

# 八甲基环四硅氧烷阳离子开环乳液聚合研究

莫建强<sup>1,2</sup>, 沈敏敏<sup>1</sup>, 周宝文<sup>1,2</sup>, 邓莲丽<sup>1,2</sup>, 张延奎<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院 广州化学研究所 中国科学院纤维素化学重点实验室 广东 广州 510650;

2. 中国科学院大学 北京 100049)

**摘要:**以十八烷基三甲基氯化铵(OTAC)和异构十三醇聚氧乙烯醚(1307)为复合乳化剂,KOH为催化剂,八甲基环四硅氧烷(D<sub>4</sub>)为单体,制备了聚硅氧烷乳液。比较了高压均质、超声波处理和高速剪切3种乳化方式对乳液透光率、电导率、黏度以及贮存稳定天数的影响,考察了复合乳化剂配比及用量、KOH用量和反应温度对乳液稳定性和聚合动力学的影响。结果表明,采用30 MPa高压均质后的乳液稳定性最好。 $m(\text{OTCA}) : m(1307) = 1 : 1$ 时,乳液稳定性较好,且随着复合乳化剂用量的增加,乳液凝胶率降低,乳液稳定性提高。当 $m(\text{OTCA}) : m(1307) = 1 : 1$ 时,OTAC的表观反应级数为0.16;当复合乳化剂质量分数为3%时,OTCA的表观反应级数为0.21;KOH的表观反应级数为0.57,表观活化能为42.66 kJ·mol<sup>-1</sup>。

**关键词:**八甲基环四硅氧烷;复合乳化剂;高压均质;稳定性;动力学

中图分类号:TQ423

文献标识码:A

文章编号:1001-1803(2012)06-0399-06

## Study of cationic ring – opening emulsion polymerization of octamethylcyclotetrasiloxane

MO Jian-qiang<sup>1,2</sup>, SHEN Min-min<sup>1</sup>, ZHOU Bao-wen<sup>1,2</sup>, DENG Lian-li<sup>1,2</sup>, ZHANG Yan-kui<sup>1,2</sup>

(1. Laboratory of Cellulose and Lignocellulosics Chemistry, Guangzhou Institute of Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong 510650, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** Polysiloxane emulsions were prepared by using octamethylcyclotetrasiloxane as monomer, blended surfactant composed of octadecyltrimethylammonium chloride (OTAC) and ethoxylated iso-tridecanol (1307) as emulsifier and KOH as catalyst. Three emulsification methods: high pressure homogenizer, ultrasonic treatment and high speed shearing were carried out to compare the result in aspect of light transmittance, electric conductance, viscosity and storage stability of the emulsion. Effects of mass ratio of the surfactant constituents in the emulsifying agent, dosage of blend emulsifying agent, dosage of KOH catalyst as well as the reaction temperature on stability of the emulsion and polymerization kinetics were investigated. Results showed that using 30 MPa high pressure homogenizer will result in best emulsion stability as compared with other methods. When  $m(\text{OTCA}) : m(1307) = 1 : 1$ , the emulsion stability is rather good. Following the increase of emulsifying agent dosage, the fraction of gel content in the emulsion is reduced, and the stability of the emulsion is upgraded. Under the condition as  $m(\text{OTCA}) : m(1307) = 1 : 1$ , the apparent reaction order is 0.16. When the mass ratio of the blend emulsifier is 3%, the apparent reaction order is 0.21. The apparent reaction order of KOH catalyst is 0.57, and its apparent activation energy is 42.66 kJ·mol<sup>-1</sup>.

**Key words:** octamethylcyclotetrasiloxane; blended emulsifier; high pressure homogenization; stability; kinetics

聚硅氧烷由于其优异的性能,在化妆品、纺织、皮革和医用材料等众多领域中均得到广泛的应用<sup>[1]</sup>。自1959年Dow coming公司的Hyde等<sup>[2]</sup>首次披露八甲基环四硅氧烷阳离子可开环乳液聚合以来,单一乳化体系的环硅氧烷阳离子开环乳液聚合研究已经比较

成熟<sup>[3-6]</sup>,但生产实践中常用到复合乳化剂,而对于复合乳化体系的乳液聚合研究较少。程琛等<sup>[7]</sup>以十六烷基三甲基氯化铵和辛基酚聚氧乙烯醚为复合乳化剂,研究了不同反应条件对单体转化率和乳胶粒径的影响。Mohoric等<sup>[8]</sup>以十六烷基三甲基氯化铵和仲醇

收稿日期:2012-08-21;修回日期:2012-10-12

作者简介:莫建强(1986-)男,广东东莞人,硕士研究生,电话:(020)85231095。

通讯联系人:沈敏敏,研究员,E-mail:shenmm@gic.ac.cn。

聚氧乙烯醚为复合乳化剂,研究了单体进料速度对单体转化率、乳液粒径以及分布、聚合物相对分子质量的影响。

目前常用的乳化剂烷基酚聚氧乙烯醚由于其生物降解缓慢且具有类似环境激素的性质,正逐渐被异构醇聚氧乙烯醚或支链的脂肪醇聚氧乙烯醚等环境友好型乳化剂所替代<sup>[9]</sup>。其中异构醇醚由于其独特结构和优异的乳化性能,引起了众多研究者的关注。作者以十八烷基三甲基氯化铵(OTAC)和异构十三醇聚氧乙烯醚(1307)为复合乳化剂,KOH为催化剂,八甲基环四硅氧烷(D<sub>4</sub>)为单体,制备了聚硅氧烷乳液。系统研究了不同均质条件对乳液稳定性的影响以及乳化剂配比及用量、KOH用量和反应温度对乳液稳定性和聚合动力学的影响,以期复合乳化体系制备羟基硅油乳液的生产及应用提供一定的理论指导。

## 1 实验部分

### 1.1 主要原料与仪器

八甲基环四硅氧烷(D<sub>4</sub>),工业级,美国道康宁公

司;十八烷基三甲基氯化铵(OTAC),纯度95%,美国Aldrich公司;异构十三醇聚氧乙烯醚(1307),纯度99%,南非SASOL公司;KOH、冰醋酸、无水氯化钙,均为分析纯,广州化学试剂厂。

NanoGenizer高压均质机,苏州微流纳米生物技术有限公司;KQ3200DB数控超声波清洗器,昆山市超声仪器有限公司;剪切乳化搅拌机,上海标本模型厂;DDS-11A电导率仪,上海虹益仪器厂;2550紫外可见分光光度计,日本岛津公司;JL-1177激光粒度测试仪,成都精新粉体测试设备有限公司。

### 1.2 聚硅氧烷乳液制备

将一定量的OTAC,1307和去离子水加入到烧杯中搅拌均匀,然后将D<sub>4</sub>缓慢加入到上述溶液中,混合均匀,将所得混合溶液在一定条件下进行均质处理,得到单体乳液。将乳液转移至带有温度计、搅拌器和回流冷凝管的三口烧瓶中,搅拌升温,在预定的温度下,加入KOH溶液,反应7h,然后降温至40℃以下,用醋酸溶液调节pH=6~7,过滤,得聚硅氧烷乳液。聚硅氧烷乳液试验各配方见表1。

表1 聚硅氧烷乳液试验配方  
Tab.1 Formulations of polysiloxane emulsions

	配方编号													
	S1	S2	S3	S4	S5	E1	E2	E3	E4	C1	C2	C3	C4	
w(D <sub>4</sub> )/%	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	
w(OTAC)/%	0.6	1.2	1.5	1.8	2.4	0.6	1.2	1.8	2.4	1.5	1.5	1.5	1.5	
w(1307)/%	2.4	1.8	1.5	1.2	0.6	0.6	1.2	1.8	2.4	1.5	1.5	1.5	1.5	
w(KOH)/%	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.90	0.24	0.15	0.07	
w(去离子水)/%	66.5	66.5	66.5	66.5	66.5	68.3	67.1	65.9	64.7	66.1	66.8	66.9	67.0	

### 1.3 分析测试

#### 1.3.1 乳液稳定性测定

1) 透光率:将乳液用去离子水稀释成质量浓度为10g·L<sup>-1</sup>的水溶液,用UV-2550紫外可见分光光度计测定溶液在610nm处的透光率。

2) 电导率:乳液的电导率用DDS-11A电导率仪测定。

3) 黏度:乳液的黏度用NSJ-8S黏度仪测定。

4) 贮存稳定天数:将乳液于室温静置,观察乳液漂油、分层情况。

5) 乳液凝胶率:反应结束后收集聚合体系的凝聚物,在烘箱中烘至恒量后称量,根据下式计算凝胶率(M<sub>g</sub>)<sup>[10]</sup>:

$$M_g = m_g / m_m \times 100\%$$

式中m<sub>g</sub>为凝聚物烘干后质量;m<sub>m</sub>为单体总质

量。M<sub>g</sub>越小表示乳液聚合反应过程的稳定性越好。

#### 1.3.2 反应转化率及粒径测定

从加入催化剂进行反应开始,每隔一段时间取1g左右的乳液样品,用醋酸溶液中和,先在120℃真空烘箱中干燥4h,然后测定其质量,用失重法计算单体转化率。

乳液粒径用JL-1177激光粒度测试仪测量乳液粒径分布,测量范围为0.046~600μm,以平均粒径作为比较标准。

## 2 结果与讨论

### 2.1 乳液聚合条件对乳液稳定性的影响

#### 2.1.1 均质方式的影响

以乳液配方S5为例,分别以高速剪切、超声波处理和高压均质3种均质方式制备乳液,然后分别测定

各乳液的透光率( $T$ )、电导率( $\kappa$ )、黏度( $\eta$ )以及静置稳定天数( $t$ ),结果见表 2。由表 2 可知,用高速剪切和超声处理方式制备的乳液的透光率和稳定天数相差不大,而通过高压均质方式制备的乳液透的光率和黏度均大于前两者,乳液电导率更低,且乳液稳定性得到很大提高。上述结果与单一乳化体系的不同均质方式失稳现象一致<sup>[11]</sup>,这是因为高压均质的失压、膨胀、爆炸、剪切和高速碰撞等作用,使得单体粉碎成粒径为 0.01~2  $\mu\text{m}$  的乳液,可形成较多的乳胶粒,致使乳胶粒粒径较小,阻止了乳胶粒凝结和聚结<sup>[12]</sup>。

表 2 均质方式对乳液稳定性的影响

Tab. 2 Emulsion stability with different homogenizing methods

均质方法	$T/\%$	$\kappa/(\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1})$	$\eta/(\text{mPa}\cdot\text{s})$	$t/\text{d}$
高速剪切	16	$4.2\times 10^3$	15	7
超声处理	20	$8.4\times 10^2$	18	12
高压均质	48	$7.5\times 10^2$	26	>90

### 2.1.2 均质压力 $p$ 的影响

以乳液配方 S5 为例,在乳化处理中,分别将预乳液在 10、20、30 和 40 MPa 下高压均质 5 次,然后测定乳液的透光率、电导率、黏度和稳定天数,结果见表 3。由表 3 可知,在恒定的均质次数下制备乳液,均质压力在一定范围内,随压力的增大,乳液的透光率以及黏度增加,电导率减小,稳定天数不变。但超过这一范围,再增加均质压力,对乳液稳定性起负作用。这是因为机械作用力过强,分散相粒径的比表面积急剧增加,有限的乳化剂不能被有效吸附到所有液滴表面上,乳化作用下降,液滴相互聚集,出现不稳定现象<sup>[13]</sup>。

表 3 均质压力对乳液稳定性的影响

Tab. 3 Emulsion stability with different homogenization pressure

$p/\text{MPa}$	$T/\%$	$\kappa/(\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1})$	$\eta/(\text{mPa}\cdot\text{s})$	$t/\text{d}$
10	27	$8.9\times 10^2$	24	>90
20	48	$7.5\times 10^2$	26	>90
30	82	$4.2\times 10^2$	32	>90
40	40	$6.5\times 10^2$	25	>90

## 2.2 乳化剂配比和用量对乳液稳定性的影响

考察  $m(\text{OTAC}):m(1307)$  对乳液稳定性的影响,结果见表 4。由表 4 可知,保持复合乳化剂用量为 3% (以质量分数表示,下同),当  $m(\text{OTAC}):m(1307)$  过大或者过小时,乳液稳定性均较低,容易形成大量凝胶。当  $m(\text{OTAC}):m(1307)=1:1$  时,2 类乳化剂分子交替吸附在乳胶粒表面起到协同作用<sup>[14]</sup>,增强乳化剂在乳胶粒上的吸附牢度,使得凝胶率降低,乳液稳定性提高。固定  $m(\text{OTAC}):m(1307)=1:1$  时,随着乳化剂总量的增加,乳胶粒表面覆盖的乳化剂数量增多,产生的静电和立体稳定作用增强,也使凝胶率减小、反应

稳定性提高。乳液常温下放置 90 d 没有出现沉降、漂油等不稳定现象,说明乳液的贮存稳定性较好。

表 4 乳化剂配比和用量对乳液稳定性的影响

Tab. 4 Effect of emulsifier composition and dosage on emulsion stability

$m(\text{OTAC}):m(1307)$	$w(\text{乳化剂})/\%$	$M_g/\%$	$t/\text{d}$
4:1	3.00	3.41	>90
3:2	3.00	1.84	>90
1:1	3.00	1.16	>90
2:3	3.00	1.73	>90
1:4	3.00	2.37	>90
1:1	1.20	4.33	>90
1:1	2.40	1.61	>90
1:1	3.60	0.97	>90
1:1	4.80	0.88	>90

## 2.3 乳化剂用量和对比对转化率的影响

固定  $m(\text{OTAC}):m(1307)=1:1$ ,85  $^{\circ}\text{C}$ ,通过质量分析法考察乳化剂用量对单体转化率的影响,结果如图 1 所示。由图 1 可知,单体的转化率随着乳化剂用量的增大而升高。

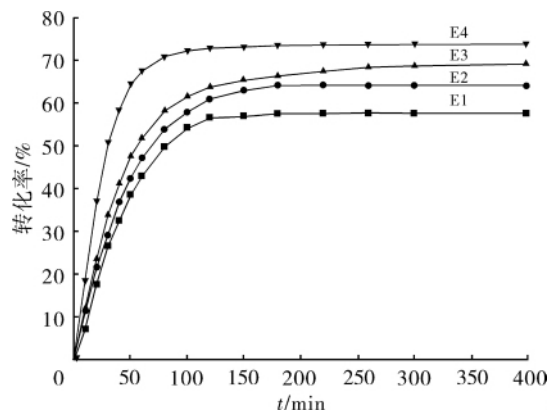


图 1 不同乳化剂用量时聚合转化率与时间的变化关系

Fig. 1 Effect of different dosage of emulsifiers on the conversion as a function of the polymerization time

当复合乳化剂的用量为 3% 时,OTAC 和 1307 的对比对单体转化率的影响见图 2。由图 2 可知,S1、S2、S3、S4 和 S5 在 85  $^{\circ}\text{C}$  下反应 6 h 的转化率分别为 55%、61%、62%、68% 和 72%,即单体转化率随 OTAC 比例的增加而提高。根据张兴华等<sup>[3]</sup>乳液粒径模型假设和 Barrere 等<sup>[5]</sup>机理模型,影响单体转化率的反应有:链引发反应、链增长反应和可逆链终止反应,并且这 3 个反应的发生场所在乳胶粒界面上。首先,阳离子乳化剂与 KOH 发生离子交换反应,形成季铵碱<sup>[4]</sup>:



实际上这种季铵碱在溶液中既是乳化剂也是引发剂,其端基  $\text{R}_3\text{N}^+\text{OH}^-$  位于乳胶粒界面上,并在此与  $\text{D}_4$

发生链引发反应,形成活性中心<sup>[5]</sup>。链增长反应是通过 D<sub>4</sub> 从单体液滴经水相迁移到乳胶粒表面与硅醇负离子发生开环反应,形成一定分子质量的聚硅氧烷,当活性中心与水分子接触时,硅醇负离子发生质子交换反应,即可逆链终止反应。所以,随着乳化剂用量及 OTAC 比例的增加,乳胶粒界面上的引发剂的浓度提高,单体可进行聚合反应的活性中心增加,反应转化率升高。

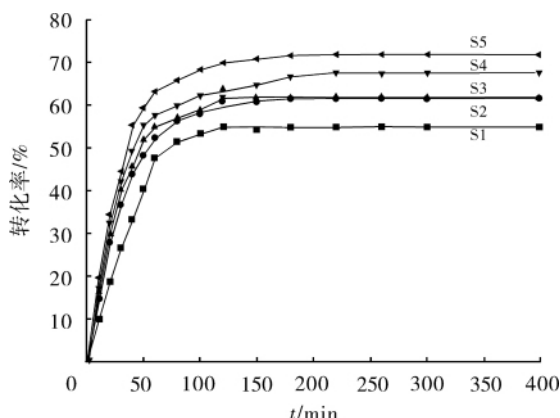


图2 不同乳化剂配比下聚合转化率与时间的变化关系  
Fig. 2 Effect of cationic/nonionic surfactant ratio on the conversion as a function of the polymerization time

对图1和图2的恒速阶段进行线性回归,得到不同乳化剂配比及用量的聚合反应速率  $R_p$ ,以  $\ln R_p$  对  $\ln [OTAC]$  作图,如图3所示,得到斜率分别为 0.16 和 0.21,其相关系数分别为 0.99 和 0.96。据此可得当乳化剂的配比为 1:1 时  $R_p \propto [OTAC]^{0.16}$ ;当乳化剂的用量为 3% 时  $R_p \propto [OTAC]^{0.21}$ 。由于单体的转化率不仅由阳离子乳化剂 OTAC 的比例决定,乳液的粒径等因素也影响其开环反应的聚合速率,使得不同条件下的 OTAC 表现反应级数不一致。

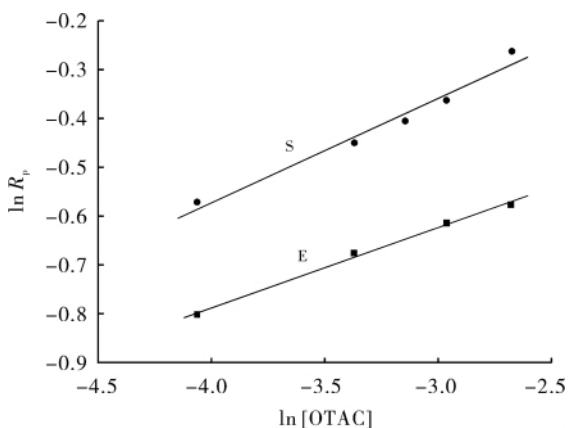


图3  $\ln R_p$  随  $\ln [OTAC]$  的变化关系  
Fig. 3  $\ln R_p$  versus  $\ln [OTAC]$  plot for samples containing different dosage of emulsifiers

85 °C 下不同乳化剂用量对乳液粒径的影响如图4所

示。由图4可知,E1,E2,E3和E4乳液的粒径分别为643,582,426和378 nm,随着乳化剂的用量提高,乳液的粒径减小。Landfester等<sup>[15]</sup>研究环硅氧烷乳液形成和稳定机理发现,随着乳胶粒的粒径减小,乳胶粒的个数增加,乳胶粒的界面面积以及每个乳化剂分子所覆盖的面积增加,这导致单体的反应速率增高。如图5所示,通过线性回归求得反应速率。结果表明,单体聚合速率随着乳化剂的用量增加而增加,E1最高聚合速率为  $0.92 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ,而对于E4则上升为  $1.84 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。当固定复合乳化剂用量,提高阳离子乳化剂的比例时,D<sub>4</sub>阳离子开环乳液聚合的聚合速率以及单体转化率不断增加。这是因为非离子和阳离子乳化剂分子是交替吸附在乳胶粒的表面,而非离子乳化剂是不参与D<sub>4</sub>开环聚合反应的,它仅仅是作为一种乳化剂,所以改变阳离子乳化剂与非离子乳化剂的配比,即提高OTAC的比例,相当于提高乳胶粒界面上单位面积季铵碱的物质的量,增加活性中心的含量,使得链引发反应和链增长反应的反应速率增加。

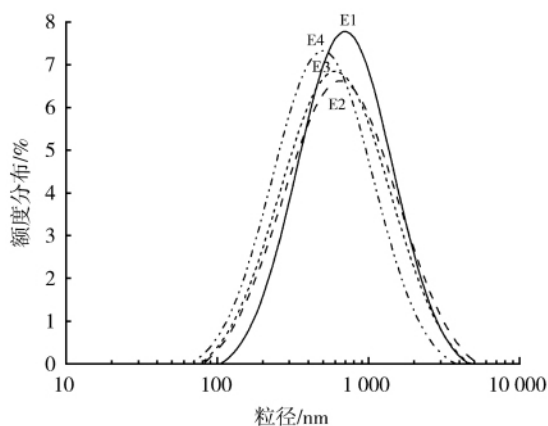


图4 不同乳化剂用量下乳胶粒粒径大小和分布图  
Fig. 4 Effect of different dosage of emulsifiers on particle size and its distribution

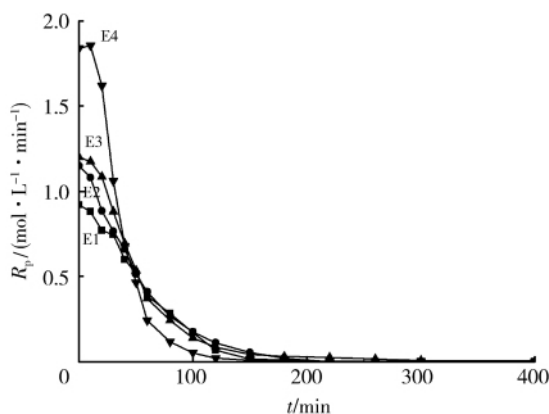


图5 不同乳化剂浓度下聚合速率随时间的变化关系  
Fig. 5 Polymerization rate as a function of the reaction time for samples containing different dosage of emulsifiers

### 2.4 温度对转化率的影响

固定乳液配方为 S3, 反应温度对单体转化率的影响见图 6。结果表明 聚合速率随温度升高而加快, 反应达平衡转化率所用时间减少。这是因为反应温度越高, 单位时间内生成的活性中心数目越多, 同时单体向胶束表面扩散速率加快, 导致聚合速率提高。对图 6 恒速阶段用线性回归法求得各反应温度下的聚合速率  $R_p$ , 将  $\ln R_p$  对  $T^{-1}$  作图 (如图 7 所示) 得到直线斜率为  $-5130.68$ , 线性相关系数为  $0.98$ 。根据 Arrhenius 方程  $R_p = A \exp\{-E_a/(RT)\}$  得出反应的表现活化能为  $42.66 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

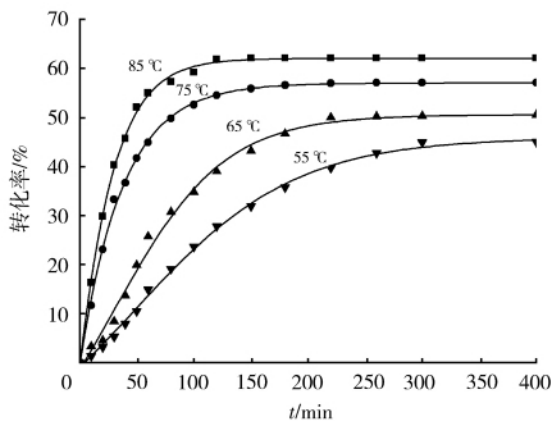


图 6 不同聚合温度下聚合转化率随时间的变化关系  
Fig. 6 Effect of temperature on the conversion as a function of the polymerization time

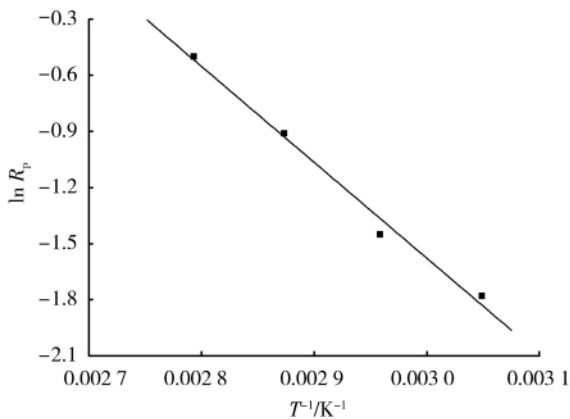
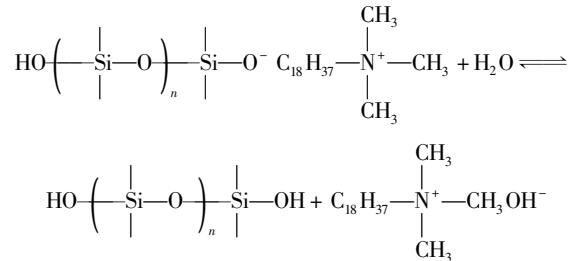


图 7  $\ln R_p$  随  $T^{-1}$  的变化关系  
Fig. 7 Relationship between  $\ln R_p$  and  $T^{-1}$

### 2.5 催化剂质量分数对转化率的影响

85 °C 下 催化剂 KOH 质量分数对单体转化率的影响见图 8。结果表明 KOH 质量分数由 0.07% 增至 0.90%, 转化率逐渐升高, 聚合时间缩短。Mohoric 等<sup>[16]</sup>在对环硅氧烷阳离子乳液聚合的研究中认为 KOH 的浓度低于催化剂与阳离子乳化剂的摩尔比才能影响聚合动力学行为。KOH 在聚合过程中的主要作用是 OTAC 发生离子交换反应, 形成季铵碱在乳胶粒表面与  $D_4$  反应形成硅醇

负离子活性中心。真正的引发剂不是 KOH, 而是季铵碱<sup>[4]</sup>。故在  $n(\text{KOH}) : n(\text{OTAC}) \leq 1:1$  时, 随 KOH 质量分数提高, 生成季铵碱的量增多, 单位乳胶粒表面上活性中心的量增加, 使单体转化率提高。而且油/水界面上的硅醇负离子与水相中的  $\text{H}_2\text{O}$  接触时, 可发生终止反应:



此时 硅醇负离子失去活性, 形成羟基封端的聚硅氧烷。而体系内过量的  $\text{OH}^-$  能抑制终止反应的发生, 活性中心区域的  $\text{OH}^-$  浓度增大, 终止平衡向左移动, 使油/水界面上活性中心的量增多, 反应速率提高。对图 8 的恒速阶段线性回归, 得到 KOH 不同浓度时的聚合反应速率  $R_p$ 。以  $\ln R_p$  对  $\ln [\text{KOH}]$  作图 (见图 9) 得到斜率为  $0.57$ , 线性相关系数为  $0.97$ 。据此得出  $R_p \propto [\text{KOH}]^{0.57}$ 。

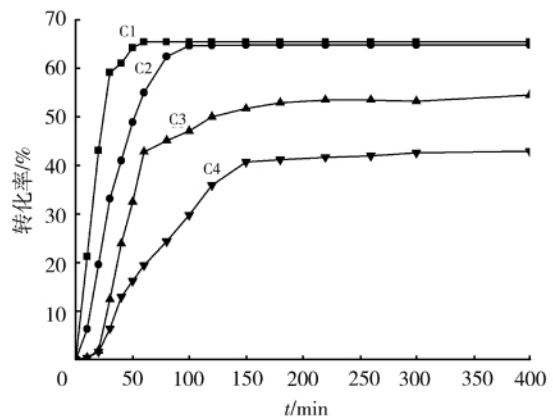


图 8 不同催化剂浓度下聚合转化率与时间的变化关系  
Fig. 8 Effect of molar ratio between catalyst and cationic surfactant on the conversion as a function of the polymerization time

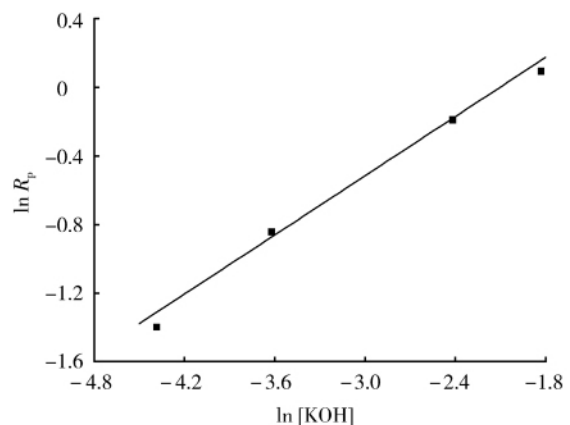


图 9  $\ln R_p$  随  $\ln [\text{KOH}]$  的变化关系  
Fig. 9  $\ln R_p$  vs.  $\ln [\text{KOH}]$  plot for samples containing different molar ratio between catalyst and cationic surfactant

### 3 结论

以十八烷基三甲基氯化铵和异构十三醇聚氧乙烯醚为复合乳化剂, KOH 为催化剂, 八甲基环四硅氧烷为单体, 进行阳离子开环乳液聚合, 通过透光率、电导率、凝胶率等分析影响乳液的稳定性因素, 并用质量分析法测定单体的转化率, 在此基础上, 研究乳液聚合的动力学行为。高压均质方式制备的乳液由于能形成更多的乳胶粒, 乳胶粒径较小, 阻止乳胶粒凝结和聚结, 使得乳液稳定性高, 且研究发现采用 30 MPa 高压均质后的乳液稳定性较好。当  $m(\text{OTAC}) : m(1307) = 1 : 1$  时, 乳液稳定性较好, 且随着乳化剂的用量增加, 乳液凝胶率降低, 乳液稳定性提高。当  $m(\text{OTAC}) : m(1307) = 1 : 1$  时, 聚合速率与 OTAC 的浓度的 0.16 次方成正比, 当复合乳化剂的质量分数为 3% 时, 聚合速率与 OTAC 的浓度的 0.21 次方成正比, 聚合速率与 KOH 的浓度的 0.57 次方成正比, 表观活化能为  $42.66 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

参考文献:

- [1] SOMASUNDARAN P, MEHTA S C, PUROHIT P. Silicone emulsions [J]. *Advances in Colloid and Interface Science*, 2006 (128/129/130): 103-109.
- [2] HYDE J F, WEHRLY J R. Polymerization of organopolysiloxanes in aqueous emulsion: US: 2891920 [P]. 1959-06-23.
- [3] 张兴华, 杨亚君, 刘淑芬. 硅氧烷乳液聚合的研究 II: 八甲基环四硅氧烷阳离子乳液聚合机理[J]. *高分子通讯*, 1982(4): 310-313.
- [4] DE GUNZBOURGA, FAVIER J, HEMERY P. Anionic polymerization of octamethylcyclotetrasiloxane in aqueous emulsion I: Preliminary results and kinetic study [J]. *Polym Int*, 1994(35): 179-188.
- [5] BARRERE M, GANACHAUD F, BENDEJACQ D, et al. Anionic polymerization of octamethylcyclotetrasiloxane in miniemulsion II: Molar mass analyses and mechanism scheme [J]. *Polymer* 2001(42): 7239-7246.
- [6] ZHANG D, JIANG X, YANG C. Microemulsion polymerization of siloxane with nonionic surfactants as emulsifiers [J]. *Journal of Applied Polymer Science* 89(13): 3587-3593.
- [7] 程琛, 邓锐, 王智英, 等.  $D_4/D_4^{Vi}$  阴离子开环乳液共聚动力学及乳胶粒径 [J]. *高分子材料科学与工程* 2011(9): 64-67.
- [8] MOHORIC I, SEBENIK U. Semibatch anionic ring-opening polymerization of octamethylcyclotetrasiloxane in emulsion [J]. *Polymer*, 2011(52): 4423-4428.
- [9] 张昌辉, 谢瑜. 烷基酚聚氧乙烯醚的安全性问题 [J]. *日用化学科学* 2007(2): 20-24.
- [10] 江四九. 高性能氟硅丙共聚乳液的合成、性能及机理研究 [D]. 北京: 北京化工大学, 2010.
- [11] 江四九, 邱藤, 李效玉.  $D_4$  单体细乳液的稳定性探讨 [J]. *北京化工大学学报* 2011(2): 42-47.
- [12] JULIANE F, ANNE D, JEREMIE L. Effect of high-pressure homogenization on droplet size distributions and rheological properties of model oil-in-water emulsions [J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 2000(1): 127-134.
- [13] 毛立科, 许洪高, 高彦祥. 高压均质技术与食品乳状液 [J]. *食品与机械* 2007(5): 146-149.
- [14] 戈成岳, 武玉民, 宁汉生. 硅-丙核/壳乳液的低温合成及表征 [J]. *高校化学工程学报* 2007(21): 1038-1043.
- [15] LANDFESTER K, BECHTHOLD N, TIARKS F, et al. Formulation and stability mechanisms of polymerizable miniemulsions [J]. *Macromolecules*, 1999(32): 5222-5228.
- [16] MOHORIC I, SEBENIK U. Anionic ring-opening polymerization of octamethylcyclotetrasiloxane in emulsion above critical micelle concentration [J]. *Polymer* 2011(52): 1234-1240.

## 《日用化学工业》投稿简则

《日用化学工业》是国内外公开发行的“全国中文核心期刊”、“中国科技核心期刊”和“RCCSE 中国核心学术期刊”, 被国内外多家重要数据库收录。主要报道关于表面活性剂及其原料、洗涤用品(包括洗涤剂、皮肤清洁剂、洗发香波及肥皂等)及其专用助剂、个人护理用品(包括各类化妆品和口腔卫生用品等)及其专用添加剂和香精香料的学术论文、科研成果及技术革新成果、国内外研究进展及开发利用情况等。

本刊栏目(基础研究、开发与应用、专论与综述、科技讲座、分析与检测以及生产与技术)设置较多, 适用于各类人员投稿, 其内容可以是各级各类科学基金资助项目、科技攻关项目等成果以及实用性科技成果。

投稿应主要符合以下要求:

- 题目: 字数一般不超过 20 个汉字, 不用代号、缩写字等。
- 摘要: 不少于 200 个汉字, 内容包括论文的“目的、方法、结果和结论”。
- 关键词: 3~8 个。
- 参考文献: 一般研究论文不超过 30 条, 综述文章不超过 50 条。
- 英文部分: 包括题目、作者名、作者单位(含省市名及邮编)、摘要和关键词。

详情请登录本刊网站([www.cicdci.net.cn](http://www.cicdci.net.cn)) 查阅“投稿须知”或打电话(0351-4062697) 向《日用化学工业》编辑部垂询。欢迎投稿! E-mail: [gybjb@163.com](mailto:gybjb@163.com)。