

文章编号: 2096-1618(2018)03-0326-09

北京与成都城市下垫面闪电时空分布特征对比研究

成鹏伟¹, 周筠珺^{1,2}, 赵鹏国¹, 刘恒¹

(1. 成都信息工程大学大气科学学院 高原大气与环境四川省重点实验室, 四川 成都 610225; 2. 南京信息工程大学气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 江苏 南京 210044)

摘要:下垫面是造成闪电时空分布不均匀重要原因之一,了解不同下垫面闪电时空分布特征对雷电防护是一项十分重要的工作。选取不同纬度不同下垫面的北京市与成都市,利用北京市与成都市 ADTD 地闪定位资料、MODIS 卫星资料、风云卫星资料,研究了两个典型城市下垫面地闪时空活动特征及其物理机制。地闪特征上北京市地闪电流强度及正地闪比例明显大于成都市。在时间尺度上,两市地闪变化呈现了不同的日变化特征。在地表覆盖类型上,北京市与成都市地闪主要分布在水体、农用地及植被区域等水汽条件较好区域上。在地形上,北京市与成都市地闪主要分布在山地平原交界带且相对海拔较低的地区,北京市与成都市地闪密度与海拔高度呈明显的负相关。北京市与成都市夜间地闪活动明显强于白天,且昼夜闪电时空分布与局地热岛强度空间分布有很好的响应。

关键词:大气物理学与大气环境;大气物理;地闪;局地热岛强度;时间变化;空间分布

中图分类号:P427.32

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcui.2018.03.016

0 引言

闪电活动地域差异明显^[1-8]。大量研究表明,不同下垫面是造成闪电活动区域性差异的重要原因^[9-17]。随着全球经济发展,城市化进入空前发展的阶段。城市化加速了以绿地、林木为主的下垫面转变为以建筑物和柏油路为主的的城市下垫面的进程^[18-19]。近年研究表明城市化所带来的云凝结核(CNN)和城市热岛效应(UHI)是影响闪电特征的重要因素^[14,20-21]。Westcott等^[22]在研究美国中部芝加哥市上空闪电活动时发现并提出热岛效应使强闪电多发生在城市上空及下游地区。Orville等^[20-22]研究发现城市热岛效应和人类活动产生的气溶胶是造成城市强闪电的重要原因。认为地表摩擦与城市热岛效应之间存在非线性相互作用,当热岛效应加强以及下垫面粗糙度增加时,就会导致低层气流辐合加强,稳定度减小,易于对流天气的发生。Naccarato等^[23]通过观测研究圣保罗市城市热岛效应对闪电的影响发现强闪电区与主城区和地表温度较高的区域对应。Rose等^[24]通过研究格鲁吉亚和亚特兰大地区地闪发现地闪与热岛效应及土地利用的变化密切相关。Kleber利用WWLLN(全球闪电定位网)闪电数据分析了巴西多个40万人口以上的城市的闪电空间分布,发现7个城市

由于城市热岛效应与气溶胶呈现出明显的城市效应的闪电分布。

中国地形辽阔,闪电活动区域性差异明显^[25-26],研究不同区域闪电时空分布特征,对揭示环境特征有很大的帮助。北京市与成都市分别是中国华北地区与西南地区的代表性城市,北京市地处华北平原北部,东北、北、西部群山环绕,东南部为平原,属于暖温带半湿润大陆性季风气候。成都市位于四川盆地西部岷江中游地区,东西两侧山脉包夹之间,属于亚热带季风性湿润气候。选取的这两座人口超过1500万且地理气候差异较大的城市,利用闪电定位资料、卫星资料和地形资料,对其闪电时空分布特征、地理特点及地表温度时空分布特征进行分析,获得两地闪电活动特征及影响闪电活动的部分因素,为气象防灾减灾提供参考依据。

1 资料与方法

1.1 闪电定位资料

利用成都市2005-2015年6-9月的ADTD闪电定位资料和北京市2008年、2015年和2016年6-9月的ADTD闪电定位资料,分析成都市和北京市闪电时间变化和空间变化。在方法上,对ADTD闪电定位资料进行质量控制,去除地闪10KA以下的小幅值地闪^[27-28]。运行Excel和Origin工具软件对地闪进行统计分析,并结合软件Arcgis绘制北京市与成都市的空间分布。

收稿日期:2018-01-02

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973计划)资助项目(2014CB441401);国家科技支撑计划资助项目(2015BAC03B00);四川省教育厅资助项目(16CZ0021)

表1

	气候特点	纬度	海拔/m	地形	人口/万人
北京市	暖温带半湿润大陆性季风气候,夏季高温多雨,冬季寒冷干燥	39°26'N ~ 41°03'N	0 ~ 2200	位于华北平原,三面环山,总体呈西北高东南低	2114.8
成都市	亚热带季风性湿润气候,冬春雨少,夏秋多雨,雨量充沛	30°05'N ~ 31°26'N	400 ~ 4869	川西北高原向四川盆地过渡的交接地带,西侧龙门山脉东侧龙泉山脉	1591.8

1.2 MODIS 地表温度资料

利用2005–2015年modis卫星MOD11A2资料分析北京市和成都市地表温度及热岛强度时空分布。MOD11A2主要提供的是8 d一次的地表温度(LST)的影像数据。由于有云等因素的干扰,得到的北京市和成都市地表温度存在不少异常像元值。通过用相邻8 d的或上下一年同一天的影响数据进行替换或修补,以此方法对数据进行质量控制。

地表温度由像元的亮度值表示。运用亮度值与地表温度间的定量关系,通过公式(1)将像元的亮度值BLST(Cell Value)转化为地表温度值,单位为℃。

$$T_{LST} = 0.02 \times B_{LST} - 273.15 \quad (1)$$

热岛强度是对整个城市热岛效应在数值上的一种概括描述,并不涉及具体的空间分布特征,为表征城市热岛效应的空间分布和强度变化,研究引入新的热岛表征量——局地热岛强度公式。

$$I_{UHlocal} = (T_{skin} - T_{mean}) / T_{mean} \quad (2)$$

即将目标地的平均地表温度作为标准代入计算以反映目标地的每一像元的热岛强度。其中, $I_{UHlocal}$ 是目标地某一像元的局地热岛强度(局地UHI), T_{skin} 是目标地某一像元的地表温度, T_{mean} 是目标地的平均地表温度^[19]。根据计算后的结果,对城市热岛效应的强度进行等级划分,表2为其分级标准。

表2 局地热岛强度等级划分

$I_{UHlocal}$	热岛等级
< 0	无
0 ~ 0.1	弱
0.1 ~ 0.2	中等
0.2 ~ 0.3	强
> 0.3	极强

1.3 地形资料

利用SRTM地形产品数据并结合地理信息系统软件Arcgis10.2绘制成都市与北京市地形图。

1.4 云图资料

利用2014–2016年6–9月风云2号卫星红外云图资料,对北京市与成都市产生地闪的主要MCS进行分类。

表3 基于红外云图分析MCS定义

MCS分类	水平尺度	满足大小条件 持续时间/h	形状
M α CC	200 ~ 2000 km	≥ 6	最大时 $0.2 \leq$ 偏心率 < 0.7
M α CSs			最大时 偏心率 ≥ 0.7
M β CC	20 ~ 200 km	≥ 3	最大时 $0.2 \leq$ 偏心率 < 0.7
M β CSs			最大时 偏心率 ≥ 0.7

2 结果分析

2.1 地闪特征

如表4所示,北京市6–9月地闪平均电流强度35.66 kA,正地闪平均电流强度64.39 kA,正地闪百分率为10.4%,与近年对北京地区闪电正地闪比例10%左右的研究结果一致^[26]。电流强度24.97 kA,正地闪平均电流强度37.93 kA,正地闪百分率为5.5%。王维佳等^[29]利用XDD03A检测系统发现成都地区正地闪比例88.37%,与文中研究结果差别较大。对比两地地闪特征发现,北京市平均电流强度及正地闪百分率都大于成都市。

表4 北京与成都6–9月地闪特征

	总闪平均电流强度/kA	负地闪平均电流强度/kA	正地闪平均电流强度/kA	正地闪百分率/%
北京	35.66	32.35	64.39	10.4
成都	24.97	24.22	37.93	5.5%

2.2 地闪日变化特征

从北京市地闪频次日变化(图1)可知,北京地闪、负地闪日变化特征明显,呈明显双峰双谷型。两个峰值分别出现在2-3时、10-11时。9-11时为第一个地闪多发期,这个时期地闪发生主要集中于延庆地区,这主要是由于延庆地区特殊地形,处于盆地地区,9-11时太阳辐射逐渐加强在延庆地区形成局地热岛利于地闪发生。17时是北京地闪的第二个小峰值,这主要是由于12-18时太阳辐射逐渐加大并达到一天太阳辐射最强,地表受辐射温度升高低层大气受热,大气动力与热力条件逐渐充沛,有利于对流发展产生雷暴。20-2时北京市地闪频次一天最大时期,这主要是由于夜间在密云水库等水体温度高于周边地区形成局地热岛,利于水体附近形成对流,有利于雷暴的产生。正地闪日变化呈单峰值特征,最大值出现在17-19时。据研究表明,北京市午后到傍晚冰雹发生最多占70%^[30],强雷暴中正地闪发生与固态降水强度最大阶段相对应^[31-36],与北京正地闪日变化特征一致。

从成都市地闪频次日变化(图2)可知,成都地闪、负地闪及正地闪日变化特征明显,呈明显的单峰单谷型。地闪最大值出现在午夜1-3时,最小值正午11-13时。成都市12-18时地闪频次逐渐增加,这主要是由于随着太阳辐射的增强,地表温度增大有利于对流的产生,地闪逐渐增加。22-3时是成都市一天地闪频次最大时期,成都市地闪日变化具有明显的夜发性,这主要是由于夜间成都市城区及各县城驻地形成局地热岛,为对流的发生提供良好的动力条件与热力条件,有利于雷暴的形成。成都市年平均每小时内累计地闪次数在1024次,最多是发生在1-2时多达2280次,最少是12-13时为230次,最多闪电次数是最少的9倍以上。说明成都地区,从23时至次日6时是一天发生强对流雷暴天气的集中发生期,也是雷电防御的关键时期。

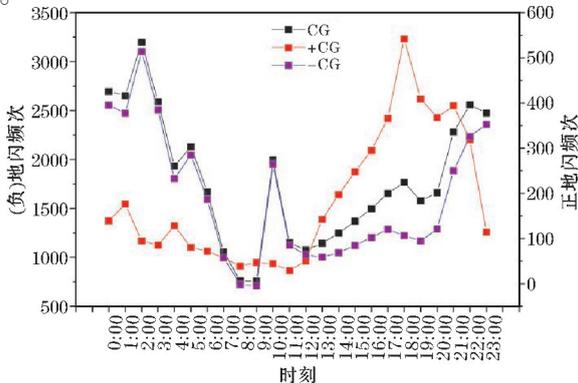


图1 北京市地闪日变化

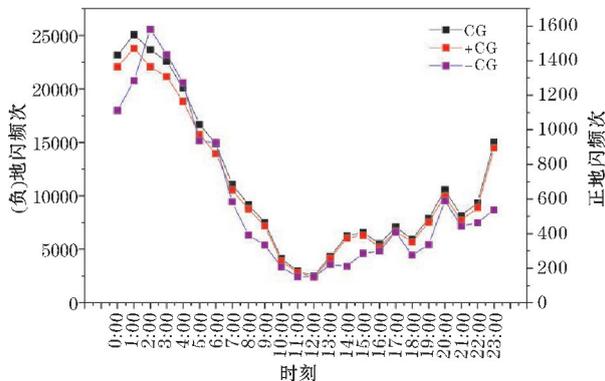
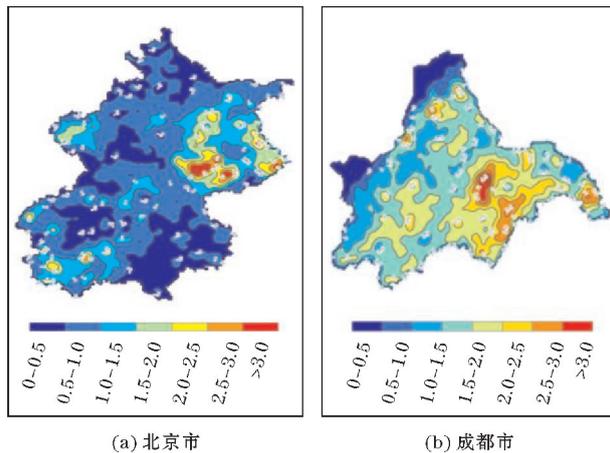


图2 成都市地闪日变化

2.3 地闪空间分布

图3(a)是北京市2008、2015、2016年6-9月地闪密度空间分布示意图。由图3(a)可知,北京市地闪活动分布不均,市内顺义区、密云县、平谷区、门头沟区、房山区和延庆县为地闪活动的多发区,其中顺义区地闪密度最大值达到3.5次/(平方公里·年)。大兴区、通州区地闪密度最小。



(a)北京市 (b)成都市
图3 北京市与成都市地闪空间分布

图3(b)是成都市2005-2015年6-9月地闪密度空间分布示意图。由图3(b)可知成都市地闪分布不均,地闪分布总体上呈东南向西北递减的趋势。成都市区、双流区、龙泉驿区及金堂县地闪分布最为密集,其中成都市区地闪密度最大值达到4.5次/(平方公里·年)。

2.4 地形对地闪空间分布的影响

由图4(a)和4(b)可知北京市地形地貌景观总体呈西北高东南低,北部的军都山属燕山山脉,西属太行山脉。燕山与太行山在关沟交会,北京东南部为平原。北京境内海拔最高出约2219 m,海拔落差较大。北京地区地闪主要分布在山脉与平原的交界地带,地闪分布区域与山脉走向趋于一致,这些地区地形地貌复杂,

多属山地、丘陵。地形为雷暴的产生提供了一定动力条件,地形对气流的强迫抬升作用有利于触发雷暴天气的发生。密云、平谷地区植被覆盖率高,密云地区三面环山且北京最大的密云水库所在地,水汽充足有利于雷暴天气的发生。平谷地区东部北部环山,顺义地区处于喇叭口地形山口位置,为雷暴产生提供有利条件。延庆县西南部处于谷地地形,有研究表明,峡谷地形所产生的动力条件及热力条件有利于对流活动的产生^[32-34]。门头沟、房山地区属山地地形,地形起伏变化,暖湿空气受到地形抬升作用冷却有利于形成雷暴。这些是这些地区地闪密集的主要原因。

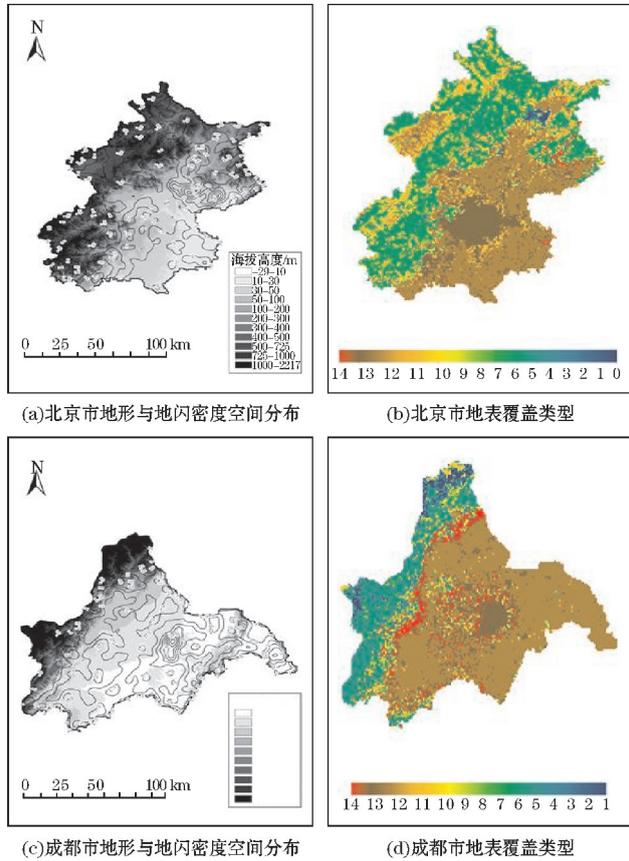


图 4 地形与地闪密度空间分布及地表覆盖类型

有图 4(c) 和 4(d) 可知,成都市位于青藏高原向川西平原的过渡带,东部和西部分别是呈东北-西南走向的龙门山脉和龙泉山脉,南邻长丘山,成都市海拔最高处约 4869 m,最低处约 400 m,海拔落差大。地闪主要分布在山地平原交界带及平原地区,地闪密度分布可分为 3 个大值区,东部龙泉山脉一带、北部龙门山脉一带和西部龙门山南段延伸山系一带。其中东部龙泉山脉一带最多。这主要是由于该地区水系众多,提供充分的水汽条件且成都东部的龙泉山脉海拔较低与丘陵平原相连且坡度较缓受到副高阻塞系统影响时,山区与平原地带形成热力差异,在迎风坡位置受地形

抬升作用,易于触发不稳定能量产生对流;而西部郫县与大邑县邛崃县交界地一带受到龙门山脉的影响海拔较高,温度较低,且坡度大,山脉的走向呈东北-西南走向在雷暴多发季节,底层通常为偏东风,会减弱雷暴发生时的热力与动力条件,地闪频次相对较少。

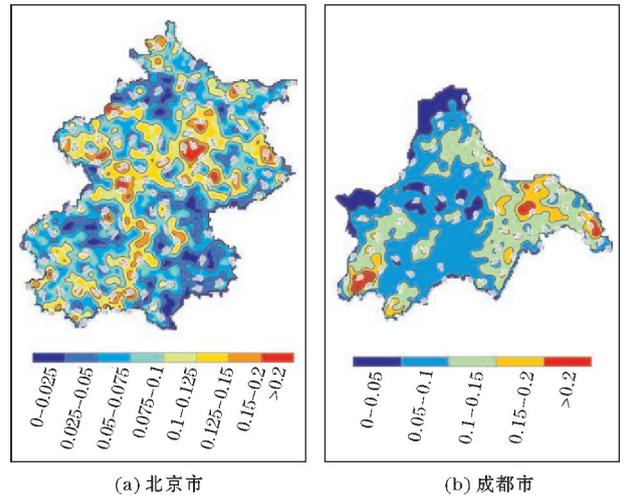
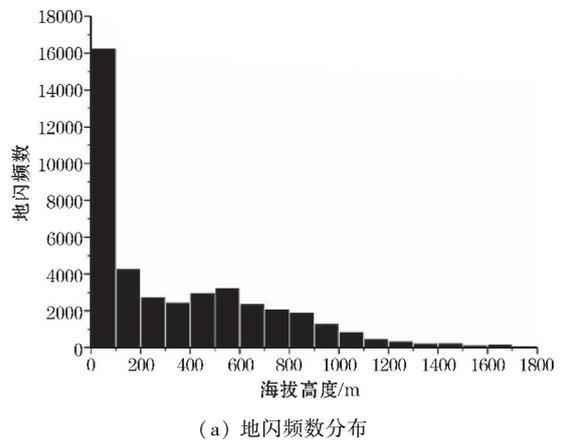
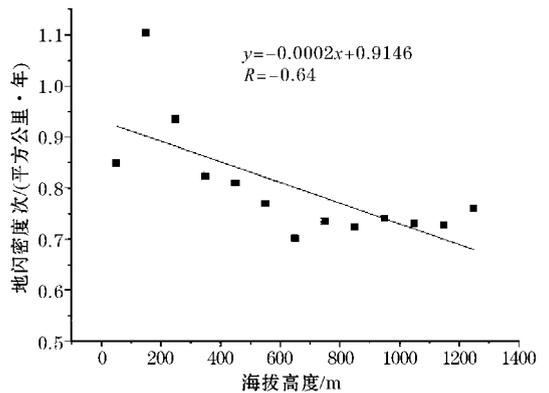


图 5 北京市与成都市正地闪空间分布



(a) 地闪频次分布



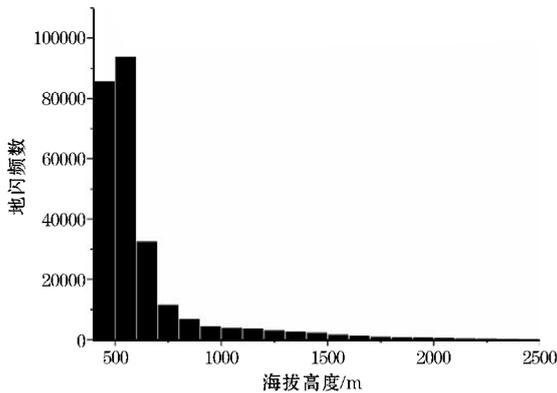
(b) 地闪密度的拟合函数关系图

图 6 北京市不同高度地闪频次分布、地闪密度的拟合函数关系

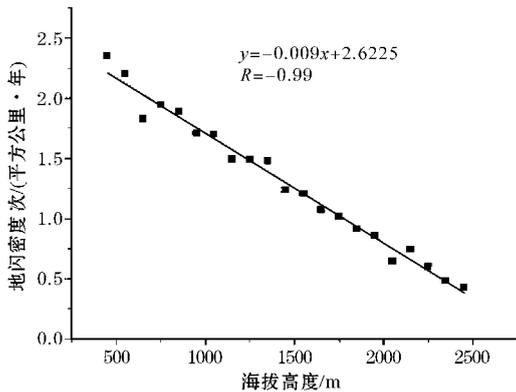
由图 5 可知北京市和成都市正地闪空间分布于总地闪空间分布有较大的不同,北京市正地闪主要海拔落差较大的地区沿山地与平原交界带走向分布,在统计的 2015 年和 2016 年主要的 36 个雷暴过程中由西

北-西南或西-东移入北京的中尺度天气系统由 19 个,占总体53%,且 19 个天气系统中正地闪占总闪的 27.8%,大于北京市正地闪10.4%的比例。这主要是由于由西或西北方向移入北京雷暴云在雷暴下山过程中会使雷暴云中垂切变的增大,且使雷暴云发生结构发生倾斜,雷暴云上部正电荷暴露,易于产生正地闪。成都市正地闪空间分布也主要分布在龙泉山脉两侧及龙门山脉西段海拔落差较大地区。龙门山脉西段处于西南暖湿气流主要路径上,雅安地区移入成都天气系统在经过时由于加大的海拔落差产生风切变使雷暴云发生倾斜,利于正地闪的发生。

图 6(a)是 2008、2015、2016 年 6-9 月北京地区不同海拔高度地闪频数分布情况。由图 6(a)可知北京地区地闪主要分布在海拔 1 km 以下地区,其中海拔 0-100 m 地闪最多,随着海拔高度的增加地闪数量逐渐减少。图 6(b)是北京地区闪电密度与海拔高度的拟合函数关系,由图 6(b)可知,闪电密度随着海拔高的升高逐渐减小,北京地区闪电密度与海拔高度呈明显的负相关,相关系数达到-0.64, $P=0.07$ 。



(a) 地闪频数分布

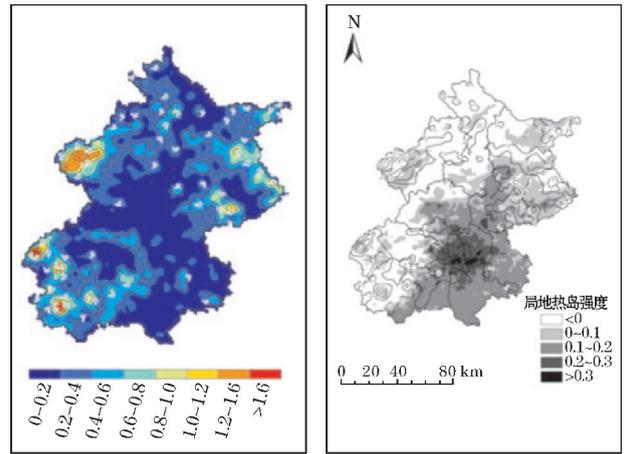


(b) 地闪密度以拟合函数关系

图 7 成都市不同高度地闪频数分布、地闪密度的拟合函数关系

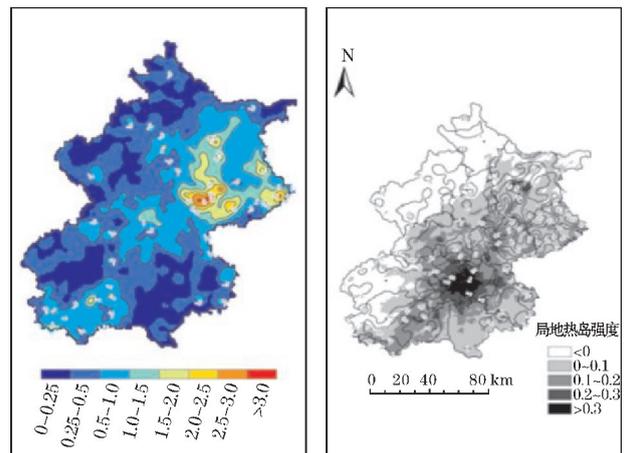
图 7(a)是 2005-2015 年 6-9 月成都地区不同海拔高度地闪频数分布情况。由图 7(a)可知成都地区地闪主要分布在海拔 1 km 以下地区,其中海拔 390 ~

600 m地闪最多,随着海拔高度的增加地闪数量逐渐减少。图 7(b)是成都地区闪电密度与海拔高度的拟合函数关系,由图 7(b)可知,闪电密度随着海拔高度的升高逐渐减小,成都地区闪电密度与海拔高度呈明显的负相关,相关系数达到-0.99, $P<0.0001$ 。



(a) 地闪密度 (b) 局地热岛强度

图 8 北京市白天地闪密度、局地热岛强度



(a) 地闪密度 (b) 局地热岛强度

图 9 北京市夜间地闪密度、局地热岛强度

2.5 昼夜局地热岛强度对地闪空间分布的影响

北京市白天局地热岛强度与闪电密度分布如图 8 所示,由图 8(b)可知,北京市白天局地热岛强度东南部平原地区如,海淀区、东城区、朝阳区、崇文区、丰台区、宣武区、西城区和石景山区的局地热岛强度达到 0.2 ~ 0.3,属于强热岛,为北京热岛强度最强的地区。白天延庆地区有部分地区局地热岛强度达到 0 ~ 0.1,属于弱热岛。局地热岛强度分布在海拔较低地区,对比地闪密度分布,地闪主要分布在中等热岛、弱热岛、无热岛地区的交界地区,局地的热力差异为雷暴的产生提供了一定的条件。北京市白天局地热岛强度与闪电密度分布如图 9 所示,由图 9(b)可知北京市夜间局

地热岛强度分布与白天基本相似,对比白天位于延庆县西南部、门头沟与房山地区的局地热岛消失,该地区的闪电密集区也相应消失。北京市城区夜间局地热岛强度加强且范围增大,其城区地闪密度也随之加强,但对比其他夜间局地热岛强度加强地区地闪密度增大的幅度不明显,对比图4北京市土地地表覆盖类型发现北京市城区城市下垫面覆盖率达到90%以上,这虽然为雷暴的发生提供了良好的热力条件但城市下垫面缺乏对雷暴发生持续所需要的水汽供应,所以北京市城区夜间热岛强度虽强但不是地闪密度大值区。密云水库位置相比白天夜间形成了强热岛,密云、顺义、平谷等地区局地热岛相比白天有一定的加强,这些地区局地热力差异的增大是造成该地区闪电密度增大的主要原因。

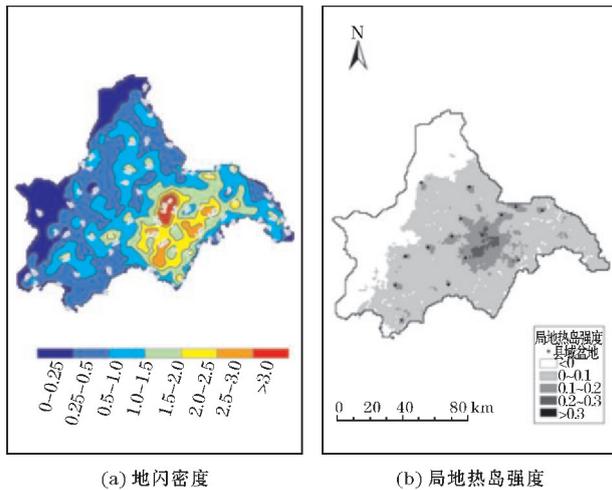


图10 成都市白天地闪密度、局地热岛强度

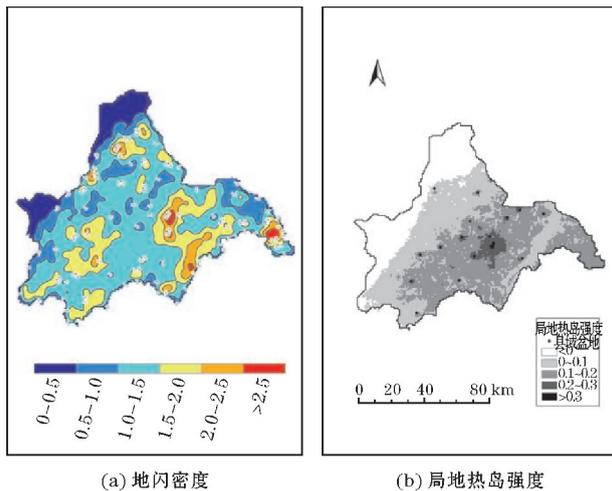


图11 成都市夜间地闪密度、局地热岛强度

成都市白天局地热岛强度与闪电密度分布如图10所示,由图10(b)可知成都市白天局地热岛强度空间分布呈中间高,四周低的特点。成都市区及其周边县城如热岛强度为0.1~0.2,属于中等热岛强度,成都

市区热岛强度为0.2~0.3,局部地区热岛强度大于0.3,属于极强热岛强度。除都江堰市县城,其他县城热岛强度大于周边地区,属热岛强度局部大值区,热岛强度分布与县城分布和地形地貌密切相关。成都市夜间局地热岛强度与闪电密度分布如图11所示,由图11(b)可知,成都市夜间局地热岛强度与白天大致相似,但夜间县城驻地所在地局部热岛强度、范围增大,其中城市下垫面最密集区的成都市区最为明显局部热岛达到0.3以上,范围更大,夜间局地热岛强度更强,分布区域更广。如图4所示对比北京城区虽然成都市中心城区也是城市下垫面的地表覆盖类型为主,但成都市城区城市下垫面覆盖率低北京市且成都市区内岷江水系覆盖,成都市区水汽条件较好,所以当成都市城区夜间局地热岛强度增大时地闪密度随之增大。于此对比成都地区昼夜地闪空间分布发现,白天地闪主要集中在成都市区、双流区及龙泉驿区,而夜间地闪形成了位于东部龙泉山脉一带、北部龙门山脉一带、西部龙门山南段延伸山系一带及金堂县东部的4个地闪密度大值区。对比这4个地区的昼夜地闪密度及局地热岛强度可知,局地热岛强度的增强增大了地闪密度并改变了地闪密度大值区的位置,城市热岛所造成的局地热力差异增大是这些地区地闪密度增加的重要原因。

2.6 北京与成都不同类型天气过程统计

如表5所示,2015年、2016年6-9月北京发生地闪主要天气过程统计发现,其中由西北方、西方或北方移入北京的系统占67%,由东南方或南方移入北京系统占14%,局地产生系统占19%。线状MCSs过程多发生在午后,由西北或西方向移入北京,且这几次天气过程中正地闪的比例为27.8%,远高于北京2015、2016年6-9月正地闪比例14.2%。单体状MCSs过程多发生在午夜12时左右,由密云、怀柔地区生成并发生发展。虽然北京午后天气过程较多但是所产生地闪相对较少,地闪多集中发生在午夜12:00左右怀柔密云等地的天气过程。北京雷暴天气过程多有西或西北方移入北京产生地闪,后减弱再密云怀柔等地再次发生发展。

如表6所示,2015年、2016年6-9月北京发生地闪主要天气过程中, $M\alpha CC$ 占5.5%, $M\alpha CSs$ 占36.1%, $M\beta CS$ 占55.6%, $M\beta CC$ 占2.8%,正地闪比例分别为15%、12.5%、28%、14.9%,北京市2015、2016年6-9月正地闪比例为14.2%。如表7所示,2014、2015年6-9月成都地闪主要天气过程中, $M\alpha CC$ 占34.8%, $M\alpha CSs$ 占36.1%占39.1%, $M\beta CSs$ 占26.1%。正地闪比例分别为4.02%、2.09%、1.71%,成都市2014、

2015年6-9月正地闪比例为3.5%。北京与成都不同类型天气过程比例与其相应正地闪比例对比发现,北京市各类天气过程正地闪比例远大于成都市各类天气过程,这是北京市高于成都市正地闪比例的主要原因。而北京市与成都市各类天气过程对比发现, $M\alpha CC$ 、 $M\beta CSs$ 、 $M\beta CC$ 中正地闪比例高于平均正地闪比例,而 $M\alpha CSs$ 低于平均正地闪比例。北京与成都相比,北京雷暴天气过程更多,雷暴天气持续时间相对较短,天气过程移动明显,而成都市雷暴天气过程较少,成都市雷暴天气系统多为局地产生且移动不明显,天气系统多

更加深厚。北京市与成都市各类型天气过程比例的不同及各类型中尺度天气系统结构差异是造成北京市与成都市地闪极性不同的主要原因。

表5 2015、2016年6-9月北京市不同类型天气系统(移动方向)统计情况

类型	西北方、西方或北方	西南方、东南方或南方	局地
线状	18	4	1
单体	6	1	6

表6 2015、2016年6-9月北京市不同类型天气系统统计情况

类型	发生日期	次数	比例/%	正地闪比例/%
$M\alpha CC$	2015.6.26、2016.7.25	2	5.5	15
$M\alpha CSs$	2015.6.6、2015.6.8、2015.6.9、2015.7.4、2015.7.13、2015.7.27、2015.7.29、2015.8.1、2015.8.30、2016.6.9、2016.7.30、2016.9.4、2016.9.10	13	36.1	12.5
$M\beta CC$	2015.7.16	1	2.8	28
$M\beta CSs$	2015.6.5、2015.6.16、2015.6.17、2015.6.26、2015.7.17、2015.7.17、2015.7.30、2015.7.30、2015.8.5、2015.8.7、2015.8.22、2015.8.23、2015.8.28、2015.8.30、2016.6.10、2016.6.13、2016.7.30、2016.8.11、2016.8.12、2016.9.7	20	55.6	14.9

表7 2014、2015年6-9月成都市不同类型天气系统统计情况

类型	发生日期	次数	比例/%	正地闪比例/%
$M\alpha CC$	2014.7.9、2014.7.10、2014.7.28、2014.7.30、2014.8.7、2015.6.22、2015.6.27、2015.8.3	8	34.8	4.02
$M\alpha CSs$	2014.6.4、2014.7.20、2014.7.21、2014.7.22、2014.7.23、2014.7.27、2015.6.29、2015.7.20、2015.8.2	9	39.1	2.09
$M\beta CSs$	2014.7.20、2014.7.30、2015.7.18、2015.7.20、2015.7.27、2015.7.29	6	26.1	1.71

3 结论

通过对北京市与成都市6-9月地闪定位资料分析,研究了两个典型下垫面地闪活动特征,分析了地闪与中尺度天气类型、下垫面覆盖类型、地形地貌和局地热岛强度等因素的相应,主要结论如下:

(1)地闪极性上,北京市总地闪平均电流强度35.66 kA,正地闪平均电流强度为64.39 kA,正地闪比例为10.4%。成都市总地闪平均电流强度25.27 kA,正地闪平均电流强度为38.85 kA,负地闪平均电流强度为24.47 kA,正地闪比例为5.5%。北京市电流幅值与正地闪比例明显大于成都市。

(2)北京市地闪、负地闪频次日变化特征,呈明显双峰双谷型,正地闪日变化呈单峰值特征。成都市地闪、负地闪、正地闪日变化特征一致,呈明显的单峰单谷型。

(3)下垫面类型上,北京市和成都市地闪主要分布在下垫面覆盖类型为水体、农用地及植被等类型区

域。

(4)地闪空间分布上,北京市与成都市地闪主要分布在山地及平原交界带上。正地闪主要分在海拔落差较大区域且与主要对流天气系统来向密切相关。对流天气系统在移动中路经海拔落差大的地区时雷暴云电荷结构会发生转变。

(5)北京市与成都市昼夜地闪空间分布与昼夜局地热岛强度空间分布有很好的相应,夜间局地热岛强度的增强是夜间地闪增多的主要原因之一。

致谢:感谢成都市科技惠民技术研发项目(2016-HM01-00038-SF);成都信息工程大学气象科普基地示范项目(2017KZ0015)对本文的资助

参考文献:

- [1] Claudia K Walters, Julie A Winkler. Diurnal Variations in the Characteristics of Cloud-to-Ground Lightning Activity in the Great Lakes Region of the United States [J]. Professional Geographer, 1999, 51(3):349-366.

- [2] 郝秀书,周筠珺,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(6):743-750.
- [3] 朱润鹏,袁铁,李万莉,等. 基于卫星观测资料的全球闪电活动特征研究[J]. 气候与环境研究, 2013,18(5):639-650.
- [4] 成勤,王学良,肖稳安,等. 我国中部五省云地闪电时空分布特征分析[J]. 暴雨灾害, 2011, 30(3):254-259.
- [5] 王学良,刘学春,黄小彦,等. 湖北地区云地闪电时空分布特征分析[J]. 气象, 2010,36(10):91-96.
- [6] 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.
- [7] 冯桂力. 山东地区对流天气的地闪演变和分布特征研究[D]. 青岛:中国海洋大学, 2003.
- [8] 周筠珺,孙凌,杨静,等. 中国西南及其周边地区雷电活动的特征分析[J]. 高电压技术, 2009,35(6):1309-1315.
- [9] Seaman N L, Ludwig F L, Donall E G, et al. Numerical Studies of Urban Planetary Boundary-Layer Structure under Realistic Synoptic Conditions[J]. Journal of Applied Meteorology, 2010,28(28):760-760.
- [10] LIN, Wang W, B. L I, et al. The impact of urbanization on the monthly averaged diurnal cycle in October 2004 in the Pearl River Delta region[J]. Atmosfera, 2010,23(1):37-51.
- [11] 蒙伟光,闫敬华,扈海波. 热带气旋背景条件下的城市效应与广州夏季雷暴[J]. 中国科学(D辑:地球科学), 2007(12):1660-1668.
- [12] 吴庆梅,杨波,王国荣,等. 北京地形和热岛效应对一次 β 中尺度暴雨的作用[J]. 气象, 2012,38(2):174-181.
- [14] 徐蓉,苗峻峰,谈哲敏. 南京地区城市下垫面特征对雷暴过程影响的数值模拟[J]. 大气科学, 2013,37(6):1235-1246.
- [15] 陈双,王迎春,张文龙,等. 复杂地形下雷暴增强过程的个例研究[J]. 气象, 2011,37(7):802-813.
- [16] 孙靖,程光光. 北京城区热动力条件对雷暴下山后强度的影响[J]. 高原气象, 2017(1):207-218.
- [17] 刘畅,赵鹏国,周筠珺,等. 复杂地貌区域内的地闪特征分析[J]. 高压电器, 2011,47(1):22-28.
- [18] 张杨,江平,陈奕云,等. 基于 Landsat TM 影像的武汉市热岛效应研究[J]. 生态环境学报, 2012,21(5):884-889.
- [19] 李晓敏,曾胜兰. 成都、重庆城市热岛效应特征对比[J]. 气象科技, 2015,43(5):888-897.
- [20] Orville R E, Huffines G, Nielsen Gammon J, et al. Enhancement of cloud-to-ground lightning over Houston, Texas [J]. Geophysical Research Letters, 2001,28(13):2597-2600.
- [21] Van d H S C, Cotton W R. Urban Aerosol Impacts on Downwind Convective Storms [J]. Journal of Applied Meteorology & Climatology, 2007, 46(6):828-850.
- [22] Westcott N E. Summertime Cloud-to-Ground Lightning Activity around Major Midwestern Urban Areas [J]. Journal of Applied Meteorology, 1995,34(7):1633-1642.
- [23] Naccarato K P, Jr O P, Pinto I R C A. Evidence of thermal and aerosol effects on the cloud-to-ground lightning density and polarity over large urban areas of Southeastern Brazil [J]. Geophysical Research Letters, 2003,30(13):1-7.
- [24] Rose L S, Stallins J A, Bentley M L. Concurrent Cloud-to-Ground Lightning and Precipitation Enhancement in the Atlanta, Georgia (United States), Urban Region [J]. Earth Interactions, 2008,12(11):1.
- [25] 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.
- [26] 李如箭,逯曦,张华明,等. 2008-2010年北京地区云地闪时空分布特征[J]. 气象与环境科学, 2013,36(2):52-56.
- [27] Carey L D, Rutledge S A, Petersen W A. The Relationship between Severe Storm Reports and Cloud-to-Ground Lightning Polarity in the Contiguous United States from 1989 to 1998 [J]. Monthly Weather Review, 2003,131(7):1211.
- [28] Pineda N, Rigo T, Bech J, et al. Lightning and precipitation relationship in summer thunderstorms: Case studies in the North Western Mediterranean region [J]. Atmospheric Research, 2007,85(2):159-170.
- [29] 王维佳,刘建西,孙林生. 成都地区地闪时空特征分析[J]. 气象科技, 2006,34(6):667-673.
- [30] 叶彩华,姜会飞,李楠,等. 北京地区冰雹发生的时空分布特征[J]. 中国农业大学学报, 2007,12(5):34-40.

- [31] 张义军,言穆弘,张翠华,等.甘肃平凉地区正地闪特征分析[J].高原气象,2003,22(3):295-300.
- [32] 吴翠红,张萍萍,龙利民,等.峡谷地形对两次大暴雨过程的增幅作用对比分析[J].暴雨灾害,2013,32(1):38-45.
- [33] 余锦华,傅抱璞.山谷地形对盛行气流影响的数值模拟[J].气象学报,1995,53(1):50-61.
- [34] 彭乃志,傅抱璞,刘建栋,等.三峡库区地形与暴雨的气候分析[J].南京大学学报(自然科学版),1996(4):728-731.
- [35] 孙靖,程光光.北京城区热动力条件对雷暴下山后强度的影响[J].高原气象,2017(1):207-218.
- [36] 郭凤霞,陆干沂,吴鑫,等.强雷暴中正地闪发生的条件[J].中国科学:地球科学,2016,46(5):730.

A Comparative Study on Space-time Distribution Characteristics of Lightning Flashes in Beijing and Chengdu Cities

CHENG Peng-wei¹, ZHOU Yun-jun^{1,2}, ZHANO Peng-guo¹, Liu Hen¹

(1. College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Plateau Atmospheric and Environment Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610225, China; 2. Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: The difference of underlying surface is one of the main reasons for the uneven spatial and temporal distribution of lightning, and it is a very crucial work for lightning protection to learn about the lightning temporal and spatial distribution features of different underlying surface. Beijing and Chengdu with different underlying surfaces at different latitudes were selected. According to ADTD flash location data, MODIS satellite data, wind and FY-2 Meteorological satellite data of Beijing and Chengdu, the temporal and spatial characteristics of CG lightning flashes in two cities and its physical mechanism were studied. In terms of CG flashes characteristics, the intensity of lightning current and the percentage of positive CG flashes in Beijing are significantly larger than those in Chengdu. In terms of time scale, the CG flashes changes of the two cities show different diurnal variations. In terms of the type of underlying surface coverage, the ground flashover in Beijing and Chengdu is mainly distributed in areas with better water vapor conditions such as water bodies, agricultural land and vegetation areas. On the topography, the CG flashes in Beijing and Chengdu are mainly distributed in the junction of mountainous plains and in relatively low altitude areas. The density of CG flashes in Beijing and Chengdu decreased gradually with the elevation, and the density of CG flashes was significantly negatively correlated with the altitude. The nighttime CG flashes activities in Beijing and Chengdu were significantly stronger than those in daylight, and the temporal and spatial distributions of daytime and nighttime CG flashes had a good response to the spatial distribution of local urban heat island intensity.

Keywords: atmospheric physics and atmospheric environment; atmospheric physics; cloud-to-ground lightning flashes; local urban heat island; temporal variation; spatial distribution