

腰果酚基扩展型表面活性剂的构效关系研究

周玲燕¹, 韩月佳³, 龚新奇^{2,3}, 陈王欢^{2,3}, 车飞⁴, 陈学勇⁵, 王利民^{2,3}

(1. 浙江省绍兴市上虞杭州湾经开区控股集团有限公司, 浙江绍兴, 312369;

2. 上海市功能性材料化学重点实验室, 上海, 200237;

3. 华东理工大学化学与分子工程学院精细化工研究所, 上海, 200237;

4. 上海邦高化学有限公司, 上海, 201512;

5. 上海和韵香精香料有限公司, 上海, 510880)

DOI:10.61369/CDCST.2026020008



周玲燕



韩月佳

摘 要: 腰果酚原料经乙氧基化、丙氧基化及硫酸酯化反应制备了腰果酚基聚氧乙烯醚硫酸钠 (BES)、腰果酚基聚氧乙烯-聚氧丙烯醚硫酸钠 (BEPS)、腰果酚基聚氧丙烯-聚氧乙烯醚硫酸钠 (BPES)。采用 FTIR 对产物结构进行表征。测定了三个系列表面活性剂的界面性质和应用性能, 并分析了聚醚链结构与表面活性剂分子之间的构效关系。结果表明, 随 EO 链长的增加, BES 系列表面活性剂的临界胶束浓度 (cmc)、润湿性、泡沫性、乳化性均先增大后降低; 在表面活性剂分子中引入 PO 基团能显著降低其临界胶束浓度 (最低为 0.096 mmol/L), 改变 PO 链的嵌入位置, 能显著提高其乳化性能 (乳化时间最高达到 2500 s); 根据最终结果分析可通过在分子中适当引入 PO 基团来设计具备特定性能的扩展表面活性剂。此外, 基于该类腰果酚基扩展型表面活性剂优异的界面活性、润湿性及乳化性, 其可作为核心活性成分应用于日化洗涤剂领域, 可有效降低洗涤剂体系的表面张力, 增强对油污、污渍的渗透、乳化与剥离能力, 尤其适用于衣物洗涤剂、餐具洗涤剂及硬表面清洗剂, 在降低洗涤剂用量、提升清洁效果的同时, 兼具一定的温和性, 符合日化洗涤剂高效、温和、绿色的发展趋势, 为其在日化领域的工业化应用提供了理论支撑与实践依据。

关 键 词: 腰果酚基聚氧乙烯醚硫酸钠; 腰果酚基聚氧乙烯-聚氧丙烯醚硫酸钠; 腰果酚基聚氧丙烯-聚氧乙烯醚硫酸钠; 扩展表面活性剂; 洗涤剂

作者简介: 周玲燕, 绍兴市上虞杭州湾经开区控股集团有限公司, 中级档案师, 党委委员、副总经理。E-mail: 993518287@qq.com。
韩月佳, 研究生, 就读于华东理工大学。E-mail: 1143532503@qq.com。

腰果酚^[1-2]是以天然腰果壳油为原料, 经先进技术提炼精制而成的, 属于绿色环保的工业原料。腰果酚分子既有芳香族化合物的特征, 又有脂肪族化合物的特征, 同时苯环上的酚羟基使其具有酚类化合物的性质, 用其制成的表面活性剂已在众多领域得到应用。

扩展型表面活性剂^[3] (也称 Extended 型表面活性剂) 是指通过将聚氧丙烯基团或聚氧丙烯-氧乙烯基团引入至离子型表面活性剂的疏水尾链和亲水头基之间而形成的一类新型表面活性剂。Extended 型表面活性剂兼具阴离子和非离子表面活性剂的双重表面化学性能, 由于额外引入了 PO 和 EO 基团, 使其能够产生极低的界面张力^[4] (IFT) 及低临界胶束浓度^[5]; 与传统表面活性剂相比, 扩展表面活性剂展现出更高的增溶能力、乳化能力^[6], 并被用于制备环保型微乳液^[7-10], 在泡沫浮选^[11]、强化采油 (EOR) 和增强水层修复 (SEAR)^[12]等领域有着巨大的应用潜力; PPO 链在扩展表面活性剂分子中具备动态两亲性^[13], PO 基团或 PO-EO 混合取代基团能改善分子的极性相互作用^[14], 通过一定方式排列, 能极大增强表面活性剂分子的吸附作

用^[15]。目前国内外对腰果酚基表面活性剂的研究大多是关于阴离子表面活性剂和非离子表面活性剂^[16-19], 但基于腰果酚基的扩展型表面活性剂的研究不多, 并且缺少对此类表面活性剂分子构效关系的探究。

本文设计合成腰果酚基聚氧乙烯醚硫酸钠 (BES)、腰果酚基聚氧乙烯-聚氧丙烯醚硫酸钠 (BEPS)、腰果酚基聚氧丙烯-聚氧乙烯醚硫酸钠 (BPES), 通过测定分子界面化学性质和应用性能, 比较了扩展型表面活性剂 (BEPS 和 BPES) 与常规表面活性剂 (BES) 性能, 旨在考察两者之间由分子结构变化引起的性能差异, 探究设计合成具有特定功能的新型 Extended 型表面活性剂的可行性。

1 实验部分

1.1 主要试剂与仪器

腰果酚、氢氧化钾、冰醋酸、环氧乙烷 (EO)、环氧丙烷 (PO), CP, 上海邦高化学有限公司; 氨基磺酸、氢氧化钠、无水乙醇, AR, 上海凌峰化学试剂有限公司; 液

体石蜡, AR, 国药基团化学试剂有限公司; BLF-D型玻璃聚合釜, 上海绿树工贸有限公司; QBZY系列全自动表面张力仪, 上海方瑞仪器有限公司;

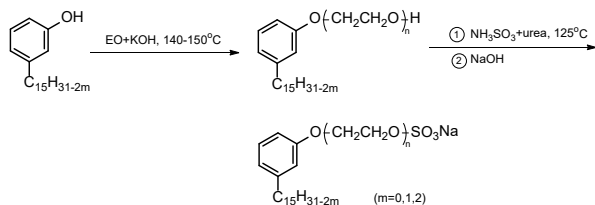
1.2 实验方法

1.2.1 腰果酚扩展表面活性剂的合成

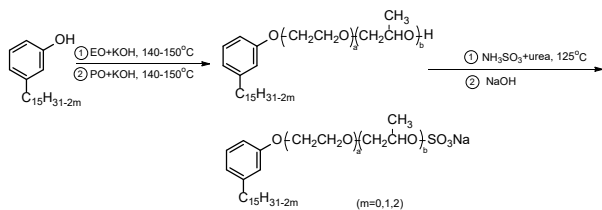
取腰果酚聚醚中间体初始原料于三口烧瓶中, 再投入适量催化剂, 油浴加热至90~100℃, 利用循环水泵抽真空将体系中的空气及水分脱除, 抽真空30 min后, 继续升温至120℃, 开始分批次投入氨基磺酸, 半小时内投料完毕, 在反应温度下继续维持反应3 h, 即得腰果酚聚醚硫酸铵粗产物。后将反应烧瓶内温度降至80~90℃, 滴加质量分数为30%的氢氧化钠溶液进行中和, 边滴加边进行磁力搅拌, 直至滴加后无起泡产生, 即得腰果酚聚醚硫酸酯钠粗产物。腰果酚聚醚中间体产物的硫酸化及中和反应方程式如下。

将以BGF-n制备得到的聚氧乙烯醚硫酸盐命名为BE_nS (在文中根据其EO加和数来叙述, 例如: BES-3, 为加成3个EO的硫酸盐产物), 其合成路线如下:

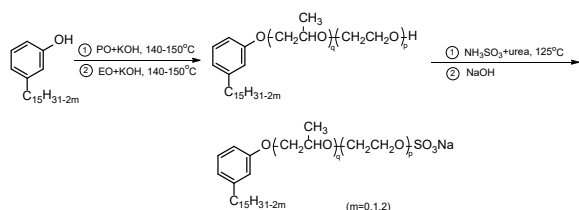
BE_nS的合成路线如下:



将以BE_aP_b制备得到的嵌段聚醚硫酸盐命名为BE_aP_bS (在文中根据其EO和PO加和数来叙述, 例如: BEPS-113, 为加成11个EO和3个PO的硫酸盐产物), 其合成路线如下:



将以BP_qE_p制备得到的嵌段聚醚硫酸盐命名为BP_qE_pS (在文中根据其EO和PO加和数来叙述, 例如: BPES-311, 为加成3个PO和11个EO的硫酸盐产物), 其合成路线如下:



1.2.2 表面张力的测定

配置摩尔浓度为0.001 mol/L的样品水溶液, 采用QBZY全自动表面张力仪, 利用铂金板在不同浓度溶液表面的作用, 测定25℃下不同样品溶液浓度的表面张力γ (mN/m), 记录读数, 并制定表面张力-浓度曲线。

1.2.3 润湿性的测定

依据国家标准GB/T11983-2008帆布片沉降法来测定样品的润湿性能, 配置质量浓度为1 g/L的待测样品溶液, 将溶液转移至500 mL烧杯中, 待溶液表面起泡消失, 取出测试用棉帆布, 从帆布片下端接触液面开始计时, 至帆布片完全沉降至烧杯底部停止及时, 记录时间差, 重复上述操作3次取平均值。

1.2.4 泡沫性能的测定

配置质量浓度为1 g/L的样品溶液, 用超声处理溶解, 定容至250 mL, 用移液管移取50 mL溶液沿壁加入250 mL具塞量筒中, 静置待泡沫消失。在相同的幅度和强度下, 上下振荡20次, 记录泡沫的瞬时高度, 并在5 min后记录泡沫高度, 每个样品设置三组平行实验, 最后取平均值作为测试结果。

1.2.5 乳化性的测定

采用分水法来测定样品的乳化性能, 移取40 mL质量浓度为1 g/L的样品溶液于100 mL具塞量筒中, 加入40 mL液体石蜡, 扣紧玻璃塞, 剧烈振荡5次 (一上一下为1次), 静置1 min, 再次剧烈振荡5次, 如此重复5次后, 置于桌面, 立即计时, 记录分离出10 mL水相所用时间, 平行测定3次, 取平均值作为测试结果。

2 结果与讨论

2.1 结构表征

合成的扩展表面活性剂产物的FTIR谱图如图1所示。图1A为腰果酚基聚氧乙烯醚BGF-n和硫酸化后产物BE_nS的谱图对比, 可知在1100 cm⁻¹左右处出现的强吸收峰为醚键C-O-C的伸缩振动峰, 表明烷氧基化过程的成功进行。在1254 cm⁻¹处, BE_nS显示比BGF-n更强的吸收, 表明分子中存在C-O-S结构, 同时在指纹区778 cm⁻¹处出现的吸收峰为S=O键的特征吸收峰, 因此可以判断成功合成了硫酸盐型表面活性剂BE_nS。

图1B为BE_nS、BE_aP_bS、BP_qE_pS的特征谱图，同理，可以推断合成了相应的扩展型硫酸盐表面活性剂产物。

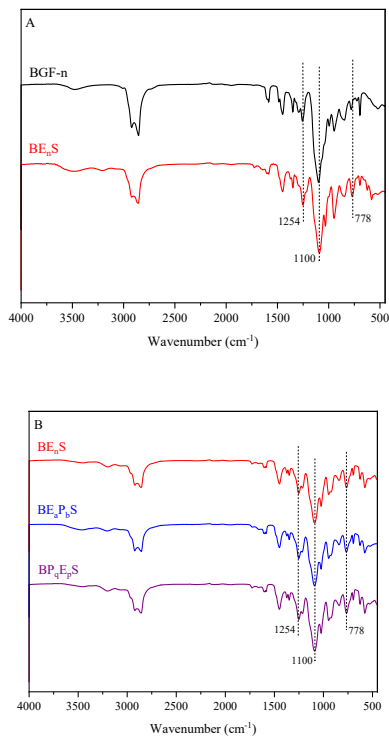


图1 三种扩展型表面活性剂的 FTIR: (A) BE_n S; (B) BE_a P_b S 和 BP_q E_p S

2.2 表面活性分析

测定了腰果酚聚氧乙烯醚硫酸盐及腰果酚聚醚硫酸盐的表面张力，其 γ -lg c 曲线如图2所示，由此计算出的表面活性参数如表1所示。由图2A和表1数据可以看出，对于腰果酚聚氧乙烯醚硫酸盐，其临界胶束浓度（cmc）随分子中乙氧基的数目增加先减小后增大，当乙氧基数在3~10之间时，由于—SO₃Na的亲水性大于乙氧基的亲水性，使得乙氧基链更多地朝向胶束内，使得乙氧基链对分子亲水性贡献小于疏水性，所以 cmc 降低，乙氧基数大于10后，分子的亲水性增加，临界界面张力（ γ_{cmc} ）呈现先增大后趋于平稳的变化趋势，其值越低，表明该表面活性剂降低表面张力的能力越强。由图2B和表1数据可知，对于聚醚硫酸盐扩展型表面活性剂，cmc 随 PO 链的增长而降低，这是由于 PO 基团对分子的疏水性贡献使得其更易胶束化。通过分析 BE₁₁P₃S 和 BP₃E₁₁ 的表面活性数据可知，先引入 EO 链后引入 PO 链的产物 BE₁₁P₃S 的 cmc 要小于后者 BP₃E₁₁S（先引入 PO 链，再引入 EO 链），其原因是后引入 PO 链使得表面活性剂分子表面积更大，在低浓度下更易形成胶束。而 BP₃E₁₁S 的 γ_{cmc} 低于 BE₁₁P₃S，说明后引入 EO 链可显著提升表面活性剂分子的

亲水性能。分子的饱和吸附量（ Γ_{max} ）和分子饱和吸附面积（ A_{min} ）显示，引入 PO 基团对表面活性剂分子在界面的吸附作用具有显著影响。随 PO 链长度增加，分子的饱和吸附量呈现增大趋势，这是由于共聚醚连接基结构扩大了分子的吸附面积，同时 PO 基团的疏水性可促进分子在界面的吸附，二者共同作用导致饱和吸附量上升。

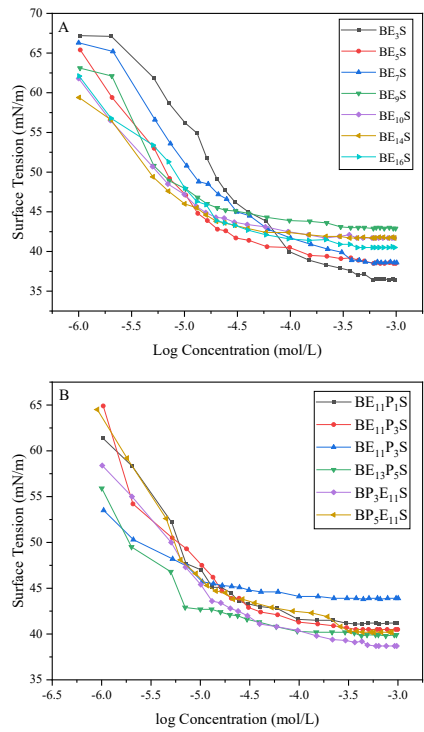


图2 腰果酚基扩展型表面活性剂的 γ -lg c 曲线
表1 腰果酚基扩展型表面活性剂表面活性参数

化合物	$\gamma_{cmc}/(\text{m N/m})$	cmc / (mmol/L)	pC ₂₀	$\Gamma_{max}/(\mu\text{mol}/\text{m}^2)$	$A_{min}/(\text{nm}^2)$
BE ₃ S	37	0.434	4.82	2.82	5.89
BE ₅ S	39.1	0.301	5.26	1.90	8.74
BE ₇ S	40.3	0.226	5.03	1.88	8.82
BE ₉ S	43.9	0.098	5.35	1.86	8.92
BE ₁₀ S	41.9	0.291	5.33	1.53	10.86
BE ₁₄ S	41.9	0.294	5.47	1.35	12.35
BE ₁₆ S	40.9	0.360	5.18	1.59	10.48
BE ₁₁ P ₁ S	41.1	0.436	5.33	2.11	7.86
BE ₁₁ P ₃ S	40.9	0.223	5.50	3.19	5.20
BE ₁₃ P ₃ S	44.6	0.156	5.89	0.96	17.27
BE ₁₃ P ₅ S	40.3	0.096	5.82	1.9	8.64
BP ₃ E ₁₁ S	39.2	0.492	5.40	1.35	12.30
BP ₃ E ₁₁ S	40.8	0.263	5.29	2.06	8.06

2.3 润湿性分析

测定了产物的润湿性能，结果如图3所示。图3A为 BES 系列硫酸盐的润湿性，从中可以看出，在 n=3~9 之间

时,润湿时间随EO数的增加而增加,即润湿性能减弱。在 $n=3$ 时,润湿性能最佳。当 $n>9$ 时,润湿时间随EO数增多逐渐下降,但趋势不大。液体的润湿性能受表面活性剂的表面张力影响较大。通常表面张力越低,其润湿性越好。由表1中数据可以看出,表面张力的变化趋势与润湿性能的变化趋势一致。图3B显示了 $\text{BE}_a\text{P}_b\text{S}$ 和 $\text{BP}_q\text{E}_p\text{S}$ 系列硫酸盐的润湿性能,可以看出,EO、PO引入顺序对其润湿性变化趋势有一定的影响。对于 $\text{BE}_a\text{P}_b\text{S}$,当EO数一定时,增加PO,其润湿时间降低,因为PO的引入使得分子的疏水性增强,其表面张力降低,润湿性增强。而对于 $\text{BP}_q\text{E}_p\text{S}$,当EO数不变,增加PO数目,其润湿时间呈现增加趋势,由于EO链位于分子尾端,推测此时PO的疏水性贡献小于EO的亲水性贡献,故分子润湿性没有减弱。

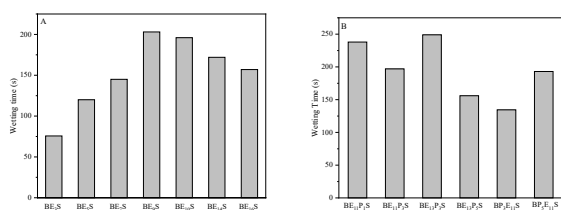


图3 腰果酚基扩展表面活性剂的润湿性能

2.4 泡沫性分析

依据实验1.2.4的方法测定了所得产物的起泡性能和稳泡性能,结果如图4所示,FA为泡沫高度;FS为残泡比。

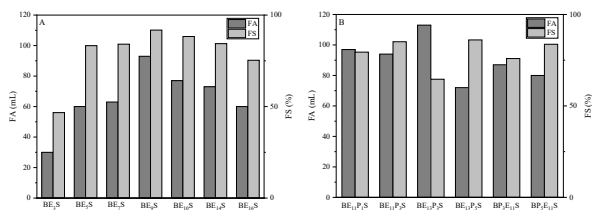


图4 腰果酚基扩展表面活性剂的泡沫性能

图4A显示了BES表面活性剂起泡性和稳泡性的变化,可以看到,随乙氧基链的增加,分子的泡沫体积和泡沫稳定性均先增加到一个最大值,然后降低。这是由于当聚氧乙烯链长度增加时,吸附膜中分子的内聚力在某一链长达到最大。随着分子中氧乙烯含量的增加,表面活性剂分子占据的面积增加,分子之间的范德华力降低。在水相中POE链呈现卷曲状态,由于分子间和分子内氢键作用产生的内聚力会随着氧乙烯含量的增加而出现最大值,因此,随着氧乙烯含量增加,范德华力和氢键作用力的总和也会经历一个最大值。由图4A看出,对于BES表面活性剂,当乙氧基数目为9个时,其起泡性和稳泡性达到最大值。图4B显示,分子中引入丙氧基链对泡沫性能有一定的

影响。随着PO链的增长,表面活性剂分子的起泡性均降低,而泡沫稳定性提高。对于BEPs表面活性剂,引入PO基团将亲水的乙氧基链与亲水离子头基隔开,影响了分子的亲水亲油平衡值,继而影响了泡沫形成的大小,分子的表面张力也影响了起泡的容易程度。气体通过薄层的扩散作用则主要影响分子的泡沫持久性,表面活性剂分子在吸附膜中的紧密排列能够降低气体在两个起泡之间的扩散速率,减少液泡薄膜受到的机械冲击,从而提高泡沫的稳定性。随着PO链的增长,分子的疏水链增长,对气体扩散的阻碍作用增强,使得稳泡性提升。对于BPES表面活性剂,其PO链位于苯环和亲水基团EO链及离子头基之间,故PO数的少量增加对分子的泡沫性能影响较小。

2.5 乳化性能

采用分水法测定了腰果酚基扩展表面活性剂系列的乳化性质,结果如图5所示。图5A显示,随着BES中乙氧基数的增加,表面活性剂分子的乳化性能先上升后降低。当乙氧基数为10时,乳化性能最佳。当EO链增长时,分子的亲水基团体积扩大,界面膜的强度提高,对非极性液珠的包裹能力增强,乳化稳定性提升,乳化能力上升。当EO链进一步增长时,过长的氧乙烯链发生卷曲使得分子的截面积增大,降低了界面膜的紧密度,从而乳化性能下降。分析图5B,对于BEPs系列,分子的乳化性随PO数目的增加而上升,这是由于PO链的引入提供了极性和疏水性,进一步延长了分子的长度,疏水性的PO链增长了与油性分子相互作用,延长了破乳时间,乳化性能提升。对于BPES系列,发现分子的乳化性能较前两者有极大的提升,对于BP₅E₁₁S,其乳化时间达到了2500 s左右。分析是由于疏水基团PO链和亲水基团EO链各自伸向油相和水相,PO链的侧甲基为分子提供了很强的侧向作用力,这种作用力随PO数目的增加而增强,从而使得界面膜的强度大大提升,减缓了液相油滴因互相碰撞而破乳的过程,分子的整体乳化性极大增强。这为开发和设计优秀乳化剂分子结构提供了启发。

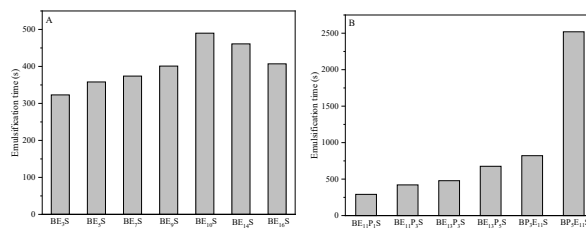


图5 腰果酚基扩展表面活性剂的乳化性能

3 应用分析

在钢铁工业领域中，不可避免地需要使用大量的金属清洗剂进行除锈处理，相较于工业上大型的精密设备，常规设备采用的均为水基型工业清洗剂。水基型清洗剂的清洗效率受多种因素影响，除了清洗技术、清洗设备外，清洗剂的配方体系也尤为重要。工业上，使用较多的强酸性除锈剂，除锈效率高，速率快，但存在着较多弊端：不适用于不耐酸碱的场所，可能对除锈后的金属产生二次腐蚀等。因此有研究者陆续研究出了弱酸性或中性的环保型清洗剂配方，在体系中各组分的作用下，能达到高效清洗的标准，并且适用性更广，其中表面活性剂组分起到了较为重要的作用，通过降低界面张力，再借助高效的清洗方式，能够有效地分散污垢，实现清洗作业。未来研制环保型清洗剂的方向也应基于这一点，选取具有极低界面张力的表面活性剂，实现清洗效率的最大化。本章节通过筛选自制的腰果酚聚醚硫酸酯盐作为除锈剂配方的表面活性剂组分，探究了除锈剂的清洗效率，完成了一种近中性的环保型水基除锈配方。

3.1 除锈剂的制备工艺

经过试验调整后，确定的制备步骤如下：首先称取计量的表面活性剂至三口烧瓶中，加入计量一半的蒸馏水，将体系加热至35℃，搅拌溶解10 min，待表面活性剂溶解完毕，加入渗透剂，将另一半蒸馏水加入烧瓶内，搅拌10 min，待溶液澄清透明后，加入EDTA-2Na，边加入边搅拌，至完全溶解，然后加入柠檬酸铵，继续搅拌20 min，待体系稳定，最后加入尿素，搅拌20 min，即得到除锈剂成品。

3.2 除锈剂的应用效果

将自制除锈剂与市售的弱酸性除锈剂作对比，分别对其进行了超声除锈试验和浸泡除锈试验，记录除锈过程中碳钢损失的质量，计算出平均除锈速率。超声试验结果如下图6。

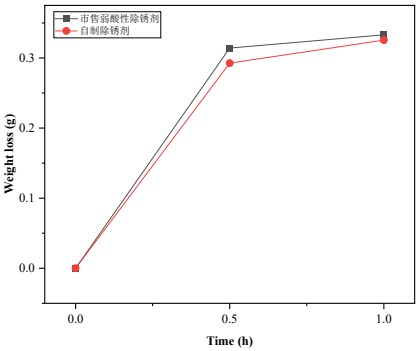


图6 超声除锈试验

由图6可以看出，在超声状态下，自制的除锈剂与市售弱酸性除锈剂相比差别不大，在除锈前0.5 h，两种除锈剂的除锈速率均较快，之后除锈速率显著降低，在超声状态下，除锈过程仅需1 h就能完成。

两种除锈剂的浸泡除锈试验结果如图7。

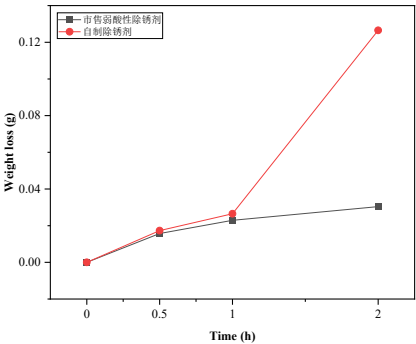


图7 超声除锈试验浸泡除锈试验

由浸泡除锈试验结果可看出，在除锈前1 h，两种除锈剂的除锈效率呈缓慢上升，在1 h到2 h的过程中，自制除锈剂的效率远高于市售弱酸性除锈剂，可能原因是配方内的表面活性剂和渗透剂在后期除锈过程中对金属表面的渗透作用增强，加速了锈垢的分散和沉降，导致碳钢的质量明显下降，即除锈效率显著提高。与超声除锈相比，浸泡除锈过程大致需要2 h才能完成。

根据超声除锈和浸泡除锈试验结果，计算出两种除锈剂在除锈过程中的平均除锈速率如下表。

表2 两种除锈剂的平均除锈速率

类型	超声过程平均除锈速率 / (g/cm ³ /h)	浸泡过程平均除锈速率 / (g/cm ³ /h)
市售弱酸性除锈剂	0.05308	0.001216
自制除锈剂	0.05208	0.005060

可以观察到，在超声状态下，除锈速率比浸泡状态下除锈速率更快，且除锈时间更短，在工业实际应用中，超声除锈效率高，故多选择此类除锈方法，但是由于在超声状态下，金属表面更容易发生腐蚀，因此一般在除锈作业完成后需要马上进行防腐处理。

4 结论

通过乙氧基化、丙氧基化、硫酸酯化反应合成了BES、BEPs、BPES系列扩展型表面活性剂，经FTIR分析验证了产物分子结构。

测定了BES系列表面活性剂界面性能及应用性能，结果表明，其临界胶束浓度(cmc)随EO基团的增加均呈现先

下降后上升的趋势,润湿性、泡沫性及乳化性随EO基团的增加均呈现先上升后下降的趋势。在分子中引入适当长度的乙氧基链能使表面活性剂分子的表面和应用性能达到最佳。

BEPS、BPES系列扩展表面活性剂性能测定结果表明,PO基团的引入能极大降低表面活性剂分子的临界胶束浓度($\text{BE}_{13}\text{P}_3\text{S}$ 的cmc达到 0.096 mmol/L),同时PO基团的嵌入位置对分子的乳化性能有极大的影响($\text{BP}_3\text{E}_{11}\text{S}$ 的乳化时间达到 2500 s),可应用于高效渗透剂、乳化剂等方面。扩展型表面活性剂中聚氧丙烯链的构效研究对于开发和设计新型功能型表面活性剂分子具有理论价值。

综上,本研究合成的腰果酚基扩展型表面活性剂性能优良,可通过调控聚醚链结构实现特定性能设计,且在日化除锈剂领域具有良好的应用潜力,为其后续工业化应用奠定基础。

致谢

感谢国家自然科学基金(NSFC 21772039)和上海邦高化学有限公司支持。

参考文献

- [1]Luo Y, Liang W, Ma W, et al. Cardanol-derived cationic surfactants enabling the superior antibacterial activity of single-walled carbon nanotubes[J]. Nanotechnology, 2020, 31(26): 265603.
- [2]Balachandran V S, Jadhav S R, Vemula P K, et al. Recent advances in cardanol chemistry in a nutshell: from a nut to nanomaterials[J]. Chemical Society Reviews, 2013, 42(2): 427-438.
- [3]Miñana-Perez M, Graciaa A, Lachaise J, et al. Solubilization of polar oils with extended surfactants[J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 1995, 100: 217-224.
- [4]Witthayapanyanon A, Acosta E J, Harwell J H, et al. Formulation of ultralow interfacial tension systems using extended surfactants[J]. Journal of Surfactants and Detergents, 2006, 9(4): 331-339.
- [5]Arpornpong N, Charoensaeng A, Sabatini D A, et al. Ethoxy carboxylate extended surfactant: micellar, adsorption and adsolubilization properties[J]. Journal of Surfactants and Detergents, 2010, 13(3): 305-311.
- [6]Charoensaeng A, Sabatini D A, Khaodhiar S. Solubilization and adsolubilization of polar and nonpolar organic solutes by linker molecules and extended surfactants[J]. Journal of Surfactants and Detergents, 2009, 12(3): 209-217.
- [7]Klaus A, Tiddy G J T, Touraud D, et al. Phase behavior of an extended surfactant in water and a detailed characterization of the concentrated phases[J]. Langmuir, 2010, 26(22): 16871-16883.
- [8]Do L D, Withayapanyanon A, Harwell J H, et al. Environmentally friendly vegetable oil microemulsions using extended surfactants and linkers[J]. Journal of Surfactants and Detergents, 2009, 12(2): 91-99.
- [9]Witthayapanyanon A, Harwell J H, Sabatini D A. Hydrophilic-lipophilic deviation (HLD) method for characterizing conventional and extended surfactants[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2008, 325(1): 259-266.
- [10]Wang S, Chen C, Yuan N, et al. Design of extended surfactant-only EOR formulations for an ultrahigh salinity oil field by using hydrophilic lipophilic deviation (HLD) approach: From laboratory screening to simulation[J]. Fuel, 2019, 254: 115698.
- [11]Watcharasing S, Kongkowitz W, Chavadej S. Motor oil removal from water by continuous froth flotation using extended surfactant: effects of air bubble parameters and surfactant concentration[J]. Separation and Purification Technology, 2009, 70(2): 179-189.
- [12]Kayali I, Qamhieh K, Olsson U, et al. Water-diesel microemulsions stabilized by an anionic extended surfactant and a cationic hydrotrope[J]. Journal of Dispersion Science and Technology, 2012, 33(4): 516-520.
- [13]Chen J, Hu X, Fang Y, et al. Cooperative effects of polypropylene oxide spacers and alkyl chains on dynamic amphiphaticity of extended surfactants[J]. Journal of Molecular Liquids, 2020, 311: 113276.
- [14]Jiang Q, Du Y, Zhang L, et al. Wettability of a Polymethylmethacrylate Surface by Extended Anionic Surfactants: Effect of Branched Chains[J]. Molecules, 2021, 26(4): 863.
- [15]Forgiarini A M, Scorza C, Velásquez J, et al. Influence of the mixed propoxy/ethoxy spacer arrangement order and of the ionic head group nature on the adsorption and aggregation of extended surfactants[J]. Journal of Surfactants and Detergents, 2010, 13(4): 451-458.
- [16]Faye I, Besse V, David G, et al. Sustainable cardanol-based ionic surfactants[J]. Green Materials, 2017, 5(3): 144-152.
- [17]Shi W, Wang P, Ma X, et al. Synthesis and Properties of Novel Cashew-Based Sulfonate Gemini Surfactant[J]. Advanced Materials Research, 2014, 915-916: 927-932.
- [18]Tyman J, Bruce I E. Surfactant properties and biodegradation of polyethoxylates from phenolic lipids[J]. Journal of Surfactants and Detergents, 2004, 7(2): 169-173.
- [19]Bruce I E, Mehta L, Porter M J, et al. Anionic Surfactants Synthesised from Replenishable Phenolic Lipids[J]. Journal of Surfactants and Detergents, 2009, 12(4): 337-344.

Structure-Activity Relationship in the Series of Cardanol-Based Extended Surfactant

Zhou Ling-yan¹, Han Yue-jia³, Gong Xin-qi^{2,3}, Chen Wang-huan^{2,3}, Che Fei⁴, Chen Xue-yong⁵, Wang Li-min^{2,3}
(1. Shaoxing Shangyu Hangzhou Bay Economic Development Zone Holding Group Co., Ltd., Shaoxing, Zhejiang 312369;

2. Shanghai Key Laboratory of Functional Materials Chemistry, Shanghai 200237;

3. Institute of Fine Chemicals, School of Chemistry and Molecular Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237;

4. Shanghai Bronkow Chemical Co., Ltd., Shanghai 201512;

5. Shanghai Herynn Fragrances and Flavors Co., LTD., Shanghai 510880)

Abstract : Cardanol-based polyoxyethylene ether sulfate (BES), cardanol-based polyoxyethylene polyoxypropylene ether sulfate (BEPS) and cardanol-based polyoxypropylene polyoxyethylene ether sulfate (BPES) were synthesized from cardanol raw materials by ethoxylation, propoxylation and sulfate esterification. The structures of the products were characterized by FTIR. The interfacial and application properties of three series of surfactants were determined, and the structure-activity relationship between polyether chain structure and surfactant molecules was analyzed. The results showed that with the increase of EO chains length, the critical micelle concentration (cmc), wettability, foamability and emulsification of BES series surfactants increased first and then decreased. The introduction of PO groups into the surfactant molecules significantly reduce its critical micelle concentration (down to 0.096 mmol/L). Changing the intercalation position of PO chains can significantly improve its emulsification performance (emulsification time up to 2500 s). Depending on the final result analysis, extended surfactants with specific properties can be designed by introducing PO groups into the molecule as appropriate. Furthermore, based on the excellent interfacial activity, wettability and emulsifying properties of this type of cashew phenol-based extended surfactant, it can be used as a core active ingredient in the field of daily chemical detergents. It can effectively reduce the surface tension of the detergent system, enhance the penetration, emulsification and peeling capabilities for oil stains and dirt, and is particularly suitable for laundry detergents, tableware detergents and hard surface cleaners. While reducing the dosage of detergent and improving the cleaning effect, it also has a certain degree of mildness, which conforms to the development trend of high efficiency, mildness and greenness of daily chemical detergents, and provides theoretical support and practical basis for its industrial application in the daily chemical field.

Keywords : cardanol-based polyoxyethylene ether sodium sulfate; cardanol-based polyoxyethylene polyoxypropylene ether sodium sulfate; cardanol-based polyoxypropylene polyoxyethylene ether sodium sulfate; extended surfactant; detergent

