文章编号:1674-7070(2014)02-0169-06

林念萍[1,2]　吴荣军[1]　王小英[3]　华立新[2]

基于层次-灰色关联分析法的闪电灾害风险区划

摘要

为寻求合适的闪电灾害风险区划方法,以浙江省苍南县为例,利用2007—2011年闪电监测数据、1996—2011年雷灾统计资料及基础信息数据等,从闪电灾害发生的特征出发,引入层次-灰色关联分析法,采用层次分析法确定闪电灾害风险评价指标的权重,运用灰色关联分析法确定评价对象的灰色关联系数,进而综合加权得出闪电灾害风险评价指标的灰色关联度,给出闪电灾害的风险区划.结果表明,苍南县闪电灾害风险等级区划由高到低分别是灵溪镇、龙港镇为极高风险区,宜山镇、钱库镇、金乡镇为高风险区,矾山镇、马站镇、桥墩镇、藻溪镇为中风险区,赤溪镇、岱岭畲族乡、凤阳畲族乡为低风险区.在此基础上,对该区域的风险区划结果进行了验证,表明引入的层次-灰色关联分析法适合于闪电灾害风险区划研究.研究结果为编制闪电灾害防御规划以及重点项目灾害风险评估可行性论证提供了参考,对提高闪电灾害防御的综合能力具有现实意义.

关键词

闪电灾害;层次-灰色关联分析法;风险;区划

中图分类号 TH71;TG803

文献标志码 A

收稿日期 2012-10-16

资助项目 苍南县农业科技重点科研专项(2011N03)

作者简介

林念萍,男,硕士生,工程师,主要从事雷电科学与防护技术的研究.38571899@qq.com

1 南京信息工程大学 环境科学与工程学院,210044

2 浙江省苍南县气象局,苍南,325800

3 浙江省温州市气象局,温州,325027

0 引言

闪电灾害被国际电工委员会(IEC)称为“电子化时代的一大公害”[1].据有关部门估计,全世界平均每分钟发生雷电2 000次,全球每年因雷击造成的人员伤亡超过1万人,所导致的火灾、爆炸等时有发生.国内外对闪电灾害风险区划的研究很多,如郭虎等[1]对北京市雷电灾害进行易损性分析、评估及易损度区划,刘垚等[2]对杭州市雷电活动特征及雷电灾害风险区划进行了研究,汪志红等[3]用投影寻踪与遗传算法技术对广东省雷电灾害风险评价,曾金全等[4]采用综合评价算法对雷电灾害易损度区划模型进行了研究.目前闪电灾害风险区划研究基本局限于在省市一级气象部门,多以市、县行政区域作为分析单元进行分析研究,能将闪电灾害风险区划精细化到乡镇一级的研究并不多.本文充分考虑致灾因子的危险性、承灾体的脆弱性等特点,建立闪电灾害风险评价指标体系,运用层次-灰色关联分析法,分析了闪电灾害危险性、承灾体潜在易损性的综合风险,结合Arcgis技术得到了苍南县闪电灾害风险区划乡镇分布图,并对风险区划结果进行了验证.

1 资料与方法

1.1 数据来源

本文研究中所使用的数据主要包括:浙江省闪电监测网的2007—2011年苍南县闪电监测数据;1996—2011年(未包括1997、2001、2002和2003年雷灾资料)温州市雷灾统计资料;《苍南统计年鉴(2010)》的人口、经济数据等.

1.2 研究方法

层次分析灰色关联法是一种把灰色关联分析法用于分析具有层次结构评价系统,能将定性分析和定量分析有效结合的综合评价方法[5].本文通过层次分析灰色关联法建立闪电灾害风险评价综合模型,并对其进行研究,采用层次分析法确定闪电灾害评价指标的权重,运用灰色关联分析法计算评价对象的灰色关联系数,进而综合加权得出闪电灾害评价指标的灰色关联度,结合Arcgis技术得到苍南县闪电灾害的风险区划图.

1.2.1 用层次分析法确定各评价指标的最终权重

1)建立风险评价指标的层次分析结构

根据闪电灾害的特点,建立闪电灾害综合风险评价指标体系(表1),由目标层、准则层和指标层构成.目标层是闪电灾害综合风险,准则层由致灾因子危险性和承灾体脆弱性、社会经济发展水平组成.各指标层的计算方法如下:

①平均地闪密度:单位土地面积上发生的平均地闪次数(次/km^2);

②闪电灾害次数:历年统计实际发生的雷灾频次(次);

③平均地闪强度:各年地闪强度的平均值(kA);

④防雷重点单位数:每年必须进行防雷装置定期检测的防雷重点单位总数(个);

⑤用电量指标:各乡镇总用电量(万 kWh);

⑥电信固定电话数:各乡镇固定电话总数(门);

⑦有线电视用户数:各乡镇有线电视用户总数(户);

⑧人口密度:单位土地面积上的总人口(人/km^2);

⑨农民人均收入:各乡镇农民人均收入水平(元).

表1 闪电灾害风险评价指标体系

Table 1 Index system of lightning disaster risk evaluation

目标层 A	准则层 B	指标层 C
闪电灾害综合风险 A	致灾因子危险性 B1	平均地闪密度 C1
		闪电灾害次数 C2
		平均地闪强度 C3
	承灾体脆弱性 B2	防雷重点单位数 C4
		用电量指标 C5
		电信固定电话数 C6
		有线电视用户数 C7
	社会经济发展水平 B3	人口密度 C8
		农民人均收入 C9

2) 构造判断矩阵

采用 Saaty 的 1~9 标度法对给定的评价指标体系每一层次各因素的相对重要性给出判断,以数据形式表示出来,写成矩阵形式.

3) 层次单排序检验一致性

根据判断矩阵计算对于上一层某指标而言,本层次与之有联系的因素重要性次序的权重,也就是计算判断矩阵的最大特征值 λ_{max} 和特征向量 $\boldsymbol{W}$.计算一致性指标 $I_c=\dfrac{\lambda_{max}-n}{n-1}$、一致性比率 $R_c=\dfrac{I_c}{I_r}$,其中 I_c 为一致性指标,I_r 为平均随机一致性指标,R_c 为一致性比率.得出所有 $R_c<0.1$,表明该矩阵具有较好的一致性,否则需要修改判断矩阵.

4) 层次总排序及一致性检验

层次总排序要从上到下逐层顺序进行,一致性检验也是由高到低逐层进行,计算一次性比率 $R_c=\dfrac{\sum_{j=1}^{m}I_c(j)b_j}{\sum_{j=1}^{m}I_r(j)b_j}$,得出 $R_c<0.1$,认为层次总排序结果具有较好的一致性并接受该分析结果,可以得到评价指标体系中各指标层相对于总目标的最终权重.

1.2.2 用灰色关联分析法确定评价指标关联系数和关联度

1) 定量指标数据归一化处理

由于所选数据存在不同量纲且数值间差异较大,需要对定量指标数据进行归一化处理.闪电评价指标中农民人均收入属于越大越好的指标,其他指标均为越小越好的指标.不同类型的指标,数据归一化转换公式也不同.

越大越好型指标转换公式:

$$L_i(j)=s_i(j)/D_j,$$

越小越好型指标转换公式:

$$L_i(j)=1+d_j/D_j-s_i(j)/D_j,$$

其中 $s_i(j)$ 为初始数据,$L_i(j)$ 为标准数据,D_j 和 d_j 分别为各项指标中第 j 项指标的最大值和最小值.

2) 生成最佳指标数列、计算关联系数

从每列单项指标中选出最优的评价指标值,虚构生成最佳指标数列 L_0,由公式 $R_{0i}(y)=\dfrac{d+\xi D}{\Delta_i(y)+\xi D}$,取分辨率 $\xi=0.5$,求出闪电评价指标比较数列 L_i 对 L_0 的关联系数 R_{0i}.

3) 求出关联度

根据公式 $\rho_{0i}(y)=\sum_{y=1}^{9}R_{0i}(y)W(y)$,式中 $W(y)$ 是各项指标的权重系数,求得关联度 $\rho_{0i}(y)$,最后按关联度大小进行排序,最小者确定为闪电灾害极高风险区,最大者为闪电灾害低风险区,其余依次排序.

2 闪电灾害风险综合评价应用实例

2.1 运用层次分析法确定闪电灾害风险评价指标权重

根据表1所列的评价指标体系,通过专家打分法构造两两比较矩阵,如表2所示.

表 2 闪电灾害风险评价指标体系层次判断矩阵

Table 2 Judgment matrix of lightning disaster risk evaluation index system

A-B 判断矩阵				B1-C 判断矩阵				B2-C 判断矩阵					B3-C 判断矩阵		
A	B1	B2	B3	B1	C1	C2	C3	B2	C4	C5	C6	C7	B3	C8	C9
B1	1	5	3	C1	1	2	3	C4	1	2	3	5	C8	1	1/3
B2	1/5	1	1/2	C2	1/2	1	2	C5	1/2	1	2	3	C9	3	1
B3	1/3	2	1	C3	1/3	1/2	1	C6	1/3	1/2	1	2			
								C7	1/5	1/3	1/2	1			

以 A-B 判断矩阵为例,用 Matlab 层次分析法软件求得矩阵的权向量 $\boldsymbol{W}$ = (0.648 3,0.122 0,0.229 7)^{T} 和最大特征值 λ_{max} = 3.003 7,I_c = 0.001 8,R_c = 0.003 6,对层次单排序进行一次性检验,R_c < 0.1,表明该矩阵具有较好的一致性.

同理可求出 B1-C、B2-C、B3-C 判断矩阵单层次的各项权向量 $\boldsymbol{W}$、最大特征值 λ_{max} 和单排序结果.各项指标的总排序计算,结果如表 3 所示.

对层次总排序作一致性检验,求出 R_c = 0.008,小于 0.1,认为层次总排序结果具有较好的一致性并接受该分析结果,得出指标层 9 个指标的最终权重:

$W_{(y)}$ = ($W_{(1)}$,$W_{(2)}$,$W_{(3)}$,$W_{(4)}$,$W_{(5)}$,$W_{(6)}$,$W_{(7)}$,$W_{(8)}$,$W_{(9)}$)=

(0.349 822 68,0.192 545 1,0.105 932 22,

0.058 889 4,0.033 184,0.019 154,

0.010 760 4,0.057 425,0.172 275).

表 3 闪电灾害风险评价指标体系层次总排序权值

Table 3 Total sorting weight level of lightning disaster risk evaluation index system

指标层	准则层			总排序权值
	B1(0.648 3)	B2(0.122 0)	B3(0.229 7)	
C1	0.539 6			0.349 822 68
C2	0.297 0			0.192 545 10
C3	0.163 4			0.105 932 22
C4		0.482 7		0.058 889 40
C5		0.272 0		0.033 184 00
C6		0.157 0		0.019 154 00
C7		0.088 2		0.010 760 40
C8			0.25	0.057 425 00
C9			0.75	0.172 275 00

2.2 运用灰色关联分析法计算闪电灾害风险评价指标关联系数

1) 定量指标数据归一化处理

利用数据指标转换公式,对初始数据进行归一化处理,结果如表 4 所示.

2) 生成最佳指标数列并计算关联系数

从表 4 各列中选择最大值构成闪电灾害风险评价最佳指标数列 L_0 = (1,1,1,1,1,1,1,1,1),计算 L_0 与比较数列 L_i 差值的绝对值,求得最大最小极差 D = 1,d = 0.分辨率 ξ = 0.5 时关联系数 R_{0i} 计算结果如表 5 所示.

表 4 闪电灾害风险评价指标归一化处理后的数值

Table 4 Normalized value of lightning disaster risk evaluation index

乡镇	人口密度	农民人均收入	防雷重点单位数	闪电灾害次数	平均地闪密度	平均地闪强度	用电量指标	电信固定电话数	有线电视用户数
赤溪镇	0.921 58	0.624 68	1	1	0.920 00	0.719 70	0.993 47	0.976 20	0.994 78
岱岭畲族乡	0.984 14	0.481 01	1	1	0.876 19	0.725 34	0.999 51	1	0.999 39
矾山镇	0.912 60	0.482 92	0.952 38	0.142 86	0.914 29	0.822 61	0.984 87	0.926 10	0.985 56
凤阳畲族乡	1	0.511 26	1	1	1	0.682 92	1	0.999 93	1
金乡镇	0.613 59	0.825 26	0.380 95	1	1	0.620 85	0.846 77	0.779 55	0.965 24
灵溪镇	0.586 65	0.992 77	0.380 95	0.285 71	0.194 29	1	0.599 70	0.440 18	0.000 52
龙港镇	0.203 83	1	0	0	0.782 86	0.867 30	0.000 24	0.002 54	0.852 28
马站镇	0.873 69	0.539 43	0.857 14	1	0.940 95	0.760 78	0.982 04	0.905 14	0.983 82
钱库镇	0.605 21	0.717 99	0.666 67	0.714 29	0.788 57	0.863 69	0.596 01	0.724 11	0.965 54
桥墩镇	0.946 12	0.514 17	0.857 14	0.714 29	0.320 00	0.953 51	0.983 33	0.941 05	0.989 65
宜山镇	0.083 21	0.843 96	0.952 38	0.571 43	0.885 71	0.883 32	0.766 72	0.853 80	0.982 76
藻溪镇	0.929 66	0.626 76	0.904 76	0.714 29	0.502 86	0.936 81	0.963 05	0.982 79	0.996 11

表 5　闪电灾害风险评价指标关联系数矩阵

Table 5　Correlation coefficient matrix of evaluation index for lightning disaster risk

乡镇	R_{01}	R_{02}	R_{03}	R_{04}	R_{05}	R_{06}	R_{07}	R_{08}	R_{09}
赤溪镇	0.864 42	0.571 22	1	1	0.862 07	0.640 78	0.987 11	0.954 57	0.989 68
岱岭畲族乡	0.969 25	0.490 68	1	1	0.801 53	0.645 45	0.999 03	1	0.998 79
矾山镇	0.851 21	0.491 61	0.913 04	0.368 42	0.853 66	0.738 13	0.970 62	0.871 23	0.971 93
凤阳畲族乡	1	0.505 69	1	1	1	0.611 93	1	0.999 86	1
金乡镇	0.564 07	0.741 03	0.446 81	1	1	0.568 73	0.765 43	0.694 01	0.935 00
灵溪镇	0.547 44	0.985 75	0.446 81	0.411 76	0.382 93	1	0.555 37	0.471 78	0.333 45
龙港镇	0.385 75	1	0.333 33	0.333 33	0.697 21	0.790 26	0.333 39	0.333 90	0.771 94
马站镇	0.798 33	0.520 52	0.777 78	1	0.894 38	0.676 39	0.965 32	0.840 53	0.968 65
钱库镇	0.558 79	0.639 38	0.6	0.636 36	0.702 81	0.785 78	0.553 10	0.644 42	0.935 53
桥墩镇	0.902 73	0.507 19	0.777 78	0.636 36	0.423 73	0.914 93	0.967 74	0.894 54	0.979 72
宜山镇	0.352 91	0.762 14	0.913 04	0.538 46	0.813 95	0.810 80	0.681 87	0.773 75	0.966 68
藻溪镇	0.876 67	0.572 58	0.840 00	0.636 36	0.501 43	0.887 80	0.931 18	0.966 73	0.992 28

2.3　建立闪电灾害风险评价综合模型求得关联度

运用灰色关联分析法,得到闪电灾害风险评价的综合模型为:

$$\rho_{0i}(y)=\sum_{y=1}^{9}R_{0i}(y)W(y),$$

其中 ρ_{0i} 为闪电灾害风险指数(关联度),$W(y)$ 是各项指标的权重系数,R_{0i} 为关联系数,求得关联度(表 6):

$$\rho_{灵溪镇}=0.575\ 26,\rho_{龙港镇}=0.576\ 45,$$
$$\rho_{宜山镇}=0.659\ 48,\rho_{钱库镇}=0.662\ 12,$$
$$\rho_{金乡镇}=0.699\ 47,\rho_{矾山镇}=0.781\ 23,$$
$$\rho_{马站镇}=0.788\ 94,\rho_{桥墩镇}=0.795\ 47,$$
$$\rho_{藻溪镇}=0.813\ 51,\rho_{赤溪镇}=0.854\ 02,$$
$$\rho_{岱岭畲族乡}=0.877\ 57,\rho_{凤阳畲族乡}=0.897\ 37.$$

表 6　苍南县闪电灾害风险等级评价结果

Table 6　Evaluation result of lightning disaster risk grades in Cangnan county

乡镇名称	风险指数	风险等级	乡镇名称	风险指数	风险等级
灵溪镇	0.575 26	Ⅰ级	马站镇	0.788 94	Ⅲ级
龙港镇	0.576 45	Ⅰ级	桥墩镇	0.795 47	Ⅲ级
宜山镇	0.659 48	Ⅱ级	藻溪镇	0.813 51	Ⅲ级
钱库镇	0.662 12	Ⅱ级	赤溪镇	0.854 02	Ⅳ级
金乡镇	0.699 47	Ⅱ级	岱岭畲族乡	0.877 57	Ⅳ级
矾山镇	0.781 23	Ⅲ级	凤阳畲族乡	0.897 37	Ⅳ级

3　闪电灾害风险等级及区划显示

利用 Arcgis 软件提供的自然断点法(Nature breaks),把差异性最大的数据分在不同级,相似性最大的数据分在同一级[6],将苍南县 12 个乡镇的闪电灾害风险等级划分为极高风险区(Ⅰ级,0.575 26~0.576 46)、高风险区(Ⅱ级,0.576 46~0.699 48)、中风险区(Ⅲ级,0.699 48~0.813 52)、低风险区(Ⅳ级,0.813 52~0.897 37)4 个级别.从图 1 可以看出灵溪镇、龙港镇为极高风险区,赤溪镇、岱岭畲族乡、凤阳畲族乡为低风险区,宜山镇、钱库镇、金乡镇为高风险区,矾山镇、马站镇、桥墩镇、藻溪镇为中风险区.

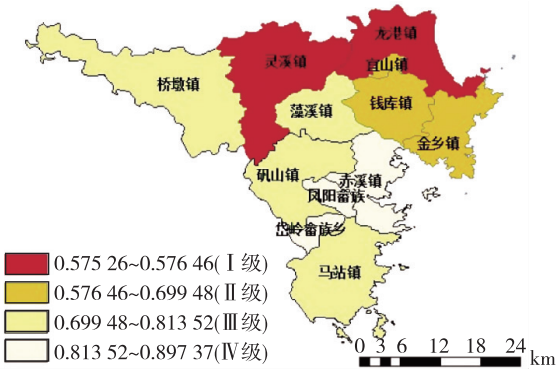


图 1　苍南县闪电灾害风险区划

Fig.1　Map of lightning disaster risk zoning in Cangnan county

4　闪电灾害风险区划模型验证

为了验证闪电灾害风险区划模型的适用性,运用 Arcgis 技术将历年实际统计的雷灾频次数据导入区域风险区划图,比较分析结果如图 2 所示.历年实际统计的雷灾数据分布与其风险区划基本一致,从灵溪镇、龙港镇历年实际统计的雷灾频次数据分布上看,闪电实际发生的灾害较为严重,这与区划结果

极高风险(Ⅰ级)区有很好的一致性,而赤溪镇、岱岭畲族乡、凤阳畲族乡历年统计的实际雷灾频次较少,相应的区划结果也反映为低风险(Ⅳ级)区.在整个研究区域中,矾山镇、马站镇、金乡镇的区划结果与历年实际统计雷灾频次存在不一致,原因为风险区划不仅要考虑雷灾频次的影响,同时也与人员伤亡、财产损失等因素也密切相关.影响矾山镇区划评价指标中闪电灾害虽然占了较大比重,但闪电密度、农民人均收入、防雷重点单位数、生命线工程总量等指标所占比重较小,因此风险区划等级有所降低.而马站镇、金乡镇与之相反,闪电灾害所占比重较小,但其他指标所占比重较大,最后的风险区划等级有所提高.总体来说,区域的风险区划验证结果表明,引入的层次-灰色关联分析法适合于闪电灾害风险区划.

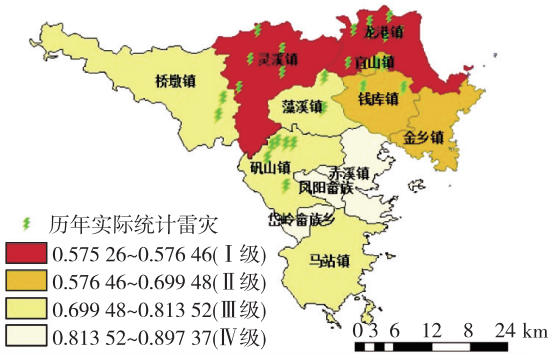


图 2 苍南县闪电灾害风险区划验证

Fig.2 Verification map of lightning disaster risk zoning in Cangnan county

4 结论与讨论

本文在充分考虑闪电灾害实际发生与致灾因子危险性、承灾体脆弱性以及区域防灾减灾能力等因素密切关系的基础上,建立了闪电灾害风险评价指标体系,引入层次-灰色关联分析法,将定性分析和定量分析方法有效结合,给出了苍南县闪电灾害风险区划,运用 Arcgis 技术将历年实际统计的雷灾频次与区域风险区划结果进行比较分析,结论如下:

1) 闪电灾害风险区划结果表明:灵溪镇、龙港镇为极高风险区,宜山镇、钱库镇、金乡镇为高风险区,矾山镇、马站镇、桥墩镇、藻溪镇为中风险区,赤溪镇、岱岭畲族乡、凤阳畲族乡为低风险区.总体上看,苍南县闪电灾害高风险区主要集中在中北部地区,这与闪电分布规律及人口密度、生命线工程总量以及社会经济发展程度等密切相关.

2) 闪电风险区划模型的验证在乡镇一级应用并不多见,本文运用 Arcgis 技术对闪电灾害风险评价模型进行验证方面做了探索,其验证结果较好,部分区域区划结果与与历年实际统计雷灾频次存在不一致的情况与闪电密度、农民人均收入、防雷重点单位数、生命线工程总量等指标所占比重有很大关系.

3) 闪电灾害为非线性的自然灾害,闪电风险与闪电密度、雷电灾害、目标区域所处的地理位置及气候环境、人口密度、社会经济发展水平等因素密切有关,风险评价过程极其复杂.由于目前闪电监测数据的年限不长和闪电灾害的统计资料不完全,且闪电风险评价指标体系细化程度还不足,因此闪电灾害风险区划及模型验证的精度还有待进一步提高.

参考文献

References

[1] 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
GUO Hu, XIONG Yajun. Vulnerability analysis, evaluation and vulnerability zoning of lightning disaster in Beijing[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2008,19(1):35-40

[2] 刘垚,缪启龙,刘森,等.杭州市雷电活动特征及雷电灾害区划[J].气象与减灾研究,2011,34(4):62-67
LIU Yao,MIAO Qilong,LIU Miao,et al.Characteristics of lightning activity and risk zoning of lighting hazard in Hangzhou[J]. Meteorology and Disaster Reduction Research,2011,34(4):62-67

[3] 汪志红,王斌会.投影寻踪技术在突发事件风险分类评级中的应用:以广东省雷电灾害风险评价为例[J].灾害学,2011,26(3):78-81
WANG Zhihong,WANG Binhui.Application of projection pursuit technology in emergency risk classification and rating:A case study on assessment of lightning disaster in Guangdong province [J]. Journal of Catastrophology, 2011,26(3):78-81

[4] 曾金全,张烨方,王颖波.基于综合评价算法的雷电灾害易损度区划模型研究[J].气象,2011,37(12):1595-1600
ZENG Jinquan, ZHANG Yefang, WANG Yingbo. Lightning disaster vulnerability zoning model research based on composite evaluation [J]. Meteorological Monthly,2011,37(12):1595-1600

[5] 陈骧武.基于 AHP 和灰色系统理论的化工品运输模式研究[D].上海:上海交通大学机械与动力工程学院,2011
CHEN Xiangwu. Chemical transportation model study based on AHP & grey methodology[D].Shanghai:School of Mechanical Engineering,Shanghai Jiao Tong University Shanghai,2011

[6] 范科红,李阳兵,冯永丽.基于 GIS 的重庆市道路密度

的空间分异[J].地理科学,2011,31(3):366-371
FAN Kehong, LI Yangbing, FENG Yongli. Spatial distribution of road density in Chongqing based on GIS[J]. Scientia Geographica Sinica, 2011, 31(3): 366-371

Lightning disaster risk zoning in Cangnan of Zhejiang province based on AHP-Grey relational analysis

LIN Nianping[1,2] WU Rongjun[1] WANG Xiaoying[3] HUA Lixin[2]

1 School of Environmental Science & Engineering Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

2 Cangnan Meteorological Bureau of Zhejiang Province, Cangnan 325800

3 Wenzhou Meteorological Bureau of Zhejiang Province, Wenzhou 325027

Abstract Cangnan county of Zhejiang province is chosen as a sample area to establish an effective method of lightning disaster risk zoning. Monitoring data of lightning occurred in Cangnan during 2007—2011, statistics of lightning disasters and related basic information during 1996—2011 are used to analyze the characteristics of lightning disasters in Cangnan by using the method of Analytic Hierarchy Process-Grey Relational Analysis (AHP-GRA). The AHP is used to determine the weight of evaluation index, while the GRA is used to calculate the relational coefficient between different evaluation indexes. The comprehensive weighted relational coefficients are then used to derive a reliable lightning disaster risk zoning. The results show that the risk grades in descending order are very high risk zone, including Lingxi town and Longgang town; high risk zone, including Yishan town, Qianku town and Jinxiang town; medium risk zone, including Fanshan town, Mazhan town, Zaoxi town, Qiaodun town; and low risk zone, including Chixi town, Dailing town, Fengyang town. The risk zoning results in Cangnan county are verified through ArcGIS information of actual lightning disasters. The verification result shows that the AHP-GRA method is effective for lightning disaster risk zoning. This research will provide reference for the planning of lightning disaster prevention and evaluation of lightning disaster risk for major projects.

Key words lightning disaster; AHP and grey relational analysis; risk; zoning