

# 稀硅酸盐钻井液体系配方研究及性能评价

王先兵<sup>1</sup>, 陈大钧<sup>1</sup>, 潘敏<sup>2</sup>, 陈世荣<sup>2</sup>, 韦辉<sup>3</sup>, 赵晓林<sup>4</sup>, 徐浩然<sup>1</sup>

(1 西南石油大学化学化工学院 2 中石油川庆钻探工程公司安检院

3 吐哈油田公司天然气化工厂 4 克拉玛依华奥石油化工有限公司)

王先兵等. 稀硅酸盐钻井液体系配方研究及性能评价. 钻采工艺, 2009, 32(6): 82-84

**摘 要:** 通过分析硅酸盐钻井液体系稳定井壁的机理, 优选了基浆和与硅酸盐配伍性好的有机处理剂, 研制出了一种稀硅酸盐钻井液配方并进行了性能评价, 结果表明所研制的配方具有优良的流变性和降滤失性, 低黏切高动塑比, API 滤失低于 5 ml, HTHP 滤失低于 10 ml, 强抑制性、防塌性, 岩屑滚动回收率达 99%, 抗盐抗钙、抗钻屑污染能力强, 抗温 120℃ 以上, 使用重晶石加重后仍保持良好的流变性和降滤失性。

**关键词:** 钻井液; 硅酸盐; 性能评价; 配方

中图分类号: TE 254

文献标识码: A

DOI:10.3969/j.issn.1006-768X.2009.06.025

国内外研究表明水基钻井液体系中硅酸盐钻井液体系的稳定泥页岩井壁和防塌能力与油基钻井液体系相近, 且具有强抑制性、低成本、环保性能好等优点, 被认为是目前最具发展前景的水基钻井液体系之一<sup>[1]</sup>。硅酸盐钻井液体系由于其流变性和滤失性能难于控制, 很快被新兴的聚合物钻井液和油基钻井液取代, 甚至在上世纪中期被美国否定了此类钻井液<sup>[2]</sup>。近年来, 硅酸盐钻井液体系再次成为国内外研究的热点, 且流变性和滤失性能也容易得到控制<sup>[3]-[5]</sup>。本次对稀硅酸盐钻井液体系进行了大量的实验和摸索, 研究出了一种较好的稀硅酸盐钻井液配方, 通过性能评价, 确定该配方性能优良。

## 一、硅酸盐钻井液稳定井壁机理

硅酸盐钻井液在水中可以形成大小不同的颗粒, 即离子型的、胶体状的高分子态的颗粒。这些颗粒通过吸附、扩散等途径结合到井壁上, 封堵地层空隙和裂缝, 阻止滤液进入地层, 抑制页岩中黏土矿物水化膨胀和分散<sup>[6]-[7]</sup>; 进入地层中的硅酸盐与岩石表面或地层中的钙镁离子起作用生成硅酸钙/镁沉淀覆盖在岩石表面起到封堵作用, 同时加入的 NaCl、KCl 是生成硅酸盐沉淀的催化剂, 即无机盐的协同稳定井壁作用<sup>[8]</sup>; 此外, 进入地层的硅酸根遇到 pH 值小于 9 的地层水, 会立即变成凝胶而封堵空隙和裂缝, 即  $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2 + (x+1)\text{H}_2\text{O} \rightarrow m\text{SiO}_2$

$\cdot x\text{H}_2\text{O} \downarrow + 2\text{NaOH}$ , 当 pH 降低到一定值后, 还会发生胶凝缩合反应, 生成较长带支链的—Si—O—Si—链, 使整个溶液形成不流动的冻胶<sup>[4]</sup>。

## 二、配方研究

### 1. 基浆选取

基浆: 3% 预水化优质膨润土 + 5%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (占土量) + 0.8% NaOH + 5% KCl + 2% ~ 5% 硅酸钠。

其中  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  是为了促使优质膨润土的水化分散; NaOH 调节 pH 值为 11 ~ 12, 在较强的碱性条件下硅酸盐保持较好的分散度, 有利于调节硅酸盐钻井液体系的流变性和滤失性能; KCl 可显著降低硅酸盐的粒度, 从而增加其进入地层空隙和裂缝内部, 提高封堵效率和封堵强度, 同时具有无机盐的协同稳定井壁作用; 硅酸钠的模数选取 2.8 ~ 3.2, 在此范围内颗粒粒径分布最均匀, 防塌性能也最佳, 加量控制在 2% ~ 5%, 较稀的硅酸盐浓度不仅稳定井壁的作用和防塌能力不会削弱, 而且更容易控制其流变性和滤失性能。

### 2. 有机处理剂选取

硅酸盐钻井液体系的流变性和滤失性控制一直是使用中的最大技术难点, 本文选取多种有机处理剂进行配伍实验, 结果见表 1。由表 1 可见, 处理剂 XC、PAC141、CMS 和聚合醇防塌润滑剂与硅酸盐体系的配伍性比较好; 而处理剂 SPNH、ABS、HPAM、

收稿日期: 2009-01-09; 修回日期: 2009-10-13

作者简介: 王先兵(1984-), 在读硕士研究生, 西南石油大学化学化工学院应用化学专业, 主要从事钻井液与完井液的研究。地址: (610500) 成都市新都区西南石油大学研究生院硕 2007 级 5 班, 电话: 028-83830325, E-mail: wxb10212008@126.com

SMP 和 NH<sub>4</sub>PAN 与硅酸盐体系的匹配性均不理想, 加入后体系失水下降不大, 反而黏度明显增加。

表1 常用有机处理剂与硅酸盐的配伍性实验

钻井液 配方	塑性黏度 (mPa·s)	动切力 (Pa)	表观黏度 (mPa·s)	API 滤失 (ml)
基浆	10	3.5	13.5	65
+1% SPNH	20	9.5	29.5	40
+1% ABS	19	9.0	28.0	45
+1% SMT	18	10	28.0	38
+1% SMP	22	11	33.0	35
+1% NH <sub>4</sub> PAN	25	13	38.0	50
+1% XC	16	7.5	23.5	20
+1% PAC141	15	7.0	22.0	25
+1% CMS	14	6.0	20.0	18
+1% 聚合醇	15	6.5	21.5	21

注:各配方的 pH 值均为 12。

### 3. 配方优化

#### 3.1 处理剂复配

滤失量的控制一直是硅酸盐钻井液在使用中的技术难点之一, 这是由于硅酸盐钻井液体系的 pH 值比常规的聚合物钻井液体系的高得多, 一些常规的降滤失剂在硅酸盐体系中均易失效, 本文选取与硅酸盐配伍性比较好的有机处理剂通过复配确定各组分的加量, 得出一套好的配方, 适当的黏切和有效的控制失水, 该配方的性能见表 2。从表 2 可知当基浆和 XC、CMS、PAC141、聚合醇复配一起使用时比任何两项或其中几项复配时的性能都要好, 黏度相当, 但动切力得到适当增加, 提高了动塑比, 更有利于携带钻屑清洗井眼, 同时滤失量明显降低。

#### 3.2 配方确定

为了获得最优配比, 本实验采用四因素三水平 L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>) 的正交实验方法, 对所配置钻井液的流变参数及其他性能进行测试, 确定最优配方为: 3% 预水化优质膨润土 + 5% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (占土量) + 0.8% NaOH + 5% KCl + 4% 硅酸钠 + 0.8% XC + 2.2% CMS + 1.6% PAC141 + 2% 聚合醇防塌润滑剂, 其中硅酸盐的模数为 3.18, 该配方的流变性和降滤失性结果见表 3。由表 3 可见, 所研制的硅酸盐钻井液流变性合理, 滤失量小, 完全能够满足现场施工要求。

## 三、性能评价

### 1. 页岩抑制性比较

选取黏度相近的聚磺钻井液、KCl 聚合物钻井液、两性金属离子聚合物钻井液和油基钻井液与本文研制的硅酸盐钻井液做页岩抑制性对比实验, 将烘干研细的岩屑粉末加入到上述钻井液中进行

120℃ 滚动回收实验, 实验结果见表 4, 由表 4 可见硅酸盐钻井液的抑制性和油基钻井液相同, 明显优于其他钻井液体系。

表2 处理剂复配实验

泥浆配方	塑性黏度 (mPa·s)	动切力 (Pa)	表观黏度 (mPa·s)	API 滤失 (ml)
基浆 + 1% XC + 1.5% PAC141	20	8.0	28.0	16
基浆 + 1% XC + 2% CMS	20	9.5	29.5	12
基浆 + 1% XC + 2% 聚合醇	19	8.0	27.0	14
基浆 + 1.5% PAC141 + 2% CMS	20	9.0	29.0	15
基浆 + 1.5% PAC141 + 2% 聚合醇	18	7.5	25.5	18
基浆 + 2% CMS + 2% 聚合醇	19	8.5	27.5	16
基浆 + 1% XC + 1.5% PAC141 + 2% CMS	22	10	32.0	8
基浆 + 1% XC + 1.5% PAC141 + 2% 聚合醇	21	9.5	30.5	10
基浆 + 2% CMS + 1.5% PAC141 + 2% 聚合醇	20	9.5	29.5	9
基浆 + 1% XC + 2% CMS + 1.5% PAC141 + 2% 聚合醇	22	11	33.0	5.8

表3 最优配方的流变性能

密度 (g/cm <sup>3</sup> )	AV (mPa·s)	PV (mPa·s)	YP (Pa)	YP/PV (Pa/mPa·s)	API (ml)	HTHP (ml)	pH
1.12	35	23	12	0.52	4.8	9.2	12

表4 不同钻井液体系的抑制性对比实验

钻井液体系	岩屑回收率(%)
聚磺钻井液	45
KCl 聚合物钻井液	83
两性金属离子聚合物	78
油基钻井液	99
硅酸盐钻井液	99

### 2. 抗温和抗盐、抗钙污染能力

1<sup>#</sup>配方: 3% 预水化优质膨润土 + 5% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

(占土量) + 0.8% NaOH + 5% KCl + 4% 硅酸钠 + 0.8% XC + 2.2% CMS + 1.6% PAC141 + 2% 聚合醇防塌润滑剂。对该配方进行抗温和抗盐、抗钙污染能力测试,结果见表5。由表5可见,该硅酸盐钻井液抗温能力强,120℃老化48h后,流变性能仍然很好,抗盐抗钙能力强,盐侵和钙侵对其流变性和滤失性能影响很小。

### 3. 抗钻屑污染

从现场取得的岩屑经高速粉碎机粉碎,过100目筛子,然后以不同的加量加入到硅酸盐钻井液1#中,测定钻井液的流变性能和120℃老化16h后的流变性能,结果见表6。由表6可见该钻井液体系抗钻屑污染能力强,加入钻屑后对体系增粘很小,并稍有降低滤失的作用。

表5 硅酸盐钻井液抗温和抗盐、抗钙污染能力

配方	塑性黏度 (mPa·s)	动切力 (Pa)	表观黏度 (mPa·s)	API 滤失 (ml)
1#	23	12.0	35.0	4.8
1#老化12h,120℃	22	12.0	34.0	6.4
1#老化24h,120℃	21	12.0	33.0	8.5
1#老化48h,120℃	21	11.5	32.5	9.5
1# + 3% NaCl	24	11.5	35.5	5.0
1# + 5% NaCl	25	11.0	36.0	5.6
1# + 0.3% CaCl <sub>2</sub>	23	11.5	34.5	4.9
1# + 0.5% CaCl <sub>2</sub>	25	11.0	36.0	5.8

表6 硅酸盐钻井液抗钻屑污染前后常规性能

配方	条件	塑性黏度 (mPa·s)	动切力 (Pa)	表观黏度 (mPa·s)	API 滤失 (ml)
1#	常温	23	12.0	35.0	4.8
	热滚后	22	12.0	34.0	6.4
1# + 3% 钻屑	常温	23	12.5	35.5	4.6
	热滚后	22	12.5	34.5	6.0
1# + 5% 钻屑	常温	25	13.5	38.5	4.4
	热滚后	23	13.0	36.0	5.4
1# + 8% 钻屑	常温	28	14.5	42.5	4.1
	热滚后	25	13.5	38.5	6.2

注:各配方的pH值均为12。

### 4. 加重剂对硅酸盐钻井液的影响评价

为进一步考查该硅酸盐钻井液体系的配方在实际运用过程中的流变性和滤失性能,对它进行了加重实验,即加入常用加重剂重晶石逐步提高体系的密度,然后测定其常规性能,结果见表7。由表7可见所研制的硅酸盐钻井液配方的流变性好,滤失量小,符合设计要求。

表7 硅酸盐钻井液加重后的常规性能

配方	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	塑性黏度 (mPa·s)	动切力 (Pa)	表观黏度 (mPa·s)	API 滤失 (ml)
1#	1.12	23.0	12.0	35.0	4.8
1# + 重晶石 2#	1.15	21.5	11.5	34.0	4.6
2# + 重晶石 3#	1.20	24.0	12.0	36.5	3.8
3# + 重晶石 4#	1.25	26.5	12.5	39.0	3.6
4# + 重晶石	1.30	28.0	12.5	40.5	3.5

## 四、结束语

(1) 硅酸盐产品的模数对于硅酸盐钻井液体系的性能影响较大,选取硅酸钠的模数为3.18,加量为4%,很好的控制了体系的流变性和滤失性能。

(2) 由于硅酸盐钻井液的pH值较高,有些常规的处理剂不能很好地与之配伍,在使用相关处理剂时要十分注意。本文通过实验确定处理剂XC、PAC141、CMS和聚合醇防塌润滑剂与硅酸盐体系的配伍性较好。

(3) 对研制出的硅酸盐钻井液配方进行了性能评价,证明其抗盐抗钙、抗温、抗钻屑污染和页岩抑制性各方面性能均很好,并可使用加重剂逐步加重,仍能保持优良的流变性和降滤失性。

### 参考文献

- [1] 丁锐,丁铸. 硅酸盐钻井液技术现状和发展趋势[J]. 石油钻探技术,1998,26(3):16-18.
- [2] 鄢捷年. 钻井液工艺学[M]. 山东东营:中国石油大学出版社,2001:345-346.
- [3] Van Oort E, et al. Silicate - Based Drilling Fluids: Competent Cost - effective and Benign Solutions to Well - Bore Stability Problems. IADC/SPE 35 - 059, 1996.
- [4] Ward, Chapman J W. Silicate Based Muds: Chemical Optimization Based on Field Experience. SPE 37 266, 1997.
- [5] 郭健康,鄢捷年. 硅酸盐钻井液体系的研究与应用[J]. 石油钻采工艺,2003,25(5):21-24.
- [6] Bailey B. Craster New Insight into the Mechanism of Shale Inhibition Using Water Based Silicate Drilling Fluid. IADC/SPE 39 - 401, 1998.
- [7] 梁大川. 硅酸盐钻井液稳定井壁机理分析[J]. 西南石油大学学报,1998,20(2):53-55.
- [8] 甘西平. 固体硅酸钾钠抑制剂的研究和应用[J]. 钻采工艺,1987,10(2):41-44.

(编辑:包丽屏)