

基础地质工程与地质勘察应用研究

范本峰

新疆维吾尔自治区地质局乌鲁木齐地质大队 新疆 乌鲁木齐 830009

摘要：基础地质工程的安全稳定与地质勘察的精准性密切相关。本文以基础地质工程与地质勘察的关联为核心，系统梳理二者理论基础，探讨高精度、智能化勘察技术的创新应用，分析特殊地质条件下的勘察技术突破路径，并研究勘察数据在工程设计、施工、运维全生命周期的应用。通过理论分析与技术探讨，明确勘察技术优化方向与数据转化路径，为提升基础地质工程安全性、推动勘察技术智能化升级提供理论与实践参考。

关键词：基础地质工程；地质勘察；技术创新；应用

引言：随着工程建设向复杂地质区域拓展，基础地质工程面临的地质风险日益凸显，地质勘察作为揭示地质条件、规避工程风险的关键手段，其技术水平与应用深度直接影响工程质量。当前，传统勘察技术在复杂地质场景下存在精度不足、效率偏低等问题，智能化技术与数据融合应用成为发展趋势。基于此，本文围绕基础地质工程与地质勘察的理论关联、技术创新及全生命周期应用展开研究，旨在分析二者协同逻辑，为工程建设提供科学的地质勘察解决方案。

1 基础地质工程与地质勘察的理论基础

1.1 基础地质工程的核心内容

基础地质工程是工程建设的基石，其核心内容涵盖以下三大领域。（1）在地基基础工程中，承载力计算是关键，需通过土体力学参数确定地基的极限承载能力，并结合工程荷载需求进行安全储备设计；沉降控制则需分析地基在荷载作用下的变形特性，确保建筑物长期稳定性；持力层选择需综合岩土层分布、厚度及力学性质，优先选择压缩性低、承载力高的土层或岩层作为基础依托。（2）岩土工程聚焦土体分类与工程特性分析，依据土的颗粒组成、密实度及含水量等指标划分类型，并评估其抗剪强度、压缩性等参数，为边坡稳定性、基坑支护等设计提供依据。（3）地下水工程则要评估水文地质条件，包括地下水位、渗透系数及补给排泄关系，通过防渗设计（如帷幕灌浆、排水系统）控制地下水对工程的不利影响，避免管涌、流土等灾害。

1.2 地质勘察的技术体系

地质勘察技术体系由传统方法、现代技术及数据融合三部分构成。（1）传统方法以地质测绘为先导，通过地形地貌、地层岩性及构造形迹的实地调查，初步掌握区域地质条件；钻探技术通过取芯或原状土样获取地下岩土层信息，结合原位测试（如标准贯入试验、静力

触探）直接测定土体力学参数，为工程设计提供量化依据。（2）现代技术以地质遥感与地球物理勘探为核心，遥感技术通过卫星或航空影像解译地质构造与灾害隐患，物探方法（如电法、地震法）利用岩土层电性或弹性差异探测地下异常体，实现大范围快速勘察。无人机测绘则通过低空摄影生成高精度数字高程模型，弥补传统测绘在复杂地形中的不足。（3）数据融合阶段，三维地质建模整合钻探、物探及测绘数据，构建可视化地质模型；数值模拟技术（如有限元分析）基于模型模拟工程荷载下的地质响应，为优化设计与风险评估提供科学支撑^[1]。

2 基础地质条件与工程勘察的关联性分析

基础地质条件是工程勘察的核心对象，其复杂性直接决定勘察工作的深度与精度，而工程勘察则是揭示地质条件、服务工程选取的关键手段，二者存在紧密的双向关联性。从地质条件对勘察的影响来看，不同地质环境对勘察方法的选择与技术要求差异显著。在岩性单一、构造简单的均质地质区，常规钻探与原位测试即可满足需求；而在岩溶发育、断层破碎或软硬不均的复杂地质区，需结合地质雷达、地震折射等物探方法进行综合勘察，以准确识别隐伏地质异常。地下水动态特征（如水位波动、渗透性）直接影响勘察参数的可靠性，需通过长期监测与动态分析确保数据时效性。

工程勘察对地质条件的反馈作用体现在两方面：

（1）通过系统勘察揭示地质条件的空间分布与工程特性，为工程设计提供基础参数（如岩石承载力、边坡稳定性系数）；（2）根据勘察成果评估地质条件对工程的潜在影响，指导优化设计方案（如调整基础类型、增设支护结构）。同时，勘察过程中的数据积累可修正区域地质认知模型，为后续工程提供经验参考，形成“勘察-认知-再勘察”的动态循环机制^[2]。

3 地质勘察技术的创新与应用

3.1 高精度勘察设备与智能化技术

地质勘察技术的智能化升级显著提升了数据获取的精度与效率,为工程决策提供了更可靠的地质依据。(1)智能钻探设备通过集成自动化控制与物联网技术,实现了钻探过程的全程智能化管理。其核心功能包括自动取芯系统,可根据地层岩性动态调整钻进参数(如转速、压力),确保岩芯完整率超过95%,同时减少人工干预;实时数据传输模块通过5G或北斗卫星将钻探深度、地层岩性、孔内水位等参数同步上传至云端平台,支持远程监控与即时分析;结合AI算法的钻进轨迹优化功能,可自动规避地下障碍物或调整钻孔方向,在复杂地质条件下(如破碎带、溶洞区)显著提高钻探成功率。此外,设备自带的故障诊断系统能实时监测钻机运行状态,提前预警机械故障,降低停机风险。(2)无人机LiDAR技术凭借其高效、灵活的优势,成为地形地貌与地质构造勘察的重要工具。该技术通过激光脉冲扫描地面,结合高精度定位系统(RTK),可快速生成分辨率达厘米级的三维地形模型,精准捕捉微地貌特征(如断层崖、滑坡体);其多光谱与红外成像功能可进一步识别地表覆盖类型(如植被、水体)及隐伏地质构造(如隐伏断层、岩溶洼地)。相比传统测绘,无人机LiDAR的作业效率提升80%以上,且能覆盖人工难以到达的区域(如陡崖、沼泽),为地质灾害早期识别与工程选区提供关键数据支持。(3)人工智能辅助的地质数据解译技术通过机器学习算法,实现了海量勘察数据的自动化处理与智能分析。其核心应用包括:基于卷积神经网络(CNN)的地质图像识别,可自动分类岩土体类型(如砂土、黏土、岩石)并标注其空间分布;利用循环神经网络(RNN)构建的地质参数预测模型,可结合少量钻孔数据推断区域地层岩性、厚度及力学参数(如抗压强度、弹性模量),减少钻探工作量;结合强化学习的地质灾害风险评估系统,能动态模拟不同工况下(如降雨、地震)的边坡稳定性或地基沉降,为工程防护设计提供科学依据。AI技术的引入使地质勘察从“经验驱动”转向“数据驱动”,显著提高了分析效率与决策精度。

3.2 特殊地质条件下的勘察技术突破

针对复杂地质条件,勘察技术通过多方法融合与装备创新,实现了对隐伏地质体的高精度探测与工程特性评价。(1)岩溶区勘察采用“空-地-洞”三维探测体系,整合地质雷达、钻探与洞穴探测技术。地质雷达通过高频电磁波反射特征识别地下溶洞、土洞的平面位置与埋深,其探测深度可达50米,分辨率优于0.1米;钻探技术则通过多级套管护壁与金刚石钻头,确保在岩溶

发育区安全取芯,验证物探成果;洞穴探测采用激光扫描仪与三维建模软件,对已暴露的溶洞进行内部形态测绘,结合地质雷达数据构建完整的三维溶洞模型,为施工设计避开溶洞或采取跨盖处理提供依据。(2)深厚软土区勘察通过静力触探(CPT)与波速测试的联合应用,实现了岩石承载力的精准评价。CPT通过锥尖阻力与侧壁摩擦力连续测量,可划分软土层厚度并估算其压缩模量;波速测试(如跨孔法)则通过测定剪切波速(V_s)与压缩波速(V_p),计算土的动剪切模量与泊松比,结合CPT数据构建土体本构模型。两种方法的互补性显著提高了软土力学参数的可靠性,为深厚软土地基处理(如真空预压、水泥搅拌桩)提供设计参数。(3)地震活跃区勘察利用微动探测技术评估场地卓越周期与液化潜能。微动信号由地表自然振动(如风、交通)产生,其频谱特征与地下介质结构密切相关。通过布置三维观测阵列采集微动数据,并利用空间自相关法(SPAC)或频率-波数分析法(FK)提取瑞利波频散曲线,可反演场地100米深度内的剪切波速结构,进而确定场地卓越周期(与建筑物自振周期对比评估共振风险)及砂土液化层分布(基于剪切波速临界值判断液化可能性)。该技术无需人工震源,适用于城市密集区与复杂地形,为抗震设计提供关键依据^[3]。

4 地质勘察数据在基础地质工程全生命周期中的应用

4.1 设计阶段

设计阶段是地质勘察数据转化的关键环节,其核心在于将地质条件量化为工程参数,为结构安全性验算提供科学依据。(1)地质模型构建与参数敏感性分析:基于勘察数据构建三维地质模型,通过有限元分析软件模拟工程荷载下的地质响应。敏感性研究聚焦于关键参数对结构安全性的影响程度,识别高敏感性参数并优化取值范围,避免因参数偏差导致设计保守或风险失控。(2)多工况荷载组合验算:结合地质条件与工程特点,设计阶段需考虑多种极端工况下的结构安全性。地质勘察数据为荷载组合提供边界条件:例如,根据地下水位波动范围确定抗浮设计水位,依据地震动参数进行抗震验算,利用土体抗剪强度指标评估边坡稳定性。通过多工况验算,确保结构在全生命周期内满足“小震不坏、中震可修、大震不倒”的抗震目标。(3)设计参数动态修正机制:针对复杂地质条件,设计阶段建立“勘察-设计-再勘察”的迭代机制。初始设计基于初步勘察数据,但随着勘察深度增加,若发现地质条件与设计假设存在偏差,需及时修正地质模型参数,并重新验算结构安全性。

4.2 施工阶段

施工阶段是地质勘察数据“落地”的核心环节，通过动态监测与实时反馈，确保施工过程符合地质条件约束，避免因地质风险引发安全事故。（1）施工过程地质条件实时感知：利用物联网传感器与无人机巡查技术，对施工区域的地质条件进行实时监测。例如，在露天矿开挖中，通过埋设于支护结构的应变计，实时监测支护应力变化；结合地表沉降监测点数据，分析开挖引起的地层变形规律。实时感知数据为施工参数调整提供依据，防止因地质条件突变（如遇断层、软弱夹层）导致坍塌或失稳。（2）施工安全预警与应急决策支持：基于监测数据构建施工安全预警系统，通过设定阈值（如支护应力超过设计值的80%、地表沉降速率超过3mm/d）触发预警信号，并联动应急预案。利用数值模拟技术反向推演地质条件变化，为应急决策提供科学支持，缩短响应时间，降低事故损失。（3）施工对地质环境的扰动控制：施工活动可能改变原始地质条件，需通过监测数据评估扰动范围与程度。在降水施工中，通过水位监测并控制降水深度，避免因过度降水引发地面沉降或土体失稳。扰动控制数据为施工工艺优化提供依据。

4.3 运维阶段

运维阶段是地质勘察数据“延续价值”的体现，通过长期监测与数据分析，评估工程健康状态，预测剩余寿命，为维修加固或改造提供决策支持。（1）结构健康监测系统构建：在工程关键部位布置长期监测传感器，持续采集结构响应数据（如应力、变形、振动频率）。结合地质条件，分析结构性能退化规律，为运维策略制定提供数据支撑。（2）剩余寿命预测与风险评估：基于监测数据与地质条件演变趋势，利用机器学习算法（如

时间序列分析、神经网络）构建剩余寿命预测模型。例如，在大坝运维中，结合渗流监测数据与坝体材料老化规律，预测坝体抗滑稳定性随时间的变化；在桥梁运维中，根据基础沉降监测数据与地质冲刷速率，评估桩基承载力衰减趋势。剩余寿命预测结果为工程大修或改造时机提供科学依据。（3）地质条件变化适应性改造：运维阶段需关注地质条件的长期变化（如地下水位上升、地震活动加剧）对工程的影响。例如，若监测发现大坝渗流量持续增加，可能因坝基土体渗透性增强或防渗体老化所致，需结合地质勘察数据评估渗流通道分布，并实施防渗加固（如帷幕灌浆）；若桥梁所在区域地震动参数升级，需根据新地质条件重新验算抗震性能，必要时进行抗震加固。适应性改造确保工程在变化的地质环境中持续安全运行^[4]。

结束语：基础地质工程与地质勘察的深度融合是保障工程安全、提升建设效益的核心前提。本文系统阐述了二者的理论基础与关联机制，总结了智能化勘察技术的应用成果及数据全生命周期应用模式。未来，需进一步推动勘察技术与人工智能、物联网的深度融合，完善复杂地质条件下的勘察技术体系。

参考文献

- [1]董杰聪.基础地质工程与地质勘察应用研究[J].中国设备工程,2021(10):242-243.
- [2]岳小飞.基础地质工程与地质勘察应用研究[J].新疆有色金属,2022,45(5):9-11.
- [3]孟巍.基础地质勘察技术在岩土工程勘察过程中的应用研究[J].陕西建筑,2021(4):8-10.
- [4]金圣照.复杂地形地质条件下岩土工程智能勘察技术的应用[J].智能建筑与智慧城市,2025(2):79-81.