

文章编号: 0253-2697(2004)06-0092-04

可循环微泡沫钻井液研究及应用

张振华

(辽河石油勘探局工程技术研究院 辽宁盘锦 124010)

摘要: 根据微泡沫理论模型,在室内合成出了微泡沫发泡剂 MF-1。对该发泡剂的性能进行了评价。结果表明,微泡沫发泡剂 MF-1 的抗温能力大于 150℃,抗盐能力达到了 10%,抗油能力达到了 15%,抗钙能力达到了 5g/L。在此基础上研制出了性能良好的微泡沫钻井液配方,对其结构进行了显微分析。结果表明,微泡沫气泡群体是以单个悬浮和部分相互连接的方式存在于体系中,微气泡之间在平面上为点接触,气泡呈大小不等的圆球体。该钻井液密度在 0.6~0.95g/cm³ 范围内可调,体系稳定性良好。在锦 45-15-26C 井的现场应用证实,在整个钻进过程中该钻井液性能稳定,没有出现气液分层现象,泡沫细小,泥浆泵上水正常,微泡沫钻井液的各项性能均能满足现场使用的技术要求。

关键词: 低压油气藏;欠平衡钻井;微泡沫发泡剂;微泡沫钻井液;稳定性

中图分类号: TE254

文献标识码: A

Preparation and application of circulative micro-foam drilling fluid

ZHANG Zhen-hua

(Research Institute of Engineering and Technology, Liaohe Petroleum Exploration Bureau, Panjin 124010, China)

Abstract: Based on the theoretical model of micro-foam microstructure and performance, a micro-foam agent MF-1 was synthesized in laboratory. The performance evaluation shows that the temperature resistance capability of MF-1 is over 150℃, and the salt resistance capability is over 10 percent, and the calcium resistance capability is over 5g/L. Based on the micro-foam agent MF-1, the micro-foam drilling fluid system with a good performance was developed. The microstructure of the micro-foam drilling fluid was analyzed by microscopy. The result shows that the bubbles of micro-foam drilling fluid are suspended in single or partially connected in dot in the plane. The shape of the bubble is round, and the volume is unequal. The density of the drilling fluid changes from 0.6 g/cm³ to 0.95 g/cm³. The application of the micro-foam drilling fluid in Jin45-15-26C Well showed that the performance of this kind of drilling fluid was stable, and the gas-liquid phase was not layered in the whole drilling process. The foam of the drilling fluid was fine, and the operation of mud pump was normal. The performances of the micro-foam drilling fluid can meet the demand of the actual drilling process.

Key words: low-pressure reservoir; under balanced drilling; micro-foam agent; micro-foam drilling fluid; stability

可循环微泡沫钻井液技术是目前国内外用于勘探开发低压裂缝性油气藏、稠油油藏、低压、低渗透油气层、易发生严重漏失的油气藏和能量枯竭油气藏及实现近平衡压力钻井或负压差钻井而发展起来的一项新技术^[1-6]。该钻井液具有密度小、滤失量小、不易发生漏失和保护油气层效果好等特点,且无须配备专用设备,施工周期短,成本较低,地面循环过程中不需要额外设备,基本不影响泥浆泵的上水效率,因而具有良好的应用前景。笔者对微泡沫结构及性能进行了综合分析,在室内合成出了性能优良的微泡沫发泡剂 MF-1,在此基础上研制出了性能良好的微泡沫钻井液配方,并在锦 45-15-26C 井上进行了现场应用。

1 微泡沫发泡剂 MF-1 的研制

1.1 微泡沫体系的理论模型

从相态结构和稳定性的原理来看,微泡沫与普通泡沫存在较大的差异。微泡沫是由多层膜包裹着气核的独立球体组成的,其中液膜是维持气泡强度的关键。由于微泡沫之间相互独立,因此在连续相相同的条件下,微泡沫体系的密度要大于普通泡沫体系的密度,但小于纯水的密度。微泡沫的理论物理模型见图 1。微泡沫体系应具有以下特点:①微泡沫是气泡分散在液体中所形成的稳定分散体系;②气泡群体可能以单个悬浮和部分相互连接的方式存在于体系中,其稳定性

作者简介: 张振华,男,1969 年 4 月生,2000 年毕业于石油大学(北京),博士后,现为辽河石油勘探局工程技术研究院副总工程师,主要从事油气井工作液化学和油气层保护技术研究。E-mail: zhangzhenhua 469@cyou.com

主要靠膜的强度和连续相的特定性能共同实现;③微气泡之间接触为平面上的点接触,因而微气泡膜之间的连接处可能不存在 Plateau 边界;④微泡沫中的气泡呈大小不等的圆球体。

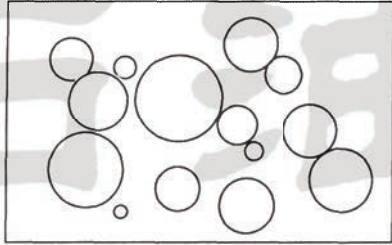


图1 微泡沫体系的理论物理模型示意图

Fig.1 The sketch map of theoretic physics model for micro-foam system

1.2 微泡沫发泡剂 MF-1 的理化性能

经过室内大量的合成试验,合成出了一种微泡沫发泡剂 MF-1,并进行了工业性大样放产试验。该产品外观为棕褐色粘稠液体,密度范围为 $1.00 \sim 1.10 \text{g/cm}^3$ 。在 100mL 溶液中加入 0.5% 该产品后进行高速搅动,泡沫均匀细小。发泡量大于 500mL ;半衰期大于 60min ;抗温能力大于 150°C ;抗钙能力大于 5g/L ;抗盐能力大于 10% ;抗油能力大于 15% 。

2 微泡沫钻井液体系

2.1 微泡沫钻井液体系的特点

微泡沫钻井液体系的特点如下:①微泡沫钻井液是由气-液或者气-液-固多相组成的分散体系;②微泡沫钻井液中的气泡以均匀、非聚集、非连续态存在;③微泡沫钻井液中的泡沫质量在 $0.2 \sim 0.6$ 的范围内可调;④微泡沫钻井液密度在 $0.6 \sim 0.95 \text{g/cm}^3$ 的范围内可调;⑤气体来源可以由化学法产生,也可以由物理法产生。

形成微泡沫钻井液的关键技术包括:具备发泡能力强、泡沫细小、泡沫寿命长的起泡剂;具备抗盐、抗钙、抗温的稳泡剂;基液性能满足形成和稳定微泡沫体系要求。

2.2 微泡沫钻井液的组成

微泡沫钻井液的基本组成为:基液 + 起泡剂 + 稳泡剂 + 降滤失剂 + 增粘剂。经过大量室内试验,形成的钻井液配方如下:

基液 + 0.3% MF-1 + 0.03% SF-1 + 2% SMP-II + 0.05% 80A51 + 0.2% XC + 1% SPNH

在该配方中, MF-1 为微泡沫发泡剂, SF-1 为液膜

强度增强型稳泡剂, SMP-II 和 SPNH 为抗温型降滤失剂, 80A51 为增粘剂, XC 为流型调节剂和增粘剂

2.3 微泡沫钻井液在常温下的性能

按上述配方进行了室内配制,为使该钻井液更加接近现场实际的使用工况,采用低速搅动 10min (转速 2800r/min) 后,对该钻井液在常温下的性能进行了测试,结果如下:微泡沫钻井液的密度为 0.591g/cm^3 , 表观粘度为 $45 \text{mPa}\cdot\text{s}$, 塑性粘度为 $29 \text{mPa}\cdot\text{s}$, 动切力为 16Pa , 10s 和 10min 的初切力为 7Pa , 终切力为 19Pa , API 滤失量为 10mL , pH 值为 9.5 。从这些数据可以看出,微泡沫钻井液在常温下的性能良好

2.4 微泡沫钻井液在高温热滚之后的性能

在室内,对该钻井液在 120°C 条件下热滚 24h 后进行了常规性能的测量,搅动时间为 10min ,搅动速率为 2800r/min 。测量结果如下:微泡沫钻井液的密度为 0.650g/cm^3 , 表观粘度为 $42 \text{mPa}\cdot\text{s}$, 塑性粘度为 $28 \text{mPa}\cdot\text{s}$, 动切力为 14Pa , 10s 和 10min 的初切力为 5Pa , 终切力为 13Pa , 动切与塑性粘度之比为 0.5 , API 滤失量为 9.6mL , pH 值为 9.5 。

从这些数据可以看出,微泡沫钻井液在高温后的性能也达到了现场使用的要求。

2.5 微泡沫钻井液的微观特征

使用日本尼康公司生产的 ALPHAPHOT-2 YS2-H 型生物显微镜,对配制好的微泡沫钻井液的显微特征进行了观察。实验过程中,将微泡沫钻井液充分搅拌后,取少量置于载物片上,将放大倍数调整到 100 倍后,所得到的图像见图 2。

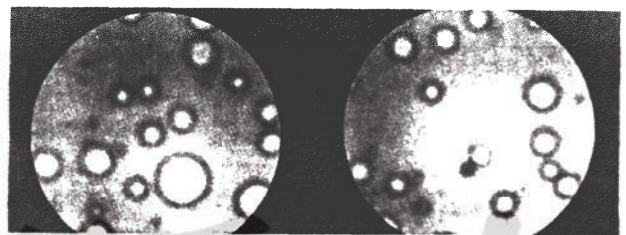


图2 微泡沫钻井液放大 100 倍之后的显微特征

Fig.2 The microstructure of micro-foam drilling fluid magnified for 100 times

从图 2 中可以看出,微泡沫钻井液中泡沫是以非聚集、非连续态形式存在的,粒径细小。对微泡沫的粒径进行统计和分析结果表明,在常温常压下, 92% 的微泡沫粒径为 $10 \sim 100 \mu\text{m}$, 微泡之间为点接触,不存在 Plateau 边界,因此泡沫的稳定性能大幅度提高。同时,这种粒径的微泡沫在地面固控系统也能循环使用,不会被消除,并且不会影响泥浆泵的上水效率。

2.6 微泡沫体系及微泡沫钻井液的稳定性

微泡沫发泡剂 MF-1 与稳泡剂 SF-1、增粘剂 80A51 和流型调节剂 XC 均具有良好的配伍性和稳定性。将 0.5% MF-1 加 0.1% SF-1 (稳泡剂) 后, 100mL 溶液发泡量为 525mL, 高速搅动 1min, 半衰期为 1655min。发泡剂 MF-1 在没有加入稳泡剂 SF-1 前的半衰期只有 60min, 这说明加入稳泡剂 SF-1 后其稳定性得到了大幅度的提高, 而且没有影响到 MF-1 的发泡能力。

在 0.5% MF-1 中加入 0.2% SF-1、0.05% 80A51 和 0.2% XC 后, 100mL 溶液的发泡量为 540mL, 半衰期为 6151min。可以看出, 发泡剂 MF-1 在加入了稳泡剂 SF-1 以及与之配伍性良好的钻井液材料后, 其稳定性得到了进一步的提高, 基本可以满足现场使用的技术要求。

将配制成的钻井液倒入 500mL 具塞量筒中, 在室内静置 96h 后观察, 仍然不出现分层现象。钻井液泡沫细小均匀, 用肉眼基本观察不到泡沫的存在。96h 后重新测量, 该钻井液的密度基本不变。

2.7 微泡沫钻井液保护储层的效果

采用国产 JHDS 高温高压动态失水仪, 对微泡沫钻井液动态污染实际岩心的效果进行了评价。实验中采用 2 块雷 60 井砂三段 2684~2973m 砂岩岩心, 将处理后的岩样装入岩心夹持器内, 实验流体装入高压釜, 加温、加压到预定值。然后转动内筒, 实验流体便在岩样端面作径向层流流动, 它在压差作用下对岩样进行滤失污染。通过调节转速, 可改变岩样端面的剪切力大小。待污染完毕后取出岩样待测。

实验温度为室温 20℃ 和高温 120℃, 表 1 列出了在室温下的实验结果; 表 2 列出了在高温下的实验结果。

表 1 岩心在常温下动态污染实验结果

Table 1 The dynamic pollution result of core under normal temperature

岩心号	污染前渗透率 $K/\mu\text{m}^2$	污染方式	温度 $T/^\circ\text{C}$	污染后渗透率 $K/\mu\text{m}^2$	渗透率恢复率 /%
1	2.15×10^{-3}	动态	20	1.80×10^{-3}	83.7
2	2.58×10^{-3}	动态	20	2.35×10^{-3}	91.8

表 2 岩心在高温下的动态污染实验结果

Table 2 The dynamic pollution result of core under high temperature

岩心号	污染前渗透率 $K/\mu\text{m}^2$	污染方式	温度 $T/^\circ\text{C}$	污染后渗透率 $K/\mu\text{m}^2$	渗透率恢复率 /%
1	2.15×10^{-3}	动态	120	1.75×10^{-3}	81.4
2	2.58×10^{-3}	动态	120	2.15×10^{-3}	83.3

从表 1 和表 2 可以看出, 优选的微泡沫钻井液可以满足保护低渗透油气藏的需要。

3 现场应用

锦 45 块位于辽河盆地西部凹陷西斜坡南端的欢喜岭油田单斜构造第二断阶带上, 开发目的层为于楼油层和兴隆台油层。锦 45-15-26C 井为 1996 年 5 月完钻的一口开发(定向)井, 其中东营组底界深度为 981.0m, 厚度为 183.5m; 沙河街 1+2 组底界深度为 1084.05m, 厚度为 103.05m。由于下部套管变形, 决定对该井进行侧钻。窗口位置为 870m, 该处套管外径为 177.80mm。侧钻井眼尺寸为 152mm, 钻井进尺为 210m。该油藏地层压力系数为 1.05~1.10, 决定使用微泡沫钻井液进行钻进。

2003 年 7 月 10 日 20:00 开始为该井配制微泡沫钻井液。配制微泡沫钻井液前, 先用加料漏斗添加生物聚合物 XC 和改性淀粉。在添加微泡沫发泡剂 MF-1 和稳泡剂 SF-1 之前, 钻井液密度为 $1.04\text{g}/\text{cm}^3$, 马氏漏斗粘度为 75s, 表观粘度为 $25\text{mPa}\cdot\text{s}$, 塑性粘度为 $16\text{mPa}\cdot\text{s}$, 动切力为 9Pa, 钻井液 API 滤失量为 14mL, 泥饼厚度为 1mm, pH 值为 12。当天 21:30 开始添加发泡剂 MF-1 和稳泡剂 SF-1。由于开始加发泡剂时采用的是直接在泥浆罐中添加的方式, 搅拌机的剪切速率不够, 同时井筒中涌出的部分原油不断溶解发泡剂, 因此钻井液密度在开始阶段较高。后来采用如下措施, 即: ①增加发泡剂的用量; ②采用加料漏斗的方式添加发泡剂和稳泡剂, 让部分气体进入钻井液; ③将用铣锥开窗的钻柱组合改换成侧钻的钻柱组合, 并堵住 1 个钻头水眼, 增加井底钻头喷嘴的剪切速率。之后钻井液密度开始降低。在整个钻进过程中, 钻井液始终没有出现气液分层现象。泡沫细小, 用肉眼基本观察不到钻井液中泡沫的存在。泥浆泵上水正常, 排量基本达到了 F-800 泥浆泵的额定排量。整个钻进过程中微泡沫钻井液的性能检测情况见表 3。

4 结论

(1) 室内合成的微泡沫发泡剂 MF-1 泡沫细小, 抗温能力大于 150℃, 抗盐能力达到了 10%, 抗油能力达到了 15%, 抗钙能力达到了 5g/L。

(2) 研制的微泡沫钻井液密度在 0.6~0.95 g/cm^3 范围内可调, 体系稳定性良好, 长时间放置不会出现气液分层现象。高温下性能良好。

(3) 微泡沫钻井液体系保护低渗透储层效果良好。

表 3 在整个钻进过程中微泡沫钻井液性能检测结果

Table 3 the performance of micro-foam drilling fluid in the whole drilling process

日期	时间	密度 ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	漏斗粘度 /s	600 r/min	300 r/min	200 r/min	100 r/min	6 r/min	3 r/min	API 滤失量 /mL	pH 值
2003-07-10	21:30	1.01	50	35	21	16	10	4	3	—	12
2003-07-11	00:30	1.01	75	50	34	26	19	9	8	14	12
2003-07-11	05:49	0.99	120	71	48	40	29	16	14	—	12
2003-07-11	07:00	0.99	62	70	48	40	29	16	14	—	12
2003-07-11	07:30	0.97	64	91	62	48	31	9	7	—	12
2003-07-11	08:00	0.96	60	54	38	33	23	13	11	—	10
2003-07-11	17:15	0.92	59	71	48	40	29	16	14	—	13
2003-07-11	20:10	0.94	58	46	31	25	19	11	9	13	14
2003-07-11	20:45	0.90	58	44	39	24	18	9	8	13	14
2003-07-11	21:30	0.90	56	42	28	23	17	9	8	13.6	14
2003-07-11	22:40	0.87	60	41	29	24	18	12	11	13.6	14
2003-07-11	23:40	0.87	62	42	29	24	16	11	10	10	12
2003-07-12	00:55	0.82	58	40	28	22	15	9	8	9.8	12
2003-07-12	01:30	0.80	58	35	25	22	16	11	10	9	12

(4) 微泡沫钻井液在锦 45-15-26C 侧钻井进行的现场试验初步证实,该钻井液在整个循环和钻进过程中性能稳定,没有出现气液分层现象,泡沫细小,泥浆泵上水正常,地面出口钻井液密度最低可调整至 $0.80\text{g}/\text{cm}^3$,振动筛处不漏钻井液,微泡沫钻井液的其他各项参数都基本满足现场使用的技术要求。

参 考 文 献

- [1] Francisco Ramirez, Roberto Greaves, Julio Montilva. Experience using microbubbles-aphron drilling fluid in mature reservoirs of Lake Maracaibo[R]. SPE 73710, 2002:1-10.
- [2] Brookey Tom. "Micro-Bubbles" new aphon drilling fluid technique reduces formation damage in horizontal wells[R]. SPE 39589, 1998:11-17.
- [3] Argillier J F, Herzhaft B, Toure A. Stability and flowing properties of aqueous foams for underbalanced drilling[R]. SPE 48982, 1998:15-23.
- [4] Negrao A F, Cunha J C. An overview of air/gas/foam drilling in Brazil[R]. SPE 56865, 1999:109-114.
- [5] 刘德胜,郭志强,郑永臣.微泡沫钻井液在哈 345X 井的应用[J].钻井液与完井液, 2000, 17(5):21-24.
- [6] 隋跃华,成效华,孙强,等.可循环泡沫钻井液研究与应用[J].钻井液与完井液, 1999, 16(5):15-20.
- (收稿日期 2004-02-04 改回日期 2004-06-16 编辑 杨 茁)
- (上接第 91 页)
- selection of bridging particles for reservoir drilling fluids[R]. SPE 58793, 2000:183-191.
- [6] Fayed M E, Otten L. 粉体工程手册[M].北京:化学工业出版社, 1992:87-102.
- [7] 曾凡,胡永平.矿物加工颗粒学[M].徐州:中国矿业大学出版社, 1995:75-86.
- [8] Kaeuffer M. Determination de L'Optimum de remplissage granulometrique et quelques proprietes S'y rattachant[C]. Rouen: Congress International de l'A. F. T. P. V., 1973:1-12.
- [9] Hands N, Kowbel K, Maikranz S. Drilling-in fluid reduces formation damage and increases production rates[J]. Oil & Gas J, 1998, 96(28):65-68.
- [10] Smith P S, Browne S V, Heinz T J, et al. Drilling fluid design to prevent formation damage in high permeability quartz arenite sandstones[R]. SPE 36430, 1996:147-152.
- (收稿日期 2003-10-20 改回日期 2004-01-08 编辑 杨 茁)