

文章编号:1672-9331(2017)04-0069-06

# 新型避雷器对 110 kV 线路复合绝缘子 电场分布的影响

程文锋<sup>1</sup>, 瞿杨全<sup>2</sup>, 文 武<sup>2</sup>

(1.广东电网电力科学研究院,广东 广州 510600; 2.武汉力中电气科技有限公司,湖北 武汉 430072)

**摘 要:** 为了研究在 110 kV 架空输电线路中安装新型避雷器对复合绝缘子电场分布的影响,根据 110 kV 架空输电线路中杆塔、新型避雷器、复合绝缘子、均压环及金具的实际结构,采用时谐电场三维有限元计算方法,建模计算了安装新型避雷器前后复合绝缘子串的电场强度。通过分析对比安装新型避雷器前后复合绝缘子以及均压环表面的电位和电场分布特性可知,安装新型避雷器增加了复合绝缘子表面电位及电场分布的均匀性,提高了均压效果,影响是良性的。

**关键词:** 110 kV 输电线路; 新型避雷器; 复合绝缘子串; 均压环; 电场分布; 电位分布

中图分类号: TM1

文献标识码: A

## Influence of new type lightning arrester on electric field distribution of 110 kV line composite insulators

CHENG Wen-feng<sup>1</sup>, QU Yang-quan<sup>2</sup>, WEN Wu<sup>2</sup>

(1.Guangdong Power Grid Science Research Institute,Guangzhou 510600,China;

2.Wuhan Lizhong Electric Technology Co. Ltd., Wuhan 430072,China)

**Abstract:** In order to study the impact of installing a new type of arrester in 110 kV overhead transmission lines on the electric field distribution of composite insulators, according to the actual structure of transmission towers, the new arrester, composite insulators, grading rings and fittings in the 110 kV overhead transmission lines, a three-dimensional finite element computational method of time-harmonic electric field is adopted to establish the computational model of the electric field strength in composite insulator string with and without the new arrester, by analyzing and comparing the electric field distribution of composite insulators and grading ring's surface before and after installing the new arrester, a conclusion can be drawn that installing the new arrester helps to increase the uniformity of electric field on the surface of composite insulators, and to improve the effect of voltage-sharing and have a positive impact.

**Key words:** 110 kV overhead transmission line; a new arrester; composite insulator string; grading ring; electric field distribution; potential distribution

收稿日期:2017-09-12

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51577106)

作者简介:程文锋(1982-),男,湖南郴州人,广东电网电力科学研究院高级工程师,主要从事线圈类设备、过电压和高压试验等方面的研究。

复合绝缘子具有重量轻、机械强度大、抗污秽能力强、低维护、高憎水性、不易遭受人为破坏以及较好的电压耐受能力等优点,自19世纪70年代以来在电力系统中得到了广泛的应用。复合绝缘子的绝缘强度除与绝缘子串的长度、结构、污秽程度等因素有关外,沿复合绝缘子串电场分布的不均匀性也是影响绝缘强度的重要因素<sup>[1]</sup>。此外,局部电场强度过大还易产生可听噪声、无线电干扰、局部放电、加速绝缘材料老化等后果,从而影响复合绝缘子的使用寿命<sup>[2]</sup>。国内外对复合绝缘子电场强度的最大值均提出了限值,国外文献<sup>[3]</sup>对复合绝缘子及均压环的电场强度提出的参考限值为:①复合绝缘子伞裙及端部护套表面0.5 mm处表面电场强度值不超过4.5 kV/cm(有效值);②玻璃纤维芯棒及硅橡胶材料内部的电场强度小于30 kV/cm(有效值);③ANSI,CEA,ICE标准和IEEE导则规定,均压环及连接金具表面电场强度的控制值为21 kV/cm。我国国家电网公司和南方电网公司均对复合绝缘子的电场强度问题进行过研究,并起草了电力行业标准《标称电压高于1 000 V 架空线路用绝缘子使用导则》第四部分“直流系统用棒形悬式复合绝缘子”,导则条文说明部分提出了复合绝缘子电场强度的限值,即绝缘子护套表面最大电场强度小于5 kV/cm,高压端均压环最大电场强度小于20 kV/cm,并对±400~±800 kV 直流输电线路均压环的尺寸及安装位置提出了合理建议,但该标准目前还未正式发布实施。

均压环是改善绝缘子串电场分布的主要措施,国内外对绝缘子串的电场分布及均压环的优化配置方面均进行了大量的研究<sup>[4-10]</sup>,常用电压等级的线路绝缘子均压环配置技术已经成熟。线路避雷器是输电线路防雷的有效手段<sup>[11-13]</sup>,它不仅可以降低雷击跳闸率和雷击闪络率,减少线路维护工作量<sup>[14]</sup>,而且若全线安装避雷器,还可以使线路跳闸率趋于零<sup>[15]</sup>。线路避雷器的传统安装方式是避雷器悬挂于横担下方,并与绝缘子串平行(如图1(a)所示),这种安装方式中避雷器与绝缘子串距离较远,避雷器对绝缘子串的电场分布的影响可以忽略。110 kV 新型避雷器是线路避雷器的一种新型安装方式,新型避雷器由1只本体避雷器、下侧延展金具及放电间隙构成,本体避雷器及

下侧延展金具与绝缘子串上金具连接,并沿一定的倾斜角度向导线方向伸出,使得避雷器本体与复合绝缘子的结构更为紧凑,与传统避雷器安装方式相比,达到了安装方便以及所占空间小的目的。本体避雷器伸展金具与下侧延展金具间存在放电间隙(如图1(b)所示),新型避雷器与绝缘子串、均压环的距离均很近,对绝缘子串和均压环的电场分布会产生一定的影响。

文献<sup>[16]</sup>采用有限元计算方法对新型避雷器的本体避雷器的电场分布进行了研究,但没有分析新型避雷器对绝缘子串及均压环的电场的影响。因此,作者采用时谐电场三维有限元的计算方法,以对比的方式研究110 kV 线路复合绝缘子串安装新型避雷器前后电场分布特性以及复合绝缘子结构单元电压分配特性,为新型避雷器的应用提供参考。

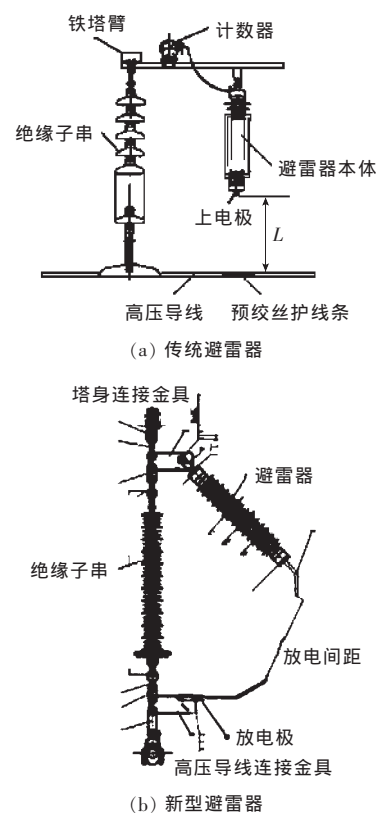


图1 安装示意图

Fig. 1 Installation diagram

## 1 计算模型

以某110 kV 同塔双回钢管塔为例,塔头尺寸如图2所示。

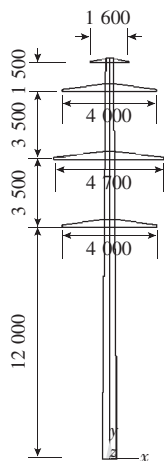


图 2 双回钢管塔塔头结构图(单位:mm)

Fig. 2 Double-return pipe tower tower structure(Unit:mm)

双回线路按逆相序布置,设新型避雷器安装于  $A_2$  相导线,分别建立新型避雷器安装前后的有限元计算模型。图 3 为计算模型局部图。图 4 为复合绝缘子局部模型。

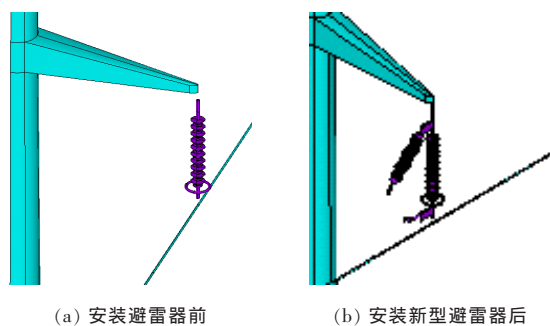


图 3 有限元计算模型局部图

Fig. 3 Finite element calculation model Local diagram

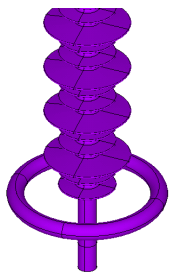


图 4 复合绝缘子串局部模型

Fig. 4 Local model of compound insulator string

## 2 计算条件与参数

绝缘子串的长度为 0.9 m,安装新型避雷器前相导线中心距横担悬挂点的高度为 1.5 m,当安装

新型避雷器时,上、下金具各增加 0.1 m;均压环与第一片伞裙等高,均压环环径 15 cm,管径 2 cm;复合绝缘子的相对介电常数为 4;避雷器本体与绝缘子轴线的夹角为  $45^\circ$ (该角度小于  $45^\circ$  时,避雷器本体与绝缘子距离太近,容易引起绝缘子电气性能下降;该角度大于  $45^\circ$  时,会给安装带来一定麻烦,且无法满足与绝缘子紧凑且占空小的目的);新型避雷器放置间距为 0.57 m。线路的工作电压为 110 kV。根据文献[17]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 50 Hz 时,阀片的相对介电系数取 1 200,介质损耗角正切取 3。

## 3 新型避雷器对绝缘子电位分布的影响

分别计算新型避雷器安装前后沿复合绝缘子的电位分布,结果如图 5 所示。

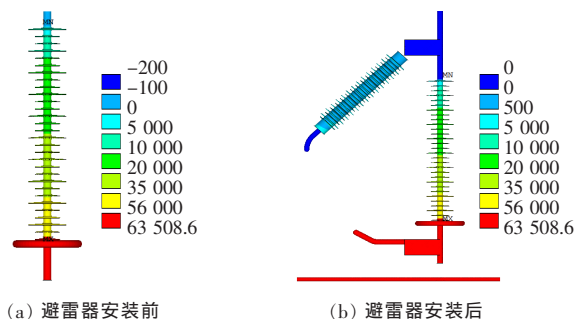


图 5 避雷器安装前后沿复合绝缘子电位分布图

Fig. 5 Distribution of the potential of the composite insulator before and after the arrester

本研究所用复合绝缘子串由 2 个小伞裙和 1 个大伞裙即“小伞裙+小伞裙+大伞裙”构成 1 个结构单元,每个单元的高度为 90 mm,共 10 个单元。计算新型避雷器安装前后结构单元分配的电压,结果如图 6 所示。

从图 6 可以看出,新型避雷器安装前后,复合绝缘子结构单元电压分配的总体趋势没有改变,都表现为两端单元分配的电压大于中间单元,且导线侧单元分配的电压大于横担侧;新型避雷器对复合绝缘子结构单元电压的影响体现在以下几个方面。

1) 降低了最下端(高压端)结构单元的电压值,下端结构单元的电压值由加装前的 17 kV 降低到加装后的 16.83 kV,降低了 1.03%;增加了中

间部位结构单元分配的电压。

2) 提高了结构单元的均压效果,具有均压的作用。

3) 提高了沿复合绝缘子结构单元电压分配的均匀性,降低了电压分配的不均匀系数。

定义电压分配的不均匀系数  $\epsilon_u$  为:

$$\epsilon_u = \frac{u_{\max} - u_{\min}}{u_{av}} \quad (1)$$

式中:  $u_{\max}$ ,  $u_{\min}$  分别为结构单元最大、最小电压;  $u_{av}$  为平均电压。

安装避雷器前电压分布不均匀系数为 2.26, 安装避雷器后电压分布不均匀系数为 2.22。

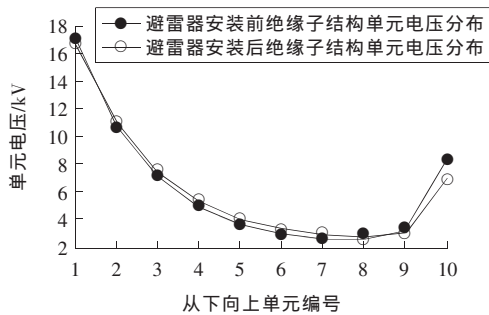


图6 避雷器安装前后复合绝缘子结构单元电压分布曲线

Fig. 6 Voltage distribution curve of the composite insulator structure before and after the arrester

#### 4 新型避雷器对复合绝缘子电场分布的影响

新型避雷器安装前后,沿复合绝缘子串的电场强度分布云图如图7所示。

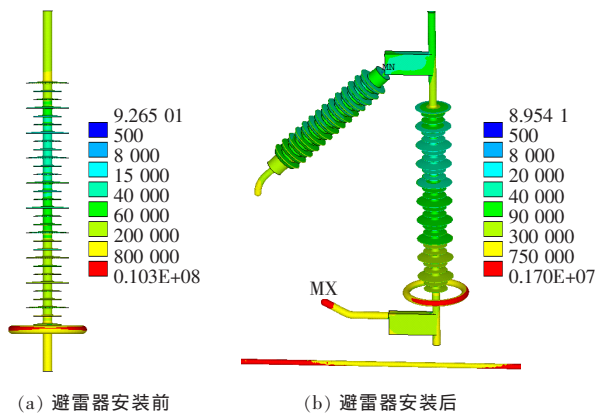


图7 避雷器安装前后沿复合绝缘子电场分布图

Fig. 7 Shows the distribution of the electric field of the composite insulator before and after the arrester

为了进一步分析沿复合绝缘子的电场变化特性,分别建立沿绝缘子轴线和伞裙边缘的轨线(如图8所示),其中,  $P_1$  位于左右两侧大伞裙端部,  $P_2$  轨线沿均压环外表面。

新型避雷器安装前后,沿轨线  $P_1$  的电场强度分布如图9所示。

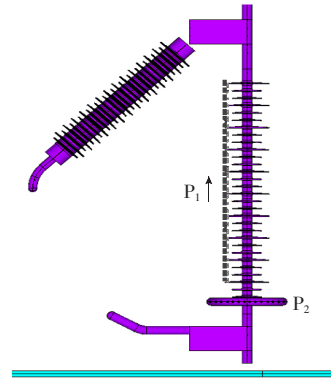


图8 沿绝缘子轨线示意图

Fig. 8 Schematic diagram along the insulator trajectory

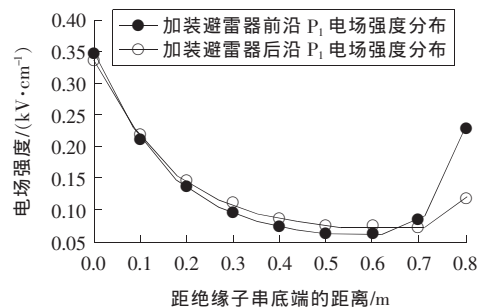


图9 新型避雷器安装前后沿轨线  $P_1$  的电场强度分布

Fig. 9 Shows the electric field intensity distribution along the trajectory  $P_1$  before and after the new arrester

定义沿轨线的电场强度不均匀系数  $\epsilon_E$  为:

$$\epsilon_E = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{av}} \quad (2)$$

避雷器安装前,沿轨线  $P_1$  的电场强度最大值约为 0.346 9 kV/cm,电场强度分布不均匀系数为 0.362 9;避雷器安装后,沿轨线  $P_1$  的电场强度最大值约为 0.340 9 kV/cm,电场强度分布不均匀系数为 0.342 1。

由此可知,新型避雷器的加装,降低了绝缘子串端部的电场强度最大值,增加了绝缘子串中间部位的电场强度,提高了沿绝缘子串电场分布的均匀性。

## 5 新型避雷器对均压环表面电场强度的影响

计算加装避雷器前后沿均压环外侧表面(沿轨线  $P_2$ )的电场强度分布对比如图 10 所示。

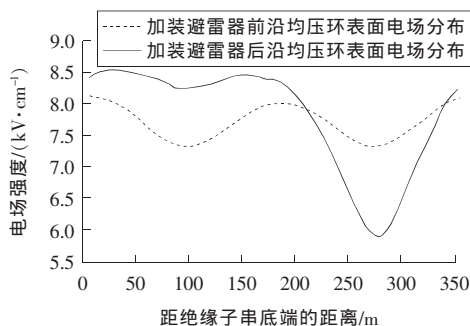


图 10 避雷器安装前后均压环表面电场对比

Fig. 10 Comparison of the electric field on the surface of the pressure ring before and after the installation of the limiter

由图 10 可知,加装避雷器后对均压环表面电场强度的分布具有较大的影响;避雷器安装后,使均压环表面的电场强度略有增加,由 8.133 2 kV/cm 增加到 8.539 3 kV/cm,增加了 5%。

避雷器安装前后电场/电压最大值如表 1 所示。

表 1 安装避雷器前后沿不同轨线电场强度分布对比  
Table 1 Shows the intensity distribution of the electric field along the different trajectories before and after the arrester

轨线位置 及名称	电场强度最大值/ (kV · cm <sup>-1</sup> )		加装避雷器前后电场 强度分布不均系数/%	
	加装前	加装后	加装前	加装后
复合绝缘子靠近避雷 器安装侧大伞裙内, $P_1$ 轨线	0.346 9	0.340 9	0.362 9	0.342 1
均压环外表面轨线	8.133 2	8.539 3	0.107 0	0.343 8
复合绝缘子结构单 元电压分布/kV	17.00	16.83	2.26	2.22

## 6 结论

作者采用进谐电场的三维有限元计算方法,对比研究了安装新型避雷器对 110 kV 架空输电线路中复合绝缘子串和均压环电位及电场强度分

布的影响,得到如下结论。

1) 新型避雷器改变了沿复合绝缘子结构单元的电压分布,降低了导线侧结构单元电压值,降低了电压沿结构单元分配的不均匀系数,提高了电压分配的均匀性。

2) 新型避雷器减小了复合绝缘子串电场强度最大值,降低了电场强度沿复合绝缘子串的不均匀系数。

3) 新型避雷器使均压环表面电场强度略有增加,但最大表面场强仍远小于限制值(20 kV/cm)。

## 〔参考文献〕

- [1] S M H Hoseini, M M Manzari, Tavakoli, Electric field distributions around silicon rubber insulators in polluted and clean area[J]. International Journal of Science and Engineering Investigations, 2013, 2 (15): 137-140.
- [2] Tie Zhao, Michael G Comber, 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.
- [3] Phillips A, Electric field distribution and their Impact on transmission line composite insulators[A]. IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition Orlando, FL [C]. Orlando: IEEE Power and Energy Soc, 2012: 1-3.
- [4] Huang D C, Zheng Z, Huang Z F, et al. Study on parameters design and corona characteristics test equivalent of grading rings for 1 000 kV UHV AC compact transmission line[A]. IEEE Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP)[C]. Shenzhen: IEEE, 2013: 20-23.
- [5] Li J, Peng Z R, Feng Y, et al. Electric field calculation and grading ring optimization of composite insulator for 500 kV ACT transmission lines[A]. International Conference on Solid Dielectrics ICSD[C]. Germany: IEEE, 2010: 1-4.
- [6] Miao H X, Qi B S, Shi Q. Electric field calculation of transmission line composite insulator and umbrella skirt optimization[A]. International Conference on Software Intelligence Technologies and Applications [C]. Hsinchu, Taiwan: The Institution of Engineering

- and Technology, 2014: 237-241.
- [7] Andrew J Phillips, John Kuffel, Anthony Baker, et al. Electric field on AC composite transmission line insulations[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2008, 23(2): 823-830.
- [8] M'hamdi B, Tegar M, Mekhaldi A. Optimal design of corona ring on HV composite insulator using PSO approach with dynamic population size[A]. 9th Conference of the French-Society-of-Electrostatics[C]. France: Paul Sabatier Univ, Lab Plasma and Energy Convers, 2014: 1048-1057.
- [9] 卢明, 杨庆, 阎东, 等. 复合绝缘子伞型结构对电场分布的影响[J]. 电瓷避雷器, 2011, 239(1): 1-6.  
LU Ming, YANG Qing, YAN Dong, et al. The effect of the composite insulators sheds type structure on the electric field distributions [J]. Insulators and Surge Arresters, 2011, 239(1): 1-6.
- [10] 刘向实. 污秽条件下复合绝缘子电场仿真研究[J]. 电瓷避雷器, 2014, 261(5): 31-36.  
LIU Xiang-shi. Study on electric field distribution of composite insulator under pollution conditions[J]. Insulators and Surge Arresters, 2014, 261(5): 31-36.
- [11] 雷成华.  $\pm 500$  kV 线路避雷器用在直流线路防雷中的运行分析[J]. 电瓷避雷器, 2016, 271(3): 70-74.  
LEI Cheng-hua. Operational analysis on  $\pm 500$  kV line arrester used in lightning protection of dc transmission line [J]. Insulators and Surge Arresters, 2016, 271(3): 70-74.
- [12] 彭向阳. 广东线路避雷器防雷效果及运行分析[J]. 电瓷避雷器, 2010, 234(2): 21-25.  
PENG Xiang-yang. Analysis on lightning protection effects and operation of line arresters in Guangdong power grid [J]. Insulators and Surge Arresters, 2010, 234(2): 21-25.
- [13] 陈俊, 刘守豹, 许安, 等. 线路避雷器在复杂地形 500 kV 线路避雷器中的应用[J]. 电瓷避雷器, 2013, 253(3): 123-127.  
CHEN Jun, LIU Shou-bao, XU An, et al. The use of line arrester in lightning protection of 500 kV transmission line in complex terrain [J]. Insulators and Surge Arresters, 2013, 253(3): 123-127.
- [14] 姜华. 避雷器在输电线路防雷中的应用探析[J]. 中国新技术新产品, 2013(1): 116-117.  
JIANG Hua. Application of arrester in lightning protection of transmission line [J]. New Technology New Products, 2013(1): 116-117.
- [15] Stelian Alexandru Gal, Traian Fagarasan, Marius Oltean, et al. New line arresters aim to improve reliability of key Romanian transmission line [J]. Insulator News and Market Report, 2006, 14(2): 44-49.
- [16] 许安, 杨翔, 贾文彬. 220 kV 带纯空气间隙线路避雷器的电场分析[J]. 电瓷避雷器, 2016, 27(2): 100-105.  
XU An, YANG Xiang, JIA Wen-bin. The electric field analysis of 220 kV line arrester with pure air gap [J]. Insulators and Surge Arresters, 2016, 270(2): 100-105.
- [17] 熊泰昌. 电力避雷器[M]. 北京: 中国水利电力出版社, 2013: 26-27.  
XIONG Tai-chang. Electric arrester [M]. Beijing: China Water Conservancy and Electric Power Publication, 2013: 26-27.