

文章编号: 2096-1618(2024)06-0767-06

2010–2022 年海南儋州洋浦地区雷暴和闪电活动特征

吴怡兴¹, 周方聪^{2,3,4}, 马颖², 高焱³, 余海³, 刘宝忠¹, 梁彩红¹

(1. 海南省儋州市气象局, 海南 儋州 571799; 2. 中国气象局雷电重点开放实验室, 北京 100081; 3. 海南省南海气象防灾减灾重点实验室, 海南 海口 570203; 4. 海南省气象灾害防御技术中心, 海南 海口 570203)

摘要:为给海南儋州洋浦(简称儋洋)地区雷电安全工作提供科学依据,利用2020–2022年海口天气雷达和海南系统过程编型集、2010–2022年海南省ADTD闪电定位系统等资料,采用数理统计方法,分析儋洋地区雷暴和闪电活动特征。结果表明:儋洋地区系统性雷暴占六成,局地雷暴占三成,混合型雷暴占一成;混合型雷暴发生地闪的可能性最高(93.8%)、局地雷暴次之(82.5%)、系统性雷暴最低(70.5%)。海南的各种天气系统均会产生雷暴和闪电,低压槽类系统产生的雷暴最多且发生地闪的概率最大(90%左右)。儋洋地区雷暴和地闪活动主要发生在4–10月,地闪活动在13–19时最频繁;多数雷暴在11–17时回波强度增强到35 dBZ以上,且雷暴持续时间大多小于7 h。局地雷暴最多在南部和中部生成,主要向东北方向移动;系统性雷暴主要从南部移入、往西北和东北方向移动。地闪活动呈现南多北少、东多西少的分布特征。雷暴和地闪活动的时空分布具有较好的一致性。

关键词:雷暴;地闪;天气系统;天气雷达;移动方向

中图分类号:P446

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2024.06.018

0 引言

儋州地处海南岛西北部,是海南的4个地级市之一。位于儋州境内的洋浦经济开发区(简称儋州洋浦地区或儋洋地区)是海南自由贸易港的先行示范区,是距离南海石油天然气资源和中东石油最近的石油化工及油气储备基地。随着儋洋一体化的发展及环新英湾自贸港新城的规划建设,其对防雷安全服务的需求越来越高,而全面了解雷暴和闪电活动特征是做好防雷安全服务的基础^[1–3]。

对海南雷暴和闪电活动特征进行了广泛研究。如郭冬艳等^[4–6]分析了1966–2005年海南雷暴气候特征及大气环流背景,夏季雷暴时空分布特征及成因,地闪活动的时空特征与海陆风的关系;黄彦彬等^[7]分析了1965–2007年海南岛雷暴日的气候变化特征;劳小青等^[8–9]、余海等^[10]、朱晶晶等^[11]对海南地闪活动特征进行了深入分析;陈绍东等^[12]分析了海南文昌地区夏季雷暴地面电场特征;高焱等^[13]利用Kriging(克里金)方法分析了文昌火箭发射场的雷电环境;高焱等^[14]、侯安校等^[15]还统计了海南雷电灾害特征;辛吉武等^[16]利用1971–2000年儋州逐日雷暴观测资料,分析总结了儋州雷暴天气气候特征;吴怡兴等^[17]统计了

1953–2012年儋州雷暴的年、月变化特征。

上述研究主要针对整个海南岛或文昌地区,对儋洋地区雷暴和闪电特征的研究较缺乏,且年限距今较久远,已不能满足儋洋地区的防雷减灾服务新需求。因此,为获取海南儋洋地区的雷暴和闪电活动特征,本文利用海口天气雷达、海南省闪电定位系统、海南系统过程编型集等多源数据,统计儋洋地区产生雷暴的天气系统和雷暴的类型、起始时间、持续时间、移动方向等特征,分析儋洋地区闪电活动的时空分布特征,为儋洋地区防雷减灾工作和雷电预报预警提供参考依据。

1 资料

天气雷达资料采用2020–2022年海口S波段的双极化雷达的组合反射率数据。闪电定位资料来自2010–2022年海南省ADTD闪电定位系统数据,该闪电定位系统包含海口、三亚、琼海、东方、琼中、永兴岛等6个站点,能监测海南岛发生的地闪回击,并给出回击发生的经纬度和极性、强度、陡度等信息^[8–10]。海南系统过程编型集来源于海南省气象台业务整理数据,其将海南地区天气系统过程和天气类型划分为冷空气、副热带高压、南海低压槽、西南低压槽、越南低压槽、热带低压系统等。

2 雷暴活动特征

2.1 产生雷暴的天气系统和雷暴类型

根据海口天气雷达资料挑选雷暴过程,当雷达回

收稿日期:2024-04-26

基金项目:海南省自然科学基金资助项目(422QN428、2019RC361、421MS103、422MS151);海南省南海气象防灾减灾重点实验室开放基金资助项目(SCSF202210);海南省气象局市县专项资助项目(HNQXSX202202);中国气象局雷电重点开放实验室开放课题资助项目(2024KELL-B002)

通信作者:周方聪. E-mail:zhoufcong@foxmail.com

波组合反射率达到35 dBZ以上时,则视为雷暴过程。本文将在儋洋地区本地生成的雷暴称为局地雷暴,将从儋洋地区之外移入的雷暴称为系统性雷暴,局地雷暴和系统性雷暴混合而成的为混合型雷暴。表1统计了2020–2022年儋洋地区产生雷暴的天气系统及雷暴类型,这3年儋洋地区共发生513次雷暴过程,其中76.4%(392/513)的雷暴过程发生了地闪活动。从雷暴类型来说,系统性雷暴最多(305个,占比59.45%),局地雷暴次之(160个,占31.19%),混合型雷暴最少(48个,占3.6%);混合型雷暴发生地闪的可能性最高(93.8%),局地雷暴次之(82.5%),系统性雷暴最低(70.5%)。但具体到某一天气系统,则并不都是系统

性雷暴最多、混合型雷暴最少,更不全是混合型雷暴发生地闪的概率最大、系统性雷暴发生地闪的概率最小。

从产生雷暴的天气系统来看,南海低压槽产生的雷暴最多(189个,占36.8%),其次是西南低压槽(74个,占14.4%)、冷空气(73个,占14.2%)、热带低压系统(61个,占11.9%)、副热带高压(58个,占11.3%)、越南低压槽(43个,占8.4%);西南低压槽雷暴发生地闪的概率最大(91.9%),南海低压槽和越南低压槽雷暴发生地闪的概率次之(分别为88.9%和86%),其次是副热带高压和热带低压系统雷暴(分别为70.7%和65.6%),冷空气雷暴发生地闪的概率最小(49.3%)。

表1 2020–2022年儋洋地区产生雷暴的天气系统及雷暴类型

天气系统	局地雷暴个数(发生地闪雷暴数/雷暴总数/雷暴发生地闪概率)	系统性雷暴个数(发生地闪雷暴数/雷暴总数/雷暴发生地闪概率)	混合型雷暴个数(发生地闪雷暴数/雷暴总数/雷暴发生地闪概率)	总计(发生地闪雷暴数/雷暴总数/雷暴发生地闪概率)
冷空气	9/15/60%	19/50/38%	8/8/100%	36/73/49.3%
副热带高压	15/18/83.3%	22/34/64.7%	4/6/66.7%	41/58/70.7%
南海低压槽	48/57/84.2%	98/110/89.1%	22/22/100%	168/189/88.9%
西南低压槽	42/47/89.4%	19/20/95%	7/7/100%	68/74/91.9%
越南低压槽	16/17/94.1%	18/22/81.8%	3/4/75%	37/43/86%
热带低压系统	2/4/50%	37/56/66.1%	1/1/100%	40/61/65.6%
以上任意两种天气系统转换时	0/2/0%	2/13/15.4%	0/0/–	2/15/13.3%
合计	132/160/82.5%	215/305/70.5%	45/48/93.8%	392/513/76.4%

不同天气系统产生的雷暴之间和不同类型的雷暴之间,其发生闪电的概率均相差较大,概率为38%~100%(表1),表明若以雷达回波强度达到35 dBZ作为儋洋地区地闪发生的预警指标,不同天气系统产生的雷暴、不同类型的雷暴的地闪预警准确率差别很大,有的预警效果很差,如冷空气影响下的系统性雷暴的地闪发生概率仅38%。因此,在开展雷电预警之前,有必要先进行天气分型和雷暴分类,针对不同天气系统产生的雷暴和不同类型的雷暴凝练不同的雷达回波强度阈值,为进一步提高雷电预警效果,还应利用液态水含量、回波顶高等其他雷达参量。熊亚军等^[18]在天气分型的基础上,建立了北京地区11种雷暴天气型的潜势预报方法;吴量等^[19]研究表明,利用雷达资料进行雷电临近预警时,在考虑雷达反射率的基础上再结合最大回波顶高和垂直液态水含量指标,能有效降低虚假报警率和提高临界成功指数。

2.2 雷暴月分布

从总雷暴来看,儋洋地区全年都有雷暴发生,4月开始增多,主要发生在5–10月(占84.80%),8月最多

(17.35%),11月开始明显减少,雷暴月分布呈单峰值特征;对局地雷暴来说,全年除12月外,均有雷暴活动,4月开始增多,集中发生在5–9月(82.50%),最多发生在6月(23.13%)和8月(18.13%),10月开始减少,雷暴月分布为双峰值曲线;对于系统性雷暴,全年都会发生,主要发生在4–10月(91.80%),最频繁发生在7–10月(68.20%),雷暴月分布呈双峰值特征,主峰值在9月(18.03%),次峰值在5月(9.84%);混合型雷暴主要发生在4–9月(87.50%),其中5月(18.75%)和9月(16.67%)最多,呈现双峰值特征(图1)。

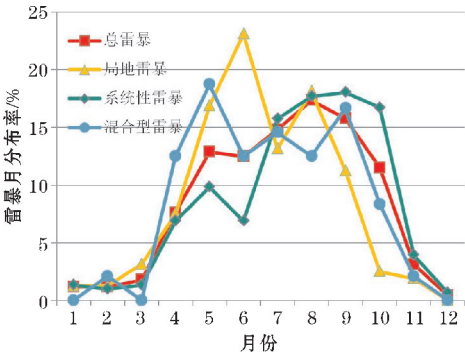


图1 儋洋地区雷暴月分布曲线

从表 2 可知,儋洋地区雷暴在 4–9 月发生地闪的可能性较高,概率达到 70% 以上,其中 5–8 月雷暴发生地闪的概率均超过 80%;混合型雷暴由局地雷暴和

系统性雷暴混合而成,其强度比局地雷暴和系统性雷暴强,因此混合型雷暴发生地闪的可能更高。

表 2 儋洋地区雷暴发生地闪的概率													单位: %
类型	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	总计
总雷暴	0	17	0	72	88	95	91	94	79	34	38	50	76.4
局地雷暴	0	0	0	92	81	95	100	90	72	25	100	–	82.5
系统性雷暴	0	33	0	52	90	95	85	96	80	29	25	50	70.5
混合型雷暴	–	0	–	100	100	100	100	100	88	100	0	–	93.8

2.3 雷暴起始时间和持续时间

将雷达回波达到 35 dBZ 的开始时间定义为雷暴的起始时间。总体来说,儋洋地区雷暴起始时间从 11 时开始增多,主要集中 12–17 时,表明儋洋地区雷暴大多(73.29%)在 11–17 时,回波强度增强到 35 dBZ 以上,其中局地雷暴在 11–17 时回波增强到 35 dBZ 以上的概率达 89.38%,系统性雷暴(71.80%)主要在 10–18 时增强到 35 dBZ 以上,混合型雷暴(72.92%)主要在 12–14 时增强(图 2)。

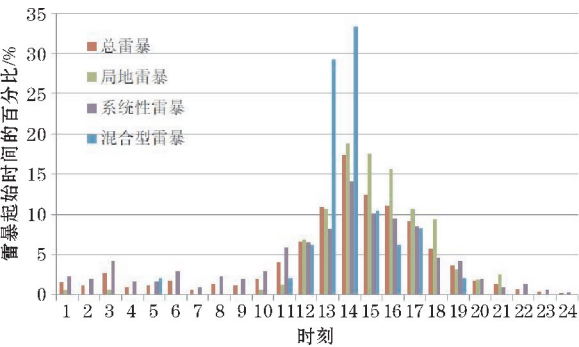


图 2 儋洋地区雷暴起始时间
(雷达回波强度达到 35 dBZ 以上的开始时间)分布

儋洋地区局地雷暴持续时间都<10 h,绝大多数(93.13%)持续时间<7 h;大多数(82.62%)系统雷暴持续时间<7 h,其中持续时间>1 h,<5 h 时的最多,占 60.66%;绝大多数(89.58%)混合型雷暴持续时间>2 h,<8 h(图 3)。

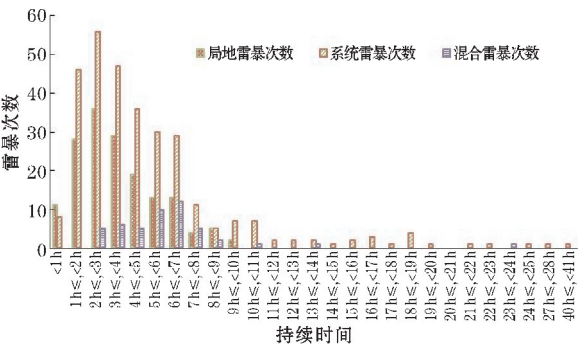


图 3 儋洋地区雷暴持续时间分布

2.4 局地雷暴生成方位和移动方向

局地雷暴在儋洋地区南部生成最多(33.97%),其次是中部(28.21%),再次是西部(19.23%)和北部(14.74%),东部最少(3.85%)(图 4)。局地雷暴(42.57%)主要向东北方向移动,其次是西南(16.89%)和西北(13.51%),向其他方位移动很少,均不足 10%(图 5)。

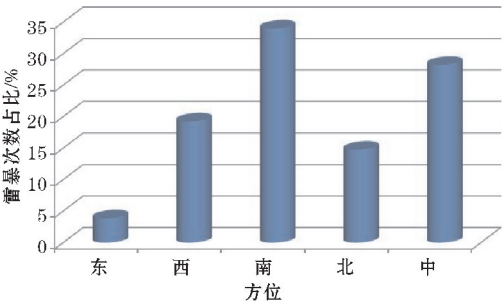


图 4 儋洋地区局地雷暴生成方位

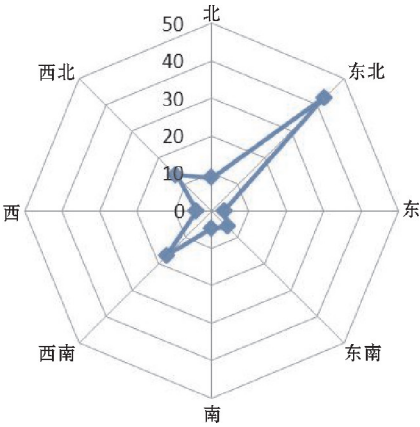


图 5 儋洋地区局地雷暴移动方向

2.5 系统性雷暴移入方位和移动方向

系统性雷暴从儋洋地区南部移入的最多(55.75%),其次是从西部(19.86%)和北部(13.94%)移入,东部移入最少(图 6)。系统性雷暴移入儋洋地区后,往西北和东北方向移动最多,分别占比 32.21% 和 27.85%;其次是往西南方向移动(14.77%),往北、西、东南、东、南等方向移动的最少,都不到 10%(图 7)。

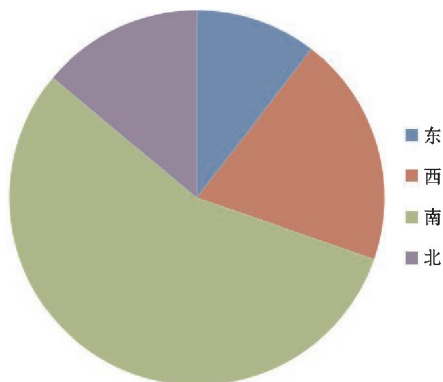


图6 系统性雷暴移入儋洋地区的方向

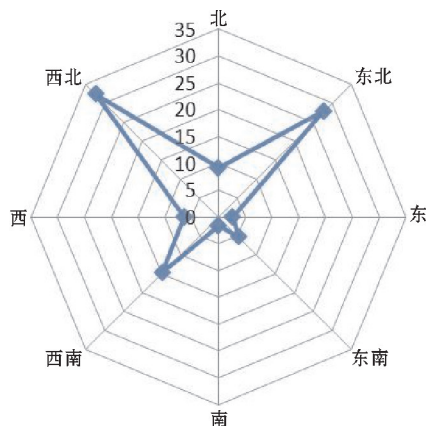


图7 儋洋地区系统性雷暴移动方向

3 闪电活动特征

3.1 闪电时间分布

根据海南 ADTD 闪电定位系统资料,2010–2022 年儋洋地区共监测到 267163 次地闪回击,其中正回击 11540 次、负回击 255623 次,正负地闪回击比为 1:22。2010–2022 年儋洋地区年平均地闪回击 20551 次,地闪回击年变化是先减小后增大,呈“U”型(图8);地闪主要发生在4–10月,5–9月是闪电高发期,占比92.9%(图9),地闪月分布与雷暴月分布基本一致;地闪最频繁发生在13–19时,占比82.7%(图10),地闪日分布与雷暴起始时间(雷达回波达到35 dBZ)分布大体重合。

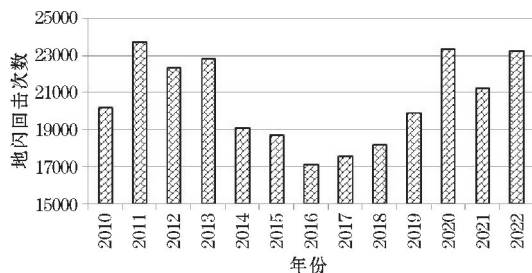


图8 儋洋地区2010–2022年地闪回击年变化

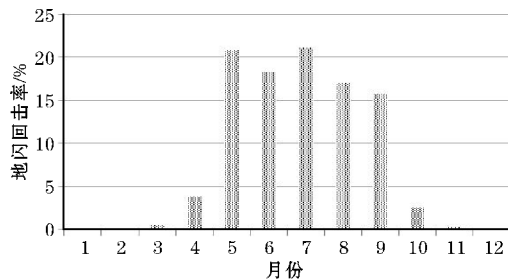


图9 儋洋地区2010–2022年地闪回击月分布

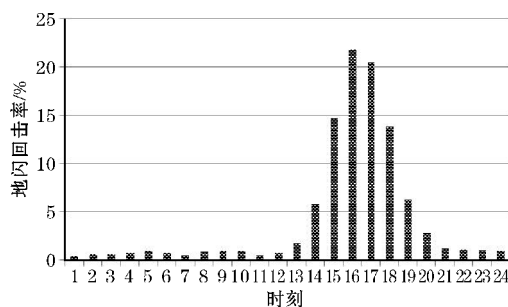


图10 儋洋地区2010–2022年地闪回击日分布

3.2 闪电空间分布

以3 km×3 km 网格计算儋洋地区雷击大地密度,结果如图11所示。儋洋地区地闪大多发生在南部和东部地区,雷击大地密度最大为10.5次/(km²·a);北部和西部特别是沿海地区闪电活动相对较少,雷击大地密度最小为0.5次/(km²·a)。以儋洋地区整个区域计算,年平均雷击大地密度为6次/(km²·a)。

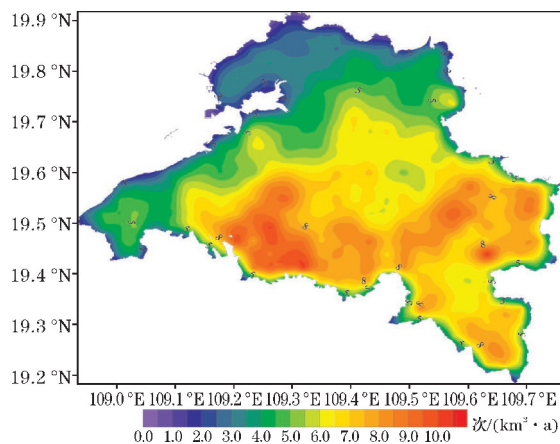
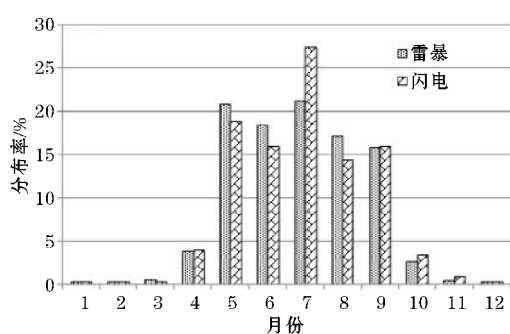


图11 儋洋地区2010–2022年地闪回击密度空间分布

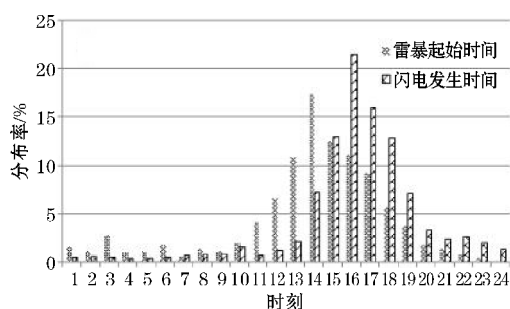
4 雷暴和闪电活动的关联特征

对比2020–2022年儋洋地区雷暴和地闪活动的时间分布,如图12所示,儋洋地区雷暴和地闪活动月分布基本一致(图12a),雷暴和地闪活动均从4月开始增多、10月开始减少,都主要发生在5–9月,11月至次年3月雷暴和地闪活动很少。从图12(b)可知,

儋洋地区雷暴起始时间分布和地闪日分布特征一致,都呈现单峰值特征,地闪日分布峰值(16时)滞后雷暴起始时间峰值(14时)2 h,雷暴起始时间和地闪日分布具有较好的对应关系。儋洋南部地区地闪活动最频繁(图11)与局地雷暴最多在南部生成(图4)、系统性雷暴最多从南部移入(图6)也是密切相关的。儋洋地区雷暴和地闪的时空分布对应关系还需要进一步利用雷达和闪电定位资料进行深入细致的分析。王东方等^[20]研究发现,北京多频段闪电三维定位网探测的闪电辐射源基本集中在强回波范围内;于函等^[21]分析发现跑线雷电集中发生在30 dBZ以上的前部线状对流云区强回波区域和6~11 km的高度。



(a) 雷暴和地闪月分布



(b) 雷暴起始时间和闪电日分布

图12 儋洋地区2020–2022年雷暴和地闪月分布、雷暴起始时间和闪电日分布

5 结论

利用天气雷达、闪电定位和天气系统过程编型集等资料,统计分析了海南儋洋地区雷暴和闪电活动的特征,得到以下结论:

(1) 2020–2022年儋洋地区共发生513次雷暴过程(雷达回波组合反射率达到35 dBZ以上),系统性雷暴最多(59.45%)、局地雷暴次之(31.19%)、混合型雷暴最少(9.36%),混合型雷暴发生地闪的可能性最高(93.8%)、局地雷暴次之(82.5%)、系统性雷暴最低(70.5%)。在低压槽、副热带高压、热带低压系统、冷空气等影响海南的天气系统控制下,儋洋地区均可能会发生雷暴过程和闪电活动,其中南海低压槽、西

南低压槽产生的雷暴最多(分别占比36.8%、14.4%),西南低压槽、南海低压槽和越南低压槽雷暴发生地闪的概率最大(分别为91.9%、88.9%和86%)。

(2) 儋洋地区雷暴和闪电活动主要发生在4–10月,地闪活动在13–19时最频繁;多数(73.29%)雷暴在11–17时回波强度增强到35 dBZ以上,且雷暴持续时间大多<7 h。儋洋地区局地雷暴多数在南部(33.97%)、中部(28.21%)生成,并主要(42.57%)向东北方向移动;系统性雷暴最多(55.75%)从南部移入儋洋地区,并主要往西北(32.21%)和东北(27.85%)方向移动。地闪活动在儋洋南部和东部地区多、在北部和西部地区少。

(3) 儋洋地区雷暴和闪电活动月分布一致,都最频繁发生在5–9月;雷暴起始时间分布和闪电日分布特征一致,均呈单峰值特征,闪电日分布峰值滞后雷暴起始时间峰值2 h;儋洋地区地闪空间分布与局地雷暴生成地点及系统性雷暴移入方位分布息息相关。

以上仅是对儋洋地区雷暴和闪电活动特征的粗略数理统计,后续将利用雷达和闪电定位等资料对儋洋地区雷暴和闪电活动特征及其关系进行进一步的研究,以期为儋洋地区的雷电预警提供理论基础。

参考文献:

- [1] 魏庆,周威,陈小尘,等. 四川省闪电活动特征及其与海拔高度的关系分析[J]. 成都信息工程大学学报,2023,38(5):566–571.
- [2] 张元龙,周筠璐,王东方,等. 北京地区的地闪分布及回击峰值电流强度特征[J]. 成都信息工程大学学报,2018(6):667–674.
- [3] 成鹏伟,周筠璐,赵鹏国,等. 北京与成都城市下垫面闪电时空分布特征对比研究[J]. 成都信息工程大学学报,2018(3):326–334.
- [4] 郭冬艳,辛吉武,吴胜安,等. 海南雷暴气候特征及大气环流背景分析[J]. 气象科技,2008(4):404–409.
- [5] 郭冬艳,翟盘茂,姜涛,等. 海南夏季雷暴时空分布特征及成因[J]. 气象科技,2011,39(5):562–568.
- [6] 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]. 气象科技进展,2020,10(4):102–107.
- [7] 黄彦彬,赵酉龙,林文实. 海南岛雷暴日的气候变化特征分析[J]. 热带作物学报,2009,30(12):1887–1892.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 余海,张廷龙,高燚,等.2010-2013年海南岛地闪活动的特征分析[J].中国科学院大学学报,2016,33(2):195-203.
- [11] 朱晶晶,赵小平,邢彩盈,等.基于闪电定位系统的海南岛闪电活动特征分析[J].海南大学学报(自然科学版),2017,35(1):37-43.
- [12] 陈绍东,王孝波,黄智慧,等.海南文昌地区夏季雷暴地面电场观测及分析[J].热带气象学报,2012,28(2):265-270.
- [13] 高燚,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.
- [14] 高燚,周方聪,劳小青.1999-2011年海南岛雷电灾害特征分析[J].自然灾害学报,2014,23(5):253-262.
- [15] 侯安校,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.
- [16] 辛吉武,许向春,蔡杏尧,等.海南儋州雷暴天气气候特征分析[J].气象,2008,34(1):100-106.
- [17] 吴怡兴,周方聪.海南儋州雷暴和雷电灾害特征[J].防灾科技学院学报,2014,16(4):47-50.
- [18] 熊亚军,廖晓农,于波,等.基于天气分型的北京地区雷电潜势预报预警系统[J].灾害学,2012,27(2):67-71.
- [19] 吴量,冯桂力,杨仲江,等.雷达资料在雷电临近预警中的应用研究[J].成都信息工程学院学报,2011,26(6):669-674.
- [20] 王东方,孙竹玲,袁善锋,等.北京多频段闪电三维定位网及一次雷暴过程的闪电时空演化特征[J].大气科学,2020,44(4):851-864.
- [21] 于函,张鸿波,刘冬霞,等.飚线系统中的闪电活动与雷达回波特征的相关性研究[J].大气科学,2022,46(4):835-844.

Characteristics of Thunderstorms and Lightning Activities in the Danyang Area of Hainan Province from 2010 to 2022

WU Yixing¹, ZHOU Fangcong^{2,3,4}, MA Ying², GAO Yi³, YU Hai³, LIU Baozhong¹, LIANG Caihong¹

(1. Danzhou Meteorological Bureau, Hainan, Danzhou 571799, China; 2. Key Laboratory of Lightning, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China; 3. Key Laboratory of South China Sea Meteorological Disaster Prevention and Mitigation of Hainan Province, Haikou 570203, China; 4. Meteorological disaster prevention technology center of Hainan province, Haikou 570203, China)

Abstract: To provide a scientific basis for lightning protection services in the Danyang area of Hainan province, the characteristics of thunderstorms and lightning activities were analyzed by mathematical statistics using the data of Haikou weather radar and Hainan weather system process dataset from 2020 to 2022, and the Hainan ADTD lightning location system from 2010 to 2022. The results showed that systematic thunderstorms, local thunderstorms, and mixed thunderstorms accounted for 59.5%, 31.2%, and 9.4% respectively in the Danyang area. The probability of cloud-to-ground flash was the highest (93.8%) for mixed thunderstorms, followed by local thunderstorms (82.5%) and systemic thunderstorms (70.5%). All kinds of weather systems in Hainan can produce thunderstorms and lightning, with low-pressure trough systems producing the most thunderstorms and having the highest probability of ground flashes (around 90%). Thunderstorms and ground flash activities mainly occurred from April to October, with the most frequent ground flash activity occurring from 1 to 7 pm. The radar echo intensity of most thunderstorms increased to more than 35 dBZ between 11 am. and 5 pm., and the duration of thunderstorms was mostly less than 7 hours. The local thunderstorms in the Danyang region mostly originated in the south and central part of the prefecture, and moved mainly to the northeast. Systematic thunderstorms mainly move in the Danyang area from the south, towards the northwest and northeast directions. The distribution characteristics of ground flash activity in the Danyang area were characterized by more in the south and less in the north, and more in the east and less in the west. The spatiotemporal distribution of thunderstorms and cloud-to-ground lightning had good consistency.

Keywords: thunderstorm; cloud-to-ground lightning; synoptic system; weather radar; moving direction