

曾金全,张焯方,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.

# 基于综合评价算法的雷电灾害易损度区划模型研究<sup>\*</sup>

曾金全 张焯方 王颖波

福建省防雷中心,福州 350001

**提 要:** 选取落雷密度、雷灾发生率、雷灾经济损失率及雷灾生命损伤率为评价雷电灾害易损性的指标,运用解析几何的直线方程对指标数据进行了标准化,引入层次分析法对评价指标数据真实性程度对结果的影响进行了修正,采用聚类分析方法对总易损度值进行更为合理科学的区划分级,并以福建省为例对新模型做了实例计算。结果表明,综合评价算法模型在关系计算、级别区划、结果分析等方面体现出一定的数学优势,能较细致、完整地反映出雷灾易损度区划指标之间的联系及各指标因素对雷灾易损度的综合影响关系。

**关键词:** 雷电灾害,易损度,区划模型

## Lightning Disaster Vulnerability Zoning Model Research Based on Composite Evaluation

ZENG Jinquan ZHANG Yefang WANG Yingbo

Fujian Lightning Protection Center, Fuzhou 350001

**Abstract:** Taking lightning density, incidence of lightning disaster, lightning disaster economic loss rate and the rate of lightning disaster damage as the lightning vulnerability assessment indices, we employed the analytic geometry of linear equation to standardize data and the AHP analysis method to modify the index data, and finally utilized the cluster analysis to the total value of the vulnerability for a more rational and scientific classification, with Fujian Province as an example for the new model. The results show that the composite evaluation of model calculations is much better mathematically than other methods, and this method can detailedly and completely represent the relation between indices of lightning disaster vulnerability zoning and the combined effects of indices on lightning disaster vulnerability.

**Key words:** lightning disaster, vulnerability, zoning model

## 引 言

易损度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<sup>[1]</sup>。雷电灾害易损度区划方法是分析雷电灾害损失、影响程度等比较简便有效的一种方法,目前国内许多学者都进行了该内容的研究<sup>[2-12]</sup>,文献[2-4]的作者针对广东省、北京市等地进行了雷灾易损度的计算与区划,这些研究的区划分析方法是先建立一套易损度评判指

标,经计算后,对每一个计算评判指标值按大小进行分级、赋值,再对赋值后的指标值进行直接加和来计算区域的综合易损度。该方法简单易行,但在进行分级赋值过程中,赋值的大小存在一定的主观性;没有对雷灾基础数据的真实性程度对总易损值的影响进行判定;最终区划方法也相对简单。

由于计算雷电灾害易损度的 4 个评价指标的单位不是同一个量纲,因此在数据处理上,就不能直接采用简单的加和方式进行叠加,需要进行一定的数据处理,采用解析几何里的直线方程对数据按比例

\* 福建省气象局开放式气象科学研究基金项目(2009K02)资助

2011 年 2 月 18 日收稿; 2011 年 5 月 24 日收修定稿

第一作者:曾金全,主要从事雷电科学与防护技术的研究. Email:58803572@qq.com



$$A = \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & y_{13} & y_{14} \\ y_{21} & y_{22} & y_{23} & y_{24} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{n1} & y_{n2} & y_{n3} & y_{n4} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (M_1 - N_1)^{-1}y_{11} + N_1 & (M_2 - N_2)^{-1}y_{12} + N_2 & \dots & (M_4 - N_4)^{-1}y_{14} + N_4 \\ (M_1 - N_1)^{-1}y_{21} + N_1 & (M_2 - N_2)^{-1}y_{22} + N_2 & \dots & (M_4 - N_4)^{-1}y_{24} + N_4 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ (M_1 - N_1)^{-1}y_{n1} + N_1 & (M_2 - N_2)^{-1}y_{n2} + N_2 & \dots & (M_4 - N_4)^{-1}y_{n4} + N_4 \end{pmatrix}$$

1.3 数据权重判定

采用层次分析法(AHP)来计算各指标真实性权重的方式来调整指标对最终结果的影响。

首先通过专家评分法对指标两两比较评分的方式建立判别矩阵 C,求解判别矩阵 C 的特征向量  $\xi = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4)^T$ ,则  $\xi$  即为这 4 个指标的真实性权重值,应有  $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 = 1$ ,为了保证权重判断的准确性,还应对矩阵的一致性系数 CR 进行计算,并保证  $CR < 0.1$ 。

$$C = \begin{matrix} & N_g & N & E & L \\ \begin{matrix} N_g \\ N \\ E \\ L \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & C_2/C_1 & C_3/C_1 & C_4/C_1 \\ C_1/C_2 & 1 & C_3/C_2 & C_4/C_2 \\ C_1/C_3 & C_2/C_3 & 1 & C_4/C_3 \\ C_1/C_4 & C_2/C_4 & C_3/C_4 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

1.4 区域易损度综合评判与区划

采用指标值与指标权重加乘的方式计算区域易损度 R 的数值,即:

$$R = A \cdot \xi = (r_1, r_2, \dots, r_n)^T$$

表 2 福建省县(市)区域雷灾易损度指标标准化计算表

Table 2 Standardization of lightning disaster vulnerability index computation of Fujian Province

县(市)	$N_g$	N	E	L	县(市)	$N_g$	N	E	L
长乐市	3.89	0.05015	0.01269	0.00304	周宁县	6.22	0.11377	0.10833	0.00287
福清市	3.74	0.01605	0.00436	0.00412	莆田市	4.42	0.03326	0.07209	0.0051
福州市	5.01	0.09779	0.09709	0.00479	仙游县	6.19	0.02534	0.0368	0.00496
连江县	4.08	0.03037	0.02852	0.00467	安溪县	5.84	0.01576	0.08959	0.00302
罗源县	4.9	0.03515	0.23095	0.01017	德化县	6.56	0.11335	0.14022	0.0009
闽侯县	4.85	0.01264	0.01601	0.00281	惠安县	4.74	0.13911	0.07598	0.00919
闽清县	6.38	0.01974	0.0224	0.00613	晋江市	3.15	0.18169	0.27933	0.02635
平潭县	2.33	0.06453	0.0242	0.01076	南安市	5.28	0.03391	0.18251	0.00639
永泰县	6.13	0.00802	0.01475	0.00089	泉州市	4.87	0.03207	0.34967	0.00713
长汀县	7.79	0.03291	0.01874	0.0029	石狮市	4.25	0.22751	0.54286	0.04233
连城县	6.68	0.03082	0.09127	0.00116	永春县	6.42	0.01515	0.05689	0.00138
龙岩市	6.67	0.04841	0.08645	0.00074	大田县	6.62	0.07146	0.09306	0.00218
上杭县	7.72	0.03091	0.02079	0.00278	建宁县	6.24	0.17243	0.10589	0.00117
武平县	7.04	0.027	0.063	0.00114	将乐县	5.68	0.09479	0.06672	0.00134
永定县	7.28	0.06253	0.04766	0.00135	明溪县	6.88	0.03335	0.11029	0.00117
漳平市	7.1	0.06218	0.06052	0.00034	宁化县	7.62	0.0966	0.06401	0.00294
政和县	5.88	0.04496	0.0874	0.00231	清流县	6.58	0.06412	0.05696	0.00055
光泽县	6.61	0.01747	0.048	0.00045	三明市	6.14	0.26667	0.32249	0.0026
建瓯市	6.91	0.00664	0.02455	0.00024	沙县	6.7	0.05014	0.08953	0.00056
建阳市	6.13	0.02072	0.01902	0	泰宁县	6.16	0.04691	0.03343	0.00065
南平市	6.01	0.03647	0.05621	0.00038	永安市	6.81	0.0595	0.19811	0.0051
浦城县	6.26	0.0198	0.04331	0	尤溪县	6.93	0.04409	0.04171	0.00263
邵武市	6.51	0.03612	0.1066	0.0014	厦门市	4.15	0.00574	0.00319	0.00127
顺昌县	5.99	0.10994	0.26923	0	长泰县	6.2	1.2688	0.21763	0.00877
松溪县	5.84	0.02788	0.03009	0	东山县	3.4	0.6483	0.20536	0.01208
武夷山	6.87	0.14236	0.12566	0.0025	华安县	7.09	0.01901	0.02913	0.00076
福安市	5.87	0.01809	0.00793	0.01543	龙海市	4.51	0.02926	0.08447	0.00798
福鼎市	5.1	0.02162	0.05969	0.00459	南靖县	6.62	0.02153	0.01979	0
古田县	6.16	0.01551	0.17374	0.00293	平和县	5.97	0.0189	0.01419	0.00043
宁德市	4.93	0.01502	0.01983	0	云霄县	4.48	0.05832	0.13485	0.01201
屏南县	6.21	0.03366	0.05188	0.00202	漳浦县	4.73	0.03332	0.08178	0.00252
寿宁县	6.44	0.04072	0.0312	0.0014	漳州市	5.71	0.88328	1.64874	0.01792
霞浦县	3.75	0.0338	0.0389	0	诏安县	3.93	0.02485	0.04417	0.00321
柘荣县	5.32	0.13206	0.07545	0.00181					

聚类分析是通过对样本之间距离的计算,采用一定的距离分级方法,对具有相近距离的样本进行合并归类,从而实现数据分级的方法,限于篇幅关系具体原理不做介绍,在进行对综合易损度矩阵  $R$  的聚类分析时,可采用欧氏距离作为样本距离的计算模型,可以逐一对各个区域的雷电灾害易损度的欧氏距离进行计算,得到各个样本之间欧氏距离的距离矩阵进行样本聚类分析。

## 2 福建省雷电灾害易损度区划

$$C = \begin{matrix} & N_g & N & E & L \\ \begin{matrix} N_g \\ N \\ E \\ L \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1.000 \\ 0.301 & 1.000 \\ 0.202 & 0.548 & 1.000 \\ 0.670 & 2.226 & 2.718 & 1.000 \end{pmatrix} \end{matrix} \quad \left. \vphantom{\begin{matrix} N_g \\ N \\ E \\ L \end{matrix}} \right\} \text{求解特征向量 } \xi = \begin{pmatrix} 0.4638 \\ 0.1469 \\ 0.0936 \\ 0.2957 \end{pmatrix}$$

某区域雷电灾害易损度综合值计算式按  $R = 0.4638N_g + 0.1469N + 0.0936E + 0.2957L$  计算。

### 2.1 计算过程

根据 1961 年至 2006 年福建省各气象站地面观测雷暴资料和 2000 年至 2009 年雷电灾害统计资料,对福建省 67 个县市的雷电灾害易损指标值进行计算。

计算得福建省 67 个县市雷电灾害易损度指标计算值如表 2 所示。

利用专家咨询法,建立指标权重判定矩阵  $C$  并计算其特征向量作为指标权重,校验一致性系数  $CR=0.0056 < 0.1$ ,符合要求。

最终得福建省县(市)雷电灾害综合易损度计算值(如表 3)。

表 3 福建省县(市)区域雷灾综合易损度加和计算表  
Table 3 Computation of integrated lightning disaster vulnerability of Fujian Province

区域	R								
长乐市	0.1291	永定县	0.3493	古田县	0.29	泉州市	0.2507	厦门市	0.1275
福清市	0.1185	漳平市	0.333	宁德市	0.1751	石狮市	0.4656	长泰县	0.5477
福州市	0.2305	政和县	0.2636	屏南县	0.2779	永春县	0.2855	东山县	0.2729
连江县	0.1493	光泽县	0.2921	寿宁县	0.2886	大田县	0.3169	华安县	0.3238
罗源县	0.2577	建瓯市	0.3063	霞浦县	0.1025	建宁县	0.305	龙海市	0.2025
闽侯县	0.1851	建阳市	0.2553	柘荣县	0.2375	将乐县	0.2512	南靖县	0.2879
闽清县	0.307	南平市	0.2563	周宁县	0.3034	明溪县	0.3236	平和县	0.2463
平潭县	0.0739	浦城县	0.2664	莆田市	0.1794	宁化县	0.3885	云霄县	0.234
永泰县	0.2577	邵武市	0.3006	仙游县	0.2903	清流县	0.2998	漳浦县	0.1862
长汀县	0.3836	顺昌县	0.2887	安溪县	0.2602	三明市	0.3464	漳州市	0.6566
连城县	0.3078	松溪县	0.2386	德化县	0.318	沙县	0.3089	诏安县	0.1318
龙岩市	0.3073	武夷山	0.3511	惠安县	0.2426	泰宁县	0.2671		
上杭县	0.3781	福安市	0.3245	晋江市	0.2652	永安市	0.3555		
武平县	0.3278	福鼎市	0.218	南安市	0.2557	尤溪县	0.3296		

采用聚类分析方法对各县市雷电灾害易损度综合数值进行归类,以欧氏距离作为样本间判断距离,

离差平方和法作为分级方法,设初始分类数  $K=5$ ,计算得如表 4 所示的聚类分析结果。

表 4 福建省雷电灾害易损度区划聚类分析结果  
Table 4 Cluster analysis of lightning disaster vulnerability zoning in Fujian Province

易损度级别	包含县(市)
1	漳州市
2	长泰县、石狮市
3	宁化县、长汀县、上杭县、永安市、武夷山市、永定县、三明市、漳平市、尤溪县、武平县、福安市、华安县、明溪县、德化县、大田县、沙县、连城县、龙岩市、闽清县、建瓯市、建宁县、周宁县、邵武市、清流县
4	光泽县、仙游县、古田县、顺昌县、寿宁县、南靖县、永春县、屏南县、东山县、泰宁县、浦城县、晋江市、政和县、安溪县、永泰县、罗源县、南平市、南安市、建阳市、将乐县、泉州市、平和县、惠安县、松溪县、柘荣县、云霄县、福州市、福鼎市
5	龙海市、漳浦县、闽侯县、莆田市、宁德市、连江县、诏安县、长乐市、厦门市、福清市、霞浦县、平潭县

对表 3 的易损度数值进行插值计算,绘制福建省雷电灾害易损度综合分布图,如图 1 所示。

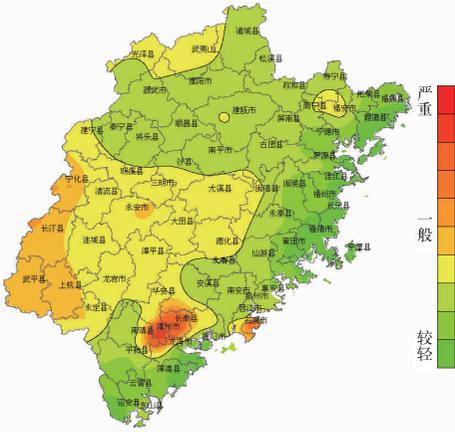


图 1 福建省雷电灾害易损度综合分布图(县划)

Fig. 1 Comprehensive distribution of lightning disaster vulnerability in Fujian Province in terms of county

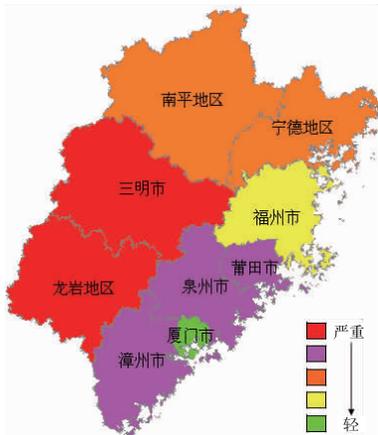


图 2 福建省雷电灾害易损度综合分布图(市划)

Fig. 2 Comprehensive distribution of lightning disaster vulnerability in Fujian Province in terms of city and prefecture

### 2.2 模型验证

为了判断计算模型是否合理,同样运用上述数据,按照福建省九个市的区域进行易损度计算与区划,得到图 2 的易损度综合分布图。对比图 1 和图 2 可知,福建省雷电灾害易损度较严重的区域都集中在龙岩、三明地区,而北部的南平、宁德地区则相对一般,东部沿海排在易损度的第二阶层,而经济发

展水平较好的福州、厦门在两张对比图中易损度都较低,两张图形的易损度分布情况基本一致。

### 2.3 结果分析

(1)雷电灾害易损度与福建省的地形、气候分布有一定的联系,从福建省的海拔高度来看,西部地区的海拔较高,受省内两大山脉影响,常有强对流和锋面系统天气发生,且闽西山多矿藏丰富,河流湖泊穿梭交错,土壤电阻率变化较大,这些都为雷电多发奠定了基础;而闽东南沿海和岛屿,热力对流作用较弱,雷电活动相对较少。一般来说,雷暴活动与雷灾事故呈正相关,因此在雷电灾害易损度上也呈现出西高东低的分布。

(2)从经济发展水平与雷灾易损度的关系上分析,厦门、福州的经济发展水平较高,防雷设施相对齐全、完整,因此其雷电灾害易损度相对较低,而南平、宁德虽经济发展水平较一般,雷电活动较少,且两地市工业化程度较低,区域主要以第一产业(农牧业)为主,雷灾损失并未因此而严重,故排在第三阶梯;漳州、泉州、莆田三市的经济发展水平属中等,产业结构中的第二产业比例较大,容易遭受雷击,因此这三地的雷击事故、人员伤亡率较高或偏高,因此总体上呈现出一定的易损性;三明、龙岩的经济状况虽然较为中等,但这两个区域雷暴活动频繁,地势较高,雷灾次数多,因而总体易损度最大。

## 3 结论与讨论

本文结合解析几何、层次分析、聚类分析等方法建立了雷电灾害易损度的综合评价算法,并以福建省为例,对优化模型进行了实例计算和结果的分析,现以文献[2-4]所应用的雷电灾害易损度区划方法为例,将本文所使用的模型与之进行比较,讨论如下:

(1)在进行数据标准化过程中,文献[2-4]的区划模型所用的等分赋值法,用函数图像来表示实际上是一个分段函数(如图 3),原始指标值中的各样本之间的比例关系经过这个分段函数后变成了较独立的 4 个数值,本文采用的线性比例赋值法实际上是对等分赋值法的一个“微分”,即当等分的数目趋近于无穷多时,这时等分赋值法在函数图像上表现出来就是一条直线,与我们采用的按照比例关系做线性标准化的结果是一样的,该方法很好地保留了

原始值到标准化后数值之间的数量关系,使得数据没有因标准化后而失真。

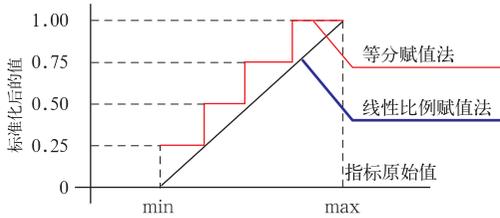


图 3 标准化方法比较

Fig. 3 Comparison of standardized methods

(2)在涉及易损度综合值计算的 4 个评价指标中,各个指标对易损度总值的影响程度及计算这些指标所涉及到原始数据的客观性程度是不同的,相比较于文献[2-4]的区划模型而言,文章建立的模型为了在计算易损度总值中体现出这两方面的影响因素,对各个指标数值加入了权重的计算,通过权重来调整它们对易损度总值的影响程度,从而尽量保证计算结果的客观性。

(3)在最后对易损度总值进行区划分级处理上,文献[2-4]的区划模型使用的是与标准化方法一样的算法,论文论述的模型则借鉴了统计分析里应用到的聚类分析方法对结果进行区划分级,从可行性上看,两种方法各有其特点,但较之而言,聚类分析方法可以将更接近在一起的样本归成一类,

使得区划后同一级别的样本之间的相似程度更高,避免出现多个非常相近的样本因刚好分割线处在其中而被分割为不同级别的情况发生。

## 参考文献

- [1] 李家启,王劲松,申双和,等.基于 ADTD 系统监测的雷电流幅值累积概率特征分析[J].气象,2011,37(2):226-231.
- [2] 尹娜,肖稳安.区域雷灾易损性分析、评估及易损度区划[J].热带气象学报,2005,21(4):441-448.
- [3] 王惠,邓勇,尹丽云.云南省雷电灾害易损性分析及区划[J].气象,2007,33(12):83-87.
- [4] 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.
- [5] 陈云峰,高歌.近 20 年我国气象灾害损失的初步分析[J].气象,2010,36(2):76-80.
- [6] 仰美霖,刘黎平,苏德斌,等.二维多途径退速度模糊算法的应用及效果研究[J].气象,2011,37(2):203-212.
- [7] 张义军,马明,吕伟涛.闪电活动的气候学特征研究进展[J].气象学报,2008,34(6):906-915.
- [8] 李军玲,刘忠阳,邹春辉.基于 GIS 的河南省洪涝灾害风险评估与区划研究[J].气象,2010,36(2):87-92.
- [9] 王秀荣,王维国,马清云.台风灾害综合等级评估模型及应用[J].气象,2010,36(1):66-71.
- [10] 王智刚,唐瑶,曾向红,等.雷电灾害数据可视化分析系统研制[J].气象,2009,35(5):97-104.
- [11] 刘顺忠.数理统计理论、方法、应用和软件计算[M].武汉:华中科技大学出版社,2005:149-155.
- [12] 沈斐敏.安全系统工程理论与应用[M].北京:煤炭工业出版社,2001:201-215.