

110 kV 线路雷击闪络限制器安装方式对玻璃绝缘子电场分布的影响

瞿杨全¹, 江岳², 文武¹, 许衡³, 庞凯元¹, 未丽沙⁴, 赵轩⁴

(1. 武汉大学电气工程学院, 湖北 武汉 430072; 2. 国网湖南省电力公司, 湖南 长沙 410007;
3. 国网电科院武汉南瑞有限责任公司, 湖北 武汉 430074; 4. 贵州电网六盘水供电局, 贵州 六盘水 553000)

摘要:110 kV 线路雷击闪络限制器有 2 种典型安装方式:下放电电极位置低于均压环和高于均压环,根据雷击闪络限制器的 2 种安装方式,建立 110 kV 同塔双回输电线路有限元计算模型,研究雷击闪络限制器的 2 种安装方式对玻璃绝缘子串和均压环电场分布的影响。结果表明,下放电电极低于均压环的安装方式降低了沿玻璃绝缘子串电压及电场强度分布的均匀性,而下放电电极高于均压环的安装方式提高了沿玻璃绝缘子串电压及电场强度分布的均匀性;雷击闪络限制器的 2 种安装方式均使均压环表面的电场强度有所减小。建议在玻璃绝缘子安装雷击闪络限制器时,使雷击闪络限制器下放电电极的位置高于均压环。

关键词:闪络限制器; 输电线路; 避雷器; 玻璃绝缘子; 安装方式

DOI:10.19781/j.issn.1673-9140.2020.01.021 中图分类号:TM852 文章编号:1673-9140(2020)01-0157-06

Influence of flashover limiter's installation position on electric field distribution of 110 kV glass insulator

QU Yangquan¹, JIANG Yue², WEN Wu¹, XU Hen³, PANG Kaiyuan¹, WEI Lisha⁴, ZHAO Xuan⁴

(1. School of electrical engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China; 2. State Grid Hunan electric power company, Changsha 410000, China; 3. Wuhan NARI Limited Liability Company of State Grid Electric Power Research Institute, Wuhan 430074, China; 4. Guizhou Power Grid Liupanshui Supply Bureau, Liupanshui 553000, China)

Abstract:110 kV flashover limiter has two kinds of installation method depending on the lower discharge electrode installed lower or higher than grading ring. In this paper, a finite element model is established for a 110 kV double-circuit transmission line and the influence of installation type for the electric field distribution of glass insulator and grading ring is compared. It is shown that the lower electrode which is installed lower than the grading ring reduces the uniformity of electric field along the glass insulator, whereas the other installation method uniform the electric field along the glass insulator. Both two types of installation reduce the electric field at the outer surface of the grading ring. It is better that the lower discharge electrode is installed higher than grading ring when installing 110 kV flashover limiter on glass insulator.

Key words:flashover limiter; overhead transmission lines; line arrester; glass insulator; installation method

绝缘子分为玻璃绝缘子和复合绝缘子两大类,玻璃绝缘子性能稳定,机械强度高,抗环境老化能力强^[1],应用历史较长。国内外研究^[2-4]表明,沿玻璃绝缘子电场强度分布的一般特点为:两端的电场强度高于绝缘子中部的电场强度,且导线端的电场强度大于横担端的电场强度,电压等级越高,绝缘子越长,沿绝缘子的电场强度分布不均匀性越大。

沿绝缘子串电场的分布特点不仅影响绝缘子串的长度,而且对绝缘子的使用寿命和电磁环境等均具有重要影响。在高电压等级的线路中,局部电场强度过大导致的局部放电不仅产生可听噪声、无线电干扰等电磁环境问题,还会加速绝缘材料老化,减小绝缘子的寿命^[5-7]。

在实际工程应用中,设计合理的均压环结构及安装位置是减小电场强度沿绝缘子分布不均匀性的有效措施^[8-11],并在工程得到普遍应用。在绝缘子的两端并联安装雷击闪络限制器^[12],有利于解决传统交流线路避雷器的安全隐患和安装困难问题,避免并联间隙无法切断工频续流造成线路跳闸,保障电网安全稳定运行^[13-16]。雷击闪络限制器有2种安装方式:安装方式I是指雷击闪络限制器下放电电极低于均压环的高度;安装方式II指雷击闪络限制器下放电电极高于均压环。这2种安装方式的差异体现在雷击闪络限制器下放电电极与均压环的高度。

在正常工作状况下,雷击闪络限制器的阀片及放电电极分别与其连接的绝缘子端电位相等,雷击闪络限制器的存在必然对沿绝缘子及均压环等的电场强度分布产生一定的影响。

该文根据110 kV线路雷击闪络限制器的2种典型安装方式,利用有限元计算方法^[17],研究雷击闪络限制器安装方式对玻璃绝缘子及均压环等电场及电压分布的影响,为110 kV线路雷击闪络限制器的工程应用提供参考。

1 模型建立

以2E2-SJG1型110 kV钢管塔为例,塔型及尺寸如图1(a)所示。导线采用LGJ-300/25钢芯铝绞线,外径23.76 mm;一根地线采用GJ-70铝包钢绞线,外径11.00 mm。

设线路的最高工作电压为110 kV,双回导线按逆相序排列。玻璃绝缘子串的长度为1.168 m,相导线中心距横担悬挂点的高度为1.5 m,如图1(b)所示。

在右下相安装雷击闪络限制器,2种安装方式如图2所示。

在2种安装方式中,安装雷击闪络限制器时上下连接金具的长度各增加0.1 m,即导线距横担的距离增加0.2 m;雷击闪络限制器放电电极的间距均为0.59 m;

安装方式I中,雷击闪络限制器轴线与竖直线的夹角为40°,雷击闪络限制器下放电电极比均压环低0.15 m。

安装方式II中,雷击闪络限制器轴线与竖直线的夹角为60°,雷击闪络限制器下放电电极比均压环高0.90 m。

建立雷击闪络限制器安装前及2种安装方式的有限元计算模型如图3所示。

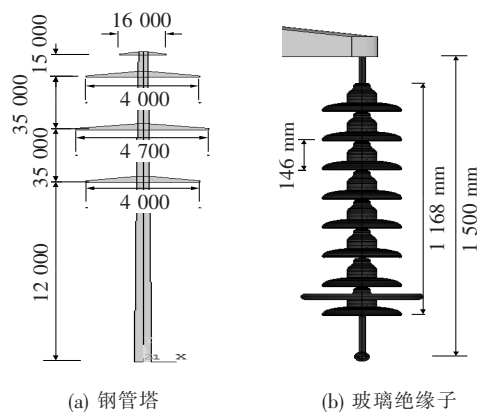


图1 钢管塔及玻璃绝缘子

Figure 1 Steel tubular tower and glass insulator

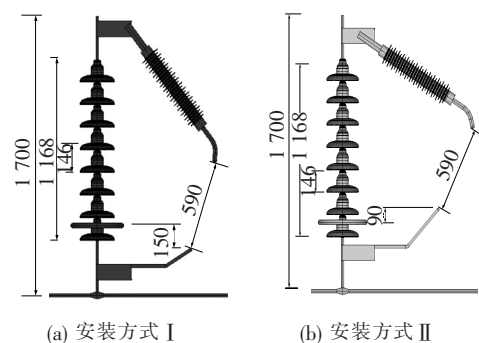


图2 雷击闪络限制器安装方式

Figure 2 Installation methods of flashover limiter

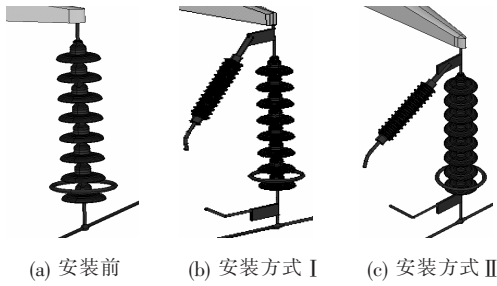


图 3 限制器安装前后的有限元计算模型

Figure 3 Finite element model of glass insulator with and without flashover limiter

其他参数:均压环环径 18 cm,管径 1.5 cm;复合绝缘子的相对介电常数为 4;根据文献[18]给出的 ZnO 阀片的介电系数及介质损耗角正切随频率论关系曲线,当频率为 50Hz 时阀片的相对介电系数取 1 200,介质损耗角正切取 3。

2 安装方式对绝缘子电场分布的影响

安装雷击闪络限制器前绝缘子的电压和电场强度分布如图 4 所示。

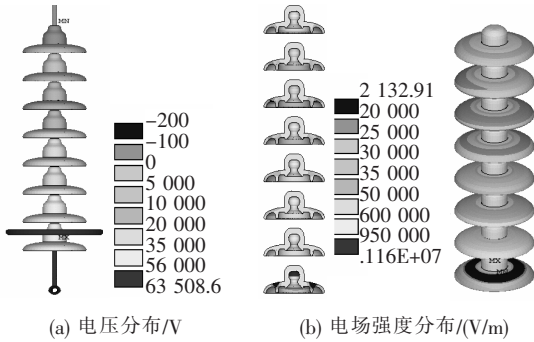


图 4 限制器安装前玻璃绝缘子电场分布

Figure 4 Electric field distribution of glass insulator without flashover limiter

采用安装方式 I、II 安装雷击闪络限制器,绝缘子的电压和电场强度分布如图 5、6 所示。

将 8 片玻璃绝缘子从下向上编号,分别计算每个玻璃绝缘子的电压,得到雷击闪络限制器安装前后玻璃绝缘子的电压分布曲线如图 7 所示。

定义绝缘子电压分配不均匀系数为

$$K_u = (u_{\max} - u_{\min}) / u_{\text{av}} \quad (1)$$

式中 u_{\max} 、 u_{\min} 分别为单片绝缘子的最大、最小电压; u_{av} 为平均电压。

计算雷击闪络限制器安装前后,单片绝缘子电压最大值及电压分配不均匀系数如表 1 所示。

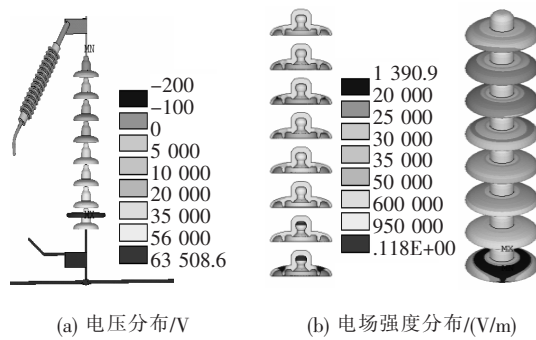


图 5 安装方式 I 的玻璃绝缘子电场分布

Figure 5 Electric field distribution of glass insulator with the 1st installation method

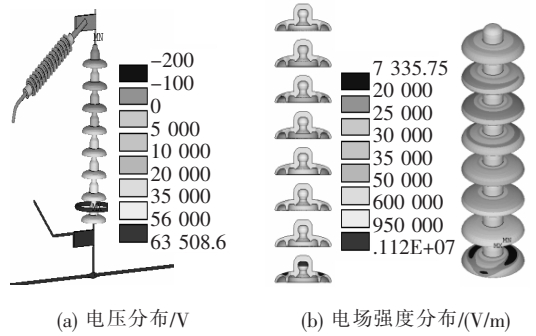


图 6 安装方式 II 的玻璃绝缘子电场分布

Figure 6 Electric field distribution of glass insulator with the 2nd installation method

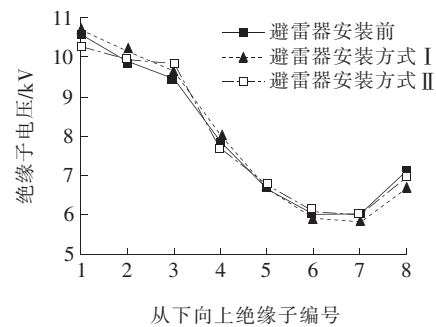


图 7 限制器安装前后绝缘子的电压分布曲线

Figure 7 Voltage distribution along glass insulator with and without flashover limiter

表 1 单片绝缘子电压最大值及电压分配不均匀系数

Table 1 Typical calculated values in a single insulator

安装方式	u_{\max} / kV	u_{\min} / kV	K_u
安装前	10.562 9	5.999 8	0.574 8
安装方式 I	10.675 6	5.817 0	0.612 0
安装方式 II	10.228 6	6.030 9	0.528 8

由图 7 和表 1 可以看出,限制器安装方式 I 使导线侧第一片绝缘子分配的电压值由安装前的 10.562 9 kV 增大到安装后的 10.675 6 kV,增

大1.07%。且电压分配不均匀系数由安装前的0.5748增大到安装后的0.6120,增大6.47%,即增大了沿绝缘子中电压分配的不均匀性。

限制器安装方式Ⅱ使导线侧第一片绝缘子分配的电压值由安装前的10.5629 kV减小到安装后的10.2286 kV,减小3.16%。且电压分配不均匀系数由安装前的0.5748减小到安装后的0.5288,减小了8.01%,即提高了电压分配的均匀性。

计算雷击闪络限制器安装前后玻璃绝缘子电场强度的最大值,如表2所示。

表2 限制器安装前后玻璃层电场强度最大值

Table 2 The maximum value of electric field strength in glass layer with and without flashover limiter

安装方式	玻璃层电场强度最大值/(kV/cm)
安装前	11.6
安装方式Ⅰ	11.8
安装方式Ⅱ	11.2

由图4(b)、图5(b)、图6(b)和表2可以看出,玻璃绝缘层电场强度最大值出现在绝缘子的金属帽内;在安装方式Ⅰ中,导线侧第一片绝缘子的电场强度由安装前的11.6 kV/cm增大到安装后的11.8 kV/cm,增大1.72%,即增大了玻璃层电场强度最大值;在安装方式Ⅱ中,导线侧第一片绝缘子电场强度由安装前的11.6 kV/cm减小到安装后的11.2 kV/cm,减小3.45%,即减小了玻璃绝缘子串电场强度最大值,提高了电场强度分布的均匀性。

3 安装方式对均压环电场分布的影响

建立沿均压环外侧边线的轨线,从俯视方向看,轨线起点位于靠近铁塔侧,轨线方向沿顺时针方向,如图8所示。计算雷击闪络限制器安装前后,沿均压环表面外侧电场强度分布曲线如图9所示。得到的均压环表面电场强度最大值如表3所示。

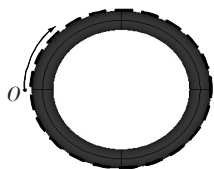


图8 均压环外表面轨线

Figure 8 Schematic diagram of the outer surface of the grading ring

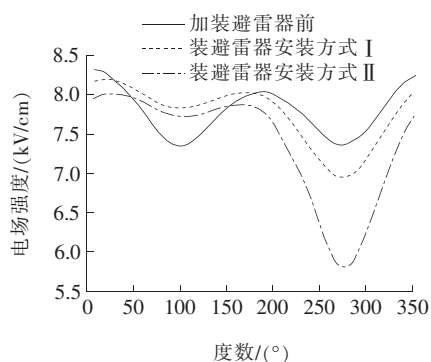


图9 限制器安装前后均压环外表面电场强度分布曲线

Figure 9 Electric field strength distribution of the grading ring's outer surface with and without flashover limiter

表3 均压环表面电场强度最大值

Table 3 The maximum value of electric field strength on the surface of the grading ring

安装方式	均压环表面电场强度最大值/(kV/cm)
安装前	8.3205
安装方式Ⅰ	8.1874
安装方式Ⅱ	8.0180

由图9和表3可以看出,雷击闪络限制器安装后,使均压环表面的电场强度有所减小;安装方式Ⅰ中均压环表面电场由安装前的8.3205 kV/cm减小到8.1874 kV/cm,减小1.6%;安装方式Ⅱ中均压环表面电场由安装前的8.3205 kV/cm减小到8.018 kV/cm,减小3.64%,安装方式Ⅱ使压环电场减小的幅度更大。

4 结语

该文主要以电场及电压对比的方式研究110 kV架空输电线路安装雷击闪络限制器对玻璃绝缘子串的影响,通过计算与分析可得到如下结论:

1)当雷击闪络限制器下放电电极低于均压环时(安装方式Ⅰ),导线侧第一片绝缘子分配的电压增大了1.07%;绝缘子电压分配不均匀系数增大了6.47%,即沿玻璃绝缘子串的电场强度分布的均匀性有所降低;

2)当雷击闪络限制器下放电电极高于均压环时(安装方式Ⅱ),导线侧第一片绝缘子分配的电压减

小了 3.16%;绝缘子电压分配不均匀系数减小了 8.01%,提高了电压及电场强度沿绝缘子串分配的均匀性,有利于提高绝缘子的均压效果;

3)安装雷击闪络限制器使均压环表面的电场强度有所减小,安装方式 I、II 中均压环表面电场强度减小了 1.6%,安装方式 II 中均压环表面电场减小了 3.64%,使压环电场减小的幅度更大;

4)当玻璃绝缘子安装雷击闪络限制器时建议将雷击闪络限制器下放电电极的高度大于均压环的高度。

参考文献:

- [1] 顾洪连,孙泽慧. 玻璃绝缘子运行特性分析[J]. 电力建设,2000,21(11):48-50.
GU Honglian, SUN Zehui. Analysis on operation performance of glass insulators[J]. 2000,21(11):48-50.
- [2] Taklaja P, Kiitam I, Niitsoo J, et al. Electric field distribution in glass and porcelain pin insulators[C]//2015 IEEE 15th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC). Rome, Italy: IEEE,2015.
- [3] Fahmi D, Novario L A, Negara I M Y, et al. Comparative analysis of electric field distribution on glass and ceramic insulator using finite element method[C]//2016 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA). Lombok, Indonesia: IEEE,2016.
- [4] 黄道春,黄正芳,王国利,等. 特高压交流输电线路瓷绝缘子串电位和均压环电场分布计算模型的简化[J]. 高电压技术,2012,38(9):2163-2170.
HUANG Daochun, HUANG Zhengfang, WANG Guoli, et al. Calculation model simplification for porcelain insulator string potential and grading ring surface electric field distribution of UHV AC transmission line[J]. High Voltage Engineering,2012,38(9):2163-2170.
- [5] 孙玉玮,陈辉,陈立贤,等. 基于历史数据分析的输电线路状态研判技术研究[J]. 智慧电力,2019,47(1):83-87+104.
SUN Yuwei, CHEN Hui, CHEN Lixian, et al. Research on transmission line state evaluation technology based on historical data analysis[J]. Smart Power,2019,47(1):83-87+104.
- [6] 张长久,邬小波,谢小英. 基于 GB/T33593 标准的 DG 低电压穿越输出特性研究[J]. 电力系统保护与控制,2019,47(24):76-83.
ZHANG Changjiu, WU Xiaobo, XIE Xiaoying. Research on DG low voltage ride through output characteristics based on GB / T33593 standard[J]. Power System Protection and Control,2019,47(24):76-83.
- [7] ZHAO Tiebin, Comber M G. Calculation of electric field and potential distribution along nonceramic insulators considering the effects of conductors and transmission towers[J]. IEEE Transactions on Power Delivery,2000,15(1):313-318.
- [8] LI Jing, PENG Zhongren, FENG Yong, et al. Electric field calculation and grading ring optimization of composite insulator for 500 kV AC transmission lines[C]//International Conference on Solid Dielectrics. Potsdam, Germany:IEEE,2010.
- [9] 吴东,潘俊文,邹明,等. ± 800 kV 特高压直流输电线路带电作业人体体表电场分布特性[J]. 电力科学与技术学报,2018,33(2):157-164.
WU Dong, PANG Junwen, ZOU Ming, et al. Research of electric field distribution characteristics for body surface of live working on ± 800 kV DC transmission lines [J]. Journal of Electric Power Science and Technology,2018,33(2):157-164.
- [10] 冯勇,彭宗仁,刘鹏,等. 特高压交流输电线路瓷绝缘子的均压特性[J]. 高电压技术,2010,36(1):270-274.
FENG Yong, PENG Zongren, LIU Peng, et al. Voltage-sharing characteristics of porcelain insulators for UHV AC transmission lines [J]. High Voltage Engineering,2010,36(1):270-274.
- [11] 姜志鹏,文习山,蓝磊,等. 粒子群算法应用于避雷器均压环配置优化[J]. 高压电器,2014,50(1):102-106.
JIANG Zhipeng, WEN Xishan, LAN Lei, et al. Application of particle swarm optimization algorithm to configuration optimization of grading rings for arrester [J]. High Voltage Apparatus,2014,50(1):102-106.
- [12] 万帅,张伟,陈家宏,等. 一种新型 110 kV 输电线路雷击闪络限制器的研制[J]. 高压电器,2017,53(4):184-190.

- WAN Shuai, ZHANG Wei, CHEN Jiahong, et al. Research and development of a new type lightning arresters for 110 kV AC transmission lines[J]. High Voltage Apparatus, 2017, 53(4): 184-190.
- [13] De Castro Assis S, Do Couto Boaventura W, Paulino J O S, et al. Lightning Performance of Transmission Line with and without Surge Arresters: Comparison between a Monte Carlo method and field experience[J]. Electric Power Systems Research, 2017, 149: 169-177.
- [14] 郭天伟, 罗日成, 潘茜雯, 等. 750 kV 同塔双回交流输电线路电磁环境分析[J]. 电力科学与技术报, 2018, 33(1): 46-53.
- GUO Tianwei, LUO Richeng, PAN Qianwen, et al. Analysis on electromagnetic environment of 750 kV with double-circuits on the same tower transmission lines[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2018, 33(1): 46-53.
- [15] 李振, 余占清, 何金良, 等. 线路避雷器改善同塔多回路防雷性能的分析[J]. 高电压技术, 2011, 37(12): 3120-3128.
- LI Zhen, YU Zhanqing, HE Jinliang, et al. Line surge arrester improving lightning protection performance of transmission line with muti-circuits in a tower[J]. High Voltage Engineering, 2011, 37(12): 3120-3128.
- [16] 程学启, 杨春雷, 咸日常, 等. 线路避雷器在输电线路防雷中的应用[J]. 中国电力, 1999, 32(8): 66-67.
- CHENG Xueqi, YANG Chunlei, XIAN Richang, et al. Application of lightning arresters on transmission lines[J]. Electric Power, 1999, 32(8): 66-67.
- [17] 史俊. 复杂结构的有限元计算[D]. 宁波: 宁波大学, 2010.
- [18] 熊秦昌. 电力避雷器[M]. 北京: 中国水利电力出版社, 2013.

(上接第 156 页 Continued from page 156)

- [14] 康慨, 张哲原, 钟泰军, 等. 远洋海岛群微网经济性电源规划方案研究[J]. 智慧电力, 2019, 47(6): 26-33.
- KANG Kai, ZHANG Zheyuan, ZHONG Taijun, et al. Microgrid economic power planning scheme for pelagic island group[J]. Smart Power, 2019, 47(6): 26-33.
- [15] 周玮, 彭显, 孙辉, 等. 含风电场的电力系统动态经济调度[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(25): 13-18.
- ZHOU Wei, PENG Yu, SUN Hui, et al. Dynamic economic dispatch in wind power integrated system[J]. Proceedins of the CSEE, 2009, 29(25): 13-18.
- [16] 唐巍, 李殿璞. 电力系统经济负荷分配的混沌优化方法[J]. 中国电机工程学报, 2000, 20(10): 37-41.
- TANG Wei, LI Dianpu. Chaotic optimization for economic dispatch of power systems[J]. Proceedings of the CSEE, 2000, 20(10): 37-41.
- [17] 姚尧, 姚建刚, 吴政球, 等. 电力市场上网电价与火电系统经济负荷分配的算法研究[J]. 电力自动化设备, 2002, 22(2): 30-33.
- YAO Yao, YAO Jiangang, WU Zhengqiu, et al. Algorithm study on economic dispatch in electricity market[J]. Electric Automation Equipment, 2002, 22(2): 30-33.
- [18] Sinha N, Chakrabarti R, Chattopadhyay P K. Evolutionary programming techniques for economic load dispatch[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2003, 7(1): 83-94.