

金晨路,肖稳安,王学良.湖北省雷电灾害易损性分析与区划[J].暴雨灾害,2011,30(3):272-276

湖北省雷电灾害易损性分析与区划

金晨路^{1,2},肖稳安^{1,2},王学良³

(1.南京信息工程大学气象灾害省部共建教育部重点实验室,南京 210044;2.南京信息工程大学大气物理学院,南京 210044;3.湖北省防雷中心,武汉 430074)

摘要:使用2007—2009年湖北省13个闪电监测站闪电定位数据和1998—2009年雷电灾害资料,结合湖北省自然、社会、经济特征,以雷击密度、综合灾度、人均GDP以及人口密度为雷电灾害易损性评估指标,采用层次分析法确定指标权重,建立雷电灾害易损性评估模型,计算全省各地市雷电灾害易损度,形成湖北省雷电灾害易损性区划图。结果表明:湖北省雷电灾害易损性高、中、低各区域相对集中,其中武汉、鄂州、黄石、咸宁、宜昌5市为易损性极高区;仙桃、荆门、潜江、孝感4市为高易损区;襄阳、天门、黄冈、随州4市为中易损区;荆州、十堰2市以及神农架林区、恩施土家族苗族自治州为易损性极低区域。

关键词:雷电灾害;易损性;区划;湖北省

中图分类号:P429 文献标识码:A 文章编号:1004-9045(2011)03-0272-05

Vulnerability analysis and Regionalization for Lightning Disaster in Hubei

JIN Chenlu^{1,2}, XIAO Wen-an^{1,2}, WANG Xueliang³

(1.Key Laboratory of Meteorological Disaster of Ministry of Education, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044; 2.School of Atmospheric Physics, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044; 3.Hubei Center of Lightning Protection, Wuhan 430074)

Abstract: Using the lightning location data from 13 ADTD stations during 2007—2009 and lightning disaster statistical data from 1998 to 2009 in Hubei, coordinating with the natural, social and economic characteristics in Hubei, taking extract lightning strike density, synthetic disaster degree, per capita GDP and population density as a vulnerability assessment index of lightning disaster, as well as index weight defined with AHP, the vulnerability assessment model for lightning disaster was established, and the vulnerable degree of lightning disaster in all the municipality of Hubei was calculated, then the risk regionalization map of thunderstorm disasters in Hubei was given. The results show that the distributions of the high, middle and low vulnerability regions of lightning disaster in Hubei was relatively concentrated, wherein Wuhan, Ezhou, Huangshi, Xianning, Yichang belong in a maximal vulnerability area; Xiantao, Jingmen, Qianjiang and Xiaogan belong in a high vulnerability area; Xiangyang, Tianmen, Huanggang and Suizhou belong in a middle vulnerability area; Jingzhou, Shiyan, Shennongjia Forestry Region and Enshi Tujia and Miao Autonomous Prefecture belong in a low vulnerability area.

Key words: lightning disaster; vulnerability; regionalization; Hubei province

0 引言

湖北省地处长江中游,地理位置29°05′—33°20′N、108°21′—116°07′E;山地约占全省总面积的55.5%,丘陵和岗地占24.5%,平原湖区占20%,地势高低相差悬殊;主要属北亚热带季风气候,具有从亚热带向暖温带过渡的特征,夏半年冷暖气流常在长江流域交汇形成梅雨锋,沿梅雨锋上雷暴多发,如2007年7月上

旬,梅雨锋带中的武汉,雷电记录达万次。此外,湖北境内长江流域MCC(中尺度对流复合体)活动频繁,往往伴有雷电。统计结果表明,1998—2009年湖北省共发生雷灾1098起,造成经济损失9825.98万元,伤亡588人。因此,分析湖北省雷电灾害易损性,评估其雷电灾害,对防御、减轻雷电灾害损失具有重要意义。

易损性是指事物容易受到伤害或损伤的程度,它反映特定条件下事物的脆弱性。国内气象工作者根据

收稿日期:2011-06-27;定稿日期:2011-08-08

资助项目:中国气象局华中区域气象中心科技发展基金项目(QY-Z-201007)

第一作者:金晨路,女,1987生,硕士,主要从事雷电灾害风险评估。E-mail: jclzmxn@126.com

各地自然环境、经济状况和雷灾损失,对所辖区域雷灾易损性相继进行了综合评估,初步形成各省(区、市)雷灾易损性区划。如郭虎等^[1]通过对北京市雷电灾害易损性分析、评估,对其易损度进行了区划。李彩莲等^[2]对陕西省雷电灾害易损性进行了综合评估与区划。严春银^[3]分析江西省雷电灾害易损性,并作了相应区划。张旭辉等^[4]分析了江苏省雷暴灾害的脆弱性。然而,对湖北省雷电灾害易损性的分析与区划尚未见报道。因此,本文根据湖北省2007—2009年闪电定位数据和1998—2009年雷电灾害资料,结合湖北省自然、社会、经济特征,选取雷击密度、综合灾度、人均GDP以及人口密度作为湖北省雷电灾害易损性评估指标,采用层次分析法确定雷电灾害易损性评估指标权重,建立雷电灾害易损度评估模型;在此基础上,评估湖北省雷电灾害的易损性,并对其进行区划。

1 资料来源与雷电灾害易损性评价方法

本文雷灾资料来源于中国气象局雷电防护管理办公室、中国气象学会雷电防护研究会编写的《全国雷电灾害汇编》(内部资料);1998—2009年湖北省雷电灾害数据由人工统计,包括雷电灾害发生次数、总经济损失估量值、人员伤亡总数等,统计时剔除少量数据不详的雷灾记录(如无具体雷灾时间、地点,缺雷灾次数和伤亡人数等);闪电资料来源于中国科学院空间科学与应用研究中心提供的ADTD闪电监测定位资料,其13个ADTD闪电监测定位系统探测站(雷击探测仪)分布于湖北省不同地理位置;人口经济数据来源于《2010年湖北省统计年鉴》。

近年来,国内外许多专家学者对自然灾害展开大量研究,提出很多针对自然灾害损失的评价方法,但有关雷电灾害易损性评价指标与方法的研究并不多。樊运晓提出的承灾体脆弱性评价方法^[5]对雷电灾害研究的适用性较强,此法考虑了各指标的重要程度和实际情况,并采用层次分析法计算各指标权重,再将各指标值加权叠加后得到易损性量化值,所得结果相对科学、客观。因此,本文借鉴此法建立雷电灾害易损性评估模型,其计算公式为

$$R_i = \sum_{i=1}^k Q_i^* \times W_i \quad (1)$$

$$Q_i^* = \frac{Q_i - Q_{i(\min)}}{Q_{i(\max)} - Q_{i(\min)}} \quad (2)$$

式(1)—(2)中, R_i 为雷电灾害易损度; Q_i^* 为对第*i*个因子(本文中选取4个因子)初始值按式(2)进行归一化后的值, Q_i 为各指标序列中的每一项, $Q_{i(\max)}$ 表示该指标中的最大值, $Q_{i(\min)}$ 为该指标中的最小值; W_i 为第*i*

个因子的权重,各因子权重由层次分析法确定。 R_i 值越大,雷电灾害易损性综合程度越高,易损性越大;反之,雷电灾害易损性综合程度越低,易损性越小。

湖北省现有14个地级市(州、林区)、3个直管市、61个县(市)、38个市辖区。为使研究成果易于应用和指导全省防雷减灾工作,本文保持全省行政区划的完整性,以14个地级市(州、林区)和3个直管市作为基本分析单元,分析各单元雷电灾害易损性。

2 雷灾易损性评估指标分析

2.1 评估指标的定义

雷灾易损性既与区域雷电活动的自然规律有关,也与区域社会经济发展状况、雷电灾害可能造成的后果有关^[6]。因此,本文基于对1998—2009年湖北省雷电灾害资料以及2007—2009年湖北省闪电定位资料的统计分析,结合湖北省自然地理、社会经济及文化教育背景,遵循重要性、科学性、合理性原则,选定雷击密度、综合灾度、人口密度、人均GDP作为湖北省雷灾易损性评价指标。各指标含义如下:

1) 雷击密度(N_g)。 N_g 是指区域单位面积地闪频数的年平均值,是最直接反映孕灾环境的评估指标^[1]。其计算公式为 $N_g = N_s / S$ 。 N_s 为各市发生闪电次数的年平均值; S 为各市土地面积,单位为次·km⁻²·a⁻¹。

2) 综合灾度(G)。 G 是对各地区历史灾情的定量评估,能客观反映各地遭受雷灾损失的实际情况。其计算公式为 $G = (G_n + G_e + G_p) \times 10^6 / n \cdot S$ 。其中, G_n 为各地市雷灾次数占总雷灾发生次数的百分比, G_e 为各地市经济损失占总经济损失估量值的百分比, G_p 为各地市伤亡人数占总伤亡人数的百分比, n 为年数(本文取12), S 为各市土地面积,因为雷灾次数、经济损失、人数伤亡数相比于土地面积数量级太小,故将 G_n 、 G_e 、 G_p 分别乘以10⁶后再做分析。

3) 人口密度(P)。 P 表示区域单位面积上可能受损害的人口数量,可反映雷灾区域人员伤亡隐患。其计算公式为 $P = P_s / S$,单位为万人/km²。其中, P_s 为2010年各市常住人口总数。

4) 人均GDP(L)。 L 表示区域发生雷灾时可能遭受的经济损失,可间接反映各地市抵御雷电灾害的能力及灾后恢复能力^[7]。其计算公式为 $L = L_s / P_s$,单位为万元/人。其中, L_s 为2010年各市GDP总值。

2.2 评估指标的分布特征

2.2.1 雷击密度(N_g)分布特征

湖北省地处亚热带季风气候区,常年水汽充沛,对流不稳定活跃,有利雷暴天气形成与发展^[8]。该省是我国第二阶梯向第三阶梯过渡地带,地势西高东低,

西、北、东三面环山,形成向南敞开的不完整盆地,复杂地形使该省成为雷电多发地区。图 1 是湖北省 2007—2009 年以市为单位的雷击密度等值线图。

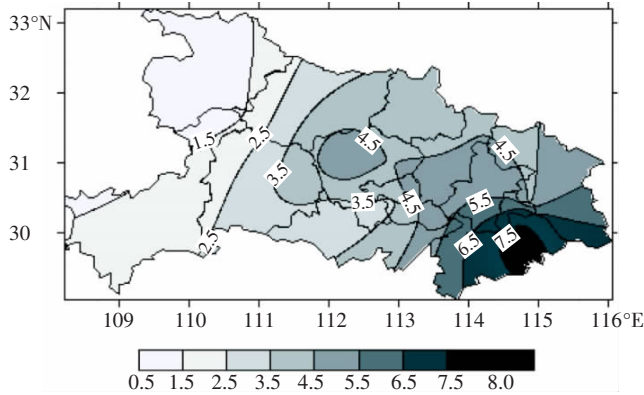


图 1 2007—2009 年湖北省雷击密度(N_g)地域分布
(单位:次· km^{-2} · a^{-1})

从图 1 中可见,湖北省 N_g 总体呈由鄂东南向鄂西北递减、江汉平原居中的分布特征,其中咸宁 N_g 值最大,为 $7.32 \text{ 次} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,这是由于该市地处幕阜山脉向江汉平原过渡地带,成为不同电阻率土壤的交界区域,有利云地闪发生。鄂州、黄石是两个 N_g 次高值区,分别为 7.27 、 $6.90 \text{ 次} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。究其原因,鄂州市境内拥有大小湖泊 133 个,水域面积 4.33 万公顷,占全市面积的 29%,此类湖沼、低洼区、地下水位较高区因其土壤电阻率较小使该市成为全省 N_g 第二高的城市;黄石市有金属矿床的地区范围较大,其土壤电阻率低,成为该市 N_g 较高的重要原因之一。再次是荆门、武汉、天门、仙桃、孝感、黄冈市,其 N_g 为 $4 \sim 6 \text{ 次} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。宜昌、随州、潜江、襄阳是 N_g 较低区,为 $3 \sim 4 \text{ 次} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。荆州、恩施、十堰市与神龙架林区是 N_g 低值区,为 $1 \sim 2 \text{ 次} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。从统计数据上看出,江汉平原 N_g 远大于鄂西高山地区,这是因为山区多岩石,土壤电阻率高,不利云地闪发生,而江汉平原水域分布广泛,土壤水分含量高,土壤电阻率低,有利云地闪发生^[8]。综上分析表明,湖北省雷击密度大小与孕灾环境关系密切。

2.2.2 综合灾度、人口密度、人均 GDP 的分布特征

根据本文第 2.1 节中综合灾度的计算公式,图 2 给出 1998—2009 年湖北省综合灾度(G)分布图。由图 2 并结合各地年雷灾次数(1998—2009)、人口密度、人均 GDP 的统计结果可知如下事实:

1) 鄂州、武汉、孝感、咸宁、仙桃 5 市为 G 高值区。其中鄂州 G 值最大,为 9.32,这与该市高雷击密度相对应。鄂州市 1998—2009 年共发生雷灾 45 起,造成经济损失 368.5 万元,人员伤亡 34 人。计算该市 G 的三项指标值均虽不高(处于湖北省中等水平),但该市土地面积较小,一旦发生雷灾,其造成影响可能较大。

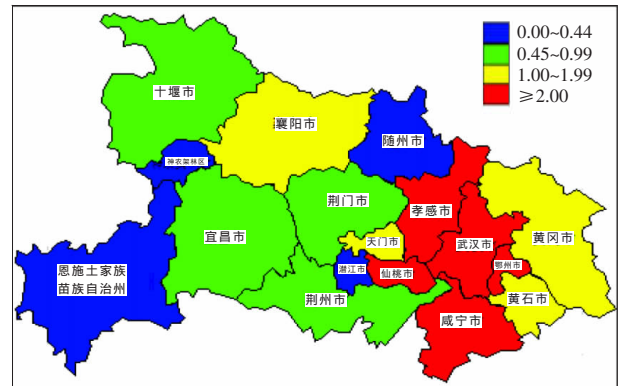


图 2 1998—2009 年湖北省综合灾度(G)分布

2) 武汉市 G 其次,为 6.61。该市 1998—2009 年共发生雷灾 300 起,造成经济损失 1571.82 万元,人员伤亡 73 人。该市雷击密度并非最大,但作为省会城市,是全省政治、经济、文化、教育、交通中心,电网纵横,高楼林立,人口密度最大($0.107 \text{ 万人}/\text{km}^2$),人均 GDP 最高(5.08 万元/人),一旦发生雷灾,造成的经济损失和人员伤亡可能会很大。

3) 襄阳、天门、黄冈、黄石 4 市 G 再次,为 $1.17 \sim 1.44$ 。其中襄阳 G 为 1.44,尽管该市雷击密度不高,但城市现代化程度高、工业发达,使其 G 较高,1998—2009 年襄阳共发生雷灾 123 起,造成经济损失 682.22 万元,人员伤亡 53 人。另外,黄石雷击密度虽大,但 G 中等,为 1.17,该市 1998—2009 年发生雷灾 31 起,造成经济损失 59.7 万元,人员伤亡 11 人。黄石市经济处于湖北中等发达水平,但其支柱产业为建筑、旅游、矿产,而非对雷电敏感的邮电通讯、电子、石油化工等产业,因此该市雷灾发生次数较低,即使发生雷灾,也多以建筑物损毁、居民用电设备受损为主,1998—2009 年该市居民用户遭受雷击占全部雷灾事故的 29%,经济损失较为严重的电力和石油化工业均只占 8%。

4) 十堰、宜昌、荆门、荆州 4 市 G 较小,为 $0.53 \sim 0.94$ 。其中宜昌市 G 为 0.89,尽管该市城市现代化程度高、经济和工业发达、雷灾造成的经济损失也较严重,但 G 不高,这可能与宜昌市雷击密度小、土地面积大、人口密度低有关,该市 1998—2009 年发生雷灾 85 起,造成经济损失 613.06 万元,人员伤亡 25 人。

5) 潜江市、恩施州、随州市和神龙架林区 G 最小,仅 $0.03 \sim 0.44$ 。神龙架林区 G 几乎为 0,1998—2009 年 12 年中有记载的雷灾仅 1 起。

3 雷灾易损性评估指标因子权重的确定

灾害易损性评估的关键是合理确定评估指标的权重。本文采用层次分析法确定雷灾易损性评估指标因子的权重^[9]。层次分析法的测量过程分为系统层次

分解、矩阵分析计算和一致性检验三个阶段,其中核心工作是判断矩阵计算以及对矩阵的一致性检验。本研究在使用层次分析法时的具体打分,一是咨询了南京信息工程大学大气物理学院防雷专业 4 位专家,其中 1 人具有教授职称,3 人具有副教授(研究员)职称;二是充分借鉴了文献^[4,7]中雷灾易损性评估指标打分做法。

3.1 系统层次分解

采用层次分析法确定雷灾易损度评估模型中各个因子的权重。在分析过程中,将雷灾易损性评估确定为

层次分析的第一层,即目标层;将灾害形成条件作为第二层,即准则层;将影响因素作为第三层,即指标层。

3.2 指标权重的确定

判断矩阵表示针对上一层某指标,本层次与之有关的各指标之间相对重要性的比较。本文依据选用的评估指标和层次模型,经专家咨询打分,按 Saaty 的标度方法^[9]构造判断矩阵 T ,然后计算判断矩阵最大特征根 λ_{max} 和特征向量 W ,对特征向量进行归一化后,即可获得各因子权重系数,其计算结果见表 1。

表 1 湖北省雷电灾害易损度判断矩阵(T)及评价指标(B)权值分布

雷电灾害易损度评价(T)	人均 GDP(B1)	雷击密度(B2)	综合灾度(B3)	人口密度(B4)	指标权重
人均 GDP(B1)	1	2	3	5	0.47 285
雷击密度(B2)	1/2	1	2	4	0.28 438
综合灾度(B3)	1/3	1/2	1	3	0.16 992
人口密度(B4)	1/5	1/4	1/3	1	0.07 285

3.3 矩阵一致性检验

首先,计算一致性指标 $CI, CI=(\lambda_{max}-n)/(n-1)=(4.0511-4)/(4-1)=0.017$,其中 n 为判断矩阵的阶数;然后,查找平均随机一致性指标 $RI, RI=0.90$;第三,计算一致性比例 $CR, CR=CI/RI=0.017/0.90=0.0189<0.1$,当 $CR<0.1$ 时,认为判断矩阵的一致性可以接受;否则,应对判断矩阵作适当修正。由此可见,本文构造的判断矩阵具有满意的一致性。

4 雷电灾害易损性区划分析

对湖北省进行雷灾易损性区划的关键是要得到各市雷灾易损度值。首先,根据第 2 节所述方法计算得到 14 个地级市(州、林区)和 3 个直管市雷灾易损性评价指标值,并使用公式 2 对各指标值进行归一化处理;其次,通过第 3 节中的计算已知,雷击密度、综合灾度、人均 GDP、人口密度的指标权重分别为 0.28 438、0.16 992、0.47 285、0.07 285,根据雷灾易损度计算模型(公式 1),将湖北省 14 个地市(州、林区)和 3 个省直管市归一化后的指标数据代入公式 1 计算出湖北省雷灾易损度;最后,根据雷灾易损度计算结果,结合湖北省雷电灾害实情,采用 4 级分区法将湖北省 14 个地级市(州、林区)和 3 个省直管市分别划分为低、中、高、极高易损性区域,其结果见表 2。

本文采用气象学统计分析中常用的分级统计方法^[10],首先将 17 个分析单元(全省市、州、林区)的综合易损度值从小到大顺序排列,并按第一组 5 个记录,第二、三、四组 4 个记录,将数据分为 4 组;然后,将第 $n(n=1, 2, 3)$ 组中的最大值和第 $n+1(n=1, 2, 3)$ 组中的

表 2 经归一化后处理后的湖北省雷电灾害易损度

地名	雷击密度	综合灾度	人均 GDP	人口密度	易损度	易损性
武汉	0.69	0.81	1.00	1.00	0.86	极高
黄石	0.93	0.08	0.36	0.48	0.49	极高
十堰	0.03	0.09	0.20	0.09	0.13	低
宜昌	0.41	0.12	0.54	0.16	0.40	极高
襄阳	0.34	0.15	0.32	0.24	0.29	中
鄂州	0.99	1.00	0.54	0.60	0.75	极高
荆门	0.70	0.11	0.30	0.19	0.37	高
孝感	0.55	0.51	0.14	0.48	0.31	高
荆州	0.29	0.04	0.09	0.37	0.16	低
黄冈	0.53	0.10	0.06	0.34	0.22	中
咸宁	1.00	0.35	0.19	0.22	0.43	极高
随州	0.40	0.03	0.17	0.20	0.21	中
神农架	0.00	0.00	0.10	0.00	0.05	低
恩施	0.10	0.03	0.00	0.12	0.04	低
天门	0.61	0.04	0.12	0.48	0.29	中
仙桃	0.58	0.10	0.27	0.44	0.37	高
潜江	0.35	0.33	0.39	0.42	0.32	高

最小值的平均值作为第 $n'(n=1, 2, 3)$ 级的最大值和第 $(n+1)'(n=1, 2, 3)$ 级的最小值,即

$$n'_{max}=(n+1)'_{min}=[n_{max}+(n+1)_{min}]/2 \quad (3)$$

本文计算的各等级雷灾易损度值分别为:低易损区(0.040~0.185),中易损区(0.185~0.300),高易损区(0.300~0.385),极高易损区(0.385~0.860)。最后,根据划分结果,制作湖北省雷电灾害易损性区划图(图 3)。

从图 3 中可见,湖北省雷电灾害易损性区域分布相对比较集中,极高易损区包括武汉、鄂州、黄石、咸

