

浙江省仙居县地质灾害调查与区划

曹 恺,孟高头,陈 亮

(中国地质大学工程学院,湖北武汉 430074)

摘要: 结合地质灾害调查与区划项目中“以人为本”的思想,在调查仙居县具体地理情况、地质环境的基础上,分析了对地质灾害起控制作用的因素,建立了敏感因子评估模型。由于地质灾害致灾因素的复杂性及不确定性,引进了模糊数学综合评判法,对地质灾害进行区划,依据区划结果对仙居县土地规化提出了切实可行的建议。

关键词: 地质灾害;区划;敏感因子评估模型;模糊数学综合评判。

中图分类号: P694

文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2002)02-0217-05

作者简介: 曹恺(1977—),男,中国地质大学(武汉)环境工程专业硕士研究生,主要研究方向为土体原位测试、软基处理、地质灾害预测及防治。E-mail: cieng@cug.edu.cn

我国经济正处于一个全面飞速发展的时期,这对我们周围的环境(包括地质环境)产生了巨大的影响。如我国正在大力进行的基础建设,其工程规模和强度超过了以往任何时期,对周围地质环境的影响越来越大。为了协调人类工程活动与周围环境的关系,增强发展的后劲,人们不能只顾当前利益,无限度地向大自然索取,使环境恶化,必须走可持续发展的道路。目前,我国正在大规模开展的“县(市)地质灾害调查与区划”项目中明确提出“为查明我国地质灾害严重县(市)地质灾害隐患,划出地质灾害易发区,建立地质灾害信息系统,健全群专结合的监测网络,有计划的开展地质灾害防治,减少灾害损失,保护人民生命财产安全,开展县(市)地质灾害调查与区划^[1]”。协调好人类活动与地质环境之间的关系,为可持续发展创造必要条件。本文以浙江省仙居县为例,对我国县(市)地质灾害调查与区划工作进行研究,籍以和同行交流经验,并为促进我国正在开展的此项工作贡献一份力量。

1 仙居县地理、地质概况

仙居县位于浙江省东南部,台州市的西陲,是一

个山区县,有“八山一水一分田”之说,境内山峦起伏,山脉自安岭乡分叉,横亘该县南北边境,多以北东向展布,成钳形对峙。地质构造线的走向也以北东向为主,千米以上山峰109座。水系以永安溪为主,斜贯其中,有34条较大支流从南或北汇入永安溪。地表切割强烈,高差悬殊。地质构造以断裂为主,褶皱不发育,岩性多由火山岩(熔结凝灰岩)和侏罗、白垩纪的砂岩和泥岩组成。山川秀美,旅游业发展迅速。

但由于该县大部分地区山高路陡,人口多、经济基础薄弱,地质灾害如滑坡、崩塌、泥石流、塌陷均有不同程度的发生,且有的已威胁到人民的生命财产安全。因此很有必要进行地质灾害调查与区划,以便更好地进行经济建设、保护好人民的生命财产安全,这也是党的“三个代表”精神的具体实现。

2 地质灾害区划原则

目前较常用的地质灾害区划方法有^[2]:(1)信息量法评价。利用地质灾害不稳定性影响因素进行类比,即具有类似地质结构、几何要素和触发地质灾害因素的多种地质因素和外动力因素控制的信息量来反映。(2)系统理论及其分析方法。把研究区工程地质环境作为一个开放、动态的整体进行系统分析与综合评价是其理论的基本思路,采用综合评判与聚类分析的方法论证其工程场地的安全性及改造场地

的经济合理性。(3)模糊数学评判模型法.影响地质灾害的因素是多方面的,工程地质和环境地质学家一般选择若干个对某地区较敏感的定性或定量指标进行综合评判,其中不少定性指标具有模糊性或不确定性.因此,可运用模糊数学方法进行地质灾害分区综合评价。(4)敏感因子分析法.在人类活动—地质灾害这一对矛盾中,人类活动总是使质量最差的或者对人类活动较敏感的那些因素首先受到影响,从而可能诱发地质灾害.那些对人类活动极为敏感或对地质灾害的发生及发展具有决定性制约作用的环境因子叫敏感因子.对地质灾害的发生及发展具有重要影响作用或者人类活动对其具有较大影响的环境因子叫重要因子.对地质灾害的发生及发展只具有一般性影响或者人类活动对其只具极小影响的环境因子叫一般因子.我们只有抓住矛盾的主要方面——敏感因子,才能将问题有效、经济地解决.

地质灾害区划是根据主要灾害指标,划分级次,同时应充分考虑“以人为本”的思想,结合地质灾害发育现状、发展趋势及影响地质灾害发育的诸多因素综合考虑.为了达到以上目的,进行地质灾害区划时应遵循以下原则^[3-5]:(1)种类和区划指标要反映地质灾害的基本属性特征和主要灾情特点;(2)划分的级次数量和不同级次的差幅适当,要能恰如其分地反映仙居县地质灾害情况;(3)等级指标明确,划分方法简明,便于操作使用.

根据灾情调查、统计和评估需要,从不同方面对地质灾害进行分级.地质灾害区划模型应包括两层含义:一是定性分析,即判断是否可能发生地质灾害,这是区划的前提和基础;二是定量计算,即要说明地质灾害发生的可能性大小及其可能产生的危害程度,这是最终结果.由于地质灾害的特殊性,以至于在某些地区危害性区划中要充分系统地、全面地掌握当地地质资料,又要掌握实际问题的变化规模,才能抽象出反映实际情况的概念模型来.输入参数的正确与否决定着数学模型的最终输出结果.

3 地质灾害区划步骤

3.1 单元网格剖分

运用栅格数据处理方法将仙居 1:10 万行政区划图进行网格剖分,每个单元面积为 $1\text{ km}\times 1\text{ km}\sim 3\text{ km}\times 3\text{ km}$.剖分合理与否直接影响评价精度及评价过程中数据处理的难易程度.对于地质条件变化

不大的地区,单元面积可取高限,地质条件复杂,或需详细研究的地区,单元面积可取低限.

根据上述原则,将评价区划分为 260 个单元.

3.2 建立模型

3.2.1 评估因子的选取 评估因子的选取,评估指标体系的科学建立,是做到地质灾害危险性评估的客观前提.通过上述的分析,可以将众环境因子进行分类,略去一般因子,选择重要因子和敏感因子进行评估.

根据仙居具体情况,敏感因子和重要因子划分如下:(1)地层岩性.地层岩性是产生滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害的物质基础.研究结果表明:一定地区的地质灾害发生于一定的地层之中.地质灾害的产生与岩性软弱地层的存在有密切的关系.岩性软弱地层在水和其他因素的影响下,往往构成潜在的滑动面(带).岩性及岩石风化程度等对边坡有很重要的影响,与工程建设的关系很密切.仙居县分布有大面积的熔结凝灰岩,岩性坚硬且不易风化,很少产生滑坡.而在砂岩、泥岩分布区,岩性较软且易风化,较大规模滑坡和泥石流均发生在此类岩性出露地区.所以,将地层岩性划为重要因子.(2)地形地貌.地形坡度是滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害发生的重要因素.其位于不同微地貌中的单元产生地质灾害的可能性不同,同时考虑到地质灾害危害性评估的主要目的是为了仙居县国民经济发展做用地规划.而地形过于陡峭的区域易于诱发滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害,故将地形坡度划归为重要因子.经调查发现 95% 以上的崩塌、滑坡均发生在地形坡度大于 30° 的地区,故将坡度大于 30° 列为敏感因子.(3)地质构造.断裂、地层产状等地质构造条件对地质灾害的产生与规模有直接的重要影响.在大的构造断裂带附近,滑坡、崩塌等地质灾害往往成群出现.各种结构面与山坡临空面或人工开挖面的组合关系,控制着斜坡的稳定性.例如城关镇大庙后村北公路,由于路面的拓宽需要对路两侧的山坡进行开挖,坡体岩性均为砂岩,公路西侧恰好位于断裂带上,所以西侧发生了滑坡并可见 100 m^3 的滑塌体.而东侧无明显变形迹象,所以将地质构造条件划为重要因子.(4)水文地质特征.大气降水与地质灾害的关系十分密切,调查区 90% 的地质灾害发生于暴雨之后.所以将降雨列为重要因子.因为当地工农业生产及生活用水都为地表水,所以不会因大量抽取地下水而出现地面沉降、地裂等地质灾害,故将地下水列为一

表 1 地质灾害各级评价区主要特征
Table 1 Main characteristics of geological hazard divisions

评判因子	不易发区	低易发区	中易发区	高易发区
地层岩性及地质构造	岩性致密且基本上无节理、褶皱、断层等构造现象	岩性较致密且节理、褶皱、断层等构造现象不发育	岩性破碎或部分软硬相间、节理、褶皱、断层等构造现象较发育	岩性很破碎且多处软硬相间、节理、褶皱、断层等构造现象发育
坡度/(°)	<10	10~20	20~30	>30
坡高/m	<30	30~60	60~90	>90
冲沟密度(条/20 km)	<2	2~5	5~10	>10
水文地质特征	排水畅通, 软弱结构面不遭浸润	降雨集中, 排水良好, 软弱结构面偶尔遭浸润	降雨较集中, 排水情况一般, 软弱结构面遭浸润	多降暴雨, 且排水不畅, 软弱结构面常年遭浸润

般因子。(5)人类工程活动。人类工程活动日益加剧, 如建房、修路、造桥等对周围地质环境产生了巨大影响, 如进行不恰当的山坡脚开挖、坡顶堆载等人为动力因素而造成斜坡失稳在评价区内也频有发生。考虑到仙居县的实际情况, 人类工程活动主要指公路及水电工程的建设对斜坡坡度的改变。由于下岸水库的新建, 库区公路改建到库水位以上的山坡上, 新修的公路一侧要大量开挖山坡, 使坡度变陡, 因而发生了很多滑坡, 特别是遇到顺向坡和砂岩分布区时, 滑坡更容易发生。如该段公路边发现一滑坡体积达 10 000 m³, 经多次清理, 仍不稳定, 严重阻塞道路通行。故将人为因素列为重要因子。

3.2.2 敏感因子评估 敏感因子^[6]对地质灾害具有绝对重要性, 有它们存在的单元, 属于地质灾害较危险的区域。对地质环境评价内每一个单元, 就每一项因子进行评估。其状态及标准见表 1。对于不存在敏感因子的区域可划分为不易发区、低易发区、中易发区、高易发区。划分这些区域的稳定性可用模糊综合评判法。

3.2.3 模糊综合评估 (1)方法原理及评判模型的建立。模糊系统是根据一些由人们总结出来的描述各种因素之间相互关系的模糊性语言经验规则, 并将这些规则上升为简单的数值计算, 以便让机器代替在相应的问题面前进行推理决策具体地实现这些规则。这些经验规则的形成是基于对他们进行的定性的、大致精确的观察和总结。故实现这些语言性经验的数值计算也就无需是一种基于它们精确数学模型的数值运算。因此, 模糊数学方法^[7]可用于地质灾害分区综合评价。

按模糊综合评判方法的原理, 将影响地质灾害的诸因素, 组合成一个因素集:

$$U = \{A, B, \dots, M\}.$$

各项因素的状态可用一模糊子集 V 表示:

$$V = \{\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_m\}.$$

式中的 $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_m$ 表示隶属于 A, B, \dots, M 诸因素的不同状态, 即隶属度。

$U(x)$ 的值接近 1, 表示 x 隶属于 V 的程度很高, 反之, $U(x)$ 接近于 0, 则表示 x 隶属于 V 的程度很低。

对每一个待评单元均可建立模糊评判矩阵 R

$$R = \begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \dots & \gamma_{1m} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \dots & \gamma_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \gamma_{n1} & \gamma_{n2} & \dots & \gamma_{nm} \end{bmatrix}.$$

根据模糊关系的定义, γ_{ij} 表示第 i 个评价因子的危害程度值可以被评为第 j 级的可能性, 即 i 对 j 的隶属度。因此模糊关系矩阵 R 中的第 i 行实际上代表了第 i 个评价因子对各级危害程度标准的隶属性。而模糊关系矩阵 R 中的第 j 列则代表了各个评价因子对第 j 级危害程度的标准的隶属性。

各评判因子对地质灾害的影响程度不同。因此, 为了体现它们各自在评价中的贡献大小, 应给予相应的权重, 得权分配模糊集:

$$W = (\rho_1, \rho_2, \rho_3, \dots, \rho_n).$$

各评判因子权重向量的确很重要, 它应在对研究区环境地质条件充分了解的基础上给出。有时, 为了给出最佳分配方案, 可提出数种可能的方案, 求出相应的隶属度。

于是建立起地质灾害综合评判模型。对 Q 进行归一化处理, 得:

$$Q = W \times R = (q_1, q_2, q_3, q_4).$$

最后以 q 的最大值表示该单元的质量优劣。如果 q_1, q_2, q_3, q_4 分别表示地质灾害不易发区、低易发区、中易发区、高易发区。如最大值为 q_2 , 则该单元为低易发区。

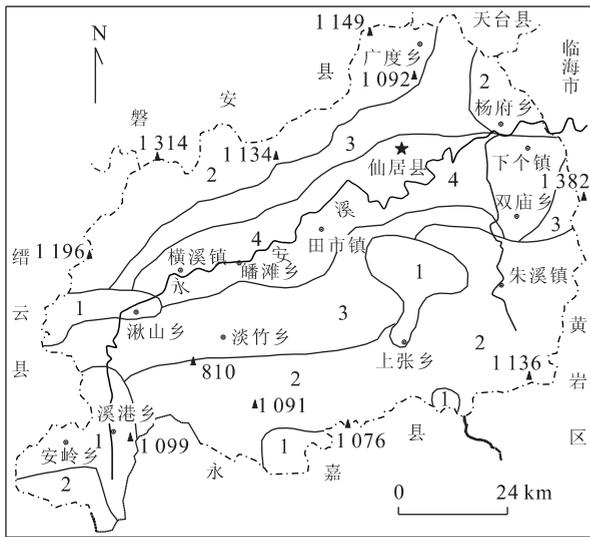


图 1 仙居县地质灾害区划

Fig. 1 Geological hazards division map in Xianju county

图中代号 1, 2, 3, 4 分别代表高易发区、中易发区、低易发区、不易发区。经过统计, 可知高易发区占全县面积 18.7% (50 个单元), 中易发区占 54.2% (120 个单元), 低易发区占 17.6% (60 个单元), 不易发区占 9.5% (30 个单元)

(2) 定权. 岩性、地貌、构造、水文、人类活动对地质环境的影响不同. 因此, 按照仙居县属山区城市及主要的环境地质问题——斜坡稳定性的特点考虑, 运用专家打分法与权重反演法^[8,9] 分别给出参与模糊综合评估的诸因子的权重分别为: 0.27, 0.36, 0.21, 0.06, 0.10.

(3) 应用举例. 下面以朱溪镇板辽村滑坡为例, 说明模糊综合评判的具体应用.

该滑坡位于白垩系下统馆头组杂色泥岩、粉砂岩中. 岩性脆弱, 对高易发区的隶属度为 1. 基岩产状 $135^{\circ} \angle 7^{\circ}$, 坡向 150° , 为一顺向坡, 并且恰好位于一构造断裂带上. 其构造对高易发区的隶属度为 1. 坡体坡度 $15^{\circ} \sim 25^{\circ}$, 坡高 30 m, 其地貌对低易发区的隶属度为 1. 地下水埋深 1.5~2.0 m, 为大气降水补给, 滑动面埋深为 6 m, 且该处排水畅通, 故水文条件对低易发区的隶属度为 1. 斜坡上有居民村舍, 村民在修机耕路、建房时对坡体、坡脚有开挖, 但不严重. 故人类工程活动对中易发区的隶属度为 1.

综上所述, 可构造模糊评判矩阵 R .

$$R = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

其中 $\gamma_{14} = 1$ 表示第一个因子对第四级(地质灾害高易发区)的隶属度最大. 其他同理. 所以, $Q = W \times R = (0.00, 0.42, 0.10, 0.48)$. 可见 $q_4 = 0.48$ 为最大, 所以该区属于高易发区. 评价结论与现场调查相符, 说明模型构造及数据选取合理.

运用上述方法对 260 个单元分别进行评价, 用 MAPGIS 辅助成图.

(4) 评价结果. 根据上述调查、研究与分析, 可将仙居县的地质灾害情况用图 1 定量地表示出来.

4 防治建议

由于仙居县地质灾害高易发区占全县面积的 18.7%, 且有些高易发区威胁到了当地居民的生命财产安全, 考虑到“以人为本”的区划原则, 对地质灾害应以预防为主, 治理为辅. 建议: (1) 在地质灾害高易发区中, 有一部分地质灾害位于深山老林, 交通极不方便, 又无居民, 不必进行治疗. 如有居民点, 以整体搬迁下山脱贫为宜, 如板辽村已决定下山脱贫. 部分地质灾害高易发区中, 居民点较多或地质灾害位于交通要道旁, 应进行规划和必要治理, 并建立监测网络. (2) 对于地质灾害中易发区和低易发区中, 应加强监测, 个别问题个别处理. (3) 在地质灾害不易发区中, 可以进行大规模建设等经济活动.

参考文献:

- [1] 国土资源部. 县(市)地质灾害调查与区划基本要求[S], 2000.
The Ministry of Land and Resources. The basic requests for geological hazards investigation and division in countries (cities) [S], 2000.
- [2] 晏同珍. 水文工程地质与环境保护[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1994.
YAN T Z. Hydrology and engineering geology and environmental protection [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1994.
- [3] 张梁, 张业诚, 罗元华, 等. 地质灾害灾情评估理论与实践[M]. 北京: 地质出版社, 1998.
ZHANG L, ZHANG Y C, LUO Y H, et al. The theory and practice of geological hazards evaluation [M]. Beijing: Geology Publishing House, 1998.
- [4] 吴永锋, 石林. 三峡工程库区公路复建工程主要地质病害及防治对策[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2001, 26(4): 402—405.

- WU Y F, SHI L. Major geological hazards and preservation of road rebuilding engineering in the Three Gorges Engineering reservoir area [J]. *Earth Science — Journal of China University of Geosciences*, 2001, 26(4): 402—405.
- [5] 许也平, 赵思贤, 鲁少宏, 等. 沪蓉国道主干线巫山至万州段灾害地质遥感解译[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 2001, 26(4): 433—436.
- XU Y P, ZHAO S X, LU S H, et al. Geological hazard interpretation using RS technology for Wushan-Wanzhou section of Shanghai-Chengdu national highway [J]. *Earth Science — Journal of China University of Geosciences*, 2001, 26(4): 433—436.
- [6] 谭允祯. 矿井通风系统优化[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1992.
- TAN Y Z. The optimization of mine ventilation system [M]. Beijing: Publishing House of Coal Industry, 1992.
- [7] 陈守煜. 系统模糊决策理论与应用[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 1994.
- CHEN S Y. The system fuzzy decision theories and application [M]. Dalian: Dalian University of Technology Press, 1994.
- [8] 蔡述明, 杜耘, 黄进良, 等. 长江中游洪涝灾害的成因与监测决策支持系统的建立[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 2001, 26(6): 643—647.
- CAI S M, DU Y, HUANG J L, et al. Causes of flooding and water logging in middle reaches of the Yangtze River and construction of decision making support system for monitoring and evaluation of flooding and water logging hazards [J]. *Earth Science — Journal of China University of Geosciences*, 2001, 26(6): 643—647.
- [9] 马映清, 李智毅, 殷坤龙. 重庆市沿江地带环境地质现状及建库后的变化预测研究[R]. 四川省地质矿产局南江水文地质工程地质队, 1992.
- MA Y Q, LI Z Y, YIN K L. The geological present conditions and estimating after finished the Three Gorge Reservoir in Chongqing along the Yangtze River [R]. Geological Investigation Team of Sichuan Province, 1992.

Geological Hazard Division and Plan in Xianju County, Zhejiang Province, China

CAO Kai, MENG Gao-tou, CHEN Liang

(Engineering Faculty, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: In this paper, the model is established for evolution sensitive factors for controlling geological hazards: lithology, geological structure, slope degree of landform, human engineering activity, based on the specific geographic and geological environmental conditions in Xianju county. The comprehensive criteria of fuzzy mathematics is used for the geological hazards division. Finally, the development plan of geological environment is put forward according to the evaluation results.

Key words: geological hazards; division; sensitive factor evaluation model; comprehensive criteria of fuzzy mathematics.