

文章编号:1673-9496(2010)01-0042-04

湘西朱雀洞滑坡成因机制分析

马德青¹, 胡惠华¹, 赵金举²

(1. 湖南省交通规划勘察设计院, 湖南长沙 410008; 2. 河北省煤田地质局水文队, 河北邯郸 056201)

摘要:针对常德至吉首高速公路红层地区软岩中发生滑移弯曲类破坏模式进行分析研究, 探索红层软岩边坡发生滑移弯曲的特性、滑坡成因及失稳机制。

关键词:软岩, 边坡, 滑坡成因, 破坏模式

中图分类号: P642.22

文献标识码: A

The mechanism analysis of Zhuque hole landslide in western Hunan

MA De-qing¹, HU Hui-hua¹, ZHAO Jin-ju²

(1. Hunan Provincial Communications Planning Survey & Design Institute, Hunan Changsha 410008, China;

2. Coal Geology and Hydrogeology Team of Hebei Province, Hebei Handan 056201, China)

Abstract: Aiming to the flexural slumping of the soft rock in the red beds area along the expressway Changde to Jishou, the failure model of this kind of fracture was analyzed. The causes of landslide and instability mechanism of the flexural slumping occurred in the soft rock slope were explored.

Key words: soft rock; slope; causes of landslide; failure mode

朱雀洞滑坡为常德至吉首高速公路上的一大类型滑坡。该滑坡位于丹青河V型谷左岸宽缓坡面上的白垩系薄~中厚层状红层中, 属红层缓倾顺层大型滑坡。坡体为砂岩夹泥岩。滑坡周界受断层控制, 上、下游两侧分别以F1、F2断层为界, 前缘的丹青河水位受降水影响极大。

1 滑坡基本特征

该滑坡周界平面上呈圈椅状。滑坡长度448m, 平均宽度约450m, 平均厚度15m, 最大厚度约25m, 滑体体积约 $2.6 \times 10^7 \text{ m}^3$, 主滑方向N45°W。

1.1 滑坡周界

滑坡周界主要受F1、F2断层控制。上游(常德端)边界受控于倾角陡立的F1, 高2m~10m的边界陡坎可见断层面及基岩出露。下游(吉首端)边界受控于F2, 并沿断层走向向坡下延展, 受K197+200右侧桩板墙阻挡后沿走向近北西的节理向常德方向转折, 然后沿走向近东西的节理穿过路基向河边延展。边界陡坎在路基以上高约

1m~5m, 见断层角砾, 路基边界主要为裂缝区。滑坡后缘受一组倾向近北西的陡立节理控制。上述三组结构面在后缘相交成弧形, 后缘边界陡坎高约2m~4m。滑体前缘位于坡脚即丹青河边, 部分滑坡舌冲入河中。

1.2 滑动面(带)及滑床

滑带土为泥岩中的软弱结构面或泥化夹层, 呈软塑土状。滑动面(带)产状由基岩层面控制。纵断面上表现为后陡前缓, 后缘地段倾角 $21^\circ \sim 24^\circ$, 前缘倾角 $15^\circ \sim 17^\circ$, 靠上游局部倾角 10° 。横断面上表现为I区深、II区浅, 滑面形状受控于岩层层面, 同时受顺坡向陡倾节理影响, 局部呈阶坎状。滑面上发育擦痕, 其滑移方向与主滑方向一致。滑动面的埋深呈后浅前深。后部埋深0m~11m, K197+000左侧上部滑床出露; 前部滑面埋深13m~20m。滑面的主滑方向受岩层倾向控制, 约为N45°W。下部滑床主要为较完整的弱、微风化砂岩。

1.3 滑体

主要由白垩系下统(K1)砂岩、泥岩和第四系全新统(Qh)的松散残积碎石土组成,滑体厚度10m~20m,体积约 $2.6 \times 10^7 \text{ m}^3$ 。

1.4 剪出口及滑坡舌

剪出口位于滑前的丹青河岸边。据调查,上游剪出口(I区前缘)的标高124m~125m,略低于河床。由于该段为滑动源,最大滑距达80m以上。该段滑坡舌冲入丹青河,阻塞了河道。在河岸可见岩层反翘现象。下游剪出口(II区前缘)相对较高,标高126m~128m。该段滑坡舌的滑移量较小,滑入丹青河一般2m~10m,见岩层滑移弯曲迹象。K196+880处的剪出口相对更高一些,剪出的滑体为松散覆盖层。在已滑路基右侧见有次级滑坡。

1.5 滑坡裂缝

受高速滑移影响,滑体前部滑体已经散体化。上游端滑坡边界附近的裂缝走向主要近南北向、呈拉张性、宽20cm~70cm。后缘附近裂缝走向近北东向,主要呈拉张性,坡面上出现一系列顺坡向台坎,宽20cm~100cm。下游端裂缝走向近东西向,上部主要为拉张性、宽5cm~20cm,下部呈剪切性,更靠近吉首端边界的前缘见剪裂。鼓丘上分布一系列走向近北东向的鼓张裂缝,宽10cm~100cm,在裂缝之间形成陷落坑,同时分布少量北西向的鼓张裂缝,靠近常德端分布有雁列式、走向近东西的羽状鼓张裂缝。

1.6 地下水

滑体的地下水位主要位于滑动面之上,且随降雨而变化很大。地下水的软化作用使坡体强度降低;另外,随着地下水位的升高,岩层面及纵向裂隙中的地下水对滑体产生较大的浮托力及侧压力。

2 滑坡成因与机制分析

2.1 滑坡主要成因分析

岩性结构特征:坡体的岩土特征是该滑坡产生的基本原因。坡体主要为浸水易变软的软质岩;且为顺向坡,岩层产状较平缓,易产生滑移;层

间存在软弱夹层或泥化夹层、层间错动带,这些为滑坡形成的先天条件。

水文地质条件:滑坡区位于斜坡地带,地表汇水面积较大,大气降水是本区地下水、地表水的主要来源。

地表水:主要为斜坡脚下的丹青河,其次为坡面蓄水。丹青河水位受大气降水影响大,汛期水位骤涨、水势凶猛、流速湍急。勘察期间河流最高水位131m、最低126m。

地下水:比较平缓的阶梯状坡地为大气降水的人渗提供良好的地形条件,降水沿覆盖层及裸露的基岩裂隙入渗后转化为地下水,主要为潜水。基岩裂隙水主要储存于节理裂隙及层内,顺泥化夹层或透水红砂岩层向坡脚径流,终以下降泉形式排泄。降水使丹青河水位骤涨,其顶托作用致使坡体地下水排泄不畅,并在坡脚处产生很大的短期承压性。监测表明,雨后坡体的地下水位迅速升高,随着河水位的下落,坡体地下水位下降较快。长时间的大量降雨及洪水的侧蚀是滑坡产生的直接诱因。降雨对滑坡有三个方面的影响,即坡体强度降低、地下水扬压力升高、滑坡后缘静水压力增大。汛期的滑体内地下水位迅速升高,造成动水压力和空隙水压力增大,为发生滑坡提供了充分条件。

若用历史上丹青河最高洪水位131m代表滑前的最高地下水位,那么,当时的地下水位比枯水季上升约8m,平均水力坡度达到28%。由于受河水顶托的影响,坡体地下水排泄不畅,即沿不透水层面产生较大的静水压力和浮托力。随着地表水大量渗入补给,滑体地下水位继续升高,滑坡稳定性最终降到临界状态,板状的红砂岩层在静水压力和浮托力作用下极易发生弯曲变形(图1、图2)。计算表明,地下水位每升高0.1m,朱雀洞滑坡稳定性系数将降低0.08~0.10,推力将提高160kN/m左右。可见地下水对缓倾岩层滑坡的发生起着决定性的作用。

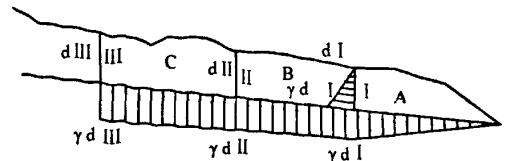


图1 滑坡临滑阶段静水压力和浮托力分布图
Fig.1 The distribution map of hydrostatic pressure and buoyancy of the landslide in pre-slide stage

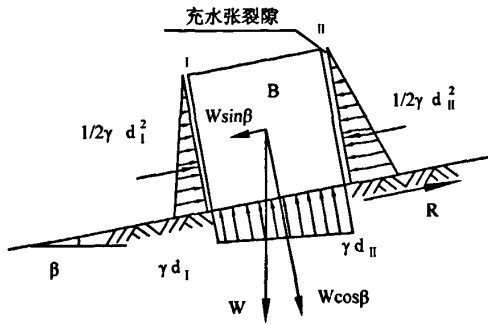


图2 滑块静水压力和浮托力分布图

Fig. 2 The distribution map of hydrostatic pressure and buoyancy of slider

临空面:软质岩浸水易软化,软化后抗冲刷能力降低。该坡体常德端弯道处坡脚的岩层在河流长期浸泡、淘蚀作用下局部失稳坍塌、岩层面临空出露,从而为滑坡的形成提供了良好的空间条件。

2.2 形成机制

滑坡的变形破裂特征:根据变形特征,该滑坡可分为I区(上游侧强烈滑动区)、II区(下游侧滑动区)及III区(上部二次滑动区)三个分区。

I区:滑坡前缘宽约215m,一般宽约170m。前缘高程为丹青河床以下附近,后缘高程约208m。滑坡地形总体呈圆弧状,后缘陡坎高度达9m左右,后缘斜坡坡度为19°,滑坡区总体坡度14°。堆积区中在160m一带存在一N42°E走向的相对隆起带,地形反倾强烈。隆起带上部地形相对较缓,总体坡度12°;下部相对较陡,坡度达26°。滑距达近100m。前缘河床一带岩层近水平,表明该处滑带位于河床下部附近。

II区:斜坡总体坡度16°,主滑方向为N45°~50°W。174m~181m一带存在一总体走向为N50°E的明显隆起带,可见多个鼓包。受I区强烈下错的牵动,该隆起带向上游偏转为N10°E。隆起带一带总体坡度12°,局部反倾。隆起带上部斜坡相对较陡,坡度为17°;下部的174m高程以下,坡度为17°~23°,主要呈拉裂滑塌特征。II区上游侧与I区之间为一相对凸出的山梁,可见岩层强烈揉皱弯曲特征,见明显的I区滑块拖动II区滑块而形成的羽状拖拉裂隙。上游侧下部未发生明显的剪切错动,但近河床一带可见冒水现象,表明上游侧斜坡也具有较明显的弯曲变形现象。滑坡前缘离

现河床高约1m处普遍发育渗水,局部线状流水,表明该段滑床位于现今河床一带或高于河床约1m处。下游侧一带滑床出露,滑床下部岩体明显反倾,倾角达50°左右;上部岩层反倾或近于平行,下游侧缘可见明显的拖拉现象。滑坡下游侧缘滑带较浅,可见因滑坡下滑造成的侧向挤压鼓胀隆起现象,且发育走向N72°W的剪张裂缝,可见弯曲隆起现象;II区滑坡内部近下游侧边界一带可见弯曲牵动形成的脊状隆起。

III区:在I区、II区滑动基础上,于8月3~4日山体中、上部又发生一次规模较大的滑动,滑向N45°~50°W。该次滑坡前缘位于公路一带,高程191m~194m,后缘位于255m一带。该滑坡常德端边界受F1控制,吉首端受F2控制,平面呈近三角形。坡面总体坡度为17°;前缘坡度12°。

滑坡变形总体上呈后缘拉裂破坏,发育走向N50~75°E的横向拉裂,前缘在公路一带为弯曲隆起。南侧侧滑面上发育两组擦痕,倾伏角为35°~40°及55°~60°,陡于断层,表明可能具有切层错动。

形成演化机制分析:上述特征显示,朱雀洞滑坡的变形破裂机制为滑移弯曲型。滑坡主要是中~薄层状钙泥质砂岩夹泥岩构成的顺坡缓倾层状结构斜坡,在河谷演化卸荷及重力作用下,沿层面特别是泥质夹层发生蠕滑弯曲变形,并在连续暴雨及前缘上涨的河水冲蚀等诱发下,使已具有一定变形、已处于潜在不稳定的斜坡的蠕滑弯曲变形加剧,最终在弯曲隆起部位发生剪断溃决而形成高速滑坡。

这种顺坡缓倾层状结构的斜坡,有利于沿层面特别是泥质夹层发生滑移变形。由于层面倾角略大于斜坡面,层面及泥质夹层未在坡面切露,因此在边坡下部一定部位发生弯曲隆起,并形成剖面剪裂。随着滑移弯曲的发展,弯曲隆起进一步加剧,最终剖面剪裂贯通而剪出破坏,形成高速滑坡。

丰富的地下水及前缘河水的冲蚀对滑坡的形成起了主要作用。滑前的连续暴雨,坡体地下水极为丰富,大大地降低了滑带土的力学强度,并在坡体中形成了较大的地下水压力。河水暴涨、流速加快,使位处凹岸的斜坡,尤其是上游侧I区近河床一带的弯曲隆起部位,在河水强烈冲蚀作用下弯曲变形加剧,致使剖面剪裂贯通、弯曲体所积聚的弹性应变能突然释放而成高速滑坡。滑前坡

脚剪出口一带的喷水现象及滑后前缘的出水现象,均说明了降雨及地下水对滑坡形成的重要诱发作用。

由于 I 区正处于凹岸处,受河水的冲蚀作用最为强烈,其滑移剪出面相对较深,弯曲岩层释放的弹性能相对较大,故滑距达 80m ~ 100m; 而 II 区

处于较顺直的河岸处,且剪出面相对较浅,弯曲岩层释放的弹性能相对较小,故滑距仅为 20m ~ 30m。I 区的强烈下滑对 II 区具有一定的侧向牵引作用,表现为 II 区的隆起带向上游方向明显的偏转。顺层边坡滑移弯曲破坏过程见图 3。

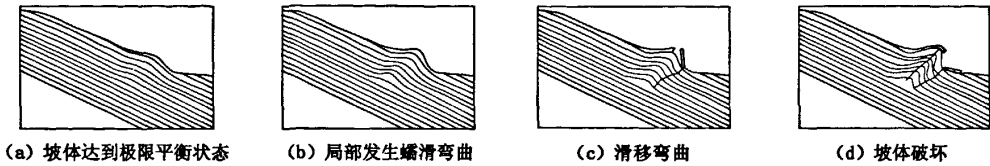


图 3 顺层边坡滑移弯曲破坏过程示意图

Fig. 3 The schematic diagram of flexural slumping failure process of the bedding rock slope

因此,滑坡的总体破坏形式是:首先 I 区滑坡在河水的淘蚀作用下,在断面上逐渐向后缘发生强烈牵引式破坏; I 区的强烈下滑对 II 区具有一定的侧向牵引作用,迫使 II 区滑动; III 区滑坡,由于 I、II 区滑动、下部临空而形成推移式滑坡。

综上所述,该滑坡整体破坏模式为顺层滑移—弯曲—侧迫式滑坡。

4 结论

1) 长大缓倾的红层顺向坡在河谷演化卸荷及重力作用下,沿层面发生滑移弯曲变形。

2) 在高强度暴雨下,地下水对坡体稳定的影响包括降雨入渗使坡体自重增大、软弱夹层饱水后抗剪强度降低等。在持续入渗、坡内形成连续地下水位的条件下,渗流产生的动水压力也起作用。但在如此平缓的地层内产生这么大规模的滑坡,地下水的顶托、水垫效应与裂隙水的“楔裂”、“撕开”作用是主导的。事实表明,超强度的降雨

触发了朱雀洞大型滑坡的发生。地下水起顶托、楔裂、促动作用。水是诱发该滑坡的主要因素。鉴于该区汇水面广、暴雨多、地下水丰富,因此在该滑坡的治理中,采用地表截水排水,坡体平洞排水的措施。

参考文献:

- [1] 张倬元,王士天,王兰生,等. 工程地质分析原理[M]. 北京:地质出版社,2009.
- [2] 王恭先,徐峻龄. 滑坡学与滑坡防治技术[M]. 北京:中国铁道出版社,2004.
- [3] 王恭先. 面向 21 世纪的我国滑坡灾害防治的思考[C]//兰州滑坡泥石流学术讨论会论文集. 北京:中国铁道出版社,1998.
- [4] 严明,陈剑平,黄润秋,等. 岩质边坡滑移—弯曲破坏中间状态的工程地质分析[J]. 水利水电技术,2005,36(11):41-44.
- [5] 孙学阳,杨梅忠,肖良,等. 铜川矿区采动滑坡的发生机理[J]. 黑龙江科技学院学报,2009,19(5):387-390.

(责任编辑 刘存英)