

泥石流危险度的模糊综合评判

陈 伟, 任光明, 左三胜

(成都理工大学环境与土木工程学院, 成都 610059)

摘 要: 泥石流沟谷是一个复杂的“模糊”系统, 它是由多种因素构成, 应用模糊综合评判法, 选取了 7 个因子作为泥石流危险度划分的主要关联因子, 并且运用了灰色系统关联度分析法确定了评价因子隶属度, 对泥石流沟谷危险程度进行了判别, 其评价结果显示了模糊评判法具有较高的判别准确度, 为进行有效的灾害防治提供了可靠的科学依据。

关键词: 泥石流沟谷; 危险度; 模糊综合评判法; 灰色系统关联度分析

中图分类号: P642 23

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)02-0138-02

Fuzzy Comprehensive Evaluation Method to Judge Dangerous Degree of Debris Flow

CHEN Wei, REN Guangming, ZUO San-sheng

(College of Environment and Civil Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: The ditch valley of debris flow is a complicated fuzzy system, it is formed by many kinds of factors, fuzzy comprehensive evaluation method is used and seven factors were chosen as the dangerous degree of main related factors dividing the debris flow, the related degree of analytic approaches of the grey system is used to confirm and appraise the factor and is under the jurisdiction of degree and get a better way to judge dangerous degree of debris flow. The evaluation result show that fuzzy comprehensive evaluation method has higher discrimination accuracy and has offered reliable scientific basis for preventing and curing the calamity effectively.

Key words: debris flow; dangerous degree; fuzzy comprehensive evaluation method; grey system

1 前 言

泥石流沟谷^[1]从形成、发展直至消亡受到了很多因素的影响, 它们相互作用并形成了一个复杂的“模糊”的系统。影响该系统形成的要素, 以及各要素之间都存在有较多的不确定现象, 模糊数学为研究和处理这类具有不确定性的事物提供了新的思路, 其核心是利用参数间的模糊关系替代数学假设, 然后在此基础上求出解析关系。

模糊综合评判法是对受多种因素影响的现象或事物进行总的评价, 即根据所给的条件, 对评判对象的全体, 每个因素都赋予一个评判指标, 然后择优选择。对泥石流这一集随机性与模糊性为一体的事物, 采用模糊数学的方法进行综合评判, 首先考虑了单个因子对危险度等级的影响, 再综合考虑每个因子的影响作用, 应用模糊变换原理的最大隶属原则最后确定危险度等级的最终归属, 可望得到更切合实际的结果。

2 模糊综合评判的数学模型

设有 n 件事物的某一特征等待评价, 这 n 件事物构成对象集 (X) 和因素集 (U) :

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \quad U = \{u_1, u_2, \dots, u_7\}$$

设对因素的权重分配为 V 上的模糊子集 A , 记为:

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$$

式中: a_i ——第 i 个因素 u_i 所对应的权。

对第 i 个因素的单因素模糊评判为 V 上的模糊子集

$$R_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im})$$

于是单因素评判矩阵 R 为:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & \dots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & r_{n3} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

则对该评判对象的模糊综合评判 B 是 V 上的模糊子集。

$$B = A \cdot R$$

并利用最大隶属度原则确定泥石流沟的危险性。

3 应用实例

在上述理论的基础上, 运用模糊综合评判法对西北某水电站坝址附近的一条泥石流沟谷危险度进行了评价。

3.1 给出因子集合 U

通过查阅了有关于甘肃省主要泥石流发育的基本条件等有关文献及根据该沟泥石流地质构造、地形地貌和水文气象等特点, 在野外综合调查和室内综合分析的基础上, 选取了泥石流沟平均纵比降、流域面积、流域相对高差、主沟长度、山坡平均坡度、沟谷松散固体物质储量以及年均降水量 7 个因子作为泥石流危险度划分的主要关联因子, 其中沟谷平均比降为主导因子。建立因子集合 U 。

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_7\} = \{\text{泥石流沟平均纵比降, 流域面}$$

收稿日期: 2005-05-10

作者简介: 陈伟(1979-), 男, 硕士研究生, 主要从事工程地质工作。

积、……、年均降水量}

3.2 利用灰色系统关联度分析法确定各因子权重

在评判中,各因子所起的作用都会有所差异,主导因子对危险度影响最大权重亦最大;其他因子若与主导因子相关性越大,对危险度的影响也较大,相应其权重亦大。权重的确定方法有许多种,如根据调查统计的专家经验法,多元回归分析法,灰色系统关联度分析法等。其中灰色系统关联度分析法运用较为广泛,取得了不错的效果。

用关联度分析法确定权重的原理如下:

设有 m 个有序数列

$$\begin{bmatrix} \{x_1^{(0)}(k)\}, k=1,2,\dots,N_1 \\ \{x_2^{(0)}(k)\}, k=1,2,\dots,N_2 \\ \vdots \\ \{x_m^{(0)}(k)\}, k=1,2,\dots,N_m \end{bmatrix}$$

其中 m 个数列代表 m 种元素,各有序数列即各评价单元中获取的评价因子的性状数据,另外,再给定有序参考数列: $\{x_0^{(1)}(k)\}, k=1,2,\dots,N_0$

$$\Theta_i(k) = \frac{\min_j(\min_k |x_0(k) - x_i(k)|) + \rho \max_j(\max_k |x_0(k) - x_i(k)|)}{|\min_j(\min_k |x_0(k) - x_i(k)|) + \rho \max_j(\max_k |x_0(k) - x_i(k)|)}$$

式中: $\Theta_i(k)$ 为 x_0 与 x_i 在第 k 点的关联系数; $|x_0(k) - x_i(k)| = \epsilon_0(k)$

表示 x_0 数列与 x_i 数列在第 k 点的绝对差; $\min_j(\min_k |x_0(k) - x_i(k)|)$ 称为二级最小差,其中 $\min_j(\min_k |x_0(k) - x_i(k)|)$ 是第一级最小差,而 $\min_j(\min_k |x_0(k) - x_i(k)|)$ 是第二级最小差; $\max_j(\max_k |x_0(k) - x_i(k)|)$ 其含义与最小值相似; ρ 为分辨系数,取值为 0.5,将比较数列 x_i 与参考数列 x_0 各点的关联度数和平均得到关联度 r_{0i} 。

$$r_{0i} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \Theta_i(k) \quad (i=1,2,\dots,m)$$

对评测沟泥石流因子作关联度分析时,采用了甘肃省的文县关家沟、五都县马槽沟进行对比,对 3 条泥石流沟各种影响因子数据进行初始化,去掉量纲后,其具体特征参数见表 1,计算得出各因子权重见表 2:

表 1 关家川沟、关家沟、马槽沟特征参数

影响因子	平均比降/%	流域面积	相对高差	主沟长/km
沟名	X_0	/km ² X_1	/m X_2	X_3
关家川沟	0.53	2.26	1.31	2.14
关家沟	1.63	0.54	1.17	0.61
马槽沟	0.84	0.19	0.52	0.26

影响因子	平均坡度	固体物质储量	年均降水量/mm
沟名	/ X_4	/万 m ³ X_5	X_6
关家川沟	1.18	0.45	0.90
关家沟	1.24	1.35	1.00
马槽沟	0.59	1.19	1.11

由此得到权重 A

$$A = (0.2169, 0.1258, 0.1733, 0.1463, 0.1805, 0.1874, 0.1866)$$

3.3 确定评价集合 V

参照《泥石流防治工程设计规范》中对泥石流危险度分级的标准,将泥石流危险度划分为四个等级,即 I、II、III、IV 级,因此评价集 $V = (V_1, V_2, V_3, V_4) = (I \text{ 级}, II \text{ 级}, III \text{ 级}, IV \text{ 级})$

参考文献:

[1] 刘希林 我国泥石流危险度评价研究: 回顾与展望[J]. 自然灾害学报, 2002, 11(4): 1-8

级) = (无危险, 轻微危险, 中等危险, 高度危险)。

表 2 各因子权重表

影响因子	x_0	x_1	x_2	x_3
权重				
W	0.2169	0.1258	0.1733	0.1463

影响因子	x_4	x_5	x_6
权重			
W	0.1805	0.1874	0.1866

建立从 A 到 V 的模糊相关矩阵 R , 确定隶属函数通过计算得出关家川沟隶属函数值 R 值:

$$R = \begin{bmatrix} 0.8175 & 0.1825 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.1574 & 0.8426 \\ 0 & 0.03 & 0.97 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5587 & 0.4413 \\ 0 & 0 & 0.7 & 0.3 \\ 0 & 0.344 & 0.656 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0.5 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = A \cdot R = (0.1773, 0.2026, 0.6123, 0.1706)$$

根据“最大隶属度判别准则”,关家川沟应评为 III 级(中等危险)。按照“贴近度”原则,在每级之内进一步划分,根据其最大隶属度值,若左侧大于右侧,说明其危险度靠近低一等级,评为一类,反之则评为二类。按照该方法确定的关家川沟泥石流的危险程度为 III 级一类,即中等危险度偏轻微一类。

根据张春山等对《黄河上游地区崩塌、滑坡、泥石流地质灾害区域危险性评价》(2003)的研究结果,其划分的积石山县的危险性指数为 0.36,根据危险性指数对泥石流危险程度的划分依据(表 3),可见关家川沟所在的积石山县的崩塌、滑坡、泥石流的地质灾害危险性为较低危险,这与上述运用模糊数学分析法对关家川泥石流危险性评价结果基本一致。

表 3 危险性指数的等级划分

危险性等级	I	II	III	IV	V
危险性指数	< 0.2	0.2~0.4	0.4~0.6	0.6~0.8	> 0.8
危险程度	低危险	较低危险	中等危险	较高危险	高危险

(据张春山等对《黄河上游地区崩塌、滑坡、泥石流地质灾害区域危险性评价》)

4 结 语

(1) 通过分析甘肃省主要泥石流发育的基本条件及根据关家川沟泥石流地质构造、地形地貌和水文气象等特点,选取了平均纵比降、流域面积、流域相对高差、主沟长度、山坡平均坡度、沟谷松散固体物质储量以及年均降水量 7 个因子作为泥石流危险度划分的主要关联因子,其中沟谷平均比降为主导因子。

(2) 模糊综合评判法综合考虑到所有因素提供的信息,并且应用了灰色系统关联度分析法确定主导因子对其它主要因子的关联度,较好的解决了参评因素权重这个模糊综合评判的关键问题,使得出的评判结果更接近实际情况。

(3) 泥石流的产生和运动是一个十分复杂的过程,影响其危险度的因素比较多,分析结果表明,对泥石流沟的危险度进行评价时采用模糊综合评判法是科学可行的,这对认识泥石流沟谷的灾害特征、对其进行有效的灾害防治提供了可靠的科学依据。

- Southern Great Plains Hydrology Experiment[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1999, 37: 213 - 2150
- [17] 李杏朝. 微波遥感监测土壤水分的研究初探[J]. 遥感技术与应用, 1995, 10: 1- 8
- [18] 杨虎, 郭华东, 李新武, 等. 主动微波遥感土壤水分观测中的最优雷达参数选择[J]. 高技术通讯, 2003, 9: 21- 24
- [19] Kogan F N. Application of vegetation index and brightness temperature for detection[J]. Advances in Spaces Research, 1995, 15(11): 91- 100
- [20] Liu W, Kogan F N. Monitoring regional drought using the vegetation condition Index [J]. International Journal of Remote Sensing, 1996, 17: 276- 2 782
- [21] 陈维英, 肖乾广, 盛永伟. 距平植被指数在 1992 年特大干旱监测中的应用[J]. 环境遥感, 1994, 9(2): 106- 112
- [22] 韩桂军, 李冬, 马继瑞, 等. 数据同化在海洋数值产品制作及预报中的应用研究[J]. 海洋学报, 1999, 18(5): 54- 62
- [23] Hurk V B J, Bastiaanssen W G M, Meijgaardet EV, et al A new methodology for assimilation of initial soil moisture fields in weather prediction models using Meteosat and NOAA data[J]. Application Meteorology, 1997, 36: 1 271- 1 283
- [24] Li J, Islam S. On the estimation of soil moisture profile and surfaces fluxes partitioning from sequential assimilation of surface layer soil moisture[J]. Journal of Hydrology, 1999, 220: 86- 103
- [25] Montaldo N, Albertson J D. Robust simulation of root zone soil moisture with assimilation of surface soil moisture data [J]. Water Resource Research, 2001, 31(12): 2 879- 2 900
- [26] Montaldo N, Albertson J D. Multi-scale assimilation of surface soil moisture data for robust root zone moisture predictions[J]. Advance in Water Resources, 2003, 26: 33- 44
- [27] Heathman G C, Starks P J, et al Assimilation of surface soil moisture to estimate profile soil water content[J]. Journal of Hydrology, 2003, 279: 1- 17.
- [28] Otte C, Vija- Madjar D. Assimilation of soil moisture inferred from infrared remote sensing in a hydrological model over the HA PEX- MOB LHY region[J]. Journal of Hydrology, 1994, 158: 241- 264
- [29] Mcnider R T, Song A. J, Casey D M, et al Towards a dynamic- thermodynamic assimilation of satellite surface temperature in numerical atmospheric models[J]. Month Weather Review, 1994, 122: 2 784- 2 803
- [30] Lakshmi V. A simple surface temperature assimilation scheme for use in land surface model[J]. Water Resource Research, 2000, 36(12): 3 687- 3 700

(上接第 139 页)

- [2] 王昕. 泥石流沟危险度的模糊评判[J]. 重庆师范学院学报, 2002, 19(1): 23- 25
- [3] 刘家龙, 吕希奎, 刘贵应. 模糊综合评判法在泥石流灾度评价中的应用[J]. 地质科技情报, 2001, 20: 87- 88
- [4] 朱静. 泥石流沟判别与危险度评价研究[J]. 干旱区地理, 1995, 18(3): 64- 67.
- [5] 刘汉超等. 泥石流防治工程设计规范[M]. 北京: 地质出版社, 2002
- [6] 张春山, 张业成, 马寅生. 黄河上游地区崩塌、滑坡、泥石流地质灾害区域危险性评价[J]. 地质力学学报, 2003, 9(2): 151 - 152

(上接第 141 页)

蚀力 R 值为 $603.1 \text{ J} \cdot \text{cm}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 以及厦门市 6 个行政区的年降雨侵蚀力建议值。

(3) 厦门市年降雨侵蚀力变化幅度大, 最小值仅为最大值的 12.2%; 在空间分布上, 呈现从南部平原台地向西北部山地逐渐增大的特点。

用式(4)计算多年平均降雨侵蚀力, 较之式(2)更适合厦

门地区, 在无更详细降雨量资料的情况下, 可将其作为一种较好的估算方法使用。同时, 通过连续 10 年的降雨资料进行统计分析, 给出了 R 值变化范围, 直观展示了降雨侵蚀力的空间分布, 为水土流失的调查、规划及有效防治提供参考和依据。因此, 相关部门应加大年降雨侵蚀力高值区的防治力度, 采取行之有效的治理措施, 特别是控制大规模的人为破坏。

参考文献:

- [1] Wischmeier W H. A rainfall erosion index for a universal soil loss equation[J]. Soil Sci Soc Am Proc, 1959, 23(3): 246- 249
- [2] 周伏健, 等. 福建省降雨侵蚀力指标 R 值[J]. 水土保持学报, 1995, 9(1): 13- 18

(上接第 149 页)

- [13] 王晓燕, 田均良, 杨明义. 土壤剖面中 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 的分布特征及其在土壤侵蚀示踪中的应用[J]. 土壤通报, 2003, 34(6): 581- 585
- [14] 杨明义, 田均良, 刘普灵, 等. 用 ^{137}Cs 法研究农耕地坡面土壤侵蚀空间分布特征初报[J]. 水土保持研究, 1997, 4(2): 96- 99
- [15] Walling, D. E., & He, Q. Use of fallout ^{137}Cs in investigations of overbank sediment deposition on river floodplains[J]. Catena, 1997, 29: 263- 282
- [16] 李勇, 白玲玉, 张兴昌. 强度耕作对 ^{137}Cs 、 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 和有机质剖面分布的影响[J]. 水土保持学报, 2003, 17(3): 1- 4
- [17] 唐翔宇, 杨浩, 曹慧, 等. ^{137}Cs 法估算南方红壤地区土壤侵蚀作用的初步研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(3): 4- 11