

气制油合成基钻井液低温高压条件下流变模式研究

李怀科¹ 王楠¹ 田荣剑¹ 魏红梅¹ 严海源¹ 郭天林²

(1. 中海油田服务股份有限公司 油田化学事业部, 河北 燕郊 065201; 2. 中国石油青海油田分公司 边远油田开发公司, 青海 茫崖 816400)

摘要: 钻井液流变模式是对钻井液流变特性的定量表征, 对钻井过程中的水力学计算具有十分重要的作用。为研究气制油合成基钻井液低温高压条件下的流变模式, 用 FannIX77 全自动钻井液流变仪测定不同油水比的流变参数并进行了分析。试验结果表明, 低温条件下气制油合成基钻井液体系的剪切应力随着压力的升高而增大; 流变曲线不经过原点, 且曲线斜率不断增大。应用最小二乘法和线性回归对两种体系的流变曲线进行了拟合, 结果表明, 对于不同油水比的合成基钻井液体系, 宾汉、卡森、H-B 三种流变模式均能较好地反映低温高压条件下钻井液的流变特性, 幂律模式相对较差; 与宾汉、H-B 模式相比, 卡森模式的拟合效果最佳。为便于水力学计算, 建议用宾汉模式来表征气制油合成基钻井液的流变特性, 并进行水力学计算。

关键词: 气制油; 合成基钻井液; 流变模式; 流变性; 数学模型

中图分类号: TE254⁺.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0890(2011)01-0044-04

Rheological Study of GTL Based Drilling Fluids at Low Temperature and High Pressure

Li Huaike¹ Wang Nan¹ Tian Rongjian¹ Wei Hongmei¹ Yan Haiyuan¹ Guo Tianlin²

(1. Division of Oilfield Chemistry, China Oilfield Services Limited, Yanjiao, Hebei, 065201, China;
2. Bianyuan Oil Development Company, Qinghai Oilfield Company, Mangya, Qinghai, 816400, China)

Abstract: Drilling fluid rheological model is a quantitative characterization of rheological properties of drilling fluid, which plays a very important role in hydraulic calculation of drilling operation. In order to investigate rheological model in low temperature and high pressure, a fully automatic rheometer—FannIX77 was used to measure rheological parameters of gas to liquid (GTL) based drilling fluids with two different water oil ratios. The experimental results showed that the shear stress increased with the increase of pressure, and rheological curves didn't pass the base point and the curve slope is ever increasing. The regressed results showed that Bingham model, Casson model and H-B model can reflect rheological properties of the two GTL based drilling fluids under low temperature and high pressure, and power-law model is relatively worse. Casson model has the best matching results compared with Bingham and H-B model. Bingham model is recommended for hydraulics calculation.

Key words: gas to liquid; synthetic base drilling fluid; rheological model; rheological behavior; mathematical model

钻井液流变模式是对钻井液流变特性的定量表征, 对钻井过程中的水力学计算具有十分重要的作用^[1-3]。深水钻井条件下钻井液面临低温高压的特殊挑战, 要准确计算钻井过程中的环空压耗和当量循环密度(ECD), 首先应该确定哪种流变模式适合用来表征低温高压条件下钻井液的流变特性^[4-5]。国内外研究者多数采用宾汉模式表征钻井液的流变特性, 并用其流变参数进行水力

收稿日期: 2010-08-03; 改回日期: 2010-11-29

基金项目: 国家重大科技专项“深水油气田开发钻完井液及固井工程配套技术研究”(编号: 2008ZX05026-001-04)部分研究内容

作者简介: 李怀科(1983—), 男, 陕西宝鸡人, 2006 年毕业于长江大学应用化学专业, 2009 年获中国石油大学(北京)油气井工程专业硕士学位, 助理工程师, 主要从事油田化学和储层保护方面的研究。

联系方式: (0316)3366094, lihuaike999@126.com

学计算。显然,该模式存在一定的局限性和不合理性^[5-8],不具备普遍性,也无法真正代表实际钻井液的流变特性。而且,该模式在低温高压条件下的合理性至今没有相关文献做过报道。为此,有必要对低温高压条件下气制油合成基钻井液的流变模式开展研究。

1 试验仪器和试验方法

1.1 试验仪器

试验使用的流变仪为 FannIX77 型全自动钻井液流变仪,是美国 Fann 氏公司在桑迪亚国家实验室仪器设计平台的基础上研制出来的流变仪,可在温度为-10~316 °C、压力为常压~210 MPa 条件下测试流体的流变参数。该仪器为同轴圆筒测量系统,采用台式一体化设计,仪器利用软件精确控制试验所需的温度、压力和转子转速。同时,仪器分手动操作模式和自动操作模式两种,具有很高的智能性和安全性。

该仪器的工作原理与其他旋转流变仪相同,不仅可以满足各大油田常规钻井的需要,同样适用于高温高压钻井的需要,尤其针对未来海洋深水钻井面临的低温高压条件,更有其独特的优势。

1.2 试验方法

试验选取 5 个温度点(4、15、25、40 和 50 °C),6 个压力点(0、7、14、21、28 和 35 MPa),钻井液选用已成功应用于渤海及印尼现场的气制油合成基钻井液。为便于分析,只测定 4、25 和 50 °C 3 个温度点不同压力条件下的流变参数,其余两个温度点只测常压下的流变参数,笔者主要考察低温条件下合成基钻井液体系的流变特性和流变模式。

2 试验结果及分析

2.1 流变曲线分析

为分析气制油合成基钻井液体系($SG = 1.20$)低温高压条件下流变参数的变化规律,测定了不同油水比气制油合成基钻井液在 4 °C 时不同压力条件下的流变参数,测试结果如图 1、2 所示。

由图 1、2 可知,不同油水比钻井液在低温条件下具有相同的变化规律,可以归纳为以下几点:

1) 剪切速率相同时,气制油合成基钻井液体系

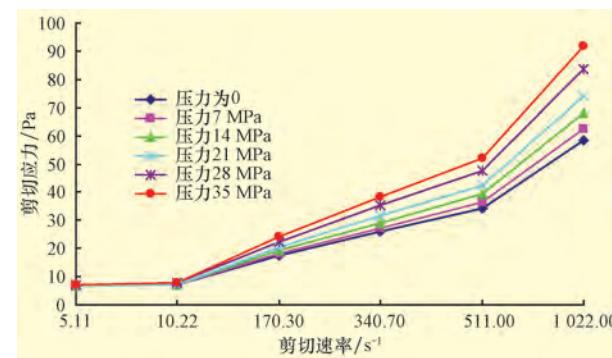


图1 4 °C时不同压力下的流变曲线(油水比为90:10)

Fig.1 Flow curve at 4 °C in different pressure (water-oil ratio is 90:10)

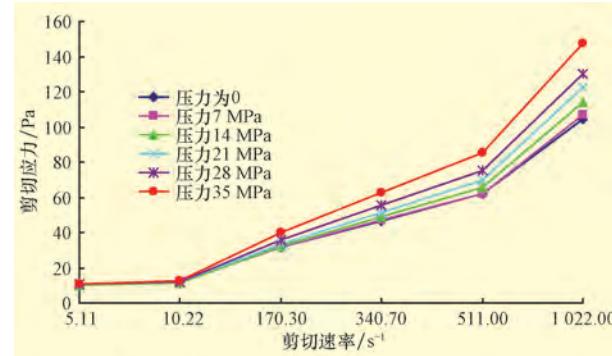


图2 4 °C时不同压力下的流变曲线(油水比为80:20)

Fig.2 Flow curve at 4 °C in different pressure (water-oil ratio is 80:20)

在低温条件下的剪切应力随着压力升高而增大;

- 2) 低剪切速率下剪切应力受压力的影响较小,高剪切速率下剪切应力的增长幅度越来越大;
- 3) 气制油合成基钻井液的剪切应力随着油水比的减小而增大;
- 4) 气制油合成基钻井液的流变曲线不经过原点,且曲线斜率不断升高。

2.2 压力对气制油合成基钻井液黏度的影响

根据图 1、图 2 中的流变数据,绘制不同油水比的气制油合成基钻井液表观黏度与压力的关系曲线,见图 3。从图 3 可以看出,不同油水比钻井液的表观黏度随着压力的不断升高而逐渐升高;当压力一定时,随着油水比的增加,钻井液的黏度有所降低,而且不同压力下黏度的降低幅度基本相同。

3 流变模式研究

用于表征钻井液流变特性的流变模式目前主要有以下 4 种^[5]:宾汉模式、幂律模式、卡森模式、赫谢尔-巴尔克莱模式(H-B 模式)。每一种流变模式采

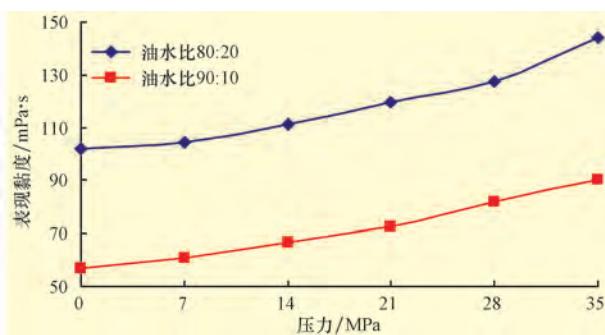


图3 4 °C时气制油合成基钻井液表现黏度与压力的关系

Fig.3 The relationship of AV and pressure of GTL synthetic based drilling fluids at 4 °C

用不同的流变方程,且各个参数代表的物理意义也不尽相同。应用最小二乘法和线性回归对低温条件

下两种不同油水比的气制油合成基钻井液试验数据进行回归拟合,拟合结果见表1、2(表1中钻井液的油水比为90:10,表2中钻井液的油水比为80:20),拟合曲线见图4、图5(图4中钻井液的油水比为90:10,图5中钻井液的油水比为80:20)。由图4、图5可知,4种流变模式的相关系数均在0.955以上,其中宾汉、卡森、H-B三种流变模式的相关系数较高(≥ 0.994),幂律模式的相关系数相对较差。这表明,宾汉、卡森、H-B三种流变模式均能较好地反应低温高压条件下气制油合成基钻井液的流变特性;与宾汉、H-B模式相比,卡森模式的拟合效果最佳。在精度要求范围内,笔者建议用宾汉模式来表征气制油合成基钻井液的流变特性,并进行水力学计算。

表1 不同压力下气制油合成基钻井液体系的流变方程拟合结果(油水比为90:10)

Table 1 Fitting results of GTL synthetic based drilling fluid (water-oil ratio is 90:10)

压力/MPa	宾汉模式	幂律模式	卡森模式	H-B模式
0	$\tau = 7.614 + 0.051\gamma$	$\tau = 3.039\gamma^{0.388}$	$\tau = 6.249 + 0.120\gamma^{0.876}$	$\tau^{0.5} = 4.3730.5 + 0.0290.5\gamma^{0.5}$
7	$\tau = 7.621 + 0.054\gamma$	$\tau = 2.965\gamma^{0.401}$	$\tau = 6.278 + 0.121\gamma^{0.886}$	$\tau^{0.5} = 4.2790.5 + 0.0320.5\gamma^{0.5}$
14	$\tau = 7.667 + 0.060\gamma$	$\tau = 2.863\gamma^{0.419}$	$\tau = 6.196 + 0.132\gamma^{0.887}$	$\tau^{0.5} = 4.4140.5 + 0.0360.5\gamma^{0.5}$
21	$\tau = 7.723 + 0.066\gamma$	$\tau = 2.764\gamma^{0.437}$	$\tau = 6.107 + 0.146\gamma^{0.887}$	$\tau^{0.5} = 4.0090.5 + 0.0410.5\gamma^{0.5}$
28	$\tau = 8.190 + 0.075\gamma$	$\tau = 2.911\gamma^{0.447}$	$\tau = 6.559 + 0.153\gamma^{0.898}$	$\tau^{0.5} = 4.1870.5 + 0.0470.5\gamma^{0.5}$
35	$\tau = 8.295 + 0.083\gamma$	$\tau = 2.802\gamma^{0.467}$	$\tau = 6.415 + 0.174\gamma^{0.895}$	$\tau^{0.5} = 4.0330.5 + 0.0540.5\gamma^{0.5}$

表2 不同压力下气制油合成基钻井液体系的流变方程拟合结果(油水比为80:20)

Table 2 Fitting results of GTL synthetic based drilling fluid (water-oil ratio is 80:20)

压力/MPa	宾汉模式	幂律模式	卡森模式	H-B模式
0	$\tau = 12.925 + 0.092\gamma$	$\tau = 4.592\gamma^{0.417}$	$\tau = 9.622 + 0.278\gamma^{0.841}$	$\tau^{0.5} = 6.8870.5 + 0.0550.5\gamma^{0.5}$
7	$\tau = 12.682 + 0.094\gamma$	$\tau = 4.553\gamma^{0.420}$	$\tau = 9.741 + 0.251\gamma^{0.859}$	$\tau^{0.5} = 6.7640.5 + 0.0560.5\gamma^{0.5}$
14	$\tau = 12.259 + 0.102\gamma$	$\tau = 4.310\gamma^{0.437}$	$\tau = 9.434 + 0.246\gamma^{0.873}$	$\tau^{0.5} = 6.3300.5 + 0.0630.5\gamma^{0.5}$
21	$\tau = 12.562 + 0.109\gamma$	$\tau = 4.480\gamma^{0.440}$	$\tau = 9.971 + 0.235\gamma^{0.890}$	$\tau^{0.5} = 6.4980.5 + 0.0680.5\gamma^{0.5}$
28	$\tau = 13.010 + 0.117\gamma$	$\tau = 4.359\gamma^{0.455}$	$\tau = 9.682 + 0.289\gamma^{0.871}$	$\tau^{0.5} = 6.4150.5 + 0.0750.5\gamma^{0.5}$
35	$\tau = 13.824 + 0.134\gamma$	$\tau = 4.259\gamma^{0.479}$	$\tau = 9.512 + 0.366\gamma^{0.855}$	$\tau^{0.5} = 6.3690.5 + 0.0890.5\gamma^{0.5}$

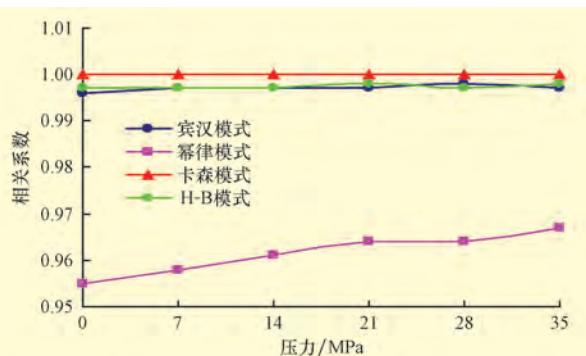


图4 不同压力下4种流变模式拟合曲线相关系数(油水比90:1)

Fig.4 Four rheological models fitting curves correlation coefficients under different pressure(water-oil ratio is 90:1)

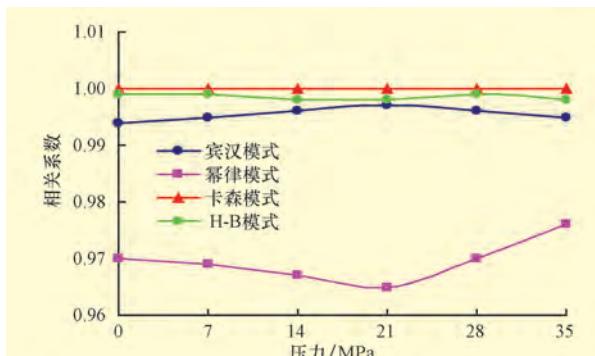


图5 不同压力下4种流变模式拟合曲线相关系数(油水比80:20)

Fig.5 Four rheological models fitting curves correlation coefficients under different pressure(water-oil ratio is 80:20)

4 结 论

1) 低温条件下气制油合成基钻井液的剪切应力随着压力的升高而增大,低剪切速率下的剪切应力受压力的影响很小,高剪切速率下剪切应力的增幅越来越大。

2) 气制油合成基钻井液的剪切应力随着油水比的减小而增大,流变曲线不经过原点,曲线斜率不断升高。

3) 应用最小二乘法和线性回归对试验流变曲线进行拟合,拟合结果表明:宾汉、卡森、H-B三种流变模式能较好地反映低温高压条件下气制油合成基钻井液的流变特性,幂律模式相对较差;三种流变模式相比,卡森模式的拟合效果最佳。为便于水力学计算,笔者建议仍用宾汉模式来表征气制油合成基钻井液的流变特性。

参 考 文 献

- [1] 吴彬,向兴金,张岩,等.深水低温条件下水基钻井液的流变性研究[J].钻井液与完井液,2006,23(3):12-13,19.
Wu Bin, Xiang Xingjin, Zhang Yan, et al. Rheology study of the water based drilling fluids at deep water and low temperature[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2006, 23(3): 12-13, 19.
- [2] Davison J M, Clary S, Saasen A, et al. Rheology of various drilling fluid systems under deepwater drilling conditions and the importance of accurate predictions of downhole fluid hydraulics[R]. SPE 56632, 1999.
- [3] 陈庭根,管志川.钻井工程理论及技术[M].山东东营:石油大学出版社,2000:12-144.
Chen Tinggen, Guan Zhichuan. Drilling engineering theory and technology[M]. Shandong Dongying: Petroleum University Press, 2000: 12-144.
- [4] 王松,宋明全,刘二平.国外深水钻井液技术进展[J].石油钻探技术,2009,37(3):8-12.
Wang Song, Song Mingquan, Liu Erping. Development of foreign deepwater drilling fluid[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2009, 37(3): 8-12.
- [5] 鄢捷年.钻井液工艺学[M].山东东营:中国石油大学出版社,2006:57-77.
Yan Jienian. Drilling fluids technology[M]. Shandong Dongying, China University of Petroleum Press, 2006: 57-77.
- [6] 赵胜英,鄢捷年,丁彤伟,等.抗高温高密度水基钻井液流变性研究[J].天然气工业,2007,27(5):78-80.
Zhao Shengying, Yan Jienian, Ding Tongwei, et al. Study on rheological properties of high-temperature high-density water based drilling fluid[J]. Natural Gas Industry, 2007, 27(5): 78-80.
- [7] 赵怀珍,薛玉志,李公让,等.抗高温水基钻井液超高温高压流变性研究[J].石油钻探技术,2009,37(1):5-9.
Zhao Huaizhen, Xue Yuzhi, Li Gongrang, et al. Rheological properties of high-temperature water based drilling fluids at high temperature and high pressure[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2009, 37(1): 5-9.
- [8] 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(1):10-13.
Yi Can, Yan Zhenlai, Zhao Huaizhen. Rheological properties of water-based drilling fluids in ultra-deep wells at high temperature and high pressure[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2009, 37(1): 10-13.

胜利油田研制出新型交流变频电机直驱转盘

随着石油勘探开发的不断深入,钻井正在向更深海域和陆地深处迈进,不断发展的钻井工艺技术对石油钻机的性能提出了更高的要求,因而,石油钻机的转盘也必须突破传统的结构形式,以满足各类钻井工艺的要求。而目前我国在用钻机的转盘普遍老化,机械化、智能化进程滞后,严重制约了钻井速度和井身质量的进一步提高。为此,胜利油田研制了新型交流变频电机直驱转盘系统。

该系统应用交流变频技术实现了转盘单独无级调速,即采用低速大扭矩交流变频电机直接驱动转盘,解决了机械钻机统一驱动形式中存在的转盘、钻井泵和绞车运行参数相互制约的矛盾,优化了钻机综合性能,提高了钻井的质量和效率。该系统采用ZP275DB型转盘,配置功率450 kW的低速大扭矩防爆交流变频电机,电机通过万向轴直接驱动转盘,转盘转速可在0~265 r/min之间实现无级调速,电机可以快速实现正反转的快速切换,转盘可实现数字控制和自动智能控制,可根据钻井工艺要求来设置转盘的转速和扭矩,转速和扭矩之间可进行联动,当扭矩达到设定值时,其转速将自动减慢,以满足扭矩要求。当转速达到设定值时,其转盘转速将在该值下稳定运转。转盘采用全数字控制,具有较高的安全性和操作性。

新型交流变频电机直驱转盘系统的研制成功,极大提高了钻机的自动化水平。目前,该转盘系统在辛53-斜33井等3口井进行了现场试验,3口井都顺利完钻,转盘系统运行正常。该转盘系统的研制成功,不仅填补了我国石油矿场新型钻井转盘驱动装置的空白,而且提高了我国石油钻机的整体水平,基本满足了各种钻井工艺的新要求。