

江西省雷电监测定位系统探测数据分析

余建华 邹金生 李杉

(江西省上饶市气象局, 上饶 344000)

摘要 利用 2004~2007 年江西省雷电监测定位系统获取的雷电数据资料, 分析了江西省雷电强度、陡度的分布特征、相关关系, 结合《建筑物防雷设计规范》(50057-94) 中部分雷电参量和安全距离计算公式, 对雷电数据进行讨论。分析表明, 以地闪实测数据计算的雷击大地的年平均密度与以雷暴日计算雷击大地的年平均密度相差较大。

关键词 雷电定位 雷电数据 分布特征 江西

引言

雷电是伴随着强对流天气过程发生的一种灾害性天气现象。雷电以其强大的电流、炙热的高温、猛烈的冲击波以及强烈的电磁辐射等物理效应, 使其在瞬间产生巨大的破坏作用, 从而造成财产和人员伤亡。雷电强度与陡度是反映雷电可能造成灾害的主要物理量。过去对雷电的观测主要采用目测, 无法对雷电强度、陡度等重要物理参量进行统计分析, 对雷电发生的频繁程度也只能根据雷暴日的统计分析。马明等^[1]对中国雷电活动进行了分析, 得到了雷暴活动的时空分布及其年、日变化等特征。薛根元等^[2]从闪电监测资料中发现了绍兴地区雷电天气系统发生、发展的一些新事实。陶祖钰等^[3](1991) 利用 LLP80-02 型闪电定位系统获取的资料对京津冀地区闪电的气候特征进行了分析, 并将所得的结果与美国俄克拉何马和堪萨斯州的闪电气候特征进行了对比。冯桂力等^[4]利用 XDD03A 雷电探测系统提供的闪电资料对山东地区 1998~2000 年闪电活动时空分布基本特征进行了分析。本文则对江西省 2004~2007 年 1 644 704 次雷电资料强度、陡度、雷击大地年平均密度等进行了统计分析。

1 资料来源

雷电数据资料来源于江西省气象局。江西省气象局 2003 年开始组建中国科学院空间中心研制的“雷电监测定位系统”, 该系统对雷电强度值的测量

误差小于 15%, 陡度值测量误差小于 15%, 回击发生的时间精度小于 10^{-7} s。该系统的建设与投入使用改变了过去依靠目测雷电的状况。从 2004 年 1 月至 2007 年 12 月, 江西省实际发生雷电 1 644 704 次, 本文借助 Microsoft Excel 对数据进行了初步统计, 分析了江西省雷电强度、陡度的分布特征、相关关系, 结合《建筑物防雷设计规范》(50057-94) 中部分雷电参量和安全距离计算公式, 对雷电数据进行了讨论, 对以地闪实测数据计算的雷击大地的年平均密度和以雷暴日计算雷击大地的年平均密度进行了比较。

2 江西省闪电定位系统观测数据分析

2.1 雷电强度分析

2004~2007 年 4 年中负闪为 1 597 398 次, 占总雷电数的 97.12%, 但正闪的平均强度为 22.9090 kA, 明显大于负闪的平均强度 7.7308 kA。正闪的雷电强度最大为 225.6 kA, 负闪最大为 -290 kA (表 1)。

表 1 2004~2007 年江西省雷击强度数据总体特征

	次数	百分率/%	平均强度/kA	最大强度/kA
负闪	1 597 398	97.12%	7.7308	290
正闪	47 306	2.88	22.9090	225.6
合计	1 644 704	100%	8.0922	

4 年中雷电电流在 0~10 kA 之间出现 1 281 757 次, 占雷电总数的 77.93%, 强度大于 100

kA 的雷电 513 次,占雷电总数的 0.03%。强度大于 150 kA 的雷电 48 次,占雷电总数的 0.003%,强度大于 200 kA 的雷电 5 次,占雷电总数的 0.0003%。雷电强度频数分布见图 1。

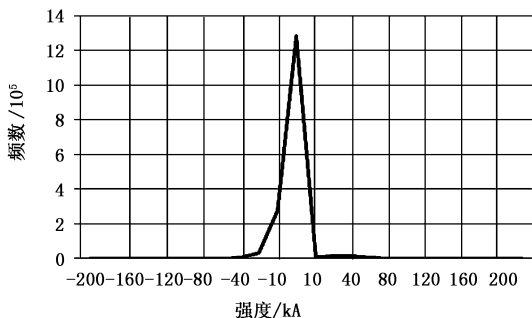


图 1 2004~2007 年江西省雷电强度频数分布

2.2 雷电陡度分析

全年实测雷电陡度最大为 $-1568 \text{ kA}/\mu\text{s}$,雷电陡度在 $-10 \sim 10 \text{ kA}/\mu\text{s}$ 之间出现 1 117 003 次,占

雷电总数的 67.9%,陡度大于 $40 \text{ kA}/\mu\text{s}$ 的雷电出现 4919 次,占雷电总次数的 0.30%。陡度大于 $100 \text{ kA}/\mu\text{s}$ 的雷电出现 182 次,占总雷电次数 0.01%。雷电陡度频数分布见图 2。

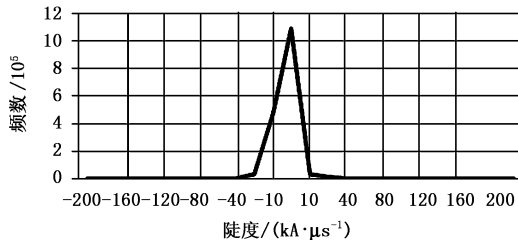


图 2 2004~2007 年江西省雷电陡度频数分布

2.3 雷电强度与陡度的关系

雷电强度与陡度成正相关关系,4 年的相关系数平均为 0.7113。2004 年江西省各地区雷电实测数据中雷电强度与陡度的相关系数均大于 0.8(表 2)。

表 2 江西省各站雷电强度与陡度的相关系数

	九江	南昌	宜春	萍乡	新余	吉安	赣州	抚州	鹰潭	上饶	景德镇
相关系数	0.80	0.83	0.82	0.82	0.81	0.82	0.84	0.83	0.84	0.82	0.81

3 根据实测数据对雷电参数的讨论

《建筑物防雷设计规范》(50057-94)(以下简称

《规范》)附录中的表 6.1 和表 6.2 给出的雷电流参量是该规范中推导许多重要公式的基本参数(表 3)。

表 3 《建筑物防雷设计规范》(50057-94)中的基本雷电参量^[6]

雷电参数	首次雷击电流参量			首次以后雷击电流参量		
	1 类建筑物	2 类建筑物	3 类建筑物	1 类建筑物	2 类建筑物	3 类建筑物
幅值电流(I)/kA	200	150	100	50	37.5	25
波头时间(T ₁)/μs	10	10	10	0.25	0.25	0.25

《规范》引用第 1 类建筑物首次雷击电流幅值为 200 kA,江西省全年实测雷电电流幅值绝大部分都在 200 kA 以下,但也实测到大于 200 kA 的雷击,例如发生在 2004 年 9 月 25 日九江市修水县境内,强度分别为 222.9 kA、225.6 kA、222.9 kA,对应的陡度分别为 $89.2 \text{ kA}/\mu\text{s}$ 、 $40.1 \text{ kA}/\mu\text{s}$ 、 $89.2 \text{ kA}/\mu\text{s}$;发生在 9 月 18 日景德镇市境内,强度为 -290 kA ,陡度 $-390 \text{ kA}/\mu\text{s}$,仅占雷击总数的 0.0003%。

《规范》认为“雷电流最大幅值出现于第 1 次正极性或负极性雷击,雷电流最大陡度出现于第 1 次雷击以后的负雷击。正极性雷击通常仅出现 1 次,无重复雷击”^[5]。即认为正闪通常为首次雷击,负闪

可以是首次雷击,也可能是首次以后雷击。正地闪的陡度参量为 $I/T_1 = 200/10 = 20 \text{ kA}/\mu\text{s}$,首次以后负雷击陡度参量为 $I/T_1 = 50/0.25 = 200 \text{ kA}/\mu\text{s}$ 。江西雷电定位观测正地闪陡度大于 $20 \text{ kA}/\mu\text{s}$ 的次数为 2432 次,占总正地闪的 0.15%,最大正雷击陡度为 $246.4 \text{ kA}/\mu\text{s}$,最大负雷击陡度为 $-1568 \text{ kA}/\mu\text{s}$ 。分析结果表明,陡度分布与《规范》中基本一致,但也有少数偏大的现象。

4 对安全距离计算公式的讨论

《规范》中推导的安全距离为:

$$S_{al} = IR_i/E_R + L_0 h_x \frac{di}{dt}/E_L \quad (1)$$

式中, S_{al} 为安全距离(m), I 为雷电流幅值(kA); R_i 为接地装置的冲击接地电阻(Ω), $\frac{di}{dt}$ 为雷电流陡度(kA/ μ s), E_R 为电阻电压降的空气击穿强度(kV/m), 取值为 500 kV/m, L_0 为引下线的单位长度电感(μ H/m), 取值为 1.5 μ H/m, h_x 为被保护物或计算点的高度(m), E_L 为电感电压降的空气击穿强度(kV/m)。

$E_L = 600(1 + 1/T_1)$, 在首次雷击参量中 $T_1 = 10$, $E_L = 660$ kV/m(《规范》认为正雷击均为首次雷击); 在首次雷击以后的负雷击参量中 $T_1 = 0.25$, $E_L = 3000$ kV/m。

取第 1 类建筑物首次雷击参量的数值, $\frac{di}{dt} = \frac{I}{T_1} = \frac{200}{10} = 20$ kA/ μ s, 代入式(1):

$$S_{al} = \frac{200R_i}{500} + \frac{1.5h_x \times 20}{660} = 0.4R_i + 0.045h_x$$

则式(1)简化为:

$$S_{al} \geq 0.4(R_i + 0.1)h_x \quad (2)$$

在 2004 年江西闪电定位系统实测数据中一些正闪的陡度大于 20 kA/ μ s, 如九江市 2004 年 9 月 25 日, 强度为 222.9 kA, 陡度为 89.2 kA/ μ s。

设 T_1 固定, 取 10 μ s, 将 $I = 222.9$ kA, $\frac{di}{dt} = 89.2$ kA/ μ s 代入式(1):

$$S_{al} = \frac{222.9R_i}{500} + \frac{1.5h_x \times 89.2}{660} = 0.446R_i + 0.202h_x \quad (3)$$

设 T_1 不固定, 由于 $\frac{di}{dt} = \frac{I}{T_1}$, $T_1 = I / (\frac{di}{dt}) = 222.9 / 89.2 = 2.5$ μ s, 则将 $E_L = 600(1 + 1/T_1) = 840$ kV/m, $I = 222.9$ kA, $\frac{di}{dt} = 89.2$ kA/ μ s 代入式(1):

$$S_{al} = \frac{222.9R_i}{500} + \frac{1.5h_x \times 89.2}{840} = 0.446R_i + 0.159h_x \quad (4)$$

式(3)和式(4)计算的安全距离远大于式(2)的计算结果。例如, 以 $R_i = 6$ Ω , $h_x = 20$ m 分别代入式(2)、(3)、(4): 则 S_{al} 分别为 3.2 m、6.7 m、5.9 m。

用同样的方法, 计算 2005 年 9 月 18 日发生在景德镇市雷暴的强度为 -290 kA, 陡度为 -390 kA/ μ s, 计算结果较公式(2)所得到的安全距离要求更大。

5 雷击大地年平均密度分析

雷击大地年平均密度是衡量某一地区雷击频繁程度的参数, 是计算建筑物年预计雷击次数的依据。在《规范》中雷击大地的年平均密度是按照 $N_{g_2} = 0.024T_d^{1.3}$ 计算的, 其中 T_d 为当地年平均雷暴日。选择江西省 4 年各地市以雷电定位系统实测数据计算的雷击大地年平均密度 N_{g_1} = 年雷击次数/土地面积, 与以 4 年各地市各县平均雷暴日计算的雷击大地年平均密度 $N_{g_2} = 0.024T_d^{1.3}$ 进行比较, N_{g_1} 与 N_{g_2} 相差很大。两种计算方法求出的年雷击大地年平均密度的相关性仅为 0.11(表 4)。

表 4 以雷电实测数据计算的雷击大地年平均密度(N_{g_1})与以平均雷暴日计算的雷击大地年平均密度(N_{g_2})比较 次/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$)

	年份	九江	南昌	宜春	萍乡	新余	吉安	赣州	抚州	鹰潭	上饶	景德镇	全省
N_{g_1}	2004	0.7846	1.315	1.1117	0.613	1.4672	1.6598	1.1429	1.6914	1.585	1.3013	1.2416	1.2822
	2005	0.2461	1.0211	0.752	0.2727	0.5394	0.3859	0.8441	0.6363	0.8773	0.4573	0.1952	0.5906
	2006	3.4882	3.7891	4.1147	2.0738	4.6083	3.827	1.8591	4.8509	5.137	3.7324	3.2913	3.4575
	2007	4.4915	8.165	5.7702	2.9882	5.2237	6.5521	2.5366	6.6441	7.3009	1.4249	2.8852	4.4862
N_{g_2}	2004	2.252	3.2281	3.4523	6.6301	3.7297	3.83	4.1242	3.5508	3.384	3.0361	3.2861	3.2861
	2005	1.7334	2.4588	2.828	3.6301	2.1722	3.2088	4.7378	2.6696	2.6511	2.5683	2.0844	2.7719
	2006	2.5408	3.4621	4.0233	3.7297	3.5805	3.2088	3.6102	3.5904	3.8804	2.9033	3.0934	3.4228
	2007	2.7626	2.8656	3.7597	4.1857	2.8093	3.7798	4.0936	3.0743	2.998	2.7439	2.0844	3.1798

这种差别主要来源于以平均雷暴日计算的雷击大地年平均密度, 这种方法采用的雷暴日是由气象观测员目测的雷暴现象统计而来。中国气象局《地面气象探测规范》^[6] 规定: 雷暴为积雨云中、云间、云地之间产生的放电现象, 表现为闪电并伴有雷声, 有时只闻雷而

不见闪电。《规范》规定的这种雷电观测统计方法有明显的缺陷。一方面目(耳)测不准确; 另一方面, 也是更重要的, 一日中不管闻雷几次(出现几次雷击), 只记录一个雷暴日。事实上对 4 年的实测数据分析表明, 一日中可多次出现雷电, 如 2005 年 5 月 12 日抚州市临川

区一日中出现雷电 83 次。从表 4 的比较可以看出 2004 年、2005 年 N_{E_1} 明显小于 N_{E_2} , 而在 2006 年、2007 年 N_{E_1} 则小于 N_{E_2} 。事实上 4 年全省平均雷暴日差别并不大, 分别为 44 d/a、38.6 d/a、45.4 d/a、42.9 d/a, 而雷电监测定位系统观测到的雷击次数分别为 214 822 次、98 944 次、579 294 次、751 644 次, 差别很大。

6 结语

(1) 对 2004~2007 年江西省 1 644 704 次雷电监测定位系统实测数据分析表明, 实测数据基本符合《规范》引用的雷电流参量, 但也有少数数据可能超过《规范》引用的雷电流参量。

(2) 2004~2007 年江西省雷电中负闪为 1 597 398 次, 占总雷电数的 97.12%, 而正闪仅占 2.28%。但正闪的平均雷电强度明显大于负闪。

(3) 雷电强度与陡度具有明显的正相关关系。

(4) 4 年雷电监测定位系统实测数据分析结果显示, 实测雷电流大于 200 kA, 正闪陡度大于 20 kA/ μ s, 负闪陡度大于 200 kA/ μ s 时, 对第 1 类建筑物空气中安全距离的要求相对于《规范》引用的安全距离要大。尽管《规范》明确指出“按照本规范设计的防雷装置的安全度不是 100%”, 《规范》中不可能对任何强度与陡度的雷击有效, 但对于雷电可能引起重大人员伤亡的场所进行防雷装置设计时, 建议根据当地的雷电实际数据, 计算安全距离, 以确保重

大防雷安全场所的安全。

(5) 《规范》中采用以雷暴日数计算雷击大地的年平均密度, 与以实测数据计算的雷击大地年平均密度相差很大, 这种差别将影响建筑物防雷分类等级, 对防雷工程设计、雷电灾害评估有着直接的影响, 当雷电监测定位数据足够长时, 建议使用“平均雷击次数/土地面积”来计算雷击大地的年平均密度。

(6) 受资料的限制, 根据 4 年的样本数据分析只能为了解江西省雷电规律提供一定的参考, 要准确了解江西雷电活动规律需要相当长时间的观测和科学的分析判断。

参考文献

- [1] 马明, 吕伟涛, 张义军, 等. 中国雷电活动特征分析[J]. 气象科技, 2007, 35(增刊): 1-7.
- [2] 薛根文, 冯国标, 何凤翔, 等. 闪电监测定位系统及其应用[J]. 气象科技, 2004, 32(4): 274-277.
- [3] 陶祖钰, 赵昕奕. 京津冀地区闪电的气候分析[J]. 气象学报, 1993, 51(3): 325-332.
- [4] 冯桂力, 陈文选, 刘诗军, 等. 山东地区闪电的特征分析[J]. 应用气象学报. 2002, 13(3): 347-354.
- [5] 中华人民共和国机械工业部. 《建筑物防雷设计规范》(GB57-94)(2000 年版)[S]. 北京: 中国计划出版社, 2001: 5, 64-94.
- [6] 中国气象局. 地面气象探测规范[M]. 北京: 气象出版社, 2003: 24-26.

Analysis of Lightning Data Measured by Jiangxi Province Lightning Monitoring and Positioning System

Yu Jianhua Zou Jinsheng Li Shan

(Shangrao Meteorological Bureau, Jiangxi Province, Shangrao 344000)

Abstract: Using the lightning data from 2004 to 2007 from the Jiangxi Province Lightning Monitoring and Positioning System, an analysis is made of the distributional characteristics of lightning intensity and steepness in Jiangxi Province, as well as the correlative coefficient between them. According to the related lightning protection criterions for building structure design (50057-94), some thunder and lightning parameters and the formulas for calculating the safe distance are discussed. The analysis indicates that there is remarkable difference between the annual mean density of lightning strikes calculated from the measurements and from the observed number of thunderstorm days.

Key words: lightning position, lightning data, distribution characteristic, Jiangxi