

# 程家沟-沙沟银多金属矿区坑道钻探工艺

时志兴<sup>1</sup>, 杨春<sup>2</sup>, 翟东旭<sup>1</sup>

(1. 河南省有色金属地质矿产局第一地质大队, 河南 郑州 450016; 2. 中矿资源勘探股份有限公司, 北京 100089)

**摘要:**坑道内孔深大于300 m大顶角钻孔施工, 施工难度明显加大, 通过在坑道内完善施工硐室设计, 确保钻孔顺利施工及钻探施工安全。从设备选择与安装、钻孔结构、钻进参数、冲洗液的配置、常见事故及其预防等方面的完善, 完成了顶角56°, 设计孔深593 m钻孔的施工, 总结出了坑道内大顶角钻孔施工工艺。

**关键词:**坑道钻探; 硐室设计; 大顶角钻孔; 钻探事故

中图分类号: P634 文献标识码: B 文章编号: 1672-7428(2017)05-0039-05

**Tunnel Drilling Technology of Chengjiagou - Shagou Silver Polymetallic Deposit**/SHI Zhi-xing<sup>1</sup>, YANG Chun<sup>2</sup>, ZHAI Dong-xu<sup>1</sup> (1. The First Geological Brigade of Henan Nonferrous Metals Geology and Mineral Resources Bureau, Zhengzhou Henan 450016, China; 2. Sinomine Resource Exploration Limited Company, Beijing 100089, China)

**Abstract:** For the large angle drilling construction with hole depth greater than 300m, the construction difficulty increases obviously. By improving construction chamber design in the tunnel, the smooth drilling construction and the safety are ensured. Based on the improvement of equipment selection and installation, hole structure, drilling parameters, flushing medium configuration, common accidents and the prevention, the construction technology of large apex angle drilling in tunnel is summarized, the drilling construction of borehole with apex angle 56 degree and designed depth 593m has been completed.

**Key words:** tunnel drilling; chamber design; large apex angle drilling; drilling accident

## 0 引言

洛宁程家沟-沙沟银多金属矿区进行了多年探采活动, 探采位置主要为绝对标高0 m以上, 深度在300~500 m, 而深部和外围还缺少钻探成果。利用现有坑道进行深部勘探, 不仅资金效率高、找矿成果好, 而且时间短、收效快、耗费少, 经济效益好, 有利于矿业的可持续发展。坑道内钻探施工靶区明确, 数据准确, 既能在深部取得好的钻探成果、减少植被破坏, 保护施工环境, 打造绿色矿山, 又能提高钻探效益, 节约钻探施工成本。为充分利用矿区坑道, 设计了大量坑道钻探工程, 并取得了显著的地质成果。

## 1 工程概述

### 1.1 矿区概况

勘查区隶属于河南省洛宁县, 距洛宁县城约60 km, 跨越下峪乡、兴华乡及卢氏县范里乡。勘查范围西起卢氏县庄沟, 东至洛宁县上河, 北起山前大断裂, 南抵象君山主峰南侧车道沟。区内地形起伏, 切割剧烈, 相对高差大。总体地势南高北低, 山间溪流自南东往北西注入洛河。区内植被覆盖率占50%

以上。

勘查区内有10 kV高压输电线路通过, 电力资源充足。矿区经过近10年的开采经营, 坑道密布, 纵横交错, 为布置坑道钻探工程打下了良好的基础。

### 1.2 矿区地层

矿区地层单一, 具体地层情况如下。

#### 1.2.1 角闪斜长片麻岩组

岩石密度为2.52 g/cm<sup>3</sup>, 裂隙发育, 裂隙面间距一般20~50 mm, 裂隙宽2~5 mm, 长0.05~0.90 m。裂隙面粗糙, 有铁质浸染现象。岩组RQD指标平均71.0%, 岩石质量中等, 岩体完整性中等。岩体结构以块状结构为主, 风化带、蚀变构造较强烈地带呈碎裂-散体结构。岩石抗压强度123.06~181.99 MPa, 属坚硬岩石, 但地表风化后, 易成高岭土状, 使岩石强度降低。

#### 1.2.2 斜长角闪片麻岩组

主要造岩矿物为角闪石、斜长石、黑云母等, 密度2.62 g/cm<sup>3</sup>, 裂隙不发育, RQD指标平均68.7%, 岩石质量中等, 岩体结构以块状结构为主。岩石抗压强度129.49~203.60 MPa, 属坚硬岩石, 该岩石

收稿日期: 2016-06-17; 修回日期: 2017-03-29

基金项目: 2010年度河南省地质勘查基金项目“河南省洛宁县程家沟-沙沟银多金属矿深部预查”

作者简介: 时志兴, 男, 汉族, 1973年生, 高级工程师, 长期从事岩心钻探工作, 河南省郑州市经开区第八大街166号, 765181609@qq.com。

易风化,风化后强度降低。

### 1.2.3 蚀变岩组

主要分布构造破碎带及周围,岩性为片麻岩蚀变后的产物,常具有较强的硅化、绢云母化、绿泥石化等,密度为  $2.77 \text{ g/cm}^3$ ,裂隙不发育,RQD 指标平均 50.7%,岩石质量中等,岩体结构以块状—碎裂结构为主,岩石抗压强度  $103.77 \sim 145.20 \text{ MPa}$ ,较坚硬。

### 1.2.4 构造角砾岩岩组

主要分布在含矿构造破碎带中,岩性包括构造角砾岩、构造碎裂岩等,密度为  $2.65 \text{ g/cm}^3$ ,岩石以角砾状构造、碎裂状构造为主。主要造岩矿物为斜长石、绢云母、石英及少量碳酸盐类矿物。角砾多被硅质、铁质及钙质等胶结,裂隙发育,裂隙一般宽  $1 \sim 2 \text{ mm}$ ,岩组 RQD 指标平均值为 40.7%,是矿区 RQD 值最低的岩组。岩石抗压强度  $60.55 \sim 101.62 \text{ MPa}$ 。

## 1.3 钻探设计

钻探工程主要根据前期探采成果布设,本矿区探矿重点是已开采矿区的深部,采用地表钻孔和坑道内钻孔,其次对采矿权外围有找矿潜力含矿蚀变带(矿化体)进行工程验证。依据矿区矿体集中和矿脉陡的特点,为节约施工成本和加快施工进度,该矿区钻孔大多采用分支孔布置,以坑道钻为主,地表钻孔为辅。而坑道内钻探由于具有费用低、见效快等其它勘探方式不可替代的优势,在本矿山找矿方面得到越来越广泛的应用。共设计钻孔 235 个,具体见表 1。

表 1 设计钻孔统计

序号	钻孔深度/m	钻孔数/个		
		地表钻孔	坑道钻孔	小计
1	100 ~ 300		59	59
2	300 ~ 500	13	105	118
3	500 ~ 700	9	27	36
4	700 ~ 900	6	11	17
5	>900	5		5

本矿区钻孔 90% 以上为坑道内钻孔,且多为丛式钻孔,设计倾角  $< 45^\circ$  钻孔占 60% 以上,所以加强了坑道内设计硐室及坑道内钻探工艺的研究。

## 2 坑道内钻探硐室设计

坑道钻探是利用现有巷道,来更好地揭示矿体产状,发现盲矿体。本矿区已经采矿多年,采矿巷道

密布,有利于布置坑道钻探,以便更好地发现矿体,揭示矿体产状。

坑道内钻探,空间有限,运输、通风、通电、照明困难,湿度大、温度高,施工条件恶劣。本工程坑道内钻探施工一般在地下  $200 \sim 400 \text{ m}$ ,深部已达到地下  $600 \text{ m}$ 。根据多年采矿及钻探施工经验,知道本矿区岩层完整,透水性差,适合开挖硐室进行钻探。为了实现不同倾角的钻孔施工,硐室要求够大,易于设备安装,便于施工。

钻探硐室,首先满足钻探设备安装及钻机滑移有足够的位置、升降钻具有合适空间、操作钻机有必要的场所、人员进出有适宜的安全通道;其次着重考虑硐室施工的经济性,减少硐室开凿工作量和岩石裸露面积,尽可能减小硐室开凿对岩体稳定性的影响。此外,对自由面大、裂隙发育的裸露岩面加以适当锚固支护。

硐室底部必须有足够的地方,安装钻机底盘,钻机底盘一般为  $4.5 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ ,为减少硐室开挖量,钻机底盘适当改为  $4 \text{ m} \times 3.5 \text{ m}$ ,所以硐室底部面积一般为  $6 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ ,高度  $7 \sim 8 \text{ m}$ ,根据钻孔倾角及方位,硐室上部可稍窄,只要满足 XY-4、XY-44 型钻机移动安装及不同倾角钻孔施工即可。为便于施工,硐室尽可能大,根据需要在硐室或巷道内开挖泥浆池和沉淀池。

为施工安全,要求从硐室  $1.5 \text{ m}$  高处至顶部裸露岩石部分进行锚固支护,锚杆规格为  $\varnothing 40 \text{ mm}$ 、长  $1.2 \sim 1.5 \text{ m}$  圆钢,梅花形布置,间距  $0.5 \sim 0.6 \text{ m}$ 。全部挂上安全网,喷锚支护,安全网规格为  $30 \text{ mm} \times 30 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$ 。破碎、掉块部位要喷射水泥浆加固,下部大块岩石可能出现崩塌部位采用钢轨或钢柱支护,并用木桩搭架,严重的在支架部位填砣加固(见图 1)。

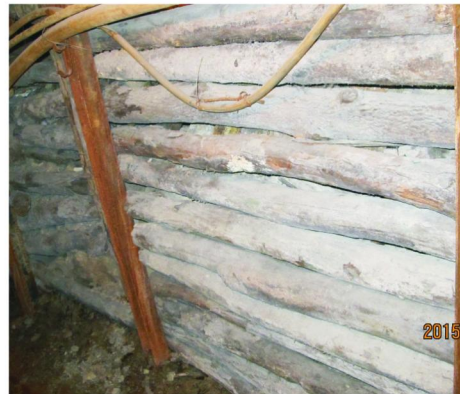


图 1 木桩加固

为实现无塔钻进,在硐室顶部内壁打入2根 $\text{Ø}30\text{ mm}$ 、长 $1.2\sim 1.5\text{ m}$ 圆钢,进行锚固,用以安装天车滑轮,并保证天车滑轮、立轴、钻孔中心在一条直线上(参见图2)。



图2 天车滑轮安装图

### 3 坑道钻探施工工艺(以ZKX0508孔为例)

#### 3.1 钻孔设计

ZKX0508孔设计孔深 $593\text{ m}$ ,设计顶角 $56^\circ$ ,方位角 $117^\circ$ 。终孔孔径 $\leq 75\text{ mm}$ ,特殊情况下,终孔孔径 $\leq 60\text{ mm}$ 。

#### 3.2 质量要求

(1)岩心采取率:上部覆盖层不取心,全孔岩心采取率 $\leq 90\%$ ,连续 $5\text{ m}$ 岩心采取率达不到要求,应查明原因,及时采取补救措施。

(2)钻孔弯曲度:每 $50\text{ m}$ 测一次顶角和方位角,顶角和方位角偏差 $\geq 2^\circ/100\text{ m}$ ,终孔顶角及方位角偏差 $\geq 6^\circ$ 。

(3)其它质量要求严格按照《地质岩心钻探规程》(DZ/T 0227—2010)执行。

#### 3.3 钻探工艺

开孔使用普通单管钻进,下部由于本矿山矿体赋存在蚀变岩带或构造带,岩层较破碎,而且矿层比较薄,岩心采取率低,很有可能错过矿层,不能准确圈定矿体,因而在本矿坑道内钻探施工多采取绳索取心钻进工艺。与普通钻进方法相比,绳索取心钻进具有岩心采取率高、钻进效率高、钻孔不易偏斜、人工劳动强度低、钻探成本低等优点。

#### 3.4 钻探设备的安装

根据钻孔设计,选择XY-44型钻机进行施工。由于坑道内硐室地面为完整的岩石,爆破开凿出来,只是大致平整。设备进场前,首先应用砵找平,不仅便于安装钻机,而且利于方便施工,避免由于地面不

平整而导致人员伤亡事故。钻机按要求找平安装好后,使用锚固方法固定,上部使用4根 $\text{Ø}60\text{ mm}$ 钢管一端顶紧钻机底盘,一端支撑在硐室壁上。然后根据钻孔方位角和倾角在硐室顶部凿入锚杆,安装天车轮。

泥浆池、沉淀池在开凿硐室时一并凿好,泥浆泵、绞车等在适当位置安装好后,锚固方法固定。

#### 3.5 钻孔结构

根据设计要求,终孔孔径 $\leq 75\text{ mm}$ 。开孔即为基岩,因而采用 $\text{Ø}113\text{ mm}$ 孔径开孔,钻进 $0.6\text{ m}$ 后下入 $\text{Ø}108\text{ mm}$ 套管,用砵固定好,采用 $\text{Ø}77\text{ mm}$ 绳索取心金刚石钻进,预留 $\text{Ø}91\text{ mm}$ 口径备用。钻具级配(钻杆-岩心管-钻头)分别为: $\text{Ø}50\text{ mm}-\text{Ø}108\text{ mm}-\text{Ø}113\text{ mm}$ 、 $\text{Ø}89\text{ mm}-\text{Ø}89\text{ mm}-\text{Ø}96\text{ mm}$ 、 $\text{Ø}71\text{ mm}-\text{Ø}73\text{ mm}-\text{Ø}77\text{ mm}$ 。

#### 3.6 钻进参数

钻压随着金刚石钻头的磨钝,逐步增大,在钻进强研磨性、破碎或软弱地层时,降低钻压。只有足够高的转速,绳索取心金刚石钻进才能达到高效率钻进的目的,在设备能力及钻杆管材强度允许的前提下,尽量提高转速,顶角大的钻孔钻进时钻杆与孔壁的摩擦力大,钻杆的损伤大,随着孔深增加,适当控制转速,特别是钻进强研磨性、破碎或软弱地层时要降低转速。在钻速高、进尺快时,岩粉量大,选用较大泵量,反之则泵量适当减少。在大角度斜孔钻进时,泵量小,孔内岩屑堆积物越来越多,形成岩屑桥,使钻杆弯曲,改变钻孔钻进轨迹,增大钻孔弯曲量,严重的发生钻杆断裂或埋钻事故。钻进过程中根据钻速和岩层情况调整冲洗液量大小。泵送和打捞内管总成时,为了提高效率,泥浆泵的泵量适当调大。具体钻进参数如表2所示。

表2 金刚石钻头(孕镶)钻进技术参数

钻进工艺	孔径/ mm	钻压/ kN	转速/ ( $r \cdot \text{min}^{-1}$ )	泵量/ ( $L \cdot \text{min}^{-1}$ )
普通单管金刚石钻进	113	12~18	200~500	80~100
绳索取心金刚石钻进	77	9~12	400~700	40~70

#### 3.7 冲洗液配置

冲洗液对钻孔成功与否起着关键作用,而绳索取心金刚石钻进对冲洗液的性能要求更加苛刻。绳索取心钻杆与孔壁之间、内管与外管之间,环状间隙小,冲洗液性能不好会导致泵压升高、憋泵、循环漏失,甚至造成提钻抽垮钻孔等,且钻杆高速旋转可导

致岩粉及冲洗液固相在钻杆内壁结垢,妨碍打捞岩心,甚至造成内管打捞不上来,严重影响钻进效率。绳索取心金刚石钻进要求使用清水或低固相润滑冲洗液。

配制冲洗液主要材料有:膨润土、火碱、羧甲基纤维素(高粘)、高效防塌剂、堵漏剂、护壁剂、高效润滑剂、聚丙烯酰胺等。

在钻孔上部,主要为安山岩和角闪片麻岩,岩层相对较完整,使用清水钻进,随着孔深增加,可使用无固相冲洗液,以增强冲洗液的润滑及携带岩粉性能,冲洗液配比为:清水+0.4% 06型高效润滑剂+0.3% PAM(1200万)+0.3%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 。

该冲洗液加入 PAM 主要是增大粘度提高携带岩粉能力,加入 06 型高效润滑剂主要起润滑作用。

在破碎地层,主要是含有夹层泥地层,冲洗液失水量大,夹层泥吸水膨胀,造成钻孔缩径,隐患非常多,容易引起钻杆断裂及埋钻等孔内事故,遇到此地层,要及时调整冲洗液性能。要求降低冲洗液失水量,且携带岩粉能力强,有高效润滑作用,冲洗液配比为:1% 钠基膨润土+1% 护壁剂+0.4% 06 型高效润滑剂+0.4% 高粘 CMC+0.5% 防塌剂。

冲洗液性能:粘度 22~24 s,密度 1.02~1.04  $\text{g}/\text{cm}^3$ ,失水量  $\geq 6 \text{ mL}/30 \text{ min}$ ,pH 值 8~9,泥皮厚度  $< 0.5 \text{ mm}$ 。

该冲洗液失水量小,能更好地在孔壁形成薄而韧的泥皮,有效抑制夹层泥水化膨胀,预防孔壁的坍塌,而且具较强的悬浮力和携带性,能有效清洁孔底,并具备随钻堵漏及润滑功能。

### 3.8 金刚石钻头的选择

开孔钻进岩石相对破碎,选用胎体硬度 HRC36 的  $\text{Ø}113 \text{ mm}$  钻头;绳索取心钻进在岩层破碎时选择胎体硬度 HRC30~36 钻头,完整岩层选用胎体硬度 HRC12~15 钻头。钻头外径一般为 77 mm,增大钻具与孔壁之间的空隙,以便更好地携带岩粉,减少孔内事故。

### 3.9 ZKX0508 孔施工成果

通过施工硐室的设计完善,保证了钻探施工安全顺利进行。通过钻探工艺的优化组合,不仅提高了钻探效率,降低了施工成本,减少了施工事故,而且充分保证了钻孔质量,为今后相似钻孔的施工提供了技术参考。该钻孔施工历时 25 d,终孔深度 591.77 m,无论钻孔顶角和方位角都符合设计要求。

平均时效 2.66 m,台月进尺 709 m,岩矿心采取率达 99%。

### 3.10 本矿区常见钻探事故及预防

由于该矿区地下水丰富,许多钻孔存在涌水现象,如果不进行处理,冲洗液不能充分冷却钻头,就会出现烧钻事故、钻杆折断脱落事故、钻头掉块脱落事故;在蚀变带地层,有时会出现夹层,该岩层易风化,遇水膨胀,处理不及时会造成夹钻、埋钻事故;大顶角钻孔施工,不仅钻具磨损大,而且内管不易投放到位,不采取相应措施,会出现断钻杆、岩心打捞不上来等事故问题。钻探事故不仅影响钻探效率、延长施工时间,而且主要是降低施工效益、加大施工成本,因而要加强管理,采取必要的预防措施。

(1)施工前详细了解相关地质情况,确定合理的钻孔结构;

(2)加强施工人员责任意识,提高施工人员技术能力;

(3)严格执行钻探技术操作规程及交接班制度;

(4)加强管理,严禁设备、钻具带病工作,钻杆磨损超标不得使用;

(5)遇异常情况,及时停钻,采取必要的消除措施,避免盲目钻进。

## 4 坑道内钻探施工安全措施

坑道内钻探施工空间狭小,交通不便,救生困难,发生人身伤亡事故,很难得到及时救治,必须采取最大限度的安全措施。

(1)安全教育制度:对施工人员进行安全知识、安全规范及规章制度教育,加强其自救及逃生能力。

(2)进出登记制度:施工人员严格遵守矿区安全管理规定,进出坑道进行登记。

(3)摸排风险制度:进入施工硐室,对硐室内围岩及时检查,排除危石。

(4)安全用电制度:实行“一机一闸一漏电保护”及安全电压照明。

(5)安全通风制度:安装排风机,加强空气流通,以避免产生闭气现象和降低硐室内温度。

(6)安全运输制度:专人操作机电车,对较长钻具,必须俩人抬,禁止一人肩扛。

(7)设安全员制度:一个机台配置一个专兼职安全员,负责安全检查和监督。

(8) 定期检查制度:经营安全科定期对施工钻机安全检查,发现并排除安全隐患。

## 5 结语

本矿区钻探施工主要存在硐室内施工安全隐患及坑道内钻探施工工艺技术欠缺,通过参考类似矿区的施工经验及本矿区的施工总结,经过近几年的实践,无论在硐室设计和分支孔钻探工艺技术都越来越成熟。目前本矿区坑道内钻探所占比例越来越大,钻孔也越来越深,不仅节省了大量的施工成本,提高了钻孔施工质量,减少了钻探设备搬迁,节省了钻探工作量,而且还减少了水土、森林破坏,保护了生态环境,还提高了经济效益,对今后同类矿区钻探施工有很好的借鉴作用。

## 参考文献:

- [1] 莫志雄. 有色金属矿山坑道钻探应用分析[J]. 矿山地质, 1993, (4): 203-210.
- [2] 姜桂春. 聚丙烯酰胺无固相冲洗液在复杂地层中的应用研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2015, 42(1): 34-37.
- [3] 王聪, 孙孝刚. 无固相冲洗液在深溪锰矿施工中的应用[J]. 探

矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(3): 25-28, 32.

- [4] DZ/T 0227—2010, 地质岩心钻探规程[S].
- [5] 胡郁乐, 张绍和. 钻探事故预防与处理知识问答[M]. 湖南长沙: 中南大学出版社, 2010.
- [6] 王达, 何远信. 地质钻探手册[M]. 湖南长沙: 中南大学出版社.
- [7] 闵东. 坑道钻探中中深斜孔施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(8): 12-15.
- [8] 盛光业. 矿区坑道安全支护[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007, (S1).
- [9] 时志兴, 翟东旭, 王江平. 大顶角深孔钻探技术研讨[C]// 第十八届全国探矿工程(岩土钻掘工程)技术学术交流年会论文集. 北京: 地质出版社, 2015: 284-287.
- [10] 曹函, 张绍和. 钻探工艺知识问答[M]. 湖南长沙: 中南大学出版社, 2014.
- [11] 时志兴. 洛宁程家沟-沙沟中深斜孔钻探技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(9): 9-13.
- [12] 宋端正. 甘肃西和大桥金矿区复杂地层钻探技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(1): 44-46.
- [13] 孙宗席. 甘肃文县阳山矿区复杂地层用冲洗液研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(12): 32-35.
- [14] 李振学, 孙建刚, 汤玉才. 小秦岭深部探矿项目某标段钻探施工方法探讨[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(7): 14-16.
- [15] 刘锡金. 陈台沟铁矿复杂地层深孔钻探技术研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(10): 41-44.

## (上接第38页)

造斜钻头非最佳、造斜效率有待提高等问题,还需要在今后的学习和实践中不断的总结和探索。

## 参考文献:

- [1] 刘励慎. 用螺杆钻进行受控定向钻探取得重大效果[J]. 探矿工程, 1991, (6): 10-13.
- [2] 王政先. 堵漏及封孔替浆量计算问题的商榷[J]. 探矿工程, 1990, (6): 8-9.
- [3] 张文英, 刘卫东, 赵燕来, 等. 若尔盖铀矿区复杂易斜地层定向分支钻孔施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(8): 22-24.
- [4] 吴金生, 宋军, 尤建武, 等. 汶川地震断裂带科学钻探一号孔(WFSD-1)定向钻进技术的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(12): 20-22.
- [5] 赵均文, 于志坚, 邢运涛, 等. 承德黑山矿区钻孔纠斜技术及防斜技术措施[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(5): 17-21.
- [6] 赵宪富, 姜立新, 路秀峰, 等. 螺杆钻定向钻探技术在某金矿区

的应用[J]. 探矿工程, 1992, (6): 44-45.

- [7] 朱永宜. 应用螺杆钻施工受控定向孔的实践[J]. 探矿工程, 1990, (6): 33-37.
- [8] 周铁芳, 阳东升. 螺杆钻定向钻探技术研究与应用[J]. 探矿工程, 1996, (4): 53-55.
- [9] 郑思光, 赵志杰, 李志强, 等. 司家营铁矿中深孔复杂地层岩心钻探施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(2): 24-26.
- [10] 李炳平, 叶成明, 李小杰, 等. 水平定向钻进技术在浅层低渗透性含水层地下水开采中的试验研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(10): 65-69.
- [11] 黄忠高, 李志强, 潘海迪, 等. 江西省浮梁县朱溪矿区 ZK5407 深孔螺杆定向纠斜施工工艺技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2015, 42(8): 43-48, 54.
- [12] 刘志强, 童军兵, 谢宏军, 等. 黑龙江金厂矿区定向分支孔施工实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(1): 17-20.
- [13] 刘治. LZ-73型连续造斜器在兰陵铁矿勘查中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(4): 13-16.
- [14] 陈昌富. 小口径螺杆钻具马达模糊优化设计法[J]. 探矿工程, 1998, (1): 36-38.