

李 敏,侯安校,劳小青,等.海南岛三维、二维闪电定位数据时空分布和参数特征对比分析[J].气象研究与应用,2024,45(1):90-95.

LI Min, HOU Anxiao, LAO Xiaoqing, et al. Comparative analysis of spatiotemporal distribution and parameter characteristics of 3D and 2D lightning location data on Hainan Island[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2024, 45(1): 90-95.

海南岛三维、二维闪电定位数据时空分布和参数特征对比分析

李 敏^{1,2}, 侯安校^{3*}, 劳小青², 高 焱², 周方聪²

(1. 海南省南海气象防灾减灾重点实验室, 海口 570203; 2. 海南省气象灾害防御技术中心, 海口 570203;

3. 海南省气象服务中心, 海口 570203)

摘要: 对2021—2022年4—10月海南岛三维、二维闪电定位数据进行质控处理,以及有关数据时空分布和参数特征进行对比分析。结果表明,对比探测灵敏度和探测效率,三维闪电定位系统明显优于二维闪电定位系统。二维地闪、三维地闪、三维云闪的密度分布和时分布特征相似,密度高值中心分布在海南岛西部的儋州、白沙等地,时分布呈单峰曲线特征,峰期在15:00—16:00。三维地闪、三维云闪的月分布呈三峰曲线特征,5月为主峰期、7月为次峰期、9月为第三峰期,二维地闪的月分布呈单峰曲线特征,7月为高峰期。二维正地闪占比低于三维正地闪占比,二维正、负地闪的电流中位数比三维的高;二维正、负地闪的电流幅值分别以10~20 kA、20~30 kA为地闪次数的高峰区,三维正、负地闪的电流幅值以0~10 kA为地闪次数的高峰区。质控后的二维地闪、三维地闪、三维云闪的密度分布和时分布、月分布基本特征相似,表明质控方法合理有效。

关键词: 三维地闪; 二维地闪; 三维云闪

中图分类号: P427

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2024.1.15

海南岛是全国雷电的高发区,年平均雷暴日超100 d^[1]。据不完全统计,2012—2022年海南岛因雷击死亡21人,9人受伤,直接经济损失333万元^[2],雷灾非常严重。为充分认识海南闪电活动规律,做好防雷减灾工作,海南省气象局于2009年建成ADTD(Advanced TOA and Direction)二维闪电定位系统并投入业务使用,至今超过10 a,二维闪电定位资料成熟运用在雷电监测预警^[3-5]、区域雷电灾害风险评估^[6]、雷电灾害调查等多个方面。为进一步提高闪电监测能力,海南省气象局于2020年新建DDW1三维闪电定位系统,并于2021年投入使用。

近年来,研究人员基于海南二维闪电定位资料进行研究^[7-8],取得不少的成果。海南三维闪电定位系统建成不久,对监测数据鲜有进行对比分析,对三维和二维闪电数据进行多元对比分析成了当务之急。本文将比较分析海南省三维和二维闪电数

据的时空分布和参数特征,为防雷减灾业务以及科研工作中使用闪电定位数据提供依据。

1 资料与方法

1.1 数据来源

海南岛二维闪电观测系统由5部ADTD闪电定位仪和1个监测定位中心站组成,分别在海口、东方、琼中、琼海、三亚设立站点,三维闪电观测系统同样由5部DDW1闪电定位仪和1个监测定位中心站组成,与ADTD闪电定位仪安装于同一站点。ADTD、DDW1闪电定位仪探测距离同样300 km,ADTD采用时差法和定向时差联合法进行闪电定位,DDW1采用空间TOA定位法进行闪电定位。ADTD、DDW1闪电定位系统同样可实现500 m(中值)的探测精度,ADTD站的探测效率可达80%~90%,DDW1的探测效率以闪电类型分为地闪95%、

收稿日期: 2023-10-21

基金项目: 海南省自然科学基金项目(2019RC361、421MS103、422MS151),海南省气象局科研项目(hnqxZC202111)

第一作者简介: 李敏(1979-),女,工程师,主要从事雷电灾害防御工作。E-mail: 252096762@qq.com

*通讯作者: 侯安校(1966-),男,高级工程师,主要从事灾害防御工作。Email: houanxiao@163.com

回击 60%、云闪 40%^[9-10]。ADTD 定位方式包括二站振幅、二站混合、三站混合、四站算法等四种方式,探测要素包括闪电时间、经纬度、强度、陡度、误差、定位方式等 6 项;DDW1 定位方式包括三站定位、四站定位、五站定位等三种方式,其中 DDW1 云闪只包含五站定位一种方式,探测要素包括闪电类型、时间、经纬度、高度、强度、误差、定位方式等 7 项。文中将采用 2021—2022 年 4—10 月的三维、二维闪电定位数据作对比分析。

雷达回波资料来自海口、东方、万宁三部 S 波段雷达,S 波段雷达最大观测距离 460 km,径向空间分辨率为 1 km,时间分辨率为 6 min。首先经过解析基数据,形成地球坐标文本文件,再通过时间剔除法、区域分割法形成体扫时间 6 min 的数字集,经过 1 km×1 km 的格点最大值处理转化为格点文件,再由格点文件转为文本文件,文本文件中的每一组数据表示 1 km² 的最大回波强度。文中将采用 2021—2022 年 4—10 月的雷达资料作为三维、二维闪电数据作质控处理。

1.2 数据质控

1.2.1 归闪

一次闪电放电过程通常含有多次回击,两套闪电定位系统均未区分探测的闪击是首次回击还是继后回击,因此,需要参照一定的标准将多次回击归类为一次闪电,即称为“归闪”^[11]。归闪标准按国家标准(GB/T37047-2018)^[12]执行,即首次回击和后续极性(正/负)相同回击间距离差小于 10 km,时间间隔小于 1 s,且相邻回击之间小于 500 ms 的所有回击归属于同一次闪电。为缩小数据范围,只保留海南岛陆地上空的闪电数据。归闪结果见表 1。

表 1 2021—2022 年 4—10 月海南岛二维、三维闪电归闪结果

类型	原始数据/次	归闪/次	海南岛陆地/次
二维地闪	610 472	382 239	209 237
三维地闪	583 747	503 958	355 090
三维云闪	230 126	230 126	123 546

1.2.2 回波过滤

三维闪电和二维闪电同样存在“晴天”观测到闪电的现象,一般称这一部分闪电为“误测”。“误测”包括一种是外部干扰所产生的闪电,一种是定位不准确、落雷距离超出范围的闪电,还有一种是定位准确、落雷距离超出常规范范围的闪电,前一种

闪电占“误测”闪电的大部分,后二种闪电占“误测”闪电的小部分^[13-17]。为删除“误测”,让闪电与回波配合得更好,引入“30 dBZ 以上组合反射率”指标进行过滤,即闪电在距离 30 dBZ 以上(含)组合反射率 15 km 范围内为真,否则为“误测”。用该过滤方法虽不能 100% 判断闪电为真或者“误测”,但能使闪电很好地配合回波出现。表 2 为回波过滤后的结果。

表 2 2021—2022 年 4—10 月海南岛二维、三维闪电回波过滤结果

类型	定位方式	过滤前数据/次	过滤后数据/次	百分比/%
二维地闪	二站振幅	29 429	13 671	46.45
	二站混合	85 960	61 463	71.50
	三站混合	35 237	34 691	98.45
	四站算法	58 611	57 015	97.28
三维地闪	三站定位	285 895	183 866	64.31
	四站定位	39 597	38 465	97.14
	五站定位	29 598	29 525	99.75
三维云闪	五站定位	123 546	123 469	99.94

二维地闪过滤后,二站振幅、二站混合剩下的百分比分别为 46.45%、71.50%,三站混合、四站算法剩下的百分比分别为 98.45%、97.28%;三维地闪过滤后,三站定位剩下的百分比为 64.31%,四站定位、五站定位剩下的百分比分别为 97.14%、99.75%;三维云闪过滤后剩下的百分比为 99.94%。二维地闪中的二站定位、三维地闪中的三站定位甚至是四站、五站定位仍有一些误测在固定地点长期存在,不论是晴天还是雨天,虽然经过回波过滤,但在有回波的情况下仍没被过滤掉。赵伟等^[18]在分析浙江省两套闪电定位数据时认为准确定位至少需要三个站点来确定。因此,为保证统计数据和分析结果的正确,本次统计剔除掉二维地闪的二站振幅、二站混合定位数据以及三维地闪的三站定位数据。

2 结果与分析

2.1 二维地闪、三维地闪、三维云闪时空分布

2.1.1 闪电密度空间分布

从图 1 来看,二维地闪、三维地闪、三维云闪的密度高值中心所处的位置相似,主要分布在海南岛西部的儋州和白沙等地。单独从图 1(a)、图 1(b)、图 1(c)来看,图 1(c)三维云闪明显比图 1(a)二维地

闪、图1(b)三维地闪的密度大、分布广,高值区分布在昌江、万宁、临高南部和澄迈南部,以及琼中、屯昌、定安等部分地区,三维云闪最大密度为16次·km⁻²;图1(a)二维地闪的密度高值区分布在昌江、临高南部和澄迈南部,以及屯昌、定安和东方等部分地区,二维地闪最大密度为13次·km⁻²;图1(b)三维地闪的密度高值区分布在东方及乐东两地(海口周围高值区因为误测导致应被排除),三维地闪最大密

度为6次·km⁻²。从相互对比来看,三维云闪在万宁、陵水等海南岛东南部有一片密度高值区,而三维地闪则没有;三维地闪在乐东、东方等海南岛西南部有一片密度高值区,而三维云闪则没有;二维地闪则兼有之。可能海南岛东南部主要发生云闪,海南岛西南部主要发生地闪,而ADTD二维闪电本身就不能分辨出云闪和地闪,所以造成其密度分布包含云闪和地闪的特征。

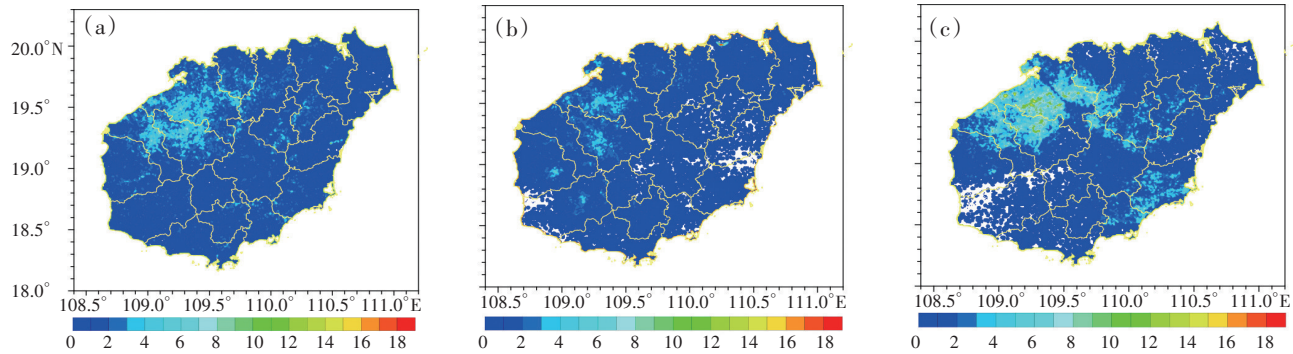


图1 2021—2022年4—10月海南岛三维、二维闪电密度(单位:次·km⁻²)

(a) 二维地闪;(b) 三维地闪;(c) 三维云闪

2.1.2 闪电时间分布

图2(a)显示,二维地闪、三维地闪、三维云闪的时次分布皆呈单峰曲线特征,均以15:00—16:00为闪电次数的高峰期,15:00—16:00的闪电次数分别为三维云闪26 947次、二维地闪17 742次、三维地闪142 76次。2021—2022年海南岛三维云闪与三维地闪的时次分布特征一致,但在其他省份并不一样。王慧等^[19]分析2015—2016年湖北省三维闪电定位数据时发现,云闪时次分布滞后于地闪;吴凡等^[20]分析2005—2007年北京三维闪电定位数据时发现,云闪时次分布要提前于地闪。

图2(b)显示,三维云闪、三维地闪月分布呈三峰曲线特征,均以5月为主峰期、7月为次峰期、9月为第三峰期,三维地闪5月、7月、9月闪电次数分别为15 291次、12 472次、12 415次,三维云闪5月、7月、9月闪电次数分别为31 009次、22 130次、21 394次;二维地闪月分布呈单峰曲线特征,7月为闪电次数的高峰期(23 491次)。可见,三维云闪和三维地闪与二维地闪的月分布不尽相同,三维地闪、云闪在6月、8月出现次数的低谷期,而二维地闪却没有。不过,二维地闪的高峰期与三维地闪、云闪的次峰期是一致的。

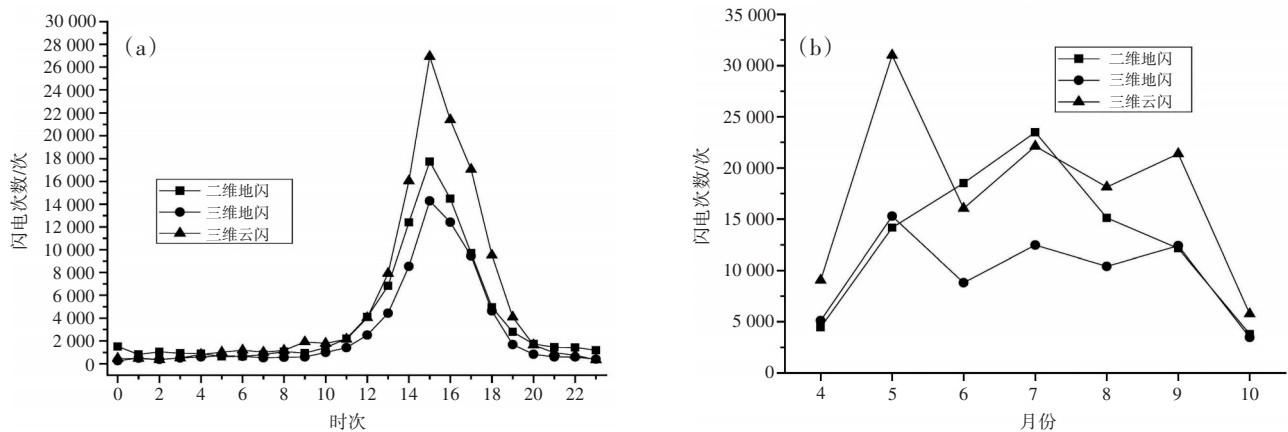


图2 2021—2022年4—10月海南岛三维、二维闪电时间分布

(a) 时分布;(b) 月分布

2021—2022年海南岛二维地闪的时间分布与海南岛历年并不一致,劳小青等^[21]分析2010—2019年4—10月海南岛二维闪电时分布、月分布时发现,时次分布同为单峰特征,但高峰期为16:00—17:00;月分布为双峰特征,主峰期在5月,次峰期在8月。

2.2 参数对比

2.2.1 极性、电流中位数对比

如表3所示,三维正、负地闪占总数的百分比分别为19.63%和80.37%,二维正、负地闪占总数的百分比分别为11.06%和88.94%,三维正、负地闪的电流中位数为14.85 kA、-8.79 kA,二维正、负地闪的电流中位数为24.3 kA、-33.0 kA。成勤等^[22]在分析中部五省ADTD闪电分布特征时发现,正地闪占总数的百分比随纬度变高而逐渐变大,从24.5°N的4%增加至36.5°N的8%。海南岛2021—2022年三维正地闪占总数的百分比则远大于中部五省,而二维正地闪占总数的百分比略高于中部五省。

表3 2021—2022年4—10月海南岛三维、二维地闪极性、电流中位数对比

类型	数量/次	正、负地闪占比/%	电流中位数/kA
三维正地闪	13 346	19.63	14.85
三维负地闪	54 643	80.37	-8.79
二维正地闪	10 144	11.06	24.30
二维负地闪	81 562	88.94	-33.0

2.2.2 电流幅值对比

如图3所示,三维正、负地闪的电流幅值以0~10 kA为地闪次数的高峰区;二维正地闪的电流幅值以10~20 kA为地闪次数的高峰区,二维负地闪

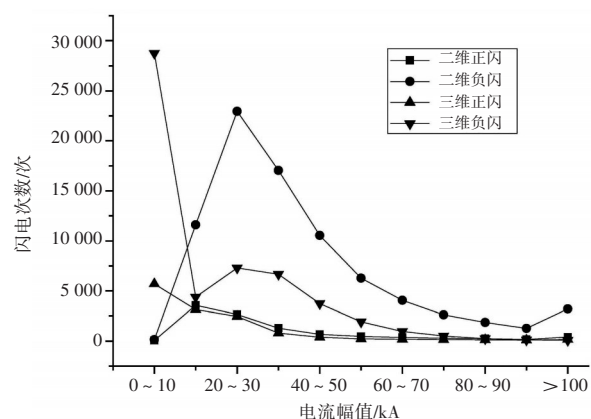


图3 2021—2022年4—10月海南岛二维、三维地闪电流幅值分布

的电流幅值以20~30 kA为地闪次数的高峰区。如果三维地闪、三维云闪剔除掉0~10 kA段的次数,其分布与二维地闪一样,不过三维正地闪次数将减少42.7%、负地闪次数将减少52.6%。田芳等^[23]和李京校等^[24]将ADTD探测的10 kA以下的正地闪数据予以删除,但涉及到如此大量数据则应从定位算法上加以改进。

3 结论与讨论

通过上述分析得到以下结论:

(1)三维闪电定位系统的探测灵敏度和探测效率明显高于二维闪电定位系统。

(2)两套闪电定位系统的密度分布基本一致,密度高值中心都在海南岛的儋州、白沙境内,但总体来比较,二维地闪与三维云闪的密度高值区更为接近。

(3)三维地闪和三维云闪的月分布均呈三峰曲线特征,主峰期在5月、次峰期在7月、第三峰期在9月;二维地闪的月分布呈单峰曲线特征,峰期在7月。二维地闪、三维地闪和三维云闪的时次分布呈单峰曲线特征,峰值均出现在15:00—16:00。

(4)二维正、负地闪占总数的百分比分别为11.06%和88.94%,三维正、负地闪占总数的百分比分别为19.63%和80.37%,二维正、负地闪的电流中位数为24.3 kA、-33.0 kA,三维正、负地闪的电流中位数为14.85 kA、-8.79 kA。二维正地闪的电流幅值以10~20 kA为地闪次数的高峰区,二维负地闪的电流幅值以20~30 kA为地闪次数的高峰区,三维正、负地闪电流幅值以0~10 kA为地闪次数的高峰区。

总体而言,质控后的三维闪电数据与二维闪电数据在闪电密度分布和时次分布、月分布的基本特征趋于一致,说明该质控方案有效可行,可以利用质控后的闪电数据开展雷击风险评估、雷击事故鉴定和雷电监测预警等应用。至于三维正地闪占总数的百分比偏大、三维地闪电流中位数及电流幅值偏小的问题,还需进一步验证和评估。

参考文献:

- [1] 王春乙,吴慧,邢旭煌,等.海南气候[M].北京:气象出版社,2014:71-73.
- [2] 候安校,周方聪,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.
- [3] 劳小青,韦传波,周方聪.西南低压槽影响下的海南岛地闪活动特征[J].气象科技进展,2021,11(4):7-11.
- [4] 李敏,劳小青,高焱,等.南海低压槽影响下的海南岛地闪活动特征[J].海南大学学报(自然科学版),2021,39(2):169-176.
- [5] 劳小青,周方聪,潘家利,等.海南岛低压槽类天气系统雷达回波和地闪特征分析[J].气象与环境科学,2021,44(1):96-103.
- [6] 高焱,蒙小亮,劳小青.基于聚类分析的海南岛雷电灾害易损度风险区划[J].自然灾害学报,2013,22(1):175-182.
- [7] 高焱,陈汇林,劳小青,等.海南文昌火箭发射场雷电环境分析[J].自然灾害学报,2012,21(4):182-189.
- [8] 郭冬艳,陈红,陈有龙,等.海南岛地闪活动的时空特征与海陆风关系[J].2020,10(4):102-107.
- [9] 许洪泽,周梅.基于ADTD闪电定位网探测效率的评估分析[J].河南科技,2017(1):126-128.
- [10] 李庆申,陈宇涵,张阳,等.DDW1闪电定位系统及性能评估[J].气象科技,2020,48(6):788-794.
- [11] 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(4):646-654.
- [12] 国家市场监督管理总局,中国国家标准化管理委员会.基于雷电定位系统(LLS)的地闪密度总则:GB/T 37047-2018[S].北京:中国标准出版社,2018.
- [13] 陈绿文,黄智慧,禹继,等.一次人工触发闪电事件的定位误差分析[J].广东气象,2010,32(1):15-17,21.
- [14] 崔雪东,张卫斌,王芳.浙江省二维和三维闪电定位系统对比分析及效能评估[J].科技通报,2020,36(7):14-20.
- [15] 张科杰,谢超,郑琦玉.湖北ADTD闪电定位系统监测数据质量分析[J].气象科技,2022,50(2):179-188.
- [16] 邹斌,崔海华,张其林,等.海南地区山体地形对地闪回击定位精度的影响[J].科技技术与工程,2021,21(28):11989-11998.
- [17] 殷启元,范祥鹏,张义军,等.一次“晴天霹雳”致死事件分析[J].气象学报,2019,77(2):292-302.
- [18] 赵伟,姜瑜君,童杭伟,等.浙江省两套闪电定位系统地闪数据对比[J].应用气象学报,2015,26(3):354-363.
- [19] 王慧,高玉龙,胡晋.基于VLF/LF三维闪电定位仪资料的湖北省闪电特征分析[J].气象水文海洋仪器,2021,38(3):48-52.
- [20] 吴凡,崔晓鹏,张大林,等.2005-07年北京地区地闪和云闪的统计特征[C]//中国气象学会.第33届中国气象学会年会 S19 雷电物理和防雷新技术——第十四届防雷减灾论坛.2016.
- [21] 劳小青,石华,李敏.海南岛正地闪时空分布特征的分析[J].海南大学学报(自然科学版),2021,39(3):288-296.
- [22] 成勤,王学良,肖稳安,等.我国中部五省云地闪电时空分布特征分析[J].暴雨灾害,2011,30(3):254-259.
- [23] 田芳,肖稳安,冯民学,等.闪电定位仪观测结果的修订分析[J].华东电力,2008,38(6):38-42.
- [24] 李京校,郭凤霞,扈海波,等.2017北京及其周边地区SAFIR和ADTD闪电定位资料对比分析[J].高原气象,36(4):1115-1126.

Comparative analysis of spatiotemporal distribution and parameter characteristics of 3D and 2D lightning location data on Hainan Island

LI Min^{1,2}, HOU Anxiao³, LAO Xiaoqing², GAO Yi², ZHOU Fangcong²

(1. Key Laboratory of South China Sea Meteorological Disaster Prevention and Mitigation of Hainan Province, Haikou 570203, China; 2. Hainan Meteorological Disaster Prevention Technology Center, Haikou 570203, China; 3. Hainan Meteorological Service Center, Haikou 570203, China)

Abstract: The three-dimensional (3D) and two-dimensional (2D) lightning positioning data on Hainan Island from April to October of 2021–2022 are processed for quality control, and the spatiotemporal distribution and parameter characteristics of the two systems are compared and analyzed. The results show that: the 3D lightning positioning system is significantly better than the 2D lightning positioning system in terms of detection sensitivity and detection efficiency. The density distribution and time distribution characteristics of 2D ground lightning, 3D ground lightning and 3D cloud lightning are similar, with the high density centers distributed in Danzhou and Baisha in the west of Hainan Island, and the time distribution is characterized by unimodal curve, with the peak period at 15:00–16:00. The monthly distribution of 3D ground lightning and 3D cloud lightning is characterized by a triple-peak curve, with May as the main peak, July as the second peak, and September as the third peak, and that of 2D ground lightning is characterized by a single-peak curve, with July as the peak period. The monthly distribution of 2D ground flashes is characterized by a single-peak curve, with July as the peak period. The percentage of 2D positive ground lightning is lower than that of 3D positive ground lightning, and the median current of 2D positive and negative ground lightning is higher than that of 3D positive and negative ground lightning; the current amplitudes of 2D positive and negative ground lightning are 10 ~ 20 kA and 20 ~ 30 kA, respectively, as the peaks of the ground lightning, and the current amplitudes of 3D positive and negative ground lightning are 0 ~ 10 kA as the peaks of the ground lightning. After quality control, the density distributions of 2D ground lightning, 3D ground lightning and 3D cloud lightning are similar to the time and monthly distributions, indicating that the quality control method is reasonable and effective.

Key words: three-dimensional ground flash, two-dimensional ground flash, three-dimensional cloud flash