

文章编号: 1671- 251X(2010)12- 0040- 03

# 煤矿供电系统雷击情况的仿真研究

赵德山

(郑州煤炭工业(集团)有限责任公司, 河南 郑州 450042)

**摘要:**选取矿区常用的 110 kV 级的输电线路作为仿真研究对象, 采用 ATP-EMTP 电磁暂态分析软件建立了雷击输电线路的数学模型, 通过改变杆塔接地电阻值的大小以及安装与不安装线路避雷器对雷击过程的影响进行了仿真分析。仿真结果表明, 雷击杆塔顶时, 输电线路杆塔接地电阻值越大, 输电线路的耐雷水平会降低; 输电线路安装避雷器可有效降低输电线路过电压。

**关键词:** 煤矿电网; 输电线路; 雷击; 接地电阻; 避雷器; 电磁暂态分析; ATP-EMTP

**中图分类号:** TD608      **文献标识码:**A

Simulation Research of Lightning of Mine Power Supply System

ZHAO Deshan

(Zhengzhou Coal Industry (Group) Co., Ltd., Zhengzhou 450042, China)

**Abstract:** The paper selected 110 kV transmission line of mine area for simulation research object and used ATP-EMTP electromagnetic transient analysis software to establish mathematical model of transmission line struck by lightning. It made simulation analysis for influence of lightning process by changing grounded resistance value of tower and installing or not installing lightning arrester. The simulation result showed that when lightning strikes top of tower, the grounded resistance value of tower is bigger, the lightning withstand level of transmission line is lower; installing lightning arrester in transmission line can reduce overvoltage effectively.

**Key words:** coal mine grid, transmission line, lightning, grounded resistance, lightning arrester, electromagnetic transient analysis, ATP-EMTP

## 0 引言

煤矿电网是将电能输送和分配到矿区各用电负

收稿日期: 2010- 08- 13

作者简介: 赵德山(1963- ), 男, 高级工程师, 1988 年毕业于焦作矿业学院, 现主要从事煤矿机电管理工作。

荷的系统, 主要由输电网、配电网组成。在实际生产中, 除因煤矿电网结构薄弱、停电检修、拉闸限电等因素导致配电网供电可靠性下降外, 雷击也是造成电网供电可靠性下降的一个重要因素<sup>[1,2]</sup>。因此, 有必要用科学的方法对煤矿电网防雷技术进行研究, 提出煤矿防雷措施, 用于降低雷击跳闸率, 减少雷击

## 参考文献:

- [1] 郝晓弘, 杜先君, 陈伟. 动态电压恢复器(DVR)研究现状与发展综述[J]. 科学技术与工程, 2008, 8(5): 1259-1264.
- [2] CHEN S, JOOS G. Series and Shunt Active Power Conditioners for Compensating Distribution System Faults [C]//Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, 2000, Montreal: 1182-1186.
- [3] 黄瀚, 杨潮, 韩英铎, 等. 配电网动态电压调节器控制

- 策略的研究[J]. 电网技术, 2002, 26(1): 1-4.
- [4] 胡寿松. 自动控制原理[M]. 4 版. 北京: 科学出版社, 2001.
- [5] 王兆安, 黄俊. 电力电子技术[M]. 4 版. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [6] KUSKO A, THOMPSON M T. 电力系统的电能质量[M]. 张一工, 谭伟璞, 刘晋, 译. 北京: 科学出版社, 2009.
- [7] SHORT T A. 电可靠性与电能质量[M]. 徐政, 译. 北京: 机械工业出版社, 2008.

损坏率, 减轻电子元件所受干扰, 最终提高煤矿电网供电的可靠性, 确保煤矿生产安全经济运行。

本文选取矿区常用的 110 kV 级输电线路作为仿真对象, 采用 ATP-EMTP 电磁暂态分析软件(以下称 ATP-EMTP)建立雷击输电线路的数学模型, 对接地电阻值的变化以及安装与不安装线路避雷器对雷击过程的影响进行分析, 从而为合理地采用防雷保护措施提供一定的理论依据。

## 1 模型的选取与参数的设定

为了防止雷害事故的发生, 需要准确地评价输电线路的防雷性能, 而计算其防雷性能最重要的是正确建立输电系统中雷电流、避雷器、输电线路及其杆塔的模型。

### (1) 雷电流的模拟<sup>[3]</sup>

雷电流波形呈脉冲形式, 其波头时间为  $t_1$  为 1~4  $\mu\text{s}$ , 平均值为 2.6  $\mu\text{s}$  左右, 半峰值时间  $t_2$  为 20~50  $\mu\text{s}$ , 一般采用 50  $\mu\text{s}$ 。仿真设计中常采用的雷电流模型是 ATPDraw 程序中自带的 Heidler Type 的电流源, 使用电流源来模拟雷电流。

### (2) 避雷器的模拟

选用金属氧化锌避雷器。由于避雷器阀片电阻的非线性特性, 一般难以用一个指数函数来描述整个范围内的特性, 在 ATP-EMTP 中, 将电压范围分成几段(每段有自己的指数函数), 采用分段指数函数模型来模拟避雷器。

### (3) 输电线路的模拟

ATP-EMTP 提供了 LCC 模型来模拟架空线路、单芯电缆和包围管道的参数。本文采用精度较高的 JMarti 输电线路模型<sup>[4]</sup>, 即参数随频率变化的五线架空线模型。

JMarti 输电线路模型的数据设置: 十倍频程设为 8, 采点数目/十倍频程设为 10, 稳态频率设为 50 Hz, 进行相模转换时的频率设为 50 000 Hz。

架空线路的其它参数设置: 选择自行设定线数、集肤效应、实部转换矩阵, LCC 模型设定为五相, 其中三相为 ABC 输电线路, 其它两相设置为避雷线。输电线路采用四分裂导线。

### (4) 输电线路杆塔的模拟

采用典型的门型钢筋混凝土双杆的杆塔。输电导线的平均高度为 12.8 m, 避雷线的平均高度为 15.4 m。仿真计算采用集中参数电感模拟杆塔。根据 DL/T 620—1997<sup>[5]</sup> 推荐的参数, 在仿真计算中铁杆塔电感取 0.5  $\mu\text{H}/\text{m}$ , 水泥杆塔电感取

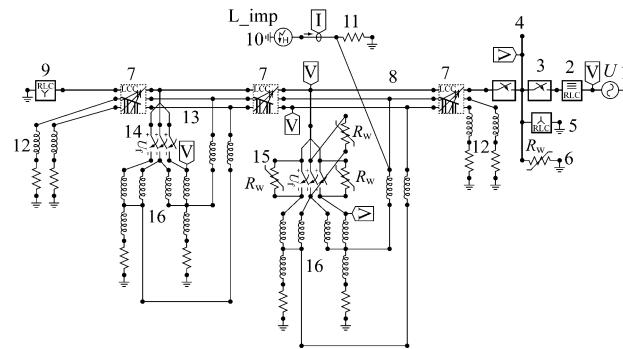
0.84  $\mu\text{H}/\text{m}$ 。

### (5) 绝缘子串闪络的模拟

可以利用 ATP-EMTP 中的闪络开关模型来模拟绝缘子串的闪络过程。针对 110 kV 输电线路的标准绝缘, 仿真中选取的雷电冲击闪络电压为 700 kV。

## 2 仿真结果及结论分析

雷击输电线路的仿真模型如图 1 所示, 采用电压源  $U$  来模拟 110 kV 输电线路的供电电源, 大小设置为  $\sqrt{2} \times 110 000 / \sqrt{3} = 89 803 \text{ V}$ , 频率设置为工频 50 Hz; 电源等值漏抗设为 400  $\Omega$ ; 输电线路的 LCC 模型长度设置为 0.4 km。



- 1- 供电电源; 2- 电源等值漏抗; 3- 断路器; 4- 供电母线;
- 5- 母线等值对地电容; 6- 母线避雷器; 7- 输电线路的 LCC 模型;
- 8- 三相输电线路的导线; 9- 模拟无穷长线路的匹配阻抗;
- 10- 雷电流冲击电流源; 11- 雷电通道波阻抗;
- 12- 相邻杆塔的等值电感电路与接地电阻; 13- 避雷线的导线;
- 14- 模拟绝缘子串的闪络开关; 15- 模拟避雷器的非线性电阻;
- 16- 杆塔的等值电感与接地电阻模型

图 1 雷击输电线路的仿真模型

### 2.1 接地电阻值的变化对雷击过程的影响

要想更好地保护输电线路的安全运行, 需选择合适的杆塔接地电阻。搭建雷击杆塔塔顶及其附近避雷线的仿真线路图, 通过改变输电线路杆塔的接地电阻值来观察输电线路电压波形的变化, 从而可得出杆塔接地电阻值的变化对雷击杆塔塔顶的影响规律<sup>[4, 6]</sup>。该仿真分为 6 组, 分别将接地电阻值设置为 5  $\Omega$ 、10  $\Omega$ 、15  $\Omega$ 、20  $\Omega$ 、25  $\Omega$  和 30  $\Omega$ , 仿真结果如图 2 所示。

从图 2 可看出, 当杆塔接地电阻值分别为 5  $\Omega$ 、10  $\Omega$ 、15  $\Omega$ 、20  $\Omega$ 、25  $\Omega$  和 30  $\Omega$  时, 杆塔电压峰值分别为 350 kV、600 kV、850 kV、1 100 kV、1 250 kV、1 500 kV, 因此, 输电线路杆塔接地电阻值越大, 雷击杆塔顶时, 造成作用于线路绝缘子串的电位差越大, 线路的耐雷水平会降低。当杆塔接地电阻值超

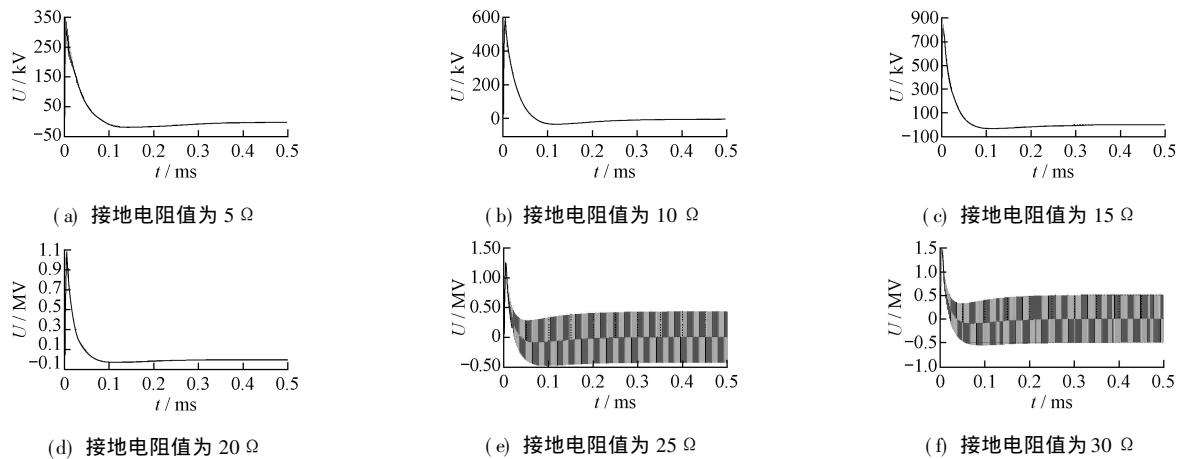


图 2 不同接地电阻值的杆塔电压仿真波形

过  $25\Omega$  时, 杆塔电压达到  $1250\text{ kV}$ , 波形强烈振荡, 说明绝缘子串发生了闪络、反击现象, 严重影响了输电线路的安全、稳定运行。

## 2.2 输电线路安装与不安装避雷器的比较

输电线路未安装避雷器, 当雷击杆塔时, 雷电流通过杆塔流入大地。当杆塔顶部和导线的电位差超过绝缘子的闪络电压时, 绝缘子发生闪络现象。输电线路未安装避雷器的杆塔电压仿真波形如图 3 所示。

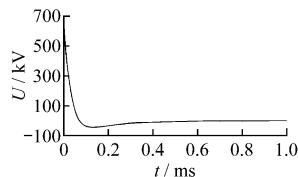


图 3 输电线路未安装避雷器的杆塔电压仿真波形

输电线路安装避雷器后, 当雷击杆塔时, 雷电流产生分流: 一部分雷电流通过杆塔流入大地, 当雷电流超过一定值后, 避雷器加入分流, 大部分雷电流通过避雷器流入导线, 传播到相邻杆塔。输电线路安装避雷器的杆塔电压仿真波形如图 4 所示。

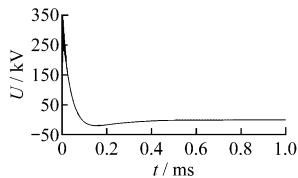


图 4 输电线路安装避雷器的杆塔电压仿真波形

从图 3、图 4 可看出, 输电线路未安装避雷器的情况下杆塔电压值最大超过了  $600\text{ kV}$ , 而安装了避

雷器之后, 杆塔电压值只达到了  $350\text{ kV}$ 。因此, 安装避雷器可有效降低由雷击在输电线杆塔上引起的过电压, 保护了输电线路的安全运行。

## 3 结语

使用 ATP-EMTP 电磁暂态分析软件对矿区常用的  $110\text{ kV}$  级的输电线路进行了仿真研究。仿真结果表明, 输电线路杆塔接地电阻值越大, 雷击杆塔顶时, 造成作用于线路绝缘子串的电位差越大, 线路的耐雷水平会降低, 若要有效保护煤矿输电线路的安全运行必须合理降低输电线路的杆塔接地电阻值; 煤矿输电线路在安装避雷器后有效降低了雷击在输电线杆塔上引起的过电压。

## 参考文献:

- [1] 沈红莲, 汪朝军. 浅谈架空线路遭雷击原因及防雷措施 [J]. 重庆电力高等专科学校学报, 2009, 14(3): 30-33.
- [2] 白安林, 任建华, 李泽林, 等. 浅谈煤矿变电所的防雷措施 [J]. 煤矿安全, 2001(4): 27-29.
- [3] 李明贵, 鲁铁成. 高压架空输电线路雷击过电压的仿真计算与分析研究之一: 输电线路雷电过电压仿真计算模型的建立 [J]. 广西电力, 2005(4): 7-10.
- [4] 李密. 雷电防护接地电阻降低方法及应用 [J]. 气象科技, 2009, 37(6): 771-773.
- [5] 国家电力工业部. DL/T620—1997 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合 [S]. 北京: 中国电力出版社, 1997.
- [6] 张飞舟, 陈亚洲, 魏明, 等. 雷电电流的脉冲函数表示 [J]. 电波科学学报, 2002, 17(1): 51-53.