

巴河流域平推式崩塌机理研究及防治思路

梁 炯^{1,2}, 谢忠胜^{1,2}, 石胜伟^{1,2}, 张 涛^{1,2}, 韩新强^{1,2}, 尹国龙^{1,2}, 程英建^{1,2}

(1. 中国地质调查局地质灾害防治技术中心, 四川 成都 611734; 2. 中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川 成都 611734)

摘要:通过开展四川省巴河流域地质灾害的调查,共获得了崩塌地质灾害点 11 处,其中平推式崩塌为 5 处,占总崩塌数的 45%。研究显示该类型的崩塌具有平推式滑坡相似的特征:坡体上部砂岩、底部夹层为泥岩;坡角近垂直;坡体后缘发育有平行坡面、出露于地表的裂隙,裂隙两侧封闭。强降雨时,雨水流入裂隙,产生的动水压和静水压,还有高水头产生的劈裂作用,致使裂隙的加速发育。上部的砂岩层沿着泥岩层向外推挤,从而产生临空面发生崩塌。灾害体会受水的影响,产生临空面—崩塌—再产生临空面—再崩塌。所以要根治该类型的崩塌隐患,治理措施应注重考虑防止地表水流进裂隙、遏制裂隙的发育。

关键词:平推式崩塌;破坏模式;地质灾害;巴河流域

中图分类号:P642.21 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2016)10-0025-05

Study on Ba-river Basin Translational Collapse Formation Mechanism and Prevention Measures/LIANG Jiong^{1,2}, XIE Zhong-sheng^{1,2}, SHI Sheng-wei^{1,2}, ZHANG Tao^{1,2}, HAN Xin-qiang^{1,2}, YIN Guo-long^{1,2}, CHENG Ying-jian^{1,2} (1. Technical Center for Geological Hazard Prevention and Control, CGS, Chengdu Sichuan 611734, China; 2. Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China)

Abstract: According to the geological disaster investigation on Ba-river basin of Sichuan Province, there are 11 collapses including 5 translational collapses, accounting for about 45% in total. Studies reveal that this kind of collapse has similar characteristics of translational landslide; sandstone in upper slope and mudstone at the bottom interlayer; slope angle nearly perpendicular; parallel slopes at trailing edge of the slope, fissures exposing to the surface and being enclosed on both sides. When heavy rain falls, rain flows into the fissures, which accelerates fissures expanding by hydrodynamic & hydrostatic pressure and splitting effect of high water head. The pushing out of upper sandstone layer on the mudstone layer results in free surface collapse. Therefore, the treatment measures should be paid more attention for such collapse, the prevention of water into fissures is very important.

Key words: translational collapse; failure mode; geological disaster; Ba-river basin

0 引言

基于中国地质调查局所发布的项目“川东巴河流域地质灾害调查”,我中心(所)2014 年开展了巴河流域地质灾害的调查,共调查了崩塌点 11 处,其中水为主要诱因产生的崩塌为 5 处,占总数的 45%,其所占比例之重,特征之明显,实属罕见。该类型的崩塌灾害,带来灾难、隐患的同时,也带来了许多新的问题,值得我们去思考和研究^[1]。

通过调查发现,在每年强降雨期间,区内会诱发大量滑坡、崩塌等地质灾害,其中水为主要诱因触发的崩塌,由于其突发性强,常导致大面积人员伤亡;并

且反复性强,很难彻底根治。灾害体虽然为崩塌,但根据现场斜坡地形地貌、运动特点及崩塌斜坡结构来看,有着明显的平推式滑坡的特征,水为主要诱因,上部岩体沿软弱夹层向外推挤,当产生临空面时就会导致崩塌。如果水继续作用于后缘裂缝,岩层还会向外移动,产生新崩塌。因此,将此类崩塌命名为平推式崩塌。

笔者通过调查分析平推式崩塌的空间特征、成因机制,提出了平推式崩塌的破坏模式:“由于水的作用产生临空面—崩塌—再产生临空面—再崩塌”;提出了平推式崩塌的防治思路,以抛砖引玉,供大家参考。

收稿日期:2016-03-28; 修回日期:2016-07-08

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“川东巴河流域地质灾害调查”(编号:1212011220171)、“大巴山区城镇地质灾害调查”(编号:121201019000150003)

作者简介:梁炯,男,汉族,1984 年生,工程师,主要从事地质灾害防治技术开发与研究,四川省成都市郫县成都现代工业港港华路 139 号,281650151@QQ.com。

1 平推式崩塌实例分析

1.1 工程概况

我们以调查的一处崩塌作为典型案例进行分析。该点位于四川省巴河流域内(巴中市通江县)。调查区地形为南高北低,斜坡体上部为厚层砂岩,下部为泥岩夹层,该基岩陡壁上发育多处崩塌、危岩体,坡体坡向 $260^{\circ} \sim 300^{\circ}$,前缘陡崖坡度 $80^{\circ} \sim 90^{\circ}$,基岩陡壁宽为220 m,高约25 m,坡脚处为威胁对象。根据现场调查,该处基岩陡壁上发育有4处危岩体。灾害体全景如图1所示。

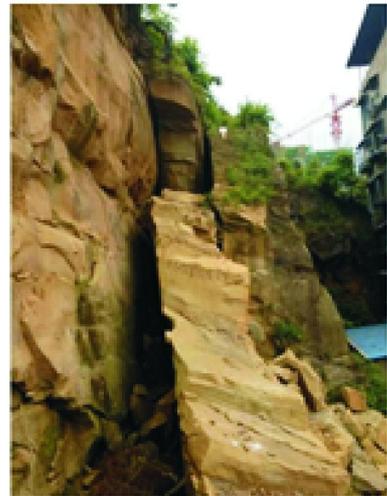


图1 崩塌全景

1.2 平推式崩塌变形特征

2009年汛期,斜坡体后缘发现宽约10 cm的裂缝。随着最近几年极端天气的增多,后缘裂隙逐年加宽,基岩陡壁伴随有少许土石崩落。2010年7月连续数天的强降暴雨,使上部砂岩体向外推移,产生了临空面,导致大规模的崩塌,危岩WY03脱离母体坐落于地面、靠在砂岩层上(见图2a)。崩落的堆积物,堆积于坡脚平地上,崩塌方量约 200 m^3 。基岩陡壁前缘又形成了凹腔,又产生了新的崩塌隐患。2010年崩塌时,一处危岩向前平移,抵至斜坡体前缘的一栋居民楼上(原先距坡脚90 cm),砸断房梁(见图2b),最近几年房梁变形加剧。由于平推式崩塌的砂岩体是缓慢的向前推移,有一堵建成4年的围墙,上部受砂岩层的推挤,而下部位于稳定的泥岩层,4年的时间围墙挫断位移约40 cm(见图2c),目前,砂岩体继续向外推挤,裂缝进一步扩张,最宽处约有2 m(见图3)。

截止2014年底,现场调查发现,强降雨时,随着基岩陡壁的再次向外推挤,坡体前缘底部又出现了临空面,新的崩塌隐患再次产生。



(a) 危岩 WY03 脱离岩体坐落到地面上



(b) 危岩体挤靠居民楼房(砸断房梁)



(c) 基岩陡壁向前推挤挫断围墙

图2 平推式崩塌变形特征

2 平推式崩塌成因机制和破坏模式

坡体上部为砂岩、底部夹层为泥岩;坡角近垂直;坡体后缘发育有平行坡面、出露于地表的裂隙,裂隙两侧封闭。强降雨时,雨水流入裂隙,产生的动水压和静水压,还有高水头产生的劈裂作用,致使裂隙的加速发育,破坏岩体的稳定性。裂隙中封闭的水会使软弱夹层进一步软化,降低抗剪强度,进而破



图 3 坡体后缘的裂隙

坏整个斜坡体的稳定,这些都是形成平推式滑坡的典型特征。而平推式崩塌也具有类似的特征,不同的在于上部岩体不长,因此岩体的位移具有缓慢性,而不是一次性剧烈位移产生滑坡灾害。正是因为平推式崩塌具有缓慢位移的特点,使其前缘底部产生了凹腔,进而表现出来的是崩塌灾害^[2]。

上述典型案例中,崩塌体分布在斜坡上部基岩陡壁上,随着岩层的向外缓慢蠕动,当蠕动位移导致基岩下出现临空面时,就会造成崩塌灾害的隐患。由于平推式崩塌破坏模式的典型特征,案例点于 2010 年 7 月 16 日晚发生危岩崩塌后,随后的雨季中岩层还继续向外推挤,目前,凹腔发育明显,形成了新的崩塌隐患。因此将此类崩塌命名为平推式崩塌,其破坏模式是“由于水的作用产生临空面—崩塌—再产生临空面—再崩塌”(详见图 4)。

3 平推式崩塌工程治理思路

正因为平推式崩塌的模式是“由于水的作用产生临空面—崩塌—再产生临空面—再崩塌”,因此按传统崩塌治理措施(清危,主动、被动加固手段)治理该类型崩塌,是很难根治的。所以治理措施应注重考虑防止地表水流进裂隙、遏制裂隙的发育。以案例点为例:基岩产状为 $290^\circ \angle 18^\circ$,坡向是 200° ,沿该方向岩层分界线的视倾角为 6° ,因此我们推测砂、泥岩分界处的软弱夹层为上部岩体的滑移面,倾角为 6° 。

3.1 启动水头的取值

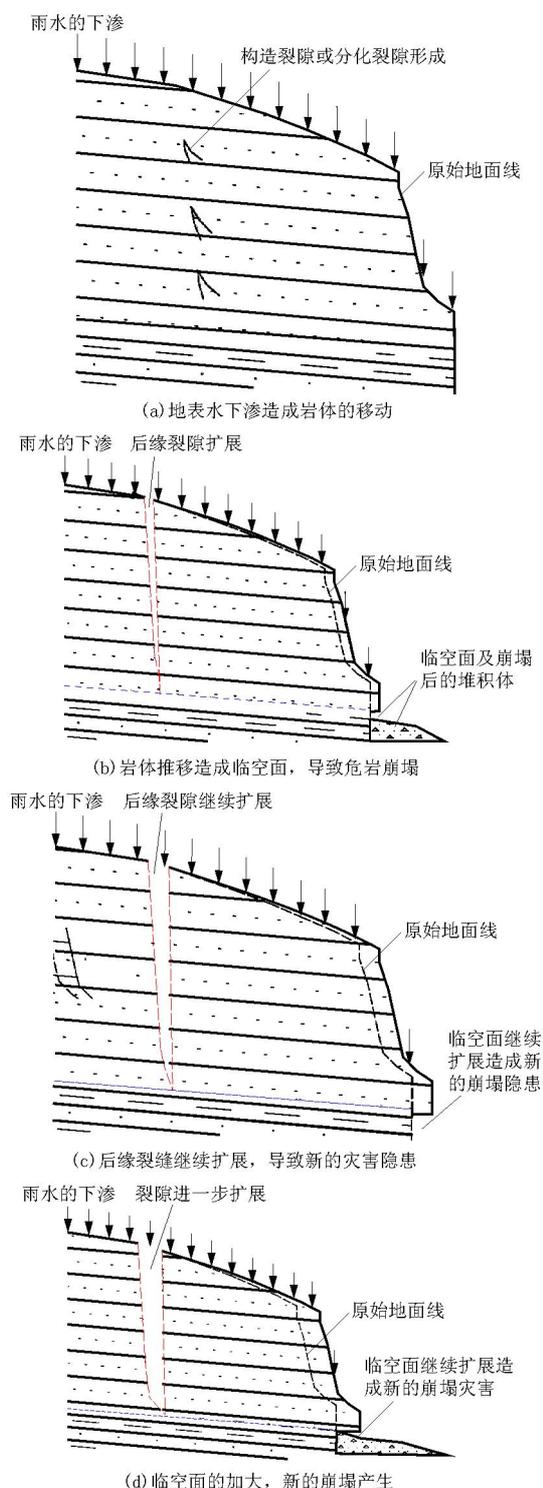


图 4 平推式崩塌的破坏模式示意

张倬元等^[3]提出平推滑坡的启动依据主要为启动水头,即比较启动水头 h_{cr} 、裂隙深度值 d 的大小:若启动水头 $h_{cr} >$ 裂隙深度值 d ,滑坡处于稳定;若启动水头 $h_{cr} <$ 裂隙深度值 d ,滑坡处于欠稳定。同理,将启动水头也设为平推式崩塌启动的依据。

2010年强降雨期间,经过长达15天的降雨后,上部岩体明显向外推移,相继发生崩塌。当时的裂隙充水高度大约为裂隙深度的3/4。所以,取裂隙深度值的3/4为平推式崩塌的启动水头值。该案例点的各个剖面裂隙深度、启动水头实际取值见表1。

表1 启动水头取值表

剖面	裂隙深/m	启动水头/m	剖面	裂隙深/m	启动水头/m
I - I'	24	18	III - III'	24.8	18.60
II - II'	24	18	IV - IV'	25.5	19.13

3.2 计算参数的取值

首先,参考平推滑坡的启动水头公式^[3]:

$$h_{cr} = \frac{1}{2\cos\alpha} \left[L^2 \tan^2\varphi + \frac{8M}{r_w} \cos\alpha \tan\varphi - \sin\alpha \right]^{\frac{1}{2}} - \frac{L}{2\cos\alpha} \tan\varphi$$

式中: M ——滑面上部岩体重力,t/m; L ——滑面(软弱夹层)沿滑动方向的长度,m; r_w ——水的重度,t/m; φ ——滑面处(软弱夹层)摩擦角,(°); α ——沿滑动方向软弱夹层滑面的倾角,(°)。

根据平推式滑坡得出的结论:平推式滑坡不考虑 c 的影响,只考虑滑带处摩擦角 φ 的取值^[3]。根据典型点现场滑带土取样,进行了室内实验测试。由于取样的代表性、分析测试造成的误差,滑带处 φ 值与实际值相差较大。本段滑带处 φ 值,采用启动水头公式进行反演。

根据上节内容,推导出暴雨工况下的水头的结果,反演得出暴雨工况下 φ 为11°。因此,取滑带处 φ 值11°,为治理平推式崩塌的设计参数。

3.3 滑块稳定性系数的计算

如图5所示,上部滑动岩块主要受到的力包括:渗入裂缝中水的静水压力 P_w 、沿滑面的扬压力 P_w' 和岩块的自重 W 。

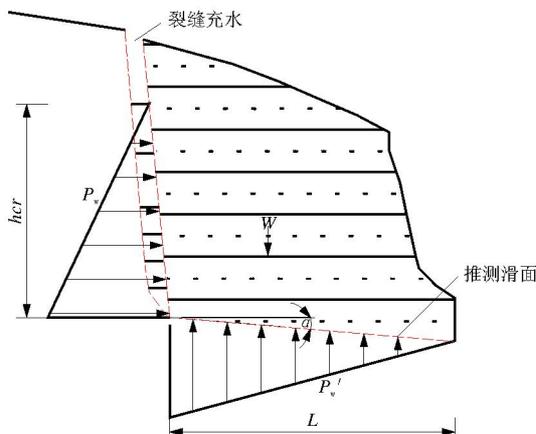


图5 前缘上部岩体的地质模型

在3个主要因素共同作用下,当稳定性系数 $K \leq 1$ 时,上部岩体就处于欠稳定状态。稳定性计算公式^[3]:

$$K = \frac{(W \cos\alpha + P_w - P_w' \sin\alpha) \tan\varphi + cL}{W \cos\alpha + P_w' \cos\alpha} \alpha$$

式中: K ——稳定性系数; c ——滑动面(软弱夹层)粘聚力,kPa; φ ——滑动面(软弱夹层)内摩擦角,(°); α ——沿滑动方向软弱夹层滑面的倾角,(°); L ——滑面(软弱夹层)沿滑动方向的长度,m。

根据本文上述内容推导出暴雨工况下取滑带处 φ 值11°,代入稳定性公式,得出各剖面暴雨工况时的稳定性系数见表2。

表2 稳定性计算结果

剖面	稳定性系数K	剖面	稳定性系数K
I - I'	1.01	III - III'	0.98
II - II'	0.99	IV - IV'	1.02

3.4 滑块剩余下滑力的计算

根据《滑坡防治工程设计与施工技术规范》(DZ/T 0219—2006)规定,该典型点的防治工程级别为Ⅱ级。平推式崩塌一般在暴雨工况下才能滑动,所以只考虑暴雨工况,该工况下安全系数取1.10。

根据传递系数法计算滑块的剩余下滑力。在下滑力中加上由后缘裂隙水头产生的静水压力 P_w 。同样,在抗滑力中加上水沿滑移面向上的扬压力 P_w' 的作用因素。暴雨工况下,剩余下滑力计算结果见表3。

表3 滑块剩余下滑力计算结果

剖面	滑块剩余下滑力/kN	剖面	滑块剩余下滑力/kN
I - I'	410	III - III'	586
II - II'	454	IV - IV'	569

4 平推式崩塌的防治措施

由于该类型崩塌的模式是“由于水的作用产生临空面—崩塌—再产生临空面—再崩塌”。因此,为了彻底根治该类型灾害体的崩塌隐患,在清除崩塌隐患的基础上,还应该注重考虑防止地表水流进裂隙、遏制裂隙的发育,即以稳定平推式崩塌的上部岩块为重点。拟对典型点处崩塌危岩体综合治理措施,提出如下方案(参见图6)。

(1)清除崩塌隐患:对危岩体进行清除、清危;裂隙、凹腔填充。

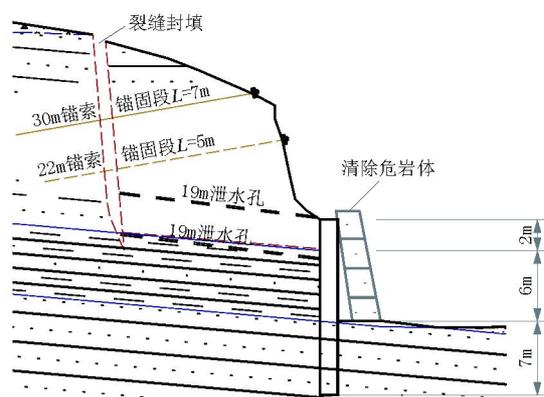


图6 治理措施示意图

(2)在清除崩塌隐患的基础上,还应该注重考虑稳定平推式崩塌的上部岩块。

上部岩块失稳的主要诱因是水的因素,其防治措施主要为:

①为防止强降雨时地表汇集的雨水直接流入后缘裂隙,对后缘裂隙进行封填,同时,在坡体后缘外侧,沿地形布设布置一道排水沟,减轻坡体上方的地表水对上部岩块的影响;

②针对上臂岩块进行抗滑支挡措施,利用锚索锚固力来稳定上部的滑动岩块,防治后缘裂隙进一步的扩张,岩块前缘底部布设一排抗滑桩,桩顶超过滑动面2 m,用来锁住剪出口,防止锚索施加预应力时,滑动岩块发生倾覆,以致锚索失效、扰动滑动面;

③做好支挡措施后,在上部岩块靠近滑面处附近布设排水孔,排水孔的深度要求达到岩块后缘裂隙的位置,目的是降低后缘裂隙水头。

5 结语

(1)成因机理:平推式崩塌具有平推式滑坡相

似的特征,坡体上部为砂岩、底部夹层为泥岩;坡角近垂直;坡体后缘发育有平行坡面、出露于地表的裂隙,裂隙两侧封闭。强降雨时,雨水流入裂隙,产生的动水压和静水压,还有高水头产生的劈裂作用,致使裂隙的发育加速。上部的砂岩层沿着泥岩层向外推挤,从而产生临空面发生崩塌。本文将此类崩塌命名为平推式崩塌。

(2)破坏模式:“由于水的作用产生临空面—崩塌—再产生临空面—再崩塌”。

(3)防治措施建议:为了彻底根治该类型灾害体的崩塌隐患,在清除崩塌隐患的基础上,还应该注重防止地表水流进裂隙、遏制裂隙的发育,即以稳定平推式崩塌的上部岩块为重点。

参考文献:

- [1] 裴向军,黄润秋,裴钻,等.强震触发崩塌滚石运动特征研究[J].工程地质学报,2011,19(4):498-504.
- [2] 梁炯,谢忠胜,石胜伟.基于水动力成因的崩塌机制及防治措施[J].中国地质灾害与防治学报,2013,24(S1):71-75.
- [3] 张倬元,王士天,王兰生.工程地质分析原理[M].北京:地质出版社,1994.
- [4] 范宣梅,许强,张倬元,等.平推式滑坡成因机制研究[J].岩石力学与工程学报,2008,27(S2):3753-3759.
- [5] 赵勇,许模,赵红梅.平推式滑坡后缘启动水头探讨[J].人民长江,2011,42(17):32-36.
- [6] 陈洪凯,艾南山.岩石边坡中地下水压力的基本特性及作用[J].兰州大学学报:自然科学版,1998,34(4):171-175.
- [7] FAN X M, XU Q, ZHANG Z Y, et al. The genetic mechanism of a translational landslide [J]. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 2009, 68(2): 231-244.
- [8] FAUSTO G, MAURO C, PAOLA R, et al. Landslide triggered by the 23 November 2000 rainfall event in the Imperia Province, Western Liguria, Italy [J]. Engineering Geology, 2004, 73(3-4): 229-245.