

DOI: 10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2015.03.02

贵州凯里龙场镇山体崩塌基本特征与成因分析

董秀军 裴向军 黄润秋

(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: 2013年2月18日11时30分左右,贵州省黔东南苗族侗族自治州凯里市龙场镇鱼洞村岔河组山体发生大规模崩塌,崩塌体堆积于山体陡崖底部鱼洞河河道内,形成约 $30 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的堆积体堰塞坝,掩埋房屋数间,灾害造成5人失踪,转移安置21户79人。本文在对灾害现场进行大量地质调查的基础上,结合无人机航拍、三维激光扫描等技术手段,对龙场镇崩塌体特征进行了详细描述;对灾害发生原因进行了初步分析。结果表明,龙场镇山体崩塌是在不利岩体结构、地形地质组合条件下,受到长期地下水溶蚀和风化作用影响,加之采矿的底部削弱效应,导致受陡倾裂隙控制的薄板状岩体强度达到极限状态,最终产生此次大型岩体崩塌事件。在黔东南地区类似地质条件分布广泛,深入研究龙场镇崩塌形成条件及成灾机理,对贵州省岩溶地区类似崩塌地质灾害隐患点的早期识别与防范,提高减灾防灾工作认识具有现实意义。

关键词: 崩塌;溶蚀;岩体结构;地下采矿;成因

中图分类号: P642.21

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2015)03-0003-07

The Longchangzhen collapse in Kaili, Guizhou: characteristics and failure causes

DONG Xiujun, PEI Xiangjun, HUANG Runqiu

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

Abstract: Around 11:30, February 18, 2013, the mountain in Chahe group, Yudong village, Longchang town, Kaili city collapsed on a large scale, which located in Miao and Dong Nationalities Autonomous Prefecture, south-eastern part of Guizhou province. The fallings packed in the river channel of Yudong River at the bottom of the steep cliff, forming an accumulated barrier dam with almost 300 000 cubic meters in size. The collapses buried some houses and caused 5 villagers missing. The fallings blocked the river forming a barrier lake, forcing 79 people out of 21 families to leave their homes. Based on the massive geological investigations, this essay makes detailed description of the features of Longchang collapsed mountain and presents a preliminary analysis of the causes of the disaster by using UAV aerial, three dimensional laser scanning together with other comprehensive techniques. The results indicate that with the unfavorable rock structure and on the poor combination of topography and geological conditions, parts of the rear steeply inclined fissure of laminated limestone masses expanded, which was affected by secular gravity, water corrosion, and weathering and unloading. With the bad cutting structure of the side-wall as well as mining which caused long-term weakening effect at the bottom of the mountain making the rock masses' strength reach the limits, the mountain collapsed and lost its stability in the end. The similar geological conditions are widely distributed in south-east Guizhou. Intensive study in the causes and disaster formation mechanism of the collapses of Longchang has practical significance to the early recognition and prevention of the similar collapse geological disaster in Guizhou karst region and to the improvement of disaster prevention and mitigation cognition.

收稿日期: 2014-08-09; 修订日期: 2015-02-03

基金项目: 国家自然科学基金“基于三维激光扫描技术的岩体结构快速辅助地质编录方法研究”(41302240)

第一作者: 董秀军(1980-),男,讲师,主要从事工程地质的教学与研究工作。E-mail: Dongxiujun@cdu.cn

Keywords: collapse; corrosion; structure of rockmass; underground mining; formation reason

0 引言

2013年2月18日11时30分左右,贵州省黔东南苗族侗族自治州凯里市龙场镇鱼洞村岔河组山体发生大规模崩塌失稳破坏,体积超过 $20 \times 10^4 \text{ m}^3$,高200余米的陡崖上部“薄板状”岩体快速坐落并解体,堆积于陡崖底部的鱼洞河河道内,掩埋并摧毁了河岸处的数间房屋,造成5人失踪的灾难性事件。据现场调查了解,在第一次崩塌发生后,崩塌区坡表岩体一直零星掉块,至19日凌晨8时左右发生了第二次大规模的崩塌,崩塌范围紧邻第一次崩塌的下游区域,崩塌近 $4 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。至此崩塌体在陡崖底部形成平均厚度20 m、沿河纵向长180 m、横向宽140 m的堰塞坝,堆积体阻断鱼洞河河道,在堆积体上游形成沿河长约200 m的堰塞湖。本文通过调查研究获得一些关于龙场镇崩塌灾害的初步认识。

1 崩塌区地质环境条件

1.1 区域地质条件

区内为碳酸盐岩溶蚀中低山河谷地貌为主,地形切割深度较大,相对高差100~200 m,河谷地形多见陡崖,地表水系发育,河流侵蚀强烈。年平均降雨量1150~1250 mm,人类工程活动较强烈。区域内地质构造复杂,主干构造总体呈北东向展布。根据区域地质资料表明,区内地质构造始发于雪峰期,最主要的褶皱及断裂在加里东期初具规模,燕山期使之进一步发展、加强并奠定了现今构造的基本格局,喜山期则发生部分老构造复活、局部隆升和断陷,晚近期表现为间歇性隆升,形成了现今的层状山岳和多级河流阶地地质、地貌景观。崩塌区位于渔洞向斜南东翼,大塘逆断层的下盘。

1.2 地形地貌

龙场镇崩塌位于凯里市龙场镇鱼洞村岔河组老山新村,距凯里市约30 km。龙场镇崩塌区为中低山河谷地貌,河床高程635 m,坡顶最高峰高程935 m,相对高差300 m。河谷沿NNE向延伸,两侧为近直立陡崖,陡崖高差200余米,陡崖顶部地形舒缓,植被茂密、覆盖层深厚,溶蚀洼地、落水洞等岩溶地貌特征发育。沟谷底部有鱼洞河至南向北流,河床宽度30 m,最大洪峰流量 90 m^3 ,常年流水,距崩塌区下游150 m处与支流两岔河汇合。鱼洞河左岸紧邻陡崖,陡崖底部分布有残留的崩塌堆积,堆积体上稍宽缓部位分布十余间房屋,崩塌区

上游90 m处为一煤矿主井出口。鱼洞河右岸较左岸更为宽缓,凯里至黄平公路在右岸通过,路基高出河道二十余米,右岸陡崖与公路间为200余米宽的崩滑堆积坡地,分布有农舍与耕地。崩塌前航拍影像见图1。



图1 龙场镇崩塌失稳前航拍影像
(由贵州省地质环境监测院提供)

Fig. 1 The aerial photograph before the collapse

根据崩塌前的航拍影像,可以看出崩塌区失稳前为陡崖延伸的转折处,结合坡脚残留的堆积物情况,可以推断此次崩塌区下游陡崖至两岔河支流交叉处的缺口部位,历史上曾经发生过陡崖岩体的失稳破坏,失稳物质堆积在坡脚底部与河床部位,航拍影像上显示的本次崩塌区所在的“转折处”即为历史上岩体失稳的侧边界部位。

1.3 地层岩性

龙场镇崩塌区内地层主要包括第四系、泥盆系、石炭系、二叠系地层(图2)。

石炭系摆佐组(C_1b):浅灰白色中厚层粉晶灰质白云岩及灰黄色中厚层碎屑粉晶白云岩,夹3~5层厚1~2 cm的灰绿色粘土岩,偶夹硅质岩透镜体。与下伏地层呈假整合接触。研究区内主要分布于河床以下。

二叠系地层主要包括梁山组、栖霞组、茅口组。

梁山组(P_2l):由石英砂岩、页岩及铝土岩组成,夹可采煤层及菱铁矿团块、结核。煤层厚约0.7 m,目前此煤层正在开采。其与摆佐组地层假整合接触。分布于河床以下。

栖霞、茅口组(P_2q+m):深灰色中厚层亮晶生物碎屑灰岩、泥~细晶生物屑灰岩夹灰褐色有机质、钙质页岩,含燧石团块及条带;灰、深灰色中厚层泥晶灰岩。栖霞茅口组地层为研究区内主要出露地层,该套地层中岩溶作用强烈,溶洞、岩溶管道、落水洞和溶蚀裂隙

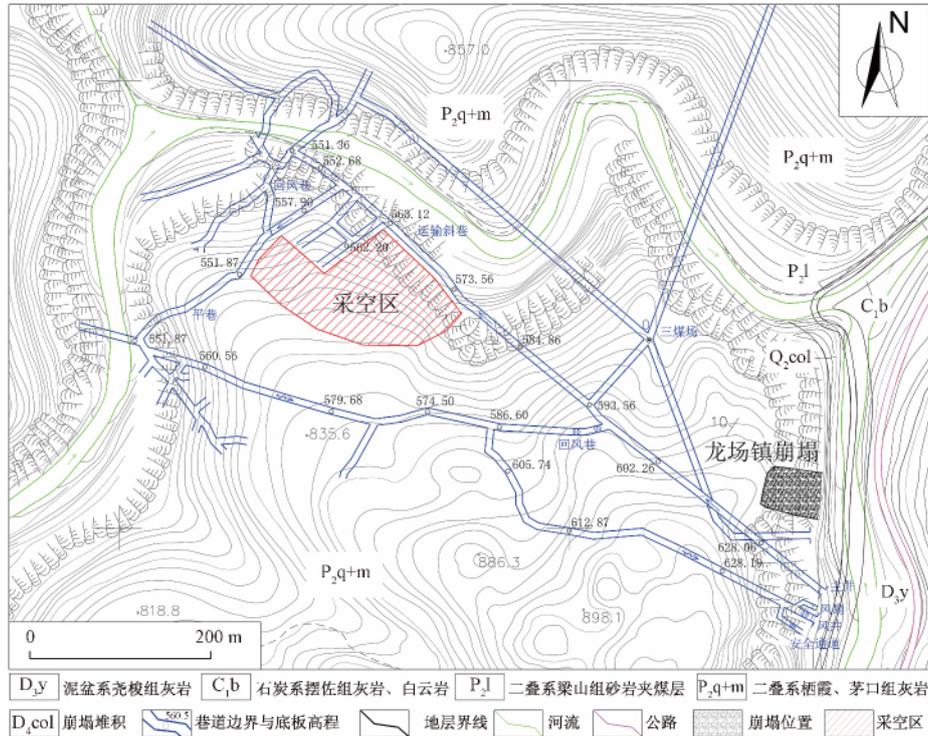


图 2 崩塌区工程地质平面图

Fig. 2 Engineering geological plan of the collapse

发育 岩层产状为 $315^{\circ} \sim 320^{\circ} \angle 3^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 。

根据现场实际调查及陡崖段三维激光扫描影像数据解译成果表明, 栖霞、茅口组地层节理裂隙优势产状主要发育三组: ① $284^{\circ} \angle 85^{\circ}$ 或 $104^{\circ} \angle 88^{\circ}$, 走向与陡崖延伸方向近于平行, 结构面长大、平直粗糙, 贯通性好, 属构造裂隙, 较发育; ② $39^{\circ} \angle 84^{\circ}$, 与陡崖延伸方向大角度相交, 结构面较长大且平直粗糙, 贯通性较好, 属构造裂隙, 较发育; ③ $64^{\circ} \angle 81^{\circ}$, 结构面短小、粗糙, 贯通性差, 该组结构面不甚发育。崩塌区岩体结构特征与陡崖临空面关系见图 3。

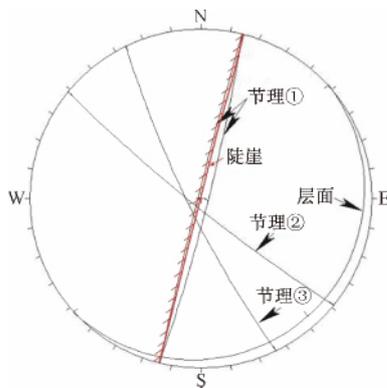


图 3 崩塌区岩体结构面赤平投影关系图

Fig. 3 Stereographic projection diagram of the rock structure

2 崩塌基本特征

2.1 崩塌体特征

(1) 崩塌失稳时间特征

按照龙场镇崩塌体失稳时间先后顺序划分, 较大规模的崩塌共计两次, 两次崩塌的时间差大致约 21 h, 结合现场调查及视频资料, 将崩塌区划分成一次崩塌区(I)和二次崩塌区(II), 分区见图 4、图 5, 剖面见图 6、图 7。

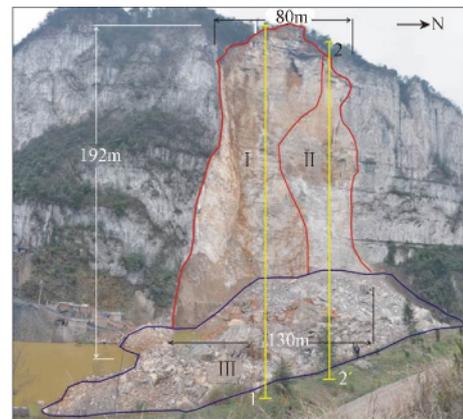


图 4 龙场镇崩塌全貌

Fig. 4 The full view of the collapse



图5 崩塌后航拍影像

Fig.5 The aerial photograph after the collapse

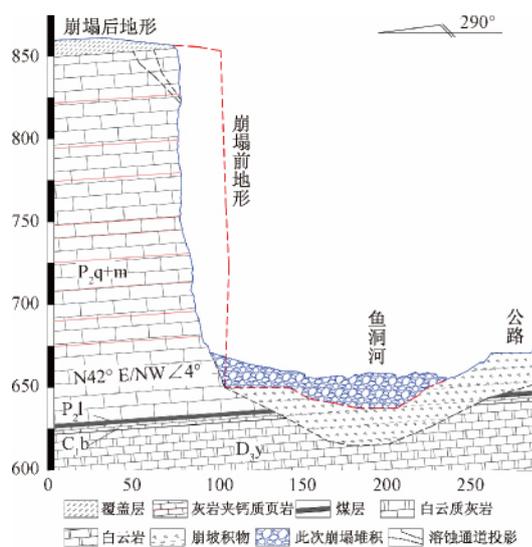


图6 一次崩塌体地质剖面图(1-1')

Fig.6 The section map of primary collapse

一次崩塌区(I):崩塌体失稳时间为18日11时30分。崩塌体高约190m,宽度50~60m,厚度表现为南侧(上游侧)厚、北侧(下游侧)薄,最厚处通过三维激光扫描测量结果为27m,估算体积 $20 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。崩塌失稳后揭露的岩体断面表明,崩塌体范围内除层面发育外,主要发育近于平行陡崖的NNE向陡倾结构面($284^\circ \angle 85^\circ$)和与陡崖走向大角度相交的NNW向的陡倾结构面($39^\circ \angle 84^\circ$)。其中,走向NNE向结构面为崩塌体后缘边界,岩面贯通,溶蚀锈染迹象明显,中上部卸荷张开;走向NNW向结构面为侧边界,结构面贯通性好、粗糙,局部有水平构造错动的擦痕。现场调查还发现崩塌体所处的栖霞、茅口组灰岩中夹有多层灰褐色有机质、钙质页岩,厚度数厘米,其抗风化能力弱,此层即可能成为阻水层,也是坡体结构的软弱夹

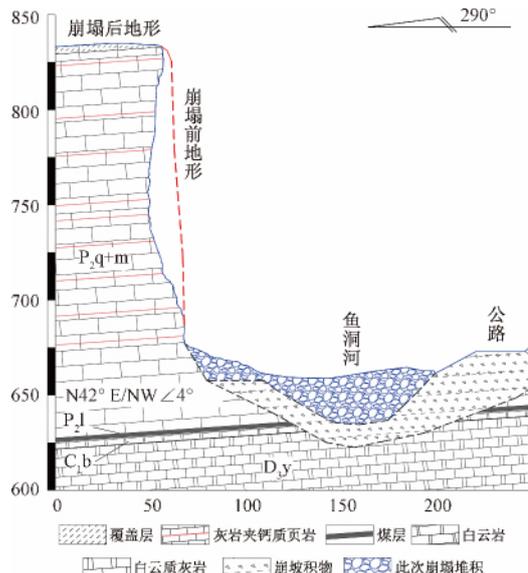


图7 二次崩塌体地质剖面图(2-2')

Fig.7 The section map of secondary collapse

层,陡崖面上表现为差异风化形成的凹槽,陡崖处调查初步发现页岩夹层多达9处。

在一次崩塌区陡崖上部发育有洞径17m的落水洞,落水洞与崩塌后缘陡倾结构面相连通。从陡崖顶部缓坡处向下观察此落水洞(图8),其洞内呈长椭圆形,长轴方向与NNW向陡倾结构面近于平行。

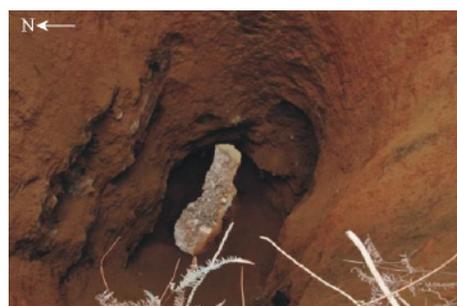


图8 陡崖顶部俯视落水洞口

Fig.8 The vertical view of sinkholes

为进一步查明落水洞发育分布规律,对崩塌区周围陡崖顶部范围进行仔细搜索,初步发现落水洞16处,大者洞径20余米,小者洞径5米左右,明显呈串珠状分布,延伸方向主要发育两组,调查表明主要受到上面提到的NNE、NNW向两组陡倾结构面所控制。落水洞大多被覆盖层所掩埋呈现洼地地貌,调查也发现几处新近的落水洞塌落现象。

二次崩塌区(II):崩塌体失稳时间为19日凌晨8时。崩塌体高约170m,沿河长度20~30m,厚度最大处不超过10m,估算体积 $4 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。二次崩塌

之所以会出现较一次崩塌时间上滞后近 21 h 的原因,初步分析主要有几方面因素:一是地形因素,由于一次崩塌陡崖地形上转折更强烈,崩塌体的厚度更大;二是结构面的贯通因素,由于崩塌体后缘陡倾裂隙的存在,顶部落水洞与此裂隙相连通,连通的管道正处于一次崩塌体内,在水体入渗作用下,故后缘陡倾裂隙较二次崩塌陡倾裂隙溶蚀、贯通、卸荷张开的程度更大;三是携带、铲刮影响,由于一次崩塌体失稳,势必会对下游侧的二次崩塌岩体产生携带、铲刮作用,加速了其失稳进程。一次崩塌体失稳坠落过程产生的震动效应对二次崩塌的影响也不容忽视。综合以上因素,二次崩塌体在首次崩塌失稳 21 h 后,由于支撑块体稳定的岩桥强度达到极限而产生再次失稳破坏。

(2) 崩塌发生的力学特征

两次崩塌体所处的环境地质条件基本相似,但基于现场地质调查工作及崩塌视频资料分析,崩塌体 I、II 失稳破坏力学机制不尽相同:崩塌体 I 失稳破坏主要为坐落式;崩塌体 II 为倾倒入落式。

一次崩塌区(I):该区内岩体陡倾结构面卸荷张开、贯通,结构面平直粗糙,岩体表面风化、锈染迹象明显。结合现场调查、三维激光扫描影像等信息,对崩塌后揭露的结构面连通率进行了统计分析(图 9),结果表明该区内结构面的三维连通率高达 83.4%,崩塌体后缘陡倾结构面大部分贯通,崩塌岩体呈“薄板状”贴于陡崖表部,仅靠少部分残留的岩桥支撑着整块岩体(图 10(a))。

随着地表水沿裂缝和落水洞进入,结构面内孔隙水压力、重力卸荷和风化作用下加速了结构面的贯通、张开,残留的岩桥强度不断降低,局部岩体被逐渐剪断破坏,结构面连通率不断增加(图 10(b))。

当以上各因素的长期累加,岩桥强度达到极限状态,微弱的外界干扰或者岩体自身的应力调整都将导致整个“薄板状”岩体的失稳。其在重力场作用下,首先陡崖坡脚处岩体溃屈,随后整个岩体沿后缘陡倾结构面发生坐落式破坏(图 10(c)),陡壁表面擦痕明显,坐落过程中解体并堆积与坡脚(图 10(d))。

二次崩塌区(II):该区内后缘陡壁上岩体结构面卸荷张开、贯通,图 9 统计结果表明后缘陡倾结构面三维连通率为 57.5%。结构面平直粗糙,岩体表面风化、锈染迹象明显。陡壁中下部岩体表现为拉张破坏,拉裂面起伏粗糙,呈阶梯状追踪拉裂多条平行的陡倾结构面;该区下部表现为沿未完全贯通的结构面在重

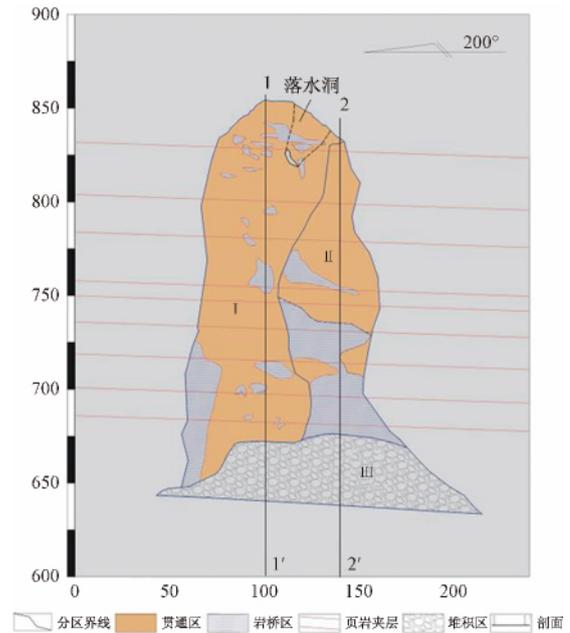


图 9 结构面连通率立面展示图

Fig. 9 The distribution map of connectivity rate in rock mass

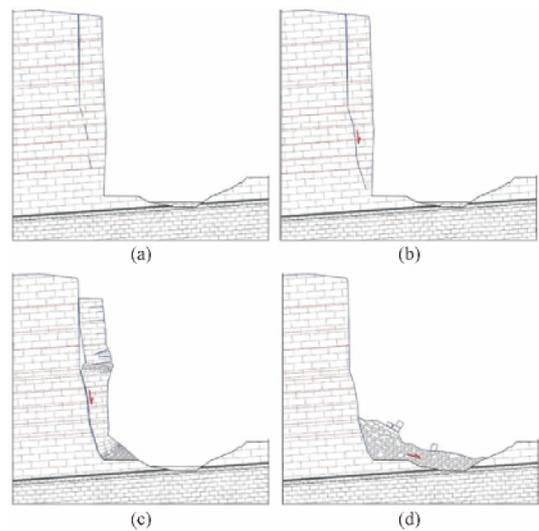


图 10 一次崩塌区(I)岩体失稳过程示意图

Fig. 10 Schematic diagram of instability process of primary collapse

力场作用下的剪切破坏,这些未完全贯通的陡倾结构面形成与重力卸荷、压制拉裂、水体溶蚀等因素相关,结构面有竖向擦痕。

第二次崩塌发生全过程,恰被抢险救灾人员拍摄记录下来,根据获取的珍贵视频资料,第二次崩塌过程可以归纳总结如下:由于崩塌危岩体上部岩板具有向临空方向倾倒趋势(图 11(a)),侧向具有与临空面呈大角度相交陡倾结构面的边界条件,“岩板”后缘贯通

性结构面根部岩体会受到向外的拉应力(图 11(b)),随着风化、卸荷等因素造成下部岩桥强度不断降低,倾倒岩板的基座岩体内部应力发生调整,当超过极限状态条件下,基座岩体拉应力逐渐被沿平行临空方向的陡倾结构面上的剪应力所取代(图 11(c)),上部的岩板由于过度倾倒而坠落失稳,下部的基座部分岩桥被拉张破坏后,在自身重力场作用下剪切破坏而失稳(图 11(d))。

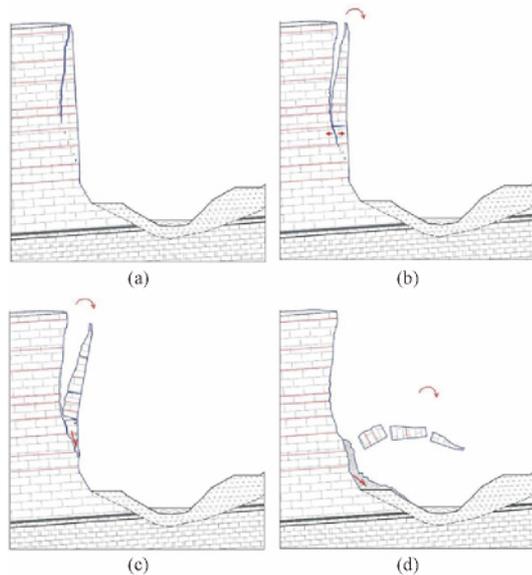


图 11 二次崩塌区(Ⅱ)岩体失稳过程示意图
Fig. 11 Schematic diagram of instability process of secondary collapse

2.2 堆积体特征

前后两次崩塌物质都堆积于坡脚河床处,形成了沿河纵向长 180 m 横向宽 140 m 平均厚度约 20 m 的堆积堰塞坝(图 4、图 5,Ⅲ区)。航拍照片清晰显示了崩塌体的堆积特征,从照片上可以看出崩塌区 I 堆积的岩块呈深褐色,部分粒径较大岩块可清楚看见原结构面形态,这与上部落水洞溶蚀管道通过有关,水体溶蚀作用下加速了岩体的风化。崩塌区 II 堆积的岩块新鲜呈灰白色,断面多粗糙。

崩塌发生后,堆积体物质阻断鱼洞河河床形成崩塌堰塞坝。上游河水受阻后水位不断上升,崩塌十余小时后,上游河水位涨高超过 5 m、回水 200 余米。由于堆积体部分岩块粒径巨大,最大的长轴长度可达 20 m,所形成的堰塞坝沿河长度达到 180 m,堰塞坝高度 20 m,根据水利部推荐的“堰塞湖溃决危险性分级标准”(表 1)结合现场地质判断,考虑到各要素关系,初步结论为溃坝危险性低。

表 1 堰塞湖溃决危险性分级标准

Table 1 Risk degree classification of dammed lakes

危险级别	坝高/m	最大库容/ $\times 10^4 \text{ m}^3$	坝体结构
极高危险	>70	10^4	以土质为主
高危险	30~70	$10^3 \sim 10^4$	土含大块石
中危险	15~30	$10^2 \sim 10^3$	大块石含土
低危险	<15 m	$<10^2$	以大块石为主

注: 3 个条件至少满足其中 2 条。

3 崩塌成因分析

(1) 不利的坡体结构与地形条件组合是基础

龙场镇崩塌所在山体处于渔洞向斜的南东翼,岩体总体走向 $45^\circ \sim 50^\circ$,微倾山内 $3^\circ \sim 5^\circ$ 。坡体东侧临空。坡体贯穿性结构面发育,崩塌区范围内主要有两组大角度相交的陡倾结构面,第一组结构面 ($284^\circ \angle 85^\circ$ 或 $104^\circ \angle 88^\circ$) 即是形成东侧陡壁的控制性结构面,也为崩塌体的后缘边界;第二组结构面 ($39^\circ \angle 84^\circ$) 构成崩塌体的侧边界。上述两组陡倾结构面将巨厚层状灰岩切割成“薄板状”,是崩塌灾害发生的基本坡体结构条件。崩塌体灰岩岩层中夹有至少 9 层灰褐色有机质、钙质页岩条带,作为相对软弱的结构面并具有一定的阻水效果。

(2) 溶蚀、风化作用加速了陡倾控制结构面的贯通

山体岩溶作用强烈,坡顶落水洞受两组陡倾结构面控制明显,呈串珠状展布,大量发育的这些落水洞、岩溶管道、溶蚀裂隙,破坏了山体的结构,进一步降低了岩体稳定性。陡倾结构面内的溶蚀、风化作用强烈,加速了控制性结构面的贯通。

(3) 长期采矿活动的底部削弱效应

据掌握的资料显示,崩塌体上游的大风洞坪地煤矿于 2006 年开始开采。煤矿主井出口距离崩塌体上游 90 m 陡崖坡脚处,采煤活动是向山体内部开凿近 900 m 巷道,然后回采,目前采空区距离陡崖出口水平距离 500 m,采空面积 18500 m^2 。采空区底板高程 570 m,距坡顶高差 260 m。虽然采空区距离崩塌岩体较远,但地下开采活动无疑会影响和改变上覆岩体的应力场环境,从而对其稳定性造成扰动,对平行于陡崖面的后缘陡倾拉裂边界形成和发展具有一定的促进作用,而且开采过程爆破震动也对岩体稳定造成一定的影响。

4 结论与认识

(1) 龙场镇崩塌灾害具有隐蔽性和突发性的特点,其主要受控于岩体结构、不利地形地质组合,以及地下水溶蚀和风化作用加速影响,岩体稳定性条件差,

为崩塌灾害形成提供了基本地质条件。

(2) 崩塌所在山体长期的地下采矿活动对岩体应力场和形变场有影响,底部削弱效应对崩塌灾害的形成具有加速和促进作用。

(3) 前后两次崩塌由于控制性结构面连通率、崩塌体空间形态的区别等因素影响,其失稳机制有所区别,一次崩塌区(I)主要为沿陡倾结构面剪断残留岩桥而形成坐落式失稳破坏,而二次崩塌区(II)以倾倒为主的失稳破坏模式。

(4) 此次崩塌灾害在龙场镇周边地区具有典型性,调查发现研究区附近区域也时有类似崩塌灾害发生,鱼洞河右岸陡崖边坡属于顺层边坡,坡脚下部缓坡多有民房、耕地、公路分布,灾害风险性更高。值得说明的是2013年4月16日4时30分许,在本次崩塌灾害点下游仅100余米处,又发生了一次规模巨大的崩塌地质灾害,崩塌体积在 $10 \times 10^4 \text{ m}^3$ 以上,造成了鱼洞河中断阻塞,掩埋房屋1间,所幸未造成人员伤亡,其失稳形式与本文所论述的崩塌几乎一致。由此不难看出,加强该地区地质灾害的巡、排查力度,总结此类潜在灾害的早期识别要素,提高灾害监测、预警能力,具有重要现实意义。

致谢:“2.18”龙场镇崩塌灾害发生后,国土资源部、贵州省各级政府及相关部门迅速投入应急抢险、灾后救助及地质调查工作。本文的研究资料得到多方面的大力支持,在此表示衷心的感谢。

参考文献:

- [1] 赵允辉. 危岩崩塌地质灾害调查评价与防治[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2004, 15(增): 33-38.
ZHAO Yunhui. Investigation evaluation and control of dangerous-rock slumping geological hazard [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2004, 15(s): 33-38.
- [2] 齐洪亮, 田伟平, 李家春. 公路崩塌灾害承灾体易损性评价[J]. 自然灾害学报, 2013, 22(4): 160-166.
QI Hongliang, TIAN Weiping, LI Jiachun. Vulnerability assessment of disasters affected body in highway collapse [J]. Journal of Natural Disasters, 2013, 22(4): 160-166.
- [3] 贵州省地矿局 102 地质大队. 凯里市地质灾害危险性评估报告[R]. 2004: 152-160.
No. 102 geological brigade of Guizhou provincial bureau of geology and mineral resources. Report on geological hazard assessment of Kaili city [R]. 2004: 152-160.
- [4] 许强, 黄润秋, 殷跃平, 等. 2009 年 6.5 重庆武隆鸡尾山崩滑灾害基本特征与成因机理初步研究[J]. 工程地质学报, 2009, 17(4): 433-444.
XU Qiang, HUANG Runqiu, YIN Yueping, et al. The Jiweishan landslide of June 5, 2009 in Wulong, Chongqing: characteristics and failure mechanism [J]. Journal of Engineering Geology, 2009, 17(4): 433-444.
- [5] 林峰, 孙赤, 冯亮. 近水平煤层开采诱发崩塌形成机理分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2013, 24(3): 8-12.
LIN Feng, SUN Chi, FENG Liang. Formation mechanism research of coapse induced by mining in nearly horizontal coal bed [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control 2013, 24(3): 8-12.
- [6] 林鸿州, 于玉贞, 李广信. 坡地地质灾害防灾减灾工作的思考[J]. 自然灾害学报, 2009, 18(2): 56-61.
LIN Hongzhou, YU Yuzhen, LI Guangxin. Thinking about prevention and reduction of slope geologic disasters [J]. Journal of Natural Disasters, 2009, 18(2): 56-61.
- [7] 崔鹏, 韩用顺, 陈晓清. 汶川地震堰塞湖分布规律与风险评估[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2009, 41(3): 35-42.
CUI Peng, HAN Yongshun, CHEN Xiaoqing. Distribution and risk analysis of dammed lakes reduced by Wenchuan earthquake [J]. Journal of Sichuan University (Engineer Science Edition) 2009, 41(3): 35-42.
- [8] 许强, 裴向军, 黄润秋. 汶川地震大型滑坡研究[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
XU Qiang, PEI Xiangjun, HUANG Runqiu. Large-scale landslides induced by the Wenchuan Earthquake [M]. Beijing: Science Express 2009.
- [9] 严祖文, 魏迎奇, 蔡红. 堰塞坝形成机理及稳定性分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2009, 20(4): 55-59.
YAN Zhuwen, WEI Yingqi, CAI Hong. Formation mechanism and stability analysis of barrier dam [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control 2009, 20(4): 55-59.
- [10] 傅鹤林, 卜翠松, 周中, 等. 贵州崩塌滑坡的特点及防治技术[J]. 湘南学院学报, 2005, 26(5): 39-45.
FU Helin, BU Cuisong, ZHOU Zhong, et al. The characteristics of collapses and landslides and its preventing technologies in Guizhou of China [J]. Journal of Xiangnan University, 2005, 26(5): 39-45.