

宜昌磷矿北部整装勘查项目深孔复杂地层钻探技术

张所邦, 谭建国, 王爱军, 叶辉兵, 李晓文, 郑新华, 周鹏飞

(湖北省地质局第七地质大队, 湖北 宜昌 443100)

摘要:宜昌磷矿北部整装勘查工程是湖北省大型磷矿资源勘查项目, 由于地形复杂, 工作量大, 施工条件困难, 钻孔深度达到 1400 m, 给钻探组织和施工带来更高的要求。本文就该项目的地质钻探工作进行简要总结, 介绍了寒武系和震旦系地层中的钻探施工技术及应用效果。

关键词: 钻探技术; 复杂地层; 深孔; 宜昌磷矿

中图分类号: P634 文献标识码: A 文章编号: 1672-7428(2017)04-0023-05

Complex Formation Drilling Technology for Deep Hole of Integrated Exploration in Northern Yichang Phosphate Rock/ZHANG Suo-bang, TAN Jian-guo, WANG Ai-jun, YE Hui-bing, LI Xiao-wen, ZHENG Xin-hua, ZHOU Peng-fei
(Seventh Geological Team of Hubei Geological Bureau, Yichang Hubei 443100, China)

Abstract: The integrated exploration engineering in northern Yichang phosphate is a large scale phosphate rock resources exploration project of Hubei Province. Due to the complex formation, heavy workload, difficult construction conditions and 1400m borehole depth, there are higher requirements for drilling construction organizing. In this paper, the geological drilling work of this project is briefly summarized with the analysis on the drilling technology and its application effects in Cambrian and Sinian strata.

Key words: drilling technology; complex formation; deep hole; Yichang phosphate rock

宜昌磷矿北部整装勘查是落实国土资源部“358”找矿战略, 实施湖北省找矿突破的重要项目, 也是地质钻探在大巴山区艰苦条件下克难攻坚, 艰苦奋斗, 成功实现深部找矿成果的重要篇章。宜昌磷矿北部整装勘查区位于湖北省兴山县、保康县、远安县及夷陵区交界处, 面积 435.71 km²。勘查区距兴山县城 40 km, 距宜昌市火车站及长江水运码头约 170 km, 交通较为方便。整装勘查项目的钻探施工自 2013 年 3 月开始, 截止 2016 年 10 月, 共完成钻孔 63 个, 钻孔深度 800 ~ 1400 m, 终孔直径 75 mm, 钻探工作量 65930 m, 平均台月效率 490 m。本文就宜昌磷矿北部地层情况进行了系统性描述, 对钻探施工中采取的主要技术方法进行了总结, 针对本项目中震旦系灯影组硬、脆、碎复杂地层和坚硬“打滑”地层的钻进难度和特点, 制定了钻进技术对策, 对寒武系牛蹄塘组—石牌组水敏地层造成的孔内事故问题, 有针对性地提出了解决方法。

1 自然地理条件

整装勘查工作区处于黄陵断穹北翼及北东翼,

西部与神农架断穹接壤, 属中山地貌类型, 总体呈西高东低, 地形陡峻, 沟谷深切, 地形坡度一般在 30° ~ 40°, 仅北东部略为平缓。区内海拔最高点为北西角的王家大坪, 标高 1834 m, 最低点为北东角的黄龙沟, 标高 440 m, 相对高差最大达 1394 m, 一般在 300 ~ 600 m。工作区内山高坡陡, 林木茂密, 作业面无法正常开展, 钻探施工的设备物资只能采用人工和溜索搬运, 工作条件十分艰苦。

2 地层特点

工作区内主要出露志留系、奥陶系、寒武系、震旦系地层。主要工业矿层(Ph₁₃、Ph₂₂)赋存于震旦系下统陡山沱组, 由页岩条带状磷块岩及白云岩条带状磷岩、致密条带状磷块岩、白云岩条带状磷块岩组成。区内地层情况如下。

2.1 志留系

主要出露为龙马溪组(O₃S_{1l})以黑色页岩为主, 厚度 198.58 m, 其中泥质页岩部分水敏性强, 易产生缩径、卡钻情况, 孔壁易坍塌, 可钻性级别 3 ~ 4 级, 但该层位在本勘查区内大部分缺失。

收稿日期: 2017-01-19; 修回日期: 2017-03-16

作者简介: 张所邦, 男, 汉族, 1966年生, 副队长, 高级工程师, 探矿工程专业, 长期从事地质钻探技术研究和管理工作, 湖北省宜昌市夷陵区夷兴大道 35 号, 570208054@qq.com。

2.2 奥陶系

主要以灰岩为主,常含燧石结核和透镜体,下部为中—厚层白云岩,厚度100~350 m,该层位溶洞和裂隙发育,漏失情况严重,岩石可钻性级别4~5级,在本勘查区内部分地区缺失。

2.3 寒武系

为本勘查区主要工作地层,分为覃家庙组、石龙洞组、天河板组、牛蹄塘组及石牌组,主要岩性为砂质白云岩、粉晶云岩、云质灰岩夹薄层页片状钙质泥岩、砂质页岩及细砂岩,厚度250~650 m,可钻性级别3~5级,该层上部岩石较为完整,覃家庙组泥质云岩和泥质灰岩为不稳定层位,下部牛蹄塘组及石牌组与下伏震旦系呈平行不整合接触,以黑色炭质页岩夹灰岩透镜体及灰黑色泥晶砂砾屑磷块岩为主,较为软弱、松散,是造成孔内坍塌、水敏卡钻的主要原因。

2.4 震旦系上统灯影组

该层为本勘查区主要工作地层,分为上部白马沱段,中部石板滩段和下部蛤蟆井段。

白马沱段,以灰白色—浅灰色中厚—厚层状粉、细晶云岩和亮晶云岩为主,夹燧石条带或硅质团块,燧石条带层分为白色和黑灰色,厚度3~50 m不等,可钻性级别7~9级,为坚硬“打滑”地层。

石板滩段,以灰—深灰色中厚层状泥、粉晶云岩为主,小溶孔特别发育,以具皮壳状构造为特点,底部溶洞发育,厚度100~200 m不等,全层段漏失,可钻性级别3~4级,为硬、脆、碎地层,取心难度大。

蛤蟆井段,以灰白—白色巨厚层状粉、细晶云岩为主,岩性均匀完整,可钻性级别4~6级。

2.5 震旦系下统陡山沱组

为磷矿主要赋存地层,以深灰色中厚层粉晶云岩、浅灰色中厚层状粉晶云岩、泥质云岩、磷块岩和灰黑色含钾页岩为主,厚度150~250 m,岩性完整,可钻性4级。

3 主要钻探技术

矿区最高开动钻机12台,以XY-5型和XY-6型液压立轴式钻机为主,BW250型泥浆泵,17、24 m四角管塔,采用金刚石绳索取心钻进,无固相冲洗液。

3.1 钻孔结构选择

由于钻孔深度超过1000 m,属于深孔钻进,因此在钻孔结构选择上必须充分考虑可能发生的孔内情况,留有余地,做到“富裕无患”。以ZK3214孔为例(钻孔结构见图1),上覆地层以 $\phi 130$ mm钻头开孔,下入 $\phi 122$ mm套管,下入深度10 m,保证了钻孔上部的安全。 $\phi 110$ mm钻进至50 m作为预留过渡孔段,为孔内事故处理留出余地。孔深330 m以浅为寒武系覃家庙组泥质云岩和泥质灰岩,该层位总体稳定,但在裂隙和断层部位极易产生垮孔和掉块,因此在结构设计上列为不稳定地层,采用 $\phi 95$ mm绳索取心快速穿过,下入 $\phi 89$ mm套管进行护壁,为后续 $\phi 75$ mm绳索取心钻进至终孔提供了保障。

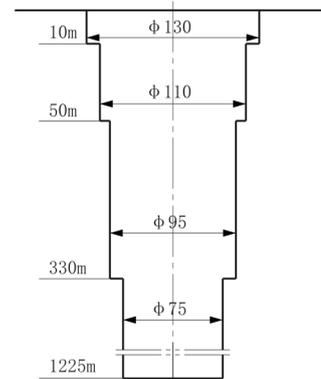


图1 ZK3214孔钻孔结构

3.2 钻头选型

本矿区针对金刚石钻头在不同层段的钻进特点和适用性,结合多个钻孔综合试验,总结出了适宜该矿区深孔钻进的钻头选择方法,按照泥质灰岩、白马沱段的硅质条带、完整云岩和石板滩段的硬、脆、碎地层分别进行选择,相关技术参数选择见表1。

表1 宜昌磷矿北部整装勘查区金刚石钻头选择

钻进岩石	岩石钻进特性			底唇面形状和水口数量	胎体硬度/HRC	粒度/目
	硬度	可钻性	研磨性			
泥质云岩、泥质灰岩、页岩	中硬	3~5级	弱、中等	圆弧状,10~12个水口	20~30	40~60
硅质条带、硅质团块、燧石结核	中硬、硬	7~9级	中等	齿轮状,8~10个水口	10~15、15~20	80~100
完整云岩	中硬	5~6级	中等	同心圆状,6~8个水口	25~35	60~80
硬脆碎地层	中硬	3~4级	弱	隔水底喷钻头	20~30	40~60

3.3 钻进技术参数

本矿区钻进技术参数见表2。

表2 钻进技术参数推荐

钻孔直径/mm	泵量/(L·min ⁻¹)	钻压/kN	转速/(r·min ⁻¹)
110	60~80	8~12	100~220
95	40~60	9~15	300~600
75	30~60	6~12	300~800

3.4 液动冲击器钻进技术应用

矿区在4个钻孔中采用了液动冲击器钻进,钻进效果明显。试验中选用中国地质科学院勘探技术研究所生产的SYDC75型绳索取心液动冲击器,主要技术参数:冲击锤行程15~25 mm,自由行程5~8 mm,工作泵压0.5~2.0 MPa,冲击频率25~40 Hz,冲击功10~50 J,配备无固相聚丙烯酰胺冲洗液。

在震旦系灯影组白马沱段上中部的破碎地层及坚硬致密的“打滑”地层中钻进,钻探生产效率明显提高,完成的钻孔质量好,岩矿心采取率满足设计要求,实现了高质、高效的钻探生产,同时材料成本也比传统绳索取心工艺降低了10%~20%,台月效率提高了30%左右。其中在坚硬“打滑”的硅质条带互层中钻进效率提高了1.5~2.5倍;在硬、脆、碎等复杂情况交替存在的地层中钻速提高了2~3倍,岩心采取率提高了11%左右。

施工现场对于绳索取心液动冲击器钻进与传统绳索取心钻进技术施工效果进行了对比验证,钻进地层为寒武系石牌组粉晶质云岩,指标对比详见表3。

表3 绳索取心液动冲击器与传统绳索取心钻进效果对比

孔号	孔深/m	施工工艺	孔段/m	进尺/m	采取率/%	平均回次进尺/m	平均时效/m	台月效率/m
ZK4804	1197	绳索	562.7~670.5	107.8	87.35	1.25	0.48	244.29
		绳冲	670.5~780.9	110.4	99.15	2.25	1.10	479.38
ZK3804	1210	绳冲	570.2~680.7	110.5	99.27	2.20	1.04	483.16
		绳索	680.5~790.9	110.4	86.49	1.35	0.37	246.48

应用实践证明,绳索取心液动冲击器适合本矿区地层复杂、裂隙较多、岩心破碎与地层坚硬互层的特点,能够达到快速穿过,减少孔壁水化时间,防止孔内事故发生,提高钻进效率和岩矿心采取率的目的。

4 震旦系灯影组复杂地层钻进技术

矿区上覆的灯影组复杂地层主要有石板滩段硬、脆、碎地层和白马沱段坚硬“打滑”地层。

石板滩段地层,由于泥粉晶云岩的水侵、溶蚀、裂隙和风化的作用,钻进中存在岩矿心采取率低、孔内复杂、钻进效率低、成孔质量差、钻探成本高的问题,属于典型的硬、脆、碎复杂地层。

白马沱段地层,是由硅质白云岩、硅质条带及燧石条带等组成的坚硬“打滑”地层,在磷矿赋矿地层及上覆地层中普遍存在,厚度从几十厘米至数十米不等,与白云岩间夹互层。在鄂西地区分布比较广泛,几乎遍及大部分地区。

为克服上述复杂地层给岩心钻探带来的困难,必须从钻头选择、取心工艺、钻进技术参数等方面进行试验和研究。

4.1 硬、脆、碎地层钻进技术

4.1.1 钻进特点

钻进至硬、脆、碎地层时,一般会出现进尺明显加快,钻机负荷减少,在岩性非常脆弱的部分还会产生类似轻微掉钻的现象,提取岩心后会发现岩心破碎,岩心采取率不足或者无岩心的情况。

4.1.2 钻进操作要点

进入本层钻进时,钻机操作人员必须高度重视,合理操作,避免岩心采取不足和孔内事故的发生,主要采取以下措施。

(1)开钻前认真学习钻孔设计书,对于石板滩段的埋深和厚度情况严格掌握,向地质人员了解该段地层的溶蚀、风化程度和有关特点,提前做好孔壁不稳或取心不足的准备预案。

(2)控制钻进参数,钻进泵量、转速和钻压参数取下限值,保持钻探进尺速度均匀。当采用高转速和大钻压钻进时,容易造成岩心被压碎,孔壁坍塌掉块,形成“大肚子”等,产生一系列孔内事故。

(3)控制回次进尺,合理选用取心钻具,绳索取心钻进时,回次进尺不超过1.5 m,当岩心采取率较低时,回次进尺不超过1 m。严禁采用金刚石普通单管钻进。

(4)及时调整冲洗液性能,为减少漏失和避免塌孔,在冲洗液中添加堵漏材料,如化学堵漏剂或碎木渣、棉絮等,提高冲洗液粘度值至30~45 s。

(5)控制提钻速度,保持孔口浆液回灌,在提钻中为避免取心钻具对孔壁的抽吸和液柱对钻孔压力

的均衡,应用低档位匀速提钻,同时向孔内回灌冲洗液。

(6)争取快速钻穿该层段,对于钻进中产生影响正常钻进的孔壁坍塌、掉块情况,及时采取水泥封孔或套管护壁等方法。

4.1.3 底喷钻头、钢丝卡簧取心技术

提高复杂地层岩心采取率,满足地质要求,是复杂地层钻进中需要解决的重要问题。我队在鄂西地区大量的生产实践中证明,采用底喷钻头+钢丝卡簧+绳索取心的取心钻具结构,能够适应灯影组石板滩段地层中溶蚀和风化程度严重、岩心采取率严重不足的层位,比普通金刚石钻头的钻进效率明显提高,岩矿心损耗小,采取率高,能够满足地质要求。本项目在复杂地层处理中也是采用这种方法。

采用底喷钻头和钢丝卡簧钻进时,要求控制小的钻进压力、低转速,小泵量,匀速钻进,回次取心长度不宜超过1.5 m。

钢丝卡簧取心器的设计制作要求适应碎、脆岩性特点,取心器主体用45号钢加工,现场手工穿入钢丝,能方便地调节钢丝的疏密和刚度,并与绳索取心钻具相匹配,在使用前还应进行孔口测试,以确保岩心能够顺畅地进入,如图2所示。



图2 钢丝卡簧钻具

4.2 坚硬“打滑”地层钻进技术

针对白马沱段燧石条带和硅质团块的坚硬“打滑”地层,主要从金刚石钻头选型、钻头修磨出刃、钻进工艺参数几个方面开展了研究和试验,取得了较好的效果,进尺速度由0.2 m/h,提高到0.5~1.5 m/h。

4.2.1 钻头参数选择

根据坚硬“打滑”岩层的特点,合理设计钻头参数,解决钻进过程中有良好的金刚石出刃、保持较大的金刚石切削压力,避免空磨和打滑现象。我队通

过近年大量的现场生产试验,总结出适宜于宜昌磷矿坚硬“打滑”地层的钻头选型和主要技术参数。

(1)宜选用高品级、中等偏细粒度人造金刚石制作钻头,金刚石浓度75%~100%。

(2)根据钻进地层的岩性特点确定钻头胎体硬度,坚硬致密、弱研磨性岩层选用的胎体硬度为HRC15~20,坚硬但较破碎的岩层选用的胎体硬度为HRC20~25。HRC10以下的钻头使用寿命短,现场并不适用。

(3)齿轮型钻头唇面随时间推移与孔底接触面积变化较小,相对于其它唇面的钻头后劲足,比较持久稳定,同时可以有效增加切削梯次,提高压力脉冲频率,是克服坚硬“打滑”岩层较为理想的选择。

(4)钻头水口宜选用扇形水口,扇形水口和直水口对比一是底唇工作面积小,可施加的钻压大,二是钻头内外唇面的长度相同,内外均衡磨损,三是排粉和冷却效果要好。水口数量选择为8个,水口面积占比>50%。

4.2.2 钻头的修磨

金刚石钻头人工出露主要采取孔外人工修磨和孔内磨料修磨两类方法。

4.2.2.1 孔外人工修磨

现场利用砂轮机人工打磨钻头工作唇面,人工使金刚石出露,一般每回次可以钻进20 cm以内效果明显。

人工修磨钻头需要注意:(1)顺钻头回转方向打磨,确保切削出刃方向与研磨切削方向一致;(2)要准确把握打磨的“度”,金刚石不能磨“老”,也不能磨平。

人工打磨法是人为磨损钻头胎体,使金刚石出露,缩短了钻头的寿命,需要频繁提钻,辅助工作时间长,经济效益差。

4.2.2.2 孔内修磨

孔内磨料修磨就是在钻进进尺缓慢时,通过钻杆向钻孔内投入细小的磨料,使钻头胎体磨损,金刚石出露。

坚硬石料如含硅质的砂岩或硅质条带白云岩,燧石条带、石英岩块等砸碎成1~2 cm大小的颗粒、玻璃碎片均可作为孔底磨料,一次投入量1~1.5 kg。

孔底投砂修磨钻头对操作者的技能经验要求较高,要从投砂量、钻头压力、转速、研磨时间等几个方

面考虑。

孔内修磨钻头可以做到不频繁地提钻,辅助时间不多。较好地解决了金刚石钻头在坚硬岩层打滑不进尺的问题,大幅提高钻进效率,时效可达到0.5 m以上。

4.2.3 钻进工艺参数控制

“打滑”地层岩石坚硬致密,必须有大比压才能切入并将其破碎;岩石中石英含量高,不同于完全脆性岩石,其破碎发育需要时间过程,因此不能采用太高的转速;钻进这类岩石的时效低,岩粉量小,无须采用大泵量,宜采用大钻压、中等转速、小泵量的参数比较适合坚硬致密弱研磨性岩层的钻进。本矿区的推荐钻进参数指标为:钻压9~13 kN,回转线速度1.5~3.0 m/s,泵量15~25 L/min。

5 冲洗液的配制及水敏地层解决方法

针对本地区钻探过程中对冲洗液性能的需要,选择了无固相冲洗液。主要作用在于提高冲洗液的粘度、加强钻孔内岩粉的絮凝作用,使岩粉快速有效地排出孔内;增加冲洗液的润滑性,降低孔壁的摩擦力,从而保持高速的旋转钻进;在孔壁形成有效的泥皮,降低孔内冲洗液的失水量,从而维持孔壁稳定,保持孔内的压力平衡。主要冲洗液选择为聚丙烯酰胺(1200万分子量)、腐植酸钾、磺化沥青、高效润滑剂以及植物胶。

5.1 正常钻进冲洗液的配置

在正常钻进过程中,孔壁完整,孔内压力稳定,冲洗液作用主要体现在提高冲洗液的絮凝作用、携带岩粉的能力和增强孔内的润滑性,使得孔内清洁,保持有效快速的钻进状态。

冲洗液配置方法为:500 ppm 聚丙烯酰胺 + 0.5% 腐植酸钾 + 1% 高效润滑剂;冲洗液密度1.01 g/cm³,粘度19~22 s,失水量≤15 mL/30 min。

5.2 牛蹄塘组及石牌组水敏地层冲洗液的选择

本矿区寒武系下部牛蹄塘组及石牌组与下伏震旦系的黑色炭质页岩为软弱松散水敏地层,是造成孔内坍塌、缩径的主要层位,该层段厚度为10~20 m,分布深度根据山势地形变化较大,一般在350~550 m。在矿区初期的钻探工作中,孔内事故多发生在该层段,主要是钻杆折断、埋钻、卡钻事故,由于钻孔较深,事故处理难度也相对较大。因此,研究合理的护壁措施是确保钻孔成功的关键。

通过室内配置浸泡岩样和现场钻进试验的方法,在正常钻进冲洗液配置的基础上,进行配方调整 and 性能测试。针对水敏地层的特点,在冲洗液配置中增加了冲洗液的粘度、密度,降低冲洗液的渗透能力。为抑制炭质页岩的水敏膨胀性,经过试验在配置中加入腐植酸钾可以起到较好的抑制作用,加入磺化沥青和植物胶,降低了失水量,增加了孔壁的润滑性,同时在孔壁形成隔水泥皮,增加孔壁的岩石稳定性,从而维持孔内的压力平衡。调整后的冲洗液性能抑制水敏效果明显,保证了钻孔施工的顺利进行。

水敏地层冲洗液配置方法为:1000 ppm 聚丙烯酰胺 + 1% 的腐植酸钾 + 1% 磺化沥青 + 1% 植物胶;冲洗液密度1.03 g/cm³,粘度26~30 s,失水量≤9 mL/30 min。

6 结语

宜昌磷矿北部整装勘查项目的实施总结了在鄂西地区奥陶系、寒武系、震旦系地层中的地质钻探施工技术,解决了灯影组硬、脆、碎地层和坚硬“打滑”地层的钻进技术难题,提出了正常钻进冲洗液的选用和寒武系牛蹄塘组水敏地层的冲洗液配置方案,为实施鄂西地区深部找矿钻探工作提供了很好的实践和经验。但在项目的钻探过程中也存在冲洗液流失严重、成本增加的问题,今后应该在钻孔护壁堵漏与降低钻探成本方面开展更深入的试验和研究工作。

参考文献:

- [1] 谭建国,张所邦,刘健,等.鄂西地区坚硬“打滑”地层钻进方法[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(4):22-24.
- [2] 张丽,杨凯华.金刚石钻头钻进坚硬致密弱研磨性岩层的研究现状与进展[J].金刚石与磨料磨具工程,2003,133(1):30-32.
- [3] 罗爱云,段隆臣,王伟雄,等.打滑地层新型孕镶金刚石钻头[J].地质科技情报,2007,26(1):109-112.
- [4] 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.
- [5] 乌效明.钻井液与岩土工程浆液[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,2002.
- [6] 李世忠.钻探工艺学[M].北京:地质出版社,1992.
- [7] 张成德,李三军,李文宝,等.岩心钻探深孔钻进技术研究[J].资源与产业,2006,8(6):91-93.
- [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.