

# 便携式全液压钻机在秦岭地区地质钻探中的应用

刘蓓<sup>1</sup>, 张晨<sup>2</sup>, 杨可<sup>1</sup>, 吕轩<sup>1</sup>, 李强<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. 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:** 本文介绍了便携式全液压钻机在秦岭地区固体矿产地质钻探中的应用情况, 简述了EP600系列钻机基本情况与钻探工艺, 结合不同工区11个钻孔分析了地层岩石级别与钻进施工效率的关系。针对该钻机在钻进效率、功率损耗、施工能力等方面的问题, 通过合理选择(改进)钻头、降低钻杆孔内摩阻力及采用轻型高强钻杆等有效措施或建议, 初步取得了较好的试验效果。提出了便携式全液压钻机的适用条件和优势, 该钻机在地层岩石可钻性级别7级以下的浅孔(孔深<350 m)中钻进效率高, 在复杂地形环境中具有搬迁便捷、组装快、环境破坏少的特点, 满足了生态环境保护政策和绿色勘查工作相关要求, 钻探综合经济成本明显降低。对于尚未解决的问题, 给出了合理工作建议, 为下步更好地发挥便携式全液压钻机效能起到了积极的指导与借鉴意义。

**关键词:** 便携式全液压钻机; 绿色勘查; 地质钻探; 钻进参数; 绳索取心钻进; 秦岭地区

**中图分类号:** P634    **文献标识码:** B    **文章编号:** 2096-9686(2021)11-0093-10

## Application of the portable full hydraulic drill in geological drilling in the Qinling region

LIU Bei<sup>1</sup>, ZHANG Chen<sup>2</sup>, YANG Ke<sup>1</sup>, LÜ Xuan<sup>1</sup>, LI Qiang<sup>1</sup>

(1. Xi'an Mineral Resources Research Center of China Geological Survey, Xi'an Shaanxi 710100, China;  
2. Unitalen Attorneys at Law, Xi'an Shaanxi 710100, China)

**Abstract:** This article introduces the application of the portable full hydraulic drill in solid mineral geological drilling in the Qinling region, briefly describes the basic data and the drilling process of EP600 series drills, and analyzes the relationship between rock drillability and drilling efficiency with respect to 11 holes in different work areas. In view of drilling efficiency, power loss, drilling capability and the like of the drilling rig, good test results have been initially achieved by the proper selection (improvement) of the drill bit, the reduction of internal friction resistance within the drill string passage, and the adoption of light high-strength drill pipes and other effective measures or suggestions. The applicable conditions and advantages of the portable full hydraulic drill are presented, including high drilling efficiency in shallow holes (hole depth less than 350m) in rock with drillability level VII, convenient movement, fast assembly, less environmental damage in complex terrain environments, and it meets the requirements of the ecological environment protection policy and green exploration work with the overall economic drilling cost significantly reduced. For the unresolved problems, proper work suggestions are given, which provide positive guidance and reference for further exploiting the performance of the portable full hydraulic drill.

**Key words:** portable full hydraulic drill; green exploration; geological drilling; drilling parameters; wire-line core drilling; Qinling region

收稿日期: 2021-03-10; 修回日期: 2021-04-12    DOI: 10.12143/j.ztgc.2021.11.014

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)

作者简介: 刘蓓, 男, 汉族, 1986年生, 工程勘查室副主任, 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7号, liubei02105228@163.com。

引用格式: 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.

## 0 引言

2020年,西安矿产资源调查中心在陕西秦岭地区设立了矿产地质调查(勘查)项目,秦岭地区植被茂密、地形切割强烈、国家级保护动植物丰富,环保政策要求严格。为贯彻落实习近平生态文明思想,切实加强地质勘查工作中生态环境保护,最大限度减少对环境的扰动和影响<sup>[1]</sup>,完成好年度地质调查(勘查)项目中的钻探工作,依据自然资源部《关于开展绿色勘查项目示范工作的通知》(自然资办函[2019]815号)、中国矿业联合会《绿色勘查指南》(T/CMAS 0001-2018)及陕西省自然资源厅《关于大力推进矿产资源绿色勘查的指导意见》的要求,西安矿产资源调查中心大力引进了4台EP600系列便携式全液压钻机(2台EP600型,2台EP600PLUS型)。利用便携式全液压钻机分别在商洛一丹凤、汉中宁强工作区开展钻探施工作业,钻孔设计深度200~400 m,平均孔深300 m。2020年8—12月,共施工地质岩心钻孔11个,累计完成工作量3450.81 m,平均台月效率556.02 m。便携式全液压钻机应用试点取得了较好的效果,达到了预期目标。

## 1 EP600系列钻机概况

### 1.1 钻机特点

(1)模块化设计,桅杆式钻架结构。模块轻量化设计,最重模块180 kg,施工运输便道宽0.7~1 m即可满足通行,易于搬运;桅杆式钻架,可实现45°~90°任意角钻进,机架材料采用航空铝材,机身轻便<sup>[2]</sup>;使用液压快速插接接头,安装、拆卸快速<sup>[3]</sup>;机台占地面积约4.5 m×4.5 m,可减少基础工程量,绿色环保。

(2)全液压驱动。顶驱式动力头,长行程导轨,油缸推进,不用反复倒杆,导向性、定向性好;无级调速,可开高速,钻机震动小;通过各种压力表实时掌握孔内情况,有限压保护,安全性高;操作台面板布置合理,方便操作,管路布局灵活,各模块维护保养简单。

(3)运行稳定,机械故障率低。钻机动力等主要部件为国外进口,液压系统高度集成,运行过程中,动力输出稳定,噪声小,80%以上结构件采用高强度铝合金材料,机械故障较少。

### 1.2 钻机性能参数

EP600系列便携式全液压钻机主要组成为:钻

机主机、冲洗液循环系统、薄壁钻具、辅助工具材料等。钻机主机由操作台、液压油箱、3台柴油机、柴油箱、钻机底座、钻架(含动力头)、泥浆泵、卷扬机和泥浆搅拌器组成(见图1)<sup>[4]</sup>。EP600系列便携式全液压钻机施工能力及钻机性能参数见表1。



图1 EP600型便携式全液压钻机

Fig.1 EP600 portable full hydraulic drill

## 2 钻进工艺

### 2.1 钻进技术

EP600系列便携式全液压钻机采用“薄壁系列钻杆+薄壁系列绳索取心钻具+无(低)固相冲洗液”钻进技术方法,主打HTW-NTW-BTW级配的薄壁金刚石绳索取心钻探工艺<sup>[5]</sup>,配合无固相或低固相冲洗液,可获得较好的工作优势。薄壁钻头的钻头底唇与岩石接触面积少,孔底扭矩阻力小,结合钻机高转速,切削速度快,钻速高效;薄壁系列钻具与标准Q系列钻具相比取心直径更大,能够更好地满足地质工作需要;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系列钻具对比情况见表2。

### 2.2 钻孔结构

一般情况下,地表或浅层覆盖有不同厚度的松散沉积物,常采用 $\varnothing 110$  mm-HTW-NTW三级钻孔结构,用 $\varnothing 110$  mm口径开孔,施工至较稳定的基

表1 EP600系列钻机性能参数  
Table 1 Specification of EP600 series drills

钻机技术参数	EP600	EP600PLUS	备注	
顶驱式动力头	最大扭矩/(N·m)	600	1160	
	最高转速/(r·min <sup>-1</sup> )	1200	1400	配备高、中、低速马达
	给进行程/m	1.83	1.83	
	提升力/kN	50	50	双油缸加倍
	给进力/kN	30	30	双油缸加倍
液压系统	钻机动力/kW	70.5(3×23.5 kW)	99(3×33 kW)	KUBOTA 涡轮增压柴油发动机
	最高压力/MPa	21	21	
	最大流量/(L·min <sup>-1</sup> )	160	210	
卷扬机	平均速度/(m·min <sup>-1</sup> )	150	150	
	提升力/kN	7.5	7.5	
	钢丝绳直径/mm	5	5	
	容绳量/m	1000	1100	
泥浆泵	最大流量/(L·min <sup>-1</sup> )	120	120	
	最高压力/MPa	7	7	
桅杆	垂直高度/m	5	5	
	钻进角度	45°~90°	45°~90°	0°~90°选配托架
	适用钻杆长度/m	1.5	1.5	
施工能力 (HTW/NTW/BTW)	钻孔直径/mm	96.4/75.9/60.1	96.4/75.9/60.1	
	钻进深度/m	100/300/600	200/600/800	
	取心直径/mm	71/56/42	71/56/42	
	钻杆类型	直连式薄壁钻杆	直连式薄壁钻杆	
夹持器	可通过钻杆直径/mm 114/HTW/NTW/BTW 114/HTW/NTW/BTW			
外形与质量	机台面积尺寸/m	4×4×5	4×4×5	
	模块数量/件	12	12	
	最重模块质量/kg	180	180	
	总质量/t	1.15	1.5	

表2 薄壁系列与标准Q系列钻具对比  
Table 2 Thin-wall vs standard "Q" drilling tools

钻具系列	岩心直径/ mm	孔壁间隙/ mm	钻头底唇 面积/cm <sup>2</sup>	
薄壁系列	HTW	71	2.55	32.79
	NTW	56	1.3	19.54
	BTW	42	1.7	14.41
标准Q系列	HQ	64	3.75	40.71
	NQ	48	2.9	26.97
	BQ	36	2.45	17.81

注:钻头底唇与孔底岩石接触的实际面积应为钻头底唇面积减去水口面积(水口面积约占总底唇面积的25%~30%)

岩后无需起拔套管,  $\Phi 108$  mm 套管护壁, 直接采用 HTW 口径钻进施工。若采用 HTW 口径施工过程中出现严重的坍塌、掉块等情况, 造成严重卡钻(钻具无法回转或起拔), 可采取以下 2 种处理方案: 一是直接续接  $\Phi 108$  mm 套管用  $\Phi 110$  mm 口径扩孔至卡钻位置以下, 以实现解卡, 再继续用 HTW 口径钻进; 二是 HTW 钻杆直接作为护壁套管使用, 打捞出 HTW 内管总成, 用 NTW 口径钻进施工, 需要注意的是必须先用 NTW 钻头磨铣掉 HTW 钻头内台阶, NTW 钻具通过后才能正常施工钻进。钻孔地层较理想的情况下, 钻进深度  $< 400$  m 时, 可采用 NTW 口径施工至终孔, BTW 口径作为备用级, 钻具组合选择见表 3<sup>[6]</sup>。

表3 钻具组合的选择

Table 3 Selection of the drilling stems

钻进口径	地层	钻具组合	取心方式
110 mm	地表或浅层 松散沉积物	Ø108mm 套管+Ø110mm 钻头(PDC 或金刚石)	单管取心
HTW	基岩	HTW 钻杆(Ø91.3 mm)+HTW 钻具(扩孔器 Ø96.4 mm)+HTW 钻头(Ø96.1 mm)	绳索取心
NTW	基岩	NTW 钻杆(Ø73.3 mm)+NTW 钻具(扩孔器 Ø75.9 mm)+NTW 钻头(Ø75.7 mm)	绳索取心
BTW(备用)	基岩	BTW 钻杆(Ø56.7 mm)+BTW 钻具(扩孔器 Ø60.1 mm)+BTW 钻头(Ø59.9 mm)	绳索取心

对于地表覆盖层薄(小于30 cm)或基岩裸露地区,常采用HTW-NTW两级钻孔结构,若在NTW口径施工过程中,钻机转速明显降低,扭矩增大,或钻进中出现卡钻等不适于继续使用NTW口径钻进的问题时,宜采用BTW口径接续开展钻进施工。

### 2.3 钻进技术参数

一般情况下,要结合地层主要岩性、硬度、完整程度及风化程度等地质条件,才能确定满足高效钻进所需的实际参数。便携式全液压钻机各机构的驱动力来自高压管路中的液压油,通过调节阀控制给进油缸、动力头马达和泥浆泵马达管路中流动的油量,可实现钻压、转速和泵量无级调节。采用“便携式全液压钻机+薄壁系列钻杆+薄壁系列绳索取心钻具+无(低)固相泥浆”钻进技术,形成了一套能够适用于多种地层的钻进技术参数。便携式全液压钻机钻进技术参数选取范围见表4。

表4 钻进技术参数选择

Table 4 Selection of drilling parameters

钻具类型	钻压/ kN	转速/ ( $r \cdot \min^{-1}$ )	泵量/ ( $L \cdot \min^{-1}$ )	冲洗液类型
HTW	8~15	350~700	40~65	无固相或低固相
NTW	6~11	500~850	30~45	无固相或低固相
BTW	4.5~8.5	600~1200	25~35	无固相或低固相

注:(1)一般在可钻性5级以下较完整岩层中钻进选取小钻压、高转速和大泵量;松散易冲蚀岩层选取小钻压、低转速和小泵量。(2)在可钻性5级以上岩层中钻进选取较大钻压、低转速和大泵量

## 3 便携式全液压钻机的应用

### 3.1 陕南一柞水商南地区金多金属矿产地质调查项目

#### 3.1.1 地理位置及地层情况

陕南一柞水商南地区金多金属矿产地质调查项

目主要工作区在丹凤县龙驹寨镇东坪、丹凤县蔡川镇白庙沟和商州区杨斜镇麻籽沟。县城和村镇之间都有公路相通,交通较为便利。由于各工区之间跨度较大(40~100 km),地层也有很大的区别,东坪工区位于商丹结合带,断裂构造发育,岩性主要为黑云斜长角闪片岩、绿帘斜长角闪片岩、黑云斜长片麻岩等;白庙沟工区出露的岩性主要为宽坪岩群四岔口组绢云石英片岩,岩石变形强烈;麻籽沟工区岩性主要为似斑状中粗粒黑云母二长花岗岩。

#### 3.1.2 钻探施工情况

2020年8月14日—11月29日,先后采用2台便携式全液压钻机(EP600和EP600PLUS型)在商洛—丹凤工作区开展钻探施工,共完成岩心钻孔6个,累计完成钻探工作量2000.24 m,平均日进尺21.95 m,平均台月效率为658.49 m,各钻孔施工情况见表5。

从表5中可知,在东坪、白庙沟工区最高台月效率分别达到了895.59 m和860.77 m,麻籽沟工区台月效率仅为242.49 m,东坪、白庙沟的台月效率较为理想,麻籽沟的效率最低。ZK1401钻孔因施工期间停待5 d(调拨BTW管材时间),台月效率受到影响只有588.38 m,按实际施工时间计算台月效率可达到735.47 m。总体对比来看,白庙沟工区台月效率最高,东坪工区台月效率次之,麻籽沟工区台月效率最低。便携式全液压钻机适宜于东坪、白庙沟工区地层(岩石可钻性级别4~6级)钻进<sup>[7-8]</sup>,在麻籽沟工区地层(岩石可钻性级别8~9级)钻进施工中适用性表现不理想。

### 3.2 秦岭地区金银矿资源勘查项目应用情况

#### 3.2.1 地理位置及地层情况

秦岭地区金银矿资源勘查项目陕西省宁强县中坝外围锰金多金属矿勘查工作区位于宁强县北西方向约69 km处,隶属宁强县燕子砭镇和安乐河镇管

表5 商洛-丹凤工作区钻孔施工情况

Table 5 Drilling results of the boreholes in the Shangluo-Danfeng work area

孔号	设计倾角/(°)	终孔孔深/m	台月效率/m	钻孔结构	主要地层	钻机型号	工区
ZK1601	80	300.37	643.65	Ø110-HTW-NTW	黑云斜长角闪岩、黑云绿帘斜长片麻岩	EP600	东坪
ZK01	70	298.53	895.59	Ø110-HTW-NTW	黑云绿帘斜长片麻岩、黑云绿帘斜长角闪片岩	EP600	东坪
ZK301	70	373.00	860.77	Ø110-HTW-NTW	含碳石英片岩夹碳质板岩、绿帘斜长角闪岩	EP600PLUS	白庙沟
ZK1401	70	392.25	588.38 (735.47)	Ø110-HTW-NTW-BTW	绿泥石英片岩、含碳石英片岩、硅质碎裂岩	EP600PLUS	白庙沟
ZK1001	70	240.02	720.06	Ø110-HTW-NTW	绿泥石英片岩	EP600	白庙沟
ZK5801	70	396.07	242.49	Ø110-HTW-NTW-BTW	斑状中粗粒花岗岩(钾长石、斜长石、石英、黑云母)	EP600	麻籽沟

辖,村镇之前有公路相通,交通较为便利,工区处于秦岭与大巴山接壤地带,属中低山区,地势总体北高南低,地形切割较强烈,植被覆盖茂密。工区内揭露的主要岩性为铁质菱镁矿千枚岩、铁质菱镁矿千枚岩夹石英脉、硅质千枚岩、长石石英砂岩、含碳硅质板岩等。

### 3.2.2 钻探施工情况

2020年9月15日—12月24日,先后采用2台便携式全液压钻机(EP600和EP600PLUS型)在汉中宁强工作区开展钻探施工,共完成岩心钻孔5个,累计完成钻探工作量1450.57 m,平均日进尺14.44 m,平均台月效率为433.05 m,各钻孔施工情况见表6。

表6 汉中宁强工作区钻孔施工情况

Table 6 Drilling results of the boreholes in the Ningqiang work area in Hanzhong

孔号	设计倾角/(°)	终孔孔深/m	台月效率/m	钻孔结构	主要地层	钻机型号
ZK001	70	190.50	317.50 (439.61)	Ø110-HTW-NTW	铁质菱镁矿千枚岩、铁质菱镁矿千枚岩夹石英脉、硅质千枚岩	EP600
ZK002	75	335.86	503.79	Ø110-HTW-NTW	铁质菱镁矿千枚岩、铁质菱镁矿千枚岩夹石英脉、长石石英砂岩、透镜状石英脉	EP600
ZK801	80	290.08	458.02	Ø110-HTW-NTW	铁质菱镁矿千枚岩夹石英脉、长石石英砂岩	EP600
ZK1101	80	334.03	323.25	Ø110-HTW-NTW	铁质菱镁矿千枚岩、长石石英砂岩、含碳硅质板岩	EP600PLUS
MZK001	75	300.10	562.69	Ø110-HTW-NTW	硅质碳质板岩(夹方解石-石英岩脉)、硅质碳质板岩	EP600PLUS

从表6中可知,ZK001钻孔因施工期间停待6 d(施工用水停待),台月效率受影响仅为317.50 m,按实际施工时间计算台月效率可达到439.61 m;ZK1101钻孔因发生井内事故并处理,造成施工工期

延长,降低了钻进效率。总体来看,该工区钻机的台月效率基本稳定,台月效率在400~500 m,实际上该工区的工作范围只有11 km<sup>2</sup>,工区内地层岩性总体变化不大,岩石可钻性级别6~7级,为中硬岩地

层,钻进效率中等,该工区较适宜采用便携式全液压钻机开展钻探施工。

## 4 应用效果

### 4.1 钻机适用性分析

(1)地层适应性较好,钻进效率较高。从前面各工作区的应用分析情况来看,该钻机在岩石可钻性级别7级(中硬岩层)以下的地层中钻进效率较高(台月效率为320~895 m,平均614 m),能够达到常规岩心钻机的效率水平,在8级(硬岩层)以上的地层中钻进效率则比较低(240 m/台月)。总体来看,该钻机比较适宜于7级以下的地层,可用于7~9级的地层钻进工作,采用NTW口径比较适用于钻进深度在300~350 m的浅孔。

(2)在复杂地形环境中,机台搬迁便捷,钻机组装快,辅助工作时间大幅降低。通过在不同工作区的试点应用,在汉中宁强交通用电不便、山林难进入的情况下,在商洛一丹凤生态环境保护政策要求严格、运输困难(便道无法大规模修建)的情况下,该钻机表现出了易进入、搬迁快的优势(见图2),机台临时占地和便道修建规模小、时间短,大幅减少了机台搬迁时间(1~2 d)和建设时间(2~3 h),有效控制了施工工期。



(a)人工搬运 (b)爬山虎运输

图2 便携式全液压钻机搬迁运输

Fig.2 Movement of the portable full hydraulic drill

(3)符合绿色施工作业要求,综合经济成本较低。实际工作中,采用配套小型爬山虎运输,修筑物资运输便道规模小,机台占地破坏少,利用已有便道

则无需修筑或扩建,有效控制耕地、林地、草地及周边环境的损毁、破坏和扰动范围。钻机采用厂家配套的无固相(低固相)绿色环保冲洗液材料,冲洗液配方简单,材料消耗少,沉淀后的废弃冲洗液对周边环境污染小,施工作业结束后,场地、便道等临时用地恢复简单、速度快、质量高、效果明显。该钻机事故少,纯钻台时高,与全液压履带钻机相比施工作业油耗低,采用的薄壁系列钻探管单位价格成本较低廉,机台班组仅需2~3人即可正常工作。从临时占地、环境破坏、搬迁运输、材料及人工费用等方面综合考虑,采用便携式全液压钻机明显降低了钻探施工综合经济成本。

### 4.2 提高钻进效率几点措施

#### 4.2.1 优选或改进钻头,增强钻头碎岩效率,提高钻机钻速

针对岩石级别高的岩层(硬—坚硬岩)钻速慢,施工效率低的问题,结合ZK5801钻孔地层开展了一些试验:一是采用不同硬度和底唇形式的金刚石钻头钻进;二是通过人工处理改善了金刚石钻头性能,再进行试验钻进,“人工处理”即通过人为改造或修整钻头底唇的形状、大小、出刃及胎块数量的方法,用以改善钻头性能,提高钻头碎岩能力。试验的具体情况见表7。

通过试验数据对比可知,采用齿轮钻头的钻速普遍高于同心圆尖齿钻头<sup>[9]</sup>,其中齿轮钻头表现出金刚石胎体胎块较多(16颗)、硬度较软(HCR8)时,钻头的钻速稍快一些;同心圆尖齿钻头的钻速则受金刚石胎体的胎块数(7~8颗)、硬度(HCR8~20范围内)影响变化不大。人工处理后的齿轮钻头钻速明显高于未处理的钻头,平均日进尺达到了14.94~16.11 m(台月效率448~483 m),钻进效率提高了近2倍。

原因分析:该钻孔花岗岩地层坚硬、致密、“打滑”,便携式全液压钻机给进的钻压不够大,钻头胎体中的金刚石难以压入岩石。在高转速下,钻头在钻进初期钻速还比较高,很快随着尖齿磨耗完毕,钻速大幅下降,甚至无进尺(即钻头打滑),要投砂磨钻头,用以保证进尺<sup>[10-11]</sup>。本次人工处理原理就是基于减少钻头与岩石的接触面积,提高钻头胎体单位面积压力,减少钻头胎块数(从14颗减少到11颗),钻头处理及使用前后情况见图3,按NTW型钻杆(8.9 kg/m)250 m的自重计算,单个胎块底唇压力增

表7 金刚石钻头试验情况及效果

Table 7 Diamond bit tests

工作孔段/m	工作进尺/m	工作台班(1台班=8 h)	台班效率/[m·(8 h) <sup>-1</sup> ]	日效率/(m·d <sup>-1</sup> )	钻头型号	钻头参数	底唇形式	胎块数/颗	备注
15.83~40.63	24.80	10	2.48	7.44	NTW	金石 HRC10~15	尖齿	7	
47.53~66.63	19.10	9.5	2.01	6.03	NTW	金石 HCR15~20	尖齿	7	
66.63~87.78	21.15	5.5	3.85	11.54	NTW	中地 HRC8	齿轮	16	
87.78~117.44	29.66	7	4.24	12.71	NTW	中地 HRC8	齿轮	16	
117.44~136.74	19.30	8	2.41	7.24	NTW	中地 HRC8	尖齿	8	
136.74~154.59	17.85	5	3.57	10.71	NTW	金石 HCR15~20	尖齿	7	
154.59~172.24	17.65	5	3.53	10.59	NTW	金石 HRC10~15	齿轮	14	
172.24~194.74	22.50	6	3.75	11.25	NTW	中地 HRC8	尖齿	8	
194.74~214.80	20.06	9	2.23	6.69	NTW	金石 HRC10~15	齿轮	14	
214.80~248.51	33.71	12	2.81	8.43	NTW	中地 HRC8	尖齿	8	
248.51~286.10	37.59	7	5.37	16.11	NTW	金石 HRC10~15	齿轮	11(14)	人工处理
286.10~320.95	34.85	7	4.98	14.94	NTW	金石 HRC10~15	齿轮	11(14)	人工处理

加了433 N,是未处理前压力的1.3倍。因此,在硬—坚硬岩层中要优选钻头硬度和底唇形式,通过适当增加钻头比压与投砂相结合的方法,可获得很好的钻进效果。



图3 金刚石齿轮钻头试验应用前后(已处理)  
Fig.3 Diamond gear bits before and after test application (treated)

#### 4.2.2 降低钻杆与孔壁摩阻力,减少功率损耗,提高钻机转速

降低钻杆与孔壁摩阻力主要措施有:一是采用高润滑性冲洗液,改善冲洗液性能,增强冲洗液的润滑性能。本次工作主要采用英格尔专用配方冲洗液材料(G4480和G3370泥浆材料),G4480和G3370通用型泥浆配方,G4480泥浆材料具有润滑性极强的聚合物及表面活性材料,极大降低扭阻,提高钻进

效率保护钻具。G3370主要功能润滑减阻减低钻杆振动和扭矩,降滤失,稳定孔壁,增强冲洗液流动性。在地层情况适宜的情况下,在冲洗液中适当加入皂化油或乳化油,也可降低钻杆摩阻力<sup>[12-14]</sup>;二是在钻杆表面上涂抹钻杆润滑脂,应采用具有良好的润滑性、强吸附性(抗水冲刷性能)以及使用时间长的润滑脂<sup>[15-17]</sup>,以减少钻杆旋转阻力,确保动力头能够高转速稳定运行,从而提高钻进施工效率。ZK1601钻孔100~124 m未涂抹钻杆润滑脂扭矩压力表为11~12.5 MPa(见表8),在140 m之后涂抹了钻杆润滑脂扭矩压力表为8.1 MPa,钻机扭矩降低了26%~35%,转速提高了22%~26%;ZK5801钻孔涂抹钻杆油前后钻机扭矩降低了35%,转速提高了37%。

#### 4.2.3 采用轻型高强绳索取心钻杆,提高钻机施工效率和钻进深度

目前,钻探行业的轻型高强钻杆以铝合金、钛合金钻杆为主。铝合金钻杆的密度、弹性模量低,线膨胀系数最高,可适用于陆地深孔钻进;钛合金钻杆的密度、弹性模量较高,线膨胀系数较低,是理想的深孔钻探用管材,但其价格非常昂贵<sup>[18]</sup>。铝合金钻杆在国内钻探领域研究和应用较多,市场也比较成熟,已经形成石油钻探、地质钻探、水文水井钻探及绳索取心等系列钻杆产品。与传统钢质钻杆相比,铝合金钻杆具有以下优势:

(1)具有较好的物理力学性能。铝合金钻杆的

表8 涂抹钻杆润滑脂前后钻机扭矩表压力变化情况

Table 8 Pressure variation on the drill torque gauge before and after applying drill rod grease

孔号	孔深/m	钻杆类型	扭矩压力表压力/ MPa	钻进压力表压力/ MPa	动力头转速/ (r·min <sup>-1</sup> )	泵压/MPa	备注
ZK1601	101.70	NTW	12.5	9.7	580	1.2	未涂抹润滑脂
ZK1601	124.00	NTW	11.0	10.0	600	1.9	未涂抹润滑脂
ZK1601	143.07	NTW	8.1	10.2	730	2.8	已涂抹润滑脂
ZK5801	248.35	NTW	13.0	11.5	540	1.0	未涂抹润滑脂
ZK5801	258.25	NTW	8.5	11.0	740	1.0	已涂抹润滑脂

密度和弹性模量约为同尺寸钢质钻杆的1/3,比强度是钢的1.5~2倍<sup>[19]</sup>,铝合金钻杆基本可达到同规格的钢质钻杆的屈服强度和抗拉强度<sup>[20-21]</sup>。

(2)铝合金钻杆钻进深度可超越钢钻杆。在钻机能力给定的条件下,采用“铝合金钻杆+钻具”或“铝合金钻杆+钢钻杆+钻具”组合,可降低钻机功耗<sup>[22]</sup>,提高便携式全液压钻机钻深能力。

(3)铝合金钻杆质轻,铝合金钻杆于钢质钻杆相比浮重、摩阻力小,可减轻起下钻的起拔力和阻卡力,降低钻机能耗,卸扣扭矩小,减轻工人劳动强度,可节省20%~25%的起下钻时间,提高效率。

(4)井内断钻、卡钻等事故易处理,在打捞、起拔等措施无法实现情况下,采用钻头磨削法可快速把井内的铝合金钻杆(钻具)“消灭”<sup>[23]</sup>,降低事故处理难度和井内事故台时。

(5)铝合金钻杆具有和镍钴合金相似的无磁性,方便电磁法测井和随钻测量仪器的使用。

综上所述,在高海拔、山势险峻、地形复杂、自然条件恶劣、地理位置偏远、交通不便的特殊地带实施钻探工程作业时,采用“便携钻探装备+轻型高强钻探管材”技术方法,可更加合理匹配和发挥便携式全液压钻机功效,同时可大幅降低运输难度,缓解了机台搬迁困难,减轻工人劳动强度。

## 5 存在的问题

(1)钻进适用冲洗液类型受限。钻机采用薄壁系列钻具,钻具内外管间隙和钻孔环状间隙小,泥浆泵为柱塞泵,钻机仅能使用无固相或低固相冲洗液。循环的冲洗液中岩粉等固相含量高,易堵塞内外管过水通道,损坏柱塞泵部件,且易引发卡钻等事故,所以该工艺不适用于使用(利用)循环冲洗液钻进,确需循环使用(利用)冲洗液钻进施工时,则需配

备相关的泥浆净化装置。采用水泥封闭钻孔,还需配备单独的水泥浆液泵送装置。

(2)钻机处理井内事故能力弱。便携式全液压钻机与立轴钻机(XY-44型)参数相比钻探施工能力小。该系列钻机比较适用于较完整、稳定的地层,不适于软、碎、水敏性等易发生井故地层,钻机处理孔内事故(断钻、卡钻或埋钻等)的方法也较少。

(3)薄壁钻杆强度低,损坏后难修复。该钻机主打薄壁式钻探管材,与标准Q系列钻杆相比,钻杆管壁薄,螺纹长度短,螺距和牙高小,钻杆刚度和丝扣咬合力小。在高钻压下丝扣部位易发生挤压变形,在冲击力下钻杆易劈裂,钻杆受拉载荷大的情况下,易发生脱扣“跑钻”事故,在高转速和大环状间隙下易发生断钻事故等。薄壁系列钻杆采用直连式(无接手),钻杆螺纹损坏后修复难,修旧利用率低。

(4)动力头转速和泵量无法实时监测<sup>[24]</sup>。操作台没有动力头转速表和泥浆泵流量表,不能够全面掌握实时的钻进技术参数,只能凭借个人实操经验探索适宜的钻进转速和泵量,交接班也不能够准确说明以上参数情况。

## 6 结论与建议

(1)便携式全液压钻机对地层适应性较好,浅孔钻进效率较高。从钻机应用情况来看,该系列钻机适宜于岩石可钻性7级以下的地层钻进(台月效率高,平均614 m)。可用于岩石可钻性8~9级的地层钻进(台月效率低,240 m)。NTW口径施工深度在300~350 m为宜,钻进深度超过400 m,为确保钻探施工效率,建议采用BTW口径施工终孔。

(2)便携式全液压钻机特点突出,浅孔作业优势明显,经济成本可行。该钻机搬迁、拆装方便快捷,临时占地少,环境破坏小,人工劳动强度低,符合



绿色施工作业要求。浅孔钻进台月效率较高,可有效控制钻探综合成本。实际应用中要依据工区地形环境、地层情况及经济成本等条件综合确定该钻机是否可行。

(3)便携式全液压钻机配合新的(改进)工艺方法,可提高钻机的施工效率和钻进施工能力,弥补其短板。如优选(改善)薄壁绳索取心金刚石钻头,通过改善冲洗液、涂抹润滑脂等方法降低钻杆与孔壁摩擦阻力,采用“便携钻探装备+轻型高强钻探管材”的技术方法等,能够有效增强该系列钻探设备的施工作业能力。

(4)继续加强人机结合,探索高效技术试点应用。下步还需深入增强人机的磨合,操作人员要深层次掌握该系列钻机使用特性和施工技术参数,在实践中加强探索和研究,结合地层情况,合理选择钻头和施工工艺,优化钻压、转速、泵量等技术参数,提高钻头寿命,确保钻机钻速最佳。试点开展HTW、NTW口径的铝合金绳索取心钻杆应用,探索“便携钻探装备+轻型高强钻探管材+高效碎岩钻头”的技术方法研究与应用,进一步研究解决便携式全液压钻机的能力不足等“瓶颈”问题。

(5)大力促进绿色地质钻探工作建设,完善绿色钻探相关工作制度、管理办法及成本预算标准等,形成相应的综合管理体系,支撑绿色钻探施工作业各环节要求,保障钻探工程全周期的各项费用投入。研究绿色施工技术、工艺方法和现场作业模式,与地质工作紧密结合,推广以钻代槽、一基多孔的工作思路,发挥便携式全液压钻机更大的综合优势。

#### 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] 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.
- [3] 董高林. 浅谈便携式全液压钻机在洛南景村一三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.

- [4] 杨培智,郑明珠. EP600便携式全液压钻机在广西良结新寨矿岩心钻探中的应用[J]. 科技经济导刊, 2016(7):87-88.  
YANG Peizhi, ZHENG Mingzhu. Application of EP600 portable full hydraulic drilling rig in Drilling in Xinzhai Mining Area, Liangjie, Guangxi[J]. Technology and Economic Guide, 2016(7):87-88.
- [5] GB/T 16950—1997, 金刚石岩心钻探钻具设备[S].  
GB/T 16950—1997, Diamond core drilling equipment conventional system[S].
- [6] 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.
- [7] DZ/T 0227—2010, 地质岩心钻探规程[S].  
DZ/T 0227—2010, Geological core drilling regulations[S].
- [8] 王思礼. 关于岩石可钻性分级[J]. 地质与勘探, 1981(2):72-74.  
WANG Sili. About drillability classification of rock[J]. Geology and Exploration, 1981(2):72-74.
- [9] 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].
- [10] 周荣书. 绳索取心钻进钻头打滑原因分析及对策[J]. 科技创新导报, 2009(1):64-65.  
ZHOU Rongshu. Analysis and countermeasure of bit slip in rope coring drilling[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2009(1):64-65.
- [11] 全在平,芦建华. 绳索取心钻进“打滑”地层的分析与对策[M]. 北京:地质出版社, 2011:169-170.  
TONG Zaiping, LU Jianhua. Analysis and Countermeasure of Rope Coring Drilling “slip” Stratum[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2011:169-170.
- [12] Н.П.Ерманов, 黄振国. 通用冲洗液润滑添加剂[J]. 国外铀矿地质, 1990(4):93-95.  
Н. П. Ерманов, HUANG Zhengu. Lubrication additive for general rinsing fluid[J]. World Nuclear Geoscience, 1990(4):93-95.
- [13] 鲁凡,葛仁雄. 人造金刚石钻进中冲洗液的润滑和吸附机理[J]. 地质与勘探, 1978(5):50-53.  
LU Fan, GE Renxiong. Lubrication and adsorption mechanism of rinsing fluid in drilling of synthetic diamond[J]. Geology and Exploration, 1978(5):50-53.
- [14] Н.П.Ермаков, 王贵和. 冲洗液润滑剂[J]. 国外地质勘探技术, 1991(6):13-15.  
Н. П. Ермаков, WANG Guihe. Rinsing fluid lubricants[J]. Foreign Geoexploration Technology, 1991(6):13-15.
- [15] 熊正强,陶士先,张德龙,等. 高效钻杆润滑脂研制及其在川藏铁路勘察中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2020,47

- (11):7-11.
- XIONG Zhengqiang, TAO Shixian, ZHANG Delong, et al. Development of high efficiency grease for drill pipes and it's application in Sichuan-Tibet railway invesgation [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(11):7-11.
- [16] 彭振斌, 彭钺, 巫相辉, 等. 新型钻杆润滑脂的研制[J]. 科技视界, 2014(16):65-66.
- PENG Zhenbin, PENG Cheng, WU Xianghui, et al. Development of new type of grease for drill pipes[J]. Science & Technology Vision, 2014(16):65-66.
- [17] 于殿奎, 李演. 钻杆润滑脂在钻探生产中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2005, 32(10):47.
- YU Diankui, LI Yan. Grease for drill pipes in application of drilling production [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2005, 32(10):47.
- [18] 梁健, 刘秀美, 王汉宝. 地质钻探铝合金钻杆应用浅析[J]. 勘察科学技术, 2010(3):62-64.
- LIANG Jian, LIU Xiumei, WANG Hanbao. Application analysis of aluminum alloy drilling rods in geologic drilling[J]. Site Investigation Science and Technology, 2010(3):62-64.
- [19] 鄢泰宁, 薛维, 卢春华. 铝合金钻杆的优越性及其在地探深孔中的应用前景[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(2):27-29.
- YAN Taining, XUE Wei, LU Chunhua. Superiorities of aluminum alloy drilling pipe and its application prospects in deep holes for geological exploration [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010, 37(2):27-29.
- [20] 祝效华, 李柯. 铝合金钻杆在长水平井段延伸钻进的可行性[J]. 天然气工业, 2020, 40(1):88-96.
- ZHU Xiaohua, LI Ke. Feasibility of extended drilling of aluminum alloy drill pipe in long horizontal wells [J]. Natural Gas Industry, 2020, 40(1):88-96.
- [21] 孙建华, 梁健, 张永勤, 等. 地质钻探高强度铝合金钻杆研制及其应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(7):5-8.
- SUN Jianhua, LIANG Jian, ZHANG Yongqin, et al. Development of high-strength aluminum alloy drill rod and its application in geological drilling [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011, 38(7):5-8.
- [22] 孙建华, 梁健, 王立臣, 等. 深部钻探铝合金钻杆开发应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(4):34-39.
- SUN Jianhua, LIANG Jian, WANG Lichen, et al. Development and application of aluminum alloy drill rod in deep drilling [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016, 43(4):34-39.
- [23] 梁健, 尹浩, 孙建华, 等. 高强度耐热铝合金钻杆材料优选[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2020, 47(4):65-71.
- LIANG Jian, YIN Hao, SUN Jianhua, et al. Optimization of high strength and heat resistant aluminum alloy drill rod material [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(4):65-71.
- [24] 米树刚, 李建华, 李健, 等. CSD1800ZD型自动化岩心钻机的应用与分析[J]. 钻探工程, 2021, 48(2):94-99.
- MI Shugang, LI Jianhua, LI Jian, et al. Application and analysis of CSD1800ZD automatic core drilling rig [J]. Drilling Engineering, 2021, 48(2):94-99.

(编辑 荐华)