

基于信息量模型的中国滑坡灾害风险区划研究

朱良峰¹, 吴信才¹, 殷坤龙², 刘修国¹

(1. 中国地质大学 信息工程学院, 湖北 武汉 430074; 2. 中国地质大学 工程学院, 湖北 武汉 430074)

[摘要] 基于信息论发展起来的信息量模型是进行区域滑坡灾害风险评估的一种有效方法。GIS 技术为滑坡灾害在不同模型条件下的风险评估提供了有效地技术支持。经过研究, 开发出了基于 MapGIS 软件平台的滑坡灾害风险分析系统。在该系统支持下, 采用信息量模型对中国范围内的滑坡灾害进行危险性分析, 进而进行区域社会经济易损性分析, 并在此基础上进行最终的滑坡灾害风险评估。

[关键词] 滑坡; 地理信息系统; 风险评估; 地质灾害; 信息量模型

[中图分类号] P642; P208 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2004)03-0052-05

[作者简介] 朱良峰(1978—), 男, 安徽太和人, 博士研究生, 现从事三维 GIS 技术与应用工程的研究工作。

自 20 世纪 70 年代中国进入地质灾害高发期以来, 滑坡灾害的数量、发生频率、灾害损失都呈明显加速上升趋势, 其对社会产生的破坏性影响更是与日俱增。滑坡灾害的发生具有典型的区域性、突发性、群发性的特征, 其发生的不确定性是滑坡灾害风险客观存在的前提条件。世界上很多国家和地区如美国、澳大利亚、西欧等都相继开展了以滑坡灾害为主体的地质灾害风险区划研究^[1], 而中国在这方面的研究工作相对薄弱, 无论是在滑坡灾害风险评估的理论探讨还是应用实践上都起步较晚, 随着中国减灾防灾工作的深入开展, 对大范围区域性的滑坡灾害进行风险评估工作也逐步展开。当前, 以 GIS 技术为核心的 3S 技术在地学领域中的应用蓬勃发展, 为滑坡灾害的风险评估提供了一个卓有成效的技术平台。GIS 具有强大地空间分析功能和空间数据库管理能力, 可以从不同空间和时间的尺度上分析滑坡灾害的发生与环境影响因素之间的统计关系, 评价滑坡灾害的发生概率和可能的灾害后果^[1~3]。经过多年研究, 笔者开发出了基于商业 GIS 软件平台 MapGIS 的滑坡灾害风险分析系统^[3]。该系统能够结合多种专业地学分析模型, 实现滑坡灾害的危险性分析、易损性分析和最终的风险评

估。在该系统支持下, 采用信息量模型对全国范围内的滑坡灾害进行危险性分析, 进而进行区域社会经济易损性分析, 并在此基础上进行最终的滑坡灾害风险评估。

1 信息量模型基本理论

滑坡灾害的风险是指在特定的区域、时间限度内, 特定的滑坡灾害现象对人类生命财产、经济活动等可能造成的损害^[1~3]。它可表示为: $R = f(H, E, V)$, 其中, R (Risk) 指特定的滑坡灾害的风险; H (Hazard) 指滑坡灾害的危险性; E (Element) 指特定区域内受滑坡灾害威胁的对象; V (Vulnerability) 指受威胁对象的易损性。可以看出, 滑坡灾害的危险性 (H) 和受威胁对象 (E) 的易损性 (V) 共同决定了滑坡灾害的损失大小, 是控制滑坡灾害风险 (R) 的基本条件, 对这两者的分析评价称作滑坡灾害危险性评价和区域社会经济易损性评价。对于滑坡灾害的危险性分析, 国内外研究较多, 理论上也比较成熟, 形成了许多广泛应用的专业分析模型, 如信息量模型、专家打分模型、模糊评判模型、基于人工神经网络、遗传算法等模型。而对于受威胁对象的社会经济易损性分析, 则因其涉及的因素众多, 实际信息资料的提取难度较大, 至今大多尚停留在理论探索阶段, 实际应用模型较少。

[收稿日期] 2003-06-10

[基金项目] 国家九五重中之重科技攻关项目(96-B02-03-05)

信息量模型是进行区域地质灾害预测的一种有效方法^[6,7], 它适用于中小比例尺区域地质灾害危险性预测, 笔者对中国滑坡灾害的风险评估是建立在信息量模型的基础上的。信息预测的观点认为: 地质灾害的产生与预测过程中所获取信息的数量与质量有关, 可用信息量表示; 地质灾害现象(Y)受多种因素 X_i 的影响, 各种因素所起作用的大小、性质是不相同的; 在各种不同的环境中, 对于地质灾害而言, 总会存在一种“最佳因素组合”, 因此, 对于区域地质灾害要素综合研究“最佳因素组合”, 而不是停留在单个因素上^[9]。

信息量模型的理论基础是信息论, 它用地质灾害发生过程中熵的减少来表征地质灾害事件产生的可能性, 因素组合对某地质灾害事件的确定所带来的不肯定性程度的平均减少量等于该地质灾害系统熵值的变化。信息量的计算公式是:

$$I(y, x_1x_2 \wedge x_n) = \text{lb}_2 \frac{P(y, x_1x_2 \wedge x_n)}{P(y)},$$

根据条件概率运算, 前式可进一步写成:

$$I(y, x_1x_2 \wedge x_n) = I(y, x_1) + I_{x_1}(y, x_2) + \wedge + I_{x_1x_2 \wedge x_{n-1}}(y, x_n),$$

式中: $I(y, x_1x_2 \cdots x_n)$ 为因素组合 $x_1x_2 \cdots x_n$ 对地质灾害所提供的信息量(bit); $P(y, x_1x_2 \cdots x_n)$ 为因素 $x_1x_2 \cdots x_n$ 组合条件下地质灾害发生的概率; $I_{x_1}(y, x_2)$ 为因素 x_1 存在时因素 x_2 对地质灾害提供的信息量(bit); $P(y)$ 为地质灾害发生的概率。

从上式中可看出, 因素组合 $x_1x_2 \cdots x_n$ 对地质灾害所提供的信息量等于因素 x_1 提供的信息量, 加上因素 x_1 确定后因素 x_2 对地质灾害提供的信息量, 直至因素 $x_1x_2 \cdots x_{n-1}$ 确定后, x_n 对地质灾害提供的信息量, 从而说明区域地质灾害信息预测充分考虑了因素组合的共同影响与作用。

区域地质灾害的预测是在对区域地质灾害分布图开展信息统计分析的基础上进行的。如果采用面积比来计算信息量, 则可表示为:

$$I(y, x_1x_2 \wedge x_n) = \text{lb}_2 \frac{S_0/S}{A_0/A}$$

式中: A 为区域内单元总面积; A_0 为已经发生地质灾害的单元面积之和; S 为具相同因素 $x_1x_2 \cdots x_n$ 组合的单元总面积; S_0 为具相同因素 $x_1x_2 \cdots x_n$ 组合单元中发生地质灾害的单元面积之和。

一般情况下, 由于作用于地质灾害的因素很多, 相应的因素组合状态也特别多, 样本统计数量

往往受到限制, 故采用简化的单因素信息量模型分步计算, 再综合叠加分析, 相应的信息量模型可为:

$$I = \sum_{i=1}^n I_i = \sum_i \text{lb}_2 \frac{S_0^i/S^i}{A_0/A}$$

式中: I 为预测区某单元信息量预测值(bit); I_i 为因素 x_i 对地质灾害所提供的信息量(bit); S^i 为因素 x_i 所占单元总面积; S_0^i 为因素 x_i 单元中发生地质灾害的单元面积之和。

可以看出, 以上这些运算对于手工处理方法来讲, 其计算量无疑很大, 计算精度也无法保证, 但对于拥有强大的空间分析功能和数据库管理能力的 GIS 来说, 则极为方便快捷。

2 中国滑坡灾害危险性分析

2.1 中国滑坡灾害历史危险性分析

中国是一个滑坡灾害较为严重的国家, 近几十年来重大滑坡灾害事件屡屡发生, 造成极大地损失和不良的社会影响, 同时也积累了丰富的滑坡灾害资料。根据收集到的历史记录资料^[8], 结合滑坡灾害的活动频次、活动规模等对滑坡的历史危险性进行分析, 作出历史滑坡分布密度图(图 1)。图 1 中依据历史上滑坡分布密度的不同划分为 5 个等级区域(特高密度区; 高密度区; 中等密度区; 低密度区; 基本无活动区), 基本上反映了中国历史滑坡在区域分布上的特征。

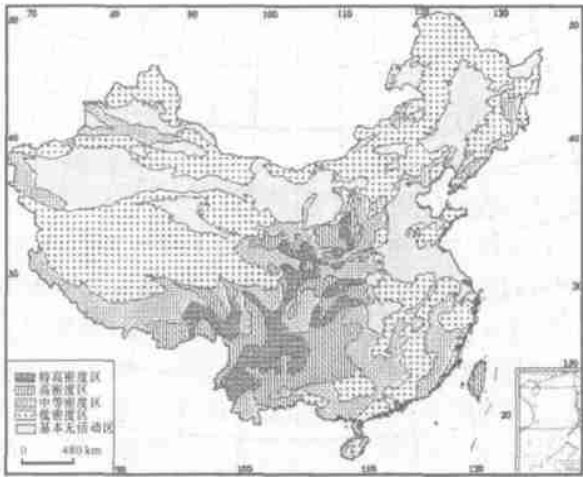


图 1 中国历史滑坡分布密度

Fig. 1 Distribution density of historical landslide in China

2.2 滑坡灾害的主影响因子分析

滑坡灾害的发生受制于工程地质岩土体组合、

地形地貌、地质断裂构造分布、大气降水分布、地震烈度等级、人类工程活动影响等诸多因素^[9~10]，对滑坡灾害进行危险性分析也应从这些因素入手，根据各因子对滑坡灾害产生影响的特点及后续分析的需要，分别作出各个因子的分区图（各因子分区标准见表 1）。特别是表 1 根据各影响因子的特征归属，将滑坡灾害的影响因子划分为类型层、因子层和状态层等 3 个层次，具体分层规则见表 1。

表 1 滑坡灾害主影响因子分区标准

Table 1 Zonation standard of landslide affecting factor			
类型层	因子层	状态层	
	因子类别	因子分区标准	
背景因子(A)	工程地质岩组(A ₁)	A ₁₁ 为侵入岩类; A ₁₂ 为喷出岩类; A ₁₃ 为碎屑岩类; A ₁₄ 为碳酸盐岩类; A ₁₅ 为片状、板状变质岩类; A ₁₆ 为块状变质岩类; A ₁₇ 为湿陷性黄土类; A ₁₈ 为松散土类	
	山地类型(A ₂)	A ₂₁ 为最高山; A ₂₂ 为高山; A ₂₃ 为高中山; A ₂₄ 为低中山; A ₂₅ 为低山; A ₂₆ 为丘陵; A ₂₇ 为平原	
	地形起伏程度(A ₃)	A ₃₁ 为高山起伏地区; A ₃₂ 为山地起伏地区; A ₃₃ 为中起伏地区; A ₃₄ 为低起伏地区; A ₃₅ 为缓起伏地区	
	地震烈度(A ₄)	A ₄₁ 为≥9度区; A ₄₂ 为8度区; A ₄₃ 为7度区; A ₄₄ 为6度区; A ₄₅ 为<6度区	
	地质断裂构造(A ₅)	A ₅₁ 为断裂构造影响区; A ₅₂ 为非断裂构造影响区	
诱发因子(B)	多年平均降水(B ₁)	B ₁₁ 为>1 600 mm; B ₁₂ 为1 200~1 600 mm; B ₁₃ 为800~1 200 mm; B ₁₄ 为400~800 mm; B ₁₅ 为<400 mm	
	人类工程活动(B ₂)	B ₂₁ 为道路开挖; B ₂₂ 为水库建设; B ₂₃ 为矿山开采; B ₂₄ 为城镇建设	

2.3 危险性评价与区划

采用信息量模型进行滑坡灾害危险性区划。利用 GIS 的空间分析功能，将历史滑坡分布密度图（图 1）与各主影响因子分布图进行叠加，计算出其信息量，然后根据信息量的大小进行危险性分级并作出滑坡灾害危险性等级分布区划图（图 2）。图 2 中将滑坡灾害的危险性进行了 4 个等级的划分（极高危险性；高危险性；中等危险性；低危险性）。从图 2 中可以看出：稳定性差的地区（高危险性地区和较高危险性地区）主要分布在中国西南的部分省区，特别是在长江上游、重庆、四川、贵州等地区，这与滑坡灾害的实际发生情况相吻合。

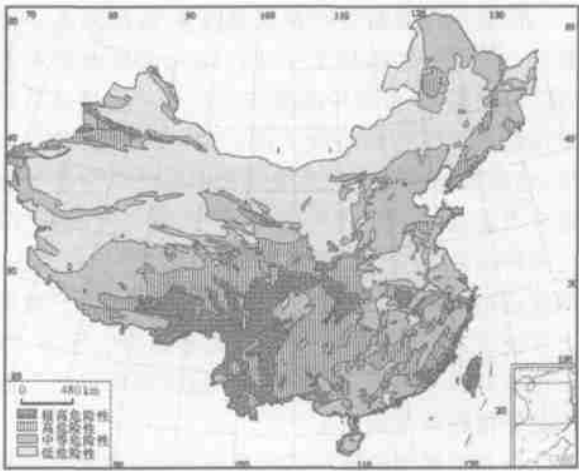


图 2 中国滑坡危险性等级区划(信息量模型)

Fig. 2 Zonation of landslide hazard in China (Information content Model)

3 区域社会经济易损性分析

在进行区域社会经济易损性分析时，以历史上滑坡灾害所造成的人员伤亡和社会经济损失情况为基础^[8]，综合考虑各地区人口、基础设施、建筑物、人类经济活动和社会结构等的分布与发展变化情况以及抗灾能力，进行区域人口易损性和土地易损性分析，在此基础上作出全国易损性等级分布区划图（图 3）。图 3 中将易损性分为 4 个等级（极高易损性；高易损性；中等易损性；低易损性）。

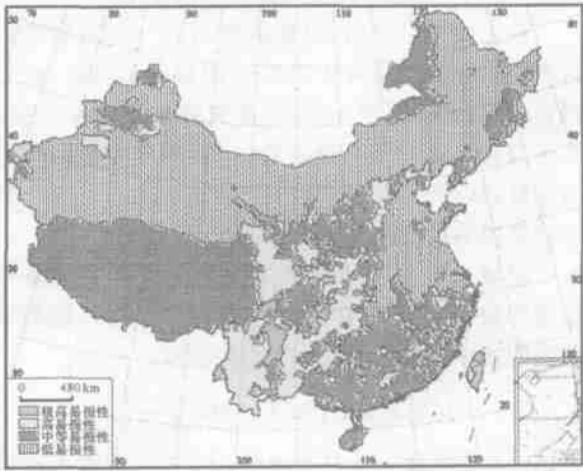


图 3 中国滑坡灾害社会经济易损性等级区划

Fig. 3 Zonation of social economic vulnerability in China

4 中国滑坡灾害风险分析

按照“等级”的概念，采用表 2 的分级标准进行

最终的滑坡灾害风险区划。根据各区滑坡灾害危险性等级、易损性等级的组合特征, 将滑坡灾害风险划分为4个等级(高风险区; 中风险区; 低风险区; 极低风险区)。采用信息量模型时, 各区具体分布情况如图4。各个等级区域的面积分别为: $64.8 \times 10^4 \text{ km}^2$, $228.57 \times 10^4 \text{ km}^2$, $392.16 \times 10^4 \text{ km}^2$, $274.47 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。各个等级区域的面积比为: 6.75%, 23.81%, 40.85%, 28.59%。通过检验, 风险分析结果较符合实际情况, 取得了令人满意地效果。

表2 滑坡灾害风险分级标准
Table 2 Standard of landslide risk

危险性等级	1级	2级	3级	4级
	极高易损性	高易损性	中等易损性	低易损性
1级 极高危险性	1	1	2	3
2级 高危险性	1	2	2	3
3级 中等危险性	2	2	3	3
4级 低危险性	3	3	3	4

注: 风险等级为: 1—高风险; 2—中风险; 3—低风险; 4—极低风险

因为世界上并不存在绝对安全的无风险区, 所以图4中极低风险区是指存在的风险处于可接受范围之内地区的地区。在极低风险区内, 滑坡灾害的危险性(规模、密度、频次等)很低, 区域易损性也很低, 是安全投资区和未开发区。低风险区具有轻度地滑坡灾害, 区域易损性也较低, 但与极低风险区相比, 其区域基础设施和经济水平已经有所提高, 承受的风险也随之变大, 但总体上该区风险小、收益大, 是比较好地投资和开发区。中等风险区的开发应该慎重, 在该区风险与效益并存, 实在需要开发时应考虑降低风险的措施并加强灾害风险管理。高风险区有很高的灾害危险性和易损性(该区或者是滑坡灾害规模较大, 频次较高, 或者人口稠密, 经济发达, 易损性非常大), 投资风险很大, 由于受到滑坡灾害的严重威胁, 在风险降低之前, 不宜大规模投资^[11~15]。

5 结语

信息量模型是进行区域滑坡灾害风险评估的一种有效方法。应用实践显示, 基于信息量模型在基础GIS平台上进行开发的滑坡灾害风险分析系统功能全面, 设计灵活, 实现了滑坡灾害风险分析模型和GIS技术功能优势的结合。它能够充分利用GIS的图形编辑、属性管理、空间分析、数字高程

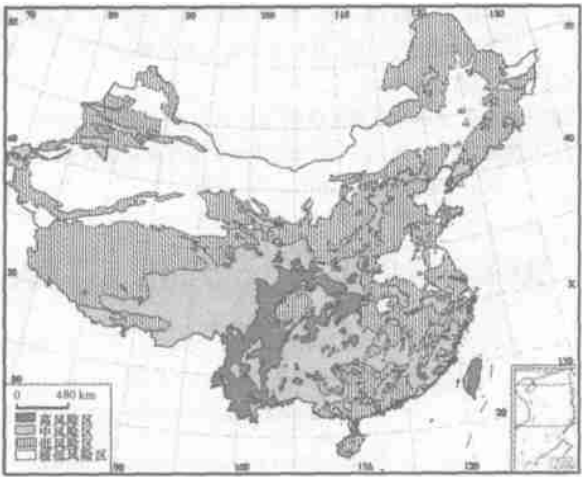


图4 中国滑坡灾害风险等级区划(信息量模型)
Fig. 4 Zonation of landslide risk in China (Information content Model)

分析等功能优势, 快捷方便地实现一般分析方法与手段难以解决的问题。它可以根据变化情况与资料, 现势性的进行滑坡灾害风险分析, 进一步缩减风险分析的模糊性与不确定性, 具有较强地准确性与客观性, 从而实现常规的分析方法和手段难以企及的功能。随着实际应用的检验, 系统功能将不断得到扩展与完善。

[参 考 文 献]

[1] 殷坤龙, 朱良峰. 滑坡灾害空间区划及 GIS 应用研究[J]. 地学前缘, 2001, 8(2): 279 ~ 284.

[2] Zhu Liangfeng Zhang Guirong, Yin Kunlong et al. Risk analysis system of geo-hazard based on GIS technique[J]. Acta Geographica Sinica, 2002, 12(3): 371 ~ 376.

[3] 朱良峰, 殷坤龙, 张梁, 等. 基于 GIS 技术的地质灾害风险分析系统研究[J]. 工程地质学报, 2002, 10(4): 428 ~ 433.

[4] 朱良峰, 殷坤龙. 基于 GIS 技术的区域地质灾害信息分析系统研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2001, 12(3): 79 ~ 83.

[5] 戴福初, 李军. 地理信息系统在滑坡灾害研究中的应用[J]. 地质科技情报, 2000, 19(1): 91 ~ 95.

[6] 殷坤龙, 晏同珍. 汉江河谷旬阳段区域滑坡规律及斜坡不稳定性预测[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1987, 12(6): 631 ~ 638.

[7] 晏同珍, 伍法权, 殷坤龙. 滑坡系统静态规律及斜坡不稳定性时空定量预测[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1989, 14(2): 117 ~ 133.

[8] 张梁. 地质灾害灾情评估理论与实践[M]. 北京: 地质出版社, 1998.

[9] 单新建, 叶洪, 李焯芬, 等. 基于 GIS 的区域滑坡危险性预测方法与初步应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(10): 1507 ~ 1514.

- [10] 兰恒星, 伍法权, 周成虎, 等. 基于 GIS 的云南小江流域滑坡因子敏感性分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(10): 1500~1506.
- [11] 刘希林. 泥石流危险性评价[M]. 北京: 科学出版社, 1995.
- [12] 刘希林, 莫多闻. 泥石流风险及沟谷泥石流风险度评价[J]. 工程地质学报, 2002, 10(3): 266~273.
- [13] 刘希林, 莫多闻, 王小丹. 区域泥石流易损性评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2001, 12(2): 7~12.
- [14] 雷明堂. 城市岩溶塌陷地质灾害风险评估[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2000, 11(1): 10~15.
- [15] 刘希林. 区域泥石流风险评价研究[J]. 自然灾害学报, 2000, 9(1): 54~61.

Risk zonation of landslide in China based on information content model

ZHU Liang-feng¹, WU Xin-cai¹, YIN Kun-long², LIU Xiu-guo¹

(1. School of Information Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

2. School of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: With the development of hazard prevention and reduction in China, it is imperative to assess regional landslide hazards. Information value model, which is based on the Information Theory, is the valid method for analyzing the risk of regional geo-hazards. The risk assessment supported by GIS is one of the most important directions in geo-hazard study. Based on the author's studies, a risk analysis system of landslides has been developed which is explored on the basis of software MAPGIS. This paper deals with the risk zonation of the regional landslide hazards of China supported by this system, and adopts information content model in the analysis of geo-hazard, analysis of the vulnerability as well as the risk assessment of the geo-hazard. The result is reasonable and practical to a certain degree.

Key words: landslide; GIS; risk assessment; geo-hazard; information content model

[英文审定: 杨家喜]

《吉林大学学报(地球科学版)》简介



《吉林大学学报(地球科学版)》是吉林大学主办、教育部主管的以地学为特色的综合性学术期刊。它创刊于 1956 年, 创刊时刊名为《长春地质学院学报》, 1998 年随学校更名改为《长春科技大学学报》。2000 年 6 月 12 日, 根据国务院关于高校管理体制改革的决定, 经教育部批准, 原吉林大学、吉林工业大学、白求恩医科大学、长春科技大学和长春邮电学院五所大学合并为新吉林大学。2001 年 12 月, 经国家新闻出版总署批准, 《长春科技大学学报》(ISSN1008-0058/CN22-1265/N) 更名为《吉林大学学报(地球科学版)》(ISSN1671-5888/CN22-1343/P)。

《吉林大学学报(地球科学版)》力求以繁荣和发展地质学科科技与教育事业为重点, 推动科技事业发展, 培养新生力量, 把期刊办成国内外学术交流的重要园地。本刊主要刊登地质学、地球物理学、水文、环境、工程、勘查技术等学科领域中的最新科研成果。欢迎从事地学研究的广大科技人员和师生踊跃投稿。

《吉林大学学报(地球科学版)》为全国中文核心期刊, 被国内外 10 余家数据库和文摘刊物收录和摘引, 为《中国科技论文统计与分析》和《中国科学引文数据库》源刊, 其被引频次和影响因子在综合类期刊中居于前列。本刊连续多年被吉林省评为一级期刊, 多次获国家、省部级优秀科技期刊奖。

本刊国内外公开发行, 季刊, A4 开本, 定价 16 元, 国内发行代号 12-22, 国外由中国国际图书贸易总公司发行, 发行代号 Q5074。欢迎广大读者到当地邮局(所)订阅。

地址: 吉林省长春市西民主大街 6 号(地质宫)

Tel: 0431-8502374

E-mail: jdxbdxb@jlu.edu.cn