

[Article]

www.whxb.pku.edu.cn

三取代直链烷基苯磺酸钠的界面扩张性质

李秀兰¹ 张磊¹ 宫清涛² 张路^{2,*} 赵淮² 俞稼镛²¹ 中石化胜利油田有限公司地质科学研究院, 山东 东营 257015; ² 中国科学院理化技术研究所, 北京 100190

摘要: 利用悬挂滴方法研究了五种表面活性剂 3,4-二己基苯磺酸钠(66)、3,4-二庚基苯磺酸钠(77)、2-乙基-4,5-二己基苯磺酸钠(266)、2-丙基-4,5-二己基苯磺酸钠(366)和 2-丁基-4,5-二己基苯磺酸钠(466)在空气-水和癸烷-水界面上的扩张流变性质, 考察了烷基取代在苯环不同位置对分子界面行为的影响. 研究发现, 苯环不同位置的取代烷基链长变化对扩张弹性模量和扩张粘性模量影响不同. 随着烷基链长增长, 表面扩张弹性模量均增加, 而扩张粘性模量表现则不同: 邻位短链烷基碳数从 2 变化到 4, 对粘性模量贡献不大; 而间位长链烷基增长对表面弛豫过程影响较大, 粘性模量明显增大. 油分子的插入能大大削弱间位长链烷基间的强相互作用, 一方面导致界面弹性模量和粘性模量远低于表面, 同时使得同分异构分子 77 和 266 的界面扩张粘性模量数值接近.

关键词: 烷基苯磺酸盐; 表面; 界面; 扩张弹性模量; 扩张粘性模量

中图分类号: O647

Interfacial Dilational Properties of Tri-Substituted Alkyl Benzene Sulfonates

LI Xiu-Lan¹ ZHANG Lei¹ GONG Qing-Tao² ZHANG Lu^{2,*} ZHAO Sui² YU Jia-Yong²¹Geological and Scientific Research Institute of Shengli Oilfield Co. Ltd., SINOPEC, Dongying 257015, Shandong Province, P. R. China; ²Technical Institute of Physics and Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, P. R. China)

Abstract: The dilational rheological properties of five types of surfactants: sodium 3,4-dihexylbenzene sulfonate (66), sodium 3,4-diheptylbenzene sulfonate (77), sodium 2-ethyl-4,5-dihexylbenzene sulfonate (266), sodium 2-propyl-4,5-dihexylbenzene sulfonate (366), and sodium 2-butyl-4,5-dihexylbenzene sulfonate (466) at the air-water and decane-water interfaces were investigated by a drop shape analysis method. The influence of hydrophobic chains located at different positions on the benzene ring on the interfacial molecular behavior was investigated. Experimental results showed that the hydrophobic chains that were located at different positions affected the dilational elasticity and dilational viscosity differently. The dilational elasticity appeared to increase with an increase in the length of the hydrophobic group and the dilational viscosity behaved differently. The short alkyl chain (2–4) *ortho* to the sulfonate group had little influence on the dilational viscosity, while an increase in the long *meta* alkyl group played an important role in the surface relaxation process, which resulted in higher surface dilational viscosity. The insertion of decane molecules from the oil phase weakened the strong interactions between the *meta*-alkyl chains and therefore the interfacial dilational parameters were obviously lower than those of the surface. We also found that the interfacial dilational viscosities of a pair of structural isomers, 77 and 266, were approximately equal.

Key Words: Sodium alkyl benzene sulfonate; Surface; Interface; Dilational elasticity; Dilational viscosity

近年来, 随着理论模型和实验工作不断取得新进展, 界面扩张流变性质的研究逐渐成为一大热点^[1–10]. 通过扩张流变的研究, 可以获得界面上分子排布、分子间相互作用和超分子聚集体的信息, 在

Received: October 11, 2009; Revised: December 21, 2009; Published on Web: January 26, 2010.

*Corresponding author. Email: luzhang523@hotmail.com, luyiqiao@hotmail.com; Tel: +86-10-82543587.

The project was supported by the Important National Science & Technology Specific Projects of China (2008ZX05011).

国家重大科技专项基金(2008ZX05011)资助项目

理论上和实践上均有特殊意义^[11-14]. 烷基苯磺酸盐是工业生产和日用化工中应用广泛的一类表面活性剂, 但对其结构-活性关系的研究大多数还停留在实验总结阶段, 这既是由于缺乏结构明确的样品, 同样也是由于常规研究手段难以获得表面活性剂在界面排布的相关信息造成的. 本文以实验室合成的不同结构三取代烷基苯磺酸盐为模型化合物, 利用悬挂滴方法研究其在空气-水表面和癸烷-水界面上的扩张流变性质, 探讨了表面活性剂分子结构对其界面排布和吸附膜性质的影响.

1 理论基础^[15-16]

当界面受到周期性压缩和扩张时, 界面张力也随之发生周期性变化, 扩张模量定义为界面张力变化与相对界面面积变化的比值, 即

$$\varepsilon = d\gamma/d\ln A \quad (1)$$

式中, ε 为扩张模量, γ 为界面张力, A 为界面面积.

对于粘弹性界面, 界面张力的周期性变化与界面面积周期性变化之间存在一定的相位差 θ , 称为扩张模量的相角. 扩张模量可写作复数形式:

$$\varepsilon = \varepsilon_d + i\omega\eta_d \quad (2)$$

其中, ε_d 为扩张弹性, η_d 为扩张粘度, ω 是界面面积正弦变化的频率. 实数部分 ε_d 和虚数部分 $\omega\eta_d$ 也分别称作储存模量和损耗模量, 分别反映了粘弹性界面的弹性部分和粘性部分的贡献.

扩张弹性和扩张粘度分别按式(3)和式(4)计算

$$\varepsilon_d = |\varepsilon| \cos\theta \quad (3)$$

$$\eta_d = (|\varepsilon|/\omega) \sin\theta \quad (4)$$

2 实验部分

2.1 实验样品及试剂

已知结构、高纯度的五种烷基苯磺酸钠为本实验室合成^[17], 分子结构由 IR 和 ¹H NMR 确定, 用两相滴定法测定其纯度大于 99.0%, 具体结构见表 1. 正癸烷, 天津博迪化学有限公司, 分析纯; 实验用水为经重蒸后的去离子水, 电阻率 $\geq 18 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$.

2.2 实验方法

采用法国 IT-CONCEPT 公司生产的 TRACKER 扩张流变仪, 通过对悬挂气泡/液滴的振荡, 利用滴外形分析方法测定表/界面扩张流变性质. 该方法中, 界面是通过毛细管末端的液滴(或气泡)与容器的另一种液体接触得到. 通过与毛细管相连的马达控制的活塞运动, 使液滴(或气泡)的大小发生变化, 改变界面的面积大小. 不需要额外的测力装置, 通过摄像机所摄到的液滴(或气泡)形状, 经过软件处理, 可同时得到表/界面的面积和动态表面张力. 由于悬挂滴方法的气泡或液滴界面是新生成的, 因此它可以同时测量动态表/界面张力和动态扩张性质.

为了确保实验的精确度, 每次实验时都是新形成一个气泡, 在气泡形成 20 s 后, 开始对气泡的面积施加频率为 0.1 Hz 的正弦扰动, 摄像机能摄到气泡面积的瞬间变化, 通过相应软件处理, 可以得到整个吸附过程的动态表面张力和动态扩张参数的变化, 直到表面张力达到完全平衡为止.

待体系完全达到平衡之后, 在工作频率为 0.005–0.1 Hz 进行扩张粘弹参数测量实验. 实验温度控制在 $(30.0 \pm 0.1) \text{ }^\circ\text{C}$, 扩张形变为 10% ($\Delta A/A$), 水相为不同浓度的烷基苯磺酸钠表面活性剂溶液.

3 结果与讨论

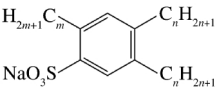
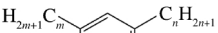


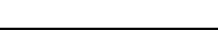
3.1 三取代直链烷基苯磺酸盐的动态表面性质

已有研究表明: 界面扩张性质比张力更能反映吸附分子的行为和界面膜的状态. 当吸附接近平衡时, 张力达到其平台值, 吸附膜内分子的重排和取向等过程却仍将影响扩张性质, 可能造成扩张参数的变化. 扩张性质和张力随时间变化的不一致性, 表明扩张流变研究手段在考察吸附分子界面行为方面的优越性, 我们^[18]曾经用与水相相互作用强烈的羟基取代烷基苯磺酸盐, 证明了分子在界面层中的重排可能强烈反映在动态扩张参数的变化曲线中.

本文研究的五种烷基苯磺酸盐结构类似, 其动态表面扩张参数和界面扩张参数的变化趋势较为一

表 1 烷基苯磺酸钠的结构, 名称及其缩写

Table 1 Formula, chemical name and abbreviation (Abbr.) of the surfactants

Formula	<i>m</i>	<i>n</i>	Abbr.	Chemical name
	0	6	66	sodium 3,4-dihexylbenzene sulfonate
	0	7	77	sodium 3,4-diheptylbenzene sulfonate
	2	6	266	sodium 2-ethyl-4,5-dihexylbenzene sulfonate
	3	6	366	sodium 2-propyl-4,5-dihexylbenzene sulfonate
	4	6	466	sodium 2-butyl-4,5-dihexylbenzene sulfonate

致,因此,我们用 466 溶液的动态扩张参数作为代表. 30 °C下不同浓度 466 溶液的动态表面张力、动态界面张力及其动态扩张弹性模量如图 1(A-D)所示. 从图中可以看出,随着表面活性剂浓度增大,表面张力和界面张力随时间降低的幅度增大,达到平衡的时间大大缩短. 对比动态表面张力和表面扩张弹性模量可以看出,不同浓度表面活性剂的表面扩张弹性模量随时间变化的转折点,与表面张力曲线上的转折点所对应的时间大致相同. 在短时间内,表面活性剂的表面张力接近纯水,表面活性剂分子在表面的吸附量较低,不能形成吸附膜,弹性模量几乎为零;随着表面活性剂分子在表面上大量吸附,表面张力急剧降低,弹性模量也随之明显增大;当表面吸附接近平衡时,表面张力下降缓慢,弹性模量也接近其平台值. 而对比动态界面张力和界面扩张弹性模量则可以看出,与表面不同,当界面吸附接近平衡,界面张力达到平台值后,界面弹性模量仍然缓慢升高,这一现象在低浓度时尤其明显. 上述实验结果表明,表面活性剂分子在界面吸附层中的重排,可能影响油分子在界面层中的存在,从而改变了界面膜的性质. 可以推测,随着时间变化,部分油分子被逐

渐“挤出”界面,表面活性剂分子间相互作用增强,界面弹性模量升高.

3.2 三取代直链烷基苯磺酸盐的表面扩张性质

工作频率为 0.1 Hz 时, 266、366、466 溶液的表面扩张弹性模量和粘性模量随浓度的变化趋势见图 2. 从图 2A 中可以看出,在实验浓度范围内,除 266 溶液因缺乏更低浓度数据外,表面扩张弹性模量均随浓度的增大出现一个极大值,继续增大浓度,不同表面活性剂的弹性模量值趋于相同.

扩张弹性模量又称储存模量,其来源是表面分子因扰动偏离平衡状态导致的能量改变,与分子间的相互作用密切相关. 表面活性剂体相浓度的增大对表面扩张性质有两方面的影响:一是增大表面活性剂分子的表面浓度,另一方面也增大了从体相向新生成表面通过扩散补充表面活性剂分子的能力. 表面活性剂表面浓度的增大会导致表面分子间更强的相互作用和表面形变时更高的表面张力梯度,表面膜的弹性模量增大;而分子从体相向新生成表面的扩散补充有消除表面张力梯度的作用,会降低弹性模量. 表面活性剂体相浓度较低时,体相浓度的增加主要体现为对表面吸附量的影响,弹性模量随浓

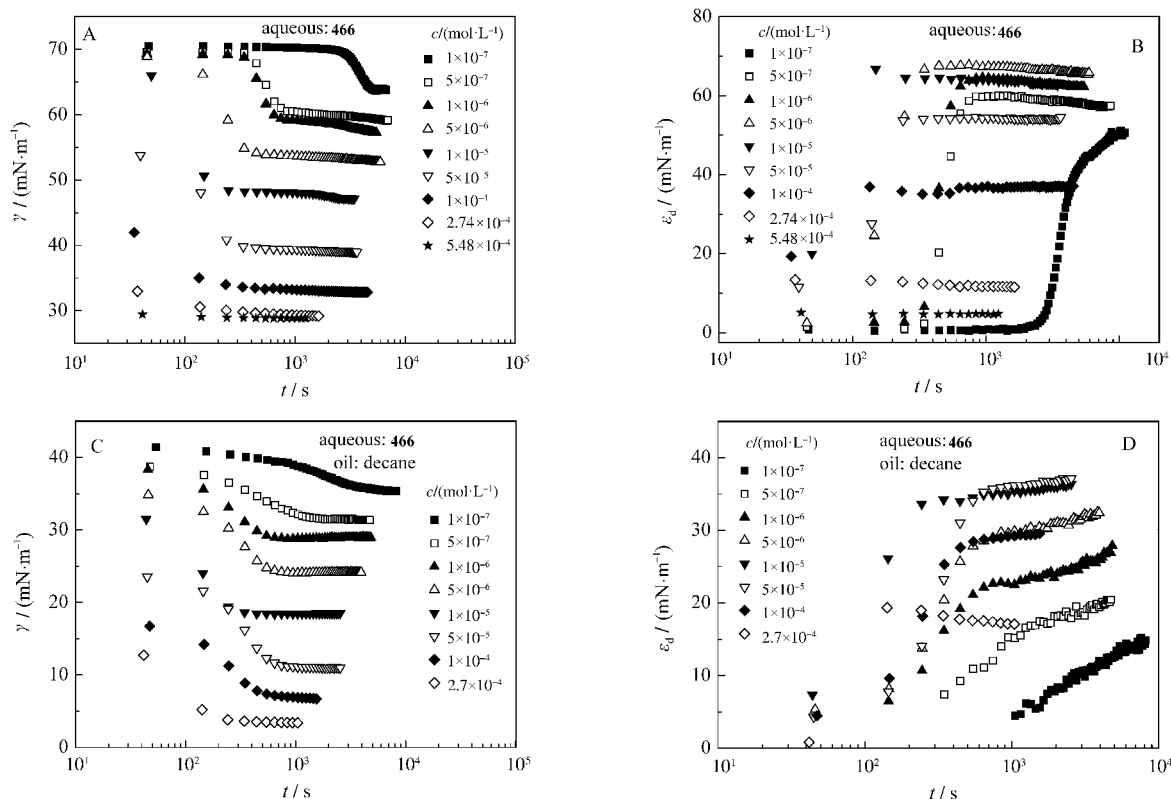


图 1 不同浓度 466 溶液的动态表面张力(A)、动态表面扩张弹性模量(B)、动态界面张力(C)和动态界面扩张弹性模量(D)
Fig.1 Dynamic surface tension (A), dynamic surface dilational elasticity (B), dynamic interfacial tension (C), and dynamic interfacial dilational elasticity (D) of 466 solutions with different concentrations

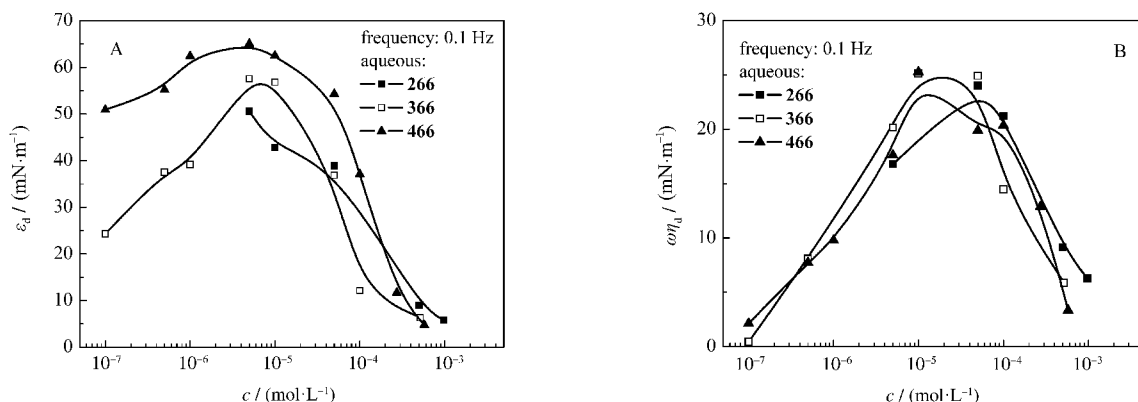


图2 30 °C时 266、366 和 466 溶液的浓度对表面扩张弹性模量(A)和粘性模量(B)的影响
Fig.2 Surface dilational elasticity (A) and dilational viscosity (B) as a function of concentration for 266, 366, and 466 solutions at 30 °C

度增大而增大;随着浓度进一步增大,从体相向新生表面扩散补充表面活性剂分子的作用占主导地位,弹性模量开始降低^[19-20]。随着硫酸根邻位短链链长的增长,表面活性剂分子的疏水相互作用增强,表面扩张弹性模量值逐渐增大。

从图 2B 还可以看出,在实验浓度范围内,表面扩张粘性部分也随浓度的增大出现一个极大值。粘性模量又称损耗模量,与表面活性剂分子在界面与体相间的交换、界面分子排布方式的改变等弛豫过程相关。一般认为表面活性剂的体相浓度对粘性模量也存在着两方面影响:一方面表面浓度随体相浓度增加而增加,这将导致弛豫过程数量的增加及各个弛豫过程对粘性模量贡献的增大;另一方面,随着表面活性剂体相浓度的增大,溶液和表面的分子交换也加快了,正因为这种快速交换导致了界面形变时产生的界面张力梯度降低,因而降低了总的扩张模量和扩张粘性模量。体相浓度增大到一定程度,

微观弛豫过程的数目保持不变并且对扩张粘性模量的贡献不会显著增加,因此粘性模量会随着体相浓度的增加通过一个极大值^[19]。随着硫酸根邻位短链链长的增长,表面扩张粘性模量在整个实验浓度范围内均变化不大,这应该意味着短链碳数从 2 增加到 4,并未对表面活性剂分子在界面上和界面附近的弛豫过程产生明显影响,这可能是由于三取代烷基苯磺酸盐在界面上的排列决定了分子的短链之间缺乏强烈的相互作用造成的。上述推论将在下文的实验结果中得到进一步证实。

工作频率为 0.1 Hz 时,三取代烷基苯磺酸盐分子中长链烷基对表面扩张弹性模量和粘性模量的影响见图 3。从图 3 可以看出,随着对位和间位烷基长链链长增加(66 和 77),表面弹性模量和粘性模量均明显增大,这是因为间位长链链长增加,不仅增大了表面活性剂分子的疏水相互作用,而且增大了不同分子中间位烷基之间的相互作用造成的。由于间位

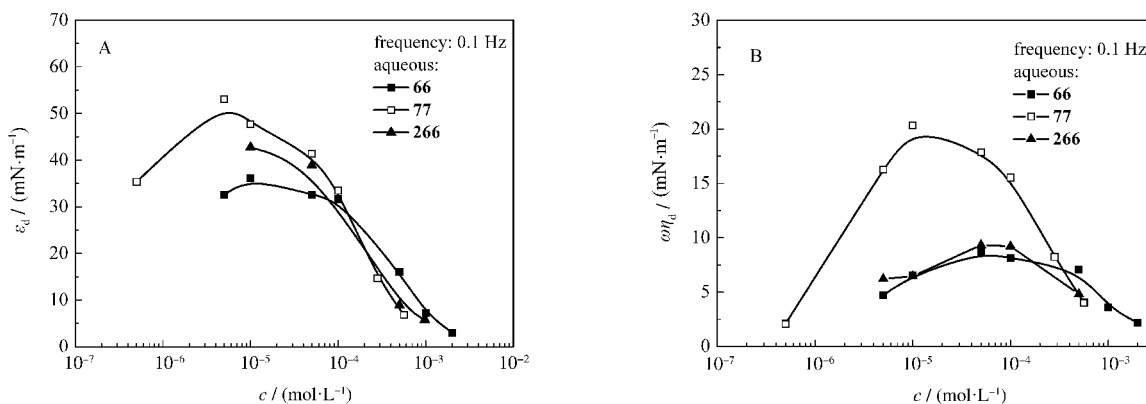


图3 30 °C时 66、77 和 266 溶液的浓度对表面扩张弹性模量(A)和粘性模量(B)的影响
Fig.3 Surface dilational elasticity (A) and dilational viscosity (B) as a function of concentration for 66, 77, and 266 solutions at 30 °C

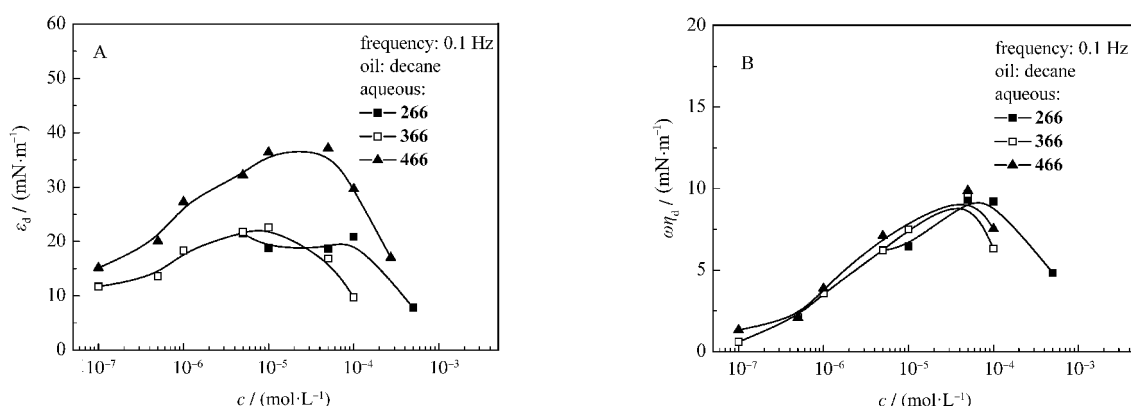


图4 30 °C时 266、366 和 466 溶液的浓度对界面扩张弹性模量(A)和粘性模量(B)的影响

Fig.4 Interfacial dilational elasticity (A) and dilational viscosity (B) as a function of concentration for 266, 366 and 466 solutions at 30 °C

长链烷基与表面间的夹角较小, 相互之间可能存在缠绕、重叠, 在表面遭受形变时会以分子排布方式的改变来耗散能量, 对粘性部分贡献较大. 图3中的77和266是一对同分异构体, 但77的扩张粘性模量明显大于266, 这充分说明邻位短链烷基不会对弛豫过程产生明显影响, 而间位长链烷基的取向变化强烈改变弛豫过程的特征和贡献^[21].

3.3 三取代烷基苯磺酸钠溶液的界面扩张性质

工作频率为0.1 Hz时, 三取代烷基苯磺酸盐分子中短链烷基对癸烷-水界面的扩张弹性模量和粘性模量的影响见图4. 从图中可以看出, 与表面扩张参数的变化趋势类似, 界面扩张弹性模量和粘性模量随浓度增大通过一个极大值, 且随短链烷基链长增加, 扩张弹性模量增大, 粘性模量变化不大. 不过, 对比图2和图4可以看出, 界面扩张弹性模量和粘性模量的数值均明显低于表面. 与气相分子不同, 油分子与表面活性剂的疏水基具有相似的性质

和相近的强度, 更容易插在表面活性剂疏水链之间, 使吸附的表面活性剂分子平均占有面积变大, 同时减弱吸附分子间的相互作用, 造成界面扩张参数数值降低^[22].

工作频率为0.1 Hz时, 三取代烷基苯磺酸盐分子中长链烷基对癸烷-水界面扩张弹性模量和粘性模量的影响见图5. 对比图3和图5可以看出, 77的表面扩张粘性模量明显大于266, 而两者的界面扩张粘性模量相差不大. 这充分说明间位长链烷基对分子间相互作用的贡献, 一旦油分子的插入大大减弱这种相互作用, 具有同样总碳数的77和266就表现出近乎相同的扩张粘性模量.

三取代烷基苯磺酸盐在表面和界面上可能的排列示意图如图6所示. 在表面上, 分子对位的疏水长链倾向于向空气中伸展, 而间位的疏水链更倾向于向空气-水表面伸展. 由于亲水基团之间的排斥作用使相邻的分子间存在一定的距离, 邻位短链链长的

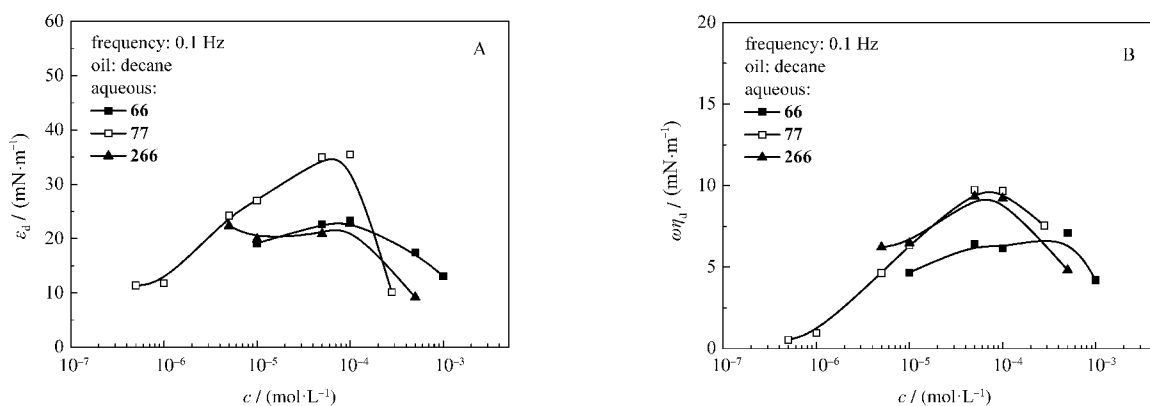


图5 30 °C时 66、77 和 266 溶液的浓度对界面扩张弹性模量(A)和粘性模量(B)的影响

Fig.5 Interfacial dilational elasticity (A) and dilational viscosity (B) as a function of concentration for 66, 77, and 266 solutions at 30 °C

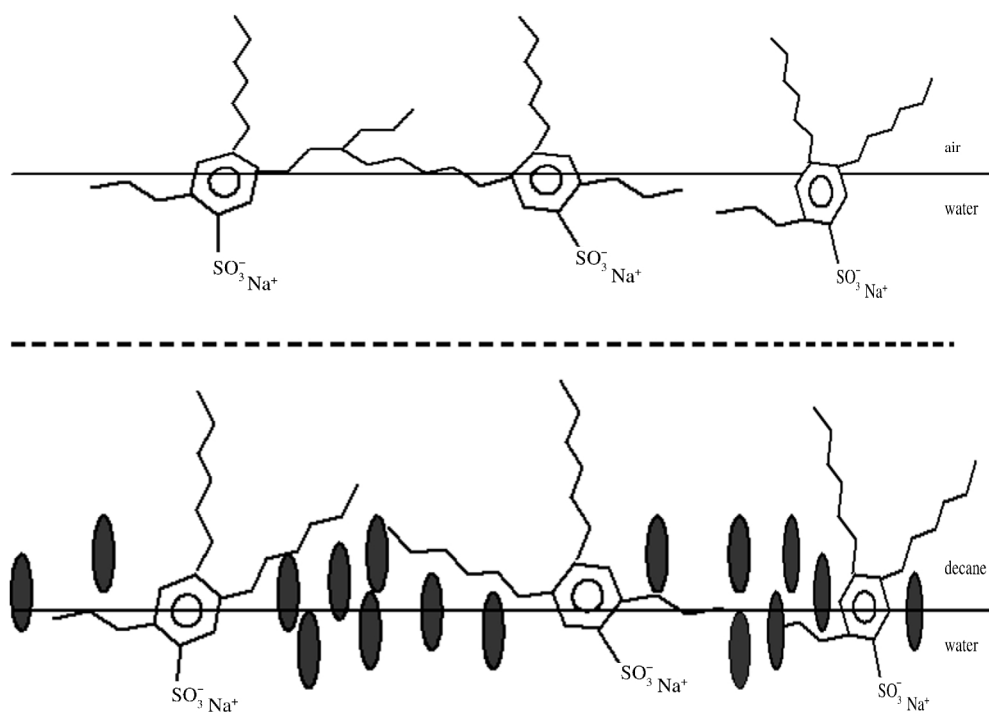


图6 366分子在空气-水和癸烷-水界面的吸附示意图

Fig.6 Schematic of adsorbed 366 molecules at the air-water and decane-water interfaces

增长,除增加范德华力外,不增加其它强相互作用;而间位链长的增长,使得相邻分子烷基长链间可能存在的缠绕和叠加作用,从而产生较高的表面扩张弹性模量.而在界面上,一方面间位长链更倾向于向油相伸展,另一个面,油分子容易插入表面活性剂的疏水链之间,大大削弱了分子间的强相互作用.正是三取代烷基苯磺酸盐在表面和界面上的不同排列特征,造成了表面活性剂结构对表面扩张参数和界面扩张参数的不同影响规律.

4 结论

本文研究了不同结构三取代直链烷基苯磺酸钠在空气-水和癸烷-水界面上的扩张流变性质.研究发现:随着磺酸根邻位短链链长变化,表面扩张弹性模量增大,而扩张粘性模量变化不大;界面上扩张性质的变化趋势与表面类似.而随着磺酸根间位和对位双长链链长的增加,表、界面扩张弹性模量和粘性模量均明显增大.比较而言,间位长链链长变化对吸附膜扩张性质的影响大于邻位短链链长的变化.另外,油分子的插入减弱了分子间的相互作用,造成表面膜的扩张弹性模量和粘性模量均明显高于界面膜.推测三取代烷基苯磺酸盐在表面排列时,间位长链与界面夹角较小,不同分子间的间位烷基链间可

能存在缠绕和重叠,对表面膜的粘性贡献较大.

References

- 1 Fainerman, V. B.; Zhlob, S. A.; Petkov, J. T.; Miller, R. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **2008**, *323*: 56
- 2 Zhu, Y.; Xu, G.; Xin, X.; Zhang, H.; Shi, X. *Journal of Chemical & Engineering Data*, **2009**, *54*: 989
- 3 Kovalchuk, V. I.; Makievski, A. V.; Kragel, J.; Pandolfini, P.; Loglio, G.; Liggieri, L.; Ravera, F.; Miller, R. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **2005**, *261*: 115
- 4 Benjamins, J.; Lyklema, J.; Lucassen-Reynders, E. H. *Langmuir*, **2006**, *22*: 6181
- 5 Luo, L.; Wang, D. X.; Zhang, L.; Zhao, S.; Yu, J. Y. *Journal of Dispersion Science and Technology*, **2007**, *28*: 263
- 6 Wang, Y. Y.; Zhang, L.; Sun, T. L.; Zhao, S.; Yu, J. Y. *J. Colloid Interface Sci.*, **2003**, *270*: 163
- 7 Wang, Y. Y.; Dai, Y. H.; Zhang, L.; Luo, L.; Chu, Y. P.; Zhao, S.; Li, M. Z.; Wang, E. J.; Yu, J. Y. *Macromolecules*, **2004**, *37*: 2930
- 8 Wantke, K. D.; Ortegren, J.; Fruhner, H.; Andersen, A.; Motschmann, H. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **2005**, *261*: 75
- 9 Zhang, L.; Wang, X. C.; Yan, F.; Luo, L.; Zhang, L.; Zhao, S.; Yu, J. Y. *Colloid and Polymer Science*, **2008**, *286*: 1291
- 10 Li, Y. M.; Xu, G. Y.; Xin, X.; Cao, X. R.; Wu, D. *Carbohydrate Polymers*, **2008**, *72*: 211

- 11 Wang, D. X.; Luo, L.; Zhang, L.; Zhao, S.; Wang, L.; Gong, Q. T.; Liao, L.; Chu, Y. P.; Yu, J. Y. *Journal of Dispersion Science and Technology*, **2007**, **28**: 725
- 12 El-Sadek, R. I.; Roushdy, M.; Magda, J. J. *Langmuir*, **2007**, **23**: 7907
- 13 Peters, G. W. M.; Zdravkov, A. N.; Meijer, H. E. H. *Journal of Chemical Physics*, **2005**, **122**: 104901
- 14 Romoscanu, A. I.; Mezzenga, R. *Langmuir*, **2005**, **21**: 9689
- 15 Lucassen-Reynders, E. H. Anionic surfactants. New York: Marcel Dekker, 1981
- 16 Van den Tempel, M.; Lucassen-Reynders, E. H. *Adv. Colloid Interface Sci.*, **1983**, **18**: 281
- 17 Gong, Q. T. Study on the synthesis of sodium multi-*n*-alkylbenzene sulfonates and their properties of interface and solutions. Beijing: Technical Institute of Physics and Chemistry, Chinese Academy of Sciences, 2005 [宫清涛. 多取代直链烷基苯磺酸钠的合成及其界面与体相性质的研究. 北京: 中国科学院理化技术研究所, 2005]
- 18 Huang, Y. P.; Zhang, L.; Zhang, L.; Luo, L.; Zhao, S.; Yu, J. Y. *J. Phys. Chem. B*, **2007**, **111**: 5640
- 19 Stubenrauch, C.; Miller, R. *J. Phys. Chem. B*, **2004**, **108**: 6412
- 20 Wang, Y. Y.; Zhang, L.; Sun, T. L.; Fang, H. B.; Zhao, S.; Yu, J. Y. *Acta Phys. -Chim. Sin.*, **2003**, **19**: 297 [王宜阳, 张路, 孙涛垒, 方洪波, 赵 澌, 俞稼镛. 物理化学学报, **2003**, **19**: 297]
- 21 Zhang, L.; Wang, X. C.; Gong, Q. T.; Zhang, L.; Luo, L.; Zhao, S.; Yu, J. Y. *J. Colloid Interface Sci.*, **2008**, **327**: 451
- 22 Zhao, G. X.; Zhu, B. Y. Principles of surfactant action. Beijing: China Light Industry Press, 2003: 144 [赵国玺, 朱玮瑶. 表面活性剂作用原理. 北京: 中国轻工业出版社, 2003: 144]

中国化学会第 27 届学术年会

主题: 创新型社会与化学的责任

2010 年 6 月 20-23 日

福建省厦门市·厦门大学

主办单位: 中国化学会·承办单位: 厦门大学

协办单位: 中国科学院福建物质结构研究所

会议负责人

主席: 白春礼 执行主席: 朱崇实 执行副主席: 孙世刚

秘书长: 姚建年、黄培强、杨振忠

会议设置及交流内容

分会:

- | | | |
|-------------|-------------------------|----------------------|
| 1 分会: 绿色化学 | 7 分会: 聚合物科学中的理论、模拟和计算研究 | 13 分会: 胶体与界面化学 |
| 2 分会: 环境化学 | 8 分会: 现代无机化学的现状和发展趋势 | 14 分会: 理论化学方法和应用 |
| 3 分会: 化学生物学 | 9 分会: 分析化学 | 15 分会: 化学信息学与化学计量学 |
| 4 分会: 纳米化学 | 10 分会: 电化学与能源化学 | 16 分会: 超分子组装与软物质 |
| 5 分会: 应用化学 | 11 分会: 催化化学 | 17 分会: 化学教育 |
| 6 分会: 有机化学 | 12 分会: 光化学 | 18 分会: 化学研究中的新仪器、新方法 |

论坛: 1. 化学的创新与发展论坛; 2. 海峡两岸化学论坛; 3. 中日青年化学家论坛

展览: 新技术、新产品与新仪器成果展

● 会议通知详见: <http://www.ccs.ac.cn>

中国化学会联系人: 唐 惠

通讯地址: 北京 2709 信箱转中国化学会 邮编: 100190

电话: 010-62625584; 传真: 010-62568157; 电子信箱: maria@iccas.ac.cn