

绿色钻探技术在深部矿产勘查中的应用研究

栾天龙 于明保 于礼 张文龙

中国地质调查局 哈尔滨自然资源综合调查中心 黑龙江哈尔滨 150000

【摘要】当前的深部矿产勘查在设备与工艺方面正趋向高效与安全，但对环境的干扰和资源浪费依然存在。本文从绿色钻探技术的内涵与特点切入，分析深部矿产勘查面临的挑战，并重点论述在设备、钻探液、废水废气处理、噪声与排放控制以及智能化发展等方面的具体应用，为后续拓展绿色矿产勘查技术体系提供一定的参考依据。

【关键词】绿色钻探；深部矿产；环保钻探液；废水回收；智能化监测

引言

伴随着易开采矿体日渐枯竭，深部矿产资源的开发需求日益凸显。然而，传统钻探在深部作业时能耗高、废水量大、废气排放难以忽视，还可能给地下水与生态环境带来风险。鉴于此，业内开始关注绿色钻探技术，希望在保障勘查精度与效率的前提下，兼顾环境安全与节能减排。

1 绿色钻探技术的定义与特点

绿色钻探技术指的是在矿产资源勘查和钻探过程中，既能满足深度与效率要求，又将环境影响与能耗降到尽可能低的综合性技术体系。绿色钻探技术并非单一设备或某项独立工艺，而是涵盖了对钻探设备能耗指标的严格管控、对钻探液和岩屑排放的循环利用、对噪声与振动的有效抑制等多维度内容。为了让作业达到“绿色”要求，需要从勘查设计到现场施工都进行周密考虑：先是优化钻孔布置与施工方案，避免盲目开挖；然后升级传统钻探机组，采用动力效率更高的动力系统，并配合环境监测仪器来追踪废水或气体排放状况；同时，通过引入对地层扰动更小的新型钻头或跟管工艺，减少对地下水层与岩芯的破坏。利用这些环节的动态配合，能够使整个勘查流程更加节能、低耗并减轻污染。绿色钻探技术能够严格控制废液、废气与噪声扩散的同时，尽量回收可再利用的材料，以提升资源使用效率，这也是其一项重要的特点，比如在不同地质层域穿行时，若能巧妙调整泥浆参数，后续便可将泥浆系统循环使用，减少重复添加，这些理念也与国家倡导的“绿色矿山建设”相符合，以便将勘查、开采与生态保护紧密融合，从源头上控制生态风险与能耗。正因为此，绿色钻探技术不仅包含传统设备的优化改造，也涵盖了信息

化、智能化手段，逐步形成一种兼顾准确勘查与环境友好的综合解决方案。

2 深部矿产勘查面临的挑战与需求

深部矿床受赋存环境与地质构造的限制，往往埋藏在地表数百米甚至上千米之下，增大了勘查的技术难度。首先，在大深度条件下，地层压力与温度明显提高，对钻探设备的强度、密封性与散热水平提出更苛刻的要求。若仍沿用常规轻型机组，很容易出现过热、震动失稳或机械故障。其次，孔内岩性复杂多变，一旦遇到破碎带或含水层，传统高排量泥浆体系会增加渗透风险，也会让地层结构遭受额外扰动。再者，深部钻孔周期冗长，用水、用电与后勤供应一旦管理不善，就会造成能源浪费和物资损耗。此外，射流式排渣或高速钻进过程产生的大量废水及废气，若不能及时回收或净化处理，会对地下水层与周边大气环境造成潜在威胁。因此，深部矿产勘查除了需要在机械性能和施工组织上实现突破，也面临着节能减排和绿色化作业的现实需求。从近几年的勘查趋势来看，结合高效动力系统、环保钻探液与智能监控，能够帮助地质队伍在深部钻孔中节约能源并减少排放。某些矿区已经尝试在露天施工场地建设小型废水循环利用装置，以此回收泥浆中的岩屑并使水资源得到二次利用。在深井作业中，为了保障施工安全与效率，还会引入远程控制与自动化平台，减少施工现场的人力负荷，降低设备空转率，唯有将这些新需求与环境保护理念落到实处，才能满足深部资源勘查的可持续与高效化目标。

3 绿色钻探技术在深部矿产勘查中的应用

3.1 绿色钻探设备的应用

绿色钻探设备是实现深部矿产勘查环境友好的重要基石，常见的改进措施主要集中在动力系统与传动装置的升级。以某型大功率液压钻机为例，通过将传统柴油机与先进电动驱动结合，可在稳定输出的同时有效减少尾气排放，设备整体运转时，液压系统与电控单元能够进行实时反馈：当钻杆负荷偏高，电机功率自动升至额定上限；而当钻进暂停或空转，系统会即时调低输出功率，防止资源浪费，采用多级过滤的燃油系统也可以最大限度地减少污染物排放，让设备保持高效与清洁状态。在传动结构方面，通过选用高强度且轻量化的合金材料，减少整机的自重与惯性，降低钻孔时的能量损耗。某些深井施工采用可伸缩式塔架或者模块化平台，使现场拼装和拆卸更加便捷，减少不必要的吊装与运输活动，避免扰动周边生态。对于海拔或地形特殊的区域，则可配置牵引车、履带式动力机组，以便快速进场且减少地表破坏。与此同时，一些钻机整合了数字传感模块与远程监控终端，能够实时追踪扭矩、转速以及燃料消耗等信息。一旦出现异常，系统会自动告警并调整运行参数，防止盲目加压或空转。如此一来，不仅能提高钻进效率，还能够延长设备寿命。有些项目还在钻具上安装了减振器与噪声抑制套件，以期降低对地层与周边环境的冲击。例如，在某深井金属矿预探阶段，技术团队为钻杆外部加装特殊减振圈，不仅缓冲了高频震动，也改善了孔壁的稳定性。这些设备改进既能与绿色理念相匹配，也能在实践中减小物料与能量的无谓消耗，从而更加符合深部矿产勘查对生态保护与高精度探测的双重诉求。

3.2 钻探液的环保配方与循环使用

钻探液不但关系到携渣、冷却和护壁等关键环节，其成分若不加以控制，也会对地下水和周边土壤造成潜在污染。为了在深部勘查中保持绿色作业，需要建立符合地层特征的环保型钻探液体系。一般会对黏度、滤失量和密度进行精细调整，并杜绝有毒添加剂或强腐蚀性物质。一些团队会选用生物可降解材料替代传统的土化学改性剂，使钻探液在重复使用后依旧保持稳定性能。若遇到高温高压地层，可通过少量聚合物调整其耐温性与黏结力，确保泥饼在高温下不会迅速分散。在现场应用中，对于深井或大口径钻孔，循环使用是减少钻探液浪费的关键手段。具体

步骤通常包含：在井口安装沉砂池与分级过滤装置，将大颗粒岩屑与杂质拦截下来，然后再通过多级离心或旋流器方式将细砂与部分黏土分离。最终获得的相对洁净的钻探液可重新回到泥浆池中，适量添加聚合物或膨润土调配后再度循环下井。以某地区一处800米深部孔施工为例，该循环系统在一个半月的钻进周期内，将初次配制的钻探液反复使用了超过10次，减少了近35%的化工材料消耗。同时，由于钻探液污染物得到及时清理，孔内泥浆性能更稳定，也降低了地层堵塞与漏失风险。值得一提的是，环保配方还应考虑针对不同地质带的特殊防护需求。比如，若遇到溶洞或断层带，可以在配方中加入可临时封堵的小颗粒纤维，以避免快速漏失；如果在局部层段发现强腐蚀性水质，则需增添防腐添加剂确保管线与泵阀安全。通过精细化的泥浆管理与循环利用，既能提升深部钻探的效率，也能有效减少对地下水资源的潜在危害。

3.3 钻探废水与废气的处理与回收

深部矿产勘查过程中产生的废水和废气若无妥善管控，不仅会给当地居民用水造成隐患，也会对大气环境构成压力。为了达成绿色钻探的目标，必须在钻探平台和泥浆池附近设置完善的收集与处理系统。关于废水的部分，多数施工单位会建造沉淀池、反应池与过滤装置进行分级净化，第一步让含岩屑的钻井液沉淀到固体池中；随后在反应池中用凝结剂或絮凝剂让泥浆进一步分层；最后通过砂滤或膜处理让上层水相得到净化，回流至循环利用系统或者排入指定的达标排放区域。某些地区还会利用小型移动水处理设备，将废水处理后的清水直接供给生活或施工清洗用途，能明显降低现场用水量与外购水成本。在废气管控方面，有些深井钻机采用柴油动力时会释放一定量的废气，如氮氧化物和微细颗粒物等。为了减少排放，可在柴油机排气口装设选择性催化还原或柴油颗粒过滤器，以捕捉有害物质并进行二次分解。某些项目还应用生物净化装置，通过微生物降解特定气体，从而达到废气净化效果。另外，为了有效监测废气排放量和质量，可在机组附近配置气体分析仪，对二氧化碳、一氧化碳等指标进行数据采集与比对。这样一旦排放值超标，现场调度会迅速采取措施，通过调整设备运行状态或更换滤芯来确保环保指标达标。在某金属矿脉深部钻探项目中，施工队仅用一套紧凑型水处理与废气过滤系统，就将废水中悬浮物

含量控制在30mg/L以内，废气中的烟尘与氮氧化物排放量也显著降低。由此可见，通过因地制宜地配置废水和废气的处理、回收装备，绿色钻探技术能够在深部勘查中显现出环保效益。

3.4 低噪声与低排放技术的应用

深井钻探的噪声源主要来自钻机的动力单元、传动部件以及排渣过程中的高压流体。为了降低对周边环境及施工人员健康的影响，需要在多处环节进行抑噪与减排。一些工地会为发动机安装隔音罩，选用阻燃纤维或合金材料加固，并利用内壁吸声层来削弱机器的高频振动。与此同时，空气排放口和排气管道上设置消音器，能够让排气噪声减少5到10分贝左右，效果相当明显。并且，为了避免高压射流对孔口或地表产生强烈噪声，可采取低压大流量泥浆循环方式来代替高压排渣，减少噪声的瞬时峰值。至于排放方面，除了前文提到的废气治理，针对施工现场的扬尘也有必要进行严控。常规做法是在钻杆运转区域加装封闭式防尘罩，并配合局部抽风系统，让钻进时散发的浮尘集中进入除尘器，再由多级滤网过滤后排放到大气中。施工方若能在井场或关键运输路线适度洒水、设置洒水车巡回喷洒，也会让尘埃难以长时间漂浮在空气中。一旦地质队伍在当地民众聚居区附近作业，还会严格限制夜间施工时长，以减轻噪声扰民。现实案例表明，通过采用低噪声与低排放技术，一些靠近林区或城市边缘的项目在长时间作业期间，周边居民投诉率明显下降。更值得注意的是，低噪声措施也能保护现场技术人员的听力与工作效率，在崩塌带或高温区的深井探测中，良好的施工环境能够减少疲劳感与事故率，种种实践说明想要在深部勘查中达到真正的绿色标准，必须把噪声和排放同等视为核心任务，与钻探效率指标一并纳入施工全过程管理。

3.5 智能化绿色钻探技术的应用

随着信息技术与自动化水平的提升，智能化系统开始渗透到绿色钻探领域，为深部矿产勘查带来了新机遇，智能化绿色钻探技术其核心在于以传感器、数据平台和自动化装备为纽带，让钻机、泥浆循环系统以及现场排放监测设施实现实时互联。当钻进速度、扭矩和泵压等参数变化时，控制系统会自动调节给进量与流体排量，并生成最

佳钻进策略，尽可能减少钻头磨损和能量浪费。一旦废水池水质指标或排气滤芯数值异常，平台会迅速发出预警并提示操作人员采取补救措施，避免排放超标和环保事故。

不少项目还应用智能视频识别技术来观察岩芯质量和井口状态。现场摄像头可将实时画面传输到控制室，配合图像算法分析钻孔内是否出现岩屑堆积或塌孔征兆，或者钻具外表是否存在磨损与开裂风险。如此一来，作业人员无需长时间置身高噪声的井场环境，故障检修或岩芯识别也能快速完成，安全性与效率都有提升。与此同时，基于云平台的数据管理体系可以记录每口井从开钻到完井的关键参数，便于后续再开展类似地质条件时做更具针对性的绿色方案设计。另一方面，人工智能在预测性维护中也发挥了积极作用。一些深井钻探机组引入机器学习算法，对发动机负荷、液压油温度以及各传感器信号进行综合分析，提前判断是否存在零件老化或过热风险。若系统监测到累积磨损超过阈值，后台会向操作界面发送检修指令，让机械停机检查，减少突发停工的概率。这类智能化方案的应用，使深部矿产勘查更加透明化和安全化，也在推动绿色钻探的理念进一步落地。

4 结语

深部矿产蕴藏了许多宝贵的资源，但将其发现与开发并不意味着对环境无所顾忌。绿色钻探技术在深井作业中不断完善，从设备能耗优化到钻探液循环利用，再到废水废气治理与噪声抑制，都体现出对生态与人居的责任感。借助智能化手段，还可将各种施工与环境信息进行实时处理，让矿产勘查和环保工作相辅相成，随着相关政策与科技手段的持续推进，绿色钻探技术有望更广泛地应用于深部矿山勘查乃至其他地下空间开发。通过统筹规划与技术革新，资源与环境将实现更良性的互动。

参考文献：

- [1] 谭春亮, 岳永东, 渠洪杰, 等. 多工艺钻探技术在浅覆盖区矿产勘查中的应用研究[J]. 矿产勘查, 2023, 14(4): 631-638.
- [2] 胡畔. 深部矿产勘查中钻探技术的运用探讨[J]. 2020.
- [3] 方延平. 刍议深部矿产勘查中钻探技术的应用[J]. 世界有色金属, 2017(7): 2.