

内蒙古乌拉山南缘地区破碎复杂地层钻进技术

杨彪^{1,2}, 石岩¹, 王江陵¹, 刘伟¹, 苏攀云^{1,3}, 刘志龙¹, 陈磊¹

(1. 中国地质调查局呼和浩特自然资源综合调查中心, 内蒙古呼和浩特 010010;
2. 成都理工大学地球科学学院, 四川成都 610059; 3. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083)

摘要:内蒙古乌拉山一大青山是我国华北地区重要的金成矿带, 其中在内蒙古哈达门沟地区先后发现金矿脉100余条, 累计探获金资源储量超过100 t, 是华北克拉通北缘西段重要的金矿集区。受该区强烈的构造地质背景影响, 区内地层条件复杂, 钻探施工中漏失、缩径、坍塌、掉块现象频发, 不仅影响施工进度, 部分钻孔还因处理不当会造成废孔现象。对此, 结合以往施工经验与实际工作需求, 根据不同复杂地层的施工情况, 总结出一套“大裂隙地层水泥封堵+中裂隙加大钻井液配比剂量+小微裂隙稳速预防+缩径地层大剂量钻井液配比快速穿过”的钻进技术方法, 并且在施工项目100ZK5916钻孔的过程中, 取得了良好的施工效果。

关键词: 乌拉山南缘地区; 复杂地层; 绳索取心钻进; 钻进效率; 钻进工艺

中图分类号: P634 文献标识码: B 文章编号: 2096-9686(2021)S1-0130-07

Drilling method and technology for fractured and complex formation in the southern margin of Wula Mountain, Inner Mongolia

YANG Biao^{1,2}, SHI Yan¹, WANG Jiangling¹, LIU Wei¹, SU Panyun^{1,3}, LIU Zhilong¹, CHEN Lei¹

(1. Huhhot Natural Resources Comprehensive Survey Center of China Geological Survey, Hohhot Inner Mongolia 010010, China;

2. School of Geosciences, Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan 610059, China;

3. School of Earth Science and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: Wulashan Daqingshan in Inner Mongolia is an important gold metallogenic belt in North China. More than 100 gold veins have been found in Hadamengou area, Inner Mongolia, and the accumulated gold reserves are more than 100 tons. It is an important gold concentration area in the western part of the northern margin of the North China Craton. Affected by the geological background of strong tectonic movement, the strata conditions in the area are complex, leading to some problems such as leaking, shrinking, collapsing and block falling. All these conditions not only affect the drilling progress, but also create waste holes if not properly handled. In view of this, these paper summarizes a drilling technical method of cement sealing of large fracture stratum+increasing drilling fluid dosage ratio in middle fracture stratum+steady speed and prevention in minute fissure+large dosage ratio of drilling fluid and speeding through the shrinking stratum. In addition, these method has achieved good results in 100ZK5916 project.

Key words: the southern margin of Wula Mountain; complex strata; wine-line coring; drilling efficiency; drilling method and technology

0 引言

由地壳运动、岩浆活动和变质作用等内动力地

质作用和风化、剥蚀等外动力作用,使地层出现裂

隙、空隙等现象,进而造成在钻进过程中发生钻孔

收稿日期: 2021-05-31 DOI: 10.12143/j.ztgc.2021.S1.020

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“内蒙古哈达门沟金矿岩金普查”(编号: DD20191017)

作者简介: 杨彪,男,汉族,1988年生,工程师,博士在读,主要从事矿产普查勘探与评价工作,内蒙古呼和浩特市赛罕区兴南路24号, 262269130@qq.com。

引用格式: 杨彪,石岩,王江陵,等. 内蒙古乌拉山南缘地区破碎复杂地层钻进技术[J]. 钻探工程, 2021, 48(S1): 130-136.

YANG Biao, SHI Yan, WANG Jiangling, et al. Drilling method and technology for fractured and complex formation in the southern margin of Wula Mountain, Inner Mongolia[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(S1): 130-136.

坍塌、掉块、缩径、漏失等影响正常钻进问题的地层,统称为复杂地层。复杂地层一直是岩心钻探施工中的难点问题^[1-4]。

乌拉山南缘地区,处于阴山山脉与河套平原的接触部位,受乌拉山山前断裂影响,次级构造发育、造成地层破碎严重。哈达门沟金矿田是乌拉山地区最大的金矿,自1986年发现以来,找矿勘查工作一直延续至今。我中心在工作区内,累计施工钻探工作量20余万米,积累了丰富的施工经验^[5-6]。为响应国家“向地球深部进军”的号召,近几年施工钻孔多为800 m以上的中深孔,加之破碎复杂地层使得施工难度加大、施工风险增高,同时缺乏对该区钻探施工方法工艺梳理总结及量化的评价,急需根据钻探施工现状对方法工艺进行优化升级,形成理论方法,便于推广深部钻探施工经验。

1 矿田概况

1.1 交通及地质地形地貌特征

矿区的行政区划隶属于包头市九原区阿嘎如泰苏木,东距包头市火车站22 km,南距包(头)一兰(州)铁路乌兰计车站4 km,距京藏高速公路仅1 km,距110国道直线距离约2 km,交通较为便利。

矿区位于乌拉山中东段,属阴山山脉,耸立于蒙古高原和河套平原之间,呈不断上升和侵蚀的地貌景观。山势西高东低,南坡陡峭,北坡舒缓,分水岭标高1768~2255 m,山前平原标高1100 m左右,高差658~1155 m,属中度切割的中山区。区内出露的地层以中太古界乌拉山岩群的第一、二岩组的深变质岩系为主,断裂构造发育,西部裸露大面积的花岗质岩体。目前共发现金矿脉近百余条,其中规模较大的脉群有十余个,自西向东有313号脉群、113号脉群、100号脉群、25-28号脉群、24-22-20号脉群以及13号脉群等,见图1。

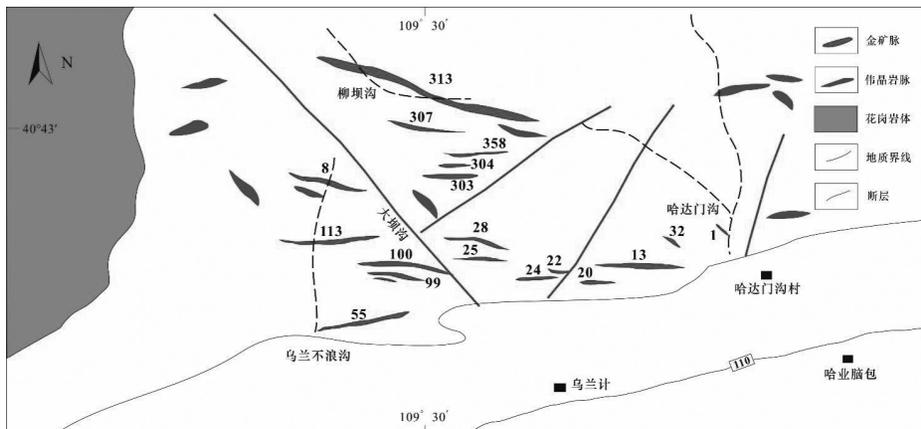


图1 内蒙古乌拉山南缘地区哈达门沟金矿田地质简图

1.2 岩石物理机械性质与可钻性分级

根据矿区地质条件及以往钻孔岩层分析,矿区浅部覆盖层主要为洪积、冲积、砾层及地表残坡积层,覆盖层往下依次为黑云角闪斜长片麻岩(变粒岩)、黑云斜长变粒岩(片麻岩)、含榴石黑云斜长片麻岩、透辉(角闪)钾长变粒岩,在矿体的顶板和底板以发育绿泥石化、高岭土化为主要特征。由于整个矿区受断裂带影响,裂隙发育,裂隙大小不均,纵横交错,片理、层理化程度高,岩层倾角40°~75°不等。

在分析矿区钻进时效的基础上,岩石可钻性划分如表1所示。

表1 代表地层岩石可钻性分级情况

岩层名称	可钻级别	可钻性/ (m·h ⁻¹)	岩石硬度 划分	备注
表土层、残坡积层	2~3	2.0~3.0	松散—软	覆盖层
构造破碎带	5~6	1.7~1.8	中硬	矿层上下盘
绿泥石破碎层	3~4	2.0~3.5	软	矿层上下盘
钾硅化蚀变岩	7~8	1.5	较硬	矿层
(斜长角闪)片麻岩	6~9	1.3~1.8	硬	围岩
花岗伟晶岩、石英脉	10	0.6~0.8	坚硬	脉岩

2 钻进工艺

2.1 钻探施工设计

钻孔结构应根据矿区地层的岩石力学性质、结构构造、设备及钻井液材料以及地质施工要求等因素综合设计:

(1)地质设计要求穿矿口径与终孔孔径 $\leq \varnothing 75$ mm;

(2)矿区第四系覆盖层一般厚度 ≥ 10 m,开孔10 m左右即为基岩,尽管有漏失但对钻进影响不大,第四系覆盖层达20 m以上的施工钻孔,应选择 $\varnothing 150$ mm开孔;孔深20~400 m为钾长石片麻岩、石英砂岩、角闪斜长片麻岩等,岩层中夹厚度5~20 m绿泥石化蚀变带或严重漏失破碎带;矿体顶底板5~60 m作为重点防塌和防缩径地段,孔段含多层严重漏失、绿泥石化蚀变带及破碎带,需做好护壁工作;

(3)设计孔深 ≥ 800 m;

(4)采用多系列级配绳索取心钻进工艺方法;

(5)以聚合类冲洗液作护壁材料和上一级绳索钻杆作护壁技术套管;

(6)设备年施工能力平均3000 m。

目前项目设计多为800 m以深钻孔,根据矿区覆盖层较薄的特点,为快速穿过浅部松散层,采用4Q系列 $\varnothing 150$ 、122、98、75 mm 4级金刚石绳索取心钻进技术,三级套管四级成孔方式,将上一级绳索钻杆作为下一级绳索钻进的套管^[7-9]。见表2。

表2 各类口径钻孔钻进工作量

钻孔直径/ mm	钻遇地层	钻进深度/ m
150	第四系腐稚层-残破积层	0~20
122	残破积层-硬破碎层	20~200
98	硬破碎层-大裂隙漏失层-绿泥石化破碎层(矿层上下盘)	200~800
75	绿泥石化破碎层(矿层上下盘)-终孔	800~1000

2.2 钻头的选择和管理

钻头的选用一般根据地层的软硬程度来考量,哈达门沟矿区进行钻头硬度选用时一般遵循以下原则:

(1)当钻遇地层为长石、石英矿物含量高的高硬度地层时,一般采用胎体硬度为HRC45-55和

HRC35-40、粒度80~100目、浓度100%~120%的金刚石钻头;

(2)当钻遇地层为长石、角闪石等矿物含量高的中高硬度地层时,一般采用胎体硬度为HRC35-40和HRC30-35、粒度60~80目、浓度100%的金刚石钻头;

(3)当钻遇地层为绿泥石、高岭土等矿物含量高的松软地层时,一般采用胎体硬度为HRC20-25和HRC15-20、粒度40~60目、浓度100%的金刚石钻头。

钻头使用应严格控制级配,扩孔器外径比钻头外径大0.3~0.5 mm,卡簧的自由内径比钻头内径小0.3~0.4 mm,新钻头第一次使用时必须进行初磨,轻压慢转10min,待磨利后方可按正常规程钻进,钻头出现下列情况之一时不得下入井内:比标准直径小0.4 mm以上的;钻头微烧严重,出现石墨化的;钻头水口、水槽尺寸严重小于标准的;胎体有明显裂纹、掉块、拉沟严重;钻头体变形、丝扣损坏。

各机台建立钻头管理台帐,进行分班使用管理,登记领取钻头及机场使用情况,认真填好卡片,领取新钻头(扩孔器)实行交旧领新,并把卡片一并交回。交回钻头编号要相符,对严重非正常损坏的钻头,当班机台必须写清责任报告。

2.3 钻进规程参数

在该区施工采用的钻进规程参数主要遵循以下几点:

2.3.1 钻压

工作中采用的孕镶钻头,金刚石颗粒多、部分钻头还存在超额配置金刚石的情况^[10-11]。选择合适钻压钻进应根据岩石性质确定:

$$W = F \cdot q \quad (1)$$

式中:W——钻压,kN;F——钻头实际工作唇面面积,mm²;q——单位底唇面面积上推荐的压力,kN/mm²。

根据矿区岩石力学分析,该区矿体及矿体顶底板抗压强度为100~140 MPa;围岩片麻岩抗压强度为150~180 MPa。对应不同口径钻进最小碎岩压力分别为: $F_{\min}(\varnothing 122) = 18.6 \sim 29.4$ kN; $F_{\min}(\varnothing 98) = 11 \sim 24.2$ kN; $F_{\min}(\varnothing 75) = 9 \sim 18.4$ kN。

同时在钻进过程中根据钻遇地层、钻孔弯曲度、钻杆钻具最大受力以及钻杆自重等情况综合考虑,对钻压进行实时调整,用 $\varnothing 98$ mm口径钻进时钻压

取11~24.2 kN,用 $\varnothing 75$ mm口径钻进时钻压取9~18.4 kN。一般在钻遇破碎地层时,采用下限钻压,在钻遇地层完整且坚硬时,采用上限钻压;同时,应考虑钻孔的弯曲度情况,避免因加力过大造成断钻杆等事故发生。

2.3.2 转速

不同的地层情况,匹配不同的转速,进而配合适当的钻压提高钻速、钻进效率^[10-11]。在钻压和其他钻进参数恒定的情况下,转速(ω)与钻速(v)的关系可表达为:

$$v \propto \omega^\lambda \quad (2)$$

式中: λ ——转速指数, <1 ,根据钻遇地层岩石情况而定。

$$v=L/t \quad (3)$$

式中: L ——进尺,mm; t ——纯钻时间,min。

$$\omega \propto W^\mu \quad (4)$$

式中: W ——钻压,kN; μ ——钻压常数, <1 。

工作区内地层大体南倾,钻进方位正北(0°),钻进过程中,与地层夹角在 $30^\circ\sim 45^\circ$ 之间,同时应保证钻孔弯曲度符合规范要求,转速控制在258~716 r/min之间,在破碎地层中确保岩心采取率的情况下,转速不应超过278 r/min。

min之间,在破碎地层中确保岩心采取率的情况下,转速不应超过278 r/min。

2.3.3 泵量

泵量的合理配置要满足携带排出岩粉、保护孔壁和冷却润滑钻头等功能^[12]。泵量一般根据公式(5)确定:

$$Q=v \cdot S \quad (5)$$

式中: Q ——泵量,L/m; v ——流速,m/s; S ——过流面积, mm^2 。

选择合适泵量,主要考虑两个因素:

(1)根据地层情况合理选用对应泵量,如在漏失严重的地层中,要同时保证钻头必要的冷却润滑和孔壁的稳定。

(2)根据钻机转速选用合适的泵量,如在低速情况下,要选用小泵量,避免大泵量造成钻进的“反冲”,影响效率,高转速情况下,要选用大泵量,避免过小泵量影响钻头的冷却和润滑,造成“烧钻”现象的发生。根据工作区实际情况,一般选用50~130 L/min,在地层破碎时采用下限值,在地层完整时采用上限值。金刚石钻进规程见表3。

表3 金刚石钻进规程表

口径/mm	钻压/kN	转速/(r·min ⁻¹)	泵量/(L·min ⁻¹)	备注
150	2500~3300	135~346	90~130	
122	1800~2500	152~407	70~90	具体参数选择根据孔内地层、孔深及设备运转情况灵活选择。复杂地层宜取下限
98	800~1800	207~468	60~80	
75	500~1200	187~716	50~70	

3 复杂地层的冲洗液选择与钻进工艺方法

3.1 典型复杂地层分析

哈达门沟金矿田地层岩性相对单一,主要由太古代乌拉山岩群深变质岩系构成。钻遇复杂地层与频繁而强烈的构造活动密切相关,根据多年施工经验,可以将典型的复杂地层分以下2种,见图2。

典型地层一:“浅层(0~20 m)残破积物松散地层+中浅层(20~350 m)硬破碎裂隙漏失地层+中深层(350~700 m)大硬度完整围岩地层+深层(700~750 m)矿层上下盘绿泥石化破碎地层+深层(750~1000 m)大硬度完整围岩地层”。该地层的钻探施工难点在中浅层的大裂隙堵漏和矿层上下盘的绿泥石化破碎层的防塌防卡处理。

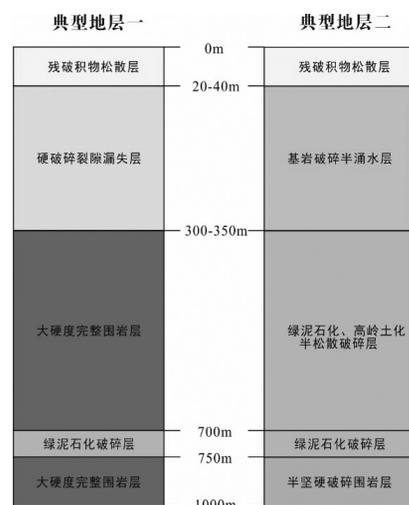


图2 哈达门沟金矿田典型复杂地层简圆柱状图

典型地层二：“浅层(0~40 m)残破积物松散地层+中浅层(40~300 m)基岩破碎半涌水地层+中深层(300~700 m)绿泥石化、高岭土化半松散破碎地层+深层(700~750 m)矿层上下盘绿泥石化破碎地层+深层(750~1000 m)半坚硬破碎围岩地层”。该地层的整个施工周期均存在较大难度,主要有:

(1)浅层松散残破积物较厚,大口径钻具在钻进过程中岩心凝结能力差,会造成岩心采取率大幅降低;

(2)中浅层半涌水地层,在钻进过程中会造成钻井液不断被稀释,钻井液性能难以保障,还有钻孔孔壁坍塌掉块的风险;

(3)中深层绿泥石化、高岭土化发育,遇水膨胀,造成普遍的缩径现象,尤其在上钻钻杆抽离孔底的过程中会在局部形成水压差,使得已稳定的孔壁重新陷于失稳状态,严重情况下会造成坍塌;

(4)矿层上下盘的绿泥石化破碎层,缩径现象会

稍有减轻,但防塌、防掉块、防采取率过低又成为施工的难点。

3.2 钻孔冲洗液选择

3.2.1 冲洗液选用原则

针对上述地层情况,泥浆及化学材料需针对不同地层条件达到相应的使用性能要求:

(1)覆盖层,采用大径钻具钻进,应减少液流阻力及冲洗液的压力激动而引起的孔壁破坏,同时下入 $\varnothing 114$ mm技术套管,并尽可能快速穿过,采用优质低固相冲洗液保护孔壁;

(2)破碎漏失地层,应具备随钻堵漏的能力,以选用好护壁堵漏材料为重点,如选用惰性堵漏材料、高粘高固相冲洗液等;

(3)水敏性地层,主要采用低失水、低动塑比、强抑制性的冲洗液护壁。经过多年在该矿区护壁堵漏摸索,选择以下几种冲洗液材料和处理剂^[12-16],见表4。

表4 钻孔冲洗液材料及性能

泥浆材料名称	组成或代号	功能	加量/%
膨润土	钠质	形成低渗透泥饼,降低失水	3.5~5.5
高粘羧甲基纤维素钠盐	HV-CMC	用于提高水基钻井液的粘度降失水	0.1~0.4
水解聚丙烯腈铵盐	NH ₄ -HPAN	抑制地层造浆降滤失防塌稳定孔壁	1~2
聚阴离子纤维素	PAC-LV	提高粘度,改善泥浆动切力,降低失水	2~3
低荧光防塌护壁降失水剂		防塌、护壁、降失水	0.3~0.5
腐植酸钾	KHm	主要用作防塌降滤失剂,有一定降粘作用	2~3
部分水解聚丙烯酰胺	PHP	选择性絮凝	0.01~0.03
高粘堵漏剂		封堵、架桥	2~3
惰性堵漏剂		架桥	3~5
磺化沥青		堵漏、减阻、润滑,页岩抑制剂	1~3
重晶石	BaSO ₄	加重泥浆密度,有效防治涌水层	1~2
植物胶		保持泥浆的粘度和切力	3~5
烧碱	NaOH	调节pH值	0.7~1.5

3.2.2 钻遇地层与冲洗液配比

根据矿区地质条件、钻孔结构设计,以及金刚石绳索取心钻进的特点对钻孔冲洗液的要求比较高,在钻孔冲洗液类型选择上应严格控制其流变性(泥皮应薄而致密,流动性好,固相含量低,动塑比一般要求0.36~0.45之间)。根据地层的不同采取不同类型的钻孔冲洗液,见表5。

3.3 破碎复杂地层钻进工艺方法

3.3.1 钻孔堵漏工艺方法

3.3.1.1 不同地层的堵漏方法

(1)轻微漏失地层在冲洗液中加入1%~3%的803堵漏剂、1%~1.5%的聚丙烯酰胺、1%~1.5%的纤维素、1%~2%的高粘堵漏剂,采取随钻堵漏的操作方法。

(2)中等漏失,部分返水地层

①使用3%~5%的803堵漏剂、2%~3%的聚

表5 不同地层使用冲洗液配方

地层情况		配方(配 1m ³)
覆盖层	腐殖层	膨润土 30 kg+防塌剂 2 kg
	砂砾层	膨润土 50 kg+防塌剂 5 kg+聚丙烯酸钾 5 kg
绿泥石化破碎层		广谱护壁剂 20 kg+低荧光防塌护壁降失水剂 10 kg+磺化沥青 5 kg
轻微漏失层(正常钻进)		膨润土 25 kg+高粘堵漏剂 5 kg+803堵漏剂 15 kg
严重漏失层		803堵漏剂 20 kg+膨胀堵漏剂 25 kg

注:冲洗液动塑比 ≥ 0.45 ,固相含量 $\geq 4\%$,pH值控制在8~9

丙烯酰胺、2%~3%的纤维素、2%~4%的高粘堵漏剂,采取随钻堵漏的操作方法;

②使用10%~20%的803堵漏剂从钻杆内倒入孔内进行堵漏;

③使用803堵漏剂混合各类惰性材料(如羊粪、麻绳等)搅拌成稠糊状,从钻杆内倒入孔内进行堵漏;

④使用20%~40%的聚丙烯酰胺从钻杆内倒入孔内进行堵漏,并采用随钻堵漏的操作方法^[12-14]。

(3)严重漏失,不返水地层

①“投泥球”堵漏:使用50%膨润土+30%的803堵漏剂+20%惰性材料,做成泥球后,通过钻杆投入孔内,拧压、捣实进行堵漏;

②水泥浆液+泥浆堵漏:水泥浆的水灰比为0.4(425号水泥),泥浆中膨润土加量为20%,将2种浆液经钻杆泵入孔内,候凝3~5h,实现堵漏;

③注水泥护壁堵漏:对于漏失严重、坍塌、掉块的孔段,裂隙通道成垂直分布,采用套管隔离无效的情况,必须采取灌注水泥浆固壁堵漏。灌注水泥浆前应严格控制水灰比,一般水灰比为0.4~0.5可采取泵送,如果控制可泵期需加入减水剂或速凝剂。

3.3.1.2 水泥浆灌注操作事项

(1)根据所需封闭孔段,确定水泥、水及各种处理剂用量,选择合适的水灰比,一般为0.5;

(2)下钻前先用清水冲洗好孔内,备好搅水泥浆工具;

(3)搅好水泥浆后用水泵通过钻杆泵送浆液,泵完水泥浆后,立即泵送浆水,替浆水量选择合适;

(4)提钻候凝、下钻透孔(灌浆时地表留出小样观察凝固情况),灌浆后等5~10h透孔,透孔时要轻压慢转,冲洗液选用低固相泥浆。水泥浆液的相关配比见表6。

表6 水泥浆液配比

材料编号	普通水泥/kg	地勘水泥/kg	食盐/kg	三乙醇胺/kg	水/kg	可泵期/min	初凝/h	终凝/h
1	100		0.5~1	0.05~1	45~50	40	1:20	4:00
2		100	0.05		60~65	50	1:50	3:30
3			0.5~1	0.05~1	50~55	50	1:30	3:30

注:用标号425以上的普通水泥灌注

3.3.2 缩径防塌工艺方法

(1)浅部(<200m)泥质含量较高的地层中,使用30%~40%膨润土、2%~5%防塌剂,采取中低速的操作方法。

(2)当钻进至深部(>200m)绿泥石化发育的地层中,使用20%~30%膨润土、3%~5%防塌剂、3%~5%降失水剂、3%~5%特效润滑剂配合使用,采用中高钻速、快速穿过缩径地层的操作方法^[15-16]。

3.3.3 钻探施工效果

2020年度项目100ZK5916钻孔在挪孔后重新施工过程,300m处存在一段近20m左右的严重漏失地层,孔深380~450m存在三段中等轻微漏失地层,在孔深700m处存在2~3m绿泥石缩径地层。该钻孔应用上述钻进工艺及方法,采用“大裂隙地层水泥封堵、中裂隙加大钻井液配比剂量、小微裂隙稳速预防以及缩径地层大剂量钻井液配比快速穿过”施工方法,高效地节约了钻进时间、提高了施工进度。

4 结语

内蒙古乌拉山南缘地区构造岩浆活动强烈、地层破碎,在该区中深孔(>800 m)钻进施工中一般采用四级成孔工艺,复杂破碎地层主要施工难点坍塌缩径和严重漏失。通过理论方法指导和实际施工经验结合,总结出一套应对不同地层情况的钻探规程参数和冲洗液配方的工艺方法,经项目施工验证取得了较好的钻进效果:

(1)在漏失地层钻进中,随着漏失严重程度的增加,逐步采取加大泥浆配比用量、适当增加惰性材料配比以及适当配置水泥浆液进行固结封堵的措施,已达到堵漏的目的。

(2)在缩径坍塌地层钻进中,随孔深的不断增加,需要及时调整泥浆的配比,同时要配合相应的钻压、钻速来达到快速穿过和维护缩径孔段的目的。

参考文献:

- [1] 高德利,等.复杂地质条件下深井超深井钻井技术[M].北京:石油工业出版社,2004
- [2] 胡继良,陶士先,纪卫军.破碎地层孔壁稳定技术的探讨与实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2001,38(9):30-32,64.
- [3] 孙建华.大深度复杂地层绳索取心钻探技术[J].地质装备,2008(4):19-21.
- [4] 时志兴.河南省寺家沟银多金属矿区复杂地层绳索取心钻进技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(3):31-35,41.
- [5] 张宝河,王政敏,边鹏,等.哈达门沟深孔钻探施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(6):14-18.
- [6] 高德程.哈达门沟矿区ZK10802钻孔复杂地层钻进工艺[J].现代矿业,2019,607:40-43.
- [7] 张永勤.提高金刚石绳索取心钻探效率的技术创新[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,37(S1):78-79,82.
- [8] 麻坦,鄧晓勇.牛D1井复杂构造带绳索取心钻探工艺技术研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(4):19-22.
- [9] 孙建华,周红军,王汉宝,等.深孔岩心钻探装备配置应用技术趋势分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(5):1-7.
- [10] 汪涛.云南某矿区复杂地层深孔岩心钻探关键技术应用研究[D].北京:中国地质大学(北京),2012.
- [11] 刘广志.金刚石钻探手册[M].北京:地质出版社,2009.
- [12] 鄧捷年.钻井液工艺学[M].东营:石油大学出版社,2001.
- [13] 李家学,黄进军,罗平亚,等.随钻防漏堵漏技术研究[J].钻井液与完井液,2008,25(3):25-28.
- [14] 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.
- [15] 李鑫淼,李宽,梁健,等.复杂地层取心钻进堵心原因分析及其预防措施[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(12):12-15.
- [16] 陈灿,王畅.湖南常宁仙人岩矿区复杂地层钻探护臂堵漏技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(5):37-39.