

杨强, 叶振南, 高幼龙. 库水波动条件下滑坡体消落带响应关系研究[J]. 灾害学, 2014, 29(2): 29–32. [Yang Qiang, Ye Zhennan, Gao Youlong. Response Relationship of Riparian Zone of the Landslide Mass with Reservoir Water Fluctuation Conditions [J]. Journal of Catastrophology, 2014, 29(2): 29–32.]

库水波动条件下滑坡体消落带响应关系研究^{*}

杨 强¹, 叶振南², 高幼龙¹

(1. 中国地质调查局水文地质环境地质调查中心, 河北 保定 071051; 2. 中国地质大学, 北京 100083)

摘 要:以三峡库区四道桥滑坡消落带作为研究对象, 建立滑坡体孔隙水压力、水分含量及库水位实时监测系统, 依托采集长期连续观测数据, 开展库水位变化过程中滑坡体消落带地下水动态响应过程的研究。研究结果表明: 库水位升降过程中, 坡体内孔隙水压力变化趋势与库水位基本保持一致但相对滞后, 上升时响应迅速, 两者水位差为 0.2 m, 下降过程受地下水回流影响滞后时间相对较长, 最大水位差为 1.5 m, 稳定在 175 m 水位时候库水爬高 0.1~0.2 m; 水分含量实测曲线很好反映了仪器安装层位岩土体的水分含量的变化规律, 其响应规律与孔隙水压力变化规律相结合可较好地分析滑坡体消落带地下水渗流动态过程, 其成果为数值模拟提供了可靠的数据支持, 同时为类似岩土体构成的滑坡的研究提供借鉴。

关键词: 三峡库区; 消落带; 库水位升降; 渗流场; 响应关系

中图分类号: P642.22; X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2014)02-0029-04

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2014.02.007

三峡库区地质环境复杂, 降雨量大而集中, 水库自蓄水运营以来库水位频繁在 145~175 m 之间波动, 形成了变幅达 30 m 的消落带, 随着水位升降不断变化, 很大程度上改变了原有地质环境的平衡状态, 严重影响到库区滑坡等地质灾害的发生与发展, 蓄水期间多次发生滑坡等地质灾害, 致使库区成为滑坡地质灾害高发区和重灾区^[1-4]。众所周知, 滑坡体内水动力学条件改变是水库型滑坡发生主导因素^[5-7], 但目前库水波动相关滑坡稳定性计算中所采用的地下水参数多采用定性描述或者数据较少, 所建模型缺乏长期连续的滑坡体孔隙水压力、水分含量等可靠数据作为校正依据, 模拟结果随机性较大^[8-12]。因此, 只有建立滑坡体渗流场实时监测系统, 有效捕捉库水位升降过程中滑坡体内关键点孔隙水压力及水分含量的变化过程, 才能查明滑坡体渗流场的变化过程, 同时为建立相关模型进行数值模拟提供可靠的数据支持。笔者选择典型的碎石土堆积层水库型滑坡巫山四道桥滑坡作为研究对象, 在滑坡体前端建立了滑坡体孔隙水压力与水分含量实时监测系统, 实时采集库水位升降过程中滑坡滑带部位孔隙水压力和滑坡体多个层位的水分含量变化的连续数据, 为探索库水位变化过程中滑坡体渗流场响应变化规律和后期数值模拟提供真实可靠的数据支持, 同时为其他相关研究提供借鉴。

1 四道桥滑坡概况

四道桥滑坡位于长江北岸, 滑体东西宽 100~250 m, 南北长约 600 m, 滑体厚 14~43 m, 滑体面积约 $11 \times 10^4 \text{ m}^2$, 总方量约 $268 \times 10^4 \text{ m}^3$; 滑体后缘具明显的圈椅状地形, 后壁高程 280~360 m, 主滑方向为 160° , 坡度约 40° , 滑坡后部为滑坡平台, 坡度约 $4 \sim 10^\circ$, 宽约 160 m, 为居民区。东西侧缘受冲沟切割, 三面临空, 其中四道沟切割深度高达 10~30 m, 宽约 5~20 m。滑体前缘剪出口位于四道沟沟口及长江高漫滩以上, 高程为 120 m; 滑体物质主要由碎石土、滑动碎裂岩体、碎块石及砾质粉土或粉质粘土组成, 由上而下细粒物质逐渐减少, 碎块石含量渐高; 局部出露 T_2 强风化紫红色泥质粉砂岩、泥岩; 滑体具较强渗透性, 滑体土间泥化夹层具隔水作用。滑带厚约 1~4 m, 滑带土主要成分为黄灰色、紫红色砾质粉土、粉质粘土、粘土质角砾及泥, 呈可塑~软塑状, 受滑坡挤压常形成擦痕及磨光面, 局部遇水形成泥化带。滑坡目前处于蠕滑阶段, 年变形量较小, 具有推移式滑动特征, 滑坡前缘受库水位升降影响明显, 库岸再造强烈。

^{*} 收稿日期: 2013-09-16 修回日期: 2013-10-26

基金项目: 中国地质调查局灾害研究项目(1212010814012); 国家自然科学基金(41372332)

作者简介: 杨强(1980-), 男, 山东淄博人, 硕士, 工程师, 长期从事地质灾害调查、监测和预警方面的研究工作。

E-mail: yang5359535@126.com

2 实时监测系统的建立

选择四道桥滑坡体消落带作为研究对象,分析滑坡体对库水波动的动态响应过程。实时监测系统由孔隙水压力计、水分含量仪、库水位计、雨量计及连接线缆、数据采集仪、现场数据采集站、光伏供电系统、数据无线传输系统及数据发布系统组成。将各个监测探头通过线缆连接到现场站中的数据采集仪进行数据采集,通过无线传输方式将数据传到中心站后台数据处理中心,数据处理后对外实时发布,现场数据采集系统采用太阳能光伏系统供电,系统全天候工作。数据采集时间设置为1次/时,实时监测系统构架见图1。

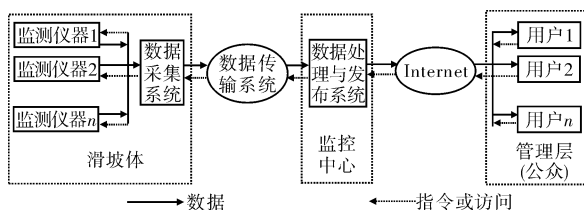


图1 实时监测系统构架

如图2所示,在滑坡体中下部布置钻孔SK1和SK2,在滑带部位安装2个孔隙水压力监测仪(VW_SK1_1, VW_SK2_1),在SK1、SK2钻孔3个关键层位安装6个水分含量仪(从下往上依次为SF_SDD1_1, SF_SDD1_2, SF_SDD1_3和SF_SDD2_1, SF_SDD2_2, SF_SDD2_3),建立了一个数据采集现场站采集实时监测数据。SK1孔口标高为177.8 m, SK2孔口标高为186.5 m。

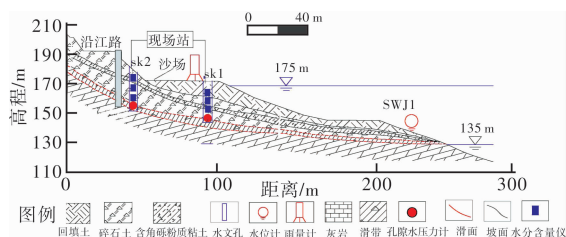


图2 实时监测系统剖面布置图

3 库水波动入渗过程滑坡体响应关系研究

3.1 库水波动滑坡体孔隙水压力响应关系研究

库水波动响应关系研究选用的监测数据为一个水文年的连续监测数据,经历过完整的库水位升降过程。由于四道桥滑坡公路外侧施工了深入滑动带的护桩,公路内侧滑坡体内有垂直于主滑方向的排水洞,滑坡体中上部地下水由平洞排出滑坡体外,对下部滑体影响较小,同时沙场经过粘土回填隔水处理,从总体上来说研究区受降

雨影响较小。孔隙水压力、库水位标高随时间变化的曲线如图3所示,库水位波动过程中孔隙水压力计响应规律见表1(响应时间为库水位与监测值达到同一标高的时间差)。

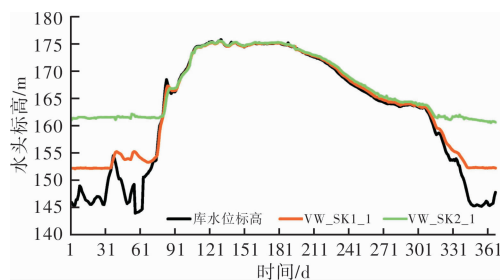


图3 滑带部位孔隙水压力及库水位标高随时间变化曲线

从图3及表1中可以看出,2个监测点的孔隙水压力变化趋势与库水位变化趋势总体上表现一致,监测点变化略滞后库水位变化。库水位上升过程中,当库水位升至和监测探头同一标高后,探头滞后一段时间后开始反应,滞后时间最大不超过2 d,上升趋势与库水位基本一致,监测值略低于库水位,差值为0.2~0.4 m,响应时间的长短与仪器安装部位的渗透性及库水位变化速率相关。库水位上升至175 m后,探头监测值很快与库水位达到一致,且稳定后监测值略高于库水位,差值约为0.1~0.2 m。库水位的下降过程中,孔隙水压力水头标高维持一段时间后开始下降,下降的速率和趋势基本上和库水位保持一致,受坡体内地下水回流影响滞后时间比上升阶段长,最长达到10~11 d,响应时间主要受滑坡体渗透系数、坡度和水位下降速度等因素的影响,四道桥滑坡下部渗透系数和坡度变化不大,响应时间和高差主要受到库水位下降速率的影响,即库水位在175~160 m时下降速率先增大后减小,响应时间和高差也呈先增大后减小的趋势,之后库水位下降速率增大,VW_SK2_1不受影响,VW_SK1_1的响应时间和高差也随之增大,总体呈现正相关;同时下降过程中,VW_SK2_1与库水位的水头差值比VW_SK1_1大,响应时间约为VW_SK1_1的2~3倍,离岸边越远,孔隙水压力对库水位升降的响应时间越长,库水位下降时地下水头与库水位之间的差越大,VW_SK2_1最大水位高差为1.5 m。库水位降至VW_SK1_1标高以下5~7 d后仪器结束响应,VW_SK2_1则需要10~12 d。

3.2 库水入渗滑坡体水分含量响应关系研究

选取SK1中三个水分含量探头为研究对象,库水位真实升降过程中,水分含量随时间变化的曲线如图4所示,所选数据段开始时间均为库水位升/降至仪器安装标高开始计时,库区目前水位升降的平均速率为0.6 m/d,升降过程中30 h即可完全淹没和露出探头,库水短期内升降速率基本一致,其响应规律见表2。

表 1 库水位波动过程中孔隙水压力计响应规律

监测仪器	水位标高/m	响应时间/h		监测仪器	水位标高/m	响应时间/h	
		上升	下降			上升	下降
VW_SK1_1	155	2	231	VW_SK2_1	—	—	—
	160	10	42		—	—	—
	165	26	94		165	39	257
	170	19	31		170	45	81
	174.5	14	5		174.5	13	6

注: VW_SK2_1 仪器安装标高为 162 m, 162 m 以下探头不受库水影响

表 2 库水位波动过程中水分含量响应规律

监测探头	仪器标高/m	库水上升过程/h		库水下降过程/h	
		开始响应时间	升至饱和时间	开始响应时间	降至最低时间
SF_SDD1_1	158	2	7	33	24
SF_SDD1_2	167.4	8	15	108	101
SF_SDD1_3	170.2	2	45	44	76

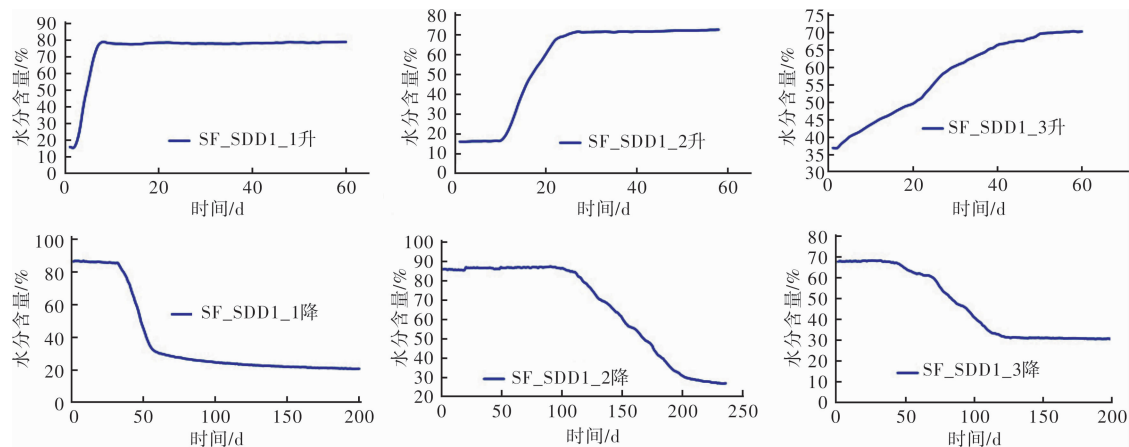


图 4 SK1 水分含量变化曲线

由图 4 及表 2 可知库水位上升过程中, 仪器开始响应时间为 2 ~ 8 h, 时间相对较短, SF_SDD1_1 反应最迅速, 说明滑带表面由于长期渗透作用影响, 渗透性相对较好, 存在渗透通道水流能迅速渗透, SF_SDD1_2 响应及升至饱和时间均较长是因为其安装层位岩性为粉质粘土夹碎石, 且粉质粘土粘粒含量较高所至, 升至饱和的时间 7 ~ 45 h, 仪器响应时间及饱和时间不具有线型关系, 因为受仪器安装层位岩土体渗透系数、滑坡体地层岩性差异、到岸边的距离、库水位上升速率等多种因素的影响。库水位下降过程中, 开始响应的时间为 33 ~ 108 h, 降至最低的时间为 24 ~ 101 h, 都要远远大于库水上升过程中的响应时间, 这主要是受到坡体地下水回流的影响; SF_SDD1_2 响应时间和降至最低时间均较长, 是由于 SF_SDD1_2 安装层位的粉质粘土夹碎石土, 粘粒含量较高渗透性较长, 与上升过程表现相对应, 同时该过程也受该时间段库水下降速率的影响。对比表 1 可知, 库水下降过程中水分含量的响应时间先增大后减小, 与相应标高下孔隙水压力的响应时间在变化趋势上保持一致, 即响应时间与库水位下降速率

正相关。水分含量和孔隙水压力在下降过程中变化趋势上的一致性也说明采集到的孔隙水压力 and 水分含量数据的真实性和可靠性。

4 结论

(1) 以四道桥滑坡下部受库水波动影响区作为研究对象, 在滑坡体上建立了集滑坡体水分含量及滑带部位孔隙水压力、库水位为一体的滑坡体地下水动态实时监测系统, 该实时监测系统成功采集库水位升降过程中仪器安装层位相应的孔隙水压力及水分含量的长期连续数据, 数据真实反映出的滑坡体消落带渗流场地下水的动态变化响应过程, 为滑坡体库水入渗响应过程研究提供了有效的数据支持。

(2) 库水位上升过程中, 2 个监测点孔隙水压力变化趋势与库水位变化趋势基本保持一致, 存在一定的滞后效应, 滞后时间最大不超过 2 d, 滞后时间主要取决于库水位上升速率、坡体前部滑坡体的渗透性、地形坡度及渗透距离长短。孔隙水压力监测值略低于库水位, 差值为 0.2 ~ 0.4 m, 库水位上升至 175 m 后, 探头监测值很快与库水位

达到一致,且稳定后监测值略高于库水位,差值约为 0.1~0.2 m。

(3)库水位的下降过程中,受坡体内地下水回流影响孔隙水压力水头标高维持一段时间后开始下降,下降的速率和趋势基本上和库水位保持一致,滞后时间比上升阶段长,最长达到 10~11 d,响应时间主要受滑坡体渗透系数、坡度和水位下降速度等因素的影响,四道桥滑坡下部渗透系数和坡度变化不大,地下水回流速度主要受到库水位下降速率的影响;同时离岸边越远,孔隙水压力对库水位升降的响应时间越长,库水位降至 VW_SK_1_1 标高以下 5~7 d 后探头结束响应, VW_SK_2_1 则需要 10~12 d,孔隙水压力水头与库水位之间的差值也越大,最大水位高差为 1.5 m。

(4)库水位升降过程中,各个层位水分含量实测曲线及总结规律很好的反应了仪器安装层位滑坡体内水分含量的变化规律,与安装部位的岩土体渗透特征总体上表现一致,其响应规律与孔隙水压力分析规律相结合为分析整个滑坡体的地下水渗流动态过程提供了可靠数据支持。因水分含量变化受仪器安装层位岩土体渗透系数、滑坡体地层岩性差异、地形坡度、到岸边的距离、库水位上升速率等多种因素的影响,各仪器响应时间及饱和时间不具有线型关系。渗透饱和过程响应关系为同等或相近滑坡体地层库水入渗响应研究提供了借鉴。

(6)实时监测系统的建成,滑坡体孔隙水压力以及水分含量数据的获取后,响应关系的分析成果与勘察以及试验资料相结合能更加充分的理解滑坡体库水入渗过程中地下水动态的变化过程、更加细化的校正滑坡地质模型、更加准确的获取

建模过程及数值模拟所需要的参数,为获取不同工况下数值模拟结果的真实性提供了可靠的检验标准,同时也为其他同类型滑坡的类比分析提供借鉴。

参考文献:

- [1] 张开鹏,刘新喜.降雨入渗对三峡库区堆积层滑坡稳定性的影响[J].中国安全科学学报,2006,16(6):4-8.
- [2] 魏学勇,欧阳祖熙,董东林.库水位涨落条件下滑坡渗流场特征及稳定性分析[J].地质科技情报,2011,30(6):128-132.
- [3] 曾刚.库水升降作用下水库库岸滑坡稳定性分析[J].三峡大学学报,2011,33(4):15-18.
- [4] 肖学沛,李天斌,张志龙.三峡水库区严家坡滑坡成因分析及稳定性评价[J].中国地质灾害与防治学报,2005,16(1):39-43.
- [5] 汪洋,刘艺梁.平面滑动型涉水岩质滑坡速度计算模型研究[J].灾害学,2012,27(3):22-24.
- [6] 陈为公,贺可强,孙林娜.基于 k/v 壁纸的库岸涉水滑坡分类[J].灾害学,2013,28(3):6-10.
- [7] 汪洋,刘艺梁.浸润线缓慢上升对滑坡剩余推力的影响规律[J].灾害学,2012,27(4):21-24.
- [8] 连志鹏,谭建民,闫举生,等.库水位变化与降雨作用下库岸斜坡稳定性分析[J].安全与环境工程,2011,18(2):14-22.
- [9] 郑颖人,时为民,孔位学.库水位下降时渗透力及地下水浸润线的计算[J].岩石力学与工程学报,2004,23(18):3203-3210.
- [10] 刘才华,陈从新,冯夏庭.库水位上升诱发边坡失稳机理研究[J].岩土力学,2006,26(5):769-773.
- [11] 朱冬林,任光明,聂德新,等.库水位变化下对水库滑坡稳定性影响的预测[J].水文地质工程地质,2002(3):6-9.
- [12] 柳群义,朱自强,何现启,等.水位涨落对库岸滑坡孔隙水压力影响的非饱和渗流分析[J].岩土力学,2008,11(Supp 1):85-89.

Response Relationship of Riparian Zone of the Landslide Mass with Reservoir Water Fluctuation Conditions

Yang Qiang¹, Ye Zhennan² and Gao Youlong¹

(1. Center for Hydrogeology and Environmental Geology of CGS, Baoding 071051, China;

2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: Taking Sidaoqiao landslide in Three Gorges Area as an example, real-time monitoring system of landslide pore water pressure, the water content and water level of reservoir is established. Based on the acquisition of long-term continuous observation data, dynamic process of riparian zone of the landslide mass in the process of change of reservoir water level is studied. Results show that the change trend of the pore water pressure in the landslide mass is consistent with the reservoir water level during the fluctuation, but lags relatively behind. The response is fast with a 0.2 m water-head during the rising process, while the lag time is relatively long during the falling process, whose maximum water-head is 1.5 m. The water content curve measured reflects the variation of the water content of the soil beside the instrument, and the dynamic process of the groundwater seepage is analyzed by the combination of the variation law of pore water pressure and water content, the results of which can provide reliable data support for numerical simulation, and provide reference for the research of landslides with similar geotechnical engineering conditions at the same time.

Key words: Three Gorges Reservoir Area; riparian zone; reservoir water level fluctuation; seepage filed; response relationship