

## Triton X-100/CTAB 在乙二醇/水混合溶剂中的热力学性质和胶团化行为

凌锦龙\* 计兵 莫勤华 孙来玉

(湖州师范学院生命科学学院, 浙江 湖州 313000)

**摘要:** 利用表面张力法, 研究了非离子表面活性剂 Triton X-100 和离子表面活性剂十六烷基三甲基溴化铵 (CTAB) 混合体系在混合极性溶剂乙二醇/水(乙二醇的体积分数分别为 5%、10% 和 20%) 中的热力学性质和胶团化行为. 结果表明, 混合体系在乙二醇水溶液中存在协同效应, 临界胶束浓度随乙二醇含量的增加而增大. 利用 Rubingh 和 Maeda 模型计算了混合物中各组分在胶团相中的组成、相互作用参数以及自由能的贡献. 在实验研究的乙二醇浓度范围内, 发现该非离子/离子混合体系在离子组分摩尔分数约为 0.3 时, 协同效应最强.

**关键词:** 胶团化行为; 混合极性溶剂; 热力学性质; 正规溶液理论  
**中图分类号:** O647; O642

## Micellization Behavior and Thermodynamic Properties of Triton X-100/CTAB Mixtures in Ethylene Glycol and Water Solvent Mixtures

LING Jin-Long\* JI Bing MO Qin-Hua SUN Lai-Yu

(Institute of Life Sciences, Huzhou Teachers College, Huzhou 313000, Zhejiang Province, P. R. China)

**Abstract:** The micellization behavior of the nonionic surfactant Triton X-100 (TX100) and the cationic cetyltrimethylammonium bromide (CTAB) binary mixtures was investigated in ethylene glycol (EG) and water mixtures using a tensiometric technique. We show that synergistic effects exist for surface tension reduction and mixed micelle formation. When the molar fraction of CTAB in the mixture is about 0.3, the synergistic effect is at its optimum. The critical micelle concentration of the mixture increases as the content of EG in the mixed solvents increases. The established theories of Rubingh and Maeda were applied to determine the molar fraction of the different components, the interaction parameters and several thermodynamic properties of the micellar phase. We found that the micelle composition and the interaction parameters from Rubingh's model and Maeda's model were in agreement.

**Key Words:** Micellization behavior; Mixed polar solvent; Thermodynamic property; Regular solution theory

表面活性剂在非水溶剂中聚集态的研究与水体系相比还很缺乏, 然而近年来对非水体系的研究日益增多. 这是因为表面活性剂在非水溶剂中的应用日趋增加. 在涂料和油漆工业, 在萃取过程中, 在微乳液以及胶团催化中, 都涉及表面活性剂的非水溶液问题<sup>[1]</sup>.

乙二醇(EG)作为普通的极性有机溶剂, 是最常用的添加剂之一, 因其与水具有很多相似性质, 如很

高的内聚能和介电常数, 较强的氢键形成能力<sup>[2-4]</sup>. 然而它却是水结构的破坏剂, 也是蛋白质的变性溶剂. 以往对非水极性溶剂中聚集行为的研究, 大多集中在离子型表面活性剂<sup>[5-9]</sup>, 而非离子表面活性剂的胶团化研究相对很少, 所得结论也不尽相同<sup>[10,11]</sup>. 对表面活性剂在乙二醇/水混合极性溶剂的研究有助于对其聚集体的共溶剂效应有更深的认识<sup>[12-18]</sup>.

胶团作为反应介质, 在化学反应速率和平衡过

Received: February 10, 2009; Revised: March 17, 2009; Published on Web: April 15, 2009.

\*Corresponding author. Email: lingjinlong@hutc.zj.cn; Tel: +86-13905723630

程中的应用,已引起广泛兴趣<sup>[19,20]</sup>.通过在反应界面区消耗反应物而影响反应速率,或通过影响介质效应从而影响反应特性.最近,混合表面活性剂胶团对水解、亲核取代以及其他反应速率的影响,在文献中屡有报道<sup>[21-25]</sup>.

混合胶团理论模型可预测胶团组成、相互作用参数、自由能的贡献以及其他热力学参数,对了解共溶剂效应和聚集体结构很有帮助.本文选用典型的非离子/离子体系,即 Triton X-100/CTAB,测定在不同体积分数的乙二醇/水混合溶剂中的表面张力和临界胶束浓度,利用 Rubingh 和 Maeda 模型对其热力学性质和胶团化行为进行分析.

## 1 实验部分

### 1.1 试剂

Triton X-100(TX100), 99.8%, 进口分装,江苏碧云天生物技术研究;十六烷基三甲基溴化铵(CTAB),用丙酮-乙醚混合溶剂重结晶5次;乙二醇(EG), AR, 使用前开瓶;水为二次蒸馏水.所用试剂经测定表面张力曲线均无最低点,表明无高活性杂质存在.

### 1.2 实验仪器和方法

悬滴动态表面张力仪,实验室自制.测得水中CTAB和TX100的临界胶束浓度(cmc)分别为  $9.1 \times 10^{-4}$  和  $2.9 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,与文献值<sup>[14]</sup>相符.

配制不同摩尔比的TX100/CTAB混合溶液,分别溶解在5%、10%、20%(体积分数,下同)的乙二醇水溶液中.实验温度控制在298.15 K.

## 2 结果与讨论

### 2.1 混合胶团的 cmc

表 1 298.15 K 时 TX100/CTAB 混合体系在 5%, 10%, 20% 的乙二醇水溶液中的表面活性参数  
Table 1 Surface activity parameters of TX100/CTAB mixture system of surfactants in 5%, 10%, 20% EG aqueous solution at 298.15 K

$\alpha_2$	$\gamma_{\text{cmc}}/(\text{mN} \cdot \text{m}^{-1})$			$\text{cmc}(\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1})$			$\text{cmc}_{\text{mix}}^{\text{c}}(\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1})$		
	5%	10%	20%	5%	10%	20%	5%	10%	20%
0.000	28.4	28.4	28.2	0.31	0.34	0.44	0.31	0.34	0.44
0.151	30.6	30.6	30.5	0.24	0.29	0.39	0.38	0.42	0.54
0.302	31.7	31.7	31.6	0.23	0.29	0.41	0.47	0.51	0.64
0.500	32.7	32.6	32.5	0.26	0.33	0.48	0.60	0.65	0.80
0.685	33.9	33.9	33.8	0.35	0.43	0.61	0.75	0.82	0.97
0.825	34.3	34.2	34.1	0.52	0.62	0.79	0.90	0.97	1.12
0.948	35.0	34.9	34.9	0.83	0.94	1.07	1.05	1.13	1.27
1.000	35.9	35.8	35.8	1.12	1.21	1.34	1.12	1.21	1.34

$\text{cmc}_{\text{mix}}^{\text{c}}$  is calculated from Clint method<sup>[26,27]</sup> (Eq.(1)).

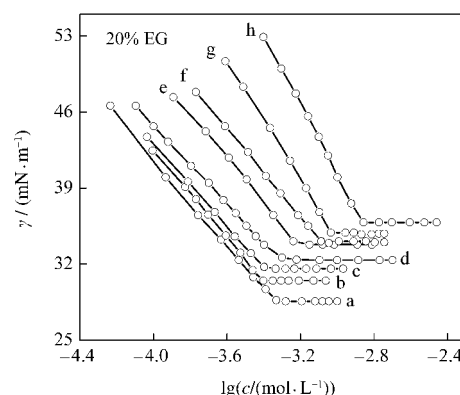


图 1 纯 TX100 和 CTAB 及 TX100/CTAB 混合体系在 20% EG 水溶液中表面张力等温线

Fig.1 Surface tension versus logarithm of concentration of pure TX100 and CTAB and their mixtures TX100/CTAB at different composition in 20% EG aqueous solution

$\alpha_2$  (molar fraction of CTAB in solution): (a) 0.000, (b) 0.151, (c) 0.302, (d) 0.500, (e) 0.685, (f) 0.825, (g) 0.948, (h) 1.000

图 1 是 20% EG 水溶液中 TX100/CTAB 混合体系的表面张力等温线(5%和10%未列出),以表面张力  $\gamma$  对表面活性剂总浓度  $c$  的对数  $\lg c$  作图.可以看出,混合溶液中随离子表面活性剂摩尔比的增加,溶液的最低表面张力值  $\gamma_{\text{cmc}}$  也增加,而临界胶束浓度在两个单组分表面活性剂的 cmc 中间有一个最低点.具体数据列于表 1,由表中数据发现,同一组成的混合溶液在不同浓度的 EG 水溶液中,  $\gamma_{\text{cmc}}$  的变化不大;而对于 cmc,无论是纯组分表面活性剂还是混合表面活性剂,都随混合溶剂中 EG 含量的增加而增大,说明 EG 不利于胶团的形成.引起这种现象的因素有:溶剂的性质,介电常数,憎溶剂效应,以及水结构的破坏<sup>[15,16]</sup>.

在一定浓度时表面活性剂形成胶团是因为碳氢

链间的相互吸引力和头基间的相互排斥力达到平衡的结果, 乙二醇降低了水的介电常数, 导致碳氢链间的疏水效应降低, 离子头基间的排斥力增加, 延缓了胶团的形成, cmc 增大. 同时, 乙二醇使表面活性剂的憎水基被乙二醇的憎水部分溶剂化, 造成长碳氢链的憎溶剂效应降低, 也不利于胶团的形成.

基于正规溶液理论, Clint<sup>[26,27]</sup>提出了理想混合胶团 cmc 的计算方法:

$$\frac{1}{\text{cmc}_{\text{mix}}^{\text{C}}} = \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i}{\text{cmc}_i} \quad (1)$$

式中,  $\alpha_i$  是  $i$  组分在总混合溶液中的计量摩尔分数,  $\text{cmc}_i$  是纯  $i$  组分的临界胶束浓度.  $\text{cmc}_{\text{mix}}^{\text{C}}$  是按 Clint 方法计算的理想混合体系的 cmc, 结果列于表 1.

图 2 是 TX100/CTAB 混合溶液 cmc 的实测值与理想值随 CTAB 摩尔分数的变化. 由图发现, 实测值与理想值发生了负偏差, 表明存在协同效应, 这与文献[10]关于离子/非离子体系协同作用的结论相一致. 混合胶团的 cmc 在  $\alpha_2 \approx 0.3$  处有最低点, 说明 TX100/CTAB 混合体系在此处协同效应最强.

## 2.2 混合胶团组成与热力学性质

### 2.2.1 Rubingh 模型

利用正规溶液理论, Rubingh<sup>[28]</sup>提出了计算非理想的二组分混合胶团的组成  $X_1$  和分子相互作用参数  $\beta$  的方程:

$$\frac{(X_1)^2 \ln(\alpha_1 C_{12}/X_1 C_1)}{(1-X_1)^2 \ln[(1-\alpha_1)C_{12}/(1-X_1)C_2]} = 1 \quad (2)$$

$$\beta = \frac{\ln(\alpha_1 C_{12}/X_1 C_1)}{(1-X_1)^2} \quad (3)$$

式中  $C_1$ 、 $C_2$  和  $C_{12}$  分别为组分 1(TX100)、组分 2(CTAB)和混合溶液的 cmc;  $\alpha_1$  是组分 1 在混合体系中的计量摩尔分数.

混合胶团中组分 1 和 2 的活度系数( $f$ )由下式计算:

$$f_1 = \exp[\beta(1-X_1)^2] \quad (4)$$

$$f_2 = \exp[\beta(X_1)^2] \quad (5)$$

$X_1$  由方程(2)通过迭代法计算得到, 再代入方程(3)、(4)和(5)计算分子相互作用参数  $\beta$  及  $f_1$  和  $f_2$ . 结果列于表 2.

表 2 中  $X_2^{\text{S}}$  随 EG 浓度的增加分两个浓度区而变化. 在  $\alpha_2 < 0.500$  时,  $X_2^{\text{S}}$  随 EG 浓度的增加而减小, 并且在胶团中的组成高于本体溶液中的组成; 在  $\alpha_2 > 0.500$  时, 随 EG 浓度的增加而增加, 但在胶团组成中, 非离子组分占比例更多.

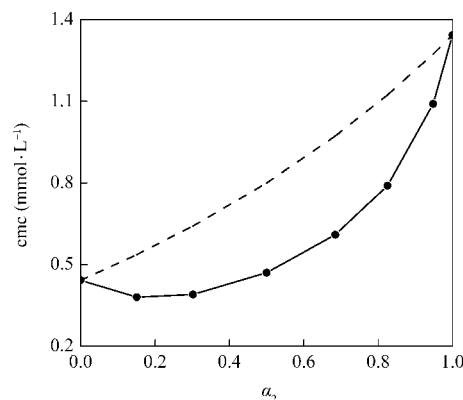


图 2 在 20% EG 水溶液中 TX100/CTAB 混合体系临界胶束浓度(cmc)随 CTAB 摩尔分数的变化

Fig.2 Dependence of critical micelle concentration (cmc) of TX100/CTAB mixture system on the molar fraction of CTAB in 20% EG aqueous solution

The solid curve represents the experimental data and the dotted line represents the cmc of the ideal mixing situation estimated by Clint's method.

$\beta$  是混合胶团中的分子相互作用参数, 负值表示两组分之间有相互吸引作用, 正值表示有相互排斥作用.  $\beta$  的绝对值越大, 相互作用越强,  $\beta$  等于或接近于零, 说明没有或有微弱的相互作用. 表 2 中  $\beta$  都为负数, 说明胶团形成过程中存在协同效应.  $\beta$  随 EG 的增加而增大, 因此 EG 不利于胶团的形成, 这与实验结论一致.  $\beta$  都在  $\alpha_2 = 0.300 - 0.500$  处出现最低值, 表明 Rubingh 模型的结论与实验结果符合甚好.

由正规溶液理论, 可计算二元体系的混合热力学函数. 因为超额熵  $S^{\text{E}}$  为零, 超额自由能  $G^{\text{E}}$  和超额焓  $H^{\text{E}}$ , 以及混合焓  $\Delta H_{\text{mix}}$  和混合自由能  $\Delta G_{\text{mix}}$  有下列关系<sup>[29]</sup>:

$$G^{\text{E}} = H^{\text{E}} = \Delta H_{\text{mix}} = RT \sum X_i \ln f_i \quad (6)$$

$$\begin{aligned} T\Delta S_{\text{mix}} &= \Delta H_{\text{mix}} - \Delta G_{\text{mix}} \\ &= RT \sum X_i \ln f_i - RT \sum X_i \ln X_i f_i \\ &= -RT \sum X_i \ln X_i \end{aligned} \quad (7)$$

计算结果一同列于表 2.

表 2 中的混合热力学参数与文献[13,30]具有相同的数量级. 混合自由能变化  $\Delta G_{\text{mix}}$  都是负值, 表示胶团形成是自发过程. 混合熵变都是正值, 溶液组成和溶剂中 EG 含量对熵变影响很小. 从数值分析, 热效应和熵效应对胶团形成同样起着重要作用.

混合体系对理想情况的偏差可由超额自由能  $G^{\text{E}}$  来衡量. 图 3 为混合体系的超额自由能  $G^{\text{E}}$  随 CTAB 摩尔分数的变化. 由图很清楚地表明发生了负偏差, 随 EG 浓度增大, 偏差减小. 说明低浓度的极性有机溶剂有利于混合胶团的形成<sup>[1]</sup>. EG 作为助溶剂,

表 2 298.15 K 时 TX100/CTAB 混合体系在 5%, 10%, 20% 的乙二醇水溶液中的 Rubingh 模型胶团参数  
Table 2 Micellar parameters of mixture TX100/CTAB obtained from Rubingh model in 5%, 10%, 20% EG aqueous solution at 298.15 K

$\varphi_{EG}$	$\alpha_2$	$X_2^*$	$-\beta$	$f_1$	$f_2$	$-\Delta G_{max}^0$ (J·mol <sup>-1</sup> )	$\frac{\Delta S_{max}}{T}$ (J·K <sup>-1</sup> ·mol <sup>-1</sup> )	$-G^E$ (J·mol <sup>-1</sup> )
5%	0.151	0.277	3.06	0.79	0.20	2983	4.91	1520
	0.302	0.367	3.33	0.64	0.26	3546	5.46	1917
	0.500	0.445	3.42	0.51	0.35	3797	5.71	2094
	0.685	0.518	3.03	0.44	0.49	3592	5.76	1875
	0.825	0.607	2.45	0.41	0.68	3111	5.57	1449
	0.948	0.782	1.82	0.33	0.92	2071	4.36	770
10%	0.151	0.259	2.61	0.84	0.24	2659	4.75	1241
	0.302	0.352	2.74	0.71	0.32	3156	5.39	1549
	0.500	0.440	2.86	0.57	0.41	3447	5.70	1747
	0.685	0.520	2.62	0.49	0.55	3337	5.76	1621
	0.825	0.619	2.01	0.46	0.75	2822	5.52	1175
	0.948	0.810	1.43	0.39	0.95	1752	4.04	546
20%	0.151	0.253	2.15	0.87	0.30	2409	4.70	1007
	0.302	0.353	2.21	0.76	0.40	2860	5.40	1251
	0.500	0.449	2.13	0.65	0.52	3012	5.72	1306
	0.685	0.546	1.89	0.57	0.68	2869	5.73	1161
	0.825	0.651	1.68	0.49	0.81	2550	5.38	946
	0.948	0.826	1.41	0.38	0.96	1649	3.84	503

$X_2^*$ : molar fraction of CTAB in the mixed micelle,  $f$ : activity coefficient,  $\beta$ : molecule interaction parameter in mixed micelle;  
Subscripts 1 and 2 denote TX100 and CTAB, respectively.

进入胶团内部, 参与胶团的形成. 在表面活性剂头基之间, 溶剂充当桥梁的作用, 使极性头基溶剂化, 从而降低了头基与头基间的排斥力. Ruiz<sup>[4]</sup>和 Rodriguez<sup>[21]</sup>等人的研究表明, 随着 EG 浓度的增加, 胶团的溶剂化程度也增加, 胶团聚集数目降低, 不利于胶团形成.

### 2.2.2 Maeda 模型

Maeda 模型<sup>[31]</sup>适用于离子/非离子混合体系. 该模型与正规溶液理论的区别是, 考虑了短程静电作用. 认为在离子/非离子混合体系中, 由于非离子的

介入, 混合胶团中的离子头基之间的相互排斥力被降低了. 基于相分离模型, Maeda 提出, 混合胶团形成的标准自由能变化值被描述为离子组分在胶团中摩尔分数  $X_2^{Ma}$  的多项式函数:

$$\Delta G_{Ma}^0 = RT(B_0 + B_1 X_2^{Ma} + B_2 (X_2^{Ma})^2) \quad (8)$$

其中,

$$B_0 = \ln X_{cmc,1} \quad (9)$$

$$B_1 + B_2 = \ln \left( \frac{X_{cmc,2}}{X_{cmc,1}} \right) \quad (10)$$

$$B_2 = -\beta \quad (11)$$

$X_{cmc,1}$  和  $X_{cmc,2}$  分别是用摩尔分数表示的非离子组分和离子组分的 cmc 值.

$B_0, B_1, B_2$  和  $\Delta G_{Ma}^0$  值列于表 3. 各浓度的乙二醇/水溶液中,  $B_1$  都为负值.  $B_1$  是与一个离子进入非离子胶团中, 替换出一个非离子这样一个迁移过程的标准自由能变化有关的参数, 所以  $B_1$  对混合胶团 cmc 的变化有着重要的影响. 其主要由两项贡献构成: 极性头基之间的相互作用和碳氢链之间的相互作用.  $B_1$  为负值, 表明混合胶团中两组分碳氢链之间的相互作用是胶团稳定的主要原因.

标准自由能变化  $\Delta G_{Ma}^0$  都是负数, 随 EG 浓度的增加而增大. 对同一浓度的 EG 溶液, 随离子组分的增加,  $\Delta G_{Ma}^0$  逐渐变得更小, 直到  $\alpha_2=0.300-0.500$  处

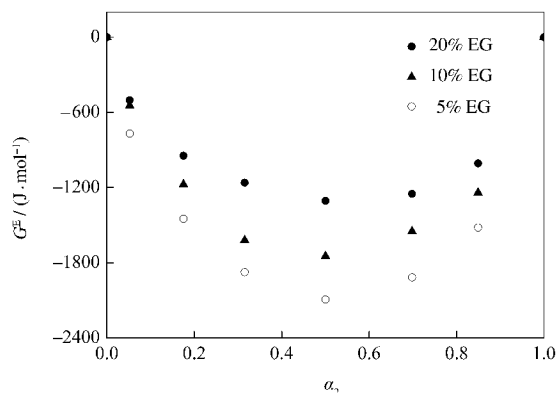


图 3 混合体系的超额自由能  $G^E$  随 CTAB 摩尔分数的变化  
Fig.3 Plots of the excess free energy ( $G^E$ ) of mixture system vs the bulk molar fraction of CTAB

表 3 298.15 K 时 TX100/CTAB 混合体系在 5%, 10%, 20% 的 EG 水溶液中的 Maeda 模型的自由能和相互作用参数  
 Table 3 Free energies and interaction parameters of TX100/CTAB mixture system obtained from Maeda models in 5%, 10%, 20% EG aqueous solution at 298.15 K

$\varphi_{EG}$	$\alpha_2$	Calculated using Eqs.(8-11)				Calculated using Eqs.(12-16)		
		$-B_0$	$-B_1$	$B_2$	$-\Delta G_{Ma}^0/(kJ \cdot mol^{-1})$	$X_2^{Ma}$	$-g^{ex}$	$-\beta^{Ma}$
5%	0.151	12.10	1.77	3.06	30.61	0.26	0.63	3.28
	0.302		2.04	3.33	30.74	0.26	0.62	3.22
	0.500		2.13	3.42	30.73	0.22	0.62	3.60
	0.685		1.74	3.03	30.58	0.24	0.60	3.29
	0.825		1.16	2.45	30.24	0.35	0.49	2.15
	0.948		0.53	1.82	28.67	0.70	0.23	1.10
10%	0.151	12.01	1.33	2.61	30.14	0.19	0.42	2.72
	0.302		1.46	2.74	30.22	0.23	0.45	2.58
	0.500		1.58	2.86	30.29	0.27	0.49	2.50
	0.685		1.34	2.62	30.18	0.24	0.49	2.67
	0.825		0.73	2.01	29.76	0.36	0.38	1.66
	0.948		0.15	1.43	28.06	0.75	0.13	0.71
20%	0.151	11.74	1.04	2.15	29.38	0.19	0.34	2.22
	0.302		1.10	2.21	29.40	0.19	0.33	2.17
	0.500		1.02	2.13	29.39	0.21	0.34	2.02
	0.685		0.79	1.89	29.17	0.36	0.30	1.29
	0.825		0.57	1.68	28.70	0.52	0.25	0.98
	0.948		0.30	1.41	27.55	0.78	0.15	0.85

产生一个最低点, 然后又上升. 胶团形成的自由能为负值, 说明了离子和非离子表面活性剂之间的互相作用. 混合前, 离子表面活性剂分子间存在较强的静电斥力, 非离子表面活性剂分子间存在短程的空间斥力. 这些斥力导致表面活性剂相互分离而阻碍了混合. 混合后, 产生离子-偶极子相互引力, 排斥力减小了. Rosen 等人<sup>[17]</sup>对阳离子/非离子体系的研究也得到相似的结论.

近来, Maeda 在 Gibbs-Duhem 方程的基础上提出了另一个理论模型<sup>[32]</sup>, 在低离子强度时可预测离子/非离子混合胶团的超额自由能  $g^{ex}$ :

$$g^{ex} = X_2^{Ma} \ln f_I + (1 - X_2^{Ma}) \ln f_N \quad (12)$$

式中,  $f_I$  和  $f_N$  分别代表离子和非离子组分的活度系数,  $X_2^{Ma}$  是离子组分在混合胶团中的组成.

忽略反离子结合度的情况下,  $X_2^{Ma}$  可由下式计算:

$$X_2^{Ma} = \alpha_2 [1 - (1 - \alpha_2)(d \ln cmc / d \alpha_2)] \quad (13)$$

离子和非离子组分的活度系数计算公式:

$$f_I = \frac{\alpha_2 cmc_{mix}}{X_2^{Ma} cmc_I} \quad (14)$$

$$f_N = \frac{1 - \alpha_2}{1 - X_2^{Ma}} \frac{cmc_{mix}}{cmc_N} \quad (15)$$

式中,  $cmc_I$ ,  $cmc_N$  和  $cmc_{mix}$  分别表示离子、非离子组分和混合溶液的 cmc.

胶团相中的相互作用参数  $\beta^{Ma}$  由下式计算:

$$\beta^{Ma} = \frac{g^{ex}}{X_2^{Ma}(1 - X_2^{Ma})} \quad (16)$$

计算结果列于表 3. 当  $\alpha_2 > 0.3$ , 离子表面活性剂在混合胶团中的组成比混合溶液中低, 而随 EG 增加, 胶团中离子表面活性剂的组成也呈增加趋势;  $g^{ex}$  在 5% EG 溶液中, 随离子组分的增加而增大; 在 10% 和 20% EG 溶液中, 都在  $\alpha_2 \approx 0.5$  附近有最低点. 同一组成的溶剂中, 随 EG 的增加,  $g^{ex}$  也呈增加趋势. 胶团中相互作用参数  $\beta^{Ma}$  与 Rubingh 模型中相互作用参数  $\beta$  非常接近, 随 EG 的增加而增大.

### 3 结论

乙二醇具有两个  $CH_2$  和  $OH$  基团, 与离子和非离子表面活性剂分子都有较强的相互作用, 这导致溶剂中随乙二醇含量的增加, TX100/CTAB 混合胶团的 cmc 增大.

混合胶团理论模型表明, 混合体系对理想情况发生负偏差. 胶团的形成是憎溶剂效应和静电排斥效应产生的结果. 热力学参数表明胶团形成是一个自发过程. 来自 Rubingh 模型和 Maeda 模型的胶团相互作用参数非常接近, 胶团的组成也符合很好, 说明了理论模型的一致性.

## References

- 1 Zhao, G. X. Physical chemistry of surfactants. 2nd ed. Beijing: Peking University Press, 1984: 231–315 [赵国玺. 表面活性剂物理化学. 第二版. 北京: 北京大学出版社, 1984: 231–315]
- 2 Ye, X. L.; Li, Y. S.; Hu, X. J. *Acta Phys. -Chim. Sin.*, **1994**, **10**: 456 [叶锡麟, 李玉书, 胡秀杰. 物理化学学报, **1994**, **10**: 456]
- 3 Ruiz, C. C.; Molina-Bolvair, J. A.; Aguiar, J.; MacIsaac, G.; Moroze, S.; Palepu, R. *Colloid Polym. Sci.*, **2003**, **281**: 531
- 4 Ruiz, C. C.; Molina-Bolvair, J. A.; Aguiar, J.; MacIsaac, G.; Moroze, S.; Palepu, R. *Langmuir*, **2001**, **17**: 6831
- 5 Ruiz, C. C. *J. Colloid Interface Sci.*, **2000**, **221**: 262
- 6 Huang, J. B.; Zhu, B. Y.; Zhao, G. X. *Langmuir*, **1997**, **13**: 5759
- 7 Huang, J. B.; He, P.; He, X.; Zhu, B. Y. *Acta Phys. -Chim. Sin.*, **1998**, **14**: 1080 [黄建滨, 何萍, 何煦, 朱玮瑶. 物理化学学报, **1998**, **14**: 1080]
- 8 Akhter, M. S.; Alawi, S. M. *Colloids Surf. A*, **2000**, **173**: 95
- 9 Nagarajan, R.; Wang, C. C. *Langmuir*, **2001**, **16**: 5242
- 10 Catu, L.; Corti, M.; Degiorgio, V.; Hoffman, H.; Ulbricht, W. *J. Colloid Interface Sci.*, **1987**, **116**: 384
- 11 Penfold, J.; Staples, E.; Tucker, I.; Cummins, P. *J. Colloid Interface Sci.*, **1997**, **185**: 424
- 12 Huang, J. B.; Han, F.; Wu, T. *Acta Phys. -Chim. Sin.*, **2003**, **19**: 779 [黄建滨, 韩峰, 吴涛. 物理化学学报, **2003**, **19**: 779]
- 13 Moore, S. A.; Glenn, K. M.; MacDonald, A. M.; Palepu, R. M. *Colloid Polym. Sci.*, **2007**, **285**: 543
- 14 Fang, X. W.; Zhao, S.; Mao, S. Z.; Yu, J. Y.; Du, Y. R. *Colloid Polym. Sci.*, **2003**, **281**: 455
- 15 Chakraborty, T.; Ghosh, S. *Colloid Polym. Sci.*, **2007**, **285**: 1665
- 16 Das, C.; Chakraborty, T.; Ghosh, S.; Das, B. *Colloid Polym. Sci.*, **2008**, **286**: 1143
- 17 Rosen, M. J.; Sulthana, S. B. *J. Colloid Interface Sci.*, **2001**, **239**: 528
- 18 Shrivastava, A.; Ghosh, K. K. *J. Surfact. Deterg.*, **2008**, **11**: 287
- 19 Bunton, C. A.; Moffat, J. R. *J. Phys. Chem.*, **1986**, **90**: 538
- 20 Bacaloglu, R.; Bunton, C. A.; Cerichelli, G.; Ortega, F. *J. Phys. Chem.*, **1990**, **94**: 5068
- 21 Rodriguez, A.; Graciani, M. M.; Munoz, M.; Moya, M. L. *Langmuir*, **2004**, **20**: 9945
- 22 Graciani, M. M.; Rodriguez, A.; Munoz, M.; Moya, M. L. *Langmuir*, **2003**, **19**: 8685
- 23 Liu, W.; Guo, R.; Guo, X. *J. Dispers. Sci. Technol.*, **2003**, **24**: 219
- 24 Bunton, C. A.; Wright, S.; Holland, P. M.; Nome, F. *Langmuir*, **1993**, **9**: 117
- 25 Mohareb, M. M.; Ghosh, K. K.; Orlova, G.; Palepu, R. M. *J. Phys. Org. Chem.*, **2006**, **19**: 1
- 26 Clint, J. H. Surfactant aggregation. New York: Blackie, Chapman & Hall, 1992: 95
- 27 Clint, J. H. *J. Chem. Soc. Faraday Trans.*, **1975**, **73**: 1327
- 28 Rubingh, D. N. Solution chemistry of surfactants. Mittal, K. L. Ed. New York: Plenum, 1979: 1–337
- 29 Rodenas, E.; Valiente, M.; Villarfruela, M. S. *J. Phys. Chem. B*, **1999**, **103**: 4549
- 30 Hierrezuelo, J. M.; Aguiar, J.; Ruiz, C. C. *Colloids Surf. A*, **2005**, **264**: 29
- 31 Maeda, H. *J. Colloid Interface Sci.*, **1995**, **172**: 98
- 32 Maeda, H. *J. Phys. Chem. B*, **2005**, **109**: 15933