

文章编号: 1000-582X(2012)07-089-05

中线法尾矿坝地下渗流场的数值模拟

魏作安^{a,b,c}, 陈宇龙^{a,b}, 李广治^{a,b}

(重庆大学 a. 煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室; b. 资源及环境科学学院;
c. 复杂煤气层瓦斯抽采国家地方联合工程实验室, 重庆 400044)

摘要: 利用 2D-FLOW 计算软件, 针对羊拉铜矿中线法尾矿库在不同条件下的渗流进行了模拟计算。其中, 坝体按照设置排渗系统和不设排渗系统两种情况考虑, 干滩面长度分别为 70 m(洪水状况)、100 m 和 300 m(正常状况)3 种情况考虑。通过计算获得了该尾矿库在不同条件下地下渗流的变化规律。计算结果显示, 采取坝体排渗措施, 能使坝体中的地下水顺利导出, 从而有效降低坝体浸润线的位置, 有利提高尾矿坝的稳定性。

关键词: 尾矿; 尾矿坝; 渗流场; 数值模拟; 中线法

中图分类号: TD853.34

文献标志码: A

Numerical simulation on the seepage of tailings dam by centerline method construction

WEI Zuocan^{a,b,c}, CHEN Yulong^{a,b}, LI Guangzhi^{a,b}

(a. State Key Laboratory of Coal Mine Disaster Dynamics and Control; b. College of Resource and Environmental Sciences; c. State and Local Joint Engineering Laboratory of Methane Drainage in Complex Coal Gas Seam, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: Yangla copper mine is going to build a new tailings pond for its tailings disposal. The tailings dam is 185.0 m high and centerline method is used to construct the tailings pond. For the stability of the tailings dam, 2D-FLOW program is used for the numerical simulation study about the dam seepage. During simulation calculation, different conditions which include a drainage system installed into the dam or not and different beach widths, i. e. 70 (the flood condition), 100, 300 m (the normal condition), are considered. Through calculation, the change of the seepage under different conditions is obtained, which shows if the drainage system is installed into the tailings dam, the underground water can be successfully drained out. This can keep the phreatic surface level relatively low, so as to improve the stability of the dam.

Key words: tailings; dams; seepage; computer simulation; centerline method

尾矿坝地下渗流是影响坝体稳定一个非常重要的因素^[1-5]。据统计资料分析显示, 在全世界诸多尾矿库灾害事故中, 因为管涌和地下渗流造成的事故

占 10%^[6]。同时, 有研究成果表明, 浸润线位置的高低对尾矿坝的稳定性影响非常大, 基本上每升高 1.0 m, 坝体的稳定系数降低 1.2%~2.5%^[7]。因

收稿日期: 2012-02-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51074199); 高等学校博士学科点专项科研基金(200806110012)

作者简介: 魏作安(1965-), 男, 重庆大学教授, 主要从事金属矿开采、尾矿库、滑坡灾害防治等方面的研究,
(E-mail)jiangxi315@163.com。

此,中国尾矿库设计明文规定了尾矿坝应进行渗流计算,以确定坝体浸润线、逸出坡降和渗流量^[8]。在尾矿库的生产管理中,应设立坝体地下水位监测系统,并加强日常观测^[9]。由于中国有 90% 的矿山是采用上游法堆积尾矿库,针对上游法堆积尾矿库(坝)的研究较多,而中线法堆坝的则较少^[10]。因此,笔者以羊拉铜矿中线法堆积尾矿坝为案例,利用数值模拟,针对该尾矿库在不同工况下,坝体渗流场进行计算分析,以便更好地指导该尾矿库的设计与日后的安全生产管理。

1 中线法尾矿库概况

羊拉铜矿位于云南迪庆州金沙江西岸,是一座以铜为主的多金属大型矿山,目前探明的铜金属资源量为 100~130 万 t。该矿山已被云南省发改委列入云南省“双百”重点建设工程。根据矿山规划,该矿选厂设计总规模为 4 000 t/d,选厂服务年限约为 15 年。根据矿区地形条件,选择位于选厂东南的里农大沟做为矿山唯一的尾矿库库址。

由于库区设计地震设防烈度为 8 度,因此,按照规范要求^[8],该尾矿库宜采用中线法堆坝。按照初步设计,该尾矿库的设计总库容 $8.10 \times 10^7 \text{ m}^3$,总坝高 185.0 m;其中,初期坝为透水堆石坝,坝高 22.0 m,坝顶宽 6.0 m,外坡比为 1:2.75,内坡比为 1:2.0。尾矿筑坝方式为中线法,坝外坡为 1:3.0,子坝高度为 10.0 m,坝顶宽 20.0 m。并要求用于堆坝的尾矿中,粒径大于 +200 目(0.074 mm)的粗颗粒含量不得小于 75%。库内采用坝下排水管与库内排水井相结合的方式排水,共设置了 7 座排水井,如图 1 所示。

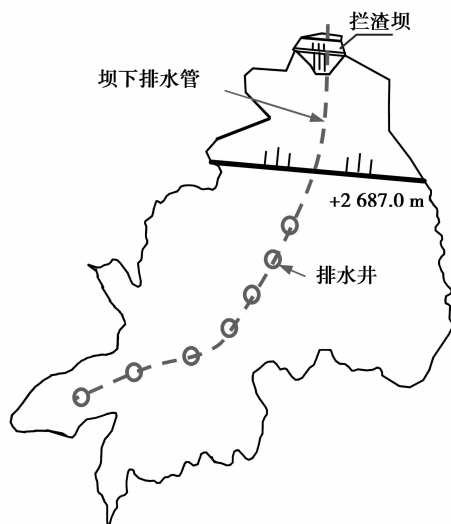


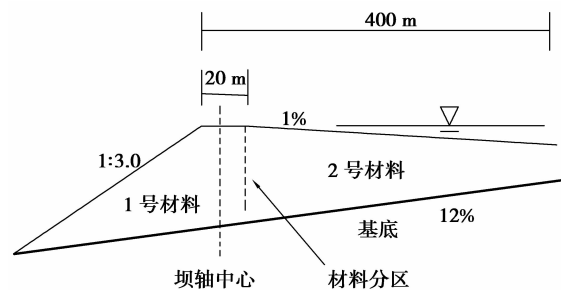
图 1 尾矿库平面图

为了确定浸润线的位置,为坝体稳定性分析提供基础信息,以及进行渗流稳定性分析,对于新建尾矿库只能采用模拟方法来实现。

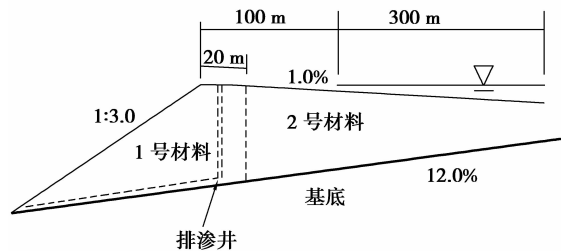
2 中线法尾矿坝渗流场模拟计算

2.1 坝体的几何模型与工况

正确的几何模型是保证计算结果真实有效的根本。根据中线法尾矿坝的设计资料,以及筑坝高度,来构造计算几何模型,具体如图 2 所示,计算最终坝顶标高为 +2 687.0 m,即尾矿坝坝高为 185.0 m。干滩面坡度按照 1.0% 考虑,基底坡面梯度按照地质地形剖面图中实际情况 12.0% 考虑。



(a) 坝体未设排渗系统纵剖面



(b) 坝体设排渗系统纵

图 2 坝体计算的几何模型

由于初期坝在整个坝体中占的比例非常小,因此,在剖面材料分区时未考虑,只是按照旋流分级排放的尾矿分成两个材料区考虑。分区界线按照一般的概化处理。库内计算范围按照 400.0 m 考虑。

模拟计算考虑的因素有:干滩面长度和坝体排渗系统设置。考虑的工况如图 3 所示,分为 6 种。其中,干滩面长度为 70.0 m,是洪水工况下规范中要求的最小值,100.0 m 和 300.0 m 则表示正常工况。

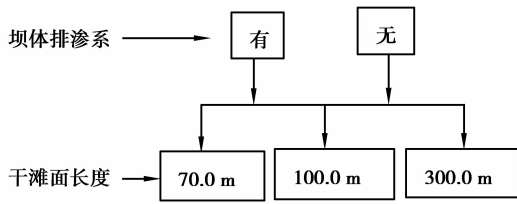


图 3 数值模拟计算工况

2.2 材料计算参数

如图 2 所示,坝体按照两种材料考虑,即 1 号材料为:0.074 mm 以上的粗尾矿,经颗粒分析为尾粉砂;2 号材料为:0.074 mm 以下的细尾矿,颗粒分析为尾粉土。库底为基岩,计算时按照不透水层考虑。经现场取样室内试验测试,各尾矿的物理力学参数见表 1。

表 1 尾矿的物理力学指标实测值

土层名称	土的重度 /(kN·m ⁻³)	抗剪强度		渗透系数 /(cm·s ⁻¹)
		C/kPa	φ/(°)	
尾粉砂①号	19.11	3.10	30.42	8.14×10 ⁻⁴
尾粉土②号	19.11	13.70	27.90	6.61×10 ⁻⁴
基岩	21.5	—	—	—

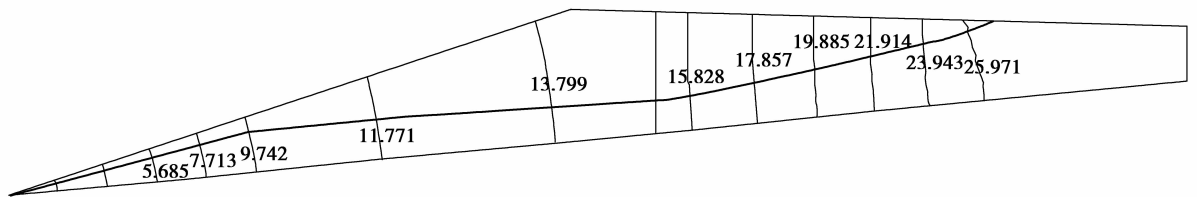
2.3 模拟计算与结果分析

采用 2D-Flow 软件进行模拟计算。地下渗流的计算方法与手段很多^[11-15],但利用 2D-FLOW 软件比较方便简洁。该软件是一个岩土体二维渗流有限元分析软件。将上述计算模型和材料参数按照程序要求输入计算机,先是划分网格,然后进行数值计算。计算结果如图 4 和图 5 所示。

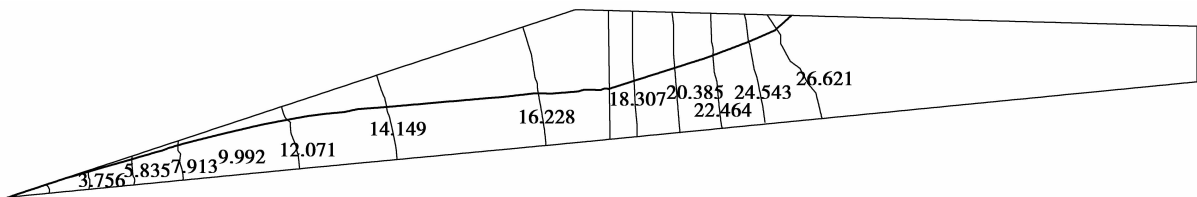
从这些计算结果中可以得出:

1) 不设坝体排渗系统,随着干滩面长度的减小,坝体浸润线会逐渐抬升,尤其在洪水工况下,会出现浸润线与坝坡相交的局面(图 4(c)),表明有地下水从坝坡渗出,这不仅对坝体的稳定性极为不利,而且可能会产生管涌,造成溃坝。

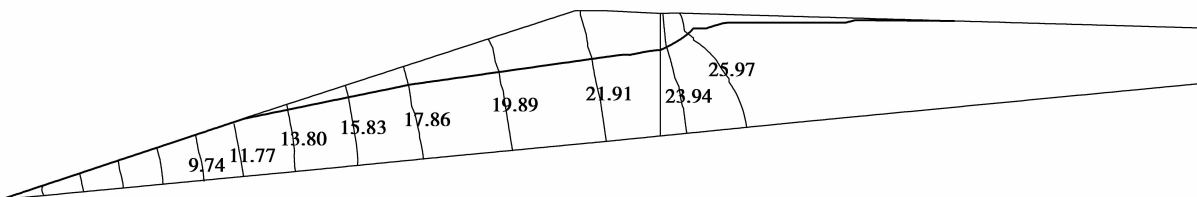
2) 采用坝体排渗措施后,坝体浸润线位置得到了很大的改观,无论是正常情况还是洪水工况,浸润线与坝坡面相距很远,不会出现与坝坡面相交的现象,因而不会产生渗透稳定性问题,对坝体的稳定非常有利。



(a) 干滩面长300.0 m时的全水头等值线图



(b) 干滩面长100.0 m时的全水头等值线图



(c) 干滩面长70.0 m全水头等值线图

图 4 不同干滩面长度未设坝体排渗系统渗流情况

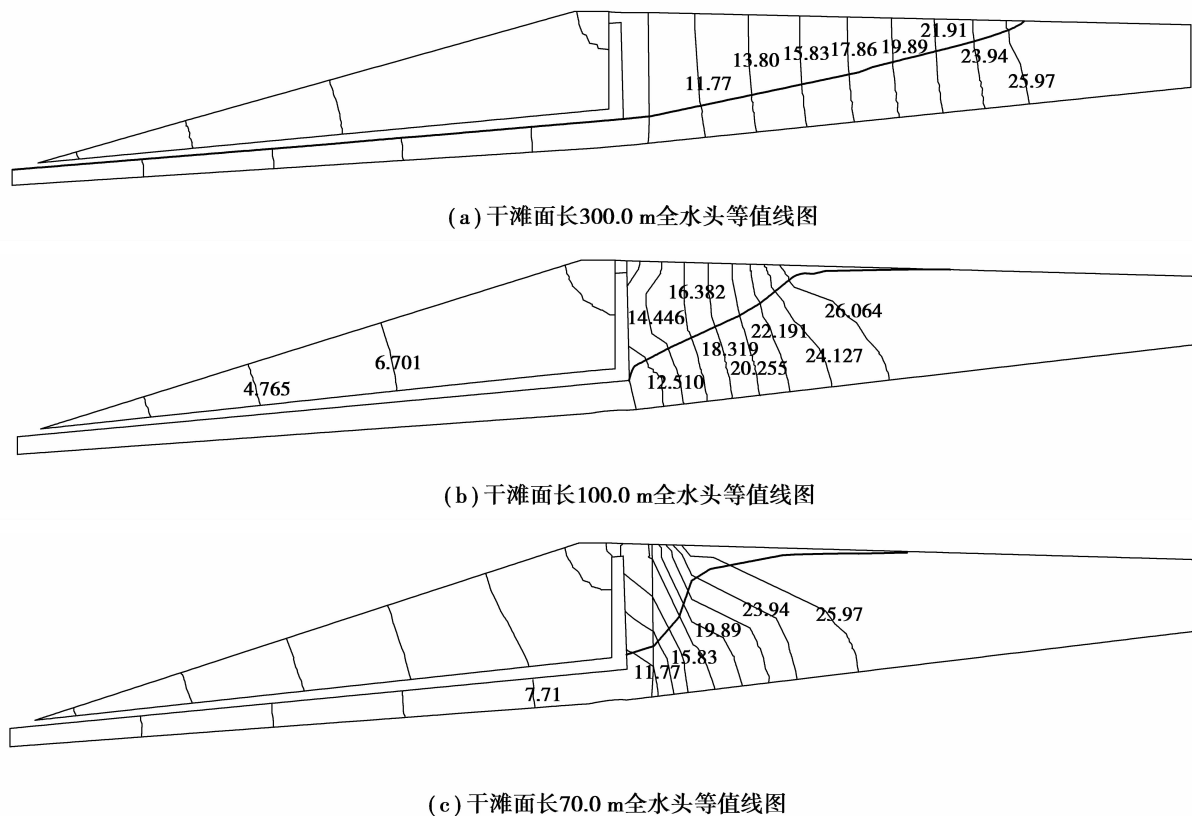


图 5 不同干滩面长度设有坝体排渗系统渗流情况

2.4 尾矿坝的稳定性计算

按照《选矿厂尾矿设施设计规范》(ZBJ-90)^[8]规定的计算方法,即瑞典圆弧法,采用加拿大 Rocscience 公司的 Slide5.0 版软件,对坝体的稳定性进行计算。结果显示,特殊工况(即最危险)下坝体稳定系数为 1.070,大于上述规范中的规定值(1.05),坝体的稳定性满足规范要求。

3 结 论

尾矿坝的浸润线是尾矿库的生命线。而浸润线是尾矿坝地下渗流场的一个重要组成部分,为确保尾矿库的生产安全,必须开展尾矿坝地下渗流场的研究。利用数值模拟可以初期确定新建尾矿坝渗流场的变化规律。针对羊拉铜矿尾矿库地下渗流场的的数据计算,可以得出:

坝体排水系统对坝体地下渗流场的影响非常大;为防止尾矿坝出现坡面溢出和管涌等情况,必须设置坝体排水措施,降低坝体浸润线的位置;当然,降低库内水位,增加干滩面长度也能降低浸润线的位置,有利于尾矿坝的稳定。

由于是采用数值模拟,计算条件比较理想,与实际情况会有差异。因此,在尾矿库的实际生产管理

中,应加强现场地下水位监测,找出浸润线位置的变化规律,确保尾矿库安全运行。

参考文献:

- [1] Rico M, Benito G, Díez herrero A. Flood from tailings dam failures [J]. Journal of Hazardous Materials, 2008, 154(1/2/3): 79-87.
- [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] Dixon hardy D W, Engels J M. Guidelines and recommendations for the safe operation of tailings management facilities [J]. Environmental Engineering Science, 2007, 24(5): 625-637.
- [4] Jeyapalan K. Analyses of flow failures of mine tailings impoundments [D]. Berkeley, USA: University of California, 1980.
- [5] Zandarin M T, Oldecop L A, Rodriguez R, et al. The role of capillary water in the stability of tailing dams [J]. Engineering Geology, 2009, 105(1/2): 108-118.
- [6] Rico M, Benito G, Salgueiro A R, et al. Reported tailings dam failures: a review of the European incidents in the worldwide context [J]. Journal of Hazardous Materials, 2008, 152(2): 846-852.
- [7] 《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.
- [8] 中华人民共和国国家建设部. ZBJ 1-90 选矿厂尾矿设施设计规范[S]. 北京:中国标准出版社,1990.
- [9] 中国有色工程设计研究总院,秦皇岛冶金设计研究总院. AQ 2006-2005 尾矿库安全技术规程[S]. 北京:煤炭工业出版社,2006.
- [10] 梁金建. 德兴铜矿四号尾矿库中线法堆坝生产实践[J]. 中国矿山工程,2008,37(1):5-17,46.
LIANG Jinjian. Production practice of using dumping dam in centre-line of Dexing No. 4 tailing pool [J]. China Mine Engineering, 2008, 37(1): 5-17, 46.
- [11] 苑莲菊. 工程渗流力学及应用[M]. 北京:中国建材工业出版社,2001.
- [12] 赵坚,沈振中. 尾矿坝复杂排水系统渗流计算方法的改进[J]. 河海大学学报,1997,25(2):110-113.
ZHAO Jian, SHEN Zhenzhong. Improvement of the calculation method of seepage of complex drainage system of tailings dam [J]. Journal of Hohai University, 1997, 25(2): 110-113.
- [13] 柳厚祥,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.
LIU Houxiang, SONG Jun, CHEN Kejun. Steady seepage analysis of 2D consolidation of tailing dams[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2002, 22(4): 8-10.
- [14] 谢春红,赵文良,张天岭. 地下水不稳定渗流达西速度计算新方法[J]. 岩土工程学报,1996,18(1):68-74.
XIE Chunhong, ZHAO Wenliang, ZHANG Tianling. A new method to calculate the Darcy's velocity of unstable seepage of underground water [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1996, 18(1): 68-74.
- [15] 李锡夔,范益群. 非饱和土变形及渗流过程的有限元分析[J]. 岩土工程学报,1998,20(4):20-24.
LI Xikui, FAN Yiqun. Finite element analysis of deformation and seepage process in unsaturated soils [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1998, 20(4): 20-24.

(编辑 王维朗)

~~~~~

(上接第66页)

- [10] Zhou X S, Luo X J, Peng Z W. Congestion management ensuring voltage stability under multicontingency with preventive and corrective controls [C]//Proceedings of the 2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting-Conversion and Delivery of Electric Energy in the 21st Century, July 20-24, 2008, Pittsburgh, PA, USA. [S. l.]: IEEE Press, 2008: 1-8.
- [11] Taylor C W. Power system voltage stability [M]. New York: McGraw-Hill Inc., 1994.
- [12] 国家电网公司. 电力系统安全稳定导则[EB/OL]. (2005-01-19) [2010-12-01]. <http://www.sgcc.com.cn/fgbz/dwbzgf/37314.shtml>.
- [13] Li W Y, Yu J, Wang Y, et al. Method and system for real time identification of voltage stability via identification of weakest lines and buses contributing to power system collapse: USA, 7816927 [P]. 2010-10-19.
- [14] 吴际舜. 电力系统静态安全分析[M]. 上海:上海交通大学出版社,1985.
- [15] 余娟. 无功优化新模型和算法研究及其在电压稳定风险评估中的应用[D]. 重庆:重庆大学,2007.
- [16] Granville S, Mello J C O, Melo A C G. Application of interior point methods to power flow unsolvability [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1996, 11(2): 1096-1103.

(编辑 王维朗)