

# 曹四夭钼矿大口径水文地质孔施工工艺

王洪涛

(华北地质勘查局五一四地质大队,河北承德 067000)

**摘要:**在曹四夭钼矿 3 个大口径水文地质孔的施工中,解决了上部大口径施工完成后要变径应用常规岩心钻探正常钻进的问题;大口径施工过程中保证钻孔垂直度的问题;在水文地质孔施工中禁止使用高分子护壁堵漏材料情况下,保证钻孔顺利施工到设计深度的问题等。介绍了针对这些问题的技术措施。

**关键词:**大口径水文地质孔;钻孔结构;多级套管;导正保直钻进;CO<sub>2</sub>洗井

**中图分类号:** P634 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2015)05-0035-05

**Construction Technology of Large Diameter Hydrogeology Holes in Caosiyao Molybdenum Mine/WANG Hong-tao**  
(No. 514 Geological Party of North China Bureau of Geology for Metal Resources Exploration, Chengde Hebei 067000, China)

**Abstract:** In the construction of 3 large diameter hydrogeology holes in Caosiyao molybdenum mine, normal construction by conventional core drilling with reducing diameters after upper large diameter drilling, borehole verticality ensuring in the large diameter hole construction and the borehole of designed depth being smoothly completed with prohibition of polymer plugging material in hydrogeology hole construction were all realized. The paper introduces the related technical measures.

**Key words:** large hydrogeology hole; borehole structure; multi-stage casing; straight-keeping drilling; well cleanout with CO<sub>2</sub>

## 1 矿区概况

曹四夭钼矿详查为内蒙古乌兰察布市 2012 年度第一批矿产勘查项目,由河南省地质矿产勘查开发局第二地质勘查队承担。我从普查阶段就参与钻探施工工作,共施工钻孔 6 个,最深孔 1100 m。本次水文地质孔施工共设计 2 个水文孔,1 个观测孔,设计工作量 1600 m。

勘查区位于后河水文地质单元的南部,地势东高西低,海拔高程最低 1249 m,最高 1415 m,相对高差 166 m,矿区东部属低山丘陵地貌,西部为山间冲积平原。勘查区内沟谷较发育,有利于地表径流的排泄。但无常年性流水,河流均为季节性河流。最低侵蚀基准点 1249 m<sup>[1]</sup>。

勘查区出露地层主要为中太古界集宁群黄土地窰岩组(Ar<sub>2</sub>h)、新生界古近系渐新统呼尔井组和乌兰戈楚组(E<sub>3</sub>wl+h)、新近系中新统老梁底组(N<sub>1</sub>l)、汉诺坝组(N<sub>1</sub>h)及上新统宝格达乌拉组(N<sub>2</sub>b),沿河谷低地发育第四系全新统冲积物(Qh<sup>al</sup>)。矿区基岩出露较少,大面积被新生界地层覆盖。地质工作条件

相对较好,对钻探施工的设备进出场、矿区内搬迁很便利。但是矿区构造以断裂构造为主,主要为北东向、北西向,共有 6 组断裂贯穿矿区。断层带内主要以碎裂岩为主,发育有构造泥砾岩、角砾岩、挤压片理化带,并充填有少斑花岗岩斑岩脉,普遍具硅化、高岭土化、褐铁矿化,花岗斑岩脉具辉钼矿化并且具强烈破碎现象,碎块大小为 1~10 cm。岩石受断层影响裂隙发育,裂隙密度 8~10 条/m,裂隙面粗糙,裂隙性质主要表现为张性,少数裂隙宽 0.5~5 cm,被石英不完全充填,形成直径 0.5~5 cm 不规则状石英晶洞<sup>[1,8]</sup>。整个矿区钻孔漏水现象普遍,还有部分涌水钻孔,比如 ZK0007 孔,深度 389 m 处涌水,涌水量 6.696 L/s。通常在 450 m 以深为完整岩石。总之以上诸多因素给钻探施工带来较大的难度。

## 2 施工任务

(1)在曹四夭断裂以西新生界覆盖区设计一个水文孔 ZK0819,设计孔深 240 m,对新近系中统汉诺坝组(N<sub>1</sub>h)玄武岩含水层和古近系渐新统呼尔井

收稿日期:2014-10-10;修回日期:2015-01-30

作者简介:王洪涛,男,汉族,1968 年生,总工工程师,探矿工程专业,从事岩心钻探、岩土工程等技术及施工管理工作,河北省承德市双桥区长安小区 1 号,1240495740@qq.com。

组和乌兰戈楚组( $E_3wl+h$ )砂砾岩含水层进行单孔稳定流抽水试验。

孔径及施工要求:依据钻孔设计和地层地质条件,ZK0819水文孔开孔孔径91 mm,一径到底。在测井工作结束后,孔内架桥,然后用 $\varnothing 254$  mm钻头扩孔至玄武岩顶部(预计孔深90.00 m)后,下入 $\varnothing 220$  mm套管,进行隔离止水,止水成功后,对新近系中统汉诺坝组( $N_1h$ )玄武岩含水层段进行抽水。抽水结束后,扩孔至中太古界集宁岩群黄土窑岩组( $Ar_2h$ )顶面(预计孔深240.00 m),终孔直径 $\leq 110$  mm。下套管对新近系中统汉诺坝组( $N_1h$ )玄武岩含水层段止水,止水成功后,对古近系渐新统呼尔井组和乌兰戈楚组( $E_3wl+h$ )砂砾岩含水层抽水。

(2)在建议钼矿勘探区横14线上设计一个水文孔,孔号ZK1402,做为主抽水孔,设计孔深800 m;在ZK1402孔北东方向垂直地下水流向30 m处设计一个观测孔,孔号GZK01,设计孔深500 m,对钼矿体基岩裂隙含水层进行多孔非稳定流抽水试验。

孔径及施工要求:依据钻孔设计和地层地质条件,ZK1402孔0~100 m孔径 $\leq 300$  mm,终孔孔径 $\leq 91$  mm。在测井工作结束后,根据水文地质编录和水文物探测井资料准确划分含水层,并确定主要含水层的厚度和位置。观测孔GZK01在抽水主孔ZK1402测井结束确定主要含水层位置后施工,开孔孔径110 mm,终孔孔径 $\leq 91$  mm,深度以揭露主要含水层为原则,设计深度500 m。成孔后对孔壁进行彻底清洗,使孔口返清水。

### 3 质量标准及技术要求

(1)抽水孔终孔孔径 $\leq 91$  mm,观测孔终孔孔径 $\leq 91$  mm。

(2)孔斜 $\geq 2^\circ/100$  m。

(3)孔深误差 $\geq 2\%$ 。

(4)洗井结束后的出水含砂量 $\geq 1/20000$ (体积比)。

(5)抽水试验段清水钻进。

(6)单层岩心采取率:基岩 $> 70\%$ ,破碎带 $> 60\%$ ,粘土 $> 70\%$ ,砂和砂砾层 $> 50\%$ 。

(7)简易水文地质观测:动水位观测,普钻要求每回次提钻后、下钻前各观测一次动水位,两次观测水位的时间差 $\leq 5$  min,绳索取心要求每起下大钻前

后各观测一次动水位,两次观测水位的时间差 $\leq 5$  min;每回次观测泥浆消耗量。

(8)止水检查:钻孔止水后应进行止水效果检验,不合格时应重新止水。止水检查方法有压差法、泵压法等。

(9)洗井质量检验标准:①洗井后通过两次简易抽水试验对比验证,单孔涌水量增大 $\geq 5\%$ ,动水位升降不超过水位下降值的1%;②断续大强度洗井,井水不出现混浊。试验结束前应采水质分析样。

(10)试验结束后应测量孔深,确定过滤器掩埋部分长度。淤砂部位应在过滤器有效长度以下,否则,试验应重新进行。

## 4 钻探技术及施工工艺

### 4.1 设备及工具的选择

为了满足大口径水文地质钻孔任务要求,本项目采用的主要钻进设备有HXY-6B、XY-5、XY-44型岩心钻机各1台和SPJ-300型水井钻机2台。配套的钻塔有SGZ-23、HCX-18、HCX-13型。配套的泥浆泵分别是BW-250型1台,BW-150型2台,水井钻机配1.5PN型泥浆泵2台。绞车规格为SJ-1500型1台,SJ-1000型2台。抽水试验采用2台深井潜水泵,分别为250QJ125-96/6和150QJ32-84/16型。QH-150型发电机组1台预防停电备用。金刚石绳索取心钻具采用唐山金石超硬材料有限公司生产的P1、H1钻具,钻杆两头带接头,主要参数见表1。配套的套管规格有 $\varnothing 139$  mm $\times 6.5$  mm、 $\varnothing 114$  mm $\times 6.5$  mm、 $\varnothing 108$  mm $\times 4.5$  mm。

表1 P1、H1钻具主要参数

钻具 型号	钻头	钻头	钻杆	钻杆	外管	外管	内管	内管
	内径/ mm	外径/ mm	内径/ mm	外径/ mm	内径/ mm	外径/ mm	内径/ mm	外径/ mm
P1	85.0	122	101.3	114	102.9	118	88.9	95.6
H1	63.5	95	77.8	89	78.0	92	67.0	73.0

### 4.2 钻孔结构设计<sup>[2]</sup>

根据地质全孔取心的设计要求,ZK0819和ZK1402两个水文孔分别先用XY-5、HXY-6B型岩心钻机,采用 $\varnothing 95$  mm绳索取心钻具进行取心钻进至设计孔深,然后用水灰比0.6的525号硅酸盐水泥扩孔灌孔后移开钻机。使用SPJ-300型水井钻机在原孔位重新开孔钻进,开孔直径400 mm,采用筒状硬质合金钻头。钻至完整岩石后换 $\varnothing 350$

mm 钢粒钻进,直至设计要求深度。ZK0819 孔 92 m, ZK1402 孔 100 m, 分别下入  $\text{Ø}220 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$  和  $\text{Ø}273 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$  套管。ZK0819 孔利用  $\text{Ø}150 \text{ mm}$  钻具钻进至 100 m 下入  $\text{Ø}139 \text{ mm}$  大管, 然后变径使用  $\text{Ø}122 \text{ mm}$  绳索取心钻具钻至终孔 287 m。ZK1402 孔利用  $\text{Ø}150 \text{ mm}$  导正钻具钻进至 110 m 下入  $\text{Ø}139 \text{ mm}$  大管, 然后变径使用  $\text{Ø}122 \text{ mm}$  绳索取心钻具钻至 486 m, 下入  $\text{Ø}114 \text{ mm} \times 6.5 \text{ mm}$  套管后再变径使用  $\text{Ø}95 \text{ mm}$  绳索取心钻具钻至终孔 800.4 m。GZK01 孔利用 XY-44 型钻机采用  $\text{Ø}110 \text{ mm}$  开孔钻至 90 m 遇到完整岩石, 下入  $\text{Ø}108 \text{ mm}$  套管后变径使用  $\text{Ø}95 \text{ mm}$  绳索取心钻具钻至终孔 500.2 m, 然后拔起套管进行洗井。ZK0819 孔和 ZK1402 孔钻孔结构示意图见图 1、图 2。

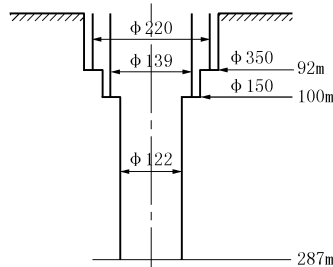


图1 ZK0819 钻孔结构及套管程序示意图

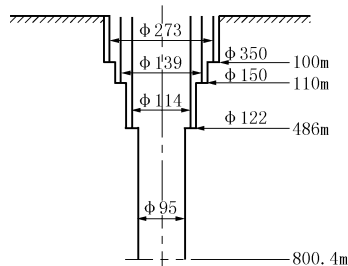


图2 ZK1402 钻孔结构及套管程序示意图

### 4.3 P1、H1 钻具钻进技术参数选择

在钻进技术参数选择方面, P1、H1 钻具与常规绳索取心钻具大同小异。但是由于水文地质孔施工的技术要求(开孔直径大, 变径次数多, 不允许使用高分子护壁堵漏材料)和地层原因(岩石节理发育, 硬脆, 上半部漏井不返水)及长距离的导正套管的不稳定因素致使工作时选择钻进参数钻压、转速、泵量需特别慎重。通过本项目施工得知, 钻进压力的选择要综合考虑钻进的孔径大小, 岩石的硬度、强度、研磨性、完整性及钻孔的结构情况。还要考虑采用的钻头的底唇面积都大于常规绳索取心钻头, 故

所需钻压也需相应加大, 一般需大于常规同类型钻头钻压的 20% 左右。转速的选择由于受长距离导正套管的不稳定因素制约, 即使遇到完整岩石、使用添加皂化油的冲洗液也不能开高转速, 比常规的要低一些。泵量的选择主要考虑钻头底唇面积大, 产生的岩粉多, 另一方面上半部地层漏失严重, 故泵量需比常规金刚石钻进的大些。总体来说: 钻压稍高, 转速稍低, 泵量稍大。具体数据见表 2。

表2 P1、H1 钻具钻进技术参数

钻头类型	钻具型号	钻进参数		
		钻压/kN	转速/(r·min <sup>-1</sup> )	泵量/(L·min <sup>-1</sup> )
孕镶金刚	P1	15~18	250~400	80~100
石钻头	H1	12~16	350~500	60~80

### 4.4 冲洗液的应用

根据项目的技术要求, 为了保证水文地质孔的出水量不受影响, 冲洗液中没有使用高分子护壁堵漏材料。上部完整地层和下入  $\text{Ø}114 \text{ mm}$  套管后采用清水 + 植物胶 + 皂化油(或废机油)。遇到漏失层采用顶漏钻进方法钻进。深部严重漏失段(即不返水段)为了保证钻进顺利进行采用泡沫泥浆, 从井口靠自流灌入钻杆与井壁之间, 起到润滑钻杆和井壁减小回转阻力的作用, 钻进采用清水顶漏钻进。泡沫泥浆为清水 + 优质膨润土 + 火碱 + 发泡剂 + 皂化油。具体加量为  $1 \text{ m}^3$  清水 + 5% 优质膨润土 + 火碱(土质量的 0.2%) + 0.1% 发泡剂 + 1% 皂化油。冲洗液的性能指标为: 密度  $< 1 \text{ g/cm}^3$ , 粘度 30 s, 失水量  $< 10 \text{ mL}/30 \text{ min}$ , 泥皮厚度  $< 0.5 \text{ mm}$ , pH 值 8~8.5。此种泥浆具有密度小, 附着力强, 沉降慢, 在钻杆和井壁表面易形成润滑膜等特点。有利于金刚石钻进提高转速, 提高钻进效率, 使用效果比在钻杆上涂抹黄油好, 即经济又易于现场人员操作<sup>[5]</sup>。

### 4.5 护壁堵漏措施<sup>[3]</sup>

护壁堵漏方法根据水文地质孔技术要求主要采用套管。以 ZK1402 孔为例, 0~100 m 采用自然造浆钢粒钻进, 然后下入  $\text{Ø}273 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$  套管(焊接), 套管下端应用粘土球和农用薄膜进行止水。此层套管有 3 个作用: 护壁、导正、止水。 $\text{Ø}150 \text{ mm}$  导正钻具钻至 110 m 下入  $\text{Ø}139 \text{ mm} \times 6.5 \text{ mm}$  套管, 主要起导正  $\text{Ø}122 \text{ mm}$  绳索取心钻具正常钻进作用。 $\text{Ø}122 \text{ mm}$  绳索取心钻具钻至 486 m 下入  $\text{Ø}114 \text{ mm} \times 6.5 \text{ mm}$  套管, 主要起隔离漏失层、节理发育的掉块层及导正  $\text{Ø}95 \text{ mm}$  绳索取心钻具正常钻进作用。

采用多级套管护孔应注意以下几个事项。

(1) 根据技术要求和地层情况认真作好每个孔的结构设计,明确各级套管的入目与深度<sup>[7]</sup>。

(2) 全面考虑套管的起拔难度和套管事故的处理方法,现场必须准备好起拔设备和处理工具。水文地质孔要求下置在抽水试验段的套管必须保证完全起拔,否则即为报废孔。

(3) 下放套管时,必须检查丝扣的完好程度,连接时注意丝扣的拧紧程度。为了能够顺利起拔,套管外要涂抹润滑材料,一般采用石墨和锂基脂黄油混合液。

(4) 套管下好后,必须做好各级套管之间的密封工作,防止岩粉沉积增加起管阻力。

#### 4.6 导正保直钻进工艺

为了保证水文孔的垂直度,控制钻孔弯曲在地质设计要求范围内,主要采取的预防措施有:确保钻探设备安装质量;正确选用钻机、钻具、钻头;采用合理的钻进工艺。

以ZK1402钻孔为例,钢粒钻进时采用加长钻具和钻铤配套使用,钻进压力靠自重,保证钻孔垂直度。 $\varnothing 273$  mm套管安放时,利用抱箍夹紧导正后焊接,确保套管连接笔直,便于后续导正钻具的正常钻进和导正套管的安放质量。套管底部内侧焊接一个倒锥形导正靴,保证变径钻具顺利通过套管中心。套管内部保证采用保直组合钻具,在钻头后等距离布置稳定器,即扶正器。利用 $\varnothing 150$  mm导正钻具钻进10 m后下入 $\varnothing 139$  mm套管,套管外应等距离布置扶正器,一般按6~9 m间距布置,本项目根据3 m定尺的钻杆和5 m定尺的套管确定钻杆扶正器采用6 m间距和套管扶正器采用10 m间距,目的是为了扶正器处于钻杆和套管连接处,原因一是此处相对比较薄弱,二是此处有钻杆接头和套管外接箍可以防止扶正器向下滑动偏离导正位置。 $\varnothing 139$  mm套管上口利用加工好的井口帽使其与 $\varnothing 273$  mm套管紧密相连,在使用 $\varnothing 122$  mm钻具钻进过程中保证 $\varnothing 114$  mm钻杆在 $\varnothing 139$  mm套管内稳定不弯曲。确保其稳定导正 $\varnothing 122$  mm钻具正常钻进,以达到钻孔轨迹按原方向继续前进的目的。扶正器采用特制尼龙棒加工而成, $\varnothing 150$  mm导正钻具的扶正器规格为内径114 mm、外径250 mm、高度200 mm,见图3。 $\varnothing 139$  mm套管的扶正器规格为内径139 mm、外径250 mm、高度200 mm,见图4。

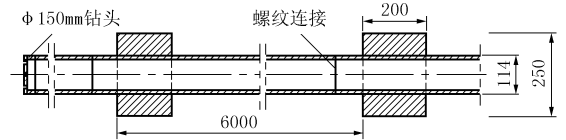


图3  $\varnothing 150$  mm导正钻具结构示意图

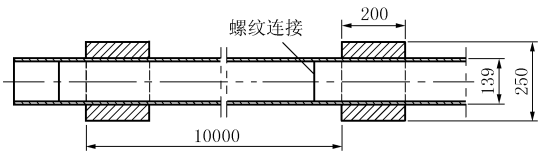


图4  $\varnothing 139$  mm导正套管结构示意图

#### 4.7 井内钢粒的捞取

在钢粒钻进结束后,对井底残留的剩余钢粒必须进行彻底清理,否则金刚石钻进无法进行。 $\varnothing 273$  mm井壁管下好后,主要捞取办法采用特制的类似于取粉管的捞取器安装在钻杆底部,利用水泵大泵量将钢粒冲起,然后停泵,钢粒靠自重落于特制捞取器内,待稳定后上钻倒出。另一办法是在钻头内放置强磁铁进行吸取。泥浆密度大时采用特制捞取器捞取,泥浆密度小或接近清水时采用强磁铁吸取。经过多次反复捞取直至孔内干净为止。由于采用的方法得当,经过2个班即捞取干净,为下一步的正常钻进提供了保证。

#### 4.8 CO<sub>2</sub>洗井工艺

本次洗井采用以下步骤进行,一是清水逐渐替换泥浆洗井,二是利用加工好的喷头高压喷射井壁洗井,三是注入1%焦磷酸钠溶液10 h后用CO<sub>2</sub>洗井。以ZK1402孔为例,设计出水层在300~400 m,故分2次在310和380 m处注入CO<sub>2</sub>,每次30瓶。效果非常理想,每次井喷都在5 m之上,最终经过抽水试验得知出水量52 m<sup>3</sup>/h。冬季施工必须做好二氧化碳瓶的保温升温工作,最好控制温度在20℃以上,否则就会影响二氧化碳的洗井效果。

#### 5 孔内事故及处理

由于施工前对于地层的了解及施工方案的认真研究,本次施工过程中仅发生2次事故。一次 $\varnothing 139$  mm $\times$ 6.5 mm套管丝扣处断裂事故,原因是扶正器所下位置不合适,或者是外层 $\varnothing 273$  mm护壁管在此处连接不直致使扶正器偏向某一方向,而与相对方向间隙过大,在 $\varnothing 122$  mm钻具的扰动下 $\varnothing 139$  mm套管长时间晃动疲劳受损。通过用丝锥打捞提出,

然后调整扶正器位置至终孔顺利起拔。另一次为烧钻事故,原因是在钻孔全部漏失段,又不能使用护壁堵漏材料,只能顶漏钻进,由于水泵不抽水压力表无数据反应致使烧钻,将扩孔器和钻头烧毁留于井内。通过用金刚石钻头切割顺利解决<sup>[4]</sup>。

## 6 冬季施工防风保暖措施

由于施工地点位于乌兰察布市兴和县,施工时间2013年10月15日—2014年1月20日,正是多风寒冷季节。为了项目的顺利进行,做好防风保暖措施尤为重要。具体办法是整个施工区用棉塔衣和棉帐篷覆盖,为了防风刮扯,塔衣内外用8号铁线以网状内外夹紧,外侧还用 $\varnothing 6$  mm钢丝绳从塔顶正、反方向环绕至塔底固定。帐篷与钻塔连接好后,用塑料大棚薄膜贴帐篷顶和四周罩住,帐篷连接边缘处和四周底部用土压实。内部水泵处和班长工作区用直径600 mm的炉子取暖。

## 7 结语

(1)精心组织,注重每个关键环节。对于非常规的钻孔,在人员配备上,项目经理、机长、班长的选择非常关键,必须由施工经验丰富,头脑灵活,责任心强的职工担任,这样的职工在施工中理解力、执行力强,能够避免蛮干、瞎干造成的人员、机械、孔内事故的发生。每个钻孔施工的各个环节项目经理或机长必须亲临现场,根据地层情况和施工组织设计做出正确选择,确立施工方案,监督、指导每一步工作的顺利进行。

(2)合理的钻孔结构设计是实现安全生产,达到预计目标的必备条件。过于简单或过于复杂的钻孔结构都可能给大口径钻孔施工带来不可预测的麻烦问题。很有可能会导致钻孔不达目的而终止。

(3)针对不同的矿区不同的岩层,开孔前必须做好合理的施工组织设计,制定实用的施工工艺。

要做到细致,针对性强,不能流于形式,能真正指导钻孔正常施工,要贯彻到每位施工人员,在工作中认真执行。并且施工中遇到突发问题不断改进是保证施工成功的关键。

(4)处理孔内事故时,现场负责人员必须做到头脑清醒,对事故分析透彻,考虑全面,制定合理有效的处理方案。方案一旦确定,必须安排技术熟练的机班长操作钻机,指挥处理事故。技术方法得当,及时、准确、稳妥处理即能排除事故。

(5)套管的合理使用是护壁、堵漏、隔离破碎带等最行之有效的办法。特别是对于水文地质孔,为了保证出水量,不使用高分子护壁堵漏材料冲洗液的情况下。只有用套管应对不利钻进的地层,还必须保证钻至设计井深后能够顺利拔出,不影响抽水试验的正常进行。

## 参考文献:

- [1] 沈卫立,岑朝正,郝鹏飞.曹四夭钼矿区水文地质特征研究[J].价值工程,2014,(22):308-310.
- [2] 刘广志.金刚石钻探手册[M].北京:地质出版社,1991.
- [3] 郑思光,赵志杰,李志强.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.
- [4] 薛凡忠,杨军国,王占芳.大口径水文地质孔扩孔埋钻事故的处理及预防措施[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(5):31-34.
- [5] 刘维平,郑秀华,谢博.微泡沫钻井液研究及其在黄金勘探中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(3):13-16.
- [6] 曾令强,张武,李海明,等.大口径深井取心钻进活动套管技术方法的探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(2):13-17.
- [7] 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.
- [8] 王红菊.内蒙古曹四夭矿区断裂构造特征[J].矿业工程,2014,(6):8-10.
- [9] 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.