

# 基于堆积物石块磨圆度的泥石流暴发频率判识

高云建<sup>1,2</sup>, 陈宁生<sup>1</sup>, 田树峰<sup>1,2</sup>, 胡桂胜<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 水利部 成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘 要:** 泥石流堆积物石块磨圆度是泥石流暴发频率判识的重要依据, 对泥石流暴发频率的深入研究具有积极作用。选取 34 条不同暴发频率的泥石流沟为样本, 采用 POWERS 提出的磨圆度确定方法, 确定了泥石流堆积物石块磨圆度值( $y$ )。结果显示: 山洪泥石流沟堆积物石块磨圆度值为  $0.41 \leq y \leq 0.59$ , 磨圆度以次圆、磨圆为主; 低频泥石流沟堆积物石块磨圆度值为  $0.3 \leq y \leq 0.41$ , 磨圆度以次圆为主; 中、高频泥石流沟堆积物石块磨圆度值为  $0.21 \leq y \leq 0.3$ , 磨圆度以棱角、次棱角为主。综合研究发现: 泥石流暴发频率与堆积物石块磨圆度呈正比关系, 两者相关性较强。将研究结果应用于典型泥石流沟的泥石流暴发频率判识, 判识结果与现场调访结果一致。

**关键词:** 泥石流暴发频率; 泥石流堆积物; 石块磨圆度值; 磨圆度等级

中图分类号: P694; P642.23

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2018)04-0370-05

## Frequency Identification of Debris Flow Outbreak Based on Roundness of Debris Flow Cumulative Stones

GAO Yunjian<sup>1,2</sup>, CHEN Ningsheng<sup>1</sup>, TIAN Shufeng<sup>1,2</sup>, HU Guisheng<sup>1</sup>

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu, Sichuan 610041, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** Debris flow cumulate stone roundness is an important base for debris flow frequency identification. This is a positive effect on the in-depth study of the frequency of outbreaks of debris flow. We selected 34 different outbreak frequency of debris flow as a samples, used the psephicity method proposed by professor POWERS to determine the debris flow stone roundness value ( $y$ ) to build a relationship between debris flows, and studied the relationship between the discovery of debris flow stone psephicity and outbreak frequency. For flood debris flow deposition, the rock roundness value ranges as  $0.41 \leq y \leq 0.59$ , the degree of roundness is grinding circle, sub circle; low frequency debris flow deposition rock roundness value ranges as  $0.3 \leq y \leq 0.41$ , the degree of roundness is sub circle; in high frequency debris flow deposits rocks roundness values ranges as  $0.21 \leq y \leq 0.3$ , the degree of roundness is angular, sub angular. Comprehensive study found that the frequency and the accumulation of debris flow in rock psephicity is proportional, and their correlation is significant. The research results can be applied to the typical debris flow gully debris flow frequency identification, and identification results are consistent with field inquisitional results.

**Keywords:** frequency of debris flow; debris flow deposits; rock roundness; degree of roundness

泥石流暴发频率是泥石流性质判识的重要内容, 而确定泥石流暴发频率是目前研究的难点问题。高频泥石流暴发频率一般为 1~5 a 一遇, 中频泥石流暴发频率一般为 5~20 a 一遇, 低频泥石流暴发频率

一般为 20~100 a 一遇<sup>[1]</sup>。高频泥石流由于暴发周期短、规模相对较小, 易于监测和防范。中、低频泥石流由于暴发周期长、潜伏性高, 不利于长期监测和准确定位, 容易被忽视<sup>[2]</sup>。因此, 丰富泥石流暴发频率

收稿日期: 2017-08-14

修回日期: 2017-08-23

资助项目: 国家自然科学基金(41501012; 41661134012)

第一作者: 高云建(1991—), 男(藏族), 四川汶川人, 硕士研究生, 研究方向为山洪泥石流形成理论与防治技术及山地灾害监测预警技术。  
E-mail: 1484508787@qq.com

通信作者: 陈宁生(1965—), 男, 四川成都人, 研究员, 博士生导师, 主要从事山洪泥石流形成理论与防治技术及山地灾害监测预警技术研究。  
E-mail: chennsh@imde.ac.cn

的判识手段,对泥石流的防灾减灾具有十分重要的作用。目前,国内外学者研究与泥石流暴发频率判识的方法主要有:基于粗大块石粒径<sup>[3]</sup>、岩性<sup>[4]</sup>、岩体坚固系数特性的判识方法;基于水文计算判识的方法等。如鲁科等<sup>[5]</sup>通过收集地质图与现场调查,得到川西地区 17 条泥石流沟的岩性数据,通过分析统计,得出:高频、中频、低频泥石流区泥石流堆积区的岩性坚硬程度系数分别为  $F \leq 7, 7 < F < 10, F > 10$ 。张娇<sup>[6]</sup>通过对比泥石流流域坚固系数与泥石流物源形成情况及暴发频率得出:泥石流流域内岩体坚固系数  $< 8$  为软岩地区,物源量较大,形成中高频泥石流;泥石流流域内岩体坚固系数  $\geq 8$  为硬岩地区,物源量较小,形成低频泥石流。规范则基于泥石流与暴雨同频率的假设暴雨,基于水文计算,确定泥石流的频率。

基于岩性坚硬程度判识泥石流暴发频率的方法是一个十分间接的方法,而且运用性较差。如汶川地震引发的诸多硬岩区发生大规模泥石流,而软岩区则较少。基于降水频率确定泥石流频率的方法,需要准确的降水数据支持,并且多数泥石流流域泥石流暴发频率与降水频率不相符,因为泥石流极大地受土源的控制。基于目前泥石流暴发频率判识的局限性,本文通过野外调查西南山区 34 条不同频率的泥石流样本沟,探讨泥石流堆积物石块磨圆度与暴发频率的关系特征。采用 Powers<sup>[7]</sup>提出的石块磨圆度确定方法,获取泥石流沟堆积物石块磨圆度数据。根据泥石流的暴发历史,确定流域泥石流暴发频率。通过统计分析,得到泥石流堆积物石块磨圆度与暴发频率的关系。最后应用到典型泥石流沟的泥石流堆积物石块磨圆度和暴发频率特性的判识,力图为泥石流暴发频率的确定提供一种新的方法。

## 1 研究区概况

研究区 34 条泥石流沟分别位于西南地区的四川省(31 条)、云南省(3 条)。西南地区是我国泥石流灾害的高发区,泥石流沟个数和暴发次数分别占全国的 36.99% 和 31.06%<sup>[1]</sup>。西南山区泥石流分布最广的 2 个省是四川省和云南省。四川省 31 条泥石流沟分布于龙门山区、安宁河流域、雅砻江流域、大渡河下游峡谷区、川西高原。云南省 3 条泥石流沟分布于滇东北高原区、滇西北峡谷区。研究区受东南季风、西南季风影响,气候以亚热带气候为主,降水丰富。受喜马拉雅地震带的影响,地震活动强烈,断层分布广泛。研究区 34 条泥石流沟堆积物石块磨圆度数据的调查

主要在沟道下游的泥石流堆积区。调查石块主要分布于在常年流水作用下的沟床及两侧。各泥石流流域的地理特性如表 1 所示。

表 1 研究区泥石流流域地理特性

编号	沟名	地理	流域	年平均	相对
		位置	面积/km <sup>2</sup>	降水量/mm	高差/m
1	大旋沟	四川乐山县	7	1000	1784
2	板洋沟	四川汉源县	3.89	730.8	1555
3	蒿子坪沟	四川平武县	38.9	993.2	2210
4	白条河	四川西昌市	36.68	>1000	1948
5	黑沙河	四川西昌市	11.4	>1000	538
6	连山大桥沟	四川汶川县	0.7	932.6	1159
7	大凉水沟	四川宁南县	6.5	727.2	2042
8	牛路沟	四川宁南县	6.59	715.9	2100
9	大石埡沟	四川宁南县	1.47	715.9	2100
10	牛棚沟	四川乡城县	5.54	476	2800
11	白水寨沟	四川茂县	75.07	484.1	3526
12	喇嘛寺沟	四川九龙县	23.2	1368	2000
13	杨房沟	四川木里县	14.25	818.2	1000
14	白鹤滩沟	云南巧家县	43.03	715.9	2100
15	梅冲河	云南兰坪县	19.6	640	1731
16	通化沟	四川理县	29.9	753	3280
17	海子沟	云南巧家县	103.6	727.2	3340
18	二村沟	四川冕宁县	25.62	1167	1217
19	苦尔滩沟	四川汉源县	27.2	880	2296
20	砂砂河沟	四川西昌市	8.92	1004.3	965
21	双岔沟	四川平武县	4.434	866.5	1270
22	双河煤矿沟	四川崇州市	32	1015.2	700
23	幸福沟	四川卧龙特区	33	932.6	2621
24	罗坝街沟	四川黑水县	18.6	825.2	2114
25	王家沟	四川广元市	217.6	950	1000
26	娃娃沟	四川九龙县	25.62	1215.9	2989
27	蒋家沟	四川东川市	48.6	800	3600
28	罗多沟	四川汉源县	3.53	880	1762
29	塘上沟	四川平武县	9.633	866.5	2059
30	任家沟	四川平武县	9.5	866.5	1850
31	七盘沟	四川汶川县	54.2	526.3	1000
32	牌坊沟	四川理县	9.68	603.7	2060
33	沙沟河	四川西昌市	67	1000	965
34	热水河	四川西昌市	158.3	1000	1901

## 2 研究方法

本文主要采用 Powers<sup>[7]</sup>提出的确定方法,确定石块磨圆度值。根据泥石流暴发历史的调查,确定泥石流暴发频率。通过磨圆度和暴发频率的关系分析,确定二者的关联性,并采用水力学的基本方法,分析二者存在关联性的原因。

### 2.1 堆积物石块磨圆度确定

2.1.1 数据调查 研究区泥石流流域堆积物石块磨

圆度测量的石块粒径  $d \geq 20$  mm,包括粗砾(20 mm  $\leq d \leq 60$  mm)、卵石(60 mm  $\leq d \leq 200$  mm)、漂石( $d \geq 200$  mm)<sup>[8-9]</sup>。泥石流堆积区测量样本数 50~100 个。采用随机测量方式,石块测量的间距为 1 m,粒径  $d \leq 20$  mm 的不测量。测量的要素包括石块大小、岩性和磨圆度。将泥石流堆积物石块磨圆度的平均值作为该泥石流沟的磨圆度值,磨圆度分为极棱角、棱角、次棱角、次磨圆、磨圆和极磨圆,见表 2。

2.1.2 石块磨圆度确定 采用 Powers<sup>[7]</sup> 提出的确定方法,定量确定泥石流堆积物石块磨圆度值。首先将不同磨圆的颗粒分为两组,每组进一步分为 6 种不同圆度的颗粒。第一组为高球性的磨圆度分级,第二组为低球性的磨圆度分级。根据野外实地考察,对照模型照片确定石块的磨圆度等级。石块磨圆度分级和取值分别为极棱角(0.14)、棱角(0.21)、次棱角(0.3)、次磨圆(0.41)、磨圆(0.59)、极磨圆(0.84)。某一条泥石流沟堆积物石块磨圆度等级的确定,是由堆积物石块磨圆度数值的平均值决定,即石块磨圆度值的总和除以石块个数。石块磨圆度数值确定见表 2<sup>[7]</sup>:

表 2 磨圆度数值定量确定方法

分级类别	分级间隔	几何平均值
极棱角	0.12~0.17	0.14
棱角	0.17~0.25	0.21
次棱角	0.25~0.35	0.3
次磨圆	0.35~0.49	0.41
磨圆	0.49~0.70	0.59
极磨圆	0.70~1.00	0.84

2.2 泥石流暴发频率确定

现场调访泥石流的暴发历史,确定泥石流暴发频率。当历史上暴发多次泥石流时,以泥石流暴发次数的平均值作为泥石流暴发频率。当历史上仅暴发过 1 次泥石流时,以该次泥石流距今的时间间隔作为泥石流暴发频率。通过野外调查泥石流的暴发历史,将泥石流分为山洪、低频、中频、高频。低频泥石流暴发频率为 20~100 a,中频泥石流暴发频率为 5~20 a,高频泥石流的暴发频率为 1~5 a<sup>[1]</sup>。

3 结果与分析

3.1 堆积物石块磨圆度与泥石流暴发频率关系分析

通过 34 条泥石流沟的野外调查确定堆积物石块磨圆度值(表 3)。34 条泥石流沟,山洪泥石流 4 条,低频泥石流 16 条,中频泥石流 8 条,高频泥石流 6 条。根据泥石流暴发频率与堆积物石块磨圆度的关系分析,得出以下结果:(1) 随着泥石流暴发频率的递增,泥石流堆积物石块磨圆度数值(y)总体呈下降趋势,即以山洪泥石流→低频泥石流→中频泥

石流→高频泥石流的次序对应石块磨圆度值的降低;(2) 山洪泥石流堆积物石块磨圆度值介于 0.41~0.59;(3) 低频泥石流堆积物石块磨圆度值基本介于 0.3~0.41;(4) 中、高频泥石流堆积物石块磨圆度值基本介于 0.21~0.3(图 1)。

表 3 堆积物石块磨圆度与泥石流暴发频率数据统计

编号	沟名	测量石块 个数/个	磨圆度 平均值	磨圆 度值	磨圆度 等级	泥石流 暴发频率
1	大旋沟	50	0.43	0.41	次磨圆	低频
2	板洋沟	60	0.33	0.30	次棱角	中频
3	薜子坪沟	57	0.37	0.41	次磨圆	低频
4	白条河	59	0.377	0.41	次磨圆	低频
5	黑沙河	74	0.3	0.3	次棱角	低频
6	连山大桥沟	70	0.35	0.3	次棱角	高频
7	大凉水沟	62	0.482	0.41	次磨圆	低频
8	牛路沟	77	0.357	0.41	次磨圆	高频
9	大石墙沟	66	0.34	0.3	次棱角	高频
10	牛棚沟	88	0.365	0.41	次磨圆	低频
11	白水寨沟	60	0.275	0.3	次棱角	中频
12	喇嘛寺沟	53	0.32	0.3	次棱角	中频
13	杨房沟	51	0.415	0.41	次棱角	低频
14	白鹤滩沟	52	0.502	0.59	磨圆	中频
15	梅冲河	60	0.389	0.41	次磨圆	低频
16	通化沟	61	0.447	0.41	次磨圆	低频
17	海子沟	62	0.283	0.3	次棱角	高频
18	二村沟	50	0.513	0.59	磨圆	低频
19	苦尔滩沟	66	0.42	0.41	次圆	山洪
20	砂砂河沟	83	0.42	0.41	次圆	低频
21	双岔沟	50	0.324	0.3	次棱角	中频
22	双河煤矿沟	50	0.321	0.3	次棱角	低频
23	幸福沟	88	0.434	0.41	次圆	低频
24	罗坝街沟	60	0.3	0.3	次棱角	中频
25	王家沟	50	0.32	0.3	次棱角	低频
26	娃娃沟	60	0.34	0.3	次棱角	中频
27	蒋家沟	70	0.296	0.3	次棱角	高频
28	罗多沟	60	0.23	0.21	棱角	高频
29	塘上沟	50	0.39	0.41	次圆	低频
30	任家沟	74	0.42	0.41	次圆	山洪
31	七盘沟	60	0.34	0.3	次棱角	中频
32	牌坊沟	62	0.39	0.41	次圆	低频
33	沙沟河	80	0.58	0.59	磨圆	山洪
34	热水河	60	0.56	0.59	磨圆	山洪

通过线性拟合,拟合出泥石流暴发频率与堆积物石块磨圆度值的统计关系式,如公式(1)所示。

$$y = -0.116x + 0.735 \quad (R^2 = 0.8) \quad (1)$$

式中:y 为磨圆度值;x 为泥石流暴发频率, $x = 1, 2, 3, 4$ ,分别表示山洪泥石流、低频泥石流、中频泥石流、高频泥石流; $R^2$  为误差系数,介于 0~1, $R^2$  越接近 1,表明可行度越高。

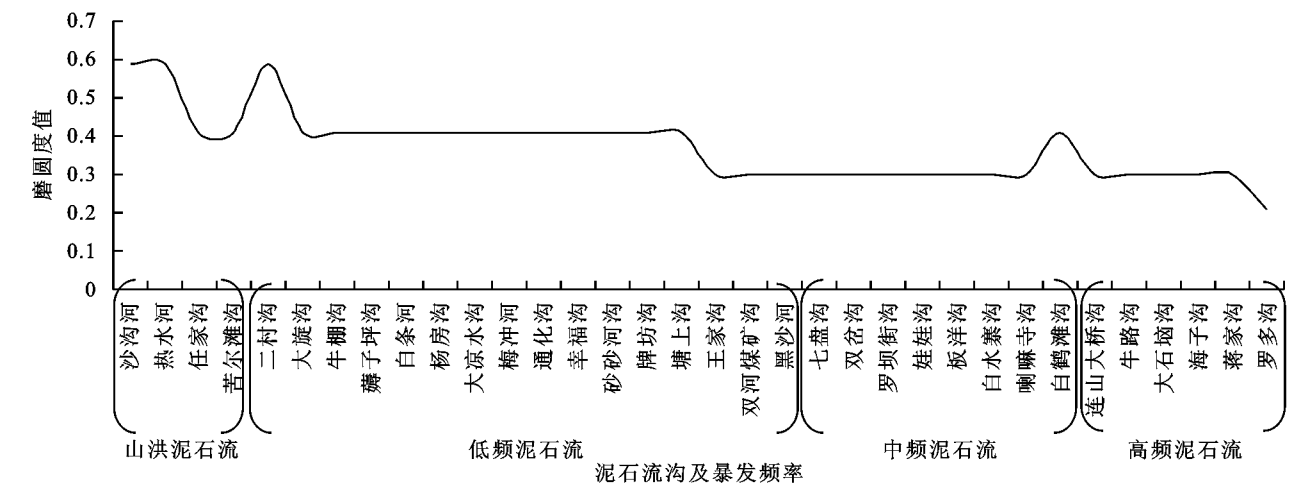


图 1 泥石流暴发频率与堆积物石块磨圆度值关系

3.2 成因分析

石块磨圆度的磨蚀程度主要受搬运过程、粒径大小、岩性等因素的控制<sup>[10]</sup>,但是流水作用在其中充当关键角色。在流水作用下,泥石流沟石块相互碰撞而产生磨蚀作用。泥石流堆积物通常磨圆度差,大多为棱角和次棱角状的颗粒<sup>[1]</sup>,其原因主要是由于泥石流流体中含有大量黏土成分,泥石流流体在快速运移的过程中,石块相互之间接触较少,因此磨圆度较低。山洪泥石流由于泥石流暴发规模较小、洪水强度大、流水作用强,因此堆积物石块磨圆度大。低频泥石流暴发周期长,低磨圆度的泥石流堆积物较少,同时原有堆积物在长期流水作用影响下,因此石块磨圆度较高。中、高频泥石流暴发周期短,低磨圆度的泥石流堆积物较多,而短期的流水作用很难使石块的磨蚀程度得到快速提升,因此磨圆度较低。因此,泥石流堆积物石块磨圆度与泥石流暴发频率存在正比关系。

本文研究结果中存在某些异常值,如低频泥石流具有低磨圆度值(以黑沙河沟为例)、中、高频泥石流具有高磨圆度值(以白鹤滩沟为例)。根据现场调查,黑沙河沟沟道中流水较少,沟道流水作用弱,同时河床较宽阔,河道经常改道(图 2),因此磨圆度较低。白鹤滩沟流域面积较大,为 43.03 km<sup>2</sup>,支沟较多,沟道流水作用强(图 3),因此磨圆度较高。

3.3 应用案例分析

本文以典型泥石流沟娃娃沟为例,基于研究结果进行应用案例分析。娃娃沟位于四川省雅安市汉源县顺河乡,流域面积 23.6 km<sup>2</sup>,主沟长 11.372 km,流域主沟平均纵比降为 203‰,相对高差达 2 421 m。采用 Powers 磨圆度确定方法,对流域下游泥石流堆积物石块进行磨圆度测量。娃娃沟有效石块测量个数 59 个,磨圆度平均值为 0.299。根据磨圆度的定

量确定方法(表 2),娃娃沟的磨圆度值为 0.3,磨圆度等级为次棱角(表 4)。通过野外调访,娃娃沟分别在 1996 年 6 月和 2016 年 6 月暴发规模较大的泥石流,另外近 20 年间还暴发过数次小规模泥石流,因此将娃娃沟泥石流暴发频率确定为高频(1~5 a 一遇)。



图 2 黑沙河沟道下游流水作用



图 3 白鹤滩沟道下游流水作用

根据拟合关系式(1),娃娃沟为高频泥石流,因此  $x=4$ ,将  $x=4$  代入公式(1),计算得到娃娃沟磨圆度值为 0.271,如表 2 所示,此值介于 0.25~0.35,因此磨圆度最终取值为 0.3,磨圆度等级为次棱角。娃娃沟磨圆度计算结果符合现场调查结果,研究结果及拟合关系式比较合理。

表 4 娃娃沟泥石流堆积物石块磨圆度测量

第一组						第二组					
序号	长/cm	宽/cm	高/cm	磨圆度	岩性	序号	长/cm	宽/cm	高/cm	磨圆度	岩性
0	41	51	32	次棱状	砂岩	0	113	79	62	次圆状	砾岩
1	32	99	78	次棱状	砂岩	1	45	29	26	次棱状	砂岩
2	257	269	200	次棱状	砂岩	2	9	14	5	次棱状	砂岩
3	25	19	9	次圆状	砂岩	3	11	7	3	次棱状	砂岩
4	—	—	—	—	—	4	30	18	19	次棱状	砂岩
5	45	16	224	次棱状	砂岩	5	25	19	7	次棱状	砂岩
6	127	84	46	次棱状	砂岩	6	94	32	43	次棱状	砂岩
7	479	277	195	次棱状	砂岩	7	68	32	29	次棱状	砂岩
8	479	277	195	次棱状	砂岩	8	14	5	7	次棱状	砂岩
9	53	36	9	次棱状	砂岩	9	90	58	31	次棱状	砾岩
10	106	29	26	次棱状	砂岩	10	69	29	33	次棱状	砂岩
11	53	27	16	次棱状	砂岩	11	157	77	46	次棱状	砂岩
12	36	18	10	次棱状	砂岩	12	100	131	42	次棱状	砂岩
13	51	59	36	次棱状	砂岩	13	100	131	42	次棱状	砂岩
14	85	93	34	次棱状	砂岩	14	50	48	44	次棱状	砂岩
15	32	36	16	次棱状	砂岩	15	34	29	18	次圆状	砂岩
16	45	19	8	次棱状	砂岩	16	113	67	39	次圆状	砂岩
17	18	12	6	次棱状	砂岩	17	152	38	66	次棱状	砾岩
18	94	31	13	次棱状	砾岩	18	117	92	69	次圆状	砂岩
19	28	18	7	次棱状	砂岩	19	27	18	10	次棱状	砂岩
20	14	6	8	次棱状	灰岩	20	39	36	13	次棱状	砂岩
21	63	47	72	次棱状	砂岩	21	43	28	12	次圆状	砾岩
22	—	—	—	—	—	22	13	9	7	次棱状	砂岩
23	16	18	12	次棱状	砂岩	23	52	19	12	次棱状	砂岩
24	87	63	29	次棱状	砂岩	24	30	21	26	次圆状	砾岩
25	90	30	20	次棱状	砂岩	25	20	9	7	次圆状	砾岩
26	80	60	40	次棱状	灰岩	26	30	18	5	次棱状	砾岩
27	—	—	—	—	—	27	6	18	7	次棱状	砂岩
28	16	9	8	次棱状	砂岩	28	15	11	8	次棱状	砾岩
29	21	34	10	次棱状	砂岩	29	12	6	7	次棱状	砂岩
30	59	24	33	次棱状	砂岩	30	33	26	12	次棱状	砂岩

4 结 论

本文通过野外调查 34 条不同暴发频率的泥石流沟,采用 Powers 磨圆度确定方法,确定每条泥石流的磨圆度等级。同时根据每条泥石流的暴发历史,确定泥石流暴发频率。通过研究发现:随着泥石流暴发频率的递增,泥石流堆积物石块磨圆度数值(y)总体呈下降趋势,即泥石流暴发频率与堆积物石块磨圆度呈正比关系。其中:山洪泥石流堆积物石块磨圆度值介于 0.41~0.59,磨圆度以次圆、磨圆为主;低频泥石流堆积物石块磨圆度值基本介于 0.3~0.41,磨圆度以次圆为主;中、高频泥石流堆积物石块磨圆度值基本介于 0.21~0.3,磨圆度以棱角、次棱角为主。基于研究结果,拟合了泥石流暴发频率与堆积物石块磨圆度的统计关系式,并应用典型泥石流进行案例分析,其分析结果与现场调查一致。

参考文献:

[1] 陈宁生,杨成林,周伟,等. 泥石流勘查技术[M]. 北京:科学出版社,2011.

[2] 倪化勇,吕学军,刘宇杰,等. 低频泥石流特征及其预测

初步探讨[J]. 工程地质学报,2007,15(5):614-616.

[3] 韩林,余斌,鲁科,等. 泥石流暴发频率与其形成区块石粒径的关系[J]. 长江流域资源与环境,2011,20(9):1149-1156.

[4] 鲁科,余斌,韩林,等. 泥石流流域岩性的坚固系数与暴发频率的关系[J]. 地球科学进展,2011,26(9):980-990.

[5] 鲁科,余斌,韩林,等. 泥石流暴发频率与其形成区岩性的相关研究[D]. 成都:成都理工大学,2010.

[6] 张娇. 泥石流流域岩性坚硬系数与暴发频率的关系分析:以云南滇北地区泥石流为例[J]. 低碳技术,2016(9):107-108.

[7] Powers M C. A new roundness scale for sedimentary particles[J]. Journal of Sedimentary Research, 1953, 23(2):117-119.

[8] 陶金雨,张昌民,朱悦,等. 砾石磨圆度测量方法综述[C]. 武汉:长江大学地球科学学院,2015.

[9] 李广信,张丙印,于玉贞. 土力学[M]. 北京:清华大学出版社,2013.

[10] 李燕,金振奎,金婷,等. 岩浆岩砾石磨圆度地质意义的研究[J]. 沉积学报,2014,32(2):190-195.

[11] 贺拿,陈宁生,曾梅,等. 白鹤滩水电站坝址近场区泥石流临界雨量研究[J]. 水利学报,2015,46(2):239-246.