

西部地区战略性矿产靶区查证绿色钻探技术方法

罗 龙, 曹灶开*, 廖麟祥, 杨 科, 杨 磊, 孙昌伟

(中国地质调查局军民融合地质调查中心, 四川 成都 610036)

摘要:针对西部典型地区复杂的地质条件和脆弱的生态环境特征,本文系统介绍了在西部地区战略性矿产靶区查证钻探施工中绿色钻探技术的创新应用与实践效果。通过采用轻便型钻机(MD-300、GK200、EP800等)降低环境扰动,创新性地实施双机联动施工模式提高作业效率,并因地制宜采用人工搬运、索道运输等生态友好型运输方式。在施工过程中,研发应用环保型冲洗液配方,建立循环利用系统,采用低固相冲洗液及场地防渗处理等关键技术措施。研究表明,该技术体系可显著降低钻探活动对土壤和水体的污染,同时通过复草复耕、草皮预留、戈壁生态恢复等生态修复技术,实现了钻探区域生态环境的有效恢复。该研究成果为西部典型地区资源开发与环境保护协调发展提供了可靠的技术支撑。

关键词:西部典型地区;绿色钻探;环境扰动控制;生态修复;双机联动施工;索道运输;环保冲洗液

中图分类号:P634 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2025)S1-0257-05

The green drilling technology method for verification of strategic mineral target area in the western region

LUO Long, CAO Zaokai*, LIAO Linxiang, YANG Ke, YANG Lei, SUN Changwei

(Civil-Military Integration Geological Survey Center, CGS, Sichuan Chengdu 610036, China)

Abstract: In view of the complex geological conditions and fragile ecological environment characteristics in typical areas of western China, this paper systematically introduces the innovative application and practical effect of green drilling technology. Through the use of portable drilling rigs (MD-300, GK200, EP800, etc.) to reduce environmental disturbances, innovative implementation of dual-machine linkage construction mode to improve operational efficiency, and according to local conditions, ecologically friendly transportation methods such as manual handling and cableway transportation are adopted. In the construction process, the key technical measures such as the development and application of environmentally friendly flushing fluid formula, the establishment of recycling system, the use of low solid flushing fluid and site anti-seepage treatment are adopted. The results show that the technical system can significantly reduce the pollution of soil and water caused by drilling activities. At the same time, through ecological restoration technologies such as re-grassing and re-tillage, turf reservation and gobi ecological restoration, the effective restoration of the ecological environment in the drilling area is realized. The research results provide reliable technical support for the coordinated development of resource development and environmental protection in typical western regions.

Key words: typical western region; green drilling; environmental disturbance control; ecological restoration; dual-machine linkage construction; cableway transportation; environmentally friendly flushing fluid

收稿日期:2025-05-17; 修回日期:2025-06-17 DOI:10.12143/j.ztgc.2025.S1.039

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“西部地区战略性矿产靶区查证技术支撑(军民融合中心)”(编号:DD20240207203)

第一作者:罗龙,男,汉族,1983年生,高级工程师,地质资源与地质工程专业,硕士,主要从事钻探施工管理及技术研究工作,四川省成都市金牛区茶店子路399号,61937162@qq.com。

通信作者:曹灶开,男,汉族,1988年生,工程师,勘查技术与工程专业,硕士,从事地质工程与钻探施工管理及技术研究工作,四川省成都市金牛区茶店子路399号,3487164277@qq.com。

引用格式:罗龙,曹灶开,廖麟祥,等.西部地区战略性矿产靶区查证绿色钻探技术方法[J].钻探工程,2025,52(S1):257-261.

LUO Long, CAO Zaokai, LIAO Linxiang, et al. The green drilling technology method for verification of strategic mineral target area in the western region[J]. Drilling Engineering, 2025,52(S1):257-261.

0 引言

随着国家生态文明建设战略的深入推进,矿产资源开发与环境保护的协调发展已成为当前地质勘查工作的重要课题。西部地区作为我国重要的矿产资源基地,其复杂的地形地貌、脆弱的生态环境与资源开发需求之间的矛盾日益突出。传统钻探技术往往对环境造成较大影响,难以满足新时代绿色勘查的要求^[1-3]。为此,开展绿色钻探技术与实践具有重要的现实意义。

近年来,一些国内学者在青藏高原开展了生态敏感区钻探技术研究,提出了钻探工程生态修复技术方法^[4-9]。然而,针对西部典型地区特殊环境条件下的系统性绿色钻探技术研究仍显不足。

基于此,西部地区战略性矿产靶区查证技术支撑团队自2023年以来在西部五省区开展了系统的绿色钻探技术实践,通过技术创新和工艺优化,形成了一套适合西部典型地区的绿色钻探技术体系,为区域矿产资源绿色勘查提供了技术支撑。

1 研究区地质环境特征

研究区涵盖云南、贵州、四川、甘肃和西藏等地,具有以下显著特征:

(1)地形地貌复杂多样。区域内地势起伏大,海拔高差显著。包括喜马拉雅山脉、青藏高原、云贵高原以及四川盆地等多种地貌单元。这种复杂地形对钻探设备选型和施工工艺提出了特殊要求。

(2)气候条件差异显著。工作区跨越多个气候带,云南、贵州、四川属于亚热带湿润气候区,年均降水量1000~1500 mm;西藏地区为高原寒带气候,年均降水量不足300 mm。气候差异直接影响钻探作业的季节安排和施工方法选择。

(3)生态环境敏感脆弱。工作区生态系统类型多样但稳定性差,特别是高寒草甸、冻土带等生态系统一旦破坏极难恢复。钻探活动必须严格控制对植被和土壤的扰动。

(4)水文地质条件复杂。区域内地表水和地下水资源分布极不平衡,部分区域存在严重缺水问题。钻探作业必须考虑对水资源的保护和合理利用。

(5)民族文化特色鲜明。研究区是多个少数民族聚居地,钻探作业需要充分考虑当地文化习俗,建立良好的社区沟通机制。

2 绿色钻探技术

2.1 环境扰动控制技术

2.1.1 轻便型钻机应用

针对西部复杂地形条件,在云南大关工作区采用MD-300、GK200型便携式钻机开展“以钻代槽”施工,在甘肃西和、龙首山、西藏、贵州等地采用EP800、FD800、FD550型等便携式钻机开展钻探施工,与传统的XY-44型立轴式钻机和CSD1800X型全液压履带式钻机相比,其使用情况如表1所示。

表1 便携式钻机与传统钻机使用情况对比

钻机类型	钻机型号	占地面积/m ²	单件最大质量/kg	钻进效率/(m·月 ⁻¹)	安全性能	油耗/(L·d ⁻¹)
立轴式钻机	XY-44	10×10	490	500~600	低	180
全液压履带钻机	CSD1800X	8×12	整机	600~800	低	200
便携式钻机	MD300	3×3	180	700~800	高	65
便携式钻机	EP800	4×4	180	800~1000	高	80

在实际应用中,便携式钻机表现出以下特点:

(1)运输便捷。整机模块化设计,最大单件质量<180 kg,减轻60%以上,便于山区运输和安装,适合人力搬运。在云南大关、贵州清镇、甘肃西和等工作区,采用人工搬运方式成功将设备运抵施工地点。

(2)环境友好。工作时相对传统立轴式钻机,噪声降低15~20 dB,减少对周边环境的影响;油耗降低50%以上,碳排放量显著减少,高效节能。

(3)施工适应性强。采用模块化设计,现场组装便捷,准备时间缩短;占地面积小,对生态环境破坏小,适应性强。施工现场如图1所示。

(4)方便精准操作和控制。相较于传统设备,减少误操作、事故风险和机器故障率。

2.1.2 双机联动施工模式

在西藏革吉工作区(海拔5400 m)创新采用双机联动施工模式:配置2台全液压钻机,12人作业团队,同时施工2个倾角75°的钻孔,如图2所示。



图1 甘肃便携式钻机施工



图2 双机同时施工

其主要技术特点包括:

(1)设备配置优化。采用2台全液压钻机(型号分别为CSD1800X和CSD1300),部分钻机配件通用性高,从而降低物资储备需求。2种型号钻机性能相近,便于工人快速掌握相关技术。

(2)人员组织创新。采用“6+6”两班倒作业模式,12人团队实现24 h连续施工。

(3)施工效率提高。通过优化作业流程,工期缩短40%,施工效率提高35%,平均台月进尺500 m以上。

(4)环保效益显著。施工周期从原计划的80 d缩短至50 d,减少了37%的土地占用和地表扰动时间;同时,共用一个机场和蓄水池、泥浆循环池,显著节约了青苗赔偿费用和临时用地费用。

2.1.3 因地制宜的搬运方案

根据地形条件采用差异化运输方式:

(1)预先规划路径。在钻孔施工之前,提前规划好路线并优化运输路径,以最大程度减少对自然地面的碾压。

(2)农田草场区,通过人工或小型设备进行搬运,以减少修筑道路对土地和农作物的破坏,降低对地面的损害程度,并减少对环境的影响。例如,在贵州清镇、云南大关以及甘肃西和的工作区,均采用了人工搬运和小型设备搬运的方式来进行设备的搬运,如图3所示。

(3)高山峡谷区,架设索道运输。索道作为一种特殊的运输方式,具有独特的优势,2024年在西



(a) 人工搬运

(b) 小型设备搬运

图3 人工和小型设备搬运方式

藏洛扎工作区得到很好的应用(如图4所示),可减少地表扰动面积80%以上,能适应复杂地形,降低运输成本,保护生态环境,提高运输效率。



图4 索道运输

2.2 污染防控技术

2.2.1 环保冲洗液研究应用

在甘肃西和雷坝工作区,针对超细颗粒复合聚乙烯醇防塌冲洗液(3%膨润土+1%冷溶PVA2488+0.5%纤维素+0.2%碳酸钠+0.1%消泡剂+0.6%3000目超细碳酸钙)开展现场试验研究,并取得了显著的防塌护壁效果。该研究成果在工作区应用后,钻孔岩心的采取率提升至95%,机械钻速从邻孔的1.69 m/h增加至3.02 m/h,纯钻进时间的比例也有所提高。孔壁稳定性得到了显著增强,即便是在钻穿多套蚀变地层时,也未出现明显的掉块或钻孔坍塌现象。该研究进一步揭示,超细 CaCO_3 对千枚岩微米级孔隙的快速封堵、对PVA和膨润土相互吸附构建的网架结构的填充与增强,PVA对岩石的桥接-覆膜-封堵及其骨架碳链的疏水作用,协同增强了低固相环保型防塌冲洗液体系的作用效果。此外,该冲洗液中的重金属含量、生物降解性和生物毒性均符合环保标准要求。

2.2.2 冲洗液的用量控制

在施工中避免过度使用冲洗液。通过精确计算冲洗液的用量,采用符合环保要求的地层压力增

强剂,结合地层特性和施工需求,实现冲洗液的精细化管理。如在甘肃西和工作区采用低固相冲洗液,在云南大关漏失地层或钻孔较浅(以钻代槽)钻进时使用清水冲洗液或“顶漏钻进”,降低对地下水的影响,较好地保护了环境。

2.2.3 建立冲洗液循环回收系统

在西藏罗布莎工作区,机台建立了三级循环处理系统,通过过滤、沉淀和处理等工艺对冲洗液进行回收和再利用,有效减少资源浪费和环境污染。在冲洗液的循环利用过程中,先进行一级沉淀,容积约5 m³,停留时间>30 min,以去除大颗粒岩屑所示;随后进行二级过滤,进一步过滤净化,如图5所示;最后通过三级处理,调整冲洗液的性能参数。



图5 过滤沉淀

2.2.4 场地防渗技术

在甘肃西和、西藏罗布莎、西藏尼玛等工作区,采取钻机底座和油料区铺设专用防渗布、硬化重点区域地面等措施,如图6所示。这些防渗措施有效阻止了钻探过程中可能产生的油污和废液渗漏,避免了对地下水和土壤的污染。同时,防渗布的使用还减少了雨水对钻探区域的冲刷,保持了钻探现场的整洁和有序。硬化重点区域的地面,既保证了地面的强度和耐用性,又减少对环境的影响。这些场地防渗技术的应用,为绿色钻探技术的推广和实施提供了有力支持。



(a) 铺设防渗布 (b) 地面硬化

图6 防渗措施

3 生态修复

3.1 植被恢复

(1)草皮保存法:在西藏罗布莎工作区,施工前将表层草皮(厚度15~25 cm)完整地剥离并妥善保存,以便施工后能够恢复植被,增强生态环境的稳定性和美观度,同时促进土壤保护和水土保持。如图7(a)所示。



(a) 预留草皮



(b) 恢复的快速植被



(c) 树苗种植

图7 植被恢复

(2)快速植被恢复技术:在云南大关工作区,通过选用适宜的本地草种,并利用该区域的自然气候条件,实现了植被的迅速恢复,具体效果如图7(b)所示。

(3)树木种植:施工完成后,选择在雨天对施工区域进行植被恢复,挑选与原有环境相匹配的树苗

进行种植,以促进树木的再生,如图7(c)所示。

在云南大关和甘肃西和工作区,通过土地复垦和快速植被恢复技术的应用,在施工区域的生态恢复率达到90%以上。在西藏罗布莎工作区,通过草皮预留的方式,生态恢复也得以取得显著成效。

3.2 土地复垦与自然景观恢复

针对戈壁和荒漠地区的土地复垦工作,采取机台回填作业,恢复钻探施工前的自然景观,力求最大程度地保持原有的生态特征。

对于山区的土地复垦,着重清理施工过程中产生的废渣、杂物等,平整因施工造成的坑洼地面,恢复土地的平整度。同时,结合山区的地形地貌,对地表进行微地形塑造,使其与周边自然山体的走势相契合,营造出自然流畅的景观效果。

4 应用效果分析

4.1 环境效益

通过实施一系列绿色钻探措施,相较于以往,临时用地面积减少了35%以上,显著提升了水土流失的控制效果,并且最大程度地保护了生态多样性。便携式钻机的运用,减少了二氧化碳及废气的排放,降低了对空气的污染。双机同时施工,大大缩短了对土地的占用和对环境的影响。采用索道运输,最大程度地保护了生态环境。

4.2 经济效益

优选钻探设备,采用便携式钻机,钻探效率提升了33%,油耗降低了50%,材料消耗减少了约15%;双机共用一个机台同时施工,减少了青苗赔偿费用,缩短了施工工期,节约了人员成本约30%。

通过索道运输,极大地减少了运输过程中的设备损耗,维修成本降低近40%。此外,由于临时用地面积的大幅减少,土地占用费用节约了约25%。

这些综合措施显著降低了各项成本支出,在经济效益方面也取得了很好的成果。

5 结论

针对西部典型地区复杂的地质条件和脆弱的生态环境特征,进行绿色钻探技术的创新应用与实践,形成了一套适用于西部特殊环境的技术体系,取得了显著的环境与经济效益。

(1)环境扰动控制技术成效显著。轻便型钻机(如MD-300、EP800等)的应用降低了60%以上的

单件设备质量,减少占地面积35%以上,噪声降低15~20 dB,油耗减少50%,显著降低了钻探活动对地表和生态的扰动。

(2)双机联动施工模式在西藏高海拔地区的实践表明,施工效率提升35%,工期缩短40%,同时减少37%的土地占用时间,体现了高效与环保的双重优势。因地制宜的搬运方案(如人工搬运、索道运输)进一步降低了对植被和地表的破坏,索道运输使地表扰动面积减少80%以上。

(3)污染防控技术体系取得一定成效。环保型冲洗液(如超细颗粒复合聚乙烯醇防塌体系)的应用使岩心采取率提升至95%。冲洗液循环回收系统和场地防渗技术的综合应用,有效防止了废液渗漏和土壤污染,达到了一定环保目的。

(4)生态修复技术方法得到有效运用。快速植被恢复及土地复垦技术的应用,使施工区域的生态恢复率达到90%以上,草皮预留也使生态得以迅速恢复,尤其在高原草甸和戈壁等脆弱生态区,植被覆盖度和土壤结构得到有效恢复,实现了“边勘探、边修复”的绿色勘查目标。

(5)综合效益显著。绿色钻探技术的实践,不仅降低了30%以上的施工成本(如青苗赔偿、运输损耗等),还通过效率提升缩短了施工周期,为项目的顺利完成创造了有利条件。

参考文献:

- [1] 王胜,欧兴贵,解程超,等.钻井利器之“护壁堵漏材料”[J].钻探工程,2024,51(3):157-161.
- [2] 方国庆,潘德元,王杰,等.绿色勘查技术在湖南省幕阜山地区钻探工程中的应用与实践[J].钻探工程,2024,51(S1):269-274.
- [3] 冉灵杰,渠洪杰,谭春亮,等.覆盖区矿产调查钻探查证技术方法研究[J].地质与资源,2024,33(4):606-611.
- [4] 闫佳佳,张盼峰,张登奎,等.便携式钻机在绿色资源勘查工作中的应用分析与实践[J].新疆有色金属,2025(1):54-56.
- [5] 王文彬,龙安,吴荣华,等.无人机吊运模块化钻机技术研究与应用[J].钻探工程,2024,51(S1):208-215.
- [6] 渠洪杰,谭春亮,冉灵杰,等.面向新一轮找矿突破战略行动绿色勘查的钻探技术研发与应用建议[J].中国矿业,2024,33(10):246-256.
- [7] 李冰乐,王胜,袁长金,等.复杂山区水平绳索取心定向钻进聚合醇绿色防塌冲洗液研究[J].钻探工程,2023,50(6):85-91.
- [8] 田志超,翟育峰,林彬,等.耐高温环保型冲洗液体系在西藏甲玛3000 m科学深钻中的应用研究[J].钻探工程,2021,48(11):15-21.
- [9] 袁进科,陈礼仪,王军伟,等.青藏高原复杂地层地质钻探低固相冲洗液试验研究[J].钻探工程,2021,48(4):79-84.

(编辑 王文)