

新型甲酸盐/正电聚醇钻井液研究

李志勇¹ 鄢捷年¹ 王建华¹ 王晓琳²

(1. 中国石油大学(北京)石油天然气工程学院, 北京昌平 102249; 2. 中国石油天然气股份有限公司山东销售分公司, 山东青岛 266071)

摘 要: 充分利用正电聚醇和甲酸盐的协同增效作用, 研制了新型甲酸盐/正电聚醇钻井液体系。在地层孔隙压力较低时, 主要使用正电聚醇处理剂确保钻井液具有良好的性能; 在地层孔隙压力较高时, 则配合使用甲酸盐进行加重, 以维持低固相钻井液体系的优良性能。在张海 5 井、张海 11 井等多口井的应用表明, 甲酸盐/正电聚醇钻井液具有抗温、防塌、润滑和储层保护等多种功能, 能很好地满足安全、快速钻井的要求。

关键词: 水基钻井液; 甲酸盐; 聚合醇; 钻井液试验; 现场试验

中图分类号: TE254⁺.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0890 (2006) 05-0034-05

自 20 世纪 90 年代以来, 出现了多种新型钻井液体系。其中, 甲酸盐钻井液可以通过溶液加重, 实现钻井液低固相, 并具有很强的抑制性。聚合醇钻井液作为一种具有强抑制性、良好润滑性, 又有保护环境和保护储层作用的钻井液体系, 已在国内外得到广泛的应用^[1-4]。近年来, 正电聚醇作为聚合醇的改性产品, 也逐渐在国内得到推广应用, 取得很好的现场使用效果。笔者充分利用上述两种处理剂之间的协同增效作用, 研制出了一种具有防塌、润滑和储层保护等多种功能的甲酸盐/正电聚醇钻井液体系。

1 钻井液体系的作用机理

1.1 甲酸盐的作用机理

根据甲酸盐的结构和特性, 甲酸盐钻井液稳定地层、保护储层的机理主要表现在 4 方面^[5-8]:

- 1) 甲酸盐的 HCOO^- 与粘土端面的正电荷相吸引, 有利于防止水化, 稳定粘土矿物, 降低敏感性矿物引起的储层损害;
- 2) 甲酸盐的 HCOO^- 和水分子能够形成氢键, 对自由水具有较强的束缚能力, 减少其向地层滤失;
- 3) 钻井液滤液与储层配伍性好, 可减少结垢损害;
- 4) 甲酸盐钻井液滤液的活度较低, 在特低渗储层和泥页岩地层, 可依据活度平衡原理实现其抑制性。

1.2 正电聚醇作用机理

1.2.1 概述

正电聚醇作为聚合醇的改性产品, 不仅保留了聚合醇的作用机理, 还具有其独有的特性。聚合醇的作用机理表现为^[1,3-4,9-14]:

1) 浊点机理。当使用温度达到聚合醇的浊点时, 聚合醇以小油滴的形态从水溶液中析出, 形成亲油微粒。这种温度激活的亲油微粒不但赋予体系较好的润滑性, 同时可吸附在粘土表面, 形成屏蔽层, 改变粘土的润滑性, 阻止滤液的侵入。此外, 一些粒度适中的油滴还可堵塞页岩表面的孔隙, 起填充孔喉和封堵微裂缝的作用, 提高了井眼的稳定性。

2) 吸附效应。聚合醇由于其分子内的众多醚键与水分子竞争而吸附在粘土表面, 有效地排斥水分子在粘土表面的附着, 减弱泥页岩水化, 维持泥页岩稳定。

为提高聚合醇的吸附性能和使用效果, 研制出了新型正电聚醇处理剂, 其吸附于井壁的胶结力主要为电性力。

1.2.2 正电聚醇和聚合醇对粘土颗粒电性的影响

使用 ξ 电位测定仪, 分别测定了正电聚醇和聚合醇对膨润土浆中粘土颗粒表面 ξ 电位的影响 (见图 1)。从图 1 可见, 随着聚合醇在膨润土浆中含量的增加, 胶液中粘土颗粒的负电性无明显变化, 而正电聚醇可明显减弱胶液中粘土颗粒的负电性, 表明正电聚醇在粘土颗粒上可发生特性吸附。

1.2.3 吸附量的测定

使用 751 型紫外分光光度计, 分别测定正电聚醇

收稿日期: 2006-07-06

作者简介: 李志勇 (1978—), 男, 2003 年毕业于石油大学 (华东) 石油工程学院, 获油气井工程专业硕士学位, 2006 年获中国石油大学 (北京) 油气井化学工程专业博士学位, 讲师。

联系电话: (010) 89733893

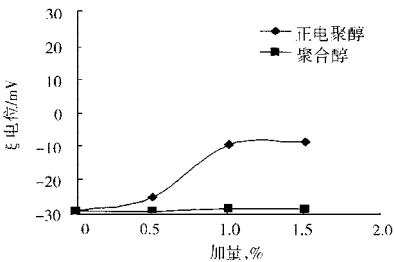


图 1 聚合醇、正电聚醇加量对 2%膨润土浆 ξ 电位的影响

和聚合醇吸附于粘土颗粒后，溶液的光密度变化，由工作曲线查出相对应的处理剂质量浓度，并用下面公式计算两种处理剂在粘土上的吸附量。

$$\Gamma = (C_1 - C_2) V / m \tag{1}$$

式中， Γ 为处理剂在粘土颗粒上的吸附量，mg/g； C_1 、 C_2 为处理剂吸附前后的质量浓度，mg/L； V 为溶液体积，L； m 为粘土质量，g。

聚合醇和正电聚醇的吸附等温线见图 2。从图 2 可以看出，对于显负电性的粘土颗粒，正电聚醇较聚合醇的吸附量有明显的提高。

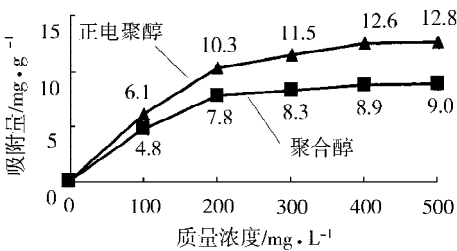


图 2 聚合醇与正电聚醇的吸附等温线

1.2.4 吸附强度的测定

在钻井液循环时，为避免冲蚀，各种处理剂对井壁应具有较高的吸附强度。否则，会直接影响到它的使用效果。为此，按以下试验步骤开展了吸附强度评价试验：1) 称取过 20 目筛的大港滩海地区沙河街组地层岩样 200 g；2) 配制质量分数为 2%的聚合醇和正电聚醇胶液各 300 mL；3) 在胶液中各加入 100 g 过 20 目筛的岩样，浸泡 2 h；4) 用分光光度计测定吸附量；5) 再将岩样放入蒸馏水中，在 120 ℃下滚动 16 h，分别测定清液中正电聚醇和聚合醇的质量浓度；6) 按下式计算脱附率：(脱附量/吸附量) × 100%。

试验结果见图 3。由图 3 可看出，正电聚醇在岩样表面的吸附强度明显高于非离子型聚合醇。

甲酸盐/正电聚醇钻井液正是利用上述两种处理剂作用机理的相互融合，使之成为一种具有多种功能、性能优良的新型钻井液体系。

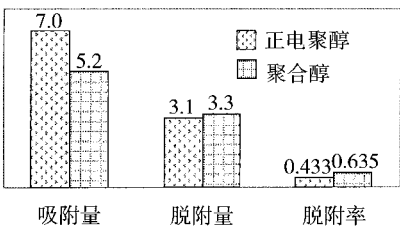


图 3 正电聚醇和聚合醇脱附率的比较

2 钻井液配方的优选

2.1 正交试验

通过实验室试验再根据现场经验，确定甲酸盐/正电聚醇钻井液体系由甲酸盐、正电聚醇、HF-JLS、HF-KYJ、SMP、SPNH、XC 等组成。利用正交试验，考虑四种处理剂 SMP、SPNH、HF-JLS、HF-KYJ 分别在 3 种加量下对滤失量、粘度和动切力的影响。所设计的正交试验配方及试验结果见表 1。

表 1 钻井液处理剂优选正交试验结果

配方	试验条件	滤失量/mL	pH 值	静切力/Pa	表现粘度/mPa · s	塑性粘度/mPa · s	动切力/Pa
1	老化前	9.8	9.5	1.5/2.0	22.0	16.0	6.0
	老化后	5.5	9.5	0.5/0.5	12.5	9.0	3.5
2	老化前	5.6	10.0	3.0/5.5	34.5	20.0	14.5
	老化后	4.6	9.0	1.0/3.5	24.0	16.0	8.0
3	老化前	4.3	9.5	1.5/5.6	41.0	27.0	14.0
	老化后	3.8	9.0	1.0/3.0	35.5	27.0	8.5
4	老化前	4.2	9.5	3.5/5.5	46.5	27.0	19.5
	老化后	3.9	9.0	1.0/4.0	26.0	18.0	8.0
5	老化前	5.3	10.0	2.0/3.0	44.0	29.0	15.0
	老化后	3.6	9.5	1.0/4.0	29.5	23.0	6.5
6	老化前	9.4	9.5	1.5/2.0	22.5	15.0	7.5
	老化后	4.9	9.5	0.5/0.5	15.0	11.0	4.0
7	老化前	4.0	10.0	2.0/5.5	41.0	27.0	14.0
	老化后	3.6	9.5	1.5/4.5	36.0	26.0	10.0
8	老化前	5.3	10.0	2.5/4.0	32.0	18.0	14.0
	老化后	4.5	9.0	0.5/1.0	20.5	14.5	6.0
9	老化前	4.5	9.5	2.5/4.6	33.0	19.0	14.0
	老化后	3.8	9.5	1.5/2.5	29.5	21.0	8.5

注：基浆为 4%膨润土+3%甲酸钠+0.1%XC+3%正电聚醇+3.5%QS-2；配方 1 为基浆+1%JLS+0.1%KYJ+2%SMP+2%SPNH；配方 2 为基浆+2%JLS+0.2%KYJ+2%SMP+2.5%SPNH；配方 3 为基浆+3%JLS+0.3%KYJ+2%SMP+3%SPNH；配方 4 为基浆+2%JLS+0.3%KYJ+2.5%SMP+2%SPNH；配方 5 为基浆+3%JLS+0.1%KYJ+2.5%SMP+2.5%SPNH；配方 6 为基浆+1%JLS+0.2%KYJ+2.5%SMP+3%SPNH；配方 7 为基浆+3%JLS+0.2%KYJ+3%SMP+2%SPNH；配方 8 为基浆+1%JLS+0.3%KYJ+3%SMP+2.5%SPNH；配方 9 为基浆+2%JLS+0.1%KYJ+3%SMP+3%SPNH；老化条件为 120 ℃，滚动 16 h。

2.2 试验结果分析

把处理剂 SMP、SPNH、HF-JLS 和 KYT 作为

影响钻井液体系 API 滤失量的 A、B、C 和 D 4 种因素, SMP 的 2.0%、2.5% 和 3.0% 加量作为因素 A 的水平 1、2、3; SPNH 的 2.0%、2.5% 和 3.0% 加量作为因素 B 的水平 1、2、3; HF-JLS 的 1.0%、2.0% 和 3.0% 加量作为因素 C 的水平 1、2、3; KYJ 的 0.1%、0.2% 和 0.3% 加量作为因素 D 的水平 1、2、3 进行常规正交试验分析, 结果见表 2、表 3。从表 2、表 3 可以看出, 以上 4 种处理剂的加量, 不管是对新浆还是老化后的浆体, 对 API 滤失量的影响顺序为: HF-JLS>SMP>HF-KYJ>SPNH。可见, HF-JLS 是影响 API 滤失量的关键因素。

表 2 4 种处理剂对热滚前钻井液滤失量的影响

因素分析	A	B	C	D
水平 1	6.657	6.000	8.167	6.533
水平 2	6.300	5.400	4.767	6.333
水平 3	4.600	6.607	4.533	4.600
极值	1.967	0.667	3.634	1.933

表 3 4 种处理剂对热滚后钻井液滤失量的影响

因素分析	A	B	C	D
水平 1	4.633	4.333	4.967	4.300
水平 2	4.133	4.233	4.100	4.367
水平 3	3.967	4.167	3.667	4.067
极值	0.666	0.166	1.300	0.300

同理分析上述 4 种处理剂对热滚前后钻井液体系表观粘度和动切力的影响。对于表观粘度, HF-JLS 影响最大, HF-KYJ 和 SMP 的影响相近, SPNH 影响最小。对于动切力, HF-JLS 影响最大, SPNH 最小, 其它两种居中。

综合考虑各因素对钻井液性能的影响及性能的重要性, 确定各种处理剂的加量为: SMP 2.5%, SPNH 2.0%, HF-JLS 2.0%, KYJ 0.3%, 即配方 4 为最佳配方。

3 钻井液体系的性能评价

3.1 抗温性能

抗温性能评价结果见图 4, 从图 4 可以看出, 钻井液在 120 或 140 °C 下热滚 16 h 后, 流变性能略有变化, 粘度有所升高, 滤失量增加, 但总体上变化不大, 表明该钻井液有良好的抗温性能。

3.2 抑制性能

3.2.1 页岩岩样回收率试验

通过页岩回收率试验评价各类钻井液体系抑制岩

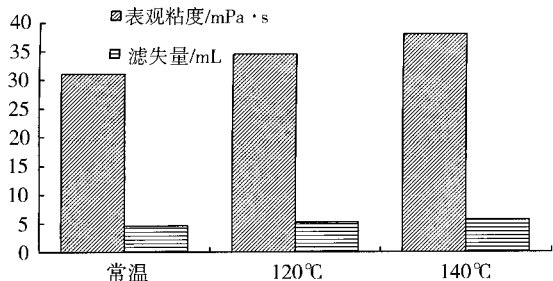


图 4 甲酸盐/正电聚醇体系的抗温性能评价

屑水化分散的能力, 试验按照 CNPC 颁布的标准试验程序进行, 试验结果见图 5。

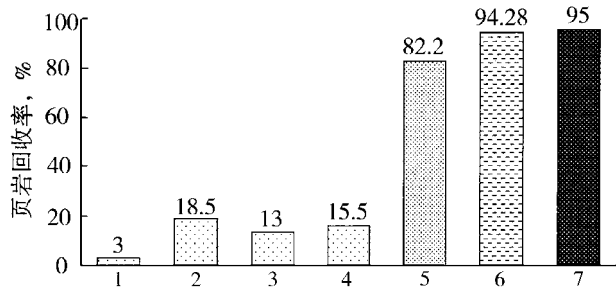


图 5 不同钻井液体系页岩回收率对比

由图 5 可以看出, 清水的回收率仅为 3%, 表明该岩屑很容易水化分散。两性复合离子聚合物钻井液、乳液高分子钻井液和钾胺基聚合物钻井液的页岩回收率均偏低 (小于 20%), 而甲酸钠/正电聚醇钻井液和甲酸钾/正电聚醇钻井液的页岩回收率较高, 其中后者的页岩回收率达到 94.28%, 与油基钻井液的 95% 的回收率十分接近。该试验表明, 甲酸盐/正电聚醇钻井液对泥页岩水化分散的抑制性强于其它各种水基钻井液。

3.2.2 页岩膨胀率测定

将所取岩屑研磨成干粉, 过 100 目筛并烘干。将岩粉压制成岩心, 再将岩心分别浸泡在清水、各种钻井液体系及优选的甲酸钠/正电聚醇钻井液和甲酸钾/正电聚醇钻井液中。

使用 NP-01 型页岩膨胀性测试仪测定页岩的 24 h 线性膨胀量, 结果见图 6。从图 6 可以看出, 在各种钻井液体系中, 油基钻井液的膨胀量极小, 并且基本上不随时间而变化, 24 h 后仅为 0.14 mm; 清水的膨胀量最大, 24 h 后的膨胀量为 2.5 mm; 甲酸钠/正电聚醇钻井液和甲酸钾/正电聚醇钻井液在开始阶段膨胀速度比较快, 但经过 24 h 后, 其膨胀量仅为 1.22 和 0.92 mm, 在除油基钻井液之外的各种水基

钻井液中是最低的。以上试验结果表明，与其它类型水基钻井液相比，甲酸盐/正电聚醇钻井液有较强的抑制泥页岩水化膨胀的性能。同时可以看出，甲酸钾/正电聚醇钻井液的抑制性优于甲酸钠/正电聚醇钻井液的抑制性。

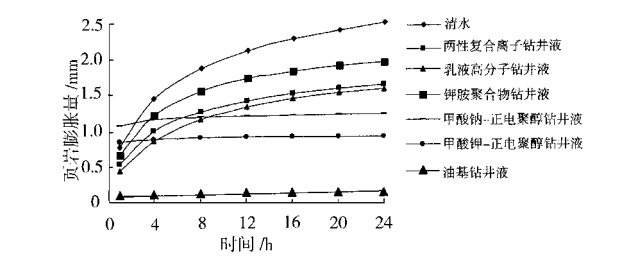


图 6 不同钻井液页岩膨胀量对比

3.3 钻井液润滑性能评价

利用 E-P 极压润滑仪对甲酸钾/正电聚醇钻井液和甲酸钠/正电聚醇钻井液的润滑性进行测试。测试结果为：甲酸钾/正电聚醇钻井液的润滑系数为 0.14，甲酸钠/正电聚醇钻井液的润滑系数为 0.17，均小于 0.20，表明该钻井液具有良好的润滑性能。相对而言，甲酸钾/正电聚醇钻井液的润滑性能更优。

3.4 油层保护效果

采用岩心流动实验仪，进行了渗透率恢复率评价试验。试验用岩心取自纯 107 井低渗砂岩储层，孔隙度为 28.6%，空气渗透率 $K_a=79.4\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ ，油相渗透率 $K_o=4.50\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ ，试验用钻井液同前，并用切片法测定其侵入深度。试验结果见表 4。从表 4 可以看出，经该钻井液污染后，岩心渗透率恢复率可达 75.4%。当从岩心端面切去 2 cm 后，基本上可恢复至原始的油相渗透率，从而表明甲酸盐/正电聚醇钻井液能有效地形成暂堵环，油层污染深度大大降低，具有良好的保护储层的效果。

表 4 甲酸盐/正电聚醇钻井液渗透率恢复率效果评价					
岩 心 号	$K_{oo}/\times10^{-3}\mu\text{m}^2$	渗透率 恢复率,%	污染条件		
			压力/MPa	时间/h	
纯 107 井 5#	3.39	75.4	3.5	2	
切去 0.5 cm	3.70	82.3	3.5	2	
切去 1.0 cm	4.10	91.0	3.5	2	
切去 1.5 cm	4.30	95.6	3.5	2	
切去 2.0 cm	4.47	99.3	3.5	2	

注：K_{oo}为污染后油相渗透率。

3.5 用甲酸盐加重对钻井液性能的影响

利用甲酸盐将钻井液密度由 1.1 kg/L 提高到 1.2 kg/L，再测定其性能，结果见表 5。由表 5 数据

可知，无论利用甲酸钠还是利用甲酸钾对钻井液进行加重，其性能变化不大。

表 5 使用甲酸盐加重对钻井液性能的影响

配 方	试 验 条 件	API 滤 失量/mL	静 切 力/Pa	表 观 粘 度/mPa·s	塑 性 粘 度/mPa·s	动 切 力/Pa	HTHP 滤 失量/mL
1	老化前	3.9	3.0/5.0	44.0	27	17.0	
	老化后	3.5	1.5/6.0	30.0	20	10.0	14
2	老化前	3.8	3.0/6.5	38.0	24	14.0	
	老化后	3.1	2.0/8.5	34.5	23	11.5	13
3	老化前	4.0	2.0/3.0	33.5	21	12.5	
	老化后	4.1	1.5/6.0	28.5	19	9.5	14
4	老化前	3.1	2.5/4.5	44.5	29	15.5	
	老化后	2.7	2.0/4.5	42.5	28	14.5	12

注：基浆为 4%膨润土+2%JLS+0.3%KYJ+2.5%SMP+2%SPNH+0.1%XC+3%正电聚醇+3.5%QS-2+2%WZD-2+2%水基润滑剂；配方 1 为基浆+3%甲酸钠；配方 2 为基浆+3%甲酸钾；配方 3 为基浆+23%甲酸钾；配方 4 为基浆+26%甲酸钾；老化条件为 120℃，滚动 16 h；配方 1、2 的密度为 1.1kg/L，配方 3、4 的密度为 1.2kg/L。

4 现场应用

优选的甲酸盐/正电聚醇钻井液已经在 大港油田南部滩海地区张海 5 井、张海 11 井等多口井中进行了推广应用，应用效果较好。

1) 井壁稳定。钻进中定期加入甲酸盐、抗盐聚合物、正电聚醇及环保降滤失剂，抑制了地层的造浆，降低了钻井液的滤失量。张海 5 井和张海 11 井平均井径扩大率分别为 5.66%（三开）和 8.25%（二开），表明该钻井液具有较好的防塌和井壁稳定效果。

2) 抑制性。采用甲酸盐、抗盐聚合物和正电聚醇来抑制粘土的造浆，用环保降滤失剂控制钻井液的滤失量，有效地抑制了明化镇组地层泥岩水化膨胀、分散，实现了低密度钻井，二开钻进中粘度变化不大，表明该钻井液体系具有良好的抑制性。

3) 井眼净化。根据不同情况及时调整钻井液的流变性能，充分利用好固控设备。起下钻及下套管都正常，无遇阻情况，表明该钻井液体系井眼净化效果较好。

4) 润滑防卡。加入正电聚醇、水基润滑剂以提高钻井液润滑性，全井起下钻通畅，现场进行多次电测和核磁共振测试，均很顺利。说明该钻井液体系润滑防卡效果较好。

5) 储层保护。严格控制甲酸盐/正电聚醇钻井液的滤失量，减小滤液对储层的损害，同时利用正电聚

醇的正电性和浊点效应, 有效地保护了油气层。

5 结 论

1) 正电聚醇比聚合醇更易吸附在岩石表面, 吸附强度更高, 抑制性能更好。

2) 甲酸钠/正电聚醇钻井液和甲酸钾/正电聚醇钻井液都具有很好的抑制性、流变性和润滑性。在成本允许的情况下, 使用甲酸钾/正电聚醇钻井液会取得更好的效果。

3) 在地层孔隙压力较低时, 主要利用正电聚醇确保钻井液具有良好的性能; 在地层孔隙压力较高时, 使用甲酸盐进行加重可以确保钻井液具有低固相、强抑制性的特点, 有利于提高机械钻速、维持井壁稳定和保护储层。

4) 在大港油田南部滩海地区的应用表明, 甲酸盐/正电聚醇钻井液具有防塌、润滑和储层保护等多种功能, 能够很好满足安全、快速钻井的要求。

参 考 文 献

- [1] 王昌军, 岳前声, 肖稳发. 聚合醇的储层保护机理室内研究 [J]. 重庆石油高等专科学校学报, 2001, 3 (4): 15-16, 23.
- [2] 向兴金, 肖稳发, 王昌军, 等. 环境可接受的聚合醇钻井液的研制及在渤海地区的推广应用 [J]. 江汉石油学院学报, 1998, 20 (3): 62-65.

- [3] 郭保雨. 聚合醇的浊点对钻井液润滑和防塌性能的影响 [J]. 石油钻探技术, 2004, 32 (4): 42-43.
- [4] 郝仕根. 吐哈油田聚合醇钻井液研究与应用 [J]. 石油钻探技术, 2002, 30 (2): 54-56.
- [5] 陈乐亮, 汪桂娟. 甲酸盐基钻井液完井液体系综述 [J]. 钻井液与完井液, 2003, 20 (1): 31-36.
- [6] 陈乐亮, 汪桂娟. 甲酸盐基钻井液完井液体系综述 (续) [J]. 钻井液与完井液, 2003, 20 (2): 33-38.
- [7] 韩玉华, 顾永福, 王树华. 大庆油田外围开发井甲酸盐钻井液研究与应用 [J]. 钻井液与完井液, 2002, 19 (5): 28-30.
- [8] 沙东, 汤新国, 许绍营. 甲酸盐无固相钻井液体系在大港滩海地区的应用 [J]. 石油钻探技术, 2003, 31 (2): 29-32.
- [9] 张灵霞, 李剑, 李振杰. 聚合醇钻井技术室内研究和现场应用 [J]. 河南石油, 2002, 16 (4): 33-35.
- [10] 李辉, 肖红章, 张睿达. 聚合醇在钻井液中的应用 [J]. 油田化学, 2003, 20 (3): 280-284.
- [11] Bland R G. Quality criteria in selecting glycols as alternatives to oil-based drilling fluid systems [R]. SPE27141, 1994.
- [12] Aston M S. Water-based glycol drilling muds; shale inhibition mechanisms [R]. SPE28818, 1994.
- [13] McGill M. Drilling severely depleted sands in the Gulf of Mexico; the benefits of cloud point glycols [R]. SPE38571, 1997.
- [14] Reid P I. Mechanism of shale inhibition by polyols in water based drilling fluids [R]. SPE28960, 1995.

[审稿 樊世忠]

A Novel Formate/Positive-Charged Polyglycol Drilling Fluid

Li Zhiyong¹ Yan Jienian¹ Wang Jianhua¹ Wang Xiaolin²

(1. Department of Oil & Gas Engineering, China University of Petroleum (Beijing), Changping, Beijing, 102249, China; 2. Shandong Sales Branch Company, China Oil & Gas Co. Ltd., Qingdao, Shandong, 266071, China)

Abstract: A new kind of formate/positive-charged polyglycol drilling fluid system has been developed making full use of the coordinated effect of formate and positive-charged polyglycol. When the pore pressure is relatively low, the positive-charged polyglycol is mainly used to ensure the muds having good performance. When the pore pressure is relatively high, the formate is used as a weighting agent to maintain a low-solid mud system. The field applications in the wells of Zhanghai-5 and Zhanghai-11, etc. indicate that the mud system has multi-functions such as high-temperature stability, anti-sloughing, lubrication and formation damage control, etc., and can meet the requirements of safety and rapid well drilling.

Key words: water-based drilling fluids; formate; polyglycol; drilling fluid testing; field testing

华北油田研制成功自喷井清蜡管理器

华北油田研制成功一种自喷井清蜡管理器, 实现了自喷井的精细化管理, 避免了人为因素的干扰和由于不按技术标准要求清蜡而造成自喷井蜡堵的现象。该仪器应用微电子技术, 采用计算机电子记数装置, 利用光栅传感器和先进的软件技术实现了计量与管理一体化, 改变了原始的人工记录和压纸条的方法, 具有自动记录、报警和提示功能, 从而有效防止了井下掉刮蜡片事故, 延长了自喷井的寿命和自喷周期, 相对增加了单井的原油产量, 具备一定的推广应用价值。