

35 kV 输电线路避雷器的雷电放电电流和吸收能量

张媛媛¹, 郑浩², 施荣¹, 王倩¹, 屠幼萍¹

(1. 华北电力大学高电压与电磁兼容北京市重点实验室, 北京 100000; 2. 安徽省淮南市供电公司, 安徽 淮南 232007)

Absorbed Discharging Energy and Lightning Discharging Current Analysis of
Surge Arresters on 35 kV Transmission LineZHANG Yuan-yuan¹, ZHENG Hao², SHI Rong¹, WANG Qian¹, TU You-ping¹(1. Beijing Key Lab of High Voltage and EMC, North China Electric University, Beijing 100000, China;
2. Huainan Department Power Supply Company, Huainan 232007, China)

摘要: 在建立输电线路防雷计算模型的基础上, 用电磁暂态计算程序对有、无避雷线的 35 kV 输电线路避雷器的雷电放电电流和吸收的雷电放电能量进行了计算。具体计算了不同幅值的雷电流作用下, 不同冲击接地电阻时, 线路上避雷器的放电电流和吸收的比能量, 讨论了雷电流、接地电阻对放电电流和比能量的影响, 并对分别装在有、无避雷线的输电线路上的避雷器的放电电流和比能量进行了纵向比较分析。

关键词: 线路避雷器; 放电电流; 比能量; 接地电阻;

雷电流; 避雷线

中图分类号: TM862

文献标识码: A

Abstract: Based on the lightning overvoltage analysis model of transmission line, the absorbed discharging energy and lightning discharging current of line arresters on 35 kV transmission lines with and without shielding wires are analyzed by electromagnetic transient analysis program when the line surge arresters are applied to improve the lightning protection effect of transmission line. When the lightning respectively strikes on towers and transmission lines under varied conditions, such as different impulse grounding resistance and different lightning current, the lightning discharging current of arrester and the absorbed lightning discharging energy are calculated, and the influence of grounding resistance and lightning current on them are discussed. At the same time, the absorbed discharging energy and lightning discharging current are compared for 35 kV transmission lines with and without shielding wires in order to conclude the influence of shielding wires.

Key words: line arrester; lightning discharging current; specific energy; impulse grounding resistance; lightning current; shielding wire

0 引言

电网故障分类统计表明, 由于雷击输电线路而引起的事故日益增多。例如, 在我国跳闸率比较高的地区, 高压线路运行的总跳闸次数中, 由雷击引起的次数约占 40%~70%, 尤其是在多雷、土壤电阻率高、地形复杂的地区, 由雷击输电线路而引起的事故率更高^[1], 因而造成了巨大的经济损失。

加装线路避雷器是减少线路雷击跳闸事故、提高供电系统可靠性、进一步降低运行成本的一种有效的方法^[2]。理论计算分析和实践都证明, 将线路避雷器应用到线路雷电活动强烈或土壤电阻率高、降低接地电阻有困难的线段, 可以较大地提高线路的耐雷水平。

自 1980 年开始, 国外开展了应用避雷器来降低线路雷击事故的研究, 并已成功地将避雷器应用到输电线路^[3-5]。目前国内外对采用线路避雷器改善输电线路的防雷性能已经达成共识, 线路避雷器已在国内外得到了广泛的应用。我国也已研制出 10~500 kV 的线路避雷器, 并已大量应用于输电线路的雷电防护^[6]。目前, 国内已对 110 kV 及以上有避雷线的输电线路采用线路避雷器后的防雷效果进行了分析, 如文 [7-11] 中, 但对无避雷线的 35 kV 线路采用线路避雷器后的防雷效果目前还没有系统的研究。

35 kV 输电线路纵横延伸, 地处旷野, 雷击线路造成的跳闸事故在电网总事故中占有很大的百分比。同时, 雷击线路时自线路入侵变电所的雷电波也是威胁变电所的主要因素^[12], 因此, 对线路的防

收稿日期: 2006-07-12; 修回日期: 2006-09-31

作者简介: 张媛媛 (1982-), 女, 硕士研究生, 从事电力系统过电压方面的研究。

雷保护应予充分重视。笔者采用电磁暂态计算程序 (EMTP) 对 35 kV 线路采用金属氧化物避雷器后, 在雷击杆塔时和雷击线路情况下线路避雷器是否能够承受通过的雷电放电电流和吸收的雷电放电能量进行了研究。

1 分析条件

计算选用的 35 kV 输电线路杆塔为无拉线钢筋混凝土单杆, 见图 1。杆塔波阻抗为 250 Ω , 电感平均值为 0.84 $\mu\text{H}/\text{m}$ 。雷击杆塔时, 雷电流流经杆塔通过杆塔接地装置流散到地中。在雷电流的作用下, 接地装置的接地电阻呈暂态电阻特性, 用冲击接地电阻来表征。冲击接地电阻不同于工频接地电阻, 它是土壤电特性、接地装置形状和埋深以及雷电流的函数。在计算中, 一般杆塔的冲击接地电阻取为 10 Ω , 而对于山区, 特别是岩石地区的杆塔冲击接地电阻要高得多。为了研究杆塔冲击接地电阻的影响, 在计算时, 使冲击接地电阻在 5~100 Ω 的较大范围内变化。图 2 为雷击杆塔时波过程的计算示意图。避雷器和悬式绝缘子并联安装^[13], 避雷器的额定电压为 42 kV^[14]。

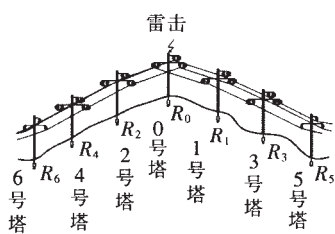
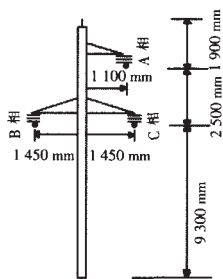


图 1 计算用线路杆塔 图 2 雷击杆塔时波过程的计算示意图

2 计算结果分析

2.1 雷击无避雷线线路杆塔时避雷器的放电电流和比能量的分析

图 3 为当雷电流幅值 $I=200, 150, 100, 75$ 和 50 kA 时流经金属氧化物的雷电放电电流幅值与被击杆塔冲击接地电阻的关系曲线 (以 A 相安装的避雷器为例), 雷电流分别为 200, 150 和 100 kA, 接地电阻在 10~100 Ω 之间变化时, 避雷器的放电电流随接地电阻的增加而增加, 这是因为雷击杆塔的冲击接地电阻越大, 塔顶电位上升的越高, 流过避雷器的雷电放电电流也就越大。但当雷电流为 75 kA, 50 kA 时, 避雷器放电电流有先减小后增大的变化趋势, 即接地电阻为 20 Ω 附近, 有一下降点, 见图 3。原因是: 一方面, 输电线路的耐雷水平随接地电阻的增大而降低, 随着接地电阻的增大, 除被击杆塔的绝缘子串闪络外, 附近杆塔的绝缘子串也会发生闪络, 当冲击接地电阻为 20 Ω 时, 附近杆塔发生闪

络的绝缘子数比在冲击接地电阻为 10 Ω 时多, 致使电流更多从击穿的绝缘子上流过, 从而导致避雷器中的放电电流下降; 另一方面, 在较小的雷电流情况下, 可能出现一组避雷器中有一支以上不动作的情况, 计算中发现, 雷电流为 50 kA, 冲击接地电阻为 10 Ω 时, C 相的避雷器没有动作, 只有 A, B 相的动作, 而当冲击接地电阻为 20 Ω 时, C 相避雷器也动作了, 对于 A 相避雷器, C 相避雷器的动作对其也起到了分流作用。但三相避雷器总的放电电流和吸收能量是随接地电阻增大而增大的, 这一计算结果与随着被击杆塔接地电阻的增大塔顶电位升高的理论依据是一致的。另外, 大雷击电流不存在这种现象, 原因是 10 Ω 接地电阻下, 三相避雷器已经全动作, 即 3 支避雷器初始状态一样, 闪络的绝缘子对他们的分流作用也是均等的, 因此, 没有以上的过渡过程。由图 3 可知, 避雷器的放电电流随雷电流幅值的增大而增大。当雷电流峰值为 50 kA 时, 避雷器的放电电流不会超过 19 kA。当雷电流达到 200 kA, 冲击接地电阻为 100 Ω 时, 氧化锌避雷器的放电电流为 61.3 kA。

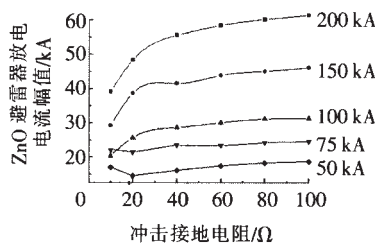


图 3 避雷器放电电流幅值与杆塔接地电阻的关系曲线

表 1 列出了 0 号杆塔装有一组避雷器的无避雷线输电线路, 在 200, 150, 100, 75, 50 kA 雷电流下, 雷击 0 号塔时, 其冲击接地电阻与 A 相避雷器能量的关系。计算中, 除 0 号杆塔外其余杆塔的冲击接地电阻均为 10 Ω 。

表 1 0 号塔不同接地电阻下的避雷器比能量

0 号塔接地电阻/ Ω	200/kA	150/kA	100/kA	75/kA	50/kA
10	5.41	3.76	2.36	2.78	2.10
20	7.30	4.78	2.88	2.57	0.13
40	8.65	4.77	3.21	2.34	1.35
60	9.38	5.47	3.35	2.39	1.52
80	9.58	6.48	3.44	2.45	1.56
100	9.74	6.57	3.47	2.48	1.59

从表 1 可以得出, 避雷器的比能量随杆塔冲击接地电阻的变化趋势与放电电流幅值随之变化的趋势基本相同。杆塔冲击接地电阻和雷电流幅值对金属氧化物避雷器比能量的影响与避雷器放电电流相同, 这里不再赘述。当杆塔的冲击接地电阻为 100 Ω , 雷电流幅值为 200 kA 时, 比能量最大, 为 9.74 kJ/kV。

2.2 雷击无避雷线线路时避雷器的放电电流和吸收能量分析

图 4 和图 5 为在 30, 50, 75, 100 kA 雷电流下, 雷击 0, 1 号塔档距中央 C 相线路时 (0, 1 号杆塔均装有一组避雷器), 0 号塔 C 相上 ZnO 避雷器的放电电流幅值、比能量与 0 号塔冲击接地电阻的关系曲线, 1 号塔上与之相等。计算中, 除 0, 1 号杆塔外其余杆塔的冲击接地电阻均为 10 Ω 。

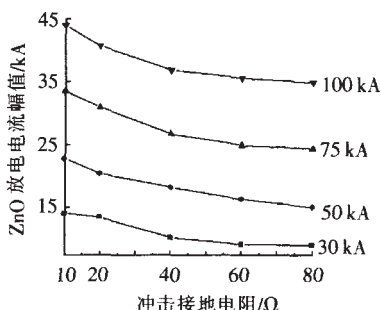


图 4 避雷器放电电流幅值与杆塔接地电阻的关系曲线

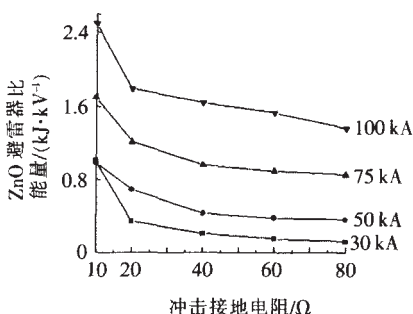


图 5 避雷器比能量与杆塔接地电阻的关系

从图 4 和图 5 可以看出, C 相避雷器的放电电流和吸收的雷电放电能量均随杆塔接地电阻的增大而减小, 与雷击杆塔的变化趋势刚好相反, 这与雷击线路的耐雷水平低是直接相关的。35 kV 无避雷线线路, 雷击 0, 1 号塔档距中央, 0, 1 号塔接地电阻为 10 Ω 时, 输电线路耐雷水平为 33.8 kA, 80 Ω 时耐雷水平只有 8.7 kA, 因此, 在 50, 75, 100 kA 雷电流作用下, 已超过其耐雷水平, 也就说有绝缘子闪络, 较小的接地电阻下, C 相避雷器的放电电流和吸收能量下降, 主要是绝缘子的分流作用所致。随着接地电阻的增大, 耐雷水平降低, 更多的绝缘子闪络, 再加上 AB 相避雷器的动作, 致使分流作用更明显。另外, 由图中可以得出, 避雷器的放电电流、吸收的能量随雷电流幅值的增大而增大。雷电流幅值越大, 放电电流、吸收的能量越多。当杆塔冲击接地电阻为 10 Ω , 雷电流幅值为 100 kA 时, 放电电流最大, 为 44 kA, 比能量值为 2.5 kJ/kV。

2.3 雷击有避雷线线路杆塔时避雷器的放电电流和比能量的分析

图 6 为当雷电流 $I=200, 150, 100, 75$ 和 50 kA 时流经金属氧化物避雷器的雷电放电电流幅值与被击

杆塔冲击接地电阻的关系曲线 (以 B 相安装的避雷器的雷电放电电流为例)。从图中可以看出, 避雷器的放电电流随接地电阻、雷电流的增加而增加。但是, 当接地电阻大于 20 Ω 时, 放电电流随冲击接地电阻增大而增大的陡度变缓, 原因是避雷器的分流钳位作用使塔顶电位与导线电位接近, 接近的程度与冲击接地电阻无关, 从而减小了冲击接地电阻的影响。当雷电流峰值为 50 kA 时, 避雷器的放电电流不会超过 13 kA。当雷电流达到 200 kA, 冲击接地电阻为 100 Ω 时, 避雷器的放电电流达到最大值 50 kA。

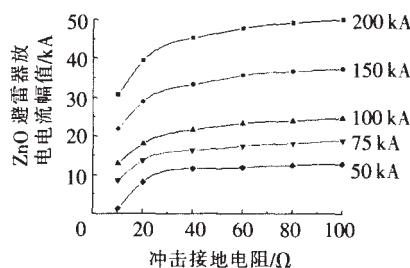


图 6 避雷器放电电流幅值与杆塔接地电阻的关系曲线

另外, 比较图 3 无避雷线线路和图 6 有避雷线线路分别在雷击 0 号塔时, 避雷器放电电流幅值与杆塔接地电阻的关系曲线, 可以看出, 在雷击有避雷线线路情况下, 放电电流并没有表现出像有雷击无避雷线线路时先减小后增大的趋势, 这与避雷线对雷电流的分流作用直接相关。雷击有避雷线线路时, 大部分雷电流将从避雷线上流过, 从闪络的绝缘子串上流过的雷电流与之比较要少得多; 另外, 在各雷电流幅值作用下, 对于避雷器来说, 避雷线的分流作用均存在。因此, 绝缘子闪络的变化对避雷器放电电流和吸收能量的影响几乎不存在, 也就不存在放电电流、吸收能量随接地电阻的增大而先减小后增大的过渡过程。

图 7 为金属氧化物避雷器的比能量与杆塔冲击接地电阻的关系 (以 B 相安装的避雷器为例)。曲线变化趋势与图 5 避雷器放电电流幅值与杆塔接地电阻的关系曲线基本相同。杆塔冲击接地电阻和雷电流幅值对避雷器吸收的雷电放电能量的影响与避雷器放电电流时相同, 这里不再论述。当杆塔的冲击接地电阻为 100 Ω , 雷电流幅值为 200 kA 时, 避雷器的比能量最大, 为 4.34 kJ/kV。

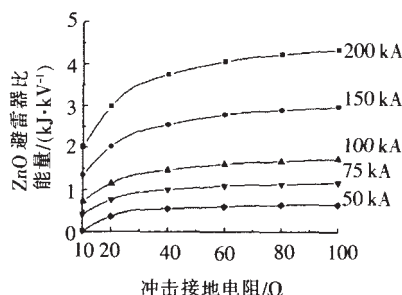


图 7 避雷器的比能量和杆塔冲击接地电阻的关系

对于 35 kV 有避雷线的输电线路, 当雷电流大于绕击临界雷电流幅值 5.5 kA 时, 不会发生绕击事故。而在小于 5.5 kA 雷电流作用下, 避雷器的放电电流和比能量不会很高。如, 当雷击 0, 1 号塔档距中央时 (在 0 号塔上装有一组避雷器), 0 号塔上 B 相避雷器的放电电流为 25.7 kA, 比能量也不过 0.029 kV/kJ, 较雷击杆塔时要小的多。因此, 绕击时避雷器能够耐受雷电作用时的放电电流和吸收的雷电放电能量^[15]。

3 结论

(1) 对于 35 kV 无避雷线输电线路: 雷击杆塔时, 金属氧化物避雷器放电电流幅值和吸收的雷电放电能量, 随雷电流的幅值增加而增大。在大雷电流下, 随着冲击接地电阻的增大, 避雷器放电电流和吸收能量均增大; 在小电流作用下, 由于避雷器动作的初始条件的变化, 随着冲击接地电阻的增大, 有先减小后增大的变化趋势。放电电流幅值最大可达 61.3 kA, 比能量最大可达 9.74 kJ/kV。

雷击线路时, 金属氧化物避雷器放电电流幅值和吸收的雷电放电能量, 随着冲击接地电阻的增大而减小, 但随着雷电流幅值的增加而增大。放电电流幅值最大可达 44 kA, 比能量最大可达 2.5 kJ/kV, 较雷击杆塔时要小。

(2) 对于 35 kV 有避雷线输电线路, 雷击杆塔时, 由于避雷线的作用, 金属氧化物避雷器放电电流幅值和比能量均随雷电流的幅值和冲击接地电阻的增加而增大。放电电流幅值最大可达 50 kA, 比能量最大可达 4.34 kJ/kV。绕击时的雷电流较小, 避雷器的放电电流和比能量不会很高。

(3) 比较有、无避雷线线路, 由于避雷线的分流作用, 同一条件下避雷器放电电流和比能量, 前者的

(上接第 112 页)

十分有效地改善电磁环境, 但线路建设须遵循经济性合理原则。

(7) 海拔高度的增加对电磁环境有负面影响。高海拔地区宜考虑采取增加极导线对地高度或子导线截面积等措施以控制 UHVDC 线路的电磁环境影响。

(8) 直流线路单极运行时的电磁环境影响比双极运行时小, 无需特别考虑。

致谢

在写作过程中, 得到了上海交通大学傅正财教授的指导与帮助, 在此深表感谢。

参考文献:

[1] 常卫中, 李施雄. 交直流高压输电线路并行传输时的无线电

比后者的要低。

参考文献:

[1] 输电线路雷击跳闸率计算方法和 500 kV 超高压线路防雷设计中的几个问题[R]. 湖北: 武汉高压研究所, 1982.

[2] 胡大明, 弥 濮. 线路避雷器应用情况分析和新型避雷器的设想[J]. 高压电器, 2005, 41(1): 59-61, 64.

[3] Furukawa S. Development and Application of Lightning Arresters for Transmission Lines [J]. IEEE Trans. on PWRD, 1989(4): 2 121-2 129.

[4] Ishida K. Development of a 500 kV Transmission Line Arrester and Its Characteristics [J]. IEEE Trans. on PWRD, 1992, 7(3): 1 265-1 274.

[5] Ohki Y, Yasufuku S. Lightning Arresters Developed for 500 kV Transmission Lines [J]. IEEE Electrical Insulation Magazine, 1994, 10(4): 61-62.

[6] HE Jin-liang, CHEN Shui-ming, ZENG Rong, et al. Development of Polymeric Surge ZnO Arresters for 500 kV Compact Transmission Line [J]. IEEE Trans. on Power Delivery, 2006, 21(1): 113-120.

[7] 吴桂芳, 陈巧永, 蓝 磊, 等. 110 kV 线路避雷器在输电线路防雷中的应用研究[J]. 电瓷避雷器, 2002(2): 40-43.

[8] 王双文, 田建华, 荆建峰. 金属氧化物避雷器在输电线路防雷中的应用[J]. 高压电器, 2003, 39(6): 36-38, 40.

[9] 何金良, 吴维韩. 氧化锌线路限压器雷电放电电流计算[J]. 高电压技术, 1993, 19(1): 18-22.

[10] 陈水明, 何金良, 吴维韩, 等. 采用氧化锌避雷器提高 220 kV 线路耐雷水平的研究[J]. 高电压技术, 1998, 24(3): 77-82.

[11] 陈水明, 何金良, 吴维韩, 等. 110 kV 输电线路采用氧化锌避雷器提高耐雷水平的研究[J]. 中国电力, 1998, 31(11): 12-15.

[12] 朱维政. 110 kV 六店变电所主变遭受雷击事故的分析[J]. 高压电器, 2004, 40(2): 156-157.

[13] 马晋华. 线路避雷器与绝缘子串间的绝缘配合 [J]. 电瓷避雷器, 2000(5): 33-35.

[14] L/T 620 1997. 交流电气装置过电压特性及绝缘配合[S]. 1997.

[15] 何金良, 姜 舟. 避雷器耐受输电线路雷电流绕击的能力分析 [J]. 电瓷避雷器, 2001(6): 22-25.

干扰特性[J]. 电网技术, 1998, 22(6): 12-15, 20.

[2] 邵方殷. 交流线路对平行接近的直流线路的工频电磁感应[J]. 电网技术, 1998, 22(12): 61-65, 70.

[3] Yuji, Yoshitaka Sunaga. Study on Reduction in Electric Field, Charged Voltage, ion Current and Ion density under HVDC Transmission Lines by Parallel Shield Wires [J]. IEEE Trans. on Power Delivery. 1989, 4(2): 1 351-1 359.

[4] 吴桂芳. 我国 ±500 kV 直流输电工程的电磁环境问题[J]. 电网技术, 2005, 29(11): 8-11.

[5] 刘振亚. 特高压直流输电技术研究成果专辑[M](2005年). 北京: 中国电力出版社, 2006.

[6] 傅宾兰. 葛-上 ±500 kV 直流输电线路的环境影响 [J]. 中国电力, 1995(1): 7-11, 45.

[7] DL 436-2005. 高压直流架空送电线路技术导则[S]. 2006.