

柴家沟钼矿复杂地层岩心钻探技术

王洪涛

(华北地质勘查局五一四地质大队,河北承德067000)

摘要:柴家沟钼矿地层破碎、裂隙发育、蚀变多样、涌水、完整岩石坚硬,而且地质设计要求大部分为斜孔,钻探施工中遇钻孔漏水、坍塌掉块、进尺缓慢、跑斜严重等技术难题。从钻孔结构、冲洗液配置、护壁堵漏、硬岩钻进、涌水地层加重泥浆的使用、立轴式钻机斜孔施工注意事项等方面总结了钻探施工经验。

关键词:岩心钻探;斜孔;护壁堵漏;复杂地层;加重泥浆;柴家沟钼矿

中图分类号:P634 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2017)08-0037-04

Core Drilling Technology for Complex Strata in Chaijiagou Molybdenum Deposit/WANG Hong-tao (514 Brigade of North China Geological Exploration Bureau, Chengde Hebei 067000, China)

Abstract: Strata breaking, fracture development, alteration diversity, water gushing and hard intact rock co-exist in Chaijiagou molybdenum deposit, and most of the geological design requirements are inclined holes. The technical difficulties were countered in drilling construction, such as water leakage, collapse and block falling, slow footage and serious inclined drilling. This paper summarizes the experience of drilling construction in borehole structure, flushing fluid solution configuration, wall protection and plugging, hard rock drilling, the use of weighted mud in water gushing formation and the precautions of inclined hole construction with vertical shaft drilling rig.

Key words: core drilling; inclined hole; wall protection and plugging; complex strata; weighted mud; Chaijiagou molybdenum deposit

1 矿区地质简介

河北省平泉县柴家沟钼矿岩心钻探项目是我队承揽市场项目中地质详查工作的一部分,累计钻探工作量是最大的,已连续钻探施工4年,2016年8月顺利结束。完成详细工作量见表1。详查工作圈定了1个钼矿体5个铜矿体,以钼矿为主。

表1 详细工作量

年份	钻孔数量/个	钻探进尺/m	最深孔/m	最大倾角/(°)
2013	16	4727.8	482	82
2014	35	17754.5	探矿孔 920 水文孔 758	76
2015	18	9491	826	80
2016	3	1567	600	76

已探明资源/储量估算结果:工业矿($Mo \geq 0.06\%$)钼矿石资源量(332+333)6311万t,金属量36204t,平均品位0.064%。

柴家沟钼矿详查区位于平泉县北西325°方位,直距21km,运距28km,隶属平泉县沙坨子乡王家营子村管辖,详查区面积2.62km²。矿区位于冀北燕山东段,区内属中低山区地貌,山势陡峻挺拔,沟

谷纵横。地势西高东低,海拔一般800~1100m,相对高差210m,区内沟谷主要为柴家沟、铁头沟,沟谷多呈V字形,沟谷两侧山体呈不对称分布,局部基岩裸露,山坡坡度30°~50°,植被覆盖率较好。矿区地质构造处于红石砬—大庙—娘娘庙深断裂东端、王土房穹窿北部,区内断裂发育,F1和F2两条断裂带贯穿工作区,F1构造破碎带宽30~60m,深部热流体活动频繁,多期次的构造、岩浆活动致使构造十分复杂。

区域内出露地层简单,主要有太古界迁西群、中生界白垩系和新生界第四系等。各地层从新至老如下。

(1)第四系(Q₄),在区域内大致呈北西向展布,在河流沟谷中较发育,呈狭长带状,为灰黄、黄褐色亚砂土,亚粘土,砾石,沙砾石及互层混合堆积。厚度变化较大,一般厚度在1~50m。

(2)中生界白垩系大北沟组(K_{1d}),零星分布于区域东南侧,角度不整合于太古界迁西群上方。岩性以陆相碎屑岩、中酸性火山岩、火山碎屑岩为主,

收稿日期:2016-09-14; 修回日期:2017-06-18

作者简介:王洪涛,男,汉族,1968年生,总工程师,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山神庙沟1号,1240495740@qq.com。

分布在外围的火山盆地中。上部灰绿、灰紫、灰色致密块状、气孔状安山岩夹火山角砾岩;下部为灰绿、灰紫色凝灰岩、凝灰质砾岩、凝灰质砂岩夹砂质页岩。

(3)太古界迁西群上亚群($Arqn_2$),主要出露在王土房杂岩体周边部,区域上在东南和东北部出露,岩性为中深变质角闪斜长片麻岩、斜长角闪岩夹透辉岩、蛇纹大理岩、斜长变粒岩、浅粒岩,顶部夹麻粒岩。

总之,本矿区坚硬岩石主要有花岗岩、花岗斑岩和角砾岩,可钻性级别4~10级,但岩石裂隙发育,局部破碎比较严重,蚀变主要为钾化、黄铁绢英岩化及高岭土化为主,局部见有青盘岩化、硅化、碳酸盐化等较弱蚀变。常出现裂隙地层漏水、破碎地层坍塌掉块、完整硬岩地层打滑、蚀变地层出膛断钻、部分钻孔深部开始涌水等情况。

2 钻孔施工质量要求

岩心采取率 $\geq 65\%$,矿心采取率 $\geq 80\%$;测斜要求50 m测量一次,顶角偏差要求为直孔 $\geq 2^\circ/100$ m,斜孔 $\geq 3^\circ/100$ m,且方位角偏差不超过勘探网的 $1/3 \sim 1/4$;终孔口径要求为探矿孔口径 ≤ 75 mm,水文孔口径 ≤ 95 mm。

3 钻探施工难点

(1)详查钻探施工,勘探网间距只有50 m,对于斜孔、深孔施工,钻孔方位角偏差要求不超过勘探网的 $1/3 \sim 1/4$,要求非常高。

(2)该矿区山高,树木密集,全液压力头式钻机钻探施工所需要的修路成本高,只能采用修简易

路、人工搬运的方法使用立轴式岩心钻机施工。对于立轴式岩心钻机,开孔倾角 76° 的超过600 m深度的钻孔施工难度大。

(3)上部地层破碎、裂隙发育(见图1),完整岩石局部岩心裂隙水锈明显,漏失比较普遍。下部破碎地层、蚀变地层(见图2),坍塌掉块,憋车严重。



图1 上部破碎漏失层岩心



图2 下部破碎坍塌掉块层岩心

(4)矿区硬岩石主要为花岗岩、花岗斑岩和角砾岩,单轴饱和抗压强度标准值分别为57.51、76.25、127.90 MPa,进尺速度慢,且对钻头和扩孔器外径磨耗大。

4 钻进工艺

4.1 设备及工具的选择^[1]

选用的钻探设备及工具情况见表2。

4.2 钻孔结构及钻进方法^[2]

表2 钻探设备及工具选用情况

年份	钻机	泥浆泵	绳索取心钻杆规格/mm	套管规格/mm	钻塔	绞车	泥浆搅拌机	备注
2013	XY-4	BW-150	$\varnothing 89 \times 5.5$	$\varnothing 108 \times 4.5$				钻孔深度均小于500 m
			$\varnothing 71 \times 5$	$\varnothing 89 \times 5.5$				
2014—2015	XY-4	BW-150	$\varnothing 114 \times 6.5$	$\varnothing 114 \times 5.5$				HXY-5A、BW-250用于水文孔
	XY-44A	BW-250	$\varnothing 89 \times 5.5$	$\varnothing 89 \times 5.5$	SG-13	SJ-1000	自制0.8 m ³	
	HXY-5A		$\varnothing 71 \times 5$	$\varnothing 89 \times 5.5$				
2016	XY-4	BW-150	$\varnothing 114 \times 6.5$	$\varnothing 108 \times 4.5$				最深孔600 m
			$\varnothing 89 \times 5.5$	$\varnothing 89 \times 5.5$				
			$\varnothing 71 \times 5$	$\varnothing 89 \times 5.5$				

根据以前钼矿施工经验,地层都相对比较完整,起初采用钻孔结构为 $\varnothing 110-91-75$ mm, $\varnothing 91$ mm为预留口径,但是开孔阶段遇到破碎带较厚和裂隙

漏水时,岩心采取率难以保证,扩孔非常费力且容易跑斜,严重影响钻进效率。针对这些不利情况,第二年将钻孔结构更改为 $\varnothing 122-95-75$ mm, $\varnothing 122$ mm

开孔钻至基岩下入 $\varnothing 114$ mm 套管,换 $\varnothing 95$ mm 绳索取心钻进至 100 m 左右,地层完整下入 $\varnothing 89$ mm 套管,再换 $\varnothing 75$ mm 绳索取心钻进至终孔。经过几年的施工实践,证明这种钻孔结构简单适用,一次成井,事故率几乎为零,钻进效率明显提高。水文孔根据地质设计要求钻孔结构为 $\varnothing 150-122-95$ mm, $\varnothing 122$ mm 口径至少钻进 100 m,终孔口径 ≤ 95 mm。

表3 钻进参数及施工效率

地 层	钻压/kN	转速/(r·min ⁻¹)	泵量/(L·min ⁻¹)	钻头类型	钻头硬度/HRc	时效/m
安山岩、凝灰岩	8~10	574~819(XY-4), 468~667(XY-44)		锯齿型、平底型	25~30	1.1~1.4
花岗岩、花岗斑岩	10~12	388~819(XY-4), 316~667(XY-44)	32~47(BW-150)	锯齿型、平底型	30~35	0.8~1.1
角砾岩	10~15	388~819(XY-4), 316~667(XY-44)	35~52(BW-250)	锯齿型、平底型	30~40	0.6~1.0
斜角闪岩、蛇纹大理岩	8~10	311~574(XY-4), 254~468(XY-44)		锯齿型、平底型	25~30	1.0~1.3

4.4 钻头选型与使用^[4]

针对该矿区岩石对金刚石钻头、扩孔器磨损严重易缩径的特点,通过增加钻头、扩孔器的外径及胎体硬度的办法解决,一般外径比正常钻头、扩孔器增加 1~2 mm,并且严格执行排队使用的原则。

钻进可钻性 8 级以下的岩石时采用底唇面形状为锯齿型、平底型,胎体硬度为 HRC25~30,金刚石粒度 60~80 目的孕镶钻头钻进效果最好,钻头寿命平均能够达到 65 m。

在钻进可钻性 8 级以上硬岩石进尺缓慢时,选择胎体硬度 > HRC35 的钻头,采用通过钻杆向钻孔内投入现场选择与岩心硬度相近或更高的岩石砸成 1~2 cm 的碎块磨料的方法研磨钻头胎体,使钻头唇面上的金刚石快速出露。操作时使用低转速、小泵量、高钻压进行研磨,间隔 1~2 min 将钻具上下往复窜动 3~5 次。也可以不给水进行研磨,但需要掌握好尺度。也可以采用在每回次开始时用污水泵搅拌泥浆池,使岩粉随冲洗液进入孔内循环工作,加速钻头胎体磨损使金刚石出刃。此方法不能整回次使用,钻杆内壁易结泥皮。该地层钻头平均寿命为 28 m^[5]。

4.5 冲洗液的配置^[6]

开孔冲洗液配方:1 m³ 水 + 8% 粘土 + 0.1% 火碱 + 0.1% ~ 0.3% 中粘 CMC + 0.3% ~ 1% 腐植酸钾。此配方冲洗液有利于提高岩石颗粒之间的胶结力和孔壁强度,粘度适度控制,流动度好,能够避免冲刷孔壁,上下钻时能够避免抽吸孔壁。

完整岩石层冲洗液配方为:1 m³ 水 + 1% PAM + 0.5% 中粘 CMC + 1.5% 06 型高效润滑剂。即无固相冲洗液,只要满足金刚石绳索取心钻进对冲洗

4.3 钻进参数的选择^[3]

在连续的钻探施工过程中,对矿区地层有了充分的了解,在不同的钻孔、地层、孔深、孔径钻进中绳索取心钻进参数也会发生微量变化,在钻进时,根据各种地层的进尺速度情况、设备工作状态和完孔质量效果逐步优化组合各参数。最终确定适合该矿区各种岩石的钻进参数(见表 3)。

液的要求,主要考虑润滑减阻性能即可。

破碎、漏失地层冲洗液配方为:1 m³ 水 + 1% PAM + 0.5% 中粘 Na-CMC + 1% 防塌剂(RH 润滑型) + 0.25% GSP 广谱护壁剂 + 2.5% TM 植物胶 + 2% ~ 3% 803 堵漏剂 + 1.5% 06 型高效润滑剂。主要考虑护壁堵漏和润滑减阻效果。

涌水地层冲洗液配方为:1 m³ 水 + 1% PAM + 0.5% 中粘 CMC + 5% ~ 10% 重晶石粉 + 1.5% 06 型高效润滑剂^[7]。根据涌水压力的大小调节重晶石粉的用量,具体添加加重剂质量 $W_{重}$ 计算公式为:

$$W_{重} = V_0 \rho_3 (\rho_2 - \rho_1) / (\rho_3 - \rho_2)$$

式中: V_0 ——循环系统泥浆总体积; ρ_1 ——原浆密度; ρ_2 ——加重后泥浆密度; ρ_3 ——加重剂密度。

此泥浆主要是提高泥浆密度,以平衡地下水水位与孔口高差的水头压力。

4.6 护壁堵漏措施^[8]

根据该矿区地层情况和地质设计要求,采用的护壁堵漏措施有套管护壁堵漏、泥浆护壁堵漏(包括加重泥浆)和灌注水泥浆护壁堵漏。上述 3 种护壁堵漏方法完全满足该矿区钻探施工护壁堵漏的需要,为工程的顺利完成起到关键性作用。

详细情况见表 4。

4.7 立轴式钻机斜孔施工技术^[9]

使用立轴式钻机施工大倾角钻孔在设备安装方面与直孔相近,但是为了减少钻具高速回转产生的离心力及游动滑车侧向力对立轴的作用,应尽量采用短立轴,一般 4.5~5.0 m 合适,同时改变提引环和立轴的连接方式,用自制的套环连接器套环端套住立轴,提引接手端与提引环相连,套环与提引接头

表4 护壁堵漏措施及效果

措施	适用地层	操作注意事项	效果
套管护壁堵漏	孔口管、上部破碎带、上部裂隙、大倾角斜孔	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。套管外一定要涂抹润滑剂,石墨粉和锂基脂黄油混合物比较好。孔口必须做好密封工作,防止岩粉进入。大倾角斜孔施工大径应尽量多进尺一些,好处是护壁性能可靠又有利于防止钻孔跑斜	隔离上部破碎带和裂隙应用10次以上,76°~80°斜孔施工套管深度为孔深的1/3,均起到良好的护壁堵漏作用
泥浆护壁堵漏	开孔钻进、上部破碎带、下部破碎带及小裂隙、涌水地层	泥浆材料提前预水化处理,按顺序添加,充分搅拌,严格做好保持泥浆性能稳定的措施。适当提高泥浆的密度、粘度来提高泥浆的胶结力和平衡地层压力,护壁堵漏效果会更好	根据地层情况采用不同性能的泥浆,护壁堵漏作用良好。所有钻孔均一次成孔
灌注水泥护壁堵漏	大裂隙及坍塌掉块破碎带、蚀变带	水下灌注时,必须现场作水灰比试验,一般控制在0.48~0.5。根据水位、孔径、孔深、预计灌注高度计算灌注量和替浆量。采用料斗灌注比泥浆泵灌注效果更好,初灌量和流量大	上部裂隙漏水无水位灌注水泥4次,水灰比0.5。下部200m以深漏失、坍塌掉块灌注水泥6次,最小水灰比0.48。均一次成功

之间用1m左右长度钢丝绳连接,使游动滑车和立轴之间的软连接距离加大,从而实现减少侧向力作用。为了减少套环与六方立轴的相互摩擦对立轴的损害应改用圆立轴,就是用钻杆当立轴。使用套环连接还可以省去加减钻杆时需要上塔摘挂提引环的工作,在地面即可完成。

为了确保斜孔施工中内管准确到位,应尽量采用增加捞矛质量(通常使用1~2m长 $\varnothing 50$ mm钻杆挂在捞矛下头),利用绞车吊着推送内管总成的方式,根据到位时撞击的声音和绞车钢丝绳所标记号的位置确定是否到位。

为了预防孔斜,在岩性变换不大时,交接班之间钻进参数及操作应尽量保持一致。做好泥浆配置及维护措施,尽量保持泥浆的性能优质稳定,斜孔施工泥浆的良好润滑性能还有利于预防孔斜。大倾角斜孔施工大径应尽量多钻进一些,一般钻进全孔的1/3以上比较合适,大径比小径更易控制孔斜。

5 钻探质量及经济效益^[10]

柴家沟钼矿共施工钻孔72个,累计完成钻探进尺33540.3m,岩心最低采取率90%,矿心最低采取率96%,孔斜测量结果均在地质设计要求范围之内,优质孔率100%。在长期的施工中,通过钻探工艺的不断优化组合和改进,逐步解决了矿区地层复杂、钻孔倾角大、地质设计技术指标要求严格所造成的施工技术难题。最明显的体现是钻进效率逐步提高,钻进成本越来越低。钻头、扩孔器成本由30元/m降低到12元/m,台月效率由第一年的620m增至后来的860m。

6 结语

在柴家沟钼矿的4年钻探施工中,针对该矿区

地表自然环境山高、树多和地层破碎、裂隙发育、漏失、涌水、坍塌掉块、完整岩石坚硬等钻进施工难点,采用合理的钻孔结构、多种优质冲洗液配置方案、套管护壁导正、水泥浆护壁堵漏、加重泥浆平衡水头压力等措施,使用立轴式岩心钻机施工斜孔取得了很好的经济效益,积累了丰富的施工经验。但是使用立轴式岩心钻机在施工斜孔时,存在钻机转场人工搬运时间长、钻机工作时稳定性差、上下大钻辅助时间长、钻进效率低的劣势。为了保证钻探质量和提高钻进效率,在以后类似的项目施工中,应尽量使用全液压力头式钻机施工斜孔更理想。

参考文献:

- [1] 鄢泰宁. 岩土钻掘工程学[M]. 湖北武汉: 中国地质大学出版社, 2001.
- [2] 陈风云, 王虎, 谷天本. 小秦岭地区深部钻探斜孔结构[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(7): 44-46.
- [3] 童强, 杨丕祥. 贵州烂泥沟金矿大角度斜孔岩心钻探施工实践与认识[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(11): 35-38.
- [4] 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(3): 34-36.
- [5] 代万庆, 卢守卿, 李长美, 等. 桐柏老湾金矿上上河矿区金刚石钻进“打滑”地层所遇问题及对策[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(7): 32-35.
- [6] 乌效鸣, 等. 钻井液与岩土工程浆液实验原理与方法[M]. 湖北武汉: 中国地质大学出版社, 2010.
- [7] 宋继伟. 特大涌水孔绳索取心钻探施工工艺[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(12): 17-18, 21.
- [8] 黄忠高, 李志强, 杨启文. 江西省浮梁县朱溪矿区深孔钻探施工技术研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(5): 23-27.
- [9] 时志兴. 洛宁程家沟-沙沟银多金属矿中深斜孔钻探技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(9): 9-13.
- [10] 闫文军, 刘建福, 王建兴, 等. 河北省滦县司家营铁矿南矿区深孔钻探施工工艺[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(10): 31-33.