

岩土工程地质勘察技术的研究

王连钊

湖南化工地质工程勘察院有限责任公司 湖南 长沙 410004

摘要：岩土工程地质勘察技术是保障工程建设安全、优化设计施工的关键。研究涵盖勘察阶段划分、技术手段分类及核心参数评价标准，分析传统技术效率、精度等局限性。聚焦现代主流技术如三维建模、无人机遥感、智能传感等，对比其适用性。探讨技术创新方向与工程案例，提出数据干扰控制、多源数据融合标准化等实施对策，展望智能化、绿色化及国际化发展趋势。

关键词：岩土工程；地质勘察；技术方法

引言：岩土工程地质勘察是工程建设的基础环节，其成果直接影响工程安全性、经济性与可持续性。随着工程规模扩大与地质条件复杂化，传统勘察技术面临效率低、精度不足等挑战。本文聚焦岩土工程地质勘察技术创新，系统梳理技术分类与评价体系，分析主流技术方法适用性，结合典型工程案例探讨技术融合路径，为推动勘察技术智能化、绿色化、国际化发展提供理论支持。

1 岩土工程地质勘察技术基础理论

1.1 岩土工程地质勘察的定义与分类

岩土工程地质勘察是指为满足工程建设规划、设计、施工及运营阶段需求，对场地岩土体、地质构造、水文地质条件等进行调查研究与分析评价的综合性技术工作。其分类主要包括以下两类：（1）按勘察阶段划分。可分为可行性研究勘察、初步勘察、详细勘察三个核心阶段。其中可行性研究勘察侧重场地整体适宜性评估，为项目选址和规划提供依据；初步勘察聚焦场地地质条件的初步查明，服务于初步设计；详细勘察则需精准探明工程影响范围内的地质细节，为施工图设计和施工方案制定提供精准数据。（2）按技术手段划分。涵盖钻探、物探、原位测试、实验室试验等关键方式。钻探通过钻孔获取岩土样品和地下地质信息；物探借助地球物理原理探测地下地质构造和岩土体分布；原位测试在现场直接测定岩土体性质；实验室试验则对采集的样品进行室内分析，获取精准参数^[1]。

1.2 地质勘察的核心参数与评价标准

（1）岩土体物理力学性质参数：核心包括密度、含水量、孔隙比、抗剪强度、抗压强度等。这些参数直接决定岩土体的承载能力和变形特性，是工程结构设计的核心依据，其取值精度直接影响工程安全性和经济性。（2）地质灾害敏感性评价标准：主要针对滑坡、沉降、

地震液化、岩溶塌陷等潜在地质灾害，结合场地地质条件、水文环境等因素，评估灾害发生的可能性和影响程度，为工程选址避让和灾害防控措施制定提供支撑。

1.3 传统勘察技术的局限性分析

（1）效率低，传统钻探、取样等流程繁琐，单孔勘察周期长，难以快速覆盖大面积场地；（2）成本高，设备搬运、现场作业及样品运输储存等环节耗费大量人力物力；（3）数据精度不足，取样过程易扰动岩土体，室内试验与现场实际工况存在差异，导致参数偏差；（4）对复杂地质适应性差，在岩溶发育区、软弱夹层分布区等复杂场地，难以全面探明地质条件，易出现勘察盲区。

2 岩土工程地质勘察主流技术方法

2.1 传统勘察技术

（1）钻探取样技术：核心涵盖岩芯钻探、标准贯入试验等。岩芯钻探通过钻机钻孔获取地下连续岩芯样品，直观反映岩土体层位、岩性及构造特征，是查明深部地质条件的核心手段；标准贯入试验通过重锤冲击贯入器，根据贯入深度判定岩土体密实度和承载力，广泛应用于砂土、粉土等土层的工程性质评价。（2）地球物理勘探：常用方法有电阻率法、地震波法、地质雷达等。电阻率法通过测量岩土体电阻率差异，区分岩性、探测地下水分布及岩溶发育区；地震波法利用地震波传播速度与岩土体性质的相关性，查明地质构造和岩土体分层；地质雷达则通过高频电磁波反射信号，快速探测浅部地层界面、地下管线及隐患体^[2]。（3）原位测试技术：主要包括静力触探、动力触探、旁压试验等。静力触探通过匀速压入探头，测量锥尖阻力和侧壁摩阻力，快速判定土层承载力和分层；动力触探借助重锤冲击能量，评估岩土体密实度和完整性；旁压试验通过向孔壁施加压力，测定岩土体横向承载力和变形模量。

2.2 现代勘察技术

(1) 三维地质建模技术：以BIM+GIS集成应用为核心，整合勘察数据、地质资料构建三维可视化地质模型，实现地层、构造、水文等信息的直观呈现，为工程设计、施工模拟提供立体数据支撑。(2) 无人机遥感与卫星影像解译：无人机遥感通过低空航拍获取高分辨率影像，结合影像解译技术快速识别地形地貌、边坡病害及地质灾害隐患；卫星影像解译则适用于大范围区域地质勘察，实现宏观地质条件的快速排查。(3) 智能传感与物联网监测技术：通过部署智能传感器（如孔隙水压力计、位移计），结合物联网实现地质参数的实时数据采集、传输与分析，精准捕捉岩土体动态变化，为工程安全监测提供实时保障。(4) 数值模拟与大数据分析：借助有限元、离散元等数值方法模拟岩土体受力变形行为，结合大数据技术整合历史勘察数据、工程案例，实现岩土体工程性质的精准预测，提升勘察决策的科学性^[3]。

2.3 技术对比与适用性分析

(1) 不同技术方法的优缺点对比：传统技术成本相对较低、操作成熟，但存在效率低、精度有限、适用范围受限等问题，适用于简单地质条件下的常规勘察；现代技术具有效率高、精度高、可视化强等优势，但设备投入大、技术门槛高，适用于复杂场地、大型工程及高精度勘察需求。从适用场景看，钻探取样适用于深部地层查明，地质雷达适用于浅部隐患探测，三维建模适用于工程全周期管控。(2) 复合勘察技术的协同应用案例：在山区高速公路勘察中，采用无人机遥感排查宏观地质灾害隐患，结合地质雷达探测浅部岩溶，通过钻探验证深部地层，借助三维建模整合数据，形成“宏观排查-精准探测-深部验证-立体建模”的协同勘察体系，大幅提升勘察效率与精度，为工程选线和灾害防控提供全面支撑。

3 岩土工程地质勘察技术创新与应用

3.1 技术创新方向

(1) 人工智能在勘察数据解析中的应用：以深度学习、机器学习算法为核心，实现地质构造的智能识别与分析。通过训练神经网络模型，自动处理钻探岩芯图像、物探曲线等海量数据，快速识别断层、软弱夹层、岩溶等不良地质体，大幅提升数据解析效率与精度，解决传统人工解析主观性强、效率低的问题。(2) 微型化与自动化勘察设备研发：聚焦无人化、便携化技术突破，研发无人钻机、便携式智能传感器等设备。无人钻机可实现远程操控钻孔、取样、数据记录一体化作业，适配复杂地形与危险区域勘察；便携式传感器体积小、精度高，可快速部署完成现场参数采集，降低人力成本

与作业风险。(3) 绿色勘察技术：以减少环境扰动为核心目标，推广低扰动钻探技术、环保取样耗材、泥浆循环处理系统等。通过优化勘察流程，减少钻孔数量与占地面积，避免钻探废弃物污染土壤与地下水，实现勘察作业与生态环境保护的协同发展，适配生态敏感区工程建设需求^[4]。

3.2 典型工程案例分析

(1) 案例1：城市地铁隧道勘察中的综合物探技术应用。某城市地铁隧道工程穿越老城区，地下管线密集、地层复杂。采用“地质雷达+高密度电阻率法+地震波法”综合物探技术，结合无人机遥感排查地表隐患，精准探明地下管线分布、浅部松散层厚度及深部断层位置。通过多技术数据融合，有效规避管线干扰，为隧道线路优化与施工风险防控提供精准地质依据，相比传统钻探效率提升40%，勘察成本降低25%。(2) 案例2：山区高速公路边坡稳定性评价的数值模拟方法。某山区高速公路沿线边坡高差大、地质构造发育，滑坡隐患突出。采用FLAC3D数值模拟软件，整合无人机遥感获取的地形数据与钻探采集的岩土参数，构建边坡三维地质模型，模拟不同工况下边坡的应力分布与变形特征，精准预判潜在滑坡区域与滑动模式。基于模拟结果制定针对性支护方案，有效提升边坡工程安全性，减少后期运维成本。(3) 案例3：海洋工程地质勘察的挑战与解决方案。某海上风电项目勘察面临海水干扰、海底地形复杂、作业环境恶劣等挑战。采用“无人船搭载地质雷达+深海智能取样钻机+水下传感器网络”的综合技术方案，无人船实现大范围海底地形快速探测，深海钻机精准获取海底岩土样品，水下传感器实时监测海水动力与岩土体稳定性。通过多设备协同作业，突破海洋环境勘察瓶颈，为风电基础设计与施工提供可靠数据支撑。

3.3 技术实施中的问题与对策

(1) 数据采集的干扰因素控制：针对城市地下管线、电磁环境、海洋水流等干扰因素，采用“前期排查+技术适配+数据校正”的综合对策。前期通过管线探测仪、卫星影像等排查干扰源分布；选用抗干扰能力强的勘察设备，如屏蔽式传感器、多频域物探仪器；后期利用数据校正算法剔除干扰信号，确保采集数据的真实性与可靠性。(2) 多源数据融合的标准化流程：建立涵盖数据采集、预处理、融合分析、成果输出的全流程标准体系。明确不同类型勘察数据（物探、钻探、遥感）的格式规范与质量控制指标，采用统一的数据融合平台，通过标准化算法实现多源数据的互补验证与整合分析，避免数据冗余与冲突，提升数据利用效率^[5]。(3) 技术

人员的专业能力提升路径：构建“理论培训+实操演练+案例研讨”的立体化培养体系。开展人工智能、三维建模等新技术理论培训，依托实操基地进行自动化设备操作训练；定期组织典型工程案例研讨，分享技术应用经验与问题解决思路；鼓励技术人员参与跨领域交流合作，提升综合技术应用与创新能力。

4 岩土工程地质勘察技术的发展趋势

4.1 智能化与数字化

(1) 基于AI的智能勘察系统开发：未来将进一步整合深度学习、强化学习等先进算法，构建全流程智能勘察系统。该系统可实现从数据采集、解析到成果输出的自动化闭环，例如通过计算机视觉识别岩芯纹理与地质构造，结合历史数据智能预判不良地质体分布，通过智能优化算法规划勘察点位与路线，大幅提升勘察效率与决策科学性。同时，AI技术将实现勘察数据的动态更新与实时分析，为工程施工过程中的地质条件动态调整提供精准支撑。(2) 数字孪生技术在岩土工程中的应用前景：数字孪生技术将实现勘察、设计、施工、运维全生命周期的一体化管理。通过构建与实体工程完全映射的数字孪生模型，整合勘察阶段的地质数据、设计阶段的结构参数、施工阶段的动态监测数据，实现岩土体变形、地质灾害演化的实时模拟与预测。该技术可有效解决传统勘察与工程实施脱节的问题，通过数字模型进行施工方案模拟优化，提前规避地质风险，同时为工程运维阶段的安全监测与病害治理提供可视化、可追溯的技术支撑。

4.2 绿色与可持续勘察

(1) 低能耗、低污染勘察技术的推广：未来将进一步研发并推广低能耗勘察设备，如电动钻机、太阳能供电传感器等，降低勘察作业的能源消耗；同时优化勘察工艺，推广无泥浆钻探、低扰动取样等技术，减少钻探过程中泥浆泄漏、土壤扰动等环境问题。针对生态敏感区，将开发针对性的微创勘察技术，通过减少钻孔数量、缩小作业范围，最大限度降低对生态环境的破坏。

(2) 勘察废弃物的资源化利用：建立勘察废弃物分类处理与资源化利用体系，例如将钻探产生的岩芯、渣土经过筛分、固化处理后，用于道路垫层、基坑回填等工程部位，实现固体废弃物的循环利用；对钻探废水进行

净化处理，达到排放标准后回收用于现场作业或绿化灌溉，减少水资源浪费与污染。通过资源化利用，实现勘察作业的环境效益与经济效益协同提升。

4.3 国际化标准与规范建设

(1) 国内外勘察标准的对比与融合：开展国内外岩土工程勘察标准的系统性对比研究，梳理不同标准在勘察阶段划分、参数取值、评价方法等方面的差异，结合我国工程实践经验与国际先进理念，推动制定兼顾科学性、适用性与国际化的勘察标准体系。重点实现关键技术指标、成果输出格式的统一，降低跨国工程的技术壁垒。(2) 跨国工程中的技术协作模式：建立跨国工程勘察技术协作平台，整合不同国家的勘察技术资源、设备资源与人才资源，实现勘察数据的共享与协同分析。通过组建国际化技术团队，采用远程协同勘察、联合技术评审等模式，解决跨国工程中不同区域地质条件差异大、技术标准不统一等问题。同时，推动我国勘察技术与标准“走出去”，提升在国际岩土工程领域的话语权与影响力。

结束语

岩土工程地质勘察技术的研究与实践，是推动工程建设高质量发展的核心动力。本文通过系统分析传统与现代技术的优劣，结合工程案例验证了多技术融合的协同效应。未来需持续深化智能化、绿色化技术创新，完善国际化标准体系，强化人才梯队建设，以精准、高效、可持续的勘察服务，为复杂地质条件下的工程建设提供坚实保障。

参考文献

- [1]杨大辉.综合勘察技术在岩土工程勘察中的应用初探[J].四川建材,2021,43(12):67-69.
- [2]黄文龙.岩土工程勘察方法及其与岩土设计的关系初探[J].河南建材,2021(02):337-338.
- [3]彭重建.岩土工程地质勘察中质量控制因素分析[J].企业技术开发,2021,(17):173-174.
- [4]李晓兵.桥梁岩土工程地质勘察技术分析[J].江苏建材,2024,(02):108-110.
- [5]胡军.复杂地质环境下矿山岩土工程勘察钻探技术分析[J].世界有色金属,2022,(23):166-168.