

文章编号: 1000-4092(2023)03-447-06

缩膨剂防膨和缩膨机理探究*

赵凯强^{1,2}, 于丹³, 吴琼⁴, 杨超^{1,2}

(1. 中石化(大连)石油化工研究院有限公司, 辽宁 大连 116045; 2. 辽宁省油田化学工程技术研究中心, 辽宁 大连 116045; 3. 辽宁石油化学大学石油化工学院, 辽宁 抚顺 113005; 4. 中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司石油工程技术研究院, 山东 东营 257000)

摘要:对于泥质含量高、渗透率低的油藏, 缩膨剂能起到降压、增注的效果, 但尚无相关机理的研究报道。针对这一问题, 考察了含有季铵、伯胺基团的缩膨剂(DSJ-1)加量对膨润土防膨率和缩膨率的影响, 并对处理前后的膨润土进行了X射线衍射(XRD)、X射线荧光光谱(XRF)、Zeta电位、热重分析、粒度分布和光学显微镜表征, 对DSJ-1的防膨和缩膨机理进行了分析。结果表明, 在防膨处理过程中, DSJ-1主要吸附在膨润土表面, 吸附量、Zeta电位对防膨率的影响最大; 在缩膨处理过程中, DSJ-1主要吸附在晶层间, 颗粒聚集体尺寸、Zeta电位影响缩膨率的大小。

关键词: 膨润土; 缩膨剂; 防膨率; 缩膨率; 机理

文献标识码: A DOI: 10.19346/j.cnki.1000-4092.2023.03.011

中图分类号: TE39; TE357.6

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



0 前言

注水是提高采收率的重要措施, 然而长期注水会造成黏土矿物的水化膨胀、分散和运移, 堵塞油流通通道, 导致渗透率下降、注水压力上升、石油采收率下降等问题^[1-3]。目前, 在油田实际生产中多采用注水初期添加黏土稳定剂的方法来减缓黏土类矿物对储层的伤害, 但对于已经发生水化膨胀的黏土, 黏土稳定剂的作用十分有限。对于出现注水困难的水井, 常用的方法为酸化处理, 然而酸化处理对油层的伤害较大, 并且具有有效期较短、处理半径小等缺点, 特别对于泥质含量高的低渗透油藏, 酸化效果并不十分理想^[4]。缩膨剂作为一种黏土处理剂, 不但具有一定的防膨能力, 还能使已经水化膨胀的黏土脱出水分、压缩体积, 从而改善渗透率、降低注水压力、提高注水量。

目前, 已有缩膨剂在水敏型区块应用的相关报

道, 取得了良好的效果。例如孙华慧^[5]将缩膨剂应用到吉林油田低孔低渗透区块中, 岩心渗透率恢复值达到87.06%。张建忠等^[6]将BSA-102缩膨剂应用到青海油田区块中, 注水压力下降了3 MPa, 并长期保持稳定。尹祥翔等^[7]将缩膨剂应用到克拉玛依油田低孔低渗透区块, 增油效果显著。郭得龙等^[8]将缩膨剂注入昆北油田切12区块中, 注水量迅速得到恢复。崔新栋^[9]将XSP-1缩膨剂应用到史115-11井中, 平均配注33 m³, 注水压力29.5 MPa, 加入缩膨剂后配注增至48 m³, 注水压力下降至26.5 MPa。曲占庆等^[10]将缩膨剂、盐酸、氢氟酸、多氢酸复合用于商河油田商三区块储层解堵, 加入前后的实注量分别为21、38 m³/d, 增油率为53.33%, 达到增注增油的目的。

虽然现有文献报道了大量缩膨剂的应用情况, 但尚无对其缩膨作用机理的研究报道。本文通过考察缩膨剂(DSJ-1)加量对防膨和缩膨效果的影

* 收稿日期: 2022-08-04; 修回日期: 2022-10-26。

基金项目: 中国石化科技项目“中低渗透油藏化学剂的开发及应用”子课题“水敏油藏化学品的开发与应用”(项目编号420055-5)。

作者简介: 赵凯强(1991—), 男, 工程师, 中国石油大学(北京)化学工程与技术专业硕士(2017), 研究方向为油田化学品, 通讯地址: 116045 辽宁省大连市旅顺口区南关街96号中石化(大连)石油化工研究院有限公司, E-mail: zhaokaiqiang.fshy@sinopec.com。

响,对防膨和缩膨处理后的膨润土进行表征,首次对缩膨剂的防膨和缩膨机理进行了探究,探讨了DSJ-1防膨和缩膨作用机理的不同,为后续缩膨剂的研究提供一定的参考。

1 实验部分

1.1 材料与仪器

缩膨剂(DSJ-1),含有季铵、伯胺基团的小分子物质,自制;钠基膨润土,山东优索化工科技有限公司。

TD4型台式低速离心机,山东菏泽华兴仪器仪表有限公司;YHG-9070A型鼓风干燥箱,上海姚氏仪器设备厂;D8型X射线衍射仪(XRD)、X射线荧光光谱仪,布鲁克(北京)科技有限公司;Zetasizer Nano ZS纳米粒度电位仪,马尔文帕纳科公司;TGA型热重分析仪,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;Bettersize2600型激光粒度分布仪,丹东百特仪器有限公司;U-LH100-3型系统显微镜,日本奥林巴斯公司。

1.2 实验方法

(1)防膨率的测定

将0.50 g钠膨润土、10 mL 0.5%~10.0%的缩膨剂水溶液加入离心管中,混合均匀后静置4 h,在1500 r/min转速下离心15 min,测定处理后的黏土体积为 V_1 ;在相同的条件下作对照实验,将10 mL缩膨剂水溶液换成去离子水,离心得到的黏土体积为 V_0 。按 $(V_0-V_1)/V_0 \times 100\%$ 计算防膨率。

(2)缩膨率的测定

将0.50 g钠膨润土、7.5 mL去离子水加入离心管中,混合均匀后静置4 h;随后将2.5 mL 0.5%~10.0%的DSJ-1缩膨剂加入离心管中,混合均匀后静置4 h,在1500 r/min转速下离心15 min,测定处理后的黏土体积为 V_3 ;在相同的条件下作对照实验,将2.5 mL缩膨剂换成去离子水,离心得到的黏土体积为 V_2 。按 $(V_2-V_3)/V_2 \times 100\%$ 计算缩膨率。

(3)性能表征

将膨润土、防膨或缩膨处理的膨润土胶体溶液在低转速下搅拌均匀后,用吸管吸取少量样品,用纳米粒度电位仪测量Zeta电位,用激光粒度分布仪测量粒度分布,用显微镜观察颗粒大小。

用离心机离心防膨或缩膨的胶体溶液,在80℃

下干燥24 h;随后用研钵研磨,并用200目筛网过筛。将过筛的粉末用XRD、X射线荧光光谱仪和热重分析仪进行表征。

2 结果与讨论

2.1 DSJ-1加量对防膨率和缩膨率的影响

DSJ-1加量对防膨率的影响见图1(a)。随着DSJ-1加量的增大,防膨率不断增加。DSJ-1加量为0.5%时的防膨率为54%,加量为1.0%时的防膨率增至76%。随着DSJ-1加量增加,防膨率增幅减缓。DSJ-1加量为10.0%时的防膨率为94%。DSJ-1加量对缩膨率的影响见图1(b)。DSJ-1加量为0.5%时的缩膨率仅为5%,加量为1.0%时的缩膨率达到50%。随着DSJ-1加量的增加,缩膨率略有降低。DSJ-1加量为10.0%时,缩膨率为45%。

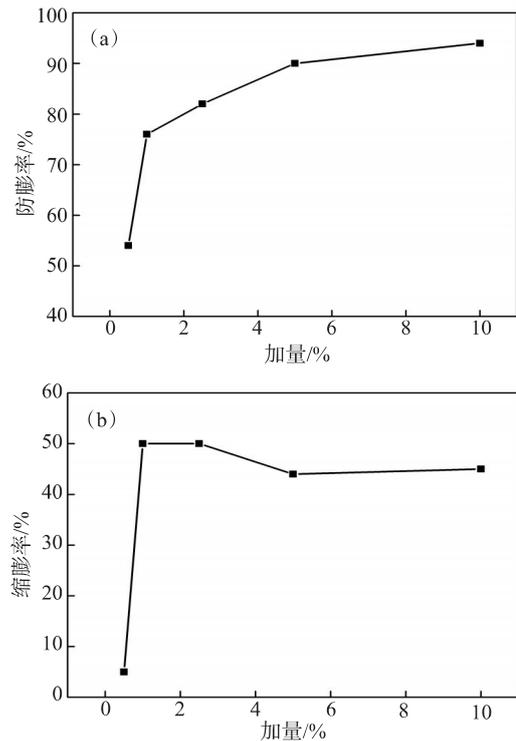


图1 DSJ-1加量对防膨率(a)和缩膨率(b)的影响

2.2 DSJ-1加量对膨润土层间距的影响

对DSJ-1防膨和缩膨处理前后的膨润土进行XRD表征。由图2可见,处理前膨润土的(001)面衍射峰 2θ 为 7.5456° ,根据布拉格公式计算出 $d(001)$ 为1.171 nm。防膨和缩膨处理后的膨润土(001)面衍射峰向左偏移, 2θ 均为 6.6737° ,根据布拉

格公式计算出 $d(001)$ 为 1.324 nm, 层间距增大。随着 DSJ-1 加量的继续增加, 特征峰不再偏移, 层间距不再增大。这可能是由于 DSJ-1 属于小分子, 在晶层间单层分布。同时可以看出, 处理前膨润土 (001) 面衍射峰的衍射强度较低; 随着 DSJ-1 加量的增加, (001) 面衍射峰的衍射强度增大, 结晶度提高。这可能是由于缩膨剂分子是一种头尾均为伯胺的结构, 能有序吸附在晶层的上下端, 进入晶层的 DSJ-1 量越多, 颗粒内部的晶格会更加有序, 从而导致衍射峰升高。有文献也指出结晶度可能受阳离子交换量和分子量的影响^[11-13]。

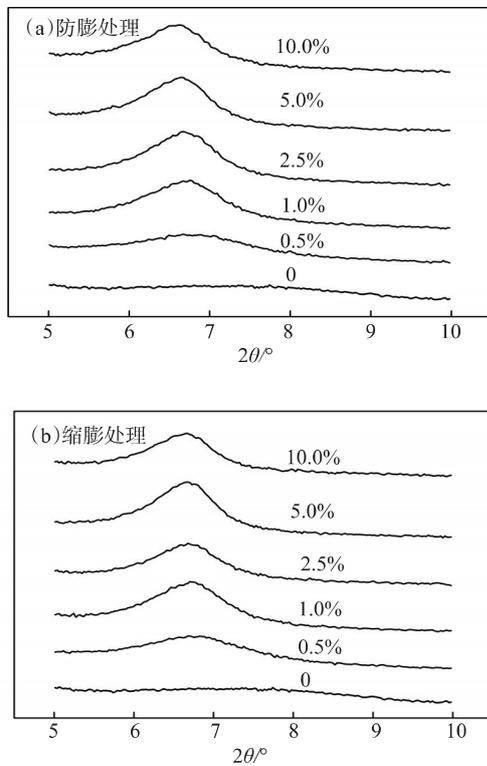


图 2 经不同加量的 DSJ-1 处理后膨润土的 XRD 图

2.3 DSJ-1 加量对膨润土元素分布的影响

对 DSJ-1 防膨和缩膨处理前后的膨润土进行 X 射线荧光光谱表征。由表 1、表 2 可见, DSJ-1 防膨和缩膨处理后的膨润土元素含量表现出相似的规律。随着 DSJ-1 加量的增加, Na₂O、SiO₂、K₂O、CaO 的质量分数降低, 而 MgO、Al₂O₃、Fe₂O₃ 的质量分数增加。这是因为 DSJ-1 具有一定的碱性, 能溶解颗粒表面的 SiO₂, 从而导致膨润土中 SiO₂ 含量的降低, 由于总质量的降低, 从而导致 MgO、Al₂O₃、Fe₂O₃ 所占质量比重升高。Na₂O、K₂O、CaO 质量分数的降低

是由于膨润土中的 Na⁺、K⁺、Ca²⁺ 能与带正电荷的 DSJ-1 进行离子交换。其中, Na₂O 的质量分数下降明显, 这是由于 Na⁺ 与膨润土晶格的结合能小, 水化能低, 解离能力强, 交换性好, 因此 DSJ-1 更易与 Na⁺ 进行离子交换^[14]。

表 1 DSJ-1 防膨处理前后膨润土元素的质量分数 (%)

| DSJ-1 加量/% | Na ₂ O | MgO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | K ₂ O | CaO | Fe ₂ O ₃ |
|------------|-------------------|--------|--------------------------------|------------------|------------------|--------|--------------------------------|
| 0 | 1.5993 | 2.9462 | 11.3320 | 74.4995 | 2.5526 | 4.0727 | 2.4193 |
| 0.5 | 0.9547 | 3.2055 | 13.3156 | 73.2638 | 2.4635 | 3.7852 | 2.4720 |
| 1.0 | 0.3714 | 4.0972 | 14.5222 | 71.9786 | 2.2624 | 3.7423 | 2.5766 |
| 2.5 | 0.2853 | 3.9601 | 14.6173 | 72.0807 | 2.2644 | 3.6136 | 2.5969 |
| 5.0 | 0.2718 | 3.9213 | 14.6092 | 72.2361 | 2.2779 | 3.4879 | 2.6072 |
| 10.0 | 0.2692 | 3.9567 | 14.7210 | 72.3273 | 2.2661 | 3.2691 | 2.6548 |

表 2 DSJ-1 缩膨处理前后膨润土元素的质量分数 (%)

| DSJ-1 加量/% | Na ₂ O | MgO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | K ₂ O | CaO | Fe ₂ O ₃ |
|------------|-------------------|--------|--------------------------------|------------------|------------------|--------|--------------------------------|
| 0 | 1.5993 | 2.9462 | 11.3320 | 74.4995 | 2.5526 | 4.0727 | 2.4193 |
| 0.5 | 0.9053 | 3.3619 | 13.4142 | 73.1584 | 2.4214 | 3.7642 | 2.4983 |
| 1.0 | 0.3373 | 3.9764 | 14.7723 | 71.8593 | 2.2290 | 3.5379 | 2.6862 |
| 2.5 | 0.2905 | 3.9509 | 14.7380 | 72.1429 | 2.2486 | 3.4744 | 2.6156 |
| 5.0 | 0.2598 | 3.9148 | 14.7867 | 72.2026 | 2.1933 | 3.5226 | 2.5932 |
| 10.0 | 0.2565 | 3.9074 | 14.8358 | 72.1964 | 2.2780 | 3.3179 | 2.6244 |

2.4 DSJ-1 加量对膨润土 Zeta 电位的影响

对 DSJ-1 防膨和缩膨处理前后的膨润土进行 Zeta 电位的测定。DSJ-1 加量从 0 增至 10%, 防膨处理后的 Zeta 电位由 -55 mV 增至 -6.23 mV; 缩膨处理后的 Zeta 电位由 -55 mV 增至 -5.34 mV。由图 3 可见, 防膨与缩膨处理后的膨润土的 Zeta 电位曲线

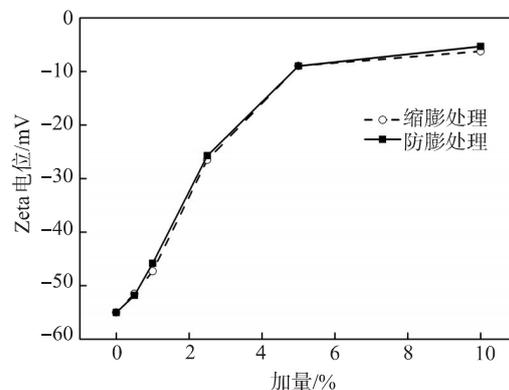


图 3 DSJ-1 加量对膨润土 Zeta 电位的影响

几乎完全重合,说明DSJ-1防膨和缩膨处理对膨润土Zeta电位的影响是一致的。随着DSJ-1加量的增加,Zeta电位逐渐增大,并向0 mV靠近。

2.5 膨润土热重分析

对DSJ-1防膨和缩膨处理前后的膨润土进行热重分析。由图4可见,温度高于700℃时,样品质量不再降低。DSJ-1处理后膨润土的热重损失高于未处理膨润土;DSJ-1加量为2.5%时,膨润土的热重损失高于加量为0.5%处理后的膨润土;加量相同时,防膨和缩膨处理后膨润土的热重损失一致。因此可以推断,DSJ-1加量越大,吸附在膨润土上的DSJ-1越多,且加量相同时,防膨和缩膨处理后的吸附量相同。

由图4可见,未处理膨润土的热重曲线呈S形,分为2个阶段:在30~140℃为第1阶段,自由水和吸附水逸出,曲线迅速下降;高于500℃时为第2阶段,结晶水迅速流失。DSJ-1处理后膨润土的热重曲线可大致分为3个阶段:第1阶段为30~140℃,曲线迅速下降,主要是由于膨润土的自由水和吸附水以及部分DSJ-1逸出;第2阶段为140~500℃,主要为DSJ-1逸出;第3阶段为500℃以上,主要为结晶水逸出。在30~500℃的范围内,DSJ-1加量相同时,防膨与缩膨处理后的膨润土热重曲线形成闭合环。缩膨曲线在上方,防膨曲线在下方,且DSJ-1加量越大,形成的闭合环的面积越大。这是由于在吸附量相同的情况下,防膨与缩膨处理后的DSJ-1热重逸出速度出现明显差异。前期缩膨膨润土质量下降速度慢,防膨膨润土质量下降速度快;后期缩膨膨润土质量下降速度快,防膨膨润土质量下降速度慢。这是由于在防膨过程中DSJ-1大部分吸附

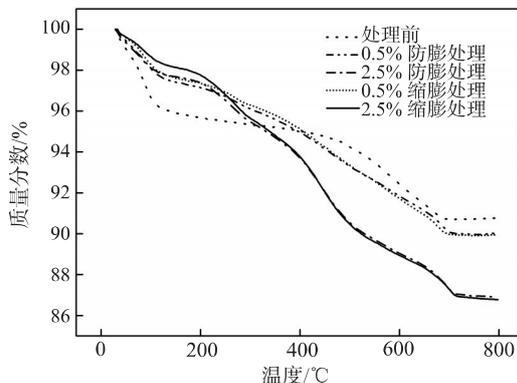


图4 DSJ-1防膨和缩膨处理前后膨润土的热重分析

在膨润土表面,少量进入晶层间,吸附在膨润土表面的DSJ-1扩散阻力小,更容易脱附,因此前期逸出速度快;缩膨过程中DSJ-1更多地进入膨润土晶层内部,DSJ-1扩散阻力大,因此前期逸出速度慢。由于两者的吸附量相同,因此在后期DSJ-1完全脱附后,两者的曲线会重合。

2.6 DSJ-1加量对粒径分布的影响

对DSJ-1防膨和缩膨处理前后的膨润土进行粒度分析。膨润土均为单峰分布,处理前膨润土的粒径主要集中在1~5 μm, D_{50} (累计分布百分数达到50%时对应的粒径值)为2.465 μm。0.5%~10% DSJ-1防膨处理后, D_{50} 分别为17.482、13.260、10.393、4.764、4.675 μm。加量为0.5%时,分布曲线移至最右侧,粒度达到最大。随着加量的增加,曲线向左偏移,粒径尺寸不断变小。0.5%~10% DSJ-1作为缩膨处理时, D_{50} 分别为3.403、17.654、16.450、14.032、6.613 μm。加量为0.5%时,粒径尺寸比处理前的略有增大。这是由于在缩膨处理过程中,将缩膨剂加入已经水化的膨润土中,由于胶

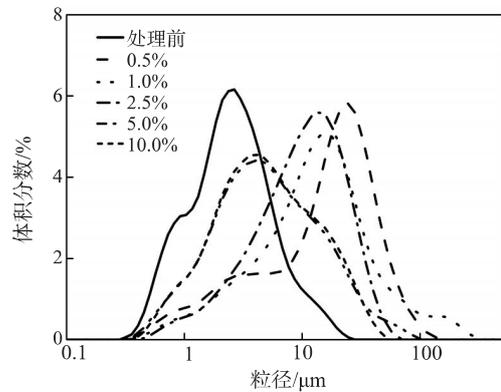


图5 DSJ-1防膨处理后膨润土的粒径分布曲线

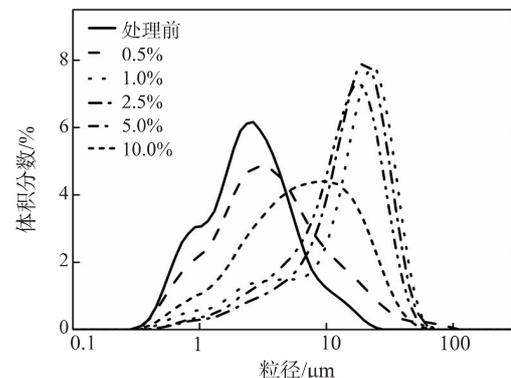


图6 DSJ-1缩膨处理后膨润土的粒径分布曲线

体浓度高, 缩膨剂含量少, 缩膨剂可能会吸附在部分膨润土的表面, 无法完全接触到所有的膨润土, 因此导致大部分膨润土颗粒保持原本小颗粒的形貌, 而部分颗粒增大。DSJ-1 加量为 1.0% 时的粒径最大, 分布曲线移动至最右侧。随着 DSJ-1 加量增加, 分布曲线向左偏移, 粒径尺寸减小。

2.7 膨润土的光学显微镜表征

用显微镜(放大 1000 倍)观察 DSJ-1 防膨和缩膨处理前后的膨润土, 结果见图 7。膨润土在水中均匀分散, 大部分颗粒粒径集中在 1~5 μm , 这与粒径分布的测定结果一致。经过 DSJ-1 防膨和缩膨处理后, 膨润土颗粒会絮凝聚集在一起, 形成大小不一、形貌不规则的絮体, 但在经过防膨或缩膨处理后, 小颗粒粒径尺寸并未有明显的变化。结合图 7 可知, 粒径分布中测定的粒径变化是由于膨润土小颗粒经过 DSJ-1 处理后絮凝形成聚集体。随着 DSJ-1 加量的增加, 聚集体尺寸降低。这可能是由于 DSJ-1 是一种小分子, 对膨润土颗粒的架桥、卷扫作用较弱, 颗粒形成的聚集体连接较为松散, 同时由于 DSJ-1 携带的电荷量不高, 数量较多, 与膨润土相比是过量的, 因此会相互竞争抢夺有限的膨润土颗粒, 导致 DSJ-1 加量越大, 形成的聚集体尺寸越小。

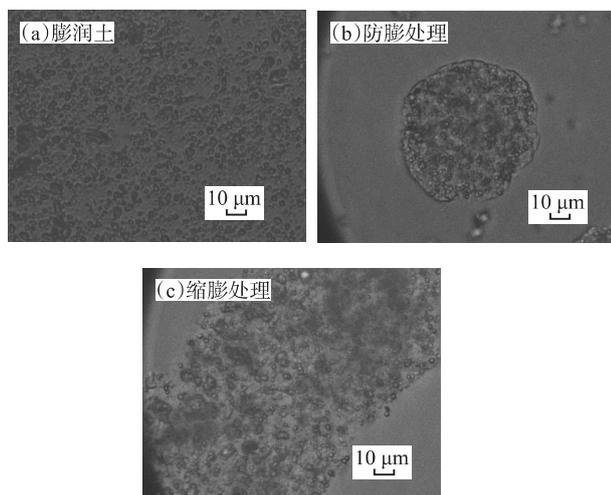


图 7 DSJ-1 防膨和缩膨处理前后膨润土的显微镜图片

2.8 防膨和缩膨机理分析

通过以上研究可见, 在防膨处理过程中, DSJ-1 能均匀分散在水中。DSJ-1 具有阳离子电荷和极性基团, 与水相比更容易吸附在膨润土上。因此当膨润土加入到溶液中时, DSJ-1 会优先吸附在膨润土

表面, 阻止水的侵入, 同时还会少量进入晶层间。随着 DSJ-1 加量的增加, Zeta 电位逐渐增大, 粒径先增大后减小, 然而防膨率却不断增大。这是由于 DSJ-1 加量增大, 膨润土表面吸附的 DSJ-1 增加, 抑制水的侵入效果增强。在高速离心过程中, 膨润土颗粒相互剧烈碰撞, 由于膨润土颗粒表面的 DSJ-1 为极性分子, 容易相互连接, 且膨润土的 Zeta 电位越趋近于零, 越有利于颗粒的聚集。因此, 在颗粒的剧烈碰撞下, DSJ-1 在膨润土表面的吸附量越大, Zeta 电位越趋近于零, 越有利于相互聚集, 挤出颗粒之间的水分子, 从而测得较高的防膨率。

在缩膨处理过程中, 对于已经水化的膨润土, 水分子已经充分吸附在膨润土的表面。虽然与水相比, DSJ-1 更容易吸附在膨润土上, 但对于已经吸附在膨润土上的水分子, DSJ-1 无法将其取代, 因此会优先通过离子交换进入晶层间, 少量吸附在膨润土表面。膨润土表面吸附大量的水分子后形成溶剂化膜, 溶剂化膜之间存在较大斥力。在高速离心条件下, 膨润土颗粒无法紧密连接, 无法将水完全挤出, 因此导致缩膨率低于防膨率。随着 DSJ-1 加量的增加, Zeta 电位逐渐增大, 粒径先增大后减小。DSJ-1 加量为 0.5% 时的 Zeta 电位低, 粒径尺寸小, 缩膨率仅为 5%; DSJ-1 加量为 1.0% 时, 粒径尺寸达到最大, Zeta 电位略有增大, 此时缩膨率达到最大值 (50%); 随后 DSJ-1 加量增加, Zeta 电位增大, 粒径尺寸减小, 缩膨率整体趋势降低, 说明聚集体的粒径尺寸对缩膨率的影响最大。加量为 5.0% 时的缩膨率为 44%; 加量为 10.0% 时, 虽然粒径尺寸减小但缩膨率达到 45%, 说明 Zeta 电位趋近于零也有利于提高缩膨率。加入少量大分子提高聚集体尺寸、寻求能取代吸附在膨润土表面的水分子基团或者破

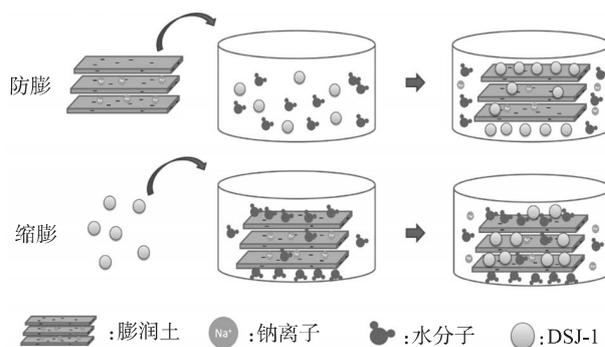


图 8 DSJ-1 防膨和缩膨机理示意图

坏膨润土表面的水分子结构,可能是提高缩膨率的有效途径。

3 结论

随着DSJ-1加量的增加,防膨率不断增大,加量为10.0%时的防膨率达到94%;DSJ-1加量为1.0%时,缩膨率(50%)达到最大。

DSJ-1防膨和缩膨对膨润土层间距的影响一致。层间距由1.171 nm增至1.324 nm,继续增加DSJ-1加量,层间距保持不变。DSJ-1防膨和缩膨对膨润土的元素分布影响一致。随着DSJ-1加量的增加,膨润土中 Na_2O 、 SiO_2 、 K_2O 、 CaO 质量分数降低,而 MgO 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 质量分数上升。DSJ-1防膨和缩膨对膨润土Zeta电位的影响一致。随着DSJ-1加量的增加,Zeta电位逐渐增大,并向零靠近。

DSJ-1加量越大,膨润土的热重损失越大;DSJ-1加量相同时,防膨和缩膨处理后的膨润土热重损失一致。在30~500℃,DSJ-1加量相同时,防膨与缩膨处理后的膨润土热重曲线形成闭合环,缩膨曲线在上方,防膨曲线在下方,且DSJ-1加量越大,形成的闭合环的面积越大。

随着DSJ-1加量的增加,膨润土的 D_{50} 先增加后减小。防膨处理时,DSJ-1加量为0.5%时的 D_{50} 最大;缩膨处理时,DSJ-1加量为1.0%时的 D_{50} 最大。防膨及缩膨处理后的膨润土小颗粒与未处理前相比,尺寸未发生明显变化。

防膨处理过程中,DSJ-1主要吸附在膨润土表面,DSJ-1吸附在膨润土表面越多,Zeta电位越接近零,防膨率越高;缩膨处理过程中,DSJ-1主要吸附在晶层间,颗粒聚集体尺寸对缩膨率的影响最大。

Anti Swelling and Shrinkage Swelling Mechanism of Shrinkage Swelling Agent

ZHAO Kaiqiang^{1,2}, YU Dan³, WU Qiong⁴, YANG Chao^{1,2}

(1. Sinopec (Dalian) Petrochemical Research Institute Company Ltd, Dalian, Liaoning 116045, P R of China; 2. Liaoning Oilfield Chemical Engineering Technology Research Center, Dalian, Liaoning 116045, P R of China; 3. College of Petrochemical Engineering, Liaoning Petrochemical University, Fushun, Liaoning 113005, P R of China; 4. Research Institute of Petroleum Engineering Technology, Shengli Oilfield Branch Company, Sinopec, Dongying, Shandong 257000, P R of China)

Abstract: For reservoirs with high mud content and low permeability, shrinkage swelling agent can reduce pressure and increase injection, but there are no research reports on the relevant mechanisms. In order to solve this problem, the influence of the dosage of shrinkage swelling agent (DSJ-1) containing quaternary ammonium and primary amine groups on the anti swelling rate and shrinkage swelling rate of bentonite was investigated. Then the bentonite before and after treatment was characterized by X-ray

(下转第459页。to be continued on p.459)

参考文献:

- [1] 张星, 毕义泉, 汪庐山, 等. 黏土矿物膨胀机理及防膨研究现状[J]. 精细石油化工进展, 2014, 15(5): 39-43.
- [2] 刘凯, 高振东, 王成俊, 等. 低渗透油藏渗吸采油技术研究进展[J]. 油田化学, 2021, 38(4): 747-753.
- [3] 申会兵, 李媛媛, 吴萍萍, 等. 小分子耐高温黏土稳定剂的制备与性能评价[J]. 油田化学, 2021, 38(4): 590-594.
- [4] 赵凯强, 杨超, 王晨. 缩膨剂的研究进展[J]. 辽宁化工, 2020, 49(5): 546-548.
- [5] 孙华慧. 注水降压增注中粘土防膨缩膨剂的应用[J]. 内蒙古石油化工, 2019, 45(1): 25-27.
- [6] 张建忠, 吴豪, 安青松, 等. BSA-102防膨缩膨剂作用机理及性能研究[J]. 精细石油化工进展, 2016, 17(2): 43-45.
- [7] 尹祥翔, 蒋明, 黄山, 等. 砂砾岩稠油藏蒸汽吞吐防膨剂技术研究[J]. 新疆石油天然气, 2013, 34(3): 66-71.
- [8] 郭得龙, 马浩楠, 张梦千, 等. 昆北油田切12区低产液井洗井方法研究[J]. 石化技术, 2016, 3(2): 134.
- [9] 崔新栋. 缩膨技术在现河采油厂的应用[J]. 海洋石油, 2007, 134(3): 102-106.
- [10] 曲占庆, 黄德胜, 宋更军, 等. 商三区块注水井堵塞机理研究[J]. 石油化工高等学校学报, 2013, 104(6): 41-46.
- [11] ZHUANG G Z, ZHANG H X, WU H, et al. Influence of the surfactants' nature on the structure and rheology of organo-montmorillonite in oil-based drilling fluids [J]. Appl Clay Sci, 2017, 135: 244-252.
- [12] HE H, FROST R L, DENG F, et al. Conformation of surfactant molecules in the interlayer of montmorillonite studied by ^{13}C MAS NMR [J]. Clays Clay Miner, 2004, 52(3): 350-356.
- [13] HE H P, MA Y H, ZHU J X, et al. Organoclays prepared from montmorillonites with different cation exchange capacity and surfactant configuration [J]. Appl Clay Sci, 2010, 48(2): 67-72.
- [14] 季桂娟, 张培萍, 姜桂兰. 膨润土加工与应用: 第2版[M]. 北京: 化学工业出版社, 2013: 17.

Effect of Monomer Type and Content on the Oil Flooding Performance of Temperature-resistant and Salt-tolerant Polymers

LI Zongyang

(*Exploration and Development Research Institute, Shengli Oilfield Company, Sinopec, Dongying, Shandong 257015, P R of China*)

Abstract: In view of the poor stability of polymers in high temperature, high salinity environment, the influence of AMPS, NVP and DMAM on the polymer viscosity, long-term stability, seepage characteristics and oil flooding effects were systematically studied under the class III reservoir conditions of Shengli oilfield. The results showed that the AM-AMPS/20% (20% was the AMPS dosage) solution performed the highest viscosity at concentration of 1500—3000 mg/L and at the temperature of 25—95°C compared to polymer prepared with other AMPS content, and AM-NVP and AM-DMAM solutions. However, when the calcium and magnesium ion concentration increased from 874.0 mg/L to 5296.0 mg/L, AM-DMAM/10% solution became the best in viscosification. In terms of the effect of the monomer content, the higher the content of the AMPS monomer, the greater the viscosity of the polymer solution; and the opposite effect occurred when it came to the NVP and DMAM monomer cases due to the correspondingly decreased molecular weight of their polymers. The oil recovery tests showed that the AM-AMPS could enhanced oil recovery by 21.9%—24.9% based on the water flooding, while AM-NVP and AM-DMAM polymers could enhance oil recovery by 20.9%—19.8% and 21.1%—20.2%, respectively. AM-AMPS polymer had the strongest oil flooding capacity, among which AM-AMPS/20% performed the highest incremental oil recovery of 24.9%, which was promising to be used in class III reservoir of Shengli oilfield.

Keywords: *high temperature and high salinity reservoir; polymer flooding; functional monomer; temperature-resistant and salt-tolerant polymer; oil recovery*

(上接第452页。continued from p. 452)

diffraction (XRD), X-ray fluorescence spectrum (XRF), Zeta potential, thermogravimetry, particle size distribution and optical microscope. The anti swelling and shrinkage swelling mechanism of DSJ-1 was analyzed. The results showed that during the anti swelling treatment process, DSJ-1 was mainly adsorbed on the surface of bentonite. The adsorption amount and Zeta potential had the greatest impact on the anti swelling rate. During the shrinkage swelling treatment, DSJ-1 was mainly adsorbed between crystal layers. The particle aggregate size and Zeta potential affected the shrinkage swelling rate.

Keywords: *bentonite; shrinkage swelling agent; anti swelling rate; shrinkage swelling rate; mechanism*