

靖南地区水平井钻井液技术研究及应用

史沛谦¹, 王善举¹, 马文英¹, 苏纪文², 王晴¹, 卢国林¹, 吴健¹

(1. 中原石油工程公司钻井工程技术研究院, 河南 濮阳 457001; 2. 中原石油工程公司钻井一公司, 河南 濮阳 457001)

摘要: 针对鄂尔多斯靖南地区水平井钻井过程中存在的煤层、碳质泥地层井壁失稳和定向钻井托压问题, 开展了钻井液抑制防塌、地层封堵和润滑减阻技术研究, 形成了具有良好防塌、润滑能力的钻井液配方, 页岩滚动一次回收率 $\geq 98\%$, 极压润滑系数达0.05。通过现场2口井的应用试验, 应用井段平均井径扩大率为1.71%和4.06%, 钻具摩阻40~80 kN, 钻井、完井顺利。

关键词: 水平井; 钻井液; 井壁失稳; 防塌; 润滑减阻; 鄂尔多斯靖南地区

中图分类号: P634.6; TE254 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2015)07-0001-04

Study and Application of Horizontal Well Drilling Fluid Technology in Jingnan Region/SHI Pei-qian¹, WANG Shan-ju¹, MA Wen-ying¹, SU Ji-wen², WANG Qing¹, LU Guo-lin¹, WU Jian¹ (1. Research Institute of Drilling Engineering and Technology, Zhongyuan Petroleum Engineering Co., Ltd., Puyang Henan 457001, China; 2. The First Drilling Company of Zhongyuan Petroleum Engineering Co., Ltd., Puyang Henan 457001, China)

Abstract: According to the borehole instability of coal bed and carbonaceous mud strata and support pressure of directional drilling in the course of horizontal drilling in Jingnan region of Erdos, the study was carried out on anti-caving and formation blocking as well as lubricating and resistance-reducing technologies of drilling fluid. A drilling fluid formula with good anti-caving and lubrication ability was developed, which brought shale rolling recovery $\geq 98\%$ and extreme pressure lubrication coefficient up to 0.05. In the application tests of 2 wells in the field, the average well diameter expansion rate in application well sections were 1.71% and 4.06%, respectively and the drilling tool friction resistance was 40~80kN. Drilling and well completion was conducted successfully.

Key words: horizontal well; drilling fluid; borehole instability; anti-caving; lubricating and resistance reducing; Jingnan region of Ordos

0 引言

鄂尔多斯靖南地区碳质泥岩、煤层地层埋藏较深, 地层稳定性差, 水平井钻井过程中常存在着碳质泥岩、煤层地层垮塌严重, 井漏和定向钻井托压等现象严重影响钻井安全和速度。如靖平61-10井钻进至3757 m井下复杂, 反复划眼, 24 d无进尺; 靖平69-12井因煤层井漏、坍塌卡钻, 处理时间120 d, 钻井周期长达236 d。针对该地区技术难点, 分析了定向托压和碳质泥岩、煤层井壁失稳原因, 开展了钻井液防塌和润滑技术研究, 合成了新型润滑剂, 形成了防塌、润滑钻井液配方, 并成功进行了2口井的现场应用, 现场应用表明, 所采取的技术措施能够满足碳质泥岩、煤层地层水平井钻井技术要求。

1 室内研究

1.1 技术难点

靖南地区水平井井身结构多为四开制, 三开井段开始定向造斜至A点, 该井段山西组、太原组、本溪组存在多套易塌碳质泥岩、煤层地层, 钻井过程中定向托压、井壁失稳现象突出, 是全井施工的难点和重点井段, 对定向托压和井壁失稳的原因进行了分析。

1.1.1 定向摩阻大和托压

(1) 钻井液pH值控制及降滤失剂等相关处理剂的选用会对润滑剂的润滑能力产生影响, 引起钻井液润滑性能下降;

(2) 钻井液护胶材料加入不足, 泥饼虚、厚, 导致定向托压;

(3) 油溶性润滑剂加量少时润滑能力不足, 加量过多影响泥饼质量。

1.1.2 井壁失稳^[1-6]

煤层具有强度低、弹性模量小、脆性大、微裂缝

收稿日期: 2014-12-09; 修回日期: 2015-05-03

基金项目: 中石化中原油田科研项目“鄂尔多斯地区水平井钻井液技术研究”(编号: 2013107)

作者简介: 史沛谦, 男, 汉族, 1974年生, 工程师, 现从事钻井液现场及技术研究工作, 河南省濮阳市中原路462号, 77022257@qq.com。

层理发育、与泥页岩交替互层、煤层内含粘土矿物等特点,碳质泥岩微裂缝发育,岩石强度低、水敏性强,根据煤层、碳质泥岩地层特点,井壁失稳主要原因如下:

(1) 钻井液抑制性不足,碳质泥岩易发生水敏性失稳;与煤层互层的泥页岩失稳与膨胀推挤引起煤层失去下部支撑或内部应力变化发生坍塌;

(2) 钻井液封堵能力不够,滤液侵入层理、裂缝造成地层坍塌压力升高;

(3) 钻井液密度低,液柱支撑力不够。

根据以上技术难点分析,进行了新型润滑剂、防塌抑制剂和封堵材料的研究。

1.2 钻井液润滑性和防塌技术研究

1.2.1 润滑性

目前现场钻井液液体润滑剂多为含有脂键的油基润滑剂,在碱性及高温环境下易发生水解反应,使润滑剂皂化,导致钻井液起泡和润滑剂润滑效率降低^[7-8]。此外钻井液降滤失剂、絮凝剂等处理剂含有一定比例的水化基团和吸附基团,能够在钻具和井壁产生吸附作用,形成吸附层,起到减小钻具摩阻的作用,但是该类处理剂的吸附同时会对润滑剂在摩擦界面的吸附产生影响,降低润滑剂的吸附量,影响极压润滑膜的致密性和吸附强度,从而降低润滑剂的润滑效率。

针对以上问题,研究出一种双吸附基团水性润滑剂 SR-1,该润滑剂不含脂键,吸附能力强,避免和降低了 pH 值及其他钻井液处理剂对润滑性能的影响,图 1 对 SR-1 和取自现场的油基润滑剂 A 在不同 pH 值条件下的润滑性进行了对比。实验基浆为:4% 膨润土 + 0.5% LV-CMC + 0.3% 聚合物降滤失剂 COP-HFL + 0.2% NaOH + 重晶石 + 1% 润滑剂,钻井液密度为 1.35 g/cm³ (100 °C 老化 16 h)。

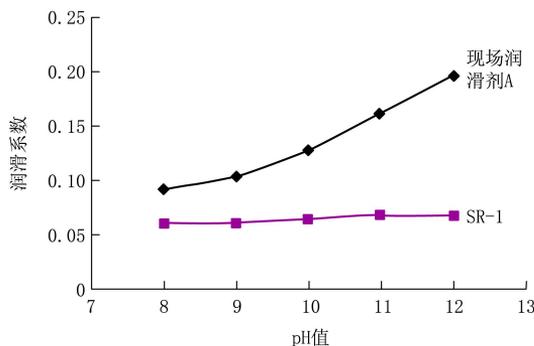


图 1 pH 值对润滑剂润滑性能的影响

由实验结果可见,随着 pH 值增加润滑剂 A 的润滑性能降低幅度大,SR-1 受 pH 值影响较小,能够更好地满足处理 CO₃²⁻、HCO₃⁻ 污染等 pH 值较高情况时保持良好润滑性的需要。

室内实验表明,在聚合物钻井液体系中,所评价的润滑剂均能使钻井液润滑系数降至 0.1 以内,只是润滑剂加量有所差别。但在聚磺钻井液体系中,由于处理剂总体加量大,对润滑剂在摩擦界面的吸附和润滑效果影响较大,图 2 在聚磺钻井液中对 SR-1 和润滑剂 A 进行了对比,实验条件同图 1,基浆配方为:4% 膨润土 + 0.5% LV-CMC + 0.3% COP-HFL + 2% 磺化酚醛树脂 SMP + 2% 磺化褐煤 SMC + 0.2% NaOH + 重晶石,密度为 1.35 g/cm³,加入润滑剂,100 °C 滚动老化 16 h。

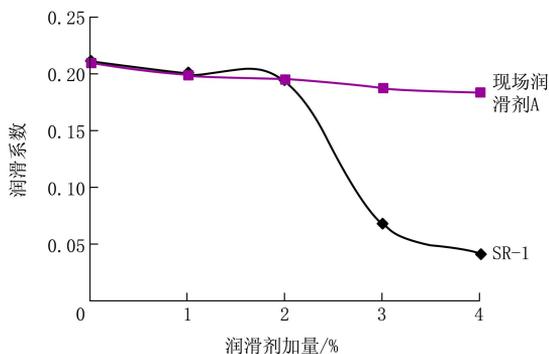


图 2 润滑剂在聚磺钻井液体系中的对比

由图 1、图 2 实验可见将聚磺钻井液的润滑系数控制在 0.06 以内,SR-1 加量需达到 3%,在聚合物钻井液中加量为 1%;而在聚磺钻井液体系中润滑剂 A 加量即使达到 4%,钻井液润滑系数仍为 0.1827,表明所研究的润滑剂 SA-1 可以在润滑界面形成较牢固的吸附层,润滑能力强。

1.2.2 抑制防塌技术

根据碳质泥岩、煤层互层泥页岩水敏性强的特点,室内进行了不同抑制机理的防塌剂协同增效作用对比,实验结果见图 3。5% KCl 复配 0.3% 胺基抑制剂,页岩滚动回收率由 88.09% 提高至 90.5%,5% KCl 复配 3% 聚合醇页岩滚动回收率明显提高,在此配方里加入胺基抑制剂,页岩滚动回收率升高较多,表明胺基抑制剂与 KCl、聚合醇具有良好地协同增效作用。

图 3 实验各配方组成如下。

配方 1: 水 + 5% KCl; 配方 2: 水 + 5% KCl + 0.3% 胺基抑制剂; 配方 3: 水 + 5% KCl + 3% 聚合醇;

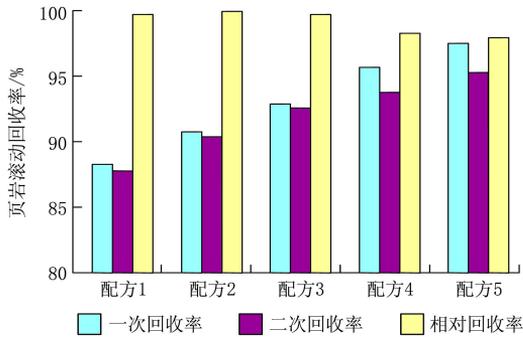


图3 抑制剂协同增效实验

配方4:水+5% KCl+3% 聚合醇+0.1% 胺基抑制剂;配方5:水+5% KCl+3% 聚合醇+0.3% 胺基抑制剂;所用岩心取自濮131井井深2444 m的灰色泥岩岩心,粒径2.0~3.8 mm。

1.2.3 封堵技术

煤层和碳质泥岩地层裂缝宽度分布范围宽,裂缝宽度易受应力作用影响变化的特点,要求封堵剂能够满足不同裂缝宽度和裂缝尺寸变化情况下的封堵。根据地层特点研发了具有可变形能力的改性纤维 NMF、超细凝胶 CNJ 两种封堵剂,与现场常用封堵剂磺化沥青、超细碳酸钙、氧化沥青、青石粉、复合堵漏剂 FD-3 和 FD-4 等通过可视承压砂床实验进行了对比。实验基浆为:5% 膨润土+0.1% LV-CMC+0.1% COP-HFL+3% 封堵剂,砂床高度为13 cm,粒径40~60目,实验压力为0.7 MPa,钻井液承压挤入砂床时间为7.5 mL,加入不同封堵材料的基浆在砂床中的挤入深度对比实验结果见图4。

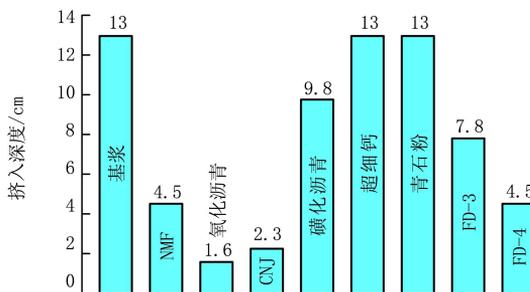


图4 砂床侵入深度对比

由实验结果可见 NMF、CNJ、氧化沥青、FD-4 封堵能力较强。通过高压砂床实验进行了4种优选材料的复配实验,砂床高度25 cm,粒径40~60目,基浆同图4,封堵剂复配配方见表1,评价结果见图5,由实验结果可见,5号配方封堵效果良好。

1.3 优化后的钻井液配方及性能

根据润滑、抑制、封堵技术研究形成了靖南地区

表1 封堵剂复配配方

序号	配 方
1	1% 氧化沥青+1% CNJ+1% NMF+1% FD-4
2	1% 氧化沥青+1.5% CNJ+1.5% NMF
3	1% 氧化沥青+1.5% NMF+1.5% FD-4
4	1% 氧化沥青+1.5% CNJ+1.5% FD-4
5	1.5% 氧化沥青+1.5% NMF+1% CNJ
6	1% 氧化沥青+1% CNJ+2% NMF
7	2% 氧化沥青+1% CNJ+1% NMF

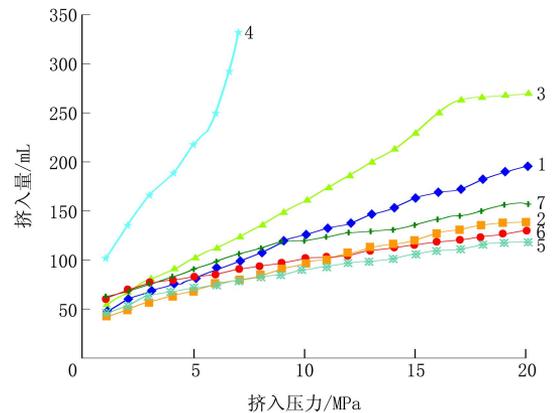


图5 复配配方封堵能力对比

水平井钻井液配方:3%~5% 膨润土+0.3%~0.5% LV-CMC+0.5%~1% COP-HFL+1%~1.5% 氧化沥青+0.5%~1.5% 超细凝胶+0.5%~1.5% 改性纤维+0.1%~0.3% 胺基抑制剂+5%~7% KCl+2%~3% 聚合醇+1.5%~3% 润滑剂+0.1%~0.3% NaOH+重晶石。

钻井液性能为:密度1.25~1.35 g/cm³,漏斗粘度55~65 s,塑性粘度27~35 mPa·s,动切力6~12 Pa,静切力2~4/5~15 Pa,API 滤失量3~4 mL/30 min,pH值8.5~9.5,K_r≤0.06。

2 现场应用

润滑减阻和井壁稳定技术在靖南70-6H井、72-13H1井进行了现场应用,较好地解决了井壁掉块和定向托压问题,2口井分别钻穿8套和4套煤层,施工井段的平均井径扩大率分别为1.71%和4.06%,达到设计井径扩大率≤10%的要求,钻井、完井顺利。

2.1 靖南70-6H井

2.1.1 井概况

靖南70-6H井目的层马家沟组,设计井深5506 m,水平位移1900 m,造斜段有多套煤层及大段碳质泥岩交替互层,煤层4层共16 m,单层煤层

最厚9 m,碳质泥岩层6层共18 m,单层最厚7 m,井壁稳定难度大。

2.1.2 现场应用效果

进入煤层前100 m按照配方加入抑制剂、封堵剂由聚合物钻井液转换为防塌钻井液,为强化钻井液防塌能力,在保持抑制剂、封堵剂含量的同时,调整适当的密度、较低的滤失量。润滑措施方面控制钻井液pH值8~9.5,选用质量好的降滤失剂,避免使用SMP、SMC等处理剂,减少处理剂用量,定向至井斜29°有托压现象加入1%润滑剂,定向正常。

钻进中岩屑均匀,几乎没有掉块,顺利穿过四套煤层和大段碳质泥岩,无漏失现象,起下钻、通井顺利,井径规则,钻井液性能稳定,润滑性好,中途完钻下套管摩阻为5~8 t。应用井段钻井液的分段性能见表2。

表2 靖南70-6H井钻井液分段性能

井深/ m	$\rho/(g \cdot cm^{-3})$	FV/s	$PV/(mPa \cdot s)$	YP/Pa	Gel/Pa	$FL/[mL \cdot (30 min)^{-1}]$
3390	1.10	52	20	6.0	1.0/2.5	4.2
3536	1.16	70	29	11.5	3.5/12.0	4.4
3642	1.23	52	21	7.0	2.0/6.0	5.0
3751	1.30	61	29	12.0	4.0/12.0	4.8
3780	1.30	60	29	10.0	3.5/12.0	4.4
3839	1.32	69	34	12.5	3.5/13.0	3.6
3985	1.33	75	34	14.0	3.5/14.0	4.0

与使用聚磺钻井液体系的邻井靖平69-12井井径对比情况见表3,由表3可知,靖南70-6H井防塌钻井液应用井段井径扩大率1.71%,较邻井靖平69-12井的井径扩大率大幅度降低,说明所采用的防塌措施起到了良好的效果。该井段平均机械钻速5.33 m/h,较69-12井相比提高了63.5%;施工周期22 d,而邻井靖平69-12井造斜段施工因井壁失稳等井下复杂,工期长达4个月。

表3 靖南70-6H井与邻井井径对比

井号	井段/m	平均井径/mm	扩大率/%
靖南70-6H(应用井)	3390~3830	219.6	1.71
靖平69-12井(对比井)	3395~3770	272.1	12.77

2.2 靖南72-13H1井

2.2.1 井概况

靖南72-13H1井设计井深5272 m,其中三开的2928~3772 m为造斜井段,造斜井段碳质泥岩层和煤层互层频繁。表4为靖南72-13H1井的煤层、碳质泥岩分布情况,可见煤层及碳质泥岩分布范

围广且互层频繁,给井壁稳定工作带来极大困难。

表4 靖南72-13H1井煤层、碳质泥岩分布情况

序号	井段/m	岩性	厚度/m
1	3449~3455	碳质泥岩	6(山西组)
2	3461~3462	煤层	1(山西组)
3	3469~3470	煤层	1(山西组)
4	3479~3481	碳质泥岩	2(山西组)
5	3486~3489	煤层	3(山西组)
6	3489~3495	碳质泥岩	6(山西组)
7	3495~3496	煤层	1(山西组)
8	3496~3503	碳质泥岩	4(山西组)
9	3503~3505	煤层	2(山西组)
10	3512~3515	碳质泥岩	3(山西组)
11	3540~3541	煤层	1(太原组)
12	3546~3547	煤层	1(太原组)
13	3559~3561	煤层	2(本溪组)

2.2.2 现场应用效果

靖南72-13H1井三开转换钻井液体系,加入所优选的封堵剂、防塌材料和润滑剂,施工中控制较低的滤失量和适当的密度,保持防塌封堵材料含量,维持钻井液性能稳定,该井段钻井液性能见表5。

表5 靖南72-13H1井钻井液分段性能

井深/ m	$\rho/(g \cdot cm^{-3})$	FV/s	Gel/Pa	$PV/(mPa \cdot s)$	YP/Pa	$FL/[mL \cdot (30 min)^{-1}]$
3182	1.19	60	1/11	30	11.5	4.0
3298	1.26	69	2/15.5	34	15.5	3.6
3385	1.32	71	3.5/14.5	33	15.5	3.4
3600	1.33	58	4.5/13.5	27	9.0	4.2
3675	1.36	70	1/9.5	36	14.0	3.6
3719	1.35	68	3/13.5	33	11.5	4.0
3796	1.35	65	2.5/10.5	32	11.0	4.0
3812	1.35	60	2.5/10	32	10.5	3.6

应用效果:该井钻进顺利,岩屑均匀,几乎无掉块现象,起下钻顺利,井径规则,三开井径曲线见图6,由图可见井径曲线起伏很小,施工段平均井径扩大率4.06%,平均机械钻速2.23 m/h,中途完钻下套管摩阻5~6 t,防塌、润滑效果良好。邻井靖南70-6H1井三开钻井过程中钻井液密度提高至1.38 g/cm³,

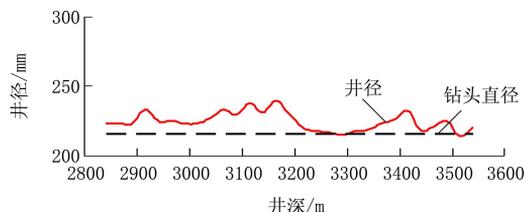


图6 三开井径曲线

为 $1 \sim 2 \text{ m}^3/\text{h}$,后期将密度顺利提高至 $1.46 \text{ g}/\text{cm}^3$, 顺利压稳溢流层。

表5 钻井液性能变化情况

性能	$\rho/(\text{g} \cdot \text{cm}^3)$	FV/s	$FL/[\text{mL} \cdot (30 \text{ min})^{-1}]$	pH值	θ_1/Pa	θ_2/Pa	$PV/(\text{mPa} \cdot \text{s})$	YP/Pa	K_f	稳定性
加入前	1.36	52	4.0	9	2	5	28	9	0.0699	好
加入后	1.36	55	3.5	9	2	6	30	11	0.0699	好

后期测井下套管顺利,固井质量优良。对于高压差、高渗透漏失的工况,高强度弹性石墨颗粒复合凝胶堵漏,可以有效封堵漏层,特别适用于对于漏层不明、漏涌同层、裸眼等复杂井况,本井随钻的应用有效地扩大了安全密度窗口,降低了施工风险,从现场泥饼来看,致密、富有韧性的泥饼可以减少渗失量,有效实施随钻堵漏。

6 结论

(1)塔河油田托普台区块漏失地层较为复杂,发生高渗透性漏失的地层主要包括白垩系、侏罗系、三叠系地层,高渗透性地层堵漏利用随钻堵漏技术可以大幅度提高堵漏作业效率,降低施工风险,快速通过漏失地层。

(2)通过实验对高渗透性漏失的随钻堵漏剂配方进行了优化:阳离子乳液聚合物钻井液 + 2% TX-SM + 1% PSD + 1% XSMF + 2% NTS - DC + 1% CSC。该随钻堵漏剂对钻井液性能影响小,能够一定程度降低 API 滤失量,可在钻进过程中迅速封堵高渗透

性漏层,封堵漏层后承压能力 $> 10 \text{ MPa}$,满足后期钻井需求,同时在 $120 \text{ }^\circ\text{C}$ 高温下性能稳定,可用于深井堵漏。

参考文献:

- [1] 郭建国.塔河油田托普台地区钻井液技术[J].山东化工,2010,39(2):35-37.
- [2] 王中华.聚合物凝胶堵漏剂的研究与应用进展[J].精细与专用化学品,2011,19(4):16-20.
- [3] 李功强,赵永刚,江子凤,等.塔河油田托普台碳酸盐岩储层类型判别方法及应用[J].工程地球物理学报,2013,10(3):338-343.
- [4] 陆长青,闫联国,郑建翔.塔河油田托普台区块二叠系堵漏技术探讨[J].西部探矿工程,2011,(11):38-40.
- [5] 焦利宾,董正亮,覃华政.非渗透性随钻堵漏剂 HTK-1 的室内性能评价[J].精细石油化工进展,2012,13(1):8-11.
- [6] 苗海龙,陈俊生,卜平.渗透性地层随钻堵漏技术的研究和应用[J].创新技术,2009(5):69-71.
- [7] 王建莉,郑志军,张丽君,等.随钻堵漏材料研究进展[J].精细石油化工进展,2012,13(9):8-10.
- [8] 张琰,刘艳.弹性石墨在钻井液中的应用[J].天然气工业,2003,23(1):42-44.

(上接第4页)

有煤层失稳、起下钻遇阻和较大掉块返出现象,井径扩大率 5.0% ,与靖南 70-6H1 井相比,靖南 72-13H1 井钻井液费用降低 12% ,应用效果显著。

3 结论

(1)控制钻井液 pH 值 $8 \sim 9.5$ 和降低钻井液降滤失剂等处理剂加量有利于提高润滑剂的润滑效果;

(2)优选出受 pH 值影响小、润滑能力强的双吸附基润滑剂,钻井液极压润滑系数 ≤ 0.06 ;

(3)通过采用 KCl、聚合醇、胺基抑制剂提高钻井液抑制性,结合改性纤维、超细凝胶可变形封堵材料,形成了适用于靖南地区煤层、碳质泥岩地层安全钻井要求的防塌技术;

(4)润滑减阻和井壁稳定技术在现场应用中取得良好效果,能够满足靖南地区煤层、碳质泥岩地层

防塌和收盘价定向钻井技术要求。

参考文献:

- [1] 王锦昌,邓红琳,袁立鹤,等.大牛地气田煤层失稳机理分析及对策[J].石油钻采工艺,2012,34(2):4-8.
- [2] 黄维安,邱正松,杨力,等.煤层气钻井井壁失稳机理及防塌钻井液技术[J].煤田地质与勘探,2013,41(2):37-41.
- [3] 孙明波,樊泽霞,王书琪,等.塔里木盆地煤层坍塌机理研究[J].石油大学学报(自然科学版),2004,28(2):49-52.
- [4] 梁大川,蒲晓林,徐兴华,等.煤岩坍塌的特殊性及钻井液对策[J].西南石油学院学报,2002,24(6):28-32.
- [5] 陈在君,刘顶运,李登前,等.煤层垮塌机理分析及钻井液防塌探讨[J].钻井液与完井液,2007,24(4):28-29.
- [6] 郭健康,鄢捷年,杨虎,等.鄂尔多斯盆地东部区块强抑制性钻井液研究及应用[J].天然气工业,2006,26(3):56-58.
- [7] 李德江.钻井液润滑剂的现状及发展方向[J].石油钻探技术,1998,6(2):35-38.
- [8] 董晓强,王琳,杨小华,等.水基钻井液润滑剂研究进展[J].中外能源,2012,17(10):28-33.
- [9] 张华卫,李梦刚,吴为,等.伊朗 Y 油田水平井钻井技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(7):28-32.