

文章编号:1000-582X(2005)06-0081-03

细粒尾矿库地下渗流场的数值模拟分析*

尹光志^{1,2},余果¹,张东明^{1,2}

(重庆大学1.资源及环境科学学院;2.西南资源开发及环境灾害控制工程教育部重点实验室,重庆 400030)

摘要:龙都尾矿库的初始设计堆积物是铁矿与铜矿的混合尾矿,但该尾矿库投入使用至今仍未有铁矿尾矿注入,直接影响到了尾矿库的稳定性.为此,以龙都尾矿库的勘探实测资料为依据,利用2D-FLOW有限元软件对其渗流特性进行了研究.根据初期坝透水性、干滩面长度和不同的大气降雨量等影响因素,对尾矿坝渗流场进行了分析,得出了不同状况下细粒尾矿库的渗流规律,据此对尾矿库的稳定性进行了研究,结果表明,尾矿堆积物的改变对尾矿库的稳定产生了不良影响,如不及时对尾矿库进行适当的加固处理,该尾矿库将无法正常运行.

关键词:尾矿坝;渗流;浸润线;数值模拟

中图分类号:TV6

文献标识码:A

尾矿是一种矿渣,它以浆状形式排出,储存在尾矿库内.我国每年排弃的尾矿近3亿t,需占地面积约20 km².据有关资料[1]表明,我国高含泥极细颗粒尾矿堆积坝的病害率偏高,坝体结构的静、动稳定性较一般尾矿而言差很多.这是因为浸润线不易降低容易振动液化,且软泥层中可能存在较高的超孔隙水压力,抗剪强度很低,致使静力稳定性也较低.因此,控制浸润线极为重要.

1 龙都尾矿库概况

龙都尾矿库位于大红山矿区的东南部山谷中,属于山谷型尾矿库.该库具有库容大、沟口地形窄、人工筑坝工程量小等特点,是一个较为理想的尾矿库.根据设计尾矿库最终坝高为210 m,可获得1.2亿m³的库容.该尾矿库于1997年7月建成并投入使用,按设计要求是采用全尾矿($d_{cp}=47.0\ \mu\text{m}$)上游法堆坝,入库尾矿为铜尾矿与铁尾矿的混合物,设计平均粒度为0.047 mm.

由于铁矿尚未正常生产,入库的尾矿只有大红山铜矿的铜尾矿,而且大部分粗粒级的尾矿被充填到井下,流入尾矿库的尾矿粒度明显下降,库内尾矿发生了质的变化,尾矿的平均粒径由原来的0.047 mm减少到0.022 mm,渗透系数从 $1.3 \times 10^{-3}\ \text{cm/s}$ 变化到 $1.9 \times 10^{-6}\ \text{cm/s}$.从当前龙都尾矿库尾矿堆积现状来分析,它属于细粒尾矿堆坝范畴.对于细粒尾矿而言,从土力学角度看,土粒愈细其水力性质也愈差,排放到尾矿库的细粒尾矿浆体初始含水量也很高,再加上,降

雨过程中,雨水沿着边坡渗入到坝体中,使得细粒尾矿堆积坝的稳定性严重下降.同时,该尾矿库干滩面积较小,达不到设计要求的12.5%~15.5%,由于雨季频繁,使坝体浸润线过高,发生浸润线出溢而形成坝体渗流侵蚀.所以,非常迫切需要分析坝体其地下渗流场状况,以确保尾矿库安全运作.

2 渗流模型

目前国内形成一定规模的尾矿有1500座左右,其中90%以上的尾矿库采用上游法筑坝工艺^[2].由于上游筑坝法是依据物料颗粒自然堆积的,堆积物具有松散性和含水性,故只能在自重作用下压密.因此堆积的尾矿砂各种力学指标都较低,而透水性相对较大.从而使库内水在常水头和动水头的作用下,依据尾矿的本身作为渗径渗出坝体,或者局部形成含水饱和区,影响尾矿坝的稳定性.渗径上表面水称之为浸润面,我国矿山尾矿库通常用预埋在坝体上的观测孔测得水位距表面高度来折算浸润面的位置^[3](如图1).

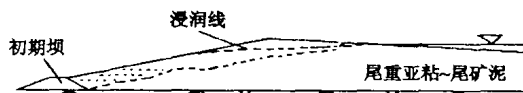


图1 细粒尾矿堆积坝浸润线

根据现场堆积实践结果对比分析,细粒尾矿堆积坝的浸润线比一般尾矿堆积坝的浸润线高^[4].而浸润线位置的高低对于尾矿坝的稳定性影响甚大,粗略地讲,浸润线每下降1 m可使静力稳定性安全因素增加0.05左右甚至更多一些;浸润线如能降至距坝面8 m

* 收稿日期:2005-01-18

基金项目:国家自然科学基金(50374084);重庆市应用基础研究项目(8015)

作者简介:尹光志(1962-),男,四川西昌人,重庆大学教授,主要从事岩石力学及岩土工程研究.

以下,在7级地震发生时基本上不会产生振动液化.现在一般是通过设置排渗系统达到降低浸润线,提高尾矿坝稳定性的目的.由于一般尾矿筑坝可以形成厚的砂坝壳,其渗透系数一般不低于 10^{-4} cm/s,所以排渗设施容易收到明显效果.而细粒尾矿筑坝不会形成厚的砂坝壳,坝体平均渗透系数低,其数量级在 $10^{-6} \sim 10^{-5}$ cm/s,估计采用通常的排渗降水设施,效果不一定很明显.浸润线如果降不下来,对尾矿坝的稳定性是非常不利的^[1].

3 龙都尾矿库地下渗流场的模拟计算

3.1 数值计算程序 2D - FLOW 简介

2D - FLOW 程序是一个岩土体二维渗流有限元分析软件,该软件系统所有的操作都是针对图形进行的,其前后处理功能非常强大,能按输入的宏观条件自动生成各种有限元数据并进行分析,同时,以图形方式显示各种分析结果,一目了然.它具备一般施工所需要的分析功能,如稳定与非稳定分析、饱和与非饱和分析、地表降水分析、变动水头问题分析等.

3.2 龙都尾矿库渗流场的数值计算

3.2.1 计算几何模型

经工程地质勘察发现,尾矿坝主要由4层土层组成,分别是:尾轻亚粘①₂、尾亚砂①₃、尾亚砂①₄和初期坝,其中基底为强风化砂岩③,如图2.

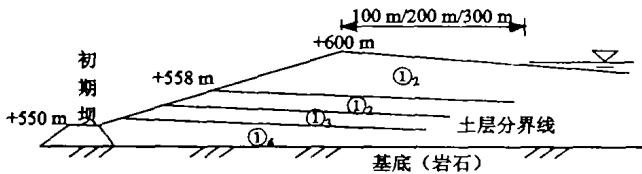


图2 坝体计算模型

根据龙都尾矿库的现状(+558 m)及未来的设计规划,来构造有限元计算模型如图2所示,计算最终标高为+600 m,即坝高80 m.同时按照下列工况进行模拟计算:

- 1) 对初期坝则按照导水和堵塞2种情况分别计算.
- 2) 考虑尾矿入库速度与地表蒸发速度的影响,对干滩面的距离分别按100 m、200 m和300 m3种情况计算;
- 3) 考虑到大气降雨对尾矿坝的地下渗流的影响,分别按照降雨量为50 mm/d、100 mm/d、200 mm/d3种雨型进行计算.

3.2.2 坝体材料计算参数

根据龙都尾矿库的工程勘察资料,+558 m标高以下(即现状情况)按地质资料中的地层划分,具体为4层(包括初期坝),+558 m标高到+600 m标高,因为还未堆置尾矿,从有利于尾矿坝的稳定性考虑,将这段定为尾轻亚粘①₂,即与目前堆放的最上层尾矿基本相同.库底为基岩,按照不透水层考虑,尾矿坝各土层的计算参数见表1.

表1 各土层物理力学指标

指标名称	尾轻亚粘① ₂	尾亚砂① ₃	尾亚砂① ₄	砂岩③
孔隙比 <i>e</i>	0.81	0.74	0.66	—
土的重度/(kN/m ³)	20.0	20.4	21.0	21.5
天然含水量 <i>W</i> /%	24.0	17.0	16.0	—
压缩模量 <i>E_s</i> /MPa	12.0	12.5	14.0	17.0
渗透系数 <i>K₂₀</i> /cm·s ⁻¹	2.2×10^{-5}	3.4×10^{-4}	3.2×10^{-4}	—
内摩擦角	饱和快剪 20.2	21.7	22.0	—
擦角	总应力法 24.8	25.8	27.1	—
ϕ /(°)	有效应力 26.3	28.2	29.0	—
内聚力 <i>C</i>	饱和快剪 13.4	17.6	22.1	—
/kPa	总应力法 0	0	0	—
	有效应力 0	0	0	—

初期坝为堆石透水坝,没有测试其物理力学指标.为此,按照经验选取,分别为:重度 $\gamma = 21.0$ kN/m³,内摩擦角 $\phi = 38^\circ$,粘结力为 $C = 0$,渗透系数为 $K = 20 \times 10^2$ cm/s.

3.3 计算结果与分析

根据上述计算模型和材料参数,利用2D - FLOW程序对龙都尾矿库渗流特性进行了分析,部分模拟计算结果见图3到图9.



图3 堆石坝不透水时压力水头等势线及流速矢量分布



图4 干滩面为100 m时的压力水头流场及流速矢量分布

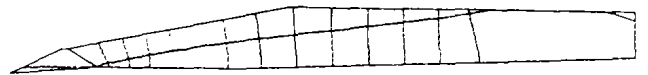


图5 干滩面为200 m时的渗流场及流速矢量分布



图6 干滩面为300 m时的流场及流速矢量分布



图7 降雨量为50 mm/d时的流场及流速矢量分布



图8 降雨量为100 mm/d时的流场及流速矢量分布



图9 降雨量为200 mm/d的流场及流速矢量分布

通过对尾矿坝的模拟计算,在不同初期坝透水性、不同干滩面长度和不同大气降雨等情况下,得出了尾矿库地下水渗流场的变化规律.图3表示初期坝被细

粒尾矿堵塞使透水性下降,在干滩面为200 m条件下,尾矿坝浸润面高于初期坝坝顶,大量渗水从尾矿坝坡面流出.这种情况下,尾矿坝的稳定性受到了严重的威胁.如果初期坝透水良好,即使干滩面只有100 m,其浸润面高度也低于图3,渗水基本全部从初期坝流出,而没有从尾矿坝坡面流出,尾矿坝的稳定性优于图3.研究表明,初期坝的透水性对尾矿坝稳定性具有至关重要的影响.

图4~6为初期坝透水良好、干滩面长度分别为100 m、200 m和300 m 3种情况下,坝体内的流场及浸润线.3种情况坝体浸润线均未超过堆石坝,渗水基本从初期坝溢出.这说明只要初期坝(堆石坝)透水性好,则对整个尾矿坝的稳定性是有利的,这也是现在尾矿库设计中优先采用堆石坝的原因之一^[4].但是,随着干滩面的减小,坝体内渗流速度增大,浸润面向坝前推进,增大了尾矿坝的不稳定性.结果表明,干滩面越长,尾矿库的稳定性就越高.

图7~9为大气降雨为50 mm/d、100 mm/d和200 mm/d时尾矿坝内的流场与流速,分析证明,降雨量越大,浸润线抬升越高,渗流速度越大,严重时高于初期坝与坡面相交或冲垮初期坝,威胁尾矿库的稳定.所以在雨季,应尽量降低库内水位,一是增大调洪库容,提高防洪能力.二是提高初期坝的渗透率,降低浸润线,有利于尾矿坝的稳定^[5].通过计算分析可以证明,大气降水对尾矿库的稳定有着重要的影响.

4 结 语

尾矿的浸润线是尾矿坝的生命线^[6],浸润线的高低,对尾矿坝的稳定性极为重要.采用2D- FLOW计

算软件,可以清晰地模拟出不同条件下的尾矿库地下水渗流场的变化规律.从模拟结果可以看出,如果初期坝透水性好,干滩面的变化对坝体浸润线的高低影响不大;但如果降雨量增大,浸润线将被抬高,对坝体的稳定性将产生不利的影响.证明初期坝的透水性对尾矿坝的稳定性具有至关重要的作用,干滩面越长尾矿坝的稳定性越好,降雨量越大尾矿库的稳定性越差.

龙都尾矿库的现状是:由于尾矿粒度的减小,有一些细粒尾矿已经透过土工布进入到初期坝坝体之中,造成初期坝渗透系数降低,现场可以看到初期坝出水量比建库初期的出水量大大减小,而且流速也降低了不少.同时,龙都尾矿坝的干滩面正逐渐缩小,有些地方甚至只有50 m长.这些不良因素都在严重威胁着尾矿库的稳定性,已经达到了非治理不可的程度,必须采取相应的加固治理措施,如疏通初期坝、增加排渗盲沟或坝体加筋等,才能保证尾矿库的安全稳定运行.

参考文献:

- [1] 陈守义. 浅议上游法细粒尾矿堆坝问题[J]. 岩土力学, 1995, 16(3): 70-76.
- [2] 徐宏达. 我国尾矿库病害事故统计分析[J]. 工业建筑, 2001, 31(1): 69-71.
- [3] 孙光怀. 中期尾矿坝稳定性的实践与分析[J]. 黑色金属矿山通讯, 1990, 4: 10-12.
- [4] 张超, 杨春和, 孔令伟. 某铜尾矿砂力学特性研究和稳定性分析[J]. 岩土力学, 2003, 24(5): 858-862.
- [5] 柳厚生, 宋军, 陈克军. 尾矿坝二维固结稳定渗流分析[J]. 矿冶工程, 2002, 22(4): 8-10.
- [6] 晏兴荣, 王全明. 尾矿坝植被种草的实践和意义[J]. 冶金矿山设计与建设, 1998, 30(6): 62-63.

Numerical Calculation Analysis About Seepage Field of Fine Grained Tailings Pool

YIN Guang-zhi^{1,2}, YU Guo¹, ZHANG Dong-ming^{1,2}

(1. College of Resource and Environmental Sciences,

2. Key Laboratory of the Exploitation of Southwest Resources & the Environmental Hazards Control Engineering Under the State, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: The initially designed deposits of the Longdu tailings pool is the mixed tailings of iron ore and covelline. However, the fact that no iron ore tailings have been infused into the pool during its employment directly influenced its stability. By making use of 2D limited meta-sofwares, the authors study the seepage features of Longdu tailings pool based on the tested data and material for it. According to first dam penetration, dry slope's length and different atmosphere rainfalls, the seepage field of the tailings pool is analyzed so they can conclude seepage rules for the fine grained tailings pool under different conditions and then study the stability features of the tailings pool. The result shows that change of the deposits gives ill effect on the stability of the pool, and the tailings pool will not run normally if no proper reinforce measure is taken in time.

Key words: tailings dam; seepage field; saturation line; numerical calculation