

# 高温高压油井钻井液的流变性实验研究

夏长元

(哈尔滨石油学院石油工程学院 黑龙江 哈尔滨 150027)

**【摘要】**近年来,随着石油资源的逐渐减少,对于钻井技术的要求越来越高。在深井和超深井探井中,由于地层梯度的加深,钻井液在高温高压条件下的流变性变化对油井的产量有很大影响。因此,必须严格计算钻井液的流变性变化并分析其对地层的影响,以防止井下故障、泄漏等事故的发生。本文在密度钻井液中加入不同处理剂,并通过测试钻井液的流变性数据来评价其流变性。特别是添加不同量的硫酸钾处理剂,测量其对钻井液流变性的影响。

**【关键词】** 高温高压; 处理剂; 流变性

## Experimental Study on Rheology of High Temperature and High Pressure Oil Well Drilling Fluid

Changyuan Xia

(School of Petroleum Engineering, Harbin Institute of Petroleum, Harbin, Heilongjiang, 150027)

**[Abstract]** In recent years, with the gradual reduction of petroleum resources, the requirements for drilling technology have become increasingly high. In deep and ultra deep well exploration, the rheological changes of drilling fluid under high temperature and pressure conditions have a significant impact on the production of oil wells due to the deepening of formation gradients. Therefore, it is necessary to strictly calculate the rheological changes of drilling fluid and analyze their impact on the formation to prevent accidents such as downhole faults and leaks. This article adds different treatment agents to high-density drilling fluid and evaluates its rheological properties by testing the rheological data of the drilling fluid. Especially when adding different amounts of potassium sulfate treatment agents, measure their impact on the rheological properties of drilling fluids.

**[Keywords]** High temperature and high pressure; Treatment agent; Rheology

钻井技术是石油勘探开发的重要环节,但随着石油资源的逐渐减少,深井和超深井探井也越来越普遍。在高温高压的环境下,钻井液的流变性变化会对油井的产量产生重大影响,并可能导致井下故障和泄漏等事故的发生,因此必须加以严格控制。本文通过在密度钻井液中加入不同的处理剂,并通过测试流变性数据来评价其流变性特征,特别是添加不同剂量的硫酸钾处理剂,测量其对钻井液流变性的影响。通过研究这些数据,我们将为优化钻井液配方提供理论支持。

### 1 钻井液流变性的重要性

钻井液是油井过程中使用的一种特殊液体,它不仅能冷却和润滑钻头,还可以维持井眼稳定以避免地层塌陷,同时还能够在井底形成切削力,推动钻头继续下去。钻井液的流变性是其重要性的一个方面,它可以决定液体在井眼中的流动和分布方式,对井眼稳定和地层保护有重要影响。在深井和超深井探井中,由于地层梯度的加深,钻井液在高温高压条件下的流变性变化更为显著,因此必须严格计算钻井液的流变性变化并分析其对地层的影响,

#### 1.1 钻井液流变性与压力激动关系

如果钻井液的切力过大的话,起下钻、开泵所产生的压力激动就越大,容易引起井喷、井漏、井塌等现象,因此为防止这些情况的发生,控制钻井液的流变性十分重要。

流体可分为牛顿流体、拟塑性流体和膨胀性流体三种基本类型。

在稳定的剪切速率下,流性指数  $n$  可以看做常数,钻井液的  $n$  值一般在 0.5 以下为宜。当  $n < 1$  时为假塑性流体;当  $n=1$  时为牛顿流体;当  $n > 1$  时为膨胀性流体。在稳定的剪切速率下,流体粘度随剪切速度的增加而减小的流体,称为假塑性流体,属于幂律模式流体;而在稳定的剪切速率下,流体粘度随剪切速度的增大而增大的流体,称为膨胀性流体。

#### 1.2 钻井液流变性与净化井眼的关系

1.2.1 地层下的岩屑可以随钻杆在井内的转动螺旋上升到地面,但层流只能粗略的携带岩屑,效果较差。

1.2.2 紊流直接影响着力的稳定和冲刷井壁力的大小。紊流携带岩屑效果较好,岩屑不存在转动和滑

落的情况发生，几乎能将全部的岩屑携带到地面上，但是紊流对井壁的冲刷严重，容易引起井壁的坍塌对井壁造成破坏。

1.2.3 平板层低流速下有良好的携带岩屑的能力，环空返速在 0.5-0.6m/s 就可以满足携带岩屑的要求，同时可以降低钻井的损耗，减少对井壁的冲刷。平板层比层流和紊流的携带岩屑效果更好。

## 2 实验测定方法

### 2.1 硫酸钾对钻井液体系性能的影响

在钻井液体系下加入不同量的硫酸钾有不同的影响，取 1700mL 钻井液用搅拌器搅拌均匀，以防止其沉淀影响实验结果。然后用电子天平分别称取不同剂量硫酸钾加入取好的钻井液中搅拌均匀。取适量此种钻井液用六速旋转粘度计测量其不同转速下的粘度，实验数据如表 1：

表 1. 不同质量硫酸钾加入钻井液后流变性数据表

硫酸钾 (g)	AV mPa. s	PV mPa. s	YP Pa	G1 Pa	G10 Pa	滤失量 mL	泥饼厚度 mm
5.0	33.65	13.8	19.85	5.25	4.75	106.0	7.7
10.0	34.25	14.3	19.95	4.80	4.25	106.4	5.0
15.0	34.68	14.8	19.88	4.25	3.80	107.4	7.5
20.0	34.90	14.9	20.00	3.50	3.20	111.0	7.8
25.0	35.12	15.1	20.02	3.10	3.00	113.5	8.5
45.0	36.24	16.2	20.04	2.90	2.70	118.6	8.4
65.0	37.14	16.9	20.24	2.60	2.60	119.8	8.9
85.0	38.04	17.1	20.94	2.40	2.40	124.6	9.2
105.0	36.97	16.2	20.77	2.80	2.60	120.7	8.8

由上表可知随着硫酸钾量的增大，表观粘度、塑性粘度和动切力、滤失量整体都有一定增加，静切力逐渐变小。当硫酸钾加量大于 85g 时，体系的表观粘度、塑性粘度和动切力均降低，滤失量呈缓慢下降的趋势，静切力变大，泥饼厚度变小，因此硫酸钾在钻井液中的最佳加量为 5%。

### 2.2 氯化钠对钻井液体系性能的影响

在进行钻进时，钻头常常穿透厚重的岩盐层、盐膏层或是盐膏与泥页岩的交替层。岩盐的溶解作用会引起井径增大，这不仅增加了钻探的难度，而且对固井的质量构成了严峻的挑战。为了避免岩盐层的溶解以及防止井壁泥页岩的吸水膨胀，常常使用氯化钠来配制盐基钻井液和饱和盐水钻井液；在 1700mL 的高密度钻井液中加入 85g 硫酸钾搅拌。加入不同量的氯化

钠，对钻井液进行性能测定，如表 2：

表 2 NaCl 对钻井液影响性能表

NaCl %	AV mPa. s	PV mPa. s	YP Pa	G1 Pa	G10 Pa	滤失量 mL
0.2	34.3	17.8	16.5	2.1	2.2	112
0.4	33.9	17.0	16.9	2.1	2.2	115
0.6	34.6	18.0	16.6	2.1	2.2	116
0.8	33.6	17.4	16.2	2.3	2.4	121
1.0	33.7	16.8	16.9	2.5	2.6	124
5.0	33.7	16.6	17.1	2.5	2.6	158

从表 2 可以看出，在密度钻井液中添加不同量的 NaCl，确实对钻井液的性能有显著影响。加入量在 1% 以下时，NaCl 对滤失量影响不大，因为此时钠离子对扩散双电层的挤压作用较轻微。然而，当 NaCl 的加入量从 1% 增加到 5% 时，由于钠离子数量的增加，会导致滤失量从 124mL 增加到 158mL。这是因为更多的钠离子聚集在粘土颗粒表面，形成稳定的双电层，使得双电层受到挤压而变薄，水化膜也相应变薄，减小斥力，增加自由水的量，从而导致滤失量上升。同时，NaCl 量的增加对粘度影响不大，但切力会稍有增加，塑性粘度有所下降。

从上述分析可以看出，NaCl 的加入量对密度钻井液的性能有重要影响。合适的 NaCl 加入量能有效配制盐水钻井液，用于钻进泥页岩地层，有助于抑制其水化膨胀。

### 2.3 氯化钙对钻井液体系性能的影响

氯化钙作为处理剂由于体系中的钙离子含量很高，因此它具有更强的稳定井壁和抑制泥页岩坍塌及造浆的能力。钻井液中的固相颗粒絮凝程度较大，分散度低，因而流动性好，固控过程中钻屑容易清除，有利于维持较低的密度，对提高钻速及保护油气层提供良好的条件。

在已配置好的 1700mL 高密度钻井液（已加入 85g 硫酸钾）中加入不同量的氯化钙，对钻井液进行性能测定，如表 3：

从表 3 可以看出：当  $Ca^{2+}$  加入后， $Ca^{2+}$  交换粘土颗粒表面上吸附的部分  $Na^+$ ，而使粘土颗粒表面扩散双电层和电位水化膜变薄，吸力增大，形成了空间网架结构，滤失量增加。当  $Ca^{2+}$  浓度增加时，粘土颗粒表面吸附的  $Na^+$ ，大部分都被  $Ca^{2+}$  交换，于是扩散双电层和水化膜变得更薄，引力增大，表观粘度和切力增大。

表3 氯化钙对钻井液体系性能影响表

CaCl <sub>2</sub> %	AV mPa·s	PV mPa·s	YP Pa	G <sub>1</sub> Pa	G <sub>10</sub> Pa	滤失量 mL
0.2	38.3	18.7	19.6	2.1	2.1	120
0.4	38.0	18.1	19.9	2.2	2.1	126
0.6	38.2	18.0	20.2	2.3	2.1	136
0.8	38.6	17.6	21.0	2.4	2.5	138
1.0	38.9	17.7	21.2	2.2	2.1	152
5.0	38.9	17.7	21.2	2.1	2.1	198

粘土聚结严重,自由水增多,滤失量达到最大,此时粘土颗粒的稳定性丧失,于是产生絮凝现象。从上述可以看出,氯化钙提供钙离子,可配置抑制型钻井液,以钻进水敏性地层,抑制泥页岩水化膨胀,胶凝堵漏。钻井液中加入大量的钙离子,可提高其结构粘度和切力,堵塞岩石的细小裂缝,减少漏失。

加入Ca<sup>2+</sup>后,该离子会替换粘土颗粒表面吸附的Na<sup>+</sup>,导致粘土颗粒的表面扩散双电层及电位水化层变得更薄,吸附力增强,并构筑了空间网络结构,使得滤失量上升。随着Ca<sup>2+</sup>浓度的提升,更多的Na<sup>+</sup>被Ca<sup>2+</sup>所替换,进而使得扩散双电层与水化膜进一步减薄,增加了吸引力,导致表面粘度及剪切力提高。粘土颗粒的聚结加剧,释放出更多的自由水,滤失量达到峰值,此刻粘土颗粒的稳定性被破坏,形成了絮凝。据此分析,氯化钙通过提供钙离子,有助于制备抑制性钻井液,适用于钻探水敏地层,防止泥页岩吸水膨胀和密封泄漏。通过在钻井液中加入丰富的钙离子,能够增强结

构的粘度和剪切力,封堵岩石的微裂缝,从而减少流失。

### 3 结论

3.1 在钻井液中加入NaCl,当NaCl加量少于1%时,随着NaCl量的增大,粘度变化不大,视粘度和切力稍有增加,滤失量变化不大,但当NaCl量由1%增大到5%时塑性粘度下降,滤失量显著增加。可见NaCl可配置盐水钻井液,以钻进泥页岩地层,抑制其水化膨胀。

3.2 钻井液中加入大量的钙离子,随Ca<sup>2+</sup>浓度增加,滤失量一直增大至最大值。由此可见,Ca<sup>2+</sup>可提高其结构粘度和切力,堵塞岩石的细小裂缝,减少漏失。

3.3 随着增粘剂的不断加入,钻井液的表现粘度,塑性粘度都有一定程度的增加,滤失量逐渐减小,泥饼厚度不断减小。所以,钻井液中加多少增粘剂要根据实际情况而定。

### 参考文献:

- [1] 李小庆. 超高温超高密度水基钻井液降黏剂研究[D]. 中国石油大学(北京), 2022. 001955.
- [2] 易灿, 闫振来, 赵怀珍. 超深井水基钻井液高温高压流变性试验研究[J]. 石油钻探技术, 2009, 37(01): 10-13.
- [3] 贺明敏, 蒲晓林, 郑锴, 苏俊霖, 孔燕燕, 陈勇. 抗高温高密度饱和盐水钻井液研究[J]. 西部探矿工程, 2010, 22(11): 75-76, 78.
- [4] 王富华, 王瑞和, 王力, 刘江华, 李军. 深井水基钻井液流变性影响因素的实验研究[J]. 钻井液与完井液, 2010, 27(01): 17-20, 88.