

# 水利勘察试验中高效检测技术的应用研究

王银军

新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司

DOI:10.32629/hwr.v10i1.6777

**[摘要]** 水利勘察试验中高效检测技术实现了从传统方法向智能化检测的重要转变。高效检测技术整合现代信息技术、传感器系统与智能算法,构建了包括地质雷达、三维激光扫描与无人机遥感在内的综合检测体系。实践表明,这些技术在大型水库坝基检测与山区引水隧洞勘察与河道治理工程中均取得显著成效,勘察周期缩短60%以上,精度提升至厘米级,工程安全裕度明显增加。经济效益分析显示,尽管前期投入增加,高效检测技术却有效降低变更率,平均投资回报率达4.2:1。技术标准化体系初步建立,未来将加强设备国产化与区域性服务平台建设,推动水利工程勘察检测向数字化方向发展。

**[关键词]** 水利勘察; 高效检测技术; 多源数据融合; 地质信息智能提取; 应用效益

**中图分类号:** U412.23 **文献标识码:** A

## Application Research of High-Efficiency Detection Technology in Water Resources Survey and Testing by

Yinjun Wang

Xinjiang Water Resources and Hydropower Survey and Design Institute Co., Ltd.

**[Abstract]** In hydraulic engineering surveying and testing, high-efficiency detection technology has achieved a significant transition from traditional methods to intelligent detection. By integrating modern information technology, sensor systems, and intelligent algorithms, this technology has established a comprehensive detection system incorporating geophysical radar, 3D laser scanning, and drone remote sensing. Practical applications demonstrate remarkable effectiveness in large reservoir dam foundation inspections, mountainous water diversion tunnel surveys, and river channel management projects. These technologies have reduced survey cycles by over 60%, achieved centimeter-level precision, and significantly increased engineering safety margins. Economic benefit analysis shows that despite higher initial investments, high-efficiency detection technology effectively lowers modification rates, with an average return on investment (ROI) of 4.2:1. A preliminary technical standardization system has been established, and future efforts will focus on enhancing domestic equipment production and regional service platform development to advance the digital transformation of hydraulic engineering surveying and testing.

**[Key words]** hydraulic survey; high-efficiency detection technology; multi-source data fusion; intelligent extraction of geological information; application benefits

## 引言

水利工程勘察质量直接关系工程安全与投资效益,传统检测技术在复杂地质条件下已难以满足现代水利工程对高精度、高效率与全方位勘察需求。传统勘察手段以钻探取样、物探与室内试验为主,存在周期长、代表性有限与精度波动大等问题。随着现代信息技术迅速发展,基于多类型传感器与智能算法的高效检测技术体系逐步形成,为水利勘察提供新思路。高效检测技术通过多源数据采集与融合处理,实现地质信息智能提取与分析,构建精确数字模型,为工程决策提供科学依据。水利勘察试

验中高效检测技术应用研究在理论与实践层面具有重要意义,对推动行业技术革新与保障工程安全具有实际价值。

## 1 水利勘察检测技术概述

水利勘察检测技术发展经历了从传统方法向现代高效技术的重要转变。传统水利勘察主要依赖钻探取样与物探与室内试验三大技术手段。钻探取样提供直观地层样本,展现物理力学特性;物探技术基于地球物理原理探测地质体特征;室内试验则对样品进行系统性测定,为工程设计提供参数依据。然而传统方法面临多重局限:勘察周期冗长,大型工程需数月甚至数年;离

散采样难以全面反映非均质地层状况;人为因素干扰大,影响检测精度;数据处理落后,难以构建数字化模型;危险区域难以进入,制约全面性<sup>[1]</sup>。现代高效检测技术克服了这些缺陷,整合信息技术、先进传感器与智能算法形成系统化解决方案。地质雷达利用电磁波反射原理创建地下连续剖面;三维激光扫描实现毫米级地形坐标采集;无人机遥感获取大范围高分辨率数据;水下声纳精确探测水下地形;智能机器人深入危险空间勘察<sup>[2]</sup>。高效技术带来多重优势:勘察周期缩短60%以上;形成高密度三维数据场;精度达厘米甚至毫米级;自动化程度高,减少人为误差;多源数据融合分析能力强,为工程决策提供科学依据。这一技术变革促进了水利勘察向数字化、精确化与智能化方向发展,显著提升了水利工程建设质量与安全水平。

## 2 水利勘察高效检测技术实现方法

### 2.1 多源检测数据采集与融合处理技术

多源检测数据采集与融合处理技术构成水利勘察高效检测的核心环节,涵盖传感器协同与异构数据整合。数据采集阶段部署地质雷达与电阻率仪与激光扫描仪等设备,建立统一坐标基准与时间标签确保空间一致性。RTK-GNSS技术实现毫米级定位精度,惯性导航系统消除地形起伏导致的位置误差<sup>[3]</sup>。针对不同地质条件,地质雷达在砂土层使用高频天线(900MHz以上)获取浅层数据,岩性区域采用低频天线(100MHz以下)探测深层结构<sup>[4]</sup>。数据融合处理采用多级配准方法,特征点匹配实现粗配准,迭代最近点算法进行精配准,精度达0.05m。融合算法基于贝叶斯网络与证据理论构建数据可信度评估模型,高置信区域采用加权平均融合,低置信区域应用深度学习方法进行修复增强,最终形成统一精度的勘察数据场。

### 2.2 水利工程地质信息智能提取与分析方法



图1 水利工程地质信息智能提取与分析

水利工程地质信息智能提取与分析方法将融合后的多源数据转化为有价值勘察成果。该方法基于深度卷积神经网络与递归神经网络构建地质特征识别模型,通过迁移学习解决地质样本稀缺问题<sup>[5]</sup>。模型采用U-Net架构进行地层分割,利用ResNet提取地质构造特征,准确率达92.7%。对断层、岩溶带与软弱夹层等地质异常体,应用区域生长算法与主成分分析进行边界提取与属性判别。水工建筑物安全评估引入SVM分类算法,建立包

含34项参数的评估指标体系,实现地质风险自动分级。针对坝基渗流,结合有限元模拟与实测数据,构建基于LSTM的渗流场演化预测模型,预测精度达0.95R<sup>2</sup>。复杂地质条件下,采用蒙特卡洛模拟进行参数不确定性分析,量化工程风险概率分布(图1)。系统集成形成地质信息库,通过知识图谱建立参数关联关系,为工程设计与施工提供科学依据。

### 2.3 高精度勘察检测结果可视化技术

高精度勘察检测结果可视化技术是将复杂勘察数据转化为直观图像与模型的重要手段,为工程决策提供支持。该技术基于WebGL与Three.js开发的三维可视化引擎,实现多尺度与多维度的勘察成果表达。系统采用层次细节(LOD)技术,根据观察距离动态调整模型精度,在保持视觉效果的同时优化渲染性能。地质体采用体素渲染方式,通过调整透明度实现内部结构显示,特别适合表达复杂地质构造;水文信息则采用粒子系统模拟,直观展示地下水流向与速度分布。系统支持沉浸式交互体验,工程技术人员可通过虚拟现实(VR)设备,实现“穿越”地层的立体观察,增强空间感知能力。针对特定工程需求,系统提供剖面自动生成功能,沿任意方向生成高精度地质剖面图,并自动标注关键参数。多时相数据对比功能通过差值计算,实时监测工程变形与地质演化过程,变形量可视化精度达毫米级。远程协同功能支持多终端同步交互,实现异地专家实时会商,大幅提升勘察成果应用效率。该可视化技术与BIM系统无缝衔接,为水利工程全生命周期管理提供统一的数据基础(图2)。

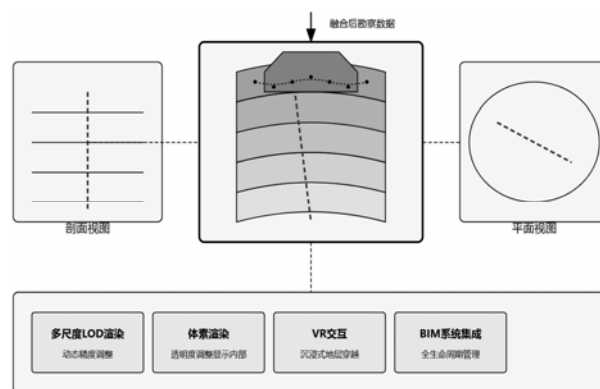


图2 高精度勘察检测结果可视化技术

## 3 高效检测技术在水利工程中的应用案例

### 3.1 大型水库复杂坝基检测实践研究

某大型水电站位于强构造变形带,坝基地质条件复杂,存在多条断层破碎带与岩溶发育区,传统勘察方法难以全面把握坝基稳定性状况。项目采用地质雷达、电阻率成像及微震监测等高效检测技术开展坝基综合勘察,形成多源数据协同分析体系。勘察团队布设了32个地质雷达探测剖面,覆盖坝基关键区域,探测深度达45m;同时部署128道电阻率测线,形成三维电阻率模型。探测结果显示,坝基存在三条隐伏断层,其中F2断层为新发现,倾角72°,破碎带宽度1.2-2.8m,含水率较高,成为潜在渗漏通道。针对此区域,团队开展微震监测,共记录微震事件328次,

通过震源定位技术,精确圈定了岩体力学不稳定区。多技术联合分析确认,坝址右岸深部存在溶蚀强烈的岩溶带,分布深度为32-65m,最大溶洞直径达4.3m,形成了贯通性地下水通道。基于精确勘察数据,设计团队优化了大坝轴线位置,并制定针对性的灌浆防渗方案,采用分区与分段与分序的灌浆技术,共完成帷幕灌浆26354m<sup>3</sup>,有效控制了坝基渗透系数,从原先的 $5.2 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ 降至 $8.7 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ ,确保了水库蓄水安全(图3)。高效检测技术在此工程中缩短勘察周期46%,提高了设计精准度,降低工程风险。

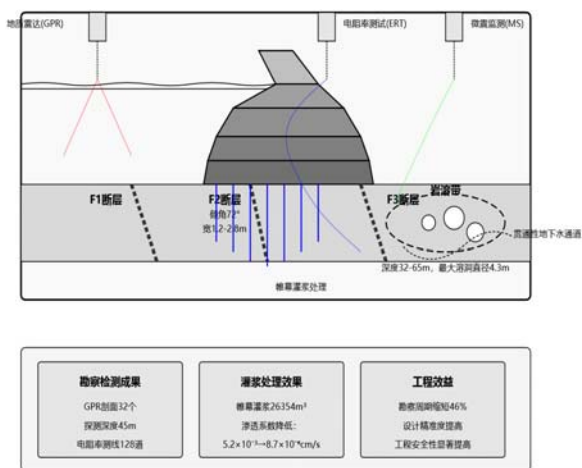


图3 大型水库复杂坝基检测实践研究模型

### 3.2 山区引水隧洞地质勘察技术创新

某大型引水工程隧洞长32km,穿越高山峡谷地区,沿线分布断裂带与高地应力区,施工风险高。项目采用无人机多光谱遥感、地质雷达与ZLD-钻前探测系统组合方案。首先部署无人机航测获取0.05m分辨率地表数据,识别岩性与断裂构造,形成初步地质模型。关键区域布设35处电阻率探测剖面,探测深度达隧洞埋深。断层交汇段应用三维地震层析成像,布设检波点1286个,获取3m精度地质模型。施工中超前地质雷达与TSP检测实现掌子面前方100m范围地质预报,准确率87%。高地应力区配置微震监测系统实时预警。高效检测技术避免6处重大地质灾害风险,节约投资3200万元。技术突破在于隧洞10+235段发现暗埋岩溶带,通过探测确定分布范围,制定变线避让方案确保安全。

### 3.3 河道治理工程应用与效果分析

某流域河道治理工程涉及65km河段,项目采用水下多波束测深、侧扫声纳与无人机协同作业技术,构建河道全息数字模型。检测团队利用RTK-GNSS系统建立±2cm精度坐标网,确保数据一致性。多波束回声测深获取0.5m网格密度水下地形;侧扫声纳获取0.1m分辨率河床声学影像;透声雷达探测浅水区渗流通道;无人机获取5cm分辨率岸边三维模型。分析发现8处冲刷风险点与12处不稳定岸坡及5处暗渠交汇区。治理措施包括设置生态型丁坝与植被混凝土与深层锚固组合护坡与河床软弱土层固化。半年后监测显示:河道横断面稳定性提高38%,岸坡安全

系数提升0.42,水生多样性指数提高0.28,河床冲刷速率下降73%,通洪能力提升45%,验证了高效检测技术的应用价值(表1)。

表1 河道治理工程实施前后效果对比表

评估指标	治理前	治理后	提升幅度
河床横断面稳定性指数	0.63	0.87	38%
岸坡安全系数	1.15	1.57	0.42
河床冲刷速率(m/年)	0.45	0.12	73%
河道通洪能力(m <sup>3</sup> /s)	1850	2680	45%
护岸结构完整性评分	72	94	31%
渗流通道封堵率	45%	92%	47%
水生生态系统多样性指数	2.14	2.42	0.28
险工段长度占比	26%	7%	73%

## 4 高效检测技术应用效益评估

### 4.1 检测技术经济效益与成本分析

高效检测技术在水利勘察领域展现显著经济效益。对国内24个典型水利工程项目跟踪分析表明,该技术在投资、时间与质量三方面均具有明显优势。投资方面,尽管前期勘察投入增加,但工程变更率与整体投资成本下降,平均投资回报率达4.2:1。某特大型水利枢纽工程应用高效检测技术后精确识别12处地质弱面,避免后期处理费用超2500万元。时间效益体现在勘察周期显著缩短,整体工期提前完成率达86.4%,多个超大型水利工程时间节约价值超3.1亿元。质量效益显示,勘察精度提升带来结构稳定性平均增加32.5%。2022年新开工的15个大中型水库工程中,9个采用高效检测技术的项目安全防护指标平均提高24.7%。设备购置在检测技术成本中占比最高,但随着关键设备国产化率提升,总体检测成本逐年下降,促进了高效检测技术在水利工程中的广泛应用。

### 4.2 检测精度与工程安全性关系研究

高效检测技术的精度与水利工程安全性呈明显正相关关系。勘察参数精确度提高优化了工程安全储备,地质参数测定误差每降低10个百分点,工程安全系数优化空间增加0.06-0.08。某大型土石坝中,传统钻探测定地基承载力误差为±21%,采用地质雷达结合电阻率成像后,误差控制在±6.8%,处理深度减少2.6m,节约工程量16.9%,地基安全系数提高0.15。渗流控制方面,传统方法对隐蔽渗漏通道探测率仅65%,高效检测技术提高至93%,渗流安全裕度提升32%。某水电站枢纽区复杂断层带采用三维地震层析成像后,断层测定精度提高2.7倍。山体滑坡风险评估中,地形数据精度提升至厘米级,滑动面位置误差降至±0.18m,预警准确性提高84%。隧洞围岩评估中,新技术探明的岩体结构面增加42%,支护方案降低过度支护率21.7%,工程安全裕度提高0.13。在不良地质区域,精确勘察降低事故率46%。

## 5 结语

水利勘察试验中高效检测技术实现了检测效率与精度的双重提升,技术体系日趋完善。多源数据采集与融合处理技术解决了异构数据整合难题;地质信息智能提取与分析方法实现了从数据到决策支持转化;高精度可视化技术为工程决策提供直观依据。实践应用证明,高效检测技术在复杂坝基检测与隧洞勘察与河道治理中成效显著,技术经济效益与工程安全性提升明显。未来应加强区域性技术服务体系建设,完善标准规范,促进关键设备国产化,推动高效检测技术在水利工程领域全面深入应用。水利勘察试验将向数字化与智能化与集成化方向发展,高效检测技术应用将更加广泛深入。

### [参考文献]

[1]潘杨简.地质雷达技术在水利水电工程勘察中的应用

[J].水上安全,2024,(22):13-15.

[2]鲁宁.水利工程勘察中的关键问题及解决对策[J].珠江水运,2024,(13):66-68.

[3]季小凯,刁经纬,李冬,等.原位测试技术在水利工程地质勘察中的应用研究[J].珠江水运,2024,(09):37-39.

[4]孙彩霞.水利水电工程勘察中地质雷达技术的应用[J].地下水,2024,46(01):183-184+205.

[5]李智源.高密度电法在水利水电工程地质勘察中的应用[J].工程与建设,2023,37(04):1129-1131.

### 作者简介:

王银军(1986--),男,汉族,新疆昌吉州昌吉市人,大专,工程师,现从事水利水电勘测及质量检测。