

基于监测数据的水库运行风险识别与防控

刘永升

新疆金沟河流域管理局水利管理中心 新疆 塔城 832100

摘 要：中小型水库安全运行依托现场监测数据开展风控管理，为提升水库隐患管控能力，本文梳理坝体结构、水文调度、附属设施三类运行风险，划分库区全维度监测数据类型，针对野外监测数据缺失、噪声、假性突变三类问题开展标准化预处理，筛选核心风险因子，依托监测阈值完成四级风险识别评级。结合绿、黄、红三级预警标准，构建常态、超标、超限、长效四维分级防控体系，贴合基层水库运维实操制定管控方案，可有效降低水库结构及调度风险，保障流域水库常态化安全运行。

关键词：水库运行；监测数据；风险识别；预警阈值；风险防控

引言：金沟河流域中小型水库承担区域农业灌溉、汛期防洪调蓄核心职能，水库常年水位波动、土体风化老化，叠加野外监测设备工况不稳定，水库运行隐患逐年增多。现阶段水库风控多依靠人工巡查研判，监测数据利用率偏低，风险识别主观性较强，分级防控针对性不足。基于此，本文立足流域水库实测监测数据，依托行业管控标准开展风险研判，依托监测预警阈值制定分级防控措施，贴合属地水利管理条件完善风控流程，为辖区同类中小型水库安全运维提供实操参考。

1 水库运行风险与监测数据体系概述

1.1 水库运行风险分类

结合中小型水库日常调度、汛期蓄水、常态化运维实际工况，结合风险发生位置与危害程度，可将水库运行风险划分为三大类别。（1）为坝体结构风险，也是水库核心安全风险，主要包含大坝沉降位移、坝体开裂、坝基渗透破坏、防渗结构老化渗漏等问题，多受水位升降、土体风化、长期水压作用诱发，破坏力最强。（2）水文调度风险，集中出现在汛期、极端降雨天气，涵盖入库洪峰超标、库容超限、泄洪闸门调度失衡、库区水位骤升骤降等风险，易引发库区漫坝、下游洪涝次生灾害。（3）附属设施运行风险，包含溢洪道堵塞、机电启闭设备故障、监测仪器失效、排水管路淤堵等运维类风险，该类风险虽不会直接造成溃坝事故，但会干扰水库正常调度，放大结构与水文风险隐患。

1.2 水库全维度监测数据构成

现阶段水库安全运维依托全域布设监测设备采集数据，数据主要分为三类。（1）结构安全监测数据，重点采集大坝水平位移、竖向沉降、坝体渗流量、渗压水位、坝体内部应力数据，直观反映坝体结构稳定性，是判定结构风险的核心依据。（2）水文环境监测数据，包

含库区实时水位、流域降雨量、入库出库流量、水温水质数据，用于研判水文调度风险，支撑水库调蓄作业。

（3）设备工况监测数据，记录闸门启闭行程、机电设备电压电流、管道水压、监测点位设备运行状态数据，及时排查设施故障风险。三类监测数据联动互补，能够完整反映水库全域运行状态，为风险识别、隐患研判提供真实的数据支撑^[1]。

2 水库监测数据预处理及风险因子筛选

2.1 水库现场监测数据质量问题分析

结合县域中小型水库自动化监测+人工复核台账，汇总坝体位移、渗流、库区水位、雨量、闸门运行五类实测数据，现场数据共性质量问题如下：（1）数据缺失，野外监测点位供电不稳、4G传输信号波动、传感器进水损坏，是数据断档主要原因，汛期降雨时段数据缺失频次最高；（2）数据噪声，库区高压线路电磁干扰、传感线缆老化松动，会造成监测数值小幅无序跳变，不属于水库真实工况变化；（3）异常突变数据，受监测测点沉降偏移、人工校准读数偏差、监测设备零点漂移等因素影响，监测序列会出现违背水文时序演变规律、工况变化逻辑的极值异常数据，该类数据无法真实反映水库实际运行状态，不能直接用于安全风险研判，需在数据预处理阶段完成精准甄别与剔除。

2.2 多源监测数据标准化处理

结合基层水库运维实操规范，对年度时序监测数据分步处理，不采用复杂算法，适配现场作业条件：（1）异常数据剔除，对照水库历年运行合理阈值，直接剔除噪声跳变值、假性突变极值，保留贴合水位、降雨联动变化的有效数据；（2）缺失数据补齐，短时单时段数据缺失，采用相邻测点均值插值补齐；连续多天数据缺失，依托同期水文联动数据拟合补全；（3）数据规整

降噪,统一全测点日度采集频次,剔除环境干扰浮动数值;(4)量纲统一,整合位移、渗流量、水位、降雨量指标单位,消除数值量级差,完成多源数据整合归集。

2.3 基于监测数据的核心风险因子筛选

结合水库土石坝结构特征,遵循可监测、可量化、强关联筛选原则,剔除气压、环境温度等无关指标,分层筛选实操性风险因子:(1)结构安全因子:坝体水平位移、坝基竖向沉降、坝体渗流量、防渗体渗压值,四项指标直接反映坝体、坝基稳定状态;(2)水文调度因子:库区运行水位、时段累计降雨量、泄洪口出库流量,三项指标管控蓄水、泄洪调度隐患;(3)附属设施因子:工作闸门启闭行程、监测设备在线率,两项指标判定机电及监测设备故障风险^[2]。

3 基于监测数据的水库运行风险识别与等级评价

3.1 依托监测指标的水库分项风险识别

结合前文筛选的实测风险因子,对照水库安全运行阈值,开展现场实操化风险识别,不依托复杂算法模型:(1)结构风险识别,依托坝体位移、渗流量、渗压监测数据判别,数值超出年度基准值,判定坝体防渗、坝坡稳定存在结构性隐患;(2)调度风险识别,依托库区水位、时段降雨、出库流量时序数据判别,汛期水位逼近限蓄水位、入库雨量超标,判定调度运行风险;(3)设施风险识别,依托闸门启闭数据、设备在线率数据判别,启闭位移偏差超标、监测设备离线超时,判定机电及监测设施故障风险。本次识别以实测数据为唯一判定依据,区分瞬时波动风险、持续性劣化风险,完成风险源头归类。

3.2 水库运行风险等级划分与研判结果

结合水利行业水库安全管控规范,结合监测指标超限幅度,划分四级风险等级,完成量化评级:(1)低风险,各项监测指标稳定在常规区间,无超限波动,水库可按常规方案蓄水调度;(2)一般风险,单项监测指标小幅超限,无联动指标异动,仅存在局部轻微隐患;(3)较大风险,2项及以上指标持续性超限,坝体、水文工况出现明显异动,需干预整改;(4)重大风险,核心渗流、位移指标大幅超限,工况劣化速度加快,具备溃坝、漫坝安全隐患。结合研究水库年度监测数据研判,库区现阶段渗压、水位指标小幅波动,整体判定为一般风险,无结构性重大安全隐患^[3]。

4 基于监测预警阈值的水库运行分级防控措施

4.1 常态低风险预防性防控措施

结合监测指标绿色区间管控要求,坝体渗压、沉降位移、库区水位、雨量各项监测数值长期平稳合规,无

超限波动情况,大坝结构、调度工况、机电设施均处于稳定状态,该等级以日常管护、数据核验为核心工作,前置管控隐患源头,降低指标异动概率。(1)监测点位常态化管护管控。固定每周开展人工测点巡检,重点核查渗压计、位移传感器、水位变送器外壳密封性,对接线端口做防水密封处理,清理测点周边杂草、淤积土体,防止外力挤压、雨水淤积扰动监测数值;每日后台核对自动化监测传输数据,定时校准设备零点数值,依照《水库大坝安全监测技术规范》季度校准设备参数,避免设备长期户外运行产生零点漂移,从源头减少假性异常数据,保障预警阈值判定精准度,减少无效预警频次。(2)水库日常调度管控。非汛期严格管控库区蓄水高程,控制库水位低于汛限水位0.3-0.5m,减小坝体长期静水压力与坝基渗透压差;平水期实行小流量均衡泄水,管控单日水位升降幅度不大于0.2m,避免水位骤变造成坝体土体干湿交替形变、防渗层开裂老化;定期放空泄洪闸、输水涵管积水,排查管路淤积、止水橡胶老化开裂问题,及时更换老化止水构件,保障泄输水设施密闭性。

4.2 超标中风险靶向整改防控措施

该等级风险表现为单项或两项监测指标小幅持续性超标,其余监测指标联动变化平缓,坝体无快速形变、无坝基集中渗流问题,仅存在局部单点隐患,不具备整体性溃坝风险,无需全域应急调度,依托监测超标点位,开展定点整改、数据复核、闭环核验管控即可。

(1)隐患分区工程整改。针对渗压数值超标点位,疏通坝坡纵向、横向排水暗沟,清理沟内泥沙杂物,补充坝后反滤层级配砂石料,严格遵循细砂、粗砂、碎石分层铺设标准,疏导坝基渗水,降低坝体孔隙水压力,规避渗透变形风险;针对坝体小幅位移测点,夯实坝坡外侧松动覆土,压实度符合土石坝护坡施工标准,增设坡面防渗排水槽,截断地表入渗水流,消除雨水入渗导致的土体滑移隐患;针对闸门启闭位移超标,加注耐低温启闭机专用润滑油,校正闸门限位装置与行程编码器,修正启闭行程偏差,保证闸门闭合止水贴合达标。(2)动态修正监测预警阈值。结合整改后实测时序数据,结合本年度降雨、水文工况,微调局部测点预警阈值,摒弃往年固定阈值标准;对比近五年历史同期监测数据,区分季节性温度、水位带来的正常指标波动,剔除季节性、环境性干扰项,结合大坝龄期、土体固结状态优化风险判定标准,提升阈值适配性。(3)阶段性加密监测管控。隐患整改期间,将原有每日1次监测频次,加密至每6小时采集一组数据,重点跟踪整改点位渗流、位移

变化,同步留存人工复测数据;暂停水库高水位蓄水作业,维持中低水位平稳运行,避免坝体荷载加大加重局部隐患,整改完成后持续观测15个工作日,监测指标稳定回落至常规阈值,方可恢复常态化蓄水调度^[4]。

4.3 超限高风险应急处置防控措施

多项坝体渗流量、竖向沉降、库区水位核心监测指标突破红色预警阈值,坝体变形增速加快、坝后出现浑水渗流,坝坡产生贯通性裂缝,水库临近漫坝、防渗体系失效临界状态,需即刻联动属地防汛部门,启动专项应急流程,分级开展险情处置。(1)即时调度应急处置。第一时间启动大流量分级泄洪,联动开启工作闸门、备用泄洪闸,遵循分级分次泄洪原则,避免瞬时大流量下切冲刷下游河道,快速降低库区蓄水水位,削减大坝静水荷载;严控下游河道行洪流量,提前对接下游村镇、河道管理单位管控滨河路段通行,规避河道溢流次生风险;极端强降雨天气下,停止库区一切蓄水作业,腾空可调库容承接过境洪峰,严控库水位不超坝顶高程。(2)现场险情应急加固。针对坝坡开裂、清水渗水点位,快速铺设国标土工防渗膜、堆砌沙袋压重防渗;坝后渗流浑水点位标准化布设反滤压重区,阻断坝基细颗粒土体流失,防止土体持续流失诱发坝基掏空、坝体失稳;安排专人全天候人工巡查坝顶、坝肩、溢洪道结构状态,同步人工复测监测数据,核对自动化数据真实性,规避设备故障误报延误处置。(3)联动值守与后期闭环管控。对接属地水利站、应急管理部门联合值守,划定大坝周边50m安全警戒区域,禁止无关人员车辆进入;险情平复、指标回落预警区间后,封存本次高风险监测数据,复盘超限诱因、处置流程短板;后期立项开展专项除险加固工程,更换老化防渗设施,升级4G一体化智能监测终端,校核调高核心指标红色预警阈值,完善应急调度方案,杜绝同类超限风险复发。

4.4 全域监测风控长效运维保障防控措施

区别于阶段性分级风险处置,本项措施适配水库全年全周期运行工况,不受当下风险等级限制,补齐分级处置收尾管控短板,打通监测采集、风险研判、整改复

盘全流程,从管理运维层面长效防控隐患复发,夯实水库风控底层保障。(1)监测系统运维提质。落实设备年度分级维保,汛前检修传感器、供电及传输设备,更换老化配件,加装测点防雷装置,减少雷击、电磁干扰故障,保障监测设备稳定在线。(2)监测数据动态管控。建立三色监测数据台账,归档常态、超标、超限监测资料,每年结合水文工况、坝体固结变化校核预警阈值,动态更新风险判定标准。(3)部门联动人员管控。联动水利、应急、水文建立预警联动机制,明晰分级预警上报流程;定期开展管护人员技能培训,完善值守考核制度,规避人为管控疏漏。(4)极端工况预判防控。依托气象流域预报,预判特殊工况风险,临时调整预警阈值与蓄水调度方案,从事后处置转为前置预判防控,完善整体风控体系^[5]。

结束语:本文依托流域水库实测监测数据,完成风险分类、数据处理、风险评级及分级防控全流程研究,得出库区当前处于一般运行风险的研判结论。研究依据基层水利管理条件,摒弃复杂算法,采用简易实操手段完成数据甄别与隐患治理,适配县域水库管护人力、设备条件。后续可结合多年监测数据优化动态预警阈值,进一步完善极端工况下水库预判式风控方案。

参考文献

- [1]黄荣妹.水库大坝渗流监测数据异常值识别与处理方法[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2026(3):049-051.
- [2]陈勇旭,张红,彭放,郭金婷,郝亚鹏,袁永生,李佳龙,范骢骧,李烽.基于监测-检测数据的引水隧洞缺陷识别与风险评估[J].科学技术与工程,2025,25(33):14436-14445.
- [3]刘登超,余凯,孙桂玲.农业水库水利电力工程运行安全风险评估方法研究[J].水上安全,2026(7):163-165.
- [4]梁虹霞.水库大坝安全风险评估与防控措施[J].南国博览,2026(1):109-111.
- [5]耿燕.基于大数据分析的水利工程运行安全监测研究[J].消费电子,2026(6):101-103.