

小井眼超深井钻井液技术解析

李守峰^[1] 张建明^[1] 李娜^[2]

- (1. 中石化中原石油工程有限公司 技术公司, 河南 濮阳 457001;
2. 中石化中原石油工程公司 钻井一公司, 河南 濮阳 457001)

摘要 近几年,随着钻井技术的不断提高,国内最深井记录不断刷新。顺北油气田是世界上埋藏最深的油气田之一。随着井深的增加,地层温度不断升高,顺北区块井底温度普遍在150℃-170℃之间。高温容易使钻井液出现处理剂降解、高温固化、流动性失控、沉降稳定性变差等现象,造成井下各种复杂情况。通过顺北11井新型钻井液技术的应用,成功解决了高温和超深井定向润滑问题。解析 $\phi 120.65\text{mm}$ 井眼侧钻施工钻井液应采取的技术措施和性能维护要求,现场钻井施工顺利,表明该套体钻井液体系具有很强的抗温和润滑性能,钻井液性能参数良好,为将来在此区域钻探提供了参考依据,助力顺北油气田顺利开发。

关键词 超深井 小井眼 钻井液技术

中图分类号:TE24

文献标识码:A

文章编号:1007-0745(2021)11-0019-03

1 顺北11井技术难点

1. 破碎带:地质设计提示,在鹰山组8800.37-8820(斜)/8440-8440.68(垂)钻遇串珠为缝洞型储层,鹰山组9030-9070m(斜)/8447.93-8449m(垂)裂缝可能较发育,钻进中可能出现放空漏失。

2. 携岩带砂:小井眼环空间隙小,岩屑携带困难,易形成岩屑床。同时,环空间隙小,循环压耗高,钻井液流变性能既要满足携岩带砂,又不能大幅增加环空压耗。

3. 润滑防卡:随着井斜的增大,钻具贴附井壁,摩擦增大,对钻井液润滑性能要求高。

4. 抗温性能:侧钻点位9093.00(斜)/8450(垂)温度163℃,对钻井液抗温能力要求高。

2 地质构造概况

顺北11X井是在塔里木盆地顺北油田11号断裂带的一口预探井,井型为斜井,侧钻设计井深9090.04m(斜)/8450m(垂)。一间房地层岩性以黄灰色泥晶灰岩、(含)砂屑泥晶灰岩为主,鹰山组地层岩性以黄灰色泥晶灰岩、灰色含云质灰岩为主,强化井控安全和油气层保护(如表1所示)。井身结构表(如表2所示)。

3 技术思路

1. 钻井液密度:根据该井前期钻探情况,本井使用 $1.28\text{g}/\text{cm}^3$ 的钻井液开钻,密度保持均匀,进出口密度差不超过0.02。

2. 抑制防塌性能:通过加入基液、KCl等增加钻井液矿化度、降低滤液水活度,实现多元协同抑制防塌^[1],同时引入聚合铝盐强化钻井液化学固壁性能,提高钻井液稳定破碎带井壁的能力。

3. 封堵防塌性能:通过强化随钻封堵技术,在钻井液中加入超细钙、沥青类处理剂等封堵材料逐级封堵,控制

滤失量,提高地层承压能力,降低压力传递效应,实现封堵防塌、防漏及储层保护。

4. 确保排量达到15L/s前提下,控制钻井液粘度为50s左右,并具有适当的切力和良好的剪切稀释性能,确保钻井液具有良好的携岩能力;每钻进50-100m进行短起下破坏岩屑床,根据实钻情况,通过泵入稠浆清扫井眼,降低掉块卡钻的机率。

5. 加大基液含量保证在15-20%,具有良好的润滑性能^[2],同时根据井下情况,复配润滑剂,提高钻井液的润滑防卡性能。

6. 通过加入磺酸盐共聚物、脲硅聚合物复配生物合成树脂、SMP、SMC来提高钻井液的抗温性,降低钻井液高温高压失水,改善滤饼质量。

4 配方及小型试验

钻井液配方:3-5%膨润土浆+0.5-2%反相乳液超支化聚合物+0.5-2%中分子磺酸盐聚合物降滤失剂+0.5-2%KJ-3+0.5-1%LV-PAC+10-20%基液+4-6%磺化酚醛树脂+4-6%磺化褐煤+4-6%沥青类封堵剂+1-2%聚合铝+4-6%封堵剂+5-10%KCl+加重剂。

在钻顺北区块井温高,尤其是目的层,钻井液容易起泡而影响定向,有的甚至影响钻井液密度。为解决钻井液起泡,室内试验配方:1.井浆+高搅10min;2.井浆+0.2%生物润滑剂+高搅10min小型实验性能:(1)密度: $1.26\text{g}/\text{cm}^3$;(2)密度: $1.28\text{g}/\text{cm}^3$ (如表3所示)。

评价不同聚合物对井浆抗温性、降滤失性能、流变性的影响。从实验结果可知,近油基钻井液中分别加入三种聚合物均可提高井浆的抗温性,高温老化后高温高压滤失有所改善,流变性能变化较小,其中超支化聚合物具有较好的提切性能,需在更高温度下进一步验证聚合物的影响性能(如表4所示)。

表1 顺北11井侧钻地层表

地 层						预测深度 (m)	视厚 (m)	岩性简述
界	系	统	群	组	代号			
古生界	奥陶系	中统		一间房组	O2yj	侧钻点: 8299斜/8293.86垂		灰色生屑灰岩、黄灰色泥晶灰岩、(含)砂屑泥晶灰岩。
						8414斜/8387.30垂	115斜/93.44垂	
		中一下统		鹰山组	O1-2y	9093斜/8454.44垂	669斜/67.14垂	黄灰色泥晶灰岩、灰色含云质灰岩

表2 井身结构表

开次	原设计		实钻		
	钻头尺寸 × 井深 (mm × m)	套管尺寸 × 下深	钻头尺寸 × 井深 (mm × m)	套管尺寸 × 下深 (mm × m)	
导管	914.4 × 30	720 × 30	914.4 × 41.6	720 × 41.6	
一开	660.4 × 1000	508 × 999	660.4 × 1009.25	508 × 1009.25	
二开	444.5 × 5600	365.1 × 5598	444.5 × 5578	365.1 × 5578	
三开	333.38 × 6541	273.1 × 6538	333.38 × 7084.43	273.1 × 7084.43	
四开	241.3 × 8365	193.7 × 8362	/	/	
五开	165.1 × 8825		/	/	
备用方案	四开	241.3 × 7700	241.3 × 7700	241.3 × 7849	193.7 × 7669
	五开	165.1 × 8365	165.1 × 8365	165.1 × 8255	139.7 × (7536.7-8255)
	六开	120.65 × 8625	/	120.65 × 8556.15	/
侧钻	一次	120.65 × 8872.01	/	120.65 × 8873	/
侧钻	二次	120.65 × (8300-9090.04) (8265-8872)		120.65 × (8299-9093)	

5 现场维护要点

1. 本井全配新浆、配浆、替浆。仔细检查配浆罐及配浆管线完好无刺漏；配制预水化膨润土浆，将预水化膨润土浆护胶；将近油基体系中的聚合物、磺化处理剂配置成胶液，充分水化溶解后，与膨润土浆进行充分搅拌混合，然后逐步将聚合铝、基液、烧碱等加入其中，并加重至设计密度，混合均匀后完成近油基钻井液配制。钻井液性能：密度 1.28g/cm³，粘度 54s，塑性粘度 34mpa.s，动切力 5.5Pa，初切/终切 2/4.5Pa，中压失水 3.0ml，高温高压失水 9.8ml（165℃），垢含 40kg/m³，固含 16%，含沙 0.1%，Kf 0.06。

2. 钻进过程中，采用反相乳液超支化聚合物、中分子磺酸盐聚合物降滤失剂 MMT、抗高温磺化处理剂等配制胶液，细水长流补充钻井液消耗，基液可直接加入循环罐中^[3]。根据井下情况，用 PAC-LV 和超细目碳酸钙复配改善泥饼质量，提高钻井液的润滑防卡性能。

3. 施工中应注意提高钻井液的携岩能力，根据返砂情况及时调整流型，防止岩屑床的形成，保证井眼畅通。随着井斜的增大，密度根据井下实钻情况及时调整，同时适当加大基液含量；用 PAC-LV 和超细目碳酸钙复配改善泥饼

质量，防止定向托压。现场维护中应注意加足反相乳液超支化聚合物、中分子磺酸盐聚合物降滤失剂 MMT、腈硅聚合物复配生物合成树脂、SMP、SMC 来提高钻井液的抗温性。

4. 考虑到本井目的层岩石可能比较破碎，所以需要及时补充 KCl、基液、聚合铝的消耗，确保钻井液中 KCl 含量达到 7%、基液含量达到 20%、聚合铝盐的含量达到 2%，并复配 4%~6% 磺化沥青粉，提高钻井液固壁防塌性能。进入易漏失井段前采用随钻封堵钻井液 随钻封堵剂加量 2%~5% 超细目碳酸钙、2%~4% 沥青类处理剂等，强化随钻封堵防漏。

5. 磺化处理剂（SMP-3，褐煤）单项含量不低于 4%、抗高温反相乳液超支化聚合物、中分子磺酸盐聚合物降滤失剂 MMT、聚合物 KJ-3 总加量大于 3%，提高钻井液的抗温稳定性，控制钻井液失水在设计范围内。

6. 钻进中应加足 KCl、基液、聚合铝等增加钻井液矿化度、降低滤液水活度，实现多元协同抑制防塌，同时引入聚合铝盐强化钻井液化学固壁性能，提高钻井液稳定破碎带井壁的能力。加入可酸溶性暂堵剂，封堵地层微裂缝。如果发生井漏，提高钻井液防漏堵漏材料浓度，降低钻井液密度，尽可能钻达设计井深，增大泄油面积。

表3 小型试验1

序号	实验配方	ρ	FV	FL	HTHP 失水	流变参数			
				失水		θ_{600}	θ_{300}	PV	YP
1	井浆	1.28	54	3	9.8	79	45	34	5.5
	高搅 10min	1.26		3	9.8	79	45	34	5.5
2	井浆 +0.2% 生物润滑剂	1.28	54	3	9.8	79	45	34	5.5
	高搅 10min	1.28		3	9.8	79	45	34	5.5

实验目的：钻井液加入生物润滑剂后的性能变化。

实验效果：钻井液中加入生物润滑剂后高搅高搅 10min 无泡，方案可行。

表4 小型试验2

序号	实验配方	ρ	FL	HTHP 失水	Kf	流变参数			
			失水			θ_{600}	θ_{300}	PV	YP
1	井浆	1.28	2.8	10.6	0.06	74	43	31	6
2	井浆 +0.3%PAC-LV	1.28	2.4	10	0.06	75	43	32	5.5
3	井浆 +0.3% 脲硅聚合物	1.28	2.4	10	0.06	76	44	32	6
4	井浆 +0.3% 超支化乳液	1.28	2.2	9.6	0.06	78	46	32	7

7. 做好 H_2S 的预防工作。维持 PH 值不低于 10，稳定钻井液性能的同时防止 H_2S 对钻井液造成污染。开钻前按要求加入 0.5% 除硫剂对井浆进行预处理，必要时加入 1% 除硫剂；加除硫剂前必须做小型实验。如果发生井漏或井控上需要压井，对于入井的新浆或压井的重浆，都必须按照要求加入 0.5%~1% 除硫剂和适量的烧碱，确保 PH 值不低于 10，并保证具有良好的流变性、抗高温性能和沉降稳定性。

8. 充分利用好各级固控。振动筛筛布更换 240 目及以上，使用好一级固控，勤检查振动筛筛布，如有破损及时更换，保证钻井液的清洁。钻达设计井深，充分循环洗井，认真通井，裸眼段泵入防卡润滑封闭浆，确保电测顺利。封闭浆配方：井浆 +2% SMP-3+2% 褐煤 +1% 磺化沥青 +1% 生物润滑剂。

6 结论

1. 良好的润滑性。润滑性能与油基相当，本井定向过程中，无托压现象，施工顺利，起下钻畅通无阻；接单根上提、下放摩阻 3~4t，起下钻摩阻一般 4~6t，最大时 12~13t；空转扭矩 3.5~4.0KN.m，钻进扭矩 4.0~4.8KN.m。本井从 8299~9025m 一直在增减井斜，井斜从 $21^\circ \sim 90.65^\circ \sim 84.16^\circ \sim 85.11^\circ$ ，绝大多数井段定向钻进，狗腿度最大 $24.9^\circ/30m$ ，无托压现象。

2. 通过强化随钻封堵技术，在钻井液中加入超细钙、沥青类处理剂、微裂缝等封堵材料逐级封堵，控制滤失量，提高地层承压能力，降低压力传递效应，实现低密度防漏及储层保护。

3. 机械钻速快。近油基钻井液强抑制性亚微米粒子固相含量低，机械钻速快，减少了钻井周期，降低了油气层伤害程度。复合钻进部分钻时平均机械钻速 3.06m/h。因为全井定向井段较多，平均机械钻速 1.78m/h。

4. 钻井液抑制性强。钻进过程中返出岩屑完整，无掉块产生，井径规则，平均井径扩大率仅为 4.27%，顺利完钻后起下钻、通井顺利、三趟电测均一次成功。近油基钻井液良好的抑制性及润滑性能，为施工过程中发生的井下落鱼事故一次打捞成功打下了良好的基础。

参考文献：

- [1] 李林, 黄文章, 向林, 等. 高效环保型页岩气开发水基钻井液体系研究 [J]. 石油与天然气化工, 2017, 46(06): 71-74.
- [2] 许博, 闫丽丽, 王建华. 国内外页岩气水基钻井液技术新进展 [J]. 应用化工, 2016, 45(10): 1974-1981.
- [3] 王森, 陈乔, 刘洪, 等. 页岩地层水基钻井液研究进展 [J]. 科学技术与工程, 2013, 13(16): 4597-4602, 4613.