

# 水工环地质勘察中物探技术的应用与实践研究

文 / 王 晨 湖南省核地质调查所

**摘要：**本文围绕水工环地质勘察中物探技术的应用与实践展开研究。首先阐述了水工环地质勘察的定义、内涵、重要性及现状，接着详细探讨了地震波法、磁法和地质雷达法、电法、GPS、RTK 和遥感技术等不同物探技术在水工环地质勘察中的具体应用。然后分析了物探技术在应用过程中的技术选择、数据采集、数据处理和分析以及质量控制等要点。研究表明，物探技术在水工环地质勘察中发挥着重要作用，合理应用物探技术能够提高勘察效率和准确性，为水工环地质工作提供有力支持。

**关键词：**水工环地质勘察；物探技术；应用实践

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.23.077

## 引言

水工环地质工作是地质工作的重要组成部分，主要涉及水文地质、工程地质和环境地质等方面。物探技术作为水工环地质勘察的重要手段，能够快速、高效地获取地下地质信息，为水工环地质工作提供了有力的技术支持。本文旨在深入研究物探技术在水工环地质勘察中的应用与实践，以提高物探技术在水工环地质勘察中的应用水平。

### 一、水工环地质勘察概述

#### （一）水工环地质的定义和内涵

水工环地质是水文地质、工程地质和环境地质的统称，它是一个综合性的地质学应用领域，具有丰富的内涵。水文地质主要研究自然界中地下水的各种变化和运动现象，包括地下水的分布和形成规律、物理性质和化学成分、地下水资源及其合理利用，以及地下水对工程建设和矿山开采的不利影响及其防治等。随着科学的发展，水文地质学又衍生出区域水文地质学、地下水动力学等分支学科，且与地热、地震等方面的研究相互渗透形成新领域。

工程地质关注岩土体的工程性质及其对工程建筑稳定性的影响，确定岩土组分、组织结构、物理、化学与力学性质及其对建筑工程稳定性的影响，进行岩土工程地质分类并提出改良方法。它还研究人类工程活动对自然环境平衡的破坏，以及自然发生的崩塌、滑坡等物理地质作用对工程建筑的危害及防治措施，为各类工程的设计、施工提供地质依据。

环境地质研究地质环境与人类活动之间的相互关系，包括地质灾害、地质环境变迁、地质资源开发利用对环境的影响等。通过对区域地质环境条件和环境地质问题的调查研究，评价预测资源开发与国土整治的环境地质条件，拟定地质环境保护对策，为区域经济与社会可持续发展等提供科学依据。

#### （二）水工环地质勘察的重要性

水工环地质勘察在多个领域发挥着不可忽视的重要作用。在绿色矿山开采中，它为矿山开采提供可靠的地质资料，指导绿色矿山的设计和规划，保障安全开采，

推动矿业绿色可持续发展。通过勘查能了解地质情况，避免盲目开采，减少对环境的破坏，提升资源利用率，促进矿山开采的可持续发展。

对于金属矿山建设，水工环地质勘察涵盖水文勘测、工程勘察和环境勘察三方面，可提高矿山资源开采效率，减少工作人员风险，降低事故发生率，保证资源合理利用，避免过度开发。在开采前做好地质勘察工作，能确保资源的合理开发，为金属矿山建设提供有力保障。

在环境保护方面，水工环地质工程勘查工作同样意义重大。以水库工程为例，全面准确的勘查能获取大量样本和数据，分析地层情况、地下水流动特性和土壤稳定性，制定科学工程方案，最大限度减少对环境影响。同时，规范勘查标准和操作流程，加强人员培训，能提升勘查结果的可靠性和一致性，确保勘查工作的科学性和严谨性。

#### （三）水工环地质勘察的现状

水工环地质勘察在历经约 90 多年发展中积累了经验，推动着社会经济进步，但也面临着诸多现状问题。在技术应用上，以信息技术为代表的新技术成为勘察工作不可或缺的部分，社会对地质勘察、测量和环境调查的精确度要求促使新技术融入，提高了工作效率。例如在贵州岩溶石山地区，通过多种方法重新核算地下水资源量，配合遥感解译查明生态环境地质问题，还建设了岩溶石山地区 1:25 万地下水与生态地质环境空间数据库。

然而，当前水工环地质勘察也存在一些不足。勘察队伍建设方面，人员素质和能力普遍不健全，影响了勘察工作的进一步落实。同时，工作中行政化干预现象较为严重，导致执行效率低下，无法满足社会对该工作的要求。管理方式也存在局限性，不合理的管理措施阻碍了水工环地质工作的发展。另外，虽然取得了如在贵州解决部分村镇饮水和农田灌溉等成果，但贵州省仍有 576.4 万人、342.04 万头大牲畜饮水未解决，1198.37 万亩农田缺水灌溉，说明水工环地质勘察在解决实际问题上还有很大提升空间。

二、不同物探技术在水工环地质勘察中的具体应用

(一) 地震波法

地震波法是一种利用仪器测量人工或自然的地球物理场来推断地下地质情况的方法，原理是基于岩石的电性、磁性、弹性波传播速度、天然放射性及密度等的差异，以研究岩层界面、断裂分布、地下水状况、岩体完整性及喀斯特等工程地质及水文地质问题。

其发展历程丰富，自明特罗普对盐丘首次探测应用后，中国于1957年将其引入资源勘探领域，1980年代数字记录技术推动其向浅层高精度勘探发展，21世纪综合地震仪实现自动化处理，形成了从初至法到深地震测深的技术演变体系。

地震波法在实际应用中十分广泛。在巷道工程里，可通过地震波波速在不同应力状态、不同岩石性质下的差异，确认巷道围岩松动圈的范围；在高速公路工程中，能用于混凝土路面的板底脱空检测。此外，地震折射波法作为地震波法的分支，主要应用于海洋深部构造研究、近地表地质调查及城市活断层勘探。在灾害地质方面，地震波预测法可通过分析岩爆信息预测未来岩爆，建立岩爆相关要素与地应力场变化的关系，预报大中型岩爆的时空位置及规模。

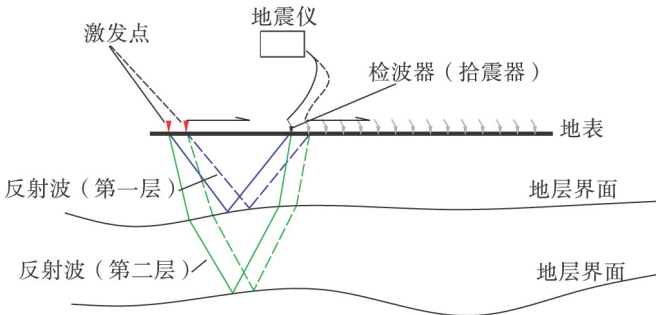


图1 地震波法示意图

(二) 磁法和地质雷达法

磁法和地质雷达法在地质勘察中各有独特优势与应用。磁法勘探基于含铁或钢的物体受磁场影响会产生自身磁场的原理，可用于探测地下含铁（富铁）物体。在工程现场，磁力仪通过探测目标物形成的地球磁场差异来实现这一目的。像金属管线探测仪也是利用类似原理，它并非直接定位电缆或管道，而是通过主动或被动的信号定位地下设施周围的电磁场，在地下设施检测中发挥重要作用，与其他探测工具组合能降低地下设施故障可能性。

地质雷达法以地质雷达方程为理论基础，利用地下各种介质的电阻率和介电常数差异，通过发射高频电磁波来探测地下介质。发射天线向地下发送脉冲电磁波，接收天线接收地下反射回来的电磁波信号，地下介质的电性差异会使电磁波反射强弱不同，且传播时会有能量衰减。对接收信号处理分析可得到地下结构图像。高频

电磁波能穿透一定深度地层，不同岩石和土壤的介电常数影响其传播。地质雷达法适用于浅层地质勘探，可用于检测隧道衬砌质量、探测地下管线位置和走向、发现地下空洞和岩溶等地质异常，在城市地铁施工前的地下情况调查等方面应用广泛。

(三) 电法、GPS、RTK 和遥感技术

电法、GPS、RTK 和遥感技术在水工环地质勘察中各展所长。电法基于岩石的电性差异，通过观测和研究人工或天然电场、电磁场的分布规律，来推断地下地质结构和地质体的分布，常用于寻找地下水、探测金属矿等。

GPS 即全球定位系统，空间卫星群由 24 颗距离地表 20 万公里以上的卫星构成，均匀分布在 6 个轨道中，各平面交角为 60°，轨道运行周期基本为半天，能保证在任何时段和地点接收到卫星信号，地面控制系统包含主控站、监测站以及注入站。RTK 是实时动态载波相位差分技术，通过对两个测量站接收到的载波相位合理传播到用户接收机，再处理数据完成坐标计算，能实时提供测量点的三维坐标，精度可达厘米级，大大提高了测量效率和精度。

遥感技术则是从远距离感知目标反射或自身辐射的电磁波、可见光、红外线等，对目标进行探测和识别，可获得大范围的地质信息，用于地质构造分析、土地利用监测等。

表1 几种技术在某小型水工环地质勘察项目中的应用数据统计示意表

技术名称	应用范围	测量点数	数据采集时长(天)
电法	寻找地下水	50	7
GPS	控制测量	30	3
RTK	地形测量	200	5
遥感技术	区域地质构造分析	-	基于卫星影像数据获取

这些技术相互配合，为水工环地质勘察提供了全面、准确的信息，推动了勘察工作的高效开展。

三、水工环地质勘察中物探技术的应用要点

(一) 技术选择要点

在水工环地质勘察中，技术选择是一个复杂且关键的决策过程，需综合考量多方面因素以确保勘察工作的高效与准确。从经济增长因素来看，若勘察区域劳动力资源丰富但资本资源紧张，可选择劳动密集型技术，能充分利用人力优势并降低成本；而在资本充裕、劳动力不足的地区，资本密集型技术则更为合适，可提高工作效率和质量。

技术进步水平也是重要考量因素。高、精、尖技术或世界先进水平技术适用于对勘察精度要求极高、有充足资金和高素质人员的项目；先进适用技术和中间适用技术则可在满足基本需求的同时，兼顾成本和可操作性。

同时,还应关注技术进步的结果,如提高质量技术、增加品种技术、扩大能力技术和生产安全技术等,以实现特定的勘察目标。

此外,还需遵循社会效益原则,考虑技术对人类健康、生态环境、资源质量等方面的影响,优先选择提高生态效益和社会效益的技术。在实际操作中,要考察技术的社区支持度,选择有活跃社区的技术,便于获取帮助和解决问题;评估技术的性能指标,防止性能瓶颈影响项目稳定性;重视技术的安全性,避免选择存在漏洞和安全隐患的技术,确保系统安全运行。

## (二) 数据采集要点

水工环地质勘察的数据采集要点繁多且关键。在磁法数据采集中,使用质子旋进磁力仪(灵敏度0.1nT)或光泵磁力仪,航空磁测飞行高度控制在80-150m。要记录GPS时间同步数据,进行日变校正(基站采样间隔1秒),当磁暴干扰 $> 20\text{nT}/\text{min}$ 时需暂停作业,磁法数据还需化极处理(低纬度地区用差分法)。

重力数据采集方面,要建立覆盖工区的重力基点网(间距5-10km),使用高精度重力仪(精度 $\leq 0.01\text{mGal}$ )进行闭合测量。每日施工前进行零点漂移校正,消除固体潮(最大影响可达 $3\text{mGal}$ )和仪器高度效应。重力数据需进行中间层改正(密度 $2.67\text{g}/\text{cm}^3$ )、地形改正(半径 $> 166\text{km}$ )和高度改正(自由空气梯度 $0.3086\text{mGal}/\text{m}$ )。

电磁法数据采集时,CSAMT(可控源音频大地电磁法)适用于中深部勘探(1-3km),采用16-8192Hz频段;MT(大地电磁法)用于深部结构研究,采集0.001-1000Hz天然场信号。TEM(瞬变电磁法)用大回线源(500×500m)探测浅部目标,接收线圈水平放置并远离金属干扰体,长偏移距系统(LOTEM)采用10-100A电流,采样间隔从 $\mu\text{s}$ 级到s级递变,布极方向与构造走向成 $45^\circ$ 夹角<sup>[1]</sup>。持续监测井下应力、水文地质等数据,能指导采矿设计,动态优化开采方案以保障安全与效益。

## (三) 数据处理和分析要点

水工环地质勘察的数据处理和分析要点涵盖多方面内容。数据处理是为分析做铺垫的重要步骤,其要点在于保证数据的准确性、一致性和可比性。数据清洗是去除噪声和异常值的关键操作,能有效确保数据的精确性与一致性。归一化处理将数据转换到统一尺度范围,便于后续处理和分析;标准化则通过特定方法调整不同量纲的数据,使它们具备可比性。此外,数据变换会对原始数据进行如缩放、平移等数学操作,以契合特定的分析需求。

在数据清洗过程中,识别、校正和删除错误数据是核心,目的是保障数据的准确性、一致性和完整性。完成数据处理后,分析工作至关重要。通过对处理后的数据进行深入分析,能够挖掘出有价值的信息。例如在水

工环地质勘察中,分析数据可用于了解地下水的分布规律、地质构造的特征等,从而为后续的工程规划、资源开发等提供科学依据。同时,借助数据分析还能提高相关工作的效率和安全性,降低对环境的影响,实现资源的可持续开发。

## (四) 质量控制要点

水工环地质勘察质量控制要点涵盖多个关键方面,旨在确保勘察成果的准确性、可靠性和实用性。建立质量控制责任体系是基础,明确各环节和人员的质量责任,使每个参与者清楚自身在保障质量中的角色和任务,形成全员参与、层层负责的质量保障格局。

定期开展质量控制体系的评估和优化至关重要。通过对质量控制工作的全面审视,分析其中的薄弱环节,找出可能影响勘察质量的潜在因素。针对这些问题提出切实可行的改进措施,不断完善质量控制体系,使其更适应勘察工作的实际需求和变化。

应用先进的质量控制技术是提高质量控制效率和准确性的有效途径。自动化质量控制技术能够借助计算机程序和设备,对勘察数据进行快速、精确的分析和处理,减少人为因素导致的误差。人工智能技术则可通过机器学习和深度学习算法,对大量的勘察数据进行挖掘和分析,发现数据中的潜在规律和异常情况,为质量控制提供科学依据。

在数据采集阶段,要严格把控数据的准确性和完整性。确保测量仪器的精度和可靠性,按照规范的操作流程进行数据采集,对采集的数据进行实时检查和验证,及时发现和纠正数据中的错误和偏差。在数据处理和分析阶段,要采用科学合理的方法和模型,对数据进行处理和分析,确保分析结果的准确性和可靠性。同时,要对分析结果进行审核和验证,确保其符合实际情况和相关标准要求。通过这些质量控制要点的有效实施,能够提高水工环地质勘察的质量和水平,为相关工程和决策提供有力的支持。

## 结语

技术在现代社会中与经济、政治、文化等要素紧密相连,且在现代性演化中作用愈发重要。从马克思的解放政治学,到如今的高新技术时代,技术批判已转化为反对“生命政治”的生命政治学。技术问题不仅是自然问题,更是社会问题,是我们当下需严肃对待的生存问题。

## 参考文献

- [1] 侯佳俊. 电法在水工环地质勘察中的应用认识[J]. 城市地理, 2015(4X): 1.
- [2] 叶惺威. 浅谈电法在水工环地质勘察中的作用[J]. 建材与装饰, 2017(50): 2.

作者简介: 王晨(1992年3月),男,汉族,湖南郴州人,本科,水工环中级,现就职于湖南省核地质调查所,研究方向:水工环地质。