

# 某电站库区 1# 倾倒体边坡稳定性评价

张新克<sup>1</sup>, 任光明<sup>1</sup>, 刘金阳<sup>2</sup>

(1. 成都理工大学环境与土木工程学院, 成都 610059; 2. 四川省冶金地质勘察局 606 大队, 彭州 611930)

**摘要:** 结合某电站库区一典型的倾倒体边坡, 介绍了边坡的基本地质条件和坡体结构特征。在此基础上, 采用 SARMA 法和有限元法对该倾倒体边坡的稳定性进行了定量计算与定性评价, 评价结果与现场调查比较一致。

**关键词:** 倾倒体; 边坡稳定性; SARMA 法; 有限元法

中图分类号: P642.21

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)01-0313-02

## Evaluation of No. 1 Toppling Slope Stability in the Reservoir Area of a Power Station

ZHANG Xin-ke<sup>1</sup>, REN Guang-ming<sup>1</sup>, LIU Jin-yang<sup>2</sup>

(1. College of Environment and Civil Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

2. No. 606 Geological Party, Bureau of Metallurgical Geological Exploration, Pengzhou 611930, China)

**Abstract:** With a typical toppling slope in the reservoir of a power station, the basic geological condition and the slope body structural characteristic are presented. Based on this foundation, it carries on the quantitative evaluation and the qualitative evaluation for the toppling slope stability using Sarma's method and finite element method, the evaluative result shows that it is consistent with the scene investigation.

**Key words:** topple; slope stability; Sarma's method; finite element method

### 1 前言

对岩质边坡而言, 倾倒破坏是其典型的失稳模式。倾倒体边坡的形成具有特定的地质条件, 它一般发育在陡立或陡倾内层状体组成的中- 极陡坡中, 岩层走向与边坡坡向近于平行, 岩层倾向与边坡坡向相反。由于层面密度大、强度低, 陡倾的表部岩层在风化及自重弯矩作用下, 于前端开始向临空方向做悬臂梁弯曲, 并逐渐向坡内发展。尤其是当这类反倾边坡中发育有近顺坡向的缓倾角结构面时, 弯曲变形的岩体在缓倾结构面控制下, 岩体弯曲到一定程度就会在缓倾结构面发育位置发生倾倒折断, 形成倾倒体。

### 2 工程地质概况

1# 倾倒体边坡位于白龙江干流一梯级电站的库区, 距离坝址区较近。河谷形态基本呈左、右岸陡缓相间的不对称“V”型谷, 局部呈“U”型谷。左、右岸岸坡平均坡度 40~ 50°, 倾倒变形体所在边坡高 930~ 950 m, 边坡基岩高程 600~ 610 m, 边坡走向近 EW 向与岩层走向基本一致。

组成倾倒变形体的基岩主体为长城系碧口群下岩组的绢英千枚岩(Ph)和变质凝灰岩(MT)。坡体表面出露有第四系(Q): 为混合成因的堆积物, 主要有冲积砂卵石层(Q<sub>4<sup>al</sup></sub>)、洪积(Q<sub>4<sup>pl</sup></sub>)、坡积(Q<sub>4<sup>dl</sup></sub>)、崩积(Q<sub>4<sup>col</sup></sub>)及其混合成因的块碎石土层, 局部人工堆积(Q<sub>4<sup>s</sup></sub>)碎石土(图 1)。

根据现场调查, 研究区内结构面可分为四组: 组走向 NE50~ 79°, 倾向 SE, 倾角 20~ 35°; 组为顺层或微切层的

结构面, NE55~ 78°, 倾向 SE, 倾角 55~ 78°; 组走向 NW280~ 295°, 倾向 NE, 倾角 30~ 55°; 组走向 NW275~ 310°, 倾向 SW, 倾角 26~ 32°。裂隙一般宽 0.5~ 3 cm, 充填岩粉、岩屑、岩片等。在上述四组结构面中, 其中第 1 组和第 2 组对倾倒体的发育影响较大, 第 1 组结构面为缓倾角结构面, 第 2 组结构面为层间软弱面或层面发育, 这两组结构面是形成库区岸坡倾倒体的主要控制结构面。研究区内地下水按其埋藏条件分为基岩裂隙水和覆盖层孔隙性潜水。

### 3 1# 倾倒体边坡稳定性评价

#### 3.1 Sarma 法评价边坡稳定性的原理

Sarma 法是极限平衡分析方法的一种特殊类型, 可以用来评价各种类型滑坡的稳定性。传统的极限分析方法采用垂直条分法, 不能很好的考虑条块侧面力的作用, 特别是岩质边坡的断层节理特征。而 Sarma 法(图 2)较好的解决了这个问题, 因此在工程上得到了广泛的应用。Sarma 法假定条块底面和侧面均达到极限平衡状态, 按照 Mohr-Coulomb 准则确定出水平地震加速度系数  $K_c$ , 绘制  $K_c-F_s$  相关曲线, 得到相应的  $F_s$  值, 当  $K_c=0$  时, 求得的  $F_s$  值即为边坡的稳定性系数。

根据以上计算原理, 结合现场调查获得的材料参数(表 1), 利用 Sarma 法对图 1 剖面进行计算, 计算结果(图 3)显示 1# 倾倒体边坡在天然条件下的稳定性系数为 1.354 7, 处于稳定状态。

\* 收稿日期: 2006-03-13

作者简介: 张新克(1980-), 男, 成都理工大学环境与土木工程学院硕士研究生, 研究方向: 边坡稳定性与工程环境效应。

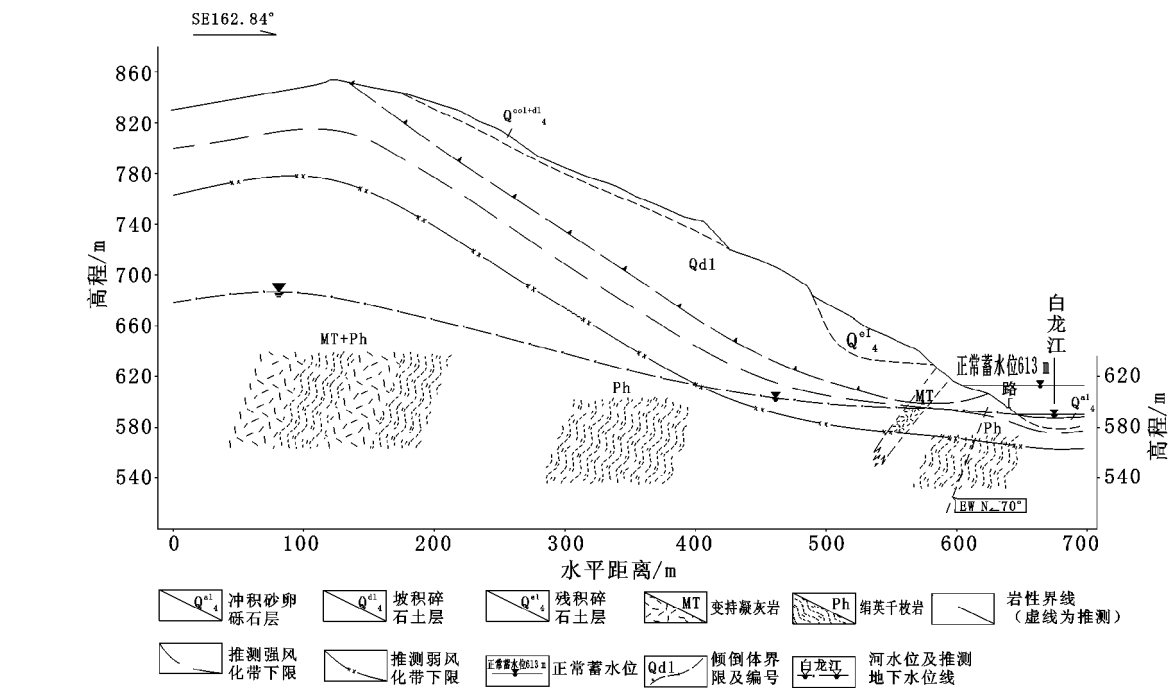


图 1 1# 倾倒地边坡工程地质剖面图

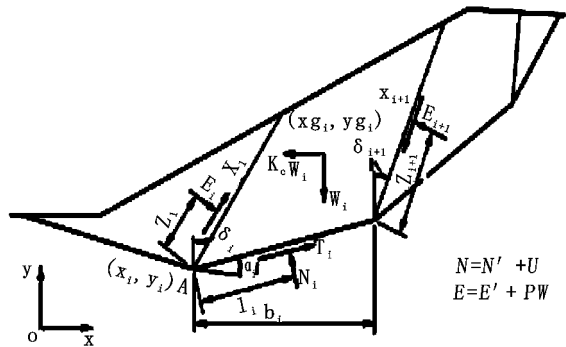


图 2 Sarma 法计算简图

表 1 Sarma 法材料计算参数

介质 类型	内摩擦 $\varphi^{\circ}$	内聚力 /MPa	天然容重/ ( $\text{MN} \cdot \text{m}^{-3}$ )	饱和容重/ ( $\text{MN} \cdot \text{m}^{-3}$ )	抗拉强度 /MPa	连通率 /%
1	34	0.45	0.024	0.024	0.0	80
2	33	0.35	0.0265	0.027	0.2	80
3	38	0.60	0.027	0.0275	0.5	80
4	43	1.00	0.0275	0.028	1.0	80

注: 表中 1 变形体; 2 强风化岩体; 3 弱风化岩体; 4 微新岩体

3.2 有限元方法评价边坡的稳定性

由于有限元数值分析方法能够模拟边坡的应力状态, 可以定量地揭示和模拟边坡的破坏、变形和失稳前后的过程和机制, 并对边坡的加固及整治提供可行的论证和建议。有限元数值分析方法现在已经在工程实践中得到广泛的应用, 并且已经列入有关设计规范。

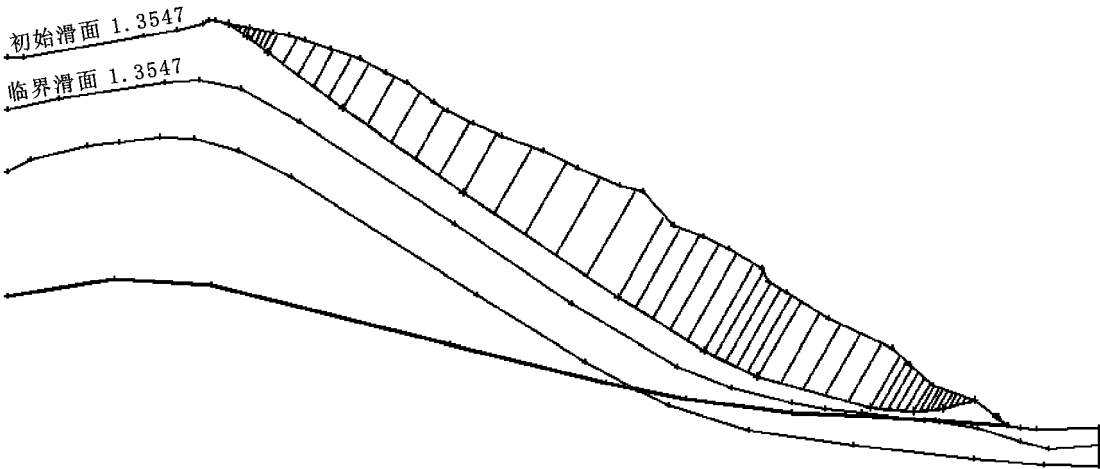


图 3 Sarma 法计算模型及结果

计算模型的建立采用图 1 剖面作为计算剖面, 模型材料采用塑性材料模型, 采用 Mohr- Coulomb 强度准则, 仅考虑自重应力场, 采用三角形网格, 总节点 1 372 个, 总单元数 2 557 个, 模型边界条件: 地表为自由边界, 左右侧边界及底边界采用光滑约束(图 4)。模型材料计算采用如下计算参数

(表 2)。

从有限元计算得出的总位移矢量图(图 5)可以看出, 组成边坡的岩体位移矢量整体较小, 仅仅表现为局部的倾倒地破坏。现场调查结果也表明: 变形体浅表部岩体塌滑, 掉块现

(下转第 317 页)

表 1 1~8 测线回归模型一览表

测线号	回归模型
1	$x(t+1)=0.385x(t)+11.285$
2	$x(t+1)=0.324x(t)+17.901$
3	$x(t+1)=0.258x(t)+23.969$
4	$x(t+1)=0.058x(t)+33.245$
5	$x(t+1)=0.020x(t)+28.067$
6	$x(t+1)=0.050x(t)+18.646$
7	$x(t+1)=0.104x(t)+15.581$
8	$x(t+1)=0.086x(t)+20.473$

从预测图可以看出,由于 1996 年黄河的人工改道,使得河口地区的来水来沙情况发生了很大的变化,河口地区未来几年内海岸线也随之变化很大,1996 年前的海岸线主要是在向顶端扩张,而 1996 年后的顶端海岸开始遭受海洋动力侵蚀,水土流失严重,应引起特别关注;而被分流的北汉 1 流路开始进行扩张,从预测图上看,有一直扩张的趋势。

4 结 语

需要指出的是,黄河在 90 年代中后期,断流时间逐年增加,这种断流主要是由于人类活动造成的,所以现代黄河口海岸线的变化受人类活动影响很大,对模型预测也将产生较

大影响。  
在本次工作中,利用遥感图像资料获取原始数据,运用回归模型预测方法,进行了现代黄河口海岸侵蚀演变的预测。

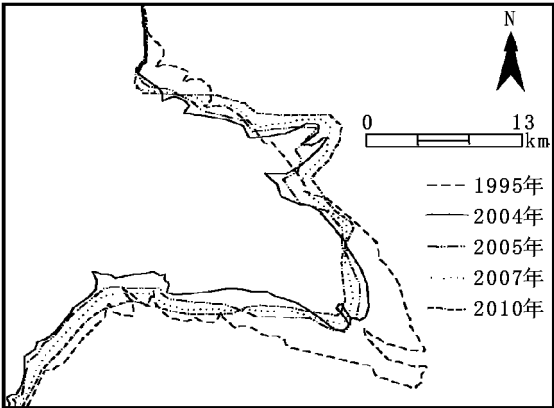


图 5 河口地区 1995-2010 年海岸侵蚀模型预测结果  
众所周知,海岸线的演化是多种因素共同作用的结果,预测的可靠性也与预测时限的长短密切相关,预测的时间越远,预测值的可靠性就越低,因此,2005 年、2007 年海岸侵蚀 (下转第 319 页)

(上接第 314 页)  
象比较严重,深部尚未形成贯通的滑面,整体稳定性较好。

表 2 有限元模型材料计算参数

介质类型	弹性模量 / MPa	泊松比	内摩擦角 / °	内聚力 / MPa	残余内摩擦角 / °	残余内聚力 / MPa	容重 / (MN·m <sup>-3</sup> )	抗拉强度 / MPa
1	50	0.32	30	0	24	0	0.025	0
2	80	0.32	34	0	28	0	0.0235	0
3	1000	0.29	34	0.45	31	0.25	0.02	
4	04	100	0.32	29	0.15	25	0.05	0.023
5	2500	0.28	33	0.35	30	0.2	0.0265	0.2
6	7500	0.27	38	0.6	34	0.35	0.027	0.5
7	10000	0.26	43	1	38	0.6	0.0275	1

注:表中 1 第四系冲崩堆积物;2 第四系冲、洪积物;3 变形体;4 潜在滑动面;5 强风化岩体;6 弱风化岩体;7 微新岩体

4 结 论

本文以某水电站库区 1# 倾倒体边坡为例,分别采用 Sarma 法和有限元分析方法评价了边坡的稳定性,得出如下结论:

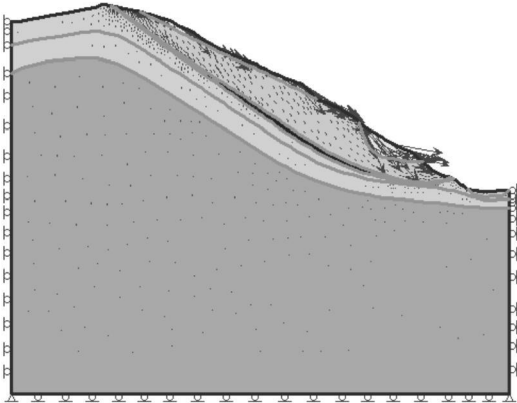


图 5 有限元计算总位移矢量图

(1) 边坡的稳定性受到多种因素的制约,采用合理的评价方法对边坡的稳定性评价具有重要影响。对于节理发育的岩质边坡,采用 Sarma 法进行边坡的稳定性评价较为适宜。  
(2) 由于边坡工程的复杂性和非线性,在边坡的稳定性评价中,应综合运用多种评价方法并结合已有的工程经验进行定性和定量分析。有限元等数值模拟分析方法评价边坡的稳定性具有传统的极限平衡法所不具备的优点,值得在工程中推广应用。

图 4 有限元法计算模型

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. 331- 335.  
[2] 陈祖煜,汪小刚,杨健. 岩质边坡稳定分析- 原理·方法·程序[M]. 北京:中国水利水电科学研究院,2005. 766- 799.  
[3] 崔银祥,聂德新,岳尚彬. 通过滑面应力状态评价滑坡稳定性[J]. 山地学报, 2005, 3(2): 165- 168.  
[4] 边树兴,李克民,朱玉生. 边坡稳定分析 Sarma 法中稳定性检验的分析[J]. 露天采矿技术, 2004(2): 12- 14.  
[5] 洪玉辉. 碧口水电站右岸倾倒体高边坡稳定性分析与评价[J]. 西北水电, 1994, (1): 10- 14.