

# 金矿水敏性地层分析及成膜冲洗液应用研究

——以松潘县东北寨金矿为例

马映辉, 贾宏福\*, 马志强, 赵 丹

(四川省第三地质大队金钻公司, 四川 成都 611743)

**摘要:**为解决金矿水敏性地层钻探难度大、钻进效率低和孔内事故多发的难题,以松潘县东北寨金矿为案例,开展了地层分析及成膜冲洗液试验与应用研究。从岩石成分、结构与矿物组成出发,剖析水敏根源,揭示黏土矿物吸水膨胀、水化分散及微观结构变化机理。围绕成膜冲洗液配方,通过室内与现场试验,研究多组对比试验配方,分析不同添加剂的作用效果和不同组合的综合性能,验证了成膜冲洗液的优良性能,合理的组合能协同发挥各材料的优势,稳定的流变性、良好的抑制性和适宜的滤失性等全面的性能可满足复杂工况需求,达到预期的钻探效果。本研究为金矿水敏性地层钻探提供冲洗液理论支撑与技术方案,有助于类似矿区钻探施工效率的提升。

**关键词:**金矿钻探;水敏性地层;成膜冲洗液;流变性;抑制性;滤失性;东北寨金矿

中图分类号:P634.6 文献标识码:A 文章编号:2096-9686(2026)03-0130-09

## Analysis of water-sensitive strata and application research of film-forming drilling fluid in Dongbeizhai Gold Mine, Songpan County

MA Yinghui, JIA Hongfu\*, MA Zhiqiang, ZHAO Dan

(Jinzuan Company, The 3rd Geological Brigade of Sichuan, Chengdu Sichuan 611743, China)

**Abstract:** To solve the problems of difficult drilling, low efficiency and frequent downhole accidents in water-sensitive strata of gold mines, this study takes the Dongbeizhai Gold Mine in Songpan County as a case study, conducting strata analysis and experimental research on the application of film-forming drilling fluid. Starting from rock composition, structure, and mineral composition, the root cause of water sensitivity is analyzed, revealing the mechanisms of clay mineral swelling, hydration dispersion, and microstructural changes. Focusing on the formulation of the film-forming drilling fluid, laboratory and field tests were carried out to study multiple comparative experimental formulations. The effects of different additives and the comprehensive performance of various combinations were analyzed, verifying the superior properties of the film-forming drilling fluid. Reasonable combinations synergistically leverage the advantages of each material, with stable rheology, excellent inhibition, and appropriate fluid loss control, meeting the demands of complex drilling conditions and achieving the desired drilling outcomes. This research provides theoretical support and technical solutions of drilling fluid for drilling in water-sensitive gold mine strata, contributing to improved drilling efficiency in similar mining areas.

**Key words:** gold mine drilling; water-sensitive strata; film-forming drilling fluid; rheological; inhibition; filtrative; Dongbeizhai Gold Mine

收稿日期:2025-09-09; 回日期:2025-12-10 DOI:10.12143/j.ztgc.2026.03.016

第一作者:马映辉,男,汉族,1971年生,高级工程师,勘查技术与工程专业,主要从事钻探工程组织管理和技术管理工作,四川省成都市郫都区港通北三路260号,727325209@qq.com。

通信作者:贾宏福,男,汉族,1986年生,高级工程师,勘查技术与工程专业,主要从事钻探工程技术质量管理工作,四川省成都市郫都区港通北三路260号,jia510@sina.cn。

引用格式:马映辉,贾宏福,马志强,等.金矿水敏性地层分析及成膜冲洗液应用研究——以松潘县东北寨金矿为例[J].钻探工程,2026,53(3):130-138.

MA Yinghui, JIA Hongfu, MA Zhiqiang, et al. Analysis of water-sensitive strata and application research of film-forming drilling fluid in Dongbeizhai Gold Mine, Songpan County[J]. Drilling Engineering, 2026, 53(3): 130-138.

## 0 引言

黄金是重要的战略矿产资源,是国际通用储备资产,且工业应用广泛,对于国家经济和金融安全具有重要作用<sup>[1]</sup>。金矿往往产于破碎带,这种产出特征给钻探工作带来诸多不利影响。利用冲洗液技术应对破碎水敏性地层,国内外已形成系列成果。国外在页岩油气领域普遍采用KCl聚合物、胺基抑制剂与纳米封堵材料复配的冲洗液体系,显著延长了井壁稳定周期<sup>[2]</sup>;国内在铀矿、页岩气、金属矿等复杂地层推广了强成膜护壁冲洗液、无固相双聚防塌冲洗液及抗盐膏侵成膜环保冲洗液等技术,孔壁稳定时间由数小时延长至数天<sup>[3-7]</sup>。

四川松潘县东北寨金矿床是典型的赋存于破碎带中的金矿,钻进取心难度很大。2023—2024年,六家单位在东北寨金矿累计完成钻探工作量54451 m。其中,我单位完成24224 m,占44%,完成最深1018.58 m的钻孔,创造了该矿区最深钻孔记录。本文以东北寨金矿为例,分析金矿钻探施工难点、研究岩石特性,重点研究成膜冲洗液配方并探索其高效应用方法,对金矿复杂地层高效钻探具有一定参考意义。

## 1 东北寨金矿概况

### 1.1 地质概况

东北寨金矿床大地构造位置位于巴颜喀拉地块之可可西里—松潘周缘前陆盆地与摩天岭地块之雪山—文县被动大陆边缘构造结合部位,容矿岩石为韧脆性剪切成因的构造动力变质岩,整体破碎。矿床呈南北向展布,南北长4.5 km,东西宽约1 km,面积4.5 km<sup>2</sup><sup>[8]</sup>。

### 1.2 钻探施工概况

本次钻探作业区海拔3000~4000 m,区内植被茂密,多雨雪。区内道路主要由人工修筑,部分孔位山高路陡,搬迁运输非常困难。钻孔深度以中深孔、浅孔为主,使用的钻机均为各种型号便携式钻机,配套履带车、马帮等完成物资运输。钻孔上部口径较大,通常是150、122 mm,套管下入深度普遍是孔深的1/3~2/3。孔深超过500 m的钻孔,往往采用“钻进→下套管→钻进→跟进套管→钻进”的循环作业程序,尽量多下入套管。

### 1.3 以往钻探施工经验

东北寨金矿自20世纪80年代开展地质工作至

2023年前,陆续完成钻探工作量4万余米,钻孔深度大多在500 m以内。最深钻孔孔深800.34 m,使用立轴式钻机完成,耗时4个月,施工效率很低。以往施工中普遍存在矿心采取率低、冲洗液漏失、孔壁坍塌、孔内事故频发等现象。

### 1.4 钻探施工难点

(1)孔壁稳定性差。岩石破碎、裂隙发育,易导致孔壁坍塌、缩径或卡钻<sup>[9]</sup>,同时冲洗液漏失严重,影响护壁效果与钻进效率<sup>[10]</sup>。直观表现是扭矩表指示偏高且不稳、取心后钻具不易下到底、开始转动时阻力大等。

(2)钻探效率低。地层硬度不均且结构松散,导致钻进速度缓慢,钻头磨损加剧,需频繁提下钻更换,增加了钻探的辅助时间和成本。而频繁的提下钻又导致孔壁被扰动,形成恶性循环。

(3)岩心采取率低。在部分地层钻进取心过程中,岩心易被冲蚀散落,难以获取完整岩心样品,影响地质分析的准确性。

(4)测井或孔内试验困难。破碎带的存在往往导致仪器难以下入钻孔,给金矿体的评价和孔内试验带来困难。

## 2 复杂地层分析及应对策略

### 2.1 复杂地层分析

#### 2.1.1 岩心矿物成分分析

为了解水敏性地层成分,从东北寨金矿选取3个典型岩心样品,委托检测机构做了X射线衍射全岩分析,结果见表1。可见,黏土矿物含量普遍较高。

#### 2.1.2 孔壁失稳原因分析

(1)地层因素:一是水敏性矿物遇水易膨胀、分散或剥落,破坏岩层内部结构;二是地层裂隙发育,形成毛细管通道,使冲洗液水分渗入产生压力,降低岩层抗剪切强度,引发岩石崩落<sup>[3,11]</sup>。

(2)工艺因素:一是频繁起下钻产生瞬时抽吸效应,打破孔壁平衡,不利于破碎地层稳定;二是冲洗液循环时持续冲蚀孔壁<sup>[10]</sup>,削弱岩石完整性。双重作用下加剧孔壁失稳垮塌。

### 2.2 复杂地层分类

复杂地层分类对于钻探冲洗液选用至关重要,体现在保障钻探安全、提高钻探质量、优化钻探效率及控制成本等多个关键方面。根据施工经验,主要按照水敏性将东北寨金矿复杂地层分为3类:强

表1 岩心样品矿物成分分析结果

Table 1 Analysis results of mineral composition in the core samples

| 编号 | 黏土矿物/% |     |     |     | 白云石/% | 方解石/% | 钾长石/% | 斜长石/% | 石英/% | 其他/% |
|----|--------|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|------|------|
|    | 伊利石    | 高岭石 | 绿泥石 | 蒙脱石 |       |       |       |       |      |      |
| 1  | 8      | 7   | 5   | 2   | 33    | 5     | 3     | —     | 35   | 2    |
| 2  | 21     | 15  | 4   | 12  | 16    | 7     | 4     | 5     | 15   | 1    |
| 3  | 22     | 13  | 6   | 11  | 1     | —     | 5     | —     | 31   | 11   |

水敏性、中等水敏性和软硬不均地层。

(1)强水敏性地层(断层泥):岩心可以保持柱状,整体软糯、颗粒细,有一定的黏聚力,遇水易分散、膨胀<sup>[5]</sup>。

(2)中等水敏性地层(挤压破碎带):岩心可以保持柱状,裂隙发育,结构松散,表面粗糙、呈片层状或粗颗粒状,颗粒稍硬,胶结性差,易分散。

(3)软硬不均地层(断层角砾岩):无扰动时,岩心可保持柱状,软硬不均或硬脆碎夹软弱层,软弱部分具有较强的水敏性,硬颗粒易脱落。

代表性岩心见图1。

### 2.3 保护孔壁稳定的对策分析

根据复杂地层情况和孔壁失稳原因,可从以下方面确定保护孔壁稳定的对策。

(1)通过下套管或持续跟进套管<sup>[12]</sup>,隔离复杂地层,前提是钻机能力要充足。此方法简单可靠,但需大量套管,后期可能引发套管事故。

(2)优化冲洗液性能,核心为封堵防渗、抑制水化、密度支撑。提升封堵性以降低滤失量,用降滤失材料形成致密滤饼,阻止水分侵入弱化岩层;增强抑制性,如钾盐类抑制剂通过离子置换稳定黏土矿物,防坍塌缩径;适度提高黏度与密度,控制环空返速,削弱对孔壁的冲蚀<sup>[2,7]</sup>。

(3)改进施工操作,扩大环空间隙以降低环空压力增量及提钻抽吸效应,防地层压漏与孔壁坍塌;薄弱孔段作业时避免带内管提钻,减少抽吸力对孔壁的影响。

## 3 成膜冲洗液应用研究

### 3.1 成膜冲洗液及其作用机理

成膜冲洗液是指能在孔壁形成半透膜,并在一定条件下转变为完全不透水的隔离膜,即在孔壁形成保护层,阻止孔内水分进入地层,从而有效防止地层吸水膨胀、坍塌,确保孔壁稳定的冲洗液<sup>[13]</sup>。



(a)强水敏性地层



(b)中等水敏性地层



(c)软硬不均地层

图1 复杂地层代表性岩心

Fig.1 Representative cores of the complex strata

水基冲洗液成膜机理主要有以下几种。

(1)化学反应成膜。冲洗液中的聚合物与泥页岩表面矿物发生化学反应,通过氢键作用形成层状聚合物薄膜,该薄膜可进一步成胶、沉淀并充填泥

页岩孔隙;

(2)电化学抑制。电解质通过调控泥页岩表层的双电层结构或改变黏土表面电荷特性,抑制水分子的渗透与扩散,从而阻隔水化作用;

(3)功能分子吸附。冲洗液中的活性功能分子(如成膜剂)通过分子间作用力、氢键及渗透压差等机制,在泥页岩表面定向吸附形成致密屏障层<sup>[14]</sup>;

(4)黏土结构改造。成膜剂与黏土片层发生键合反应,在片层间构建柱状支撑结构,限制黏土膨胀空间并增强力学稳定性;

(5)滤失形成泥皮,从宏观上进一步封堵、支撑,起到防塌作用。

### 3.2 成膜冲洗液试验研究

北京探矿工程研究所在成膜冲洗液方面做了大量研究和实践工作,已形成比较成熟的标准配方(以下简称标准配方),即:1 m<sup>3</sup>水+2 kg 烧碱+50 kg 成膜体系 A 剂+25 kg 成膜体系 B 剂+10 kg 改性沥青

(GLA)+20 kg 封堵剂(GFD)+5 kg 增黏剂(GTQ)+2 kg 包被剂(GBBJ)。该配方中成膜 A 剂和 B 剂起到成膜、抑制分散作用;改性沥青(GLA)具有封堵降低渗透率和软化黏结的防塌作用;封堵剂(GFD)可封堵微裂隙,防止冲洗液进入地层;增黏剂(GTQ)可提高冲洗液黏度和切力;包被剂(GBBJ)主要起到包被、絮凝岩粉的作用<sup>[15-17]</sup>。为了深入研究该配方的有效性、匹配性和材料的可替代性,增强与地层的适配性,进一步优化加量和降低成本,我们开展了大量试验研究。

#### 3.2.1 试验设计

为掌握各主要材料作用、加量及其对冲洗液性能的影响、材料替换后的性能等,以标准配方为参照,开展漏斗黏度、滤失量、岩样和岩心浸泡效果等对比试验,同时考虑到综合性能和成本,选择最优配方。全部试验配方见表 2。

表 2 成膜冲洗液试验配方  
Table 2 Experimental formulations of the film-forming drilling fluids

| 配方编号 | 成分及加量/g |    |     |        |        |     |     |     |      | 备 注        |
|------|---------|----|-----|--------|--------|-----|-----|-----|------|------------|
|      | 水       | 烧碱 | 膨润土 | 成膜 A 剂 | 成膜 B 剂 | GLA | GFD | GTQ | GBBJ |            |
| 1    | 1000    | 2  | 0   | 50     | 25     | 10  | 20  | 5   | 2    | 标准配方       |
| 2    | 1000    | 2  | 0   | 40     | 20     | 8   | 15  | 2.5 | 1    | 主材减量       |
| 3    | 1000    | 2  | 0   | 25     | 12.5   | 5   | 10  | 2.5 | 1    | 主材减至 1/2   |
| 4    | 1000    | 2  | 0   | 50     | 25     | 10  | 0   | 5   | 2    | 减 GFD      |
| 5    | 1000    | 2  | 0   | 25     | 25     | 10  | 20  | 5   | 2    | 减成膜 A 剂    |
| 6    | 1000    | 2  | 0   | 50     | 12.5   | 10  | 20  | 5   | 2    | 减成膜 B 剂    |
| 7    | 1000    | 2  | 25  | 0      | 25     | 10  | 20  | 5   | 2    | 减成膜 A 剂,加土 |
| 8    | 1000    | 2  | 25  | 25     | 0      | 10  | 20  | 5   | 2    | 减成膜 B 剂,加土 |
| 9    | 1000    | 2  | 0   | 50     | 25     | 0   | 20  | 5   | 2    | 减 GLA      |
| 10   | 1000    | 2  | 0   | 50     | 25     | 10  | 0   | 5   | 2    | 重复 4 号     |
| 11   | 1000    | 2  | 0   | 50     | 25     | 10  | 20  | 0   | 2    | 减 GTQ      |
| 12   | 1000    | 2  | 0   | 50     | 25     | 10  | 20  | 5   | 0    | 减 GBBJ     |

#### 3.2.2 试验数据及分析

本次试验方案共 12 个配方,测试了标准配方主要性能参数,并测试了整体减量、膨润土替换原有成膜材料、不添加某种材料等后冲洗液的性能参数。同时,观察了冲洗液胶体率(或静置后的沉淀分层情况)、岩样在不同冲洗液中的浸泡情况。

##### 3.2.2.1 主要性能参数

试验测试了冲洗液密度、漏斗黏度、滤失量等。

为减小误差,保证试验数据准确,上述每个配方均进行了至少 2 次测试,同一指标的多次测试结果相近(4、10 号配方的指标亦可得出同样结论)。其中:密度取静置 12 h 后再搅拌后的测定值;漏斗黏度取初次搅拌均匀后静置 12 h 后的测定值和再次搅拌后的测定值;表观黏度、塑性黏度、动切力和滤失量取冲洗液静置 12 h 后再搅拌后的测定值。冲洗液性能参数试验数据见表 3。

表3 成膜冲洗液试验结果

Table 3 Test results of the film-forming drilling fluids

| 配方编号 | 密度<br>$/(g \cdot cm^{-3})$ | 漏斗黏度/s |           | 表观黏度/<br>$(mPa \cdot s)$ | 塑性黏度/<br>$(mPa \cdot s)$ | 动切力<br>/Pa | 动塑比  | API滤失量/<br>mL |
|------|----------------------------|--------|-----------|--------------------------|--------------------------|------------|------|---------------|
|      |                            | 搅拌均匀后  | 静置 12 h 后 |                          |                          |            |      |               |
| 1    | 1.062                      | 30     | 41        | 15.5                     | 11.0                     | 4.6        | 0.42 | 8.2           |
| 2    | 1.048                      | 25     | 35        | 11.0                     | 9.0                      | 2.0        | 0.30 | 10.2          |
| 3    | 1.035                      | 19     | 20        | 7.5                      | 6.0                      | 1.5        | 0.26 | 18.6          |
| 4    | 1.052                      | 30     | 36        | 15.0                     | 11.0                     | 4.1        | 0.37 | 14.2          |
| 5    | 1.049                      | 32     | 33        | 14.0                     | 10.0                     | 4.1        | 0.41 | 14.4          |
| 6    | 1.056                      | 29     | 31        | 15.5                     | 11.0                     | 4.6        | 0.42 | 10.6          |
| 7    | 1.043                      | 27     | 95        | 21.0                     | 17.0                     | 4.1        | 0.24 | 10.0          |
| 8    | 1.055                      | 35     | 51        | 20.5                     | 15.0                     | 5.6        | 0.37 | 10.2          |
| 9    | 1.061                      | 31     | 32        | 16.0                     | 13.0                     | 3.1        | 0.24 | 13.2          |
| 10   | 1.049                      | 30     | 42        | 16.0                     | 12.0                     | 4.1        | 0.34 | 14.8          |
| 11   | 1.051                      | 23     | 20        | 8.5                      | 8.0                      | 0.5        | 0.06 | 18.6          |
| 12   | 1.058                      | 24     | 22        | 11.0                     | 8.0                      | 3.1        | 0.38 | 11.6          |

综合分析试验结果可知:

(1)1号配方(标准配方)具有较低的滤失量、较高的密度、合适的漏斗黏度和变化范围、合适的动切力和动塑比;

(2)材料加量减少后,滤失量变大,漏斗黏度等指标下降;

(3)封堵剂对滤失量影响较大;

(4)成膜A剂和成膜B剂对滤失量影响较大,二者相比,成膜A剂影响更大;

(5)用膨润土替代成膜A剂或成膜B剂,冲洗液静置后漏斗黏度大幅提高,滤失量测试后形成的泥皮较厚、较松散;

(6)改性沥青(GLA)对滤失量、动切力和动塑比有较大影响;

(7)增黏剂(GTQ)对动切力、漏斗黏度和滤失量的影响最明显;

(8)包被剂(GBBJ)对动切力、漏斗黏度和滤失量有一定影响;

(9)除成膜剂外,其他添加剂对漏斗黏度的影响排序为:增黏剂(GTQ)≈包被剂(GBBJ)>封堵剂(GFD)≈改性沥青(GLA);对动切力的影响排序为:增黏剂(GTQ)>改性沥青(GLA)≈包被剂(GBBJ)>封堵剂(GFD);对滤失量的影响排序为:增黏剂(GTQ)>封堵剂(GFD)>改性沥青(GLA)>包被剂(GBBJ)。

### 3.2.2.2 冲洗液胶体率

胶体率直观地反映了冲洗液中胶体颗粒的含量、分散程度和稳定性。试验观察后发现:

(1)配方中固相材料、增黏剂等加足量时,冲洗液稳定,静置后无明显分层;

(2)材料减量后,稳定性下降,部分固相材料出现明显沉降现象;

(3)封堵剂(GFD)对胶体率影响很小,其自身是一种需要被悬浮的材料;

(4)用膨润土替代成膜A剂或成膜B剂,冲洗液静置后,稳定性更强,悬浮能力更强;

(5)增黏剂(GTQ)和具有增黏作用的包被剂(GBBJ)对冲洗液胶体率具有重要影响,其中增黏剂(GTQ)的影响最大,不添加增黏剂时,冲洗液悬浮能力减弱,部分固相材料沉淀较快。

### 3.2.2.3 岩样浸泡试验

使用冲洗液浸泡手工制作的岩样。岩样由东北寨金矿水敏性地层软弱、破碎岩心制作而成,直径约1.5 cm,长度约3 cm。岩样被浸泡后,观察12、24、48、72、96 h后分散情况。岩样浸泡前后的情况如图2所示。

由图2可见,1号冲洗液中的岩样保持原状,完整,产生少量裂纹,硬度基本无变化;2号冲洗液中的岩样同样保持原状,仅产生少量微小裂纹,表面稍变软;3号冲洗液中的岩样,产生贯穿性裂纹,变软,有分散现象;4号冲洗液中的岩样保持原状,产

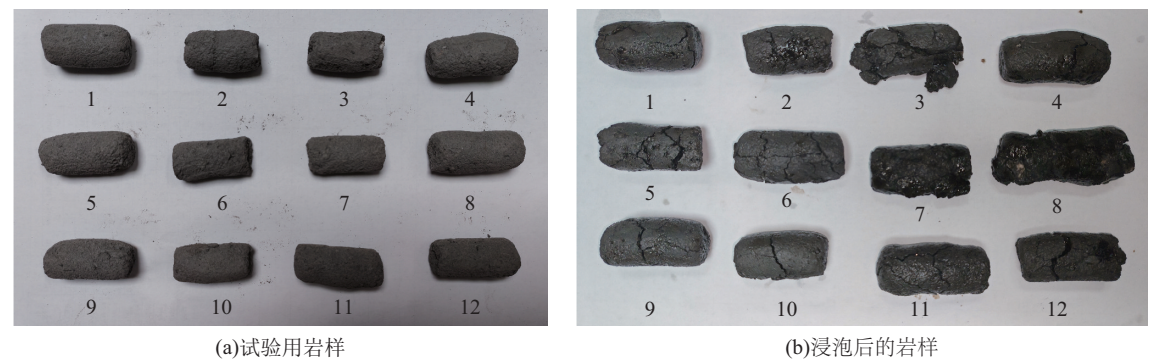


图2 不同成膜冲洗液的岩样浸泡试验

Fig.2 Rock sample immersion testing with different film-forming drilling fluids

生少量裂纹,硬度基本无变化;5号冲洗液中的岩样基本完整,产生少量裂纹稍变软;6号冲洗液中的岩样与5号接近;7号冲洗液中的岩样变软,碰触易变形;8号冲洗液中的岩样变软,有分散现象,碰触易变形;9、10、11和12号冲洗液中的岩样外观基本保持原状,但产生裂纹。

综上,2号配方与1号配方性能接近,可满足东北寨金矿钻探需要。

3.2.3 成本分析

成本控制是钻探施工管理的重点之一。冲洗液的成本不仅仅是材料费,其性能对钻探效率、安全、事故率的影响(间接成本)往往更大,在确保性能满足正常钻进要求的前提下,降低材料用量可实现更高效的资源利用。1(标准配方)、2、6、7号配方成本对比见表4。

表4 成膜冲洗液成本对比

Table 4 Cost comparison of the film-forming drilling fluids

| 材料名称 | 配方1(标准<br>配方)加量/kg | 配方2加<br>量/kg | 配方6加<br>量/kg | 配方7加<br>量/kg | 单价/(元·<br>kg <sup>-1</sup> ) | 配方1(标准<br>配方)成本/元 | 配方2成<br>本/元 | 配方6成<br>本/元 | 配方7成<br>本/元 |
|------|--------------------|--------------|--------------|--------------|------------------------------|-------------------|-------------|-------------|-------------|
| 烧碱   | 2                  | 2            | 2            | 2            | 5.4                          | 10.8              | 10.8        | 10.8        | 10.8        |
| 成膜A剂 | 50                 | 40           | 50           | 0            | 6.8                          | 340               | 272         | 340         | 0           |
| 成膜B剂 | 25                 | 20           | 12.5         | 25           | 6.7                          | 167.5             | 134         | 83.75       | 167.5       |
| GLA  | 10                 | 8            | 10           | 10           | 7.5                          | 75                | 60          | 75          | 75          |
| GFD  | 20                 | 15           | 20           | 20           | 2                            | 40                | 30          | 40          | 40          |
| GTQ  | 5                  | 2.5          | 5            | 5            | 18                           | 90                | 45          | 90          | 90          |
| GBBJ | 2                  | 1            | 2            | 2            | 13                           | 26                | 13          | 26          | 26          |
| 膨润土  | 0                  | 0            | 0            | 25           | 1.5                          | 0                 | 0           | 0           | 37.5        |
| 总成本  |                    |              |              |              |                              | 749               | 565         | 666         | 447         |

1、2号对比可知,2号成本下降25%,更加经济适用。通过试验,选定2号配方作为东北寨金矿冲洗液配方。

3.3 与普通植物胶冲洗液的对比

以浅孔常用的普通植物胶冲洗液为对照,其配方为:1 L水+20 g膨润土+5 g植物胶+1 g CMC。经测试,该配方各项指标见表5。

采用同批次岩样浸泡,24 h后发现岩样整体变软,轻触即散开,见图3。

4 现场应用情况

4.1 应用效果

2024年,普通植物胶冲洗液和成膜冲洗液分别应用于东北寨金矿ZK0367孔和ZK0288孔。ZK0367孔是一基三孔,孔深分别是487、541、673 m,钻孔倾角分别是54°、60°、67°,应用普通植物胶冲洗液,施工用时分别是31、38、41 d(含事故处理时间7 d)。ZK0288孔同样是一基三孔,孔深分别是748、787、735 m,钻孔倾角分别是77°、79.5°、75.8°,应用成膜

表 5 普通植物胶冲洗液试验结果

Table 5 Test results of the common plant glue drilling fluid

| 配方编号 | 密度/<br>( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) | 漏斗黏度/s | 表观黏度/<br>( $\text{mPa}\cdot\text{s}$ ) | 塑性黏度/<br>( $\text{mPa}\cdot\text{s}$ ) | 动切力/Pa | 动塑比  | 滤失量/mL  |        |
|------|------------------------------------------|--------|----------------------------------------|----------------------------------------|--------|------|---------|--------|
|      |                                          |        |                                        |                                        |        |      | 7.5 min | 30 min |
| 13   | 1.014                                    | 27     | 15.5                                   | 11.0                                   | 4.6    | 0.42 | 11.5    | 18.5   |

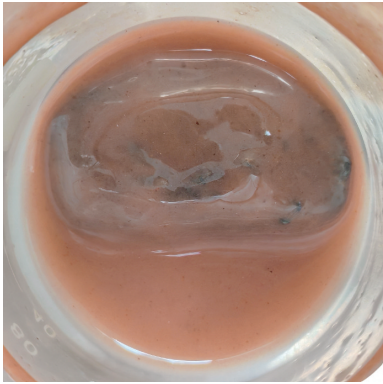


图 3 普通植物胶冲洗液浸泡 24 h 后的岩样

Fig.3 Rock samples after 24 hours of soaking in the common plant glue drilling fluid

冲洗液,施工用时分别是 35、36、32 d。

应用前,进行了岩样和岩心浸泡试验,同时与清水浸泡作对比,如图 4 所示。清水浸泡时,岩样或岩心一般在 20~60 min 内完全分散(除硬岩部分);成膜冲洗液浸泡时,数天甚至数十天内可保持不变;普通植物胶冲洗液浸泡时,一般在 6~12 h 内整体变软,轻轻触碰即塌落。

ZK0367 孔使用普通植物胶冲洗液,在水敏性地层的表现:

(1)钻进困难。ZK0367-3 孔钻进至 610 m 进入较强水敏性地层后,钻进效率低、回次进尺短,取心频繁。

(2)反复扫孔。取心和提钻后,钻具无法到底,形成“扫孔→钻头寿命缩短→更换钻头→钻孔变浅→扫孔”的恶性循环。

ZK0288 孔使用成膜冲洗液,施工过程中,能够有效满足复杂孔段护壁要求。优化配方在维持性能的同时,展现出更优的综合成本效益,表现出显著的技术优势。

(1)孔壁稳定。钻孔全程未出现缩径、坍塌现象,钻进期间和下钻后无须提钻扫孔,钻机扭矩监测数据在适中范围,波动小、钻进平稳,未发生孔内事故。



(a)清水浸泡岩心1h后



(b)成膜冲洗液浸泡72h后(经清水冲洗)



(c)普通植物胶冲洗液浸泡12h后

图 4 不同冲洗液的岩样和岩心浸泡试验  
Fig.4 Rock sample immersion testing with different drilling fluids

(2)效率提高。水敏性地层钻进时,平均机械钻速达到 1.8 m/h,较传统植物胶冲洗液提升约 30%。

(3)复杂地层岩心采取率提高,普遍达到97%以上,较普通植物胶冲洗液提升约10%。岩心采取情况对比见图5。



(a)使用普通植物胶冲洗液采取的岩心



(b)使用成膜冲洗液采取的岩心

图5 使用不同冲洗液的岩心采取情况

Fig.5 Core sampling with different drilling fluids

## 4.2 存在的问题

(1)循环系统受岩粉影响大。成膜冲洗液悬浮性强,山区场地限制使冲洗液池、沉淀池偏小,循环系统短,岩粉难快速沉淀,易导致冲洗液黏度过高<sup>[18-20]</sup>,过多岩粉易造成内管运行慢、上部钻杆结泥皮、打捞器下入困难,影响取心效率。

(2)顶漏钻进成本高。顶漏钻进时需大量补充成膜冲洗液,其配方特殊,原材料和制备成本高于普通植物胶冲洗液,大量消耗会显著增加施工成本。

## 5 结论和建议

(1)冲洗液效果取决于材料加量、组合与性能。合适加量确保性能,优化组合发挥协同作用,全面的流变性能、抑制性能及滤失性能可适应复杂地层,确保钻探顺利。

(2)针对地层优化冲洗液是控制成本的关键。金矿水敏性地层遇水易膨胀,需采用成膜封堵材料抑制水化。现场通过岩样浸泡试验,可直观评估冲洗液效果,提升使用与维护意识,在降低成本的同时维持冲洗液效果。

(3)水敏性地层遇水侵后自稳时间有限,延长浸泡易导致孔壁失稳。施工中应保持连续快速钻

进,从而降低水敏损害风险,确保孔内安全与作业效率。

(4)复杂地层应及时下入套管,保护孔壁并隔离漏失段,减少冲洗液损耗。条件允许时应配置固控系统,高效去除无用固相,避免钻杆内形成泥皮影响打捞,并维持冲洗液性能稳定。

## 参考文献(References):

- [1] 张文钊,卿敏,牛翠祎,等.中国金矿床类型、时空分布规律及找矿方向概述[J].矿物岩石地球化学通报,2014,33(5):721-732. ZHANG Wenzhao, QING Min, NIU Cuiwei, et al. An overview on type, spatial-temporal distribution and prospecting of gold deposits in China [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2014,33(5):721-732.
- [2] 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.
- [3] 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 Miaoshan area of Guangxi[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(5): 154-162.
- [4] 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.
- [5] 田志超,于森,翟育峰,等.甘肃张掖三岭湾ZC1井超厚沉积层岩心钻探施工技术[J].钻探工程,2025,52(1):54-61. TIAN Zhichao, YU Sen, ZHAI Yufeng, et al. Core drilling technology for ultra thick sedimentary layers of ZC1 well in Sanlingwan, Zhangye, Gansu [J]. Drilling Engineering, 2025, 52(1):54-61.
- [6] 王鹏飞,郭曜欣,翟育峰,等.小秦岭金矿田3500 m特深孔冲洗液技术[J].钻探工程,2024,51(5):115-121. WANG Pengfei, GUO Yaoxin, ZHAI Yufeng, et al. The drilling fluid technology of 3500 m extra-deep hole in Xiaoqinling gold field[J]. Drilling Engineering, 2024,51(5):115-121.
- [7] 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与应用[C]//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.哈尔滨:中国地质学会探矿工程专业委员会,2015:436-442. TAO Shixian, LI Xiaodong, JI Weijun, et al. Research and application of film-forming caving-preventing non-solid-phase flushing fluid system[C]//Proceedings of the 18th National Academic Symposium on Mining Engineering (Rock and Soil Drilling Engineering). Harbin: Exploration Engineering Professional

- Committee of the Geological Society of China, 2015:436-442.
- [8] 邓红宾, 李宁, 宋元宝, 等. 四川西部典型岩金矿床成矿地质特征与资源勘查意义[J]. 矿产勘查, 2023, 14(5):701-717.
- DENG Hongbin, LI Ning, SONG Yuanbao, et al. Metallogenic geological characteristics and exploration significance of typical rock-gold deposits in western Sichuan Province[J]. Mineral Exploration, 2023, 14(5):701-717.
- [9] 杨科, 罗龙, 曹灶开, 等. 阳山矿区严重漏失垮塌地层钻进工艺及工程实践[J]. 钻探工程, 2024, 51(2):119-126.
- YANG Ke, LUO Long, CAO Zaokai, et al. Drilling technology and engineering practice for seriously lost and collapsed formation in Yangshan Mining Area[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(2):119-126.
- [10] 熊正强, 李晓东, 彭博一. 地热井堵漏材料研究进展[J]. 地质与勘探, 2024, 60(5):1030-1039.
- XIONG Zhengqiang, LI Xiaodong, PENG Boyi. Research progress of plugging materials for geothermal wells[J]. Geology and Exploration, 2024, 60(5):1030-1039.
- [11] 吴江, 黄熠, 王荐, 等. 滇西南地区岩石特性及钻井液技术研究[J]. 地质与勘探, 2023, 59(6):1324-1335.
- WU Jiang, HUANG Yi, WANG Jian, et al. Rock characteristics and drilling fluid technology in the Weixinan area[J]. Geology and Exploration, 2023, 59(6):1324-1335.
- [12] 张健松, 刘永升, 李之军, 等. 地质钻探复杂地层固壁堵漏新工艺[J]. 地质与勘探, 2020, 56(4):819-825.
- ZHANG Jiansong, LIU Yongsheng, LI Zhijun, et al. New technology of geological drilling for borehole-wall reinforcement and leaking stoppage in complex formation[J]. Geology and Exploration, 2020, 56(4):819-825.
- [13] 孙金生. 水基钻井液成膜技术研究[D]. 成都:西南石油大学, 2006.
- SUN Jinsheng. Research on the film-forming technology of water-based drilling fluid[D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2006.
- [14] 王楠男. 水基钻井液成膜机理及成膜效果研究[J]. 化工管理, 2017(1):205.
- WANG Nannan. Study on film-forming mechanism and film-forming effect of water-based drilling fluids[J]. Chemical Enterprise Management, 2017(1):205.
- [15] 李晓东, 熊正强, 付帆, 等. 环保型弱凝胶护壁护心钻井液研究与应用[J]. 地质与勘探, 2024, 60(3):581-591.
- LI Xiaodong, XIONG Zhengqiang, FU Fan, et al. Research and application of environment-friendly weak-gel drilling fluid for wall and core protection[J]. Geology and Exploration, 2024, 60(3):581-591.
- [16] 熊正强, 董春刚, 栾元滇, 等. 刚果钾盐钻探用钙镁基钻井液研究及应用[J]. 地质与勘探, 2023, 59(6):1315-1323.
- XIONG Zhengqiang, DONG Chungang, LUAN Yuandian, et al. Research and application of calcium-magnesium-based drilling fluid for potassium salt in republic of the Congo[J]. Geology and Exploration, 2023, 59(6):1315-1323.
- [17] 孙振添, 邹志飞, 何铁柱, 等. 双聚防塌钻井液在北京某地热井中的应用研究[J]. 钻探工程, 2025, 52(4):121-128.
- SUN Zhentian, ZOU Zhifei, HE Tiezhu, et al. Application research of bi-polymer anti-collapse drilling fluid in a geothermal well in Beijing[J]. Drilling Engineering, 2025, 52(4):121-128.
- [18] 赵建刚, 许云博, 石凯, 等. 绳索取心钻进钻杆防垢除垢系统的研究[J]. 钻探工程, 2024, 51(S1):222-225.
- ZHAO Jiangang, XU Yunbo, SHI Kai, et al. Research on scale prevention and removal system for drill pipe of wire-line core drilling[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(S1):222-225.
- [19] 李宽, 李鑫森, 韩丽丽, 等. 绳索取心钻杆内壁结垢成因与预防及清理装置的研发[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(2):60-64.
- LI Kuan, LI Xinmiao, HAN Lili, et al. Generation of mud scale on the interior of wireline drill rods and development of prevention and cleaning devices[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(2):60-64.
- [20] 王志祥, 陈冲, 郭如伦, 等. 羌塘盆地油气地质调查井地层条件与施工难点[J]. 钻探工程, 2025, 52(4):111-120.
- WANG Zhixiang, CHEN Chong, GUO Rulun, et al. Stratigraphic conditions and construction difficulties of oil and gas geological survey wells in Qiangtang Basin[J]. Drilling Engineering, 2025, 52(4):111-120.

(编辑 王文)