

# 2008—2009 年江苏省闪电特征分析及应用研究

王锡中<sup>1</sup> 冯民学<sup>1,2</sup> 钟颖颖<sup>2</sup> 植耀玲<sup>2</sup> 孙明<sup>3</sup>

## 摘要

统计了江苏省气象部门雷电探测系统 2008—2009 年闪电记录,对江苏省闪电强度、闪电频数等闪电特征进行分析,得出江苏省的雷电流强度和闪电分布都有明显的时空差异,并且闪电频数和强度在空间分布上基本呈相反分布;同时利用地闪记录与雷暴日数的关系,得出了适用于江苏 13 个地级市的地闪密度计算公式。

## 关键词

闪电强度;闪电频数;雷暴日;地闪密度

中图分类号 P427.32

文献标志码 A

收稿日期 2010-05-05

资助项目 江苏省科技支撑计划(BE2009693)

作者简介

王锡中,男,工程师,主要研究雷电防护。  
wxzyyz@tom.com

钟颖颖(通讯作者),女,硕士生,主要研究雷电预警与风险评估。  
view618@163.com

1 江苏省防雷中心,南京,210009

2 南京信息工程大学 大气物理学院,南京,210044

3 江苏天安防雷工程有限责任公司,南京,210009

## 0 引言

### Introduction

闪电作为常见的一种自然现象,已为大多数人所认知。目前,随着闪电定位资料的不断积累,不少学者利用闪电定位资料对闪电时空分布、闪电强度和闪电极性等进行研究<sup>[1-7]</sup>,也有学者结合其他监测手段来分析闪电特征<sup>[8-9]</sup>。考虑到数据的可靠性问题,近年来对闪电监测资料的探测效率、误差校正等<sup>[10-12]</sup>研究也逐步开展起来。本文利用江苏省气象部门闪电监测网的闪电资料对闪电强度、闪电分布等特征进行分析,并根据实测地闪频数与人工观测雷暴日数的关系,得出了适用于江苏 13 个地级市的地闪密度计算公式。研究结论对于闪电资料分析应用、雷击风险评估和防雷工程等具有一定的指导意义<sup>[1]</sup>。

## 1 资料说明

### Data description

江苏省气象部门闪电定位系统使用 ADTD 雷电探测仪,共设有 9 个探测站,主站位于南京(118.48°E,32.00°N),采用定向时差联合法对雷电进行定位。闪电监测网单站的探测范围约为 150 km。冯民学等<sup>[10]</sup>通过与江苏省电力部门闪电定位资料的对比,发现省气象局闪电定位系统的探测效率为 91%,是合理的。田芳<sup>[11]</sup>采取有效的方法对江苏气象部门的闪电资料进行了修正,使数据更加可靠。

雷暴日资料选自江苏 13 个地级市观测站 2008—2009 年全天候(24 h)目测的雷暴日值。

## 2 闪电总体特征

### General features of lightning

2008 年江苏省闪电定位仪共记录地闪 257 402 次,其中正闪 9 060 次,负闪 248 342 次,负闪占总闪的 96.48%;但正闪平均强度为 45.54 kA,高于负闪的平均强度 -31.38 kA。2009 年共发生地闪 337 088 次,其中正闪 16 613 次,负闪明显多,负闪占总闪的 95.07%;正闪平均强度为 43.88 kA,也高于负闪的 -32.38 kA。2008 年的总闪平均强度(38.46 kA)略大于 2009 年(38.13 kA),总闪频数比 2009 年少,但两年负闪占总闪百分比很接近,与 2007 年的 95.4%<sup>[13]</sup>相比,差别也很小,说明江苏地区的闪电以负闪为主。

### 3 闪电强度

#### Lightning intensity

江苏省闪电强度月变化如图1所示. 2008年总闪的月均强度在1月出现峰值为74.46 kA, 2—10月的闪电平均强度维持在25~40 kA之间, 变化不明显, 到11月出现次峰值, 12月平均闪电强度最小; 负闪强度的月变化小, 全年比较均匀, 主要分布区间为25~47 kA, 峰值强度为46.78 kA, 最小平均强度出现在10月为26.52 kA; 正闪强度(2月没有发生正闪, 不予考虑)月变化曲线波动起伏大, 除了3、9和12月, 其他各月强度都比负闪大, 其中1月正闪平均强度最大, 为98.81 kA. 正、负闪电强度都在1月出现峰值, 12月出现谷值, 其他各月变化较小, 正闪强度月变化较负闪明显. 2009年闪电强度跨度比2008年小, 10月总闪强度最强, 但也只有44.50 kA; 负闪强度各月变化依旧较小, 维持在26~46 kA之间, 峰值为9月的35.28 kA, 谷值出现在5月为26.23 kA; 正闪强度(1月没有发生正闪, 不予考虑)月变化曲线波动起伏最明显, 除了8月, 各月强度都比总闪、负闪大, 其中5月正闪平均强度最大, 达到60.36 kA. 2008、2009年正闪强度月变化比负闪明显, 并且基本上各月正闪强度较之负闪强.

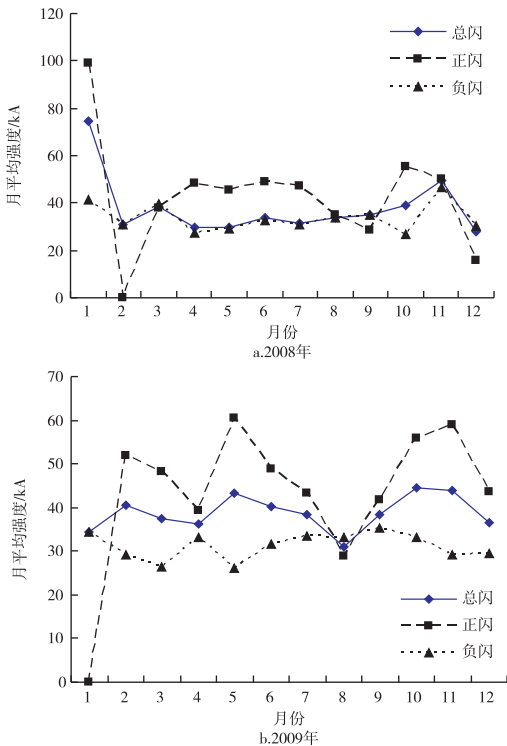


图1 江苏省闪电月平均强度分布

Fig. 1 Monthly average lightning intensity distribution in Jiangsu

从图2(江苏省闪电时平均强度分布)可知, 全天正闪强度都比负闪强. 一天各个时段的正闪强度变化最显著, 尤其是2008年, 时均强度从12时的35.06 kA到3时的52.58 kA不等, 正闪强度都是夜里大于白天, 在中午或者午后出现谷值; 但2009年正闪时平均强度峰值出现在6时为52.08 kA, 谷值为17时的38.52 kA, 峰、谷值出现的具体时间不同. 2008年负闪强度最小值为9时的29.47 kA, 夜晚至早上的负闪强度比其他时段强, 最大负闪强度为凌晨1时的33.76 kA; 2009年的负闪平均强度比2008年略大, 且波动更显著, 分布区间为29.40 kA(12时)~35.77 kA(7时). 总闪和负闪强度日变化则相对平缓, 2008年总闪和负闪强度非常接近, 都基本维持在29~35 kA之间, 2009年总闪强度与负闪则有一定差别, 总闪主要分布在35~40 kA之间, 略大于负闪的分布范围30~35 kA.

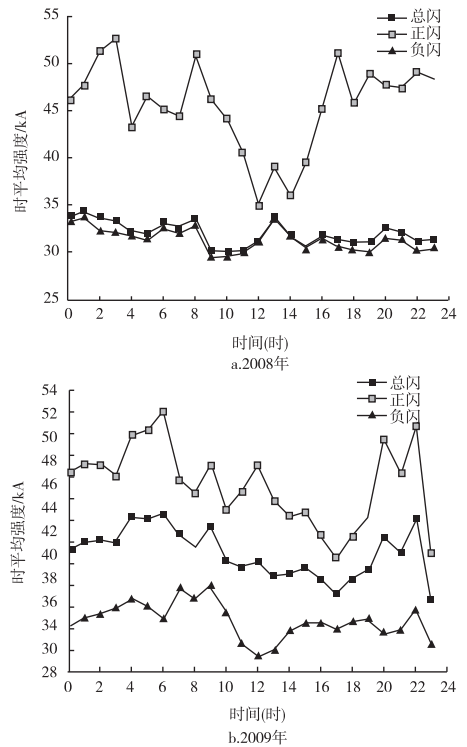


图2 江苏省闪电时平均强度分布

Fig. 2 Hourly average lightning intensity distribution in Jiangsu

图3为总闪强度空间分布. 2008年强度分布在20~50 kA范围内, 江苏最北端和最南端的闪电强度大于中部, 还可以看出, 除了江苏西北角, 东部的闪电强度大于西部. 2009年总闪强度空间差异较2008年大, 分布在30~70 kA之间, 徐州西北部闪电强度最大, 其他地方强度分布较均匀, 只是东部沿海和苏州部分地

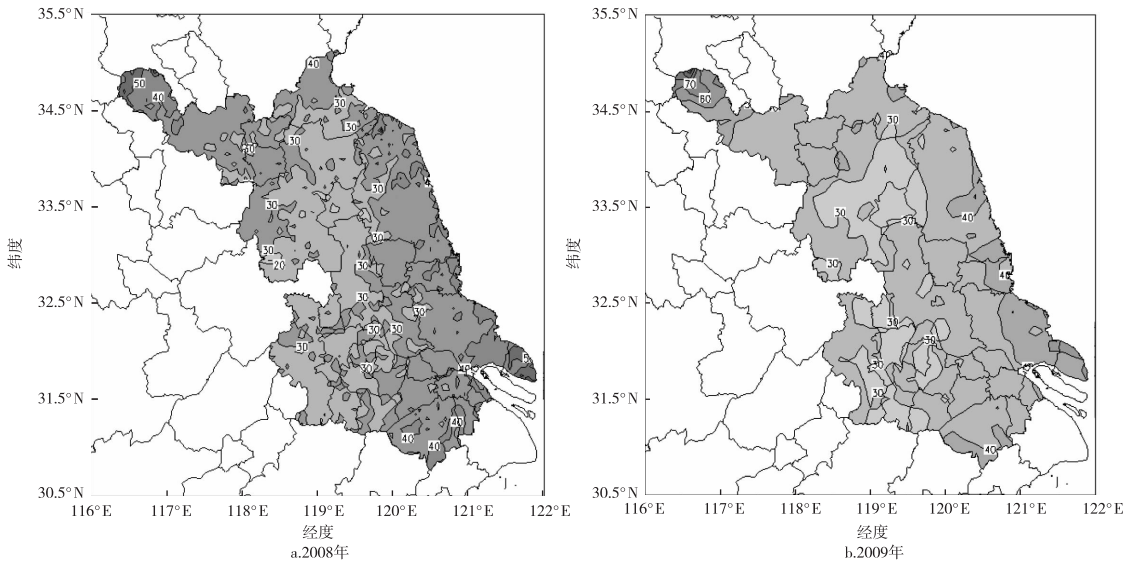


图3 江苏省闪电强度(kA)空间分布

Fig.3 Spatial distribution of lightning intensity(kA) in Jiangsu

区略大. 两年的强度空间分布较一致, 徐州、江苏沿海地区以及东南部部分区域要注意防范强雷击。

#### 4 闪电频数

##### Lightning frequency

图4显示2008年江苏省闪电最集中的时间是7月, 共发生闪电96571次, 占全年闪电总数的37.51%; 全年68.71%的闪电发生在夏季, 而1—3月和11—12月的闪电次数仅为124次, 仅占全年的0.05%. 2009年8月闪电最多, 共发生127148次, 占全年的37.72%, 全年89.37%的闪电都发生在夏季, 而1、5和12月闪电最少, 只占全年0.04%. 2008和2009年各月闪电分布有一定差异, 尤其是5月和8月, 差距比较大, 但全年闪电都是集中发生在夏季. 进入春季温度回升、雨水增多时闪电开始增加, 到了夏季达到峰值, 与这个时候较强的对流活动关系密切, 到了9月迅速减少, 冬季因受西北风影响, 气候干冷, 雷暴活动最少. 正闪占总闪的百分比(2008年2月和2009年1月没有正闪发生, 不予考虑)在闪电较少的月份数值较大, 2008年11月正闪比最大, 达到84.62%, 3月出现次峰值67.57%, 夏季正闪比最低; 2009年正闪比峰值出现在5月为52.10%, 11月的正闪比次之, 为46.85%, 谷值为8月的2.55%, 也是夏季正闪相对少. 闪电高发期主要以负闪为主, 而闪电较少的时期, 正闪发生概率却高, 可能是因为正闪需要雷暴云中能量达到很高时才发生, 而夏季的雷暴云

放电频率较高, 当能量还没有很高时闪电就发生了, 所以主要是强度不强的负闪。

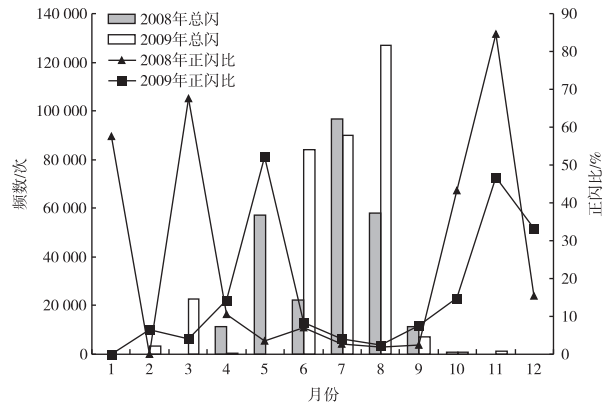


图4 2008—2009年江苏省闪电频数月分布

Fig.4 Monthly lightning frequency distribution of 2008 and 2009 in Jiangsu

图5是网格距为0.02个经纬距上的江苏总闪电频数分布. 2008年闪电集中发生在两块区域, 一块是长江以北的淮安向东延伸到盐城、向南延伸到扬州等地的区域; 另一块区域是长江流域附近的南京、镇江、泰州南部和常州、无锡北部的部分区域, 这些地区都有丘陵山地等分布, 还有较多水体, 地形抬升和充沛的水汽为闪电的发生提供了条件<sup>[4,14]</sup>. 盐城北部、连云港和徐州等地闪电很少发生. 2009年闪电主要发生在长江南部, 南京闪电发生最为频繁, 尤

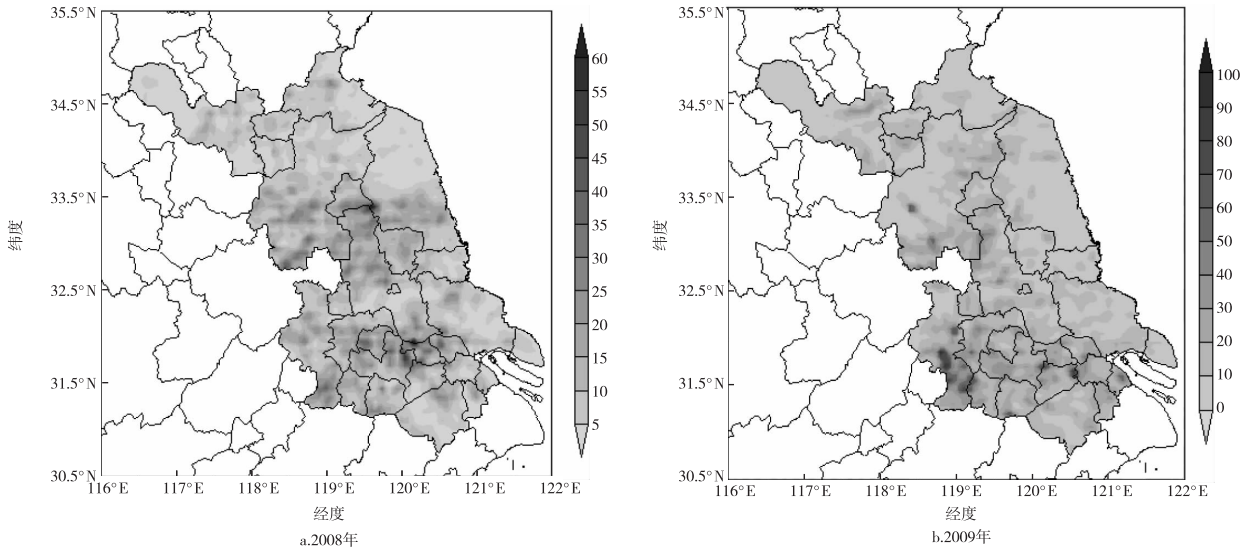


图5 江苏省闪电频数空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of lightning frequency in Jiangsu

其是高淳,主要是由于高淳县境内西部为水网平原区,东部为低山丘陵区,地势西低东高,易于局地对流云团的发生发展.苏州和无锡交界处、无锡和常州交界处也存在小的闪电密度中心.2009年闪电更为集中的分布在江苏西南部,长江以北地区闪电都很少发生,并且闪电密度中心值大于2008年,两年内都是南部闪电多于北部,沿海地区较内陆少,徐州、连云港和盐城闪电较为稀少.总的来说,苏中、苏南地区闪电较苏北多,和闪电强度的空间分布(图3)恰好相反,这主要和电荷守恒有关,总的电荷是一定的,一旦闪电发生的次数多,单次闪电释放的能量就少;相反,闪电较少时,各次闪电中和的电荷就较多.

## 5 地闪密度和雷暴日数的关系

The relationship between ground lightning density and thunderstorm days

地闪密度体现了一个地方遭雷击可能性的大小,是雷击风险评估及建(构)筑物防雷类别划分等的重要依据<sup>[15]</sup>.以往采用《建筑物防雷设计规范》中的 $N_g = 0.024T_d^{1.3}$ ,最近几年开始使用IEC的 $N_g = 0.1 \times T_d$ 按人工观测雷暴日计算地闪密度.闪电定位仪的布设,使记录的雷电信息更加丰富,可以弥补人工观测易受外界环境影响的不足,因此使用闪电定位仪的地闪记录计算地闪密度 $N_g$ .本文中定义年总闪电次数除以地级市的国土面积得到 $N_g$ (单位:次/ $\text{km}^2 \cdot \text{a}$ ).利用2008、2009年江苏省雷电监测资

料、13个台站(以行政地级市为研究对象)人工观测雷暴记录,按照公式 $k = N_g / T_d$ 计算得到各个市的2008年的值 $k_{08}$ 和2009年的 $k_{09}$ ,并计算得到两年平均值 $k$ ,如表1所示.表中 $N_g'$ 、 $T_d'$ 都为两年平均值,13个市用不同的 $k$ 值计算本地的地闪密度,并与实测值相比,发现其相对误差除了淮安较大达到26.24%外,其他都在6%以内,误差非常小.而此时使用IEC的公式计算得到的 $N_g$ 与实测值的相对误差则比较大,除个别城市外,误差都超过了20%.除了扬州、泰州和苏州外,似乎 $N_g = 0.1T_d$ 这个公式并不适用于全省,而淮安使用IEC公式计算获得的值要比 $0.15T_d$ 计算获得的值更接近实测值.各市因地形地貌和气候的差异,产生闪电的雷暴类型不同,并且各地观测站的条件也存在差别,全省使用统一的地闪密度计算公式,尤其是使用国外的计算方法是不可取的.马金福等<sup>[15]</sup>也通过分析发现全国各地采用统一的公式,与实际情况有较大的误差,因此各市应使用适用于本市的计算公式,并且可以随着闪电资料的长期积累,对系数进行调整,以获取更为精确的 $N_g$ 值作为本地区防雷工作中的参考.

## 6 结论

Conclusion

通过对2008和2009年江苏省闪电强度、闪电分布的特征分析,以及地闪密度与雷暴日数关系的应用研究,得到以下结论:

表1 2008—2009年江苏省13市地闪密度与雷暴日数关系统计表

Table 1 The relationship between ground lightning density and thunderstorm days from 2008 to 2009 of 13 cities in Jiangsu

| 地区  | $k_{08}$ | $k_{09}$ | $k$  | $N_g' / (\text{次}/\text{km}^2 \cdot \text{a})$ | $T_d' / \text{d}$ | $k \times T_d'$ | 不同 $k$ 值误差/% | IEC 公式误差/% |
|-----|----------|----------|------|--|-------------------|-----------------|--------------|------------|
| 徐州  | 0.05     | 0.08     | 0.06 | 1.75   | 27.0              | 1.74            | 0.67         | 54.45      |
| 南京  | 0.14     | 0.27     | 0.20 | 4.74   | 23.5              | 4.77            | 0.70         | 50.43      |
| 连云港 | 0.05     | 0.08     | 0.07 | 1.73   | 27.0              | 1.79            | 3.75         | 56.51      |
| 宿迁  | 0.07     | 0.08     | 0.07 | 2.22   | 30.5              | 2.23            | 0.65         | 37.56      |
| 淮安  | 0.08     | 0.23     | 0.15 | 3.73   | 31.0              | 4.71            | 26.24        | 16.93      |
| 盐城  | 0.06     | 0.09     | 0.08 | 1.68   | 23.0              | 1.78            | 5.53         | 36.58      |
| 扬州  | 0.09     | 0.12     | 0.10 | 3.94   | 38.5              | 3.97            | 0.88         | 2.25       |
| 泰州  | 0.10     | 0.09     | 0.10 | 2.93   | 30.5              | 2.92            | 0.13         | 4.15       |
| 南通  | 0.06     | 0.09     | 0.07 | 2.38   | 33.5              | 2.42            | 1.72         | 40.53      |
| 镇江  | 0.12     | 0.16     | 0.14 | 4.37   | 32.0              | 4.35            | 0.44         | 26.80      |
| 常州  | 0.11     | 0.19     | 0.15 | 4.92   | 34.0              | 5.00            | 1.67         | 30.87      |
| 无锡  | 0.10     | 0.17     | 0.13 | 4.26   | 33.0              | 4.33            | 1.68         | 22.47      |
| 苏州  | 0.06     | 0.14     | 0.10 | 3.23   | 34.0              | 3.34            | 3.62         | 5.36       |

1) 2008 和 2009 年江苏省发生的负闪都明显比正闪多,负闪比都超过了 95%,但正闪平均强度比负闪大,2008 年的总闪平均强度 (38.46 kA) 略大于 2009 年 (38.13 kA)。

2) 两年的正闪强度月变化都比负闪变化明显,基本上各月的正闪强度都大于负闪,但正、负闪强度月变化各有特点,强度极值出现的时间不同,并且 2009 年总闪强度跨度要比 2008 年小。全天各时段,正闪强度都比负闪大,并且正闪时变化曲线波动起伏最为显著;总闪和负闪强度 2008 年时变化相对平缓,而 2009 年各时分布则有一定差异。两年的总闪强度空间分布较一致,基本是西北部最大,南部次之,东部大于西部,但 2009 年总闪强度空间差异较 2008 年大。

3) 江苏省近两年闪电主要发生在夏季,正闪比值都是夏季最小。但两年中闪电频数分布的月份有所差异,尤其是这两年的 5 月和 8 月差距较大。2008 和 2009 年的闪电都主要发生在江苏中部和南部,内陆比沿海地区发生的闪电多,只是两年的密度中心不同。总闪频数和强度的空间分布恰好相反。

4) 若各市都采用 IEC 公式计算地闪密度,相对误差较大,因此根据 2008 和 2009 年江苏省地闪记录与雷暴日数,得出适用于各市的公式,以更好地为本地区防雷工作服务。

闪电监测系统投入使用时间不长,其精度还不确定,导致闪电监测资料的数据准确性受到不少质疑,但其现实意义和应用价值是毋庸置疑的。由于本

文只使用两年的资料,还不能反映闪电活动规律的长期趋势,得出的结论也仅供参考,待日后积累更多的数据后才能进行更全面分析。

## 参考文献

### References

- [1] 钟万强,张赛忠,谢海华. 2007 年浙江省闪电特征分析与应用研究[C]//中国气象学会 2008 年年会大气物理学分会论文集. 北京,2008:357-363  
ZHONG Wanqiang, ZHANG Saizhong, XIE Haihua. The characteristics analysis and application research on 2007 lightning in Zhejiang [C]//Collected Paper of the 26th Annual Meeting of China Meteorology. Beijing, 2008:357-363
- [2] 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):347-355  
FENG Guili, CHEN Wenxuan, LIU Shijun, et al. Preliminary analysis of lightning characteristics in Shandong [J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology, 2002, 13(3): 347-355
- [3] 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  
HE Hui, LI Hongyu. Preliminary analysis of lightning characteristics in Beijing [J]. Meteorological Science and Technology, 2005, 33(6): 496-500
- [4] 冯民学,焦雪,韦海容,等. 江苏省雷电分布特征分析[J]. 气象科学,2009,29(2):246-251  
FENG Minxue, JIAO Xue, WEI Hairong, et al. An analysis of the lightning distribution features in Jiangsu province [J]. Scientia Meteorologica Sinica, 2009, 29(2): 246-251
- [5] 易燕明,杨兆礼,万齐林. 广州市闪电密度特征分析[J]. 资源科学,2006,28(1):151-156  
YI Yanming, YANG Zhaoli, WAN Qilin. Analysis of lightning density in Guangzhou city [J]. Resources Science, 2006, 28(1): 151-156
- [6] 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):1-7  
MA Ming, LÜ Weitao, ZHANG Yijun, et al. Analysis of lightning activity in China [J]. Meteorological Science and Technology,

- 2007,35(Sup1):1-7
- [7] 曾山泊,肖稳安,李霞. 苏州地区雷暴活动规律和雷灾分析[J]. 气象科学,2006,26(5):517-524  
ZENG Shanbo, XIAO Wenan, LI Xia. The analysis & study on the laws of lightning hazards and lightning activities in Suzhou[J]. Scientia Meteorologica Sinica, 2006, 26(5):517-524
- [8] 李建华,郭学良,肖稳安. 北京强雷暴的地闪活动与雷达回波和降水的关系[J]. 南京气象学院学报,2006,29(2):228-234  
LI Jianhua, GUO Xueliang, XIAO Wenan. Relationship of cloud-ground lightning activities with radar echo and precipitation in storms of Beijing[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2006, 29(2):228-234
- [9] 廖玉芳,俞小鼎,唐小新,等. 基于多普勒天气雷达观测的湖南超级单体风暴特征[J]. 南京气象学院学报,2007,30(4):433-443  
LIAO Yufang, YU Xiaoding, TANG Xiaoxin, et al. Characteristics of supercell storms in Hunan detected by Doppler Weather Radars[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2007, 30(4):433-443
- [10] 冯民学,韦海容,焦圣明,等. 南京市闪电定位资料的对比分析[J]. 南京气象学院学报,2008,31(2):151-157  
FENG Minxue, WEI Hairong, JIAO Shengming, et al. A comparative analysis of the lightning strike positioning data in Nanjing[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2008, 31(2):151-157
- [11] 田芳. 江苏省闪电定位仪观测资料的修订与分析[D]. 南京:南京信息工程大学大气物理学院,2009  
TIAN Fang. Amendment and analysis of observation data for lightning positioning devices of Jiangsu province[D]. Nanjing: School of Atmospheric Physics, Nanjing University of Information Science & Technology, 2009
- [12] 许洪泽. 江苏闪电定位网资料的分析与研究[D]. 南京:南京信息工程大学大气物理学院,2007  
XU Hongze. A preliminary study of data from Jiangsu lightning location net[D]. Nanjing: School of Atmospheric Physics, Nanjing University of Information Science & Technology, 2007
- [13] 李芳. 江苏省雷电分布特征及南京地区基于雷达资料的雷电识别初探[D]. 南京:南京信息工程大学大气物理学院,2009  
LI Fang. A preliminary study on lightning distribution characteristics in Jiangsu & lightning recognition based on radar data in Nanjing[D]. Nanjing: School of Atmospheric Physics, Nanjing University of Information Science & Technology, 2009
- [14] 齐琳琳,刘玉玲,赵思雄. 一次强雷雨过程中对流参数对潜势预测影响的分析[J]. 大气科学,2005,29(4):536-548  
QI Linlin, LIU Yuling, ZHAO Sixiong. The analyses of convective parameters and their potential predictability in a severe thunderstorm rain[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2005, 29(4):536-548
- [15] 马金福,冯志伟. 雷击地闪密度与雷暴日数的关系分析[J]. 气象科学,2009,29(5):674-678  
MA Jinfu, FENG Zhiwei. The analysis on the relationship between density of ground lightning strokes and the number of thunderstorm days[J]. Scientia Meteorologica Sinica, 2009, 29(5):674-678

## The characteristic analysis and application study of lightning from 2008 to 2009 in Jiangsu

WANG Xizhong<sup>1</sup> FENG Minxue<sup>1,2</sup> ZHONG Yingying<sup>2</sup> ZHI Yaoling<sup>2</sup> SUN Ming<sup>3</sup>

1 Jiangsu Lightning Protection Center, Nanjing 210009

2 School of Atmospheric Physics, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

3 Jiangsu Tian'an Lightning Protection Company, Nanjing 210009

**Abstract** Through analyzing the lightning data from 2008 to 2009 detected by lightning detection system of Jiangsu provincial meteorological department, the features of lightning intensity and frequency are studied in this paper. Results show that they both have obvious temporal and spatial differences, but the spatial distribution of the lightning intensity is opposite that of the lightning frequency. According to the relationship between lightning and thunderstorm days, equations for calculating density of ground lightning in 13 cities of Jiangsu are given.

**Key words** lightning intensity; lightning frequency; thunderstorm day; density of ground lightning