

尾矿库清污分流系统深入研究

李新宽 于晓斌 贾敏 苒勇 汪光平
华州区金堆城钼业股份有限公司矿山分公司
DOI:10.12238/eep.v8i5.2689

[摘要] 尾矿库作为矿业生产链的末端环境屏障,其环境风险管控能力直接关系到区域生态安全。本文深入探究了尾矿库清污分流当前主要采取的一些有效方式,旨在提升尾矿库的环境保护方面的管理水平和管理效能,避免和减少对周边环境可能带来的污染风险。通过对库尾或支沟拦洪坝、周边截水沟、排水隧洞等多种清污分流措施的详细分析,提出针对不同地质与气候条件下的尾矿库清污分流策略。同时,讨论过流能力的选择原则,确保清污分流系统的有效性和可靠性,为尾矿库的环境保护管理提供重要参考,助力矿业生产绿色可持续发展。

[关键词] 尾矿库; 清污分流; 环境管理; 拦洪坝; 截水沟; 排水隧洞; 过流能力

中图分类号: TV543+.3 **文献标识码:** A

In depth study on the separation system of tailings pond cleaning and sewage

Xinkuan Li Xiaobin Yu Min Jia Yong Chang Guangping Wang
Mine Branch of Huazhou Jinduicheng Molybdenum Industry Co., Ltd.

[Abstract] As the terminal environmental barrier in the mining production chain, tailings ponds' environmental risk control capabilities directly impact regional ecological security. This paper thoroughly investigates effective methods currently employed for contaminated-clean water separation in tailings ponds, aiming to enhance environmental protection management standards and efficacy while preventing and reducing pollution risks to surrounding areas. Through detailed analysis of measures such as flood retention dams at tail ends or tributary gullies, peripheral intercepting ditches, and drainage tunnels, tailored strategies for contaminated-clean water separation are proposed for diverse geological and climatic conditions. Concurrently, principles for selecting flow capacity are discussed to ensure system effectiveness and reliability. This research provides critical references for environmental management of tailings ponds, supporting green and sustainable development in mining production.

[Key words] Tailings pond; Contaminated-clean water separation; Environmental management; Flood retention dam; Intercepting ditch; Drainage tunnel; Flow capacity

引言

尾矿库作为矿产资源开发的末端环境屏障,也是矿山生产的核心环保设施,其污染防治成效直接关系到流域生态环境安全^[1-3]。据自然资源部统计,我国现存尾矿库超1.2万座,其中78%位于生态环境敏感区。暴雨径流引发的雨污混流已成为尾矿库环境污染的核心诱因。尾矿库是指筑坝拦截谷口或围地构成的,用以堆存金属或非金属矿山进行矿石选别后排出尾矿或其他工业废渣的场所,其中往往含有大量如重金属(铅、锌、镉等)、化学药剂等有害物质^[4,5]。若不进行妥善处理,如遇雨水冲刷导致尾矿中重金属离子迁移速率大大提升,这些有害物质会随着雨水冲刷、渗流等途径进入周边土壤和水体,对周边生态系统和居民健康造成严重威胁。

1 尾矿库清水导排的六大方式及设计考量

1.1 库尾或支沟拦洪坝

库尾或支沟拦洪坝是尾矿库清污分流的关键设施,通过拦截洪水、雨水及日常径流实现库外导排。其设计需综合地形与防洪能力:选址优先沟谷狭窄、地质稳定区域(如山区沟谷收口处),以降低建设成本并增强拦洪效果;高度与过流能力通过调洪演算确定,二等库需满足1000年一遇洪水标准,采用水文软件结合降雨、地形数据计算洪峰流量(Q),公式涉及暴雨强度(i)、径流系数(ψ)、汇水面积(F)等参数。结构形式分土石坝与混凝土坝,前者成本低但施工要求高,后者稳定耐久但造价高,实际选择需权衡成本与施工条件。动态调整机制与智能化监控可提升长期防洪可靠性。

表1 拦洪坝设计关键参数数据表

参数	计算公式	依据标准
设计洪峰流量 Q_m	$Q_m = 0.278 \cdot \psi \cdot i \cdot F$	根据《尾矿设施设计规范》(GB50863-2013)、《尾矿库安全规程》(GB39496-2020)及相关水文计算方法综合确定。

注：Q：设计洪峰流量(m³/s)； ψ ：洪峰径流系数(反映地表渗透能力)；i：设计暴雨强度(mm/h)；F：汇水面积(km²)。

1.2 周边截水沟

山谷型尾矿库截水沟是拦截周边地表水、实现清污分流的关键设施,通过防止雨水与洪水进入库区,保障坝体稳定及库区安全。其设置需结合地形与排洪需求,通常位于库区周边山坡与尾矿坝结合处或上沿线,并根据工程阶段动态调整。在地形起伏较大区域,需构建多条走向不同的截水沟形成完整网络,如柴家沟尾矿库通过4100米长、平均断面2.5×2.5米的截水沟布局,有效拦截山洪水。设计时需确保沟底坡度不小于0.3%以保证排水顺畅,收集的清水通过沟渠或管道导排至库外,地形平坦且距离近时优先采用沟渠,复杂或远距离则用管道。同时需设置检查井便于维护,确保排水畅通,最终实现清水与尾矿废水的分离管理。

1.3 排水隧洞

尾矿库排水隧洞指为安全排放尾矿库内积水和暴雨洪水而专门修建的地下通道型排水构筑物。它贯穿库区山体或坝基,以隧洞形式将库内水体定向导流至下游,防止水位过高导致溃坝事故。它的核心功能与必要性包括:防洪保安全,快速排出库内正常渗水及暴雨径流,控制库水位在安全标高以下。避免洪水漫顶引发尾矿坝失稳(占尾矿库事故的30%以上)。降低浸润线,减少库水对坝体的渗透压力,提升坝体抗滑稳定性。环保防污染收集并定向排放含杂质水体,减少尾矿水无序渗漏对土壤及地下水的污染风险。排水隧洞是一种在控制工程规模和工程投资方面具有显著优势的清水导排方式,适用于库尾或支沟拦洪坝及环库截排水沟收集的洪水、雨水及地表径流的导排。其结构组成需具备引导水流、稳定输水及消能防护功能(表2)。

表2 排水隧洞结构组成表

结构组成	功能
进口段	位于上游,作用为控制水流并引导进入洞体,通常含喇叭形进口、拦污栅及闸门等结构,确保水流平顺。
洞身段	主体部分,连接进口与出口,承担输水任务。根据地质条件可采用隧洞、涵管等形式,需具备足够的强度与抗冲刷能力。
出口段	位于下游,核心功能为消能减速,常设置挑坎、消力池等结构,避免高速水流直接冲击河床造成破坏。

排水隧洞位置需综合地形与工程需求:优先选择地质条件好、岩石完整的区域以降低施工成本,并确保走向与截水沟、拦洪坝有效衔接,保障水流顺畅导入(如漳州核电3、4号机组排水

隧洞)。共壁排洪隧洞设计时,需严格隔离库内排洪侧与清水导排侧,通过钢筋混凝土隔墙及防水处理避免渗漏;断面尺寸依据设计流量计算,同时配套通风、照明等设施以满足运维需求,最终实现清污分流与安全排放的双重目标。

1.4 库内清水排水井

库内清水排水井通过其辐射范围实现清水导排。通过设置排水井,可以将周边截水沟划分为不同区域,实现分批次、分区域修筑截水沟,提高工程灵活性和经济性。

排水井的位置和数量需根据库区地形和截水沟布局进行合理设置。在面积较大、地形复杂的尾矿库,可能需要设置多个排水井,以确保能够覆盖整个库区的清水收集需求。在确定排水井位置时,需考虑水流的流向和汇集情况,将排水井设置在水流容易汇聚的区域,提高排水效率。

利用排水井可以实现截水沟区域的灵活控制,有效降低工程难度和成本。例如,在地质条件复杂或征地困难的区域,可以通过调整排水井的位置和截水沟的布局,避开这些不利区域,减少工程施工难度。同时,排水井还可配备自动控制系统,根据水位高低自动控制排水,提高排水系统的智能化水平。

1.5 洞内排水渠

洞内排水渠适用于通往库外的尾矿输送及交通隧洞。当库内侧标高高于库外侧时,可以设置洞内排水渠对隧洞库内一侧相关区域的雨水进行收集和导排。

洞内排水渠的布局需根据隧洞结构和地形条件进行合理规划。在设计过程中,要充分考虑隧洞的坡度、宽度等因素,确保排水渠能够顺利收集和导排雨水。一般来说,洞内排水渠应设置在隧洞底部较低的一侧,且排水渠的坡度应与隧洞坡度相匹配,以保证水流顺畅。

为确保洞内排水渠能够有效发挥作用,需定期对其进行清理和维护,避免因杂物堆积导致排水不畅,进而对隧洞结构造成损害。同时,在排水渠的出口处,应设置沉泥井,用于沉淀雨水中携带的泥沙等杂质,防止堵塞下游排水系统。

2 过流能力选择原则

在尾矿库清污分流设施设计中,过流能力的选择至关重要。合理的过流能力可以确保清污分流系统的有效性和可靠性,降低洪水等极端天气对尾矿库的影响。尾矿库清污分流设计的过流能力选择需遵循以下原则。

2.1 库尾拦洪坝过流能力

库尾拦洪坝的过流能力应与尾矿库调洪演算进行统筹考虑。其系统过流能力必须与尾矿库整体防洪标准保持一致,如二等库需满足1000年一遇的洪水过流要求。在实际设计中,需运用水文分析模型,结合当地的历史降雨数据、流域面积等因素,准确计算洪水流量,从而确定拦洪坝的过流能力,确保在极端天气条件下,拦洪坝能够有效地拦截和导排洪水,保障尾矿库的安全。

2.2 截水沟和排水渠过流断面设计标准

截水沟和排水渠的过流断面设计标准应根据尾矿库环保分类进行差异化设置。对于I类一般工业固废,可以采用多年平均

24h暴雨标准;对于II类一般工业固废,适用十年一遇暴雨标准;对于危险废物,则需按百年一遇暴雨标准设计。这样的设计标准能够确保不同环保分类的尾矿库在面临不同降雨强度时,截水沟和排水渠都能够排水顺畅。

2.3 支沟拦洪坝和库内清水排水井过流能力

支沟拦洪坝和库内清水排水井的过流能力选择需结合支沟地形特征确定。对于具备建设条件的较大支沟,为应对更大的洪水流量,可以设置较高的过流能力;而受地形限制的小型支沟,则可以参照尾矿环保分类标准执行。在设计过程中,需对支沟的汇水面积、坡度、地质条件等进行详细勘察和分析,从而确定合理的过流能力,确保支沟拦洪坝和库内清水排水井能够有效发挥作用。

3 清污分流系统的综合考量与设计原则

在尾矿库清污分流系统的设计中,需要综合考量防洪能力、环保分类、地形地貌等多种因素。通过分类设计原则(按污染物等级匹配暴雨标准)和灵活调整策略(根据工程条件优化设施规模),可以在确保环境安全的前提下实现工程经济性的最优平衡。

在分类设计原则方面,严格按照尾矿的环保分类,合理确定截水沟、排水渠等设施的过流断面设计标准。对于储存危险废物的尾矿库,提高设计标准,增加设施的安全性和可靠性,防止污染物泄漏;对于一般工业固废尾矿库,则在保证安全的前提下,合理控制工程成本。

在灵活调整策略方面,根据地形地貌、工程投资等条件灵活调整设施规模和布局。例如,在地质条件复杂或征地困难的区域,通过设置排水井等方式降低工程难度和成本;在洪水流量较大的支沟,设置具有较高过流能力的拦洪坝以应对极端天气条件。

同时,还可采用新型材料和技术,提高清污分流设施的性能和耐久性,降低后期维护成本。

4 结论

本文通过对尾矿库清污分流多种措施及其设计考量的深入探讨,提出了针对不同地质与气候条件下的尾矿库清污分流策略。合理的过流能力选择原则和综合考量与设计原则,确保了清污分流系统的有效性和可靠性,为尾矿库的环境管理提供了科学参考,强化了尾矿库运行的合规性,有助于促进矿业生产的可持续发展。未来,随着技术的不断进步和环保要求的日益提高,尾矿库清污分流技术还需不断优化和创新,以更好地适应矿业发展的需求。

[参考文献]

[1]潘先群.酸性矿山废水污染特征分析评价与中和实验研究[D].合肥大学,2024.

[2]周睿,尹晓辉,李灿,等.铁基协同氧化技术处理甘肃某铅锌矿废水的应用研究[J].湖南有色金属,2025,41(03):86-90.

[3]王伟明,解明亮,孙超.高寒地区尾矿库监测预警系统的安全大模型应用研究[J].网络安全和信息化,2025,(4):122-124.

[4]廖文景,戴军,唐鹏飞.无人机摄影测量在尾矿坝变形监测分析中的应用[J].有色金属(矿山部分),2024,76(3):112-117.

[5]史淑艳.有色金属矿区水体污染现状及湿地植物治理方法研究[J].环境科学与管理,2025,50(05):178-183.

作者简介:

李新宽(1982--),男,汉族,陕西西安人,本科,金堆城钼业集团有限公司水利水电正高级工程师,主要从事尾矿库、水库运行管理对策和安全技术研究。