

# 威海地区 3000m 深部地热钻探关键技术 的应用与分析

张永春<sup>1,2</sup>, 赵海滨<sup>1,2</sup>, 常洪华<sup>1,2</sup>, 王玉吉<sup>1,2</sup>, 刘海波<sup>1,2</sup>

(1. 山东省第一地质矿产勘查院, 山东 济南 250102;

2. 山东省富铁矿勘查技术开发工程实验室, 山东 济南 250102)

**摘要:**“山东省文登—荣成—威海地区深部地热资源调查”项目是“山东省2018年度38个省直地质勘查项目”之一, 总体目标是通过小口径深部钻探技术来完成3000 m测温孔的施工, 为地热地质调查、钻孔测温、岩心热物性及放射性元素含量测试等工作提供通道和具体实物资料。本文结合3000 m小口径地热探孔的施工进程, 系统介绍了该深孔的钻孔结构、施工设备、钻探工艺方法及关键技术等内容, 重点针对严重破碎带、高应力复杂地层条件的泥浆技术、深孔钻头技术等展开了试验对比和分析研究, 采取针对性技术措施, 成功地解决了孔内复杂难题, 配套研究的长寿命高效钻头提高了钻孔施工效率, 减少了钻探成本投入。论文还探讨了深孔地热钻探的“现场标准化建设和绿色施工”管理方法。

**关键词:**深部地热钻探; 大深度绳索取心; 高应力泥浆; 深孔钻头

**中图分类号:** P634.5 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2021)S1-0111-09

## Key technology for 3000m-deep small diameter geothermal drilling in the Weihai area of Shandong province

ZHANG Yongchun<sup>1,2</sup>, ZHAO Haibin<sup>1,2</sup>, CHANG Honghua<sup>1,2</sup>, WANG Yujij<sup>1,2</sup>, LIU Haibo<sup>1,2</sup>

(1.No.1 Institute of Geology and Mineral Resources of Shandong Province,

Jinan Shandong 250102, China;

2.Shandong Engineering Laboratory for High-grade Fe Ores Exploration and Exploitation,

Jinan Shandong 250102, China)

**Abstract:** The project “The Deep Geothermal Resources Survey in Wendeng Rongcheng Weihai Area of Shandong Province” is one of the 38 provincial-level geological exploration projects of Shandong Province for 2018, and its overall goal is to provide channels and specific physical data for geothermal geological survey, borehole temperature measurement, core thermophysical properties and radioactive element content testing by drilling a 3000 m temperature measurement borehole with wireline core drilling technology. In reference to the 3000 m-deep small diameter geothermal drilling project, this paper systematically introduces the drilling structure, Drilling equipment, and key drilling technology. with focus on the experimental comparison and analysis of mud technology and deep hole drill bit technology for severe fractured zones, and high stress and complex formation conditions. The relevant technical measures were adopted to solve the down hole complex problems and the long service life and high efficient bits were developed to improve the drilling efficiency and reduce the cost. The paper also discusses the management method of “site standardization and green construction” for deep hole geothermal drilling.

**Key words:** deep geothermal; deep wireline coring; drilling mud for high stress formation; deep drilling bit

收稿日期: 2021-05-31 DOI: 10.12143/j.ztgc.2021.S1.017

作者简介: 张永春, 男, 汉族, 1987年生, 工程师, 从事地质岩心钻探技术工作, 山东省济南市历城区敬德街521号, 383584611@qq.com。

引用格式: 张永春, 赵海滨, 常洪华, 等. 威海地区3000m深部地热钻探关键技术的应用与分析[J]. 钻探工程, 2021, 48(S1): 111-119.

ZHANG Yongchun, ZHAO Haibin, CHANG Honghua, et al. Key technology for 3000m-deep small diameter geothermal drilling in the Weihai area of Shandong province[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(S1): 111-119.

## 1 概述

### 1.1 基本情况

“山东省文登—荣成—威海地区深部地热资源调查”项目是“山东省2018年度38个省直地质勘查项目”之一。项目工区位于威海市临港经济开发区尚山镇东许家村东,海拔72 m,周边交通条件十分便利。项目主要任务是完成3000 m小口径特深孔(ZKLG1孔),终孔直径 $\leq 75$  mm;全孔孔斜 $\geq 10^\circ$ 。为地热地质调查、钻孔测温、岩心热物性及放射性元素含量测试等工作提供通道和具体实物资料。钻探施工现场如图1所示。



图1 钻探施工现场

### 1.2 地质条件

上覆地层主要为风化带;基岩岩性主要是细粒似斑状、中粒似斑状、粗粒似斑状及之间的过渡结构二长花岗岩,局部多见构造破碎带、蚀变带。

### 1.3 施工技术难点

根据前期地质资料和2016年我院在该地区实施的2000.76 m干热岩测温孔地层资料分析,该孔位所处地带地质构造较强烈,地应力大。深钻工程是一项以未知地层为工作对象的隐蔽性工程<sup>[1]</sup>,ZKLG1钻孔作为山东省首个地热资源调查超深孔,存在的主要技术难点如下:

(1)3000 m超深孔施工对钻探设备、机具、工艺、人员素质等要求高,对项目管理、安全生产保障提出了更高的要求。

(2)构造破碎带地层对冲洗液护壁要求高,且易发生坍塌掉块、岩心堵塞,施工难度大、风险高。

(3)深部高地应力严重影响岩石完整性,大颗粒岩屑多,孔内情况复杂,卡钻、埋钻风险大,钻进效率难以保障。

(4)钻头寿命对施工效率和钻孔安全有很大的影响,因此深孔施工对钻头寿命有更高的要求。

## 2 钻探工艺方法

### 2.1 钻孔结构

钻孔结构、技术方案要综合考虑。在设计时把钻孔施工安全因素放在首位,并充分考虑地层因素、终孔深度、口径、取心率等质量要求,开展钻孔结构设计<sup>[2-5]</sup>。ZKLG1钻孔结构采用三级孔径、两级套管结构、增加一级终孔口径设计,如图2所示;根据2016年ZKCW01钻孔钻遇地层,预测ZKLG1钻孔在2800 m处可能揭露导热断裂带,为此做了四级孔径、三级套管的备用钻孔结构设计,如图3所示。

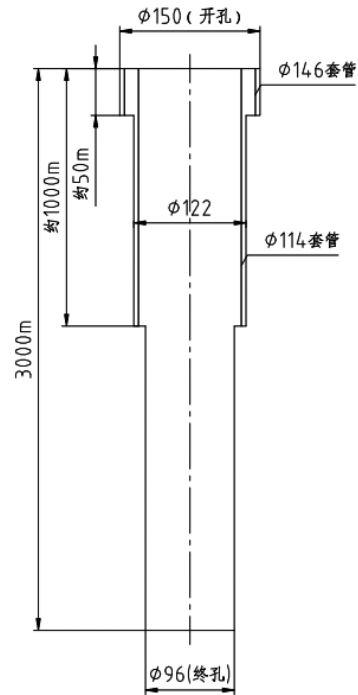


图2 钻孔结构设计

### 2.2 钻探设备及配套机具

合理选用钻探施工设备及配套机具,有助于施工顺利进行<sup>[6]</sup>。设备的选用考虑了钻孔施工设计要求,具有一定的可靠性、易维护性、经济性和应对孔内突发状况的处理能力,避免因设备、器材、管材等原因造成孔内事故<sup>[7]</sup>。项目选用的主要设备见表1。

### 2.3 钻具组合

深孔金刚石绳索取心施工对钻杆可靠性要求高。在钻杆选用方面要考虑钻杆和接头的材质、螺纹设计、热处理、表面处理工艺及壁厚等因素<sup>[8]</sup>,结合钻孔结构设计,做如下钻具组合:

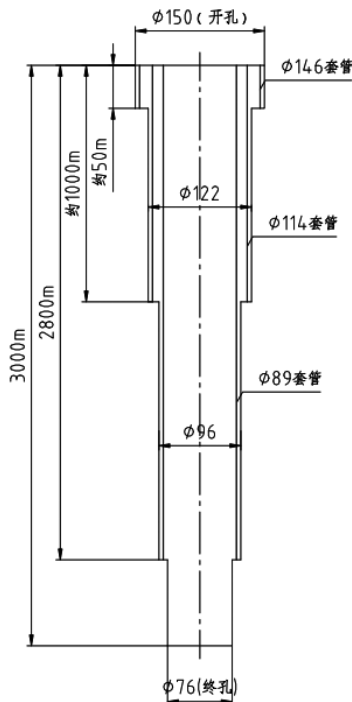


图3 备用钻孔结构设计

表1 选用设备

序号	设备名称	型号	数量	备注
1	钻机	HXY-9	1台	钻深能力4000 m
2	钻塔	A29-90	1副	载荷90 t(900 kN)
3	泥浆泵1	BW250	1台	
4	泥浆泵2	BW300/16	1台	深孔必要备用
5	取心绞车	S4000	1台	深孔绳索绞车
6	泥浆搅拌机	NJ600P	1台	
7	拧管机	ZT160	1台	提高施工效率
8	钻进参数监测仪器			深孔参数监控
9	泥浆测试仪器		1套	深孔安全要求
10	测斜仪	CX-6D		

一开:  $\text{O}150$  mm 金刚石钻头(单管)+岩心管+变径接头+XJS122系列深孔钻杆。

二开:  $\text{O}122$  mm 金刚石钻头(绳索)+ $\text{O}122.3$  mm 下扩孔器+绳索取心钻具总成+ $\text{O}122.3$  mm 上扩孔器+弹卡室+弹卡挡头+XJS122系列深孔钻杆。

三开:  $\text{O}98$  mm 金刚石钻头(绳索)+ $\text{O}98.3$  mm 下扩孔器+绳索取心钻具总成+ $\text{O}98.3$  mm 上扩孔器+弹卡室+弹卡挡头+CHD98系列超深孔钻杆(4.5 m)。

钻杆不仅是冲洗液循环通道,还传递钻机的动力,钻杆的可靠性,对钻探施工有很大的影响。项目选用的钻杆有关参数见表2。

表2 钻杆参数

名称	规格参数	
	XJS122	CHD98
钻杆		
杆体(外径×壁厚)/mm	$\text{O}114.3 \times 6.2$	$\text{O}91 \times 5.8$
两端处理	加厚	加厚
单根钻杆定尺长度(含接手)/m	3	3/4.5
绳索接头/mm(内/外径)	118/100	94×74
热处理工艺	调质	调质
	HRC30~33	HRC30~33
钢级	ZT850	ZT850
钻杆钻深能力/m	2000	3600
钻杆		
接头		
$\sigma_b$ (抗拉) $\geq$ /MPa	950	950
$\sigma_s$ (屈服) $\geq$ /MPa	850	850
$\delta$ (延伸) $\geq$ /%	14	14
钻杆		
螺纹		
螺纹有效长度/mm	63.5	60.5
螺纹拉力 $\geq$ /kN	720	850
螺纹抗扭强度 $\geq$ /(kNm)	19.5	20.0

### 2.4 钻进方法

钻孔施工以钻孔结构设计为指导,根据实际施工情况对钻孔结构进行调整和优化。除开孔采用金刚石单管取心钻进外,其他口径全部采用绳索取心钻进工艺方法<sup>[9]</sup>。

一开:采用 $\text{O}150$  mm 单管金刚石钻进方法,按照钻孔结构设计施工至50 m孔深处,根据地层情况,继续保持该口径施工至149.84 m,满足换径条件,然后扩孔至 $\text{O}168$  mm,下入 $\text{O}160$  mm 套管,固井作业后,换下一级口径施工。

二开:采用 $\text{O}122$  mm 绳索取心钻进方法,克服多层严重破碎带,施工至设计深度1000 m时,为了保障下一级口径施工质量和孔内安全,采用“充分施工法”<sup>[10-11]</sup>,保持该口径施工至1467.27 m,下入 $\text{O}114$  mm 套管,换下一级口径施工。

三开:考虑到深孔施工中由于钻杆外环间隙较小,易出现泵压高、回转阻力大等施工难题,实际施工采用 $\text{O}98$  mm 绳索取心钻头施工,增大了钻杆外环状面积,有效降低了冲洗液循环压力;施工中克服种种深孔施工难题,成功施工至3003.17 m,顺利终孔。

## 2.5 取心情况

Ø150 mm 口径: 施工孔段 0~149.84 m, 取心共 70 回次, 进尺工作量 149.84 m, 平均回次进尺 2.14 m, 取出岩心长度 102.94 m, 岩心采取率 68.69%。

Ø122 mm 口径: 施工孔段 149.84~1467.27 m, 进尺工作量 1317.43 m, 取心共 849 回次, 平均回次进尺 1.55 m, 取出岩心长度 1293.11 m, 岩心采取率 98.15%。

Ø98 mm 口径: 施工孔段 1467.27~3003.17 m, 进尺工作量 1535.90 m, 取心共 663 回次, 平均回次进尺 2.32 m, 取出岩心长度 1518.82 m, 岩心采取率 98.88%。

## 2.6 钻进参数

钻进中, 以施工组织设计为指导, 根据实际钻进情况, 选用适当的钻进参数。在正常钻进中, 有关钻进参数见表 3。

表 3 正常钻进时钻进参数

孔深/m	钻头尺 寸/mm	计算钻 压/kN	转速/ (r·min <sup>-1</sup> )	泵压/ MPa	泵量/ (L·min <sup>-1</sup> )
149.84~ 1467.27	122	30~50	170~333	0.6~2.5	60~70
1467.27~ 3010.78	98	25~45	170~333	2.0~4.5	58

## 2.7 时效分析

该钻孔于 2018 年 11 月 6 日开孔, 于 2019 年 11 月 12 日终孔, 终孔口径 98 mm, 终孔深度 3003.17 m, 平均台月效率 242.84 m/台月。时效统计见表 4。

表 4 钻孔时效统计

工期/d	纯钻进时 间/h	辅助时间/ h	机械故障 时间/h	停待时间/ h
371	2273.67	5475.32	583.64	425.51

辅助时间是影响深孔、超深孔整体施工效率的重要因素之一。随着钻孔深度的增加, 取心、提下钻等辅助工作时间大大增加<sup>[12]</sup>, 特别是遇到易堵心、坍塌、掉块等复杂地层, 回次进尺少, 取心次数增加, 都会额外增加施工辅助时间, 还可能引发孔内事故。根据施工数据统计, 该钻孔辅助时占比高达 62.52%, 如图 4 所示。采取一定的措施降低辅助时

间、避免停待和事故发生, 可以提高总钻进效率。

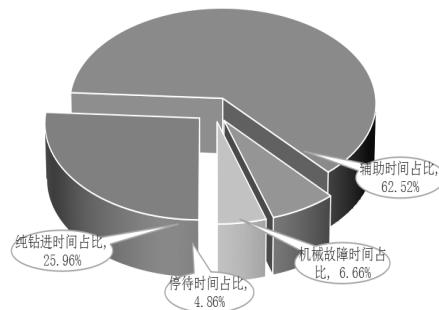


图 4 生产时间占比分布

P 口径施工时间 149 d, 完成进尺工作量 1317.43 m, 平均日进尺 8.84 m, 影响施工效率的主要因素是地层因素和钻机设备因素。该口径钻遇三层严重破碎带, 每层厚度 40 m 左右, 冲洗液严重漏失, 孔内坍塌掉块、堵心、泵压高, 严重影响施工效率。现场采取配制低固相泥浆, 配合涂层岩心管, 有效降低岩心堵塞的次数和孔内复杂问题的发生; 钻机卡头碟簧频繁碎裂, 造成停待、维修, 也影响施工生产效率。

H 口径施工 197 d, 完成进尺工作量 1535.90 m, 平均日进尺 7.83 m, 影响施工效率的主要因素是孔深、地层、钻头寿命等因素。随着钻孔加深, 特别是在 2000 m 以深孔段, 取心和提下钻时间大幅增加, 完成一次取心大约需要 4 h, 如遇到捞取失败, 也会增加额外取心时间; 一次提下钻需要 24 h 以上, 钻头寿命低, 提下钻次数多, 辅助时间长; 在高应力地层孔段, 孔底大颗粒岩屑多, 泵压异常、频繁憋泵、岩心堵塞, 提钻次数增加, 钻探生产效率低。通过试验提高钻头寿命, 采用低固相泥浆, 加强冲孔, 配合涂层岩心管, 使生产效率有了很大的提高。

## 3 小口径深孔钻进难题及应对策略

### 3.1 钻孔质量指标的保障

小口径深孔钻探最为关注的质量指标为岩心采取率和孔斜问题。采用绳索取心工艺有利于提高岩心采取率<sup>[13]</sup>。如遇复杂地层和岩心堵卡, 通过引入的钻进参数监测系统来精确获取堵心信息, 以便及时打捞岩心; 同时通过选择高效钻头、尺寸匹配的扩孔器以及润滑性冲洗液等方法保障取心钻具的回转稳定性, 提高岩心采取率; 通过前回次的岩心对比来

预判岩心变化,及时调整钻进规程参数来提高岩心采取率等等。

小口径深孔由于钻杆柱的柔性较为突出,钻孔容易产生偏斜,轨迹难以控制。本项目的主要技术措施为:(1)钻孔结构设计方面,采取增大施工口径设计,严格依据钻孔设计、结合实际施工做优化调整,采取充分施工法;(2)钻杆选用方面,采用提高材料钢级、增加壁厚,单根长度4.5 m的超深孔钻

杆;(3)钻进参数方面,采用适宜的钻压、转速、泵量等钻进参数,并根据实际情况优化调整;(4)加强监测和沟通交流,施工中,对设备工作状况、扭矩和电流等参数的变化情况,做好监测,交接班时对孔内情况交清、接清。

通过测井,终孔验收全孔最大顶角 $3.1^\circ$ ,为优质钻孔。测斜数据见表5。

表5 钻孔测斜数据

孔深/m	顶角/(°)	方位角/(°)	孔深/m	顶角/(°)	方位角/(°)	孔深/m	顶角/(°)	方位角/(°)
100	2.0	342.6	1100	2.2	353.9	2100	2.2	362.4
200	2.3	343.9	1200	1.3	354.9	2200	1.2	363.9
300	0.7	344.9	1300	2.1	356.2	2300	2.6	365.1
400	2.2	345.9	1400	1.2	357.0	2400	1.0	171.8
500	2.1	347.2	1500	2.0	357.7	2500	1.0	172.0
600	1.1	348.3	1600	1.3	357.9	2600	1.5	172.8
700	1.0	349.1	1700	2.0	358.8	2700	1.0	173.1
800	1.0	350.5	1800	1.2	360.1	2800	3.1	174.6
900	2.3	351.7	1900	2.0	360.8	2900	3.1	311.8
1000	2.4	353.9	2000	2.1	361.4	3000	2.3	312.6

该钻孔施工以“预防为主、加强监测”的预防理念,采取增大一级终孔口径设计,有利于应对孔内复杂问题和钻孔质量控制;采取“充分施工法”,在P口径(122 mm)穿过复杂地层后,充分保持该口径继续施工至1467.27 m,为下一级口径施工打下良好的基础;深孔钻探风险较大,钻探过程中通过采取“动态调整策略”,如根据岩心情况、时效、钻进参数检测系统趋势预报等多种信息,及时做出调整。通过施工前预报预防、施工中检查及精细控制,施工后总结和借鉴等措施,有效地保证了高效率成孔和钻探质量的提升。

### 3.2 复杂破碎地层和高应力地层冲洗液技术应用分析

复杂地层会大大增加钻探施工难度和不可控风险,要求钻探冲洗液要具有良好的护壁性、润滑性和流变性,并根据实际情况做必要调整,达到满足不同地层施工要求<sup>[14-15]</sup>。ZKLG1孔施工中,在122 mm口径遇到3层严重破碎地层,在98 mm口径施工遇到高应力地层,如图5所示。

122 mm口径施工在280~317、625~660、985~1015 m孔段钻遇3层严重破碎地层,施工中易出现

坍塌、掉块、岩心堵塞、冲洗液漏失等问题。针对这些问题,在采用无固相冲洗液效果不理想时,现场尝试配制低固相冲洗液:清水+膨润土+烧碱+纯碱+磺化沥青+纤维素,配合随钻堵漏剂、护壁剂配合、熬制聚乙烯醇使用,很好地解决了破碎地层施工难题,成功施工至1467.27 m,下入114 mm套管。

98 mm口径在2200~2500 m孔段钻遇高应力地层,钻头碎岩后应力释放,岩心呈“饼状,岩心易堵塞,钻进过程中泵压异常升高,表现在钻头到达孔底后起泵压,并持续升高,无法继续施工,钻具提离孔底后泵压恢复正常,提钻检查钻头钻具正常。

分析原因:由于高地应力压裂岩石,钻进成孔后,层片间有大量大颗粒岩屑,当前使用的聚合物无固相冲洗液无法将大颗粒岩屑携带至地表,大颗粒岩屑在孔底聚集,导致泵压异常升高,影响正常施工。高应力地层的主要技术措施包括提高冲洗液密度和套管隔离等技术措施。但是深孔小口径钻探由于环隙较小、深度大等原因,如通过增加固相含量的方法,循环压力将非常突出。深孔套管加级基本无可行性条件。因此本钻孔主要通过精确控制和调整现场低固相冲洗液的流变特性,变被动为主动,及时



图5 破碎地层和高应力地层的部分岩心

携带由于应力释放造成的岩屑量,保障孔底干净。

基于现场低固相冲洗液体系,清水+膨润土3%~6%+烧碱+纯碱0.3%~0.5%+磺化沥青1%+纤维素0.3%,配合其他护壁剂使用,其密度为1.05~1.07 g/cm<sup>3</sup>,漏斗粘度为30~50 s。主要增加低固相冲洗液切力和触变性等指标,实现强悬浮、强携带岩屑,在回次钻进开始前、回次钻进结束打捞内管前,冲孔1~1.5 h,达到了清洁孔底的目的,同

时通过定时短起钻和划眼成功地解决了高应力地层岩屑量大和钻进时泵压高异常的问题。

### 3.3 钻头对比分析和高效长寿命钻头的应用研究

钻头的高效和长寿命是相对矛盾的,对于大深度钻孔而言,要在兼顾钻效的同时,更加关注钻头寿命的长短。因为钻头寿命短意味着提下钻的次数增多,纯钻进时间减少。并且提下钻次数的增多,复杂地层由于抽吸的激动压力也会增加孔内事故发生的概率。

ZKLG1钻孔施工中,H口径施工钻头寿命低,正常平均寿命在30 m左右,P口径平均钻头寿命80 m左右。分析认为施工钻头参数搭配不适应H口径钻遇地层和高钻压、低转速、小泵量钻进参数。

该工程通过胎体硬度、胎体高度、金刚石粒度与品级以及水口数量展开对比研究,来分析相同规程参数下的钻头寿命变化。

使用钻头参数及寿命见表6。

1~10号钻头,主要通过调整钻头胎体硬度,查看钻头寿命变化,如图6所示。

由图6可以看出,增加钻头胎体硬度,钻头的最大寿命有所提高,胎体硬度为HCR60以上,钻头最大寿命增加明显,但存在同一参数钻头工作寿命不稳定的现象。分析认为是地层和钻进参数的原因。在H口径施工主要回转速度为170 r/min,为保证钻进速度,采用的钻压偏大,在钻遇坚硬致密地层时,为了避免钻头抛光打滑,会进一步调整钻压或采取投放磨料的方式,以维持钻进速度,钻遇破碎地层也会加快胎体的消耗,在此工作状态下,钻头寿命降低。

11~20号钻头,主要采用高硬胎体、8水口钻头,进一步对钻头寿命进行验证。施工期间,尝试使用了2个HRC36钻头、1个进口金刚石颗粒钻头,1个高胎体钻头。结果表明:HRC36钻头寿命低,不满足生产要求,进口金刚石颗粒钻头寿命理想,达到预期水平,但钻头成本大幅增加,钻头寿命稳定性需要进一步实验;高胎体钻头出现胎块脱落,如图7所示,钻头寿命提前终结。

21~30号钻头,在采用高硬胎体的同时,尝试采用了1个锥形钻头和2个6水口钻头,锥形钻头不进尺提钻更换,2个6水口钻头寿命较稳定。

30~37号钻头,全部采用6水口、HRC60钻头,钻头工作寿命稳定,且全部超过60 m,达到生产要

表6 H口径施工使用钻头寿命统计

编号	寿命/m	硬度	备注	编号	寿命/m	硬度	备注
1	26.68	HRC36	8水口	20	6.1	HRC36	8水口异常提钻
2	37.01	HRC39	8水口	21	67.47	HRC61	8水口
3	35.41	HRC39	8水口	22	16.13	HRC61	8水口
4	44.07	HRC52	10水口	23	9.57	HRC61	8水口
5	16.13	HRC45	8水口	24	0.4	HRC61	锥形钻头不进尺
6	26.1	HRC39	10水口	25	66.9	HRC61	6水口
7	57	HRC61	8水口	26	47.8	HRC60	6水口胎体有剩余
8	30.5	HRC50	8水口	27	35.9	HRC61	8水口
9	12	HRC52	8水口	28	25.2	HRC61	8水口
10	44.37	HRC61	8水口	29	65.1	HRC60	6水口
11	9.13	HRC36	8水口	30	30.5	HRC60	8水口
12	15.4	HRC61	8水口	31	76	HRC60	6水口
13	41.4	HRC60	8水口	32	72.8	HRC60	6水口
14	11.67	HRC62	8水口	33	76.5	HRC60	6水口
15	69.43	HRC62	8水口	34	60.74	HRC60	6水口
16	71.4	HRC61	8水口进口颗粒	35	69	HRC60	6水口
17	91.87	HRC61	8水口	36	71.2	HRC60	6水口
18	1.5	HRC61	高胎体、脱落	37	58.19	HRC60	终孔
19	39.73	HRC61	8水口				

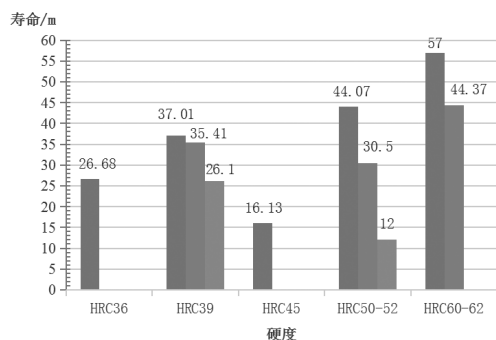


图6 1~10号钻头工作寿命



图7 18号钻头胎体脱落

求。分析认为:钻头寿命提高是由钻头工作唇面积增大引起的。钻头水口数由8水口改为6水口,钻头工作唇面积增大,钻头能承受更大的钻压,满足坚硬致密地层增大钻压钻进,在破碎地层中钻头寿命也能得以保证,工作稳定。钻头磨耗情况如图8所示。

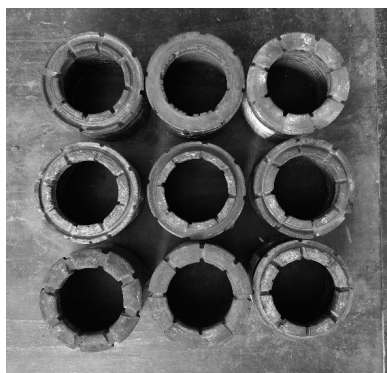
通过试验得出,提高钻头胎体硬度和增加钻头工作唇面积是提高H口径施工钻头整体寿命的有效途径,采用胎体硬度HRC60、胎体高度9 mm、国产金刚石颗粒、6水口钻头,在钻头成本投入基本不增加的情况下,有效地使钻头平均寿命由30 m左右提高至70 m左右。由此可知,在深孔中的钻头设计应考虑地层、钻压、转速、泵量等因素,针对深孔可能遇到的复杂地层、高应力地层,深孔钻进参数特点,优化调整钻头胎体硬度、胎体高度、工作唇面积、水口数等参数,以满足钻进要求,提高整体施工效率。

#### 4 绿色施工

ZKLG1钻孔施工,充分考虑了绿色施工建设,分析工程对生态环境的影响<sup>[16]</sup>,在施工过程中做好



(a)6水口钻头



(b)8水口钻头

图8 钻头磨损情况

各项环境保护措施:

(1)减少对林木、植被、土地的破坏。在满足施工要求的前提下,减少土地占用,对于不影响施工的树木做好保护措施,影响施工的树木做移植处理(如图9所示)。

(2)能源节约。在节电、节水、节材等方面,通过加强用电管理,砌筑蓄水池并做防渗处理,选择能满足施工需求的最小泵量,减少冲洗液额外的消耗,制定合理的采购计划和采购量,合理搭配各种材料,降低材料在使用中额外的消耗。

(3)减少环境污染。对施工现场冲洗液循环系统做防渗处理,设置废浆池,废浆静置沉淀后,取回上层浆水重复利用,减少废浆排放,不能利用的废浆委托第三方清运处理,现场做好各滴漏油液收集,减少对环境的污染。

## 5 结语

深孔钻探施工项目不仅对人员综合技术水平、钻探设备能力及配套设备要求高,而且钻孔质量控



图9 树木保护

制难度大,不可预见风险高,如何采取行之有效的技术措施,是克服深孔施工难题、保障施工质量和施工进度度的关键。ZKLG1钻孔施工中,采用的主要技术措施如下:

(1)钻孔结构方面:采取增大一级终孔口径设计(96 mm),增加技术口径(122 mm)设计深度,施工中对122 mm口径采取“充分施工法”,保障了钻孔质量。

(2)钻探设备方面。选用钻进能力4000 m的钻机和超深孔系列钻杆,用于3000 m钻孔施工,保证钻机能力充足,杜绝“小马拉大车”的情况,保障了施工安全。

(3)钻头方面:统计钻头寿命数据,分析钻头寿命变化原因,调整、优化钻头胎体硬度、胎体高度、水口数等参数,提高了钻头寿命和施工效率。

(4)冲洗液方面:在绳索取心工艺施工中,合理运用低固相冲洗液,克服严重破碎地层施工难题,并用于2000 m以深高应力地层,保障了施工顺利进行。

(5)现场管理和标准化建设方面:通过标准化现场建设和管理,打造井然有序的施工现场,给一线职工创造良好的工作环境条件,加强人员思想教育、安



全学习、技术学习,促进生产安全,避免孔内事故,提高生产效率。

#### 参考文献:

- [1] 张晓西,胡郁乐,张惠,等.科学钻探选区预导孔钻探技术方案设计、组织实施与随钻研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(S1):6-12.
- [2] DZT0227—2010,地质岩心钻探规程[S].
- [3] 姜明和,陈师逊,张海秋.固体矿产资源勘查钻探工艺学[M].济南:山东科学技术出版社,2009.
- [4] 胡辰光.钻探工程技术及标准规范实务全书[M].合肥:安徽文化音像出版社,2003.
- [5] 张永春,常洪华,赵海滨,等.山东省文登—荣成—威海地区深部地热资源调查钻探施工技术报告[R].济南:山东省第一地质矿产勘查院,2020.
- [6] 张正,朱恒银.深部钻探关键设备选择原则及配置优化[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(9):17-20.
- [7] 胡郁乐,张绍和.钻探事故预防与处理知识问答[M].长沙:中南大学出版社,2010.
- [8] 孙建华,张永勤,赵海涛,等.复杂地层中深孔绳索取心钻探技术研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2006,33(5),46-50.
- [9] 张春波,等.绳索取心金刚石钻进技术[M].北京:地质出版社,1985.
- [10] 杨芳,陈师逊.深部地质钻探钻孔结构设计与施工分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(11):21-26.
- [11] 陈师逊,翟育峰,张英传,等.西藏罗布莎铬铁矿科学钻探选址预研究项目钻探工程技术报告[R].烟台:山东省第三地质矿产勘查院,2013.
- [12] 董海燕.绳索取心液动锤在中国岩金勘查第一深钻的应用和最新进展[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(10):9-12.
- [13] 李鑫森,李宽,孙建华,等.国内外绳索取心钻具研发应用概况及特深孔钻进问题分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(4):15-23,39.
- [14] 乌效鸣,胡郁乐,贺冰新,等.钻井液与岩土工程浆液[M].武汉:中国地质大学出版社,2002.
- [15] 孙丙伦,张敏,陈师逊,等.深部找矿钻探技术综合研究与应用[R].山东:山东省地矿局,2010.
- [16] 吴金生,李子章,李政昭,等.绿色勘查中减少探矿工程对环境影响的技术方法[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(10):112-116.