

• 研究论文 •

丙烯酸胺型阴离子表面活性单体的化学结构与其胶束化行为

于亚明 高保娇* 江立鼎

(中北大学化学工程系 太原 030051)

摘要 对两种丙烯酸胺型阴离子表面活性单体(2-丙烯酰胺基十四烷磺酸钠, NaAMC₁₄S; 2-丙烯酰胺基十二烷磺酸钠, NaAMC₁₂S)的化学结构与胶束化行为的关系进行了较深入的研究. 使用紫外分光光度法测定了 NaAMC₁₄S, NaAMC₁₂S 及十二烷基磺酸钠(SDS)在水中的溶解度, 同时采用表面张力法(环法)测定了它们在不同温度下的临界胶束浓度 CMC; 采用稳态荧光探针法测定了不同浓度的胶束聚集数与本征胶束聚集数. 实验结果表明, 与普通表面活性剂相比, 由于丙烯酸胺型阴离子表面活性单体分子中具有两个亲水头基, 在水中的溶解性能较强, 故具有较低的 Krafft 温度; 在溶液表面的饱和吸附量低, 故降低水表面张力的能力较差, 即表面活性差; 疏水缔合的胶团较为疏松, 故聚集数很小; 胶束内分子间的疏水相互作用较弱, 故临界胶束浓度 CMC 较高.

关键词 表面活性单体; 丙烯酸胺型; 胶束化行为; 结构; 性能

Chemical Structure and the Micellization Behavior of Acrylamide-type Anionic Surface-Active Monomers

YU, Ya-Ming GAO, Bao-Jiao* JIANG, Li-Ding

(Department of Chemical Engineering, North University of China, Taiyuan 030051)

Abstract The relationship between chemical structure and micellar behaviour for two kinds of acrylamide-type anionic surfmers (sodium 2-acrylamido-tetradecane sulfonate, NaAMC₁₄S; sodium 2-acrylamido-dodecane sulfonate, NaAMC₁₂S) were studied fully. The solubility of NaAMC₁₄S, NaAMC₁₂S and sodium dodecyl sulfonate (SDS) were determined by UV spectrophotometry. The critical micelle concentrations (CMC) at different temperatures were measured by using surface tension method, and their aggregation numbers of micelles were determined by steady-state fluorescence probe method. The experiment results show that the acrylamide-type anionic surfmers have strong solubilities in water because there are a pair of hydrophilic head groups in their molecules, resulting in lower Krafft temperatures, greater molecular areas on the aqueous solution surface and lower surface adsorption amounts. So their abilities to decrease surface tension of water are poor (*i.e.* poor surface activities). Compared with general surfactants, they have higher critical concentrations due to weaker hydrophobic interaction. They have much smaller aggregation numbers of micelles owing to the loose micelles.

Keywords surface-active monomer; acrylamide-type; micellization behavior; structure; property

可聚合表面活性剂(Polymerizable surfactant)是一种功能性表面活性剂, 其分子结构中既含有亲水亲油基团又含有可聚合的官能基团(一般是乙烯基)^[1,2]. 特殊的结

构赋予其独特的物理化学性质, 与普通小分子表面活性剂类似, 具有表面活性; 又与一般的聚合单体类似, 在引发剂作用下可发生均聚合或共聚, 因此被科学工作

* E-mail: gaobaojiao@126.com

Received November 24, 2005; revised February 22, 2006; accepted May 8, 2006.

山西省自然科学基金(No. 94012)资助项目.

者称之为表面活性单体(Surface active monomer, Surfmer). 表面活性单体的亲水亲油性与可聚合性使其在众多科技领域有广阔的应用前景, 已引起了科技界的广泛注意, 比如可用来制备囊泡进行生物模拟、制备功能高分子微球、构建软模板制备功能无机纳米材料及无机/有机纳米复合材料、用于高性能拟无皂乳液聚合体系、合成疏水缔合聚丙烯酰胺(HPAM)等^[3-7], 特别是后者, 可用来制备高性能驱油聚合物, 对于三次采油工业具有十分重要的意义. 亲水性表面活性单体溶于水, 可与丙烯酰胺(AM)实现水溶液均相共聚合, 完全克服了采用胶束聚合方法使疏水单体与 AM 共聚合制备疏水缔合聚丙烯酰胺的严重缺点——小分子表面活性剂的加入给共聚合过程及产物带来诸多的负面影响^[8,9]; 更重要的是当表面活性单体的浓度高于其临界胶束浓度时, 由于表面活性单体在水溶液中以胶束形式存在, 与 AM 共聚合时遵循微嵌段共聚合机理, 即表面活性单体以微嵌段的形式进入大分子主链^[10,11], 使所得共聚物的疏水侧链能更有效地发生疏水缔合, 从而赋予 HPAM 更强的增稠性能, 本课题组的前期研究也充分证实了这一微嵌段共聚合机理^[12]. 因此可以推测, 表面活性单体的胶束化行为将对共聚物大分子链的微结构产生很大的影响, 从而强烈地影响 HPAM 的水溶液性能. 比如表面活性单体的临界胶束浓度(CMC)的大小、聚集数(N_{agg})的大小及其表面活性(γ_{CMC})的高低等胶束化参数, 对于控制表面活性单体与 AM 的共聚合过程及控制共聚物大分子链的微结构至关重要, 因此, 本文较深入地研究了丙烯酰胺型阴离子表面活性单体的胶束化行为及其化学结构对胶束化行为的影响, 以期合成高性能驱油聚合物(强增稠性、高耐温与抗盐性)提供基本的理论参考依据, 类似的研究尚未见文献报道.

1 实验部分

1.1 试剂与仪器

1-十四烯与 1-十二烯(美国壳牌石油公司), 纯度为 98%; 丙烯腈(北京福星化工厂), 化学纯; 乙酸酐(上海试剂一厂), 分析纯; 发烟硫酸(山西硫酸厂), 工业级; 十二烷基磺酸钠(Sodium Dodecylsulphonate, SDS, 上海光铎科技有限公司), 分析纯; 芘(Aldrich 产品); 二苯甲酮(北京通县育才精细化工厂), 分析纯; 所用水均为二次蒸馏水.

上海雷磁新泾仪器有限公司的 DDS-11Ar 数字电导率仪; 承德试验机有限公司的 JYW-200B 微控自动界面张力仪; 上海尤尼柯公司 UV-2602 分光光度计; HITACHI F-2500 荧光光谱仪.

1.2 2-丙烯酰胺基十二烷基磺酸钠(NaAMC₁₂S)与 2-丙烯酰胺基十四烷基磺酸钠(NaAMC₁₄S)的合成与表征

分别以 1-十二烯与 1-十四烯为主要原料, 以丙烯腈、乙酸酐及发烟硫酸为共原料, 按文献[13]步骤与条件合成 2-丙烯酰胺基十二烷基磺酸钠(NaAMC₁₂S)与 2-丙烯酰胺基十四烷基磺酸钠(NaAMC₁₄S), 并进行相关表征.

1.3 水溶液饱和溶解度及 Krafft 温度的测定

配制 NaAMC₁₂S, NaAMC₁₄S 及十二烷基磺酸钠(SDS)的饱和水溶液, 用紫外分光光度法分别测定它们在 216, 216 及 207 nm 处的吸光度, 进而测定它们的溶解度, 绘制溶解度-温度曲线, 由曲线转折点确定它们的 Krafft 温度.

1.4 临界胶束浓度及表面活性的测定

配制浓度系列变化的 NaAMC₁₂S, NaAMC₁₄S 及 SDS 溶液, 置于恒温槽中, 在一定温度下分别用表面张力仪和电导率仪测定各溶液的表面张力与电导率, 绘制三种表面活性剂的表面张力(γ)-浓度(c)及电导率(κ)-浓度(c)曲线, 从曲线转折点确定该温度下的临界胶束浓度(CMC)及对应的表面张力 γ_{CMC} . 绘制 CMC- t 曲线, 并与溶解度-温度(t)曲线相结合, 进一步确认三种表面活性剂的 Krafft 点.

1.5 表面吸附量与表面吸附分子面积的测定

由 40 °C 下三种表面活性剂的 γ - c 曲线, 进行图解微分, 得到不同浓度的微商值 $d\gamma/dc$, 代入吉布斯吸附等温式(1), 计算不同浓度的表面吸附量 Γ , 并按公式(2)作 c/Γ - c 直线, 进一步计算饱和吸附量 Γ_m , 再由公式(3)计算饱和吸附时在溶液表面每个吸附分子所占面积 A_m .

$$\Gamma = -\frac{c}{RT} \frac{d\gamma}{dc} \quad (1)$$

$$\frac{c}{\Gamma} = \frac{1}{\Gamma_m k} + \frac{c}{\Gamma_m} \quad (2)$$

$$A_m = \frac{1}{L\Gamma_m} \quad (3)$$

上述三个公式中, R 为摩尔气体常数, T 为热力学温度, L 为阿伏加德罗常数.

1.6 聚集数的测定

稳态荧光探针法测定三种表面活性剂的胶束聚集数^[14,15]. 以荧光探针芘的饱和水溶液(浓度约为 7×10^{-7} mol·L⁻¹)为溶剂配制浓度系列变化的三种表面活性剂的水溶液, 并配制成一定浓度的猝灭剂——二苯甲酮的甲醇溶液备用. 于一系列 25 mL 容量瓶中, 精确移取不同量二苯甲酮的甲醇溶液, 通入 N₂ 吹赶甲醇至蒸发至干,

用移液管移入一定浓度的含芘的表面活性剂水溶液, 于超声波浴槽中分散 30 min 后, 置于恒温水浴中恒温 1 h. 以 $\lambda=335\text{ nm}$ 为激发波长, 在荧光光谱仪上测定芘的发射光光谱, 并在 $\lambda=374\text{ nm}$ 波长处读取荧光强度读数 I_{374} , 根据公式(4)用作图法求取一定浓度下表面活性剂水溶液的聚集数 N_{agg} ; 同法测定不同浓度下表面活性剂水溶液的 N_{agg} , 拟合 $N_{\text{agg}}-c$ 的直线, 外推法求取本征胶束聚集数^[14], 即临界胶束聚集数 N_m .

$$\ln \frac{I_{374}^0}{I_{374}} = c_q \times \frac{N_{\text{agg}}}{c - c_{\text{CMC}}} \quad (4)$$

式中, c_q 为猝灭剂的浓度, I_{374}^0 为猝灭剂浓度为 0 时的 I_{374} , c 为表面活性剂的浓度, c_{CMC} 为表面活性剂的临界胶束浓度.

2 结果与讨论

2.1 NaAMC₁₂S 和 NaAMC₁₄S 的合成

通过红外光谱与氢谱测定, 两种丙烯酸胺型阴离子表面活性单体 NaAMC₁₂S 与 NaAMC₁₄S 的化学结构得到了确认^[13], 它们的结构如图 1 所示.

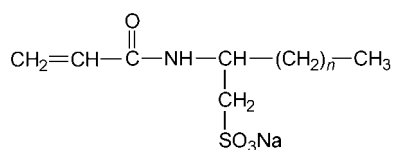


图 1 NaAMC₁₂S 和 NaAMC₁₄S 的化学结构

Figure 1 Molecular structures of NaAMC₁₂S and NaAMC₁₄S
 $n=11$ for NaAMC₁₄S and $n=9$ for NaAMC₁₂S

2.2 表面活性单体的结构对在水中的溶解性能及 Krafft 点的影响

图 2 为 NaAMC₁₂S, NaAMC₁₄S 及 SDS 三种表面活性剂的溶解度曲线. 显然各条曲线上均有一突变点, 高于此点对应的温度, 它们的溶解度随温度的增高而剧增, 符合离子型表面活性剂溶解度的变化特征, 此点的温度即为它们的 Krafft 温度, Krafft 温度是离子型表面活性剂的临界胶团温度, 高于此温度时, 溶液内会形成大量的胶束, 故溶解度陡然增大.

从图 2 中看到, NaAMC₁₂S 与 SDS 相比, 前者在水中的饱和溶解度大, Krafft 温度远比后者低(两者的 Krafft 温度分别为 19.8 与 31.2 °C); 两种表面活性单体 NaAMC₁₄S 与 NaAMC₁₂S 相比, 前者在水中的饱和溶解度小, Krafft 温度较高(NaAMC₁₄S 的 Krafft 温度为 22.0 °C).

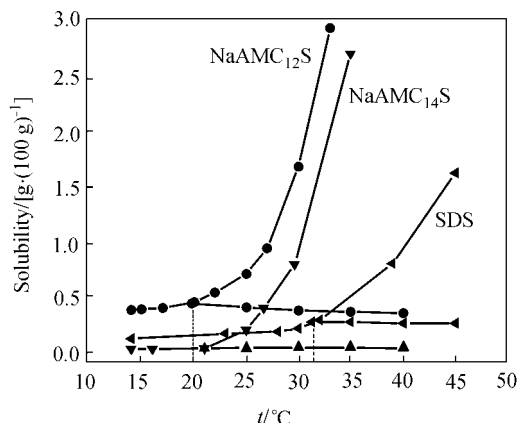


图 2 三种表面活性剂的溶解度曲线
Figure 2 Solubility curves of three surfactants

从图 1 所示的分子结构看出, NaAMC₁₂S 与 NaAMC₁₄S 这两种丙烯酸胺型阴离子表面活性单体, 分子中具有两个亲水头基, 其一为酰胺基, 其二为磺酸根. 因此, NaAMC₁₂S 与 SDS 相比, 虽然它们具有相同碳原子数的疏水链与相同的亲水基($-\text{SO}_3^-$), 但由于 NaAMC₁₂S 具有两个亲水的极性头基, 其分子具有比 SDS 更强的亲水性, 故在水中的溶解性能好, 导致其能够在更低的温度下开始形成胶束, 因此具有比 SDS 低得多的 Krafft 温度; NaAMC₁₄S 与 NaAMC₁₂S 属同系物表面活性剂, 由于前者碳氢链较长, 故水溶性较差, 故具有较高的 Krafft 温度.

2.3 表面活性单体的结构与其临界胶束浓度及表面活性

采用表面张力测定法(环法)测定了不同温度下 NaAMC₁₂S, NaAMC₁₄S 及 SDS 的临界胶束浓度(CMC)及表面活性(γ_{CMC}), 图 3 为 40 °C 下的测定结果. 同时也采用电导法测定了 CMC, 测定结果与表面张力测定法基本一致. 在图 2 的坐标系中绘制三种表面活性剂的 CMC- t 曲线, 三条曲线都几乎是直线, 且与溶解度曲线能完好地衔接, 溶解度曲线与 CMC- t 曲线的交叉点正好是溶解度曲线的转折点, 即三种表面活性剂的 Krafft 温度. 从图 2 中看出, 三种表面活性剂的 CMC 随温度变化的程度很小, 这与离子型表面活性剂 CMC 受温度影响很小的规律完全吻合.

从图 3 中看到, NaAMC₁₂S 与 SDS 相比, 前者的 CMC 较高(两者在 40 °C 下的 CMC 分别为 10.2×10^{-3} 和 $9.5 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$); 两种表面活性单体 NaAMC₁₄S 与 NaAMC₁₂S 相比, 前者的 CMC 比后者下降了近 10 倍(NaAMC₁₄S 的 CMC 为 $8.2 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$); 这些规律充分显示了表面活性单体的分子结构对其胶束化行为的影响. 表面活性剂分子缔合形成胶团的推动力是疏水缔

合作用, 由于 $\text{NaAMC}_{12}\text{S}$ 分子中具有两个亲水头基, 分子的极性头基减弱了碳氢链之间的疏水相互作用, 因此与具有相同疏水链及相同离子型亲水基的普通表面活性剂 SDS 相比, 它在低浓度下难于形成胶束, 只有在较高浓度下才能疏水缔合形成胶团, 导致了较大的 CMC , 但对于离子型表面活性剂, 疏水基相同而亲水基不同时 CMC 相差不大^[16], 故 $\text{NaAMC}_{12}\text{S}$ 的 CMC 比 SDS 稍有增加; 至于同系物表面活性剂 $\text{NaAMC}_{14}\text{S}$ 与 $\text{NaAMC}_{12}\text{S}$ 相比, 前者的 CMC 之所以比后者低很多, 其原因与普通表面活性剂同系物的规律类同, 碳氢链的长度对临界胶束浓度的影响很大, 碳氢链较长者临界胶束浓度越小; 对于普通的离子型表面活性剂, 同系物中增加一个碳原子使 CMC 下降约一半^[16]; 表面活性单体 $\text{NaAMC}_{14}\text{S}$ 比 $\text{NaAMC}_{12}\text{S}$ 的碳氢链增加了 2 个碳原子, 本实验研究结果表明 CMC 发生了大幅度的降低。

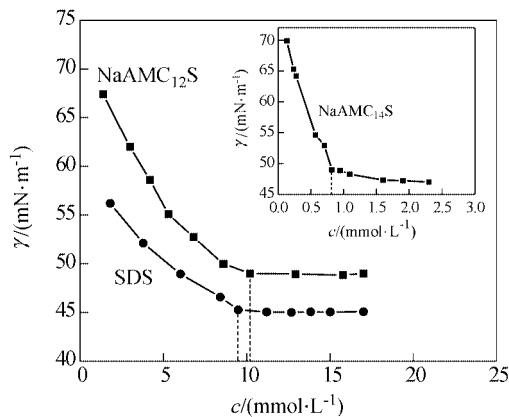


图 3 三种表面活性剂水溶液表面张力与浓度的关系曲线 (40 °C)

Figure 3 Curves of surface tension vs. concentration of three kinds of surfactants at 40 °C

从图 3 中还看到, 两种表面活性单体 $\text{NaAMC}_{14}\text{S}$ 与 $\text{NaAMC}_{12}\text{S}$ 的 γ_{CMC} 均较高(分别为 48.2 和 50.0 $\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$), 即表面活性较差; $\text{NaAMC}_{12}\text{S}$ 与 SDS 相比, 前者的 γ_{CMC} 较高(SDS 的 γ_{CMC} 为 45.0 $\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$); $\text{NaAMC}_{12}\text{S}$ 与 $\text{NaAMC}_{14}\text{S}$ 相比, 前者的 γ_{CMC} 较高。这些规律同样显示出了表面活性单体的分子结构对其胶束化行为的影响。 γ_{CMC} 的大小反映了表面活性剂降低液体水表面张力的能力, 此能力很大程度决定于表面活性剂在溶液表面取代水分子的程度(即饱和吸附程度)^[16]。根据丙烯酰胺型阴离子表面活性单体分子结构的特点, 可以推想, 它们的分子在水溶液表面可能采取 Y 型的构象, 即两个亲水基伸入水中, 疏水单链伸向气相, 如图 4 所示。这种构象会使得饱和吸附层中分子排列得不够紧密, 导致饱和吸附量不高, 从而导致它们降低水表面张力的能力较

差, 即表面活性较差, 故 $\text{NaAMC}_{12}\text{S}$ 与 $\text{NaAMC}_{14}\text{S}$ 的 γ_{CMC} 均比较高, $\text{NaAMC}_{12}\text{S}$ 的 γ_{CMC} 高于 SDS ; 至于同系物 NaAMC_{14} 与 $\text{NaAMC}_{12}\text{S}$ 的 γ_{CMC} , 与普通表面活性剂同系物的规律类同, $\text{NaAMC}_{14}\text{S}$ 的碳氢链比 $\text{NaAMC}_{12}\text{S}$ 较长, 故 γ_{CMC} 较低。

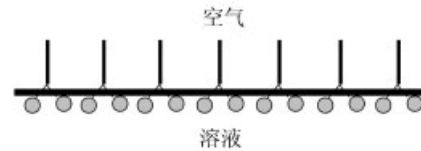


图 4 丙烯酰胺型阴离子表面活性单体分子在水溶液表面吸附层中的构象

Figure 4 Molecular conformation of acrylicamide-type anionic surfimer adsorbed on water surface

2.4 表面活性单体的结构与其溶液表面吸附量及吸附分子面积

由图 3 及公式(1)、公式(2)及公式(3)的数学处理可得三种表面活性剂在水溶液表面的饱和吸附量 Γ_m , 以及达饱和和吸附时溶液表面每个吸附分子所占的面积 A_m , 数据列于表 1。

表 1 三种表面活性剂的饱和吸附量 Γ_m 及达到饱和和吸附时的分子面积 A_m (40 °C)

Table 1 Data of saturated adsorption amounts and molecular surface areas for three kinds of surfactants at 40 °C

Surfactant	$\Gamma_m/(\text{mol}\cdot\text{cm}^{-2})$	A_m/nm^2
$\text{NaAMC}_{14}\text{S}$	2.52×10^{-10}	0.66
$\text{NaAMC}_{12}\text{S}$	2.31×10^{-10}	0.72
SDS	3.60×10^{-10}	0.46

由表 1 数据可见, 两种表面活性单体的饱和吸附量 Γ_m 均比较小, 分子表面积均比较大; $\text{NaAMC}_{12}\text{S}$ 与具有相同疏水链与相同离子型亲水基的普通表面活性剂 SDS 相比, Γ_m 较小而 A_m 则较大; $\text{NaAMC}_{14}\text{S}$ 与 $\text{NaAMC}_{12}\text{S}$ 相比, 前者具有较大 Γ_m 与较小的 A_m 。如上所述, 丙烯酰胺型阴离子表面活性单体分子在水溶液表面可能采取 Y 型的构象, 两个亲水基伸入水中, 疏水单链伸向气相, 此种构象会使亲水基的截面积较大(水合亲水基的截面积决定吸附分子的表面积^[16]), 使得饱和吸附层中分子排列得比较疏松, 导致较低的表面饱和和吸附量; 相反普通表面活性剂 SDS 虽然与 $\text{NaAMC}_{12}\text{S}$ 具有相同疏水链及相同离子型亲水基, 但由于只有一个亲水基, 在水面上完全采取直立的构象, 吸附分子的表面积较小, 饱和吸附层中分子排列得比较紧密, 故表面饱和和吸附量较大; 同系物表面活性剂 $\text{NaAMC}_{14}\text{S}$ 与 $\text{NaAMC}_{12}\text{S}$ 相比, 前者的 Γ_m 之所以比后者大, 其原因与

普通表面活性剂同系物的规律类同，碳氢链增长，饱和吸附量有所增加，但碳氢链的长度对 Γ_m 的影响不是很大^[17]，故 NaAMC₁₄S 与 NaAMC₁₂S 的 Γ_m 值差别不大。

2.5 表面活性单体的结构与其胶束聚集数

以芘的饱和水溶液为溶剂配制不同浓度的三种表面活性剂的水溶液，猝灭剂二苯甲酮的浓度范围选为 0~0.45 mmol·L⁻¹，用稳态荧光法测定它们的胶束聚集数 N_{agg} 。对于 NaAMC₁₄S 体系，当浓度为 8CMC 时，测得二苯甲酮的浓度不同时探针芘的荧光发射光谱，示于图 5；以各谱线的 $\ln(I_{374}^0/I_{374})-c_q/(c-c_{CMC})$ 作直线，得到图 6，求得该浓度下的 N_{agg} ；同法得到 NaAMC₁₄S 各浓度下的 N_{agg} ，对 $N_{agg}-c$ 之间的关系数据进行直线拟合，得到图 7，外推直线求得本征胶束聚集数，即临界胶束浓度时的聚集数 N_m 。采用相同的方法处理 NaAMC₁₂S 与 SDS 体系，得到最后的结果。

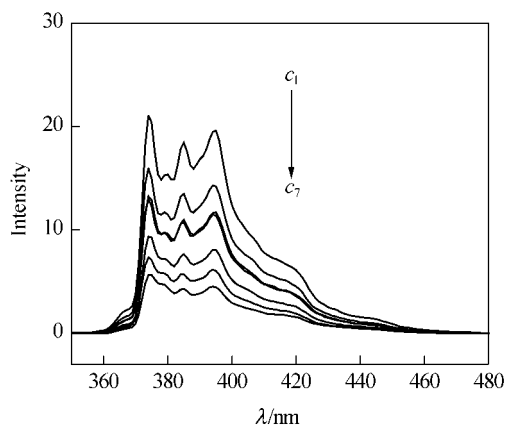


图 5 NaAMC₁₄S 体系中猝灭剂浓度不同时芘的荧光光谱
Figure 5 Emission spectra of pyrene probe at different concentrations of quencher for NaAMC₁₄S system
 Concentration of NaAMC₁₄S: 8CMC, concentration of quencher: c_7 (0.45 mmol·L⁻¹) > c_1 (0), temperature: 40 °C

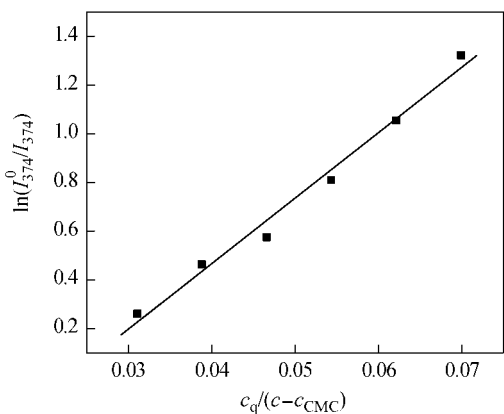


图 6 $\ln(I_{374}^0/I_{374})$ 与 $c_q/(c-c_{CMC})$ 之间的关系
Figure 6 Plot of $\ln(I_{374}^0/I_{374})$ vs. $c_q/(c-c_{CMC})$
 Concentration of NaAMC₁₄S: 8CMC

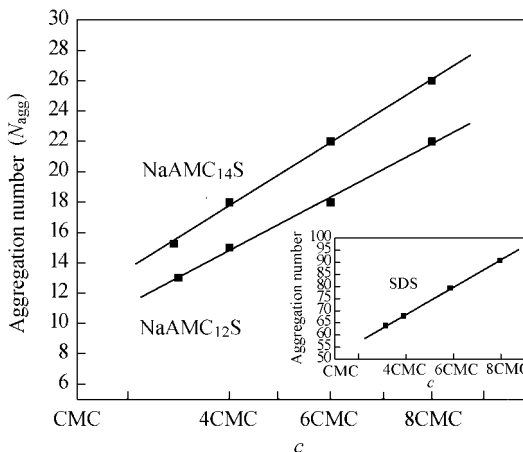


图 7 三种表面活性剂的聚集数与浓度的关系
Figure 7 Relationship between N_{agg} and c for three kinds of surfactants

由图 7 看到，对于三种表面活性剂，胶束聚集数 N_{agg} 随浓度增大而变大，且在 3CMC~8CMC 的浓度范围内，两者具有良好的线性关系。三种表面活性剂的胶束聚集数相比，两种表面活性单体 NaAMC₁₄S 与 NaAMC₁₂S 的 N_{agg} 较小；NaAMC₁₄S 的 N_{agg} 大于 NaAMC₁₂S 的 N_{agg} ；NaAMC₁₂S 的 N_{agg} 远小于 SDS 的 N_{agg} 。根据丙烯酸胺型阴离子表面活性单体分子结构的特点，可以推想，它们的分子在胶团中同样可能采取 Y 型的构象，即两个亲水基伸入水中，疏水单链相互靠拢，形成胶团，如图 8 所示。这种构象不利于碳氢链的相互缔合，会使得胶团结构较为疏松，导致很小的聚集数，本研究测得 NaAMC₁₄S 与 NaAMC₁₂S 的本征胶束聚集数 N_m 分别为 12, 10，而与 NaAMC₁₂S 具有相同疏水链与相同离子型亲水基的普通表面活性剂 SDS，其 N_m 为 54，充分显示出分子结构对胶束化行为的影响。NaAMC₁₄S 的 N_{agg} 大于 NaAMC₁₂S 的 N_{agg} ，与普通表面活性剂具有相似的规律，碳氢疏水链越长，聚集数越大。

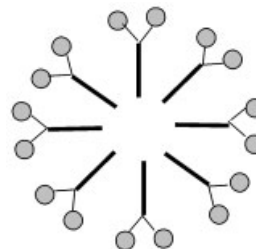


图 8 丙烯酸胺型阴离子表面活性单体胶团的可能形态
Figure 8 Configuration of micelles for acrylamide-type anionic surfactants adsorbed on water surface

3 结论

丙烯酸胺型阴离子表面活性单体与普通表面活性剂相比, 由于具有两个亲水头基, 故在水中的饱和溶解度较大, Krafft 点较低; 两个亲水头基减弱了疏水链之间的疏水相互作用, 导致了较高临界胶束浓度(CMC); 在水溶液表面其分子可能采取 Y 型构象, 排列疏松, 饱和吸附量较低, 导致其降低水表面张力的能力较差, 即表面活性差; 在胶团中分子所采取的 Y 型构象阻碍疏水碳氢链的缔合, 导致很小的聚集数. 两种同系物丙烯酸胺型阴离子表面活性单体 NaAMC₁₄S 与 NaAMC₁₂S 相比, 分子结构对各种胶束化参数的影响与普通表面活性剂具有相似的规律.

References

- 1 Wu, H.; Kawaguchi, S.; Ito, K. *Colloid Polym. Sci.* **2004**, 282, 1365.
- 2 Summers, M.; Eastoe, J.; Davis, S.; Du, Z.; Richardson, R. M.; Heenan, R. K.; Steytler, D.; Grillo, I. *Langmuir* **2001**, 17, 5388.
- 3 Herold, M.; Brunner, H.; Tovar, G. E. M. *Macromol. Chem. Phys.* **2003**, 204, 770.
- 4 Summers, M.; Eastoe, J. *Adv. Colloid Interface Sci.* **2003**, 100~102, 137.
- 5 Hirai, T.; Watanabe, T.; Komasa, I. *J. Phys. Chem. B* **2000**, 104, 8962.
- 6 Joynes, D.; Sherrington, D. C. *Polymer* **1996**, 37, 1453.
- 7 Schoonbrood, H. A. S.; Unzué, M. J.; Asua, J. M.; Goni, A. M.; Sherrington, D. C. *Macromolecules* **1997**, 30, 6024.
- 8 Hill, A.; Candau, F.; Selb, J. *Macromolecules* **1993**, 26, 4521.
- 9 Gao, B. J.; Xu, R. X.; Yu, S. K.; Xu, L.; Ge, Z. *Colloid Polym. Sci.* **2004**, 282, 1008.
- 10 Stähler, K.; Shelb, J.; Candau, F. *Mater. Sci. Eng., C* **1999**, 10, 171.
- 11 Tuin, G.; Candau, F.; Zana, R. *Colloid Surf., A* **1998**, 131, 303.
- 12 Yu, Y.-M.; Wang, Z.-H.; Gao, B.-J.; Wang, R.-X. *Acta Phys.-Chim. Sin.* **2006**, 22, 496 (in Chinese).
(于亚明, 王中华, 高保娇, 王蕊欣, 物理化学学报, **2006**, 22, 496.)
- 13 Yu, Y.-M.; Gao, B.-J.; Wang, R.-X. *Chin. J. Colloid Polym.* **2005**, 23, 26 (in Chinese).
(于亚明, 高保娇, 王蕊欣, 胶体与聚合物, **2005**, 23, 26.)
- 14 Fang, Y.; Liu, X.-F.; Xia, Y.-M.; Yang, Y.; Cai, K.; Xu, T.-M.; Zhao, X.-Y. *Acta Phys.-Chim. Sin.* **2001**, 17, 828 (in Chinese).
(方云, 刘雪峰, 夏咏梅, 杨扬, 蔡琨, 徐廷穆, 赵宪英, 物理化学学报, **2001**, 17, 828.)
- 15 Zhu, S.; Cheng, F.; Zheng, B.-J.; Yu, J.-G. *Acta Phys.-Chim. Sin.* **2004**, 20, 1245 (in Chinese).
(朱森, 程发, 郑宝江, 于九皋, 物理化学学报, **2004**, 20, 1245.)
- 16 Zhu, B.-Y.; Zhao, Z.-G. *Interface Chemistry Foundation*, Chemical Industry Press, Beijing, **1996**, Chapter 3 (in Chinese).
(朱步瑶, 赵振国, 界面化学基础, 化学工业出版社, 北京, **1996**, 第 3 章.)
- 17 Zheng, Z.; Hu, J.-H. *Physical Chemistry Principles of Surfactants*, South China University of Science Technology Press, Guangzhou, **1995**, p. 36 (in Chinese).
(郑忠, 胡纪华, 表面活性剂的物理化学原理, 华南理工大学出版社, 广州, **1995**, p. 36.)

(A0511244 CHENG, B.; LING, J.)