

基于RocFall对某崩塌落石运动轨迹应用分析

刘帆¹, 徐锦宏², 俎全磊¹, 李怡然¹

¹湖北省地质环境总站, 湖北 武汉

²湖北省地质灾害防治中心, 湖北 武汉

Email: 328376313@qq.com

收稿日期: 2021年8月13日; 录用日期: 2021年9月10日; 发布日期: 2021年9月17日

摘要

以神农架林区某地崩塌为典型代表分析, 采用Rocfall软件进行落石运动分析, 分析危岩体的运动轨迹, 根据地层岩性出露情况, 概化后建立计算模型。计算中从地形和地质条件来分析落石的运动轨迹, 计算出落石在各点的运动速度, 以确定落石的影响范围。预测危害性以及灾后经济损失, 为地质灾害的防灾减灾提供预测依据。

关键词

崩塌, RocFall, 地质灾害

RocFall Based on a Rock Collapse Motion Analysis

Fan Liu¹, Jinhong Xu², Quanlei Zu¹, Yiran Li¹

¹Hubei Provincial Geological Environment Station, Wuhan Hubei

²Hubei Geological Hazard Prevention Center, Wuhan Hubei

Email: 328376313@qq.com

Received: Aug. 13th, 2021; accepted: Sep. 10th, 2021; published: Sep. 17th, 2021

Abstract

Taking a certain collapse in Shennongjia forest area as a typical representative, RocFall software was used to analyze the movement of rock fall, analyze the movement trajectory of dangerous rock mass, and establish a calculation model after generalization according to the occurrence of strata and lithology, from the terrain and geological conditions to analyze the movement trajectory.

文章引用: 刘帆, 徐锦宏, 俎全磊, 李怡然. 基于 RocFall 对某崩塌落石运动轨迹应用分析[J]. 自然科学, 2021, 9(5): 774-781. DOI: 10.12677/ojns.2021.95084

ry of falling rock, calculate the movement speed of each falling rock, define the impact range of falling rock. And then, the hazard and economic losses can be predicted and the basis for disaster prevention and reduction can be provided.

Keywords

Collapse, RocFall, Geological Hazard

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 综述

随着国内交通路网快速发展, 目前越来越多的公路修建在陡坡坡脚, 造成沿线崩塌地质灾害发育, 通过对崩塌体特征、形态、降雨、风化作用、人类工程活动等一系列内外因素进行分析[1] [2], 再结合现场地形地貌, 地层岩性等特点, 分析崩塌形成机制[3], 对部分危岩体运动轨迹研判, 并对稳定性进行评价[4], 运用 RocFall 软件模拟滚石崩落轨迹, 综合预测了滚石冲击能量[5], 运用数值模拟与实际情况类比, 综合分析崩塌落石的运动轨迹, 弹跳高度, 运动能量等特征[6]。

2. 地质环境条件

崩塌所处地段属于构造侵蚀低山地貌单元, 山体顶部高程为 1017.6 m, 底部高程为 885.3 m, 相对高差为 132.3 m, 山体总体呈北东向展布, 崩塌位于低山西侧中下部, 其地势整体呈南西低北东高, 崩塌南西侧为陡坡地带, 坡度为 60°~80°, 局部地段坡度近直立, 其坡脚可见省道 S307, 其展布方向 310°~330°, 宽度约 10 m。

崩塌及周边出露地层从上至下分别为第四系全新统冲积层(Qh^{al})、奥陶系中统牯牛潭组(O₂g), 其中冲积层主要分布于坡脚处, 岩性为褐色、黄褐色粉质粘土夹砾石、局部地段可见砂卵、砾石层, 砾、碎石成分主要为页岩、砂岩、灰岩, 其粒径为 2~20 mm, 其厚度大于 25 m, 其结构松散; 道路内侧因切坡造成基岩裸露, 其岩性为奥陶系中统牯牛潭组(O₂g)灰色中厚层-厚层状生物碎屑灰岩, 微晶结构, 层状构造, 呈中~弱风化, 岩体质地坚硬, 其力学强度高, 抗风化能力强, 该处岩体裂隙发育, 岩体完整性较差, 岩溶不发育。岩层产状 20°∠30°。该崩塌所处地段未见明显地质构造, 其裂隙发育, 岩体受裂隙切割形成大小不等的楔形体, 致使岩体的完整性较差。

崩塌所处地下水类型分别为第四系松散岩类孔隙水及碳酸盐岩岩溶裂隙水。主要接受大气降水入渗补给及地表水侧向补给, 其水量受降水强度、地形条件、岩体风化层厚度及节理裂隙发育程度等因素制约, 具有补给快、径流途径短、在低洼处排泄的特点, 雨后, 坡体局部地段可见渗水点。

3. 基本特征

该崩塌为拉裂式崩塌, 位于斜坡中下部, 其分布高程为 885~953 m, 高约 68 m, 宽度约 130 m, 面积约 8840 m², 其平均厚度约 1.5 m, 其体积约 13,260 m³, 其规模为中型, 主崩方向为 205°, 其平面形态呈弧线形, 剖面形态总体呈折线型, 坡度 60°~80°, 局部地段近直立, 其运移斜坡形态总体呈折线型, 危岩体由北东至南西运动堆积于坡脚处, 其水平位移为 20~50 m, 最大垂直位移约 68 m。其斜坡顶部植被

发育, 其植被覆盖率约 90%, 主要以乔木为主, 灌木为辅, 切坡处局部地段可见零星灌木分布。

目前虽然崩源区内部分危岩体已经崩落, 但是部分仍未脱离母岩, 危岩体主要分布高程为 885~957 m, 岩性为奥陶系中统牯牛潭组灰色中厚层 - 厚层状生物碎屑灰岩, 其岩体呈中 - 弱风化, 岩体结构较破碎, 裂隙发育, 部分裂隙张开 1~15 cm, 大部分无充填, 少部分为泥质半充填, 局部地段岩体因裂隙被切割形成危岩体, 主要危岩体可见 5 处, 其下部均悬空, 危岩体三面临空, 分述如下: W1 危岩体宽度约为 5 m, 长约 0.5 m, 高约 0.6 m, 体积为 1.5 m^3 , 呈鹰嘴状; W2 危岩体宽度约为 3 m, 长约 0.4 m, 高约 0.3 m, 体积为 0.36 m^3 ; W3 危岩体宽度约 6 m, 长度约 0.7 m, 高约 0.6 m, 体积为 2.52 m^3 。W4 危岩体宽度约 5 m, 长度约 7.5 m, 高约 1.5 m, 体积为 56.25 m^3 。W5 危岩体宽度约 4 m, 长度约 6 m, 高约 10 m, 体积为 240 m^3 (见图 1~3)。



Figure 1. Dangerous rock mass W1, photo

图 1. 危岩体 W1, 照片



Figure 2. Photos of dangerous rock mass W5

图 2. 危岩体 W5 照片

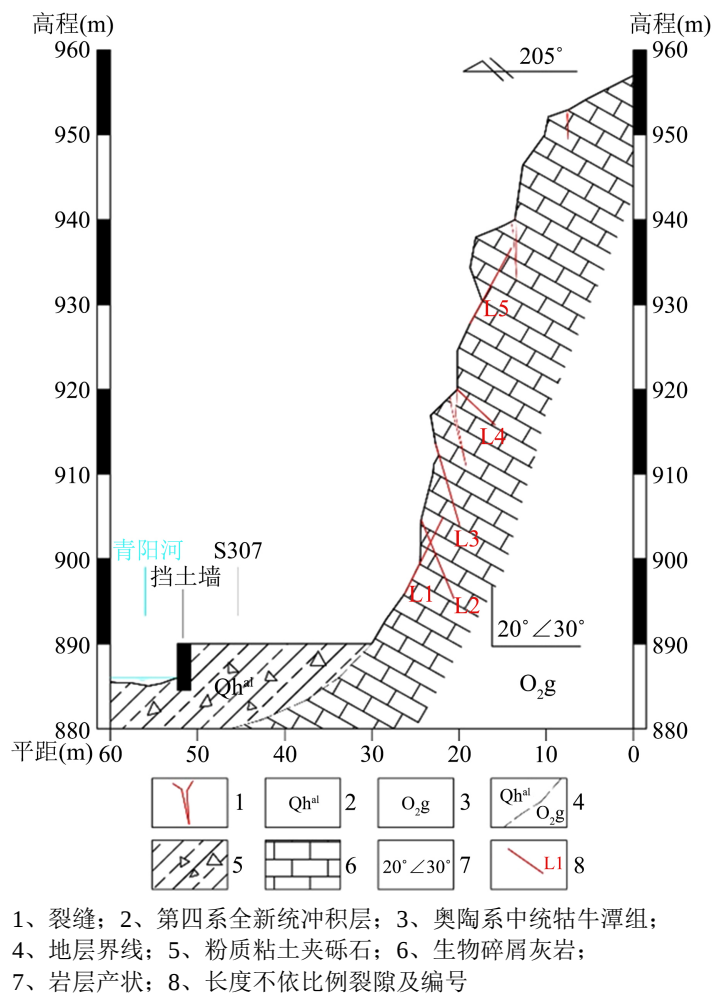


Figure 3. 1-1' section of collapse
图 3. 崩塌 1-1'剖面图

4. 形成机制分析

由于修路切坡形成前缘良好的临空条件，因风化、卸荷等作用导致上部坚硬岩体呈悬臂梁的形式突出，形成凹型岩腔，成为典型的危岩体，危岩体所处地段坡度较陡，其坡度为 $60^{\circ}\sim 80^{\circ}$ ，局部地段近直立，因下部失去支撑，其原有应力平衡被破坏，在自重、卸荷、根劈的作用下，后缘岩体内构造、风化等裂隙剪力、弯矩达到最大，危岩体后缘附近所承受拉应力最大，其裂隙逐渐呈扩大趋势，由裂隙发展成为裂缝，拉应力进一步集中在尚未产生裂隙的部位，一旦拉应力大于岩石的抗拉强度，拉裂缝就迅速向下扩展，在裂缝宽度、深度增加的同时，也为降雨入渗提供了有利条件，对危岩体产生动、静水压力，促进了裂隙加速扩展，外突岩体就会向临空面崩落，从而发生崩塌。

综上所述，地层岩性、岩体结构、地形地貌是崩塌主导内因，风化、卸荷、根劈作用是其演变发展的外因，降雨为崩塌主要的诱发因素，在各种因素的综合作用下，导致崩塌的产生及变形破坏。

5. RocFall 落石运动轨迹模拟

RocFall 是一款用来评价边坡落石风险的统计分析软件。可以分析出整个边坡落石的动能、速度和弹跳高度包络线，以及落石滚动终点的位置，并自动计算其统计学规律。

结合崩塌的特点,通过运用边坡落石风险统计分析软件 RocFall,模拟分析崩塌的潜在落石运行轨迹、落石的弹跳高度、最大水平运动速度与撞击能,为后期防治措施的合理布置提供理论依据。

5.1. 模型建立

本次选取崩塌典型剖面采用 RocFall 软件进行落石运动分析,分别代表危岩体的运动轨迹,根据地层岩性出露情况,将崩塌区总体分基岩及第四系土体区,故此落石分析时根据两种出露情况将斜坡材料划分为两个区域,概化后作为计算模型(见图 4)。计算中从地形和地质条件来分析落石的运动轨迹,计算出落石在各点的运动速度,以确定落石的影响范围。

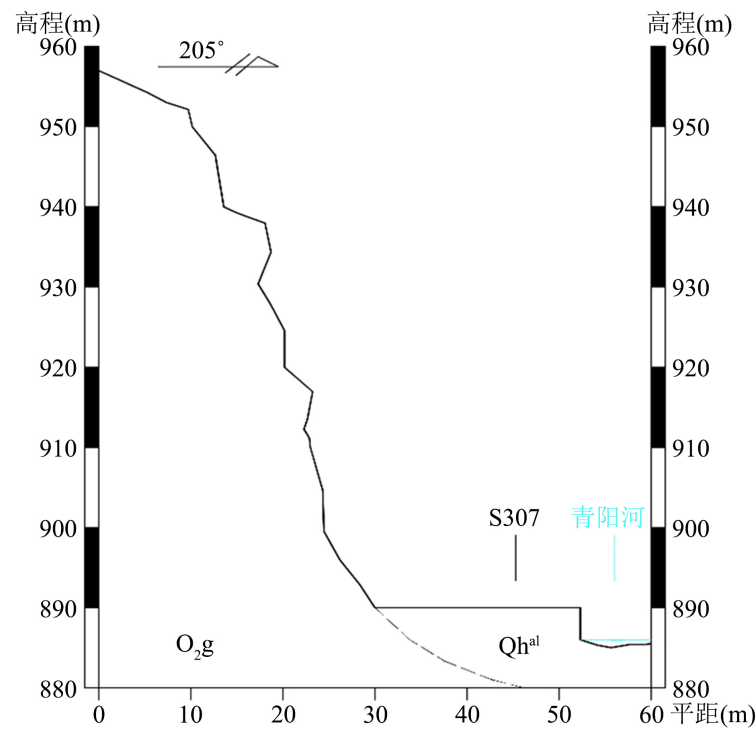


Figure 4. Schematic model of 1-1' section of collapse
图 4. 崩塌 1-1'剖面概化模型图

5.2. 参数选择

根据地层岩性的物理力学性质,对两区的材料参数综合取值(见表 1)。

Table 1. List of material parameters for rockfall trajectory analysis
表 1. 落石运动轨迹分析材料参数一览表

分区名称	法向弹性系数 R_n	切向弹性系数 R_t	坡面摩擦角($^{\circ}$)
基岩	0.42	0.92	30
第四系土体	0.33	0.82	30

模拟计算时,落石形状根据现场调查和偏于保守的角度考虑为近似圆形落石,同样处于偏于保守的考虑,模拟分析未考虑落石可能碰撞导致碎裂的情况。

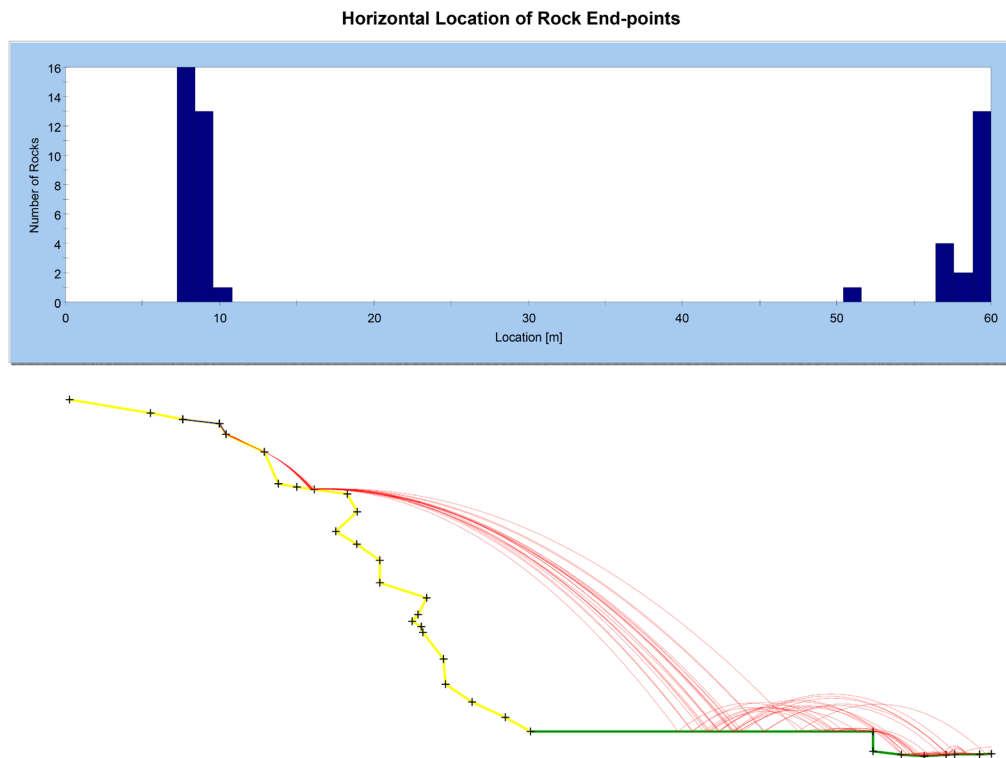


Figure 5. Rockfall trajectory of typical section

图 5. 典型剖面落石轨迹图

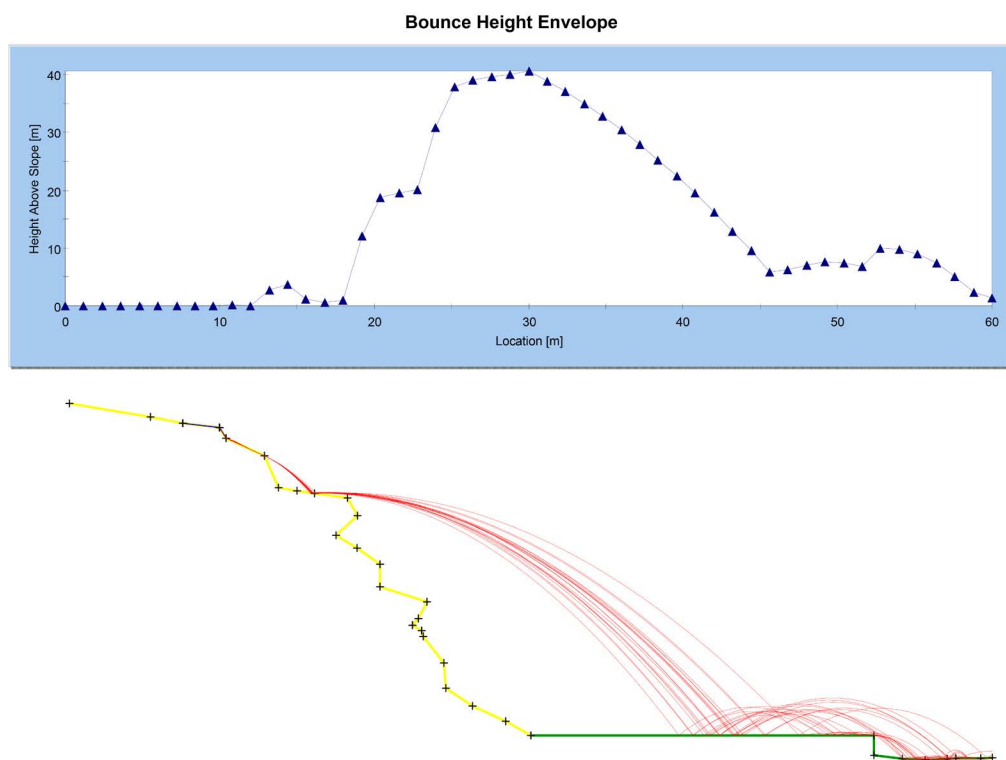


Figure 6. Height diagram of dangerous rock bounce in typical section

图 6. 典型剖面危岩弹跳高度图

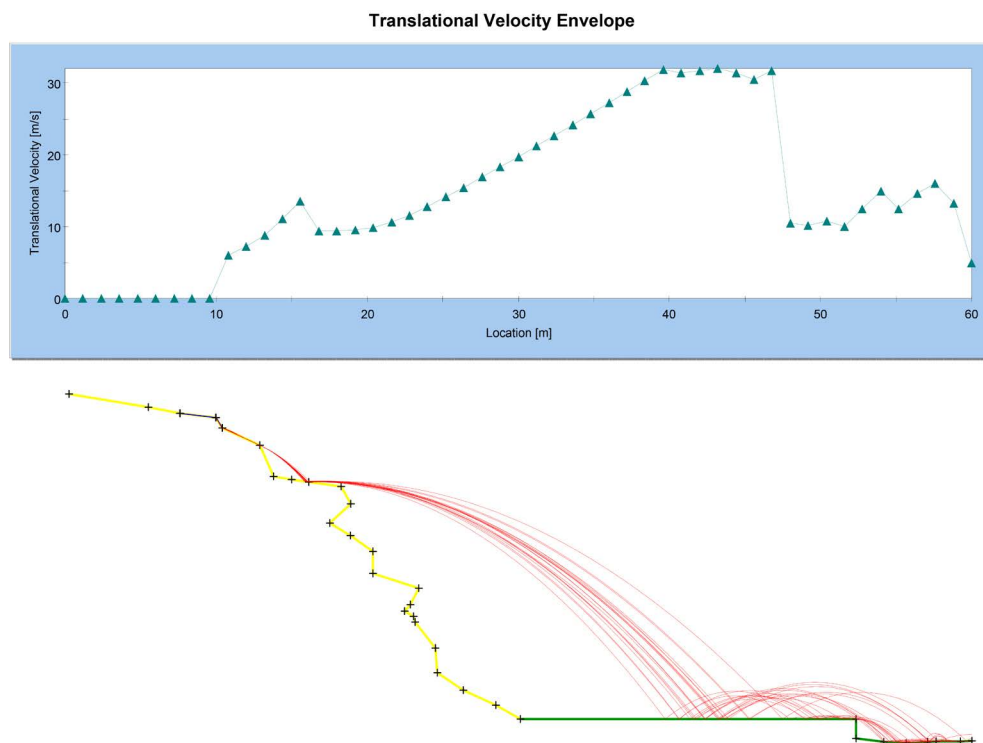


Figure 7. Envelope diagram of translational velocity of dangerous rock in typical section

图 7. 典型剖面危岩平动速度包络图

5.3. 计算结果分析

本次模拟计算时, 崩落块石质量取 100 kg, 共进行了 50 次模拟计算, 其运动轨迹总体为: 首先为落石的自由坠落, 在 10.8 m 处发生第一次碰撞跳跃, 于 15.6 m 处再次发生第二次碰撞, 进入下一级陡崖进行斜向下抛的空中飞行运动, 于 40.8 m 处(省道路面)发生第三次碰撞, 继而产生落石弹跳, 进行斜向的上抛空中运动, 落于 48 m (省道近外侧)再次发生第四次碰撞弹跳, 最后坠落于崩塌对面青阳河内。

根据计算结果显示, 落石到达距坡脚 10.8~15.4 m, 并于道路发生碰撞之后继续发生弹跳, 最后坠落于青阳河内, 其中可能最大弹跳高度为 38.96 m, 落石总动能为 52,704.7 J, 平动动能 51,562 J, 转动动能 1167.45 J, 平移速度 32.1129 m/s, 转动速度 33.9787 rad/s, 相关包络图见图 5~7。据落石运动轨迹图所示, 落石从坠落开始运动至崩塌对面河内, 严重威胁公路的正常运营和过往行人的生命财产安全, 所以一旦失稳, 危害性较大, 急需进行防护, 局部采用清理危岩, 封闭岩腔, 锚固等工程措施。现阶段未造成人员伤亡及其他经济损失, 威胁对象为过往行人及车辆安全, S307 省道 130 m, 威胁城镇住宅用地、林地、农村宅基地、公路用地。

6. 结论

通过 RocFall 软件可以对崩塌的运动轨迹、运动距离等进行有效模拟, 并得到崩落落石范围、距离崩塌体坡脚最远距离、落石集中区域距离坡脚距离、落石最大弹跳高度等, 达到预测崩塌发生时间、规模、危害范围、影响区域, 以较好、较快地为崩塌灾害防治提供理论依据。无论从防灾还是减灾的角度上考虑, 预测和分析危岩体运动特征对优化防治措施, 提高防治效果等均有实际指导意义。RocFall 软件在地质灾害中的运用, 联合地质勘查资料能方便快捷地体现岩体的崩落路径及运动模式, 理清地质灾害的时空分布规律与成灾机理, 从而形成崩塌灾害预测与模拟、评价与决策的综合防治方法, 进行运动学模拟

对于灾害防治具有重大意义。并以此为依据进行防治工程设计以保障人民生命财产安全，对地方政府防灾减灾提供一定理论依据。

参考文献

- [1] 宋波. 某边坡崩塌落石运动特征分析[J]. 工程建设与设计, 2017(5): 136-138.
- [2] 欧煜. 某岩质陡崖边坡崩塌地质灾害成因及治理设计分析[J]. 南华大学学报(自然科学版), 2021, 35(3): 90-96.
- [3] 曾玉梅, 杨星, 范安军, 周志林. 山区公路泥岩危岩崩塌分析评价及防护设计[J]. 中外公路, 2021, 41(3): 1-3.
- [4] 王伟才. 崩塌落石运动特征评判及量化分析[J]. 西部探矿工程, 2021, 33(8): 15-18.
- [5] 肖智勇. 高陡边坡崩塌危岩体运动轨迹及冲击能量分析[J]. 路基工程, 2021(2): 187-192.
- [6] 李阳春, 杨麒麟. 喀斯特山区崩塌落石运动特征分析——以贵州省六盘水市独山崩塌为例[J]. 西部探矿工程, 2015, 27(11): 101-103+107.