

三峡库区某退水滞后型滑坡渗流及稳定性分析

刘 凯^{1,2,3}, 易 武^{1,2,3}, 闫国强^{1,2,3}

(1. 三峡大学 土木与建筑学院, 湖北 宜昌 443002;

2. 三峡大学 三峡地区地质灾害与生态环境湖北省协同创新中心, 湖北 宜昌 443002;

3. 湖北长江三峡滑坡国家野外科学观测研究站, 湖北 宜昌 443002)

[关键词] 退水滞后型滑坡; 渗流场; 稳定性分析; 三峡库区

[摘要] 三峡库区自 2003 年蓄水以来, 库区水岩作用引发了水库岸坡失稳等地质灾害, 其中水库岸坡破坏出现在库水位上升期的占 40%~49%, 出现在水位消落期的约占 30%, 而有些大型滑坡会发生在库水位达到最大值后的快速消落期。本研究以三峡库区某退水滞后型滑坡为例, 结合 2016 年 1—6 月三峡水库水位的实际运行情况并联合降雨, 利用数值模拟的方法模拟其渗流场变化并进行稳定性计算。研究结果表明: 库水位下降并叠加降雨的情况下, 对滑坡的稳定性不利, 当库水位下降速率达到 1.0 m/d 且叠加降雨时, 滑坡的稳定性最差, 此时为最不利工况; 在 5 种工况条件下, 滑坡的稳定性有所降低, 但稳定性数值均大于 1.05, 说明滑坡仍处于基本稳定状态。

[中图分类号] P642.22 [文献标识码] A [文章编号] 1000-0941(2017)08-0044-04

水库库岸区域发生的滑坡和崩塌, 是库区水岩作用导致的一类重要的地质灾害, 往往会对工程及环境造成较大的危害^[1]。有资料显示, 水库岸坡破坏发生在库水位上升期的占 40%~49%, 发生在水位消落期的约占 30%, 而有些大型滑坡会发生在库水位达到最大值后的快速消落期。三峡库区自 2003 年首次蓄水至 135 m 以来, 地质灾害频发, 尤其是滑坡。研究表明, 水是诱发滑坡地质灾害的最重要因素^[2]。库区的地下水主要由降雨补给, 地下水位的变化又与库水位的涨落直接相关^[3], 因此降雨和库水位涨落是诱发涉水滑坡的最重要因素^[4]。在分析水库型滑坡的稳定性方面, 学者们已经做了大量的研究工作: 李晓等^[5]提出一种在降雨及库水位涨落影响下滑坡地下水动力场的分析方法; 吴琼等^[6]从渗流基本原理出发, 采用稳定渗流情况下的浸润线作为非稳定渗流的初始值, 推导出库水位升降联合降雨作用下该模型中浸润线的近似解析解; 廖红建等^[7]通过数值计算得到了库区降水速度、渗透系数与边坡稳定性之间的变化规律; 张桂荣等^[8]得出降雨影响的主要是上部土体, 即降雨更容易引起浅层滑坡与局部滑坡。笔者以三峡库区某滑坡为研究对象, 根据 2016 年 1—6 月库区水位的实际调度方案, 考虑在增大库水位日降幅的情况下联合降雨, 利用 Geo-Studio 软件对三峡库区某退水滞后型滑坡进行数

值模拟, 研究其渗流场及稳定性。

1 滑坡概况

该滑坡位于秭归县方家山村, 为一古滑坡堆积体。滑坡整体为斜逆向的陡坡, 地貌上为典型的长条圈椅状凹槽地形, 中下部为坡度较缓的平台, 上部为圈椅状较陡的斜向坡。滑坡沿 I-I' 剖面设有 3 个专业监测点 ZGT2、ZGT3、ZGT4, 分别布置在滑坡前缘、中部和后部。滑体纵长约为 800 m, 平均宽度约为 260 m, 滑坡前缘直抵长江, 高程约为 80 m, 后缘高程约为 390 m。滑体面积约为 20.8 万 m², 平均厚度约为 30 m, 体积约为 600 万 m³。滑坡地质平面图见图 1。

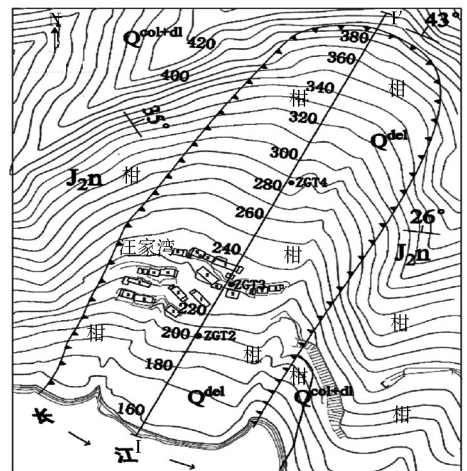


图 1 滑坡地质平面图

[基金项目] 国家自然科学基金项目(41172298、41302260); 湖北省自然科学基金创新群体项目(2012FFA040); 湖北省科技支撑计划项目(2015BCE070)

根据调查及勘查资料,滑体物质主要由第四系崩坡积物构成,为砂岩块石、碎石土堆积层。滑坡堆积物直接与下伏基岩接触构成滑带,滑带土主要为碎石土,成分主要是泥灰岩、泥页岩等。滑床为向坡体内倾的逆向侏罗系砂泥岩层,岩层产状为 $30^{\circ} \angle 35^{\circ}$ 。

2 滑坡变形分析

2.1 监测网布置

滑坡上的3个GPS监测点分别位于主滑面上高程280、230、200 m处;4个倾斜监测孔中有3个与GPS监测点位置相同,还有1个位于310 m高程处;2个地下水水位监测孔位于滑体中下部,即ZK1点(高程193 m)和ZK10点(高程193 m);在滑体东部高程250、220 m的基岩脊上设立了2个GPS基准点。

2.2 GPS监测数据分析

图2展示了该滑坡2012年7月至2016年7月的GPS累积位移,从图中可以看出:ZGT2监测点的累积位移量最大,截至2016年7月25日累积位移量已达85.6 mm,另外两个监测点(ZGT3和ZGT4)的累积位移量相对较小;3个GPS监测点的累积位移曲线均以波动为主,未出现明显增加的趋势。

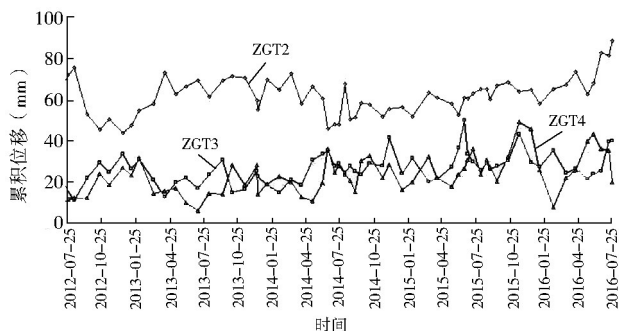


图2 滑坡累积位移

2.3 宏观变形特征

2016年7月经宏观地质调查发现,该滑坡地表未见明显变形,但存在局部变形:滑坡前缘西侧冲沟坡面坍塌,规模约为 10 m^3 ,滑坡中部东侧坡面坍塌,规模约为 5 m^3 ,经调查均为降雨所致。ZGT2点位于滑坡前缘,其累积位移的小幅度上涨和前缘塌岸作用有关。

综合分析认为,目前滑坡存在局部位移的情况,整体无变形,处于基本稳定状态,但在库水位日降幅增大并叠加极端降雨的条件下,滑坡的稳定性需要进一步进行分析验证。

3 库水位情况、降雨及模拟工况

自2003年库区首次蓄水至135 m以来,正常运行情况下水位在145~175 m之间变动,根据历年观测数据,坝前水位上升速度 $\leq 2 \text{ m/d}$,下降速度 $\leq 1 \text{ m/d}$ 。该滑坡所在地秭归县地处中纬度地区,属于亚热带大陆性季风气候区。

经分析,库水位上升对该滑坡的影响较小,因此本研究主要研究库水位下降的情况。根据长江三峡集团公司发布的水位情况,每年1—6月为库水位下降期,本研究根据2016年库水位实际下降情况模拟两个阶段:第一阶段由坝前175 m水位降至坝前159 m水位,降速较缓,为 0.12 m/d (此阶段不加降雨);第二阶段由坝前159 m降至145 m,降速分别为 $0.6、0.8、1.0、1.2 \text{ m/d}$ (此阶段考虑降雨的影响)。1—6月份不是降雨的高发期,但仍要考虑极端的情况,本研究中的降雨量采用秭归县枯水期50 a重现值(即3 d降雨量为65 mm,见表1),分别建立5种工况,见表2。

表1 秭归县降雨强度重现期

重现期(a)	枯水期不同时段降雨量					丰水期不同时段降雨量				
	1 d	3 d	4 d	5 d	6 d	1 d	3 d	4 d	5 d	6 d
	10	38	49	55	58	61	135	177	184	202
20	43	56	63	65	68	150	193	200	216	228
50	49	65	72	73	76	168	213	220	234	248
100	53	71	77	79	82	180	226	233	247	262

表2 滑坡计算工况

工况	库水位(m)		速率(m/d)		降雨情况	
	第一阶段	第二阶段	第一阶段	第二阶段	第一阶段	第二阶段
					(3 d降雨量)	
1	175~159	159~145	0.12	0.6	无降雨	65 mm
2	175~159	159~145	0.12	0.8	无降雨	65 mm
3	175~159	159~145	0.12	1.0	无降雨	65 mm
4	175~159	159~145	0.12	1.2	无降雨	65 mm
5	175~159	159~145	0.12	1.2	无降雨	无降雨

4 模拟计算

选取滑坡地质平面图中的I-I'剖面作为计算剖面,建立有限元模型(见图3),其中节点数为3212个、单元数为3112个。

结合野外剪切试验、室内直剪试验、地质类比及反演分析等方法综合取值,该滑坡体强度参数见表3。

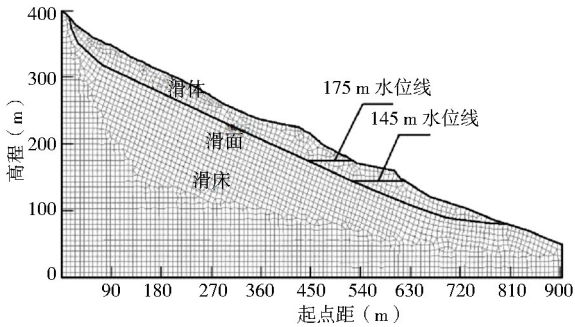


图 3 滑坡有限元模型

表 3 滑坡体强度参数

参数	滑体	滑床
容重(kN/m ³)	19.5	21.0
变形模量(MPa)	85	38 000
泊松比	0.27	0.20
黏聚力(kPa)	16	22
内摩擦角(°)	21.5	22.4
渗透系数	3.4×10^{-3}	4×10^{-7}
饱和含水率(%)	32	14
残余含水率(%)	3.5	1.4

5 结果分析

5.1 渗流模拟结果分析

利用加拿大数值仿真软件 Geo-Studio 中的 Seep 模块对 5 种工况下的地下水浸润线进行模拟,得到如下渗流结果:第一阶段库水位从坝前 175 m 下降到 159 m 的过程中,地下水浸润线在靠近滑面、高程 175 m 处开始产生陡降,第二阶段库水位从坝前 159 m 下降至 145 m 的过程中,工况 1、2、3、4 的库水位下降速率分别为 0.6、0.8、1.0、1.2 m/d,且都叠加了降雨的情况,地下水浸润线从高到低依次为工况 4、3、2、1;比较工况 4 和 5,发现工况 4 的地下水浸润线位置略高于工况 5 的;越靠近溢出口,地下水浸润线越陡,工况 4 和 5 的浸润线溢出点的高程均高于 145 m。

比较分析工况 1、2、3、4,在降雨条件相同的情况下,库水位下降速率越大,地下水位线越高,这是因为在水位快速下降的过程中,地下水来不及排出,滞后于水库水位下降。滑坡体中地下水向外的渗透力和产生的动水压力作用于滑坡,使滑坡的稳定性降低。比较工况 4 和 5,在库水位下降速率相同(均为 1.2 m/d)的情况下,叠加了降雨的工况的地下水位线要高于未叠加降雨的工况,显然降雨入渗导致了地下水浸润线的提高。在非饱和土体中存在基质吸力,当降雨渗入滑坡体时,含水量增加降低了滑坡体的基质吸力,减小了滑坡体的抗剪强度,也会形成向临空方向的动水压力,牵引滑坡变形。工况 4 和 5 的地下水浸润线在滑体前缘的区别不明显,而在滑体中后部有明显的区别,说明

降雨主要影响的是滑体中后部,而对滑体前缘影响不大。工况 4 和 5 的浸润线溢出点的高程均高于 145 m,说明库水位下降较快,而滑体的渗透性又较差,水位线以下的土体达到了饱和状态。

5.2 稳定性分析

利用 Geo-Studio 软件中的 Slope 模块计算出的 5 种工况下对应滑坡体的最小稳定系数结果见图 4。

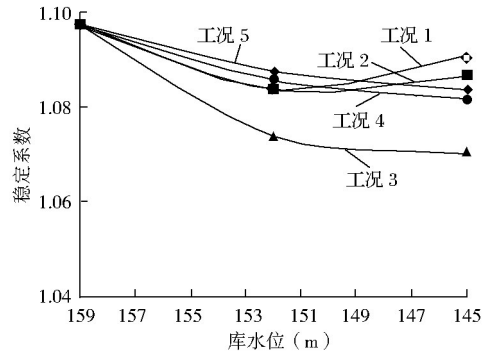


图 4 各工况稳定系数计算结果

根据 Seep 和 Slope 耦合计算出 5 种工况下的最小稳定系数,反映了滑坡稳定性与库水位下降及降雨之间的关系,研究结果表明:当库水位加速下降且叠加降雨之后,坡体的整体稳定性大幅度降低,动水压力增大,但并不是库水位下降速率越大,稳定性就越低,对比工况 3 和 4,发现工况 3 的稳定系数小于工况 4 的,而工况 3 是 5 种工况中最不稳定的,即对于此滑坡而言,库水位下降速率为 1.0 m/d 且叠加降雨的情况时,对滑坡稳定最不利。工况 1 和 2 的稳定系数随着库水位的下降(159 m 下降到 145 m)先下降后上升,主要原因是在库水位下降速率不是很大的情况下,地下水排出坡体,稳定系数降低,随着库水位的逐渐下降,影响滑体的地下水减少,滑坡的稳定性又略有增加。工况 5 与 4 相比,稳定系数有所提高,是因为工况 5 没有叠加降雨,说明对于该滑坡,库水位下降和降雨都是影响滑坡稳定性的重要因素。在库水位快速下降的过程中,滑坡体地下水位与库水位形成落差,滑坡体地下水向外渗出,渗透力指向滑体外侧,同时还产生较高的附加动水压力作用于土体颗粒上,由于滑体渗透系数低,因此滑坡表现出滞后性。各种工况下稳定系数均大于 1.05,说明整体仍然处于基本稳定状态,但不能排除滑坡前缘出现崩塌的可能性。

6 结语

本研究根据三峡库区水位实际调度方案,利用数值模拟软件 Geo-Studio 的 Seep 和 Slope 模块对某退水滞后型滑坡进行模拟,对其渗流场及稳定性进行分析,得到以下结论:

灵宝市地质灾害发育特征及分布规律研究

张明磊,徐光林

(河南省地质矿产勘查开发局 第二地质环境调查院,河南 郑州 450053)

[关键词] 地质灾害;发育特征;分布规律;灵宝市

[摘要] 依据 2013 年灵宝市地质灾害详细调查成果资料,从地形地貌、气象水文、地层岩性、地质构造、地下水等方面阐述了灵宝市的地质环境条件,分析归纳了灵宝市地质灾害的主要类型及其发育特征。总结了地质灾害在空间和时间上的分布规律:空间上沿河流、沟谷呈条带状分布,受地形地貌控制,在低山区灾害发育密集,在乡镇人类活动强烈地区较发育;在时间上呈现出在雨季集中分布的规律。

[中图分类号] P694 [文献标识码] A [文章编号] 1000-0941(2017)08-0047-04

近年来,随着灵宝市城镇化建设进程加快和小秦岭金矿区矿产资源开发规模增大,区域地质灾害有加剧趋势,威胁到群众的生命财产安全。针对这一现状,许多专家、学者对当地地质灾害进行了深入的调查研究,比如:邢永强等^[1-2]研究了灵宝市小秦岭金矿区泥

石流灾害的发生机理、发育特征,进行了危险性评价,提出了灾害防治的措施和建议;陈华清等^[3]分析了小秦岭矿渣型泥石流的物源特征及起动机理,并对其危险性进行了评价。本研究在 2013 年对灵宝市地质灾害详细调查的基础上,根据灵宝市的地质环境条件,进一步分析地质灾害的发育特征及分布规律,以期为地质灾害的防治提供参考。

[基金项目] 河南省三门峡市地质灾害详细调查项目(1212011089058)

(1) Seep 模块模拟的渗流场结果表明:库水位的下降和降雨产生一个较大的水力坡降,且库水位下降速率越大,地下水位线越高,水位在快速下降的过程中,地下水来不及排出,滞后于库水位下降。滑坡体中地下水向外的渗透力和产生的动水压力作用于滑坡,使滑坡的稳定性降低。

(2) 降雨入渗是影响滑坡稳定性的一个重要因素,但比较工况 4 和 5 发现两工况稳定系数相差并不大,这是由于滑体物质的渗透系数较小,降雨不易入渗。因而对于该滑坡而言,影响滑坡稳定性的主要因素还是库水位的下降。

(3) 库水位下降并叠加降雨的情况对滑坡的稳定性不利,但并不是库水位下降的速率越大,滑坡越不稳定,模拟发现库水位以 1.0 m/d 的速率下降并叠加降雨的工况滑体稳定系数最低,为 1.07。所有工况的稳定系数均超过 1.05,说明在三峡库区水位日降幅增大并叠加极端降雨的情况下,该滑坡仍然保持基本稳定。

[参考文献]

[1] 王士天,刘汉超,张倬元,等.大型水域水岩相互作用及其环境效应研究[J].地质灾害与环境,1997,8(1):69-

89.

- [2] 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,2011:194-200.
- [3] 作彦卿.地下水与地质灾害[J].地下空间,1999,19(4):303-310.
- [4] 秦洪斌.三峡库区库水与降雨诱发滑坡机理及复活判据研究[D].宜昌:三峡大学,2011:10-11.
- [5] 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.
- [6] 吴琼,唐辉明,王亮清,等.库水位升降联合降雨作用下库岸边坡中的浸润线研究[J].岩土力学,2009,30(10):3025-3031.
- [7] 廖红建,盛谦,高石夯,等.库水位下降对滑坡体稳定性的影响[J].岩石力学与工程学报,2005,24(19):3454-3458.
- [8] 张桂荣,程伟.降雨及库水位联合作用下秭归八字门滑坡稳定性预测[J].岩土力学,2011,32(增刊1):476-482.

[作者简介] 刘凯(1992—),男,湖北恩施州人,硕士研究生,研究方向为边坡稳定性分析及滑坡预测预报。

[收稿日期] 2017-01-15

(责任编辑 李杨杨)