

The Influence of Underground Flow on Dam Stability and Its Geophysical Exploration

Kai Xu Zixuan Bu

Jiangsu Province Engineering Investigate and Research Institute Co., Ltd., Yangzhou, Jiangsu, 225000, China

Abstract

This study explores the impact of groundwater flow on dam stability and evaluates the use of geophysical techniques in dam monitoring. The findings indicate that groundwater threatens dam structures through seepage pressure, buoyancy, and erosion. Geophysical methods like electrical resistivity and imaging can effectively identify groundwater flow paths and seepage points, providing scientific support for dam safety management. The main objective of this study was to explore the main influence mechanisms of groundwater flow on dam stability and to assess and monitor the stable state of the dam through physical exploration methods (geophysical exploration). Through a deep understanding of the behavior of groundwater flow and the potential threat to the dam, the safety of the dam can be more accurately predicted, and then effective preventive measures can be taken to ensure its long-term stability and safety.

Keywords

dam stability; groundwater flow; geophysical techniques; seepage pressure; erosion

地下水流对大坝稳定性的影响及其物探方面研究

徐凯 卜梓轩

江苏省工程勘测研究院有限责任公司, 中国·江苏·扬州 225000

摘要

本研究探讨了地下水流对大坝稳定性的影响, 并评估了物探技术在大坝监测中的应用。结果显示, 地下水通过渗透压力、浮力和侵蚀等作用威胁大坝结构。电阻率法和地电法等物探技术能够有效识别地下水流动路径和渗漏点, 为大坝安全管理提供科学依据。本研究的主要目的是探讨地下水流对大坝稳定性的主要影响机制, 并通过物理勘探方法(简称物探)评估和监测大坝的稳定状态。通过深入理解地下水流的行为和对大坝的潜在威胁, 可以更准确地预测大坝的安全性, 进而采取有效的防范措施, 确保其长期稳定性和安全性。

关键词

大坝稳定性; 地下水流; 物探技术; 渗透压力; 侵蚀

1 研究背景

大坝作为人类社会重要的水利工程设施, 其作用不仅在于防洪、灌溉和发电, 还在于调节区域生态环境。然而, 随着时间推移, 受自然因素和人为活动的影响, 大坝结构的稳定性问题变得愈加严峻。频发的自然灾害和结构性老化, 使得对大坝稳定性的研究愈发重要。近年来, 科学家和工程师们特别关注地下水流对大坝的影响, 因为它无形中在大坝的结构性安全构成威胁。

2 大坝工程概述

2.1 大坝的分类及结构

大坝是阻拦河流或水库水流的结构物, 其类型和结构

特点因功能和地质条件的不同而异。常见的大坝类型包括重力坝、拱坝和土石坝。

重力坝: 重力坝靠其自身重量抵抗水压, 通常由混凝土或石材建造, 形状常为梯形。重力坝的设计主要考虑坝体的重力和水压力的平衡, 适用于地基较为稳定的区域。

拱坝: 拱坝利用拱形结构将水压力传递到两侧的坝肩, 通过横向反力平衡水压力。拱坝材料主要是混凝土, 适用于峡谷地带, 因其结构需要坚固的基础和两旁稳定的岩壁支撑。

土石坝: 土石坝由土砂石材料构成, 分为均质坝、心墙坝和堆石坝等类型。这种大坝的设计考虑了土料的透水性和稳定性, 常在材料丰富且地基较为稳定的地点建造。土石坝具有良好的抗变形能力, 但防渗处理显得尤为重要。

2.2 大坝稳定性的影响因素

大坝的稳定性受多种因素影响, 确保大坝安全、可靠、

【作者简介】徐凯(1998-), 男, 中国江苏南通人, 本科, 助理工程师, 从事水利规划设计物探研究。

长期运行是工程设计和维护中的重要任务。

水压力：水压力是大坝稳定性的主要影响因素之一，水位升高会增加对坝体的侧压力，进而影响坝体的应力分布和稳定性。设计时需精确计算水压力，合理设计坝体结构与材料。

地震：地震加载会引起坝体材料和基础的应力变化，可能导致坝体裂缝或滑移。地震活跃地区的大坝设计需考虑抗震措施，如增强坝体柔韧性和减震设计。

材料衰变：时间的推移、环境的变化和外部因素可能导致大坝材料的老化和性能衰减，包括混凝土的碳化、钢筋的腐蚀、土石材料的风化等。这些问题需要通过定期检查和维修加以防护，以延长大坝寿命。

3 地下水流对大坝稳定性的影响机制

随着社会的发展和工程技术的进步，对水利工程的安全性和稳定性的要求日益提高。在这些工程中，大坝的稳定性是至关重要的一环，而地下水流对大坝稳定性的影响尤为明显。本章将探讨地下水流对大坝稳定性的影响机制。

3.1 渗透压力和浮力影响

地下水流通过大坝坝体和基础时会产生渗透压力和浮力，这两个力在影响大坝稳定性方面起着关键作用。

渗透压力是指地下水通过坝体材料时，由于水头差产生的压力。渗透压力的存在能够对坝体施加附加的侧压力，从而影响坝体的形变和稳定性。浮力是由于地下水流的存在引起的土体和岩体的体积减重效应。该浮力在大坝基础范围内影响更为显著。

3.2 地下水流侵蚀及溶蚀作用

地下水流在通过大坝及其基础材料时，会引起一定的物理侵蚀和化学溶蚀作用。这些作用对坝体材料的稳定性有着深远影响。

①水对坝体材料的侵蚀。物理侵蚀的主要表现形式是水流的冲刷作用。随着水流速度的增加，冲刷效应会变得更加明显，导致坝体材料逐渐被搬运走，形成材料的流失。这不仅会削弱坝体的结构稳定性，还可能导致局部区域的空洞化现象，加重坝体的整体失稳风险。

②溶蚀作用的长期影响。除了物理侵蚀外，地下水的化学溶蚀作用同样不容忽视。地下水含有各种溶解性矿物质，这些矿物质在流动过程中会与坝体及基础材料发生化学反应，导致材料的溶蚀。长期以来，这种溶蚀作用会使坝体和基础材料的力学性能下降，结构削弱，甚至形成地下空洞，严重威胁工程的安全性。

3.3 地下水流诱导的地质灾害

地下水流不仅直接影响大坝的安全性，还可能诱发一系列地质灾害，如土壤液化、滑坡与泥石流等，这些灾害对于大坝的稳定性构成严重威胁。

①土壤液化。土壤液化是指饱和松散砂土在一定条件

下（如地震或高地下水位）突然失去承载力，变成类似液体状态的现象。大坝基础或坝体附近的土层一旦发生液化，将会造成地基失稳，进而影响整个大坝的稳定性结构。特别是在地震高发区，大坝建设时必须进行详细的土壤液化风险评估，并采取抗液化设计和施工措施。

②滑坡与泥石流。地下水流同样可能诱发滑坡与泥石流等地质灾害。地下水进入滑坡体内部，增加了滑坡体的重力和孔隙水压力，降低了土体的抗剪强度，从而引发滑坡。此外，大量的地表水通过地下水流汇集到一定地区，可能会形成泥石流，对大坝及其周围设施构成威胁。

4 物探技术在地下水流与大坝稳定性研究中的应用

4.1 地下水检测的物探方法

在地下水流影响大坝稳定性研究中，常用的物探方法包括电阻率法和地电法成像。

①电阻率法：利用地下介质的电阻率差异，通过布置电极，在地表或钻孔中测量电流、电压，计算所得到的电阻率值，进而推断地下水的分布情况。电阻率法具有操作简便、经济高效等特点，可用于大范围的地下水探测。

②地电法成像：亦称电阻率成像法，是电阻率法的一种高分辨率变体。通过多极化装置和高密度排列的电极阵列，能够获得更细致的地下电性剖面，从而精确定位地下水流路径和含水层。这种方法对地下水污染和泄漏状况的检测尤为有效。

4.2 物探技术在大坝监测中的应用实例

成功案例分析：在某水电大坝建设中，应用电阻率法和地电法成像成功探测到了大坝基础下方的潜在渗水通道，及时采取加固措施，确保了大坝的安全运行。另一案例应用地震勘探和磁法勘探相结合的方法，成功发现了坝体下方潜在的滑动面，提前预警并采取应对措施，避免了可能的灾难性后果。

5 案例研究

5.1 研究区域与背景介绍

本章研究选取的区域位于华北平原，大坝位于该区域重要水源地段，对当地农业灌溉和城市供水至关重要。

研究背景包括以下几个方面：①该区域为半干旱气候，水资源匮乏。②大坝建成已有30年，周边环境和水文条件变化显著。③当地政府和科研机构高度重视基础设施的稳定性和安全性，多次开展相关调查工作。

5.2 地下水流与大坝稳定性检测

现场勘测在2023年夏季进行，勘测内容包括地下水位测量、土壤样本采集以及大坝周边地质条件的考察。

第一，现场勘测与数据收集。勘测团队利用现代物探技术，如地震波探测器和电阻率成像设备，对大坝及其周边区域进行了详细的勘查。具体步骤如下：①布设地面及地下

传感器网络,记录水流变化。②采集土壤和水样,分析其化学成分及物理性质。③使用GPS定位技术精确记录传感器位置,确保数据的准确性。

第二,数据分析与结果解释。采集的数据经过整理和分析,得出以下主要结论:①地下水流动方向主要受地形和地质结构影响。②大坝周边存在几处潜在渗漏点,这些渗漏点可能危及大坝稳定性。③土壤样本分析结果显示,部分区域土壤颗粒松散,增强了水的渗透性。

通过上述数据分析,我们进一步确定了地下水流对大坝稳定性的重要影响,并为后续的防渗措施提供了科学依据。

5.3 物探技术应用效果

样本数据展示见表1。

表1 现场勘测所得部分数据

采样点	水位(m)	土壤含水量(%)	渗透系数(cm/s)
A	1.5	20	1.2×10^{-4}
B	2.0	25	1.5×10^{-4}
C	1.2	18	1.1×10^{-4}

通过这些数据,可以看出大坝不同区域的水位及渗透特性存在显著差异。

总的来说,物探技术的应用显著提升了地下水流及大坝稳定性检测的效率和准确性,为其他类似工程的研究和监测提供了宝贵经验。

6 结果与讨论

6.1 研究结果分析

本研究通过对地下水流对大坝稳定性的影响机制进行深入分析,确认了地下水流是影响大坝安全的关键因素之一。具体表现在:①渗透压力和浮力:地下水流通过渗透压力和浮力对大坝坝体和基础造成不利影响,可能导致坝体位移、滑坡等稳定性问题,严重时可能引发结构失稳。②侵蚀和溶蚀作用:地下水流的侵蚀和溶蚀作用会逐步削弱大坝材料的力学性能,造成结构强度下降。这种影响在长期来看尤其显著,对大坝整体安全构成潜在威胁。③诱发地质灾害:地下水流可能诱发土壤液化、滑坡和泥石流等地质灾害,增加大坝安全隐患。这些灾害不仅危及大坝本身,还可能对周围环境和居民安全带来巨大威胁。

此外,本研究评估了物探技术在大坝监测中的适用性和效果:①地震勘探:地震勘探方法在识别地下结构和异常区域方面效果显著,但受限于成本和操作复杂性。②电法勘探:尤其是电阻率法和地电法成像技术,在定位渗漏点和监测地下水流动方面表现出色,能够提供高分辨率的地下结构图像。③磁法勘探:磁法勘探适用于识别大坝区域内的磁性异常,但在地下水监测方面的应用相对有限。

6.2 讨论

未来的研究工作可以从以下几个方面着手:①扩大研究范围:选取不同地质环境和水文条件下的大坝工程进行对比

分析,验证研究结论的普适性。②优化物探技术应用:持续优化物探技术在大坝监测中的应用,提高数据采集和分析的精度,开发更先进的检测设备和方法。③跨学科交叉研究:采用多学科交叉研究方法,系统评估各类因素对大坝稳定性的影响,增强研究的全面性和科学性。④综合监测体系的构建:探索物探技术与其他监测手段的融合应用,构建大坝安全预警和管理的综合解决方案,提高大坝运行的安全性和可靠性。

总的来说,通过进一步的研究和改进,旨在为大坝工程的安全运行提供更加全面和可靠的技术支持,实现科学预警和有效管理,从而保障社会和环境的安全。

7 结论与建议

7.1 主要结论

在本研究中,我们详细分析了地下水流对大坝稳定性的影响。研究表明,地下水通过渗透压力、浮力、侵蚀和溶蚀作用,以及诱发地质灾害等多种方式对大坝的结构稳定构成了严重的威胁。这些作用机制可导致大坝内部材料流失、基础软化、裂缝扩展和整体结构的改变,最终可能引发大坝失稳甚至垮塌的危险。此外,研究还指出,物探技术在大坝监测和评估中发挥了重要作用。通过高精度的物探手段,渗漏点和地下水流动路径得到了有效识别和监测,为大坝安全管理提供了科学依据。

7.2 实践中的建议

基于上述结论,我们提出以下几点建议以强化大坝的安全管理:①全面监测与评估:建议充分利用目前先进的物探技术,对大坝及其周边环境进行全面的监测和评估。通过定期检测,及时发现潜在的隐患和风险点,并采取相应的防控措施,防患于未然。②增加研究投入:政府、研究机构及相关部门应加大对大坝安全研究的资金和技术投入,鼓励和支持新的技术和方法的研发与应用。推动物探技术和监测手段的创新,将有助于提高大坝安全监测的科学性和可靠性。③建立监测和预警体系:建议建立健全的大坝安全监测和预警体系,利用物探技术的实时监控能力,配合其他监测手段,构建一个多层次的安全预警平台,确保大坝能够长期稳定、安全地运行。

参考文献

- [1] 李飞,王长虹,张海东,等.地下水流影响下含盐饱和粉砂地层中联络通道冻结温度场的特征分析[J].上海大学学报(自然科学版),2023,29(6):1090-1103.
- [2] 马野.基于轿子山水库土石坝的渗流和变形分析研究[D].郑州:华北水利水电大学,2018.
- [3] 熊友亮,王鹏,高建华,等.物探技术在堰塞体结构特征探测中的应用[J].资源环境与工程,2023,37(6):808-815.
- [4] 熊友亮,朱萌,刘海涛,等.综合物探技术在水利工程勘测中的应用[J].资源环境与工程,2024,38(3):353-359.
- [5] 周振广,祖梦琦.综合物探技术在水工隧洞隐伏缺陷探测中的应用[J].云南水力发电,2023,39(11):202-205.