

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2016.01.10

因子分析法在泥石流危险性评价中的应用

李雄峰¹, 陈鹏宇², 韩文奇¹, 师华鹏¹, 余宏明¹

(1. 中国地质大学工程学院, 湖北 武汉 430074; 2. 内江师范学院地理与资源科学学院, 四川 内江 641100)

摘要: 为研究因子分析法在泥石流危险性评价中的应用, 在建立科学合理的评价指标基础上, 利用因子分析法得到影响泥石流危险性的主因子, 并进行主、次影响因子的重要性等级排序, 得到泥石流主要影响因子对泥石流危险性的贡献度。根据主客观赋权理论, 将多目标规划模型所得的客观赋权值与考虑组态偏好要求时的主观均衡度变权值线性组合, 得到关于泥石流危险性评价的主客观赋权法主因子权重。选择 2 种主要分级标准对泥石流危险性指标进行标准化处理, 结合权重与影响因子的贡献度建立了多因子综合评价模型, 并以保山市后山 10 条典型泥石流沟基础数据为例, 评价了该地区的泥石流危险性。研究表明, 利用该方法进行泥石流危险性评价是合理可行的, 评价结果与实际情况具有较好的一致性, 该方法是泥石流危险性评价的一种新思路。

关键词: 因子分析法; 主客观赋权法; 泥石流危险性; 评价; 应用; 保山市

中图分类号: P642.23

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2016)01-0055-07

Application of factor analysis to debris flow risk assessment

LI Xiongfeng¹, CHEN Pengyu², HAN Wenqi¹, SHI Huapeng¹, YU Hongming¹

(1. China University of Geosciences, Faculty of Engineering, Wuhan, Hubei 430074, China;

2. Neijiang Normal University, College of Geography and Resource Science, Neijiang, Sichuan 641100, China)

Abstract: To study the application of factor analysis in debris flow risk assessment, on the basis of establishing a scientific and reasonable evaluation index, using the factor analysis method to get the main factors of debris flow risk, and rank the primary and secondary impact factor according the importance, get the main impact factors and landslide in the contribution of debris flow risk. According to the objective and subjective synthetic approach theory, a linear combination with the proceeds value from the objective weighting in multi-objective programming model and the degree of variable weights considering the configuration preference for equilibrium were made, and got the main factor subjective and objective weights of debris flow risk assessment. Choosing two main classification standard for the standardizing processing of debris flow risk indicators. Established a multi-factor comprehensive evaluation model combining with weight and contribution's impact factor, and taking the basic data in Baoshan city's 10 typical debris flow gully as an example, evaluate the debris flow risk assessment in this area. Research shows that, the use of this method for debris flow risk assessment is feasible, and the evaluation result has good consistency with the actual situation, for the study of debris flow risk assessment provides a new analysis method.

Keywords: factor analysis method; subjective and objective method; debris flow risk; evaluation; application; Baoshan city

收稿日期: 2015-07-01; 修订日期: 2015-09-19

基金项目: 河南省科技厅科技攻关计划项目(122102310477)

第一作者: 李雄峰(1991-), 男, 湖南郴州人, 硕士研究生, 研究方向为地质灾害设计及防治。E-mail: cug176_lxf@163.com

通讯作者: 余宏明(1952-), 男, 硕士, 教授, 博士生导师, 主要从事地质灾害分析与防治及岩土工程领域的教学与科研工作。E-mail: yuhongming55@sohu.com

0 引言

泥石流的危险性评价是目前国内外灾害科学研究的热点之一,也是灾害预测预报和减灾防灾工作中的重要内容。但由于受客观条件的限制,在泥石流危险度评价中,评价因子的选取和权重的确定是研究热点也是难点^[1]。目前对泥石流危险性评价因子的选取主要基于灰色理论关联度、等级相关法等方式,根据关联度、因子联系紧密和因子导致灾害发生程度大小来筛选和评价。随着系统工程理论和应用数学的发展,对于泥石流因子权重的研究出现了客观赋权法、主观赋权法、支持向量机法、信息熵法、独立信息数据波动赋权法^[2]等,权重的确定向更精确更完善的方向发展。

泥石流危险性评价作为灾害评价中较常见的一部分,在国内很多领域已经积累了丰富的研究成果,评价的科学性和评价精度正在不断提高。对泥石流危险性的研究,刘希林等^[3-6]采用双系列灰色关联度分析,以泥石流规模和发生频率为主要内在因子,采用灰色关联分析计算次要危险因子与主要危险因子的关联度,提取关键的次要危险因子,这在泥石流影响因子的筛选中不失为一种很经典的方法;根据灰色关联度理论为基础,分析了评价泥石流危险性的各影响因子,提出了泥石流危险度评价理论和因子权重的确定方法,得到因子值的等级划分和公式化赋值,在泥石流危险性判别与评价中提出了很多有意义的成果。国外一些研究对泥石流危险度评价如建立较高精度的监测系统,或建立一些基于数字高程数据构造和各种技术的泥石流灾害分区模型,进行对灾害的评价控制^[7];最小熵分析的方法(MEA)被用于泥石流危险性评价中,该方法可以选择相关变量模型的物理系统进行标准量化,得到泥石流不同的相关变量^[8];Chang T. C.^[9-10]等在数值方法、实验方法、统计方法的基础上提出了一种遗传算法来进行泥石流危险性的预测,结果表明遗传算法模型可以为泥石流防灾减灾和提供一个稳定的和可靠的预测结果;Nolde. N.^[11]等采用贝叶斯方法,认为定量分析泥石流发生的频率和大小关系,是减少和缓解风险的关键措施。因子分析法作为一类多元统计方法,在国内外多项灾害分析中已有成功的实践,但在泥石流危险性评价中的研究尚少,本文根据因子的相关性建立了泥石流灾害因子分析模型,得到了主因子筛选结果和各因子排序,为泥石流危险性评价提出了一种新的分析思路。

1 基于因子分析法的泥石流因子分析

1.1 隶属度函数

在评价因素集和评价集确定的情况下,隶属度函数和权重的确定成为实现模糊综合评价法的关键。影响泥石流危险性的各评判因子含有不同的单位量纲,无法进行统计归纳,故需建立一个消除量纲影响的无量纲函数,该函数就是影响因子的隶属度函数^[12]。本文采取线性无量纲法来计算定量指标间的量纲化问题,(0,1)间的数值表示该影响因子的隶属度,各影响因子的隶属度公式如下:

(1) 效益型

$$y = \begin{cases} 1 & (x \geq x_{\max}) \\ \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} & (x_{\min} < x < x_{\max}) \\ 0 & (x \leq x_{\min}) \end{cases} \quad (1)$$

(2) 成本型

$$y = \begin{cases} 1 & (x \leq x_{\min}) \\ \frac{x_{\max} - x}{x_{\max} - x_{\min}} & (x_{\min} < x < x_{\max}) \\ 0 & (x \geq x_{\max}) \end{cases} \quad (2)$$

其中: y ——各因子隶属度;

x ——含有量纲的各因子数值;

$x_{\min}$ ——含有量纲各因子最小值;

$x_{\max}$ ——含有量纲各因子最大值。

1.2 因子分析法

因子分析法从研究变量内部的依赖关系出发,把一些具有错综复杂关系的变量归结为少数几个综合因子的一种多变量统计分析方法。对于所研究的问题就是试图用最少数目的公共因子的线性函数与特殊因子之和来描述原来观测的每一分量^[13]。泥石流暴发影响因素多元,形成机理复杂,因子分析法通过探讨众多变量间相互依存关系,利用少量的假想变量反映众多变量所代表的主要信息,从而简化分析过程。基于 R 型因子分析法,以相关性为基础,利用相关矩阵把系统内的各变量归结为少数几个因子,构建相关系数矩阵,求解各因子的特征方程,确定主因子,利用各主因子贡献率确定泥石流危险性影响因子综合得分,确定各因子的得分大小与排序。

1.3 因子筛选与因子排序

对于泥石流灾害中众多的影响因子而言,选择正确并关联较大的影响因子对泥石流灾害的评价过程尤为重要。因子分析法在地质灾害分析研究中应用较少,本文基于因子分析法,对云南省 10 条泥石流沟的

基本数据进行因子分析,将泥石流危险程度划分为基本无危险或轻微危险(Ⅰ)、轻度危险(Ⅱ)、中度危险(Ⅲ)、高度危险(Ⅳ)和极度危险(Ⅴ)5个等级。

刘希林等^[3-4]利用云南省 37 条泥石流沟的基础数据对主要与次要因子进行灰色关联度分析,选择了与主要因子关联性高的主、次因子共同作为泥石流危险度评价因子,综合考虑评价指标的全面性、代表性、简便性和实用性,选取以下 16 个因子作为泥石流危险性评价的关联因子。主要因子:①一次泥石流最大冲出量 $M(\times 10^4 \text{ m}^3)$ 、②泥石流发生频率 $F(1 \text{ 次}/100 \text{ 年})$;次要因子:③流域面积 $C_1(\text{km}^2)$ 、④主沟长度 $C_2(\text{km})$ 、⑤流域最大相对高差 $C_3(\text{km})$ 、⑥主沟平均比降 C_4 、⑦山坡坡度 $C_5(^{\circ})$ 、⑧流域切割密度 $C_6(\text{km}/\text{km}^2)$ 、⑨主沟床弯曲系数 C_7 、⑩松散固体物质储量 $C_8(\times 10^5 \text{ m}^3)$ 、⑪泥沙补给段长度 $C_9(\text{km})$ 、⑫24h 最大降雨量 $C_{10}(\text{mm})$ 、⑬年平均降雨量 $C_{11}(\text{mm})$ 、⑭植被覆盖率 $C_{12}(\%)$ 、⑮垦殖指数 $C_{13}(\%)$ 、⑯流域内人口密度 $C_{14}(\text{人}/\text{km}^2)$ 。这 16 个影响因子可以归为五大类:地质条件、地貌条件、植被条件、气象条件、人类活动。通过因子解释原有变量总方差与旋转后因子载荷矩阵中主因子在影响因素上的荷载大小来进行主次影响因子的划分和排序。根据保山市后山 10 条典型泥石流沟^[5]的基础数据进行因子分析,并结合 SPSS12.0 软件计算得到各变量之间的相关系数矩阵、表现方差贡献率和累计方差贡献率的总方差情况表等。根据因子分析的主成份分析,前四个因子的累计方差贡献率达到了 86.742%,能比较全面的代表泥石流危险性评价的所有有关信息,故选取前四个因子作为主要因子。为检验主因子对原始变量的影响程度,根据主成份法用具有 Kaiser 标准化的正交旋转法进行因子旋转,得到旋转后的因子载荷矩阵见表 1。

由旋转后的因子载荷矩阵可以看出,主因子 1、2、3、4 分别在流域面积、一次最大冲出量和主沟长度;流域切割密度、松散固体物质储量与泥沙补给段长度;垦殖指数、流域最大相对高差与植被覆盖率;发生频率和 24h 最大降雨上的载荷值较大,分别是反映研究区地形地貌条件、地质条件、植被条件和气象、水力条件的主因子。在主因子的影响下,11 个因子可被提取为影响泥石流危险性评价的主要影响因子(表 2)。根据旋转后的因子荷载矩阵、因子荷载大小与提取平方和后的特征值中累计因子贡献率,可得因子主成分综合得分计算公式:

$$F = 37.703F_1 + 23.921F_2 + 16.178F_3 + 9.941F_4$$

(3)

表 1 旋转后因子载荷矩阵

Table 1	The factor loading matrix after rotation			
	主因子 1	主因子 2	主因子 3	主因子 4
主沟平均比降	-0.936	-0.034	0.045	-0.138
流域面积	0.917	0.018	0.053	-0.188
一次最大冲出量	0.893	0.054	0.125	-0.242
主沟长度	0.879	-0.061	-0.422	0.133
流域切割密度	0.103	0.908	0.152	0.049
松散固体物质储量	0.333	0.862	-0.143	-0.125
泥沙补给段长度	-0.114	0.764	-0.500	0.304
流域内人口密度	-0.577	0.323	0.010	0.208
主沟床弯曲系数	-0.052	-0.617	0.574	0.246
山坡坡度	-0.008	-0.271	-0.891	0.002
垦殖指数	0.164	-0.257	0.778	0.180
流域最大相对高差	0.646	0.221	0.685	0.011
植被覆盖率	0.197	-0.031	0.669	-0.516
发生频率	-0.043	0.054	0.107	0.926
24h 最大降雨	-0.035	-0.028	0.096	0.846
年平均降雨量	-0.012	-0.049	0.032	-0.825

根据上式得到排序结果与灰色关联度中的复相关系数法,可确定影响泥石流危险性等级排序的指标对比(表 3),该方法所得因子排序与复相关系数法所得排序结果较一致,仅在一些次要因子上有所变动。

表 2 因子分析法提取的泥石流危险性评价指标

Table 2 The debris flow risk evaluation index extract by factor analysis method			
主因子 1	主因子 2	主因子 3	主因子 4
一次最大冲出 量 M	泥沙补给段长 度 C_9	流域最大相对 高差 C_3	发生频率 F
主沟长度 C_2	松散固体物质 储量 C_8	植 被 覆 盖 率 C_{12}	24h 最大降雨 量 C_{10}
流域面积 C_1	流 域 切 割 密 度 C_6	垦殖指数 C_{13}	

表 3 研究区影响泥石流危险性等级排序的指标对比

Table 3 The impact comparison of indices of debris flow risk rank in researched region			
因子分析排序		复相关系数排序	
主要影响因子	因子主成份 综合得分	R^2	P
一次最大冲出量 M	34.577	0.876	0.002
流域面积 C_1	33.993	0.611	0.018
发生频率 F	33.765	0.446	0.008
流域最大相对高差 C_3	29.619	0.353	0.001
松散固体物质储量 C_8	28.550	0.304	0.000
流域切割密度 C_6	26.177	0.302	0.002
主沟长度 C_2	14.411	0.104	0.296
垦殖指数 C_{13}	12.379	0.168	0.044
植被覆盖率 C_{12}	10.607	0.201	0.006
泥沙补给段长度 C_9	8.911	0.185	0.034
24h 最大降雨量 C_{10}	7.974	0.126	0.489

2 基于主客观赋权的泥石流危险性评价模型

2.1 主客观赋权法

2.1.1 客观赋权

主观赋权法是根据各指标的决策者主观重视程度进行赋权的一类方法,客观赋权法是各个指标根据一定的规则进行自动赋权的一类方法。主观赋权法有较大的主观随意性,客观赋权法虽然有较强的理论依据及数学推导,但是没有考虑到决策者的主观意愿。选择一种兼并主客观的权重赋值法对影响因子的权重影响很大,主客观赋权法确定属性的权重向量,相应的决策分析结果将同时反映主观程度和客观程度,可以结合主观意愿与客观理论的综合得到影响因子的权重,主客观赋权法的流程如图 1 所示。

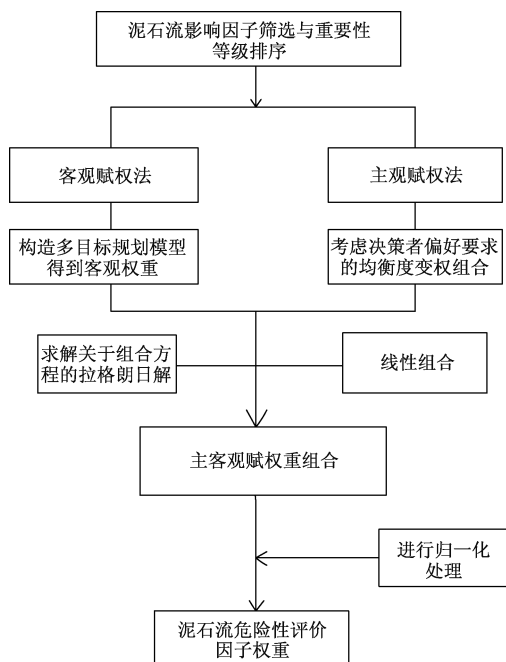


图 1 主客观赋权法流程图

Fig. 1 Flow chart of objective and subjective synthetic approach

客观权重 w_2 的确定: 设 m 个分目标的权重向量为 w_1 ; 选择方案 j 为基点, 基点方案的各分目标值为 x_i , 规格化值为 b_i ; 其综合评价值为 E 。建立多目标规划模型:

$$\min Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n k_i (b_j^+ - b_{ij})^2 w_j^2$$

其中 $b_j^+ = \max\{b_j^i | i = 1, 2, \dots, m\}$; (4)

$$\sum_{i=1}^m k_i = 1, k_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, m$$

$$s. t. \begin{cases} \sum_{i=1}^m w_i = 1 \\ \sum_{i=1}^m w_i b_{ip}^* = E_p^*, p \in (p_1, p_2, \dots, p_n) \\ w_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, m \end{cases} \quad (5)$$

为了求解上述问题,作其拉格朗日函数:

$$L = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (b_j^+ - b_{ij}^2) w_i^2 - \lambda_1 \left(\sum_{j=1}^m w_j - 1 \right) - \lambda_2 \left(\sum_{j=1}^m w_i b_{ij}^* - E_j^* \right)$$

令 $\partial L / \partial w_j = 0$ 即

$$2w \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (b_j^+ - b_{ij}^2) - \lambda_1 - b_{ij}^* \lambda_2 = 0 \quad (6)$$

由式(4)、(5)与(6)联立可得多目标规划模型客观权重表达式:

$$w_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{\sum_{i=1}^m (b_j^+ - b_{ij})^2 [\sum_{i=1}^m (b_j^+ - b_{ij})^2 - \lambda_1 - b_{ij}^* \lambda_2]}}$$

$$\lambda_i = - \frac{1}{2 \sum_{j=1}^n \frac{1}{\sum_{i=1}^m (b_j^+ - b_{ij})^2}} \quad (7)$$

2.1.2 均衡度变权确定主客观权重

其中主客观权重 w_1 的确定可以由专家确定,在咨询大量专家的基础上进行非德尔法赋权。为了客观、实际、可操作,在考虑客观赋权中决策向量 $R_j = (r_{1j}, r_{2j}, \dots, r_{mj})$ 需考虑决策者的偏好要求,根据文献中均衡度最大的 $d(R_j) = \bigvee_{i=1}^m r_{ij} - \bigwedge_{i=1}^m r_{ij}; b_1(R_j) = 1 - d(R_j)$ 构造进行计算,考虑组态的偏好要求时有:

$$M(R_j) = \left(\bigvee_{i=1}^m r_{ij} - \bigwedge_{i=1}^m r_{ij} \right) \sum_{i=1}^m w'_i r_{ij} \quad (8)$$

其中,形如 $M(X) = \sum_{i=1}^m w_i x_i$ 的模型称为常权模型

型, $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ 称为常权向量,常权向量的确定是方案确定人对方案指标与其它指标相比时的权重; $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ 称为决策向量。

2.1.3 主客观权重的确定

由主观赋权法得出的权重为 w_1 , 客观赋权法得到的权重为 w_2 , $0 < w_i < 1, i = 1, 2$ 且 $\sum_{j=1}^n w_j^i = 1, i = 1, 2$; 且 $w_j > 0$ 记 A 与 B 为主观与客观权重的重要性程度, 且满足 $A^2 + B^2 = 1, A, B \geq 0$; 令 $W = Aw_1 + Bw_2$ 为主客观赋权法的权重; 构造目标优化模型:

$$\min Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n k_{ij} (Aw_1 + Bw_2)^2 w_j^2 \quad \text{其拉格朗日}$$

$$w'_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^m w_i} \tag{10}$$

函数为：

$$L = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n k_{ij} (Aw_1 + Bw_2) + \frac{\lambda}{2} (A^2 + B^2 - 1)$$

令 $\partial L / \partial A = 0, \partial L / \partial B = 0$ 可得：

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n k_{ij} w_1 + \lambda A = 0$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n k_{ij} w_2 + \lambda B = 0$$

可求得 A 与 B 的值分别为：

$$A = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n k_{ij} w_1}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n k_{ij} w_1\right]^2 + \left[\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n k_{ij} w_2\right]^2}}$$

$$B = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n k_{ij} w_2}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n k_{ij} w_1\right]^2 + \left[\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n k_{ij} w_2\right]^2}} \tag{9}$$

权重归一化方程为：

表 4 主因子权重分配结果

Table 4 Main factor weights allocation results											
主因子	M	F	C_1	C_2	C_3	C_6	C_8	C_9	C_{10}	C_{12}	C_{13}
权重	0.160	0.125	0.139	0.080	0.100	0.093	0.095	0.041	0.032	0.065	0.071

$$R_d = 0.160M + 0.125F + 0.139C_1 + 0.080C_2 +$$

$$0.100C_3 + 0.093C_6 + 0.095C_8 + 0.041C_9 +$$

$$0.032C_{10} + 0.065C_{12} + 0.071C_{13} \tag{11}$$

地质条件、地貌条件和水源条件是泥石流形成的内因和必要条件,其中水源条件,是泥石流发生的主要激发因素。复杂的地质构造和活跃的地质运动,使得云南形成复杂多层次的切割高原。云南地处低纬高

2.2 泥石流危险性赋权

设泥石流的 11 个影响因子的权重向量为 $W = (w_1, w_2, \cdots, w_{11})$;选择 5 个危险性作为评价等级。为了将泥石流指标标准化首先应进行评价指标的标准化处理,即通过标准化。根据上述主客观赋权方程,将经因子分析筛选出的泥石流主要影响因子数值带入式(7)、(8)、(9)与(10)进行归一化,可得保山市后山 10 条典型泥石流沟的各影响因子权重如表 4 所示。

经主客观赋权法计算所得主因子权重,与研究区影响泥石流危险性等级排序进行比对,发现主因子权重大小排序相同,验证了该评价方法的合理性。

2.3 泥石流危险性综合评价模型

各泥石流危险因子的赋权与其权重的乘积即为泥石流危险度,根据泥石流主因子筛选结果与权重值,可以计算泥石流危险性写的综合评价值 R_d ,计算公式为：

原,地形复杂,又受多种天气系统影响,形成了独特的季风气候,暴雨类泥石流在云南泥石流中也很常见。为了检验本文泥石流危险度综合评价模型的有效性,特选择云南省保山市后山 10 条典型泥石流沟作为检验对象,基础数据如表 5 所示,并与文献[5]中的评价结果进行对比。

表 5 保山市后山 10 条典型泥石流沟基本数据表

Table 5 The basic data in Baoshan city's 10 typical debris flow gully																
地点	实际值															
	M	F	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}
小箐河	1.2	30	0.54	1.90	0.37	0.2	35	3.5	1.22	61	0.45	109.4	965.4	31	12	98
北老埂河	2.5	20	2.00	4.86	0.62	0.13	35	5.2	1.18	106	0.37	109.4	965.4	35	16	75
山脚村河	2.4	25	2.14	4.07	0.63	0.15	30	8.8	1.15	218	0.51	109.4	965.4	39	9	99
化工厂河	3.2	25	4.23	5.08	0.67	0.13	30	5.3	1.14	95	0.33	109.4	965.4	47	16	80
白纸房沟	5.1	35	6.13	6.85	0.72	0.11	32	5.5	1.25	134	0.32	109.4	965.4	48	19	65
黄纸房沟	2.5	35	3.02	5.60	0.61	0.11	35	4.5	1.28	66	0.30	109.4	965.4	29	12	60
仁寿河	4.6	30	5.50	5.86	0.59	0.10	40	6.5	1.05	181	0.62	109.4	965.4	29	10	85
五郎庙河	1.7	35	2.70	2.70	0.36	0.13	38	5.9	1.11	81	0.58	109.4	965.4	31	9	90
黄龙山河	6.5	15	7.77	5.61	0.61	0.11	35	4.3	1.18	114	0.35	109.4	965.4	39	9	60
王官屯河	1.6	20	1.93	2.19	0.32	0.15	43	4.2	1.14	72	0.32	109.4	965.4	39	9	60

将各地区各主因子的实际值进行标准归一化,其中一次最大冲出量、发生频率、流域面积、主沟长度、泥沙补给段长度、松散固体物质储量、流域切割密度、流域最大相对高差、植被覆盖率为效益型指标,根据式(1)计算;垦殖指数、24h 最大降雨量为成本型指标,根据式(2)计算,综合考虑各定量与定性因子的隶属度,选取较合适的隶属度,所得各因子隶属度表,并根据式(11)可得泥石流危险度评价价值(表6)。

表6 保山市后山10条典型泥石流沟危险性评价结果
Table 6 The risk assessment results in Baoshan city's
10 typical debris flow gully

地点	危险度		危险级别	
	本文 R_d	文献[5] R_d	本文方法 危险度	文献[5]危 险度
小箐河	0.3665	0.3735	轻度危险	轻度危险
北老埂河	0.4506	0.3881	中度危险	轻度危险
山脚村河	0.4373	0.4734	中度危险	中度危险
化工厂河	0.4696	0.4528	中度危险	中度危险
白纸房沟	0.5594	0.5411	中度危险	中度危险
黄纸房沟	0.4498	0.4234	中度危险	中度危险
仁寿河	0.5349	0.5175	中度危险	中度危险
五郎庙河	0.4400	0.4323	中度危险	中度危险
黄龙山河	0.4620	0.4558	中度危险	中度危险
王官屯河	0.3190	0.3293	轻度危险	轻度危险

注:危险度等级与危险度的关系中, R_d 的取值:极低危险(0~0.2);轻度危险(0.2~0.4);中度危险(0.4~0.6);高度危险(0.6~0.8);极度危险(0.8~1.0)

从表6的评价结果可以看出,本文的危险度评价价值与文献[5]的评价结论有一定的差异性,所得危险度中北老埂河的危险性略高,由于北老埂河在地形地貌与气候条件上变化幅度较大,数值加权后导致 R_d 值偏大,更符合实际情况,评价结果更加可靠,其余评价结论与文献[5]相同。本文与文献[5]存在差异的原因在于评价方法的选取、主因子的不同和权重分析的差异。在危险度评价模型中,强调主因子影响的各因素差异,可以更好地估算泥石流的危险性。

3 结论

(1)基于因子分析法通过因子解释原有变量总方差与旋转后因子载荷矩阵中主因子在影响因素上的荷载大小来进行主次影响因子的划分和排序,可以有效地将泥石流的影响因素按相关性进行划分。根据因子分析结果选取一次最大冲出量、发生频率、流域面积、主沟长度、泥沙补给段长度、松散固体物质储量、流域切割密度、流域最大相对高差、植被覆盖率、垦殖指数、24h 最大降雨量 11 个因子作为影响泥石流危险性的

主因子。排序结果与灰色理论中主因子的选择与排序具有一定的关联性。

(2)根据主客观赋权理论,进行多目标规划模型所得的客观赋权值与考虑组态偏好要求时的主观均衡度变权值组合,根据两种权重的线性组合得到关于泥石流危险性评价的主因子权重,所得权重排序与因子分析主因子排序具有一致性。

(3)在确定权重与主因子选取的基础上建立了泥石流危险度评价的多因子评价模型。将保山市后山10条典型泥石流沟基础数据应用于本评价方法,得出研究区泥石流危险性评价结论较文献[5]中的经典方法更加符合实际情况,可为今后的泥石流危险度研究提供参考。考虑到区域特征,在将该方法应用到其他地区时需考虑到地区之间泥石流发育条件的差异性。

参考文献:

[1] 孟凡奇,李广杰,李明,等. 逐步判别分析法在筛选泥石流评价因子中的应用[J]. 岩土力学, 2010, 31(9):2925-2929.
MENG Fanqi, LI Guangjie, LI Ming, et al. Application of stepwise discriminant analysis to screening evaluation factors of debris flow[J]. Rock and Soil Mechanics, 2010, 31(9): 2925-2929.

[2] 陈鹏宇,余宏明,刘勇,等. 基于独立信息数据波动赋权的泥石流危险度评价[J]. 岩土力学, 2013, 34(2):449-454.
CHEN Pengyu, YU Hongming, LIU Yong, et al. Evaluation of debris flow risk based on independent information data fluctuation weighting method [J]. Rock and Soil Mechanics, 2013, 34(2):449-454.

[3] 刘希林,唐川,张松林. 中国山区沟谷泥石流危险度的定量判定法[J]. 灾害学, 1993, 8(2): 1-7.
LIU Xilin, TANG Chuan, ZHANG Songlin. Quantitative judgment on the debris flow risk degree [J]. Journal of Catastrophology, 1993, 8(2): 1-7.

[4] 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.
LIU Xiling. Debris flow hazard assessment in China: A review and perspective [J]. Journal of Natural Disasters, 2002, 11(4): 1-8.

[5] 刘希林,唐川. 泥石流危险性评价[M]. 北京:科学出版社, 2004
LIU Xilin, TANG Chuan. Debris flow risk assessment [M]. Beijing: science press, 2004.

[6] 刘希林. 沟谷泥石流危险度计算公式的由来及其应用实例[J]. 防震减灾工程学报, 2010, 30(3):

- 241 – 245.
- LIU Xilin. Quantitative assessment on site-specific debris flow hazard and application [J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2010, 30(3): 241 – 245.
- [7] Dietrich, William E. Sitar, Nicholas. Geoscience and geotechnical engineering aspects of debris-flow hazard assessment [C]. International Conference on Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment, Proceedings, 1997: 656 – 676.
- [8] Chien-chih Chen, Chih-Yuan Tsengb, Jia-Jyun Dong. New entropy-based method for variables selection and its application to the debris-flow hazard assessment [J]. Engineering Geology, 2007: 19 – 26.
- [9] Chang T. C., Chien Y. H.. The application of genetic algorithm in debris flows prediction [J]. Environmental Geology, 2007, 53: 339 – 347.
- [10] Chang T. C.. Risk degree of debris flow applying neural networks [J]. Nature Hazards, 2007, 42: 209 – 224.
- [11] Nolde Natalia, Joe Harry. A Bayesian extreme value analysis of debris flows [J]. Water Resources Research, 2013, 49(10): 7009 – 7022.
- [12] 谢季坚, 刘承平. 模糊数学方法及其应用 [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2013.
- XIE Jijian, LIU Chengping. Fuzzy mathematics method and its application [M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2013.
- [13] 向东进. 实用多元统计分析 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2011.
- XIANG Dongjin. Practical multivariate statistical analysis [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2011.

(上接第54页)

- [13] Williams A A B, Donaldson G. Building on expansive soils in South Africa [A]. Proceedings of 4th International Conference on Expansive Soils [C]. Denver, Colorado. ASCE, 1980(2): 834 – 838.
- [14] 张永双, 曲永新, 何锋, 等. 秦巴山区宁陕县城坡面型泥石流的形成机理 [J]. 水文地质工程地质, 2005, 32(5): 84 – 88.
- ZHANG Yongshuang, QU Yongxin, HE Feng, et al. Research on the formation mechanism of debris flow on slope around Ningshan County in the Hinterland of the Qinling Orogen [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2005, 32(5): 84 – 88.
- [15] GB/T 50123—1999 土工试验方法标准 [S].
- GB/T 50123—1999 Standard for soil test method [S].
- [16] 卫军, 谢海洋, 李小对, 等. 膨胀土边坡的稳定性分析 [J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(17): 2865 – 2869.
- WEI Jun, XIE Haiyang, LI Xiaodui, et al. Analysis on slope stability of expansive soils. [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(17): 2865 – 2869.
- [17] 谭罗荣, 孔令伟. 膨胀土的强度特性研究 [J]. 岩土力学, 2005, 26(7): 1009 – 1013.
- TAN Luorong, KONG Lingwei. The strength property of expansive soil [J]. Rock and Soil Mechanics, 2005, 26(7): 1009 – 1013.
- [18] 杨为民, 吴树仁, 张永双, 等. 降雨诱发坡面型泥石流形成机理 [J]. 地学前缘, 2007, 14(6): 197 – 204.
- YANG Weimin, WU Shuren, ZHANG Yongshuang, et al. Research on formation mechanism of the debris flow on slope induced by rainfall [J]. Earth Science Frontiers, 2007, 14(6): 197 – 204.