

三峡库区石榴树包滑坡近期变形特征与机理分析

杨 何, 汤明高, 许 强, 龚正峰, 祝 权

Recent deformation characteristics and mechanism of the Shiliushubao landslide in the Three Gorges Reservoir Area

YANG He, TANG Minggao, XU Qiang, GONG Zhengfeng, and ZHU Quan

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2022.01-08>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

三峡库区典型顺斜向岩质滑坡变形破坏特征及失稳机制分析

Deformation characteristics and failure mechanism of large-scale obliquely dip rock landslide in the Three Gorges Reservoir Region

蒋先念, 张晨阳 中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(2): 36-42

三峡库区箭穿洞危岩体变形破坏模式与防治效果分析

Analyses on failure modes and effectiveness of the prevention measures of Jianchuandong dangerous rock mass in the Three Gorges Reservoir area

蒋文明, 王鲁琦, 赵鹏, 黄波林, 张枝华, 胡明军 中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(5): 105-112

三峡库区大型斜倾顺层滑坡失稳机理分析

Instability mechanism of massive oblique bedding rock landslide in the Three-Gorges Reservoir: A case study of the Longjing landslide in Shizhu County of Chongqing City

王平, 朱赛楠, 张枝华, 吴晓宾, 杨柳, 赵慧 中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(4): 24-32

三峡库区巫峡剪刀峰顺层岩质岸坡破坏模式分析

An analysis on the destruction mode of Wuxia scissors peak down the shore slope in the Three-Gorges Reservoir area

王平, 胡明军, 黄波林, 张枝华, 郑涛, 吴坤达, 毛博 中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(5): 52-61

地下水渗流对崩坡积滑坡稳定性和变形的影响——以湖南安化春风滑坡群为例

Influence of groundwater seepage on stability and deformation of colluvial deposit landslide: taking Chunfeng Landslide group in Anhua County of Hunan Province as an example

贺小黑, 彭鑫, 谭建民, 裴来政 中国地质灾害与防治学报. 2020, 31(6): 96-103

国产GB-InSAR在特大型水库滑坡变形监测中的应用

Application of GB-InSAR in deformation monitoring of huge landslide in reservoir area

郭延辉, 杨溢, 杨志全, 高才坤, 田卫明, 何玉童 中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(2): 66-72



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

DOI: 10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2022.01-08

杨何, 汤明高, 许强, 等. 三峡库区石榴树包滑坡近期变形特征与机理分析 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2022, 33(1): 67-74.
YANG He, TANG Minggao, XU Qiang, *et al.* Recent deformation characteristics and mechanism of the Shiliushubao landslide in the Three Gorges Reservoir Area[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2022, 33(1): 67-74.

三峡库区石榴树包滑坡近期变形特征与机理分析

杨 何¹, 汤明高², 许 强², 龚正峰², 祝 权²

(1. 成都大学建筑与土木工程学院, 四川 成都 610106;

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)

摘要:石榴树包滑坡是黄蜡石滑坡群中的一个重要滑坡, 一直以来备受瞩目, 其持续变形对长江航运及人民生命财产安全造成严重威胁。本文通过对石榴树包滑坡的勘探得到其详细的物质组成及结构, 通过近两年的 GPS 表面位移、地下水位、降雨量等自动化监测数据分析, 对该滑坡的变形特征、变形机理进行研究。结果表明: (1) 石榴树包滑坡最初以前缘变形为主, 现阶段以中后部变形为主。(2) 降雨是石榴树包滑坡复活的主要原因, 受库水位升降与降雨联合作用使石榴树包滑坡持续变形。前缘变形较小主要是由于前缘渗透性大, 水力梯度较小的原因; 中后部变形大主要是中后部渗透性小, 水力梯度相对较大的原因。(3) 降雨对滑坡地下水影响较大, 使地下水水力梯度增大可达 5~9 倍。本研究可为三峡库区滑坡灾害监测预警及防治提供重要参考。

关键词: 三峡库区; 滑坡; 变形特征; 变形机制; 水力梯度

中图分类号: P642.2

文献标志码: A

文章编号: 1003-8035(2022)01-0067-08

Recent deformation characteristics and mechanism of the Shiliushubao landslide in the Three Gorges Reservoir Area

YANG He¹, TANG Minggao², XU Qiang², GONG Zhengfeng², ZHU Quan²

(1. School of Architecture and Civil Engineering, Chengdu University, Chengdu, Sichuan 610106, China;

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

Abstract: Shiliushubao landslide is an important part of the Huanglashi landslide group, which has attracted much attention for a long time. In this paper, the detailed material composition and structure of the Shiliushubao landslide are obtained by the exploration, and the deformation characteristics and deformation mechanism of the landslide are studied through automatic GPS surface displacement, groundwater level, rainfall monitoring in recent two years. The results show that the front deformation is the main deformation of the Shiliushubao landslide at first, and at present, the deformation of the middle and rear part is the main deformation. Rainfall is the main reason for the reactivation of Shiliushubao landslide, which is continuously deformed by the joint action of reservoir water level rise and fall and rainfall. The small deformation of the leading edge is mainly due to the high permeability of the front edge and the small hydraulic gradient; the large deformation of the middle and rear part is mainly due to the small permeability of the middle and rear part and the relatively large hydraulic gradient. Rainfall has a great

收稿日期: 2020-08-25; 修订日期: 2021-10-03

投稿网址: <https://www.zgdzhyfzxb.com/>

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (41977255); 国家重点研发计划资助项目 (2018YFC1505105); 三峡后续工作地质灾害防治研究 (000121 2015C C60 005)

第一作者: 杨 何 (1985-), 男, 四川射洪人, 博士, 高级工程师, 主要从事地质灾害评价与预测方向的研究。E-mail: yanghexq@163.com

通讯作者: 汤明高 (1978-), 男, 湖北仙桃人, 博士, 教授, 主要从事工程地质与岩土工程教学科研。E-mail: tomyr2008@163.com

influence on the groundwater of landslide, which makes the hydraulic gradient of groundwater increase 5 ~ 9 times. This study can provide an important reference for monitoring - early warning and prevention of landslide in the Three Gorges Reservoir area.

Keywords: Three Gorges Reservoir Area; landslide; deformation characteristic; deformation mechanism; hydraulic gradient

0 引言

三峡工程是当今世界上最大的水利枢纽工程, 三峡库区历来就是滑坡地质灾害隐患居多的区域。据统计, 三峡水库自 2003 年首次蓄水以来库区发生了较大变形的滑坡有 674 处, 其中下滑入江的有 8 个^[1-3]。长期以来, 国内学者对三峡库区一些重要滑坡的变形破坏特征进行了相关研究, 如白水河滑坡、树坪滑坡、卧沙溪滑坡、千将坪滑坡、八字门滑坡、凉水井滑坡、藕塘滑坡、木鱼包滑坡等^[4-10]。水土作用对水库堆积层滑坡影响甚大, 主要表现为引起滑坡土体物理力学性质的改变与滑坡受力状态的变化。根据水土作用的不同方式变形成因可分为降雨型、浸泡软化型、动水压力型、浮托减重型、复合型五类^[11-12]。

石榴树包滑坡是黄蜡石滑坡群中的一个重要滑坡, 其长期持续变形对长江航运及人民生命财产安全造成严重威胁, 一直以来备受关注。1998 年罗先启等^[13]采用非线性有限元方法对原石榴树包滑坡在不同运行工况下的位移、应力、塑性区进行了分析。2000 年保长汉等^[14]采用广义楔形体法对原石榴树包滑坡进行了稳定性计算。杨学堂等^[15-16]对原石榴树包滑坡滑体滑动后的速度、滑距及涌浪进行了计算。而后一些学者采用有限元法对原石榴树包滑坡的稳定性及变形规律进行了分析^[17-22]。2004 年通过削方减载、设置排水等措施对滑坡进行了治理。李秀珍等^[23]基于滑坡治理前 10 多年的变形监测资料, 研究了原石榴树包滑坡的影响因素和变形演化特征和规律。钟少波等^[24]基于滑坡治理后 6 年的监测数据, 分析了石榴树包滑坡变形监测位移特征及稳定性。以上研究对石榴树包滑坡稳定性进行了分析, 对滑坡变形特征分析较少, 尤其对滑坡变形机制的研究几乎很少涉及。因此, 本章首先通过钻探与物探资料分析石榴树包滑坡滑体的物质结构特征, 再通过近两年的自动 GPS 表面位移、地下水位变化、降雨量等监测对该滑坡的变形特征、变形机理进行深入探讨与研究。

1 石榴树包滑坡概况

石榴树包滑坡位于湖北省巴东县东壤口镇黄蜡石

村, 长江左(北)岸。滑坡原始斜坡坡高约为 500 m, 斜坡倾向 188°, 斜坡结构类型为逆向斜坡(图 1)。



图 1 石榴树包滑坡遥感图

Fig. 1 Remote sensing map of Shiliushubao landslide

石榴树包滑坡后缘高程 340 ~ 350 m, 前缘剪出口高程 50 ~ 60 m, 面积约 0.25 km², 平均厚度约 47.2 m, 体积约 11.80 × 10⁶ m³。高程 350 ~ 250 m 间的地形坡角为 32° ~ 37°; 高程 200 m 有一平台, 为前期治理削方所致, 东西长 150 ~ 170 m, 南北宽 90 ~ 110 m; 高程 200 m 以下地形坡角为 30° ~ 45°。石榴树包滑坡边界特征见图 2。滑坡左侧边界为一冲沟, 左侧边界沟外侧为一小山脊, 见图 2(a)。滑坡右侧边界为一冲沟, 沟中树木茂密, 沟外侧可见混凝土护坡, 该冲沟将石榴树包滑坡与原台子角滑坡分割开来, 见图 2(b)。滑坡前缘大部分



图 2 石榴树包滑坡边界特征

Fig. 2 Boundary characteristics of Shiliushubao landslide

被江水淹没,出露部分为黏土夹紫红色泥岩、泥质砂岩与粉质砂岩块石,见图 2(c)。滑坡后缘地势较为平缓,位于公路下方,与原磨盘湾滑坡的前缘相接,相对中前缘宽度变窄,见图 2(d)。由于前期治理,滑坡表面分布有多条排水沟,3 个排水洞。

2 滑坡物质组成及结构

在石榴树包滑坡建立综合观测站,主剖面上选取适当的 6 个位置布置钻孔,其中 ZK1、ZK2、ZK4、ZK5 等 4 个钻孔为水文孔。滑坡上安装的仪器主要有:GPS 自动监测站 4 个(其中 1 个基站),地下水位监测仪器 8 个分布于水文孔中,库水位监测点 1 个,雨量监测站 2 个。现场仪器安装布置见图 3。

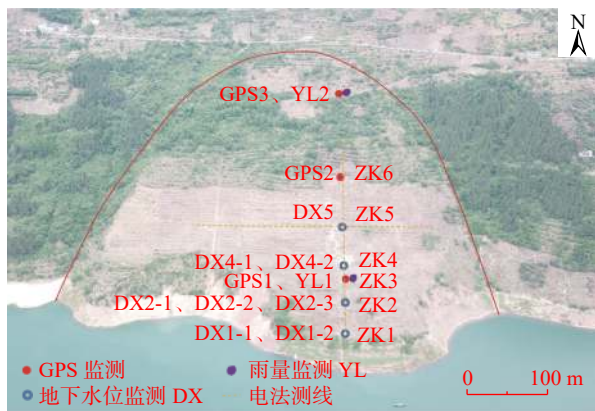


图 3 石榴树包滑坡勘探及监测仪器布置图

Fig. 3 Layout of exploration and monitoring instruments for Shiliushubao landslide

2.1 钻探结果

石榴树包滑坡所处斜坡结构为逆向坡,结构复杂。根据钻孔资料综合分析,滑体物质主要为第四系崩坡积碎块石土,原岩为三叠系巴东组的岩体,经强烈滑动破坏而成,在总体上显示一定的成层性。表层覆盖少量第四系松散的崩坡积土,厚 1.5~2 m,见图 4(a)。浅层及后缘滑体物质主要为三叠系巴东组第四段的红色砂泥岩、粉砂岩破坏形成的碎石土;中层主要为三叠系巴东组第三段灰绿色、灰黄泥灰岩、灰岩破坏后的散裂结构块石土,从后到前厚度逐渐增大,见图 4(b);下层有一层三叠系巴东组第二段紫红色泥岩和粉砂岩破坏后形成的碎石土。

滑带物质为土含碎石,位于基覆界面处,厚度一般为 1~2 m,碎石含量 10%~30%。土主要为灰黄、灰绿色黏土和粉质黏土。碎石以粒径 2~10 mm 者居多,呈次棱角-次圆状,并具有一定程度的定向排列,岩性主要



图 4 石榴树包滑坡钻孔岩芯

Fig. 4 Borehole core of Shiliushubao landslide

为来自巴东组第三段的灰色、灰绿色灰岩、泥灰岩,见图 4(c)。

滑床物质由下到上可分为三段,巴东组第一段(T_2b^1)为灰色、浅灰色的泥灰岩、灰岩,厚约 30.30 m;巴东组第二段(T_2b^2)为紫红色泥岩和粉砂岩,厚度为 11.07~32.65 m;巴东组第三段(T_2b^3)为灰绿色、灰黄色的泥灰岩,厚约 11.96 m。滑床基岩岩层产状倾向山内,倾角 $20^\circ \sim 30^\circ$ 左右,见图 4(d)。岩层总体产状 $70^\circ \angle 20^\circ$ 。根据现场钻孔的工程地质剖面见图 5。

2.2 物探测试结果

在三峡水库处于高水位时期(库水位为 173 m),对石榴树包滑坡进行高密度电法物探工作。在滑坡体上共布设 1 横 1 纵剖面,分别为 300 m 和 280 m,各剖面上分别布设 60 个电极和 56 个电极,电极之间间距为 5 m,布设的剖面与钻孔剖面吻合,经过每个钻孔。将高密度电法结果与钻孔岩芯进行对比,见图 6。

由图 6 可以看出:视电阻率呈块团状分布,成层性较差,视电阻率范围约 $0 \sim 800 \Omega \cdot m$ 。钻探岩性及物质结构分界面与电阻率分界面较吻合。整体上表层的电阻率值较低,低至 $20 \sim 30 \Omega \cdot m$,该处泥岩、粉砂岩颗粒粒径较小,土颗粒含量较多所致,与实际情况一致。浅层电阻率值较高的仅分布在钻孔 ZK4 周边的平台处,电阻率值达 $500 \sim 800 \Omega \cdot m$,主要为浅灰色泥灰岩夹灰岩碎块石为主。由此可分析得到石榴树包滑坡体结构岩性分布,电阻率值低于 $50 \Omega \cdot m$ 以下的区域主要以泥岩、粉砂岩等黏土岩形成的土石混合物为主,块状分布;电阻率值高于 $200 \Omega \cdot m$ 的区域主要以泥灰岩形成的土石混合物为主,块状分布。 $50 \sim 200 \Omega \cdot m$ 的区域主要为前两者的混合物。

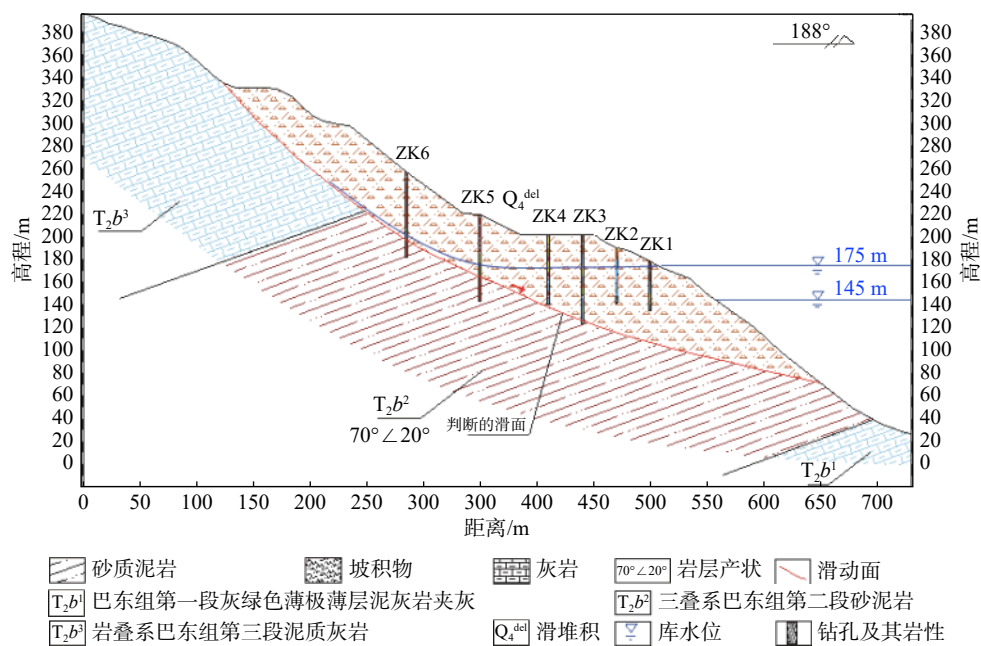


图 5 石榴树包滑坡工程地质纵剖面

Fig. 5 Engineering geological profile of Shiliushubao landslide

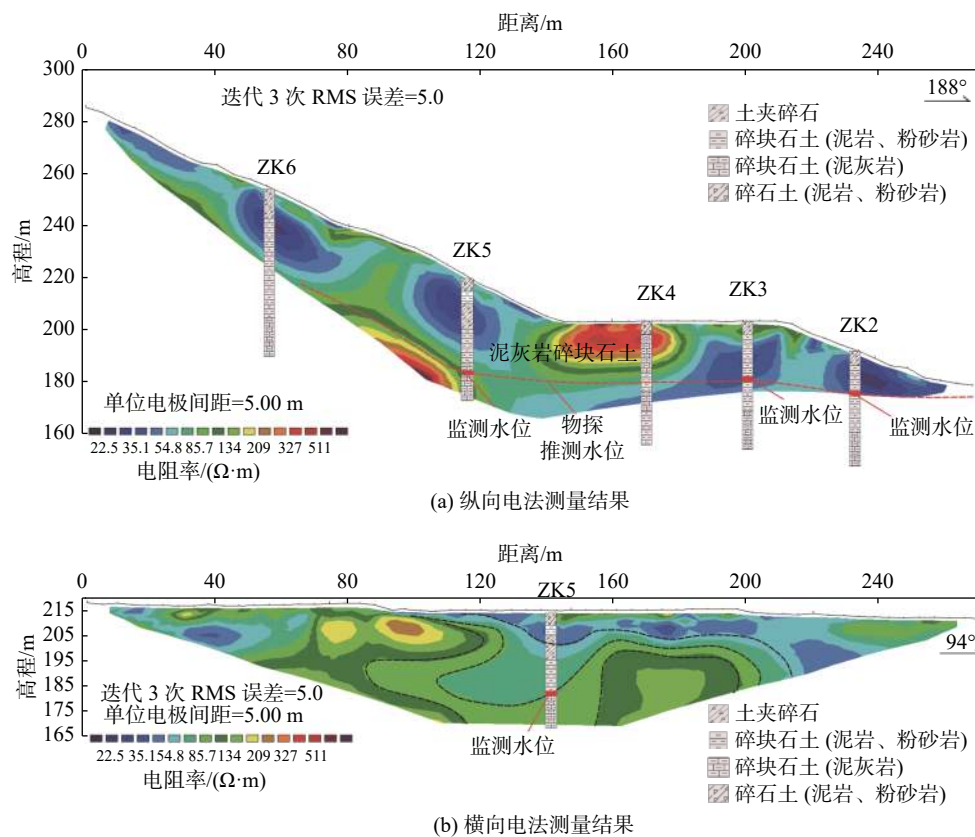


图 6 石榴树包滑坡电法测量结果与钻孔岩心对比

Fig. 6 Comparison of electrical survey results and borehole cores of Shiliushubao landslide

根据钻孔资料,结合物探剖面,对石榴树包滑坡体 纵剖面物质结构进行了分层,如图 7 所示。

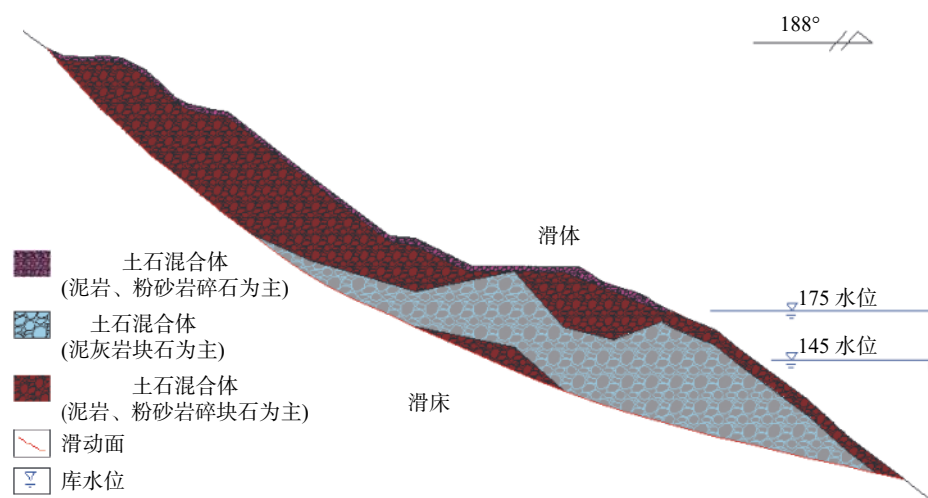


图 7 石榴树包滑坡体纵剖面物质结构分层

Fig. 7 Material structure stratification of longitudinal section of Shiliushubao landslide body

3 滑坡变形特征

3.1 历史变形特征

该滑坡为古滑坡,最早有记录的复活变形出现在 1980 年煤矿导洞施工,而后多次降雨以及人类工程活动出现较大变形。为此在 2003 年 4 月—2004 年 2 月对石榴树包滑坡进行了工程治理,治理工程措施主要包含削方压脚、地下排水、地表排水。目前,前期治理工程部分失效,坡体上排水沟损坏堵塞,排水水平硐内部垮塌。根据相关资料,石榴树包滑坡在治理后布置了 3 条监测剖面,现大部分仪器不能工作^[24]。根据原监测数据分析,2004 年—2009 年期间滑坡变形较明显,前缘变形最大达到 1.4 m,变形总体呈阶梯状持续变形,变形时间主要在每年 5—8 月。

3.2 近期变形特征

石榴树包滑坡 3 个 GPS 表面位移监测数据、降雨量、库水位随时间的变化曲线见图 8。

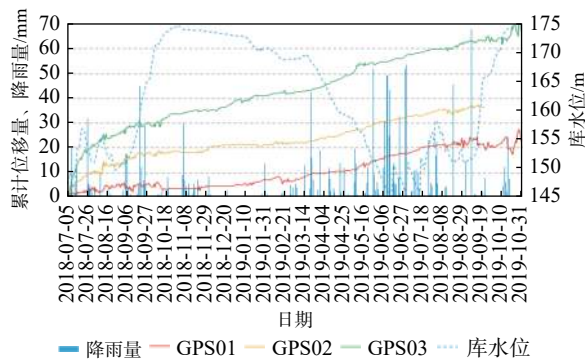


图 8 石榴树包滑坡 GPS 监测累计位移量-雨量-库水位变化曲线

Fig. 8 Variation curve of cumulative displacement of GPS monitoring and rainfall and reservoir water level of Shiliushubao landslide

由图 8 可以看出,在库水位下降及低水位运行期间,表面位移增加较大,在库水位升高及高水位运行期间,表面位移也在增加但增加较少。可见,石榴树包滑坡表现出动水压力型滑坡的特征,与收集的前期监测数据在变形时间上表现一致。在库水位较低时期,降雨会使滑坡各部分的位移都有小幅增大。GPS3 位移量大于 GPS2 位移量大于 GPS1 位移量,可见滑坡变形主要发生在中部与后部,前缘变形较小。前缘变形较小这可能是由于前缘渗透性大,水力梯度较小的原因;中后部变形大可能是中后部渗透性小,水力梯度相对较大的原因。总体上,滑坡累计变形量最大未超过 8 cm,位移随时间增加缓慢,可见石榴树包滑坡目前处于蠕动变形阶段。

4 滑坡变形机理分析

4.1 变形影响因素

石榴树包滑坡前缘直抵长江,为变形提供了良好的地形临空条件。滑坡下伏基岩为三叠系巴东组的紫红色、浅灰色泥岩、粉砂岩、泥灰岩的易滑岩组;滑坡体也为易滑岩组形成的土石混合体,因此本身物质易于受雨水的影响而发生软化泥化。滑坡体前缘坡脚为长江,江水对滑坡前缘岸坡不断的冲刷、掏蚀,造成滑坡前缘坍塌,抗滑力减小。库水位下降过程中,由于中后部渗透性不良导致滑坡体内地下水位下降滞后于库水位,由此产生的较大动水压力使滑坡的整体稳定性减小。滑坡体结构较松散,渗透性相对较大,地表水易于汇集和下渗,每逢暴雨从滑坡后缘汇集来的地表水排泄于滑坡体上,使得堆积体饱水、抗剪强度降低,诱发浅表层变形。松散堆积物与下伏基岩接触面形成潜在滑动

面,因坡体渗透性大,降雨也易下渗到滑动带,一方面滑动面长期处于地下水位之下,使滑动带(面)强度弱化;另一方面也使局部水力梯度急剧增大,诱发整体变形。

4.2 地下水的影响

由监测数据可知滑坡变形主要发生在库水位下降阶段及低水位运行期,结合滑坡地质形态,石榴树包滑坡属于动水压力型滑坡,可见地下水对滑坡变形有较大影响。

(1)地下水位监测结果

石榴树包滑坡布设的 4 个地下水位监测孔于 2018 年 4 月 27 日开始获取监测数据,截至 2019 年 10 月 30 日,经历两次库水位升降过程,地下水位随库水位、降雨变化曲线如下图 9 所示。

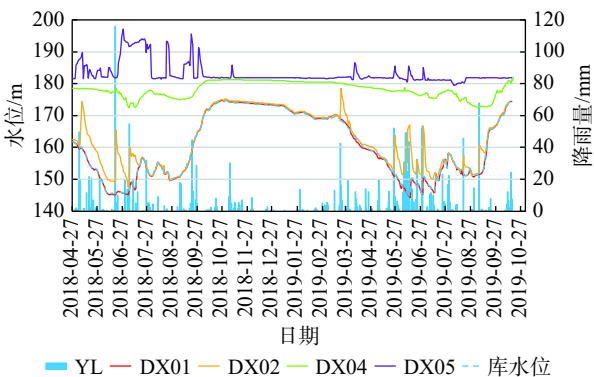


图 9 石榴树包滑坡地下水位变化曲线

Fig. 9 Variation curve of groundwater level in Shiliushubao landslide

由图 9 可知,ZK1、ZK2、ZK4 孔地下水位的的变化曲线与库水位变化趋势一致,变化幅度是随着离库水越远变化越小,而 ZK5 孔地下水位的的变化曲线与库水位变化曲线无相似之处,说明 ZK5 孔地下水位变化与库水位无关,库水位的变化的影响范围在 ZK4 与 ZK5 孔之间。降雨对 ZK2 与 ZK5 孔的地下水位影响较大,对 ZK1 与 ZK4 孔的地下水位影响甚小。滑坡体地下水位对降雨的响应在库水位下降及低水位期间明显,在库水位上升及高水位运行期间响应不明显,响应雨量阈值约为 40 mm。

①第一次升降过程(2018 年 4 月 27 日—2018 年 10 月 14 日)

ZK1 孔水位升降最大 29.84 m,ZK2 水位升降最大 27.73 m,ZK4 孔水位升降最大 8.91 m,ZK5 孔里面水位升降最大 14.08 m。

②第二次升降过程(2019 年 4 月 27 日—2019 年 10 月 14 日)

ZK1 孔水位升降最大 30.09 m,ZK2 水位升降最大 28.58 m,ZK4 孔水位升降最大 9.69 m,ZK5 孔里面水位升降最大 7.12 m。

(2)水力梯度变化特征

两个库水位升降过程的水力梯度随库水位及时间的变化曲线见图 10,水力梯度变化特征见表 1。

表 1 水力梯度变化特征

Table 1 Variation characteristics of hydraulic gradient

项目	水力梯度 i_{2-1}			水力梯度 i_{4-2}			水力梯度 i_{5-4}		
	高水位时	低水位时	降雨时	高水位	低水位	降雨时	高水位	低水位	降雨时
第一次升降	0.009	0.006 8	0.67	0.11	0.465	0.068	0.009 5	0.161	0.331
第二次升降	0.009 7	0.007 8	0.75	0.118	0.43	0.167	0.01	0.154	0.138

由图 10 可见,前三条水力梯度线存在突变,是受降雨影响所致。为便于观察,将受降雨影响小的 ZK4 与 ZK1 之间的水力梯度作于图中。可见四条曲线表现出相同的趋势,随着库水位的下降,水力梯度逐步增大,在低水位水力梯度逐渐减小;当库水位上升时,水力梯度快速减小,高水位时趋于稳定。

由表 1 可知,在剔除降雨影响下,水力梯度 i_{2-1} 低水位与高水位基本无变化,水力梯度 i_{4-2} 低水位时约是高水位的 4 倍,水力梯度 i_{5-4} 低水位时约是高水位的 15 倍。当考虑降雨影响时,降雨时的水力梯度 i_{2-1} 约是高水位的 74 倍;水力梯度 i_{4-2} 却在减小,甚至小于高水位的水力梯度;水力梯度 i_{5-4} 约是高水位的 35 倍。

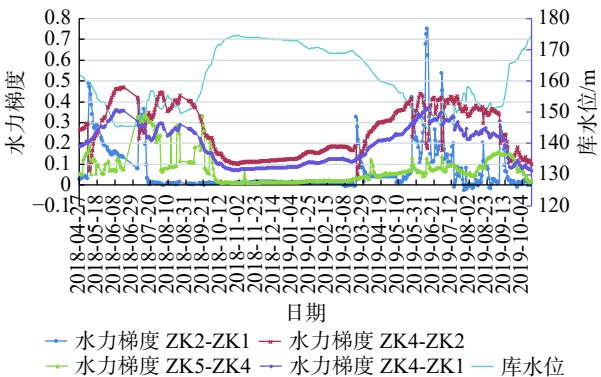


图 10 石榴树包滑坡水力梯度变化曲线

Fig. 10 Variation curve of hydraulic gradient of Shiliushubao landslide

综上,在不考虑降雨条件下,在两次循环的下降及低水位过程中,水力梯度 i_{4-2} 与水力梯度 i_{5-4} 都较大,水力梯度 i_{2-1} 较小。在考虑降雨条件下,水力梯度 i_{2-1} 增大较多, i_{4-2} 减小, i_{5-4} 增大。说明,滑坡中后部渗透压力较大,前缘在降雨后渗透压力会大幅增大。滑坡体中后部水位比较高,主要受后方山体地下水供给,可见滑坡滑动面大部分都长期处于地下水位以下。

5 结论

(1)石榴树包滑坡滑坡体物质具有一定层性,团块状分布,电阻率值低于 $50 \Omega \cdot m$ 以下的区域主要以泥岩、粉砂岩等黏土岩形成的土石混合物为主,电阻率值高于 $200 \Omega \cdot m$ 的区域主要以泥灰岩形成的土石混合物为主。

(2)降雨是石榴树包滑坡复活的主要原因,库水位升降与降雨联合作用使石榴树包滑坡持续变形。库水位下降及低水位运行过程中的变形大于库水位上升及高水位运行过程中的变形。前缘变形较小主要是由于前缘渗透性大,水力梯度较小的原因;中后部变形大主要是由于中后部渗透性小,水力梯度相对较大的原因。

(3)库水位变化主要影响滑坡前缘和中部地下水变化,前缘地下水基本与库水位同步;滑坡后部地下水与库水位基本无关,主要受降雨影响。在不考虑降雨影响下,低水位时水力梯度是高水位时的 4~15 倍,考虑降雨影响时水力梯度是高水位时的 35~74 倍,降雨影响较大。

(4)石榴树包滑坡一直处于蠕变阶段,受库水位周期性升降与降雨的影响,其变形将继续发展,还需进一步加强监测。

参考文献 (References):

- [1] 杨何, 汤明高, 蔡国军, 等. 三峡库区二道河滑坡变形机制研究 [J]. 科学技术与工程, 2016, 16(8): 66-71. [YANG He, TANG Minggao, CAI Guojun, et al. Research on deformation mechanism of erdaohe landslide in Three Gorges Reservoir Area [J]. Science Technology and Engineering, 2016, 16(8): 66-71. (in Chinese with English abstract)]
- [2] 汤明高, 杨何, 许强, 等. 三峡库区滑坡土体渗透特性及参数研究 [J]. 工程地质学报, 2019, 27(2): 325-332. [TANG Minggao, YANG He, XU Qiang, et al. Permeability and parameters of landslide bodies in Three Gorges Reservoir Area [J]. Journal of Engineering Geology, 2019, 27(2): 325-332. (in Chinese with English abstract)]
- [3] 杨何, 汤明高, 叶润青, 等. 三峡库区滑坡堆积体非饱和土的土: 水特征研究 [J]. 水利水电技术, 2017, 48(9): 168-173. [YANG He, TANG Minggao, YE Runqing, et al. Study on soil-water characteristics of unsaturated soil of landslide deposits in Three Gorges Reservoir Area [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2017, 48(9): 168-173. (in Chinese with English abstract)]
- [4] 李道臣, 王志俭, 邵杰鹏, 等. 降雨及库水位耦合下白水河滑坡变形机理分析 [J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2017, 39(4): 46-50. [LI Daochen, WANG Zhijian, SHAO Jiepeng, et al. Analysis on deformation mechanism of Baishui river landslide under rainfall and reservoir water level coupling [J]. Journal of China Three Gorges University (Natural Sciences), 2017, 39(4): 46-50. (in Chinese with English abstract)]
- [5] 杨何, 曹阳健. 三峡库区白水河滑坡变形分析及评价 [J]. 陕西水利, 2017(2): 105-107. [YANG He, CAO Yangjian. Deformation analysis and evaluation of Baishuihe landslide in Three Gorges Reservoir Area [J]. Shaanxi Water Resources, 2017(2): 105-107. (in Chinese with English abstract)]
- [6] 王力, 王世梅, 向玲. 三峡库区水位变化对树坪滑坡变形影响机制研究 [J]. 长江科学院院报, 2015, 32(12): 87-92. [WANG Li, WANG Shimei, XIANG Ling. Influence mechanism of deformation of Shuping landslide in Three Gorges Reservoir Area under water level variation [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2015, 32(12): 87-92. (in Chinese with English abstract)]
- [7] 张永昌, 钱辈贝, 郭飞. 三峡水库水位升降作用下树坪滑坡复活机理研究 [J]. 人民长江, 2015, 46(17): 57-62. [ZHANG Yongchang, QIAN Beibei, GUO Fei. Study of revival mechanism of Shuping landslide under water level fluctuation of Three Gorges Reservoir [J]. Yangtze River, 2015, 46(17): 57-62. (in Chinese with English abstract)]
- [8] 卢书强, 易庆林, 易武, 等. 三峡库区卧沙溪滑坡变形失稳机制分析 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2013, 24(2): 21-25. [LU Shuqiang, YI Qinglin, YI Wu, et al. Analysis on deformation and failure mechanism of Woshaxi landslide in the Three Gorges Reservoir Area [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2013, 24(2): 21-25. (in Chinese with English abstract)]
- [9] 殷跃平, 彭轩明. 三峡库区千将坪滑坡失稳探讨 [J]. 水文地质工程地质, 2007, 34(3): 51-54. [YIN Yueping, PENG Xuanming. Failure mechanism on Qianjiangping landslide in the Three Gorges Reservoir Region [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2007, 34(3): 51-54. (in Chinese with English abstract)]
- [10] 熊坤, 易武, 王力, 等. 三峡库区八字门滑坡变形破坏机理分析 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2019, 30(5): 9-

18. [XIONG Shen, YI Wu, WANG Li, et al. Analysis of deformation and failure mechanism of Bazimen Landslide in Three Gorges Reservoir Area [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2019, 30(5): 9 – 18. (in Chinese with English abstract)]
- [11] YIN Y P, HUANG B L, WANG W P, et al. Reservoir-induced landslides and risk control in Three Gorges Project on Yangtze River, China [J]. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2016, 8(5): 577 – 595.
- [12] TANG H M, WASOWSKI J, JUANG C H. Geohazards in the three Gorges Reservoir Area, China - Lessons learned from decades of research [J]. *Engineering Geology*, 2019, 261: 105267.
- [13] 罗先启, 田斌, 彭刚. 黄腊石滑坡群石榴树包滑坡有限元分析 [J]. 中国三峡建设, 1998(7): 15 – 17. [LUO Xianqi, TIAN Bin, PENG Gang. Analysis on Shiliushubao landslide by FEM [J]. China Three Gorges Construction, 1998(7): 15 – 17. (in Chinese with English abstract)]
- [14] 保长汉, 姜袁. 长江三峡石榴树包滑坡稳定分析 [J]. 武汉水利电力大学(宜昌)学报, 2000, 22(2): 109 – 111. [BAO Changhan, JIANG Yuan. Stability analysis of Shiliushubao landslide in Three Gorges [J]. Journal of University of Hydraulic and Electric Engineering/Yichang, 2000, 22(2): 109 – 111. (in Chinese with English abstract)]
- [15] 杨学堂, 张永兴. 长江三峡黄腊石滑坡群石榴树包滑坡灾害性分析 [J]. 岩石力学与工程学报, 2002(5): 688 – 692. [YANG Xuetao, ZHANG Yongxing. Disaster analysis on Shiliushubao landslide mass in the Huanglashi landslide group in Three Gorges of Yangtze River [J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2002(5): 688 – 692. (in Chinese with English abstract)]
- [16] 杨学堂, 刘斯风, 杨耀. 黄腊石滑坡群石榴树包滑坡涌浪数值计算 [J]. 武汉水利电力大学(宜昌)学报, 1998, 20(3): 51 – 55. [YANG Xuetao, LIU Sifeng, YANG Yao. Numerical calculation for surge of Shiliushubao landslide in Huanglashi landslide groups [J]. Journal of University of Hydraulic and Electric Engineering/Yichang, 1998, 20(3): 51 – 55. (in Chinese with English abstract)]
- [17] 罗先启, 姜清辉, 葛修润, 等. 黄腊石滑坡群石榴树包滑坡稳定性的研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2001, 20(1): 29 – 33. [LUO Xianqi, JIANG Qinghui, GE Xiurun, et al. Study of the stability of Shiliushubao slope in huanglashi slope group [J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2001, 20(1): 29 – 33. (in Chinese with English abstract)]
- [18] 孟永东, 田斌, 郭其达. 三峡水库石榴树包滑坡灾害预警分析 [J]. 水利水电技术, 2004, 35(12): 23 – 27. [MENG Yongdong, TIAN Bin, GUO Qida. Hazard analyzing and predicting on Shiliushubao landslide in Three Gorges Reservoir [J]. *Water Resources and Hydropower Engineering*, 2004, 35(12): 23 – 27. (in Chinese with English abstract)]
- [19] 郑宏, 冯强, 罗先启, 等. 石榴树包滑坡机制的有限元分析 [J]. 岩石力学与工程学报, 2004(10): 1648 – 1653. [ZHENG Hong, FENG Qiang, LUO Xianqi, et al. Finite element analysis on landslide mechanism at Shiliushubao [J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2004(10): 1648 – 1653.]
- [20] 常宏, 王旭升. 滑坡稳定性变化与地下水非稳定渗流初探: 以三峡库区黄腊石滑坡群石榴树包滑坡为例 [J]. 地质科技情报, 2004, 23(1): 94 – 98. [CHANG Hong, WANG Xusheng. Stability variation of a slope associated with transient groundwater flow: A case study on Shiliushubao landslide in Huanglashi landslides, Three Gorges Reservoir Area, China [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2004, 23(1): 94 – 98. (in Chinese with English abstract)]
- [21] 张立仁, 乔娟, 吕伟. 三峡库水位变化对石榴树包滑坡安全性的影响研究 [J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2013, 35(5): 22 – 26. [ZHANG Liren, QIAO Juan, LYU Yi. Study of influence of water level change in Three Gorges Reservoir on Shiliushubao landslide safety [J]. Journal of China Three Gorges University (Natural Sciences), 2013, 35(5): 22 – 26. (in Chinese with English abstract)]
- [22] 杨建英, 柯传芳, 吴润泽, 等. 库水波动与降雨作用下石榴树包滑坡稳定性分析 [J]. 地质灾害与环境保护, 2013, 24(2): 70 – 76. [YANG Jianying, KE Chuanfang, WU Runze, et al. Stability of Shiliushubao landslide with water level fluctuation of the reservoir and rainfall [J]. *Journal of Geological Hazards and Environment Preservation*, 2013, 24(2): 70 – 76. (in Chinese with English abstract)]
- [23] 李秀珍, 孔纪名, 王震宇. 石榴树包滑坡变形监测及演化趋势分析 [J]. 工程地质学报, 2006, 14(3): 320 – 326. [LI Xiuzhen, KONG Jiming, WANG Zhenyu. Deformation monitoring and development of Shiliushubao landslide on Three Gorges of Yangtze River [J]. *Journal of Engineering Geology*, 2006, 14(3): 320 – 326. (in Chinese with English abstract)]
- [24] 钟少波, 赵新建, 金璐, 等. 三峡库区石榴树包滑坡变形监测位移特征与稳定性分析 [J]. 资源环境与工程, 2016, 30(1): 76 – 79. [ZHONG Shaobo, ZHAO Xinjian, JIN Lu, et al. Analysis on displacement characteristics and stability of the deformation monitoring for the Shiliushubao landslide in the Three Gorges Reservoir Area [J]. *Resources Environment & Engineering*, 2016, 30(1): 76 – 79. (in Chinese with English abstract)]