

NaCl 对疏水缔合聚合物/十二烷基苯磺酸钠复合体系流变性能的影响

冯茹森^{1*}, 姜 雪^{1*}, 郭拥军², 寇 将¹, 蒲 迪¹, 周 洋¹, 陈俊华¹

(1. 西南石油大学 化学化工学院, 成都 610500; 2. 油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 成都 610500)

摘要: 本实验研究了不同浓度 NaCl 对疏水缔合聚合物/SDBS 复合体系的流变性能的影响, 研究表明: 不同浓度的 NaCl 对聚/表体系的作用模型各异, 其在低 NaCl 浓度时, 当 SDBS 浓度为 0~100mg/L 时, 体系出现增黏, 最大增黏率为 566.5%, 增黏幅度随着 NaCl 浓度增加而下降; 而在高 NaCl 浓度时, 体系同样出现增黏, 增黏区间随着 NaCl 浓度的增加而增大。通过流变测试、荧光光谱实验, 进一步验证了不同 NaCl 浓度对聚/表相互作用的影响, 发现 NaCl 的加入增强了聚/表相互作用, 促进了聚/表混合聚集体的形成; 同时发现 NaCl 的浓度影响着 SDBS 的溶解度。

关键词: 疏水缔合聚合物; 十二烷基苯磺酸钠; 流变性; 荧光; 疏水微区

疏水缔合聚合物是一种亲水性高分子链上带有少量疏水基团的水溶性聚合物^[1,2], 它在不同的浓度范围, 缔合形式不同, 溶液浓度高于临界缔合浓度时, 发生分子间缔合作用而形成物理交联网络^[3]。由于这种特殊性能, 疏水缔合聚合物主要用于药物制剂、油漆、钻井泥浆、提高石油采收率^[4,5]等方面。单一的缔合聚合物在某些应用方面有不足之处, 但通过与表面活性剂的复配能弥补部分不足或加强其某些优良性能, 因此研究聚/表复配体系成为了胶体表面化学的热点。由于聚/表二元复合体系用于三次采油非常广泛, 而地层水含有一定量的离子, 这些离子对聚/表体系的粘度行为、界面行为等性能影响较大^[6], 从而直接影响三次采油效率, 故研究电解质对聚/表体系的影响具有重要的实际意义。近年来, 人们在研究离子对聚/表二元复合体系影响时发现, 离子的加入对不同类型的聚/表体系有着不同的影响; Gouveia 等^[7]研究了离子强度对 HMPAM/CTAT 二元体系流变性能的影响, 发现离子强度增强导致蠕虫状的阳离子表面活性剂胶束增多, 胶束与 HMPAM 的疏水基团“交联”形成一种相互缠结的网状溶液结构; 徐桂英等^[8]研究了聚合物 PVP 和两性表面活性剂十四烷基甜菜碱(C₁₄BE)之间的相互作用发现, 复合体系含有 NaCl 时, 聚表缔合作用随 NaCl 浓度增大而增强, 分析认为 NaCl 的加入破坏了 C₁₄BE 分子的水化膜, 导致 C₁₄BE 分子疏水性增强, 从而使聚合物与表面活性剂的相互作用增强。邓全花等^[9]研究高盐条件下烷醇酰胺与疏水缔合聚丙烯酰胺的复配时发现, 在盐浓度高达 2% 及温度在 20~70℃ 下, 体系增粘效果均十分显著, 作者认为, 烷醇酰胺增强了 HAPAM 分子间的疏水缔合作用, 促进了聚合物分子间交联, 从而提高了 HAPAM 的增粘作用和抗盐能力。

本文主要研究不同浓度的 NaCl 对疏水缔合聚合物/SDBS 复合体系的静态流变特征(剪切粘度)和动态流变特征(储/耗能模量)的影响, 分析了不同浓度 NaCl 及 SDBS 加量变化对聚/表体系粘度、粘弹性的影响。通过对比不同 NaCl 浓度区间的体系粘度变化规律, 并结合荧光光谱实验, 更好地解释缔合聚合物与表面活性剂在 NaCl 存在时的相互作用规律。

1 实验部分

1.1 试剂与仪器

疏水缔合聚合物(室内合成样品), 十二烷基苯磺酸钠(SDBS), 氯化钠, (成都科龙化学试剂公司), 均

10.14028/j.cnki.1003-3726.2015.08.010

收稿: 2015-01-05; 修回: 2015-04-23;

基金项目: 国家科技重大专项(课题编号: 2011ZX05010-004);

作者简介: 冯茹森(1972—), 男, 副教授, 西南石油大学油气田开发专业工学博士(2008), 目前主要从事提高采收率理论与技术研究工作;

* 通讯联系人, E-mail: gs_frs@163.com.

为分析纯, 茈 (Acros Organics 公司)。

Brookfield LV DV-III 黏度计 (美国 Brookfield 公司); MCR301 高级流变仪 (奥地利 Anton paar 公司); Fluoromax-4 荧光分光光度计 (美国 HORIBA)。

1.2 溶液配制

用去离子水配制疏水缔合聚合物母液 5000mg/L, 在 45℃ 条件下溶解, 溶解后静置 24h 以保证溶液中没有气泡, 静止待用; 配制阴离子表面活性剂 SDBS 母液 5000mg/L; 配制 NaCl 母液; 再配制聚合物浓度为 1800mg/L、不同 SDBS 浓度一系列二元体系待测盐溶液。

1.3 溶液性能的测试

(1) 表观粘度测定实验的测试条件: 用 DV-III 黏度计测定溶液的表观黏度, 剪切速率为 7.34s^{-1} , 测试温度均为 45℃。

(2) 流变实验的测试条件: Physica MCR301 高级流变仪, CP75-1 锥板系统 (角度, 2° ; 直径, 75mm), 带有 Rheoplus 测试软件系统; 稳态应力扫描范围 0.001~10Pa; 测试温度为 45℃。粘弹性测试, 固定振荡应变为 3%, 在 0.001~100rad/s 范围内进行动态频率扫描, 得到储能模量 (G') 和耗能模量 (G'')。

(3) 荧光光谱实验: 取一定量茈的乙醇溶液于烧杯中, 待溶剂挥发后, 加入待测溶液, 搅拌均匀后静置 24h, 得到含有相同茈浓度 ($2 \times 10^{-6}\text{mol/L}$) 的待测溶液; 荧光激发波波长为 335nm, 激发狭缝宽度为 1nm, 发射狭缝宽度为 1nm, 发射波长范围 350~550nm。

2 结果分析

2.1 NaCl 浓度对缔合聚合物表观粘度的影响

如图 1 所示, NaCl 浓度为 0~10000mg/L, 缔合聚合物的表观粘度随着 NaCl 浓度的增加而快速下降, 当 NaCl 浓度大于 10000mg/L 时, 聚合物的粘度下降平缓。分析认为 NaCl 浓度的增加使得疏水缔合聚合物链上的双电层和水化层变薄, 减弱了大分子链上带同种电荷基团的排斥作用, 使得分子链发生卷曲; 同时 NaCl 浓度的增加, 溶剂极性增强, 进一步促进了分子内缔合, 分子链更为卷曲, 所以总的效果使疏水缔合聚合物的流体力学体积减小, 缔合聚合物的表观粘度下降。

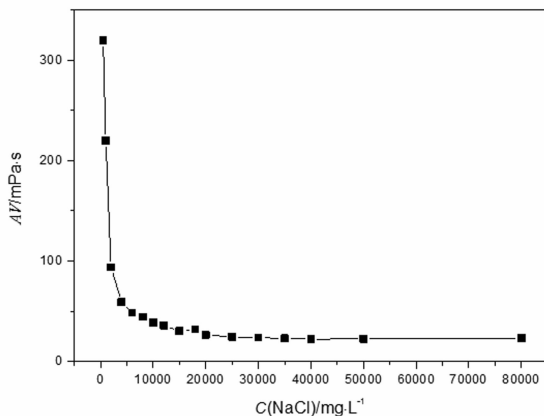


图 1 NaCl 浓度对缔合聚合物表观粘度的影响

Figure 1 Apparent viscosity as a function of NaCl concentration of associating polymer solutions

2.2 SDBS 浓度对缔合聚合物表观粘度的影响

如图 2 所示, 当 SDBS 浓度为 0~1000mg/L 时, 随着 SDBS 浓度的增加, 缔合聚合物的粘度呈快速下降趋势; 当 SDBS 浓度为 1000~2000mg/L, 其粘度有一定的增加, 但增黏趋势不大; 当 SDBS 浓度大于 2000mg/L 时, 缔合聚合物的粘度又开始下降。分析认为, 由于此缔合聚合物所选取的浓度为临界缔合

浓度以上的浓度点,在前期未加入 SDBS 时,聚合物具有较高的粘度,由于溶液中主要以缔合聚合物分子间缔合为主,形成空间网络结构;而后开始加入 SDBS 先起到了盐效应(与 NaCl 作用相似)作用,使缔合聚合物的粘度下降;在后期随着 SDBS 浓度增加,SDBS 与缔合聚合物形成混合胶束聚集集体,空间网络结构加强,使得粘度有一定的上升;但 SDBS 浓度继续的增加,缔合聚合物的分子内缔合进一步加强,使形成的分子间的空间网络结构逐渐瓦解,导致缔合聚合物粘度下降。

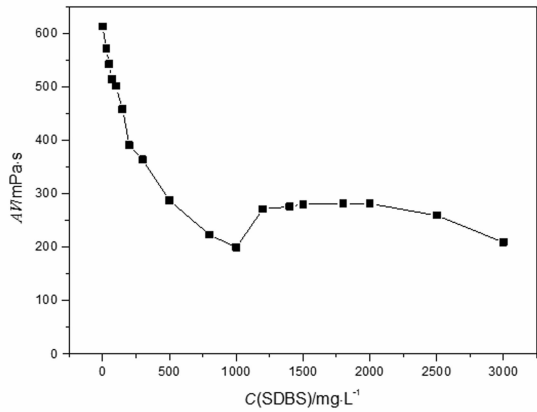


图 2 SDBS 浓度对缔合聚合物表观粘度的影响

Figure 2 Apparent viscosity as a function of SDBS concentration of associating polymer solutions

2.3 NaCl 浓度对缔合聚合物/表面活性剂二元体系粘度的影响

配制含不同 NaCl 浓度的聚/表二元复合溶液,测其表观粘度随表面活性剂浓度变化曲线,如图 3 所示。从图中可以看出,NaCl 的加入使聚/表体系的相互作用增加,其粘度行为与未加盐相差甚远;发现其增黏区间、增黏速率与增黏幅度随 NaCl 浓度不同而各异,呈现不同的作用模型,以 NaCl 浓度对聚/表粘度行为的影响规律分为以下三类:第Ⅰ类:NaCl 浓度为 3000~8000mg/L;第Ⅱ类:NaCl 浓度为 10000~20000mg/L;第Ⅲ类:NaCl 浓度为 30000~80000mg/L。每一类的 NaCl 对聚/表体系粘度行为的影响规律相似。其各自的局部放大图,如图 3 所示。

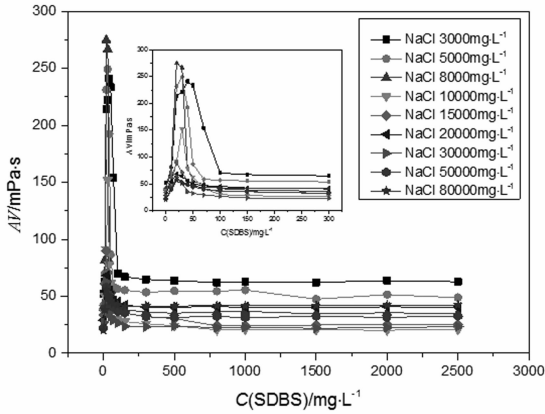


图 3 NaCl 浓度对缔合聚合物/表面活性剂二元体系粘度的影响

Figure 3 Apparent viscosity of associating polymer/surfactant solutions as a function of SDBS concentration at different concentrations of NaCl.

2.3.1 第Ⅰ类 NaCl 浓度对缔合聚合物/表面活性剂二元体系粘度的影响 如图 4 所示,在第Ⅰ类作用模型中,其变化趋势为:随着 NaCl 浓度的增加,体系粘度最大值往 SDBS 浓度小的方向移动,可能是因为

NaCl 影响了 SDBS 的 CMC 值;其最大增黏率由 NaCl 浓度为 3000mg/L 时的 360.6% 增加到 NaCl 浓度为 8000mg/L 时的 566.5%;体系的增黏区间变窄,粘度增加速率增大;当表面活性剂浓度大于 100mg/L 以后,粘度变化趋势不明显;在此 NaCl 浓度区间,NaCl 浓度的增加增强了聚/表的相互作用。

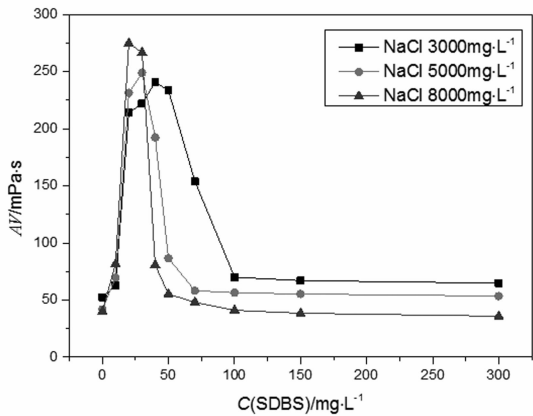


图 4 第Ⅰ类 NaCl 浓度对缔合聚合物/表面活性剂二元体系粘度的影响

Figure 4 Apparent viscosity of associating polymer/surfactant solutions as a function of SDBS concentration at different concentrations of NaCl. NaCl concentration is 3000、5000、8000mg/L

2.3.2 第Ⅱ类 NaCl 浓度对缔合聚合物/表面活性剂二元体系粘度的影响 如图 5 所示,在第Ⅱ类作用模型中,其变化趋势为:随着 NaCl 浓度的增加,增黏幅度逐渐下降,由 NaCl 浓度为 10000mg/L 时的 310.0%减小到 NaCl 浓度为 20000mg/L 时的 133.7%;与第Ⅰ类作用模型相比,体系粘度最大值往 SDBS 更小浓度的方向移动,体系的增黏区间逐渐变宽;最后粘度的平稳值随 NaCl 浓度增大而增大,且粘度开始趋于平稳值时,所需 SDBS 浓度更小;在此 NaCl 区间,SDBS 浓度 0~100mg/L 时,NaCl 浓度的增加逐渐削弱了聚/表的相互作用,而在高 SDBS 浓度区间时,聚/表相互作用随 NaCl 浓度的增加而增强。

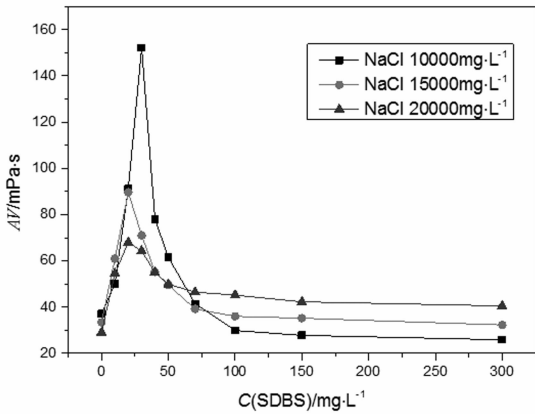


图 5 第Ⅱ类 NaCl 浓度对缔合聚合物/表面活性剂二元体系粘度的影响

Figure 5 Apparent viscosity of associating polymer/surfactant solutions as a function of SDBS concentration at different concentrations of NaCl. NaCl concentration is 10000、15000、20000mg/L

2.3.3 第Ⅲ类 NaCl 浓度对缔合聚合物/表面活性剂二元体系粘度的影响 如图 6 所示,在第Ⅲ类作用模型中,其变化趋势为:随着 NaCl 浓度的增加,开始的增黏趋势相似;最大增黏幅度略有下降;SDBS 浓度为 20mg/L 时,体系粘度达到最大值;同时增黏区间逐渐变宽;当表面活性剂浓度大于 150mg/L 时,粘度变化不明显。

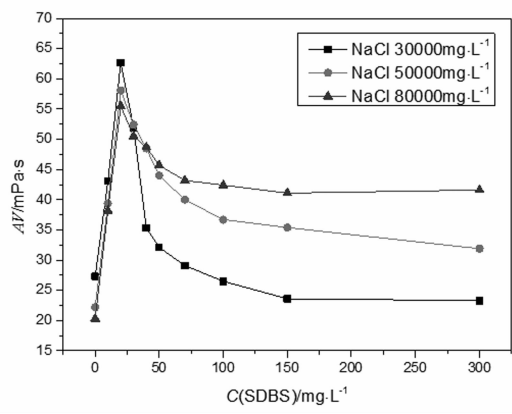


图 6 第Ⅲ类 NaCl 浓度对缔合聚合物/表面活性剂二元体系粘度的影响

Figure 6 Apparent viscosity of associating polymer/surfactant solutions as a function of SDBS concentration at different concentrations of NaCl. NaCl concentration is 30000、50000、80000mg/L

2.4 NaCl 浓度对缔合聚合物/表面活性剂二元体系流变性的影响

在上述三种不同类型的作用模型中,各选取一组 NaCl 浓度的聚/表二元体系进行后续的流程与荧光试验,选择各模型中的 NaCl 浓度为 5000mg/L、15000mg/L、50000mg/L;在以上三个 NaCl 浓度的聚/表体系选取其增黏区间中上升段、最高点、下降段与之后的粘度平稳段选点做流变实验以及荧光实验。

2.4.1 零剪切粘度的测定 零剪切粘度 η_0 与疏水缔合聚合物分子结构及与表面活性剂分子间相互作用密切相关,两者的微小变化都会使 η_0 发生明显改变^[10],通过 η_0 研究疏水缔合聚合物的缔合效应具有较强的参考指导意义。如图 7 所示,在不同 NaCl 浓度下,SDBS 对聚/表二元复合体系的零剪切粘度变化曲线中发现,体系的零剪切粘度随着 SDBS 的变化趋势与表观粘度相似;当 NaCl 浓度为 5000mg/L、15000mg/L 时,体系的主要增黏区间为 SDBS 浓度的 0~100mg/L 内;而 NaCl 浓度为 50000mg/L 时,SDBS 浓度在高浓度时,其 η_0 也大于起始值,说明其在高 SDBS 浓度时,体系也有一定的增黏作用。

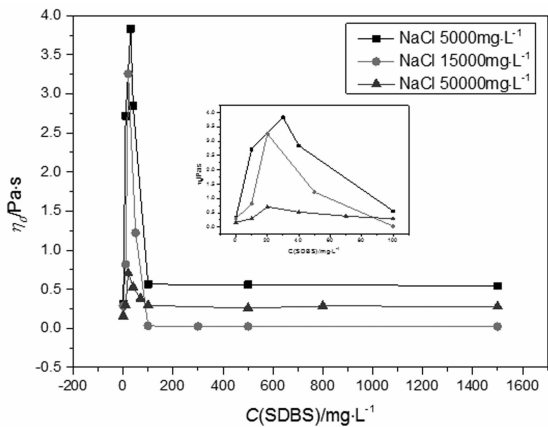


图 7 NaCl 浓度对缔合聚合物/表面活性剂二元体系零剪切粘度的影响

Figure 7 Zero-shear viscosity of associating polymer/surfactant solutions as a function of SDBS concentration at different concentrations of NaCl. NaCl concentration is 5000、15000、50000mg/L

2.4.2 粘弹性测试 图 8 为 NaCl 浓度对缔合聚合物粘弹性的影响,从图中可以看出,缔合聚合物的储/耗能模量随 NaCl 浓度的增加而减小,且在各 NaCl 浓度体系中,体系的耗能模量大于储能模量,故体系的粘性是大于其弹性的,说明 NaCl 的加入使溶液空间网络结构在不断的瓦解,是导致溶液粘度下降的主要原因。

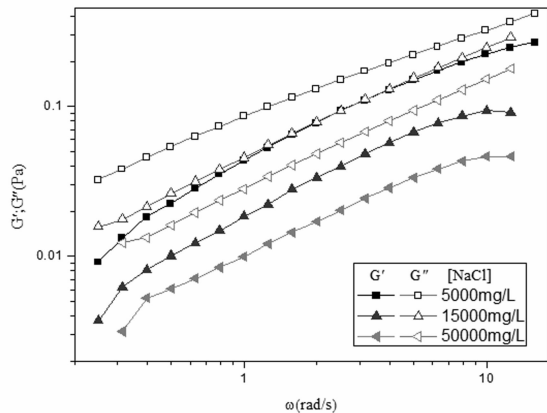


图 8 不同 NaCl 浓度对缔合聚合物粘弹性的影响

Figure 8 G' and G'' as a function of frequency for NaCl concentrations of associating polymer solutions

图 9 为第 I 类 NaCl 浓度对缔合聚合物/表面活性剂二元体系粘弹性的影响,从图中可以看出,在 SDBS 浓度为 0~40mg/L 时,体系的储/耗能模量随 SDBS 浓度的增加而增加,在 SDBS 浓度为 40mg/L 时达到最大;超过此 SDBS 浓度的体系,溶液的储/耗能模量便开始下降,说明在此 SDBS 浓度范围内,体系的弹性在不断的增强,溶液体系开始形成空间网络结构;当 SDBS 浓度大于 500mg/L 时,体系的储/耗能模量小于未加入表面活性剂时的体系,说明超过此 SDBS 浓度,体系中分子间的空间网络结构开始瓦解,而分子内的缔合在增加,这与粘度行为相符合。

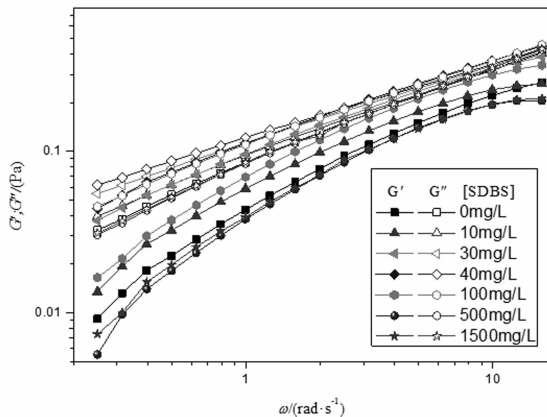


图 9 第 I 类 NaCl 浓度对缔合聚合物/表面活性剂二元体系粘弹性的影响

Figure 9 G' and G'' as a function of frequency for SDBS concentrations of associating polymer/surfactant solutions, NaCl concentration is 5000mg/L

图 10 为第 II 类 NaCl 浓度对缔合聚合物/表面活性剂二元体系粘弹性的影响,从图中可以看出,在 SDBS 浓度为 0~40mg/L 时,体系的储/耗能模量随 SDBS 浓度的增加而增加,在 SDBS 浓度为 20mg/L 时达到最大,超过此 SDBS 浓度储/耗能模量下降;当 SDBS 浓度大于 50mg/L 时,体系的储/耗能模量小于未加入表面活性剂时的体系,与第 I 类相比,第 II 类体系中,表面活性剂的加量对该体系的粘弹性影响更为敏感,说明微量的 SDBS 就会使体系的流变性发生改变。

图 11 为第 III 类 NaCl 浓度对缔合聚合物/表面活性剂二元体系粘弹性的影响,从图中可以看出在低频区此体系耗能模量大于储能模量,体系主要以粘性为主;但在高频区时, SDBS 浓度区间在 10~800mg/L 时,体系的储能模量大于耗能模量,且大于未加入 SDBS 时的体系,各 SDBS 浓度下的体系的

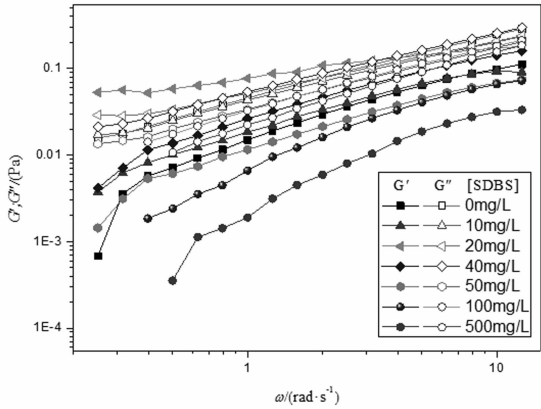


图 10 第Ⅱ类 NaCl 浓度对缔合聚合物/表面活性剂二元体系粘弹性的影响
Figure 10 G' and G'' as a function of frequency for SDBS concentrations of associating polymer/surfactant solutions, NaCl concentration is 15000mg/L

储/耗能模量相差不大。说明在如此高的 NaCl 浓度下,虽然 SDBS 浓度在增加,但对聚/表二元体系流变性影响不大,推测在此 NaCl 浓度下与缔合聚合物相互作用的 SDBS 的量为定值。

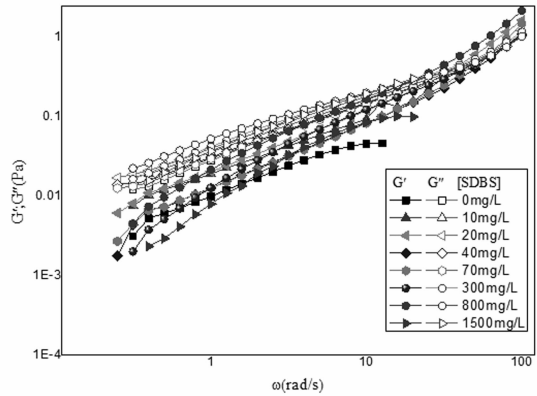


图 11 第Ⅲ类 NaCl 浓度对缔合聚合物/表面活性剂二元体系粘弹性的影响
Figure 11 G' and G'' as a function of frequency for SDBS concentrations of associating polymer/surfactant solutions, NaCl concentration is 50000mg/L

2.5 NaCl 浓度对缔合聚合物/表面活性剂二元体系 I_3/I_1 值、 I_e/I_m 值的影响

芘是疏水的,能增溶到疏水微区中,在不同的疏水缔合聚合物或聚/表体系中,由于其疏水单体含量以及分子链结构等的不同,形成的疏水微区非极性强弱不同,芘在溶液中所受到的作用力也不相同,因此芘在溶液中增溶的量也不相同,进而对其荧光测试结果也有重要的影响^[11~15]。而另一方面,在无猝灭过程的荧光实验中,可以提供分子缔合和聚集体形成的信息; I_3 (384nm)与 I_1 (373nm)的比值和 I_e (475nm)与 I_m (单体发射最大峰)的比值分别与芘探针的微环境极性和疏水微区数目相关^[16]。

在以上 NaCl 浓度的聚/表体系进行荧光光谱实验,得到 I_3/I_1 值、 I_e/I_m 值随 SDBS 浓度变化曲线,分别如图 12、13 所示。从图 12 中可知,在不同 NaCl 浓度的聚/表体系中 I_3/I_1 值开始趋于平稳值时的 SDBS 浓度随 NaCl 浓度增大而减小,说明 NaCl 浓度越大,越容易促进聚/表相互作用;当 NaCl 浓度为 5000mg/L、15000mg/L 时体系的 I_3/I_1 值随着盐浓度的增加而增加,说明在此浓度范围内,盐的加入促进了溶液的疏水微区的形成,盐浓度越高,疏水微区的增加速率越快,而 NaCl 浓度为 5000mg/L 时主要增加的疏水微区是由表面活性剂与缔合聚合物混合而形成的,NaCl 浓度为 15000mg/L 时主要是各组分

单独形成的;当 NaCl 为 50000mg/L、SDBS 浓度为 70mg/L 时,体系的 I_3/I_1 值达到最大,其值小于前两个盐浓度的 I_3/I_1 值,说明在如此高 NaCl 浓度下,溶液体系中的疏水微区非极性在减弱,形成的空间网络结构在解体;同时此 NaCl 浓度影响了 SDBS 的溶解度,NaCl 浓度超过一定值,随着盐浓度的增加,SDBS 的溶解度会逐渐减小,因此溶液中与缔合聚合物相互作用的表面活性剂的量也在减小,即在高表面活性剂浓度时,与聚合物相互作用的表面活性剂的量为定值,所以体系的粘度、 I_3/I_1 值、 I_e/I_m 值都是一定的。从图 13 可知,NaCl 的浓度越高,越能促进疏水微区的形成,进而形成更多的聚集体;同时发现随着 NaCl 浓度增加,其 I_e/I_m 值的下降速率越快, I_e/I_m 值达到稳定值时所需的 SDBS 浓度越小,其形成疏水微区的速率越快,达到 I_e/I_m 值最大值所需的 SDBS 浓度越小,说明在高 NaCl 浓度时,疏水缔合聚合物已经形成了一定量的疏水微区,当加入一定量的表面活性剂,其与表面活性剂又进一步的形成新的疏水微区。

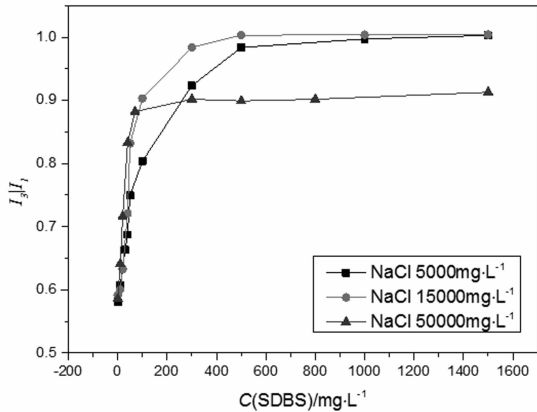


图 12 NaCl 浓度对缔合聚合物/表面活性剂二元体系 I_3/I_1 的影响
Figure 12 I_3/I_1 of associating polymer/surfactant solutions as a function of SDBS concentration at different concentrations of NaCl. NaCl concentration is 5000、15000、50000mg/L

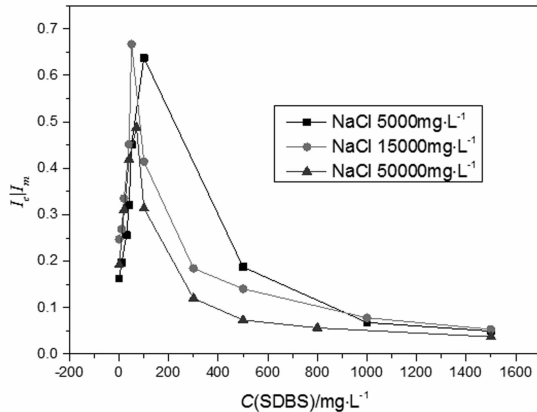


图 13 NaCl 浓度对缔合聚合物/表面活性剂二元体系 I_e/I_m 的影响
Figure 13 I_e/I_m of associating polymer/surfactant solutions as a function of SDBS concentration at different concentrations of NaCl. NaCl concentration is 5000、15000、50000mg/L

3 结论

NaCl 对聚/表体系及其单组分的粘度的影响,缔合聚合物粘度随 NaCl 浓度的增加而减小,在高盐浓

度下,聚合物的粘度下降缓慢,说明在 NaCl 浓度大于 30000mg/L 时,NaCl 对此浓度下的缔合聚合物的影响达到基本饱和;不同浓度 NaCl 对聚/表二元体系的影响,随 NaCl 浓度的不同存在不同的作用模型,故根据 NaCl 对聚/表二元体系粘度行为的影响,分为了三种不同的作用模型。

根据粘度行为分为三种不同的作用模型,结合流变实验与荧光光谱实验,对各作用模型进行分析:第Ⅰ类浓度 NaCl 对聚/表二元体系的影响,在此浓度范围内 NaCl 加强了聚/表相互作用,随着 NaCl 浓度的增加聚/表的相互作用增强,体系的粘弹性也增加,NaCl 促进了溶液体系的疏水微区的形成,盐浓度越高,越容易形成;第Ⅱ类浓度 NaCl 对聚/表二元体系的影响,NaCl 浓度对聚/表体系的也是促进作用,但由于 NaCl 的加入使体系溶液的极性进一步的增强,缔合聚合物与表面活性剂相互作用减弱,而各自身的相互作用增加,使开始形成的聚/表空间网络瓦解,而逐渐促进缔合聚合物分子内的缔合与表面活性剂形成胶束。第Ⅲ类浓度 NaCl 对聚/表二元体系的影响,由于 NaCl 浓度对缔合聚合物的影响达到了饱和,使其粘度未明显下降,同时由于 NaCl 浓度影响 SDBS 的溶解度,在高 NaCl 浓度下,SDBS 的溶解度随 NaCl 浓度的增加而下降,当在此聚/表二元体系中高表面活性剂浓度下,溶液中的 SDBS 与缔合聚合物相互作用的量是一定的,所以在高 SDBS 浓度时,其粘度相差不大。

参考文献:

- [1] Glass J E ed. Advance in Chemistry No. 233. Washington DC: Am CHEM Sci,1989.
- [2] Ma X, Wang X, Wang J, Guo D, Wang Y, Ye J, Wang Z, Yan H. Langmuir, 2004, 20(14): 5679~5682.
- [3] Kawata T, Hashidzume A, Sato T. Macromolecules, 2007, 40(4): 1174~1180.
- [4] 谭芳,赵光勇,贾朝霞,郑焰. 西南石油学院学报, 2004, 26(2): 60~64.
- [5] 赵丹. 表面活性剂/疏水缔合聚合物二元体系流变性研究. 成都: 西南石油大学硕士学位论文, 2010.
- [6] Kujawa P, Audibert - Hayet A, Selb J, Candau F. Macromolecules, 2006, 39(1): 384~392.
- [7] Gouveia LM, Paillet S, Khoukh A. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2008, 322(1): 211~218.
- [8] 徐桂英,隋卫平,李干佐. 化学学报, 1997, 55(12): 1179~1184.
- [9] Wang X, Wang J, Wang Y, Yan H. Langmuir, 2004, 20(1): 9014~9018.
- [10] Wu X, Qiao Y, Wang J. Journal of Chemical & Engineering Data, 2009, 55(2): 919~924.
- [11] Jiménez-Regalado E, Selb J, Candau F. Langmuir, 2000, 16(23): 8611~8621.
- [12] Xin X, Xu G, Wu D, Li Y, Cao X. Colloids and Surfaces, 2007, 305(1): 138~144.
- [13] 曹宝格,罗平亚,李华斌,张勇. 石油学报, 2006, 27(1): 85~88.
- [14] Bu H, Kjøniksen A L, Knudsen K D. Langmuir, 2005, 21(24): 10923~10930.
- [15] Swanson-Vethamuthu M, Dubin P L, Almgren M. J Colloid Interface Sci, 1997, 186(2): 414~419.
- [16] 杨雪杉,郭拥军,柳建新,梁严,钟金杭,冯茹森. 应用化工, 2013, 42(2): 195~199.
- [17] 任鲲,姜桂元,林梅钦,徐春明,罗维迁. 功能高分子学报, 2005, 18(2): 321~324.
- [18] Wang Y, Lu D, Long C, Han B, Yan H. Langmuir, 1998, 14(8): 2050~2054.

The Effect of NaCl Addition on the Rheological Behavior of Hydrophobically Modified Polyacrylamide/Sodium Dodecyl Benzene Sulfonate(SDBS) Solutions

FENG Ru-sen^{1*}, JIANG Xue^{1*}, GUO Yong-jun², KOU Jiang¹, PU Di¹, ZHOU Yang¹, CHEN Jun-hua¹

(1. College of Chemistry and Chemical Engineering, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China;

2. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China)

Abstract: In this paper, the effect of different concentrations of NaCl on rheological properties of the hydrophobic associating polymer/SDBS systems was studied. The results show that different NaCl concentration has vary on the role model of the polymer/surfactant systems, when at low NaCl concentration, the thickening amplitude is SDBS concentration of 0~100mg/L, the maximum growth multiple of viscosity is 5.665, and as the addition of NaCl, thickening amplitude increases; when the middle NaCl concentration, which viscosity-increasing section increases with increasing NaCl concentration, However, the magnitude of increase in viscosity rapidly decline with increasing NaCl concentration, the biggest growth multiple is 3.100; And high NaCl concentrations, the system is also found thickening, thickening zone widens by the addition of NaCl, viscosity stable value also increases. Rheological and fluorescence experiments further provide the influence of the interaction at different NaCl concentrations on the polymer/surfactant systems, addition of NaCl was found to enhances the polymer/surfactant systems interaction and promotes form mixing aggregates of the polymer/surfactant; also found high concentrations of NaCl affect the SDBS solubility, thereby affecting the the polymer/surfactant systems interactions.

Key words: Hydrophobic associative polymer; Dodecyl benzene sulfonate; Rheology; Fluorescence; Hydrophobic microdomains