

◀ 钻井完井 ▶

doi:10.11911/syztjs.2021078

引用格式: 赵波, 陈二丁. 胜利油田页岩油水平井樊页平 1 井钻井技术 [J]. 石油钻探技术, 2021, 49(4): 53-58.

ZHAO Bo, CHEN Erding. Drilling technologies for horizontal shale oil well Fan Yeping 1 in the Shengli Oilfield [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2021, 49(4): 53-58.

胜利油田页岩油水平井樊页平 1 井钻井技术

赵 波¹, 陈二丁²

(1. 中石化胜利石油工程有限公司黄河钻井总公司, 山东东营 257513; 2. 中石化胜利石油工程有限公司钻井液技术服务中心, 山东东营 257078)

摘 要: 东营凹陷页岩油资源丰富, 但油气地质条件复杂, 钻井过程中常发生坍塌掉块、油气侵等井下复杂情况, 为了勘查东营凹陷博兴洼陷北部沙四纯上亚段页岩含油气情况, 部署了页岩油水平井樊页平 1 井。根据勘查目的, 首先对该井进行了工程设计; 然后结合樊页平 1 井钻遇地层的岩性, 分析了钻井技术难点; 针对钻井技术难点, 研究形成了井眼轨道优化技术、合成基钻井液技术, 制定了安全钻进技术措施。樊页平 1 井应用研究的各项技术和采取相应的技术措施, 顺利完成了钻井施工, 钻进过程中未出现井下复杂情况, 井径扩大率小, 取得了很好的实钻效果。樊页平 1 井顺利完钻, 为胜利油田的页岩油钻井积累了经验。

关键词: 页岩油; 水平井; 钻井; 合成基钻井液; 樊页平 1 井; 胜利油田

中图分类号: TE243⁺.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-0890(2021)04-0053-06

Drilling Technologies for Horizontal Shale Oil Well Fan Yeping 1 in the Shengli Oilfield

ZHAO Bo¹, CHEN Erding²

(1. Yellow River Drilling Company, Sinopec Shengli Oilfield Service Corporation, Dongying, Shandong, 257513, China; 2. Drilling Fluid Technology Service Center, Sinopec Shengli Oilfield Service Corporation, Dongying, Shandong, 257078, China)

Abstract: The Dongying Sag possesses rich shale oil but due to its complex geological conditions of the oil and gas reservoir, downhole problems such as collapse, spalling, and oil and gas invasion are frequently encountered during drilling. A horizontal shale oil well, Well Fan Yeping 1, was deployed to explore the oil-bearing situation of shale formation at the upper Chun submember of the fourth member of the Shahejie Formation in the northern part of the Boxing Subsag of the Dongying Sag. In accordance to the exploration objectives, engineering design was made on the well. Then, with the lithology of the formation encountered during the drilling of Well Fan Yeping 1, the difficulties in drilling technologies were analyzed. On this basis, optimization technology for wellbore trajectory, the technology for synthetic base drilling fluid, and safe drilling technology were developed. With these technologies, the construction of Well Fan Yeping 1 was completed. Good results were achieved, with no downhole problems and a small hole diameter enlargement rate. The successful application of the drilling technologies to Well Fan Yeping 1 have accumulated experience for the drilling of shale oil in the Shengli Oilfield.

Key words: shale oil; horizontal well; drilling; synthetic base drilling fluid; Well Fan Yeping 1; Shengli Oilfield

胜利油田的页岩油大多位于渤海湾盆地济阳拗陷沙河街组。其中, 博兴洼陷是济阳拗陷东营凹陷内次一级构造单元, 该洼陷内新近系—古近系地层沉积比较完整^[1-3]。分析该洼陷已钻井情况发现, 沙三段、沙四段暗色泥岩发育, 为成熟的烃源岩, 特别沙三段的生油岩有机质含量高, 转化程度高, 油源丰富^[4-5]。采用 $\phi 4.0$ mm 油嘴对前期完钻樊 119 井的沙四上纯上亚段试油, 日产油 15.9 t, 显示出夹层型

页岩油良好的勘探潜力。

为了进一步研究博兴洼陷页岩油储量、评价开发方式的有效性, 胜利油田在博兴洼陷北部部署了页岩油重点预探井——樊页平 1 井。根据樊页平 1 井的勘探目的, 结合该井钻遇地层的岩性, 分析了钻井技术难点, 研究形成了井眼轨道优化技术、合成基钻井液技术, 制定了安全钻进技术措施。应用这些技术和采取相应的技术措施, 顺利完成了该井的钻井施工, 钻井过

收稿日期: 2021-03-05; 改回日期: 2021-06-22。

作者简介: 赵波 (1980—), 男, 黑龙江青冈人, 2001 年毕业于大庆石油学院石油工程专业, 2017 年获长春理工大学工业工程专业工程硕士学位, 高级工程师, 主要从事钻井工程管理和研究工作。E-mail: zhaobo.oss@sinopet.com。

程中未发生井下故障,井径扩大率小,取得了很好的实钻效果,为胜利油田的页岩油钻井积累了经验。

1 工程设计

樊页平1井设计井深5 386.70 m,目的层与前期完钻的樊119井相同,均为沙四上。根据钻遇地层的特点、压力预测结果,并参考相邻构造已钻井的井身结构,依据有利于安全、优质、高效钻井和油气层保护的原则,将该井设计为三开井身结构(见图1)。

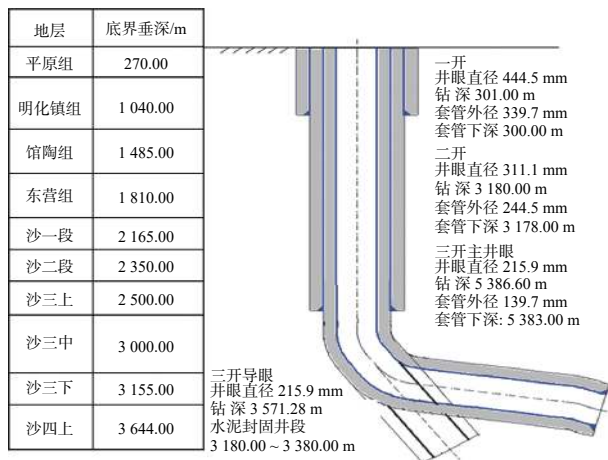


图1 樊页平1井的设计井身结构

Fig.1 The casing program design of Well Fan Yeping 1

表1 樊页平1井三开主井眼轨道参数

Table 1 Parameters for the main wellbore trajectory at the third spud of Well Fan Yeping 1

井深/m	井斜角/°	方位角/°	闭合方位角/°	垂深/m	闭合距/m	造斜率/((°)/(30m) ⁻¹)	方位变化率/((°)/(30m) ⁻¹)	狗腿度/((°)/(30m) ⁻¹)	工具面角/°	靶点
3 230.00	40.24	21.62	21.62	3 099.23	388.66	0	0	0	0	
3 262.20	43.94	26.25	21.74	3 123.12	410.21	3.53	4.04	4.50	38.28	
3 344.03	43.94	26.25	22.29	3 182.05	466.84	0	0	0	0	
3 464.03	58.24	24.03	22.75	3 257.23	559.87	3.58	-0.46	3.60	353.81	
3 584.03	72.56	22.42	22.82	3 307.05	668.69	3.58	-0.36	3.60	354.49	
3 660.04	81.64	21.54	22.73	3 324.00	742.69	3.58	-0.34	3.60	354.68	A
3 960.04	81.64	21.54	22.39	3 367.59	1 039.46	0	0	0	0	
4 560.04	81.64	21.54	22.08	3 454.78	1 633.05	0	0	0	0	
4 692.33	81.64	21.54	22.04	3 474.00	1 763.94	0	0	0	0	K
4 742.69	75.61	21.81	22.03	3 483.93	1 813.28	-3.60	0.16	3.60	177.46	
5 042.69	75.61	21.81	22.00	3 558.49	2 103.86	0	0	0	0	
5 386.70	75.61	21.81	21.98	3 644.00	2 437.08	0	0	0	0	B

2)该井水平段长,易形成岩屑床,要求钻井液具有良好的防塌、携岩和润滑等性能。同时,该井水平段长

设计井眼轨道时,充分考虑了导眼段和水平段施工的难点及完井管柱下入要求:一方面,考虑地层岩性特点,保证井眼稳定,防止地层坍塌掉块;另一方面,考虑导眼段打水泥塞的固井质量,导眼完钻并扫塞结束后,在套管内替换成基钻井液进行主井眼作业^[6]。樊页平1井井眼轨道设计为“侧—增—稳—增—平—降—平”七段制剖面,井底垂深3 644.00 m,井底闭合距2 437.08 m,井底闭合方位角21.98°,造斜点位于井深3 230.00 m,最大井斜角81.64°。樊页平1井三开主井眼轨道参数见表1。

2 钻井技术难点

1)地层岩性复杂、井壁坍塌风险大。分析前期邻井钻井资料认为,页岩油储层地质构造复杂,页岩层理、微裂隙较发育,钻井时使用水基钻井液易发生剥蚀、掉块等问题^[7-9]。樊页平1井钻遇博兴洼陷沙三下、沙四上地层,岩石矿物成分包括脆性矿物和黏土矿物,其中脆性矿物(灰质、长石石英质)含量约占70%;黏土矿物以伊利石和伊/蒙混层为主,含量约占20%~30%,属于低膨胀性硬脆性矿物。岩石的非均质性和黏土矿物的水化膨胀压力易改变地应力的分布,导致井壁失稳坍塌,造成井下出现复杂情况^[10]。

度超过1 700.00 m,滑动钻进钻压传递困难、钻进时效低,且井眼轨迹调整频繁,井眼轨迹控制难度大^[11]。

3)井底温度高,对钻井仪器、设备和钻井液的耐温性能要求高。参考邻井地温梯度 3.8 ℃/100m,按井口温度 15 ℃ 计算,预计井底温度大约为 154 ℃,要求旋转导向工具和螺杆钻具具有良好的抗温性能,否则极易损坏,造成不必要的起下钻,增加钻井非生产时间。同时,要求合成基钻井液能够抗高温,具有良好的流变性和电稳定性^[12-13]。

4)前期钻井中出现油气侵,存在井控风险。樊 119 井在沙四上纯上亚段出现了油气侵,高峰期油花达到 5%,呈斑块状分布,气泡 40%,并发生了井涌,涌出量为 10.0 m³。将钻井液密度由 1.25 kg/L 提高至 1.59 kg/L,井涌得到控制;樊 291 井在沙三段中见水侵,钻井液密度由 1.23 kg/L 提高至 1.25 kg/L 后,出口液量基本保持稳定,水侵现象消失。

3 钻井关键技术

为了提高樊页平 1 井长水平段的井眼轨迹控制精度,保证易塌井段钻井安全,必须将井斜角、方位角和全角变化率的变化控制在能保证套管安全、井口安全、套管顺利下入和保证套管密封能力的范围内。钻井过程中采用了旋转导向工具,以降低水平段摩阻,提高机械钻速,减少井下复杂情况。针对沙三下、沙四上地层硬脆性矿物含量高,易发生剥蚀、掉块等问题,采用强抑制合成基钻井液,合理选择钻井液密度,提高钻井液的封堵能力。钻井中还针对油气侵问题,根据油层保护需要,制定了相应的技术措施。

3.1 井眼轨道优化技术

参考东营凹陷已钻井的井身结构,以有利于安全、优质、高效钻井和油气层保护为原则,优化井眼

轨道。目的层靶框为夹层型箱体,中间为厚约 2.00 m 的灰质泥岩,上下两边为纯泥岩,地层倾角变化大,井眼轨迹调整比较频繁。为此,樊页平 1 井使用 1.50°偏心稳定器动力钻具,以保证造斜率达到实际需求;三开主井眼 3 327.00~4 616.00 m 井段采用 φ215.9 mmPDC 钻头+AutoTrak Curve 旋转导向工具+φ210.0 mm 无磁稳定器+φ127.0 mm 无磁承压钻杆+止回阀+震击器+φ127.0 mm 加重钻杆+φ127.0 mm 钻杆+转换接头+φ139.7 mm 钻杆的钻具组合,以实现连续旋转钻进,保障机械钻速。

同时,针对邻井樊 167 井在沙四上纯上亚段槽面(井深 3 247.04 m)出现油气侵导致仪器出现杂波、伽马出现错误值,钻井过程中有地层气体返出、全烃值高达 100% 等问题,采取降排量循环排气措施,将全烃值降至 10% 以下后再正常钻进,以保证仪器正常运行。

3.2 合成基钻井液技术

为保证樊页平 1 井页岩层中井眼的稳定,确定了以下钻井液对策:1)提高合成基钻井液的抑制性,以降低黏土矿物的水化分散作用,解决剥蚀、掉块等问题;2)合理选择钻井液密度,使其既能对井壁形成足够的支撑力,又能避免液柱压力过高导致裂缝扩张而发生井漏;3)加入微纳米封堵剂、可变性封堵剂等封堵材料,提高钻井液的封堵能力,防止微裂缝、层理扩张,封堵微细裂缝;4)提高钻井液的抗温能力,使其能抗 150 ℃ 以上高温;5)保证钻井液的润滑性,以降低水平段钻进中的摩阻、扭矩^[12-13]。

基于上述设计,分别配制了密度为 1.20, 1.50 和 1.80 kg/L 的合成基钻井液,测试其在 150 ℃ 温度下老化 16 h 前后的基本性能,结果见表 2。

表 2 不同密度合成基钻井液的基本性能
Table 2 Basic properties of synthetic base drilling fluids with different densities

密度/ (kg·L ⁻¹)	测试时间	破乳电压/V	塑性黏度/ (mPa·s)	动切力/ Pa	静切力/Pa		动塑比	API滤失量/ mL	高温高压滤失量/ mL
					初切	终切			
1.20	老化前	950	23	8	3.0	5.0	0.35	1.5	5.0
	老化后	1 140	28	8	4.0	8.5	0.29	1.0	4.6
1.50	老化前	1 080	30	10	3.0	5.0	0.34	0.6	4.5
	老化后	1 230	31	12	4.5	10.5	0.39	0	3.8
1.80	老化前	1 160	35	11	5.0	9.0	0.32	1.2	4.2
	老化后	1 600	37	14	6.0	14.0	0.39	0.4	4.0

注:油水比为80:20。

从表2可以看出,不同密度合成基钻井液的流变性均较好,破乳电压大于800 V,抗温达150 ℃,说明该钻井液具有良好的电稳定性、剪切稀释性和抗温能力,能满足钻井需求。

通过测试页岩岩屑滚动回收率和页岩8 h线性膨胀高度,评价合成基钻井液的抑制性能^[14],结果见表3。

从表3可以看出,页岩在合成基钻井液中的8 h线性膨胀高度和岩屑在其中的一次和二次回收率与在油基钻井液中的相近,说明合成基钻井液具有优异的抑制页岩膨胀分散的能力。

采用渗透率降低率表征滤液侵入地层的效果,

表3 岩屑回收率和页岩8 h线性膨胀高度测试结果

Table 3 Test results of cuttings recovery and 8 h linear expansion height of shale

测试流体	一次回收率, %	二次回收率, %	8 h线性膨胀高度/ mm
清水	34.5	17.2	8.2
油基钻井液	96.7	95.0	1.1
合成基钻井液	97.8	95.4	1.0

注:合成基钻井液密度1.5 kg/L,油水比80:20。

渗透率降低率越高,滤液越不容易侵入地层。为此,测试并计算了合成基钻井液加入封堵剂前后的滤饼渗透率和渗透率降低率,结果见表4。

表4 合成基钻井液封堵性能评价结果

Table 4 Evaluation of the plugging performance of synthetic base drilling fluid

钻井液	高温高压滤失量/mL	滤饼厚度/mm	滤饼渗透率/(μD)	渗透率降低率, %
合成基钻井液	7.2	2.0	3.255 7	
合成基钻井液+3.0%微纳米封堵剂+2.0%可变性封堵剂	3.8	0.5	0.571 2	82.48

注:合成基钻井液密度1.5 kg/L,油水比80:20。

由表4可知,合成基钻井液加入微纳米封堵剂、可变形堵剂后,可以有效封堵地层微裂缝,合成基钻井液的高温高压滤失量降低,滤饼渗透率降低82.48%,钻井液滤液侵入地层的量降低,阻缓了压力传递,降低了井壁坍塌风险。

3.3 安全钻进技术措施

针对东营凹陷钻井过程中的油气水侵问题,制定了以下技术措施:1)技术套管固井至完井阶段均安装带剪切功能的全封闸板;2)钻开油气层前,储备足够的加重合成基钻井液,以平衡油气层压力;3)控制起钻速度,防止抽汲诱喷,向井筒内注入钻井液,及时校核注入量,直至注满,同时避免在空井条件下检修设备^[15];4)钻开油气层时,应提前向钻井液中加入足量除硫剂,并保证pH值不小于9.5。

4 实钻效果

樊页平1井应用井眼轨道优化技术后,井底循环温度以3.85 ℃/100m的幅度升高,井底实测最高温度151 ℃,ATC旋转导向仪器工作正常。该井三开主井眼3 239.19~5 364.00 m井段最大井斜角87.08°,位于井深3 753.16 m处;平均机械钻速5.85 m/h,ATC旋转导向一趟钻进尺1 283.00 m。三开主井眼轨道优化结果见表5,实钻中靶情况如图2所示。

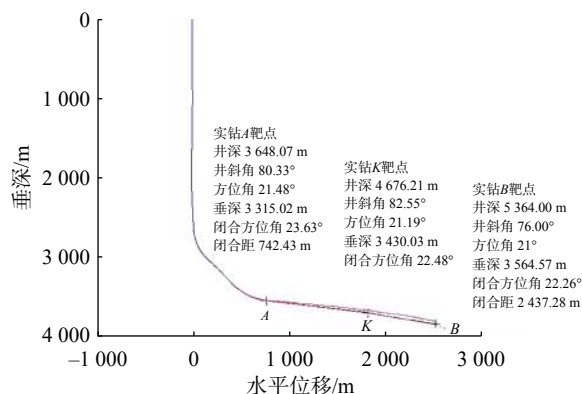


图2 樊页平1井井眼垂直投影

Fig. 2 Vertical projection of the wellbore of Well Fan Yeping 1

樊页平1井三开主井眼使用合成基钻井液钻进,三开主井眼不同井深处合成基钻井液的基本性能见表6。从表6可以看出,合成基钻井液密度在1.45~1.66 kg/L,破乳电压大于600 V,高温高压滤失量低于5 mL(最低为1.6 mL),很好地满足了樊页平1页岩油储层对钻井液性能的需求。

除此之外,针对油气水侵问题制定的安全钻进技术措施也起到了预期效果,樊页平1井钻井过程中未发生井下故障。

樊页平1井完钻井深5 364.00 m,垂深3 564.57 m,水平位移2 437.28 m,水平段长1 716.00 m。其中,

表 5 樊页平 1 井三开主井眼的井眼轨道优化结果

Table 5 Optimized wellbore trajectory at the third spud of the main wellbore of Well Fan Yeping 1

序号	测深/m	井斜角/(°)	方位角/(°)	垂深/m	闭合距/m	闭合方位角/(°)	狗腿度/((°)/(30m) ⁻¹)	段长/m
1	3 238.19	37.17	19.71	3 114.43	362.13	23.73	1.04	8.36
2	3 359.00	51.71	26.41	3 196.98	483.09	23.97	0.15	9.98
3	3 492.97	66.19	22.65	3 270.67	594.38	24.09	4.96	11.88
4	3 695.35	83.11	21.20	3 322.24	789.11	23.49	2.70	28.54
5	3 753.16	87.08	21.89	3 326.77	846.70	23.35	1.27	28.86
6	3 897.40	84.08	22.04	3 338.13	990.43	23.14	0.24	28.59
7	3 912.02	84.12	21.91	3 339.64	1 004.97	23.13	0.28	14.62
8	4 000.77	82.50	21.14	3 350.96	1 092.95	22.99	0.50	16.61
9	4 129.70	82.91	22.07	3 366.99	1 220.82	22.79	0.61	28.64
10	4 302.63	84.79	22.17	3 382.96	1 392.95	22.64	0.76	28.94
11	4 446.95	82.50	22.95	3 401.27	1 536.08	22.59	0.46	29.48
12	4 664.91	83.16	20.93	3 428.63	1 752.26	22.49	0.25	9.72
13	5 196.56	75.38	21.50	3 524.09	2 274.83	22.32	1.12	9.53
14	5 215.72	75.82	21.50	3 528.84	2 293.39	22.32	0.45	9.53
15	5 302.13	75.47	21.62	3 549.14	2 377.37	22.29	3.78	9.62
16	5 359.73	75.80	21.00	3 563.53	2 433.13	22.26	0.87	9.63
17	5 364.00	76.00	21.00	3 564.57	2 437.28	22.26	1.41	4.27

表 6 樊页平 1 井三开井段合成基钻井液的性能

Table 6 Performance of synthetic base drilling fluid at the third spud of Well Fan Yeping 1

井深/m	密度/ (kg·L ⁻¹)	漏斗黏度/s	塑性黏度/ (mPa·s)	动切力/ Pa	静切力/Pa		高温高压 滤失量/mL	破乳电压/V
					初切	终切		
3 229.00	1.45	56	28	8.0	3.0	7.0	4.6	642
3 536.00	1.53	54	32	8.0	4.0	8.0	4.0	687
4 614.00	1.61	48	33	9.0	4.0	6.5	3.8	1 194
4 690.00	1.65	57	47	7.5	4.5	7.0	3.4	752
4 912.00	1.66	57	42	9.0	5.0	8.0	1.6	835
4 982.00	1.69	58	42	11.0	5.5	8.5	1.6	851
5 074.00	1.67	57	38	10.5	5.5	8.0	1.8	948
5 364.00	1.66	52	36	9.0	8.0	5.0	1.8	1 180

整个三开钻进过程中未发生压差卡钻,平均井径扩大率仅 2.19%,套管下入顺利。樊页平 1 井首次实现了济阳坳陷页岩油水平井千米一趟钻,且创造了胜利油田页岩油勘探开发水平段最长、单趟旋转导向钻进进尺最长 2 项纪录。合成基钻井液保护油气层效果明显,起下钻后效显示全烃值 100%。

樊页平 1 井完钻后已累计产油超过千吨,显示了良好的开发前景。

5 结论与建议

1)樊页平 1 井钻遇储层,特别是古近系沙三

下、沙四上地层岩性复杂、井壁坍塌风险大。同时,该井水平段长,易形成岩屑床,要求钻井液具有较强的抑制防塌、携岩和润滑性能;井底温度高,对钻井仪器、设备和钻井液的耐温性能要求高;沙四段上纯上亚段还可能出现油气侵现象。

2) 樊页平 1 井顺利完钻,充分验证了井眼轨道优化技术、合成基钻井液技术、安全钻进技术在博兴洼陷页岩油钻井的可行性,有效解决了页岩地层坍塌问题和油气侵问题,提高了机械钻速,为页岩油水平井钻井积累了宝贵经验。

3) 樊页平 1 井三开下部地层硬质夹层可钻性差,钻头吃入困难、磨损快,破岩效率低,建议优化钻头设计和选型,以进一步提速提效。另外,合成基钻井液在井壁形成的滤饼具有亲油性,造成第二界面水泥石胶结强度有较大幅度降低,应进一步研究解决三开井段固井质量不高的问题。

参 考 文 献

References

- [1] 林永学,王显光.中国石化页岩气油基钻井液技术进展与思考[J].石油钻探技术,2014,42(4):7-13.
LIN Yongxue, WANG Xianguang. Development and reflection of oil-based drilling fluid technology for shale gas of Sinopec[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2014, 42(4): 7-13.
- [2] 姜在兴,张文昭,梁超,等.页岩油储层基本特征及评价要素[J].石油学报,2014,35(1):184-196.
JIANG Zaixing, ZHANG Wenzhao, LIANG Chao, et al. Characteristics and evaluation elements of shale oil reservoir[J]. Acta Petrolei Sinica, 2014, 35(1): 184-196.
- [3] 孙焕泉,蔡勋育,周德华,等.中国石化页岩油勘探实践与展望[J].中国石油勘探,2019,24(5):569-575.
SUN Huanquan, CAI Xunyu, ZHOU Dehua, et al. Practice and prospect of Sinopec shale oil exploration[J]. China Petroleum Exploration, 2019, 24(5): 569-575.
- [4] 王敏生,光新军,耿黎东.页岩油高效开发钻井完井关键技术与发展方向[J].石油钻探技术,2019,47(5):1-10.
WANG Minsheng, GUANG Xinjun, GENG Lidong. Key drilling/completion technologies and development trends in the efficient development of shale oil[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2019, 47(5): 1-10.
- [5] 刘毅.渤海湾盆地济阳坳陷沙河街组页岩油储层特征研究[D].成都:成都理工大学,2018:1-10.
LIU Yi. Study on shale oil reservoir characteristics of Shahejie Formation in Jiyang Depression, Bohai Bay Basin[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2018: 1-10.
- [6] 全继昌,秦雪峰,张娜,等.河南油田陆相页岩油水平井钻井配套技术[J].内蒙古石油化工,2012,38(24):109-111.
TONG Jichang, QIN Xuefeng, ZHANG Na, et al. Matching technology of horizontal well drilling in continental shale of Henan Oilfield[J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2012, 38(24): 109-111.
- [7] 刘振东,刘国亮,高杨,等.页岩油藏油基钻井液技术[J].天然气与石油,2014,32(5):64-67.
LIU Zhendong, LIU Guoliang, GAO Yang, et al. Technology of oil-based drilling fluid in shale oil reservoir[J]. Natural Gas and Oil, 2014, 32(5): 64-67.
- [8] 王良,唐贵,韩慧芬,等.国内页岩储层钻井液技术研究进展[J].钻采工艺,2017,40(5):22-25.
WANG Liang, TANG Gui, HAN Huifen, et al. Domestic research on drilling fluid technology for shale reservoir[J]. Drilling & Production Technology, 2017, 40(5): 22-25.
- [9] 万绪新.渤南区块页岩油地层油基钻井液技术[J].石油钻探技术,2013,41(6):44-50.
WAN Xuxin. Oil-based drilling fluid applied in drilling shale oil reservoirs in Bonan Block[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2013, 41(6): 44-50.
- [10] 万绪新,刘振东,侯业贵,等.胜利油田页岩油藏钻井液技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(9):25-30.
WAN Xuxin, LIU Zhendong, HOU Yegui, et al. Drilling fluid technology used for shale oil reservoir in Shengli Oilfield[J]. Exploration Engineering(Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015, 42(9): 25-30.
- [11] 孙荣华.全油合成基钻井液在永 3-侧平×井的应用[J].钻采工艺,2019,42(4):97-99,12.
SUN Ronghua. Application of all-oil synthetic drilling fluid in Well Yong 3-Ceping x[J]. Drilling & Production Technology, 2019, 42(4): 97-99, 12.
- [12] 万绪新,张海青,沈丽,等.合成基钻井液技术研究与应 用[J].钻井液与完井液,2014,31(4):26-29.
WAN Xuxin, ZHANG Haiqing, SHEN Li, et al. Study and application of synthetic base drilling fluid technology[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2014, 31(4): 26-29.
- [13] 唐国旺,宫伟超,于培志,等.强封堵油基钻井液体积的研究和应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(11):21-25.
TANG Guowang, GONG Weichao, YU Peizhi, et al. 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] 沈丽,王宝田,宫新军,等.气制油合成基钻井液流变性能影响评价[J].石油与天然气化工,2013,42(1):53-57.
SHEN Li, WANG Baotian, GONG Xinjun, et al. Evaluation on rheological properties of GTL based drilling fluids[J]. Chemical Engineering of Oil and Gas, 2013, 42(1): 53-57.
- [15] 杨灿,王鹏,饶开波,等.大港油田页岩油水平井钻井关键技术[J].石油钻探技术,2020,48(2):34-41.
YANG Can, WANG Peng, RAO Kaibo, et al. Key technologies for drilling horizontal shale oil wells in the Dagang Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2020, 48(2): 34-41.