

正负离子和表面活性剂对水解聚丙烯酰胺分子 线团尺寸的影响及其作用机理*

王晓燕 卢祥国** 姜维东

(大庆石油学院石油工程学院 提高油气采收率教育部重点实验室 大庆 163318)

摘 要 采用动态光散射(DLS)方法,研究了无机电解质正离子与负离子对部分水解聚丙烯酰胺(HPAM)分子线团尺寸的影响,也研究了阴离子型表面活性剂与非离子型表面活性剂对 HPAM 分子线团尺寸的影响.结果表明,无机电解质负离子对 HPAM 分子尺寸(分子流体学直径(D_h))影响较小,而无机电解质正离子对 D_h 的影响较大,且影响程度随正离子浓度增大而减小. Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 和 Na^+ 对 D_h 的作用强弱顺序为 $\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$. 当向聚合物溶液中加入阴离子型表面活性剂时,随表面活性剂浓度增大, D_h 先减小,后增大,再减小.此外,由于强烈的静电斥力作用,阴离子型表面活性剂分子在聚合物分子表面吸附较弱,难形成“表面活性剂-聚合物”络合物,而非离子型表面活性剂会以类似于胶束聚集体的形式吸附在聚合物分子链上,形成“表面活性剂-聚合物”络合物,结果造成 D_h 随表面活性剂浓度增加而逐渐增大.

关键词 聚合物溶液, 分子线团尺寸, 影响因素, 仪器检测, 机理分析

目前,国内主要油田已进入特高含水开发期,“控水稳油”任务十分艰巨,且新油田勘探难度逐渐加大,短时间内难有重大发现.因此,挖掘国内老油田生产潜力、提高原油采收率已成为石油工业的必然选择^[1~3].近年来,国内大庆油田在化学驱油技术研究和应用方面取得重大突破,聚合物驱和复合驱增油量已连续 5 年超过 1.0×10^7 吨^[4,5],随着聚合物驱油和复合体系驱油技术应用规模的逐渐扩大,一方面用于聚合物溶液配制的水清资源日趋紧张,另一方面,大量采出污水又不能就地回注地层,给环境保护带来极大压力.因此,采用污水配制聚合物溶液已经成为油田生产的必然选择.与清水相比较,采出污水矿化度高,污水聚合物溶液性能势必发生变化.近年来,“碱/表面活性剂/聚合物”三元复合驱在提高油田采收率中发挥了重要作用.但必须看到,当向聚合物溶液中加入碱和表面活性剂后,聚合物分子线团尺寸必将发生变化,进而影响聚合物溶液的流度控制能力.因此,电解质、碱和表面活性剂对聚合物分子线团影响及其作用机理成为石油科技工作者十分关心的问题.

电解质、碱和表面活性剂对聚合物溶液宏观性能影响方面已有文献报道^[6~11],但有关它们对

聚合物分子线团尺寸影响方面的文献报道还不多.笔者采用动态光散射法(DLS),研究了碱、油田污水中所含无机电解质正负离子以及表面活性剂对 HPAM 分子线团尺寸的影响,并应用 Stern-Graham 双电层模型理论、串珠模型理论和动力学模型对其作用机理进行了分析,这对改善聚合物驱和三元复合驱增油效果具有参考价值.

1 实验部分

1.1 实验材料

1.1.1 化学药剂 聚合物为大庆炼化公司生产的部分水解聚丙烯酰胺干粉(HPAM,简称“超高”,下同),黏均相对分子量 2.5×10^7 ,固含量 88%,理化性能指标见表 1.电解质包括 NaCl(有效含量 99.5%)、KCl(有效含量 99.6%)、 MgCl_2 (有效含量 98.5%)、 CaCl_2 (有效含量 93.0%)、 Na_2SO_4 (有效含量 97.0%)和 NaHCO_3 (有效含量 99.8%)等.碱包括 NaOH 和 Na_2CO_3 ,固含量分别为 96.0% 和 98%.表面活性剂为重烷基苯石油磺酸盐(简称“磺酸盐”),由大庆油田东昊公司生产,有效含量 50%.非离子表面活性剂“辽河 8 号”,有效含量 50%.

* 2008-12-24 收稿,2009-02-16 修稿;中海油国家重大专项(项目号 2008ZX05024-04)和中石油国家重大专项(项目号 2008ZX05010-04)资助; ** 通讯联系人, E-mail: luxiangg2003@yahoo.com.cn

Table 1 The detection result of polymer physics-chemical performance index

Viscosity average molecular weight	Active ingredient (%)	Degree of hydrolysis (%)	Screened factor (Dimensionless)	Transmissivity (Dimensionless)	Water insoluble mass (%)	Dissolving rate (h)
2.5×10^7	88.57	26.50	41.0	> 1.5	0.0992	< 2

1.1.2 实验用水

实验用水包括大庆油田注入清水(离子组成见表 2)和超纯水(电导率 > 18.2 MΩ cm(ELGA 公司)).水使用前须经核微孔滤膜过滤,核微孔滤膜孔径为 0.80 μm,由 Pall 公司提供.

Table 2 The ion composition of experiment water (mg/L)

Ion composition	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Sum salinity
Ion concentration	34.1	24.3	231.2	90.0	225.1	88.7	36.0	729.3

1.2 仪器设备

采用美国 Brookhaven BI-200SM 型广角动/静态光散射仪系统(Brookhaven Instruments Cop, USA),其主要部件包括 BI-9000AT 型激光相关器和信号处理仪,氩离子激光器(200 mW,波长 532.0 nm),测定时散射角为 90°.采用 CONTIN 数学模型进行数据处理.

测试样品须经 0.80 μm 核微孔滤膜过滤,试样瓶采用 KQ3200DE 型数控超声波清洗器清洗.

1.3 实验原理

聚合物分子线团尺寸变化主要由各种正负离子和表面活性分子引起.Fox-Flory 引入了等效圆球流体力学体积概念^[12],将不停热运动的高分子

线团看作一个直径为 D_h 的等效圆球,这样就可以直接采用动态光散射法测量聚合物分子线团尺寸(D_h).

2 结果与讨论

2.1 无机电解质负离子对聚合物分子线团尺寸的影响

为考察无机电解质负离子及其类型对聚合物分子尺寸 D_h 影响,在保证 Na⁺ 摩尔质量浓度相同的条件下,分别采用含 NaCl、NaOH、NaHCO₃、Na₂CO₃ 和 Na₂SO₄ 的溶剂水配制聚合物溶液,然后测试聚合物分子尺寸 D_h ,结果见表 3.

Table 3 The D_h experimental results with different anions in solvent water ($M = 2.5 \times 10^7$, $c_p = 200$ mg/L)

Sample compositions	Anion ($c_{Na^+} = 0.01$ mol/L)					Hyperpure water
	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	OH ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	
Mean D_h (nm)	395.8	401.1	424.4	415.8	407.4	778.3

从表 3 和图 1 可以看出,当正离子浓度相同时,几种无机电解质负离子对聚合物分子线团尺寸 D_h 的影响相近.Cl⁻ 和 SO₄²⁻ 对 D_h 的影响程度基本相同, D_h 分布规律十分相似.OH⁻、HCO₃⁻ 和 CO₃²⁻ 对聚合物分子线团尺寸 D_h 影响比较大, D_h 分布规律也比较相似.

产生上述现象的主要原因是,HPAM 是一种集高相对分子质量、共聚物和阴离子型聚电解质 3 种特性于一身的聚合物,当它溶于水时,聚合物分子链—COO⁻Na⁺ 基团上的 Na⁺ 发生电离,致使聚合物分子带负电,这导致聚合物分子链上离子基团间相互排斥,促使聚合物分子链呈现舒展状态.因此,表 3 中的几种无机电解质负离子不会与 HAPM 分子之间发生静电作用或者只有微弱的静

电作用,仅仅是由于与之存在长程范氏力而在大分子表面发生为数不多的特性吸附,且同价离子的特性吸附能力也有所不同.另一方面,溶液中的无机电解质正离子会相应降低负离子与 HPAM 大分子之间的静电斥力.这两方面共同作用导致无机电解质负离子对聚合物分子无太大影响,所以 Cl⁻ 和 SO₄²⁻ 对 D_h 及其分布影响基本相同.然而,相较于 Cl⁻ 和 SO₄²⁻,含有 OH⁻、HCO₃⁻ 或 CO₃²⁻ 的 HPAM 溶液分子线团尺寸要大.这是由于含有 OH⁻、HCO₃⁻ 或 CO₃²⁻ 溶液的 pH 值大于 7,使得 HPAM 水解度呈现一定程度的增大,聚合物分子链上负电荷数增加,聚合物分子链间排斥作用较强,聚合物分子链比较舒展,分子流体力学等价球较大.

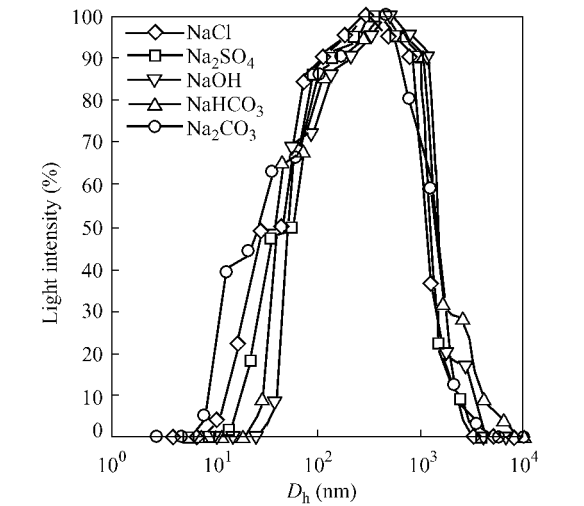


Fig. 1 The D_h distribution with different anions ($c_p = 200$ mg/L)

综上所述,HPAM 分子尺寸受无机电解质负离子的影响不大,而受正离子的影响较大.

2.2 无机电解质正离子对聚合物分子线团尺寸的影响

采用不同摩尔浓度 NaCl 溶剂水配制 HPAM 溶液,聚合物分子线团尺寸 D_h 测试结果如图 2 所示.采用相同摩尔浓度 NaCl、KCl、MgCl₂ 和 CaCl₂ 溶剂水配制 HPAM 溶液,聚合物分子线团尺寸 D_h 测试结果见表 4.

Table 4 The D_h experimental results with different cations ($M = 2.5 \times 10^7$, $c_p = 200$ mg/L)

Sample compositions	Cation ($c = 0.01$ mol/L)				Hyperpure water
	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	
Mean D_h (nm)	427.3	395.8	240.6	202.2	778.3

从图 2 可以看出,正离子浓度对聚合物分子

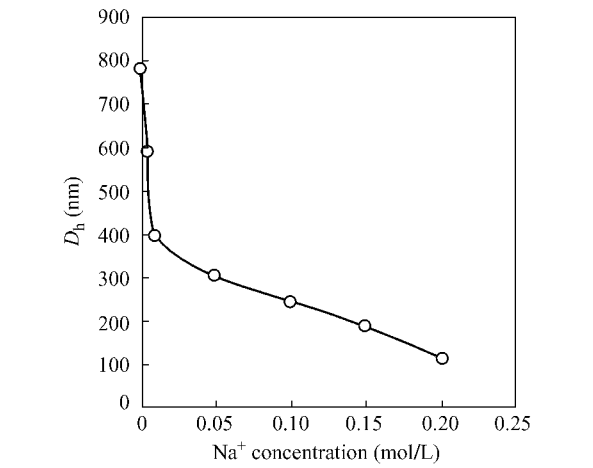


Fig. 2 The relation curves of D_h and Na^+ concentration

线团尺寸 D_h 有很大影响.当 Na^+ 浓度较低时, D_h 随 Na^+ 浓度增大而减小的幅度比较大.当 Na^+ 浓度超过 0.05 mol/L 时, D_h 随 Na^+ 浓度增大而减小的幅度开始减小.从表 4 可知,4 种正离子对聚合物分子线团 D_h 的影响程度大小顺序为 $Mg^{2+} > Ca^{2+} > Na^+ > K^+$.

上述现象可由 Stern-Grahame 双电层理论^[13]解释.带负电的聚合物分子与体相溶液间的界面上会出现双电层.双电层可分为两部分,紧靠聚合物分子表面的那部分里, Na^+ 离子由于静电吸引力和足够大的范德华引力克服了热运动,连同部分溶剂分子(水偶极子)一起强烈地吸附在表面上,在表面上形成牢固结合,称之为特性吸附离子.这些特性吸附离子的电性中心构成 Stern 平面,Stern 平面与表面之间的区域称为 Stern 吸附层.在 Stern 吸附层之外,离子呈扩散分布构成扩散层,扩散层仅有一、两个聚合物分子的厚度. HPAM 分子表面双电层结构示意图如图 3 所示.

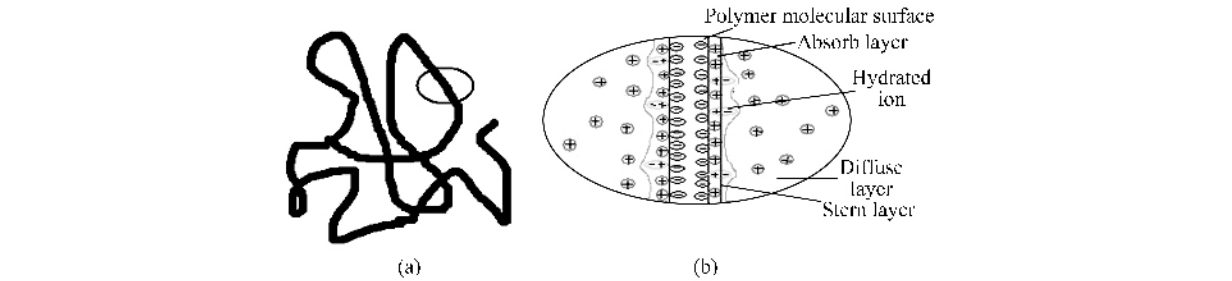


Fig. 3 The sketch map of the HPAM molecule (a) and its electrical double layer (b)

依据 Stern-Grahame 双电层模型理论^[13~15],正离子对 HPAM 分子线团尺寸的影响主要来源于两方面,一方面是其通过影响 HPAM 分子双电层厚

度使得 ζ 电势发生变化,另一方面是正离子对 HPAM 大分子链上羧基负离子之间的静电排斥起到的屏蔽作用,使得 HPAM 分子链卷曲程度发生

变化. ζ 电势和 HPAM 分子双电层厚度 k^{-1} 可分别用下列公式表示:

$$\zeta = \phi_0 e^{-k\delta} \tag{1}$$

$$\kappa^{-1} = \left(\frac{\epsilon K T}{8 \pi n_0 z^2 e^2} \right)^{\frac{1}{2}} \tag{2}$$

式中, n_0 表示正离子在溶液内部 ($\psi = 0$) 的浓度, z 为离子的价数, e 为电子电荷, ϕ_0 为表面电势, δ 为 Stern 吸附层厚度, 与 Stern 层内正离子吸附量有关, 在表面最大吸附范围内, 正离子吸附地越多, δ 越大. Stern 吸附层中正离子的吸附量可用其占据表面吸附位的份数 θ 表示, θ 可用 Langmuir-Stern 公式解释:

$$\theta = \frac{1}{1 + \frac{1}{x} \exp\left(\frac{ze\psi + \varphi}{KT}\right)} \tag{3}$$

式中, x 为溶液中正离子的摩尔分数浓度, ψ 为双电层内某点处的电势, φ 为特性吸附能.

由式(1)、(2)和(3)可知,在超纯水中,由于无外加正离子,聚合物分子间的静电排斥及水化作用使本来卷曲的聚合物分子链伸展开,形成比较疏松的无规线团, D_h 较大. 当加入 NaCl 并增大其浓度时,较多的外加正离子进入 Stern 吸附层,这些正离子部分中和了 HPAM 大分子链上的负电荷,一方面使得双电层厚度 k^{-1} 减小,同时增大了 Stern 层内的正离子的占据表面吸附位的份数 θ , 使得吸附层厚度 δ 越大,从而减小了 ζ 电势,链段的负电性减小,造成分子链卷曲,形成较为紧密的无规线团,分子线团尺寸 D_h 减小,更重要的是分布在双电层内的正离子对 HPAM 大分子链上羧基负离子之间的静电排斥起到了屏蔽作用(见图 3b),导致羧基负离子之间的静电排斥力大大降低,故使 HPAM 大分子链卷曲和收缩而排除水分子包裹的作用增强,导致流体力学直径 D_h 减小,从而测试 HPAM 分子线团尺寸减小. 继续增大 NaCl 浓度,一方面更多的正离子吸附在 HPAM 大分子表面,使得 Stern 吸附层内正电荷密度逐渐有超过表面负电荷密度的趋势, ζ 电势会随正离子浓度的增加趋于零,即, Na^+ 离子在 HPAM 大分子表面的吸附量达到一定值后,再增大 NaCl 浓度, Na^+ 也不可能再进入 Stern 吸附层,不可能再对减小大分子链尺寸发挥作用;但另一方面, Na^+ 对 HPAM 大分子链上羧基负离子之间的静电排斥屏蔽作用还随 NaCl 浓度的增大有增强的趋势,但增强程度不大,因而聚合物分子尺寸 D_h 变化也趋

于平缓,表 4 所列实验数据证明了这一点.

当浓度相同时,正离子类型对双电层影响主要来源于离子价电数、极化率和水化能力. 对于电荷数相同的正离子,它们进入 Stern 层的能力由特性吸附能 ϕ 的大小决定, ϕ 主要取决于离子的极化率和水化能力. 由表 5 可知, Ca^{2+} 离子半径大于 Mg^{2+} 离子半径,则其极化率也较大,容易在带电表面作用下产生诱导偶极距而被吸附,相应离子变形后半径较大,吸附后的 Stern 层较大,电势下降较慢,HPAM 分子的卷曲程度较小. 更重要的是 Mg^{2+} 离子半径小于 Ca^{2+} 离子,其水化离子的半径就小,就更容易与 HPAM 大分子链的负离子发生静电相互作用,必然使 D_h 减小. 上述两个方面因素共同影响,使得 Ca^{2+} 对聚合物分子尺寸的压缩作用要小于 Mg^{2+} . K^+ 和 Na^+ 对聚合物分子线团尺寸影响也具有类似的机理. 电荷数不同的正离子,如 Na^+ 和 Ca^{2+} , 其离子半径相差不多,但由于 Ca^{2+} 电荷数较多,使扩散层变薄,从而减小了双电层厚度. 此外, Ca^{2+} 电荷数比 Na^+ 大,所以 Ca^{2+} 离子能更有效地屏蔽 HPAM 大分子链上羧基负离子之间的相互排斥作用,促使 HPAM 分子卷曲程度增大,分子线团尺寸变小.

Table 5 The radius and polarizability of cationis				
Cation	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
Radius $\times 10^3$ (nm)	133	95	99	65
Polarizability $\times 10^{40}$ ($\text{C} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{V}^{-1}$)	0.923	0.199	0.52	0.105

2.3 表面活性剂对聚合物分子线团尺寸的影响
2.3.1 阴离子型表面活性剂 在清水配制 HPAM 溶液中加入不同质量浓度磺酸盐(目前油田常用驱油表面活性剂),得到“磺酸盐/聚合物”二元复合体系,聚合物分子线团尺寸 D_h 测试结果见表 6.

Table 6 The D_h with different anionic surfactant concentrations ($M = 2.5 \times 10^7$, $c_p = 200 \text{ mg/L}$)

Sample compositions	Anionic surfactant concentration (wt%)				
	0	0.02	0.04	0.06	0.08
Mean D_h (nm)	465.2	431.8	486.7	417.4	417.0

从表 6 可以看出,磺酸盐对聚合物分子线团尺寸存在影响. 随着磺酸盐浓度增加,聚合物分子线团尺寸先减小、后增大、再减小,最终趋于平稳. 产生上述现象的主要原因是,磺酸盐对聚合

物分子线团尺寸的影响主要来源于其溶于水后电离出的 Na^+ 和具有表面活性的磷酸根负离子. 表面活性剂分子对双电层的影响, 主要取决与其在大分子表面的特性吸附能力和与大分子之间静电斥力. 表面活性剂分子以及其聚集后形成的胶束与聚合物分子线团之间的范德华力往往会克服静电斥力, 使其对双电层的影响一般是特性吸附占支配地位, 此时溶液中其它离子都可视为‘不相干离子’^[14]. 但是, 强烈的静电斥力使阴离子型表面活性剂分子在聚合物大分子表面的特性吸附相对较弱, 难以形成‘表面活性剂-聚合物’络合物.

当磷酸盐浓度较小时, 随着磷酸盐浓度增加, Na^+ 对 HPAM 大分子链负电荷的屏蔽作用使分子线团尺寸变小. 继续增大磷酸盐浓度时, Na^+ 离子对 HPAM 大分子链的负电荷发挥了很大的电中和作用, 此时, 在疏水相互作用下, 部分磷酸盐分子会被吸附到 HPAM 大分子链上, 并沿主链形成胶束(亦可视为‘串珠’), 使 HPAM 大分子链的 D_h 增大. 再继续增大溶液中的磷酸盐浓度时, 会有一部分表面活性剂分子从聚合物分子链上解聚集, 与溶液中的表面活性剂分子形成自由胶束, 从而造成聚合物分子尺寸减小.

2.3.2 非离子型表面活性剂 在清水 HPAM 溶液中加入不同质量浓度‘辽河 8 号’非离子型表面活性剂, 得到二元复合体系, 聚合物分子线团尺寸 D_h 测试结果见表 7.

Table 7 The D_h with different nonionic surfactant concentrations ($M = 2.5 \times 10^7$, $c_P = 200 \text{ mg/L}$)

Sample compositions	Nonionic surfactant concentration (wt%)				
	0	0.02	0.04	0.06	0.08
$D_h(\text{nm})$	465.2	491.8	525.2	547.3	551.1

从表 7 可以看出, 随非离子型表面活性剂浓度增加, 聚合物分子线团尺寸逐渐增大, 并最终趋于稳定. 非离子型表面活性剂本身不发生电离, 不带电荷, 没有静电斥力, 且分子中的亲水基团体积较大, 仅靠极性原子形成氢键溶于水, 与溶剂作用力较弱, 易形成胶束^[16]. 依据 Shirahama 等^[17]提出的‘串珠模型理论’, 当聚合物溶液中加入非离子型表面活性剂时, 表面活性剂分子会以类似于胶束聚集形式吸附(结合)在聚合物分子链上, 形

成如图 4 所示的‘表面活性剂-聚合物’络合物.

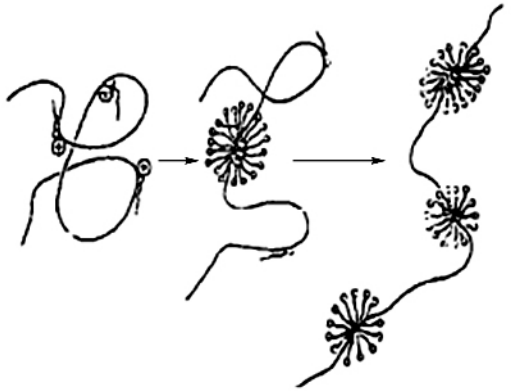


Fig. 4 Necklace model for ‘surfactant-polymer’ complex

动力学模型^[18]理论认为, 单个表面活性剂分子首先与聚合物分子链逐步结合, 然后胶束或聚集集体直接与聚合物分子链作用, 每一步由一速率常数和质量作用定律所控制. 随着过程的进行, 聚合物分子链上各个链合点上结合的表面活性剂分子数增加, 在各链合点形成表面活性剂胶束, 最终形成‘表面活性剂-聚合物’络合物. 随表面活性剂分子浓度的增加, 这种络合物分子尺寸会逐渐变大. 当增大到一定值后, 表面活性剂分子已占据所有聚合物分子链上所能容纳的位置, ‘表面活性剂-聚合物’络合物分子线团尺寸达到稳定.

3 结论

(1) 负离子对 HPAM 溶液中聚合物分子线团尺寸 D_h 的影响较小, 正离子影响较大. Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 和 Na^+ 对 D_h 作用强弱顺序为 $\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$; (2) NaOH 、 NaHCO_3 或 Na_2CO_3 等会使聚合物水解度增加, 分子线团尺寸有所增加, 但正离子对聚合物分子线团尺寸影响仍占主要地位; (3) 在聚合物溶液中加入阴离子型表面活性剂, 随表面活性剂浓度增大, 聚合物分子线团尺寸先减小, 后增大, 再减小. 强烈的静电斥力使阴离子型表面活性剂分子在聚合物大分子表面的特性吸附相对较弱, 难以形成‘表面活性剂-聚合物’络合物; (4) 在聚合物溶液中加入非离子型表面活性剂, 表面活性剂以类似于胶束聚集形式吸附(结合)在聚合物分子链上, 形成‘表面活性剂-聚合物’络合物, 导致聚合物分子线团尺寸增大.

REFERENCES

1 Wa ng Qimin(王启民),Ji Baofa(冀宝发),Sui Jun(隋军) . Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing(大庆石油地质和开发),2001,20(2) :1 ~ 8

2 Wang Demin(王德民),Cheng Jiecheng(程杰成),Wu Junzheng(吴军政) . Acta Patrolei Sinica(石油学报),2005,26(1) :74 ~ 78

3 Niu Jingang(牛金刚) . Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing(大庆石油地质与开发),2001,20(2) :67 ~ 68

4 Sun Huanquan(孙焕泉) . Petroleum Explorations and Development(石油勘探与开发),2006,33(3) :262 ~ 266

5 Zhao Yongsheng(赵永胜),Wei Guozhang(魏国章),Lu Huimin(陆会民) . Acta Patrolei Sinica(石油学报),2000,122(3) :43 ~ 46

6 Lu Xiangguo(卢祥国),Wang Wei(王伟),Sun Gang(孙 刚),Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing(大庆石油地质与开发),2007,26(1) :104 ~ 107

7 Lu Xiangguo(卢祥国),Wang Wei(王 伟) . Acta Phys-Chim Sin(物理化学学报),2006,22(5) :631 ~ 634

8 Kang Wanli(康万利),Meng Lingwei(孟令伟),Niu Jinggang(牛井岗) Xu Dianping(徐典平) . Polymeric Materials Science & Engineering(高分子材料科学与工程),2006,22(5) :175 ~ 177

9 Dong Zhaoxia(董朝霞),Wu Zhaoliang(吴肇亮);Lin Meiqin(林梅钦) . Acta Polymerica Sinica(高分子学报),2002,(4) :493 ~ 498

10 Dong Zhaoxia(董朝霞),Wu Zhaoliang(吴肇亮),Lin Meiqin(林梅钦) . Polymeric Materials Science & Engineering(高分子材料科学与工程),2003,19(4) :159 ~ 163

11 Zhao Feng(赵 丰),Du Yukou(杜玉扣),Li Xingchang(唐季安),Tang Jian(李兴长),Yang Ping(杨平) . Acta Phys Chim Sin(物理化学学报),2004,20(11) :1385 ~ 1388

12 Fu Guwen(符谷文),Li Gu(李谷),Feng Kaikai(冯开才) . Macromolecular Physics(高分子物理) . Beijin(北京) :Chemical Industry Press(化学工业出版社),2004. 102 ~ 104

13 Feng Xusheng(冯绪胜),Liu Hongguo(刘洪国),Hao Jingcheng(郝京城) . Colloid Chemistry(胶体化学) . Beijin(北京) :Chemical Industry Press(化学工业出版社),2005. 50 ~ 57

14 Chen Zhen(陈震),Zhao Kongshuang(赵孔双),Liu Hao(刘昊) . Acta Chimica Sinica(化学学报),2006,64(17) :1780 ~ 1784

15 Gu Xiren(顾惕人),Li Wailang(李外朗),Ma Jiming(马季铭) . Surface Chemistry(表面化学) . 3rd ed(第三版) . Beijin(北京) :Science Press(科学出版社),1994. 131 ~ 141

16 Wang Shirong(王世荣),Li Xianggao(李祥高),Liu Dongzhi(刘东志) . Surfactant Chemistry(表面活性剂化学) . 3rd ed(第三版) . Beijin(北京) :Chemical Industry Press(化学工业出版社),2005. 152 ~ 159

17 Shirahama K,Tsujii K,Takagi T. J Biochem,1974,75 :309 ~ 319

18 Liu J,Takisawa N, Shirahama K. Colloid Polym Sci,1999,277 :247 ~ 251

INFLUENCES OF CATIONS, ANIONS AND SURFACTANTS ON MOLECULAR COIL DIMENSIONS OF PARTIALLY HYDROLYZED POLYACRYLAMIDE

WANG Xiaoyan, LU Xiangguo, JIANG Weidong

(Key Laboratory of Enhanced Oil Recovery(Daqing Petroleum Institute), Ministry of Education, Daqing Petroleum Institute, Daqing 163318)

Abstract The influences of cations, anions, anionic surfactant and non-ionic surfactant on the molecular coil dimension of hydrolyzed polyacrylamide (HPAM) were studied by using dynamic light scattering (DLS), and the mechanism was analyzed by applying the Stern-Graham double electrode layer model theory, patternster model theory and dynamic model. The results show that the influence of anions on the HPAM molecular dimension (D_h) is little, but comparing against anions, the influence from cations is much greater, and the decreasing degree of D_h with the cation concentration increasing decreases gradually. The order of action capacity of Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ and Na^+ for D_h is $Mg^{2+} > Ca^{2+} > Na^+ > K^+$. When the anionic surfactant is introduced into polymer solutions, D_h decreases with the concentration of anionic surfactant increasing first, then increases and decreases again. Moreover, because of the powerful electrostatic repulsion, the capacity of anionic surfactant molecules to adsorb on the surface of polymer molecules is weak, and it is difficult to form the “anionic surfactant-polymer” complex. However, the nonionic surfactant can adsorb on the polymer molecular chains in the form of micellar aggregate, forming “nonionic surfactant-polymer” complex, and result in the D_h increasing with the nonionic surfactant concentration increasing.

Keywords Polymer solution, Molecular coil dimension, Influential factor, Instrument detection, Mechanism analysis