENG Rong³

(1. Zhejiang Electric Power Test and Research Institute, Hangzhou 310014, China;

2. Zhejiang Electric Power Corporation, Hangzhou 310007, China;

3. Department of Electrical Engineering of Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: In order to strengthen the lightning protection capability of high-voltage transmission lines in Zhejiang power grid, a variety of lightning measures are adopted, such as reducing tower ground resistance, improving insulation, installing line surge arrester and adding coupling ground wire etc. This paper calculates and analyzes the effect on the lightning trip-out (back striking and shielding failure) rate and puts forward the overall proposals of lightning protection for high-voltage transmission lines.

Key words: high-voltage transmission line; lightning protection; effect; analysis; proposals

近年来浙江电网在高压输电线路中, 积极采取降低杆塔接地电阻、加强绝缘水平、安装线路避雷器、增加耦合地线等防雷措施以降低高压线路雷击跳闸率。以下通过计算分析各种防雷措施降低反击跳闸率或绕击跳闸率的效果。

1 降低接地电阻的效果分析

110~500 kV 杆塔接地电阻对反击跳闸率的影响如图 1-3 所示。从图中可知, 各种杆塔的反击跳闸率都随接地电阻的增大而明显增高, 并且越高的杆塔反击跳闸率越高。这一方面是由于线路耐雷水平随着杆塔高度的增加而降低, 另一方

面较高的杆塔引雷面积较大, 发生反击的概率也较大。此外同等高度下, 猫头塔的反击跳闸率高于耐张塔, 这是因为猫头塔避雷线与外侧导线距离较远, 耦合系数较小且绝缘子串较短, 因而耐雷水平较低, 较易发生反击闪络; 同杆双回塔由于杆塔很高, 引雷面积大, 发生反击的概率较大, 因而对杆塔接地电阻应该有更严格的限制。

当接地电阻降到 5 Ω 时, 500 kV 输电线路反击跳闸率可以降到 0.1 次/(100 km·a)以下; 当接地电阻降到 10 Ω 时, 220 kV 以及 110 kV 线路反击跳闸率可以分别降到 2.0 次/(100 km·a)以下与 3.0 次/(100 km·a)以下。

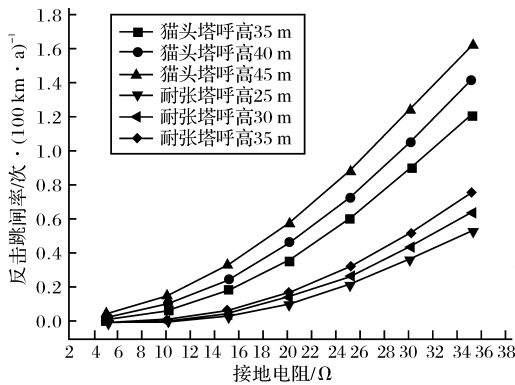


图1 500 kV 杆塔接地电阻对反击跳闸率影响

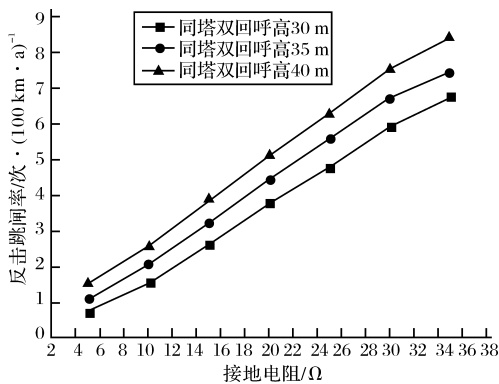


图2 220 kV 杆塔接地电阻对反击跳闸率的影响

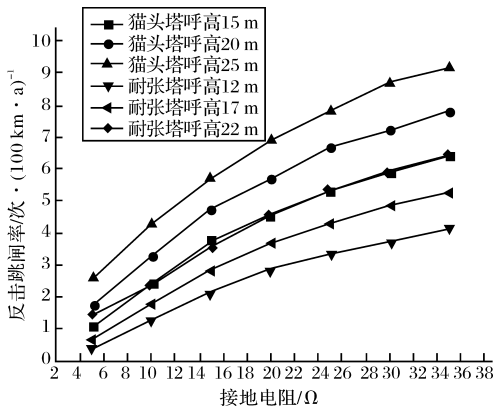


图3 110 kV 杆塔接地电阻对反击跳闸率的影响

2 加强绝缘水平的效果分析

2.1 加强绝缘对反击跳闸率的影响

各种塔型不同杆塔接地电阻下加强绝缘对跳闸率的影响如图4-6所示。从图中可知，增加绝缘子片数可以有效提高线路的耐雷水平。即使在接地条件较为恶劣时，如接地电阻大于20Ω时，110 kV线路每增加1片绝缘子可使线路耐雷水

平提高8 kA左右，220 kV线路每增加1片绝缘子可使线路耐雷水平提高10 kA左右，500 kV线路每增加1片绝缘子可使线路耐雷水平提高15 kA左右。

当接地电阻较低时，由于线路本身耐雷水平较高，增加绝缘子对反击率的改善效果并不明显。但在接地电阻较高时，增加绝缘子片数可以有效降低线路的反击跳闸率。当接地电阻为30Ω时，对110 kV线路每增加1片绝缘子可使反击跳闸率降低到2.0次/(100 km·a)左右，220 kV线路每增加1片绝缘子可使反击跳闸率降低到1.2次/(100 km·a)左右，500 kV线路每增加1片绝缘子可使反击跳闸率降低到0.4次/(100 km·a)左右。

2.2 加强绝缘对绕击跳闸率的影响

增加绝缘子片数或增加复合绝缘子长度对绕击跳闸率的改善作用有两方面：

(1)在正保护角条件下，可以在一定程度上减小保护角，提高地线屏蔽效果。

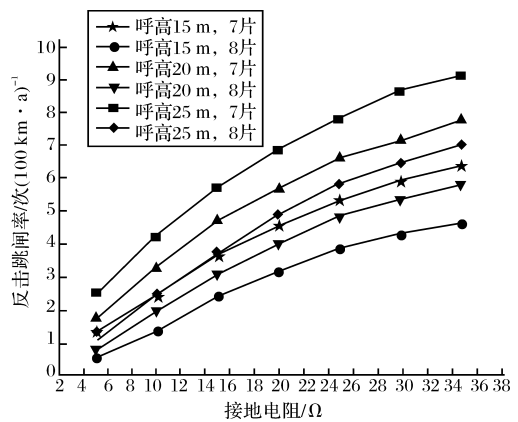


图4 110 kV 猫头塔增加绝缘对跳闸率的影响

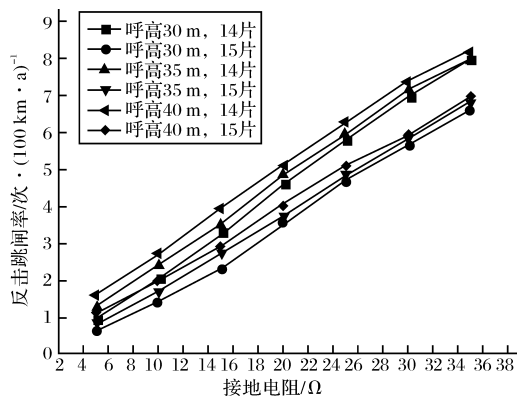


图5 220 kV 同杆双回塔增加绝缘对跳闸率的影响

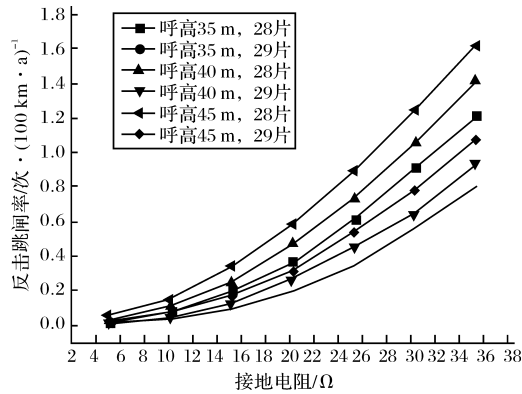


图6 500 kV 猫头塔加强绝缘对跳闸率的影响

(2)加强绝缘可以提高线路的绕击耐雷水平,进而降低绕击跳闸率。

在现有条件下,由于机械受力以及绝缘配合的原因,增加的绝缘子串长度极为有限,因此对导线的保护角影响很小。增加绝缘长度对绕击跳闸率的影响主要体现为改善耐雷水平。

对于110 kV以及220 kV线路,增加线路绝缘长度更为可行。加强绝缘后平均每增加1片绝缘子可提高约1 kA绕击耐雷水平。

通过计算可知,加强绝缘对降低输电线路的绕击跳闸率有一定作用。对于110 kV输电线路,这种作用不明显且存在一定的饱和趋势;对于220 kV线路有一定的效果。但是在增加绝缘子片数很少的情况下,加强绝缘对改善绕击跳闸率影响很小。可见,增加绝缘子对改善反击跳闸率作用明显,对改善绕击跳闸率,作用不大。

3 安装线路避雷器的效果分析

位于山区复杂地形、高土壤电阻率地区的线路,当采用其它措施仍不能有效降低雷击跳闸率时,可以考虑安装线路避雷器,能避免安装相的反击。当雷击杆塔塔顶电位升高时避雷器动作,部分雷电流通过安装避雷器的相导线泄放,从而在一定程度上降低塔顶电位;另一方面随着避雷器动作,安装相导线电压升高,会在相邻相上感应较高电压。2个因素共同作用使得其它相绝缘子上的电压降低,耐雷水平得到改善。从提高耐雷水平的机理上看,该方法与增加耦合地线的效果相似,但由于相导线电阻更小,而且与其它导线间的耦合作用更强,因此对耐雷水平的改善效果也更为明显。

理论计算和实际运行经验都表明,安装线路避雷器对防止反击和绕击都有明显的作用,可以有效提高线路的耐雷水平,降低雷击跳闸率。对于接地电阻较大、可能发生反击的杆塔,需要三相分别安装线路避雷器;对于地面坡角较大或大跨越的线路,为防止绕击只需在可能发生绕击的外边相安装即可。经过正确绝缘配合安装的线路避雷器对导线的保护作用非常明显,在易击的杆塔和线路上安装避雷器后有效避免了再次遭受雷击时跳闸的发生。此外,线路避雷器还可以起到限制操作过电压的作用。

线路避雷器能够对所安装的杆塔提供非常可靠的雷电防护,但其保护作用存在一个有效距离,对相邻杆塔的保护作用则随着档距的增加而明显减小。计算表明,超高压线路一般档距长度下线路避雷器对相邻杆塔的绕击耐雷水平基本没有改善作用,对反击耐雷水平的改善也不明显,提高约2 kA左右。因此可以认为线路避雷器可使安装相的雷击跳闸率降为0,而对相邻杆塔则基本没有影响。

线路避雷器造价比较昂贵,而且线路避雷器的运行维护与检修工作量很大。这就决定了线路避雷器不能在所有的杆塔上使用,最有效的方法就是选择经常发生雷击故障的杆塔或易击相安装。另外,当杆塔很高或有跨越等易发生雷击同时对可靠性要求很高时,可以采用线路避雷器。对于一般线路,采用线路避雷器抑制反击跳闸需要安装三相,成本较高。建议采用其它措施,如改造接地装置或增加绝缘等,地形复杂、绕击率较高的线路,通过加强绝缘等方法仍无法有效降低雷击跳闸率时,可以考虑在外边相安装避雷器,以达到防雷效果和经济性的最优选择。

线路安装避雷器后的绕击跳闸率,可以按如下原则进行计算:山坡外侧相安装避雷器后绕击跳闸率降为0,山顶和跨越山谷线路边相安装避雷器时绕击率降为原来的50%,两侧边相都安装避雷器后绕击率为0。

500 kV杆塔接地电阻与不同线路避雷器安装方式下的耐雷水平如图7所示,500 kV杆塔接地电阻与不同线路避雷器安装方式下的反击跳闸率如图8所示。

由图7-8可知:装两支避雷器比未装时耐雷

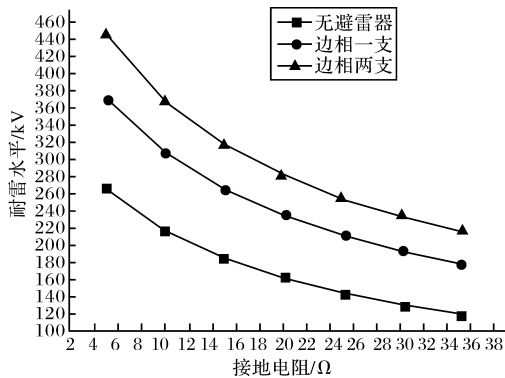


图7 500 kV 杆塔接地电阻与不同线路避雷器安装方式下的耐雷水平

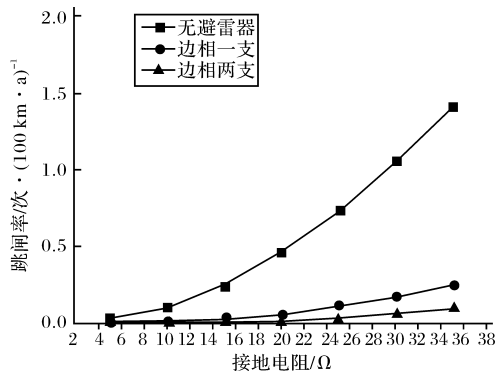


图8 500 kV 杆塔接地电阻与不同线路避雷器安装方式下的反击跳闸率

水平提高 150 kA 左右, 并且接地电阻越小效果越明显; 装单支避雷器比未装时耐雷水平提高 100 kA 左右, 装单支或两支避雷器时的反击跳闸率比不装避雷器时大幅度降低。如果接地电阻较低, 则只在边相安装避雷器就能有效防反击。

4 增加耦合地线的效果分析

除了降低接地电阻、加强绝缘和安装线路避雷器外, 还有一些措施可以对输电线路的防雷性能起到改善作用, 如增加耦合地线和采用侧向避雷针等。

增加耦合地线的作用主要是提高线路的反击耐雷水平, 降低反击跳闸率, 因而耦合地线主要应用在接地电阻较高的线路。耦合地线提高耐雷水平的机理包括两方面:

(1) 耦合地线可以增加导线和地线间的耦合作用, 雷击塔顶时在导线上产生更高的感应电压, 从而减小绝缘子串承受的冲击电压。

(2) 耦合地线可以降低杆塔的分流系数, 特别是在接地电阻较高时, 可使雷电流易于通过邻近杆塔的接地装置散流, 从而降低塔顶电位。

但从总体效果来看, 采用耦合地线对改善耐雷水平的效果不太明显, 与增加两片绝缘子的作用基本相同。而从增加耦合地线的经济性来看, 增加耦合地线的费用包括增加耦合地线的材料和施工费用, 杆塔基础和重量增加的费用等, 其费用远远超过增加绝缘子片数等措施。日本电力中央研究院对 500 kV 同杆双回线路进行了计算, 结果见表 1。从表 1 可以看出, 在对雷击性能改善效果相似情况下, 采用耦合地线的总费用约为增加绝缘串长度的 4.5 倍。因此在使用耦合地线时应对效果和费用做综合比较, 多数情况下该方法的性价比较低, 从技术经济的角度不推荐采用耦合地线。

表 1 增加绝缘子串和耦合地线的故障率比较

线路名称	措施	杆塔基础应力 /kN	铁塔重量 /t	费用系数	总故障率 /%	单回故障率 /%	双回故障率 /%
太平洋侧	当前条件	2 041	75.9	1.00	100	100	100
500 kV 同杆双回线路	L+0.5m	2 100	77.1	1.01	76	83	51
	L+1m	2 159	78.3	1.03	61	71	26
	耦合地线	2 138	86.4	1.09	84	94	37
日本海侧	当前条件	2 090	81.0	1.00	100	100	100
500 kV 同杆双回线路	L+0.5m	2 146	83.5	1.02	86	91	60
	L+1m	2 202	86.0	1.04	73	82	33
	耦合地线	2 188	92.8	1.09	64	72	37

注: L 为当前条件下绝缘子串长; 并以当前条件下故障率 100%, 总费用为 1 来描述改造前后的效果和费用情况。

5 实施线路防雷改进措施的建议

5.1 加强线路绝缘

降低杆塔接地电阻能够有效降低反击跳闸率。加强线路绝缘水平则首先要考虑加强绝缘后线路的绝缘配合问题。因为增加绝缘子片数, 绝缘子串长度增加, 因此需要对空气间隙重新校核; 其次, 施工中线路需要停电, 导线需要得到很好的安置, 避免表面划伤, 因此施工费用较高。从技术经济角度考虑, 110 kV 线路可以考虑加强线路绝缘; 220 kV 线路不建议加强绝缘; 500 kV 线路不宜加强线路绝缘。

5.2 安装线路避雷器

安装线路避雷器对防止反击和绕击都有明显的作用。对于 110 kV 线路,易击杆塔和易击段安装避雷器后能有效避免再次遭受雷击时跳闸的发生,110 kV 线路避雷器价格相对低廉,与其它措施相比性价比高,从技术经济考虑,建议 110 kV 在易击段安装三相避雷器。

对于 220 kV 线路,安装避雷器明显优于不安装避雷器,安装三相避雷器明显优于安装单相或两相避雷器。如果选择安装两相避雷器时,建议安装在中间相和下侧相;如果选择安装单相避雷器时,建议安装在下侧相。

对于 500 kV 线路,绕击是造成线路雷击故障的主要原因。因此,在 500 kV 线路上安装线路避雷器主要以改善绕击为主。500 kV 线路绕击主要发生在边相,原则上只需要安装一相或者两相避雷器,具体情况以需要安装杆塔的局部地形为准。对于位于山坡外侧的杆塔,只需要在外侧相安装线路避雷器;对于位于山脊或山梁的杆塔,需要在两侧边相避雷器。

参考文献:

[1] 浙江省电力公司,浙江省电力试验研究院,清华大学电机工程系. 浙江省输电线路防雷设计评估系统及其应用研究[R].2009.

[2] 张纬钺,高玉明.电力系统过电压与绝缘配合[M].北京:清华大学出版社,1988.

[3] S M CHEN, Y DU, L M FAN, et al. Evaluation of the Guang Dong Lightning Location System with transmission line fault data[J]. IEE Proc-Sci Meas Technol, 2002, 149 (1):9-16.

[4] 周东平.三峡电站 500 kV 同杆并架出线防雷研究[D].北京:清华大学电机工程系,1998.

[5] 钱冠军,王晓瑜,汪雁,等.输电线路雷击仿真模型[J].中国电机工程学报,1999,19(8):39-45.

收稿日期:2010-07-15

作者简介:金祖山(1967-),男,浙江义乌人,高级工程师,从事电力系统过电压研究分析工作。

(本文编辑:杨 勇)



·书讯·



浙江電力科技圖書公司

欢迎访问网上书店 www.zjbooks.com

国家电网公司营销安全风险防范工作手册(试行)	9.00	国家电网公司物资采购标准 智能设备卷(三)	
国家电网公司优质服务案例集	32.00	(2009年版·第三批)	230.00
国家电网公司优质服务论文集	58.00	国家电网公司物资采购标准 智能设备卷(一)	
国家电网公司信息系统安全运行题解	38.00	(2009年版·第三批)	210.00
国家电网公司基建安全管理规定	10.00	水电工程施工招标和合同文件示范文本(2010年版)	
2010 国家电网公司年鉴	218.00	(上、下册)	190.00
电力安全工作规程配套考核题解	30.00	智能电能表	38.00
电力变压器检修导则 DL/T 573-2010	17.00	汽轮发电机故障检查分析及预防(第二版)	40.00
电力变压器运行规程 DL/T 572-2010	5.00	电力建设施工质量验收及评定规程 第7部分:	
输变电设备状态检修试验规程 DL/T 393-2010	17.00	焊接 DL/T5210.7-2010	5.00
全国电网名称代码 DL/T 510-2010	0.00	焊接工程师手册(第2版)	188.00
电力生产管理系统(PMS)使用问答	18.00	火电基本建设技术管理手册	62.00
电力系统 ERP 应用 1000 问	48.00		

地址:杭州市体育场路 538 号

邮 编:310007

电话:0571-85119095 85118853

系统电话:955122552 955122642

传 真:0571-85116959 85117939