

黄丹,植耀玲,卢炳夫,等. 广西一次锋面暴雨的二维和三维地闪特征对比分析[J]. 气象研究与应用,2023,44(2):81-86.

Huang Dan,Zhi Yaoling,Lu Bingfu,et al. Comparative analysis of Cloud-To-Ground lightning characteristics of a frontal heavy rain using 2D and 3D systems in Guangxi[J].Journal of Meteorological Research and Application,2023,44(2):81-86.

广西一次锋面暴雨的二维和三维地闪特征对比分析

黄 丹¹, 植耀玲^{1*}, 卢炳夫¹, 黄伊曼²

(1.广西壮族自治区气象灾害防御技术中心, 南宁 530022; 2.广西壮族自治区气象台, 南宁 530022)

摘要: 利用二维(ADTD)、三维(VLF/LF)闪电和降水等资料,对 2020 年 5 月 11 日 14—22 时广西一次锋面暴雨过程,从闪电极性、时空分布、强度、与降水量相关性等参数进行评估,探讨不同闪电探测系统对广西雷暴天气过程中闪电的探测效率的影响,以及地闪频次与降水之间的关系。结果表明:(1)VLF/LF 探测效率高于 ADTD,尤其对正地闪及低强度地闪的探测能力更明显;(2)两套系统总地闪和负地闪活跃时段及变化趋势大体一致;(3)地闪主要落区与过程累积降水量 30mm 以上的分布区域基本一致,高的总闪和负地闪频次往往对应强的降水时段;(4)地形变化、定位站点数、定位站点距离对闪电定位系统的监测效率有较大影响。

关键词: 二维闪电定位系统;三维闪电定位系统;闪电频次;强降水

中图分类号: P427.3

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2023.2.14

引言

闪电是强对流天气过程中重要的天气现象之一,与对流系统的发生、发展与消亡有密切联系,是作为研究雷暴强对流天气的重要资料之一^[1],伴随而来的雷击事故每年可造成大量的人员伤亡和财产损失^[2-5]。

为更好地对闪电监测和防护方面进行研究,在国内建设了大量探测闪电的设备,建立闪电定位网,布设两套及以上的闪电定位系统同时进行监测研究已成常态,进一步提升了雷电监测能力。粤港澳大湾区用于主要业务的闪电定位系统包括了可探测地闪和云闪的粤港澳闪电定位系统,以及仅探测地闪的广东电网地闪定位系统^[6];广西在 2006 年、2016 年先后建成 ADTD 二维闪电定位系统和 VLF/LF 三维闪电定位系统,目前均在业务上稳定运行,两套系统地闪年、月和时分布趋势相似,但总频次、正闪比、密度分布等方面存在差异^[7-10];江西在原有的 ADTD 二维闪电监测定位系统基础上,增加布设 ADTD-2C

三维雷电定位监测网^[11];湖北先后完成了 ADTD 二维闪电定位网和 VLF/LF 三维闪电定位网的布设工作^[12]。根据多年二维和三维闪电资料对比研究发现,两套系统在时空分布上存在一定差异,三维地闪探测效率均高于二维,尤其是低强度地闪探测效果更优。

近年来已有一些学者^[13-17]针对强对流天气过程中降水和闪电活动特征及其关系进行大量研究,结果均表明二者在发生位置和时频分布上具有一定关联性。但大部分仅是利用单一定位系统的闪电数据来分析,对强对流天气过程不同闪电定位系统闪电资料的监测效果之间的差异研究较少,成勤等^[18]利用 ADTD-2C 三维和 ADTD 二维闪电定位系统资料,对比分析湖北省一次特大暴雨过程中两套系统闪电活动特征,发现两套系统地闪的频次、雷电流幅值和落区等有一定差异。

为了对广西 ADTD 和 VLF/LF 两套闪电定位系统地闪特性进行对比,本文选取 2020 年 5 月 11 日 14—22 时广西一次锋面暴雨过程,利用闪电探测

收稿日期: 2023-02-13

基金项目: 广西重点研发计划项目(桂科 AB20238035)、广西气象科研计划项目(桂气科 2023M10)

作者简介: 黄丹(1992—),女,硕士研究生,工程师,从事雷电监测预警工作。E-mail: 279197396@qq.com

* 通讯作者: 植耀玲(1985—),女,硕士研究生,高级工程师,从事雷电监测预警、专业气象服务工作。E-mail: 276089714@qq.com

数据和降水资料,从闪电极性、时空分布、强度、与降水量相关性等参数进行评估,以此探讨不同闪电探测系统对广西雷暴天气过程中闪电的探测效率的影响,以及地闪频次与降水之间的关系,为闪电监测系统升级、站网规划和雷电监测预警工作提供参考依据。

1 研究区域和资料来源

1.1 研究区域概况

广西二维系统包含 11 个探测子站,基本分布在盆地和丘陵地区;三维系统包含 20 个探测子站,与二维站点相比,有 2 个子站(北海和梧州)布设位置一致,有 6 个子站(龙州、田阳、环江、都安、永福、陆川)布设位置相近,在山地地区增设 6 个子站(那坡、隆林、天峨、三江、蒙山、富川),在防城港市和来宾市增设 2 个子站(东兴和来宾)。

1.2 资料来源

二维闪电资料选用广西 ADTD 闪电定位系统(以下简称二维)数据,该系统是中国科学院空间科学与应用研究中心研制,广西于 2010 年正式投入业务运行。站点基线距离为 150km,单站探测范围为 250km,地闪探测效率>85%,时间精度为 0.1μs,组网探测定位精度<0.3km。

三维闪电资料选用广西 VLF/LF 闪电定位系统(以下简称三维)数据,该系统是中国科学院电工研究所研制、广西壮族自治区防雷中心建设的广西三维闪电探测网,于 2016 年开始投入使用^[19]。站点基线距离为 100km,单站探测范围为 600km,具备地闪和云闪的全闪电实时探测功能,水平定位误差 0.5km、高度误差 1km,地闪探测率>90%,云闪探测率>45%。

地面降水资料来源于广西区域自动站数据。

2 大气环流背景

2020 年 5 月 11 日 14—22 时,受 500hPa 华北槽东移引导地面弱冷空气南下影响,在百色市南部

至玉林市东部一带大部有大到暴雨、局部大暴雨,最强降雨位于崇左市东部、南宁市南部、钦州市东北部和玉林市西部地区。全区共有 14 个区域自动站大暴雨,133 个站暴雨,最大累积降雨量为 162.4mm,出现在扶绥渠旧气象观测站。全区发生二维闪电共 21047 次,三维闪电共 127475 次,其中地闪 65673 次,云闪 61802 次。

由 08 时实况综合分析图(略)可知,500hPa 华北高空槽东移至 115°E,槽后东北气流引导冷空气南下,副热带高压北侧边缘抵于桂中;850hPa 切变线南压至黔湘桂交界,西南气流输送水汽,除桂西南外,广西处于 T-Td<5℃的湿区中,此外广西 T₈₅₀₋₅₀₀温度差均高于 24℃,存在上暖下冷的不稳定层结;地面冷锋位置与 850hPa 切变线对应,随午后温度升高,地面暖低压逐渐东伸控制桂西南,锋后贵州伴随明显降水。

20 时 500hPa 高空槽东移入海,槽后冷空气进一步南压,副热带高压北侧边缘南退至桂西南,广西转为东北风控制;850hPa 切变线南压至桂中一带,湿区南扩,桂西南也处于 T-Td<5℃的湿区,T₈₅₀₋₅₀₀>24℃的对流不稳定区位于桂西、桂南;925hPa 切变线和地面冷锋位于桂南一带,桂西南地面在午后暖低压发展控制下形成暖中心,在百色、崇左一带延伸出暖脊,形成高温高湿区,在锋面和切变线的触发下,较易发生强对流。

从 08 时探空图(略)可知,百色探空站的 CAPE 值为 1744J·kg⁻¹,探空曲线呈上干下湿的“V”型,梧州探空站经午后温度订正后,CAPE 值上升为 2131J·kg⁻¹,同样具有上干下湿的层结特性,有利于在强降水过程中触发雷暴大风强对流天气。

3 闪电特征对比分析

3.1 地闪极性

由表 1 可知,三维系统的总地闪是二维的 3.12 倍,正地闪是二维的 15.64 倍,负地闪是二维的 2.43

表 1 二维和三维地闪频次统计表

数据类型	频次	极性类型	频次	类型	占比/%
二维	21047	正地闪	1102	正地闪/地闪	5.24
		负地闪	19945	负地闪/地闪	94.76
三维	65673	正地闪	17238	正地闪/地闪	26.25
		负地闪	48435	负地闪/地闪	73.75

倍。从正地闪比来看,三维系统的正地闪比明显高于二维系统,二维系统中负地闪占比较多。与 2016—2021 年广西闪电数据比较,该次过程的正闪比二维系统与平均值(5.53%)接近,而三维系统比平均值(22.36%)偏多。

在该次雷暴过程中,三维系统的地闪频次多于二维系统,且能监测更多的正地闪数据,与成勤等^[18]研究结果较为一致。

3.2 时间分布

二维系统地闪时频分布主要有两个活跃时段,第一段为 15—16 时,第二段为 20 时,总地闪和负地闪频次极大值均出现在 16 时,分别为 4901 次和 4748 次,正地闪频次极大值出现在 17 时,为 250 次。各时段负地闪占比大部分在 80%以上,最大值为 97.96%,出现在 15 时,最小值为 83.59%,出现在 22 时,平均值为 93.22%。

三维系统地闪时频分布主要活跃时段及变化趋势与二维系统基本一致。总地闪、正地闪和负地闪频次极大值均出现在 16 时,分别为 14852 次、3852 次和 10956 次。各时段负地闪占比大部分在 60%~80%之间,较二维系统低,最大值为 80.91%,出现在 20 时,其次是 80.43%,出现在 15 时,最小值为 62.24%,出现在 17 时,平均值为 73.91%。

两套系统总地闪和负地闪频次活跃时段及变化趋势大体一致,各时段三维系统的闪电频次均多于二维系统。14—16 时和 19—20 时地闪活动先增加,而后减少,出现两个阶段性峰值(16 时和 20 时),该特征在三维系统中更明显。

3.3 雷电流幅值分布

二维系统正、负地闪概率都集中在 10~45kA,雷电流概率总和分别为 75.23%和 86.53%;其中,15~20kA 的正地闪最多,概率为 18.06%,25~30kA 的负地闪最多,概率为 19.65%。负地闪雷电流幅值分布更为集中。

三维系统正地闪概率集中在 0~25kA,雷电流概率总和为 94.51%,负地闪概率集中在 5~35kA,雷电流概率总和为 88.33%;其中,5~10kA 的正、负地闪最多,概率分别为 46.52%和 23.93%。正地闪雷电流幅值分布更为集中。

三维系统地闪雷电流幅值概率单峰型分布特征较二维系统更加明显,且雷电流幅值集中分布的强度范围较弱,该结论与卢炳夫等^[7]结论类似,可能原因是三维系统监测低强度地闪数据效率更高,特别

是正地闪。

3.4 空间分布

对比地闪落区和过程累积降水量分布情况,地闪主要落区与较强过程累积降水量(30mm 以上)分布区域基本一致,说明两者的空间相关性较好,尤其是三维数据的对应关系更明显。二维系统地闪密度区较三维更为集中,但密度值较低,绝大部分位于桂南地区,两者的空间相关性较大,桂西北有少量闪电分布。为更好地对比两个系统地闪特征,用三维地闪密度与二维地闪密度的差值大小绘制差值分布(图略),分别选取二维和三维地闪密度均处于高值区的区域 A(崇左市东部,处于正差值区域的高值区),以及(南宁、贵港、钦州、玉林四市交界,处于负差值区域)的区域 B 进行对比分析。

3.5 不同区域闪电分布差异对比

(1)区域 A

两个系统在区域 A 的闪电特征相同之处:(1)地闪密集区分布基本一致,正地闪零星分布,负地闪主要集中在渠旧镇;(2)与该次过程全区闪电数据,以及 2020 年全年地闪数据对比可知,两个系统在区域 A 的负地闪占比高于全区和同年,说明出现强雷暴过程时,在闪电密集区负地闪占比会增加;(3)选取闪电集中区渠旧镇自动站的逐时降水量进行分析,发现渠旧镇在 11 日 20 时至 22 时出现短时强降雨过程,小时降雨量均超过 20mm。从逐时地闪频次与降雨量分布对比来看,两个系统的总地闪和负地闪频次逐时分布变化趋势基本一致,且峰值相对降水量极值来说均有 1h 的提前量(图 1a、b)。

差异之处:(1)三维系统地闪频次多于二维系统,前者正地闪频次是后者的 24.6 倍,负地闪频次是 4.7 倍,正地闪增加比例最高;(2)在闪电密集区,二维系统正地闪基本没有,三维系统正地闪较多;(3)降水量与二维系统总地闪和负地闪频次逐时变化有关,正地闪因其探测效率不高,无法体现关联性。降水量与三维系统总地闪、正地闪和负地闪频次逐时变化均有关,尤其是总地闪和负地闪相关性更明显。

(2)区域 B

从二维地闪落区看,在区域 B 中有两个闪电密集区,分别在瓦塘镇、木梓镇和木格镇三镇交界处,以及寨圩镇和城隍镇附近;而在三维地闪落区中仅有一个闪电密集区,在寨圩镇和城隍镇附近。

为了更准确对比分析两个密集区闪电与降水量

的关系,选取两个闪电集中区内的自动站(木梓镇和大西水库)的逐小时降水量数据,以及自动站 5km 半径范围内的地闪数据进行分析。

该次过程中,木梓镇站点逐小时降雨量最大值不超过 10mm,为一般性降水。二维系统总地闪和负地闪频次多于三维系统,前者总地闪频次是后者的 4.3 倍,负地闪频次达到 10.8 倍,负地闪增加比例最高。从逐时地闪频次与降雨量分布对比来看,二维系统的总地闪和负地闪频次逐时分布变化趋势基本一致,而三维系统的总地闪和正地闪频次逐时分布变化趋势基本一致,两个系统的总地闪峰值相对降水量极值来说均有一定的提前量,二维系统提前 3h,三维系统提前 2h(图 1c、d)。

该次过程中,大西水库站点在 11 日 17 时至 19 时出现短时强降雨,小时降雨量均超过 20mm。二维系统总地闪和负地闪频次多于三维系统,前者总地闪频次是后者的 1.4 倍,负地闪频次达到 1.7 倍,负地闪增加比例最高。从逐时地闪频次与降雨量分布对比来看,两个系统的总地闪和负地闪频次逐时分

布变化趋势基本一致,峰值与降水量极值均出现在 18 时(图 4e、f),大西水库站点附近的地闪和降水时间变化趋势一致性较木梓镇高。

基于广西三维闪电探测网探测正常的前提,分析区域 A 二维闪电数量少于三维闪电的原因:A 区域在广西中部,两个探测网在该区域覆盖效率相当,但该区域地势平坦,距离最近的二维闪电站点仅有马山站和宁明站两个,而三维闪电站点有龙州、都安、南宁和东兴四个站,探测数据证明后者的探测效率高于前者。

基于二维闪电定位系统探测正常的前提,分析区域 B 二维闪电数量多于三维闪电的可能原因:一是与所处站网的位置有关,二维闪电数据是全国联网数据,B 区域处于站网中心,而 A 区域处于广西三维闪电探测网边缘;二是站点布设距离,该区域距离最近的三个站点中二维站点有两个(贵港站和玉林站),三维站点仅有一个(横县站);三是地形影响,该区域地势平坦,但东南面有山地阻挡,影响该方向的三维站点(陆川站)探测效率。

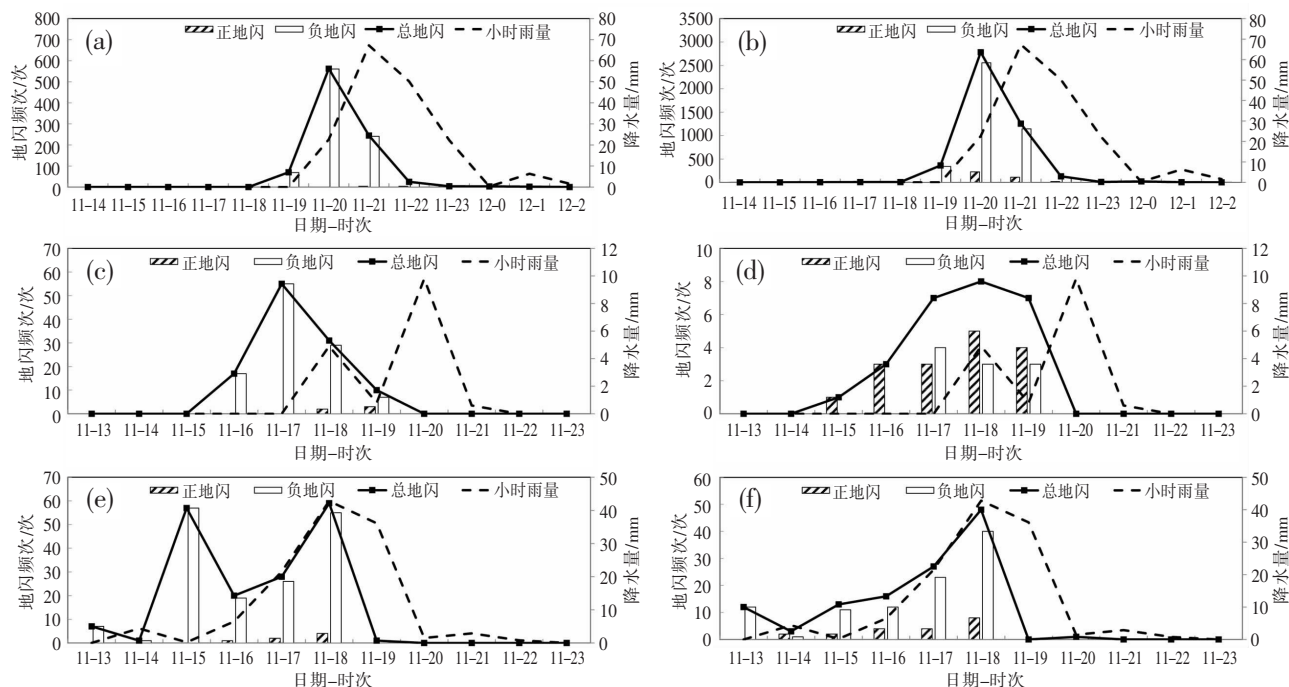


图 1 不同自动站点二维、三维地闪频次和降雨量逐小时分布图

(a)渠旧镇二维;(b)渠旧镇三维;(c)木梓镇二维;(d)木梓镇三维;(e)大西水库二维;(f)大西水库三维

4 结论与讨论

本文选取 2020 年 5 月 11 日 14—22 时广西一次区域性强对流天气过程两套闪电定位系统地闪数

据,对广西范围内二者的地闪探测能力进行对比分析,并结合降水实况数据,初步探讨地闪与降水量关系,得出如下结论:

(1)广西布设的三维闪电定位系统监测地闪数

量高于二维系统, 对正地闪及低强度地闪的探测能力更高。两套系统总地闪和负地闪频次活跃时段及变化趋势大体一致, 各时段三维系统的闪电频次均多于二维系统。

(2) 闪电频次与降水强度变化趋势有关, 尤其是与短时强降雨相关性较高, 地闪主要落区与过程累积降水量 30mm 以上的分布区域基本一致, 高的总闪和负闪频次往往对应强的降水时段。总地闪频次峰值一般早于强降雨出现时间, 对短时强降雨预报预警有一定预示作用。

(3) 闪电定位系统的监测效率与地形、定位站点数、定位站点距离有关, 在监测站网布设规划时要考虑上述因素的影响。

本研究只是个例分析, 要通过大数据的统计对这两套系统做深入的比较研究, 进一步揭示广西闪电活动特征, 探索闪电时空分布与降水强度的关系, 并为闪电定位系统升级、站网规划、雷电监测预警和短时强降雨预报工作提供更精细化的参考依据。

参考文献:

- [1] 李丹, 林文, 应达, 等. 福建中南部沿海不同强对流天气闪电活动特征分析[J]. 气象与环境科学, 2021, 44(6): 68–77.
- [2] ZHANG W J, MENG Q, MA M, et al. Lightning casualties and damages in China from 1997 to 2009[J]. Natural Hazards, 2011(57): 465–476.
- [3] 陈小艳, 康强, 植耀玲. 1998—2019 年南宁市雷电灾害特征分析[J]. 气象研究与应用, 2020, 41(1): 21–25.
- [4] 陈丹, 黄梅丽, 朱彦. 广西农村雷电灾害特征及其成因探析——以宾阳县为例[J]. 气象研究与应用, 2020, 41(2): 97–100.
- [5] 侯安校, 周芳聪, 邓发斌, 等. 近 10 年海南省雷电灾情及其对闪电定位性能的评估[J]. 气象研究与应用, 2022, 43(2): 80–86.
- [6] 张悦, 吕伟涛, 陈绿文, 等. 粤港澳大湾区两套闪电定位系统地闪探测性能的对标分析[J]. 热带气象学报, 2021, 37(3): 409–418.
- [7] 卢炳夫, 植耀玲, 陈丹, 等. 广西 VLF/LF 和 ADTD 闪电定位系统对比分析[J]. 气象研究与应用, 2020, 41(2): 39–44.
- [8] 吴量, 向清才, 陆庆, 等. 广西省 ADTD 和 VLF/LF 闪电定位系统地闪数据对比分析[J]. 气象水文海洋仪器, 2020, 37(2): 1–5.
- [9] 卢炳夫, 植耀玲, 黄伊曼, 等. 基于 VLF/LF 三维闪电定位系统的广西闪电时空分布特征[J]. 中低纬山地气象, 2021, 45(2): 65–71.
- [10] 卢炳夫, 植耀玲, 伍华丽. 广西前汛期和后汛期地闪特征差异及影响因子分析[J]. 暴雨灾害, 2022, 41(2): 224–231.
- [11] 周洁晨, 林婧, 付琦琼, 等. 2019 年江西二维和三维地闪定位资料对比分析[J]. 江西科学, 2021, 39(5): 858–860.
- [12] 余蓉, 杜牧云, 晏紫淙, 等. 湖北省两套闪电定位网地闪数据的对比分析[J]. 暴雨灾害, 2021, 40(6): 646–654.
- [13] 但建茹, 曾昌军, 郑栋, 等. 一次强降水天气过程的雷暴及闪电活动特征分析[J]. 广东气象, 2011, 33(6): 19–24.
- [14] 王婷波, 郑栋, 周康辉, 等. 暴雨和雹暴个例中闪电特征对比[J]. 应用气象学报, 2017, 28(5): 568–578.
- [15] 郭润霞, 张文龙, 王迎春. 三次不同类型强对流天气过程的闪电特征对比分析[J]. 自然灾害学报, 2020, 29(2): 173–184.
- [16] 成勤, 张科杰, 夏羽, 等. 湖北省 2020 年“6·27”特大暴雨过程闪电与降水关系分析[J]. 暴雨灾害, 2020, 39(6): 620–628.
- [17] 孙京, 蔡然, 柴健, 等. 深圳地区不同天气流型夏季短时强降水和闪电的时空特征[J]. 大气科学学报, 2021, 44(3): 461–472.
- [18] 成勤, 张科杰, 刘俊, 等. 一次特大暴雨过程三维和二维系统闪电特征对比分析[J]. 热带气象学报, 2021, 37(3): 396–408.
- [19] 阳宏声, 卢炳夫, 植耀玲, 等. 2017–2018 年广西三维闪电特征分析[J]. 气象研究与应用, 2020, 41(3): 43–48.

Comparative analysis of Cloud–To–Ground lightning characteristics of a frontal heavy rain using 2D and 3D systems in Guangxi

Huang Dan¹, Zhi Yaoling^{1*}, Lu Bingfu¹, Huang Yiman²

(1. Guangxi Meteorological Disaster Prevention Technology Center, Nanning 530022, China;

2. Guangxi Meteorological Observatory, Nanning 530022, China)

Abstract: The precipitation and lightning data from two-dimensional (2D; ADTD) and three-dimensional (3D; VLF/LF) lightning location systems were used to analyze the cloud-to-ground(CG)lightning characteristics with respect to lightning polarity, temporal and spatial distribution, intensity, and its correlation with precipitation of a frontal rainstorm process in Guangxi from 14–22 h on 11 May 2020. The influence of different lightning detection systems on the detection efficiency of lightning during thunderstorm weather in Guangxi, as well as the relationship between the frequency of ground lightning and precipitation were also evaluated. The results show that: (1)the detection efficiency of VLF/LF was higher than that of ADTD, especially for the positive CG lightning and low-intensity CG lightning. (2)The active periods and variation trends of the total CG lightning and negative CG lightning are were basically consistent between the two systems. (3)The high frequency regions of CG lightning were basically the same as the areas of accumulated rainfall greater than 30 mm. The high total and negative CG lightning frequencies often corresponded to the periods of heavy precipitation. (4)The terrain changes, the number and distance of location sites had a large impact on the monitoring efficiency of lightning positioning system.

Key words: 2D lightning positioning system; 3D lightning positioning system; lightning frequency; intense precipitation