

# 兰州和杭州地区闪电活动与大气 不稳定参数关系的对比

刘岩<sup>1</sup>, 李征<sup>2</sup>, 康凤琴<sup>3</sup>

(1. 安徽省防雷中心, 安徽 合肥 230016; 2. 江苏省气象局, 江苏 南京 210009; 3. 甘肃省气象局, 甘肃 兰州 730020)

**摘要:**利用甘肃中部地区和浙江地区的闪电定位资料,研究了闪电活动的时间和空间分布特征;并结合地面和探空资料,分析了兰州和杭州附近地区在有闪电活动时闪频数与大气不稳定参数的关系。结果表明,2地区的地面相对湿度、沙氏指数、对流有效位能和对流抑制能量与其地闪频数具有较好的相关性,杭州地区地闪频数与对流抑制能量的相关性较大,而兰州地区地面相对湿度对闪电活动的影响更为明显。

**关键词:**兰州和杭州地区;闪电特征;大气不稳定参数

**中图分类号:**P427.32

**文献标识码:**A

## 引言

雷暴是强对流运动的产物。而对流运动的形成和发展,首要的条件是大气层结不稳定,即大气中贮存有不稳定能量。一旦大气层中产生了上升运动,空气达到自由对流高度以上,大气中的对流不稳定能量就会转化成空气铅直运动的动能,对流运动就会发展起来。不稳定能量贮存越多,层结越厚,对流运动就越强烈,其扩展的高度也越高,雷暴生成的可能性就越大。因此,雷暴天气与大气层结有着密不可分的关系,研究大气层结的不稳定参数与闪电活动的关系对于雷电的预警预报具有重要的意义。但由于地域差异和研究重点不同,闪电活动和一些参数的相关性也存在一定的差异。Neumann<sup>[1-2]</sup>的预报模式中使用了800~600 hPa的平均湿度来预报闪电的发生。Solomon等<sup>[3]</sup>在研究新墨西哥州雷暴时,使用了对流有效位能和抬升指数等因子,并发现当对流有效位能的值 $>400 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,可以较好的预报闪电活动的发生,而抬升指数不是预报闪电活动的关键因子。郑栋等<sup>[4]</sup>对北京地区的雷暴与大气不稳定参数的相关性进行了研究,结果表明,对流性稳定度指数、抬升指数、对流有效位能和700 hPa相当位

温与闪电活动具有较好的相关性,而中层温度与闪电活动的相关性没有以上几个参数明显。熊亚军等<sup>[5]</sup>利用全球闪电资料和NCEP再分析资料研究了区域闪电密度对地面相对湿度的响应:当地面湿度过大时,相对湿度的增加不利于闪电活动的发生;而当相对湿度较小时,相对湿度的增加有利于闪电活动的发生。张翠华等<sup>[6]</sup>的研究发现对流风暴中的地闪活动可以通过不稳定度、余额不稳定度 $5^\circ\text{C}$ 处的环境温度和温度层结中层平均相对湿度进行预报。张喜轩等<sup>[7]</sup>研究了甘肃平凉和兰州地区的闪电频数与不稳定度、余额不稳定度 $5^\circ\text{C}$ 处的环境温度和层结湿度之间的关系。郟秀书等<sup>[8]</sup>研究发现青藏高原相比临近同纬度地区放电弱的主要原因是较小的对流不稳定能量。大量研究表明,不同地区影响雷暴天气的大气不稳定参数并不相同,但目前对各纬度带间雷电活动与大气不稳定参数关系的差异性研究较少。因此本文选取地处我国西北内陆温带大陆性气候区的甘肃地区和位于我国东南沿海亚热带季风气候区的浙江地区这2个不同区域的雷暴活动的典型区,分析其闪电活动的空间分布,并对地闪密度的高值区对比研究其影响参数,以期为我国区域性雷电预报预警业务提供参考。

收稿日期:2010-01-13;改回日期:2010-04-13

作者简介:刘岩(1985-),女,汉族,甘肃天水人,硕士,主要从事雷电监测与预警研究。E-mail:lyyysz@126.com

## 1 资料

(1)甘肃中部地区2006~2007年的闪电定位资料(共观测到143 545次地闪过程),浙江地区2007年5~11月的闪电定位资料(共观测到350 101次地闪过程)。闪电定位资料由2地的闪电定位网观测得到,甘肃中部地区的闪电资料由LD-II型雷电定位系统观测得到,该系统由分布于兰州及其附近的5个雷电定位仪和一个数据处理中心站联网组成,其探测距离可达500~1 000 km,于2005年底正式投入使用,在2006~2007年的观测中,主要用于探测地闪。梁华等<sup>[9]</sup>结合“5站布点”效果误差评估分析结果,发现该系统在主要地区的闪电定位精度优于300 m,区域范围内的闪电定位精度可达500 m。浙江地区的闪电资料由浙江省布网的ADTD型闪电定位系统观测得到,ADTD型闪电定位仪专门用于探测云地闪,其探头的探测效率为80%~90%,平均探测范围为300 km,测向误差为0.5°,于2007年初正式投入使用。2地闪电定位系统探测到的闪电定位资料均包括地闪发生的时间、位置(经纬度)、极性(正、负)和电流强度等参数值。

(2)2007年夏季(6~8月)杭州(120.2°E,30.2°N)和兰州(104.2°E,35.9°N)每日08,20时(北京时,下同)2地的探空资料。

选取的表征大气不稳定度的参数主要有地表相对湿度 $f$ 、沙氏指数 $SI$ 、对流有效位能 $CAPE$ 、对流抑制能量 $CIN$ 。这些参数是利用2地2007年6~8月的08:00和20:00的探空得到的,在探测区域内,确定有闪电发生的雷暴过程,结合大气不稳定参数进行分析。

## 2 闪电活动的时空分布

### 2.1 闪电活动时间分布

对2地地闪特征的初步研究发现<sup>[11]</sup>,浙江和甘肃的地闪频数在6~9月发生较多,因此对2地夏季(6~8月)和秋季(9~11月)的地闪频数日变化进行对比。分别统计2季浙江、甘肃00:00~24:00中每小时内的总、正地闪数,绘制逐时地闪频次的日变化曲线(图1),由于2地使用的闪电定位仪型号不同,其探测仪器的灵敏度存在差异,相同强度的雷电,闪电计数可能不同,但对一些趋势性特征的分析并无影响。从图1可以看出,地闪的发生具有明显的日变化,2地地闪频数的日变化整体呈单峰形式,正地闪和总地闪的日变化规律不完全相同,正地闪

较总地闪在时间上有落后现象。夏季,浙江地区13:00~22:00为地闪频数的高值区,总地闪在17:00达到极大值,而正地闪则在傍晚19:00达到极大值。甘肃地区在13:00~24:00为地闪频数的高值区,总地闪在18:00达到极大值,而正地闪在傍晚19:00达到极大值。秋季,浙江地区13:00~22:00为地闪频数的高值区,总地闪在15:00达到极大值,而正地闪则在傍晚16:00达到极大值。甘肃地区在14:00~24:00为地闪频数的高值区,总地闪在17:00达到极大值,而正地闪在傍晚20:00达到极大值。通过以上分析发现不论是夏季还是秋季浙江地区总地闪频数达到峰值的时间比甘肃地区有所提前。同时,两地夏季地闪频数达到峰值的时间要比秋季地闪频数达到峰值的时间有所推后。

### 2.2 闪电活动空间分布

为了分析两地地闪的空间分布,将闪电定位仪探测到的区域按经纬度划分为 $0.05^\circ \times 0.05^\circ$ 网格,尽管在不同纬度上这一区域所代表的绝对范围大小有差异,但并不影响本文的结论。根据两地的闪电定位资料,统计每一网格内的总地闪数,得到浙江和甘肃中部地区的地闪密度分布如图2所示,图中零值线的区域是闪电定位仪探测的盲区。

从图2可以看出,浙江地区的雷电活动主要有3个高值中心,其中最大值区位于杭州附近;次大值区位于海岸线附近的地区;最后一个极值区位于丽水与衢州交界处。这3个极值区地处海洋、湖泊附近,而甘肃中部地区地闪密度极大值位于兰州附近,地处山脉的交汇区。

## 3 闪电活动与大气不稳定参数关系的对比

图2表明,浙江和甘肃两地区地闪密度的极大值分别位于杭州附近和兰州附近,因此,下面我们将对比分析这2个极值地区的闪电活动和大气不稳定参数的关系。分别以杭州观测站(120.2°E,30.2°N)和兰州观测站(104.2°E,35.9°N)为中心,对应于2测站2007年6~8月每日08时和20时的探空资料,统计以中心为圆心,1°为半径的圆内探空之后12 h内的地闪频数,在不同纬度上这一区域所代表的绝对范围大小有差异,但对下文的分析并不影响。当地闪频数 $\geq 3$ 时,认为有闪电活动过程,当地闪频数 $< 3$ 时,可能是由各种因素引起的干扰,因此认为无闪电发生。按照地闪频数由大到小的顺序,分别

选取了两地 2007 年 6~8 月间有闪电活动的过程, 剔除明显错误的记录, 杭州地区共得到样本 90 个,

兰州地区得到样本 59 个, 根据这些样本进行研究闪电活动和不稳定参数的相关性。

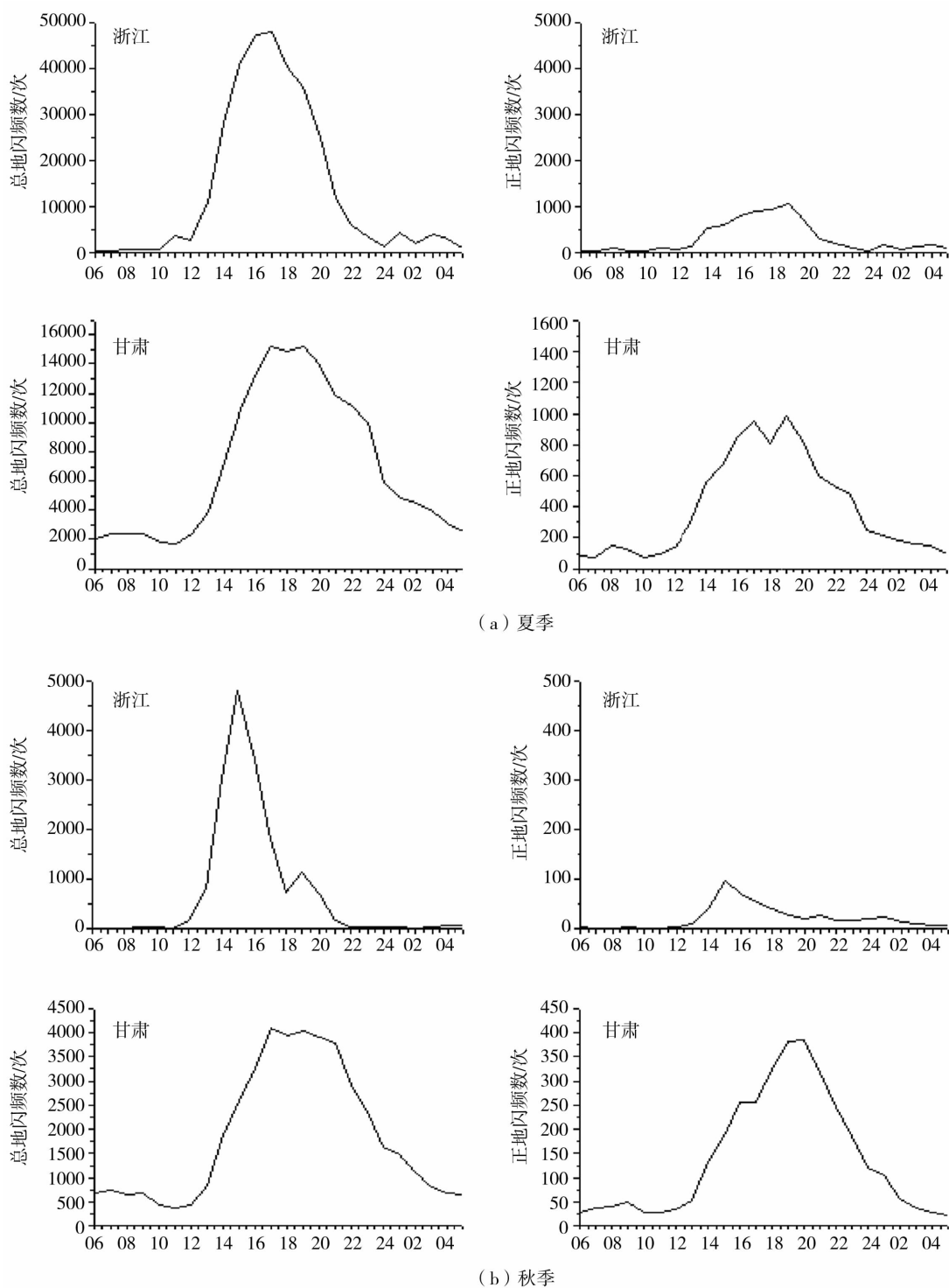


图 1 夏季(a)和秋季(b)浙江和甘肃两地地闪时间分布

Fig. 1 Diurnal variations in number of cloud-to-ground flashes in different areas in summer(a) and autumn(b)

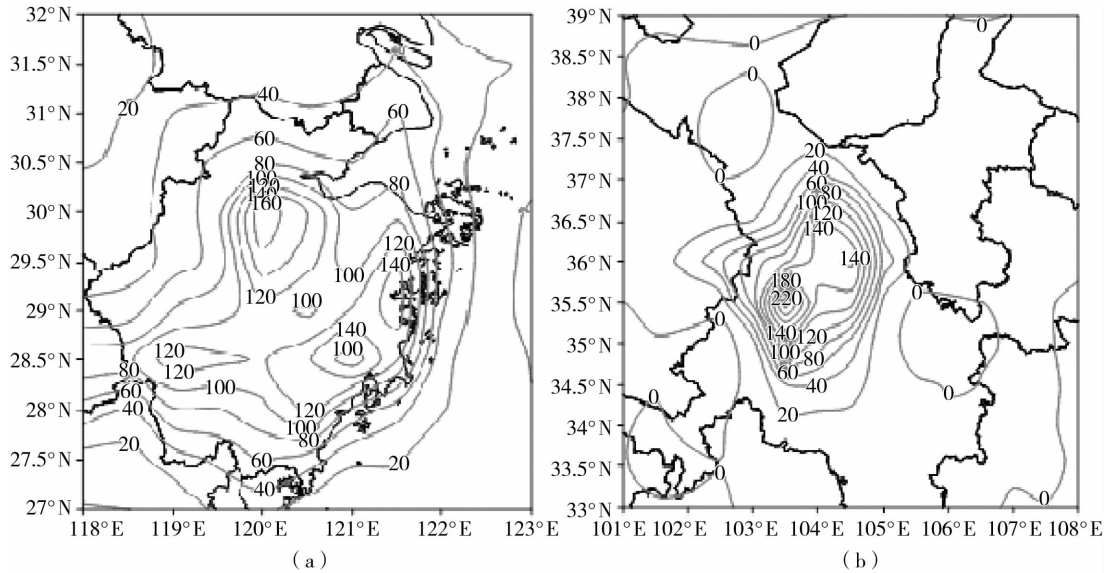


图2 浙江地区(a)和甘肃中部地区(b)地闪密度分布

Fig. 2 The geographical distribution in the density of lightning in different areas

(a) Zhangjiang area, (b) the middle part of Gansu

### 3.1 地面相对湿度的分析

产生闪电活动的不稳定对流有2个发展过程:云底以下的干增长和云底以上的湿增长过程。云底以下干增长时期的干浮力主要受干球位温的控制,地面湿度对其有直接影响<sup>[5]</sup>。地面过大的相对湿度并不利于对流的发展,但是对流的发生发展又需要一定的湿度条件作为基础。表1是两地有闪电活动时地面相对湿度的统计分析结果。

表1 地面相对湿度分析结果

Tab. 1 Statistics of relative humidity on the ground surface

相对湿度	有闪电活动	
	杭州	兰州
最大值	94.3	93.7
最小值	49.9	24.4
平均值	75.1	61.8
相对湿度 > 70% 所占的比例	68	36
相对湿度 < 70% 所占的比例	32	64

可以看出,杭州地区的地面相对湿度平均值大于兰州地区,杭州地区约68%的闪电活动发生在地面相对湿度 > 70% 的区域。比较而言,兰州地区地

面相对湿度的值较小。对两地地闪密度和地表相对湿度的相关性分析发现,随着地面相对湿度的增加,地闪频数都有增大的趋势。而杭州地区地面相对湿度的值较大,所以更容易发生闪电。

### 3.2 沙氏指数的分析

大气层结的稳定度可以用温度垂直递减率  $\gamma = -\frac{\partial T}{\partial Z}$ , 位温递减率  $\frac{\partial \theta}{\partial z}$ , 假相当位温递减率  $\frac{\partial \theta_{se}}{\partial z}$ , 假湿球位温递减率  $\frac{\partial \theta_{sw}}{\partial z}$  以及正不稳定能量  $A_+$  等物理量的大小来表示,而在实际预报工作中常常用一些容易查算的指标来表示稳定度的大小,比如沙氏指数。

沙氏指数定义为  $SI = T_{500} - T_s$ , 其中  $T_{500}$  指 500 hPa 上的实际温度,  $T_s$  指气块从 850 hPa 开始沿干绝热线抬升到凝结高度,然后再沿湿绝热线抬升到 500 hPa 的温度。根据国外资料,  $SI > 3$  °C 发生雷暴的可能性很小或者没有,  $0$  °C <  $SI < 3$  °C 有发生阵雨的可能性,  $-3$  °C <  $SI < 0$  °C 有发生雷暴的可能性,  $-6$  °C <  $SI < -3$  °C 有发生强雷暴的可能性,  $SI < -6$  °C 有发生严重对流性天气(如龙卷风)的危险<sup>[10]</sup>。

表2是有闪电活动时两地  $SI$  的统计分析结果,杭州地区的  $SI$  平均值小于兰州地区,杭州地区约

97%的闪电活动发生在  $SI < 0$  °C 的区域。比较而言,兰州地区的  $SI$  值较大。对两地地闪频数和  $SI$  的相关性分析发现,随着  $SI$  的增加,地闪频数都有减小的趋势。而杭州地区  $SI$  值较小,所以发生闪电的频次更高。

表 2  $SI$  的分析结果Tab. 2 Analysis results of  $SI$ 

沙氏指数( $SI$ )	有闪电活动	
	杭州	兰州
最大值/K	1.1	11.3
最小值/K	-7.5	-8.5
平均值/K	-3.7	0.2
$SI > 0$ 所占的比例	3%	59%
$SI < 0$ 所占的比例	97%	41%
$SI > -3$ 所占的比例	40%	92%
$SI < -3$ 所占的比例	60%	8%

### 3.3 对流有效位能的分析

对流有效位能(CAPE)是强对流天气分析预报的一个重要参数,其定义为

$$CAPE = g \int_{Z_{LFC}}^{Z_{EL}} \left[ \frac{T_{vp} - T_{ve}}{T_{ve}} \right] dz$$

其中, $g$ 为重力加速度, $T_{vp}$ 是气块的虚温, $T_{ve}$ 是环境的虚温, $Z_{LFC}$ 是自由对流高度, $Z_{EL}$ 是平衡高度<sup>[4]</sup>。在埃玛图中,CAPE代表由层结曲线和状态曲线相交的正面积区,体现了不稳定能量的大小。

由表3看到,当有闪电活动时,两地CAPE的值差别很大,杭州附近地区的CAPE平均值约为兰州附近地区的5倍左右,这表明杭州附近地区对流系统较深厚。以CAPE=400为一个判别点时,杭州地区有74%出现在CAPE>400情况下,郑栋<sup>[4]</sup>对北京地区125个闪电活动过程分析表明:61.6%出现在CAPE>400的情况下。但兰州地区由于CAPE值较小,因此大多数闪电活动仍然发生在CAPE<400的情况下。同时,兰州附近地区的单位CAPE的闪电数远大于杭州附近地区,即较小的CAPE变化将引起相对较大的闪电频数变化,而杭州附近地

区闪电频数对CAPE变化的敏感性要差的多<sup>[11]</sup>。

表 3 CAPE 的分析结果

Tab. 3 Comparison of convective available potential energy

对流有效位能(CAPE)	有闪电活动	
	杭州	兰州
最大值/(J·kg <sup>-1</sup> )	3 929	3 482
最小值/(J·kg <sup>-1</sup> )	16	0.4
平均值/(J·kg <sup>-1</sup> )	1 520	318
CAPE > 400 所占的比例	74%	22%
CAPE < 400 所占的比例	26%	78%
单位CAPE的地闪数	0.73	1.44

### 3.4 对流抑制能量(CIN)的分析

CIN正比于热力学图解上底部层结曲线和状态曲线相交的负面积区,体现了阻止对流发生的能量大小。研究表明,一定的对流抑制能量有利于闪电的发生<sup>[12]</sup>。表4是杭州和兰州地区对流抑制能量的分析结果,可以看出,有闪电活动时,杭州地区的CIN平均值远大于兰州地区,并且地闪频数对CIN变化的敏感性要比兰州地区强。

表 4 CIN 的分析结果

Tab. 4 Comparison of convective inhibition energy

对流抑制能量(CIN)	有闪电活动	
	杭州	兰州
最大值/(J·kg <sup>-1</sup> )	715	691
最小值/(J·kg <sup>-1</sup> )	7.2	2.9
平均值/(J·kg <sup>-1</sup> )	297.5	191.4
单位闪电的CIN值	0.27	0.87
单位CIN的地闪数	3.7	1.15

## 4 闪电活动与各因子的关系

为了研究两地地面相对湿度、沙氏指数、对流有效位能和对流抑制能量这4个因子与闪电频数的关系,筛选6~8月间的记录,杭州地区共得到样本90个,兰州地区得到样本59个,对上述4个大气不稳定参数进行排列组合,经过地闪频数与不同参数的线性分析,发现当4个因子同时作用时相关性最好,

最后得到两地地闪频数  $y$  与气象因子之间的回归方程,其中杭州地区的多元回归表达式为:

$$y = -3121.65998 + 46.06664f - 13.38536SI + 0.05355CAPE + 2.24031CIN$$

拟合结果与实际结果进行相关性分析得到的相关系数  $R$  约为 0.3。

兰州地区的多元回归表达式为:

$$y = 9.57732 + 2.95421f - 7.38962SI - 0.05151CAPE + 0.24208CIN$$

拟合结果与实际结果相关性分析得到的相关系数  $R$  约为 0.4。可见,由回归方程得到的地闪个数与 4 个影响因子具有一定的线性相关性,但拟合效果并不理想。

对两地地闪频数与 4 个影响因子分别进行一元线性回归,发现在杭州地区,地闪频数与对流抑制能量的相关性最大,相关系数约为 0.3,而兰州地区地面相对湿度对地闪频数的影响最大,约为 0.4。这从另一个方面说明在我国西北干旱地区,地面相对湿度对闪电的发生起主要作用,而在对流较易发生的东南地区,对流抑制能量对闪电活动有着很大的影响。

## 5 结 论

(1)浙江地区的雷电活动主要集中在海洋、湖泊附近,甘肃中部地区的雷电活动主要集中在山脉之间。

(2)地面相对湿度、沙氏指数、对流有效位能以及对流抑制能量对杭州和兰州两地的闪电活动均有影响,但影响程度并不相同,通过多元线性回归得到两地大气不稳定参数与闪电频数的相关性,杭州附近地区的相关系数  $R$  约为 0.3,兰州附近地区的相关系数  $R$  约为 0.4。

(3)对两地地闪频数与 4 个影响因子分别进行一元线性回归,结果表明杭州地区地闪频数与对流

抑制能量的相关性较大,而兰州地区地面相对湿度对闪电活动的影响较大。

由于资料的年限较短,可能会给分析带来一些不确定因素,随着资料的积累,相信会有更详细的分析结果。

致谢:感谢浙江省防雷中心提供的资料,感谢张慧良老师对本研究的支持。

## 参考文献:

- [1] Neumann CJ. Thunderstorm forecasting at Cape Kennedy, Florida, utilizing multiple regression techniques[R]. NOAA Technical Memorandum NWS SOS-8, Space Operations Support Division, U. S. Department of Commerce, Silver Spring, Maryland, 1971, 44, NTIS COM-72-10237.
- [2] Neumann CJ. Thunderstorm forecasting system at the Kennedy Space Center[J]. J Appl Meteor, 1971, 10:921-936.
- [3] Solomon R, M Baker. Electrification of New Mexico thunder-storms [J]. Mon Wea Rev, 1994, 122:1878-1886.
- [4] 郑栋, 张义军, 吕伟涛, 等. 大气不稳定参数与闪电活动的预报[J]. 高原气象, 2005, 24(2):196-203.
- [5] 熊亚军, 鄯秀书, 周筠珺, 等. 区域闪电活动对地面相对湿度的响应[J]. 地球物理学报, 2006, 49(2):367-374.
- [6] 张翠华, 张义军, 鄯秀书, 等. 平凉地区对流风暴地闪活动与环境层结因子相关性分析[J]. 高原气象, 2002, 21(6):32-36.
- [7] 张喜轩, 张翠华. 闪电与大气层结因子相关性的探讨[J]. 气象学报, 1990, 48(1):102-107.
- [8] 鄯秀书, R. Toumi, 周筠珺. 青藏高原中部地区闪电活动特征及其对对流最大不稳定能量的响应[J]. 科学通报, 2003, 48(1):87-90.
- [9] 梁华, 张涛, 姚延锋, 等. 闪电定位误差评估与实例分析[J]. 干旱气象, 2007, 25(4):56-61.
- [10] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 天气学原理和方法[M]. 北京:气象出版社, 2003. 440-441.
- [11] 刘岩, 王振会, 康凤琴, 等. 浙江和甘肃两地区地闪特征的初步对比分析[J]. 高原气象, 2009, 28(3):669-674.
- [12] 郑栋, 张义军, 马明, 等. 大气环境层结对闪电活动影响的模拟研究[J]. 气象学报, 2007, 65(4):623-632.

(下转至 159 页)

- 26.
- [15] 李栋梁,魏丽,蔡英,等. 中国西北现代气候变化事实与未来趋势展望[J]. 冰川冻土,2003(2):135-142.
- [16] 任国玉,郭军,徐铭志,等. 近50年中国地面气候变化基本特征[J]. 气象学报,2005,63(6):942-956.
- [17] 蓝永超,仵彦卿,康尔泗,等. 祁连山北麓出山径流对气候变化的响应[J]. 兰州大学学报(自然科学版),2001,37(4):125-132.
- [18] 李栋梁,冯建英,陈雷,等. 黑河流量和祁连山气候的年代际变化[J]. 高原气象,2003,22(2):104-110.
- [19] 蓝永超,丁永建,康尔泗. 近50年来黑河山区汇流区温度及降水变化趋势[J]. 高原气象,2004,23(5):723-727.
- [20] 陈少勇,董安祥,韩通. 祁连山东、西部夏季降水量时空分布的差异及其成因研究[J]. 南京气象学院学报,2007,30(5):715-719.

## Comparison of Precipitation Resource Variation in East of Hexi Corridor

LI lingping<sup>1,2</sup>, LI Yanying<sup>2</sup>, XI Lizong<sup>3</sup>

- (1. Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Key Open Laboratory of Arid Climate Change and Disaster Reduction of CMA, Institute of Arid Meteorology, CMA, Lanzhou 730020, China;  
2. Wuwei Meteorological Bureau of Gansu Province, Wuwei 733000, China)

**Abstract:** The daily rainfall data of 5 weather stations in east of Hexi corridor from 1971 to 2007 are used to analyze the temporal and spatial variation of precipitation events. The results show that there were three rainstorm events in east of Hexi corridor in recent 47 years, one occurred in the eastern mountain area of Hexi corridor and another two in the eastern plain areas in the 1980s and the 1990s. The total rainfall days, light rain, moderate rain and heavy rain days in the eastern plain areas of Hexi corridor presented decreasing trend, but in mountain areas they presented ascending trend. Total rainfall days decrease in plain areas was mostly due to decreasing of light rain days there, while in mountain areas increase in total rainfall days was mostly due to increasing of light rain events. The intensity of annual precipitation, light rain and heavy rain in the eastern plain and mountain areas of Hexi corridor presented significant increasing trend in recent 47 years, but moderate rain intensity decreased. The annual mean precipitation presented an increase trend in the eastern plain and mountain areas of Hexi corridor. The contribution of light rain and heavy rain to annual precipitation increased in plain areas, and the contribution of light rain and moderate rain to annual precipitation decreased slightly in mountain areas.

**Key words:** east of Hexi corridor; plain area; mountain area; precipitation event; variation characteristic

(上接第147页)

## Study on Relationship Between Lightning Activity and Atmospheric Instability Parameters in Lanzhou and Hangzhou Areas

LIU Yan<sup>1</sup>, LI Zheng<sup>2</sup>, KANG Fengqin<sup>3</sup>

- (1. Lightning Protection Center of Anhui Province, Hefei 230016, China;  
2. Jiangsu Provincial Meteorological Bureau, Nanjing 210009, China;  
3. Gansu Provincial Meteorological Bureau, Lanzhou 730020, China)

**Abstract:** Based on the cloud-to-ground flashes data obtained by lightning location system from Gansu and Zhejiang, the temporal and spatial distribution features of lightning activities have been analyzed respectively. In addition, by using ground and sounding data in lightning activity processes, the relationship between lightning activity and atmospheric instability parameters is analyzed in the paper. The results indicated that the relative humidity of surface, SI, convective available potential energy(CAPE) and convective inhibition energy(CIN) were all impact factors of lightning activities, but the CIN has a greater impact on the lightning activities in Hangzhou and the relative humidity of the surface play a decisive role in Lanzhou.

**Key words:** Lanzhou and Hangzhou areas; lightning activity; atmospheric parameters