

基于颗粒识别分析系统的碎屑流堆积物颗粒识别和统计方法研究

陈 达, 许 强, 郑 光, 彭双麒, 王 卓, 何 攀

Particle identification and statistical methods of a rock avalanche accumulation body based on the particle analysis system

CHEN Da, XU Qiang, ZHENG Guang, PENG Shuangqi, WANG Zhuo, and HE Pan

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16030/j.cnki.issn.1000-3665.201911033>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

滑源区粒序分布及颗粒粒径对碎屑流冲击作用的影响研究

Particle sequence distribution and the effect of particle size on the impact effect in a fluidized landslide-debris flow

张志东, 樊晓一, 姜元俊 水文地质工程地质. 2021, 48(1): 49-59

基于数字图像处理的颗粒流厚度动态提取方法研究

A study of the dynamic extraction method for granular flow thickness based on digital image processing

吴越, 李坤, 程谦恭, 王玉峰, 龙艳梅, 姜润昱, 宋章, 刘毅 水文地质工程地质. 2021, 48(4): 151-159

滑坡-碎屑流冲击导引结构的离散元模拟

Discrete element simulation of the landslide-debris flow impact guiding structure

张睿骁, 樊晓一, 姜元俊, 杨海龙 水文地质工程地质. 2019, 46(5): 161-168

二维条件下颗粒柱体崩塌入水堆积过程

A study of the process of particle column collapsing into water under 2D condition

冯万里, 黄波林, 张全, 王健, 郑嘉豪 水文地质工程地质. 2020, 47(4): 90-96

预制裂隙岩样宏观力学行为颗粒流数值模拟

Particle flow simulation of macro- and meso-mechanical behavior of the prefabricated fractured rock sample

王星辰, 王志亮, 黄佑鹏, 贾帅龙 水文地质工程地质. 2021, 48(4): 86-92

巫溪县西溪河北岸高位高危碎屑流滑坡特征与机理研究

A study of the characteristics and mechanism of high-risk debris flow landslide on the northern bank of the Xixi River in Wuxi county

李浩, 乐琪浪, 孙向东, 杨秀元, 李刚, 李兴虎 水文地质工程地质. 2019, 46(2): 13-13



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

DOI: [10.16030/j.cnki.issn.1000-3665.201911033](https://doi.org/10.16030/j.cnki.issn.1000-3665.201911033)

基于颗粒识别分析系统的碎屑流堆积物 颗粒识别和统计方法研究

陈 达, 许 强, 郑 光, 彭双麒, 王 卓, 何 攀

(成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 四川 成都 610059)

摘要: 碎屑流堆积物颗粒识别和统计是碎屑流灾害的研究重点。文章基于图像处理孔隙(颗粒)及裂隙图像识别与分析系统(PCAS), 以贵州纳雍普洒村崩塌-碎屑流为例, 结合纳雍崩塌堆积物粒径实测结果, 通过阐释识别过程中阈值、孔喉封闭半径、最小孔隙面积的参数意义, 研究 PCAS 软件在碎屑流颗粒识别与统计中的应用, 并提出了颗粒识别时这些参数的选取方法。分析结果表明: (1) PCAS 能自动准确地识别碎屑流堆积物颗粒与孔隙, 相比人工计数更精细, 所识别堆积物各区小颗粒比重较大, 0~2 m 颗粒粒径各区占比都在 50% 以上; (2) 当阈值为 170(像素)时能获得精细的二值图像, 颗粒与孔隙得到了准确地区分; (3) 不同参数取值下获得堆积物颗粒粒径分布结果不同, 碎屑流堆积物颗粒识别宜采用较大的孔喉封闭半径和较小孔隙面积, 当二者比值为 3/30(像素)时能更好地反应颗粒粒径分布情况; (4) PCAS 具有较高的可行性, 统计结果显示, 各粒径含量变化趋势与人工统计相近, 两种统计方法各粒径占比、分布规律基本吻合, 说明利用 PCAS 可以实现对崩塌碎屑流颗粒粒径分布的高效便捷分析。

关键词: 碎屑流; 孔隙(颗粒)及裂隙图像识别与分析系统; 堆积体; 颗粒识别; 纳雍崩塌

中图分类号: P642.21

文献标志码: A

文章编号: 1000-3665(2021)01-0060-10

Particle identification and statistical methods of a rock avalanche accumulation body based on the particle analysis system

CHEN Da, XU Qiang, ZHENG Guang, PENG Shuangqi, WANG Zhuo, HE Pan

(State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geo-environment Protection,
Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China)

Abstract: Particle identification and statistics of rock avalanche deposits are the focus of researches on rock avalanche disasters. Based on the image processing PCAS particle recognition system, taking the collapse-rock avalanche of the Pusa Village in Nayong of Guizhou Province as an example, combined with the measured results of the particle size of the Nayong collapse, the parameter values of threshold (T), pore throat closing radius (r) and minimum pore area (S_0) during the identification process are explained. The application of PCAS software to the identification and statistics of rock avalanche particles is studied, and the selection methods of these parameters are proposed. The analysis results show that (1) PCAS can automatically and accurately identify debris flow accumulation particles and pores, which are more precise than manual counting. Small particles in each area of the recognized accumulation have a large proportion, and the proportion of 0~2 m particles in each area is more than 50%. (2) When the threshold value is 170 (pixels), a fine binary image can be obtained, and the particles and the

收稿日期: 2019-11-14; 修订日期: 2020-02-27

基金项目: 国家创新研究群体科学基金(41521002); 国家自然科学基金重点项目(41630640); 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室自主研究课题(SKLG2015Z023)

第一作者: 陈达(1995-), 男, 硕士研究生, 主要从事地质灾害机理及防治方面研究。E-mail: 296846153@qq.com

通讯作者: 许强(1968-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事地质灾害预测评价及防治处理方面的教学与研究工作。E-mail: xq@cudt.edu.cn

pores are accurately distinguished. (3) The particle size distribution results of the deposits obtained under different parameter values are different, and the particle identification of the rock avalanche deposits should adopt larger r and S_0 . When $r/S_0=3/30$ (pixels), the particle size distribution can be better reflected. (4) PCAS is of the high feasibility and the statistical results show that the variation trend of each particle size content is similar to that of artificial statistics. The proportion and distribution of particle sizes in the two statistical methods are basically consistent with each other, which is of great significance for the efficient and convenient analysis of particle size distribution of collapse-rock avalanche.

Keywords: rock avalanche; PCAS; accumulation body; particle identification; rock avalanche in Nayong

碎屑流是一种高速远程溃散性滑坡,具有非常高的运动速度和极大的位移,速度在 30 m/s 以上^[1],具有极大的破坏力。为研究碎屑流运动特性及运动机理,有必要进行堆积物粒度定量分析,这也是碎屑流灾害研究的重点。传统颗粒的测量主要依靠人工,如需通过生成高分辨率数字地表模型(Digital Surface Model, DSM)对堆积物粒度进行人工解译^[2-4],存在效率低、精度不高以及人为因素误差大等不足。

计算机数字图像处理技术具有自动化、高效快捷等特点,被广泛运用于颗粒识别。吴义祥^[5]研究了土细观结构图像的定量分析系统,可以获取细小颗粒面积、最长弦长度等基本要素;施斌等^[6]使用 Videolab 图像处理系统直接分析 SEM 等照片,定量处理土颗粒微细形状、大小和比例关系;涂新斌等^[7]通过 Qwin 软件处理颗粒二值图像,获得了颗粒数、长度、宽度等颗粒数字特征;梁双华等^[8]提出 Mapinfo-Photoshop 计算方法,利用 Photoshop 图像处理功能和 Mapinfo 的统计分析功能,对土颗粒图像进行信息提取,定量表征颗粒、孔隙的个数以及周长、平均孔径等参数,极大地降低了图像分析费用,提高效率;Bai Baojun 等^[9]通过 Imagej 软件,直接将页岩原始孔隙图像进行二值化处理,进而定量统计孔隙、颗粒发育情况,得出孔隙率。可以看出,这些研究都是为了量化分析图像的细观特征,实现图像自动识别,得出孔隙、颗粒的结构参数和数量特征。但是,这些方法在以下关键问题上存在一定的缺陷:(1)设定研究最小颗粒粒径及较小粒径颗粒识别方法;(2)一个图像中可能有上千个颗粒和孔隙,形状复杂,分布不均,宏观特征参数已经不能满足研究需要,为此需要一些特定的参数,分析每个颗粒的形状、大小,以此来反映颗粒系统特征。

孔隙(颗粒)及裂隙图像识别与分析系统(Pores and Cracks Analysis System, PCAS),可以定量分析碎屑流堆积物粒度特征,准确获得堆积物颗粒结构的几何参数和统计参数,且操作简单,具有自动化和可重复

等优点。PCAS 在颗粒识别中,存在着三个参数的选取问题:阈值(T)、孔喉封闭半径(r)、最小孔隙面积(S_0)。该方法在滑坡堆积物粒度分析中具有很好的效果,但实用范例很少,目前仅彭双麒等^[10-11]通过 PCAS 系统研究了碎屑流堆积体,得出碎屑流堆积物颗粒分布的一般规律,但没有具体阐述 PCAS 颗粒识别系统的工作原理、参数意义以及参数选取方法。为此,本文通过 PCAS 软件对贵州纳雍崩塌碎屑流堆积物颗粒特征进行分析,得出图像识别系统中阈值、孔喉封闭半径、最小孔隙面积合适的参数取值,为 PCAS 在崩塌堆积物颗粒的定量研究中提供了一个高效可行的方案。

1 方法介绍

PCAS 图像识别步骤见图 1。

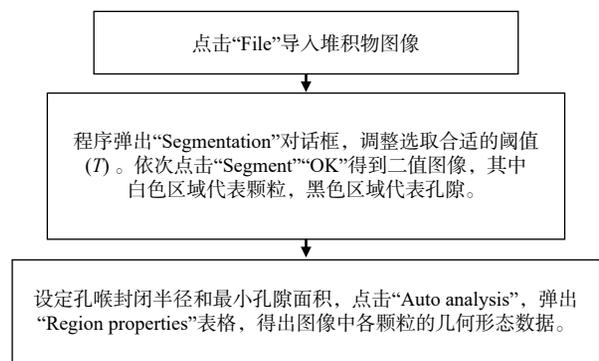


图 1 PCAS 图像识别分析步骤

Fig. 1 PCAS image recognition analysis steps

首先将图像导入 PCAS 软件,调整阈值(T)进行二值化处理,区分出孔隙和颗粒;然后选取合适的孔喉封闭半径(r)和最小孔隙面积(S_0),最后孔隙和颗粒的各种几何参数将汇集于数据表,包括个数、长度、宽度、面积、形状系数、定向性等,并统计得到颗粒和孔隙的分形维数、表观孔隙率、面积概率分布指数等统计参数,实现孔隙和颗粒结构的定量分析。本次主要

研究颗粒个数和长度两个参数。

PCAS 得出的参数都是以像素为单位, 可以通过换算得到实际的几何参数, 如式(1)、(2)^[12]:

$$S_t = S/R^2 \quad (1)$$

$$C_t = C/R^2 \quad (2)$$

式中: R ——图像的分辨率;

S 、 C ——像素面积和像素周长;

S_t 、 C_t ——真实面积和真实周长。

PCAS 主要由三个参数确定: 阈值(T)、孔喉封闭半径(r)、最小孔隙面积(S_0)。本节主要通过介绍这三个参数的选取意义, 分析 PCAS 的原理与方法。

1.1 阈值(T)

首先获取崩塌堆积物的正射影像图, 圈定分析的范围, 获得适当的图片大小, 即开始图像识别。在图像识别前, 需要进行二值化处理, 获得二值图像, PCAS 采用阈值分割法进行图像二值化^[13], 所谓阈值分割法, 是基于影像图中各个组成要素的灰度值的不同, 通过选择适当的灰度阈值将影像图转换为二值图像, 根据图像中孔隙与颗粒的灰度值不同加以区分^[14]。具体来说, 图片由像素组成, 而每一个像素是由红绿蓝(RGB)三原色分量组成, 软件自动选取一个特征颜

色值作为灰度值 $X(\text{RGB})$, 计算图像中各个部分的灰度值 $P(\text{RGB})$ 与这个特征灰度值的距离^[12]:

$$d = |P - X| \quad (3)$$

与选取的阈值作对比, d 小于阈值为黑色, 识别为孔隙; 大于阈值为白色, 识别为颗粒; 从而把图片识别成灰度图像(图 2b)。

具体步骤为: 起初设定较大的阈值, 此时较多为颗粒的单元被识别为孔隙(黑色), 再慢慢地减小阈值, 直到黑色的细小颗粒单元被转化为白色, 能清晰地识别出颗粒与孔隙, 此时为较好的阈值。为了减少人为判断误差, 通常对不同堆积区进行二值化处理, 求取阈值平均值, 作为选定的最终阈值。

1.2 孔喉封闭半径(r)

颗粒与颗粒间并不是完全分开, 会有连接(图 2b), 在二值化过程中, 颗粒通过细小连接, 会被错误识别为一个颗粒。因此, PCAS 在识别过程中, 会设定一个特定直径的孔喉封闭半径, 定义为腐蚀结构元素的半径 r , 对图像做腐蚀运算^[15]。当颗粒之间连接的直径小于 $2r$ 时, 则区分为两个独立区域, 分开颗粒(图 2c), 再将剩余像素归并到颗粒上, 实现颗粒与颗粒的自动区分^[16]。

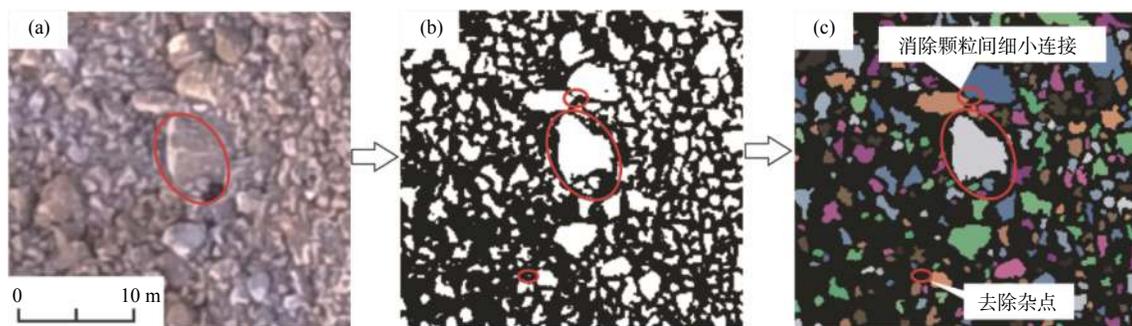


图 2 PCAS 在 $T/r/S_0=170/1/10$ 时的颗粒识别结果

Fig. 2 PCAS particle recognition results at $T/r/S_0 = 170/1/10$

注: (a) 为堆积物正射图像; (b) 为阈值为 170 时堆积物图像的二值图像; (c) 为孔喉封闭半径为 1, 最小孔隙面积为 10 时的颗粒识别图像。黑色的为孔隙, 彩色的为颗粒, 不同颗粒用不同的颜色标记, 同一颜色代表一个颗粒。

1.3 最小孔隙面积(S_0)

图片是由一系列像素点组成, 当像素较低时, 无法真实表征颗粒的真实形状, 需要将这些像素点及噪声去除。因此, PCAS 识别程序中设定了可识别分析的最小孔隙面积, 即设定一个面积识别下限, 小于该值的颗粒面积都识别为杂点而被去除。在图 2(b) 可以看到二值图像中呈现为白色的细小杂点, 设置最小孔隙面积, 可以消除这些杂点(图 2c), 有效识别出颗粒。

PCAS 具有手动编辑的功能, 对于颗粒不完整或较多明显杂点, 可以通过界面的“Edit binary image”功能, 手动修复, 归并颗粒, 区分出颗粒边界, 减小系统误差。

2 PCAS 最优参数探索

以贵州纳雍普洒村崩塌-碎屑流为例, 运用 PCAS 对其粒度进行分析, 结合彭双麒等^[2]的实测结果, 研

究 PCAS 在崩塌碎屑流颗粒分析的应用,以及阈值、孔喉封闭半径和最小孔隙面积的参数选取。

2.1 研究区概况

彭双麒等^[2]通过传统粒径统计方法,沿纳雍崩塌中部区域的主滑方向,将堆积区分为 A1—A13 共 13 个区,每个区长 100 m、宽 50 m(图 3)。通过生成地表数字模型(DSM),人工观测统计,得出每个区域颗粒粒径及对应数量。为了方便测量,粒径设定为颗粒对角线最大长度取值。

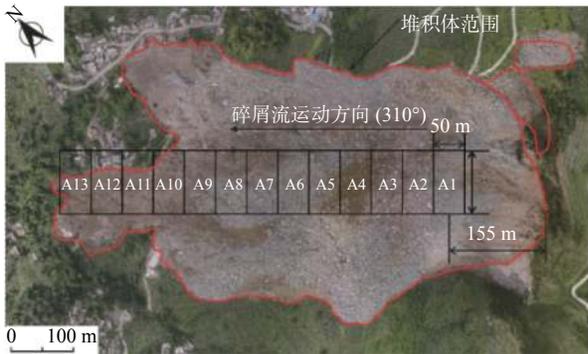


图 3 崩塌堆积分区示意图^[2]

Fig. 3 Partition diagram of the collapse accumulation body^[2]

分别统计出每个区域 0~1 m、1~2 m、2~3 m、3~4 m、4~5 m、5~6 m、6~7 m、7~8 m、8~9 m、9~10 m、10~17 m 的粒径数量(识别最大粒径 16.6 m),取值区间左开右闭。根据统计结果,绘制成累计级配曲线(图 4),纵轴为小于某粒径颗粒的数量百分比,横轴为各粒径。

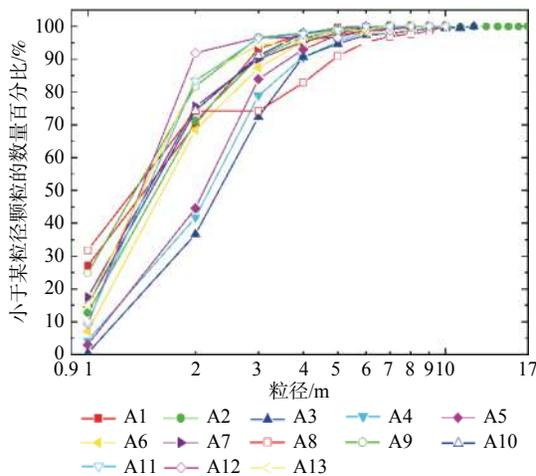


图 4 分区颗粒粒径累计曲线^[2]

Fig. 4 Aggregate curve of particle size in subsection^[2]

为了更直观显示 A1—A13 每个统计区域内大粒径与小粒径含量之间的关系,分别作出各区域 0~2 m、2~4 m、4~6 m、大于 6 m 颗粒所占比例柱状图(图 5)。

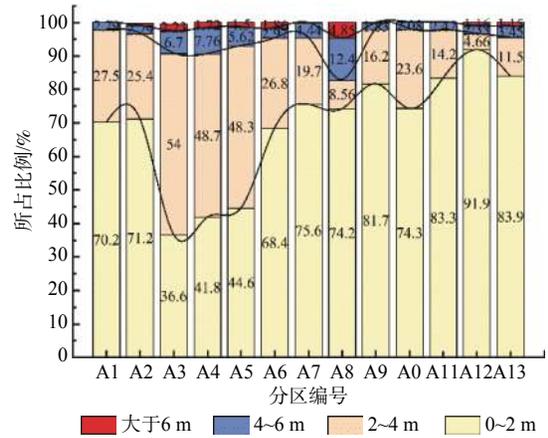


图 5 各区域不同粒径等级所占比例

Fig. 5 Proportion of different grain sizes in different regions

2.2 PCAS 参数讨论

运用 PCAS 对每个区域颗粒进行定量分析。不断调整阈值、孔喉封闭半径、最小孔隙面积,分别统计不同参数下对应的颗粒分布情况,找到合适的参数取值,分析不同参数条件下对研究结果的影响,验证 PCAS 软件的准确性。

(1)PCAS 参数选取

导入图像,不断调整阈值,对 13 个区域用 PCAS 软件进行二值化处理。通过实际分析本次纳雍普酒村崩塌的图像数据,得出阈值在 170 时可以清晰地区分出颗粒与孔隙(图 6)。

探究孔喉封闭半径(r)、最小孔隙面积(S_0)的取值对 PCAS 颗粒识别的影响。不断调整孔喉封闭半径、最小孔隙面积合适的取值,并进行相应的组合。如图 7 所示,当 $r/S_0=0.5/5$ (这里为像素,通过与实际半径、面积换算, $r/S_0=0.5/5=0.05\text{ m}/0.05\text{ m}^2$,即 r 单位为 0.1 m, S_0 单位为 0.01 m^2)时,许多杂点及不需要的微小颗粒被识别,且颗粒与颗粒间不能有效分隔开;当 $r/S_0=4/40$ 时,较大颗粒也小于最小孔隙面积,不能识别出来;对比图 2(c),当 $r/S_0=1/10$ 时,识别所得颗粒分布结果更能反映堆积物颗粒各粒径分布情况。因此,选取孔喉封闭半径 r 为 1, 2, 3(单位为 0.1 m,下同),最小孔隙面积 S_0 为 10, 20, 30, 40(单位为 0.01 m^2 ,下同),互相组合(表 1),找到合适的参数取值(各参数均以像素为单位)。

(2)PCAS 粒径统计结果

由各个图像中颗粒的几何形态数据,统计出每个区域长轴在 0~1 m、1~2 m、2~3 m、3~4 m、4~5 m、5~6 m、6~7 m、7~8 m、8~9 m、9~10 m、>10 m 的粒径数量(识别最大粒径 11.8 m),取值区间为左开右

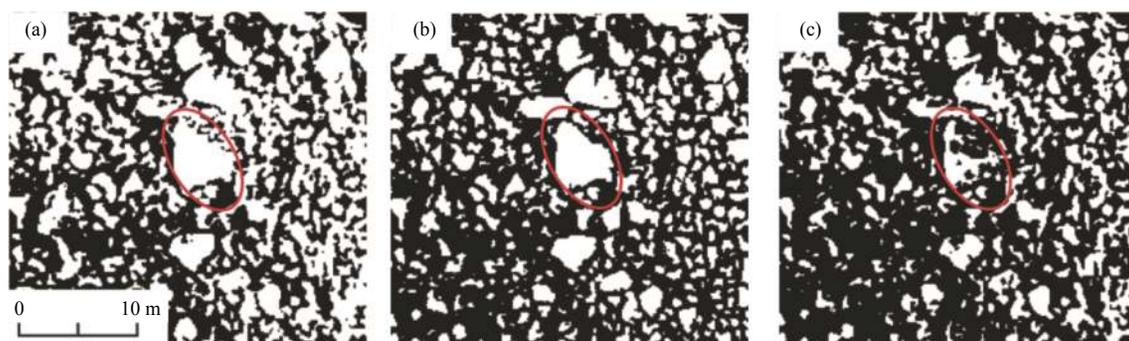


图 6 PCAS 在不同阈值下的二值化结果

Fig. 6 Binarization results of PCAS at different thresholds

注: (a) 阈值 160, 识别小颗粒增加, 杂点增多, 边界不明显; (b) 阈值 170, 颗粒清晰; (c) 阈值 180, 颗粒识别度低, 较多颗粒被识别为孔隙, 颗粒数量与实际相比偏小。

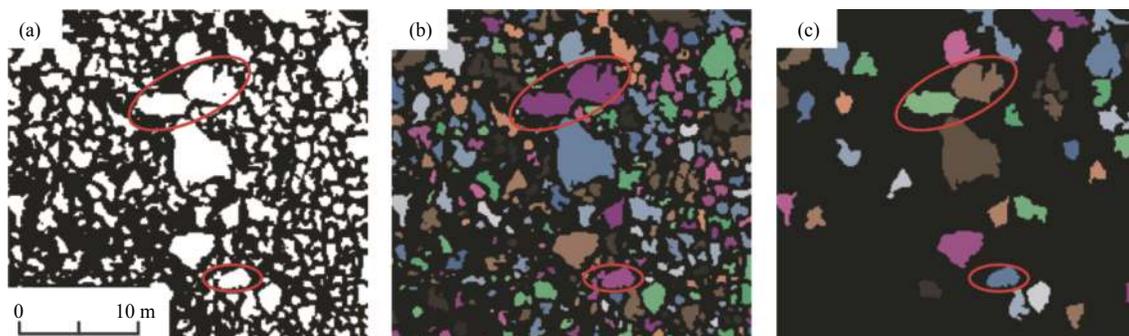


图 7 PCAS 在 $r/S_0=0.5/5$ 与 $r/S_0=4/40$ 时的颗粒识别结果

Fig. 7 PCAS particle recognition results at $r/S_0=0.5/5$ and $r/S_0=4/40$

注: (a) 阈值 170 时二值图像; (b) $r/S_0=0.5/5$ 时, 相邻颗粒不能区分, 识别为一个颗粒; (c) $r/S_0=4/40$ 时, 颗粒与颗粒能较好分开, 许多粒径较大颗粒被去除。

表 1 三个参数的组合情况

Table 1 Combinations of the three parameters

颗粒粒径累计 曲线编号	阈值(T)	孔喉封闭 半径(r)	最小孔隙面积 (S_0)	
N1	170	1	10	
N2			20	
N3			30	
N4			40	
N5			10	
N6		2	20	
N7			30	
N8			40	
N9			10	
N10			3	20
N11				30
N12				40

闭, 绘制出颗粒粒径累计曲线。并分别作出各区 0~2 m、2~4 m、4~6 m、>6 m 粒径所占比例柱状图。注意, PCAS 识别的是像素大小, 每个区域图片像素为 465×976, 而实际尺寸为 50 m×100 m, 由式(1)和式(2)换算, 为方便统计, 取 1 像素等于 0.1 m。

分别根据表 1 中的参数组合绘制颗粒粒径累计曲线

(图 8) 和各区域不同粒径等级所占比例柱状图 (图 9), 图 9 中粒径百分比小于 1% 时没有标记。

由图 8 可知:

(1) A11、A12、A13 图像中粒径小于 2 m 的百分含量明显高于其他区域, 说明运动距离越远, 颗粒碰撞破碎越充分, 小颗粒含量比重越大, 分选越好。在阈值为 170, 孔喉封闭半径为 2 时, A1 图像中粒径小于 2 m 的百分含量也明显高于其他区域, 曲线较陡, 颗粒粒径级配差于其他区域。

(2) 当孔喉封闭半径为 1, 2 时, 随着最小孔隙面积的变大, 颗粒粒径小于 2 m 的百分比明显下降, 但总的趋势不变; 表明 PCAS 在最小孔隙面积增大时, 能去除较大的杂点, 区分出有效颗粒, 总的百分比就降低。但当孔喉封闭半径为 3 时, 随着孔隙面积的变大, 大粒径百分比无明显变化, 小颗粒粒径百分比变小, 小于 1 m 的粒径百分比大多在 10% 以下 (除 A11、A12、A13); 这表明当孔喉封闭半径增加到一定程度时, 许多颗粒被进一步分割成更微小颗粒, 当最小孔隙面积较小时 (这里为 10), 大量微细颗粒就被当作杂

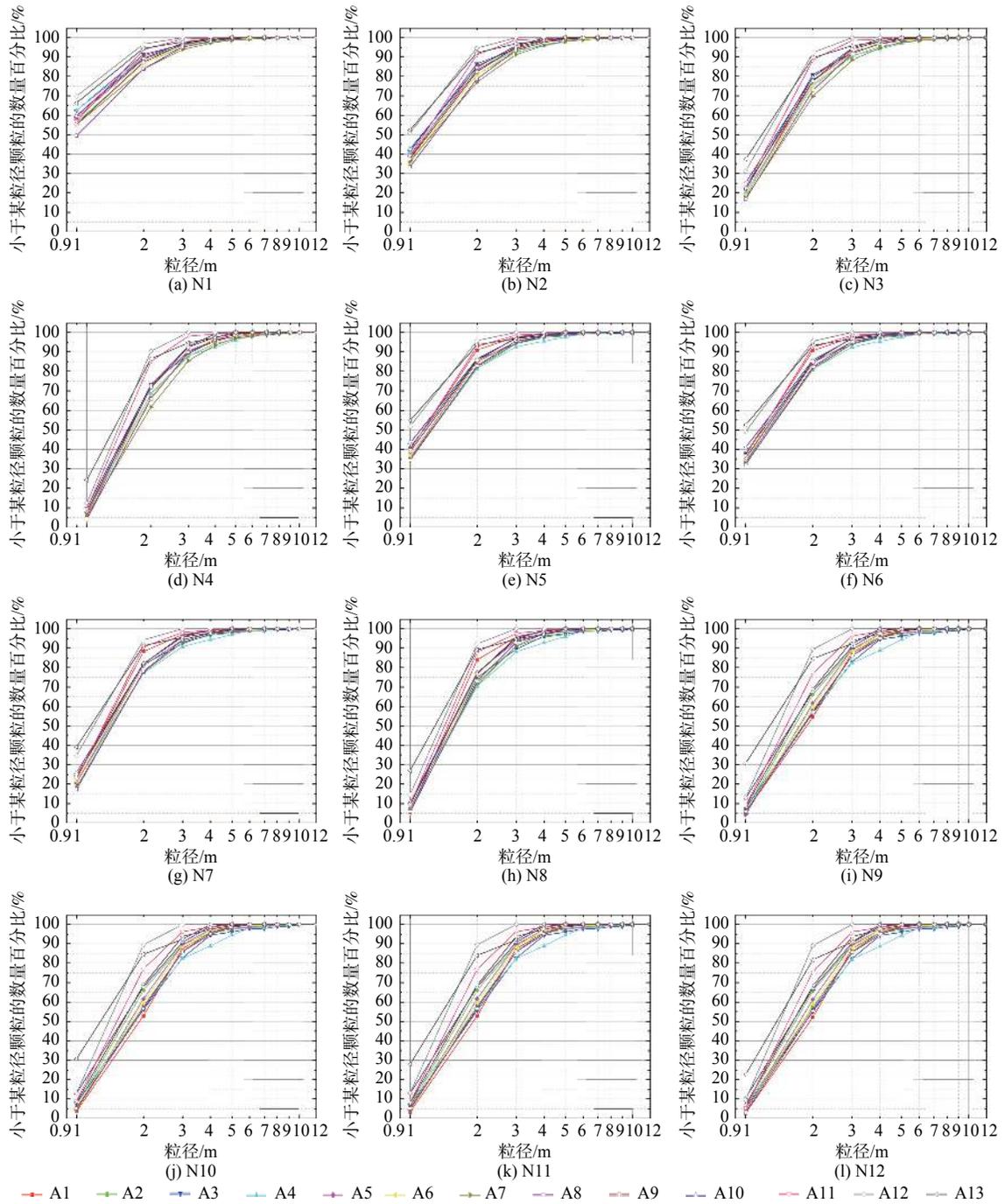


图 8 不同参数取值下各区域颗粒粒径累计曲线

Fig. 8 Accumulation curve of particle size in each region under different parameters

点去除, 此时即使最小孔隙面积变大, 粒径百分比也无明显变化。

(3) 以 N2、N6、N10 为例, 当最小孔隙面积一定时, 随着孔喉封闭半径的增大, 颗粒粒径小于 2 m 的百分比明显下降, 且级配变差。N10 条件下, 每个区域粒径小于 2 m 的百分比分布在 50% ~ 90%, 而 N2、N6 小于 2 m 的百分比则在 80% ~ 95%; 这表明随着孔喉封闭半径增大, 形状不规则的大颗粒被腐蚀, 分割

为小颗粒, 当小于最小孔隙面积时, 被作为杂点去除, 所占比重减小。

(4) 小于 3 m 的颗粒百分比在每个区域的占比都在 80% 以上, 而图 4 小于 3 m 的为 70% 以上, 说明 PCAS 相比人工计数, 颗粒计数更精细, 识别更完整, 但总的效果相差不大, 粒径级配曲线与实际情况相符, 验证了 PCAS 在碎屑流堆积物颗粒识别上的可靠性。

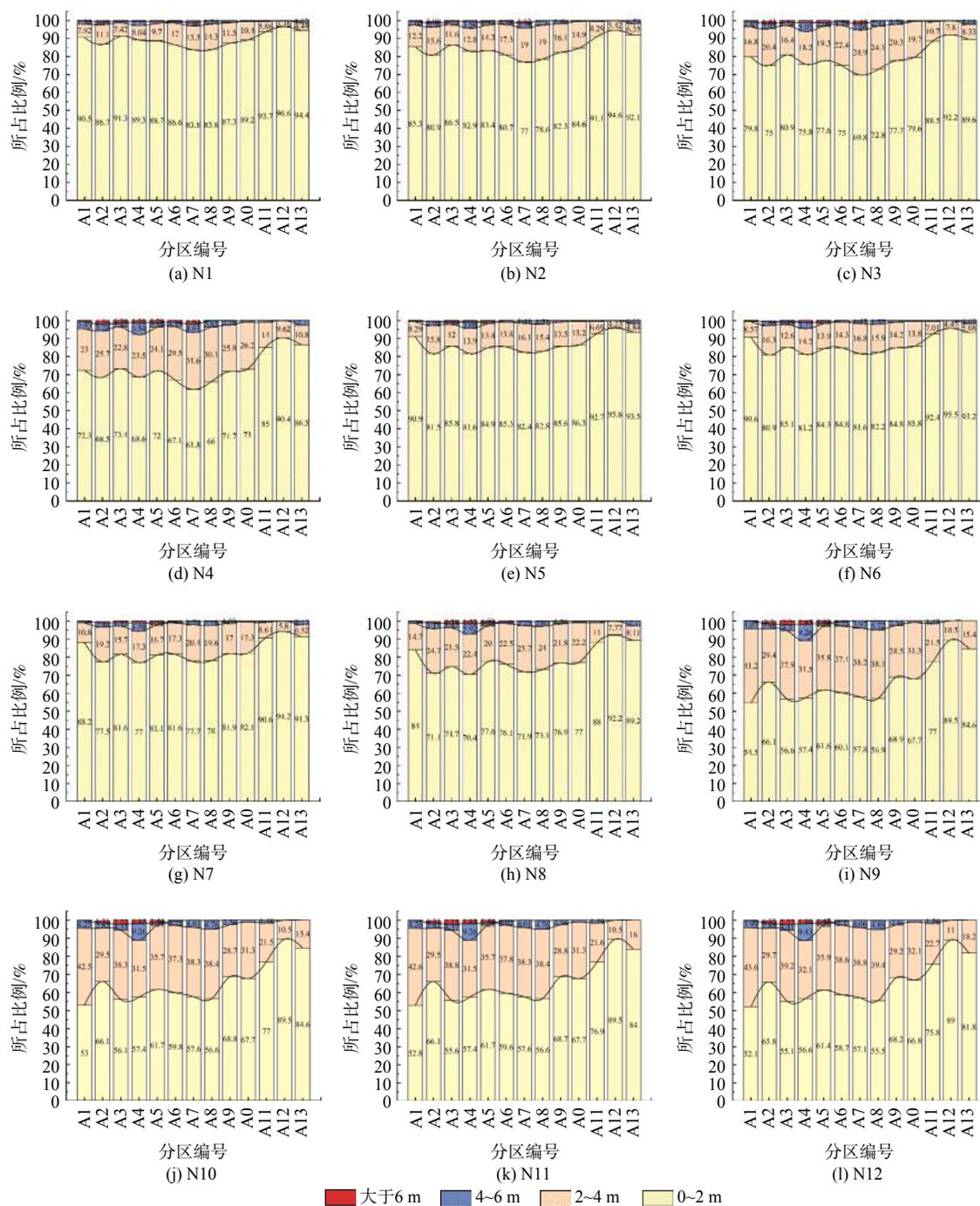


图 9 不同参数取值下各区域不同粒径等级所占比例

Fig. 9 Proportion of different particle size grades in each region under different parameter values

由图 9 可知:

(1) 由图 N1、N2、N5、N6 可得, 当孔喉封闭半径为 1, 2, 最小孔隙面积为 10, 20 时, 各区域 0~2 m 小颗粒所占百分比都在 80% 以上, 大于 4 m 颗粒所占百分比都在 4% 以内; 表明当孔喉封闭半径与最小孔隙面积较小时, 各区域较多的小颗粒与杂点被识别, 且不能被错误识别为单个颗粒。对比 N3、N4、N7、N8, 当孔喉封闭半径或最小孔隙面积增大时, 0~2 m 小颗

粒占比降低, 大于 4 m 的大颗粒比重增加。

(2) 由图 N9、N10、N11、N12 可得, 当孔喉封闭半径为 3 时, 各区域小于 2 m 的颗粒占比都具有先减小后增大的趋势, 拐点在 A3 区; 有 3 个明显波峰, 极点在 A2、A9、A12 区, 有三个明显波谷, 极点在 A3、A8、A10 区。各区域 4~6 m 颗粒占比都在 2%~4% 附近, 小于 6 m 的颗粒占比具有 2 个波谷, 极点在 A4 与 A8 区。各粒径占比分布情况与图 5 对比, 基本吻合,

接近真实值。

(3)对比图 N9、N10、N11、N12 与图 5,大于 6 m 颗粒占比在 A3、A4、A5 三个区域与实际情况相符。图 5 中,0~2 m 颗粒占比在 A3、A4、A5 区呈现波谷形态,但在 PCAS 粒径识别占比中,A1~A10 区 0~2 m 颗粒占比都在 52%~69%,表明在 PCAS 颗粒识别系

统中,小粒径颗粒识别效率高,各区占比比较接近。

2.3 PCAS 优劣及可行性讨论

根据 PCAS 在阈值为 170、孔喉封闭半径为 3、最小孔隙面积为 30 三个参数下取得的各区粒径分布结果,结合人工统计数据,作各区粒径块数对比柱状图(图 10)。结合图 8、图 9 可得如下结果:

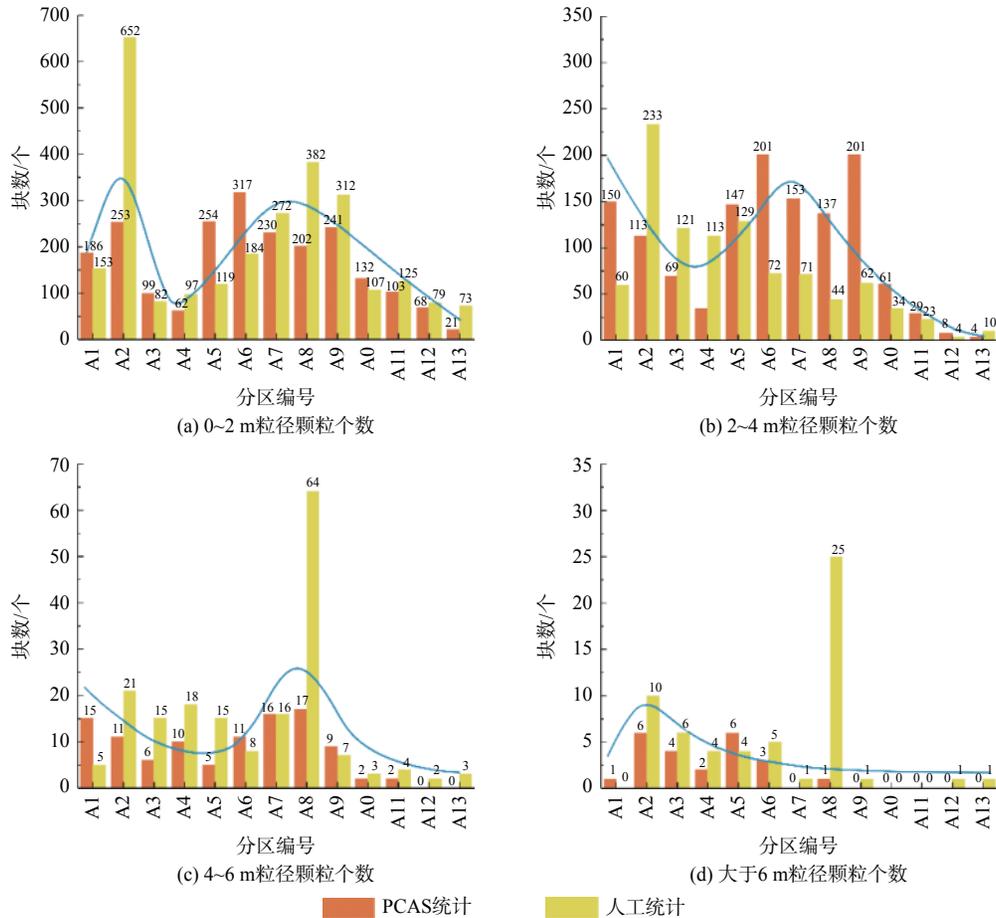


图 10 PCAS 统计方法在 $T/r/S_0=170/3/30$ 时与人工统计各区颗粒块数对比图

Fig. 10 Comparison chart of the PCAS statistical method at $T/r/S_0=170/3/30$ and artificial statistics

2.3.1 优势

(1) 高效性: PCAS 统计的细颗粒数量相比人工统计的多,但颗粒数量变化趋势基本一致,各区数量变化情况基本对应;0~2 m 粒径块数在 A2、A4、A7 附近出现极值,2~4 m 粒径数量在 A4、A7 附近出现极值。表明 PCAS 可以有效识别肉眼难以计数的细小颗粒,可以极大提高对小粒径颗粒(小于 4 m)的识别效率,相比人工细小颗粒统计更高效。

(2) 准确性: 当颗粒粒径大于 4 m 时,人工统计与 PCAS 统计结果基本吻合(A8 区异常)。人工对大颗粒的识别相比小颗粒准确性较高,这也证实了 PCAS

对堆积体识别的准确性,人工可以识别的,PCAS 也能自动准确识别。

(3) 规律性: 从各区颗粒数量变化趋势可以看出,PCAS 统计颗粒数量变化呈相当好的规律,曲线圆润平滑,“波峰波谷”的数量极值与贵州纳雍等碎屑流崩塌实际情况对应较好^[17-18],且符合碎屑流堆积体的一般规律^[19]。而人工统计由于肉眼的局限性,在颗粒数量、颗粒大小上总会存在判断失误,与实际情况会有一些的差异。

(4) 可操作性: PCAS 颗粒识别系统操作简单,只需设定阈值(T)、孔喉封闭半径(r)、最小孔隙面积

(S_0)三个参数,即可得到堆积体颗粒分布情况,可节省大量人力物力。

2.3.2 劣势

PCAS 劣势主要体现在三个参数自身的特性上,分析如下:

(1)A2、A8 区颗粒数量出现奇点;图 10(a)、(b)中,A2 区人工统计粒径小于 4 m 颗粒数量比 PCAS 计数高,主要是因为当颗粒小于 PCAS 设置的最小孔隙面积时,就被自动删除,导致 A2 区粒径小于 4 m 的颗粒数量较低;图 10(c)、(d)中,A8 区人工统计粒径 4 m 以上颗粒数量较高,主要是因为 PCAS 设置的孔喉封闭半径过大,许多形状不规则的大颗粒被错误分割成多个小颗粒,导致大颗粒数量变少,并且这些误分割成的小颗粒一部分大于最小孔隙面积,被识别成单个颗粒,导致 A8 区 2~4 m 粒径颗粒数量较人工统计的多。

(2)PCAS 图像二值化,是根据图像中孔隙与颗粒的灰度值不同加以区分的,主要取决于所得堆积体图像。如果堆积体图像的分辨率、对比度、饱和度以及拍摄角度等不同时,选取的阈值可能会有差异,图像二值化结果也可能不同。

2.3.3 可行性

(1)综合图 8~10,当 PCAS 颗粒识别系统中采用不同的参数取值时,对分析崩塌碎屑流颗粒分布情况会有一些影响。当所得图像与本文纳雍崩塌图像相似,阈值 170、孔喉封闭半径 3、最小孔隙面积 30 为最优参数选择,各区不同粒径数量与人工统计所得结果基本对应,粒径累计曲线与各区域不同粒径等级所占比例最接近实际情况;反之,可根据本文所介绍的 PCAS 识别方法、步骤以及参数选取的判定依据,依据具体情况以“170、3、30”为基准进行合理的参数调整。

(2)PCAS 颗粒识别系统已在贵州纳雍崩塌^[10]和金沙江白格滑坡^[11]中得到应用,并且效果显著。得到滑坡堆积体图像后,只需设定三个参数,即可对堆积体进行颗粒识别分析,操作简单,并且 PCAS 具有手动编辑的功能,可以通过界面的“Edit binary image”功能,根据实际情况进行颗粒的调整。在新技术不断发展的今天,PCAS 不失为崩塌碎屑流粒径研究的一个高效、可行的途径,具有应用价值。

3 结论

(1)PCAS 能自动准确地识别碎屑流堆积物颗粒与孔隙,具有高效、准确、可操作性强等特点,可用于堆积物颗粒数字图像的识别、量化、分析;确定三个关键参数:阈值(T)、孔喉封闭半径(r)、最小孔隙面

积(S_0)的合适取值后,即可得出粒径分布情况,节省大量人力物力。

(2)针对颗粒粒径较大、二值化后孔隙与颗粒区分不明显、噪点较多的图像,采用较大的 r/S_0 值更能反应颗粒分布宏观情况;反之,宜适当减小 r/S_0 进行分析。当所得图像与本文纳雍崩塌图像相似,阈值 170、孔喉封闭半径 3、最小孔隙面积 30 为最优的参数选择,可得到有效的碎屑流颗粒分布情况;反之,可以“170、3、30”为基准进行合理的参数调整。

(3)PCAS 具有较高的可行性,所得贵州纳雍崩塌堆积物粒径识别和统计结果与实测值接近,粒径占比、分布规律基本吻合,即堆积体小粒径占比较多,0~2 m 颗粒粒径各区占比都在 50% 以上,且运动距离越远小粒径比例越大,各区“波峰波谷”变化趋势基本对应。

参考文献 (References) :

- [1] FRANCIS, AMP P W, BAKER M C W. Mobility of pyroclastic flows[J]. Nature, 1977, 270:164 - 165.
- [2] 彭双麒,许强,郑光,等. 碎屑流堆积物粒度分布与运动特性的关系——以贵州纳雍普洒村崩塌为例[J]. 水文地质工程地质, 2018, 45(4): 129 - 136. [PENG Shuangqi, XU Qiang, ZHENG Guang, et al. Relationship between particle size distribution and movement characteristics of rock avalanche deposits: A case study of the Pusa village rock avalanche in Nayong of Guizhou[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2018, 45(4): 129 - 136. (in Chinese with English abstract)]
- [3] TOMIOKA S, KOZAKI T, TAKAMATSU H, et al. Analysis of microstructural images of dry and water-saturated compacted bentonite samples observed with X-ray micro CT[J]. Applied Clay Science, 2010, 47(1/2): 65 - 71.
- [4] 李建胜,王东,康天合. 基于显微CT试验的岩石孔隙结构算法研究[J]. 岩土工程学报, 2010, 32(11): 1703 - 1708. [LI Jiansheng, WANG Dong, KANG Tianhe. Algorithmic study on rock pore structure based on micro-CT experiment[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2010, 32(11): 1703 - 1708. (in Chinese with English abstract)]
- [5] 吴义祥. 工程粘性土微观结构的定量评价[J]. 地球学报, 1991,12(2): 143 - 151. [WU Yixiang. Quantitative approach on micro-structure of engineering clay[J]. Acta Geoscientica Sinica, 1991,12(2): 143 - 151. (in Chinese)]
- [6] 施斌,李生林,TOLKACHEV M. 黏性土微观结构 SEM图象的定量研究[J]. 中国科学:技术科学, 1995,

- 25(6): 666 – 672. [SHI Bin, LI Shenglin, TOLKACHEV M. Quantitative research on SEM image of the microstructure of cohesive soil[J]. Science in China (Series A), 1995, 25(6): 666 – 672. (in Chinese)]
- [7] 涂新斌,王思敬,岳中琦. 香港风化花岗岩细观结构研究方法[J]. *工程地质学报*, 2003, 11(4): 428 – 434. [TU Xinbin, WANG Sijing, YUE Zhongqi. Methods for study of microstructure of weathered granite, Hong Kong[J]. *Journal of Engineering Geology*, 2003, 11(4): 428 – 434. (in Chinese with English abstract)]
- [8] 梁双华,孙如华,李文平. 基于Mapinfo 和Photoshop 的粘性土扫描图像处理[J]. *河南科技大学学报(自然科学版)*, 2005, 26(1): 55 – 58. [LIANG Shuanghua, SUN Ruhua, LI Wenping. Using Mapinfo and Photoshop to study SEM images of clay[J]. *Journal of Henan University of Science & Technology (Natural Science)*, 2005, 26(1): 55 – 58. (in Chinese with English abstract)]
- [9] BAI B J, ELGMATI M, ZHANG H, et al. Rock characterization of Fayetteville shale gas plays[J]. *Fuel*, 2013, 105: 645 – 652.
- [10] 彭双麒,许强,李骅锦,等. 基于高精度图像识别的堆积体粒径分析[J]. *工程地质学报*, 2019, 27(6): 1290 – 1301. [PENG Shuangqi, XU Qiang, LI Huajin, et al. Grain size distribution analysis of landslide deposits with reliable image identification[J]. *Journal of Engineering Geology*, 2019, 27(6): 1290 – 1301. (in Chinese with English abstract)]
- [11] 彭双麒,许强,郑光,等. 白格滑坡-碎屑流堆积体颗粒识别与分析[J]. *水利水电技术*, 2020, 51(2): 144 – 154. [PENG Shuangqi, XU Qiang, ZHENG Guang, et al. Recognition and analysis of deposit body grain of Baige Landslide-Debris Flow[J]. *Water Resources and Hydropower Engineering*, 2020, 51(2): 144 – 154. (in Chinese with English abstract)]
- [12] 刘春,许强,施斌,等. 岩石颗粒与孔隙系统数字图像识别方法及应用[J]. *岩土工程学报*, 2018, 40(5): 925 – 931. [LIU Chun, XU Qiang, SHI Bin, et al. Digital image recognition method of rock particle and pore system and its application[J]. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 2018, 40(5): 925 – 931. (in Chinese with English abstract)]
- [13] PRAKONGKEP N, SUDDHIPRAKARN A, KHEORUENROMNE I, et al. SEM image analysis for characterization of sand grains in Thai paddy soils[J]. *Geoderma*, 2010, 156(1/2): 20 – 31.
- [14] BENAVENTE N, PINA P. Morphological segmentation and classification of marble textures at macroscopical scale[J]. *Computers and Geosciences*, 2009, 35(6): 1194 – 1204.
- [15] GONZALEZ, WOODS R C, RICHARD E. Digital image processing[M]. 2nd ed. New Jersey: Upper Saddle River, 2002.
- [16] YU W W, HE F, XI P. A rapid 3D seed-filling algorithm based on scan slice[J]. *Computers and Graphics*, 2010, 34(4): 449 – 459.
- [17] 王国章,李滨,冯振,等. 重庆武隆鸡冠岭岩质崩滑-碎屑流过程模拟[J]. *水文地质工程地质*, 2014, 41(5): 101 – 106. [WANG Guozhang, LI Bin, FENG Zhen, et al. Simulation of the process of the Jiguanling rock avalanche in Wulong of Chongqing[J]. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 2014, 41(5): 101 – 106. (in Chinese with English abstract)]
- [18] 袁小一,许强,程谦恭,等. 高速远程滑坡-碎屑流超前冲击气浪分析[J]. *水文地质工程地质*, 2016, 43(6): 113 – 119. [YUAN Xiaoyi, XU Qiang, CHENG Qiangong, et al. An analysis of air-blasts induced by rock avalanche[J]. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 2016, 43(6): 113 – 119. (in Chinese with English abstract)]
- [19] 郑光. 滑坡-碎屑流远程运动距离研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2018. [ZHENG Guang. Study on the long-run out distance of rock avalanche[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2018. (in Chinese with English abstract)]

编辑:汪美华