

水库大坝渗流监测数据分析与安全评价方法探讨

王亚芳¹ 吴波²

1.湖北省水利水电科学研究院、湖北正平水利水电工程质量检测有限公司 湖北 武汉 430070

2.湖北路达胜工程技术咨询有限公司黄冈分公司 湖北 黄冈 438000

【摘要】：渗流是造成水库大坝运行安全的主要因素，大多数大坝的病害都是由于渗流异常引起的。为了提高大坝安全管控水平，本文根据水利工程运行管理经验，对大坝渗流监测的主要内容进行阐述，规范监测数据预处理流程，总结出常用的监测数据分析方法，梳理出现阶段主流的大坝安全评价手段。根据工程实际情况对数据分析和安全评价中存在的问题进行分析，并提出相应的改进措施，以期给水库大坝渗流风险研判、安全控制以及运维决策提供技术上的借鉴，保证水利工程的长久稳定运行。

【关键词】：水库大坝；渗流监测；数据分析；安全评价；运维管控

DOI:10.12417/2811-0528.26.14.063

1 引言

水库大坝是重要的水利水工建筑物，具有防洪灌溉、供水发电、水资源调配等许多功能。我国现有的许多建成时间比较久的大坝，由于地质条件、施工工艺、自然老化、后期运维等原因，坝体普遍存在着不同程度的渗流问题。渗流隐患有隐蔽性强、发展慢、危害大等特点，长时间的异常渗流会造成坝体土体流失、结构疏松、渗透变形，严重的会产生管涌、流土病害，造成坝体塌陷溃坝，危及周边群众生命财产安全。本文以常规水利工程监测技术为基础，对大坝渗流监测数据分析逻辑和安全评价体系进行系统的探究，给基层水利工程运维管理提供实际的技术支持。

2 大坝渗流监测数据分析方法

2.1 监测数据预处理

野外监测环境复杂，设备故障、天气干扰、人为操作偏差等都会造成原始监测数据出现缺失、突变、失真等问题。未经处理的原始数据不能真实的反映坝体渗流状况，数据分析之前必须进行预处理。数据清洗按照数理统计准则，去掉不符合正常波动范围的异常数据，将设备故障异常与坝体渗流异常分开。对于短时缺少的数据用线性插值法来补全，保证数据的时序连续。同时统一数据量纲，消除各种监测设备间数据的差别，提高数据整体的准确度。

2.2 常规数据分析方法

2.2.1 趋势分析法

趋势分析法是基层水利工程最常用的一种分析方法，把预处理过的监测数据绘制成时序变化曲线，直观地看出渗透压力、渗流量等指标的变化趋势。根据年内、年际数据变化的规律来判定渗流状态是否稳定。正常坝体渗流数据会随着库水位的周期性波动而变化，没有持续单向的变化特点。如果数据出

现持续上升或者下降，并且不能随着水位恢复正常，那么坝体就很可能存在着隐蔽的渗漏通道。

2.2.2 相关性分析法

该方法主要研究渗流指标和环境影响因子之间的内在联系，主要研究库水位、降水量和渗流量、渗透压力之间的相关性。健康坝体的渗流指标同库水位有显著的相关性，水位变动时渗流指标也同步平缓变化。如果相关性突然变小，降水之后渗流量异常增大，回落后速度慢，说明坝体内部可能有渗透变形，防渗结构性能降低。

2.2.3 对比分析法

对比分析法分为横向对比和纵向对比。纵向比较用同一个监测点位的历史数据做对比，找出同期数据的变化，排除异常变化。横向对比选择坝体同区域、同高程的监测点位，用点位数据差值来判断渗流分布是否均匀。同一断面的监测数据差值过大，一般表示该区域有渗漏缺陷。

2.3 智能化数据分析方法

随着水利信息化的发展，智能化分析手段也开始被用来进行渗流数据分析。依靠机器学习算法、数据挖掘技术来创建渗流监测预测模型，准确地拟合数据变化的规律。相比常规分析法，智能化技术可以处理大量的监测数据，消除人为因素造成的人为误差，准确地找出微小的异常信号，适合用在大型水库、复杂坝体的监测分析上。目前中小型水库大多采用常规方法和简易智能模型相结合的方式进行分析，既考虑了分析的成本又考虑了分析的精度。

3 大坝渗流安全评价方法

3.1 常规安全评价方法

3.1.1 经验判别法

经验判别法依靠运维人员的工程经验，联系监测数据的变

化幅度和坝体外观病害来开展综合评价。主要针对渗流量突然增大、水质变浑、坝面渗水、土体塌陷等直观现象加以重点观测,从而迅速判定坝体安全等级。该方法操作简单、判定方便,适合中小型水库的日常巡检以及初步的安全研判,但是存在主观性强,对于人员的专业水平要求较高。

3.1.2 指标限值法

根据水利工程的设计规范以及大坝的安全鉴定标准来确定渗流量、渗透坡降、孔隙水压力等指标的安全值。将实时监测数据同限值进行比较,数据在阈值之内就判定为安全状态,超出阈值就判定为隐患状态。此法判定标准明确,量化程度高,被用来进行大坝的常态化安全管控。

3.1.3 渗流稳定计算法

根据坝体地质参数和结构尺寸,用有限元计算软件对坝体渗流场进行模拟,得到渗透坡降、渗漏量等主要参数。根据土体允许渗透坡降来判断坝体抗渗透变形的能力,准确评价坝体长期运行的稳定性。该方法计算精度高,主要用在大坝安全鉴定、除险加固前期分析工作中。

3.2 综合安全评价方法

综合评价方法把监测数据、地质情况、施工品质、运维状况等各方面信息融合起来,用层次分析法、模糊综合评价法来划分安全等级。细化评价指标权重,量化各种影响因素,减少单一评价方法的判定误差。该方法适合于病险大坝、老旧大坝的安全评价,可以对渗流隐患和衍生风险进行全方位的排查,给加固改造方案的制定提供依据。

4 优化改进措施

4.1 完善监测基础设施

定期对老化监测设备进行更换,选择耐腐蚀、灵敏度高的监测传感器,建立自动化监测采集系统,减小人工检测误差。根据坝体结构、地质情况合理布置监测点,主要对坝肩、坝基、防渗体等薄弱部位增加监测点,保证数据采集的全面性、连续性。做好设备防潮、防雷防护工作,提高野外环境下的设备运行稳定性。

参考文献:

- [1] 王卫.岭澳水库大坝渗流监测分析研究[J].云南水力发电,2025,41(11):57-61.
- [2] 张志文,陈淼新.振弦式渗压计在水库大坝渗流监测中的应用研究[J].水上安全,2025,(07):121-123.
- [3] 李晓波.振弦式渗压计在喀斯特地貌水库大坝渗流监测中的应用[J].黑龙江水利科技,2019,47(10):165-167+225.

4.2 优化数据分析模式

基层运维单位对数据进行预处理时采用统一的标准,剔除无效的、异常的数据。用常规分析、智能分析的方法建立简单的数据分析模型,主要对水位、降水、渗流等指标之间关系进行判断。创建数据对比台账,定时做同期数据、点位数据比对,准确找出微弱渗流异常。加强技术人员的培训,提高分析研判的专业水平。

4.3 健全综合评价体系

根据坝型、地质、运行年限的不同来制定安全评价标准,并对指标的权重进行调整。综合监测数据、外观检测、地质勘察、运维记录等资料,用多方法融合的综合评价方式开展病害排查工作。创建分级预警体系,依照异常程度分出预警级别,对应相应的处理办法。

4.4 规范长效运维管理机制

创建常态化的监测管理制度,确定数据采集、分析、归档的责任,定时开展渗流专项检测。建立数字化监测管理平台,可以达到数据实时上传、智能分析、自动预警的目的。健全隐患处置闭环流程,发生异常时立即核查研判并实施整改加固,同时做好记录。定期开展安全复盘,改善监测评价方案,加强大坝风险管控能力。

5 结语

渗流监测数据分析及安全评价属于水库大坝安全管理工作中的关键部分,它直接影响到水利工程的运行是否稳定。本文对大坝渗流监测的基础内容进行梳理,总结出常规和智能化的数据分析方法,归纳出各种安全评价技术,分析目前行业内数据质量低、分析手段单一、评价体系不健全等问题,并提出设施升级、模式优化、体系完善、规范管理的综合改进措施。水利工程智能化发展的大背景之下,行业要不断改进渗流监测技术,健全数据分析逻辑,创建契合不同坝型安全评价体系。加强基层运维管理能力,促进监测数据资源化利用,准确查找渗流隐患,全面提高水库大坝安全管控水平,为水资源合理调配、水利工程长久服役赋予有力支撑。