

泰国E区块钻井液技术

杜道勇, 李帆, 韩玉泉, 陈军

(中石化华东石油工程有限公司江苏钻井公司, 江苏扬州 225001)

摘要:泰国E区块地层上部井段存在大段泥页岩,易造浆和发生垮塌;目的层属火成岩裂缝型油气藏,施工安全密度窗口窄,易发生喷漏同层复杂。针对该情况,开展了硫酸钾胺基钻井液配方室内研究,结果表明,硫酸钾和有机胺TJX-1配伍后抑制性明显提高,页岩膨胀率降低72.1%,滚动回收率达到92.9%;优化配方后的钻井液体系流变性能稳定,加入成膜封堵剂LXJ-1能够显著提高钻井液封堵性能。结合现场施工难点制定了配套技术方案,并在WBEXT-3D等多口井进行了成功应用,有效解决了松软泥页岩地层造浆和井壁垮塌问题,较有效地控制了目的层喷漏同层复杂,使同区块井机械钻速提高43.5%。

关键词:硫酸钾胺基钻井液;抑制性;封堵防塌;喷漏同层

中图分类号:TE254

文献标志码:A

Drilling fluid technology in Block E, Thailand

DU Daoyong, LI Fan, HAN Yuquan, CHEN Jun

(Jiangsu Drilling Company of East China Petroleum Engineering Co., Ltd., SINOPEC, Yangzhou 225001, China)

Abstract: There are large sections of mud shale in the upper well section of Block E in Thailand, which makes it easy to make pulp and collapse. The target reservoir is an igneous fracture type oil and gas reservoir. The window of construction safety density is narrow, and the leakage can easy to occur in the same layer. Because of this situation, the K_2SO_4 amine-based drilling fluid formula was researched in the lab, the results showed that the combination of K_2SO_4 and organic amine TJX-1 obviously improved the inhibition, the expansion rate of shale was decreased by 72.1%, and the rolling recovery rate reached 92.9%. The rheological properties of the optimized drilling fluid system were stable, and the addition of film-forming blocking agent LXJ-1 can significantly improve the plugging performance of the drilling fluid. Based on the difficulties with the construction in the field, a supporting technical scheme was formulated and successfully applied to several wells, such as WBEXT-3D. The problems of slurry formation and shaft wall collapse of soft mud shale are effectively solved, the complexity of target formation leakage is effectively controlled, and the rate of penetration (ROP) of the well in the same block is increased by 43.5%.

Key words: K_2SO_4 amine drilling fluid; inhibition; block to prevent collapse; spray leakage in the same layer

引用格式:杜道勇,李帆,韩玉泉,等.泰国E区块钻井液技术[J].复杂油气藏,2024,17(1):98-102.

DU Daoyong, LI Fan, HAN Yuquan, et al. Drilling fluid technology in Block E, Thailand[J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2024, 17(1):98-102.

泰国E区块上部地层存在大段泥页岩,易造浆和发生垮塌;目的层属火成岩裂缝型油气藏,多层系压力系统,施工安全密度窗口窄,喷漏同层导致施工难度大。区块位于泰国中部 Wichian Buri 镇,农业发达,在泰北呵叻盆地成功应用的氯化钾(KCl)聚合物钻井液体系因含有大量 Cl^- ,易使土壤盐碱化,无法满足环保要求,被当地政府禁止使用。针对以上情况,开展了硫酸钾(K_2SO_4)胺基钻井液体系的抑制性和封堵防塌能力的室内研究^[1-3]。通过优选抑制剂和封堵剂,确定了体系配方,针对现场施工难点制定了钻井液施工方案,有效解决了该

区块松软泥页岩地层造浆和井壁垮塌问题,降低了目的层喷漏同层施工难度,满足施工技术要求和环保要求。

1 地层特征和施工难点分析

泰国E区块上部 Wichian Buri 组松软地层以灰色泥页岩为主,含大量伊蒙无序混层,易吸水膨胀、

收稿日期:2023-06-19;改回日期:2023-08-04。

第一作者简介:杜道勇(1981—),高级工程师,主要从事钻井液技术研究和应用工作。E-mail:55227480@qq.com。

分散、缩径,其层理和微裂隙发育,钻井液侵入地层,泥页岩产生的水化应力造成井壁垮塌。此外该区块地温梯度达到 5~8℃/100m,井下施工温度高,加速了黏土的水化分散,当钻井液的抑制性和抗污染性能不能满足要求时,钻遇软泥岩地层钻井液黏度就会急剧升高,性能恶化。前期施工的多口井在 400~800 m 发生严重缩径、井壁垮塌,导致起下钻遇阻,甚至发生卡钻等井下故障,如 WBEXT-4C 井在 578 m 因缩径发生卡钻,700~790 m 又发生严重垮塌,处理复杂损失 46 h。

下部目的层为火成岩裂缝型油气藏,极易发生井漏,甚至失返性漏失,进而诱发溢流,导致喷漏同层复杂发生。由于地层承压能力低,安全密度窗口窄,压井时,控制压井液密度非常困难,经常会在压井成功后再次发生井漏,完井作业施工困难。如 WBEXT-10B 井在 1 063~1 157 m 发生多次严重漏失,共计超过 6 00 m³,损失时间超过 68 h,延长了钻井周期,增加了钻井液材料的消耗,且易损害储层。

2 室内研究

2.1 钻井液体系优化

针对 E 区块的特点,开展了硫酸钾胺基钻井液体系的室内研究。该体系作为一种新型高性能水基钻井液体系,具有抑制性强、流变性能稳定、润滑性能好、维护简单且处理剂用量少等优点。其主要作用机理及优化方案如下。

硫酸钾中提供的 K⁺水化能低,相比 Na⁺和 Ca²⁺能被黏土优先选择吸附;此外 K⁺具有晶格固定作用,在吸附后能够促使晶层间脱水、压缩,形成紧密的构造,从而有效抑制黏土水化^[4]。有机胺 TJX-1 作为一种高效抑制剂,能够嵌入黏土片层并与之紧密结合,增强黏土表面疏水性,阻止水分子渗入,与黏土晶层表面产生氢键作用排挤出层间吸附水,降低黏土的水化膨胀作用^[5-6]。通过室内研究,将硫酸钾和有机胺复配,协同抑制作用极大地降低了泥页岩活性,提供良好的井壁稳定性,提高对钻屑包被能力和保持岩屑完整性,确保井眼清洁。

成膜封堵剂 LXJ-1 中的特殊聚合物能够在岩石表面浓集形成胶束,具有可变形性,在井壁岩石表面形成致密超低渗透封堵薄膜^[7]。通过将 LXJ-1 引入钻井液体系,与常规的封堵防塌处理剂 QS 和 FT-1 协同增效,在刚性架桥粒子与可变形填充粒子对地层裂缝屏蔽暂堵的基础上,附加了成膜封堵能

力,在井壁外围形成保护层,有效封堵不同渗透性砂岩地层和微裂缝泥页岩地层,减少滤液对地层的侵入,极大地提高了地层承压能力。

2.2 抑制性评价

为了验证该体系的抑制能力,选用 E 区块 WBEXT-4C 井 700~750 m 岩屑作为实验岩样,分别进行常温条件下 8 h 线性膨胀性实验和 100℃条件下 16 h 滚动回收率实验来评价其抑制性,结果见表 1。

表 1 抑制性评价情况

配方	8 h 线性膨胀测定		16 h 滚动回收率/%
	膨胀率/%	降低率/%	
清水	92.4		7.6
清水+0.5%TJX-1	56.7	38.6	52.3
清水+8%KCl	62.6	32.2	45.9
清水+8%K ₂ SO ₄	60.8	34.2	49.3
清水+0.5% TJX-1+8%KCl	26.3	71.5	92.4
清水+0.5% TJX-1+8%K ₂ SO ₄	25.8	72.1	92.9

由表 1 对比页岩膨胀降低率和滚动回收率可知,硫酸钾、氯化钾和有机胺 TJX-1 单剂对选用区块的泥岩样品都具有一定的抑制性,在相同加量下硫酸钾与氯化钾抑制性能基本相当。将两种钾盐与有机胺 TJX-1 复配使用,其线性膨胀降低率较单独使用有机胺和钾盐分别提高了 33.6% 和 38.6%,岩屑线性膨胀降低率达到 72.1%,滚动回收率达到 92.9%。但考虑泰国 E 区块甲方对环境的要求,选用有机胺和硫酸钾作为抑制剂。

2.3 抑制剂配伍性研究及加量优选

在钻井液基浆中加入不同浓度的硫酸钾及有机胺 TJX-1,研究其在钻井液体系中的配伍性。通过表 2 数据可知,随着基浆中 K₂SO₄(硫酸钾)加量的增加,钻井液的黏度和泥饼摩阻系数都出现了先高后低的变化,滤失量则逐渐降低;而加入有机胺 TJX-1 后,流变性能和泥饼质量进一步得到了改善,说明 TJX-1 与硫酸钾钻井液具有很好的配伍性。但是当有机胺 TJX-1 加量达到 0.8% 时,钻井液黏切升高,失水也开始变大,根据表 1 抑制性评价数据分析,当 K₂SO₄ 的加量为 8%,有机胺 TJX-1 加量 0.5% 时线性膨胀降低率达到 72.1%,滚动回收率达到 92.9%,满足施工地层抑制性能要求。综合分析后,选择体系中有有机胺 TJX-1 加量为 0.5%,K₂SO₄ 的加量为 8%。

表2 抑制剂加量的优选

配 方	$AV/(\text{mPa}\cdot\text{s})$	$PV/(\text{mPa}\cdot\text{s})$	YP/Pa	YP/PV	$Gell/(\text{Pa}/\text{Pa})$	K_f	FL_{Ap}/mL
基 浆	41.5	32	9.5	0.30	0.5/7	0.096 3	6.2
基浆+0.3%TJX-1+8% K_2SO_4	35.5	22	13.5	0.61	5/9	0.087 5	5.0
基浆+0.5%TJX-1+8% K_2SO_4	31	20	11	0.55	3/5	0.061 2	4.6
基浆+0.8%TJX-1+8% K_2SO_4	34.5	22	12.5	0.57	3/5	0.087 5	5.0
基浆+1.0%TJX-1+8% K_2SO_4	36.5	23	14.5	0.63	4/8	0.087 5	5.4
基浆+0.5%TJX-1+5% K_2SO_4	32	21	11	0.55	3/5	0.087 5	4.6
基浆+0.5%TJX-1+8% K_2SO_4	31	20	11	0.55	3/5	0.061 2	4.6
基浆+0.5%TJX-1+10% K_2SO_4	30	21	9	0.42	1.5/4	0.061 2	4.6
基浆+0.5%TJX-1+12% K_2SO_4	30	21	9	0.42	1.5/4	0.061 2	4.6

基浆配方:4%土浆+0.1%纯碱+0.3%FA367+1%PAC-LV+2%FT-1+2%QS-4(密度1.25 g/cm³)。

2.4 封堵性评价

在确定硫酸钾和 TJX-1 加量后的钻井液配方中加入不同浓度的成膜封堵剂 LXJ-1,选 20 ~ 40 目和 40 ~ 60 目的砂子,在 0.69 MPa 下进行 30 min 中压砂床封堵性实验见表 3。实验结束后,保留砂床,使用清水替换钻井液,再次进行实验,检测所形成的泥饼成膜封堵能力。

表3 封堵性评价实验

砂样目数	配方编号	钻井液砂床滤失量/mL	清水渗透量/mL
40 ~ 60	1	18.2	
	2	7.4	4.8
	3	4.0	2.0
	4	3.2	1.6
	5	2.6	1.4
20 ~ 40	1	19.6	
	2	9.8	5.4
	3	5.2	3.0
	4	4.6	2.2
	5	3.8	2.1

1#: 4% 土浆+0.1% 纯碱+0.3%FA367+1%PAC-LV+8% K_2SO_4 +0.5% TJX-1+2%FT-1+2%QS-4+重晶石(密度 1.25 g/cm³);
2#: 1#+1%LXJ-1(密度 1.25 g/cm³);
3#: 1#+1.5%LXJ-1(密度 1.25 g/cm³);
4#: 1#+2%LXJ-1(密度 1.25 g/cm³);
5#: 1#+2%LXJ-1(密度 1.60 g/cm³)。

由表 3 可知,在加入 LXJ-1 后,钻井液砂床滤失量和清水的渗透量均明显降低,且随着 LXJ-1 加量的递增而减少,说明 LXJ-1 能够形成稳定的膜结构,有效提高硫酸钾胺基钻井液对地层的封堵性,从而起到稳定井壁的作用。此外,在 4#配方中用重晶石将钻井液密度提高至 1.60 g/cm³后,钻井液砂床

滤失量和清水的渗透量继续减少,说明钻井液在高密度时其封堵性能得到进一步优化,有利于解决目的层安全密度窗口窄,压井施工时因地层承压能力弱,容易发生井漏的问题。

通过实验室内对该体系各类材料的优选评价,确定最终钻井液配方如下:4%土粉+0.2% K_2CO_3 +0.3%FA-367+8% K_2SO_4 +0.5%TJX-1+1%PAC-LV+2%FT-1+2%QS+(1.5%~2%)LXJ-1+(2%~3%)润滑剂+0.1%XC。

3 现场应用

在室内研究的基础上,制定了现场钻井液维护处理和施工方案:在 WBEXT-3D 等 5 口井进行了应用。

3.1 钻井液维护与施工方案

(1)维护整个体系的抑制性能稳定。在二开前转化好钻井液,并在钻进中采用等浓度维护法,根据泥浆量的消耗,将硫酸钾和各类处理剂按钻井液体系配方浓度提前配置成胶液加入,保证体系中硫酸钾质量分数达到 8%,TJX-1 达到 0.5%,并使用 KOH 来代替 NaOH 提供碱度和额外的钾离子,定期检测钻井液滤液中的钾离子含量。

(2)控制好流变性能。上部井段采用低黏高切钻井液,适当提高钻井液密度,并使用黄原胶 XC 配稠浆段塞扫井,协调好上部泥页岩井段的井眼稳定和岩屑携带工作。振动筛使用 170 目筛布,减少钻井液中低密度含量,避免因亚微米级固相颗粒偏多,导致钻井液黏度升高、性能恶化。

(3)严格控制钻井液的滤失量。加入低黏聚阴离子纤维 PAC-LV 和超低渗透剂 LXJ-1,控制中压

失水小于4 mL,并配合加入2% 磺化沥青FT-1,改善泥饼质量,防止井壁垮塌。

(4)在三开进入目的层之前,根据地质预测情况调整好钻井液密度,并加入2% 超低渗透剂LXJ-1、2% 磺化沥青FT-1、1% 随钻堵漏剂KD-23 以及2% 不同粒径的碳酸钙,封堵井壁,提高易漏地层的承压能力。

当目的层发生溢流时,则在逐渐提高钻井液密度的同时,增加封堵剂的总浓度,防止压漏地层。

通过以上方法,减轻或避免了井漏的发生,较好地解决了目的层喷漏同层的问题。

3.2 应用效果

(1)上部地层软泥岩地层的造浆问题得到了根本性的控制。在WBEXT-3D井二开施工时,钻井液性能稳定,抑制性强,振动筛返出的岩屑棱角分明,易于清洗,避免了因黏度急剧升高,性能恶化而被迫置换钻井液所导致的材料浪费和环境污染。WBEXT-3D井二开钻井液性能见表4。

表4 WBEXT-3D井二开井段钻井液性能

井深/m	$\rho/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	FV/s	$PV/(\text{mPa}\cdot\text{s})$	YP/Pa	$Gel/(\text{Pa}/\text{Pa})$	FL_{AP}/mL	$MBT/(\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$
208	1.20	43	16	5	1/3	4.0	21.4
420	1.20	44	16	4.5	1/3	3.8	21.4
670	1.23	47	18	7	2/5.5	3.6	25.6
810	1.26	48	20	6.5	2/6	3.6	25.6
947	1.26	49	20	6.5	2/6	3.6	27.1

(2)使用成膜封堵剂LXJ-1后的钻井液泥饼质量好,井下掉块明显减少,起下钻遇阻卡和倒划眼时间也大幅减少,WBEXT-3D井二开 $\varnothing 311.1\text{ mm}$ 井眼井径规则,井眼扩大率仅为2.98%,全井未发生任何复杂事故;而邻井WBEXT-4C井垮塌、缩径井段较多,井眼呈锯齿状,极不规则,井眼扩大率达到10.65%。WBEXT-3D与WBEXT-4C井的井径曲线对比见图1。

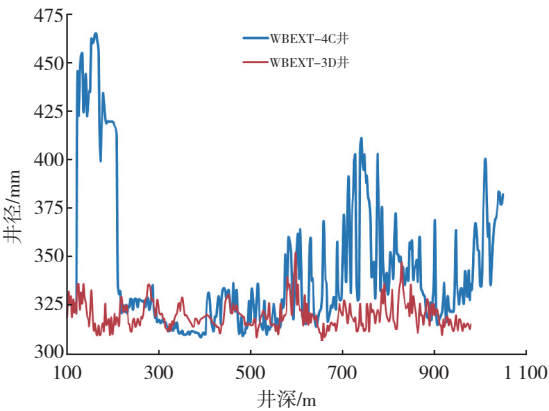


图1 WBEXT-4C井与WBEXT-3D井二开井径对比

(3)通过优化后的完井液配方,有效提高了目的层的承压能力,扩大了钻井液的安全密度窗口,节约了压井成本和压井时间,保护了产层。如在WBEXT-10A等井,目的层井眼稳定,均未发生井漏。而在WBEXT-3D井,三开钻进至1 170 m后,发生油气侵,气测总烃值达到98%,将钻井液密度由1.26 g/cm³逐渐提高至1.56 g/cm³后,发生漏失,漏速

16 m³/h;现场及时调整了封堵剂加量,将FT-1和LXJ-1加量由2%都增加至3%,并将30~100目碳酸钙和单封KD23的总加量提高至5%,成功使漏速降低至2~3 m³/h,总烃值下降至8.6%,恢复了正常作业。

(4)同区块使用硫酸钾胺基钻井液技术施工的井机械转速明显提高,平均机械钻速达到22.58 m/h,比邻井15.73 m/h的平均钻速提高了43.5%。

4 结论与建议

(1)硫酸钾胺基钻井液体系抑制性强,井壁稳定性好,性能稳定,维护方便,润滑性好,有效解决了泰国E区块泥页岩井段造浆及井壁垮塌的钻井施工难题。

(2)采用LXJ-1等封堵剂优化后的钻井液工艺技术能够有效提高目的层火成岩裂缝型油气藏的地层承压能力,扩大了安全密度窗口,有效解决了喷漏同层钻井施工技术问题。

(3)硫酸钾胺基钻井液体系作为钾盐类钻井液体系的一种,对钻具和设备仍具有较强的腐蚀性,今后需进一步开展对缓蚀剂的研究和优选工作。

参考文献:

[1] 代礼杨,李洪俊,苏秀纯,等. 硫酸钾/硅酸盐钻井液在乍得Bongor盆地的应用[J]. 钻井液与完井液,2011,28(2):36-38.
DAI Liyang, LI Hongjun, SU Xiuchun, et al. Application

- of K_2SO_4 /silicate drilling fluid in Chad Bongor Basin[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2011, 28(2): 36-38.
- [2] 宋瑞宏, 石德勤. 硫酸钾钻井液的研究与应用[J]. 石油钻探技术, 1999, 27(4): 25-27.
- SONG Ruihong, SHI Deqin. Study and application of potassium sulfate drilling fluid [J]. Petroleum Drilling Techniques, 1999, 27(4): 25-27.
- [3] 张洪伟, 左凤江, 贾东民, 等. 新型强抑制胺基钻井液技术的研究[J]. 钻井液与完井液, 2011, 28(1): 14-17.
- ZHANG Hongwei, ZUO Fengjiang, JIA Dongmin, et al. Research on new high inhibition amino drilling fluid [J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2011, 28(1): 14-17.
- [4] 范振忠, 高翔, 刘庆旺. 硫酸钾钻井液体系的室内评价与应用[J]. 钻井液与完井液, 2006, 23(6): 15-18.
- FAN Zhenzhong, GAO Xiang, LIU Qingwang. Laboratory evaluation and application of potassium sulphate drilling mud [J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2006, 23(6): 15-18.
- [5] 高霞, 蔡东芳, 潘建国, 等. 高性能胺基钻井液研究及在联38块的应用[J]. 复杂油气藏, 2012, 5(4): 65-69.
- GAO Xia, CAI Dongfang, PAN Jianguo, et al. Research and application of high performance amine drilling fluid in block Lian 38 [J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2012, 5(4): 65-69.
- [6] 石祥超, 胡云磊, 孙莉, 等. 聚胺对泥岩水化抑制性实验研究及现场应用[J]. 钻采工艺, 2023, 46(2): 126-132.
- SHI Xiangchao, HU Yunlei, SUN Li, et al. Experimental study on the inhibitory effect of polyamines on mudstone hydration and its application in the field [J]. Drilling & Production Technology, 2023, 46(2): 126-132.
- [7] 柳云涛. 一种无渗透泥浆处理剂: CN201510572636.8 [P]. 2015-09-10.
- LIU Yuntao. A non permeable mud treatment agent: CN201510572636.8 [P]. 2015-09-10.

(编辑 韩 枫)