

杨晓军, 刘维成, 宋强, 等. 甘肃中部地区短时强降水与闪电关系初步分析[J]. 干旱气象, 2015, 33(5): 802-807, [YANG Xiaojun, LIU Weicheng, SONG Qiang, et al. Analysis on Relationship Between Short-term Strong Rainfall and Lightning in Middle Gansu Province[J]. Journal of Arid Meteorology, 2015, 33(5): 802-807], doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2015)-05-0802

甘肃中部地区短时强降水与闪电关系初步分析

杨晓军¹, 刘维成¹, 宋强¹, 肖玮¹, 乔丫芸², 石延召¹

(1. 兰州中心气象台, 甘肃 兰州 730020; 2. 兰州大学大气科学学院, 甘肃 兰州 730000)

摘要:利用2008~2013年甘肃中部地区布网的LD-II闪电定位系统观测到的地闪定位资料及区域自动站小时降水资料,将闪电单位资料处理成时间分辨率为1h、空间分辨率为 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ (经纬度,面积约为 100 km^2)的空间网格闪电密度数据,并与该区域中的区域站降水量作对比分析。结果表明:正闪比例与降水强度有较好的正相关;闪电密度的时空分布与强降水时空分布有较好的一致性,但在时间上闪电密度的变化提前于强降水落区的变化;闪电密度 $>9 \text{ 次}/100 \text{ km}^2 \cdot \text{h}$ 和 $>5 \text{ 次}/100 \text{ km}^2 \cdot \text{h}$ 阈值分别对 $>20 \text{ mm/h}$ 和 10 mm/h 短时强降水预警,其命中率很高。

关键词:短时强降水;闪电探测资料;甘肃中部

文章编号:1006-7639(2015)-05-0802-06 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2015)-05-0802

中图分类号:P427.32⁺³

文献标识码:A

引言

闪电和降水关系具有较为丰富的内涵。降水来源于云内粒子的增长、下落,而云内粒子,特别是混合相态区域的冰相粒子又是电荷的载体,并在动力和微物理过程的作用下产生相应的电荷结构,电荷结构又决定了放电的特征。所以,闪电和降水关系的探讨实际上涉及了闪电与地面降水、闪电与云内粒子、电荷结构与闪电以及这其中的动力和微物理机制^[1-2]。

闪电活动发生的前提是对流运动,而对流运动所导致的对流性降水往往是暖季对流系统降水的主体,其强度和累积降水量都较大,是产生灾害的主要降水类型。所以,闪电与降水的研究是针对那些产生闪电活动的对流性天气过程进行的,对流性降水是两者关系研究中所关注的重点^[3-4]。而且由于发生在暖季的强降水天气,往往伴随着明显的闪电活动,所以闪电活动信息的应用对强雷暴的发生、发展和消亡过程能起到较好的指示作用^[5],通过地闪和地面降水关系的研究^[6-7],可以使用地闪信息对降水进行估算,为提高降水预警水平提供一种新的手段和补充。

李照荣^[8]、王道洪^[9]、张义军^[10]等分别对甘肃兰州周边地区、甘肃中川地区、甘肃平凉地区正地闪特征进行分析,得到上述地区地闪的分布特征;刘维成等^[11-12]通过甘肃省地闪特征分析及雷电预警研究,得到了甘肃省地闪分布特征。上述研究都是围绕甘肃省境内地闪分布特征展开,地闪与地面降水的对应关系研究成果较少,本文利用2008~2013年甘肃中部地区布网的LD-II闪电定位系统观测到的地闪定位资料及区域自动站小时降水资料,对甘肃中部地闪和强降水关系进行初步研究,找出地闪与短时强降水的关系,以为短时强降水预警工作提供参考依据。

1 资料和方法

所用数据为2种:甘肃省区域站雨量观测资料(该资料的时间分辨率为1h),及甘肃中部地区布网的LD-II闪电定位系统观测到的地闪定位资料。

LD-II型时差法雷电定位系统是以测量雷击甚低频电磁脉冲到达不同基站雷电定位仪的时间差作为定位基础,精确地测定出闪电发生的地理位置。一个完整的多站雷电监测系统由4个或4个以上的

收稿日期:2014-07-29; 改回日期:2014-11-11

基金项目:中国气象局关键技术与应用项目(CMAGJ2013Z09)、预报员专项(CMAYBY2013-071)、公益性行业(气象)科研专项(GY-HY201306006、GYHY201206029)共同资助

作者简介:杨晓军(1980-),男,陕西神木人,工程师,主要从事天气预报工作。

雷电定位仪、一个数据处理中心站、若干显示终端和通信网络组成。雷电定位仪用授时型 GPS 作时间基准,时间精度达 $0.1 \mu s$ 。闪电定位仪按监测范围的大小,布设成几十到几百公里基线的网阵,各个定位仪将接收到的雷电信息和 GPS 信息,通过通信信道传送到中心站计算机,进行时差定位计算,得到雷击的时间、位置、强度、极性、雷电流等雷电参数。多站雷电定位系统探测距离可达 300 km,主要地区闪电定位精度优于 300 m,区域范围内闪电定位精度可达 500 m^[13]。甘肃中部的 LD-II 型闪电定位网共有 5 个单站探头,1 个分析处理器,5 个单站分别位于永登、靖远、临夏、定西和兰州,其分布见图 1,完全覆盖甘肃中部地区。闪电探测资料包括闪电发生序号、时间、经度、纬度、闪电强度、电荷量、类型等。

具体分析时,通过分析闪电定位数据,统计每个网格内的地闪数目(根据地闪落点位置统计),将该数据处理成时间分辨率为 1 h、空间分辨率为 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ (经纬度,面积约为 100 km²) 的空间网格闪电密度数据,并与该区域中的区域站降水量作对比分析。

选取 2008 ~ 2013 年汛期发生在甘肃中部地区的 12 次强降水天气过程(表 1),从最大小时降水量分布来看,50 mm/h 以上的量级有 3 次,最大达 64 mm/h;40 ~ 49 mm/h、30 ~ 39 mm/h、20 ~ 29 mm/h 量级分别有 3 次、2 次、4 次,分布比较均匀。最大小时闪电频数基本集中在 31 ~ 59 次/100 km²,只有一次短时强降水过程中最大小时闪电频数较小,仅为 14 次/100 km²。

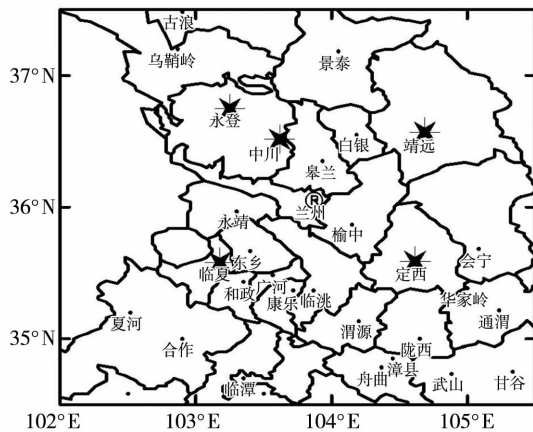


图 1 甘肃中部闪电定位网站点分布
Fig. 1 Distribution of the lightning location web sites in central Gansu

2 短时强降水过程的闪电极性

某一测站的短时强降水都由其上空具有一定尺度大小的中尺度云团或者云系造成的,为了解形成短时强降水的云团或云系上的闪电极性及与短时强降水的相关性^[14],选取测站周围一定范围内的闪电情况进行统计分析,根据强降水云团尺度一般具有几十到几百公里的特点,闪电统计范围确定为测站周围 50 km,即测站上空大约 100 km 范围降水云团或云系上的闪电。

通过分析 12 次降水过程的闪电分布(表 2),发现在所有的短时强降水过程中,闪电以负闪占绝大多数,最多占到 96.31%。正闪发生的数目极少,所占比例不到 20%,且大部分集中在 10% 以下,最少仅

表 1 12 次强降水天气过程概况

Tab. 1 The overview of 12 times stronger precipitation processes

过程时间	降水落区	最大小时降水量 /(mm/h)	最大小时闪电频数 /(次/100 km ²)
2008-07-20	临夏、兰州	28	35
2010-07-16	临夏、白银	25	34
2010-07-22	兰州、临夏、定西	34	44
2010-08-07/08	兰州、临夏、定西、白银	54	55
2010-08-10/11	临夏、定西	50	51
2010-09-01	临夏、定西	25	31
2011-08-15	兰州、临夏、定西、白银	47	48
2012-07-08	兰州、临夏、定西	24	32
2012-07-29/30	兰州、白银、临夏、定西	46	59
2013-07-03/04	定西、白银、临夏、甘南	46	35
2013-07-08/09	兰州、白银、临夏、定西	34	14
2013-08-10/11	临夏、甘南	64	39

表2 12次个例的闪电基本情况
Tab.2 The basic situation of lightning during twelve strong rainfall cases

过程时间	闪电频数/次	正闪频数/次	正闪比例/%	负闪比例/%
2008-07-20	2 142	83	3.87	96.13
2010-07-16	1 039	74	7.12	92.88
2010-07-22	352	13	3.69	96.31
2010-08-07/08	2 709	253	9.34	90.66
2010-08-10/11	1 767	115	6.51	93.49
2010-09-01	959	93	9.70	90.30
2011-08-15	1 283	50	3.90	96.10
2012-07-08	325	15	4.62	95.38
2012-07-29/30	2 159	312	14.45	85.55
2013-07-03/04	468	38	8.12	91.88
2013-07-08/09	98	6	6.12	93.88
2013-08-10/11	1 711	321	18.76	81.24

占闪电总数的 3.69%。在不同降水过程中正闪次数差异较大,正闪次数最多的为 2013-08-10/11 过程,期间发生正闪 321 次,占总闪电频数的 18.76%,而正闪发生最少的 2013-07-08/09 过程正闪仅有 6 次,占总闪电频数的 6.12%。结合表 1 中最大降水量进行相关性分析发现(图 2),正闪比例与降水强度有较好的正相关, R^2 为 0.3619,大部分过程正闪比例越大降水量越大,反之越小。

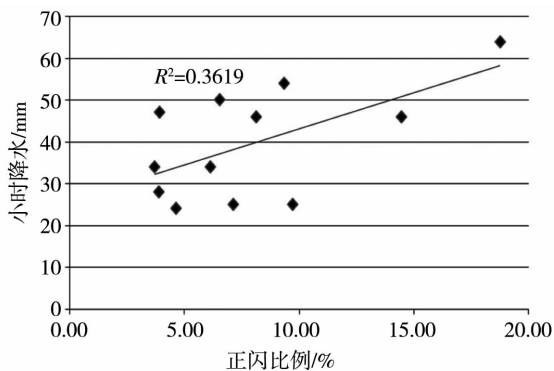


图2 正闪比例与降水量最大值相关性
Fig.2 The correlation of positive ground flash proportion and maximum hourly precipitation

3 闪电密度与降水分布的时间关系

图3为2012年7月30日和2013年7月3日2次强降水天气过程的闪电密度最大值与降水量最大值逐小时的时间变化序列。可以看出,对于甘肃中部地区,2次过程中闪电活动与降水活动的相关性较好,有较为一致的变化趋势。从闪电密度分析,2012-07-30过程从00:00开始一直处在较高闪

电频数,之后闪电活动出现“跃增”,说明对流云体发展很强烈。到02:00闪电密度达到整个降水过程的峰值59次/100 km²·h,此后对流系统开始减弱,闪电密度快速大幅下降,几乎减小到整个降水过程的最小值,然后逐步增加又减少,变为逐步振荡状态并维持低值;降水变化趋势与之类似,00:00~02:00处于快速增多趋势,之后快速减少且维持小值振荡,但其变化滞后闪电频数的变化约1h左右。2013-07-03过程闪电活动的变化趋势与前一个例类似,但其闪电密度和小时降水最大值均较小,14:00~15:00闪电频数由2次/100 km²·h跃增至25次/100 km²·h,15:00~16:00继续维持在一个较高的频数,16:00~17:00出现第一个降水峰值,小时雨强为22 mm/h,随后,闪电频数和雨强均呈下降趋势;19:00开始,闪电频数和雨强开始增大,20:00出现第二个闪电频数峰值35次/100 km²·h,而小时雨强峰值出现在21:00,滞后1h。分析该例中闪电密度和小时雨强最大值的变化,可以看出降水晚于闪电密度1~2h后达到最大值。

4 闪电密度与降水分布的空间关系

空间关系分析是把逐小时出现降水的区域站与闪电密度叠加对比,以比较直观的方式分析其二者的相关性^[15]。以2012年7月8日和2013年8月10日2次强降水过程为例,可以看出当闪电密度很小时对应的降水站点较少,降水量也很小,或者没有出现降水,而当闪电密度开始增多时降水站点开始增多,且降水量级也开始加大,并且闪电密度的大值区总是出现在强降水区域的前侧。

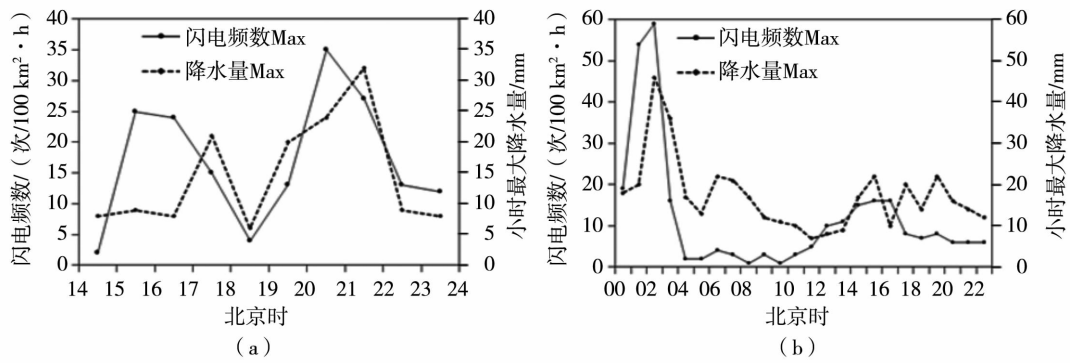


图 3 2012 年 7 月 30 日(a)与 2013 年 7 月 3 日(b)闪电频数与小时雨强的序列变化

Fig. 3 The time series of lightning frequency and the maximum hourly precipitation on July 30, 2012 (a) and July 3, 2013 (b)

从 2013 年 8 月 10 日强降水过程中闪电密度与降水量的对比分析(图 4),可以看出此次过程与 2012 年 7 月 8 日过程的闪电密度和降水量时间序列变化趋势相近,都是在云体发展阶段闪电密度小,对应的降水站点和降水量级也小,对流成熟阶段闪电密度增多,对应的降水站点和降水量级都增加。但对比闪电密度和降水强度,发现此过程比前一过程的闪电密度和降水强度均要大,并且在整个降水过程中有多站出现短时强降水,分析短时强降水的

分布位置可以发现,其与闪电密度高值区有较好的对应关系。统计整个降水过程发现短时强降水常常出现在闪电密度 > 12 次/ $100 \text{ km}^2 \cdot \text{h}$ 区域中或区域移动方向的中后侧,该现象在 12 次过程中也得到了验证,但各个过程的闪电密度阈值不是很统一,普遍分布在 $9 \sim 17$ 次/ $100 \text{ km}^2 \cdot \text{h}$ 区间,且同时发现闪电密度 > 5 次/ $100 \text{ km}^2 \cdot \text{h}$ 区域与 10 mm/h 降水落区的对应也很好,这在统计的 12 个个例中几乎得到了一致的表现。

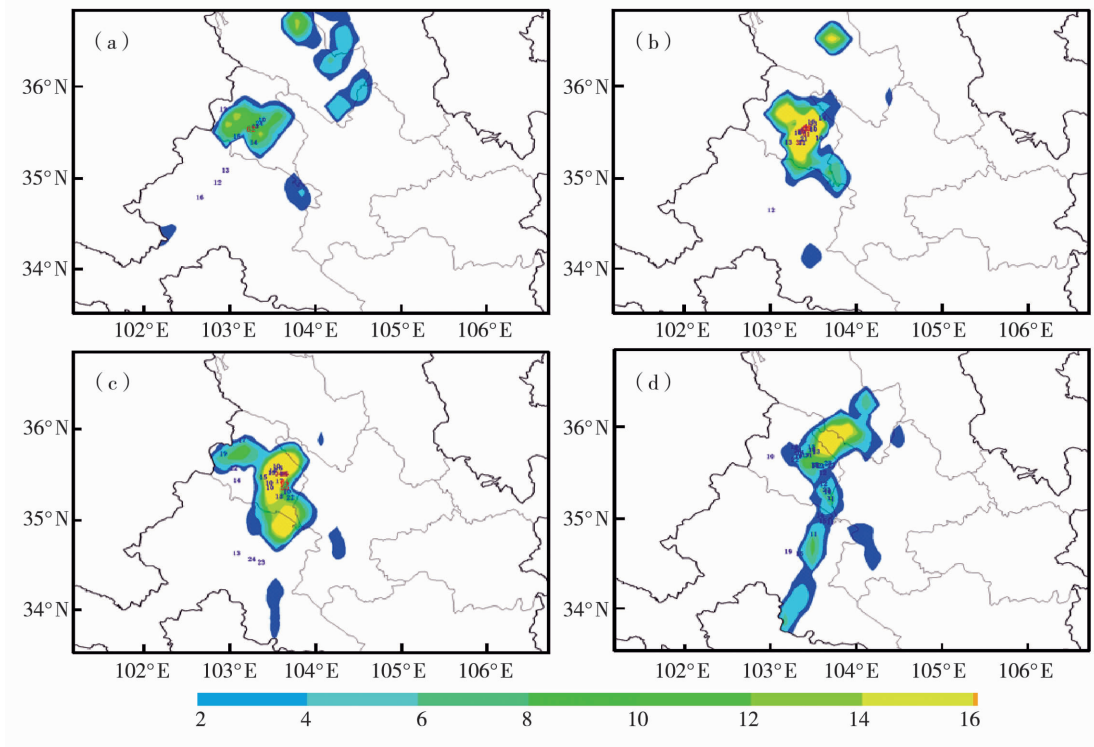


图 4 2013 年 8 月 10 日过程闪电密度(单位:次/ $100 \text{ km}^2 \cdot \text{h}$)与 $> 10 \text{ mm/h}$ 的降水站点对比 (a) 10 日 19:00, (b) 10 日 20:00, (c) 10 日 21:00, (d) 10 日 22:00

Fig. 4 The overlay figures of lightning density (Unit: times/ $100 \text{ km}^2 \cdot \text{h}$) and precipitation sites with rainfall more than 10 mm/h

(a) 19:00 Aug 10, (b) 20:00 Aug 10, (c) 21:00 Aug 10, (d) 22:00 Aug 10

5 闪电密度在短时强降水预警中的应用

通过前面的分析,可以将闪电密度应用到对短时强降水的落区预警中,利用前面的结果总结出 $>20 \text{ mm/h}$ 短时强降水预警的指标为:1 h 闪电频数中正闪电比例 $<20\%$,且 1 h 闪电密度 $>9 \text{ 次}/100 \text{ km}^2 \cdot \text{h}$; $>10 \text{ mm/h}$ 强降水预警的指标为:1 h 闪电频数中正闪电比例 $<20\%$,且 1 h 闪电密度 $>5 \text{ 次}/100 \text{ km}^2 \cdot \text{h}$ 。下面应用该指标,对 2012 年 5 月 20~21 日的 1 次短时强降水过程的预警效果做检验分析。

5 月 20 日 19 时至 21 日 16 时,兰州市、临夏州局部地方出现暴雨(图略),玛曲出现冰雹。截至 5 月 22 日 08 时,这次强降雨天气引发山洪灾害,造成 4 人死亡,4 人失踪,2 人受伤,直接经济损失 7 662.7

万元。局地短时强降水有:20 日 21~22 时,临夏黄泥湾 21.7 mm,广河买家巷 29.0 mm;22~23 时,永靖三源 21.0 mm;20 日 23 时至 21 日 00 时,兰州 25.7 mm,榆中白虎山 27.5 mm,兰州八里镇 22.3 mm,兰州飞天家园 20.1 mm,兰州西果园镇 21.8 mm。

选取甘肃中部地区短时强降水发生密集时段 5 月 20 日 22 时至 21 日 01 时的降水落区与闪电密度作对比检验,图 5 为以上 4 个时次的闪电密度与雨强 $>10 \text{ mm/h}$ 的站点叠加。可以看出,5 月 20 日 22:00 至 21 日 00:00 的 3 个时次中基本所有的 $>10 \text{ mm/h}$ 降水站点分布在闪电密度 $>5 \text{ 次}/100 \text{ km}^2 \cdot \text{h}$ 的区域内,5 月 21 日 01:00 的对应位置稍差,而 $>20 \text{ mm/h}$ 的短时强降水站点全部分布在闪电密度 $>9 \text{ 次}/100 \text{ km}^2 \cdot \text{h}$ 的区域内。

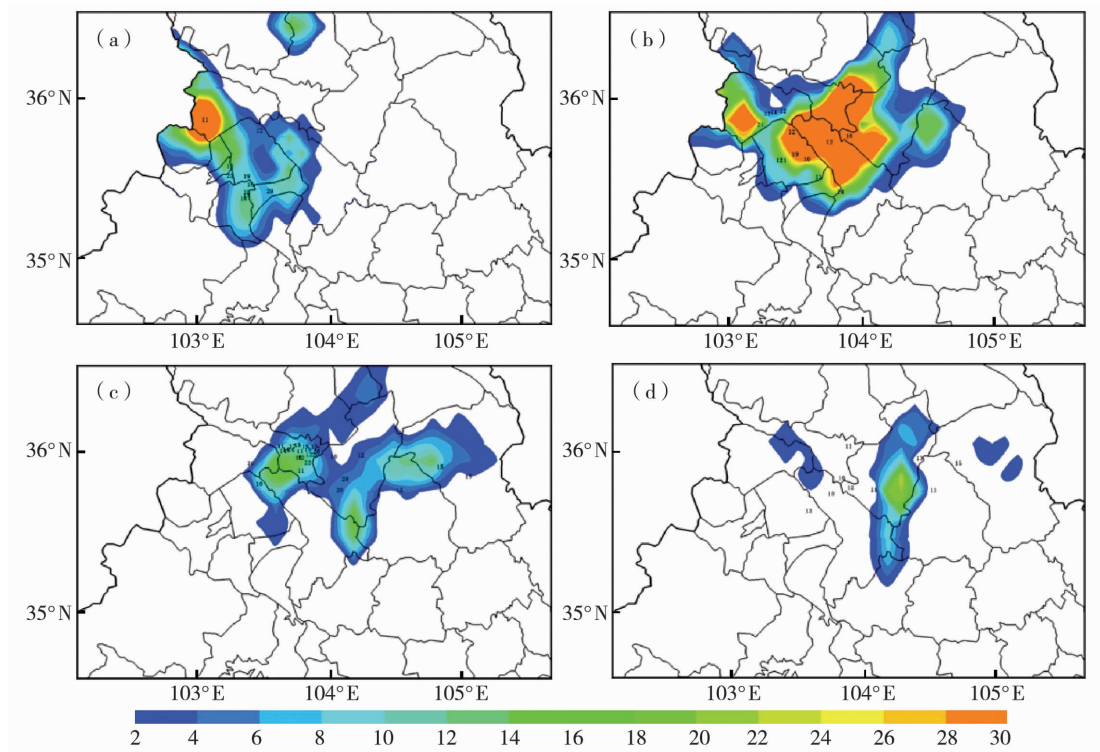


图 5 2012-05-20/21 过程闪电密度(单位:次/100 km²·h)与 $>10 \text{ mm/h}$ 的降水站点叠加

(a) 20 日 22:00, (b) 20 日 23:00, (c) 21 日 00:00, (d) 21 日 01:00

Fig. 5 The overlay figures of lightning density (Unit: times/100 km²·h) and precipitation sites with rainfall more than 10 mm/h

(a) 22:00 May 20, (b) 23:00 May 20, (c) 00:00 May 21, (d) 01:00 May 21

统计整个过程中甘肃中部地区雨强 $>10 \text{ mm/h}$ 的所有站点个数 N , 并获取该时间间隔中闪电密度 $>5 \text{ 次}/100 \text{ km}^2 \cdot \text{h}$ 区域内雨强 $>10 \text{ mm/h}$ 的站点个数 N_i , 计算雨强 $>10 \text{ mm/h}$ 的强降水预警命中率:

$$POD = \frac{N_i}{N} \times 100\% \quad (1)$$

同理,以闪电密度 $>9 \text{ 次}/100 \text{ km}^2 \cdot \text{h}$ 为阈值,按上述方法计算出雨强 $>20 \text{ mm/h}$ 的短时强降水预警命中率(表 3)。

从统计结果来看,在整个过程降水密集的 4 个时段中,应用闪电密度对雨强 $>10 \text{ mm/h}$ 和 $>20 \text{ mm/h}$ 的短时强降水预警准确率分别为 73% 和 100%。

表3 短时强降水预警命中率统计
Tab.3 The statistics of hit rate about
the short heavy rainfall warning

时间	>10 mm/h			>20 mm/h		
	总站数	预警正确站数	命中率/%	总站数	预警正确站数	命中率/%
22:00	10	9	90	2	2	100
23:00	14	13	93	1	1	100
00:00	24	17	71	6	6	100
01:00	7	1	14	-	-	-
平均	13.75	10	67	3	3	100

6 小 结

(1)强降水天气过程的闪电活动中,负闪占绝大多数,正闪比例很小,但正闪比例与降水强度呈较好的正相关性,在强降水天气发展的不同阶段,闪电频数的变化差异很大。

(2)闪电密度的分布与强降水落区有较好的一致性,但闪电密度的变化总是提前强降水落区的变化,提前时间平均为1~2h;闪电密度的大值区总是出现在强降水区域的前侧,在实际业务中有很好的预警作用。

(3)应用闪电密度 >9 次/ $100\text{ km}^2 \cdot \text{h}$ 和 >5 次/ $100\text{ km}^2 \cdot \text{h}$ 阈值分别对 $>20\text{ mm/h}$ 和 $>10\text{ mm/h}$ 短时强降水预警,其命中率很高。

本文通过对甘肃中部12次短时强降水与地闪的关系研究得出的结果,可供短时强降水预报的参考,但因涉及个例较少,其代表性如何还需要做进一步

的研究与验证。

参考文献:

- [1] 周秀骥,陶善昌,姚克亚. 高等大气物理学[M]. 北京:气象出版社,1991. 106-137,535-601.
- [2] 黄美元,徐华英. 云和降水物理[M]. 北京:科学出版社,1999. 207-217.
- [3] 陈渭民. 雷电学原理[M]. 北京:气象出版社,2006. 1-2.
- [4] 郗秀书. 全球闪电活动与气候变化[J]. 干旱气象,2003,21(3):69-73.
- [5] 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.
- [6] 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):15-19.
- [7] 周筠君,郗秀书,张义军,等. 地闪与对流性天气系统中降水关系的分析[J]. 气象学报,1999,57(1):103-110.
- [8] 李照荣,陈添宇,康凤琴,等. 兰州周边地闪分布特征[J]. 干旱气象,2004,24(2):45-51.
- [9] 王道洪,刘欣生,王才伟. 甘肃中川地区雷暴地闪特征的初步分析[J]. 高原气象,1990,9(4):405-410.
- [10] 张义军,言穆弘,张翠华,等. 甘肃平凉地区正地闪特征分析[J]. 高原气象,2003,22(3):295-300.
- [11] 刘维成,陶建红,邵爱梅. 甘肃和广东年闪电特征对比[J]. 干旱气象,2012,30(4):588-592.
- [12] 刘维成. 甘肃省闪电特征分析及雷电预警研究[D]. 兰州大学,2013,427-457.
- [13] 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.
- [14] 李建华,郭学良,肖稳安,等. 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.
- [15] 苗爱梅,贾利冬,郭媛媛,等. 060814山西省局地大暴雨的地闪特征分析[J]. 高原气象,2008,27(4):873-880.

Analysis on Relationship Between Short-term Strong Rainfall and Lightning in Middle Gansu Province

YANG Xiaojun¹, LIU Weicheng¹, SONG Qiang¹, XIAO Wei¹, QIAO Yayun², SHI Yanzhao

(1. Lanzhou Center Meteorological Observatory, Lanzhou 730020, China;

2. College of Atmospheric Science, Lanzhou University, Lanzhou 730020, China)

Abstract: Based on the CG location data and hourly precipitation data from automatic stations in central part of Gansu Province from 2008 to 2013, the relationship between short-time strong precipitation and lightning was analyzed. Lightning data were processed into spatial grid lightning density data with one hour temporal resolution and $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ spatial resolution, which were compared with precipitation data from regional stations. Results show that the proportion of positive lightning had a better positive correlation with rainfall intensity, and the distribution of lightning density was coincident relatively with the strong rainfall region. The changes of lightning density were always ahead of the changes of strong rainfall area. Applying the thresholds of lightning density greater than 9 times/ $100\text{ km}^2 \cdot \text{h}$ and 5 times/ $100\text{ km}^2 \cdot \text{h}$ could forecast the short heavy rainfall more than 20 mm/h and 10 mm/h better, respectively.

Key words: short-time strong precipitation; lightning detection data; central part of Gansu Province