

地质勘查钻探技术研究

曹亚光

河北省煤田地质局第二地质队(河北省干热岩研究中心) 河北 邢台 054000

摘要:随着社会经济的飞速发展,各类工程建设规模不断扩大,对地质信息的精准获取提出了更高要求。本文聚焦地质勘查钻探技术展开研究。首先阐述其在矿产资源勘探、水资源勘探及工程勘探等方面的重要性。接着介绍绳索取心、反循环钻探等关键技术。最后探讨其发展趋势,包括智能化与自动化、深部钻探、绿色环保以及多技术融合等方向。旨在为地质勘查钻探领域的技术发展与应用提供全面参考,推动该领域技术不断进步,以更好地满足资源勘探和工程建设等实际需求。

关键词:地质;勘查;钻探;技术;研究

引言:地质勘查钻探技术作为获取地下地质信息、探寻资源的关键手段,在众多领域发挥着不可替代的作用。随着经济社会的快速发展,对矿产、水资源等的需求与日俱增,工程建设的规模和复杂程度也不断提升,这都对地质勘查钻探技术提出了更高要求。深入研究地质勘查钻探技术,不仅有助于提高资源勘探的效率和准确性,还能为工程建设提供可靠的地质依据,对保障国家资源安全和推动基础设施建设具有重要意义。

1 地质勘查钻探技术的重要性

1.1 矿产资源勘探

在矿产资源勘探中,地质勘查钻探技术是精准定位和评估矿藏的核心手段。通过钻探,能直接获取地下岩芯样本,分析其矿物成分、品位及储量等关键信息。例如在金属矿勘探里,钻探可确定矿体的埋深、厚度和走向,为后续开采规划提供坚实依据。对于非金属矿和能源矿产同样如此,它能揭示矿产的分布规律和质量特征。而且,先进的钻探技术能提高勘探效率,降低勘探成本,帮助企业更快速、准确地找到有价值的矿床,保障国家矿产资源的稳定供应,推动矿业经济的可持续发展。

1.2 水资源勘探

水资源勘探离不开地质勘查钻探技术。它能够深入地下,探明含水层的位置、厚度、岩性及富水性等。在城市供水勘探中,钻探可确定合适的水源地,保障居民生活用水和工业生产用水需求。在农业灌溉领域,通过钻探找到地下水资源,能合理规划灌溉区域,提高水资源利用效率。此外,对于地质灾害防治中的地下水监测,钻探技术能安装监测设备,实时掌握地下水动态变化。

1.3 工程勘探

工程勘探中,地质勘查钻探技术是保障工程建设安全与质量的基础。在建筑工程里,钻探能查明场地地基

的地质条件,包括土层结构、承载能力等,为建筑物的基础设计提供参数,避免因地基问题导致建筑物沉降、倾斜等安全隐患。在交通工程中,如桥梁、隧道建设,钻探可了解沿线地质构造、岩土性质,确定合理的施工方案和支护措施。对于大型水利枢纽工程,钻探能评估坝基的稳定性,防止渗漏等灾害发生^[1]。

2 地质勘查钻探的关键技术

2.1 绳索取心技术

绳索取心技术作为地质勘查钻探领域的标志性创新,自20世纪中叶问世以来,凭借其高效、精准的取心能力,成为全球资源勘探的核心手段。该技术通过特制的钢丝绳打捞器,直接从钻杆中心孔提取内岩心管,无需反复起下钻杆即可完成岩心采集,彻底改变了传统钻探“钻进-提钻-取心”的低效模式。其核心优势在于显著提升作业效率——在金属矿勘探中,应用绳索取心技术的台月效率较传统方法提高40%-80%,单孔钻探周期缩短近一半;同时,岩心采取率可达95%以上,且因减少钻杆与孔壁的摩擦碰撞,岩心完整性大幅提升,为地质分析提供了更可靠的数据支撑。技术突破方面,针对深部钻探需求,研发了跨口径组合钻具与厚壁钻杆孔底加压技术,成功实现3000米以上深孔作业,如西藏罗布莎科钻孔创下1510.5米深孔纪录;在复杂地层中,通过液动锤与绳索取心的耦合设计,硬岩钻速提升至1.5米/小时,松软破碎地层则采用套管隔水技术,确保岩心完整率超97%。此外,标准化与智能化升级进一步推动技术普及,2024年实施的《绳索取心钻杆作业规程》规范了不同地质场景的参数设置,而“梦想”号钻探船搭载的液压举升系统,实现了2000米水深双层外管取心,综合效率较传统方法提升3倍。目前,该技术已广泛应用于金属矿、页岩气勘查及科学深钻等领域,成为支撑国家资源安全

战略的关键技术之一。

2.2 反循环钻探技术

反循环钻探技术是地质勘查领域的高效创新方法，其核心原理是通过双壁钻杆构建内外独立循环通道：冲洗介质（水、泥浆或空气）经钻杆与孔壁的环状间隙下行至孔底，携带岩屑后沿钻杆中心通道高速返回地表，形成与正循环相反的介质流动路径。该技术突破了传统钻探中岩屑重复破碎、排渣效率低的瓶颈，尤其在松散破碎地层、砂砾石层及强风化岩层中展现出显著优势。技术分支上，反循环钻探涵盖泵吸、气举、射流及水力反循环等多种方式。泵吸反循环利用砂石泵抽吸形成负压，适用于50米以浅的浅孔钻进；气举反循环通过压缩空气与循环液混合产生密度差，驱动岩屑上返，在雄安新区D19井工程中实现4021.78米深孔钻进，岩屑上返速度达0.85米/秒；水力反循环则以液体为介质，通过双壁钻杆连续取心，适用于2-4级覆盖地层及煤系地层。应用场景广泛，反循环钻探技术不仅在金属矿普查中实现快速取样，提升钻进效率60%以上，还在干旱缺水地区的水文地质勘查中发挥节水优势。此外，该技术还可用于工程地质施工、地质灾害治理及深水井工程等领域。

2.3 液动潜孔锤技术

液动潜孔锤技术是地质勘查钻探领域的一项高效创新方法，通过高压冲洗液驱动内部冲锤往复运动，对钻头施加高频冲击载荷，实现冲击与回转联合破岩。该技术核心在于利用泥浆泵输出的液能，将动态水击能量转化为机械冲击功，直接作用于钻头底部，显著提升硬岩钻进效率。其工作原理涵盖正作用式、反作用式及双作用式三种基本类型，其中正作用式依赖水击驱动冲锤下行，反作用式通过液压力变化储能释放，双作用式则实现冲锤全程液力驱动，冲击频率可达40赫兹以上。技术优势体现在多维度：硬岩地层钻进时效较常规回转钻进提升30%-60%，在单轴抗压强度130MPa的花岗岩中钻速可达5.19米/小时；适应孔深能力突出，已实现5118米深孔应用，配合绳索取心技术可延长回次进尺25%以上；岩样质量优化显著，冲击振动减少岩心堵塞，回次满管率超95%，岩心采取率达90%以上；经济环保性能优异，钻头寿命延长30%-50%，泥浆循环系统减少环境污染，操作成本降低10%-15%。技术演进方向聚焦于智能化与多功能化：通过计算机仿真优化设计冲锤运动轨迹，利用增材制造技术提升滑动外壳耐温性，研发耐180℃高温的密封材料。派生产品涵盖中空贯通式、绳索取心式及液气两用式等特种型号，其中贯通式液动锤配合双壁钻具可实现反循环连续取样，石油液动锤则通过结构优化匹

配牙轮钻头，拓展了技术在油气钻井领域的应用边界。

2.4 智能钻探技术

智能钻探技术是地质勘查领域融合物联网、人工智能与自动化控制的新一代钻探方法，通过多源数据融合与实时决策系统，实现钻探过程的全生命周期智能管理。该技术以“感知-分析-决策-执行”闭环为核心，构建了覆盖钻进参数、地层特性、设备状态的立体化监测网络。技术架构包含三大层级：数据采集层集成高精度传感器阵列，可实时获取钻压、转速、扭矩、泥浆流量等20余项参数，采样频率达毫秒级；智能分析层依托边缘计算与云平台，运用机器学习算法建立地层-参数动态模型，实现钻头磨损预测、卡钻风险预警等高级功能；自动控制层通过电液比例阀组与伺服电机驱动，实现钻压、转速、泥浆排量的自适应调节，参数响应时间缩短至0.2秒以内。核心优势体现在效率与安全双提升：智能导向系统结合随钻测量（MWD）与地质导向技术，可实时修正钻孔轨迹，偏斜率控制在0.5°/30米以内；设备健康管理系统通过振动频谱分析与温度场监测，提前48小时预警轴承故障，非计划停机时间减少60%；能耗优化模块根据地层硬度动态调整冲击频率与回转速度，综合能耗降低15%-20%。技术演进方向聚焦于深部化与绿色化：研发耐200℃高温、200MPa高压的智能传感器，配套抗干扰通信协议，支撑万米深井钻探；集成微地震监测与地层压力预测功能，构建钻井液密度智能调控系统，有效预防井涌、井漏等复杂事故，推动钻探工程向安全、高效、可持续方向转型。

2.5 绿色钻探技术

绿色钻探技术是地质勘查领域践行可持续发展理念的创新实践，通过技术革新与资源高效利用，实现钻探作业全流程的环境友好与低碳运行。在材料应用上，以生物基钻井液替代传统化学制剂，采用淀粉、纤维素等天然高分子材料作为增稠剂与降滤失剂，生物降解率超90%，大幅降低对土壤及地下水的污染风险；推广轻质高强复合钻杆，运用碳纤维与铝合金的层状结构设计，在保证强度的同时减轻设备重量，降低运输能耗20%-30%。工艺优化方面，空气反循环钻探技术通过压缩空气驱动岩屑上返，节水率达100%，且排渣效率提升3倍，尤其适用于干旱缺水地区；智能变频泥浆泵根据地层压力动态调节排量，配合能量回收装置，能耗降低15%-20%；钻屑资源化技术将废弃岩屑加工为建筑骨料或路基材料，实现固废零排放。未来，绿色钻探技术将向深部化与智能化升级，研发耐高温高压的生物基润滑剂，集成物联网的能耗实时监测系统，推动钻探工程与生态保

护深度融合,为全球能源资源开发提供绿色解决方案^[2]。

3 地质勘查钻探技术的发展趋势

3.1 智能化与自动化

智能化与自动化是地质勘查钻探技术的核心发展方向。随着人工智能、大数据、物联网等技术的深度融合,钻探设备正从经验驱动转向数据驱动。例如,通过机器学习算法优化钻进参数,实时调整转速、钻压,可降低钻头损耗并提升取芯质量。无人化操作成为趋势,全自动钻机结合远程控制与自主导航技术,可实现无人值守钻探,降低人力成本并提高安全性。智能决策系统通过整合地层数据、设备状态等信息,能够自动生成最优钻探方案,减少人为决策误差。此外,智能钻杆、连续管传输技术等突破,使井下信息实时传输成为可能,为钻探过程提供精准控制依据。

3.2 深部钻探技术

深部钻探技术是应对资源枯竭的关键突破口。随着浅层资源逐渐减少,万米级超深井钻探成为行业焦点。例如,中国石油在塔里木盆地完成的TK1井,垂直深度突破万米,标志着我国深地钻探技术跻身国际前列。深部钻探面临高温高压、地层复杂等挑战,需攻克耐高温材料、抗高压钻具、高效破岩技术等难题。例如,超硬材料钻头、旋转齿钻头新型工具可提升钻进效率;抗高温井筒工作液与随钻测量工具,则能确保深部钻探的稳定性与安全性。此外,多压力系统安全钻进技术、复杂故障防控体系等配套技术的完善,将进一步降低深部钻探风险。

3.3 绿色环保技术

绿色环保技术是地质勘查钻探的必然选择。传统钻探过程中,钻井液泄漏、泥浆处理不当等问题易造成土壤与地下水污染。为此,行业正推广低污染钻探液与废弃物处理技术,如可生物降解的环保型钻井液,可减少化学物质对环境的危害。同时,模块化钻机、空气反循环钻探等技术的应用,降低了设备搬迁对地表植被的破坏。例如,在干旱缺水区,空气反循环钻探技术通过压缩空气替代泥浆,实现无水钻探,既节约水资源又避

免污染。此外,低碳节能技术如电动或混合动力钻机的普及,进一步减少了化石能源依赖。未来,绿色勘查标准将更加严格,推动行业向“零污染、低能耗”目标迈进,实现资源开发与生态保护的平衡。

3.4 多技术融合

多技术融合是地质勘查钻探的创新路径。通过整合地球物理、地球化学、遥感监测等技术,可构建“空天地一体化”勘查体系,提升资源定位精度。例如,重力、磁法、电法等物理探测数据与元素化学异常信息的交叉验证,可显著提高矿体定位准确性;卫星遥感与地面探测设备的联动,则能实现大范围筛查与局部精查的有效衔接。此外,信息技术与钻探技术的融合,推动了“智慧地勘”发展。例如,三维地质建模技术可直观展示地下结构,辅助钻探方案优化;大数据与人工智能算法则能对海量勘查数据进行智能解译,为决策提供科学依据。未来,多技术融合将向更深层次拓展,如量子探测技术与大地电磁仪的结合,可实现地下万米深部的“透视”勘查,为深部资源开发提供技术保障^[3]。

结束语

地质勘查钻探技术作为获取地下地质信息、揭示资源分布规律的核心手段,在能源资源开发、地质灾害防治及生态环境保护等领域发挥着不可替代的作用。随着全球资源需求持续增长与勘查环境日益复杂,传统钻探技术面临深部钻进效率低、复杂地层适应性差、生态扰动大等挑战。近年来,物联网、人工智能、新材料等前沿技术的融合创新,为钻探技术向高效化、智能化、绿色化转型提供了新路径。

参考文献

- [1]焦斌.岩土工程地质勘查中钻探工艺选取方法研究[J].世界有色金属,2022,0(3):245,247.
- [2]卢月文.地质勘查与深部地质钻探找矿技术研究[J].中国金属通报,2021,0(9):223,225.
- [3]靳连喜.地质勘查和深部地质钻探找矿技术[J].建材与装饰,2021,(6):213-214.