

[综述]

非水溶剂中囊泡等分子有序组合体的形成*

黄建滨 韩峰 吴涛

(北京大学化学与分子工程学院, 分子动态与稳态结构国家重点实验室, 北京 100871)

摘要 总结了各类表面活性剂在乙醇等非水及混合溶剂中的囊泡、胶束等聚集体的形成规律, 着重讨论了非水体系中电常数改变对正负离子表面活性剂混合体系中聚集体形成的影响. 对反胶束等不同分子有序组合体在非水体系中的形成情况进行了概述.

关键词: 非水溶剂, 囊泡, 胶束, 分子有序组合体

中图分类号: O648

表面活性剂在水中的聚集行为已有广泛的研究^[1-6], 其在水溶液中形成的胶束、囊泡、微乳等分子有序组合体在作为模板功能和微反应器方面有着重要的应用^[1, 6-8]. 相比而言, 非水体系中的表面和聚集行为虽在很早以前便有人研究^[6, 9-15], 但是工作都不够系统. 由于大多数化学反应都是在非水溶剂或混合溶剂中进行的, 因此非水溶剂中表面活性剂聚集体形成及相关性质的研究, 无疑可以扩大胶束、囊泡等分子有序组合体在作为模板功能和微反应器方面的应用, 从而极大地促进合成化学、材料化学等领域的发展. 日本著名化学家 Kunitake 等^[16]曾对有机介质中出现稳定双层膜结构作出了高度的评价, 说“这将使有机化学领域出现一个新天地”. 非水体系中囊泡的研究对于乙醇等有机溶剂对生物膜及其模拟体系的性质了解也有重要的意义.

对于表面活性剂在非水溶剂中形成的胶团, Ray^[17]研究了一系列常见溶剂中的表面活性剂胶团, 并提出了疏溶剂效应的概念. 他们认为疏溶剂相互作用产生的机理与疏水相互作用类似, 即溶剂分子在表面活性剂疏水链周围形成类似冰山结构的立体网状的氢键有序结构, 而表面活性剂形成胶团后由于其分子中的疏水链不再与溶剂接触, 这一有序结构将被破坏, 导致系统整体熵的增加. 因此, 疏溶剂效应也经常被视为熵驱动的结果. 他们认为在分子结构中具有两个或更多氢键生成位点的溶剂(如甘油、甲酰胺等)中, 表面活性剂疏溶剂相互作用

将较为显著, 易于形成胶团. 而甲醇、乙醇等溶剂的分子结构中由于只具有一个氢键形成位点, 只能形成线形的氢键结构, 表面活性剂在其中的疏溶剂相互作用较弱, 不利于胶团的形成.

1 乙醇等极性溶剂中囊泡的形成

1.1 对乙醇中囊泡形成的研究

在早期的研究中, 乙醇被认为是经典的磷脂类表面活性剂囊泡的破坏剂^[1]. 但若在水的囊泡体系中存在 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 左右的乙醇时, 乙醇可诱导磷脂类分子形成交叉相 (interdigitated phase). 交叉相的形成已有很多报道^[13, 15, 18]. 在交叉相中, 磷脂分子的疏水链与双层膜中对面的磷脂分子疏水链相交叉, 由于疏水链尾与双层膜中对面分子的极性头非常接近, 可看作每个极性头具有四条疏水链^[13]. 交叉相的膜结构与普通磷脂膜相比, 有厚度小^[13]、电荷密度小、排列整齐、质子透过率高^[19]等特点. 从某种角度而言, 交叉相是最早发现的在乙醇存在时仍能稳定存在的类囊泡体系.

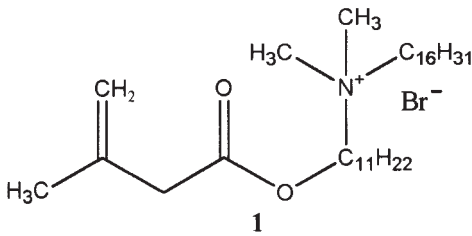
另外, Touitou 等^[20]于 2000 年报道了 2% ~ 5% 的大豆卵磷脂在 20% ~ 50% 的乙醇溶液中可形成囊泡, 并将这一体系的囊泡用于药物包藏.

为了使囊泡能在高浓度的乙醇溶液中保持稳定, 人们在表面活性剂疏水链中引入各种可聚合的基团, 在形成囊泡后再用各种方法促使聚合反应发生, 使囊泡更为稳定. 1980 年, Regen 等^[14]报道了由

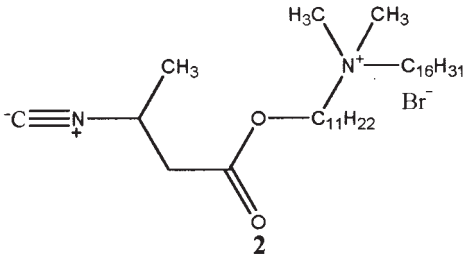
2003-01-10 收到初稿 2003-03-27 收到修改稿. 联系人: 黄建滨 (E-mail: JBHuang@chem.pku.edu.cn; Tel: 010-62753557;

Fax: 010-62751708) *国家自然科学基金 (20233010, 20073002) 资助项目

分子 1 (结构式见下图) 聚合形成的聚合物囊泡, 在体系中存在 25% (体积分数, 下同) 的乙醇时仍未被



破坏. 1983 年 Poks 等^[21]报道疏水链中含有异氰基的分子 2 (结构式见下图) 形成的聚合物囊泡在 30% 的乙醇溶液中仍保持稳定. 1997 年, Komatsu 等^[22]制成的聚合物囊泡可在 95% 的乙醇中保持稳定. 2001 年, Stanish 等^[23]对磷脂类聚合物囊泡的稳定性作了详尽的研究, 它们的聚合物囊泡在约 30% 的乙醇溶液中的大小与在水中相同.



1.2 乙醇等极性溶剂中正负离子表面活性剂混合体系形成的囊泡

对乙醇中表面活性剂囊泡研究的突破是发现正负离子表面活性剂混合体系在乙醇中形成的囊泡. 1995 年, 我们^[24]报道了烷基羧酸盐与溴化季铵盐混合体系形成的囊泡在 50% 的乙醇溶液中仍保持稳定. 1997 年, 又报道了上述体系可在纯乙醇中形成囊泡^[25], 扩展了非水溶剂中囊泡的研究.

对于非水及混合溶剂中囊泡的形成, 我们认为, 乙醇等极性溶剂的加入有两方面的影响: 第一, 使混合溶剂的极性变小, 表面活性剂的疏溶剂效应降低, 不利于囊泡的形成; 第二, 使体系中溶剂的介电常数发生改变, 导致表面活性剂极性基团之间的相互作用变化. 根据 Coulomb 公式:

$$F = Q_1 Q_2 / \epsilon_0 \epsilon r^2$$

式中 Q_1 、 Q_2 为两质点所带电荷, ϵ_0 为真空介电常数, ϵ 为体系的相对介电常数, r 为两质点距离, 极性基团之间的静电相互作用与介质的介电常数有关. 由于乙醇的介电常数 (24.3) 小于水的介电常数 (78.5), 在表面活性剂溶液中加入乙醇后, 表面活性剂极性基团之间的作用力将增强. 对于阳离子表面

活性剂或阴离子表面活性剂单体系溶液, 极性基团之间的作用力为斥力, 作用力增强导致囊泡解离, 与疏溶剂效应减弱的作用相同. 但对于正负离子表面活性剂混合体系, 极性基团之间的作用力为引力, 作用力增强会使表面活性剂排列更加紧密, 与疏溶剂效应引起的作用相反. 一般认为, 静电作用强于疏溶剂相互作用, 故静电作用的增强有可能抵消疏溶剂效应减弱带来的囊泡解离效应, 从而使得体系可以在低介电常数溶剂中形成囊泡, 甚至在特殊情况下有可能使体系形成囊泡的能力提高^[25].

基于上述理论, 我们对一系列正负离子表面活性剂混合体系进行了研究. 发现对于相对介电常数小于水的溶剂, 如乙醇、正丙醇、异丙醇、二甲亚砜、*N,N*-二甲基甲酰胺、四氢呋喃 (相对介电常数分别为 24.3、20.3、18.3、46.6、26.7、7.6) 正负离子表面活性剂混合体系都可能形成囊泡. 我们^[25]于 1997 年报道了烷基羧酸盐与溴化季铵盐的混合体系可在纯乙醇中形成囊泡, 1999 年^[26]报道了上述体系可在纯正丙醇、异丙醇以及 90% (体积比) 的 DMSO 中形成囊泡, 于 2000 年^[27]报道了上述混合体系可在 *N,N*-二甲基甲酰胺、四氢呋喃中形成囊泡.

对于烷基羧酸盐与溴化季铵盐的混合体系在上述非水溶剂中形成囊泡的情况在表 1 中给出 (表中, $C_n\text{COONa}$ 代表 $n+1$ 酸钠, $C_m\text{NMBr}$ 代表溴化 m 烷基三甲铵). 从表中可以看出, 在各种介电常数小于水的体系中都可以形成囊泡.

图 1、图 2 分别为摩尔比为 1:1 的 $C_{11}\text{COONa}-C_{12}\text{NMBr}$ 体系在正丙醇、异丙醇中形成囊泡的透射电镜 (TEM) 照片 (冰冻复型 (freeze fracture) 制样技术). 特别值得注意的是, 癸酸钠与溴化癸基三甲铵摩尔比为 1:1 的混合体系, 在水溶液中不超声时不能形成囊泡, 而在乙醇溶液中不必超声, 就可以自发形成囊泡. 也就是说, 该体系在乙醇中比在水中更容易形成聚集体, 这显然是介电常数改变引起的增强效应大于疏溶剂效应减弱的一个实例^[25].

另外, 我们发现除烷基羧酸盐与溴化季铵盐混合体系外, 烷基硫酸盐与溴化季铵盐混合体系、烷基磺酸盐与溴化季铵盐混合体系在乙醇等溶剂中都可形成稳定的囊泡.

而对于相对介电常数大于水的溶剂, 如甲酰胺 (相对介电常数为 111.0), 其对正负离子表面活性剂囊泡有着较为显著的破坏作用. 我们曾发现在

表 1 烷基羧酸盐与溴化季铵盐 1:1 混合体系在非水溶剂中的囊泡形成

Table 1 Vesicle formation of 1:1 (molar ratio) alkylcarboxylate and quaternary ammonium bromide in nonaqueous solvents

solvent		C ₉ COONa/C ₁₀ NMBr	C ₁₁ COONa/C ₁₂ NMBr	C ₁₁ COONa/C ₈ NMBr
water	NS	-	+	+
	S	+	+	+
ethanol	NS	+	+	+
	S	+	+	+
1-propanol	NS	+	+	+
	S	+	+	+
iso-propanol	NS	+	+	+
	S	+	+	+
DMSO(90%)	NS	+	+	+*
	S	+	+	+*
DMF	NS	+	+	+
	S	+	+	+
THF(95%)	NS	+	+	+
	S	+	+	+

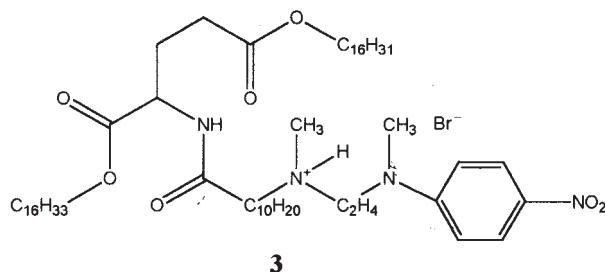
NS: without sonication; S: sonication; +: vesicle formed; -: no vesicle formed; *The content of DMSO is 75% (volume fraction).

烷基羧酸盐与溴化季铵盐 1:1 混合体系的水溶液中加入约 5% (体积分数) 的甲酰胺后, 囊泡即被破坏^[26, 28]. 这些实验事实都证实了我们的观点.

由于介电常数减小而引起的极性基团之间的静电引力增强, 进而使囊泡稳定性增加的效应只限于正负离子表面活性剂混合体系, 因为其它离子型表面活性剂体系极性基团之间的静电作用表现为斥力, 而斥力的增大反而破坏囊泡. 这是正负离子表面活性剂混合体系形成的囊泡特殊的优点, 这一结果对于非水溶剂中表面活性剂聚集体的研究有着重要意义.

1.3 乙醇中囊泡形成的其它研究工作

1996 年 Kimizuka 等^[29]曾报道了双链表面活性剂 3 (结构式见右图) 在水中形成囊泡. 在 40% ~



60% 的乙醇溶液中, 双分子层仍然存在. 囊泡亦可存在于 40% 的异丙醇、乙腈溶液中. 他们的成功在于选取疏水部分较大的表面活性剂, 使表面活性剂分子本身具有强烈的疏溶剂效应. 加入乙醇后, 疏溶剂效应虽有降低, 但仍未降低到可以破坏囊泡的程度, 故囊泡仍然稳定存在. 1997 年, 他们^[30]又将

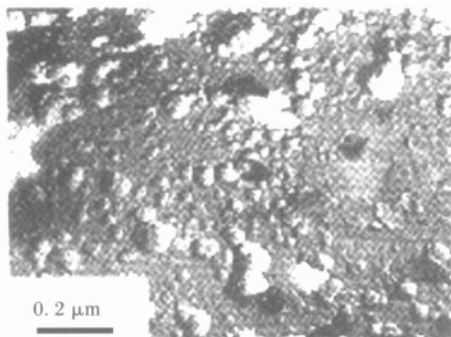


图 1 1:1 C₁₁COONa/C₁₂NMBr 体系在正丙醇中形成囊泡的 TEM 照片

Fig. 1 TEM image of 1-propanol of 1:1 (molar ratio) C₁₁COONa/C₁₂NMBr system

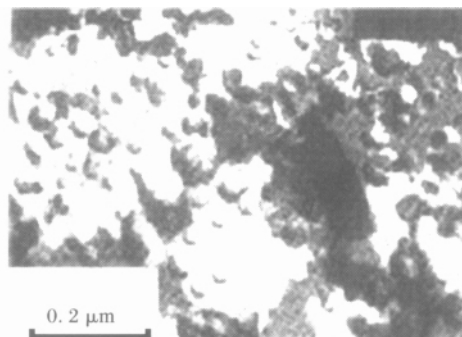
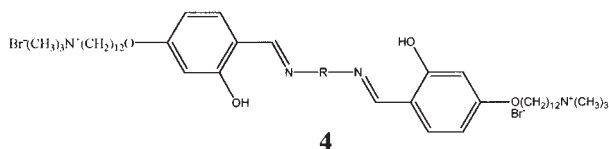


图 2 1:1 C₁₁COONa/C₁₂NMBr 体系在异丙醇中形成囊泡的 TEM 照片

Fig. 2 TEM image of iso-propanol of 1:1 (molar ratio) C₁₁COONa/C₁₂NMBr system

表面活性剂 3 的反离子由溴离子变为对甲基苯磺酸根离子,使双层结构可在纯乙醇溶液中稳定存在.这一工作是基于对甲基苯磺酸根离子与表面活性剂极性基团之间的静电作用、van der Waals 作用以及可能存在的偶极-偶极相互作用使极性基团紧密结合,致使极性基团间的相互作用加强,提高了囊泡的稳定性.这同我们在正负离子表面活性剂体系中利用低介电常数溶剂加入的手段有异曲同工之妙.

Liang 等^[31]于 2001 年报道了季铵盐类 Bola 表面活性剂分子 4 (结构式见下图)在乙醇溶液中形成的单分子层囊泡结构.他们认为,是溶剂介电常数降低引起的表面活性剂极性基团之间的相互作用增强而使囊泡在乙醇中稳定,同时,氢键作用以及苯环之间的 π - π 相互作用也有助于囊泡稳定.但我们认为,他们所研究的分子是单一的正离子表面活性剂,极性基团之间的库仑作用力为斥力,溶剂介电常数降低会使斥力增大,似乎不利于囊泡的稳定.这一体系囊泡能够稳定存在,可能更大程度上要归结为氢键作用以及苯环之间的 π - π 相互作用.



2 沉淀体系转化为囊泡体系

正负离子表面活性剂混合体系往往因正负离子间强烈的电性相互作用而形成沉淀,极大地限制了这一类具有高表面活性和聚集能力体系的基础研究和实际应用.因此我们在正负离子表面活性剂易沉淀体系中开展了极性溶剂对聚集体形成转化影响的研究,并取得了一些有意义的结果.我们在溴化季铵盐 ($C_mH_{2m+1}N(CH_3)_3Br$, $m=8, 12$)/十二烷基硫酸钠、氯化烷基伯铵 ($C_nH_{2n+1}NH_2 \cdot HCl$, $n=8, 12$)/十二烷基硫酸钠等一些正负离子表面活性剂沉淀体系中加入少量乙醇、正丙醇,发现这些极性溶剂的加入可使得体系中表面活性剂分子由沉淀转化为囊泡.另外,还发现了这类体系在混合溶剂中形成的双水相和多水相的奇异现象^[32-35].我们认为,表面活性剂沉淀体系中沉淀转化为囊泡的现象可归结为是环境因素对表面活性剂分子体系中临界排列参数 P 调节的结果 (P 由公式 $P = V/a_0 l_c$ 求出^[36].式中 V 是表面活性剂疏水部分的体积, a_0 为表面活

性剂分子极性头基所占的平均面积, l_c 为疏水链的最大伸展长度).一般认为: $P > 1$ 时,表面活性剂分子形成沉淀;而 $1 > P > 0.5$ 时,则形成囊泡.对沉淀体系加入乙醇等极性溶剂分子后,乙醇等分子插入表面活性剂分子的极性区,可能使极性区变得松散,即 a_0 变大,进而导致 P 变小,落入 $1 > P > 0.5$ 区域,从而实现沉淀到囊泡的转化^[35].Barry 等^[37]曾用核磁共振方法确定了乙醇在磷脂酰胆碱、磷脂酰乙醇水溶液中存在于双分子层的极性区.认为乙醇和极性基团之间存在着强烈的相互作用,改变了极性基周围水的结构.这与我们的工作结果是吻合的.

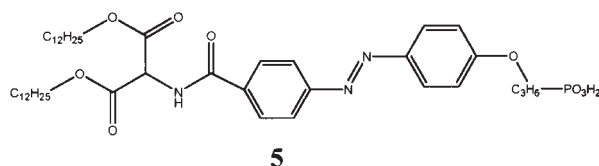
3 各种溶剂中的多种形式的分子有序组合体

与水溶液体系类似,表面活性剂分子在非水溶剂中也不仅局限于胶束和囊泡,还可以形成各式各样的分子聚集体.溶剂也并不限于上面主要讨论的乙醇,亦可以是各式各样的有机溶液.这使非水溶剂中聚集体的研究更加丰富多彩.

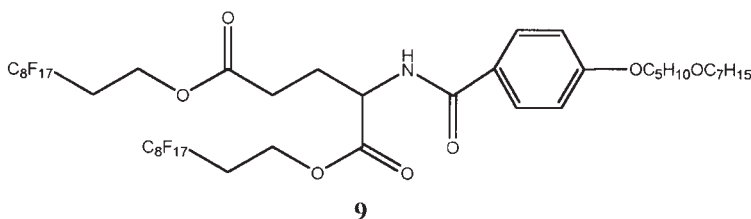
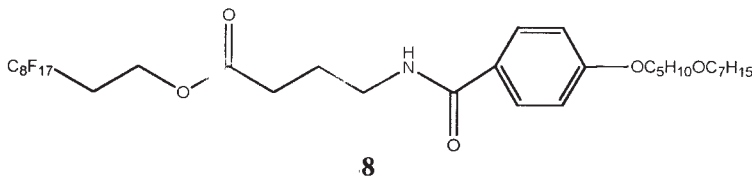
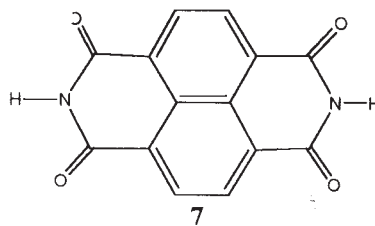
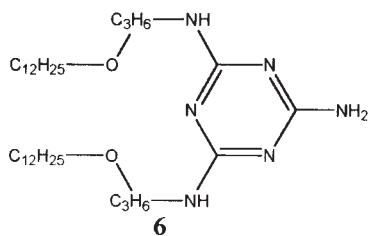
磷脂类分子可在有机溶剂中形成反胶团.Barclay 等^[38]于 1984 年报道了二棕榈酰卵磷脂等分子在水/磷脂摩尔比为 20:1 时,可在苯、氯苯、邻二氯苯中形成反胶团,聚集数为 80~100.但若水/磷脂比例为 2~16 时,有机溶剂中既有表面活性剂单体存在,又有聚集体存在,聚集体数目随含水量增加规则地增加.

表面活性剂分子亦可在非极性有机溶剂中形成反向的囊泡(即亲水基团朝内、疏水部分朝外的双分子层膜).1993 年, Kunieda 等^[39]用单羧酸蔗糖酯在癸烷/己醇/水溶剂中形成反向的囊泡.单羧酸蔗糖酯在癸烷中不溶,加入少量水后,溶解生成层状液晶.再加入己醇,超声后层状液晶卷曲形成反向的囊泡.此反向囊泡周围及内部都是油,水全部存在于极性区.这种结构有着好的时间稳定性及热稳定性.

磷脂分子 5 (结构式见下图),则可在 Ca^{2+} 的诱导下,在氯仿、甲苯中形成反向的囊泡^[40].



1989 年, McIntosh 等^[41]报道了在甲酰胺、1,3-丙二醇中形成排列整齐的卵磷脂及卵磷脂/胆固醇



的多层膜结构,并用 XRD 测量了分子层的厚度。

1995 年, Kimizuka 等^[42]报道了分子 6 和分子 7 (结构式见上图)靠氢键作用,在甲基环己烷中形成的直径为 10 nm 管状结构。往溶液中加入 50% 的乙醇,出现 7 的沉淀,因为乙醇将氢键结构破坏,原本不溶于甲基环己烷的分子 7 沉淀出来。

对于有着特殊的憎水憎油性质的碳氟类表面活性剂在非水体系中的聚集性质的研究也已经出现。1989 年 Kunitake 等^[16]报导了碳类表面活性剂在非水溶剂中形成的囊泡。对于分子 8、9 (结构式见上图),可在环己烷中形成宽 160 nm 的卷曲的带状物和直径为 20 ~ 100 nm 的球形囊泡。这是由碳氟链的疏溶剂效应与碳氢链的亲溶剂效应共同作用的结果。对于碳氟类表面活性剂在非水溶剂中形成的聚集体还有报道^[43-45],其聚集体形成原理普遍在于碳氟链对碳氢溶剂的疏溶剂效应。

对非水溶剂中表面活性剂聚集行为的研究是一项非常重要的工作,该领域的研究必将对膜模拟化学及合成化学、材料化学等相关领域的发展起到极大的推动作用。

References

- 1 Fendler, J. H. Membrane mimetic chemistry. Chapter 6. New York: Wiley, 1982
- 2 Kaler, E. W.; Murthy, A. K.; Rodriguez, B. E.; Zasadzinski, J. A. N. *Science*, **1989**, *245*: 1371
- 3 Yin, H. Q.; Huang, J. B.; Mao M.; Fu, H. L. *Langmuir*, **2002**, *18*: 9198

- 4 Mao, M.; Huang, J. B.; Zhu, B. Y.; Ye, J. P. *J. Phys. Chem. B*, **2002**, *106*: 219
- 5 Yan, Y.; Huang, J. B.; Li, Z. C.; Han, F.; Ma J. M. *Langmuir*, **2003**, *19*: 972
- 6 Fendler, J. H.; Fendler, E. J. Catalysis in micellar and macromolecular systems. Chapter 5, 7. New York: Academic Press, 1975
- 7 Lee, K. H.; Mayo, P. D. *Photochem. Photobiol.*, **1980**, *31*: 311
- 8 Fendle, J. H. *Chem. Rev.*, **1987**, *87*: 877
- 9 Huang, J. B.; Mao, M.; Zhu, B. Y. *Colloid and Surfaces A*, **1999**, *155*: 339
- 10 Ray, A. *J. Am. Chem. Soc.*, **1969**, *91*: 6511
- 11 Singh, H. N.; Saleem, S. M.; Singh, R. P. *J. Phys. Chem.*, **1980**, *84*: 2191
- 12 Almgren, M.; Swarup, S. *J. Phys. Chem.*, **1985**, *89*: 4621
- 13 Simon, S. A.; McIntosh, T. J. *Biochim. Biophys. Acta*, **1984**, *773*: 169
- 14 Regen, S. L.; Czech, B.; Singh, A. *J. Am. Chem. Soc.*, **1980**, *102*: 6638
- 15 Slater, J. L.; Huang, C. *Prog. Lipid Res.*, **1988**, *27*: 325
- 16 Ishikawa, Y.; Kuwahara, H.; Kunitake, T. *J. Am. Chem. Soc.*, **1989**, *111*: 8530
- 17 Ray, A. *Nature*, **1971**, *231*: 313
- 18 Chin, J. H.; Goldstein D. B. *Science*, **1977**, *196*: 684
- 19 Zeng, J.; Smith, K. E.; Chong, L. G. *Biophys. J.*, **1993**, *65*: 1404
- 20 Toutitou, E.; Dayan, N.; Bergelson, L.; Godin, B.; Eliaz, M. *J. Controlled Release*, **2000**, *65*(3): 403
- 21 Poks, M. F. M.; Visser, H. G. J.; Zwikker, J. W.; Verkley, A. J.; Nolte, R. J. M. *J. Am. Chem. Soc.*, **1983**, *105*: 4507
- 22 Komatsu, T.; Tsuchida, E.; Bottcher, C.; Donner, D.; Messerschmidt, C.; Siggel, U.; Stocker, W.; Rabe, J. P.; Fuhrhop, J. B. *J. Am. Chem. Soc.*, **1997**, *119*: 11660

- 23 Stanish, I. ; Singh, A. *Chem. Phys. Lipids*, **2001**, **112**(2): 99
- 24 Huang, J. B. ; Zhao, G. X. *Colloid Polym. Sci.*, **1995**, **273**: 156
- 25 Huang, J. B. ; Zhu, B. Y. ; Zhao, G. X. ; Zhang, Z. Y. *Langmuir*, **1997**, **13**: 5759
- 26 Huang, J. B. ; Zhu, B. Y. ; Mao, M. ; He, P. ; Wang, J. ; He, X. *Colloid Polym. Sci.*, **1999**, **277**: 354
- 27 Huang, J. B. ; Yang, R. ; Zhu, B. Y. ; He, X. ; Fu, H. L. *Colloid and Surface A*, **2000**, **74**: 403
- 28 Huang, J. B. ; He, P. ; He, X. ; Zhu, B. Y. *Acta Phys. -Chim. Sin.*, **1998**, **14**: 1080 [黄建滨, 何萍, 何煦, 朱步瑶. 物理化学学报 (Wuli Huaxue Xuebao), **1998**, **14**: 1080]
- 29 Kimizuka, N. ; Wakiyama, T. ; Miyauchi, H. ; Yoshimi, T. ; Tokuhiro, M. ; Kunitake, T. *J. Am. Chem. Soc.*, **1996**, **118**: 5808
- 30 Kimizuka, N. ; Tokuhiro, M. ; Miyauchi, H. ; Wakiyama, T. ; Kunitake, T. *Chem. Lett.*, **1997**: 1049
- 31 Wang, X. F. ; Liang, Y. Q. *J. Colloid and Interface Sci.*, **2001**, **233**: 364
- 32 Zhang, X. R. ; Huang, J. B. ; Mao, M. ; Tang, S. H. ; Zhu, B. Y. *Colloid Polym. Sci.*, **2001**, **279**: 1245
- 33 Wang, C. ; Tang, S. H. ; Huang, J. B. ; Zhang, X. R. ; Fu, H. L. *Colloid Polym. Sci.*, **2002**, **280**: 770
- 34 Tang, S. H. ; Huang, J. B. ; Dai, L. R. ; Wang, C. Z. ; Fu, H. L. *Acta Chimica Sinica*, **2002**, **60**: 1 [唐世华, 黄建滨, 戴乐蓉, 王传忠, 付宏兰. 化学学报 (Huaxue Xuebao), **2002**, **60**: 1]
- 35 Tang, S. H. ; Huang, J. B. ; Wang, C. Z. *Acta Phys. -Chim. Sin.*, **2002**, **18**: 1071 [唐世华, 黄建滨, 王传忠. 物理化学学报 (Wuli Huaxue Xuebao), **2002**, **18**: 1071]
- 36 Israelachvili, J. N. *Intermolecular and surface forces*. Chapter 16. London: Academic Press, 1985
- 37 Barry, J. A. ; Gawrisch, K. *Biochemistry*, **1994**, **33**: 8082
- 38 Barclay, L. R. C. ; MacNeil, J. M. ; van Kessel, J. ; Forrest, B. J. ; Porter, N. A. ; Lehman, L. S. ; Smith, K. J. ; Ellington, J. C. *J. Am. Chem. Soc.*, **1984**, **106**: 6740
- 39 Kunieda, H. ; Akimaru, M. ; Ushio, N. ; Nakamura, K. J. *Colloid and Interface Sci.*, **1993**, **156**: 446
- 40 Kim, J. M. ; Kunitake, T. *Chem. Lett.*, **1989**: 959
- 41 McIntosh, T. J. ; Magid, A. D. ; Simon, S. A. *Biochemistry*, **1989**, **28**: 7904
- 42 Kimizuka, N. ; Kawasaki, T. ; Hirata, K. ; Kunitake, T. *J. Am. Chem. Soc.*, **1995**, **117**: 6360
- 43 Iskawa, Y. ; Kuwahara, H. ; Kunitake, T. *Chem. Lett.*, **1989**: 1737
- 44 Kuwahara, H. ; Hamada, M. ; Ishikawa, Y. ; Kunitake, T. *J. Am. Chem. Soc.*, **1993**, **115**: 3002
- 45 Ishikawa, Y. ; Kuwahara, H. ; Kunitake, T. *J. Am. Chem. Soc.*, **1994**, **116**: 5579

Vesicles and Other Self-organized Molecular Assemblies Formation in Nonaqueous Solvents*

Huang Jian-Bin Han Feng Wu Tao

(State Key Laboratory for Structural Chemistry of Unstable and Stable Species, College of Chemistry and Molecular Engineering, Peking University, Beijing 100871)

Abstract Formation of vesicles, micelles and other self-organized molecular assemblies in nonaqueous and mixed solvents was reviewed. Especially, the influences of dielectric constant variation on aggregation behavior of cationic surfactant mixtures in nonaqueous solvents were fully discussed. The situation about the formation of reverse micelles and other self-organized molecular assemblies in nonaqueous solvents was also summarized.

Keywords: Nonaqueous solvent, Vesicle, Micelle, Self-organized molecular assembly