

Research on the Basic Characteristics and Stability Evaluation of Collapse Geological Disasters in a Karst Area of Lijiang Mountainous Region

Yuebin Jiang¹ Minjun Zhang²

Yunnan Geological Engineering Second Investigation Institute Co., Ltd., Dali, Yunnan, 671000, China

Abstract

Based on the results of geological investigation, the structural characteristics of the slope in the collapse formation area of the karst region were analyzed. The distribution characteristics of the slope terrain in the form of "steep cliff - steep slope - gentle slope" were summarized. According to the development characteristics of the collapse, the type of rock mass and the development degree of the structural plane, the structural plane was divided into three sections. The structural planes of each measured section were statistically analyzed by using the equal-angular distance projection network and the upper hemisphere equal-area projection method. The development characteristics of the dominant structural planes were obtained through the iso-density map of the structural planes and the rosette map of the joints. Based on the geological environment characteristics of the study area, the formation conditions of the collapsed dangerous rocks were analyzed. The current spatial geometric characteristics and structural plane combination characteristics of the dangerous rock zone in the study area were studied by using the red-plane projection method. According to the standard formulas, the stability of the slope was quantitatively analyzed for different deformation and failure modes, namely natural conditions, rainstorm conditions and seismic conditions.

Keywords

Collapse "Dangerous rock; Slope structure Stability

丽江山区某岩溶区崩塌地质灾害基本特征及稳定性评价研究

姜跃斌¹ 张敏军²

云南地质工程第二勘察院有限公司, 中国·大理 云南 671000

摘要

以地质调查成果为基础,分析了岩溶区崩塌形成区坡体结构特征,总结了坡体地形呈“陡崖—陡坡—缓坡”的展布特征,根据崩塌发育特征、岩体类别及结构面发育程度等将结构面进行分三个区段,采用等角距投影网、上半球等面积投影方法对所测各区段结构面进行统计分析,通过结构面等密度图及节理玫瑰花图得到了优势结构面的发育特征;基于研究区所处地质环境特征,分析了崩塌危岩的形成条件;采用赤平投影方法研究了研究区内危岩带现状空间几何特征和结构面组合特征,针对不同变形破坏模式,分天然工况、暴雨工况和地震工况,根据规范公式定量分析了坡体稳定性。

关键词

崩塌;危岩;坡体结构;稳定性

1 概述

丽江市玉龙县石鼓镇鲁瓦村委会高明组崩塌位于冲江河与大左沟河之间的陡崖山脊部位,地形高差大,山高坡陡,山脊高程 2050 ~ 2654m,高差大于 500m,山脊多呈刃脊状,总体呈近东西向条带状展布,陡崖山脊为构造与河流侵蚀共同作用形成的孤立山峰。地势总体北西高,南东低。据

野外调查,高明组崩塌所处斜坡总体坡向为 110°,斜坡体地形总体上陡下缓,自上而下呈“陡崖—陡坡—缓坡”地形展布,坡体自然地形坡度 30° ~ 55°;斜坡上部陡崖、陡壁林立,坡面高耸,陡崖面坡度多大于 70°,局部近直立,斜坡中下部坡体地形相对较缓,自然地形坡度 25 ~ 30°,高明组村庄现状主要分布于斜坡坡脚平缓地带,自然地形坡度 10 ~ 15°。

2 崩塌形成区坡体结构特征

崩塌危岩区主要位于高明组村庄后方山体斜坡中上部,地势总体北西高,南东低,地形上陡下缓,自上而下呈“陡崖—陡坡—缓坡”展布,崩塌延伸方向变化较大,陡崖高矮

【作者简介】姜跃斌(1988-),中国云南楚雄人,本科,高级工程师,从事地质灾害防治、监测预警、矿山生态修复等研究。

不一。据区域地质资料及野外调查,陡坡(崖)区主要发育泥盆系上统小羊场组(D_3x)灰质白云岩及泥盆系中统令牌山组(D_2l)浅灰色灰岩地层。

泥盆系上统小羊场组(D_3x)地层主要分布于北东侧陡崖(DY1、DY2)及斜坡体中部陡坡地带,岩性主要为浅灰、青灰色灰质白云岩,强~中风化,薄~中厚层块状构造,岩石较坚硬,岩层产状: $84^\circ \sim 100^\circ \angle 55^\circ \sim 68^\circ$,整体地形坡向为 110° ,地层倾向与坡面构成基本一致、顺向坡,对坡体的整体稳定不利。据此,陡坡(崖)区出露岩层以较硬岩、硬岩为主,岩石风化程度为强~中风化,主要为薄~中厚层块状构造,岩体结构面较发育,结构面结合程度较差,陡崖表面及顶部区域受卸荷裂隙切割,多呈块裂状结构,部分岩体受深大垂向裂隙控制,已基本脱离母岩形成危岩体,加之该区域植被根劈作用较强烈,表层岩体破碎,处于陡坡陡崖且突出的岩体受节理裂隙切割后稳定性差,在外动力作用下易产生崩塌。

据此,陡坡(崖)区出露岩层以较硬岩为主,岩石风化程度为强~中风化,局部薄层状岩体结构面较发育,结构面结合程度较差,属裂隙块状结构类型;中厚层状岩体完整性较好。该区山体斜坡整体稳定性较好,不会产生大规模岩质崩塌。但该区段溶蚀作用较强烈,局部由于溶蚀及风化剥蚀脱落后形成凹腔、危岩体上部临空凸出,加之植被根劈作用,表层岩体破碎,处于陡坡陡崖且突出的岩体受节理裂隙切割后稳定性差,在外动力作用下易产生崩塌。

3 崩塌岩体结构面分布规律统计分析

本次野外调查,对崩塌形成陡崖区、危岩带及陡坡区共采集结构面196组,根据崩塌发育特征、岩体类别及结构面发育程度等将结构面分为三个区段(DY1~DY2区, DY3~DY8区, DY9区),采用等角距投影网(吴氏网)、上半球等面积投影方法对所测各区段结构面进行统计分析。限于篇幅,本文仅针对DY1、DY2区进行统计分析。

本次野外地质测绘,对陡崖及危岩带(DY1、DY2)共采集结构面68组,采用等角距投影网、上半球等面积投影的方法对所测结构面进行统计分析得到结构面等密度图及节理玫瑰花图。

通过统计结果显示,该区段岩石有四组优势结构面(含岩层层理面),走向为北-南向和东-南向,优势倾向为东向、南向、西向以及北向。结构面倾向在 $340^\circ \sim 10^\circ$,占比14.80%;倾向在 $80^\circ \sim 100^\circ$,占比41.2%,主要为岩层产状;倾向在 $170^\circ \sim 200^\circ$,占比19.1%;倾向在 $260^\circ \sim 290^\circ$,占比25.00%;倾角集中分布在 40° 以上,占比高达86.70%。

4 危岩变形影响因素分析

根据研究区所处的地质环境分析,崩塌危岩的形成包括内部条件和外部条件两类,内部条件包括:地层岩性、坡

体结构、高陡临空面,外部条件包括:降雨、风化、地震、温度、植被、人类工程活动等。

4.1 地层岩性

区类岩石主要为灰质白云岩、灰岩,以薄~中厚层块状结构为主,局部呈散体~碎裂状,属硬质岩,中厚层状岩石抗风化能力更强,易形成陡坡和高耸的陡崖,形成的陡崖因构造及风化影响,节理裂隙发育,岩石泥质含量不同,风化差异,逐渐风化剥蚀或受外倾结构面控制的岩块逐渐脱落形成凹腔,基座支撑力削弱,在上覆岩体的自重作用下,引起陡崖带上部岩体破坏。

4.2 地质构造

研究区位于青藏高原东南缘与云贵高原过渡区,处于藏滇地槽与扬子准地台的结合部位,区内断层、褶皱发育,主要发育拖顶一开文断裂(F4)及石鼓向斜,受断层和褶皱构造影响,研究区岩层构造节理裂隙较为发育,构造裂隙与层理组合将岩体被切割成矩形或菱形块体,对坡体岩体稳定极为不利。同时,构造裂隙的发育对岩体抗风化具有不利影响,不同程度地加剧了地表岩体风化。由于受张应力作用及风化溶蚀作用下,裂隙不断变形,导致山体岩层不断沿卸荷裂隙发生崩落。

4.3 裂隙发育状况

裂隙对危岩块体的形成和破坏起决定性因素。据野外地面调查,区内构造裂隙较发育,陡崖部位卸荷裂隙亦很发育,贯通性好,多无充填或少量泥质充填,结合差,与层面组合,卸荷裂隙、构造裂隙与层面组合,切割岩体形成独立块体。

4.4 高陡临空面

高明组崩塌位于村庄北西侧山体斜坡、陡崖地带,属构造剥蚀地貌中山陡坡地形,地势总体北西高,南东低。据野外调查,高明组崩塌所处斜坡体地形总体上陡下缓,自上而下呈“陡崖—陡坡—缓坡”地形展布,坡体自然地形坡度 $30^\circ \sim 55^\circ$;崩塌危岩主要处于陡崖、陡坡段,陡崖壁面局部近于直立或反倾,部分危岩体临空凸出,卸荷作用强烈,陡崖顶至前缘坡脚高明组村庄最大高差达835m,是崩塌形成的地形地貌条件。

4.5 风化溶蚀

研究区岩体风化强烈,风化作用加速了危岩体裂隙的扩展,裂隙面强度降低,差异风化形成凹腔岩穴,促进了危岩体的失稳。陡崖区岩体为可溶蚀性的灰质白云岩及灰岩,加之岩体节理裂隙发育,雨水沿着节理、层理裂隙面溶蚀岩体,使岩体裂隙面间距加大,逐渐形成凹腔岩穴,促进了岩体的失稳,溶蚀剧烈者可将岩体与母岩分离形成孤石。

4.6 地震

研究区所处石鼓镇地震基本烈度为VIII度,地震反应谱特征周期0.40s,建筑基本地震动峰值加速度0.20g,玉龙县及周边地震活动较频繁,玉龙县位于中甸~大理地震带

内,地震集中在南北向断裂构造带与北西向断裂或北东向断裂复合部位。区内地震强烈,发生频繁,据地震局资料,1950-2007年,发生在玉龙县及附近地区的5.0级以上地震达20余次;近百年来有微震数百次之多,是滇西地区中强震分布区之一。在地震水平作用力的影响下,易引起危岩体稳定性降低及诱发失稳。

4.7 水的作用

降雨条件下,地表水不仅促进了岩体与基座的风化作用,更主要的是裂隙水的瞬时静水压力效应对危岩体的稳定性影响极强。同时水对裂隙内充填细屑、泥质有明显软化作用,在流动时还能带走细粒物质,降低缝内充填物的凝聚力和抗剪强度,降低危岩体稳定性。降雨冲刷坡面,能带走坡面危石基座的细粒物质,造成底部悬空,同时软化坡体、降低土体凝聚力和抗剪强度,易引起危石再次启动成灾。

4.8 植物作用

研究区内植被总体发育较好,但多以低矮灌木为主,存在一定根劈作用,植物根系沿卸荷裂隙的深入生长,将破坏岩体整体性,易引起危岩体稳定性降低及诱发失稳。

4.9 温度

该区内温度差异较大,年平均气温14.6℃,最热的月份为7月,月平均气温21℃,最冷月份为1月,月平均气温为6.7℃。气温受地形、植被、位置、土壤、海拔高度等影响较大。温度差异的作用使危岩体呈不均匀受热状态,加快岩体的风化作用;在温度变化过程中产生的热胀冷缩作用始终保持向下位移的总趋势,为崩塌发育中的积极因素之一。

4.10 人类工程活动

研究区所处石鼓镇属滇中引水工程水源区,区内地形地貌复杂,地势陡峻,岩体风化强烈,在引水、输水隧洞施工及道路建设中,开挖岸坡等不同程度地破坏了地表植被,同时对原始岸坡稳定性产生了较大影响;另一方面,工程爆破等施工活动对周围地质环境造成了较大的影响,由于研究区距滇中引水工程场址较近,爆破施工引发山体震动,一定程度上诱发、加剧了崩塌危岩体的产生

5 危岩稳定性评价

5.1 危岩带破坏模式分析

针对1号危岩带(WYD1)开展赤平投影分析(图10),分析结论如下:

(1)坡面倾向与层面倾向夹角小于 30° ,结构类型为顺向坡。

(2)结构面J2与层面C组合底交线倾向与坡面倾向夹角仅为 5° ,且坡度小于坡面倾角,构成斜向外倾滑移条件,其倾角(53°)远大于楔形体结构面摩擦角,故构成不利组合,存在滑移破坏模式。由于WYD1危岩带高度大,存在危岩延陡崖脚剪出的整体滑移破坏的可能。

(3)坡面倾向与层面倾向夹角小于 30° ,且坡度小于

坡面倾角,危岩带陡崖面局部发育突兀危岩,危岩下伏凹槽,构成危岩倾倒条件,局部危岩产生倾倒塌坏可能性大。

5.2 定性评价

根据野外勘查、调查,斜坡中下部缓坡地带发育第四系更新统崩坡积层(Qp)砾岩,砾岩母岩成分主要为早期崩落的灰岩、白云质灰岩,多呈棱角状,可知项目区崩塌的形成年代久远。调查时可见崩塌区岩体裂缝发育,卸荷强烈岩体松弛,部分松动岩体脱落后将底部一些块石撞击、压碎,变形痕迹清晰可辨,表明危岩带还在继续变形破坏,坡面常年有滚石崩落,在强降雨、地震等外力作用下,陡崖上岩体变形加剧,裂缝不断增多,原有裂缝加宽加大,对危岩带稳定性极其不利。随着时间推移,危岩带稳定性将越来越差,发生崩塌的可能性愈大。

通过对研究区内危岩带详细的地面调查,结合危岩带范围、规模、裂缝发育程度、危岩体破坏模式及已经出现的变形破坏迹象,采用地质类比法对各危岩带的稳定性进行判断,研究区危岩带现状整体处于基本稳定状态,在地震、暴雨等不利因素的作用下易局部失稳形成崩塌灾害。

5.3 定量评价

根据研究区内危岩带现状空间几何特征、结构面组合特征分析,现状WYD1~WYD12危岩带整体破坏模式主要为滑移式破坏模式。以地质调查成果为基础,分析了崩塌形成区坡体结构特征,总结了坡体地形呈“陡崖—陡坡—缓坡”的展布特征,研究了泥盆系上统小羊场组(D_{3x})和中统令牌山组(D_{2l})两套地层坡体结构特征,定性分析了坡体稳定性。根据崩塌发育特征、岩体类别及结构面发育程度等将结构面进行分三个区段,采用等角距投影网、上半球等面积投影方法对所测各区段结构面进行统计分析,通过结构面等密度图及节理玫瑰花图得到优势结构面的发育特征。

基于研究区所处地质环境特征,丽江市玉龙县石鼓镇鲁瓦村委会高明组崩塌危岩的形成包括内部条件和外部条件两类,内部条件包括:地层岩性、坡体结构、高陡临空面,外部条件包括降雨、风化、地震、温度、植被、人类工程活动等。基于地质调查成果,采用赤平投影方法对坡体稳定性开展了定性分析;根据研究区内危岩带现状空间几何特征、结构面组合特征分析,针对不同变形破坏模式,分天然工况、暴雨工况和地震工况,根据规范公式对坡体稳定性开展了定量计算。

参考文献

- [1] 丽江市玉龙县石鼓镇鲁瓦村委会高明崩塌地质灾害应急治理工程勘查及施工图设计[R]. 云南地质工程第二勘察院有限公司.2022年12月
- [2] 甘柯.北京市怀柔区响水湖景区磨石口关崩塌危岩带特征及稳定性评价[J].地质灾害与环境,2019,30(3):30-34.
- [3] 赵海军,张家祥,彭昊,等.考虑参数不确定性的强震区危岩崩塌运动规律分析[J].工程地质学报,2025,33(1):224-239.