

Mechanism Analysis of the Regulation of the Type of Injected Water Ion

Bin Yang

CNOOC (China) Co., Ltd. Tianjin Branch, Tianjin, 300480, China

Abstract

By adjusting the ion type and intensity of the injected water, the oil recovery rate can be improved. This paper developed an oil-water-solid three-phase interface behavior research method based on contact angle, emulsification behavior and oil-water interface strength. The experiment found that after the ionic strength was less than 82mM/kg, the hydrophilicity increased significantly. This rule was confirmed by the change of Zeta potential on the rock powder surface, the oil-water interface tension, emulsification behavior and contact Angle, and believed that the ionic strength mainly affects the wettability. Indoor low-field nuclear magnetic online core displacement experiment confirmed that the salinity of injected water increased by 7.9% from 28000ppm to 4000ppm. It is concluded that the type and strength of injected water ions.

Keywords

ion type and strength; water injection; wettability; oil recovery

调节注入水离子类型提高采收率技术机理分析

杨彬

中海石油（中国）有限公司天津分公司，中国·天津 300480

摘 要

通过调节注入水的离子类型和强度，可以达到提高采收率的目的。论文建立了以接触角、乳化行为和油水界面强度为基础的油-水-固三相界面行为研究方法。实验发现：在离子强度小于82mM/kg后，亲水性增加幅度明显，这一规律经岩粉表面Zeta电位变化情况、油水界面张力、乳化行为、接触角等实验证实，认为离子强度主要影响润湿性。室内低场核磁在线岩心驱替实验证实，注入水矿化度由28000ppm降为4000ppm后提高采出率增加7.9%。论文认为通过调整注入水离子类型和强度将是一种很有前景的采油方法。

关键词

离子类型和强度；注入水；润湿性；采收率

1 引言

近年来，其他国家通过岩心实验、井间示踪剂测试、矿场应用等，发现降低注入水的矿化度并优化其离子组成，能够有效降低残余油饱和度，延缓见水时间，从而提高采收率^[1,2]。由此，其他国家提出了智能水驱（Smart Water Flooding）的概念，即通过调整注入水的离子组成和矿化度，改变流体流动行为以及水、原油、岩石相互作用，提高原油采收率^[3-5]。据报道，低矿化度水驱（LSWF）可以提高采收率 5%~25%（砂岩和碳酸盐岩）。低矿化水驱 LSWF 作为一种低成本、高效率的“绿色”EOR 技术受到广泛关注 BP 公司认为低矿化度水驱将成为未来提高采收率的主导技术。LSWF 作为一种“低成本、无伤害”的提高采收率技术，已在美国、伊朗、

英国、挪威等地开展了先导性矿场试验，并在逐渐地规模化推广。但是由于 LSWF 过程中复杂的离子作用和界面行为，导致其机理认识存在很大争议，从而影响到油藏类型筛选和工艺参数优化。鉴于水相的离子组成直接决定注入水的化学性质，为了揭示低矿化度水驱的机理，优化低矿化度水相的离子组成，本项目拟对离子类型对低矿化度效应的影响规律进行基础研究：建立油、水、固三相界面行为研究方法，通过研究不同离子浓度和离子类型对界面行为、渗流特征、进一步认识离子类型对水驱提高采收率的作用机理，为低矿化度水驱或离子匹配注水设计提供理论支持。

2 实验分析

不同离子强度和类型盐水的配置地层水中无机盐的主要类型有 NaCl、Na₂SO₄、MgCl₂ 和 CaCl₂，为明确低矿度水驱时究竟是总矿化度变化影响大，还是其中某一种离子浓度变化影响大，因此在研究过程中拟分别考察：①混合盐水

【作者简介】杨彬（1986-），男，中国河北沧州人，本科，高级工程师，从事油气田开发开采研究。

中无机盐浓度整体等比例下降以考察离子强度降低的影响；②单独无机盐（NaCl、Na₂SO₄、MgCl₂和CaCl₂）浓度降低时的影响。其中原始混合盐水中NaCl、Na₂SO₄、MgCl₂和CaCl₂，的浓度分别为588mM、1.26mM、18.9mM、57.7mM。

3 结果与讨论

3.1 离子强度和类型对润湿性的影响

岩石表面润湿性的改变是影响LSWF驱替性能的重要因素，离子类型和强度对岩粉和油滴表面zeta电位的影响决定了它们对岩石表面润湿性的影响。离子类型和强度对岩粉表面zeta电位的影响见图1(a)。由图1(a)可知，随着不同盐水离子强度的下降，岩粉表面的Zeta电位呈现减小趋势。盐水离子强度减小，对岩粉表面双电层的压缩能力下降，阳离子从Stern层脱附至扩散层，岩粉表面Zeta电位负值增加。对于二价阳离子，离子强度在小于82mM/kg后，Zeta由正值变为负值；对于混合盐水和一价阳离子，离子强度在小于82mM/kg后，Zeta电位变化更加明显。离子类型和强度对岩粉表面油滴电位的影响见图1(b)。离子强度下降后，对油滴表面由界面活性物质所形成的双电层压缩能力下降，油滴zeta电位绝对值增大。总而言之，由图1的结果可知盐水离子强度下降，岩石表面和原油表面的负电性会增强，从而导致两者排斥力会增强。这一结果最终会导致

岩石表面的亲油性下降，亲水性增强。

3.2 离子强度和类型对油水界面张力及乳化行为的影响

盐水对油水界面张力及其乳化行为也会影响LSWF的效果。图2显示了离子强度和类型对油水界面张力的影响。由图可知，随着离子强度的下降，界面张力呈现增大的趋势（CaCl₂盐水除外）。盐水离子强度降低后，界面处原油离子型界面活性物质间排斥力增强，吸附量会下降，从而导致界面张力增大，这表明LSWF并不会因为降低界面张力而提高采收率。

虽然盐水离子强度降低并不会降低界面张力，但是图3的结果显示其乳化能力会随之增强。乳化实验后水样吸光度越大表明水样乳化能力越强。由图3可知，不同类型盐水离子强度下降后，水样吸光度增强，即乳化能力都会增强，特别是在小于82mM/kg后，乳化能力增强明显。水样乳化能力增强的原因可能由两方面原因导致：①乳化后油水界面膜强度增大，即扩张模量增大；②乳化后油滴zeta电位增强。图4的结果表明盐水离子强度下降后油水界面扩张模量增幅并不明显，这说明盐水乳化能力增强更多是由于乳化后油滴zeta电位增强所导致，这也解释了为什么会在离子强度小于82mM/kg后出现明显的乳化能力增强。

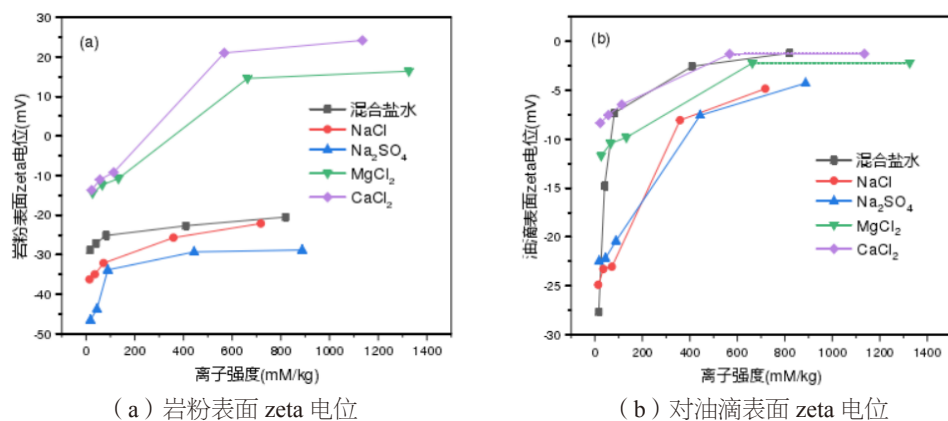


图1 离子强度和类型对表面的影响

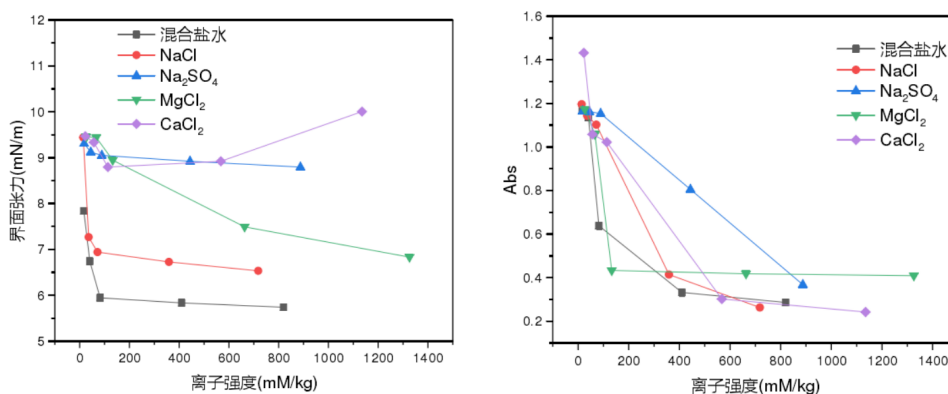


图2 离子强度和类型对油水界面张力的影响

图3 离子强度和类型对水样乳化能力的影响

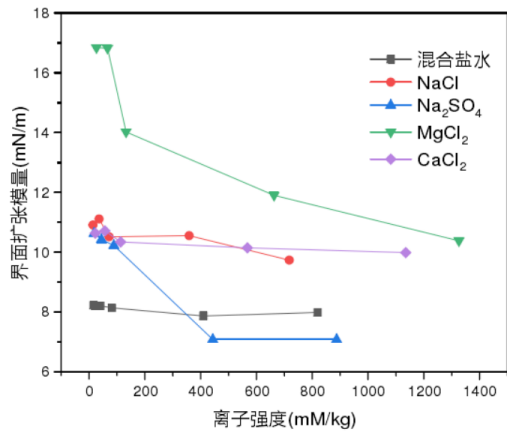


图 4 离子强度和类型对油水界面扩张模量的影响

4 结论

- ①离子强度下降，岩石表面和原油表面的负电性都会增强，导致岩石表面亲水性增强，特别是离子强度小于 82mM/kg 后岩石表面亲水性明显增强，与离子类型无关。
- ②离子强度下降，油水界面张力有稍微增大，但盐水乳化原油能力明显增强，同样在离子强度小于 82mM/kg 后乳化能力增强，与离子类型无关。
- ③盐水矿化度下降，其提高采收率幅度增大，特别是在矿化度小于 4200ppm（即离子强度 82mM/kg）时，增幅明显，其提高采收率的原因为改善了岩石表面的亲水性和提高了驱替液的乳化能力。

参考文献

[1] Yu M, Zeinijahromi A, Bedrikovetsky P, et al. Effects of fines migration on oil displacement by low-salinity water[J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2018, 175: 665-680.

[2] Bartels W B, Mahani H, Berg S, et al. Literature review of low salinity waterflooding from a length and time scale perspective[J]. Fuel, 236: 338-353.

[3] 倪晓晓.离子种类及浓度对塔中4砂岩油藏润湿性影响研究[M].北京:中国石油大学,2016.

[4] 陈航.江苏油田低矿化度水驱提高采收率可行性评价[M].荆州:长江大学,2016.

[5] 孔若水.低矿化度水驱油机理研究[M].北京:中国地质大学,2016.