

文章编号:1001-4179(2013)09-0037-04

库水位变化条件下滑坡稳定性研究

——以雅砻江某水电站虎山滩滑坡为例

廖彬¹, 张文斌²

(1. 四川省投资集团有限责任公司, 四川 成都 610015; 2. 成都理工大学 环境与土木工程学院, 四川 成都 610059)

摘要:虎山滩滑坡位于雅砻江某水电站上游, 滑坡体大, 一旦失稳, 将严重影响水库安全。根据非饱和土的渗流和抗剪强度理论, 利用有限元分析软件 Geo-studio, 对库水位下降和降雨条件下滑坡的渗流场进行了模拟研究。结果表明: 滑坡的稳定受库水位变化的影响较为明显, 库水位上升时, 稳定系数降低; 库水位下降时, 稳定系数升高; 稳定系数最低值为 1.22, 即库水位变化时滑坡可保持稳定状态。为确保安全, 建议对滑坡采取监控措施。

关键词:滑坡; 库水位升降; 稳定性; 雅砻江; 虎山滩

中图分类号: P642.22 **文献标志码:** A

文献[1]的研究表明, 库岸边坡失稳产生滑坡有 49% 的概率是发生在水库蓄水初期, 约 30% 发生在库水位下降期间。由此可见, 库水位的升降变化对库岸边坡稳定性的影响至关重要, 研究库水位升降变化对滑坡稳定性的影响是非常有必要的。

因库水位的升降引起库岸边坡内部地下水位的变化, 导致滑坡体内部渗流场发生变化, 从而引起滑坡内部岩土体物理力学性质的改变, 抗剪强度等指标的下降, 是引起库岸边坡发生滑坡的主要因素。本文从非饱和土的渗流和抗剪强度理论出发, 利用有限元分析软件 Geo-studio 对库水位下降和降雨条件下滑坡的暂态渗流场进行模拟, 在此基础上分析了某水电站上游的虎山滩滑坡的稳定性。

1 工程概况

西南某水电站位于雅砻江上, 属高山峡谷型水库, 正常蓄水位 1 330 m, 库容约 7.83 亿 m³, 两岸支沟陡峭, 沟底坡度较大, 支沟回水长度一般小于 1.0 km。水库两岸山势挺拔, 地形陡峻, 左岸坡度达 40°~60°; 右岸稍缓, 坡度 30°~50°, 呈不对称的“V”型河谷, 枯水位江面宽 50~100 m。库岸 1 800 m 高程以下大多

基岩裸露, 以上植被茂盛。两岸冲沟发育, 沟内一般皆常年流水, 沟口大多位于 1 300 m 高程以上。两岸发育有 III~IV 级阶地, I~II 阶地局部有残留。

虎山滩古滑坡位于库首段雅砻江右岸, 距大坝 2.7 km, 为基岩滑坡。滑坡形态保存完整, 主要滑坡地貌清楚可见。滑坡残体顺坡长约 420 m, 顺河方向上窄下宽, 高程 1 350 m 以上, 顺河长 110~140 m, 高程 1 350 m 以下顺河长 180~980 m, 最大厚度 55 m, 总体积约 220 万 m³。典型剖面见图 1。

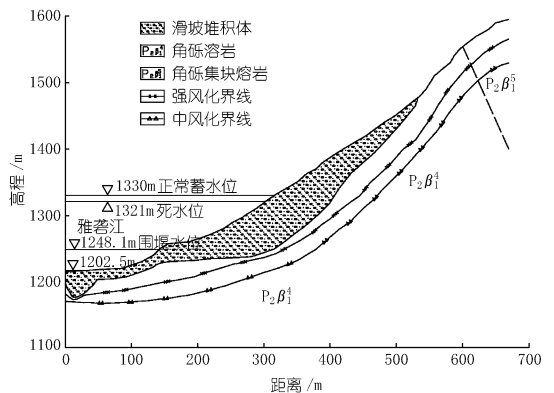


图 1 虎山滩滑坡典型地质剖面

收稿日期: 2013-01-24

作者简介: 廖彬, 男, 高级工程师, 博士, 主要从事水电工程建设与管理工。E-mail: 593812532@qq.com

通讯作者: 张文斌, 男, 硕士研究生, 主要从事地质灾害防治研究。E-mail: 871958686@qq.com

虎山滩滑坡位于河流相对顺直段,河谷为斜向谷,谷坡走向 N60°E,倾向 SE,滑前岸坡基岩基本为 P2 β_1^4 角砾熔岩及长斑玄武岩,上游侧见少量 P2 β_1^1 沉凝灰岩,其上部堆积有较厚的覆盖层。滑坡下部基岩裂隙发育,岩体破碎,风化强烈,全强风化深 19.64 ~ 48.25 m,在上部沿裂隙面滑动时积聚了巨大的能量将下部强风化岩体剪断,因而滑坡为突发性的快速滑坡。

滑坡残体上植被茂盛,前部滑面平缓,现状稳定。围堰挡水时(相应水位 1 248 m)虽淹没滑坡前缘,但滑坡仍处于稳定状态。当蓄水至 1 330 m 时,滑体大部分淹没于水下。

虎山滩拉裂变形体位于虎山滩滑坡后侧缘(北西侧),前缘高程 1 420 ~ 1 440 m,后缘高程 1 600 m,长约 180 m,宽约 65 ~ 75 m,体积约 10 万 m³,坡面呈阶梯状起伏不平,中下部平均坡度 35° ~ 40°,上部 50° ~ 60°。变形体发育于角砾熔岩、长斑玄武岩及角砾集块熔岩中。目前拉裂变形体处于稳定状态,由于各分离块体的滑移面主要受裂隙控制,倾角 20° ~ 30°,天然状态下该缓倾裂隙倾角小于其摩擦角,因此除沿缓倾裂隙蠕动外,不会产生较大的滑动。暴雨期间由于陡倾裂隙张开度大,连通性好,透水性强,因此不会产生太大的孔隙水压力,对岩体稳定不会带来太大的不利影响。但由于变形体已形成若干分散的滑移-拉裂块体,且侧缘和前缘存在临空面,因此前缘和侧缘会不时发生小规模崩滑,斜坡以后退方式崩滑破坏逐步向坡后发展,崩塌块体大多将留在虎山滩滑坡内。围堰挡水及水库蓄水不会改变其自然条件,即使失稳,因受变形体南侧基岩嘴的限制,将向虎山滩滑坡内崩滑,能量损失很大,不致产生大的涌浪而影响施工及水库运行。

2 相关理论

由于滑坡体浸润线以上的地下水处于非饱和状态,浸润线以下处于饱和状态,随着库水位的涨落,滑坡体中的地下水位也随之发生变化,将在滑坡体中形成土体的非饱和区和饱和区。非饱和区土壤水运动和饱和区地下水的运动是相互联系的,将两者统一起来,即所谓的饱和与非饱和渗流问题。在此情形下应采用水头 h_w 作为控制方程的因变量,对于各向异性的二维饱和-非饱和渗流控制方程为^[2]

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial h_w}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial h_w}{\partial y} \right) + Q = m_w \gamma_w \frac{\partial h_w}{\partial t} \quad (1)$$

式中, h_w 为水头; k_x 为 x 方向的渗透系数; k_y 为 y 方向的渗透系数; Q 为施加的边界流量; γ_w 为水的重度; m_w 为比水容重,是体积含水量驻留曲线的斜率。

m_w 定义为体积含水量 θ_w 对基质吸力 $(u_a - u_w)$ 偏导数的负值,即:

$$m_w = - \frac{\partial \theta_w}{\partial (u_a - u_w)} \quad (2)$$

水头边界为

$$k \frac{\partial h}{\partial n} \Big|_{r_1} = h(x, y, t) \quad (3)$$

流量边界为

$$k \frac{\partial h}{\partial n} \Big|_{r_2} = q(x, y, t) \quad (4)$$

当水流过土体中的时候,一部分水要驻留在土体结构中,驻留的水量是孔隙水压力和土体结构特征的函数。对渗流分析来说,定义水量驻留部分的体积与总体积的比值为体积含水量 θ ,用公式表示为

$$\theta = \frac{V_w}{V} \quad (5)$$

式中, V_w 为水驻留的体积; V 为总的体积。

当饱和度是 100% 的时候,体积含水量等于土壤的孔隙率。体积含水量的改变依赖于应力状态的改变和土体的性质。在渗流计算中,假定总应力是不变的,且孔隙气压力也保持不变,这意味着体积含水量的改变仅仅依赖于孔隙水压力的改变。体积含水量 θ_w 与孔隙水压力 u_w 的关系曲线(如图 2 所示),用公式可表示为

$$\partial \theta = m_w \partial u_w \quad (6)$$

式中, u_w 为孔隙水压力。

由于渗透系数(水力传导率)是表示土体导水能力的一个参数,水力传导系数依赖于体积含水量,而体积含水量又是孔隙水压力的函数,渗透系数是体积含水量的函数,因此渗透系数是孔隙水压力的间接函数。

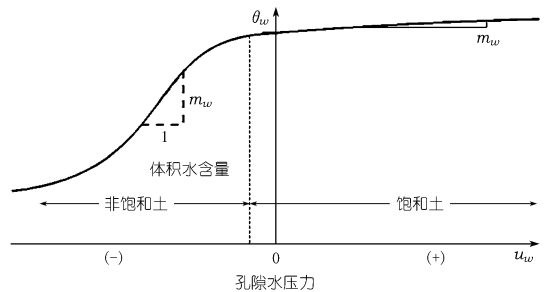


图 2 体积含水量 θ 与孔隙水压力 u_w 的关系曲线

3 虎山滩滑坡地质模型

电站围堰蓄水位 1 250 m,水库运行期蓄水位 1 330 m,水位上涨 80 m,计算初始工况为水库蓄水达到围堰水位状态,库水位上升工况按照 8 d 考虑,并设置 5 d 延长期以待水头渗流达到稳定期,然后再以上

升后的稳态水位作为初始水位,计算库水位下降条件下滑坡的稳定性,同样按照 8 d 考虑降至 1 250 m,分别运用渗流场分析结果,耦合至 slop 中计算滑坡稳定性,分析库水位升降作用对滑坡稳定性的影响。

初始工况按照勘察资料,建立工程地质模型,如图 3 所示。

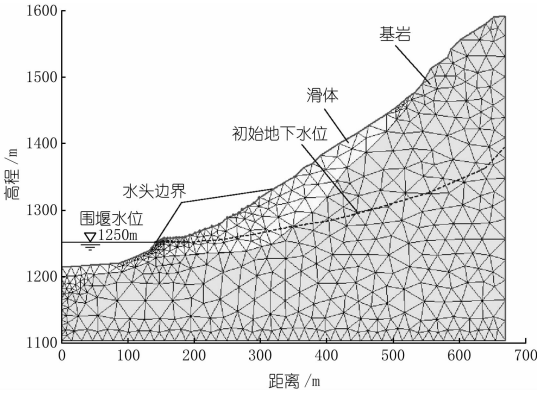


图 3 虎山滩滑坡地质模型

通过室内试验、现场试验及工程类比确定材料的物理学参数,运用 seep/w 进行饱和 - 非饱和渗流场分析计算。

库水位上升过程中地下水位线的变化如图 4 所示,其中水位线 1~9 分别为库水位由 1 250 m 上升至 1 330 m 过程中的瞬态水位,水位线 10 为库水位稳定在 1 330 m 后的稳态水位。

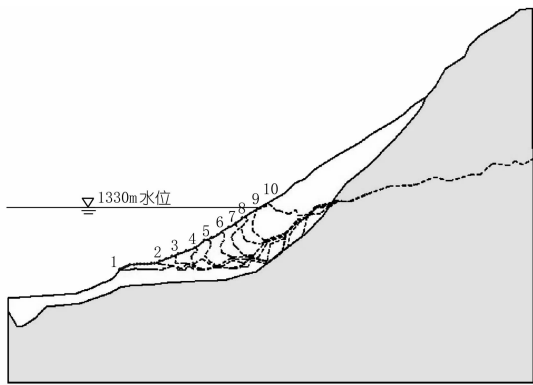


图 4 库水位上升过程地下水位线变化

从图 4 渗流场计算结果看,库水位上升过程中,渗流场变化显著,库水位的抬升不断补给地下水,由于计算工况库水位抬升较快,很明显可以从图中看出地下水位的抬升有一定的滞后性,当库水位上升至 1 330 m 并持续 5 d 后基本达到稳定状态。

库水位下降过程中,地下水位线变化较均匀,渗流场比较稳定,图 5 中水位线 1~9 分别为库水位从 1 330 m 下降至 1 250 m 时的瞬态水位线,持续 5 d 后

的稳定水位为图中水位线 10 所示。

将渗流计算所得渗流场结果耦合至 slop 中,计算滑坡在不同的瞬态及稳态条件下的稳定性。滑体采用 Mohr - Coulomb 强度破坏准则,依据 Ordinary、Bishop、Janbu 和 M - p 法计算的平均值作为计算所得的稳定性系数,根据计算结果绘制库水位升降状态与滑坡稳定性系数的关系曲线,如图 6 所示。

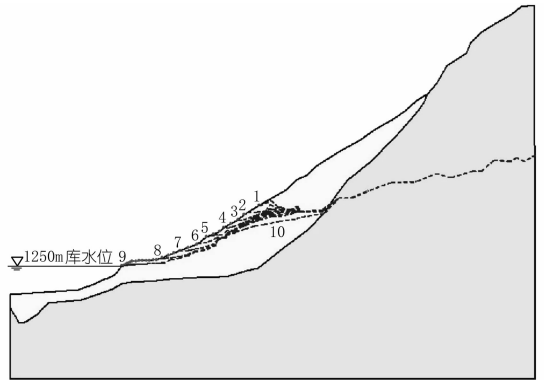


图 5 库水位下降过程地下水位线变化

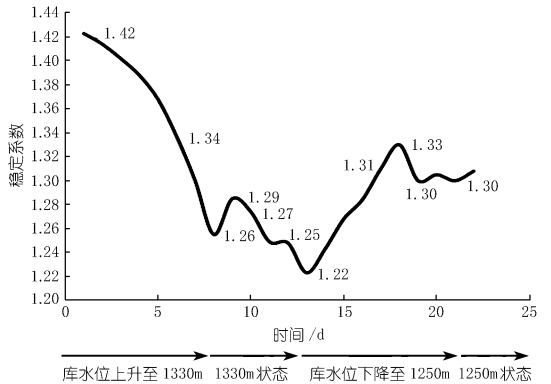


图 6 库水位升降条件下稳定性系数变化曲线

从稳定性系数的变化曲线可以看出,在库水位上升时,虎山滩滑坡稳定性骤然下降,天然状态下库水位为 1 250 m,滑坡稳定系数为 1.42,当库水位逐渐上升至 1 330 m 时,稳定系数降至 1.26,水位持续稳定在 1 330 m 的过程中,地下水位线经历从瞬态到稳态的变化过程,滑坡稳定性有所波动。当库水位从 1 330 m 降至 1 250 m 时,滑坡的稳定性有所上升,稳定系数最高回升至 1.33 左右,水位降至 1 330 m 时,地下水位又经历一个瞬态到稳态的变化过程,这个变化过程中稳定性系数依然发生一定的波动,最终停留在 1.30 左右。

4 结论

(1) 虎山滩滑坡稳定性受库水位升降影响较为明

显,在库水位上升过程中,滑坡稳定性逐渐降低,水位处于 1 330 m 稳态时,滑坡稳定系数最低。

(2) 在库水位下降的过程中,滑坡稳定性逐渐升高,库水位达到 1 250 m 瞬态时,滑坡的稳定性回升至最大值,地下水位在瞬态至稳态的过程中,滑坡稳定性均有所波动。

(3) 计算分析结果表明,在库水位升降作用条件下,该滑坡仍可保持稳定状态,不会产生滑坡复活现象,对库区的危害性比较小。

(4) 鉴于在库水位升降作用条件下的滑坡稳定性最低值为 1.22,建议对滑坡采取监测控制措施,为滑坡的防治提供预警机制。

参考文献:

- [1] 中村浩之. 论水库滑坡[J]. 水土保持通报,1990,10(1):53-64.
- [2] 吴宏伟,陈守义,庞宇威. 雨水入渗对非饱和土坡稳定性影响的参数研究[J]. 岩土力学,1999,20(1):1-14.
- [3] 黄润秋,许强,戚国庆. 降雨及水库诱发滑坡的评价与预测[M]. 北京:科学出版社,2007.
- [4] 张年学,盛祝平,孙广忠,等. 长江三峡工程库岸顺层边坡研究[J]. 北京:地质出版社,1993.
- [5] 廖红建,盛谦,等. 库水位下降对滑坡稳定性的影响[J]. 岩体力学与工程学报,2005,24(19):3454-3458.
- [6] 郑晓晶,殷坤龙. 基于非饱和渗流的水库库岸滑坡稳定性计算[J]. 水文地质工程地质,2007,(2):29-32.
- [7] 朱冬林,任光明,聂德新. 库水位变化下对水库库岸滑坡稳定性影响预测[J]. 水文地质工程地质,2002,(3):6-9.

(编辑:赵凤超)

Research on landslide stability under water level fluctuation of reservoir: case of Hushantan landslide of a hydropower station on Yalong River

LIAO Bin¹, ZHANG Wenbin²

(1. Sichuan Provincial Investment Group Co., Ltd., Chengdu 610015, China; 2. Department of Civil and Environment Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: Hushantan landslide is located at the upstream of a hydropower station on Yalong River with a total volume of 22 million m³. The water level rises by 80 m after impoundment of the reservoir, once the landslide loses stability, the reservoir safety will be threaten seriously. According to the theories of unsaturated soil seepage and shearing strength and using finite element analysis software Geo-studio, the seepage field in the landslide was simulated under the condition of reservoir water level drop and rainfall. The results show that the landslide stability is obviously influenced by the reservoir water level variation, the stability coefficient reduces when the reservoir water level rises and increases when the reservoir water level drops, the minimum stability coefficient is 1.22, which means that the landslide can maintain stable when the reservoir water level varies. In order to ensure the reservoir safety, it is suggested that the monitoring measures should be taken to provide a support for landslide prevention and control.

Key words: landslide; fluctuation of reservoir water level; Hushantan of Yalong River

(上接第 23 页)

Conversion of GPS geodetic height of belt-shaped projects based on Static Grey Model

LIU Zuqiang, SU Yuying, LI Minghui, XIONG Hao, PENG Chong

(Changjiang Geotechnical Engineering Corporation, Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research, Wuhan 430010, China)

Abstract: GPS geodetic height must be converted into normal height in engineering surveys. According to features of height anomaly sequence of surveying control points in belt-shaped projects, GPS geodetic height is converted into normal height by Static Grey Model(0, h) without the consideration of the derivative variation rate of height anomaly sequence. In this process, the height anomaly sequence is considered as the main factor of action, and the coefficients of coordinates of control points obtained by polynomial expansion are considered as the causal sub-sequence. Through the control survey on mountainous roads, the calculations show that conversion accuracy of the method is significantly advantageous than the commonly used function model fitting method, especially with the less GPS control points and leveling points in survey areas.

Key words: GPS; geodetic height; normal height; grey model; conversion; belt-shaped project