

钟敏,吴翠红,张兵.湖北省两类强对流天气云地闪特征及其环境条件对比研究[J].暴雨灾害,2010,29(2):181-185

湖北省两类强对流天气云地闪特征及其环境条件对比研究

钟 敏¹,吴翠红¹,张 兵²

(1.武汉中心气象台,武汉 430074;2.中国气象局武汉暴雨研究所,武汉 430074)

摘 要:选取 30 次短时强降水天气和 10 次冰雹、雷雨大风天气个例,对云地闪特征及其环境条件进行对比分析。结果表明:以降水为主的强对流天气,负地闪占绝大多数,闪电频数较多,其 10 分钟云地闪频数过程最大值在 50 次以上,云地闪与雷达强回波区吻合得较好,且分布比较集中,而以冰雹、雷雨大风为主的强对流天气,正地闪与负地闪频次相当,甚至超过负地闪,闪电频数较少,云地闪并非分布在雷达强回波区,而是零散地分布在冰雹回波下风方向的云砧处。两者在环境条件上也存在差别,以冰雹、雷雨大风为主的强对流天气较之以降水为主的强对流天气,具有较低的整层比湿,较厚的零度以下层结厚度(冷云厚度)以及较大的垂直风切变。

关键词:强对流;云地闪;环境条件;对比分析

中图分类号:P427.32 文献标识码:A 文章编号:1004-9045(2010)02-0181-05

1 引言

随着雷电定位技术、高速大容量数据采集技术等雷电探测手段的发展,雷电监测资料在强对流天气短时预报中的应用也取得了一些研究成果。薛秋芳等^[1]在研究北京地区闪电活动与强对流天气的关系时指出,不同天气类型如冰雹与暴雨发生时,正、负极性的地闪频数不同,冰雹过程正地闪比例比暴雨过程偏高。Meng 等^[2-3]利用 SAFIR3000 观测资料与雷达回波进行了对比,结果表明两者具有较好的对应性,雷电探测系统对强对流天气的监测和预警具有更突出的优势。Zhang 等^[4]利用美国三维雷电探测系统观测资料,分析了超级单体雷暴的闪电特征,揭示了雷暴中闪电洞或闪电环的存在,且在时空分布上与雷暴的上升气流和下沉气流区相对应。2006 年投入使用的湖北省 ADTD 雷电定位监测系统获取了大量的云地闪资料,为雷电资料的应用提供了有利条件。王学良等^[5]利用该套探测系统所获资料,从闪电的极性分布、日变化、月变化、强度、闪电密度等方面研究了湖北地区云地闪电时空分布特征。本文将利用湖北省 ADTD 资料,针对湖北省两类强对流天气从正地闪比例,云地闪频数和云地闪空间分布三方面进行对比分析,并就两类强对流天气过程的环境条件进行比较研究,试图了解湖北省强对流天气的雷电活动特征及其可能的影响因子,以为预报员短时临近预报提供参考。

2 个例简述

本文共选取了湖北省范围内 2006—2009 年间的 30 次短时强降水天气和 10 次冰雹、雷雨大风天气个例。其中短时强降水天气个例选取的是连续 3 h 降雨量在 50 mm 以上,且以降水灾害为主,有的也伴有冰雹和大风,而冰雹、雷雨大风天气个例则是以雹灾和风灾为主,过程中均出现了 2 cm 以上直径的冰雹或者 9 级以上的瞬时大风。

3 云地闪特征对比分析

3.1 正地闪比例

本文对每一个强对流天气发生时段和区域内的正地闪数、负地闪数及正地闪比例进行了统计,对比两类强对流天气的正地闪比例后发现,以冰雹、雷雨大风为主的强对流天气,其正地闪比例比以降水为主的强对流天气明显偏高。以降水为主的强对流天气,负地闪占绝大多数,从 30 次个例的统计数据来看,正地闪比例在 0~13.9%之间,而以冰雹和雷雨大风为主的强对流天气,正地闪与负地闪发生频次相当,甚至超过负地闪,从 10 次个例的统计数据来看,正地闪比例在 44.9%~87.1%之间。具体数据见表 1。

Macgorman 等^[6]、Perez 等^[7]对以冰雹、雷雨大风为主的强对流天气,正地闪比例偏高现象,分析了其中的原因:一是倾斜的上升气流使上部的正电荷层处于

收稿日期:2010-01-20;定稿日期:2010-04-19

基金项目:国家科技支撑计划项目“雷电灾害监测预警关键技术研究及系统开发”(2008BAC36B00)、武汉区域气象科技发展基金项目“暴雨定量监测及短时预警报技术研究”共同资助

作者简介:钟敏,女,1980 年生,工程师,主要从事短时临近预报和研究工作。E-mail:zhongmin296@sohu.com

表 1 2006—2009 年湖北省两类强对流天气地闪活动特征对比

天气类别	正闪		对应正闪数/个	对应负闪数/个	出现的日期及天气简况
	取值	比例			
降水	平均值	2.8%	32	1123	共 30 个个例,其中 2006 年 21 个,2007 年 5 个,2008 年 4 个。
	最高值	13.9%	23	143	2006 年 6 月 29 日 16:30-18:10,当阳遭受暴雨袭击,最大降雨量达 119.7 mm。
	最低值	0%	0	125	2006 年 6 月 27 日 04:00-07:00,英山出现强降水,3 h 降水量达 84 mm。
冰雹 雷雨大风	平均值	67.5%	27	13	共 10 个个例,其中 2006 年 1 个,2007 年 3 个,2008 年 4 个,2009 年 2 个。
	最高值	87.1%	27	4	2007 年 4 月 15 日 15:00-18:00,大悟县高店、丰店、宣化、大新、三里、吕王、四姑、东新等 8 个乡镇出现冰雹,冰雹最大直径 4 cm 左右,同时伴有 6~7 级大风和强雷暴。
	最低值	44.9%	22	27	2008 年 5 月 11 日 22:00 至 12 日 00:00,襄樊市襄阳区、枣阳市、宜城市、襄城区、樊城区共 20 个镇遭受大风和冰雹袭击,最大冰雹如乒乓球大。

弱回波区,直接暴露于地面,有利于正地闪的发生;二是云下产生的次正电荷区,根据温差起电原理,云中较大的霰粒与雹块在下降过程中,表面将融化,形成外部带负电内部带正电的结构,由于冰融化时释放的气泡在水面上破裂,使表面溅散出一些微小水滴,并带走负电荷,余下的霰粒与雹块带正电。而以降水为主的强对流天气,负云地闪占绝大多数的原因可能是云上部的正电荷层和云下部的负电荷层距离较大,负电荷层和地面的距离却比较小,一般强降水过程风的垂直切变不太大,云上部的正电荷层在水平方向无法远离负电荷层直接暴露于地面之上,另外由于没有足够多的冰相粒子(如雹和霰粒),少量的冰相粒子穿越零度等温层时将全部融化,而不会因为残存的固态粒子产生物理温差起电形成次正电荷层,因此产生了大量的负云地闪。

3.2 云地闪频数

为了研究两类强对流天气在云地闪频数上的特征,本文选取了两类强对流天气共 6 个个例,以 10 min 为单位,对正云地闪、负云地闪和总云地闪进行了频次统计。所选个例分别是:以降水为主的 2006 年 6 月 21—22 日襄樊特大暴雨,2007 年 4 月 22 日通山大暴雨和 2008 年 5 月 3 日京山暴雨;以冰雹和雷雨大风为主的 2007 年 4 月 15 日大悟冰雹,2008 年 5 月 11 日襄樊冰雹和雷雨大风以及 2008 年 6 月 3 日枝江冰雹和雷雨大风。图 1 为 6 次强对流天气个例云地闪频数随时间的分布,从图中可以看出,以降水为主的强对流天气,其云地闪频数明显高于以冰雹、雷雨大风为主的强对流天气。以降水为主的 3 个个例,其 10 分钟云地闪频数最大值均在 50 次以上,而以冰雹、雷雨大风为主的 3 个个例,10 分钟最大频数在 6~23 次之

间。从图上还可清楚地看出,以降水为主的 3 个个例中,负地闪频数在绝大多数时段内均明显高于正地闪频数,而以冰雹、雷雨大风为主的 3 个个例正地闪频数在大多数时段内与负地闪频数相当,甚至超过负地闪。

对于以冰雹、雷雨大风为主的强对流天气产生的云地闪数目较少的现象,Macgorman 等^[8]提出了抬升电荷机制来解释,可能的因素有三个:(1)强烈的上升气流把最大粒子以外的其它粒子很快抬升到高层;(2)强烈的上升气流不允许粒子较长时间停留在某一层,粒子没有足够的时间增长,获得电荷,分离电荷,因此在某一层上,正电荷或负电荷较少;(3)强上升气流核的温度比弱上升气流核的温度要高,因此产生电荷的冰相过程要发生在更高的地方。这三种因素共同制约了云地闪的发生。

3.3 云地闪空间分布

为研究两类强对流天气在云地闪空间分布上的特点,选取 2 个天气过程,做了云地闪与雷达回波的叠加显示,其中,闪电时段取雷达体扫时刻 ± 5 min。所选个例分别为:2008 年 5 月 3 日京山暴雨和 2007 年 4 月 15 日大悟冰雹。图 2 为云地闪与雷达回波叠加显示,从图上可见,在京山暴雨个例中,云地闪与雷达强回波区吻合得较好,且分布比较集中,在 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 的经纬度网格中,落雷密度最大达 1 个以上,而在大悟冰雹个例中,云地闪并非分布在雷达强回波区,而是零散地分布在冰雹回波下风方向的云砧处,这应该与风切变造成的倾斜结构有关。以降水为主的强对流天气,其云地闪和雷达强回波区吻合得较好,是因为产生强降水时风速及其切变均不会太大,否则水汽不能集中到较小的区域而产生大的降水密度,因此分离的电荷不会被剧烈的气流带到远离强回波的地方。

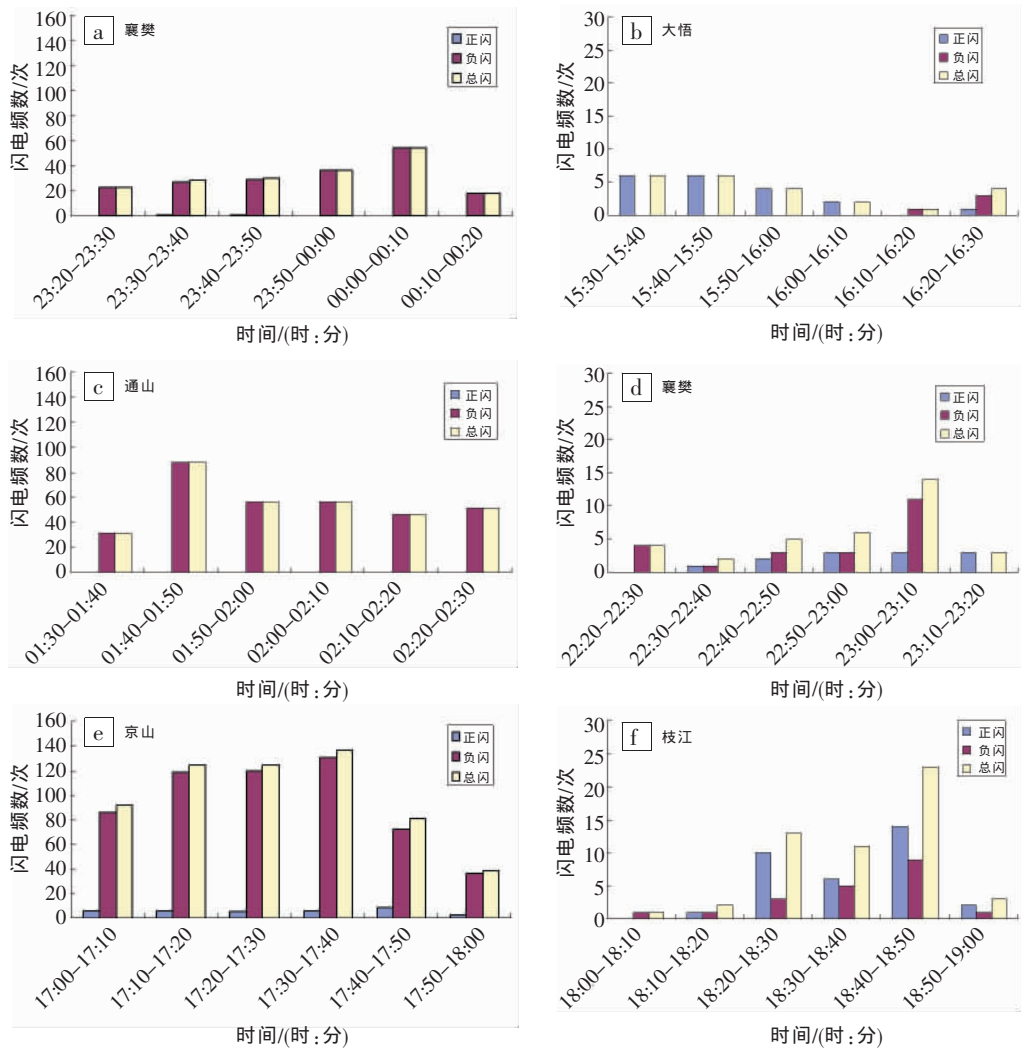


图 1 不同观测站点以降水为主(a、c、e)和以冰雹、雷雨大风为主(b、d、f)的强对流天气云地闪频数随时间的分布图

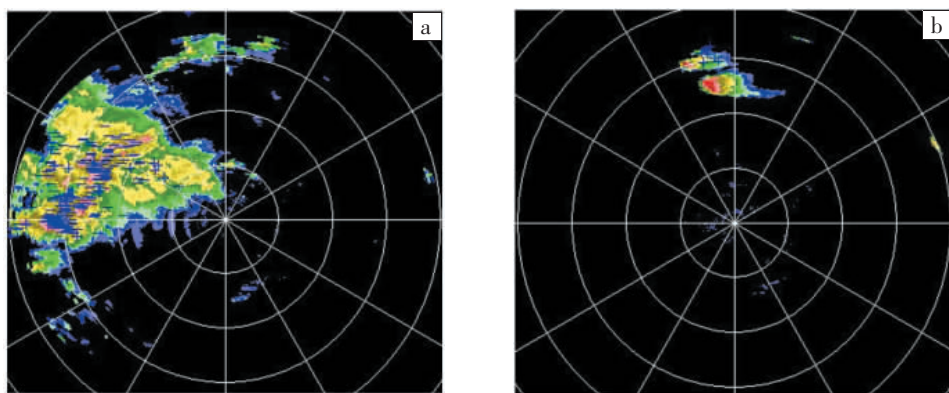


图 2 以降水为主(a)和以冰雹、雷雨大风为主(b)的强对流天气云地闪空间分布图

4 环境条件对比分析

为了研究两类强对流天气发生时的大气环境条件特征, 本文基于所选取的两类强对流天气个例, 选择离强天气发生时空最接近的 $T-Lnp$ 探空资料, 计算了有关的物理量参数(详见表 3), 并对两组数据的系统性差别做了分析。表中列出了两类强对流天气环境

场物理量参数的平均值, 并按两组样本平均值差异的显著等级进行了排列。

从表中可以看出, 整层比湿、 K 指数、修正的 K 指数、 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 层高度、 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 层高度、 850 hPa 与 500 hPa 温度之差在两组数据中差异非常显著, 均通过了 1% 的显著性水平检验。表中数据表明, 以降水为主的强对流天气, 其整层比湿明显高于以冰雹、雷雨大风

表 2 两类强对流天气环境条件的对比

环境参量	显著等级	以降水为主	以冰雹、雷雨大风为主
整层比湿/(g/kg)		5 680.3	2 833.0
K 指数/ $^{\circ}\text{C}$		39.1	29.4
修正的 K 指数/ $^{\circ}\text{C}$		45.8	35.3
0 $^{\circ}\text{C}$ 层高度/m	1%	5 124.9	4 149.2
-20 $^{\circ}\text{C}$ 层高度/m		8 590.5	7 094.7
$T_{850-500}$ / $^{\circ}\text{C}$		24.7	29
平衡高度/hPa		198.9	320.0
自由对流层厚度/hPa		625.0	385.6
0~3 km 切变/(m/s)	5%	7.1	11.0
对流抑制能量/(J/kg)		111.6	419.1
大风指数		19.4	29.1
自由对流高度/hPa	10%	823.9	705.6
0~6 km 切变/(m/s)		10.3	15.6
最大垂直速度/(m/s)	20%	46.9	32.4
对流有效位能/(J/kg)		1 252.5	719.7
沙氏指数/ $^{\circ}\text{C}$		-2.0	-1.3
抬升指数/ $^{\circ}\text{C}$	>20%	-3.1	-1.9
对流温度/ $^{\circ}\text{C}$		32.0	32.5

为主的强对流天气,两者的整层比湿平均值分别为 5 680.3 g/kg 和 2 833.0 g/kg。以降水为主的强对流天气具有更高的 K 指数和修正的 K 指数,值得注意的是,以冰雹和雷雨大风为主的强对流天气其 K 指数的平均值较一般文献中提到的低,仅为 29.4 $^{\circ}\text{C}$,对比了探空资料后发现,两类强对流天气 K 指数存在如此之大的差别的主要原因是,以冰雹、雷雨大风为主的强对流天气较以降水为主的强对流天气具有较大的 700 hPa 温度露点差和较低的 850 hPa 露点温度,两项的差分别为 7.6 $^{\circ}\text{C}$ 和 6.4 $^{\circ}\text{C}$ 。这说明强降水发生时大气更为暖湿,这与整层比湿的分析结果一致。当然,这种差别也可能是由于探空资料与所选个例在时空上并不完全一致引起,尤其对于湖北省的冰雹、雷雨大风天气,其尺度小,突发性强,虽然选取的是时空最接近的探空资料,也不能满足对此类天气的探测需求,而短时强降水天气往往与切变线等系统相联系,持续时间也较前者要长,因此探空资料能较好的反应该类天气的大气环境条件。从 0 $^{\circ}\text{C}$ 层和-20 $^{\circ}\text{C}$ 层高度的分布情况可以看出,同一高度上,以冰雹、雷雨大风为主的强对流天气,其温度比以降水为主的强对流天气要低,0 $^{\circ}\text{C}$ 以下的层结厚度,也就是冷云的厚度,前者比后者厚将近 1 000 m,这也为冰雹或霰粒的形成提供了有利条件。两者在 850 hPa 和 500 hPa 温度差上也有着较大的差别,以降水为主的强对流天气其温差在 24.7 $^{\circ}\text{C}$ 左右,而以冰雹、雷雨大风为主的强对流天气

其温差平均为 29 $^{\circ}\text{C}$,这说明垂直方向上温度变化越剧烈,越有利于冰雹、雷雨大风的发生。

自由对流层厚度(平衡高度 EL 与自由对流高度 LFC 的差)、0~3 km 切变和对流抑制能量(CIN)在两组数据中差异较为显著,均通过了 5%的显著性水平检验。从上表的统计结果来看,以降水为主的强对流天气具有较厚的自由对流层,而以冰雹、雷雨大风为主的强对流天气具有较薄的自由对流层,这是由于后者具有较高的自由对流高度和较低的平衡高度造成的。自由对流厚度的减小,可引起整个自由对流层内的平均浮力增大^[9]。以冰雹、雷雨大风为主的强对流天气,其 0~3 km 风切变,和通过 20%显著性检验的 0~6 km 风切变的平均值均比以降水为主的强对流天气大,这也是两者的主要区别之一。一定强度的垂直风切变有利于促进垂直上升运动的持续发展,有利于多单体风暴的形成,而强的垂直风切变,除了这种作用之外,还可以在强风暴的侧翼产生动力性气压梯度力,并导致上升气流与风暴侧翼的垂直涡度相互配合,形成旋转的上升运动,促使超级单体的形成和组织性对流的发展^[9]。以冰雹、雷雨大风为主的强对流天气的对流抑制能量远大于以降水为主的强对流天气。造成此差别的原因是,以冰雹、雷雨大风为主的强对流天气往往需要克服更大的阻力而获得对流,强对流发生时, CIN 往往有一个较为合适的值:太大,会抑制对流活动,对流不易发生;太小则对流调整极易发生,能量不容易在低层积聚,从而对流不能发展到较强的程度。

大风指数(VV)、自由对流高度(LFC)、0~6 km 切变、最大垂直速度(W_m)和 $CAPE$ 在两组数据中不具有稳定而明显的差异,只通过了 10%和 20%的显著性检验。以冰雹、雷雨大风为主的强对流天气,其大风指数的平均值为 29.1,高于以降水为主的强对流天气,而前者的 $CAPE$ 值却比后者小,但这也不能说明前者的垂直运动发展弱,这有可能和前者的自由对流层厚度较薄有关,因为 $CAPE$ 值是在此层上的积分。廖晓农^[10]在“北京雷暴大风日环境特征分析”一文中也指出,干型雷暴大风的 $CAPE$ 数值一般较小,多数个例临近时刻的 $CAPE$ 均小于 100 J/kg,而多数湿型雷暴大风的 $CAPE$ 值超过 1 000 J/kg,还有的超过 2 000 J/kg,她还指出, $CAPE$ 的数值与大气湿度的垂直分布有关,因此干、湿两类雷暴大风日所表现出的大气湿度垂直分布的差异是造成 $CAPE$ 不同的原因之一。本文中 10 个个例的统计结果与上述结果相似,最大 $CAPE$ 值 2 447.4 J/kg,最小 $CAPE$ 值仅 42.8 J/kg,其余个例从 100~1 100 J/kg 不等,可见本文的 10 个个例中,干型占的比重较大,这也与上面提到的 K 指数较小的原因

相一致。从以上统计结果也可表明,CAPE在预报干型雷暴大风出现的潜势时具有一定的局限性,这也是预报员在预报中值得注意的地方。

从表中还可得知,沙氏指数、抬升指数和对流温度等物理量在显著性检验上差异不大,均没有通过20%的显著性检验。他们具有强对流天气的共同特点,即沙氏指数和抬升指数均为负值,表现出不稳定的层结,具有一定高的对流温度。

5 结论和讨论

本文选取2006—2009年间的30次短时强降水天气和10次冰雹、雷雨大风天气个例,对云地闪特征及其环境条件进行对比分析研究,得到如下结论。

(1)以降水为主的强对流天气,其负地闪占绝大多数,闪电频数较多,其10 min云地闪频数过程最大值在50次以上,云地闪与雷达强回波区吻合得较好,且分布比较集中。而以冰雹、雷雨大风为主的强对流天气,正地闪与负地闪频次相当,甚至超过负地闪,闪电频数较少,云地闪并非分布在雷达强回波区,而是零散地分布在冰雹回波下风方向的云砧处。

(2)以冰雹、雷雨大风为主的强对流天气较之以降水为主的强对流天气,具有较低的整层比湿,较厚的0℃以下层结厚度以及较大的垂直风切变,而在SI、LI等物理量上无显著性差异,具有强对流天气的共同特征。两者在环境条件上的差异也很好的印证了文中对两者云地闪不同特征所做的可能性解释。

(3)本文的对比分析仅着眼于宏观的角度,至于更加细致的有关强对流天气的系统结构特征、动力学

过程及云内微物理过程相互之间的关系将在今后做进一步的研究,可利用数值模拟与观测资料相结合的方式,对典型个例进行更为详尽的模拟与剖析,从而更好地从环境条件的差异去理解云中的电学现象。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] Meng Qing, Jean-yves Lojou, Yao Wen, et al. Study of Thunderstorm Characteristic with SAFIR Lightning and Electric Field Mill Observation in Beijing Area: 1st International Lightning Meteorology Conference[R]. Tucson, USA, 2006.
- [3] Meng Qing, Zhang Yijun, He Ping, et al. Lightning observation and field experiment with 3D SAFIR system during summer 2003 in Beijing-Hebei Area[J]. See,2005,4:101-104.
- [4] Zhang Yijun, Meng Qing, Krehbiel P R, et al. Spatial and temporal characteristics of VHF radiation source produced by lightning in super cell thunderstorms[J]. Chinese Science Bulletin, 2004,49(6):624-631.
- [5] 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.
- [6] Macgorman D R, Burgess D W. Positive cloud-to-ground lightning in tornadic storm and hail storm [J]. Monthly Weather Review, 1993, 122(8):1671-1697.
- [7] Perez A H, Wicker L J, Orville R E. Characteristics of cloud-to-ground lightning associated with violent tornadoes [J]. Weather and Forecasting, 1997, 121(3):428-437.
- [8] Macgorman D R, Burgess D W, Mazur V, et al. Lightning rates relative to tornadic storm evolution on 22 May 1981 [J]. J Atmos Sci, 1989, 46(2):221-250.
- [9] 寿绍文.中尺度气象学[M].北京:气象出版社,2003:1-370.
- [10] 廖晓农.北京雷暴大风日环境特征分析[J].气候与环境研究,2009,14(1):54-62.

Cloud-to-ground Lightning Characteristics and Environmental Conditions of Two Kinds of Convective Storm in Hubei Province

ZHONG Min¹, WU Cui-hong¹, ZHANG Bing²

(1. Wuhan Central Meteorological Observatory, Wuhan 430074;

2. Wuhan Institute of Heavy Rain, CMA, Wuhan 430074)

Abstract: The Cloud-to-ground Lightning Characteristics and Environmental Conditions are studied on 30 heavy rain cases and 10 hail or thunderstorm cases, the results show: (1)The convective weather dominating by precipitation whose negative CG lightning flashes account for the majority of the total flashes; quantity and frequency of CG lightning flashes are relatively high and the maximum number of CG lightning flashes within 10 minutes in every case is more than 50; the position of CG lightning flashes are relatively dense and consistent with strong radar echo. However, the convective weather dominating by hail or thunderstorm whose positive CG lightning flashes amount to or even more than negative CG lightning flashes, quantity and frequency of CG lightning flashes are relatively less and the CG lightning flashes distribute sporadically under the hail cloud anvil at the direction of the wind in convective weather. (2) The convective weather dominating by hail or thunderstorm has lower specific humidity in all layers, deeper layer under 0℃ and higher wind shear in vertical than the convection weather dominating by precipitation.

Key words: Convective; Cloud-to-ground lightning; Environmental conditions; Comparative analysis