

# 白银市土红湾-李家沟煤炭资源详查23-2孔冲洗液技术

麻朗朗<sup>1</sup>, 陶士先<sup>\*2</sup>, 邹志飞<sup>2</sup>

(1. 商洛西北有色七一三总队有限公司, 陕西 商洛 726000; 2. 北京探矿工程研究所, 北京 100083)

**摘要:**甘肃省白银市土红湾-李家沟煤炭资源详查23-2孔地质条件极其复杂,既有水敏性强的泥岩,还有松散破碎的煤层等,其间还夹杂着不同程度的盐膏,孔内容易出现坍塌、掉块等问题,冲洗液易受到污染,对冲洗液性能提出了更高的要求。以往该矿区施工,常发生孔壁坍塌、冲洗液粘度显著降低等问题,严重时导致埋钻及沉砂卡钻等孔内事故,影响成孔和施工效率。针对以上问题,分析了钻遇地层孔壁失稳的原因,评价了盐膏侵对冲洗液性能的影响,并有针对性的开展了体系的适应性研究,先后优选出成膜防塌冲洗液和抗盐膏侵成膜环保冲洗液。施工中,针对水敏性分散剥落地层和松散地层选用成膜防塌无固相冲洗液,在发现盐膏侵后将其转化为抗盐膏侵成膜环保冲洗液,并通过对冲洗液配方、性能参数的合理调整与维护以及采用绳索取心钻探等工艺措施,较好地解决了上述问题。

**关键词:**双聚防塌冲洗液;成膜防塌冲洗液;抗盐膏侵成膜环保冲洗液;水敏性地层;破碎地层;盐膏地层;绳索取心中图分类号:P634.6 文献标识码:B 文章编号:2096-9686(2023)05-0081-07

## Drilling fluid technology for Hole 23-2, detailed investigation of coal resources in Tuhongwan-Lijiagou, Baiyin City

MA Langlang<sup>1</sup>, TAO Shixian<sup>\*2</sup>, ZOU Zhifei<sup>2</sup>

(1.No.713 Team Limited Company of Northwest Geological Exploration Group Company for Nonferrous Metals, Shangluo Shaanxi 726000, China;

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

**Abstract:** The geological conditions of Hole 23-2, detailed investigation of coal resources in Tuhongwan-Lijiagou, Baiyin City, Gansu Province are extremely complex, including mudstone with strong water sensitivity, loose and broken coal seam, etc., and salt paste in between, the hole is prone to collapse, clumping and other problems, and the drilling fluid is easy to be polluted, which puts forward higher requirements for drilling fluid properties. In the past drilling construction of this mining area, problems such as hole wall collapse and significant reduction of drilling fluids viscosity often occurred, which in serious case led to buried drill, solids setting stuck and other drilling accidents, and thereby affecting the efficiency of hole-forming and construction efficiency. In view of the above problems, the causes of borehole wall instability when drilling are analyzed, the effects of salt-paste penetration on the properties of the drilling fluids are evaluated, the adaptability of the system is studied in a targeted way and the film-forming anti-collapse drilling fluids and salt-paste encroachment film-forming environment friendly drilling fluids are selected. During the drilling process, aiming at the water sensitive and spalling and loose strata, the film-forming anti-collapse solid free dilling fluid was selected, and transferred to salt-paste encroachment film-forming environment friendly drilling fluid when encountered salt encroachment. Moreover, technology such as reasonable adjustment and maintenance of drilling fluid formula and performance parameters, wire-line core drilling are adopted to solve the above problem.

**Key words:** bipolymer anti-collapsing drilling fluids; film-forming anti-collapsing drilling fluids; anti-salt paste penetration film environment friendly drilling fluids; water sensitive formation; broken formation; salt paste formation; wire-line coring

收稿日期:2023-02-20; 修回日期:2023-05-22 DOI:10.12143/j.ztgc.2023.05.012

基金项目:中国地质调查局地质调查项目(编号:DD20221722);国家重点研发计划课题“绿色环保体系与废浆处理技术”(编号:2018YFC0603406)

第一作者:麻朗朗,男,汉族,1991年生,工程师,从事岩心钻探施工及管理工作,陕西省商洛市商州区东关街11号,1028216894@qq.com。

通信作者:陶士先,女,汉族,1964年生,正高级工程师,从事钻井液技术研究工作,北京市海淀区学院路29号,13641250082@139.com。

引用格式: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.

甘肃省白银市土红湾-李家沟煤炭资源详查区位于白银市平川区北30 km处,西距平川区王家山镇5 km,行政区划隶属于平川区王家山镇和靖远县东升镇管辖。该项目(2021年度续作)共设计了5个钻孔,其工程目的是:(1)确定地层及含煤岩系时代、层位、岩性、岩相、厚度和深度等;(2)确定煤层层数、层位、对比标志、厚度、结构、深度和煤质等;(3)基本查明岩层的倾角、裂隙及断层等地质构造特征;(4)基本查明煤层顶、底板岩性以及水文地质等开采技术条件;(5)初步查明其它有益矿产的层位、厚度、品位等。23-2孔是5个钻孔中设计最深的一个,其地理位置位于甘肃省白银市东升镇,由商洛西北有色七一三总队有限公司承担该孔的工程实施任务。

## 1 钻孔概况

### 1.1 地层情况

勘查区位于王家山矿区王家山向斜东部延伸部分,整体呈一向东倾伏的不对称向斜形态,构造特点是以断裂为主,褶皱为辅。地层区划属华北地层大区、秦祁昆地层区、祁连-北秦岭地层分区之北祁连

地层小区。详查区内地层发育不全,自下而上为下志留统马营沟群( $S_1my$ )、泥盆统沙流水群( $D_3sh$ )、上三叠统南营儿群( $T_3ny$ )、中下侏罗统窑街组( $J_{1-2}y$ )、中侏罗统新河组( $J_2x$ )、上侏罗统苦水峡组( $J_3k$ )、白垩系下统河口群( $K_1hk$ )、第四系(Q)松散覆盖层。

23-2号钻孔位于王家山向斜南翼,预想地层情况见表1。

### 1.2 孔身结构

23-2号孔为直孔,设计深度1400 m,完钻深度1375.15 m。其孔身结构和套管程序如表2所示。

### 1.3 施工工艺与钻具组合

一开(0~12 m):GS122绳索取心钻进和单管扩孔钻进,取心钻进采用 $\varnothing 122$  mm金刚石钻头+ $\varnothing 114$  mm钻杆,扩孔钻进采用 $\varnothing 145$  mm金刚石钻头+ $\varnothing 114$  mm钻杆。

二开(13~531 m):HQ绳索取心钻进和扩孔钻进,取心钻进采用 $\varnothing 98$  mm金刚石钻头+ $\varnothing 91$  mm钻杆,扩孔钻进采用 $\varnothing 122$  mm金刚石钻头+ $\varnothing 91$  mm钻杆。

三开(532~1275 m):HQ绳索取心钻进,采用

表1 土红湾-李家沟煤炭资源详查23-2号钻孔预想地层

Table 1 Stratigraphic prediction of boreholes 23-2 in the detailed survey of coal resources in Tuhongwan-Lijiagou

地 层 时 代			深度/	岩 层 情 况
系	统	组 段	m	
第四系	$Q_4$		4	松散砂砾石层夹亚砂土及亚粘土层
	上统	苦水峡组 $J_3k$	300	上部为紫灰色砂岩与红色泥岩互层;中部主要为紫红色泥岩及砂质泥岩夹灰绿色泥岩与砂岩条带;下部为紫红色泥岩与灰绿色泥岩、粉砂岩互层
		新河组	630	由灰绿色页岩、粉砂岩及深灰、褐灰色页岩组成,夹薄层灰绿色细砂岩及暗紫色泥岩,发育细水平层理及缓波状层理,含丰富的动植物化石及轮藻类化石
		新河组	1200	上部主要为草黄色中粗粒砂岩、细砂岩、粉砂岩及砂质泥岩互层,中夹紫红、灰绿、深灰色泥岩及粉砂岩,下部主要为灰白色砾岩、砂砾岩及中粗粒砂岩夹灰色砂质泥岩及黄绿色粉、细砂岩,局部含薄层煤
侏罗系	中统		1222	黑色、条痕褐色、块状、半暗型煤,参差状断口黑,其沥青光泽、条带状结构,层状构造,层面有黄铁矿薄膜、松软
		窑街组	1250	灰白色粗粒砂岩,灰黑色粉砂岩,含丰富的动植物化石,夹煤线组成
		$J_{1-2}y$	1256	黑色、粉末状、碎块状、半暗型煤,参差状断口,具沥青光泽
			1310	上部为灰白色粗粒砂岩,灰黑色粉砂岩,黑色泥岩组成。含动植物化石,下部为灰白色砾岩夹煤线
			1314	黑色、条痕褐色、块状、半暗型煤,参差状断口,具沥青光泽,层面具黄铁矿薄膜
			1354	灰白色砾岩,灰黑色粉砂岩,夹炭屑组成
三叠系	上统	南营儿群 $T_3ny$	1400	以灰白色、深灰色、紫红色、浅绿色及暗紫红色的含砾粗-中粒砂岩、含砾砂质泥岩、泥岩为主

表2 23-2孔的孔身结构和套管程序

Table 2 Borehole structure and casing procedure for Borehole 23-2

开钻次序	钻头尺寸/ mm	钻达深度及套 管下深/m	套管尺寸/ mm
一开	145	12	139
二开	122	531	112
三开	98	1275	91
四开	77	1375	裸眼

Ø98 mm 金刚石钻头+Ø91 mm 钻杆。

四开(1276~1375 m):NQ 绳索取心钻进,采用 Ø77 mm 金刚石钻头+取心钻具+Ø71 mm 钻杆。

## 2 施工中存在的主要问题及对冲洗液的性能要求

### 2.1 存在的主要问题与分析

依据地质设计预测的地层以及实钻情况,施工中易产生的主要问题及原因有以下几方面。

#### 2.1.1 上部泥岩地层遇水分散,孔壁扩径现象严重

上部 530 m 以浅有多段灰绿色砂质泥岩,该地层结构松散,强度低,孔壁易发生明显扩径现象。产生扩径的原因,一是该地层中的主要水敏性矿物为高岭石和绿泥石(见表3),而绿泥石吸水后具有快速分散特性(见图1),很容易从孔壁脱落<sup>[1-2]</sup>;二是地层强度很低,易被冲蚀。在该矿区内的另一个钻孔,施工过程中有大量岩粉随冲洗液返出,最终由于扩径严重导致已施工 300 m 的钻孔报废。

表3 部分孔段地层岩性

Table 3 Stratigraphic lithology of partial borehole sections

岩心所处 孔段/m	石 英/ %	斜长 石/ %	白云 母/ %	方解 石/ %	白云 石/ %	石 膏/ %	高岭 石/ %	绿泥 石/ %
141.5~141.6	41.3	4.0	14.0	5.2	—	34.2	0.6	0.6
184.2~184.4	48.3	5.2	14.5	9.2	—	11.0	6.0	5.8
236.3~236.5	40.7	7.6	29.5	6.0	—	2.7	5.0	8.4
431.0~431.2	43.5	6.3	24.6	4.2	5.1	1.5	5.9	8.9

#### 2.1.2 530~1237 m 砂岩地层易受冲洗液冲蚀而扩径

530~1237 m 大部分为砂岩地层,并夹有少量泥页岩,取出的岩心看似完整,实则用手一捏即碎,强度很低,易受冲洗液冲蚀而扩径<sup>[3]</sup>。

#### 2.1.3 1237 m 以深孔段地层极为复杂,孔壁稳定十



图1 235~240 m 岩心经水浸泡后的状态

Fig.1 State of 235~240m core after water immersion

分困难

该孔段既有松散破碎的煤层、砾岩和粗砂岩,也有水敏性强的泥岩、炭质泥岩,同时还有盐膏的存在,完整地层加起来不超过 20 m,孔壁十分薄弱,稳定性极差。如 1252~1263 m 和 1312~1324 m 孔段为煤层,松散破碎十分严重(见图2);1270~1276 m 孔段松散破碎煤层中含有水敏性强的泥岩、炭质泥岩(见图3);1238~1242、1280~1313 m 孔段为砾岩、砂岩、粗粒砂岩地层,胶结性差,是典型的河套地层,岩心松散无胶结(见图4);1319~1325 m 孔段为松散的泥岩和粉砂岩地层等(见图5)。该孔段孔壁易失稳的主要原因如下:



图2 1260~1265 m 孔段煤层岩心

Fig.2 Core of coal seam from the 1260~1265m hole section



图3 1270~1276 m 孔段取出的炭质泥岩及煤层岩心

Fig.3 Carbonaceous mudstone and coal seam core from the 1270~1276m hole section

(1)破碎的煤层、砂层和粗粒砂岩等地层,孔壁强度低,坍塌压力大<sup>[4]</sup>。在提钻抽汲和环空冲蚀作用下易发生孔壁坍塌和掉块,施工中稍有疏忽就会发生卡钻、埋钻等孔内事故。





(a) 1238~1242m 孔段砾岩



(b) 1283~1288m孔段砂岩



(c) 1307~1313m孔段粗粒砂岩

图4 部分松散砾岩、砂岩、粗砂岩地层取出的岩心

Fig.4 Cores of loose conglomerate, sandstone, and coarse sandstone formations



图5 1319~1325m 孔段泥岩和粉砂岩地层

Fig.5 Cores of mudstone and siltstone strata from the 1319~1325m hole section

(2) 泥岩、炭质泥岩和粉砂岩, 孔隙、裂隙发育, 水敏性强。室内浸泡试验表明, 其吸水后有明显分散剥落现象。毛细管水化作用是引起该钻孔泥岩、炭质泥岩和粉砂岩吸水后发生分散剥落现象和造成孔壁失稳的主要原因<sup>[5]</sup>。

(3) 含有盐膏地层易溶解坍塌。一方面因 NaCl 易溶, 其周围颗粒伴随溶解而脱落, 另一方面, 若盐膏中含有无水石膏(又称硬石膏,  $\text{CaSO}_4$  密度为 2.8~3.0 kg/L), 遇水会使其快速吸水形成带结晶水的生石膏(又称软石膏,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , 密度为 2.308 kg/L), 体积是原无水石膏体积 1.5~1.6 倍<sup>[6]</sup>, 对于

含膏泥岩地层会造成明显缩径现象, 而对于含膏、强度较低的砂岩地层则由于较大膨胀压力而产生破裂, 加剧了孔壁不稳定性。

该孔段施工过程中曾发生 2 次孔壁坍塌。一次为钻至 1276 m 时, 上部煤层发生坍塌, 造成埋钻事故; 另一次是 1312~1324 m 煤层孔段发生坍塌。

#### 2.1.4 地层中盐膏的存在, 显著恶化冲洗液性能

自开孔至终孔, 钻遇地层中始终有盐膏存在。部分孔段刚取出的岩心观察不出异常, 但岩心表面干燥后有明显白色物质出现(见图 6)。对图 6 中岩心进行含盐量测试, 其含盐量为 5.1% (质量比), 并在浸泡岩心的滤液中加入碳酸钠, 有明显絮状物产生, 说明该岩心中含有石膏。



图6 884 m 处岩心干燥后的表面状态

Fig.6 Surface state of core at 884m after drying

盐膏侵入到冲洗液中破坏了其胶体稳定性, 致使冲洗液性能急剧恶化<sup>[7]</sup>。室内试验表明, 经盐膏侵后的成膜防塌无固相冲洗液, 其相对膨胀降低率由 83% 降低至 67%, 岩屑回收率由 87% 降低至 32%, 说明其护壁性能受到严重破坏。现场应用过程中, 冲洗液性能变化也较明显, 如钻进砂岩地层时, 现场新配制的冲洗液, 入孔前漏斗粘度(苏式漏斗) 38 s, 孔内循环 2 h 左右, 粘度降至 26 s, 粘度降低使冲洗液悬浮携带能力变差, 对孔壁冲蚀作用增强; API 滤失量也由 8 mL 升高至 13 mL, 滤失量增大对孔壁稳定性也会产生不利影响。

#### 2.1.5 绳索取心钻进不利于复杂地层孔壁稳定<sup>[8-9]</sup>

采用金刚石绳索取心钻进, 由于环空间隙小, 环空返速高, 对孔壁冲蚀作用强; 循环压力大; 提钻时会产生较大抽汲力, 易造成松散破碎等薄弱孔段孔壁坍塌; 处理孔内坍塌或孔底沉降的粗颗粒岩粉时, 岩粉返出十分困难。钻孔施工过程中的两次孔壁坍塌都是由于提钻时的抽汲力造成的, 且发生坍塌后由于环空间隙很小, 处理极为困难, 致使钻孔没有达到设计深度而提前终孔。

## 2.2 冲洗液性能要求

针对该孔地层特点及施工工艺,为满足施工要求,冲洗液应具有以下性能。

(1)针对泥岩等水化分散和剥落地层,冲洗液应具有良好的抑制性能,避免地层中泥页岩、炭质泥岩、泥质砂岩和砂质泥岩等由于水化分散、水化剥落造成孔壁扩径或孔壁坍塌<sup>[10]</sup>。

(2)施工中钻遇的绝大多数砾岩、砂岩以及煤层等地层松散破碎、强度低,坍塌压力大,冲洗液需具有较强的胶结性能和封堵性能,并具有适当密度以平衡地层的坍塌压力。

(3)冲洗液需具有良好的抗盐钙侵能力,当盐膏侵入后仍能维持其优良的抑制性能、流变性能,并保持较低的滤失量<sup>[11]</sup>。

(4)冲洗液需具有合理的粘度,以避免过度冲蚀孔壁和提钻时抽垮孔壁。

(5)冲洗液需具有良好的减摩降阻性能。

(6)冲洗液需具有良好的环保性能<sup>[12]</sup>。

## 3 冲洗液的选择与使用

### 3.1 冲洗液选型及其作用机理

(1)按照地质设计给出的地层预测,钻遇地层主要为泥岩、页岩、砂岩和煤层等沉积岩地层。多数浅层泥岩、泥质砂岩等地层,施工中的主要问题是地层易分散造浆,并有一定的膨胀性。因此开始钻进时,选用双聚防塌冲洗液,其主要作用机理:利用高分子聚合物的包被和絮凝作用,抑制泥岩分散、造浆,并有效絮凝岩屑;利用冲洗液中含有的 $K^+$ 和 $NH_4^+$ ,抑制地层中粘土吸水膨胀,以维持孔壁稳定和对冲洗液流变性的有效控制。

(2)钻进至260 m灰绿色泥岩等地层时,返出岩粉明显超出正常返出量,岩心浸泡试验显示其水化分散性很强,岩性分析表明地层中含有绿泥石,该类地层遇水极易发生分散或剥落。随后我们将双聚防塌冲洗液转化为成膜防塌无固相冲洗液。成膜防塌无固相冲洗液的主要作用机理:利用成膜B剂的成膜隔水与胶结、高分子聚合物的包被以及随钻堵漏剂(GPC)与封堵剂(GFD-1)的多级封堵等协同作用,提高冲洗液的抑制性能、胶结性能和封堵性能。

(3)钻进至800余米时,冲洗液粘度和滤失量变化较大,查看岩心时发现盐膏存在,随即进行冲洗液转化试验,将其转化为抗盐膏侵成膜环保冲洗

液。该冲洗液除了具有成膜防塌无固相冲洗液的作用外,体系中增加或提高了抗电解质污染的冲洗液材料,如增加了含羧基的降滤失材料(GPNA),提高了含螺旋分子结构的增粘剂(GTQ)的加量,以改善冲洗液的流变性能、降滤失性能和抗盐侵性能。

### 3.2 现场使用的冲洗液材料

现场使用的主要冲洗液材料、处理剂及其加量 and 作用如表4所示。

表4 现场使用的处理剂及其加量和作用

Table 4 Drilling fluid treatment agents used on site and their dosage and effects

处理剂名称	代号	加量/%	作用
钠膨润土		2~6	造浆材料,具有胶结、增加粘度和降低滤失量的作用
降滤失剂	GPNH	1~2	降低滤失量和粘度,提高抑制性能
降滤失剂	GPNA	0.5~1	降低滤失量,提高抗盐性能
降滤失剂	CMC-LV	0.2~0.5	降低冲洗液滤失量
腐植酸钾	KHm	1~3	降低滤失量和粘度,提高抑制性能
改性沥青	GLA	0.5~2	提高抑制性能和胶结性能
包被剂	GBBJ	0.1~0.3	包被絮凝岩粉,抑制岩粉造浆
成膜B剂		2~5	抑制水敏性地层水化分散或剥落
增粘剂	GTQ	0~0.5	提高粘度和切力,降低滤失量
防塌型随钻堵漏剂	GPC	1~3	封堵细小孔隙或裂隙,强化孔壁
封堵剂	GFD-1	1~3	封堵微小孔隙或微小裂隙,强化孔壁

### 3.3 冲洗液配方

(1)双聚防塌冲洗液:淡水+0%~5.0%钠膨润土+0.1%~0.3%包被剂(BBJ)+1.0%~1.5%降滤失剂(GPNH)+1.0%~2.0%改性沥青(GLA)。

(2)成膜防塌无固相冲洗液:淡水+2%~3%成膜B剂+1.0%降滤失剂(GPNH)+0.4%~0.8%增粘剂(GTQ)+0.1%~0.3%包被剂(BBJ)+1%~2%防塌型随钻堵漏剂(GPC)+2%~5%封堵剂



(GFD-1)。

(3)抗盐膏侵成膜环保冲洗液:淡水+2%~3%成膜B剂+1.0%~2.0%降滤失剂(GPNH)+0.6%~1.0%降滤失剂(GPNA)+0.8%~1.2%增粘剂(GTQ)+0.1%~0.3%包被剂(BBJ)+1%~2%防塌型随钻堵漏剂(GPC)+2%~5%封堵剂(GFD-1)。

### 3.4 现场冲洗液的性能与维护

不同孔段所使用的冲洗液性能见表5。

表5 不同孔段冲洗液性能  
Table 5 Performance of drilling fluids used in different drilling sections

孔深/m	冲洗液体系	冲洗液性能		
		漏斗粘度/s	API滤失量/mL	pH值
0~280	双聚防塌冲洗液	20~25	8~10	8
281~820	成膜防塌无固相冲洗液	25~30	10~13	10
820~1375	抗盐膏侵成膜环保冲洗液	30~35	7~8	10

施工过程中,主要从以下重点方面对冲洗液性能进行维护:

(1)粘度的维护。钻进砂岩地层时,由于盐膏侵冲洗液粘度降低较快,通过补充1%~3%钠膨润土和适量增粘剂(GTQ)维持所需要的冲洗液粘度。

(2)滤失量控制。盐膏侵冲洗液的滤失量显著提高,通过提高GTQ加量,并添加适量的低粘度羧甲基纤维素钠盐(CMC-LV)维持滤失量<sup>[13]</sup>。

(3)固相控制。上部的泥岩地层,为了控制地层造浆,施工过程中配制包被剂胶液以少量多次的方式补充至冲洗液中,以提高冲洗液的絮凝包被作用;后期则主要采用离心机清除冲洗液中的岩粉<sup>[14-15]</sup>。

(4)根据地层情况适时添加和补充防塌型随钻堵漏剂与封堵剂,防塌型随钻堵漏剂的加量控制在1%~2%,封堵剂的加量控制在2%~5%。

(5)维持中成膜B剂的加量不低于2%。

### 3.5 现场使用效果

因为缺乏相关资料,难以掌握地层复杂情况,无法做好钻前预防。因此,在该矿区施工时,一直是根据钻遇情况及时调整钻进参数及冲洗液性能,稳定有序地开展钻探作业,保证钻孔质量。同时,钻探现

场试验条件有限,难以有效地开展冲洗液性能小型化试验。此外,受到疫情影响,冲洗液材料不能及时到位等。这些问题在一定程度上影响了施工进度和孔内复杂情况的处理。尽管如此,在地层极其复杂等困难条件下,成膜防塌无固相冲洗液和抗盐膏侵成膜环保冲洗液取得了较好的应用效果,主要体现在以下几个方面:

(1)较好地解决了孔壁失稳难题。ZK23-2孔是2022年该矿区施工钻孔中设计深度和完钻深度最深的钻孔,钻遇地层也最为复杂,既有水敏性地层、含盐膏地层,也有煤层等松散破碎地层,且煤层厚度较大(其它几个钻孔煤层厚度一般只有几十公分,而该钻孔钻遇了2段厚度>10m的松散破碎煤层),孔壁稳定十分困难。成膜防塌冲洗液的使用解决了上部530余米以浅水敏性分散剥落地层的孔壁失稳难题;抗盐膏侵成膜环保冲洗液的使用解决了800m以深低强度、松散粉状砂岩地层及水敏性地层的孔壁失稳问题。

(2)现场应用表明,成膜防塌无固相冲洗液转化为抗盐膏侵成膜环保冲洗液后,冲洗液流变性能相对稳定,循环后冲洗液漏斗粘度降低值 $\geq 5$ s,API滤失量也由10~13mL降至7~8mL。

(3)通过封堵、流变性控制以及取心前边给泵边回转提钻至套管等工艺措施,降低了小环空绳索取心钻进对孔壁失稳的影响,施工过程中除煤层发生坍塌外,基本维持了其它松散破碎地层孔壁的稳定。

(4)施工效率明显提高。与其距离最近的邻孔相比,其完钻深度1206m,用时150天,而23-2孔钻进至1275m时用时为102天,施工效率提高56%。

(5)全孔的岩心采取率平均达到98%,完全满足地质设计要求。

(6)受疫情影响,一些材料无法到位,现场试验条件有限,用现场已有材料调整冲洗液的性能难度较大,再加上绳索取心钻进小环空的不利影响以及在含有盐膏的复杂地层中使用成膜防塌冲洗液体系尚属首次,因此对煤层等破碎地层孔壁失稳的预防和处理存在欠缺。

## 4 结论与建议

(1)成膜防塌冲洗液对水敏性分散剥落地层及松散地层具有良好的适应性。其配方为:淡水+2%~3%成膜B剂+1.0%降滤失剂(GPNH)

+0.4%~0.8%增粘剂(GTQ)+0.1%~0.3%包被剂(BBJ)+1%~2%防塌型随钻堵漏剂(GPC)+2%~5%封堵剂(GFD-1)。

(2)抗盐膏侵成膜环保冲洗液抗盐膏污染能力强,经盐膏侵后,性能基本保持稳定,适用于含有盐膏(或同一裸眼孔段内含有盐膏地层)的水敏性分散剥落地层和松散地层。配方为:淡水+2%~3%成膜B剂+1.0%~2.0%降滤失剂(GPNH)+0.6%~1.0%降滤失剂(GPNA)+0.8%~1.2%增粘剂(GTQ)+0.1%~0.3%包被剂(BBJ)+1%~2%防塌型随钻堵漏剂(GPC)+2%~5%封堵剂(GFD-1)。

(3)现场对冲洗液的维护与处理,基本满足了该孔复杂地层孔壁稳定及其施工工艺要求。

(4)应进一步研究提高两种成膜防塌冲洗液的悬浮和携带能力,完善其配方和维护与处理工艺;加强破碎地层的胶结和封堵,并适度提高冲洗液密度。

#### 参考文献:

- [1] 李攀义,单文军,徐兆刚,等.成膜防塌无固相体系在金鹰矿区ZK1146井中的应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(10):26-30.  
LI Panyi, SHAN Wenjun, XU Zhaogang, et al. Research and application of solid free film-forming and anti-sloughing drilling fluid system in well ZK1146 of Jinying mining area[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015, 42(10):26-30.
- [2] 何玉云,王发民,熊正强,等.甘肃李坝金矿区强水敏分散剥落地层的选型与使用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(4):9-62.  
HE Yuyun, WANG Famin, XIONG Zhengqiang, et al. Selection and application of flushing fluid for strong water sensitive stratum in Liba gold mine of Gansu[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016, 43(4):9-62.
- [3] 胡晨,闫家,张恒春,等.泥页岩地层绳索取心钻进钻头应用及优化设计研究[J].钻探工程,2021,48(12):65-71.  
HU Chen, YAN Jia, ZHANG Hengchun, et al. Research on application and optimal design of wireline core drilling bits for mudstone and shale[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(12):65-71.
- [4] 杜坤,李秀灵,王本利,等.无粘土水基钻井液在长庆油田米38区块水平井的应用[J].钻井液与完井液,2021,38(3):331-336.  
DU Kun, LI Xiuling, WANG Benli, et al. Application of a clay-free low solids water based drilling fluid in block Mi-38 in Changqing Oilfield[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2021, 38(3):331-336.
- [5] 黄汉仁.钻井流体工艺原理[M].北京:石油工业出版社,2016:348-350.  
HUANG Hanren. Drilling Fluid Technology Principle[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2016:348-350.
- [6] 盖靖安,李喜成,薛伟强,等.乌兹别克斯坦明格布拉克油田明15井钻井液技术[J].钻井液与完井液,2019,36(2):202-207.  
GAI Jing'an, LI Xicheng, XUE Weiqiang, et al. Drilling fluid technology for Well Ming-15 in Mingbulak Oilfield, Uzbekistan[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2019, 36(2):202-207.
- [7] 董明建,丁海峰,崔顺利.抗盐、抗石膏在河坝1井的应用[J].南方油气,2004,17(3):37-39.  
DONG Mingjian, DING Haifeng, CUI Shunli. Application of salt-resisting, gypsum-resisting drilling fluid in No.1 well of Heba[J]. Southern China Oil & Gas, 2004, 17(3):37-39.
- [8] 陶归成,唐珂灵,陈琛,等.陆相沉积地层绳索取心钻进所遇问题及解决办法[J].钻探工程,2022,49(4):93-98.  
TAO Guicheng, TANG Keling, CHEN Chen, et al. Wireline coring problems and solutions in continental sedimentary formation drilling[J]. Drilling Engineering, 2022, 49(4):93-98.
- [9] 王盛,潘振泉,秦正运.小口径绳索取心钻进在砾山地区深厚泥岩地层中的施工技术[J].钻探工程,2022,49(2):85-90.  
WANG Sheng, PAN Zhenquan, QIN Zhengyun. Small diameter wireline core drilling for deep mudstone formation in Dangshan area[J]. Drilling Engineering, 2022, 49(2):85-90.
- [10] 陶士先,李晓东,吴召明,等.强成膜性护壁体系的研究与应用[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.
- [11] 陈强,雷志永.高密度复合盐水钻井液体系在伊拉克Missan油田盐膏层中的应用[J].长江大学学报(自然科学版),2017,14(15):51-55,93-94.  
CHEN Qiang, LEI Zhiyong. Application of hi-density mixed salt drilling fluid system in Missan Oilfields of Iraq[J]. Journal of Yangtze University (Natural Science Edition), 2017, 14(15):51-55,93-94.
- [12] 付帆,陶士先,李晓东.绿色勘查高温环保研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(4):129-133.  
FU Fan, TAO Shixian, LI Xiaodong. Research on environment-friendly high-temperature drilling fluid for green exploration[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(4):129-133.
- [13] 魏昱,白龙,王骁男.川深1井钻井液关键技术[J].钻井液与完井液,2019,36(2):194-201.  
WEI Yu, BAI Long, WANG Xiaonan. Key drilling fluid technology for Well Chuanshen-1[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2019, 36(2):194-201.
- [14] 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.
- [15] 苏力才,蒙学礼,李永卫,等.PVA1788成膜体系无固相冲洗液在桂柳地1井的应用[J].钻探工程,2022,49(5):57-63.  
SU Licai, MENG Xueli, LI Yongwei, et al. Application of PVA1788 film-forming system solid-free drilling fluid in Well Guiludi-1[J]. Drilling Engineering, 2022, 49(5):57-63.

(编辑 荐华)