

某尾矿坝的稳定性计算与分析

吴启明

(广西大学 资源与冶金学院, 广西 南宁 530004)

摘 要:对细粒尾矿坝稳定性的影响因素进行了分析,依据相关规范结合勘察资料对某尾矿坝进行了抗滑稳定性分析,得出在正常运行条件下该坝的稳定性计算结果。

关键词:细粒;尾矿坝;浸润线;稳定性分析

中图分类号:TD926 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-4172(2010)02-0063-04

Calculation and Analysis of a Tailing Dam's Stability

WU Qiming

(College of Resources and Metallurgy, Guangxi University, Nanning 530004, Guangxi, China)

Abstract: Relative factors that influence stability of the fine tailing dam were analyzed in this paper. According to relevant standards and the field survey data, the sliding stability analysis of a tailing dam has carried on the analysis. The calculation results of stability of the dam which in normal research condition obtained.

Key words: fine particle; fine tailings; tailings dam; infiltration string; stability analysis

0 引言

尾矿库是一种特殊的工业建筑物,也是矿山三大控制性工程之一^[1]。它的运营好坏,不仅影响到矿山企业的经济效益,而且与库区下游居民的生命财产及周边环境息息相关^[2]。我国是一个矿业大国,每年排弃尾矿近 3 亿 t,除小部分作为矿山充填或综合利用外,绝大部分要堆存于尾矿库,现有尾矿库 2600 多座,尾矿库的重大事故时有发生,对下游居民的生命财产造成严重威胁,也将给企业带来不可估量的损失,在社会上造成极坏的影响。2000 年 10 月 18 日,广西南丹县大厂镇鸿图选矿厂尾矿库发生重大垮坝事故,共造成 28 人死亡,56 人受伤,70 间房屋不同程度毁坏,直接经济损失 340 万元^[3];2008 年,山西襄汾特大尾矿库溃坝事故造成了 279 人遇难。可见,尾矿库的安全稳定极其重要。

随着科学技术水平的不断提高,矿山企业对回收率越来越重视,矿石磨得粒度也越来越细。目前,细粒尾矿没有严格的定义。细粒尾矿是指平均粒径 d_{cp} 0.03 mm,且小于 0.109 mm 的含量一般大于 50%,大于 0.074 mm 的含量小于 10%,大于 0.037 mm 的含量小于 30%的尾矿^[4]。

作者简介:吴启明(1983-),男,在读硕士。

尾矿坝作为堆载尾矿砂的重要构筑物,细粒尾矿砂筑坝的安全稳定性研究受到矿山企业的普遍关注。尾矿库安全运行的关键是尾矿坝体必须安全稳固,因此,为了防止尾矿坝事故的发生,对尾矿坝的稳定性分析研究是完全有必要的,意义重大。

1 影响细粒尾矿坝体稳定性因素

尾矿坝是尾矿构筑物的主体,影响尾矿堆积坝稳定的因素很多,如坝体内浸润线高低、沉积滩长度、尾矿堆积坝坝坡度、排洪系统等。

1.1 坝体内浸润线高低对坝体稳定性的影响

坝坡浸润线是尾矿坝的生命线,它是直接影响坝体安全的一个非常重要的因素之一^[5]。地下水对坝体不仅产生动水压力,降低坝体的稳定性,尤其是在地震时,引起孔隙水压力的快速上升,有效应力减少,产生管涌、流沙和坝面沼泽化等危险,对尾矿坝安全带来严重的危害。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。浸润线位置的高低对于尾矿坝的稳定性影响甚大。浸润线如果降不下来,对尾矿坝的稳定性是非常不利的^[6-7]。因此,一定要严格控制坝体渗流,防止浸润线偏高。

1.2 沉积滩长度对坝体稳定性的影响

在排矿量大、浓度低的排放条件下,干滩面长度

很大程度取决于库内水位控制。若干滩面控制过长,滩面的上升速度必然缓慢,由此而影响库容蓄水和澄清水距离不足导致回水质量变劣。若控制水位保持滩面坡度,使水面离坝顶水平距离缩短,库内水位上升,导致坝体安全稳定性降低。因此,控制、监测干滩面长度极其重要。

1.3 堆坝坡度对坝体稳定性的影响

通过对细粒尾矿堆积坝物理模型室内试验的研究,测试出在不同坡度下细粒尾矿坝的承载能力,结果表明,当堆积坝坡度每增大 10° ,其坝体承载能力至少减至原来的 $1/5 \sim 1/6$,说明提高尾矿堆积坝坡度不利于坝体稳定,更易发生破坏。因此,在实际尾矿库工程中,还应随时观测控制坝坡角度^[8]。

1.4 尾矿砂密实度对坝体稳定性的影响

一般的尾矿堆积坝,通过自然分级,依靠自身的重力作用固结密实。细粒尾矿的平均粒径比较小,在分散放矿时,颗粒不容易沉积,当悬浮液浓度为 $5\% \sim 10\%$,潜流速度大时,可能发生异重流,使得坝体空隙度大,压实性较差。尾矿材料的室内试验表明,坝体密度对抗剪强度有明显影响,密实度越高,抗剪强度越大。因此,在堆坝期间应严格控制放矿速度,避免出现由于矿砂疏松造成坝体失稳的情况^[8]。

1.5 排洪系统对坝体稳定性的影响

排洪系统的好坏,会直接影响尾矿坝的稳定性。如银山铅锌矿尾矿坝决口事故、郑州铝厂灰渣库溃决事故、智利埃尔尾矿坝溃坝事故、美国布法罗河矿尾矿坝溃坝事故等,直接原因就是排洪系统故障或设计有误引起洪水漫顶。据不完全统计,我国有色金属矿山因排洪系统失事引起的灾难几乎占尾矿坝事故的 50% ^[9]。

1.6 其他影响尾矿坝稳定性的因素

尾矿坝是尾矿构筑物的主体。影响尾矿坝体稳定性的因素很多,另外还有尾矿沉积层的抗剪强度、堆积坝的高度、库内水位的高低、工程措施、效果等,特别是对于非国有的中小矿山,施工及运行管理不当等因素都是影响尾矿坝体稳定性的原因。

2 工程实例

某尾矿库的初期坝坝型为碾压式石渣坝,坝顶标高为海拔 104 m ,坝高 17 m ,库容 58 万 t 。堆满后用沉积尾矿堆筑子坝,边堆边存,最终堆集标高

为 126 m ,总库容 325 万 m^3 ,总坝高 40 m ,平均坡度为 $1:6$ 。对堆积坝现状标高进行稳定性计算,鉴于坝体对于尾矿库的重要性,主要对 105 m 和 126 m 标高的稳定性进行分别论证。该库容量为 325 万 m^3 ,坝总高 40 m ,属四等尾矿库。根据《选矿厂尾矿设施设计规范》第 3.3.1 条规定^[10],三级及三级以下的尾矿坝可不进行渗流稳定性计算,从而只需进行抗滑稳定性计算。

2.1 浸润线的计算

确定化引滩长 L 及相应的化引库水位,并放矿水覆盖绝大部分滩面,此时,化引滩长计算公式为:

$$L_i = 3.3L_c^{0.48}$$

式中 L_i 为化引滩长; L_c 为计算条件下的实际滩长。

化引库水位计算公式为:

$$H_i = H + \frac{L_c - L_i}{m_0}$$

式中 H_i 为化引库水位; H 为计算条件下实际库水位; m_0 为沉积滩坡度系数(即沉积滩坡度为 $1:m_0$)。浸润线位置参照尾矿设施设计参考资料确定。

$$h_i = H_i - Z$$

将尾矿坝视为坝基不透水的均质坝,当无排渗设施且下游无水时,浸润线方程可表示为:

$$y = \left[h_i^2 - \frac{h_i^2 - a^2}{L - m a^2} x \right]^{\frac{1}{2}}$$

式中出逸点高度按下式计算:

$$a = \frac{L}{m} - \left[\left(\frac{L}{m} \right)^2 - h_i^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$L = L_i + L; \quad L = \frac{m_0 h_i}{2m_0 + 1}$$

式中 m 为下游坡坡度系数。根据尾矿坝运行情况计算所得的浸润线逸出高程见表 1。这里计算工况取正常运行水位和洪水位两种。

根据野外勘察观测,当坝顶标高 105 m 时,按此方法计算的浸润线基本上与实际浸润线吻合。

2.2 计算参数的选取

该尾矿坝初期坝坝型为碾压式石渣坝,堆满后用沉积尾矿堆筑子坝,边堆边存,因而稳定性计算材料包括石渣、尾矿砂两种材料。依据野外勘察和《选矿厂尾矿设施设计规范》附录一该尾矿砂为尾细砂,其参数选取参考表 2。

表 1 浸润线计算参数统计表

Table 1 The parameters of saturation line computation

坝顶高程	库水位	计算滩长	化引滩长	化引水位	L_1 /m	L /m	L /m	a /m	溢出 高程 /m
H_d /m	H /m	L_c /m	L /m	H_i /m					
105	101.00	100	30.10	103.80	81.00	8.72	89.72	3.68	89.68

表 2 稳定性计算参数表

Table 2 The parameters of stability computation

土层特性	天然容重 $r / (\text{kN} / \text{m}^3)$	饱和容重 $rsat / (\text{kN} / \text{m}^3)$	凝聚力	内摩擦角 $/^\circ$
尾细沙	18.5	20.5	0	28.1
原始坝体材料	21.0	21.8	0	36

2.3 荷载组合及安全系数

在尾矿坝的稳定性分析中,一般先按尾矿库的设计坝高和库容大小确定尾矿库的安全等级,再根据尾矿库的安全等级查表确定尾矿坝抗滑稳定性的安全系数。

地震烈度区域划分为 6 级烈度及 6 级烈度以下地区的 5 级尾矿坝,当坝外坡比小于 1 4 时,除原尾矿属尾粘土和尾粉质粘土以及软弱坝基外,可不作稳定计算。该尾矿库工程抗震设防类别属乙类水工建筑,基本烈度作为设计烈度。本地的基本烈度为 6 度,因此设计烈度为 6 度,所以稳定计算不考虑地震荷载。

表 3 稳定性计算的荷载工况

Table 3 The load condition of stability calculation

荷载组合		荷载类别				
		1	2	3	4	5
正常运行	总应力法	有	有	—	—	—
	有效应力法	有	有	有	—	—
洪水运行	总应力法	—	有	—	有	—
	有效应力法	—	有	有	有	—
特殊运行	总应力法	—	有	—	—	有
	有效应力法	—	有	有	—	有

该尾矿坝属四等尾矿坝,根据需要对坝顶高程

106 m (目前坝高度)和 126 m 两种模型分别进行稳定性计算。

安全系数是指在设计、施工或使用过程中的工程项目必须达到安全性保证的定量标准,根据工程重要性程度而设定。尾矿库的抗滑稳定性安全系数,中华人民共和国安全生产行业标准《尾矿库安全技术规程》(AQ2006—2005)有明确的规定。

根据《选矿厂尾矿设施设计规范》,坝体稳定计算有以下两种荷载组合,见表 4。

表 4 尾矿坝抗滑稳定的安全系数规范值

Table 4 The factor of safety norms values of the dam stability against sliding

运用情况	坝的级别				
	1	2	3	4	5
正常运行	1.30	1.25	1.20	1.15	1.15
洪水运行	1.20	1.15	1.10	1.05	1.05
特殊运行	1.10	1.05	1.05	1.00	1.00

1)正常运行 =正常水位 +坝体自重,采用瑞典法计算,当尾矿库为四等尾矿库时安全系数 K 1.15; 2)洪水运行 =最高洪水位 +坝体自重,采用瑞典法计算,当尾矿库为四等尾矿库时安全系数 K 1.05。

2.4 现状坝体稳定性计算及结果

根据选矿厂尾矿设施设计规范,采用瑞典法对该尾矿坝各种运行情况进行稳定性评价。同时采用 Bishop 法与之进行对比,稳定性计算参数采用表 2 中数值,计算结果见表 5。

表 5 运行稳定性评价

Table 5 The estimation of stability

运行情况		圆心			瑞典法	Bishop 法
		X /m	Y /m	半径 /m		
105 m	正常运行	15.23	50.05	50.24	1.406	1.433
	洪水运行	15.01	50.13	50.13	1.375	1.396
126 m	正常运行	15.32	120.02	120.04	1.179	1.207
	洪水运行	15.27	120.22	120.24	1.077	1.141

计算结果表明:正常运行下该尾矿坝是稳定的,两种方法计算的稳定性系数均超过《选矿厂尾矿设

计规范》所规定的安全系数,目前该尾矿坝是稳定的。该尾矿库坝高 105 m 时不同荷载组合下,

稳定性良好;按目标的堆坝方式、速率,堆积至 126 m 高程时,坝体稳定性也满足《选矿厂尾矿设施设计规范》所规定的安全系数。

3 结语

根据分析计算结果,该尾矿坝稳定可靠,但在实际尾矿坝运行管理中,尾矿坝的筑坝、日常检查以及排洪设施的管理等因素对尾矿坝的稳定性影响至关重要。因此,应加强对尾矿库的运行管理工作,作好尾矿坝的安全管理措施,确保尾矿库安全运行。

参考文献

- [1] 魏作安,尹光志,沈楼燕,等. 探讨尾矿库设计领域中存在的问题[J]. 有色金属(矿山部分), 2002, 54(4): 44 - 45.
- [2] 沈楼燕,魏作安. 探讨矿山尾矿库闭库的一些问题[J]. 金属矿山, 2002, 6: 47 - 48.

- [3] 梁雅丽. 10·18南丹尾矿坝大坍塌[J]. 沿海环境, 2000, 12: 7.
- [4] 尹志光,魏作安,许江. 细粒尾矿及其堆坝稳定性分析[M]. 重庆:重庆大学出版社, 2004.
- [5] 晏兴荣,王全明,李志荣. 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.
- [6] 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.
- [7] 李学民,郑海远. 民营中小型尾矿库设计探讨[J]. 有色金属(矿山部分), 2009, 61(4): 74 - 76.
- [8] 孙国文,余果,尹志光. 影响细粒尾矿坝安全稳定性因素及对策[J]. 矿山安全与环保, 2006, 33(1): 63 - 65.
- [9] 刘登高. 尾矿坝稳定性分析与研究[D]. 武汉:中国地质大学, 2007.
- [10] ZBJ1 - 90. 选矿厂尾矿库设施设计规范[S]. 北京:中华人民共和国建设部, 1990.

(上接第 38 页)

布、深切上地幔的断裂构造带与位于含矿地层之下成矿元素含量高的早期地层为研究区成矿提供了丰富的矿质来源。

4 成矿模式

通过对湘西北铅锌矿带各矿田地质特征综合分析,并结合李梅~耐子堡大型铅锌矿床专题研究成果而建立的铅锌矿成矿模式(见图 1)为:

1) 深部矿物质流体在地壳运动的驱动下,沿深大断裂向上运移,至一定深度后可向其派生大断裂输送;

2) 卤水热液始于成岩压实水以及沿深断裂带下渗的古海水、大气降水。下渗途中由地热增温并因溶解膏盐矿物提高盐度而变为卤水热液,到了较深的部位由于热驱动而发生对流循环,在流经的元古界板溪群~震旦系~寒武系下统牛蹄塘组早期地层中萃取金属等成矿物质从而演变成为含矿卤水热液,并在地壳运动的驱动下,沿不整合面向盆地边缘通道迁移;

3) 上升的深部矿物质流体至上地壳与含矿卤水热液在大断裂带内混合、形成高矿化度的混合卤水热液并继续向上迁移;

4) 生油层内的石油成熟后,在负荷压力、热力或构造力的作用下与油田水一道沿断层及裂隙迁移并先于金属成矿物质进入圈闭构造内形成了油藏。

后因油藏遭受构造作用破坏,油气多已散失,但在矿带内盖层条件好的部位,其岩石裂隙和孔隙内仍有少部分残存;

5) 地层中含 SO_4^{2-} 的水溶液被圈闭构造中的 CH_4 及岩石中的沥青还原,产生 H_2S 气体;

6) 卤水热液中的铅、锌等金属氯络合物在圈闭构造内(或相对封闭的容矿层空间内)与硫化氢反应而沉淀出 PbS 、 ZnS 等,形成闪锌矿、方铅矿等硫化物聚积而成矿。

参考文献

- [1] 宋学信. 凡口矿床闪锌矿和方铅矿的微量元素及其比值一个对比性研究[J]. 岩矿测试, 1982, 1(3): 38.
- [2] 舒见闻. 渔塘铅锌矿床成因初步探讨[J]. 大地构造与成矿学, 1983, 7(4): 309 - 320.
- [3] 彭国忠. 湖南花垣县渔塘地区层控型铅锌矿床成因初探[J]. 地质科学[J]. 1986, 2: 179 - 186.
- [4] 李金冬. 湖南省花垣县李梅矿区锌矿勘探报告(第一期)[R]. 湖南省地矿局, 1991.
- [5] 夏新阶,舒见闻. 李梅锌矿床地质特征及其成因[J]. 大地构造与成矿学, 1995, 19(3): 197 - 204.
- [6] 付胜云. 湘西北铅锌矿床地质特征[J]. 国土资源导刊, 2006, 3(3).
- [7] 杨绍祥. 湘西北铅锌矿床碳氢氧同位素特征及成矿环境分析[J]. 矿床地质, 2007, 26(3).
- [8] 涂光炽. 中国层控矿床地球化学[M]. 北京:科学出版社, 1989.