

现代钻探技术在复杂工程地质勘察中的应用与改进

段谟平

中国建筑西南勘察设计研究院有限公司

摘 要：随着全球工程建设的快速发展，尤其是在复杂地质环境中的大型基础设施项目中，传统钻探技术逐渐暴露出效率低、适应性差和精度不足等问题。复杂的岩土结构、深层地质和特殊地质条件让常规钻探手段显得力不从心。面对这些挑战，如何在提升勘察精度的同时，确保作业的安全性和高效性，成为勘探领域的难题。现代钻探技术通过智能化、自动化和多种新型工具的结合，为复杂工程地质勘察提供了解决路径，这些技术不仅能突破钻探深度的限制，还能在复杂环境下保持作业的稳定性与精度。本文针对现代钻探技术在复杂工程地质勘察中的应用价值进行了分析，探究了现代钻探技术在复杂工程地质勘察中的改进策略。

关键词：现代钻探技术；复杂工程地质勘察；应用与改进

引言

在当今的工程建设中，地质勘察作为项目设计与施工的基础环节，其重要性不言而喻。尤其是在复杂的地质环境下，传统钻探技术面临着效率低、精度差和适应性差等问题，无法满足高精度、高效率、低成本的需求。随着科技的进步，现代钻探技术逐渐融入了更多的创新技术，如智能化控制、自动化作业等，极大地提升了勘察的精准度、深度及效率。特别是在复杂工程地质勘察中，现代钻探技术不仅能够为工程提供翔实可靠的地下信息，还能够帮助工程师准确判断地下条件，制定更科学、合理的工程设计方案。

1 现代钻探技术在复杂工程地质勘察中的应用价值

1.1 提高勘察精度与准确性

在复杂工程地质勘察中，现代钻探技术的应用使得勘察精度和准确性得到了显著提升，成为支撑重大工程项目安全设计和施工的核心保障。地质勘察的目的是获取地下层位、岩土特性、水文条件等信息，而这些数据的准确性直接关系到工程的设计、施工以及后期运行的安全性与稳定性。随着工程建设的复杂性不断增加，尤其是在高层建筑、大型基础设施、地下工程等项目中，钻探技术的进步显得尤为重要。现代钻探技术采用了诸如全自动化钻探设备、数字化测量技术、实时数据传输系统等先进手段，这些技术的应用极大地提升了勘察的精度。传统的钻探设备往往在高压、深层和极为复杂的地质条件下表现不佳，导致地质数据不完整或误差较大。而现代钻探技术通过精密的控制系统，能够实时监测钻进过程中的各项参数（如钻进速度、压力、温度等），并在需要时自动调整，从而确保数据采集的准确性，这一过程的自动化和精确化，减少了人为操作失误，确保了获取的数据具有

高度的一致性和可靠性^[1]。

1.2 增强勘察深度与广度

增强勘察广度与深度是现代钻探技术在复杂工程地质勘察中的一项显著进步。由于传统的钻探技术受限于设备、技术手段以及钻探工艺的局限，往往难以满足深层地质信息的需求，尤其在极深的地下层或特殊地质环境下，传统方法往往面临不适用或效果不理想的问题。然而，现代钻探技术的不断进步，特别是深孔钻探技术、长钻杆技术等的应用，突破了这一瓶颈，为地质勘察提供了更为广阔的空间和更为深入的数据支持。同时长钻杆技术的应用进一步增强了钻探设备在复杂环境中的适应能力，传统的钻探设备在面对大深度时，往往存在钻杆无法顺利延伸至目标深度的问题，导致无法满足深层勘察的需求，通过采用更长的钻杆，现代钻探技术克服了这一难题，使得钻探作业能够深入到地下数百米甚至更深的位置。长钻杆不仅提升了钻探深度，还能在一定程度上提升钻探精度，减少在深层地质中的误差，使得地质勘察工作更为高效和可靠。例如，在石油勘探中，传统技术的钻杆长度通常限制在 1500 米到 2000 米之间，而使用长钻杆技术后，钻杆可以达到 3000 米甚至更长，通过这种方式，可以一次性完成更长深度的钻探任务，减少了需要更换钻杆的次数和时间，极大提高了工作效率。采取传统的钻探技术进行钻探时钻深 1500 米时，需要更换钻杆 5 次，每次更换消耗 2 小时，总耗时为 10 小时。而使用长钻杆技术的情况下，一次性可以钻深 3000 米，钻探完成后无需更换钻杆，有效减少了设备更换的时间和成本。

1.3 适应复杂地质条件

复杂工程地质环境下的钻探作业，往往面临着种

种不确定性和挑战。地质构造的复杂性,如断层、裂隙、软弱地层等,不仅对传统钻探设备的适应性提出了严峻考验,还使得勘察过程充满了风险和难度。在这些条件下,钻探设备可能出现卡钻、断钻杆、设备故障等问题,导致勘察中断或数据失真。因此,如何突破传统钻探技术的局限,适应这些复杂的地质条件,成为现代钻探技术不断发展的关键所在。断层带是复杂工程地质中常见的地质构造之一,断层通常表现为地壳变形的显著标志,其中包括岩石的破碎、滑移、错动等特征。传统的钻探设备在这些地质环境中常面临操作困难,因为断层带中的岩石结构松散且不均匀,钻头极易受到滑移、变形和磨损的影响,甚至可能造成钻孔的崩塌和设备的损坏^[2]。然而,现代钻探技术,特别是旋转钻探技术,能够通过高速旋转和高压冲击相结合,穿透这些复杂的岩层,避免了因岩石不均匀和滑动带来的影响。旋转钻探通过其自适应的钻头设计,能够在断层带中快速、高效地钻进,最大程度地减少了设备损坏的风险,同时保证了钻探过程的稳定性。除了断层,裂隙地层同样是钻探过程中的一大挑战。裂隙地层通常存在大量不规则的裂缝或孔隙,导致地下水流动和岩土体的松动。在这些地层中,传统钻探设备难以有效保持钻进稳定性,且容易出现卡钻现象。为了解决这一问题,现代钻探技术通过震动钻探方法的引入,提供了一种新的解决思路。震动钻探技术通过振动作用减少钻头与岩石之间的摩擦力,从而降低了卡钻的风险,并使得钻探设备能够顺利穿过裂隙地层。震动作用不仅可以有效打破地层的紧密结构,还能确保钻孔的顺利进行,提供连续、稳定的数据采集,避免了因钻探中断造成的信息丢失。

2 现代钻探技术在复杂工程地质勘察中的改进策略

2.1 提高钻探设备的智能化与自动化水平

随着技术的不断进步,现代钻探设备的智能化和自动化水平得到了显著提升,这种提升不仅优化了钻探过程,提高了作业效率,更极大增强了设备的稳定性与精确性,尤其在复杂工程地质勘察中展现出其独特的优势,通过引入先进的人工智能(AI)、物联网(IoT)和自动化控制系统,钻探设备能够实时监测作业过程中的各类参数,并根据实时数据做出快速调整,从而确保钻探工作的高效性、精准性和安全性。人工智能的引入使得钻探设备不仅具备“反应”能力,还能够根据地质环境的变化进行智能预测和决策。例如,通过实时分析钻进的地层特性,AI系统能够预测钻头的磨损程度、钻进速度的适宜范围以及可能的地层变化,从而为钻探作业提供精准的技术支持。传统的钻

探设备往往依赖人工经验判断来调整钻进参数,这种方法不仅效率低,而且容易因人为因素导致判断失误。智能化系统则能够实时监控和分析钻探过程中采集到的大量数据,如岩土层的硬度、密度、湿度以及地下水流动的变化等,并自动调整钻进速度、压力和角度,确保作业过程中的各项参数始终处于最优状态。同时,物联网技术的引入,使得钻探设备的各项数据能够实时上传至远程监控平台。工程师可以通过智能终端或计算机远程查看钻探过程中的各类参数,如钻头转速、进给力、钻进深度等,及时发现设备运行中的异常情况,做出快速响应,这种远程监控系统不仅能够增强设备的操作灵活性,还为钻探作业的精细化管理提供了有力支持。物联网技术的实时数据传输,还能够帮助施工单位及时进行设备保养和故障预警,减少了设备因故障导致的停机时间,提高了工作效率。此外,自动化技术的进一步应用,使得钻探设备的操作更加简便,且大大减少了人工干预的需求。自动化钻探系统能够根据不同的地质环境和钻探需求,自动选择最合适的钻探方式,调整钻进的角度和深度,这种技术的应用大大减轻了现场工作人员的负担,避免了人为操作的不稳定因素。自动化钻探设备还可以根据预设的程序进行长时间、高强度的连续作业,特别适用于勘察难度较大、连续性要求较高的工程,如深基坑、大坝及地下设施的勘察作业^[3]。常见的自动化钻探设备的构成如表1所示。

2.2 优化钻探技术的深度与速度

钻探深度和速度一直是复杂工程地质勘察中最重要的两个技术指标,它们直接影响到勘察效率、成本控制和数据采集的准确性。在传统钻探技术中,钻探深度和速度往往受到钻头材料、钻进技术以及作业环境等多重因素的制约,导致在一些复杂地质条件下,勘察工作无法有效进行或进展缓慢。而现代钻探技术通过采用先进的钻头材料、优化钻探工艺及引入创新技术,大大提升了钻探的深度适应性和速度,这在硬岩层、含水层等地质环境中尤为重要。提升钻探深度和速度的关键之一在于钻头材料的创新,传统的钻头材料如钢质钻头在硬岩层中使用容易出现磨损过快、钻进速度过慢的问题,这直接影响了钻探作业的效率 and 作业周期。现代钻探技术采用的复合钻头材料(如金刚石复合钻头、聚晶金刚石钻头等),通过强化材料的硬度与耐磨性,使钻头能够在硬岩层、含水层等复杂地质中保持长时间的高效钻进。金刚石钻头具有极高的硬度和耐磨性,能够有效应对硬质岩层的挑战,延长钻头的使用寿命,减少更换频率,从而提高

表 1 常见的自动化钻探设备的构成

组件名称	功能描述	技术细节 / 应用
动力系统	提供钻探所需的动力，驱动钻头进行切削。	包括电动、液压或内燃机驱动，确保钻头稳定运行。根据钻探深度和条件调整功率和转速。
控制与监测系统	自动化控制钻探过程，确保精度与安全，实时监控设备状态。	采用 PLC、传感器和数据采集系统，实时监测压力、转速、温度等关键参数，并自动调节操作，防止设备故障或偏差。
钻头与钻具系统	与岩层接触进行破岩作业，根据地质条件选择合适的钻头。	包括金刚石钻头、滚刀钻头等，适应不同硬度的岩层，确保高效钻探。
辅助系统	提供钻探过程的支持，确保设备的高效和稳定运行。	包括液压系统、冷却系统、泥浆循环系统等，保持设备良好工作状态，避免设备损坏或过热。
数据处理与优化系统	通过实时数据优化钻探过程提高钻探效率和安全性。	采用传感器、遥控系统及智能化分析工具，进行设备状态监测，优化钻探参数，减少资源浪费。

了钻进速度并降低了整体作业成本。同时气动钻进技术的引入是提升钻探深度和速度的另一重要策略，气动钻进技术通过高压气体驱动钻头进行钻探，相比传统的机械钻进，气动钻进能够显著提高钻探的效率和深度^[4]。

2.3 提升钻探技术的安全性与稳定性

在复杂的地质环境中进行钻探作业时，钻探技术的安全性和稳定性是至关重要的。钻探作业面临的安全隐患不仅包括岩层坍塌和设备故障，还可能涉及钻探工具的损坏、地下水突涌以及因操作失误带来的事故。为了应对这些潜在的危險，现代钻探技术必须增强作业现场的监控能力，提升设备的稳定性，并且在保障作业人员安全方面采取更加科学有效的措施。作业现场的实时监控与预警机制是提高钻探安全性的核心，随着传感器技术的不断进步，现代钻探设备能够实时监控钻探过程中的多项关键参数,例如地层压力、钻进速度、温度变化等，通过集成高精度的地质监测设备，钻探作业能够在早期阶段就发现潜在的安全风险^[5]。例如，钻探过程中使用压力传感器可以监测地层的变化，预警地下水的渗透或突涌，这为工程师提供了提前采取防护措施的机会，从而有效降低水流突涌引发的事故风险。

3 结语

现代钻探技术已经成为复杂工程地质勘察中不可或缺的重要工具。其高精度、高效率和高适应性使得地质勘察能够更好地应对各种复杂地质条件，为工程设计和建设提供坚实的数据支持。然而，随着工程项目规模的不断扩大以及地质环境的多样化，钻探技术仍需不断改进和优化，通过提升智能化水平、增强设备稳定性、加强与其他勘探技术的融合，未来的钻探技术将更加高效、精准和安全，能够更好地服务于复杂工程地质勘察的需求，为社会的可持续发展做出更大的贡献。

参考文献：

[1] 张亚坤,李家峰,邵吉亮.地质勘察和深部地质钻探找矿技术研究 [J]. 世界有色金属,2023,(17):49-51.

[2] 王宇.矿山工程水文地质勘察存在的问题及措施探析 [J]. 中国金属通报,2023,(01):135-137.

[3] 展嘉佳.工程勘察中钻探工艺选取探析 [J]. 冶金管理,2021,(01):100-101.

[4] 赵立峰.现代水文地质勘察方法在找水中的综合应用分析 [J]. 四川水泥,2017,(05):308.

[5] 肖翔.论地质勘察在现代工程勘察中的重要性 [J]. 低碳世界,2016,(22):45-46.