第 9 卷◆第 10 期◆版本 1.0◆2025 年
文章类型：论文|刊号（ISSN）：2529-7821 /（中图刊号）：868GL002

水利工程中土石坝渗流检测方法对比及准确性提升策略

孙伟苇
中能建（新疆）工程质量检测有限公司
DOI:10.12238/hwr.v9i10.6588

[摘　要] 土石坝作为水利工程中的核心挡水建筑物,其渗流问题直接关系到工程安全与运行稳定性。本文围绕水利工程中土石坝渗流检测展开研究,首先梳理当前常用的渗流检测方法,包括渗压计监测法、人工巡视检测法及探地雷达法,随后从检测精度、成本投入、适用场景三个维度对各类方法进行实际工程层面的对比分析,进而剖析影响检测准确性的主要因素,涵盖环境干扰、设备状态与人员操作等方面,最终提出针对性的准确性提升策略。研究结果可为土石坝渗流检测工作的优化开展提供实际参考,助力保障水利工程的长期安全运行。
[关键词] 土石坝；渗流检测；方法对比；准确性提升；水利工程
中图分类号：TV　文献标识码：A

Comparison of seepage detection methods for earth rock dams in hydraulic engineering and strategies for improving accuracy

Weiwei Sun
Zhongneng Construction (Xinjiang) Engineering Quality Inspection Co., Ltd

[Abstract] As the core water retaining structure in hydraulic engineering, the seepage problem of earth rock dams directly affects the safety and operational stability of the project. This article focuses on the research of seepage detection in earth and rock dams in water conservancy engineering. Firstly, it summarizes the commonly used seepage detection methods, including pressure gauge monitoring method, manual inspection detection method, and ground penetrating radar method. Then, it compares and analyzes various methods at the actual engineering level from three dimensions: detection accuracy, cost investment, and applicable scenarios. Furthermore, it analyzes the main factors that affect the accuracy of detection, including environmental interference, equipment status, and personnel operation, and finally proposes targeted accuracy improvement strategies. The research results can provide practical reference for the optimization of seepage detection work in earth and rock dams, and help ensure the long-term safe operation of water conservancy projects.
[Key words] earth rock dam; Seepage detection; Method comparison; Improved accuracy; hydraulic engineering

引言

土石坝凭借取材便捷、施工难度较低、适应地形能力强等优势,在水利工程中得到广泛应用,如水库挡水坝、灌区引水坝等。然而,土石坝坝体由土、砂、石料等散粒体材料填筑而成,在长期运行过程中,受水位变动、坝体沉降、外部荷载等因素影响,易出现孔隙水渗透现象。若渗流问题未及时发现与处理,可能引发管涌、流土等病害,严重时甚至导致坝体溃决,造成重大经济损失与人员伤亡。因此,开展科学有效的渗流检测工作,及时掌握坝体渗流状态,是保障土石坝安全运行的关键环节,对维护水利工程整体功能、减少灾害风险具有重要现实意义。

1 常用土石坝渗流检测方法

1.1渗压计监测法

渗压计监测法是通过在坝体内部预设渗压计,实时采集坝体不同部位的孔隙水压力数据,进而计算渗流速度与渗流量的检测方法。在实际工程应用中,渗压计通常按照坝体高程分层布设,重点布置在坝体防渗体、坝基接触面及下游排水体等关键区域,如某水库土石坝在坝体20m、40m、60m高程分别布设渗压计,每高程设置3-5个监测点,形成立体监测网络。该方法能够实现连续监测,获取的渗流数据具有时效性与连续性,可通过数据变化趋势判断渗流状态是否正常,例如当某监测点孔隙水压力突然升高且持续超过阈值时,可初步判断该区域存在渗流异常。

1.2人工巡视检测法

人工巡视检测法是依靠专业人员通过现场观察、手感触摸、简单工具测量等方式,判断坝体是否存在渗流迹象的传统检测

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.

方法。巡视工作通常按固定路线开展,重点检查坝体上下游坡面、坝顶、坝脚及周边排水系统,例如观察下游坡面是否出现湿润区域、渗水痕迹或白色析出物,检查坝脚是否存在集中渗水点,用手触摸坡面土壤判断湿度变化,借助卷尺测量渗水点的范围与水深。在中小型水利工程中,人工巡视检测法应用广泛,如某灌区土石坝每周开展1次常规巡视,汛期则增加至每日1次,每次巡视需记录巡视时间、天气条件、发现的异常情况及处理措施。该方法无需复杂设备,投入成本低,且能够及时发现坝体表面的渗流问题,但受人员经验与主观判断影响较大,对坝体内部的渗流通道无法探测,存在“只能见表面、难察内部”的局限性,同时在恶劣天气(如暴雨、大风)条件下,巡视工作安全性与准确性均会下降。

1.3探地雷达法

探地雷达法是利用电磁波在不同介质中的传播速度与反射特性,对坝体内部结构与渗流情况进行探测的无损检测方法。实际操作中,检测人员将雷达天线沿坝体表面移动,天线发射的高频电磁波穿透坝体,当遇到渗流通道、空洞或不同介质分界面时,电磁波会发生反射,接收天线捕捉反射信号后,通过数据处理软件生成坝体内部剖面图。例如在某土石坝检测中,探地雷达法成功探测到坝体内部2m深处存在一条长度约15m的横向渗流通道,该通道由砂粒流失形成,此前人工巡视与渗压计监测均未发现异常。该方法能够快速获取坝体内部信息,探测范围广且对坝体无损伤,适用于坝体内部渗流通道的定位;但受坝体材料均匀性影响较大,若坝体由多种粒径差异大的材料混合填筑,易产生干扰信号,导致检测结果误判,同时设备购置与数据处理成本较高,对检测人员的专业技术水平要求也更为严格。

2 土石坝渗流检测方法对比分析

2.1检测精度对比

从检测精度来看,不同方法在实际工程中的表现存在明显差异。渗压计监测法能够精确获取特定监测点的孔隙水压力数据,误差通常控制在5%以内,可通过数据计算得到具体的渗流量数值,适合对坝体关键区域的渗流状态进行定量分析,但该方法仅能反映监测点周边小范围的渗流情况,若监测点布设密度不足,易遗漏其他区域的渗流异常。人工巡视检测法主要依赖人员观察与经验判断,仅能对坝体表面的渗流迹象进行定性描述,如“存在少量渗水”“湿润区域范围约2㎡”,无法获取具体的渗流数据,精度最低,且易受主观因素影响,同一渗流现象不同人员可能给出不同判断。探地雷达法对坝体内部渗流通道的定位精度较高,可确定通道的深度、长度等参数,误差一般在10%左右,能够实现对坝体内部渗流问题的半定量分析,但受干扰信号影响,在坝体材料复杂时精度会显著下降,难以准确计算渗流量。

2.2适用场景对比

从适用场景来看,各类方法需结合工程规模、坝体条件与检测需求选择。渗压计监测法适用于大型、特大型土石坝,尤其是需要长期连续监测渗流状态的工程,如高坝水库,能够为工程安全评估提供持续的数据支撑,但不适用于已建成且未预设监测点的坝体,后期补设难度较大。人工巡视检测法适用于中小型土石坝、坝体结构简单且周边环境平缓的工程,可作为日常常规检测手段,及时发现表面渗流问题,也可在汛期、水位骤变等特殊时期作为应急检测方法,快速排查隐患。探地雷达法适用于需探测坝体内部渗流通道的场景,如坝体出现不明原因的渗流量增大、人工巡视未发现表面异常时,可通过该方法定位内部病害,同时也适用于坝体检修后的效果验证,但在坝体材料不均匀、含有大量杂质(如树根、石块)的工程中,检测效果会受到限制。

3 影响土石坝渗流检测准确性的因素

3.1环境干扰因素

环境条件对渗流检测准确性的影响在实际工程中较为突出。温度变化会导致渗压计内部传感器性能波动,例如在北方冬季,坝体表面温度降至-10℃以下时,渗压计线缆易出现冻结,导致数据传输中断或读数偏差,某水库曾因冬季低温出现渗压计数据异常,经检查发现是线缆冻结导致的假数据。降水天气会对人工巡视检测造成干扰,雨水覆盖坝体表面后,难以区分是雨水还是坝体渗水,某灌区坝体在一次暴雨后,巡视人员误将雨水形成的湿润区域判定为渗流异常,后续经烘干观察才排除误判。

3.2设备状态因素

检测设备的运行状态直接关系到检测结果的准确性。渗压计若长期未进行校准,会出现零点漂移现象,例如某土石坝的渗压计已连续3年未校准,检测数据显示渗流量持续下降,但实际坝体渗流问题在加重,后期校准后发现数据偏差达15%。设备老化也是重要问题,探地雷达的天线长期使用后,发射与接收电磁波的能力会下降,导致探测深度变浅、信号强度减弱,某工程使用5年的探地雷达,在检测同一坝体时,较新设备的探测深度减少了1.5m,无法发现深层渗流通道。此外,设备安装不规范也会影响准确性,渗压计若未垂直埋入坝体,而是出现倾斜,会导致测量的孔隙水压力与实际值不符,某施工项目因渗压计安装倾斜,初期数据显示渗流正常,后期坝体出现管涌后才发现安装问题。

3.3人员操作因素

人员的操作水平与专业素养对检测准确性的影响不可忽视。在人工巡视检测中,经验不足的人员易遗漏细微渗流迹象,例如坝体表面的白色析出物是盐分随渗水渗出形成的,新手可能误判为普通污渍,而有经验的人员可通过该迹象判断存在长期渗流。探地雷达法的数据处理环节对人员要求较高,若操作人员未能正确设置参数(如天线频率、采样间隔),或对干扰信号的剔除不彻底,会导致剖面图无法准确反映坝体内部情况,某检测项目因操作人员误设天线频率,将坝体内部的石块误判为渗流通道。此外,人员的责任心也会影响检测结果,渗压计监测数据需定期采集与分析,若人员未按时采集数据,会错过渗流异常的最佳发现时机,某水库曾因数据采集延迟,未能及时发现渗流量骤增的情况,导致坝体出现小范围管涌。

4 土石坝渗流检测准确性提升策略

4.1优化检测方案设计

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.

结合工程实际优化检测方案,是提升准确性的基础。在方法选择上,应采用“组合检测”模式,例如大型土石坝可将渗压计监测法与探地雷达法结合,渗压计实时监测关键区域渗流数据,探地雷达定期对坝体内部进行扫描,两者数据相互验证,减少单一方法的局限性,某高坝水库通过该组合模式,成功发现了渗压计未覆盖区域的内部渗流通道。在监测点布设上,应根据坝体结构与运行情况调整密度,对于坝基接触面、防渗体接头等易出现渗流的部位,适当增加渗压计布设数量,某土石坝在防渗体接头处增设监测点后,较之前提前2个月发现了渗流异常。此外,需制定差异化的检测频次,汛期、水位变动期等关键时段增加检测次数,如人工巡视从每周1次增至每日1次,探地雷达检测从每年1次增至每半年1次,确保及时捕捉渗流变化。

4.2加强检测设备管理

完善的设备管理体系能够保障设备处于良好运行状态。建立设备定期校准制度,渗压计每半年校准1次,采用标准压力源进行零点与量程校准,确保数据误差控制在允许范围内;探地雷达的天线与主机每季度进行性能检测,通过在已知结构的模型坝体上测试,验证设备探测精度。加强设备日常维护,渗压计的线缆需定期检查,避免因坝体沉降导致线缆断裂,在冬季低温地区,可对线缆包裹保温材料,防止冻结；探地雷达设备使用后需及时清洁天线,存放于干燥通风环境,避免受潮损坏。

5 结论

本文通过对土石坝渗流检测方法的梳理、对比及准确性影响因素的分析,得出以下结论：一是当前常用的渗压计监测法、人工巡视检测法、探地雷达法各有优势,渗压计监测法数据连续精准但覆盖范围有限,人工巡视法成本低但精度不足,探地雷达法可探测内部结构但易受干扰；二是检测准确性受环境干扰、设备状态、人员操作三方面因素影响,其中环境中的温度、降水,设备的校准与老化,人员的经验与操作规范度,是实际工程中需重点关注的问题；三是通过优化检测方案、加强设备管理、完善人员培训的策略,可有效提升渗流检测准确性,为土石坝安全运行提供保障。

[参考文献]

[1]李红昭.水利工程土石坝渗漏探测技术与防渗处理方案优化[C]//重庆市大数据和人工智能产业协会,重庆建筑编辑部,重庆市建筑协会.智慧建筑与智能经济建设学术研讨会论文集(二).四川华瑞卓辰建筑有限公司,2025:601-604.

[2]张战辉.水利工程中的土石坝质量检测技术[J].低碳世界,2025,15(04):49-51.

[3]翟于广.基于机器学习组合模型的土石坝渗流参数反演及渗流量预测研究[D].西安理工大学,2024.

[4]嘎玛.高寒地区土石坝坝基渗流分析与防渗加固处理技术研究[D].华北水利水电大学,2020.

作者简介：

孙伟苇(1981--),女,汉族,山东省烟台市人,大学本科,高级工程师,研究方向：工程(建筑、水利、公路)试验检测、新型建筑材料应用。

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.