引文格式：李璇琼, 梁延龙. 成都热岛效应研究在公园城市建设中的应用[J]. 地理空间信息, 2023, 21(5): 54-58. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2023.05.013

成都热岛效应研究在公园城市建设中的应用

李璇琼[1]，梁延龙[1]
（1. 四川建筑职业技术学院，四川 德阳 618000）

摘　要：随着成都城市化进程的加快，热岛效应逐渐加剧，而公园城市建设是缓解热岛效应的有效手段。基于Landsat8影像，利用劈窗算法反演得到地表温度，进而得到研究区净辐射通量和土壤热通量的热辐射分布特征，并根据成都热岛效应分布特征提出了公园城市建设的措施。结果表明，成都热岛效应冬季更明显；主城区地表温度高、热通量大，郊县热通量小，热岛效应较低。由回归分析可知，成都热岛效应与植被覆盖度呈线性负相关，净辐射通量与地表温度呈线性正相关，环境空气质量与热岛效应呈线性正相关。

关键词：遥感；公园城市；热岛效应；净辐射通量
中图分类号：P237　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2023）05-0054-05

Application of Heat Island Effect Study on Park City Construction in Chengdu

LI Xuanqiong[1], LIANG Yanlong[1]
(1. Sichuan College of Architectural Technology, Deyang 618000, China)

Abstract: With the acceleration of Chengdu urbanization, the heat island effect is gradually increasing. The park city construction is an effective means to alleviate the heat island effect. Based on Landsat8 images, we obtained surface temperature by using split window algorithm, and then calculated the net radiation flux and obtained the heat radiation distribution characteristics of soil heat flux. Finally, according to the distribution characteristics of heat island effect in Chengdu, we put forward the corresponding measures for the park city construction. The results demonstrate that the heat island effect in Chengdu is significantly high. The heat flux in suburb is relatively low and heat island effect is relatively weak. The surface temperature of study area is negatively correlated with vegetation coverage. The net radiation flux is positively linearly correlated with surface temperature. The heat flux is negatively correlated with vegetation coverage. The air quality is positively correlated with the heat island effect.

Key words: remote sensing, park city, heat island effect, net radiation flux

随着我国经济和社会的持续快速发展，城市化水平显著提高，随之而来的环境污染和气候变化等问题日益凸显。城市影响局地气候的方式主要为“五岛效应”（热岛、雾岛、雨岛、干岛、混浊岛），其中热岛效应最为著名，严重影响人民健康、生产和生活。成都地处盆地，大气扩散条件较差，城市化进程引起的热岛效应和雾霾等环境问题逐渐加剧。因此，研究城市热岛效应，提出预防和解决措施，实现城市居民与大气环境之间的长期和谐共处是迫切需要解决的问题。国家提出公园城市的建设理念，正是解决该问题的有效途径之一。许多学者对不同地区进行了热岛效应研究，如陈婉佳[1]等利用成都市Landsat8影像研究了不透水面及其热环境关系；王方[2]等基于Landsat8进行了常熟市热岛效应监测；王菲[3]基于Landsat8影像利用劈窗算法反演了济南地区地表温度；吴志刚[4]等基于Landsat8进行了武汉市热岛效应分析；王煜东[5]等利用Landsat8影像完成了南京市地表温度反演，并计算了热通量。土壤热通量、净辐射通量和地表温度能清晰表征地表能量平衡和资源环境变化，是反映热岛效应的重要因子。地面监测无法实现大面积获取地表参数；而遥感技术具有大面积同步观测、时效性高等特征，在地表温度监测方面应用广泛。本文首先利用Landsat8遥感影像计算研究区亮度温度；再利用劈窗算法反演地表温度，并计算净辐射通量和土壤热通量；然后分析热岛效应与植被覆盖度、净辐射通量与环境空气质量的相关性；最后有针对性地提出公园城市建设的相关措施。

1　公园城市建设理念

2018年2月11日习近平总书记赴四川视察，在天

收稿日期：2021-11-30；修回日期：2022-01-18。
项目来源：四川省教育厅自然科学创新团队资助项目（16TD0040）；德阳市科技计划重点研发资助项目（2020SZZ051）。
第一作者简介：李璇琼（1984—），博士，副教授，从事GIS、遥感及生态环境方面的研究，E-mail：195508249@qq.com。

府新区调研时首次提出公园城市的全新理念和城市发展新范式。公园城市作为新的城市建设理念，是未来城市可持续发展的一种道路选择，使实现人与人、人与自然和谐相处的社会状态成为可能。习近平总书记指出，要统筹好生产、生活、生态三大空间布局，在建设人与自然和谐相处、共生共荣的宜居城市方面创造更多经验。公园城市正是“一公三生”的体现，在城市区域内实现长期的人—水—大气—生态—建筑之间的科学要素配置与空间分布，实现生态环境中物质与能量的合理协同流动与永续循环。公园城市建设的一个标志是城市植被和水域面积的扩大、绿植量的增加及其空间分布变化。该变化可影响地表对太阳辐射的吸收率，降低局部气温，改善热岛效应。研究城市热辐射和环境质量分布特征是公园城市的建设基础。

2　研究区概况与地表温度反演

成都位于四川盆地西部，冬春雨少、夏秋雨多，雨量充沛，年均降水量为900～1 300 mm。由于地处盆地，通风系数较低，污染物扩散条件较差。20世纪60年代开始，成都呈气温显著升高、降水减少的气候变化特征，温度每10年约上升0.18℃，降水每10年减少5.94 mm；同时极端暖日和暖夜的发生频率显著增加，日温差呈增大趋势。

本文选取2013-12-07和2017-06-15过境的Landsat8遥感数据，成都涉及3景影像，条带号分别为130038、130039和129039；影像无云、质量好。Landsat8携带具有两个热红外波段（Band10（10.6~11.2 μm）、Band11（11.5~12.5 μm））的热红外传感器。目前基于Landsat8反演地表温度的算法主要为基于两个热红外波段的劈窗算法和基于单个热红外段的单波段算法。Jimenez-Munoz J C[6]等提出了劈窗算法；Rozenstein O[7]和杨槐[8]等提出了改进的劈窗算法。本文采用改进的劈窗算法，首先计算亮度温度，再计算地表比辐射率，然后反演地表温度，最后计算净辐射通量和土壤热通量，并进行分析。

2.1　亮度温度的反演

亮度温度主要由覃志豪提出的热辐射强度与像元值的关系确定。

$$L_\lambda = 3.342\,0\times10^{-4}/Q_{\mathrm{cal}} + 0.1 \tag{1}$$

式中，Q_{cal}为波段的DN值；L_λ为热辐射强度。

亮度温度的计算公式为[9]：

$$T_{\mathrm{sensor}} = K_2/\ln[1 + K_1/L_\lambda] \tag{2}$$

式中，K_1、K_2为常用量，可在影像头文件中获取。

2.2　地表比辐射率的确定

地表比辐射率的计算与植被覆盖度相关，需首先计算植被覆盖度，再计算比辐射率。

2.2.1　植被覆盖信息提取

Landsat8的NDVI可由红色波段和近红外波段亮度值计算获得。由2013年、2017年影像计算得到的成都植被覆盖结果可知，2017年的植被覆盖度比2013年有较大提高，主城区植被覆盖度较低，都江堰、大邑、崇州等郊区县植被覆盖度较高。

2.2.2　比辐射率计算

本文利用覃志豪[10]等提出的基于TM/ETM的热红外波段估计方法来计算地表比辐射率，具体模型为：

$$\varepsilon = P_{\mathrm{v}}R_{\mathrm{v}}\varepsilon_{\mathrm{v}} + (1-P_{\mathrm{v}})R_{\mathrm{m}}\varepsilon_{\mathrm{m}} + d\varepsilon \tag{3}$$

$$R_{\mathrm{v}} = 0.933\,2 + 0.058\,5P_{\mathrm{v}} \tag{4}$$

$$R_{\mathrm{m}} = 0.988\,6 + 0.128\,7P_{\mathrm{v}} \tag{5}$$

$$P_v = (\mathrm{NDVI} - \mathrm{NDVI_s})/(\mathrm{NDVI_v} - \mathrm{NDVI_s}) \tag{6}$$

式中，R_{v}、R_{m}分别为植被和建筑表面的温度比率[11]；P_{v}为植被覆盖度；ε_{v}、ε_{m}分别为植被和建筑物的比辐射率，根据覃志豪[8,12-13]等提供的经验值，Band10的$\varepsilon_{\mathrm{v}}=0.984\,4$、$\varepsilon_{\mathrm{m}}=0.973$，Band11的$\varepsilon_{\mathrm{v}}=0.985\,1$，$\varepsilon_{\mathrm{m}}=0.983\,2$，在地势较平时，可取$d\varepsilon=0$。

2.3　地表温度反演

本文采用劈窗算法[14-16]反演研究区地表温度，具体表示形式为：

$$T_{\mathrm{s}} = A_0 + A_1T_{10} - A_2T_{11} \tag{7}$$

式中，T_{s}为地表温度（℃）；T_{10}、T_{11}分别为Band10和Band11的亮度温度（℃）；A_0、A_1和A_2为简化系数。

具体计算过程众多学者都有研究，本文不再赘述[8]。由2013年、2017年温度反演结果可知，2013年冬季都江堰、邛崃、大邑、彭州等区县地表温度较低，5个主城区温度较高；2017年夏季温度比冬季有较大提高，都江堰、邛崃、浦江等地区温度较低，5个主城区温度较高。主城区植被覆盖度低，工厂生产、交通运输以及居民生活都需燃烧各种燃料，向外排放大量热量，地表温度高；都江堰、大邑、彭州等郊县植被覆盖度高，地势更高，因此地表温度较低，尤其是都江堰，植被和水体面积较大，温度最低。地表温度与植被覆盖度、地势和城市下垫面类型都相关。

3　净辐射通量的计算

净辐射是某一作用面或活动面辐射能收入与支出

之差，即一切辐射的净通量，又称辐射平衡或辐射差额。地表净辐射为太阳短波辐射到达地表后，经地表反射和地表与大气的长波辐射交换后得到的净能量，即地表辐射能量收支差额，是地表面能量、动量、水分输送与交换过程中的主要能源。地表净辐射控制着地表与大气的温度、光合作用与蒸散。净辐射通量由地表反射率、地表温度等参数决定，根据辐射表面平衡方程，净辐射通量的计算公式为[5]：

$$\alpha = 0.35\alpha_2 + 0.13\alpha_4 + 0.373\alpha_5 + 0.085\alpha_6 + 0.072\alpha_7 - 0.001 \quad (8)$$

$$R_n = (1-\alpha)R_s + (\varepsilon L_{in} - L_{out}) \quad (9)$$

$$L_{out} = \varepsilon\delta T_s^4 \quad (10)$$

$$L_{in} = 0.85(-\ln\tau_{sw})^{0.09}\delta T_a^4 \quad (11)$$

式中，α_2、α_4、α_5、α_6、α_7 分别为OLI传感器的第2、4、5、6、7波段的地表反射率；R_s 为太阳总辐射（MJ·m^{-2}·d^{-1}）；L_{in} 为入射长波辐射（MJ·m^{-2}·d^{-1}）；L_{out} 为出射长波辐射（MJ·m^{-2}·d^{-1}）；ε 为比辐射率；R_n 为净辐射（MJ·m^{-2}·d^{-1}）；α 为地表反射率；T_s 为地表温度（℃）；τ_{sw} 为大气透过率；T_a 为2 m高度处的空气温度（℃）；δ为斯蒂芬—玻尔兹曼常数（5.67×10^{-8}w·m^{-2}·k^{-4}）。

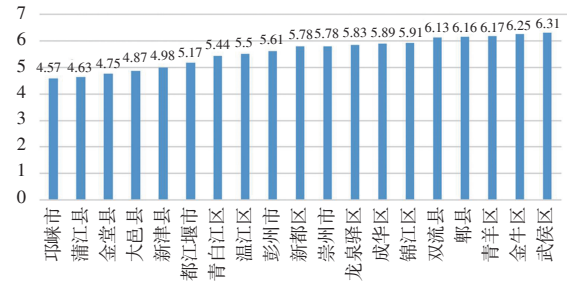
由2013年、2017年成都的净辐射通量结果可知，2013年彭州、都江堰、金堂、双流、新都等地表净辐射通量较低，5个主城区较高；2017年净辐射通量有较大提高，彭州、都江堰、郫县、邛崃、温江、蒲江等地表净辐射通量较低，5个主城区较高。

4 环境空气质量综合指数

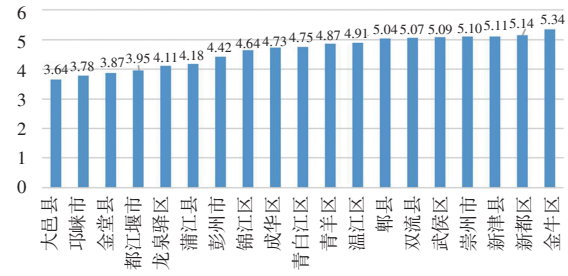
环境空气质量综合指数是描述城市环境空气质量综合状况的无量纲指数，其值越大表明综合污染程度越高。根据统计数据得到成都市各区2013年11月和2017年6月的环境空气质量综合指数（图1），可以看出，2013年12月空气质量综合指数总体较高，空气质量较差，夏季空气质量相对较好；2017年6月空气质量综合指数较低，空气质量较好；2013年12月邛崃、浦江、金堂、大邑环境空气质量较好，青羊区、金牛区、武侯区环境空气质量较差；2017年6月大邑、邛崃、金堂、都江堰环境空气质量较好，新津、新都、金牛区质量较差。

5 研究结果与分析

1）地表温度与植被覆盖度的相关性分析。本文



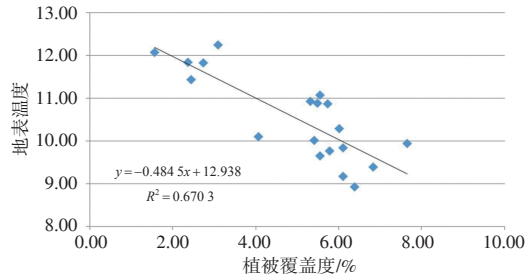
a 2013年12月



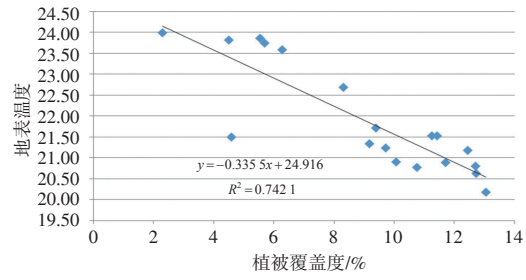
b 2017年6月

图1 成都环境空气质量综合指数

分别将2013年12月和2017年6月成都各区县植被覆盖度均值与地表温度均值作回归分析，生成散点图（图2），可以看出，地表温度与植被覆盖度呈线性负相关，植被覆盖度越高，地表温度越低，植被能吸收太阳辐射，且通过蒸腾作用不断从环境中吸收热量，降低环境空气的温度。



a 2013年12月

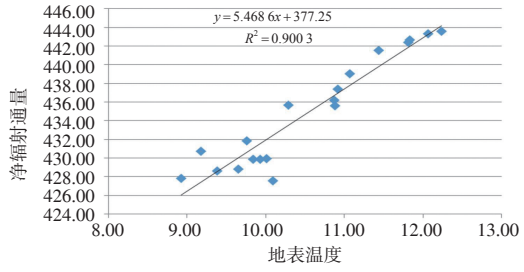


b 2017年6月

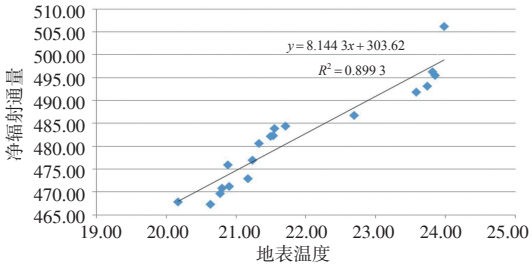
图2 植被盖度与地表温度的相关性分析

2）地表温度与净辐射通量的相关性分析。本文分别将2013年12月和2017年6月成都各区县净辐射通量与地表温度作相关性分析，生成散点图（图3），可以看出，净辐射通量与地表温度呈线性正相关，地表温度越高，净辐射通量越大；反之亦然。

3）地表温度与环境空气质量的相关性分析。本

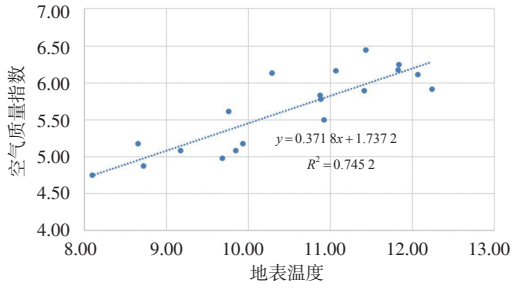


a 2013年12月

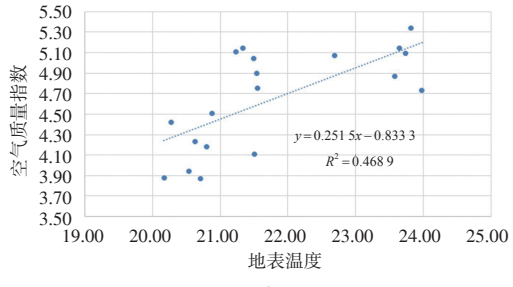


b 2017年6月

图3　净辐射通量与地表温度的相关性分析



a 2013年12月

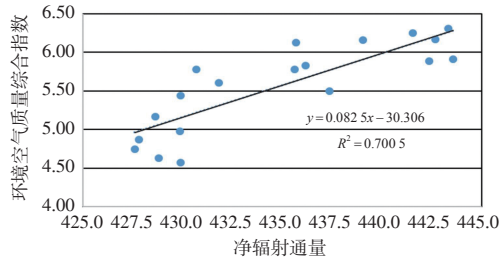


b 2017年6月

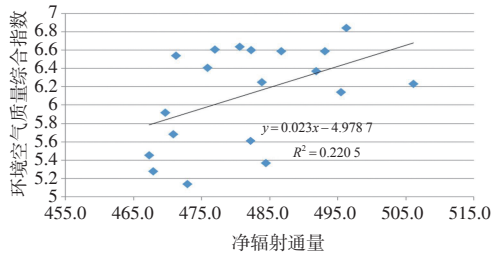
图4　空气质量与环境指数的相关性分析

文分别将2013年12月和2017年6月成都各区县环境空气指数与地表温度作相关性分析，生成散点图（图4），可以看出，2013年环境空气质量综合指数与地表温度呈线性正相关，且相关性较大，环境空气质量综合指数越大，空气质量越差，因此空气质量与地表温度呈线性负相关；同理2017年6月空气质量与地表温度总体呈线性正相关，但相关性较弱。

4）净辐射通量与环境空气质量的相关性分析。本文分别将2013年12月和2017年6月环境空气质量综合指数与净辐射通量作相关性分析，生成散点图（图5），可以看出，2013年环境空气质量综合指数与净辐射通量呈线性正相关，且相关性较大，环境空气质量综合指数越大，空气质量越差，因此环境空气质量与净辐射通量呈线性负相关；同理2017年6月空气质量与地表温度总体呈线性负相关，但相关性较弱。



a 2013年12月



b 2017年6月

图5　空气质量与净辐通量的相关性分析

6　结　语

成都热岛效应明显，热通量具有较明显的季节变化，地表温度、净辐射通量夏季高于冬季。土壤热通量与净辐射通量呈线性正相关，净辐射通量与地表温度呈线性正相关，土壤热通量、净辐射通量、地表温度均与植被覆盖度呈线性负相关。冬季空气质量与热岛效应呈线性负相关，且相关性较强，夏季空气质量与热岛效应总体呈负相关，但相关性较弱。武侯区、锦江区、青羊区、锦江区、金牛区5个主城区建筑用地、居民地分布广，植被覆盖度低，热通量较大，热岛效应明显，空气质量较差；其余郊县区由于植被覆盖和水体覆盖广，热通量和地表温度均较低，热岛效应较弱，空气质量较好。

通过上述分析，成都市要提高空气质量，降低热岛效应，建设公园城市，可采用以下措施：

1）热岛效应与植被覆盖度呈线性负相关，可增加绿地覆盖和水体面积，如在城区多植树，建设城市绿道、湿地公园等。植被可通过蒸腾作用，从环境中吸收大量热量。湿地与水体具有调节城市气候与热量收支平衡的生态服务功能，可减轻热岛效应，最终实现城市生态系统的良性循环。

2）城区建筑多采用能降温节能的新型户外建筑材料，降低热辐射。

3）根据空气污染指数分析，主城区空气污染较

严重。在城市规划中，可考虑往周边区县发展，在都江堰、浦江、大邑、邛崃等热岛效应较低的区县多建立学校、医院等公共机构，并在区县与主城区之间修建地铁线路，使主城区人口逐步向其他区县搬迁。

4）降低人为热能，向城市居民灌输环保生活理念，如控制使用空调，提倡绿色低碳出行。居民日常生活方式的改变可持续大量降低热岛效应影响，为公园城市建设提供借鉴。

参考文献

[1] 陈婉佳,高孝杰,刘蓉蓉,等. 基于Landsat8数据的城市不透水面及其与热环境的关系研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2015,38(4):92-95

[2] 王方,兰小机,邬志刚,等. 基于Landsat8的常熟市热岛效应的监测分析[J]. 江西理工大学学报,2016,37(5):14-19

[3] 王菲. 基于Landsat 8 影像和劈窗算法的济南地区地表温度反演[J]. 绿色科技,2015,17(8):15-17

[4] 吴志刚,江滔,樊艳磊,等. 基于Landsat8数据的地表温度反演及分析研究:以武汉市为例[J]. 工程地球物理学报,2016,13(1):135-142

[5] 王煜东,赵小艳,徐向华,等. 南京地区地表热通量的遥感反演分析[J]. 生态环境学报,2016, 25(4):636-646

[6] Jimenez-Munoz J C, Cristóbal J, Sobrino J A, et al. Revision of the Single-channel Algorithm for Land Surface Temperature Retrievalfrom Landsat Thermal-infrared Data[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,2009,47(1):339-349

[7] Rozenstein O, QIN Z H, Derimian Y, et al. Derivation of Land Surface Temperature for Landsat8 TIRS Using a Split Window Algorithm[J]. Sensors,2014,14(4):5 768-5 780

[8] 杨槐. 从Landsat8影像反演地表温度的劈窗算法研究[J]. 测绘地理信息,2014,39(4):73-77

[9] QIN Z H, Karnieli A, Berliner P. A Mono-window Algorithm of Retrieving Land Surface Temperature from Landsat and TM Data and Its Application to the Israel-Egypt Border Region[J]. International Journal of Remote Sensing,2001,18(2):3 719-3 746

[10] 覃志豪,李文娟,徐斌,等. 陆地卫星TM6波段范围内地表比辐射率的估计[J]. 国土资源遥感,2004,16(3):28-32

[11] 黄妙芬,陈波,刘素红,等. 基于TM的城市温度异常区分析[J]. 国土资源遥感,2007,19(3):23-27

[12] 覃志豪, LI W J, ZHANG M H,等. 单窗算法的大气参数估计方法[J]. 国土资源遥感,2003,15(2):37-43

[13] 覃志豪, ZHANG M H , Arnon K,等. 用陆地卫星TM6数据演算地表温度的单窗算法[J]. 地理学报,2001,56(4):456-466

[14] 乔建民. 不同土地覆盖类型对城市地表温度的影响:以山东省龙口市为例[J]. 宁波农业科技,2012(3):21-25

[15] 李璇琼,卢正,李永树. 兰州市热岛效应特征及驱动机制研究[J]. 兰州大学学报(自然科学版),2016,52(1):69-74

[16] 李璇琼,李永树,卢正,等. 兰州市热岛效应时空演化研究[J]. 城市发展研究,2015,22(7):18-22

（上接第39页）

[5] 张祎,姜瑜君,赵伟,等. 浙江省地理参数对地闪的影响[J]. 气象科技,2019,47(3):513-519

[6] 余田野,余秋实,邵莹,等. 湖北省不同土地覆盖类型地闪参数分布特征[J]. 湖北大学学报(自然科学版),2022,44(1):84-92

[7] 李贺颖,王艳慧. 城市热岛效应与植被覆盖度定量关系特征研究[J]. 地理空间信息,2013,11(5):78-81

[8] 张伟伟,田杨萌,王彩霞,等. 北京地区的雷电物理特征[J]. 北京信息科技大学学报(自然科学版),2011,26(3):53-57

[9] 刘珍,文彦君,张翀. 2003—2014年关中地区季节植被覆盖度时空变化分析[J]. 地理空间信息,2018,16(5):67-71

[10] 吴永斌,赵晓兰,胡颖,等. 云南西双版纳地区闪电活动特征[J]. 大气科学学报,2020,43(4):728-734

[11] 曾金全,杨超,王颖波,等. 基于统计分布特征的闪电强度等级划分[J]. 暴雨灾害,2016,35(6):585-589

[12] 焦雪,冯民学,钟颖颖. 2006—2009年江苏省地闪特征分析及应用[J]. 气象科学,2011,31(2):205-210

[13] 王学良,张科杰,余田野,等. 湖北省山区与平原雷电分布及其参数特征[J]. 气象科技,2019,47(2):337-348

[14] 赵伟,姜瑜君,童杭伟,等. 浙江省两套闪电定位系统地闪数据对比[J]. 应用气象学报,2015,26(3):354-363

[15] 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

[16] 田芳,肖稳安,冯民学,等. 闪电定位仪观测结果的修订分析[J]. 华东电力,2008,36(6):38-42

[17] 钱慕晖,李京校,李如箭,等. 2005—2014年北京市雷电灾害特征分析[J]. 气象与环境学报,2016,32(4):126-131

[18] 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

[19] 易燕明,杨兆礼,万齐林,等. 近50年广东省雷暴、闪电时空变化特征的研究[J]. 热带气象学报,2006,22(6):539-546

[20] 王欣眉,宋琳,王新功,等. 1971—2008年青岛地区雷电时空分布特征[J]. 气象与环境学报,2011,27(4):39-43

[21] 王凯,朱浩,鞠晓雨,等. 安徽省皖南山区地闪特征对比分析[J]. 气象与环境学报,2016,32(3):83-88

[22] 陈渭民. 雷电学原理[M]. 2版. 北京:气象出版社,2009: 97-100

[23] 杨军军,罗谦,樊云. 西安市植被覆盖度与城市地表温度的关系研究[J]. 地理空间信息,2022,20(1):89-90