

高密度油基钻井液在阳101H3-6井长水平段的应用

张立新¹, 刘 瑞^{*2}

(1. 中石化华北石油工程有限公司西部分公司, 新疆 轮台 841600; 2. 中国地质大学(北京), 北京 100083)

摘要: 阳101H3-6井是位于四川泸州区块一口页岩气水平井。针对阳101H3-6井长水平段井壁稳定性差、摩阻扭矩高的钻进技术难点, 提出了高密度油基钻井液技术对策, 引入新型主乳化剂I型, 通过正交试验, 优选确定了密度为2.2 g/cm³的高密度油基钻井液配方为: 2% 主乳化剂+3% 辅乳化剂+3% 润湿剂+4% 降滤失剂+1% 有机土+3% CaO, 油水比为80:20(柴油:25% CaCl₂水溶液)。性能评价结果表明, 该高密度油基钻井液抑制性强, 抗污染能力良好, 性能稳定。现场实际应用表明, 该高密度油基钻井液流变性好, 破乳电压高, 高温高压滤失量低, 满足阳101H3-6井长水平段施工需求。阳101H3-6井水平段钻进过程中钻井液性能稳定, 井壁稳定, 井下安全, 顺利完钻。

关键词: 高密度油基钻井液; 页岩气水平井; 长水平段; 井壁稳定

中图分类号: TE254 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2021)07-0079-05

Application of high-density oil-based drilling fluid in the long horizontal section of Well Yang101H3-6

ZHANG Lixin¹, LIU Rui²

(1. West Branch, Huabei Oilfield Service Corporation, Sinopec, Luntai Xinjiang 841600, China;

2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: In view of the drilling technical difficulties of poor wellbore stability and high friction torque in the long horizontal section of Well Yang101H3-6, high-density oil-based drilling fluid was proposed as the solution. With incorporation of a new "I" type main emulsifier, the formulation of high density oil-based drilling fluid was determined at 2.2g/cm³ with the composition of 2% primary emulsifier+3% co-emulsifier+3% wetting agent+4% filtration reducer+1% organic soil+3% CaO, oil-water ratio 80:20(diesel oil:25% CaCl₂ aqueous solution). Evaluation on its performance showed that the system has strong inhibition, good anti-pollution ability, and stable performance; the field application showed that the high-density oil-based drilling fluid has good rheology, high demulsification voltage, low filtration at high temperature and high pressure, meeting the drilling needs for the long horizontal section of Well Yang101H3-6. During the drilling of the horizontal section of Well Yang101H3-6, the performance of the drilling fluid was stable, the borehole wall was stable, and the downhole was safe, leading to smooth completion of the well.

Key words: high-density oil-based drilling fluid; shale gas horizontal well; long horizontal section; well wall stability

0 引言

近年来,页岩气等非常规资源探勘开发逐步实现规模化。页岩遇水极易膨胀分散,从而造成井壁

失稳^[1-2],影响生产效率。油基钻井液润滑性好,抑制性能强,能够有效抑制页岩水化膨胀,保持井壁稳定^[3-6]。

收稿日期:2020-09-15; 修回日期:2021-03-09 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.07.012

作者简介:张立新,男,汉族,1966年生,高级工程师,石油工程专业,从事钻井液技术研究工作,河南省郑州市中原区伏牛路197号(450006), zhanglx.oshb@sinopec.com。

通信作者:刘瑞,男,汉族,1997年生,硕士在读,地质工程专业,研究方向为钻井液技术及堵漏工艺,北京市海淀区学院路29号, liuyurui2265@163.com。

引用格式:张立新,刘瑞. 高密度油基钻井液在阳101H3-6井长水平段的应用[J]. 钻探工程, 2021, 48(7): 79-83.

ZHANG Lixin, LIU Rui. Application of high-density oil-based drilling fluid in the long horizontal section of Well Yang101H3-6[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(7): 79-83.

我国川渝地区页岩气储量丰富,油基钻井液已成为该地区页岩气水平井的核心技术之一^[7-8]。但是,川渝地区页岩气储层深,地层压力系数大,井壁失稳问题严重^[9-10],水平段钻进过程中对油基钻井液性能要求严格。

阳101H3-6井是位于四川省泸州区块一口页岩气水平井,目的层位志留系龙马溪组,四开设计斜深3120~5517 m。该井水平段长,目的层位龙马溪组地层压力系数预测高达2.10,地层层理发育,井底温度较高,给井壁稳定和清洁,以及钻井液体系的稳定都带来了困难。采用了高密度油基钻井液技术,并引入了新型主乳化剂I型,井眼净化效果好,井壁稳定,无严重井下复杂情况,顺利完钻。

1 钻井技术难点及钻井液对策

1.1 井壁稳定问题

根据邻井阳101H3-8、阳202-H2等井况资料与相关地质资料显示,龙马溪组页岩脆性指数高,地层压力系数高,地层层理发育,水平段钻进过程中极易发生井壁失稳。

主要采取以下技术措施解决井壁稳定问题:

(1)选用高密度油基钻井液,平衡地层压力,保持井壁稳定;

(2)通过调整基础油与CaCl₂水溶液,维持稳定的油水比,减少页岩的水化膨胀,降低井壁失稳的风险;

(3)现场应储备足够量的封堵与防塌材料,可根据井下实际情况适当添加封堵剂与防塌剂,提高钻井液防塌封堵能力,减少井壁失稳;

(4)根据应用情况适当调整降滤失剂加量,使高温高压滤失量 ≤ 3 mL。

1.2 井眼净化问题

阳101H3-6井四开井段设计长度2397 m,井斜角大,水平段长,在重力作用下,长水平段钻进过程中极易形成岩屑床,井眼净化难度大。该井钻井液密度要求高,固相含量高,钻井液粘度易升高^[11],携岩能力受到影响,进一步加剧了岩屑床的沉淀堆积。岩屑床易引起摩阻扭矩的增大,造成井下复杂。因此,钻井液需具备合适的粘度与切力,且能够保持稳定,以保证良好的携岩能力。

为保证井眼净化效果,有效清理岩屑床,降低摩阻扭矩,避免井下复杂事故,主要采取以下维护

措施:

(1)引入新型乳化剂,施工中监测钻井液性能,维持合适的粘度与切力,保证油基钻井液能够有效携岩;

(2)钻进中钻具保持旋转或上下活动,分段循环钻井液,起钻前需循环井浆1~2个循环,起钻至直井段时需再次循环。

1.3 稳定性问题

高密度油基钻井液对温度变化更为敏感^[12],阳101H3-6井井底温度约150℃,钻井液循环过程中温度变化大,流变性与稳定性难以维护。为保证良好的流变性与稳定性,主要采取以下措施:

(1)引入新型乳化剂,提高钻井液的稳定性,根据破乳电压值调整基础油和乳化剂加量比例,调控CaCl₂水溶液浓度,使钻井液破乳电压值始终保持在400 V以上;

(2)加强钻井液固相含量控制,全程开启振动筛,除砂器、除泥器使用率达到85%,离心机使用率在20%~40%,离心机使用时加强密度监测,如遇到异常情况及时处理。

2 高密度油基钻井液配方优选

2.1 正交试验设计

乳化剂能够降低油水界面张力,形成牢固的吸附膜,从而使油基钻井液保持稳定的油包水乳化状态^[13-14];滤液渗入地层易引起泥页岩膨胀掉块,造成井壁失稳,钻井液中必须加入合适的降滤失剂,控制滤失量^[15]。新型主乳化剂I型以有机酸、有机胺与二元酸酐为主要原料经过缩聚反应合成,其分子结构中含有多个强亲水的酰胺基,同时在其末端含有羧基,能够有效降低油水界面张力,具有较高的乳化率,同时具备优异的抗温抗盐性能。通过引入主乳化剂I型,以主乳化剂、辅乳化剂、降滤失剂、润湿剂为优化因子,设计了四因素三水平正交试验,各因素与水平见表1。其余实验条件为:油水比80:20(柴油:25%CaCl₂水溶液),1%有机土,3%CaO,重晶石加重至密度2.2 g/cm³。

2.2 配方确定

按照四因素三水平正交试验规则,配置9组油基钻井液,150℃老化16 h后,测取钻井液流变性、破乳电压与高温高压滤失量,结果如表2所示。

按照正交试验数据处理规则,结合现场施工实

表 1 正交试验因素与水平				
Table 1 Factors and levels of orthogonal test				
水 平	因 素			
	A	B	C	D
	主乳化剂/ %	辅乳化剂/ %	润湿剂/ %	降滤失剂/ %
1	2	2.4	2	3
2	2.5	3	2.5	4
3	3	3.6	3	5

表 2 钻井液正交试验结果					
Table 2 Orthogonal test results of the drilling fluid					
序号	AV/ (mPa·s)	PV/ (mPa·s)	YP/ Pa	Es/ V	FL _{HTHP} / mL
1	48.5	45	3.5	889	4.2
2	46.0	44	2.0	911	6.6
3	54.0	50	4.0	929	3.4
4	53.5	50	3.5	912	13.5
5	48.0	45	4.0	962	2.0
6	49.5	46	3.5	844	3.8
7	49.5	47	2.5	820	13.0
8	47.5	45	2.5	809	13.0
9	42.5	35	7.5	853	10.5

际需求,确定最终高密度油基钻井液配方为:2%主乳化剂+3%辅乳化剂+3%润湿剂+4%降滤失剂+1%有机土+3%CaO,油水比 80:20(柴油:25%CaCl₂水溶液),现场使用时可根据实际情况对各处理剂加量进行适当调整。

3 高密度油基钻井液性能评价

3.1 基本性能

优选的高密度油基钻井液基本性能如表 3 所示,150 ℃老化 16 h 后,钻井液性能变化不大,高密度条件下重晶石无沉淀现象,流变性良好,破乳电压值高,乳化效果好,高温高压滤失量为 2.0 mL,性能满足需求。

表 3 钻井液基本性能					
Table 3 Basic performance of the drilling fluid system					
试验 条件	AV/ (mPa·s)	PV/ (mPa·s)	YP/ Pa	Es/ V	FL _{HTHP} / mL
老化前	56	42	4	924	
老化后	52	49	3	876	2.0

3.2 抑制性评价

通过岩屑滚动回收和线性膨胀的方法评价高密度油基钻井液的抑制性。

岩屑滚动回收实验方法:取粒径 6~10 目的层位岩屑 50 g,倒入装有清水与油基钻井液的老化罐中,150 ℃老化 16 h 后,过 40 目筛,充分清洗烘干后称取剩余岩屑质量,计算滚动回收率。

线性膨胀采用 HTP-2A 型高温高压页岩膨胀仪进行实验,实验方法为:取烘干后页岩 10 g 置于岩心套管模具内,然后置于压力机上 14 MPa 压置 5 min 以上,利用页岩膨胀仪测取在油基钻井液与清水环境下 16 h 的膨胀率。

实验结果:清水岩屑剩余 12.26 g,滚动回收率 24.52%;油基钻井液岩屑剩余 47.42 g,滚动回收率达 94.84%。线性膨胀实验结果显示,高密度油基钻井液对阳 101H3-6 井目的层岩屑的膨胀率为 0.64%,而清水膨胀率高达 36.6%。

综合上述实验,说明高密度油基钻井液抑制性强,能够抑制页岩的分散,有利于保持井壁的稳定,减少复杂情况。

3.3 抗污染性评价

阳 101H3-6 井主要污染源来自岩屑,主要评价了高密度油基钻井液抗岩屑污染性能。在钻井液中加入不同比例 10~20 目的层位岩屑,150 ℃老化 16 h 后,测取钻井液基本性能,结果如表 4 所示。由表 4 可见,岩屑对钻井液性能影响较小,各项指标在合理范围内,性能满足施工需求。

表 4 岩屑污染实验结果					
Table 4 Experimental results of cuttings pollution					
岩屑加 量/%	AV/ (mPa·s)	PV/ (mPa·s)	YP/ Pa	Es/ V	FL _{HTHP} / mL
0	52	49	3	876	2.0
3	59	54	5	826	2.6
6	66	56	10	814	3.2
9	72	60	12	742	4.0

3.4 小结

综上所述,高密度油基钻井液抑制性能良好,有利于井壁稳定,减少事故发生;抗岩屑污染能力较强,能够保持性能稳定。高密度油基钻井液能够满足阳 101H3-6 井长水平段需求,可用于实际施工。

4 现场应用

阳101H3-6井实际完钻井深6050 m, A靶点井深3920 m, 水平段长2130 m, 水平位移2615 m。该井2020年5月28日完成油基钻井液转换, 2020年7月21日顺利完钻, 钻进过程安全, 无井下复杂事故。水平段钻进过程中, 高密度油基钻井液性能稳定, 破乳电压值保持在400 V以上; 抑制性与封堵性强, 井

壁稳定; 粘度、切力保持在合适范围内, 携岩能力强, 井眼净化效果好, 钻进过程中摩阻扭矩低。施工过程中, 采用“旋转导向+螺杆”的钻具组合进行滑动钻进, 配合高密度油基钻井液技术, 保证了阳101H3-6井水平段的顺利钻进, 大幅度地提高了钻进效率。高密度油基钻井液性能如表5所示。

表5 阳101H3-6井高密度油基钻井液性能

Table 5 Properties of the high density oil based drilling fluid for Well Yang101h3-6

井深/m	密度/(g·cm ⁻³)	PV/(mPa·s)	YP/Pa	Gel/Pa	Es/V	FL _{HHP} /mL
3327	2.15	40	7.5	2/7.5	1045	1.6
3657	2.17	45	8.5	1.5/7	1071	1.8
3867	2.18	47	5.5	1/4	950	2.2
4027	2.18	45	5.0	1/5	1055	2.0
4350	2.18	44	3.5	1/7	1103	2.0
4545	2.17	39	10.0	1/9.5	1159	2.2
4818	2.18	44	2.5	1/7.5	770	2.4
5095	2.18	52	3.0	1/5	685	2.0
5314	2.18	64	3.5	0.5/5.5	723	1.8
5601	2.18	63	5.5	1/6	723	1.8
5831	2.17	55	6.0	2/10	1237	2.6
6050	2.16	53	8.0	2/11.5	1194	2.4

5 结论

(1) 结合邻井井况资料与相关地质资料, 分析了阳101H3-6井长水平段钻进技术难点, 提出了高密度油基钻井液技术对策。

(2) 引入了新型主乳化剂, 通过正交试验设计与结果分析, 优选出了适用于阳101H3-6井长水平段的高密度油基钻井液, 配方为: 2% 主乳化剂+3% 辅乳化剂+3% 润湿剂+4% 降滤失剂+1% 有机土+3% CaO, 油水比80:20(柴油:25%CaCl₂水溶液)。

(3) 评价试验表明, 该钻井液具备良好的流变性, 性能稳定, 抑制性能良好, 抗污染能力强。

(4) 现场应用证明, 该高密度油基钻井液性能稳定, 破乳电压高, 流变性良好, 粘度、切力合适, 抑制性强。阳101H3-6井超长水平段钻进过程中, 井眼净化效果好, 井壁稳定, 无严重井下复杂情况, 顺利完钻, 结合现场日常维护措施与工程措施, 高密度油

基钻井液使用中性能稳定, 大幅提高了钻进效率, 可在类似页岩气水平井水平段推广应用。

参考文献(References):

- [1] 崔思华, 班凡生, 袁光杰. 页岩气钻完井技术现状及难点分析[J]. 天然气工业, 2011, 31(4): 72-75.
CUI Sihua, BAN Fansheng, YUAN Guangjie. Status quo and challenges of global shale gas drilling and completion[J]. Natural Gas Industry, 2011, 31(4): 72-75.
- [2] 张定宇, 邓金根, 李大华, 等. 页岩储层水敏性及井壁失稳规律分析[J]. 科学技术与工程, 2013, 13(34): 10268-10271.
ZHANG Dingyu, DENG Jingen, LI Dahua, et al. The law of wellbore instability in non-water sensitive gas shales[J]. Science Technology and Engineering, 2013, 13(34): 10268-10271.
- [3] 王中华. 国内外油基钻井液研究与应用进展[J]. 断块油气田, 2011, 18(4): 533-537.
WANG Zhonghua. Research and application progress of oil-based drilling fluid at home and abroad[J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2011, 18(4): 533-537.
- [4] 王中华. 页岩气水平井钻井液技术的难点及选用原则[J]. 中外能源, 2012, 17(4): 43-47.

- WANG Zhonghua. Difficulty and applicable principle of the drilling fluid technology of horizontal wells for shale gas [J]. Sion-Globa Engecy, 2012, 17(4):43-47.
- [5] 王中华. 国内外超高温高密度钻井液技术现状与发展趋势[J]. 石油钻探技术, 2011, 39(2):1-7.
- WANG Zhonghua. Status and development trend of ultra-high temperature and high density drilling fluid at home and abroad [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(2):1-7.
- [6] 王中华. 国内钻井液技术进展评述[J]. 石油钻探技术, 2019, 47(3):95-102.
- WANG Zhonghua. Review of progress on drilling fluid technology in China [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2019, 47(3):95-102.
- [7] 王建华, 张家旗, 谢盛, 等. 页岩气油基钻井液体系性能评估及对策[J]. 钻井液与完井液, 2019, 36(5):555-559.
- WANG Jianhua, ZHANG Jiaqi, XIE Sheng, et al. Evaluation and improvement of the performance of oil base drilling fluids for shale gas drilling [J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2019, 36(5):555-559.
- [8] 李茂森, 刘政, 胡嘉. 高密度油基钻井液在长宁——威远区块页岩气水平井中的应用[J]. 天然气勘探与开发, 2017, 40(1):88-92.
- LI Maosen, LIU Zheng, HU Jia. Application of high density oil-based drilling fluid in shale gas horizontal wells of Changning-Weiyuan Block [J]. Natural Gas Exploration and Development, 2017, 40(1):88-92.
- [9] 陈海力, 王琳, 周峰, 等. 四川盆地威远地区页岩气水平井优快钻井技术[J]. 天然气工业, 2014, 34(12):100-105.
- CHEN Haili, WANG Lin, ZHOU Feng, et al. Rapid and efficient drilling of horizontal wells in the Weiyuan Shale Gas Field, Sichuan Basin [J]. Natural Gas Industry, 2014, 34(12):100-105.
- [10] 刘政, 李茂森, 何涛. 抗高温强封堵油基钻井液在足201-H1井的应用[J]. 钻采工艺, 2019, 42(6):122-125.
- LIU Zheng, LI Maosen, HE Tao. Application of high temperature high-plugging OBM in Well Zu 201-H1 [J]. Drilling & Production Technology, 2019, 42(6):122-125.
- [11] 张建阔, 王旭东, 郭保雨, 等. 油基钻井液用固体乳化剂的研制与评价[J]. 石油钻探技术, 2016, 44(4):58-64.
- ZHANG Jiankuo, WANG Xudong, GUO Baoyu, et al. Development and evaluation of a solid emulsifier for oil based drilling fluid [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2016, 44(4):58-64.
- [12] 潘谊尧, 于培志, 杨磊. 高密度油基钻井液在威204H37-5井的应用[J]. 云南化工, 2019, 46(5):161-164.
- PAN Yidang, YU Peizhi, YANG Lei. Application of high-density oil-based drilling fluid in Wei 204H37-5 well [J]. Yunnan Chemical Technology, 2019, 46(5):161-164.
- [13] 唐国旺, 宫伟超, 于培志. 强封堵油基钻井液体系的研究和应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2017, 44(11):21-25.
- TANG Guowang, GONG Weichao, YU Peizhi. Research and application of strong plugging oil-based drilling fluid system [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(11):21-25.
- [14] 董悦, 盖姗姗, 李天太, 等. 固相含量和密度对高密度钻井液流变性影响的实验研究[J]. 石油钻采工艺, 2008, 30(4):36-40.
- DONG Yue, GAI Shanshan, LI Tiantai, et al. Experimental study on the effect of solid content and density of high density drilling fluid on its rheological properties [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2008, 30(4):36-40.
- [15] 何涛, 李茂森, 杨兰平, 等. 油基钻井液在威远地区页岩气水平井中的应用[J]. 钻井液与完井液, 2012, 29(3):1-5.
- HE Tao, LI Maosen, YANG Lanping, et al. Application of oil-based drilling fluid in shale gas horizontal well in district of Weiyuan [J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2012, 29(3):1-5.

(编辑 李艺)