

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2014.07.028

基于模糊综合评价法的雷电灾害易损性区划研究^①

秦 健, 覃彬全, 陈 闯, 廖良兵

1. 重庆市防雷中心, 重庆 401147; 2. 重庆市雷电灾害鉴定与防御工程技术研究中心, 重庆 401147

摘要: 利用重庆市 2006—2012 年 ADTD 雷电监测资料和 1999—2012 年雷电灾害统计数据, 构建了雷电灾害易损性评价指标体系, 运用模糊综合评价法对重庆市各区、县雷电灾害易损性进行了定量评价, 得到各区、县雷电灾害易损性等级及其分布。研究表明, 重庆市雷电灾害易损性总体程度较高, 极高和高易损性的区、县数为 24 个, 占比高达 60%, 多分布于中西部区域, 研究结果为明确雷电灾害防御重点区域, 科学制订雷电防御规划, 采取安全、合理的防雷措施提供了重要依据。

关键词: 雷电灾害; 易损性; 模糊综合评价; 区划

中图分类号: TM863

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2014)7-0176-07

重庆市幅员辽阔, 面积 8.24 万 km², 位于东经 105°17′~110°11′、北纬 28°10′~32°13′之间的青藏高原与长江中下游平原的过渡地带, 下辖 40 个区县, 每年雷暴日最多达 51 d, 是全国多雷暴地区之一。近年来随着重庆社会经济的快速发展, 雷电灾害事故频繁发生, 据不完全统计, 雷电灾害每年造成上千万元经济损失和数十人伤亡。由于科学水平所限, 目前人们对于致灾因子只能了解其形成的原因, 而不能改变其发生过程, 也无法减少其危险性, 因此降低灾害易损性就成为减灾的重要措施^[1]。雷电灾害易损性评价是减轻雷电灾害损失、影响程度的一种有效方法, 也是雷电灾害风险防控的基础, 它为政府部门科学制订防雷减灾规划、增强高易损性区域的防雷减灾能力提供重要依据。

目前国内许多学者都对雷电灾害易损性进行了研究, 李家启等人对雷电灾害风险评估技术进行了比较全面的分析^[2], 郭虎等人利用 4 级分区法对北京雷电灾害易损度进行了划分^[3], 杨茜等人利用 GIS 方法对重庆冰雹灾害进行了区划^[4], 王惠等人运用距平百分率方法研究了云南省雷电灾害易损性^[5]。由于雷电灾害易损性具有模糊性、非定量等特点, 单纯的采用定性方法难免受人为因素的干扰, 而定量方法也可能使本来比较复杂的事物简单化^[6]。为尽可能准确全面地评价雷电灾害易损性, 本文采用定性与定量相结合的模糊综合评价法对全市各区县雷电灾害易损性进行定量评价, 获得了各地的雷电灾害易损程度。

1 雷电灾害易损性评价指标体系

1.1 指标体系构建原则

易损性评价指标体系涉及区域的经济、社会和文化等诸多领域, 它是易损性评价的依据框架, 其指标的量化方法很多, 它的建立需要在一定的原则指导下, 在进行实际的调查分析之后确定, 构建指标体系应遵循以下原则^[7-8]。

① 收稿日期: 2013-10-17

基金项目: 重庆市科技平台与基地建设(CSTC2013PT-GC00001)。

作者简介: 秦 健(1980-), 男, 四川邻水人, 硕士, 主要从事雷电灾害与防护技术研究。

1) 科学性原则: 易损性指标体系在全面、客观、准确地反映易损因子情况的同时, 又要避免指标间信息的重叠.

2) 综合性原则: 评价指标体系应能综合反映雷电的多方面属性和特征. 同时, 必须突出重点, 以反映灾害对社会经济影响的主要方面.

3) 系统性原则: 易损性评价指标体系应力求系统化, 每个指标必须科学、简明, 分度明确, 并形成一个有机的整体, 所包含的内容广泛, 能够比较全面地反映一个区域的雷电灾害易损性.

4) 实用性原则: 易损性评价指标的科学性和价值应体现在能否正确、及时、全面地反映灾害所造成的损失程度, 以及为政府决策服务, 应具有一定的实用性.

1.2 指标体系的建立

根据指标体系构建原则, 结合相关参考文献^[9-11]和重庆市雷电灾害实际情况, 本文采用以下 4 个指标来分析重庆市雷电灾害易损性(表 1): ① 雷击密度 M , 它是反映雷电次数的一个重要指标, 雷击密度大, 说明区域孕灾环境复杂、致灾因子活跃; ② 雷电灾害频数 P , 表示区域雷电灾害发生频率和次数高低, 它是进行承灾体易损性分析的一项重要指标; ③ 生命易损模数 L , 反映区域生命对灾害的敏感性, 间接反映区域防御和抵抗雷电灾害的能力; ④ 经济损失模数 D , 反映区域雷电灾害损失程度和损失分布情况, 间接反映区域抵抗雷电灾害和可恢复能力. 其中前两项指标着重于雷电灾害发生频率和次数的评价, 反映致灾因子的时空分布和承灾体的易损程度; 后两项指标则侧重于灾害损失的评估, 反映承灾体的受损强度.

表 1 重庆雷电灾害易损性评价指标体系

序号	准则层	指标层	计算方法
1	致灾因子时空分布	雷击密度 M	$M = N/S$, 区域地闪次数/区域面积(次/km ²)
2	雷电灾害次数	雷电灾害频数 P	$P = N_i/a$, 雷电灾害次数/年(次/年)
3	人员伤亡	生命易损模数 L	$L = L_s/S$, 区域人员伤亡/区域面积(人/km ²)
4	经济损失	经济损失模数 D	$D = D_s/S$, 区域经济损失/区域面积(元/km ²)

2 雷电灾害易损性模糊评价方法

2.1 模糊综合评价数学模型

模糊综合评价法是建立在模糊数学理论基础上的—种预测和评价方法, 它适合于将某些不易量化的因素定量化, 解决那些模糊的、非定量的、难以明确定义的实际问题. 设 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ 为评价指标体系因素集, $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ 表示评价等级, $\omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n\}$ 为各因素集的模糊权重.

在确定评价因素的评价等级标准和权重值的基础上, 运用模糊集合变换原理, 以隶属度描述各因素及因子的模糊界线, 构造模糊评价集 $R_i = (r_{i1}, r_{i2}, r_{i3}, \dots, r_{im})$, 从而得到模糊矩阵为 $R = (r_{ij})_{n \times m}$, 将权向量 ω 与模糊矩阵 R 合成, 得到各被评价对象的模糊综合评价向量 B , $B = (b_1, b_2, \dots, b_m)^{[12-13]}$, 由于仅依据 b_j 来反映第 j 个决断在评判总体上所占的地位可能与实际情况不符, 本文采用加权和确定易损性等级.

2.2 模糊综合评价方法与步骤

2.2.1 确定因素集

ADTD 闪电定位系统主要用来探测云地闪, 第 2 代闪电监测网已覆盖重庆所辖行政区域, 可对次数、经纬度、雷电流和极性实现自动监测, 时间分辨率、探测精度高^[14]. 雷电灾害统计数据来源于各区县气象部门上报的数据. 本文以重庆市 40 个区县为评价区域, 以 2006—2012 年 ADTD 雷电监测资料和 1999—2012 年雷电灾害统计数据作为原始数据, 经计算将雷击密度 M 、雷电灾害频数 P 、生命易损模数 L 和经济损失模数 D 作为雷电灾害易损性评价指标, 即因素集 $U = \{\text{雷击密度, 雷电灾害频数, 生命易损模数, 经济损失模数}\}$, 各评价区域指标数据见表 2.

表 2 重庆各评价区指标数据

评价区	雷击密	雷电灾害	生命易损	经济损失	评价区	雷击密	雷电灾害	生命易损	经济损失
	度 M	频数 P	模数 L	模数 D		度 M	频数 P	模数 L	模数 D
	$/(次 \cdot km^{-2})$	$/(次 \cdot 年^{-1})$	$/(人 \cdot km^{-2})$	$/(元 \cdot km^{-2})$		$/(次 \cdot km^{-2})$	$/(次 \cdot 年^{-1})$	$/(人 \cdot km^{-2})$	$/(元 \cdot km^{-2})$
渝中	12.2	10.45	0.000 0	3 804.30	梁平	7.0	5.11	0.007 9	31.22
江北	10.3	10.32	0.000 0	1 234.18	南川	5.3	8.08	0.001 5	71.84
沙坪坝	11.7	11.04	0.007 6	720.92	忠县	6.9	5.38	0.006 9	65.15
南岸	9.5	8.47	0.000 0	423.23	彭水	6.7	5.57	0.000 8	3.58
渝北	7.4	10.32	0.010 3	266.28	綦江	6.3	10.93	0.021 1	186.14
九龙坡	9.3	10.76	0.025 5	311.57	黔江	5.3	4.44	0.017 9	185.65
大渡口	6.5	9.75	0.000 0	922.33	荣昌	12.1	7.95	0.003 7	23.08
北碚	8.0	12.23	0.001 3	253.51	石柱	5.2	4.43	0.001 3	4.22
巴南	6.7	9.81	0.000 0	79.15	双桥	8.2	9.20	0.000 0	742.46
璧山	8.6	10.96	0.002 2	51.06	铜梁	8.2	7.60	0.015 7	287.33
长寿	5.8	11.71	0.002 8	61.64	潼南	7.0	5.78	0.006 9	14.11
城口	2.0	2.93	0.001 5	10.94	万盛	6.8	10.62	0.003 5	13.26
大足	9.7	7.74	0.005 0	8.71	万州	7.1	4.67	0.007 8	89.08
垫江	6.2	5.39	0.015 2	254.02	巫山	3.3	2.50	0.000 3	47.41
丰都	6.3	5.00	0.003 4	209.09	巫溪	3.1	2.55	0.000 0	0.00
奉节	3.6	3.18	0.000 7	11.20	武隆	5.6	5.92	0.000 0	0.61
涪陵	7.7	7.36	0.009 9	244.08	秀山	3.7	5.11	0.000 0	403.61
合川	7.5	7.10	0.022 1	7.22	永川	7.5	18.71	0.003 2	131.03
江津	6.5	9.43	0.001 6	24.91	酉阳	4.9	4.59	0.001 0	43.52
开县	5.5	5.89	0.016 9	34.48	云阳	5.8	3.98	0.000 8	1.64

由于各指标单位不同且数据相差较大,需要对表 2 数据进行标准化处理,极差标准化处理公式为

$$x'_i = \frac{x_i - \min x_i}{\max x_i - \min x_i} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

经(1)式处理后 4 个指标的作用性质相一致^[15],处理后的数据见表 3。

表 3 重庆各评价区指标标准化处理后的数据

评价区	雷击密	雷电灾害	生命易损	经济损失	评价区	雷击密	雷电灾害	生命易损	经济损失
	度 M	频数 P	模数 L	模数 D		度 M	频数 P	模数 L	模数 D
	$/(次 \cdot km^{-2})$	$/(次 \cdot 年^{-1})$	$/(人 \cdot km^{-2})$	$/(元 \cdot km^{-2})$		$/(次 \cdot km^{-2})$	$/(次 \cdot 年^{-1})$	$/(人 \cdot km^{-2})$	$/(元 \cdot km^{-2})$
渝中	1.00	0.49	0.010 0	0.00	梁平	0.49	0.16	0.000 1	0.31
江北	0.82	0.48	0.003 2	0.00	南川	0.32	0.34	0.000 2	0.06
沙坪坝	0.95	0.53	0.001 9	0.30	忠县	0.48	0.18	0.000 2	0.27
南岸	0.73	0.37	0.001 1	0.00	彭水	0.46	0.19	0.000 0	0.03
渝北	0.53	0.48	0.000 7	0.41	綦江	0.42	0.52	0.000 5	0.83
九龙坡	0.72	0.51	0.000 8	1.00	黔江	0.32	0.12	0.000 5	0.70
大渡口	0.44	0.45	0.002 4	0.00	荣昌	0.99	0.34	0.000 1	0.15
北碚	0.59	0.60	0.000 7	0.05	石柱	0.31	0.12	0.000 0	0.05
巴南	0.46	0.45	0.000 2	0.00	双桥	0.61	0.41	0.002 0	0.00
璧山	0.64	0.52	0.000 1	0.09	铜梁	0.61	0.31	0.000 8	0.62
长寿	0.37	0.57	0.000 2	0.11	潼南	0.49	0.20	0.000 0	0.27
城口	0.00	0.03	0.000 0	0.06	万盛	0.48	0.50	0.000 0	0.14
大足	0.76	0.32	0.000 0	0.20	万州	0.50	0.13	0.000 2	0.31
垫江	0.41	0.18	0.000 7	0.60	巫山	0.13	0.00	0.000 1	0.01
丰都	0.42	0.15	0.000 5	0.14	巫溪	0.11	0.00	0.000 0	0.00
奉节	0.16	0.04	0.000 0	0.03	武隆	0.35	0.21	0.000 0	0.00
涪陵	0.56	0.30	0.000 6	0.39	秀山	0.16	0.16	0.001 1	0.00
合川	0.54	0.28	0.000 0	0.87	永川	0.54	1.00	0.000 3	0.12
江津	0.44	0.43	0.000 1	0.06	酉阳	0.28	0.13	0.000 1	0.04
开县	0.34	0.21	0.000 1	0.66	云阳	0.37	0.09	0.000 0	0.03

2.2.2 确定评价等级

本文将雷电灾害易损性评价等级划分为 5 个等级, 即评价集 $V = \{\text{极高易损性, 高易损性, 中易损性, 低易损性, 极低易损性}\}$. 利用距平的概念, 距平百分率大于 40% 为 1 级极高易损性, 距平百分率在 +21% ~ +40% 内为 2 级高易损性, 距平百分率在 -20% ~ +20% 内为 3 级中易损性, 距平百分率在 -21% ~ -40% 内为 4 级低易损性, 距平百分率小于 -40% 为 5 级极低易损性^[5,16]. 评价等级计算结果见表 4, 其计算公式为

$$V = \bar{y}(c + 1) \quad (2)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (3)$$

式中: V 为评价等级数值; \bar{y} 为标准化处理后的评价指标平均值; c 为距平百分率数值, 为便于计算 c 采用小数, $c = -0.4, -0.2, 0, 0.2, 0.4$; y_i 为标准化处理后的评价指标值; n 为样本数, $n = 40$.

表 4 重庆雷电灾害易损性评价等级分级标准

序号	评价指标	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
1	雷击密度 M	0.29	0.39	0.48	0.58	0.68
2	雷电灾害频数 P	0.19	0.25	0.31	0.38	0.44
3	生命易损模数 L	0.04	0.06	0.07	0.09	0.11
4	经济损失模数 D	0.13	0.18	0.22	0.27	0.31

2.2.3 确定模糊矩阵

隶属度函数的建立没有统一的标准, 本文采用降(升)半梯形分布, 建立一元线性隶属函数, 其数学模型为:

$$u_1(x_i) = r_{i1} = \begin{cases} 1 & x_i \geq x_{i1} \\ \frac{x_i - x_{i2}}{x_{i1} - x_{i2}} & x_{i2} < x_i < x_{i1} \\ 0 & x_i \leq x_{i2} \end{cases} \quad (4)$$

$$u_j(x_i) = r_{ij=2-4} = \begin{cases} \frac{x_{i,j-1} - x_i}{x_{i,j-1} - x_{i,j}} & x_{i,j} < x_i < x_{i,j-1} \\ \frac{x_i - x_{i,j+1}}{x_{i,j} - x_{i,j+1}} & x_{i,j+1} < x_i \leq x_{i,j} \\ 0 & x_i \leq x_{i,j+1}, x_i \geq x_{i,j-1} \end{cases} \quad (5)$$

$$u_4(x_i) = (r_{i5}) = \begin{cases} 1 & x_i \leq x_{i5} \\ \frac{x_{i4} - x_i}{x_{i4} - x_{i5}} & x_{i5} < x_i < x_{i4} \\ 0 & x_i \geq x_{i4} \end{cases} \quad (6)$$

式中: x_{ij} ($i=1, 2, 3, 4; j=1, 2, 3, 4, 5$) 表示第 i 个因子分别对应于易损性 1, 2, 3, 4, 5 级的评价标准; x_i 为第 i 个因子的评价特征数据; $u_j(x_i)$ 表示 x_i 评价特征数据对应于 j 级的隶属度, 它可在 $[0, 1]$ 内连续取值.

建立隶属函数后, 可以根据指标的特征数据求得其对应评价等级的隶属度, 从而获得评价指标的 (4×5) 维模糊评价矩阵:

$$\mathbf{R} = (r_{ij})_{4 \times 5} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} & r_{15} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} & r_{25} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} & r_{35} \\ r_{41} & r_{42} & r_{43} & r_{44} & r_{45} \end{bmatrix} \quad (7)$$

2.2.4 确定指标权重

权重计算公式^[17]:

$$\omega_i = \frac{x_i}{x_{ij}} \quad (8)$$

$$\bar{x}_{ij} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 x_{ij} \quad (9)$$

$$\bar{w}_i = \frac{\tau w_i}{\sum_{i=1}^4 \tau w_i} \quad (10)$$

则权重模糊矩阵为

$$\mathbf{w} = (\bar{w}_1, \bar{w}_2, \bar{w}_3, \bar{w}_4) \quad (11)$$

2.2.5 建立综合评价模型

利用模糊评价矩阵 \mathbf{R} 和权重集 \mathbf{w} , 通过模糊变换将 U 上的模糊向量 \mathbf{w} 变为 V 上的模糊向量 \mathbf{B} , 即得到综合评价模型:

$$\mathbf{B} = \mathbf{w} \circ \mathbf{R} = (b_1, b_2, b_3, b_4, b_5) \quad (12)$$

其中, “ \circ ”是模糊算子, 这里采用“乘与和”算子.

常用的最大隶属度易损等级判定方法不能充分利用模糊集 \mathbf{B} 所带来的所有信息, 本文用适当的数量指标把评判等级 v_j 量化, 将归一化的 b_j' 看成样本对 v_j 归属的权重, 然后求加权, 它与 v_j 中的指标接近程度就可判断样本属于哪一类别, 做法是把 v_j 的下标作为量化指标. 加权和的计算方法为^[18]:

$$H = \sum_{j=1}^5 j \times b_j' \quad (13)$$

式中: H 为受灾体易损性指数; j 为评价因子评价级别, b_j' 为归一化的模糊集 B' 向量.

3 雷电灾害易损性模糊评价结果及分析

以渝中区为例, 根据表 3、表 4 数据, 利用公式(4)~(7), 求出该评价区模糊评价矩阵 $\mathbf{R}_{\text{渝中}}$ 为:

$$\mathbf{R}_{\text{渝中}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

然后利用表 3 和公式(9)求得

$$\bar{x}_{1j} = 0.484, \bar{x}_{2j} = 0.314, \bar{x}_{3j} = 0.074, \bar{x}_{4j} = 0.222$$

利用表 3 和公式(8)~(11)求得渝中区权重 $\mathbf{w}_{\text{渝中}} = (0.1205, 0.0910, 0.7884, 0.0000)$, 利用公式(12)得到模糊综合向量 $\mathbf{b}_{\text{渝中}} = (1, 0, 0, 0, 0)$, 归一化向量 $\mathbf{b}'_{\text{渝中}} = (1, 0, 0, 0, 0)$, 根据公式(13)得到 $H_{\text{渝中}} = 1.0000$, 它等于 v_1 , 可判断渝中区雷电灾害易损性等级为 1 级, 属于极高易损性等级. 运用同样的方法, 可得到其余评价区的雷电灾害易损性模糊评价结果(表 5).

表 5 重庆雷电灾害易损性等级

易损性等级	数目/个	所占比例/%	区、县
极高易损性	7	17.5	渝中、江北、沙坪坝、南岸、九龙坡、大渡口、双桥
高易损性	17	42.5	渝北、北碚、巴南、璧山、大足、垫江、涪陵、合川、开县、梁平、綦江、黔江、荣昌、铜梁、万盛、秀山、永川
中易损性	4	10.0	长寿、江津、忠县、潼南
低易损性	5	12.5	丰都、南川、彭水、万州、云阳
极低易损性	7	17.5	城口、奉节、石柱、巫山、巫溪、武隆、酉阳

由表 5 可知, 极高易损性和高易损性的区、县数分别为 7 个和 17 个, 占重庆 40 个区、县的比例高达 60%; 中易损性区、县数为 4 个, 占比为 10%; 低易损性和极低易损性的区、县数分别为 5 个和 7 个, 总占比为 30%. 从易损性等级的比例分布说明重庆雷电灾害易损性程度总体水平较高.

最后根据重庆市雷电灾害易损性等级和评价等级标准, 生成重庆市雷电灾害易损性区划图(图 1). 从图 1 中可以看出, 极高易损区集中在主城 6 区, 高易损区集中在重庆的中部和西部, 这些地区的经济较发

达,人口稠密,高层建筑、易燃易爆场所及电子设备不断增加,遭受雷电危害的对象随之增加,但对雷电的承灾能力较差,造成的损失呈上升趋势,再加上强对流天气多发,致灾因子活跃,这些综合因素造成雷电灾害易损性高于其它地区.中易损性及以下等级的区域主要分布在东部地区,这些地区社会、经济发展水平落后于中西部地区,雷击密度、承载体数量和损失相对较小,因此易损性处于较低的级别.

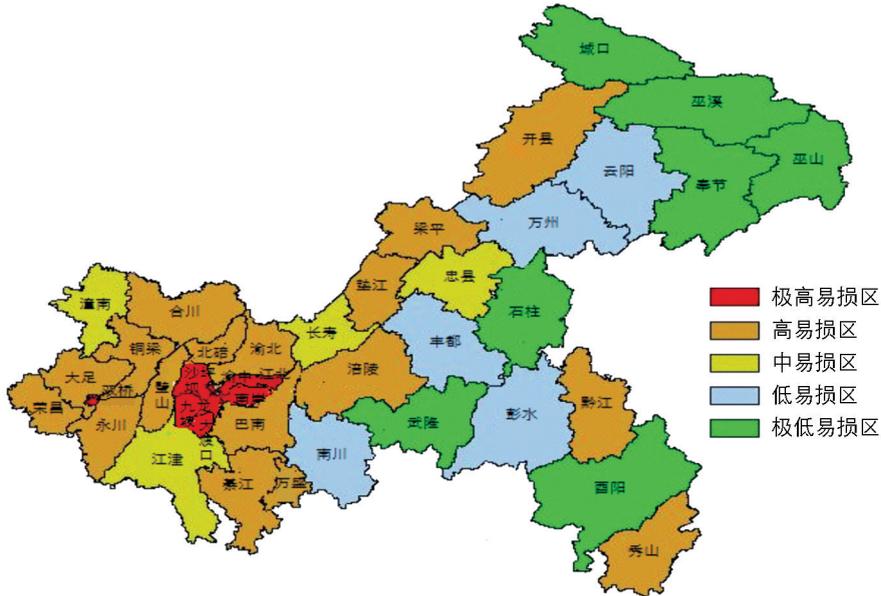


图 1 重庆市雷电灾害易损性区划图

4 结 论

1) 本文根据易损性评价指标体系构建原则,结合文献资料和重庆实际情况,选取雷击密度 M 、雷电灾害频数 P 、生命易损模数 L 和经济损失模数 D 作为雷电灾害易损性评价指标,采用模糊综合评价方法对重庆市各区、县雷电灾害易损性进行了定量评价.模糊综合评价法是建立在模糊数学理论基础上的评价方法,它适合评价具有随机性、复杂性和不确定性等模糊性特点的雷电灾害易损性,将不易量化的因素定量化.

2) 通过分析评价结果,重庆市雷电灾害极高易损性和高易损性的区、县数为 24 个,占比高达 60%;中易损性区、县数为 4 个,占比为 10%;低易损性和极低易损性的区、县数分别为 5 个和 7 个,总占比为 30%.这说明重庆雷电灾害易损性总体程度较高.高易损区及以上区域集中在重庆的中部和西部.研究结果与雷电灾害实际情况基本吻合,对明确防雷减灾工作的重点区域,开展雷电灾害防御工作具有实际意义.

参考文献:

- [1] 胡焕校,张立明.三峡库区地质灾害易损性模糊综合评价[J].地质灾害与环境保护,2008,19(2):57-61.
- [2] 李家启,秦健,李良福,等.雷电灾害评估及其等级划分[J].西南大学学报:自然科学版,2010,32(11):140-144.
- [3] 郭虎,熊亚军.北京市雷电灾害易损性分析、评估及易损度区划[J].应用气象学报,2008,19(1):35-40.
- [4] 杨茜,高阳华.基于GIS的重庆市冰雹灾害风险区划[J].西南大学学报:自然科学版,2013,35(7):133-139.
- [5] 王惠,邓勇,尹丽云,等.云南省雷电灾害易损性分析及区划[J].气象,2007,33(12):83-87.
- [6] 宋晓莉,余静,孙海传,等.模糊综合评价法在风险评估中的应用[J].微计算机信息,2006,22(36):71-73.
- [7] 胡宝清,刘顺生,张洪恩,等.长江流域地质——生态环境的演化机制及综合自然灾害区划[J].自然灾害学报,2001,10(3):13-19.
- [8] 崔鹏,杨坤,韦方强,等.泥石流灾情评估指标体系[J].自然灾害学报,2001,10(4):36-41.
- [9] 马明,吕伟涛,张义军,等.我国雷电灾害及相关因素分析[J].地球科学进展,2008,23(8):856-866.

- [10] 殷 娴,尹丽云,许迎杰,等. 云南省雷灾特征分析及灾情评估 [J]. 气象科技, 2013, 41(1): 184-190.
- [11] 重庆市质量技术监督局. 雷电灾害风险评估技术规范 [S]. DB50/214-2006. 北京: 气象出版社, 2006.
- [12] 杨伦标,高英仪. 模糊数学原理及其应用 [M]. 广州: 华南理工大学出版社, 1995: 12-25.
- [13] 韩立岩,汪培庄. 应用模糊数学 [M]. 北京: 首都经济贸易大学出版社, 1998: 1-22.
- [14] 栾 健,李家启,肖稳安,等. 基于信息扩散理论的雷电天气关注度研究 [J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2013, 38(9): 143-149.
- [15] 毛德华,王立辉. 湖南城市洪涝易损性诊断与评估 [J]. 长江流域资源与环境, 2002, 11(1): 89-93.
- [16] 周筠璐,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.
- [17] 陈新宇,卢新中,王 琛. 昆明市地质灾害易损性模糊综合评价 [J]. 安全与环境工程, 2012, 19(2): 54-57.
- [18] 熊德国,鲜学福. 模糊综合评价方法的改进 [J]. 重庆大学学报: 自然科学版, 2003, 26(6): 93-95.

Lightning Disaster Vulnerability Zoning Research Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation

QIN Jian, QIN Bin-quan, CHEN Chuang, LIAO Liang-bing

1. Lightning Protection Center of Chongqing, Chongqing 401147, China;

2. Chongqing Engineering Research Center for Lightning Disasters Identification and Protection, Chongqing 401147, China

Abstract: Vulnerability is defined as the degree of probable loss caused by potential damage phenomena, and reducing the vulnerability of lightning disasters is one of the important measures for disaster reduction. In order to offer significant scientific bases for defining key areas which are vulnerable to lightning disasters, for formulating scientific lightning defense plans and for adopting safe and reasonable lightning protection measures, a research was carried out in which an evaluation index system for lightning disaster vulnerability was formulated based on the lightning monitoring data of ADTD from 2006 to 2012 and the lightning disaster statistical data from 1999 to 2012 of Chongqing municipality. Fuzzy comprehensive evaluation was made to quantitatively assess the lightning disaster vulnerability for various districts and counties of the municipality, and their grades and distributions of lightning disaster vulnerability were thus obtained. The results showed that Chongqing, on the whole, has a rather high vulnerability of lightning disasters. Twenty-four districts and counties fall into the categories of high or very high vulnerability, accounting for 60% of the total. They are mainly distributed in the central and western regions of Chongqing.

Key words: lightning disaster; vulnerability; fuzzy comprehensive evaluation; regionalization

责任编辑 潘春燕

