

# 三峡库区某滑坡体成因机制分析与稳定性评价

秦凯旭, 石豫川, 刘汉超, 吉 锋

(成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家专业实验室, 成都 610059)

**摘 要:** 该滑坡地处长江左岸万州区, 体积  $360 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 目前滑体上存在局部拉裂, 待三峡库区蓄水升高后, 滑体前缘处于 175 m 水位以下, 滑体稳定性进一步下降, 对坡体上的居民以及三峡库区都将造成极大危害, 影响严重。在深入分析滑坡地质特征、结构特征和变形特征的基础上, 对滑坡的成因机制和影响因素进行了深入研究, 并结合定量计算评价其稳定性, 最后提出相应治理措施。

**关键词:** 滑坡; 成因机制; 稳定性评价

中图分类号: P642.23

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)05-00840-03

## Formation Mechanism and Stability Prediction of One Landslide in the Three Gorges Reservoir Area

QIN Kai-xu, SHI Yu-chuan, LIU Han-chao, JI Feng

(State Professional Lab of Geological Hazard Prevention and Engineering

Geological Environment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

**Abstract:** The landslide lies in Wanzhou district, left of Yangtze River, the volume of which is  $360 \times 10^4 \text{ m}^3$ . At present the landslide body is partly pulled apart. If the conservation storage of reservoir area of Three Gorges rises, the anterior margin of landslide body is under 175 m water level, the stability of landslide body will drop further, and the residents on the body and reservoir area of Three Gorges will be endangered greatly. The influence is serious. On the basis of analysing in depth on the geological characteristic, structure characteristic and deformation feature of the landslide, the authors study the origin cause of formation mechanism and influence factor in depth, and appraise its stability combining quantitative calculation. Finally the corresponding controlling measures are brought forward.

**Key words:** landslide; formation mechanism; stability evaluation

三峡库区地形条件、自然地质条件复杂, 地质环境容量有限, 暴雨、洪水频繁, 是我国地质灾害的多发区和重灾区。三峡大坝的修建在一定程度上改变了原来的地质环境的平衡状态, 加剧了地质灾害的发生, 给库区的移民建镇带来了极大的危害。随着三峡工程的不断推进, 库区地质灾害对三峡工程和库区人民生命财产安全的影响日益加剧, 及时且有效的防治已成为三峡工程建设的重要任务之一。

该滑坡位于万州区长江左岸, 规模巨大, 破坏力极强, 主要危害对象为移民民房及道路。本文介绍了该滑坡的地质特征、结构特征和变形特征, 分析其成因机制及影响因素, 并计算了其整体稳定性。

### 1 滑坡物质组成及特征

#### 1.1 物质组成

该滑坡体主要由第四系松散堆积物组成。陡坎前缘及陡坡坡角主要为砂岩碎块石, 架空或充填土黄色—紫红色可塑态黏性土, 滑坡体内主要为含块碎石黏土或粉质黏土, 并有少量黏土、粉质黏土(含少量碎石或块石), 零星分布于山坡及山顶较平坦地区。

基岩为侏罗系中统上沙溪庙组二段( $J_2s^2$ )紫红色泥岩、浅灰色泥质砂岩。

#### 1.2 滑坡特征

滑坡的主滑方向  $87^\circ$ , 滑坡体东西长 300~365 m, 南北宽 670~700 m, 面积  $190\ 500 \text{ m}^2$ , 滑体平均厚约 15.55 m, 体积  $360 \times 10^4 \text{ m}^3$ (图 1、图 2)。

滑坡周界明显, 后缘以陡崖脚为界, 与崩坡积层( $Q_4^{col+dl}$ )或裸露的基岩陡壁( $J_2s$ )相接; 前缘剪出口段被水流切割, 加上耕作破坏, 剪出口的特征不明显, 零星出露基岩并有局部垮塌现象; 两侧均以冲沟为界, 冲沟呈“V”型, 冲沟内局部可见基岩裸露。总体地势为西高东低, 滑坡后缘及前缘为较陡斜坡, 坡度  $10^\circ \sim 20^\circ$ , 后缘高程 210~260 m, 前缘高程 170~190 m, 前后缘相对高差 70 m 左右, 滑坡中部由于民宅、耕作等改造为相对较宽缓的平台, 平台宽 50~70 m。

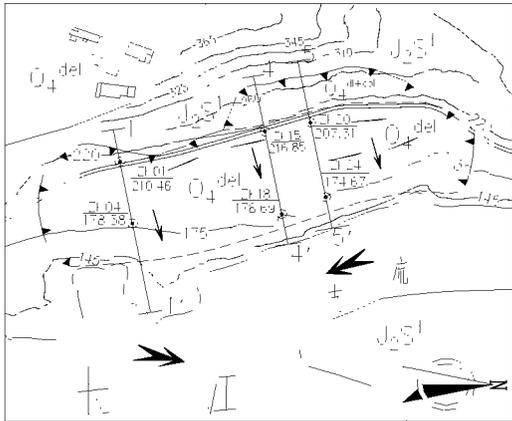
滑坡主要沿古崩坡积层与基岩的接触带滑动, 局部地段有沿土层内的次级滑动, 滑床埋深一般前缘及后缘较浅, 约 2~6 m, 中部滑床埋深较大, 最深近 30 m, 横向上滑床起伏甚小。滑带土主要为棕红色、土黄色, 硬塑—可塑状态的粉质黏土, 含少量的碎石, 在滑面上, 擦痕和滑动镜面清晰可辨。

\* 收稿日期: 2005-10-28

作者简介: 秦凯旭(1980-), 男, 硕士研究生, 主要从事岩土及工程地质科研工作。

滑床主要为侏罗系中统的沙溪庙组的紫红色泥岩、浅灰色泥质砂岩组成, 易风化剥蚀, 所以形成的滑面起伏不平, 后部滑床较陡, 坡度 15~ 25°, 中部及前部滑床较平缓, 呈略向东倾的平台状, 滑床表面泥岩风化较强烈, 在滑面附近大多为强风化, 强风化带厚度为一般 1~ 4 m, 自中风化层以下岩体较完整, 力学强度较高。岩层产状为 75~ 85°∠5°。

地震记载。根据《中国地震动峰值加速度区划图》及据《中国地震动反应谱特征周期区划图》, 滑坡区地震动峰值加速度值为 0.05 g, 地震基本烈度小于 Ⅴ 度, 属于弱震区, 抗震设防烈度 Ⅴ 度。



1、第四系崩坡积层; 2、第四系滑坡堆积物; 3、侏罗系中统上沙溪庙组二段泥岩、泥质砂岩; 4、滑坡周界; 5、变形裂缝; 6、滑坡主滑方向; 7、实测工程地质剖面线及编号; 8、钻孔编号; 9、长江(三期)水位线

图 1 滑坡变形分区示意图

1.3 水文地质条件

地表水以长江为, 水位在 145~ 150 m 之间。地层赋水性较差, 主要接受大气降水补给, 水量受气候影响较大, 具有季节性和暂时性特点。地下水按赋存条件划分为松散层孔隙水和基岩裂隙水, 泉水流量小, 常常以渗流或湿地的形式出露, 流量动态变化较大, 多为季节性泉水。

2 滑坡成因机制分析

2.1 滑坡形成因素分析

2.1.1 地层岩性及其构造作用

该滑坡上部为第四系松散堆积物, 下部滑床为紫红色泥岩、浅灰色泥质砂岩且岩体风化较严重。地质构造作用不强烈, 构造影响较微弱, 滑坡区及其附近未见断层通过, 区域性节理裂隙较发育。

2.1.2 地形地貌

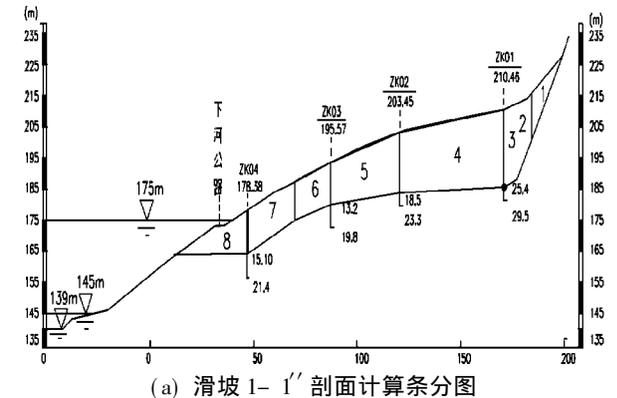
该滑坡是沙溪庙组地层在江水强烈下切侵蚀作用下导致江岸斜坡逐渐卸荷、倾倒、崩塌和表层滑坡等多期作用形成的滑坡。由于河谷下切, 使坡前临空, 岩体充分的卸荷回弹, 并使坡体具备了滑移变形的条件。所以地形地貌是该滑坡形成的一个重要因素。

2.1.3 气象水文

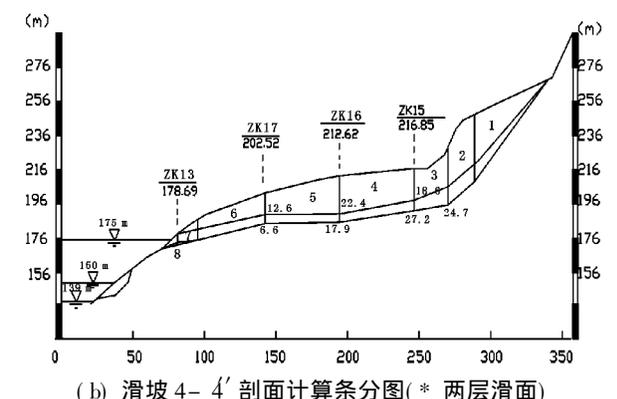
区内雨量丰沛, 多年平均降雨量 1 181.2 mm, 历年最大降水量 1 635.2 mm, 历年最大月降水量 711.8 mm(1982 年 7 月), 最大日降水量 243.3 mm(1982 年 7 月 16 日), 降水多集中在 5~ 9 月, 约占每年降雨总量的 70%。暴雨对滑坡土体冲刷的同时, 雨水渗入裂隙及潜在滑面, 致使滑面软化, 力学性质降低, 并且由下部基岩形成的相对隔水层导致水体滞留, 形成高动水压力致使滑坡体变形加剧。

2.1.4 地震影响

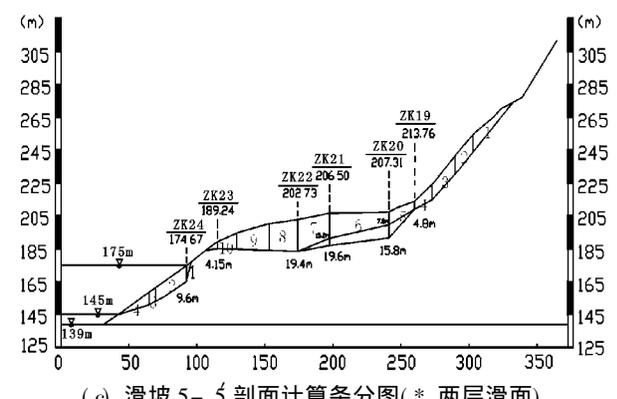
据历史地震资料, 万州地区地震活动稀少而微弱, 以城区为中心的 50 km 范围内, 历史上至今没有  $M_s \geq 4.5$  级的



(a) 滑坡 1-1' 剖面计算条分图



(b) 滑坡 4-4' 剖面计算条分图(\* 两层滑面)



(c) 滑坡 5-5' 剖面计算条分图(\* 两层滑面)

图 2 滑坡工程地质剖面图

2.1.5 人类工程活动

滑坡所在地为农村, 人类活动主要有 3 种: 一是农业耕种, 目前在滑体中部有大片耕地, 耕地为水、旱轮作, 并且还有多口水塘, 渗水量较大, 对岩土有软化作用, 并增加滑体重量; 二是房屋建筑, 也有增加上部滑体的重量的作用; 三是修建公路, 开挖切坡, 形成临空面。纵观整个滑坡区, 人类工程活动总体较轻微, 但对坡体的稳定性均有一定程度的影响。

2.2 滑坡变形特征

随着人类工程活动不断加剧, 滑坡在近期有轻微变形的迹象, 从整体看, 坡体南侧变形相对较弱, 北侧变形相对较强。据踏勘调查, 该崩滑体从 2001 年以来, 变形明显, 斜坡、梯田、梯地垮塌, 新建移民搬迁房开裂明显, 主要变形特征如下: 滑体后部少许房屋墙体开裂, 裂隙长 1.5 m, 宽 1.0 cm, 于 2004 年产生; 后缘爬山小道下座 2 m 左右; 中前部地面产

生拉裂缝,延伸方向以南北方向为主,与滑坡滑移方向近于直交,长约 40 m,宽 2~ 4 cm;变形主要集中在雨季,变形程度与降雨强度及持续时间有直接关系,降雨强度越大、持续时间越长,变形越强烈。

### 2.3 滑坡破坏机制分析

从滑坡变形迹象及坡体形态分析,坡体向坡前临空方向发生剪切蠕变,其后缘发育自坡面向深部发展的拉裂。由于降雨(尤其是暴雨)及地表水的下渗,使得坡体下部土体软化,加速了坡体向下蠕滑变形。随着坡体变形的加剧,变形体开始发生转动,后缘明显下沉,拉裂面由开初的张开转为渐趋闭合,变形进入累进性破坏阶段,一旦潜在剪切面被剪断贯通,则发展为滑坡。加上人类活动的影响,加速了蠕滑变形,从而形成蠕滑-拉裂型滑坡。

## 3 滑坡稳定性分析

### 3.1 滑坡稳定性计算

取滑坡的 3 条纵剖面(包括 1-1'、4-4'、5-5'剖面)对滑坡的稳定性进行了计算。滑坡体的滑动面近似折线型,采用以极限平衡理论为依据的折线形滑面条分法和传递系数法来计算滑坡的稳定系数和剩余下滑力。

### 3.2 计算工况

根据《三峡库区三期地质灾害防治工程地质勘察技术要求》,该坪滑坡为涉水滑坡,主要考虑水库运行工况和暴雨工况的组合。由于地震基本烈度小于 Ⅴ 度,按照《水工建筑物抗震设计规范》,地震荷载不予考虑。综合考虑各种影响因素,稳定性按下列 6 种工况考虑:

工况一:自重+地表荷载+现状水位 139 m。

工况二:自重+地表荷载+水库坝前 175 m、156 m、139 m 静水位+非汛期 20 年一遇暴雨(q 枯)。

工况三:自重+地表荷载+水库坝前 162 m、156 m、145 m 静水位+非汛期 5 年一遇暴雨(q 枯)。

工况四:自重+地表荷载+坝前库水位由 175 m 降至 145 m。

工况五:自重+地表荷载+坝前水位从 175 m 降至 145 m+非汛期 5 年一遇暴雨(q 枯)。

工况六:自重+地表荷载+坝前水位从 162 m 降至 145 m+5 年一遇暴雨(q 全)。

滑坡 175 m 以上新建建筑加载按均匀荷载 25 kN/m 考虑。

### 3.3 计算参数选取及结果

滑坡稳定性及推力计算采用的物理力学参数值根据室内试验、类比分析和参数反演法综合确定,其具体取值及稳定性计算结果见表 1、表 2。

表 1 滑坡体滑带土参数综合取值表

剖面号	天然容重		天然抗剪强度		饱和抗剪强度	
	$\gamma$ (N·m <sup>-3</sup> )	$\gamma_s$ (N·m <sup>-3</sup> )	C/kPa	$\varphi$ /°	C/kPa	$\varphi$ /°
滑体	22.5	24.3	34.2	15.43	22.8	11.34
滑带	20.8	21.5	29.6	14.8	18.6	10.69

### 3.4 滑坡稳定性评价与预测

据滑坡的滑体形态和结构特征以及在 6 种工况条件下参考文献:

[1] 张倬元,王士天,王兰生. 工程地质分析原理[M]. 北京:地质出版社,1994.  
 [2] 刘传正,李铁锋,等. 三峡库区白衣庵滑坡地质研究[J]. 工程地质学报,2003,11(1): 3- 9.  
 [3] 胡中雄. 土力学与环境土工学[M]. 上海:同济大学出版社,1997.  
 [4] 张咸恭,王思敬,张倬元,等. 中国工程地质学[M]. 北京:科学出版社,2000.  
 [5] 《工程地质手册》编写委员会. 工程地质手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1992.  
 [6] 金仁祥,刘汉超. 麻柳嘴滑坡成因机制分析[J]. 地质灾害与环境,2001,6(2): 4- 7.

的稳定性定量分析结果表明:由于滑床形态和滑体厚度在纵向和横向上的变化较大,各个控制性剖面的稳定系数变化较大,这也反映出滑坡稳定性在空间上的变化较大。滑坡各控制性剖面的稳定性特征如下:

(1) 滑坡在天然状况下稳定性系数介于 1.541~ 2.139 之间,处于稳定状态;

表 2 滑坡稳定性系数计算成果表

剖面	工况 2						工况 3			工况 4	工况 5	工况 6
	工况 1	坝前										
	139 m	156 m	175 m	145 m	156 m	162 m						
1-1'剖面	1.541	1.109	1.109	1.072	1.039	1.039	1.039	1.406	1.086	1.039		
4-4'主	1.662	1.101	1.101	1.101	1.136	1.136	1.136	1.568	1.154	1.136		
滑面次	1.634	1.149	1.149	1.149	1.091	1.091	1.091	1.634	1.149	1.091		
5-5'主	1.695	1.229	1.229	1.229	1.115	1.115	1.115	1.695	1.229	1.115		
滑面次	2.139	1.147	1.147	1.147	1.062	1.062	1.062	2.139	1.147	1.062		

(2) 滑坡在工况 2 状况下,滑体稳定性系数介于 1.072~ 1.229 之间,即考虑水库坝前水位 139 m、156 m 和 175 m,滑坡体均处于基本稳定状况;

(3) 滑坡在工况 3 状况下,滑体稳定性系数介于 1.039~ 1.136 之间,滑体大部分处于基本稳定状态;由于滑体前部大部分位于基岩上,受 175 m 水位影响的部分极小,稳定性系数降低较小。

(4) 滑坡在工况 4 状况下,稳定性系数介于 1.406~ 2.139 之间,处于稳定状态。

(5) 滑坡在工况 5、工况 6 状况下,滑体稳定性均保持在 1.039~ 1.229 之间,大部分处于基本稳定状态。

(6) 下滑体为崩坡积物堆积,天然状况下,处于基本稳定状态;暴雨条件下,存在失稳的可能性;考虑水库蓄水至 175 m 以及水位降落影响,滑体将失稳破坏。由于下滑体大部分处于 175 m 水位以下,所以滑体失稳对于水库影响较小。

从勘察情况看,该滑坡仍有活动迹象。因受滑坡后缘崩坡积物的加载、河沟的冲刷、大气降雨和人类工程活动影响,滑坡变形有加剧趋势,三峡水库蓄水后,当库水位达到 175 m 时,滑坡体的前部将被库水淹没。由于库水的冲刷侵蚀作用形成库岸再造,必将增加滑坡前缘的临空程度;库水的长期浸泡,使地下水的浸润曲线上升,降低滑体及滑带土的抗剪强度;库水位的迅速下降,又会增加滑体中的动水压力,会降低滑坡的稳定性可能引起滑坡复活。

## 4 结论及建议

(1) 滑坡属蠕滑拉裂性质,岩性较软,后缘拉裂,一旦破坏面贯通,易导致滑体失稳破坏。

(2) 滑坡目前处于整体基本稳定状态,在遭受长时间高强度暴雨以及三峡水位上升到 175 m 时,上部滑体的稳定性降低,滑坡处于基本稳定状态;下部滑体失稳破坏。

(3) 建议采取以下措施防止事故、灾害的发生。首先加强滑坡变形的监测工作,建立和完善滑坡灾害预警系统;其次采用抗滑支撑工程和地表排水工程相结合的防治方案。