

吴量,向清才,陆庆. 基于综合评价法的
 文章编号:1006-4354(2019)06-0024-06

基于综合评价法的河池市雷电灾害风险区划

吴量¹,向清才²,陆庆¹

(1. 河池市气象局,广西河池 547000;2. 都安县气象局,广西都安 530700)

摘要:为了探讨雷电灾害风险区划方法,细化河池市雷电灾害风险区划(分辨率为 $1\text{ km}\times 1\text{ km}$),为雷电防灾减灾工作提供更科学的指导,利用河池市2010—2015年闪电资料、2000年地理数据和2015年社会经济数据,采用相关法,选取与闪电密度、强度分布相关的海拔高度、坡度等8个指标,结合闪电密度、强度,利用熵值法、复相关系数法和层次分析法组合建立了雷电风险计算模型,并利用历史雷灾频次对区划结果进行检验。结果表明:金城江、南丹和凤山为雷灾极高风险区,天峨、巴马、东兰和大化大部分区域为雷灾风险高值区,其他县为雷灾风险低值区(局部区域为高值区)。雷电区划风险值和历史雷灾数据呈现较好的相关性。

关键词:雷电灾害;风险区划;组合评价

中图分类号:P429

文献标识码:A

雷电是伴随着强对流过程发生的一种灾害性天气现象,为有效地防御和减轻雷电灾害的发生,已有学者根据当地雷电活动情况、社会经济状况等开展了雷电灾害风险区划研究。刘岩等^[1]利用安徽省地闪密度、人口密度、单位面积地区生产总值(GDP)等作为评估指标建立层次分析模型,得到雷电灾害风险区划。张春燕等^[2]确定广州市人口密度、GDP等评估指标权重,利用层次分析法,形成雷电灾害易损度区划。马远飞等^[3]将雷暴日结合延安经济和人文环境特点建立评估指标,采用分区法进行雷电灾害易损度区划研究。当前开展的雷电灾害评估,采用的评价指标多涉及闪电数据、生命易损程度以及经济损失等,结合下垫面参数的影响研究较少,而雷电的发生与局地的地形、地貌特征等密切相关;并且采用的评价方法大多只有一种,结果缺乏对比性。因此,基于河池市闪电监测数据、高分辨率的地理数据和社会经济数据,采用信息熵法、复相关系数法和层次分析法相结合的组合评价法对河池市雷电灾害风险区划进行研究分析,并使用历史雷灾数据对区划结果进行

验证,以期科学地指导当地雷电防灾减灾工作。

1 数据来源和处理

广西ADTD闪电定位监测系统在北海、梧州、玉林、贺州、桂林、柳州、宁明、河池、百色、贵港、马山建设了11个闪电定位探测子站,监测范围可覆盖广西全境,雷电放电峰值电流的测量范围为 $(\pm 1\text{ kA}, \pm 500\text{ kA})$,采集云地闪波形峰点到达时间精度为 $0.1\ \mu\text{s}$,探测范围平均为 300 km ,网内探测效率为95%以上,中心定位处理软件采用时差测向混合定位算法可实时获取闪电发生的时间、位置、极性、强度、陡度等信息。

选取2010—2015年河池市闪电资料中幅值、陡度都不为0的闪电记录,共监测到367 817个闪电数据;河池市2000年海拔高度和坡度数据,2004年水系密度,2015年植被指数、人口密度和GDP密度数据均来源于中国科学院资源环境科学数据中心,分辨率为 $1\text{ km}\times 1\text{ km}$;河池市2009年上层土壤电导率数据来源于寒区旱区科学数据中心,分辨率为 $1\text{ km}\times 1\text{ km}$ 。河池市历史雷灾数据采用10市县2007—2015年的雷灾统计数据

收稿日期:2019-02-12

作者简介:吴量(1983—),女,广西宜州人,仫佬族,硕士,工程师,从事雷电防护技术服务研究。

基金项目:河池市气象局课题项目“河池市雷电灾害风险区划”(201701)

(其中大化县没有设置雷灾报送点
该县雷灾数据)。

考虑到在闪电幅值相同的情况下,不同陡度的闪电可能造成的损失是不同的^[4],因此,综合考虑雷电流幅值和陡度的影响,建立闪电强度的概念,基于之前的研究得到,河池市闪电强度的计算公式^[5]

$$P = I/292.754 + (di/dt)/70.308 - 0.072, (1)$$

P 为闪电强度(无量纲), I 为雷电流幅值(kA), di/dt 为雷电流陡度(kA/ μ s)。利用 GIS 软件对闪电资料进行频次和强度的栅格化处理,得到闪电密度(次/ km^2)和单位面积(1 km^2)闪电强度(简称闪电强度)。

2 研究方法

2.1 信息熵法

信息熵法是客观计算指标权重的方法,是对一个系统信息无序度的度量。信息的无序度越高,信息熵越大,其信息提供的效用值越小;反之,信息的无序度越低,信息的熵越小,其效用值越大。计算步骤如下。

(1)利用极差标准化方法^[6]对原始数据矩阵 $(x_{ij})_{m \times n}$ ($i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n$; 其中 m 为评价样本个数, n 为评价指标个数, x_{ij} 为第 i 个评价样本的第 j 个指标值)进行标准化处理得到 $(p_{ij})_{m \times n}$ 。

(2)计算第 j 个指标的熵值

$$E_j = -K \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}, (2)$$

其中 $K = (\ln m)^{-1}$ 。

(3)计算第 j 个指标的差异系数

$$V_j = 1 - E_j. (3)$$

(4)确定第 j 个评价指标归一化后的权重

$$W_j = V_j / \sum_{j=1}^n V_j. (4)$$

2.2 复相关系数法

复相关系数法是测量一个要素与其他多个要素间线性相关程度的指标,复相关系数越大,表明要素间的线性相关程度越密切,是一种客观计算指标权重的方法。计算步骤^[7]如下。

(1)对原始数据矩阵 $(x_{ij})_{m \times n}$ 计算 n 个评价

$(x_{ik})_m, (x_{il})_m$ (k, l 分别为 $1, 2, \dots, n$ 中任意两个数)的相关系数

$$r_{kl} = \frac{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (x_{ik} - \bar{x}_k)(x_{il} - \bar{x}_l)}{\sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (x_{ik} - \bar{x}_k)^2} \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (x_{il} - \bar{x}_l)^2}}. (5)$$

(2)计算评价指标 x_i 与其他 $n-1$ 个评价指标的复相关系数

$$K_i = \sqrt{1 - (1 - r_{i1}^2)(1 - r_{i2}^2) \cdots (1 - r_{i(n-1)}^2)}. (6)$$

(3)对各评价指标的复相关系数倒数进行归一化处理得到权重

$$w_i = \frac{1}{K_i} \sum_{i=1}^n \frac{1}{K_i}. (7)$$

2.3 层次分析法

层次分析法是一种主观规定权法,是对一些较复杂、较模糊的问题作出决策的简易方法,先将复杂问题分解为若干层次和若干因素,再在两两因素之间利用“1~9 标度法”^[8]进行重要性程度的比较,将两两比较结果构造得到判断矩阵,从而计算得到各元素的权重。

2.4 斯皮尔曼相关分析法

信息熵法和复相关系数法克服了权重赋值的主观性,层次分析法考虑到因素间的相互关联会对结果的影响,从而建立按不同层次聚集的组合^[9]。因此,为了增加评价结论的说服力,引入斯皮尔曼相关系数,用于衡量三种评价方法计算得到的指标权重的差异程度,选择差异较小的两种或三种评价法计算的指标权重,采用乘法合成法^[7]进行组合,计算得到的组合权数作为各指标的最终权重。斯皮尔曼相关系数计算公式^[10]为

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{f(f^2 - 1)}. (8)$$

其中, d_i^2 为两种评价方法的级别差的平方, f 为待评方案个数。

3 权重计算

参考相关文献^[11-13]可知,海拔高度、坡度、人口密度和 GDP 密度等作为影响雷电灾害风险区

划的下垫面以及社会经济指标是闪电密度、闪电强度作为表征闪电活动程度的因子,其数值越大则雷灾发生的概率将越大;因此有必要先对下垫面及社会经济指标与闪电密度、强度分布作一元线性回归相关分析,从而选取适合当地的雷电风险因子(表 1)。由表 1 可知:与闪电密度

合斜率 >0)有经度;负向指标因子(相关系数 >0 ,线性拟合斜率 <0)有:纬度、海拔高度、坡度、植被指数、人口密度和 GDP 密度。与闪电强度分布有关联的正向指标因子有:纬度、海拔高度和坡度;负向指标因子有:经度、人口密度和 GDP 密度。

表 1 各指标因子与闪电活动关系

指标因子	闪电密度		闪电强度	
	相关系数	线性拟合斜率	相关系数	线性拟合斜率
经度	0.545	0.749	0.557	-0.757
纬度	0.058	-0.318	0.632	0.805
海拔高度(150~1 150 m)	0.360	-0.630	0.880	0.940
坡度(0.001°~36°)	0.153	-0.479	0.686	0.845
水系密度(50~1 550 m/km ²)	-0.029	-0.075	-0.025	-0.097
植被指数(0.4~0.9)	0.406	-0.682	-0.106	0.065
人口密度(40~220 人/km ²)	0.071	-0.354	0.213	-0.510
GDP 密度(75~375 元/km ²)	0.107	-0.434	0.231	-0.549

利用 GIS 软件处理得到河池市上层土壤电导率分别为 0.1 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 和 0.3 $\mu\text{s}/\text{cm}$,对应的闪电密度平均值为 9.972 次/km²、9.809 次/km²,闪电强度平均值分别为 0.156 9、0.156 8。由此可知,上层土壤电导率大值区对应闪电密度、强度的低值区;而上层土壤电导率小值区对应闪电密度、强度的高值区。

3.1 信息熵法

将导致雷灾发生的致灾因子闪电密度和闪电强度作为风险区划的两个正向指标,并结合上述

分析得到的下垫面及社会经济因子共 10 个指标根据公式(2)~(4)计算权重,由于同一指标与闪电密度和闪电强度分布呈现不同的相关性,因此需要分别计算指标的权重(见表 2 中第 2、3 列数据)。考虑到需要将同一指标的权重统一,因此先采用信息熵法计算得到闪电密度、闪电强度的权重为 0.623 7 和 0.376 3,再将该权重分别与闪电密度和闪电强度分布有关联的指标权重相乘,然后相加得到雷电灾害风险指标权重(见表 2 中第 4 列数据)。

表 2 信息熵法计算雷电灾害风险区划指标权重

指标因子	指标权重(与闪电密度	指标权重(与闪电强度	雷电灾害风险
	分布有关联)	分布有关联)	
经度	0.031 5	0.037 0	0.033 6
纬度	0.031 0	0.037 7	0.033 5
海拔高度(150~1 150 m)	0.097 4	0.132 7	0.110 7
坡度(0.001°~36°)	0.097 0	0.138 6	0.112 7
植被指数(0.4~0.9)	0.194 8	0	0.121 5
上层土壤电导率/ ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	0.110 5	0.131 8	0.118 5
人口密度(40~220 人/km ²)	0.110 2	0.131 4	0.118 2
GDP 密度(75~375 元/km ²)	0.109 5	0.130 6	0.117 4
闪电密度/ (次/km ²)	0.136 0	0.162 3	0.145 9
闪电强度	0.082 1	0.097 9	0.088 0

3.2 复相关系数法

基于各因子对雷电灾害风险区划影响的相关分析,选取经度、纬度、海拔高度、坡度、植被指数、

和闪电强度 10 个指标,采用复相关系数法,根据公式(5)~(7)计算得到各指标权重(表 3)。

表 3 复相关系数法计算雷电灾害风险区划指标权重

指标因子	指标权重	指标因子	指标权重
经度	0.244 1	上层土壤电导率($\mu\text{s}/\text{cm}$)	0.065 5
纬度	0.228 2	人口密度(40~220 人/ km^2)	0.065 1
海拔高度(150~1 150 m)	0.065 3	GDP 密度(75~375 元/ km^2)	0.066 0
坡度(0.001°~36°)	0.065 7	闪电密度/(次/ km^2)	0.067 1
植被指数(0.4~0.9)	0.064 9	闪电强度	0.068 2

3.3 层次分析法

根据河池市雷灾风险评估情况,建立雷电灾害层次分析模型:(1)模型的目标层为河池市雷电灾害风险。(2)在目标层以下,将该模型具体划分为三个准则层,即致灾因子、孕灾环境因子和承灾因子。(3)指标层,即选取影响河池市雷电灾害风

险区划的相关因素得到一系列可评估、可量化的指标。致灾因子包括闪电密度、强度两个指标因子;下垫面指标(经度、纬度、海拔高度、坡度、植被指数、上层土壤电导率)为孕灾环境因子;人口密度和 GDP 密度为承灾因子。计算得到风险评价指标的权重(表 4)。

表 4 层次分析法计算雷电灾害风险区划指标权重

指标因子	指标权重	指标因子	指标权重
经度	0.012 1	上层土壤电导率/ ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	0.057 4
纬度	0.021 3	人口密度(40~220 人/ km^2)	0.078 1
海拔高度(150~1 150 m)	0.048 8	GDP 密度(75~375 元/ km^2)	0.039 1
坡度(0.001°~36°)	0.032 2	闪电密度/(次/ km^2)	0.409 6
植被指数(0.4~0.9)	0.096 5	闪电强度	0.204 8

3.4 计算组合权重

将河池市行政区域内每个网格单元(1 km^2)的 10 项指标值分别与对应的指标权重相乘求和,得到各网格单元的雷电灾害风险值,对所有网格的风险值按大小进行排序。根据以上三种方法计算得到同一指标的不同权重值可知,河池市行政区域所有网格的风险值排序有三种不

同结果。根据公式(8)计算得到的三种分析法排序结果相关性如下: $\rho_{(\text{信息熵}-\text{复相关系数})} = 0.999 2$;
 $\rho_{(\text{信息熵}-\text{层次分析法})} = 0.992 7$;
 $\rho_{(\text{层次分析法}-\text{复相关系数})} = 0.991 1$ 。由于三种方法之间的 ρ 值均大于 0.9,因此,三种评价方法的相关性很高,参照文献[7],将同一指标的三种权重值相乘得到该指标的组合权重(表 5)。

表 5 雷电灾害风险区划指标组合权重

指标因子	指标权重	指标因子	指标权重
经度	0.012 1	上层土壤电导率/ ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	0.054 3
纬度	0.019 9	人口密度(40~220 人/ km^2)	0.073 3
海拔高度(150~1 150 m)	0.043 0	GDP 密度(75~375 元/ km^2)	0.036 9
坡度(0.001°~36°)	0.029 1	闪电密度/(次/ km^2)	0.488 9
植被指数(0.4~0.9)	0.092 8	闪电强度	0.149 8

4 雷电灾害风险区划结果检验

将每个网格单元的 10 项指标值与对应的组合权重值相乘求和,得到各网格单元的雷电灾害风险值,利用 GIS 软件绘制得到河池市雷电灾害风险分布图(图 1,见第 33 页)。利用历史雷灾频次对风险分布结果进行检验。利用 GIS 软件提取得到河池市 10 市县雷灾风险的平均值,按照大小顺序进行排序,将各市县的雷灾频次数据

雷灾风险平均值、雷灾频次的排名结果差距较大外,其他市县两者排名差距较小,根据公式(8)计算两者排名的斯皮尔曼相关系数为 0.63,说明除宜州、凤山外其他地区雷电灾害风险区划结果与历史雷灾数据基本吻合。由于雷灾事故上报受人为因素影响较大且统计时限较短,因此利用历史雷灾数据对雷灾区划结果的验证还有待进一步完善。

表 6 河池市各市县雷灾风险平均值、历史雷灾频次对比

市县	历史雷灾频次/次	雷灾风险平均值	市县	历史雷灾频次/次	雷灾风险平均值
宜州	43	39.202	环江	6	38.288
南丹	14	50.615	东兰	2	42.814
金城江	12	51.354	天峨	2	45.409
罗城	10	40.542	都安	1	37.910
巴马	8	43.485	凤山	0	51.807

5 结论与讨论

基于河池市闪电数据、海拔高度、坡度等地理数据和人口密度、GDP 密度数据,采用一元线性回归相关法,筛选得到与闪电密度、强度分布相关的 8 个影响雷电灾害风险区划的下垫面以及社会经济指标,结合闪电密度、强度 2 个致灾因子,利用信息熵法、复相关系数法和层次分析法相结合的组合评价法得到河池市雷电灾害风险区划结果为:金城江、南丹和凤山为雷灾极高风险区,天峨、巴马、东兰和大化大部分区域为雷灾风险高值区,其他县为雷灾风险低值区(局部区域为高值区)。组合评价法具有既定量又定性,既主观又客观的特点,利用历史雷灾数据对风险区划结果进行检验可知,该方法应用在雷电风险区划是可行的。

参考文献:

[1] 刘岩,李征,程向阳,等. 安徽省雷电灾害风险区划[J]. 南京信息工程大学学报(自然科学版),2014,6(2):163-168.

[2] 张春燕,钟博宏,张宇飞. 广州市雷电灾害易损性分析评估和易损度区划[J]. 陕西气象,2017(6):23-28.

[3] 马远飞,王文波,雷崇典,等. 延安市雷电灾害易损性分析及易损度区划[J]. 陕西气象,2015(S1):11-13.

[4] 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.

[5] 吴量,向清才,韦领. 基于河池市闪电数据的闪电强度等级分析[C]//第三届柳江流域湘黔桂五市(州)气象学术交流会. 2018.

[6] 杨宗佶,乔建平. 基于信息熵的典型滑坡危险度评价研究[J]. 四川大学学报(工程科学版),2008,40(4):47-52.

[7] 殷娴,肖稳安,尹丽云. 江苏省雷电活动潜势预报研究[J]. 热带气象学报,2011,27(5):758-764.

[8] 刘文泉,雷向杰. 农业生产的气候脆弱性指标及权重的确定[J]. 陕西气象,2002(3):32-35.

[9] 谭婷,许霞,刘慧,等. 基层综合气象业务人员知识能力评价模型研究与应用[J]. 陕西气象,2019(1):53-58.

[10] 崔逊,庄燕洵,王洪生. 基于组合评价法的江苏省雷电灾害风险区划[J]. 自然灾害学报,2015,24(6):187-194.

[11] 程萌,王秀丽. 基于闪电定位数据的鲁西南地区雷电灾害易损度区划[J]. 气象与环境科学,2017,40(4):126-131.

基于 EOF 的南京气温变化特征及热岛效应研究

王佐鹏¹,张颖超^{1,2},熊雄¹,潘霄¹,陈昕¹

(1. 南京信息工程大学自动化学院,南京 210044;

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,南京 210044)

摘要:利用经验正交函数分析方法(EOF)对南京市 1961—2016 年地面气温数据进行时空分解,分析南京气温变化特征,并通过城、郊气温差值法分析热岛出现频率、热岛强度及昼夜热岛强度差异。结果表明:南京 1961—1993 年年平均气温在 15.5 °C 上下波动,1993 年以后各区和全市的年平均气温明显上升,其中城市中部增温和气温变化活跃程度远高于周边地区,是热岛中心;从热岛出现的频率以及强度来看,20 世纪 60 年代和 70 年代热岛现象出现频率相对较低,强度也相对较弱,而 80 年代以后各时期热岛出现频率明显较高,并且热岛强度呈明显的上升趋势,其中 2001—2016 年为热岛强度最大时段;对于热岛强度等级而言,目前南京市的热岛等级属于弱热岛,但是中等热岛出现频率逐渐加剧;南京市热岛效应有昼夜差异,具体表现为夜晚热岛略强于白昼。

关键词:气温;热岛效应;EOF;昼夜热岛差异;南京

中图分类号:P463.3

文献标识码:A

城市热岛(urban heat island,UHI)效应,即城市的城区气温高于郊区气温的现象。研究城市热岛效应演变可为城市的可持续发展提供一定的理论指导,为我国城市规划和决策部门提供一定的借鉴^[1]。国内外有许多学者对不同城市和地区的热岛效应做了很多研究,早在 19 世纪初,Howard(英国人)对伦敦进行的观测研究发现了城区气温比郊区气温高的现象^[2]。近年来,王娟敏利用卫星遥感技术对西安市城市热岛的空间分布特征以及城市热岛与土地利用/覆盖变化的关系进行了分析研究^[3];李星敏通过对西安市的城市化发展和热岛效应进行研究,发现热岛效应主要成因来自城市化发展^[4]。南京市是中国的大型城市,2010 年第六次全国人口普查显示,其常住人口已突破 800 万,比 2000 年增长 28.31%,全

市城镇人口所占比例即城镇化率为 78.5%,城市的快速发展对气候变化有着直接而现实的作用^[5]。利用国家级地面气象数据,对南京市气温数据进行 EOF 模态分解,通过分析后找出城市站点和郊区站,再利用城、郊气温差值法分析南京市的热岛特征。

1 数据和方法

1.1 数据

研究数据采用南京市 1961—2016 年 6 区的地面气象站 6 h 一次的气温数据(02 时、08 时、14 时、20 时),6 区的站点分别为六合站(站号:58235)、浦口站(站号:58237)、南京站(站号:58238)、江宁站(站号:58333)、高淳站(站号:58339)、溧水站(站号:58340)。这些数据均经过三级质量控制,去除了粗大误差。

收稿日期:2018-11-26

作者简介:王佐鹏(1994—),男,汉族,江苏盐城人,硕士研究生在读,研究方向为数据质量控制。

基金项目:国家自然科学基金项目(41675156);南京信息工程大学人才启动经费项目(2243141701053)

[12] 王建恒. 河北省雷电灾害分布特征及风险区划研究[D]. 南京:南京信息工程大学,2011.

[13] 吴安坤. 贵州省雷电灾害风险评价与区划研究[J]. 中国农业资源与区划,2018,39(2):88-93.