

玉米醇溶蛋白磁性聚合物凝胶的制备及性能研究

王发伟, 王建凤, 魏玉娟, 何玉凤, 宋鹏飞, 王荣民*

(生态功能高分子材料教育部重点实验室, 甘肃省生态环境高分子材料重点实验室,
西北师范大学化学化工学院, 兰州 730070)

摘要: 油污染是环境污染中存在的重要问题, 含油废水的处理已成为世界范围的挑战。目前, 吸油材料主要由合成聚合物组成, 其难以降解并会造成二次污染。作为廉价的天然聚合物, 玉米醇溶蛋白是基于氨基酸的植物蛋白, 具有生物相容性和生物可降解性, 研究发现玉米醇溶蛋白可用于制备食用复合材料和控释材料。本文以玉米醇溶蛋白和聚乙烯醇(PVA)为原料, 采用溶胶-凝胶法, 制备了玉米醇溶蛋白基聚合物凝胶。采用原位沉淀法引入 Fe_3O_4 , 并通过硅烷偶联剂进一步进行表面改性, 制备了玉米醇溶蛋白基磁性聚合物凝胶。通过 FT-IR、SEM 和 TG 等对其形貌和结构进行了表征。结果发现, 聚合物凝胶具有多层网状结构, 接触角为 132.77° 。改性凝胶具有显著的油水分离能力, 且具有磁易分离的特点, 可为水处理和环境保护提供一种有效且环境友好的吸附材料。

关键词: 天然高分子; 玉米醇溶蛋白; 凝胶; 油水分离材料

近年来, 环境问题日益加剧, 特别是水污染问题, 逐渐成为人类社会长期可持续发展的严重威胁^[1,2]。随着石油开采、运输和储存过程中频发的溢油事故以及工业和日常生活中废水的大量排放造成了水体的严重污染。因此, 含油废水的处理已成为世界性的挑战, 已有一些方法从水中提取油或实现油水分离^[3]。目前, 对于溢油事件的处理方法主要有自然处理法、控制燃烧法、溢油分散法、沉淀法、生物复原法及吸附材料法等。其中, 具有三维多孔结构的吸油材料被认为是一种非常有效的溢油处理方法, 不仅可解决溢油对其周边环境造成的污染, 而且还可回收部分油品, 减少能源的损失。目前, 吸油材料主要以合成高分子为主^[4,5], 具有易加工、吸油能力较强等优点, 但大部分合成高分子不具有生物降解性, 且不易分离, 吸油后的废弃材料对环境又会造成二次污染。因此, 制备可生物降解且易分离的环境友好型材料的研究逐渐受到关注。玉米醇溶蛋白(Zein)具有较强的疏水性和独特的溶解特性, 作为生物相容、可再生的天然高分子, 具有广阔的应用前景^[6]。使用磁性颗粒可通过外加磁场控制其运动方向, 有助于吸附分散的油污或水分, 并快速完成最终的分离^[7]。本文选用玉米淀粉加工中的副产物 Zein 为原料, 结合成胶性良好的聚乙烯醇(PVA)、磁性 Fe_3O_4 及硅烷偶联剂(KH570)制备具有疏水表面的 Zein 磁性聚合物凝胶, 并用于油水分离性能的研究。其可生物降解、易分离, 在油水分离材料领域具有广阔的应用前景。

1 实验部分

1.1 仪器及试剂

真空干燥箱(DZF-1B, 上海跃进医疗器械厂); 电热恒温鼓风干燥箱(DHG-101-4A, 巩义市予华仪器有限公司); 电子天平(BS110S, 北京赛多利斯天平有限公司); 傅里叶变换红外光谱仪(FT-IR, FTS3000, 美国 DigiLAB Merlin), 测试范围为 $4000 \sim 400\text{cm}^{-1}$; 场发射扫描电子显微镜(SEM, ULTRA PLUS, Zeiss Company in Germany); 热分析仪(TG-DTA, Pyris Diamond 型, PerkinElmer), N_2 保护, 升温范围为 $25^\circ\text{C} \sim 600^\circ\text{C}$, 升温速度为 $10^\circ\text{C}/\text{min}$; 接触角测试仪(Contact Angle Measuring System, SL200B 型, 美

10.14028/j.cnki.1003-3726.2020.08.004

收稿: 2019-09-11; 修回: 2020-05-23;

基金项目: 国家自然科学基金(21364012, 21865030);

* 通讯联系人: 王荣民, 男, 教授, 主要从事环境友好高分子研究。Tel/Fax.: +86-931-7970358; E-mail: wangrm@nwnu.edu.cn.

©1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

国科诺工业有限公司);X-射线衍射仪(XRD,D/max-2400,日本理学电机株式会社);全自动双站比表面和微孔孔径分析仪(BET,Autosorb-iQ2-MP,美国康塔)。

玉米醇溶蛋白(Zein):Sigma 公司;聚乙烯醇(PVA):启东精细化工二厂; $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$:中国莱阳市双双化工有限公司; $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$:烟台市双双化工有限公司;KH570:南京曙光硅烷化工有限公司;苏丹红 III:上海中秦化学试剂有限公司;柴油、菜籽油:市售;真空泵油:北京市四方特种油品厂(实验用其废弃泵油);正己烷、氯仿、甲苯:北京市化工厂。除柴油、菜籽油和真空泵油外,其它试剂均为分析纯,实验用水为蒸馏水。

1.2 疏水性玉米醇溶蛋白磁性聚合物凝胶的制备

1.2.1 玉米醇溶蛋白磁性聚合物水凝胶的制备 玉米醇溶蛋白聚合物水凝胶(ZePHGel)的制备:称 1g Zein 于 50mL 圆底烧瓶中,加入 40mL pH=13 的 NaOH 溶液,室温搅拌 5min,得均匀淡黄色的 Zein 分散液。再在其中加入 2g PVA,继续磁力搅拌并升温至 85°C ,2h 后,冷却至室温,在冰箱冷冻-解冻 3 次,形成柱状玉米醇溶蛋白聚合物水凝胶(ZePHGel)。

原位沉淀磁性氧化铁:将玉米醇溶蛋白聚合物水凝胶浸泡在 20mL 含亚铁与三价铁盐(1.00g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ +1.95g $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)的混合水溶液中,5min 后,磁力搅拌,用滴液漏斗将 4mL 浓 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 缓慢滴加其中,溶液从橙红色逐渐变为黑色。然后,继续搅拌 15min 后,滤出柱状水凝胶,用水洗至洗出液为中性,即得柱状玉米醇溶蛋白磁性聚合物水凝胶(ZePFeHGel)。

1.2.2 疏水性玉米醇溶蛋白磁性聚合物凝胶的制备 在锥形瓶中,将 7mL KH570 溶于 33mL 无水乙醇,将上述柱状玉米醇溶蛋白磁性聚合物水凝胶直接浸泡其中,室温下震荡 3h,取出水凝胶,干燥 24h,即得疏水性玉米醇溶蛋白磁性聚合物凝胶(ZePSiFeGel)。

对照样为 ZePSiGel,其制备过程同上,其中改性材料为上述的 ZePHGel。

2 结果与讨论

2.1 疏水性玉米醇溶蛋白磁性聚合物凝胶的制备

水凝胶是一种具有网状结构的高分子材料,因其在组织工程、伤口敷料、疾病诊断与治疗等领域具有重要的应用价值,相关研究有显著进展^[8]。基于本课题组高分子水凝胶的制备技术^[9],通过物理交联可将 Zein 和 PVA 有效复合,可制备成胶性优异的水凝胶。在水凝胶中引入 Fe_3O_4 ,从而可赋予材料磁性和疏水所需的粗糙度。进一步用低表面能的 KH570 为改性剂,在 ZePFeHGel 的内外表面发生脱水缩合反应,使其内外表面链接疏水性基团,得到 ZePSiFeGel,其疏水改性机理如图 1 所示。KH570 中的 $-\text{Si}(\text{OCH}_3)_3$ 水解成 $-\text{Si}(\text{OH})_3$,然后与水凝胶表面的 $-\text{OH}$ 发生脱水缩合反应,将疏水性基团(烷基)接于凝胶表面,形成包裹覆盖^[10],最终将超亲水的水凝胶成功进行疏水改性。

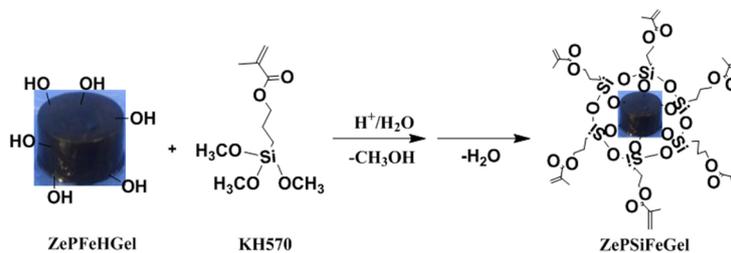


图 1 ZePFeHGel 疏水改性机理图

Figure 1 The hydrophobic modification of ZePFeHGel

2.2 ZePSiFeGel 的 BET 分析

BET 用于分析样品改性前后比表面积、孔体积、孔径等的变化,结果如表 1 所示。从表中可以看出

ZePSiFeGel(a)和 ZePHGel(b)均为介孔材料,改性后 ZePSiFeGel 相比于 ZePHGel 比表面积、孔径、孔体积、孔隙率均得到大幅提高,这有利于其对油品的吸附。

表 1 ZePSiFeGel 和 ZePHGel 的比表面积、孔容、孔径和孔隙率

Table 1 Specific surface area, pore volume, pore size and porosity of ZePSiFeGel and ZePHGel

	比表面积(m ² /g)	孔径/nm	孔容(cm ³ /g)	孔隙率/%
ZePSiFeGel	22.877	18.52	0.106	1.38
ZePHGel	2.498	10.32	0.006	0.16

2.3 KH570 浓度及处理时间对材料吸油增重率的影响

选择柴油为吸附对象,考察 KH570 浓度和硅烷化改性时间对 ZePSiFeGel 吸油效果的影响,结果如图 2 所示。发现 KH570 体积分数为 17.5% 时,最有利于浸润;吸油增重率最大,其值为 40.9%。处理时间为 3h 时,吸油增重率最大,其值为 40.6%。说明 KH570 体积分数为 17.5%,处理时间为 3h 时,最有利于 KH570 在 Fe₃O₄ 表面接枝,进而有利于吸附油品。这是因为 KH570 对凝胶改性后降低了材料的表面能,使得油品与凝胶表面涂层有更好的化学相容性,从而提高了凝胶的吸油能力。

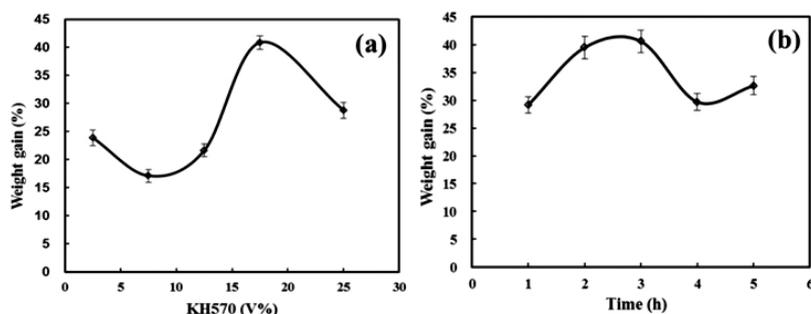


图 2 KH570 浓度(a)和处理时间(b)对吸油增重率的影响

Figure 2 The effect of KH570 concentration (a) and processing time (a) on weight gain

2.4 接触角测试

图 3 为 ZePHGel(a)、ZePFeHGel(b)、ZePSiGel(c)、ZePSiFeGel(d)在空气中与水的接触角测试对比图(右上角为其宏观照片)。如图 3(a)所示,ZePHGel 接触角几乎为 0°,水滴下落后迅速下沉且被材料表面吸附,由于 ZePHGel 表面具有大量的亲水基团,导致其呈现超亲水性。ZePFeHGel 接触角为 30.70°(见图 3(b)),水滴下落后迅速下沉且在材料表面形成较大的扩散半径,ZePFeHGel 表面原位生长的 Fe₃O₄,增加了其表面粗糙度,使接触角增大。ZePSiGel 接触角为 82.31°(见图 3(c)),水滴下落后下沉较慢,扩散半径减小,KH570 改性后赋予了其低表面能,使其接触角增大。在图 3(d)中,赋予凝胶粗糙的表面结构与低表面能,其接触角增大至 132.77°,远高于 ZePHGel、ZePFeHGel、ZePSiGel,且在材料表面形成了圆润的水珠,说明通过 Fe₃O₄ 和 KH570 改性,凝胶由超亲水转变为疏水性,表明疏水性吸油材料制备成功。

2.5 红外光谱

图 4 为 ZePSiFeGel、Zein、PVA、Fe₃O₄ 以及反应中间体 ZePHGel 的红外光谱。对比 Zein 和 PVA, ZePHGel 的谱图中,3244cm⁻¹、2912cm⁻¹处出现了 O—H 和 C—H 的伸缩振动峰(与 Zein 和 PVA 一致);在 1651cm⁻¹、1527cm⁻¹、1404cm⁻¹处出现 Zein 中酰胺 I、II、III 带的特征吸收峰(与 Zein 一致);在 1068cm⁻¹、812cm⁻¹处出现了 C—O 键和氢键的特征吸收峰(与 PVA 一致)。对比 Fe₃O₄ 和 ZePSiFeGel 谱图,发现 3238cm⁻¹为吸附在 Fe₃O₄ 表面—OH 的伸缩振动吸收峰^[11],1697cm⁻¹左右为 KH570 中双键的特征峰^[12];而在 Fe₃O₄ 中,559cm⁻¹左右 Fe—O 键的吸收峰消失并在 1082cm⁻¹、646cm⁻¹处出现了

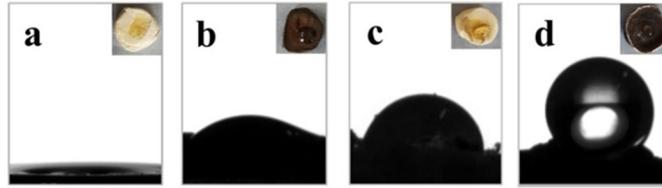


图 3 ZePHGel, ZePFeHGel, ZePSiGel, ZePSiFeGel 在空气中对水的接触角测试图

Figure 3 Test diagram of contact angle of water in air by ZePHGel, ZePFeHGel, ZePSiGel and ZePSiFeGel

Fe—O—Si 中 Si—O 和 Fe—O 键的特征吸收峰,另外 455cm^{-1} 附近出现了 O—Si—O 的弯曲振动峰。说明 Zein 和 PVA 通过氢键复合成功形成水凝胶, KH570 与 Fe_3O_4 中—OH 的结合使其表面改性成功。

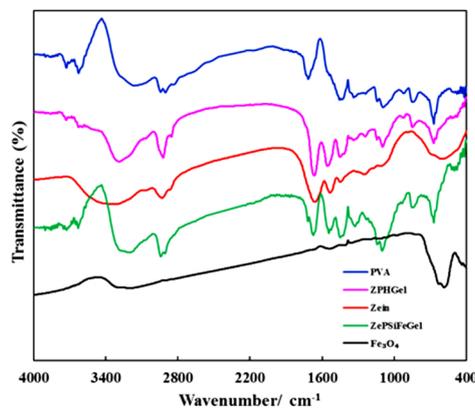


图 4 ZePSiFeGel 及原料的 FT-IR 谱图

Figure 4 The FT-IR spectra of ZePSiFeGel and raw materials

2.6 形貌

通过 SEM 观察所制备的 Fe_3O_4 、ZePHGel、ZePFeHGel 和 ZePSiFeGel 的微观形貌及结构(见图 5)。从图中可以看出,材料为多孔网状结构,这有利于组分的吸收。结合图中的一些高分子丝状物出现并且存在 Fe_3O_4 颗粒,可认为是 KH570 成功与沉积在复合水凝胶网络中的 Fe_3O_4 接枝并发生自交联,使 KH570 的疏水基团嫁接于复合水凝胶表面,部分 Fe_3O_4 颗粒为构筑疏水表面提供了粗糙度,这均有利于疏水表面的形成,并且 ZePFeHGel 中的 Fe_3O_4 分布均匀。图 5(e)是 ZePFeHGel 凝胶的磁性测试,发现磁铁可将其吸起,说明 Fe_3O_4 颗粒成功负载在凝胶上,且磁性较好,可磁分离回收。

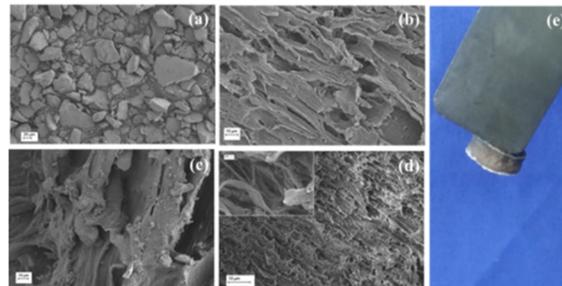


图 5 Fe_3O_4 (a)、ZePHGel(b)、ZePFeHGel(c)和 ZePSiFeGel(d)的 SEM 图、ZePSiFeGel 的磁性测试图(e)

Figure 5 The SEM images of Fe_3O_4 (a), ZePHGel (b), ZePFeHGel (c) and ZePSiFeGel (d), Magnetic test chart of ZePSiFeGel (e)

2.7 热重分析

ZePSiFeGel 以及原料 Zein、PVA、 Fe_3O_4 的热重分析结果如图 6 所示。可以看出： Fe_3O_4 几乎不分解。对比 ZePSiFeGel 及原料的曲线，从室温到 100°C 之间都有部分失重（约 6%），这主要是其中自由水以及结合水的失去；在 Zein 的曲线中，从 230°C 到 470°C ，失重主要是 Zein 的分解（约 60%）；在 PVA 的曲线中，从 280°C 到 480°C ，有两部分失重（约 65%），这主要是 PVA 的熔融和分解所致；在 ZePSiFeGel 的曲线中，从 250°C 到 470°C 的失重，主要是 Zein 和 PVA 均发生分解；对比纯 PVA 的曲线，引入的 Zein 与 PVA 形成氢键打乱了 PVA 的规整排列，使熔点和分解温度降低^[13]。在 470°C 后，大部分样品都发生了降解，但每种样品仍有部分残留，约为 25%，主要是不易分解的 Fe_3O_4 和高温蛋白质的碳化。

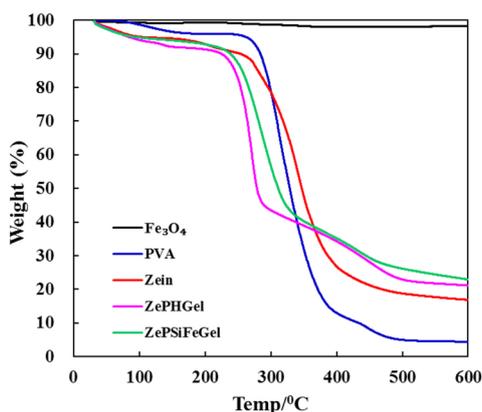


图 6 原料(Zein、PVA、 Fe_3O_4)及产物(ZePSiFeGel)的热失重曲线

Figure 6 The TG curves of raw materials (Zein, PVA, Fe_3O_4) and products (ZePSiFeGel)

2.8 XRD 分析

如图 7 为 ZePSiFeGel 及原料 Zein、 Fe_3O_4 的 X-射线衍射图(XRD)， 2θ 测定范围是 5° 到 80° ，扫描速度是 $4^\circ/\text{min}$ 。从图中观察到 ZePSiFeGel 中， 2θ 为 30° 、 35° 、 43° 、 50° 、 58° 、 63° 时，分别出现了原料 Fe_3O_4 的(220)、(311)、(400)、(422)、(511)及(440)晶面衍射峰，这是 Fe_3O_4 重要的特征衍射峰^[14]，说明 ZePSiFeGel 中存在 Fe_3O_4 晶体。Zein 在 2θ 为 10° 和 20° 出现的两个宽峰分别与 Zein 中 α -螺旋和 β -折叠结构有关^[15]。同时，在 2θ 为 33° 、 45° 处发现两个尖峰，与文献结果^[16] 不太相符，可能是原料 Zein 特有晶型造成的。上述 4 个特征峰均在 ZePSiFeGel 中出现。

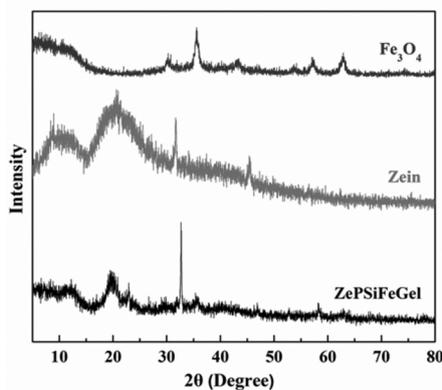


图 7 原料(Zein、 Fe_3O_4)及产物(ZePSiFeGel)的 XRD 图

Figure 7 The XRD of raw materials (Zein, Fe_3O_4) and products (ZePSiFeGel)

2.9 吸油性能

选用柴油、菜籽油、真空泵油、正己烷、氯仿和甲苯作为吸附对象,在室温下,将一定质量的吸油材料浸入各油品中直至吸附饱和后,用镊子夹出,悬挂直至无油滴滴出,用电子天平称重,重复 3 次,取其平均值,计算产品对不同油品的吸油增重率,结果如图 8 所示。结果发现 ZePSiFeGel 对真空泵油的吸油增重率最大(92.2%),对菜籽油的吸油增重率可达 61.5%,对其它油品均有较好的吸附能力。从表 2 和图 8 可看出虽真空泵油和菜籽油的密度小,但与其他油品相比其粘度较大,吸油增重率也较大;而其余四种油品粘度相差不大,但 ZePSiFeGel 对其吸油增重率随密度的增大而增大。这说明材料的吸油增重率取决于油品的密度和粘度,与文献^[17]报道一致。ZePSiFeGel 密度约为 $0.13\text{g}/\text{cm}^3$,相比于石墨烯凝胶^[18](密度为 $0.003\sim 0.01\text{mg}/\text{cm}^3$),ZePSiFeGel 的密度要大很多,使得在计算质量吸油比时结果偏低。吸油材料经处理后可重复利用,但二次吸油率降低约 20%。

表 2 不同油品的密度和粘度
Table 2 Density and viscosity of different oils

油品种类	密度(g/cm^3)	粘度($\text{mPa}\cdot\text{s}, 20^\circ\text{C}$)
正己烷	0.6594	0.307
柴油	0.81~0.86	2.43~6.88
甲苯	0.866	0.5866
氯仿	1.4840	0.563
菜籽油	0.913~0.917	64.5
真空泵油	0.874	590

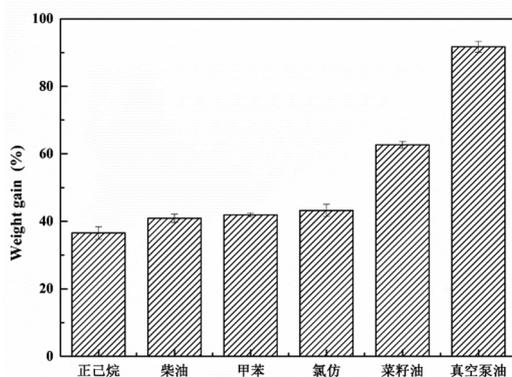


图 8 吸油材料对不同油品的最大吸油增重率对比

Figure 8 The contrast of the maximum weight gain of oil absorption materials for different oils

2.10 油水混合物分离性能测试

在石油开采和加工业生产中会排出大量含油废水,严重危害生态系统、植物、土壤、水体。在海上溢油处理中,对回收油品的进一步处理就是油水分离。含油废水中的油通常存在状态有:(1)呈悬浮状态的浮油;(2)呈乳化状态的乳化油;(3)呈溶解状态的溶解油,其中主要是表面浮油和乳化油。油在水中的溶解度很低(几毫克每升)。本文选用柴油(比水轻)和水、氯仿(比水重)和水、水中乳化油(正己烷)为对象,用苏丹红 III 染色,相同实验条件下,测试 ZePSiFeGel 对油水混合物选择性的吸附能力,结果如图 9 所示。发现 ZePSiFeGel 对 3 类油水混合物均具有良好的分离效果,并且对水中乳化油的效果尤为明显。这可能是由于 ZePSiFeGel 的密度较大,且为多孔网状结构,孔径较小,孔结构较致密可以更好捕捉水中乳化油。

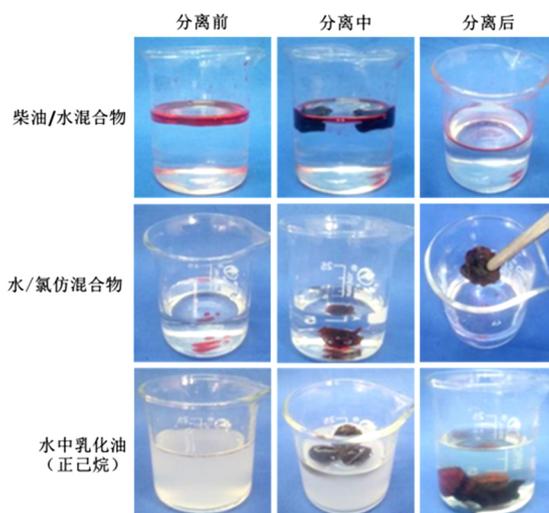


图 9 不同油水混合物分离性能测试

Figure 9 The test of different oil-water mixture separation performance

3 结论

(1) 选用廉价的天然高分子玉米醇溶蛋白为原料, 通过物理交联与 PVA 反应形成具有网状结构的水凝胶。将 Fe_3O_4 沉积在水凝胶网络及表面, 并通过表面疏水化改性, 成功制备了具有疏水性的磁性吸油材料 (ZePSiFeGel)。通过 SEM、FT-IR、TG、XRD 对样品的结构、微观形态进行了表征分析, 证实了水凝胶制备成功, 且表面被成功疏水改性;

(2) 对不同油品和油水混合物进行吸附和分离时, 发现疏水性材料对石油化工类油品和食用油均具有吸附性能, 其中对真空泵废油的吸油增重率最大, 可达 92.2%。对不同油水混合物进行分离时, 吸油材料对浮油和乳化油具有良好的分离能力, 且具有磁性, 易于分离。因此该材料有望在油水分离材料领域得到广泛的应用, 并且由于其生物相容性好, 对食用油吸附量相对较大, 也可用于食用油的回收。

参考文献:

- [1] Ge J, Zhao H Y, Zhu H W, Huang J, Shi L A, Yu S H. *Adv Mater*, 2016, 28(47):10459~10490.
- [2] Abdibattayeva M, Su X, Almatova B, Umbetbekov A, Satarbayeva A, Asanova G. *Eur J Eco*, 2019, 59(2):24~38.
- [3] Ma Q, Yu Y, Sindoro M, Fane A G, Wang R, Zhang H. *Adv Mater*, 2017, 29(13):1605361.
- [4] Bu X, Lu Y, Chen S, Li D, Zhang Z, Qian P. *Chem Eng J*, 2019, 355:299~308.
- [5] Huang H, Liu M, Li Y, Yu Y, Yin X, Wu J, Chen S, Xu J, Wang L, Wang H. *J Mater Sci*, 2018, 53(18):13243~13252.
- [6] 杨艳丽, 何玉凤, 刘洁, 王荣民. *化学通报*, 2014, 77(8):771~777.
- [7] 吕晓书, 张贤明, 熊昆, 蒋光明. *水处理技术*, 2016, 42(12):4~7.
- [8] Fu J, Panhuis M. J. *Mater Chem B*, 2019, 7(10):1523~1525.
- [9] 王燕. 玉米醇溶蛋白基复合凝胶的制备及其药物释放性能研究. 兰州: 西北师范大学, 2014.
- [10] 侯雷, 徐如栗, 于书尧, 刘建国. *环境科学学报*, 2016, 36(3):960~965.
- [11] Meng H, Zhang Z, Zhao F, Qiu T, Yang J. *Appl Surf Sci*, 2013, 280:679~685.
- [12] 汪慧. SiO_2 气凝胶/苯丙原位复合乳液的制备及其在隔热涂料中的应用. 广州: 广东工业大学, 2011.
- [13] 张瑜. 聚乙烯醇的改性与应用. 合肥: 合肥工业大学, 2010.
- [14] Zhang B, Wang Q. *J Agr Food Chem*, 2012, 60(16):4162~4169.
- [15] Han Y L, Xu Q, Lu Z Q, Wang J Y. *Colloid Surf B*, 2014, 120:55~62.
- [16] Ren F, Fu J, Xiong H, Cui L, Ren G, Guan H, Jing Q. *J Pharm Sci-us*, 2018, 107(1):239~249.

[17] Duong H T T, Burford R P. *J Appl Polym Sci*, 2006, 99(1):360~367.

[18] Zhao D, Yu L, Liu D. *Materials*, 2018, 11(4): 641.

Preparation and Properties of Zein-based Magnetic Polymer Gel

WANG Fa-wei, WANG Jian-feng, WEI Yu-juan, HE Yu-feng, SONG Peng-fei, WANG Rong-min*

(Key Laboratory of Eco-functional Polymer Materials of the Ministry of Education, Key Laboratory of Eco-environmental Polymer Materials of Gansu Province, College of Chemistry & Chemical Engineering, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Oil pollution is of great significance in environmental pollution. Therefore, the disposal of oily wastewater has become a worldwide challenge. At present, oil-absorbing materials are mainly composed of synthetic polymers, which is difficult to degrade to cause secondary pollution. As an inexpensive natural polymer, zein is an amino acid-based vegetable protein with biocompatibility and biodegradability. We found that zein can be used to prepare edible composites and controlled release materials. Herein, using sol-gel method, the zein-based polymer gel was prepared by zein and poly (vinyl alcohol) (PVA). With further surface modification by silane coupling agent and in-situ precipitation for introducing Fe_3O_4 , the zein-based magnetic polymer gel was successively prepared. Its morphology and structure were characterized by FT-IR, SEM and TG. It indicated that the polymer gel had a multi-layered network structure and the contact angle was 132.77° . The modified gel has significant capabilities of oil-water separation and magnetic separation, which will provide efficient and environmentally friendly Environmentally friendly adsorption materials for water treatment and environmental protection.

Key words: Natural polymers; Zein; Gel; Oil absorbing materials