

Analysis on Formation Mechanism of Landslide in Heizhugou Substaion

Qingxiong Lei¹, Junfeng Yan¹, Jia Li²

¹CCCC Second Highway Consultants Co., Ltd., Wuhan Hubei

²Institute of Sichuan Engineering Geology, Chengdu Sichuan

Email: 1204874764@qq.com

Received: Jun. 24th, 2019; accepted: Jul. 9th, 2019; published: Jul. 16th, 2019

Abstract

This paper takes the landslide of Heizhugou Substation as the research object, and masters the engineering geological conditions and basic characteristics of landslide through engineering geological mapping and lab analysis, and uses geological history analysis methods to study the influencing factors and formation mechanism of landslide. Research shows: 1) The landslide spreads along the SE direction, and has a trumpet shape on the plane. The distribution area is $51.8 \times 104 \text{ m}^2$ and the volume is $1037 \times 104 \text{ m}^3$. It belongs to a large landslide. 2) The landslide formation mechanism is dumping and bending, and the deformation and failure process mainly includes: unloading rebound dumping, dumping deformation development and bending crack surface penetration.

Keywords

Anti-Dumping Slope, Pour Bending-Cracking, Formation Mechanism

黑竹沟变电站滑坡形成机制分析

雷清雄¹, 严俊峰¹, 黎佳²

¹中交第二公路勘察设计研究院有限公司, 湖北 武汉

²四川省地质工程勘察院, 四川 成都

Email: 1204874764@qq.com

收稿日期: 2019年6月24日; 录用日期: 2019年7月9日; 发布日期: 2019年7月16日

摘要

以黑竹沟变电站滑坡为研究对象,通过工程地质调绘和室内分析,掌握滑坡的工程地质条件和基本特征;

文章引用: 雷清雄, 严俊峰, 黎佳. 黑竹沟变电站滑坡形成机制分析[J]. 自然科学, 2019, 7(4): 280-288.

DOI: 10.12677/ojns.2019.74038

运用地质历史分析的方法,研究滑坡的影响因素及形成机制。研究表明:1) 滑坡沿 SE方向展布,平面上呈喇叭形,分布面积 $51.8 \times 10^4 \text{m}^2$,体积为 $1037 \times 10^4 \text{m}^3$,属于特大型滑坡;2) 该滑坡形成机制为倾倒弯曲-拉裂,变形破坏过程主要包括:卸荷回弹倾倒,倾倒变形发展和弯折裂面贯通。

关键词

反倾边坡, 倾倒弯曲-拉裂, 形成机制

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

反倾边坡是指层状岩体倾向与边坡坡面倾向相反的一类边坡[1]。在这种边坡中,倾倒破坏是一种常见的变形破坏模式,常见于公路、铁路以及水利水电工程中[2] [3] [4]。一般来说,坡体前缘浅部易发生规模小的倾倒变形,且发育深度有限,其演化过程短,以局部塌滑和崩塌为主。大规模的倾倒具有一个长期演化过程,岩层变形在短期内不至于引起坡体的迅速破坏,此类边坡变形具有长期的地质历史积累过程,一旦发生破坏,就是深层的、大规模的,对工程的影响显著,因此是一个极其重要的工程地质问题[5] [6]。

在反倾边坡倾倒变形的形成机制研究中,黄润秋等[7]采用物理模拟的方法对反倾向岩质边坡的变形破坏规律做了系统研究,提出弯曲-拉裂-剪断式的地质力学模式;徐佩华等[4]通过对锦屏水电站反倾高边坡的变形机制研究,认为边坡的深层变形是由河谷快速下切产生深部卸荷裂隙和倾内层状岩层在自重应力作用下所引起;陈红旗等[8]将反倾层状边坡的任意岩层概化为受复合作用力的板梁模型,基于最大拉应力准则,提出了岩层弯曲折断的应力判据,依据应力判据,得到了岩层弯曲折断的挠度判据;邹小虎等[9]认为中薄层状反向层状结构斜坡弯曲拉裂变形是由于河谷地貌演化过程,岩层发生卸荷回弹,在重力的作用,向河谷临空方向作悬臂梁弯曲,顺坡拉裂缝逐渐贯通,最终失稳;蔡国军等[10]采用物理模拟的低摩擦和数值模拟的方法,研究了反倾向边坡的变形破裂响应,认为边坡开挖主要变形失稳模式为“倾倒-拉裂”模式;苗朝等[11]通过模拟重力场条件的底摩擦模型试验、运用二维离散元和有限元相结合的方法,得出雅砻江甲西滑坡变形破坏模式为逆向层状结构岩体向临空面倾倒弯曲、层间相互错动形成贯通拉裂缝失稳下滑的典型倾倒弯曲-拉裂式。滑坡形成的主要因素为中陡倾层状岩体、高陡坡型、河谷下切临空条件及倾外节理发育。

这些研究多集中于研究倾倒地体变形破坏模式和相应模式下倾倒地体稳定性评价方法,对倾倒地体机理研究还有许多工作须要加强[12]。针对黑竹沟变电站滑坡,通过对该滑坡的工程地质调绘,深入研究其形成机制和演化机理,希望为将来进一步研究反倾边坡的倾倒地体提供基础依据。

2. 滑坡地质环境条件

黑竹沟变电站滑坡地处大渡河汉源-铜街子河段峨边县长虹村,滑坡堆积体中心点地理坐标为: $29^{\circ}16'48.15''\text{N}$, $103^{\circ}16'54.24''\text{E}$ 。滑坡位于大渡河左岸,与象鼻子山隔河相望,省道 306 (S306)从滑坡堆积体前部通过。滑坡堆积体形成地势开阔的平台,其上主要分布着黑竹沟变电站和油菜旱地。滑坡堆积体前部分布着阶地和河漫滩堆积物。

2.1. 地形地貌

滑坡在地形上前部较陡峭，中部为相对平缓的平台，后部较陡。高程 800 m 以下坡度陡峭，坡地约 30°~35°；高程 800 m~850 m 之间为较平坦的平台，坡地约 3°~6°，滑坡堆积区局部坡面呈凹形(负地形)，中部有拉陷槽分布；高程 850 m 以上坡度较陡，坡地约 15°~20°。

2.2. 地层岩性

滑坡区出露地层岩性较复杂，其中地层主要为二叠系和奥陶系，岩性主要为基性喷出岩、碎屑沉积岩以及碳酸盐岩。现将出露地层从老至新依次分述如下：

1) 奥陶系下统红石崖组(O1h)：主要出露于滑坡前缘河流阶地阶坎和滑坡对岸，其岩性为红色薄-中层状砂岩夹灰黑色薄层状页岩；

2) 奥陶系上统五峰组、临湘组和中统上巧家组以及下统下巧家组(O1-3)：主要出露于滑坡前缘河流阶地阶坎处，与下伏奥陶系下统地层呈整合接触关系，其岩性为灰色、灰黑色薄层状页岩夹灰白色薄层状白云质灰岩，岩层统计产状为 N49°~55°E/NW∠40°~49° (图 1)；

3) 二叠系下统茅口组、栖霞组和栖霞组并组(P1)：主要出露于滑坡区中部，与下伏奥陶系地层呈平行不整合接触关系，其岩性为灰色、灰白色中-厚层状白云质灰岩；



Figure 1. The shale in front of the landslide

图 1. 滑坡前部页岩

4) 二叠系上统峨眉山玄武岩(P2β)：主要出露于滑坡区北西侧，岩性为褐黄色块状隐晶质玄武岩，该岩体发育 3 组节理(图 2)：第 1 组为陡倾节理 1 (J1)，该组节理面较平直，张开度 0.5 cm~1.5 cm，延伸长度 2 m~3 m，间距 2~3 条/m，其统计产状：N11°~15°W/NE∠75°~80°；第 2 组为陡倾坡外的节理 2 (J2)，该组节理面较粗糙，张开度 0.5 cm~1.50 cm，延伸长度 1 m~2 m，间距 1~2 条/m，其统计产状：N67°~73°E/SE∠65°~71°；第 3 组为缓倾节理面 3 (J3)，该组节理面较平直，张开度 1.2~2.5cm，延伸长度 4 m~5 m，间距 3~4 条/m，统计产状为：N35°~40°E/NW∠6°~10°。

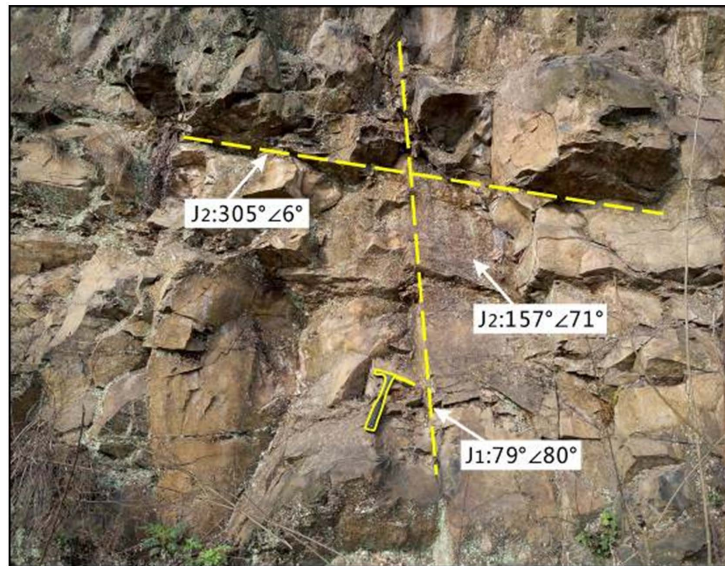


Figure 2. Back basal basalt and joints of landslide
图 2. 滑坡后缘玄武岩及节理

2.3. 滑坡规模形态特征

滑坡沿 SE 方向展布, 呈簸箕形状形态(图 3), 横向宽度和纵向宽度均较大, 前缘紧邻 IV 级阶地。从图 4 可以看出, 滑源区分布于 700 m~1000 m 之间, 滑坡堆积体分布于 700 m~950 m 之间。根据野外调查和实地测量, 滑坡堆积体横宽为 1285 m, 纵长为 1615 m, 分布面积为 $51.8 \times 10^4 \text{ m}^2$, 体积为 $1037 \times 10^4 \text{ m}^3$, 属于特大型滑坡。

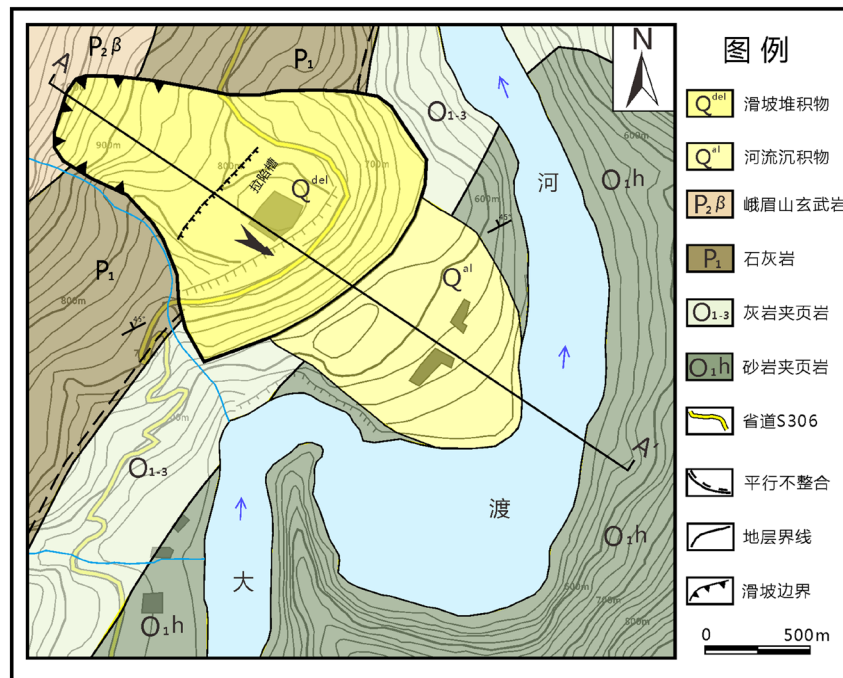


Figure 3. Engineering geological plan of the landslide of Heizhugou substation
图 3. 黑竹沟变电站滑坡工程地质平面图

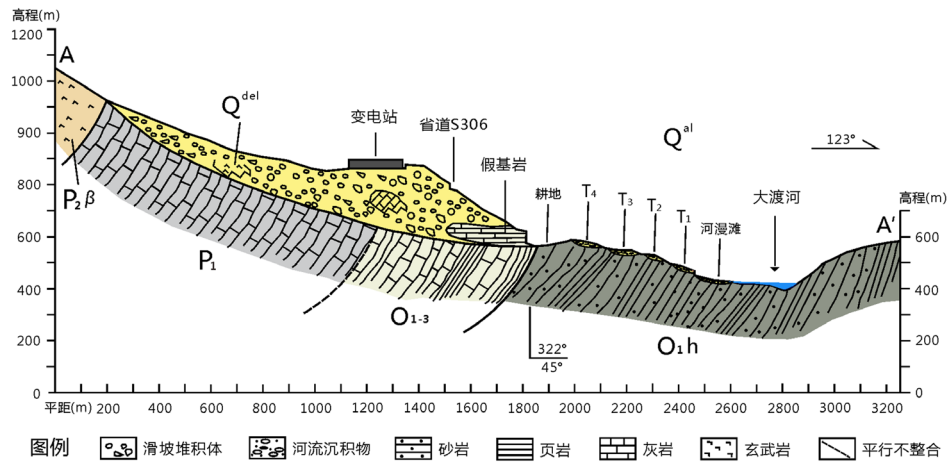


Figure 4. Sectional view of landslide at Heizhugou substation
图 4. 黑竹沟变电站滑坡剖面图

2.4. 滑坡边界特征

1) 后缘边界

滑坡体后缘以连续出露的玄武岩为界，玄武岩发育三组节理，岩体完整性相对较好，弱 - 中等风化。由于后期改造为耕地，加上灌木丛发育，未能发现明显的堆积体与基岩的分界线。

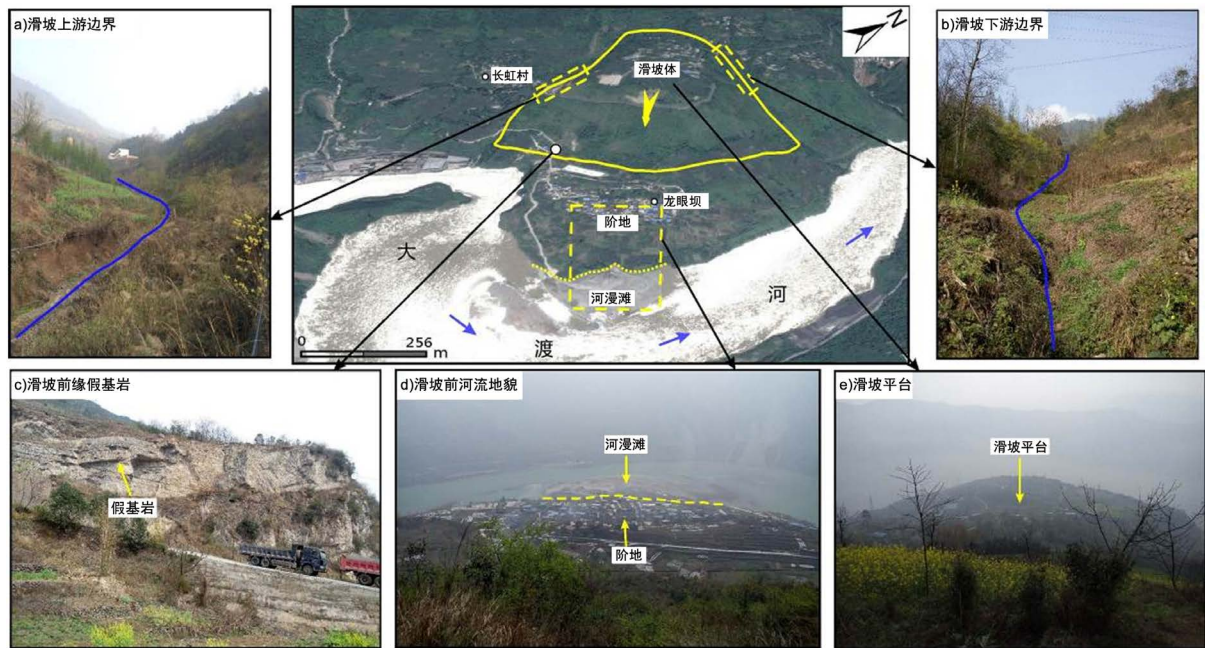


Figure 5. Characteristics of landslide boundary characteristics of Heizhugou substation
图 5. 黑竹沟变电站滑坡边界特征图

2) 侧缘边界

滑坡体上游边界为 SW 向的冲沟(图 5(a))。此冲沟向 SW 方向延伸至大渡河边，向 NE 方向延伸与后缘边界相接。冲沟内未见流水，整个冲沟在前部宽度为 8 m~10 m，深度 5 m~8 m，并且局部有人工修筑水渠。在滑坡体右侧边界有一废弃的采石场，在采石场中，发现褐黄色玄武岩基岩出露，表面中等风化。

冲沟左侧可见崩塌堆积体, 堆积体中多为灰白色的灰岩碎石, 粒径 3 cm~5 cm, 胶结程度好, 局部形成近直立的峭壁, 高度 8 m~20 m, 并且其中可见玄武岩块体。

滑坡体下游边界也为冲沟(图 5(b)), 冲沟宽度在滑坡后部的地方, 宽度为 3 m~5 m, 并且在冲沟左侧清晰可见玄武岩基岩。在滑坡前部宽度由于受地形影响变宽, 在冲沟右侧的斜坡上可见玄武岩的崩滑块石, 直径为 30 cm~60 cm。

3) 前缘边界

滑坡体前缘紧邻 IV 级阶地(图 5(d)), 整个 V 级阶地阶面被滑坡体扰动覆盖, 仅在前缘与右侧边界交汇地带可见 V 级阶地残留的卵砾石层。在滑坡前缘的坡面可见零星的卵石, 由于整个坡面杂草丛生, 未能见到清晰的基覆界线, 但滑坡前缘可见假基岩(图 5(c)), 岩性为灰白色厚层灰岩, 其产状与相同岩性基岩的产状差别较大。

2.5. 滑坡物质组成特征

黑竹沟变电站滑坡为岩质滑坡, 滑体表部被改造为耕地, 省道 306 (S306)从滑体前部通过, 由于省道公路边坡开挖, 形成近直立的峭壁, 从峭壁上可见钙质胶结的碎石土, 局部可见巨大的灰岩碎块石胶结形成的孤石(图 6)。在滑堆积体右侧形成了峭壁, 物质结构较为松散, 局部胶结较好, 形成较陡立的坡体。在滑坡前部有峭壁, 高度为 13.4 m, 具有明显分层现象, 上部 5 m 为灰白色碎石土, 其母岩岩性为灰白色灰岩, 堆积体胶结程度较好, 其中局部含有黄色粘土, 下部为砖红色碎石土, 其母岩岩性为砖红色粉砂岩(图 7)。



Figure 6. Calcareous cemented gravel soil in the front of the landslide
图 6. 滑坡前部钙质胶结的碎石土



Figure 7. Calcareous cemented gravel in front of landslide
图 7. 滑坡前部钙质胶结的碎石土

3. 滑坡形成的控制因素

3.1. 地形地貌

滑坡区地处四川盆地与云贵高原的过渡地带,大地构造部位属扬子准地台(I级)的上扬子台拗(II级)北部的峨眉山断拱(III级)与凉山褶皱束(III级)交汇地带,断层、褶皱发育。多期构造运动使该区域的地质构造相互叠加、相互干涉,形成了复杂的地质构造。地貌上属于构造剥蚀山地和以侵蚀堆积为主的山间河谷地貌。黑竹沟变电站滑坡位于大渡河峨边段深切峡谷地区,滑坡前缘位于IV级阶地上,高程为570 m,后缘直达山坡平台,高程为970 m,高差为400 m。地形上,滑坡处于三面临空的脊状山体端部一侧,并向大渡河凸出,有利于斜坡岩体向临空面发生卸荷回弹,产生弯曲—拉裂变形。

3.2. 斜坡结构

滑坡出露岩性上部以中-厚层的灰岩为主,中下部以薄层页岩为主,岩层产状 $S228^{\circ}\sim 242^{\circ}W/NW\angle 45^{\circ}\sim 50^{\circ}$,上部岩体由于以中-厚层的灰岩为主,比中下部的薄层页岩的强度高,因而构成上硬下软的中陡倾坡内的逆向层状结构。研究表明,在中等-中等偏陡倾角($40^{\circ}\sim 70^{\circ}$)的上硬下软的反倾层状岩体斜坡中容易产生倾倒弯曲-拉裂变形破坏。这是岩层向临空方向作悬臂梁弯曲的结果,并且此类滑坡规模一般相对较大。

3.3. 河谷地貌演化条件

由于滑坡区内发育五级阶地,表明新构造运动强烈,地壳剧烈抬升,河流迅速下切,在滑坡前缘形成近直立的陡坡,为坡体变形提供了良好的临空条件。斜坡前缘岩体在河流下切过程中,发生卸荷回弹,岩层之间由于互相错动产生拉裂,在重力的作用下并伴有与板梁近于垂直的拉裂缝形成。由于斜坡前缘岩体发生卸荷回弹从而在岩层之间形成拉裂,在重力作用下,岩层向临空方向作悬臂梁弯曲,并产生垂直与板梁的拉裂缝。

4. 滑坡成因机制分析

结合黑竹沟变电站滑坡的工程地质条件和滑坡体的基本特征,认为此滑坡成因机制为倾到弯曲-拉裂,其变形破坏过程主要分为以下3个阶段:

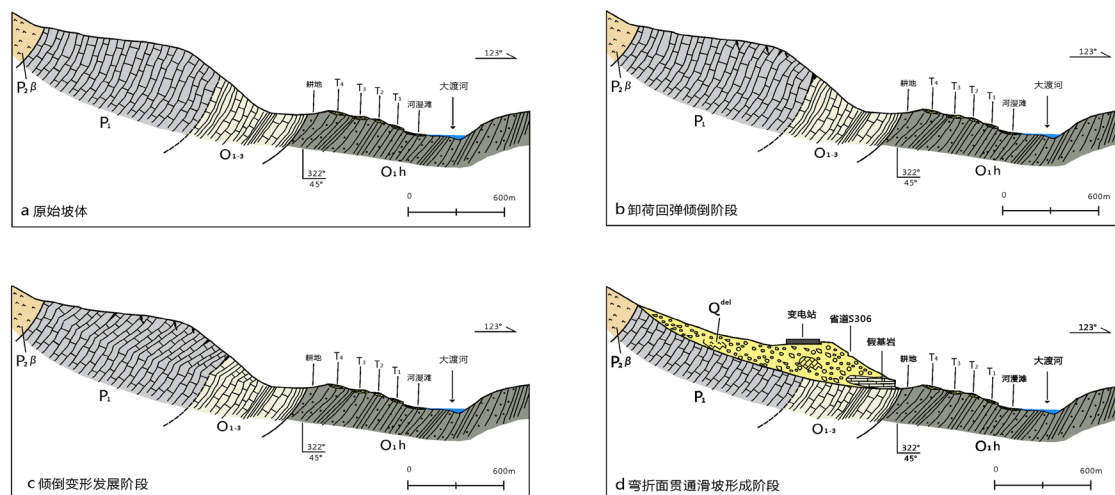


Figure 8. Schematic diagram of longitudinal section of landslide deformation and failure process in Heizhugou substation
图 8. 黑竹沟变电站滑坡变形破坏过程纵剖面示意图

(一)卸荷回弹倾倒阶段:新构造运动使地壳剧烈抬升,大渡河快速下切,形成V级阶地和V级阶地陡峭的阶坎。坡体的应力发生重分布,使得层岩发生卸荷回弹,并沿层面产生拉裂面。由于陡峭的阶坎提供了良好的临空条件。岩层向大渡河方向发生倾倒(图8(b))。

(二)倾倒变形发展阶段:由于上部岩层的长期挤压,下部的页岩塑性变形加剧,上部的层状灰岩在重力作用下向临空方向作悬臂梁弯曲,进一步加剧了层面间的错动,使得拉裂面向深部扩展并逐渐向坡体后部推移。由于层状灰岩以脆性破坏为主,因而层状灰岩主要发生弯折(图8(c))。

(三)弯折裂面贯通阶段:随着变形向深部延伸和后部推移,弯折裂面逐渐贯通,岩体最终沿着折裂面构成的滑动面发生整体滑动。最终形成黑竹沟变电站滑坡(图8(d))。

5. 结论

本文通过工程地质调绘,查明了黑竹沟变电站滑坡的规模、形态、边界特征、物质组成及结构等,分析阐明了滑坡的形成过程与机制,获得以下主要结论:

1) 滑坡沿SE方向展布,总体滑动方向为S55°E。从平面上看呈喇叭形,横向宽度较大,前沿微凸,紧邻IV级阶地。滑坡前缘高程570 m,紧邻IV级阶地;后缘高程970 m左右,前后缘高差约400 m,纵向长约1615 m,横向最长可达1285 m,滑坡区面积为 $51.8 \times 10^4 \text{ m}^2$,体积为 $1037 \times 10^4 \text{ m}^3$,属于特大型滑坡。

2) 滑坡在地形上表现为前后陡,中间平坦,组成物质以灰岩碎块石为主,粒径在3 cm~10 cm之间,含量约55%~65%,充填物为粉土或粉质粘土,局部夹有大的块石,直径可达30 cm。整体的胶结程度较好,局部由于细粒物质被带走,结构较为松散。

3) 滑坡形成于V级阶地形成以后至IV级阶地形成之前的大渡河快速下蚀时期,其形成机制为倾倒弯曲-拉裂。该滑坡变形破坏过程主要包括分为3个阶段:卸荷回弹倾倒,倾倒变形发展和弯折裂面贯通。

4) 滑坡是上硬下软的中陡倾坡内的逆向层状结构,斜坡中下部的薄层页岩在上覆中厚层状灰岩的长期挤压作用下,产生非均匀的塑性变形,使下部地层承载能力降低,坡体在上部岩层倾覆力矩的作用下整体向外倾倒。由于斜坡前缘岩体发生卸荷回弹从而在岩层之间形成拉裂,在重力作用下层状的岩层向临空方向作悬臂梁弯曲,层面间的拉裂面进一步向深部扩展并且向坡体后部推移,最终在坡体后缘形成贯穿较深的拉裂缝。当岩层弯折部位贯通后形成的软弱折裂面构成滑带时,坡体发生整体失稳。

参考文献

- [1] 张以晨, 仵磊, 沈世伟, 等. 反倾层状岩质边坡倾倒破坏力学模型[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2011(S1): 207-213.
- [2] 杨绪波. 四川广北高速公路K40+300-K41+800段危岩变形模式及稳定性评价[J]. 西南公路, 2011(3): 54-57, 68.
- [3] 伍保祥, 沈军辉, 沈中超, 等. 四川省华蓥市赵子秀山变形体的成因机制研究[J]. 水文地质工程地质, 2008, 35(3): 23-27.
- [4] 徐佩华, 陈剑平, 黄润秋, 等. 锦屏水电站解放沟反倾高边坡变形机制的探讨[J]. 工程地质学报, 2004, 12(3): 247-252.
- [5] Bobet, A. (1999) Analytical Solutions for Toppling Failure. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 36, 971-980. [https://doi.org/10.1016/S0148-9062\(99\)00059-5](https://doi.org/10.1016/S0148-9062(99)00059-5)
- [6] 张泽林, 吴树仁, 唐辉明, 等. 反倾岩质边坡的时效变形破坏研究[J]. 地质科技情报, 2014, 33(5): 181-187.
- [7] 黄润秋, 王峥嵘. 反倾向岩质边坡变形破坏规律分析[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 1994.
- [8] 陈红旗, 黄润秋. 反倾层状边坡弯曲折断的应力及挠度判据[J]. 工程地质学报, 2004, 12(3): 243-246.
- [9] 邹小虎, 沈军辉. 雅砻江甲西滑坡成因机制及其稳定性分析[J]. 地质灾害与环境保护, 2006, 17(4): 39-42.
- [10] 蔡国军, 黄润秋, 严明. 反倾向边坡开挖变形破裂响应的物理模拟研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(4):

811-817.

- [11] 苗朝, 沈军辉, 杨佳丽, 等. 雅砻江甲西滑坡倾倒弯曲-拉裂形成机制研究[J]. 防灾减灾工程学报, 2015, 35(3): 411-417.
- [12] 邹丽芳, 徐卫亚, 宁宇, 等. 反倾层状岩质边坡倾倒变形破坏机理综述[J]. 长江科学院院报, 2009, 26(5): 25-30.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网首页: <http://cnki.net/>, 点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”, 跳转至: <http://scholar.cnki.net/new>, 搜索框内直接输入文章标题, 即可查询;
或点击“高级检索”, 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2330-1724, 即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/> 顶部“旧版入口”进入知网旧版: <http://www.cnki.net/old/>, 左侧选择“国际文献总库”进入, 搜索框直接输入文章标题, 即可查询。

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ojs@hanspub.org