



延安地区雷电流幅值累积概率分布特征及计算公式

摘要

利用陕西省雷电定位系统资料分析了延安地区 2009—2012 年的雷电流数据,并对多种雷电流幅值累积概率公式进行了比较分析,同时引入雷电流概率密度公式,列举实例,分析了各累积概率公式所拟合的曲线与实测值所绘制曲线的误差,并根据分析结果给出了该地区带有未知系数 α, β 的雷电流幅值累积概率计算公式,利用 Matlab 的 Cftool 工具中的最小二乘曲线拟合方法对地闪进行拟合,求出拟合误差最小和拟合效果最好时的 α, β 值,得出了该地区更为精确的雷电流幅值累积概率计算公式,并利用该地区 2013 年的雷电流数据对推导出的公式进行了准确性验证。结果表明:正闪的平均雷电流幅值明显大于负闪,而负闪的雷电流幅值分布比正闪的分布相对更集中;正闪的雷电流幅值累积概率的分布曲线比较平缓,而负闪的相对比较陡峭;利用规程公式拟合的曲线与实测值对应的曲线差异较大,而利用 IEEE Std 和 CIGRE 推荐公式分别拟合的曲线与实测值对应曲线的变化趋势一致,相比规程公式 IEEE Std 的误差明显减小;当 $\alpha=36.04, \beta=4.349$ 时,拟合误差最小,拟合效果最好,并且发现雷电流 I_0 在 0~150 kA 时,拟合误差在 -0.025~0.018,当 $I_0=35$ kA 时,拟合误差最大,为 0.025,当 I_0 大于 150 kA 时,拟合误差趋于 0。

关键词

雷电流幅值;累积概率;规程法;曲线拟合

中图分类号 P427.321

文献标志码 A

收稿日期 2016-03-14

资助项目 教育部人文社科规划项目(11YJA790183);深圳市科技计划(JCYJ20140731143503817)

作者简介

李婷,女,硕士,工程师,主要从事雷电科学与防护技术研究.liting_2006@163.com

1 陕西省防雷中心,西安,710014

2 兰州大学 大气科学学院,兰州,730000

3 西安市气象台,西安,710016

4 吉林省气象台,长春,130062

5 深圳市防雷中心,深圳,518040

0 引言

雷电流幅值概率分布一直是国内外防雷界非常重视的雷电参数之一^[1],它是表征雷电活动频度、计算雷击闪络率的必要参数,雷击闪络率又是评估雷击性能的重要指标,故雷电流幅值累积概率的取值精确性直接关系着雷击闪络率的计算精确性,从而才能为正确评估雷击性能提供重要指标。目前,国内防雷计算中主要采用规程法对雷电流幅值累积概率进行计算,所采用的是对数表达式,即我国电力行业规程《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997)中推荐的表达式 $\lg P_l = -I/88$ ^[2-6],它是依据新杭线 1962—1987 年的磁棒检测结果,用 97 个雷击塔顶负极性雷电流幅值数据回归得到的^[7]。国际上,Popolansky 早在 1977 年根据欧洲、澳洲和美国的观测结果,提出了雷电流幅值累积概率的计算公式^[8]。以后的研究者根据不同地区的观测也提出了不同的计算公式,其中 Anderson 根据观测结果归纳出的雷电流幅值累积概率公式被 IEEE Std 推荐使用^[9-10]。IEEE 工作组于 2005 年对全球雷电参数的研究进行回顾和总结,推荐使用文献[11-12]提出的雷电流幅值累积概率计算公式。

近年来,随着陕北地区能源化工工业的发展,输电线路日趋密集,陕北延安地区又是陕西省雷电活动的频发地区^[13],作为红色旅游革命圣地,人员相对比较密集,对该地区进行雷电灾害风险评估和区划^[14]以及雷电防护的工作日趋重要。而找出该地区更为精确的雷电流幅值累积概率公式对指导该地区的雷电灾害风险评估和区划^[14]、雷电防护等工作有着重要意义,故研究该地区雷电流幅值累积概率的分布特征,进而得出该地区相对准确的雷电流幅值累积概率的计算公式十分必要。

1 资料来源与方法

本文所采用的闪电定位资料来源于陕西省 2004 年建立的 ADTD 闪电定位系统。该系统由 11 个探测站组成,探测范围为 0~600 km,平均为 300 km,其探测效率可以达到 80%~90%。每个闪电资料包括闪电时间、地理位置(经纬度)、极性(正、负闪电)和电流强度幅值等 4 个主要参数^[15]。

本文统计分析了 2009—2012 年陕西延安地区的雷电监测资料。这期间延安地区共发生闪电 127 190 次,其中正闪 4 656 次,负闪 122 534

次.为了进一步研究该地区雷电流幅值累积概率的分布特征,找出该地区雷电流幅值累积概率相对准确的计算公式,文中将规程法及国外学者提出的研究方法分别进行了比较分析,在此基础上推导出延安地区相对准确的雷电流幅值累积概率计算公式,从而为该地区的雷电防护提供重要的理论支撑.

2 延安地区雷电流幅值累积概率分析

2.1 雷电流幅值分布特征

2.1.1 雷电流极性分布特征

表1给出了2009—2012年延安地区闪电的年平均特征.从中可以看出云地闪中的绝大部分为负闪,占闪电总数的96.34%,正闪仅占3.66%;正闪的平均雷电流幅值为66.18 kA,明显大于负闪的平均雷电流幅值39.43 kA.这些结论与文献[16-17]的结果基本相同.

表1 闪电极性分布特征

Table 1 Distribution characteristics of lightning polarity			
地闪	频次	占比/%	电流平均强度/kA
正闪	4 656	3.66	66.18
负闪	122 534	96.34	39.43

2.1.2 雷电流幅值的频次分布特征

根据闪电定位监测资料,2009—2012年延安地区共发生127 190次闪电.在4 656次正闪中,最大雷电流幅值为454.8 kA,雷电流幅值主要分布范围为20~70 kA,如图1a所示,该幅值范围内的正闪次数占到全部正闪次数的70.34%,而电流幅值为40~50 kA的正闪频次最高,达到691次,占全部正闪次数14.84%.

在122 534次负闪中,最大雷电流幅值为452.9 kA,雷电流幅值主要分布在20~60 kA,如图1b所示,该幅值范围内的负闪次数占到全部负闪次数的85.82%,与正闪相比,负闪相对更集中.幅值为30~40 kA的负闪频次最高,达到41 760次,占全部负闪次数的32.06%.

2.2 雷电流幅值累积概率计算公式

本文将超过雷电流幅值 I_p (单位:kA)的概率称为雷电流幅值累积概率 P_c [1].国际上,Pobolansky早在1977年根据欧洲、澳洲和美国的观测结果,提出了雷电流幅值累积概率的计算公式[8]:

$$P_c = \frac{1}{1 + (I_p/25)^{2.0}} \quad (1)$$

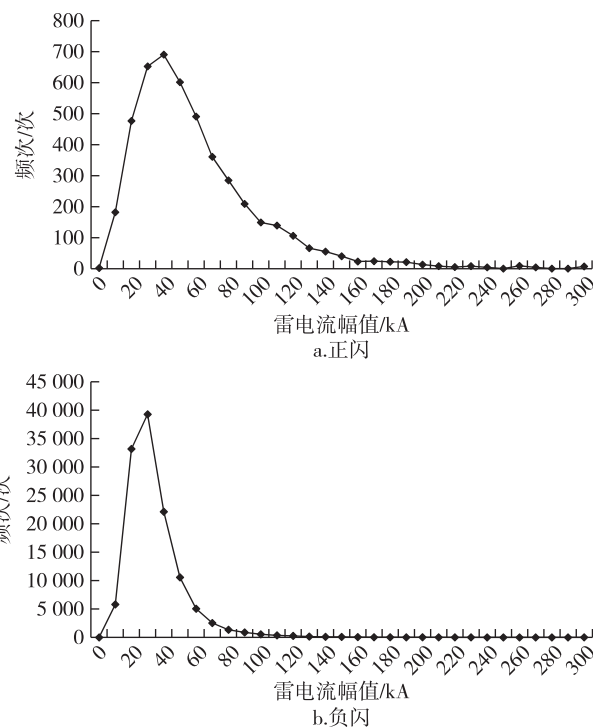


图1 雷电流幅值的频次分布特征

Fig. 1 Frequency distribution of positive (a) and negative (b) lightning current amplitude

Eriksson 和 Anderson 的观测结果被 IEEE Std 推荐使用.

$$P_c = \frac{1}{1 + (I_p/31)^{2.6}} \quad (2)$$

还有一些类似形式的公式,只是其中参数取值不同,如 CIGRE 推荐公式[18]和韩国 KEPRI[8]推荐公式分别为

$$P_c = \frac{1}{1 + (I_p/12)^{2.7}} \quad (3)$$

$$P_c = \frac{1}{1 + (I_p/15.9)^{2.8}} \quad (4)$$

DL/T 620—1997 规定,我国一般地区雷电流幅值超过 I 的概率可按式求得:

$$\lg P = -I/88 \quad (5)$$

式中: P 为雷电流幅值累积概率; I 为雷电流幅值,单位 kA.

2.3 正、负极性雷电流幅值累积概率的分布拟合

2.3.1 利用规程法拟合概率曲线

由表1可知,2009—2012年延安地区总计有127 190个雷电流幅值数据.将正闪的雷电流幅值从0 kA开始,以10 kA的大小规律递增,逐一统计出幅值在0~10 kA、0~20 kA、0~30 kA,以此类推直至

0~300 kA 的各范围内的雷电频次,根据雷电流幅值累积概率的定义,依次求出各范围内的雷电频次与总正闪次数(4 656 次)的比值.最后绘制出利用实测值统计出的雷电流幅值累积概率的曲线图,即实测曲线.与绘制正闪实测曲线的雷电流幅值分区相对应,将 10、20、30 kA 以此规律递增直至 300 kA,分别代入式(5),求出对应结果,最后绘制出规程曲线.同理也可得出负闪的雷电流幅值累积概率的实测曲线及规程曲线.

图 2 为延安地区 2009—2012 年正闪、负闪的雷电流幅值实测值对应的累积曲线和利用规程公式拟合的曲线.可以看出,利用规程公式拟合的曲线与实测值对应的累积曲线变化趋势不一致,正闪、负闪实测值对应曲线的起始部分都是上凸的,即函数所对应的二阶导数小于 0,而规程法对应的曲线起始部分是下凹的,即函数所对应的二阶导数大于 0,跟实测值对应的曲线趋势不一致,因此认为规程法所对应公式的表达形式不适于描述延安地区雷电流幅值累积概率的分布特征.

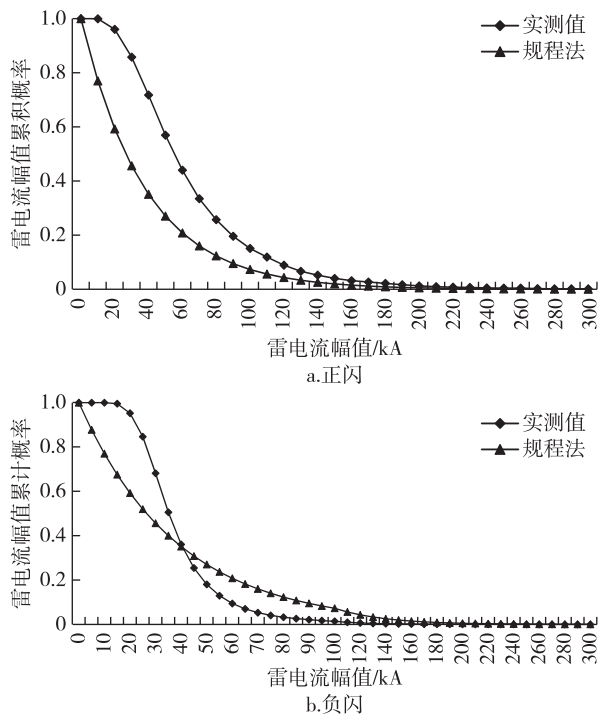


图 2 延安地区雷电流实测值曲线与规程法的累积概率函数曲线比较

Fig. 2 Comparison of probability distribution of positive and negative lightning current amplitude between measured values and simulated values by regular method

李婷,等.延安地区雷电流幅值累积概率分布特征及计算公式.

2.3.2 利用 IEEE Std 和 CIGRE 推荐的公式分别拟合概率曲线

利用 2.3.1 中的方法同样可以拟合出 IEEE Std 和 CIGRE 推荐的公式所对应的概率曲线.图 3 是该地区 2009—2012 年正闪、负闪的雷电流幅值实测值对应的累积曲线和利用 IEEE Std 和 CIGRE 推荐公式分别拟合的曲线.可以看出,正闪、负闪分别利用 IEEE Std 和 CIGRE 推荐公式拟合的曲线与实测值对应的曲线变化趋势较为一致,曲线的起始部分均是上凸,然后是下凹,但由于地域的差异,不同研究者得出的曲线有所差别.

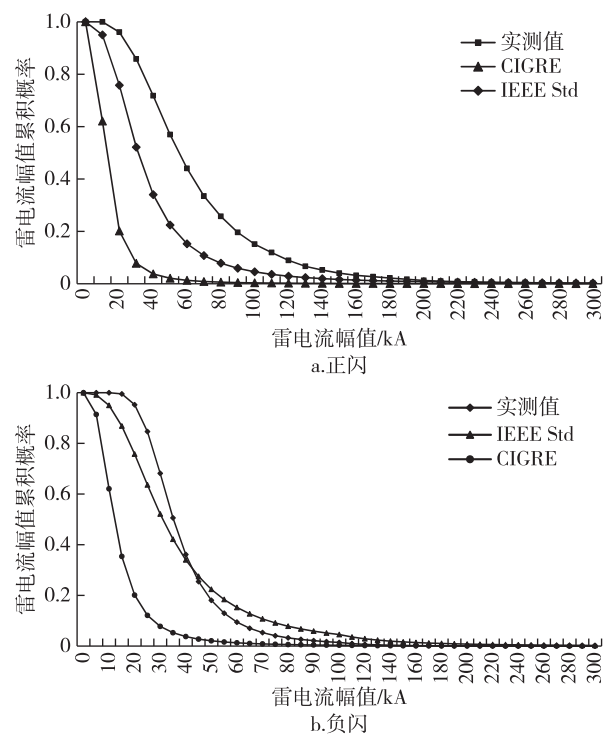


图 3 雷电流实测值与 IEEE 等推荐公式的比较

Fig. 3 Comparison of probability distribution of positive and negative lightning current amplitude between measured values and simulated values by IEEE Std and CIGRE

2.3.3 举例说明累积曲线差异给工程计算造成的后果

虽然图 2、图 3 以累积概率的形式比较了规程法、IEEE 和 CIGRE 推荐公式分别对应的曲线和实测值曲线的差别,但是从图上来看,不能直观地反映出这样的差别会给工程计算造成的后果,故以 220 kV 输电线路绕击闪络率的计算为例,采用雷电流概率密度形式进行分析比较.绕击闪络率(P_s)的一般公式为^[19]

$$P_s = \int_{I_{\min}}^{I_{\max}} X(I)F(I)dI, \quad (6)$$

式中 I 为雷电流, I_{\min} 为线路绕击的耐雷水平, I_{\max} 为最大绕击电流, $X(I)$ 为 I 下的绕击概率, $F(I)$ 为雷电流幅值概率密度. 由概率论与数理统计知识可知, 规程公式、IEEE Std 和 CIGRE 推荐公式分别对应的雷电流幅值概率密度公式如表 2 所示.

表 2 累积概率公式和概率密度公式的对照

Table 2 Accumulative probability formulas and their corresponding probability density formulas

累积概率公式	概率密度公式
$\lg P = \frac{-I}{88}$	$f(I) = 0.026 \times 10^{-I/88}$
$P = \frac{1}{1+(I/31)^{2.6}}$	$f(I) = \frac{2.6}{31^{2.6}} \times \frac{I^{(2.6-1)}}{[1+(I/31)^{2.6}]^2}$
$P = \frac{1}{1+(I/12)^{2.7}}$	$f(I) = \frac{2.7}{12^{2.7}} \times \frac{I^{(2.7-1)}}{[1+(I/12)^{2.7}]^2}$

将表 2 所示的概率密度公式用图 4 表示, 所用资料仍为延安地区 2009—2012 年雷电流幅值的数据资料. 由式(6)可知, 假设 $X(I)$ 一定, 则绕击闪络率 P_s 与雷电流概率密度 $F(I)$ 在区域 $[I_{\min}, I_{\max}]$ 上的积分值有关. 从图 4 上来看, 绕击闪络率 P_s 与曲线在 $x = I_{\min}$ 和 $x = I_{\max}$ 之间的面积有关. 若用规程公式对应的概率密度公式计算绕击闪络率, 则少计算了区域 1 (IEEE Std 曲线、实测值曲线、 $x = I_{\min}$ 曲线、 $x = I_{\max}$ 曲线所包围的区域) 和区域 2 (规程曲线、IEEE Std 曲线、 $x = I_{\min}$ 曲线、 $x = I_{\max}$ 曲线所包围的区域) 的面积, 与实际积分的区域面积有很大误差; 若用 IEEE Std 推荐公式对应的概率密度公式计算绕击闪络率, 与实际积分的区域面积也有误差, 但相比规程法和 CIGRE 推荐公式, 误差明显减少. 工程中小幅值的雷电流更容易引起雷电绕击^[20], 反观图 4, 雷电流小幅值时, 曲线差距越大, 则误差越大, 从而也印证了文献[20]的结果.

3 延安地区雷电流幅值概率计算公式的推导

通过 2.3 的分析, 认为规程公式不适于描述延安地区雷电流幅值累积概率的分布特征, 通过对 IEEE Std 和 CIGRE 推荐公式分别拟合的曲线与实测值对应曲线的比较, 可以看出与实测值的累积曲线仍存在误差, 再加上由于地域差异, 不同研究者得出的曲线也有所差别, 故有必要根据实际数据拟合出该地区更为精确的公式. 从前面的分析可知, 运用 IEEE Std 和 CIGRE 推荐公式所拟合的曲线与实测

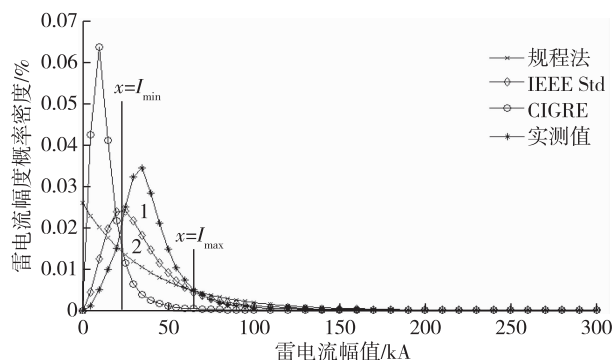


图 4 实测值曲线与 IEEE 等推荐公式概率密度函数曲线的比较

Fig. 4 Comparison of probability density between measured values and simulated values

值累积曲线虽然存在误差, 但是曲线与实测值对应曲线的变化趋势一致, 形状也相似, 因此考虑运用此公式对该地区雷电流幅值的实测值进行累积概率的拟合, 可将式(1)—(4)写成如下的标准形式:

$$P_c = \frac{1}{1 + (I_p/\alpha)^\beta}. \quad (7)$$

本文考虑用式(7)来表示雷电流累积概率的分布情况.

α, β 的值可通过下列方法求解.

仍然以 2009—2012 年的雷电流幅值数据为依据, 而雷电流的幅值大小往往决定了它的危害程度, 故考虑对延安地区总闪的雷电流幅值累积概率进行拟合, 将负闪的雷电流幅值取绝对值, 又分析得出 $f(I_p, P_c)$ 的一般表达形式. 利用 Matlab 的 Cftool 工具中的最小二乘曲线拟合方法对总闪进行拟合, 求出式(7)中系数 α, β 的值, 从而得出式(7)的函数确切表达形式. 图 5 为对总闪拟合的曲线和实测值的累积曲线.

通过最小二乘曲线拟合, 得出 $\alpha = 36.04, \beta = 4.349$ 时, 拟合误差最小, 拟合效果最好. 拟合误差曲线如图 6 所示. 由误差曲线可知, 当雷电流在 $0 \sim 150$ kA 时, 拟合误差在 $-0.025 \sim 0.018$; 当 $I_c = 35$ kA 时, 拟合误差最大, 为 0.025; 当 I_c 大于 150 kA 时, 拟合误差趋于 0. 通过对比, 该拟合曲线与实测值累积概率曲线几乎重合, 因此, 延安地区雷电流幅值累积概率的计算公式可近似表示为

$$P = \frac{1}{1 + (I/36.04)^{4.349}}. \quad (8)$$

4 对式(8)进行准确性验证

为了验证式(8)的准确性, 以延安地区 2013 年

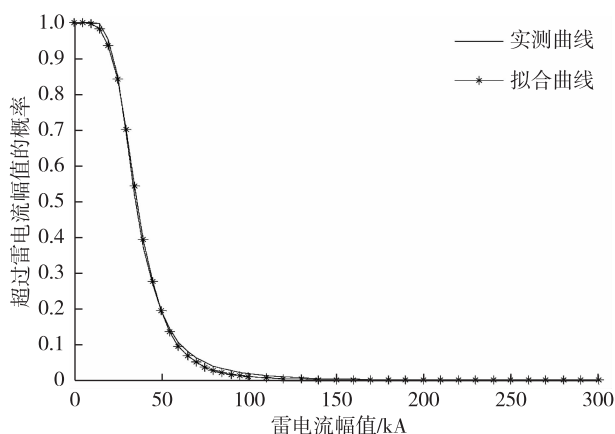


图5 实测值曲线与所推公式对应曲线的比较

Fig. 5 Comparison of probability of lightning current amplitude between measured values and simulated values by the deduced formula

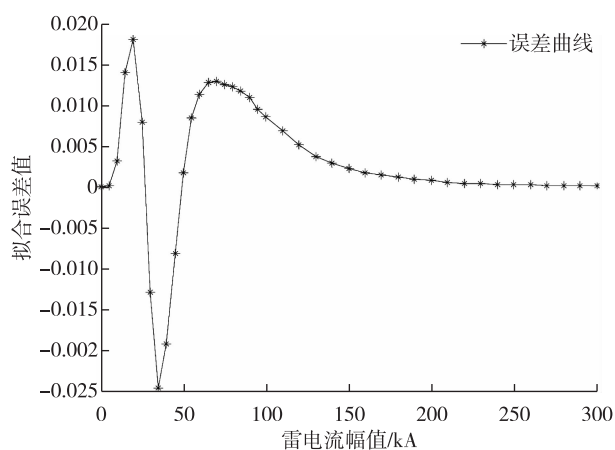


图6 拟合误差曲线

Fig. 6 Fitting error of the deduced formula

雷电流数据为例进行分析,结果如图7所示.从图7明显可以看出,式(8)对应的曲线与延安地区2013年雷电流实测值的累积曲线最为接近,而其他公式与实测值的差别则较大,可见本文所拟合公式能正确描述延安地区雷电流幅值累积概率的分布特征.

5 结论与讨论

通过将延安地区2009—2012年的雷电流幅值实测数据与规程DL/T 620—1997的推荐公式、IEEE Std推荐公式及CIGRE推荐公式的比较,得出如下结论:

1) 正闪的平均雷电流幅值明显大于负闪的平均雷电流幅值,而负闪的雷电流幅值分布比正闪相对更集中.

李婷,等.延安地区雷电流幅值累积概率分布特征及计算公式.

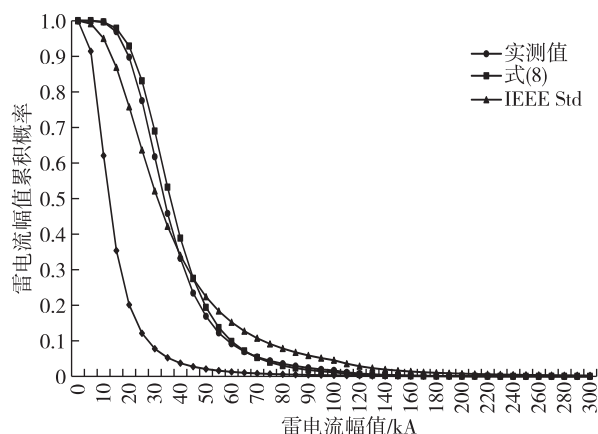


图7 雷电流实测值曲线(2013年)与IEEE等推荐公式累积概率曲线的比较

Fig. 7 Comparison of probability distribution between measured values (year 2013) and simulated values

2) 从图1、图2可知,正闪的雷电流幅值累积概率的分布曲线相对比较平缓,而负闪相对比较陡峭.

3) 利用规程法拟合的曲线与实测值对应的曲线变化趋势不一致,正闪、负闪实测值的对应曲线起始部分都是上凸的,即函数所对应的二阶导数小于0,而规程法拟合的曲线起始部分都是下凹的,即函数所对应的二阶导数大于0.

4) IEEE Std和CIGRE推荐公式分别拟合的曲线与正闪、负闪实测值对应曲线的变化趋势一致,形状相似,但仍存在误差,再加上由于地域差异,不同研究者得出的曲线有所差别.

5) 以工程上计算绕击闪络率为例,得出规程法会给计算结果带来很大误差,而利用IEEE Std和CIGRE推荐公式也会给计算结果带来误差,但相比规程法误差明显减小,且在小幅值雷电流时,误差越大.

6) 通过式(7)拟合出延安地区雷电流幅值累积概率的分布特征曲线,得出该地区更为精确的累积概率计算公式,即式(8),并通过验证表明该公式具有良好的准确性和实用性.在拟合过程中发现当雷电流 I_c 在0~150 kA时,拟合误差在-0.025~0.018;当 $I_c=35$ kA时,拟合误差最大,为0.025;当 I_c 大于150 kA时,拟合误差趋于0.

参考文献

References

- [1] 陈家宏,童雪芳,谷山强,等.雷电定位系统测量的雷电流幅值分布特征[J].高电压技术,2008,34(9):

- 1893-1897
CHEN Jiahong, TONG Xuefang, GU Shanqiang, et al. Distribution characteristics of lightning current magnitude measured by lightning location system[J]. High Voltage Engineering, 2008, 34(9): 1893-1897
- [2] 李家启, 王劲松, 申双和, 等. 基于 ADTD 系统监测的雷电流幅值累积概率特征分析[J]. 气象, 2011, 37(2): 226-231
LI Jiaqi, WANG Jinsong, SHEN Shuanghe, et al. Analysis of the cumulative probability of lightning current amplitudes based on the statistical data obtained from the ADTD system[J]. Meteorological Monthly, 2011, 37(2): 226-231
- [3] 杜澍春. 关于输电线路防雷计算中若干参数及方法的修改建议[J]. 电网技术, 1996, 20(12): 53-56
DU Shuchun. Suggestion on revising the calculation method and some parameters used in lightning protection of transmission lines [J]. Power System Technology, 1996, 20(12): 53-56
- [4] 孙萍. 有关输电线路防雷计算中几个参数取值的建议[J]. 电网技术, 1998, 22(8): 75-78
SUN Ping. Some suggestions on setting of parameter values in lightning protection calculation for transmission lines[J]. Power System Technology, 1998, 22(8): 75-78
- [5] 李瑞芳, 吴广宁, 曹晓彬, 等. 雷电流幅值概率计算公式[J]. 电工技术学报, 2011, 26(4): 161-167
LI Ruifang, WU Guangning, CAO Xiaobin, et al. Formula for probability of lightning current amplitude [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2011, 26(4): 161-167
- [6] 中华人民共和国电力工业部. DL/T 620—1997 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合[S]. 1997
Ministry of Power Industry of the P.R.C. Overvoltage protection and insulation coordination for AC electrical installations[S]. 1997
- [7] 孙萍. 220 kV 新杭线 I 回路 26 年全线实测雷电流幅值的统计分析[J]. 浙江电力, 1994(1): 17-26
SUN Ping. Statistical analysis of lightning current amplitude measurement in 26 years on 220 kV Xin-Hang No.1 line[J]. Zhejiang Electric Power, 1994(1): 17-26
- [8] Shim E B, Woo J W, Han S O, et al. Lightning characteristics in Korea and lightning performance of power systems [C] // Proceedings of the IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition, 2002; 534-539
- [9] Borghetti A, Nucci C A, Paolone M. Estimation of the statistical distributions of lightning current parameters at ground level from the data recorded by instrumented towers[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2004, 19(3): 1400-1409
- [10] Chowdhuri P, Anderson J G, Chrisholm W A. Parameters of lightning strokes: A review [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2005, 20(1): 346-358
- [11] Transmission and Distribution Committee of the IEEE Power Engineering Society. IEEE Std 1243—1997: IEEE guide for improving the lightning performance of transmission lines[S]. 1997
- [12] Grant I S, Anderson J G, Hileman A R, et al. A simplified method for estimating lightning performance of transmission lines [J]. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 1985, 104(4): 919-932
- [13] 王洁, 张媛, 李润强, 等. 2009 年陕西省雷电分布与雷电灾害特征[J]. 陕西气象, 2010(4): 4-8
WANG Jie, ZHANG Yuan, LI Runqiang, et al. Lightning distribution and the disasters characteristics over Shaanxi province in 2009 [J]. Journal of Shaanxi Meteorology, 2010(4): 4-8
- [14] 刘岩, 李征, 程向阳, 等. 安徽省雷电灾害风险区划[J]. 南京信息工程大学学报(自然科学版), 2014, 6(2): 163-168
LIU Yan, LI Zheng, CHENG Xiangyang, et al. Risk assessment of lightning in Anhui province [J]. Journal of Nanjing University of Information Science and Technology (Natural Science Edition), 2014, 6(2): 163-168
- [15] 张文娟, 孟青, 吕伟涛, 等. 时间差闪电监测网的误差分析和布局优化[J]. 应用气象学报, 2009, 20(4): 402-410
ZHANG Wenjuan, MENG Qing, LÜ Weitao, et al. Error analyses and network optimization for time-of-arrival lightning location system [J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2009, 20(4): 402-410
- [16] Chisholm W A, Cummins K L. Lightning parameters: A review, applications and extensions [C] // 2005/2006 IEEE/PES Transmission & Distribution Conference & Exposition, 2006; 465-470
- [17] 孙萍. 220 kV 新杭线雷电流幅值实测结果的统计分析[J]. 中国电力, 2006, 33(3): 74-76
SUN Ping. Statistical analysis on lightning current amplitude measurement of 220 kV Xin-Hang line [J]. Electric Power, 2006, 33(3): 74-76
- [18] Whitehead J T, Chisholm W A. Estimating lightning performance of transmission lines II: Updates to analytical models [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1993, 8(3): 1254-1267
- [19] 彭谦, 李军, 康东升, 等. 1 000 kV 交流输电线路绕击率的计算方法[J]. 中国电力, 2010, 43(8): 57-60
PENG Qian, LI Jun, KANG Dongsheng, et al. Lightning stroke ratio algorithm for 1 000 kV AC transmission line [J]. Electric Power, 2010, 43(8): 57-60
- [20] 王城钢, 张仲先, 潘秀宝, 等. 架空输电线路绕击防护的新措施[J]. 高电压技术, 2008, 34(3): 620-622
WANG Chengang, ZHANG Zhongxian, PAN Xiubao, et al. New measures of shielding failure protection on transmission lines [J]. High Voltage Engineering, 2008, 34(3): 620-622

Distribution characteristics and calculation formula for cumulative probability of lightning current amplitude in Yan'an area

LI Ting^{1,2} ZHAI Yuan³ SUN Yan⁴ GAO Hong⁵

1 Shaanxi Lightning Protection Center, Xi'an 710014

2 College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000

3 Xi'an Meteorological Observatory, Xi'an 710016

4 Jilin Province Meteorological Observatory, Changchun 130062

5 Shenzhen Lightning Protection Center, Shenzhen 518040

Abstract Lightning current amplitude cumulative probability is a necessary parameter to characterize the frequency of thunder activity as well as calculate the lightning strike flashover. Using data from lightning location monitoring system in Shaanxi province, this paper analyses the lightning current data during 2009–2012 in Yan'an area, and compares various calculation formulas of cumulative probability for lightning current amplitude. Then the density formula is introduced, and an example is given to show the difference between the calculated and measured cumulative probability of lightning current amplitude. The least square curve fitting method of CFTOOL in MATLAB is employed to find the best fitting parameters, therefore a more precise calculation formula for lightning current amplitude cumulative probability is established. The lightning current data in 2013 is used to verify the proposed formula. Results show that the average current amplitude of positive lightnings is higher in value and less concentrated in distribution than that of negative lightnings. The distribution curve of lightning current amplitude cumulative probability is relatively flat for positive lightnings and steep for negative ones. As for the simulation results by various calculation formulas, the regular formula has the biggest error, while the formulas recommended by IEEE Std and CIGRE have similar variation trends and shapes compared with measured curves. The fitting is best with parameter α being 36.04 and β being 4.349; the fitting error is ranged in -0.025 to 0.018 when the lightning current (I_c) is from 0 to 150 kA, and decreased to close to 0 when I_c is more than 150 kA. Thus a more precise formula is established to calculate the cumulative probability of lightning current in Yan'an area, which is then verified through test.

Key words amplitude of lightning current; cumulative probability; regular formula; curve fitting