

中国南方地区闪电活动特征

吴俊杰¹, 陈 明², 温 颖¹

(1. 中国民用航空飞行学院 航空气象学院, 四川 广汉 618307;
2. 中国民用航空飞行学院 空中交通管理学院, 四川 广汉 618307)

摘要:利用活动目录拓扑图(ADTD)闪电定位数据,结合地形高程数据统计分析中国南方地区的闪电时空分布特征,重点分析地形差异下的闪电活动特征、峰值变化及其季节性变化。统计分析发现,中国南方地区闪电夏多冬少,季节交替对闪电峰值时刻影响较小,主要分布在 14 时(北京时,BJT)至 16 时附近。中国南方地区地形高程变化较大处附近闪电峰值时刻会出现在 0 时左右,可见地形对闪电活动数量亦有影响。

关键词:活动目录拓扑图(ADTD);数字高程模型(DEM);闪电密度;闪电峰值

中图分类号:P446 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2023)07-0254-09

雷电是维持大气电荷平衡的一种重要方式^[1-2],且对民航交通运输安全有着重要影响。气象因素是中国民航智能空管系统中的重要决策依据,雷电活动作为典型高影响天气因素,飞行器往往需要绕飞,由此造成空域容量减少、航班延误等。因此研究雷电活动规律,规避雷电活动密集区域和密集时段对民航安全运输有着重要帮助。中国雷电活动区域表现出明显的空间和时间差异分布特征^[3-4]。马明等^[5]基于 1961—2006 年的中国区域雷电活动数据,统计分析发现中国年际雷暴数在地域空间上表现出华南地区最高,西南次之,之后依次为华东华北和东北地区,西北地区最小。从季节性变化来看,中国北方地区和南方地区均展现出夏季多、冬季少的特点^[6]。陈洁等^[7]研究发现,陕西省的雷电活动规律与中国整体规律相一致,其中 8 月份雷电灾害最多。徐桂玉等^[8]、张敏锋等^[9]虽研究了中国南方地区的闪电活动特征,但地理信息不足难以发现进一步结论。南方地区的闪电活动更为频繁,且日变化更加显著。李桑等^[10]研究显示,南方雷暴频次最高时间在 12 时,最低在 3 时,但在文中并未给出详细的地理数据和地形数据。马明等^[11]在用卫星闪电数据研究喜马拉雅山附近闪电活动时发现,闪电活动在高地形两侧会表现出数倍的数量比值。雷电

等强对流天气受地形影响显著。青藏高原作为复杂大地形,Christian 等^[12]在研究其闪电活动特征中发现西藏高原南侧地形差较大处闪电活动更为频繁,可见研究闪电活动情况需要特别关注地形信息。郑淋淋等^[13]、李吉顺^[14]在研究中国闪电日变化特征时也发现与地形密切相关。南方地区人口密度大,经济体量大,正常时段航线的平均航班间隔约为 10 min,雷电造成的经济影响尤为显著^[15]。一方面,时间和空间上更为精细化的雷电活动分析,有助于不同时段航线容量的预估和决策;另一方面,精细化的地形数据能够进一步揭示雷电活动在南方地区的地域性特征,有助于了解不同季节、不同地形差异下雷电密集时段的典型特征,弥补了南方地区雷电活动与地形特征相关性研究的空白。因此,利用高时空精度的雷电和地形数据,详细研究雷电活动的时空变化特征,对减少经济损失和航线运行决策具有重要意义。

1 资料与方法

1.1 ADTD 闪电数据

活动目录拓扑图(ADTD)雷电定位系统的基本原理,是通过接收云地闪辐射的甚低频电磁波信号,基于时差定位法,根据电磁波到达探测基站的时间计算闪电发生的时间、精确位置和强度等相关参数。该系统在建有大量探测基站的前提下

收稿日期:2022-11-09

基金项目:横向课题经费(H2020-19,J2021-068)。

作者简介:吴俊杰(1981—),男,甘肃静宁人,中国民用航空飞行学院航空气象学院,副教授,博士,研究方向为航空气象;陈明(1995—),男,安徽巢湖人,中国民用航空飞行学院空中交通管理学院,硕士研究生,研究方向为航空气象;温颖(1989—),女,四川成都人,中国民用航空飞行学院航空气象学院,讲师,博士,研究方向为雷暴和强对流天气。

具有探测范围广、探测精度高、持续时间长等优点,是一种研究长时间大范围闪电活动变化规律的有效探测手段。所使用的 ADTD 数据来自中国气象局数据中心,数据时段为 2016—2019 年,基本覆盖了中国陆地及近海区域,除了闪电发生时的位置、时间信息,还包括闪电强度、正负极性参数,能够全面反映闪电活动的基本特征与规律。

1.2 DEM 数据

数字高程模型(DEM)是通过有限的地形高程数据精细描述地形地面的数据包。其本身内部数据内容为一组有序的数值阵列形式,经过计算机反演后可以形成虚拟空间地形,是数字地形模型(DTM)的一个分支。DEM 数据中的分辨率是描述 DEM 反演地图信息精度的一个重要指标,常用分辨率为 30 m、45 m、90 m、1 km 等。综合考虑单次闪电活动的空间特征与计算时间,所选用的 DEM 数据空间分辨率为 90 m,数据来源于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台。

1.3 方法

基于上文所提到的数据将其按照时间分类并将地图基于 1°×1°网格化,统计格点内的闪电密度,然后比较不同时间范围内密度大小统计规律,分析其分布特征和规律。

将地理信息空间云所测的 90 m 的 DEM 格点地形数据拼接在中国版图上以分析闪电的活动情况随地形的变化规律。

2 中国南方地区闪电密度分布特征

2.1 2016—2019 年总闪电活动空间分布

选取闪电较为活跃的南方地区为研究区域,范围主要包括 15°N~30°N 和 100°E~130°E 的地区。图 1 为 2016—2019 年闪电密度统计图,区域密度格点大小为 1°×1°。图 1 统计了 4 年中闪电密度计数及其在各区域的空间分布特征。总体而言,闪电空间密度分布表现为东多西少,沿海的陆地区域闪电密度明显增加,且在南北方向上,随着纬度的降低闪电密度逐渐增大,广东广西两省附近出现多处密度大值区。从统计数据上看峰值计数达 25 万次,日均闪电密度约为 171 次/(d·100 km²)。符合上述阈值的区域有 4 处均为临近区域的强中心点,分别位于福建省南部、广东广西交界处中部广西侧、广州市附近和海南岛地区。而位于平均数之上的区域为 15°N~30°N,该区域为闪电高发区且在地理上属于中国南部沿海与副热带高气压带交叉区域。南部地区闪电相较北方地区整体更为活跃,且沿海地区整体闪电密度高于内陆地区。由此可见低纬度范围内东南沿海充沛的水汽条件和年内更多的温暖时间均对闪电的活跃程度有明显影响。

2.2 2016—2019 年闪电活动季节分布

春季为南方闪电活动较低的季节,如图 2 所示。从图 2 中可以看出,南部各区域 4 年春季闪电活动数量均在 1 000 次/100 km² 以上,整体闪电活动均较活跃。在东南沿海地区附近闪电频数峰值区域与年度闪电频数峰值区域相类似,除上文中提到的 4 处仍为一季度春季的峰值区域频数约万次以上,内陆地区贵

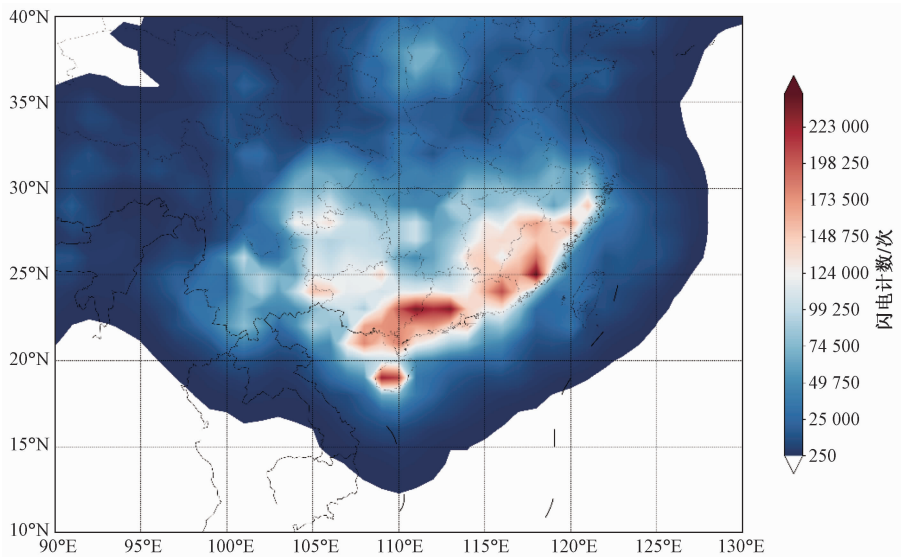


图 1 2016—2019 年闪电密度统计

州东部与鄂湘赣地区交界处亦为闪电计数统计高发区域也高达 4 000 次/100 km² 以上。

如图 3 所示,从整体趋势来看夏季整个南部地区闪电密度明显增多,范围增广,计数峰值也明显增大,最大可达 3 万次/100 km² 以上。闪电频数达 3 万次/100 km² 的区域遍布东南沿海区域,浙江、江西、两广交界处及云贵川交界处相比第一季度闪电频数明显增加,达到约 3 万次/100 km² 的量级,整个南部 30°N 以南至沿海边界普遍每百公里在夏季的 3 个月达到 1 万次/100 km² 以上,相比年度中的其他季度夏季是整个年度中的闪电频数最活跃的季节,在东南地区具有普遍性。由第一季度与第二季度对比相应区域闪电频数明显较低可知,在春夏两季的季节更迭中东南沿海区域闪电频数呈现上升趋势。

南方冬季闪电频数相比第二季度夏季、第三季度秋季闪电频数已经有明显的下降趋势,如图 4 所示,在远离沿海地区的闪电密度频数下降尤为明

显。东南沿海地区的闪电密度也不同程度的有所下降,两广交界处下降程度明显高于福建南部地区,同时海南岛上和浙江地区也明显下降,在第二季度中表现出高频数的云贵川地区在第三季度也明显下降,闪电计数频数峰值区域主要出现在云南北部地区,海南地区,广东、广西、福建、浙江沿海地区。考虑季节变化因素内陆水汽含量随季节变化而降低因而不利于雷电活动,但沿海地区受台风等季节性天气影响雷电活动相比内陆仍然偏高。

2016—2019 年冬季的南部地区闪电密度出现明显下降,如图 5 所示。承接于第三季度闪电密度分布特点,第四季度的闪电活动密度进一步下降,除浙江东部沿海地区一处闪电密度达到千次左右,南部地区大多数区域均下降至数百次左右。在 30°N 以北区域第四季度闪电活动频次明显不足百次。闪电活动较为频繁的地区包括贵州、湖南、江西、福建、浙江、广东、广西 6 省及广东沿海地区的洋面上。整个第四季度各个地区均为一年 4 个季度

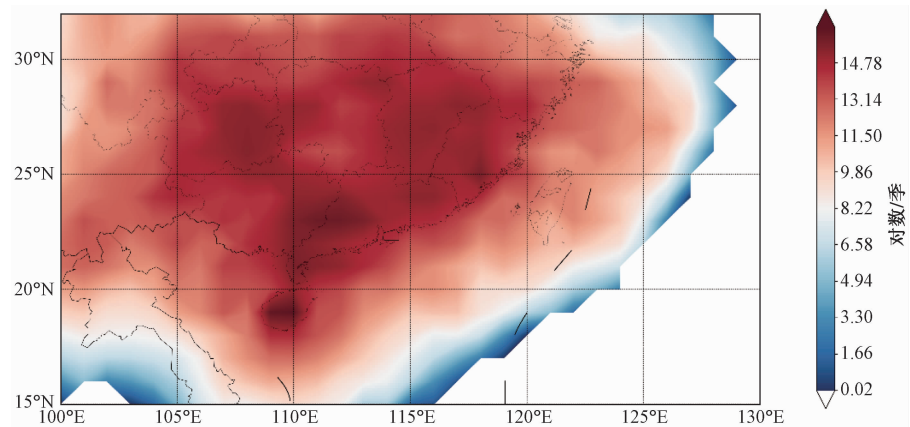


图 2 2016—2019 年春季闪电密度统计

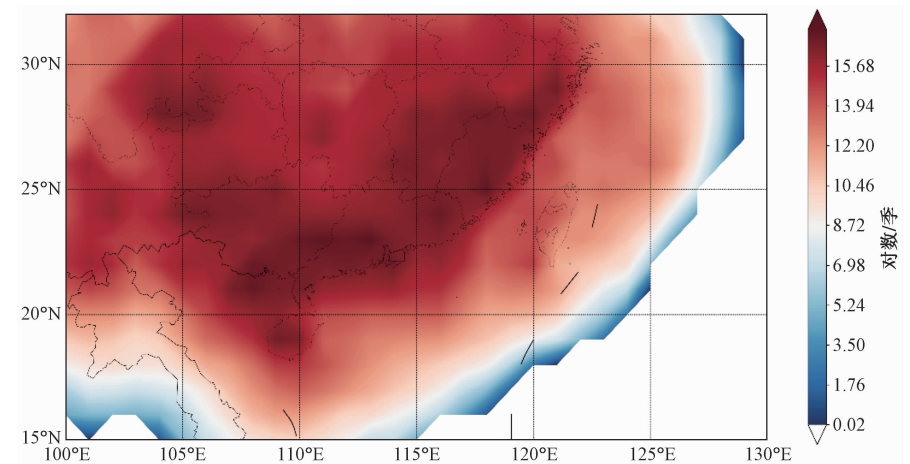


图 3 2016—2019 年夏季闪电密度统计

中闪电活动频数最少的地区。对比 4 个季度的闪电空间分布图可知,除第四季度闪电活动量相对较少从而闪电大值中心向内陆移动范围也有所收缩外,

其余 3 个季度闪电大值中心均集中在沿海地区和海南岛地区,其大值范围变化趋势与整季度闪电活动量变化趋势相一致。

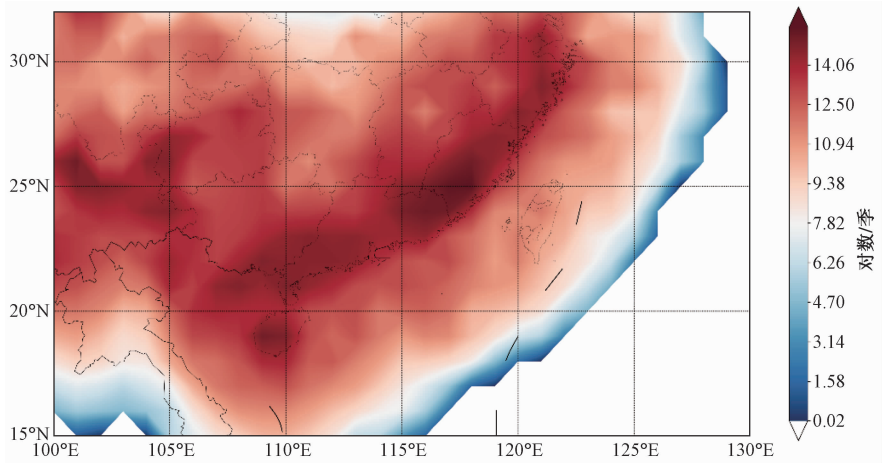


图 4 2016—2019 年秋季闪电密度统计

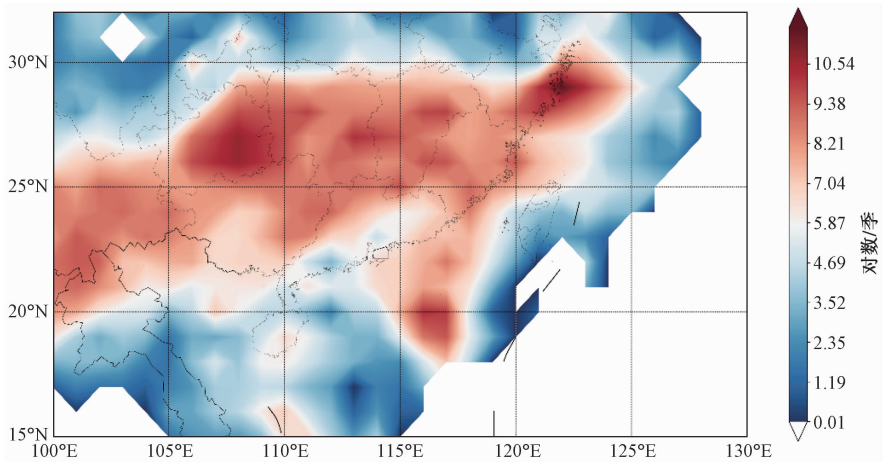


图 5 2016—2019 年冬季闪电密度统计

2.3 2016—2019 年闪电逐月变化特征

图 6 为 2016—2019 年 4 年中各个月份的闪电总数统计。由图 6 可知,闪电峰值月份集中在夏季 6、7、8 月,且 8 月是闪电发生的峰值月份,统计总数接近 800 万次。夏季的另外两个月份 6、7 月统计总数均接近 600 万次,整个夏季 3 个月闪电计数总数接近 2 000 万次,对应夏季是闪电计数最高的季度,明显超过其他 3 个季度总和,占比亦超过年度总和的一半。对比 12、1、2 月份发现,这 3 个月均为闪电总数统计最低的 3 个月份,对应的冬季亦是闪电发生总数的谷值季度。其中 12 月和 1 月统计计数接近于 0,而 2 月份相比另外两个月份稍高一些。3、4、5 月的闪电统计计数相比依次陡增,其中 3 月闪电频数上升最快,随后在 4、5 月

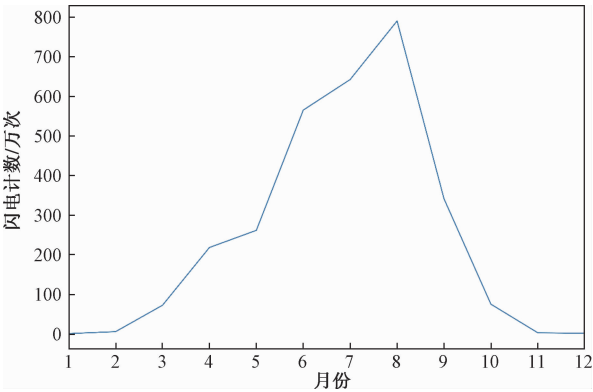


图 6 2016—2019 年逐月闪电变化统计

变化趋于平缓,直至进入 6 月和夏季再次出现更大幅度上升,且为全年中最剧烈的上升变化过程。在经过 8 月的闪电峰值月份后,随时间月度变化

闪电统计计数出现连续骤降,最大降幅出现在 9 月,该月闪电统计计数约为 300 万次,降幅达 400 万次左右,是 12 个月份中降幅最大的月份,且该降幅超过 5 月至 6 月最大升幅的 300 万次左右。在 9、10、11 月中闪电统计总数表现出稳定连续的骤降,骤降随进入 11 月份冬季才趋向于平缓。

3 闪电分布与地形的关系

3.1 闪电峰值时间与地形的关系

通过统计比较不同时间段内相同区域的闪电密度计时次数,将闪电峰值时刻通过矢量图将峰值时刻按 24 时(北京时,BJT)制表盘绘制在地图上,同时将前文中提到的 DEM 高程模型填充在底图上再分析分布变化。

图 7 为南部地区春季 3 个月的闪电峰值时刻统计。在 26°N~32°N、105°E~110°E 的重庆东北部与湖北西部交接处山区,闪电峰值时刻出现大范围相似,为 22 时附近,且对应地形为高程在 2 000 m 以上

的山地地形,山地西侧为四川盆地东侧,为中部平原。在 22°N~30°N、105°E~125°E 的东南沿海地区,闪电峰值时刻大多出现在 16 时至 18 时附近。局部滨海地区时间会在 16 时之前,而远离海岸线地区在 18 时附近居多。在南部内陆与沿海交界区闪电峰值时刻主要集中在 20 时至 22 时和 16 时至 18 时两个时间段内,且闪电峰值时刻几乎都在中午 12 时以后。

南部地区夏季 3 个月的闪电峰值时刻如图 8 所示。在 105°E~125°E 的区域大多数地区闪电峰值均出现在 14 时至 16 时附近,少数地区闪电峰值出现在 20 时至 22 时附近,主要包括云贵高原与广西平原交界处、广西平原北部,以及四川盆地与西藏高原交界处。相较于春季的两个闪电峰值时段,夏季的两个闪电峰值时段均有不同程度的提前,且夏季的第一个峰值时段相比春季的第一个峰值时段占比更大。南部几乎全部的闪电峰值时刻仍出现在中午 12 时以后。

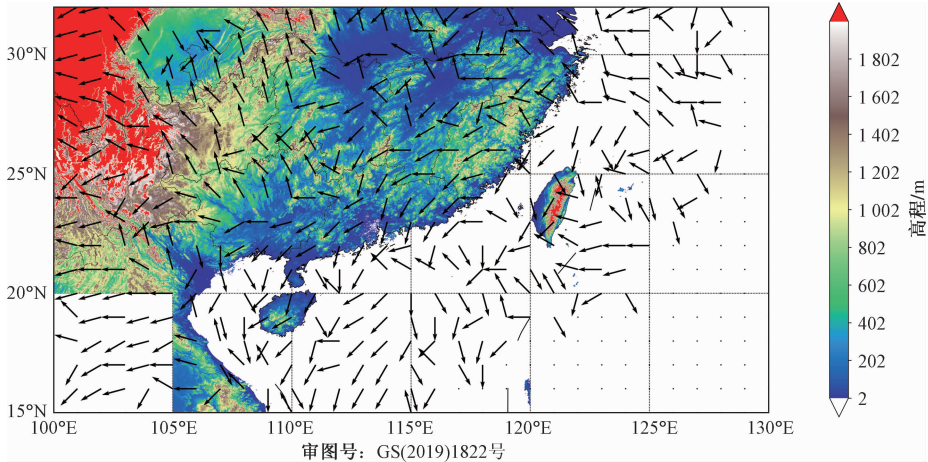


图 7 2016—2019 年春季闪电峰值分布

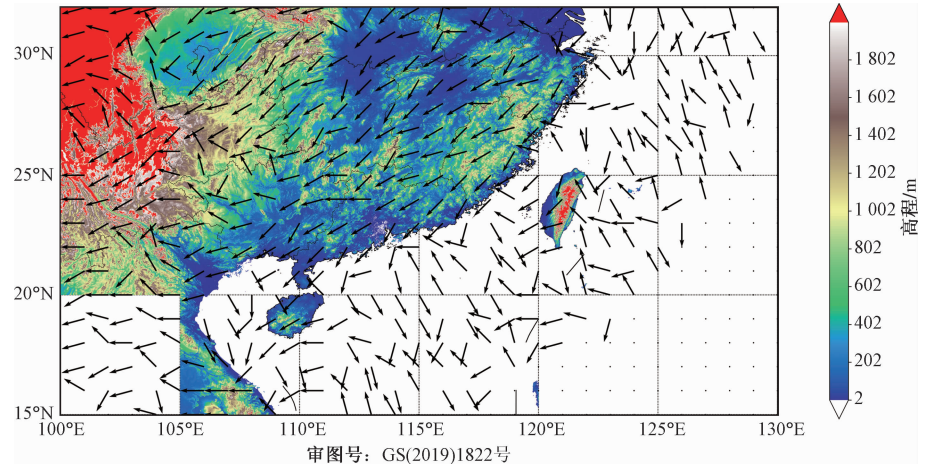


图 8 2016—2019 年夏季闪电峰值分布

图 9 为南部地区秋季 3 个月的闪电峰值时刻统计。在东南沿海地区整体相较夏季的变化不大,闪电峰值时刻仍然集中在 14 时至 16 时附近。但云贵高原与广西平原的交界处闪电峰值时刻出现一定程度的前移,广西平原北部少数地区峰值出现在 16 时附近,其他大多数地区峰值仍集中在 18 时至 20 时附近。在重庆山区与华中平原交界处的中部地势平坦地区,闪电峰值时刻由 16 时附近后移至晚上 20 时到 22 时附近。四川盆地与青藏高原交界处除少数交界区闪电峰值时刻出现在上午 22 时附近,其他多数地区闪电峰值时间仍为 20 时至 22 时附近,西侧青藏高原闪电峰值时刻在晚上 20 时居多,而四川盆地中部大多数地区闪电峰值时刻都集中在 22 时附近,明显晚于高原地区。

南部地区冬季 3 个月的闪电峰值时刻如图 10 所示。从图 10 上看南部大量地区闪电峰值时间出现不同程度后移,少部分地区出现前移,东南沿海

地区闪电峰值时间大量出现在 18 时到 20 时,在靠近内陆部分地区闪电峰值时刻出现在上午 10 时附近,华中平原的闪电峰值时刻也包含了上午 10 时至下午 14 时地区。而在广西平原与云贵高原交界处、广西平原北部、华中平原西部、重庆山区和四川平原闪电峰值时间主要集中在晚上 20 时至 22 时附近。

3.2 闪电峰值时间变化量

从图 11 来看,南方地区春夏两季闪电峰值变化特征主要表现为小幅度广范围的前移。其中重庆东南部范围最大变化幅度也达 8 h 附近,而江西北部与湖北中北也出现一定幅度的前移,幅度在 6 h 附近。对比图 12 的夏秋两季的闪电峰值变化特征可知,夏秋季节闪电峰值时刻变化出现明显的后移特征。在江西中部、湖南北部、湖南西部以及重庆西南部闪电峰值时刻均出现较大幅度的后移,此时南方地区整体也以后移为主。

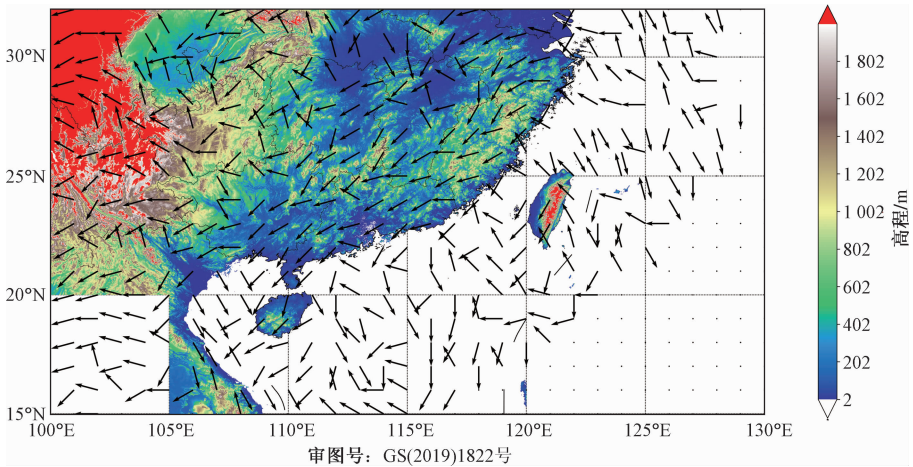


图 9 2016—2019 年秋季闪电峰值分布

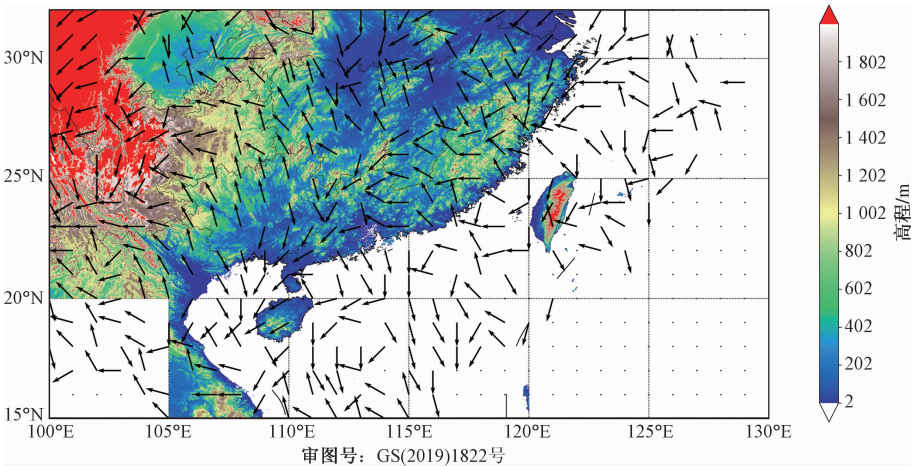


图 10 2016—2019 年冬季闪电峰值分布

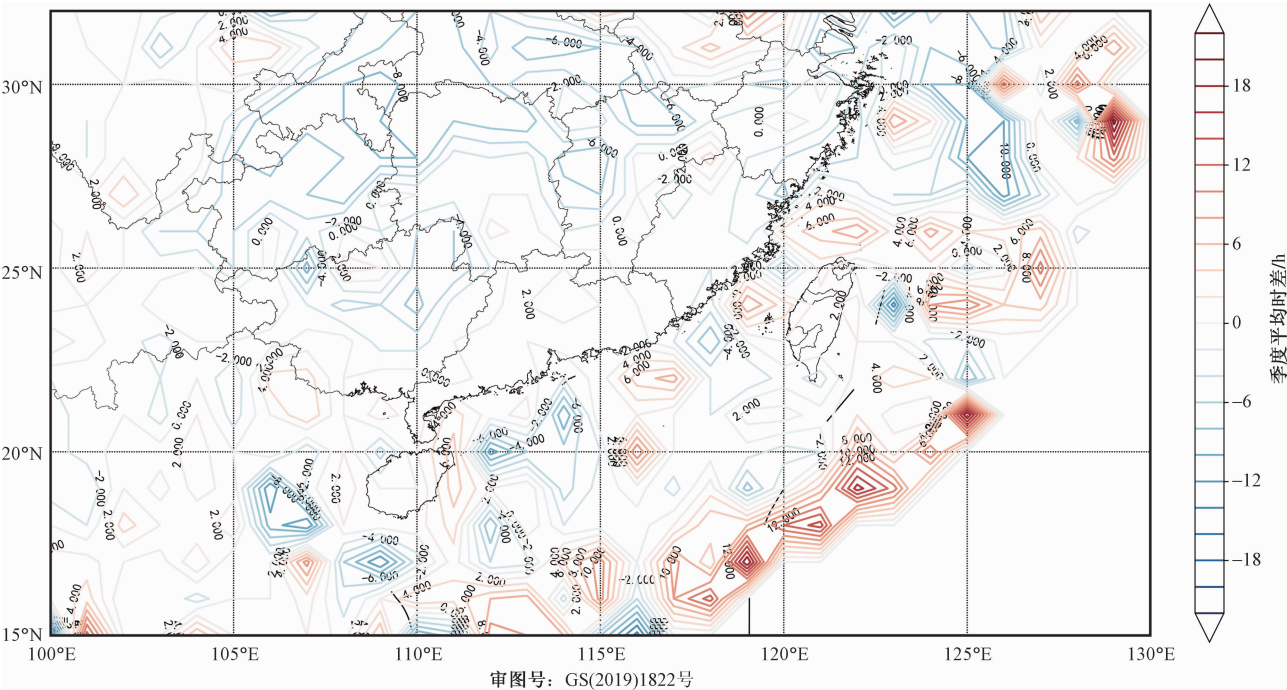


图 11 2016—2019 年春季与夏季闪电峰值变化分布

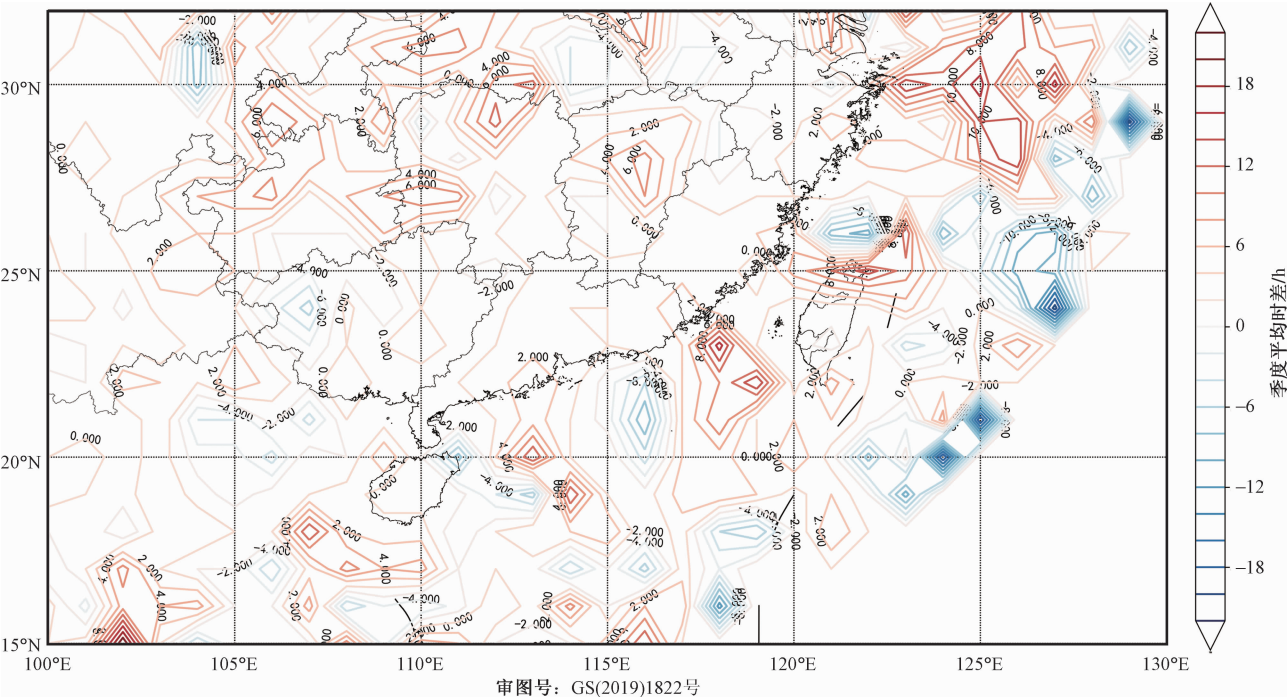
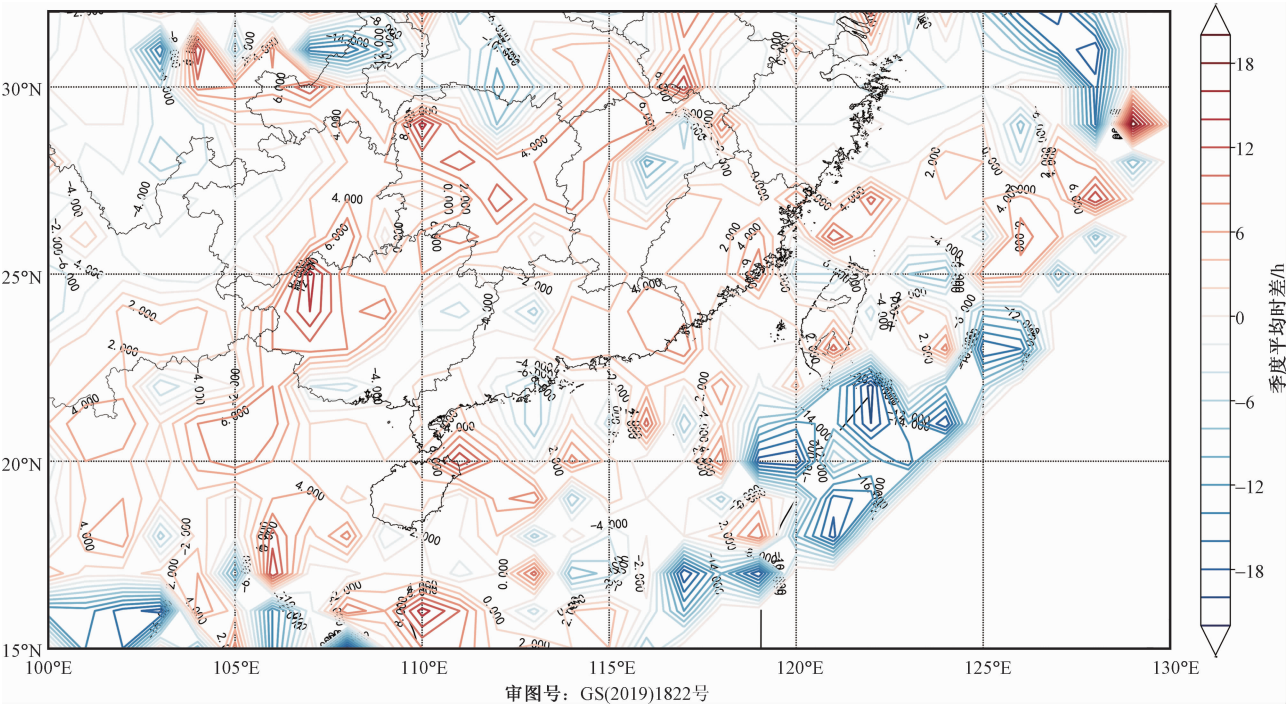


图 12 2016—2019 年夏季与秋季闪电峰值变化分布

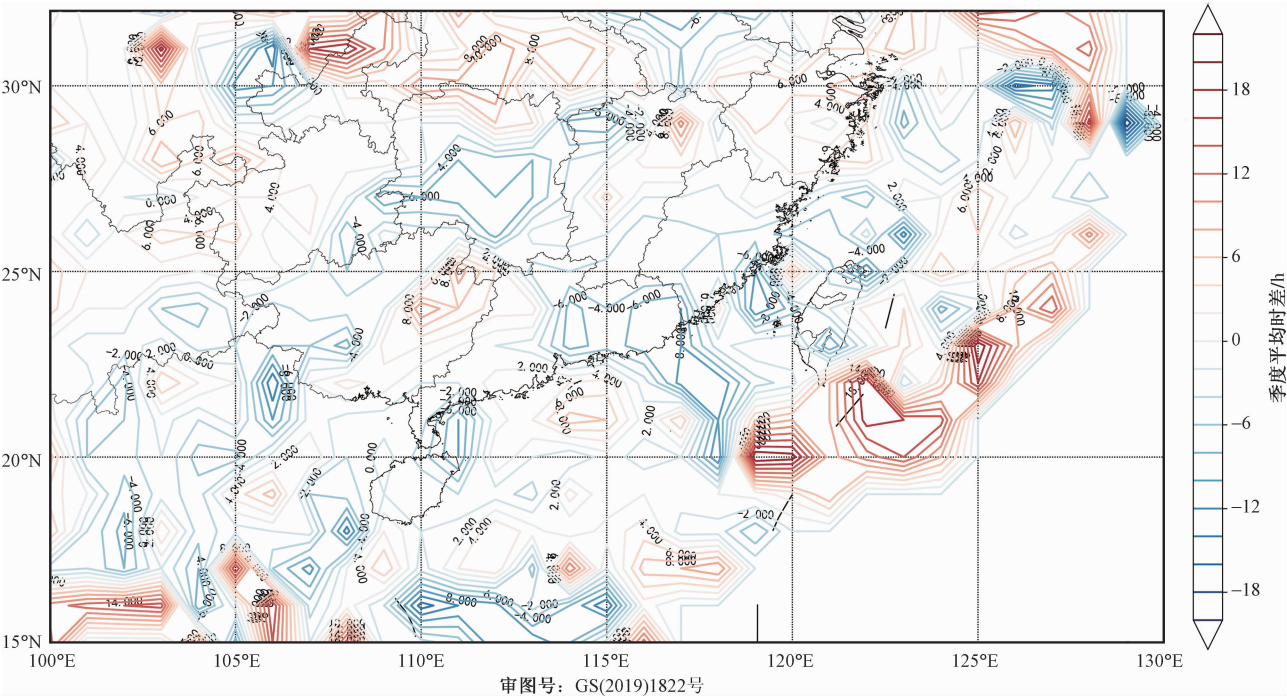
由图 13 的秋冬季节闪电变化特征可知,南方地区同时出现不同程度的前后移动范围和幅度。在江西中部、湖北中部、重庆北部与四川中部地区闪电峰值时刻均表现出明显的前移特征,前移幅度在 6~12 h 不等。而其他南部地区主要表现出明显后移特征,其中贵州与广西交界处和湖南中部后移幅

度最大在 10 h 附近,剩下区域则表现为小幅度后移。

图 14 为冬春季节闪电峰值时刻变化图。南方各地闪电峰值时刻再次表现出不同幅度的前移和后移。其中四川中部和重庆北部后移幅度较大,约为 10 h,而湖北中部、江西北部与广西东部



审图号:GS(2019)1822号
图 13 2016—2019 年秋季与冬季闪电峰值变化分布



审图号:GS(2019)1822号
图 14 2016—2019 年冬季与春季闪电峰值变化分布

后移幅度较小,约为 6 h。另外广州中部与湖南中南部和川渝交界处表现出明显的前移,前移幅度在 6 h。

4 结论

中国南方地区是闪电活动高发区,在充分考虑

地形因素影响下,分析闪电活动的时空分布特征和闪电峰值特点,有助于进一步研究闪电的季节性变化和日变化,主要结论如下:

1)南方地区雷电活动的季节变化与全国闪电活动特征一致^[7],表现出夏多冬少的特点,8 月最

多,12 月至次年 1 月最少。在地域上表现出南多北少的特点,东南沿海地区为闪电活动最活跃的区域。

2)南方地区雷电活动峰值时刻与地形也存在一定关系,地形高程差较大的地带可能是划分峰值时刻区域的分界线,在地形高程差明显地区的低高程侧,闪电峰值时刻集中出现在午夜 0 时附近,且南部地区雷电峰值时刻主要出现在两个时间段,分别是 16 时前后和 0 时附近。

3)雷电活动峰值时刻北方地区变化较南方地区更大,主要以 30°N 为分界线,秋冬季节表现出大范围提前的趋势,而冬春季节表现出大范围推后的趋势,春夏和夏冬变化范围较小且不明显,南方整体各季节间变化弱于北方。

参考文献

[1] 孙景群. 大气电学基础[M]. 北京:气象出版社,1987.
[2] 朱乾根. 天气学原理和方法[M]. 北京:气象出版社,2007.
[3] 张敏锋,冯霞. 我国雷暴天气的气候特征[J]. 热带气象学报,1998(2):61-67.
[4] 张家减. 中国气候丛书之中国气候总论[M]. 北京:气象出版社,1991.
[5] 马明,吕伟涛,张义军,等. 中国雷电活动特征的再分析[C]//第六届中国国际防雷论坛论文摘编.[出版者不

详],2007:213-216.
[6] 杨宁. 全球闪电定位系统(WWLLN)探测精度分析及在台风闪电监测中的应用[D]. 南京:南京信息工程大学,2012.
[7] 陈洁,曹继军,苏炳彦,等. 2008—2016 年陕西省雷电灾害特征分析[J]. 陕西气象,2019(4):33-36.
[8] 徐桂玉,杨修群. 我国南方雷暴的气候特征研究[J]. 气象科学,2001(3):299-307.
[9] 张敏锋,冯霞. 我国雷暴天气的气候特征[J]. 热带气象学报,1998(2):61-67.
[10] 李桑,龚道溢. 1980—2010 年中国南方雷暴频次的统计特征及其变化[J]. 高原气象,2015,34(2):503-514.
[11] 马明,陶善昌,祝宝友,等. 卫星观测的中国及周边地区闪电密度的气候分布[J]. 中国科学(D 辑:地球科学),2004(4):298-306.
[12] CHRISTIAN H J, BLAKESLEE R J, BOCCIPPPIO D J, et al. Global frequency and distribution of lightning as observed from space by the optical transient detector[J]. Journal of Geophysical Research,2003,108:4-15.
[13] 郑淋淋,孙建华,卫捷. 我国雷暴的日变化特征[J]. 暴雨灾害,2011,30(2):137-144.
[14] 李吉顺. 我国雷暴日变化的若干特征[J]. 气象,1984(6):19-21.
[15] 易燕明,杨兆礼,万齐林. 雷电灾害对珠江三角洲区域经济发展的影响[J]. 资源科学,2005(1):64-68.

Characteristics of Lightning Activity in Southern China

WU Junjie¹, CHEN Ming², WEN Ying¹

(1. Aeronautical Meteorology College, Civil Aviation Flight University of China, Guanghan 618307, Sichuan, China;
2. Air Traffic Management College, Civil Aviation Flight University of China, Guanghan 618307, Sichuan, China)

Abstract: Using active divictory topology diagrammer (ADTD) lightning location data and terrain elevation data, the temporal and spatial distribution characteristics is analyzed of lightning in southern China, focusing on the characteristics of lightning activity, peak changes and seasonal changes under terrain differences. The statistical analysis shows that the lightning in southern China is more in summer than in winter, and the seasonal alternation has little influence on the lightning peak time, which is mainly distributed around 14:00 (Beijing Time, BJT) to 16:00. The lightning peak time near the place where the terrain elevation changes greatly in southern China will occur around 0:00, which shows that the terrain also has an impact on the number of lightning activities.
Keywords: active divictory topology diagrammer(ADTD); digital elevation model (DEM); lightning density; lightning peak