

矿山尾矿库在线安全监测系统应用与风险防控研究

曹 勇¹ 彭 宇¹ 戴 旺²

1. 刚波夫矿业股份有限公司 刚果(金)上加丹加 卢本巴希 3100

2. 江西瑞林电气自动化有限公司 江西 南昌 330038

摘 要: 尾矿库传统管控方式存在短板,在线安全监测系统逐渐应用到尾矿库日常运维中。依靠智能化感知设备和数据传输技术,能够全天候、连续不断地监视尾矿库安全状态。本文以矿山尾矿库在线安全监测技术作为研究对象,针对尾矿库在线监测系统工程应用要点进行了讨论,同时围绕尾矿库常见的安全风险类型,搭建一套完整的风险防控体系,涵盖风险识别、动态评估、分级预警、全周期防控、隐患闭环治理这几个环节。

关键词: 矿山尾矿库;在线安全监测系统;应用;风险防控

引言

在线监测系统能全天候监视坝体位移、沉降、渗压、库水位、干滩长度等关键数据,做到风险动态感知、提前预警。但现在多数矿区在实际应用此系统时依然存在问题——点位布置随意、设备运维不到位、数据利用率低、风险预警模式单一、隐患整改不闭环,导致监测系统发挥不出应有的防控价值。

1 尾矿库在线监测系统工程应用要点

1.1 监测点位布置原则与布设方案

(1) 布点位,首先得守好安全性和关键性这两条。优先盯住尾矿库安全运行的核心管控部位。坝体是尾矿库的核心挡水挡渣结构,也是变形和失稳风险最高的地方,要在坝顶、坝坡、坝基这些关键位置布上监测点,重点盯着坝体的竖向沉降和水平位移变化。对于那些容易发生渗流破坏的区域,要围着坝体内部、坝脚以及周边山体的渗流带布点,实时掌握土体渗压的变化、渗漏的发展,提前预判管涌、渗流击穿这些隐蔽风险。(2) 布设工作要同时顾上全面性和针对性,做到重点区域加密、次要区域合理布点。尾矿库日常运行中,那些应力集中、变形活跃、历史隐患多的区段,要适当把监测点加密,提高数据采集密度,保证微小的结构变化也能被及时捕捉^[1]。对于结构稳定、工况变化平缓的区域,可以适当降低布点密度,在保证整体监测效果的前提下,避免设备冗余造成资源浪费,提高监测工程的经济性和实用性。(3) 点位布设还要贴合现场施工条件和设备运行要求,守好规范性和耐久性。选点位的时候,要避免施工扰动、积水淤积以及机械作业频繁的地方,减少外界环境对监测设备的干扰。所有监测点位要保持合理

的间距和布设深度,严格按工程布设规范来,保证设备安装稳固、数据采集连续稳定。(4) 做整体布设方案的时候,还要结合尾矿库水位变化方式、干滩演化,以及汛期运行的特点,把静态监测和动态监测统筹好。通过科学合理的点位布局,就能搭建起一个全方位、多层次的立体监测网络,实现全天候精准监测尾矿库的安全状态。

1.2 监测设备安装、调试与校准工艺

(1) 设备正式进场安装前,要先把基础预处理做好。把作业坡面、坝顶监测基面整平、夯实,把表层的浮土和松动碎石清掉,保证安装基础结实、稳当。对于位移、沉降类的监测设备,预埋基座入土深度通常控制在80到120公分,确保基座不受表层土体轻微扰动的影响。渗压监测设备埋设前,要用级配均匀的洁净砂滤层包好,滤层厚度保持在30到50毫米,防止尾矿细颗粒把设备感应部位堵住,保证渗流数据通透、灵敏^[2]。(2) 设备安装结束以后,就要开展系统性的调试工作。重点解决线路通畅、信号传递、设备工况自检完善性问题,把各类传感器的工作电压、电流信号和数据采集频率一个一个对清楚。常规监测设备的采集间隔统一设成10分钟一次,汛期特殊的时候可以调成5分钟一次。调试阶段要连续24小时不间断试跑,全程盯着设备的在线率和数据连续性,及时排查线路接触不良、信号延迟、数据跳变这些隐性问题,确保所有监测点位的设备都稳定在线、数据实时上传。(3) 系统调试结束后,还要注重专业校准,避免把设备系统误差和环境干扰误差的存在。用标准比对的方式,对位移、沉降、渗压、水位这些核心监测参数进行校正,把设备测量误差控制在行业允许的正负百分之二以内。针对长期处于露天环境的监测设备,相关工作人员还要做好温度补偿校准,让其能适应

作者简介: 彭宇(1976—),男,工程师,研究方向:测量技术、安全工程,E-mail: py983664586@qq.com.

零下20度到60度的野外温差,防止季节温度变化影响数据准确性。

1.3 系统运行管理与数据常态化维护

(1) 系统日常运行管理,得把常态化巡检制度落实下去,建好固定的现场和后台巡查机制。工作人员要定期去排查现场监测传感器、供电装置、传输设备运行状态,及时把设备表面堆的尾矿粉尘、淤泥和杂物清掉,保证设备感应区域干净、灵敏。碰到阴雨天、汛期这些特殊天气,相关人员要增加巡检频次,重点查供电问题、信号通畅问题,让设备在恶劣天气也能正常运行。

(2) 后台系统管理,是运维工作的一环。管理人员要实时掌握整体监测网络的在线率,及时发现并处理那些长期离线、时断时连的监测点位。把系统后台权限、登录端口、操作日志统一管理起来,规范人员操作流程,防止人为误操作导致系统参数变动和数据异常,保证监测系统一直处于标准的运行模式。(3) 数据常态化维护,重点围绕数据的筛选、整理和备份来干。工作人员要定期对原始数据进行甄别和清洗,把异常干扰数据剔除掉,留下真实有效的监测信息,保证数据序列有连续性、有参考价值。(4) 要定期梳理数据的变化规律,对比阶段性监测曲线的波动特征,提前识别数据慢慢漂移、参数偏移这些隐性问题。通过常态化的运维和数据维护,就能持续保障监测数据的准确性和完整性,让在线监测系统长期稳定地发挥监测作用,给尾矿库安全风险分析和隐患预判提供准确的数据依据。

2 基于在线监测的尾矿库风险防控体系构建

2.1 风险分级识别与动态评估方法

(1) 风险分级识别,是尾矿库安全评估的基础前提。需要结合在线监测收集的多维数据,做综合判定。根据坝体变形、渗流变化、库水位波动、干滩长度这些核心监测指标的波动幅度,再对照行业安全规范标准,把尾矿库各类安全风险分出层级来。通过区分轻微波动、异常变化、危险突变这些不同数据状态,精准甄别一般性风险、较大风险和重大风险。这种分级模式,能有效区分隐患的轻重程度,避免单一数据波动影响判断,协助管理人员把注意力集中到高风险隐患区域,提高安全管控的针对性和有效性。(2) 动态评估方法,跟传统的阶段性评估不同。它依靠在线监测全天候、连续化的数据采集优势,能实时更新尾矿库的风险状态,持续研判。系统通过不间断地收集各项监测数据,持续追踪指标的变化趋势和累积规律,不再局限于某一固定时间的静态数值。可以精准捕捉缓慢沉降、微弱渗流增量这些渐进性隐患,提前识别风险累积演化的过程,把

人工巡检不容易发现的隐蔽性、长期性风险这个短板补上。(3) 在评估实施过程中,要结合多维数据做综合研判,切勿仅凭单一指标界定风险,避免判断偏颇^[3]。把坝体位移沉降数据、渗压数据、水文数据、环境气象数据整合到一块分析,综合研判各类因素叠加带来的安全隐患。通过数据联动分析,能有效避开单一指标正常、但多项指标异常叠加引发的潜在风险,提高整体评估的全面性和科学性。

2.2 多维度风险预警阈值设定与分级预警机制

(1) 多维度预警阈值设定,不能局限于一个数值,需要结合工程规范、现场工况和长期监测数据,综合着来定。阈值参数得看尾矿库坝体结构特性、填筑材料指标、设计运行标高,还有历年监测数据的变化规律。针对坝体变形、渗流压力、库水位、干滩长度、降雨量这些不同的监测维度,分别制定适合它们各自变化规律的阈值区间,实现多指标差异化管理。(2) 设阈值的时候,还要依据瞬时变化和累积变化这两类风险,不能只关注着瞬时数据有没有突变,也得重视那些长期慢慢累积出来的隐患。有些尾矿库的病害是缓慢发展的,单看某个瞬时数值可能在合理范围内,但整体偏移趋势一直在扩大,照样会形成安全风险。所以阈值体系要同时把住瞬时波动范围和阶段性累积增量,把突发风险和缓慢演变风险两头都盖住,这样阈值判定的全面性就能显著提升。(3) 在阈值体系的基础上,建立标准化的分级预警机制。按照风险程度高低,分出梯度化的预警等级。不同预警等级,对应不同的管控力度和处置流程,做到风险分层管控、精准应对。低等级预警,以常规关注为主,持续跟踪数据变化趋势,加强现场巡查频次,及时把轻微异常的诱因排查掉。中等级预警,要启动专项核查,全面排查设备工况和现场隐患,落实针对性的整改措施,把风险继续发展的势头压住。高等级预警,说明现场存在重大安全隐患,必须马上启动应急管控措施,安排人员值守,开展险情处置。

2.3 事前预防、事中管控、事后处置防控策略

(1) 事前预防,是尾矿库安全管控的基础核心。重点靠在线监测的常态化数据积累,搞源头防控。结合长期监测形成的各项指标变化规律,管理人员能摸清坝体变形、渗流波动、水位变化的常态区间,提前梳理出不同季节和工况下的潜在风险点。通过日常设备巡检、数据趋势分析和现场环境排查,提前把各类隐蔽隐患消除掉。(2) 事中管控,是遏制风险扩大的关键环节。主要针对监测数据出现的异常波动,搞动态管控。当监测指标偏离常态趋势的时候,系统会及时发出预警,管理人

员应立即现场核查、动态跟踪。实时盯着各项监测数据的变化节奏和发展趋势,精准判断风险程度。根据预警等级调整现场管控力度,及时采取控水、疏通排水、加固坡面这些针对性措施,把风险继续演化升级的势头及时挡住。通过“实时监测—动态研判—即时管控”这套模式,能有效控制隐患发展的速度,避免小隐患变成大险情。(3)事后处置,主要针对已经出现的异常险情和安全隐患,实现闭环管理。险情初步控制住之后,工作人员要把隐患产生的深层原因从头查一遍,梳理监测数据异常前后的变化特征,总结管控过程中是否有遗漏、是否有疏忽的地方^[4]。并结合现场实际情况,把系统性整改落实,把受损的结构修好,对于薄弱部位,需要进行防护条件优化。

2.4 隐患闭环整改与动态管控流程

(1) 隐患管控的头一步,是把隐患找准、建好档案。靠在线监测系统抓到数据异常,再结合现场实地排查的结果,把隐患发生的相关信息都清楚地掌握。工作人员要结合监测曲线的变化趋势,判断这个隐患是瞬时环境干扰的问题,还是结构性能退变引起的实质性毛病。对那些排查确认下来的安全隐患,统一建台账记下来,把隐患等级、产生原因、风险危害,责任归属问题都标清楚,给后续整改提供清晰的依据。(2) 整改落实,是闭环管理的核心步骤。根据隐患的风险等级,划分对应的处置标准,制定针对性的专项整改方案。对于一般性的数据波动和轻微现场隐患,快速落实常规整治措施,及时把设备工况和坡面稳定状态恢复好^[5]。对于那些涉及坝体变形、渗流异常的中高等级隐患,得结合岩土稳定原理和库区运行工况,制定系统性的治理方案,通过结构加固、排水疏通、防渗处理这些办法,把隐患

的根子彻底除掉。(3) 整改结束,必须严格核验复查,这是保障闭环成效的关键一步。管理人员要结合在线监测的实时数据和现场核查结果,对应核验整改效果。校核整改前后的监测数据变化,确认各项指标都回到正常运行区间,坝体结构、渗流系统、排水设施数据恢复稳定。

结语

综上,在线监测技术跟传统人工监测比,能实时捕捉尾矿库各种细微的安全隐患,给风险预判提供靠谱的数据支撑。未来,随着数字化、智能化技术不断迭代,尾矿库在线监测体系会更加精细、更加智能化,动态风险评估和智能预警能力必然会不断突破和发展。通过持续优化监测应用工艺和防控管理体系,能够全面提升尾矿库安全运行的保障能力,给矿山安全生产和区域生态安全提供坚实的保障。

参考文献

- [1] 易瑜,王若松,付学.基于云计算与多传感器融合尾矿库在线监测系统设计与实现[J].微型计算机,2026,(2):118-120.
- [2] 鲁浩,张俊羽.尾矿库在线监测系统的应用[J].中国金属通报,2025,(23):135-137.
- [3] 吴伟,彭格,刘海洋,等.基于多源异构数据的尾矿库在线监测系统与预警方法[J].矿业工程,2025,23(1):76-80.
- [4] 冯威,张小龙,唐立鹤,等.基于AHP-EWM与多源数据的尾矿库安全风险动态监测评价[J].金属矿山,2025,(7):172-181.
- [5] 傅渊慧,张丹,肖晓,等.尾矿库在线监测与安全管理研究与应用[J].中国设备工程,2025,(18):191-193.