

# 白刺籽粕接枝高吸油树脂 NSM-g-P(MMA-co-BA) 的制备与性能\*

海靖杰<sup>1</sup>, 白波<sup>2</sup>, 杨丽衡<sup>1</sup>, 丁晨旭<sup>2</sup>, 王洪伦<sup>2</sup>, 索有瑞<sup>2</sup>

(1 长安大学环境科学与工程学院, 西安 710054; 2 中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810001)

**摘要** 以白刺籽粕(NSM)为基材, 甲基丙烯酸甲酯(MMA)和丙烯酸丁酯(BA)为单体, 过氧化苯甲酰(BPO)为引发剂, N,N'-亚甲基双丙烯酰胺(MBA)为交联剂合成了高性能吸油树脂 NSM-g-P(MMA-co-BA)。利用 FTIR、SEM 对其进行表征, 并研究 NSM、BPO、MBA 用量、单体比对树脂吸油率的影响及吸油动力学。结果表明, NSM-g-P(MMA-co-BA)是一种表面交联型复合物, NSM 粉末在复合物中呈弥散状分散, 起到骨架支撑作用。制备树脂的最佳条件为:  $m(\text{BA}) : m(\text{MMA}) = 1 : 1$ ,  $\omega_{(\text{BPO})} = 0.7\%$ ,  $\omega_{(\text{MBA})} = 0.04\%$ ,  $\omega_{(\text{NSM})} = 3.1\%$ , 于 70 °C 下反应 70 min。室温下 NSM-g-P(MMA-co-BA)对三氯甲烷、二氯甲烷、甲苯、乙酸乙酯、四氯化碳的最大吸油率分别为 31.6 g/g、36.7 g/g、24.4 g/g、18.5 g/g、32.4 g/g, 吸油平衡时间约 50 min。吸油过程符合准二级动力学模型, 吸油速率大小为: 乙酸乙酯 > 四氯化碳 > 甲苯 > 三氯甲烷 > 二氯甲烷。该树脂对工业机油、油水混合物和水的最大吸油率分别为 31.7 g/g、24.7 g/g、0.09 g/g。

**关键词** 白刺籽粕 高吸油树脂 接枝共聚 甲基丙烯酸甲酯 丙烯酸丁酯

中图分类号: TQ325 文献标识码: A DOI: 10.11896/j.issn.1005-023X.2015.20.006

## Preparation and Properties Evaluation of Nitrariaseed Meal Powder Grafted NSM-g-P(MMA-co-BA) High Oil Absorption Resin

HAI Jingjie<sup>1</sup>, BAI Bo<sup>2</sup>, YANG Liheng<sup>1</sup>, DING Chenxu<sup>2</sup>, WANG Honglun<sup>2</sup>, SUO Yourui<sup>2</sup>

(1 College of Environmental Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054; 2 Northwest Plateau Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810001)

**Abstract** The NSM-g-P(MMA-co-BA) resins with superhydrophobicity, high porosity and high oil absorbency were synthesized via copolymerization using nitrariaseed meal (NSM) as raw material, methyl methacrylate (MMA) and butyl acrylate (BA) as co-monomers, benzoyl peroxide (BPO) as initiator and N,N'-methylenebisacrylamide (MBA) as cross-linking agent. SEM and FTIR were used to characterize the structure. The effects of reaction conditions on resins and the absorption kinetics were studied. The results showed that high oil absorption resin NSM-g-P(MMA-co-BA) is a kind of surface crosslinking compound where NSM were dispersed as skeleton in the compound. Optimal conditions for preparation of the resins were: the mass ratio of BA to MMA was 1 : 1,  $\omega_{(\text{BPO})} = 0.7\%$ ,  $\omega_{(\text{MBA})} = 0.04\%$ ,  $\omega_{(\text{NSM})} = 3.1\%$ , at 70 °C for 70 min. The maximum oil absorbency of the NSM-g-P(MMA-co-BA) resins under the above conditions was, for chloroform, 31.6 g/g; dichloromethane, 36.7 g/g; toluene, 24.4 g/g; ethyl acetate, 18.5 g/g; carbon tetrachloride, 32.4 g/g, at normal room temperature. The saturated oil absorption could be reached within about 50 min. The absorption kinetics experiments showed that the pseudo-second-order kinetic equation was suitable for simulation of the adsorption processes and the absorption rate of the oil above was ethyl acetate > carbon tetrachloride > toluene > chloroform > dichloromethane. The maximum oil absorbency of the NSM-g-P(MMA-co-BA) resins was for industrial engine oil 31.7 g/g, oil/water 24.7 g/g and water 0.09 g/g.

**Key words** nitrariaseed meal powder, high oil absorption resin, graft copolymerization, methyl methacrylate, butyl acrylate

## 0 引言

聚合高吸油树脂具有独特的物化交联结构, 是替代传统吸油材料的一种新型功能高分子材料, 被广泛应用于石油泄

漏、油品回收、净化水质等领域<sup>[1-3]</sup>。研究证实<sup>[4]</sup>由于化学键交联能量大, 交联分子链束缚较强, 导致了单一化学交联吸油树脂吸油率较低、吸放油可逆性差。为弥补化学交联结构的不足, 利用化学-物理交联相耦合的方法制备吸油树脂已

\* 中国博士后特别资助项目(201104615); 中央高校基本科研业务费专项资金(2013G2291015)

海靖杰: 男, 1991 年生, 硕士生, 主要从事新型功能材料方面的研究 白波: 男, 1972 年生, 教授, 博士生导师, 主要从事纳米复合物的制备及应用 E-mail: baibochina@163.com

成为新的发展方向<sup>[5]</sup>。其原理是利用天然有机或无机材料表面作为接枝共聚反应平台,实现天然吸油材质和化学交联树脂的协同作用。例如,利用稻壳、玉米芯<sup>[6]</sup>、木棉<sup>[7]</sup>等纤维原料为基材均可获得性能优良的高吸油复合材料。该路线不仅降低了生产成本,而且改善了树脂的吸油性能,对于吸油材料的规模化应用具有重要意义。

白刺是广泛生长在我国青藏高原的一种重要经济植物,其种籽中含有丰富的油脂<sup>[8]</sup>。白刺籽粕(NSM)作为白刺种籽提油后的副产品,含有较多油脂体膜,该体膜本质为磷脂单分子层且含有较多疏水基团。同时,单个磷脂分子中包含非极性烃类基团构成的疏水端,自身展现出了较强的亲油性<sup>[9]</sup>。另外,白刺籽粕具有良好的纤维结构,纤维素表面孔隙及毛细管间隙均具有吸油性,因而可成为制备复合高吸油性树脂的良好基体。然而,迄今采用白刺籽粕制备高吸油性树脂的技术鲜有报道。

据此,本研究以 NSM 为基材、丙烯酸丁酯(BA)和甲基丙烯酸甲酯(MMA)为共聚单体、过氧化苯甲酰(BPO)为引发剂、N,N'-亚甲基双丙烯酰胺(MBA)为交联剂,成功制备了 NSM-g-P(MMA-co-BA)高吸油树脂。通过 FE-SEM 和 FTIR 方法对产物结构进行表征,分析单体配比、BPO、MBA 和 NSM 用量对树脂吸油率的影响,并对其吸油动力学进行讨论,为充分利用白刺籽粕,拓展其应用领域,开发新的原料制备高吸油性树脂进行一定的尝试和探索。

## 1 实验

### 1.1 原料试剂及仪器

NSM:青海高原地区;MMA:分析纯,天津市风船化学有限公司生产;BA:分析纯,天津市风船化学有限公司生产;BPO、MBA:分析纯,天津市风船化学有限公司生产;无水乙醇、三氯甲烷、二氯甲烷、甲苯、四氯化碳、乙酸乙酯:化学纯,西安市化学试剂厂。

粉碎机,LWMC-20型,南京陵江科技开发有限责任公司生产;电热鼓风干燥箱 101-2AB型;低速自动平衡离心机 LDZ4-1.2型;电子天平 AL204型;搅拌器 D-8401型;电热恒温水浴锅 DK-98-1型;250 mL三口瓶;氮气。

### 1.2 NSM-g-P(MMA-co-BA)的制备及表征

NSM原料的预处理:将白刺籽粕粉碎干燥,称取适量于干净烧杯中,加入  $m(\text{NSM}):m(\text{NaOH})=1:10$  的氢氧化钠稀溶液,充分搅拌,置于 90 °C 水浴锅中一段时间;取出冷却、离心,沉淀物用无水乙醇和蒸馏水清洗,干燥至恒重,研磨备用。

NSM-g-P(MMA-co-BA)的制备:将适量预处理的 NSM、引发剂 BPO、交联剂 MBA、接枝单体 MMA 和 BA 依次加入到装有机械搅拌器、温度计、氮气导管的 250 mL 三口烧瓶中。充分搅拌置于 70 °C 恒温水浴锅,通入氮气一段时间后打开电动搅拌器,使反应在氮气环境下进行。待反应结束后,取出产物用无水乙醇和蒸馏水分别洗涤,干燥至恒重。

原料 NSM 及 NSM-g-P(MMA-co-BA)的结构表征:试样的形貌采用 S-3700N 型扫描电子显微镜(日本 Hitachi 技

术公司)测试。采用 AVATAR360 型傅里叶变换红外光谱仪(美国 Nicolet 公司)测定试样的化学键和官能团。

### 1.3 NSM-g-P(MMA-co-BA)吸油率的测定

以三氯甲烷、二氯甲烷、甲苯、乙酸乙酯、四氯化碳为待测油性物质测定树脂的吸油率。首先,称量干燥吸油袋质量( $G_0$ ),然后称取约 0.1 g( $G_1$ )树脂置于干燥吸油袋中,将袋子分别浸入装有 5 种油性物质的烧杯中,记录时间,1 h 后取出并滴干 2 min 后迅速称其质量( $G_2$ ),吸油率(Q)可表示为:

$$Q = \frac{G_2 - (G_0 + G_1)}{G_1} \quad (1)$$

## 2 结果与分析

### 2.1 表征结果及分析

采用 SEM 分别对 NSM 和 NSM-g-P(MMA-co-BA)的表面形貌进行观察。图 1 为预处理前 NSM(a)、预处理后 NSM(b)和 NSM-g-P(MMA-co-BA)树脂((c)、(d))的 FE-SEM 图。由图 1(a)可见,预处理前 NSM 粉呈不规则块状、小颗粒分布,且表面呈多层褶皱状。由图 1(b)可见,预处理后 NSM 颗粒表面较光滑,有分布不均的小孔,纤维结构裸露在表面。这种结构有利于共聚反应顺利进行,为复合树脂提供稳定的骨架结构。由图 1(c)、(d)可见,该树脂表面呈多层褶皱状,且散落的存在较大的孔洞。这种结构骨架增加了树脂有效比表面积和油性分子与树脂接触位点,进而提高树脂的吸油性能。此外,在树脂 FE-SEM 图中未能发现大量白刺籽粕,意味着 NSM 粉已经作为接枝共聚反应的骨架被包裹在树脂体内。

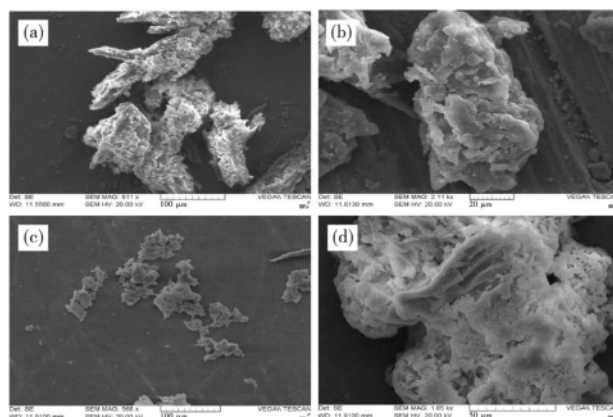


图 1 NSM 预处理前(a)及预处理后(b)和 NSM-g-P(MMA-co-BA)(c)及局部区域(d)(图(c)方框所示)的 SEM 图

Fig. 1 Scanning electron micrographs of the NSM before (a) and after (b) pretreated, the NSM-g-p(MMA-co-BA) (c) and the selected area of surface (d)

图 2 为预处理后 NSM(a)和 NSM-g-P(MMA-co-BA)(b)的 FTIR 谱图。3440  $\text{cm}^{-1}$  处吸收峰是基于羟基的伸缩振动,1428  $\text{cm}^{-1}$  处吸收峰是基于对称  $\text{CH}_2$  官能团的弯曲振动<sup>[10]</sup>,2925  $\text{cm}^{-1}$  处吸收峰是基于甲基和亚甲基中 C-H 键的伸缩振动,1164  $\text{cm}^{-1}$  处吸收峰是基于  $\beta$ -1,4-糖苷键的伸缩振动,以上吸收峰是基于 NSM 纤维素结构特征。1630  $\text{cm}^{-1}$  处

吸收峰是基于 NSM 木质素结构中酮、醛、羧酸基团 C=O 键的伸缩振动<sup>[11]</sup>。与 NSM 相比, NSM-g-P(MMA-co-BA) 的 FTIR 谱图中部分吸收峰强度增强。2959 cm<sup>-1</sup> 处吸收峰为长链烷烃特征吸收峰, 1731 cm<sup>-1</sup>、1157 cm<sup>-1</sup> 处吸收峰是基于 C=O 键和 C-O-C 键的伸缩振动<sup>[12]</sup>。在 1630 cm<sup>-1</sup> 处吸收峰强度增强, 说明产物中有 R-O-C 键的存在<sup>[13]</sup>。与预处理后 NSM 相比, 产物在 3250~3750 cm<sup>-1</sup> 处缔合的羟基振动吸收峰有所减弱, 意味着产物中的羟基数量减少, 也表明 NSM-g-P(MMA-co-BA) 是 NSM 与 MMA-BA 的表面交联型复合物, NSM 粉在复合物中起到骨架填充作用。

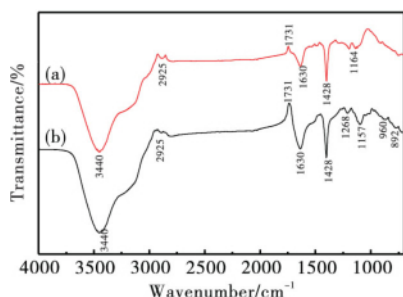


图 2 预处理后 NSM(a) 和 NSM-g-P(MMA-co-BA) (b) 的 FTIR 谱图

Fig. 2 FTIR spectra of pretreated NSM (a) and NSM-g-P(MMA-co-BA) (b)

### 2.2 交联剂 (MBA) 和引发剂 (BPO) 用量对吸油率的影响

图 3 为交联剂 (MBA) 和引发剂 (BPO) 用量对树脂吸油率的影响。由图 3 可见, NSM-g-P(MMA-co-BA) 对 5 种油性物质的吸油率随着交联剂含量的增加而增大, 达到一定值后, 表现出逐渐下降的趋势。这是因为 MBA 用量决定树脂的交联度和交联密度。当 MBA 含量较少时, 纤维素高分子链接枝共聚不充分, 树脂可溶性增加, 吸油后瘫成泥状物, 导致其吸油率降低。相反地, 当 MBA 用量过多时, 树脂的交联密度增大, 交联点链长迅速变短, 相互作用力增大, 使油性分子难以移动和扩散, 导致树脂吸油率下降。

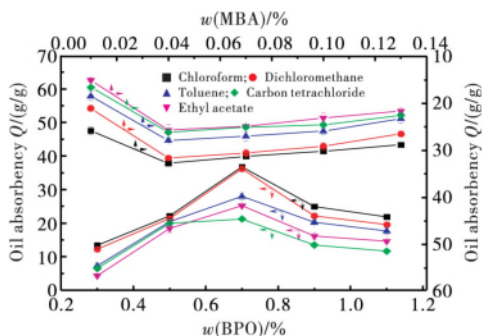


图 3 引发剂 (BPO) 和交联剂 (MBA) 用量对树脂 NSM-g-P(MMA-co-BA) 吸油率的影响

Fig. 3 Effect of initiator (BPO) and cross-linking agent (MBA) concentration on the oil absorbency of NSM-g-P(MMA-co-BA)

NSM-g-P(MMA-co-BA) 吸油率在一定范围内, 随着引发剂含量的增加, 吸油倍率表现出先增加再下降的趋势。这是因为引发剂用量对自由基交联共聚的影响较大, 引发剂的作用是产生初级自由基, 从而引发纤维素与单体接枝共聚。当 BPO 用量较少时, 与纤维素聚合的自由基较少, 三维网络结构未能充分形成, 吸附比表面积小, 导致吸油率降低。但当 BPO 用量过多时, 其产生的初始自由基密度增加, 聚合反应体系中形成的基链分子长度减小。同时, 随着自由基密度的增加, 发生有效聚合的概率增大<sup>[14]</sup>, 聚合物交联点密集, 交联网络的弹性回缩自由能增大, 树脂吸油率降低。

### 2.3 单体配比和 NSM 用量对吸油率的影响

图 4 为单体配比和 NSM 用量对树脂吸油率的影响。由图 4 可见, NSM-g-P(MMA-co-BA) 吸油率随 m(BA) : m(MMA) 配比的减小而增大, 达到最大值后表现出逐渐降低的趋势。这是由于丙烯酸丁酯烷基链较长, 其亲油性较强, 在反应体系中加入适量可使得树脂吸油性提高。MMA 具有甲基和亚甲基支链, 可以增加树脂三维网络结构的有效空间和比表面积。因此, 为了增加树脂有效网络空间, 可以增加适量 MMA, 进而增强其吸油性<sup>[15]</sup>。

随着 NSM 用量的增加, NSM-g-P(MMA-co-BA) 吸油率在一定范围内呈现先增大再减小趋势。在初始阶段, 当 NSM 用量逐渐增加时, 树脂吸油率有增大的趋势。这是因为 NSM 为产物提供纤维素骨架结构, 其较多的孔洞增加了树脂比表面积, 使树脂和油性物质充分接触, 提高树脂吸油性。但是, 继续增加 NSM 用量, NSM-g-P(MMA-co-BA) 吸油率表现出下降趋势, 原因是 NSM 对三氯甲烷、二氯甲烷、甲苯、四氯化碳、乙酸乙酯的吸油率分别为 1.15 g/g、0.79 g/g、1.56 g/g、0.86 g/g、0.72 g/g, 而 NSM-g-P(MMA-co-BA) 对 5 种油性物质的吸油率分别为 31.6 g/g、36.7 g/g、24.4 g/g、18.5 g/g、32.4 g/g, 两者之间的吸油率差距较大。因此, 过度地增加 NSM 用量, 使其在 NSM-g-P(MMA-co-BA) 中质量分数较大, 树脂的吸油率必然下降。

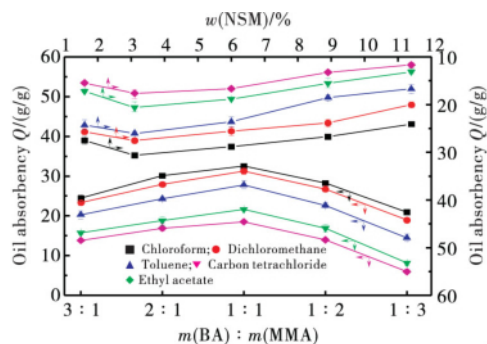


图 4 单体配比和 NSM 用量对 NSM-g-P(MMA-co-BA) 吸油率的影响

Fig. 4 Effect of monomer mass ratio and the NSM concentration on the oil absorbency of NSM-g-p(MMA-co-BA)

### 2.4 吸油动力学研究

NSM-g-P(MMA-co-BA) 对三氯甲烷、二氯甲烷、甲苯、乙酸乙酯及四氯化碳的吸油动力学曲线见图 5。由图 5 可

见,在初始阶段,树脂对5种油性物质的吸油率迅速增加,20 min内已达到最大吸油率的90%,50 min达吸附平衡。这是因为在初始阶段,油分子与树脂接触时,易发生溶剂化作用。该过程推动力主要是自由基混合和弹性形变。当溶剂化作用达到一定程度时,高分子链状结构便会发生伸展,树脂会发生溶胀变得疏松。但这种膨胀是有限的,达到一定程度时会趋于平衡,使树脂吸附也趋于平衡。NSM对三氯甲烷、二氯甲烷、甲苯、乙酸酯及四氯化碳的吸附曲线如图6所示。由图6可见,NSM对5种有机溶剂吸油率较小,吸附过程基本趋于稳定。

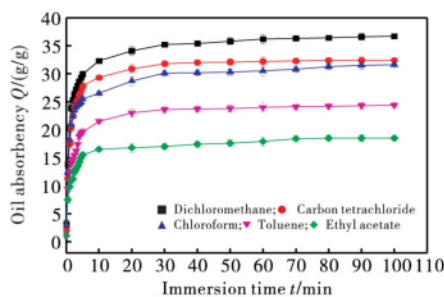


图5 NSM-g-P(MMA-co-BA)对不同油性物质的吸油率随时间变化曲线

Fig. 5 Oil absorbency of the NSM-g-p(MMA-co-BA) in different oils as a function of immersion time

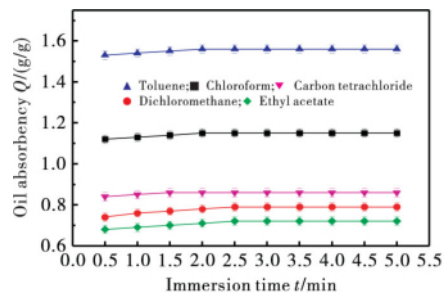


图6 NSM对不同油性物质的吸油率随时间变化曲线

Fig. 6 Oil absorbency of the NSM in different oils as a function of immersion time

对实验所得数据分别利用准一级动力学、准二级动力学

模型进行拟合分析,这两种模型的动力学方程分别为:

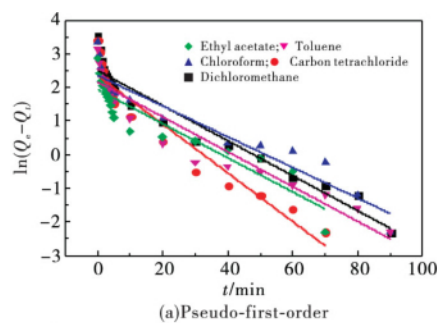
准一级动力学方程:

$$\ln(Q_e - Q_t) = \ln Q_e - k_1 t \quad (2)$$

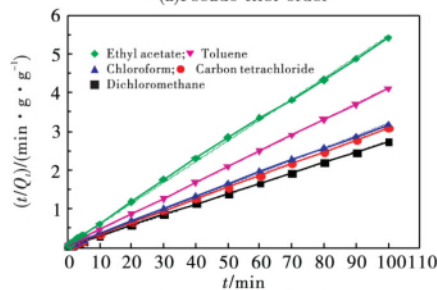
准二级动力学方程:

$$\frac{t}{Q_t} = \frac{1}{k_2 Q_e^2} + \frac{t}{Q_e} \quad (3)$$

式中: $Q_e$ 为单位树脂的平衡吸油量, $Q_t$ 为单位树脂在 $t$ 时刻时的瞬时吸油量, $k_1$ 、 $k_2$ 分别为准一级动力学的速率常数和准二级动力学的速率常数,由 $\ln(Q_e - Q_t)$ 对 $t$ 以及 $t/Q_t$ 对 $t$ 作图得到,结果见图7。由图7可见,NSM-g-P(MMA-co-BA)对5种油性物质吸油过程的拟合线性关系准二级动力学明显优于准一级动力学。



(a)Pseudo-first-order



(b)Pseudo-second-order

图7 NSM-g-P(MMA-co-BA)对不同油性物质的吸油动力学

Fig. 7 Absorption kinetics of the NSM-g-p(MMA-co-BA) in different oils

表1为拟合得到的动力学参数及线性相关系数。其中 $Q_{cal}$ 为单位树脂平衡吸油量的理论计算值, $Q_{exp}$ 为单位树脂平衡吸油量的实际实验值。

表1 NSM-g-P(MMA-co-BA)吸附不同油性物质的动力学参数

Table 1 Kinetic adsorption parameters of the NSM-g-p(MMA-co-BA) for different oils

Oil	$Q_{exp}$ $g \cdot g^{-1}$	Pseudo-first-order			Pseudo-second-order		
		$k_1/(g \cdot g^{-1} \cdot \min^{-1})$	$Q_{cal}/(g \cdot g^{-1})$	$R^2$	$k_2/(g \cdot g^{-1} \cdot \min^{-1})$	$Q_{cal}/(g \cdot g^{-1})$	$R^2$
Chloroform	31.6	0.0456	10.5	0.9098	0.0269	31.6	0.9998
Dichloromethane	36.7	0.0521	12.2	0.9377	0.0247	36.9	0.9999
Toluene	24.4	0.0518	8.6	0.9176	0.0323	24.6	0.9996
Ethyl acetate	18.5	0.0507	6.9	0.8524	0.0384	18.6	0.9998
Carbon tetrachloride	32.4	0.0723	10.6	0.9201	0.0336	32.7	0.9994

由表1可见,准二级动力学方程拟合的线性相关系数均在0.999以上,明显高于准一级动力学方程的拟合系数;此

外,通过准二级动力学方程得到的理论值 $Q_{cal}$ 与实验值 $Q_{exp}$ 相近,而准一级动力学两者相差较大。这是因为准一级动力



学模型一般只适用于简单吸附过程,是由单因子决定反应速率的动力学模型,而准二级动力学模型包含吸附的全过程,其反应速率是由多种因素决定的。综上所述,树脂对这 5 种油性物质的吸附过程与准二级动力学模型相符。通过比较速率常数  $k_2$  可得,NSM-g-P(MMA-co-BA)对这 5 种油性物质吸附速率大小为:乙酸乙酯>四氯化碳>甲苯>三氯甲烷>二氯甲烷。

### 2.5 NSM-g-P(MMA-co-BA)对工业机油、油水混合物和水的吸附

工业机油(润滑油)一般由基础油和添加剂两部分组成。基础油组成成分一般为烷烃(直链、支链、多支链)、环烷烃(单环、双环、多环)、芳烃(单环芳烃、多环芳烃)、环烷基芳烃等化合物,这些化合物体内含有较多的非极性疏水基团和亲油基团。NSM-g-P(MMA-co-BA)对机油、油水混合物和水的吸附曲线见图 8。

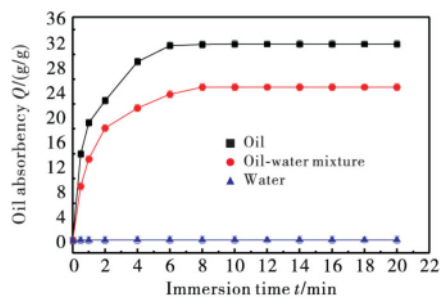


图 8 NSM-g-P(MMA-co-BA) 在工业机油、油水和水中的吸油率随时间变化曲线

Fig. 8 Oil absorbency of the NSM-g-p(MMA-co-BA) in industrial engine oil, oil/water and water as a function of immersion time

由图 8 可见,在初始阶段 0~2 min 间,树脂对机油吸附率增加较快;4 min 已达到最大吸油率的 90%,8 min 达到吸附平衡状态。这是因为机油中基础油体内的基团与树脂所含基团结构、极性较为相似,使两者相互接触后迅速相容。而树脂对水吸附曲线基本无变化。进一步说明该树脂体内含有较多亲油基团和超疏水基团,是一种高疏水、高亲油性复合物。

### 3 结论

(1)以 NSM 为原料、MMA 和 BA 为反应单体、BPO 为引发剂、MBA 为交联剂,成功合成了高吸油树脂 NSM-g-P(MMA-co-BA)。通过 SEM、FTIR 分析手段对产物结构进行了表征,结果显示,产物是一种表面交联型复合物,具有较大空间网络结构,且 NSM 粉在复合物中提供稳定的骨架结构,合成产物具有很高的吸油性能。

(2)BPO、MBA、NSM 的含量以及 BA : MMA 配比与树脂的吸油性能密切相关,实验得到的最佳配方条件为:  $m(\text{BA}) : m(\text{MMA}) = 1 : 1$ , BPO 用量为 0.7% (质量分数), MBA 用量为 0.04% (质量分数), NSM 用量为 3.1% (质量分数),于 70 °C 条件下反应 70 min。该条件下合成的聚合树

脂对三氯甲烷、二氯甲烷、甲苯、乙酸乙酯及四氯化碳室温下达到最大吸油率,分别为 31.6 g/g、36.7 g/g、24.4 g/g、18.5 g/g、32.4 g/g。吸油动力学研究表明 NSM-g-P(MMA-co-BA)对 5 种油性物质吸附过程符合准二级动力学模型,达到平衡吸油时间约为 50 min,吸油速率大小为:乙酸乙酯>四氯化碳>甲苯>三氯甲烷>二氯甲烷。该树脂对工业机油、油水混合物和水的最大吸油率分别为 31.7 g/g、24.7 g/g、0.09 g/g。

(3)NSM-g-P(MMA-co-BA)是一种高性能吸油树脂,吸油速率快、吸油率大、密度小,且易于制备。其在石油泄漏、油品回收、净化水质等领域有着潜在应用,也使得废弃的白刺籽粕得到有效利用。

### 参考文献

- 1 Wang J T, et al. Preparation and properties of kapok fiber enhanced oil sorption resins by suspended emulsion polymerization[J]. J Appl Polym Sci, 2013, 127(3): 2184
- 2 Li N, Li T, Lei X M, et al. Preparation and characterization of porous PDMS beads for oil and organic solvent sorption[J]. Polym Eng Sci, 2014, 54(12): 2965
- 3 Yin G Q, Cui Y D, Liao L W, et al. The synthesis, properties and application of high oil absorption resin [J]. Gunagzhou Chem Ind, 2002, 30(4): 123 (in Chinese)  
尹国强, 崔英德, 廖列文, 等. 高吸油树脂的合成、性能与应用[J]. 广州化工, 2002, 30(4): 123
- 4 Xu P Y, Shan G R, Huang Z M, et al. Synthesis and properties of high oil absorption resins with physical crosslinking[J]. Chem Rea Eng Techn, 2002, 18(2): 134 (in Chinese)  
徐萍英, 单国荣, 黄志明, 等. 含物理交联高吸油树脂的合成和吸油性能[J]. 化学反应工程与工艺, 2002, 18(2): 134
- 5 Xu P Y, Shan G R, Weng Z X, et al. The physical crosslinking in the oil absorption resin[J]. J Funct Mater, 2002, 33(6): 601 (in Chinese)  
徐萍英, 单国荣, 翁志学, 等. 吸油树脂中的物理交联[J]. 功能材料, 2002, 33(6): 601
- 6 Halidan Mamat, Kurbanjian Rouzi. Characterization and performance of graft butyl methacrylate-cellulose copolymer as oil absorbent [J]. Petrochem Techn, 2010, 39(12): 1374 (in Chinese)  
哈丽丹·买买提, 库尔班江·肉孜. 纤维素-甲基丙烯酸丁酯接枝聚合吸油材料的表征及其吸油性能[J]. 石油化工, 2010, 39(12): 1374
- 7 Wang J T, Zheng Y, et al. Coated kapok fiber for removal of spilled oil[J]. Mar Pollut Bull, 2013, 69(1-2): 91
- 8 Feng Y Z, et al. Research progress in the major functional components of Nitraria. L and latest progress in their function [J]. Sci Techn Food Ind, 2010, 31(7): 371 (in Chinese)  
冯云子, 等. 白刺主要功能性成分及其功效研究进展[J]. 食品工业科技, 2010, 31(7): 371

(下转第 42 页)

wood-flour/HDPE composites[J]. Appl Polym Sci, 2004, 93:1021

6 Chen Guochang, Li Chaoqin, Liu Li, et al. Effects of compatilizer on performances of polypropylene/wood powder composite materials[J]. Plastic, 2005, 34(2): 67 (in Chinese)  
陈国昌, 李超勤, 刘莉, 等. 相容剂对聚丙烯/木粉复合材料的影响[J]. 塑料, 2005, 34(2): 67

7 Huang Li, Bai Huiyu, Jiang Zhiguo, et al. Effects of surface modifier on mechanical property of plant fibre/polypropylene composites [J]. J Beijing University of Chemical Technology, 2001, 28(3): 85 (in Chinese)  
黄丽, 白绘宇, 姜志国, 等. 表面改性剂对植物纤维/聚丙烯复合材料力学性能的影响[J]. 北京化工大学学报, 2001, 28(3): 85

8 Han G, Lei Y, Wu Q, et al. Bamboo-fiber filled high density polyethylene composites: Effect of coupling treatment and nanoclay[J]. J Polym Environment, 2008, 16(2): 123

9 中国国家标准化管理委员会. GB/T 1040-1992 塑料拉伸性能试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1992

10 中国国家标准化管理委员会. GB/T 9341-2000 塑料弯曲性能试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2000

11 中国国家标准化管理委员会. GB/T 1043-1993 硬质塑料简支梁冲击试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1993

12 Du Haiyan, Li Gengshen, Sun Jiayue. Preparation of no grinding long after glow SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>: Eu<sup>2+</sup>, Dy<sup>2+</sup> material by

microwave combustion method[J]. Rare Earths, 2007, 25 (1): 19

13 Yuan Ying, Shi Huisheng. The research of effect factors on strontium aluminate europium intensity and after glow phosphors [J]. J Tongji University, 1998, 26(2): 185 (in Chinese)  
袁莹, 施惠生. 影响铝酸锶荧光粉光强因素及其余辉的研究[J]. 同济大学学报, 1998, 26(2): 185

14 John M J, Anandjiwala R D. Recent developments in chemical modification and characterization of natural fibre-reinforced composites[J]. Polym Compos, 2008, 29(2): 187

15 Franco-Marquès E, Resplandis J B, González J A, et al. Influence of coupling agents in the preparation of polypropylene composites reinforced with recycled fibers[J]. Chem Eng J, 2011, 166: 1170

16 Xu Y, Chung D L. Carbon fiber reinforced cement improved by using silane-treated carbon fibers[J]. Cem Concr Res, 1999, 29: 773

17 Yu Wenji, Yu Yanglun, Jiang Zehui. The characteristics of materials strengthened with bamboo fiber[J]. J Southeast Forestry University, 2006, 34(4): 326 (in Chinese)  
于文吉, 余养伦, 江泽慧. 竹材纤维增强材料的特性[J]. 东北林业大学学报, 2006, 34(4): 326

(责任编辑 余 波)

(上接第 32 页)

9 Tu B Y, Jia M H, Li L X, et al. Study on plant oil body and its structural proteins [J]. J Anhui Agric Sci, 2011, 39 (10): 5689 (in Chinese)  
屠宝玉, 贾美慧, 李立新, 等. 植物油体及其结构蛋白研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(10): 5689

10 Liu C F, Xu F, Sun J X, et al. Physicochemical characterization of cellulose from perennial ryegrass leaves (lolium perenne)[J]. Carbohydr Res, 2006, 341(16): 2677

11 Liang R, Yuan H B, Xi G X, et al. Synthesis of wheat straw-g-poly (acrylic acid) superabsorbent composites and release of urea from it[J]. Carbohydr Polym, 2009, 77(2): 181

12 Halidan Mamat, A Blimiti, Kurbanjian Rouzi, et al. Lipase-catalyzed synthetic cellulose-butyl methacrylate graft polymerization absorbing material[J]. Polym Bull, 2011, 23 (5): 72 (in Chinese)

哈丽丹·买买提, 阿不利米提, 库尔班江·肉孜, 等. 脂肪酶催化合成纤维素-甲基丙烯酸丁酯接枝聚合吸油材料[J]. 高分子通报, 2011, 23(5): 72

13 Shan G R, Xu P Y, Weng Z X, et al. Comparison of totally chemical crosslinking and partially physical crosslinking of high oil absorption resins[J]. Acta Polym Sinica, 2003, 46 (1): 54 (in Chinese)  
单国荣, 徐萍英, 翁志学, 等. 单一化学交联与物理-化学复合交联高吸油树脂的比较[J]. 高分子学报, 2003, 46(1): 54

14 Ding L, Li Y, Jia D, et al. β-Cyclodextrin-based oil-absorbents: Preparation, high oil absorbency and reusability[J]. Carbohydr Polym, 2011, 83(4): 1990

15 Gao J Z, Li X F, Lu Q F, et al. Synthesis and characterization of poly (methylmethacrylate-butyl acrylate) by using glow-discharge electrolysis plasma[J]. Polym Bull, 2012, 68 (1): 45

(责任编辑 杨 霞)