

Lightning Parameters Statistics and Its Initial Application

Shiling Zheng¹, Li Ding^{2,3}, Qingjun Wang¹, Chun Zhao², Xuefang Tong²

¹ Anhui electric power research institute , Hefei, China

² State grid electric power research institute , Wuhan, China

³ College of electrical and electronic engineering, huazhong university of science and technology, Wuhan, china

Email: aeprizsl@163.com , hustding2008@126.com, zhaochun@sgepri.sgcc.com.cn

Abstract: In order to fully understand the characteristics of lightning activity and thereby supply important reference for plan and construction of the Anhui Grid as well as lightning protection design, massive detection data from 2005 to 2009 gained by Anhui Lightning Detection Network are statistically analyzed by the grid method in this paper. The time and space distribution of lightning activity and distribution of cloud-ground flashes current amplitude in Anhui province are presented. On the basis of the results, the lightning performance of shielding failure of a typical transmission line is studied with lightning parameters recommended by regular method compared with that with statistical lightning parameters. The results show that the lightning activity in Anhui province mainly happens in south-east areas. In addition, the statistical ground flash density is higher than that recommended by regular method and the median current of the cumulative probability fitting expression obtained in this paper is lower than that of the fitting expression format adopted by IEEE. The shielding failure rates calculated with statistical lightning can better meet the operational experience.

Keywords: lightning parameter; time and space distribution; transmission lines; lightning performance of shielding failure

安徽省雷电参数统计与应用初探

郑世玲¹, 丁黎^{2,3}, 王庆军¹, 赵 淳², 童雪芳²

¹安徽省电力科学研究院, 合肥, 中国, 230022

²国网电力科学研究院, 武汉, 中国, 430074

³华中科技大学电气与电子工程学院, 武汉, 430074

Email: aeprizsl@163.com, hustding2008@126.com, zhaochun@sgepri.sgcc.com.cn

摘 要: 为了充分了解和掌握安徽省的雷电活动特性, 为安徽省电网的规划、建设及防雷设计提供重要的参考依据, 本文采用网格法对安徽电网雷电定位系统 2005-2009 年地闪主放电资料进行统计分析, 获得了安徽省雷电活动的时间分布、空间分布以及雷电流幅值分布情况, 在此基础上, 分别采用规程推荐雷电参数和基于雷电定位系统监测数据统计的雷电参数, 对安徽省某典型线路的防雷性能计算结果进行了对比。结果表明: 安徽省雷电活动主要集中在东南部区域, 统计地闪密度值高于规程推荐值, 而雷电流幅值累积概率拟合公式的中值电流低于 IEEE 推荐公式中的中值电流, 采用由监测数据统计得到的雷电参数进行防雷计算更符合安徽省某典型线路的实际运行情况。

关键词: 雷电参数; 时空分布; 雷电流幅值; 线路; 绕击性能

1 引言

随着全球变暖, 极端气候现象增多, 雷击成为电网事故和非计划停运的重要原因之一, 给电力系统的正常运行带来了较大隐患。安徽省位于华东腹地, 雷电活动频发, 不仅危害电网安全, 还造成了较大经济

损失。近年来, 基于雷电定位系统监测数据所进行的大量雷电参数研究表明, 雷电活动的强弱和分布特征与雷击故障的发生密切相关^[1]。因此, 对安徽省雷电活动特性进行分析研究, 对于安徽电网雷电防护工作的有效开展具有重要的意义。

雷电活动特征通常用雷电日、地闪密度、雷电流幅值累积概率分布等雷电参数来表征。其中，雷电日是传统的雷电观测参数，主要通过气象部门监测获得。而随着雷电定位系统在全国范围内的普及应用，原先采用 IEEE 的经验公式由雷电日换算得到的地闪密度可以由雷电监测数据直接统计获得^{[2][3]}，且由于地闪密度图能够更为清晰直观地反映雷电活动空间分布，获得了越来越广泛的应用。雷电流幅值概率分布则一直是国内外防雷届非常重视的雷电参数之一，在绕击和反击防雷计算中具有重要作用^[4]。因此，本文主要对安徽省的地闪密度分布和雷电流幅值累积概率分布进行研究，并统计安徽省雷电的时间分布，以反映该区域的雷电活动情况。

本文采用网格法对安徽电网雷电定位系统 2005~2009 年地闪主放电资料进行统计分析，获得安徽省雷电活动的空间分布、时间分布以及雷电流分布情况，并对其规律特征进行了总结分析。在此基础上，分别采用规程推荐雷电参数和基于雷电定位系统监测数据统计的雷电参数，对安徽省典型线路的防雷性能计算结果进行了比较。

2 雷电定位系统概况

2.1 雷电定位系统

安徽省电力公司雷电定位系统(LLS)始建于 1993 年，随后通过多次升级改造，并增建雷电探测站，至 2006 年安徽电网构成了 1 个中心站+14 个雷电探测基站的雷电定位系统。安徽省雷电定位系统目前的探测站配置情况见图 1 所示，对安徽全省进行了良好的覆盖。

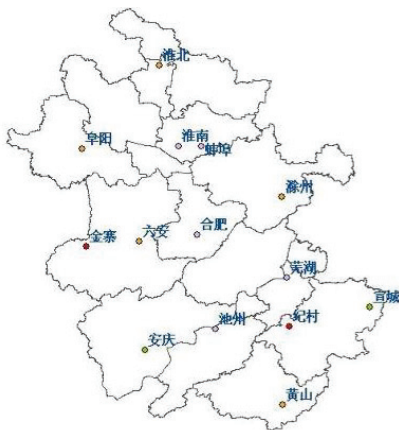


Figure 1. Location of Anhui LLS detectors
图 1. 安徽省雷电定位系统探测站布置图

2.2 雷电参数统计样本

本文以安徽电网雷电定位系统 2005~2009 年的雷电监测数据为基础，选取 3 站及以上定位数据建立统计样本数据库，对需计及地面落雷次数的统计样本，按探测效率 90%进行修正。采用网格法^[1]进行雷电参数统计，研究 2005 年~2009 年安徽省区域雷电活动时空分布和雷电流幅值分布特性。

3 时间分布统计

3.1 地闪总数

安徽省雷电定位系统 2005 年~2009 年共监测到 3897798 次地闪主放电，各年和平均年的地闪总数见表 1 所示。

Table 1. Numbers of ground flashes from 2005 to 2009 in Anhui
表 1. 安徽省 2005~2009 年各年及平均年地闪总数

年份(年)	2005	2006	2007	2008	2009	2005-2009 平均
总数	900698	971086	919303	878212	661588	866178

安徽省 2005 年~2009 年的年落雷数分布如图 2 所示，各年落雷数呈现先上升再逐年下降的趋势，其中，2005~2008 年的年落雷数均在 80 万次以上，而 2008 年的年落雷数也接近 67 万次，雷电活动较为强烈。总落雷数中以负极性落雷为主，正极性落雷相对很少。

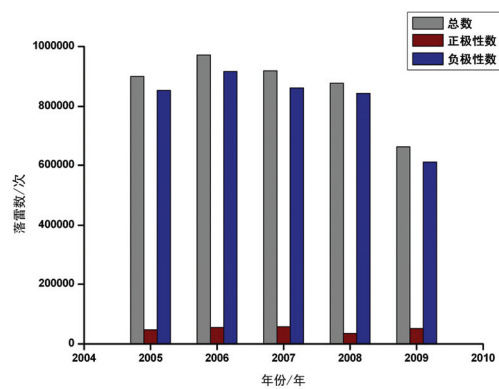


Figure 2. Flashes per annum from 2005 to 2009 in Anhui
图 2. 安徽省 2005~2009 年按年落雷数分布图

3.2 月分布

安徽省 2005 年~2009 年按月落雷数分布如图 3

所示，落雷数在 7、8 月份呈现明显的堆积，远高于其它月份的落雷数，尤其以 7 月份更为突出，月落雷数约为 35 万次。10 月至 2 月的落雷数显著较低，落雷次数在几千次以下。

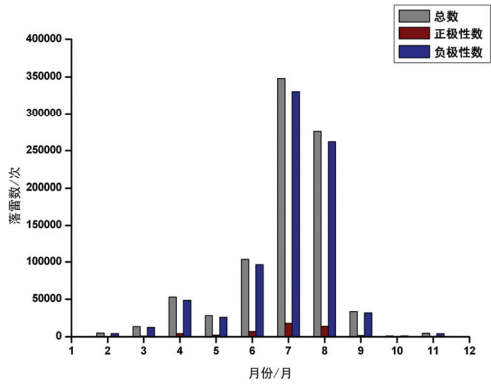


Figure 3. Flashes per month from 2005 to 2009 in Anhui
图 3. 安徽省 2005~2009 年按月落雷数分布图

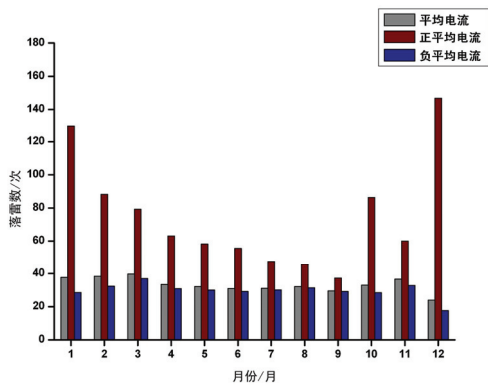


Figure 4. Lightning current amplitude per month from 2005 to 2009 in Anhui
图 4. 安徽省 2005~2009 年按月电流分布图

安徽省 2005 年~2009 年按月电流分布如图 4 所示，从 1 月至 12 月，正、负平均电流分布波动幅度较小，一般位于 20kA 到 40kA 之间，而正平均电流则呈现出中间低，两头高的分布形态，7 月至 9 月最低，1 月和 12 月最高。

4 空间分布统计

4.1 地闪密度统计

采用网格法对安徽区域地闪密度进行统计，按自然分割法以平均年数据的自然分割法分级为标准对地

闪密度空间分布划分等级，将数值最接近的数据分为一组，而组与组之间的跳跃性最大，从而既能保留数据的自然属性，也使显示结果层次分明。

4.2 统计结果及分析

安徽省全省 2005~2009 年的平均地闪密度约为 5.92 次/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$)，最小网格地闪密度值为 2.2 次/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$)，最大网格地闪密度值为 16.9 次/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$)，体现出了明显的差异性特征。2005~2009 年平均年第一级到第五级所占的面积分别为安徽全省面积的 22.4%、36.3%、25.3%、11.9%、3.9%，地闪密度平均标准差为 1.58，说明安徽省地闪密度值的分布区间较为集中，所有网格地闪密度值的频次分布如图 5 所示。

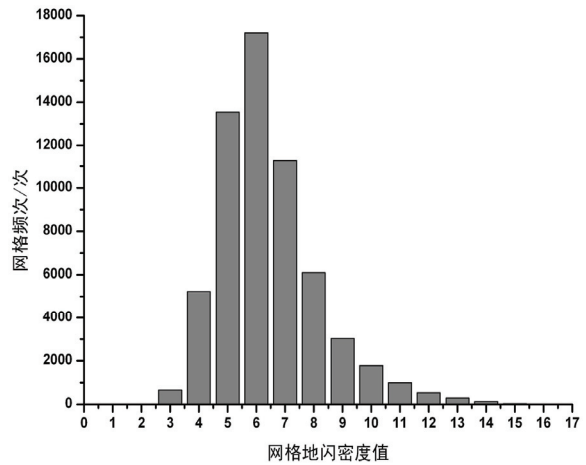


Figure 5. Ground flash density frequency of the grids
图 5. 安徽省网格地闪密度值频次分布

由图 6 可以看出，安徽省各年雷电活动的分布规律存在一定的分散性。2005 年雷电活动主要集中在东南部、东北部以及西部，2006 年安徽北部、西部的雷电活动相对较弱，2007 年雷电活动相对比较分散，北部及中部的部分区域雷电活动略弱，2008 年雷电活动主要集中在东南部，2009 年雷电活动较弱，主要集中在南部。从 2005 年~2009 年 5 年平均年地闪密度的空间分布来看，其雷电分布规律与 2008 年的分布规律比较接近，在安徽北部、中部的部分区域雷电活动相对较弱，雷电活动较强的区域主要集中在东南部，其中宣城市 and 池州市两市的大部分区域均处于地闪密度等级第四级和第五级，这与其位于皖南山区的特殊地形有关。

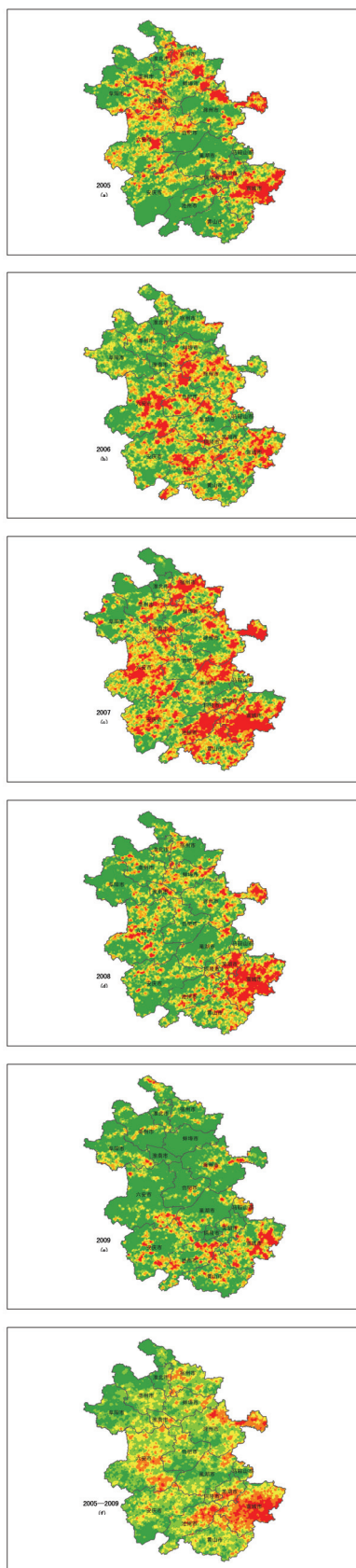


Figure 6. Space distribution of ground flash density from 2005 to 2009 in Anhui

(a) 2005; (b) 2006; (c) 2007; (d) 2008; (e) 2009; (f) average

图 6. 安徽省 2005 年~2009 年各年及平均年地闪密度空间分布 (a) 2005 年; (b) 2006 年; (c) 2007 年; (d) 2008 年; (e) 2009; (f) 平均年

5 雷电流幅值分布统计

5.1 雷电流幅值分布

由图 7 雷电流幅值累积概率分布曲线可以看出，安徽省 2005~2009 平均年的正极性雷电流幅值累积概率曲线始终位于负极性雷电流幅值累积概率曲线的上方；正负极性综合后的雷电流幅值累积概率分布曲线与负极性雷电流幅值概率分布曲线很接近，这是由于正极性地闪比率极小所引起的。图 8 所示为安徽省 2005~2009 年幅值比率曲线，负极性落雷呈现出更显著的堆积效应，且电流幅值分布范围小于正极性落雷的电流幅值分布范围。

5.2 雷电流幅值概率累积公式

文[4]表明采用 IEEE 推荐的表达形式回归雷电定位系统测量的雷电流幅值累积概率曲线拟合性最好，因此本文采用 $P_I=1/(1+(I/a)^b)$ 标准式对安徽省 2005~2009 年各年及平均年雷电流幅值累积概率曲线进行拟合^[5]，拟合表达式如表 2 所示。安徽省实际中值电流小于 IEEE 推荐公式中的中值电流 31，且参数 b 的值也小于 IEEE 推荐公式中的 2.6，曲线的变化幅度更缓，说明安徽省的实际雷电流幅值分布与 IEEE 推荐公式存在一定的差异性。

Table 2. Cumulative probability fitting expressions of lightning current amplitude in Anhui

表 2. 安徽省雷电流幅值累积概率曲线拟合表达式

年份	雷电流幅值累积概率公式
2005	$P(> I) = \frac{1}{1+(\frac{I}{18.6})^{1.9}}$
2006	$P(> I) = \frac{1}{1+(\frac{I}{20.4})^{1.9}}$

2007	$P(> I) = \frac{1}{1+(\frac{I}{23.2})^{2.1}}$
2008	$P(> I) = \frac{1}{1+(\frac{I}{30.4})^{2.4}}$
2009	$P(> I) = \frac{1}{1+(\frac{I}{24.3})^{2.2}}$
2005-2009 平均年	$P(> I) = \frac{1}{1+(\frac{I}{23.0})^{2.1}}$

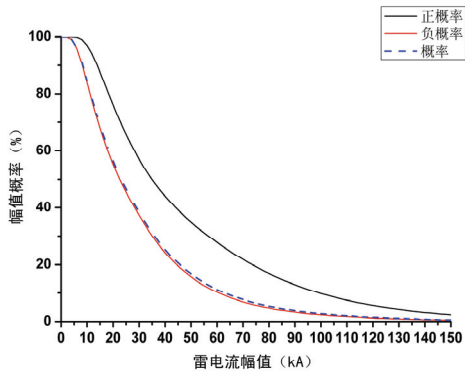


Figure 7. Cumulative probability curves of lightning current amplitude from 2005 to 2009

图 7. 安徽省 2005 年~2009 年雷电流幅值累积概率曲线

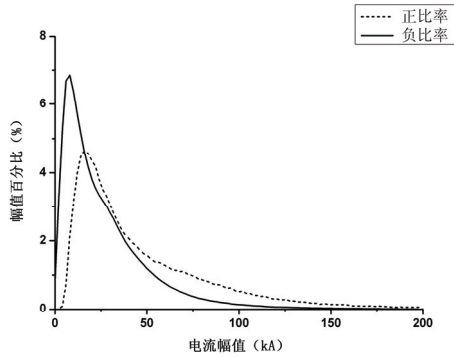


Figure 8. Ratio curves of lightning current amplitude from 2005 to 2009

图 8. 安徽省 2005 年~2009 年雷电流幅值比率曲线

6 雷电参数在输电线路防雷计算中的应用

安徽省某 500kV 同塔双回输电线路全长 89.65km, 于 2006 年投运, 共发生 1 次绕击故障, 线路绕击跳闸率为 0.139 次/(100km · a)。根据线路走廊

网格法^[6]得到的该线路走廊地闪密度统计结果如图 9 所示, 共分为 22 个区段。分别采用规程推荐的雷电参数^[7]和基于雷电定位系统监测数据统计的雷电参数, 通过电气几何模型法, 按照沿线各基杆塔的实际塔型, 对每基杆塔的绕击跳闸率进行了计算。取各区段的计算结果平均值进行对比, 如图 10 所示。相较于线路走廊实际雷电参数, 采用规程推荐的雷电参数计算的绕击跳闸率偏小, 在差距最大的区段, 前者计算得到的绕击跳闸率是后者的 3.4 倍。从全线的平均绕击跳闸率来看, 采用规程推荐雷电参数计算得到的平均绕击跳闸率为 0.025 次/(100km · a), 根据实际统计参数计算的平均绕击跳闸率为 0.075 次/(100km · a), 显然后者的计算结果更能准确地反映线路实际运行情况, 体现输电线路防雷的差异性。

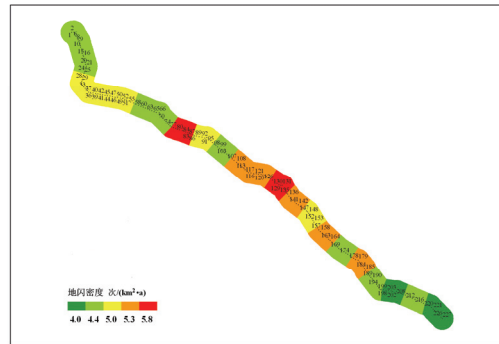


Figure 9. Average ground flash density distribution in 5 years from 2005 to 2009

图 9. 线路 2005 年~2009 年平均地闪密度分布

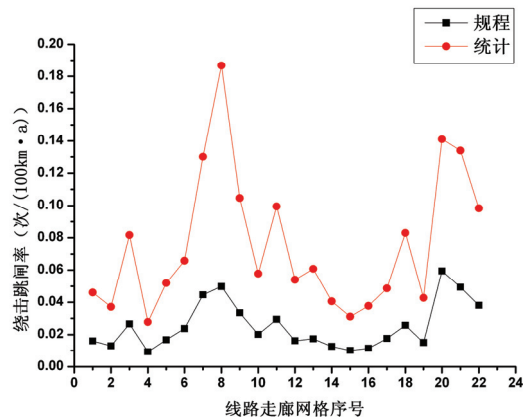


Figure 10. Average shielding failure rate comparison of transmission line sections

图 10. 线路走廊各段平均绕击跳闸率结果对比

7 结论

a) 安徽省的雷电活动主要集中在 7、8 月，在东南部宣城市和池州市分布最为集中，这与皖南山区的特殊地形有关。地闪密度值高于规程推荐值，雷电流幅值累积概率拟合公式的中值电流低于 IEEE 推荐公式中的中值电流。

b) 通过对比采用规程推荐的雷电参数和基于雷电定位系统监测数据统计的雷电参数进行线路绕击跳闸率计算的结果，说明对于安徽某 500kV 同塔双回输电线路，根据统计雷电参数进行线路防雷计算更能反映线路的实际运行情况。

References (参考文献)

- [1] Chen Jiahong, Feng Wanxing, Wang Haitao, Statistical Method of lightning Parameters[J], High Voltage Engineering, 2007, 33(10): 6-10 (ch).
陈家宏, 冯万兴, 王海涛, 雷电参数统计方法[J], 高电压技术, 2007, 33(10): 6-10.
- [2] Chen Jiahong, Zheng Jiasong, Feng Wanxing, Statistical method of thunderstorm day[J]. High Voltage Engineering, 2006, 32(11): 115-118.
陈家宏, 郑家松, 冯万兴, 雷电日统计方法[J], 高电压技术, 2006, 32(11): 115-118.
- [3] 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.
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.
- [4] CHEN Jia-hong, TONG Xue-fang, GU Shan-qiang Distribution characteristics of lightning current magnitude measured by lightning location system, High Voltage Engineering, 2008, 34 (9), P1893-1897.
陈家宏, 童雪芳, 谷山强, 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), P1893-1897.
- [5] E.B. Shim, J. W. Woo, S. O. Han. Lightning characteristics in Korea and Lightning Performance of Power Systems[C]. Transmission and Distribution Conference and Exhibition 2002: Asia Pacific. IEEE/PES: 543-539.
- [6] Chen Jiahong, Wang Haitao, Feng Wanxing, Analysis of Lightning Parameters and Weak Sections for 1000kV UHV Transmission Line Corridor, High Voltage Engineering, 2006, 32(12), P45-48.
陈家宏, 王海涛, 冯万兴, 1000kV 线路走廊的雷电参数及易闪线段分析[J], 高电压技术, 2006, 32(12), P45-48.
- [7] Xie Guangrun, over-voltage and protection, Beijing, China WaterPower Press, 1980.
解广润, 过电压及保护[M], 北京, 水利电力出版社, 1980.