

用 TRMM/LIS 资料分析长江三角洲地区的闪电活动*

戴建华¹⁾²⁾ 秦虹²⁾ 郑杰²⁾

¹⁾(南京大学大气科学系,南京 210093)

²⁾(上海中心气象台,上海 200030)

摘要

统计分析了1998~2004年长江三角洲(长三角)地区由星载闪电成像传感器(LIS)观测的闪电资料,发现了该地区 LIS 闪电活动的一些时空分布特征:闪电次数的年差异较大,最多年份是最少年份的3倍;7~8月盛夏季节是闪电高发期,闪电次数和日数分别占全年的70%和60%;闪电高发期间的抬升指数(I_D)小于 $-2\text{ }^\circ\text{C}$;7~8月闪电主要集中于午后,3~6月则集中在上半夜;上海地区单日 LIS 闪电次数超过8次时,多伴有强对流天气和短时强降水;长三角地区的闪电活动区主要分布在上海的东部,部分沿江、沿湖地区和浙江的龙门山等山区;水域闪电少于陆地,大城市城区下风方向闪电活动较多,部分雷暴刚入海时有加强的趋势。分析表明:太阳辐射的季节变化和日变化等是造成闪电时间分布的主要原因;地形的动力作用和下垫面的物理特性及其差异是造成气候意义上中小尺度闪电空间分布差异的主要原因。文章对 LIS 闪电定位资料进行了探测效率订正,根据 LIS 注视时间计算了闪电密度,并与地基闪电定位资料和多普勒天气雷达资料进行了对比。LIS 闪电活动特征的分析,对雷暴预警和防灾减灾有指导意义。

关键词: LIS 闪电 长三角地区 时空分布

引言

闪电造成的雷灾是造成人民生命伤害、财产损失的主要自然灾害之一,随着社会经济和科学技术的发展,雷灾的侵害面大大扩展,造成的经济损失和危害程度大大增加了。闪电揭示对流天气的发生和发展,提供了对流风暴形成、发展机制的信息,有助于对强对流天气的预警。因此对闪电活动规律的了解对防灾减灾有重要作用。

长三角地区城市密集、经济发达,是中国经济发展水平最高、综合经济实力最强的地区之一,举世瞩目的“2010世博会”将在上海举办,也将带动这一地区成为世界上最具活力和发展前景的经济区域之一。闪电灾害和强对流天气是这一地区的主要气象灾害,了解闪电的时空分布特点,有助于提高雷灾和强对流天气的预警能力,防止或减少闪电带来的危害。长三角地区已经建成或将要建立几个地基闪电探测系统,如上海的 SAFIR-3000 总闪(云闪和地闪)探测系统,了解这一区域的闪电活动特征有助于更好地使用这些地基系统。

* 上海市气象局科研开发项目(编号:0218)资助。

2004-09-06 收到,2005-01-31 收到再改稿。

闪电成像传感器(Lightning Imaging Sensor,简称 LIS)是热带降水测量计划(TRMM)卫星上的一个探测总闪电(地闪、云闪)的仪器^[1-2]。LIS 资料主要应用于描述全球和区域性的闪电活动分布、分析研究闪电、雷暴和对流降水的气候规律。用 LIS 资料,Williams 等^[3]、Boccippio 等^[4]和鄒秀书等^[5]分析了全球闪电活动及其地域差异。针对东亚地区,马明等^[6]、鄒秀书等^[7]分别对中国及周边闪电密度的气候分布、青藏高原雷电活动特征进行了分析和研究。本文的研究目的在于用 LIS 闪电定位资料分析长三角地区闪电活动的时空分布特征,为开展地基闪电定位资料的研究和应用以及该地区的雷电预警和强对流天气预警及防灾减灾奠定基础。

1 闪电成像传感器(LIS)及资料简介

1.1 LIS 简介

载有 LIS 闪电探测仪的 TRMM 卫星发射于 1997 年 11 月 28 日,在 $35^{\circ}\text{N} \sim 35^{\circ}\text{S}$ 区域中绕地球旋转,轨道高度约 350 km, LIS 探测范围为 $580\text{ km} \times 580\text{ km}$,成像器的水平分辨率为 $4 \sim 6\text{ km}$,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 $73\% \pm 11\%$ ^[8]。

LIS 采用光学方法探测闪电,由两个主要系统组成:电耦合装置(CCD)阵列和实时资料处理单元。资料包括闪电定位资料、辐射能量及轨道信息、仪器状态和背景等^[2],其中闪电定位资料有:事件(Events),即成像器单个感应点探测到的瞬变或光脉冲;组(Group),在相邻 CCD 像素点上,观测到的 2 ms 内闪电事件的集合,视为单个放电过程;闪烁或闪电(Flashes)为观测到的时间、空间较为接近的放电脉冲组的集合,一般视为一次物理意义上的闪电;区域(Areas)用于划分单个雷暴单体或闪电中心,有一个或多个闪电闪烁。

由于探测原理和方式的限制, LIS 也存在一些缺陷,如采用光学探测, LIS 难以辨别闪电的类型(云闪和地闪)和极性(正闪和负闪),卫星位置和探测角度带来的太阳光反射等干扰问题,以及对同一目标的扫描时间少、密度低。

1.2 资料的获取、对比和预处理

从美国全球水文资源中心(GHRC)获取了 1998 ~ 2004 年以闪电次数(Flash)为单位的 LIS 闪电原始定位资料,主要对闪电次数资料进行了统计、分析和对比。本文中长三角地区选取以下区域: $29.5^{\circ} \sim 33.5^{\circ}\text{N}$, $119.0^{\circ} \sim 123.0^{\circ}\text{E}$ 。

为了验证 LIS 资料的可靠性,将 2004 年获取的 LIS 闪电定位资料与上海 SAFIR 总闪电定位资料和 WSR-88D 多普勒天气雷达资料分别进行了定位精度的对比分析。图 1 是 2004 年里时间差小于 13 min 的 LIS 与 SAFIR 系统探测到总闪电定位分布的对比,图中淡色“-”标记为 SAFIR 探测的总闪,黑色“+”标记为 LIS 闪电,“ Δ ”为 SAFIR 系统的 3 个分别位于上海崇明、南汇和浙江海盐的基站。由于 2004 年 SAFIR 系统还在调试阶段,部分时段没有正常工作,只有 27% 左右 LIS 闪电找到了配对的 SAFIR 闪电,对比表

明:在3个SAFIR基站组成的探测效率大于90%区域中(图1中曲线范围内)^[9], LIS与SAFIR的定位较为接近。与雷达资料对比表明:LIS闪电的10 km内有回波顶高ET(回波强度 ≥ 18.2 dBz的最高高度)超过了9 km组合反射率CR大于40 dBz的雷暴回波存在。故认定LIS在长三角地区定位精度基本达到其技术指标^[1-2]。

在对LIS闪电资料预处理中,首先以日、夜的平均探测效率73%, 93%^[8]分别订正日、夜的闪电次数,然后根据TRMM轨道信息和LIS扫描参数,统计了不同月份卫星过顶轨道时间(地方时,下同)的分布,最后计算闪电密度时使用了LIS注视时间^[6]。7年的资料足以描述该地区闪电的时空分布。

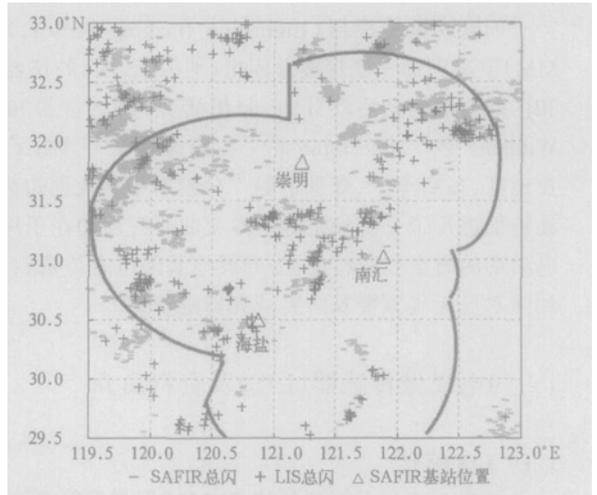


图1 2004年长三角地区LIS和SAFIR探测总闪电的分布对比
(曲线内为SAFIR基站组成的探测效率 $> 90\%$ 区域)

2 长三角地区闪电的时间分布特征

在分析闪电时间分布特征时,长三角地区作为一个整体,故未考虑区域内按纬度变化的注视时间的影响。在分析日内闪电分布特征时,考虑了卫星轨道的过顶时间在不同月份的分布。

2.1 闪电年际特征

表1列出长三角区域内1998~2004年LIS观测的经探测效率订正前、后的年闪电(Flash)次数、区域单点平均的一年有效探测轨道(过顶轨道)次数、闪电组(Group)数、闪

表1 1998~2004年长三角地区LIS闪电的逐年统计

年份	年闪电次数 / 次	年闪电次数 (订正后) / 次	单点年过顶轨道数 / 次	年放电组数 / 组	闪电的平均放电组数 / (组·次 ⁻¹)	年闪电日数 / d	闪电日平均闪电次数 (订正后) / (次·d ⁻¹)	占全年50%闪电的闪电日数/d
1998	2696	3277	737	29998	11.1	57	57.5	6
1999	1790	2190	736	26474	14.8	40	54.8	6
2000	1919	2328	739	22457	11.7	46	50.6	7
2001	1041	1300	773	11895	11.4	33	39.4	5
2002	2885	3400	831	37574	13.0	52	65.4	4
2003	3444	4021	829	42546	12.4	63	63.8	6
2004	1974	2418	832	22549	11.4	39	62.0	3
平均	2249.9	2704.8	782.6	27640.6	12.3	47.1	56.2	5.3

电日数、闪电日平均闪电次数和产生年闪电次数 50% 的最少闪电日数。本文中闪电日是指 1 天中 LIS 在一定区域内观测到 1 次及以上的闪电,非传统意义上的单站雷暴日。

1998 ~ 2004 年中长三角地区年 LIS 闪电差异较大,年闪电次数(订正后)平均为 2704.8 次,最多的是 2003 年的 4021 次,是 2001 年 1300 次的 3 倍;年闪电日数平均为 47.1 d,较多的有 2003 年的 63 d 和 1998 年的 57 d,约为 2001 年 33 d 的 2 倍;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;闪电日平均闪电次数在 39 ~ 65 次·d⁻¹;占全年 50% 以上的闪电集中在不超过 7 个闪电日中。

2.2 闪电月际变化

图 2 是长三角地区 LIS 闪电 1998 ~ 2004 年的月际分布。由图 2 可以看出闪电的季节性分布特征明显,盛夏季节是闪电出现的主要季节,7 ~ 8 月为闪电高发期,两月合计的闪电次数、闪电日分别占全年的近 70% 和 60%,3 ~ 6 月和 9 月也为闪电活跃期,深秋到初春闪电较少,2 ~ 4 月及 10 ~ 11 月份偶有闪电发生,1998 ~ 2004 年中 12 月和 1 月 LIS 未能观测到闪电活动。其中,8 月闪电最多,闪电次数和日数分别为 1118.0 次和 15.4 d,7 月次之分别为 828.4 次和 12.7 d,9 月、5 月和 6 月依次排列。闪电日日均闪电数最高为 9 月,7 月、8 月、5 月和 3 月依次排列。

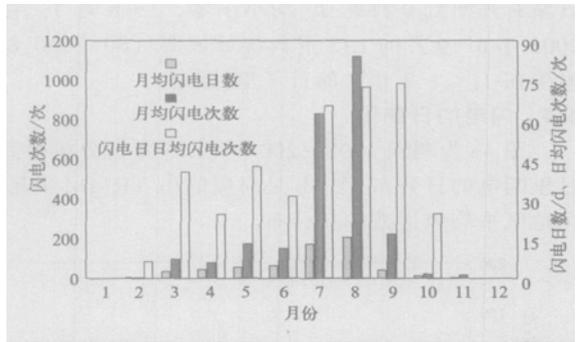


图 2 1998 ~ 2004 年长三角地区 LIS 闪电月际分布

2.3 主汛期闪电时间分布

图 3 是 1998 ~ 2003 年汛期主要时段(6 ~ 9 月)6 年平均的 LIS 日闪电数的 3 日平均、6 年中同一天出现闪电的日数的 3 日平均和 08:00 抬升指数 I_L3 日平均时间序列图。上海地区 6 年平均的入、出梅日期分别是 6 月 17 日和 7 月 8 日。

图 3 显示 LIS 闪电活动主要集中在 7 月中旬到 8 月底的一个半月的盛夏中。入梅初期,闪电日数和次数都没有明显上升,6 月底闪电日数和次数都有所增加,梅雨期的后期,闪电日数已经到达了较高的水平,每天超过 20 次,6 年的同一天中有 3 天观测到 LIS 闪电;出梅后的一周内闪电次数和日数都有所下降,这是因为副热带高压控制长三角地区,强烈的下沉气流抑制了对流发展。7 月中下旬,闪电次数创年内最高,每天达 60 ~ 80 次,而 6 年中同一天出现闪电的日数为 2 ~ 3 d,没有明显增加,说明单日闪电次数明显增多,此时,副热带高压继续西

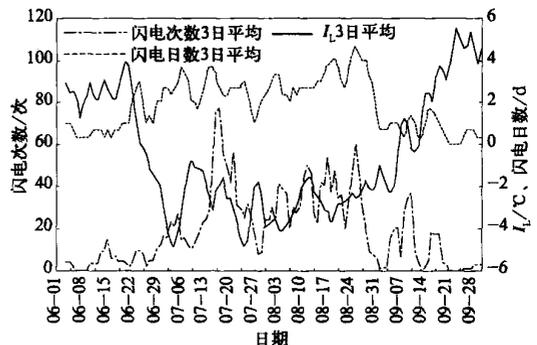


图 3 1998 ~ 2003 年主汛期(6 ~ 9 月) LIS 闪电次数、闪电日数和 I_L3 日平均时间序列图

伸,中心移到内陆,长三角地区高空转为西北风,不时有冷平流,地面温度较高,层结不稳定程度加大,导致对流发生的强度增加。7月底的闪电活动又急剧下降,为盛夏季节的低谷。整个8月闪电活动呈现逐步增加的趋势,每天闪电40~60次,到月底前到达高峰,6年中同一天出现闪电的日数最高达4.3d。9月份闪电活动明显减少,且主要集中在上半月。

抬升指数 I_L ^[10]是近地面气团抬升到500 hPa高度时,环境与该气团的温度差, I_L 反映了大气的稳定程度, I_L 愈小,大气愈不稳定。从 I_L 时间序列分布来看,平均从6月25日左右开始到9月初 I_L 均小于零,7~8月 I_L 主要在-2.0到-4.0℃之间。1998~2003年6~9月的LIS资料统计表明:(80.7±0.8)%的闪电和(74.9±6.9)%的闪电日发生在 $I_L < -2.0$ ℃的日子里(图略)。

2.4 闪电的日变化

图4a为利用1998~2004年LIS资料分析得到长三角地区LIS闪电活动较多的几个月里闪电的日分布,图4b是对应的由TRMM卫星轨道资料和LIS扫描特性得到的长三角地区平均轨道数的日分布。

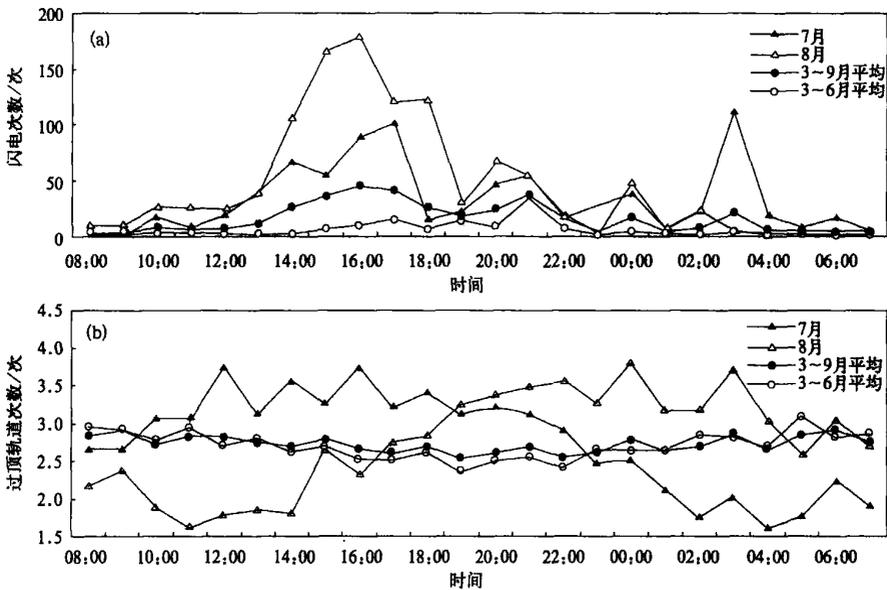


图4 1998~2004年长三角LIS闪电次数的日变化(a)和平均月过顶轨道数的日分布(b)

图4a中,3~9月平均闪电高发时段在13:00~22:00之间,15:00~17:00和20:00~21:00各有一高发时段呈现双峰形态,04:00~09:00为低发时段。不同月份闪电的日分布有较大的不同,8月份高发范围在13:00到次日00:00之间,主峰在14:00~18:00,20:00~21:00和00:00为次峰;7月份高发时段范围较大,集中在13:00到次日03:00,有多个峰值区,03:00最大,14:00~17:00和20:00~21:00次之;3~6月份闪电主要出现在16:00~22:00之间,晚于7~8月的13:00,而最高峰出现在21:00,与7~8

月的14:00~17:00相差较远。从峰值区的变化来看,从16:00到半夜前后,7~8月的峰值区逐渐降低,而3~6月是逐渐增加的;19:00为7~8月份闪电高发区中的低谷区。

对照图4b,表明观测轨道日变化的影响没有体现在 LIS 闪电次数的日变化上。如8月观测轨道数较多的时段在19:00~次日04:00,而闪电日高峰出现在下午,夜里闪电相对较少;7月扫描轨道在08:00~22:00较多,而在03:00也出现了闪电高峰时,与主要时段相比03:00扫描轨道数少了约25%;另外,3~6月和3~9月平均轨道数日变化不大,在14:00至次日01:00相对少一些,而此时段正是闪电多发时段。因此,分析 LIS 闪电的日变化可忽略观测轨道数的影响。

LIS 闪电日变化反映了对流日变化的特征,太阳辐射的日循环和季节性变化是导致闪电日变化及其在不同季节分布各异的根本原因。盛夏季节,太阳辐射在中午达到最强,地面升温明显,层结易不稳定,上升气流携带水汽到达冻结层以上形成冰晶或软雹,碰撞分离后形成电荷分布,继而形成可能的放电现象,故7~8月份的闪电多发于13:00以后,在15:00~18:00达到日高峰,18:00~19:00日落后太阳辐射锐减,对流消散明显,在高发时段内闪电出现相对低谷区;而在3~6月(春季和初夏),太阳辐射相对较弱,不利于白天出现对流,在夜间,云顶辐射使得云顶温度的明显降低,而云层下底层温度变化不大,有利于形成不稳定的大气层结,故夜间闪电可能多于白天。

另外,在上海地区,LIS 一天中观测到闪电次数超过8次的34d中,有28d出现了暴雨、短时强降水(每小时超过20mm)或强对流天气(冰雹、8级以上雷雨大风或龙卷风),因此闪电高发的雷暴是主要监测、预报对象。

3 长三角地区闪电的空间分布

根据 TRMM 卫星和 LIS 扫描参数计算了 LIS 注视时间^[6],由于较长时间内同一纬度的注视时间是基本相同的,图5给出了 TRMM 升轨前、后在29.5°~33.5°N区域内的年注视时间,并由此计算得到了1998~2004年长三角地区的总闪电(地闪和云闪)密度分布(图6)。

将长三角地区划分成 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ 的256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,得到了 LIS 闪电密度分布。长三角区域的 LIS 平均闪电密度为 $6.86 \text{次} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,与马明等^[6]用星载闪电资料统计的中国东部湿润地区的平均值 $6.67 \text{次} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 较为接近。长三角的 LIS 闪电密度分布有以下特点:

(1) 长三角海区的闪电一般少于陆地,闪电密度在陆地平均为 $8.22 \text{次} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,海区只有 $3.19 \text{次} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

(2) 长三角闪电密度较高的区域有:上海崇明岛东部经浦东新区到奉贤有一条

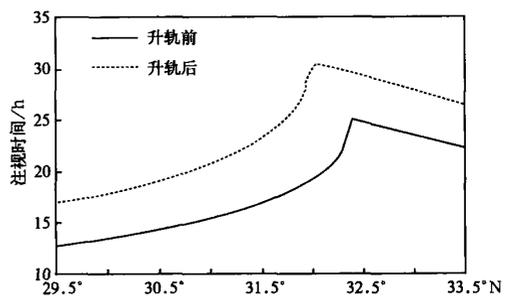


图5 长三角地区 TRMM 升轨前、后 LIS 年注视时间的南北分布

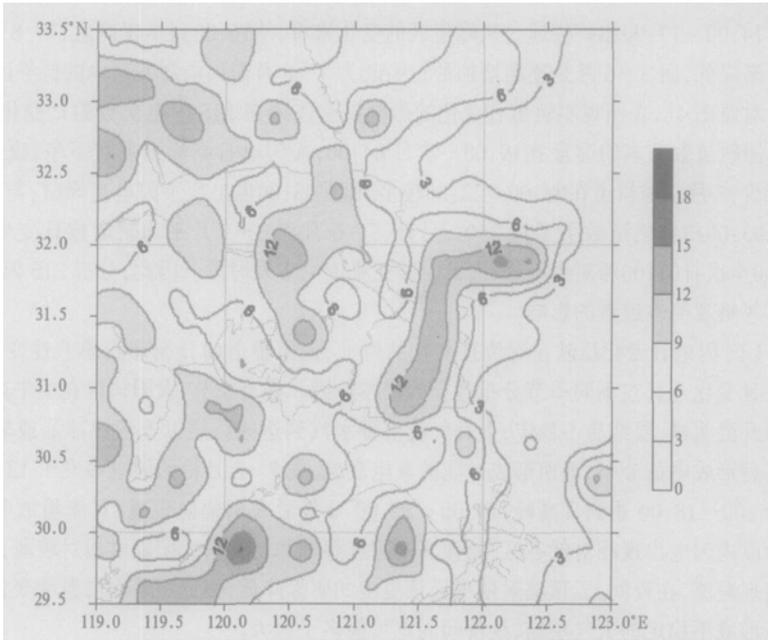


图6 1998~2004年长三角地区年均 LIS 闪电密度分布
(单位:次·km⁻²·a⁻¹)

闪电密度大于 $12 \text{ 次} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 的高发带, 33°N 附近从金湖经兴华、东台到近海有跳跃式的中心, 32°N 附近的扬中、江阴、启东到近海的沿长江地带也类似有跳跃式的中心, 太湖的东北侧苏州附近, 以及浙江沿富春江东南侧的龙门山、宁波西侧的四明山和天目山等山区。闪电密度最高在龙门山区约 $18 \text{ 次} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 四明山、江阴、上海浦东沿江地区、启东东侧近海等网格点均在 $15 \text{ 次} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 左右。从分布上看, 闪电活跃中心与大城市、主要的河流、山区有关。

(3) 陆地上有几个明显的低发区, 如太湖地区闪电密度小于 $4 \text{ 次} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 、江苏常熟、浙江桐庐西部等地闪电密度都小于 $5 \text{ 次} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

大气层结不稳定条件、水汽条件和触发机制是对流性天气发生、发展的 3 个重要因子。从气候的角度来看, 中小尺度闪电空间分布不均匀的主要原因是: 局地地形导致的动力抬升条件的差异, 下垫面物理特性的差异及其造成的低层空气温度、湿度分布不均匀等, 具体说明如下:

(1) 地形: 山区迎风面的动力抬升和山谷环流易造成局地的对流发生, 为闪电相对高发区, 而山区背风面的下沉气流往往抑制了对流发生。龙门山的西侧为西南—东北向的富春江河谷, 太阳辐射造成的山—河谷环流以及西风系统导致的地形抬升, 使得对流易发生在河谷东南侧的龙门山山区中, 同时, 河谷中的暖湿西南气流提供了能量和水汽输送。类似的还有四明山、天目山等。而天目山东侧下风方向到富春江河谷之间的地区闪电发生相对较少。

(2) 下垫面的温度: 在海区和陆地上的较大区域的水面上, 在对流季节的近地层温度

往往低于陆地,层结相对较稳定,对流发生的可能性较小,因此闪电次数和闪电日数均处较低水平,如大部分的近海海区、杭州湾和太湖地区为明显的低发区。

(3) 下垫面的粗糙度:城市区域建筑较多,导致近地层气流绕城区而行,因此在城市上游地区近地层辐散,不利于对流发生,而在下游地区,绕行气流形成辐合,有利于对流的发生。如在主要雷雨季节,上海地区近地层以西南偏西气流为主,在上海中心城区西侧的嘉定为闪电低发区,而处于下游方向的浦东地区和崇明东部的闪电密度是前者的 2 倍以上。

(4) 下垫面差异引起的局地锋区:往往是盛夏季节午后对流发生的触发机制,上海浦东东北部地区处于长三角顶端,夏季的海陆风锋或风切变常常在该地区触发对流的产生,是上海地区雷暴的多发地区,环太湖的湖风锋也有类似的触发作用。

(5) 下垫面属性的变化导致雷暴系统强度的跃变:当雷暴从陆地东移出海时,下垫面摩擦的减小和水汽供应的增加,使得雷暴突然加强,闪电次数明显增多,而雷暴继续东移后,大范围水面的冷却作用逐渐起到主导作用,使得雷暴有减弱的趋势。如启东东侧等沿岸的几个近海格点内闪电密度约 $12 \sim 15 \text{ 次} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,远远高于海区部分的平均闪电密度为 $3.19 \text{ 次} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

4 应用前景与讨论

由 LIS 观测资料得到的长三角地区闪电活动的时空分布特征,对该地区的雷暴监测、预报和防灾、减灾有重要指导意义。基于 LIS 闪电的月际分布和日变化,重点关注盛夏午后对流发展和春季上半夜雷暴系统;根据 LIS 闪电的空间分布,重点关注高发区雷暴出现可能及其强度突增,如山区迎风面、长三角的沿江地区和上海的东北部地区;城市规划时应避免在高发区内建设易遭雷电影响的建筑和企业,同时加强防雷系统的建设和检测。

由于 LIS 资料存在观测时间少和连续性问题,基于 LIS 的闪电时空分布气候特征的稳定性还有待于进一步检验。

致谢:感谢美国国家天气局(NWS)气象开发实验室(MDL)的 William Mattison 先生的建议和热情帮助。

参考文献

- 1 Christian H J, Blakeslee R J, Goodman S J, et al. The Lightning Imaging Sensor. Proceedings of the 11th International Conference on Atmospheric Electricity, Guntersville, Alabama, June 7 ~ 11, 1999. 746 ~ 749.
- 2 Christian H J, Blakeslee R J, Goodman S J, et al. Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) for the Lightning Imaging Sensor (LIS). NASA/ Marshall Space Flight Center, 2000.
- 3 Williams E R, 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 Appl Met*, 2000, **39**(12): 2223 ~ 2230.
- 4 Boccippio D J, Goodman S J. Regional differences in tropical lightning distributions. *J Appl Met*, 2000, **39**(12): 2231 ~ 2248.
- 5 郗秀书,周筠,袁铁,等.卫星观测到的全球闪电活动及其地域差异.地球物理学报,2003,**46**(6):743 ~ 750.

- 6 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. 中国科学(D辑), 2004, 34(4):298 ~ 306.
- 7 郝秀书, Ralf Toumi. 卫星观测到的青藏高原雷电活动特征. 高原气象, 2003, 22(3):288 ~ 293.
- 8 Boccippio D J, Koshak W J, Blakeslee R J. Performance assessment of the optical transient detector and lightning imaging sensor. Part I: Predicted diurnal variability. *J Atmos Oceanic Tech*, 2002, 19(9):1318 ~ 1332.
- 9 VAISALA 公司. SAFIR Site Selection, Site CMA-3000 Shanghai Area. 上海: 上海中心气象台, 2002.
- 10 Galway J G. The lifted index as a predictor of latent instability. *Bull Amer Meteor Soc*, 1956, 37:528 ~ 529.

ANALYSIS OF LIGHTNING ACTIVITY OVER THE YANGTZE RIVER DELTA USING TRMM/ LIS OBSERVATIONS

Dai Jianhua¹⁾²⁾ Qin Hong²⁾ Zheng Jie²⁾

¹⁾ (Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093)

²⁾ (Shanghai Meteorological Center, Shanghai 200030)

Abstract

In terms of TRMM/ Lightning Imaging Sensor (LIS) data, the lightning activity over the Yangtze River Delta from 1998 to 2004 is undertaken. After applying the observation efficiency correction for the LIS data and using the viewing times statistics of LIS over the target area, the temporal (annual and diurnal) and spatial distributions of LIS lightning are depicted. The number of lightning flashes observed by LIS varies year by year, and the maximum is about three times the minimum. About 60% of the lightning days and 70% of the lightning flashes of a year occurs during July and August, with lightning peaking in the afternoon. The lightning activity peaks in the early evening in other months. In Shanghai, severe thunderstorms often occurs when the number of LIS lightning flashes in a day is more than eight. Fewer lightning flashes and days are found over water areas. Some lightning activity centers are found downstream of metropolis such as the east part of Shanghai, and mountain areas such as Longmen Mountains. When moving off shore, some thunderstorms tend to intensify and produce more flashes. Results show that the temporal change in solar radiation brings about the temporal distribution of LIS lightning activity. The physical features of surface and topography may be major causes for the difference in the spatial distribution of lightning in mesoscale. Comparisons with ground-based observations, such as Doppler weather radar and the SAFIR total lightning localization system are also made.

Key words: Lightning Imaging Sensor (LIS) Lightning The Yangtze River Delta Spatial and temporal distributions