

钻井液用非离子型微乳液 WR- I 的研制及其 封堵和润滑作用

张虹

(中国石化胜利石油工程有限公司 钻井工艺研究院, 山东 东营 257017)

摘要:作为油田处理剂,微乳液主要应用于三次采油,在钻井液中的应用未见报道。水平井和定向井钻进过程中常遇到井壁失稳和摩阻过大的问题,常用的钻井液处理剂功能单一,难以同时兼顾封堵和润滑功能。针对上述问题,以 Span-80 和 Tween-80 复合表面活性剂为基础,以正丁醇为助表面活性剂,研制了非离子型微乳液 WR- I,考察其对钻井液性能的影响,并重点研究其封堵和润滑作用。实验结果表明,非离子型微乳液 WR- I 的粒度中值为 75 nm,界面张力低至 0.005 mN/m,对钻井液的流变性影响小,有降滤失作用;通过快速吸附及封堵作用,该微乳液封堵率高达 95%,对泥页岩井壁稳定具有突出作用;该微乳液具有优异的润滑作用,其极压润滑系数为 0.051,滤饼粘附系数为 0.138,可大幅度降低钻具与井壁、钻具与钻屑间的摩阻。

关键词:复合表面活性剂 非离子型微乳液 钻井液 润滑 封堵

中图分类号:TE254

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2017)03-0122-05

Preparation of nonionic micro-emulsion WR- I and the analysis of plugging and lubricating properties for drilling fluid

Zhang Hong

(Drilling Technology Research Institute, Shengli Petroleum Engineering Company Ltd.,
Dongying City, Shandong Province, 257017, China)

Abstract: Micro-emulsion has been used in EOR as oilfield agent for decades, but not in drilling fluid. Wellbore instability and high friction have been encountered frequently during the drilling process in horizontal and directional sections. Common agents used in drilling fluid cannot meet the demands of plugging and lubrication at the same time. A nonionic micro-emulsion WR- I was developed based on compound surfactants of Span-80 and Tween-80 aided with co-surfactant of n-butanol. The effect of the nonionic micro-emulsion WR- I on the performance of drilling fluid was investigated, focusing on its plugging and lubricating properties. The results show that the nonionic micro-emulsion WR- I has good performance including super-low interfacial tension of 0.005 mN/m and median size of 75 nm. It has little influence on the rheology of the drilling fluid and can lead to a small reduction in filtration loss. It can stabilize the wellbore of the shale section by quick adsorption and effective plugging with a blocking ratio of 95%. It has good lubricating property with an extreme pressure lubrication coefficient of 0.051 and a sticking coefficient of 0.138, which can effectively decrease the friction between drilling tools and wellbore as well as drilling cuttings.

Key words: compound surfactant; nonionic micro-emulsion; drilling fluid; lubrication; plugging

微乳液是一种透明、低粘度的热力学稳定体系,主要由水、油、表面活性剂和助表面活性剂等

收稿日期:2017-01-09。

作者简介:张虹(1972—),女,山东东营人,工程师,从事钻井液化学理论及新技术推广方面的工作。联系电话:(0546)6383194, E-mail: free_317@163.com。

基金项目:国家科技重大专项“低渗油气藏钻井液完井液及储层保护技术”(2016ZX05021-004)和“致密油气开发环境保护技术集成及关键装备”(2016ZX05040-005),中国石化重点课题“低活度水基钻井液体系研究”(JP15015)。

4种物质在一定条件下自发形成^[1]。在20世纪70年代后期,石油经济危机促进了三次采油技术发展,微乳液开始在三次采油领域显示出一定潜力^[2-9]。国外Halliburton Energy Services Inc, BJ Services Company, Baker Hughes, Schlumberger Technology Corporation以及ENI集团等都已开展室内研究,并将部分技术进行现场应用^[2-5]。至20世纪90年代,微乳液的应用已迅速拓展到化工、材料科学、生物技术等诸多领域,成为当今国际上热门的研究领域^[6-8]。研究发现,微乳液具有很强的井壁修复作用,可替代储层修复作业(如重新压裂等^[8-11]),从而大幅度提高油气产量,尤其是受严重伤害储层的产量。在研制微乳液时需要考虑流体配伍性、温度稳定性、超低界面张力性质、去垢能力和清除能力等因素。按照所采用表面活性剂的不同,微乳液主要分为阴离子型、阳离子型和非离子型微乳液,其中非离子型微乳液因具有粒度分布较窄、稳定性较好的特点,具有广阔的应用前景。前期已经研制出非离子型微乳液,并且研究了其对砂岩储层的解堵作用^[12-14],但对泥页岩储层封堵润滑作用的研究仍不足。另外,目前对于非离子型微乳液的研究主要局限于单一表面活性剂为基础的制备方法,所获得的微乳液抗盐能力较差,对于复合表面活性剂制备非离子型微乳液的研究还很少。笔者以Span-80和Tween-80复合表面活性剂为基础,以正丁醇为助表面活性剂,研制了新型非离子型微乳液,考察其对钻井液性能的影响,着重研究其封堵和润滑作用。

1 非离子型微乳液WR-I的研制

1.1 实验试剂和仪器

实验试剂包括表面活性剂失水山梨糖醇脂肪酸酯Span-80(分析纯)和失水山梨醇单油酸酯聚氧乙烯醚Tween-80(分析纯)、NaCl(分析纯)和助表面活性剂正丁醇(分析纯),自制的二次蒸馏水,7号白油(工业纯)。实验仪器包括Mettler Toledo AL204电子天平、DK-S24电热恒温水浴锅和500 mL三口烧瓶。

1.2 配方及制备步骤

非离子型微乳液WR-I配方为:质量分数为25%的7号白油+质量分数为75%的二次蒸馏水+质量分数为9.4%的复合表面活性剂(Tween-80和Span-80摩尔比为1.5:1)+质量分数为12.5%的正丁醇+质量分数为2.5%的NaCl。

微乳液制备实验步骤包括:①在三口烧瓶中按

顺序加入质量分数为25%的7号白油、质量分数为9.4%的复合表面活性剂(Tween-80和Span-80摩尔比为1.5:1)、质量分数为12.5%的正丁醇和质量分数为2.5%的NaCl,将三口烧瓶放置于50℃的水浴中;②在混合溶液的搅拌过程中,用滴管小心滴加质量分数为75%的二次蒸馏水;③观察瓶中的乳液状态,当其逐渐转变为透明状时,表明已形成微乳液,继续搅拌30 min,确认不再发生变化,即可得到无色透明的非离子型微乳液WR-I。

该非离子型微乳液粒径中值为75 nm,在室温条件下密度为0.925 g/mL,油水界面张力为0.005 mN/m。

2 非离子型微乳液WR-I稳定性评价

采用LB-550型动态光散射粒度分布仪,考察非离子型微乳液WR-I粒径随时间、稀释倍数、NaCl质量分数和CaCl₂质量分数的变化,评价该微乳液的时间稳定性、稀释稳定性以及抗盐稳定性。

2.1 时间稳定性

采用累积粒度分布特征值(d_{10} , d_{50} 和 d_{90}),即累积粒度分布百分数达到10%,50%和90%时所对应的粒径,考察1,2,3,4,5,6,7和8 d条件下非离子型微乳液WR-I粒径的变化。由结果(图1)可知,随着放置时间的延长,非离子型微乳液WR-I的粒径基本保持不变,且仍呈透明状态,表明该微乳液具有良好的时间稳定性。

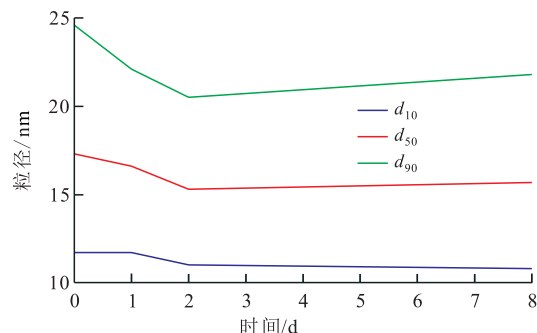


图1 非离子型微乳液WR-I粒径随时间的变化

Fig.1 Variation of particle size of nonionic micro-emulsion WR-I with time

2.2 稀释稳定性

考察了稀释倍数分别为10,20,30,40和50的条件下非离子型微乳液WR-I粒径的变化。由结果(图2)可知,经稀释后,非离子型微乳液WR-I的粒径先略有增大,然后基本保持不变,说明其具有良好的稀释稳定性,稀释后能够保持原本的性状;

另外,实验观察到稀释后的非离子型微乳液 WR- I 经长时间放置粒度变化较小,没有分层、破乳等现象发生,可将其作为钻井液处理剂。

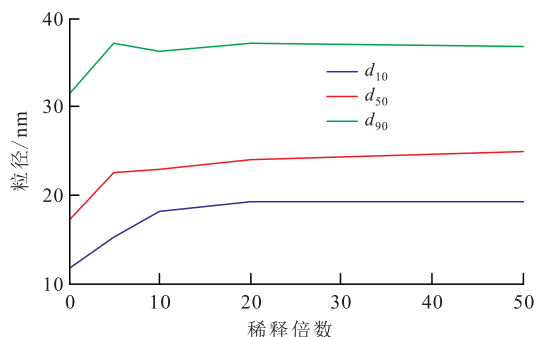


图2 非离子型微乳液 WR- I 粒径随稀释倍数的变化
Fig.2 Variation of particle size of nonionic micro-emulsion WR- I with dilution ratio

2.3 抗盐稳定性

研究了不同质量分数条件下 NaCl 和 CaCl₂ 对非离子型微乳液 WR- I 稳定性的影响。由结果(图3)可知,无机盐质量分数对非离子型微乳液 WR- I 的稳定性影响较大,随着无机盐质量分数增加,非离子型微乳液 WR- I 的粒径先变化较小后显著增大,说明该微乳液开始失稳并向纳米乳液转变。在 NaCl 质量分数达 3.0%, CaCl₂ 质量分数达 0.2% 时,非离子型微乳液 WR- I 仍能保持稳定,说明其对于 2 种无机盐的承受阈值分别达 3.0% 和 0.2%。

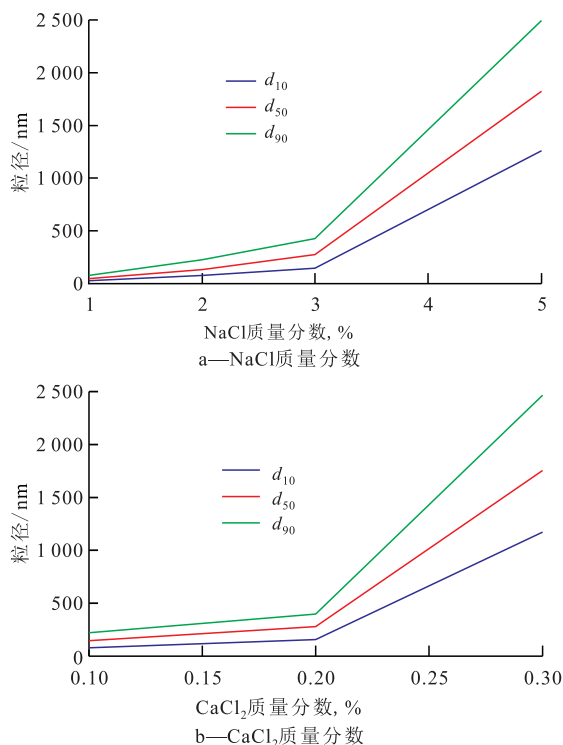


图3 非离子型微乳液 WR- I 粒径随 NaCl 和 CaCl₂ 质量分数的变化

Fig.3 Influence of NaCl and CaCl₂ content on particle size of nonionic micro-emulsion WR- I

3 非离子型微乳液 WR- I 对钻井液性能的影响

3.1 流变性和滤失性

在钻井液中加入新型处理剂不应对其体系的性能造成不良影响,因此,研究非离子型微乳液 WR- I 的加入对钻井液流变性和滤失性的影响。

自行配制的实验钻井液性能参数包括:塑性粘度为 6 mPa·s, 动切力为 4 Pa, API 滤失量为 21 mL。在实验钻井液中加入质量分数为 2.0% 的非离子型微乳液 WR- I 后,其室温下塑性粘度为 7 mPa·s, 动切力为 6 Pa, API 滤失量为 11.2 mL; 而经过 120 °C 老化后三者分别变为 9 mPa·s, 4 Pa 和 16.4 mL。由此可见该微乳液对钻井液流变性影响较小,具有降滤失性。

永 553-斜 11 井现场钻井液性能参数包括:塑性粘度为 17 mPa·s, 静切力为 2 Pa/18 Pa, 动切力为 9 Pa, API 滤失量为 4.8 mL。在现场钻井液中加入质量分数为 2.0% 的非离子型微乳液 WR- I 后,其塑性粘度为 16 mPa·s, 静切力为 2 Pa/17 Pa, 动切力为 8 Pa, API 滤失量为 4.2 mL。由此可见该微乳液对现场钻井液的流变性影响较小,兼具一定的降滤失功能。

3.2 封堵作用

胜利油区渤页 1 井沙三段岩心主要由泥页岩颗粒组成,岩样发育微裂缝和页理,碎屑颗粒被溶蚀,溶蚀孔中充填粘土矿物。该地层岩样膨胀性较弱,不易引起缩径类型的井壁不稳定问题,回收率较低,基本在 32.0% 以下,均为强水化分散性页岩,因此,选取该泥页岩岩心进行钻井液封堵实验。

采用 WSM-01 型高温高压井壁稳定模拟实验装置,将非离子型微乳液 WR- I 加入到水基钻井液中,考察该微乳液的阻缓压力传递作用,深入研究该微乳液在岩心中的静态封堵作用。该装置主要通过岩心夹持器两端压差变化来反映封堵作用,保持上游压力为一定值的情况下,记录岩心封堵后下游压力的变化情况,下游压力越低则钻井液封堵作用越强,反之越弱。由图 4 可知,在加入不同溶液的条件下,岩心的下游压力相差很大。加入基浆后,岩心最终下游压力维持在 4.41 MPa; 加入质量分数为 0.5% 的非离子型微乳液 WR- I 后,岩心最终下游压力降低至 3.03 MPa; 当非离子型微乳液 WR- I 质量分数增加至 1.5% 时,岩心最终下游压力降低至

1.82 MPa。该岩心初始渗透率为 $382 \times 10^{-9} \mu\text{m}^2$ 。基浆中加入质量分数为 1.5% 的非离子型微乳液 WR- I, 并与岩心接触 1 h, 测试平衡后的岩心渗透率降低至 $19 \times 10^{-9} \mu\text{m}^2$, 封堵率高达 95%。这充分证明非离子型微乳液 WR- I 具有封堵孔隙和阻缓压力传递的作用。在其他岩心上进行重复性实验, 都得到了类似结果。这些结果证明, 即使在水基钻井液中加入质量分数很低的微乳液, 也能够对岩心进行有效的物理封堵。

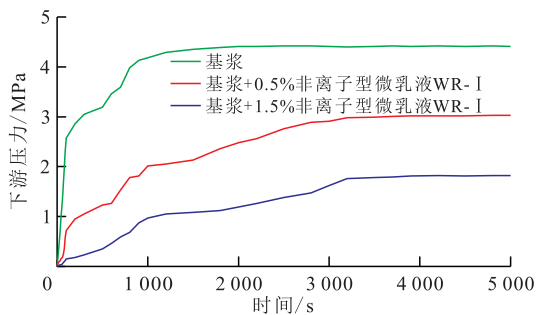


图4 非离子型微乳液 WR- I 加入前后压力传递测试结果
Fig.4 Results of pressure transmission test before and after adding nonionic micro-emulsion WR- I

研制一个特种转换接头, 将传统的岩心夹持器与孔隙结构分析仪 PMI 连接, 形成改进型 PMI, 应用该仪器, 通过测试岩心处理前后的孔隙结构变化来评价非离子型微乳液 WR- I 的封堵性能。由图 5 可知, 泥页岩岩心的孔径主要分布在 5 ~ 15 和 18 ~ 24 nm, 在与非离子型微乳液 WR- I 接触 24 h 后, 其孔径分布发生明显变化, 18 ~ 24 nm 内的孔径分布明显减少, 而 5 ~ 15 nm 内的孔径分布明显增多, 分布频率占 70% 以上, 这充分证明非离子型微乳液 WR- I 能够封堵纳米孔隙, 使其孔径减小, 有利于井壁稳定。

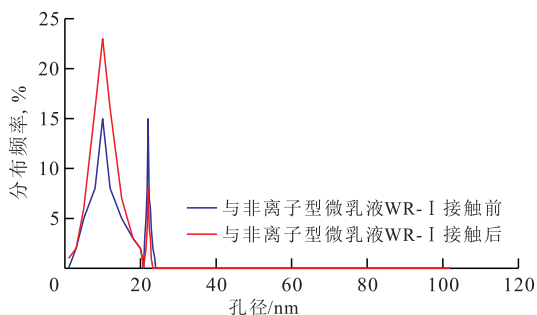


图5 岩心与非离子型微乳液 WR- I 接触 24 h 前后的孔径变化

Fig.5 Pore size changes of the core before and after 24 h exposure to nonionic micro-emulsion WR- I

3.3 润滑作用

非离子型微乳液 WR- I 粒径为 10 ~ 100 nm, 具有很强的布朗运动, 能够快速吸附于井壁和钻具上, 有效降低钻具和井壁及钻屑之间的摩阻, 应用

GNF-1 高温高压粘附系数测定仪和 EP-2 极限压力润滑仪, 考察非离子型微乳液 WR- I 对滤饼粘附系数和极压润滑系数的影响。由结果(图 6)可知, 非离子型微乳液 WR- I 的滤饼粘附系数为 0.138, 而目前粘附作用最佳的乳化油的滤饼粘附系数为 0.152, 这证明非离子型微乳液 WR- I 可显著降低钻具的粘附作用。非离子型微乳液 WR- I 的极压润滑系数仅为 0.051, 其极压润滑效果与极压润滑剂(其极压润滑系数为 0.050)相当, 对提高钻井液的润滑性十分有利。其原因是该微乳液粒径很小, 可优先进入并吸附到粘土层间, 减少粘土和水相的接触, 使粘土表面从亲水转变为疏水; 该微乳液还可在钻具上吸附形成均匀、薄而致密的油膜, 从而强化了润滑作用。

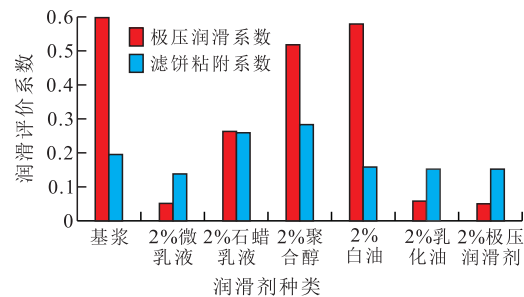


图6 不同润滑剂的润滑性能

Fig.6 Lubricating performance of different lubricants

为验证其现场可行性, 对永 553-斜 11 井进行了非离子型微乳液 WR- I 润滑性能现场评价。永 553-斜 11 井设计井深为 3 170 m, 完钻层位为沙四段, 其目的是开发沙四段砂砾岩油藏。该井储层岩性主要为含砾砂岩和砾状砂岩, 夹少量泥岩; 粘土矿物含量为 4% ~ 10%, 以伊利石为主; 平均孔隙度为 10.8%, 平均空气渗透率为 $12 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 渗透率级差为 45.8 ~ 73.7, 突进系数为 3.7 ~ 9.9, 变异系数为 0.8 ~ 1.0, 为低孔低渗透储层。在该井二开 3 076 ~ 3 206 m 井段钻进时, 摩阻突然增大, 采用非离子型微乳液 WR- I 进行降摩阻, 对添加非离子型微乳液 WR- I 前后的钻井液滤饼进行了粘附系数评价实验, 结果表明未添加该微乳液的滤饼粘附系数为 0.122 4, 添加质量分数为 0.3% 的非离子型微乳液 WR- I 后滤饼粘附系数为 0.052 4, 滤饼粘附系数降低率达到 57.2%。同时, 该微乳液入井前摩阻为 8 ~ 10 t, 添加该微乳液后摩阻降低至 3 ~ 5 t, 大大提高了定向效率, 对于提高钻速十分有利。

4 结论

以 Span-80 和 Tween-80 为复合表面活性剂, 以

正丁醇为助表面活性剂,研制非离子型微乳液 WR-I,其粒度中值为 75 nm,界面张力低至 0.005 mN/m,具有良好的时间稳定性和稀释稳定性,在 NaCl 质量分数达到 3.0%, CaCl₂ 质量分数达到 0.2% 时仍然保持稳定;非离子型微乳液 WR-I 对钻井液的流变性影响小,且具有一定的降滤失作用;非离子型微乳液 WR-I 具有优异的润滑作用,极压润滑系数为 0.051,滤饼粘附系数为 0.138,可在井壁和钻具上快速吸附后形成油膜,有效降低钻具与井壁、钻具与钻屑之间的摩阻;非离子型微乳液 WR-I 的封堵率高达 95%,通过快速吸附及封堵作用使泥页岩井壁稳定。

基于复合表面活性剂制备的非离子型微乳液 WR-I 具有更为出色的稳定性和封堵润滑性,拓展了微乳液制备方法与应用前景,能够有效改善易失稳地层钻进时井壁的稳定性和对于钻井效率的提高和井下安全保证都具有现实意义,建议对不同工况条件下微乳液的适应性进行进一步研究。

参考文献:

- [1] 王军,杨许召.乳化与微乳化技术[M].北京:化学工业出版社,2012.
Wang Jun, Yang Xuzhao. Emulsification and micro-emulsification technology[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2012.
- [2] Gianna Pietrangeli, Lirio Quintero, Yohnny Gonzalez. In-situ microemulsions enhance removal of non-aqueous drilling fluid in Gulf of Guinea wells[R]. SPE 174239, 2015.
- [3] Qusai A Darugar, Lirio Quintero, Thomas A Jones, et al. Wellbore remediation using microemulsion technology to increase hydrocarbon productivity[R]. SPE 160851, 2012.
- [4] Li Gongrang, Zhang Jinghui, Zhao Huaizhen, et al. Nanotechnology to improve sealing ability of drilling fluids for shale with micro-cracks during drilling[R]. SPE 156997, 2012.
- [5] Jonathan Brege, Waelel Sherbeny, Lirio Quintero, et al. Using microemulsion technology to remove oil-based mud in wellbore displacement and remediation applications[R]. SPE 150237, 2012.
- [6] 高静.超低渗油气藏用微乳液的研究与表征[D].天津:天津科技大学,2014.
Gao Jing. Study and evaluation of microemulsion system for ultra-low permeability oil-gas resources[D]. Tianjin: Tianjin University of Science & Technology, 2014.
- [7] 张巍,赵莉,韩富,等.表面活性剂的性能与应用(VII)——表面活性剂微乳液状液及其应用[J].日用化学工业,2014,44(7):370-374.
Zhang Wei, Zhao Li, Han Fu, et al. Performance and applications of surfactants(VII) surfactant micro-emulsion and its applications[J]. China Surfactant Detergent & Cosmetics, 2014, 44(7): 370-374.
- [8] 刘佳林,罗明良,贾自龙,等.微乳液型油气增产助剂研究进展[J].应用化工,2011,40(8):1440-1443.
Liu Jialin, Luo Mingliang, Jia Zilong, et al. Research progress of the microemulsion additives applied to reservoir stimulation[J]. Applied Chemical Industry, 2011, 40(8): 1440-1443.
- [9] 逢培成.高效页岩气储层保护剂研制及其作用机理研究[D].青岛:中国石油大学(华东),2013.
Pang Peicheng. Development of efficient shale gas reservoir protection agent and study on its mechanism[D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China), 2013.
- [10] 曹绪龙,马宝东,张继超.特高温油藏增粘型乳液驱油体系的研制[J].油气地质与采收率,2016,23(1):68-73.
Cao Xulong, Ma Baodong, Zhang Jichao. Development of oil displacement system for extra-high temperature reservoirs using viscosifying emulsion[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2016, 23(1): 68-73.
- [11] 王蓬,王艳忠,操应长,等.东营凹陷盐家地区沙四段上亚段砂砾岩体岩石结构特征[J].油气地质与采收率,2015,22(3):34-41.
Wang Peng, Wang Yanzhong, Cao Yingchang, et al. Rock texture characteristics of sandy conglomerate in the upper fourth member of Shahejie Formation in Yanjia area, Dongying sag[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(3): 34-41.
- [12] 张敬辉.微乳液降低水锁伤害实验研究[J].钻井液与完井液,2013,30(2):40-42,46.
Zhang Jinghui. Research on reducing reservoir damage of water blocking by micro-emulsion[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2013, 30(2): 40-42, 46.
- [13] 蓝强. Triton X-100/正丁醇/白油/盐水四相微乳液性能评价[J].石油工程技术,2015,13(4):55-60.
Lan Qiang. Performance of 4-phase micro-emulsion by Triton X-100/n-butanol/white oil/salt[J]. Petroleum Engineering and Technology, 2015, 13(4): 55-60.
- [14] 蓝强.非离子微乳液制备及其对钻井液堵塞的解除作用[J].钻井液与完井液,2016,31(3):1-6.
Lan Qiang. Preparation of nonionic micro emulsion and its application in removing mud solids blocking[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2016, 31(3): 1-6.

编辑 刘北羿