

文章编号:1007-2993(2014)03-0117-04

# 上游法高浓度尾矿库的稳定分析

孟庭威 武治安

(五矿邯邢矿业邯郸地质勘查有限公司,河北邯郸 056000)

**【摘要】** 应用 Bishop 法,采用国际上先进的边坡稳定计算分析程序 XSTABL,分别在静力条件和地震条件下评价了尾矿坝的稳定性。

**【关键词】** 尾矿库;稳定性;地震

**【中图分类号】** TV 641

**【文献标识码】** B

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2014.03.003

## Analysis of Stability in High Concentration Tailings Pond Upstream Embankment Method

Meng Tingwei Wu Zhian

(Minmetals Han Xing Handan Mining Geological Exploration Co., Ltd, Handan 056000, Hebei, China)

**【Abstract】** This text base on the method of Bishop, with analysis program XSTABL were used, the stability of the tailings dam under static conditions and seismic conditions were evaluated in this paper.

**【Key words】** tailings pond; stability; earthquake

### 0 引言

关于尾矿库坝体稳定性分析的计算方法很多,在工程中广泛应用且较为经典的方法是 Bishop 法。首先,该方法提出了安全系数  $F$  的定义,同时通过假定土条间的作用力为水平方向求出土条底面的法向力。其次,数值分析法是通过建立数学模型、求解坝体的应力图,再按照准则判断坝体的稳定性;概率分析方法则是在计算结果的基础上进一步给出坝体失稳的概率<sup>[1]</sup>。本文通过一个实例阐述了该方法在上游法高浓度尾矿库抗滑稳定分析中的应用。

### 1 工程概况

邯邢地区某尾矿库于 1979 年建成,1980 年投入使用,原设计库容  $500 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。其尾矿坝由初期坝、堆积坝组成,初期坝为定向爆破堆筑的堆石坝,坝底标高 737.5 m,坝顶标高 776.0 m,坝顶宽度 5 m,外坡比为 1:1.5,内坡比为 1:2.0;堆积坝各阶子坝采用上游法推筑,最终堆积标高为 835 m。为保证原服务年限及满足生产需求,曾先后 3 次进行了加高扩容设计,将尾矿坝坝顶标高从 835.0 m 加高至 855.0 m,尾矿库的总库容将达到  $660 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,总坝高为 117.5 m,见图 1。

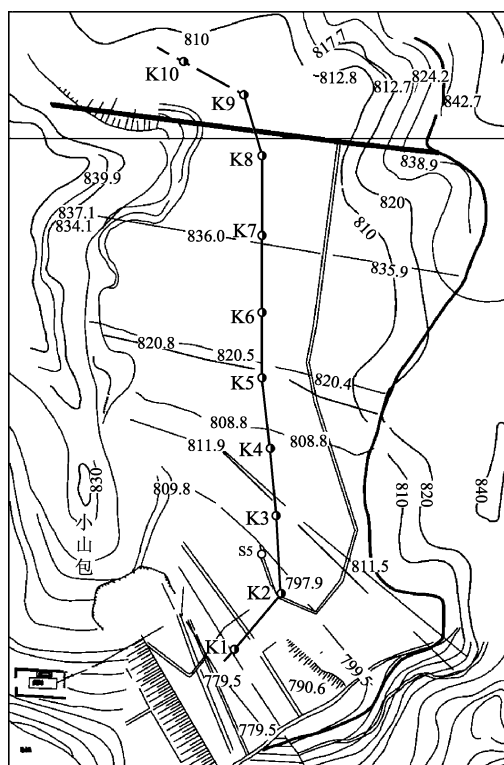


图 1 尾矿库平面图

**作者简介:**孟庭威,1962 年生,男,汉族,河北邯郸人,本科,高级工程师,注册土木工程师(岩土),主要从事土木工程、岩土工程、钻探等领域的工作。E-mail:mengtingwei100@126.com

该尾矿库是我国第一座采用高浓度放矿筑坝的尾矿库,也是高坝小库的典型代表。虽然使用初期的矿浆浓度为 16%~18%,但随着选矿和输送工艺的进步和发展,从 1986 年起该尾矿库开始采用高浓度放矿筑坝,放矿浓度维持在 50%左右。现堆积坝坝顶标高为 849 m,库容已达到约  $500 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。该尾矿库等级属三级中型,目前仍在供选矿排尾使用。

该尾矿库地处我国地震活动强烈的华北地震区华北平原带,历史上该地区曾遭受过强烈的地震袭击,从这些历史地震来看,尾矿库在其运行期间及闭库后有遭遇强烈地震袭击的可能。地震调查表明,上游法尾矿坝在地震荷载作用下极易发生液化垮坝破坏。因此,该尾矿库在设计地震荷载作用下是否安全,坝体的稳定性是否满足抗震的要求,需要进行研究与论证。

## 2 坝体稳定性研究数据获取

为查明高浓度尾矿库的沉积规律和尾矿的物理力学特性,在尾矿库进行了专项岩土工程勘察。为满足 Bishop 分析方法的计算模型数据要求,勘察时

沿坝轴线布置钻孔 10 个,孔距为 51~63 m,取样和标贯试验间距为 1.0~2.5 m。为此共完成勘探总深度 515.70 m;标准贯入原位测试 366 组;剪切波试验孔 3 个,测试深度 135 m;静力触探试验孔 3 个,试验深度 67.90 m;采取原状土样 335 件、扰动土样 21 件。

## 3 高浓度排放尾矿的沉积规律

根据勘察现场编录及土工试验结果,尾矿堆积体可分为尾粗砂层、尾中砂层、尾细砂层、尾粉土层、尾粉质粘土层、尾粘土层,各尾矿物理参数见表 1。尾矿矿物成分为碳酸盐类(石灰岩、大理岩等)、矽卡岩类(绿泥石、绿帘石、透辉石等)、硅酸盐类(斜长石、角闪石、云母等)。对采取的标贯数据进行统计分析,下游坝坡的标贯击数明显高于沉积滩的,在 40 m 深度范围内,沉积滩的均值要比下游坡底的低 1/3;若参照天然砂性土的经验进行判断,沉积滩 25 m 深度以内的尾矿砂处于松散状态,25 m 深度以下的为稍密状态。下游坝坡表层 10 m 深度以内处于松散状态,10 m 深度以下为中密状态。见图 2。

表 1 尾矿物理力学性质指标

尾矿类别	天然重度 $\gamma/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	含水率 $w/\%$	塑性 指数	液性 指数	渗透系数 $k_v/(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$	直剪试验		三轴试验	
						粘聚力 $c/\text{kPa}$	内摩擦角 $\varphi/(\text{°})$	粘聚力 $c/\text{kPa}$	内摩擦角 $\varphi/(\text{°})$
尾粗砂		11			$1.28 \times 10^{-2}$				
尾中砂	17.7	10.4			$1.46 \times 10^{-3}$	4.0	31.0		
尾细砂	19.6	11.0			$5.55 \times 10^{-3}$	9.0	27.9	0.0	31.2
尾粉砂	20.6	18.5			$1.61 \times 10^{-5}$	7.0	27.4	0.0	21.0
尾粉土	20.6	23.2	8.0	0.59	$1.90 \times 10^{-4}$	33.6	22.7		18.7
尾粉质粘土	19.6	25.2	13.1	0.39	$9.30 \times 10^{-5}$	33.6	17.2		

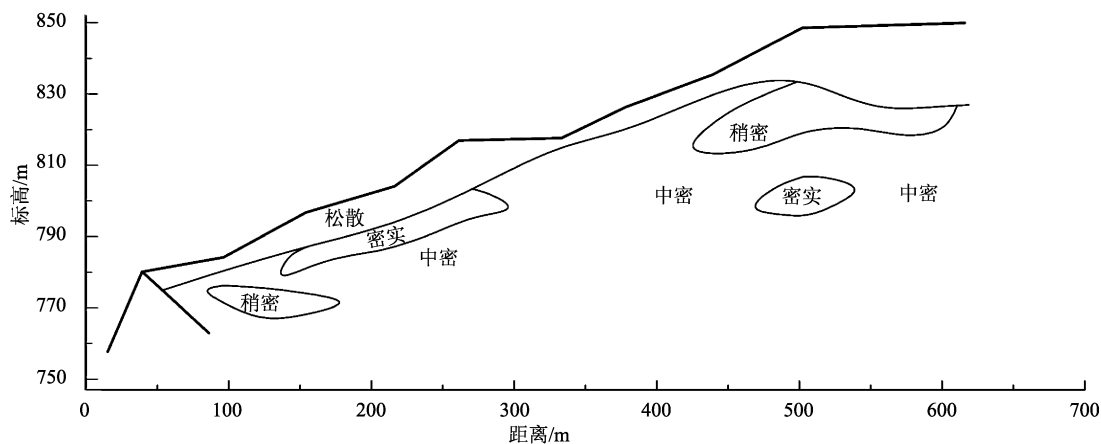


图 2 尾矿库标贯分区图

尾矿密度大,有利于自重产生的脱水固结,使沉积体的固结时间缩短,尾矿的微观颗粒大多为棱角分明的粒状、多面体状,在沉积过程中容易形成相互嵌接,结构强度比土体高。尾矿的沉积状况与尾矿的浓度,尾矿排放管口的流速、流量,沉积滩的坡长和坡度等都有密切的关系<sup>[3-4]</sup>。根据现场编录、室内土工试验、原位测试等结果,可总结出尾矿沉积的规律,尾矿堆积体在水平方向上呈距初期坝距离越小,其密度增加、孔隙比降低、标准贯入试验数据增大的趋势,在垂直方向上,上部粗颗粒较多,下部细颗粒较多。

#### 4 坝体稳定性计算及结果分析

该工程利用国际上先进的边坡稳定计算分析程序 XSTABL 对坝体进行稳定性计算,由于高浓度放矿造成尾矿沉积规律较差,所以在开展尾矿坝地震稳定计算分析工作时,首先要对勘探揭露的地质剖面进行概化处理。根据勘察报告绘制的剖面图和尾

矿的物理力学性质,计算时将尾矿库后期坝简化只有尾粉砂、尾粉土和尾粉质粘土材料构成。计算尾矿库的坝体稳定性,采用总应力分析方法,选用坝体材料的物理力学参数见表 2。为进行可靠度分析时使用的计算参数,计算分析结果能反映出坝体的基本形态,又能使分析结果偏于安全。本次研究按下列 6 种情况进行分析评价,表 3 汇总了各工况下计算的坝体抗滑稳定最小安全系数。

表 2 稳定计算采用的坝体材料物理力学参数

坝体材料	天然重度 $\gamma/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	粘聚力 $c/\text{kPa}$	内摩擦角 $\varphi/(\text{°})$
尾粉砂	19.2/21.0	0.0	27.0
尾粉土	20.0	16.0	22.0
尾粉质粘土	20.0	16.0	18.0
初期坝	21.0/22.5	0.0	35.0
风化岩	22.0	0.0	34.0

注:天然重度/饱和重度

表 3 坝体稳定性分析结果一览表

状态	坝顶标高 850 m				坝顶标高 855 m	
	a	b	c	d	e	f
静力条件	2.131		1.918			1.910
地震条件	1.317	1.189	1.201	1.092	1.153	1.193

注:a 为勘察所揭示的剖面情况;b 为库底基岩无山峰的情况;c 为抬升浸润线的情况;d 为同时考虑 b、c 两种情况;e 为坝体浸润线埋深 10 m 的情况;f 为坝体浸润线埋深 12 m 的情况

由图表可知:

1) 现状坝高(标高 850 m)情况下,尾矿坝的抗滑稳定性能满足规范的要求。在静力荷载下,坝体

的最小安全系数为  $F_s=2.131$ (见图 3);在不考虑尾矿地震液化的情况下,坝体遭遇  $0.1g$  的地震作用时的最小抗滑移稳定安全系数为  $F_s=1.317$ 。

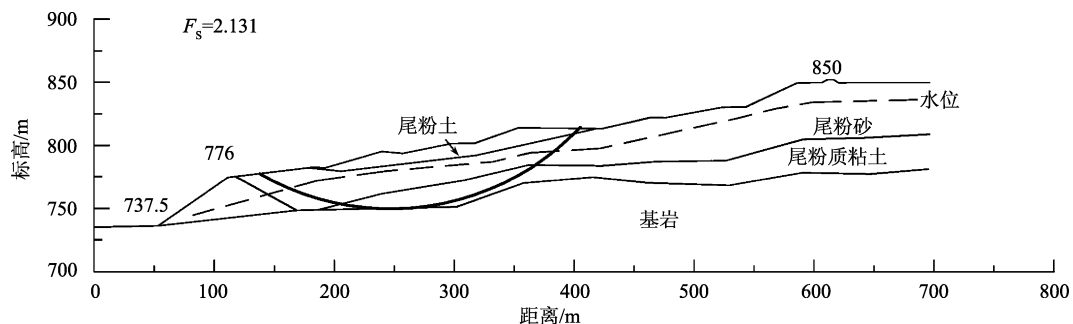


图 3 850 m 标高时尾矿坝最危险滑动面位置示意图(静力)

2) 库底基岩销峰或抬升坝体浸润线,虽使坝体的抗滑稳定安全系数有一定的减少,但仍能满足规范的要求,两者相比基岩面改变对坝体的稳定性影响更大,基岩销峰情况下的抗震安全系数  $F_s=1.189$ 。如果尾矿库的基岩面和浸润线同时为假设的计算工况,此时遭遇设计地震,坝体的抗滑稳定则存在问题,安全系数仅为 1.092(见图 4),达不到规

范的技术要求。

3) 尾矿库加高 5 m 到最终设计标高(855 m)时,坝体浸润线若埋深 10 m,其抗震稳定安全系数为  $F_s=1.153$ ,处于规范限定的临界控制指标,对于这样一座高坝,此安全系数让人担心。若浸润线埋深达到 12 m,其抗震稳定安全系数为  $F_s=1.193$ (见图 5),比较客观。

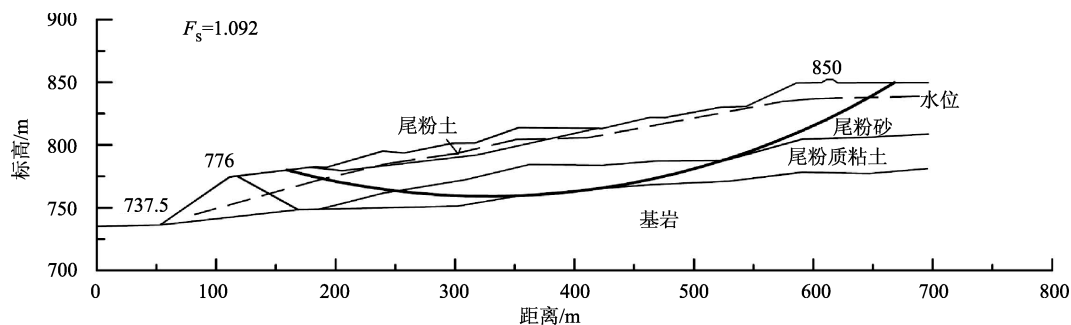


图4 850 m 标高时基岩面降低、浸润线抬升坝体最危险滑动面位置示意图(拟静力)

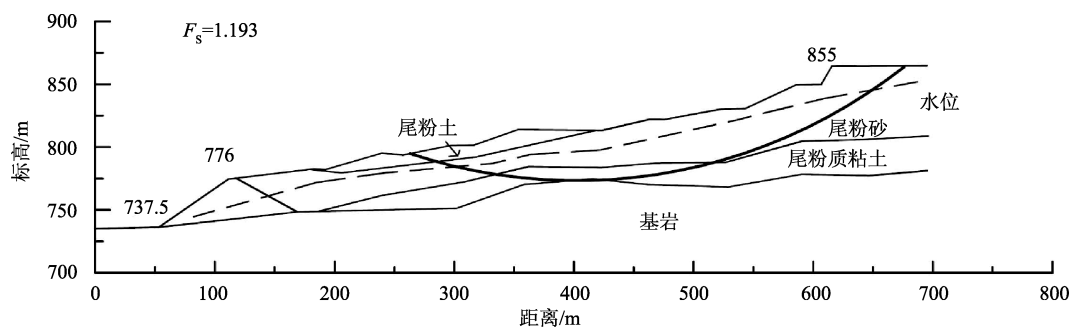


图5 855 m 标高时尾矿坝最危险滑动面位置示意图(拟静力)

## 5 结论

1) 上游法高浓度尾矿坝的滑动面是近似于圆形的, 该类尾矿坝是适合用 Bishop 法进行稳定性分析评价的。

2) 该工程中应用 Bishop 法及采用边坡稳定计算分析程序 XSTABL, 分别在 2 种状态和 6 种情况下对尾矿库进行了全面的评价, 为尾矿坝的稳定性评判提供了可靠的依据。

3) 按常规分析方法在不考虑液化时, 该尾矿库现状坝高和最终设计标高(855 m)的坝体可抵御 7 度 0.1g 设计地震的袭击, 其最小抗滑稳定安全系数分别为 1.317 和 1.193, 满足我国现行工程设计规范的要求。

4) 浸润线是尾矿库的生命线<sup>[2]</sup>。在尾矿库运行期间, 要加强坝体浸润线的观测<sup>[5]</sup>, 采取有效措施,

确保坝体浸润线埋深不小于 12 m。

## 参考文献

- [1] 许宝田, 何东林. 粉煤灰尾矿库坝体稳定性静力分析[J]. 地质灾害与环境保护, 2010, 21(1): 69-72.
- [2] 冯煜彪. 浸润线出逸高度对某尾矿库坝体稳定性的影响分析[J]. 有色金属(矿山部分), 2010, 62(1): 61-64.
- [3] 杨浩基, 邓金迪. 尾矿上游法高速率、高浓度、大高差自流放矿堆坝探讨[G]//2010年第三届尾矿库安全运行技术高峰论坛论文集. 2010.
- [4] 颜学军. 上游法尾矿堆筑坝坝体沉积规律探讨[J]. 稀有金属与硬质合金, 2008, 36(1): 54-58.
- [5] AQ 2006—2005 尾矿库安全技术规程.

收稿日期: 2014-01-26