

文章编号:1000-582X(2010)03-072-04

洪水工况下尾矿库浸润线变化规律及稳定性分析

尹光志, 李 愿, 魏作安, 敬小非, 张千贵

(重庆大学 资源及环境科学学院; 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 400044)

摘 要: 秧田箐尾矿库为铜厂铜矿规划新建的尾矿库。在规划设计期间, 利用室内堆坝模型试验, 演绎尾矿库堆坝过程的同时, 研究了该尾矿库堆积到设计总坝高约 2/3 的高度(120 m)时, 在洪水工况和正常工况下坝体浸润线的变化规律。并以试验数据为基础, 采用 Slide5.0 软件对尾矿坝在这一高度下的稳定性进行了计算, 获得了尾矿坝在不同工况下的稳定性结果, 为后期继续进行试验和未来矿山安全生产服务。结果显示, 坝体在正常状态下稳定系数满足规范要求, 但洪水状态下稳定系数小于国家规范值, 需要对原始初步设计进行调整或采取其他措施, 确保尾矿库安全。

关键词: 尾矿坝; 洪水工况; 稳定性; 堆坝试验

中图分类号: TD926.4

文献标志码: A

Regularity of the saturation lines' change and stability analysis of tailings dam in the condition of flood

YIN Guang-zhi, LI Yuan, WEI Zuo-an, JING Xiao-fei, ZHANG Qian-gui

(College of Resources and Environmental Science; Key Laboratory for the Exploitation of Southwest Resources and Environmental Disaster Control Engineering, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400044, P. R. China)

Abstract: Yangtianqing tailings dam is a new dam planned for a copper mine. At the design period, test in laboratory is carried out to simulate the process of dam pile based on the design information of Yangtianqing tailings dam. And the regularity of the saturation lines' change at the condition of flood and normal is studied, when the dam have been heaped to the about 2/3 of the total height (120 m). Based on the test data, the stability coefficients of the dam at this height in different conditions are obtained with the Slide software, and they could be served for the following test and the mine's future safety production. It is shown that the dam is safe in the normal condition, while in the condition of flood, the stability coefficient is less than the benchmark in national standard. Thus, it is necessary to rectify the preliminary design or to take other measures to ensure the safety of the tailings dam.

Key words: tailings dam; the flood condition; stability; laboratory model test

收稿日期: 2009-11-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50874124); 国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2005CB221502); 国家自然科学基金重点项目(50534080); 重庆市自然科学基金计划重点项目(CSTC 2008BA6028)

作者简介: 尹光志(1962-), 男, 重庆大学教授, 博士生导师, 主要从事矿业工程、安全工程和岩石力学方面的研究, (Tel)13508306328, (E-mail)gz Yin@cqu.edu.cn。

尾矿库是矿山的主要危险源^[1],国家和矿山企业都非常重视尾矿库的安全问题,而尾矿坝是尾矿库的主要构筑物。尾矿坝的浸润线是尾矿库的生命线,也是评价尾矿坝稳定状况的一项重要基础资料^[2]。尤其在洪水情况下,随着库内水位的迅速上升,致使尾矿库垮塌失事概率会大大增加^[3-4]。国内外诸多专业技术人员采用现场观测和数值模拟的方法,对尾矿坝浸润线的变化规律进行了研究^[5-6],并取得了一些成果。但采用物理模型研究预测尾矿坝的浸润线变化规律的成果鲜见报道。因此,笔者采用物理模型实验来研究洪水情况下坝体浸润线的变化规律,并在此基础上对尾矿坝的稳定性进行分析,对尾矿库的安全运行、建设平安矿山意义重大。

1 工程概况

秧田箐尾矿库为云南省玉溪矿业公司下属、在建铜厂铜矿的新建尾矿库。该库位于秧田箐大沟沟谷,库区地形条件较好,为山谷型尾矿库。尾矿库设计采用上游法的方式进行筑坝。初期坝为堆石透水坝,坝底标高为1 840 m,坝顶标高为1 880 m,坝高为40 m。该尾矿坝的初步设计最终堆积标高为2 010 m,堆积坝高130 m,总坝高170 m,总库容为 $1.089 \times 10^8 \text{ m}^3$,属二等尾矿库。由于该尾矿库的下游1.0 km处有村落民居,考虑到尾矿库的安全性,在最终确定坝体堆积高度前需要做些研究分析。笔者利用室内堆坝模型试验,演绎尾矿库堆坝过程的同时,研究了该尾矿库堆积到设计总坝高约2/3的高度,即120 m时,在洪水工况和正常工况下坝体浸润线的变化规律。并以试验数据为基础,采用Slide软件对尾矿坝在这一高度下的稳定性进行了计算,获得了尾矿坝在不同工况下的稳定性结果。

2 堆坝模型试验及结果分析

2.1 堆坝模型试验

据资料显示,尽管数值模拟已经被广泛应用到不同的工程研究中^[7-9],但在模拟尾矿库(坝)方面还存在缺陷^[10-11]。而模型试验却能很好地揭示未来工程的一些本质特征,其作为科学研究的技术手段,亦被许多科技人员采用^[12-14]。以秧田箐尾矿库初步设计资料为依据,在试验槽内,按照1:200比尺构筑库区山谷地形和初期坝,之后,仿照上游法的坝前多管放矿方式进行放矿,演绎该尾矿库(坝)的堆积过程。

为了研究坝体浸润线的变化规律,如图1所示,在试验槽内沿尾矿库的纵向主剖面位置预先埋设了

7根地下水位测量管,以测量尾矿坝浸润线位置。

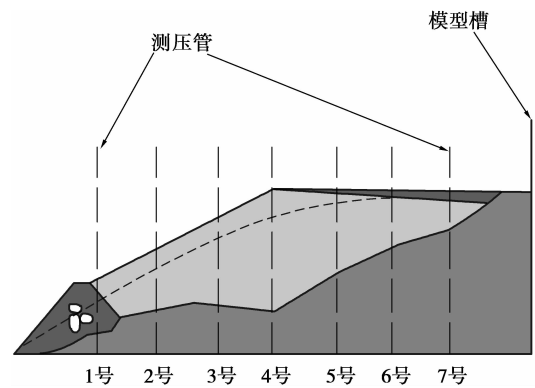


图1 地下水测压管分布示意图

当尾矿坝堆积到预定标高后,往库内放水,抬高库内水位,使尾矿库达到洪水状态,即干滩面长度为35 cm(相当于现场的70 m),如图2所示。保持库内水位处于洪水状态,并稳定数小时后,且测压管的水位处于稳定状态,这时记录各测压管水位,即认为这就是洪水情况下该处浸润线的位置。之后,将库内水位降到正常情况下的水位,即干滩面长75 cm(相当于现场150 m的干滩长度),稳定后再测量测压管的水位,认为是正常情况下的浸润线的位置。按照上述步骤,反复试验三四次,以保证试验数据的可靠性,结果如表1所示。



图2 堆坝模型在洪水工况下的情况

表1 不同工况下测水管的水位 cm

干滩面 长度	测水管的水位						
	1号	2号	3号	4号	5号	6号	7号
35.0	23.0	38.0	49.0	53.8	55.9	55.8	55.8
75.0	18.7	33.2	44.7	49.9	52.3	52.3	52.4

2.2 试验结果及分析

将测试的结果绘制成图,如图3所示,横坐标表

示以初期坝外坡与地表的交线为原点、沿干滩面往库内方向的距离,纵坐标为浸润线的高度。从该图可以看出:

1) 浸润线形态与其他类似尾矿库的现场测定结果基本相同,说明试验结果可靠。

2) 洪水状态下浸润线的形态与正常工况下相似,但在坝体相同位置处,比正常情况下的浸润线要高,最大高度差值为 4.8 cm,相当现场 9.6 m,这对坝体在洪水工况下的稳定影响非常大。因为在工程实际中,浸润线每升高 1.0 m,可使坝体稳定系数减少 0.05 左右,甚至更多^[15]。

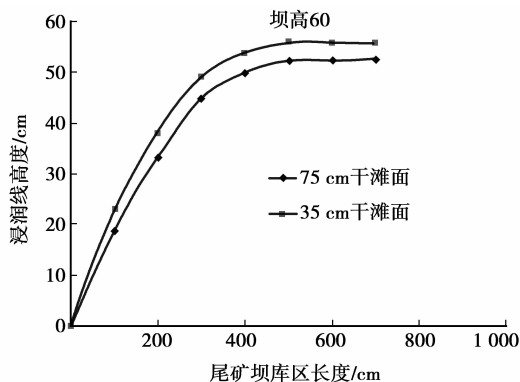


图 3 浸润线在不同工况下的变化情况

3 尾矿坝稳定性分析

3.1 坝体结构和尾矿的物理力学性质

将堆坝模型试验获得的尾矿坝体结构以及不同工况下浸润线的位置等资料作为基础,通过概化处理,把整个尾矿坝划分为 5 种材料区,即初期坝的堆石体、尾粉砂、尾粉土、尾水和基底(见图 4)。基底为相对比较好的岩土,因此计算中未考虑,其他材料的物理力学性质分别通过土工试验获得,具体见表 2。

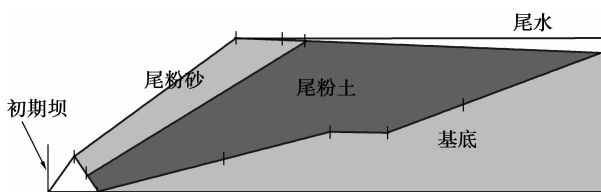


图 4 尾矿坝稳定性计算材料分区

表 2 坝体各材料的物理力学指标

材料名称	容重 γ / (kN · m ⁻³)	抗剪强度		渗透系数 (垂直 K _v) / (cm · s ⁻¹)
		粘聚力 C / kPa	内摩擦角 φ / (°)	
尾粉砂	20.0	2.8	25.2	9.5×10^{-4}
尾粉土	18.5	6.4	26.4	3.6×10^{-4}
初期坝	20.58	0	38.0	2.7×10^{-3}
尾水	9.8	0	0	

3.2 尾矿坝稳定性分析

秧田管尾矿库属于山谷型,根据库区地形和尾矿堆积坝的形状,沿着主沟 A-O-A 剖面作为计算剖面(见图 5),进行稳定性计算。

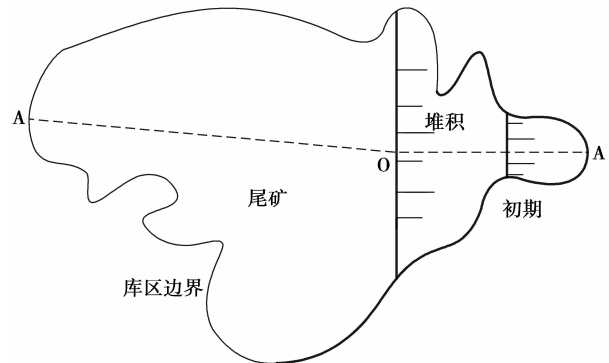


图 5 计算剖面(A-O-A)在库区内的平面位置

按照《选厂尾矿设施设计规范》(ZBJ-90)^[16]规定的方法,采用极限平衡法中的瑞典圆弧法对坝体稳定性进行计算。

计算软件为加拿大的 Slide5.0 软件,计算工况为正常工况和洪水工况 2 种。每种工况下的坝体浸润线和坝体材料分区等结构均按照上述模型实验的测试结果来建造。

3.3 尾矿坝稳定性计算结果

不同工况下坝体稳定计算结果见表 3。正常工况和洪水工况下坝体最小稳定系数的潜在滑弧的位置见图 6、7。

表 3 尾矿坝稳定性计算结果

运行状态	计算方法	A-O-A 剖面 稳定系数	规范值 (二等库)	结论
正常	瑞典法	1.366	1.25	满足规范要求
	毕肖普法	1.536		
洪水	瑞典法	1.142	1.15	不满足规范要求
	毕肖普法	1.270		

目前模型试验堆积的尾矿坝高度为 120m,库容小于 $1.0 \times 10^8 \text{ m}^3$,根据规范要求,两者相差一等,故仍按照二等库考虑。从表 3 及图 6、7 中可以看出:尾矿库在正常情况下,稳定系数满足规范要求,但在洪水情况下,稳定系数小于规范要求值。因此,需要对尾矿库的初步设计进行调整,一是降低原设计坝高;二是采取排渗措施降低洪水工况下的浸润线,保证洪水工况下尾矿坝的稳定系数满足规范要求。

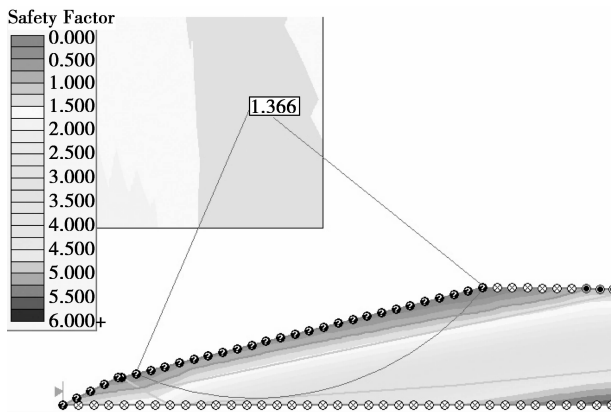


图6 A-O-A剖面正常情况下潜在滑移面的位置

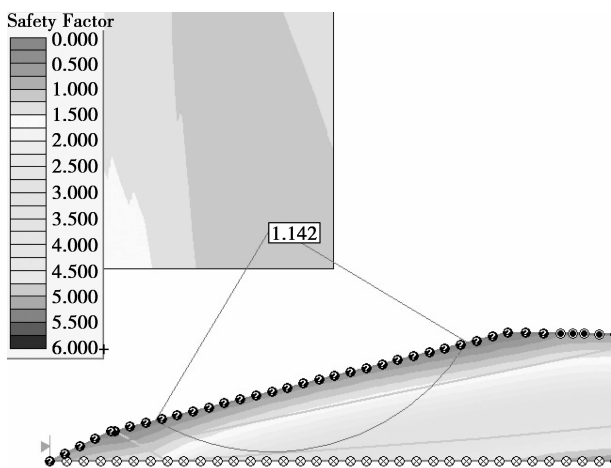


图7 A-O-A剖面洪水情况下潜在滑移面的位置

4 结 论

1)通过室内堆坝模型试验,获得洪水状态下坝体浸润线的变化规律。

2)以堆坝模型试验测试结果为基础,采用极限平衡法对该尾矿库尾矿坝的稳定性进行了计算,结果显示,正常状态下坝体稳定安全系数为1.366,大于国家规范值,即坝体是安全的。洪水状态下坝体稳定安全系数为1.142,小于国家规范值,即坝体处于不安全状态。因此,需要对原初步设计进行调整或采取其他措施,确保尾矿库安全。

3)笔者采用的试验方法、试验模型及洪水工况下尾矿库的浸润线变化规律等,可为类似尾矿库的相关研究提供借鉴。

参考文献:

[1] 郑欣,秦华礼,许开立. 导致尾矿坝溃坝的因素分析[J]. 中国安全生产科学技术,2008,4(1):51-54.
ZHANG XIN, QIN HUA-LI, XU KAI-LI. Analysis of the factors inducing the tailing dam falling [J].

Journal of Safety Science and Technology, 2008, 4(1): 51-54.

- [2] 尹光志,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.
- [3] 张力霆,周国斌,谷芳,等. 库区水位急剧变化对尾矿库坝体稳定的影响[J]. 金属矿山,2008(8):119-122.
ZHANG LI-TING, ZHOU GUO-BIN, GU FANG, et al. Influence of the rapidly changing reservoir level on the stability of tailing dam[J]. Metal Mine, 2008(8): 119-122.
- [4] 李全明,王云海,张兴凯,等. 尾矿库溃坝灾害因素分析及风险指标体系研究[J]. 中国安全生产技术,2008,4(3):50-54.
LI QUAN-MING, WANG YUN-HAI, ZHANG XING-KAI, et al. Analysis of disastrous factors concerning tailing dam failing and research on risk index system[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2008, 4(3):50-54.
- [5] WANG F Y, XU Z S, YANG K T, et al. Prelatic surface matrix method for stability analysis of tailing dam[J]. Progress in Safety Science and Technology, 2008(7):1773-1779.
- [6] 王飞跃,杨铠腾,徐志胜,等. 基于浸润线矩阵的尾矿坝稳定性分析[J]. 岩土力学,2009,30(3):840-844.
WANG FEI-YUE, YANG KAI-TENG, XU ZHI-SHENG, et al. Stability analysis of tailings dam based on saturation line matrix[J]. Rock and Soil Mechanics, 2009, 30(3):840-844.
- [7] BRIGGEN P M, BLOCKEN B, SCHELLEN H L. Wind-driven rain on the facade of a monumental tower: Numerical simulation, full-scale validation and sensitivity analysis [J]. Building and Environment, 2009, 44(8):1675-1690.
- [8] LI F Q, WANG X N, YU X L. A new optimization method of constitutive equation for hot working based on physical simulation and numerical simulation[C]// 5th International Conference of Physical and Numerical Simulation on Materials Processing, Oct. 03-27, 2007, Zhengzhou, China. Zhengzhou:[s. n.], 2007: 402-407.
- [9] 石守亮,于泳,冉勇康,等. 南水北调西线工程断裂位移动随深度变化的数值模拟研究[J]. 岩石力学与工程学报,2005,24(20):3646-3650.
SHI SHOU-LIANG, YU YONG, RAN YONG-KANG, et al. Numerical simulation on fault displacement changing with depth in west route of south-to-north water transfer project[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(20):3646-3650.
- [10] KEALY C, BUSCH R. Determining seepage characteristics of mill tailings dams by finite element method[R]. United States: Bureau of Mines, 1970.

(下转第86页)

- technology, 1980(1):16-19.
- [5] ALEXEEVA A D, REVVA V N, ALYSHEV N A, et al. True triaxial loading apparatus and its application to coal outburst prediction[J]. *International Journal of Coal Geology*, 2004, 58(4):245-250.
- [6] LI S, ZHANG H W. Pattern recognition and forecast of coal and gas outburst [J]. *Journal of China University of Mining and Technology*, 2005, 15(3):251-254.
- [7] CAO Y X, HE D D, GLICK D C. Coal and gas outburst in footwalls of reverse faults[J]. *International Journal of Coal Geology*, 2001, 48(2):47-63.
- [8] DIAZ A, MARIA B, GONZALEZ N C. Control and prevention of gas outbursts in coal mines, Riosa-Olloniego coalfield, Spain [J]. *International Journal of Coal Geology*, 2007, 69(4):253-266.
- [9] 刘保县, 鲜学福, 姜德义. 煤与瓦斯延期突出机理及其预测预报的研究[J]. *岩石力学与工程学报*, 2002, 21(5):647-650.
- LIU BAO-XIAN, XIAN XUE-FU, JIANG DE-YI. Research on the mechanism and prediction of delay outburst of coal and gas[J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2002, 21(5):647-650.
- [10] XU T, TANG C A, YANG T H, et al. Numerical investigation of coal and gas outbursts in underground collieries [J]. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2006, 43(6):905-919.
- [11] 许江, 陶云奇, 尹光志, 等. 煤与瓦斯突出模拟试验台的研制与应用[J]. *岩石力学与工程学报*, 2008, 27(11):2354-2362.
- XU JIANG, TAO YUN-QI, YIN GUANG-ZHI, et al. Development and application of coal and gas outburst simulation test device [J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2008, 27(11):2354-2362.
- [12] 蒋承林. 煤壁突出孔洞的形成机理研究[J]. *岩石力学与工程学报*, 2000, 19(2):225-228.
- JIANG CHENG-LIN. Study on forming mechanism of coal outburst hole [J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2000, 19(2):225-228.
- [13] 牛国庆, 颜爱华, 刘明举. 煤与瓦斯突出过程中温度变化的实验研究[J]. *西安科技学院学报*, 2003, 23(3):245-248.
- NIU GUO-QING, YAN AI-HUA, LIU MING-JU. Experimental study on temperature variation of coal and gas outburst[J]. *Journal of Xi'an University of Science and Technology*, 2003, 23(3):245-248.
- [14] 郭立稳, 俞启香, 蒋承林, 等. 煤与瓦斯突出过程中温度变化的实验研究[J]. *岩石力学与工程学报*, 2000, 19(3):366-368.
- GUO LI-WEN, YU QI-XIANG, JIANG CHENG-LIN, et al. Testing study on variation of coal temperature during the process of coal and gas outburst[J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2000, 19(3):366-368.
- [15] 郭立稳, 俞启香, 王凯. 煤吸附瓦斯过程温度变化的试验研究[J]. *中国矿业大学学报*, 2000, 29(3):287-289.
- GUO LI-WEN, YU QI-XIANG, WANG KAI. Experimental study on change in coal temperature during adsorbing gas[J]. *Journal of China University of Mining and Technology*, 2000, 29(3):287-289.

(编辑 王维朗)

~~~~~

(上接第75页)

- [11] 刘杰, 谢定松, 崔亦昊. 江河大堤双层地基渗透破坏机理模型试验研究[J]. *水力学报*, 2008, 39(11):1211-1220.
- LIU JIE, XIE DING-SONG, CUI YI-CHEN. Failure mechanism of seepage in levees with double-layer foundation[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2008, 39(11):1211-1220.
- [12] WANG H P, LI S C, ZHANG Q Y. Model test and numerical simulation of overload safety of forked tunnel [J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2008, 29(9):2521-2526.
- [13] ZHU H H, YIN J H, ZHANG L, et al. Deformation monitoring of dam model test by optical fiber sensors [J]. *Rock Mechanics and Engineering*, 2008, 27(6):1188-1194.
- [14] QU G, GUO X L, LONG C P, et al. Study on time scale distortion problem in sediment model test [J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2007, 38(11):1318-1323.
- [15] 范恩让, 史剑鹏. 尾矿堆积坝安全稳定性因素分析及对策[J]. *金属材料与冶金工程*, 2007, 35(1):33-36.
- FAN EN-RANG, SHI JIAN-PING. Analysis and countermeasures of the security stability factors for the tailings dams [J]. *Metal Materials and Metallurgy Engineering*, 2007, 35(1):33-36.
- [16] 中华人民共和国建设部. 选矿厂尾矿设计规范(ZBJ—90)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1991.

(编辑 王维朗)