

内蒙古哈达门沟矿区复杂地层钻探技术研究 ——以 ZK20312 钻孔为例

刘志龙, 陈磊*, 石岩, 王江陵, 刘伟, 翟博楠

(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)

摘要: 内蒙古哈达门沟矿区地质条件复杂, 区内矿层上下盘为绿泥石化蚀变带, 厚度几十米至上百米, 涉及破碎、漏失、水敏性地层多, 钻探施工中缩径、漏失、坍塌现象普遍, 严重影响了钻进效率。本文以该矿区 ZK20312 钻孔为例, 经过 2 次废孔后, 结合钻进难点提出了有针对性的解决措施, 通过科学设计孔身结构、合理配置冲洗液、合理制定孔内事故应对措施, 在第三次施工时取得了良好的效果, 各项质量指标均符合设计要求。全面总结了该类型复杂地层的施工经验, 可为其他类似条件施工提供参考。

关键词: 复杂地层; 水敏性地层; 破碎地层; 岩心钻探; 孔身结构

中图分类号: P634.5 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2023)S1-0246-05

Research on drilling technology of complex strata in Hadamengou mining area in Inner Mongolia: A case study of ZK20312

LIU Zhilong, CHEN Lei*, SHI Yan, WANG Jiangling, LIU Wei, ZHAI Bonan

(Hohhot General Survey of Natural Resources Center, China Geological Survey, Hohhot Inner Mongolia 010010, China)

Abstract: The geological conditions of Hadamen mining area in Inner Mongolia are complex, and the upper and lower plates of the ore seam in the area are chlorite and petrified alteration belts, with a thickness of tens of meters to hundreds of meters, involving crushing, leakage and water-sensitive strata, and the phenomenon of diameter reduction, leakage and collapse in drilling construction is common, which seriously affects the drilling efficiency. Taking the ZK20312 drilling hole in the mining area as an example, after two waste holes, combined with the drilling difficulties, targeted solutions were proposed, and good results were achieved in the third construction through scientific design of the hole body structure, reasonable allocation of flushing fluid, and reasonable formulation of accident response measures in the hole, and all quality indicators met the design requirements. The construction experience of this type of complex formation is comprehensively summarized, which can provide reference for other similar conditions.

Key words: complex formation; water-sensitive formations; broken formations; core drilling; hole body structure

内蒙古哈达门金矿区地处内蒙古包头市九原区境内, 位于乌拉山—大青山金成矿带, 矿区累计探获金资源储量超过 100 t。该区属于华北克拉通北缘西段重要的金矿集区, 受强烈的构造地质背景

收稿日期: 2023-03-16; 修回日期: 2023-05-31 DOI: 10.12143/j.ztgc.2023.S1.037

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); “内蒙古包头市乌拉山中东段金矿重点调查区调查评价”(编号: DD20230384)

第一作者: 刘志龙, 男, 汉族, 1988 年生, 工程师, 勘查技术与工程专业, 主要从事钻探工程施工及技术管理工作, 内蒙古呼和浩特市赛罕区兴安南路 24 号, liuzhilong@mail.cgs.gov.cn。

通信作者: 陈磊, 男, 汉族, 1989 年生, 工程师, 勘查技术与工程专业, 主要从事钻探工程一线施工工作, 内蒙古呼和浩特市赛罕区兴安南路 24 号, chenlei01@mail.cgs.gov.cn。

引用格式: 刘志龙, 陈磊, 石岩, 等. 内蒙古哈达门沟矿区复杂地层钻探技术研究——以 ZK20312 钻孔为例[J]. 钻探工程, 2023, 50(S1): 246-250.

LIU Zhilong, CHEN Lei, SHI Yan, et al. Research on drilling technology of complex strata in Hadamengou mining area in Inner Mongolia: A case study of ZK20312[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(S1): 246-250.

影响^[1],区内地质条件极其复杂,构造运动强烈,褶皱、断裂发育,尤其是区内矿层上下盘为绿泥石化蚀变带,厚度几十米至上百米,还有风化严重的石英砂岩、片麻岩层,具有硬、脆、碎的特征,导致钻探施工孔内事故频发,严重影响钻进效率,废孔挪孔情况也较为普遍。ZK20312钻孔设计孔深940 m,于2020年施工2次,分别钻进至420、230 m,均因孔内事故无法处理被迫废孔而未钻达地质目的层。经过重新研究论证施工方案,于2021年4月27日进行第三次施工,2021年7月18日顺利终孔,终孔孔深为970 m。

1 地层情况

矿区内出露的地层是中太古界乌拉山岩群第一岩组及第二岩组的一部分,按岩性划分为第一岩组第一、第二两个岩性段,分别为黑云角闪斜长变粒岩($Ar_2\omega l^{-1}$)、含榴石黑云斜长片麻岩($Ar_2\omega l^{-2}$);第二岩组第一岩性段,岩性是黑云角闪斜长片麻岩($Ar_2\omega l^{-1}$),是一套原岩为火山—碎屑岩建造的中—高级变质岩^[2]。

ZK20312钻孔地层情况为:0~19 m为残坡积物;19~810 m交替出现黑云角闪斜长片麻岩、含榴石黑云角闪二长片麻岩、构造破碎带等,发育有绿泥石化、高岭土化、碳酸盐化,尤其是470 m以浅,绿泥石化、高岭土化极其发育(见图1);810~970 m,构造破碎带、花岗伟晶岩、黑云角闪片麻岩等交替出现,并部分发育绿泥石化、高岭土化。



图1 典型岩心

2 钻孔设计及质量评述

2.1 钻孔设计

根据地质设计要求,地层特点、钻孔深度、终孔直径及设备情况,确定钻孔结构设计如图2

所示^[3-4]。

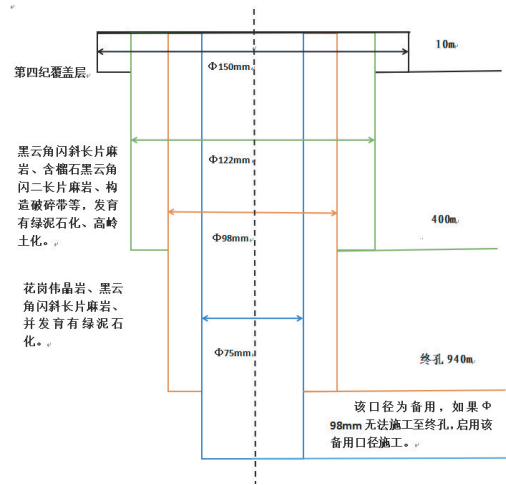


图2 钻孔结构

采用 $\Phi 150$ mm开孔,穿过第四系覆盖层后,下入 $\Phi 146$ mm技术套管,换 $\Phi 122$ mm金刚石钻头钻进至稳定地层,然后 $\Phi 122$ mm钻杆直接当套管使用,换 $\Phi 98$ mm金刚石钻头钻进至终孔,如遇有特殊情况, $\Phi 98$ mm钻杆直接当套管使用,备用 $\Phi 75$ mm口径钻进至终孔。

该方案的优点:ZK20312钻孔会钻遇大厚段的绿泥石化、高岭土化地层,极易缩径坍塌,如遇有钻杆抱死无法转动且事故无法处理的情况,可直接用下一级配的钻杆,采用磨孔钻头磨穿该级配的钻头,而后正常钻进。缺点是钻孔施工完后,起拔钻杆(套管)非常困难,导致施工成本较高。

2.2 质量评述

钻探施工质量要求按照《地质岩心钻探技术规程》(DZ/T 0227—2016)、《地质勘查钻探岩矿心管理通则》(DZ/T 0032—92)有关规定执行,根据项目实施方案要求,其中岩心采取率标准高于规范要求。具体如下:

全孔平均岩(矿)心采取率 $\leq 70\%$;矿体顶、底板3~5 m范围及矿层岩(矿)心采取率 $\leq 85\%$ ^[5-6];钻孔弯曲度测量要求及时、定点测量钻孔顶角和方位角,按照每50 m测量1次,每100 m $\geq 3^\circ$;终孔孔径 ≤ 75 mm;简易水文观测及封孔要求遵照《地质岩心钻探技术规程》(DZ/T 0227—2016)标准执行。

ZK20312于2021年4月27日进行第三次施工,2021年7月18日顺利终孔,终孔孔深970 m。全孔

岩心采取率89%,矿心采取率98%。设计85°开孔,终孔倾角77.8°,符合规范要求。台月效率346.7 m/台月,单只钻头平均进尺121 m。

3 施工技术

3.1 设备选择

根据矿区地层情况、钻孔深度及以往施工经验,选用XY-6B型立轴式钻机。该钻机能够满足2000 m以浅的施工需求,虽然ZK20312孔设计孔深只有940 m,考虑到该孔易发生缩径卡钻,为了起拔钻杆及日常施工的扭矩需求,选用该型号钻机,配套BW-160型泥浆泵,235 kW发电机组。主要设备配置情况见表1。

表1 主要钻探施工设备

序号	名称	规格型号	功率/kW	备注
1	岩心钻机	XY-6B	75	
2	钻塔	SGX-17		加重塔
3	发电机组	YC6MK350	235	柴油机驱动
		L-D20		
4	泥浆泵	BW-160	15	电机驱动
5	绞车	SJ-1500	7.5	电机驱动
6	泥浆搅拌机	1 m ³	7.5	电机驱动

3.2 钻进参数

根据钻机、泥浆泵及地层情况,一开 \varnothing 150 mm口径,采用小泵量,慢转速,小钻压钻进,避免上部出现孔斜和覆盖层取心率不够的情况。因地层多为绿泥石化蚀变带及风化严重的片麻岩、石英砂岩等,下部几个口径施工时,钻压和泵量参数选择也略小^[7-8],具体钻进工艺参数见表2。

3.3 钻头选型

钻头全部为孕镶金刚石钻头,根据硬脆碎地层

表2 钻进工艺参数

口径/mm	钻压/kN	转速/(r·min ⁻¹)	泵量/(L·min ⁻¹)
150	5~10	175~260	100~130
122	15~40	260~490	100~130
98	15~55	360~730	70~90
75	40~45	360~730	70~90

(长石、石英矿物含量高)、松散蚀变地层(绿泥石、高岭土等矿物含量高)、较完整地层(长石、角闪石等矿物含量高)选用不同类型钻头,具体见表3。

表3 钻头规格参数

地层	口径/mm	胎体硬度(HRC)	粒度/目	浓度/%	唇面形状
硬脆碎地层	\varnothing 122	35~42	80~100	120	平底
	\varnothing 98	38~42	80~100	120	平底
	\varnothing 75	38~42	80~100	120	平底
蚀变松散地层	\varnothing 122	25~38	40~60	100	底喷
	\varnothing 98	25~38	40~60	100	底喷
	\varnothing 75	25~35	40~60	100	底喷
较完整地层	\varnothing 122	20~35	60~80	100	阶梯
	\varnothing 98	20~30	60~80	100	阶梯
	\varnothing 75	20~30	60~80	100	阶梯

3.4 冲洗液配方

根据ZK20312钻孔钻遇地层显示,主要为水敏性地层和硬破碎地层,即:①水敏性地层,主要是绿泥石化、高岭土化,遇水易发生缩径、粘附卡钻;②破碎地层,主要为片麻岩局部夹杂石英岩,但构造发育,导致孔壁稳定性差,易发生坍塌、掉块。根据多年在该矿区施工经验,选择冲洗液配方^[9](见表4)。

4 不同地层施工难点及对策

在钻探施工过程中常见的孔内事故是坍塌和缩

表4 冲洗液配方及性能

适用地层	冲洗液配方(1000L)	密度/(g·cm ⁻³)	失水量/[mL·(30min) ⁻¹]	漏斗粘度/s	泥皮厚度/mm
硬破碎地层(部分发育绿泥石化)	25 kg 钠基膨润土+5 kg 低荧光防塌护壁降失水剂+5 kg 磺化沥青+0.2 kg 纤维素	1.02~1.03	6~8	28~35	1~2
绿泥石化、高岭土化等水敏性地层	25 kg 钠基膨润土+5 kg 低荧光防塌护壁降失水剂+10 kg 广谱护壁剂+10 kg 141防塌剂+5 kg 特效润滑剂	1.06~1.08	5~6	26~32	1~2
坍塌缩径地层扫孔	50 kg 钠基膨润土+适量重晶石(提高密度)	1.10~1.20		32~38	

注:矿区使用钠基膨润土,材料厂家已进行了加碱处理;钻遇漏失地层时,视漏失情况,加入803堵漏剂或锯末等堵漏材料。

径。主要原因是由于破碎地层和断续水敏性地层厚度大,如冲洗液的使用不当或维护不及时,极易造成孔内坍塌,处理起来非常困难。特别是钻遇水敏性地层时,可能会造成缩径夹钻、冲洗液循环困难、钻杆回转困难的严重后果,即使能把钻杆提离该孔段,也需要多次扫孔通过,还会出现通过后又重复憋泵夹钻的事故。

4.1 水敏性地层

该钻孔75~470 m钻遇断续大厚度绿泥石化地层,是整个钻孔施工最复杂、最难处理部分^[10-11]。

4.1.1 存在的风险

该类地层在钻探施工中主要存在2种事故隐患:一是缩径坍塌,施工中不能停待过久,如有停待时间稍久,会存在憋泵、夹钻、反车的现象,情况严重就会卡钻,导致事故发生;二是断钻,由于该地层中钻进过程中会产生大量岩粉还夹杂部分石英颗粒,如冲洗液性能保持不好,携带岩粉能力弱,孔底岩粉和石英颗粒切割钻较严重,大多数为钻头及扩孔器磨损过快、尤其是上下扩孔器与钻具连接处会产生严重切割,断钻风险大^[12-13]。见图3。实际钻进过程中,由于各种原因多次出现了缩径卡钻事故。



图3 钻具拉槽

4.1.2 解决方法

(1)严控冲洗液性能。该地层采用的冲洗液配方为(1 m³泥浆):25 kg 钠基膨润土+5 kg 低荧光防塌护壁剂+10 kg 广谱护壁剂+10 kg 141 防塌剂+5 kg 特效润滑剂。首先要利用搅拌机对泥浆材料进行充分搅拌,以便发挥其最大效能,其次要对冲洗液性能加强检测频率,严格按照施工方案中冲洗液配比进行材料的添加,确保冲洗液护壁携粉能力。

(2)严控辅助时间。水敏性地层对水的侵入十分敏感,不允许有过长的停待时间,辅助时间也需要

严格控制。人与人、人与设备之间必须密切配合,各岗位一定要熟悉自身职责,并在辅助时间内,做好配合。机班长要经常对设备进行巡查检修,熟悉性能,备好零件,以达到减少辅助时间的目的。施工中采用2根内管交替使用,并在下内管前先要冲孔确保孔内水路畅通压力正常,除此还需要备用第三根内管。另外要备足化工材料及设备易损件,防止出现等件等料情况。

(3)精准判断钻具磨损情况。因地层硬度低,如盲目提高进尺速度,岩粉携带不及时,沉积到孔底后,扩孔器与钻具连接处切割现象严重,容易发生断钻事故。在施工过程中,既要每次上钻时检查钻具切割情况,也要根据排水槽岩粉沉淀情况、钻具运行情况等因素判断孔内钻具状态,避免因岩粉切割造成的断钻头,断钻具的现象发生。

(4)合理控制进尺速度。钻穿绿泥石化地层最好的方法是加快进尺速度,快速通过。但是同时会带来风险是由于进尺速度快之后,冲洗液携带岩粉不及时,造成孔底岩粉切割钻具,会有断钻风险。所以要合理控制进尺速度,根据每次上钻后看钻具磨损情况及岩粉携带情况,确定进尺速度,不能盲目蛮干。

(5)严控起下钻速度。特别是提升钻具时,要防止孔内产生强烈的抽吸作用,造成孔壁坍塌,为此,除减慢提升速度外,还需及时向孔内回灌冲洗液。即利用水泵排水管接一根管子至孔口管,做好回灌,保持孔内压力平衡。

4.2 硬碎地层

该钻孔470~880 m钻遇断续大厚度硬碎漏地层,主要由钾硅化蚀变岩、花岗伟晶岩夹部分绿泥石化、高岭土化地层等组成,由于整个矿区受断裂带影响,裂隙发育且大小不均,纵横交错,片理、层理化程度高。

4.2.1 存在的风险

该类地层在钻探施工中主要存在事故隐患有以下几类。一是冲洗液稀释问题。由于地层裂隙水发育,孔内承压水导致冲洗液稀释严重,携带岩粉能力及降失水性能严重下降,导致孔内上部水敏性地层一直有缩径卡钻风险^[14]。二是钻头崩齿。该类硬碎漏地层,每次钻头接触孔底时,如果操作不当,都有一定的崩齿风险。在740 m和800 m处先后2次出现了钻头崩齿事故,导致了非必要提钻,连带次生

事故的发生。三是岩心采取率低。因地层破碎,个别孔段出现岩心采取率低于规范要求的问题。

4.2.2 解决方法

针对该类地层,施工时需注意以下4点:

(1)控制泵量、转速及回次进尺。针对采取率低的问题,施工中需控制泵量、调小水口、降低转速和缩短回次进尺,回次进尺控制在40~60 cm,另外每次取心后要检查卡簧和卡簧座状态;也可采用液动锤钻具,不仅提高效率,也提高了岩心采取率^[15]。

(2)避免非必要提钻。避免非必要提钻在该孔施工中尤其重要,尤其是因取心时钢丝绳拉断、掉岩心、内管拉不动等情况出现后,造成带内管上钻,抽吸作用对孔壁造成严重破坏,下钻时需不断的扫孔,如班长操作不当,扫孔时还会出现大肚膛,造成孔内事故叠加。

(3)维护冲洗液要及时。加大冲洗液简易检测频率,适当提高密度,必要时及时换浆。

(4)合理使用钻头。选用质量过硬钻头,既能增加寿命,也能减少上钻次数,避免因上钻不当造成的孔壁失稳;针对不同地层合理选用不同胎体硬度的钻头,该孔选用HRC38~42的钻头,单钻头进尺数为80~120 m;保持泥浆排粉能力,避免孔底钻头重复磨损。

5 结语

通过近20年在该矿区的施工实践,已经摸索出适合该矿区钻探施工的技术方法,可为其他类似条件的钻探施工提供参考。

(1)合理设计孔身结构。采用四开的钻孔结构,是解决水敏地层、破碎地层等复杂情况的有效途径。尤其是三开采用 $\varnothing 98$ mm口径施工, $\varnothing 75$ mm口径做为备用,避免因孔内事故无法回转和起拔的情况下导致钻孔报废,可以直接用 $\varnothing 98$ mm口径钻杆当套管,下入 $\varnothing 75$ mm口径钻具带磨孔钻头,钻穿 $\varnothing 98$ mm口径钻头后,换金刚石钻头正常施工。

(2)合理配置冲洗液。提高冲洗液密度平衡地层压力,降低冲洗液失水量,是缓解水敏性地层吸水

膨胀的有效措施,同时对稳定孔壁同样重要。另外一定要避免由于冲洗液维护不当或孔内涌水造性能下降,导致孔内事故发生。

(3)在破碎地层采用小泵量慢转速施工是提高岩心采取率的有效措施,另外还要做好缩短回次、调小水口等措施,也可采用潜孔锤或其他较先进的取心钻具。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 王建艳,韩福斌,陈琳琳,等.古城601井井身结构优化设计[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(6):30-36.
- [4] 彭振斌,孙平贺,曹函,等.复杂地层钻探技术[M].湖南长沙:中南大学出版社,2015.
- [5] 何焘,张绍和,王文彬,等.湖南永顺永页2井破碎地层取心问题分析与处理对策[J].钻探工程,2021,48(12):14-19.
- [6] 王世炬,刘昕伟,王烁,等.潮页1井钻探施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(10):33-37.
- [7] 黄才启,熊青山,黄全宜.煤田绳索取心钻探应建立新的行业钻探体系[J].钻探工程,2021,48(9):71-80.
- [8] 曹彦伟,李谦.同轴双向回转钻进破岩效率研究[J].钻探工程,2021,48(S1):70-78.
- [9] 王中华.钻井液处理剂实用手册[M].北京:中国石化出版社,2016.
- [10] 祁新堂,谢永德,刘梁,等.河南省洛宁上宫金矿复杂地层钻探施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(3):38-43.
- [11] 刘俊辉,陈跃,李晓东,等.广西向阳坪铀矿床钻探施工技术改进措施[J].钻探工程,2021,48(8):59-67.
- [12] 祁新堂,谢永德,郭佳欢,等.平顶山北地热示范区PBR01井钻探施工实践[J].钻探工程,2021,48(S1):275-280.
- [13] 蒋光旭,唐振华.锡矿山复杂地层小口径取心深孔钻探施工方法[J].钻探工程,2021,48(S1):148-153.
- [14] 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.
- [15] 尹国明,郎猛,陈志鹏,等.复杂地层用绳索取心钻具的研制[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(2):63-67.

(编辑 王文)