

涪陵页岩气田水基钻井液技术

孙东营, 王武斌, 杜明军, 毛世发, 万朝阳, 商峰

(中石化中原石油工程有限公司钻井二公司, 河南濮阳 457001)

摘要:涪陵页岩气田属川东南地区川东高陡褶皱带包鸾-焦石坝背斜带焦石坝构造, 主要开发上奥陶系五峰组一下志留系龙马溪组页岩气层, 岩性主要为灰岩、泥岩、页岩, 钻井施工中易漏、易塌、易喷。井型为三开结构水平井, 一开、二开采用水基钻井液体系。通过技术研究, 确立了以氯化钾、聚胺页岩抑制剂等为主剂的水基钻井液体系, 形成了适合涪陵页岩气田勘探开发的浅层气预防、井壁稳定、降摩减扭、防漏堵漏等系列水基钻井液技术, 较好地满足了钻井施工要求。

关键词:钻井; 水基钻井液; 井壁稳定; 漏失; 润滑; 涪陵页岩气田

中图分类号: P634.6; TE243 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2016)07-0019-05

Water-based Drilling Fluid Technology for Fuling Shale Gas Field/SUN Dong-ying, WANG Wu-bin, DU Ming-jun, MAO Shi-fa, WAN Zhao-yang, SHANG Feng (Drilling Company 2 of Zhongyuan Petroleum Engineering Co., Ltd., SIN-OPEC, Puyang Henan 457001, China)

Abstract: Fuling shale gas field is in high steep fold zone Baoluan-Jiaoshiba anticlinal zone Jiaoshiba texture in the south-east of Sichuan. Upper Ordovician Wufeng formation-the lower Silurian Longmaxi formation was mainly explored, the main lithology are limestone, mudstone and shale, it was prone to leak, slough and blowout in drilling construction. The well was designed to be three-section horizontal structure, water-based drilling fluid was used in the first and second sections. By the technical research, the water-based drilling fluid system is established; taking potassium chloride and polyamine inhibitor as main material, series of water-based drilling fluid technology is formed, which is suitable for Fuling shale gas field exploration and development in shallow gas control, borehole wall stability, friction drag reducing, leakage control and plugging.

Key words: drilling; water-based drilling fluid; wall stability; lost circulation; lubrication; Fuling shale gas field

1 涪陵页岩气田地质概况

自上而下钻遇地层为嘉陵江组、飞仙关组、长兴组、龙潭组、茅口组、栖霞组、梁山组、黄龙组、韩家店组、小河坝组、龙马溪组、五峰组, 上部地层以灰岩为主, 下部韩家店组、小河坝组泥岩较发育, 龙马溪组、五峰组发育灰黑色有机质泥页岩, 为主要目的层段。

部分井组雷口坡组至飞仙关组地层浅表层溶洞、裂缝发育, 易发生严重漏失; 长兴组至茅口组可能存有浅层气; 韩家店组以下泥页岩地层易水化分散, 造成掉块垮塌; 由于泥页岩地层具有较强层理结构, 存在天然裂缝、微裂缝, 漏失压力低, 易发生井漏。

涪陵页岩气田地质分层和岩性见表1。

2 涪陵页岩气井井身结构设计概况

井身结构设计均为三开结构, 先用 $\varnothing 660.4$ mm

($\varnothing 609.6$ mm) 钻头打导管段, 下入 $\varnothing 508$ mm ($\varnothing 473.1$ mm) 导管封地表破碎地层; 一开用 $\varnothing 444.5$ mm ($\varnothing 406.4$ mm) 钻头, 下入 $\varnothing 339.7$ mm 表层套管封隔上部易漏层、水层、长兴组潜在的含 H_2S 气层, 为直井段; 二开用 $\varnothing 311.2$ mm 钻头, 钻至龙马溪组页岩气层顶部 30 ~ 50 m 下 $\varnothing 244.5$ mm 套管, 封龙马溪组页岩气层之上的易漏、易垮塌地层, 通常 1000 ~ 1300 m 开始造斜, 中完井斜大都在 $50^\circ \sim 60^\circ$; 三开用 $\varnothing 215.9$ mm 钻头, 增斜至页岩气层完成水平井段施工, 下入 $\varnothing 139.7$ mm 套管, 采用套管射孔(分段压裂)方式完井。

3 钻井液施工难点

(1) 涪陵页岩气区块漏失严重, 所有钻进的地质分层都发生过井漏, 且大多为失返性漏失, 上部浅表层溶洞、裂缝发育, 发生漏失后堵漏困难, 严重影响

收稿日期: 2016-06-15

作者简介: 孙东营, 男, 汉族, 1969年生, 高级工程师, 石油工程专业, 长期从事钻井液技术工作, 河南省濮阳市钻井二公司技术发展中心, 13603430900sdy1201@sina.com。

表 1 涪陵页岩气田地质分层和岩性

地层层序				岩 性 描 述
系	统	组	代号	
三叠系	下统	嘉陵江组	T _{1j}	灰色灰岩,与下伏飞仙关组顶部紫红色泥岩岩性区分明显,整合接触
		飞仙关组	T _{1f}	上部紫红色泥岩、云质灰岩与鲕粒灰岩,中部灰色灰岩,下部生屑灰岩
		长兴组	P _{2ch}	底部深灰色灰岩;上部深灰色含生屑、生屑灰岩;中部及下部深灰色、灰色、浅灰色灰岩不等厚互层,与下伏龙潭组灰黑色碳质泥岩岩性区别明显,整合接触
二叠系	上统	龙潭组	P _{2l}	顶部为灰黑色碳质泥岩;中部为灰色含生屑、灰色生屑、深灰色、灰色含泥灰岩不等厚互层;底部为灰黑色碳质泥岩,与下伏茅口组灰色、深灰色灰岩、去质灰岩、泥质灰岩岩性区分明显
		茅口组	P _{1m}	灰色灰岩与灰色含泥灰岩不等厚互层
	下统	栖霞组	P _{1q}	灰色灰岩与含灰泥岩不等厚互层
		梁山组	P _{1l}	上部灰黑色碳质泥岩与灰色灰岩不等厚互层;下部灰色泥岩夹灰色含砾粉砂岩,与下伏石炭系不整合接触
石炭系	中统	黄龙组	C _{2h}	灰白色灰岩
	中统	韩家店组	S _{2h}	上部为灰色、绿灰色、紫红色泥岩,夹紫红色粉砂质泥岩,棕红色泥岩,夹棕色粉砂质泥岩;中部以绿灰色泥岩、绿灰色粉砂质泥岩为主,夹绿灰色粉砂岩、绿灰色泥质粉砂岩薄层;下部以灰色泥岩、灰色粉砂质泥岩为主,夹灰色泥质粉砂岩薄层
志留系	下统	小河坝组	S _{1x}	上部灰色泥岩为主,夹灰色粉砂质泥岩薄层;下部深灰色泥岩为主,夹深灰色粉砂质泥岩薄层及灰色粉砂质泥岩薄层
		龙马溪组	S _{1l}	上部以深灰色泥岩沉积为主,约 40 m 厚的灰黑色粉砂岩、泥质粉砂岩(位于灰黑色泥页岩顶界,可作为该区龙马溪组内部一标志层),下部灰黑色泥页岩、碳质页岩
奥陶系	上统	五峰组	O _{3w}	灰黑色碳质泥岩及碳质页岩
		涧草沟组	O _{3j}	浅灰色泥质灰岩

钻井施工,且易对环境造成影响。

(2)涪陵页岩气区块上部地层含有浅层气,并且喷漏同层,长兴组地层气体中含硫化氢,要求钻井液应做好井控、防漏堵漏和防硫化氢工作。

(3)韩家店组、小河坝组、龙马溪组地层以灰岩、泥岩、页岩为主,易水化剥落掉块,造成井壁垮塌,要求钻井液具有较强的防塌能力。焦页 1HF 井,龙马溪组,密度 1.45 g/cm³,发生垮塌;焦页 4HF 井,韩家店组,密度 1.30 g/cm³,发生垮塌;焦页 10-2HF 井,韩家店组,密度 1.17 g/cm³,发生垮塌。

(4)二开井眼尺寸大,井深较深,要求钻井液具有良好的携岩清砂能力。

(5)施工井大都为三维水平井,水平段长、位移大、“狗腿”度大,摩阻扭矩大,定向施工困难。二开中完井斜大都在 30°~60°之间,要求钻井液具有良好的润滑防卡能力。

(6)部分井组二开钻至龙马溪组,底部地层可能存在裂缝,气藏活跃,易漏、易涌,存在井控风险。

4 钻井液技术

4.1 钻井液体系优化应用

(1)涪陵页岩气水平井在开发评价试验阶段,导管、一开长兴组之上地层及二开直井段采用气体钻井,气体钻不能进行的井段采用泡沫钻井液钻井或常规钻井液钻井,后改用清水钻进。

(2)根据该区块二开井段部分地层易水化剥落垮塌的特点,优选应用了 KCl+聚胺页岩抑制剂复配强化防塌型钻井液体系。该体系具有很强的抑制、包被和防塌能力,良好的流变性能,有适当的粘度和切力,可有效控制泥岩页岩水化分散,该钻井液体系具有低滤失性、优良的造壁性和润滑性能,既有较好的流动性和触变性,又具有较强的悬浮携砂能力,满足二开井段定向钻进中造斜、增斜、稳斜的钻井工程要求,保证安全快速钻进。

4.2 清水钻进技术

涪陵工区上部地层,导管、一开至二开茅口组,主要岩性为灰岩,相对较为稳定,适合采用清水钻进,一方面可提高机械钻速,同时较为环保。清水钻重点防沉砂卡钻,主要措施如下。

- (1)开钻前备足清水,要求不少于 1000 m³。
- (2)双泵采用 Ø180 mm 缸套,排量应达到 70 L/s 以上。
- (3)每钻进一个单根或一个立柱,注入 3~5 m³ 高粘胶液推砂清除钻屑,胶液采用生物聚合物黄原胶配制,粘度达到 50 s 以上。高粘胶液可通过罐内泥浆槽循环使用。
- (4)若钻时较快,应适当控制钻速,防止砂子过于集中造成憋泵卡钻等故障复杂。当出现钻压放空现象时,及时停钻循环观察,加强坐岗检测。
- (5)若井下出现憋钻或扭矩增大等现象,应停

止钻进,循环清砂,可打入适量稠浆推砂,正常后再恢复钻进。应避免盲目停泵上提钻具,上提遇阻 ≥ 50 kN。

(6)若发生漏失,可用清水强钻,应增加推砂次数。

(7)每次起钻前应充分循环清砂,可打入 10 m^3 稠胶液推砂,循环至返砂明显减少再起钻。

(8)观察分析岩屑的粒度、湿度和返量,判断井壁稳定性,若出现垮塌迹象,应及时转换为钻井液。

4.3 KCl-聚胺防塌钻井液体系

4.3.1 配方

5%膨润土浆+0.3%聚胺 FYZ-1+4%~5% KCl+0.5% LV-CMC+0.3% KPAM+0.5% COP+0.05% NaOH+1%~2% CGY+2%~3% FT+1.5%~3% 聚合醇 PAL。

4.3.2 钻井液性能

钻井液性能的调控对保障施工安全尤为重要,钻井液性能参数使用范围为: $\rho 1.15 \sim 1.35\text{ g/cm}^3$, $FV 50 \sim 70\text{ s}$, $FL_{API} \leq 5\text{ mL}$, $Gel 0 \sim 4/0 \sim 12\text{ Pa/Pa}$, 含砂量 $\leq 0.3\%$, $YP 7 \sim 10\text{ Pa}$, $PV 30 \sim 35\text{ mPa}\cdot\text{s}$, $Cl^- 40000 \sim 45000\text{ mg/L}$ 。通常二开中完钻井液密度 $1.30 \sim 1.35\text{ g/cm}^3$ 。

4.3.3 钻井液维护工艺

(1)按上述配方配制足量的钻井液。配好钻井液后将井筒内清水替出,充分循环、测定,调整钻井液性能达到设计要求即可钻进。

(2)钻进中,用 DS-301 包被絮凝钻屑,抑制地层泥页岩水化和防止垮塌,用 LV-CMC、COP-HFL 等处理剂配胶液按循环周维护补充钻井液,并控制 API 滤失量 $< 6\text{ mL}$ 。

(3)及时补充添加 KCL、聚胺等防塌处理剂,保持其有效含量,始终保持钻井液强抑制性。

(4)根据钻井液中膨润土含量情况,经常补充水化好的膨润土浆以维持钻井液膨润土含量在 $40 \sim 50\text{ g/L}$ 。

(5)用 COP-HFL、LV-CMC 等调整维护钻井液粘度,满足携砂要求。用 FT 改善泥饼质量, LUB-S、CGY 固液润滑复配,保持钻井液良好润滑性,控制摩阻系数在 0.1 以内。

(6)钻井过程中,严密观察循环罐液面,定时测量钻井液性能,注意钻井液性能变化,根据实际及时进行调整,确保安全钻进。若钻井液密度不能平衡

坍塌压力,适当调高钻井液密度,保持井眼稳定。

(7)振动筛筛布目数 > 180 目,除砂器、除泥器等与钻井泵同步运转,根据需要间断使用离心机。

4.4 井壁稳定技术

针对韩家店组、小河坝组及龙马溪组泥页岩地层易水化及裂缝发育的地层特点,采取提高钻井液抑制性及优化封堵等技术,提高井壁稳定性。

(1)采用 KCl-聚胺防塌钻井液体系。通过 K^+ 、聚胺、聚合醇的协同效应,提高钻井液抑制性,保持 KCl 含量 $4\% \sim 5\%$,保持聚胺含量 0.3% ,聚合醇 PAL 含量 $1.5\% \sim 3\%$ 。

(2)通过添加 $2\% \sim 3\%$ 高软化点改性沥青及 $2\% \sim 3\%$ 不同粒径的超细钙 QS-2,有效填充微裂缝,提高钻井液的造壁护壁性及对微细裂缝的封堵能力。

(3)严格控制中压滤失量和高温高压滤失量, $FL_{API} < 4\text{ mL}$, $FL_{HTHP} < 15\text{ mL}$;控制合理的钻井液密度,中完钻井液密度通常 $1.30 \sim 1.35\text{ g/cm}^3$ 。

(4)保持钻井液良好的流变性,在易塌层调整钻井液流型,减轻钻井液对井壁的冲刷。

(5)起钻时使用自动灌浆装置,设置定时连续灌浆,保证随时灌满钻井液。严格控制起钻速度,防止抽吸造成井塌。

4.5 钻井液润滑

水基钻井液润滑主要采取固液润滑剂复配形式,控制摩阻系数在 0.1 以内。固体润滑剂使用 LUB-S、FT,加量 $2\% \sim 3\%$;液体润滑剂使用改性油酸脂 CGY、聚合醇 PAL,加量分别为 $1.5\% \sim 3\%$;用好四级固控,含砂量控制在 0.3% 以内。

4.6 防漏堵漏技术

涪陵页岩气田上部地层钻井过程中井漏发生频繁、处理时间长、并且伴随垮塌严重的情况,主要是裂缝、溶洞漏失。韩家店组、小河坝组地层承压能力低,龙马溪泥页岩地层钻进也发生频繁漏失的情况。提高井漏预防与堵漏成功率是该区块降低钻井复杂时效、缩短钻井周期、降低钻井成本的关键。

(1)在钻井过程中,调整好钻井液性能,采用近平衡压力钻井技术,以防止或减少井漏的发生。

钻遇漏失井段前,要提前做好堵漏材料,按设计要求处理好钻井液,如有必要可提前加入堵漏材料。

(2)裸眼井段下钻要控制下放速度,防止“激

动”压力过大,下钻过程中要分段循环钻井液,开泵要平稳,排量由小到大,避免因瞬时“激动”压力过大而引起井漏。

(3)在满足井眼净化的前提下,尽可能采用小排量钻进,尽量降低环空循环压耗,减少或减轻井漏。

(4)循环加重时,要控制加重速度,一般情况下,每循环周密度 $\geq 0.02\text{ g/cm}^3$,连续加重不超过两周,加重时每隔 15 min 测量一次进出口密度,进出口密度相差 $\leq 0.02\text{ g/cm}^3$,防止进出口密度相差过大而引起井漏。

(5)气体钻井转换钻井液钻进时,在钻井液中加入 2%~3% 单封和随钻堵漏剂,预防井漏。

(6)使用沥青类封堵材料,有效封堵不同渗透性地层和微裂缝泥页岩地层,增加地层的抗压强度,有效防漏。

(7)发生漏失,根据漏失性质采取以下堵漏措施。

①该区块上部清水钻进井段发生漏失,根据井上情况可采用混凝土堵漏、桥堵、水泥浆堵漏及清水强钻来解决。因上部浅表层溶洞、裂缝发育,发生漏失后,受环境保护条件限制,表层井漏堵漏方法不多,耗时长,成本高,并且堵漏效果不佳。

②二开井段发生漏失,漏速 $< 10\text{ m}^3/\text{h}$,合理选择桥塞堵漏剂(加量 10%~20%),泵入井内静止堵漏。

③漏速 $> 10\text{ m}^3/\text{h}$ 时或失返性漏失,选择桥接

堵漏浆加水泥堵漏。

5 现场应用

涪陵页岩气工区先后应用该水基钻井液技术 70 余口井,平均完井井深 4738 m;平均水平位移 2225 m;平均钻井周期 56.34 d;一开周期 7.34 d,二开周期 27.48 d;二开段平均井径扩大率 2.1%。完井井壁均较为稳定,起下钻畅通;摩阻扭矩控制在正常范围;有 20 口井清水钻进时漏失,采用清水强钻方式顺利解决;12 口井二开定向段施工发生漏失,采用复合堵漏剂加石棉绒堵漏成功,效果良好。电测及下套管均较为顺利,中完电测一次成功率 100%。

通过涪陵页岩气田水基钻井液技术的不断完善及推广应用,减少了复杂,保障了优快钻井施工,但仍有 2 口井因井壁失稳造成复杂:

(1)焦页 59-3HF 井 3135 m 中完后多次划眼,因所钻地层与设计相差较大,钻进过程中无浊积砂地层显示,钻至泥页岩段较多,地层极其复杂,导致后期起钻及通井多次划眼,损失 307.44 h。

(2)焦页 61-6HF 井钻至井深 858 m 一开完钻后,短起下钻至 768 m 遇阻,无法建立循环,钻具可以转动。下钻过程中邻井正在进行一开固井,可能造成本井井壁失稳垮塌。采用憋压方式将钻具起至 500 m,后建立循环倒划眼起出。后通过多次划眼、分段打水泥封固漏层等措施,将表套下到底。

部分完成井数据统计见表 2。

表 2 涪陵页岩气工区部分完成井数据

井号	完井井深/ m	水平位移/ m	机械钻速/ ($\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$)	一开周期/ d	二开周期/ d	钻井周期/ d	中完电测	二开扩大率/ %	故障复杂
焦页 12-4HF	4720	2504.73	5.73	12.50	34.80	66.67	一次成功	2.89	无
焦页 27-1HF	4360	2063.30	6.70	11.33	33.58	65.98	一次成功	1.48	无
焦页 26-2HF	4430	2461.04	5.40	8.75	34.40	61.46	一次成功	2.79	无
焦页 23-2HF	4430	2420.3	10.40	6.50	17.38	39.92	一次成功	3.63	无
焦页 59-2HF	4664	2289.67	11.65	5.58	21.17	41.42	一次成功	0.53	无
焦页 42-4HF	4598	2393.03	9.34	6.04	18.13	46.21	一次成功	未电测	无
焦页 54-1HF	4870	2838.76	5.85	13.83	32.17	66.83	一次成功	0.90	无
焦页 16-2HF	4003	1857	10.47	7.29	21.58	44.94	一次成功	未电测	无
焦页 40-3HF	4316	2126.40	9.28	5.04	26.60	47.19	一次成功	1.20	无
焦页 21-3HF	4526	2112.99	9.53	8.48	25.29	53.96	一次成功	3.17	无
焦页 20-1HF	3943	1830.16	5.86	5.63	32.38	57.96	一次成功	2.11	无
焦页 25-3HF	4576	1984.34	7.57	4.54	23.92	52.79	一次成功	未电测	无
焦页 49-1HF	4326	1891.54	8.57	7.75	29.63	66.17	一次成功	2.29	无
焦页 60-1HF	4723	2375.35	5.83	4.63	41.08	77.29	一次成功	未电测	无

6 结论与认识

(1) 清水钻进能够有效满足焦石坝工区栖霞组以上地层钻井生产需要,有效降低钻井液成本,可避免因可能发生的井漏对环境造成污染。

(2) 二开水基钻井液密度控制在 1.30 g/cm^3 左右,可降低井漏风险,减少复杂,能够有效提高纯钻时效,减少钻井液损失。

(3) 钾基聚胺防塌钻井液表现出抑制泥页岩水化能力强,防塌效果好,可有效避免因井壁失稳造成的多种复杂,能够满足该工区二开井段施工需要。

(4) 目前形成的水基钻井液技术较好的满足了涪陵工区钻井生产需要,保障及促进了钻井速度的不断提升。

(5) 部分井组仍存在井壁失稳、多次划眼现象,提高水基钻井液防塌性仍需进一步研究。

(6) 对于表层较大裂缝性漏失,清水强钻存在消耗水量大、难以连续施工、易卡钻等问题,对堵漏工艺仍需做进一步研究,可以尝试使用快速凝胶水泥封堵工艺。

参考文献:

- [1] 陈广,郭少帅,王建波,等. 焦页非常规页岩气井优快钻井技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(10):17-21.
- [2] 王志刚. 涪陵页岩气勘探开发重大突破与启示[J]. 石油与天然气地质,2015,(1):1-6.
- [3] 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.
- [4] 王爱东,霍仰春,胡玉国,等. 聚合醇硅基防塌钻井液在王101井的应用[J]. 钻井液与完井液,2001,18(5):40-42.
- [5] 赵利,尹照强,李竞,等. 无固相有机盐钻完井液在克拉美丽气田的应用[J]. 石油天然气学报,2014,(3):88-91.
- [6] 谭希硕. 涪陵页岩气水平井钻井液防渗漏技术[J]. 承德石油高等专科学校学报,2015,17(1):10-13.
- [7] 牛新明. 涪陵页岩气田钻井技术难点及对策[J]. 石油钻探技术,2014,42(4):1-6.
- [8] 方琴. 鄂西渝东页岩气水平井钻井技术探讨[J]. 江汉石油科技,2014,24(1):50-53.
- [9] 孙建华,蓝强,史禹,等. 丰深1-斜1井高密度小井眼钻井液技术[J]. 钻井液与完井液,2008,25(4):39-42.
- [10] 梁文利. 柴油基钻井液在涪陵礁石坝区块页岩气储层的应用[J]. 天然气勘探与开发,2014,(3):66-69.
- [11] 陈星星. 涪陵页岩气田防漏堵漏技术应用研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(3):11-14.
- [12] 艾军,张金成,臧艳彬,等. 涪陵页岩气田钻井关键技术[J]. 石油钻探技术,2014,42(5):9-15.