

三峡库区卧沙溪滑坡变形失稳机制分析

卢书强^{1,2}, 易庆林¹, 易武¹, 田正国^{3,4}, 石长柏⁴

(1. 三峡大学 湖北长江三峡滑坡国家野外科学观测研究站, 湖北 宜昌 443002;

2. 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;

3. 三峡库区地质灾害防治工作指挥部, 湖北 宜昌 443000; 4. 湖北省地质环境总站, 湖北 武汉 430034)

摘要:卧沙溪滑坡位于长江支流青干河右岸, 三峡库区蓄水以来, 该滑坡的变形持续加剧。地表调查表明滑坡出现了剪性、张性及挤压裂缝; GPS 监测数据表明滑坡下部的变形大于上部, 滑动是由于库水位下降而引起。滑坡变形机制为前缘牵引后缘平推式, 前期以牵引为主, 后期以平推为主。强降雨和库水位下降是滑坡变形的主要因素, 当库水位在一段时期内按一定速率持续下降时, 滑体变形速率明显加大。

关键词:三峡库区; 滑坡; 变形; 失稳机制

文章编号:1003-8035(2013)02-0021-05

中图分类号:P642.22

文献标识码:A

0 引言

滑坡是一个复杂的地质体, 影响滑坡稳定性的因素很多, 各因素对滑坡的影响程度各异。并且在滑坡变形演化过程中, 这些因素又是动态变化的, 这些都决定了滑坡变形机制与变形特征十分复杂^[1-3]。因此, 滑坡的变形失稳过程与机理的研究一直为人们所关注。主要研究方法就是通过变形特征的观察和分析, 研究滑坡内部经历的变形过程及伴随这一过程岩土体内部的破裂行为, 力图通过这样的分析, 阐明滑坡失稳之前, 潜在滑动面的孕育、累进性破坏及可能的贯通过程, 从而为滑坡稳定性的评价及失稳预测提供基础^[4-5]。本文从 2003 ~ 2012 年监测资料入手, 阐明卧沙溪滑坡的变形特征, 研究其变形失稳机制及影响因素。

1 滑坡区工程地质环境

卧沙溪滑坡位于长江支流青干河右岸的梅坪村, 青干河由西向东从滑坡前缘经过。滑坡距河口约 6km, 下距位于青干河左岸的千将坪滑坡约 1.5km, 距三峡大坝约 50km(图 1)。

滑坡地处鄂西山间地带的秭归盆地, 属侵蚀构造中、低山地貌类型, 在构造单元上位于百福坪背斜的南翼。滑坡区为单斜地层, 出露的基岩主要为侏罗系中-下统聂家山组(J_{1-2n})灰绿色厚-巨厚层状长石英砂岩、粉细砂岩夹少量紫红色粉砂质粘土岩、泥岩, 风化强烈; 地表覆盖第四系崩积层。岩层总体产状 $100^\circ \sim 120^\circ \angle 15^\circ \sim 30^\circ$, 走向与岸坡总体走向大

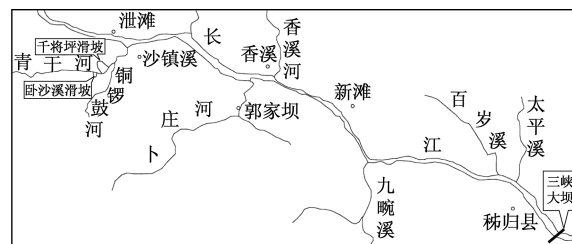


图 1 卧沙溪滑坡地理位置

Fig. 1 Location map of Woshaxi Landslide

角度相交, 属斜向结构岸坡。

滑坡位于亚热带季风气候区, 雨量丰沛, 四季分明。多年平均降雨量约 1028.6mm, 年最大降雨量 1430.6mm, 日最大降雨量 358mm, 降雨多集中在 5 ~ 9 月, 以暴雨为主, 年降雨天数 120 ~ 140 d。

滑坡体平面上总体呈“圈椅”状, 近南北向, 后缘有一明显陡坎, 高约 5 ~ 10m(图 2)。滑坡体纵向(南北向)长约 260m, 横向宽约 200m, 滑体厚度约 15m, 体积约 $70 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。滑坡前缘剪出口高程约 105m, 后缘高程约 200m。坡度一般 $15^\circ \sim 30^\circ$, 前缘近河谷部位坡度较陡, 约 $35^\circ \sim 50^\circ$ (图 3)。

收稿日期:2013-02-28; **修订日期:**2013-03-22

基金项目:湖北省教育厅科学技术研究项目(D20121304); 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室开放基金(SKLG2012K032); 湖北省自然科学基金(2012FFA040, 2012FFB03804)

作者简介:卢书强(1973—), 男, 副教授, 主要从事岩土体稳定及地质灾害防治方面的教学与研究工作。

E-mail: Lsq2197@163.com

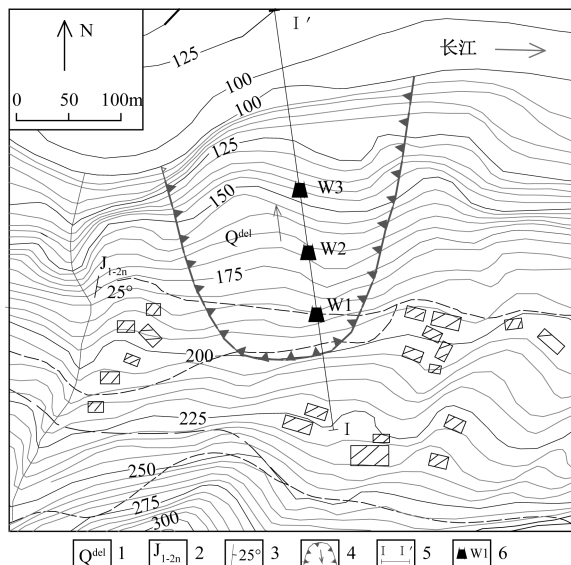


图2 卧沙溪滑坡平面图

Fig. 2 Geomorphic map of Woshaxi landslide

1—第四系崩积层;2—侏罗系中统砂岩层;3—岩层产状;
4—滑坡边界及滑动方向;5—剖面及编号;6—监测墩及编号

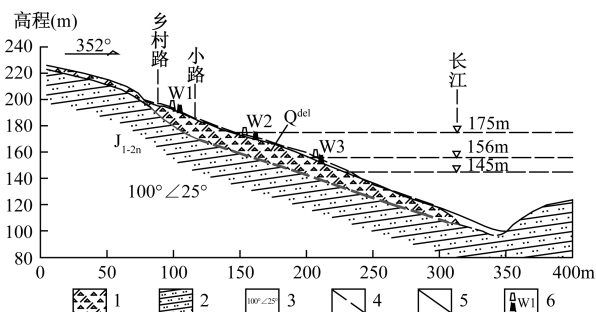


图3 I—I'工程地质剖面图

Fig. 3 Engineering geological profile of Woshaxi landslide

1—崩积块碎石土;2—石英砂岩;3—岩层产状;4—原始地形线;
5—现地形线;6—监测墩及编号(虚线表示监测墩原位置)

根据现场地质调查,卧沙溪滑坡体物质主要为崩坡积块碎石土,由褐色、黄绿色、紫红色粉砂质粘土夹块碎石组成,结构松散,块碎石含量达20%左右,多为石英砂岩、粉砂岩,粒径一般0.5~20cm。滑面为覆盖层与基岩的接触面,滑带土由紫红色粘土夹少量碎石组成,碎石成分复杂,主要为黄褐色泥质粉砂岩。

2 滑坡变形特征分析

2.1 地表变形特征

据调查,卧沙溪滑坡在历史上一直处于蠕滑状态。2003年三峡水库135m蓄水后,滑坡曾出现轻微变形。2006年156m蓄水期间滑坡体出现裂缝。

2007年2~3月库水位下降期间,滑坡体出现明显变形,后缘出现拉裂缝,至2007年4月底,滑坡后缘拉裂缝呈弧形完全贯通,宽约0.1~0.3m,总长约500m,下错陡坎约0.5m。整个滑坡体表面横向裂缝密集分布,多处可见0.5~1.0m的下错阶坎,坡体被切割成多个块体。2007年8月份以后,滑坡变形逐渐趋于稳定。

2008年5月中旬开始,滑坡再次出现明显下滑变形,后缘弧形拉裂缝继续扩张,裂缝最宽达0.6m,下错达0.8m。滑坡西侧边界的小路被错断,陡坎高达2m(图4),至2008年5月底滑坡变形又逐渐趋于稳定。但2009年5月14日之后,卧沙溪滑坡上的弧形裂缝出现新的拉张变形,追踪原有裂缝变形明显,已多次填平的公路被裂缝错断并再次产生下座变形,滑坡周缘圈椅状裂缝已完全形成。2009年6月后滑坡地表变形迹象明显减少。2010年、2011年滑坡变形不明显,但在2012年5月滑坡体上又出现明显变形迹象。



图4 滑坡体西侧边界陡坎

Fig. 4 West boundary of the landslide

2.2 GPS 监测位移分析

卧沙溪滑坡体上共布设3个GPS监测点,各监测点分布如图2。自2007年4月以来开始实施专业监测(W3点从2008年5月开始监测),截止2012年12月已经监测多期。各监测点累积位移监测曲线如图5所示(W3点2008年11月、W2点2010年11月被库水淹没)。图中表明3个监测点变形位移具有同步性,但其位移变化幅度各异。刚开始滑动时,滑坡中部(W2点)的位移量大于滑坡后缘(W1点)(滑坡前缘W3点监测时间短),表明滑坡下部的变形大于上部。整体上监测点地表位移呈现出阶跃型演化特征,分别在每年的5~9月份出现突然上扬,10月至次年的4月趋于平稳,即在每年的晚春至早秋季节位移出现阶跃式增长,其中5、6月份位移变化最为突

出。特别是在2007年、2008年、2009年及2012年,滑坡位移剧增现象最为明显。如2007年5月份,W2监测点位移剧增5893mm。分析表明当滑坡在变形演化过程中,遭受季节性降雨和库水位等外界因素的作用下,则累积位移—时间曲线呈现阶跃型演化特征。

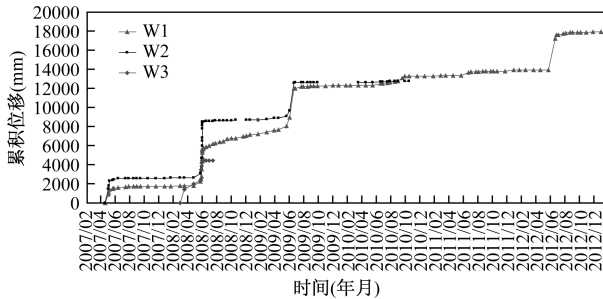


图5 卧沙溪滑坡累积位移监测曲线

Fig. 5 Monitoring curves of accumulative displacement

卧沙溪滑坡位移剧增年份的位移速率曲线如图6。从图中可以看出,位移速率曲线具有波动型变化规律。在2007年5月、2008年5月、2009年6月和2012年6月,各监测点位移速率均处于波峰,即每年的5月或6月滑坡变形最为剧烈。如2008年5月26日最大变形速率达2250.7mm/d。此外,在2008年6月份之前,滑坡下部监测点W3的变形速率最大,中部监测点W2次之,上部监测点W1的变形速率最小,这说明滑坡中下部的变形快于上部,滑坡体运动具有牵引式特点。但6月份之后,滑坡上部监测点W1的变形速率却大于中部,下部最小,说明后期滑坡上部的变形速率大于下部,滑坡体运动变化为推移式特征。

3 滑坡变形过程和机理分析

卧沙溪滑坡的地形及岩性条件是滑坡发生的内因,而三峡库水位的持续下降诱发了滑坡的发生,降雨则加速了滑坡的滑动。

卧沙溪滑坡的坡度一般为 $15^{\circ} \sim 30^{\circ}$,但在前缘近河谷部位坡度较陡,达 $35^{\circ} \sim 50^{\circ}$,称为滑坡滑动的剪出口(图3)。此外,滑坡区基岩地层为侏罗系中、下统聂家山组(J_{1-2n})厚~巨厚层状长石石英砂岩、粉细砂岩夹少量紫红色粉砂质粘土岩、泥岩,总体呈软硬相间分布,粘土岩层厚较薄、岩质软弱且易风化,亲水性矿物含量较多,遇水极易软化,是“易滑岩组”。这类岩层不仅本身容易发生滑坡,而且它的风

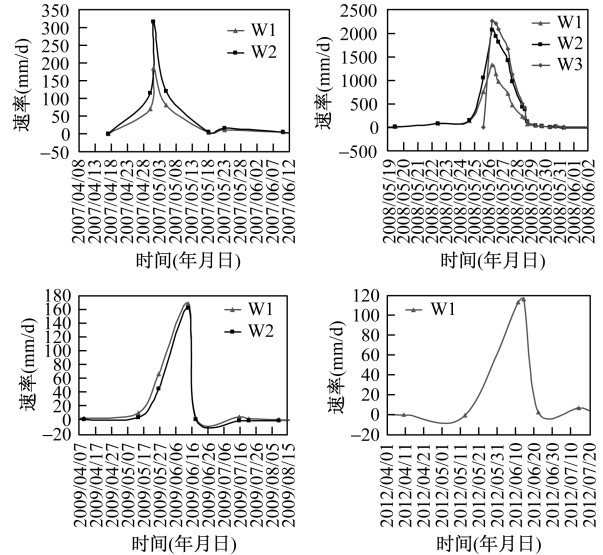


图6 滑坡变形速率曲线

Fig. 6 Curves of displacement rate of the landslide

化碎屑产物和覆盖在其上的堆积层也极易沿着基覆界面发生滑动。卧沙溪滑坡正是沿基覆界面发生了滑动。

三峡水库运行期库水位周期性升降变化具有明显的季节性特征。每年的6~9月份汛期期间,库水位降低至防洪限制水位145m左右;10月份水库蓄水,库水位逐步升高至175m,并保持高水位运行到12月份,次年的1月份库水位开始大幅度的缓慢下降,直到6月初降至最低水位145m。三峡水库运行库水位变化曲线如图7。

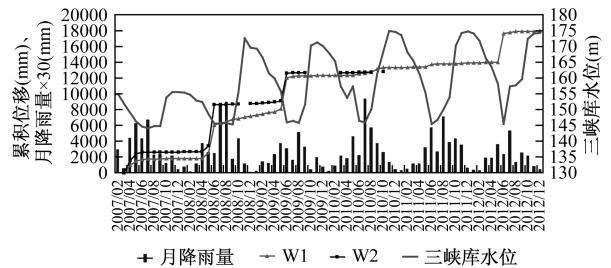


图7 滑坡累积位移—库水位—降雨量—时间关系图

Fig. 7 The correlation curves of accumulative displacement, rainfall and reservoir water level

库水位的下降,自然坡体内地下水水位跟着下降,但坡体内地下水位的下降速度远远小于库水位的下降速度,由此导致坡体内地下水的水力梯度和动水压力明显增大。同时大部分坡体仍处于饱水状态,其重度也较大。因此导致坡体稳定性急剧下降。

卧沙溪滑坡随库水位的下降发生变形,当库水位

急剧下降后,滑坡的变形速率也随之增大。并且滑坡前缘较陡,在重力作用下发生垮塌破坏,滑体中下部随之产生拉裂一错落变形。随着库水位的持续下降,滑体上部也发生变形。显然,卧沙溪滑坡经历了一个从前缘向后缘牵引后退的发展过程,属于典型的“牵引式后退式”滑动模式。滑坡前缘的变形速度大于后缘的变形速度,是这一滑动模式的较好体现。

之后,由于滑坡前缘已滑入河谷底部,使得坡体前缘陡坎消失,坡度变缓,阻挡滑坡体继续下滑(图3)。而且三峡库水位已降到最低水位,不再继续下降。因此,滑坡的变形速率逐渐减小,且其前缘变形速度小于后缘变形速度,并有轻微隆升现象,滑坡表现出推移式滑动的特点。

另外,降雨对该滑坡的变形也有较大影响,降雨渗入坡体后,使得:①增加了坡体自重;②形成了孔隙渗透压力;③使滑带土性状软化、力学参数降低。滑坡区的降雨量如图7。对比降雨量和滑坡变形位移曲线可知,滑坡的变形与大气降雨之间具有明显的相关关系,滑坡变形曲线每年均出现一个“阶跃”,且正好处于每年的降雨集中时期,出现的时间与滑坡位移值陡增期一致,充分表明大气降雨是该滑坡变形的主要因素之一。

此外,卧沙溪滑坡的变形是在库水位下降期间、并有降雨的作用而发生的,是大气降雨和库水位变动双重作用的结果。根据图7,当大气降雨和库水位下降这两个因素相互叠加,更容易造成位移曲线明显的增长趋势。特别是在2007、2008、2009和2012年,受三峡水库水位下调和汛期降雨的双重影响,滑坡变形急剧增加。这表明在库水位下降过程中,若出现明显降雨过程,对滑坡的稳定性造成更为不利的影响。

4 结论

本文以三峡库区卧沙溪滑坡为例,根据地表调查和GPS监测数据,综合分析了滑坡地表裂缝、位移和变形速率等变形特征。通过滑坡位移与库水位、降雨之间的相互关系分析,研究了滑坡的变形过程和形成机制。结果表明库水位下降和降雨是引起卧沙溪滑坡阶跃型变形是主要诱因。在库水位下降和降雨等

外界因素的作用下,滑坡发生蠕动变形,且滑坡体中下部变形速率大于后缘,其变形具有牵引式后退特征。之后,随着滑坡前缘滑入谷底,前缘变形速度减小,并伴有轻微隆升现象,滑坡体变形表现出推移式滑动特征。

参考文献:

- [1] 张奇华,丁秀丽,邬爱清. 滑坡变形预测与失稳预报问题的几点讨论[J]. 中国地质灾害与防治学报,2005,16(2):116-120.
ZHANG Qihua, DING Xiuli, WU Aiqing. Discusses on some problems of deformation and failure prediction for landslide[J]. Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2005, 16(2): 116-120.
- [2] 彭令,牛瑞卿. 三峡库区白家包滑坡变形特征与影响因素分析[J]. 中国地质灾害与防治学报,2011,22(4):1-7.
PENG Ling, NIU Ruiqing. Analysis on deformation characteristics and influential factors of Baijiabao landslide in the Three Gorges Reservoir area[J]. Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2011, 22(4): 1-7.
- [3] 宋磊,左三胜,丁军,等. 四川都江堰红梅村滑坡复活成因与机制分析[J]. 中国地质灾害与防治学报,2012,23(2):34-37.
SONG Lei, ZUO Sansheng, DING Jun, et al. Causes and mechanism analysis of Hongmei village landslide, Sichuan province[J]. Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2012, 23(2): 34-37.
- [4] 黄波林,陈小婷. 香溪河流域白家堡滑坡变形失稳机制分析[J]. 岩土工程学报,2007,29(6):938-942.
HUANG Bolin, CHEN Xiaoting. Deformation failure mechanism of Baijiabao landslide in Xiangxi River Valley [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2007, 29(6): 938-942.
- [5] 易武,孟召平,易庆林. 三峡库区滑坡预测理论与方法[M]. 北京:科学出版社,2011.
YI Wu, MENG Zhangping, YI Qinglin. Theory and method of landslide stability prediction in the Three Gorges Reservoir area [M]. Beijing: Science Press, 2011.

Analysis on deformation and failure mechanism of Woshaxi landslide in the Three Gorges Reservoir Area

LU Shu-qiang^{1,2}, YI Qing-lin¹, YI Wu¹, TIAN Zheng-guo^{3,4}, SHI Chang-bai⁴

(1. National Field Observation and Research Station of Landslides In Three Gorges Reservoir Area of Yangtze River, China Three Gorges University, Yichang, 443002, China; 2. State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu, 610059, China; 3. Command Post of the Geological Hazard Prevention in The Three Gorges Reservoir Area, Yichang, 443000, China; 4. Hubei Geological Environment Station, Wuhan, 430034, China)

Abstract: The Woshaxi landslide is located on the right bank of Qinggan river which is a tributary of the Yangtze River, which continuously and seriously developed after the impoundment of Three Gorges. Surface investigation showed that there were shearing, tensing and crush-pressing fissures. The monitoring data showed that displacement of lower part was bigger than that of upper, and the sliding because of the reservoir water level decline. The landslide mechanism was towing forward and pushing backward, and towing happened mainly in the prophase, while pushing happened mainly in the anaphase. Heavy rainfall and water level drawdown are the main factors of landslide deformation.

Key words: the Three Gorges Reservoir Area; landslide; deformation; failure mechanism

(上接第 20 页)

Influence of geomorphology erosion on debris flow development on upstream of Minjiang River

FENG Yin^{1,2}, YANG Wu-nian^{1,2}, ZHANG Lin^{1,2}, ZHU Yuan¹, LI Jing-jing^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Geological Disasters Prevention and Geological Environment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. Institute of RS & GIS, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: Xing Wenping, Mozi gully and Yeniu gully are three contiguous debris flow gullies in Yinxing Country on Yingxiu Town on upper basin of Minjiang river. Their geological and rainfall conditions are semblable, but outbreak frequency of Mozi gully is the highest. This article which is through to comparative analysis of geomorphic development stages and topography conditions on these three gullies proves that the key factor of control the debris flow is topography conditions. Thus in the approximate condition region that the semblable geological and rainfall conditions, it can provides the basis for focusing on prevention and early warning to gully of the best topography conditions and effective reduction of sudden disaster losses.

Key words: topography conditions; debris flow; upstream of Minjiang River; geomorphic development stages; outbreak frequency