

降雨和库水位升降对滑坡的影响

刘广宁^{1,2}, 陈立德², 伏永朋², 董好刚², 邵长生^{1,2}

(1. 中国地质大学 环境学院, 武汉 430074; 2. 中国地质调查局 武汉地质调查中心, 武汉 430223)

摘要:滑坡是三峡库区重要地质灾害之一,影响滑坡稳定性的因素有很多。针对降雨和库水位升降以水泥厂滑坡为例,运用自动化远程监测其变形和该区域降雨量,通过数据整理、分析,掌握降雨和库水位升降对滑坡变形的影响状况。结果表明:在监测期间,个别时间段滑坡变形加剧是降雨和库水位升降共同作用的结果,个别时间段降雨、库水位升降分别为滑坡变形加剧的主导因素,降雨对滑坡变形的影响表现出一定的滞后效应,滞后期一般为 7~15 d。监测表明,目前滑坡仍处于变形阶段,且向 SE 方向旋转滑移,但趋势有所减缓。通过对该滑坡的变形监测,可以定量分析和描述滑坡的运动状态,对三峡库区其它类似滑坡的研究具有重要的指导意义。

关键词:降雨; 库水位升降; 监测; 滑坡

中图分类号:P642.22;P426.615

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2011)06-0200-04

Influence of Rainfall and Reservoir Water Level Fluctuation on Landslide

LIU Guang-ning^{1,2}, CHEN Li-de², FU Yong-peng², DONG Hao-gang², SHAO Chang-sheng^{1,2}

(1. School of Environmental Studies China University of Geosciences

Wuhan 430074, China; 2. Wuhan Centre of China Geological Survey, Wuhan 430223, China)

Abstract: Landslide is one of important geohazards in Three Gorges Reservoir, which was affected by many factors. Taking Shuinichang landslide for example, the authors adopted automated remote monitoring system to monitor rainfall and water level fluctuation, analyze the relationship between rainfall & water level fluctuation and landslide deformation. It shows that some serious deformation period is resulted from rainfall & water level fluctuation. Rainfall & water level fluctuations are the main factors affecting landslide stability. The influence of rainfall on landslide deformation presents some hysteresis effect, and the hysteresis period lasts 7~15 days. Monitored data also shows that this landslide is still in the deformed period, which is rotated to SE direction, but its trend slows down. This monitoring system in the landslide can describe the movement of landslide quantitatively, which shows important guide signification on other similar landslides in Three Gorges Reservoir.

Key words: rainfall; reservoir water level fluctuation; monitoring; landslide

水泥厂滑坡位于长江左岸巫山县两坪乡望霞村,上距巫山城 11 km,下距青石 3.5 km。2008 年 9 月 28 日 24:00,三峡库区开始试验性蓄水,至 11 月 4 日坝前水位达到 172.3 m,库区重庆市、宜昌市个别地段发生滑坡和崩塌险情,为确保三峡水库试验性蓄水过程中人民生命财产安全,“长江上游宜昌—江津段环境工程地质调查”项目组指派技术人员对工作区地质灾害进行了大范围核查,对重要灾害点派人蹲守,加强监测。11 月 23 日 16:40 左右,重庆巫山巫峡口长江北岸龚家坊发生体积约 38 万 m³ 崩塌,11 月 27

日,本项目组在该崩塌下游调查发现水泥厂滑坡地表变形强烈,27 日夜该处即发生滑坡。项目组及时赶往现场,并向当地海事部门进行了口头通报。

1 水泥厂滑坡概况

水泥厂滑坡发育在长江中山峡谷地貌区,坡顶为猴子包危岩体,高程 558.0 m,滑坡南北两侧受地形控制,南侧呈凸形,纵长 360 m,横宽 300 m,前缘位于 175 m 水位以下,后缘最高点高程约 400 m,高差 265 m。平面形态呈双驼峰反“W”状,整体向南西倾

斜,总面积约 10.8 万 m^2 ,平均厚度按 30 m 估算,总方量达 324 万 m^3 。根据地表调查,滑坡周界情况为:斜坡地表地形起伏大,后缘以坡度 40° 以上的陡坡、陡崖为界,中前部坡度 20° 左右,北侧边界受走向 260° 的基岩山脊控制,斜坡上部出露粉砂岩,易风化,以下地表覆盖残坡积碎石土,厚度 5 m 左右。滑坡体后缘猴子包危岩体,出露二叠系栖霞组(P_2q)灰岩、瘤状灰岩;泥盆系云台观组(D_2y)白云岩、石英砂岩,历史发生崩塌,滑体中部为崩积物,滑坡前缘局部可见志留系纱帽组(S_2s)砂岩、泥质粉砂岩出露,风化强烈,呈碎屑状(图 1)。

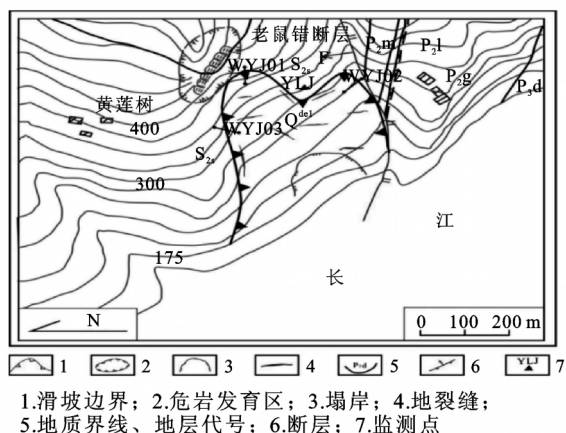


图 1 水泥厂滑坡工程地质图和监测点布置图

区域构造上位于横石溪背斜核部,老鼠错断层上盘,滑坡后缘上方猴子包危岩体,节理、裂隙及其发育,岩体破碎,主要以走向 $100^\circ \sim 150^\circ$ 和走向 $65^\circ \sim 80^\circ$ 两组构成,与岩层共同切割岩体,危岩体呈潜在不稳定状态,若发生崩塌,将进一步增大滑坡体荷载。

水泥厂滑坡为碎块石土质滑坡,后缘滑带土为碎石角砾土,软塑—流塑状。物质组成从分布上可分为两部分:北侧主要为崩坡积碎、块石土,结构较密实,江边附近泥质含量增多,系崩坡、残坡积混杂堆积;南侧多为崩积块石堆积物,松散、局部架空,滑坡前缘可见直径大于 5 m 的大块石。滑床基岩为粉砂岩、泥质粉砂岩。力学强度较低,受节理裂隙切割,岩体破碎,多呈强风化状,强透水性。岩层倾向北东,倾角 20° ,为横向坡。基岩面呈上陡下缓的凹形,坡度上部 30° ,下部 $10^\circ \sim 15^\circ$,不利于地下水的排泄。此外,基岩与上覆土层接触面处节理、裂隙发育,岩体破碎,易形成滞水,有利于滑坡的形成。

2 变形活动特征

2006—2008 年项目组一直关注巫峡该段的岸坡稳定性状况,变形特征及其明显,2006 年、2007 年调查时,滑坡变形微弱,只是在滑坡前缘局部出现拉裂

缝,多见 3~10 cm 的羽状拉裂,由于降雨及江水的冲刷,在前缘江边有两处小规模滑塌,滑坡中部、后缘经过调查没有变形。2008 年 9 月 28 日 24:00,三峡库区开始蓄水,滑坡前部开始出现明显变形,11 月 27 日调查时,高程 240 m 以下变形加剧,地表出现多条垂直坡向的拉张裂缝,伴有明显的下错现象,11 月 27 日夜前部发生滑塌,宽度 140 m,长 100 m,体积达到 40 余万 m^3 ,后缘受到牵引,变形下挫、滑移达到 1 m 以上,在地表沿滑坡边界形成明显的下挫条带,滑坡体上多处发生拉张开裂和小型垮塌。

3 滑坡的变形监测

3.1 监测仪器和方法原理

(1)监测仪器及原理。水泥厂滑坡监测应用北京微玛特科技有限公司设计、开发的无线位移计(SMARTDATA-3000E1)和无线雨量计(SMARTDATA-3000C)进行实时监测。无线位移计采用机电一体式结构,利用旋转的磁钢驱动干簧产生位移脉冲,并对位移脉冲进行加减计数,采用 32 位高性能微处理器和最新的无线网络技术,将测量的数据用无线方式传输。量程为 $-3\ 000 \sim 3\ 000$ mm,精度为 1 mm。

(2)监测方法。针对水泥厂滑坡的地形地貌、滑动变形特征、变形趋势,采用地表位移、雨量联合实时监测,首先建立一套完整的监测预警系统,系统由武汉地质调查中心项目组、远程通讯网络(GSM/GPRS 通讯)、滑坡体无线传感器网络 3 部分组成。该系统优化了传统的位移监测法,能够及时的反映岩土体变形破坏特征,同时反映出降雨对滑坡变形的影响程度,迅速获得的滑坡体的特征变量、数据资料,且监测工作可以贯穿滑坡变形的全过程。

3.2 监测点布置

2008 年 12 月中旬,分别在滑坡后缘、侧缘变形迹象最为明显的区域安装三台无线位移计 WYJ01、WYJ02、WYJ03 及一台无线雨量计 YLJ。将微处理器数据采集站固定在后缘上方稳固的基岩上(钢筋混凝土浇筑基座)保证其为固定端,移动站则安装在滑坡体上(钢筋混凝土浇筑基座)保证其与滑坡体相对静止状态,两站由特制细钢丝(消除因温度变化引起的变形)连接,钢丝随滑坡体的变形异动而伸缩,微处理器数据采集站将即时读取数据并由无线网络协调器进行传输。无线雨量计安装在稳定的向西突出稳固的基岩山嘴上,有利于两台位移计信号的传导和数据的发送、接收。

3.3 监测数据分析

自 2008 年 12 月至今取得了连续的监测数据,经过数据整理得到变形分析结果(见表 1),为掌握滑坡

体变形状况,进行即时预警保障航道安全提供了重要的依据。因受到地形、地貌因素影响,该滑坡所处位

置区域性气候明显,降雨并无显著规律,雨量计数据分析结果见图 2。

表 1 监测点变形分析

监测点	2008-12		2009 年		2010 年		2011-01-04	
	累计变形量/mm	平均速率(mm/月)	累计变形量/mm	平均速率(mm/月)	累计变形量/mm	平均速率(mm/月)	累计变形量/mm	平均速率(mm/月)
WYJ01	25	25	498	41.5	241	20.08	69	17.25
WYJ02	18	18	330	27.5	242	20.17	56	14.00
WYJ03	30	30	660	55	572	47.67	187	46.75

结合表 1、图 2 分析,虽然变形速率逐年减小,但滑坡整体变形较活跃、变形量较大,其中侧缘监测点 WYJ03 变形量最大,变形累计位移动达 1 449 mm,总体位移呈逐步增大趋势,表现为拉张,在监测期间个别时间段加速变形迹象显著,以 2009 年 10 月下旬至 2010 年 1 月上旬、2010 年 7 月初至 2010 年 11 月初最为突出;后缘监测点 WYJ01 变形累计位移动达 833 mm,总体位移呈逐步增大趋势,表现为拉张,其中 2009 年 6 月下旬至 2010 年 1 月上旬为变形加速显著阶段;侧缘 WYJ02 累计位移动达 422 mm,总体表现为位移逐渐增大趋势,其中 2009 年 10 月下旬至 2010 年 1 月上旬为变形加速尤为显著阶段,但在增大的过程中位移有位移减小阶段(从 2010 年 4 月下旬至 2010 年 10 月下旬),表现为压缩状态,其后位移又为匀速增大趋势,监测点 WYJ02 表现为拉张—压缩—拉张。

监测期间经过不间断实地再核查,以更好与监测结果进行对比,调查结果与监测结果能够较好吻合,实地发现滑坡 NW 区域变形最为严重,为滑坡拉裂区,而 E 侧缘也证实了拉张—压缩—拉张过程,监测结果表明水泥厂滑坡向 SE 方向旋转滑移。

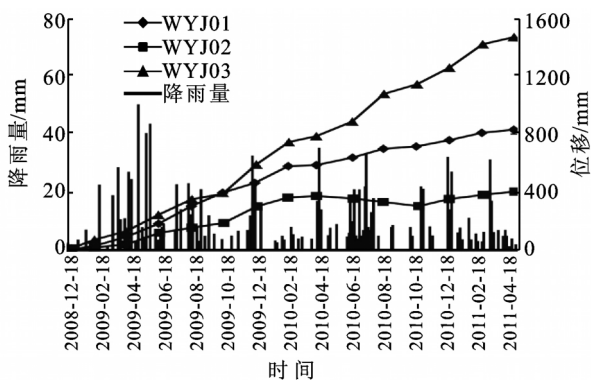


图 2 各点位移曲线—降雨量关系

4 位移变化与降雨量、库水位关系

4.1 位移变化与降雨量关系

水泥厂滑坡体上除局部块石堆积外植被相对发育,滑体表层为结构松散碎块石土,易于接受大气降水,加之滑坡中后部排水较差,雨水多沿滑体裂缝入

渗,这不仅增加了滑体自重,又使滑带土体软化,抗滑力减小,进而加剧滑坡变形。从位移和降雨量关系图可以看到(图 2),每当出现降雨密集时段或降雨量量出现峰值时,各测点位移均加速增长,出现突变,但是这种突变均有同步或、滞后现象,滞后期一般为 7~15 d,如监测点 WYJ01、降雨密集区及峰值出现在 2009 年 5 月份,而滑坡加速变形始于 6 月,位移突变量达 110 mm,监测点 WYJ02 在 2009 年 10 月至 2010 年 1 月、2010 年 4—10 月表现最为明显,在不间断降雨后位移分别增加 150 mm(拉张)和减小 100 mm(压缩),监测点 WYJ03 同样有雨后位移量骤增现象,如 2009 年 12 月和 2010 年 7 月,位移突变量达 200 mm。故该滑坡的变形和降雨密切相关。

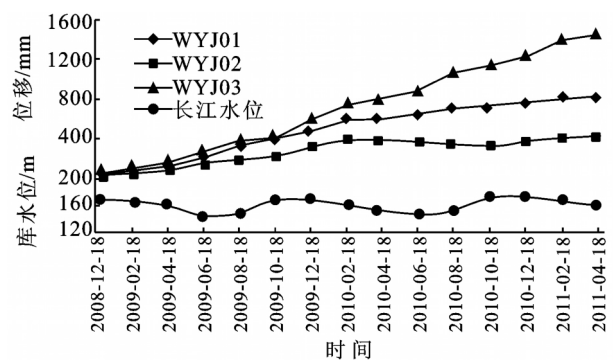


图 3 库水位升降—位移关系

4.2 位移变化与库水位变动关系

通过现场观测及资料搜集,滑坡前沿库水位变动曲线见图 3,结合位移曲线,可以判断出库水位上涨时,一方面滑坡体地下水位升高,孔隙水压力增加,滑带抗剪强度降低,对滑坡体稳定构成不利影响;另一方面库水向滑坡体内部渗透,存在自外向内的渗透压力,有利于滑坡的稳定,该滑坡在两方面共同作用下,前者强势,滑坡表现为变形明显加剧,如图 3 中 2009 年 9—11 月、2010 年 6—9 月,位移变化曲线呈陡然上扬趋势,即各监测点位移速率增大。当库水位下降时,滑坡的动水压力增大,滑坡体下滑力增加,加上库水向下的拖拽作用,加速滑坡的变形,又由于坡体中地下水位的下降有相对的滞后现象,导致坡体内将产生超孔隙水压力作用,同时,库水位下降会对滑

坡产生卸荷作用,从而在边坡裂隙中产生水锤效应,这对滑坡是极其不利的。如图 3 中 2009 年 12 月至 2010 年 1 月下旬、2010 年 4—5 月、2011 年 1—2 月现象显著,位移变化曲线呈陡然上扬趋势,即各监测点位移速率增大。

4.3 位移变化与降雨、库水位关系

通过监测以来三个监测点位移计、雨量计数据结合库水位在此期间的变动状况,分析、归纳了滑坡“变

形加速”时段的各项统计数值(表 2)。

由表 2 可知:滑坡其它因素条件均相同的情况下,(1)当一时间段(2 个月内)降雨量大于 100 mm 时滑坡变形加速;(2)当库水位升降大于 10 m 时滑坡变形加速。当两条件同时满足时,降雨、库水位均为主导因素;当满足(1)不满足(2)时,降雨为主导因素,库水位次之,当满足(2)不满足(1)时,库水位为主导因素,降雨次之。

表 2 滑坡变形加速时期数据分析

突增时间	变形量/mm			变形速率/(mm·d ⁻¹)			降雨总量/ mm	库水变化 量/m	作用结果
	WYJ01	WYJ02	WYJ03	WYJ01	WYJ02	WYJ03			
2009-4—5	85	60	120	1.39	1.94	3.87	305	10.07	降雨、库水位共同作用
2009-10—11 月中旬	85	72	143	1.85	1.57	3.11	39	15.13	库水位主导、降雨次之
2009-12	58	84	168	1.87	2.71	5.42	104.5	1.49	降雨主导、库水位次之
2010-4—5	40	24	98	0.66	0.39	1.61	139	4.50	降雨主导、库水位次之
2010-7—8	60	18	180	0.97	0.29	2.90	193	11.70	降雨、库水位共同作用
2010-10	40	24	120	1.29	0.77	3.87	69	12.47	库水位主导、降雨次之
2010-12 至次年 1 月中旬	45	30	135	0.98	0.65	2.93	115.5	0.98	降雨主导、库水位次之

5 结 论

(1) 滑坡后缘变形最大,且监测点 WYJ01、WYJ03 区域总体变形过程表现为拉张、WYJ02 区域为拉张—压缩—拉张。

(2)其他因素条件相同时,降雨和库水位升降将导致水泥厂滑坡变形加剧。

(3)降雨对滑坡变形的影响表现出一定的滞后效应,滞后期一般为 7~15 d。

(4)目前滑坡仍处于变形阶段,但趋势有所减缓,需要进一步持续监测。

(4)自动化远程监测方法优点突出,效果明显,在今后的滑坡监测预警中值得借鉴。

参考文献:

[1] 廖秋林,李晓,李守定,等. 三峡库区干将坪滑坡的发生、地质地貌特征、成因及滑坡判据研究[J]. 岩石力学与工程学报,2005,24(17):3146-3153.

[2] 朱冬林,任光明,聂德,等. 库水位变化下对水库滑坡稳定性影响的预测[J]. 水文地质与工程地质,2002,23(3):378-381.

[3] 王志旺,杨健,张保军,等. 水库库岸滑坡稳定性研究[J]. 岩石力学,2004,25(11):1837-1840.

[4] 李晓,张年学,廖秋林,等. 库水位涨落与降雨联合作用下滑坡地下水动力场分析[J]. 岩石力学与工程学报,2004,23(21):3714-3720.

[5] 孙冬梅,朱岳明,张明进. 库水位下降时的岸坡非稳定渗流问题研究[J]. 岩土力学,2008,29(7):1807-1812.

[6] 冯文凯,石豫川,柴贺军,等. 降雨及库水升降作用下地

下水浸润线简化求解[J]. 成都理工大学学报:自然科学版,2006,33(1):90-94.

[7] 刘新喜,夏元友,张显书,等. 库水位下降对滑坡稳定性的影响[J]. 岩土力学与工程学报,2005,24(8):1439-1444.

[8] 殷跃平. 三峡库区地下水渗透压力对滑坡稳定性影响研究[J]. 中国地质灾害与防治学报,2003,14(3):1-8.

[9] 蔡耀军,崔政权,Cojean R. 水库诱发岸坡变形失稳的机理[C]//中国岩石力学与工程学会第六次学术大会论文集. 北京:中国科学技术出版社,2000:618-622.

[10] 刘才华,陈从新,冯夏庭. 库水位上升诱发边坡失稳机制研究[J]. 岩土力学,2005,26(5):769-773.

[11] 张华伟,王世梅,霍志涛,等. 白家包滑坡变形监测分析[J]. 人民长江,2006,37(4):95-98.

[12] Zhang Yeming, Peng Xuanming, Wang Fawu, et al. Current status and challenge of landslide monitoring in Three Gorge reservoir area, China[C]//Proceedings of the Symposium on application of real-time information in disaster managemnet,2004:165-170.

[13] Warrick A W, Wierenga P J, Pan L. Downward water flow through sloping layers in the vadose zone: analytical solutions for diversions[J]. Journal of Hydrology, 1997,192:321-337.

[14] Jiao J J. A confined groundwater zone in weathered igneous rocks and its impact on slope stability[C]//Proc. of the Int. Symp. On Hydrogeology and the Environment. Beijing: China Enviroment Science Press,2000:602-608.

[15] Zhang N X, Seng Z P. Probability analysis of rain-related occurrence and revival of landslides in Yunyang-Fengjie area in East Sichuan[C]//Proc. of the 6th Int. Symp. New Zealand;Christchurch,1992:1077-1083.