

杨超, 赵丽娟. 2011. 模糊综合评判法在厦门市雷电灾害风险区划中的应用 [J]. 气候与环境研究, 16 (6): 774-778. Yang Chao, Zhao Lijuan. 2011. The application of fuzzy comprehensive evaluation method in lightning disaster risk zoning in Xiamen city [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 16 (6): 774-778.

模糊综合评判法在厦门市雷电灾害风险区划中的应用

杨超¹ 赵丽娟²

1 厦门市防雷中心, 厦门 361012

2 南京信息工程大学, 南京 210044

摘 要 选取年雷击大地密度、产值密度和人口密度 3 个因子作为评判指标, 利用模糊综合评判法对厦门市 6 个区的雷电灾害风险进行了评估。结果显示: 厦门市各区雷电灾害风险受地闪频次、经济发展和人口密度分布不均等因素的影响, 思明区为高风险区, 翔安区为低风险区, 其余 4 个区为中等风险区。该划分为厦门市防雷部门针对本地实际情况制定科学、合理、经济的防雷设计方案提供了更为细致的参考。

关键词 模糊综合评判法 雷电灾害 风险区划

文章编号 1006-9585 (2011) 06-0774-05 **中图分类号** P429 **文献标识码** A

The Application of Fuzzy Comprehensive Evaluation Method in Lightning Disaster Risk Zoning in Xiamen City

YANG Chao¹ and ZHAO Lijuan²

1 *Xiamen Lightning Protection Center, Xiamen 361012*

2 *Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044*

Abstract The lightning disaster risk of the six regions in Xiamen city are evaluated using fuzzy comprehensive evaluation method with the densities of earth-stroked lightning, output value, and population as three evaluation indices. The lightning disaster risks in different regions of Xiamen city show that the Siming district, Xiang'an district, and the other four districts belong to high risk area, low risk area, and medium risk areas, respectively, due to the discrepancies of ground flash, economy, and population. It is a more detailed reference to help the Xiamen lightning protection department to make scientific, appropriate, and economic lightning protection programs for the local situations.

Key words fuzzy comprehensive evaluation, lightning disaster, risk zoning

1 引言

灾害的发生是由致灾环境的危险性和承灾体的易损性 (脆弱性) 共同决定的 (樊运晓等,

2003)。对于致灾环境来说, 受科学水平限制, 目前对于致灾因子除能够施加一些人工影响外, 还不能完全改变其发生过程; 就承灾体而言, 尽管可以通过控制人类与其生产、生活环境之间的平衡以减小灾情的严重程度, 但人与环境之间的复

收稿日期 2009-12-23 收到, 2011-05-27 收到修定稿

资助项目 厦门市科技计划项目 3502Z20072014, 厦门市气象科学研究课题 (雷电监测数据库资料处理系统)

作者简介 杨超, 男, 1975 年出生, 硕士, 主要从事雷电防护工作。E-mail: chaoy999@163.com

杂性又给灾害管理和城市规划带来了极大不便(Mejia-Navarro et al., 1994)。区划分析是一种简便有效的灾害管理方法,它是以地图的形式更加直观地表述模糊风险评估结果的模糊不精确性,以提高自然灾害风险区划图信息的可靠性(黄崇福等, 2004)。在科学研究的基础上对自然灾害进行风险区划分析,能够提高灾害风险管理水平,对于防灾减灾有十分重要的指导意义。目前,有关雷电灾害风险区划的研究相对薄弱,尹娜和肖稳安(2005)对广东省雷电灾害进行了风险区划分析,江苏省也做了类似的工作。另外,在对影响区划的各种因素进行评判时,也多采用定性化处理,主观性太强,精度较低。模糊综合评判法能够在很大程度上弥补这种不足,目前在其他各领域已得到广泛应用。马清云等(2008)应用模糊综合评价法得出了台风影响的评价系数及灾情分级。靳宁等(2009)和唐文君等(2007)对不同下垫面的人体舒适度进行了模糊综合评判。王子健等(2008)及杨文澜和李磊(2009)利用模糊数学方法分别对泥石流灾害易损度和大气环境质量做出评价。

本文通过分析厦门市历年雷灾记录,结合雷暴孕灾环境和成灾特点,选取当前能够获得的年雷击大地密度、产值密度和人口密度 3 个因子作为评判指标,采用模糊综合评判方法对厦门市雷灾风险进行分析、评估以及风险的区划。其研究结果为防雷中心依据区域差异采取相应的防雷措施和设计防雷方案提供了科学的依据,而且研究方法也可为其它地区所借鉴。

2 雷电灾害易损性评价指标体系

2.1 指标选取的原则

由于承灾体的属性比较复杂,因此在构建雷电灾害风险评价指标体系时要格外细致。为了科学地进行雷电灾害风险的综合评价,在选择指标时应遵循以下原则:

(1) 代表性与主导性原则:从影响雷电灾害的众多指标中选择制约风险强弱的主要因子,以便增强雷电灾害风险评价的科学性和简洁性;选取的指标也应具有代表性,在不同区域有广泛的代表性,以便于评估结果可相互比较,为科学决策提供依据。

(2) 实用性与可取性原则:选取的指标不但要具有实用性,而且要比较容易获取,即易于捕捉信息并对其定量化处理。体系不宜过于庞大,应简单明了,便于理解和计算,同时所采用的指标应该能为有关部门所接受,并尽量与国家统计局部门的指标相一致。

(3) 综合性与客观性原则:指标体系应比较全面、综合地反映一个区域的雷电灾害易损性,但同时要避免不切实际、不太相关的指标。

2.2 指标体系及分析

受探测技术所限,以往在利用雷暴日参数来表征雷暴活动情况时,容易造成较大误差。随着闪电定位技术的不断提高及闪电定位网覆盖范围的不断扩大,目前在分析雷电分布特征时,更多用到的是年平均雷击大地密度。与雷暴日数相比,它更加直观、可靠,更能够从致灾因子角度精确反映不同地区受雷电灾害影响的差异程度。另外,从雷电灾害造成的后果来看,人员伤亡与经济损失是承灾体所面临的最普遍的两种风险,而决定风险大小最直接因素则来源于人口密度和产值密度。因此,按照上述分析并结合指标选取的原则,本文选取年平均雷击大地密度、产值密度和人口密度 3 个指标作为雷电灾害风险评价的指标体系。各指标的含义及其对雷灾风险的影响分析如下:

(1) 年平均雷击大地密度(D):研究区域内各站多年平均雷击大地密度,用于分析区内雷暴分布的差异,表征不同地区雷暴活动的频繁程度,能反映雷暴空间分布特征对雷电灾害发生、危险程度的影响。

(2) 产值密度(M):区域的单位面积生产总值,计算方法:产值密度=评价单元的生产总值/评价单元的土地面积;是雷电破坏的直接对象,包括工业、农业、房产以及居民家庭物品等多种不同的承灾体。一般而言,产值密度越大,雷灾风险越高。

(3) 人口密度(P):区域内单位面积的人口总数,计算方法:评价单元人口总数/评价单元土地面积。雷电灾害对人类社会的影响首先表现为人口伤亡,故人口密度是雷电灾害易损性评价的直接因子,并会制约其它因子对雷灾风险的影响。区域人口密度越大,其国内产值、房产、基础设施等财产愈大,那么不仅受灾的人口数量多,遭

受经济损失的可能性也越大。

3 资料简介及处理方法

3.1 资料简介

闪电定位资料由福建省气象局提供。采用中国科学院空间科学与应用研究中心研制的 ADTD 雷电监测定位系统,在全省共布设了 9 个闪电探测子站,单站探测范围 250 km,探测效率高于 85%,平均探测定位精度优于 500 m。利用厦门市 6 个区 2004~2008 年的平均年雷击大地密度近似代表厦门各区的平均地闪状况。产值密度和人口密度资料均来自《2008 年厦门经济特区年鉴》(厦门市统计局,2009)。

3.2 模糊综合评价法

模糊综合评判方法是以模糊数学为基础,对受多种因素影响的现象或事物进行总的评价,即根据所给条件对所有评判对象都赋予一个评判指标,然后择优选择(谢季坚和刘承平,2006)。在灾害评估中采用模糊综合评判方法,其优点是可将本来模糊的、主观性很大的定性评估转变为定量评判,其思路清晰、评判结果直观,且能满足灾害评估的精度要求。具体步骤如下:

(1) 确定评价对象的因素论域,即 n 个评价指标 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ 。本文为 3 个评价指标,即 $U = \{D, M, P\}$ 。

(2) 确定评价等级论域 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$,即等级集合。本文为 3 个风险等级,即 $V = \{\text{低}, \text{中}, \text{高}\}$ 。

(3) 构造隶属函数。由于对易损性程度的认识具有一定的不确定性和模糊性,所以用模糊隶属度来评价区域易损程度更为合理。隶属度由隶属函数计算而得,隶属函数可根据评价对象选取不同的函数形式,本文采用三角函数作为隶属函数,该函数结构简单、意义明确,容易推广:

$$\mu_{v_1} = \begin{cases} 1, & u < a \\ 0, & u \geq a \end{cases}$$

$$\mu_{v_2} = \begin{cases} 0, & u < a \\ \frac{u-a}{b-a}, & a \leq u < b \\ \frac{c-u}{c-b}, & b \leq u < c \\ 0, & u \geq c \end{cases}$$

$$\mu_{v_3} = \begin{cases} 0, & u \leq b \\ \frac{u-b}{c-b}, & b < u \leq c \\ 1, & u > c. \end{cases}$$

(4) 根据各评价指标值,按上述隶属函数计算属于各等级雷灾易损性的隶属度,并按最大隶属度原则进行易损性等级单指标评价。

(5) 将单指标隶属度向量 μ 组合成模糊关系矩阵 R

$$R = \begin{bmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \\ \vdots \\ \mu_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix},$$

其中矩阵 R 中第 i 行、第 j 列元素 r_{ij} 表示被评对象从指标 u_i 来看对等级 v_j 的隶属度。

(6) 确定各评价指标的模糊权向量 $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ 。各评价指标的权重系数 a_i 可根据各评价指标对评价对象的贡献大小,采用专家打分法或数理统计方法确定。由于只有 3 个评价指标,可直接由经验判断权重,最后确定由指标年雷击大地密度 D 、产值密度 M 、人口密度 P 所组成的权重向量为

$$A = (0.5, 0.3, 0.2).$$

(7) 利用合适的合成算子将 A 与 R 合成,得到被评对象的模糊综合评价的结果向量 B ,即

$$B = (b_1, b_2, \dots, b_m) = A \cdot R$$

$$= (a_1, a_2, \dots, a_n) \cdot \begin{bmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \\ \vdots \\ \mu_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}.$$

(8) 对模糊综合评价的结果向量 B 按最大隶属度原则给出评价对象的综合评定结果。

4 雷电灾害风险区划

统计各区逐年的地闪频数,根据各区逐年的土地面积、生产总值和总人口数,计算得到各区域的产值密度和人口密度(见表 1)。

雷电灾害风险大小主要体现了该区域未来因雷电造成的可能损失量的高低。若某区域未来因雷灾造成的损失量越高,则该区域的雷灾风险越

大。即雷灾危险度的大小对某地区未来因雷电造成的可能损失量做出了趋势评估和判断。由于区域较小，本文研究区域综合风险仅采用低、中、高 3 个级别来描述。

表 1 厦门市雷电灾害危险性模糊评价数据
Table 1 Fuzzy evaluation data of lightning disaster hazards in Xiamen city

区域	年雷击大地密度 /a ⁻¹ · km ⁻²	产值密度/百万元 (人民币) · km ⁻²	人口密度 /km ⁻²
思明区	0.88	510.74	7793
湖里区	1.87	287.49	11039
海沧区	3.12	120.74	1157
同安区	4.09	15.97	645
集美区	3.23	79.15	2156
翔安区	2.38	21.35	905

为便于指标间的相互比较和避免等间隔划分对样本信息的影响，首先对表 1 内容做归一化处理，并假设样本服从准正态分布，本文分别以 20%、50% 和 80% 样本数所对应的数值作为评价标准，得到 3 个级别的风险代表值分别为 0.05、0.25 和 0.45，按 3.2 节中的步骤计算得到各个区的雷电灾害危险性等级并绘制风险区划图（如图 1 所示）。可以看出，思明和翔安两区分别处于雷电灾害的高风险区和低风险区，其他几个区（同安、集美、海沧和湖里）介于二者之间，属中度风险区。

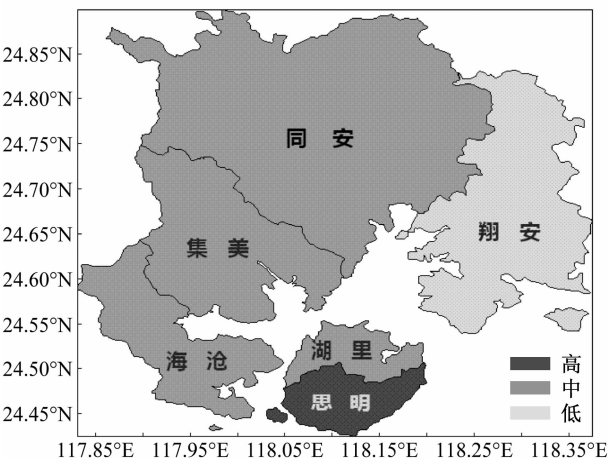


图 1 厦门市雷电灾害风险区划
 Fig. 1 Lightning disaster risk zoning of Xiamen city

5 小结

本文采用模糊综合评判法分析了厦门市 6 个区的雷电灾害风险水平，将风险划分为 3 个等级并绘制了厦门市雷电灾害风险区划图。该方法的使用可以最大限度地减少主观因素的影响，而且各指标权重的确定还可根据具体情况灵活掌握，不但能够针对雷电灾害频率高、覆盖面广等特点以及各地实际情况有效的加以运用，而且对于当前雷电灾害风险鉴定方法单一化的现状也是一个较好的补充。但由于资料较少、精确度有限，在整个过程中还存在许多有待进一步探讨和深化的问题。为进一步细化标准、提高准确性，还应考虑更多的因素，如土壤电阻率、雷电灾害频数、灾害的强度等。当前由于各种原因，这些因素还很难采用，如目前还没有土壤电阻率方面的资料；《全国雷电灾害典型实例汇编》^①中的雷灾记录由于其前后记录标准不完全一致，也不宜采用雷电灾害频数作为因子；灾害的强度亦未形成统一的标准、难于量化等。总体来说，上述问题也是当前国内雷电灾害研究领域普遍存在的问题。因此，应当加强对资料的收集和管理，为制作更为详细、精确的雷灾风险区划提供可靠前提。

参考文献 (References)

- 樊运晓，高朋会，王红娟. 2003. 模糊综合评判区域承灾体脆弱性的理论模型 [J]. 灾害学, 18 (3): 20-23. Fan Yunxiao, Gao Penghui, Wang Hongjuan. 2003. Theoretical model for fuzzy evaluation of vulnerability of regional hazard bearing body [J]. Journal of Catastrophology (in Chinese), 18 (3): 20-23.
- 黄崇福，张俊香，陈志芬，等. 2004. 自然灾害风险区划图的一个潜在发展方向 [J]. 自然灾害学报, 13 (2): 9-15. Huang Chongfu, Zhang Junxiang, Chen Zhifen, et al. 2004. Toward a new kind of natural disaster risk zoning map [J]. Journal of Natural Disasters (in Chinese), 13 (2): 9-15.
- 靳宁，景元书，武永利. 2009. 南京市不同下垫面对人体舒适度的影响分析 [J]. 气候与环境研究, 14 (4): 445-450. Jin Ning, Jing Yuanshu, Wu Yongli. 2009. Analysis of the impacts of different kinds of underlying surfaces on human body comfort in the city of Nanjing [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 14 (4): 445-450.

①中国气象局雷电防护研究管理办公室. 1998-2008. 全国雷电灾害典型实例汇编 [G].

- 马清云, 李桂英, 王秀荣, 等. 2008. 基于模糊综合评价法的登陆台风灾害影响评估模型 [J]. 气象, 34 (5): 21 - 25. Ma Qingyun, Li Guiying, Wang Xiurong, et al. 2008. A fuzzy synthetic evaluation model for typhoon disaster [J]. Meteorological Monthly (in Chinese), 34 (5): 21 - 25.
- Mejia-Navarro M, Wohl E E, Oaks S D. 1994. Geological hazards, vulnerability, and risk assessment using GIS: Model for Glenwood Springs, Colorado [J]. Geomorphology, 10 (14): 331 - 354.
- 唐文君, 闵敏, 景元书. 2007. 长江三角洲夏季气候舒适度模糊评判 [J]. 气候与环境研究, 12 (6): 773 - 778. Tang Wenjun, MinMin, Jing Yuanshu. 2007. A fuzzy evaluation for the climatic comfortableness of the Yangtze River Delta in summer [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 12 (6): 773 - 778.
- 王子健, 肖盛燮, 戴廷利, 等. 2008. 泥石流危险度模糊综合评判方法及应用 [J]. 重庆交通大学学报 (自然科学版), 27 (5): 794 - 798. Wang Zijian, Xiao Shengxie, Dai Tingli, et al. 2008. Fuzzy comprehensive evaluation method and its application in judging the risk degree of debris flows [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science) (in Chinese), 27 (5): 794 - 798.
- 尹娜, 肖稳安. 2005. 区域雷灾易损性分析、评估及易损度区划 [J]. 热带气象学报, 21 (4): 441 - 449. Yin Na, Xiao Wen'an. 2005. Regional vulnerability analysis, evaluation and vulnerability zoning of lightning [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 21 (4): 441 - 449.
- 谢季坚, 刘承平. 2006. 模糊数学方法及其应用 [M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 93 - 101, 143 - 191. Xie Jijian, Liu Chengping. 2006. Approach and Application of Fuzzy Mathematics [M] (in Chinese). Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 93 - 101, 143 - 191.
- 厦门市统计局. 2009. 2008 年厦门经济特区年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 12 - 15, 163 - 259. Xiamen Statistical Administration. 2009. Yearbook of Xiamen Economic Zone [M] (in Chinese). Beijing: China Statistics Press, 12 - 15, 163 - 259.
- 杨文澜, 李磊. 2009. 应用模糊数学法综合评价淮安市大气环境质量 [J]. 气候与环境研究, 14 (4): 451 - 454. Yang Wenlan, Li Lei. 2009. Fuzzy mathematics based comprehensive evaluation of atmospheric environmental quality in Huai'an [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 14 (4): 451 - 454.