

云南昭通滑坡泥石流危险度模糊综合评判

刘 丽

王 士 革

(西南财经大学数学教研室 成都 610074)

(中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所 成都 610041)

提 要 探讨了云南昭通的滑坡、泥石流危险度模糊综合评判法,介绍了以概率代替隶属频率,并构成单因素模糊矩阵 \tilde{R} 。以此为基础,完成了昭通滑坡、泥石流危险度分区。

关键词 云南 昭通 滑坡 泥石流 危险度 模糊综合评判

模糊数学方法已广为用于灾害评估研究^[1,2]中。现欲将模糊数学的综合评判法用于滑坡、泥石流危险度区划中,以探讨其理论和方法。

1 滑坡、泥石流危险度模糊综合评判的数学模型

由多个因素所确定的事物需加以恰当评价,对评价对象要考虑各个因素的影响^[3]。

设因素集 $U = \{U_1, U_2, \dots, U_m\}$; (1)

评价集 $V = \{V_1, V_2, \dots, V_n\}$ 。 (2)

第 i 个因素 U_i 的评判结果 $r_{ij} (j=1, 2, \dots, n)$, 构成 V 上的模糊子集

$$\tilde{R}_i = \{r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in}\}. \quad (3)$$

由 m 个因素的评价结果, 构成 $m \times n$ 阶单因素模糊评判矩阵

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} \tilde{R}_1 \\ \tilde{R}_2 \\ \vdots \\ \tilde{R}_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix}. \quad (4)$$

由多因素确定评判对象。不同的因素有着不同的权, 权的分配是 U 上的一个模糊子

集 $\tilde{W} = \{w_1, w_2, \dots, w_m\}$ 。 (5)

评判对象的综合评判结果 $\tilde{B} = \tilde{W} \circ \tilde{R}$ 。 (6)

2 评判方法与步骤

1988—1992 年对云南省昭通地区滑坡、泥石流进行了调查和研究。本区位于云南东北部, 土地面积 2.24 万 (km)², 全区辖 1 市 10 县。昭通地区是云南省内滑坡、泥石流危害最为严重的地区之一。1989 年统计结果表明, 全区有滑坡、泥石流灾害点 609 处, 其中滑坡 279 处, 泥石流 330 处。对昭通地区滑坡、泥石流危险度区划阐述如后。

2.1 评判基本单元的划分

本文收稿日期: 1995-07-18。

目前评判基本单元划分的趋向是以在地形图上划出网格作为依据. 由于受原始资料的限制, 仅以县级行政区为评判基本单元.

2.2 参评因素的选择与评判等级的确定

经调查分析后, 选择作为滑坡、泥石流模糊综合评判参评因素的有 9 个, 即: 相对高度 U_1 , 河网密度 U_2 , 岩石风化系数 U_3 , 垦殖率 U_4 , $\geq 50\text{mm}$ 年降水日数 U_5 , 地震烈度 U_6 , 荒草地 U_7 , 年降水变差系数 U_8 , $\geq 25^\circ$ 山坡面积 U_9 , 由此构成因素集

$$U = \{U_1, U_2, \dots, U_9\}^T. \tag{7}$$

将各参评因素作 5 级定量划分(表 1), 并规定对滑坡、泥石流影响程度最大的为 1 级, 最小的为 5 级. 评判等级也相应按高、较高、中、较低、低依次取 1—5 级, 构成评价集

$$V = \{1, 2, 3, 4, 5\}. \tag{8}$$

表 1 参评因素及其等级
Table 1 Evaluating factors and their classify

参 评 因 素	1	2	3	4	5
相对高度 $U_1(\text{m})$	≥ 2000	2000—1750	1750—1500	1500—1250	≤ 1250
河网密度 $U_2[\text{km}/(\text{km})^2]$	≥ 0.50	0.50—0.45	0.45—0.40	0.40—0.35	≤ 0.35
岩石风化系数 U_3	≥ 2.0	2.0—1.9	1.9—1.8	1.8—1.7	≤ 1.7
垦殖率 $U_4(\%)$	≥ 40	40—35	35—30	30—25	≤ 25
$\geq 50\text{mm}$ 年降水日数 $U_5(\text{d})$	≥ 3.0	3.0—2.0	2.0—1.0	1.0—0.5	≤ 0.5
地震烈度 $U_6(\text{度})$	≥ 8	8—7	7—6	6—5	≤ 5
荒草地 $U_7(\%)$	≥ 40	40—35	35—30	30—25	≤ 25
年降水变差系数 U_8	≥ 0.20	0.20—0.18	0.18—0.15	0.15—0.12	≤ 0.12
$\geq 25^\circ$ 山坡面积 $U_9(\%)$	≥ 50	50—40	40—30	30—20	≤ 20

2.3 确定单因素模糊评判矩阵

用 u_i 表示因素 U_i 在评判单元上的值. 先作单因素模糊评判, 即从因素值 u_i 着眼, 确定评判单元上该因素在 V 上的评判结果 $r_{ij}(j=1, 2, 3, 4, 5)$. 再用 9 个单因素的评判结果构成因素集 U 与评价集 V 之间的模糊关系, 即 9×5 阶单因素模糊评判矩阵

$$R = (r_{ij})_{9 \times 5}. \tag{9}$$

取 r_{ij} 为评判单元上第 i 个参评因素隶属于第 j 级危险度的可能程度.

显然, 按前述分级的规定, 某一评判单元上的参评因素值所属等级越高, 对该单元上滑坡、泥石流活动越有利. 因此当参评因素值属第 S 级时, 该评判单元就第 i 个因素而言属评判集中第 S 级的可能性最大, 而属其他级的可能性较小. 于是可取一定的概率值作为单因素评判值 r_{ij} . 设 U_i 在 V 上的评判结果服从正态分布, 为计算 r_{ij} , 可将 $(-\infty, +\infty)$ 分为 5 个部分区间, 并由标准正态分布函数求得各部分区间相应的概率(表 2).

表 2 标准正态分布的区间划分及对应概率
Table 2 Region classify of standard normal distribution and correspondence probability

区 间	$(-0.57, 0.57]$	$(0.57, 1.5]$ \cup $(-1.5, -0.57]$	$(1.5, 2]$ \cup $(-2, -1.5]$	$(2, 2.3]$ \cup $(-2.3, -2]$	$(2.3, +\infty)$ \cup $(-\infty, -2.3]$
概率 p_i	p_0	p_1	p_2	p_3	p_4
概率值	0.4314	0.2175	0.0440	0.0121	0.0107

1) 王士革, 杨庆溪, 刘希林等. 昭通地区滑坡、泥石流及危险度分区探讨. 1990.

当因素 U_i 的值 u_i 属表 1 所列的第 S 级时,其评判结果 r_{ij} 由式(10)来确定.

$$r_{ij} = \begin{cases} p_l, & j = S \pm l = 2, 3, 4; \\ \sum_{l \geq 1} p_l, & j = S \pm l = 1, 5. \end{cases} \tag{10}$$

2.4 确定参评因素的权重

滑坡、泥石流由多因素综合作用生成,各因素在促成过程中的作用是不同的. 为客观反映这种关系,用参评因素与滑坡、泥石流灾害点分布密度的关联度来确定各因素的权重,得权重集

$$W = (0.1380, 0.1210, 0.1210, 0.1210, 0.1210, 0.1210, 0.0980, 0.0830, 0.0760).$$
(11)

2.5 模糊综合评判

在单因素评判的基础上,对评判单元滑坡、泥石流危险度进行模糊综合评判,即

$$\widetilde{B} = \widetilde{W} \circ \widetilde{R} = (b_1, b_2, \dots, b_5). \tag{12}$$

这里综合评判算子“ \circ ”取 (\cdot, \oplus) 型,其中

$$a \cdot c = ac \text{ (普通乘)}. \tag{13}$$

$$a \oplus c = \min\{a + c, 1\}, \tag{14}$$

即
$$b_j = w_1 r_{1j} \oplus w_2 r_{2j} \oplus \dots \oplus w_9 r_{9j}, \quad (j = 1, 2, \dots, 5). \tag{15}$$

按模糊数学中最大隶属原则,取 \widetilde{B} 中最大隶属度所对应的评判等级为该单元的最终评判等级. 即若
$$b_k = \max\{b_1, b_2, \dots, b_5\}, \tag{16}$$
 则该单元的最终评判等级为 k 级.

3 滑坡、泥石流危险度区划

区划的基本单元取县级行政区. 由于水富县成立时间短,统计资料少,环境背景条件与绥江县环境背景条件相似,因此将水富县与绥江县合并成一个基本单元.

表 3 昭通地区各县(市)参评因素分级

Table 3 Classify of evaluating factors of every county (city) of Zhaotong Prefecture

参评因素	相对高度 u_1 (m)	河网密度 u_2 [km/(km) ²]	岩石风化 系数 u_3	垦殖率 u_4 (%)	≥50mm 年降水 日数 u_5 (d)	地震烈度 u_6 (度)	荒草地 u_7 (%)	年降水变 差系数 u_8	≥25°山坡面 积 u_9 (%)
昭通	1250/5	0.47/2	1.86/3	30.91/3	0.50/5	7/2	44.47/1	0.15/4	22.1/4
鲁甸	1500/4	0.37/4	1.99/2	27.52/4	1.10/3	6/3	45.37/1	0.17/3	30.9/3
巧家	2250/1	0.45/3	2.02/1	18.09/5	1.41/3	6/3	39.68/2	0.17/3	56.0/1
盐津	1400/4	0.41/3	1.85/3	22.65/5	3.29/1	7/2	32.17/3	0.19/2	53.9/1
大关	1750/3	0.29/5	2.01/1	24.23/5	1.86/3	8/1	42.70/1	0.15/4	55.7/1
永善	2200/1	0.31/4	1.96/2	20.71/5	1.00/4	7/2	41.43/1	0.13/4	52.4/1
绥江水富	1175/5	0.51/1	1.70/5	26.16/4	2.92/2	6/3	14.44/5	0.15/4	45.6/2
镇雄	1000/5	0.34/5	1.89/3	40.10/1	1.25/3	6/3	16.52/5	0.12/5	35.5/3
彝良	1450/4	0.35/5	1.92/2	19.67/5	1.20/3	8/1	44.97/1	0.15/4	39.5/3
威信	1000/5	0.38/4	1.82/3	29.06/4	1.35/3	5/5	21.35/5	0.11/5	41.4/2

注:表中的数据:分子为参评因素值,分母为参评因素级别.

3.1 模糊综合评判的运算过程

现以云南省昭通地区鲁甸县为例,简述模糊综合评判运算过程.

根据鲁甸县的 9 个参评因素(表 3)进行单因素评判. 例如,由表 3 查得鲁甸县的第 一个参评因素 U_1 ,即相对高度 $u_1=1\,500\text{m}$,属第 4 级,即 $S=4$.

由式(10)与表 2 得 U_1 的单因素评判为

$$\tilde{R}_1 = (0.0228, 0.0440, 0.2175, 0.4314, 0.2843).$$

(17)

其余 8 个参评因素的单因素评判 $\tilde{R}_2, \tilde{R}_3, \dots, \tilde{R}_9$,亦按上法得出.

构成 9×5 阶单因素评判矩阵

$$\tilde{R} = \begin{pmatrix} \tilde{R}_1 \\ \tilde{R}_2 \\ \tilde{R}_3 \\ \tilde{R}_4 \\ \tilde{R}_5 \\ \tilde{R}_6 \\ \tilde{R}_7 \\ \tilde{R}_8 \\ \tilde{R}_9 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.0228 & 0.0440 & 0.2175 & 0.4314 & 0.2843 \\ 0.0228 & 0.0440 & 0.2175 & 0.4314 & 0.2843 \\ 0.2843 & 0.4314 & 0.2175 & 0.0440 & 0.0228 \\ 0.0228 & 0.0440 & 0.2175 & 0.4314 & 0.2843 \\ 0.0668 & 0.2175 & 0.4314 & 0.2175 & 0.0668 \\ 0.0668 & 0.2175 & 0.4314 & 0.2175 & 0.0668 \\ 0.7157 & 0.2175 & 0.0440 & 0.0121 & 0.0107 \\ 0.0668 & 0.2175 & 0.4314 & 0.2175 & 0.0668 \\ 0.0668 & 0.2175 & 0.4314 & 0.2175 & 0.0668 \end{pmatrix}$$

(18)

计算

$$\tilde{B} = \tilde{W} \circ \tilde{R} = (0.1400, 0.1775, 0.2863, 0.2577, 0.1386).$$

(19)

因

$$b_3 = 0.2863 = \max\{0.1400, 0.1775, 0.2863, 0.2577, 0.1386\},$$

(20)

所以最终评判结果为第 3 级,即鲁甸县滑坡、泥石流危险度属中级.

3.2 昭通地区滑坡、泥石流分区分

如鲁甸县滑坡、泥石流模糊综合评判运算过程,以表 3 中的数据,计算出昭通地区其 他各县(市)的滑坡、泥石流危险度(表 4).

表 4 昭通地区各县(市)滑坡、泥石流危险度评判结果

Table 4 Evaluating result of risk degree of landslide and debris flow of every county(city) of Zhaotong Prefecture

评判级别	1	2	3	4	5	最终评判结果
昭 通	0.1615	0.1885	0.2073	0.1894	0.2533	5
鲁 甸	0.1400	0.1775	0.2863	0.2577	0.1386	3
巧 家	0.2987	0.2136	0.2338	0.1317	0.1222	1
盐 津	0.2261	0.2123	0.2351	0.1711	0.1553	3
大 关	0.3195	0.1534	0.1587	0.1498	0.2185	1
永 善	0.3008	0.1880	0.1423	0.1809	0.1879	1
绥 江	0.1538	0.1298	0.1346	0.2280	0.3537	5
镇 雄	0.1206	0.1271	0.2141	0.1926	0.3455	5
彝 良	0.2119	0.1553	0.1796	0.1949	0.2528	5
威 信	0.0480	0.1014	0.1929	0.2652	0.4016	5

根据区内各县(市)的危险度的级别,可划分为高危险度、中危险度和低危险度三类区

域,并绘制出昭通地区滑坡、泥石流危险度分区图(图 1)。

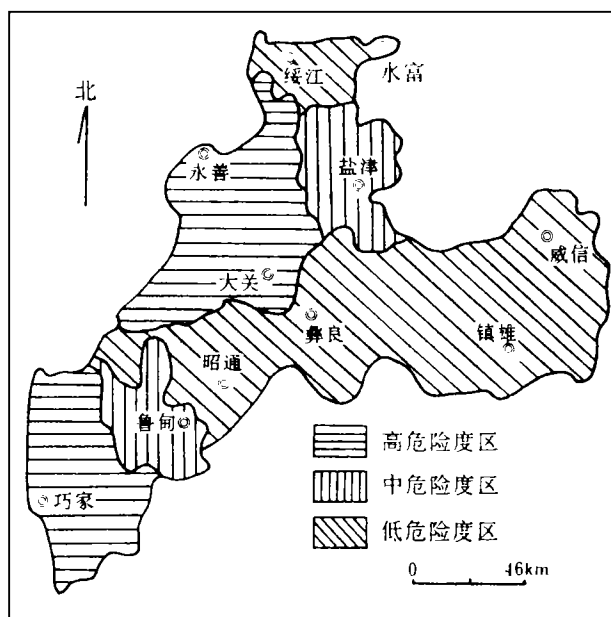


图 1 昭通地区滑坡、泥石流危险度分区

Fig. 1 Division of landslide and debris flow risk degree in Zhaotong Prefecture

5 讨 论

1. 如上所述的昭通地区滑坡、泥石流危险度区划与实际情况基本一致。高危险度区的巧家县和水善县位于金沙江左岸,两县滑坡、泥石流总数占整个地区的 40%,无疑滑坡、泥石流活动与危害最为严重。永善县东部和大关县位于马边—大关强震带南端,滑坡、泥石流潜在威胁很大,如 1994-05-11 发生 7.1 级地震,触发崩塌落石 42 处,滑坡 28 处,泥石流 6 处。属低危险度区内的昭通市位于昭(通)鲁(甸)盆地,镇雄、彝良、威信等县则位于乌蒙山西翼,绥江、水富两县位于四川盆地边缘,岭谷相对高度较小,出露岩层坚硬完整,泥石流沟数量少,山地灾害以滑坡为主,滑坡、泥石流危害在昭通地区是较轻的。中危险度的盐津、鲁甸两县位于金沙江一级支流中下游,河流深切,岭谷相对高度 1 400—1 500m,滑坡、泥石流活动与危害介于上述两者之间。

2. 以县级行政区为基本评判单元有明显缺陷。以昭通市为例,昭通市大部分地区位于昭鲁盆地及盆周山地,作为基本评判单元从整体上看滑坡、泥石流活动及危害很轻。但昭通市所属炎山乡位于金沙江边,滑坡危害尤为突出;盘河乡位于昭鲁盆周山地外缘,滑坡、泥石流活跃,1991-90-23 曾发生过头寨滑坡,致死 216 人。这两个乡显然应属于高危险度区。解决这个问题应采用网格数值化方法。

3. 参评因素的选择,参评因素的分级及各参评因素的权重是滑坡、泥石流危险度模糊综合评判的三个关键问题。现所采用的 9 个参评因素及其权重,用相对分级法是一种尝试,还需进一步研究。

参 考 文 献

- [1] 黄崇福,史培军. 城市地震灾害风险评价的数学模型. 自然灾害学报,1995,4(2),30—37.
- [2] 冯保成编. 模糊数学实用集粹. 北京:中国建筑工业出版社,1991. 135—182.
- [3] 冯德益,楼世博等编. 模糊数学方法与应用. 北京:地震出版社,1983. 73—76.

FUZZY COMPREHENSIVE EVALUATION ON LANDSLIDE AND DEBRIS FLOW RISK DEGREE IN ZAOTONG, YUNNAN

Liu Li

(Southwestern University of Finance and Economics Chengdu 610074)

Wang Sige

(Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences
& Ministry of Water Conservancy Chengdu 610041)

Abstract

The new mathematical model of the fuzzy comprehensive evaluation is used to the risk degree of landslide and debris flow. Taking Zao tong Prefecture in Yunnan Province for example, the method and steps of evaluation are introduced.

In this way, 9 physical factors (such as relative altitude etc.), which influence landslide and debris flow are chosen, and the factor set U is formed. The risk degree is divided into 5 classifies from high to low, and evaluation set V is formed.

The basic evaluation unit is a county. The subordination degree of every factor in a unit is replaced by the probability. The fuzzy evaluation matrix \tilde{R} is formed by probability. The set \tilde{W} of the weight is formed with the degree of the incidence between factors and landslide and debris flow. The evaluation results are obtained with the operator (\cdot, \oplus) and the evaluation formula $\tilde{W} \circ \tilde{R} = \tilde{B}$ and the maximum subordination principle. In this way, the risk degree of every county of Zao tong Prefecture is obtained.

Key words Yunnan, Zao tong, landslide, debris flow, risk degree, fuzzy comprehensive evaluation