

王学良, 刘学春, 黄小彦, 等. 湖北地区云地闪电时空分布特征分析[J]. 气象, 2010, 36(10): 91-96.

湖北地区云地闪电时空分布特征分析^{* 1}

王学良 刘学春 黄小彦 史雅静

湖北省防雷中心, 武汉 430074

提 要: 为揭示湖北地区云地闪电时空分布特征及雷电活动规律, 以满足雷电灾害防护和雷击风险评估工作需要, 采用湖北不同地理位置的13个雷击探测仪组成的闪电监测定位系统获取的2006年3月至2009年2月的云地闪电资料, 从闪电的极性分布、日变化、月变化、强度、闪电密度、累计概率分布等方面进行统计分析。结果表明: 云地闪电中负闪电占闪电总数的96.2%; 正闪电占闪电总数的3.8%; 闪电频次的日变化呈明显的单峰单谷型, 一日中, 最大值出现在15—16时, 最小值在09—10时; 一年中, 4—8月闪电次数占全年闪电总数的95.9%, 其中7—8月闪电次数最多; 正、负闪电的强度主要集中在10~50 kA, 大于30 kA的累积概率在50%以下, 大于60 kA的累积概率8.1%, 大于100 kA的累积概率1.6%; 拟合出湖北地区大于某雷电流强度累积概率方程, 经统计分析, 实测值与计算值相关系数达0.99998。闪电密度分布呈明显的地域性差异, 鄂东南的嘉鱼县、咸宁、黄石、鄂州市一带为闪电高密度区, 鄂西的远安县、当阳市附近为闪电次高密度区。山区与丘陵、平原交接地带, 即地表状况发生明显变化的地带, 是雷电多发地带。鄂西南山区县市雷电日数较多, 闪电密度不一定随之增加, 其原因可能是山区县市土壤电阻率较大和山区局地小气候环境共同影响的结果。

关键词: 云地闪电, 时空变化, 闪电强度, 累积概率, 闪电密度

Analysis of the Spatial and Temporal Distribution Characteristics of the Cloud-Ground Lightning in Hubei Area

WANG Xueliang LIU Xuechun HUANG Xiaoyan SHI Yajing

Hubei Lightning Protection Center, Wuhan 430074

Abstract: This paper revealed spatial and temporal distribution characteristics and rules of lightning activity in Hubei Area. The results can be used in lightning protection and lightning risk assessment. The research is based on the cloud-ground lightning data from Mar. 2006 to Feb. 2009 collected by the lightning detection and location system which is composed of 13 lightning detectors. The daily and monthly lightning variation, lightning intensity, polarity and density, and the time and space distribution features of cloud-ground lightning in Hubei area are analyzed. The results are showed as follows: the ratio of negative lightning is 96.2%, and the ratio of positive lightning is 3.8%; Daily variation of lightning frequency shows obviously single peak and single valley, its maximum value appears at 15:00—16:00 LT(local time), the minimum value appears at 9:00—10:00 LT. The number of the lightning appearing from April to August in one year accounts to 96.7% of the annual total; the lightning appears most frequently in July and August; The intensity of positive and negative lightning is mainly concentrated in 10—50 kA. The number of the lightning whose intensity more than 30 kA accounts to 50% of the total, more than 60 kA accounts to 8.1%, more than 100 kA accounts to 1.6%. A probability equation is set up according to the lightning intensity and its corresponding cumulative frequency. Through statistical analysis, the correlation coefficient between the measured values and the calculated is as high as 0.99998. Lightning density distribution has

* 湖北省气象局科技发展基金项目“湖北省雷电灾害时空特征研究”(2007Y03)资助
2009年8月10日收稿; 2010年3月18日收修定稿
第一作者: 王学良, 主要从事雷电防护技术和方法研究. E-mail: wxlwh@tom.com

obvious regional difference, the high density areas of lightning are cities of Jiayu, Xianning, Huangshi, Ezhou in Southeast Hubei. And the second high-density areas are Yuanan, Dangyang nearby in western Hubei. Mountains and hills, plain transition zone, that is, the situation of the surface changed significantly zone is a lightning-prone area. Thunderstorm days in mountain counties and cities in Southwest Hubei are more, but lightning density does not necessarily increase as the thunderstorm days. The reason possibly is a result of the combined effect of two factors: the mountain county soil resistivity is larger and these places belong to the local microclimate environment.

Key words: cloud-ground lightning, temporal and spatial variation, lightning intensity, cumulative probability, lightning density

引 言

闪电是一种复杂的大气物理现象,是由带电荷的云层内部、云层与云层之间或者云层与大地(云地)之间一种长距离瞬间放电现象,具有大电流、高电压、强电磁辐射等特征。云对地间的闪电对国民经济建设有较大的危害,常对地面建筑物或其他设施造成雷电灾害,甚至人员伤亡。据有关统计,全球每年因雷电造成的人员伤亡超过 1 万人,所造成的损失在 10 亿美元以上。我国雷暴发生日数超过 50 天的有 21 个省(区、市),最多可达 131 天。每年大约有 3000~4000 人因遭受雷电而伤亡^[1]。随着社会和经济的发展,闪电所造成的损失日趋严重,尤其对计算机网络、通信系统等各类微电子设备已造成较为严重威胁。为此,本文利用中国科学院空间科学与应用研究中心提供,并布设在湖北省不同地理位置上的 13 个雷击探测仪组成的闪电监测定位系统获得的闪电资料,对湖北地区云地闪电资料进行统计分析。旨在进一步揭示湖北地区云地闪电时空分布特征及雷电活动规律,为该地区雷电灾害防御和雷击风险评估工作提供参考依据。

近年来,随着闪电定位技术的发展与完善,国内外学者对闪电特征方面研究报道逐渐增多。Orville 和 Haffines 对美国 1995—1997 年云地闪电资料进行了分析,指出了闪电总数、正闪电百分率、地闪密度和地理分布特征^[2];薛秋芳等^[3]利用单站闪电定位系统 M-2LDARS 监测 1995—1997 年夏季北京地区的闪电活动,指出了闪电频数的日变化与强对流天气发生有一定对应关系;何晖等^[4]利用 XDD03A 雷电探测系统获取的 2000—2003 年北京云地闪资料,对该地区闪电的日变化、月变化、闪电强度、闪电密度、极性等方面进行了分析研究;王颖

等^[5]对 2007 年夏季我国长江流域及其周边地区地闪分布与不同区域的日变化特征进行了分析;冯桂力等^[6]利用 1998—2000 年山东地区雷电探测网获取的云对地闪电资料,研究了山东地区闪电时空分布特征,指出了闪电分布与地形和下垫面性质有关,并用闪电定位资料等分析了该地区中尺度系统的闪电活动特征。上述的研究都是根据本地区的闪电资料进行分析,由于闪电的分布具有较强的地域性,而针对湖北地区闪电特性的研究尚未见报道。

1 资料来源与统计方法

文中所采用的闪电资料来源于湖北省闪电监测定位系统探测的云地闪电资料,雷击探测仪分布如图 1 所示。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)和闪电峰值电流强度等 4 个主要参数。

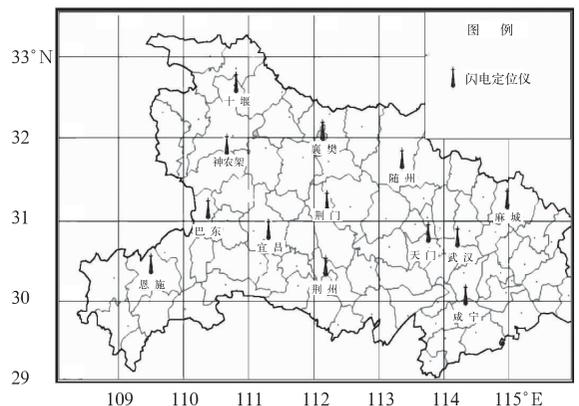


图 1 湖北省闪电定位探测站分布图

Fig. 1 Distribution map of lightning detection and location detectors in Hubei Province

采用 2006 年 3 月至 2009 年 2 月,共 36 个月探测到的云地闪电(包括正、负闪电)资料,统计分析

正、负闪电次数及其所占闪电总数的百分比;按照间隔 10 kA,把闪电强度 ≤ 200 kA 的分成 20 个闪电强度段,分别统计各闪电强度段内的闪电次数及占其闪电总数的百分比,并统计大于各个闪电强度段的累积概率。1 日中,按照整点时段如 00—01 时、01—02 时,⋯,22—23 时、23—00 时(北京时间)统计每小时内平均闪电次数;一年中各月闪电次数采用近 3 年平均数;根据湖北省各地区年平均闪电次数与该地区面积(km^2)之比得出该地区年平均闪电密度($\text{次}/\text{km}^2 \cdot \text{a}$)。

2 结果与分析

2.1 闪电基本特性

统计资料表明,湖北地区年闪电次数变化较大,在 59 万次至 79 万次之间,年平均闪电次数 682391 次。2006 年 3 月至 2009 年 2 月共监测到云地间闪电 2047172 次,其中负闪电 1969535 次,占闪电总数的 96.2%;正闪电 77637 次,占闪电总数的 3.8%。这主要原因是大多数积雨云上部带正电荷,云体下部带负电荷,因此,云层与地面之间的放电绝大多数为负闪电尤其强暴雨过程负闪电占绝对优势^[7-9]。湖北地区正闪电占闪电总数百分比,与许小峰等^[2]报道的美国 1992—1994 年正闪占闪电总数的 4%~5% 基本一致,但与我国的北京、山东等地正闪电百分比在 12% 左右^[4,6] 有较大差别。地域上的正、负闪电百分比的变化,可能与局地气候特征及对流云层结构有关,具体原因有待进一步研究。

2.2 闪电频次的日变化

从图 2 可知,湖北地区闪电频次的日变化呈明显的单峰单谷型,最大值出现在 15—16 时,最小值在 09—10 时。湖北地区 14—17 时,年平均每小时累计闪电次数在 50000 次以上,最多是 15—16 时,一小时内闪电次数多达 62268 次;最少是 09—10 时,一小时内闪电次数 6592 次,前者闪电次数是后者的 9 倍以上。一日中,从上午 10 时至下午 16 时,闪电次数呈快速增加状态,平均每小时增加 9000 次以上;自下午 16 时开始,到次日上午 10 时止,闪电次数明显减少,平均每小时减少 3000 次以上。这说明湖北地区,从上午 10 时始至下午 16 时止,发生对流性雷电天气呈明显的上升趋势,从 16 时至次日上午 10 时,发生对流性雷电天气明显减

少。14—20 时每小时闪电次数均在 40000 次以上,是湖北地区对流性雷电天气集中发生期,也是雷电防御的关键时段。

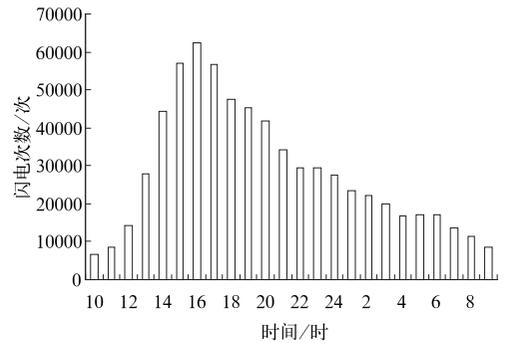


图 2 湖北地区闪电频次日变化

Fig. 2 Lightning frequency daily variation in Hubei area

2.3 闪电频次的月变化

2006 年 3 月至 2009 年 2 月云地闪监测资料显示,4—8 月发生闪电 654464 次,占全年闪电总数的 95.9%,其中正闪电 23218 次,占其闪电总数的 3.5%;9 月至次年 3 月闪电仅占年闪电总数的 4.1%,其中正闪电占其闪电总数的 9.5%。说明气温较高的季节里,正闪电占闪电总数百分比比较低,反之较高(图 3 所示)。

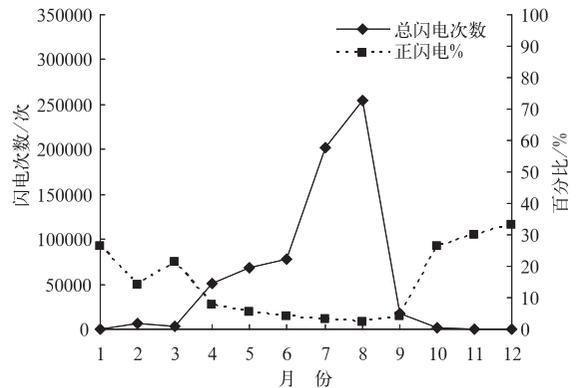


图 3 湖北地区闪电频次月变化

Fig. 3 Lightning frequency monthly variation in Hubei area

由图 3 可知,湖北地区 1—8 月闪电次数呈逐月增加趋势,8—12 月闪电次数逐月减少。4—8 月是闪电集中发生期,7—8 月闪电次数最多,分别达 20 万次和 25 万次以上;9 月份急剧减少到 1.7 万次以下,12 月份闪电次数平均仅有 2 次。湖北地区闪电频次的月变化与 45 年平均雷电日数月变化基本相

同^[10]。

2.4 闪电强度分布特征

图 4 给出了不同雷电流强度频次百分率分布情况。由图 4 可见,负闪电和总闪电百分率曲线变化几乎完全一致,但正、负闪电分布曲线变化差异较大,其主要原因是负闪电次数占总闪电次数的 96% 以上。闪电强度在 30 kA 以下,负闪和总闪电频次百分率随其强度的增加而增加,20~30 kA 时达最大值在 30% 以上;大于 30 kA 时,负闪和总闪电频次百分率随其强度的增加而减少,尤其在 30~70 kA 间减少更为显著。正闪电频次最多出现在 10~20 kA,大于 20 kA 以上,正闪电频次百分率随其强度的增加而减少。20~50 kA 间,负闪电百分比大于正闪电百分比;大于 50 kA 以上,正闪电百分比大于负闪电百分比,说明在正、负闪电次数相同的情况下,大于 50 kA 以上的正闪电次数要多于 50 kA 以上负闪电次数。图 4 结果表明:正、负闪电的强度主要集中在 10~50 kA,因此,在雷电防护方面应重点加强对此强度范围内的闪电进行防范。

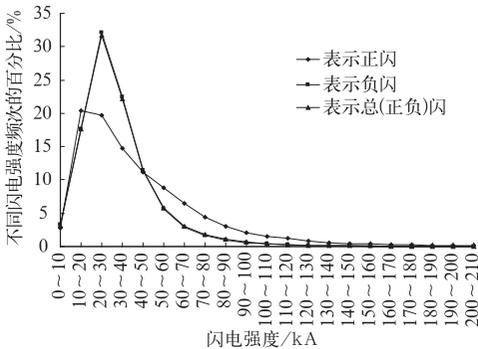


图 4 各闪电强度次数占有总闪电次数的百分率(%)分布图

Fig. 4 Frequency percentage distribution of every lightning intensity to its total lightning number (%)

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,在绕击和反击防雷计算中占据十分重要的位置,国内外使用的雷电流幅值分布表达式不同^[11]。从图 5 中雷电流幅值累计概率曲线变化可以看出,闪电强度(含正、负闪电)大于 30 kA 的概率在 50% 以下,大于 40 kA 的概率在 25% 左右,大于 60 kA 的概率在 8.1%,大于 100 kA 的概率 1.56%,大于 150 kA 的概率 0.37%,大于 200

kA 的概率仅有 0.12%。由上述可知,湖北地区的闪电强度不超过 60 kA 的约占 92%,因此,该地区的雷电防护工程设计中,可以根据不同雷电防护水平进行设计。

根据文献[11]给出的 Anderson 根据 Berger 实测数据,提出的雷电流幅值分布公式:

$$P = \frac{1}{1 + \left(\frac{I}{a}\right)^b} \quad (1)$$

式中 P 为大于某一雷电流幅值的累积概率(%); I 为雷电流幅值(kA); a 为中值电流,即雷电流幅值大于 a 的概率为 50%; b ($b > 1$) 为雷电流幅值累积概率曲线拟合指数,体现曲线变化程度,相当于曲线斜率的绝对值, b 值越大表示幅值概率曲线下落程度越快,电流幅值集中性越强^[11]。经统计分析,当 $a = 29.2$, $b = 3.4$ 时,根据式(1)计算,绘制图 5 中的拟合曲线;从图 5 可以看出,拟合曲线与实际监测曲线基本相同,实测值与计算值相关系数高达 0.99998。因此,在实际防雷工程设计中,可根据式(1)计算出大于某雷电强度的累积概率。

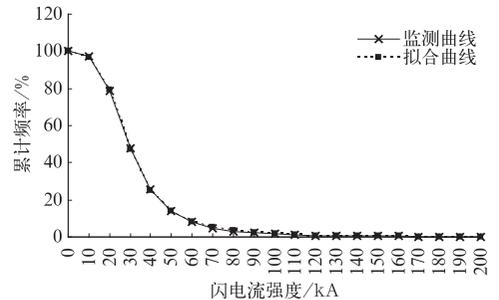


图 5 闪电强度累积频率分布图
(横坐标标值指大于此数值段)

Fig. 5 Lightning intensity cumulative frequency distribution

2.5 闪电密度分布特征

从图 6 可以看出,湖北地区闪电密度分布呈明显的地域性差异,最大值 9.55 次/ $\text{km}^2 \cdot \text{a}$,出现在鄂东南的嘉鱼县附近;最小值出现在鄂西北、鄂西南和鄂东北个别边缘地区,闪电次数一般在 1~2 次/ $\text{km}^2 \cdot \text{a}$ 。在鄂东南和鄂西局部地区有两个闪电高密度区,一个在嘉鱼、咸宁、黄石、鄂州一带,为闪电高密度区,闪电密度在 6~9 次/ $\text{km}^2 \cdot \text{a}$ 左右;另一个位于鄂西的远安、当阳附近,为闪电次高密度区,闪电次数在 5~7 次/ $\text{km}^2 \cdot \text{a}$ 左右;其他地区闪电次数为 2~5 次/ $\text{km}^2 \cdot \text{a}$ 。湖北边缘地区闪电密度较

小的原因除地表地质状况影响之外,主要是湖北地区边缘区域的闪电理论探测效率一般在 80%~85%之间(图 7 所示)。

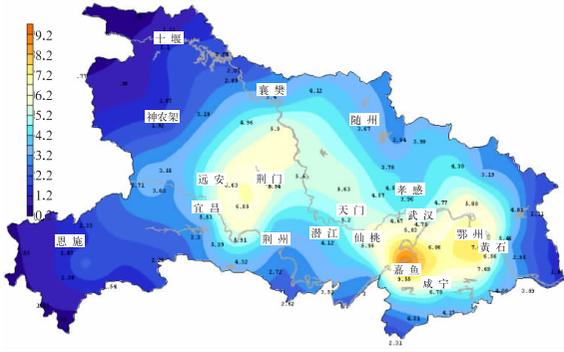


图 6 湖北地区闪电密度分布图

Fig. 6 Lightning density distribution in Hubei Province



图 7 湖北地区闪电理论探测效率示意图

Fig. 7 Schematic diagram of theoretical lightning detection efficiency in Hubei Province

湖北地区闪电密度分布与地表地质状况密切相关,一般在山区与平原交接地带,闪电密度明显高于其他地区,湖北地区两个闪电高密度区基本上都发生在山区与丘陵、平原交接地带。为了进一步了解地表地质状况对云地闪电的影响,选取闪电理论探测效率都在 90%以上的山区和平原县市各 5 个,分别对其近 3 年的雷暴日数和闪电密度进行统计(见表 1)。从表 1 可以看出,鄂西南 5 个山区县的年平均雷暴日数 41 天,年平均闪电密度为 2.5 次/km²·a;江汉平原的 5 个县市的年平均雷暴日数 29 天,年平均闪电密度为 5.0 次/km²·a。也就是说,尽管山区县市的雷暴日数是平原县市的 1.4 倍,但闪电定位监测到的年平均闪电密度仅是平原县市的 50%。造成上述的原因一方面可能是山区县市多岩

石,土壤电阻率较大,不利于云地间闪电发生,而地处江汉平原的县市,因地表绝大部分为农田,水域分布广泛,土壤水分含量丰富,土壤电阻率较低,有利于云地间闪电的发生;另一方面可能与山区局地小气候环境有关,也就是说在山区由于特殊地形的影响,局部雷电天气较多,但每次雷电天气发生时持续时间较短,即雷电日数较多,但闪电次数并不多,其他方面的原因有待深入研究。

表 1 不同地表地质状况对闪电密度的影响

Table 1 Influences of different surface geological conditions on lightning density

	年平均雷暴日数/ d	年平均闪电密度/ 次/km ² ·a	平原 县市	年平均雷暴日数/ d	年平均闪电密度/ 次/km ² ·a
鹤峰县	45	1.5	京山县	27	5.6
建始县	37	2.3	荆州市	33	4.0
长阳县	43	3.3	潜江市	28	4.1
五峰县	36	2.3	天门市	28	5.2
秭归县	44	3.0	仙桃市	27	6.0
平均	41	2.5	平均	29	5.0

3 结论与讨论

2006 年 3 月至 2009 年 2 月湖北省的云地闪电资料统计表明:

(1) 负闪电占闪电总数的 96.2%,正闪电占闪电总数的 3.8%,但因地域的变化而有一定差异。

(2) 湖北地区闪电频次的日变化呈明显的单峰单谷型。1 日中,最大值出现在 15—16 时,最小值在 09—10 时。14—20 时是湖北地区对流性雷电天气集中发生期。

(3) 湖北地区 4—8 月闪电次数占全年闪电总数的 95.9%,其中正闪电占其闪电总数的 3.5%;9 月至次年 3 月闪电仅占全年闪电总数的 4.1%,其中正闪电占其闪电总数的 9.5%,说明气温较高的季节里,正闪电占闪电总数百分率较低,反之较高。4—8 月是闪电集中发生期,7—8 月闪电次数最多,湖北地区闪电频次的月变化与雷电日数月变化基本相同。

(4) 各闪电强度的负闪和总闪电频次百分率曲线变化几乎完全一致。闪电强度在 30 kA 以下,负闪和总闪电频次百分率随其强度的增加而增加,负闪和总闪电频次百分率在 20~30 kA 时达最大值 30%以上,正闪电频次百分率最大出现在 10~20

kA。正、负闪电强度主要集中在 10~50 kA,因此,在雷电防护方面应重点加强对此强度范围内的闪电进行防范。

(5) 湖北地区大于某一雷电流幅值的累积概率公式为:

$$P = \frac{1}{1 + \left(\frac{I}{29.2}\right)^{3.4}} \quad (2)$$

经统计分析,实测值与计算值相关系数达 0.99998。因此,在实际防雷工程设计中,可根据式(2)计算出大于某雷电强度的累积概率。

(6) 湖北地区闪电密度分布呈明显的地域性差异,鄂东南和鄂西局部地区存在两个闪电高密度区,一个位于嘉鱼、咸宁、黄石、鄂州一带;另一个在鄂西的远安、当阳附近。山区与丘陵、平原交接地带,即地表状况发生明显变化的地带,是雷电多发地带。

此外,分析还发现,湖北地区鄂西南山区雷电日数较多,闪电密度不一定随之增加,尤其是鄂西南部山区县市。造成上述的原因一方面可能是山区县市多岩石,土壤电阻率较大,不利于云地间闪电发生,另一方面可能与山区局地小气候环境有关,也就是说在山区由于特殊地形的影响,局部雷电天气较多,但每次雷电天气发生时持续时间较短,即雷电日

数较多,但闪电次数并不多,其他方面的原因有待深入研究。

参考文献

- [1] 许小峰. 雷电灾害与监测预报[J]. 气象, 2004, 30(12): 17-21.
- [2] 许小峰, 郭虎, 廖晓农, 等. 国外雷电监测和预报研究[M]. 北京: 气象出版社, 2003: 34-52.
- [3] 薛秋芳, 孟青, 葛润生. 北京地区闪电活动及其与强对流天气的关系[J]. 气象, 1999, 25(11): 15-20.
- [4] 何晖, 李宏宇. 北京地区闪电特征初探[J]. 气象科技, 2005, 33(6): 496-500.
- [5] 王颖, 郑永光, 寿绍文. 2007年夏季长江流域及周边地区地闪时空分布及其天气学意义[J]. 气象, 2009, 35(10): 58-70.
- [6] 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, 13(3): 347-355.
- [7] 冯桂力, 王俊, 牟容, 等. 一次中尺度雷暴大风过程的闪电特征分析[J]. 气象, 2010, 36(4): 68-74.
- [8] 陈渭民. 雷电学原理[M]. 北京: 气象出版社, 2003: 95-96.
- [9] 张一平, 王新敏, 牛淑贞, 等. 河南省雷暴地闪活动与雷达回波的关系探析[J]. 气象, 2010, 36(2): 54-61.
- [10] 王学良, 王海军, 李卫红. 近 45 年湖北省雷电日数的时空变化特征分析[J]. 暴雨灾害, 26(1): 83-87.
- [11] 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.