

文章编号:1006-7639(2005)-01-0001-09

# 青藏铁路沿线区域闪电分布和闪电气候

张鸿发<sup>1</sup>,程国栋<sup>1</sup>,董万胜<sup>1</sup>,赵阳<sup>1</sup>,陈成品<sup>1</sup>,张彤<sup>1</sup>

郭三刚<sup>2</sup>,普次<sup>3</sup>,侯正俊<sup>4</sup>

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所,甘肃 兰州 730000;2. 青海省气象局,青海 西宁 810000;  
3. 拉萨市气象局,西藏 拉萨 850000;4. 日喀则地区气象局,西藏 日喀则 857000)

**摘要:**用1998年1月1日~2003年12月31日TRMM卫星探测到的25~38°N,75~100°E闪电资料,对青藏高原地区年、季、日发生闪电频数和随经纬度变化,闪电密度分布的气候特征进行了计算分析。结果表明:青藏铁路沿线区域年均日发生闪电数约7600次,白天占到66.47%,夜间占到33.53%,昼夜比为2.0,明显高于中国其它区域昼夜闪电比1.2。日闪电频数的年变化是多峰值,闪电主要发生在4~9月,占年总闪电的94.75%。5月上中旬和9月中下旬为次峰值,主峰值在夏季6~8月占到年总闪电70.23%,最高出现在7月占到年总闪电25.19%。10月到次年3月发生闪电很少,仅占年总闪电的5.25%,特别是11月到次年2月只占总闪电0.83%。青藏高原发生闪电的日变化以单峰值为主,年均达到346.75次/h左右,傍晚18时达到最高峰值,占到日出现闪电的12.1%,19~21时每小时达到日闪电值的9%以上,21~22时为快速下降时段,午夜24~01时出现维持时段,每小时达到日闪电值的3%,凌晨4~5时有小起伏,每小时达到日闪电值的1%,上午8~11时达到日变化的最低谷,4h仅占日出现闪电的1.3%,闪电峰值是低谷的100倍以上,说明青藏高原区域闪电高发时间主要在傍晚。4个季节发生闪电峰值的日变化时间表明,不同季节出现闪电峰值的日时段不同,春季主要在晚间,夏季主要在傍晚,秋季主要在傍晚到晚上,冬季主要在晚上20时。青藏高原区域年均发生总闪电频数随纬度的变化要比随经度的变化大,青藏高原中部是闪电频数高发区,东部比西部高的特点。

青藏高原出现闪电高密度区相对较集中,主要在高原中部从东到西呈带状,高原边缘闪电密度趋低。在31~34°N,82~94°E之间,年均闪电密度高达15次(0.5°×0.5°)以上,特别是位于青藏铁路经过高原中部班戈到安多那曲一带,由东到西是青藏高原发生高闪电密度区,年均闪电密度高达30次,其中最高闪电密度中心区在安多那曲。青藏高原上白天是主要高闪电密度区,夜间闪电密度明显偏低,只有白天闪电密度1/4,昼夜变化十分明显。不同季节出现闪电密度量值和分布特征有较大差异,春季出现闪电高密度区在青藏高原中部偏北,大部分为低闪电密度区域。夏季闪电密度高且面积广,高闪电密度区与年均闪电高密度区一致,中部为闪电高密度区,边缘为低闪电密度。秋季出现的相对高闪电高密度区在青藏高原中部偏南,大部分为低闪电密度面积区并有减小。冬季为全年发生闪电最少期,青藏高原区域基本没有闪电。

**关键词:**青藏铁路沿线;闪电分布;闪电密度;闪电气候特征

中图分类号:P427.39

文献标识码:A

## 引言

闪电的频数反映了不同地区天气和气候的变化

[1~3],闪电表现了云的特性和降水性质[2,9~11],是人类可利用的资源,因此,闪电信息与全球的气候、天气灾害、生态环境、地理地质、地磁、天电[12~13]、人类活

收稿日期:2004-05-27;改回日期:2005-02-04

基金项目:中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX1-SW-04)资助

作者简介:张鸿发(1952-),男,研究员,主要从事云和降水物理、强对流雷暴、雷达气象、人工影响天气和防灾减灾的实验观测与计算分析研究。E-mail: Zhanghf@ns.lzb.ac.cn

动和社会发展以及国防的研究受到重视。但是闪电也给人类形成危害,据不完全统计,我国由于闪电每年造成财产损失达到数十亿元<sup>[3]</sup>。举世瞩目的青藏铁路正在青藏高原建设,青藏铁路位于我国西北地区高海拔的多山地和地表生态环境脆弱地带,雷暴发生十分频繁,时有强风、暴雨雪、冰雹和雷电闪击,是青藏铁路建设和设备安全最大的危害之一。由于青藏高原特殊地理生态环境的气候和天气条件,高原雷暴云的生成发展迅速,生命期短,突发性强,相对云底低,雷电对高海拔的青藏铁路和设备安全危害性大。特别在高原海拔 3 000~5 000 m 上铺设铁轨和输送电路上通高压电,等于在空中安置了引(雷)导体,输送电设备周围的电磁场环境发散出更多的电离子,遇到雷暴容易引起雷电闪击或跳闸,闪电的脉冲电磁场造成对通讯信号的干扰。因此,研究高原雷暴云的闪电频数变化,闪电密度分布和闪电气候特征,提出监测和预警防护雷电天气灾害,对青藏铁路建设和安全运行,以及对开发大西北都具有十分重要价值。

## 1 闪电资料来源

用美国水文和气候资料中心公布的,由 TRMM 计划中载有闪电成像感应器 (LIS) 的低轨道气象卫

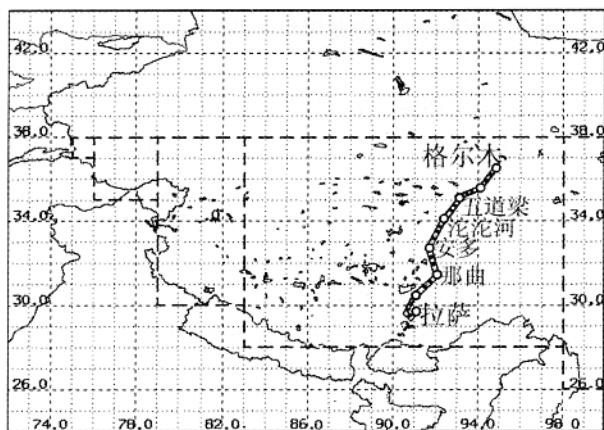


图1 TRMM 低轨道气象卫星上载有闪电成像感应器(LIS),探测到 26~38°N, 75~100°E 青藏高原区域和青藏铁路沿线经纬度网格点图,图中虚线为选用闪电资料区域,圆圈连线为正在建设中的青藏铁路线

Fig.1 The grid of the part region of Tibetan Plateau in China with lightning data observed by TRMM satellite

星,探测赤道两侧 38°S~38°N 各经纬度格点年月日不同时分秒的云闪、地闪的总闪电数、闪电放电的辐射强度、闪电持续时间的闪电资料。TRMM 气象卫

星的运行轨道方式和 LIS 原理及其参量已有多篇文献详细介绍<sup>[13~16]</sup>。为了能有效得到青藏铁路沿线区域发生闪电的频数和闪电密度分布特征,我们选用了 TRMM 卫星探测到 26~38°N 和 75~100°E 之间青藏高原地区,1998 年 1 月 1 日 00 时~2003 年 12 月 31 日 24 时的 LIS 闪电资料,为避免其他国家地区发生闪电频数的影响,将这区域分成多个中国青藏高原边界区,分别对每个经纬度网格中按不同年、月、日、时、分、秒发生的闪电次数资料进行处理和统计计算,见图 1 中虚线经纬度格点区。下面给出对这 6 a 内青藏高原陆地区域不同经纬度格点发生闪电频数的年度、季节、日时和随经纬度的变化,昼夜和不同季节闪电密度分布的结果,为青藏高原的发展和青藏铁路建设运行提供一些参考依据。

## 2 青藏铁路沿线区域年际闪电变化特征

图 2 给出的是 1998~2003 年青藏高原区域各年总闪电数和昼夜闪电数的年际变化曲线。从图中曲线表明,青藏高原区域各年内发生总闪电次数有

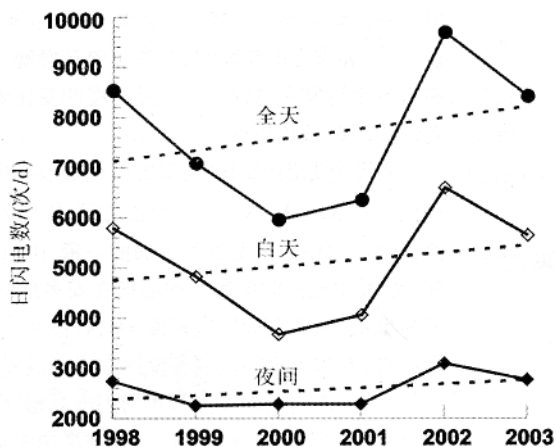


图2 1998~2003 年青藏高原地区各年总闪电数(红线),白天(08~20)和夜间(20~08)闪电数的年际变化,图中虚直线为线性拟合线

Fig.2 The annual variation of daily mean lightning number for Tibetan region from 1998 to 2003

较大不同,年均出现闪电约 7 600 次。1999~2001 年为发生闪电低谷年,年均总闪电次数在 6 500 次左右,2002~2003 年有较大增加,年均达到 9 000 次左右。从各年白天和夜间闪电数变化曲线对比说明,青

藏高原区域昼夜发生闪电数有明显差别,每年白天发生的闪电次数明显高于夜间,白天闪电数年际变化幅度大,与年际总闪电数趋势一致,呈增长,尤其是年总闪电次数偏高的 1998、2002、2003 年,白天与夜间发生的闪电数差别更大,昼夜发生闪电数值达到 2.0~2.5 倍差别。夜间发生的闪电数年际变化幅度小,特别是闪电低谷年份,夜间发生闪电数每年 2 200 次左右,昼夜发生闪电数值只有 1.0~1.5 倍。年均白天闪电数达到 5 095 次,占年均总闪电数的 66.47%,夜间达到 2 572 次,占年总闪电数的 33.53%,昼夜比为 2.0。说明青藏高原区域发生的闪电频数昼夜差别大,闪电主要出现在白天,近 2 a 青藏高原区域发生的闪电频数有较大增加。

## 2.1 青藏铁路沿线区域年均闪电频数的日变化和日出现闪电时段分布

图 3(a)给出 6 a 日平均闪电次数的年度变化曲线。可看出,青藏高原区域日闪电的年变化有多峰值特点,闪电主要发生在 5~9 月,占年总闪电的 90.05%。5 月上中旬和 9 月中下旬为 2 个次峰值,主峰值出现在夏季的 6~8 月为双峰型,占到年总闪电的 70.23%,其中第一主峰值在 6 月中到 7 月上旬,峰值区相对集中,第二主峰值出现在 8 月上中旬,峰值区相对分散,有多个年度日均最高值,主峰值达到次峰值的 3~4 倍。8 月下旬闪电次数明显减少,9~10 月发生闪电偏少呈下降,10 月下旬到次年 3 月发生闪电很少,仅占年总闪电的 5.25%以下,特别在

11 月到 2 月闪电极少,4 个月仅占到总闪电的 0.83%。从年度各日出现闪电频数变化说明,青藏高原地区发生闪电主要从 3 月下旬起,逐日增多,5 月上中旬有小高峰,5 月下旬下降,6 月上旬迅速上升,直到 7 月上旬达到高峰值,7 月下旬略有减少,8 月上中旬达到最高值后快速下降,到 9 月中下旬出现小峰值后持续下降到 10 月中旬,10 月下旬到次年 3 月中旬闪电很少。说明青藏高原区域发生闪电相对集中,闪电高发期主要出现在夏季,但青藏高原盛夏的 7 月中下旬有相对低发期,春末秋初有少量闪电活动,其它季节基本没有闪电。

图 3(b)是 6 a 日均不同时段发生闪电频数的日变化曲线,图中也给出了日各时段出现闪电次数占日总闪电值的比例(%).表明青藏高原发生闪电的日变化是单峰值型,闪电的日变化上升快,下降慢,日各时段内都有可能出现闪电,平均每年每小时达到 320 次左右。青藏高原日发生闪电主要从中午 13 时起闪电频数快速增加,直到傍晚 18 时达到最高值,峰值时段占到日闪电值的 12.1%,19~21 时呈下降,每小时达到日闪电值的 9%以上,21~22 时为快速下降时段,到午夜 24~01 时出现维持时段,每小时达到日闪电值的 3%,02~03 时较快下降,凌晨 4~5 时有小起伏达到日闪电值的 1%,直到上午 8~11 时达到日变化的最低谷,这 4 h 段仅占到日闪电值的 1.3%。日闪电峰值是低谷的 100 倍以上。从青藏高原区域日各时段内出现闪电变化,达到日闪

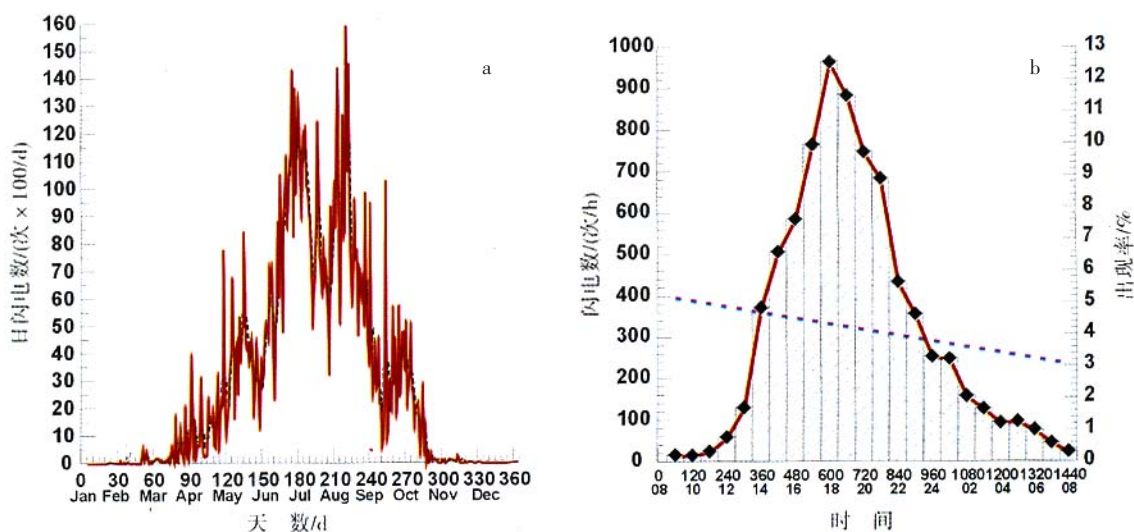


图3 1998~2003年青藏高原区域日均出现闪电次数的年度变化(a),日不同时间出现闪电频数的日变化曲线及其出现百分比率(%)的方框图(b),图中虚直线为平滑线和线性拟合值线

Fig.3 In Tibetan region, interannual change of daily mean lightning frequency during 1998~2003(a), the diurnal variation and occurring rate(b)

电平均值以上的出现在每日的 14~02 时,占日闪电总数的 89.41%,达到日闪电平均值 2 倍以上的出现在 15~23 时,占日闪电总数的 73.98%,达到日均值 4 倍的出现在 17~20 时之间,占日闪电总数的 40.43%,说明青藏高原区域闪电高发时间主要在下午到晚间,峰值在傍晚。

## 2.2 青藏铁路沿线闪电频数随经纬度的变化

图 4 是青藏高原区域年均闪电次数随经纬度的变化曲线。从图 4(a)发生闪电随纬度的变化表明,青藏高原区域发生闪电随纬度的变化十分显著,高原中部高,南北两侧低,年均每纬度出现闪电平均达到 551.23 次。在青藏铁路跨跃路段 30~35°N 纬度区间是闪电高发区,高原南部 25~30°N 之间为低发区,35°N 纬度以北明显偏少的特点。闪电高发中心在青藏高原中部 32°N 附近,31~34°N 区间发生的

闪电数达到青藏高原每年每纬度平均值的 2 倍以上。图 4(b)是年均发生闪电随经度的变化曲线,说明青藏高原区域发生闪电随经度的变化有东高西低特点,高原东部是闪电高峰值区,青藏高原中部是闪电高发区,高原西部少发区,高原年均每经度出现闪电 306.65 次。闪电峰值在青藏高原东侧(97~100°E 之间),年均出现闪电平均达到 512 次,青藏高原区 84~96°E 之间是较高发区,年均出现闪电平均达到 351 次。从年均每经度发生闪电频数说明,青藏高原区域发生闪电数值随纬度的变化要比随经度的变化大,随纬度变化是经度的 1.5 倍,闪电主要出现在青藏高原的中部,高原的南北两侧低,高原的东高西低,但不同经纬度出现闪电的频数与陆地区域面积有直接关系。

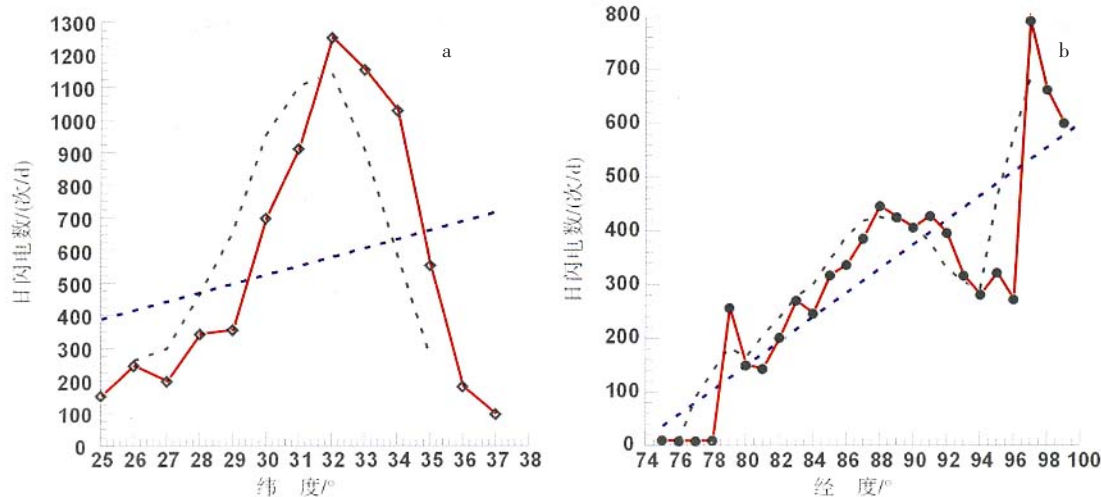


图 4 青藏高原区域年均发生闪电数随经纬度的变化 (a)随纬度变化,(b)随经度变化。

图中虚直线为线性拟合值线,虚曲线是平滑线

Fig.4 Lightning number change with latitude(a) and longitude(b)

## 2.3 青藏铁路沿线闪电季节变化

图 5(a)给出青藏高原区域 6 a 各月发生闪电平均值和各月占年度总闪电的比例(%).可看出,青藏高原月发生闪电的变化是单峰型,峰值区宽,主峰值在 6~7 月。闪电主要发生在 4~9 月的 6 个月份,占年总闪电的 94.75%。闪电从 3 月起有明显增多,4~5 月有快速增加,6~7 月达到最高,占年总闪电的 48.83%,其中夏季 6~8 月占到 70.23%,7 月达到全年最高值,8 月有减少,9~10 月有显著下降,11~12 月发生闪电已很少,2 个月仅占年总闪电的 0.15%。与各日闪电频数年度变化对比分析,青藏高原 8 月份发生的日闪电主要在 8 月上旬,虽然日闪

电值达到全年最高但分散,8 月中下旬有明显减少,所以月平均偏低,而 6~7 月日闪电值高且密集,6 月平均值比 8 月要高。为了揭示青藏陆地区域闪电气候特点,图 5(b)给出了不同季节发生闪电的日时段的变化。可看到,青藏高原区域发生闪电活动主要在夏季,并且在夏季日 18~19 时的 2 h 内达到高峰,每小时出现约 1 000 次。夏季日 14~24 时都达到日平均每小时闪电值以上,午夜 01~03 时还会出现闪电数达到 200 次左右。日闪电数达到 500 次以上的时段在 15~23 时,达到 800 次以上的在 17~21 时。春季日发生闪电的时段主要在 16~22 时,达到 200 次左右,峰值在 18 时约 400 次,而午夜 1 时

有相对较高闪电高发时段,其他时间段出现闪电偏少在 100 次以下。秋季日出现闪电高发时段主要在 16~22 时,平均每小时闪电数达到 100 次左右,峰值在 17~18 时,约 200 次。冬季发生闪电很少,只有在 20 时达到 40 次的小峰值,其他时段没有闪电出现。从 4 个季节发生闪电峰值的日变化时间表明,青藏陆地区域闪电主要出现在夏季的傍晚,不同季节出现闪电高峰的时间段不同,以不同季节出现闪电的相对峰值而言,冬季主要在晚上 20 时,发生闪

电时段维持时间最短,秋季主要在下午到傍晚,峰值在 17 时,春季主要在傍晚到晚间,峰值在 18 时,夏季主要在傍晚 18~19 时,峰值在 19 时。

图 6(a)是青藏高原年均 4 个季节发生闪电随纬度的变化,表明高原上不同季节出现闪电随纬度变化特别显著,冬季在高原 30°N 以南地区只有很少出现闪电,30°N 以北的高原内陆地区没有闪电,每年约 2.3 次/纬度。秋季发生闪电区较宽,主要在 30~35°N 之间,闪电频数偏低,每年约 37.4 次/纬

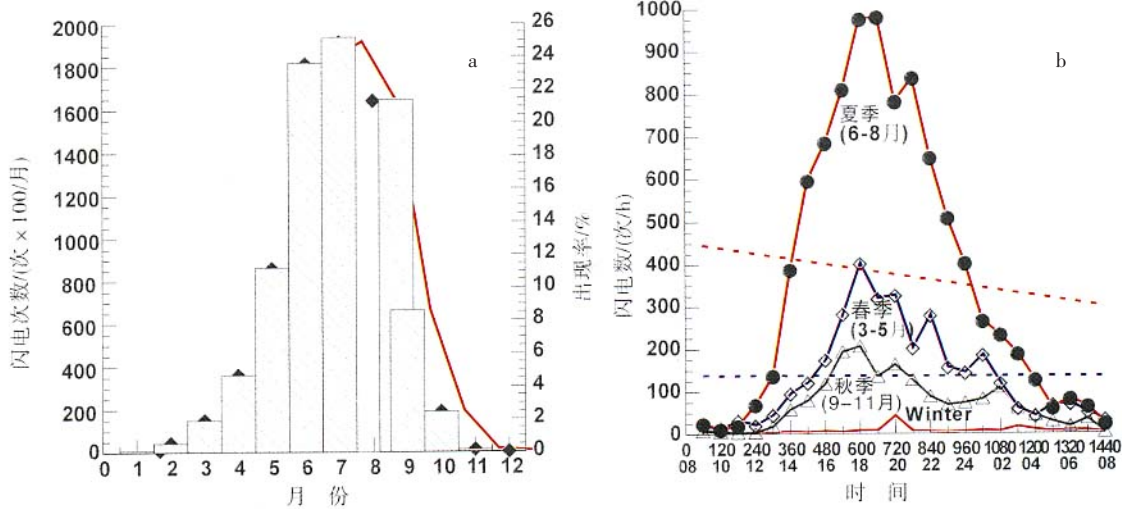


图 5 青藏高原区域 6 a 月平均出现闪电数和各月占年总闪电电数的比率(%) (a), 年均 4 个不同季节出现闪电电数的日变化(b)。图中虚直线为线性拟合值线,虚曲线是平滑线

Fig.5 Mean monthly lightning number in six years and the ratio of those to annual total lightning number (a), the diurnal variation for different seasons in a year (b)

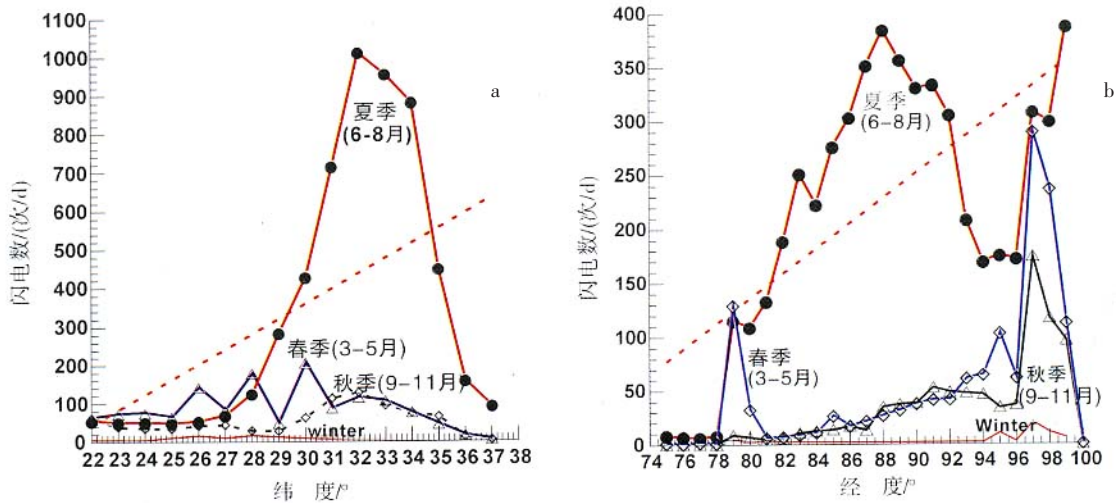


图 6 1998~2003 年年均 4 个季节日出现闪电数随经纬度的变化,(a)随纬度变化,(b)随经度变化  
图中虚直线为夏季(红)的线性拟合线

Fig.6 The diurnal lightning number change of different seasons with latitude(a) and longitude(b)

度。春季与秋季相反,主要在高原南部 26~30°N 之间,有多个小峰值,年均达到 100 次/纬度。主峰值

在 30°N 度附近,峰值达到 200 次/纬度,30~36°N 的高原中部和北部为低发区,闪电减少到 100 次/

纬度以下。

夏季是高原主要发生闪电季节,与年发生闪电峰值随纬度变化一致,主要在 $30\sim 35^{\circ}\text{N}$ 之间,年均达到500次/纬度,特别在 $31\sim 34^{\circ}\text{N}$ 附近达到800次/纬度以上,主峰值在高原中部 $32^{\circ}\text{N}$ ,年均达到1000次/纬度以上,高原南北两侧呈明显减少。青藏高原上4个季节发生闪电随纬度的变化说明,高原上不同季节发生闪电活动区域不同,夏季是青藏高原主要发生闪电季节,闪电高峰集中在青藏高原中部,南北两侧明显偏少。春季主要在青藏高原南部,闪电高峰靠近高原中部,高原中北部偏少。秋季主要在青藏高原中部,高峰在高原中部,南部很少。冬季发生闪电少,主要在高原南部,北部没有闪电。

图6(b)是青藏高原年均4个季节发生闪电随经度的变化曲线,表明青藏高原上不同季节出现闪电随经度变化也明显不同,除了 $97\sim 100^{\circ}\text{E}$ 青藏高原东部边缘4个季节都出现闪电峰值外,在 $82\sim 94^{\circ}\text{E}$ 之间的主要青藏高原地区明显只有夏季出现闪电峰值,主峰值在青藏高原的中部,两侧呈减少,其他季节均发生很少。冬季在高原东边缘有很少闪电, $94^{\circ}\text{E}$ 以南基本没有闪电发生。秋季在高原东部有闪电,春季主要在青藏高原的东部 $96\sim 100^{\circ}\text{E}$ 和西部 $78\sim 80^{\circ}\text{E}$ 出现较高闪电峰值,而高原中部只有少量闪电。夏季是高原多闪电季节,从 $82\sim 94^{\circ}\text{E}$ 出现闪电高值区,主峰在 $88^{\circ}\text{E}$ 度出现最高闪电值,年均都在380次。从4个不同季节发生闪电次数随经纬度量值变化,说明青藏高原发生闪电主要在夏季,且主要集中在青藏高原的中部,南北两侧少,东高西低特点,尤其是青藏铁路沿线跨越区间是闪电高发区。夏季每经纬度出现的闪电峰值是春季峰值的5倍,春季是秋季的2倍,秋季是冬季的10倍。

### 3 青藏铁路沿线区域闪电密度分布特征

图7分别给出了青藏高原区域( $26\sim 38^{\circ}\text{N}$ ,  $80\sim 100^{\circ}\text{E}$ )年均全天,白天(08~20时),夜间(20~08时) $0.5^{\circ}\times 0.5^{\circ}$ 经纬度格点发生闪电密度分布。图中年均不同闪电密度等廓线分布表明,青藏高原出现闪电高密度区相对较集中,从东到西呈带状,闪电高密度区主要在高原中部,并由高原中部高密度向边缘扩散,高原边缘闪电密度趋低。闪电高密度区主要出现在 $31\sim 34^{\circ}\text{N}$ ,  $82\sim 94^{\circ}\text{E}$ 之间,年均闪电密度高达

15次以上,特别是位于 $31\sim 33^{\circ}\text{N}$ ,  $88\sim 93^{\circ}\text{E}$ 内的青藏铁路经过高原中部班戈到安多那曲一带地区,由东到西是青藏高原发生最高闪电密度中心区,年均闪电密度高达30次,受昼夜变化小,其中最高闪电密度中心区在安多那曲。

从青藏高原区域年均昼夜发生闪电密度和分布区域对比分析,青藏高原上白天是高原上主要发生闪电时间段,白天发生闪电密度和分布特征与全天的基本相同,闪电高密度区相对较集中,主要在高原

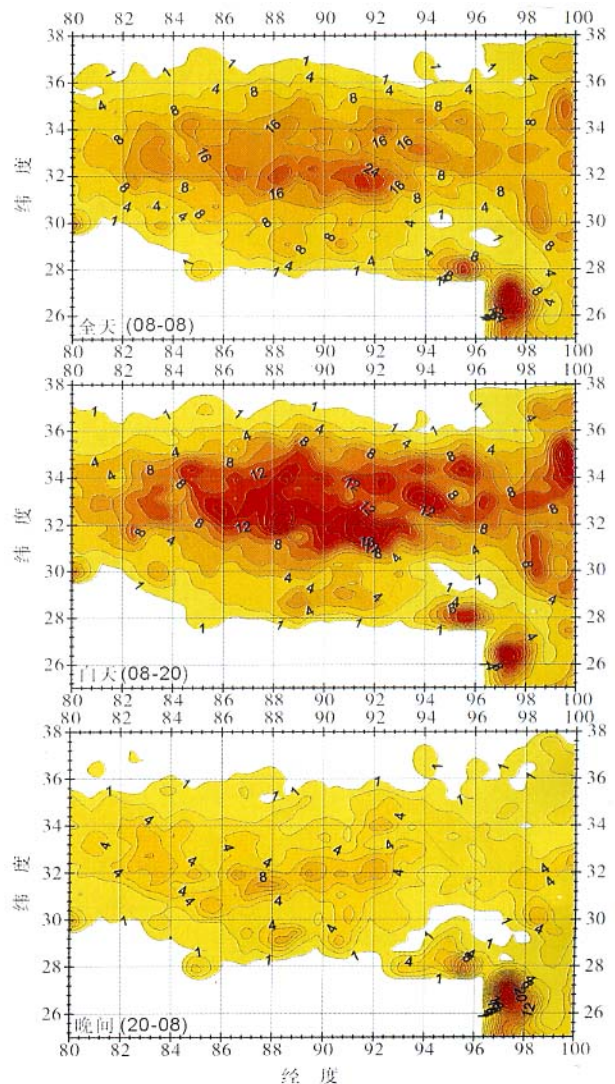


图7 1998~2003年青藏高原区域年均每 $0.5^{\circ}\text{N}\times 0.5^{\circ}\text{E}$ 经纬度发生闪电密度分布廓线图 图中上为全天,中为白天,下为夜间;图中闪电密度等廓线值,最外为1,内每条廓线为4增加值)

Fig.7 The distribution of lightning density for Tibetan region for day and night, day, night, respectively

中部由东到西呈带状,高原边缘闪电密度低。闪电高密度主要出现在  $31^{\circ}\sim 33^{\circ}\text{N}$ ,  $88^{\circ}\sim 93^{\circ}\text{E}$ , 年均闪电密度高达 15 次以上,特别是位于  $31^{\circ}\sim 32^{\circ}\text{N}$ ,  $91^{\circ}\sim 93^{\circ}\text{E}$  内的青藏铁路经过高原中部安多那曲地区,是青藏高原发生闪电密度最高中心区,年均闪电密度高达 24 次,并且在  $34^{\circ}\text{N}$  线上由东到西分布多个较高闪电密度小面积区,与青藏高原全天闪电密度比较,高闪电密度区有偏北趋向。

青藏高原夜间闪电密度明显偏低,只有白天闪电密度的  $1/4$ ,高闪电密度区相对较集中,主要在高原中部由东到西呈带状,高原边缘闪电密度低,但相对高的闪电密度区比白天闪电高密度区要偏向靠南,在  $30^{\circ}\text{N}$  纬度线青藏高原中部有几个闪电较高密度区。闪电较高密度主要出现在  $29^{\circ}\sim 33^{\circ}\text{N}$ ,  $82^{\circ}\sim 93^{\circ}\text{E}$  经纬度区,年均闪电密度高达 6 次以上,特别是位于  $29^{\circ}\sim 33^{\circ}\text{N}$ ,  $85^{\circ}\sim 92^{\circ}\text{E}$  内的青藏铁路经过高原中部安多那曲地区,夜间仍然是青藏高原发生闪电密度最高中心区,年均高达 9 次左右。

图 8 是青藏高原区域年均 4 个季节闪电密度的分布图。从不同季节闪电密度等值廓线可清楚看出,青藏高原区域不同季节出现闪电密度量值和分布区的特征有十分明显的差异。春季(3~5月)在高原区域东南部边缘出现闪电较高密度区,闪电密度区高达 20 次以上,显然该位置主要受孟加拉湾海洋性暖

湿气流影响,位于印度东部和缅甸北部,而整个青藏高原地区都是低闪电密度区,并以青藏高原东部边缘大面积向西逐渐趋小,中部班戈到那曲索县和偏北位于青藏铁路沿线的北麓河和沱沱河之间出现相对闪电较高密度区,年均达到 2~4 次,最高闪电密度中心在北麓河和沱沱河,年均达到 6 次,其他大部分为低闪电密度区域,只有 1 次。夏季(6~8月)是青藏高原区域主要发生闪电季节,闪电密度高而且面积广,闪电高密度区与年均闪电高密度区高区基本一致,主要出现在  $30^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{N}$ ,  $82^{\circ}\sim 94^{\circ}\text{E}$  之间,达到 10 次,在  $31^{\circ}\sim 34^{\circ}\text{N}$ ,  $86^{\circ}\sim 93^{\circ}\text{E}$  之间,达到 15 次左右,该区间中位于尼玛和安多那曲为 2 个最高闪电密度中心区,达到 24 次以上,  $34^{\circ}\text{N}$  上从  $84^{\circ}\sim 96^{\circ}\text{E}$  之间有一串小面积较高闪电密度区。秋季(9~11月)出现的闪电密度区与春季基本相似,西部和南部面积减小,但相对高闪电密度区面积比春季大,位于青藏铁路沿线的班戈到那曲和偏北的北麓河和沱沱河之间出现闪电较高密度区,年均达到 6 次,但最高闪电密度面积区偏向南侧,中心在那曲,其他大部分为低闪电密度区域,只有 1 次。冬季(12~2月)的闪电密度为全年发生闪电最低季节期,除了位于高原东南边缘有低且闪电区域面积小外,整个青藏高原上基本没有闪电。

从上 4 个不同季节出现不同闪电密度量值和分

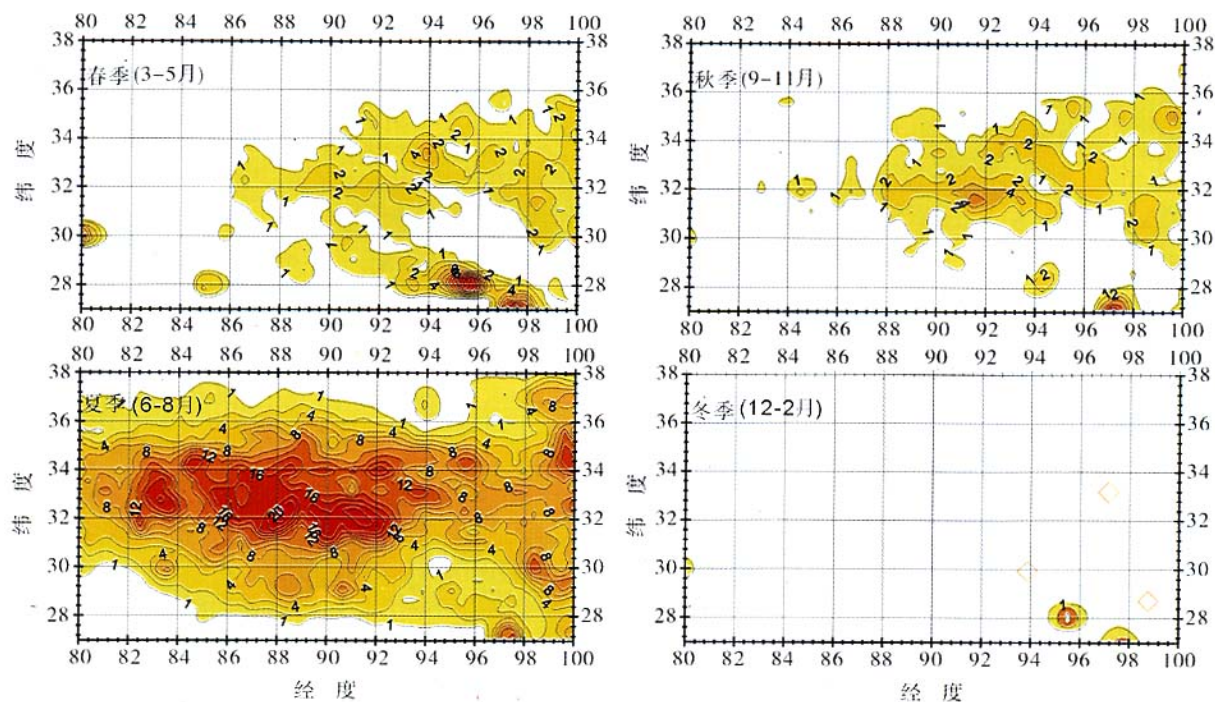


图 8 1998~2003 年青藏高原区域每年不同季节每经纬度发生闪电密度分布廓线图(图中最外为 1,内每条廓线为 2)

Fig.8 The distribution of lightning density for different seasons from 1998 to 2003

布区域特征表明,青藏高原区域不同季节发生闪电密度和分布位置有明显差别,高密度区主要在高原的中部,呈东西走向,中心位于青藏铁路经过的安多和那曲。青藏高原夏季是闪电活动高发期,闪电密度高面积广,基本代表了青藏高原全年发生闪电活动特点。春季发生的闪电密度区要靠近北,中心在青藏铁路经过的北麓河到沱沱河,但闪电密度较低,秋季发生的闪电密度区偏向南,中心在安多和那曲,冬季高原没有闪电发生。青藏高原区域发生闪电密度高低和出现地域与不同季节的天气气候变化有关外,与其周边地理环境有密切关系。

## 4 小 结

根据 6a 闪电资料的统计分析研究,揭示了青藏铁路沿线区域(青藏高原地区)发生闪电频数和闪电密度的年、季节、日变化和随经纬度的分布特征,结果表明:

青藏高原区域年均日出现总闪电约 7 600 次。白天发生的闪电频数都高于夜间,白天闪电占总闪电的 66.47%,夜间闪电占总闪电的 33.53%,昼夜比为 2.0。青藏高原区域日闪电的年变化有多峰值特点,5 月和 9 月有 2 个次峰值,主峰值在 6 月中到 8 月中旬,第一主峰发生在 6 月中到 7 月上旬,闪电峰值较集中,第二主峰发生在 8 月,闪电峰值较分散,主峰值达到次峰值的 3~4 倍。11 月到次年 2 月中旬闪电很少,11~12 月闪电极少。说明青藏高原发生闪电主要在夏季。青藏高原闪电的日变化明显是单峰值,年均每小时达到 350 次左右。闪电从中午 13 时起快速增加,傍晚 18 时达到最大值,占到日出现闪电总数的 12.1%,晚上 19~21 时每小时达到日出现闪电总数的 9%以上,上午 8~11 时达到日变化的最低谷,仅占到日出现闪电总数的 3%。说明青藏高原区域日闪电活动高发时间主要在傍晚到晚上,最多在傍晚。4 个季节发生闪电峰值的日变化时间表明,不同季节出现闪电高峰的时段不同。不同季节出现闪电的相对峰值:冬季主要在晚上 20 时,发生闪电的维持时段最短,秋季主要在下午到傍晚,春季主要在傍晚到晚间,夏季主要在傍晚。4 个季节发生平均闪电值随纬度的变化表明,冬季高原上没有闪电发生;秋季闪电发生区域很宽,但闪电频数偏低,年均均在 1~6 次左右;春季发生闪电在 30~35°N 区,特别在 34°N 附近有达到 10 次的高峰值;夏季是高原上主要发生闪电季节,在 30~36°N 之间,年

均达到 10 次以上,在 32°N 附近达到 30 次。4 个季节发生平均闪电随经度的变化说明,除了 96°E 以东,高原 4 个季节都有发生闪电外,青藏高原夏季是多闪电季节区。其他季节发生闪电很少,夏季是春季的 5 倍,春季是秋季的 2 倍,秋季是冬季的 10 倍。

青藏高原闪电密度东部比西部高,高原中部比边缘区高,闪电高密度区相对较集中。昼夜发生闪电密度区域对比说明,白天发生闪电高密度区。不同季节出现闪电密度值和分布的地区及分布特征有较大差异。春季闪电密度低面积较大,由高原东部向西部扩展,相对较高闪电密度区主要在高原中部偏北,夏季是主要发生闪电季节,闪电密度高且面积广,闪电高密度区与年均闪电高密度区高区一致,在青藏高原中部出现较高闪电密度区。秋季出现的相对高闪电密度区很分散,面积都较小,并且闪电密度偏低,较高闪电密度区偏南。冬季的闪电密度为全年发生闪电最少期,高原上基本没有闪电。

从 4 个不同季节出现不同闪电密度量值和分布区域特征表明,青藏高原区域不同季节发生闪电密度和分布位置有明显差别,高密度区主要在高原的中部,呈东西走向,中心位于青藏铁路经过的安多和那曲。青藏高原夏季是闪电活动高发期,闪电密度高面积广,基本代表了青藏高原全年发生闪电活动特点。春季发生的闪电密度区要靠近北,中心在青藏铁路经过的北麓河到沱沱河,但闪电密度较低。秋季发生的闪电密度区偏向南,中心在安多和那曲。冬季高原没有闪电发生。青藏高原区域发生闪电密度高低和出现地域与不同季节的天气气候变化有关外,与其周边地理环境有密切关系。

致谢:本文得到美国水文和气候中心提供 LIS(1998~2003)和 OTD(1995.5~1999)闪电资料,分析研究得到陶善昌,洪钟祥研究员帮助,在此表示感谢。

## 参考文献:

- [1] 周秀骥,陶善昌,姚克亚.高等大气物理学[M].北京:气象出版社,1991.106-137,535-601.
- [2] 黄美元,徐华英.云和降水物理[M].北京:科学出版社,1999.1-56.
- [3] 王道洪,鄯秀书,郭昌明.雷电与人工引雷[M].上海:上海交通大学出版社,2000.207-217.
- [4] Orville R E, Spencer D W. Global lightning Flash frequency [J]. Mon Weather Rev, 1979,107: 934-943.
- [5] Turman B N, Edgar B C. Global lightning distribution at dawn and dusk[J]. J Geophys Res, 1982,87(C2):1191-1206.
- [6] Price C, Rond D. A simple lightning parameterization for calculating

- global lightning distributions[J]. J Geophys Res, 99(D9): 9919- 9933.
- [7] Mackerras D, Darveniza M, Orville R E, et al. Global lightning: Total, cloud and ground flash estimters [J].J Geophys Res,1998, (D16): 19791- 19809.
- [8] Mackerras D, Darveniza M. Latitudinal variation of lightning occurrence characteristics, global [J]. J Geophys Res, 1994, 99 (D5): 10813- 10821.
- [9] Williams E K, Rothkin D, Stevenson, et al. Global lightning variations caused by changes in thunderstorm flash rash rate and by changes in the number of thunderstorms [J]. J Appl Meteor, 2000, 39 (12): 2223- 2230.
- [10] Price C. Evidence for a link between global lightning activity and upper troposphere water vapor[J]. Nature, 2000, 406: 290- 293.
- [11] baral K N.The Cloud Flash- to- Ground Flash Ratio and Other Lightning Occurrence Characteristics in Kathmandu thunderstorms [J]. J Geophys Res, 1992, 97: 931- 938.
- [12] Markson R. Solar modulation of atmospheric electrification and possible implications for the sun- weather relationship[J]. Nature,1978, 273: 103- 109.
- [13] Markson R, Muir M. Solar wind control of the earth's electrical field [J]. Science,1980, 208: 979- 990.
- [14] Sparrow J G, Ney E P. Lightning observations by satellites [J]. Nature,1971, 232: 540- 541.
- [15] Christian H J, Co- Author. The lightning Imaging Sensor , Proc. 11th int. Conf. On Atmospheric electricity, Guntersville, AL, ICAE, 1999, 746- 749.
- [16] Christian H J, Latham. Satellite measurements of global lightning[J]. Quart J Roy Meteor Soc, 1998, 124(549): 1771- 1773.
- [17] Xiushu Q, Toumi R, Yuan T. Lightning activities on the Tibetan Plateau as observed by the lightning imaging sensor [J]. J Geophys Res, 2003,108(D17): 4551- 4560.

## Characteristics of Lightning Distribution and Lightning Climate for Tibetan Plateau Region

ZHANG Hong-Fa<sup>1</sup>, CHENG Guo-dong<sup>1</sup>, DONG Wan-sheng<sup>1</sup>, ZHAO Yang<sup>1</sup>, CHEN Cheng-pin<sup>1</sup>,  
ZHANG Tong<sup>1</sup>, GUO San-gang<sup>2</sup>, PU Ci<sup>3</sup>, HOU Zheng-jun<sup>4</sup>

(1. Institute of Environmental and Engineering for Cold and Arid Regions, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;  
2. Qinghai Provincial Meteorological Bureau, Xining 810000, China; 3. Lasa Center Meteorological Observatory, Lasa 850000,  
China; 4. Rikaze Region Meteorological Bureau, Rikaze 857000, China)

**Abstract:** Using lightning data detected by the TRMM satellite between 25~38 °N and 74~100 °E from 1998 Jan. 1 to 2003 Dec.31, the yearly, seasonal and diurnal lightning number and their change with the longitude and latitude, the lightning density distribution and lightning climatic feature were calculated and analyzed in this paper. Results show that the total mean diurnal lightning number is about 7 600 in Tibetan Plateau Region of China, and it is 66.47% of the total number during day and 33.53% during night , and their ratio is 2.0. The yearly variety of the diurnal flash number is the many peak value, the flash occurs primarily in April to September per year, and the number is 94% of total yearly lightning number . First peak occurs in Jun to August, and the second peak in May and September, the flash number in summer season (Jun to Aug) is 70.23%, and it is only about 0.83% of total yearly lightning number in November to March of the next year. Diurnal variation presents the single peak value, and mean hourly flash number is about 347 in a year, it reaches a maximum at 18 PM and it's about 12.1% of diurnal lightning number, it comes to minimum during 8~11 AM and it's only 1.3% of the diurnal number, and the maximum is 100 times of the minimum , these show that lightning occurring frequently in Tibetan region is primarily in dusk. In Tibetan region, yearly mean flash number change with latitudd is bigger than that with longitude. Diurnal variation time of peak value occurring lightning in 4 seasons show that the time with peak value of flash number during a day is different, in winter it is primarily in the evening , in autumn it is in the afternoon, while in spring it is at night and in summer it is at dusk. In Tibetan Plateau region the different yearly mean flash density distributions in daytime and nighttime and all day show that the density is higher in eastern region than that in western region, the high density area are more concentrated in Tibetan center region relatively. During daytime in Tibetan center region is flash high density area, and during nighttime it is flash low area. The flash density for different seasons is different, the flash high density area in spring it is tend to northern, in autumn it is southward, in summer it is highest flash density area in Tibetan region, in winter it is rarely flash density .

**Keywords:** flash distribution of Tibetan Plateau region; lightning number; lightning density; characteristic of lightning climate