

尾矿堆积坝安全稳定性因素分析及对策

范恩让¹, 史剑鹏²

- (1. 机械工业勘察设计院, 陕西 西安 710043;
2. 陕西省冶金设计研究院, 陕西 西安 710032)

摘 要: 通过对尾矿堆积坝的不利因素分析, 探讨了安全管理、干滩面长度、堆坝坡度、渗透反滤以及浸润线高度对坝体稳定性的影响。结合生产实际, 提出了主控因数, 制定了相应提高尾矿堆积坝体稳定性的措施。

关键词: 尾矿堆积坝; 渗透破坏; 稳定性; 浸润线

中图分类号: TD852 文献标识码: A 文章编号: 1005—6084 (2007) 01—33—03

ANALYSIS AND COUNTERMEASURES OF THE SECURITY STABILITY FACTORS FOR THE TAILING DAMS

FAN En-rang¹, SHI Jian-peng²

- (1. Institute of Geotechnical Investigation & Design of Machinery
Industry, Xian 710043, China; 2. Shanxi Metallurgical Designing
and Research Institute, Xian 710032, China)

ABSTRACT: By means of analyzing disease accidents of the tailing dams, the effects of the safe management, dry lengths, slope of dam, seepage failure as well as highness of infiltration string on the security stability of tailing dams were discussed. Furthermore combining with manufacture practice, some suggestions and measures protecting environment and improving security stability of the tailing dams were put forward.

KEY WORDS: tailing dam; seepage failure; stability; infiltration string

近年来, 尾矿坝安全事故在一些地区时有发生, 有些是可以通过管理手段来预防的, 有些是由于技术原因而难以预防的。在国内外矿山中, 由于尾矿坝工程失效, 造成严重危害的实例屡见不鲜^[1-3]。因此, 当进行尾矿筑坝时, 应该考虑如何提高坝体稳定性, 确保尾矿坝安全。作者就影响尾矿坝堆积安全稳定性的因素

和提高坝体稳定性措施进行阐述, 提出了解决这一问题的基本设想和建议。

1 影响尾矿坝体稳定性因素

尾矿坝是尾矿构筑物的主体。影响尾矿坝体稳定性的因素很多, 例如: 区域地质构造、

收稿日期: 2006—08—28

作者简介: 范恩让 (1963—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事岩土工程的勘察、设计及治理工作。

库区不良地质现象、干滩面长度、堆坝坡度、尾矿砂密实度和浸润线高度、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是影响尾矿坝体稳定性的主要因素。

1.1 尾矿堆积坝自身特点

由于尾矿堆积坝自身的特点,尾矿库的服务期也就是整个尾矿筑坝期。这个筑坝施工和生产使用合一的漫长时期,少则5年、10年,多则十几年、几十年。这是不同于一般建设工程的最突出特点,因此,适合于由业主自己施工,无法也无处请正规施工、监理队伍。多年来,尾矿筑坝都是由选矿厂的技术、生产部门负责组织实施,特别是中小矿山的尾矿坝。他们熟悉采矿、选矿、机械等专业,不熟悉和土石坝有关的土力学、水力学、水文学等学科知识。他们需要坝工技术支持和服务。

矿山业主要么缺乏管理人员,要么忽视尾矿坝及其构筑物所处的自然环境比较恶劣,需要经常的管理、观测、维护和大修,以保证充分发挥其工程功能;对隐患往往失察、失修或者工程措施不当,常常会留下隐患,甚至酿成大祸。由于以上原因,我国尾矿库的正常运行比例偏低,病害不断,时有重大事故发生,有的引发了巨大的灾害。

1.2 干滩面长度对坝体稳定性影响

目前国内形成一定规模的尾矿库有1500座左右,其中90%以上采用上游法筑坝工艺^[1]。该法是通过坝顶分散放矿的支管向库内均匀放矿。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影响

国内外通过对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1/5~1/6,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。

1.4 尾矿砂密实度对坝体稳定性影响

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,宏观上具有上粗下细和坝前粗、坝尾细的一般特征;在微观上,尾矿沉积层中普遍存在粗细相间的夹层、互层、交错层、千层饼等现象,结构上表现为不均一性和各向异性。由于工艺及分级选矿的原因,使得尾矿的颗粒往往很细,而细粒尾矿的平均粒径 $d_{50} \leq 0.03 \text{ mm}$,在分散放矿时,颗粒不易沉积,当悬浮液浓度为5%~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。

1.5 浸润线高度对坝体稳定性影响

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,所以经常发生浸润线自初期坝顶溢出现象。轻者在浸润线出逸处流失尾矿砂,形成冲沟,重者造成尾矿坝的滑动。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。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1m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8m以下,在7级地震发生时基本上不会产生振动液化。浸润线如果降不下来,对尾矿坝的稳定性是非常不利的^[4]。因此,如何控制坝体渗流途径,防止浸润线偏高,是细粒尾矿工程技术措施的重要内容。

1.6 反滤对坝体稳定性影响

因渗透破坏导致尾矿堆积坝失事的案例很多,有的因为浸润线过高导致堆积坝流土破坏,较多的是因为无反滤或反滤失效而导致尾矿堆积

坝破坏,有的是因为尾矿堆积坝与其它构筑物连接处无反滤或反滤失效而导致尾矿堆积坝破坏,因此,渗透对尾矿堆积坝稳定的影响极大。

1.7 排洪系统对坝体稳定性影响

几乎所有尾矿坝的破坏,或多或少都与排洪系统有关。如云南锡业公司火谷都尾矿坝溃坝事故;柿竹园有色金属矿牛角垅尾矿库溃坝事故;岢美山尾矿库洪水漫顶事故;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;南斯拉夫兹莱托沃铅锌矿尾矿库溃坝事故,直接原因就是因排洪系统故障或设计有误引起洪水漫顶;江西赣南某钨矿,因尾矿库内排水井被树枝石块等杂物堵塞,排水不畅,导致尾矿库内的水位上涨,造成尾矿库的主坝一半溃决;意大利斯塔瓦尾矿坝垮塌前,即1985年元月,当上方坝达到28m高时,在上方坝右侧低处坝坡发生小塌陷,其原因是排水系统涵管冻结堵塞,从而由渗漏引起。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%。

2 提高坝体稳定性的措施

2.1 开展尾矿堆积坝加固技术

尾矿堆积坝的加固实际上是加固整个尾矿库干滩面内的一定范围,形成一个人工尾矿壳体,使尾矿堆积坝处于稳定状态。而一般的全尾矿堆积坝,则是通过自然分级,依靠自身的重力作用固结密实,使靠近坝外坡一定范围内为粗粒尾矿组成的壳体。因此,尾矿堆积坝的加固不可能是一次性的,它是随着尾矿堆积坝的上升要不断地加固,目的是形成一个人工加固的坝壳体。由于其形成的特殊性,决定了尾矿堆积坝的加固所采用的措施和方法不可能很复杂,也不可能采用机械大规模进行,因为必须保证尾矿库能一直使用,不能因为加固而停产。目前尾矿库工程中应用较多的加固方法为加筋法及土工织物法。采取这些措施的主要作用是:铺设土工格栅或织物,可起到加筋的作用,从而提高坝体稳定性。

2.2 改善坝体渗流条件

考虑到尾矿堆积坝特别是细粒尾矿堆积坝的浸润线一般较高,为此应加强尾矿堆积坝的排水系统,以降低坝坡浸润线高度,增大坝体的干燥部分或适当增加尾矿池内的干滩面长度。现在一般是通过设置排渗系统达到降低浸润线,提高尾矿坝的稳定性。目前常用方法很多,如井式排渗、管沟式排渗、褥垫排渗及墙式排渗等,井式排渗墙式排渗采用水泵抽水投入大,应用不多,适用于急需短期内降水的尾矿坝;管沟式排渗褥垫排渗采用自流原理效果较好,施工技术难度较大;虹吸排渗采用虹吸原理施工方便、经济,运营成本最低,便于管理。但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,所以排渗设施容易获得明显效果。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,其值在 10^{-6} ~ 10^{-5} cm/s,估计采用一种排渗降水设施,效果不一定很明显,应当根据工程具体条件,寻求两种或两种以上排渗设施同时进行设计,以达到更好的排渗效果。

2.3 完善尾矿坝安全监测系统

尾矿坝是一种特殊的工业建筑物。当尾矿库投入运行后,受着不同阶段、环境及运行方式的影响,其工作情况(坝高、库区水位、堆积坝体尾矿的力学性质等)都在不断地发生变化。因此,尾矿库(坝)的监测工作极其重要。通常尾矿库(坝)的监测项目主要有以下四大类:

(1) 变形监测。监测垂直位移、水平位移、裂缝、固结等。

(2) 应力监测。监测总应力、孔隙水压力。

(3) 渗透监测。监测浸润线、渗流量、渗水水质等。

(4) 水文气象观测。观测库区降雨量、入库流量、库内水位变化、波浪等。针对具体某一尾矿库(坝)而言,应根据该尾矿库(坝)的特点,结合现场的实际情况,在满足监测目的前提下,合理地选择监测项目,并加强对监测数据分析、整理,以实现尾矿库安全监测的自动化、科学化。

2.4 重视排洪系统及反滤措施

设计单位对排洪系统及反滤的设计要慎之又慎,不能有任何疏忽和大意;建设和施工单

位要严格按设计施工, 有问题及时和设计单位交流, 作好施工的各种记录工作, 因为这些工作难以修复补救, 否则不是造成重大事故, 就是经济上蒙受巨大损失。

2.5 提高认识加强管理

首先要建立尾矿坝风险基金制度, 从资金上保证尾矿堆积坝的施工运行及维修需要; 其次要作到持证上岗, 杜绝无证乱作业的现象; 第三是让业主知道尾矿坝失事的危害, 并从法律、经济上使轻视或忽视尾矿坝安全的矿主感到轻视或忽视尾矿坝安全是得不偿失的。

3 结 语

做好尾矿堆积坝的施工管理工作, 确保其

安全稳定地运行, 是一项长期而艰巨的任务, 必须坚持不懈。对影响尾矿堆积坝体稳定性因素应认真分析, 及时查找, 并结合相应的工程特点, 找出解决和补救的措施, 只有这样, 才能确保尾矿坝安全。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 中国有色金属尾矿库概论编辑委员会. 中国有色金属尾矿库概论[R]. 北京: 中国有色金属工业总公司, 1992.
- [3] 尾矿设施设计参考资料编写组. 尾矿设施设计参考资料[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1980.
- [4] 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.

(上接第 18 页)

- [6] Keigo Hoshina, Kaoru Dokko, Kiyoshi Kanamura. Investigation on Electrochemical Interface between $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ and $\text{Li}_{1-x}\text{Al}_x\text{Ti}_2\text{-x}(\text{PO}_4)_3$ NASICON - Type Solid Electrolyte[J]. Journal of The Electrochemical Society, 2005, 152 (11): A2 138 - A2 142.
- [7] Pier Paolo Prosini, Rita Mancini, Lorenzo Prtrucci, et al. $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ as anode in all - solid - state, plastic, lithium - ion batteries for high - power applications [J]. Solid State Ionics, 2001, 144: 185 - 192.
- [8] 曹楚南, 张鉴清. 电化学阻抗谱导论[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [9] 倪江锋, 周恒辉, 陈继涛, 等. 锂离子电池中固体电解质界面膜 (SEI) 研究进展[J]. 化学进展, 2004, 16 (3): 335 - 342.
- [10] M Balasubramanian, H S Lee, X Sun, et al. Formation of SEI on Cycled Lithium - Ion Battery Cathodes: Soft X - Ray Absorption Study [J]. Electrochem. Solid - State Lett. 2002, 5 (1): A22 - A25.
- [11] 吕东生, 李伟善. 尖晶石锂锰氧化物锂离子嵌脱过程的电化学阻抗谱研究[J]. 化学学报, 2003, 61 (2): 225 - 229.
- [12] 张 森, 史鹏飞. 新型锂离子聚合物蓄电池的性能和失效机理[J]. 电源技术, 2004, 28 (4): 206 - 210.
- [13] 齐 智, 吴 锋. 用于锂离子电池负极 SnO_2 - MCMB 复合材料的研究[J]. 现代化工, 2004, 11: 40 - 42.

欢迎订阅 《金属材料与冶金工程》杂志