

王义耕,刘洁,王介君,等. 卫星观测的西南地区闪电的时空分布[J]. 大气科学学报,2010,33(4):489-495.

Wang Yi-geng,Liu Jie,Wang Jie-jun,et al. Temporal and spatial distributions of lightning activity in Southwest China based on satellite observations [J]. Trans Atmos Sci,2010,33(4):489-495.

卫星观测的西南地区闪电的时空分布

王义耕^{1,2},刘洁³,王介君⁴,麦博儒¹,陈倩¹

(1. 南京信息工程大学 大气物理学院,江苏 南京 210044;2. 广西气象局,广西 南宁 530022;
3. 河北省乐亭县气象局,河北 乐亭 063600;4. 南京信息工程大学 气象台,江苏 南京 210044)

摘要:利用 TRMM 卫星上携带的闪电探测器(LIS)所获取的10 a 闪电资料(1998—2007年)对西南地区闪电活动的时空分布特征进行了分析。结果表明:该地区闪电次数的年差异较大,最少年份是最少年份的2倍多,闪电活动季节性特征非常明显,闪电主要集中在春末仲夏发生,呈现单峰值特征,4—8月是闪电高发期(约占全年总闪电活动的84.83%)。闪电活动的日变化表明,闪电峰值区集中在傍晚、午夜前后两个时段,闪电谷值区出现在09:00—12:00,夜雷暴多,这是与其他地区闪电日变化显著不同的地方。在对闪电次数进行了探测效率订正后,根据 LIS 注视时间,计算了闪电密度。西南地区闪电密度分布大体呈现:东部高,西部低;南部高,北部低。闪电密度较高、面积较大的高值中心位于中越交界的老山一带,非常明显的大片低发区主要位于西南西部地区。研究表明:西南地区闪电时空分布与当地的地形地势、水汽和地理环境条件等诸多因素有关。

关键词:闪电活动;时空分布;闪电密度;夜雷暴;西南地区

中图分类号:P427.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-7097(2010)04-0489-07

Temporal and Spatial Distributions of Lightning Activity in Southwest China Based on Satellite Observations

WANG Yi-geng^{1,2}, LIU Jie³, WANG Jie-jun⁴, MAI Bo-ru¹, CHEN Qian¹

(1. School of Atmospheric Physics, NUIST, Nanjing 210044, China; 2. Guangxi Meteorological Bureau, Nanning 530022, China;
3. Leting Meteorological Bureau of Hebei Province, Leting 063600, China; 4. Meteorological Observatory, NUIST, Nanjing 210044, China)

Abstract: The temporal and spatial distributions of lightning activities in Southwest China are studied by using the ten years' (from 1998 to 2007) observation data from the Lightning Imaging Sensor (LIS) boarded on the Tropical Rainfall Measurement Mission (TRMM) satellite. The result indicates that the number of lightning flashes observed through LIS varies from year to year and the maximum is about twice as many as the minimum. The lightning activities clearly show seasonal variations in Southwest China and the late spring and midsummer are the main lightning activity seasons. The seasonal variation of the flash number presents a single peak value and about 84.83% of the lightning flashes of a year occur between April and August. It is showed that lightning activities primarily occur not only in early evening but also at midnight and the lightning activities comes to the minimum between 09:00—12:00 BST and the thunderstorm occurs more at night than in the daytime, which is obviously different from the situation in other regions. With the corrected number of lightning flashes efficiency, according to the detecting time by LIS, lightning flash density value is calculated. Lightning flash density in Southwest China is higher in eastern region than that in western region and it is high in southern region than that in northern region. Lightning flash density centers are found mainly in Laoshan areas between China and

收稿日期:2009-06-29; 改回日期:2009-12-16

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40875016)

作者简介:王义耕(1978—),男,江西九江人,硕士,研究方向为雷电监测预警,wyg780625@163.com.

Vietnam. Fewer lightning flashes are found in the west of Southwest China. Results show that the temporal and spatial distributions of lightning activities in Southwest China are closely related to the topography and terrain, water vapor and environmental condition and so on.

Key words: lightning activity; temporal and spatial distribution; flash density; thunderstorm at night; Southwest China

0 引言

雷电灾害已成为危害程度仅次于暴雨洪涝、气象地质灾害的第三大气象灾害^[1], 严重威胁着我国社会公共安全和人民生命财产安全, 而雷电活动在时间和空间尺度上变化很大, 具有明显的区域性特点, 因此有必要对区域性雷暴气候特征进行研究。西南地区位于青藏高原的东南侧, 东南靠近北部湾, 西南邻近孟加拉湾, 地势高亢, 地形复杂, 川西高山高原、四川盆地、云贵高原、横断山区四个大地貌类型区闻名全国, 是一个闪电多发区。以往对西南地区闪电活动的气候特征分析很少, 因此, 用较长时间的卫星闪电资料对该地区雷暴气候特征进行研究, 可以加深对该地区雷电发生发展特征的认识和理解, 为雷电监测资料在强对流天气过程的预警和预报中发挥更重要的作用提供气候背景。

利用卫星资料, Christian 等^[2]发现每秒钟全球平均有 44 ± 5 个闪电发生, 大约有 78% 的闪电发生在南北纬 30° 之间。Williams 等^[3]研究得出雷暴数量的变化是导致全球闪电次数年变化和日变化的主要因素, 但雷暴闪电频数的变化在全球闪电次数日变化中也起着重要作用。郟秀书等^[4]对全球一些典型地区的闪电活动进行了对比分析, 并对其差别的成因进行了探讨。马明等^[5]对中国及周边闪电密度的气候分布进行了研究。本文利用卫星观测到的闪电定位资料对西南地区闪电活动的时空分布特征作了详细分析, 并初步探讨影响闪电此种分布可能的气象因子或环境参量, 从而为揭示西南地区闪电与气象要素、闪电与气候的关系奠定一定的基础。

1 资料来源和分析方法

LIS 是由 TRMM 卫星携带的一部闪电成像探测器, LIS 包含一个光学凝视成像仪, 闪电放电时产生的亮度瞬间变化是它识别闪电活动的依据, 因此它既能观测云闪又能观测地闪。LIS 采用了一个 128×128 像素的 CCD 阵列, 采样率大于 500 帧/s, 加上广角镜头的使用, 在 350 km 高度上可以观测到地球上 $600 \text{ km} \times 600 \text{ km}$ 区域内闪电的活动, 探测的

空间分辨率为 3 km(星下点)至 6 km(边缘), 每次对同一个目标有约 80 s 的观测时间, 对同一地区在同一地方时间扫描的周期约 46.4 d; 2001 年 8 月 TRMM 升轨到 402.5 km 高度, LIS 扫描宽度增加 15% 到 667 km, 单点观测时间 91 s, 扫描周期约 49 d, 夜间的闪电探测效率 $93\% \pm 4\%$, 白天约 $73\% \pm 11\%$ ^[6]。LIS 探测的闪电定位资料包括四类: 事件(event)、组(groups)、闪电(flashes)和区域(areas)。

从美国全球水文资源中心获取了西南地区 ($99 \sim 109^\circ\text{E}$, $22 \sim 32^\circ\text{N}$) 1998 年 1 月 1 日—2007 年 12 月 31 日 LIS 提供的闪电(flashes)原始定位资料。在对 LIS 闪电原始定位资料预处理后, 首先以日、夜的平均探测效率 73%、93%^[6] 分别订正日、夜的闪电次数, 对闪电次数资料进行了统计和分析, 再根据 TRMM 轨道信息和 LIS 扫描参数, 计算了 LIS 注视时间, 最后计算了该地区的闪电密度。本文利用 LIS 所获取的 10 a 闪电资料对西南地区闪电活动的年际变化、季节变化、日变化和空间分布的气候特征进行了分析和研究。

2 西南地区闪电时间分布特征

2.1 闪电年际变化特征

在对 LIS 闪电原始定位资料处理后, 统计了 1998—2007 年各年白天(天顶角小于等于 90°)、晚上(天顶角大于 90°)及全天 LIS 观测到的闪电次数, 并进行了探测效率订正后, 得到有关闪电次数的年变化数据。图 1 给出了 1998—2007 年西南地区各年白天、晚上及全天发生闪电次数的年际变化曲线。

从图 1 可看出, 1998—2007 年西南地区 LIS 观测到的闪电次数相差很大, 年闪电次数(订正后)平均为 12 995 次, 最多的是 2006 年 16 657 次, 是最少年份 2001 年 8 040 次的 2 倍多。2000—2001 年为闪电发生低谷年, 这两年平均为 8 282 次, 只有正常年份的 63.72%, 2001—2002 年有一个跃增, 增幅达 6 921 次, 随后又略微下降, 从 2003 到 2006 年闪电又逐年增加, 增幅较大, 2006 年达到峰值。2001 年 8 月 TRMM 升轨后, 过顶轨道数有所增加, 但年闪

电次数与之无直接的对应关系。

由图1可以清楚地看到,西南地区昼夜发生闪电次数差别不大,白天发生的闪电次数甚至略低于夜间,尤其是1998年和2001年表现得特别突出,只有2000、2002和2007年这三年白天闪电次数稍高于夜间,其他年份都是夜间闪电次数高于白天。10 a年均白天闪电次数是6 097次,占年均闪电数的46.92%,夜间达到6 898次,占年均总闪电数的53.08%,昼夜比为0.88,说明西南地区发生的闪电次数昼夜差别不大,晚上出现的闪电稍多。这与青藏高原区域闪电昼夜比为2.0、昼夜差别大、闪电主要出现在白天^[7]的情况绝然不同。夜间闪电次数年际变化幅度大,而白天发生的闪电年际变化幅度小,但在闪电低谷年份却例外,在闪电低谷年的2001和2002年,白天发生的闪电数有一个跃变,闪电数年际变化幅度很大,且白天闪电年际变化幅度与年际总闪电数变化趋势吻合得很好。

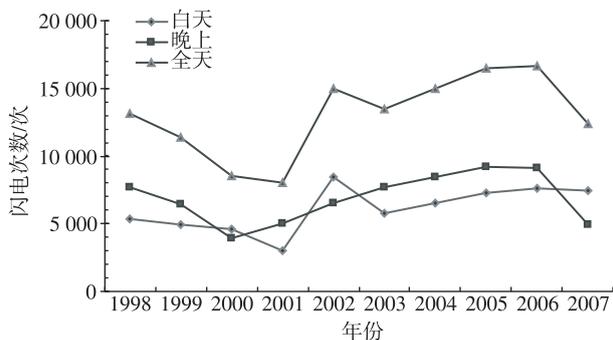


图1 1998—2007年西南地区白天、晚上及全天发生闪电次数的年际变化

Fig. 1 The interannual variation of day, night, day and night mean lightning number in Southwest China from 1998 to 2007

2.2 闪电季节变化特征

在对 LIS 闪电原始定位资料处理后,统计了1998—2007年10 a间各月 LIS 观测到的闪电次数并进行了探测效率订正后,再进行平均得到各月年均闪电次数。图2给出了西南地区 LIS 观测到的1998—2007年的闪电月际分布特征。

由图2可以看出,西南地区的闪电月际分布呈现单峰值特征,主峰值在8月。闪电从2月起开始增多,3月增加缓慢,4月快速增加,增幅较大,到5月下旬达到一个小峰值,随后闪电稍有下降,7月又快速上升,在8月中旬达到顶峰,9月闪电次数迅速减少,10月很少,11月到次年2月闪电更少,特别是12月到次年1月闪电极少,其中2006年这2个月

LIS 未能观测到闪电活动,并在12月出现闪电活动的最小值。4—8月是闪电高发期,发生的闪电约占全年总数的84.83%,3月和9月是闪电活跃期,10月—次年2月是闪电低发期,发生的闪电数还不到全年闪电总数的4.52%。

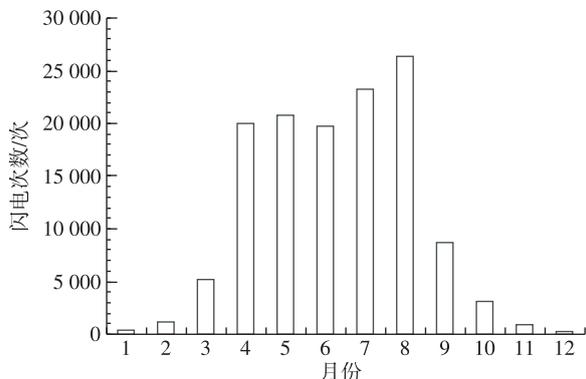


图2 1998—2007年西南地区闪电月际变化

Fig. 2 The inter-monthly variation of lightning number in Southwest China from 1998 to 2007

西南地区的闪电季节性特征非常明显,闪电主要发生在春季和夏季,高峰在仲夏,盛夏是闪电出现的主要季节,秋冬季节闪电不活跃,特别是冬季发生闪电的几率很小。在春秋两季,春季的闪电活动明显强于秋季,这主要是4月和5月期间影响西南地区的西南季风已经开始形成,对流性云系增多,西太平洋副热带高压第一次北跳,副热带高压通常稳定跃过 20°N ,而徘徊于 $20\sim 25^{\circ}\text{N}$ 之间,这时四川、云南和贵州三省开始进入大暴雨频发时期^[8],Piepgrass和Kridler^[9]、李建华等^[10]、刘岩等^[11]研究得出闪电与降水的相关性很高,大暴雨带来了大量闪电。秋季的闪电活动与春季相比要弱一些,而且高值区有些偏南,这是因为从9月开始,来自西伯利亚和蒙古一带冷空气进入,寒冷干燥的冬季风开始建立,并开始南进。而仲夏季节形成闪电高峰期,则可能是7月中旬前后,副热带高压第二次北跳使副热带高压脊线跃过 25°N 以北,四川盆地进入暴雨期^[8],大约在7月底至8月初,副热带高压发展到极盛阶段,脊线也达到最北的位置,暴雨带来了大量的闪电活动。另外,此时大量台风从我国东南沿海登陆,过境西南地区也会引起局地强对流,从而引发大量的闪电活动。

1—12月(1998—2007年平均)逐月的平均闪电密度分布:3月云南与越南交界处出现闪电高发区,到4月份闪电活动区域进一步向北扩展到了四川东部,此时云南与越南交界处闪电密度达到了

$36.3 \text{ fl} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 以上;5—8 月为闪电高发时段,区域内东部大部分地区的闪电密度都在 $11.2 \sim 18.4 \text{ fl} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 之间,在 5 月、6 月贵州南部和广西交界处闪电密度在 $20.5 \text{ fl} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 以上,到 7 月、8 月四川、贵州和重庆交界处出现 $34.6 \text{ fl} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 以上的高发区;9 月区域内的闪电活跃区迅速南撤,闪电密度大大减少,10 月进一步衰减,11 月闪电很少发生,12 月到次年 2 月的冬季为全年发生闪电最少期,闪电密度低且闪电区域面积小,主要在发生在四川盆地。

2.3 闪电日变化特征

西南地区闪电活动在不同月份有显著的差异,其中 7 月和 8 月是两个闪电高峰期,4—8 月是闪电高发期,图 3 给出了西南地区闪电活动较多的几个月里 LIS 观测到的闪电的日变化(已换算成北京时间)。

从图 3 可以清楚地看出,不同月份的闪电日分布有很大的不同。7 月日变化呈现单峰型特点,峰值范围较宽,高发时段主要在 15:00—04:00,从 15:00 起闪电逐渐增多,19:00 时达到最高峰值,然后又逐渐减少,呈下降趋势,在下降过程中偶尔有两个很小的时段略有上升,04:00 之后闪电稀少,上午是闪电活动的低谷。8 月闪电多、跃变明显,范围集中,高发范围主要在 15:00—24:00,呈现三峰型特点,月均每小时达到 107 次左右,17 时达到主峰值,占到日出现闪电总数的 12.89%,次峰区在 21:00—22:00 和 23:00—24:00 这两个时段,01:00—13:00 是低发时段,但在 02:00—03:00 有一个小高潮。

4—8 月平均闪电高发时段在 16:00—03:00,呈现双峰型特点,其中 17:00—19:00 有一个峰值,另一个峰值位于 22:00—24:00,09:00—12:00 为 4—8 月平均闪电的低谷区。

从峰值区的变化来看,7 月峰值明显,闪电主要集中在傍晚发生,8 月峰值区较多且较分散,除了在傍晚有 1 个主峰值外,深夜 21:00—24:00 之间也有两个很大的次峰值区。闪电多发的 4 月到 8 月平均起来以后,峰值区就较为平坦,变化不大,不是很明显。但它们有一些共同的非常明显的特点:白天发生的闪电少,晚上发生的闪电多,闪电峰值区集中在傍晚、午夜前后两个时段,闪电低谷出现在 09:00—12:00。

LIS 闪电日变化反映了对流日变化的特征,与对流活动的发展规律相符合,对流活动一般在午后开始发展,在傍晚时分达到最强,因此闪电集中在傍晚发生,在傍晚形成一个闪电高峰就不难理解了。另外,西南地区日最大闪电活动出现在午夜前后,夜雷暴多,这是非常具有地方特色的,也是与其他地区闪电日变化显著不同的地方。究其原因,主要有两点:一是地形的作用,主要发生在河谷盆地地形之中,由于昼夜高原、高山和盆地、河谷之间的热力差异,地方性和局部山谷风环流特别显著。白天受山谷风影响,河谷、盆地的中、上部为补偿下沉气流,使云雨消散或受到抑制大而少降水,入夜因山风迫使低层暖空气上升,促进强对流发展;二是西南地区多云,川、黔冬半年为云贵准静止锋区所控制,云层尤

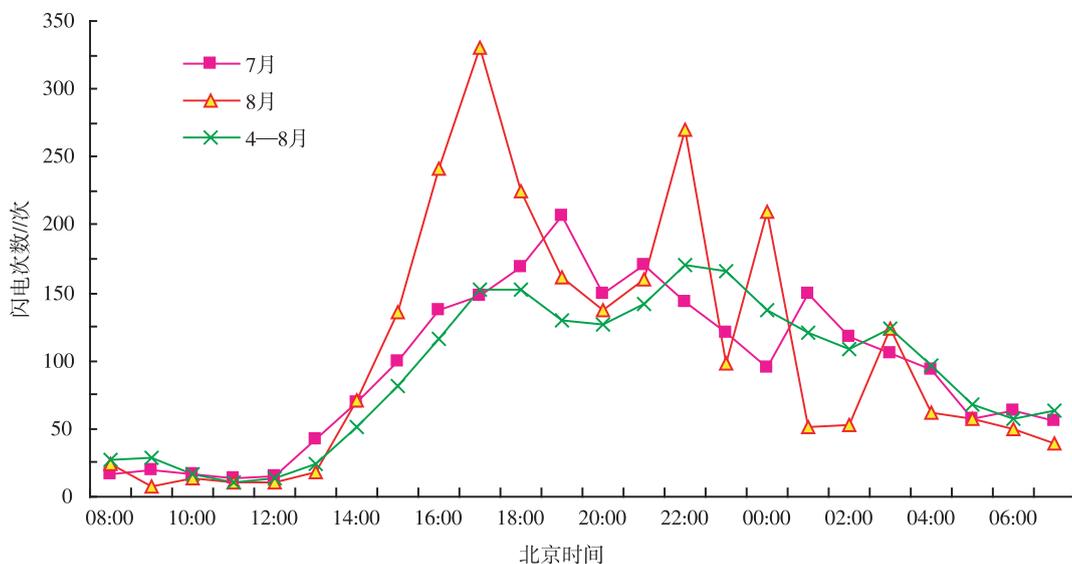


图 3 1998—2007 年西南地区闪电次数的日变化

Fig. 3 The diurnal variation of lightning number in Southwest China from 1998 to 2007

为密厚,白天地面增温不高,大气层结稳定,降水较少;而夜间云顶辐射冷却快,下部降温受阻,使上下温差增大,有利于形成不稳定的大气层结,故夜间有较多闪电发生。

3 西南地区闪电的空间分布特征

根据 TRMM 卫星和 LIS 扫描参数计算了 LIS 在 TRMM 升轨前、后在 $22 \sim 32^\circ\text{N}$ 区域内的年注视时间,将西南地区划分成 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ 的 1 600 个经纬网格,用经探测效率订正的闪电次数,除以年注视时间和网格面积,并由此计算得到了 1998—2007 年西南地区的总闪电(地闪和云闪)密度分布(图 4)。西南地区平均闪电密度为 $6.70 \text{ fl} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,该地区的闪电密度分布具有以下特点:

(1) 西南地区闪电密度分布大体呈现:东部高,西部低;南部高,北部低。具体来说:云南东南部和越南北部相连的地区是闪电发生的最活跃地区;广西、贵州、重庆和四川东部地区闪电活动相对有所减少;云南西北部和四川西部地区闪电活动更少。

(2) 闪电密度较高的高值区主要有以下几个:

最高值中心位于中越交界的老山一带,该地区的闪电密度高,最高的地方达到了 $38.9 \text{ fl} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,范围大,面积超过了 $9\,263 \text{ km}^2$ 。另外还有一些跳跃式的高值中心,四川省眉山市附近,闪电密度在 $12.5 \sim 20.9 \text{ fl} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 之间,在四川、重庆和贵州交界处,最高的地方达到了 $19.5 \text{ fl} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,重庆市区,最高的地方达到了 $17.2 \text{ fl} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 以上,重庆的南川市附近闪电密度在 $11.6 \sim 20.7 \text{ fl} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 之间,中国、老挝和越南交界处的越南莱州省一带,最高的地方达到了 $20.7 \text{ fl} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 以上。

(3) 闪电低发区主要有:非常明显的大片低发区主要位于西南地区西部,它毗邻青藏高原,除极少数零星小地方外,闪电密度均小于 $4.0 \text{ fl} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$;云南与广西交界处有一带状低值区,闪电密度绝大部分小于 $5.0 \text{ fl} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$;成都平原(狭义的)地区闪电密度绝大部分小于 $5.4 \text{ fl} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

李照荣等^[12]、徐桂玉和杨修群^[13]研究指出雷暴分布受海拔高度的影响,地形地势是影响雷暴的主要因子。邻近青藏高原的西南地区西部之所以形成一个非常明显的大片闪电低发区,显然是受世界

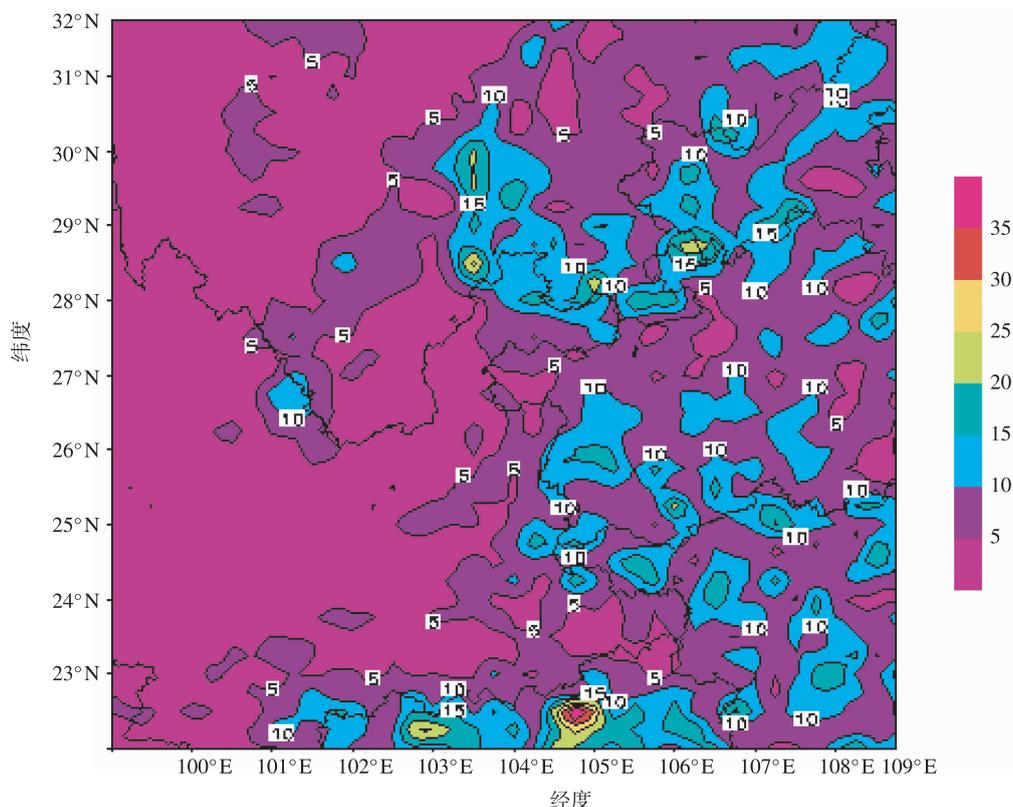


图4 1998—2007年西南地区总闪电密度分布(单位: $\text{fl} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)

Fig. 4 Distribution of lightning density in Southwest China from 1998 to 2007 (units: $\text{fl} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)

上海拔最高(平均海拔高度在4 000 m 以上)、地形最为复杂的面积巨大的青藏高原和南北走向的横断山脉地形地势的影响。来自孟加拉湾暖湿气流遇到高耸入云的喜马拉雅山和纵横交错的南北走向横断山脉,它们的海拔高度很高,高原高山的山顶都处在雪线以上,由于它们的阻挡作用,输送进来的暖湿气流很难越过喜马拉雅山和横断山脉,缺少水汽,强对流难以发展;此外高山背风面冷气流沿山谷向下流到平原(即山风),下沉气流也抑制了对流的发展,阻碍了雷暴的形成,所以在横断山脉东面、喜马拉雅山南麓的东南面的西南地区西部大部分地区形成一个明显闪电密度低值中心。贵州高原不但在夏季受西南季风影响明显,暖季热力对流旺盛,而且本身地势较高,地形抬升作用显著,且其地形起伏也较大,地表的凹凸不平,也可导致垂直方向的扰动,进而为积云的发展创造了条件,雷暴易于形成,所以其年闪电密度较大。

成都平原邻近川西高原山地,深受山地下沉的冷空气的影响,加之平原河水大多来自西部高原山地的冰雪融水;同时,平原上地势低洼的古河道地区,地下水位高,土壤冷湿。故成都平原无论气温、水温和土温均较低,热量条件较之四川盆地其他地区稍为逊色,地面的热力强迫作用不明显,低层空气相对较稳定,强对流一般难以发展,因此闪电次数和闪电日数均处较低水平。而四川省眉山市附近却是一个闪电高值区,其原因主要有两个:其一,眉山是外来水汽进入成都平原的重要通道,水汽供应充足;其二,眉山境内大部分地区皆为低山丘陵,山峦纵横,丘陵起伏,河网密集,在山间盆地或河谷地带形成了有利于强对流发展的地形条件。

闪电多出现在水体和山脉附近^[14]。这是由于在特定时段,水体和山脉具有热力抬升或动力抬升的条件,并有较为充足的水汽供应,有利于雷暴的形成和云内起电。例如重庆市就是一个闪电高值区,这与它的地理位置有关,重庆多山多雾^[15],地处长江、嘉陵江交汇处,依山傍水,丘陵众多,纵横交错,是有名的“山城”,重庆多云多雾,号称“雾都”。白天,太阳辐射对地面的加热和地面长波辐射对低层大气的加热,低层大气易变得不稳定,容易形成较强的上升气流,且该地区有较为充足的水汽供应,上升气流携带水汽到达冻结层以上。根据冰晶起电效应原理,当云顶温度低于 0 °C 时,对流云中即有冰晶产生,云顶温度低于 -20 °C 时,冰晶的密度较大。当对流云中的冰晶含量足够多,且有较厚的冰晶和

过冷却水共存层,对流云的垂直运动足够强,即可造成对流云内的电荷分离并最终达到放电发生(闪电)阶段^[16],故该地区白天闪电活跃。夜间,该地常有中低云存在,其存在的作用有二:其一,低云的存在阻碍了地面的辐射降温;其二,云层上部向太空发射长波辐射。云顶辐射使得云顶温度的明显降低,而云层下部温度变化不大,有利于形成不稳定的大气层结,中低云存在也说明低层有一定的水汽条件,这些都是形成雷暴的有利条件,所以该地区夜间也有较多闪电发生。

4 讨论

由于 TRMM 卫星处于较低的地球轨道上,搭载在其上面的闪电探测器(LIS)对地球上任意一点的扫描时间都十分有限,显然积累和分析较长时间的卫星闪电探测资料,将能更可靠地反映区域内的雷电气候分布与变化的真实情况。本文所用的卫星观测的闪电资料只有 10 a 的时间,能否真实地反映西南地区闪电活动的气候与变化特征,还有待于探测资料的进一步积累与证实,因此,随着资料积累,进一步的研究是必要的。另外,从结果中可以看到,在不同的地方闪电活动差别很大,说明雷暴的发生具有很强的局地性,由于局地的闪电活动跟当地的地形地势、水汽和地理环境条件等诸多因素有关,因此要详细了解不同地区的闪电活动特征,还有必要进行雷电的地基观测;同时闪电起电及放电的物理特征也因地域的不同可能存在较大的差异,因此地基观测对研究雷电发生发展物理过程和闪电起电及放电的物理特征^[17],特别是对雷电防护系统的设计,是十分必要的,也是非常重要的。

5 结论

利用 TRMM 卫星上携带的闪电探测仪(LIS)所获取的 10 a 闪电资料(1998—2007 年)对西南地区闪电活动的时空分布特征进行了分析,得到以下结论:

(1)该地区闪电次数的年差异较大,最多年份是最少年份的 2 倍多;闪电活动季节变化特征非常明显,闪电主要集中在春末仲夏发生,呈现单峰值特征,4—8 月是闪电高发期(约占全年总闪电活动的 84.83%)。闪电活动的日变化表明,闪电峰值区集中在傍晚、午夜前后两个时段,闪电谷值区出现在 09:00—12:00,夜雷暴多,这是与其他地区闪电日变化显著不同的地方。

(2)西南地区闪电密度分布大体呈现:东部高,西部低;南部高,北部低。闪电密度较高、面积较大的高值中心位于中越交界的老山一带,非常明显的大片低发区主要位于西南西部地区。

(3)西南地区闪电时空分布与当地的地形地势、水汽和地理环境条件等诸多因素有关。研究西南地区雷暴气候特征,对该地区雷暴预警预报和防雷减灾有指导意义。

致谢:本文所用闪电卫星资料由美国全球水文资源中心(GHRC)提供,谨致谢忱!

参考文献:

- [1] 冯民学,焦雪,韦海容,等.江苏省雷电分布特征分析[J].气象科学,2009,29(2):246-251.
- [2] Christian H J, Blakeslee R J, Boccippio D J, et al. Global frequency and distribution of lightning as observed from space by the optical transient detector[J]. J Geophys Res, 2003, 108(D1):3997-4005.
- [3] Williams E, Rothkin K, Stevenson D, et al. Global lightning variations caused by changes in thunderstorm flash rate and by changes in the number of thunderstorms[J]. J Appl Meteor, 2000, 39(12):2223-2230.
- [4] 鄯秀书,周筠,袁铁.卫星观测到的全球闪电活动及其地域差异[J].地球物理学报,2003,46(6):743-750.
- [5] 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,2004,34(4):298-306.
- [6] Boccippio D J, Koshak W J, Blakelee R J. Performance assessment of the Optical Transient Detector and Lightning Imaging Sensor: I. Predicted diurnal variability[J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2002, 19(9):1318-1332.
- [7] 张鸿发,程国栋,董万胜,等.青藏铁路沿线区域闪电分布和闪电气候[J].干旱气象,2005,23(1):1-9.
- [8] 徐裕华.西南气候[M].北京:气象出版社,1991:60-61.
- [9] Piepgrass M V, Krider E P. Lightning and surface rainfall during Florida thunderstorms [J]. J Geophys Res, 1982, 87(C13):11193-11201.
- [10] 李建华,郭学良,肖稳安.北京强雷暴的地闪活动与雷达回波和降水的关系[J].南京气象学院学报,2006,29(4):228-234.
- [11] 刘岩,王振会,张慧良.2007年浙江地区梅雨期闪电特征的分析[J].气象科学,2009,29(2):225-229.
- [12] 李照荣,康凤琴,马胜萍.西北地区雷暴气候特征分析[J].灾害学,2005,20(2):83-88.
- [13] 徐桂玉,杨修群.我国南方雷暴的气候特征研究[J].气象科学,2001,21(3):299-307.
- [14] 郑栋,孟青,吕伟涛,等.北京及其周边地区夏季地闪活动时空特征分析[J].应用气象学报,2005,16(5):638-644.
- [15] 何泽能,李永华,陈志军,等.重庆市2006年夏季城市热岛分析[J].热带气象学报,2008,24(5):527-532.
- [16] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等.天气学原理和方法(修订本)[M].北京:气象出版社,2000:402.
- [17] 冯民学,韦海容,焦圣明,等.南京市闪电定位资料的对比分析[J].南京气象学院学报,2008,31(2):151-157.

(责任编辑:倪东鸿)