

文章编号 :1006-7639(2004)-02-0045-07

兰州周边地闪分布特征

李照荣¹, 陈添宇², 康凤琴², 庞朝云¹, 杨增梓¹, 丁瑞津¹, 安林³

(1. 甘肃省人工影响天气办公室, 甘肃 兰州 730020 2. 兰州干旱气象研究所, 甘肃 兰州 730020;
3. 兰州市气象局, 甘肃 兰州 730020)

摘 要 利用 2000 年和 2002 年设在兰州的闪电定位仪资料, 分析了兰州周边地区地闪的日频次变化、强度谱分布和累计百分数、日均月变化、闪电密度、极性等特征, 并与山东地区的分布做了比较。结果表明, 兰州周边地区的云—地闪电中负闪占绝大多数, 正闪的平均强度大于负闪, 正负闪的比值在午后至次日凌晨大于其均值; 总地闪和负闪的日变化呈典型的双峰变化, 正闪的双峰特征不明显; 兰州西南偏南的渭源和陇西县是闪电频发的中心地带, 闪电空间分布中心与冰雹发生源地和影响区对应一致; 闪电多发区与地形和气候背景有很大关系。

关键词 云—地闪电, 分布特征, 冰雹

中图分类号 P427.3

文献标识码 B

引 言

兰州周边地区在春夏季频繁发生强对流天气过程, 造成冰雹、雷暴等气象自然灾害, 破坏当地薄弱的雨养农业生态结构, 威胁人们的生产生活。闪电是在对流性天气中常伴有的大气电现象, 它的分布特征能在一定程度上反映激烈局地天气变化情况, 通过研究闪电不但对了解对流性天气系统的结构及其演变规律有重要意义, 而且为人们避免受到闪电危害提供帮助。Rust 和 Arnold 认为云地间有正负两种闪电, 对流云中负电荷主要位于云体的下部, 相应的正电荷位于云体上部, 因此云的主体与地面间放电大多为负闪, 而云的边缘部分, 特别是云砧部分和地面之间的放电大多为正闪。美国的闪电密度等值线的走向和地形等高线大体平行, 最大的闪电密度位于落基山的东麓, 而京津冀地区的太行山东麓也是闪电的集中带。Workman 和 Reynolds(1950 年)^[1]报道了, 在雷暴活动的初期, 正中心似乎比较接近于负中心, 但当雷暴发展时, 正中心就向上移动, 而负中心似乎保持不动, 闪电往往在最强的雷暴单体中心产生, 其峰值闪电频数发生的时间恰好是风暴云顶温度最冷的时间。冯桂力等^[2]利用 1998

~2000 年山东地区雷电探测网获取的云对地闪电资料, 从闪电的日变化、强度、密度和极性等方面研究了山东地区的雷电分布特征。本文利用 XDD03A 型雷电探测系统提供的闪电资料对兰州周围地区闪电活动特征进行分析, 以加深对该地区闪电活动规律与闪电特征以及对流天气、地形关系的认识。

1 资料和分析方法

本文所用的闪电资料取自设在兰州的信息产业部第 22 研究所(电波传播研究所)XDD03A 闪电定位仪, 兰州 25km 范围内是该设备的强闪电仪器保护区, 无探测资料。该系统通过环形天线接收东西与南北向的两路磁场信号来测定闪电的方向, 其距离定位采用所接收的闪电信号本身所携带的信息进行测定。这种测距方法是在信号接收机中设计了 1.1, 1.9, 3.0, 4.1kHz 4 个窄带选频放大器, 从接收的 E 分量电磁脉冲中提出 4 个频率的分量, 对其峰值采样, 输入计算机求出各分量的幅度比, 再利用极低频电波的传播色散特性, 估计其距离。该系统可以全天候监测 500km 范围内的地闪, 给出地闪出现的时间、位置、强度和极性。采用 2000 年 6~10 月,

收稿日期 2004-04-30 改回日期 2004-05-31

基金项目 本研究由科技部社会公益性研究课题“西北地区防雹消雹技术”(2002DIB10046)和“闪电定位仪应用研究”项目(2004 人影-1)共同资助。

作者简介 李照荣(1972-), 男, 甘肃白银人, 工程师, 从事人工影响天气工作. E-mail: gsryb@public.lz.gs.cn

2002年4~10月共275个闪电日(指至少纪录到1次闪电的天数),共观测到118744个云—地闪,图1给出了兰州周围地区的范围。每个闪电资料包括时间、位置(经纬度)、极性(正、负)和电流强度4个参数。

为了分析闪电的基本气候概况,分别计算了全部样本中正闪(发生在云中正电荷中心于地物间的闪电)和负闪(发生在云中负电荷中心于地物间的闪电)的平均强度和比例。将全部闪电强度按照总闪、负闪、正闪以1000A为间隔,从1000A~30000A共31个段计算强度谱分布和累计百分比,做出分布图。对于日变化规律,分别统计了00:00~01:00,01:00~02:00,...和23:00~00:00(BJ)中每小时的闪电总数和平均强度(取绝对值)。对于闪电的空间特征,以兰州为中心,将整个区域分成21×21的正方形网格,格距为15km,统计出每个格点周围7.5km范围(正方形)内的闪电总数(简称闪电密度)。

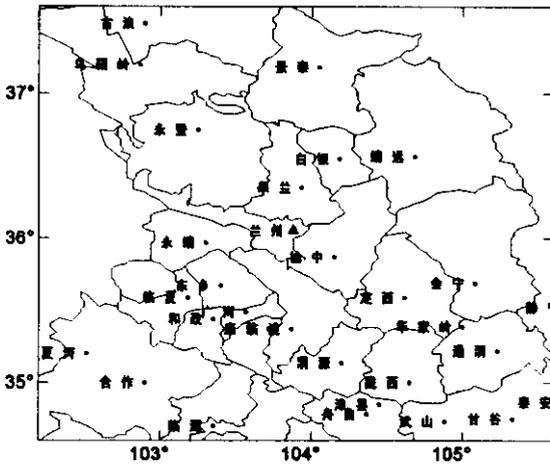


图1 兰州周边地区范围(实三角为闪电定位仪)

Fig.1 Regions around Lanzhou(solid triangle represents the position of DF)

2 闪电特征概述

通常,当电荷中心局部地区的大气电场达到 10^3kV/m 左右时,云雾大气便会击穿形成闪电。在两年275个闪电日共探测到的118749个云—地闪,日均为432次,负闪为100097个,占84.3%,平均强度为4653.15A,正闪为18652个,占15.7%,平均强度为5640.21A。可以看出兰州市周围地区的负闪很多,但平均强度较弱;正闪相对较少,电流强度较大。正闪在总地闪中的比例要比山东地区的大,而正负闪电的平均强度都比山东的小,可能是由

于两地局地对流天气的形成和发展条件有差异所致。由于大多数地闪发生在云下部的负电荷区与地表之间,所以一次雷暴过程中的负闪数要远多于正闪的数目。在我国北方地区雷暴云底部存在较大范围的正电荷区,雷暴云基本呈现为上下两端为正,中间为负的三极性结构。同时大量的观测与模拟结果表明,雷暴云中负电荷区的电荷密度比正电荷区大一个量级,因此负地闪的回击数要比正地闪的多^[3]。

3 闪电频次的日变化

图2分别给出了275个闪电日平均的闪电逐时变化曲线和最多月8月的地闪日变化。从中可以看出兰州周边地区云—地总闪日变化曲线呈双峰分布,峰值出现在凌晨04时和下午17时,17时是闪电的频次日均最高值,04时是次高值,上午10时左右是闪电最少时段,与冯桂力等^[2]分析的山东地区闪电日变化趋势一致。但是山东地区的闪电日变化2个双峰值非常接近,而兰州周边地区17时的峰值是04时峰值的近2倍,主单峰特征更突出,闪电日变化更加剧烈,从另一方面也反映出山东地区凌晨比兰州周边地区有更适合雷暴云闪电发生的条件。云—地负闪的日变化趋向与总闪变化基本一致,呈与总闪相似的双峰型,主峰特征明显,而正闪虽然有一致的变化趋向,但双峰特征已经不明显,特别是在总闪和负闪出现次峰值时段,几乎没有次峰,基本呈单峰变化,正闪滞后于负闪发生,另外,正闪频次的日变化相对于总闪和负闪非常缓慢。8月每小时的

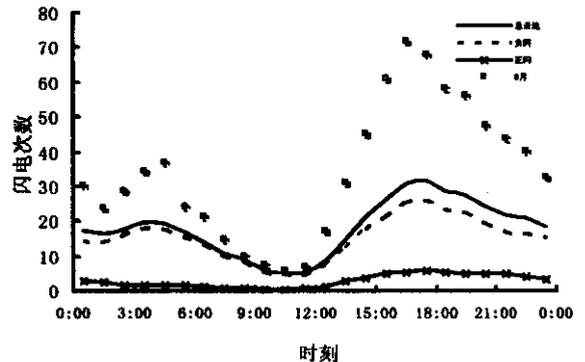


图2 闪电日变化(纵坐标为闪电次数,横坐标为时刻)

Fig.2 Daily diversification of lightning(ordinate represents frequency and abscissa is time)

闪电最多次数分布与 275 个闪电日的分布一致,但是分布主峰频次超出 275 个闪电日的很多。

在强烈发展的对流云中,常聚起足够量的空间电荷,形成分离的电荷中心,并有极高的电位差,当电位差大到一定程度就能引起雷暴闪电。通常在雷雨云上层有正的空间电荷,而在较低层有负的空间电荷,形成垂直电矩。正闪电主要发生在对流系统发展到成熟阶段以后,因此是否出现正闪,正负闪频次比值的变化,可以说明对流天气是否发展成熟,甚至对流天气的强烈程度。图 3 给出了相应资料正负闪比值的日变化曲线和其比例均值线。正负闪比值在 02:00 时~12:00 时小于其均值,其余时间大于均值,从统计意义上说明兰州周边地区较强对流天气一般在 12 时以后容易出现,在 17 时是一天中对流天气最易发展成熟的时段,而在 02:00~12:00 时段,对流天气相对不易发展成熟,形成强的冰雹天气,这与冰雹多发生在下午不无关系。

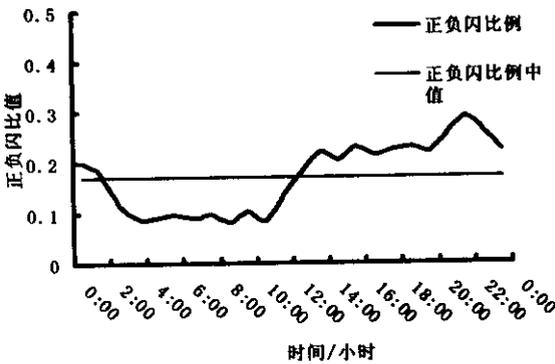


图 3 正负闪电比值日变化

Fig. 3 Daily diversification of ratio between positive and negative CG lightning

4 闪电频次和强度的月变化

表 1 给出 2002 年闪电资料月分布特征。兰州周边地区发生地闪日均次数有明显的月变化,8 月是日均次数最多的月份,每年 4 月以前和 10 月以后日均次数非常的少,这与当地对流天气出现的气候特点是一致的,7 月和 8 月是当地一年当中对流最频繁,降水最多的月份。B. J. 梅森指出,不能把云的电活动当作凝结和降水过程颇为不同的课题来考虑,电过程和降水过程两者不可分离的联系在一起。根据雷雨云起电的降水发动机制,在自上而下的背景电场作用下,被极化带降水粒子在强对流云中被

强上升气流分选,形成上正,下负两个荷电中心,其结构的正反馈加强了这种感应起电机。从理论上说明了兰州周边地区闪电的月分布特征和春夏季的对流活动是紧密相连的。正负闪的日均次数 6,7,8 月明显多于其它月,而正负闪次数的比值有不同的分布,在 5 月,9 月,10 月,可能是在季节交替时段冷暖空气交汇比较频繁而导致的。从日均地闪强度看,6 月~9 月出现闪电强度相对其它月份较大。虽然对于分析一个地区的闪电日平均的月变化而言,利用 1a 中几个月资料来说明,还是显得单薄,但仍然能反映出闪电变化的一些特点,等积累到较多的样本后可以更细致的研究。

表 1 2002 年地闪月变化

Tab. 1 Monthly change of CG lightning in 2002

	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月
日均地闪次数	53.7	125.2	565.3	676.3	1193.4	99.6	24.9
日均负闪次数	48/3	96.4	495.0	583.2	1063.9	81.3	19.4
日均正闪次数	5.3	28.8	70.2	92.2	129.5	18.3	5.4
正负闪比值	0.11	0.30	0.14	0.12	0.12	0.23	0.28
日均地闪强度	2884.7	3990.8	4431.9	4111.5	4275.6	4390.1	4864.0

5 闪电强度的变化特征

从图 4 所示的不同强度总闪、负闪和正闪的谱分布可以看出,总闪和负闪呈正态分布,闪电强度在 4 000A~5 000A 之间总闪和负闪比例最大,分别为 17.5% 和 18.4%,分布集中。正闪分布有双峰特征,即在 1 000A 以下和 3 000A~5 000A 出现 2 个 2.4% 的峰值段,谱宽比负闪的大。正闪分布与山东地区的不同^[2],山东是单峰分布,峰值位于 2000A~3000A 范围,显示出正闪的分布有很强的地域特征。

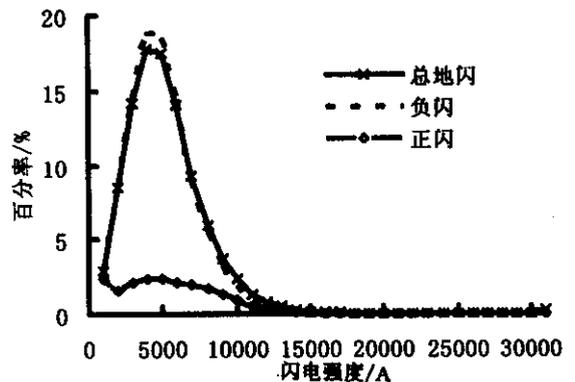


图 4 闪电谱分布

Fig. 4 Spectra distribution of lightning

图 5 给出了总闪、负闪和正闪累计百分率的分布曲线。95.3% 的负闪强度在 9 000A 以下,96% 的

负闪强度在 12 000A 以下 4 000A~11 000A 之间正闪累计百分率增长率大于负闪相应值,在此区间正闪的平均强度值没有负闪强度的值分布集中。

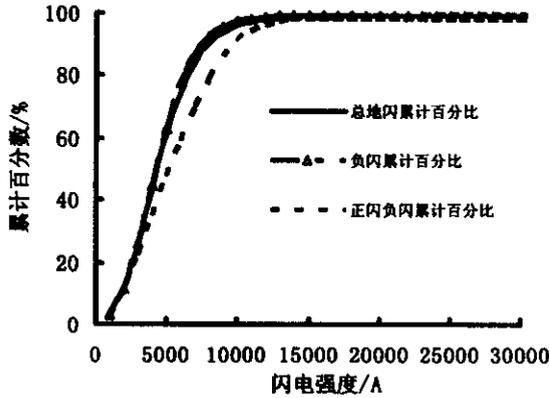


图 5 闪电的累计分布

Fig.5 Accumulative frequency of lightning

6 闪电密度分布特征

兰州周边地区的总地闪的密度分布如图 6 所示,单位:次/225km²。用 2a 探测的资料分析表明,闪

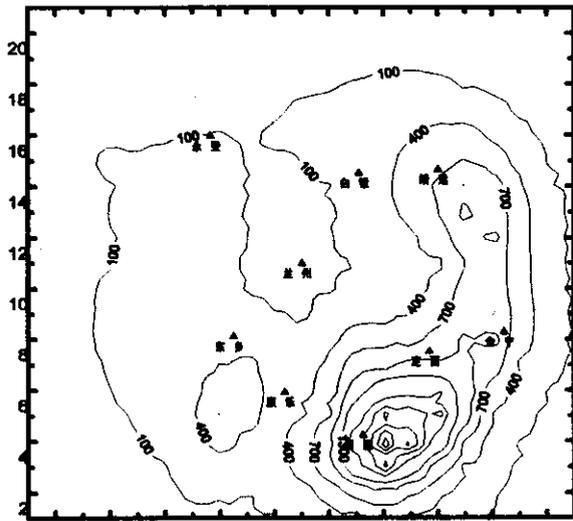


图 6 地闪空间分布(纵、横格距均为 15km,等值线间隔为 300,单位:次/km²)

Fig.6 Distribution of CG lightning density(x-y axis interval is 15km. Contour interval is 300)

电密度超过 400 次/225km² 以上的中心有 3 个,最弱一个中心为兰州西南 100km 的临夏县。次中心是一个较大的区域,位于兰州东北白银市的靖远县和会宁县境内,存在两个极值为 1 000 次/225km² 的中心区。最大的中心区域(1 000 次/225km² 以上)位于兰州东南定西地区的渭源县、陇西县和定

西县境内,最大中心值超过 2 800 次/225km²。分析发现这 3 个中心与当地的地形和冰雹气候分布很有关系。兰州周边都是高原山地,甘肃全省 4 大冰雹源地中 2 个即青藏高原的东南部和马骊山区,都影响该区域。闪电密度最大的兰州东南偏南中心正是马骊山区和太白山、南屏山山区冰雹发源地及其影响区,此中心的渭源县、陇西县和定西县是甘肃省冰雹灾害最为严重的县,也是甘肃全省防雷作业点密度最大的区域。闪电密度的东北中心位置比较特殊,呈东北—东南走向,而当地地势大致由东南向西北倾斜,海拔多在 1 500~2 400m,靖远是类似兰州地形黄河流经的一个小盆地,发源于会宁县的祖厉河在此汇入黄河,周围的山地地形和水、陆热力和湿度差异的下垫面,利于对流天气的产生和发展,产生较多的闪电。闪电的西南中心则出现在青藏高原的东南部冰雹源地产生冰雹的影响区(临夏县境内)。

图 7 给出了正负闪电密度的空间分布。由图 7 可知,负闪的分布特点与总地闪分布基本一致,只是其东北中心和西南中心的区域有所减少。正闪的分布则有所不同,闪电密度超过 100 次/225km² 的中心有 3 个,特别明显的 2 个中心分别对应总闪的东南偏南中心和东北中心,而与总闪最强中心相对应的是最弱的一个正闪中心。临夏县境内出现正闪密度最大中心可能是该地处于发源于青藏高原的东南部冰雹的主要冰雹路径上,海拔 3 000m 的太子山对此也有重要作用,由于正闪多是对流天气发展成熟以后出现的,所以导致这种分布。冰雹云发生源地和移动路径一般都比较固定,与地形和气候条件紧密联系,将总地闪的空间分布和兰州周边地区历史平均降雹日数(参见文献[3]中图 6.2)分布对照发现,总闪的 3 个中心与平均降雹日数在该地的大值区一致对应,显示出闪电与冰雹的产生有很好的相关关系。

徐国昌等^[4]将甘肃中部的降雹日变化归入午后傍晚型,这与地闪日变化的午后峰值对应,为进一步了解空间上的日变化,把一天分为 00:00~06:00(早晨)、06:00~12:00(上午)、12:00~18:00(下午)、18:00~24:00(晚上)4 个时间段,计算闪电密度分布,得到图 8。总地闪日变化的空间分布很有特点,首先,总闪在不同时段的空间区域变化很大,超过 100 次的面积下午最大,晚上次之,这是因为这段时间平均日地面温度较高,加上近地层较多的水汽,在低层空气出现不稳定,容易触发对流天气,故

7月和8月的下午是雷阵雨天气多发时段;其次,总闪中心有明显的地域变化,除了兰州东南偏南的渭源和陇西是中心外,靖远—会宁区域出现第2中心,在下午的图上,永登县境内的毛毛山附近凸现出第

3中心,此中心处是影响兰州市冰雹的主要发源地;最后,早晨的闪电多发区相当集中,在兰州西南偏南7×7格子内,分布了90%以上的闪电,密度最大超过1100次,等值线的分布是4个时段中最密集的,说

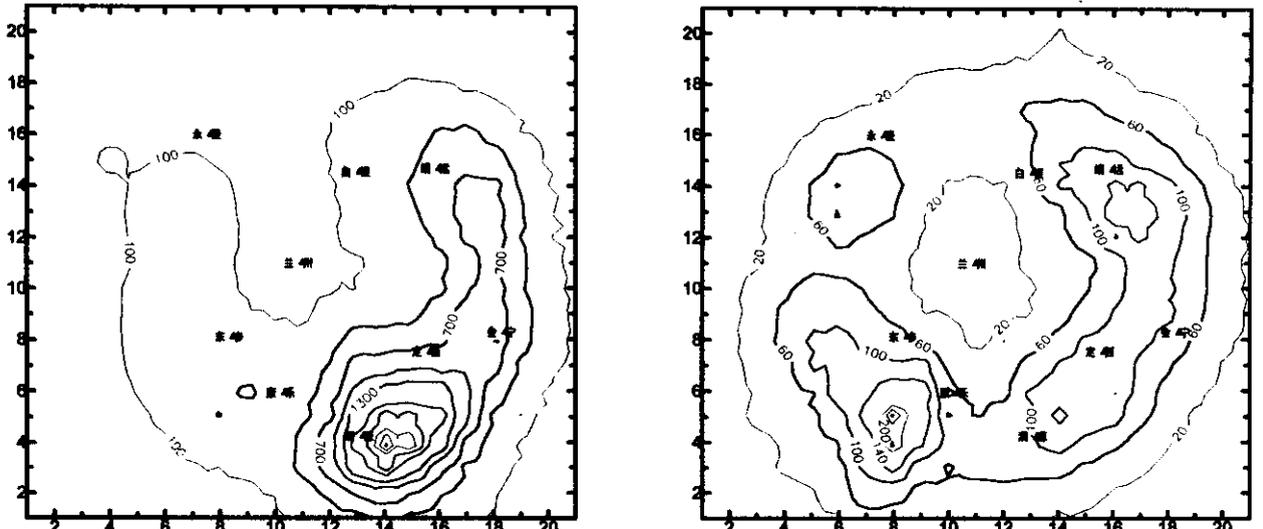


图7 负正闪密度分布(左图为负闪,等值线间隔300,右图为正闪,等值线间隔40,其它同图6)

Fig.7 Distribution of positive and negative CG lightning density(Left is negative lightning density, contour interval is 300, and right is positive lightning density, contour interval is 40, and others as Fig.6)

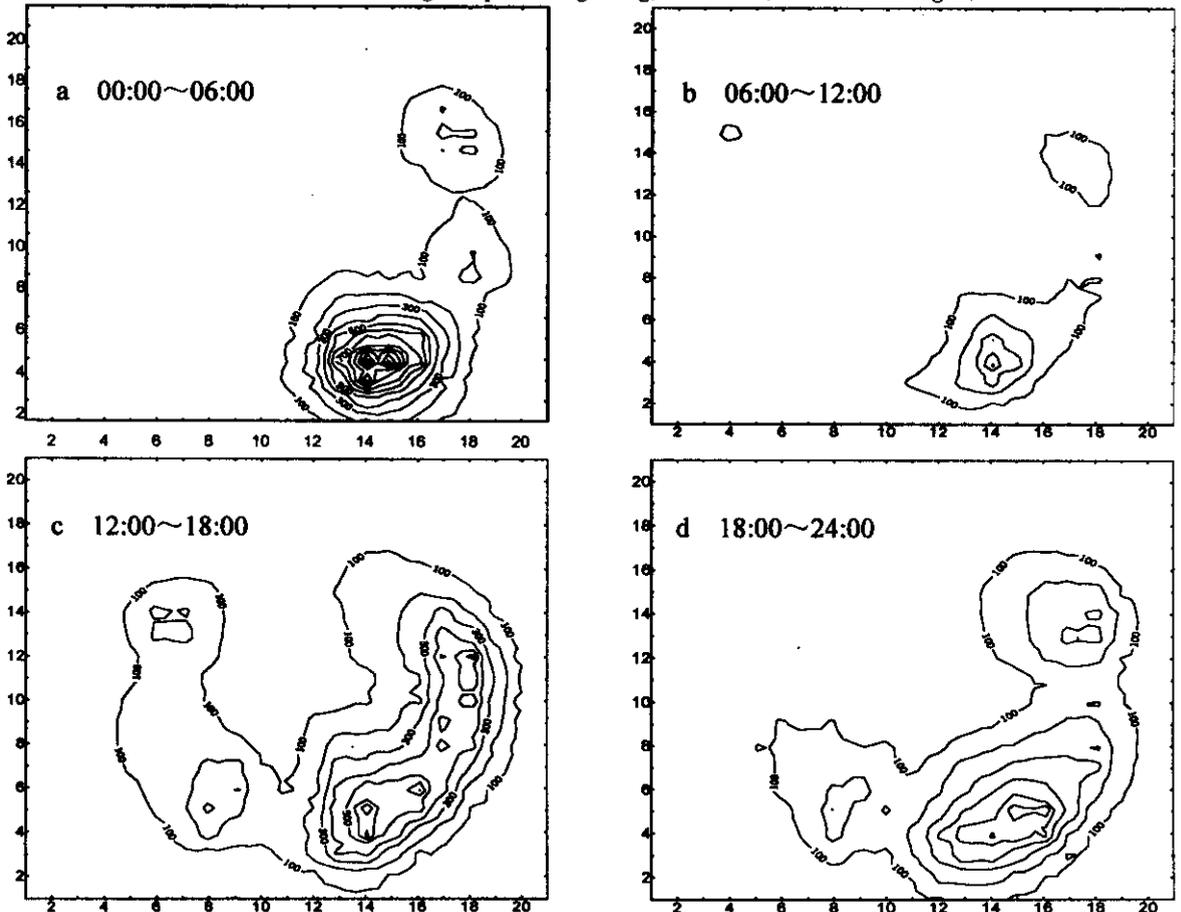


图8 地闪在4个时段内的密度分布(等值线隔间为100,其它同图6)

Fig.8 Distribution of CG lightning density during 4 period of time(contour interval is 100, and others as Fig.6)

明该地凌晨的闪电频次非常高,时空变化非常大,对于它发生具体原因有待进一步的研究。W. R. Cotton 指出^[5],最多的云—地闪电的制造者是组织中尺度的风暴系统,它们由大量的多单体对流元组成。因此地闪的这些特征能在一定程度上反映兰州周边的对流天气分布情况。

7 闪电分布特征与天气气候和地形有关讨论

西北地区夏季多处于青藏高原的前部,以晴天为主。但在西北气流中常有冷空气和相伴的小槽,沿西北气流向东南移动,形成雷雨冰雹天气,一般降水量不大,这是西北地区夏季降雹的主要流型,兰州西边是永登境内祁连山东段海拔 2 600m 的毛毛山,南边 40km² 是西北—东南走向最高 3 670m 的马鬃山山区,140km² 处是青藏高原西南部包括南屏山、太白山、马面山,海拔均在 3 000m 以上,呈西北—东南走向,有黄河、洮河、渭河、祖厉河等水系贯穿其间,复杂的局地地形的抬升作用容易触发和形成对流天气,是闪电频频发生的主要因素。就此我们以闪电最集中的渭源和陇西为例加以探讨。渭源和陇西地处同为西北—东南走向的马鬃山和青藏高原西南部延伸山系中间,渭水源头,本区在渭源鸟鼠山—华家岭一线以北属温带半湿润气候,每年春夏因地形抬升等原因造成对流天气过程频繁,表 2 给出了 2002 年 8 月 4 次过程渭源和陇西的各项参数和对应的天气形势,从中可以看到高压切变是产生

表 2 2002 年 8 月 4 次过程渭源、陇西出现
积雨云时次及前后 1h 闪电数

Tab. 2 lightning number which occurred during cumulonimbus
evloution period in August 2002 in Weiyuan
and Longxi regions

日期	时次	6h 降水量(mm)		闪电数			天气形势 与风向
		渭源县	陇西县	总数	负闪	正闪	
2002.7.26	14	5.0	*T	63	59	4	小低涡
2002.8.1	14	0.1	无	173	171	2	高压 NE
2002.8.5	20	无	2	104	102	2	高压切变 NE
2002.8.17	14	无	无	120	113	7	高压切变 NE

夏季闪电的主要天气形势。

8 小 结

(1) 兰州周边地区春夏季闪电频繁发生,在统计的 275 个闪电日的 118 744 次云地闪中,日均为 432 次,负闪占 84.3%,平均强度为 4 653.15A,正闪占 15.7%,平均强度为 5 640.21A,正负闪电的平均强度都小于山东地区。

(2) 总地闪和负闪日变化呈明显的双峰变化,下午 17 时和凌晨 04 时出现两个峰值,上午 10 时左右是闪电最少时段,正闪呈主单峰变化,正负闪比值在 12 00~00 00 时段大于均值,说明午后的对流更易发展成。闪电各月的日平均频次表明,8 月是闪电最多的月份。

(3) 闪电的发生有明显的地域特征,在兰州周边有 3 个最强的地闪中心,其中以兰州西南偏南的渭源和陇西为其强中心,靖远和会宁形成次强中心,临夏出现第 3 个闪电中心,这些中心分别出现在当地冰雹源区及其影响区,历史平均降雹日数中心与之一致对应。

(4) 闪电的空间和强度分布特征与西北地区春夏季的气候背景以及局地地形,水系分布有很大关系,区域闪电的产生有各自不同的热力和动力机制,其中具体原因有待进一步研究。

参考文献:

- [1] [英] B. J. 梅森. 云物理学 [M]. 北京: 科学出版社, 1978. 531 - 574.
- [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, 13(3): 347 - 355.
- [3] 张敏锋, 刘欣生, 葛正谟. 我国北方地区雷电活动的时空特征 [J]. 高原气象, 19(3): 277 - 284.
- [4] 白肇烨, 徐国昌, 孙学筠, 等. 中国西北天气 [M]. 北京: 气象出版社, 1988. 117 - 139, 258 - 310.
- [5] W. R. Cotton, R. A. Anthes (著), 叶家东, 范蓓芬, 程麟生, 等译. 风暴和云动力学 [M]. 北京: 气象出版社, 1993. 1 - 37.

Lightning Distribution Characteristics around Lanzhou

LI Zhao-rong¹, CHEN Tian-yu¹, KANG Feng-qin², PANG Chao-yun¹, YANG Zeng-zi¹,
DING Rui-jin¹, AN Ling³

(1. Gansu Weather Modification Office, Lanzhou 730020, China ;

2. Institute of Arid Meteorology, CMA, Lanzhou 730020, China ;

3. Lanzhou Weasther Modificafion Office, Lanzhou 730020, China)

Abstract :By using the lightning data in 2000 and 2002 around Lanzhou, lightning characteristics such as daily variation, spatial density, intensity and polarity of lightning are analyzed and also compared with those in Shandong province. The results indicate that major cloud-to-ground (CG) flashes of lightning are negative. The mean intensity of positive flashes is stronger than that of negative flashes and their ratio is over average during 12 00 to 00 00. Daily variety of the CG and negative flashes is bimodal undulance, other than positive flashes unimodal. The biggest flashes frequency center locates in Weiyuan and Longxi county, and accord with the location of hail source area and hail affecting zone. Furthermore, the spatial distribution of lightning is closely related to the topography and underlying surface and synoptic climatic background.

Key words :cloud-to-ground lightning, distribution characteristics, hail