

• 研究论文 •

阳离子碳氢/碳氟表面活性剂与中性高聚物相互作用的研究

王 晨^a 陈新远^b 朱 湛^c 肖进新^{*,a,b}

(^a北京分子科学国家实验室 北京大学化学与分子工程学院 北京 100871)

(^b北京氟乐邦表面活性剂技术研究所 北京 100080)

(^c北京理工大学理学院 北京 100081)

摘要 研究了阳离子碳氢表面活性剂十二烷基三烷基溴化铵[C₁₂H₂₅N(C_nH_{2n+1})₃Br, *n*=1, 2, 3, 4]和阳离子碳氟表面活性剂 F[CF(CF₃)CF₂O]₂CF(CF₃)CONH(CH₂)₃N(C₂H₅)₂CH₃I (FCI-2)分别与中性高聚物聚氧乙烯(PEO, 分子量 20000)和聚氧乙烯-聚氧丙烯三嵌段共聚物[(EO)₇₆(PO)₂₉(EO)₇₆, F68]的相互作用. 结果表明, 所用的碳氢阳离子表面活性剂与 PEO 和 F68 均无相互作用, 但碳氟阳离子表面活性剂 FCI-2 与 PEO 和 F68 均具有明显的相互作用, 而且 F68 与 FCI-2 的相互作用强于 PEO 与 FCI-2 体系. 结果也初步表明碳氟表面活性剂与高聚物的相互作用强于碳氢表面活性剂-高聚物体系.
关键词 十二烷基三烷基溴化铵; 碳氟表面活性剂; 高聚物; 聚氧乙烯; 嵌段共聚物

Interactions between Cationic Hydrogenated/Fluorinated Surfactants and Neutral Polymers

Wang, Chen^a Chen, Xinyuan^b Zhu, Zhan^c Xiao, Jinxin^{*,a,b}

(^a Beijing National Laboratory for Molecular Sciences, College of Chemistry and Molecular Engineering, Peking University, Beijing 100871)

(^b Beijing FLUOBON Surfactant Institute, Beijing 100080)

(^c School of Science, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081)

Abstract This work investigated the interactions of cationic hydrogenated/fluorinated surfactants dodecyl-trialkylammonium bromide [C₁₂H₂₅N(C_nH_{2n+1})₃Br, *n* = 1, 2, 3, 4] and F[CF(CF₃)CF₂O]₂CF(CF₃)CONH(CH₂)₃N(C₂H₅)₂CH₃I (FCI-2) with polyethylene oxide (PEO, *M_n* = 20000) and block copolymer [(EO)₇₆(PO)₂₉(EO)₇₆, F68], which showed that there was no interaction between dodecyltrialkylammonium bromide and PEO or F-68. However, significant interactions were observed between FCI-2 and both PEO and F68, and F68 exhibited stronger interaction with FCI-2 than PEO did. These results suggested that the cationic fluorinated surfactants had stronger interaction with neutral polymers than the cationic hydrogenated surfactants.

Keywords dodecyltrialkylammonium bromide; fluorinated surfactant; polymer; polyethylene oxide; block copolymer

表面活性剂俗称“工业味精”, 几乎应用于所有工业. 在表面活性剂的工业应用中, 很多情况下都和高聚物共同出现. 表面活性剂和高聚物混合体系又是一种重要的“软物质”体系, 因此深入研究表面活性剂和高聚物

的相互作用具有重要的理论意义和应用价值^[1,2].

表面活性剂与高聚物通过相互作用形成复合物, 往往使高聚物链的构象发生变化, 更重要的是高聚物的存在影响了表面活性剂溶液的物理化学性质, 使溶液的表

* E-mail: xiaojinxin@pku.edu.cn

Received October 15, 2008; revised January 12, 2009; accepted February 27, 2009.

国家自然科学基金(No. 20573007)资助项目.

面张力、临界胶束浓度和聚集数等物理参数及溶液流变性、胶体分散体系的稳定性、界面吸附行为及水溶液的增容量等均发生了变化. 表面活性剂的分子结构对其与高聚物的相互作用影响很大, 一般认为普通阳离子表面活性剂不易与中性高聚物发生相互作用^[1,2], 因而有关表面活性剂和高聚物相互作用的研究主要集中在阴离子和两性离子表面活性剂, 而阳离子表面活性剂和高聚物相互作用的研究较少^[3].

碳氟表面活性剂(也称为氟表面活性剂)是碳氢表面活性剂(普通表面活性剂)中碳氢链中的氢原子部分或全部被氟原子取代的一种特殊表面活性剂^[4]. 相对于碳氢表面活性剂, 碳氟表面活性剂与高聚物相互作用的研究较少^[5], 更缺乏阳离子碳氟表面活性剂与中性高聚物相互作用的报道. 我们先前报道了碳氢和碳氟表面活性剂分别与蛋白质的相互作用, 发现碳氟表面活性剂与高聚物的相互作用要强于普通的碳氢表面活性剂^[6]. 本工作研究阳离子碳氢表面活性剂十二烷基三烷基溴化铵 [$C_{12}H_{25}N(C_nH_{2n+1})_3Br$, $n=1, 2, 3, 4$] 和阳离子碳氟表面活性剂 $F[CF(CF_3)CF_2O]_2CF(CF_3)CONH(CH_2)_3N(C_2H_5)_2CH_3I$ (FCI-2) 分别与中性高聚物聚氧乙烯(PEO)和聚氧乙烯-聚氧丙烯三嵌段共聚物(F68)的相互作用. 我们所用的两种高聚物结构比较相似(均为聚醚类中性高聚物), 但疏水性有较大差别, 可用于比较其疏水性对相互作用的影响. 阳离子碳氢表面活性剂 [$C_{12}H_{25}N(C_nH_{2n+1})_3Br$] 疏水基相同, 但随 n 值增加, 一方面亲水基体积增大, 另一方面也使疏水性增加, 因此可用于比较表面活性剂的亲水基体积及疏水性对其与高聚物相互作用的影响. 阳离子型氟表面活性剂由于合成困难, 可选择的类型很少. 我们所用的 FCI-2 是目前比较常用的阳离子氟表面活性剂之一, 其表面活性远高于其它几种常用的阳离子氟表面活性剂(疏水链为 C_nF_{2n+1})^[8], 而且 FCI-2 的疏水基为全氟环氧丙烷(Hexafluoropropylene oxide)齐聚物, 也有类似聚醚的结构^[8]. 我们研究的目的一方面希望通过改变表面活性剂和高聚物的疏水性调节阳离子表面活性剂和中性高聚物的相互作用, 另一方面初步考察碳氢表面活性剂和碳氟表面活性剂与高聚物相互作用的相对强弱.

1 实验仪器和方法

十二烷基三烷基溴化铵 [$C_{12}H_{25}N(C_nH_{2n+1})_3Br$, $n=1, 2, 3, 4$, 分别简记为 $C_{12}NM$, $C_{12}NE$, $C_{12}NP$, $C_{12}NB$] 由溴代十二烷(纯度 98%, Alfa Aesar 公司)分别与三甲胺(醇溶液)、三乙胺、三正丙胺和三正丁胺(均为 AR, 北京化学试剂公司)反应制得, 具体制备和纯化同文献^[7]. 阳

离子碳氟表面活性剂 $F[CF(CF_3)CF_2O]_2CF(CF_3)CONH(CH_2)_3N(C_2H_5)_2CH_3I$ (FCI-2) 的制备及提纯方法同文献^[8], 首先由全氟-2,5-二甲基-3,6-二氧壬酸甲酯 [$F[CF(CF_3)CF_2O]_2CF(CF_3)COOCH_3$, Alfa Aesar 公司, 纯度 97%] 与 N,N -二乙基丙二胺(AR, 北京化学试剂公司)反应, 产物再与碘甲烷(AR, 北京化学试剂公司)反应. 上述表面活性剂的表面张力曲线(γ -lg c 曲线)均无最低点, 表明无高表面活性杂质存在^[9]. 聚氧乙烯(PEO, $M_r=20000$, Sigma 公司)聚氧乙烯聚氧丙烯三嵌段共聚物[(EO)₇₆(PO)₂₉(EO)₇₆, 简称为 F68], Fluka 公司. 所用的水为二次水, 电导率小于 $1.4 \mu S \cdot cm^{-1}$.

溶液的电导率由 Orion 162 A (Thermo)型电导仪测定^[10]. 电极常数由电导率为 $100 \mu S \cdot cm^{-1}$ 的 NaCl 标准液标定, 临界胶束浓度(cmc)通过电导率 κ 对浓度作图的转折点的浓度来确定. 根据 Phillips^[11]对 cmc 的定义: 当表面活性剂溶液的物理性质(Φ)随表面活性剂浓度(c)变化时, 曲线上变化率最大时的表面活性剂浓度就是 cmc,

$$\left(\frac{d^3\Phi}{dc^3} \right)_{c=cmc} = 0$$

因此我们对所测得的电导率曲线进行二次求导, 所得曲线的最低点对应的表面活性剂浓度就是 cmc.

2 结果与讨论

2.1 阳离子碳氢表面活性剂与高聚物混合体系

对于存在相互作用的表面活性剂与高聚物混合体系, 其相互作用大都经过一个类似的过程, 即表面活性剂在超过一定临界浓度后, 会通过疏水相互作用在高聚物链上缔合形成复合物. 发生缔合作用的表面活性剂浓度称为临界聚集浓度(简称 cac)^[1,2]. 当表面活性剂在高聚物链上的缔合作用达到饱和后, 继续增大表面活性剂浓度, 溶液中将有自由的胶团形成, 这时的表面活性剂浓度定义为 T_2 . 一般来说, 表面活性剂在复合物中处于一种比在正常胶团中更有利的能量状态, 且 cac 和 T_2 满足 $cac < cmc < T_2$ ^[1,2]. 当表面活性剂和高聚物混合后, 若发生相互作用, 表面活性剂的电导率将发生变化, 因此可以通过测定混合溶液电导率的变化来判断二者是否存在相互作用. 若二者发生相互作用, 则电导率曲线将有两个转折点, 依次对应前面所述的 cac 和 T_2 ^[1,2], 因此, 可以通过电导率曲线是否有两个转折点, 来判断表面活性剂是否与高聚物发生了相互作用.

图 1 为十二烷基三烷基溴化铵的电导率曲线, 图 2 为在 0.1% (w) F68 存在下十二烷基三烷基溴化铵的电导

率曲线. 比较图 1 和图 2 可知, F68 与阳离子表面活性剂十二烷基三烷基溴化铵混合物的电导率曲线只有一个转折点, 分别对应于相应表面活性剂的 cmc(表 1), 因而可认为二者之间没有明显的相互作用.

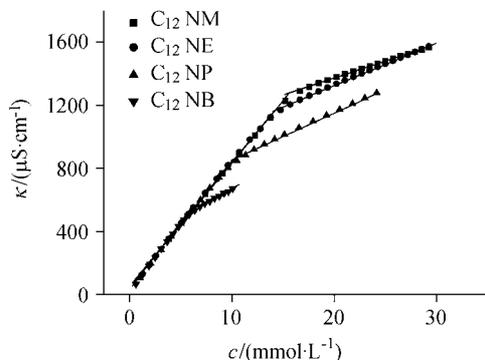


图 1 25 °C 时 C₁₂NM, C₁₂NE, C₁₂NP 和 C₁₂NB 水溶液的电导率

Figure 1 Specific conductivity of the C₁₂NM, C₁₂NE, C₁₂NP and C₁₂NB at 25 °C

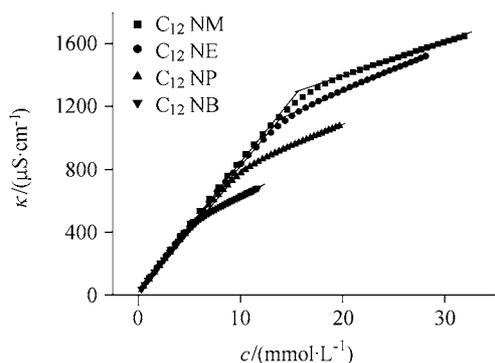


图 2 C₁₂NM, C₁₂NE, C₁₂NP 和 C₁₂NB 分别与 F68 (*w*=0.1%) 混合溶液的电导率(25 °C)

Figure 2 Specific conductivity of C₁₂NM, C₁₂NE, C₁₂NP and C₁₂NB in the presence of F68 (*w*=0.1%) at 25 °C

由于 F68 的疏水性强于 PEO, 因而我们可以认为: 如果 F68 不能与碳氢阳离子表面活性剂发生相互作用, 则 PEO 与该表面活性剂将更不可能有相互作用. 我们在同样条件下测定了十二烷基三烷基溴化铵与 PEO 混

表 1 25 °C 时十二烷基三烷基溴化铵及其与 F68 (*w*=0.1%) 混合水溶液的 cmc

Table 1 cmc of dodecyltrialkylammonium bromide in the absence/presence of F68 (*w*=0.1%) at 25 °C

Surfactant	cmc ^a /(mmol·L ⁻¹)	cmc ^b /(mmol·L ⁻¹)
C ₁₂ NM	15.4	15.2
C ₁₂ NE	13.6	13.7
C ₁₂ NP	10.5	10.1
C ₁₂ NB	5.7	5.7

^a in the absence of F68; ^b in the presence of F68.

合物的电导率曲线, 发现其基本与图 1 重合(未在本文中列出), 说明 PEO 与十二烷基三烷基溴化铵没有相互作用.

2.2 阳离子碳氟表面活性剂与高聚物混合体系

理论上, 碳氟表面活性剂较碳氢表面活性剂具有更强的疏水性^[4], 因而可能克服头基所产生的空间位阻, 与中性高聚物发生相互作用. 为此, 我们选取了阳离子氟表面活性剂 FCI-2, 在同样条件下, 利用电导率方法研究其与高聚物的相互作用情况. 图 3 分别是 FCI-2 单一体系、与 PEO (*w*=0.1%) 以及与 F68 (*w*=0.1%) 混合体系的电导率的结果.

不同于前面的碳氢阳离子表面活性剂, 从图 3b 和 3c 中我们可以明显地观察到电导率曲线出现两个转折点, 说明 FCI-2 与 PEO 和 F68 均发生了相互作用.

表 2 列出了由电导率曲线所得的 *cac*/*cmc* 值和 *T*₂-*cac* 值. 其中 *cac*/*cmc* 值反映不同的表面活性剂在相同条件下与高聚物相互作用的程度, *cac*/*cmc* 值越大, 该表面活性剂在相同条件下与高聚物相互作用越强; 反之, *cac*/*cmc* 值越小, 则相互作用越弱. 当表面活性剂与高聚物无相互作用时, 即 *cac* 与 *cmc* 大致重合, 此时的 *cac*/*cmc* = 1^[1,2]. *T*₂-*cac* 值则可以反映表面活性剂与高聚物之间吸附程度的强弱, *T*₂-*cac* 值越大, 吸附程度越强, 反之则越弱. 由表 2 所列出的 *cac*/*cmc* 值和 *T*₂-*cac* 值, 也可以说明 FCI-2 与 PEO 和 F68 确实发生了相互作用. 从表 2 中数据也可看出, F68 与 FCI-2 的相互作用要强于 PEO.

表 2 25 °C 时 FCI-2 及其与 PEO (*w*=0.1%)/F68 (*w*=0.1%) 混合水溶液的 cmc 和 *cac*

Table 2 cmc and *cac* of FCI-2 in the presence of PEO20000 (*w*=0.1%)/F68 (*w*=0.1%) at 25 °C

System	<i>cac</i> /(mmol·L ⁻¹)	cmc/(mmol·L ⁻¹)	<i>T</i> ₂ /(mmol·L ⁻¹)	<i>T</i> ₂ - <i>cac</i> /(mmol·L ⁻¹)	<i>cac</i> / <i>cmc</i>
FCI-2	—	1.22	—	—	—
FCI-2+0.1% PEO	1.06	—	1.70	0.64	0.87
FCI-2+0.5% PEO	0.99	—	1.80	0.81	0.81
FCI-2+0.1% F68	0.74	—	2.24	1.50	0.61
FCI-2+0.5% F68	0.70	—	2.30	1.60	0.57

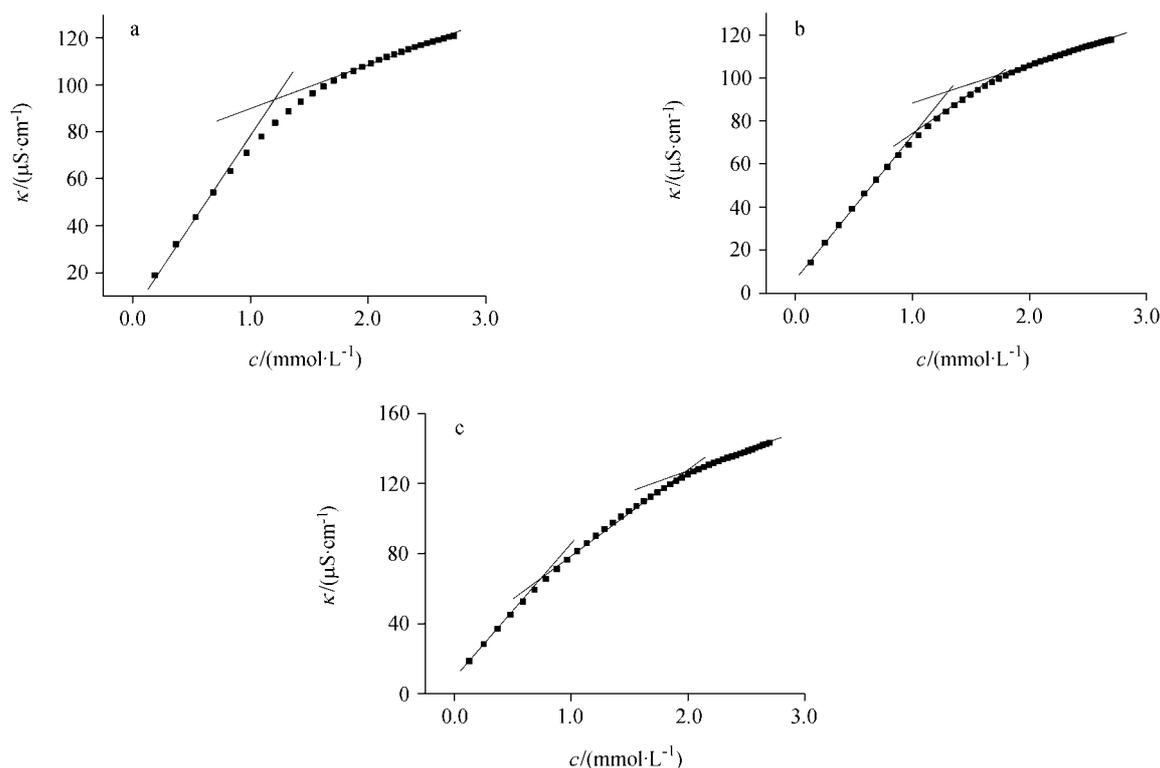


图3 25 °C FCI-2 (a)及其与 PEO ($w=0.1\%$) (b), F-68 ($w=0.1\%$) (c)混合溶液的电导率

Figure 3 Specific conductivity of the FCI-2 solution (a), in the presence of PEO ($w=0.1\%$) (b), in the presence of F-68 ($w=0.1\%$) (c) at 25 °C

同时也测定了含有 0.5% (质量分数 w) PEO 或 F68 的 FCI-2 的电导率曲线, 考察了高聚物浓度对其与 FCI-2 相互作用的影响. 因为与含有 0.1% (w) PEO 或 F68 的 FCI-2 的电导率曲线(图 3b, 3c)很相似, 只有很小的变化, 文中未列出电导率曲线图, 只将从电导率曲线所得的数据列于表 2. 从表 2 看出, FCI-2 与 PEO 或 F68 的相互作用随 PEO 或 F68 的浓度增加略有增加, 但幅度很小.

2.3 阳离子表面活性剂与中性高聚物相互作用的机理

在水溶液中, 表面活性剂与高聚物之间的相互作用十分复杂, 包括范德华作用、疏水作用、氢键、静电作用等^[1,2]. 表面活性剂与高聚物相互作用是这些作用之间的一个复杂平衡的结果, 任何一种相互作用的改变都会影响到最终的结果. 一般认为疏水作用和静电作用是表面活性剂与高聚物之间相互作用的主要驱动力(在一些中性高聚物与非离子表面活性剂的体系中, 氢键是主要驱动力)^[1,2].

在与中性高聚物的相互作用中, 当疏水链相近时阴离子表面活性剂与高聚物的相互作用普遍强于阳离子表面活性剂, 而且对于亲水性强的高聚物, 其与阳离子表面活性剂之间几乎没有相互作用^[1,2]. 相关的解释有三种: 第一种认为由于阳离子表面活性剂的头基普遍大于阴离子表面活性剂的头基, 因此高聚物链由于空间位

阻而不容易接近阳离子表面活性剂胶团的表面, 导致相互作用减弱^[1,2]. 但有实验发现即使是烷基铵盐, 其与高聚物的相互作用也弱于相应的阴离子表面活性剂, 尽管两者头基的大小类似^[12]. 因此头基的大小是其中一个重要的影响因素, 但不是全部. 第二种观点认为 PEO 中的醚氧和 PVP(聚乙烯吡咯烷酮)中的酰胺会部分质子化而使高聚物带有部分正电荷^[13]. 但是醚和酰胺的 pK_a 很小, 在中性的条件下质子化的可能性很小, 不过也有研究表明 PEO 可以络合某些较小的阳离子(如 H^+)而带有少量正电荷^[14]. 第三种解释由 Witte 和 Engberts^[15]提出, 他们认为不同表面活性剂与高聚物水化层的相互作用是有差别的, 导致阴离子表面活性剂与高聚物相互作用在能量上更为有利.

根据上面所讲的第二种观点, 从静电作用的角度, PEO 和 F68 这类中性高聚物是不易与阳离子表面活性剂发生相互作用的(我们一般所说的相互作用是指吸引作用). 因此, 我们现在重点需要考虑的就是疏水作用了. 表面活性剂和高聚物的疏水作用越强, 二者的相互作用亦越强. 对我们所用的阳离子碳氢表面活性剂, 随着头基(亲水基)从“三甲铵”到“三丁铵”, 其 cmc 依次减小(表 1), 说明其疏水性是依次增加的. 我们选择这个阳离子表面活性剂系列的初衷也是如此. 但该系列阳离子表面活性剂与 PEO 和 F68 混合体系未观察到明显

的相互作用. 这可归因于虽然随着头基从“三甲铵”到“三丁铵”, 疏水性依次增加, 但头基的体积也增加了, 十二烷基三烷基溴化铵系列的碳氢阳离子表面活性剂头基具有较强的空间位阻, 足以抵消与中性高聚物间的疏水作用. 这与上面所讲的第一种观点一致.

比较碳氢和碳氟表面活性剂, 碳氟表面活性剂的疏水性显著强于碳氢表面活性剂, 这也是碳氟表面活性剂是目前所有表面活性剂中表面活性最高的一类的原因^[4]. 因此, 碳氟表面活性剂强的疏水作用可克服其头基所产生的空间位阻, 从而更有利于表面活性剂和高聚物发生作用. 由此我们可以理解在本工作中所用的两类阳离子表面活性剂中, 碳氟表面活性剂和中性高聚物有相互作用而碳氢阳离子表面活性剂不和中性高聚物相互作用.

比较 PEO 和 F68 这两种中性高聚物, 由于 F68 分子中有聚氧丙烯嵌段, 其疏水性明显强于 PEO, 因此 F68 与阳离子表面活性剂的相互作用要强于 PEO 的(表 2).

关于碳氟表面活性剂和碳氢表面活性剂与高聚物相互作用时, 哪一种更强的问题, 文献中一直没有系统的、结论性的报道, 只有几种个别体系的研究, 如比较全氟辛基磺酸锂(LiFOS)和十二烷基硫酸锂(LiDS)分别与 PVP 的相互作用, LiFOS-PVP 的相互作用远强于 LiDS-PVP^[16]. 但这些比较和结论都是阴离子表面活性剂和高聚物体系. 本工作的结果表明, 至少就此研究体系而言, 阳离子碳氟表面活性剂显示了比阳离子碳氢表面活性剂更强的与中性高聚物的相互作用.

一个尚未解决的问题是阳离子表面活性剂在中性高聚物链上的缔合状态, 亦即二者相互作用形成的复合物(complexes)的结构. 对阴离子表面活性剂与中性高聚物的复合物, 文献中普遍采用的是“项链”(necklace)和“串珠”(bead)两种复合物结构模型^[17,18]. 因为阴离子表面活性剂与中性高聚物是通过疏水作用和静电作用共同起作用的, 而在阳离子表面活性剂与中性高聚物之间主要是疏水作用. 因此, 关于阳离子表面活性剂和中性高聚物形成复合物的结构, 需要进一步深入研究.

3 结论

研究了阳离子表面活性剂与中性高聚物间的相互作用情况. 所用的阳离子碳氢表面活性剂虽然随头基上碳链的增长, 疏水性增加, 但由于头基存在较强的空间位阻效应, 因而不易与中性高聚物发生相互作用; 而所用的氟表面活性剂其本身具有较强的疏水性, 可以克服头基引起的空间位阻, 从而可与中性高聚物发生相互作用. 结果表明若增加表面活性剂和高聚物的疏水性, 阳

离子表面活性剂仍可与中性高聚物发生明显的相互作用; 同时也初步表明阳离子碳氟表面活性剂与中心高聚物的相互作用强于阳离子碳氢表面活性剂-高聚物体系.

References

- Goddard, E. D.; Ananthapadmanabhan, K. P. In *Polymer-Surfactant Systems*, Ed.: Kwak, J. C. T., Marcel Dekker, New York, **1998**, Chapter 2.
- Taylor, D. J. F.; Thomas, R. K.; Penfold, J. *Adv. Colloid Interface Sci.* **2007**, *132*(2), 69.
- (a) Suksamranichit, S.; Sirival, A. *Chem. Eng. J.* **2007**, *128*(1), 11.
(b) Li, J.; Li, H.-Z.; Yang, H.-Y.; Zhu, P.-P.; He, P.-S. *Chin. J. Polym. Sci.* **2008**, *26*(1), 31.
- Kissa, E. In *Fluorinated Surfactants and Repellents*, Marcel Dekker Inc., New York, **2001**, Chapter 4.
- (a) Segre, A. L.; Proietti, N.; Sesta, B.; D'Aprano, A.; Amato, M. E. *J. Phys. Chem. B* **1998**, *102*, 10248.
(b) Gianni, P.; Bernazzani, L.; Carosi, R.; Mollica, V. *Langmuir* **2007**, *23*(17), 8752.
(c) Gianni, P.; Bernazzani, L.; Guido, C. A.; Mollica, V. *Thermochim. Acta* **2006**, *451*(1~2), 73.
- Lu, R.-C.; Cao, A.-N.; Lai, L.-H.; Xiao, J.-X. *Colloids Surf., B* **2008**, *64*, 98.
- Zhao, G.-X.; Xiao, J.-X. *Acta Phys.-Chim. Sin.* **1995**, *11*(9), 785 (in Chinese).
(赵国玺, 肖进新, 物理化学学报, **1995**, *11*(9), 785.)
- Qian, L.-Q.; Chen, L.-F.; Zeng, Y.-H.; Hu, C.-M.; Zhao, G.-X. *Acta Chim. Sinica* **1982**, *40*, 945 (in Chinese).
(钱榴清, 陈立佛, 曾毓华, 胡昌明, 赵国玺, 化学学报, **1982**, *40*, 945.)
- Xiao, J.-X.; Zhao, Z.-G. In *Application Principle of Surfactants*, Chemical Industry Press, Beijing, **2003**, Chapter 3 (in Chinese).
(肖进新, 赵振国, 表面活性剂应用原理, 化学工业出版社, 北京, **2003**, 第三章.)
- (a) Hao, J.; Hoffmann, H.; Horbaschek, K. *J. Phys. Chem. B* **2000**, *104*, 10144.
(b) Hao, J.; Yuan, Z.; Liu, W.; Hoffmann, H. *J. Phys. Chem. B* **2004**, *108*, 5105.
- Phillips, J. N. *Trans. Faraday Soc.* **1955**, *51*, 561.
- Shirahama, K.; Oh-Ishi, M.; Takisawa, N. *Colloids Surf.* **1989**, *40*, 261.
- Schwuger, M. J. *J. Colloid Interface Sci.* **1973**, *43*, 491
- Dubin, P. L.; Gruber, J. H.; Xia, J.; Zhang, H. *J. Colloid Interface Sci.* **1991**, *148*, 35.
- Witte, F. M.; Engberts, J. B. F. N. *Colloids Surf.* **1989**, *36*, 417.
- Nojima, T.; Esumi, K.; Megoro, K. *J. Am. Oil Chem. Soc.* **1992**, *69*(1), 64.
- Hou, Z.; Li, Z.; Wang, H. *Colloid Polym. Sci.* **1999**, *277*, 1011.
- Cabane, B. *J. Phys. Chem.* **1977**, *81*, 1639.