

# 海域天然气水合物浅软地层水平井钻井液技术

侯岳<sup>1,2</sup>, 刘春生<sup>1,2</sup>, 刘聃<sup>1,2</sup>, 何楠<sup>1,2</sup>

(1. 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北廊坊 065000;  
2. 中国地质调查局定向钻井技术创新中心, 河北廊坊 065000)

**摘要:**近年来,随着海域天然气水合物的勘探不断深入,为了进一步提高产量,加快实现海域天然气水合物商业化开采步伐,水平井开发成为了增产的重要手段。然而浅软地层水平井施工过程中,面对浅软未成岩地层,重点要解决好大斜度井段和水平井段的井眼清洁、井壁稳定、流变性能控制,润滑降摩、防漏等关键技术。本文从浅软地层水平井钻井液技术难点出发,通过室内研究和现场试验,形成了一套满足浅软地层水平井钻井施工的钻井液体系和钻井液施工工艺,并在陆地进行了多口浅软地层水平井试验井施工,确保了钻完井顺利实施,为我国海域天然气水合物水平井试采提供了大量的现场试验数据。

**关键词:**浅软地层;水平井;井壁稳定;井眼清洁;润滑性;海域天然气水合物

**中图分类号:**P634.7 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2022)02-0016-06

## Drilling fluid technology for natural gas hydrate horizontal wells in marine shallow soft formation

HOU Yue<sup>1,2</sup>, LIU Chunsheng<sup>1,2</sup>, LIU Dan<sup>1,2</sup>, HE Nan<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China;

2. Directional Drilling Technology Innovation Center, CGS, Langfang Hebei 065000, China)

**Abstract:** In recent years, with rolling out of marine natural gas hydrate exploration, in order to further increase the production and accelerate the pace of commercial exploitation of marine natural gas hydrate, the development of horizontal wells has become an important means for increasing production. However, in horizontal well drilling in shallow soft formation where shallow soft diagenetic formation is present, the key technologies for borehole cleaning, wellbore stability, rheological property control, lubrication, friction reduction and leakage prevention in highly deviated well sections and horizontal well sections should be solved. In view of the technical difficulties on drilling fluid for horizontal wells in shallow soft formation, indoor research and field test were conducted to form a set of drilling fluid system and drilling fluid drilling process for horizontal well drilling in shallow soft formation, and several horizontal test wells were drilled in shallow soft formation on land to ensure the smooth well drilling and completion, which provides a large number of field test data for trial production of marine gas hydrate horizontal wells in China.

**Key words:** shallow soft formation; horizontal well; borehole stability; borehole cleaning; lubrication; marine natural gas hydrate

## 0 引言

为了进一步加快浅层油气藏的开发,提高经济效益,浅层水平井在国内外很多地区得到了广泛的

应用,大大提高了浅层油气藏开发效果,加快了浅层油气藏高效开发的步伐。如委内瑞拉东部埋深600 m以下的稠油、超稠油采用水平井开采效果就

**收稿日期:**2022-01-25; **修回日期:**2022-02-25 **DOI:**10.12143/j.ztgc.2022.02.003

**第一作者:**侯岳,男,汉族,1985年生,高级工程师,应用化学专业,长期从事钻井液及定向钻井研究和现场施工工作,河北廊坊市广阳区金光道77号,271399879@qq.com。

**引用格式:**侯岳,刘春生,刘聃,等. 海域天然气水合物浅软地层水平井钻井液技术[J]. 钻探工程, 2022, 49(2): 16-21.

HOU Yue, LIU Chunsheng, LIU Dan, et al. Drilling fluid technology for natural gas hydrate horizontal wells in marine shallow soft formation[J]. Drilling Engineering, 2022, 49(2): 16-21.

非常好,产量达到邻近直井的6倍以上,目前该区主要开采方式为水平井<sup>[1]</sup>。在国内应用浅层水平井最早的油田为新疆克拉玛依油田,其油藏埋深在180 m左右的九6和九8区。2005年,超浅层稠油水平井HW9802试验获得成功,成为新疆油田应用普通直井钻机钻超浅层稠油水平井成功实施的第一口井,也成为当时国内应用常规直井钻机所钻垂深最浅的水平井。该井完钻井深421.8 m,完钻垂深144.09 m,井斜91.2°,水平位移329.42 m,位移与垂深比达到2.28<sup>[2]</sup>。

相比常规油气藏,海域天然气水合物储层埋藏更浅,地层更加松软<sup>[3]</sup>,钻井液密度窗口更窄。根据印度天然气水合物勘查项目组的预测,印度海域泥线以下385 m左右,天然气水合物目的层地层破裂压力当量密度为1.3~1.35 g/cm<sup>3</sup>。中国神狐海域天然气水合物在泥线以下203~277 m处,所预测的目的层破裂压力当量密度仅为1.14~1.15 g/cm<sup>3</sup>,孔隙压力当量密度1.03~1.05 g/cm<sup>3</sup>。如此窄的钻井液密度窗口,将会给井底压力控制带来极大的困难<sup>[4]</sup>。为了进一步摸索浅软地层水平井施工对钻井液的技术要求,针对钻井过程中井壁稳定、井眼清洁、润滑减阻以及密度窗口窄等技术难题,开展了一系列的浅软地层水平井钻井液室内研究和现场试验。通过现场试验验证室内研发的浅软地层水平井钻井液体系能够满足钻井施工的要求,同时进一步掌握了浅软地层水平井现场施工钻井液性能参数以及施工工艺。

## 1 浅软地层水平井钻井液技术难点

### 1.1 井壁稳定

由于浅部地层胶结程度差,钻井过程中,井壁受钻井液的浸泡和冲蚀易发生失稳坍塌,尤其在大斜度井段和水平井段,上井壁在失去地层支撑后更易发生坍塌,井壁稳定问题将显得尤为突出<sup>[5-6]</sup>。

### 1.2 井眼清洁

由于水平试采井井斜大,且定向井段造斜率高,同时地层较为疏松,为增加造斜效果,钻进过程中钻井液排量极易受限,岩屑不易及时携带出井眼,井眼清洁困难<sup>[7-8]</sup>。

### 1.3 流变性能控制

由于浅软地层胶结性差,且地层岩性泥质含量高,钻进过程中岩屑在水力冲击作用下极易分散,返

出的岩屑无法及时地被震动筛清除,导致岩屑不断地随钻井液一起循环分散,加之浅层泥岩造浆能力强,随着进入钻井液中岩屑量的增加和不断分散造浆,钻井液的粘切不断增加,最终导致钻井液流变性能恶化、流动困难<sup>[9-11]</sup>。

### 1.4 井眼漏失

浅软地层水平井随着水平位移的增加,易导致环空压耗的不断增大,加上水平井段钻进过程中如果岩屑不能及时携带出井眼将造成环空钻井液密度不断上升,从而导致钻井液循环当量密度的上升,钻井液密度窗口进一步减小,极易造成地层被压裂而发生漏失<sup>[12-13]</sup>。

### 1.5 润滑减阻

由于井身结构的限制,钻井过程中造斜率高,如果采取常规定向钻井具钻进,易发生托压,特别在水平段钻进时,随着水平段不断增加,钻具与井壁之间的摩擦阻将不断增加,需要钻井液具备优良的润滑性能,从而保证定向钻进顺利实施以及完井管柱的顺利下入<sup>[14-15]</sup>。

## 2 室内研究

鉴于浅软地层水平井施工地层特点,结合浅软地层水平井钻井液技术难点,从钻井液流变性能、抑制性能、润滑性能、携岩性能等方面对浅软地层水平井钻井液体系进行了室内优选评价。钻井液体系在充分考虑浅软地层水平井钻井液性能要求的前提下,首先优选出构建钻井液体系所需的降滤失剂、提切剂、抑制剂、润滑剂等主要单剂,在优选出单剂的基础上进行钻井液体系配方优化研究。针对两个优选出的钻井液体系配方,对其进行室内对比评价测试,测试数据如下。

### 2.1 流变性能测试评价

根据优选出来的两个配方,在室内配制样品进行流变性能测试,测试数据见表1。

1号配方:2% 钠土浆+1% 聚合物降滤失剂+0.3% 包被抑制剂+0.2% 提切剂+5% KCl+3% 液体润滑剂。

2号配方:2% 钠土浆+1% 聚合物降滤失剂+0.3% 包被抑制剂+0.2% 提切剂+1% 聚胺抑制剂+3% 液体润滑剂。

从流变性能评价数据可以看出,两个钻井液体系配方流变性能较好,无论是动塑比(YP/PV)还是

表1 钻井液体系流变性测试数据

Table 1 Rheological test data of drilling fluid systems

配方	测试温度/°C	Φ600	Φ300	Φ200	Φ100	Φ6	Φ3	PV/(mPa·s)	YP/Pa	初切力/Pa	终切力/Pa	FL <sub>API</sub> /mL
1号	25	66	45	32	25	8	7	21	12	4.5	6.5	5.7
2号	25	78	52	41	27	9	8	26	13	4	4.5	4.9

Φ3、Φ6值都处于较优的范围内,能够满足水平井钻井对钻井液流变性能的要求。

## 2.2 抑制性能评价

室内称取10 g膨润土在4 MPa压力下持续压制5 min,制成模拟岩心,利用线性膨胀量测定仪,在室温下评价了钻井液体系1号配方和2号配方抑制膨润土水化膨胀的效果<sup>[16]</sup>,试验结果见图1。

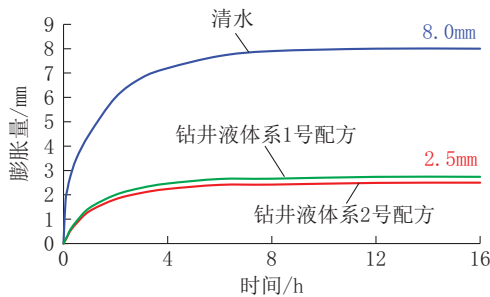


图1 钻井液体系配方抑制粘土膨胀测试

Fig.1 Test of various drilling fluid formulations for inhibiting clay expansion

从粘土膨胀测试数据可以看出,16 h测试后,粘土在钻井液体系1号配方和2号配方中的膨胀高度分别为2.74 mm和2.5 mm,比在清水中膨胀8.0 mm的高度降低了65.8%和68.8%,抑制粘土水化膨胀效果优良。试验结果显示钻井液体系中加入5% KCl和1% 聚胺抑制剂均具有良好的抑制性能,能够有效防止粘土水化膨胀,有利于浅部地层的井壁稳定。

## 2.3 润滑性能评价

使用OFI-EP极压润滑仪测试钻井液体系1号配方和2号配方的润滑系数,测试结果见表2。

表2 钻井液体系润滑性能测试数据

Table 2 Test data of lubricating performance of drilling fluid systems

序号	测试样品	润滑系数
1	1号配方	0.098
2	2号配方	0.087

从润滑性能测试数据可以看出,两个钻井液体系配方的极压润滑系数均小于0.1,满足水平井钻井对钻井液润滑性能的要求。

## 2.4 携岩性能测试

为了进一步测试优选出钻井液体系的携岩能力,采用IDS-8000型智能化多功能钻进实验台模拟井筒携岩测试,实验台如图2所示。该实验台配备了井筒架、泥浆泵、配浆池、动力系统、操控系统等。其中井筒架长6 m,可在0°~90°范围内通过控制杆人工调节模拟不同井斜下的携岩测试;泥浆泵排量分为低-I、低-II、高-I、高-II四挡,其中最大排量可达150 L/min,使用Ø45 mm内径测试管可实现最大流速1.57 m/s。为了便于观察,携岩测试专门选用白色石英砂,且筛分成粗于6目(3.2~4 mm)、6~10目(1.7~3.2 mm)、10~20目(0.9~1.7 mm)等不同粒径规格以模拟不同尺寸的钻屑。



图2 IDS-8000型智能化多功能钻进实验台

Fig.2 IDS-8000 intelligent multifunctional drilling test bench

结合浅软地层岩屑尺寸分布情况,选用10~20目(约0.9~1.7 mm)石英砂模拟携岩测试用岩屑,对优选出的两个配方,分别在不同井斜角和不同流速条件下,进行携岩测试,测试结果见表3。从携岩模拟测试数据分析,优选出来的2个配方均具有良好的携岩能力,在钻井液返速0.8~1.0 m/s的条件下就能满足水平井清洁井眼的要求。

表3 钻井液体系配方携岩测试结果  
Table 3 Cuttings-carrying test results  
of drilling fluid systems

序号	井斜角/ (°)	流速/ (m·s <sup>-1</sup> )	携砂结果	
			1号配方	2号配方
1	0	0.6	4.5 min携岩完毕	4 min携岩完毕
		0.8	上返太快,无法观测	上返太快,无法观测
2	30	0.6	6 min携岩完毕	5 min携岩完毕
		0.8	2 min携岩完毕	2 min携岩完毕
		1.0	42 s携岩完毕	40 s携岩完毕
3	45	0.6	4 min携岩完毕	4 min携岩完毕
		0.8	2 min携岩完毕	1.5 min携岩完毕
		1.0	1 min携岩完毕	35 s携岩完毕
4	60	0.6	4 min携岩完毕	3.5 min携岩完毕
		0.8	2 min携岩完毕	1.5 min携岩完毕
		1.0	1 min携岩完毕	30 s携岩完毕
5	90	0.6	4 min携岩完毕	3.5 min携岩完毕
		0.8	2.5 min携岩完毕	2 min携岩完毕
		1.0	1.5 min携岩完毕	40 s携岩完毕

### 3 现场应用

#### 3.1 钻井液配制及维护

开钻前,地面用清水配制0.5%含量的包被抑制剂胶液进行钻进,利用包被抑制剂减少浅层泥岩

岩屑水化分散,同时对机械分散的劣质土相进行絮凝,结合使用固控设备及时清除。钻进过程中往钻井液中不断补充包被抑制剂,维持其有效含量不低于0.5%。随着井斜不断增加,逐渐往钻井液中补充提切剂调整钻井液的切力,当井斜达到30°后,调整钻井液 $\Phi 3$ 读值不低于8。第一造斜段钻进结束起钻前,加入1%降滤失剂控制钻井液失水小于6 mL,维持第一造斜段扩眼和下表层套管期间的井壁稳定。

下完表层套管后,处理调整第一造斜段回收的钻井液用于第二造斜段及水平段钻井施工。首先,开启离心机清除钻井液中的有害固相,控制MBT在30~40 g/L,分别在前两口水平试验井中按1号钻井液配方和2号钻井液配方调整钻井液。通过现场对比应用两个钻井液配方,1号配方加入KCl后起钻相对较困难,尤其泥岩段倒划眼扭矩较大,同时加入KCl会增加钻井液的密度,对浅层防漏不利,后续试验井施工一直使用钻井液2号配方进行水平段钻井液性能调整。第二造斜段及水平井段钻进过程中,利用提切剂控制钻井液 $\Phi 3$ 读值不低于8,并保持钻井液中液体润滑剂含量不低于3%,以减轻滑动钻进过程中的托压问题。现场钻井液性能测量数据见表4。

表4 陆地试验井现场实测钻井液性能数据

Table 4 Field measured drilling fluid performance data of land test wells

井名	密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	粘度/s	PV/(mPa·s)	YP/Pa	$\Phi 3$	FL <sub>API</sub> /mL	极压润滑系数
试验1井	1.05~1.15	40~65	10~25	6~15	6~10	5~6	0.1~0.15
试验2井	1.05~1.15	40~65	10~25	6~15	6~10	5~6	0.1~0.15
试验3井	1.05~1.15	40~65	10~25	6~15	6~10	5~6	0.1~0.15
试验4井	1.05~1.12	40~60	10~20	5~15	8~10	5~6	0.09~0.12
双水平井	1.05~1.12	40~60	10~20	5~15	8~10	5~6	0.09~0.12

#### 3.2 配套工程措施及固控设备使用

浅软地层水平井钻井施工过程中,为了提高造斜率,使用短马达进行定向钻进, $\Phi 311.1$  mm井眼钻井施工允许最大钻井液排量为40 L/s,初始造斜阶段更是需要进一步降低排量以增大造斜率,钻井液上返速度无法达到水平井有效携岩要求。因此,在调整钻井液流变性能增强携岩能力的基础上,需要配合使用倒划眼的工程措施来进一步清洁井眼,尤其在 $\Phi 444.5$  mm井眼定向施工井段或者 $\Phi 460$

mm井眼尺寸扩眼井段,更是需要倒划眼至钻头出井口彻底将井筒中残存的岩屑携带出井眼,以保证大斜度井段和水平井段套管下入顺利。

由于浅软地层的未成岩特点,岩屑在钻进过程中极易机械细分散到钻井液中,如果不及时清除将导致钻井液流变性能不断恶化的同时密度不断上升,最终导致环空压力不断上升压漏地层。因此,在保持钻井液抑制岩屑分散的同时,加强固控设备的使用,及时清除机械细分散进入钻井液中的有害固

相,施工过程中应该保持全程开启振动筛、联合清渣器以及离心机,以离心机开启尤为重要,如果现场条件允许,最好配备两台离心机同时使用。

### 3.3 应用效果

陆地试验共计完成了4口浅软地层水平井施工以及一组浅软地层双水平井对接施工,具体完钻井身结构数据见表5。试验井第一造斜段主要采取 $\varnothing 311.1$  mm钻头直接造斜至设计井深,然后用 $\varnothing 460$  mm钻头扩孔后,下入 $\varnothing 339.7$  mm套管。本造斜段平均造斜率控制在 $15^\circ/30$  m,最大造斜率一般控制在 $18^\circ\sim 20^\circ/30$  m。因为试验初期,顾虑浅软地层造

斜能力不够,所以试验1井采取的是 $\varnothing 260$  mm钻头造斜,然后用 $\varnothing 330$  mm钻头扩孔,造斜率达到了 $28^\circ/30$  m;试验井第二造斜段采用 $\varnothing 311.1$  mm钻头造斜钻进至水平并完成水平井段钻进,然后直接下入 $\varnothing 244.5$  mm套管完井,本造斜段平均造斜率控制在 $5^\circ/30$  m,最大造斜率控制在 $7^\circ\sim 9^\circ/30$  m。通过应用浅软地层水平井钻井液技术,结合配套的钻井施工工艺,确保了浅软地层水平井高造斜定向钻进、高造斜率井段大尺寸扩眼、高造斜率井段大尺寸套管下入、水平井段井眼轨迹控制以及完井套管下入等施工顺利实施。

表5 陆地试验井完钻井身结构数据

Table 5 Completion structures of land test wells

井名	完钻井深/ m	完钻垂深/ m	水平位移/ m	水平段长度/ m	造斜点深度/ m	最大造斜率/ [ $(^\circ)\cdot(30\text{ m})^{-1}$ ]
试验1井	846.70	134.40	738.90	660.00	32.00	28.00
试验2井	807.00	252.49	678.26	618.60	50.00	20.18
试验3井	780.00	201.20	646.24	412.00	60.00	17.85
试验4井	1111.00	305.37	946.25	530.00	80.00	18.59
双水平目标井	450.52	223.52	285.25	77.36	92.00	19.80
双水平对接井	557.55	221.58	416.68	154.68	62.00	19.20

## 4 结论和认识

(1)浅软地层水平井钻井液宜采用高分子包被抑制剂和聚胺类处理剂的“软抑制”性能控制地层造浆、维持钻井液良好流变性,不宜采用KCl的“硬抑制”,KCl抑制地层造浆的同时易导致浅软地层高含水水泥岩失水变硬造成后续起钻困难。

(2)浅软地层水平井钻井液性能的调整应随着井斜以及裸眼段不断增长逐步调整,尤其粘切性能的调整更加应该循序渐进,刚开始钻进时粘切不应调整过高,因为钻进过程中地层胶结差不可避免会导致岩屑分散到钻井液,一旦初始粘切过高,岩屑机械分散到钻井液中后将会引起流变性能急剧恶化。

(3)固控设备能力对浅软地层水平井钻井液性能维护起到了至关重要的作用,尤其是要加强使用离心机对细分散有害固相进行及时清除。

(4)浅软地层水平井钻完设计进尺后应采取倒划眼起钻修整井壁的同时进一步清洁井眼,倒划眼过程要控制好倒划速度并密切关注泵压,一旦出现泵压升高的现象,及时循环疏通井眼,防止岩屑不断

累积导致环空憋堵从而压漏地层。倒划眼应一直划至直井段或者上层套管内,然后大排量循环将倒划的岩屑彻底携带出井眼,如果钻井液泵排量受限,可以采用一直倒划钻头到井口,利用底部钻具的高环空返速将倒划的岩屑彻底携带出井眼。

(5)本文所提及的室内研究和现场应用为海域天然气水合物水平井试采提供了大量的试验数据支持和施工经验借鉴,但是由于陆地与海洋的地层特性和钻井施工环境不一样,海域天然气水合物水平井钻井液体系配方和施工工艺应该根据海洋钻井作业环境在抑制水合物生成与分解、岩屑包被抑制等方面进行针对性地优化。

### 参考文献(References):

- [1] 毕玉荣. 国内外浅层钻井技术现状及发展方向[J]. 西部探矿工程, 2012(10): 32-36.  
BI Yurong. Domestic and International situation and development directional of shallow drilling technology [J]. West-China Exploration Engineering, 2012(10): 32-36.
- [2] 王新, 张蕾. 新疆油田常规钻机钻浅层稠油水平井钻井完井技术[J]. 中外能源, 2008, 13(2): 38-42.

- WANG Xin, ZHANG Lei. Drilling and completion technique of shallow heavy oil horizontal well in Xinjiang oilfield [J]. Sino-Global Energy, 2008, 13(2):38-42.
- [3] 史浩贤, 谢文卫, 于彦江, 等. 复合解堵技术在天然气水合物开发中的应用可行性分析[J]. 钻探工程, 2022, 49(1):5-15.  
SHI Haoxian, XIE Wenwei, YU Yanjiang, et al. Application feasibility of composite plugging removal technology in the development of natural gas hydrate[J]. Drilling Engineering, 2022, 49(1):5-15.
- [4] 李文龙, 高德利, 杨进. 海域天然气水合物钻完井的挑战及技术展望[J]. 石油钻采工艺, 2019, 41(6):681-689.  
LI Wenlong, GAO Deli, YANG Jin. Challenges and prospect of the drilling and completion technologies used for the natural gas hydrate reservoirs in sea areas[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2019, 41(6):681-689.
- [5] 辜幕丹, 汪朝. 富拉尔基浅层水平井钻井技术应用分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(2):39-42.  
GU Mudan, WANG Chao. Analysis on the application of shallow horizontal drilling technology in Fularchi[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016, 43(2):39-42.
- [6] 车伟林, 张立权, 杨洪烈, 等. 南海西部浅层大位移井钻井液技术[J]. 广东化工, 2014, 41(22):45-46, 48.  
CHE Weilin, ZHANG Liquan, YANG Honglie, et al. The technology of shallow highly-displacement well drilling fluid in the South China Sea[J]. Guangdong Chemical Industry, 2014, 41(22):45-46, 48.
- [7] 陶红胜, 杨全枝, 于小龙, 等. 鄂尔多斯盆地东部低浅层渗透油藏大位移水平井钻井实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2015, 42(2):37-40.  
TAO Hongsheng, YANG Quanzhi, YU Xiaolong, et al. Drilling practice of large extended reach horizontal well in shallow low permeability reservoirs of eastern Ordos basin[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015, 42(2):37-40.
- [8] 张文哲, 李伟, 符喜德, 等. 延长油田罗庞塬区水平井钻井液防塌技术研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2017, 44(7):15-18.  
ZHANG Wenzhe, LI Wei, FU Xide, et al. Research on anti-collapse technology of horizontal well drilling fluid in Luopangyuan block of Yanchang Oilfield [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(7):15-18.
- [9] 刘海水, 王超, 魏子路, 等. 钻井过程中泥球形成的影响因素探讨[J]. 化学与生物工程, 2011, 28(8):70-73.  
LIU Haishui, WANG Chao, WEI Zilu, et al. Study on influential factors of gumbo ball formation during drilling process [J]. Chemistry & Bioengineering, 2011, 28(8):70-73.
- [10] 胡友林, 岳前升, 刘书杰, 等. BZ29-4S 油田软泥页岩钻井液技术研究[J]. 石油天然气学报, 2012, 34(10):94-97.  
HU Youlin, YUE Qiansheng, LIU Shujie, et al. Research on the soft shale drilling fluid in BZ29-4S Oilfield [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2012, 34(10):94-97.
- [11] 侯岳, 班士军, 赵云龙. 辽东湾探井用改性天然高分子钻井液技术[J]. 钻井液与完井液, 2016, 33(3):60-63.  
HOU Yue, BAN Shijun, ZHAO Yunlong. Modified natural polymer drilling fluid used in exploration wells in the gulf of Liaodong [J]. Drilling fluid & Completion fluid, 2016, 33(3):60-63.
- [12] 田宗强, 鹿传世, 王成龙, 等. 东方1-1气田浅层大位移水平井钻井技术[J]. 石油钻采工艺, 2018, 40(2):157-163.  
TIAN Zongqiang, LU Chuanshi, WANG Chenglong, et al. The extended reach horizontal well drilling technology suitable for shallow layers in Dongfang 1-1 Gas-field [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2018, 40(2):157-163.
- [13] 林四元, 张杰, 韩成, 等. 东方气田浅部储层大位移水平井钻井关键技术[J]. 石油钻探技术, 2019, 47(5):17-21.  
LIN Siyuan, ZHANG Jie, HAN Cheng, et al. Key technology for horizontal well of extended reach drilling in the shallow reservoirs of the Dongfang Gas-Field [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2019, 47(5):17-21.
- [14] 谢彬强, 邱正松, 黄维安, 等. 大位移井钻井液关键技术问题[J]. 钻井液与完井液, 2012, 29(2):76-81.  
XIE Binqiang, QIU Zhengsong, HUANG Weian, et al. Summary on key technical issues of drilling fluid for extended reach well [J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2012, 29(2):76-81.
- [15] 刘云, 于小龙, 张文哲. 延长油田东部浅层水平井钻井液体系优化应用[J]. 非常规油气, 2018, 5(1):106-110.  
LIU Yun, YU Xiaolong, ZHANG Wenzhe. Optimized application of drilling fluid system in shallow horizontal wells in the East of Yanchang Oilfield [J]. Unconventional Oil & Gas, 2018, 5(1):106-110.
- [16] 迪娜·木拉提, 郑文龙, 乌效鸣. 钻井液用无机盐类抑制剂评价方法适应性探究[J]. 无机盐工业, 2021, 53(3):60-64.  
DINA Murat, ZHENG Wenlong, WU Xiaoming. Study on adaptability of inhibitor evaluation methods of inorganic salt for drilling fluids [J]. Inorganic Chemicals Industry, 2021, 53(3):60-64.

(编辑 荐华)