

# 便携式模块化钻机在绿色地质勘查 工作中的应用实践

刘蓓<sup>1,2</sup>, 寇少磊<sup>1</sup>, 朱芝同<sup>2</sup>, 杨可<sup>1\*</sup>, 张晨<sup>3</sup>, 张雄<sup>1</sup>, 牛恩宁<sup>1</sup>

(1. 中国地质调查局西安矿产资源调查中心, 陕西 西安 710100;

2. 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000;

3. 北京集佳知识产权代理有限公司西安分公司, 陕西 西安 710100)

**摘要:**以绿色地质勘查工作要求为基础,介绍了便携式模块化钻机的钻进工艺特点和应用优势。结合多种地质条件的30个钻孔对钻机应用效果进行了分析研究,探索出了“便携式模块化钻机+高效碎岩薄壁钻头+环保冲洗液”的钻探技术方法,提升了钻探工程质量和效率,降低了工程活动对自然环境的不良影响,获得了较好的社会和经济效益。同时,探索了工程活动中环境保护与治理措施,探讨了关于绿色勘查工作的管理问题。最后,对钻机下一步广泛应用提出了建议,为持续推进绿色地质勘查工作起到了较好的指导意义。

**关键词:**绿色地质勘查;便携式模块化钻机;薄壁钻头;环保冲洗液;环境保护

**中图分类号:**P634 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2022)02-0030-10

## Practical application of the portable modular drill in green geological exploration work

LIU Bei<sup>1,2</sup>, KOU Shaolei<sup>1</sup>, ZHU Zhitong<sup>2</sup>, YANG Ke<sup>1\*</sup>, ZHANG Chen<sup>3</sup>, ZHANG Xiong<sup>1</sup>, NIU Enning<sup>1</sup>

(1. Xi'an Mineral Resources Research Center of China Geological Survey, Xi'an Shaanxi 710100, China;

2. Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China;

3. Unitalen Attorneys at Law, Xi'an Shaanxi 710100, China)

**Abstract:** Based on the requirements of green geological exploration, this article mainly introduces the drilling technical characteristics and application advantages of portable modular drill. The application effect of the drill is analyzed based on 30 drilling holes in different kinds of geological conditions. The drilling technical methods are explored integrating the portable modular rig, the efficient rock crushed thin wall bit and the green drilling fluid, as a result improving the drilling quality and efficiency, reducing the adverse impact of the engineering activities on the natural environment, obtaining a better social and economic benefits. At the same time, the environmental protection and treatment measures in engineering activities are explored, and the management issues of green exploration work is discussed. At last, some suggestions are put forward for the wide application of drilling rig in the future, which provide a better guiding significance for the continuous promotion of green geological exploration work.

**Key words:** green geological exploration; portable modular drill; thin-wall drilling bit; environmental friendly drilling fluid; environment protection

收稿日期:2021-12-27; 修回日期:2022-02-21 DOI:10.12143/j.ztgc.2022.02.005

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“秦岭地区金银矿资源勘查”(编号:DD20208008)、“智能化深部钻探技术升级与应用示范”(编号:DD20211421)

第一作者:刘蓓,男,汉族,1986年生,工程勘察室副主任,工程师,地质工程专业,硕士,从事地质钻探工程施工和技术管理工作,陕西省西安市长安区凤栖西路66号,liubei02105228@163.com。

通信作者:杨可,男,汉族,1986年生,能源资源调查室主任,工程师,构造地质学专业,硕士,从事矿产勘查工作,陕西省西安市长安区凤栖西路66号,yangke051302@163.com。

引用格式:刘蓓,寇少磊,朱芝同,等.便携式模块化钻机在绿色地质勘查工作中的应用实践[J].钻探工程,2022,49(2):30-39.

LIU Bei, KOU Shaolei, ZHU Zhitong, et al. Practical application of the portable modular drill in green geological exploration work[J]. Drilling Engineering, 2022, 49(2):30-39.

## 0 引言

随着我国社会经济发展,生态文明建设地位和作用日益凸显。习近平总书记提到“生态环境保护是功在当代、利在千秋的事业”,因此要正确处理经济发展同生态环境保护的关系,推动绿色发展、循环发展、低碳发展。绿色勘查工作在国内起步较晚,近些年,在国家相关政策大力支持与鼓励下,绿色勘查技术研究和推广工作发展迅速,取得了良好的环保效益和众多成效。

2015—2020年,国内逐步探索研究绿色勘查工作技术和方法,贵州省西南能矿集团率先探索出了贵州固体矿产绿色勘查技术经验;中国地质调查局探矿工艺研究所探索了高原生态脆弱区绿色勘查钻探技术体系;青海省有色地勘局创造了生态环境脆

弱地区的“多彩模式”勘查方法,并开始在全国倡导绿色勘查。同时,国内绿色勘查相关政策和法规也在不断地更新完善,自然资源部、部分省(自治区)以及地勘行业团体针对绿色勘查工作逐步发布了相关要求和标准规范,自然资源部明确提出了调整对生态环境影响大的勘查技术方法,开展绿色勘查项目示范工作,已评选出95个绿色勘查示范项目,加快了建立新时代绿色勘查管理制度和标准规范体系。2021年,自然资源部印发《关于促进地质勘查行业高质量发展的指导意见》特别提到推进绿色勘查和绿色矿山建设,国内绿色勘查技术和标准体系现已基本建立起来,现行绿色地质勘查相关标准见表1。

表1 国内现行绿色地质勘查相关标准

Table 1 Current standard of green geological exploration in China

序号	规范/标准名称	编号	实施时间	发布部门
1	绿色勘查指南	T/CMAS 0001—2018	2018年8月1日	中国矿业联合会
2	固体矿产绿色勘查技术规范	DB 52/T 1433—2019	2019年12月1日	贵州省市场监督管理局
3	宁夏绿色勘查技术规程	DB 64/T 1753—2020	2020年10月27日	宁夏回族自治区市场监督管理厅
4	高原绿色勘查地质钻探规范	DB 63/T 1827—2020	2020年12月31日	青海省市场监督管理局
5	黄金地质绿色勘查技术规范	T/CGA 018—2021	2021年1月25日	中国黄金协会
6	绿色勘查规范	DB 37/T 4307—2021	2021年3月2日	山东省市场监督管理局
7	固体矿产绿色勘查技术规范	DB 41/T 2082—2020	2021年3月30日	河南省市场监督管理局
8	绿色地质勘查工作规范	DZ/T 0374—2021	2021年7月1日	中华人民共和国自然资源部

2020—2021年,西安矿产资源调查中心分别在陕西省和青海省开展地质钻探工作。陕西省明确规定在核心保护区、重点保护区实施战略性矿产资源勘查项目,应当依法进行环境影响评价,并提出坚持依法勘查、规范工程施工、绿色达标验收等具体工作要求;青海省规定提出最大限度减少对生态环境的不良影响<sup>[1]</sup>。施工单位应采取有效的技术和措施,做好安全文明施工、生态环境保护等各项管理工作,自然资源主管部门应认真核实绿色勘查工作实施情况。为贯彻推进和落实好以上相关要求,结合战略性矿产地质勘查工作实际所需,西安矿产资源调查中心配备了一批便携式模块化钻机,并科学组织绿色地质钻探试点和推广工作,获得了良好的应用效果和经济效益,顺利完成了地质工作目标,有效服务和支撑了绿色地质勘查工作。

## 1 钻机简介

### 1.1 钻机基本参数

便携式模块化钻机型号为英格尔EP600系列,钻机主机由操作台、液压油箱、柴油机组、柴油箱、钻机底座、钻架、泥浆泵、卷扬机和泥浆搅拌器组成<sup>[2]</sup>,钻机各机构的驱动力来自高压管路中的液压油,通过调节阀控制管路中流动的油量可实现钻压、转速和泵量无级变速调节,同时,每台钻机分别配备3台动力头液压马达(高速、中速和低速),以满足钻进多种地层或不同孔深所需的参数要求。便携式模块化钻机基本性能参数见表2。

### 1.2 钻进工艺特点

便携式模块化钻机以动力头高转速实现钻头快速切削碎岩为优势,采用“薄壁系列钻杆+薄壁系列绳索取心钻具+无(或低)固相冲洗液”薄壁金刚石

表2 EP600系列钻机性能参数

Table 2 Performance parameters of EP600 series drilling rig

名称	参数	
钻机型号	EP600/EP600PLUS	
动力头	最大扭矩/(N·m)	600/1160
	最高转速/(r·min <sup>-1</sup> )	1200/1400
	给进行程/m	1.83
	提升力/kN	50
	给进力/kN	30
钻机动力	久保田柴油发动机 3×23.5 kW/3×33 kW	
卷扬机	平均速度/(m·min <sup>-1</sup> )	150
	提升力/kN	7.5
泥浆泵	容绳量/m	1000/1100
	最大流量/(L·min <sup>-1</sup> )	120
钻架	最高压力/MPa	7
	钻进角度	45°~90°
钻进能力	适用钻杆长度/m	1.5
	钻孔口径	HTW/NTW/BTW
外形与质量	钻进深度/m	100;300;600/200; 600;800
	机台面积尺寸/m	4(长)×4(宽)×5(高)
	总质量/t	1.15/1.5

绳索取心钻探工艺<sup>[3-4]</sup>, 钻进口径以 HTW (96.4 mm) — NTW (75.9 mm) — BTW (60.1 mm) 级配为主, 钻进采用无固相或低固相冲洗液。该钻进工艺具有以下几点优势:

一是钻杆可作为护壁套管使用, 实现不提钻换口径钻进。在钻进不稳定地层时, 薄壁系列钻杆可作为套管实现不提钻护壁, 即直接作为护壁套管, 只需换小一级口径钻具组合即可继续正常钻进。以 HTW 口径钻进为例, 若钻进过程中发生严重的坍塌、掉块等情况, 造成事故(卡钻或埋钻)致使钻具无法回转或起拔, 则只需换为 NTW 口径钻进即可。需要注意的是必须先打捞出 HTW 钻具中内管总成, 使用 NTW 钻头磨铰掉 HTW 钻头内台阶, NTW 钻具通过后方可正常钻进<sup>[5]</sup>。

二是薄壁系列与标准 Q 系列绳索取心钻具相比<sup>[6-7]</sup>, 具有以下优势: (1) 薄壁钻头碎岩效率较高, 钻速快。钻头底唇与岩石接触面积少, 孔底扭矩阻力小, 钻头切削岩石的环状面积小, H 口径和 B 口径分别减少了 19%, N 口径减少了 28% (见图 1), 结合钻机的高转速, 岩石切削速度快, 可获得较高的钻进

速度; (2) 薄壁系列钻具取心直径更大, H 口径取心体积提高了 23%, N 口径和 B 口径分别提高了 36% (见图 2), 能够更好地满足地质技术质量要求; (3) 孔壁环状间隙较小, 钻柱整体具有满、直的特点, 可有效控制孔斜, 一定程度上可抑制孔壁掉块卡钻, 钻孔安全性较高。薄壁系列与标准 Q 系列钻杆环状间隙对比见图 3。

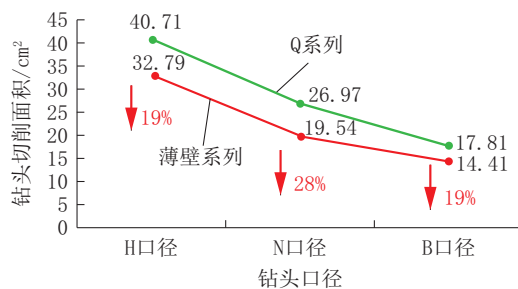


图1 不同系列钻头切削面积对比

Fig.1 Cutting area comparison between different series drill bits

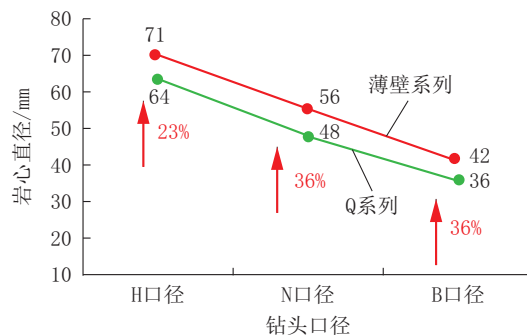


图2 不同系列岩心直径对比

Fig.2 Comparison of different series core diameter

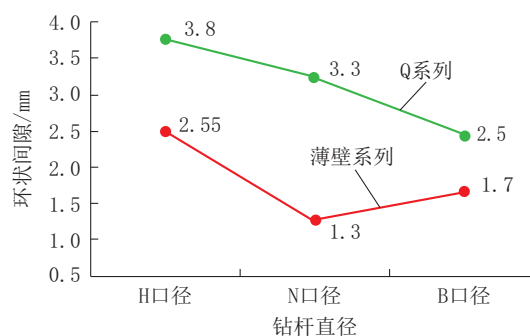


图3 不同系列钻杆与孔壁环状间隙对比

Fig.3 Comparison between different series drill rod and hole wall annular gap



需要注意的问题,便携式模块化钻机的钻进参数选择确定,要结合工作区地质条件、地形地貌及钻孔技术要求等因素,才能获得较高的工程质量与较好的经济效益。

### 1.3 钻机优势

模块轻量化设计,80%以上结构件采用高强度铝合金材料,机身轻便易于搬运<sup>[8]</sup>;机台占地破坏面积少;液压系统高度集成,全液压驱动,无级调速,液压管路快速插接接头,安拆快速<sup>[9]</sup>;顶驱式动力头,油缸推进,无需倒杆,钻机操作性好;动力输出稳定,噪声小,机械故障率较低,维护保养简单;作业省时省力,机台作业每班组仅需2~3人即可开展工作,工人劳动强度低,现场作业安全风险小(见图4)。



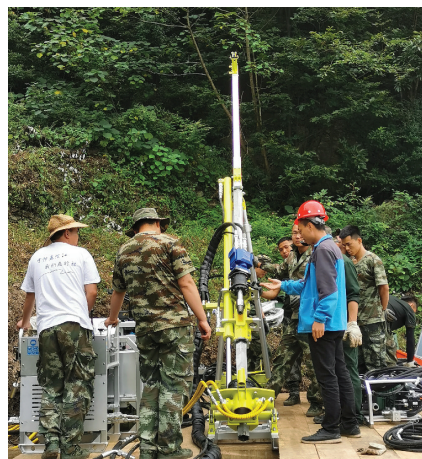
图4 钻机作业现场

Fig.4 Drill working site

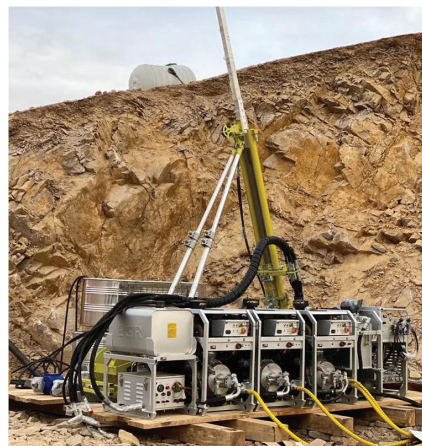
## 2 工区概况

### 2.1 地形地貌

工作区主要在陕西和青海两地(见图5)。陕西秦岭工作区分布在陕西商洛丹凤、汉中宁强和安康旬阳地区,区内都有公路相通,交通较为便利,属中低山区,地表第四系覆盖层厚为0~6 m不等,地形切割强烈,山势陡峭,植被覆盖茂密,以高大落叶阔叶植被为主,沟谷溪流常年有水,季节性雨水丰沛,国家级野生保护动植物丰富。青海工作区在鱼卡地区,地处柴达木盆地北缘,属青海省海西州大柴旦行政委员会管辖,海拔在3000~4000 m之间。工区内少量区域有失修的道路可通行,大部分区域车辆无法通行,交通极其不便。地表水系极少,植被稀疏,山势陡峻,多为秃山荒漠且沙漠化较严重,属典型的高原荒漠型景观。



(a) 陕西秦岭工作区



(b) 青海鱼卡工作区

图5 便携式模块化钻机在工作区的应用

Fig.5 Application of portable modular drill in working area

### 2.2 地层岩性

陕西秦岭工作区地层岩性主要为片岩、片麻岩、角闪岩、花岗岩、千枚岩、硅质千枚岩、砂岩、石英砂岩、石英闪长岩、板岩、碳质板岩、石灰岩、白云岩等,地层较完整、风化程度较弱;青海鱼卡工作区揭露的地层岩性主要为云母石英片岩、二云母片岩、榴辉岩、糜棱岩、大理岩等,地层裂隙发育,浅层风化程度较强。工作区地层情况见图6。

## 3 应用情况

### 3.1 因地制宜,保障任务,提升成效,降低环境影响

(1)因地制宜应用便携式模块化钻机,有力保证了钻探任务顺利完成。

结合工区地质地形条件、物资保障环境、钻孔质量要求和费用成本等因素,科学合理选用便携式模



图6 工作区地层主要岩性

Fig.6 Main lithology in the working area

块化钻机,可达到事半功倍的效果。2020—2021年,采用便携式模块化钻机分别在陕西商洛丹凤、汉中宁强、安康旬阳和青海鱼卡4个工作区试点开展工作,共完成岩心钻孔30个,累计完成工作量8799.64 m,详见表3。分析表3数据,单孔设计深度大部分在200~400 m,平均台月效率为652.37 m。钻进7级及以下的岩层,最高台月效率达到了1008.68 m(灰岩地层),最低台月效率为323.25 m(千枚岩、长石石英砂岩地层),平均台月效率为697.19 m;钻进8级及以上的岩层,台月效率仅为211.39~293.12 m(花岗岩、石英片岩、榴辉岩地层)。可以看出,秦岭工作区内岩石级别普遍较低,为中等硬度以下,结合地形地貌情况,选用便携式模块化钻机开展钻探工作较为科学合理<sup>[10]</sup>。同时,在岩石级别较高的花岗岩地层(ZK5801)、榴辉岩和石英片岩地层(ZK803、ZK3602)开展钻探工作,该钻机的施工效率则非常低,表现出不适用于硬岩及以上的地层。总的来看,便携式模块化钻机较适于岩石级别为中硬以下的地层,此次钻机试点应用取得了良好的预期效果。

(2)实施“一基多孔”以及小倾角钻孔钻进技术,大力提升绿色地质钻探工作成效。

安康旬阳工作区地形切割强烈,山高坡陡,地表基岩裸露,钻孔孔位选址和道路修筑非常困难。考虑施工作业安全管理风险,通过反复沟通和论证,钻孔定于山体较为稳定和便于修筑机台的有利位置,

采用便携式模块化钻机实施“一基两孔”即ZK001和ZK002(见表3),成功解决了以上施工诸多困难。一是有效降低了设备安拆运输与道路修筑等辅助时间,加快了钻探工程总体进度,降低了费用成本;二是可极大减少因机台和道路修筑而破坏地表植被,既满足了地质任务,又能最大限度降低地表破坏,体现了绿色勘查工作思想<sup>[11]</sup>。同时,与传统立轴钻机相比,便携式模块化钻机施工的钻孔倾角设计范围更宽,可满足小倾角浅孔钻探施工技术要求,例如商洛丹凤工作区ZKC01、ZKC21以及安康旬阳工作区ZK1501、ZK7-1均为小倾角钻孔(参见表3),钻进作业存在一定的难度,采用该钻机均顺利高效完成了钻孔施工任务。

(3)钻探工程临时占地面积得到控制,有效降低了环境影响程度,获得了良好的效益。

钻探工程占地始终坚持“尽量不占用耕地和永久基本农田,严格控制林草地的占用规模,充分利用荒地和植被稀疏区域”的原则,钻探场地和物资运输临时便道用地得到了有效控制。钻孔孔位选址要综合考虑地质目标要求、工程布设可行性、安全风险以及经济成本等因素,钻探场地要因制宜合理利用有限空间实行分区布设,科学规划钻探装备物资的运输进出场的路线方案,宜采用环境扰动小的修筑、开挖方式,以最大程度上减少临时占用地和地表开挖破坏规模。通过便携式模块化钻机的应用和统计分析,该钻机临时占地规模与传统立轴式钻机相比,



表3 各工作区便携式模块化钻机施工效率情况

Table 3 Working efficiency of portable modular drill in different working area

序号	孔号	设计倾角/(°)	终孔孔深/m	工期/d	台月效率/m	岩性	岩石级别	钻机类型	施工时间	工区
1	ZK1601	80	300.37	14	643.65	黑云斜长角闪岩、黑云绿帘斜长片麻岩	5~6	EP600	2020	
2	ZK01	70	298.53	10	895.59	绿帘斜长片麻岩、绿帘斜长角闪片岩	5~6	EP600	2020	
3	ZK301	70	373.00	13	860.77	含碳石英片岩夹碳质板岩、绿帘斜长角闪岩	4~5	EP600PLUS	2020	
4	ZK1401	70	392.25	20	588.38	绿泥石英片岩、含碳石英片岩、硅质碎裂岩	4~5	EP600PLUS	2020	
5	ZK1001	70	240.02	10	720.06	绿泥石英片岩	4~5	EP600	2020	
6	ZK5801	70	396.07	49	242.49	斑状中粗粒花岗岩	8~9	EP600	2020	商洛
7	ZK001	82	331.67	15	663.34	长石变砂岩、石英闪长岩、硅质大理岩	5~7	EP600PLUS	2021	丹凤
8	ZK601	80	300.88	12	752.20	长石变砂岩、石英闪长岩、硅质大理岩	5~7	EP601PLUS	2021	
9	ZK401	75	266.78	8	1000.43	长石变砂岩、石英闪长岩、硅质大理岩	5~7	EP602PLUS	2021	
10	ZKF001	70	160.18	6	800.90	长石变砂岩、石英闪长岩、硅质大理岩	5~7	EP603PLUS	2021	
11	ZKC01	50	174.28	7	746.91	变细砂岩、变长石石英细砂岩、粉砂质板岩	3~6	EP604PLUS	2021	
12	ZKC21	50	135.96	6	679.80	变长石石英细砂岩、粉砂质板岩	3~6	EP605PLUS	2021	
13	ZKC02	70	133.78	5	802.68	变长石石英细砂岩、粉砂质板岩	3~6	EP606PLUS	2021	
14	ZK001	70	190.50	12	476.25	千枚岩、硅质千枚岩	6~7	EP600	2020	
15	ZK002	75	335.86	20	503.79	千枚岩、千枚岩夹石英脉、石英脉	6~7	EP600	2020	
16	MZK001	75	300.10	16	562.69	硅质、碳质板岩	4~6	EP600PLUS	2020	
17	ZK801	80	290.08	19	458.02	千枚岩夹石英脉、长石石英砂岩	6~7	EP600	2020	
18	ZK1101	80	334.03	31	323.25	千枚岩、长石石英砂岩、含碳硅质板岩	6~7	EP600PLUS	2020	汉中
19	ZK003	80	420.48	26	485.17	绢云千枚岩、长石石英砂岩、碳质硅质板岩	5~5	EP606PLUS	2021	宁强
20	ZK1601	70	190.19	11	518.70	千枚岩、变砂岩、碳质板岩	5~6	EP600	2021	
21	ZK802	80	320.88	14	687.60	绢云千枚岩夹石英脉、硅质板岩	5~7	EP600	2021	
22	ZK005	82	432.09	34	381.26	绢云千枚岩、含碳硅质板岩	5~7	EP606PLUS	2021	
23	ZK3601	80	330.58	15	661.16	石英片岩、大理岩	5~7	EP600	2021	
24	ZK001	70	200.73	7	860.27	白云岩	4~5	EP600	2021	
25	ZK002	83	321.98	10	965.94	白云岩	4~5	EP600	2021	安康
26	ZK1501	65	316.08	11	862.04	白云岩	4~5	EP600	2021	旬阳
27	ZK0-1	90	396.28	13	914.49	灰岩、灰岩夹千枚岩	4~5	EP600	2021	
28	ZK7-1	65	268.98	8	1008.68	灰岩、灰岩夹千枚岩	4~5	EP600	2021	
29	ZK803	75	373.45	53	211.39	钾长花岗岩、云母石英片岩、榴辉岩	8~9	EP600PLUS	2020	青海
30	ZK3602	60	273.58	28	293.12	云母石英片岩、糜棱岩	8~9	EP600PLUS	2020	鱼卡

钻探场地占用或修筑面积可减少80%~85%，临时便道占用或修筑面积可减少60%~65%。同时，坚持临时运输便道可利用现有便道的尽量不修筑，极大减少了人工活动对自然环境的影响程度。模块化钻机与传统立轴式钻机作业经济成本相比，经测算

单机台综合费用成本可节省12.18~18.91万元/年，人员、临时用地(青苗)补偿、绿色环保材料及复垦复绿等综合费用成本降低了约40%<sup>[12]</sup>，获得了良好的社会效益。

### 3.2 创新技术方法,提高钻探工程质量和效率

(1)初步探索出“便携式模块化钻机+高效碎岩钻头+环保冲洗液”的绿色勘查钻探技术方法。

结合模块化钻机高转速的优势,通过在硬—坚硬花岗岩地层开展N口径钻头试验,优选不同参数的金刚石钻头,并通过处理优化钻头结构形式,对碎岩效率进行了研究探索,发现齿轮钻头(5号钻头)在相同钻进参数情况下,减少钻头与岩石的接触面积,钻进效率平均提高了1.8倍(5号钻头处理),钻头试验效果见表4。通过优化钻头底唇结构有效提高了钻进效率,缩短了施工工期和对周围环境的扰动周期<sup>[13]</sup>,节约了施工成本,减少了废物的产(排)出量。同时,在冲洗液使用方面,优选无毒、无害、可自然降解的环保型冲洗液材料,控制污染源;比较复杂不稳定地层采用低固相冲洗液,以确保钻孔安全和质量;较稳定完整地层采用高润滑性冲洗液材料或使用钻杆润滑脂<sup>[14-20]</sup>,以降低钻孔壁摩阻力,减少钻机功率损耗,保证动力头高转速。

表4 金刚石钻头试验  
Table 4 Diamond bit tests

钻头编号	硬度	底唇形式	胎块数/ 颗	平均日效 率/m
1	HRC10~15	同心圆尖齿	7	7.44
2	HRC15~20	同心圆尖齿	7	8.37
3	HRC8	齿轮	16	12.71
4	HRC8	同心圆尖齿	8	8.97
5	HRC10~15	齿轮	14	8.64
5(处理)	HRC10~15	齿轮	11	15.53

(2)结合钻机优势,探索研究信息化技术服务,提升绿色钻探工作质量。

研究开发钻探施工数字化与动态监测信息系统<sup>[21-25]</sup>,主要包括3部分内容:一是实现原始班报表的数字化记录、自动计算存储、查询和传输;二是实现钻进参数实时采集、存储、报警与远程传输监控;三是实现钻探工程“全生命周期”管理信息化。目前,已完成“地质岩心钻探班报表数字化录入系统”应用程序开发,移动设备(安卓系统)即可安装使用<sup>[26]</sup>。该应用程序可实现无纸化现场办公,能有效提高现场报表记录效率,降低人工计算错误率,自动生成电子版文档,便于钻探原始数据统计分析、存储与共享,极大地提高了数据的分析利用效率。

### 3.3 环境保护与治理措施

为加强作业场地防护,减少环境污染,实行了生产作业全流程的控制。严格冲洗液材料消耗和使用管理,探索冲洗液循环系统和净化处理措施,采用可移动式沉淀箱体,避免地表开挖破坏,废弃冲洗液经过沉淀或絮凝实现固液分离,避免冲洗液外排污染环境;临时蓄水探索采用柔性(帆布)可折叠轻便式储水池,减少了地表植被破坏;机台内铺设防渗材料有效防止了油脂和废液污染地表土体;废油脂类材料集中收集处理,施工作业结束后可用于钻探设备零部件润滑清洗和管材的存储保养,废油脂得到了充分利用<sup>[27]</sup>。减少浪费和环境污染,基本实现了经济和环保双赢。

钻探工程结束后开展环境恢复治理工作。钻探场地及时清理现场废料、废液及垃圾等,并进行地形地貌恢复治理。复垦复绿遵循自然规律因地制宜,宜林则林,宜草则草,宜耕则耕、宜荒则荒<sup>[28]</sup>。复垦复绿还要做好维护管理工作。秦岭工作区植被覆盖区复绿面积达到了95%以上,农田复耕率达到了100%(见图7);青海鱼卡工作区用地属于工业性质用地,为基岩裸露区<sup>[29]</sup>,高原荒漠型景观,根据地方自然资源主管部门要求实施了现场垃圾清理和地形地貌恢复工作。

### 3.4 绿色勘查管理工作探索

一是加强绿色勘查管理体系建设,为绿色勘查工作提供制度保障。完善本单位绿色地质勘查作业管理办法,制定绿色勘查工作总目标和方案,项目结合所在工作区地方政策要求,编制勘查项目环境影响报告、临时用地复垦方案以及具体的绿色勘查实施方案等。施工作业制定现场管理实施细则,约束了从业人员的工作行为。二是探索高质高效的组织管理模式。实行项目—机台—班组的三级管理,把机台绿色勘查年度目标完成情况纳入年终考评,不同层级的相关人员考核与所属机台考评情况关联,促使管理人员和从业人员认识到绿色勘查工作的重要性,确保绿色地质勘查工作有效实施。三是提升勘查技术,培育和宣传绿色勘查理念。重视钻探技术水平提升工作,坚持“理论+实践”和“请进来+走出去”的基本思路,对从业人员进行技术实操训练,与局内、外行业单位加强交流学习,依托相关单位提升业务能力。针对野外工区特点,加强从业人员的绿色地质勘查培训,向地方群众、学校和政府宣传绿



(a) 钻探场地修筑



(b) 场地地貌恢复与复耕

图7 临时用地恢复治理效果

Fig.7 Temporary land recovery result

色地质勘查工作理念<sup>[30-31]</sup>,把地质勘查工作与驻地需求相结合,以获得地方政府与群众的理解与支持。

## 4 成果与建议

### 4.1 取得的成果

(1)因地制宜应用便携式模块化钻机,配套科学的钻探技术方法,如“一基多孔”以及小倾角钻孔钻进技术,提升了钻探工程质量和效率,有效控制了环境影响程度,获得了较好的社会和经济效益,提升了绿色地质勘查工作成效。

(2)结合便携式模块化钻机研究创新,初步探索出了“便携式模块化钻机+高效碎岩薄壁钻头+环保冲洗液”的绿色勘查钻探技术方法,钻探工程信息化工作也取得了初步进展,钻探班报表录入系统的应用可实现钻探原始数据快速流动和存储共享,提高数据分析利用效率。

(3)初步探索出了绿色勘查管理工作方法,绿色地质勘查工作关键点在组织管理和保障措施,管理

得当,制度保障有力,可确保绿色勘查工作有效落地。

### 4.2 下一步工作建议

(1)继续探索提升便携式模块化钻机配套技术和工艺。发挥便携式模块化钻机特点,深入研究小倾角(或水平)钻进技术,试点应用该钻机实现“以钻代槽”技术,服务地质勘查工作。

(2)完善制度,持续加强钻探工程精细化管理。完善绿色勘查相关工作制度,明确从业人员的责权利之间的关系,激发工作人员积极性。钻探工程实施活动中人是关键,注重从业人员的综合教育,提升业务素养,加强技术经验积累,培养良好的环保和经济成本意识,细化钻探工程现场责任分工,以实现施工组织管理往精准化方向转变。

(3)继续深入推进钻探信息化建设。试点应用钻探班报表数字化录入系统,根据使用中发现问题不断优化,以达到可提供强大的功能和友好的操作环境,提升使用客户满意度;结合便携式模块化钻机的优势,攻关钻探数据采集及远程监控系统,以实现钻进参数实时监测和采集(包括钻压、转速、钻速、扭矩、泵压/泵量、称重、钻机发动机功耗、钻机运行温度、电压及时间统计、设备保养时间提醒等),让数据流动和利用起来,通过后台管理分析研究,给钻探现场提供决策依据,为绿色地质勘查工作锦上添花。

## 参考文献(References):

- [1] 陈明军. 便携式钻机在绿色勘查中的应用[J]. 低碳世界, 2018(9):45-46.  
CHEN Mingjun. Application of portable drilling rig in green exploration[J]. Low Carbon World, 2018(9):45-46.
- [2] 杨培智,郑明珠. EP600便携式全液压钻机在广西良结新寨矿区钻探中的应用[J]. 科技经济导刊, 2016(7):87-88.  
YANG Peizhi, ZHENG Mingzhu. Application of EP600 portable full hydraulic drilling rig in Xinzhai mining area, Liangjie, Guangxi[J]. Technology and Economic Guide, 2016(7):87-88.
- [3] GB/T 16950—2014, 地质岩心钻探钻具[S].  
GB/T 16950—2014, Geological core drilling tools[S].
- [4] 刘蓓,张晨,杨可,等. 便携式全液压钻机在秦岭地区地质钻探中的应用[J]. 钻探工程, 2021,48(11):93-102.  
LIU Bei, ZHANG Chen, YANG Ke, et al. Application of the portable full hydraulic drill in geological drilling in the Qinling region[J]. Drilling Engineering, 2021,48(11):93-102.
- [5] 马映辉,贾宏福,李成志,等. 某铁路勘察近水平孔取心钻探施工技术[J]. 地质与勘探, 2021,57(1):190-197.



- MA Yinghui, JIA Hongfu, LI Chengzhi, et al. Near-horizontal borehole coring and drilling techniques in the survey of a railway [J]. *Geology and Exploration*, 2021, 57(1):190-197.
- [6] DZ/T 0278—2015, 地质岩心钻探金刚石扩孔器[S].  
DZ/T 0278—2015, Diamond reaming shells for geological core drilling[S].
- [7] DZ/T 0277—2015, 地质岩心钻探金刚石钻头[S].  
DZ/T 0277—2015, Diamond bits for geological core drilling[S].
- [8] 孔二伟, 张锋, 李大鹏, 等. 便携式全液压钻机在地质勘查中的应用[J]. *西部探矿工程*, 2021, 33(1):71-74.  
KONG Erwei, ZHANG Feng, LI Dapeng, et al. Application of portable full hydraulic drilling rig in geological exploration [J]. *West-China Exploration Engineering*, 2021, 33(1):71-74.
- [9] 董高林. 浅谈便携式全液压钻机在洛南景村-三要一带萤石矿岩心钻探中的应用[J]. *甘肃科技*, 2020, 36(5):47-49.  
DONG Gaolin. Brief discussion on the application of portable full hydraulic drilling rig in fluorite mine core drilling in Luonan Jingcun-Sanyao area [J]. *Gansu Science and Technology*, 2020, 36(5):47-49.
- [10] 杜嵩, 李光春, 巩鑫. 贵州省道真县新民铝土矿区绿色勘查技术与成效[J]. *中国矿业*, 2021, 30(1):76-81.  
DU Lin, LI Guangchun, GONG Xin. Green exploration technology and results of Xinmin bauxite mining area in Daozhen county, Guizhou province [J]. *China Mining Magazine*, 2021, 30(1):76-81.
- [11] 孙之夫, 游鲁南, 王林钢, 等. 黄金地质绿色勘查方法与实践[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2019, 46(4):1-6.  
SUN Zhifu, YOU Lunan, WANG Lingang, et al. Green geological exploration method and practice for gold [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2019, 46(4):1-6.
- [12] 刘蓓, 杨可, 张晨, 等. 固体矿产绿色勘查钻探技术方法探索与实践[J]. *钻探工程*, 2021, 48(S1):39-46.  
LIU Bei, YANG Ke, ZHANG Chen, et al. Exploration and practice of green exploration drilling technology methods for solid minerals [J]. *Drilling Engineering*, 2021, 48(S1):39-46.
- [13] 刘海声, 窦斌, 穆元红, 等. 地质岩心钻探中绿色勘查技术的应用及成本分析[J]. *矿产勘查*, 2021, 12(2):331-337.  
LIU Haisheng, DOU Bin, MU Yuanhong, et al. Application and cost analysis of green exploration technology in geological core drilling [J]. *Mineral Exploration*, 2021, 12(2):331-337.
- [14] 付帆, 陶士先, 李晓东. 绿色勘查高温环保冲洗液研究[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2020, 47(4):129-133.  
FU Fan, TAO Shixian, LI Xiaodong. Research on environment-friendly high-temperature drilling fluid for green exploration [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2020, 47(4):129-133.
- [15] 张统得, 蒋炳, 樊腊生, 等. 探采结合水井无固相环保冲洗液的研究与应用[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2020, 47(6):1-7.  
ZHANG Tongde, JIANG Bing, FAN Lasheng, et al. Research and application of solid-free environment-friendly drilling fluid for exploration and production well drilling [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2020, 47(6):1-7.
- [16] 潘丽娟, 孔勇, 牛晓, 等. 环保钻井液处理剂研究进展[J]. *油田化学*, 2017, 34(4):734-738.  
PAN Lijuan, KONG Yong, NIU Xiao, et al. Research advances of environmental drilling fluid additives [J]. *Oilfield Chemistry*, 2017, 34(4):734-738.
- [17] 段志锋, 陈春宇, 黄占盈, 等. 天然高分子环保钻井液体系的构建与性能评价[J]. *科学技术与工程*, 2018, 18(25):32-37.  
DUAN Zhifeng, CHEN Chunyu, HUANG Zhanying, et al. Construction and performance evaluation of natural polymer environmental protection drilling fluid system [J]. *Science Technology and Engineering*, 2018, 18(25):32-37.
- [18] 彭会新. 新型无土相环保钻井液技术研究与应[J]. *辽宁化工*, 2021, 50(1):116-118.  
PENG Huixin. Research on a new type of soil-free environment-friendly drilling fluid [J]. *Liaoning Chemical Industry*, 2021, 50(1):116-118.
- [19] 蔡文军, 刘禧元, 熊开俊, 等. GRD聚合物环保钻井液在吐哈葡北油田的应用[J]. *石油与天然气化工*, 2019, 48(4):74-78.  
CAI Wenjun, LIU Xiyuan, XIONG Kaijun, et al. Application of GRD polymer environment-friendly drilling fluid in Pubei area of Tuha Oilfield [J]. *Chemical Engineering of Oil & Gas*, 2019, 48(4):74-78.
- [20] 邢希金, 王荐, 何松, 等. 关于我国环保钻井液标准的探讨[J]. *石油工业技术监督*, 2018(5):18-22.  
XING Xijin, WANG Jian, HE Song, et al. Discussion on standard for environment-friendly drilling fluid in China [J]. *Technology Supervision in Petroleum Industry*, 2018(5):18-22.
- [21] 汤小仁, 孟义泉, 瞿兵, 等. 钻探参数实时采集系统研制与应用[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2020, 47(6):46-53.  
TANG Xiaoren, MENG Yiquan, ZI Bing, et al. Development and application of the real time acquisition system for drilling parameters [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2020, 47(6):46-53.
- [22] 曹金龙. 数字信息采集及传输系统在HXY-1600智能拖车钻机的应用[J]. *地质装备*, 2021, 22(1):15-16, 14.  
CAO Jinlong. Application of digital information acquisition and transmission system in HXY-1600 intelligent trailer rig [J]. *Equipment for Geotechnical Engineering*, 2021, 22(1):15-16, 14.
- [23] 赵建勃, 罗帅训, 董朝晖, 等. 工程勘查钻进数据采集设备的自动控制系统设计与应用[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2020, 47(12):23-29.  
ZHAO Jianbo, LUO Shuaxun, DONG Zhaohui, et al. Design

- and application of the automatic control system for geo-technical drilling data acquisition equipment[J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2020, 47(12):23-29.
- [24] 曾石友,杨宽才,田敏,等.地质钻探施工管理信息系统研究[J].*探矿工程(岩土钻掘工程)*,2016,43(4):83-87.  
ZENG Shiyu, YANG Kuancai, TIAN Min, et al. Study on construction management information system of geological drilling [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2016, 43(4):83-87.
- [25] 黄伟,杨宽才,孔二伟,等.XY-8型钻机配套的钻场数字信息采集及传输系统[J].*探矿工程(岩土钻掘工程)*,2016,43(3):49-51,55.  
HUANG Wei, YANG Kuancai, KONG Erwei, et al. Drill field digital information collection and transmission system matched with XY-8 drill[J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2016, 43(3):49-51, 55.
- [26] 刘文彬,郭中泽,闫德刚.基于平板电脑的岩土工程勘察外业数据采集系统[J].*岩土工程技术*,2016,30(2):63-65,99.  
LIU Wenbin, GUO Zhongze, YAN Degang. Geotechnical investigation field collection system based on tablet PC[J]. *Geotechnical Engineering Technique*, 2016, 30(2):63-65, 99.
- [27] 刘海声,穆元红,刘鹏,等.绿色勘查技术在青海格尔木铜金山矿区钻探施工的应用分析[J].*探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2017, 44(3):27-30.  
LIU Haisheng, MU Yuanhong, LIU Peng, et al. Application analysis on green exploration technology in drilling construction in Tongjinshan mining area of Qinghai province[J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2017, 44(3):27-30.
- [28] 张万河,和新,郝国利,等.涑源龙门金多金属矿普查绿色勘查实践[J].*探矿工程(岩土钻掘工程)*,2020,47(7):73-77.  
ZHANG Wanhe, HE Xin, HAO Guoli, et al. Field test of the green exploration concept in Laiyuan county Longmen gold polymetallic mine general survey [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2020, 47(7):73-77.
- [29] DB63/T 1827—2020,高原绿色勘查地质钻探规范[S].  
DB63/T 1827—2020, Specification for plateau green exploration geological drilling[S].
- [30] 马骋,张福良,雷晓力,等.当前推进绿色勘查工作的若干思考[J].*中国矿业*,2019,28(S2):138-141.  
MA Cheng, ZHANG Fuliang, LEI Xiaoli, et al. Suggestions on promoting green exploration in China [J]. *China Mining Magazine*, 2019, 28(S2):138-141.
- [31] 马映辉,贾宏福.绿色工程勘察钻探实施方案探索及应用[J].*探矿工程(岩土钻掘工程)*,2020,47(11):29-36.  
MA Yinghui, JIA Hongfu. Drilling solutions for green engineering investigation and application [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2020, 47(11):29-36.

(编辑 荐华)