

# 广西苗儿山大厚度水敏性地层冲洗液技术 研究及应用

刘俊辉<sup>1,2</sup>, 李晓东<sup>3</sup>

(1. 核工业二三〇研究所, 湖南长沙 410011;

2. 湖南省伴生放射性矿产资源评价与综合利用工程技术研究中心, 湖南长沙 410011;

3. 北京探矿工程研究所, 北京 100083)

**摘要:** 广西苗儿山地区铀矿找矿潜力巨大, 但局部地区地层复杂, 存在大厚度水敏性地层及破碎地层, 钻探施工中频繁遇到孔壁坍塌及钻孔超径等难题, 导致孔内事故频发, 严重影响施工进度。因此, 对该地区水敏性岩心进行了矿物成分和微观特征分析, 分析结果表明水敏性地层含有大量蒙脱石、高岭石、水云母等粘土矿物, 且微裂隙发育, 水化膨胀严重。针对以上问题, 通过室内实验评价, 优选了新型成膜护壁材料, 进一步研制了护壁性良好的成膜护壁冲洗液体系, 其最优配方为: 5% 成膜 A 剂 + 3% 成膜 B 剂 + 1.5% 改性沥青 + 1% 随钻堵漏剂 + 1% 封堵剂 + 0.6% 增粘剂 + 0.2% 包被剂。该冲洗液 API 滤失量为 5~8 mL, 相对膨胀降低率达到 87% 以上, 可有效抑制水敏性岩心水化膨胀, 护壁效果明显。该技术在苗儿山地区 3 个试验钻孔成功应用, 顺利钻穿水敏性地层, 未发生岩心分散、孔壁坍塌等问题, 取得了良好的应用效果, 初步形成了针对该地区水敏性地层的成膜护壁冲洗液技术。

**关键词:** 水敏性地层; 成膜护壁冲洗液; 孔壁坍塌; 钻孔超径; 铀矿勘探

**中图分类号:** P634.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2024)05-0154-09

## Research and application of drilling fluid technology for thick water-sensitive formations in the Miaoershan area of Guangxi

LIU Junhui<sup>1,2</sup>, LI Xiaodong<sup>3</sup>

(1. Research Institute No.230, CNNC, Changsha Hunan 410011, China;

2. Hunan Province Associated Radioactive Mineral Resources Evaluation and Comprehensive Utilization Engineering  
Technology Research Center, Changsha Hunan 410011, China;

3. Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The potential for uranium exploration in the Miaoershan area of Guangxi is enormous, but part of the formations are complex, with large thickness of water-sensitive and broken formations. During drilling construction, difficulties such as hole wall collapse and excessively large bore diameter occur frequently, leading to frequent accidents in the hole, which seriously affect the construction progress. Therefore, mineral composition and microscopic characteristics of water sensitive cores in the area were analyzed. The analysis results show that there are a large amount of clay minerals such as montmorillonite, kaolinite, hydromica, etc. in the water-sensitive formations, and the microcracks are developed with serious hydration expansion. To solve above problems, new materials with film forming and wall protecting functions were optimized through indoor evaluation experiments, and a drilling fluid system with good wall protection performance was further developed, which consists of 5% film-forming agent A, 3%

收稿日期: 2023-12-12; 修回日期: 2024-05-28 DOI: 10.12143/j.ztgc.2024.05.019

基金项目: 中国核工业地质局铀矿地质项目“苗儿山—越城岭地区铀矿资源调查评价与勘查”(编号: 2022-22)

第一作者: 刘俊辉, 男, 汉族, 1984 年生, 高级工程师, 勘查技术与工程专业, 主要从事铀矿钻探技术和施工管理工作, 湖南省长沙市雨花区桂花路 34 号, 597025204@qq.com。

引用格式: 刘俊辉, 李晓东. 广西苗儿山大厚度水敏性地层冲洗液技术研究及应用[J]. 钻探工程, 2024, 51(5): 154-162.

LIU Junhui, LI Xiaodong. Research and application of drilling fluid technology for thick water-sensitive formations in the Miaoershan area of Guangxi[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(5): 154-162.

film-forming agent B, 1.5% modified asphalt, 1% plugging agent while drilling, 1% sealing agent, 0.6% viscosifier, 0.2% coating agent. The API filtration loss of this drilling fluid is 5~8mL, and the relative expansion reduction rate reaches over 87%. This drilling fluid can effectively inhibit hydration expansion of the water-sensitive formations, and the wall protection effect is significant. This technology has been successfully applied in three boreholes in the Miaoershan area, smoothly drilling through water-sensitive formations without any problems such as core dispersion or hole wall collapse. Good application results have been achieved, and a film forming and wall protection drilling fluid technology has been preliminarily formed for water-sensitive formations in this area.

**Key words:** water-sensitive formation; film-forming wall protection drilling fluid; hole wall collapse; excessively large bore diameter; uranium exploration

## 0 引言

广西苗儿山地区是我国南方硬岩热液型铀矿主要富集成矿区,近年在苗儿山地区陆续发现了沙子江、向阳坪、白毛冲等多个铀矿床。由于找矿成果好,投入的钻探工作量也随之增加,对钻探质量和钻进效率要求也越来越高。然而在钻探施工过程中,经常遇到大厚度水敏性地层,钻进时极易垮孔或超径,钻具下放受阻,反复起下钻扫孔,甚至发生卡埋钻事故,导致钻孔报废。为解决此类问题,采取了如下套管护壁、膨润土泥浆护壁、水泥封孔护壁等措施,仍无法解决垮孔超径难题,严重影响了施工进度。针对该地区钻探施工过程中的垮孔超径难题,本文开展了垮孔超径机理分析和新型成膜护壁冲洗液体系研究,并应用于施工钻孔,有效解决了水敏性地层垮孔超径难题。

## 1 工程地质特征及施工难点

### 1.1 地质概况

广西苗儿山地处花岗岩地区,主要岩性为中粗粒似斑状黑云母花岗岩、中细粒二云母花岗岩。工作区断裂构造极为发育,主要由SN、EW、NE和NNE向4组断裂构成本区的基本构造格架<sup>[1-4]</sup>。自东向西依次平行发育F<sub>7</sub>、F<sub>802</sub>、F<sub>800</sub>、F<sub>805</sub>、F<sub>10</sub>、F<sub>11</sub>、F<sub>12</sub>等断裂带(见图1),各断裂带组上下盘又密集发育多条次级平行断裂<sup>[5-9]</sup>。断裂带密集发育处,地层岩性复杂,主要呈现为水敏性地层、碎裂花岗岩地层和裂隙地层。尤其在F<sub>7</sub>、F<sub>8</sub>、F<sub>9</sub>号带南部存在大厚度水敏性地层,岩性主要为高岭土化、绿泥石化、赤铁矿化、水云母化碎裂岩,岩心吸水后极易膨胀分散剥落成颗粒状(见图2),导致钻孔孔壁坍塌或超径(“大肚子”),造成施工进度缓慢甚至钻孔报废。

### 1.2 施工难点

工作区存在大厚度水敏性地层,由于普通冲洗

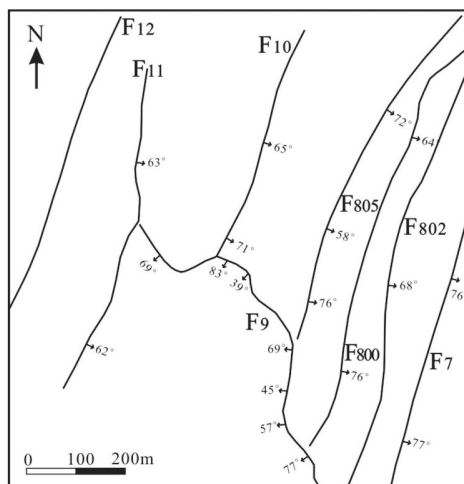
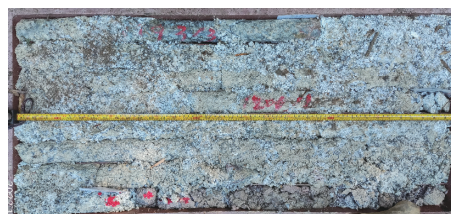


图1 苗儿山铀矿床构造简图

Fig.1 Structural diagram of Miaoershan uranium deposit



(a) 高岭土化



(b) 赤铁矿化

图2 水化后的水敏性地层岩心

Fig.2 Water sensitive formation core after hydration

液的性能达不到护壁要求,孔壁吸水膨胀松散,频繁发生垮孔和超径(“大肚子”)问题,造成钻具下放受阻,需反复扫孔,甚至发生埋钻或卡钻事故,严重的导致钻孔报废。虽然采取了相应措施,如下套管、水泥封孔、膨润土泥浆护壁等,但由于地层过于复杂,套管不能下到底,水泥凝固强度低或不凝固,泥浆护壁效果差,不能很好地解决孔壁频繁坍塌问题,严重影响施工进度和钻进效率。表1为广西苗儿山地区近3年施工过程中因孔壁严重坍塌导致报废的工作量。

表1 苗儿山地区因孔壁严重坍塌导致报废的工作量

Table 1 Discard workloads due to severe collapse of borehole walls in the Miaoershan area

年度	报废工作量/m	占年度工作量比例/%	年度工作量/m	延误工期/d
2020	2100	14.0	15000	85
2021	770	4.8	16000	47
2022	580	3.2	18000	32
合计	3450	7.0	49000	164

从表1中可以看出,因孔壁严重坍塌导致报废的工作量占年度工作量比例3.2%~14%,平均7.0%,钻孔报废不仅导致工期延误,并且造成钻探生产人工、材料等成本上升,造成单位直接经济损失约为35~158万元/年。因此,水敏性地层钻探护壁冲洗液技术研究至关重要。

2 水敏性岩样采集与分析

2.1 岩心矿物成分分析

从现场不同钻孔采集了15个水敏性蚀变地层的岩心样品,进行岩石矿物成分分析,结果见表2。

由表2可知,岩样主要成分为蒙脱石、高岭石、水云母及石英,其中蒙脱石、高岭石和水云母均是粘土矿物,蒙脱石具有很强的吸水膨胀能力,而高岭石和水云母遇水则易分散剥落,夹杂在其中的石英失去支撑也随之崩落,极易导致孔壁坍塌或超径,这是孔壁失稳的主要原因。

2.2 岩心微观形貌分析

对岩心进行了光学显微成像和扫描电镜背散射成像(见图3),观察岩心样品的微观形貌,发现岩心表面及内部存在大量的不规则微米级裂隙和孔洞,这些微裂隙和孔洞是水分子进入岩心内部的毛

表2 岩心样品矿物成分分析结果

Table 2 Analysis results of mineral composition in core samples

孔号	取样深度/m	蒙脱石/%	高岭石/%	微斜长石/%	水云母/%	石英/%
ZK4-28-2	61	40	20	6	23	11
ZK4-28-2	473	24	14	20	18	24
ZK7-41-1	283	67	8	—	17	8
ZK7-41-1	288	30	21	—	49	—
ZK7-41-1	512	76	16	—	8	—
ZKD80-8	385	54	26	—	20	—
ZKD80-8	386	74	10	—	16	—
ZKD80-8	390	85	4	—	11	—
ZKD80-8	466	63	23	—	14	—
ZK6-37-1	277	52	17	—	17	14
ZK6-37-1	290	49	15	—	12	24
ZK6-37-1	295	70	7	7	9	7
ZK7-49-2	405	18	16	12	18	36
ZK7-49-2	435	17	15	14	7	47
ZK7-49-2	563	23	15	11	13	38
平均含量		49.5	15.1	4.7	16.8	13.9

细管通道。水分子进入毛细管通道后,与蒙脱石、高岭石结合被吸收,导致蒙脱石、高岭石膨胀,破坏岩层应力和骨架,导致岩石崩散。

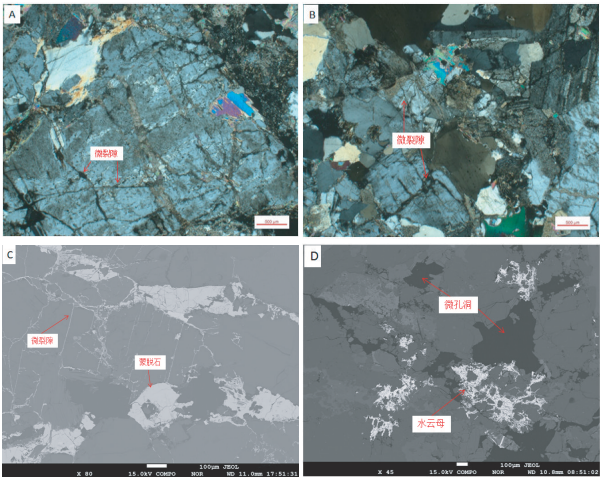


图3 岩心微观成像照片

Fig.3 Microscopic imaging photos of rock cores

2.3 孔壁失稳原因分析

根据岩样成分及微观形貌结果,结合钻进过程原理,分析认为孔壁失稳原因如下:



(1)水敏性地层岩心中含有大量蒙脱石、高岭石和水云母等粘土矿物,蒙脱石易吸水膨胀分散和造浆,而高岭石和水云母遇水易分散剥落,是孔壁失稳的主要原因。

(2)地层裂隙极发育,岩心表面及内部存在大量微裂隙和孔洞,是良好的毛细管通道,冲洗液中的水分子进入毛细管产生的压力使岩层骨架遭受破坏;同时蒙脱石因表面水化和离子水化作用而崩解,地层抗剪切强度下降,孔壁周围闭圈应力提高,导致孔壁岩石崩散脱落。

(3)频繁起下钻产生的抽汲作用使得水敏性地层及破碎地层的孔壁进一步失稳,冲洗液冲蚀作用也加剧了孔壁的不稳定性,导致孔壁失稳垮塌。

### 3 提高水敏性地层孔壁稳定的对策

水敏性地层稳定性差,是钻探行业的难点地层,极易发生地层分散剥落导致垮孔超径现象。通过选用优质的防塌护壁冲洗液,可降低水化作用影响,强化孔壁,提高钻孔稳定周期。采用护壁冲洗液的对策如下:

(1)提高冲洗液护壁性能,降低水化作用影响,包括:严格控制冲洗液滤失量;提高冲洗液的抑制性能,可采取添加强抑制剂、高分子聚合物、提高冲洗液矿化度等措施。

(2)快速封堵裂隙或孔隙,强化孔壁。向冲洗液中添加不同颗粒级别的封堵性材料,快速封堵裂缝、裂隙或孔隙,形成致密保护膜,降低孔壁的渗透率,以阻止大量自由水进入地层;加入具有较强粘接性的材料,强化颗粒或碎块之间的胶结,提高孔壁岩体的机械强度。

(3)适当提高冲洗液粘度和密度,同时控制冲洗液上返速度,降低冲洗液对孔壁的冲蚀作用,使孔壁处于力学稳定状态。

(4)合理设计,规范操作。尽可能增大环空间隙,避免高粘度、高密度带来较大的环空压力以及提钻时较大的抽汲力,以防地层被压漏和诱发孔壁坍塌。薄弱孔段,避免带内管提钻,以降低提钻抽汲力。

### 4 新型护壁冲洗液体系及配方研究

冲洗液研究的关键是材料优选及配方优化。首先优选具有良好成膜性和粘接性的冲洗液材料,

其次通过优化配方取得良好的冲洗液性能参数。

#### 4.1 处理剂优选

通过对水敏性岩心样品岩性及微观分析,查阅相关文献资料和相似地层施工案例,选择新型成膜护壁冲洗液体系<sup>[10-14]</sup>进行研究。

通过文献调研选取不同种类的降滤失剂、增粘剂及防塌剂等材料,开展室内实验优选各材料及其加量,优选的材料加量及作用见表 3。

表 3 冲洗液材料的加量及作用  
Table 3 Dosage range and effect of drilling fluid materials

材料名称	加量/%	作用
成膜 A 剂(GCM-A)	3~7	具有强成膜特性,隔水性好,抑制水化膨胀与分散作用强
成膜 B 剂(GCM-B)	1~3	具有强成膜特性,粘结性和隔水性好,进一步强化膜效应
改性沥青(GLA)	0.5~1.5	具有封堵降低渗透率和软化粘结的防塌作用
随钻堵漏剂(GPC)	1~2	用于封堵孔隙或裂隙,强化孔壁
封堵剂(GFD)	1~3	用于封堵微孔隙或微裂隙,强化孔壁
增粘剂(GTQ)	0.4~0.8	具有提高粘度和切力、降低失水的作用
包被剂(BBJ)	0.1~0.3	具有包被和适度絮凝作用
纯碱(Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	0.1~0.2	调节冲洗液的 pH 值

该冲洗液滤失量低、成膜性好,可通过强抑制性材料来降低冲洗液对地层的水化作用影响,采用强粘接性和封堵性材料来强化孔壁,从而延长孔壁的稳定周期<sup>[15-20]</sup>。

#### 4.2 冲洗液体系配方优化试验

##### 4.2.1 正交实验设计

根据各冲洗液材料加量范围,除纯碱按照 0.2% 加量以外,其它 7 种材料各取 3 种不同的加量进行七因素三水平正交实验,确定最佳配方。

针对各个材料的加量范围,选定各材料的 3 种加量见表 4。

根据正交实验原理,设计正交实验共计 18 组,见表 5。

##### 4.2.2 正交实验评价分析

通过室内实验,按照正交实验设计的 18 组冲洗

表 4 各冲洗液材料的加量选择

Table 4 Selection of dosage for each drilling fluid material

材料名称	加量 1/%	加量 2/%	加量 3/%
成膜 A 剂(GCM-A)	3	5	7
成膜 B 剂(GCM-B)	1	2	3
改性沥青(GLA)	0.5	1	1.5
随钻堵漏剂(GPC)	1	1.5	2
封堵剂(GFD)	1	2	3
增粘剂(GTQ)	0.4	0.6	0.8
包被剂(BBJ)	0.1	0.2	0.3

表 5 正交实验设计

Table 5 Orthogonal experimental design

材料名称	成膜 A 剂/%	成膜 B 剂/%	改性沥青/%	随钻堵漏剂/%	封堵剂/%	增粘剂/%	包被剂/%
配方 1	3	1	0.5	1	1	0.4	0.1
配方 2	3	2	1	1.5	2	0.6	0.2
配方 3	3	3	1.5	2	3	0.8	0.3
配方 4	5	1	0.5	1.5	2	0.8	0.3
配方 5	5	2	1	2	3	0.4	0.1
配方 6	5	3	1.5	1	1	0.6	0.2
配方 7	7	1	1	1	3	0.6	0.3
配方 8	7	2	1.5	1.5	1	0.8	0.1
配方 9	7	3	0.5	2	2	0.4	0.2
配方 10	3	1	1.5	2	2	0.6	0.1
配方 11	3	2	0.5	1	3	0.8	0.2
配方 12	3	3	1	1.5	1	0.4	0.3
配方 13	5	1	1	2	1	0.8	0.2
配方 14	5	2	1.5	1	2	0.4	0.3
配方 15	5	3	0.5	1.5	3	0.6	0.1
配方 16	7	1	1.5	1.5	3	0.4	0.2
配方 17	7	2	0.5	2	1	0.6	0.3
配方 18	7	3	1	1	2	0.8	0.1

液配方配制冲洗液,进行常规性能评价分析,其结果见表 6。

根据正交实验配方性能评价结果,以 API 滤失量参数为主,同时结合各材料不同加量时性能对比情况进行配方优化调整,最终优选出新型成膜冲洗液配方为 6 号:水+0.2% 纯碱+5% 成膜 A 剂+3% 成膜 B 剂+1.5% 改性沥青 GLA+1% 随钻堵漏剂 GPC+1% 封堵剂 GFD+0.6% 增粘剂 GTQ+0.2% 包被剂 BBJ。

表 6 正交实验配方性能评价

Table 6 Performance evaluation of orthogonal experimental formula

序号	密度/ (g·cm <sup>-3</sup> )	漏斗 粘度/ s	表观 粘度/ (mPa·s)	塑性 粘度/ (mPa·s)	动切 力/ Pa	API 滤 失量/ mL
配方 1	1.04	22	20	15	5	6.8
配方 2	1.05	25	22	17	5	7.5
配方 3	1.05	33	29	22	7	5.2
配方 4	1.05	34	31	23	8	7
配方 5	1.06	23	21	16	5	5.6
配方 6	1.06	22	20	17	6	5
配方 7	1.06	26	24	18	6	4.8
配方 8	1.07	30	26	19	7	5.2
配方 9	1.07	24	21	16	5	4
配方 10	1.04	24	22	17	5	7.8
配方 11	1.05	32	29	22	7	7.5
配方 12	1.05	24	23	17	6	7.6
配方 13	1.05	35	31	23	8	7
配方 14	1.06	23	22	16	6	6
配方 15	1.06	25	23	17	6	5.8
配方 16	1.06	23	21	17	4	4.9
配方 17	1.07	32	28	23	5	4.8
配方 18	1.07	33	29	23	6	5.1

4.3 冲洗液抑制性能评价

4.3.1 抑制水化膨胀性能评价

将现场采取的岩心样品压制成型,使用页岩膨胀量测定仪测定岩心样品在蒸馏水、普通膨润土冲洗液及成膜防塌无固相冲洗液中的膨胀量,计算不同冲洗液测得的膨胀量与水对比的膨胀量降低率,结果见表 7。

从表 7 数据可以看出,岩心样品在成膜防塌冲洗液中的 6 h 膨胀量远低于在蒸馏水和普通膨润土

表 7 成膜冲洗液抑制膨胀性能评价结果

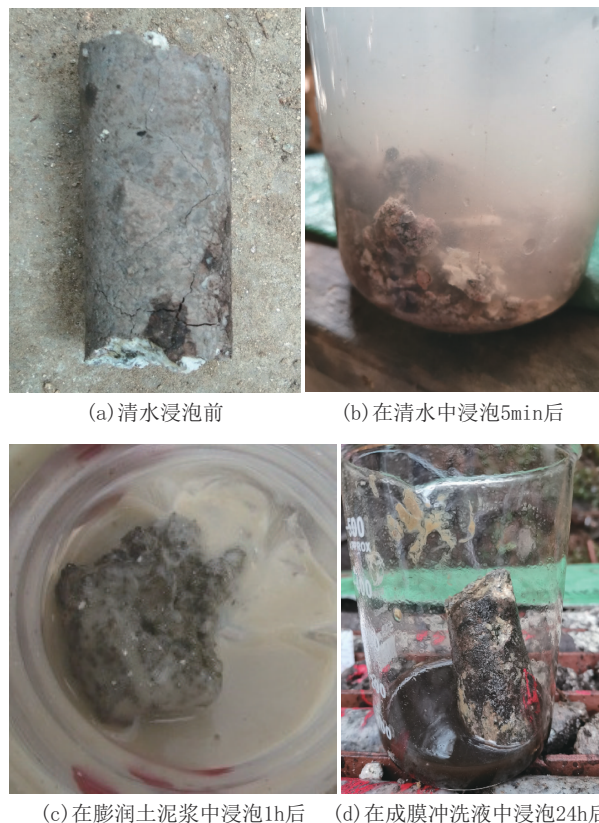
Table 7 Evaluation results of expansion inhibition performance of film-forming drilling fluid

项 目	抑制膨胀性能	
	6 h 膨胀量/ mm	相对膨胀降低 率/%
蒸馏水	5.68	—
普通膨润土冲洗液	3.96	30
成膜防塌无固相冲洗液	0.73	87

冲洗液中的膨胀量,证明成膜冲洗液对样品岩石膨胀有很强的抑制性能。

#### 4.3.2 抑制岩心分散性能评价

采取水敏性地层的岩心样品,分别使用清水、膨润土泥浆及成膜冲洗液对岩心进行浸泡试验,浸泡试验结果见图4。



(c)在膨润土泥浆中浸泡1h后 (d)在成膜冲洗液中浸泡24h后

图4 岩心样品在不同冲洗液中浸泡照片

Fig.4 Soaking photos of rock core samples in different washing solutions

浸泡试验表明,岩心样品在清水中浸泡后快速分散,5 min后基本全部分散剥落;采用膨润土泥浆浸泡1 h后变得极其松软,并且开始逐渐剥落;采用成膜冲洗液浸泡24 h的岩心则依然保持形状完整,且岩块表面形成具有一定强度的薄膜,岩块强度明显提高。实验结果证明:成膜冲洗液具有较强的成膜隔水作用,可有效保护岩心及孔壁稳定。

因此,该冲洗液具有良好的流变性能、强抑制性能和低滤失量。

## 5 现场应用

为了验证新型成膜护壁冲洗液的效果,在苗儿

山大厚度水敏性地层选取易塌孔区域的3个钻孔进行了现场试验。3个钻孔全孔采用新型成膜护壁冲洗液钻进,均顺利钻穿了大厚度水敏性地层,取得了良好的应用效果。

以ZK7-49-2号钻孔为例,该孔历时27天,终孔孔深742.65 m,台月效率825.17 m。根据地质编录数据统计,该孔水敏性地层累计厚度达到397.68 m,占全孔深度的53.54%。由于使用了成膜护壁冲洗液,在钻进过程中未出现垮孔或超径现象,起下钻通畅,钻进顺利,取出的水敏性岩心不膨胀分散,始终保持完整状态。

使用新型成膜护壁冲洗液钻进的钻孔,在各方面取得了理想的效果,具体表现在以下几个方面。

#### 5.1 护壁效果显著,孔壁稳定

在水敏性地层中钻进,未发生孔壁坍塌或超径现象,未发生卡埋钻等孔内事故,未出现钻孔报废事件。每次起下钻均顺畅,无需扫孔,正常下钻到底。下套管时孔壁稳定,无遇阻现象。

#### 5.2 取心质量好,取心率高

从岩心对比图(图5)可以看出,使用成膜冲洗液钻取的水敏性地层岩心,表面包裹一层致密且有韧性的保护膜,岩心完整,岩心采取率高达98%以上。



(a)使用普通PHP冲洗液



(b)使用成膜冲洗液

图5 成膜冲洗液使用前后采取的岩心

Fig.5 Core samples taken before and after the use of film-forming drilling fluid



5.3 钻进效率明显提升,成孔率高

和膨润土泥浆的钻孔对比(见表8),使用成膜冲洗液在水敏性地层中钻进,与使用普通 PHP 冲洗液钻进效率明显提高。

表 8 不同冲洗液使用效果对比

Table 8 Comparisons of using effects of different drilling fluid

冲洗液类型	钻孔编号	孔深/m	施工周期/d	台月效率/m	备 注
PHP 冲洗液	ZK7-45-1	631.60	72	263.17	发生垮孔 5 次,后埋钻事故处理不成功,重新开孔
	ZK7-49-1	472.92	59	240.06	发生垮孔 6 次,封水泥护壁 6 次
	ZK7-41-1	526.38	49	322.93	发生垮孔 4 次
	小计	1630.90	60	271.82	
膨润土泥浆	ZK6-19-1	559.30	30	559.30	发生垮孔 3 次
	ZK6-15-3	640.30	35	547.26	发生垮孔 3 次
	小计	1199.6	33	552.81	
成膜冲洗液	ZK6-37-1	580.50	21	829.29	未发生垮孔事故
	ZK7-49-2	742.65	27	807.23	未发生垮孔事故
	ZK6-38-1	757.20	25	908.64	未发生垮孔事故
	小计	2080.35	24	854.94	

由表 8 可知,使用成膜冲洗液的钻孔钻探台月效率达 854.94 m,较使用 PHP 冲洗液钻孔钻探台月效率提升 215%;较使用膨润土泥浆钻孔钻探台月效率提升 55%。试验表明,使用成膜护壁冲洗液对钻进效率提升明显。

使用成膜冲洗液钻孔事故率低,成孔率高。使用普通冲洗液的钻孔多次发生垮孔埋钻事故,甚至钻孔报废,垮孔次数远多于使用成膜冲洗液的钻孔,导致钻进效率非常低。

5.4 具有良好的携砂排屑性能

与普通冲洗液相比,成膜冲洗液具有良好的流变性,既能满足携砂要求,同时又能使冲洗液中的岩屑在地表较好地沉降(图 6),冲洗液性能稳定,使用周期长,循环使用率高。

5.5 冲洗液性能优异

在使用成膜冲洗液之前,工区钻探一直使用清



图 6 冲洗液携带出来的岩粉

Fig.6 Rock powder carried out by drilling fluids

水+聚丙烯酰胺(PHP)冲洗液或膨润土泥浆。对膨润土泥浆和成膜冲洗液性能参数分别进行了测试,结果如表 9 所示,测试完毕后滤纸上保护膜和泥皮见图 7。

表 9 现场测得的冲洗液性能参数

Table 9 Performance parameters of drilling fluid measured on site

冲洗液类型	漏斗粘度/s	密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	API 滤失量/mL	泥皮厚度/mm	泥皮质量	pH 值	含砂量/%
成膜冲洗液	21~30	1.03~1.06	5~8	0.2	致密,薄韧	11~13	1~2
膨润土泥浆	30~50	1.03~1.06	12~18	1~2	松软,厚	7~9	1~3

对比成膜冲洗液和膨润土泥浆性能参数可以看出,成膜冲洗液的性能稳定,粘度和密度适中,具有滤失量低的显著特点,且能在孔壁表面形成一层

保护膜,成膜质量好,可有效减少水分子进入地层中,降低水化作用对水敏性地层的影响,从而有效地保护孔壁的稳定。



(a) 成膜冲洗液泥皮照片



(b) 膨润土泥浆泥皮照片

图7 膨润土与成膜冲洗液泥皮照片对比

Fig.7 Comparison of photos of bentonite and film forming rinsing liquid mud skin

## 6 结论

(1) 苗儿山地区水敏性地层含有大量蒙脱石(含量49.5%),且岩石表面及内部微米级裂隙和孔洞发育,是导致孔壁失稳的主要原因。钻进中遇到孔壁坍塌、超径、卡埋钻等问题是由水敏性岩心水化膨胀及分散引起,微裂隙通道加剧了自由水的渗入和粘土矿物水化膨胀。

(2) 针对工作区大厚度水敏性地层钻进孔壁失稳难题,经过材料优选、配方优化和性能评价,最终确定的冲洗液配方为:水+0.2%纯碱+5%成膜A剂+3%成膜B剂+1.5%改性沥青GLA+1%随钻堵漏剂GPC+1%封堵剂GFD+0.6%增粘剂GTQ+0.2%包被剂BBJ。

(3) 通过新型成膜冲洗液的研究及应用,证明了成膜冲洗液具有良好的抑制性能、防塌护壁性能及流变性能,可有效解决水敏性地层钻进过程中的垮孔或超径难题,保证钻孔高效安全钻进。

## 参考文献(References):

[1] 吴昆明,李大雁,陈琪,等.广西向阳坪铀矿床成矿地质特征[J].铀矿地质,2016,32(4):224-229,254.

WU Kunming, LI Dayan, CHEN Qi, et al. Geological features of Xiangyangping uranium deposit in Guangxi[J]. Uranium Geology, 2016,32(4):224-229,254.

[2] 欧阳平宁,黄满湘,刘鑫扬,等.向阳坪铀矿床断裂构造原生晕特征及找矿意义[J].铀矿地质,2012,28(2):16-21.

OUYANG Pingning, HUANG Manxiang, LIU Xinyang, et al. The characteristics of original geochemical halo in fault zone and its prospecting significance in Xiangyangping uranium deposit[J]. Uranium Geology, 2012,28(2):16-21.

[3] 李卫星,巢小林,陈琪,等.利用 $\gamma$ 测井划分赋围岩岩性——以向阳坪铀矿床为例[J].湖南科技学院学报,2014(10):70-73.

LI Weixing, CHAO Xiaolin, CHEN Qi, et al. Using gamma logging to classify the lithology of ore bearing surrounding rocks: A case study of the Xiangyangping uranium deposit[J]. Journal of Hunan University of Science and Engineering, 2014(10):70-73.

[4] 欧阳平宁.苗儿山铀矿田向阳坪地区构造地球化学研究与成矿富集中心预测[D].长沙:中南大学,2012.

OUYANG Pingning. Research on tectonic geochemistry and prediction of ore enrichment center in Miaoershan uranium orefield, Xiangyangping area[D]. Changsha: Central South University, 2012.

[5] 黄宏业,肖建军,欧阳平宁,等.基于多元统计的微量元素地球化学特征分析——以广西资源县向阳坪地区构造蚀变岩型铀矿为例[J].地质找矿论丛,2009,24(3):211-216.

HUANG Hongye, XIAO Jianjun, OUYANG Pingning, et al. Geochemical characteristics of trace elements based on multivariate statistical analysis—An example from the altered tectonite type uranium deposit in Xiangyangping, Guangxi Province[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2009,24(3):211-216.

[6] 刘鑫扬,欧阳平宁,肖建军,等.苗儿山矿田向阳坪地区铀成矿条件及重点勘查地段研究[C]//中国核学会年会,2011.

LIU Xinyang, OUYANG Pingning, XIAO Jianjun, et al. Research on Xiangyangping area of Miaoershan fields uranium metallogenetic conditions and key exploration area[C]//Progress Report on China Nuclear Science & Technology, 2011.

[7] 李妮巍,王敢,许来生,等.大坪里一向阳坪地区铀成矿条件分析[J].世界核地质科学,2010,27(2):72-77.

LI Wuwei, WANG Gan, XU Laisheng, et al. Analysis on uranium metallogenetic condition of Dapingli-Xiangyangping area[J]. World Nuclear Geoscience, 2010,27(2):72-77.

[8] 李妮巍,王敢,陈卫锋,等.广西向阳坪地区剪切带与铀成矿作用[J].昆明理工大学学报(自然科学版),2011(5):7-13.

LI Wuwei, WANG Gan, CHEN Weifeng, et al. Discussion on shear zones and uranium metallogenesis in Xiangyangping area of Guangxi Province[J]. Journal of Kunming University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2011(5):7-13.

[9] 黄剑,谭双,陈琪,等.广西向阳坪铀矿床黄铁矿特征及其对矿体延伸的影响[J].中国锰业,2019,37(3):20-23.

HUANG Jian, TAN Shuang, CHEN Qi, et al. Characteristics of pyrite and influence of ore body extension of Xiangyangping uranium deposit in Guangxi Province[J]. China's Manganese Industry, 2019,37(3):20-23.

[10] 陶士先,李晓东,纪卫军,等.成膜防塌无固相冲洗液体系的研究



- 究与应用[M].中国地质学会探矿工程专业委员会.第十八届全国探矿工程(岩土钻掘工程)技术学术交流会论文集.北京:地质出版社,2015:424-430.
- TAO Shixian, LI Xiaodong, JI Weijun, et al. Research and application of film-forming anti-collapse non-solid phase washing liquid system[M]. Mineral Engineering Committee, Geological Society of China. Special for the Eighteenth National Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling) Academic Conference. Beijing: Geological Publishing House, 2015:424-430.
- [11] 陶士先,李晓东,吴召明,等.强成膜性护壁冲洗液体系的研究与应用[J].地质与勘探,2014,50(6):1147-1154.
- TAO Shixian, LI Xiaodong, WU Zhaoming, et al. Research and application of the strong-film-forming wall-protecting flushing fluid system for drilling[J]. Geology and Exploration, 2014,50(6):1147-1154.
- [12] 熊正强,陶士先,李艳宁,等.国内外冲洗液技术研究与应进展[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(5):6-12.
- XIONG Zhengqiang, TAO Shixian, LI Yanning, et al. Progress in research and application of flushing fluid technology both in China and abroad[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(5):6-12.
- [13] 李晓东,柯玉军.甘肃金昌龙首矿坑道钻探冲洗液对策[J].地质装备,2018,19(4):21-24.
- LI Xiaodong, KE Yujun. Countermeasures for drilling and flushing fluid in Longshou mine tunnel, Jinchang, Gansu Province[J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2018, 19(4):21-24.
- [14] 刘俊辉.成膜防塌无固相冲洗液在广西向阳坪地区复杂地层中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(12):36-41.
- LIU Junhui. Drilling fluid technology for complex formation drilling in the Xiangyangping area of Guangxi[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(12):36-41.
- [15] 代万庆,薛艳,颜巧云.水敏性地层钻探泥浆性能优化及配制[J].钻探工程,2021,48(11):23-29.
- DAI Wanqing, XUE Yan, YAN Qiaoyun. Performance optimization and preparation of drilling mud for water sensitive formation[J]. Drilling Engineering, 2021,48(11):23-29.
- [16] 郑洪涛.嵩县某金矿区复杂地层强抑制防塌泥浆技术[J].钻探工程,2022,49(4):81-86.
- ZHENG Hongtao. Strong inhibitive drilling fluid technology for complex formation in a gold mining area in Song county[J]. Drilling Engineering, 2022,49(4):81-86.
- [17] 吕文军.X-A成膜钻井液体系在滇东北地区页岩气调查井中的应用[J].钻探工程,2023,50(S1):223-226.
- LÜ Wenjun. Application of X-A film forming mud system in shale gas exploration in Northeast Yunnan[J]. Drilling Engineering, 2023,50(S1):223-226.
- [18] 张席芝,杨亚平,寇永渊,等.金川矿区复杂地层钻探孔壁失稳机理与对策研究[J].钻探工程,2023,50(6):70-77.
- ZHANG Xizhi, YANG Yaping, KOU Yongyuan, et al. Research on mechanism and countermeasure of borehole wall destabilization in complex formation of Jinchuan mining area[J]. Drilling Engineering, 2023,50(6):70-77.
- [19] 李田周,陶士先,熊正强.磷石膏地层用钙基成膜环保冲洗液研究与应用[J].钻探工程,2023,50(1):49-54.
- LI Tianzhou, TAO Shixian, XIONG Zhengqiang. Development and application of calcium-based film-forming environment-friendly drilling fluid for phosphogypsum formation[J]. Drilling Engineering, 2023,50(1):49-54.
- [20] 麻朗朗,陶士先,邹志飞.白银市土红湾-李家沟煤炭资源详查23-2孔冲洗液技术[J].钻探工程,2023,50(5):81-87.
- MA Langlang, TAO Shixian, ZOU Zhifei. Drilling fluid technology for Hole 23-2, detailed investigation of coal resources in Tuhongwan-Lijiagou, Baiyin City[J]. Drilling Engineering, 2023,50(5):81-87.

(编辑 荐华)