

研究简报

# 分散聚合法合成纳米有机阳离子 聚合物 PDMDAAC-AM

王晓娜, 岳钦艳, 高宝玉, 于 慧, 张升晓, 孙 逊, 解建坤, 司晓慧  
(山东大学环境科学与工程学院, 山东 济南 250100)

关键词: 分散聚合; 二甲基二烯丙基氯化铵; 丙烯酰胺; 阳离子

中图分类号: TQ 314. 253

文献标识码: A

文章编号: 0438-1157 (2007) 07-1868-07

## Dispersion polymerization of nano-organic cationic polymer PDMDAAC-AM

WANG Xiaona, YUE Qinyan, GAO Baoyu, YU Hui, ZHANG Shengxiao,  
SUN Xun, XIE Jiankun, SI Xiaohui

(School of Environmental Science and Engineering, Shandong University, Jinan 250100, Shandong, China)

**Abstract:** Cationic copolymer acrylamide-dimethyldiallylammonium chloride [P(AM/DMDAAC)] was synthesized from acrylamide (AM) and dimethyldiallylammonium chloride (DMDAAC) by dispersion polymerization. The structures of polymers synthesized in different systems of dispersion were determined with infrared spectroscopy. The results showed that ethanol-H<sub>2</sub>O was the best system of dispersion. The characteristics of PDMDAAC-AM were studied by means of various instrumental analysis techniques, including transmission electron microscope (TEM) and Zetasizer 3000HS<sub>A</sub>. The results showed that the particle size of cationic PDMDAAC-AM synthesized in the ethanol-H<sub>2</sub>O system of dispersion was within the range of nanometer, and the dispersion polymerization in the emulsion state was helpful to dissipation of reaction heat.

**Key words:** dispersion polymerization; dimethyldiallylammonium chloride; acrylamide; cation

### 引 言

阳离子聚合物在采油、造纸、水处理等许多工业领域有着广泛的应用, 其中丙烯酰胺/二甲基二烯丙基氯化铵 (AM/DMDAAC) 阳离子共聚物分子具有较大的分子链、所带正电荷密度高、水溶性好、高效无毒、阳离子单元结构稳定、pH 适用范围广等优点, 被广泛应用于石油开采、造纸、采

矿、纺织印染、日用化工及水处理等领域, 成为当前国内研究的热点之一<sup>[1-3]</sup>, 更重要的是它造价低廉, 因此呈现出广阔的应用前景<sup>[4]</sup>。

目前, PDMDAAC-AM 的合成方法有水溶液聚合和反相乳液聚合。水溶液聚合的优点是工艺简单、成本较低、操作安全方便、不必回收溶剂<sup>[3]</sup>。但是由于 PDMDAAC-AM 在水溶液聚合反应后期所得共聚物水溶液黏度很大, 形成凝胶, 难以制得

2006-11-07 收到初稿, 2006-12-15 收到修改稿。

联系人: 岳钦艳。第一作者: 王晓娜 (1981—), 女, 博士研究生。

Received date: 2006-11-07.

Corresponding author: YUE Qinyan. E-mail: qyyue@sdu.edu.cn

高固含量、超大分子量的共聚物<sup>[5]</sup>。所得产物必须制备成粉状产品使用,能耗高,干燥困难,并且经常结块,使产品质量下降,这也是在水溶液条件下合成高聚物时遇到的普遍问题。而反相乳液聚合要引入大量的有机溶剂和表面活性剂,使用起来很不方便,同时可能引起二次污染的问题。

分散聚合体系中主要组分为单体、分散介质、稳定剂和引发剂。聚合反应开始前,整个体系呈均相。但反应所生成的聚合物不溶于分散介质,在达到临界链长度后从分散介质中沉淀出来,聚结成小颗粒,并借助于稳定剂悬浮在分散介质中,形成类似于聚合物乳液的稳定分散体系<sup>[6]</sup>。但对于阳离子聚合,由于分散介质常常具有链转移作用,导致聚合度下降<sup>[7]</sup>,因此将分散聚合的方法用于合成有机高分子聚合物 PDMDAAC-AM 方面的研究尚鲜见报道。

鉴于此,本研究采用分散聚合法来制备有机阳离子聚合物 PDMDAAC-AM。考察了3种分散体系对合成的阳离子共聚物 PDMDAAC-AM 的影响,并对乙醇-H<sub>2</sub>O 分散体系合成的 PDMDAAC-AM 形态进行分析表征。该研究是在选择合成 PDMDAAC-AM 的最佳分散体系方面进行的基础性探索,初步验证了乙醇-H<sub>2</sub>O 分散体系为3种体系中最佳分散体系,在该分散体系中合成的 PDMDAAC-AM 的粒度分布在纳米范围内。

## 1 实验部分

### 1.1 实验试剂和实验仪器

1.1.1 实验试剂 二甲基二烯丙基氯化铵(DMDAAC),60%水溶液,滨州化工集团嘉源环保公司生产;丙烯酰胺(AM),40%溶液,滨州化工集团嘉源环保公司生产;氮气(普氮);去离子水;分散剂(PDMDAAC);助溶剂(甘油)<sup>[8]</sup>;过硫酸钾、四甲基乙二胺、甲酸钠、铬酸钾、(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、EDTA、AgNO<sub>3</sub>、无水乙醇、丙酮均为分析纯。

1.1.2 实验主要仪器设备 超级恒温水浴箱(江苏金坛医疗仪器厂);高速搅拌器(JJ-2,江苏金坛医疗仪器厂);AVATAR 370 FT-IR (Thermo Nicolet);JEM-100CXII 透射电子显微镜,ZETASIZER-3000HS<sub>A</sub> 粒度分布测定仪;MP200B 电子天平;乌氏黏度计;滴液漏斗;温度计等。

### 1.2 实验方法

1.2.1 共聚物 PDMDAAC-AM 的合成方法 方法一:在250 ml 四口瓶中安装搅拌器,导气管,温度计,并置于超级恒温水浴中,调整温度到定值。将单体(DMDAAC 和 AM 按比例混合)、乙醇、去离子水、分散剂加入四口瓶中,通氮,高速搅拌10 min,使反应体系分散均匀。将引发剂滴入四口瓶中,继续搅拌(搅拌速度可适当变小)并继续通氮20 min 后停止通氮。在引发温度下反应4 h 之后,逐步升温至60℃。反应结束后,停止加热,继续搅拌,当体系冷却至室温时,将产物取出后进行分析表征。

方法二:在方法一的基础上,将乙醇换成一定配比的盐即可。

方法三:在方法一的基础上,先不加乙醇,待反应进行到单体发生聚合并因自动加速现象而爬杆时加入乙醇。

1.2.2 特性黏度的测定 将聚合产物用无水乙醇和丙酮混合物(体积比约为1:1)提取,将精制产物用丙酮洗涤后,抽滤,在40℃、1.33 kPa 下真空干燥12 h,取干燥后的产物0.1 g,准确称量后,用50 ml、2 mol·L<sup>-1</sup>的NaCl溶液溶解,然后转移至100 ml 的容量瓶中,用蒸馏水稀释至刻度,摇匀,然后在(30±0.1)℃的恒温水浴中,用乌氏黏度计测定黏度。特性黏度由式(1)求出<sup>[9]</sup>

$$[\eta] = \frac{\sqrt{2(\eta_{sp} - \ln\eta_r)}}{C} \quad (1)$$

式中  $\eta_{sp} = \eta_r - 1$ ,  $\eta_r = \frac{t_1}{t_0}$ ;  $t_1$  为聚物流经乌氏黏度计的时间, s;  $t_0$  为 1 mol·L<sup>-1</sup> NaCl 流经乌氏黏度计的时间, s。

### 1.2.3 摩尔法测定 PDMDAAC-AM 的阳离子度

准确称取适量干燥后的 PDMDAAC-AM 于250ml 锥形瓶中溶解,加入5% K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> 指示剂5滴,用0.05 mol·L<sup>-1</sup>的AgNO<sub>3</sub> 标准溶液滴定至砖红色(边摇边滴),即为终点。阳离子度(在本文中均为摩尔分数)可按式(2)计算

$$\text{阳离子度} = \frac{CV}{CV + (m - CVM_1)/M_2} \times 100\% \quad (2)$$

式中  $C$  为 AgNO<sub>3</sub> 标准溶液的浓度, mol·L<sup>-1</sup>;  $V$  为试样所耗 AgNO<sub>3</sub> 溶液的体积, L;  $m$  为试样质量, g;  $M_1$  为 DMDAAC 的分子量;  $M_2$  为 AM 的分子量。

1.2.4 红外光谱的测定 将真空干燥的聚合物 PDMDAAC-AM 研磨后, 取样与 KBr 压片, 然后用 AVATAR 370 FT-IR 测定红外光谱图。

1.2.5 透射电镜的观察 采用 JEM-100CXII 型透射电镜, 将 PDMDAAC-AM 聚合物颗粒在分散体系中分散后, 滴到有支撑膜的铜网上, 用滤纸吸去多余的液体, 晾干后, 放入电镜内观察, 拍照。

1.2.6 粒度分布的测定 将 PDMDAAC-AM 聚合物颗粒在分散体系中分散后, 用 ZETASIZER-3000HS<sub>A</sub> 激光粒度分析仪以动态光散射法在室温条件下测定其粒度及粒径分布情况, 检测角 90°。

## 2 实验结果与讨论

### 2.1 不同分散体系中合成的聚合物的特性黏度和阳离子度

聚合物的特性黏度与聚合物的相对分子质量存在着对应关系, 而阳离子度表征着聚合物中所含有阳离子成分的百分含量, 本研究通过测定聚合物的特性黏度相对表征聚合物的相对分子质量<sup>[10]</sup>, 并测定了聚合物的阳离子度。

3 种不同的分散体系中合成的产品的特性黏度和阳离子度如表 1 所示, 可以看到在投入的单体配比相同的情况下, 产品的特性黏度越高, 阳离子度越低。在盐-H<sub>2</sub>O 分散体系中利用方法二合成的产品的特性黏度最高, 为 545.76 ml · g<sup>-1</sup>, 阳离子度最低, 为 1.27%; 在乙醇-H<sub>2</sub>O 分散体系中利用方法三合成的产品的特性黏度次之, 为 194.78 ml · g<sup>-1</sup>, 阳离子度较低, 为 5.11%; 在乙醇-H<sub>2</sub>O 分散体系中利用方法一合成的产品的特性黏度最低, 为 93.51 ml · g<sup>-1</sup>, 阳离子度最高, 为 22.41%。

表 1 在 3 种分散体系中合成的聚合物的特性黏度

Table 1 Intrinsic viscosity of polymer synthesized in three different dispersed phase

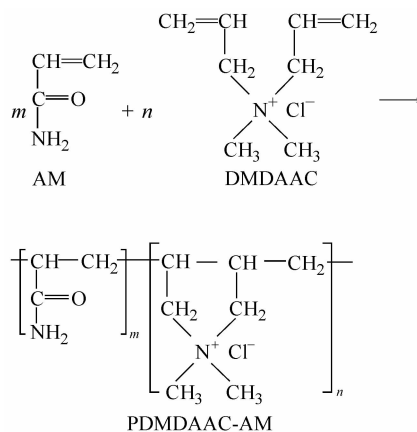
Dispersed phase	Intrinsic viscosity /ml · g <sup>-1</sup>	Cation degree/%
ethanol-H <sub>2</sub> O mixed dispersed phase(method one)	93.51	22.41
salt-H <sub>2</sub> O dispersed phase(method two)	545.76	1.27
ethanol-H <sub>2</sub> O ordered dispersed phase(method three)	194.78	5.11

Note: Reactions were processed with 25% (mass) monomer in which molar ratio of AM/DMDAAC is 8 : 2, 2.00 × 10<sup>-4</sup>% (mass) K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> and 2.00 × 10<sup>-5</sup>% (mass) TMED. Reaction temperature is about 40°C, reaction time is 20 h.

在该聚合体系中, 对于单体 AM 和 DMDAAC 来说, AM 中的双键非常活泼, 在室温下就比较容易聚合, 生成较大的分子链。而 DMDAAC 是烯丙基类阳离子单体, 烯丙基基团的存在, 使得 DMDAAC 空间位阻比较大, 与其他单体聚合比较困难; 同时, 阳离子单体本身所带的正电荷使其相互排斥, 更增加了聚合难度, 因此 DMDAAC 的自阻聚作用使其很难达到高的聚合度<sup>[11]</sup>。在盐-H<sub>2</sub>O 分散体系中由于加入了大量的盐, 反应体系中出现了更多的阳离子, 阻聚作用增强, 使 DMDAAC 的聚合难度进一步加大, 虽然生成的聚合物的特性黏度最高, 但是阳离子度最低, 聚合物中 DMDAAC 的含量非常低, 合成的产品大部分为聚丙烯酰胺; 在乙醇-H<sub>2</sub>O 分散体系利用方法三合成的反应中因为在反应进行一段时间后, 加入的乙醇具有一定的链转移作用, 对原来的反应产生了很大的冲击作用, 使得部分反应的链自由基可能发生链转移, 最终导致双基链终止, 而使聚合物中的 DMDAAC 含量较低, 阳离子度较低, 聚合度下降, 其特性黏度也较低<sup>[7]</sup>; 在乙醇-H<sub>2</sub>O 分散体系利用方法一合成的反应中, 由于整个体系比较均一稳定, 受其他因素干扰少, 阳离子度最高, 聚合物中的 DMDAAC 含量相对较高, 其特性黏度最低。但是由于方法一中合成的聚合物比一般文献报道的其他方法<sup>[5,12]</sup>合成的聚合物的特性黏度低, 相对分子质量不高, 所以在分散聚合法合成方面的研究还需要进一步的完善。

### 2.2 不同分散体系中合成的 PDMDAAC-AM 的红外光谱

DMDAAC 和 AM 聚合生成阳离子型聚合物, 并且根据以往的测试表明产物具有五元环结构<sup>[13]</sup>, 其化学反应方程式如下



单体 DMDAAC 和 AM 完全聚合将生成共聚

物 PDMDAAC-AM, 则其红外光谱与单体的红外光谱不同之处为: 在  $3000\text{ cm}^{-1}$  附近会出现一个表征碳氮五元杂环的与氮相连的亚甲基上的碳氢键伸缩振动吸收峰, 同时在  $1000\sim 950\text{ cm}^{-1}$  处会出现季铵盐的中等强度的吸收峰; 在  $3500\sim 3100\text{ cm}^{-1}$  处也会出现一个 N—H 的伸缩振动吸收峰<sup>[13]</sup>。

图 1 为以盐- $\text{H}_2\text{O}$  为分散体系按照方法二合成样品的红外光谱。由图 1 中可见, 在  $3500\sim 3100\text{ cm}^{-1}$  处为 N—H 的伸缩振动吸收带,  $3180\text{ cm}^{-1}$  附近为不饱和的 C—H 键的吸收在此叠加成峰<sup>[14]</sup>。另外, 由于此聚合物具有强烈的吸水性, 在  $>3000\text{ cm}^{-1}$  处出现 H—O 的伸缩振动吸收峰, 该吸收峰与 N—H 基团的伸缩振动吸收带在此重叠。因为聚合物链是由许多重复的单元构成的, 各个重复单元又具有大致相同的力常数, 因而其振动频率是接近的, 而且由于严格的选择定律的限制, 只有一部分振动具有红外活性<sup>[15]</sup>。 $2924\sim 2853\text{ cm}^{-1}$  处为甲基和亚甲基上 C—H 的伸缩振动吸收峰,  $1683\text{ cm}^{-1}$  处为酰胺基团中 C=O 的伸缩振动吸收峰。 $1654\text{ cm}^{-1}$  处为末端亚甲基 C=C 的伸缩振动吸收峰。而在  $1000\sim 950\text{ cm}^{-1}$  处没有显示季铵盐的吸收峰, 在  $3000\text{ cm}^{-1}$  附近也没有表征碳氮五元杂环的与氮相连的亚甲基上的碳氢键伸缩振动吸收峰, 说明此种方法合成的样品中基本没有季铵阳离子, 或者季铵阳离子含量非常低, 低于仪器的检测限, 证明在此分散体系中 AM 和 DMDAAC 几乎没有发生共聚合反应, 而是主要生成了丙烯酰胺的均聚物。

图 2 为以乙醇- $\text{H}_2\text{O}$  为分散体系按照方法三合

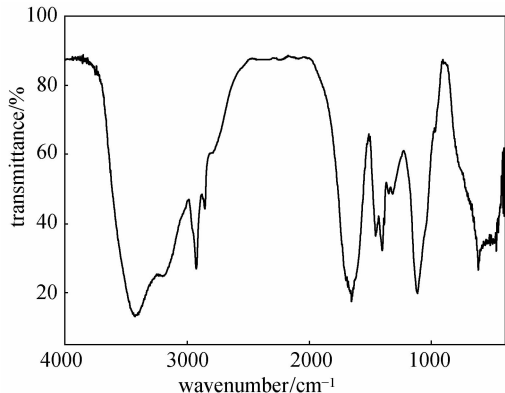


图 1 在盐- $\text{H}_2\text{O}$  分散体系中用方法二合成的样品的 IR 谱图

Fig. 1 Infrared spectra for sample synthesized with method two in dispersed phase of salt- $\text{H}_2\text{O}$

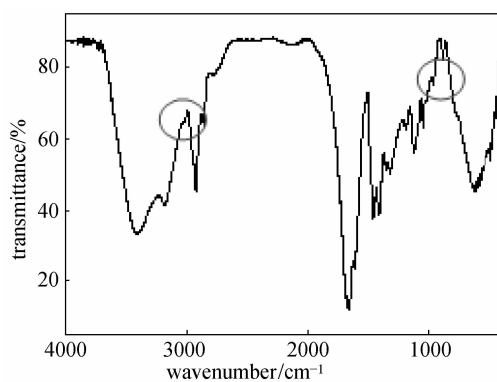


图 2 在乙醇- $\text{H}_2\text{O}$  分散体系中用方法三合成样品的 IR 谱图

Fig. 2 Infrared spectra for sample synthesized with method three in dispersed phase of ethanol- $\text{H}_2\text{O}$

成样品的红外光谱。

由图 2 可见, 除了在  $3500\sim 3100\text{ cm}^{-1}$ 、 $2924\sim 2853\text{ cm}^{-1}$ 、 $1683\text{ cm}^{-1}$ 、 $1654\text{ cm}^{-1}$  处存在与图 1 相同的各种吸收峰外, 在  $3000\text{ cm}^{-1}$  附近还存在一个吸收峰, 这是表征碳氮五元杂环的与氮相连的亚甲基上的碳氢键伸缩振动吸收峰, 而且在图 2 中的  $1000\sim 950\text{ cm}^{-1}$  处出现中等强度的峰, 表明季铵盐的存在, 说明此分散体系中单体 DMDAAC 和 AM 发生了共聚合反应, 生成了含有五元氮杂环的共聚物 PDMDAAC-AM。

对比图 1 和图 2 可以发现, 两者在  $3400\text{ cm}^{-1}$  和  $3180\text{ cm}^{-1}$  附近都有两个吸收峰, 虽然图 2 中  $3180\text{ cm}^{-1}$  附近的吸收峰比图 1 中的要小, 但是此吸收峰没有被共聚物 PDMDAAC-AM 完全屏蔽, 说明在乙醇- $\text{H}_2\text{O}$  分散体系利用方法三的聚合反应中存在其他的副反应, 反应并不完全, 有不饱和的 C—H 存在。这是由于反应初期在水溶液中的部分单体发生聚合, 加入具有一定链转移作用的乙醇后对反应体系造成冲击, 使得产品聚合度下降<sup>[7]</sup>, 生成的产物为共聚物和丙烯酰胺均聚物的混合物。

图 3 为以乙醇- $\text{H}_2\text{O}$  为分散体系按照方法一合成的样品的红外光谱图。与图 2 相比, 图 3 中表征碳氮五元杂环的吸收峰更为明显:  $1260\text{ cm}^{-1}$  处的吸收峰是由碳氮五元杂环中 C—N 键伸缩振动引起的,  $672\text{ cm}^{-1}$  处的吸收峰是由该键的变形振动引起的。 $990\text{ cm}^{-1}$  的吸收峰是由碳氮五元杂环中与氮相连的亚甲基上的碳氢键的变形振动引起的, 属于季铵盐中等强度的峰, 证明有五元氮杂环的存在, 说

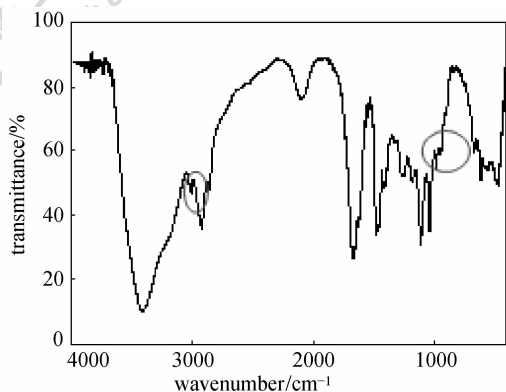


图 3 在乙醇-H<sub>2</sub>O 分散体系中用方法一合成样品的 IR 谱图

Fig. 3 Infrared spectra for sample synthesized with method one in dispersed phase of ethanol-H<sub>2</sub>O

明了单体 DMDAAC 和 AM 发生了共聚反应, 生成了含有五元氮杂环的共聚物 PDMDAAC-AM。共聚物中 DMDAAC 含量越高, 分子中含碳氮五元杂环越多, 其中与氮相连的亚甲基上的碳氢键伸缩和变形振动越强。因此, 随着共聚物中 DMDAAC 含量的升高, 图 3 比图 2 在  $3009\text{ cm}^{-1}$  和  $990\text{ cm}^{-1}$  处的吸收峰增强, 峰面积增大<sup>[16]</sup>。对比图 2、图 3 在  $3500\sim 3100\text{ cm}^{-1}$  处只有一个吸收峰, 在  $3180\text{ cm}^{-1}$  附近没有吸收峰, 说明聚合物中基本没有不饱和的 C—H 存在, 可以判断以乙醇-H<sub>2</sub>O 为分散体系时, 按照方法一合成的 PDMDAAC-AM 反应比较完全, 提纯后的产品基本上没有不饱和的 C=C 存在。分析原因可能是反应的整个过程都处在一个均匀稳定的体系中, 受其他因素干扰少, 生成的大分子能及时从溶液中析出来, 继续与残余单体反应, 减少了副反应发生的机会, 有利于聚合反应的持续进行。

对比图 1~图 3 和表 1 的分析结果, 发现在盐-H<sub>2</sub>O 分散体系中利用方法二合成的聚合物主要为 AM 的均聚物, 其特性黏度最高, 阳离子度最低; 在乙醇-H<sub>2</sub>O 分散体系利用方法三合成的聚合物中的 DMDAAC 含量较低, 其特性黏度也较低, 阳离子度较低; 在乙醇-H<sub>2</sub>O 分散体系利用方法一合成聚合物中的 DMDAAC 含量最高, 其特性黏度最低, 阳离子度最高。红外光谱的鉴定结果与特性黏度及阳离子度的分析结果相符。

### 2.3 透射电镜观察的结果和讨论

图 4 是用乙醇-H<sub>2</sub>O 混合分散体系合成的 PD-

MDAAC-AM 的 TEM 照片。从放大 10000 倍的图 4 (a) 可以看出, 阳离子聚合物 PDMDAAC-AM 在水溶液中的分布状态为呈分散状的形状不规则的小颗粒。

进一步放大到 100000 倍后, 如图 4 (b) 所示, 可以看到在 10000 倍下的小颗粒在放大 100000 倍状态下呈现一个个小球形状, 这些小球的粒径大小比较均匀, 分散性比较好。这是因为单体发生反应后, 生成的聚合物的分子链不断增大, 当这些聚合物在分散体系中的溶解度达到其临界值时, 就会从溶液中析出来, 形成一个个分散比较均匀的小球。这些聚合物分子在小球中继续与残余单体反应生长, 同时分散的小球利于反应的热交换, 使聚合反应生成的大量热及时散发出去, 从而保护反应体系不易发生暴聚。通过粗略计算可知, 这些小球的直径大约分布在纳米等级上。

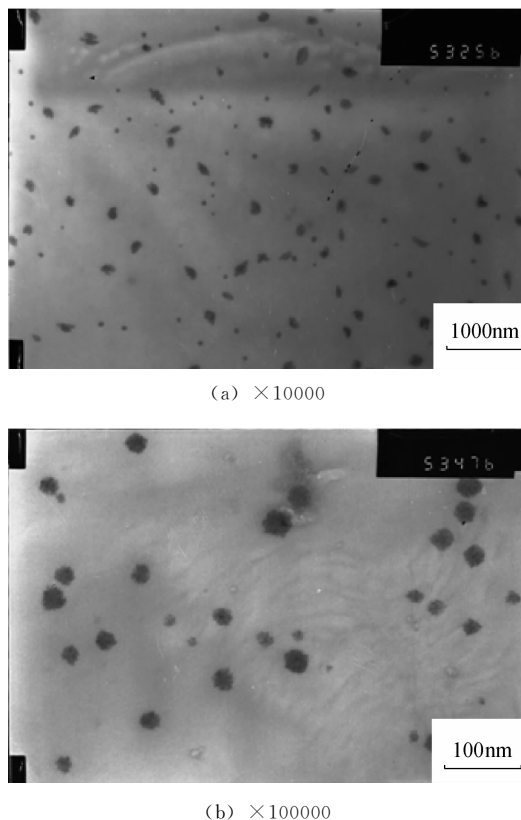


图 4 分散聚合产品的 TEM 照片

Fig. 4 TEM photograph of PDMDAAC-AM

### 2.4 PDMDAAC-AM 分散体系的粒度分布

为了进一步研究聚合物分子形成的小球的粒度分布, 该研究采用 ZETASIZER-3000HS<sub>A</sub> 粒度分布测定仪对 PDMDAAC-AM 的乙醇-H<sub>2</sub>O 混合分散体系进行了粒度分布的测定, 结果见图 5。

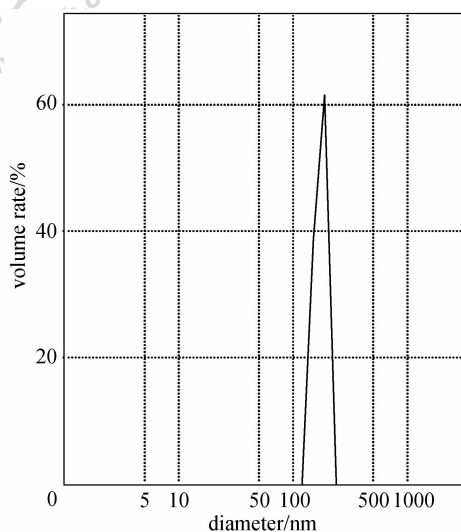


图5 阳离子共聚物 PDMDAAC-AM 的粒度分布图

Fig. 5 Particles size distributions of PDMDAAC-AM

由图5可以发现,在乙醇-H<sub>2</sub>O混合分散体系中,阳离子共聚物 PDMDAAC-AM 小球的粒度较小,其颗粒粒径大都分布在 119.0~237.5 nm 的范围内。

从图5中还可以看到,纳米阳离子聚合物 PDMDAAC-AM 小球的粒径分布曲线狭窄,说明聚合物的粒径分布较窄,颗粒的粒径分布比较均匀。该峰呈单峰分布,最大颗粒尺寸为 237.5 nm。另外还测得该体系的平均粒径分别为 173.7 nm (by intensity)、171.6 nm (by volume) 和 165.0 nm (by number),说明粒径大小比较均匀。这与 TEM 的观察结果相一致。

### 3 结论

(1) 采用分散聚合的方法合成了有机阳离子共聚物 PDMDAAC-AM,并用乌氏黏度计和 IR 谱图分别考察了在3种不同的分散体系中合成的聚合物的特性黏度和化学组成。分析结果表明,在盐-H<sub>2</sub>O分散体系利用方法二的合成反应中 DMDAAC 和 AM 几乎没有发生共聚反应,而是主要生成了聚丙烯酰胺,其特性黏度最高,阳离子度最低;在乙醇-H<sub>2</sub>O分散体系利用方法三的合成反应中 DMDAAC 和 AM 发生了共聚反应,但是同时伴随了其他的副反应,其特性黏度次之,阳离子度较低;在乙醇-H<sub>2</sub>O分散体系利用方法一的合成反应中 DMDAAC 和 AM 的聚合反应比较完全,受其他因素干扰少,基本不存在其他的副反应,其特性黏度最低,阳离子度最高。所以,在乙醇-H<sub>2</sub>O混

合分散体系中利用方法一进行聚合是3种体系中最佳的分散聚合体系,又因其产品特性黏度较低,所以此种方法还需进一步完善,得到最佳的合成工艺,以期获得更高特性黏度和阳离子度的产品。

(2) 用 TEM、激光粒度测定仪等多种现代分析仪器和方法对乙醇-H<sub>2</sub>O混合分散体系合成的有机阳离子共聚物 PDMDAAC-AM 的形貌结构进行了分析表征。实验结果表明,乙醇-H<sub>2</sub>O混合分散体系合成的阳离子共聚物 PDMDAAC-AM 在水溶液中呈现分散状分布的小球,这些小球的粒径都很小,分布在纳米范围内,反应生成的大分子在这些小球内继续与残余单体反应,同时有利于生成热的散失,使反应不易发生暴聚,体现了分散聚合法的优点。

### References

- [1] Xu Xiongli (徐雄立). Synthesis of AM-DMDAAC copolymer. *Chinese Journal of Synthetic Chemistry* (合成化学), 2003, **11** (5): 509-512
- [2] Ma Xiping (马喜平), Wang Aimin (王爱民), Hu Xingqi (胡星琪), Chen Yuandong (陈远东). Monomer reactivity ratios of DM-AM and TM-AM copolymerization. *Polymeric Materials Science & Engineering* (高分子材料科学与工程), 1997, **13** (5): 26-30
- [3] Zhang Yuejun (张跃军), Gu Xuefang (顾学芳). Research progress in the copolymer of dimethyldiallylammonium chloride and acrylamide. *Fine Chemicals* (精细化工), 2002, **19** (9): 521-527
- [4] Ma Qingshan (马青山). Flocculation Chemistry and Flocculants (絮凝化学与絮凝剂). Beijing: China Environmental Science Press, 1988: 5
- [5] Yue Qinyan (岳钦艳), Li Yong (李勇), Gao Baoyu (高宝玉), Yang Zunjian (杨尊建), Zou Xinhua (邹新华). Study on the inverse emulsion polymerization of PDMDAAC-AM. *Journal of Shandong University: Science Edition* (山东大学学报:理学版), 2004, **39** (6): 86-89
- [6] Luo Zhengping (罗正平), Zhang Qiuyu (张秋禹), Xie Gang (谢钢), Wu Hao (吴昊), Zhang Junping (张军平). Progress of dispersion polymerization. *Polymer Bulletin* (高分子通报), 2002 (5): 35-40
- [7] Lu Jiang (卢江), Liang Hui (梁晖). *Polymer Chemistry* (高分子化学). Beijing: Chemistry Industry Press, 2005: 93
- [8] Lin Liping (林莉萍). Waterborne coating. *New Technology & New Process* (新技术新工艺), 2001 (12): 34-36
- [9] Jin Riguang (金日光). *Polymer Physics* (高分子物理). Hua Youqing (华幼卿), trans. 2nd ed. Beijing: Chemical

- Industry Press, 2000: 89
- [10] Zhao Huazhang (赵华章), Yue Qinyan (岳钦艳), Gao Baoyu (高宝玉), Yu Hui (于慧), Luan Zhaokun (栾兆坤). Synthesis and analysis of PDMDAAC and P(DMDAAC-AM) as cationic polymeric flocculants. *Fine Chemicals* (精细化工), 2001, **18** (11): 645-649
- [11] Zhao Huazhang (赵华章), Gao Baoyu (高宝玉), Yue Qinyan (岳钦艳). Progress of dimethyldiallylammonium chloride (DMDAAC) polymers researches. *Ind. Water Treat.* (工业水处理), 1999, **19** (6): 1-4
- [12] Wang Fenghe (王风贺), Lu Shi (卢时), Lei Wu (雷武), Xia Mingzhu (夏明珠), Wei Yunyang (魏运洋), Wang Fengyun (王风云). Preparation, polymerization of reverse microemulsion of acrylamide and its micro-structure. *Journal of Chemical Industry and Engineering (China)* (化工学报), 2006, **57** (6): 1447-1452
- [13] Yu Hui (于慧), Gao Baoyu (高宝玉), Shao Xiumei (邵秀梅), Yue Qinyan (岳钦艳), Zhao Huazhang (赵华章), Wang Fengyan (王凤艳), Wang Yan (王艳). Study on the dimethyldiallylammonium chloride by infrared spectrum. *Journal of Shandong University: Natural Science Edition* (山东大学学报: 自然科学版), 2001, **36** (3): 330-335
- [14] Hong Shanhai (洪山海). The Application of Spectrum Analysis in Organic Chemistry (光谱解析法在有机化学中的应用). Beijing: Science Press, 1980: 16-41
- [15] Wang Zhengxi (王正熙). Infrared Spectral Analysis and Identification of Polymer (聚合物红外光谱分析和鉴定). Chengdu: Sichuan University Press, 1989: 38-39
- [16] Li Bo (李波), Yu Hui (于慧), Shao Xiumei (邵秀梅). Determination of dimethyl diallyl ammonium chloride by infrared spectroscopy. *Chinese Journal of Analysis Laboratory* (分析实验室), 2002, **21** (2): 41-43