

文章编号: 1008-2786-(2011)3-328-09

小湾水电站库区新民坝子滑坡稳定性研究

刘云鹏, 黄润秋, 邓 辉

(成都理工大学 地质灾害与环境保护国家重点实验室, 四川 成都 610059)

摘 要: 水库库区形成以后, 由于水位的上升变动往往触发相当数量的坍塌和滑坡, 对库岸稳定性造成严重影响。以小湾水电站库区新民坝子滑坡为例, 在岸坡地质条件及变形破坏特征调查的基础上, 对其变形破坏机制和稳定性进行分析和评价, 得出其变形破坏方式为前缘-后缘逐级后退式失稳模式, 且现状处于欠稳定状态; 通过概化其地质模型, 采用 FLAC3D 数值模拟手段进行流固耦合分析, 得出水位上升至调查水位 1 160 m 高程和正常蓄水位 1 240 m 高程时的岸坡稳定性状况, 计算结果表明蓄至 1 240 m 高程后岸坡存在产生较大规模失稳的可能。这对类似库岸滑坡的调查分析具有一定参考意义。

关键词: 库岸稳定性; 逐级后退式失稳模式; 流固耦合

中图分类号: P642.22

文献标识码: A

水库蓄水以后, 由于水位升高及周期性涨落, 造成水库岸坡地下孔隙水压力和渗透作用的变化, 再加上水对岩土体的软化作用和波浪对岸坡的冲蚀搬运, 导致了大量塌岸和滑坡的产生。琼斯(Jones)等调查了罗斯福(Roosevelt)湖附近地区(更新世的冰川沉积物分布)1941—1953 年发生的一些滑坡。其结果是, 49% 的滑坡发生在 1941—1942 年的蓄水初期, 30% 发生在水位骤降 10 ~ 20 m 的情况; 其余的是发生在其他时间的小型滑坡。在日本, 大约 60% 的水库滑坡发生在水位骤降时期, 其余约 40% 的发生在水位上升时期, 包括初期蓄水^[1]。1963 年的意大利瓦依昂(Vajont)水库滑坡使 2 600 人丧生。在我国, 1958 年修建的河北省岳城水库蓄水后, 于 1968 年和 1974 年因库水位降落, 而在坝中段和南段各发生了 259 m 和 210 m 长的大滑坡^[2]。而举世瞩目的三峡水电工程, 水库蓄水过程中就触发了相当数量的滑坡产生, 对库区两岸人民群众的生命财产造成危害。例如 2003-07 发生在湖北省秭归县的千将坪高速滑坡, 滑坡方量达 $3 \times 10^7 \text{ m}^3$, 死亡 24 人, 并摧毁大量房屋、农田及渔船, 给当地带来了巨

大的经济损失, 其直接原因之一在于三峡水库二期蓄水后库水位上升后, 坡体产生孔隙水压力及滑动面强度参数弱化, 导致边坡稳定性降低^[3]。在三峡工程建设过程中, 国家通过不断追加, 截止 2008 年三峡正式建成蓄水时用于治理地质灾害的二期投入资已经达到 120 多亿元。

库水位的影响是多方面的, 对滑坡的诱发作用主要表现在三个方面: 岸坡部分淹没引起的浮力作用使得坡脚部分的有效重量减少, 造成整个坡体的抵抗力变小, 水分运移改变了岩土体的含水率, 导致岩体软化, 进而使之强度降低; 库水位变化直接改变了渗流场的边界条件, 特别是水位骤降所引起的岸坡地下水下降滞后产生的渗透水压力, 极易造成岸坡失稳, 当岸坡岩土体的透水性较小时, 这种影响更为明显; 库水位波浪的冲蚀、掏蚀、搬运作用, 容易在坡脚处形成坍塌, 从而降低坡脚处的抵抗力, 并为后面岸坡的失稳变形提供了临空面^[4-9]。

本文以小湾电站库岸新民坝子滑坡为例, 在现场工程地质条件和岩土体结构特征调查的基础上, 采用 FLAC3D 软件模拟库水位升降过程中流体-固

收稿日期(Received date): 2010-08-09; 改回日期(Accepted): 2010-12-30。

作者简介(Biography): 刘云鹏(1982-), 男, 内蒙古通辽人, 博士研究生, 主要从事岩土体稳定性及工程环境效应研究。[Yunpeng Liu (1982-), male, was born in Tongliao Neimenggu province, doctoral candidate, mainly engaged in research of Physicomechanical stability and engineering environment effect.] E-mail: liuyunpeng_2005@163.com

体的相互作用,对其稳定性进行分析评价,并预测今后的发展趋势。

1 岸坡概况

新民坝子滑坡位于黑惠江左岸的凹岸小湾东镇博刀山岸坡上,距离小湾大坝约15 km,上游侧临近黑惠江支流富密河,下游侧则为黑水洞(地名),滑坡总体呈EW向,与黑惠江总体近正交。岸坡坡脚高程约1 080 m,后缘高程约1 410 m,岸坡纵向长约800 m,顺河方向宽近600 m,见图1所示。

调查中发现,蓄水至1 160 m高程时,岸坡前缘已出现多处滑塌、拉裂变形迹象,岸坡前缘一处规模较大的滑塌变形体,形成的后缘错台高达4 m,该滑塌体上发育多条拉裂缝,从裂缝的分别密度来看,从前缘至后缘逐渐减小,裂缝规模也逐渐减小,滑坡表现出较为明显的逐级后退式顺层滑移失稳模式。

2 岸坡基本地质条件

2.1 地形地貌

研究区所在区域由于经受强烈的切割侵蚀,构成了高中山峡谷地貌景观,属高中山峡谷侵蚀剥蚀地貌类型。库区两岸见有发育不完整的五级河流阶地,两岸分别在1 250 m、1 600 m附近除个别地段外均有夷平面缓坡平台分布。河谷深切,呈“V”型河

谷,岭谷相对高差一般800~1 000 m,自然山坡坡度一般为 $30^{\circ}\sim 45^{\circ}$,岸坡体上浅蚀冲沟发育。岸坡纵向长约800 m,顺河方向宽约600 m,总体坡向为 $N75^{\circ}W$,与黑惠江近正交。总剖面上来看,岸坡地形总体上呈下陡上缓形态,即高程1 160 m以下地形较陡,坡度约 $35^{\circ}\sim 40^{\circ}$,1 160 m高程以上总体地形较缓,坡度约 $15^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 。

2.1 地层岩性与岸坡结构

岸坡范围出露的地层岩性主要有第四系松散堆积物和基岩,该段岸坡上部主要包括滑坡堆积物和残坡积物,其中滑坡堆积物主要是黄褐色、灰白色碎块石土,块石粒径一般约5~20 cm,个别可达60 cm以上,黏粒含量较低约占20%~30%。滑坡堆积物厚度一般约15~20 m,个别可达30 m。残积土主要分别与滑坡边界上的岸坡上,厚度较薄,一般1~2 m,主要由黏土夹碎石组成。基岩主要出露于滑坡两侧的深切冲沟内,由三叠系上统歪古村组(T_3u),岩性为薄~中厚层,砂岩、板岩、砂质板岩互层夹石英脉,呈黄褐色、灰白色,基岩产状为 $N77^{\circ}E/NW\angle 62^{\circ}$,斜倾上游,倾向与坡面倾向交角约 $50^{\circ}\sim 60^{\circ}$,属斜向坡;岩体主要发育两组节理,产状分别是: $N40^{\circ}W/SW\angle 51^{\circ}$ 和 $N13^{\circ}W/NE\angle 80^{\circ}$ 。

3 岸坡变形破坏特征及机制

3.1 变形破坏特征



图1 新民坝子岸坡顺层滑移形态特征

Fig.1 Bedding slip morphology of Newman-Bazi slope

表1 岸坡前缘强烈变形区的裂缝特征统计表
Table 1 The crack features in the front of strong deformation zone

裂缝编号	长度/m	拉裂缝宽度/m	下错/m	方向	端点位置	高程/m
(1)	14.4	0.2	0.1~0.3	328°	N24°49'30.7"E100°09'23.6"	1 189
(2)	14	0.3~1	1	335°	N24°49'30.4"E100°09'23.9"	1 198
(3)	12	0.5~1	1.5	340°	N24°49'30.1"E100°09'24.0"	1 121
(4)	15	1	3	337°	N24°49'29.7"E100°09'24.2"	1 210
(5)	14	1	4.5	328°	N24°49'29.4"E100°09'24.5"	1 217
(6)	24	1~1.5	5	0°	N24°49'28.6"E100°09'24.4"	1 217
(7)	11.5	1.5~2	4.5	17°	N24°49'28.2"E100°09'24.3"	1 215
(8)	12.7	1.5~2	4	66°	N24°49'28.1"E100°09'24.9"	1 210
(9)	20	2	1.5	72°	N24°49'28.1"E100°09'23.3"	1 203
(10)	19.5	1~1.5	0.2~0.3	90°	N24°49'28.2"E100°09'22.8"	1 187
(11)	14.3	沿层面滑动	1.5	83°	N24°49'28.2"E100°09'22.3"	1 183
(12)	11.7	沿层面滑动	1	90°	N24°49'28.2"E100°09'21.8"	1 179

表2 岸坡后缘变形影响区的裂缝特征统计表
Table 2 The crack features in theback of affected deformation zone

裂缝编号	位置(坐标)	特征描述
L1	后缘上部便道,N24°49'28.5",E100°09'28.6",H=1 247 m	宽2 cm,可见深度5 cm,走向92°
L2	坡体后缘,N24°49'28.3",E100°09'27.2",H=1 242 m	宽1~4 cm,可见深度15 cm,贯通后缘,走向175°
L3	右侧边界,N24°49'29.5",E100°09'26.7",H=1 240 m	宽10~30 cm,可见深度40 cm,有向下延伸趋势,走向149°
L4	左侧边界,N24°49'27.4",E100°09'25.3",H=1 240 m	宽5 cm,可见深度10~20 cm,有向下延伸趋势,走向61°

小,裂缝规模也逐渐减小,滑坡表现出较为明显的前缘至后缘逐级后退式失稳模式。可概括为图4所示的演化过程:当库水抬升以后,岸坡前缘覆盖层或强全风化层岩土体被水淹没,水体向岸坡内部渗透,增大岩土体的含水量以至于坡体大部分达到饱和状态,岩土在水的浸泡下其吸附水膜的厚度显著增大,从而使其抗剪强度参数、值大大下降;另外,悬浮减重效应的存在消减了有效正应力,使潜在滑面上的抗剪强度降低,以致于在岸坡表部产生拉裂缝和滑体内部的潜在滑动面,当累积发展到一定程度时变失稳滑动。伴随着水位进一步抬升使淹没的范围向岸坡上部发展和岸坡前缘滑体下滑所造成的其整体前缘阻力降低,岸坡的后缘将产生新的拉裂缝和潜在滑面,当前缘滑体下滑以后,后缘的滑体即处于潜滑状态。岸坡就是以这样的方式完成对库水抬升的响应,岸坡逐级失稳后退,最后到达相对的稳定状态。对于顺向岸坡和小角度相交的斜向岸坡而言,这种失稳方式将更为强烈。

3.2 变形破坏机制分析

通过调查分析,概括起来影响该岸坡稳定性的主要因素为:1. 水的影响,即水位上升过程中浸润坡体,使受水淹没部分的坡体岩土体饱和,空隙水压力增大,有效应力降低,削弱了坡体下部的抗剪强度。同时弱化了岩土体强度参数,特别是底滑面物理力学性能;2. 岸坡结构特征,该岸坡基岩岩层走向NE倾向NW,且倾角较大,从空间上讲,这为上覆岩土体的变形失稳提供了有利条件;3. 岩性特征,构成基岩的岩性主要为薄-中层砂质板岩,靠近坡表的岩体风化严重,一般呈碎裂结构或板裂结构,张开,并有岩屑、绢云母、绿泥石等充填。调查中发现,表层砂质板岩的层面性状及其软弱,顺层面方向用手可以轻轻掰动,浸水以后强度则进一步降低,层面的室内物理力学试验结果见表3所示。

该失稳机制可以简述如下:1. 在库水作用下岸坡前缘坡脚受到水流的掏蚀、软化作用,导致局部坍塌形成临空,且阻滑能力降低;2. 由于基岩层面为砂质板岩,其层间结构面胶结较差,局部为岩粉或泥质充填,遇水后其强度大大降低,成为最易滑动的弱

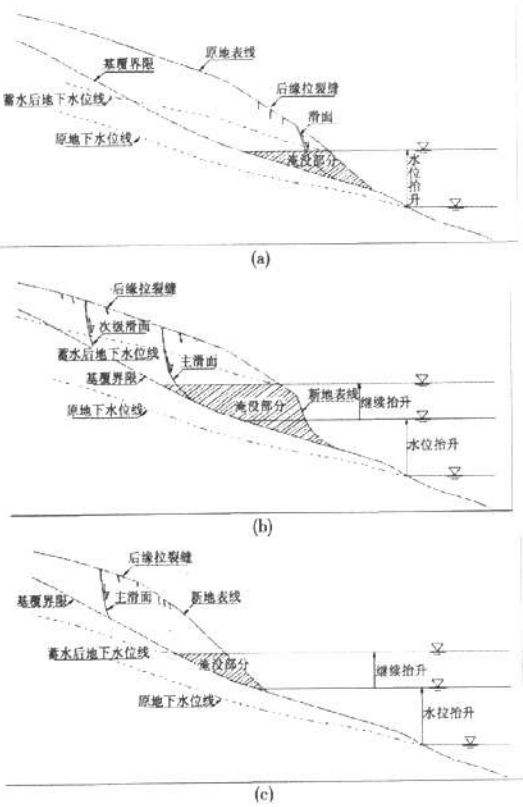


图 4 逐级后退式失稳模式演化图

Fig.4 Evolution schematic diagram of progressively backward failure model

面,在顺层方向下滑力作用下,岸坡岩软弱层面向下变形,导致岸坡后缘出现拉裂变形,见图 5、图 6 所示;3. 变形达到一定程度,即达到失稳阈值便会出现失稳下滑迹象。由于水的作用仅对一定范围内的岸坡岩土体和层面造成较大影响,当前缘坡脚没有形成临空面以前,对上部岩土体仍有一定的抗滑能力,因此,随水位的上升和波动,滑坡体会继续向上部发展,形成逐级后退式失稳模式。

表 3 新民坝子滑坡底界砂质板岩结构面抗剪试验结果

Table 3 Shear test results of structure surface in sandy slate under Newman-Bazi landslide

物理 状态	峰值			屈服		
	内摩擦角	内聚力	相关系数	内摩擦角	内聚力	相关系数
	$\varphi/^{\circ}$	c/MPa	R	$\varphi/^{\circ}$	c/MPa	R
天然	27.38	0.074 2	0.941	23.49	0.051 5	0.917
饱水	23.1	0.065 0	0.840	20.3	0.041 0	0.908

4 岸坡变形破坏机制的 FLAC3D 数值

本节中,将以新民坝子所在岸坡为研究对象,应用 FLAC3D 数值模拟软件,分析蓄水至调查水位 1 160 m 和正常蓄水位 1 240 m 该岸坡的整体稳定性及其对蓄水的响应,从而为该滑坡的研究及治理提供参考。

4.1 计算模型

由于整个岸坡走向近南北,因此确定以新民坝子滑坡为中心的矩形区域作为模型范围。根据地质平面图,取南北长度 1 800 m,东西宽度 1 500 m,模型底界高程为 800 m,模型中最高高程为 1 670 m,高差 870 m。坐标系选取 X 轴正方向为 90°,Y 轴正方向为 0°,Z 轴正方向为高程。模型的侧边界和底边界均为单向约束,坡面为自由面,模型共剖分 779 858 个单元、141 716 个节点,见图 7 所示。

根据野外现场地质调查,对岸坡的地质条件进行概化,主要包括基岩、覆盖层和滑坡底界软化岩层,其中覆盖层和软化岩层采用理想弹塑性模型,服从 Mohr - Coulomb 屈服准则。物理力学参数的选取根据室内试验和类比相似岩土体进行确定。具体计算参数见表 4。

在流体分析计算模式下,基岩的渗透系数远远低于上部覆盖层土体的渗透系数,因此认为是不透水材料,基岩单元设置成空单元流体模型,岸坡上部覆盖层设置成各向同性渗流模型。渗流边界条件为坡面在水位以下为定水头边界,水位以上为自由透水面;未考虑初始地下水的影响,初始应力场为自重应力场^[10-13]。为研究水库运行条件下滑坡的稳定性,模拟的水位及其变动情况依次为:1. 1 070 m 稳定水位升至 1 160 m 水位;2. 从 1 160 m 水位升至 1 200 m 水位;3. 从 1 200 m 水位升至正常蓄水位 1 240 m。

4.2 模拟结果分析

4.2.1 天然岸坡形变场特征

总体而言,岸坡应力场特征表现出明显受重力场控制的河谷应力场特征。最大主应力方向在坡体内部与重力方向近于一致,靠近边坡表层最大主应力方向产生明显偏转,逐渐转至与坡面近于平行,应力量值也由内向外逐渐降低,近坡面位置逐渐趋于零。最小主应力在坡体内部呈近水平向,趋近于边坡表面,最小主应力方向也产生明显偏转,逐渐转至



图5 坡体左侧出露的砂质板岩

Fig.5 Exposed sandy slate on the left of the slope



图6 沿层面滑移拉裂特征

Fig.6 Slippage cracking characteristics along bed plane

表4 计算模型材料参数表

Table 4 Material parameters table of computational model

岩土体	弹性模量 E / MPa	泊松比 μ	重度 γ / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$		内聚力 c /MPa		内摩擦角 φ / $^{\circ}$		抗拉强度 σ_t /MPa
			天然	饱水	天然	饱水	天然	饱水	
基岩	26 300	0.22	2.66	2.73	0.160 0	0.140 0	38.0	34.2	1.5
底界软化岩层	11 100	0.29	2.29	2.5	0.074 2	0.065 0	27.4	23.1	
覆盖层	3 000	0.28	2.06	2.2	0.027 0	0.023 0	25.0	22.0	

注:底界软化岩层的抗剪强度参数采用室内试验结果

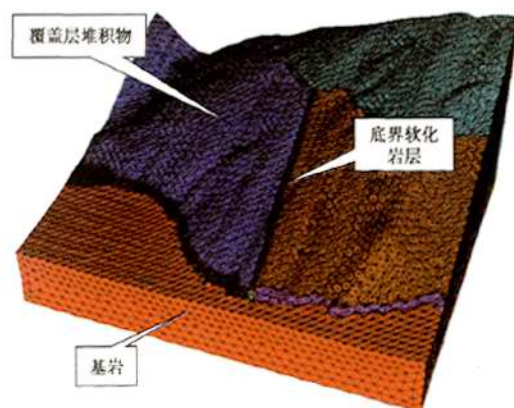


图7 三维数值模拟计算模型

Fig.7 Three-dimensional numerical simulation model

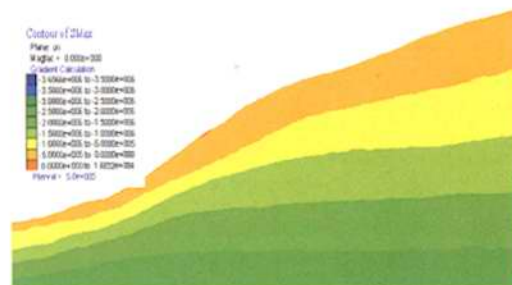


图8 天然岸坡主最小主应力特征

Fig.8 Minimum principal stress characteristics of the natural slope

与坡面近于垂直,应力量值也由内向外逐渐降低,近坡面位置逐渐趋于零,在坡顶浅层部位尤其是后缘一定范围内出现拉应力集中区,最大拉应力可达 16.8 kpa (图8、图9)。

4.2.2 蓄水后岸坡变形场特征

1. 计算结果表明蓄水后岸坡将产生显著的变

形,从 1 160 m 稳定水位和 1 240 m 稳定水位下的剪应变增量云图可以看出(图 10、图 11),滑动危险区域主要集中在岸坡的表部,且随水位抬升剪应变增量的范围和最大值都随之增大;研究表明,岩土体的失稳(特别是滑动失稳),都是沿剪切应变增量最大的部位发生,而岸坡覆盖层岩土体的失稳破坏多以受控于最大剪应力的剪切破坏为主,故上述覆盖层堆积体内剪应变增量集中带的形成可以看作是岸坡内部的潜在滑动面。

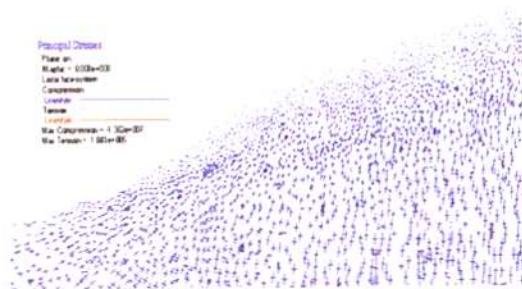


图9 天然岸坡主应力矢量特征

Fig. 9 The principal stress vector of the natural slope

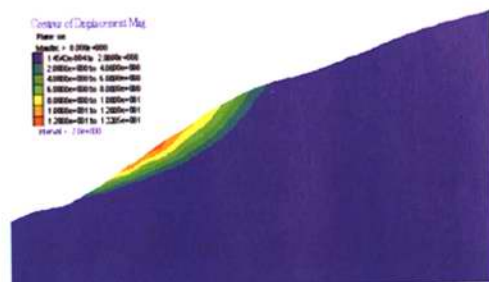


图11 1 240 m 水位变形特征

Fig. 11 Deformation characteristics when 1 240 m water level

2. 蓄水至 1 160 m 高程时,岸坡变形量为 25 ~ 75 cm,最大值可达 1~2 m,这与实际调查时的变形状况基本吻合;当水位继续抬升至 1 240 m 正常蓄水位时,其变形量 2~4 m,最大值可达 12 m,即岸坡将发生整体失稳破坏(图 12、图 13)。由于其数值计算的确定性与直观性和实际地质模型稳定性状况的非确定性之间的矛盾,可以判定在水位上升到 1240m 高程以前岸坡即发生了失稳破坏。

3. 图 14 显示蓄水至 1 260 m 高程时岸坡上部出现拉剪塑性区,拉伸塑性区主要发育在 1 220 ~ 1 230 m 高程范围(实际调查时拉裂缝就发育在此范围内),剪切塑性区主要发育在岸坡底界。这主要是由于岸坡前缘岩土体被淹没浸润以后,由于悬浮减重效应和底界层面的软化使得前部阻滑部位的荷载减轻,因而在重力的作用下,其后缘表层岩土体出现拉伸屈服变形,岩基覆层界面的软弱层面发生剪切屈服变形。这也验证了前述的岸坡变形失稳机制。

通过对不同水位状态下滑坡变形和剪应变增量的比较分析,可以得出以下结论,随着水位的上升,岸坡的剪应变增量数值和范围都将显著增大,说明岸坡覆盖层堆积体对蓄水有明显的响应,水位上升



图12 1 160 m 水位剪应变增量特征

Fig. 12 Characteristics of shear strain increment when 1 160 m water level

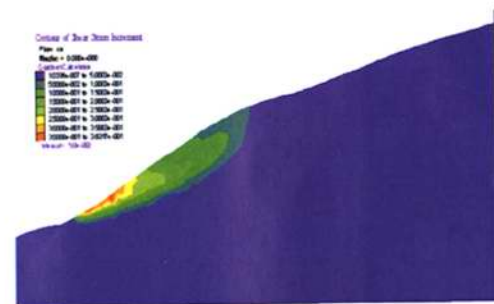


图13 1 240 m 水位剪应变增量特征

Fig. 13 Characteristics of shear strain increment when 1 240 m water level



图10 1160m 水位变形特征

Fig. 10 Deformation characteristics when 1 160 m water level

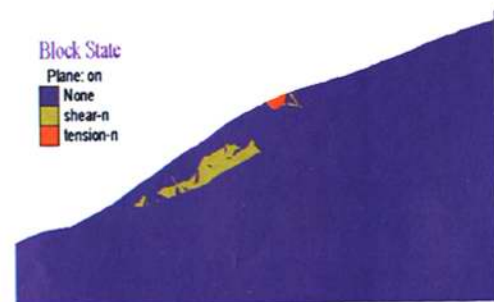


图14 1 160 m 水位塑性区特征

Fig. 14 Characteristics of the plastic zone when 1 160 m water level

使岸坡的稳定性明显降低,且当水位上升到1 240 m高程时岸坡将发生整体失稳,且变形失稳方式为前缘-后缘的逐级后退式。

5 结论

通过本文的研究,对新民坝子滑坡及其所在岸坡的变形稳定性有如下认识:

1. 在岸坡现场工程地质调查的基础上获得岸坡岩土体的主要特征,即岸坡表层主要由第四系松散堆积体构成,基岩由砂岩、板岩、砂质板岩互层构成;靠近坡表的岩体风化严重,一般呈碎裂结构或板裂结构,岩屑或泥质充填,遇水易软化。

2. 岸坡前缘滑坡失稳主要是在水库蓄水过程中产生的,一方面是松散的覆盖层在水的作用下孔隙水压力升高,悬浮减重,造成前缘抗滑力减低;另一方面是陡倾岩层产状和底界软弱层面遇水强度降低为滑坡的产生创造了更加有利的条件;风浪对岸坡前缘的掏蚀和冲击也增加对岸坡稳定程度的扰动。

3. 整个岸坡的变形失稳方式为前缘-后缘逐级后退式失稳。当水库蓄水水位升高,首先是前缘变形滑动,后缘出线拉裂缝和潜在滑面,形成表观上的牵引拉动;随着水位的继续升高,后缘的潜在滑面贯通并失稳下滑,在后缘又形成新的拉裂缝和潜在滑面,就以这样的方式逐渐后退,直到岸坡岩土体的自然稳定休止角或覆盖层较薄基岩出露时才达到相对稳定期。

4. 数值模拟计算结果表明,随水位的上升,典型剖面山的剪应变增量数值和范围都将显著增大,岸坡覆盖层堆积体对蓄水有明显的响应,水位上升使岸坡的稳定性明显降低,且当水位上升到1 240 m高程时岸坡将发生整体失稳,这也验证了前述的岸坡的变形失稳方式。

由于流固耦合的复杂性,本文的数值模拟主要反映在水位上升过程中岸坡岩土体的蓄水响应,未考虑水位下降过程中的滞后的动水压力作用。因此,对于水位骤升骤降和连续性变化过程中岸坡岩土体的响应机制将是以后研究方向的重点。

参考文献 (References)

[1] Nakamura, Wang Gongxian. Study on landslide in reservoir area [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 1990, 10(1): 53-64
[中村浩之,王恭先. 论水库滑坡[J]. 水土保持通报, 1990, 10

(1): 53-64]

- [2] Mao Changxi, Duan Xiangbao, Li Zuyi, et al. Numerical calculation and analysis in seepage [M]. Nanjing: Hohai University Press, 1981
[毛昶熙, 段祥宝, 李祖貽, 等. 渗流数值计算与应用 [M]. 南京: 河海大学出版社, 1981]
- [3] Liu Caihua, Chen Congxin, Feng Xiating. Study on mechanism of slope instability due to reservoir water level rise [J]. Rock and Soil Mechanics, 2005, 26(5): 769-773 [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, 2005, 26(5): 769-773]
- [4] Zhu Donglin, Ren Guangming, Nie Dexin, et al. Effect and forecasting of landslide stability with the change of reservoir water level [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2002, (3): 6-9 [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]. 水文地质与工程地质, 2002, (3): 6-9]
- [5] Ding Xiuli, Fu Jing, Zhang Qihua. Stability analysis of landslide in the south end of fengjie highway bridge with fluctuation of water level of three gorges reservoir [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(17): 2913-2919 [丁秀丽, 付敬, 张奇华. 三峡水库水位涨落条件下奉节南桥滑坡稳定性分析 [J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(17): 2913-2919]
- [6] Liao Hongjian, Sheng Qian, Gao Shihang, et al. Influence of drawdown of reservoir water level on landslide stability [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(19): 3454-3458 [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]
- [7] Liu Xinxi, Xia Yuanyou, Zhang Xianshu, et al. Effects of drawdown of reservoir water level on landslide stability [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(8): 1439-1444 [刘新喜, 夏元友, 张显书, 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(8): 1439-1444]
- [8] Wang Fawu, Zhang Yeming, Wang Gonghui. Deformation features of shuping landslide caused by water level changes [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(3): 509-517
- [9] Liu Jinlong, Cheng Luwang, Wang Jili. Study on the influence of water level fluctuation on the stability of heterogeneous slope at bank side of reservoir [J]. Water Resources and Power, 2007, 25(6): 85-88 [刘金龙, 陈陆望, 王吉利. 水位变化对非均质库岸边坡稳定性的影响 [J]. 水电能源科学, 2007, 25(6): 85-88]
- [10] Zhang Youyi, Hu Xiewen. Calculation of saturation line of groundwater under reservoir water table uniform rising [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2007, (5): 46-49 [张友谊, 胡卸文. 库水位等速上升作用下岸坡地下水浸润线计算 [J]. 水文地质与工程地质, 2007, (5): 46-49]
- [11] Liu Zhongqiu, Zhang Qing. A review on the state of art of the saturated seepage-stress coupling models in rock mass [J]. Advances in Mechanics, 2008, 38(5): 585-600 [刘仲秋, 章青. 岩体中饱和渗流应力耦合模型研究进展 [J]. 力学进展, 2008, 38(5): 585-600]
- [12] Liu Hongyan, Qin Siqing. Simulation of seepage field in bank slope due to reservoir water level change [J]. Journal of Engineering Geology, 2007, 15(6): 796-801 [刘红岩, 秦四清. 库水位上升条件

- 下边坡渗流场模拟[J]. 工程地质学报, 2007, 15(6): 796 - 801]
- [13] Liao Hongjian, Gao Shihang, Sheng Qian, et al. Influence of permeability coefficient and reservoir waterlevel variation on slope stability [J]. Journal of Xi'An Jiao Tong University, 2006, 40(1): 88 - 92 [廖红建, 高石夯, 盛谦, 等. 渗透系数与库水位变化对边坡稳定性的影响[J]. 西安交通大学学报, 2006, 40(1): 88 - 92]
- [14] Xu Wenjie, Wang Lichao, Hu Ruilin. Fluid-solid coupling characteristics and stability analysis of soil rock mixture slope in rising and drawdown of reservoir water levels[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28(7): 1491 - 1498 [徐文杰, 王立朝, 胡瑞林. 库水位升降作用下大型土石混合体边坡流 - 固耦合特性及其稳定性分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(7): 1491 - 1498].
- [15] Te Yang Soong, Robert M. Koerner. Seepage induced slope instability [J]. Geotextiles and Geomembranes, 1996, (14): 425 - 445
- [16] Fredlund D G, Xing Anqing. Equation for the soil-water characteristic curve[J]. Canadian Geotechnical Journal, 1994, (31): 521 - 532

Stability of Xinminbazi Landslide Located in Xiaowan Hydropower Station Reservoir Region

LIU Yunpeng, HUANG Runqiu, DENG Hui

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

Abstract: A significant number of collapses and landslides are often triggered by the rising water level changes after reservoir formation, forming a serious impact on the stability of reservoir bank. In this paper, taking Xinminbazi landslide in Xiaowan Hydropower Station Reservoir for an example, its mechanism of deformation and failure is analysed and the stability is evaluated on the basis of the investigation of geological conditions and deformation-failure features in the slope. It is the conclusion that the unstable type is progressively backward failure model from front edge to back edge and stability is less stable in the status quo; Using the numerical simulation means of FLAC3D for fluid-structure interaction analysis through generally simplifying geological model, the slope stability conditions are got when water level reached up to the investigate water level elevation 1 160 m and normal water level elevation 1 240 m, results show that there exists the possibility of large-scale instability after storage to water level elevation 1 240 m. The article has some reference significance for investigation and analysis of similar bank landslide.

Key words: reservoir slope stability; progressively backward failure model; fluid-structure interaction

作者: [刘云鹏](#), [黄润秋](#), [邓辉](#), [LIU Yunpeng](#), [HUANG Runqiu](#), [DENG Hui](#)
作者单位: [成都理工大学, 地质灾害与环境保护国家重点实验室, 四川, 成都, 610059](#)
刊名: [山地学报](#) [ISTIC](#) [PKU](#)
英文刊名: [JOURNAL OF MOUNTAIN SCIENCE](#)
年, 卷(期): 2011, 29 (3)
被引用次数: 1次

参考文献(16条)

1. 中村浩之;王恭先 [论水库滑坡](#) 1990 (01)
2. 毛昶熙;段祥宝;李祖贻 [渗流数直计算与应用](#) 1981
3. 刘才华;陈从新;冯夏庭 [库水位上升诱发边坡失稳机理研究](#)[期刊论文]-[岩土力学](#) 2005 (05)
4. 朱冬林;任光明;聂德新 [库水位变化下对水库滑坡稳定性影响的预测](#)[期刊论文]-[水文地质工程地质](#) 2002 (01)
5. 丁秀丽;付敬;张奇华 [三峡水库水位涨落条件下奉节南桥女滑坡稳定性分析](#)[期刊论文]-[岩石力学与工程学报](#) 2004 (17)
6. 廖红建;盛谦;高石奇 [库水位下降对滑坡体稳定性的影响](#)[期刊论文]-[岩石力学与工程学报](#) 2005 (19)
7. 刘新喜;夏元友;张显书 [库水位下降对滑坡稳定性的影响](#)[期刊论文]-[岩石力学与工程学报](#) 2005 (08)
8. Wang Fawu;Zhang Yeming;Wang Gonghui [Deformation features of shuping landslide caused by water level Ihangcs](#)[期刊论文]-[Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering](#) 2007 (03)
9. 刘脸龙;陈陆望;王吉利 [水位变化对非均质库岸边坡稳定性的影响](#)[期刊论文]-[水电能源科学](#) 2007 (06)
10. 张友谊;胡卸文 [库水位等速上升作用下岸坡地下水浸润线的计算](#)[期刊论文]-[水文地质工程地质](#) 2007 (05)
11. 州仲秋;章青 [岩体中饱和和渗流应力耦合模型研究进展](#)[期刊论文]-[力学进展](#) 2008 (05)
12. 刘红岩;秦四清 [库水位上升条件下边坡渗流场模拟](#)[期刊论文]-[工程地质学报](#) 2007 (06)
13. 廖红建;高石奇;盛谦 [渗透系数与库水位变化对边坡稳定性的影响](#)[期刊论文]-[西安交通大学学报](#) 2006 (01)
14. 徐文杰;王立朝;胡瑞林 [库水位升降作用下大型土石混合体边坡流-固耦合特性及其稳定性分析](#)[期刊论文]-[岩石力学与工程学报](#) 2009 (07)
15. Te Yang Soong;Robert M. Koemer [Seepage induced slope instability](#) 1996 (14)
16. Fredlund D G;Xing Anqing [Equation for the soil-water characteristic curve](#) 1994 (31)

本文读者也读过(10条)

1. 闫云霞. 许炯心. Marwan Hasson. 廖建华. YAN Yunxia. XU Jiongxin. Marwan Hasson. LIAO Jianhua [长江流域侵蚀产沙尺度效应的区域分异](#)[期刊论文]-[山地学报](#)2011, 29 (2)
2. 刘新圣. 张林. 孔高强. 罗天祥. LIU Xinsheng. ZHANG Lin. KONG Gaoqiang. LUO Tianxiang [藏东南色季拉山急尖长苞冷杉林线地带地上生物量随海拔的变化特征](#)[期刊论文]-[山地学报](#)2011, 29 (3)
3. 袁中友. 唐晓春 [蓄水和水位变动对三峡库区崩塌滑坡的影响及对策](#)[期刊论文]-[热带地理](#)2003, 23 (1)
4. 宋亮. 刘文耀. 马文章. 赵相健. 周蒙. 杨国平. SONG Liang. LIU Wenyao. MA Wenzhang. ZHAO Xiangjian. ZHOU Meng. YANG Guoping [云南哀牢山西南麓季风常绿阔叶林及思茅松林的群落学特征](#)[期刊论文]-[山地学报](#)2011, 29 (2)
5. 王世梅. 刘德富 [关于水库滑坡若干问题的思考](#)[会议论文]-2001
6. 陈剑. 崔之久. 戴福初. 许冲. CHEN Jian. CUI Zhijiu. Dai Fuchu. XU Chong [金沙江奔子栏-达日河段大型泥石流堆积扇的成因机制](#)[期刊论文]-[山地学报](#)2011, 29 (3)
7. 张乐勤. 荣慧芳. 许杨. 许信旺. ZHANG Leqin. RONG Huifang. XU Yang. XU Xingwang [九华山森林生态系统生态服务价值评估](#)[期刊论文]-[山地学报](#)2011, 29 (3)

8. [郭福生](#), [姜勇彪](#), [胡中华](#), [刘林清](#), [李虹](#), [GUO Fusheng](#), [JIANG Yongbiao](#), [HU Zhonghua](#), [LIU Linqing](#), [LI Hong](#) [龙虎山世界地质公园丹霞地貌成景系统特征及其演化](#)[期刊论文]-[山地学报](#)2011, 29(2)
9. [姜伏伟](#), [郭福生](#), [姜勇彪](#), [胡中华](#), [JIANG Fuwei](#), [GUO Fusheng](#), [JIANG Yongbiao](#), [HU Zhonghua](#) [龙虎山丹霞地貌危岩景观成因及保护](#)[期刊论文]-[山地学报](#)2011, 29(2)
10. [徐平](#) [库水位涨落作用下三峡库区马家沟滑坡稳定性研究](#)[学位论文]2010

引证文献(1条)

1. [于兴国](#), [宋响军](#), [王恭先](#) [磨刀溪岩石滑坡分析与治理](#)[期刊论文]-[山地学报](#) 2013(1)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_sdx201103010.aspx