

# 某水电站库区一大型滑坡的形成机制与环境影响评价

陈万业<sup>1</sup>, 董兰凤<sup>2</sup>

(1. 成都理工大学, 成都 610059; 2. 兰州大学, 兰州 730000)

**摘 要:**通过对某水电站库区一大型滑坡的边界条件、内部结构特征、赋存环境等的详细调查和系统分析, 运用地质历史的方法和观点, 反演论证了该滑坡的生成机制和演化过程, 在此基础上, 计算了滑坡不同部位在各种情况下的稳定性, 分析预测了其未来的主要破坏方式及可能造成的社会危害和环境影响。

**关键词:** 滑坡环境; 演化过程; 形成机制; 稳定性计算与失稳预测

中图分类号: P642. 22

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)06-0282-03

## The Research of Formation Mechanism and Stability on a Landslide in a Hydropower Station

CHEN Wan-ye<sup>1</sup>, DONG Lan-feng<sup>2</sup>

(1. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

2. Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** By geochronicle methods and view points, the formation mechanism and the evolutionary process of the VII slide in the Gongbo-Gorge hydropower station was researched, through investigating and systematic analyzing the boundary conditions, interior structure characteristics and existing surroundings in details. By this, the stability of different sections in the VII slide was calculated in various conditions, also its main destructive pattern and possible social harm in the future was forecasted.

**Key words:** surroundings of slide; evolutionary process; formation mechanism; stability calculating and destruction forecasting

研究对象位于已经基本竣工的某水电站库区, 该滑坡上游约 1.5 km 处对岸为一县城。滑体上有省级公路穿过, 且滑体前缘剪出口大部分低于电站正常蓄水位。因此, 当电站下闸蓄水后, 该滑坡的稳定性、变形破坏方式及可能产生的社会危害和环境影响等已引起有关方面的高度重视, 笔者通过对滑坡边界的详细调查和滑体内部结构特征的分析, 并结合滑坡赋存的区域环境, 对该滑坡的形成过程和力学机制进行了分析研究。

### 1 滑坡的基本特征

该滑坡体主要由前震旦系片麻岩组成, 上游段有一定方量的覆盖层滑体, 平面上呈不规则的“扇”形, 总方量约 300 万 m<sup>3</sup>。滑体内部地形起伏较大, 前缘较陡(60°~70°), 中部平缓, 上部坡度约 30°~40°。

#### 1.1 地形特征

该滑坡的地表形态在纵、横方向上都具有明显的分区性, 顺河向(横向)可分为上游的第四纪覆盖层滑坡区和下游的岩质滑坡区(图 1)。

覆盖层滑坡区根据其目前的形态表象, 垂直河向(纵向)以公路为界(高程约 2 050 m)又可分为上部台坎区和下部平缓台地区。2 050 m 高程以上保存有三级比较完整的错落台坎, 尤以后缘台坎最为典型, 台坎的走向 NW310°~330°, 最大高差近 15 m, 并在两级台坎间形成了近 40 m 宽的封闭洼地(图 3 和图 1); 2 050 m 高程以下的前缘部分相对较平坦,

部分地段已被开垦成耕地。

下游岩质滑坡可分为前缘的滑坡鼓丘区、中部的斜坡区和上部的错坎区。从公路到岸边的滑坡鼓丘区由完全松散的滑坡堆积体组成, 厚度在 40~60 m 之间; 中部斜坡区指从公路到 2 100 m 高程之间的区域, 滑体主要由表部薄层碎石土和下部拉裂松动岩体组成, 水平厚度据勘探平硐揭露约 70 m; 上部台坎区即 2 100 m 高程以上至后缘的区域, 在该区域可见残留的四级错坎, 延伸方向总体呈 NW330°, 前面两级因滑坡形成后遭受后期改造残留较短, 而后面两级保存较好, 延伸较长(图 2)。

#### 1.2 滑坡的边界条件

调查结果表明, 该滑坡前缘剪出口段主要沿岩性分界面(Gn/N2)构成的软弱面发育, 局部地段追踪了泥岩内部弱面, 致使部分泥岩成了滑体的组成物质; 后缘及上、下游有明显的滑坡陡坎围成圈椅状边界。

#### 1.3 滑床形态

通过对边界调查成果和平硐、钻孔等勘察资料的综合分析认为, 该滑坡的滑床形似“簸箕”, 并且是具有多重后边帮的“簸箕”迭“簸箕”形。

#### 1.4 滑体内部结构特征

通过野外地质调查, 结合平硐、钻孔的勘探成果, 总体上可将该滑坡的内部结构特征以 2 090 m 高程为界分为上、下两个区域。下部主要为滑坡错落堆积体。从河边调查情况

\* 收稿日期: 2006-01-08

基金项目: 中国水电顾问集团西北勘测设计研究院外委项目

作者简介: 陈万业(1968-), 男, 硕士, 现就职于中国水电顾问集团西北勘测设计研究院, 高级工程师, 成都理工大学在读博士。

及平硐揭露情况来看,该区域滑体内部物质呈散体结构,挤压较密实,平硐内岩体以小块径散体结构为主,但因结构紧密而成洞条件较好,拉张裂缝少;上部则主要由拉裂松动岩体组成,平硐揭露情况显示,底滑面以上岩体基本上全洞段呈松动架空结构,成洞条件极差,大部分洞段需支护。洞内



图1 滑坡后缘残存的错坎

## 2 滑坡形成过程与机制分析

### 2.1 目前的河道景观及其地质历史意义

地质体所处的环境背景是滑坡孕育和生成的基础<sup>[1]</sup>,而河道的发育和演化则是最直接最关键的诱发因素。该滑坡所处河段的河道形态和阶地分布具如下几个特征: II级阶地在滑坡上下游的分布方向和规模基本一致: 现今河道由滑体上游的NW280°左右至滑体坡脚部位变为NW345°左右,在不到1 km的河段转向65°左右,上游河道向右岸侧蚀,并在左岸形成了宽阔的I级阶地及河漫滩。而滑坡区虽然河道向左岸侧蚀,却并未在右岸形成I级阶地及漫滩; 滑坡上游左岸一侧存在明显的回水湾(图4)。

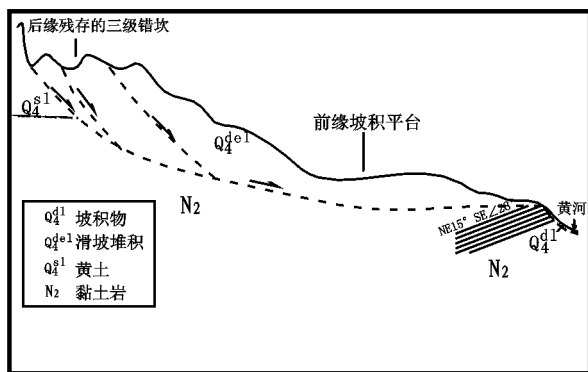


图3 土质滑区剖面图

根据河道及阶地特征,可以得出三点初步认识: 在II级阶地形成过程中,该河段基本为直河道; 滑坡生成于II级阶地之后; 回水湾的存在表明,黄河曾在坡脚处产生过强烈的侧蚀作用,滑坡前缘堆积体改变了此处原有的河流方向。

### 2.2 滑坡下伏泥岩分布情况

根据勘测成果,滑坡下伏泥岩顶板总体呈北高南低、东高西低的空间展布形态。这种顶板形态总体倾向岸外,加之其抗冲蚀性能差的特征为滑坡的形成创造了条件,并决定了滑坡顺河向的滑动顺序和滑动方式。

### 2.3 滑坡的形成过程

据前述河道发育和演化过程<sup>[2]</sup>,分析认为:该滑坡的形成经历了边坡形成、侧蚀崩塌、座落滑动等三个时期。

**边坡形成期:**是指II级阶地发育之前的时段。这一时期随着地壳的抬升和黄河快速下切,在滑坡发育区形成了高陡边坡。

**侧蚀崩塌期:**是指从II级阶地形成之后至滑坡形成前

拉张裂缝非常发育,NW275~300°SWD65~80°的拉张裂缝与地表错坎的发育状况具有一致性,而NW350°~SN·SW(W)D60~70°的拉张裂缝与底滑面的产状近乎一致。上、下两部分滑体内部结构的差异与其生成机制有关,是其滑动模式和过程的记录。



图2 岩质滑区后缘错坎围成的封闭洼地

的时段。在这一时期内,随着河道流向的变化,黄河开始对岸坡产生冲刷掏蚀作用,并诱发上游覆盖层区岸坡崩塌,并经历了侧蚀—崩塌—冲蚀—再崩塌的循环往复过程,致使该段河道流向不定,右岸一级阶地缺失,并在下游基岩区形成了陡直甚至凹坎式边坡。

**座落滑动期:**这一时期的时间概念是短暂的。黄河下切和侧蚀作用的进一步发展,坡体临空边界日趋高陡,滑坡的产生已不可避免,但发生顺序有先有后。首先是上游覆盖层区坡体在崩塌的基础上发生了座落式滑动,且因受下游高强度岩质边坡的侧限而向上游发生了侧转,从而形成了向上游收敛、向下游扩散的后缘各级拉裂缝和滑坡台坎。

上游坡体滑动之后,一方面暂时阻止了河流对岸坡的冲刷,延缓了岩质边坡的滑动;另一方面上游新临空面的形成又迫使下游滑体产生新的应力调整,加速了其滑动。况且,上游覆盖层厚度薄,方量小,滑动后的坡脚堆积物有限,当河水冲走前缘堆积物,重新侧蚀岸坡时,很快就引发了岩质边坡的滑动,并且在滑动过程中,部分滑体物质冲进了上游滑体已经形成的封闭洼地中(参见图2)。这次滑动基本造就了河道目前的形态。

## 3 滑坡的形成机制

综前所述,该滑坡在力学机制上属典型的牵引式滑坡<sup>[3]</sup>,与形成过程相对应,其变形破坏机制亦可归纳为卸荷—拉裂、蠕变—贯通、滑移—牵引等几个阶段。

**卸荷—拉裂阶段:**在II级阶地堆积过程中,随着高陡反向岸坡(岸坡产状: NW315°SW∠40~60°、母岩片理产状NE30~40°SE∠50~60°)的形成,浅表部岩体出现了不同程度的回弹和拉裂,并可能形成多级不连续拉裂缝。

**蠕变—贯通阶段:**当河道发生转向并侧蚀岸坡时,上部山体已有300余m高,在山体自重作用下,坡体开始沿潜在的力学弱面(泥岩顶板)产生蠕滑,坡体上已有裂缝向深部追踪贯通,从而在坡体内形成多级软弱结构面。

**滑移—牵引阶段:**就目前坡脚存在墩厚的滑坡鼓丘状堆积体,而上部坡面较平整、坡积物薄等现象分析,第一次形成的准贯通性底滑面应该在目前地表坡面附近,也就是说,坡面上部原有岩体发生了第一次滑动,形成了坡脚堆积体。但由于“咬合段”的存在,当上部岩体发生第一次高速下滑时,对下部岩体产生了较大的牵引作用,使已经形成的各级裂缝进一步贯通,勘探中见到的直通地表的多条大型拉张裂缝



发酵,消灭病菌。

5 生态家园建设的基本原则

实施生态家园计划,建设生态家园工程,既可解决扬黄灌区农户生活燃料问题,又促进农村经济发展,建设沼气可促进畜牧业发展,调整了农业生产结构,增加了农民收入。生态家园的建设,是现代科学技术和农业发展的结晶,是生态理论在庭院经济上的良好体现形式,在一定程度上它将改善农村环境,增加农民收入。提高农民生活质量。但生态家园建设是一个系统的、宏大的高投入的工程,需要政府和农民有效沟通与协调才能开展。

5.1 坚持以效益为主,兼顾环境改善原则

国家生态能源政策是示范带动、以点带面,从而促进全面发展的原则。为了使示范村产生吸引力,就不能不考虑效益,因此在选择示范村时应注意把握两点:一是便于开展沼肥的综合利用,有利于产生综合效益;二是农户以能源消耗为主,这样才能产生比较效益。像泾原吊庄的示范户,使用沼气一年节约煤炭用费 480 余元,收益比较显著。

5.2 坚持依靠农民力量自建的原则

在建设过程中,能源办组织农民搞技术培训,到外地参观学习。让他们在建设中学习,在学习中使用,在使用中向

参考文献:

[ 1 ] 温学飞,王峰,石治林,等.盐池县城西滩扬黄灌区生态农业建设[ A ].谢应忠,孙权.宁夏生态环境恢复重建的理论与实践[ C ].宁夏:宁夏人民出版社,2004.250- 252.

[ 2 ] 范超峰.福建省生态家园富民工程模式及其效益[ J ].福建农业研究,2004,(6): 57- 59.

[ 3 ] 蔡元呈.实施生态家园富民计划加快治理水土流失步伐[ J ].亚热带水土保持,2005,17(1): 1- 5.

[ 4 ] 刘士有,曹美华,楼喜军,等.庭院生态农业模式与相关配套技术的研究[ J ].中国沼气,1994,12(4): 40- 44.

[ 5 ] 杜社妮.庭院生态农业的模式及效益评价[ J ].北方园艺,2003,(2): 6- 8.

[ 6 ] 连福,杨世关,赵建营.以沼气太阳能为纽带创建生态高效庭院农业示范院- 万元院[ J ].中国环保产业,2000,(12): 18- 19.

(上接第 284 页)

性分别进行计算结果如表 2。

表 2 该滑坡稳定性计算结果

情 况	天 然 条 件				正常蓄水位条件			
	不考虑	暴雨	地震	暴雨 地震	不考虑	暴雨	地震	暴雨 地震
	其他因素				其他因素			
剖面 1	1.31	1.22	0.97	0.90	1.19	1.14	0.89	0.86
剖面 2	1.05	1.01	0.84	0.81	1.05	1.01	0.84	0.81
剖面 3	2.37	2.25	1.58	1.50	2.22	2.15	1.48	1.44

计算结果表明,该滑坡现今条件下剖面 、 剖面 稳定性较好,尤其是 剖面,不论是何种条件下稳定性系数均大于 1.20;而 剖面滑体的稳定性在一般情况是稳定的,但在 度地震或地震与暴雨共同作用下有失稳的可能;在三个剖面中,稳定性最差为剖面 ,现今条件下的稳定性系数为 1.05,在暴雨作用下降至 1.01,处于极限平衡状态,而在地震与暴雨共同作用下稳定系数仅为 0.81~ 0.84。

参考文献:

[ 1 ] 张倬元,等.工程地质分析原理[ M ].北京:地质出版社,1994.

[ 2 ] 孙建中,等.黄土高原第四纪[ M ].北京:科学出版社,1991.

[ 3 ] 中国岩石力学与工程学会,等.中国典型滑坡[ M ].北京:科学出版社,1988.

[ 4 ] 郑颖人,等.岩土塑性力学基础[ M ].北京:中国建筑工业出版社,1987.

周围传播,以达到建设一个示范村,培养一支农民技术队伍,推动农村生态家园建设发展的目的。

5.3 坚持因地制宜、形式不拘一格的原则

在坚持以沼气工程联结种养业的前提下,尊重当地村庄的传统文化、种植(养殖)习惯、生活方式,以适应和改善传统产业为出发点,理顺产业链,形成经济、生态效益良好的庭院生产体系。

6 小 结

通过以沼气为纽带的生态家园富民工程建设,促进农村形成以种植业为基础,养殖业为主导,沼气建设为纽带,综合利用为重点的农村生态效益型经济的发展,使农村沼气成为山区农村小康社会建设的一项基础工程、惠民工程。对示范村的选择。不仅要求有坚强有力的领导班子,更要有有投资意愿和投资能力的农民。其次坚持与传统庭院种养相结合原则。一个农户的养殖量少,则发酵原料不足,沼气池的利用率低,不经济;如果种植业欠缺,则沼液、沼渣得不到综合利用,影响综合效益的发挥。泾原吊庄生态家园建设,农民投资意愿强,特别是对有机肥的强烈需求,促使农民购买畜禽粪便投进沼气池发酵,生产沼气能源和绿色有机肥,同样体现了循环经济的原则。