

## 中高山地区滑坡发育地形地貌因子敏感性研究<sup>①</sup>

汪旭涛<sup>1,2</sup>, 谢昭宇<sup>3</sup>, 胡凯锋<sup>1</sup>

(1. 中国地震局地震研究所, 湖北 武汉 430071; 2. 武汉地震工程研究院, 湖北 武汉 430071;

3. 中南建筑设计院股份有限公司, 湖北 武汉 430071)

**摘要:**为分析海拔高度大于 1 300 m 的中高山地区地形地貌因子对滑坡发育的敏感性程度,运用基于因子综合贡献率的敏感性分析方法,研究黔东南中高山地区坡面形态、地形坡度、相对高差三类影响因子对滑坡发育的影响程度。在各类影响因子对滑坡发育频数、面积及体积分量贡献率的基础上,利用顺序赋值法量化各分量贡献率的贡献指数,并以各分量贡献指数的几何平均数构建敏感性系数,定量分析三类地形地貌影响因子对中高山地区滑坡发育的敏感性。研究结果表明,阶梯形和凸形坡面形态的斜坡中后部为地貌演化堆积区,能提供较大重力势能,属滑坡发育的敏感性坡面形态因子;地形坡度在 18°~22°之间的较陡坡和相对高差在 40~80 m 之间的矮坡常分布于受地表水强烈冲刷的地带,在一定重力势能和强烈地下水共同作用下,极易诱发浅层小规模滑坡;地形坡度大于 27°的极陡坡和相对高差大于 120 m 的高坡由于具备较大重力势能,常诱发深层大规模滑坡。

**关键词:** 中高山地区; 地形地貌; 滑坡发育; 综合贡献率; 敏感性分析

**中图分类号:** P315.31

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-0844(2013)03-0597-07

**DOI:**10.3969/j.issn.1000-0844.2013.03.0597

## Research on the Sensitivity of the Landform Factor of Landslide Development in Middle and High Mountain Areas

WANG Xu-tao<sup>1,2</sup>, XIE Zhao-yu<sup>3</sup>, HU Kai-feng<sup>1</sup>

(1. Institute of Seismology CEA, Wuhan, Hubei 430071, China;

2. Wuhan Institute of Earthquake Engineering, Wuhan, Hubei 430071, China;

3. Central-south Architectural Design Institute Co. Ltd, Wuhan, Hubei 430071, China)

**Abstract:** In order to analyze the sensitivity of the landform factor of landslide development degree in altitude of more than 1300 m middle and high mountain areas, the use of sensitivity analysis methods based on factor contribution rate, research in the alpine region, northeastern Guizhou slope form, slope, relative height difference of the three types of impact factor on landslide development impact. All influencing factor on the frequency landslide development on the basis of the area and volume component contribution ratio, using the sequence assignment method to quantify the contribution rate of each component's contribution index, and the contribution of each component of the geometric mean of the index build sensitivity coefficients, quantitative analysis the three types of topography influence the sensitivity factors on the development of landslides in mountain areas. In order to analyze the effect of topography of middle and high mountain degree of sensitivity factor of landslide development, we selected slope shape, the terrain slope, relative elevation difference three influence factors in the northeast of guizhou 51 landslides landform of

① 收稿日期: 2013-07-19

作者简介: 汪旭涛, 男, 工程师, 硕士研究生, 主要从事地质灾害评价治理、岩土工程检测及稳定性评价方面的研究工作。E-mail: 309344453@qq.com

middle and high mountain areas, using sensitivity analysis method on the basis of data analysis, based on comprehensive factors contribution rate research of various kinds of landform factors on the sensitivity of landslide development of middle and high mountain areas.

The research results show that step and convex slope form geomorphic evolution accumulation zone of the slope in the rear can provide larger gravitational potential energy, which belong to the sensitivity of the slope landslide development form factor. It can provide large gravitational potential energy. Terrain slope between  $18^{\circ} \sim 22^{\circ}$  slope and relative height difference between 40 ~ 80 m short slope are often distributed in the surface water of strong erosion area, it is easy to induce the shallow small landslides in a gravitational potential energy and under the joint action of strong groundwater. The gravitational potential energy and the joint action of strong groundwater is the main cause of the shallow small landslides. Topographic slope is greater than  $27^{\circ}$  extremely steep slope and relatively high elevation difference is greater than 120 m deep often cause large-scale landslide due to large have gravitational potential energy. Relative to the small scale landslide, it will cause a greater loss. At home and abroad at present, the impact factors of landslide development research in sensitivity, main is to reflect the disaster development density of frequency analysis and to reflect the development scale of area analysis, size analysis. The method is a method of quantitative sequence assignment method is used to quantify the contribution of each component contribution rate index, and the contribution index of the components in the geometric average build sensitivity coefficient, quantitative analysis of the three kinds of landform influence factors on the sensitivity of landslide development of middle and high mountain areas. In order to study the northeast slope of middle and high mountain qian form, terrain slope, relative elevation difference degree of the influence of three kinds of influence factors of landslide development, the article uses the sensitivity analysis method based on the comprehensive factors contribution rate, provide the basis for future similar research.

**Key words:** alpine regions; topography; landslide growth; comprehensive contribution rate; sensitivity analysis

## 0 引言

我国 70% 的国土为山区,且地形地质条件复杂,是世界上滑坡灾害比较严重的国家之一<sup>[1]</sup>。影响滑坡发育的因素众多,其中最为主要的有两大类:一是影响滑坡发育的静态本底因子,即内部地质环境因素;二是影响滑坡发生的动态诱发因子,即外界扰动环境因素<sup>[2]</sup>。其中静态本底因子主要有地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质条件及岩土体物理力学性质等。不同区域地质环境中发育的滑坡,地形地貌对其影响的程度也不同<sup>[3]</sup>。中高山是指海拔高度大于 1 300 m 的地区,我国云贵高原大部分地区属中高山地区,该区域也是我国滑坡灾害的高发地区,系统研究地形地貌因子对中高山地区滑坡发育的敏感性,对于提高滑坡灾害预测预报水平及揭示滑坡孕灾机理具有重要的理论意义。

目前国内外有关滑坡发育影响因子敏感性方面的研究,主要是有以反映灾害发育密度的频数分析

法和以反映灾害发育规模的面积分析法、体积分析法。如 Gao<sup>[4]</sup>运用频数分析法研究地形地貌对滑坡发育的影响,认为高程中等、坡度陡峻的北、北东和西、西南向凹型坡为滑坡发育高发区。温铭生<sup>[5]</sup>等运用频数分析法研究三峡库区地形地貌对滑坡发育的影响,认为斜坡高程在 400 ~ 600 m、地形坡度在  $10^{\circ} \sim 25^{\circ}$  间的区域为滑坡易发区。Larsen<sup>[6]</sup>运用频数分析与面积分析相结合的方法,认为斜坡高程大于 300 m、地形坡度大于  $12^{\circ}$  的北东东向地段为滑坡易发区。乔建平,吴彩燕等<sup>[7-11]</sup>运用综合贡献率统计方法研究三峡库区地形地貌对滑坡发育的影响,认为地形坡度、斜坡高差是库区滑坡发育的主控因素,且地形坡度在  $20^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 、斜坡高差在 600 ~ 1 000 m 的地段为滑坡发育的敏感性区域。由此可见,目前的研究方法多以单一统计指标为主,且对高海拔、深切割地区的研究较少。

基于以上考虑,为分析中高山地区地形地貌影

响因子对滑坡发育的敏感性程度,在黔东北中高山地区 51 个滑坡地形地貌资料分析的基础上,遴选出坡面形态、地形坡度、相对高差三类影响因子,运用基于因子综合贡献率的敏感性分析方法,研究各类地形地貌因子对中高山地区滑坡发育的敏感性。

## 1 基于综合贡献率的敏感性分析方法

### 1.1 分量贡献率

贡献率是分析滑坡发育影响因子的一种有效方法,该变量可反映影响因子中各分类要素对滑坡发育的影响程度。综合贡献率由频数贡献率( $f$ )、面积贡献率( $A$ )和体积贡献率( $V$ )三个分量组成。

频数贡献率( $f$ )是在影响因子区间离散化或分类的基础上,对各区间内滑坡发育的数量进行统计,并计算不同区间内的影响因子对滑坡发育频数的贡献率,其计算公式如下<sup>[7]</sup>:

$$f(\rho_i) = \frac{\rho_i(n)}{\sum_{i=1}^M \rho_i(n)} \quad (1)$$

式中: $f(\rho_i)$ 为影响因子第  $i$  区间的滑坡发育频数贡献率; $\rho_i(n)$ 为第  $i$  区间滑坡发育的数量; $\rho$ 为滑坡发育影响因子类型; $i$ 为影响因子的区间编号或分类编号; $M$ 为影响因子的区间数或分类数。

表 1 坡面形态频数贡献指数赋值表

Table 1 The assignment chart of slope form frequency contribution index

坡面形态分级指标	阶梯形( $X_{11}$ )	凸形( $X_{12}$ )	凹形( $X_{13}$ )	平直形( $X_{14}$ )
频数贡献率 $f(X_{1i})$	62.7%	19.6%	5.9%	11.8%
频数贡献指数 $fe(X_{1i})$	4	3	1	2

### 1.3 敏感性系数

频数、面积和体积三类指标均能反映滑坡发育的空间特性。基于单一指标的数理统计方法并不能全面反映出影响因素对滑坡发育的敏感性,如某类影响因子若以诱发小型滑坡为主,则不能视该类因子为滑坡发育的敏感性因子;反之,若某类影响因子仅诱发个别大规模滑坡,则也不能视该类因子为滑坡发育的敏感性因子。为此采用上述三类指标的综合贡献率构建滑坡发育敏感性系数  $R$ ,具体是以分量贡献指数的几何平均数来构建敏感性系数,其计算公式如下<sup>[7]</sup>:

$$R(\rho_i) = \frac{\sqrt{fe(\rho_i)^2 + Ae(\rho_i)^2 + Ve(\rho_i)^2}}{\sum_{i=1}^M (\sqrt{fe(\rho_i)^2 + Ae(\rho_i)^2 + Ve(\rho_i)^2})} \quad (4)$$

式中: $R(\rho_i)$ 为影响因子第  $i$  区间的滑坡发育敏感性

面积贡献率( $A$ )是对各区间内滑坡发育的面积进行统计,并计算不同区间内的影响因子对滑坡发育面积的贡献率,其计算公式如下<sup>[7]</sup>:

$$A(\rho_i) = \frac{\rho_i(s)}{\sum_{i=1}^M \rho_i(s)} \quad (2)$$

式中: $A(\rho_i)$ 为影响因子第  $i$  区间的滑坡发育面积贡献率; $\rho_i(s)$ 为第  $i$  区间滑坡发育的面积。

体积贡献率( $V$ )是对各区间内滑坡发育的体积进行统计,并计算不同区间内的影响因子对滑坡发育体积的贡献率,其计算公式如下<sup>[7]</sup>:

$$V(\rho_i) = \frac{\rho_i(v)}{\sum_{i=1}^M \rho_i(v)} \quad (3)$$

式中: $V(\rho_i)$ 为影响因子第  $i$  区间的滑坡发育体积贡献率; $\rho_i(v)$ 为第  $i$  区间滑坡发育的体积。

### 1.2 分量贡献指数

贡献指数是指根据影响因子各区间要素对滑坡发育贡献率的大小,按照数字排序法赋予不同的顺序值(1~ $M$ )。顺序赋值的基本原则是贡献率越大的区间,取值越大,反之则越小。以坡面形态影响因子为例,其频数贡献指数  $fe(\rho_i)$ 赋值效果见表 1<sup>[2]</sup>。

系数; $fe(\rho_i)$ 为第  $i$  区间的滑坡发育频数贡献指数; $Ae(\rho_i)$ 为第  $i$  区间的滑坡发育面积贡献指数; $Ve(\rho_i)$ 为第  $i$  区间的滑坡发育体积贡献指数。

### 1.4 敏感性评价等级划分

为量化评价地形地貌影响因子对滑坡发育的敏感性程度,采用等间距的三区间评价法将滑坡发育敏感性系数划分为高、中、低三个等级,敏感性等级划分标准计算公式如下<sup>[7]</sup>:

$$\begin{cases} R_1 = (R(\rho_i)_{\max} - d, R(\rho_i)_{\max}) & \text{高敏感} \\ R_2 = (R(\rho_i)_{\min} + d, R(\rho_i)_{\max}) - d & \text{中敏感} \\ R_3 = (R(\rho_i)_{\min}, R(\rho_i)_{\min} + d) & \text{低敏感} \end{cases} \quad (5)$$

式中区间间距  $d$  的计算公式如下<sup>[7]</sup>:

$$d = \frac{\max \sum_{i=1}^M R(\rho_i) - \min \sum_{i=1}^M R(\rho_i)}{3} \quad (6)$$

## 2 地形地貌影响因子敏感性分析

### 2.1 坡面形态影响因子敏感性分析

滑坡坡面形态是地形地貌演化的综合表现,处于不同坡面形态单元中的岩土体,其应力状态和变形破坏特征往往不同。黔东北中高山地区 51 个滑坡的坡面形态统计结果显示,其坡面形态因子可划分为阶梯形( $X_{11}$ )、凸形( $X_{12}$ )、凹形( $X_{13}$ )、平直形

( $X_{14}$ )四类,如图 1 所示。

按照上述 4 种坡面形态划分标准,以黔东北中高山地区 51 个滑坡为样本空间,统计各类坡面形态因子对滑坡发育频数、面积、体积的贡献率及贡献指数如表 2 所示。在此基础上,按式(4)计算 4 种坡面形态因子对滑坡发育的敏感性系数如图 2 所示,并根据式(5)对其敏感性程度的评价如表 3 所示。

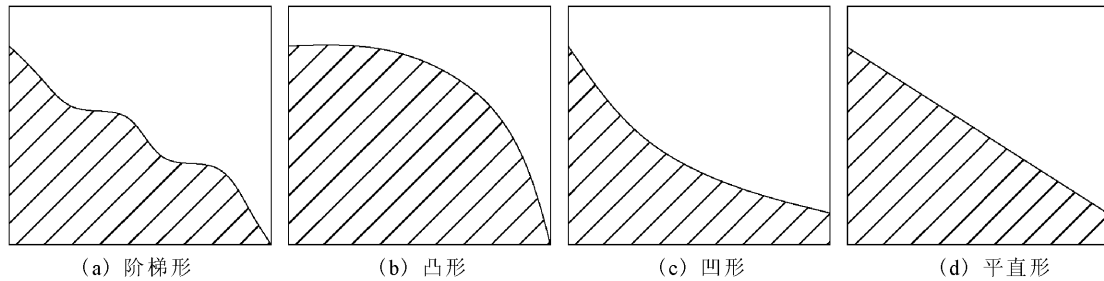


图 1 黔东北中高山地区坡面形态分类图

Fig. 1 Slope shape classification figure of middle and high mountain areas in northeast of Guizhou

表 2 黔东北中高山地区坡面形态因子贡献率统计表

Table 2 The statistics chart of slope of middle and high mountain form factor contribution rate in northeast of Guizhou

坡面形态因子	频数		面积		体积	
	贡献率( $f$ )	贡献指数( $fe$ )	贡献率( $A$ )	贡献指数( $Ae$ )	贡献率( $V$ )	贡献指数( $Ve$ )
$X_{11}$ (阶梯形)	62.7%	4	70.8%	4	66.4%	4
$X_{12}$ (凸形)	19.6%	3	21.7%	3	27%	3
$X_{13}$ (凹形)	5.9%	1	1.7%	1	2%	1
$X_{14}$ (平直形)	11.8%	2	5.9%	2	4.6%	2

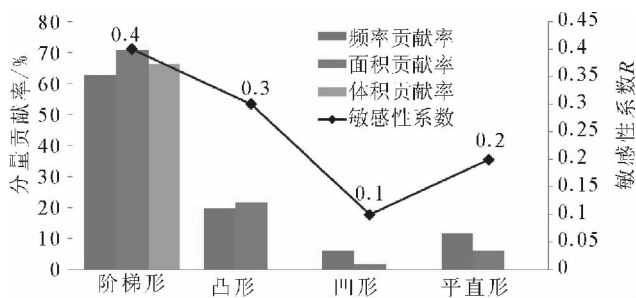


图 2 坡面形态因子与滑坡发育敏感性系数分析图

Fig. 2 The analysis diagram of slope surface shape factor and the sensitivity coefficient of landslides development

表 3 坡面形态因子敏感性等级评价表

Table 3 The evaluation form of slope factor sensitivity level

因子类型	敏感性系数	评价区间值	敏感性等级
$X_{11}$ (阶梯形)	0.4	0.3~0.4	高
$X_{12}$ (凸形)	0.3		
$X_{13}$ (凹形)	0.1	0.1~0.2	低
$X_{14}$ (平直形)	0.2	0.2~0.3	中

根据上述图表,阶梯形和凸形坡地带最易发育

滑坡,属滑坡发育高敏感性坡面形态因子,这主要是由于上述两类斜坡中后部往往为堆积区,能提供较大的重力势能,而重力势能具有向低势能方向转移的特性,故极易产生滑坡。平直形坡地带滑坡发育一般,属滑坡发育中等敏感性坡面形态因子。这主要是由于平直形斜坡中后部无明显堆积区,不易产生应力集中现象,当滑坡前部为阻滑段时,从一定程度上抑制了滑坡的发育,当滑坡前部为下滑段时则促进滑坡的发育。凹形坡地带不易发育滑坡,属滑坡发育低敏感性坡面形态因子。这主要是由于凹形坡堆积区多处于阻滑段,从一定程度上阻碍了滑坡的发育。

### 2.2 地形坡度影响因子敏感性分析

地形坡度是反映斜坡自稳现状的一个重要参数,一般而言,当地形坡度大于斜坡天然休止角时,斜坡岩土体就容易产生滑移。根据文献<sup>[12]</sup>对于地形坡度之间的相关性研究成果结合黔东北中高山地区地形坡度的分布范围,将地形坡度因子划分为缓坡( $10^{\circ} \sim 18^{\circ}$ )( $X_{21}$ )、较陡坡( $18^{\circ} \sim 22^{\circ}$ )( $X_{22}$ )、陡坡( $22^{\circ} \sim 27^{\circ}$ )( $X_{23}$ )、极陡坡( $27^{\circ} \sim 90^{\circ}$ )

( $X_{24}$ ) 四类。

按照上述 4 种地形坡度划分标准,以黔东北中高山地区 51 个滑坡为样本空间,统计各类地形坡度因子对滑坡发育频数、面积、体积的贡献率及贡献指数如表 4 所示。在此基础上,按式(4)计算 4 种地形坡度因子对滑坡发育的敏感性系数如图 3 所示,并根据式(5)对其敏感性程度的评价如表 5 所示。

表 4 黔东北中高山地区地形坡度因子贡献率统计表

Table 4 The slope factor contribution rate statistics of middle and high mountain areas in northeast of Guizhou

地形坡度因子	频数		面积		体积	
	贡献率( $f$ )	贡献指数( $f_e$ )	贡献率( $A$ )	贡献指数( $A_e$ )	贡献率( $V$ )	贡献指数( $V_e$ )
$X_{21}$ (缓坡 $10^{\circ}\sim 18^{\circ}$ )	3.9%	1	5%	1	9.7%	1
$X_{22}$ (较陡坡 $18^{\circ}\sim 22^{\circ}$ )	25.5%	3	49.5%	4	33.9%	4
$X_{23}$ (陡坡 $22^{\circ}\sim 27^{\circ}$ )	47.1%	4	25.7%	3	29.2%	3
$X_{24}$ (极陡坡 $27^{\circ}\sim 90^{\circ}$ )	23.5%	2	19.8%	2	27.2%	2

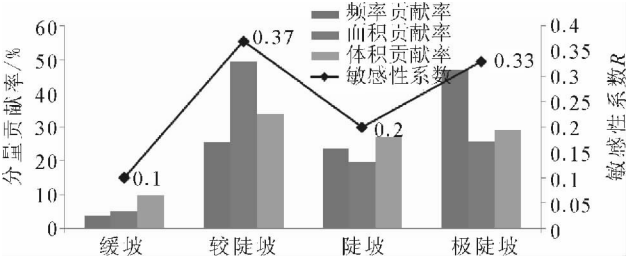


图 3 地形坡度因子与滑坡发育敏感性系数分析图

Fig. 3 The analysis diagram of terrain slope factor and the sensitivity coefficient of landslides development

表 5 地形坡度因子敏感性等级评价表

Table 5 The evaluation form of the terrain slope factor sensitivity level

因子类型	敏感性	评价区	敏感性
	系数	间值	等级
$X_{21}$ (缓坡 $10^{\circ}\sim 18^{\circ}$ )	0.10	0.1~0.19	低
$X_{22}$ (较陡坡 $18^{\circ}\sim 22^{\circ}$ )	0.37	0.28~0.37	高
$X_{23}$ (陡坡 $22^{\circ}\sim 27^{\circ}$ )	0.20	0.19~0.28	中
$X_{24}$ (极陡坡 $27^{\circ}\sim 90^{\circ}$ )	0.33	0.28~0.37	高

根据上述图表,极陡坡和较陡坡地带最易发育滑坡,属滑坡发育高敏感性地形坡度因子。极陡坡地带之所以容易发育滑坡,是由于其地形坡度往往大于天然斜坡的休止角;较陡坡之所以容易发育滑坡,是由于该类地形坡度容易形成堆积区,且具备滑动的趋势面,为滑坡发育提供物源的同时也提供了滑动条件。)陡坡地带滑坡发育一般,属滑坡发育中等敏感性地形坡度因子。这主要是由于陡坡地带虽具备滑动的趋势面,为滑坡发育提供了滑动条件,但同时由于地形陡峻不易形成堆积区,缺乏有效物源,从而抑制了滑坡的发育。缓坡地带不易发育滑坡,属滑坡发育低敏感性地形坡度因子。这主要是由于缓坡地带虽容易形成堆积区,但不具备滑动的趋势面,从而抑制了滑坡的发育。

2.3 相对高差影响因子敏感性分析

斜坡前后缘相对高差直接决定着滑坡自身的重力势能,相对高差越大其重力势能越大,产生滑坡的可能性也越大,反之亦然。黔东北中高山地区 51 个滑坡前后缘相对高差统计结果显示,其相对高差因子可划分为极矮坡( $0\sim 40\text{ m}$ )( $X_{31}$ )、矮坡( $40\sim 80\text{ m}$ )( $X_{32}$ )、较高坡( $80\sim 120\text{ m}$ )( $X_{33}$ )、高坡( $>120\text{ m}$ )( $X_{34}$ )四类。

按照上述 4 种相对高差划分标准,以黔东北中高山地区 51 个滑坡为样本空间,统计各类相对高差因子对滑坡发育频数、面积、体积的贡献率及贡献指数如表 6 所示。在此基础上,按式(4)计算 4 种相对高差因子对滑坡发育的敏感性系数如图 4 所示,并根据式(5)对其敏感性程度的评价如表 7 所示。

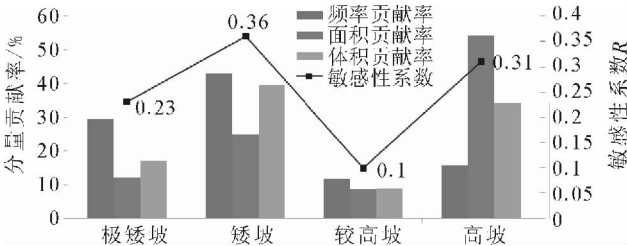


图 4 相对高差因子与滑坡发育敏感性系数分析图

Fig. 4 The analysis diagram of relative height difference factor and the sensitivity coefficient of landslides development

根据上述图表,矮坡和高坡地带最易发育滑坡,属滑坡发育高敏感性相对高差因子。矮坡地带之所以容易发育滑坡,是由于其基本位于地表水流强冲刷地带,且具备一定的重力势能,容易诱发浅表层滑移;高坡地带之所以容易发育滑坡,是由于其具备较大的重力势能。极矮坡地带滑坡发育一般,属滑坡发育中等敏感性相对高差因子。这主要是由于极矮坡地带虽是地表水流强冲刷地带,为滑坡发育提供

表 6 黔东南中高山地区相对高差因子贡献率统计表

Table 6 The relative elevation difference factor contribution rate statistics of middle and high mountain in northeast of guizhou

斜坡高差分级区	频数		面积		体积	
	贡献率( $f$ )	贡献指数( $f_e$ )	贡献率( $A$ )	贡献指数( $A_e$ )	贡献率( $V$ )	贡献指数( $V_e$ )
$X_{31}$ (极矮坡 0~40 m)	29.4%	3	12.1%	2	17.2%	2
$X_{32}$ (矮坡 40~80 m)	43.1%	4	25%	3	39.7%	4
$X_{33}$ (较高坡 80~120 m)	11.8%	1	8.6%	1	8.8%	1
$X_{34}$ (高坡 >120 m)	15.7%	2	54.3%	4	34.3%	3

表 7 相对高差因子敏感性等级评价表

Table 7 The evaluation form of relative height difference factor sensitivity level

因子类型	敏感性系数	评价区间值	敏感性等级
$X_{31}$ (极矮坡 0~40 m)	0.23	0.18~0.27	中
$X_{32}$ (矮坡 40~80 m)	0.36	0.27~0.36	高
$X_{33}$ (较高坡 80~120 m)	0.10	0.1~0.18	低
$X_{34}$ (高坡 >120 m)	0.31	0.27~0.36	高

了诱发条件,但同时由于其具备的重力势能有限,从而抑制了滑坡的发育。较高坡地带不易发育滑坡,属滑坡发育低敏感性相对高差因子。这主要是由于具备的重力势能有限,且基本位于地表水流弱冲刷地带,从而抑制了滑坡的发育。

### 3 结论

(1) 基于频数贡献率、面积贡献率和体积贡献率等分量统计指标,采用综合贡献率法对滑坡发育的各类地形地貌影响因子进行敏感性分析,能较为全面的反映各类统计指标对滑坡发育的贡献率,其分析结果直观可靠。

(2) 由于具有阶梯形和凸形坡面形态的斜坡在地貌演化过程中,其中后部往往为堆积区,能提供较大的重力势能,而重力势能具有向低势能方向转移的特性,故该类坡面形态单元属中高山地区滑坡发育的敏感性区域。

(3) 由于地形坡度在  $18^\circ \sim 22^\circ$  之间的较陡坡大多分布于受地表水流强烈冲刷的地带,且具备一定的重力势能,在一定重力势能和强烈地下水共同作用下,容易诱发浅层小规模滑坡。由于地形坡度大于  $27^\circ$  的极陡坡具备较大的重力势能,而重力势能具有向低势能方向转移的特性,容易诱发深层大规模滑坡,故该类地形坡度单元属中高山地区滑坡发育的敏感性区域。

(4) 由于相对高差在 40~80 m 之间的矮坡大多分布于受地表水流强烈冲刷的地带,且具备一定的重力势能,在一定重力势能和强烈地下水共同作

用下,容易诱发浅层小规模滑坡。由于相对高差大于 120 m 的高坡具备较大的重力势能,而重力势能具有向低势能方向转移的特性,容易诱发深层大规模滑坡,故该类相对高差单元属中高山地区滑坡发育的敏感性区域。

### 参考文献 (References)

- [1] 黄强盛,夏旺民. 滑坡稳定性评价中地震作用力计算的讨论[J]. 地震工程学报, 2013, 35(1): 104.  
HUANG Qiang-sheng, XIA Wang-ming. Landslide Stability Evaluation of Earthquake Force Calculation of Discussion[J]. Journal of Earthquake Engineering, 2013, 35(1): 104. (in Chinese)
- [2] 程江涛. 库水变动诱发水库滑坡变形演化机理及预测研究[D]. 武汉: 中国地质大学(武汉), 2011: 2-5.  
CHENG Jiang-tao. Reservoir Water Fluctuation Induced by Reservoir Landslide Deformation Evolution Mechanism and Prediction Research[D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2011: 2-5. (in Chinese)
- [3] 曹洪洋,郝东恒,白聚波. 区域滑坡灾害地形地貌因子敏感性分析研究[J]. 中国安全科学学报, 2011, 21(11): 3-7.  
CAO Hong-yang, HAO Dong-heng, BAI Ju-bo. Regional Landslide Topography Factor Sensitivity Analysis[J]. China Safety Science Journal, 2011, 21(11): 3-7. (in Chinese)
- [4] Brabb E. Innovative Approaches to Landslide Hazard and Risk Mapping[G] //Proceedings of the Fourth International Symposium on landslide. Toronto: [s. n.], 1984: 307-323.
- [5] 温铭生,李铁锋,王连俊. 三峡库区滑坡灾害与地质环境关系分析[J]. 水文地质工程地质, 2006, 4: 103-106.  
WEN Min-sheng, LI Tie-feng, WANG Lian-jun. The Three Gorges Reservoir Area Landslide Disasters and Geological Environment Relationship Analysis[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2006, 4: 103-106. (in Chinese)
- [6] Larsen M C, Torres-Sanchez A J. The Frequency and Distribution of Recent Landslides in Three Montane Tropical Regions of Puerto Rico[J]. Geomorphology, 1998, 24: 309-310.
- [7] 乔建平,吴彩燕,田宏岭. 三峡库区云阳一巫山段地层因子对滑坡发育的贡献率研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(17): 2920-2924.  
QIAO Jian-ping, WU Cai-xia, TIAN Hong-ling. Cloud Thing

- of Three Gorges Wushan Period of Formation Factor Contribution Rate Research of Landslide Development[J]. Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(17): 2920-2924. (in Chinese)
- [8] 吴彩燕, 乔建平. 三峡库区云阳—巴东段坡向因子对滑坡发育的贡献率研究[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2005, 37(4): 25-29.  
WU Cai-yan, QIAO Jian-ping. Slope of Yunyang—Badong in the Three Gorges Reservoir has Contributed Research to the Factor of Landslide Development[J]. Journal of Sichuan University, 2005, 37(4): 25-29. (in Chinese)
- [9] 乔建平, 吴彩燕, 田宏岭. 三峡库区云阳—巴东段坡形因子对滑坡发育的贡献率研究[J]. 工程地质学报, 2006, 14(1): 18-22.  
QIAO Jian-ping, WU Cai-yan, TIAN Hong-ling. Slope Shape Factor of Yunyang—Badong in the Three Gorges Reservoir has Contributed Research to the Landslide Development[J]. Journal of Engineering Geology, 2006, 14(1): 18-22.
- [10] 乔建平, 杨宗佑. 贡献率法确定三峡库区滑坡发育环境本底因子[J]. 自然灾害学报, 2008, 17(5): 47-51.  
QIAO Jian-ping, YANG Zong-ji. Contribution Rate Method to Determine the Three Gorges Reservoir Area Landslide Development Environment Background Factors[J]. Journal of Natural Disasters, 2008, 17(5): 47-51. (in Chinese)
- [11] 乔建平, 吴彩燕. 滑坡本底因子贡献率与权重转换研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2008, 19(3): 13-16.  
QIAO Jian-ping, WU Cai-yan. Landslide Background Factor Contribution Rate and Weight Transformation Research[J]. Chinese Journal of Geological Hazards and Prevention, 2008, 19(3): 13-16. (in Chinese)
- [12] 许捍卫, 付强. 基于 DEM 的岸坡稳定性的精度研究[J]. 人民长江, 2008, 39(1): 86-87.  
XU Han-wei, FU Qiang. Bank Slope Stability Based on DEM the Accuracy of the Research[J]. The Journal of Yangtze River, 2008, 39(1): 86-87. (in Chinese)