

# 河北省古马铁矿深孔岩心钻探施工技术

董国明, 郑思光, 赵志杰

(河北省地质矿产勘查开发局第二地质大队, 河北唐山 063000)

**摘要:**河北省滦县古马铁矿矿区地层复杂, 钻探存在坚硬打滑、漏失严重、构造发育(局部断层)的现象, 在总结以往钻探施工经验的基础上, 提出了千米以深钻孔复杂地层的钻探施工技术措施和钻探施工质量保证措施。从钻孔结构、冲洗液选取、钻探设备、钻具配置等方面入手, 提出了解决坚硬“打滑”、破碎漏失及坍塌掉块地层的处理方法, 优化了钻孔施工环境和广谱护壁剂、防塌堵漏剂以及聚丙烯酰胺冲洗液的配置, 改善了复杂地层的深孔钻进环境, 提高了钻探生产效率, 保证了钻孔安全终孔。

**关键词:**深孔钻探; 绳索取心液动锤; 冲洗液; 钻进参数; 钻探效率; 古马铁矿

中图分类号: P634 文献标识码: A 文章编号: 1672-7428(2015)05-0026-05

**Construction Technology of Deep Hole Core Drilling in Kumar Iron Mine of Hebei Province/DONG Guo-ming, ZHENG Si-guang, ZHAO Zhi-jie** (No.2 Geological Brigade, Hebei Bureau of Geology and Mineral Exploration, Tangshan Hebei 063000, China)

**Abstract:** The formation is complex in Kumar iron mine in Luanxian of Hebei Province, hard and slipping, severe leakage and tectonic development (partial fault) are often met during drilling. Based on the previous drilling experience, drilling technical measures and drilling construction quality assurance measures were put forward to deep drilling in complex strata of more than 1000m. From aspects of the hole structure, flushing fluid selection, drilling equipment and drilling tool configuration, the processing methods for solving the problems in hard and slipping, broken and leakage as well as collapse blocking formations were put forward, by which the drilling construction environment, the preparation of broad-spectrum retaining agent, anti caving plugging agent and polyacrylamide flushing fluid were improved with higher drilling efficiency and safe well completion.

**Key words:** deep hole drilling; wire-line coring hydro hammer; drilling fluid; drilling parameter; drilling efficiency; Kumar iron mine

## 1 概况

### 1.1 矿区

河北省滦县古马铁矿矿区于河北省冀东平原的滦县古马镇境内, 矿区内村庄较多, 人口较稠密, 以农业生产为主, 工业不甚活跃, 交通较发达, 滦古路(滦县—古冶)公路、何(何庄)茨(茨榆坨)公路横贯矿区, 出行相对方便。矿区为古滦河冲洪积扇地区, 地下水位埋藏较浅、水量较大, 施工和生活用水较方便, 但近年受干旱及人为开采地下水的影响, 水位下降较快。古马铁矿异常验证工作早在20世纪70年代, 经过地质勘探技术人员大量辛勤工作对其进行了验证, 但局限当时的勘探技术水平, 未能穿透上部巨厚盖层。2010年我队经过认真梳理前人的

航磁异常及勘探揭露地层情况, 认为该异常就是铁矿引起的, 可能埋藏较深, 于是同年进行航磁异常深部验证工作立项施工, 通过深部验证发现了1200 m以深厚度超30 m的巨大矿体, 并初步掌握了地层情况, 为后面的深部普查找矿奠定了坚实的基础; 结合以往地质资料及深部异常验证钻孔资料, 我队2012年开始, 对该矿区深部投入了大量的人力物力进行地质勘探找矿普查(续作)工作, 投入续作钻探工作量12340 m, 设计钻孔深度主要在1100~1700 m, 平均孔深在1370 m左右, 设计倾角85°~90°, 通过对该矿区的深部找矿勘探, 为河北省再次提交一处大中型矿山提供了强有力的资源保障。

### 1.2 区域地质概述

收稿日期: 2014-12-27; 修回日期: 2015-05-06

基金项目: 河北省国土资源厅2012年度地勘专项预算项目“河北省滦县古马铁矿普查(续作)”(编号:冀国土资勘便字[2012]036号)

作者简介: 董国明, 男, 汉族, 1974年生, 副队长, 高级工程师, 工程硕士, 从事探矿工程及水工环地质技术研究和管理工作。

通讯作者: 郑思光, 男, 汉族, 1980年生, 岩土工程处处长, 工程师, 长期从事探矿工程及水工环地质技术研究和管理工作, 河北省唐山市北新西道157号, siguang103@163.com。

矿区大地构造位置处于马兰峪复式背斜与山海关台拱交界处,冀东司(家营)马(城)长(凝)铁矿成矿带的西部。区域上大面积第四系覆盖,周边出露零星残山,出露基岩岩性为盖层的长城系、蓟县系石英砂岩和白云岩及基底的太古界变质岩。基底地层属太古界单塔子群(司家营勘探报告定为滦县群),为一套绿帘角闪岩相的中等变质程度的变质岩。该层位是冀东地区铁矿的主要赋矿层位之一。基底构造以北北西向的断裂构造为主,褶皱构造不明显,总体地层产状西倾。岩浆岩以各类脉岩为主。本区域混合岩化作用强烈,混合花岗岩、混合岩大面积分布,成为太古界基底的主体。

### 1.3 地质特征简述

#### 1.3.1 地层

矿区内全部被第四系覆盖。根据 ZK0-1 钻孔揭露,第四系厚度为 141.20 m,以冲洪积物为主。表层为耕土,以深依次为粉质粘土、含砾粗砂、粉细砂、粘土粗砂、细砂、粉土等。第四系下覆地层为太古界单塔子群地层(Ardn),岩性主要为片麻状混合岩、条带状混合岩、均质混合岩夹磁铁石英岩和石榴黑云变粒岩等。多见伟晶岩脉穿插。

#### 1.3.2 构造

根据钻孔揭露情况和磁异常特征,矿区岩层总体走向北北西、倾向 240°左右,倾角 45°左右,呈单斜产出。施工钻孔内未见明显的断裂构造特征,但根据区域资料推测,沙窝铺—李夏庄区域性断裂在矿区东部通过。

#### 1.3.3 岩浆岩

钻孔中见少量伟晶岩脉,一般为顺层产出,未见破坏矿体现象。岩脉厚度一般 1~5 m,最大 9.74 m。根据颜色和矿物成分的差异,可分为灰白色伟晶岩和红色伟晶岩。后者为晚期形成,穿插前者。

### 1.4 施工难点

(1) 第四系较厚和上部风化岩层较厚(150~180 m)且结构松散,胶结性差,钻进中易发生垮塌、埋钻、挤钻等事故;

(2) 矿区断裂构造比较发育,存在断裂破碎带较多,局部存在较大断层,易发生坍塌、掉块、漏失等严重现象;

(3) 矿层上部普遍存在坚硬“打滑”地层,一般厚度 260~450 m 不等,裂隙较发育,钻进困难,施工进尺较慢,属典型的硬、脆、碎地层。

(4) 个别钻孔存在空洞现象(如 ZK4-1 孔,厚 0.6 m 左右),该部位经常出现卡钻现象。

## 2 钻探技术要求

本次施工钻孔均为矿产地质钻探。钻孔施工除严格执行《岩心钻探规程》(DZ/T 0227—2010)标准之外,特别强调以下技术要求。

(1) 本次设计钻孔均为 1000 m 以深的深孔,钻探施工时要严格控制孔斜,要求钻孔出矿位置偏线距不能大于勘探线间距的 1/5(即 80 m)。通常情况下,直孔顶角偏斜  $\geq 2^\circ/100$  m,斜孔顶角偏斜  $\geq 3^\circ/100$  m,测量间距一般为 100 m。当出现顶角超出允许值时将测量间距缩短为 50 m。下套管后必须测斜,如出现偏斜需进行纠正。

(2) 第四系不要求全部取心,但为确定基岩面位置和第四系含水层、隔水层分布情况,要求钻机在班报中记录钻探感觉分层位置及岩性,并要求孔深 135 m(进入基岩面上部的隔水层)后开始取心。

(3) 除非特殊情况,要求岩心直径  $\leq 46$  mm。如因孔内事故确需变径的,必须经由地质人员批准。

(4) 钻孔基岩段全孔水泥封孔,第四系底部 10 m 范围粘土封孔。

(5) 厚大矿体( $\geq 10$  m),在进矿的第一回次和出矿的第一回次丈量孔深和偏斜度;薄矿体在进矿的第一回次丈量。

(6) 对进行井中磁测的钻孔,要求过矿深度 30 m,以保证磁测井曲线穿过矿体后进入正常场。

## 3 主要钻探器具的选择与配置

根据该钻探项目的设计工作量较大(9 孔,12340 m)、钻孔设计深度较深(1100~1700 m)和地层较为复杂(漏失、断层、坚硬打滑等)等情况,为保证施工工期,提高钻探施工质量,施工设备主要选用 CSD1800A(1700 m)型液压地表钻机 1 台、XY-44 型(1400 m)钻机 1 台、XY-5 型(1500 m)钻机 1 台、XY-6B 型(2200 m)钻机 2 台、BW300/12 型泥浆泵 4 台、BW320 型泥浆泵 1 台、SG-23、SG-18 型四角塔各 1 部,SGX-17 型四角塔 3 部,JSJ 型绳索取心绞车 5 台(1500 型 2 台,2000 型 2 台),30 kW 发电机机组 2 台套(照明或抽水)。

钻杆:综合该矿区地层及孔深设计情况,为了既能加大钻杆与孔壁的间隙,又能满足深孔钻进的安

全和坚硬打滑地层的高效施工需要,减少复杂地层事故率,上部地层采用 $\varnothing 89$  mm 绳索钻杆,深部地层钻进采用缴粗加厚型 $\varnothing 71$  mm(接手缴粗至74 mm)绳索取心钻杆。 $\varnothing 89$  mm 绳索钻杆500 m, $\varnothing 71$  mm 缴粗热处理型绳索取心钻杆8000 m。

套管: $\varnothing 146$  mm 套管250 m, $\varnothing 108$  mm 套管1000 m, $\varnothing 89$  mm 套管1500 m;

钻具:开孔钻具为 $\varnothing 150$  mm 单管钻具10套(0.5 m),长钻具为 $\varnothing 150$ 、108、91 mm 单管钻具(4.5 m)各10套; $\varnothing 95$ 、76 mm 绳索取心钻具、SYZX75+1(76)型绳索取心液动锤钻具共20套。

#### 4 钻孔结构的优化设计

根据古马矿区区域地质构造、地层结构、岩石性质以及矿区以往钻探经验看,该矿区地层结构复杂,第四系覆盖层较厚,并有较厚的砂卵石层,结构性断裂构造比较发育,存在断裂破碎带较多,局部存在断层泥,为了解决松散、破碎、掉块、漏失、坚硬“打滑”等复杂地层的钻进问题,快速穿过第四系厚覆盖层及局部破碎岩石层,减少钻进过程中孔壁裸露时间,保证钻探施工的正常进行,设计如下钻孔结构。

开孔采用 $\varnothing 150$  mm 硬质合金钻头,钻进50 m左右下入 $\varnothing 146$  mm 技术套管,封住表层及松散的砂土和部分卵砾石地层;为避免因硬质合金钻头与孔口管的摩擦而损坏 $\varnothing 146$  mm 套管,直接采用 $\varnothing 110$  mm 硬质合金或复合片取心钻头钻进,待穿过砂(卵)石、粘土层及风化岩层0.5~1.0 m后,下入 $\varnothing 108$  mm 套管至完整基岩上;再改用 $\varnothing 96$  mm 绳索取心钻具+金刚石钻头钻进至完整基岩50~500 m(一般钻进完整基岩50~100 m即可,1500~1700 m深孔钻进基岩厚度300~500 m),然后下入 $\varnothing 89$  mm 技术套管(反丝套管)(中间保留 $\varnothing 130$  mm 口径,为钻进中可能出现的特殊情况预留一级空间);最后采用 $\varnothing 77$  mm 绳索取心钻具及SYZX75+2(77)型绳索取心液动锤钻具钻进至终孔。

### 5 钻探施工技术

#### 5.1 砂卵石地层钻进及护壁防塌技术

依据以往的地质资料及地质技术要求(预计地层柱状图),古马矿区第四系覆盖层主要为砂(卵)石层,局部是卵石粒径 $>100$  mm,该层含水量较大,成孔进尺较困难,砂卵石层又容易孔壁坍塌或出现

“冒头”(俗称探头石)现象,因此,砂卵石地层钻探施工时首先必须解决钻孔坍塌的问题,于是,根据我队40多年在该地区第四系覆盖层(尤其砂卵石地层)施工的经验,我们首先制定了较为详细的施工方案,并调配了粘度较高的固相泥浆(10%~15% 钠基膨润土+0.3%~0.5% 火碱+2% 广谱护壁剂+水),以提高泥浆粘度,形成致密泥浆,确保孔壁的稳定。当钻进至砂(卵)石较厚地层时,每方泥浆中需加入钠羧甲基纤维素2~3 kg,通过施工中的不断调配摸索,比较顺利地通过砂卵石覆盖层,确保 $\varnothing 146$ 、108 mm 套管的顺利下入,实现钻孔施工的优质、高效。

砂卵石地层钻探施工采用硬质合金钻头(或复合片钻头),必须控制钻头压力,提高泵量,降低转速,也即我们常说的“轻压、低转、高泵量”,一般硬质合金(或复合片)钻头钻进技术参数如下。

(1) 钻头压力:卵石层钻进时每粒合金压力控制在55 kg以内;

(2) 转速:砂卵石层一般控制在150~300 r/min;

(3) 泵量:一般均 $>80$  L/min。

在该矿区施工的9个钻孔中,通过上述泥浆配置方法,并控制钻头压力、提高泵量、降低转速等方法,基本实现了钻进过程中的“零事故”,同时也为后期钻孔在深厚砂卵石地层施工中总结了宝贵的经验。

#### 5.2 全—强风化破碎地层钻进技术

根据全风化、强风化地层的特点以及地质设计技术要求,强—弱风化基岩要采取岩心,且岩心采取率 $\leq 70\%$ 。钻进全风化、强风化地层时采用 $\varnothing 95$  mm 复合片钻头或金刚石取心钻头,因为风化层的水敏性较强,遇水极易塌孔,且局部还存在缩径现象,所以在钻进该层时的困难可想而知,最终我们根据以往经验并结合该地层的特性,决定采用低固相泥浆钻进的方法有效地解决了塌孔和取心的难题。钻进技术参数:钻头压力控制在5.5~6.5 kN,转速控制在250~450 r/min,泵量调整到80~120 L/min。

具体的低固相泥浆配比如下:1 m<sup>3</sup>水+100 kg左右的钠基膨润土+2~3 kg的聚丙烯酰胺(1200万)+15~20 kg的广谱护壁剂+0.5% 钠羧甲基纤维素。泥浆性能基本达到:粘度20~25 s,密度1.16

~1.21 g/cm<sup>3</sup>,失水量5~6 mL/30 min。通过采用该泥浆配比,基本保证了钻进效率和钻探技术质量。

另外,选择高效长寿命复合片钻头、勤提钻取心、适度加入润滑剂并配合使用三层管钻具保护岩心等技术措施,以及钻进操作过程中的稳健操作、平稳进尺,也是获得全一强风化层高效率、高质量钻进施工的前提和保障。

### 5.3 基岩地层(含矿层)段绳索液动冲击锤取心钻进技术

#### 5.3.1 原理与特点

从SYZX75(76)型绳索取心液动锤的工作原理以及我队曾经的使用经验可知,在钻进过程中,采用绳索取心液动锤钻进可起到防止孔斜超标,达到最大程度的保直钻进,钻进效率、钻探质量也优于普通绳索取心钻进。尤其当发生岩心堵塞时传动环上移,直接冲击岩心内管,能有效消除堵塞的岩心,从而提高回次进尺长度。在坚硬“打滑”地层钻进过程中,尤其能发挥其优越的切削岩石冲击力,从而加速实现进尺,提高钻进效率。

#### 5.3.2 性能参数

钻头外径76 mm,钻具外径73 mm,冲击锤最大行程25 mm,最大自由行程10 mm,钻进工作泵压0.5~2.0 MPa,冲击频率25~40 Hz,质量约75 kg,冲洗液一般要求采用清水或无固相或低固相冲洗液,转速要求较高(一般为500~700 r/min),钻压一般比普通绳索取心钻进低一些,泵量一般要求为尽可能的较高值(如完整基岩<90 L/min),泵压一般控制在2~4 MPa。

#### 5.3.3 冲洗液的配置和应用

在应用SYZX75(76)型绳索取心液动锤取心钻进中,应尽量采用清水或无固相冲洗液,尽可能地避免钻杆、钻具和液动锤内壁结垢。在古马矿区大部分完整地层采用了无固相的冲洗液,但在破碎、坍塌、掉块等复杂地层中采用了低固相的冲洗液。

无固相冲洗液配置及效果:1 m<sup>3</sup>水+0.3~0.7 kg水解聚丙烯酰胺+1%~2%广谱护壁剂(GSP)+切削膏(可视润滑效果确定,一般每次加2~3.5 kg)。该矿区基岩地层大部分较为稳定单一且完整,同时极大地提高了钻探进尺效率,粗略计算平均提高了50%以上。

复杂地层钻进时无固相冲洗液配置及效果:1 m<sup>3</sup>水+0.3~0.7 kg水解聚丙烯酰胺+1.5%~3.0%广谱护壁剂(GSP)+0.3%~0.5%钠基纤维素(Na-CMC),地层严重破碎时,加适量的低效增粘粉(LBM-1),若遇漏失地层时,采用添加一定比例高效失水堵漏剂,即随钻随加,适漏失量而定。在破碎地层和漏失严重地层,通过选用低固相冲洗液,保证了孔壁的稳定,降低了漏失量,提高了回次进尺长度,减少了提钻次数,充分发挥了液动锤的技术优点,降低了劳动强度。

#### 5.3.4 钻头、扩孔器的选择和应用

针对不同岩石完整性挑选和配置钻头、扩孔器。完整岩石钻进时,选择高胎体阶梯型金刚石钻头和超耐磨型烧结扩孔器,出现坚硬“打滑”地层时,换成低硬度的锯齿状金刚石,能保证少提钻、多进尺、保孔径的效果;破碎、漏失严重地层,采用了高硬度高胎体耐磨性圆弧形钻头和多层聚晶强耐磨性的C级烧结扩孔器,减少了提钻次数,保证了回次进尺长度和液动锤特点的充分发挥,提高了钻进效率。

#### 5.3.5 经济技术指标

与同矿区以往施工和不同孔段的普通绳索取心钻进相比,采用绳索取心液动锤施工,钻探时效平均提高了51%,台月效率提高了68.4%,岩心采取率达到了99.3%~100%,钻头寿命延长了33.5%,初步估算钻探直接成本下降约27%,降低了孔内事故率,同时,困扰我们多年的钻孔偏斜度也得到了很好的控制。见表1。

表1 绳索取心液动锤钻进与普通绳索取心钻进效果对比

岩石名称	孔号	施工工艺	完成进尺/ m	机械钻速/ (m·h <sup>-1</sup> )	回次长度/ m	岩心采取 率/%	纯钻时间 利用率/%	台月效率/ m	最高钻头 寿命/m
片麻状混合岩、条带状混合岩、均质混合岩夹磁铁	ZK7-2	绳冲	1492.05	5.1	3.0	100	53	850.00	185
石英岩和石榴黑云变粒岩等,多见伟晶岩脉穿插	ZK4-1	绳冲	1378.63	5.3	3.0	100	56	1006.23	210
	ZK11-1	绳冲	1320.07	5.1	3.0	100	51	820.00	180
	ZK0-2	绳取	1250.01	2.5	2.0	90	40	450.00	150

注:ZK7-2孔终孔深1647.95 m,Ø89 mm套管下155 m;ZK4-1孔终孔深1548.63 m,Ø89 mm套管下170 m;ZK11-1孔终孔深1470.07 m,Ø89 mm套管下150 m;ZK0-2孔终孔深1420.01 m,下Ø89 mm套管170 m。

在滦县古马铁矿钻探施工中,通过应用 SYZX75 (77) 绳索取心液动锤钻进技术,我们共施工完成了 9 个千米以深的钻孔,最深钻孔为 1648 m (87°),完成钻探工作量 12340 m,钻进时效平均达到 2.26 m,最高台月效率 1006.23 m (此为我队历史上单机最高纪录)。

## 6 结语

通过滦县古马铁矿深孔钻探的施工实践,并经多个钻孔的实验表明,科学的施工方法、先进的施工工艺与技术、新材料、新设备的试验应用,对将来深孔、超深孔的钻探施工将会起到决定性的影响。

(1) 深斜钻孔的施工,首先必须确定技术方案,提前充分考虑可能遇见的各种不利因素,做好应对措施,制定施工应急预案。

(2) 深厚第四纪覆盖层地区钻进施工深斜钻孔时,一定要规划好钻孔成孔结构,备足各种施工管材和泥浆材料。

(3) 针对深斜孔钻进施工,合理选择使用高效的金刚石钻头和扩孔器、优化配置泥浆冲洗液是关系到整个钻孔成功与否的前提。

(4) 深孔钻孔施工设备和工艺的合理应用(如

绳索取心液动锤钻具),充分发挥新工艺、新方法、新设备的最优性能,是提高施工效率和检验效果的直接手段,先进的科学的施工工艺能大大降低事故发生率,降低施工成本。

## 参考文献:

- [1] 石立明. 复杂地层岩心钻探综合治理技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008, 35(2): 12-14.
- [2] 孙丙伦, 陈师逊, 陶士先. 复杂地层深孔钻探泥浆护壁技术探讨和实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008, 35(5): 13-16.
- [3] 张元清, 宋健. 长白矿区复杂地层多金属矿深孔施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(12): 13-16.
- [4] 胡成涛, 郑门关, 周红心, 等. 湖北磷矿复杂地层深孔钻探施工工艺[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(11): 19-21.
- [5] 曾石友. 嵩县多金属矿区复杂地层岩心钻探施工综合技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(11): 16-18.
- [6] 杨宽才, 田敏, 曾石友, 等. 绳索取心液动潜孔锤钻进技术在小秦岭矿区的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(2): 40-43.
- [7] 陈显, 韩栋材, 靳二举, 等. 绳索取心液动潜孔锤钻进技术在利比里亚邦山铁矿详查中的应用与探索[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(2): 44-46.
- [8] 郑思光, 刘继东. 内蒙古曹四夭钼矿复杂地层深孔钻探技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(5): 17-22.

(上接第 25 页)

冲击力  $f$  与作用时间  $t$ 、孔深  $h$ 、钻杆自重  $G$ 、钻孔倾斜角度、提升高度有关。孔深  $h$  愈深钻杆自重  $G$  愈大, 钻孔倾斜角度愈小, 提上高度愈高, 下降速度愈快(作用时间  $t$  愈短), 冲击力  $f$  愈大。ZK6004 孔处理事故时孔深 810 m, 孔斜 72° 上提  $\varnothing 71$  mm 钻杆仅为 30 cm。冲砸事故点一定要考虑钻头底唇面的最大承载能力, 以及影响作用力  $f$  大小的各种因素, 控制好提升高度, 象捣蒜一样少提多砸几次。

(3) ZK6004 孔是全漏失钻孔, 堵漏无效, 顶漏钻进出现 2 次烧钻事故, 根据不同情况分别采用了掏眼法和冲砸法进行事故处理。成功地处理了 2 次烧钻事故, 大大缩短事故处理时间, 节省了大量物力人力。

## 参考文献:

- [1] 李振学. 南坪矿区复杂地层深孔钻进技术研究[J]. 探矿工程

(岩土钻掘工程), 2010, 37(11): 12-15.

- [2] 徐爱臣. 大规模钻探施工组织管理若干问题与对策[J]. 探矿工程(岩土掘进工程), 2012, 39(4): 80-82.
- [3] 孙炳伦, 陈师逊, 陶士先. 复杂地层深孔钻探泥浆护壁技术探讨和实践[J]. 探矿工程(岩土掘进工程), 2008, 35(5): 13-16.
- [4] 翟东旭. 豫东地区中深孔厚覆盖地层钻探套管护壁和泥浆护壁效果对比[J]. 探矿工程(岩土掘进工程), 2013, 40(8): 6-9, 17.
- [5] 郑思光, 赵志杰, 左新明. 查干德尔钼矿复杂地层钻探技术探讨与实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(5): 31-33, 64.
- [6] 王达, 何远信, 等. 地质钻探手册[M]. 湖南长沙: 中南大学出版社, 2013.
- [7] 熊钟, 罗晓斌. 小口径金刚石深孔钻进烧钻事故的分析研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(22): 345-347.
- [8] 时志兴, 贾有金. 烧钻事故的预防与处理措施[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(3): 40-42.
- [9] 刘克林. 浅析烧钻事故的发生及处理[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(5): 32-33, 36.