

文章编号:2095-6134(2016)02-0195-09

2010—2013年海南岛地闪活动的特征分析*

余海^{1†}, 张廷龙¹, 高焱¹, 劳小青¹, 韦昌雄¹, 范祥鹏²

(1 海南省防雷中心,海口 570203; 2 中国气象科学研究院,北京 100081)

(2015年6月9日收稿; 2015年10月18日收修改稿)

Yu H, Zhang T L, Gao Y, et al. Preliminary analysis of cloud-to-ground flashes in Hainan Island from 2010 to 2013 [J]. Journal of University of Chinese Academy of Sciences, 2016, 33(2):195-203.

摘要 利用海南省地闪定位网获取的4年(2010年1月至2013年12月)地闪定位资料,详细分析海南岛地闪活动的时空分布特征.结果显示,海南岛的地闪活动主要发生在4—10月;呈双峰特征,峰值分别出现于5月和8月,分别约占全年总地闪数的23%和18%;地闪活动在6—7月明显地间歇性减少.从日变化特征来看,地闪在14:00—20:00时段最为频繁.16:00左右达到峰值,而5:00左右有一个较弱的峰值,2个峰值所占比例分别约为11.3%和4.2%.通过对比分析各地区的地闪活动,发现日变化呈现双峰特征的区域主要集中在东、南和西部沿海地区,而中部内陆及靠近琼州海峡的北部沿海地区呈单峰值特征.海南岛中部内陆山区的地闪密度大,沿海地区地闪密度小,并且存在2个地闪密度高值区.

关键词 地闪; 日变化; 双峰; 地闪密度

中图分类号:P446 文献标志码:A doi:10.7523/j.issn.2095-6134.2016.02.008

Preliminary analysis of cloud-to-ground flashes in Hainan Island from 2010 to 2013

YU Hai¹, ZHANG Tinglong¹, GAO Yi¹, LAO Xiaoqing¹, WEI Changxiong¹, FAN Xiangpeng²

(1 Lightning Protection Center of Hainan Province, Haikou 570203, China;

2 Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract Based on the four years' data (2010-2013) of cloud-to-ground (CG) flashes detected by the VLF lightning locating networks in Hainan province, the temporal and spatial variation characteristics of CG flash activities were analyzed in detail. The results indicated that CG flashes mostly occurred between April and October and two peaks of CG activity appeared in May (23%) and August (18%). The lightning activities showed intermittent decrease in June-July. The diurnal variation of CG flashes showed that the CG flashes more frequently occurred between 14:00 and 20:00 and there were two peaks appearing at 16:00 (about 11.3%) and 5:00 (about 4.2%), respectively. By analyzing CG flash activities in different regions, we found that the diurnal variation of CG activities usually presented double peaks in the coastal regions, except the northern coastal

* 国家自然科学基金(41375011)和海南省气象局科技创新项目(HN2013MS17)资助

† 通信作者, E-mail: yuhai1206@126.com

area near Qiongzhou strait and the inland regions. The largest CG flash density occurred in the inland mountainous regions, and the flash density showed a decreasing trend from inland to coasts.

In addition, there were two maximum values of the CG flash density.

Key words CG flashes; diurnal variation; double peaks; flash density

海南岛位于北纬 $18.5^{\circ} \sim 20.2^{\circ}$ 和东经 $108.5^{\circ} \sim 111.3^{\circ}$ 之间,属于热带季风气候区。受海洋性气候的影响,海南岛一年四季都有对流天气出现,另外,中尺度对流系统、飑线以及台风也有发生。在 4—10 月份,对流天气及闪电活动更为频繁^[1-2]。统计结果表明,海南岛年平均雷暴日在 100 d 以上,每年由雷击造成的事故时有发生,仅 2008 年,海南省发生的重大雷灾事故就有 47 起,其中伤亡人数多达 19 人,造成的经济损失达 400 百万元^[3]。目前对海南岛雷暴日的空间分布已有初步认识,但地闪活动的时空分布仍然不是很清楚,因此,研究海南岛地闪活动的时空分布对闪电防护具有重要的指导意义。

国内外对闪电活动时空分布已有大量研究,包括大空间尺度的分析^[4-8],也有局部区域内的研究^[9-15],分析的资料主要有卫星资料、全球地闪定位资料和区域地闪定位网资料。Easterling 等^[4-5]对美国雷暴活动的季节变化和空间分布特征进行研究,根据雷暴活动的时空分布特征划分 9 个雷暴活动区域,各个区域闪电活动基本呈现单峰值变化且主要发生在午后。Grandt^[6]通过分析地闪回击伴生的超低频天电脉冲观测和研究非洲南部大陆雷暴活动的季节变化特征。Katrina 等^[16]利用全球地闪定位资料(WWLLN)和 TRMM 卫星资料分析海洋大陆的地闪活动特征,指出地闪活动存在明显的日变化并且白天和晚上的地闪主要发生在沿海和山坡地区。郟秀书和 Toumi^[9]利用 TRMM 卫星上携带的闪电探测系统获取的闪电定位资料首次对青藏高原地区闪电活动进行研究,发现高于 93% 的闪电活动发生于 5—9 月。张廷龙等^[10]利用卫星上的闪电探测仪所获取的 8 年闪电资料,对青藏铁路沿线闪电活动的时空分布进行研究。冯桂力等^[11]利用 1998—2000 年山东地闪资料,分析山东地区闪电的时空分布特征,指出闪电的日变化总体呈双峰双谷形式。整体而言,中国闪电活动的时空特征主要有以下几个:1)空间上,闪电活动南多北少、东多西少^[12];2)闪电活动最频繁的月份主要是 5—8 月份,且只有 1 个峰值;3)闪电

主要出现于午后,通常也只有单峰出现。

目前,对海南岛地闪活动的研究较少,主要有两个方面的原因:1)卫星资料的空间分辨率低,而海南岛地域面积小,无法得到空间分布趋势及特征;2)全球闪电定位系统虽然是连续观测,但主要是对大电流闪电放电的定位,因此探测效率过低^[17]。海南省安装的地闪定位网已运行几年,积累了初步的数据可以用来研究海南岛地闪活动。在前人工作的基础上,本文将利用海南省地闪定位网 2010—2013 年 4 年的地闪观测资料全面分析全岛全时域地闪活动的时空分布特征。

1 资料和分析方法

海南省的地闪定位网是全国统一布局的闪电定位系统,具有数据实时性好、连续性好、覆盖范围广等优点,因而被广泛用于业务和科研^[18-21]。本文选取的资料为海南省地闪定位网 6 个子站 2010 年 1 月到 2013 年 12 月的地闪定位资料,总共记录了 1 200 天 993 754 次地闪数据,其中负地闪约占 94.3%。其中海南岛上 5 个定位子站分别是海口(110.24°E , 20.00°N)、三亚(109.5419°E , 18.2267°N)、琼中(109.83°E , 19.04°N)、琼海(110.46°E , 19.24°N)和东方(108.6355°E , 19.0958°N),其分布如图 1 所示。第 6 个子站位于永兴岛,因探测范围限制未列在图中。

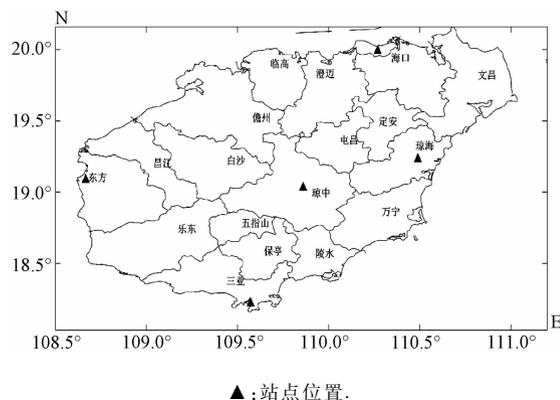


图 1 海南岛地闪观测站点分布图

Fig. 1 A map of CG flash observation sites in Hainan Island

为保证所分析的地闪定位数据具有较好的定

位精度,更好地刻画海南岛闪电的时空分布,本文通过筛选 3 站及 3 站以上定位方式获取地闪数据作为研究样本. 将 108.5 ~ 111.3°E 和 18.5 ~ 20.2°N 之间的区域分成 20 km × 20 km 的正方形网格,通过插值得到全岛范围内的地闪密度分布情况,并对不同时段的地闪密度进行统计分析. 根据得到的地闪分布特征将海南岛划分为 5 个区域,其中以海口、琼中、琼海、东方和三亚 5 个城市作为海南岛北部海岸、中部山区、东部海岸、西部海岸和南部海岸 5 个区域的代表,对比分析其地闪活动特征.

2 海南岛地闪时间分布特征

通过对 4 年地闪数据的统计,得到海南岛地闪活动的季节变化. 如图 2 所示,地闪活动存在明显的季节变化,且整体呈双峰特征. 全年 4—10 月是地闪活动的活跃期,约占全年地闪总数的 99%,其中 5 月和 8 月的地闪活动最为频繁,分别约占 23% 和 18%,而地闪活动在 7 月出现一个谷值,其所占比例要低于 4 月份的. 海南岛地处热带地区的北缘,它既受热带天气系统的影响,又受温带天气系统的影响,地闪活动的这种季节变化可能与大的环流形势引起的天气系统间的转换有关,具体成因还需进一步研究.

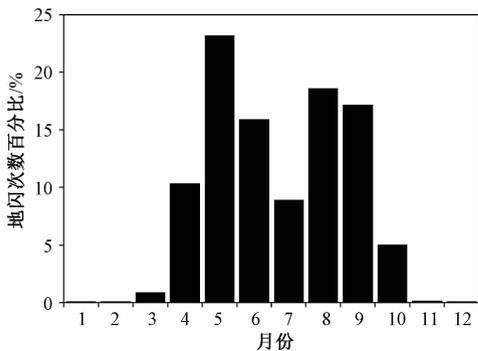


图 2 海南岛地闪活动季节变化特征

Fig. 2 Seasonal variation of CG flash activities in Hainan Island

图 3 给出海南岛地闪活动的日变化特征值,可以看出海南岛地闪活动整体呈现双峰双谷特征,第 1 个峰值(早峰)出现在凌晨 5:00 左右(北京时间,下同),第 2 个峰值(午后峰值)出现在 16:00 左右,分别约占 4.2% 和 11.3%,这表明海南岛早上和下午都易出现雷暴活动,而午后雷暴活动更为频繁;2 个谷值分别出现在 11:00 和

21:00,第 1 个低值区是 10:00—12:00,第 2 个低值区是 20:00—23:00,这 2 个时间段是海南岛地闪活动的低发阶段.

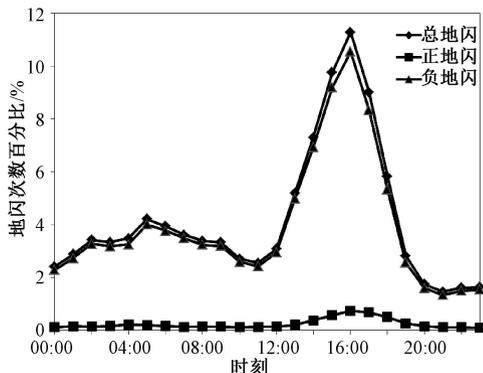


图 3 海南岛地闪活动的日变化曲线

Fig. 3 Diurnal variation of CG flash activities in Hainan Island

海南岛的地闪主要以负地闪为主,约占 94.3%. 通过对地闪的统计发现,正、负地闪百分比(占各自地闪总数的百分比 = 单位小时内正或负地闪数/总的正或负地闪数 × 100%)的日变化与总地闪同步(图 4),也呈现出双峰双谷变化规律,但二者的日变化规律并不完全相同.

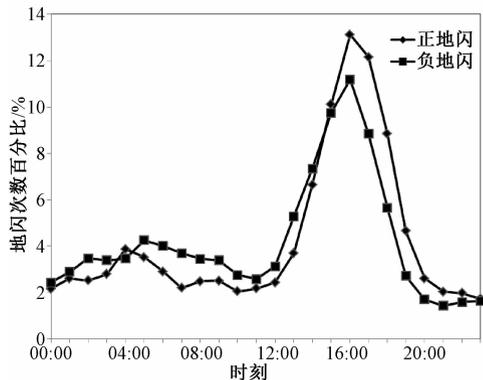


图 4 正、负地闪次数占地闪总数的百分比的日变化曲线

Fig. 4 Diurnal variations for positive and negative CG flashes

首先,正地闪的变率 $C_r = 0.78$ 大于负地闪的变率 $C_r = 0.62$ (其中,变率 C_r 气象上往往指一定时段内(一般取月或季或年)个别气象要素值历年间的变化程度, $C_r = s/\bar{x}$, s 为地闪次数均方差, \bar{x} 为地闪次数算术平均值^[11]). 其次,傍晚前后正地闪次数的减少较负地闪慢.

3 海南岛地闪活动空间分布特征

3.1 全岛地闪密度分布

本文将 108.5 ~ 111.3°E 和 18.5 ~ 20.2°N 之

间的区域划分为 $20\text{ km} \times 20\text{ km}$ 的正方形网格,通过插值得到全岛范围内的地闪密度,如图 5 所示.可以看出,海南岛地闪密度的空间分布大体上呈现中部山区密度大,随着往沿海区域扩展,地闪密度逐渐减小.中部地区存在 2 个地闪密度峰值中心,分别位于昌江、白沙和儋州县交界处(G2)及儋州和澄迈县(G1)的交界处,都达到 $6\text{ 次}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ (约 $2\ 400\text{ 次}/\text{年}$)以上,其中 G1 达到 $7\text{ 次}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$.围绕 2 个峰值中心,地闪密度在不同地域存在一定差异.

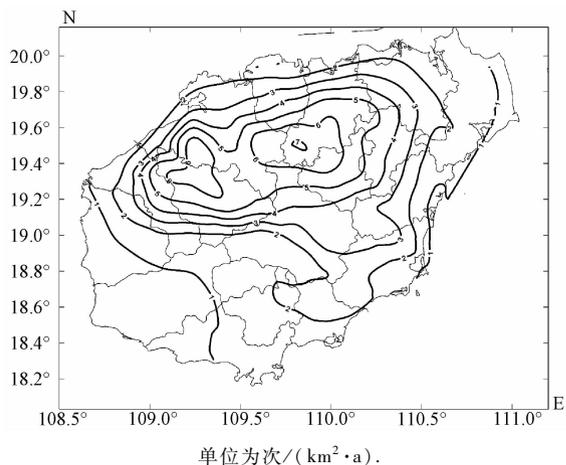


图 5 海南岛地闪密度分布图

Fig. 5 Distribution of CG lightning density in Hainan Island

海南岛沿海区域地闪密度均较小,基本在 $2\text{ 次}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 以下.南部和西南部沿海区域的地闪密度普遍偏小,其中乐东、三亚西部和东方南部地区地闪密度最小(小于等于 $0.5\text{ 次}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$),约 $200\text{ 次}/\text{年}$),而这些区域是全岛降水最少的区域^[22-23].而内陆地区,如澄迈、儋州、琼中、屯昌、白沙、昌江和临高(围绕 2 个地闪密度峰值中心的附近区域)等地的地闪密度较大,基本都在 $3\text{ 次}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 以上,并且随着与峰值中心距离越远,地闪密度减小的速率小于沿海区域.

3.2 不同季节地闪密度分布

海南岛的地理位置和气候特征的特殊性使得不同季节的地闪活动有一定的变化,为进一步了解地闪活动的季节变化特征,本文按照气象分类法,分析不同季节的地闪密度分布情况.如图 6 所示,不同季节的地闪密度分布存在着一定差异:春季(图 6(a)),地闪活动频繁,主要发生在五指山脉北部地区,地闪密度最大达到 $3\text{ 次}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 以上,峰值中心位于中部的屯昌地区 G,海南岛南部及西南部,地闪密度较小;夏季(图 6(b))地闪活动频繁发生的区域基本与春季一致,但出现了 2 个峰值中心(G1 和 G2),峰值中心位置偏北偏西,其他地区与春季特征基本一致;秋季(图 6(c)),

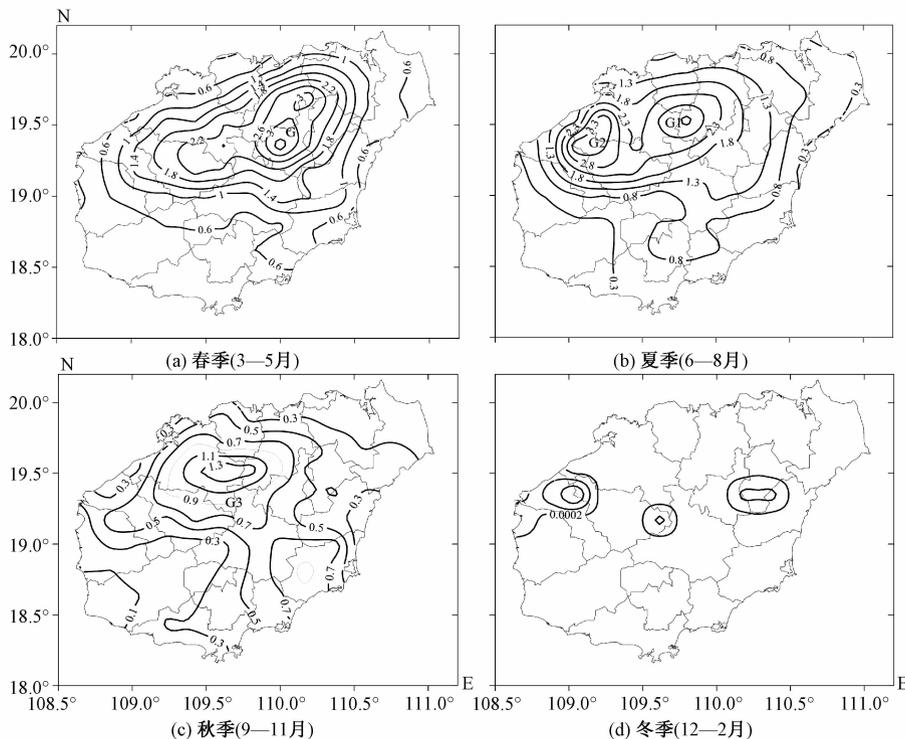


图 6 不同季节的地闪密度分布

Fig. 6 Distributions of CG lightning density in the four seasons

地闪密度明显减小,峰值中心 G3 位置基本与 G1 一致,但地闪密度减小至 1.3 次/(km²·a),全岛大部分地区地闪密度小于 1 次/(km²·a),结合图 2 可知,地闪活动主要集中在 9 和 10 月;从图 6 (d)可以看出海南岛冬季部分区域有零星地闪活动发生,但地闪密度极小。

从地闪密度的四季分布情况可以看出,海南岛四季皆有地闪发生,总体表现为北多南少(五指山脉为界)、中部多而沿海少。春夏两季(3—8 月)是一年中地闪活动发生比较频繁的时段,而地闪活动发生的主要区域是五指山脉以北,尤其是海南岛中部。

3.3 日变化不同时段的地闪密度分布

本文为进一步了解地闪活动与环境的关系,还分析了 08:00—14:00、14:00—20:00、20:00—次日 02:00 和 02:00—08:00 共 4 个时段的总地闪空间分布,分别对应图 7 中的(a)—(d)图。如图所示,08:00—14:00 时段,全岛地闪密度较小,最大值为 0.6 次/(km²·a),这与上午的对流活动通常不太活跃有关;14:00—20:00,地闪活动最活

跃,地闪密度最大值达到 6 次/(km²·a),最大值区域位于儋州和澄迈县交界处;地闪主要发生在五指山脉(昌江县—五指山市沿线)以北的地区,这个时间段受太阳辐射的加热作用影响,低层空气出现不稳定,具备对流产生所需的能量与条件,容易触发局地强对流天气。而南部和西南部的三亚、陵水、保亭、乐东和东方南部等地地闪密度很小;20:00—02:00 时段,全岛地闪密度普遍偏小,其最大值中心出现在五指山脉附近的琼中南部地区,约为 0.4 次/(km²·a),五指山脉以北区域地闪活动更少。这可能是由于地面辐射逐渐冷却,低层空气趋于稳定,对流活动减弱,导致内陆地区地闪密度减小;在 02:00—08:00 时段,地闪主要出现在除海南岛北部沿海地区的整个海岸线及其邻近区域,海岛中部及北部地区基本上无地闪活动;相比于上个时段,地闪活动最大值区域从琼中南部地区发展至南部沿海,地闪密度有所增大;地闪密度呈现离海岸线越近地闪密度越大的分布特征。考虑到下垫面情况及大气状况,可以推测由于夜间陆地温度低于海面温度,等温线从陆地向海

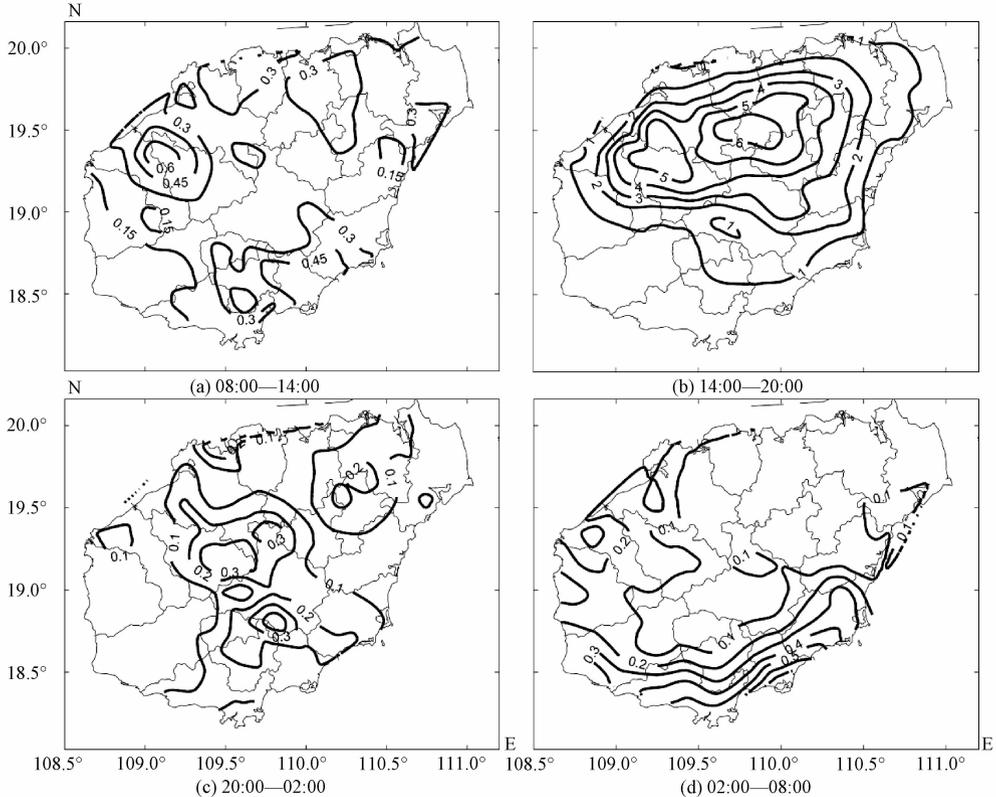


图 7 总地闪在 4 个时段内的密度分布图

Fig.7 Distributions of CG lightning density during the four periods

面倾斜上升,这样海滨地区会有上升气流,且水汽丰富,有利于雷暴发生,而内陆地区下沉气流阻碍了雷暴发生.北部沿海地区情况特殊,需进一步分析.

另外,从图 7 的 4 个时段图可以看出,凌晨 02:00—08:00 和 14:00—20:00 两个时段地闪密度沿五指山脉呈现显著差异. 14:00—20:00 时段,地闪活动主要发生在五指山脉以北,这类地区地闪活动以午后雷暴为主;而 02:00—08:00 时段,地闪主要发生在五指山脉以南的三亚、乐东、东方、陵水和万宁等地和东部、西部大部分沿海区域,这类地区地闪活动在凌晨较为活跃,其他地区则基本无地闪发生.这表明海南岛大部分地区闪电活动发生在白天,并且集中在午后,而以三亚为代表的南部地区闪电活动主要发生在夜间(20 点以后,8 点以前)且密度很小.这一点与郭冬艳等^[3]得到的海南夏季雷暴的分布特征类似.

3.4 地闪日变化双峰的空间分布

图 8 给出海南岛地区双峰出现的区域,如图中圆形区域所示,其中圆形区域半径为 20 km,各圆形区域内标出了第 1 个峰值(早峰)出现的时间.由图 8 可见,地闪双峰出现的区域主要集中在沿海,靠近海岸线的地区双峰特征更明显,随着地理位置从海岸线向内陆区域延伸,其逐渐向单峰转变.而在靠近琼州海峡的海南岛北部沿海地区,包括海口、澄迈和文昌北部沿海地区等,地闪活动日变化呈现单峰值变化,以午后雷暴的发生形式为主,这与其他沿海区域闪电活动日变化规律有着明显差异.

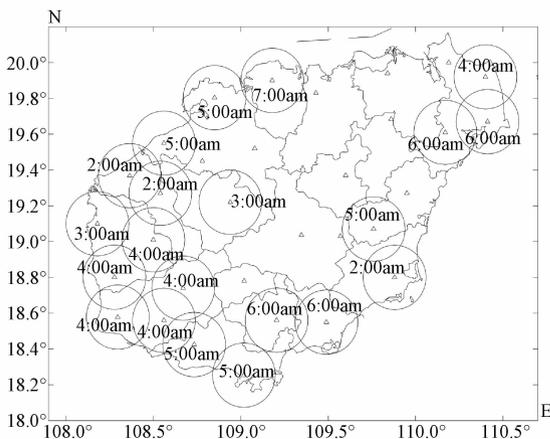


图 8 海南岛地闪日变化双峰区域分布

Fig. 8 The regions with double-peak diurnal variation of CG flashes

图 8 中所标示的数值表示该区域地闪日变化早峰出现的时间,可以看出,地闪活动日变化的早峰出现时间在凌晨 2:00—7:00,而发生位置与 02:00—08:00 时段的地闪密度分布情况类似.早峰出现时间在不同区域存在一定的差异,海南岛西南部沿海区域早峰出现的时间较早,大多发生在凌晨 2:00—4:00,岛南部沿海区域早峰出现在 5:00—6:00,而在海南岛的西北和东北地区基本出现在凌晨 6:00 左右.最晚的早峰出现在临高地区(7:00).

通过分析 32 个格点区域的地闪活动日变化中午后峰值的出现时间,发现五指山脉以北区域地闪日变化的午后峰值出现时间比较接近,基本都在 15:00—17:00.以屯昌(午后峰值出现时间为 17:00)为中心,外围地区午后峰值出现时间逐渐提前,以东方市中沙乡为中心的海南岛西南部地区的午后峰值情况与之类似.而处于岛南部的三亚等地午后峰值出现时间较早,基本在 12:00—14:00,这比岛内其他区域出现的时间更早,如图 9 所示.对比图 7,可以发现五指山脉以北地区地闪密度在 14:00—20:00 时段达到最大,而图 9 中该类地区地闪日变化的午后峰值也出现在这个时段内.

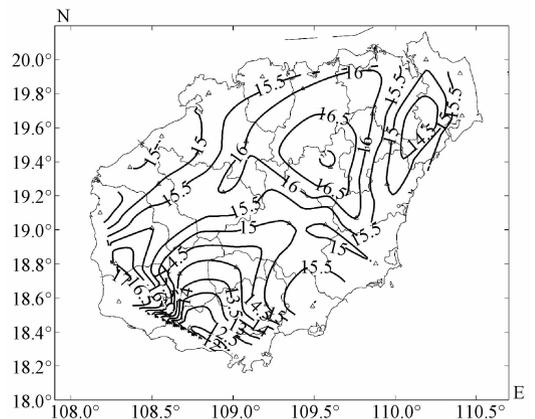


图 9 海南岛地闪午后峰值出现时间图

Fig. 9 The appearing time of the daily second peak

4 典型区域分析

为了对海南岛不同地区的地闪活动有更为清晰的认识,分别选取海口、琼中、琼海、东方和三亚 5 个城市作为海南岛北部海岸、中部山区、东部海岸、西部海岸和南部海岸 5 个区域的代表,对比分析不同区域内的地闪活动特征.图 10 是 5 个区域

总地闪活动日变化,可以看出,海口、琼中、琼海和东方4地午后峰值(14:00—17:00)占各自总地闪的比例最大(20%附近),均以午后雷暴为主,而三亚地区早峰特征更明显,占有时段总地闪次数的17%左右.5处地区中琼海、东方的地闪活动日变化特征呈现双峰变化规律,海口和琼中等地呈现单峰变化,而三亚地区地闪活动日变化早峰所占比例大,而午后日变化出现多个较弱峰值,分别是12:00—13:00时段(约6.1%)和16:00—17:00时段(约4.4%).这5类地区地闪日变化的规律表明以琼海、东方为代表的海南岛东部和西部沿海地区呈现较为明显的双峰变化特征,而海南岛北部沿海和中部内陆地区呈现以午后雷暴为主的单峰值变化特征,海南岛南部地区地闪日变化特征则较为复杂.从5个地区的地闪日变化曲线和图7地闪密度不同时段分布图,还可以看出,

以三亚为代表的海南岛南部沿海地区地闪活动多发生在02:00—08:00,其他地区则主要以午后雷暴为主,这与由不同时段的地闪密度空间分布情况得到的海南岛大部分地区闪电主要发生在白天,而三亚等南部地区地闪活动主要发生在夜间情况一致.本文还对海南岛地闪日变化呈现双峰特征的地区早峰较强的月份进行了统计,发现南部、西部大部分沿海区域,包括三亚、乐东、陵水、东方、昌江、儋州、保亭等地,地闪活动日变化的早峰达到旺盛的月份在4月,而东部和北部沿海区域早峰达到旺盛的月份则靠后,早峰的形成多受益于海洋水汽热量向内陆地传输,而从4月开始,控制海南岛的气压系统是印度低压向南海延伸的低压槽^[24],经常吹南或西南风,大量的水汽热量由海面传输到内陆,从而造成南部和西部大部分沿海区域早峰旺盛期在4月份.

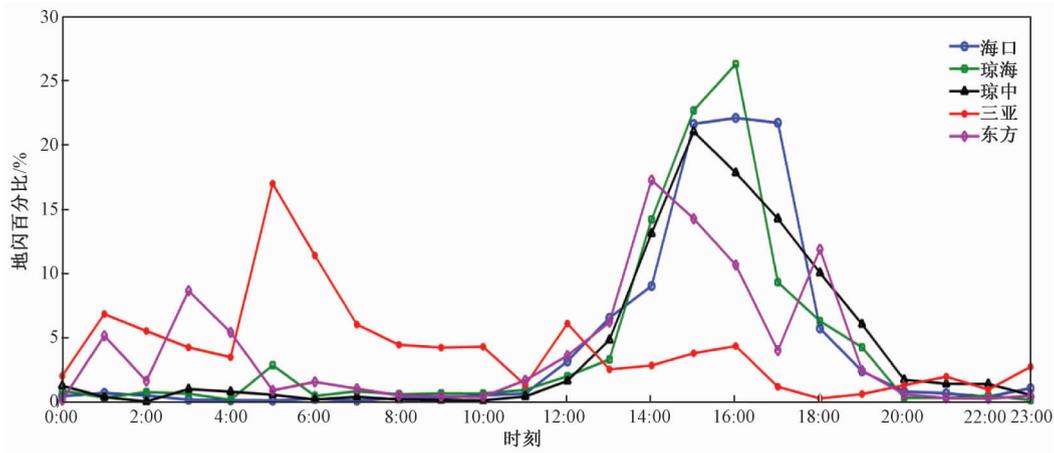


图10 5个区域地闪日变化曲线

Fig. 10 Daily variations of CG flash activities in the five areas

5 结论与讨论

本文通过统计2010—2013年4年的海南岛地闪定位数据,分析海南岛地闪活动的时空分布特征,得到如下结论:

1)海南岛地闪活动呈现出明显的季节变化和日变化,总体均为双峰形式.4—10月是雷暴活动活跃期,其中5月和8月的雷暴活动最频繁,分别约占23%和18%;其日变化双峰分别出现在5:00和16:00左右;

2)地闪活动日变化呈现双峰特征的区域主要集中在东、西和南部沿海地区,随着地理位置从海岸线向内陆区域延伸,地闪日变化向单峰转变,

而海南岛北部沿海地区也呈现单峰值变化规律;

3)地闪活动日变化的早峰出现时间在凌晨2:00—7:00,出现地区与02:00—08:00时段的地闪密度分布情况类似.其中,海南岛西南部沿海地区早峰出现的时间较早,东北和西北部沿海地区则较晚,早峰最晚出现的时间在7:00,地点在临高境内;

4)地闪密度呈现中部内陆山区大,越往沿海地区延伸越小,最小值区域位于海岛西南部,而中部地区存在两个地闪密度高值区;其季节变化表现为春夏两季地闪活动频繁,且地闪大多发生五指山脉以北;以五指山脉为南北部分界,北部地区地闪基本发生在14:00—20:00这个时间段,凌晨

02:00—08:00 之间地闪活动较少,而南部地区正好相反;

5)五指山脉以北地区地闪日变化午后峰值出现时间的空间分布规律与 14:00—20:00 时段内的地闪密度分布规律类似:午后峰值基本出现在 15:00—17:00,这个时段正好在该类地区地闪密度最大的时间段内;而以三亚为代表的海南岛南部地区的日变化午后峰值出现较早,在 12:00 左右;

6)不同地区地闪活动的日变化情况表明海南岛地闪活动主要以午后雷暴为主,而包括三亚在内的海南岛南部地区地闪则多发生在凌晨。

闪电活动的时空分布与大气水汽状况、能量状况和层结特征之间必然存在紧密的关系。Keenan 等^[25]研究海岛雷暴活动的演变规律,指出这种海洋陆地雷暴的发展与 CAPE 值、切变及高水汽含量有关,而海南岛地闪活动的时空分布特征有一定的特点,尤其是其季节变化和日变化的双峰特征,不同于中国其他地区的闪电活动,这一双峰特征与 Pan et al.^[26]发现的全球海洋闪电的日变化规律类似,显著的午后峰值,主要为岛内局地热力对流活动产生的;而凌晨出现的一个较弱的峰值,他们认为与海南岛频繁的海陆风环流有关。以夏季海陆风演变情况为例,凌晨至 05:00—09:00 时,在西南、南部及东部沿海地区陆风与盛行风风向相反,二者边界处形成陆风峰辐合带^[27],而下垫面水汽充足,一定的扰动就可能使得低层水汽辐合抬升,形成对流,这可能是凌晨闪电活动发生的原因之一。

虽然本文所用资料年限较短,但其统计分析结果对于了解海南岛地闪活动基本特征提供了参考,其分布特征出现的原因还需分析其他参量来进一步研究,如降水,大量研究表明闪电活动与降水特别是对流区降水量有着显著的线性相关关系^[28-30],强烈的电活动与强降水的对应关系更好^[31]。本文引入海南岛年平均降水量的空间分布图(图 11),初步讨论了二者的对应情况。通过对比图 5 和图 11,发现地闪密度最小的区域和年降雨量最小的区域基本一致;中部山区年降雨量最大,地闪密度也达到极值,这初步说明降雨量与地闪活动存在正相关关系,但二者的峰值中心并不一致,这可能与海南岛受热带气旋影响降雨量增多有关,2010—2013 年间登陆或影响海南岛的热

带气旋多达 21 个,其中台风 17 个,而在这 17 个台风中 10 次台风或登陆海南东北部或从东北部海域掠过而向西北方向移动,台风行进过程中给海南岛特别是其东部和东北部带来大量降水,这一定程度上使得降雨量峰值中心东移。

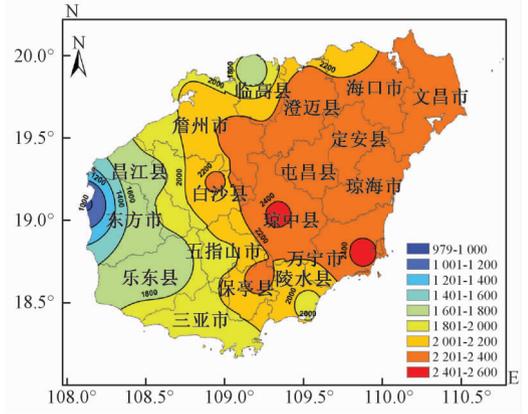


图 11 2010—2013 年海南岛年平均降水量分布
Fig. 11 Distribution of the average annual precipitation in Hainan Island from 2010 to 2013

而深入研究海南岛闪电活动的规律,还需分析闪电活动与局地对流天气过程活动区降雨量与面积的相关关系,闪电活动与台风系统过程降雨量的相关关系、台风降水对年降雨量的贡献、海陆风环流对闪电发生发展的作用等,这也是下一步工作中需要继续研究的方面。

参考文献

- [1] 周淑贞. 海南岛的气候特征[J]. 华东师范大学学报:自然科学版,1981(1):61-71.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] Easterling D. R. Persistent patterns of thunderstorms activity in the central United States[J]. Journal of climate,1990(3):1380-1389.
- [5] Easterling D R, Robinson P J. The diurnal variation of thunderstorm activity in the United States[J]. J Climate Appl Meteor,1985,24:1048-1058.
- [6] Grandt C. Thunderstorm monitoring in South Africa and Europe by means of very low frequency sferics[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 1992,97(D16):18215-18226.
- [7] 袁铁,鄯秀书. 卫星观测到的我国闪电活动的时空分布特征[J]. 高原气象,2004,23(4):488-494.
- [8] 巩崇水,曾淑玲,王嘉媛,等. 近 30 年中国雷暴天气气候

- 特征分析[J]. 高原气象,2013,32(5):1442-1449.
- [9] 鄯秀书, Toumi R. 卫星观测到的青藏高原雷电活动特征[J]. 高原气象,2003,22(3):288-294.
- [10] 张廷龙, 鄯秀书, 袁铁, 等. 青藏铁路沿线闪电活动的时空分布特征[J]. 高原气象,2004,23(5):673-677.
- [11] 冯桂力, 陈文选, 刘诗军, 等. 山东地区闪电的特征分析[J]. 应用气象学报,2002,13(3):347-355.
- [12] 何晖, 李宏宇. 北京地区闪电特征初探[J]. 气象科技,2005,33(6):496-500.
- [13] 张文煜, 朱睦正, 左迎芝, 等. 山东地区闪电密度时空分布特征[J]. 气象科学,2010,30(1):132-136.
- [14] 郦嘉诚, 钟颖颖, 冯民学. 江苏省区域闪电分布特征[J]. 大气科学学报,2012,35(3):380-384.
- [15] 孙丽, 于淑琴, 李岚, 等. 辽宁省雷暴日数的时空分布特征[J]. 气象与环境学报,2010,26(1):59-62.
- [16] Katrina S V, John M W, Michael L H, et al. Diurnal lightning variability over the maritime continent: impact of low-level winds, cloudiness, and the MJO[J]. J Atmos Sci, 2013, 70, 3:128-3146.
- [17] Rodger C J, Brundell J B, Dowden R L. Location accuracy of VLF world-wide lightning location (WWLL) network: post-algorithm upgrade[J]. Ann Geophys, 2005, 23:277-290.
- [18] 秦建峰, 刘梦雨, 吴昊. ADTD 雷电探测系统典型故障分析[J]. 气象科技,2012,40(2):180-184.
- [19] 李家启, 李博, 申双和, 等. 基于 ADTD 系统的雷电流波头陡度频率分布特征[J]. 气象科技,2010,38(6):741-745.
- [20] 李家启, 王劲松, 申双和, 等. 基于 ADTD 系统监测的雷电流幅值累积概率特征统计[J]. 气象,2011,37(2):226-230.
- [21] 姜勇. 基于 ADTD 监测网络 2012 年云南省地闪特征分析[J]. 云南大学学报:自然科学版,2013,35(S2):315-322.
- [22] 吴岩峻. 不同天气系统对海南岛降水的贡献及其变化的研究[D]. 兰州:兰州大学,2008:17-26.
- [23] 王春乙. 海南气候[M]. 北京:气象出版社,2014:18-31.
- [24] 徐淑英, 许孟英, 高由禧. 海南岛的气候[J]. 气象学报,1954,25(3):195-212.
- [25] Keenan T D, Morton B R, Zhang X S, et al. Some characteristics of thunderstorms over Bathurst and Melville islands near Darwin, Australia[J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society,1990,116(495):1153-1172.
- [26] Pan L X, Liu D X, Qie X S, et al. Land-sea contrast in the lightning diurnal variation as observed by the WWLLN and LIS/OTD data[J]. Acta Meteor. Sinica, 2013, 27(4):591-600.
- [27] 张振洲, 蔡旭辉, 宋宇, 等. 海南岛地区海陆风的统计分析和数值模拟研究[J]. 热带气象学报,2014,30(2):270-280.
- [28] 郑栋, 张义军, 孟青, 等. 北京地区雷暴过程闪电和地面降水的相关关系[J]. 应用气象学报,2010,21(3):287-297.
- [29] 王婷波, 郑栋, 张义军, 等. 基于大气层结和雷暴演变的闪电和降水关系[J]. 应用气象学报,2014,25(1):33-41.
- [30] 冯桂力, 鄯秀书, 袁铁, 等. 雹暴的闪电活动特征与降水结构研究[J]. 中国科学, D 辑:地球科学,2007,37(1):123-132.
- [31] 张义军, 华贵义, 言穆弘, 等. 对流和层状云系电活动、对流及降水特性的相关分析[J]. 高原气象,1995,14(4):396-405.