

# 三峡库区枣子树包滑坡稳定性和治理研究

何健保, 杨 何, 缪 信

(成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 四川 成都 610059)

**摘要:** 每年的库水位下降期间, 三峡库区的许多滑坡都出现了较大的变形。从三峡库区枣子树包滑坡的结构和变形特征出发, 分析了其成因机制及其稳定性状况; 采用有限元法模拟了库水位下降时滑坡地下水渗流场, 并将所得孔隙水压力用于滑坡的极限平衡分析, 探讨了水位下降速率对滑坡稳定性的影响机理和规律。研究表明: 该滑坡是早期岸坡岩体产生滑移-弯曲破坏后堆积并经漫长改造形成的, 目前处于基本稳定状态, 预计在加大库水位下降速度后处于欠稳定状态; 滑坡稳定性系数随库水位下降而降低, 库水位下降速度越大, 稳定性系数降低越大; 相对于库水位下降速率, 强降雨对滑坡稳定性影响更明显; 为提高滑坡整体稳定性, 提出了抗滑桩的加固措施。研究方法和成果对滑坡的评价与治理具有较好的参考价值。

**关键词:** 滑坡; 水位下降速率; 稳定性; 抗滑桩; 三峡库区

**中图分类号:** P642.22   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1672-7428(2015)12-0084-04

**Study on Stability and Treatment of Landslide in Zaozishubao of Three Gorges Reservoir Area/HE Jian-bao, YANG He, MIAO Xin** (State key Lab. of Geo-hazard Prevention and Geo-environment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan 610059, China)

**Abstract:** Many landslides in Three Gorges reservoir area have large deformation during the drawdown of reservoir water level every year. In this paper, based on the landslide structure and deformation characteristics of Zaozishubao in Three Gorges reservoir area, the formation mechanism and stability situation are analyzed; groundwater seepage fields are simulated by using finite element method when the reservoir water level falls, the pore water pressures are used for the analysis on limit equilibrium of landslides, the influence mechanism and laws of the drawdown rate of water level on accumulations' stability are discussed. The analysis results showed that the landslide was formed by accumulation and transformation after sliding and bending failure of rock mass in the early stage, it is now in stable condition, but it is predicted to be in unstable state when drawdown rate of water level increases. The stability coefficient of landslide will decrease along with the reservoir water level falls, the faster water level drops, the greater stability coefficient decreases. Intensive rainfall has greater influence on the stability of landslide than the water level drawdown. The anti-slide pile reinforcement measures are proposed to improve the stability of landslide, the research methods and results have good reference value for the evaluation and treatment of the landslide.

**Key words:** landslide; drawdown rate of water level; stability; anti-slide pile; Three Gorges reservoir area

## 0 引言

水库库岸滑坡稳定性研究对确保水电工程建设的顺利进行及其正常运营具有重大意义<sup>[1]</sup>。水库诱发滑坡主要通过影响滑坡区内的地下水分布来改变滑坡内部渗流场、应力场<sup>[2]</sup>。在日本, 大约 60% 的水库滑坡发生在库水位骤降时期<sup>[3]</sup>。三峡水库从 2007 年以来对非汛期库水位下降速率进行了严格控制, 然而, 控制消落期库水位下降速率在某种程度上限制了防洪和蓄水发电效益发挥。开展三峡水库水位日降幅对库区地质灾害防治工程影响的调查评价研究, 分析论证在非汛期增加库水位下降速率

的可行性, 从而进一步明确或调整三峡水库消落期库水位下降控制速率, 具有重大现实意义和科学价值<sup>[4]</sup>。

本文以三峡库区枣子树包滑坡为例, 分析了滑坡成因机理, 定性评价了滑坡稳定性现状和发展趋势, 采用 Geo-Studio 软件对滑坡在增大库水位日降幅下的稳定性进行了数值模拟研究, 为确保滑坡的整体稳定及水库的安全运营, 对滑坡采取了抗滑桩治理措施。研究路线和成果可为工程地质条件相似地区的滑坡稳定性评价和防治提供参考。

收稿日期: 2015-06-30; 修回日期: 2015-11-09

作者简介: 何健保, 男, 汉族, 1990 年生, 硕士研究生, 主要从事地质灾害评价与防治的学习和研究工作, 四川省成都市二仙桥东三路 1 号, 18428322578@126.com。

## 1 滑坡基本概况

枣子树包滑坡为一堆积层下伏基岩的大型顺层滑坡,位于三峡库区巫山县大溪乡,长江左岸。平面上为舌型,左右边界都为滑坡侧面滑动面,后缘壁形态明显,后缘高程 210 m,前缘直抵长江水位以下,高程约为 103 m,主剖面长度约 330 m,宽约 350 m,面积约为  $12.95 \times 10^4 \text{ m}^2$ ,体积约为  $323 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,滑坡平均坡度为  $18^\circ$ 。滑坡体中部有一平台,为军营村村民居住地。滑体物质主要为粉质粘土夹碎块石,前缘和中部冲沟附近可见块状破碎滑块,原岩为紫红色泥岩和白色灰岩,下伏基岩为三叠系巴东组

紫红色泥岩和白色灰岩互层,产状为  $162^\circ \angle 40^\circ$ 。该区域地下水类型主要有第四系松散岩类孔隙水和碎屑岩类裂隙水,受地形、水文气象的控制,具有季节性变化特点。自三峡蓄水以来,加之强降雨的影响,滑坡开始出现变形迹象,变形主要集中在受库水位直接影响的前缘,以局部塌岸为主,由图 1(滑坡全貌图)可见滑体被一冲沟分为左右 2 个大分区,右侧滑体右前缘出现下坐迹象,滑坡后缘壁出露明显,坡体中部居民房屋墙体发育有纵向裂缝,东西两端边界暂未发现贯通的变形,由此可知滑坡还未出现整体变形。

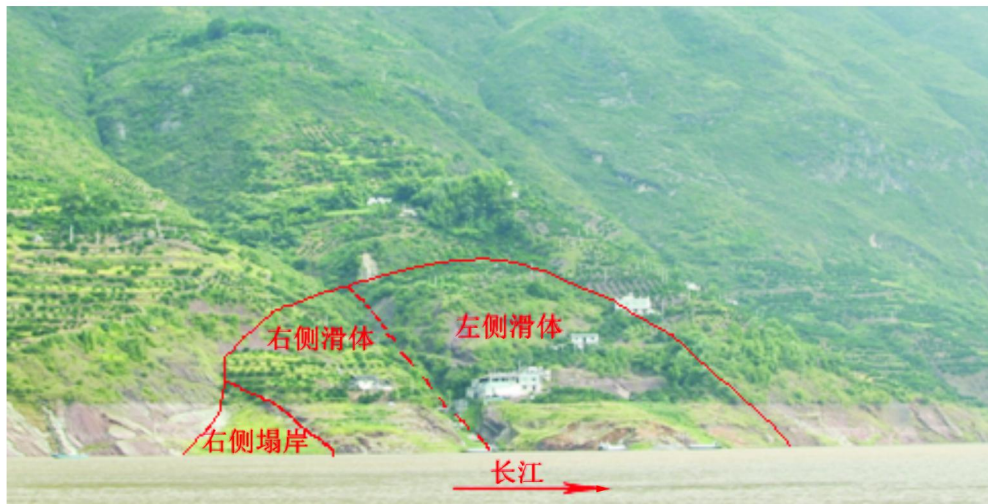


图 1 滑坡全貌图

## 2 滑坡成因机理分析

滑坡下伏基岩顺向坡外,倾角  $40^\circ$ ,为中—陡倾外层状斜坡,此外,灰岩和泥岩互层的基岩具有较强的延性,这是产生滑移—弯曲破坏的岩体结构条件<sup>[5]</sup>。在构造运动时期,岸坡岩体伴随地壳抬升,此时岩体中构造应力、自重应力得到释放,斜坡的滑移控制面倾角大于该面的峰值摩擦角,上覆岩体具备沿滑移面下滑的条件,但由于滑移面未临空,致使下滑受阻,坡脚处顺层板梁承受纵向压应力,继而发生弯曲变形,随着变形量不断增大,岩层折断,沿软层从岸边附近剪出,形成滑坡堆积体。堆积体经过后期漫长的改造和应力调整,形成了蓄水之前的形态并保持良好稳定性。三峡蓄水以来,滑坡体前缘长期浸泡于库水位以下,岩土体软化后强度减小降低了抗滑力。此外,库水位下降时由于水头差产生的动水压力进一步增大了下滑力,加之大型船舶的

涌浪不断冲刷掏空库岸,使得上部滑体失去下部支撑而产生变形,并呈现出渐进后退式的滑坡模式。

## 3 稳定性分析

### 3.1 定性评价

根据实际勘察分析可知,滑坡前缘变形最严重,中部次之,后缘和左右边界未见贯通性的裂缝。初步分析库水位保持  $0.6 \text{ m/d}$  的下降速度下,滑坡整体处于基本稳定状况。如果进一步增大库水位日降幅,在遇到持续暴雨天气的诱发因素下,滑坡发生局部甚至整体失稳的可能性较大。

### 3.2 数值模拟计算

基于饱和—非饱和土及刚体极限平衡理论<sup>[6]</sup>,采用 Geo-Studio 软件中 SEEP 模块计算滑体的渗流场,并将计算得到的孔隙水压力用于滑体的极限平衡分析中,分析在增大库水位日降幅条件下滑坡稳定性情况。

### 3.2.1 计算模型

选取突出滑坡主要特征的纵剖面,建立了该滑坡的力学模型(见图2),其左边界为定水头边界,右边界为变化水头边界,上边界在叠加暴雨工况时为单位流量边界,下边界为不透水边界。

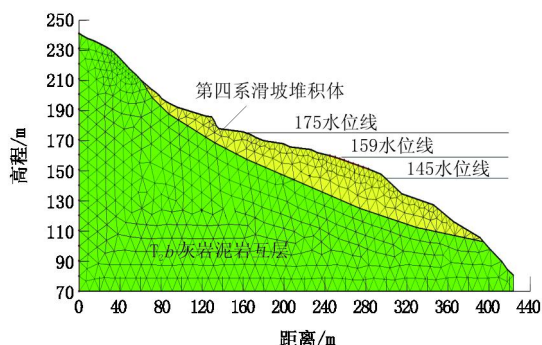


图2 计算模型

### 3.2.2 计算参数和工况

综合对滑坡工程地质勘察资料统计、类比与反算分析,确定计算采用的参数值(见表1)。

表1 滑坡计算参数

滑坡结构	容重 $\gamma / (\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	粘聚力 $c / \text{KPa}$	内摩擦角 $\varphi / (^{\circ})$	饱和渗透系数 $K / (\text{m} \cdot \text{d}^{-1})$
滑体	21	25	15	0.80
滑床	24	2000	20	0.01

根据《三峡水库水位日降幅对库区地质灾害防治工程影响的调查评价研究工作技术要求》,选取0.6、0.8、1.0、1.2 m/d的速度从159 m下降至145 m,并在1.2 m/d的库水位日降幅下从第10天开始叠加80 mm/d的暴雨3日,计算分析5种工况下滑坡计算剖面的整体稳定性系数发展趋势。

### 3.2.3 计算结果分析

通过数值计算,得到5种不同工况下稳定性系数变化结果(见图3),由图3可知:随着库水位的下降,5种工况下滑体稳定系数都逐渐减小,并在最低设计水位145 m时稳定性最差;在相同库水位高度下,库水位日降幅越大,滑坡稳定性系数越小;在不考虑暴雨的情况下,前面4种工况下的滑坡最后稳定性系数都能维持在1.05~1.10之间(处于基本稳定状态),叠加3日暴雨后,滑坡稳定性系数(低于1.05,处于欠稳定状态)明显下降,可见相对于库水位日降幅,强降雨对该滑坡稳定性影响更大。

滑坡稳定性随库水位下降而降低,主要是由于滑体渗透系数小于库水位下降速率,相应的其地下水

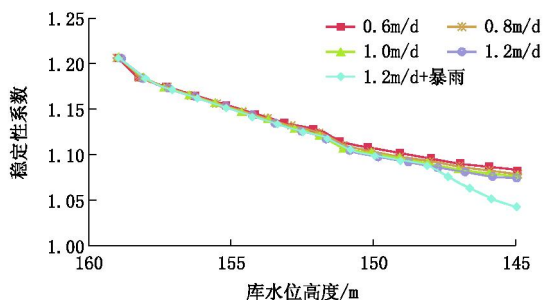


图3 不同库水位下降速率稳定性系数变化

水位下降滞后于库水位下降,由此产生指向坡外对滑体稳定性不利的渗透压力;库水位下降速率越大,这种滞后效应越明显,产生更大的渗透压力;同时强降雨不断补给滑坡体地下水,造成地下水水位上升形成更大的水头差。

## 4 抗滑桩加固设计

根据上述的稳定性分析可知,滑坡体在最不利工况处于整体欠稳定状态,但是滑坡岩土体长期在库水浸泡软化作用下强度会有所折减,加上人类工程活动的影响,该滑坡的稳定性状况会更差,应加一些防护措施使其保持稳定。

抗滑桩具有抗滑能力强、适用条件广泛、施工安全简便,并能核实地质条件等突出优点,是滑坡治理工程中常用的措施之一。鉴于此,笔者采用抗滑桩的加固措施对滑坡进行治理,设计安全系数为1.15。

### 4.1 滑坡下滑力计算及设计安全系数的实现

假定滑坡处于极限平衡状态,根据现场试验、调查资料,拟定滑动面的 $c$ 、 $\varphi$ 值,通过传递系数法计算得到滑体前缘条块的剩余下滑力并不断调整 $c$ 、 $\varphi$ 值使之为零<sup>[7]</sup>。根据设计要求,将极限平衡状态时的抗剪指标( $c$ 、 $\tan\varphi$ )同时除以1.15,通过计算得到滑体前缘剩余下滑力即为设计下滑力,设计安全系数即为1.15。

### 4.2 模型的建立

通过滑坡推力计算绘制滑体剩余下滑力曲线,抗滑桩桩位的确定主要依据剩余下滑力曲线,同时综合考虑地形、地质及现场施工条件等因素<sup>[8]</sup>,将桩位设置于推力曲线的下降段,即滑坡阻滑段(见图4)。

根据滑坡推力大小、地形和地层性质,在理正软件中确定了抗滑桩的各个参数为:矩形型,桩长27 m,嵌入端9 m、截面高度3.5 m、截面宽度2.5 m、桩间距6 m。



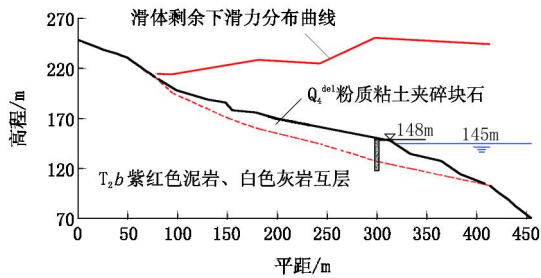


图 4 抗滑桩位置布置

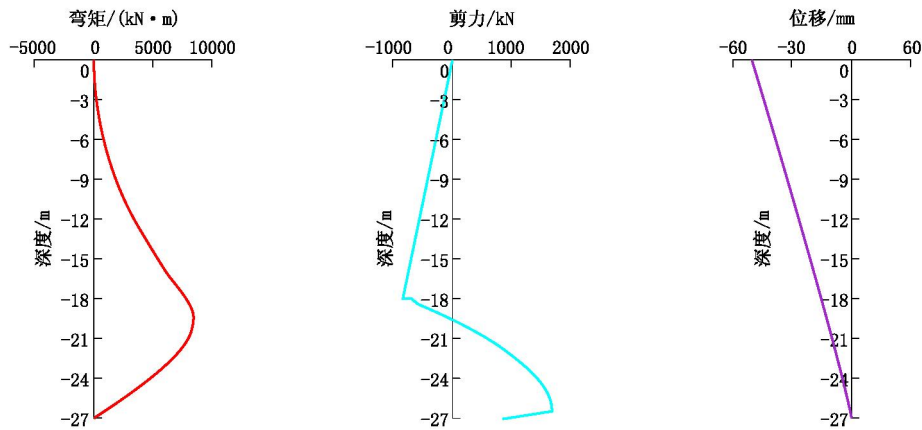


图 5 桩身内力、位移计算结果

### 4.3 加固结果分析

通过计算,可绘制抗滑桩的内力和位移图,见图 5。

由图 5 可以看出,桩身弯矩随着深度的增加先增大后减小,在基覆界面附近处达到最大(8402.806 kN·m),桩身背侧受拉、面侧受压;桩身剪力在桩底附近最大(1696.175 kN),在基覆界面附近剪力方向

改变;桩身顶部位移最大(54 mm),由位移随深度的分布趋势可知,该抗滑桩是刚性桩。

在滑体的下滑推力作用下,抗滑桩结构受力的最不利位置在基覆界面附近,桩身的剪力、弯矩、位移大小都比较合理,能够保证桩身的正常工作。钢筋布置上,在确保桩身结构安全的前提下,为了施工方便采用对称配筋,背侧和面侧纵筋(Ⅲ级钢筋)面积都为  $17500 \text{ mm}^2$ ,箍筋(Ⅱ级钢筋)间距 200 mm,面积为  $705 \text{ mm}^2$ 。

## 5 结论

(1) 枣子树包滑坡为一堆积层下伏基岩的大型顺层滑坡,早期由于岸坡岩体伴随地壳抬升在构造应力、自重应力下产生滑移-弯曲破坏后堆积并经过漫长改造形成,近年来在库水位影响下滑坡前缘最先开始出现变形,并呈现出渐进后退式的滑坡模式。

(2) 根据滑坡结构和变形特征,认为滑坡目前处于基本稳定状态,在加大库水位日降幅条件下,遇到强降雨时滑坡可能产生局部甚至整体失稳破坏。

(3) 通过数值模拟研究可知,该滑坡稳定性随库水位下降而降低,库水位下降速率越大,稳定性降低越明显;相对于库水位下降速率,强降雨对滑坡稳定

性影响更加明显。

(4) 在稳定性评价的基础上,采用理正软件对滑坡进行抗滑桩加固设计,方法合理、效果显著。桩位应根据滑体剩余下滑力曲线设置在滑坡的抗滑段;抗滑桩结构受力的最不利位置通常位于基覆界面附近,此处内力大小可作为配筋计算依据。

## 参考文献:

- [1] 廖红建,盛谦,高石秀,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.
- [2] 刘贵应.库水位变化对三峡库区堆积层滑坡稳定性的影响[J].安全与环境工程,2011(5):26-28.
- [3] [日]中村浩之.论水库滑坡[J].水土保持通报,1990,2(1):53-65.
- [4] 三峡库区地质灾害防治工作指挥部.三峡水库水位日降幅对库区地质灾害防治工程影响的调查评价研究工作技术要求[R].湖北宜昌;三峡库区地质灾害防治工作指挥部,2014.
- [5] 张倬元,王士天,王兰生,等.工程地质分析原理(第3版)[M].北京:地质出版社,2009.
- [6] 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].岩石力学与工程学报,2005,24(8):1439-1444.
- [7] 铁道部第二勘察设计院.抗滑桩设计与计算[M].北京:中国铁道出版社,1983.
- [8] 胡新丽,张永忠,李长冬,等.库水位波动条件下不同桩位抗滑桩抗滑稳定性研究[J].岩土力学,2011,32(12):3679-3684.