

国内外油基钻井液研究现状

潘一,付龙,杨双春

(辽宁石油化工大学石油天然气工程学院,辽宁抚顺113001)

摘要:油基钻井液具有抗侵蚀、抗高温、润滑性好、有利于井壁稳定以及对储层污染程度小等特点,主要用于地层情况复杂的深井、超深井和水平井等。主要介绍了国内外油基钻井液的研究现状,油基钻井液按基油类型可分为四类:白油基钻井液、柴油基钻井液、气制油基钻井液、低毒钻井液。对各类油基钻井液进行了评价与比较,并对油基钻井液今后的发展提出了建议。

关键词:油基钻井液;白油;柴油;气制油;低毒

中图分类号:TE254

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2014)04-0021-04

Research progress of oil-based drilling fluid at home and abroad

PAN Yi, FU Long, YANG Shuang-chun

(College of Petroleum Engineering, Liaoning Shihua University, Fushun 113001, China)

Abstract: Oil-based drilling fluid is an important part of drilling fluids, which has good characteristics, such as erosion resistance, high temperature resistance, lubricity and borehole wall stability, and is beneficial to the reservoir. It is mainly used for complex stratum of deep well, ultra deep wells and horizontal wells, etc. In this paper, the research of domestic and foreign oil-based drilling fluid is introduced including white oil-based drilling fluid, diesel oil-based drilling fluid, gas oil-based drilling fluid, and lower toxicity drilling fluid. By comparing and evaluating various oil-based drilling fluids, some suggestions are proposed for the development of oil-base drilling fluid.

Key words: oil-base drilling fluid; white oil; diesel; gas oil-base system; low toxicity

从20世纪70年代开始,国内外逐步开始开采深层油气藏。随着油气藏埋藏深度的加深,针对深井、超深井钻井所需要的抗高温油基钻井液越来越得到人们的重视。早在20世纪60年代,国外就对油基钻井液进行了重点研究,并在德克萨斯的 Hunt Energy Cerf Ranch 1-9 井成功得到应用,该井采用油基钻井液顺利钻至9 046 m。国内20世纪80年代以来,先后在华北、新疆、中原、大庆等油田使用过油基钻井液,但由于环境和成本问题,应用十分有限。近年来,随着复杂井的数量增加,对油基钻井液体系的需求越来越多,且要求更高,油基钻井液再次被专家所重视。本文中介绍了各类油基钻井液的制备配方,主要性能及应用情况,如白油基钻井液、气制油基钻井液等。对油基钻井液今后的发展方向提出了建议,以期对相关研究提供参考。

1 白油基钻井液

钻井钻进过程中会出现井壁失稳问题,白油基钻井液抑制、封堵防塌能力强,滤失量低,流变性好,避免了页岩井壁垮塌问题^[1]。Taugbol 等^[2]制备出一种 MBS(微细重晶石)油基钻井液,其配方为:白油 + 1 825 kg/m³ 微细重晶石 + 50 kg/m³ 乳化剂 + 10 kg/m³ 有机土 + 20 kg/m³ 石灰 + 15 kg/m³ 氯化钙溶液 + 12 kg/m³ 降滤失剂。在温度为 175℃、压

力为 96.5 MPa 下,塑性黏度为 36 mPa·s,滤失量为 3.8 mL,且循环当量密度较小,可有效满足井下复杂情况。该钻井液在 Statfjord 油田已经得到应用,并表现出良好的性能。Fossum 等^[3]制备出一种低固相油基钻井液(LSOBM),其配方为:白油 + 30 kg/m³ 乳化剂 + 10 kg/m³ 液态树脂有机物降滤失剂 + 10 kg/m³ 优质有机土 + 161 kg/m³ 清水 + 362 kg/m³ 溴化钙盐水 + 10 kg/m³ 石灰 + 120 kg/m³ 白云石 + 20 kg/m³ 石墨。该钻井液使用密度较大的溴化钙盐水溶液,并使用液态树脂有机物替代了天然沥青作为降滤失剂。室内试验表明,LSOBM 钻井液与常规油基钻井液相比,封堵性更强,渗透率恢复值更高。Franco 等^[4]制备出一种滤失量小的全油基钻井液,其配方为:423.5 kg/m³ 矿物油 + 17.1 kg/m³ 有机黏土 + 28.6 kg/m³ 石灰 + 25.7 kg/m³ 聚酰胺乳化剂 + 5.7 kg/m³ 润湿剂 + 126.5 kg/m³ 氯化钙盐水 + 1 268.6 kg/m³ 重晶石 + 降滤失剂。该钻井液在 193℃ 热滚 16 h 后,泥浆的失水量为 9.2 mL。华桂友等^[5]制备出一种热稳定性好可逆转乳化的钻井液,其油水基液中 5 号白油与质量分数为 25% 的氯化钙溶液的体积比为 60:40,其他添加剂是以基液为准的质量分数(下同)分别为:1% 石灰 + 2% 可逆转乳剂 HN408 + 1.5% 辅乳剂 RSE + 1% 降滤失剂 HFR + 2% 有机土 + 1% 流型调节剂 HSV + 重晶

石。该钻井液体系经 120℃ 高温滚动老化 16 h 后, 50℃ 时其滚后高温高压失水量可达到 4.4 mL, API 失水量 0.6 mL。但该类乳化剂价格昂贵, 限制了它的使用。蓝强等^[6] 制备出一种无黏土全油基 (CFLD) 钻井液, 其配方为: 5 号白油 (基液) + 2.5% 增稠剂 ZCJ-1 + 0.5% 增黏剂 OSW-1 + 0.5% 表面活性剂 + 1% 亲油性碳酸钙 LD-1000C + 0.5% 氧化钙 + 2.0% 降滤失剂 FLC2000。该钻井液在 120℃ 下滚动 16 h 后, 岩屑滚动回收率为 99.5% (常规油基钻井液的岩屑滚动回收率为 87.6%)。CFLD 钻井液对页岩的抑制性好, 能够稳定井壁。舒福昌等^[7] 制备了一种新型无水全油基钻井液, 其配方为: 5 号白油 (基液) + 3.5% 有机土 + 0.5% 有效土增效液 + 3% 降滤失剂 + 1% 乳化润湿剂 + 2.5% 增黏提切剂 + 2% 氧化钙 + 217% 加重剂。该钻井液对劣质红土的平均热滚回收率为 94.6%, 明显高于 PHPA/KCL 水基钻井液的 73.2%, 该钻井液钻屑水分散能力强, 有利于稳定井壁。

总的来说, 白油基钻井液对胶结不良的地层有改善井眼稳定的作用, 拥有强抑制性, 形成的滤饼质量好, 保持井壁的稳定, 防止井喷、井漏、井径扩大等事故的发生。现场应用结果表明, 白油基钻井液具有高的低剪切速率黏度和良好的静、动态悬砂能力, 能够很好地满足现场钻井要求。

2 气制油基钻井液

气制油钻井液运动黏度低, 携带能力强, 能避免钻进过程中遇阻、钻速减慢, 提高钻速, 近年来研究较多^[8-9]。Freddy 等^[10] 制备出一种加重油基钻井液, 其配方为: 189.8×10^{-9} 矿物油 + 8×10^{-9} 有机土 + 3×10^{-9} 润湿剂 + 2×10^{-9} 石灰 + 8×10^{-9} 降滤失剂 + 6×10^{-9} 表面活性剂 + 477.1×10^{-9} ORIMA-TITA 加重剂 + 3.5×10^{-9} 添加剂。该钻井液在

120℃ 热滚 16 h 后, 钻井液的滤失率为 0.003 5 mg/min, 塑性黏度为 22 mPa·s。王茂功等^[11] 制备出一种气制油主、辅乳化剂钻井液, 该钻井液以气制油为基液, 其配方为: $0.32 \sim 0.36 \text{ m}^3$ 气制油 + $0.08 \sim 0.04 \text{ m}^3$ 水 + $15 \sim 25 \text{ kg/m}^3$ 主乳化剂 + $15 \sim 25 \text{ kg/m}^3$ 辅乳化剂 + $6 \sim 12 \text{ kg/m}^3$ 有机土 + $20 \sim 25 \text{ kg/m}^3$ 降滤失剂 + $18 \sim 30 \text{ kg/m}^3$ 氯化钙 + 12 kg/m^3 石灰 + 重晶石。在 150 ~ 220℃ 具有较高的电稳定性; 在温度为 220℃ 时, 未出现重晶石沉淀, 该钻井液流变性好、滤失量低。蒋卓等^[12] 制备出一种全油气制油钻井液, 其配方为: 气制油 + 30 g/cm^3 有机土 + 20 g/cm^3 乳化剂 + $5 \sim 10 \text{ g/cm}^3$ 润湿剂 + 25 g/cm^3 增黏剂 + 10 g/cm^3 提切剂 + 10 g/cm^3 降滤失剂 + 5 g/cm^3 氧化钙 + 加重剂。该钻井液在 150℃ 热滚 16 h 后, 测试温度为 50℃ 时 ES (破乳电压) 为 2 000 V, 且乳化剂含量较少, 有利于减少乳化水滴, 减轻储层乳化封堵, 可有效提高机械钻速。罗健生等^[13] 制备了一种气制油合成基钻井液, 其配方为: 气制油 + 3% ~ 4% 乳化剂 + 0.5% 润湿剂 + 1.5% ~ 2% 氧化钙 + 2% 有机土 + 30% 氯化钙水溶液 + 重晶石。在同等密度 (1.54 g/cm^3) 下油基钻井液的 ECD 为 $1.638 \sim 1.667 \text{ g/cm}^3$, 而气制油合成基钻井液的 ECD 为 $1.630 \sim 1.637 \text{ g/cm}^3$ 。该钻井液在渤海油田已经应用, 平均机械钻速提高了 30%。

气制油的运动黏度低, 有助于降低钻井液黏度与当量循环密度。现场证明, 气制油钻井液可有效提高机械钻速, 避免各种井下复杂情况, 缩短钻井周期。但随着有机土和水含量的增加, 体系的黏度和动切力均明显增大; 增黏提切剂对流变性影响较大, 加量一般控制在 1% 以下。为了确保体系的流变性和稳定性能达到应用要求, 需要加入适量的抗温剂来控制温度对其的影响。因此, 气制油基钻井液需加入的高效抗温剂成为今后研究的重点方向。

(上接第 20 页)

[17] Athabasca M, Hirakoso H, Sawamoto S, et al. Polyethylene conversion in supercritical water [J]. *Supercritical Fluids*, 2008, 13: 247-252.

[18] 樊泽霞, 赵福麟, 王杰祥, 等. 超稠油供氢水热裂解改质降黏研究[J]. *燃料化学学报*, 2006, 3(6): 1-3.

[19] Ovalles J G. The chemistry and technology of petroleum [J]. CRC Press Boca Raton, 2012, 42: 163-167.

[20] Vallejos P D, Hyne J B, Tyrer J D. Chemistry of organosulfur compound type occurring in heavy oil sands [J]. *Fuel*, 2013, 62: 959-962.

[21] 李秀娟. 国内外稠油资源的分类评价方法[J]. *内蒙古石油化工*, 2008, 21(3): 61-62.

[22] 范洪富, 梁涛. 催化剂对稠油水热裂解反应研究[J]. *工业催化*, 2006, 14(2): 1-4.

[23] 张凤英, 李建波. 稠油油溶性降粘剂研究进展[J]. *特种油气藏*, 2006, 13(2): 1-4.

[24] 孟科全, 唐晓东, 邹雯, 等. 稠油降粘技术研究进展[J]. *天然气与石油*, 2009, 27(3): 31-34.

[25] Bianco D, Kaul C, Kromer A, et al. Chemistry in supercritical water [J]. *Angewandte Chemie: International Edition*, 2009, 38: 2998-3014. ■

3 柴油基钻井液

钻进过程中,地层情况复杂,污染钻井液成分的污染物导致钻井液性能改变。柴油基钻井液抗高温高压稳定性好,可以有效避免钻井液不稳定的情况发生^[14-17]。Mas等^[18]制备出一种INTOL™ 100%油基钻井液,其配方为:柴油/矿物油+(2~6)×10⁻⁹聚合物添加剂+(2~12)×10⁻⁹有机膨润土(锂皂石)+(2~6)×10⁻⁹乳化剂+(4~10)×10⁻⁹石灰+润湿剂+重晶石+碳酸钙。试验表明,有机土、润湿剂、聚合物材料的协同作用使该钻井液有与水基钻井液相似的流变性,且动塑比高,在204℃下性能稳定。该钻井液在Coporo-12井已经应用。Oyler等^[19]制备了一种柴油可逆乳化钻井液,其配方为:123.9 L基液(柴油与水比例为3:1)+5.44 kg乳化剂+0.9 kg石灰+0.9 kg控制剂+4.5 kg非有机土+0.9 kg悬浮剂+98 kg重晶石+11.2 kg氯化钙溶液。该钻井液在150℃热滚16 h后,滤失量为0;在75℃热滚16 h后,塑性黏度为25 mPa·s,电稳定性为620 V。Arvind等^[20]制备了一种新型油基钻井液,其配方为每159 L该钻井液中含IO16-18油基65.23 kg,氯化钙12.58 kg,水35.21 kg,石灰11.82 kg,有机土11.82 kg, suremul 4.54 kg, sirewet 11.82 kg, 滤失剂4.54 kg, Rev-dust 9.08 kg和重晶石95.18 kg。该钻井液在150℃热滚16 h后,塑性黏度为28 mPa·s,失水量为2.4 mL。此外,该钻井液中的添加剂还可润滑井壁,减少钻头的磨损,有效节约钻井的成本。孙明波等^[21]制备出新型生物柴油钻井液,其配方为:生物柴油+3%有机土+1.5%乳化剂SP-80+1%乳化剂OP-10+2%有机褐煤+2%油溶树脂,该钻井液具有良好的抗高温(180℃)和抗水侵(10%淡水或10%饱和盐水)、钙侵(3%钙离子)、劣土侵(10%钠膨润土)能力。该钻井液在渤页平1-2井已经应用,现场应用结果表明,钻井液性能稳定,流变性、携岩效果好。但生物柴油中的不饱和脂肪酸在高温下容易变质,酯化产物难于回收。何俊才等^[22]制备出一种稳定性很好的水包油钻井液,其配方为:40%水+60%柴油+0.75%乳化剂+2.0%稳定剂+1.0%消泡剂。该钻井液160℃热滚16 h后,钻井液的AV为22 mPa·s;PV为20 mPa·s;YP为2.0 Pa,且油水不分层,该钻井液抗高温稳定性强。何涛等^[23]制备出一种全油基钻井液,在威远地区页岩气水平井进行应用,其配方为:柴油+3.5%有机土+10% CaCl₂

水溶液(质量体积比为20%~40%)+4%~6%主乳化剂+1%~2%辅乳化剂+2%~3%降滤失剂+1%~3%塑性封堵剂+0.5%~1%润湿剂+1%~2% CaCO₃(粒径为0.043 mm)+2%~3% CaCO₃(粒径为0.030 mm)+1.0%~1.5%氧化钙离子重晶石。该钻井液密度为1.30 g/cm³,在90℃、3.5 MPa条件下的滤失量为0;升高压力到4.5 MPa后仍然无滤液流出,有较强的抗温抗压稳定性。

柴油基钻井液可抗200~250℃高温,且高压下稳定性强,可以避免钻井过程中污染物对钻井液的污染,保持钻井液的性能稳定。但柴油基钻井液配制成本高,闪点低(55℃)易着火,钻速较低;且柴油自身毒性比较强,对储层伤害大。因此,柴油钻井液的毒性问题成为今后研究的重点。

4 低毒油基钻井液

采用油基钻井液成功钻井的同时,会对地层、储层造成伤害,甚至不能准确评价地层性质。因此,近年来国内外专家对低毒油基钻井液进行了研究,研制出可以保护储层的低毒油基钻井液,并被广泛应用^[24-25]。

4.1 石蜡油基钻井液

Jeffrey等^[26]制备出一种石蜡基油钻井液,其配方为:石蜡基油ESCAID110+氯化钙水溶液+2.3%乳化剂+0.8% REMOD增黏剂+0.8%石灰+0.4%降滤失剂+1.4% TAU-MOD增黏剂+5.7%钻屑+8%线性石蜡基油+1.4%碳酸钙。该钻井液在加入提切剂后,悬浮性改变尤其明显,低速剪切黏度(LSYP)增量150%~350%,动切力增量375%~650%,塑性黏度仅增加了50%~75%。

4.2 精制白油基钻井液

侯业贵^[27]制备出一种低芳烃油基钻井液,其配方为:精制白油(芳烃含量小于2%)+25%氯化钙溶液+3%主乳化剂+1.5%辅乳化剂+2%润湿剂+3%有机土+3%降滤失剂CFA+2%氧化钙+2%复合封堵剂FB+0.5%提切剂。该钻井液在渤页平2井成功应用,钻井液日耗损量低,井眼规则,井眼扩大率仅为2.3%,且该配方可以减少20%原油污染。

4.3 VersaClean低毒钻井液

安文忠等^[28]制备出VersaClean低毒钻井液,其配方为:矿物油(无荧光、低芳香烃)+氯化钠溶液+11.4 kg/cm³ Versamul主乳化剂+5.7 kg/cm³ Versacoat润湿剂/乳化剂+5.7 kg/cm³ Versatrol降

滤失剂 + 17.1 kg/cm³ 碱度控制剂 + 231.9 kg/cm³ 加重剂 + 20.0 kg/cm³ VG-plig 主增黏剂。芳香烃是油基钻井液中的储层主要污染物,该钻井液有效避免了该物质,可对储层起到保护作用。

4.4 植物油基钻井液

近年来,国外专家以植物油作为油基钻井液的基油,制备出一种低毒油基钻井液。由于植物油完全不含芳香族,且植物油具有可降解性,不会对环境及储层造成污染。此外,植物油具有闪点高、燃点高等特点,该钻井液高温稳定性好,可用于敏感地层。

使用低毒油基钻井液有利于减少井下事故的发生,可以保护储层不受伤害,对人体健康影响较小,解决了油基钻井液带来的环境污染等问题,提高了油田的采收率。但低毒油基钻井液对钻屑的处理是面临的主要问题之一,应大力开发钻屑回注技术,并针对油基钻井液的特殊性质,选用特殊的固相控制设备。

5 结语

油基钻井液是钻井行业技术研发的重点课题。本文中対近年来国内外油基钻井液的制备和发展现状进行了综述,建议今后需要围绕以下几个方面开展工作:研制或选择新的无毒或低毒基础油;围绕改善钻井液的悬浮稳定性、流变性及其乳化稳定性,开发出新的可降解油基钻井液处理剂(增黏剂、高温高效乳化剂、降滤失剂),以及其他新型添加剂(表面活性剂和高性能提切剂);通过重晶石加工处理或重新选择加重剂,提高油基钻井液的沉降稳定性;在优化油基钻井液综合性能的基础上,重新选择乳化剂,研发出新型可逆转乳化油基钻井液;油基钻井液固液分离、含油钻屑处理和循环再利用等方面需要继续深入研究,研究出先进的废弃钻屑处理技术,以满足环境保护的要求。目前,国内对油基钻井液的研究还有许多不足,油基钻井液的完善和提高还有大量的工作要做,要想快速产业化,理论研究和实际应用方面的研究需要同步推进。

参考文献

- [1] 华桂友,舒福昌,向兴金,等.适用于钻水平井的可逆转油包水钻井液研究[J].国外油田工程,2010,26(8):53-55.
- [2] Taughbol K, Fimreite G, Prebensen O I, et al. Development and field testing of a unique High-Temperature/High-Pressure (HTHP) oil-based drilling fluid with minimum rheology and maximum sag stability[A]. SPE 96285, 2005.
- [3] Fossum, Van Der Z W. Design and utilization of low solids OBM for Aasgard reservoir drilling and completion[C]. SPE 107754, 2007.
- [4] Franco F, Thierry B, Christian P, et al. Method for reducing filtrate loss from oil based drilling fluids; US, 20110281778. 2011 [P]. 2011-11-17.
- [5] 华桂友,舒福昌,向兴金,等.可逆转油基钻井液体系配制及性能评价[J].精细石油化工进展,2009,10(11):8-11.
- [6] 蓝强,李公让,张敬辉,等.无黏土低密度全油基钻井完井液的研究[J].钻井液与完井液,2010,27(2):6-9,87.
- [7] 舒福昌,岳前升,黄红玺,等.新型无水全油基钻井液[J].断块油气田,2008,15(3):103-104.
- [8] 王松,宋明全,刘二平.国外深水钻井液技术进展[J].石油勘探技术,2009,37(3):8-12.
- [9] 贾艳秋,张岱,胡友林.深水水基钻井液研究[J].长江大学学报:自然科学版,2011,8(8):50-53,278.
- [10] Freddy Q, George Q, Richard R, et al. Reduced abrasion drilling fluid; US, 20100170719. 2010 [P]. 2010-07-08.
- [11] 王茂功,徐显广,苑旭波.抗高温气制油基钻井液用乳化剂的研制和性能评价[J].钻井液与完井液,2012,29(6):4-5,9,85.
- [12] 蒋卓,舒福昌,向兴金,等.全油合成基钻井液的室内研究[J].钻井液与完井液,2009,26(2):19-20,130.
- [13] 罗健生,莫成孝,刘自明,等.气制油合成基钻井液研究与应用[J].钻井液与完井液,2009,26(2):7-11,129.
- [14] 马勇,崔茂荣,孙少亮.水包油钻井液国内研究应用进展[J].断块油气田,2006,13(1):4-6,89.
- [15] 刘晓栋,王宇宾,宋有胜,等.活性泥页岩快速钻井液技术[J].石油钻采工艺,2011,33(2):56-61.
- [16] 崔思华,班凡生,袁光杰.页岩气钻完井技术现状及难点分析[J].天然气工业,2011,31(4):72-75,129.
- [17] 唐代绪,侯业贵,高杨,等.胜利油田页岩油水平井钻井液技术[J].石油钻采工艺,2012,34(5):45-48.
- [18] Mas M, Tapin T, Marquez R, et al. A new high-temperature oil-based drilling fluid[R]. SPE 00053941, 1999.
- [19] Kenneth W Oyler, Kimberly J Burrows, Gary C West, et al. Diesel oil-based invert emulsion drilling fluids and methods of drilling boreholes; US, 2007015490 [P]. 2009-01-08.
- [20] Arvind P, Sashikumar M, Emanuel S, et al. Fluid loss additive for oil-based muds; US, 20080009421. 2008 [P]. 2008-01-10.
- [21] 孙明波,乔军,刘宝峰,等.生物柴油钻井液研究与应用[J].钻井液与完井液,2013,30(4):15-18,92.
- [22] 何俊才,范振忠,赵恒,等.水包油钻井液基本配方优选及抗温性评价[J].科学技术与工程,2010,10(31):7717-7720.
- [23] 何涛,李茂森,杨兰平,等.油基钻井液在威远地区页岩气水平井中的应用[J].钻井液与完井液,2012,29(3):1-5,91.
- [24] 张抗,谭云冬.世界页岩气资源潜力和开采现状及中国页岩气发展前景[J].当代石油石化,2009,17(3):9-12,18,49.
- [25] 刘振东,薛玉志,周守菊,等.全油基钻井液完井液体系研究及应用[J].钻井液与完井液,2009,26(6):10-12,91-92.
- [26] Jeffrey J Miller, Shadaab Syed Maghrabi, Wikrant Bhavanish kar, et al. Suspension characteristics in invert emulsion; US, 2011/0053808 A1. 2011 [P]. 2011-03-10.
- [27] 侯业贵.低芳烃油基钻井液在页岩油气水平井中的应用[J].钻井液与完井液,2013,30(4):21-24,92-93.
- [28] 安文忠,张滨海,陈建兵. VersaClean 低毒油基钻井液技术[J].石油勘探技术,2003,31(6):33-35. ■