

承德宽城坳陷重点地区页岩油气资源调查井 冲洗液技术研究

刘凤双, 王皓*, 尹飞, 李泽群, 王硕, 丁战勋, 李运鹏,
张帅, 孙红举, 鲁建军, 李佳伟, 王书晴, 王建宇, 喇瑶瑶

(中国地质调查局廊坊自然资源综合调查中心, 河北廊坊 065000)

摘要:冀承页1井小口径页岩油气调查井位于河北省承德市, 构造位置为燕辽裂陷槽承德盆地宽城坳陷卢家沟向斜带, 地质条件极为复杂, 不仅存在涌水及漏失问题, 且目的层段洪水庄组碳粉砂质页岩结构松散破碎, 黏土矿物组成中蒙脱石含量高, 水敏性强, 井壁稳定性差。钻探施工存在易塌、易漏、易卡钻风险, 对钻探工艺及冲洗液技术提出了较高的要求。针对该井的钻遇地层, 细化分析各井段对冲洗液的性能需求, 研发配制了冀承页1井专属冲洗液体系, 并针对目的层页岩开展冲洗液配比正交实验, 确定了目的层冲洗液配方: 水+3% Na-B+3% (土重) Na_2CO_3 +3% KHM+1% GPC+0.2% K-PAM+0.2% Na-CMC+1.5% MSDS, 因地制宜地开展冲洗液维护措施, 在实际钻探过程中取得了良好的应用效果, 可为类似钻探工程冲洗液技术提供借鉴。

关键词: 页岩油气; 小口径调查井; 水敏地层; 破碎地层; 冲洗液技术

中图分类号: P634.6; TE254 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2025)02-0051-08

Research on flushing fluid technology for shale oil and gas resources survey well in key areas of Kuancheng Depression in Chengde

LIU Fengshuang, WANG Hao*, YIN Fei, LI Zequn, WANG Shuo, DING Zhanxun, LI Yunpeng,
ZHANG Shuai, SUN Hongju, LU Jianjun, LI Jiawei, WANG Shuqing, WANG Jianyu, LA Yaoyao

(Langfang Natural Resources Comprehensive Survey Center, China Geological Survey, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: The Well Jichengye-1 is located in Chengde City, Hebei Province, which is a small-diameter shale oil and gas survey well, with a structural location in the Lujiagou syncline of the Kuancheng Depression in the Yanliao Rift Trough of the Chengde Basin. The geological condition of the drilling project is extremely complex, with not only water inflow and leakage problems, but also loose and fragmented carbon powder sandy shale in the Hongshuizhuang Formation of the target layer, high montmorillonite content in the clay mineral composition, strong water sensitivity, and poor wellbore stability. Drilling construction poses risks of collapse, leakage, and drill sticking, which puts high demands on drilling technology and flushing fluid technology. In view of this, a detailed analysis was conducted on the performance requirements of each well section for the flushing fluid in the encountered strata. A dedicated flushing fluid system for Well Jichengye-1 was developed and formulated. Orthogonal experiments were conducted on the flushing fluid ratio for the target shale layer, and the flushing fluid formula was determined as follows: water+3% Na-B+3% (soil weight) Na_2CO_3 +3% KHM+1% GPC+0.2% K-PAM+0.2% Na-CMC+1.5% MSDS. Tailored flushing

收稿日期: 2024-12-26; 修回日期: 2025-02-13 DOI: 10.12143/j.ztgc.2025.02.007

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“东部地区战略性矿产靶区查证技术支持”(编号: DD20240012)

第一作者: 刘凤双, 男, 满族, 1988年生, 工程师, 地质工程专业, 从事钻探工程技术与管理工作, 河北省廊坊市广阳区广阳路93号, 2540528899@qq.com。

通信作者: 王皓, 男, 汉族, 1999年生, 工程师, 地质工程专业, 硕士, 从事钻探工程技术与管理工作, 河北省廊坊市广阳区广阳路93号, wanghao199903@163.com。

引用格式: 刘凤双, 王皓, 尹飞, 等. 承德宽城坳陷重点地区页岩油气资源调查井冲洗液技术研究[J]. 钻探工程, 2025, 52(2): 51-58.

LIU Fengshuang, WANG Hao, YIN Fei, et al. Research on flushing fluid technology for shale oil and gas resources survey well in key areas of Kuancheng Depression in Chengde[J]. Drilling Engineering, 2025, 52(2): 51-58.

fluid maintenance measures were carried out, which has good application results in the actual drilling process, and can provide reference for similar drilling projects.

Key words: shale oil and gas; small-diameter oil and gas survey well; water-sensitive formation; broken strata; flushing fluid technology

0 引言

为探索久攻不克的中新元古界页岩油气资源潜力,填补中国北方海相页岩油气勘查空白^[1],中国地质调查局油气资源调查中心联合中国地质调查局廊坊自然资源综合调查中心,在河北承德部署了“冀承页1井”小口径油气调查井,力争获得古老层系页岩油气和常规油气新发现,支撑新一轮找矿突破战略行动。冀承页1井构造位置位于燕辽裂陷槽承德盆地宽城坳陷卢家沟向斜带,承德地区宽城坳陷位于燕辽构造带中段,是承德盆地的二级构造单元之一,为中新元古界+中生界的叠合盆地。地理位置位于河北省承德市境内,大体呈北东向方向展布,长约50 km,宽约20 km,面积约1000 km²。

冀承页1井设计深度1500 m,根据承德地区油气地层特点、压力预测及目前钻井工艺技术现状,结合邻井工程设计,采用三开井身结构,一开封固表土层、二开封固下马岭组页岩、三开钻探主要目的层。冀承页1井在钻遇下马岭、洪水庄页岩地层时施工过程中存在易塌、易漏、易卡钻风险^[2],因此如何科学设计冲洗液参数,在保证钻井安全的同时高效钻进,是此项目面临的一项重要挑战^[3]。

1 地层及井身结构

1.1 钻遇地层

冀承页1井开孔层位为青白口系下马岭组,主探蓟县系洪水庄组,兼探铁岭组、下马岭组,完钻层位为蓟县系雾迷山组。由上至下钻遇青白口系下马岭组,蓟县系铁岭组、洪水庄组、雾迷山组。地层特征如下:

下马岭组(P_{mx}):岩性主要由灰黑、灰绿色页岩、粉砂质页岩组成。底部有一层灰白、黄绿色薄层、中厚层中细粒石英砂岩,其上为一层菱铁矿层。靠上部夹少许紫色薄层页岩;顶部以页岩、粉砂岩或薄层泥灰岩。本组与上覆景儿峪组及下伏铁岭组地层均为平行不整合接触。

铁岭组(J_xl):主要为一套含盆屑、含锰白云岩,绿、翠绿色页岩,叠层石灰岩及白云质灰岩。下部

为灰白、褐灰色薄层夹中厚层含燧石条带、燧石结核碎屑泥晶白云岩,含锰泥晶白云岩夹绿、紫色页岩及含锰菱铁矿层,上部为灰色薄层泥晶灰岩夹砾屑泥晶灰岩及杂色砾岩。与下伏洪水庄组为整合接触。

洪水庄组(J_xh):主要为一套灰黑、灰绿、褐灰、棕黄色含石英粉砂伊利石页岩。下部为灰色薄层含砂质泥粉晶含砾屑、砂屑白云岩夹黑灰色纸片状页岩,中部为灰黑、灰绿、褐紫色页岩、纸片状页岩,含黄铁矿结核,上部为黄绿色页岩夹含锰砂质白云岩凸镜体及薄层灰质石英砂岩。与下伏雾迷山组地层为整合接触。

雾迷山组(J_xw):岩性为灰白、暗灰色中厚层、厚层燧石条带结晶白云岩,夹条纹状白云岩、泥晶白云岩、硅质岩、角砾状结晶白云岩及燧石角砾岩。与下伏杨庄组地层为整合接触。

1.2 施工难点

根据地层信息及临井资料,分析冀承页1井的施工难点主要为以下4点:

(1)由于临近河滩,覆盖层含有大量卵石,容易造成井底岩屑清理不净,引起卡钻等事故。

(2)铁岭组白云岩地层裂隙发育,不排除存在大型溶洞,可能会出现全井漏失现象。

(3)根据临井记录,洪水庄组黑色薄层状碳质粉砂质泥页岩结构松散,黏土矿物中蒙脱石含量占比高,水敏性强,如冲洗液使用不当,该井段易发生扩径及井壁坍塌现象^[4-5]。

(4)钻场地下暗河发育,井内容容易出现涌水及涌气现象,给冲洗液性能维护带来较大困难。

1.3 井身结构

冀承页1井设计井深1500 m,设计倾角90°,井型为直井,完钻井径 $\geq \varnothing 96$ mm,除覆盖层外,全井按地质岩心钻探标准规范要求取心,非地层破碎、垮塌井段,全井井径扩大率 $\leq 15\%$ 。对可能垮塌井段,井径扩大率要求适当放宽,控制在20%以内。由于提前钻至目的层位,于1295 m完钻,最终钻井综合质量评价为甲级。

一开采用 $\Phi 173$ mm薄壁金刚石钻头(水眼8个)+ $\Phi 168$ mm钻具+ $\Phi 168$ mm变 $\Phi 114$ mm变径+ $\Phi 114$ mm机下接头+ $\Phi 89$ mm六棱主动钻杆,采用单管钻进,钻至井深46.10 m,下入 $\Phi 146$ mm $\times$ 5.50 mm导管15根,套管总长45.80 m,下深45.80 m。

二开采用 $\Phi 122$ mm金刚石钻头(水眼12个)+ $\Phi 122.5$ mm扩孔器+ $\Phi 114$ mm钻具+ $\Phi 114$ mm钻杆 $\times 14$ 根+ $\Phi 114$ mm机下接头+ $\Phi 89$ mm六棱主动钻杆(8 m),采用绳索取心工艺,钻至井深350.50 m,下入钢级DZ40 $\Phi 108$ mm $\times$ 5.50 mm表层套管117根,套管总长350.50 m,下深350.50 m。

三开采用 $\Phi 98$ mm K7钻头(水眼8个)+ $\Phi 98.5$ mm扩孔器+ $\Phi 98$ mm钻具+ $\Phi 91$ mm钻杆 $\times 115$ 根+ $\Phi 91$ mm机下接头+ $\Phi 89$ mm六棱主动钻杆(8 m),采用绳索取心工艺,钻至井深1295 m停钻后封井口、完井。

井身结构见图1。

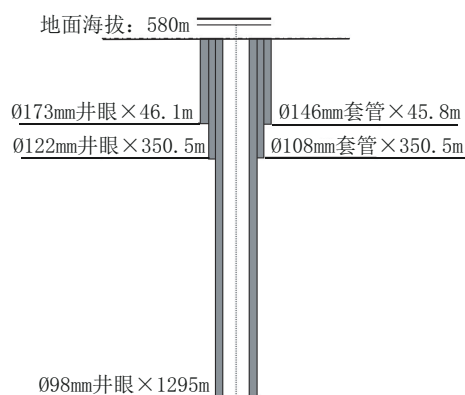


图1 井身结构

Fig.1 Well configuration

2 冲洗液性能需求

2.1 覆盖层冲洗液性能需求

覆盖层岩性从上至下依次为第四系松散堆积物、泥质砂岩(夹杂非连续级配卵石)、安山岩(夹杂非连续级配卵石),此段地层面临的问题:(1)地表第四系沉积物造浆严重^[6],地表第四系松散堆积物原为耕地土壤,土壤有机质含量高,遇水极易造浆;(2)井内清洁问题,由于钻场位于河边阶地,穿过第四系松散堆积物后存在大量非连续级配卵石,钻进过程中卵石容易沉积井底,影响正常钻进(图2);(3)钻具钻头压力,该段地层卵石及安山岩硬度均极大,钻头切削研磨吃力,磨损极大。因此,覆盖层

冲洗液应满足以下条件:针对表层第四系松散堆积物冲洗液配置应考虑造浆问题^[7],快速穿过第四系松散堆积物后冲洗液应重点关注携屑及润滑问题^[8]。



图2 覆盖层卵石

Fig.2 Pebbles in covering layer

2.2 二开冲洗液性能需求

二开钻遇岩性从上至下依次为砂质泥岩、凝灰质细砂岩、粗粒砂岩、泥质粉砂岩,此段地层较稳定,岩石完整,对冲洗液的技术要求不高,但根据临井资料显示,该井段可能面临涌水问题,因此二开冲洗液配制应该在考虑地层完整,尽可能的提高钻井速度的前提下,做好预防井内出现涌水的应对准备。

2.3 三开非目的层冲洗液性能需求

三开钻遇地层岩性主要为泥质砂岩、泥质灰岩、白云质泥岩、辉绿岩、白云岩。除目的层外,根据地质资料及临井数据显示,此段地层整体稳定性差,部分灰岩较为破碎,存在漏失及掉块问题,白云质泥岩水敏性强^[9],容易遇水膨胀,且白云岩井段裂隙广泛发育,存在钻遇溶洞的风险。因此,三开井段对冲洗液的综合性能要求较高,该井段冲洗液应满足以下条件:满足对微小裂隙的封堵功能,低失水及良好的抑制性能,同时应该做好应对钻遇大裂隙及溶洞的堵漏准备。

2.4 目的层冲洗液性能需求

目的层岩性主要为洪水庄组黑色薄层状碳质粉砂质泥页岩,此井段面临两个重要难题:(1)由于粉砂质泥页岩本身特征带来的井壁稳定性差^[10];(2)目的层岩心包含大量的地质油气信息,因此对岩心的采取要求高,要尽可能的保证岩心的完整程度及采取率。针对这两个问题,对目的层井段的冲洗液性能提出了较高的要求。为全面掌控目的层岩石信息,精准设计冲洗液配比,请求油气调查中

心提供了目的层岩石的野外出露岩样,并对其开展了矿物黏土类别鉴定及水敏性实验分析^[11-12]。

2.4.1 黏土矿物类型鉴定

图3为洪水庄组地层的岩石黏土矿物分析结果,交会点主要处于蒙脱石区域,经鉴定,黏土矿物中蒙脱石含量在30%以上,为典型海相页岩。

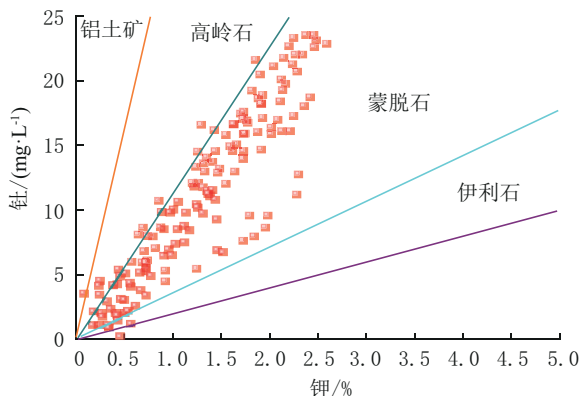


图3 洪水庄组地层黏土矿物分析结果
Fig.3 Analysis results of clay minerals in the Hongshuizhuang Formation

2.4.2 水敏性试验分析

对目的层页岩开展线性膨胀实验,使用NP-03型智能膨胀量测定仪,将三块大小基本相同的页岩试样分别使用清水、膨润土浆(3%含量膨润土)、聚丙烯酰胺水溶液(0.2%含量聚丙烯酰胺)进行浸泡300 min测量其线性膨胀量,目的层页岩在清水中线性膨胀量迅速增大,并在120 min左右发生了水解崩裂,在膨润土浆和聚丙烯酰胺水溶液中始终增大,截止到实验结束最大膨胀量分别为2.3 mm,4.6 mm。

通过矿物黏土类别鉴定及水敏性实验可知,目的层页岩膨胀及水敏性强,稳定性差,因此必须严格控制冲洗液的失水量并强化冲洗液抑制性能^[13]。

3 冲洗液配方实验

通过分析冲洗液性能要求,针对冀承页1井各开次地层及目的层分别进行冲洗液配方性能设计。

3.1 现场材料

现场所用冲洗液材料如下:Na-B(钠基膨润土)、MSDS(钻井用皂化油)、KL(植物胶)、KHM(腐殖酸钾)、GPC(随钻堵漏剂)、PAM(聚丙烯酰胺)、K-PAM(聚丙烯酸钾)、Na-CMC(中黏羧甲基纤维素钠)、工业级 Na_2CO_3 。其中聚丙烯酸钾和腐

殖酸钾是主要降滤失剂,植物胶和中黏羧甲基纤维素钠为增黏及流型调节剂,皂化油除润滑作用外,其分子吸附于黏土颗粒表面,通过疏水作用抑制水化膨胀,可显著降低黏土矿物膨胀率,同时在裂缝性页岩中形成半透膜,有利于保持井壁稳定。

3.2 非目的层冲洗液体系

JC-1冲洗液(冀承页1井1号冲洗液)针对覆盖层第四系松散堆积物设计,该段主要解决地层造浆严重及携屑困难问题,冲洗液应具有较高黏度、低失水、适当动塑比及良好的流动性^[14]。

配方:水+2% Na-B+3%(土重) Na_2CO_3 +0.1% K-PAM+1% KHM+1% MSDS。

配制方法:在搅拌器加入设计比例的预泡膨润土浆和工业级 Na_2CO_3 ,按比例计算出所需聚丙烯酸钾的质量,分别在溶液桶中预泡3 h,搅拌至均匀,最后按比例加入腐殖酸钾和钻井用皂化油。

JC-2冲洗液(冀承页1井2号冲洗液)针对穿过第四系松散堆积物后的一开井段,主要解决该井段的携屑及润滑问题,冲洗液应具有携岩屑强、适当黏度、中等切力、高动塑比。

配方:水+3% Na-B+3%(土重) Na_2CO_3 +0.2% CMC+1.5% MSDS+1.5% KL。

配制方法:在搅拌器加入设计比例的预泡膨润土浆和工业级 Na_2CO_3 ,按比例计算出所需纤维素、植物胶的质量,分别在溶液桶中预泡3 h,加入搅拌器搅拌至均匀,最后按比例加入钻井用皂化油。

JC-3冲洗液(冀承页1井3号冲洗液)针对二开完整井段设计,该井段相对稳定,冲洗液设计主要以提高钻井效率为重点,冲洗液应具有沉淀岩屑能力强、偏低黏度、中等切力、中等动塑比^[15]。

配方为:水+0.15% PAM+1% GPC+1% MSDS。

配制方法:按照搅拌器容积,按比例计算出所需聚丙烯酰胺质量,在溶液桶中预泡3 h,加入搅拌器搅拌至均匀后加入堵漏剂,最后按比例加入钻井用皂化油。

JC-4冲洗液(冀承页1井4号冲洗液)针对三开井段非目的层设计,该段裸眼井段长,且井壁稳定性不均匀,应以保持井壁稳定和钻井安全为重点,冲洗液应具有适当黏度、良好的润滑性、较低失水量、一定的抑制性能、中等动塑比。

配方为:水+1.5% Na-B+3%(土重) Na_2CO_3 +0.2% K-PAM+1% GPC+2% KHM+1.5% MSDS。

配制方法:在搅拌器加入设计比例的预泡膨润土浆和工业级 Na_2CO_3 ,按比例计算出所需聚丙烯酸钾的质量,在溶液桶中预泡 3 h,加入搅拌器搅拌至均匀后加入堵漏剂和腐殖酸钾,最后按比例加入钻井用皂化油。

冀承页 1 井 1~4 号冲洗液性能参数见表 1。

表 1 冀承页 1 井 1~4 号冲洗液性能参数

Table 1 Performance parameters of flushing fluid No.1~4 in Well Jichengye-1

冲洗液编号	密度/($\text{kg}\cdot\text{L}^{-1}$)	漏斗黏度(苏式)/s	$AV/(\text{mPa}\cdot\text{s})$	$PV/(\text{mPa}\cdot\text{s})$	YP/Pa	YP/PV	$FL/[\text{mL}\cdot(30\text{ min})^{-1}]$
JC-1	1.04	35	37.28	19.31	9.08	0.47	8
JC-2	1.03	31	29.80	17.10	8.38	0.49	9
JC-3	1.01	29	31.28	26.36	7.91	0.39	10
JC-4	1.03	32	35.74	21.78	8.93	0.41	8

3.3 目的层冲洗液

JC-5 冲洗液(冀承页 1 井 5 号冲洗液)针对目的层井段设计,冲洗液应具有适当黏度、良好润滑性、强抑制性能,以及重点性能低失水量^[16],为尽可能降低冲洗液失水量,根据现场材料开展了小型正交实验^[17]。正交试验设计方案见表 2。

表 2 L9 正交实验设计

Table 2 Design for L9 orthogonal experiment

水平	添加量/%			
	Na-B	KHM	K-PAM	Na-CMC
1	2	1	0.1	0.1
2	3	2	0.2	0.2
3	4	3	0.3	0.3

正交试验测试结果见表 3。

根据正交实验结果,对不同材料在相同添加量情况下的失水量数值取平均数,分析不同材料添加

表 3 正交试验测试结果

Table 3 Orthogonal test results

试验组	添加量/%				$FL/[\text{mL}\cdot(30\text{ min})^{-1}]$
	Na-B	KHM	K-PAM	Na-CMC	
1*	2	1	0.1	0.1	11.6
2*	2	2	0.2	0.2	9.5
3*	2	3	0.3	0.3	8.3
4*	3	1	0.2	0.3	11.1
5*	3	2	0.3	0.1	8.8
6*	3	3	0.1	0.2	7.4
7*	4	1	0.3	0.2	10.2
8*	4	2	0.1	0.3	8.4
9*	4	3	0.2	0.1	5.9

量(k_i)对冲洗液失水量的影响,如图 4 所示。

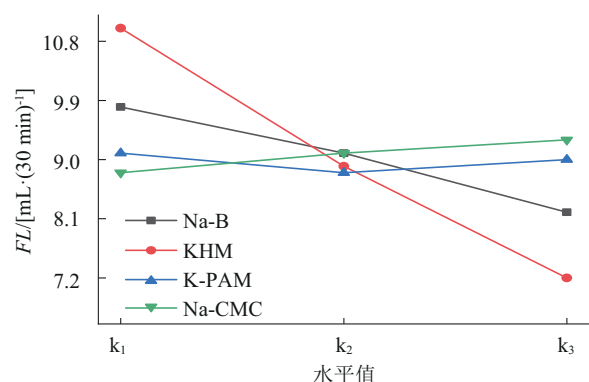


图 4 添加不同材料对失水量的影响

Fig.4 Influence of different addition on water loss

结合表 3 和图 4 分析可知,4 种材料对冲洗液失水量的影响程度大小为:KHM>Na-B>Na-CMC>K-PAM,KHM 加量对于冲洗液失水量影响最大,Na-B 次之,而 Na-CMC 和 K-PAM 对失水量的影响程度较小,因此,在考虑冲洗液配比时,可将 KHM 及 Na-B 作为失水量主要调节因素,在结合此分析结果,综合考虑冲洗液整体性能的基础上,最后确定了目的层冲洗液配比。

配方为:水+3% Na-B+3%(土重) Na_2CO_3 +3% KHM+1% GPC+0.2% K-PAM+0.2% Na-CMC+1.5% MSDS。

配制方法:在搅拌器容加入设计比例的预泡膨润土浆和工业级 Na_2CO_3 ,按比例计算出所需纤维素、聚丙烯酸钾的质量,分别在溶液桶中预泡 3 h,加入搅拌器搅拌至均匀,按比例依次加入腐殖酸钾、堵漏剂和钻井用皂化油。主要性能指标见表 4。

优选配方冲洗液浸泡下页岩膨胀实验结果见表

表4 冀承页1井5号冲洗液性能参数
Table 4 Performance parameters of flushing
fluid No.5 for Well Jichengye-1

性能	参数
密度/($\text{kg}\cdot\text{L}^{-1}$)	1.04
漏斗黏度(苏式)/s	36
$AV/(\text{mPa}\cdot\text{s})$	38.37
$PV/(\text{mPa}\cdot\text{s})$	23.18
YP/Pa	10.2
YP/PV	0.44
$FL/[\text{mL}\cdot(30\text{ min})^{-1}]$	4.8

5,30 min浸泡后最终膨胀量为0.9 mm,优于膨润土浆和聚丙烯酰胺水溶液,对页岩膨胀抑制性能良好。

表5 不同浸泡介质下目的层页岩膨胀量
Table 5 Expansion of target shale under
different immersion media

浸泡介质	300 min线性膨胀量/mm
清水	120 min崩解
膨润土浆(3%含量膨润土)	2.3
聚丙烯酰胺水溶液(0.2%含量)	4.6
JC-5冲洗液	0.9

3.4 冲洗液性能维护

冀承页1井钻井期间,由于设备及场地因素限制,未能配备固控设备,相较于常规全孔取心钻井,油气调查井井径较大,岩粉携带量大^[18],且冀承页1井位置位于河边阶地,地下水丰富,冲洗液易受到水侵及气侵。冲洗液的维护面临的挑战较大^[19],针对性地采取了如下措施。

3.4.1 连通式泥浆循环池布局

在泥浆池布局上,共开挖了3个大小不一的泥浆池(图5),最外围泥浆池尺寸4.8 m $\times$ 2 m $\times$ 2 m,主要用于储备配置好的高密度膨润土浆,以应对井内发生各类突发事件,内侧浆池尺寸2.4 m $\times$ 2 m $\times$ 2 m,直接参与井内循环,中间浆池尺寸2.6 m $\times$ 2 m $\times$ 2 m,作为联通池,通过铁槽与两侧相连接,同时也作为备用池防止最内侧浆池泥浆性能迅速劣化无法正常维持钻井时的直接循环池。

3.4.2 改良泥浆搅拌机

由于砌制的泥浆池体积较大,冲洗液配置过程较为困难,自行加工设计了一套可移动式搅拌机(图6),在使用过程中取得了较好的应用效果,大大

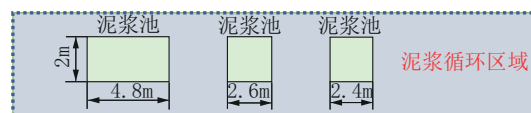


图5 泥浆池布置示意

Fig.5 Schematic diagram of mud pit layout

缩短了冲洗液配制的时间成本。



图6 搅拌机效果

Fig.6 Blender result

3.4.3 自制固液分离箱

在施工过程中,发现直接清理泥浆池中的岩屑工作量极大,且存在很高的安全风险,针对这种情况,考虑在泥浆进池以前,对其进行一级预先处理,设计加工了一套地表泥浆固液分离箱(图7),由井口返出的浆液经过固液分离箱进入泥浆池,该泥浆固液分离箱由3部分组成,分别为直接连接井口的岩屑沉淀区域,中间的阻隔区域以及外侧的流动区域,经过实际使用取得了极好的应用效果,90%以上的岩屑经过岩屑沉淀区域在阻隔板的作用下基本完全沉淀,而流动区域又能将剩余的少量岩屑进一步沉淀,岩屑在该分离箱中清理工作量简便易行,降低了冲洗液维护的工作量,提高了钻井效率。

4 实际工程效果

冀承页1井在施工过程中严格按照预设的冲洗液体系进行作业,坚持每班对冲洗液的性能进行测试并做好数据记录,合理调节钻进参数。当遇到涌水地层时,进行冲洗液针对性调节,加大冲洗液的

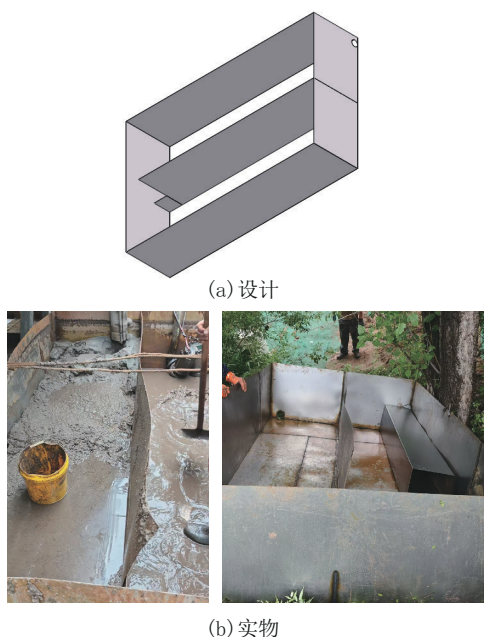


图7 分离箱设计及效果
Fig.7 Design and effect of separation box

密度、黏度,提高护壁效果。在井口处进行引流排放,以保证井内冲洗液的性能变化不大。遇到气体层时,加强对排出气体的监测,冲洗液密度控制在 1.1 kg/L 以上,当班人员时刻关注冲洗液性能变化以及气体的浓度波动,确保冲洗液性能稳定。遇到目的油层时,为提高取心率及保障井壁安全,冲洗液性能监测调整为每4 h一次,当班人员及时反馈冲洗液性能变化并根据实测参数及时补充相应的处理剂。整体钻探工作高效平稳,设计冲洗液体系起到了良好的应用效果,具体情况如下:

(1)设计的冲洗液体系对维护井壁稳定起到了良好的效果,冀承页1井1295 m的作业井段内三开裸眼井段长度接近950 m,其中铁岭组及洪水庄组多段地层极其松散破碎(图8),在整个施工过程中,井内未出现任何事故,完井后测井仪器一下到底,相较于邻井因事故频发的现象,设计的冲洗液体系很好解决了小口径油气钻井井壁失稳难题。

(2)施工效率显著提升,冀承页1井累计施工工期77 d,纯钻时间756.23 h,台月效率544.63 m,施工效率显著高于临井宽1井,对比情况见表6。

(3)岩心采取率高。根据对钻取岩心的统计,冀承页1井在取心井段46.10~1295.00 m进尺1248.90 m,心长1245.25 m,岩心采取率高达99.71%,其中目的层井段岩心采取率均为100%(图



图8 破碎井段岩心
Fig.8 Core of fractured well section

表6 施工效率对比

Table 6 Comparison of construction efficiency

井名	井深/m	累计施工 工期/d	井故处理 时间/h	台月效 率/m
冀承页1井	1295	77	0	544.63
宽1井	1157.27	68	256	432.37

9),超预期满足了地质资料需求标准。



图9 目的层段岩心
Fig.9 Core of targeted interval

5 结论

(1)针对冀承页1井钻探工程,以钻遇地层岩性为着手点,根据不同的地层开次,针对性的细化冲洗液性能配方,设计了一套冀承页1井专属冲洗液体系,现场对冲洗液的使用与维护处理,很好的满足了该井施工工艺要求及井身稳定效果,为相似小口径油气调查井设计施工提供了参考。

(2)针对洪水庄组碳质粉砂质泥页岩水敏性强、井壁稳定性差的问题,开展正交实验分析,确定了目的层最佳冲洗液配比为:水+3% Na-B+3% (土重) Na_2CO_3 +3% KHM+1% GPC+0.2% K-PAM+0.2% Na-CMC+1.5% MSDS,在目的层段取得了良好的应用效果。

参考文献(References):

- [1] 黎茂稳,马晓潇,金之钧,等.中国海、陆相页岩层系岩相组合多样性与非常规油气勘探意义[J].石油与天然气地质,2022,43(1):1-25.
LI Maowen, MA Xiaoxiao, JIN Zhijun, et al. Diversity in the lithofacies assemblages of marine and lacustrine shale strata and significance for unconventional petroleum exploration in China [J]. Oil & Gas Geology, 2022, 43(1): 1-25.
- [2] 孙建华,刘秀美,王志刚,等.地质钻探孔内复杂情况和孔内事故种类梳理分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(1):4-9.
SUN Jianhua, LIU Xiumei, WANG Zhigang, et al. Classification and analysis on complex cases and accidents in geological drilling holes[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(1): 4-9.
- [3] 闫家,刘蓓,曹龙龙,等.下扬子地区页岩气地质调查皖望地3井钻井设计与施工技术[J].钻探工程,2023,50(3):74-82.
YAN Jia, LIU Bei, CAO Longlong, et al. Drilling design and construction technology of shale gas geological survey Well Wangwangdi-3 in the Lower Yangtze Block[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(3): 74-82.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 赵志杰,丁宁宇,孔令玺,等.绿色勘查技术在河北省古马铁矿钻探工程中的应用[J].钻探工程,2021,48(12):26-31.
ZHAO Zhijie, DING Ningning, KONG Lingxi, et al. Application of green deep exploration drilling in Guma Iron Mine in Hebei Province[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(12): 26-31.
- [7] 张青海.小秦岭北矿带厚覆盖层钻探技术研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(10):53-57.
ZHANG Qinghai. Drilling technology for thick overburden in the northern mining belt of Xiaozhinling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(10): 53-57.
- [8] 隆威.润滑冲洗液的使用条件探讨[J].地质与勘探,1992(6):56-62.
LONG Wei. Conditions for the use of lubricating flushing fluid [J]. Geology and Exploration, 1992(6): 56-62.
- [9] 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):22-28.
DAI Wanqing, XUE Yan, YAN Qiaoyun. Performance optimization and preparation of drilling mud for water sensitive formation[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(11): 22-28.
- [10] 王萍.泥页岩井壁水化损伤的蠕变失稳力学研究[D].西安:西北工业大学,2015.
WANG Ping. Mechanics research on creep buckling of the shale hydration damage[D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2015.
- [11] 赵杏媛,何东博.黏土矿物与页岩气[J].新疆石油地质,2012,33(6):643-647.
ZHAO Xingyuan, HE Dongbo. Clay minerals and shale gas [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2012, 33(6): 643-647.
- [12] 巫锡勇,廖昕,赵思远,等.黑色页岩水岩化学作用实验研究[J].地球学报,2014,35(5):573-580.
WU Xiyong, LIAO Xin, ZHAO Siyuan, et al. Experimental study of the water-rock chemical reaction in black shale[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2014, 35(5): 573-580.
- [13] 刘敬平,孙金声.页岩气藏地层井壁水化失稳机理与抑制方法[J].钻井液与完井液,2016,33(3):25-29.
LIU Jingping, SUN Jinsheng. Borehole wall collapse and control in shale gas well drilling[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2016, 33(3): 25-29.
- [14] 孙宗席.甘肃文县阳山矿区复杂地层用冲洗液研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(12):32-35.
SUN Zongxi. Study on washing fluids for complex formation in Yangshan mining area of Gansu [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012, 39(12): 32-35.
- [15] 姜桂春.聚炳烯酰胺无固相冲洗液在复杂地层中的应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(1):34-37.
JIANG Guichun. Application of polyacrylamide solid-free drilling fluid in complex strata drilling [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015, 42(1): 34-37.
- [16] 袁进科,陈礼仪,王军伟,等.青藏高原复杂地层地质钻探低固相冲洗液试验研究[J].钻探工程,2021,48(4):79-84.
YUAN Jinke, CHEN Liyi, WANG Junwei, et al. Experimental study on low solid flushing fluid for geological drilling in complex metamorphic of Qinghai-Tibetan Plateau [J]. Drilling Engineering, 2021, 48(4): 79-84.
- [17] 韩月,郝树青,全方凯.煤层气钻井低密度水基成膜钻井液研制与性能测试[J].中国科技论文,2017,12(9):1059-1063.
HAN Yue, HAO Shuqing, QUAN Fangkai. Preparation and performance measurement of low density film-formed water-based drilling fluid for coalbed methane drilling [J]. China Sciencepaper, 2017, 12(9): 1059-1063.
- [18] 伍晓龙,朱芝同,董向宇,等.小口径油气地质调查井的问题与工程实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(11):27-32.
WU Xiaolong, ZHU Zhitong, DONG Xiangyu, et al. Problems and field cases of small-diameter oil and gas geological survey wells [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(11): 27-32.
- [19] 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 3500m extra-deep hole in Xiaozhinling Gold Field [J]. Drilling Engineering, 2024, 51(5): 115-121.

(编辑 王文)