

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2019.02.04

单体危岩崩塌灾害危险性评价 ——以贵州威宁县新发乡樊家岩为例

武中鹏¹, 刘宏¹, 董秀群², 邓凯伦¹

(1. 贵州大学自然资源部喀斯特环境与地质灾害重点实验室, 贵州 贵阳 550025;
2. 天津水保工程咨询有限公司, 天津 300022)

摘要: 在分析国内对单体危岩崩塌研究基础上, 以新发乡拖海小流域樊家岩崩塌体为研究对象, 提出了适用于该地区单体崩塌的危险性评价方法。首先根据蒙特卡洛法在 Matlab 中编程, 计算不同工况下危岩的失稳概率, 在原来的基础上增加了新的影响因素, 包括裂隙倾角、裂隙占比、充水占比, 以保证得到失稳概率更加可靠。同时考虑到地面建筑物、植被覆盖度、地形起伏度等对落石的阻挡作用, 利用专业软件进行了落石轨迹模拟, 圈画出落石的影响范围, 以提出针对性的防治措施。经分析, 危险性评价的结果可以为城镇规划提供科学性依据, 有效规避风险的同时, 从根源上做到防灾减灾。

关键词: 单体危岩; 失稳概率; 危险范围; 防治措施

中图分类号: P642.21

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2019)02-0030-05

Hazard assessment of rockfall disaster of a dangerous rock: A case study at Fanjiayan, Xinfu Township, Weining County of Guizhou Province

WU Zhongpeng¹, LIU Hong¹, DONG Xiuqun², DENG Kailun¹

(1. Guizhou University Key Laboratory of Environmental and Geological Disasters, Ministry of Nature Resources, Guiyang, Guizhou 550025, China; 2. Tianjin Water Conservation Engineering Consulting Co. Ltd., Tianjin 300022, China)

Abstract: According to the domestic research method and theory of monomer collapse of dangerous rock mass, this paper take Fanjiayan collapse masses in Tuohai small watershed of Xinfu township as an example, and raised a risk assessment method for individual collapse. First of all, the instability probability of the dangerous rock body under different working conditions is calculated according to the programming of the montacarro method in Matlab, and new influencing factors were added on the original basis, including the inclination angle of the crack, the proportion of the crack and the proportion of water filling, so as to ensure the probability of instability is more reliable. At the same time, considering the blocking effects of ground buildings, vegetation coverage and topographic fluctuation on rockfall, this paper used professional software to conduct rockfall trajectory simulation, and draw the influence range of rockfall in circles. The results of risk assessment can provide scientific basis for urban planning, avoid risks effectively and reduce disasters from the source.

Keywords: dangerous rock; probability of loss of stability; danger zone; prevention and control measures

0 引言

据前人的研究可知, 引起崩塌的因素有很多, 且它

们之间相互作用、相互影响。其中, 当临空面和贯通的节理裂隙存在时, 重力是引起崩塌的首要因素。崩塌危岩体作为不规则的块体, 在运动过程中极易裹挟岩

收稿日期: 2018-08-03; 修订日期: 2018-09-14

第一作者: 武中鹏(1990-), 男, 山东临清人, 在读硕士研究生, 主要从事地质灾害研究。E-mail: 997324986@qq.com

通讯作者: 刘宏(1976-), 男, 哈尼族, 贵州贵阳人, 博士, 教授, 主要从事岩土体稳定、地质灾害与防治研究。E-mail: liusohu1234@sohu.com

屑,且移动距离会超过其原始岩坡高度。随着城镇化进度的不断加快,地质灾害发生的频率也越来越高,崩塌地质灾害具有突发性,崩落速度快,极易在短时间内造成巨大的损失,因此,研究单体危岩体崩塌灾害的危险性评价具有重要的意义。

目前,对于崩塌的研究还主要局限于崩塌的形成及失稳破坏机理,而对小尺度的单体崩塌危岩体的危险性评价研究较少。在早期,胡厚田^[1]曾对各种崩塌落石的运动速度、运动距离和落石轨迹进行了研究;唐红梅等^[2]就崩塌的启动机制、碰撞过程中的能量损耗及滚动过程做了深入的研究,总结出了运动轨迹方程;张路青等^[3]研究了落石对流动人员和车辆的风险评价;郑光等^[4]研究了采矿区对崩塌危岩体失稳破坏的影响;党亚倩^[5]采用蒙特卡洛法分析风头山崩塌隐患体的稳定性状态;叶万军等^[6]根据黄土崩塌常见的运动形式,提出崩塌体自由飞落及滚动情况下影响范围的理论公式。在前人对崩塌灾害危险性评价研究的基础上,本文以新发乡托海小流域樊家岩崩塌体为例,采用失稳概率和落石轨迹模拟,圈画出落石影响范围,初步建立单体危岩体危险性评价方法。

1 樊家岩崩塌基本特征

崩塌前,樊家岩危岩体上部主要为中风化灰岩,风化裂隙较为发育,节理间距 0.15 ~ 1 m,结构面结合程度差。危岩体坡向 221°,坡角 74°,岩层产状 21°∠10°,节理主要有两组,分别为 J₁:185°∠81°、J₂:288°∠86°。受差异性风化作用的影响,在危岩体下部有凹岩腔发育,发育深度为 2 ~ 3 m,沿节理面有黏性土、岩

屑、岩块局部充填。岩体在重力及裂隙水或地震作用下局部失稳,使岩体发生坠落。下部岩体(高程 1 530 ~ 1 820 m)为粉砂岩,坡度在 40° ~ 50°。岩体整体较坚硬,岩体较破碎,属Ⅳ类岩体。坡脚崩塌堆积体以灰岩为主,沿着危岩体下部斜坡呈扇形堆积,平均坡度为 30°,结构松散。区内堆积体块体普遍较小,一般在 0.6 m 以内。此外,有少量直径为 1.2 ~ 2.4 m 的块石在该区中下部散落。根据危岩体坡面、岩层、节理 J₁和节理 J₂的倾向、倾角(表 1)绘制赤平投影(图 1),可判断危岩体目前处于稳定状态。危岩体剖面如图 2 所示。

表 1 赤平投影参数

Table 1 Parameters of stereographic projection

编号	结构面名称	倾向/(°)	倾角/(°)
P	坡面	221	74
C	层面	21	10
J ₁	节理 1	185	81
J ₂	节理 2	288	86

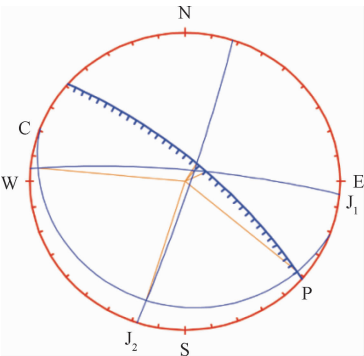


图 1 赤平投影分析图

Fig. 1 The analysis diagram of stereographic projection

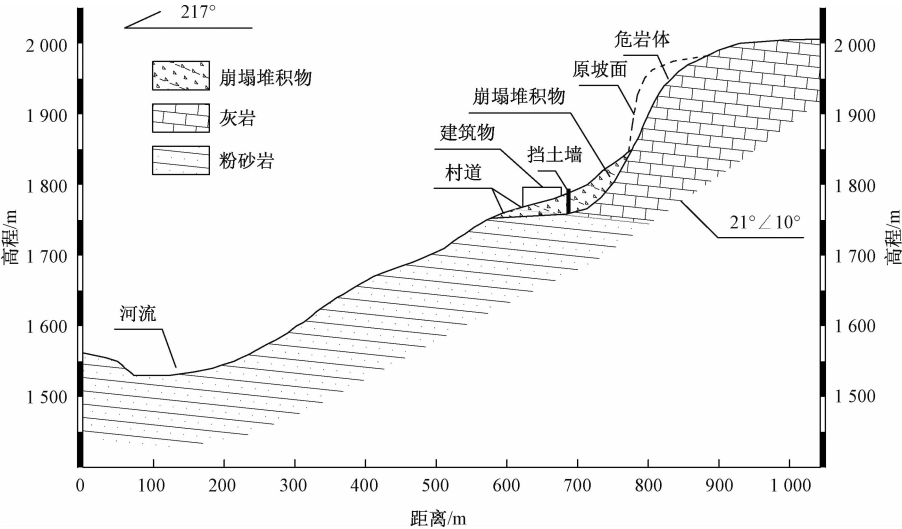


图 2 樊家岩危岩体剖面

Fig. 2 The dangerous rock body profile of Fanjiayan

2 危岩体失稳概率计算

根据所查资料得知,用蒙特卡洛法计算危岩体的失稳概率比较精确。蒙特卡洛法又称随机抽样法、统计试验法等,其原理是通过随机抽样和大量的数据统计得到失稳概率。本研究根据蒙特卡洛法原理编写了失稳概率分析程序,危岩体的稳定性计算采用重庆市地方标准《地质灾害防治工程勘察规范》(DB 50/143—2003)中的推荐公式(式(1))。不仅将密度、黏聚力和内摩擦角等几个常规的参数考虑在内,还增加了裂隙倾角、裂隙占比、充水占比等因素,以提高结果的准确性。在程序中输入各种参数的均值和方差,就可以得到危岩体的失稳概率值。在具体计算时,每次抽样计算得到稳定性系数 F ,对稳定性系数进行判别,抽样总次数为1 500次,每次抽样结束时统计 F 小于1的次数,其值与总次数的比值可以近似为失稳概率。

坠落式后缘有陡倾裂隙的悬挑式危岩体稳定性计算公式:

$$F = \frac{\zeta \cdot f_{lk} \cdot (H - h)^2}{W \cdot a_0 + Q \cdot b_0} \quad (1)$$

表2 危岩体岩石力学参数

Table 2 The rock mechanics parameters of dangerous rock mass

岩石名称	重度 $\gamma / (\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$		抗拉强度 σ / MPa		黏聚力 C_0 / MPa		内摩擦角 $\varphi_0 / (^\circ)$		弹性模量 E / GPa	泊松比
	天然	饱和	天然	饱和	天然	饱和	天然	饱和		
灰岩	26.5	27.0	4.4	2.9	2	1.5	45	38	15	0.23
粉砂岩	25.2	26.0	1.08	0.76	1.1	0.8	34	28	2.3	0.27
结构面	灰岩				0.06		35			
	粉砂岩				0.03		18			

表3 危岩体的失稳概率

Table 3 The instability probability of dangerous rock mass

工况	I	II	III	IV
失稳概率	0.009	0.044	0.019	0.124

3 危险范围确定

不同形状的崩塌落石在运动过程中具有共性,均以滚动和弹跳两种形态为主^[7]。运动轨迹受到地形起伏、植被覆盖度、地层岩性等因素的影响。落石运动轨迹的模拟在Rockfall原理上进行改进,将地形起伏、地层岩性、植被覆盖度和法向、切向恢复系数(恢复系数取值如表4所示)作为评价因子,模拟出落石轨迹(图5)。将研究区地形等高线作为模拟落石轨迹的基础,即避免了人为选取剖面产生的误差,又可以对整个研究区危岩体进行落石轨迹模拟。根据落石轨迹模拟结果、地形等高线和居民房屋分布特征,将落石经过的

式中: ζ ——危岩抗弯力矩计算系数,依据潜在破坏面形态取值,一般可取 $1/12 \sim 1/6$,当潜在破坏面矩形时取 $1/6$;

f_{lk} ——危岩体抗拉强度标准值/kPa,根据岩石抗拉强度标准值乘以0.2的折减系数确定;

a_0 ——危岩体重心到潜在破坏面水平距离/m;

b_0 ——危岩体重心到过潜在破坏面形心的铅锤距离/m;

c ——危岩体黏聚力标准值/kPa;

φ ——危岩体内摩擦角标准值/ $(^\circ)$ 。

根据大量的工程实例和结合规范,本文主要考虑了4种不同的工况:天然工况、天然+暴雨(强度重现期按20a考虑)、天然+地震、天然+暴雨+地震(分级用工况1、工况2、工况3、工况4表示)。由于 C 和 φ 值(危岩体的岩石力学参数取值如表2所示)受野外采样、室内试验等影响较大,所以作为随机变量,得出不同工况下的危岩体失稳概率(表3),同时得到影响因子的正态分布图(图3、图4)。

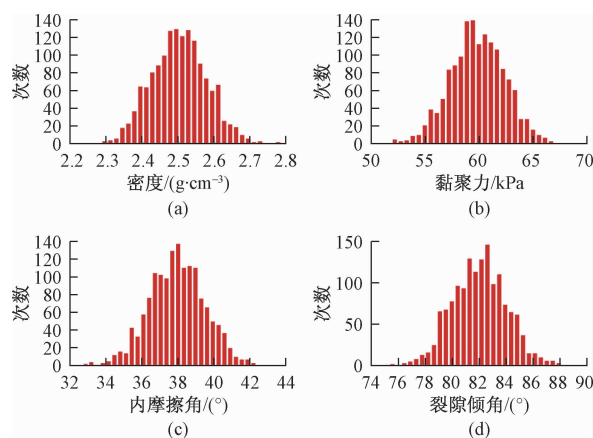


图3 自重和地震工况下参数正态分布

Fig. 3 Normal distribution of parameters under gravity and seismic conditions

区域划分为高危险区,临近落石轨迹的范围划分为中危险区(图6)。

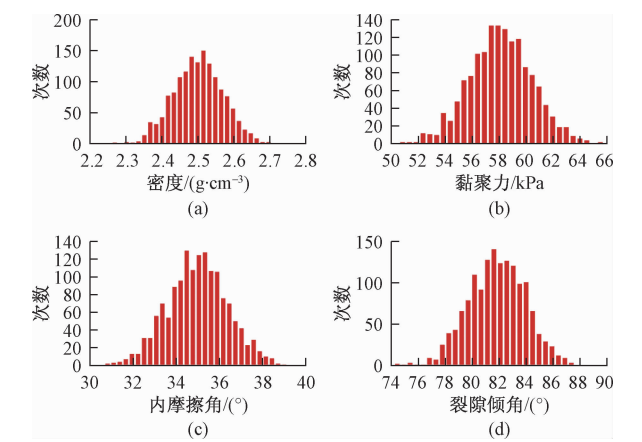


图 4 暴雨工况下参数正态分布

Fig. 4 Normal distribution of parameters under rainstorm conditions

表 4 法向恢复系数和切向恢复系数取值

Table 4 Values of normal recovery coefficient and tangential recovery coefficient

坡面特征	法向恢复系数	切向恢复系数
密实碎石,硬土坡面,植被发育灌木为主	0.26	0.83
密实碎石,无植被或少量杂草	0.30	0.90
松散碎石,软土坡面,植被发育	0.17	0.75
软土坡面,无植被或少量杂草	0.22	0.70

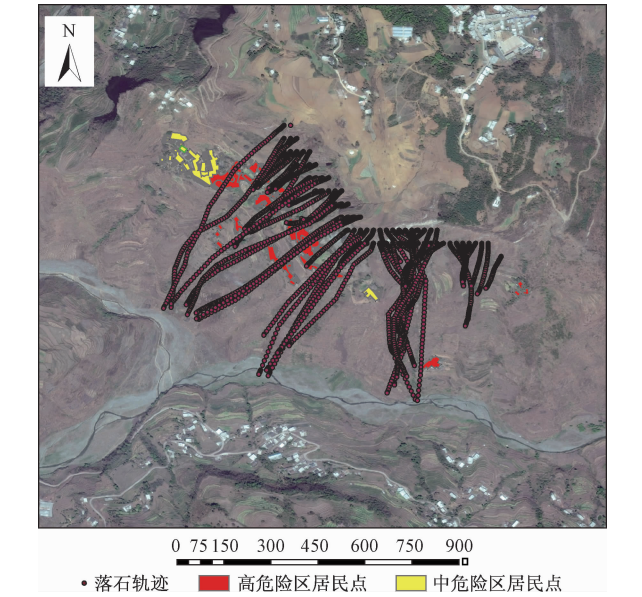


图 5 樊家岩落石轨迹模拟图

Fig. 5 The simulation diagram of Fanjiayan rockfall trajectory

4 防治措施建设

崩塌落石的防治主要包括工程措施、生物措施、规避、监测预警和加强公众教育等。由于樊家岩崩塌危

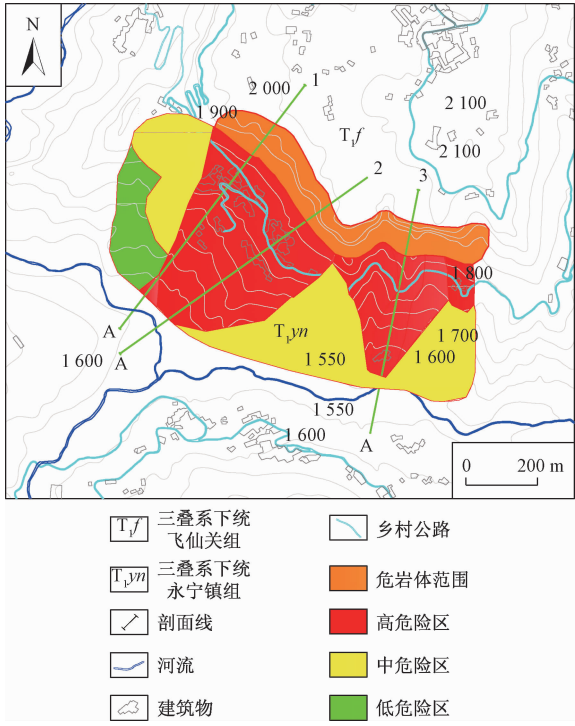


图 6 樊家岩崩塌落石影响范围划分

Fig. 6 The influence scope division of collapse and rockfall in Fanjiayan

岩体范围大,处于落石影响区的居民较多,故提出了有针对性的防治措施(图 7),例如 InSAR 监测、裂隙变形监测、雨量监测、规划避难路线等。

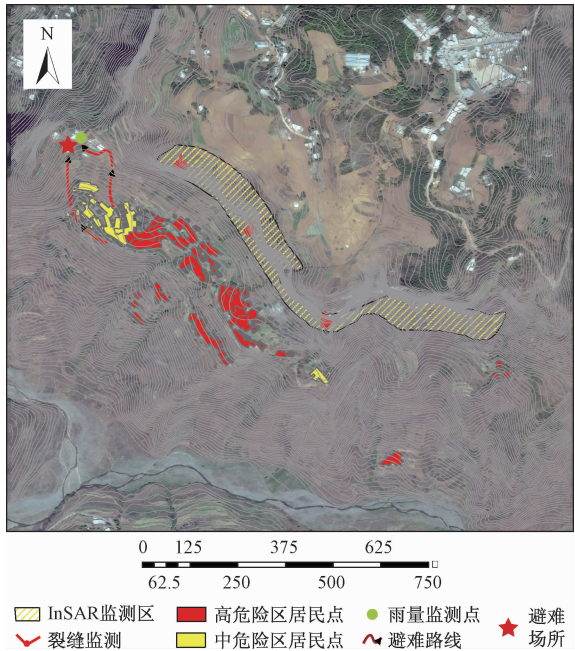


图 7 樊家岩崩塌防治措施布设图

Fig. 7 Layout of prevention and control measures for fanjiayan collapse

5 结论

(1)采用蒙特卡洛法对危岩体的失稳概率进行分析,主要考虑了4种工况,结果表明,危岩体在暴雨和地震的工况下最易失稳破坏,其失稳概率为0.124。

(2)对于崩塌落石路径的模拟,本文在Rockfall软件基础上进行了改进,根据模拟出来的落石轨迹确定了落石的影响范围并对影响区进行危险度的划分,分为高危险区、中危险区和低危险区。

(3)根据崩塌危岩体的特征、不同程度的危险区和地形,对崩塌危岩体的防治提出了InSAR监测、裂缝变形监测、设置雨量监测站、放置警示牌和逃避路线指示牌等针对性的措施。

参考文献:

- [1] 胡厚田. 崩塌与落石[M]. 北京:中国铁道出版社, 1989.
HU Houtian. Collapse and rockfall[M]. Beijing: China Railway Press, 1989.
- [2] 唐红梅, 易朋莹. 危岩落石运动路径研究[J]. 土木建筑与环境工程, 2003, 25(1):17-23.
TANG Hongmei, Yi Pengying. Research on dangerous rock movement route[J]. Journal of Civil, Architechural& Environmental Engineering, 2003, 25(1):17-23.
- [3] 张路青, 杨志法, 张英俊. 公路沿线遭遇滚石的风险分析——方法研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 23(A02):5543-5548.

- ZHANG Luqing, YANG Zhifa, ZHANG Yingjun. Risk analysis of encountering rockfalls on highway and method study[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 23(A02):5543-5548.
- [4] 郑光, 许强, 巨袁臻, 等. 2017年8月28日贵州纳雍县张家湾镇普洒村崩塌特征与成因机理研究[J]. 工程地质学报, 2018, 26(1):223-240.
ZHENG Guang, XU Qiang, JU Yuanzhen, et al. The Pusacun rockavalanche on August 28, 2017 in Zhangjiawan Nayongxian, GuiZhou: characteristics and failure mechanism[J]. Journal of Engineering Geology, 2018, 26(1):223-240.
- [5] 党亚倩. 凤头山崩塌隐患体及治理工程风险评价[D]. 西安:长安大学, 2015.
DANG Yaqian. Risk assessment of Fengtoushan collapse and its management project[D]. Xi'an: Chang'an University, 2015.
- [6] 叶万军, 王鹏, 杨更社, 等. 黄土崩塌的形成因素及其影响范围的确定方法[J]. 工程地质学报, 2013, 21(6):920-925.
YE Wanjun, WANG Peng, YANG Gengshe, et al. Formative factors of loess collapse and method for determining its influence range[J]. Journal of Engineering Geology, 2013, 21(6):920-925.
- [7] 王沛涛. 敦煌莫高窟落石运动特征研究[D]. 兰州:兰州大学, 2017.
WANG Peitao. Study on movement characteristics of rockfall at Mogao Grottoes in Dunhuang[D]. Lanzhou:Lanzhou University, 2017.

敬告作者和读者

为适应我国科技信息化建设的需要,扩大作者、读者学术交流渠道,本刊已加入《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊网》及《中文科技期刊数据库》。今后,本刊将作者著作权使用费与本刊稿酬一次性付给。如果作者不同意将文章编入上述数据库,请在投稿时声明,本刊将作适当处理。谢谢!

《中国地质灾害与防治学报》编辑部