



基于主成分分析法的雷电灾害 易损性区划综合评价模型

摘要

在研究区域雷电灾害易损性区划中,大多采用层次分析等方法来确定指标权重值,然而层次分析法在确定指标权重值时,人为主观因素较大,必然会给所建立的综合评估模型带来较大的误差。因此,利用主成分分析法,建立了雷电灾害易损性区划综合评价模型,从而很好地克服了层次分析等方法所带来的缺点,使得模型结果更接近于实际水平。利用海南省雷击大地密度、雷电灾害发生的频数、经济损失模数、生命易损模数以及人员伤亡频数等5个指标数据,采用所建立的雷电灾害易损性区划综合评价模型,对海南省雷电灾害易损性进行了实例分析。

关键词

易损性;雷击大地密度;人员伤亡频数;方差贡献率;主成分

中图分类号 P429

文献标志码 A

收稿日期 2014-07-28

资助项目 国家自然科学基金(40975002);江苏高校优势学科建设工程项目(PAPD)

作者简介

姜苏,男,硕士生,主要从事雷电研究。
1124629740@qq.com

1 南京信息工程大学 中国气象局气溶胶与云降水重点开放实验室,南京,210044

2 南京信息工程大学 大气物理学院,南京,210044

0 引言

雷电引起的危害被联合国有关组织列为“最严重的10种自然灾害之一”^[1]。雷暴活动过于频繁,必然会对经济发展以及人身安全造成威胁,而每个区域遭受雷击损坏的程度不一致,因此,有必要对区域内雷电灾害易损性分区进行研究。

国内有很多学者对不同地区雷电灾害易损性程度进行等级区划研究,如刘岩等^[2]利用安徽省闪电定位资料,采用了层次分析模型对安徽省雷电灾害风险区划进行了研究,并用雷灾频次对区划结果进行了检验;钟颖颖等^[3]利用常州市近50年雷电灾害统计资料,采用层次分析法,分析了雷暴和雷灾的相关性;李浩等^[4]利用浙江省雷电灾害事故调查资料,对浙江省各市雷电灾害进行了综合评估,并结合GIS方法对浙江省进行了雷电灾害易损性风险区划;李家启等^[5]利用重庆市闪电监测资料以及近10年雷电灾害统计资料,采用了5级分区法,对重庆地区雷电活动规律以及灾害易损性进行了评估。还有很多学者对其他地区雷电灾害易损性区划进行了研究^[6-7]。

对某地区雷电灾害易损性区划研究,考虑的5个直接影响指标为雷击大地密度、雷电灾害发生的频数、经济损失模数、生命易损模数以及人员伤亡频数,因此,确定5个指标的权重对构建易损性综合评价模型非常重要。但目前国内学者大多采用层次分析法等来确定指标权重值,它在确定指标权重值时,人为主观因素较大,必然会给所建立的综合评估模型带来较大的误差。

本文采用主成分分析法,运用降维的思想,建立雷电灾害易损性区划综合评价模型,它很好地克服了层次分析等方法带来的缺陷,使得易损性区划结果更接近实际情况。

1 指标说明

本文进行易损性区划研究考虑雷击大地密度、雷电灾害发生的频数、经济损失模数、生命易损模数以及人员伤亡频数5个影响指标,各指标说明如下:

1) 雷击大地密度(M):表示该研究区域内单位面积上发生的雷击大地年平均次数。

2) 雷电灾害发生的频数 (P): 表示该研究区域内 1 a 内所遭受雷击而引发的灾害次数. $P = N/t$, N 为每年发生的雷电灾害总次数, t 为时间(a).

3) 经济损失模数 (D): 表示该研究区域内单位面积上雷击所造成的直接经济损失. $D = D_s/S$, D_s 为遭受雷击所造成的直接经济损失(万元), S 为该研究区域的面积.

4) 生命易损模数 (L): 表示该研究区域内在单位面积上雷击造成的潜在受灾人数. $L = L_s/S$, L_s 为雷击造成的潜在受灾人数(人), S 为该研究区域的面积(100 km^2).

5) 人员伤亡频数 (T): 平均每年雷击伤亡人数, 单位为人/a.

2 综合评价模型的建立

主成分分析法主要是把多个影响指标化成几个综合评价指标的一种方法^[8]. 在对雷电灾害易损性区划研究中, 各指标数据之间存在信息重叠, 而主成分分析法通过降维思想, 利用几个综合指标因子代替原先所考虑的所有指标因子, 综合指标因子之间没有相关性联系.

假设有 n 维的指标向量 $\mathbf{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, 则所建立的主成分分析模型^[9] 为

$$\begin{cases} y_1 = m_{11}x_1 + m_{12}x_2 + \dots + m_{1n}x_n, \\ y_2 = m_{21}x_1 + m_{22}x_2 + \dots + m_{2n}x_n, \\ \vdots \\ y_m = m_{m1}x_1 + m_{m2}x_2 + \dots + m_{mn}x_n, \end{cases}$$

式中, x_1, x_2, \dots, x_n 为所考虑的指标因子, $a_{ij} (i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n)$ 为特征向量值, y_1, y_2, \dots, y_m 分别为第 1, 第 2, \dots , 第 m 个主成分.

根据所求出的指标累积方差贡献率的大小, 来确定选取几个主成分. 如果当前 p 个主成分的累计方差贡献率达到 70%~80%, 则只考虑前 p 个主成分. 最后所建立的易损性区划综合评价模型为

$$Y = a_1y_1 + a_2y_2 + \dots + a_p y_p,$$

式中, y_1, y_2, \dots, y_p 为所提取的前 p 个主成分值, a_1, a_2, \dots, a_p 为所提取的前 p 个主成分所对应的方差贡献率.

3 实例分析

本文利用海南省 1998—2009 年雷电灾害统计资料, 采用本文建立的模型, 对海南省雷电灾害易损性区划进行研究.

由于量纲单位不一致, 首先对 5 个因子数据做标准化处理. 本文将因子数据都归一化在 $[0, 1]$ 之间, 具体处理方程如下:

$$Z(x) = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)},$$

式中, x 为因子数据时间序列, $\min(x)$ 为因子时间序列最小值, $\max(x)$ 为因子时间序列最大值. 处理后后的数据如表 1 所示.

表 1 海南省雷电灾害易损性参数归一化数值

Table 1 The normalized value of lightning disaster vulnerability parameters in Hainan

地区	雷击大地密度	雷电灾害频数	经济易损模数	生命易损模数	人员伤亡频数
海口	0.000 0	1.000 0	0.168 3	1.000 0	0.605 0
澄迈	0.608 6	0.168 8	0.029 7	0.020 1	1.000 0
万宁	0.434 7	0.376 6	0.000 0	0.051 8	0.110 0
琼中	1.000 0	0.268 3	0.158 4	0.046 1	0.045 0
琼海	0.478 2	0.268 3	0.158 4	0.046 1	0.045 0
三亚	0.369 5	0.259 7	1.000 0	0.158 5	0.020 0
定安	0.434 7	0.190 4	0.297 0	0.000 0	0.245 0
临高	0.347 8	0.216 4	0.049 5	0.106 6	0.000 0
儋州	0.847 8	0.056 2	0.128 7	0.046 1	0.250 0
保亭	0.565 2	0.480 5	0.643 5	0.233 4	0.585 0
文昌	0.652 1	0.000 0	0.029 7	0.515 8	0.250 0
屯昌	0.500 0	0.168 8	0.386 1	0.048 9	0.445 0
白沙	0.760 8	0.303 0	0.643 5	0.253 6	0.445 0
通什	0.739 1	0.238 1	0.564 3	0.178 6	0.415 0
昌江	0.543 4	0.238 0	0.237 6	0.152 7	0.140 0
乐东	0.652 1	0.303 0	0.485 1	0.115 2	0.605 0
东方	0.652 1	0.168 8	0.198 0	0.092 2	0.000 0
陵水	0.391 3	0.000 0	0.148 5	0.043 2	0.445 0

使用 Matlab 编写主成分分析程序, 求出主成分方差以及累积方差贡献率. 从表 2 可以看出, 前 3 个主成分累积贡献率约为 84%, 因此本文只提取了前 3 个主成分. 第 4、第 5 个主成分方差贡献率分别为 10.467 6%、5.546 6%, 所包含的信息较少, 因此这 2 个主成分可以忽略.

根据表 3 主成分特征向量值, 得出前 3 个主成分方程为

$$\begin{cases} y_1 = -0.494 7x_1 + 0.595 9x_2 + 0.061 4x_3 + \\ \quad 0.577 6x_4 + 0.250 5x_5, \\ y_2 = 0.283 4x_1 + 0.056 5x_2 + 0.863 9x_3 - \\ \quad 0.082 7x_4 + 0.404 1x_5, \\ y_3 = 0.231 9x_1 - 0.121 8x_2 - 0.463 5x_3 + \\ \quad 0.006 4x_4 + 0.846 5x_5. \end{cases}$$

表2 主成分方差、累积方差贡献率

Table 2 Principal component variance, cumulative variance contribution rate

特征值	差值	贡献率/%	累积贡献率/%
2.232 9	1.185 9	44.657 1	44.657 1
1.046 9	0.127 4	20.938 7	65.595 8
0.919 5	0.396 1	18.390 0	83.985 8
0.523 4	0.246 1	10.467 6	94.453 4
0.277 3		5.546 6	100.000 0

表3 前3个主成分特征向量

Table 3 Three main components of the feature vector

指标	第1特征向量	第2特征向量	第3特征向量
雷击大地密度(x_1)	-0.494 7	0.283 4	0.231 9
雷电灾害频数(x_2)	0.595 9	0.056 5	-0.121 8
经济易损模数(x_3)	0.061 4	0.863 9	-0.463 5
生命易损模数(x_4)	0.577 6	-0.082 7	0.006 4
人员伤亡频数(x_5)	0.250 5	0.404 1	0.846 5

从第1个主成分方程可以看出,雷电灾害频数指标特征向量值为0.5959,说明该指标值对第1主成分的贡献最大,经济损失模数对第2主成分的贡献最大,人员伤亡频数对第3主成分的贡献最大.因此,根据主成分方差贡献率以及主成分方程,建立雷电灾害易损性区划综合评价模型如下:

$$Y = 0.446\ 571y_1 + 0.209\ 387y_2 + 0.183\ 900y_3.$$

根据所建立的模型,求出海南省雷电灾害易损性综合值如表4所示.

表4 模型结果

Table 4 Model results of lightning disaster vulnerability in cities of Hainan province

地区	易损性值	风险划分	地区	易损性值	风险划分
海口	0.731 1	极高易损区	陵水	0.138 9	中易损区
保亭	0.397 2	高易损区	定安	0.119 8	中易损区
澄迈	0.331 4	高易损区	昌江	0.111 7	中易损区
乐东	0.300 5	高易损区	万宁	0.095 8	低易损区
白沙	0.284 2	高易损区	琼海	0.058 2	低易损区
通什	0.231 7	高易损区	临高	0.045 8	低易损区
屯昌	0.199 7	中易损区	儋州	0.028 6	低易损区
三亚	0.190 9	中易损区	东方	0.012 2	低易损区
文昌	0.138 9	中易损区	琼中	-0.003 9	极低易损区

从表4可以看出,海口市雷电灾害易损性综合得分值最大,为0.7311,表明该地区属于雷电灾害极高易损区,其次是保亭市,综合得分为0.3972,表明保亭市属于雷电灾害高易损区,琼中市综合得分

最低,仅为-0.0039,表明琼中市属于雷电灾害极低易损区.海南省雷电灾害易损性风险区划如图1所示.

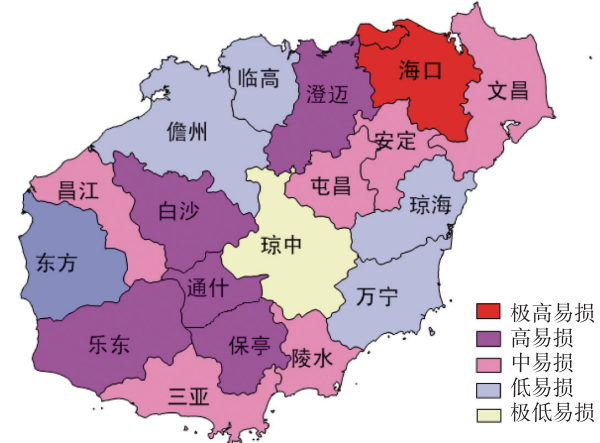


图1 海南省雷电灾害易损性风险区划

Fig. 1 Zoning map of lightning disaster vulnerability in Hainan province

4 结论

对某地区雷电灾害易损性区划研究中,通常采用层次分析等方法,然而层次分析法在确定指标权重值时,人为主观因素较大,必然会给所建立的综合评估模型带来较大的误差.因此,本文采用主成分分析法建立了雷电灾害易损性区划综合评价模型,旨在克服层次分析等方法所带来的缺陷,从而使得模型结果更接近于实际水平.

本文采用所建立的雷电灾害易损性区划综合评价模型,在对海南省雷灾统计资料实例运用中,分析得出,海口市属于雷电灾害极高易损区,琼中市属于雷电灾害极低易损区.

参考文献

References

[1] 黄慧君.云南大理州近40年雷暴日数演变分析[J].云南地理环境研究,2007,19(3):18-20
HUANG Huijun. Analyses on thunderstorm day's change in dallies of Yunnan province [J]. Yunnan Geographic Environment Research, 2007, 19(3): 18-20

[2] 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):164-168
LIU Yan, LI Zheng, CHENG Xiangyang, et al. Risk assessment of lightning in Anhui province [J]. Journal of Nanjing University of Information Science & Technology (Natural Science Edition), 2014, 6(2): 164-168

- [3] 钟颖颖,束建,朱恺,等.常州雷灾分布特征及风险区划[J].南京信息工程大学学报(自然科学版),2014,6(3):257-262
ZHONG Yingying, SHU Jian, ZHU Kai, et al. Characteristics of lightning disaster distribution and risk zoning of Changzhou [J]. Journal of Nanjing University of Information Science & Technology (Natural Science Edition), 2014, 6(3) : 257-262
- [4] 李浩,边学文.浙江省雷电灾害易损性分析及风险区划[J].南京信息工程大学学报(自然科学版),2014,6(4):336-341
LI Hao, BIAN Xuewen. Vulnerability analysis and risk zoning of regional lightning disaster in Zhejiang province [J]. Journal of Nanjing University of Information Science & Technology (Natural Science Edition), 2014, 6(4) : 336-341
- [5] 李加启,申双和,秦健,等.重庆市雷电灾害易损性风险综合评估与区划[J].西南大学学报(自然科学版),2011,33(1):96-102
LI Jiaqi, SHEN Shuanghe, QIN Jian, et al. Comprehensive estimate and zoning of lightning disaster vulnerability risk in Chongqing [J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2011, 33(1) : 96-102
- [6] 高焱,蒙小亮,劳小青.基于聚类分析的海南岛雷电灾害易损度风险区划[J].自然灾害学报,2013,22(1):175-182
GAO Yi, MENG Xiaoliang, LAO Xiaoqing. Cluster analysis-based vulnerability risk zoning of lightning disaster in Hainan Island [J]. Journal of Natural Disasters, 2013, 22(1) : 175-182
- [7] 邓春林,季严飞,刘刚.基于雷电定位数据的区域雷击灾害风险评估方法探讨[J].南京信息工程大学学报(自然科学版),2010,2(3):230-235
DENG Chunlin, JI Yanfei, LIU Gang. Discussion on the risk assessment method for regional lightning disaster based on lightning location data [J]. Journal of Nanjing University of Information Science and Technology (Natural Science Edition), 2010, 2(3) : 230-235
- [8] 王芹芹,雷晓云,高凡.基于主成分分析和RBF神经网络的融雪期积雪深度模拟[J].干旱区资源与环境,2014,28(2):175-179
WANG Qinqin, LEI Xiaoyun, GAO Fan. Snow depth simulation in the snowmelt period based on principal component analysis and RBF neural network [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2014, 28(2) : 175-179
- [9] 朱道元,吴诚鸥,秦伟良.多元统计分析软件 SAS [M].南京:东南大学出版社,1999
ZHU Daoyuan, WU Cheng'ou, QIN Weiliang. Multivariate Statistical analysis software SAS [M]. Nanjing: Southeast University Press, 1999

Comprehensive evaluation model of lightning vulnerability zoning based on principal component analysis

JIANG Su^{1,2} SU Jianfeng^{1,2} CHEN Yuan^{1,2} QIN Wei^{1,2}

1 Key Laboratory for Aerosol-Cloud-Precipitation of China Meteorological Administration, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

2 School of Atmospheric Physics, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

Abstract The analytical hierarchy process (AHP) is frequently employed to determine the element weights in study of regional lightning vulnerability zoning. However, the scholar's individual bias in judgment of option weight during AHP will introduce error to lightning risk assessment model. In order to avoid the potential error brought by AHP, we use principal component analysis instead to establish a new type of lightning disaster vulnerability zoning model, which is then applied to analyze the lightning disaster vulnerability in Hainan province. Five indexes, including thunderstrike density, lightning frequency, economic loss, life vulnerability module, and casualties frequency are chosen to zone Hainan province in lightning vulnerability.

Key words vulnerability; lightning earth density; casualty's frequency; variance contribution rate; principal component