

硅酸盐钻井液室内评价与研究

孙玉学 杨婧娜 朱 红¹

(东北石油大学石油工程学院, 大庆 163318; 大庆石化公司¹, 大庆 163318)

摘 要 着重对硅酸盐钻井液的性能进行研究。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。结合硅酸盐钻井液在辽河油田的岩样中的应用进行室内评价研究, 得出一套完整的硅酸盐钻井液体系配方, 并对该配方进行综合性能的评价。

关键词 钻井液 硅酸盐 性能评价 配方

中图法分类号 TE254. 1; **文献标志码** B

近十几年来, 防塌钻井液研究有了长足发展, 研制出了多种类型防塌钻井液, 其中硅酸盐钻井液因具有显著的防塌效果、固壁防漏功能、材料费用低以及不污染环境等优点, 受到国内外钻井界的重视^[1]。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。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。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。对硅酸盐钻井液的研究存在的问题包括: 硅酸盐钻井液与处理剂的配伍性研究不够, 流变性难以控制, 影响其防塌效果的因素及防塌机理都有待进一步研究。针对上述问题, 本次对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硅酸盐钻井液配方, 通过性能评价, 确定该配方性能优良。

1 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^[2]; 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; 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

$$\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2 + (x+1)\text{H}_2\text{O} \longrightarrow m\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O} \downarrow + 2\text{NaOH}$$

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。

2 硅酸盐钻井液配方研究与性能评价

2.1 硅酸盐钻井液组成与配方

由于硅酸盐钻井液组成比较复杂, 考虑到赋予它合适的流变性、抑制性、滤失性、润滑性、封堵性、高矿化度与低活度、低泡沫性, 用了多种材料配制硅酸盐钻井液。

该钻井液的配方为: 膨润土 1% ~ 4% + 硅酸 15% ~ 20% + 复配抑制剂 1% ~ 2% + KPAM 0.6% ~ 1.2% + SPNH 1% ~ 2% + 润滑剂 1% ~ 2% + 聚合

醇 0.5% ~ 2.0% + BCM 1% ~ 2% + JGN 0.5% ~ 1.0% + 磷酸三丁酯 0.2% ~ 0.3% + 氯化钠 3% ~ 6% + 碳酸钠 0.1 ~ 0.2%。

流变性主要由膨润土、KPAM、BCM、JGN 控制,前三种起增黏作用,后一种起降黏作用;抑制功能主要由硅酸盐、复配抑制剂、KPAM、聚合醇、无荧光磺化沥青、JGN、氯化钠、SPNH 来体现;滤失性主要靠 KPAM、SPNH、BCM、膨润土和超细碳酸钙控制;润滑性由润滑剂来增强;封堵性由超细碳酸钙、聚合醇和硅酸盐提供;氯化钠和硅酸盐提高钻井液的矿化度,降低其活度;磷酸三丁酯和有机硅消泡剂消除钻井液的泡沫;碳酸钠提高钻井液中膨润土水化分散及其它一些药剂发挥作用所需的碱性环境。

2.2 硅酸盐钻井液常规性能

一般地,钻井液常规性能应该达到如下性能指标:API 失水小于 5 mL;淡水浆 HTHP 失水小于 15 mL;盐水浆 HTHP 30 mL;初切(2~4) Pa;终切(4~10) Pa;动切力(5~15) Pa;塑性黏度(15~25) mPa·s;最佳动塑比 0.3~0.5。

对研制的硅酸盐钻井液体系进行了常规性能测试^[3],并与两性复合离子、正电胶等钻井液体系进行了对比实验,实验结果见表 1。

从表 1 可看出硅酸盐钻井液常温下和 180℃ 高温老化后性能都较好,180℃ 3.5 MPa 下高温高压失水也不算大。静切力也能满足低密度时悬浮固相需要。

表 1 钻井液的性能对比实验数据

钻井液	温度 ℃/h	黏度 s	FL/ mL	G'/ Pa	G''/ Pa	φ600/ φ300	PV mPa·s	YP Pa	HTHP/ mL
正电胶	常温	53	8.2	3.5	9.0	47/31	16.0	8.0	28.6
硅酸盐	常温	56	7.0	2.0	6.5	48/29	19.0	5.0	21.2
两性复合离子	常温	59	6.6	2.0	5.5	59/36	23.0	6.5	22.5
正电胶	170/24	58	8.2	3.5	12.0	58/39	19.0	10.0	46.8
硅酸盐	170/24	47	8.0	1.5	4.5	36/22.5	13.5	4.5	23.6
两性复合离子	170/24	68	7.0	2.0	8.5	68/43	25.0	9.0	23.8
硅酸盐	180/24	40	8.6	1.5	3	34/20	14	3	28.4

2.2.1 高温稳定性

对钻井液在高温条件下老化后的评价实验,可以看出钻井液体系及处理剂的抗温性,对评价钻井液处理剂及钻井液本身的抗温极限具有重要的指导作用。本试验中通过对硅酸盐钻井液在 180℃ 条件下老化 24 h 测其常规性能来评价体系的高温稳定性。

表 2 180℃老化 24 h 后钻井液常规性能数据

序 号	FL /mL	G' /Pa	G'' /Pa	pH	φ600	φ300	φ200	φ100	φ6	φ3	YP /Pa	PV/ mPa·s	HTHP, (180℃) /mL
1 [#]	4.5	1.0	2	8.0	40	23	16	9	1.5	1	3	17	36
2 [#]	5.6	1	1.5	8.5	63	38	27.5	16	3	2	6.5	25	38
3 [#]	7.0	2	3.5	8.0	43	32	26	19	4.5	3.5	10.5	11	58

备注:实验钻井液均为室内配置,1[#]硅酸盐体系;2[#]两性复合离子体系;3[#]正电胶体系

从表 2 中可看出,硅酸盐钻井液体系的抗温性较好,与常温下常规性能相比变化不大,说明它高温稳定性较好。

表 3 也是一组典型的钻井液常温与 170℃ 高温老化后性能测试数据,也获得同样的结果。

表 3 钻井液的性能对比实验数据

钻井液	温度 ℃/h	黏度 s	FL/ mL	G'/ Pa	G''/ Pa	φ600/ φ300	PV/ (mPa·s)	YP/ Pa	HTHP/ mL
正电胶	常温	53	8.2	3.5	9.0	47/31	16.0	8.0	28.6
硅酸盐	常温	56	7.0	2.0	6.5	48/29	19.0	5.0	21.2
两性复合离子	常温	59	6.6	2.0	5.5	59/36	23.0	6.5	22.5
正电胶	170/24h	58	8.2	3.5	12.0	58/39	19.0	10.0	46.8
硅酸盐	170/24h	47	8.0	1.5	4.5	36/22.5	13.5	4.5	23.6
两性复合离子	170/24h	68	7.0	2.0	8.5	68/43	25.0	9.0	23.8

2.2.2 防塌性

① 岩屑回收率

取赵古 3 井易膨胀泥岩岩屑分别对硅酸盐盐水钻井液、正电胶钻井液、油包水钻井液进行热滚回收实验^[4],80℃ 条件下滚动 24 h 后,测得的回收率

如表 4。

表 4 赵古 3 井岩滚动回收率对比实验数据		
钻井液	回收率/%	膨胀率/%
正电胶	49.0	47.6
硅酸盐	79.5	13.9
油基	83.0	7.6
清水	1.95	80.1

黏土膨胀实验,取赵古 3 井易水化膨胀岩屑碾碎成粉,烘干过 100 目筛,取上述钻井液的滤液进行水化实验,其结果见表 4。通过实验看出硅酸盐钻井液抑制效果好于正电胶钻井液,具有较强的抑制能力。

② 硬脆性泥岩滚动回收率

选取胜 601-505 井泥岩岩心,按标准做 160℃ 热滚 16 h 高温滚动回收实验,实验结果见表 5。对深层硬脆性泥岩,实验的几种钻井液体系滚动回收率都比较高,其中硅酸盐体系效果最好。回收率高的一个重要原因是泥岩本身不分散,而是以碎裂为主。

表 5 硬脆性泥岩滚动回收实验数据		
试 液	岩样 40 g(8~10 目)160℃/16 h 回收率/%	
清 水	50	
硅酸盐体系	99	
复合离子体系	86	

③ 易分散泥岩滚动回收率

为了考察钻井液体系对深层伊/蒙混层中的蒙托土的抑制性,采用易分散的岩屑进行了抑制性对比实验,选用马古 9 井 8~10 目岩屑,测 160℃/16 h 条件下回收率。实验结果见表 6。

表 6 易分散泥岩滚动回收实验数据		
试 液	马古 9 井岩样 40 g(8~10 目),160℃/16 h 回收率/%	
清水	8	
硅酸盐体系	76	
复合离子体系	42	
正电胶	39	

从抑制分散的效果来看硅酸盐体系比其它三种体系的效果均好。

④ 钻井液浸泡后深层岩石硬度

选用马古 11 井大块泥岩岩样(4 cm×4 cm),在 120℃ 条件下,用不同钻井液静止浸泡 16 h,然后测定样品的剪切强度。该实验主要反映钻井液对硬脆性泥岩水化抑制能力以及保持岩样强度能力。

表 7 强度对比实验数据	
钻井液	剪切强度/MPa
硅酸盐	30.16
正电胶	12.87
油包水	40.23

通过实验看出硅酸盐钻井液浸泡后,泥页岩硬度较大,硅酸盐钻井液具有较好的保持泥页岩完整性的能力。

2.2.3 润滑性

润滑评价实验主要是评价所筛选的润滑剂,所筛选的润滑剂为 RFH,使用美国白劳德公司生产的极压润滑剂评价,在润滑剂 RFH 加量为 2%(V/V)的条件下测定老化前后(100℃/16 h)的钻井液的润滑系数(EP)。试验证明,硅酸盐钻井液润滑性较好,润滑剂经高温老化性能稳定,能够满足深井要求。

表 8 润滑剂评价实验数据		
钻井液	滚前 EP 值	滚后 EP 值
清水	0.30	0.30
硅酸盐钻井液+1% RFH	0.20	0.21
硅酸盐钻井液+2% RFH	0.18	0.18
RFH 润滑剂	0.10	0.10

2.3 硅酸盐室内应用评价

使用硅酸盐钻井液与岩心充分作用一段时间,然后用地层水将硅酸盐驱出,测定处理前后岩心渗透率变化。

用汪 901 井登 4 段有裂缝泥岩样进行实验,结果显示,硅酸盐对该地层有封堵作用,岩石的渗透率由原来的 $3.04 \times 10^{-5} \mu\text{m}^2$ 降至 $4.77 \times 10^{-6} \mu\text{m}^2$ 。

为了考察硅酸盐钻井液“封固”效果随时间的变化情况,使汪 901 井登 4 段泥岩样与硅酸盐钻井液作用 18 h 后又进行实验。结果表明,经 18 h 作用后汪 901 井登 4 段泥岩样的渗透率又进一步降为 $1.04 \times 10^{-9} \mu\text{m}^2$,这表明硅酸盐防塌钻井液随作用时间延长其封固效果进一步增强。汪 901 井登 4 段岩样、侏罗系泥页岩和泉头组泥页岩经硅酸盐防塌钻井液作用后的实验结果表明,无裂缝汪 901 井登 4 段泥岩与硅酸盐钻井液作用后,其渗透率也由 $1.98 \times 10^{-8} \mu\text{m}^2$ 下降为 $3.06 \times 10^{-9} \mu\text{m}^2$ 。对于泉头组泥页岩与钻井液作用后渗透率由 $1.91 \times 10^{-8} \mu\text{m}^2$ 下降为 $2.30 \times 10^{-9} \mu\text{m}^2$,说明硅酸盐钻井液对该地层有较好的封堵作用。

综合上述结果可看出,登 4 段和泉头组泥页岩与硅酸盐防塌钻井液作用后,渗透率均下降一个数量级以上,说明硅酸盐防塌钻井液对泥页岩具有明显封固效果,促进井眼稳定。

3 结论

硅酸盐钻井液具有多种机理并行的抑制功能,是一种具有强抑制性能的钻井液,硅酸盐钻井液的流变性、滤失性都可以满足钻井需要,具有广阔的应用前景。

参 考 文 献

1 丁 锐,丁 铸. 硅酸盐钻井液技术现状和发展趋势. 石油钻探技术,1998;26(3):16—18
2 梁大川. 硅酸盐钻井液稳定井壁机理分析. 西南石油学院学报, 1998;20(2):53—55,62
3 魏新勇,肖 超,韩立胜. 硅酸盐钻井液综合机理研究. 石油钻探技术,2002;3(2):51—53
4 徐加放,邱正松. 硅酸盐钻井液防塌机理与应用技术. 石油勘探与开发,2007;34(5):622—627

Interior Evaluation and Reasarch of Silicate Drill Fluid

SUN Yu-xue, YANG Jing-na, ZHU Hong¹

(College of Petroleum Engineering in Northeast Petroleum University ,Daqing 163318, P. R. China;
Daqing Pertochemical Company¹ , Daqing 163318, P. R. China)

[Abstract] makes A special effort is made of study the behaviour of silicate drill fluid. It optimises base mud and the organic treating-agent which has good identity with silicate by analysing the mechanism of the silicate drill fluid stedying the borehole wall. The application of silicate drill fluid in the rock sample of LiaoHe oil field is a unite to proceed interior evaluation and research,and then obtain a suite of integral silicate drill fluid system dispensation and moreover evaluate the overall performance of the dispensation.

[Key words] drill fluid silicate performance evaluation dispensation