

# 定向钻进技术在黑龙江金厂矿区的应用

谢宏军, 索晓晶

(武警黄金第一支队, 黑龙江 牡丹江 157021)

**摘要:**黑龙江省金厂矿区金矿体呈倾向南西的筒状产出, 向西南方向侧伏。由于筒体切面范围小, 故钻孔布设密度较大, 地表钻孔布设位置易发生偏差, 往往达不到预期钻进目标。为此引进了定向钻进技术, 有效地控制了钻孔轨迹, 提高了钻进效率, 并且可以在此基础上开展“一基多孔”, 有效控制该区矿体的形态。主要介绍了定向钻进应用中的影响因素及技术措施。

**关键词:**定向钻进; 钻孔轨迹; 分支孔; 螺杆钻; 绳索取心钻进; 金厂矿区

**中图分类号:** P634.7   **文献标识码:** B   **文章编号:** 1672-7428(2014)06-0019-04

**Application of Directional Drilling Technology in Jinchang Mining Area of Heilongjiang/XIE Hong-jun, SUO Xiao-jing** (No. 1 Detachment of the Gold Army, CAPF, Mudanjiang Heilongjiang 157021, China)

**Abstract:** The gold orebody shows cylindrical output with small section area in Jinchang mining area of Heilongjiang Province, the location deviation is common for the dense borehole distribution. The directional drilling technology is introduced to control the drilling trajectory, which improves drilling efficiency and develops branch holes to learn the morphology of ore body. The paper introduces some affecting elements and the technical measures in the application of directional drilling.

**Key words:** directional drilling; borehole trajectory; branch hole; screw drill; wire-line core drilling; Jinchang mining area

## 1 概述

金厂矿区位于黑龙江省东南部, 老爷岭山脉东侧, 山势陡峭, 海拔高度 300~1000 m, 一般为 400 m 左右, 最高峰为工作区东南部的通沟岭, 海拔高度为 1102.10 m, 切割深度 100~400 m, 属中低山区, 水系发育, 主要有小绥芬河及其支流。区内地层出露面积约占全区面积的 56%, 岩浆活动强烈, 侵入岩出露广泛, 约占区域面积的 44%, 以中深成花岗岩类为主, 岩石类型为石英闪长岩、花岗闪长岩、花岗岩、碱长花岗岩, 其次为辉石闪长岩、闪长岩等, 主要呈岩基、岩株状产出。钻进过程中主要面临机械钻速低、搬家次数频繁、钻孔纠斜、钻井成本高等问题, 严重影响了施工效率。

### 1.1 工程目的

该区主要以角砾岩型矿床为主, 角砾岩体为重要的找矿标志, 主要分布在闪长岩南北接触带附近。其中邢家沟区域内金矿体呈倾向南西的筒状产出, 向西南方向侧伏。为掌握该区域矿体形态、产状、质量特征, 了解矿床开采技术条件, 采用定向钻进技术对区域矿(化)体多个方位的深部进行控制, 再通过综合研究, 总结矿区成矿规律, 建立成矿模式, 进一步指导地质找矿工作<sup>[1]</sup>。

## 1.2 定向钻进技术

定向钻进技术是主动控制钻孔轨迹, 使其按预定曲线钻进命中目标靶区, 从而取得特定地层的岩心, 为地质人员研究矿体提供依据。该技术还可实现“一基多孔”的钻进模式, 如伞状、蘑菇状等, 可节约钻探工作量、勘探成本, 缩短施工周期, 尤其在深孔施工过程中具有重大意义; 可有效地规避钻进难题, 实现避障绕障技术及其他特殊目的。定向钻进属于高技术特种钻探范畴, 是应用其他学科高新技术最为集中的专业技术。

### 1.3 钻孔基本情况

钻孔采用一基多孔, 设计 1 个主孔, 2 个分支孔。主孔开孔顶角 3°, 方位 40°, 设计孔深 550 m。分支孔一方位 130°, 靶点位置横向位移 25 m, 垂深 430 m; 分支孔二方位 310°, 设计孔深 320 m, 靶点位置横向位移 18 m, 垂深 404 m。

## 2 影响定向钻进的主要因素分析

### 2.1 设备因素

(1) 采用小口径立轴式 XY-44 型钻机, 不能随钻测斜, 上部回转部分易产生较大扭矩, 方位易偏移;

收稿日期: 2014-02-12; 修回日期: 2014-04-07

作者简介: 谢宏军(1982-), 男(汉族), 江苏如皋人, 武警黄金第一支队工程师, 地质工程专业, 从事勘查技术工作, 黑龙江省牡丹江市武警黄金第一支队司令部勘查办公室, xiehongjun423@163.com。

(2) 绳索取心钻进过程中, 钻杆与孔壁的环状间隙小, 大流量冲洗液循环时不能及时释放压力, 造成憋泵停钻, 甚至泥浆泵损毁, 且侧钻效果不明显;

(3) 小口径绳索取心钻进工艺循环系统不能有效满足定向钻进的要求;

(4) 钻杆的抗弯性韧性差, 大弯度侧钻易折断。

## 2.2 地层因素

(1) 区域岩层可钻性级别普遍偏高, 定向侧钻困难;

(2) 上部岩层较为破碎, 不利于侧孔位置选择;

(3) 矿体部分接触带为蚀变岩, 泥化部分易水化, 造成冲洗液固相含量高, 不利于螺杆钻进。

(4) 预计矿体厚度较薄, 且不连续分布; 宽度小, 对轨迹的设计带来一定的困难。

## 3 钻探技术及施工工艺

### 3.1 主孔钻孔结构(见图1)

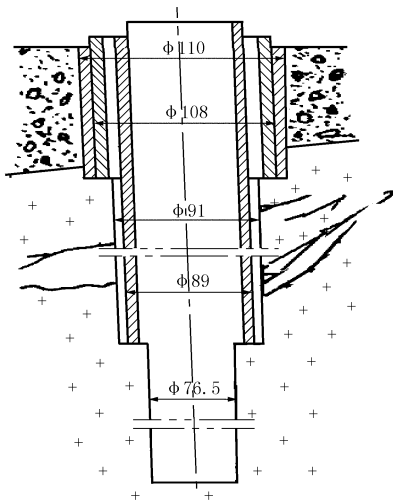


图1 钻孔结构图

(1) 0~6.00 m, 用  $\varnothing 110$  mm 钻具施工, 下  $\varnothing 108$  mm 套管, 保证钻孔上部地层稳定。

(2) 0~61.0 m, 用  $\varnothing 91$  mm 钻具施工, 下  $\varnothing 89$  mm 套管, 主要隔离和保护含水层及坍塌掉块区段。

(3) 61.00~457.99 m, 采用 S75 绳索取心工艺施工,  $\varnothing 76.5$  mm 钻头成孔。

### 3.2 定向分支方式的选择

同径分支可一次性钻出满足后续取心钻进的孔眼, 在孔内条件许可的情况下应优先选用。异径分支的钻头较老孔小一级, 造斜钻具轴线与老孔轴线的夹角在初始钻进时较大, 钻头侧向力也因此较大, 易于分出新孔。但异径分支结束后恢复孔径需带导向扩孔, 不仅复杂了工作程序, 也存在损坏侧钻段水

泥楔的风险。且考虑该孔定向钻进的目的, 须采用原绳索取心工艺采取岩心采样化验。所以本项目选择螺杆钻同径分支的方式。

### 3.3 轨迹设计(见图2)

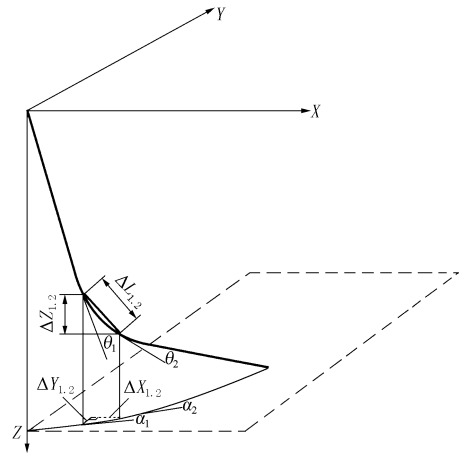


图2 轨迹示意图

钻孔轨迹设计原则: (1) 根据矿体厚度、宽度要求及靶点位置设计理想曲线; (2) 由于区域岩层可钻性级别高, 设计连续造斜弯度不能过大。

根据平均孔斜角法, 认为两点间的侧段为一条直线, 将测段上、下两测点的顶角平均值假设为整个测段的顶角值, 将测段上、下两测点方位角平均值假设为整个测段的方位角值。两测点间的测段计算公式如下:

$$\Delta X_{1,2} = \Delta L_{1,2} \sin[(\theta_1 + \theta_2)/2] \cos[(\alpha_1 + \alpha_2)/2] \quad (1)$$

$$\Delta Y_{1,2} = \Delta L_{1,2} \sin[(\theta_1 + \theta_2)/2] \sin[(\alpha_1 + \alpha_2)/2] \quad (2)$$

$$\Delta Z_{1,2} = \Delta L_{1,2} \cos[(\theta_1 + \theta_2)/2] \quad (3)$$

式中:  $\Delta X_{1,2}$ 、 $\Delta Y_{1,2}$ 、 $\Delta Z_{1,2}$ ——分别为南北方向增量、西东方向增量和垂深增量;  $\theta_1$ 、 $\theta_2$ ——上、下测点顶角;  $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ ——上、下测点方位角;  $\Delta L_{1,2}$ ——上下测点间沿钻孔轴线的距离。

### 3.4 冲洗液的选择

由于绳索取心钻具与孔壁之间的环隙较小, 且内管需通过钻杆柱中心下投。因此, 在地层条件许可的情况下, 应尽量采用清水加润滑剂做为冲洗液, 如: 皂化油冲洗液。这不仅有利于内岩心管在钻杆内的升降, 也可使钻杆的旋转阻力减小, 有利于高速钻进。

但是在施工遇到的绿泥石化蚀变带, 必须使用的膨润土配置低固相冲洗液才能有效地穿过复杂地层。针对地层的实际情况, 结合以往施工经验, 在实验室配置出了3种适应不同地层的冲洗液。

(1) 细分散冲洗液, 也称腐植酸钾冲洗液。主

要配置材料为:优质膨润土、腐植酸钾、碳酸钠。性能指标:密度  $1.12 \text{ g/cm}^3$ , 漏斗粘度  $22 \text{ s}$ , 失水量  $9 \text{ mL/30 min}$ , pH 值  $9^{[2]}$ 。该冲洗液能顺利携带钻井过程中产生的大颗粒岩屑, 有效地保护孔壁的稳定。但容易在孔壁内部结泥皮, 造成内管投放速度慢、打捞时间长或者打捞失败等问题, 倘若不加润滑剂, 钻速较低, 回转阻力大。经过实践来看, 比较适合在钻孔浅部  $300 \text{ m}$  以浅使用。

(2) 不分散低固相冲洗液(JC-1): 由优质膨润土、聚丙烯酰胺、腐植酸钾和碳酸钠按一定比例配制而成。性能指标: 密度  $1.02 \text{ g/cm}^3$ , 漏斗粘度  $18.6 \text{ s}$ , 失水量  $8.5 \text{ mL/30 min}$ , pH 值  $8.5$ 。该配方是基于聚丙烯酰胺溶液的护壁、絮凝和腐植酸钾溶液的降失水、抑制孔壁分散等作用配置的。该冲洗液具有粘度低、流动性能好, 防塌护壁效果好等优点, 主要适用于该区水敏性地层。在实际施工过程中有效地钻过了  $20 \text{ m}$  长的水敏性地层。

(3) 无固相冲洗液(JC-2): 配方以植物胶为主, 配以聚丙烯酰胺、纤维素、烧碱等材料。性能指标: 密度  $1.01 \text{ g/cm}^3$ , 漏斗粘度  $28 \text{ s}$ , pH 值  $8.3$ 。植物胶为非离子型高分子化合物, 具有增粘护壁、减阻等特点, 并且转速越高, 减震效果越明显, 震动越小越平稳, 在同等条件下, 比其它冲洗液钻进时转速可提高  $1 \sim 2$  挡。如果再加入适当的膨润土, 可以有效地穿过绿泥石化蚀变带, 保护孔壁的稳定。

通过交替使用上述配方的冲洗液, 在该孔的施工过程中取得了良好的效果, 期间未发生过一次孔内事故。同时钻头的寿命比以往有了明显的提高, 间接地降低了辅助时间, 提高机械钻速。

### 3.5 钻进参数的选择

在实际钻进过程中, 钻进规程的 3 个主要参数: 钻压  $P$ 、转速  $n$  和泵量  $Q$ 。它们并不是单独起作用的, 之间存在着交互影响。如果只是“单打一”地追求某个参数的最优值, 而不考虑其交互影响, 则不仅达不到高钻速低成本的效果, 甚至可能导致相反的结果。对于绳索取心技术来说, 选择适宜的钻进参数特别重要。

#### 3.5.1 钻压的选择

钻压计算公式:

$$P = F\rho$$

式中:  $P$ ——钻压,  $\text{kg}$ ;  $F$ ——钻头环状克取面积,  $\text{cm}^2$ ;  $\rho$ ——单位压力值,  $\text{kg/cm}^2$ 。

#### 3.5.2 转速的选择

转速计算公式:

$$n = 60v / (\pi D)$$

式中:  $n$ ——转速,  $\text{r/min}$ ;  $v$ ——钻头圆周线速度, 一般情况下为  $1.5 \sim 3.0 \text{ m/s}$ ;  $D$ ——钻头直径,  $\text{mm}$ 。

#### 3.5.3 泵量的选择

泵量的计算公式:

$$Q = 6VF$$

式中:  $Q$ ——冲洗液量,  $\text{L/min}$ ;  $V$ ——环状间隙内冲洗液上返流速, 取  $1.2 \sim 1.5 \text{ m/s}$ ;  $F$ ——钻孔环状断面面积<sup>[3]</sup>,  $\text{cm}^2$ 。

在生产实践中必须结合岩石性质、钻孔深度、钻头类型、冲洗液类型等因素, 综合考虑选择最佳的钻进技术参数。对  $\varnothing 91 \text{ mm}$  普通金刚石钻进, 钻压  $9 \sim 10 \text{ kN}$ , 转速  $350 \sim 700 \text{ r/min}$ , 泵量  $90 \sim 110 \text{ L/min}$ ; 对  $\varnothing 75 \text{ mm}$  金刚石绳索取心钻进, 钻压  $8 \sim 9 \text{ kN}$ , 转速  $350 \sim 700 \text{ r/min}$ , 泵量  $60 \sim 90 \text{ L/min}$ 。

### 3.6 钻头的选择

根据岩层的特性及地质设计要求合理选择钻头的类型, 是提高金刚石钻进效果获得好的技术经济指标, 达到优质、高效、低耗的重要因素。金刚石钻头的技术参数、岩石性质及地层情况对钻进有重要影响, 选取过程中一般把握以下原则。

软的、中硬和完整均质的硬岩层一般宜用表镶钻头; 硬的、坚硬的和破碎的、软硬不均的、裂隙性和高研磨性岩层宜选用孕镶钻头。胎体硬度应根据岩层的研磨性、破碎程度、硬度、颗粒度等因素选择, 其中主要因素为岩层研磨性和破碎程度。岩层研磨性强、破碎程度厉害、较软、颗粒度粗的选用硬胎体。岩层复杂、研磨性越强、越硬, 选用的金刚石品级应越好, 金刚石的粒度应越细。岩层强研磨性、较破碎、颗粒粗, 选用浓度较高的胎体。岩层偏软、破碎、研磨性强, 胎体偏硬, 使用的是孕镶钻头, 则钻头水口部位通水截面应大, 宜采用多水口钻头。

在实际使用过程中, 金刚石钻头、扩孔器要提前排队、轮换使用, 再下入新钻头前必须进行初磨。

根据施工设计采用如下方案。

(1)  $0 \sim 6.00 \text{ m}$ , 第四系腐殖土、残坡积及农田堆积土层, 用  $\varnothing 110 \text{ mm}$  单管钻具施工, 下  $\varnothing 108 \text{ mm}$  套管, 保证钻孔上部地层稳定。

(2)  $0 \sim 61.0 \text{ m}$ , 浅肉红色花岗岩及灰黑色斜长角闪岩, 块状构造, 局部高岭土化, 岩石可钻性达到  $7 \sim 8$  级, 用  $\varnothing 91 \text{ mm}$  单管钻具施工, 下  $\varnothing 89 \text{ mm}$  套管, 选用 50 目的人造金刚石孕镶钻头, 胎体硬度为 HRC35  $\sim$  38。

(3)  $61.00 \sim 457.99 \text{ m}$ , 花岗斑岩, 斑状结构, 块

状构造,局部蚀变,高岭土化。其间多区段夹入灰黑色闪长岩,可钻性级别7~9级;采用S75绳索取心钻具施工,Ø76.5 mm钻头成孔,选用60目的人造金刚石孕镶钻头,胎体硬度为HRC18~20。

(4)造斜孔段为角砾岩带,灰白~灰绿色,花岗质角砾,角砾状构造,块状结构,局部绿泥石化,可钻性级别7~8级。采用全面钻进钻头,不取心。选用Ø76.5 mm人造金刚石孕镶钻头,胎体硬度为HRC25~35。

### 3.7 侧孔位置的选择

分支点位置的选择受地层因素、目的层位置以及后续工作的开展等因素影响。通过对主孔岩心编录,选择地层相对完整、岩层相对较软的孔段作为分支点的起始位置,这样有利于一次造斜成功。

在满足设计目标的前提下尽可能少重复钻孔工作量;主孔基本垂直,或地层造斜方向与纠斜方向基本一致,既可使新孔孔斜方向与老孔一致,避免造成拐点,也有利于快速分出新孔;岩石可钻性级别相对较低;地层基本完整,不易坍塌破碎,不易发生井内事故。

基于以上原则,结合主孔岩心资料分析,确定设计第一分支点在215~225 m,第二分支点:230~240 m,岩石的可钻性6~7级。

### 3.8 固井造底

主孔完成后需要封孔后钻进分支孔,由于地层岩性硬度高,固井质量要求水泥强度与围岩达到基本一致,这样才能保证一次性分支成功,避免重复开孔。结合该孔具体情况,固井主要步骤如下:

(1)下钻到270 m洗孔架桥;

(2)人工加水20桶(16 L/桶),搅拌水泥500 kg,加速凝剂食盐3 kg和早强剂三乙酰胺2瓶;

(3)观测水位多次,等待孔内水位稳定到一定位置(该孔水位保持35 m左右);

(4)人工灌一定量水泥纯浆(根据钻孔孔径进行估算),加一定量净砂或小石子(如100 kg)继续搅拌好水泥,将水泥全部灌完;

(5)灌16桶清水,然后钻机一挡提钻,提1立根灌1桶清水后,再提下一根,直到提完9个立根;

(6)静置72 h后试钻,当取心非常完整后,扫孔到指定孔深,开始侧钻分支孔。

## 3.9 技术措施和注意事项

### 3.9.1 技术措施

(1)为立轴钻机的回转部分做固定装置,防止分支钻进过程中方位发生改变。

(2)使用钻杆方面:绳索取心阶段、稳斜段、修孔时使用Ø71 mm绳索取心钻杆,螺杆造斜时使用Ø56 mm绳索取心钻杆,有效解决侧孔分支时环状间隙过小,不易造斜的问题。

(3)由于岩层可钻性级别高,侧钻形成新孔困难,在分支点上部较长区段10~15 m开始侧孔钻进,开始侧孔时使用较大弯度螺杆。

(4)使用螺杆钻进的区段尽量短,每钻进3~5 m,使用Ø71 mm绳索取心钻具进行修孔,如此多次反复,消除拐点,尽可能降低钻杆折断的几率,保证绳索取心正常钻进。

(5)由于使用全面不取心钻头钻进时,岩屑进入钻头水眼,堵塞钻头,导致冲洗液循环不畅,影响钻进效率,后期改进使用20~30 cm的定向双管短取心器(见图3),钻进效率提高一倍,见表1。



图3 定向双管短取心器

表1 全面钻进造斜钻头与定向双管短取心器工作效率对比

钻进工艺	分支孔	孔深/m	进尺/m	工作时间/h	工作效率/(m·h <sup>-1</sup> )	提钻间隔/(m·次 <sup>-1</sup> )	岩石可钻性
全面钻进造斜钻头	—	231.5~239.5	8	80	0.1	0.5	7~9
定向双管短取心器	—	251.5~259.5	8	40	0.2	0.3	7~9
	二	245.5~260.5	15	60	0.25	0.3	7~9

### 3.9.2 注意事项

(1)因不能随钻测斜,每次下入螺杆时应重新测定方位,并在孔口相应位置做好标记,根据上次方位适当进行修正。

(2)未出新孔前应轻压钻进,以防钻具沿原孔刻取水泥柱;出新孔后逐渐加压钻进。

(3)修孔时应低转速反复多次修磨,直到中高速可以运转,消除侧钻段与稳斜段及造斜段之间的拐点,使孔段光滑、孔径均匀,为绳索取心打好基础。

(4)绳索取心钻进下入钻具时应轻压慢转,逐渐加快转速、加大钻压直至钻进正常,切记少钻勤提,降低钻杆折断的几率。

(5)在钻进过程中遇堵、泵压升高,应立即上钻取心,切勿上下串动钻具后继续钻进。

表2 钻进参数试验统计

试验组别	风压 /MPa	风量/( $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ )	集束锤组成 / (头 $\times$ mm)	提升力 /kN	钻机转速 /( $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ )	钻机扭矩 /( $\text{N} \cdot \text{m}$ )	钻速 /( $\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$ )	现场情况
1	0.71	25.5	3 $\times$ 245	140	20 ~ 30	8000	2	钻速慢
2	0.71	25.5	3 $\times$ 245	200	0	16000	0	无进尺,憋锤
3	0.71	25.5	3 $\times$ 245	150	20	8000	5	钻速慢
4	0.85	51	3 $\times$ 245	150	20	8000	7	钻速提升
5	0.85	51	5 $\times$ 245	150	20	8000	10	钻速提升明显,钻进平稳
6	0.85	51	5 $\times$ 245	150	40	16000	12	设备振动明显

可控,无级可调与地层和钻机参数匹配)。

(2)钻机设有可调缓冲机构,防止大功率冲击对钻机的损坏,试验证明采用高压氮气缓冲机构用效果很好,满足大冲击功潜孔锤施工要求。

(3)先导孔施工注意控制钻进速度,以 10 ~ 20 m/h 为好,严防快打造成井斜。

(4)液压钻机配套集束潜孔锤反井工艺是新工艺,在钻具结构、钻具配套上有进一步的探索空间。

(5)潜孔锤反井工艺可用于多层巷道孔施工,避免工人的井下劳作。

## 参考文献:

- [1] 刘俊英,刘志强.反井钻机及反井钻井技术发展[J].水利科技与经济,2005,11(10):639-640.
- [2] 刘志强.大直径反井钻机及反井钻进技术[J].煤炭科学技术,2008,36(11):1-3.
- [3] Kourt H,胡国强.集束式潜孔锤结构[J].探矿工程译丛,1993,(1):42-44.
- [4] 蒋荣庆,殷琨.FGC-15型大直径单头潜孔锤钻具系统研制[J].探矿工程,1995,(5):17-19.
- [5] 洪钟.潜孔锤组反井钻凿工艺探讨[J].矿山机械,1998,(3):16-17.
- [6] 刘家荣,王建华,王文斌,等.气动潜孔锤钻进技术若干问题[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(5):40-44.
- [7] 殷其雷,博坤,李忠.贯通式潜孔锤反循环钻进技术在复杂地层中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(5):9-12.

(上接第22页)

## 4 钻探技术效果

该项目施工主孔1个,分支孔2个(见图4),均在各自方向上穿过目标靶点,证实了该区域角砾岩筒形态不规则,产状较复杂,金赋存于角砾岩筒次级构造和围岩中矿化蚀变较强部位。该项目从工艺、地质效果、目的等方面都满足了设计要求,达到了预期的效果。

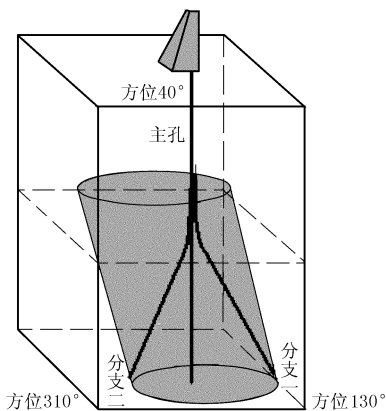


图4 钻孔轨迹示意图

## 5 结语

实践证明,Ø60 mm 螺杆钻器具在小口径固体矿产勘查中与相关机具(XY-44型钻机、BW320型泥浆泵、S59和S75钻具等)配套使用,进行定向钻进技术是可行的。特别是在岩石可钻性级别 < 6 级的造斜区域中,螺杆钻定向侧孔的效果较好,能够有效达到造斜目的和多方位控制矿体的效果。

## 参考文献:

- [1] 黄才启,刘良根.深部矿产勘探与受控定向钻进技术方法思考[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(S1):122-124.
- [2] 王建伟,胡海鹏,索晓晶.金厂矿区复杂地层钻探施工技术与认识[J].地球,2013,(7):153-154.
- [3] 李平.广西栗木锡矿区深孔钻进工艺研究[J].矿产与地质,2009,23(4):384-387.
- [4] 赵广伟,段晓君,尹西君.金厂矿区钻探复杂地层综合治理探讨[J].中国西部科技,2010,09(32):12-12.
- [5] 向军文.定向钻进技术及其应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(9):28-32,36.