

双子表面活性剂溶液的表面活性的研究

郑利强^a 水玲玲^a 游 毅^b
郑 欧^b 李 英^a 赵剑曦^b 李干佐^{a*}

(^a 山东大学胶体与界面化学教育部重点实验室 济南 250100)

(^b 福州大学化学系 福州 350002)

摘要 研究了阳离子型双子表面活性剂,二溴化-N,N'-二(二甲基烷基)乙(己)二铵,以及它们与阴离子表面活性剂十二烷基苯磺酸钠(SDBS)复配体系的表面活性,测定了上述体系的平衡态表面张力.结果表明:双子表面活性剂的表面活性大大高于十二烷基三甲基溴化铵(DTAB);对于两种双子表面活性剂,其表面活性和表面张力时间效应受其联接基团的影响远大于其烷基链的影响.双子表面活性剂与 SDBS 复配,其协同效应不如 DTAB.动态表面张力测定得到它们的各种参数: t_i , t_m , γ_m , t^* 和 n 等值,结果表面双子表面活性剂的瞬时活性也高于 DTAB.

关键词 双子表面活性剂,临界胶束浓度,表面张力,联接基团,协同效应

The Surface Tension Study of the Gemini Surfactant Solutions

ZHENG Li - Qiang^a SHUI Ling - Ling^a YOU Li^b
ZHENG Ou^b LI Ying^a ZHAO Jian - Xi^b LI Gan - Zuo^a

(^a Key Laboratory for Colloid and Interface Chemistry of State Education Ministry, Shandong University, Jinan, 250100)

(^b Chemistry Department, Fuzhou University, Fuzhou, 350002)

Abstract Gemini surfactant systems are investigated by the surface tension measurement. The results reveal that the gemini surfactants have higher surface activity than the conventional surfactants. The surface activity of gemini surfactants strongly depends on the structure of their spacer groups. The synergism is not marked and is not as good as DTAB when the cationic gemini surfactant is mixed with the conventional anionic surfactant. The equilibrium surface tension (γ_e) of a surfactant solution is not achieved instantaneously. The DST (dynamic surface tension) curves for the above systems were measured and some parameters obtained: t_i , t_m , γ_m , t^* , n . The results indicate that the instantaneous surface activities of the gemini surfactants are higher than those of DTAB.

Keywords gemini surfactant, critical micelle concentration, dynamic surface tension, spacer group, synergism

表面活性剂在实际应用上的重要性是众所周知的.除了在日用化学工业中(主要是洗涤剂、化妆

品)的大量应用外,也广泛应用于其他生产实际,诸如石油、煤炭、矿冶、机械、纺织、医药等工业及农业

* E-mail: coliw@sch. edu. cn

收稿日期:2000-07-27, 修回日期:2000-11-03, 定稿日期:2000-12-15, 国家自然科学基金(29903006)和西南石油学院国家重点实验室资助

(Received July 27, 2000. Revised November 3, 2000. Accepted December 15, 2000)

生产中起着关键作用.探索并合成具有高表面活性的新型表面活性剂一直是人们感兴趣的课题之一.1974年 Deinega 等^[1]合成了一族新型两亲分子,其分子结构顺序为:长的碳氢链,离子头基,联结基团(Spacer),第二个离子头基,第二个碳氢链(如图1所示).1988年,日本 Osaka 大学的 Okahara 等^[2-6]合成并研究了柔性基团联结离子头基的若干双烷基链表面活性剂.1991年 Menger^[7]合成了刚性基团联结离子头基的双烷基链表面活性剂,他给这种类型顺序排列的两亲分子起名:Gemini 表面活性剂.同年, Rosen 小组^[8]采纳了“Gemini”的命名,并系统合成和研究了氧乙烯或氧丙烯柔性基团联结的 Gemini 表面活性剂.同时, Zana 小组^[9-15]也以亚甲基链作为联结基团研究了一系列双烷基链盐表面活性剂.这些实验结果表明双子表面活性剂具有很高的表面活性,和相同碳原子数烷基链的普通表面活性剂相比,表面张力的 C_{20} 值,双子表面活性剂约降低 2~3 个数量级;而对临界胶束浓度 cmc ,它也降低 1~2 个数量级^[16].



图1 双子表面活性剂的结构示意图

Fig.1 The structural scheme of the gemini surfactant

目前,限制双子表面活性剂大规模应用的主要因素是价格的昂贵.而应用合适的价廉表面活性剂与其复配,往往产生明显的协同效应.

本文研究了双子表面活性剂,二溴化-N,N'-二(二甲基烷基)乙(己)二铵以及其与十二烷基苯磺酸钠复配体系的表面活性.结果表明双子表面活性剂不仅具有比相同碳原子数烷基链的普通表面活性剂高得多的表面活性,而且它与普通表面活性剂的复配体系具有很强协同效应.这对实际应用具有重要的理论指导意义.

1 实验部分

1.1 试剂与仪器

1.1.1 试剂 超纯净水(γ 值可达 72.4 mN/m, 30℃),十二烷基苯磺酸钠(SDBS,进口分装, A. R.),十二烷基三甲基溴化铵(DTAB,进口分装, A. R.),非离子表面活性剂:LS-54 [$C_{12}H_{25}(CH_2CH_2O)_5-(CH_3CHCH_2O)_4H$ 德国汉高公司产品],双子表面活

性剂(由福州大学合成,在表面张力-浓度曲线上, cmc 值附近没有最小值),合成方法见前文^[17]. Gemini a:二溴化-N,N'-二(二甲基十二烷基)乙二铵. Gemini b:二溴化-N,N'-二(二甲基十二烷基)己二铵. Gemini c:二溴化-N,N'-二(二甲基十烷基)乙二铵. Gemini d:二溴化-N,N'-二(二甲基十烷基)己二铵.

1.1.2 仪器 Krtiss 表面张力仪(瑞士,精度+0.01 mN/m),HAAKE DC30 恒温槽(瑞士,精度+0.1℃),动态表面张力仪(自制),Mettler 201 型电子自动天平(美国),501 型超级恒温槽(上海,精度+0.1℃).

1.2 实验方法

静态表面张力的测定:配制已知浓度的表面活性剂溶液作为储备液.对于复配体系,根据所需比例分别用移液管移取各组分的储备液至另一容量瓶中,摇匀,待测.

将所配溶液装入表面张力仪的加样瓶中,恒温至(30+0.1)℃后,用吊片法在 Krtiss 表面张力仪的 K122 程序下,用连续滴定法,设置好滴定的各项参数,进行滴定,得出表面张力-浓度曲线,并由此得出 cmc 值及一些相关的参数值.

动态表面张力(DST)的测定:首先用移液管将表面活性剂溶液移入动态表面张力仪的测定容器中,恒温至(30+0.1)℃.利用最大气泡法测定体系的动态表面张力,气泡的半径与压力(p)的关系遵循 Laplace 方程,当气泡的半径恰好等于毛细管半径时, p 达到最大 p_{max} ,此时有:

$$\Delta p = 2\gamma/R + \rho gh$$

式中: γ 为溶液的表面张力, R 为毛细管半径, ρ 为溶液密度, h 为毛细管口在溶液液面下的高度.此后气泡迅速增大并脱离管口.

体系中的压力与大气压的差 Δp ,通过气体压差变换器转变成标准信号输入计算机,采用程序软件(Ginie 公司)对数据进行采集、记录、处理并显示.经计算得到体系的动态表面张力.计算公式为:

$$\gamma = 38.9498V - 24.8153$$

式中: V 为采集到的最大电压值.

2 结果与讨论

2.1 双子表面活性剂的表面活性

临界胶束浓度(cmc)和临界胶束浓度时表面张力 γ_{cmc} 是衡量表面活性剂溶液界面活性的主要参数.在(30+0.1)℃分别测定了它们的 cmc 和 γ_{cmc} ,

结果见图 2. Gemini b 的 γ_{cmc} 与阳离子型的 DTAB 相比没有明显差别, 而 Gemini a 的 γ_{cmc} 要比 DTAB 低 7.45 mN/m, 这说明 Gemini a 的活性高. 而 cmc 值, 两种 Gemini 表面活性剂都要比 DTAB 低一个数量级. 双子表面活性剂的表面活性是由其特殊的结构因素决定的. 双子表面活性剂中, 两个离子头基是靠联接基团连接的, 由此造成了两个离子头的紧密连接, 致使其碳氢链间更容易产生强的范得华引力, 即加强了表面活性剂的疏水作用, 这是导致双子表面活性剂具有高表面活性的根本原因. 另外, 两个离子头基间的化学键连接不破坏其亲水性, 从而为高表面活性的双子表面活性剂的广泛应用提供了基础. 由此可见, 通过化学键联接方法提高表面活性和通常用的复配方式或者加助表面活性剂的方法不同, 这在概念上也是一个突破.

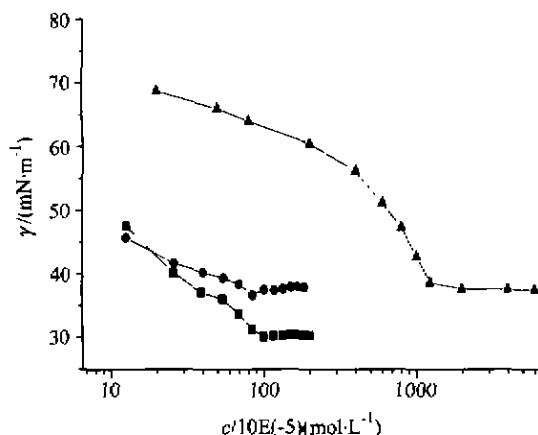


图 2 表面张力-浓度曲线

■— Gemini a; ◆— Gemini b; ▲— DTAB

Fig. 2 The curves of the surface tension vs concentration

从图 2 中可知 DTAB, Gemini a, Gemini b 的 cmc 值分别为 1.20×10^{-2} , 9.60×10^{-4} , 9.91×10^{-4} mol/L; γ_{cmc} 值分别为 37.50, 30.05, 36.21 mN/m. 由此可见 Gemini a 和 Gemini b 相比, 其 cmc 值几乎相等, 而 Gemini a 的 γ_{cmc} 小于 Gemini b, 这说明 Gemini a 的表面活性高于 Gemini b. 两者差别的原因是 Gemini a 的联接基团为 2 个亚甲基, Gemini b 为 6 个亚甲基, 前者联接基团短, 两个离子头基间连接紧密, 有利于碳氢链之间的疏水作用的加强, 所以其表面活性高.

2.2 双子表面活性剂和普通表面活性剂的协同效应

把 DTAB, Gemini 表面活性剂和阴离子表面活性剂(SDBS)按照 $n(\text{Gemini}):n(\text{SDBS})=7:3$ 进行复配, 测定各种复配比例下的溶液的表面张力, 结果见图 3.

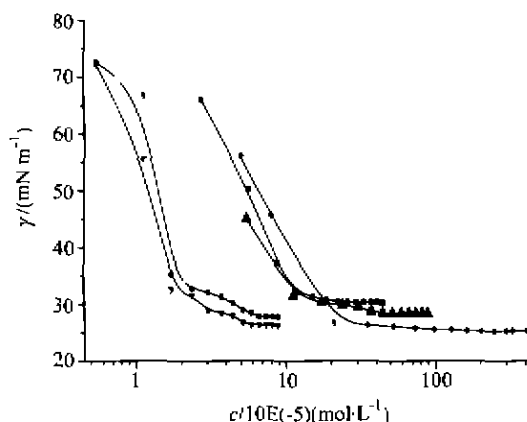


图 3 表面活性剂复配体系的表面张力-浓度曲线

■— $n(\text{Gemini a}):n(\text{SDBS})=3:7$; ●— $n(\text{Gemini b}):n(\text{SDBS})=3:7$; ▲— $n(\text{Gemini c}):n(\text{SDBS})=3:7$; ▼— $n(\text{Gemini d}):n(\text{SDBS})=3:7$; ◆— $n(\text{DTAB}):n(\text{SDBS})=3:7$

Fig. 3 The curves of the surface tension vs concentration in the synergistic systems

从图 3 可知 DTAB/SDBS, Gemini a/SDBS, Gemini b/SDBS, Gemini c/SDBS, Gemini d/SDBS 复配体系的 cmc 值为 1.25×10^{-4} , 1.15×10^{-4} , 6.80×10^{-5} , 1.28×10^{-4} , 5.10×10^{-5} mol/L; γ_{cmc} 分别为 26.20, 31.00, 27.62, 30.30, 26.26 mN/m. 结果分析得, 它们复配的 cmc 值均降低, 都表现很强的协同效应. 结果显示, 从复配效果, Gemini b, d > DTAB > Gemini a, c, 其原因是, 在阴/阳复配体系中, 阴离子表面活性剂分子比例大大超过阳离子. Gemini b, d 的 Spacer 有六个亚甲基, 而 Gemini a, c 只有 2 个亚甲基, 因此在 Gemini b, d 分子极性头之间含有 SDBS 的量大于 Gemini a, c, 因此静电引力前者大于后者, 所以前者的复配效应大于后者. 从 DTAB 分子结构来看极性头附近的 SDBS 分子数量超过 Gemini a, c, 但是少于 Gemini b, d. 其原因是一个 Gemini 分子带有两个极性头, 而 DTAB 只有一个极性头, 所以 Gemini b 静电引力大于 DTAB. 上述分析说明实验得出的结果是正确的.

最后, 还可以看出联接基团长度相同而烷基链长不同的双子表面活性剂与 SDBS 复配体系间的 cmc 和 γ_{cmc} 都相差甚小, 这也说明, 双子表面活性剂的表面活性的结构因素方面, 联接基团对双子表面活性剂表面活性的影响要远大于烷基链的影响.

2.3 表面活性剂复配比例对复配体系的协同作用的影响

阴/阳离子表面活性剂的二元复配, 是由于相反电性头基间的静电引力作用, 减少表面活性剂离子

在聚集体中的分离,从而易于形成胶束,降低临界胶束浓度.由于 Gemini 表面活性剂的价格昂贵,从实际出发,我们开展了下列可复配比例:1:9,2:8,3:7 的 Gemini a/SDBS 和 DTAB/SDBS 复配体系,结果如图 4 和表 1 所示. Gemini a/SDBS 复配体系的 cmc 值随两者配比的增大而减小,这和普通阴/阳表面活性剂复配体系 (DTAB/SDBS) 的规律相同,但是 Gemini a/SDBS 复配的 cmc 值下降更明显.随着二元复配比例的增大,其阴/阳离子表面活性剂间的静电引力增大,有利于胶束的形成,则 cmc 值减小.而 Gemini a/SDBS 复配的各体系的 γ_{cmc} 也几乎没有差别.这和 2.2 节的结论是一致的.

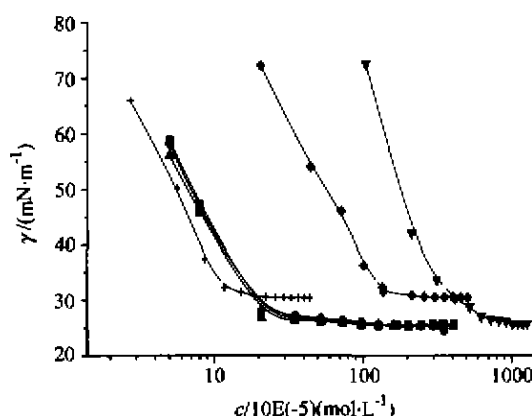


图 4 不同复配比例的表面活性剂复配体系的表面张力浓度曲线

■— DTAB: SDBS = 1:9; ●— DTAB: SDBS = 2:8;
▲— DTAB: SDBS = 3:7;
▼— Gemini a: SDBS = 1:9; ◆— Gemini a: SDBS = 2:8;
+— Gemini a: SDBS = 3:7

Fig. 4 The curves of the surface tension vs concentration in various proportional synthetic systems

表 1 不同复配比例的表面活性剂复配体系的 cmc 和 γ_{cmc} 值

Table 1 The result of the various proportional synthetic systems

| 复配体系 | $n(\text{Gemini a}):n(\text{SDBS})$ | | | $n(\text{DTAB}):n(\text{SDBS})$ | | |
|--|-------------------------------------|-------|-------|---------------------------------|-------|-------|
| | 1:9 | 2:8 | 3:7 | 1:9 | 2:8 | 3:7 |
| $10^4 cmc/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$ | 34.8 | 7.12 | 0.115 | 8.48 | 8.01 | 7.61 |
| $\gamma_{cmc}/(\text{mN} \cdot \text{m}^{-1})$ | 25.85 | 25.75 | 25.65 | 30.65 | 30.21 | 30.52 |

2.4 表面活性剂分子的动态表面张力的研究

2.4.1 Rosen 经验方程 当一个新的界面形成时,表面活性剂分子首先从本体溶液扩散到界面,然后被吸附,这些过程都是瞬时变化,而平衡界面张力就不能反映这种变化.因此要开展动态表面张力的研究. Rosen^[18]在研究瞬时界面张力时,得到许多体系

的 DST 和时间对数的曲线,并总结这些曲线可分为四个阶段^[18],如图 5 所示:前三个阶段(图 5a, b, c)反映瞬间(0~10 s)动态表面张力的变化,即本体溶液中表面活性剂到达表面层时所处的介稳状态.第 d 阶段是吸附在表面上的分子进行正确取向的过程,往往这个过程所需的时间较长(几十分~几个小时).

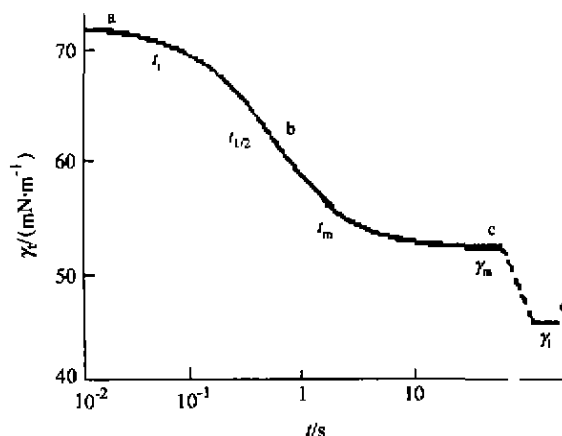


图 5 动态表面张力示意图

a—诱导区; b—快速下降区; c—解平衡区; d—平衡区

Fig. 5 The scheme of dynamic surface tension

前三个区域对快速动态过程的研究是十分重要的.用 t_i 表示诱导区结束时间; t_m 表示介平衡区开始所对应的时间,即表面活性剂分子从本体扩散到面下层速率与表面层的吸附速率基本相等所需的时间; γ_0 为溶剂的表面张力; γ_t 为表面活性剂溶液在 t 时刻的表面张力; γ_m 为介平衡时的表面张力; γ_e 为平衡时的表面张力.前三个区域的表面张力适合下列经验方程^[18,19]:

$$(\gamma_0 - \gamma_t)/(\gamma_t - \gamma_m) = (t/t^*)^n \quad (1)$$

其中 n 与 t^* 均为常数, t^* 与时间单位相同, n 为无量纲.一般认为诱导区在比值 $[(\gamma_0 - \gamma_t)/(\gamma_t - \gamma_m)] = 0.1$ 时结束,而快速下降区在比值为 10 时结束.

式(1)可变换成下式:

$$\lg[(\gamma_0 - \gamma_t)/(\gamma_t - \gamma_m)] = n \lg t - n \lg t^* \quad (2)$$

从测得的三种表面活性剂 (DTAB, Gemini a, Gemini b) 的动态表面张力随时间变化曲线(图 7a),以及 $\lg[(\gamma_0 - \gamma_t)/(\gamma_t - \gamma_m)]$ 对 $\lg t$ 作图所得得直线(图 7b),我们可得到 t_i, t_m, γ_m 值(从图 7a 中)和从图 7b 中直线得斜率和截距能计算处 n 和 t^* 值,最后把测得的数据列于表 2 中.

2.4.2 n, t^* 两个特性参数得物理意义探讨

Chang 等^[20]对于表面活性剂吸附达到平衡, 提出扩散-吸附混合动力学模型, 如图 6 所示, 从纵坐标看, $x=0$ 以上为表面层, $x=0$ 到 1 为面下层, $x>1$ 为本体溶液. 表面活性剂分子转移到溶液的新表面经历两个过程: 一是单体分子从本体溶液扩散到面下层, 受到扩散能控制; 二是面下层的单体分子被吸附到表面上, 受到吸附能垒得控制. 若表面层存在一些“空穴位”或者本体溶液中表面活性剂浓度较大时, 这些分子就能克服吸附能垒而占据表面.

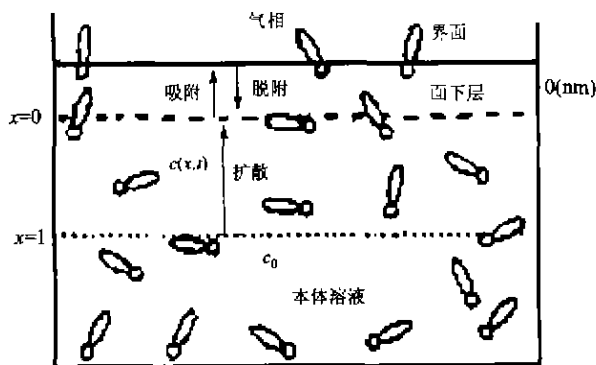


图 6 动态吸附机理示意图

Fig. 6 The scheme of dynamic adsorptive mechanism

n, t^* 为动态表面张力的特性参数, 其物理意义至今未有文献报道. 我们认为当表面活性剂浓度 $c < cmc$ 时, 其 DST 受到吸附能和扩散能所控制, 在某种意义上来说 DST 的变化也反映这些能量的大小. 从图 7 曲线可知, 随时间 t 的增加, 纵坐标从上到下反映 DST 值减少, 即诱导区(a)→表面张力快速下降区(b)→介平衡区(c)→平衡区(d)的过程反映体系能量减少的趋势. 但是从图 8 可知, 纵坐标 $\lg[(\gamma_0 - \gamma_t)/(\gamma_t - \gamma_m)]$ 值也与能量有关, 随时间 t 的增加 γ_t 值减小, 但是其值渐渐增加, 因此反映动态界面张力的四个区域的顺序正好和图 7 相反, 即从纵坐标由下到上相应为 a→b→c→d 的变化. 另外, 从式(2)可知, $n \lg t, -n \lg t^*$ 也和相应的能量有关.

通常条件下, $t^* = t^{1/2}$ ^[18], 即表面活性剂溶液达到介平衡时的一半时间, 故图 8 中截距 $(-n \lg t^*)$ 主要反映吸附过程的吸附能. 吸附能越小, 则 t^* 越小, 反映表面活性剂分子越易吸附到溶液表面上. 一般 $t^* < 1$, 所以 $(-n \lg t^*)$ 为正值.

另外, $(-n \lg t)$ 在图 8 中相当表面张力快速下降区和介平衡区, 即主要反映表面活性剂分子从本体溶液扩散到面下层区的扩散能. n 值越大, 反映表面活性剂分子扩散越快, 即其扩散能越小, 越易达到介平衡区.

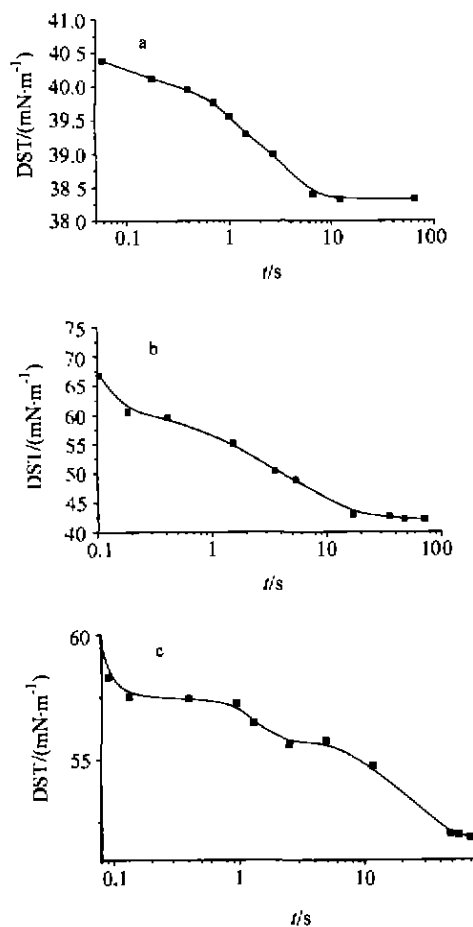


图 7 表面活性剂水溶液得动态表面张力曲线

Fig. 7 The dynamic adsorptive curves of the surfactant solutions

a—DTAB; b—Gemini a; c—Gemini b

总之, DST 的两个特性参数的物理意义, t^* 主要反映表面活性剂分子的吸附能, 吸附能越小, t^* 越小; n 主要反映表面活性剂分子扩散能, 扩散能越小, n 值越大.

2.4.3 三种表面活性剂的各种参数的比较 从图 7 可知, DTAB, Gemini a 的动态表面张力曲线与 Rosen 的典型曲线(图 5)相似, 而 Gemini b 相差较大. 从图 8 看到也是 Gemini b 的线性关系较差. 表 2 数据指出, 由于配制三种表面活性剂浓度的浓度均为 $0.5 cmc$ 以及新表面“空穴位”数目相同, 因此它们的 t_i 值基本相近. 对于 t^* 值, Gemini a $<$ Gemini b $<$ DTAB, 反映 Gemini a 分子的吸附能最低, Gemini b 次之, DTAB 最高. 从 n 值来看, DTAB $>$ Gemini b $>$ Gemini a, 由于 DTAB 是单尾巴, 必然是扩散速度最快. $\gamma_m - \gamma_e$ 相当表面活性分子从介平衡区进入平衡区, 即吸附的分子进行正确取向的能量释放, 三者相比 Gemini a 值最高, Gemini b 次之, DTAB 的值最小,

这些与它们的分子结构特征有关。

总之,从上述的各种参数综合比较,由于 Gemini a 的 t^* 值比其他两个小 2 个数量级,而 n 数量级基本相同,说明其瞬时表面活性高。从 $\gamma_m - \gamma_e$ 也说明 Gemini a 释放能量多,因此总的来看, Gemini a 的活性最高。

至于表面活性剂浓度 $c > cmc$ 时,其情况更复杂,其中还要考虑胶束的扩散和胶束的解离平衡。由于篇幅有限,下次再进行报道。

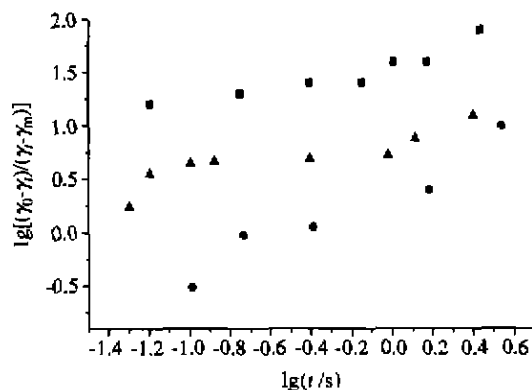


图 8 $\lg(\gamma_0 - \gamma_t)/(\gamma_t - \gamma_m) - \lg t$ 曲线

■—DTAB; ●—Gemini a; ▲—Gemini b

Fig. 8 The curves of $\lg(\gamma_0 - \gamma_t)/(\gamma_t - \gamma_m) - \lg t$

表 2 动态表面张力所得各项参数

Table 2 The parameters received from the dynamic surfactant curves

| 参数 | DTAB | Gemini a | Gemini b |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| t_i/s | 0.032 | 0.039 | 0.027 |
| t_m/s | 6.318 | 6.947 | 7.627 |
| $\gamma_m/(\text{mN}\cdot\text{m}^{-1})$ | 38.54 | 48.40 | 54.41 |
| n | 1.59 | 0.40 | 0.87 |
| t^*/s | 5.68×10^{-1} | 2.72×10^{-3} | 3.79×10^{-1} |
| $\gamma_e/(\text{mN}\cdot\text{m}^{-1})$ | 37.50 | 30.05 | 36.21 |
| $(\gamma_m - \gamma_e)/(\text{mN}\cdot\text{m}^{-1})$ | 1.04 | 8.35 | 8.20 |

综上所述,可得以下结论:

(1) 由于双子表面活性剂的特殊结构,其 cmc 和 γ_{cmc} 值均比 DTAB 要低,说明其表面活性高。

(2) 双子阳离子表面活性剂与阴离子型 SDBS 复配,其协同效应不如 DTAB。

(3) 从动态表面张力参数 t_i , t_m , γ_m , n , t^* 等值

综合比较,对于它们的瞬时表面活性,双子表面活性剂高于 DTAB,并且 Gemini a 又高于 Gemini b。从 $\gamma_m - \gamma_e$ 值相比,它们的表面活性顺序与上述是一致的。

(4) Gemini a 表面活性高于 Gemini b,说明其表面活性受到联结基团长短的影响大于它们烷基链的长短。

References

- Deinega, Y.; Berg, U. I.; Zana, R.; Marochko, L. G.; Rudi, V. P.; Denisenko, V. P. *Kolloid. Zh.*, 1974, 36, 649-653.
- Okahara, M.; Masuyama, A.; Sumida, Y. *J. Jpn. Oil Chem. Soc. (Yukagaku)*, 1988, 37, 716-718.
- Zhu, Y. - P.; Masuyama, A.; Okahara, M. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 1990, 67, 459-463.
- Zhu, Y. - P.; Masuyama, A.; Nagata, T. *J. Jpn. Oil Chem. Soc. (Yukagaku)*, 1991, 40, 473-475.
- Zhu, Y. - P.; Masuyama, A.; Okahara, M. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 1991, 68, 268-271.
- Zhu, Y. - P.; Masuyama, A.; Kirito, Y. I. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 1991, 68, 539-543.
- Menger, F. M.; Littau, C. A. *J. Am. Chem. Soc.* 1991, 113, 1451-1452.
- Rosen, M. J. *Chemtech.*, 1993, 1, 30-33.
- Zana, R.; Benraou, M.; Rueff, R. *Langmuir*, 1991, 7, 1072-1075.
- Alami, E.; Levy, H.; Zana, R. *Langmuir*, 1993, 9, 940-944.
- Alami, E.; Beinert, G.; Marie, P.; Zana, R. *Langmuir*, 1993, 9, 1465-1467.
- Frindi, M.; Michels, B.; Levy, H.; Zana, R. *Langmuir*, 1994, 10, 1140-1145.
- Donino, D.; Talmon, Y.; Zana, R. *Langmuir*, 1995, 11, 1448-1456.
- Zana, R.; Levy, H. *Colloids Surf. A*, 1997, 127, 229-232.
- Zana, R.; In, M.; Levy, H.; Duportail, G. *Langmuir*, 1997, 13, 5552-5557.
- Zhao, J. - X. *Progress Chemistry*, 1999, 11 (4), 348-357 (in Chinese).
- Rosen, M. J.; Song, L. D.; *J. Colloid Interface Sci.*, 1996, 179, 261-268.
- Chang, C. H.; Frances, E. I. *J. Colloid Interface Sci.*, 1994, 164, 107.
- Li, G. - Z.; Mu, J. - H.; Sui, H. *China Surfactant Detergents and Cosmetics*, 1999, 5, 28-33 (in Chinese).
- Hua, X. Y.; Rosen, M. J. *J. Colloid Interface Sci.*, 1988, 124, 652.

(Ed. XIE Hui-Qin)

(DONG Hua-Zhen)