

## W/W型PAM-MMT乳液的制备及性能研究

邱静红<sup>1,2</sup>, KOMARNENI Sridhar<sup>2</sup>, 成 煦<sup>1</sup>, 王海波<sup>1</sup>, 杜宗良<sup>1\*</sup>

(1.四川大学轻纺与食品学院, 四川成都610065; 2.宾夕法尼亚州立大学材料研究所, 宾夕法尼亚16803)

**摘要:**为了提高以明胶为稳定剂分散聚合制备的聚丙烯酰胺“水包水”(W/W型PAM)乳液的絮凝性能, 首先, 采用阳离子单体甲基丙烯酰氧乙基三甲基氯化铵(methacryloethyl trimethyl ammonium chloride, DMC)对钠基蒙脱土(sodium-montmorillonite, Na-MMT)进行插层改性制备有机蒙脱土(organic montmorillonite, OMMT), 通过X射线衍射(X-ray diffraction, XRD)测试得到插层改性后蒙脱土的层间距由1.25 nm增加至1.43 nm, 说明DMC单体已经成功插层进入蒙脱土片层。然后, 将OMMT引入以明胶为稳定剂的W/W型PAM乳液的体系中, 以制备W/W型PAM-MMT乳液。通过透射电镜(transmission electron microscope, TEM)乳液微观形貌进行观察, 得到乳液结构是由以蒙脱土颗粒为“交联点”的聚丙烯酰胺高分子网络和W/W型PAM乳液的混合物。研究了OMMT用量、明胶浓度、体系pH值以及阳离子单体DMC添加比例对合成W/W型PAM-MMT乳液性能的影响规律。结果显示: 在适宜条件下合成的乳液均具有较好的储存稳定性和在水中的再分散性。乳液的表观黏度和絮凝性能都与OMMT和明胶用量呈正相关性; 当pH值在明胶等电点(isoelectric point, IEP)时, 得到的乳液的表观黏度最低, 絮凝效果最好; 随着DMC单体用量比例增大, 乳液表观黏度减小, 高岭土悬浮液的絮凝效果先增大后减小。

**关键词:**分散聚合; “水包水”乳液; 蒙脱土; 明胶

中图分类号:TQ323.8

文献标志码:A

文章编号:2096-3246(2019)02-0193-06

### Study on Preparation and Characterization of the PAM-MMT W/W Emulsion

QIU Jinghong<sup>1,2</sup>, KOMARNENI Sridhar<sup>2</sup>, CHENG Xu<sup>1</sup>, WANG Haibo<sup>1</sup>, DU Zongliang<sup>1\*</sup>

(1.College of Light Industry, Textile and Food Sci., Sichuan Univ., Chengdu 610065, China;

2.Materials Research Inst., Pennsylvania State Univ., Pennsylvania 16803, USA)

**Abstract:** In order to improve the flocculation ability of polyacrylamide (PAM), the organic montmorillonite (OMMT) was first prepared by the intercalation of methacryloethyl trimethyl ammonium chloride (DMC) into the interlayers of sodium montmorillonite (Na-MMT). X-ray diffraction (XRD) results showed that the interlayer space of Na-MMT is increased from 1.25 to 1.43 nm, which illustrated that DMC has intercalated into the interlayers of MMT. Then OMMT was introduced into the dispersion polymerization system of PAM W/W emulsion using gelatin as stabilizer to prepare PAM-MMT W/W emulsion. The microstructure of the emulsion was characterized through transmission electron microscope (TEM), and the result showed that the emulsion is a mixture of the polyacrylamide “crosslinked” by the MMT particles and PAM W/W emulsion. Effects of OMMT dosage, gelatin concentration, pH value and cationic monomer concentration on the properties of the PAM-MMT W/W emulsion were investigated, and the result showed that all the emulsion prepared under proper conditions have a good storage stability and re-dispersion ability in water. And the viscosity and flocculation ability both have a positive relationship with the OMMT dosage and gelatin concentration. When the pH value is at the isoelectric point (IEP) of gelatin, the emulsion has the lowest viscosity and best flocculation ability. With the increase of DMC concentration, the viscosity decreases, while the flocculation ability towards the kaolin suspension increases first and then decreases.

**Key words:** dispersion polymerization; “water in water” emulsion; montmorillonite; gelatin

收稿日期:2018-04-04

基金项目:四川省科技厅科技支撑项目资助(2017GZ0129)

作者简介:邱静红(1991—),女,博士生。研究方向:水性高分子的制备。E-mail: [jinghongqiu@outlook.com](mailto:jinghongqiu@outlook.com)

\* 通信联系人 E-mail: [dzl407@163.com](mailto:dzl407@163.com)

网络出版时间:2019-02-20 16:18:05

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1773.tb.20190220.1119.003.html>

分散聚合法制备聚丙烯酰胺 (polyacrylamide, PAM) 由于克服了传统聚合方法的缺点而受到广泛关注, 到目前为止, 已有较多文献报道了采用分散聚合法制备 W/W 型 PAM 乳液, 但是基本上都局限于醇-水和无机盐-水体系, 而这两种体系仍需要采用大量醇类或无机盐作为分散介质, 对环境会造成一定的影响<sup>[1-2]</sup>。以与聚丙烯酰胺互不相容的水溶性高分子作为分散剂的水溶性高分子-水体系, 不需要再额外添加稳定剂, 体系含杂质少, 也减小了对环境的污染, 是该方向未来的研究热点<sup>[3]</sup>。目前被应用于该体系的稳定剂有聚乙二醇 (polyethylene glycol, PEG), 聚乙烯醇 (polyvinyl alcohol, PVA) 等多羟基化合物。但是, 此类化合物制备成本高, 且在聚丙烯酰胺的应用中不会起到协同作用。明胶来源于制革废弃物, 来源广泛, 价格低廉, 且其分子链上丰富的活性基团具有良好的吸附性能, 在将聚丙烯酰胺应用于水处理时, 可以起到协同作用, 因此, 将明胶应用于聚丙烯酰胺分散聚合的稳定剂具有较好的应用前景。作者团队前期只采用明胶为稳定剂, 通过分散聚合制备了 W/W 型 PAM 乳液, 但是由于明胶的链转移效果, 得到的聚丙烯酰胺的分子量较低<sup>[4]</sup>。

为了提高聚丙烯酰胺的絮凝效果, 将蒙脱土 (montmorillonite, MMT) 引入 W/W 型 PAM 乳液的制备体系中。蒙脱土是一种资源分布广、价格低廉的非金属矿产, 具有典型的 2:1 型层状硅酸盐结构。蒙脱土片层中的  $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $Ca^{2+}$  等阳离子极易被其他离子置换<sup>[5]</sup>。除了阳离子交换能力外, 蒙脱土还具有颗粒小、比表面积大的特点, 对水中的重金属、有机物和酸性阳离子染料等污染物有一定的吸附作用<sup>[6]</sup>。

近年来, 将以蒙脱土为代表的无机颗粒引入高分子体系, 制备功能性有机/无机纳米杂化复合材料已成为材料领域的研究热点<sup>[7-8]</sup>。但是, 在分散聚合体系中制备有机/无机纳米杂化复合材料的研究到目前为止还鲜有报道。作者利用蒙脱土的阳离子交换特性, 先将甲基丙烯酰氧乙基三甲氯化铵 (methacrylateethyl trimethyl ammonium chloride, DMC) 插层进入蒙脱土片层得到有机改性蒙脱土 (OMMT), 再将 OMMT 引入 W/W 型 PAM 乳液分散聚合体系, 通过原位插层聚合的方式制备了 W/W 型 PAM-MMT 乳液, 通过透射电镜 (transmission electron microscope, TEM) 观察了乳液微观形貌。研究了反应条件包括 OMMT 用量、明胶浓度、体系 pH 值以及阳离子单体比例对合成 W/W 型 PAM-MMT 乳液性能的影响规律。

## 1 实验部分

### 1.1 实验原料

钠基蒙脱土 (sodium-montmorillonite, Na-MMT)

Greagent, 分析纯, 阳离子交换量 (CEC) 为 95.27 mmol/g。明胶, 分析纯, 购于成都科龙化学试剂厂, 测得其等电点 (IEP) 为 5.01。DMC, Adamas, 79%~81% 水溶液, 试剂级; 丙烯酰胺 (acrylamide, AM)、冰乙酸、过硫酸铵 (APS)、亚硫酸氢钠 (SHS)、硝酸银 ( $AgNO_3$ ) 均为分析纯, 购于成都科龙化学试剂厂。

### 1.2 钠基蒙脱土的有机插层改性

在装有搅拌器和恒压漏斗的三口瓶中加入一定量的钠基蒙脱土, 然后将三口瓶置于恒温水浴中, 待蒙脱土悬浮液平衡至 75 °C 后, 将 DMC 用一定量的水稀释并加入恒压漏斗中, 缓慢滴加至蒙脱土悬浮液中, 并在恒速搅拌条件下反应 2 h。反应完成后减压抽滤, 用去离子水反复冲洗滤饼, 直到上清液中检测不出  $Cl^-$  (用  $AgNO_3$  检测)。将滤饼放入真空烘箱在 60 °C 下烘干, 研磨, 取过 300 目筛的产品作为 DMC 改性有机蒙脱土 (OMMT)。

### 1.3 XRD 测试

通过分析 XRD 图谱, 使用 Bragg 方程  $2d \sin \theta = n\lambda$ ,  $n = 1, 2, \dots$ , 可以求出蒙脱土的层间距  $d$  及层间距变化  $\Delta d$ 。使用 XRD 仪器型号为 DX-1000 型 (中国辽宁丹东方圆仪器厂), 放射源为  $CuK\alpha$  (25 mA 和 40 kV), 扫描范围为  $2.5^\circ \sim 10^\circ$ , 入射波长为 0.154 nm。

### 1.4 W/W 型 PAM-MMT 乳液的制备

将一定量的 OMMT 在搅拌状态下加入一定量的水中, 超声分散配制成均匀的 OMMT 悬浮液; 将明胶在 40 °C 搅拌条件下溶解在一定量水中得到明胶溶液。然后, 将明胶溶液、OMMT 悬浮液、丙烯酰胺、DMC 和水加入装有冷凝管、恒速搅拌器、氮气管的四口瓶中, 在 25 °C 条件下用冰醋酸溶液调节体系 pH 值至规定值。通氮气除氧 30 min 后, 升温至 40 °C, 将引发剂 APS 和 SHS (质量比为 1:1) 分别溶于少量水中, 并加入反应体系, 恒温反应 4 h, 得到乳白色的 W/W 型 PAM-MMT 乳液。其中, 单体浓度为占体系总质量的百分比, OMMT 用量、明胶和引发剂浓度均为占单体质量的百分比, 阳离子单体比例为 DMC 质量占单体总质量的百分比。PAM-MMT 纳米复合材料的合成路线如图 1 所示。

### 1.5 TEM 测试

将 W/W 型 PAM-MMT 乳液用水稀释至固含量为 1% 的稀释液, 搅拌均匀并超声分散。取少量稀释液滴到载膜铜网上, 用 2% 的磷钨酸溶液染色 10 min, 然后用滤纸吸干铜网周围液体, 晾干后采用透射电镜 (TEM, 日立 HITACHI H-600) 对乳液形貌进行观察。

### 1.6 表观黏度测定

采用 NDJ-79 型旋转式黏度计 (上海安德仪器设备有限公司) 在 25 °C 条件下直接测定 W/W 型 PAM-MMT 乳液的表观黏度。

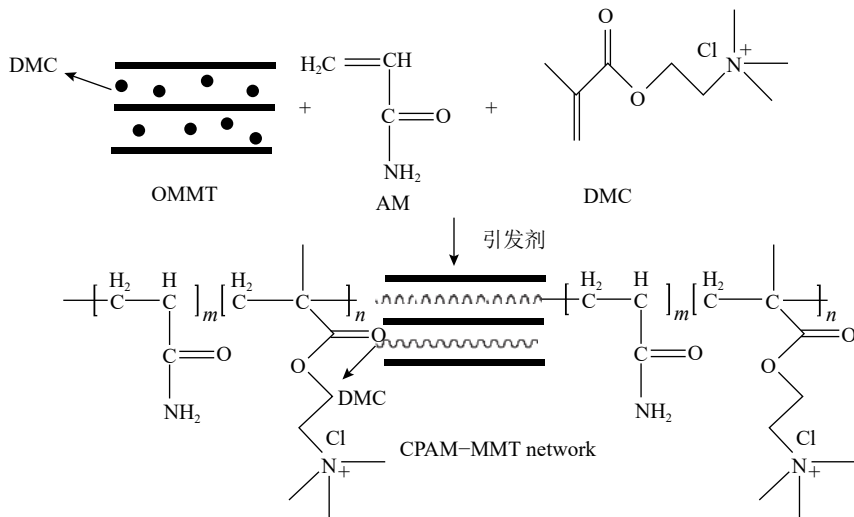


图1 PAM-MMT纳米复合材料的合成路线

Fig. 1 Scheme presentation of the synthesis of the PAM-MMT nanocomposite

### 1.7 储存稳定性

将在各条件下制备的W/W型PAM乳液置于室内阴凉处常温保存,并且每天观察乳液的分层情况,将W/W型PAM乳液开始出现分层的时间定义为表观稳定时间<sup>[3]</sup>,以衡量乳液的储存稳定性。

### 1.8 再分散性能

将一份W/W型PAM乳液加入20份水中,采用DF-101S型集热式恒温加热磁力搅拌器(巩义市予华仪器有限责任公司),在20℃条件下以50 r/s的速率测定样品的再分散时间<sup>[4]</sup>。

### 1.9 高岭土悬浮液絮凝性能测试

将配制好的0.25%的高岭土悬浮液加入100 mL的具塞量筒中。将W/W型PAM-MMT乳液稀释至一定浓度,取0.2 mL稀释液加入100 mL 0.25%的高岭土悬浮液中,立即上下倒置摇动20次后,静置,观察并记录絮体在不同时间达到的高度<sup>[9]</sup>。记录絮体达到量筒30 cm高度处的时间 $t$ (单位:s),用于评价絮凝速率的快慢,计时开始30 min后取上清液用SGZ-200数显浊度仪(上海悦丰仪器有限公司)测定浊度,并按式(1)计算去浊率(removal rate, RT)<sup>[10]</sup>:

$$RT/\% = \frac{T_i - T_f}{T_i} \times 100\% \quad (1)$$

式中, $T_i$ 为沉降前高岭土悬浮液的浊度, $T_f$ 是沉降30 min后上层清液的浊度。

## 2 结果与讨论

### 2.1 XRD结果

测试谱图和数据如图2所示。从图2中可以看出,Na-MMT的主衍射峰 $2\theta$ 角为7.04°,而经过DMC改性得到的OMMT的主衍射峰 $2\theta$ 角减小至6.16°,说明蒙

脱土片层的层间距增大,DMC分子已经成功插层进入蒙脱土片层。根据Bragg方程计算得到的层间距为1.25 nm,OMMT的层间距为1.43 nm。

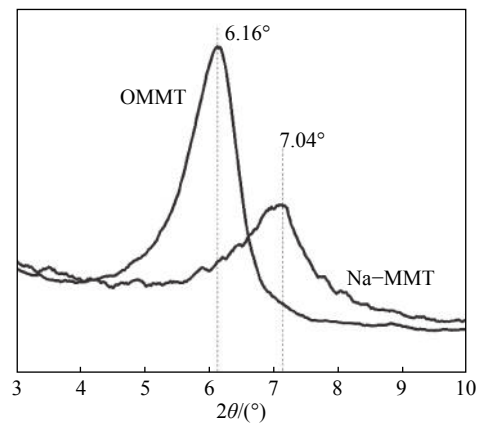


图2 Na-MMT和OMMT的XRD衍射图谱

Fig. 2 XRD patterns of Na-MMT and OMMT

### 2.2 TEM分析

通过透射电镜观察到的W/W型PAM-MMT乳液的微观结构主要有两种情况,如图3(a)和(b)所示。图3(a)中的深色梭状物为蒙脱土颗粒,蒙脱土颗粒之间有丝状连接,将蒙脱土连接成网络,这些连接就是聚丙烯酰胺高分子。图3(b)视野中主要呈现的是W/W型PAM乳液颗粒,这些乳液颗粒都比较小,其粒径分布在10~100 nm之间,并且在乳液颗粒之间可以看到一些蒙脱土颗粒穿插在其中。所以,通过TEM直接观察到的W/W型PAM-MMT乳液的微观结构是符合预期结构的。在采用TEM观察被稀释的乳液时,以蒙脱土为“交联点”的网络结构和体系中游离的W/W乳液可能会被分开,因此可以观察到分别以两种结构为主的区域。



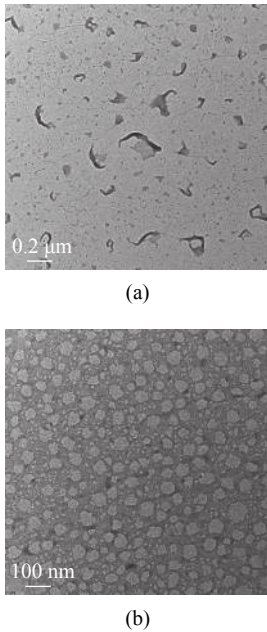


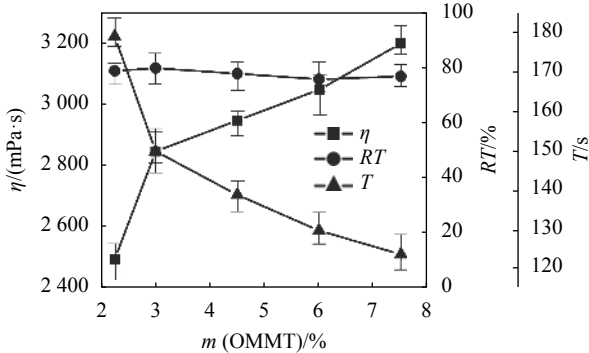
图 3 W/W型PAM-MMT乳液的TEM图

Fig. 3 Morphology of the PAM-MMT W/W emulsion observed through TEM

### 2.3 反应条件对W/W型PAM-MMT乳液性能的影响规律

#### 2.3.1 OMMT用量的影响

当OMMT用量太高时,体系黏度偏大,而当OMMT用量太低时,体系中的单体含量相对于OMMT层间的单体含量较大,容易导致OMMT剥离,因此OMMT的用量必须在控制在合适的范围内。在本体系中,研究了OMMT用量在2.25%~7.50%范围内,随着OMMT用量变化得到的乳液性能的影响,如图4所示。



单体浓度20%, DMC浓度15%, 明胶浓度4.5%, pH=5.00, 温度40℃, 引发剂浓度0.20%。

图 4 OMMT用量对W/W型PAM-MMT乳液表观黏度、去浊率和絮凝速率的影响

Fig. 4 Effect of OMMT dosage on the viscosity, removal rate and flocculation speed of PAM-MMT W/W emulsion

从图4可以看出:随着OMMT用量的增大,得到的乳液表观黏度逐渐增大,虽然去浊率变化不大,但是从絮凝时间的明显减小可以看出乳液对高岭土悬

浮液的絮凝性能增强。由于OMMT在体系中是起“交联点”的作用,随着其用量的增大,体系中的“交联点”增多,得到的交联网络就更密,乳液的表观黏度也就越大,絮凝效果也增强。此外,OMMT的引入还会增大聚丙烯酰胺的“重量”,缩短絮凝过程的沉降时间。

从表1中可以看出:所有合成的乳液在水中都具有良好的再分散性;在OMMT用量较低的情况下,合成的乳液不够稳定;OMMT用量较高的情况下,合成的乳液的储存稳定性均能达到12个月。

表 1 OMMT用量对W/W型PAM-MMT乳液再分散时间和表观稳定时间的影响

Tab. 1 Effect of OMMT dosage on the redispersion time and apparent stable time of the PAM-MMT W/W emulsion

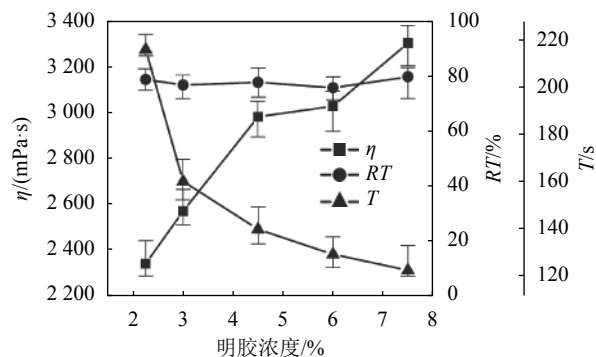
OMMT用量/%	再分散时间/min	表观稳定时间/月
2.25	<1	3
3.00	<1	12
4.50	1~2	12
6.00	2~3	12
7.50	2~3	12

#### 2.3.2 明胶浓度的影响

与实验室前期合成W/W型PAM乳液相比,形成稳定的W/W型PAM-MMT乳液所需要的明胶浓度明显降低<sup>[4]</sup>。这是因为在W/W型PAM乳液分散聚合过程中,只加入了明胶,明胶既要充当稳定剂,又要作为使聚丙烯酰胺从连续相中沉淀出来的高分子沉淀剂。而在W/W型PAM-MMT乳液体系中,OMMT的加入,减小了聚丙烯酰胺从连续相中析出的临界链长,使得体系更容易分相,从而减小了明胶的使用量,也有效降低了乳液表观黏度。

当明胶浓度较低时,体系中稳定剂含量不足以让体系形成稳定的“水包水”乳液;而当明胶浓度较高时,聚丙烯酰胺的分子量会由于明胶 $\alpha$ -H的链转移作用而受到影响。本组实验研究了明胶浓度在2.25%~7.50%范围内,明胶浓度对W/W型PAM-MMT乳液性能的影响,如图5所示。从图5可以看出:随着明胶浓度增大,体系表观黏度增大,这主要是由于明胶浓度增大,明胶分子之间的相互连接作用增强,而此因素对体系黏度的增大作用明显大于由明胶链转移而导致的聚丙烯酰胺分子量下降对体系黏度的降低作用。随着明胶浓度增大,虽然对去浊率的影响不大,但是得到的乳液样品对高岭土悬浮液的絮凝时间明显减小,依然可以得出絮凝效果变好的结论。

从表2中可以看出:合成的乳液在水中具有较好的再分散性;在明胶用量较低或较高的情况下,合成的乳液不够稳定;明胶用量适宜的情况下,合成的乳液的储存稳定性能达到12个月。



单体浓度20%, DMC浓度15%, OMMT用量4.5%, pH=5.00, 温度40℃, 引发剂浓度0.20%。

图5 明胶浓度对W/W型PAM-MMT乳液表观黏度、絮凝性能的影响

Fig. 5 Effect of gelatin concentration on the viscosity and flocculation ability of PAM-MMT W/W emulsion

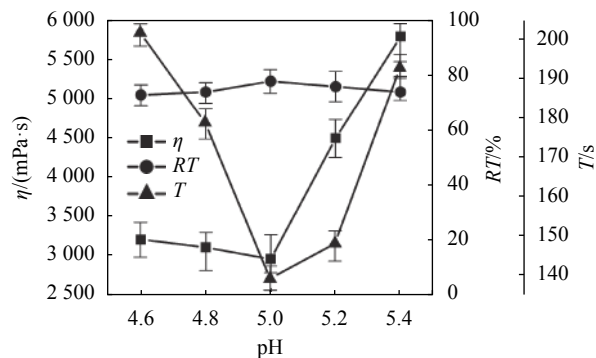
表2 明胶浓度对W/W型PAM-MMT乳液再分散时间和表观稳定时间的影响

Tab. 2 Effect of gelatin concentration on the redispersion time and apparent stable time of the PAM-MMT W/W emulsion

明胶浓度/%	再分散时间/min	表观稳定时间/月
2.25	<1	6
3.00	<1	8
4.50	1~2	12
6.00	1~2	12
7.50	2~3	10

### 2.3.3 体系pH值的影响

采用的稳定剂明胶是一种典型的聚电解质,对体系pH值敏感,从而影响乳液的性能。本组实验中,采用的明胶等电点约为5.0,因此考察了体系pH值在5.0附近对合成乳液性能的影响,如图6所示。



单体浓度20%, DMC浓度15%, OMMT用量4.5%, 明胶浓度4.5%, 温度40℃, 引发剂浓度0.20%。

图6 体系pH值对W/W型PAM-MMT乳液表观黏度、絮凝性能的影响

Fig. 6 Effect of pH value on the viscosity and flocculation ability of PAM-MMT W/W emulsion

从图6可以看出:随着pH值增大,乳液对高岭土悬浮液的絮凝时间先减小后增大,在pH值为5.0时最小,这说明乳液的絮凝效果在明胶等电点时最好。然而乳液的表观黏度却是在小于明胶等电点时轻微减小,在大于等电点时迅速增大,这是因为在明胶等电点时,分子链自由度最高,最易被聚丙烯酰胺粒子吸附。作者仍然认为在明胶等电点时,得到的聚丙烯酰胺分子量是最高的。而表观黏度没有表现出与分子量一致的趋势是因为本体系中引入了阳离子单体DMC,当体系pH值大于明胶等电点时,体系中阳离子数较多,与DMC之间产生了静电排斥力,从而导致表观黏度迅速增大。

从表3中可以看出:合成的乳液在水中都具有较好的再分散性;在明胶用量较低或较高的情况下,合成的乳液不够稳定;明胶用量适宜的情况下,合成的乳液的表观稳定时间能达到12个月。

表3 体系pH值对W/W型PAM-MMT乳液的再分散时间和表观稳定时间的影响

Tab. 3 Effect of pH value on the redispersion time and apparent stable time of the PAM-MMT W/W emulsion

pH	再分散时间/min	表观稳定时间/月
4.60	1~2	10
4.80	1~2	10
5.00	1~2	12
5.20	1~2	8
5.40	1~2	6

### 2.3.4 阳离子单体比例的影响

由于污水中大多数物质都是带负电荷的,所以在体系中引入阳离子单体DMC,以增强聚丙烯酰胺对污水的絮凝效果。但是,DMC与丙烯酰胺的反应活性差别较大,会降低聚丙烯酰胺的分子量如表4所示。

表4 阳离子单体比例对W/W型PAM-MMT乳液性能的影响

Tab. 4 Effect of DMC concentration on the properties of PAM W/W emulsion

DMC比例/%	黏度/(Pa·s)	RT/%	T/s	再分散时间/min	表观稳定时间/月
20	1.7	2.95	5.5	17.5	/
15	65	71	52	32	22
10	162	139	216	×	×
5	<1	<1	1~2	2~3	2~3
0	6	10	12	12	12

注:“/”表示在室温下很难流动,“×”表示在半小时内未观察到明显絮体。(单体浓度20%, pH=5.0, OMMT用量4.5%, 明胶浓度4.5%, 温度40℃, 引发剂浓度0.20%。)

由表4可知:随着DMC单体用量比例的增大,乳液表观黏度减小。而对高岭土模拟废水的絮凝效果随着DMC单体用量比例的增大则先增大后减小,当体系中阳离子单体含量较低时,产生的絮体并不明显,这说明在絮凝过程中阳离子单体起到了非常重要的作用;而当DMC用量太高时,由于与丙烯酰胺反应活性的差距而导致聚丙烯酰胺的分子量减小,从而也会影响絮凝效果。

### 3 结 论

首先,将DMC单体插层进入蒙脱土制备OMMT,XRD结果显示蒙脱土的层间距由1.24 nm增加至约1.68 nm,说明DMC已经成功插层进入蒙脱土的片层内。然后,将OMMT引入以明胶为稳定剂的分散聚合制备聚丙烯酰胺体系中,制备得到W/W型PAM-MMT乳液。采用TEM对乳液形貌进行了表征,得到W/W型PAM-MMT乳液的结构是以蒙脱土为“交联点”的聚丙烯酰胺高分子网络和W/W型PAM乳液的混合物。研究了OMMT用量、明胶浓度、体系pH值以及阳离子单体比例对W/W型PAM-MMT乳液的性能的影响规律。结果表明:在适宜条件下制备的乳液具备良好的在水中的再分散性和储存稳定性。随着OMMT用量的增大,乳液的表观黏度增大,对高岭土悬浮液的絮凝性能增加,这是由于OMMT在体系中起“交联点”的作用。随着明胶浓度增大,乳液表观黏度增大,对高岭土悬浮液的絮凝性能增加,这是由于明胶分子间的连接作用以及明胶分子的吸附性能。当体系pH值在明胶等电点时得到的乳液的表观黏度最低,絮凝效果最好。随着DMC单体用量比例增大,乳液表观黏度减小,而对高岭土悬浮液的絮凝效果先增大后减小。本文将蒙脱土引入聚丙烯酰胺聚合体系,有效提高了聚丙烯酰胺的絮凝性能的同时,为有机/无机杂化材料的合成提供了新的途径。

#### 参考文献:

- [1] Biswajit R,Broja M M.Dispersion polymerization of acrylamide[J].*Langmuir*,1997,13(8):2191–2196.
- [2] Wu Yumin,Wang Chuanxing,Xu Jun.Aqueous dispersion

polymerization of amphoteric polyacrylamide[J].*Journal of Applied Polymer Science*,2010,115(2):1131–1137.

- [3] Shang Kuanxiang,Shan Guorong,Pan Pengju.Stabilizer-free aqueous two-phase copolymerization of acrylamide and cationic monomer:Role of electrostatic interactions in the phase separation,colloid morphology,and stability[J].*Industrial & Engineering Chemistry Research*,2014,53(38):14664–14672.
- [4] Qiu Jinghong,Wang Hui,Du Zongliang,et al.Preparation of polyacrylamide via dispersion polymerization with gelatin as a stabilizer and its synergistic effect on organic dye flocculation[J].*Journal of Applied Polymer Science*,2018,135:46298.
- [5] Mulewa W,Tahir M,Amin No A S.MMT-supported Ni/TiO<sub>2</sub> nanocomposite for low temperature ethanol steam reforming toward hydrogen production[J].*Chemical Engineering Journal*,2017,326(5):956–969.
- [6] Zhu Runliang,Chen Qingze,Zhou Qing,et al.Adsorbents based on montmorillonite for contaminant removal from water:A review[J].*Applied Clay Science*,2016,123:239–258.
- [7] Bensalem S,Hamdi B,Del Confetto S,et al.Characterization of chitosan/montmorillonite bionanocomposites by inverse gas chromatography[J].*Colloids and Surfaces A(Physicochemical and Engineering Aspects)*,2017,516:336–344.
- [8] Anurakshree V,Riaz U.Mechanochemically synthesized poly(o-toluidine)-intercalated montmorillonite nanocomposites as antituberculosis drug carriers[J].*International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*,2018,67(4):221–228.
- [9] Shaikh S M R,Mustafa S N,Magzoub M,et al.Effect of electrolytes on electrokinetics and flocculation behavior of bentonite-polyacrylamide dispersions[J].*Applied Clay Science*,2018,158:46–54.
- [10] Qiu Jinghong,Wang Hui,Dong Shihua,et al.Study on the preparation of PAM/MMT W/W emulsion and its application as a flocculant[J].*RSC Advances*,2016,6(10):7908–7913.

(编辑 黄小川)

引用格式:Qiu Jinghong,Komarneni Sridhar,Cheng Xu,et al.Study on preparation and characterization of the PAM-MMT W/W emulsion[J].*Advanced Engineering Sciences*,2019,51(2):193–198.[邱静红,Komarneni Sridhar,成煦,等.W/W型PAM-MMT乳液的制备及性能研究[J].*工程科学与技术*,2019,51(2):193–198.]