

新疆吉音水利枢纽大坝左岸渗漏入口与通道物探解析

王荣勇

新疆维吾尔自治区塔里木河流域吉音水利枢纽管理中心 新疆 和田 848000

摘要: 对新疆吉音水利枢纽大坝左岸渗漏问题,采用拟流场法与瞬变电磁法进行物探解析。通过详细的数据采集与分析,精准圈定渗漏入口位置,推测渗漏通道走向及埋深。研究揭示了渗漏对工程安全的影响,并提出了短期应急堵漏与长期防渗加固措施,为保障工程安全运行提供了科学依据。

关键词: 吉音水利枢纽; 大坝渗漏; 物探方法; 渗漏入口; 渗漏通道

引言: 新疆吉音水利枢纽工程作为克里雅河上的关键性控制工程,承担着灌溉、防洪及发电等多重任务,对区域经济社会发展具有重大意义。然而,大坝左岸出现的渗漏问题,不仅威胁到大坝的结构安全,还可能影响其正常功能的发挥,造成水资源浪费及下游地区安全隐患。因此,准确查明渗漏入口与通道的位置,成为保障工程安全运行的迫切需求。本文采用拟流场法与瞬变电磁法相结合的物探技术,对大坝左岸渗漏情况进行深入解析,旨在为渗漏治理提供科学依据,确保工程长期稳定运行。

1 概况与地质条件

1.1 概况

吉音水利枢纽工程坐落于新疆维吾尔自治区和田地区于田县境内的克里雅河上,是该流域的重要控制性工程。工程集灌溉、防洪与发电功能于一体,对促进区域农业发展、保障防洪安全及提供清洁能源具有显著作用。主要建筑物包括拦河坝、表孔溢洪洞、底孔泄洪洞、发电引水洞、地面厂房及电站尾水渠等,构成了一个复杂而关键的水利系统。大坝采用混凝土面板堆石坝结构,坝顶高程达2513.00m,坝顶宽10m,坝长489m,最大坝高124.5m,展现出宏大的工程规模。

1.2 地质条件

工程区域地处青藏高原北缘,地质构造复杂,受板块运动影响显著。工程区地层以沉积岩为主,局部夹有变质岩,岩体中裂隙、断层发育,为地下水活动提供了通道。水文地质条件方面,区域内地下水类型多样,包括孔隙水、裂隙水等,受季节性降水及克里雅河径流补给,地下水动态变化明显。特别是在雨季,河水水位上涨,可能加剧大坝周边地下水的活动,对大坝稳定性构成潜在威胁。

2 物探方法与技术应用

2.1 物探方法选择

针对吉音水利枢纽大坝左岸渗漏问题,结合渗漏区地质条件复杂、隐蔽性强等特点,本研究选用拟流场法

与瞬变电磁法进行综合探测。拟流场法基于水流场与电流场的相似性原理,通过人工电场模拟渗漏水流场,可有效定位堤坝等水利工程中的渗漏入口,尤其适用于水体环境下的电法探测。瞬变电磁法通过观测地下介质对脉冲电磁场的二次响应,对低阻体(如渗漏通道)具有高灵敏度,可精准圈定渗漏通道的平面位置并推测其埋深。两种方法在探测目标、深度范围及空间分辨率上形成互补,能够全面揭示渗漏系统的空间分布特征^[1]。

2.2 拟流场法

2.2.1 方法原理与设备组成

拟流场法通过建立人工电流场模拟渗漏水流场,利用堤坝渗漏部位与正常堤身电阻率差异实现渗漏入口定位。其核心设备包括发送机、电极系统(A极、B极)及接收机:发送机产生伪随机信号电流,A极布置于渗漏出水口,B极置于远离探测区的水体中,形成稳定的人工电场;接收机搭载于船只,通过探头测量水中电流场分布,间接反映渗漏水流场特征。该方法通过电位差与渗漏流速的线性关系,将电法探测转化为水流场可视化,突破了传统电法在水体中应用的局限性。

2.2.2 操作流程

首先,在大坝坝顶及量水堰处布置供电电极A1、A2、A3并串联为A极,库区远处布置B极,构建人工电场;随后,利用船只搭载接收机在探测水域内进行网格化测量,同步记录电位差数据及航迹坐标;最后,通过数据处理软件生成电位差平面等值线图,结合地质资料识别异常区域,圈定渗漏入口位置。探测过程中需保持船只航速稳定,确保数据采集的连续性。

2.3 瞬变电磁法

2.3.1 方法原理与设备介绍

瞬变电磁法基于电磁感应原理,通过发射线圈向地下发送脉冲式一次电磁场,激发地下介质产生涡流场;脉冲中断后,观测二次电磁场的衰减过程,反演地下介

质的电性结构。该方法对低阻体（如含水裂隙、渗漏通道）响应显著，可穿透高阻覆盖层，实现深部渗漏通道的精准探测。核心设备包括发射机、接收线圈及数据处理系统：发射机提供阶跃脉冲电流，接收线圈采用多匝重叠式设计提升信噪比，数据处理系统集成反演算法，可实时生成视电阻率断面图^[2]。

2.3.2 测线布置与数据采集策略

测线布置遵循“覆盖全面、重点加密”原则：沿大坝坝顶布置纵向测线，间距20m；左岸灌浆平硐上下游布置横向测线，间距10m，形成网格化探测网络；关键区域（如已知渗漏点附近）测线密度加密至5m。数据采集采用“拖拽式高分辨瞬变电磁系统”，发射频率设为25Hz，电流强度10A，采样率0.1ms，确保对浅部渗漏的

高分辨率探测；每条测线重复观测2次，取平均值降低随机误差；探测过程中实时监测环境电磁噪声，避开高压线、金属设施等干扰源。

3 物探成果分析

3.1 拟流场法测试成果

3.1.1 电位差平面等值线图解析：异常区域识别与渗漏入口圈定

基于拟流场法测试，绘制了大坝左岸区域的水位差平面等值线图。如图1所示，低电位差区域代表正常背景场，而局部出现的高电位差异常区域则指示了可能的渗漏入口。通过细致分析，在水库左侧山体靠近左坝肩区域识别出两处显著异常区域，分别标记为J1和J2，初步判断为渗漏入口位置。

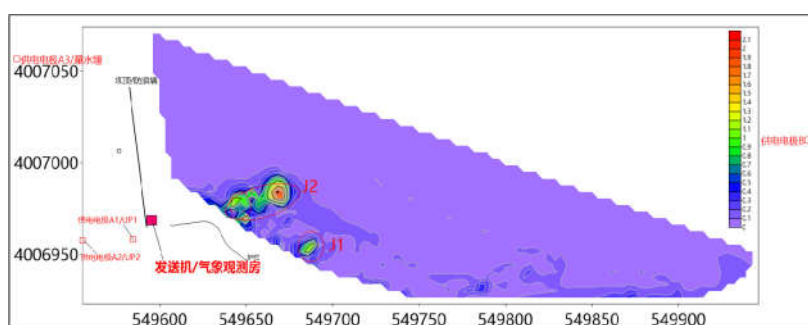


图1 水库控制区电位差平面等值线图

3.1.2 异常区域特征描述：位置、信号强度及分布形态

J1异常区域位于距离水边线约5~10米，水深约6~12米的范围内，异常信号强度在0.600mV~1.5mV之间，呈椭圆形态分布。J2异常区域则位于距离水边线约5~20米，距灌浆板8~20m，水深由5米逐渐增加至25米左右的区域，信号强度更高，达到0.6mV~2.5mV，同样呈现椭圆形态。这两处异常区域信号强度显著高于周围区域，表明存在渗漏入水的可能性。

3.2 瞬变电磁法测试成果

3.2.1 各剖面视电阻率断面分析：低阻异常区域识别

瞬变电磁法测试通过多个剖面的视电阻率断面分析，识别出多个低阻异常区域。在L1至L7剖面中，特别关注了与渗漏通道可能相关的低阻异常。例如，L1剖面在桩号0+002~0+007m段，深30~50m处存在封闭型低阻异常，视电阻率在200~300Ω·m之间，表明该区域可能存在富水性的渗漏通道。类似地，L2、L3剖面也分别识别出低阻异常区域，进一步支持了渗漏通道的存在^[3]。

3.2.2 渗漏通道推测：基于低阻异常的位置、深度及范围

结合各剖面低阻异常区域，推测渗漏通道主要集中

在左岸灌浆平硐与灌浆板之间的裂隙带。具体而言，J2-UP1渗漏通道通过L1、L2低阻异常区与UP1监测井相连，而J1-UP2渗漏通道则通过L3、L5线低阻异常区与UP2监测井相连。根据瞬变电磁测试异常区深度，推测这两条渗漏通道的埋深大约在30~50m之间。

4 渗漏原因与影响探讨

4.1 渗漏原因分析

地质构造因素：吉音水利枢纽工程所在区域地质构造复杂，裂隙、断层等地质缺陷发育。这些地质构造为地下水提供了流动通道，尤其是在大坝左岸区域，裂隙的连通性较好，容易形成集中渗漏路径。断层带的破碎带物质透水性强，进一步加剧了渗漏问题。

材料与施工因素：坝体材料的质量和施工工艺对渗漏有直接影响。若坝体填筑材料级配不良、压实度不足，会导致坝体内部孔隙率增大，透水性增强。此外，施工过程中的缺陷，如混凝土裂缝、接缝处理不当等，也会成为渗漏的通道。

水文地质因素：地下水动态变化对渗漏有显著促进作用。季节性水位变化、河流补给关系的变化等，都会导致地下水位波动，进而影响大坝基础及岸坡的渗流场。在雨季或洪水期，地下水位上升，渗流压力增大，

容易引发或加剧渗漏问题。

4.2 渗漏影响评估

对大坝结构安全的影响分析：渗漏会导致大坝基础及岸坡的土体或岩体软化，强度降低，进而影响大坝的整体稳定性。长期渗漏还可能引发管涌、流土等渗透破坏现象，严重威胁大坝的安全运行。此外，渗漏导致的湿润区扩大，还可能引发滑坡、坍塌等地质灾害。

对工程运行效益的影响评估：渗漏会造成水资源的浪费，降低水库的有效库容，影响灌溉、发电等功能的正常发挥。特别是在干旱季节或水资源紧张的地区，渗漏问题更加突出，严重制约了工程的综合效益。此外，渗漏还可能对下游地区的水质造成影响，威胁居民用水安全。

5 防治措施与建议

5.1 短期防治措施

5.1.1 应急堵漏方案设计与实施

针对已识别的渗漏入口，应立即启动应急堵漏方案。根据渗漏的严重程度和位置，可采用高压灌注化学浆液、设置止水帷幕或安装临时堵水装置等方法进行快速封堵。同时，需准备充足的堵漏材料和设备，确保在渗漏加剧时能迅速响应。实施过程中，应密切关注堵漏效果，及时调整方案，确保渗漏得到有效控制。

5.1.2 渗漏监测与预警系统建立

为及时发现并处理新的渗漏点，应建立全面的渗漏监测与预警系统。该系统应包括水位监测、渗流量监测、视频监控等多个子系统，实现对大坝左岸渗漏情况的实时监控。通过数据分析技术，设定合理的预警阈值，一旦监测数据超过阈值，立即触发预警机制，通知相关人员采取应对措施。

5.2 长期防治策略

5.2.1 防渗墙加固方案设计与优化

针对渗漏通道可能存在的区域，应设计并实施防渗墙加固工程。根据地质勘察结果和渗漏特征，选择合适的防渗材料（如混凝土、土工膜等）和施工工艺，确保防渗墙的有效性和耐久性。同时，应对防渗墙进行定期检查和维修，及时发现并处理潜在的问题，确保其长期稳定运行。

5.2.2 排水系统改造与升级建议

为改善大坝左岸的排水条件，降低地下水位，减少渗漏压力，建议对现有排水系统进行改造与升级。具体措施包括增加排水孔数量、扩大排水管径、优化排水布局等。同时，应考虑引入智能排水系统，通过传感器和自动化控制技术，实现排水量的精准调节和高效运行。

5.2.3 生态修复与环境管理措施

渗漏问题不仅影响工程安全，还可能对周边生态环境造成破坏。因此，在实施渗漏治理的同时，应注重生

态修复与环境管理。通过植被恢复、水土保持等措施，改善周边生态环境质量。同时，应加强对大坝周边环境的监测和管理，防止因工程建设和渗漏治理活动对环境造成新的破坏。

5.3 管理与维护建议

5.3.1 定期检查与维护制度建立与执行

为确保大坝左岸渗漏防治措施的有效性和长期稳定性，应建立定期检查与维护制度。该制度应明确检查内容、检查周期、维护标准等关键要素，确保各项防治措施得到及时、有效的执行。同时，应建立检查与维护档案，记录每次检查和维护的情况，为后续的工程管理工作提供参考。

5.3.2 人员培训与应急演练计划制定

为提高工程管理人员的专业技能和应急处理能力，应制定人员培训与应急演练计划。培训内容应包括渗漏检测技术、堵漏材料使用、应急设备操作等方面。同时，应定期组织应急演练活动，模拟渗漏等突发事件的发生和处理过程，检验和提升工程管理人员的应急响应速度和处置能力。

5.3.3 科研合作与技术更新策略

随着科技的不断进步和工程需求的不断变化，渗漏防治技术也在不断更新和发展。因此，应积极寻求与科研机构、高校等单位的合作机会，共同开展渗漏防治技术的研究和开发工作。通过引进新技术、新材料和新工艺，不断提升渗漏防治的技术水平和效果。同时，应关注国内外渗漏防治技术的最新动态和发展趋势，及时调整和优化自身的技术路线和策略。

结论：本研究针对新疆吉音水利枢纽大坝左岸渗漏问题，综合运用拟流场法与瞬变电磁法进行物探解析，成功定位渗漏入口并推测出渗漏通道走向与埋深。结果表明，物探方法在渗漏检测中具有高效、精准的优势。基于研究结果，提出了短期应急堵漏与长期防渗加固相结合的综合防治策略，并强调了定期检查维护、人员培训及科研合作的重要性。本研究不仅为当前渗漏问题的解决提供了科学依据，也为类似水利工程的渗漏防治提供了可借鉴的经验与技术路径。

参考文献

- [1]刘烁楠,肖伟,邹德兵,等. 向阳水库库坝区渗漏分析及渗控工程设计[J]. 四川水利, 2024, 45 (06): 46-49.
- [2]崔正伟,朱正君,丰赞,等. 综合物探方法和检测技术在大坝渗漏检测中的应用[J]. 工程地球物理学报, 2024, 21 (02): 205-214.
- [3]程志. 综合物探方法在某地区水库渗漏点勘查中的应用研究[J]. 地下水, 2024, 46 (02): 110-112.