

成勤,王学良,肖稳安,等.我国中部五省云地闪电时空分布特征分析[J].暴雨灾害,2011,30(3):254-259

我国中部五省云地闪电时空分布特征分析

成勤¹,王学良²,肖稳安¹,张科杰²

(1.南京信息工程大学,南京 210044;2.湖北省防雷中心,武汉 430074)

摘要:利用我国中部五省52个闪电监测站2007—2010年闪电定位资料,分析该区域闪电的电流强度、陡度、频数、闪电密度的时空分布特征。结果表明:中部五省云地闪电中负极性闪电数均占总闪电数的95%以上;正闪平均强度为66.47 kA,负闪平均强度-44.22 kA;闪电频数日分布曲线呈单峰单谷型,最多时段在14—20时,较少时段在00—12时。一年中4—9月为闪电活动频繁期,10、12、1月为正闪活跃期,其正闪比例均大于20%。闪电密度高值区分布在湖北中、西部以及江西北部和安徽宣城地区;河南北部闪电发生次数最少。一年中闪电密度高值中心随太阳直射点南北移动,1—6月闪电密度高值区北移,9—12月闪电密度高值区再由北向南移动。30.5°N(长江)为闪电活动南北分界线,30.5°N以北,正、负闪电强度随纬度增加而增大,闪电陡度变化较大;30.5°N以南,正闪强度随纬度增加而减弱,负闪强度变化较小,正闪陡度缓慢减小,负闪陡度增大。

关键词:云地闪;闪电密度;时空分布;气候特征

中图分类号:P427.32+1 文献标识码:A 文章编号:1004-9045(2011)03-0254-06

Analysis of Spatial and Temporal Distribution Characteristics of Cloud-to-ground Lightning of Five Provinces in Central China

CHENG Qin¹, WANG Xueliang², XIAO Wenan¹, ZHANG Kejie²

(1.Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044;

2.Hubei Lightning Protection Center, Wuhan 430074)

Abstract: Lightning detection data at 52 ADTD stations in five provinces of central China from 2007 to 2010 were used to analyze the spatial and temporal distribution characteristics of cloud-to-ground lightning current intensity, steepness, frequency and density in these areas. The results show that the negative lightning account for more than 95% of the total number of cloud-to-ground lightning, and the average intensity of positive lightning and negative lightning is 66.47 kA and -44.22 kA respectively. The diurnal variation curve of cloud-to-ground lightning frequency presents a single-peak shape and single-valley shape, while the lightning frequency during 14:00—20:00 is the most but the less during 00:00—12:00. The high frequency period of cloud-to-ground lightning happened is from April to September every year, and the high frequency period of positive lightning is in October, November and December, and positive lightning account for more than 20% of the total number of lightning. The high-value region of lightning density locates in the northwest and the middle of Hubei province, the north Jiangxi province and Xuancheng area of Anhui province, and there is the least lightning frequency in northern Henan province. The high-value center of lightning density moves with the vertical incident point of sun light, while moving northwards from January to June but moving southwards from September to December. 30.5°N (the Yangtze River) is a line demarcation between south and north for lightning activity. With increasing latitude the intensity of lightning increases and the steepness of lightning changes greatly in the north of 30.5°N, and in the south of 30.5°N the intensity of positive lightning weakens, the intensity of negative lightning changes less, the steepness of positive lightning decreases slowly and the steepness of negative lightning rises.

Key words: ADTD lightning detection and location system; lightning density; spatial and temporal distribution characteristics; climate characteristics

0 引言

近年来,国内气象工作者对区域雷电气候特征研

究较多。周方媛等^[1]、蒋慧敏等^[2]利用2006—2007年安徽地区雷电探测网获取的闪电资料,对该区域闪电活动的月、日变化及闪电强度、闪电密度的空间分布特

收稿日期:2011-02-09;定稿日期:2011-08-10

资助项目:中国气象局华中区域气象中心科技发展基金项目(QY-Z-201007)

第一作者:成勤,女,1986年生,在读硕士,主要从事雷电监测与预警研究。E-mail: chengqin3@163.com

征进行了统计分析,并探讨了该地区闪电活动规律。王学良等^[3-5]、黄小彦等^[6]采用湖北省 ADTD 闪电监测定位系统 13 个探测子站(雷击探测仪)获取的 2006 年 3 月—2009 年 2 月云地闪电资料,对闪电的极性分布、日变化、月变化、强度、闪电密度、累计概率分布等进行统计分析,认为闪电分布特征与地形及土壤电阻率有关。李玉塔等^[7]、严春银^[8]、胡先锋^[9]基于 2004—2007 年江西省地闪监测资料,分析了江西雷电分布特征。吴传奇等^[10]基于 2002—2008 年湖南省雷电定位系统(LLS)数据库资料,通过统计不同时段和区域内地闪次数和雷电流幅值,分析了湖南省雷电活动时空分布特征。杜克磊等^[11]利用华北电网多个 DF 站点所取得的闪电定位资料,对河南省地闪气候特征进行了分析。

然而,上述研究分析了安徽、湖北、江西、湖南、河南各省雷电区域特征,我国中部五省作为地理位置毗邻的经济协作区,其气候特征存在较多相似之处,但其整体雷电分布特征如何?整个协作区雷电分布特征与各省雷电分布特征有无异同?为探明此类问题,本文利用我国中部五省 52 个闪电监测站 2007—2010 年闪电定位资料,对该区域云地闪的电流强度、陡度、频数以及闪电密度的时空分布特征进行统计分析,以期中部五省今后更好地开展雷击风险评估、雷电监测和预警、雷电灾害防御以及促进协作区经济共同发展提供参考依据。

1 资料来源与处理

文中闪电定位资料来源于中国气象局大气探测中心。闪电定位资料包括五省 52 个闪电监测站点 ADTD 闪电监测定位系统 2007 年 1—9 月、2008 年 1—11 月、2009 年 2—12 月及 2010 年 1—6 月观测的

数据;经与中部五省 2007—2010 年雷暴日资料对比发现,2008 年 12 月、2009 年 1 月闪电定位资料因设备故障或其它原因出现异常,不能反映该时段闪电活动特征,故在分析中剔除。监测站点分布区域为 24.95°—35.70°N、109.47°—118.76°E。分析所用到的各县统计资料来源于“地球系统科学数据共享平台”。

本文提取的参量主要包括回击放电时间、回击发生位置、回击波形强度峰值、回击波形陡度值。分析时,将监测到的雷电流强度绝对值大于 500 kA 的异常闪电记录剔除;用闪电频数表示某区域、一定时间内发生闪电的总次数;用闪电密度表示中部五省各县年平均闪电频数与该县面积之比,同理得到各月闪电密度;计算时,用 TIN 插值法对离散的闪电密度做插值分析。

2 闪电参数的基本特征

统计中部五省云地闪电主要参数,可得到各省及平均雷电参数值(表 1)。从中可见,2007—2010 年各省负闪比例均远大于正闪比例,负闪数均占总闪电数的 95%以上,正闪百分比在 3.36%~4.90%之间,其平均值为 4.28%,其中湖南正闪百分比最大(4.90%),江西最小(3.36%);各省正闪平均强度均大于负闪平均强度绝对值,正闪平均强度为 66.47 kA,负闪平均强度为 -44.22 kA,正闪平均强度最大值(80.45 kA)出现在湖南,最小值(55.51 kA)出现在江西,负闪平均强度绝对值最大值(51.71 kA)出现在河南,最小值(34.74 kA)出现在江西;各省正闪陡度均大于负闪陡度,正闪陡度最大值(16.58 kA· μs^{-1})出现在湖南,最小值(12.51 kA· μs^{-1})出现在江西,负闪陡度最大值(16.54 kA· μs^{-1})出现在河南,最小值(10.61 kA· μs^{-1})出现在江西。

表 1 2007—2010 年我国中部五省雷电参数值

参数	安徽	河南	湖北	湖南	江西	五省均值
正闪百分比/%	4.18	4.74	4.22	4.90	3.36	4.28
负闪百分比/%	95.82	95.26	95.78	95.10	96.64	95.72
正闪强度/kA	67.15	72.52	56.73	80.45	55.51	66.47
负闪强度/kA	-46.46	-51.71	-38.61	-49.92	-34.74	-44.22
正闪陡度/(kA· μs^{-1})	16.37	16.56	14.09	16.58	12.51	15.22
负闪陡度/(kA· μs^{-1})	15.53	16.55	12.49	13.42	10.06	13.61

3 闪电频数及正、负闪比例的变化特征

3.1 闪电频数的时频变化

图 1 给出统计时间内我国中部五省逐时闪电频数。从中可见,中部五省闪电频数总体时频分布特征曲线呈单峰单谷特征;一天中,闪电频数最大值出现

在 14—20 时,其闪电频数占全天闪电频数的 55.06%,峰值出现在 15—16 时,2 h 闪电频数占全天闪电频数的 19.90%,究其原因,正午之后地面温度最高,大气层结不稳定,有利于闪电形成^[12];上午和后半夜闪电发生较少,最小值出现在 09—10 时,其闪电频数仅占全天闪电频数的 2.7%。负闪频数占总闪电频数的 95%以上。因

此,图 1 中负闪频数分布曲线与总闪频数分布曲线基本一致。正闪频数最小值和最大值出现时间较总闪频数的略晚,其最小值出现在 10—12 时,最大值出现在 15—21 时,极大值出现在 16—17 时。中部五省闪电总体时频分布规律与文献^[2-8]中所得出的结论基本一致。

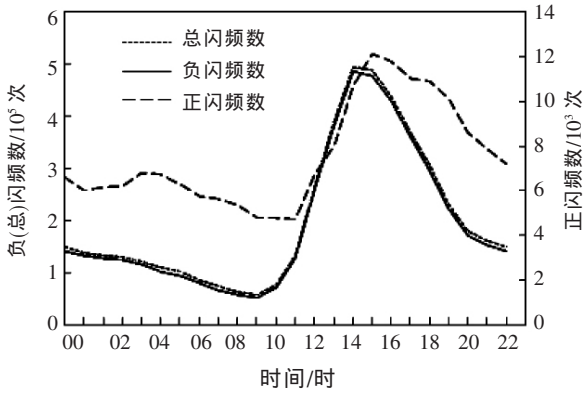


图 1 我国中部五省逐时闪电频数变化(2007—2010 年)

3.2 闪电频数及正、负闪比例的月变化

图 2 给出我国中部五省各月闪电频数与正、负闪比例分布。从中可见,闪电总频数从 2 月开始增加,8 月最多,7 月次多,9 月后迅速减少;一年中,闪电集中分布在 4—9 月,其闪电频数占全年闪电频数的 92.01%,11、12、1 月闪电频数最少,此 3 月闪电频数仅占全年闪电频数的 3.34%;全年负闪频数占总闪频数的 95.02%,1—11 月负闪百分比大于正闪百分比,1—8 月负闪在总闪中比例增大,其中 8 月负闪百分比是正闪百分比的 42.97 倍;8 月后正闪百分比明显增加,12 月正闪百分比大于负闪百分比,正、负闪百分比分别为 61.32%和 38.68%;10、12、1 月为正闪活跃期,此 3 月正闪频数在总闪中的比例超过 20%,这一结果与在日本观测得到的正极性地闪易在冬季出现的结论相似^[13-15]。

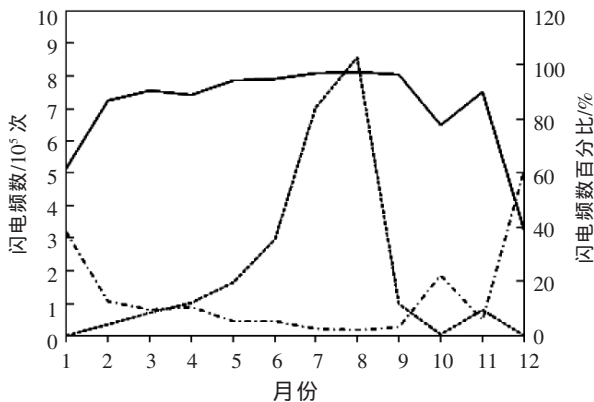


图 2 我国中部五省各月正、负闪电频数及其所占全年闪电总频数的比例(2007—2010 年)

—— 负闪频数百分比; - - - 月总频数; - · - 正闪频数百分比

3.3 闪电频数的季节变化

统计我国中部五省一年四季平均闪电频数,结果

表明(图略),春季(3—5 月)雷电活动较少,闪电频数占全年总频数的 9.28%;夏季(6—8 月)雷电活动最频繁,闪电频数占全年的 75.13%;秋季(9—11 月)雷电活动迅速减少,闪电频数占全年的 14.16%;冬季(12—2 月)雷电活动最少,闪电频数仅占全年的 1.43%。

3.4 正、负闪百分比的空间变化

为探明中部五省正、负闪百分比的南北差异,自北(36.5°N)至南(24.5°N),分别统计每 1 个纬距范围内的正、负闪百分比。图 3 给出中部五省不同纬度带正、负闪百分比分布图。从中可见,正、负闪百分比南北差异较明显,低纬度地区负闪发生比率比高纬度地区高,在 24.5°N 附近正、负闪比例分别为 4.00%和 96.00%,在 36.5°N 附近正、负闪比例分别为 8.27%和 91.73%。这与陶祖钰^[6]、冯桂力^[7]、张敏锋^[8]、杜克磊^[11]等人分析得到的正、负闪比例具有南北分布差异的结果一致。

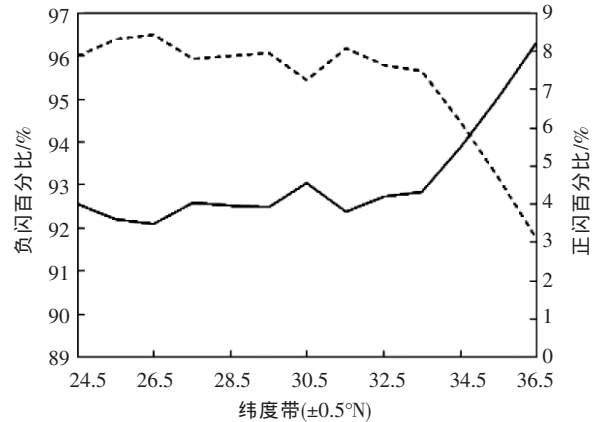


图 3 我国中部五省各纬度带正(——)、负(- - -)闪电百分率分布

4 闪电密度的时空分布

4.1 闪电密度的年分布特征

从 2007—2010 年我国中部五省闪电密度地域分布图上可见(图 4),湖北、江西和安徽三省的闪电发生

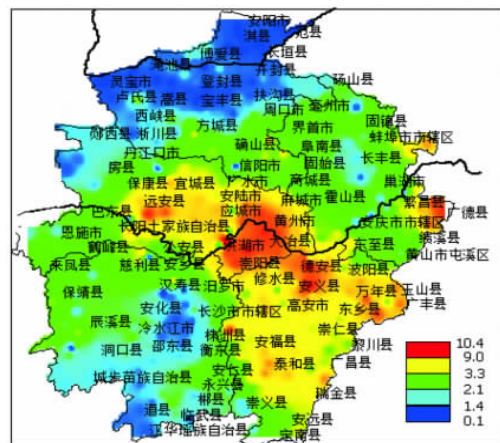


图 4 2007—2010 年我国中部五省闪电密度地域分布(单位:次·km⁻²·a⁻¹)

次数相对较多,河南闪电发生次数相对较少,尤其是豫北地区最少;中部五省闪电密度高值中心主要分布在湖北的嘉鱼、咸宁、鄂州、当阳、黄石,江西的新建、星子,安徽的广德等地带,其最大值为 $10.40 \text{ 次} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$;闪电密度低值中心主要分布在河南的信阳、郑州市上街区、南阳、台前,湖南的洪江,其最小

值仅为 $0.13 \text{ 次} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

4.2 闪电密度的月际分布特征

从 2007—2010 年我国中部五省闪电密度逐月分布图上可见(图 5),一年中闪电高密度区随太阳直射点移动呈现从南向北、再从北向南移动的规律。对其全年变化规律分析如下:

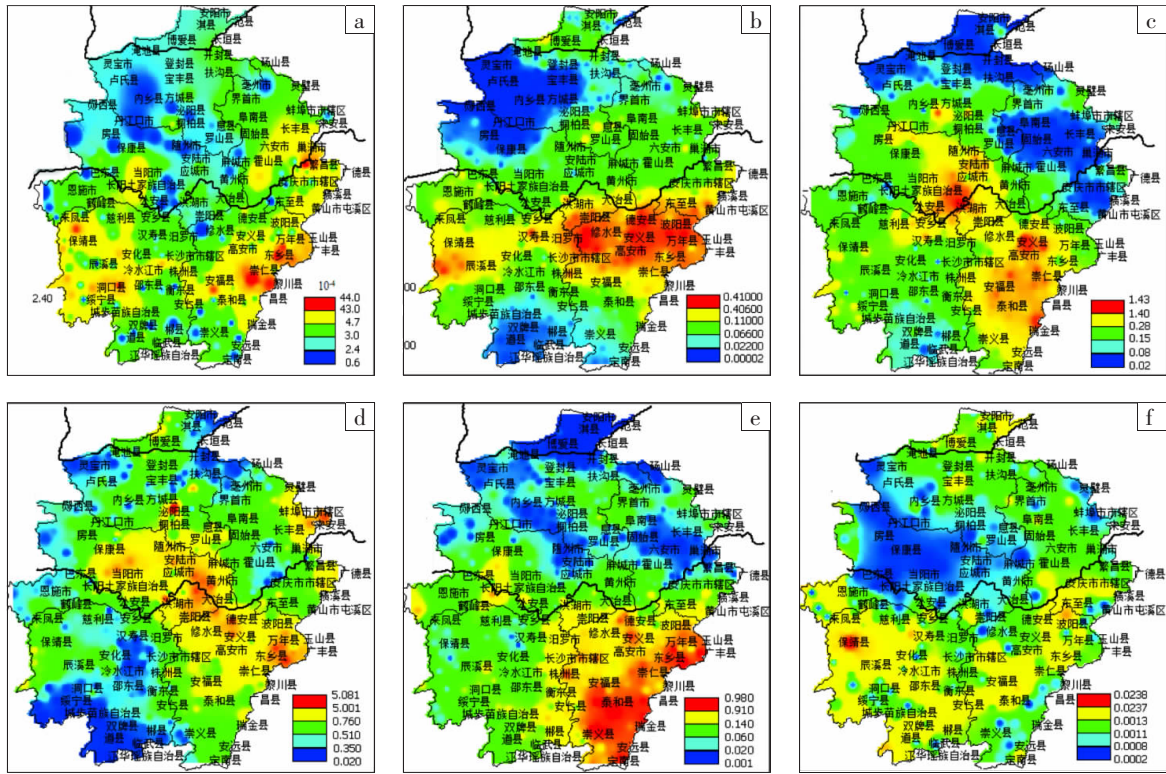


图 5 我中部五省 1 月(a)、3 月(b)、5 月(c)、7 月(d)、9 月(e)、11 月(f)闪电密度空间分布(单位: $\text{次} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)

1 月(图 5a), $0.00047 \text{ 次} \cdot \text{km}^{-2}$ 以上的闪电密度区主要分布在中部五省的西南部、东部、东南部,闪电密度相对高值区有两个,其一在湖南的吉首、怀化、邵阳一带,最大值为 $0.0044 \text{ 次} \cdot \text{km}^{-2}$;其二在江西的临川、吉安、赣州等地,最大值为 $0.0029 \text{ 次} \cdot \text{km}^{-2}$ 。2 月(图略),两个闪电密度相对高值区北移至长江以南并连成一片,分布在怀化、益阳、岳阳、九江、南昌、景德镇一带,横贯中部五省中南部,其最大值为 $0.29 \text{ 次} \cdot \text{km}^{-2}$ 。3 月(图 5b),闪电密度高值区继续北移,其最大值为 $0.41 \text{ 次} \cdot \text{km}^{-2}$,沿长江呈带状分布。4 月(图略),闪电活动有所增加,闪电密度高值中心由上月的一个变成两个,一个继续北移,主要分布在湖北鄂州附近,其最大值为 $0.6 \text{ 次} \cdot \text{km}^{-2}$;另一个基本滞留原地,仍位于江西的九江、新余、吉安一带,最大值为 $0.568 \text{ 次} \cdot \text{km}^{-2}$ 。5—6 月(图 5c),闪电密度高值区主要分布在江西大部 and 湖北鄂州附近,其最大值为 $1.43 \text{ 次} \cdot \text{km}^{-2}$ 。7—8 月(图 5d),各省闪电活动更加频繁,闪电高密度区分布在湖北中西部、江西北部与安徽天长、宣城以及河南驻马

店地区,其最大值为 $5.081 \text{ 次} \cdot \text{km}^{-2}$ 。9 月(图 5e),闪电高密度区开始南移, $0.14 \text{ 次} \cdot \text{km}^{-2}$ 以上的闪电高密度区主要分布在江西、湖南东部以及湖北宜昌、恩施附近,其最大值为 $0.98 \text{ 次} \cdot \text{km}^{-2}$,集中分布在江西东部的上饶和南部的赣州。10 月(图略), $0.009 \text{ 次} \cdot \text{km}^{-2}$ 以上的闪电密度高值区主要在江西的吉安、临川附近。到 11—12 月(图 5f),闪电密度高值区继续南移,主要分布在湖南的吉首、永州和江西的吉安地区,其最大值为 $0.02378 \text{ 次} \cdot \text{km}^{-2}$ 。

5 30.5°N(长江)分界线南北闪电参数特征分析

分析五省经济协作区 2007—2010 年闪电定位数据表明,南北闪电的强度、陡度等特征有较大差别。考虑到长江横贯中部五省经济协作区中部,本文以其为分界线分析协作区南北闪电活动特征。结合地理信息系统,采用其投影坐标系,计算得到长江在中部五省的长度(L_1)约为 1705 km ,其中在 $30.5 \pm 0.5^\circ \text{N}$ 之间的长度(L_2)约为 1225 km ,约占其总长度(L_1)的 70%。长江

在此区域的经度范围约为 108° — 119.5°E ，共跨 11.5 个经度，在此经度段内，纬度在 $30.5\pm 0.5^{\circ}\text{N}$ 的约占 66%，纬度在 $29.5\pm 0.5^{\circ}\text{N}$ 的约占 22%，纬度在 $31.5\pm 0.5^{\circ}\text{N}$ 的约占 12%。因此，可取 30.5°N 纬线为长江在中部五省经济协作区内的南北分界线。

5.1 雷电流强度特征

中部五省从 24.5° — 36.5°N 跨 13 个纬距，以 30.5°N 为分界线，分别统计各纬度带正、负雷电流强度，其结果见图 6。

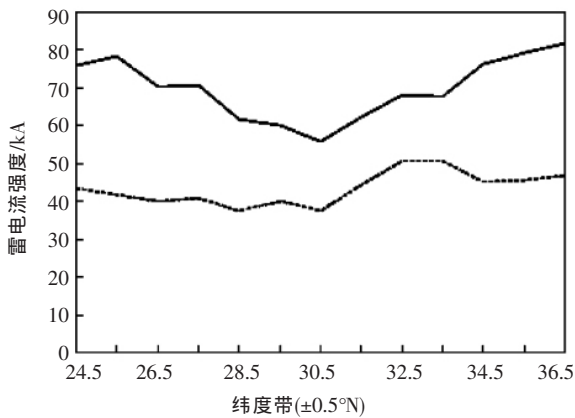


图 6 我国中部五省 24° — 37°N 各纬度带正(——)、负(---)雷电流平均强度分布(单位: kA)

从图 6 中可见，正、负雷电流在 30.5°N 南北呈现不同变化特征。 30.5°N 附近正负雷电流强度绝对值均最小，分别为 56.13 kA 和 37.73 kA；从 36.5° — 30.5°N ，正闪雷电流强度整体呈下降趋势，从 82.10 kA 下降到 56.13 kA，负闪雷电流强度在 $32.5\pm 0.5^{\circ}\text{N}$ 附近形成极大值 50.91 kA 后，在 30.5°N 附近迅速下降到 37.73 kA；从 30.5° — 24.5°N ，正、负闪雷电流强度绝对值呈上升趋势，正闪雷电流上升趋势较明显，从 56.13 kA 上升至 76.11 kA，负闪雷电流绝对值上升较平缓，由 37.73 kA 上升到 43.61 kA。

5.2 雷电流陡度特征

同样，分别统计中部五省协作区各纬度带正、负闪电平均陡度，其结果见图 7。

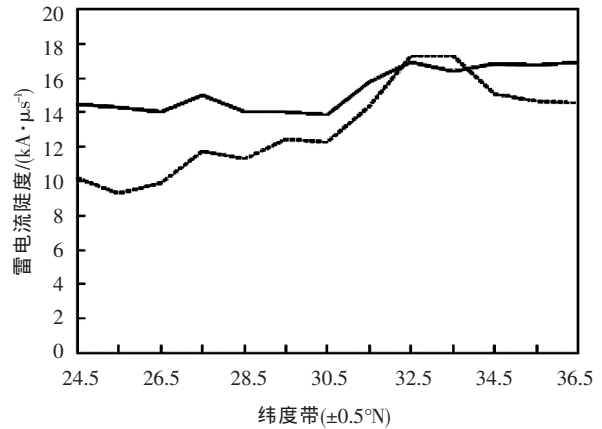


图 7 我国中部五省 24° — 37°N 各纬度带正(——)、负(---)雷电流平均陡度(单位: $\text{kA}\cdot\mu\text{s}^{-1}$)分布

从图 7 中可见，雷电流陡度以 30.5°N 为分界线，其南北呈现不同变化规律： 30.5°N 往北，正、负雷电流陡度较大，正闪陡度平均值为 $15.33 \text{ kA}\cdot\mu\text{s}^{-1}$ ，负闪陡度绝对值平均值为 $13.11 \text{ kA}\cdot\mu\text{s}^{-1}$ ；正、负雷电流陡度在 30.5°N 附近迅速降低，正闪陡度由 $15.81 \text{ kA}\cdot\mu\text{s}^{-1}$ 下降至 $13.81 \text{ kA}\cdot\mu\text{s}^{-1}$ ，负闪陡度在 36.5° — 32.5°N 呈上升趋势，自 32.5° — 30.5°N 呈迅速下降趋势，并在 32.5°N 附近形成极大值 ($17.29 \text{ kA}\cdot\mu\text{s}^{-1}$)，这一特征与负闪强度分布一致，这一特征的成因有待进一步研究； 30.5° — 24.5°N ，正闪陡度呈上升趋势，从 $13.81 \text{ kA}\cdot\mu\text{s}^{-1}$ 上升至 $14.43 \text{ kA}\cdot\mu\text{s}^{-1}$ ，负闪陡度呈下降趋势，从 $12.27 \text{ kA}\cdot\mu\text{s}^{-1}$ 降至 $10.17 \text{ kA}\cdot\mu\text{s}^{-1}$ 。

5.3 一天中闪电频数的空间分布特征

图 8 给出我国中部五省从北到南 (35.91° — 25.90°N) 不同纬度上共 72 个代表站一天中闪电频数最大值和最小值的出现时间。

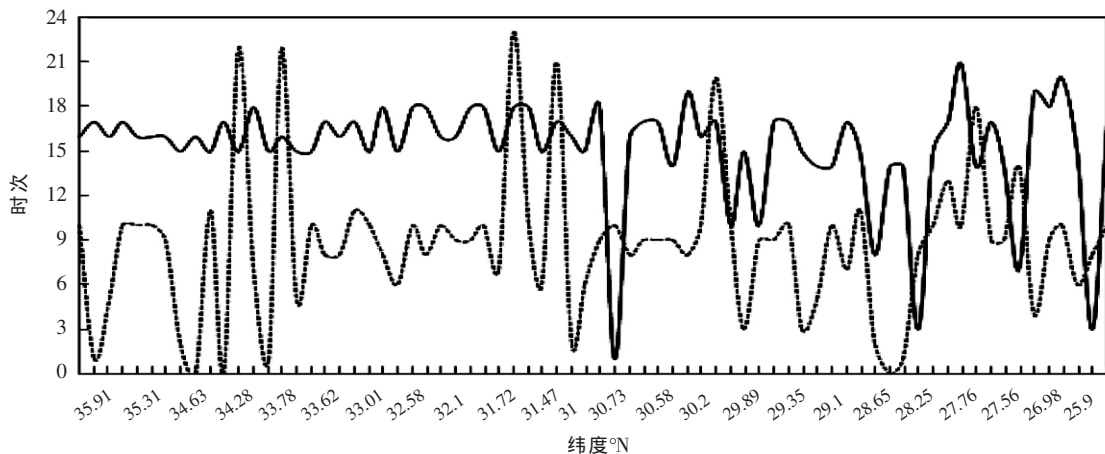


图 8 我国中部五省一天中各小时闪电频数最大值(——)与最小值(---)出现时间分布

从图8中可见,有69个代表站闪电频数最大值出现在14—20时之间,占总站数的95.83%;有60个代表站最小闪电频数出现在00—10时之间,约占总数的83.33%。究其原因,主要是闪电在很大程度上依附于雷暴而发生^[19]。无论是一般性雷暴还是强雷暴(统称对流性风暴),对流性风暴天气形成一定具有不稳定(包括对流性不稳定)层结;不稳定能量是一种潜在能量,只有受到某种触发(抬升)作用使气块强迫抬升达到自由对流高度以上时才能释放,进而转化成气块上升的动能。对“对流性不稳定”气层,则更需要有较强的抬升力使气层整层抬升,从而将原来的稳定层结变成不稳定层结,然后触发对流。午后陆地表面受日射而加热,常在近地层形成不稳定层结使对流发展,这种热力抬升作用成为一种触发机制。后半夜及上午,地表和空气温差不足以形成不稳定层结。因此,闪电频数最大值多出现在14—20时,闪电频数最小值多出现在00—10时。

对图8进一步分析表明,最小闪电频数出现时间,30.5°N南北地区差异不明显,而最大闪电频数出现时间,30.5°N南北地区差异较显著;30.5°N以北地区最大闪电频数出现时间比较集中,该地区共有41个代表站,其中最大闪电频数出现在15—18时这3h内的有26站,占该地区总站数的63.42%;30.5°N以南地区,最大闪电频数出现时间较为分散。这进一步说明30.5°N为闪电活动的南北分界线。

6 结论与讨论

本文利用我国中部五省52个闪电监测站2007—2010年闪电定位资料,对该区域云地闪电的电流强度、陡度、频数以及闪电密度的时空分布特征进行统计分析。主要得出以下结论:

(1) 中部五省云地闪电中负极性闪电数均占总频数的95%以上;正闪平均强度为66.47 kA,负闪平均强度-44.22 kA;闪电频数的日分布曲线呈单峰单谷型,最多时段在14—20时,较少时段在00—12时。一年中4—9月为闪电活动频繁期,10、12、1月为正闪活跃期,正闪比例均大于20%。闪电密度高值区分布在湖北中、西部以及江西北部及安徽宣城地区。

(2) 30.5°N(长江)为闪电活动南北分界线,30.5°N以北,正、负闪电强度随纬度增加呈上升趋势,闪电陡度变化较大;30.5°N以南,正、负闪电强度随纬度增加呈下降趋势,正闪陡度呈缓慢减小趋势,负闪陡度呈增大趋势。30.5°N以南地区,闪电频数最大值出现时间集中在15—18时,30.5°N以北地区闪电频数最大值出现时间较分散。

(3) 闪电密度高值区具有随太阳直射点南北移动的特征。1—6月闪电密度高值区由南向北移动,7—8月闪电高密度区停留在湖北中、西部以及江西大部,9月闪电高密度区又开始南移。

以上结论是基于中部五省2007—2010年闪电定位资料得出的,由于数据年限不长,有些规律表现得不明显。今后将使用中部五省多年雷暴日资料作对比分析,进一步揭示中部五省云地闪电时空分布规律。

参考文献:

- [1] 周方媛,肖稳安.安徽省近10年的雷电灾害分布特征分析[J].安徽农业科学,2010,38(4):1908-1911.
- [2] 蒋慧敏,顾松山.安徽地区闪电活动分布规律[J].科技信息,2008,26(29):331-332.
- [3] 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.
- [4] 王学良,黄小彦,刘学春,等.2006—2007年湖北地区云地闪电时空分布特征分析[J].暴雨灾害,2008,27(4):359-362.
- [5] 王学良,王海军,李卫红.近45年湖北省雷电日数的时空变化[J].暴雨灾害,2007,26(1):83-87.
- [6] 黄小彦,王学良,李慧.2000—2006年湖北省雷电灾害时空分布特征分析[J].暴雨灾害,2008,27(1):73-77.
- [7] 李玉塔,傅智斌.2004—2007年江西雷电分布特征分析[J].气象与减灾研究,2008,31(2):70-72.
- [8] 严春银.江西省雷电灾害易损性分析及其区划[J].江西科学,2006,24(2):131-135.
- [9] 胡先锋.江西省雷暴活动时空变化特征及雷电灾害的研究[D].南京:南京信息工程大学,2007.
- [10] 吴传奇,丁黎,贺恒鑫,等.湖南省电网雷电活动时空分布特征[J].高压技术,2010,36(4):932-928.
- [11] 杜克磊,周筠珺.河南地闪气候特征分析[J].成都信息工程学院学报,2007,22(S1):12-15.
- [12] 陈渭明.雷电学原理[M].北京:气象出版社,2006:69.
- [13] Tomotaka S, Shindo T. Lightning characteristics in Japan: a 10-year study using data from the lightning location systems of electric utilities [C] //28th International Conference on Lightning Protection. Kanazawa, Japan:[s.n.], 2006.
- [14] Akiko S, Michihiro M, Masayuki O. Lightning characteristics in Japan observed by the JLDN from 2000 to 2004 [C] //28th International Conference on Lightning Protection. Kanazawa, Japan:[s.n.], 2006.
- [15] Shigeru Y. Lightning detection and lightning protection of power systems in Japan [C] //IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition 2002: Asia Pacific.[S.I.]: IEEE, 2002: 546-551.
- [16] 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.
- [17] 冯桂力,陈文选,刘诗军.山东地区闪电的特征分析[J].应用气象学报,2002,13(3):347-354.
- [18] 张敏锋,刘欣生,张义军.广东地区雷电活动的气候分布特征[J].热带气象学报,2000,16(1):46-53.