

# 应用线路避雷器提高 10 kV 配电线路防雷性能的研究

邰嘉嘉<sup>1</sup>, 曾海涛<sup>2</sup>, 黄少先<sup>1</sup>

(1. 华南理工大学电力学院, 广东 广州 510640; 2. 高要供电局, 广东 肇庆 526100)

**摘要:** 配电网系统作为电力系统的重要组成部分, 承担着直接向用户供电的任务, 是连接电网和用户的纽带, 其安全运行非常重要。10 kV 配电线路由于绝缘水平低的特点, 易发生雷击过电压而造成绝缘事故。因此, 10 kV 配电线路的防雷保护是保证配电网安全运行、提高供电可靠性的重要措施。结合广东高要配电网的工程实际, 以 10 kV 大企线为例, 计算配电线路的耐雷水平和雷击跳闸率, 并建立相应的 ATP 仿真模型, 通过对安装线路避雷器前后的线路过电压水平的仿真计算, 验证其能够有效提高配电线路的防雷性能, 为工程设计提供有价值的基本数据。

**关键词:** 配电线路; 防雷性能; 线路避雷器

## Study on line arrester applied to improve the lightning performance of 10 kV distribution lines

HUAN Jia-jia<sup>1</sup>, ZENG Hai-tao<sup>2</sup>, HUANG Shao-xian<sup>1</sup>

(1. South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;

2. Gaoyao Electric Power Supply Bureau, Zhaoqing 526100, China)

**Abstract:** As a component of the power system, distribution network system is used to supply power for consumers directly, which is the link to connect power networks with consumers and plays an important role in power system. Because of the low insulation level, 10kV distribution lines easily occur lightning over-voltage, causing insulation accidents. Therefore, the lightning protection of 10 kV distribution lines is an important measure to ensure the safe operation and improve the power supply reliability for distribution network. According to the engineering practice of distribution networks in Gaoyao District Guangdong Province, this paper calculates the lightning withstand level and lightning trip-out rate for distribution lines, taking 10kV Daqi line as an example. It establishes the relevant ATP simulation models to calculate the over-voltage level of lines. By comparing the simulation results of over-voltage level after line arresters installed with before, it shows that line arrester installed can effectively improve the lightning protection performance of distribution lines, so as to provide valuable basic data for engineering designs.

**Key words:** distribution line; lightning performance; line arrester

中图分类号: TM862 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2009)09-0109-04

## 0 引言

随着社会的发展,人们对电能的依赖越来越强,对供电可靠性的要求越来越高。配电网系统作为电力系统的重要组成部分,承担着直接向用户供电的任务,是连接电网和用户的纽带,其安全运行越来越受到重视。10 kV 配电网具有设备数量多和地域分布广的特点,遭受雷击的机会较多<sup>[1]</sup>,因而易发生过电压而造成绝缘事故。

10 kV 配电线路由于其绝缘水平低,不但直击雷能造成危害,感应雷也能造成危害<sup>[2]</sup>。当线路附近落雷时,配电线路上会因电磁感应而产生高出线路相电压 2 倍及以上的过电压,使线路绝缘遭受破坏;当雷击线路时,巨大的雷电流在线路对地阻抗

上产生很高的电位差,导致瓷瓶炸裂、导线断线等事故<sup>[3]</sup>;线路上形成的幅值很高的雷电波还会通过耦合或转移到配电网中的设备上,造成设备损坏<sup>[4]</sup>。因此,10 kV 配电线路的防雷保护是保证电网安全运行、减少经济损失的重要措施。

本文将根据工程实际,结合广东高要 10 kV 配电线路实际运行中的雷害情况,研究线路的防雷性能及其保护措施,为提高配电网的防雷性能和供电的可靠性提供更有价值的结论。

## 1 高要 10 kV 配电线路防雷性能的计算

线路的耐雷水平与线路雷击跳闸率是衡量线路防雷性能优劣的两个重要指标<sup>[5]</sup>。线路的耐雷水平是指雷击线路时线路绝缘子串不发生闪络的最大

雷电流幅值；线路雷击跳闸是指每百公里线路每年由雷击引起的线路跳闸次数。线路的耐雷水平越高、雷击跳闸率就会越低，说明线路的防雷性能越好。

10 kV 配电线路绝缘水平低，一般不装避雷线，即使装设避雷线也极易反击，防止直击雷的作用不大。由于雷击无避雷线的塔顶造成对一相导线反击放电时不会引起线路跳闸，必须再有第二相导线反击放电，才会引起线路跳闸造成故障。因此，导致第二相导线闪络放电的雷电流才是所需的耐雷水平。

对 10 kV 等级的配电线路主要考虑以下几种雷电过电压：(1) 雷击导线附近大地的感应雷过电压；

(2) 雷直击杆塔时的反击过电压；(3) 雷直击导线时的过电压。下面以高要 10 kV 配电线路中雷击事故率相对较高的大企线为例，采用规程公式计算其雷击跳闸率和上述三种过电压情况下的耐雷水平。

### 1.1 计算参数选取

大企线（主线）为三回路纵式布线，垂直相间距离 1 m，平行每回线路之间的距离 0.8 m，平均线路高度  $h_0=11.5$  m；线路的耦合系数均取  $k=0.2$ ，杆塔等值电感均取  $L_{gt}=0.42 \mu\text{H/m}$ 。易击杆塔参数和线路绝缘子参数分别如表 1 与表 2 所示。

表 1 易击段杆塔参数

Tab.1 Parameters of the lines easily stricken

杆塔编号	杆型	杆高/m	呼高/m	前后档距/m	接地电阻/ $\Omega$	跨越情况	绝缘子型号
10kV 大企线#3 杆	Z $\pi$ -15	15	10.5	60	无	无	P-20T
10kV 大企线#11 杆	Z $\pi$ -15	15	10.5	63	无	无	P-20T
10kV 大企线#19 杆	Z $\pi$ -15	15	10.5	65	无	无	P-20T
10kV 大企线#25 杆	Z $\pi$ -15	15	10.5	65	无	上跨 110 线路	P-20T
10kV 大企线#29 杆	Z $\pi$ -15	15	10.5	65	无	无	P-20T
10kV 大企线#32 杆	Z $\pi$ -15	15	10.5	70	无	无	P-20T
10kV 大企线#36 杆	Z $\pi$ -15	15	10.5	58	无	无	P-20T

表 2 线路绝缘子参数

Tab.2 Parameters of the line insulators

线路绝缘子名称	型号	放电电压/kV			爬距/mm
		干	湿	击穿	
针式陶瓷绝缘子	P-20T	86	57	111	440

### 1.2 计算结果

计算得 10 kV 大企线的防雷性能如下：

雷击导线附近地面时（假定距线路 65 m 处落雷），耐雷水平  $I_1=15.54$  kA；雷击杆顶时，耐雷水平  $I_2=10.04$  kA；雷击导线时，耐雷水平  $I_3=0.55$  kA；雷击跳闸率  $n=1.27$ 。计算结果表明，高要 10 kV 配网线路的耐雷水平低，雷电流幅值超过 10 kA 就可能造成绝缘子闪络。因此，迫切要求对其进行有效的防雷保护措施，降低雷击跳闸率。

### 2 线路避雷器在 10 kV 配电线路防雷中的应用

高要供电局 10 kV 线路走廊地形复杂，近几年雷害事故频繁。由于其土壤电阻率高，降低杆塔接地电阻提高线路耐雷水平的难度较大；对于采用负角保护、减小屏蔽角与多重屏蔽的方法又受到杆塔结构的限制，一些老线路的改造难以进行。因此，需要采用其它更有效的防雷措施，如安装线路避雷器。

金属氧化物非线性电阻由于其优异性能，近年

来被广泛地应用于电力系统，以限制各种不同类型的过电压。它的使用范围包括从低压弱电系统到百万伏电压等级的特高压<sup>[6-8]</sup>。将线路型避雷器并联在线路绝缘子的两端，可用于对雷电流进行分流，从而限制线路上的雷电过电压，降低线路跳闸率。目前，10 kV 配电线路上的防雷措施一般很少采用线路避雷器，但在地势复杂或雷电活动极为强烈的地区，采用一般防雷措施的防雷效果并不明显，因此采用线路避雷器是一个值得研究的问题。本文将研究线路避雷器在高要 10 kV 配电线路中的应用。

#### 2.1 ATP 仿真模型

本文采用了电磁暂态仿真程序 ATPDraw 对 10 kV 配电线路的过电压水平进行仿真计算。线路绝缘子串闪络的判断采用相交法，即当塔顶上的电位与导线上感应电位的差值曲线同绝缘子串冲击放电伏秒特性曲线相交时，表明绝缘子串发生闪络<sup>[9]</sup>。因此，线路的防雷水平与 3 个重要因素有关，即雷电流强度，线路绝缘子的冲击放电伏秒特性和杆塔的冲击接地电阻。

线路模型采用 ATP 中参数恒定的 Bergon 模型, 参数频率设在 400~500 kHz。杆塔等效为单相无损线杆塔, 作为分布参数来处理, 波阻抗取 300 Ω。冲击接地电阻采用工程上常用方法, 即用固定的电阻值近

似表示。雷电流波形取 2.6/50 μs 的斜角波<sup>[10]</sup>。线路避雷器的基本参数以大企线实际安装的 YH5w-17/50 避雷器为依据<sup>[11]</sup>, 基本数据如表 3 所示。

表 3 YH5w-17/50 线路避雷器的基本参数  
Tab.3 Data of YH5w-17/50 line-surge arrester

避雷器型号	避雷器额定电压有效值/kV	系统标称电压有效值/kV	避雷器持续运行电压有效值/kV	直流参考电压 $U_{1mA}$ 不小于/kV	爬电比距 不小于/(mm/kV)	安装高度/mm
YH5w-17/50	17	10	13.6	25	32	265
残压不大于/kV			通流容量不小于/kA			0.75 $U_{1mA}$ 下漏电流不大于/ $\mu$ A
雷电冲击电流下 8/20 5kA	雷电冲击电流下 1/10 5kA	操作冲击电流下 30/60 0.25kA	2ms 18 次	4/10 $\mu$ s 2 次		
50	57.5	42.5	100	65	50	

## 2.2 工程实例

如表 1 所示, 大企线的易击杆都为 Z $\pi$ -15 型杆, 其杆塔参数和绝缘子型号比较统一, 因此选取其中的 #19 杆为例进行过电压水平的仿真分析。#19 杆如图 1 所示, 其仿真模型如图 2 所示。



图 1 大企线 #19 杆

Fig.1 The 19<sup>th</sup> pole of Daqi line

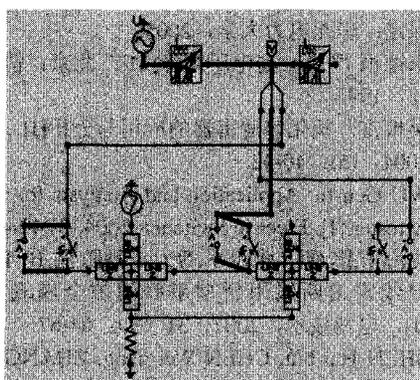


图 2 大企线 #19 杆的 ATP 仿真模型

Fig.2 ATP simulation model of the 19<sup>th</sup> pole of Daqi line

当雷电流幅值不高时, 取 5 kA, 杆塔上各相绝缘子均未闪络, 绝缘子串两端的电压波形如图 3 所示。

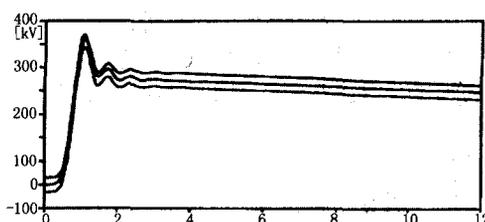


图 3 #19 杆绝缘子串未闪络时的电压波形 (雷电流 5 kA)

Fig.3 Voltage waveform of non-flashover insulator string of the 19<sup>th</sup> pole

由规程计算结果得知, 雷击杆顶时, 10 kV 大企线的耐雷水平  $I_2 = 10.04$  kA。故将雷电流增大到 11 kA, 此时单相绝缘子上所承受的电压达到了其冲击临界放电电压, A 相绝缘子最先闪络。此时, 由于线路并未跳闸, A 相线路通过杆塔接地, 相当于避雷线的作用, 由于各相导线之间的耦合效应, 使得 B, C 两相导线上感应出过电压, 其极性与塔顶电位极性一致, 所以 B, C 两相上绝缘子所承受的电压差反而减小, 达不到临界冲击闪络放电电压, 并不发生闪络, 电压波形如图 4 所示。

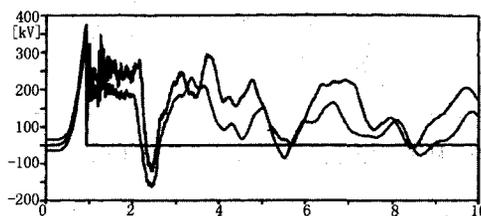


图 4 #19 杆 A 相绝缘子串闪络时的电压波形 (雷电流 11 kA)

Fig.4 Voltage waveform of insulator string of the 19<sup>th</sup> pole when flashover happens on A-phase

当雷电流继续增大到 15 kA, B, C 两相上由耦合电压增加的导线电位并没有塔顶电位增加的多, 所以耦合系数较小的 B 相先闪络, 这使得 B 相也通过杆塔接地, C 相上将感应出 A, B 两相上所产生的

暂态过电压，且其极性与塔顶定位一致，因而 C 相电位继续抬高，达不到临界闪络条件，不发生闪络，如图 5 所示。

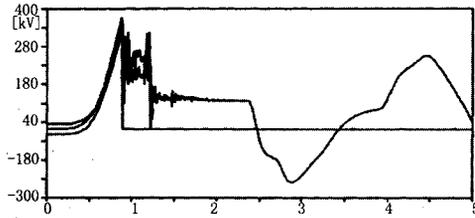


图 5 #19 杆 A、B 两相绝缘子串闪络时的电压波形 (雷电流 15 kA)

Fig.5 Voltage waveform of insulator string of the 19<sup>th</sup> pole when flashover happens on A and B phases

当雷电流继续增大到一定值时，取 20 kA，杆塔上的电位上升得很快很高，C 相上感应出的过电压与塔顶电位相比很小，所以三相绝缘子全闪络，如图 6 所示。

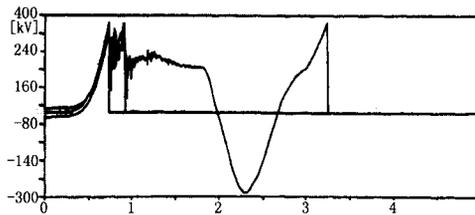


图 6 #19 杆三相绝缘子串全闪络时的电压波形 (雷电流 20 kA)

Fig.6 Voltage waveform of insulator string of the 19<sup>th</sup> pole when flashover happens on all phases

若在#19 杆装设一组线路避雷器，当雷电流的幅值达到 25 kA 时，杆塔绝缘子两端三相导线的波形如图 7 所示。

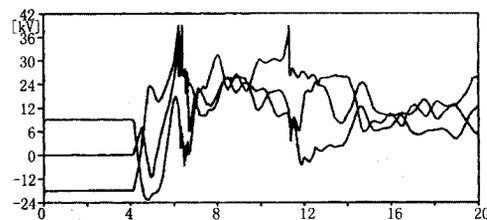


图 7 #19 杆装设线路避雷器后杆塔绝缘子两端的电压波形 (雷电流 25 kA)

Fig.7 Voltage waveform of insulator string of the 19<sup>th</sup> pole after line-surge arrester installed

可见，由于避雷器的截断作用，使得雷电流的幅值降低到 50 kV 以内，绝缘子不再闪络，从而对线路进行了有效的保护，提高了线路的耐雷水平。

### 3 结论

本文以广东高要 10 kV 大企线为例，对 10 kV 配电线路的防雷性能进行了规程计算，并建立相应

的 ATP 模型进行过电压水平的仿真分析，ATP 仿真结果表明，在易击段杆塔上安装线路避雷器可以有效的提高线路防雷性能，证明了本文的工作可以指导工程实际。

线路避雷器的选择性安装应该予以相当的重视，由于其昂贵的价格的限制，要结合杆塔周围的地形、气候、事物等因素进行综合考虑，将避雷器安装在最需要的杆塔上。在高要的工程实际中，10 kV 大企线主线目前已在#3、#11、#19、#25、#29、#32、#36 等易击杆各安装线路避雷器一组，从安装到现在，未发生该段线路因雷击跳闸现象，效果良好。同时，线路避雷器在大企线的投入运行，也进一步积累了线路避雷器的运行经验，为以后的线路避雷器运行管理规程提供可靠的依据。

### 参考文献

- [1] 徐颖, 许士珩. 交流电力系统过电压防护及绝缘配合[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
- [2] 朱晓琛, 杨成钢, 李景禄, 等. 配电网故障及其控制措施研究[J]. 长沙电力学院学报(自然科学版), 2004, 19(2): 36-39.  
ZHU Xiao-chen, YANG Cheng-gang, LI Jing-lu, et al. Research on Faults and Control Measures in Distribution Networks[J]. Journal of Changsha University of Electric Power(Natural Science), 2004, 19(2): 36-39.
- [3] 欧洲华. 配电变压器受雷击分析与防雷措施[J]. 水利电力机械, 2007, 29(9): 50-54.  
OU Zhou-hua. Analysis of the Lightning Strike on Distribution Transformer and Lightning Protection Measures[J]. Water Conservancy & Electric Power Machinery, 2007, 29(9): 50-54.
- [4] 郭向军. 配电网过电压在线监测系统的设计与开发[D]. 保定: 华北电力大学, 2005.
- [5] 朱德恒, 严璋. 高电压绝缘[M]. 北京: 清华大学出版社, 1992.
- [6] 吴根富. 氧化锌避雷器的应用与分析[J]. 电气开关, 2004, (5): 40-42.  
WU Gen-fu. Application and Analysis for a Zinc Oxide Arrester [J]. Electric Switcher, 2004,(5):40-42.
- [7] 沈海滨, 陈维江, 张少军, 等. 一种防止 10 kV 架空绝缘导线雷击断线用新型串联间隙金属氧化物避雷器[J]. 电网技术, 2007, 31(3): 64-67.  
SHEN Hai-bin, CHEN Wei-jiang, ZHANG Shao-jun, et al. A New Metal Oxide Surge Arrester with Series Gap to Prevent Breakage of 10 kV Overhead Insulated Conductors Caused by Lightning Stroke[J]. Power System Technology, 2007, 31(3): 64-67.
- [8] 周荣斌. 线路型避雷器的应用[J]. 广东电力, 2005, 18(12): 34-38.

(下转第 115 页 continued on page 115)

$$1.156 \angle -5.1^\circ$$

$K' > K$ , 接地距离保护灵敏度变小。

例 1: 线末短路 A 相接地短路: I 线

$$\dot{I}_A = 5229 \angle -82.9^\circ \text{ A}$$

$$3 \dot{I}_0 = 5229 \angle -82.9^\circ \text{ A}$$

$$U_A = 69 \angle -5.8^\circ \text{ kV}$$

$$\therefore Z_{CL} = \frac{U_A}{\dot{I}_A + 3K\dot{I}_0} \quad (5)$$

(一)

$$K = \frac{Z_0 - Z_1}{Z_1} = 0.453 \angle -15.2^\circ \text{ 代入式 (5) 得}$$

$$Z_{CL} = \frac{U_A}{\dot{I}_A + 3K\dot{I}_0} = \frac{69000 \angle -5.8^\circ \text{ V}}{5229 \angle -82.9^\circ \times 1.442 \angle -4.7^\circ \text{ A}}$$

$$Z_{CL} = 9.15 \Omega \angle 81.8^\circ > 6.22 \Omega \angle 75.7^\circ$$

$$\text{相对误差: } \frac{9.15 - 6.22}{6.22} = 47.1\%$$

(二)

$$K' = \frac{Z_0 - Z_1 + Z_m \frac{\dot{I}'_0}{\dot{I}_0}}{3Z_1} = \frac{Z_0 - Z_1 + Z_m}{3Z_1} = 1.156 \angle -5.1^\circ$$

代入式 (5) 得

$$Z_{CL} = \frac{U_A}{\dot{I}_A + 3K'\dot{I}_0} = \frac{69000 \angle -5.8^\circ \text{ V}}{5229 \angle -82.9^\circ \times 2.1545 \angle -2.76^\circ \text{ A}} = 6.12 \Omega \angle 79.86^\circ \approx 6.22 \Omega \angle 75.7^\circ$$

$K'$  代入基本准确。因为在故障计算程序中, 互感没有考虑电阻分量, 所以计算值和角度略有差异。

现在以阻抗圆特性的接地距离保护为例, 对接地距离保护 II 段进行整定, 按线末 1.5 倍灵敏度:

$$\text{考虑零序互感影响: } Z_{dz} = \frac{1.5 \times 9.15}{\cos(81.8 - 75.7)} = 13.8 \Omega$$

(一次值)

不考虑零序互感影响:  $Z_{dz} = 1.5 \times 6.22 = 9.33 \Omega$  (一次值)

按最不利条件, 取  $Z_{dz} = 13.8 \Omega$  (一次值)

$$Z_{dzj} = \frac{13.8 \times 240}{2200} = 1.5 \Omega \text{ (二次值)}$$

### 3 结论

以简单同杆并架双回线为例, 计算分析得出, 由于接地距离保护装置采用的零序补偿系数是  $K$ , 没有考虑零序互感的影响。因而接地距离保护装置测量线路正序阻抗的准确性, 受零序互感的影响, 尤其对同杆并架双回线路, 由于互感阻抗相对比较大, 对保护的测量阻抗精度影响尤为严重。本例中其测量阻抗相对误差值达到 47%。由于保护装置测量到的接地阻抗变大, 如果在接地距离保护整定计算时没有计算零序互感的影响, 就有可能导致接地距离保护的拒动。

由以上分析还知道, 如果互感线路零序互感是增极性, 会导致接地距离保护的测量阻抗变大, 使保护灵敏度降低, 保护可能拒动; 如果互感线零序互感是减极性, 会导致接地距离保护的测量阻抗变小, 使保护灵敏度升高, 保护可能越级误动。因此, 我们在整定接地距离保护时, 应该以保护装置动作方程为基础, 计算各种运行方式下的接地故障, 把零序互感的影响精确计算到保护定值中去。只有这样按最不利条件下整定, 方可保证在各种运行条件下均能满足系统要求。

收稿日期: 2008-06-18; 修回日期: 2008-06-26

作者简介:

朱景富 (1956-), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向为电力系统继电保护整定计算。E-mail: zhujf163@163.com

(上接第 112 页 continued from page 112)

ZHOU Rong-bin. Application of Line Arresters[J]. Guangdong Electric Power, 2005:34-38.

[9] 邱雪花. 线路避雷器在输电线路中的应用与研究[D]. 广州: 广东工业大学, 2007.

[10] 陈年彬. 采用避雷器防止 10 kV 架空线路绝缘导线雷击断线[J]. 中国电力, 2003, 36: 39-42.

CHEN Nian-bin, Application of Arrester Against Lightning-caused Breaking of Insulated Conductors on 10 kV Overhead Distribution Lines [J]. Electric Power, 2003,36:39-42.

收稿日期: 2008-06-17

作者简介:

邝嘉嘉 (1983-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统保护、控制与自动化; E-mail: huan.jiajia@mail.scut.edu.cn

曾海涛 (1976-), 男, 硕士研究生, 助理工程师, 主要研究方向为电力系统继电保护;

黄少先 (1954-), 男, 高级工程师, 主要研究方向为自动化仪表及计算机检测控制等。