

◀ 钻井完井 ▶

doi:10.3969/j.issn.1001-0890.2012.04.012

流沙层硬胶泡沫钻井技术

张奎林^{1,2}, 夏柏如¹, 赵向阳², 毛迪²

(1. 中国地质大学(北京)工程技术学院, 北京 100083; 2. 中国石化石油工程技术研究院, 北京 100101)

摘要:也门1区块上部地层250~750 m井段存在大段的流沙层,钻进过程中存在井壁失稳、漏失严重、机械钻速低等问题,单纯依靠常规钻井加堵漏、清水盲钻、空气钻井或稳定泡沫钻井等方式得不到有效解决。因此,提出采用硬胶泡沫钻井方法解决该问题。通过硬胶泡沫钻井流体发泡剂室内优选试验,考虑泡沫质量、发泡剂抗污染性能、硬胶泡沫半衰期及经济效益,选择FMA-100为硬胶泡沫钻井流体的发泡剂,确定其最佳加量为0.3%~0.6%,并初步优选出钻井流体配方。根据硬胶泡沫钻井施工参数设计要求,以低返速降低井壁冲刷防塌、合适当量循环密度防塌防漏为目标,通过理论计算及分析,优选了施工参数、钻井配套设备,形成了适用于也门1区块流沙层的硬胶泡沫钻井方案。该方案在该区块Abyed-2井进行了应用,不但成功解决了大尺寸疏松流沙层井漏与井塌并存的钻井难题,还提高了流沙层的机械钻速,相比同条件邻井平均机械钻速提高3.2倍。该井的应用成功,也为流沙层安全快速钻进积累了经验。

关键词:流沙层 硬胶泡沫 泡沫钻井 发泡剂 也门1区块

中图分类号:TE242.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0890(2012)04-0058-07

Stiff Foam Drilling Technology in Drift Sand Formation

Zhang Kuilin^{1,2}, Xia Boru¹, Zhao Xiangyang², Mao Di²

(1. School of Engineering and Technology, China University of Geosciences (Beijing), Beijing, 100083, China; 2. Sinopec Research Institute of Petroleum Engineering, Beijing, 100101, China)

Abstract: Heavy drift sand formation exists in the upper formation 250–750 m of block 1 in Yemen, so concurrent problems such as wellbore instability, serious loss circulation and low ROP present during the drilling of this section. Those problems can not be solved through conventional drilling with lost circulation materials, blind drilling with fresh water as well as air drilling and stable foam drilling. Therefore, this paper proposes the ebonite foam drilling method. Through foaming agent optimization test of ebonite foam drilling fluid in the laboratory, we selected FMA-100 as the foaming agent based on foam quality, anti-contamination performance of foaming agent, ebonite foam half-life, and economic benefits analysis. In the test it demonstrated the optimal added amount to be 0.3%–0.6%, then preliminarily optimized the drilling fluid formula. To prevent wellbore collapse and lost circulation with low return velocity and appropriate equivalent circulation density, this paper optimizes operation parameters, drilling equipment, and forms program of drilling the drift sand formation applicable for Yemen 1 Block through theoretical calculation and analysis. The program was then applied in Well Abyed-2 of the same block and it not only successfully resolved the lost circulation and collapse coexisting problem in the large size loose drift sand formation, but also improved the ROP of drift sand formation to 3.2 times the average ROP of adjacent Wells. The successful use of ebonite foam drilling program in this well lays solid foundation for forming drift sand formation ebonite foam drilling technology.

Key words: drift sand formation; ebonite foam; foam drilling; foamer; Block 1 in Yemen

也门1区块是中国石化海外油气勘探的重点探区之一,该区块上部地层孔隙压力低,极易发生漏失。其中,250~750 m井段为大段的流沙层,是该区块钻井的最大难点。已钻井在该层段采用充气钻井方式,钻井液无返出,改用清水盲钻,井口完全失返。Abyed-2井是该区块一口重点预探井,在

收稿日期:2011-11-08;改回日期:2012-06-13。

作者简介:张奎林(1976—),男,河北故城人,1998年毕业于长春地质学院勘察工程专业,高级工程师,现主要从事钻井工艺技术研究及科研管理工作。

联系方式:(010)59968810, zhangkl@sinopec.com。

基金项目:国家科技重大专项课题“中东富油气区复杂地层井筒关键技术”之“复杂地层安全快速钻井关键技术研究”(编号:2011ZX05031-004-001)部分研究成果。

φ660.4 mm 井眼中首先采用稳定泡沫技术钻穿了流沙层,但钻进中流沙层井壁垮塌严重,泡沫长时间不返,循环 4~5 h,立压从 2.41 MPa 增加到 4.82 MPa 左右后才强烈喷发而出,且该现象周而复始地发生。长约 500 m 的流沙层井段共计出沙超过 2 000 m³,计算井眼直径达 2.2 m(钻头直径为 660.4 mm)。且钻穿流沙层后,在短起下过程中发生严重卡钻,导致井眼报废。所以,在新井眼钻进中,如何安全、快速、经济地钻穿流沙层是关系到该区块勘探进度的重要问题,也是关系到气体钻井技术是否适用于流沙层的基本认识问题。通过大量室内试验与相关研究,形成了适用于流沙层的硬胶泡沫钻井方案,成功钻穿了 Abyed-2 井大段流沙层。

1 流沙层钻井技术难点与对策

通常将细砂质量分数大于 70%、黏土质量分数为 5%~6%且具有流动特性的细砂或松散未胶结的细颗粒地层称为流沙层。也门 1 区块 φ660.4 mm 井眼地层整体为低孔隙压力地层,漏失压力当量密度小于 0.7 kg/L,钻井过程中普遍存在漏失,穆卡拉地层存在流沙层,又极为疏松,在发生漏失的情况下,部分井段失去液柱支撑,井壁稳定性受到严重影响。单纯采用常规钻井加堵漏、清水盲钻、空气钻井以及稳定泡沫钻井等方式均不能解决上述问题。笔者通过深入研究发现,硬胶泡沫钻井可解决

- 上述问题,因为硬胶泡沫钻井具有以下优势:
- 1) 硬胶泡沫钻井流体相对密度可调,可以降低失水,有利于保持井壁稳定,加入抑制剂可以增强地层的稳定性;
 - 2) 硬胶泡沫很坚硬,泡沫流体已无自由液体,液体全部束缚在泡沫膜之间,失水量很小,泡沫流动呈现出很强的结构运动,携岩能力大大增强;
 - 3) 硬胶泡沫通过提高其基液黏度与加入固相成分,可以大幅度延长半衰期,再结合其悬浮能力强的特点,可以降低上返速度,减小对井壁的冲刷作用,同时可以降低对注气量的要求,减少空压机数量,降低钻井成本。

2 硬胶泡沫钻井流体发泡剂优选

分别采用 Weatherford 气体钻井服务公司和 MI 泥浆服务公司的 FMA-100 和 S-FOAM 发泡剂样品进行室内试验评价^[1-4],从中选择一种作为流沙层硬胶泡沫钻井流体的发泡剂。

2.1 发泡剂性能评价

2.1.1 发泡剂加量对泡沫性能的影响

试验温度为 12℃时,FMA-100 和 S-FOAM 的加量对泡沫体积 V₀和泡沫半衰期 t_{0.5}的影响见表 1。

表 1 发泡剂加量对泡沫性能的影响
Table 1 Influence of foaming agent dosage on foaming performance

发泡剂	加量 0.1%		加量 0.2%		加量 0.3%		加量 0.4%		加量 0.5%		加量 0.6%		加量 1.0%		加量 1.0% ¹⁾	
	V ₀ /mL	t _{0.5} /s	V ₀ /mL	t _{0.5} /s	V ₀ /mL	t _{0.5} /s	V ₀ /mL	t _{0.5} /s	V ₀ /mL	t _{0.5} /s	V ₀ /mL	t _{0.5} /s	V ₀ /mL	t _{0.5} /s	V ₀ /mL	t _{0.5} /s
S-FOAM	510	471	435	532	476	513	460	525	500	561	530	578	520	560	470	502
FMA-100	400	387	413	492	423	517	415	522	420	579	510	665	475	716	452	658

1) 放置 12h 自然消泡后再发泡。

从表 1 可以看出,当 S-FOAM、FMA-100 的加量为 0.3~0.4%时,泡沫基本达到最佳性能;试验结果表明,S-FOAM、FMA-100 的性能均满足要求,但随着加量的增大,发泡剂 FMA-100 具有更优良的泡沫性能。

2.1.2 模拟地层水对发泡剂性能的影响

油气田地层水含较高浓度的 NaCl、Ca²⁺、Mg²⁺和其他离子。表 2 为也门 1 区块 Abyed-1 井地层水分析结果,水型为 CaCl₂。

表 2 也门 1 区块 Abyed-1 井地层水分析
Table 2 Formation water analysis of Well Abyed-1 of Block 1 in Yemen

井深/m	离子质量浓度/(mg·L ⁻¹)						总矿化度/ (mg·L ⁻¹)
	K ⁺ +Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	
2 096.00~2 105.00	12 426.03	1 871.30	620.60	22 067.60	2 856.50	739.20	40 581.27
1 982.30~2 018.90	11 991.10	3 226.40	698.90	24 715.70	2 422.80	141.58	43 196.64

室内模拟现场油田水进行污染评价,模拟地层水参考表2。模拟地层水对泡沫性能影响试验结果见表3。

表3 无机盐对泡沫性能的影响

Table 3 Influence of inorganic salt on foaming performance

配 方	V_0/mL	$t_{0.5}/\text{s}$
清水+0.3% S-FOAM	486	533
清水+0.3% FMA-100	423	517
2.0% CaCl_2 +0.3% S-FOAM	460	531
2.0% CaCl_2 +0.3% FMA-100	435	1 032
10.0% 盐水+0.3% S-FOAM	460	610
10.0% 盐水+0.3% FMA-100	430	725
10.0% 盐水+0.6% S-FOAM	475	656
10.0% 盐水+0.6% FMA-100	465	795
复合盐水+0.3% S-FOAM	480	522
复合盐水+0.3% FMA-100	435	1 127
复合盐水+0.6% S-FOAM	500	562
复合盐水+0.6% FMA-100	450	1 210

注:复合盐水为2.0% CaCl_2 +0.5% MgCl_2 。下同。

由表3可知,发泡剂 S-FOAM 的发泡性能随矿化度增大略有下降,但下降趋势较为平缓,而泡沫半衰期延长明显;随着矿化度的增大,FMA-100 的泡沫性能略有增强,泡沫半衰期则延长明显。

2.1.3 抗岩屑污染能力评价

考虑到钻井过程中钻井流体会受到钻屑、石膏等的污染,进行了抗岩屑污染性能评价试验,结果见表4。

表4 泡沫抗岩屑污染能力试验结果

Table 4 Experimental result of foam's anti-cuttings contamination property

污染物配方	V_0/mL	$t_{0.5}/\text{s}$	pH 值
100 mL 水+5.0 g 岩屑+3.0% S-FOAM	460	562	7.0
100 mL 水+5.0 g 岩屑+0.3% FMA-100	450	657	7.5
100 mL 水+8.0 g 岩屑+0.3% S-FOAM	470	520	
100 mL 水+8.0 g 岩屑+0.3% FMA-100	425	610	
100 mL 水+15.0 g 岩屑+0.3% S-FOAM	435	536	
100 mL 水+15.0 g 岩屑+0.3% FMA-100	415	665	

由表4可知,S-FOAM、FMA-100 均具有良好的抗岩屑污染能力,其泡沫性能变化不大。通过比

较还可以看出:S-FOAM 发泡量较大,半衰期较短;FMA-100 发泡量稍小,但半衰期较长。

2.1.4 煤油对泡沫性能的影响

考虑到钻井过程中废油(主要是柴油和机油)的污染,采用煤油进行了发泡剂的抗油污染试验,结果见表5。

表5 煤油对发泡剂性能的影响

Table 5 Influence of kerosene on foaming performance

泡沫剂	泡沫剂加量, %	V_0/mL	$t_{0.5}/\text{s}$	溶液介质
S-FOAM	0.3	210	483	淡水+15% 煤油
	0.6	335	870	
FMA-100	0.3	422	1 106	复合盐水 +15%煤油
	0.6	455	1 056	
S-FOAM	0.3	200	508	复合盐水 +15%煤油
	0.6	310	910	
FMA-100	0.3	380	1 106	复合盐水 +15%煤油
	0.6	425	1 256	

由表5可知,随着煤油加量的增大,FMA-100、S-FOAM 的起泡体积呈减小趋势,但减小幅度不大,泡沫半衰期延长,主要是由于发泡剂对煤油的乳化作用,乳化后液体黏度增大,乳液微滴在泡膜和 Plateau 边界的流动速度减小,使排液半衰期延长。

2.1.5 基液的循环应用试验

取100 mL 泡沫基液置于高速搅拌杯中,高速搅拌1 min,记录泡沫体积 V_0 和泡沫半衰期 $t_{0.5}$ 。待泡沫自然消泡后,再对泡沫基液进行发泡性能评价,结果见表6。

试验结果表明,泡沫基液可循环利用。通过室内试验可知,采用异辛醇进行泡沫消泡处理后,通过补加发泡剂的方法,仍然可实现泡沫基液的循环利用。

2.1.6 发泡剂与抑制剂的配伍性试验

在100 mL 泡沫基液中加入不同量的抑制剂 KLA-STOP,置于高速搅拌杯中,高速搅拌1 min,观察泡沫性能(试验温度为22℃),结果见表7。

表6 基液循环应用试验结果

Table 6 Experimental result on the reuse of base fluid

发泡剂	加量 0.3%		加量 0.3% ¹⁾		加量 1.0%		加量 1.0% ¹⁾	
	V_0/mL	$t_{0.5}/\text{s}$	V_0/mL	$t_{0.5}/\text{s}$	V_0/mL	$t_{0.5}/\text{s}$	V_0/mL	$t_{0.5}/\text{s}$
S-FOAM	480	536	430	485	520	560	470	502
FMA-100	420	510	410	467	475	716	452	658

1) 均为放置10 h 自然消泡后再搅拌条件下的试验结果。

表 7 发泡剂与抑制剂的配伍性试验结果

Table 7 Compatibility test result of foaming agents and inhibitors

编 号	溶 液	$t_{0.5}/s$	
		S-FOAM	FMA-100
1 #	水+0.4%发泡剂	498	540
2 #	1 #+0.4%KLASTOP	460	521
3 #	1 #+0.8%KLASTOP	424	533
4 #	1 #+1.0%KLASTOP	495	561
5 #	1 #+1.2%KLASTOP	487	588

由表 7 可知,抑制剂 KLASTOP 对泡沫半衰期影响不大,可以作为抑制剂配合使用。

2.2 稳泡剂对泡沫性能的影响

根据现场施工情况,需灵活调整泡沫半衰期,因此可加入稳泡剂,延长泡沫半衰期。稳泡剂的作用:一是通过增加液相黏度来减缓泡沫的排液速度,提高泡沫的稳定性;二是提高液膜质量、增加液膜的黏弹性,减少泡沫内气体的透过性,提高泡沫的稳定性。

选用 CMC-HV、XC 作为稳泡剂,测得泡沫基液的流变性能(见表 8),并考察它们对 FMA-100 和 S-FOAM 泡沫性能的影响,试验结果见表 9。

表 8 泡沫基液的流变性能

Table 8 Rheological properties of foam base fluid

稳泡剂	加量, %	密度/ ($\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\phi 600$	$\phi 300$	$\phi 200$	$\phi 100$	$\phi 6$	$\phi 3$	塑性黏度/ ($\text{mPa} \cdot \text{s}$)	动切力/Pa
CMC-HV	0.30	1.005	20.0	12.0	9.0	5.0	1.0	0.5	8.0	2.0
	0.40	1.005	28.0	17.0	12.0	7.0	1.0	0.5	11.0	3.0
XC	0.15	1.005	8.0	5.0	4.0	2.5	0.5	0	3.0	1.0
	0.20	1.005	11.0	7.0	6.0	3.5	0.5	0	4.0	1.5

表 9 稳泡剂对泡沫性能的影响

Table 9 Influence of foam stabilizer on foaming performance

稳泡剂	稳泡剂加量, %	V_0/mL		$t_{0.5}/s$	
		加 0.4% S-FOAM	加 0.4% FMA-100	加 0.4% S-FOAM	加 0.4% FMA-100
CMC-HV		550	530	520	658
	0.10	450	460	840	1 227
	0.20	420	405	1 335	1 644
	0.30	380	350	1 925	2 376
	0.40	340	335	2 880	3 441
	0.60	305	280	4 477	5 375
	0.80	282	250	6 216	6 385
XC	0.05	530	540	535	712
	0.10	480	490	908	1 312
	0.15	445	460	2 098	3 536
	0.20	450	450	3 524	5 049
	0.40	370	440	13 895	15 842

由表 8、表 9 可知,随着稳泡剂加量的增大,2 种发泡剂的半衰期延长,发泡体积则呈现减小趋势,其中发泡剂 FMA-100 的半衰期相对较长。

2.3 泡沫抗温性试验

将不同质量分数的 2 种发泡剂分别加入到老化罐中,进行不同温度下热滚及同一温度不同热滚时

间的泡沫性能试验,试验结果见表 10、表 11。

由表 10 可知,随着温度升高,发泡剂 S-FOAM 和 FMA-100 的发泡体积逐渐增大,它们的半衰期随温度升高而缩短,但变化幅度均不大。分析认为,这是因为温度升高,液体膨胀,分子间距离增大,表面活性剂分子动能增加,易摆脱水的束缚逃逸到水面,从而使表面吸附量增大,表面张力下降,起泡能力增

表 10 发泡剂在不同温度下的发泡性能
Table 10 Evaluation on foaming performance at different temperatures

稳泡剂及加量	V ₀ /mL		t _{0.5} /s		备 注
	加 0.1% S-FOAM	加 0.1% FMA-100	加 0.1% S-FOAM	加 0.1% FMA-100	
	500	405	468	386	热滚前
	530	410	380	360	40℃/4 h 滚动后
	536	385	362	310	60℃/4 h 滚动后
稳泡剂及加量	V ₀ /mL		t _{0.5} /s		备 注
	加 0.4% S-FOAM	加 0.4% FMA-100	加 0.4% S-FOAM	加 0.4% FMA-100	
0.4% CMC-HV	360	355	2 189	2 020	40℃/4 h 滚动后
0.2% XC	340	350	13 758	14 345	
0.4% CMC-HV	380	370	2 006	1 841	60℃/4 h 滚动后
0.2% XC	360	355	13 755	14 343	

表 11 在同一温度下滚动不同时间后的发泡性能
Table 11 Foaming performance at different temperatures after foam stabilizer added

稳泡剂	稳泡剂加量, %	发泡剂加量, %	V ₀ /mL		t _{0.5} /s		备 注
			S-FOAM	FMA-100	S-FOAM	FMA-100	
		0.1	500	390	398	382	未滚动
		0.1	530	360	360	312	60℃/8 h 热滚
CMC-HV	0.2	0.4	380	350	2 006	1 926	60℃/8 h 热滚
	0.4	0.4	370		1 841		
	0.4	0.4	420	360	1 912	3 070	60℃/16 h 热滚
XC	0.2	0.4	360	360	13 755	14 343	60℃/8 h 热滚
	0.2	0.4	430	370	3 878	9 547	60℃/16 h 热滚

注: 试验溶液体积为量取 100 mL 蒸馏水加入一定量的稳泡剂和发泡剂, 用 8 000 转搅拌器高速搅拌 1 min 后测得的泡沫总体积。

强。温度较高时,一方面,液膜的水分蒸发加剧,排液速度加快,在高速搅拌下生成的泡沫易破灭;另一方面,活性剂分子亲水基的水化作用下降,疏水基碳链间凝聚力减弱,表面黏度降低,泡沫稳定性下降。由表 11 可知在同一温度下热滚后发泡剂 S-FOAM 的发泡效果稍强。

2.4 起下钻用低固相硬胶泡沫性能试验

为了保证起下钻时的井下安全,设计采用长半衰期的泡沫,保证套管顺利下达设计井深,室内评价了含 2.0%、2.5%、3.0%和 4.0%膨润土的硬胶泡沫基液性能,结果见表 12。

表 12 低固相泡沫基液性能试验结果
Table 12 Performance test result of low solid content foam base fluid

硬胶泡沫配方	表观黏度/(mPa·s)	塑性黏度/(mPa·s)	t _{0.5} /s	V ₀ /mL	备 注
1,2,3		黏度过高			膏 状
4	33.5	16	63 263	350	海绵状
5	27.5	14	51 244	330	
6	10.0	8	45 646	370	
7	14.0	8	32 421	320	
8	16.5	10	38 752	300	

注: 配方 1 为 4.0%膨润土+0.2%PAC+0.2%CMC-HV+3.0%KCl; 配方 2 为 4.0%膨润土+0.1%CMC-HV; 配方 3 为 4.0%膨润土+0.3%PAC+0.2%CMC-HV+3.0%KCl; 配方 4 为 3.0%膨润土+0.3%PAC+0.1%NaOH; 配方 5 为 2.5%膨润土+0.2%PAC+0.2%CMC-HV+3.0%KCl; 配方 6 为 2.5%膨润土+0.1%PAC+3.0%KCl; 配方 7 为 2.0%膨润土+0.1%PAC+0.1%CMC-HV+3.0%KCl; 配方 8 为 2.0%膨润土+0.1%PAC+0.1%CMC-HV。

由表 12 可知,4.0%膨润土黏度过高(漏斗黏度在 90 s 以上),不适合用于雾化泵抽取;3.0%膨润土黏度和加入发泡剂后的半衰期符合设计要求;发泡剂 FMA-100 的加量为 0.5%时,半衰期最长(17.5 h)。

2.5 硬胶泡沫钻井流体发泡剂添加剂优选结果

1) 发泡剂 S-FOAM、FMA-100 的泡沫质量较好,半衰期较长,其最佳加量为 0.3%~0.6%;相比较而言,FMA-100 的半衰期稍长。

2) S-FOAM和 FMA-100 均具有良好的抗污染能力。S-FOAM发泡量较大,半衰期较短;FMA-100 发泡量较小,半衰期较长。综合认为,FMA-100 整体抗污染性能稍强。

3) 用 S-FOAM和 FMA-100 配制的流体,消泡后其基液可以重复应用。

综上所述,选择综合性能较优的 FMA-100 作为硬胶泡沫钻井流体的发泡剂。

3 硬胶泡沫钻井施工参数设计要求

采用硬胶泡沫钻井时,对施工参数有如下要

求^[5-7]:1)要控制井底当量循环密度以确保地层稳定,即大于地层坍塌压力,小于地层破裂压力;2)泡沫的环空返速要满足携岩要求,泡沫环空速度大于岩屑的沉降速度;3)井口泡沫质量系数应不大于 0.97,井底泡沫质量系数应大于 0.55。

以也门 1 区块某井一开为例,进行泡沫钻井工艺参数计算。该井一开采用 $\phi 660.4$ mm 钻头,硬胶泡沫应用井段为 10.50~750.00 m,导管下深 15 m。钻具组合为: $\phi 660.4$ mm 空气锤+浮阀+ $\phi 241.3$ mm 无磁钻铤(1 根)+ $\phi 241.3$ mm 钻铤(2 根)+ $\phi 203.2$ mm 钻铤(3 根)+ $\phi 165.1$ mm 钻铤(3 根)+ $\phi 127.0$ mm 加重钻杆(15 根)+ $\phi 127.0$ mm 钻杆+浮阀。基本参数为:地温梯度 2.0 °C/100 m,岩屑颗粒密度 2.4 g/cm³,空气密度 1.293 kg/m³,环境温度 20 °C,机械钻速 16 m/h,水眼直径 33 mm。不同注气、注液参数条件下的钻井流体携岩能力及当量循环密度见表 13。

根据表 13 的数据,设计注气量为 42.47 m³/min,液量为 3.15 L/s,回压 0.51~0.71 MPa,当量循环密度可在 0.32~0.43 kg/L 之间调整。这些参数可保证合适的循环周(87~112 min)和较小的上返速度,减小井壁冲刷。

表 13 不同注气注液参数下钻井流体的携岩能力及当量循环密度

Table 13 Cutting-carrying capacity and ECD of drilling fluids with different air and liquid injection parameters

注气量/ (m ³ ·min ⁻¹)	注液量/ (L·s ⁻¹)	注入压力/ MPa	出口处压 力/MPa	井深 262 m 处 的压力/MPa	井深 262 m 处钻 井流体当量循环 密度/(kg·L ⁻¹)	最小携岩 效率/%	井底返速/ (m·s ⁻¹)	井底返速对应 循环周/min
42.47	3.15	1.43	0.36	0.61	0.24	92	0.110	67
42.47	3.15	1.50	0.51	0.83	0.32	92	0.090	87
42.47	3.15	1.93	0.71	1.12	0.43	91	0.070	112
42.47	6.31	1.15	0.21	0.46	0.18	93	0.130	54
42.47	6.31	1.61	0.51	0.92	0.36	91	0.080	95
42.47	6.31	1.77	0.61	1.08	0.42	91	0.072	107
28.32	6.31	1.18	0.21	0.58	0.22	88	0.062	102
28.32	6.31	1.90	0.61	1.31	0.51	85	0.040	175

4 硬胶泡沫钻井设备配套

针对也门 1 区块 $\phi 660.4$ mm 井眼进行了泡沫钻井设备配套,结果见表 14。

5 流沙层硬胶泡沫钻井技术现场应用

流沙层泡沫钻井技术在也门 1 区块 Abyed-2 井的流沙层进行了应用。应用井段井眼尺寸为 660.4 mm。243~300 m 井段钻井流体配方为 0.3%~

0.4%PAC-R+发泡剂+空气+KLASTOP(抑制剂),半衰期 40 min;300~584 m 井段钻井流体配方为 0.3%~0.4%PAC-R+发泡剂+空气,半衰期 40 min;泡沫当量密度 0.16~0.35 kg/L。泡沫钻井参数见表 15。

该井钻至井深 584 m 一开中完起钻,注入半衰期为 17 h 的膨润土泡沫洗井 3 h,注气量 17 m³/min,基液注入量 0.21 m³/min;泡沫钻井流体配方为 3.00%膨润土+0.20%PAC-R+0.06%NaOH,基液漏斗黏度为 80~90 s。

表 14 也门 1 区块 $\phi 660.4$ mm 井眼泡沫钻井设备配置

Table 14 Supporting equipment for Block 1 in Yemen $\phi 660.4$ mm section foam drilling

设备	描述	数量
空压机	型号为 Ingersoll Rand XHP 900/350,排量为 25.48 m ³ /min,压力为 2.41 MPa	8 台
增压机	型号为 Joy WB-12,最大增压值为 12.76 MPa,对应排量为 43.89 m ³ /min;最小增压值为 9.65 MPa,对应排量为 60.88 m ³ /min	3 台
雾化泵	型号为 National J-60,额定压力 10.34 MPa,额定排量 0.23 m ³ /min	2 台
化学剂注入泵	排量 0.076 m ³ /min	2 台
旋转控制头	型号为 Williams 9000,动压 3.5 MPa,静压 7.0 MPa,弹性密封	2 套
气液分离器	MGS-1500 布兰特液气分离器,额定工作压力 1.05 MPa,处理气体量 184×10 ⁴ m ³ /d,处理液体量 9 300 m ³ /d。	1 套
浮阀	$\phi 139.7$ mm 舌板式止回阀,强制回压阀与钻具匹配	
排屑管线	外径 203.2 mm 或 254.0 mm,压力 0.34 MPa	1 套
注入管线	外径 50.8 mm,13.79 MPa	1 套
六棱方钻杆	外径 133.4 mm,内径 76.2 mm	2 套

表 15 Abyed-2井流沙层硬胶泡沫钻井参数

Table 15 Ebonite foam drilling parameters of Well Abyed-2 drift sand formation

井深/m	转速/ (r · min ⁻¹)	钻压/kN	扭矩/ (kN · m)	基液注入量/ (m ³ · min ⁻¹)	压力/MPa	注气量/ (m ³ · min ⁻¹)	泡沫剂加量, %	钻速/ (m · h ⁻¹)
243~257	70	20~40	3~4	0.147	0.69	22.65	0.5	10
257~272	70	20~30	2~3	0.151	0.69	22.65~24.07	0.5	12
272~339	70	10~60	2~3	0.151	0.97	28.32	0.5	10
339~350	60	20~40	3~4	0.151	0.86	22.65	0.5	8
350~410	60	20~50	3~4	0.151	0.83	28.32	0.5	12
410~493	60	10~100	3~4	0.151	0.83~0.97	28.32	0.5	9~12
498~560	60	20~40	3~4	0.151	0.83~0.97	25.49~28.32	0.5	12
560~584	60	20~40	3~4	0.151	3.10~4.14	25.49	0.5	8~10

Abyed-2井泡沫钻井试验表明,一开上部流沙层地层平均机械钻速 5 m/h,相比邻井提高了 3.2 倍,且钻进过程中未发生漏失、未出现井壁失稳问题。

6 结束语

通过发泡剂性能室内评价、稳泡剂对泡沫性能的影响、泡沫抗温性试验及起下钻用低固相硬泡沫性能试验,伏选出了硬胶泡沫钻井流体的发泡剂 FMA-100,并结合硬胶泡沫钻井施工参数设计要求进行了针对也门 1 区块 $\phi 660.4$ mm 井眼的硬胶泡沫钻井设备配套,确定了也门 1 区块 Abyed-2井流沙层硬胶泡沫钻井流体配方。应用效果充分说明,流沙层硬胶泡沫钻井技术可以有效解决也门 1 区块流沙层钻进地层漏失严重、机械钻速低、井壁稳定性等方面的钻井难题。不过该技术尚在探索当中,建议针对该地区类似地层继续进行现场试验,以优化相关工艺参数,完善现场工艺技术。

参 考 文 献

References

[1] ASME Shale Shaker Committee. Drilling fluids processing

handbook[M]. USA:Gulf Professional Publishing,2005:530.

[2] 李兆敏,董贤勇. 泡沫流体油气开采技术研究进展[M]. 东营: 中国石油大学出版社,2009:231-234.

Li Zhaomin,Dong Xianyong. Development of technical research on foam fluid oil/gas exploitation[M]. Dongying: China University of Petroleum Press,2009:231-234.

[3] Reed R M. Use of foaming agents in air drilling Oldham County,Texas[R]. API Drilling and Production Practice 58-027, 1958.

[4] 张端琴. 泡沫液性能及岩屑对泡沫钻井液稳定性影响的研究[D]. 长春: 吉林大学建设工程学院,2008.

Zhang Duanqin. Research on foam fluid properties and effect of cutting on foam drilling fluid stability[D]. Jilin University, College of Construction Engineering,2008.

[5] 赖晓晴,申瑞臣,李克华,等. 稳定泡沫钻井流体抑制性研究[J]. 长江大学学报:自然科学版,2006,3(1):25-28.

Lai Xiaoping,Shen Ruichen,Li Kehua,et al. Shale inhibition of foam fluids for stabilized foam drilling[J]. Journal of Yangtze University:Natural Sciences Edition,2006,3(1):25-28.

[6] 肖国益,赵向阳,孟英峰,等. 气体钻井携岩关键点多相流动规律研究[J]. 石油钻采工艺,2011,33(1):23-25,29.

Xiao Guoyi,Zhao Xiangyang,Meng Yingfeng,et al. Research on the multiphase flowing law of cuttings transportation key point in gas drilling[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2011,33 (1):23-25,29.

[7] 赵福麟. 油田化学[M]. 东营:石油大学出版社,2000:104.

Zhao Fulin. Oilfield chemistry[M]. Dongying:Petroleum University Press,2000:104.