

钾铵基聚合物钻井液抑制性研究

徐波¹, 王智洪²

(1. 中石化华北石油工程有限公司西部分公司, 河南 新乡 453000; 2. 中石化华北分公司工程技术研究院, 河南 郑州 450006)

摘要: 大牛地气田石盒子组泥岩发育, 钻井液抑制性不足, 易发生井壁失稳事故, 严重影响施工安全和施工进度。在分析石盒子组泥岩段失稳机理的基础上, 开展了钾铵基聚合物钻井液抑制性研究。放大蒙脱石和伊蒙混层矿物含量, 评价和优选出具有高效抑制性的钾铵基聚合物钻井液体系。该体系具有较低的线性膨胀率和较高的滚动回收率, 对大牛地气田预防泥岩段井壁失稳具有重要的实际意义。

关键词: 钻井; 泥岩; 井壁稳定; 钾铵基聚合物钻井液; 抑制性; 大牛地气田

中图分类号: P634.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2015)07-0030-04

Study on Inhibition of Potassium Amino Polymer Drilling Fluid/XU Bo, WANG Zhi-hong (1. West Company, Huabei Petroleum Engineering Co., Ltd., Sinopec, Xinxiang Henan 453000, China; 2. Research Institute of Engineering Technology of Huabei Branch, Sinopec, Zhengzhou Henan 450006, China)

Abstract: Mudstone developed in Shihezi group of Daniudi gas field and the inhibitive properties of the drilling fluids are poor, construction safety and progress are seriously affected by borehole instability. Based on the analysis on the instability mechanism, a study on the inhibition of potassium amino polymer drilling fluid was made. Mineral contents of montmorillonite and illite mixed layers were increased to evaluate and optimize higher inhibitive potassium amino based polymer drilling fluid system, which has lower liner expansion ratio and higher roll recovery and is of great practical significance to prevent borehole instability of mudstone section in Daniudi gas field.

Key words: drilling; mudstone; wall stability; potassium amino polymer drilling fluid; inhibition; Daniudi gas field

0 引言

大牛地气田钻井揭露的地层有第四系, 白垩系志丹群, 侏罗系安定组、直罗组、延安组, 三叠系延长组、二马营组、和尚沟组、刘家沟组, 二叠系石千峰组、上石盒子组、下石盒子组、山西组, 石炭系太原组、本溪组, 奥陶系上马家沟组, 钻井平均揭露地层厚度 3000 m。石盒子组发育泥岩, 钻井过程中常发生缩径以及“大肚子”的情况, 直接影响工程进度。如 2012 年实施的 DPS-8 井, 在石盒子组造斜井段钻遇泥岩, 发生遇阻, 测井前通井遇阻, 直接损失时间达 90.5 h。因此, 解决好石盒子组泥岩井壁稳定问题, 是大牛地气田水平井实现优快钻完井的重要保障。

国内学者对泥岩井壁问题进行了大量研究^[1-4], 认为井壁稳定是复杂的力学与钻井液化学耦合问题, 从钻井液方面来说, 维护井壁稳定主要是控制好钻井液密度、提高钻井液抑制性和封堵性。

本文主要从钻井液抑制性方面入手, 提高钾铵基聚合物钻井液维护井壁稳定能力。

1 石盒子组泥岩段失稳机理分析

1.1 石盒子组粘土矿物及含量

选取大牛地气田石盒子组 3 个层位的代表性岩样进行了粘土矿物的抽提, 并进行了 X 衍射分析, 分析结果如表 1 所示, 该区粘土矿物总含量较小, 不超过 10%, 主要的粘土矿物类型有伊利石、高岭石、绿泥石以及伊蒙间层矿物, 伊利石和高岭石相对含量最高, 绿泥石次之, 伊蒙间层矿物相对含量最低。

表 1 石盒子组储层岩石粘土矿物含量 XRD 分析结果

层位	样品数	相对含量/%				
		伊利石	高岭石	绿泥石	伊/蒙	间层比
盒 3	1	22.10	32.50	33.90	14.60	20.00
盒 2	1	30.50	15.60	39.00	16.90	18.64
盒 1	18	33.33	30.94	31.41	13.64	10.00

1.2 石盒子组泥岩段失稳机理分析

钻井过程中引起井壁失稳的原因主要有 2 个方面:一是钻井液密度低,钻井液液柱压力低于地层孔隙应力,难以支撑力学不稳定地层;二是钻井液液柱压力高于地层孔隙应力,驱使钻井液进入泥页岩孔隙,产生压力渗透效应,使井眼附近的泥页岩含水量增加,孔隙压力增大,泥页岩强度降低。由后一种地层不稳定因素引起井壁失稳的原因是钻井液中的滤液进入泥页岩地层后在引起的泥页岩膨胀力和泥页岩的运移,它也是最受关注的井壁稳定问题。这是因为钻井液侵入泥页岩地层后会导致泥页岩地层 3 个方面的变化:(1)钻井液压力侵入,孔隙压力升高,减少有效应力;(2)膨胀力升高(如:由于粘土层发生阳离子交换),有效应力下降;(3)粘土矿物粘键的化学改变及减弱。它的影响可能通过调节泥页岩强度及破坏如内聚力及摩擦角等参数而引起井壁失稳。

石盒子组泥岩段井壁失稳也正是如此。以 DPS-8 井为例,钻井液液柱压力高于地层孔隙压力,在泥岩和砂岩过渡带渗透率较大,钻井液大量滤液长驱直入进入该层孔隙。由于滤液抑制性不足,造成粘土矿物膨胀、分散、运移、剥落,在工程上表现为缩径,超过一定时间而剥落,最后形成“大肚子”井眼。导致通井遇阻,钻具不能到底而进入“大肚子”内,反复划眼通过,但也损失大量时间。

在钻井过程中钻遇泥页岩地层时,当钻井液滤液侵入泥页岩中,使泥页岩膨胀力降为零和最大限度减少钻井液滤液在泥页岩中的运移是钻井液具有优越抑制性的目标。具体做法就是减小钻井液滤失量,保证钻井液滤液具有足够的抑制性,侵入该层的钻井液和其中的流体、岩石配伍而降低泥页岩膨胀力。因此,对钻井液抑制性的研究具有循序渐进的现实意义。

2 钾铵基聚合物钻井液优选实验研究

2.1 泥页岩抑制剂单剂的优选

泥页岩中引起粘土水化膨胀的矿物主要是蒙脱石和混层矿物。现场提供钻屑和碎岩心的数量有限,且干扰大。因此采用人造岩屑进行实验分析,放大蒙脱石以及伊蒙混层矿物含量进行线性膨胀率实验和滚动回收率实验。常用的粘土稳定剂有 KCl、KPAM、KPAN、CHM、XYL-1、SINT,其类型可简单的分为提供 K^+ 和阳离子型抑制剂。不同浓度的粘

土稳定剂对蒙脱石的抑制能力不同,实验研究表明,KCl、SINT、KPAM、KPAN、CHM、XYL-1 浓度分别在 8%、2%、0.2%、1%、0.3%、1% 具有最佳抑制效果。不同优选抑制剂对实验样品的线性膨胀率如表 2 所示。不同泥页岩抑制剂对钠蒙脱石矿的抑制效果由好依次递减的顺序是 8% KCl > 2% SINT > 0.2% KPAM > 1% KPAN > 0.3% CHM > 1% XYL-1,对实验样品 1(高伊/蒙间层)2% SINT > 0.3% CHM > 1% XYL-1 > 8% KCl 和 0.5% KPAM > 1% KPAN。

表 2 抑制剂优选实验结果

实验用品	线性膨胀率/%					
	8%KCl	2%SINT	0.2%KPAM	1%KPAN	0.3%CHM	1%XYL-1
钠蒙脱石矿	12.50	19.85	35.17	42.19	53.64	58.42
实验样品 1	41.14	24.96	41.14	42.19	37.66	39.43

注:钠蒙脱石矿为新疆钠蒙脱土;实验样品 1 配方为:高岭石:绿泥石:伊利石:伊/蒙间层=2:2:16:80,间层比为 55%。

2.2 线性膨胀率实验评价

泥页岩抑制剂单剂评价是形成性能更优的钻井液配方的基础,但是综合性能才是钻井液配方的根本。通过钻井液配方的线性膨胀率,确定最佳配方更有助于在目前现场钻井液配方的基础上,提高钻井液的抑制性,再进行滚动回收率的研究,进一步证实钻井液具有良好的抑制性。改进前后钻井液配方线性膨胀实验结果如表 3 所示。由实验结果可知,在改进前后的钻井液中加入一定量的抑制剂后,对蒙脱矿和高含伊蒙混层样品 1 的线性抑制性均得到增强。然而,改时后的 B+0.3% KPAN 在后续的滚动回收率实验中有良好表现。

2.3 滚动回收率实验研究

滚动回收率是评价在一定温度、时间和 5 r/min 条件下对泥页岩的抑制效果,即研究在一定热稳定性条件下对泥页岩的抑制效果。二次回收率是研究钻井液中泥页岩抑制剂在钻屑表面的吸附效果,它能更好地表达泥页岩抑制剂对泥页岩的抑制作用。实验结果如表 4 所示。由表可知,改进后的钻井液配方的一次、二次回收率比改进前的钻井液配方均有较大程度的提高,在改进后的配方中加入 0.3% KPAN,体系的一次回收率达到最大值 88.9%,二次回收率也有较好显示。

通过由线性膨胀率、滚动回收率实验研究钻井液配方性能,改进后的钾铵基聚合物钻井液性能稳定(见表 5)、抑制性明显增强。线性膨胀率由 59.73%

表3 改进前后钻井液配方线性膨胀实验结果

实验样品	线性膨胀率/%					
	A	A+3% KCl	A+1% KCl	A+0.2% XYL-1	A+0.2% XYL-1+0.2% CHM	A+0.2% CHM
蒙脱矿	59.73	28.80	31.22	34.11	38.17	41.68
样品1	A	A+2% SINT	A+1.5% SINT	A+3% KCl	A+0.5% XYL-1	A+0.5% SINT
	30.42	16.01	19.07	22.57	19.17	19.66
蒙脱矿	B	B+0.3% KPAN	B+3% KCl	B+8% KCl	B+0.3% XYL-1	
	58.42	28.8	31.22	34.11	38.17	
样品1	B	B+0.3% KPAN	B+3% KCl	B+0.3% XYL-1		
	46.05	29.79	29.29	24.96		

注:A配方(改进前):清水+0.2%~0.3% Na₂CO₃+0.1%~0.2% NaOH+3%~4% 钠土+0.3%~0.5% IND30+0.5%~1% NAT20+0.5%~1% NFA25;B配方(改进后):4% 怀安土+0.4% KPAM+0.4% KPAN+1% NH₄-PAN+2% SPNH。

表4 改进前后钻井液配方滚动回收率实验结果

配 方	滚前称重/ g	一次回收率/ %	二次回收率/ %
A	35.00	47.7	4.3
B	35.00	60.3	29.7
B+0.3% KPAN	35.00	88.9	33.9
B+0.3% XYL-1	35.00	62.3	38.5

表5 改进前后钻井液配方性能

配 方	实验条件	AV/ (mPa·s)	PV/ (mPa·s)	API/[mL· (30 min) ⁻¹]	pH 值
改进前钾铵 基钻井液	常温 100℃×16h	20 11	17 10	5.4 6.8	8 8
改进后钾铵 基钻井液	常温 100℃×16h	19 11	16 9	5.2 6.4	8 8

注:改进后钻井液配方为4% 怀安土+0.4% KPAM+0.4% KPAN+1% NH₄-PAN+2% SPNH+0.3% KPAN。

表6 DPH-17井分段钻井液性能及流变参数

开序	井段/m	钻 井 液 性 能										流变参数			
		密度 ρ/ (g· cm ⁻³)	漏斗 粘度/ s	FLB/ [mL·(30 min) ⁻¹]	K/ mm	H _{THP} / [mL·(30 min) ⁻¹]	η/ %	Q ₁ / Pa	Q ₁₀ / Pa	pH 值	固相 含量/ %	膨润土含 量/(g· L ⁻¹)	K _f	YP/ Pa	PV/ (mPa· s)
一开	0~401	<1.05	40~70	-	1.0	0.5									
二开	401~2315.00	≤1.10	30~50	≤10	0.5	0.5	2~4	3~7	8~9	2~4	20~40	<0.10	2~5	3~12	
	2315.00~2864.78	1.10~1.25	50~90	≤5	0.5	≤15	0.3	4~10	8~15	8~10	5~12	40~60	<0.08	5~12	7~20
三开	2864.78~4064.78	1.05~1.08	30~60	≤5	0.5	≤12	0.2	2~5	4~8	8~9/9~11	3~5	20~35	<0.08	5~12	7~20

3.2 钻井液技术措施

为了保证钾铵基聚合物钻井液具有较好的应用性能,在具体钻进过程中,应做到以下几点。

(1)调整好钻井液性能,物理防塌和化学防塌并重,做到低失水、高矿化度、高滤液粘度、适当密度和粘度,有效地控制钻井液中自由水向地层渗透,严禁负压钻进。

(2)钻入易塌层段前,按钻井液设计要求加入防塌剂,以后钻进中要注意不断补充。

(3)起钻必须连续向井内灌入钻井液,保持液

下降到30%以内(见表3);页岩一次滚动回收率由47.7%上升到88.9%,二次回收率由4.3%上升到33.9%(见表4)。改进后的钾铵基聚合物钻井液体系抑制性均得到很大程度的改善。

3 钾铵基聚合物钻井液现场应用

3.1 钻井液参数优化

根据大牛地气田地层特性以及实钻情况,分段优化设计了水平段水平井的钻井液参数,避免井壁冲刷形成坍塌,并适当降低当量循环密度,避免产生压力“激动”。严格控制斜井段和水平段钻井液失水,防止地层含水量的快速升高,延长井壁坍塌周期,有效稳定井壁。DPH-17井分段设计如表6所示。

柱压力。

(4)起钻遇阻,应下放钻具到畅通井段开泵重新循环,避免因抽吸引起井塌。

(5)钻进中发生泵压升高、悬重下降、扭矩增加时应停止钻进,及时上提钻具到畅通井段循环处理泥浆,采取冲、通、划的方法处理。

(6)应避免长时间定位循环,循环时避开井塌层段。

(7)因井塌造成起钻遇卡,不能强提,要开泵活动钻具,解卡起出后下钻划眼,处理阻卡井段。

(8) 垮塌严重井段,应提高钻井液粘度和切力,提高钻井液护壁与携砂能力。

(9) 钻进过程中应注意井口返出情况,起下钻应及时灌浆并密切注意钻井液液面变化,避免漏失或灌浆不及时造成井壁失稳,使井下始终保持一定的液柱压力。

(10) 完井液性能满足工程要求,保证安全快速钻进,缩短油气层浸泡时间。具体实施方案依实钻区块储层特性、所用钻井液体系等确定。

3.3 现场应用情况

表7为DPH-17井水平段实钻钻井液性能。从表上可以看出,通过精细控制水平段各项钻井液性能,实现了低密度、低失水、低切力、适当动塑比钻进。DPH-17井水平段长1195.9 m,水平段钻井周期7天,全井钻井周期35.21天,平均机械钻速达到了14.08 m/h,水平段连续钻遇210 m泥岩未发生遇阻现象,表明钾铵基聚合物钻井液能有效抑制泥岩水化,实现水平井安全快速成井。

表7 DPH-17井水平段实钻钻井液性能

井深/ m	$\rho/(g \cdot cm^{-3})$	漏斗粘 度/s	pH 值	PV/ (mPa·s)	YP/ Pa	静切力/Pa 10 s	10 min	滤失量/(mL· (30 min) ⁻¹)
2777.00	1.02	32	10	6	2.0	1	2	5.0
3059.00	1.05	32	10	6	1.0	1	2	5.0
3247.00	1.05	32	9	11	1.5	1	2	5.0
3387.94	1.05	34	9	11	2.0	1	2	4.8
3536.00	1.06	34	9	11	2.0	1	2	5.0
3752.00	1.07	35	9	15	3.5	2	4	5.0
3845.00	1.07	36	9	15	3.5	2	4	4.8

(上接第29页)

(3) 下管前成功实施了井底护管安装固定,为孔内充满循环用泥浆提供了决定性条件,达到了维护孔壁及对井壁管产生浮力,减少钻塔承载力,从而降低井壁管自重对井壁管提吊部位、焊缝张拉及钻塔的危害,起到了多重效应。

6 结语

通过本次瓦斯孔施工,总结出了一套有关大口径瓦斯抽排井工程小径透巷后的安全高效系统的施工技术工艺路线,为今后同类工程钻孔施工提供了可借鉴的方法和经验。

4 结论

(1) 石盒子组泥岩段失稳的主要原因是钻井液侵入该层,钻井液抑制性不足,而产生的水化、膨胀、分散、运移。

(2) 改进后的钻井液配方为:4% 怀安土 + 0.4% KPAM + 0.4% KPAN + 1% NH₄ - PAN + 2% SPNH + 0.3% KPAN,该体系性能良好稳定,抑制性高。线性膨胀率低、滚动回收率高,能极大地减小膨胀压,减小井壁失稳风险。

(3) 通过在DPH-17井的应用,表明钾铵基聚合物钻井液体系具有良好的抑制性,可以有效保证水平井快速穿越泥岩地层。

参考文献:

- [1] 刘向君,罗平亚.水敏性泥页岩地层与钻井液接触时水化能力的实验研究[J].西南石油学院学报,1996,(3).
- [2] 徐同台.井壁稳定技术研究现状及发展方向[J].钻井液与完井液,1997,13(4).
- [3] 陈丽萍,等.中江地区井壁失稳机理及对策研究[J].天然气工业,2005,25(12).
- [4] 邓虎,孟英峰.泥页岩稳定性的化学与力学耦合研究[J].石油钻探技术,2003,31(1).
- [5] 王旭宏.钾铵基聚磺钻井液体系在大牛地气田水平井中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(8):31-33,36.
- [6] 秦献民,赵润琦,路艳.中原老区井壁稳定技术应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39,(2):28-30,34.
- [7] 王旭宏.钾铵基聚磺钻井液体系在大牛地气田水平井中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(8):31-33,36.

参考文献:

- [1] 中国煤田地质总局.煤田钻探工程(第三分册)[M].北京:煤炭工业出版社,1994.
- [2] 袁志坚.提吊加浮力塞下管法在大口径瓦斯抽排孔的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(1):27-29.
- [3] 萧亚民.探矿工程专业标准体系的建立与展望[J].探矿工程,1999,(S1).
- [4] 张祖培,殷琨,蒋荣庆,等.岩土钻掘工程新技术[M].北京:地质出版社,2003.
- [5] 郭绍什,等.钻探手册[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,1993.
- [6] 屠厚泽.钻探工程学[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,1988.
- [7] 李天太.使用钻井水力学理论与应用[M].北京:石油工业出版社,2002.
- [8] 胡辰光.钻探工程技术及标准规范实务全书[M].安徽合肥:安徽文化音像出版社,2003.