

钟雨珊,刘三梅,伍国裕,等. 广东近年“龙舟水”期间地闪特征及其与降水关系[J]. 气象研究与应用,2023,44(1):106–111.

Zhong Yushan,Liu Sanmei,Wu Guoyu,et al. Characteristics of ground flash and its relationship with dragon-boat precipitation in Guangdong in recent years[J]. Journal of Meteorological Research and Application,2023,44(1):106–111.

# 广东近年“龙舟水”期间地闪特征及其与降水关系

钟雨珊<sup>1</sup>, 刘三梅<sup>2</sup>, 伍国裕<sup>3</sup>, 伍德超<sup>4</sup>

(1.江门市气象服务中心, 广东 江门 529000; 2.广东省气候中心, 广州 510641;

3. 江门市突发事件预警信息发布中心, 广东 江门 529000; 4.江门市防雷公司, 广东 江门 529000)

**摘要:**选取广东2018—2022年“龙舟水”期间(5月21日—6月20日)发生在粤港澳地区地闪定位数据,分析其地闪发生的特征,并结合86个国家站逐日降水资料探讨了地闪强度、频次与降水的关系。结果显示:(1)广东近5a地闪强度集中在-40~15kA;正闪发生占比38.80%,平均电流为6.28kA;负闪发生占比61.20%,平均电流强度为-16.18kA;(2)逐日闪电频次较多,主要集中在5月下旬至6月上旬;降水量与总地闪频次随年份起伏变化基本一致,二者呈弱相关,相关性系数为0.45;另外,近年“龙舟水”期间总地闪频次逐时变化呈单峰型,而2021年总地闪频次逐时变化呈双峰型,2022年总地闪频次逐时变化呈三峰型。(3)广东中心地区发生地闪密度大,其平均地闪强度相对较小,而四周边缘地区地闪密度小,平均强度反而大;另外,粤东、粤北等丘陵地区“龙舟水”期间地闪强度普遍在20~25kA;而雷州半岛地区平均地闪强度大于25kA,尤其是2022年平均地闪强度达到了40kA。

**关键词:**“龙舟水”;地闪定位数据;地闪强度;地闪密度

**中图分类号:** P427.3

**文献标识码:** A

**doi:** 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2023.1.18

## 引言

气候上,通常把“龙舟水”期间确定在每年的公历5月中下旬至6月中下旬,即5月21日—6月20日<sup>[1]</sup>。“龙舟水”期间降水相对集中,又常伴有局地雷暴等强对流天气发生。广东地处亚热带海洋季风气候区,“龙舟水”期间雷电活动和强降水频繁,每年因雷电、洪涝等灾害造成的经济损失大、人员伤亡重<sup>[2]</sup>。

近年来,随着闪电探测技术普遍应用及资料的积累,许多学者对地闪的时空分布及其影响因素进行了研究<sup>[3-4]</sup>,发现中国地闪活动具有显著地域差异性,地闪活动密集区域主要分布在四川盆地、中东部地区和华南沿海等地。杨春明等<sup>[5]</sup>显示,安徽2010—2012年3—12月逐日闪电数据分析表明正负闪电强度值集中在3~30kA;其南部的闪电数和平均电流

强度均比北部大,但北部正地闪占比略高于南部<sup>[6]</sup>;王凯等<sup>[7]</sup>统计2011—2013年地闪资料显示,皖南山区地闪电流强度主要集中在10~50kA;丁旻等<sup>[8]</sup>研究发现贵州省地闪密度呈明显的西高东低分布;陆国俊等<sup>[9]</sup>研究得到广州地区1999—2008年平均地闪频次约7.6(万次·年<sup>-1</sup>),地闪密度高值区大于10.4(次·km<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>);刘雪涛等<sup>[10]</sup>利用1998—2013年TRMM卫星资料分析得到云南地区平均闪电密度为4.7(次·km<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>);相比之下,西北地区的地闪活动则较弱,如新疆<sup>[11]</sup>、甘肃等<sup>[12]</sup>地闪密度总体较小(<1次·km<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>)。另外,不用时间尺度发地闪频次也有很大差异。李如箭等<sup>[13]</sup>指出北京地区地闪月变化呈双峰结构,频次高峰月份为6—8月;王延慧等<sup>[14]</sup>研究显示新疆地区2013—2016年闪电频数的月变化则呈单峰型分布,6—7月为高发月份。

诸如广东省地闪活动的研究也有很多,如雷州

收稿日期: 2022-12-25

基金项目: 江门市气象局科学技术研究项目“上川岛毫米波云雷达雷电防护技术研究”

作者简介: 钟雨珊(1979—),女,工程师,主要从事防雷工程服务。E-mail:791756285@qq.com

\* 通讯作者: 刘三梅(1975—),女,高级工程师,主要从事雷电灾害风险评估工作。E-mail:17655543@qq.com

半岛盛夏地闪活动与降水量及雨强的关系研究<sup>[15]</sup>;地闪密度图及雷电参数分析<sup>[9]</sup>,地闪时空特征及与降水关系分析等<sup>[16]</sup>,但相关针对“龙舟水”期间地闪活动特征少有报道。因此,本文针对广东地区近年“龙舟水”期间地闪活动的时空分布进行了分析,并结合 86 个国家站逐日降水资料分析地闪强度、频次与降水的关系。为进一步掌握“龙舟水”期间的地闪活动规律,做好雷电预报预警,减少雷电灾害造成的灾害提供理论借鉴。

1 数据来源与方法

数据资料来源于气象大数据云平台·天擎,选取了广东 2018—2022 年“龙舟水”期间(5 月 21 日—6 月 20 日)发生在粤港澳地区地闪定位数据。地闪定位资料包含地闪发生的时间、经度、纬度和雷电流及极性要素。

采用数理统计方法,在广东省范围内(109.66°E~117.19°E,20.22°N~25.52°N),按照 0.05°×0.05°分辨率将其空间网格划分为 152×107,逐年统计“龙舟水”期间每个格点内的地闪次数和强度;另外,“龙舟水”期间所有样本事件分别按年、日、时统计地闪频次和地闪平均强度并绘制成图表(时间长度 155d)。

2 结果与分析

2.1 “龙舟水”期间地闪极性、时间分布特征

2.1.1 地闪频次

本文统计了 2018—2022 年“龙舟水”期间(5 月 21 日—6 月 20 日)发生在广东地区的粤港澳地闪定位数据如表 1 所示,总计 3837028 条;其中,正闪发生 1488681 次,占比 38.80%,平均电流为 6.28kA;负闪发生 2348313 次,占比 61.20%,平均电流强度为 -16.18kA;总体上显示负地闪平均强度明显大于正

表 1 2018—2022 年“龙舟水”期间地闪频次及占比			
年份	正闪(次)	负闪(次)	总闪(次)
2018	63237	245547	308785
2019	89333	375253	464586
2020	261212	771302	1032514
2021	107503	336947	444450
2022	967396	619264	1586693
总计(次)	1488681	2348313	3837028
占比(%)	38.80	61.20	100

地闪的平均强度。另外,本次统计样本中,2022 年“龙舟水”期间发生地闪的频次最多(1586693 次),2018 年最少(308785 次);除 2022 年外(正闪:1488681 次<负闪:2348313 次),2018—2021 年,“龙舟水”期间负闪频次明显大于正闪频次。

2.1.2 地闪强度

为了解 2018—2022 年“龙舟水”期间不同地闪强度区间的概率分布,现将正闪、负闪在不同强度区间的占比情况绘制成图 1。由图可知,总体上发生的地闪平均强度占比集中在-40~15kA。2018—2021 年发生地闪强度-10~-5kA 的占比最大,分别为 21.98%、18.24%、19.21%、20.94%;而 2022 年地闪强度 0~5kA 的占比最大,达到 38.24%,远大于 2018—2021 年的最大强度占比;另外,少数地闪强度可以达到 100kA 以上,年均占比小于 1.0%。

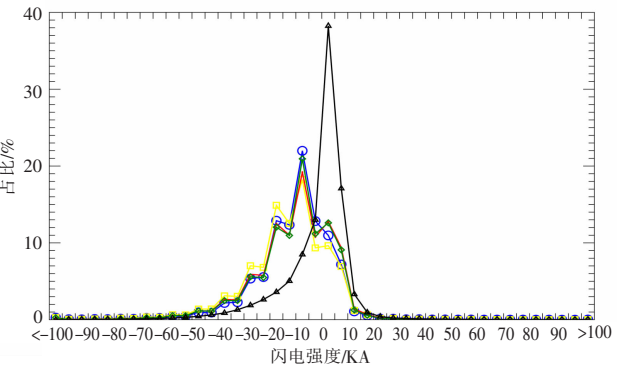


图 1 2018—2022 年“龙舟水”期间地闪强度占比分布

2.1.3 地闪年际变化

(1)地闪频次、强度年际变化

将 2018—2022 年“龙舟水”期间地闪频次和年平均强度变化绘制成图 2 所示。图 2a 显示总地闪、正闪、负闪年际变化,可看出 2018—2021 年发生正闪频次起伏变化较小,而发生负闪频次明显较多,2022 年总地闪频次最多,正闪发生频次多于负闪,具体数据如表 1 所示。图 2b 显示了逐年所有地闪的平均强度,总体上,2018—2022 年正闪平均强度相差不大,范围为 5.99~7.38kA,负闪为-14.04~-18.75kA,2019 年总地闪平均强度最高,为 15.57kA;特别地,5a 中,广东 2022 年“龙舟水”期间总地闪、正闪、负闪频次均是最高,而平均强度反而最低,具体为 9.13、5.99、-14.04kA。

(2)总地闪频次、强度与降水变化

为了解地闪与降水量的关系,绘制了“龙舟水”

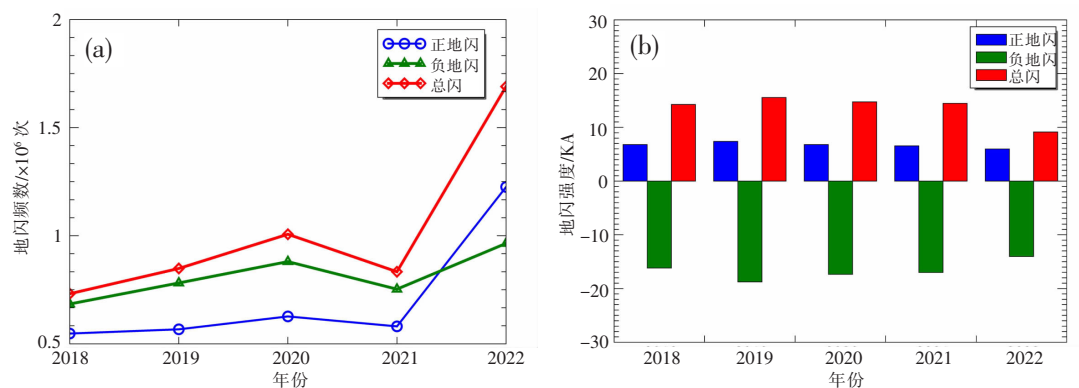


图2 2018—2022年“龙舟水”期间地闪频次和强度年际变化

期间总地闪与降水量的变化图(图3)。图3(a,b)为不同年际总地闪频次、平均强度与降水量的变化。总体显示,降水量与总闪频次随年份起伏变化基本一致,2021年龙舟水期间总地闪频次最低,降水量最

低,2022年的总地闪频次最高,降水量最高;而“龙舟水”期间总地闪平均强度与降水量的多少并没有很好的一致性,呈相反趋势,2022年“龙舟水”期间降水量增加的同时,总地闪平均强度反而降低。

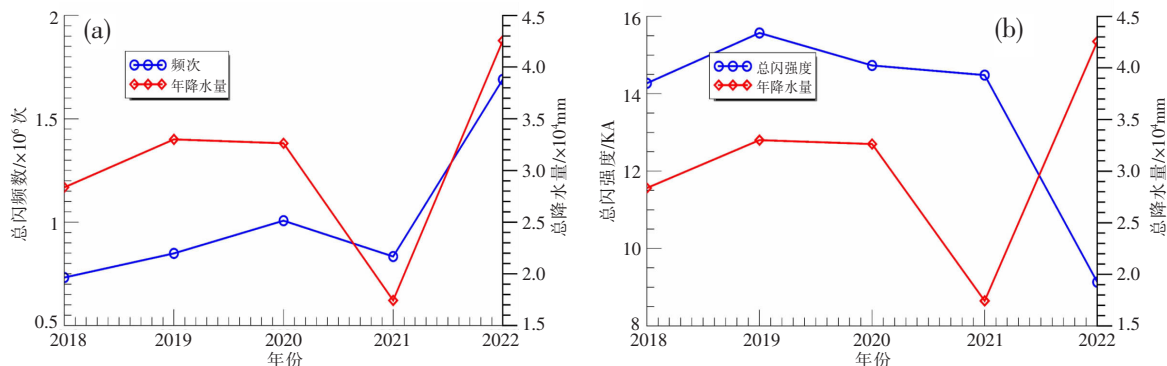


图3 2018—2022年龙舟水期间总地闪频次和平均强度与降水变化

#### 2.1.4 总地闪日分布

图4为2018—2022年“龙舟水”期间总地闪逐日平均强度分布。由图4a总地闪逐日频次分布可知,2018—2022年广东“龙舟水”期间,逐日地闪频次较多,主要集中在5月下旬至6月上旬。总体上,地闪频次逐日起伏变化,由地闪频次可知,广东“龙舟

水”期间降水量较大。另外,2022年广东省“龙舟水”期间发生频次最多,日地闪频次高达180991次。图4b为总地闪逐日平均强度分布。总体上,2018—2022年“龙舟水”期间逐日地闪平均强度在5~40kA范围,2018—2021年日地闪平均强度10~20kA较多,值得注意的是日地闪平均强度较高时,其地闪频

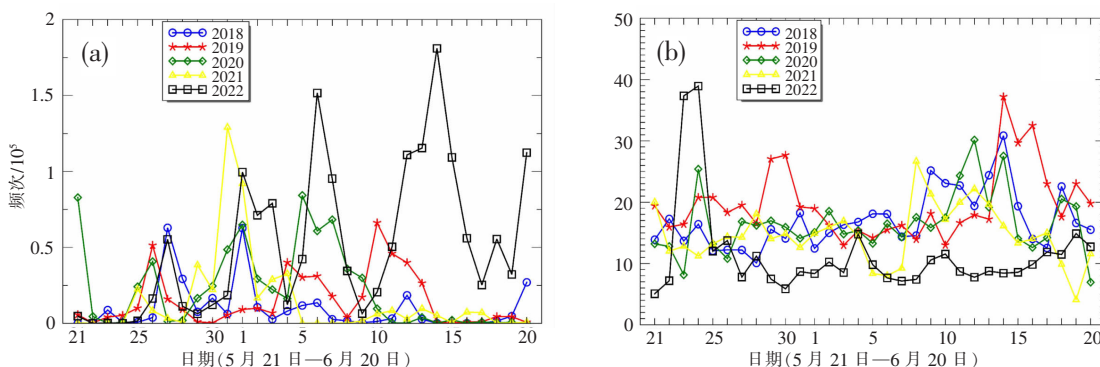


图4 2018—2022年“龙舟水”期间总地闪逐日分布

次较多,如 2018 年、2019 年、2020 年 6 月 14 日地闪平均强度分别为 30.85kA、37.19kA、27.53kA,而对应日地闪频次为 33 次、596 次、231 次;2022 年 5 月 23 和 24 日,地闪平均强度分别为 37.34kA、38.94kA,而对应当日地闪频次仅为 177 和 74 次,由此推断,发生地闪频次较少,其地闪平均强度通常较高,反之则低。

研究显示对流性降水越剧烈,更有利于引起地闪的产生。图 5 为 2018—2022 年“龙舟水”期间逐日

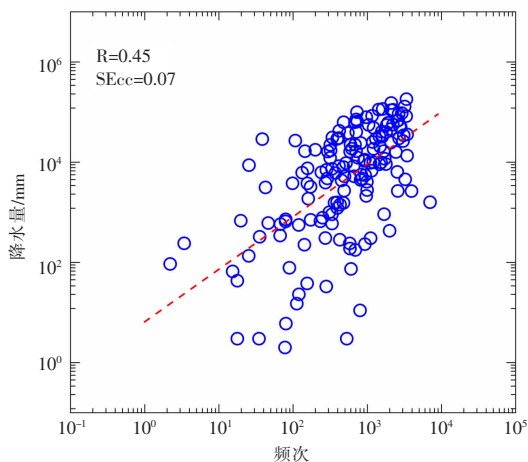
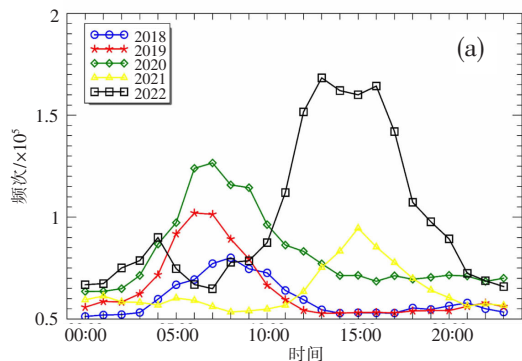


图 5 2018—2022 年“龙舟水”期间日降水量与地闪频次关系(蓝色圈为散点,红色虚线为拟合线)



降水量与地闪频次的相关性。显示了降水量与地闪频次呈弱相关,相关性系数为 0.45,通过 95%的显著性检验。进一步表明了降水量越大,地闪频次相应越多。

### 2.1.5 总地闪逐时变化

图 6 为广东省 2018—2022 年“龙舟水”期间总地闪逐时分布。图 6a 显示总地闪频次随时间变化。由图可知,2018—2020 年总地闪频次逐时变化呈单峰型,峰值分别出现在 08 时(40069 次)、06 时(69373 次)、07 时(102108 次);2021 年总地闪频次逐时变化呈双峰型,峰值分别在 05 时(13693 次)、15 时(59404 次);2022 年总地闪频次逐时变化呈三峰型,峰值分别为 04 时(53306 次)、13 时(157762 次)、16 时(152391 次);2022 年总地闪峰值频次最高(157762 次),2018 最低(40069 次)。图 6b 总地闪强度随时间变化。总体上,仅从总地闪强度随时间变化上看,并没有明显的变化趋势。若结合图 6a 可看出,各年份总地闪频次峰值对应时刻,总地闪强度并未出现峰值,对应时刻总闪强度反而有偏低趋势,为验证此猜想,下面进一步开展地闪空间分布特征分析。

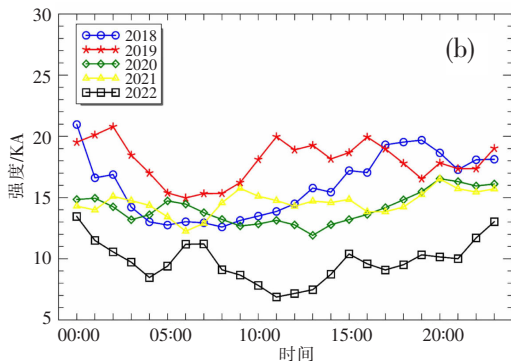


图 6 2018—2022 年“龙舟水”期间总地闪逐时分布  
(a)总地闪频次随时间变化;(b)总地闪强度随时间变化

## 2.2 龙舟水期间地闪空间分布特征

2018 年广东地闪密度在空间上主要以肇庆为中心向四周递减,密度中心出现在肇庆东部、广州西部、佛山北部,甚至惠州等地区地闪密度也较高,以上地区地闪密度普遍高达 150(次·a<sup>-1</sup>),地闪平均强度普遍小于 10kA;而广东四周边缘地区,地闪密度普遍低于 50/次·a<sup>-1</sup>,地闪平均强度普遍在 10~20kA,特别是雷州市等地地闪平均强度超过 30kA;

2019 年地闪密度中心出现广州南部沿海地区、

西至阳江、北至英德、东至惠州等地,地闪密度超过 150/次·a<sup>-1</sup>,相比于 2018 年,超过 200/次·a<sup>-1</sup> 地闪密度中心范围更大,地闪平均强度普遍小于 10kA 的区域反而更小。

2020 年地闪密度超过 150/次·a<sup>-1</sup> 的范围较大,覆盖云浮、江门、佛山、中山、广州、清远、东莞、惠州、韶关等市,甚至延伸到汕尾和河源;最高地闪密度可达到 800/次·a<sup>-1</sup>,但其地闪平均强度普遍偏低,总体小于 20kA;另外,雷州半岛地区地闪密度小于 50/次·a<sup>-1</sup>。



2021 年地闪密度中心出现广州、佛山、肇庆和江门沿海一带,地闪密度最高达到  $600/\text{次}\cdot\text{a}^{-1}$ ,地闪平均强度低值区出现在广州以南沿海一带 ( $<10\text{kA}$ ),而雷州半岛大部分地区未发生地闪或地闪频次较少,而发生地闪区域,地闪平均强度却高达  $35\text{kA}$ 。

2022 年广东“龙舟水”期间地闪频次最高,中心地区地闪密度超过  $1000/\text{次}\cdot\text{a}^{-1}$ ,地闪平均强度低值区分布在广州为中心的珠三角地区 ( $<10\text{kA}$ ),而高值区 ( $35\text{kA}$ ) 分布在雷州半岛、梅州东部、韶关和清远北部。

另外,结合地形分析,地闪密度高的区域主要出现在河网密布的珠三角平原地区,地形处于迎风坡一侧。每年夏季“龙舟水”期间,南海夏季风盛行,广东易受东南和西南季风影响,季风携带着大量水汽进入广东中心地带,此时暖湿空气湿度增大,导致水陆受热不均,在地形迎风坡作用下,易产生对流性降水,从而更容易导致地闪的发生。

综上,广东 2018—2022 年“龙舟水”期间地闪平均强度空间分布总体上基本一致,地闪平均强度与地闪密度分布呈相反趋势,广东中心地区发生地闪密度大的区域 ( $>150/\text{次}\cdot\text{a}^{-1}$ ),其平均地闪强度相对较小 ( $<10\text{kA}$ ),以广州为中心的珠三角地区平均地闪强度普遍小于  $20\text{kA}$ ;而地闪密度小的地区,其平均地闪强度较大,即广东省四周边缘地区,平均强度相对较大,地闪密度反而小,特别是粤东、粤北等丘陵地形区域龙舟水期间地闪强度普遍在  $20\sim 25\text{kA}$ ;而雷州半岛地区平均地闪强度在大于  $25\text{kA}$  以上,尤其是 2022 年平均地闪强度达到了  $40\text{kA}$ 。

### 3 结论与讨论

本文统计了广东 2018—2022 年“龙舟水”期间 (5 月 21 日—6 月 20 日) 发生在粤港澳大湾区闪电定位数据,分析了地闪发生的特征,并结合 86 个国家站逐日降水资料浅谈了地闪强度、频次与降水量的关系,得到如下主要结论:

(1) 近年广东“龙舟水”期间正闪发生占比 38.80%,平均电流为  $6.28\text{kA}$ ;负闪发生占比 61.20%,平均电流强度为  $-16.18\text{kA}$ ,总体上负闪电强度明显大于正闪电强度。

(2) “龙舟水”期间地闪强度集中在  $-40\sim 15\text{kA}$ 。2018—2021 年发生地闪强度  $-10\sim -5\text{kA}$  的占比最大;2022 年闪电强度  $0\sim 5\text{kA}$  的占比最大 (38.24%);

少数闪电强度可以达到  $100\text{kA}$  以上,年均占比小于 1.0%。降水量与总闪频次随年份起伏变化基本一致,总地闪频次高时,降水量高,反之亦然;而“龙舟水”期间总地闪平均强度与降水量的多少并没有很好的一致性,呈相反趋势。

(3) 2018—2022 年广东“龙舟水”期间,逐日闪电频次较多,主要集中在 5 月下旬至 6 月上旬;降水量与地闪频次呈弱相关,相关性系数为 0.45,进一步表明了降水量越大,地闪频次相应越多。

(4) 2018—2020 年总地闪频次逐时变化呈单峰型;2021 年总地闪频次逐时变化呈双峰型;2022 年总地闪频次逐时变化呈三峰型。

(5) 广东 2018—2022 年“龙舟水”期间地闪平均强度空间分布总体上基本一致,地闪平均强度与地闪密度分布呈相反趋势,地闪密度大 (小) 的地区,其平均地闪强度较小 (大),即广东中心地区发生地闪密度大,其平均地闪强度相对较小,而四周边缘地区地闪密度小,平均强度反而大;另外,粤东、粤北等丘陵地形区域“龙舟水”期间地闪强度普遍在  $20\sim 25\text{kA}$ ;而雷州半岛地区平均地闪强度大于  $25\text{kA}$ ,尤其是 2022 年平均地闪强度达到了  $40\text{kA}$ 。造成以上现象,主要是由于地闪密度高的区域主要出现在河网密布的珠三角平原地区,地形处于迎风坡一侧。每年夏季“龙舟水”期间,南海夏季风盛行,广东易受东南和西南季风影响,季风携带着大量水汽进入广东中心地带,此时暖湿空气湿度增大,导致水陆受热不均,在地形迎风坡作用下,易产生对流性降水,从而更容易导致地闪的发生。

#### 参考文献:

- [1] 钱维宏,艾阳,陈绿文,等. 一次广东典型龙舟水暴雨过程的扰动形势分析 [J]. 热带气象学报, 2020, 36(4): 433-443.
- [2] 吕海勇,庄燕洵,尹娜. 广东省雷电灾害易损性分析与风险区划 [J]. 广东气象, 2016, 38(2): 50-53.
- [3] Yang X, Sun J, Li W. An Analysis of Cloud-to-Ground Lightning in China during 2010-13 [J]. Wea Forecasting, 2015, 30(6): 1537-1550.
- [4] 王娟, 谌芸. 2009-2012 年中国闪电分布特征分析 [J]. 气象, 2015, 41(2): 160-170.
- [5] 杨春明, 马林, 曹辉. 2010-2012 年安徽省闪电特征分析与应用研究 [J]. 中国农学通报, 2016, 32(29): 155-160.
- [6] 陈光舟, 王体健, 姜珊珊, 等. 安徽闪电分布特征和不稳定条件分析 [J]. 气象科学, 2014, 34(5): 543-548.
- [7] 王凯, 朱浩, 鞠晓雨, 等. 安徽省皖南山区地闪特征对比

- 分析[J]. 气象与环境学报, 2016, 32(3): 83–88.
- [8] 丁旻, 陈春, 张建军. 贵州省近 10 年地闪分布特征分析[J]. 中国农业资源与区划, 2020, 41(1): 166–172.
- [9] 陆国俊, 熊俊, 陈家宏, 等. 广州地域 1999—2008 年地闪密度图及雷电参数分析[J]. 高电压技术, 2009, 34(12): 2930–2936.
- [10] 刘雪涛, 谢屹然, 许迎杰, 等. 云南闪电活动的时空分布特征[J]. 干旱气象, 2019, 37(5): 729–735.
- [11] 王延慧, 张建涛, 艾力·买买提明, 等. 2013—2016 年新疆地闪活动特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2018, 12(2): 43–49.
- [12] 刘维成, 陶健红, 邵爱梅. 甘肃和广东 2008—2011 年闪电特征对比[J]. 干旱气象, 2012, 30(4): 588–592.
- [13] 李如箭, 逯曦, 张华明, 等. 2008—2010 年北京地区云地闪时空分布特征[J]. 气象与环境科学, 2013, 36(2): 52–56.
- [14] 王延慧, 张建涛, 艾力·买买提明, 等. 2013—2016 年新疆地闪活动特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2018, 12(2): 43–49.
- [15] 赵丽娟, 牛生杰, 张羽, 等. 雷州半岛盛夏闪电活动特征及其与降水的联系[J]. 高原气象, 2009, 28(3): 663–668.
- [16] 徐安铎, 徐碧裕, 钟雨珊, 等. 广东地闪时空特征及与降水关系分析[J]. 广东气象, 2022, 44(1): 38–42.

## Characteristics of ground flash and its relationship with dragon-boat precipitation in Guangdong in recent years

Zhong Yushan<sup>1</sup>, Liu Sanmei<sup>2</sup>, Wu Guoyu<sup>3</sup>, Wu Dechao<sup>4</sup>

(1. Jiangmen Meteorological Service Center, Guangdong Jiangmen 529000, China;

2. Guangdong Climate Center, Guangzhou 510641, China;

3. Jiangmen Emergency Warning Information Distribution Center, Guangdong Jiangmen 529000, China;

4. Jiangmen Lightning Protection Company, Guangdong Jiangmen 529000, China)

**Abstract:** This paper selects the ground-flash location data of Guangdong, Hong Kong and Macao during the period of dragon-boat precipitation in 2018—2022 (May 21—June 20), analyzes the characteristics of the ground-flash occurrence, and discusses the relationship between the intensity, frequency and precipitation of ground lightning in combination with the daily precipitation data of 86 national stations. The results show that: (1) In this sample, the lightning intensity is concentrated in the range of  $-40\sim 15\text{kA}$ ; The proportion of positive flash is 38.80% with an average current of  $6.28\text{kA}$ ; The occurrence rate of negative flash is 61.20% with an average current intensity of  $-16.18\text{kA}$ ; (2) During the period of Guangdong Dragon Boat Water from 2018 to 2022, the frequency of daily lightning is more frequent, mainly from late May to early June; The variation of precipitation and total ground flash frequency with year fluctuation is basically consistent, and the two are weakly correlated, with a correlation coefficient of 0.45; In addition, the hourly variation of the total ground flash frequency during the dragon-boat precipitation period from 2018 to 2020 is unimodal, while in 2021 and 2022 is bimodal and trimodal, respectively. (3) The density of ground flashes in the central area of Guangdong is large, and the average intensity of ground flashes is relatively small, while the density of ground flashes in the surrounding areas is small, and the average intensity is large; In addition, the intensity of ground lightning is generally  $20\sim 25\text{kA}$  during the dragon-boat precipitation period in hilly areas such as eastern and northern Guangdong; The average ground flash intensity in Leizhou Peninsula is more than  $25\text{kA}$ , especially in 2022, the average ground flash intensity reached  $40\text{kA}$ .

**Key words:** dragon-boat precipitation; ground flash location data; ground flash intensity; ground flash density