

钻井完井液与保护油气层技术

樊世忠教授执教 50 周年纪念文集

中国矿业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

钻井完井液与保护油气层技术:樊世忠教授执教 50 周年纪念文集/
樊世忠著. —徐州:中国矿业大学出版社, 2002. 5

ISBN 7-81070-524-5

I. 钻... II. 樊... III. ①完井液—研究—文集②油层—保护—研究—文集③气层—保护—研究—文集 IV. TE25·53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 029791 号

书 名 钻井完井液与保护油气层技术
编 著 樊世忠
责任编辑 白海新
出版发行 中国矿业大学出版社
(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编:221008)
印 刷 北京科技印刷厂
经 销 新华书店
开 本 787×1092 1/16 印张 14.125 插页 1 字数 342 千字
版次印次 2002 年 5 月第 1 版 2002 年 5 月第 1 次印刷
印 数 1000 册
定 价 35.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

序

樊世忠教授执教与从事研究工作 50 年,为我国石油工程学科高等教育事业的创建与发展,为石油工程保护油气层技术的进步作出了重要贡献。

他早在 20 世纪 50 年代初就参与了石油工程学科的建设工作,制定专业教育计划、教师培训规划,带领青年教师,为我国石油事业培养了一大批大学生,作了卓有成效的工作。这些学生目前已在生产、教育、科技战线上发挥着骨干作用。

他在长期教学与工作实践中,主编了《钻井泥浆》等多种具有较高水平的、有实用价值的教材及参考书,并参与了许多高等学校教材的审查工作。1990 年被批准为我国钻井液完井液第一位博士生导师,十多年来培养博士生、硕士生 30 多名。樊教授还为石油大学继续教育学院及地矿部在职学习班讲授钻井液完井液课程,培训了大量中高级技术干部。

樊教授长期致力于钻井液完井液保护油气层技术的研究,曾获国家奖和部级一二等奖等多种奖项。他是我国在这个技术领域的第一代学科带头人之一。

樊教授在钻井液完井液胶体化学方面、油气层损害机理方面、有关化学处理剂的作用机理方面均有较深的造诣,发表了大量科技论文,并出版了《油气层保护与评价》、《钻井液完井液与保护油气层技术》等专著。早在 20 世纪 60 年代初,樊教授就带领研究生和青年教师研究了用表面活性剂减轻对油气层的损害的课题,该课题研究成果在大庆试验取得了明显效果。70 年代研制了中等分子量聚丙烯酰胺钻井液,在 5 口井试验获得成功,为快速安全钻井提供了优质钻井液;80 年代初研制成功油包水加重乳化泥浆,解决了钻穿盐膏层和软泥岩层等技术难题;1982 年与新疆石油局合作研制成功泡沫低密度流体,为欠平衡钻井完井液的发展奠定了基础。此三项成果均填补了国内空白。80 年代中期参与保护油气层国家重点项目领导小组,并具体负责二连、长庆油田的保护油气层项目工作,均取得显著效果。90 年代中期致力于计算机在保护油气层方面的应用的研究,指导研究生研制了储层敏感性预测的智能化系统和低密度气体型欠平衡钻井流体智能化系统,与国际上同领域的软件接轨。

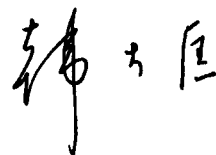
基于钻井液完井液及保护油气层技术对我国增储上产有重大作用,基于樊教授对我国石油工业及科技事业发展作出了重要贡献,1992 年樊教授被石油天然气总公司授予石油工业有突出贡献科技专家称号,并被国务院授予享受政府特殊津贴科技专家。

樊教授在他从事的石油工程学科高等教育事业及石油科技事业中,以他的

聪明才智和全部精力,为我们创造了宝贵的财富,同时也以他无私奉献,顽强奋斗、严于律己、宽以待人、勤奋学习、严谨治学,给我们树立了榜样。

仅籍此机会,简书此序,以表对樊教授的衷心祝愿!

中国工程院院士

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized Chinese characters, likely '樊建' (Fan Jian).

2002年4月

前 言

本书收集了 30 篇学术论文,都是作者本人或与研究生合作的科研成果,在一定程度上反映了我国保护油气层及钻井液完井液研究状况与发展水平。

作者在 20 世纪 60 年代初就开始研究保护油气层技术,第一篇论文就是研究的初步成果。以后进行聚丙烯酰胺(中分子量)钻井液的研究,为加快喷射钻井速度、减少复杂问题提供了优良的聚合物钻井液,1978 年得到全国科技大会的奖项。

70 年代末 80 年代初,国内在复杂地层钻井方面遇到困难,例如,胜利油田的橡皮地层红层,华北油田和中原油田的盐膏层。作者与同事们研究了油包水乳化泥浆,对坍塌层进行了矿物组分的微观分析,解决了有关油田盐膏层缩径和坍塌的钻井问题,得到石油工业部科技二等奖。

“七五”期间进行了保护油气层的国家重点攻关项目,作者参与了这个项目的领导工作,并具体负责二连与长庆油气田的保护油气层技术的研究,对这两个油田储层损害机理进行了研究分析,采取了一系列的保护措施。例如,低密度流体泡沫技术、MMH 钻井完井液、阳离子钻井完井液,以及其他新型完井液和相应的化学剂,有关论文反映了这部分成果。这个国家重点项目获国家科技进步三等奖;二连及长庆油层保护技术均获得石油工业部一等奖并取得专利一项。低密度流体泡沫技术获得石油部二等奖。

90 年代以后,作者致力于计算机在保护油气层技术方面的应用,与博士生们初步研制了敏感性预测的智能化系统和低密度气体型欠平衡钻井流体智能化设计系统,有几篇论文反映了这方面的成果。

编 者
2002 年 1 月

目 录

1	表面活性剂处理的洗井液在钻开油层时对油层渗透率的影响 … 樊世忠 李荫柑	(1)
2	部分水解聚丙烯酰胺室内及钻井现场实验研究…………… 樊世忠执笔	(11)
3	新疆库车地区油包水乳化泥浆与井壁稳定性的研究……………	
	…………… 樊世忠 许冀泉 张希武 刘进京	(19)
4	油型钻井液…………… 樊世忠	(27)
5	中原油田文东地区易塌地层泥页岩性质的研究…………… 李荣华 樊世忠	(33)
6	二连油田储层损害机理的研究及应用…………… 王欣 徐鸣雨 张达明 樊世忠	(40)
7	阿23井保护油层系统工程的研究…………… 樊世忠 刘钺 杨致恒	(47)
8	钻井泡沫流体室内试验及现场应用的研究……………	
	…………… 樊世忠 李文义 谢剑跃 姚荣魁 余金海	(51)
9	泡沫特性、流变性与设计计算 …………… 樊世忠 蔡彰涟	(59)
10	泡沫配方的室内研究和现场设计 …………… 李胜强 樊世忠	(67)
11	钻井完井液用缓蚀剂、杀菌剂的评选…………… 方慧 张忠平 樊世忠	(72)
12	阳离子有机聚合物粘土稳定剂 PTA 的研究与应用…………… 杨贤友 樊世忠	(77)
13	微粒运移评价方法及新型微粒稳定剂 Fs—1 …………… 杨贤友 樊世忠 王欣	(84)
14	储层中微粒分散/运移的理论研究…………… 张达明 王欣 樊世忠 徐鸣雨	(90)
15	储层微粒运移损害机理综述 …………… 樊世忠	(99)
16	MMH 海水钻井液在海洋大斜度井中的应用 …………… 周福建 樊世忠 张杰	(107)
17	完井液体体系的研究与应用…………… 樊世忠	(113)
18	青海尕斯库勒油田 E ₃ 油藏保护储层改性钻井完井液体体系研制 ……………	
	…………… 窦红梅 樊世忠 方慧	(121)
19	MMH 结构特征及电荷来源的探讨…………… 杨光胜 林西生 樊世忠	(129)
20	热重法确定 MMH 微晶中各种水分的相对含量 …………… 杨光胜 樊世忠	(135)
21	水基流体中页岩的渗透水化 …………… 杜德林 樊世忠 Chenevert, Martin E	(140)
22	适用于低渗及特低渗储集层的完井液体体系…………… 李淑白 樊世忠 卢海凤	(147)
23	低渗特低渗储集层损害机理探讨…………… 樊世忠	(151)
24	水敏损害定量预测方法研究…………… 李淑白 樊世忠 吴守江	(161)
25	天然气藏的损害机理、评价方法及保护措施 …………… 樊世忠	(165)
26	欠平衡钻井完井液技术…………… 樊世忠	(177)
27	钻井液完井液新技术新评价方法…………… 樊世忠 窦红梅	(194)
28	保护油气层技术发展趋势…………… 樊世忠 窦红梅	(200)
29	综合运用 BP 网络和优化算法建立储层敏感性预测模型 ……………	
	…………… 叶正荣 樊世忠 杨普华	(208)
30	气体型欠平衡钻井智能化设计系统的开发与研究…………… 郑秀华 樊世忠 王彬	(215)

表面活性剂处理的洗井液在钻开油层时 对油层渗透率的影响

樊世忠 李荫柑

1 前言

多年来,对钻井洗井液的研究主要有两个方向:一个是提高钻井速度和质量,防止在钻井过程(尤其是钻深井)中发生各种复杂问题,如卡钻、漏失、井塌等;另一个方向是提高油井产量,防止或减少洗井液在钻穿油层及完井时对油层的损害。

钻穿油层及完井时,油井受到洗井液的滤液及固体颗粒的浸害,同时固井水泥硬化时也造成一部分失水,于是在井壁附近形成一个低渗透层,对油井产量造成明显的不良影响。

许多研究工作者对水基泥浆使油层渗透性下降的原因进行了研究,提出以下看法:

(1) 各种洗井液的滤液进入油层以后,井壁周围油层中的泥质矿物产生膨胀,缩小了油气层毛管孔道,使井壁附近油气层的渗透率下降。

(2) 滤液与砂岩表面形成薄膜,增加了原油流动阻力,当砂岩中含水饱和度增加后,原油产量下降很多。

(3) 滤液与原油形成乳状液,粘度增大,原油流动时,受到较大阻力。

(4) 洗井液滤液与地层水相遇,发生化学作用,形成沉淀,堵塞了岩石孔道。

(5) 洗井液中固体物质在油气层中沉淀形成机械堵塞。

由上述原因可以看出,影响油气层物理性质的主要因素是洗井液本身的化学成分;液相与固相物理化学性质与油气层中粘土矿物的成分。

本文着重从表面活性剂溶液及以活性剂处理的泥浆对油气层损害状况进行探讨。在实验室中,对三种类型(即阳离子型,阴离子型,非离子型)表面活性剂溶液的表面张力,界面张力、吸附、乳化等进行了实验比较,从中选择对储层可能损害较小的液体对人造岩心(即纯粹砂岩,95%的石英砂+5%峰峰土,95%的石英砂+5%膨润土)进行评价,对储层渗透率的影响作了实验,通过这些研究拟解答以下4个问题:

- (1) 清水和原浆对岩心中粘土的作用,这些粘土对油层渗透性的影响;
- (2) 添加活性剂的溶液对各种岩心渗透性的影响,以及采取的措施,效果如何;
- (3) 清水或原浆已经损害的油层,以活性剂及盐水处理有无可能恢复渗透性;
- (4) 各种泥浆对岩心渗透性的影响。

2 实验部分

2.1 实验设备

实验装备如图1所示,该设备参考前苏联鞅鞅石油研究所实验设备图^[10]自行设计制

成。该装置由以下 4 个部分组成：

- (1) 渗透率试验架；
- (2) 泥浆或试液的循环系统；
- (3) 煤油循环系统；
- (4) 量测渗透率的流出液量装备。

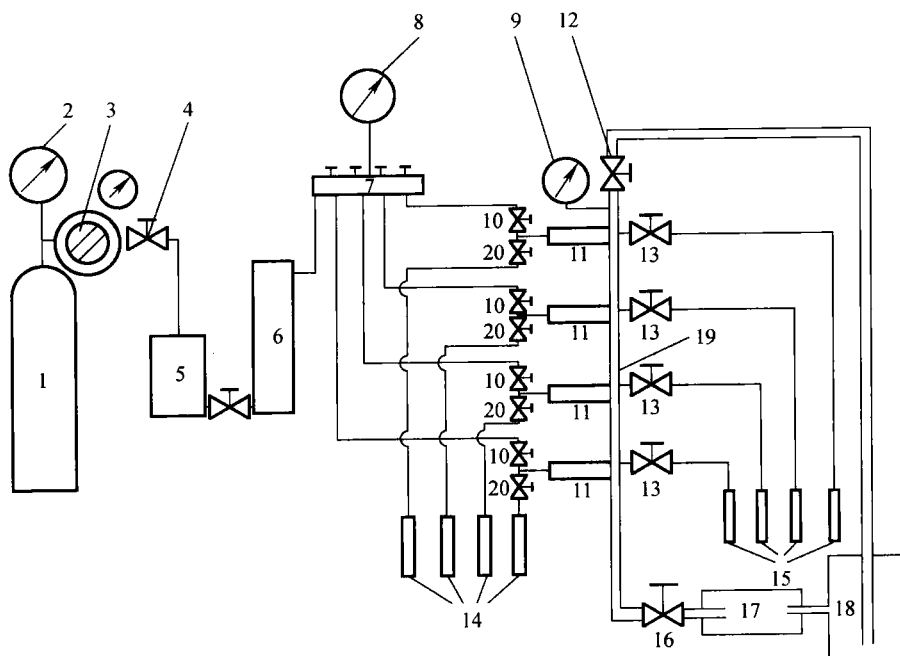


图 1 渗透率试验架流程示意图

1 - 氮气; 2, 9 - 压力表; 3 - 调压器; 4 - 总闸门; 5 - 盐水罐;
6 - 煤油罐; 7 - 压力分配器; 8 - 真空压力表; 10 - 进油闸门; 11 - 岩心;
12 - 排液闸门; 13 - 排油闸门; 14, 15 - 量筒; 16 - 进水闸门; 17 - 泥浆泵;
18 - 洗井液缸; 19 - 泥浆槽; 20 - 排滤液闸门

驱动泥浆试验的装置用卡姆 300 型泥浆泵, 其最大压力可达 20 大气压, 驱动煤油的设备用高压氮气瓶。本次试验均在室温 $20^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ 范围内进行, 泥浆循环速度为 $1 \sim 2 \text{ m/s}$ 。渗透率的试验架实际是由 4 个岩心夹持器装配在一起, 顶端以丝杠压紧组成。岩心夹持器有两种类型, 一种是测径向渗透率的, 另一种是测轴向渗透率的。岩心及仪器的操作方法见本文有关部分。

仪器尽可能模拟钻井油层的情况, 但也有差别:

- (1) 井底温度一般为 $70^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$, 本试验只能在室温条件下试验。
- (2) 岩心两端压差为 1.5 大气压, 不可能完全模拟井下状况, 与井底压差略有出入。
- (3) 油井下实际是多相流动, 本实验是尽可能保持单相流动。

2.2 岩心

岩心主要由表 1 所示的以下几种材料制成。

制造岩心时, 首先要对石英砂进行处理(洗砂, 筛砂), 然后加入粘土搅匀, 再加入酒精和

漆片。经实验证明,岩心胶结物漆片在清水中不发生膨胀。岩心所含膨润土产地系东北吉林九台,经水泥研究所分析,属于微晶高岭土类型粘土矿物。峰峰土系河北峰峰煤矿所产粘土,经我校岩矿教研室差热分析,属于水云母伊利石与高岭土混合物。

表 1 岩心的组成成分表

岩心代号	石英砂各种粒度(mm)所占百分比/%				粘土比例/%		力土漆片	酒精量	长度/cm	直径/cm
	0.25~0.20	0.20~0.12	0.12~0.075	<0.075	峰峰土	膨润土				
A	10	50	15	25	0	0	岩心重量的6%	16% 体积重量比	3.5	3.0
B	10	50	15	20	5	0				
C	10	50	15	20	0	5				

2.3 试剂

我们实验过 9 种表面活性剂,类型如下:

1) 阳离子型

(1) 十六烷基氯化吡啶: $(C_{16}H_{33}N \text{---} \text{C}_6\text{H}_5)^+ Cl^-$;

(2) 二甲基苯基烷基氯化胺: $\left(\left[\begin{array}{c} CH_3 \\ | \\ CH_3 \end{array} N - CH_2 - C_6H_5 \right]^+ Cl^- \right)$ 。

2) 非离子型

(1) 平平加: $[C_{17}H_{37}(OCH_2CH_2)_nOH]$;

(2) 尼凡丁: $\left[CH_3(CH_2)_{11-19} N \begin{array}{l} \swarrow (OCH_2CH_2)_{4-6}OH \\ \searrow (OCH_2CH_2)_{4-6}OH \end{array} \right]$ 。

3) 阴离子型

(1) 烷基磺酸钠: $(C_{12}H_{25}SO_3Na)$;

(2) 烷基苯磺酸钠: $(C_{12}H_{25} \text{---} C_6H_4 \text{---} SO_3Na)$;

(3) 丁基萘磺酸钠: $(C_4H_9 \text{---} C_{10}H_7 \text{---} SO_3Na)$;

(4) 伊家漂: $(C_{17}H_{33} \text{---} COON \text{---} CH_2 \text{---} CH_2 \text{---} SO_3Na)$;

(5) 山道邦: $(C_{12}H_{25}OSO_3H)$ 。

最后选择三种活性剂对渗透性影响进行详细对比试验,这三种活性剂是:

(1) 十六烷基氯化吡啶: 分子式是 $C_{16}H_{33}N \text{---} C_6H_5^+ Cl^-$, 天津轻工业技术研究所出品,价格为 35 元/kg,系阳离子型活性剂;

(2) 平平加:分子式是 $C_{17}H_{37}(OCH_2CH_2)_nOH$,天津化工厂出品,价格为 10 元/kg,系非离子型活性剂;

(3) 烷基苯磺酸钠:分子式是 $C_{12}H_{25}$  SO_3Na ,北京油漆厂出品,有效成分 16%,硫酸钠占 25%,试验时未提纯,价格为 0.95 元/kg,系阴离子型表面活性剂。

为了比较活性剂处理岩心渗透率的效果,还使用了以下几种溶液:

(1) 自来水,经分析其中含 Ca^{2+} 57.5 mg/L;

(2) 护胶剂处理液,自来水中加入 1% 丹宁酸钠(NaT)溶液;

(3) 2 N 盐水。

最后应用了下面几种活性剂处理的泥浆,进一步验证活性剂的效果。

(1) 原浆:以峰峰土为主,加 5% 膨润土配成泥浆,其比重为 1.1,粘度为 22.5 s,失水为 33 cm^3 。

(2) 丹宁酸钠(NaT)处理泥浆,泥浆中加护胶处理剂(NaT),其比重为 1.18,粘度为 23.8 s,失水为 10 cm^3 。

(3) 平平加处理泥浆,NaT 处理泥浆加入 1.3% 平平加活性剂,其比重为 1.16,粘度为 52 s,失水为 10 cm^3 。

(4) 烷基苯磺酸钠处理泥浆,NaT 处理的泥浆加入 0.5% 活性剂,其比重为 1.13,粘度为 52 s,失水为 6 cm^3 。

2.4 实验程序

实验的主要目的是测定不同溶液、泥浆对岩心渗透率的影响情况。

实验程序是:将造好的岩心首先进行气测渗透率,然后装在岩心渗透率试验架上抽空饱和煤油,测岩心对煤油的渗透率 K_1 ,它相当于油层原始渗透率。以后用各种试剂及泥浆,通过岩心进行循环,并浸泡 24 h 左右,再测岩心对煤油的渗透率 K_2 。 K_2 有两个意义:若以清水或原浆通过岩心后,测出的 K_2 ,它相当于油层受损害以后的渗透率;若以活性剂处理液通过岩心后,测得 K_2 ,它表示钻开油层时已采取预防措施后油层渗透性。部分岩心在清水或原浆滤液损坏的基础上以表面活性剂或盐水恢复岩心渗透率,之后以煤油测其渗透率 K_3 。 $(1 - K_2/K_1) \times 100\%$ 即代表岩心渗透率下降的系数, $K_3/K_2 \times 100\%$ 代表岩心恢复系数。

为了在同一条件下进行对比,规定以下要求:

(1) 岩心前后压力差为 1.0 ± 0.1 大气压;

(2) 溶液通过岩心的量为 35~40 cm^3 ,相当于孔隙体积的 5 倍;

(3) 泥浆循环时,循环时间为 1 h,岩心两端压力差为 1.5 大气压。

前苏联学者们测渗透率是采用煤油作为标准液的。笔者认为盐水饱和岩心,然后以油测渗透性,理论上较合理。

2.5 实验数据

(1) 清水与原浆对不同岩心损坏情况:

图 2 表明清水与原浆通过岩心以后,岩心渗透率的下降情况。从图 2 及表 2 可看出,原浆损害油层渗透率小于清水。对于三类岩心,原浆与清水使砂岩渗透率降低的最少,为 37.8% 及 45.4%,使膨润土的渗透率降低最多,为 60.3% 及 71.3%。

(2) 各种溶液对膨润土岩心损害的对比如图 3 所示。

含膨润土岩心受到表面活性剂处理以后,岩心渗透率变化情况列于表 3 中。

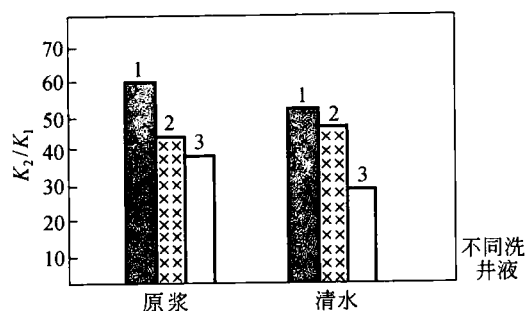


图2 清水与原浆对各种岩心的损害情况

1-砂岩岩心;2-含峰峰土岩心;3-含膨润土岩心

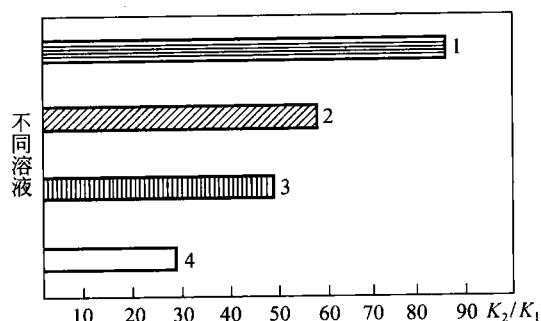


图3 天然岩心渗透率变化情况

1-烷基苯磺酸钠溶液;2-平平加液;
3-十六烷基氯化吡啶;4-清水

表2 清水及原浆对岩心渗透率影响数据

岩心代号	岩心类别	通过洗井液	K_1	K_2	$K_2:K_1/\%$
A	砂岩	原浆	87.6	54.5	62.2
		清水	231	126	54.6
B	砂+5%峰峰土	原浆	96.2	44.9	46.7
		清水	287	140	48.8
C	砂+5%膨润土	原浆	134.5	53.4	39.7
		清水	58.2	16.7	28.7

表3 含膨润土岩心经处理后渗透率变化情况

表面活性剂名称	K_1	K_2	$K_2:K_1/\%$
0.07%浓度(重)的烷基苯磺酸钠	107	92	86
0.1%浓度(重)的平平加	170	84	49.4
0.1%浓度(重)十六烷基氯化吡啶	30.8	18	58.4

从前面三种活性剂处理岩心的情况可以看出,0.07%浓度的烷基苯磺酸钠活性剂对岩心渗透率影响最小,渗透率下降到86%,其他两种活性剂的效果都较差,下降到58.4%及49.4%。

各种活性剂浓度的选择,是根据活性剂性能实验和不同浓度对岩心渗透性影响的数据对比确定下来的,这些浓度有利于渗透性的保持。对比验证盐水饱和和后烷基苯磺酸钠的效果进行实验,实验数据如图4及表4所示。

由图4与表4可看出,以2N盐水浸泡以后,渗透率变化总规律与未通过盐水的岩心相似,即

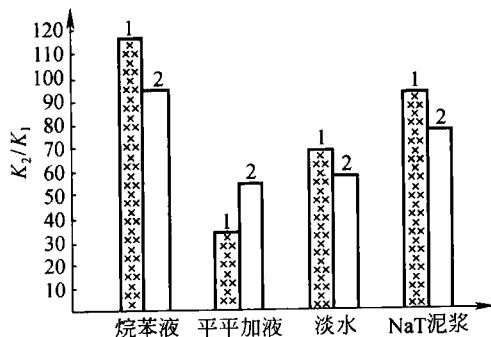


图4 盐水饱和和以后岩心渗透率变化情况

1-含峰峰土岩心;2-含膨润土岩心

表 4 2 N 盐水饱和以后各种液溶及泥浆影响渗透率数据

表面活性剂或洗井液种类	岩心类别	K_{aq}	K_1	K_2	$K_2:K_1/\%$
0.07% 浓度(重) 烷基液	A	2 097	443	1 451	327.5
	B	335	93.8	109.6	116.8
	C	466	207	195	94.2
0.1% 浓度(重) 平平加液	A	1 976	733	357	48.7
	B	300	35.3	11.6	32.9
	C	416	221	118	53.4
清 水	A	1 930	917	545	59.4
	B	243	66	44.7	67.7
	C	357	187	105	56.2
0.75% 浓度(重) NaT 泥浆	A	1 768	810	452	55.8
	B	272	43	39.6	92.1
	C	556	258	197.5	76.6

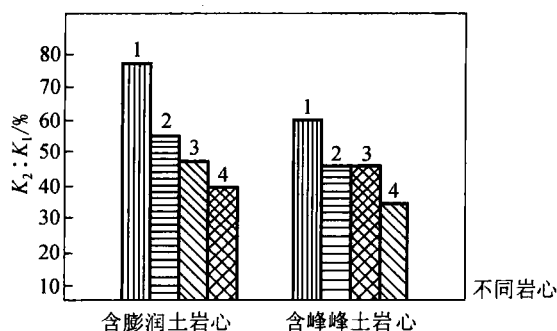


图 5 泥浆对岩心损害情况

1-烷基液;2-平平加液;3-原浆;4-NaT 泥浆

烷基苯磺酸钠溶液仍然是一种最好的处理剂,对三种岩心其渗透率都是最高。泥浆比清水对岩心渗透率影响为小。与未通盐水略有差别的是,通盐水岩心被活性剂处理后,恢复渗透率数值较高。

对于峰峰土岩心三种活性剂的效果也是相同的,只是在浓度方面略有出入。

(3) 不同泥浆对岩心渗透率的影响。

如图 5 和表 5 所示,泥浆经过表面活性剂处理比原浆及用丹宁酸钠处理后的泥浆更能使岩层保持较高的渗透率。活性剂

中仍以烷基苯磺酸钠最为有效。十六烷基氯化吡啶处理泥浆后性能很坏,所以无该活性剂处理泥浆的对比资料。另外,从含膨润土岩心与峰峰土岩心对比来看,活性剂处理的泥浆对膨润土的渗透效果大于峰峰土,这一点与溶液处理略有出入。

表 5 不同泥浆对含膨润土及峰峰土岩心渗透率影响数据

岩心种类	泥 浆 种 类	K_1	K_2	$K_2:K_1/\%$
含膨润土岩心	原浆	134.5	53.4	39.7
	0.75% NaT 处理泥浆	314	158.5	50.5
	平平加处理 NaT 泥浆	108	62.2	57.6
	烷基苯磺酸钠处理 NaT 泥浆	277	229	82.7
含峰峰土岩心	原浆	96.2	44.9	46.7
	0.75% NaT 处理泥浆	284.6	96.5	33.9
	平平加处理 NaT 泥浆	277	129	46.6
	烷基苯磺酸钠处理 NaT 泥浆	410	263	64.2

烷基苯磺酸钠处理的泥浆对于砂岩岩心所得的渗透率也是最高的。但只是出现一种反常现象,即当循环各种活性剂处理的泥浆以后,砂岩岩心渗透率不及膨润土及峰峰土保持的渗透性高。重复几次,结果仍然如此。所测得数据列于表 6 中。

表 6

泥 浆 种 类	岩心种类	K_1	K_2	$K_2:K_1/\%$
原浆	A	87.6	54.5	62.2
	B	96.2	44.9	46.7
	C	134.5	53.4	39.7
0.75% NaT + 0.5% 烷基苯磺酸钠处理的泥浆	A	921	256	27.8
	B	410	263	64.2
	C	277	229	82.7
0.8% NaT + 1.3% 平平加处理的泥浆	A	490	218	44.5
	B	277	129	46.6
	C	108	62.2	57.6

(4) 岩心受水或原浆浸泡以后,活性剂恢复岩心渗透率能力的数据列于表 7 中。

从表 7 恢复系数(K_3/K_2)可看出,对盐水未浸泡过的岩心,通过清水损害后,用烷苯液处理,对砂岩及含峰峰土岩心效果较好,对含膨润土岩心则效果不明显。尤其是经 NaT 液处理后,效果更差。盐水恢复渗透性效果较好,对膨润土效果最为突出。

盐水浸泡后的岩心,与前面活性剂溶液处理规律大体相同,从恢复的效果来看,仍然是砂岩与含峰峰土的岩心较好,含膨润土岩心略有效果。

表 7 岩心损害以后,用活性剂处理其渗透率恢复情况

损 害 液	处 理 液	岩心种类	K_1	K_2	K_3	$K_2:K_1/\%$	$K_3:K_2/\%$
清 水	0.07% 烷苯液	A	231	126	292	54.6	232
		B	287	140	241	48.8	172
		C	58.2	16.7	17.5	28.7	105
1% NaT 液	0.07% 烷苯液	A	975	328.6	314	33.7	95.6
		B	221	38.8	36.9	17.6	95
		C	683	209	180	30.6	86
清 水	2 N 盐水	A	1 190	485	514	40.8	106
		B	181	49.6	51.1	27.4	103
		C	517	117	137	22.6	117
盐水浸泡后的岩心通清水	0.07% 烷苯液	A	917	545	1 580	59.4	290
		B	66	44.7	74.8	67.7	165.5
		C	187	105	118	56.2	112.4
盐水浸泡后的岩心通 NaT 泥浆	0.07% 烷苯液	A	810	452	1 143	55.8	253.0
		B	43	39	55.5	90.1	140
		C	258	197	203	76.5	103

(5) 天然岩心实验数据:为了检验人造岩心实验结果是否合乎实际,特选用了几块气测渗透性相似的某油田的天然岩心,用四种溶液(即清水、烷基苯磺酸钠、平平加、十六烷基氯化吡啶)进行实验,所求得数据如图 6 及表 8 所示。

由上述五个实验的数据可看出,清水对岩心的损害最为严重,原浆损害低于清水。活性剂溶液有好的效果,其中烷基苯磺酸钠最好,但活性剂溶液的效果不如用活性剂处理泥浆的效果好。由于油层已被清水或原浆损害,再用它们处理油层,效果则不明显,说明应以预防为主。

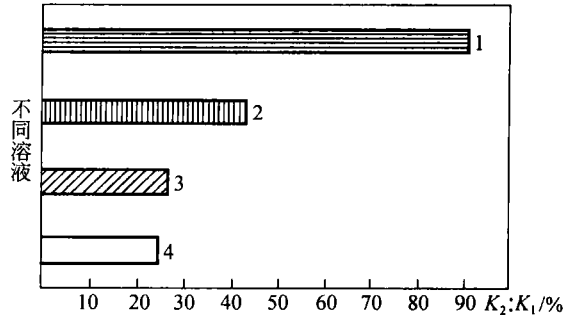


图 6 不同溶液对含膨润土岩心损害情况
1—烷基苯磺酸钠溶液;2—十六烷基氯化吡啶;
3—平平加;4—清水

表 8

天然岩心	通过液体	$K_{\text{气}}$	K_1	K_2	$K_2:K_1/\%$
1	清 水	1 035	730	174	23.8
2	十六烷基氯化吡啶	1 610	1 280	337	26.3
3	平平加	1 045	998	430	43.1
4	烷基苯磺酸钠	1 420	1 076	975	90.6

3 现场使用情况

烷基苯磺酸钠作为处理液在前苏联应用的很广泛,而且效果很好。下面列举前苏联阿兹纳卡夫石油管理局工业实验的资料。

如表 9 所示,加入烷基苯磺酸钠溶液以后,4 口井都得到了很好的效果。

表 9 烷基苯磺酸钠溶液处理生产井井底后的结果

井 号	生产层的厚度/ m	渗透性/ 千分·达西 ⁻¹	洗 井 液		试井时间/ h	8 个月石油产量/ t	头 8 个月平均日产量/ t·d ⁻¹	
			钻进时	穿孔时			全 部	每 米
4390	2.8	Ⅱ. Ⅱ.	泥浆	泥浆	80	267	1.11	0.33
4404	6.0	85	泥浆	清水	60	438	1.83	0.33
4564	4.8	140	矿化水	清水	36	7 210	30.0	6.25
4381	8.2	280	泥浆	泥浆	23	13 270	55.3	6.75
每井约平均数	5.45	167			50	5 310	22.06	3.43
4480	2.4	Ⅱ. Ⅱ.	矿化水	含烷基苯溶液	40	225	0.96	0.40
1407	6.2	110	泥浆	含烷基苯溶液	20	7 005	29.50	4.78
4370	4.0	180	矿化水	含烷基苯溶液	16	11 620	48.50	12.10
4389	6.2	180	泥浆	含烷基苯溶液	18	11 940	49.70	8.00
每井平均数	4.7	175			22.5	6 560	32.1	6.3

注水工作中使用烷基苯磺酸钠溶液,亦得到良好的效果。1958 年实验证实,凡是以活性剂烷基苯磺酸钠溶液处理过的油井,注水量大有提高。例如,南罗马什金油田 4167 号注

水井,其生产层是砂岩,厚度为 3.8 m,渗透率为 80 千分/达西,试注时接受量为零;当以 30 m^3 3%浓度的烷基苯磺酸钠液处理以后,该井每天注水量达 200 m^3 。

在我国许多大油田已进行了表面活性剂处理油层及注水液的科学研究,而且取得了一些成果。这一工作还有必要进一步加以研究。

本文所列资料,除了对钻开油层、注水有直接意义外,对处理页岩膨胀,钻厚粘土层等实际工作亦有参考意义。

本试验成果在我国大庆油田进行现场实验取得明显效果。

4 结论

通过在室内对烷基苯磺酸盐试验,证实它在 0.05%~0.1%浓度范围三种活性剂比较水化性能最差,破乳性能最好。另外阳离子表面活性吸附性能最好,易使砂岩表面从亲水性变为亲油性,对地层有损害作用。

(1) 岩石中含有微晶高岭土、水云母伊利石、高岭土,遇到清水及清水所配成的原浆,由于水化而体积膨胀及其他原因,使岩层渗透率有很大下降。含膨润土岩心遇到清水后,下降到原来渗透率的 28.7%,遇到原浆下降到原来渗透率的 39.7%,含峰峰土的岩心的渗透率也有所下降。

(2) 活性剂溶液恢复岩心渗透率效果以烷基苯磺酸钠最好,渗透率下降到原渗透率的 86%,而其他两种活性剂下降到原渗透率的 50%左右,但比清水与原浆效果好,说明活性剂是有效的。天然岩心试验亦证明这一点。

(3) 岩心用 2 N 盐水浸泡饱和以后,恢复渗透率效果仍以烷基苯磺酸钠最好,与未通盐水溶液处理规律相似,但发现 K_1 有所下降,而 K_2 下降的幅度较小,这是正常的。

(4) 泥浆处理岩心后,对各类岩心仍以烷基苯磺酸钠有效,但出现另一种现象,即砂岩和含峰峰土岩心渗透率下降幅度大于含膨润土岩心。

(5) 油层受清水或原浆浸泡以后,活性剂对含膨润土岩心恢复能力不显著,盐水效果较好。

原载于《北京石油学院科学研究论文集(第一集)》,1963 年

参 考 文 献

- 1 Monaghan P. H., et al: Laboratory studies of formation damage in sands containing clays. Trans. Am. Inst. Mining Met Engrs, (AIME) 1959, 209 - 315, 216
- 2 Бережной А. И.: промысловые жидкости и цементные растворы в бурении скважин. гостоптехиздат, 1961, 36 - 64
- 3 别莱凡诺伊: А. И.: 罗马什金油田钻开生层的经验. 石油评译, 1961, No7, 16 - 22
- 4 применение ПАВ в нефтяной промышленности. гостоптехиздат, 1961
- 5 斯勘莫拉夫斯卡亚 Н. И.: 表面活性剂溶液钻开油层. 石油评译, 1962, No7, 16 - 22
- 6 Жигар К. Ф.: Влияние промысловых жидкостей на проницаемость пород. Нефть и газ, 1957 No11
- 7 在油田注水中应用表面活性剂. 石油部情报处编 石油评译, 1962, No7 21 - 55

部分水解聚丙烯酰胺室内及钻井现场试验研究

樊世忠执笔*

1976 年元旦,我们和胜利油田钻井指挥部化验室、32358 井队、女子钻井队,用分子量为 70 万~100 万的部分水解聚丙烯酰胺(简称部分水解聚丙烯酰胺,用 PHP 表示)处理的泥浆打成了一口深 2 988 m 的井,在 2 545 m 之前只用 PHP 作为提粘、降失水剂处理泥浆,在 2 545 m 以后用重泥浆配合少量稀释剂进行处理。全井处理剂品种比较单一,泥浆成本显著降低,为我国赶超世界钻井泥浆的先进水平迈出新的一步。

聚丙烯酰胺(用 PAM 表示)泥浆是一种新型泥浆。胜利油田从 1973 年推广使用以来,在提高钻速、保护油气层、防塌堵漏、减少井下复杂情况、降低成本、减轻工人劳动强度方面都取得了可喜的成绩。为了提高钻速、保护油层,则要求 PAM 产品具有提粘、降失水、降比重的作用,也就是要求它具有选择性絮凝的作用。若能选出具有这样性能的产品,处理剂的品种就比较单一,PAM 的作用就可充分发挥,这种泥浆的优越性也就会更加充分地表现出来。基于这种设想,我们在钻井指挥部泥浆化验室内对不同分子量和不同水解度的 30 多个品种进行了选择,挑选了 70 万~100 万分子量的 PHP 产品在井上进行了试验,取得了较好的效果,下面分室内试验情况和井上试用情况作简要总结。

1 室内试验

试验分两步:第一步用淄博石油化工厂经纯化的丙烯酰胺单体合成单体合成 PAM,然后在烧碱水溶液中进行部分水解,得到 PHP;第二步以不同制品处理泥浆,鉴定其处理泥浆效果,以选择恰当的品种。

1.1 部分水解聚丙烯酰胺的制备

(1) PAM 的合成。为了得到分子量从 20 万到 200 万的 PAM,我们基本上采用了两种引发系统:分子量在 20 万到 60 万范围的产品采用过硫酸铵-亚硫酸氢钠的氧化还原引发剂,单体浓度为 7%,室温引发;分子量在 70 万到 200 万范围的产品用过硫酸铵引发剂,单体浓度亦为 7%,引发温度为 65℃左右,两种引发系统均用引发剂的加量不同来调整分子量间隔,分子量随引发剂用量增加而下降。

(2) 分子量的测定。上述产品用 1 N NaNO₃ 作溶剂在 30℃恒温水浴中用乌氏毛细管粘度计测定粘度值,根据 PAM 分子量与特性粘度 $[\eta]$ 的关系式计算分子量。其公式如下:

$$[\eta] = 3.73 \times 10^{-4} M^{0.66}$$

PAM 的部分水解:配制一定量的 1% 的 PAM 水溶液,置于烧杯中,按不同水解度的要求加入不同克当量比的氢氧化钠,在恒温水浴中(90℃~100℃)进行水解,水解时间一般

* 参加人:潘惠芬、李健鹰、李鲜根、梁克勤、魏令华、林永福、杨服昭、王奎才。

为 24 h, 然后进行水解度的测定。

(3) 水解度测定方法: 根据 PAM 在碱性溶液中水解所消耗的氢氧化钠克当量数与生成的 $\begin{array}{c} \text{—CH}_2\text{—CH—} \\ | \\ \text{COONa} \end{array}$ 链节克当量数相等, 定量加入已知当量浓度的 NaOH, 用标准酸滴定水

解后剩余的 NaOH, 用减差法计算出 PAM 消耗的 NaOH 克当量数, 从而计算出 PHP 的水解度。其计算公式如下:

$$\alpha = \frac{(\text{NaOH})_{t0} - (\text{NaOH})_t}{[-\text{CONH}_2]_{t0}} \times 100\%$$

式中 α ——水解度;

$(\text{NaOH})_{t0}$ ——原始的 NaOH 克当量数;

$(\text{NaOH})_t$ ——水解后剩余的 NaOH 克当量数;

$[-\text{CONH}_2]_{t0}$ ——未水解前 PAM 的链节克当量数。

1.2 原浆的制配

配浆土采用两种类型粘土, 一类为明化镇地层造浆土, 另一类为小李家白土。明化镇土是由王家岗地区王₃₂井明化镇地层返出来的土, 阳离子交换容量为 19.37 mg 当量/100 g 土, 差热分析曲线表明该土基本上为伊利石水云母类型。小李家白土阳离子交换容量为 74.03 mg 当量/100 g 土(用醋酸铵淋洗, 开氏定氮法测定), 含有游离碳酸钙, 差热曲线表明, 该土为蒙脱石; 结合化学分析资料, 该土可确定为钙膨润土; 通过泥浆滤液分析和絮凝对比试验亦得到证实。该土造浆性能不好, 通过纯碱处理试验, 加 2.5% (以膨润土为基数) 纯碱基本转化为钠膨润土。配浆时均以 2.5% 纯碱处理小李家白土。

实验中采用两类泥浆, 一类是明化镇地层粘土加黄河水配制成浆, 它相当于本地区实际使用的泥浆, 用它作试验有实际意义。另一类泥浆是明化镇地层土造浆加入经纯碱处理的 2% 左右膨润土, 实验中称作混合浆。通过这类泥浆的实验, 一方面摸索膨润土的加量范围, 另外可观察各种 PAM 提粘、降失水、降比重的效果, 作为选择 PAM 品种的依据。表 1 列出两类原浆的性能。

表 1

浆 型	比 重	粘度/s	失 水	泥饼厚/mm	pH	切 力	
						初 切	终 切
明化镇土浆	1.145~1.150	19±1	18	2	7.5	0	14
混合浆	1.145	19.5±1	14	2	7.5	0	14

1.3 室内试验结果

为了寻找具有选择性絮凝的产品, 即配合膨润土能提粘, 又能降失水、降比重的品种, 我们做了不同水解度、不同分子量和不同加量的 PAM 对泥浆性能系统的影响, 其结果为分子量在 70 万~100 万的范围内, 碱比为 1:0.5~1:1 的高水解的 PHP, 加量为 0.06%, 在常温下能有效地降低泥浆失水(5 mL 左右)、比重(1.5 左右), 粘度亦适当, 性能稳定。当加量为 0.2% 时, 加热 160 ℃、恒温 24 h, 失水量仍能保持在 6 mL/(30 min) 以下, 性能基本稳定。室内这些试验结果有待井上现场检验。