

尾矿库回采方案安全设计及管理

闫鹏

中蓝长化工程有限公司, 湖南 长沙 410116

DOI:10.61369/ME.2025050022

摘 要： 为了解决尾矿库回采过程中的安全问题，本文首先介绍了工程概况，然后详细阐述了安全设施设计，包括尾矿坝、挡水坝、防排洪设施、监测设施及干式尾砂安全措施等，最后提出了安全管理要求，包括安全机构设置、尾矿库回采安全生产管理、安全度汛、应急管理、及主要控制指标等。通过全面细致的设计与规划，为尾矿库回采工程的安全实施提供了有力保障和技术参考。

关 键 词： 尾矿库；销库回采；坝体稳定性

Safety Design and Management of Tailings Pond Recovery Schemes

Yan Peng

Zhonglan Changhua Engineering Co., LTD, Changsha, Hunan 410116

Abstract： To address the safety issues during the tailings pond mining process, this paper first provides an overview of the project, then elaborates in detail on the design of safety facilities, including tailings DAMS, retaining DAMS, flood control and drainage facilities, monitoring facilities, and safety measures for dry tailings, etc. Finally, it puts forward safety management requirements. This includes the establishment of safety institutions, safety production management for tailings pond mining, safe flood control, emergency management, and key control indicators, etc. Through comprehensive and meticulous design and planning, it provides a strong guarantee and technical reference for the safe implementation of the tailings pond mining project.

Keywords： tailings pond; inventory clearance and procurement; stability of the dam body

引言

尾矿库安全是矿山企业持续运营和周边居民生命财产安全的重要保障，尤其在矿产资源开发利用日益增长的背景下，尾矿库的安全管理显得尤为重要。然而，尾矿库的复杂地形、地貌及尾砂特性给其安全管理带来了巨大挑战。因此，科学合理地设计尾矿库安全设施，提升尾矿库防洪、排洪及坝体稳定性，是实现尾矿库安全运行的关键。其中，综合应用多种安全设施和技术手段，形成系统性的安全保障体系，对于提高尾矿库整体安全水平具有重要意义。

一、工程概述

案例项目位于湖南省株洲市茶陵县高陇镇境内。南距高陇镇约10km，西距茶陵县约50km，交通较便利。该尾矿库地貌单元属低山地貌单元，地势总体西高东低，海拔234 ~ 679m。地形坡度较陡，尾矿库左岸斜坡角度一般为 28° ~ 35° ，局部地段达到 45° ；右岸斜坡坡角一般为 30° ~ 35° ，地形切割中等。沟谷呈“U”字型，山顶呈次棱—次圆山脊，山坡形态一般呈直线形或凸形。山体基岩零星出露，第四系覆盖厚度较厚，植被较为茂密，覆盖率达80%以上，多为灌木丛。

二、安全设施设计

（一）尾矿坝

1. 初期坝

尾砂回收完成后该尾矿库仅剩下初期坝，对浆砌石坝及压坡体进行保留，但是库内已经没有尾砂。

2. 堆积坝

回采过程中堆积坝坝坡排水沟、位移监测点、浸润线观测孔和绿化设施相应拆除，外坡覆土可运至指定区域堆存，回采结束后可用于尾矿库复垦。回采工程完成后，尾矿库堆积坝不复存

在^[1]。

3. 拦洪坝

在库尾已经垮塌的浆砌石挡墙位置新建 C20 混凝土拦洪坝，拦洪坝坝顶标高 349.0m，坝底标高 343.0m，坝高 6.0m，上游坡比 1:0.2，下游坡比 1:0.5，顶宽 1.5m，坝轴线长 46.0m。

拦洪坝清基至中风化层，在该拦洪坝上游坡脚及两侧山坡设混凝土齿槽，齿槽深度为 1.0m，齿槽两侧边坡均为 1:0.5，底宽 1.0m。

4. 尾矿坝稳定安全分析

(1) 尾矿坝渗流计算方法

渗透计算选用有限单元法，设置边界条件，计算浸润线位置、坝体和坝基的渗流量。

有限单元法是用有限个单元的集合体代替连续的渗流场，单元间的结合点称结点。选择简单的函数关系近似地表示单元上的水头分布，最后解得渗流场节点处满足一定精度的水头值^[2]。

(2) 计算软件及参数选取

计算软件采用 Autobank 水工结构分析系统，主要用于分析不同工况运行时的浸润线及出口渗透坡降，岩土层所采用的渗透系数根据勘察报告物理力学性质指标取得，计算参数见表 1。

表 1 渗流分析渗透系数表

岩土名称	水平渗透系数 (cm/s)	垂直渗透系数 (cm/s)
尾中砂	6.0×10 ⁻³	3.0×10 ⁻³
尾粉砂	4.0×10 ⁻⁴	2.0×10 ⁻⁴
尾粉土	6.0×10 ⁻⁵	3.0×10 ⁻⁵
尾粉质黏土	2.0×10 ⁻⁶	1.0×10 ⁻⁶
碎块石压坡体	1.8×10 ⁻¹	9.0×10 ⁻²
粉砂	1.6×10 ⁻²	8.0×10 ⁻³
碎石	2.0×10 ⁻³	1.0×10 ⁻³
强风化砂岩	2.0×10 ⁻⁶	1.0×10 ⁻⁶
中风化砂岩	2.0×10 ⁻⁶	1.0×10 ⁻⁶
全风化花岗岩	2.0×10 ⁻⁶	1.0×10 ⁻⁶

(3) 坝体渗流稳定分析

尾矿库现状正常运行工况下浸润线取工程地质勘察报告提供的浸润线，洪水工况下坝体的浸润线通过计算求得。

正常运行工况和洪水运行工况下的坝体浸润线见坝体稳定计算简图，渗流计算分析表明堆积坝坡的浸润线不会在堆积坝坝坡逸出，堆积坝的渗透安全可满足要求。

(二) 挡水坝稳定计算

挡水坝的稳定安全系数参照《砌石坝设计规范》(SL25-2006)，在本文中见表 2 抗滑稳定安全系数^[3]。挡水坝稳定计算方法采用抗剪方法，坝体与地基的摩擦系数为 0.5。

表 9 调洪演算分析表

洪水频率	坝顶标高 (m)	死水位 (m)	洪峰流量 (m³/s)	最大下泄流量 (m³/s)	最高洪水位 (m)	调洪库容 (m³)	调洪水深 (m)	安全超高 (m)	干滩长度 (m)
P=0.2%	329.0	327.0	14.32	7.4	328.19	15481	1.19	0.81	70.0
P=0.2%	295.0	293.0	14.32	10.31	294.49	8706	1.49	0.51	51.0

表 2 抗滑稳定安全系数

安全系数	计算方法	荷载组合	2、3 级坝
K'	抗剪断	基本	3.00
		特殊 1	2.50
		2	2.30
		基本	1.05
K	抗剪	特殊 1	1.00
		2	1.00

尾矿库抗滑稳定安全系数为 1.19，抗倾覆稳定安全系数为 1.95，压应力为 103.192Kpa，拉应力为 0，因此该挡水坝可以满足规程、规范要求。

在坝体清基过程中，应根据实际情况决定清基深度，具体应清至中风化基岩 0.5m，且表面应做混凝土垫层，垫层厚度 0.5m。

(三) 防排洪设施

尾矿库构筑物的级别见表 5。

表 5 尾矿库构筑物的级别

等 别	构 筑 物 的 级 别		
	主要构筑物	次要构筑物	临时构筑物
一	1	3	4
二	2	3	4
三	3	5	5
四	4	5	5
五	5	5	5

该尾矿库为三等库，随着回采作业的进行，尾矿库等别由三等库变为四等库，本次回采全过程均按照 500 年一遇的防洪标准进行设计，尾矿库等别变化及防洪标准见表 6。

表 6 尾砂回采过程防洪标准

滩顶标高	尾矿库等别	防洪标准
345.0m-329.0m	三等库	500 年一遇
329.0m-库底	四等库	500 年一遇

(四) 库内防洪分析

1. 库内调洪计算

回采期间的洪水计算见表 7。

表 7 尾砂回采过程洪水计算

汇水面积 (单位: km²)	排洪方式	尾矿库等别	防洪标准	洪峰流量 (m³/s)
库外 F=0.464	溢流井 + 拦洪坝 + 排水管 + 排洪隧洞	三等库	500 年一遇	17.56
库内 F=0.266	溢洪道		500 年一遇	14.32

回采期间尾矿库的防洪标准及管理要求见表 8 所示。

表 8 尾砂回采过程中防洪标准及管理要求

滩顶标高	尾矿库等别	洪水频率	干滩长度	安全超高
345.0m-329.0m	三等库	500 年一遇	70m	0.7m
329.0m-库底 269m	四等库	500 年一遇	50m	0.5m

该尾矿库回采过程中，尾矿库等别从三等库过渡到四等库，在三等库期间，滩顶标高为 329.0m 时调洪库容最小；在四等库期间，滩顶标高为 295.0m 时调洪库容最小，因此，回采期间防洪最不利滩顶标高分别为 329.0m 和 295.0m，本次回采期间只对这两个滩顶标高进行洪水计算。

从表9可以看出,该尾矿库库内排洪系统在整个回采过程中均能满足规程规范要求。

b)溢洪道洪水计算

根据新建溢洪道的断面尺寸,进行防洪分析。

a)进口段进水口宽度计算

进口段流态为堰流,故按照堰流进行水力计算。

堰型选用无底坎宽顶堰,堰上水头1.49m,坎宽由无坎宽顶堰流量公式计算:

$$b = Q / (m \varepsilon \sigma_s \sqrt{2gH_0^{3/2}})$$

式中: m —流量系数, $b/B \approx 0$ 时, $m=0.32$,因为单孔,无底坎宽顶堰的侧收缩系数已经考虑在流量系数中,可以不必再考虑收缩影响^[4]。

式中: m' —流量系数;

H_0 —堰上水头,忽略行进水头;

Q —下泄流量;

b —控制堰宽。

求得 $b=4.0\text{m}$,泄流能力 $11.02 \text{ m}^3/\text{s}$,可以满足进水口过流要求。

采用渐变流进行水力计算,得出进口段最大宽度4.0m,长10.0m,高1.5m,坡度13.5%,出口宽度为1.5m,出口高度为1.5m,可以满足进水口过流要求^[6]。

2.明渠段计算

明渠段按照明渠均匀流公式计算:

$$Q = AC\sqrt{Ri}$$

式中: Q —下泄流量;

A —过水断面面积;

R —水力半径;

i —底坡坡率,取1.0%。

明渠段净断面尺寸:形状为矩形,底宽为1.5m,高度为1.8m,坡比为1.0%。

溢洪道糙率系数 n 取混凝土的糙率系数0.016。

设计流量:

$$Q = 11.02 \text{ m}^3/\text{s} > 10.31 \text{ m}^3/\text{s}$$

故该明渠段可以满足规程规范要求。

(五) 监测设施

根据《尾矿库安全监测技术规范》(AQ2030-2010)要求:“四等及四等以上的尾矿坝,应设置坝体位移和坝体浸润线的观测设施”,本工程尾矿库属三等库,按要求需设置观测设施。

该尾矿库已经设置了在线监测设施,但是大部分的监测设施由于管理不到位已经被破坏。考虑到本次回采工程回采周期为8年,且回采完后该尾矿库已经不复存在,因此本次设计仅要求完善原有的人工监测设施,在回采的工作面和库内、库外排洪系统的进水口处分别设置一个摄像头,共设三个摄像头,实时监测采砂工作面。

在尾砂分层剥采的过程中,随着尾矿库滩顶标高和死水位标高的降低,依次拆除人工监测设施(浸润线观测管、坝体位移观

测点等)^[6]。

(六) 干式尾砂安全措施

1.工作面照明设施

为了保证夜间巡视以及尾矿库应急情况下的安全,在回采区域四周需设置探照灯,探照灯的间距不大于30m。

2.安全警示牌

在配电柜处设置“防止触电!”;在库区道路沿线醒目的地方设置“注意来车!”“限速20km/h”“连续急弯”;在回采区域入口处设置“无关人员禁止入内!”;在回采区域边缘设置“注意防止坠落!”;在溢洪道附近设置“本区域禁止施工设备进入!”;回采期间,需在采坑边沿附近放置“危险、请勿靠近!”等安全警示牌^[7]。

3.尾砂回采后的尾砂将运输至尾砂综合利用厂,运输距离较长,沿途可能会出现掉渣漏渣的现象,对环境造成污染,设计采取以下措施:要求选用专业渣土车,为了防止雨水冲刷,可在渣土车顶部设置雨棚,防止尾砂沿途撒落;在尾矿库的转运平台出口,设置一洗车坪^[8]。

4.尾砂回采过程中应对正在使用的排洪系统采取保护措施避免钢筋混凝土结构受到机械设备破坏,库内排洪系统两侧各15m范围内的尾砂不能采用机械回采。

5.尾砂回采过程中应保证库内两侧裸露边坡稳定性,局部欠稳可采用削坡、喷锚支护等方式进行治理。

6.回采作业过程中所有机械设备应保持与临空面至少3m的安全距离,以保证设备作业安全。

三、安全管理

(一) 安全机构及人员设置

原湘东钨矿4号尾矿库尾砂回采工程实施后,尾砂回采期间的安全管理由湖南省凯兴矿业有限公司负责。湖南省凯兴矿业有限公司负责需在现行尾矿库安全生产管理小组基础上补充管理人员,加强对尾矿库尾砂回采作业的安全管理。

管理单位应安排安全管理人员负责尾矿库和尾砂回采作业管理的具体技术工作,其人员应具备尾矿库安全管理方面的基本专业知识,掌握尾矿库尾砂回采设计文件及有关规定,熟悉国家或部门有关标准及规定、规范等^[9]。

尾矿库安全检查主要是定期进行浸润线和位移观测,在每年汛前、汛后对尾矿库的安全进行一次彻底的检查,以及当发生特大洪水、暴雨、强烈地震及重大事故灾害后,对尾矿库的安全状态进行的全面大检查。

尾砂回采的安全检查主要是对回采作业中,回采施工是否严格按照设计要求进行回采作业。

(二) 尾矿库回采安全生产管理要求

1.回采工程严格按照设计要求回采。

2.回采期间每年汛期前应进行防汛安全检查,发现异常,及时消除安全隐患。

3.回采期间应加强尾矿库及周边和尾矿回采区域的安全巡

视、检查和监测，做好安全生产记录，消除隐患^[10]。

4.企业应编制应急救援预案，并组织演练。

5.回采结束的尾矿库应进行复垦，恢复原有生态。

6.排洪构筑物安全检查主要内容：构筑物有无变形、位移、损毁、淤堵，排水能力是够满足要求等。

（三）应急管理

尾矿库应设置值班室及仓库，值班室供管理人员休息，仓库用于存放照明设施，通讯设备、水域救生器材、必要的工具和备用材料等，以便应急使用。公司应编制应急救援预案并组织抢险演练，做好排洪抢险的准备，避免发生重大安全事故。

四、结束语

综上所述，为保障该尾矿库在回采过程中安全稳定性，预防安全事故发生，应时刻掌握回采过程中尾矿坝及库内采坑边坡的安全状况，严格按设计要求进行回采，并加强坝体监测数据分析，定期对尾矿坝进行稳定性复核，从根本上预防安全事故的发生。

参考文献

[1]张恒瑜.某尾矿库尾矿开采方案研究[J].世界有色金属,2024,(10):80-82.
[2]张众华,曾霄祥,刘涛,等.某尾矿库库销库工程回采设计及稳定性研究[J].现代矿业,2024,40(02):92-95+99.
[3]肖容,韩追,袁利伟,等.尾矿库资源回采过程中坝体的稳定性分析[J].有色金属(矿山部分),2023,75(05):11-16.
[4]王新岩.尾矿库回采技术路线研究[J].中国矿业,2023,32(S1):55-57.
[5]刘斌,王迅,曾霄祥,等.某多雨地区尾矿库防洪安全及排洪能力研究[J].现代矿业,2023,39(04):206-209.
[6]张岳安、邓书申等,尾矿库内外联合合并防洪安全研究[J].科学技术与工程,2014,18:188-193。
[7]《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.
[8]张修照,陈章友,刘石桥,尾矿库工程洪水计算方法探讨[J].工程建设.2011.43(2):29-32.37.
[9]戚毅婷.尾矿库洪水计算方法的应用分析[J].科学技术与工程,2012.12(2):418-421.
[10]陈家琦,张恭肃,小流域暴雨洪水计算[M].北京:水利水电出版社,1985.