

费蕾蕾, 毕新慧, 刘永林, 等. 香港地区地闪时空分布特征及其影响因素[J]. 热带气象学报, 2017, 33(5): 617-626.

文章编号: 1004-4965(2017)05-0617-10

## 香港地区地闪时空分布特征及其影响因素

费蕾蕾<sup>1,2</sup>, 毕新慧<sup>1</sup>, 刘永林<sup>1</sup>, 陈鲁言<sup>1,3</sup>,  
林钦浩<sup>1,2</sup>, 王新明<sup>1</sup>, 盛国英<sup>1</sup>

(1. 中国科学院广州地球化学研究所 / 有机地球化学国家重点实验室 /  
广东省环境资源利用与保护重点实验室, 广东 广州 510640;  
2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 香港理工大学, 香港)

**摘 要:** 通过对香港地区 2006—2012 年闪电定位数据、气象参数和海拔高度等相关数据的统计及相关性分析, 对香港地区的地闪活动时空分布特征及其影响因素进行研究。结果表明, 香港地区 2006—2012 年的地闪发生次数最多的是 2010 年, 最少是 2011 年, 每年地闪高发日的天数对地闪活动年际变化起到了关键性作用。地闪活动的发生主要集中在 4—9 月, 逐月地闪回击次数与气温、相对湿度、降雨量及 CAPE 均呈现显著的正相关关系。地闪活动的日变化特征主要受到地闪高发日闪电活动、海陆热力差异及太阳辐射变化的综合影响, 正、负地闪回击次数的日变化峰值均出现在 01 时。香港西部地区的正地闪回击密度明显高于东部, 而负地闪回击密度的高值中心主要集中在海拔较高的山区。香港地区正、负地闪回击密度均随海拔的升高而有所增加, 且六座典型山峰周围的负地闪回击密度与海拔高度在空间分布特征上具有很强的相似性。

**关键词:** 地闪回击密度, 时空分布, 气象条件, 海拔高度

中图分类号: P427.32.1 文献标识码: A Doi: 10.16032/j.issn.1004-4965.2017.05.005

## 1 引 言

雷暴是我国最常见的气象灾害之一, 直接威胁人类的生命和财产安全。随着社会经济的迅速发展和科技水平的不断提高, 雷暴灾害造成的损失日趋严重, 被国际电工委员会称为“电子化时代的一大公害”<sup>[1]</sup>。此外, 闪电作为一种大电流、高电压和长尺度的快速放电过程, 其高温、高压等特点能够迅速引起多种大气化学反应, 进而对大气环境质量乃至气候产生影响<sup>[2]</sup>。因此, 研究闪电的分布特征及其影响因素对防雷减灾以及大气化学的研究都具有重要意义。

香港地处华南, 紧邻珠江三角洲 (简称珠三角), 属亚热带季风气候。Ma 等<sup>[3]</sup>的研究结果显示,

珠三角地区是中国雷电密度最高的地区之一。与中国北方地区雷暴活动相对单一的产生机制 (主要受热力抬升作用影响) 不同, 香港地区的雷暴活动既包括受热力抬升作用产生的中、小尺度雷暴, 也包括受大尺度天气系统相互作用产生的雷暴, 如受季风、季风槽和热带气旋等天气系统影响形成的锋面雷暴和切变线雷暴<sup>[4-5]</sup>。此外, 香港地区尽管面积不大, 但地形地貌复杂, 独特的气候及地形因素都可能对香港地区闪电的时空分布产生一定影响。Liu 等<sup>[6]</sup>基于闪电定位资料对珠三角地区五种不同微环境的雷电活动特征进行研究表明, 微环境的变化, 如地形、城市化程度、人口、城市规模和结构以及气候和气象条件对雷电的分布均具有重要影响。王义耕等<sup>[7]</sup>对 TRMM 卫星资料的分析结果也认为, 大尺度天气系统、太阳辐射、地形抬

收稿日期: 2016-06-24; 修订日期: 2017-03-08

资助项目: 国家自然科学基金(41273114, 41503088); 中国博士后科学基金(2015M582429)共同资助

通讯作者: 毕新慧, 女, 山西省人, 研究员, 博士, 主要从事大气环境科学研究。E-mail: bixh@gig.ac.cn

升和下垫面性质是影响华南地区闪电时空分布的重要因素。香港作为中国经济最发达的城市之一,具有活跃的闪电活动和很高的建筑密度与人口密度,因而研究香港地区的闪电时空分布特征及其影响因素对香港地区的雷暴预测和雷电防护等工作具有重要的参考价值。但到目前为止,关于香港地区闪电活动特征的研究还鲜有报道。

本文通过对香港地区 2006—2012 年闪电定位数据与气象参数和海拔高度等相关数据的统计和相关性分析,探讨香港地区地闪活动的时空变化特征以及天气、气候和地形因素对香港地区地闪活动的影响。

## 2 数据来源

本文涉及的数据主要包括:香港地区 2006—2012 年地闪定位数据,气温、相对湿度、降雨量、盛行风向和对流有效位能(CAPE)等气象数据以及海拔高度数据。研究区域如图 1 中黑色方框所示(113.8~114.5°E 22.1~22.6°N),包含整个香港地区。其中,地闪数据来自香港天文台与广东省气象局和澳门地球物理暨气象局合作建立的闪电定位系统。截止至 2012 年,该系统共有 6 个闪电探测站,分别位于香港的尖鼻咀、沙头角和春坎角,广东的三水和惠东,澳门的凼仔(图 1)。闪电探测仪的型号为 Vaisala IMPACT ESP。该系统对香港地区地闪的探测效率约为 90%,定位误差约 500 m ([http://www.weather.gov.hk/wxinfo/llis/gm\\_index.htm](http://www.weather.gov.hk/wxinfo/llis/gm_index.htm))。值得注意的是,该系统提供的地闪数据为地闪回击(stroke)次数,而非闪电(flash)次数。此外,过去许多研究都发现弱正地闪中的一部分可能来自于云闪的误判。Cummins 等<sup>[8]</sup>认为,峰值电流低于 10 kA 的弱正地闪应判定为云闪。但也有学者指出 10 kA 的限值是不严谨的,这个限值与闪电定位系统的自身配置及气候都有一定联系<sup>[9]</sup>。对本文中所采用的正地闪回击数据的统计结果显示,小于 10 kA 的正地闪回击占全部正地闪回击数据的 85.5%。由于目前未见关于香港地区弱正地闪限值的报道,为避免采用 10 kA 限值引起大部分正地闪数据信息被排除的损失,本文中所采用的数据未去除弱正地闪。

气温、相对湿度、降雨量和盛行风向的日平均

数据来自香港天文台网站(<http://www.weather.gov.hk/contentc.htm>),其中气温、相对湿度和降雨量数据来自香港天文台站,盛行风向数据来自香港横澜岛站。CAPE 的日平均数据来自怀俄明大学网站(<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>),由香港京士柏站每天 08 时和 20 时两次探空数据计算得到。海拔高度数据为 SRTM 90 m 分辨率数字高程数据,来源于国际农业研究磋商组织网站(<http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>)。

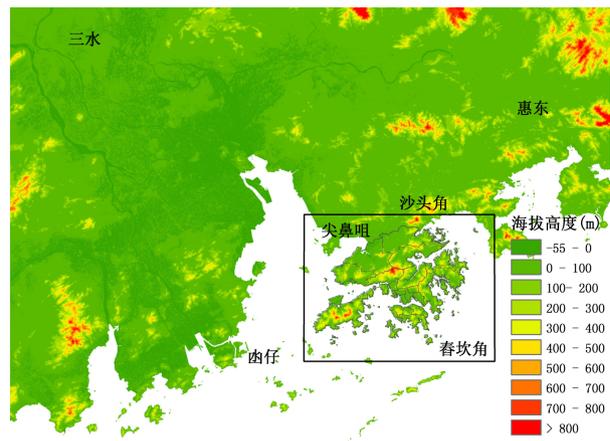


图 1 闪电探测站位置及研究区域

## 3 结果与讨论

### 3.1 地闪时空分布特征

#### 3.1.1 地闪回击次数时间分布特征

香港地区 2006—2012 年正、负地闪回击次数及正地闪回击占比的年际变化、月际变化及日变化特征如图 2 所示。由图 2a 可知,2006—2012 年香港地区平均每年发生正地闪回击次数为 6 583 次,负地闪回击为 51 820 次,正地闪回击占比的变化范围为 9.5%~13.2%。香港地区地闪发生次数最多的是 2010 年(正地闪回击为 10 643 次/a,负地闪回击为 83 398 次/a),最少是 2011 年(正地闪回击为 2 402 次/a,负地闪回击为 15 744 次/a)。

由图 2b 可见,香港地区 2006—2012 年除 1 月和 12 月外其余各月均有地闪发生。正、负地闪均集中在 4—9 月,这期间发生的正、负地闪回击次数分别占全年的 97.7%和 98.7%。其中,正地闪回击次数在 6 月达到最大值(1 508 次/月),负地闪回击最大值则在 9 月(11 906 次/月),6 月次之。香

港地区正地闪回击在 6—9 月占比较低(7.6%~12.5%),而其他月份相对较高(16.5%~21.9%)。

图 2c 给出了香港地区正、负地闪回击次数的日变化,其中每一个时间点上的数值代表它之前 1 h 中的地闪回击总数。正地闪回击次数在 01 时达到最大值(1.4 次/h),但整体而言分布相对随机。负地闪回击次数同样在 01 时达到最大值(14.4 次/h),且 15—次日 01 时期间(平均 7.6 次/h)负地闪回击次数明显高于 02—14 时(平均 4.5 次/h)。另外,正地闪回击占比在 03—12 时相对较高(平均占比为 14.1%),而 13—次日 02 时期间的正地闪回击平均占比为 10.1%。

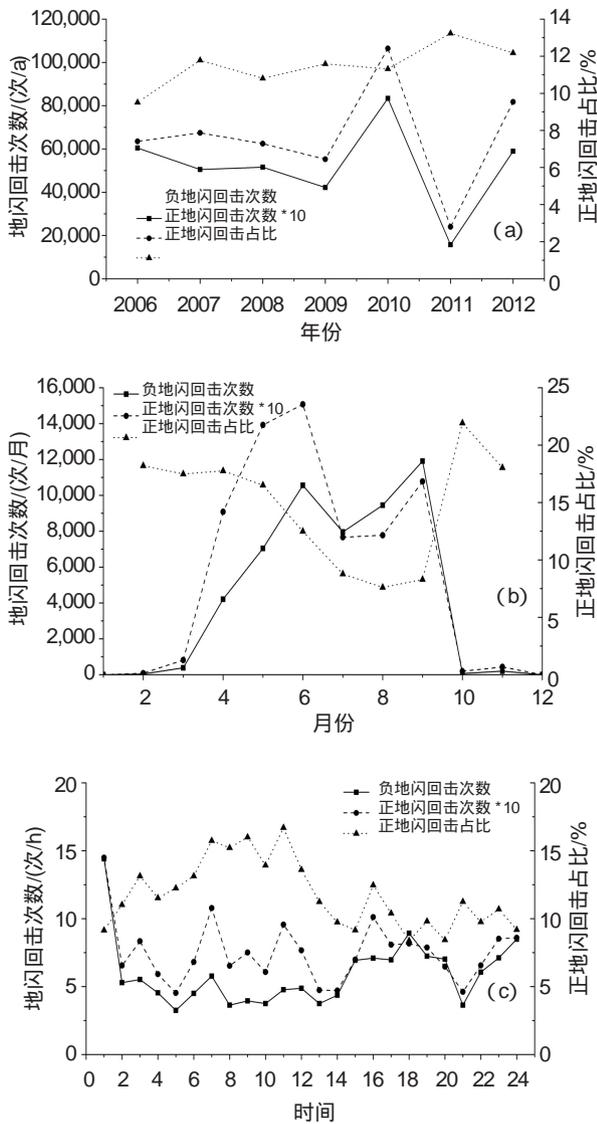


图 2 香港地区 2006—2012 年正(虚线)、负(实线)地闪回击次数及正地闪回击占比(点线)的年度变化(a)、月际变化(b)和日变化(c)特征

### 3.1.2 地闪回击密度空间分布特征

采用 ArcGIS 空间分析模块中的 kernel 方法计算并绘制香港地区的地闪回击密度分布<sup>[10]</sup>,栅格大小取 0.01°×0.01°,计算结果见图 3。香港地区 2006—2012 年的平均正、负地闪回击密度分别为 1.6 次/(km<sup>2</sup>·a)和 12.8 次/(km<sup>2</sup>·a)。整体而言,香港西部地区的正地闪回击密度明显高于东部地区,正地闪回击密度的高值中心主要集中在新界的荃湾、葵青、沙田、离岛一带及周边海域。而负地闪回击密度的高值中心主要集中在海拔较高的山区,如红花岭(492 m)、龟头岭(486 m)、黄岭(639 m)、鸡公岭(585 m)、青山(583 m)、莲花山(578 m)、大帽山(957 m)、草山(647 m)、马鞍山(702 m)、石屋山(481 m)、灵会山(490 m)、勒弥山(751 m)、凤凰山(934 m)、大东山(869 m)、扯旗山(552 m)及歌赋山(479 m),这与王义耕等<sup>[7]</sup>基于 TRMM 卫星数据对华南地区闪电时空分布的研究结果相似。

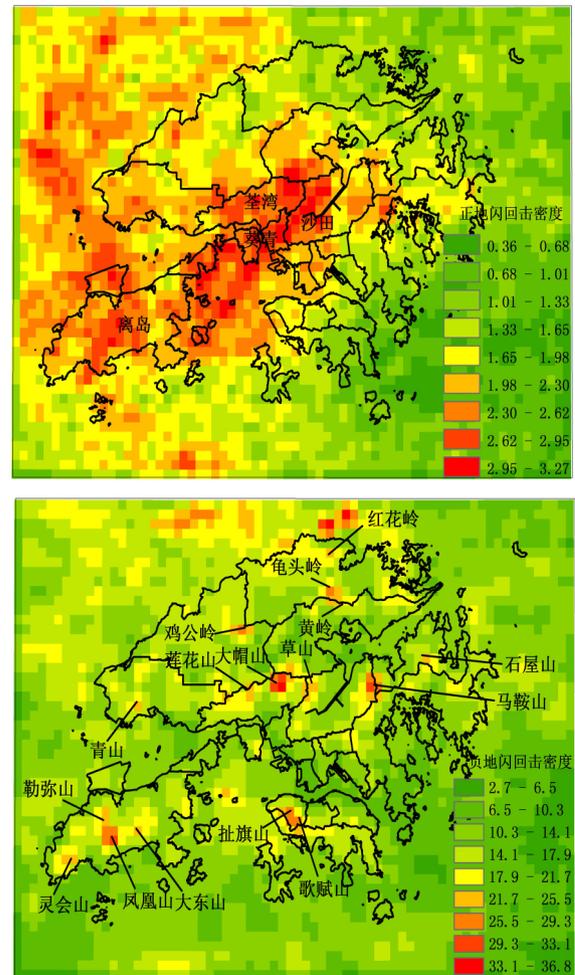


图 3 香港地区 2006—2012 年的平均正(a)、负(b)地闪的年平均回击密度空间分布 单位:次/(km<sup>2</sup>·a)。

### 3.2 地闪时空分布影响因素分析

香港地处低纬度季风区,该区域既有在热力对流作用为主的条件下所产生的中、小尺度雷暴,也有大的天气系统交汇所引起的对流运动而形成的雷暴<sup>[4]</sup>。天气、气候及地形等因素都与雷暴及闪电活动的产生密切相关<sup>[11]</sup>,本文将就这几个因素对香港地区地闪时空分布的影响进行分析。

#### 3.2.1 天气及气候因素的影响

##### 3.2.1.1 对地闪活动年际变化的影响

由上文可知,香港地区闪电活动的频发期为4—9月,这恰好与华南地区雨季的时间相对应。华南地区的雨季分为前汛期(4—6月)和后汛期(7—9月),前汛期降水主要由锋面系统和季风爆发所致,而后汛期降水主要由台风等热带天气系统所造成<sup>[12]</sup>。因此,香港地区的闪电活动很大程度

上可能受到锋面系统、季风以及热带天气系统的影响。

为进一步了解天气及气候因素对香港地区地闪活动年际变化的影响,对香港地区2006—2012年历年前汛期及后汛期正、负地闪活动进行统计。由表1可以看到,每年地闪高发日的天数对香港地区地闪活动年际变化起到关键性作用。本研究中正(负)地闪高发日定义为研究区域内探测到的正(负)地闪回击次数大于1 000(5 000)次/d的闪电日。对于地闪活动最频繁的2010年,前汛期正、负地闪高发日分别为2 d和1 d,分别为当年前汛期正、负地闪回击总数贡献76%和52%;后汛期的正、负地闪高发日分别为2 d和4 d,分别为2010年后汛期正、负地闪回击总数贡献46%和73%。而对于地闪活动最少的2011年,前汛期及后汛期都未出现闪电高发日。

表1 香港地区2006—2012年前汛期及后汛期正、负地闪活动统计

统计项目		年份						
		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
前汛期	正地闪回击次数	3 288	5 656	3 724	2 265	3 995	1 373	6 361
	正地闪高发日(PD)天数	1	1	0	0	2	0	2
	PD正地闪回击总数	1 704	1 974	—	—	3 056	—	2 684
	PD <sup>a</sup> 正地闪回击贡献率/%	52	35	—	—	76	—	42
	负地闪回击次数	25 101	33 604	23 755	12 432	15 224	5 908	36 640
	负地闪高发日(ND)天数	1	2	1	0	1	0	2
	ND负地闪回击总数	12 937	19 098	9 024	—	7 977	—	16 252
	ND <sup>b</sup> 负地闪回击贡献率/%	52	57	38	—	52	—	44
	后汛期	正地闪回击次数	2 797	1 086	2 403	2 707	6 573	1 026
正地闪高发日(PD)天数	0	0	0	1	2	0	0	
PD正地闪回击总数	—	—	—	1 001	3 011	—	—	
PD <sup>a</sup> 正地闪回击贡献率/%	—	—	—	37	46	—	—	
负地闪回击次数	34 094	16 876	27 429	27 099	67 831	9 836	22 083	
负地闪高发日(ND)天数	1	0	1	1	4	0	1	
ND负地闪回击总数	7 991	—	5 988	11 861	49 324	—	9 211	
ND <sup>b</sup> 负地闪回击贡献率/%	23	—	22	44	73	—	42	

注:PD<sup>a</sup>表示PD正地闪的回击贡献率( $\frac{\text{正地闪高发日的正地闪回击总数}}{\text{正地闪回击总数}} \times 100\%$ ),ND<sup>b</sup>表示负地闪的回击贡献率( $\frac{\text{负地闪高发日的负地闪回击总数}}{\text{负地闪回击总数}} \times 100\%$ )。

香港地区2006—2012年间有17个正/负地闪高发日,其主要气象条件及当日影响香港的主要天气系统如表2所示。地闪高发日的平均气温为25.3~30.1℃,平均相对湿度为70%~93%,CAPE

为217~3 502 J/kg,近地面盛行风向多为南风、西风或西南风。此外,香港天文台站在8个地闪高发日中录得50 mm以上暴雨,其中有3 d的降雨量超过100 mm,2008年6月7日录得降雨量高达

307.1 mm。由汛期地闪高发日影响香港的主要天气系统的统计结果显示,在前汛期的地闪高发日中香港地区大多受低压槽影响,其中一半以上的地闪高发日伴随 50 mm 以上暴雨;而后汛期地闪高发日则大多受台风影响,通过对照各地闪高

发日的台风路径发现,受台风影响的地闪高发日当日香港地区都处于台风中心 500 km 以外的外围雨带。与低压槽引起的地闪高发日相比,受台风影响的地闪高发日降水相对较少,基本小于 50 mm。

表 2 香港地区 2006—2012 年前汛期及后汛期的地闪高发日的主要气象条件

日期	PD <sup>a</sup>	ND <sup>b</sup>	平均气温 /°C	平均相对湿度 /%	降雨量 /mm	CAPE /(J/kg)	盛行 风向	影响香港的主要 天气系统 <sup>13</sup>
20060609	是	是	26.4	92	136.7	-	西南	低压槽
20070527	否	是	26.5	88	53	217	东	低压槽, 偏南气流
20070610	是	是	25.7	91	95.5	472	西	低压槽, 西南季风
20080607	否	是	25.5	93	307.1	-	南	低压槽
20100507	是	是	25.3	92	29.1	539	西	低压槽
20100519	是	否	26.0	89	55.7	654	南	低压槽
20120416	否	是	26.0	86	11.8	849	西南	低压槽
20120429	是	否	27.2	89	21.2	1 390	南	低压槽
20120504	是	是	28.0	89	35.7	1 599	南	低层弱切变线
20060819	否	是	27.6	81	51.1	669	西	副热带高压
20080727	否	是	29.8	70	微量	551	西	0808 强台风“凤凰”
20090913	是	是	29.4	79	23.4	242	西南	0915 台风“巨爵”
20100728	否	是	26.9	91	122.5	1 240	西南	低压槽
20100908	是	是	29.9	80	27.6	3 502	西	1010 台风“莫兰蒂”, 高空冷涡
20100909	是	是	28.2	83	22.5	1 286	南	1010 台风“莫兰蒂”, 高空冷涡
20100910	否	是	28.1	81	58.8	1 835	西南	1010 台风“莫兰蒂”, 低压槽
20120721	否	是	30.1	76	2.2	1 486	东北	1208 台风“韦森特”

注: 正地闪高发日(PD<sup>a</sup>)和负地闪高发日(ND<sup>b</sup>)分别指研究区域内探测到的正(负)地闪回击次数大于 1 000 次/d(5 000 次/d)的闪电日。

### 3.2.1.2 对地闪活动月际变化的影响

香港地区 2006—2012 年气象要素的月际变化特征如图 4 所示。香港地区平均气温、平均相对湿度、降雨量和 CAPE 都有明显的季节性变化。为研究气象因素对香港地区地闪回击次数月际变化的影响,采用 SPSS 软件对 2006—2012 年逐月地闪回击次数数据与逐月气象数据(气温、相对湿度和 CAPE 为月平均数据,降雨量为逐月总降雨量数据)进行 Spearman 相关性分析,计算相关系数并进行显著性检验<sup>[11, 14]</sup>。结果如表 3 所示,香港地区的逐月地闪回击次数与平均气温、平均相对湿度、降雨量及 CAPE 的 Spearman 相关系数均在 0.01 水平上显著相关。

闪电回击次数与气温、CAPE 及相对湿度的正相关性显示出热力对流及丰富的水汽对香港地区

雷暴形成的重要作用。就温度而言,过去许多研究从多种时间尺度上给出了闪电与地表温度的关系<sup>[15-17]</sup>,研究表明从日变化、季节变化到年变化这些不同的时间尺度上,闪电活动与地表温度均呈正相关关系<sup>[18]</sup>。地表温度变化是香港地区闪电活动季节性变化的一个关键性驱动因子。而 CAPE 作为常用的大气不稳定性参数,许多研究表明其与闪电活动具有显著的正相关关系<sup>[19-20]</sup>。此外,由于水汽条件是雷电活动必不可少的气象要素之一,地面相对湿度也会对闪电活动产生一定影响。本研究的结果显示,香港地区的相对湿度在月际变化尺度上与闪电回击次数呈正相关,但相比于气温、CAPE 和降雨量的相关性相对较低。闪电回击次数与降雨量显著的正相关性则显示出闪电活动与降水在形成机制上的相关性。如前文所述,香

港地区闪电活动的频发期与华南地区雨季时间一致,造成汛期降水的锋面系统、季风及台风等热带气象系统也是影响香港地区闪电活动的重要因素。

### 3.2.1.3 对地闪活动日变化的影响

天气和气候因素除了影响香港地区闪电活动的年际变化和月际变化,也体现在日变化特征上。

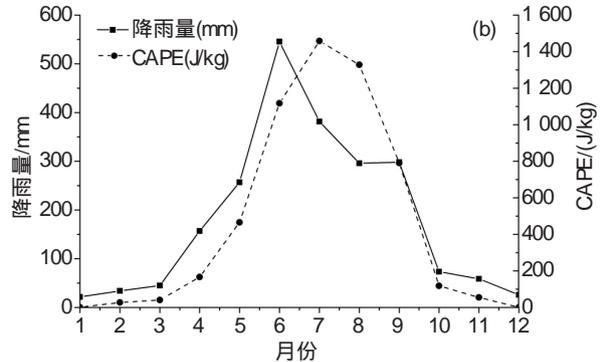
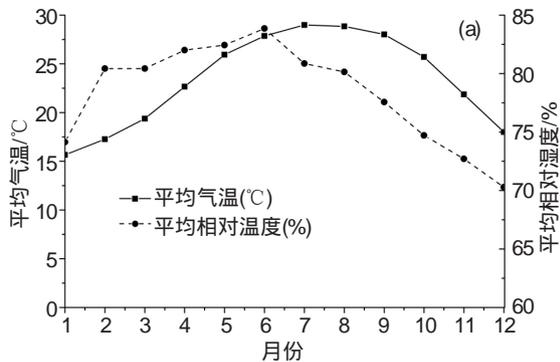


图4 香港地区2006—2012年平均气温、平均相对湿度(a)和降雨量、CAPE(b)的月际变化

表3 香港地区2006—2012年逐月地闪回击次数与气象参数的Spearman相关系数

	平均气温	平均相对湿度	降雨量	CAPE
地闪回击次数	0.779	0.548	0.877	0.846

注:数据均在0.01水平(双侧)上显著相关。

然而,与我国其他地区相比,香港地区地闪活动频率的峰值时间与内陆地区存在一定差异,且地闪活动频率的日变化幅度相对较小。过去的许多研究结果都显示,我国大部分地区地闪活动的日变化趋势呈单峰分布,地闪活动频率的峰值通常出现在16—18时<sup>[11, 21-22]</sup>。而香港地区的负地闪回击次数最高峰出现在凌晨01时,次高峰出现在18时,正地闪回击次数的日变化趋势则相对随机,这可能主要是由受系统性天气影响的闪电活动的贡献造成的。对上文提及的17个正/负地闪高发日的地闪回击次数日变化的统计结果显示,地闪高发日的地闪回击次数对09—17时地闪回击总数的平均贡献率约为20%,而对18—次日08时地闪回击总数的平均贡献率高达50%。其中,地闪高发日对01时正、负地闪回击总数的贡献率分别为58%和67%。因此,香港地区的地闪活动频率峰值出现在01时主要是由地闪高发日中该时段密

集的地闪活动引起的,而这部分闪电活动主要受低压槽、台风等系统性天气影响,与太阳辐射加热的关系并不显著。此外,文献[3, 23-24]研究指出,我国沿海地区地闪活动的日变化趋势在清晨和傍晚出现两个峰值,与内陆地区地闪活动日变化的单峰分布存在明显差异,这体现出海洋与陆地热力特征上的差异。香港地区三面环海,海陆交错,受海陆热力的相互影响。因此,香港地区海陆相间分布的地形也可能是造成该地区地闪活动日变化幅度小于内陆地区的原因之一。

由图2c看到,正、负地闪回击次数峰值均出现在01时左右,且负地闪回击次数在15—次日01时期间明显高于02—14时。其中,负地闪回击次数在午后的增加主要与午后强烈的太阳辐射对地面的加热以及地面长波辐射对低层大气的加热有关,使得午后低层大气变得不稳定,容易形成较强的上升气流,有利于闪电活动的产生<sup>[7]</sup>。

集的地闪活动引起的,而这部分闪电活动主要受低压槽、台风等系统性天气影响,与太阳辐射加热的关系并不显著。此外,文献[3, 23-24]研究指出,我国沿海地区地闪活动的日变化趋势在清晨和傍晚出现两个峰值,与内陆地区地闪活动日变化的单峰分布存在明显差异,这体现出海洋与陆地热力特征上的差异。香港地区三面环海,海陆交错,受海陆热力的相互影响。因此,香港地区海陆相间分布的地形也可能是造成该地区地闪活动日变化幅度小于内陆地区的原因之一。

### 3.2.2 地形因素的影响

为研究海拔高度对香港地区地闪回击密度空间分布的影响,将香港地区陆地按海拔高度分为9组( $\leq 100$  m、101~200 m、201~300 m、301~400 m、401~500 m、501~600 m、601~700 m、701~800 m和 $>800$  m),分别计算不同海拔高度上的平均正、负地闪回击密度。地闪回击密度采用ArcGIS中的kernel方法进行计算(图5),栅格大小为 $0.01^\circ \times 0.01^\circ$ 。由图5a可见,除701~800 m海拔区域外,正地闪回击密度整体随海拔的升高而增加,800 m以上海拔区域的平均正地闪回击密度( $2.804$ 次/ $(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ )比海拔低于100 m的区域( $1.783$ 次/ $(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ )高约57.3%。负地闪回击密度则随海拔

升高而增加得更明显。其中,海拔 800 m 以上区域的平均负地闪回击密度为 33.3 次/(km<sup>2</sup>·a),是海拔 100 m 以下区域(14.2 次/(km<sup>2</sup>·a))的 2.3 倍。地闪回击密度随海拔升高的增加主要与地形抬升作用导致的地面热力强迫和动力强迫的加强有关<sup>[7]</sup>,因而高海拔地区有利于强对流的发展和闪电的发生。文献[25-26]的研究也得出类似的结论:闪

电密度与海拔高度呈现一定正相关关系。香港地区负地闪回击密度高值区与海拔高度高值区的一致性,体现出海拔高度对该地区负地闪空间分布所起的重要影响。此外,图 5b 给出了不同海拔高度上的正地闪回击占比。随着海拔高度的增加,正闪回击占比由 11.2% 逐渐降至 7.6%,说明不同海拔地区的雷暴电荷结构可能存在差异。

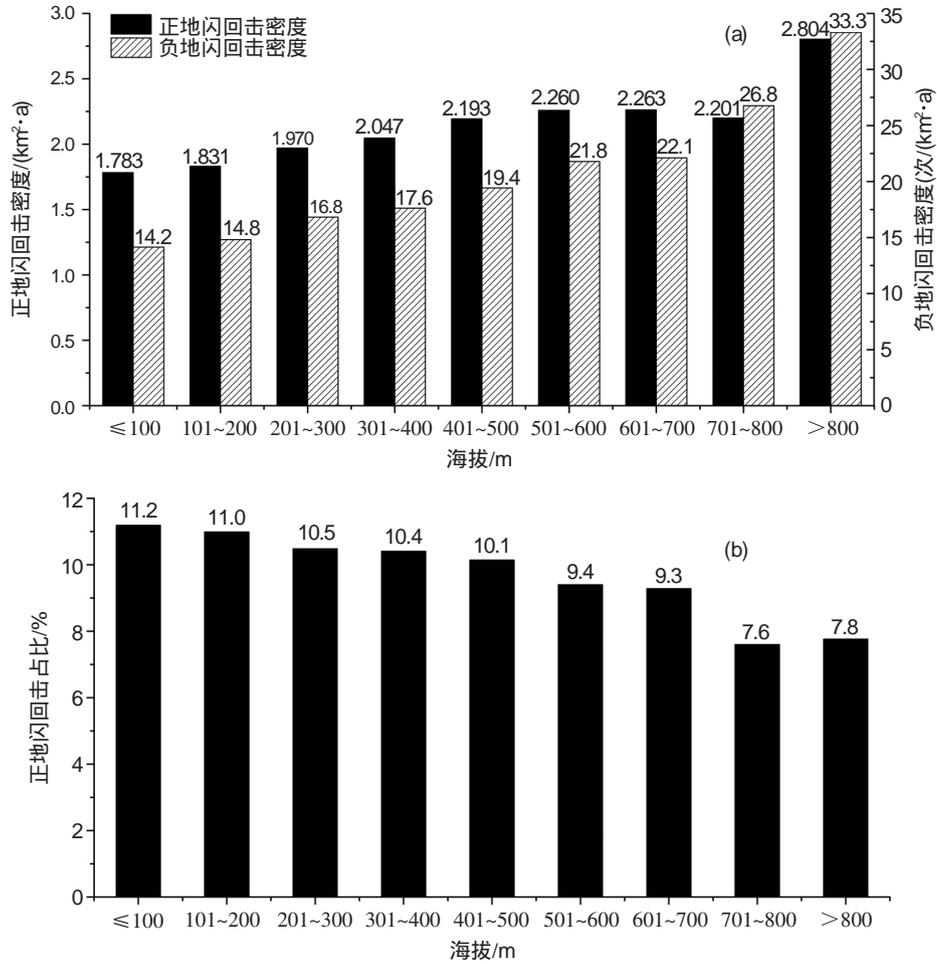


图 5 正、负地闪回击密度(a)及正地闪回击占比(b)随海拔高度的变化分布

为了更直观地体现地形因素对香港地区地闪回击密度空间分布的影响,选取位于香港地区不同位置的六座典型山峰(红花岭(492 m)、青山(583 m)、大帽山(957 m)、马鞍山(702 m)、凤凰山(934 m)和扯旗山(552 m))进行进一步分析。以各山峰的山顶位置为中心,2 km 为半径绘制六座山峰的海拔高度、负地闪回击密度及正地闪回击密度空间分布(图 6)。其中海拔高度空间分辨率为 90 m,地闪回击密度分析网格为 0.001°×0.001°(约 100 m×

110 m)。可见,六座典型山峰周围 2 km 的负地闪回击密度空间分布均与海拔高度的分布具有很强的相似性,负地闪回击密度随海拔高度的增加有显著增长。此外,各山峰迎风坡(坡度较缓)一侧的负地闪回击密度明显高于背风坡,进一步体现出地形抬升对对流及闪电活动的促进作用。值得注意的是,图 5a 显示海拔最高区域的地闪回击密度最大,而图 6 则显示负地闪回击密度最高的区域出现在靠近山顶的爬坡区而非山顶位置,这可能

是由各图所采用的分析网格大小的差异所导致。此外,与负地闪回击密度空间分布不同的是,各山峰周围 2 km 的正地闪回击密度空间分布相对随机,没有明显的规律性。

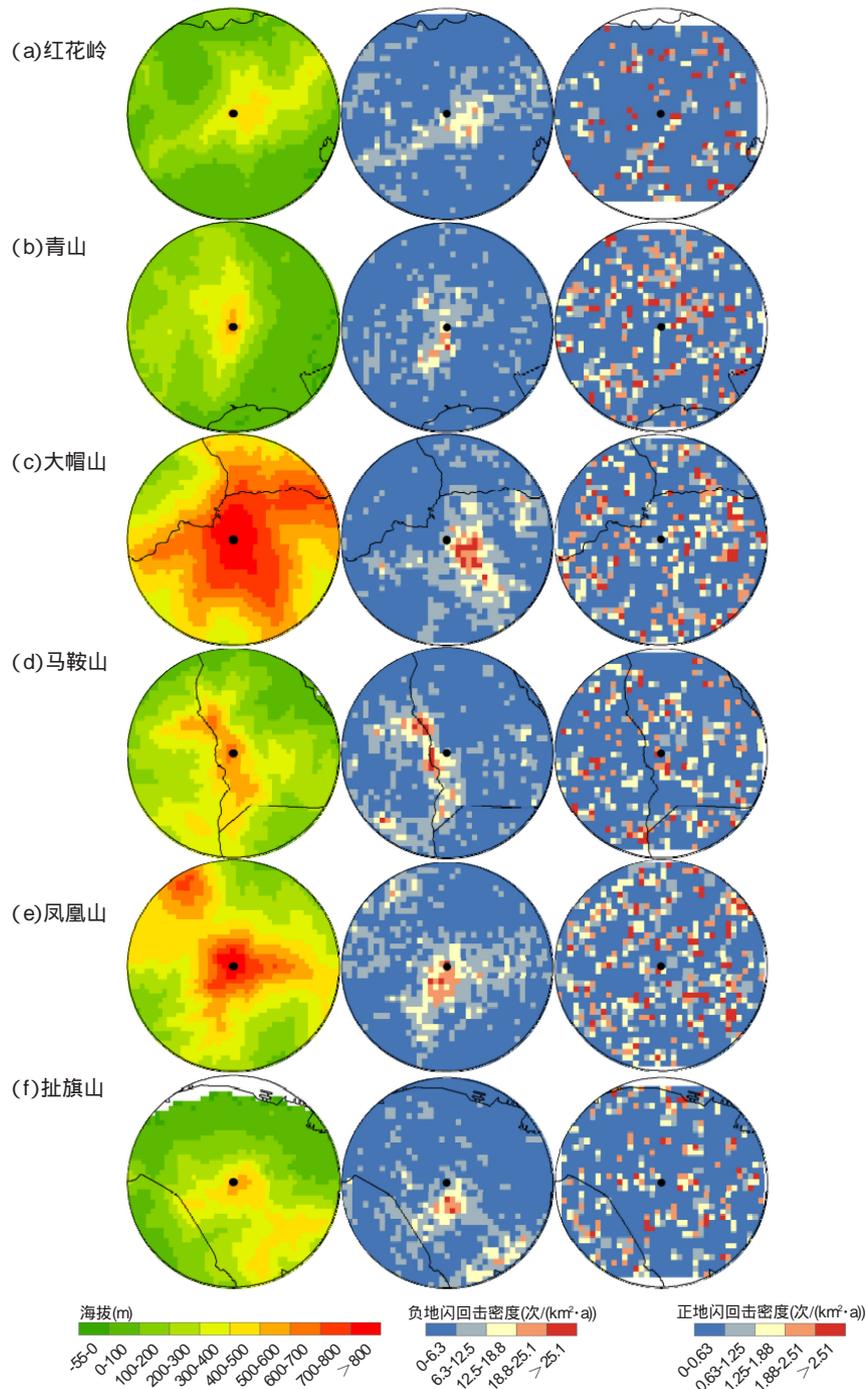


图 6 香港六座典型山峰(a-f)周围 2 km 海拔高度(左)、负地闪回击密度(中)及正地闪回击密度(右)的分布

## 5 结 论

本文通过对香港地区 2006—2012 年地闪数据及其他相关资料的统计分析,探讨香港地区地

闪活动的时空变化特征及其影响因素。

(1) 香港地区 2006—2012 年间地闪发生次数最多的是 2010 年,最少是 2011 年。每年地闪高发日的天数对香港地区地闪活动年际变化起到关键性作用,前汛期地闪高发日多受低压槽影响,后汛

期则多受台风影响。

(2) 香港地区正、负地闪的发生均集中在4—9月,其中6—9月的正地闪回击占比相对较低,逐月地闪回击次数与平均气温、平均相对湿度、降雨量及CAPE均呈现显著的正相关关系,显示出天气与气候因素对香港地区地闪活动月际变化特征的重要影响。

(3) 香港地区正、负地闪回击次数均在01时达到最大值,且负地闪回击次数在15—次日01时期间明显高于02—14时,主要受到地闪高发日闪电活动、海陆热力差异及太阳辐射变化的

影响。

(4) 香港西部地区的正地闪回击密度明显高于东部地区,而负地闪回击密度的高值中心则主要集中在海拔较高的山区。

(5) 香港地区正、负地闪回击密度均随海拔的升高而增加,其中负地闪回击密度随海拔升高的增加比正地闪回击更为显著。六座典型山峰周围2 km的负地闪回击密度与海拔高度在空间分布上具有很强的相似性,但正地闪回击密度分布没有明显规律。

## 参 考 文 献:

- [1] 易燕明,杨兆礼,万齐林,等.近50年广东省雷暴、闪电时空变化特征的研究[J].热带气象学报,2006,22(6):539-546.
- [2] 郭凤霞,鞠晓雨,陈聪.估算闪电产生氮氧化物量的研究回顾与进展[J].地球科学进展,2013,28(3):305-317.
- [3] MA M, TAO S, ZHU B, et al. Climatological distribution of lightning density observed by satellites in China and its circumjacent regions [J]. *Sci China Ser D: Earth Sci*, 2005, 48(2): 219-229.
- [4] 郑栋,但建茹,张义军,等.我国地闪活动和降水关系的区域差异[J].热带气象学报,2012,28(4):569-576.
- [5] 吴安坤,周龙,丁曼.近60年香港地区雷暴日数变化特征分析[J].科技经济市场,2012(10):8-11.
- [6] LIU Y, CHAN L Y, LIN Q, et al. Physical and observable characteristics of cloud-to-ground lightning over the Pearl River Delta region of South China[J]. *J Geophys Res*, 2014, 119(10): 5 986-5 999.
- [7] 王义耕,陈渭民,刘洁. TRMM 卫星观测到的华南地区的闪电时空分布特征[J].热带气象学报,2009,25(2):227-233.
- [8] CUMMINS K L, MURPHY M J, BARDO E A, et al. A combined TOA/MDF technology upgrade of the US National Lightning Detection Network[J]. *J Geophys Res*, 1998, 103(D8): 9 035-9 044.
- [9] SCHULZ W, CUMMINS K, DIENDORFER G, et al. Cloud-to-ground lightning in Austria: A 10-year study using data from a lightning location system[J]. *J Geophys Res*, 2005, 110(D9):1 637-1 639, D09101, doi:10.1029/2004JD005332.
- [10] 盛梅,冯志伟.基于ArcGIS空间分析的闪电密度图绘制方法[J].电脑知识与技术,2009,5(8):1 982-1 985.
- [11] 赵伟,童杭伟,张俊,等.浙江省雷电时空分布特征及影响因素分析[J].电网技术,2013,37(5):1 425-1 431.
- [12] 李江南,王安宇,蒙伟光,等.广东省前汛期和后汛期降水的气候特征[J].中山大学学报(自然科学版),2002,41(3):91-98.
- [13] 张永佳,张冰,林静芝,等.利用神经网络对照MTSAT数据至雷达发射率的一种强对流云辨认方法[C]//第二十六届粤港澳气象科技研讨会.澳门:澳门地球物理暨气象局,2012.
- [14] TAN Y, PENG L, SHI Z, et al. Lightning flash density in relation to aerosol over Nanjing(China)[J]. *Atmos Res*, 2016, 174-175(1): 1-8.
- [15] PRICE C. Global surface temperatures and the atmospheric electrical circuit[J]. *Geophys Res Lett*, 1993, 20(13): 1 363-1 366.
- [16] MA M, TAO S, ZHU B, et al. Response of global lightning activity to air temperature variation[J]. *Chinese Sci Bull*, 2005, 50(22): 2 640-2 644.
- [17] SINGH D, BUCHUNDE P S, SINGH R P, et al. Lightning and convective rain study in different parts of India[J]. *Atmos Res*, 2014, 137(1): 35-48.
- [18] 张义军,马明,吕伟涛,等.闪电活动的气候学特征研究进展[J].气象学报,2008,66(6):906-915.
- [19] GALANAKI E, KOTRONI V, LAGOUVARDOS K, et al. A ten-year analysis of cloud-to-ground lightning activity over the Eastern Mediterranean region[J]. *Atmos Res*, 2015, 166: 213-222.
- [20] SINGH D, RAMESH KUMAR P, KULKARNI M N, et al. Lightning, convective rain and solar activity-Over the South/Southeast Asia[J]. *Atmos Res*, 2013, 120-121: 99-111.
- [21] 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.
- [22] 宋敏敏,郑永光.我国中东部3—9月云-地闪电密度和强度分布特征[J].热带气象学报,2016,32(3):322-333.
- [23] ZHENG D, ZHANG Y, MENG Q, et al. Climatology of lightning activity in South China and its relationships to precipitation and

- convective available potential energy[J]. *Adv Atmos Sci*, 2016, 33(3): 365-376.
- [24] ZHENG D, ZHANG Y, MENG Q, et al. Climatological comparison of small- and large-current cloud-to-ground lightning flashes over southern China[J]. *J Clim*, 2016, 29(8): 2 831-2 848.
- [25] DISSING D, VERBYLA D L. Spatial patterns of lightning strikes in interior Alaska and their relations to elevation and vegetation[J]. *Canadian J Forest Res*, 2003, 33(5): 770-782.
- [26] KOTRONI V, LAGOUVARDOS K. Lightning occurrence in relation with elevation, terrain slope, and vegetation cover in the Mediterranean[J]. *J Geophys Res*, 2008, 113(113): 6 089-6 098, D21118, doi:10.1029/2008JD010605.

## TEMPORAL AND SPATIAL DISTRIBUTION CHARACTERISTICS OF CLOUD-TO-GROUND LIGHTNING ACTIVITY IN HONG KONG AND RELATED IMPACT FACTORS

FEI Lei-lei<sup>1,2</sup>, BI Xin-hui<sup>1</sup>, LIU Yong-lin<sup>1</sup>, CHAN Lo-yin<sup>1,3</sup>,  
LIN Qin-hao<sup>1,2</sup>, WANG Xin-ming<sup>1</sup>, SHENG Guo-ying<sup>1</sup>

- (1. State Key Laboratory Organic Geochemistry and Guangdong Key Laboratory of Environmental Resources Utilization and Protection/Guangzhou Institute of Geochemistry/Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China;  
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;  
3. The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China)

**Abstract:** Cloud-to-ground (CG) lightning location data during 2006—2012 along with other relevant data, including meteorological parameters and terrain elevation, are analyzed to explore the characteristics of CG lightning activity in Hong Kong and related impact factors. Results show that the largest number of CG lightning strokes was detected in 2010 and the smallest number in 2011. The number of the days with high CG lightning frequency played a key role in the inter-annual variation of CG lightning activity in Hong Kong. The occurrence of CG lightning mainly concentrated between April and September. Positive correlations were shown between the monthly mean value of CG lightning stroke density and meteorological parameters, including temperature, relative humidity, rainfall and CAPE. The most active time for both positive and negative CG lightning strokes was about 1:00 a.m. Lightning activity on the days with high CG lightning frequency, variation of solar radiation and differences in the thermodynamic characteristics between land and ocean were the main factors that affected the daily variation. In terms of spatial distribution, positive CG lightning stroke density over western areas was much higher than that over eastern areas, and areas with high negative CG lightning stroke density were mainly located around mountainous areas with high terrain elevation. Both positive and negative CG lightning stroke density showed a positive correlation with terrain elevation, and spatial distribution of negative CG lightning stroke density around six typical mountains showed a strong similarity with that of terrain elevation.

**Key words:** cloud-to-ground lightning stroke density; temporal and spatial distribution; meteorological conditions; terrain elevation