

气体钻井抗油防塌稳定泡沫的研制<sup>\*</sup>

周长虹 黄宁生 许期聪 蒲刚 蒋斌 李刚 吕涛

川庆钻探工程有限公司钻采工艺技术研究院

周长虹等.气体钻井抗油防塌稳定泡沫的研制.天然气工业,2009,29(11):53-55.

**摘 要** 针对目前所使用的充气泡沫体系抑制性和抗油性不强等缺点,从泡沫基液出发,开展了气体钻井抗油防塌稳定泡沫的研究。通过对起泡剂、稳定剂、抑制剂的评价和筛选,优选出了抗油性能强、抑制效果好、稳定周期可调范围宽的各种处理剂,并采用正交实验方法完成了配方优化实验,形成了以非离子表面活性剂 QP-1 为发泡剂、KCl 为抑制剂、CMC 为稳定剂的抗油防塌泡沫体系。综合性能评价表明:该体系抑制性强,滚动回收率高达 97%、抗油能力达到 15%、钻屑容量极限为 10% 以上,并且无毒。该体系的成功研制为进一步拓宽气体钻井应用范围、提高机械钻速创造了条件,同时对环境不会造成污染。

**关键词** 深井 超深井 泡沫 正交实验 气体钻井 机械钻速 环境保护

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2009.11.016

目前,地层出油是阻碍气体钻井实施的一大难题,由于原油的黏度高,气体钻井钻遇地层出油后岩屑粘结成团的几率大,如果处理方法不恰当,会导致井眼净化不良、环空堵塞或卡钻等井下复杂情况的发生。据四川油气田气体钻井统计数据显示,有 38% 左右的井在实施气体钻井期间均因地层出油而被迫转换成常规钻井液钻井,地层出油大幅度地缩短了气体钻井进尺,影响了全井提速效果。鉴于此,为了提高机械钻速、扩大气体钻井应用范围、加快勘探开发进程,开展了气体钻井抗油防塌稳定泡沫的室内研制。

1 抗油防塌泡沫的配方研制

1.1 抗油发泡剂的优选

发泡剂的主要成分是表面活性剂。通常用的表面活性剂主要有阴离子、阳离子、两性离子及非离子 4 种类型。阴离子表面活性剂发泡率高,但对硬水敏感,抗污染能力差;阳离子表面活性剂不怕硬水和酸性环境,但价格昂贵;两性离子—甜菜碱类表面活性剂,具有阴离子及阳离子表面活性剂的特点;非离子表面活性剂既不怕硬水也不受 pH 值的限制,但发泡率相对较低<sup>[1-2]</sup>。针对发泡剂的特点及实用性,笔者

选择了 6 种发泡剂运用 Waring Blender 法采用泡沫评价程序进行实验优选,包括:阴离子发泡剂(QP-2、QP-3)、两性离子发泡剂(QP-4、QP-6)以及非离子发泡剂(QP-1、QP-5),实验结果见图 1。

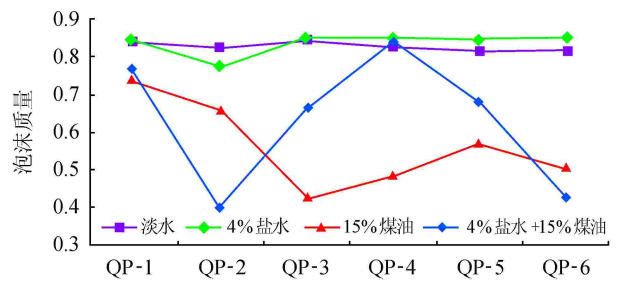


图 1 不同类型发泡剂在盐水、清水以及煤油中的泡沫质量图

实验分别考察了不同种类起泡剂在清水、盐水、煤油以及盐水和煤油的共同作用下的泡沫质量。结果表明非离子表面活性剂 QP-1 的效果最佳,盐、油对其泡沫质量的影响小,其值均在 0.75 以上,故实验优选 QP-1 作为抗油防塌泡沫体系的发泡剂。

1.2 稳定剂的优选

在充气泡沫钻井中,要保证良好的携岩能力,除具有较高的泡沫质量外,还必须具备良好的稳定性。一般而言,提高泡沫稳定性的方法是向泡沫基

<sup>\*</sup> 本文为国家高技术研究发展计划(863 计划)项目“气体钻井技术与装备”(编号:2006AA06A103)的研究成果。  
**作者简介:** 周长虹,1981 年生,助理工程师,硕士;2007 年毕业于西南石油大学油气井工程专业;从事气体钻井技术服务及科研工作。地址:(618300)四川省广汉市中山大道南二段。电话:13778218220。E-mail:zych861004@163.com

液中添加高分子聚合物,高分子聚合物的加入增加了液膜的表面黏度,从而使泡沫的稳定性增加<sup>[3]</sup>。笔者根据聚合物分子的结构和特点,优选了 5 种聚合物进行实验(XC、FA367、CMC、PAC-H、XY-27)。实验分别向 QP-1 的泡沫基液中加入 0.3% 的聚合物分子来考察发泡率和半衰期(见图 2、表 1)。

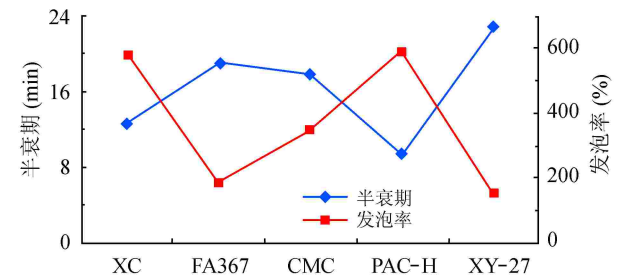


图 2 稳定剂的稳定性实验图

表 1 泡沫基液品质表

| 泡沫质量    | 半衰期(min) | 发泡率(%)    |
|---------|----------|-----------|
| 0.823 5 | 8.420 0  | 566.700 0 |

根据实验结果,稳定剂 CMC 的加入对发泡率的影响较小,且具有良好的稳定能力;XC 和 PAC-H 的加入虽然提高了半衰期,但发泡率较低;FA367 和 XY-27 的稳定能力差。实验最终优选 CMC 作为体系的稳定剂。

1.3 抑制剂的优选

在泡沫钻井中泡沫流体所形成的液柱压力平衡不了地层压力,一般情况下,泡沫密度为 0.1~0.2 g/cm<sup>3</sup>,液柱静压力只有水的 2%~5%。因此,不能从安全密度窗口出发来考虑泥页岩井壁稳定性,目前解决这一问题的办法主要在泡沫流体中加入抑制剂来抑制泥页岩水化膨胀,保持良好的井壁稳定性<sup>[4]</sup>。抑制剂一般为聚合物和离子型,笔者优选 KCl 作为体系抑制剂。

以优选的处理剂为基础,采用正交实验方法进行了泡沫体系优配实验,结果配方为:0.67% QP-1+0.2% CMC+7.0% KCl。

2 抗油防塌泡沫体系的综合性能评价

2.1 体系抑制能力评价

为全方位考察体系抑制性能,作了滚动回收率、页岩膨胀和基液岩样浸泡实验。

2.1.1 滚动回收率实验(实验条件:热滚 80℃,16 h)

由表 2 可知,通过对比蒸馏水和泡沫基液体滚动回收率百分数可知,泡沫体系的滚动回收率高达 97%,比蒸馏水回收率高 37%,证明该体系具有很强的抑制性。

表 2 滚动回收率实验表

| 编号  | 基液类型                                   | 取样量(g) | 回收量(g) | 回收率(%) |
|-----|----------------------------------------|--------|--------|--------|
| 1 号 | 150 mL 淡水+0.67% QP-1+0.2% CMC+7.0% KCl | 32     | 31.09  | 97     |
| 2 号 | 蒸馏水                                    | 32     | 19.22  | 60     |

2.1.2 页岩膨胀实验

采用标准钙质土做页岩膨胀实验(表 3)。

表 3 页岩膨胀实验表

| 编号  | 基液类型                                   | 膨胀高度(mm) | 膨胀降低率(%) |
|-----|----------------------------------------|----------|----------|
| 1 号 | 150 mL 淡水+0.67% QP-1+0.2% CMC+7.0% KCl | 8.79     | 37       |
| 2 号 | 蒸馏水                                    | 14.00    | /        |

从表 3 可知,相比蒸馏水而言,泡沫体系的膨胀降低率为 37%,进一步证实了其具有良好的抑制性能。

2.1.3 岩样浸泡实验

实验分别在泡沫基液及清水条件下,将岩样浸泡其中(表 4),考察其稳定时间(即岩样开始水化分散的时间),根据时间的长短来考察体系的抑制性能。

表 4 岩样浸泡实验表

| 编号  | 基液类型                                   | 分散时间     |
|-----|----------------------------------------|----------|
| 1 号 | 150 mL 淡水+0.67% QP-1+0.2% CMC+7.0% KCl | 10 d 不分散 |
| 2 号 | 清水                                     | 0.5 d    |

实验表明:在清水中浸泡,岩样 0.5 d 便分散开来,浸泡时间越长,分散越严重;而在泡沫基液中浸泡 10 d 后仍然不分散,保持完好。这充分证明泡沫基液具有较强的抑制性能。

2.2 抗原油污染

测试原油在不同加量时对泡沫性能的影响,以考察泡沫基液的抗油能力(表 5)。

表 5 泡沫体系抗油性能实验表

| 泡沫体系                                         | 原油加量<br>(%) | 发泡量<br>(mL) | 半衰期<br>(min) | 泡沫质量    | 发泡率<br>(%) |
|----------------------------------------------|-------------|-------------|--------------|---------|------------|
| 150 mL 淡水+<br>0.67% QP-1+<br>0.2% CMC+7% KCl | 0           | 850         | 8.42         | 0.823 5 | 566.7      |
|                                              | 5.0         | 780         | 8.70         | 0.807 7 | 520.0      |
|                                              | 10.0        | 650         | 10.33        | 0.769 2 | 433.3      |
|                                              | 15.0        | 640         | 16.00        | 0.765 6 | 426.7      |
|                                              | 20.0        | 570         | 18.58        | 0.736 8 | 380.0      |
|                                              | 30.0        | 520         | 20.20        | 0.711 5 | 346.7      |
|                                              | 40.0        | 440         | 19.43        | 0.659 1 | 293.3      |

由分析结果可见,该泡沫体系具有很强的抗油性能,抗原油能力可达 15% (以泡沫质量 0.75 为标准<sup>[5-6]</sup>)。

2.3 抗温性能实验

在实际泡沫钻井中,泡沫质量、稳定性受井下温度等条件的影响,为此,进行了泡沫抗温实验。实验分别是在 20℃、40℃、60℃、80℃、100℃的条件下进行的。实验结果见表 6。

表 6 泡沫体系抗温性能实验表

| 泡沫体系                                         | 实验温度<br>(℃) | 发泡量<br>(mL) | 半衰期<br>(min) | 泡沫质量    | 发泡率<br>(%) |
|----------------------------------------------|-------------|-------------|--------------|---------|------------|
| 150 mL 淡水+<br>0.67% QP-1+<br>0.2% CMC+7% KCl | 20          | 850         | 8.42         | 0.823 5 | 566.7      |
|                                              | 40          | 910         | 6.42         | 0.835 2 | 606.7      |
|                                              | 60          | 950         | 5.00         | 0.842 1 | 633.3      |
|                                              | 80          | 1 000       | 4.17         | 0.850 0 | 666.7      |
|                                              | 100         | 1 000       | 3.33         | 0.850 0 | 666.7      |

从实验结果来看,泡沫质量随温度的上升而增加,表明该体系具有较强的抗温能力;半衰期虽有所降低,在实际应用中可通过调节稳定剂的加量,以满足现场钻井的需求。

2.4 抗岩屑污染实验

由于使用泡沫钻井,钻井速度较快,产屑率较高,钻屑量大。因此,要求所建立的体系必须具有较强的抗钻屑污染能力,即有较高的钻屑容量限,钻屑的侵入对泡沫的性能不会造成太大的影响。为此开展了体系抗钻屑污染评价实验,实验所用钻屑为沙溪庙组地层段气体钻井岩屑。试验结果见表 7。

由表 7 数据可看出,该体系钻屑容量限高,超过 10%,满足了现场钻井作业的需求。

2.5 地层出油条件下钻进综合实验

根据钻井实际,对油和岩屑共同作用下的泡沫性能进行了实验研究。实验固定岩屑加量为 5%,通

表 7 泡沫体系抗岩屑污染实验表

| 泡沫体系                                         | 岩屑加量<br>(%) | 发泡量<br>(mL) | 半衰期<br>(min) | 泡沫质量    | 发泡率<br>(%) |
|----------------------------------------------|-------------|-------------|--------------|---------|------------|
| 150 mL 淡水+<br>0.67% QP-1+<br>0.2% CMC+7% KCl | 0           | 850         | 8.42         | 0.823 5 | 566.7      |
|                                              | 1           | 780         | 8.75         | 0.807 7 | 520.0      |
|                                              | 3           | 750         | 8.75         | 0.800 0 | 500.0      |
|                                              | 5           | 740         | 8.70         | 0.797 3 | 493.3      |
|                                              | 7           | 740         | 8.83         | 0.797 3 | 493.3      |
|                                              | 10          | 740         | 9.00         | 0.797 3 | 493.3      |

过改变原油的比例来综合考察泡沫的性能。由分析可看出,泡沫在原油和岩屑的共同作用下,泡沫质量无较大的变化,在岩屑含量 5%,原油加量为 10% 的情况下,泡沫质量为 0.782 6,完全能满足钻井的需求。理论计算表明,在充气泡沫基液中注入量为 8 L/s 时,该体系可满足地层产油 3 m<sup>3</sup>/h 条件下钻进的需求。

3 结论

1)抗油防塌稳定泡沫的成功研制,解决了目前气体钻井钻遇地层出油的难题,为进一步拓展气体钻井应用范围和提高机械钻速创造了条件。该体系具有较强的抑制性,回收率达 97%,可有效地抑制泥页岩水化分散、膨胀,保持稳定井壁。泡沫基液抗油能力强,可达 15%。

2)防塌抗油泡沫具有较强的抗温性能,钻屑容量限超过 10%,并且所优选处理剂均无毒,对环境不会造成污染,值得推广应用。

参 考 文 献

[1] 罗健生,莫成孝,姚慧云,等.可循环微泡沫钻井液的研制[J].中国海上油气,2001,13(4):17-20.

[2] 杨景利,薛玉志,张斌,等.可循环氮气泡沫钻井液技术[J].钻井液与完井液,2007,24(6):17-21.

[3] 黄志宇,何雁.表面及胶体化学[M].北京:石油工业出版社,2000.

[4] 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,2006,3(1):25-28.

[5] 胥思平.欠平衡钻井气体体积流量的计算[M].北京:中国石化出版社,2006.

[6] 魏武,乐宏,许期聪,等.气体钻井应用技术[M].东营:中国石油大学出版社,2008.

(收稿日期 2009-07-27 编辑 钟水清)