

盐城凹陷阜宁组地层井壁失稳原因及对策

杜道勇¹; 张晓红¹; 王 委¹; 陈 军¹; 徐 浩²

(1. 中石化华东石油工程有限公司江苏钻井公司, 江苏 扬州 225261; 2. 中国石化江苏油田分公司石油工程技术研究院, 江苏 扬州, 225009)

摘要: 盐城凹陷阜宁组地层易垮塌、密度窗口窄, 阜二段“七尖峰”、“四尖峰”以黑色硬脆性泥页岩为主, 该地层特点为层理、微裂缝发育, 坍塌压力系数较大, 井壁不稳定, 易导致划眼、电测遇阻、井漏、井眼报废等井下复杂故障。对已钻井资料压力曲线、阜宁组地层岩样矿物组分和微观特征分析, 探讨了阜宁组地层井壁失稳的原因。根据阜宁组地层压力系数、岩性特征等特点, 提出了优化封堵材料的配比, 有效封堵阜宁组地层微裂缝, 确定合理的钻井液密度, 有效控制钻井液及滤液进入该地层, 保持硬脆性泥页岩的井壁稳定, 降低复杂故障发生的技术措施。现场应用表明, 钾胺基聚合物钻井液体系及配套措施抑制封堵性能强, 稳定井壁性能好, 与同区块其他施工井比较, 井下复杂故障率低。该技术措施为同类井施工提供了成功经验。

关键词: 泥页岩; 井壁失稳; 强封堵; KCl胺基; 盐城凹陷

中图分类号: TE258 文献标志码: A

Causes and countermeasures of wellbore instability of the Funing Formation in Yancheng Sag

DU Daoyong¹, ZHANG Xiaohong¹, WANG Wei¹, CHEN Jun¹, XU Hao²

(1. Jiangsu Drilling Company of Huadong Petroleum Engineering Co. Ltd., SINOPEC, Yangzhou 225261, China;

2. Petroleum Engineering Technology Research Institute of Jiangsu Oilfield Company, SINOPEC, Yangzhou 225009, China)

Abstract: The Funing Formation in Yancheng Sag is prone to collapse and has a narrow density window. The “Seven-apex” and “Four-apex” of the second member of the Funing Formation are dominated by black hard and brittle mud shale. The formation is characterized by the development of bedding and micro-fractures, large collapse pressure coefficient, and instability of the borehole wall, which easily leads to complicated downhole failures such as borehole scratching, electrical measurement obstruction, well leakage, and borehole abandonment. The pressure curve of the drilled well data, mineral composition, and microscopic characteristics of the rock samples of the Funing Formation was analyzed to explore the reasons for wellbore instability in the Funing Formation. According to the pressure coefficient, lithological characteristics, and other characteristics of the Funing Formation, some technical measures are proposed to optimize the ratio of plugging materials to effectively seal the micro-fractures in the Funing Formation, determine a reasonable density of drilling fluids, effectively control the entry of drilling fluids and filtrates into the formation, maintain the stability of the well wall in the hard and brittle mud shale, and reduce the occurrence of complex failures. Field application shows that the potassium amine-based polymer drilling fluid system and supporting measures have strong inhibition and sealing performance, good stabilization of the well wall, and a low rate of complex downhole failures compared with other wells constructed in the same block. This technical measure provides a successful experience for the construction of similar wells.

Key words: mud shale; shaft wall instability; strong plugging; KCl amine group; Yancheng Sag

引用格式: 杜道勇, 张晓红, 王委, 等. 盐城凹陷阜宁组地层井壁失稳原因及对策[J]. 复杂油气藏, 2023, 16(3): 352–358, 362.

DU Daoyong, ZHANG Xiaohong, WANG Wei, et al. Causes and countermeasures of wellbore instability of the Funing Formation in Yancheng Sag[J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2023, 16(3): 352–358, 362.

苏北盆地盐城凹陷阜宁组泥页岩作为常规油气勘探的烃源岩, 是盐城凹陷主要生油层, 前期已做过大量评价工作。阜二段泥页岩沉积期为深湖一半深湖拗陷湖盆, 有机质类型主要为 I 型和 II₁ 型, 成熟度不高, 生油为主。常规油气勘探中在阜

二段泥页岩见到丰富的油气显示, 两口井试获原

收稿日期: 2023-07-05; 改回日期: 2023-08-01。

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现场推广应用工作。E-mail: 55227480@qq.com。

油,盐城1井在阜二段试获原油36.83 m³/d,证实该区泥页岩油气勘探潜力巨大^[1-5]。

近年来,江苏油田在盐城凹陷阜宁、泰州组天然气、阜三段常规油和阜二段页岩油多层系多领域取得勘探开发的重要突破。该区块井均较深,阜宁组地层泥岩垮塌严重,据统计1998—2020年井深达3 500 m以上的盐城1、盐城1-2、盐城501等8口井,由于阜宁组地层垮塌造成的划眼复杂情况长达686.5 h。2020年以来,采用KCl胺基钻井液体系钻进完成了盐城1-2侧、盐城501、盐城601、盐城602、盐城8共5口4 000 m以上的井,虽然复杂故障有所降低,但井漏增加、垮塌划眼和电测遇阻时有发生,尤其盐城页1HF井,第一次钻进至3 398 m,因井壁

垮塌填井侧钻,侧钻后钻进至4 034 m完钻,因井壁不稳定多次遇阻卡划眼,并发生井下漏失等,累计损失时间75.41 d。

从表1可以看出,盐城601斜侧阜宁组钻井液密度维持1.32 g/cm³,反而全井无复杂故障发生,密度高的井井漏增加,同时也有电测遇阻、通井划眼掉块等复杂情况。对于孔隙压力小、微裂缝发育的硬脆性地层,并不是钻井液密度越高井壁稳定效果就越好,进入易垮塌地层前,一定要做好防塌封堵和提高地层承压能力等工作,适当提高钻井液密度,有利于泥页岩地层的井壁稳定。如果封堵能力欠缺,地层承压能力低,钻井液密度越高,静液柱压力越大,越容易增加井漏、井壁垮塌失稳的风险。

表1 近年盐城已钻井阜宁组复杂情况

井号	完钻井深/ m	钻井液密度/ (g·cm ⁻³)		阜宁组复杂情况
		完钻	完井	
盐城5	4 086	1.44	1.44	①3155 m发生溢流;②3 806 m、3 950 m、4 086 m井漏;③下套管3 108 m井漏,起套管;④完钻通井3 790~4 067 m划眼返出掉块;⑤下套管前通井3 023~3 150 m划眼返出掉块。
盐城501	4 212	1.35	1.4	①完钻电测前通井井漏;②完井作业多次通井划眼,2 840~2 950 m和4 020~4 180 m倒划困难,返出掉块大。
盐城1-2侧	4 068	1.35	1.35	①完钻后循环井漏(小井眼循环压耗大);②井漏后造成有掉块,完井作业多次通井。
盐城601斜	4 090	1.35	1.37	3 369 m、3 599 m、3 892~3 984 m井漏,井漏后存在起钻挂卡,倒划返出掉块。
盐城601斜侧	3 930	1.32	1.32	无
盐城602	4 036	1.4	1.4	①取芯下钻遇阻,通井划眼2 550~2 580 m划眼比较困难;②3 075 m~3 306 m划眼困难,多次憋泵,有掉块;③电测多次通井。
盐城8斜	4 133	1.4	1.4	①2 506 m时起钻至1 543 m卡钻;②4 049 m、4 103 m、4 117 m、4 133 m井漏;③电测前通井井漏。
盐城8斜侧	4 169	1.4	1.4	4 011 m井漏。

为了提高钻井速度,达到降本增效的目的,需解决阜宁组地层的井壁失稳问题。针对上述的钻井施工难题,提出了以强抑制性钾胺基聚合物钻井液体系为基础,控制合理的钻井液体系密度,优化钻井液体系封堵性能等措施。经过室内研究,对钾胺基聚合物钻井液体系性能评价显示,钻井液体系的抑制性能和封堵性能好,综合性能优。现场应用结果显示,施工井阜宁组不稳定地层钻井顺利,起下钻顺畅。

1 泥页岩特性及地层压力分析

选取具有代表性的盐城6井和盐城602井,取其阜宁组阜二段地层岩样,通过矿物组分、理化性能、电镜扫描、浸泡实验和原始资料等分析,探索盐城凹陷阜宁组泥页岩井壁不稳定的原因。

1.1 矿物组分分析

利用X射线衍射方法对取自盐城6井阜二段的岩样进行了全矿物分析(见表2、表3)。

表2 盐城6井岩样全岩矿物组成分析

									%
方沸石	石英	钾长石	斜长石	文石	铁白云石	白云石	方解石	黄铁矿	黏土总量
53.4	22.9	0.0	10.7	0.6	0.0	0.0	4.4	2.6	5.4
9.3	12.1	0.0	5.7	16.0	26.1	0.0	5.2	0.0	25.7
6.3	12.7	0.0	4.2	29.5	7.4	0.0	11.0	0.0	28.9

续表2 盐城6井岩样全岩矿物组成分析

									%
方沸石	石英	钾长石	斜长石	文石	铁白云石	白云石	方解石	黄铁矿	黏土总量
21.8	17.2	0.0	0.0	0.0	28.3	0.0	0.0	1.9	30.8
5.8	16.3	0.0	16.1	10.6	2.9	0.0	12.9	0.0	35.3
2.6	23.1	0.0	5.4	0.0	9.2	0.0	2.3	0.0	57.5

表3 盐城6井岩样黏土矿物分析

黏土矿物相对含量/%					伊/蒙混层比	绿/蒙混层比
伊利石	高岭石	绿泥石	伊/蒙混层	绿/蒙混层		
30	10	8	51	—	13	—
36	0	4	60	—	23	—
42	0	6	53	—	25	—
48	0	5	47	—	20	—
49	0	5	46	—	20	—
39	0	3	58	—	20	—

由表2、表3可以看出,盐城6井阜二段地层黏土矿物含量均值在30%,而非黏土矿物含量较高,为裂缝发育的硬脆性泥页岩。岩石黏土矿物成分中伊/蒙混层含量较高,伊/蒙混层易吸水膨胀,破坏岩体的内部结构,从而使岩体发生剥落掉块,导致泥页岩井壁不稳定,易发生井下坍塌、卡钻等复杂故障。

1.2 相关岩心微观特征分析

采用扫描电子显微镜对盐城6井部分岩心进行

微观特征分析(见图1),可见泥页岩的矿物颗粒之间为泥质胶结,胶结良好,颗粒孔隙大小在0.1~5μm之间,微米级、纳米级的微孔隙十分发育。岩样中片丝状黏土矿物集合体中夹杂着泥晶方解石晶体,均被碳质浸染,排列具定向性,结构较为致密,呈鳞片状结构,矿物排列方向与层理形成有关,存在明显的各向异性特征,层理面和微裂缝等弱胶结处,在外力的作用下易发生破坏和剥落,从而导致井下掉块和坍塌。

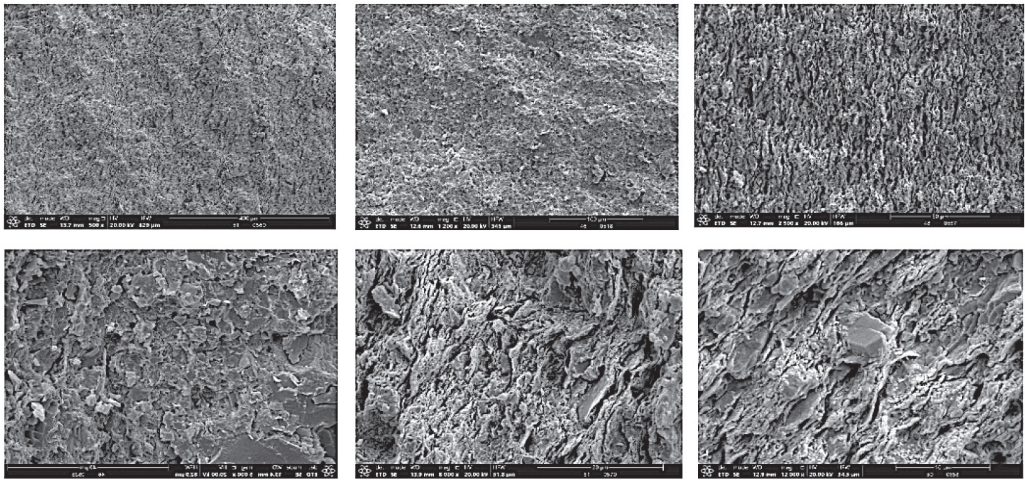


图1 盐城6井电镜扫描图片

1.3 泥页岩浸泡实验

取2块盐城602井阜二段地层掉块,分别浸泡于清水和7%KCl溶液中,泥岩与两种液体接触短时间出现气泡,10 min清水浸泡的掉块产生裂缝,30 min裂开,浸泡72 h后,两块岩石表面完整,拿出后稍施

加外力,两块岩石均裂开。分析认为阜二段掉块为硬脆泥页岩,膨胀能力较弱,微裂隙发育,流体沿微裂隙侵入,岩石强度降低,在外力的作用下,产生垮塌、掉块。强抑制性KCl溶液并不会明显阻止岩石强度的降低,说明井壁稳定的关键在于强化封堵性能。

1.4 剥落泥页岩回收实验

为研究盐城凹陷阜宁组地层的理化性质,对盐城602斜井阜二段掉块岩石进行滚动回收,(见表4)。掉块岩石在清水中的滚动回收率高达95.48%。这说明岩石水化分散能力弱,硬脆性物质含量高,流体主要通过微裂缝的渗透作用进入岩石内部,从而引起岩石强度降低。

表4 盐城602斜井阜二段掉块回收率实验

介质	初始岩心质量/g	一次滚动回收岩心质量/g	一次滚动回收率/%
清水	50	47.74	95.48

1.5 邻井压力曲线

从盐城1-2井和盐城3井三压力剖面及井径曲线(图2、图3)可以看出,阜二段地层以下地层,地层坍塌压力比地层孔隙压力要大,必须通过控制钻井液的密度来平衡地层坍塌压力,保持井壁稳定。钻井液密度高时,加快钻井液滤液及钻井液沿层理、微裂缝侵入地层,并且在压差的作用下,造成地层部分闭合的微裂缝开启,地层的围岩强度降低。如果钻井液密度过低,钻井液液柱压力无法平衡地层坍塌压力,同样导致井壁失稳。因此,强化封堵提高地层承压能力至关重要。

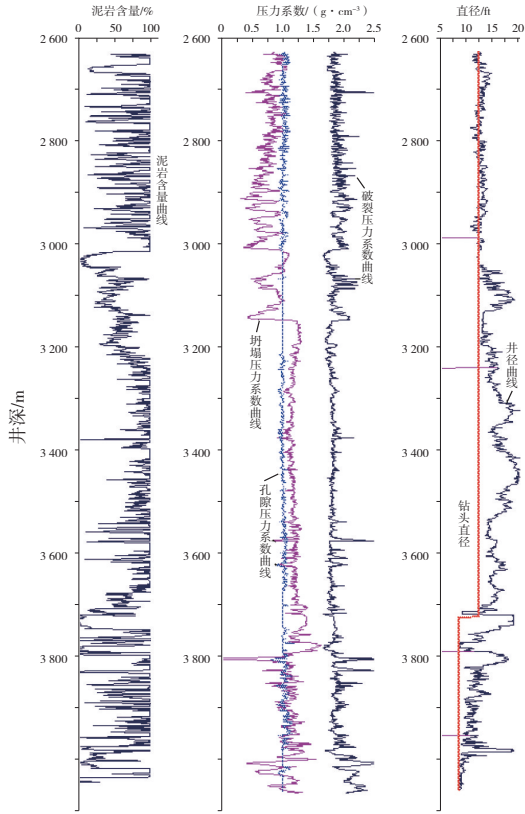


图2 盐城1-2井三压力剖面及井径曲线

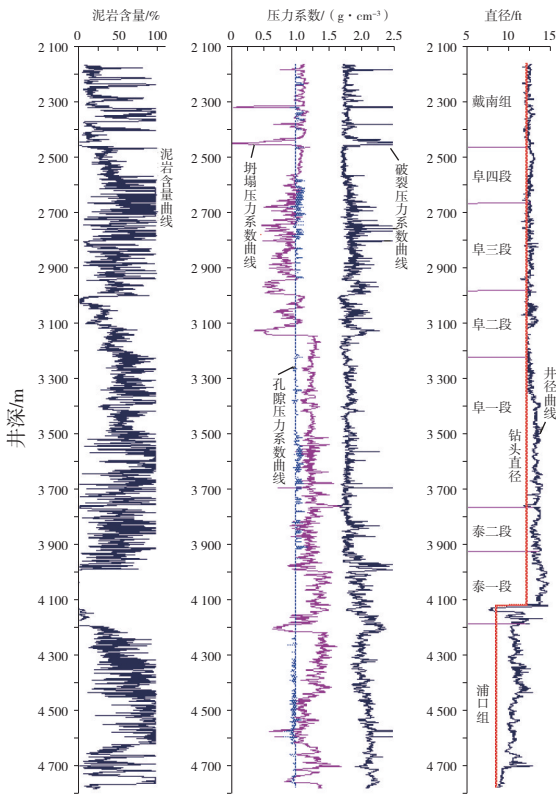


图3 盐城3井三压力剖面及井径曲线

2 井壁失稳原因分析

通过对盐城凹陷已钻井阜二段矿物组分分析、微观特征分析、泥页岩浸泡实验、剥落泥页岩回收实验和邻井压力曲线等资料综合分析,阜宁组地层井壁失稳原因如下:

(1)岩石黏土矿物成分中伊蒙混层含量较高,容易吸水膨胀,破坏岩石的内部结构,导致岩体发生剥落掉块,泥页岩井壁垮塌,造成井壁不稳定^[6-7]。

(2)阜宁组地层属于微纳米级孔隙发育、弱分散的硬脆性泥页岩。在外力的作用下,钻井液滤液及钻井液沿层理面、微裂缝进入岩石内部,造成地层中黏土矿物水化膨胀、浸泡后岩石强度降低,压力传递导致微裂缝逐步扩展、连通,最终造成井壁不稳定或者井漏。

(3)盐城凹陷阜二段以下地层坍塌压力大于地层孔隙压力,施工钻井液密度窗口窄,提高钻井液密度稳定井壁,会增加钻井液漏失风险,钻井液进入地层,围岩强度降低,导致地层坍塌压力增大,进一步加剧了井壁失稳^[8-9];若钻井液密度过低,不能平衡地层坍塌压力,易导致井壁失稳。

2.1 钻井液密度统计分析

从盐城凹陷近年已钻8口井来看,完井钻井液

密度达 1.40 g/cm³ 或以上的有 5 口,密度 1.35 ~ 1.37 g/cm³ 的有 2 口,密度 1.32g/cm³ 的有 1 口。进入阜宁组前,钻井液密度控制在 1.23 ~ 1.28 g/cm³,3 000 m 密度 1.28 ~ 1.35 g/cm³,3 200 m 密度 1.29 ~ 1.40 g/cm³,完钻密度 1.32 ~ 1.44 g/cm³(见图 4)。

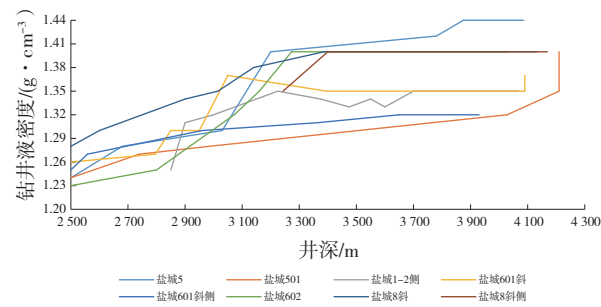


图4 近年盐城已钻井钻井液密度曲线

3 钻井液技术对策

针对盐城凹陷阜宁组地层岩性特征及 KCl 胺基钻井液体系的强抑制能力,井壁失稳对策可以从钻井液的封堵性和密度两方面考虑。

(1)确定合理的钻井液密度,避免钻井液密度过高后,闭合的微裂缝开启,导致地层坍塌压力增大,发生井漏。

(2)提高钻井液的封堵能力,引入无渗透泥浆处理剂 YDW-1,采用多级粒径封堵和 YDW-1 的成膜封堵,有效封堵阜宁组地层微纳米级微裂缝,减少钻井液或钻井液滤液侵入地层,降低地层坍塌压力,提高地层承压能力,维持井壁稳定,降低井漏发

生的概率。

3.1 确定合理的钻井液密度

盐城凹陷阜二段以下地层坍塌压力大于地层孔隙压力,硬脆性泥页岩微裂缝发育,同时盐城 1 井阜二段 3 204.05 m 实测压力系数达 1.552 5(甲方设计提供)。钻井过程中,为了平衡井下地层的坍塌压力和地层压力,势必会提高钻井液密度,密度越高,压差越大,钻井液滤液进入地层内部会更多,同时也会使得部分闭合的微裂缝开启,导致井漏或井壁失稳,所以保持合适的钻井液密度最关键。

根据已钻施工井实际情况,确定阜宁组地层钻进钻井液密度宜维持 1.30 ~ 1.35 g/cm³(特殊溢流除外),阜二段地层前钻井液密度宜维持 1.30 ~ 1.32 g/cm³左右,进入阜二段地层后宜维持 1.32 ~ 1.35g/cm³左右,后期在做好防塌封堵的情况下,可以适当提高钻井液密度。

3.2 提高钻井液的封堵效果

针对微孔隙发育的特点,选择与微裂缝相匹配的刚性和柔性封堵剂,同时运用无渗透泥浆处理剂的成膜封堵,有效封堵地层的微裂缝,提高地层承压能力,阻缓压力传递和钻井液滤液对地层的侵入。

3.2.1 防塌剂的优选

在基浆中分别加入 2% 的磺化沥青粉Ⅲ、FT-342 和 DFT-1 三种防塌剂,测试热滚前后钻井液流变性、API 失水及 HTHP 的变化情况(见表 5)。

表5 加入不同防塌剂的钻井液性能

配方		ϕ_{600}	ϕ_{300}	ϕ_{200}	ϕ_{100}	ϕ_6	ϕ_3	GeI_{10^4}/Pa	GcI_{10^4}/Pa	FL_{AP}/mL	$FL_{HTHP(120^{\circ}C)}/mL$
1#	滚前	20	11	8	5	1	1	0.5	0.5	4.8	
	滚后	25	14	10	6	1	1	0.5	0.5	7.8	26.0
2#	滚前	103	62	48	30	5	3	1.5	4	5.6	
	滚后	17	9	7	4	1	1	0.5	0.5	7.4	23.0
3#	滚前	22	12	8	5	1	1	0.5	0.5	3.5	
	滚后	19	10	7	4	1	1	0.5	0.5	5.9	22.0
4#	滚前	16	9	6	3	1	1	0.5	0.5	4.4	
	滚后	18	10	7	4	1	1	0.5	0.5	5.6	21.0

1#:8%土粉浆+0.1%FA367+0.5%NH₄-HPAN+0.3%PAIR+2%QS-2+0.5%PAC-LV;2#:1#+2%磺化沥青粉Ⅲ;3#:1#+2%FT-342;4#:1#+2%DFT-1。

从表 5 可以看出,4#浆热滚前后的流变性能比较稳定,热滚后的 API 失水和 HTHP 失水也是最低,说明防塌剂 DFT-1 对钻井液性能的稳定和封堵性明显好于另外两种防塌剂,最终选择 DFT-1 作为主

要防塌处理剂。

3.2.2 刚性封堵剂的优选

对目前使用的 QS-2、QS-4、QS(1 500 目)和 QS(2 500 目)4 种刚性封堵剂进行粒径分析(见表

6),可以看出,对应盐城6井阜二段0.1~5μm孔隙,QS(2 500目)达到地层孔隙范围的粒径含量相对比较高,最终选择QS(2 500目)作为刚性封堵剂。

表6 封堵剂粒径分布特征

刚性封堵剂	粒度中值/μm	平均粒径/μm	粒度范围/μm	≤6 μm 占比/%
QS-2	6.1	7.48	1.2~42	49.29
QS-4	5.81	7.34	1.2~40	51.66
QS(1 500目)	5.96	7.31	1.2~44	50.35
QS(2 500目)	4.51	5.93	1.2~39	62.21

3.2.3 成膜封堵的评价

表6可以看出,碳酸钙刚性粒子的粒径都是微米级别的,不能有效封堵阜宁组地层纳米级的微裂缝。利用无渗透泥浆处理剂(YDW)的成膜封效应,实现微裂缝封堵,可以提高地层的承压能力。

无渗透泥浆处理剂(YDW-1)利用特殊聚合物处理剂,在井壁岩石表面浓集形成胶束,依靠聚合物胶束或胶粒界面吸力及其可变形性,能封堵岩石表面较大范围的孔喉,在井壁岩石表面形成致密无渗透封堵膜,有效封堵不同渗透性地层和微裂缝泥

页岩层,钻井液及其滤液完全隔离,不会渗透到地层中,可实现接近零滤失钻井^[10]。

配制1#、2#试样,对无渗透泥浆处理剂(YDW-1)进行室内评价(见表7)。

其中1#配方为基浆(MBT20-25g/L)+0.2%NaOH+0.2%PMHA-2+0.3%PAIR+0.6%NH4-HPAN+7%KCl+1%PAC-LV+0.2%CaO+0.3%DSP-2+2%DFT+3%QS(2500目)+0.2%微纳米封堵剂+重晶石加重(钻井液密度1.30 g/cm³);2#配方为1#+0.5%YDW-1(非渗透处理剂)。

表7 无渗透泥浆处理剂(YDW-1)室内评价

配方	ϕ_{600}	ϕ_{300}	ϕ_{200}	ϕ_{100}	ϕ_6	ϕ_3	Gel_{10^0}/Pa	Gel_{10^0}/Pa	FL_{API}/mL	$FL_{HTHP(120^{\circ}C)}/mL$
1#	滚前	47	25	17	9	1	1	0	0	3.4
	滚后	55	29	20	10	1	1	0	0	3.6
2#	滚前	49	27	18	10	1	1	0.5	1	3.0
	滚后	58	31	21	11	1	1	0.5	1	3.2

从表7可以看出,加入0.5%的无渗透泥浆处理剂(YDW-1)后,钻井液的API失水和HTHP失水都有明显的改善。

选用750×10⁻³ μm²砂盘(平均孔喉5 μm),考察热滚老化后的钻井液在7 MPa压力120℃条件下的渗透滤失情况,评价其封堵性能(见表8、图5)。

表8 两种配方7 MPa压力下不同时间滤失量

时间/min	1	5	7.5	15	25	30	40	50	60
1#配方滤失量/ml	2.0	3.8	5.0	6.0	7.60	8.40	13.0	13.6	14.0
2#配方滤失量/ml	0.6	2.2	4.0	5.8	6.8	7.8	8.6	8.8	9.0

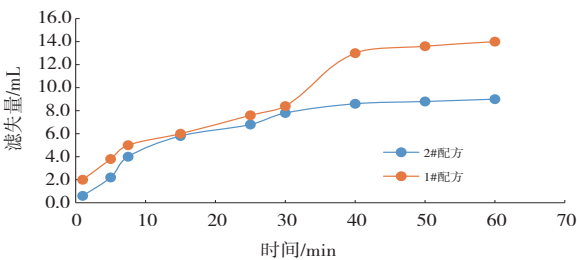


图5 PPT 封堵评价实验

从表8和图5数据分析可知,1#配方滤失量为16.8 mL,滤失速率0.17 mL/min,2#配方滤失量为15.6 mL,滤失速率0.04 mL/min,2#配方中加入非渗透处理剂后,钻井液体系封堵效果更好。

将完成封堵实验后的砂盘晾干,砂盘表面形成了致密的乳白色薄膜滤饼,表面致密且韧性好,起到很好的成膜封堵效果(见图6)。



图6 2#配方砂盘实验后的砂盘滤饼

经过上述过程中,在基础配方中优选加入沥青类防塌剂、超细碳酸钙、微纳米和非渗透处理剂,并分别进行了性能评价,最终确定钻井液配方如下:

基浆(MBT20g/L-25g/L)+0.2%NaOH+0.2%PMHA-2+0.3%PAIR+0.6%NH₄-HPAN+7%KCl+1%PAC-LV+0.2%CaO+0.3%DSP-2+2%DFT+3%QS(2 500目)+0.2%微纳米封堵剂+0.5%YDW-1+重晶石加重(钻井液密度 1.30 g/cm³)。

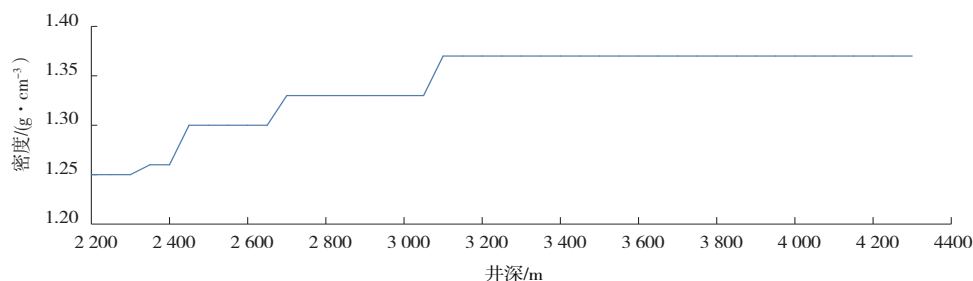


图7 盐城9斜井钻井液密度曲线

4.3 多级搭配封堵应用情况

钻进至戴南组后,在井深 2 250 m 左右分别加入 2 t 的沥青类防塌剂 DFT 和 MFJ-1 进行了防塌预处理,钻进时及时补充保持钻井液中防塌剂的含

4 盐城9斜井现场应用

4.1 工程概况

盐城9斜井是盐城凹陷南洋次凹盐城9构造上的一口定向预探井,实钻斜深 4 300 m,垂深 3 880.47 m,造斜点井深 2 380 m,最大井斜角 48.46°,井底闭合距 1 128.22 m。一开采用 Ø311.1 mm 钻头,钻进至井深 1 307 m,下入 Ø244.5 mm 的表层套管 1 306 m;二开以复式井眼钻进,首先利用 Ø222.2 mm 钻头钻进至井深 2 403 m,之后用 Ø215.9 mm 钻头钻至井深 4 300 m,最后裸眼完井。

4.2 戴南组以后钻井液密度情况

该井进入戴南组时,钻井液密度维持 1.25 g/cm³,进入戴一段提高至 1.27 g/cm³,进入阜宁组保持 1.30 g/cm³ 钻进,钻进过程返出有掉块岩屑,及时把钻井液密度提到 1.33 g/cm³,钻进至 3 089 m 时气测全烃高,短起下后由于后效严重,及时将钻井液密度提高至 1.37 g/cm³,一直保持至完井(设计最高密度 1.40 g/cm³,见图7)。

量。进入阜宁组地层需要加入 3% 的超细碳酸钙 QS 和非渗透处理剂 YDW-1,以达到比较理想的封堵效果,后期钻进、通井未见返出岩屑有明显掉块,钻井液性能稳定,滤失量低。钻井液性能见表9。

表9 盐城9斜井钻井液性能

井深/ m	$\rho/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	FV/s	ϕ_{600}	ϕ_{300}	ϕ_3	$PV/(\text{mPa}\cdot\text{s})$	YP/Pa	$YP/PV/(\text{Pa}/\text{mPa}\cdot\text{s})$	Gel_{10}/Pa	Gel_{10}/Pa	FL_{API}/mL
2 252	1.25	45	51	31	2	20	5.5	0.28	1.5	5	4.8
2 400	1.26	50	57	36	5	21	7.5	0.36	2.5	8	5
2 644	1.30	52	66	40	3	26	7	0.27	1.5	9	4.4
2 733	1.33	52	70	43	3	27	8	0.3	2	8	4.5
3 092	1.37	53	79	48	6	31	8.5	0.27	3.5	10	4.4
3 511	1.37	60	95	60	4	35	12.5	0.36	2	8	3.6
3 900	1.37	62	94	60	3	34	13	0.38	1.5	9	4
4 300	1.37	58	118	72	6	46	13	0.28	3	10	4

(下转第 362 页)

表4 2019年与2022年清防蜡费用对比				10 ⁴ 元
年份	预防性费用	自救费用	检泵费用	合计
2019	27	18	50	95
2022	48	2		50

4 结论

(1)针对NH201区块在举升过程中脱气引起的结蜡问题,从结蜡预警、结蜡预防和蜡卡处置3个方面开展研究,以油井信息化建设为依托,清防蜡工艺向信息化、自动化转变,提高了判断的准确率和处置的及时率。

(2)通过清防蜡技术的应用和完善,有效缓解了NH201区块因结蜡对生产的影响,年减少产量损失超过300 t,节约清防蜡费用45×10⁴元,延长了检泵周期。

参考文献:

[1] 梁珀,张磊.NH区块丛式井高效开发模式探索及实践[J].复杂油气藏,2020,13(4):69-73.

[2] 冯耀忠,李宗乾.采油生产中的结蜡问题[J].国外油田工程,1992(2):10-11.

[3] 张卫明.采油工程中油井的防蜡与清蜡方法[J].能源与节能,2013(3):15-16,39.

[4] 康宜恩,黄海,孙杰.帅垛油田油井蜡卡规律研究与治理对策[J].油气藏评价与开发,2014,4(6):53-56.

[5] 辛辉,辛宾.油井结蜡问题原因分析与管理探讨[J].中国石油和化工标准与质量,2011,31(3):62.

[6] 尚玉良.油井结蜡机理及处理对策分析[J].化工管理,2016(18):79.

[7] 张磊.低成本清防蜡技术在SD油田的应用及效果分析[J].复杂油气藏,2018,11(3):74-76,86.

(编辑 韩 枫)

(上接第358页)

4.4 取得的效果

(1)盐城9斜井3 089 m钻井液密度就提高至1.37 g/cm³,设计提示阜二段有钻遇裂缝风险,但全井没有发生井漏。

(2)电测2 200~3 500 m平均井径224.81 mm,平均井径扩大率4.13%,井径扩大率小,井壁相对稳定,通井均无遇阻卡情况,返出岩屑未见掉块。

5 认识与结论

(1)盐城凹陷阜宁组地层属于微纳米级孔隙发育、弱分散的硬脆性泥页岩,是井壁不稳定的根本原因,保持井壁稳定的关键是提高对泥页岩纳微米级孔缝的有效封堵。

(2)合理的钻井液密度是稳定井壁的前提条件。在封堵效果差的情况下,过高的密度反而会加剧井壁失稳,甚至造成井漏。通过盐城区块已钻井情况分析阜宁组地层钻井液密度宜维持在1.30~1.35 g/cm³。

(3)采用可变形防塌沥青、刚性粒子超细碳酸钙和成膜封堵剂非渗透YDW-1复配,能有效封堵地层的微裂缝,阻缓压力传递,减少钻井液滤液对地层的侵入,延长地层的垮塌周期,同时可提高地层的承压能力,降低井漏的风险。

参考文献:

[1] 王红伟,段宏亮.盐城凹陷阜二段页岩油形成条件及富集规律研究[J].复杂油气藏,2016,9(3):14-18.

[2] 宋言,刘世丽,高先志,等.盐城凹陷阜三段原油地球化学特征及油源对比[J].复杂油气藏,2023,16(1):26-34.

[3] 程海生,刘世丽,段宏亮.苏北盆地阜宁组泥页岩储层特征[J].复杂油气藏,2015,8(3):10-16.

[4] 钱基,金之钧,张金川,等.苏北盆地盐城凹陷深盆气藏[J].石油与天然气地质,2001,22(1):26-29.

[5] 翁望飞,施兴刚.苏北盆地盐城凹陷阜三段油藏勘探潜力分析[J].复杂油气藏,2010,3(4):14-17,27.

[6] 鄢捷年.钻井液工艺学[M].第2版.东营:中国石油大学出版社,2012:359-365.

[7] 蒋希文.钻井事故与复杂问题[M].第2版.北京:石油工业出版社,2006:42-48.

[8] 赵峰,唐洪明,孟英峰,等.微观地质特征对硬脆性泥页岩井壁稳定性影响与对策研究[J].钻采工艺,2007,30(6):16-18.

[9] 罗诚,吴婷,朱哲显.硬脆性泥页岩井壁稳定性研究[J].西部探矿工程,2013,25(6):50-52.

[10] 柳云涛.一种无渗透泥浆处理剂:CN201510572636.8[P].2015-12-02.

(编辑 韩 枫)