

污水处理材料聚乙烯醇缩甲醛的制备

杨文玲,王妨茶

(河北科技大学化学与制药工程学院,河北石家庄 050018)

摘要:为了研究制备污水处理材料聚乙烯醇缩甲醛(简称 PVFM)的最佳操作条件,采用机械打泡法和化学发泡法,通过单因素实验和正交试验,考察原料用量、反应时间以及反应温度等因素对 PVFM 制备的影响,并利用 SEM 对材料进行检测,通过污水处理对比实验,探究材料的污水处理性能。结果表明,在聚乙烯醇(简称 PVA)质量分数为 9%(50 mL)、纤维素用量为 0.4 g、硫酸用量为 6 mL、甲醛用量为 6 mL、十二烷基磺酸钠用量为 0.4 g、碳酸钙用量为 0.8 g、反应温度为 30 ℃、硫酸滴加时间为 9 min、甲醛滴加时间为 4 min、固化时间为 8 h 的条件下,制得的 PVFM 材料理化性能良好,而且 PVFM 材料对模拟废水 COD 和氨氮都有较好的去除效果。采用机械打泡法和化学发泡法可制得性能良好的污水处理材料 PVFM。

关键词:高分子合成化学;污水处理材料;悬浮填料;聚乙烯醇缩甲醛;PVFM

中图分类号:TQ326.9 **文献标志码:**A

Preparation of sewage treatment material PVFM

YANG Wenling, WANG Fangcha

(School of Chemical and Pharmaceutical Engineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang, Hebei 050018, China)

Abstract: In order to study the optimal operating condition of the sewage treatment material PVFM (polyvinyl formal), the mechanical blowing method and the chemical foaming method are adopted. Single-factor experiments and orthogonal experiments are conducted to study the factors including the amount of raw materials, reaction time and reaction temperature influencing the preparation of the material PVFM. The material is characterized by SEM. The properties of the material are explored through the contrastive experiments of sewage treatment. The results show that when PVA mass concentration is 9% (50 mL), cellulose content is 0.4 g, sulfuric acid content is 6 mL, formaldehyde content is 6 mL, SDS content is 0.4 g, carbonate calcium content is 0.8 g, reaction temperature is 30 ℃, the dripping time of sulfuric acid is 9 minutes, the dripping time of formaldehyde is 4 minutes, and the curing time is 8 hours, the material has good physical and chemical property, and the results of the contrastive experiments of sewage treatment show that PVFM has good removal effects on both COD and NH_4^+-N in simulated sewage. The sewage treatment material PVFM with good properties can be obtained by the mechanical blowing method and the chemical foaming method.

Keywords: polymer synthetic chemistry; sewage treatment materials; suspended filler; polyvinyl formal; PVFM

收稿日期:2018-01-22;修回日期:2018-03-03;责任编辑:张士莹

基金项目:河北省科技厅计划项目(17273602D)

第一作者简介:杨文玲(1971—),女,山东冠县人,教授,博士,主要从事环境化工、化工分离方面的研究。

E-mail:1846732093@qq.com

杨文玲,王妨茶.污水处理材料聚乙烯醇缩甲醛的制备[J].河北科技大学学报,2018,39(2):183-190.

YANG Wenling, WANG Fangcha. Preparation of sewage treatment material PVFM[J]. Journal of Hebei University of Science and Technology, 2018, 39(2): 183-190.

悬浮填料生物膜工艺是指在污水处理过程中直接加入密度与水相近的多孔填料,利用生物负载量或者活性污泥的联合作用来达到预期的处理效果。这些填料可以在曝气状态下随水自由流动,实现自由流化^[1-3]。虽然本质属于生物膜法,但其具有独特的性质和特点。生物膜法的构成关键在于微生物群体得以挂膜的填料或载体^[4-5]。近年来,各种悬浮填料层出不穷,常见的有环状填料、柱状填料及多孔填料等^[6]。

悬浮填料作为一种新型填料,可直接投加,而且只需很小的气量即可悬浮于水中,实际生产中操作简便易行。但是在实际污水处理中这些填料容易堵塞,影响处理效果,而且价格普遍比较昂贵,难以实现规模化。王安锋^[7]以淀粉作为成孔剂制备 PVFM,得到了具有良好性能的悬浮材料;陈永等^[8]利用三聚氰胺对聚乙烯醇进行化学改性,明显改善了 PVFM 的拉伸强度和耐热性;李杰^[9]采用超声波分散的方法制得纳米凹凸棒土(AT),通过机械共混制得新型纳米生物载体 AT-PVF。

传统的污水处理材料很多不可降解,容易对周围环境造成污染。天然高分子材料对生物无毒,传质性能好,但强度低,厌氧条件下易被微生物分解,寿命短;合成高分子材料强度高,化学稳定性好,但传质性能差。因此,将天然高分子材料秸秆纤维和合成高分子材料聚乙烯醇结合形成复合型材料用来处理污水,既能有良好的传质性能,又能拥有强度高、化学稳定性好的优点。

笔者采用机械发泡法和化学发泡法来制备污水处理材料 PVFM。以 PVA 为主要原料,甲醛为交联剂,硫酸为催化剂,碳酸钙为发泡剂,利用玉米秸秆纤维素改性,研究了原料用量、反应时间以及反应温度等因素对 PVFM 材料理化性能的影响,通过单因素实验以及正交试验,对实验结果进行分析并验证,最终得到了制备 PVFM 材料的最佳操作条件,通过 SEM 观察材料的内部发泡情况。同时,通过污水处理对比实验,对 PVFM 材料的污水处理性能进行了探究。

1 PVFM 材料的制备

1.1 主要原料及仪器

PVA:型号为 17-99(H),分析纯,安徽皖维高新材料股份有限公司提供;甲醛:体积分数为 37%~40%,分析纯,天津市百世化工有限公司提供;十二烷基磺酸钠:分析纯,天津市光复精细化工研究所提供;碳酸钙:分析纯,北京益利精细化学品有限公司提供;亚氯酸钠:分析纯,天津欧博凯化工有限公司提供;冰乙酸:分析纯,天津市富宇精细化工有限公司提供。

精密增力电动搅拌器:JJ-1100W 型,江苏金坛宏华仪器厂提供;扫描电子显微镜,S-4800-I 型,日本 HI-TACHI 公司提供;微波消解仪:HJ-101W 型,青岛海晶环保检测设备有限公司提供。

1.2 实验方法

利用氢氧化钠-醋酸-亚氯酸钠法^[10-12]在玉米秸秆粉末中提取纤维素以备用。

实验步骤如下:配制 PVA 水溶液,并置于 95 °C 的烘箱中溶解;然后向反应器中依次加入纤维素、十二烷基磺酸钠以及 PVA 水溶液 50 mL,在恒温及转速 700 r/min 的条件下搅拌至白色;缓慢滴加酸性催化剂硫酸,并在转速 300 r/min 下缓慢滴加交联剂甲醛,滴加完成后调回原转速;加入发泡剂碳酸钙,待反应液体体积膨胀至最大(大约 1 min)时转入发泡模具内,放入 60 °C 的烘箱内进行固化;脱模,洗涤,放入烘箱中进行干燥,即可得到多孔材料 PVFM^[13-14]。

1.3 分析方法

1.3.1 孔隙率

材料的孔隙率越大,容积利用率就越高;但是孔隙率过高,又会导致机械强度减小。目前国内外应用的悬浮填料形状规则,孔隙率大于 90%^[15-16]。测定方法如下:割取干燥后的产品(1 cm×1 cm×1 cm 的立方小块),置于装有无水乙醇(无水乙醇体积记为 V_1)的量筒中,读取体积 V_2 。

孔隙率(ϵ ,%)计算公式如下:

$$\epsilon = (1 + V_1 - V_2) \times 100\%。$$

1.3.2 密度

载体材料的密度介于 1.0~1.2 g/cm³ 之间,最好在 1.03~1.10 g/cm³ 之间,在反应器内能较好地翻转流动,保持良好的流化状态^[17-18]。测定方法如下:割取干燥后的产品(1 cm×1 cm×1 cm 的立方小块),浸没在装有蒸馏水的量筒中,待完全膨胀后,记录量筒中水的体积变化 V ,取出产品,直至水不再大量滴落,称量产品浸水后的质量 m 。

密度($\rho, \text{g/cm}^3$)的计算公式如下:

$$\rho = \frac{m}{V}。$$

1.3.3 吸水倍率

PVFM 材料一般情况下吸水量为其质量的 6 倍~8 倍,最高可达 30 倍^[19]。测定方法如下:割取干燥后的产品(1 cm×1 cm×1 cm 的立方小块),称取质量 m_1 ,然后浸没在蒸馏水中,大约 30 min 后取出产品,直至不再大量滴水,称取质量 m_2 。

吸水倍率(χ)计算公式如下:

$$\chi = \frac{(m_2 - m_1)}{m_1}。$$

1.3.4 交联度

交联度表征高分子链的交联程度^[20]。割取干燥后的一小块产品,称取质量为 m_1 ,然后浸没在蒸馏水中,用保鲜膜封好后放入 95 °C 的烘箱中,24 h 后用镊子取出产品,将产品在 60 °C 下烘干,称取质量 m_2 。

交联度(d_c)计算公式如下:

$$d_c = \frac{m_2}{m_1} \times 100\%。$$

1.4 结果与讨论

1.4.1 单因素实验结果

在单因素实验中,以 PVA 质量浓度为第 1 个变量,实验结果依次如下:PVA 质量浓度为 9 %、纤维素用量 0.4 g、硫酸用量 6 mL、甲醛用量 5 mL、十二烷基磺酸钠用量 0.3 g、碳酸钙用量 0.7 g、硫酸滴加时间 8 min、甲醛滴加时间 4 min、反应温度 45 °C、固化时间 8 h。

1.4.2 正交试验结果分析

考察了 4 项指标:孔隙率、交联度、吸水倍率、密度。相对来说,前 3 个指标越大越好,第 4 个指标越小越好。4 个指标对材料性能的主次关系影响如下:孔隙率>密度>吸水倍率>交联度。根据单因素实验结果分析,不考虑因素之间的交互作用,最终选择的是 10 因素 3 水平正交试验,并利用综合平衡法进行结果分析,以确定最优操作条件。正交试验因素水平见表 1,因素与孔隙率关系见图 1,因素与密度关系见图 2,因素与吸水倍率关系见图 3,因素与交联度关系见图 4。

表 1 正交试验因素水平

Tab.1 Factors and levels of orthogonal experiments

水平	因素 A	因素 B	因素 C	因素 D	因素 E	因素 F	因素 G	因素 H	因素 I	因素 J
1	8	0.3	5	4	0.2	0.6	7	3	30	6
2	9	0.4	6	5	0.3	0.7	8	4	35	8
3	10	0.5	7	6	0.4	0.8	9	5	40	10

注:A~J 依次分别代表 PVA 质量分数(%),纤维素用量(g)、硫酸用量(mL)、甲醛用量(mL)、十二烷基磺酸钠用量(g)、碳酸钙用量(g)、硫酸滴加时间(min)、甲醛滴加时间(min)、反应温度(°C)、固化时间(h)。

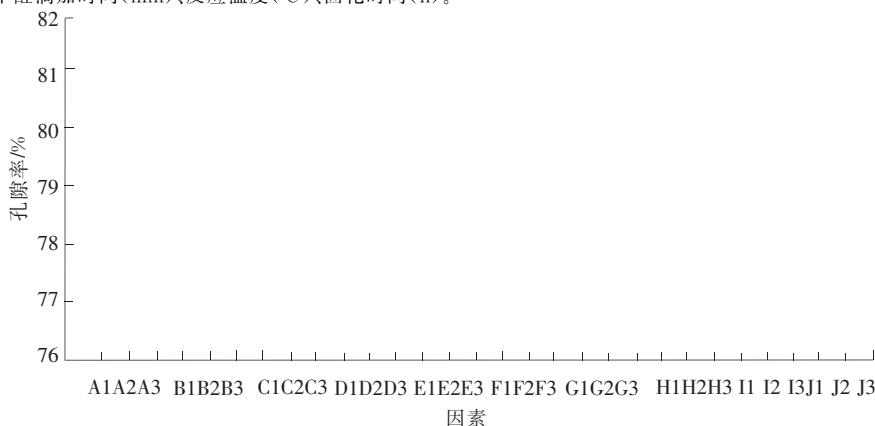


图 1 因素与孔隙率关系图

Fig.1 Relationship between factors and porosity

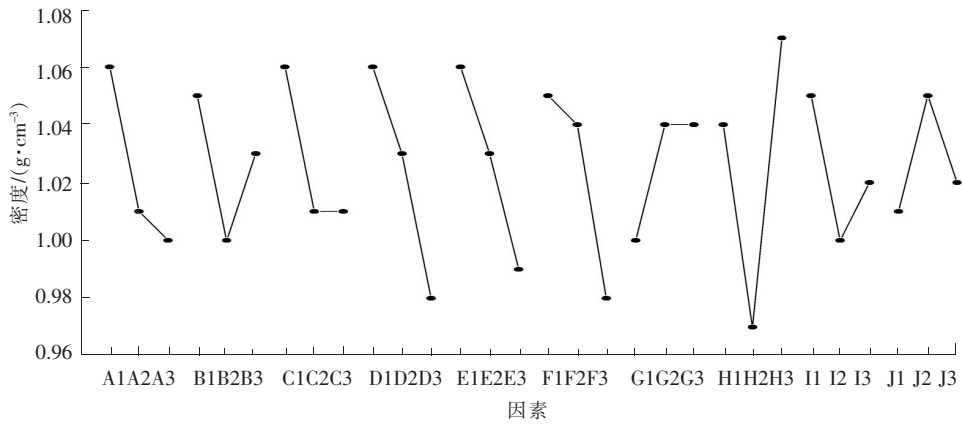


图 2 因素与密度关系图

Fig.2 Relationship between factors and proportion

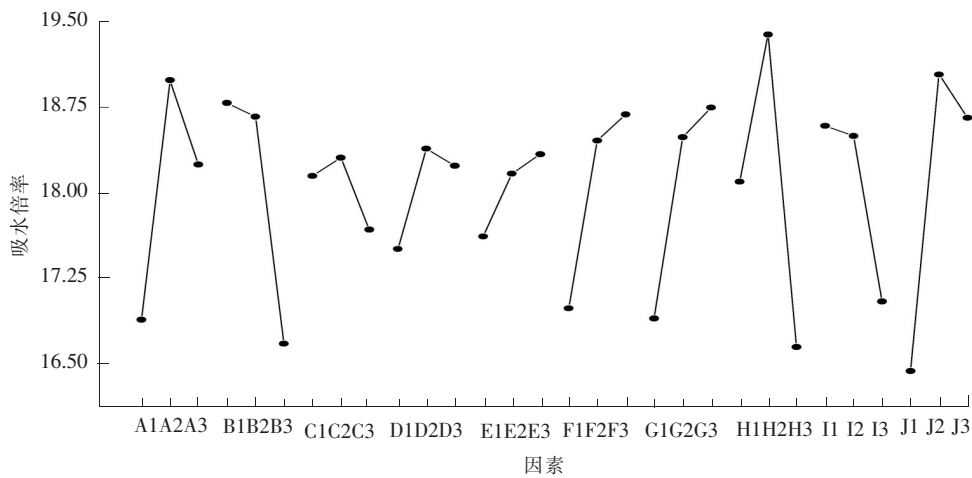


图 3 因素与吸水倍率关系图

Fig.3 Relationship between factors and water absorbency

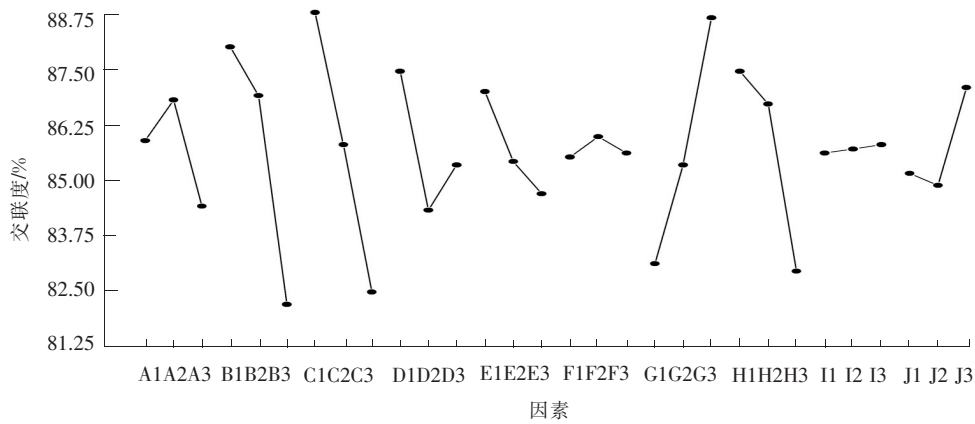


图 4 因素与交联度关系图

Fig.4 Relationship between factors and the degree of crosslinking

根据因素与指标关系图,可确定各因素组成的最佳组合。对于孔隙率来说:A2B2C2D3E1F3G3H3I1J2;对于密度来说:A3B2C2D3E3F3G1H2I2J1;对于吸水倍率来说:A2B1C2D2E3F3G3H2I1J2;对于交联度来说:A2B1C1D1E1F2G3H1I3J3。

根据以上最佳组合,利用综合平衡法确定最优方案。因素 A:对于孔隙率、吸水倍率和交联度来说,取

A2 好,但对于密度来说,取 A3 好,由于密度是相对于孔隙率的次要因素,因此因素 A 取 A2。因素 B:对于孔隙率和密度来说,取 B2 好,但对于交联度和吸水倍率来说,取 B3 好,由于交联度和吸水倍率是相对于孔隙率和密度的次要因素,因此因素 B 取 B2。因素 C:对于孔隙率、吸水倍率和密度来说,取 C2 好,但对于交联度来说,取 C1 好,由于交联度是次要因素,因此因素 C 取 C2。依此类推,可得综合平衡的分析结果,得到的最优方案为 A2B2C2D3E3F3G3H2I1J2。但由于甲醛和硫酸容易造成污染,因此材料制备过程中应保证 PVA 过量,并严格控制硫酸用量,以减少对环境的污染。

1.4.3 重复实验

在最佳操作条件下,进行了 3 次重复实验,测得的数据如表 2 所示,可以发现制备得到的 PVFM 材料理化性能良好。

表 2 重复实验结果
Tab.2 Results of experiments

实验号	理化性能			
	孔隙率/%	吸水倍率	密度/(g·cm ⁻³)	交联度/%
1	90.93	10.43	1.04	89.65
2	92.14	10.21	1.08	88.36
3	91.45	10.96	1.06	89.68
平均值	91.51	10.53	1.06	89.23

1.4.4 SEM 分析

在最佳操作条件下,经过重复实验制得 PVFM 材料的 SEM 分析如图 5 所示。由图 5 可以看出,PVFM 材料孔径普遍在 6~9 μm,孔分布良好,孔径重复率高。

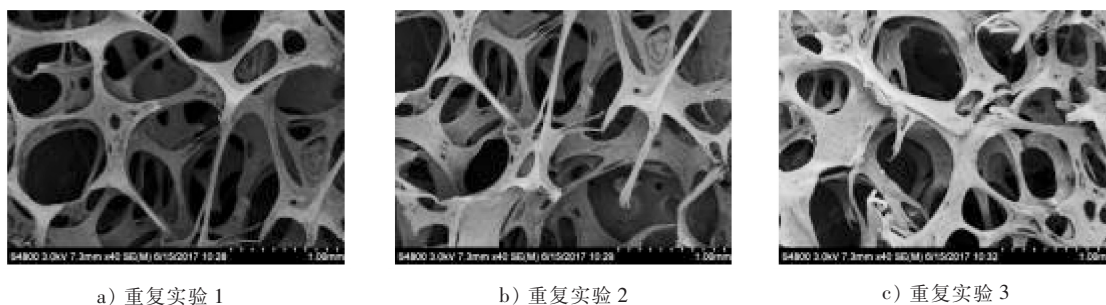


图 5 SEM 图

Fig.5 SEM figure

2 材料污水处理性能实验

2.1 实验装置

实验装置如图 6 所示,反应器有效容积为 2 L。选用如上制备得到的 PVFM 材料,并设置空白对照实验。A 反应器为空白对照,不投放填料并曝气;向 B 反应器中投加 PVFM 材料,填充率控制在 15%左右并曝气^[21-23],使材料保持流化状态;2 个反应器曝气量都为 1.6 L/min。

2.2 模拟废水的配制

营养液分别以葡萄糖、氯化铵、磷酸二氢钾作为碳源、氮源、磷源,并以质量比为 100 : 5 : 1 的比例配制。模拟废水在营养液的基础上加入无机盐类、微生物生长需要的少量元素以及生化试剂蛋白胨,并加入碳酸氢钠调节 pH 值。模拟废水 COD 和氨氮的质量浓度分别为 950~1 050 mg/L 和 75~95 mg/L。

2.3 分析方法

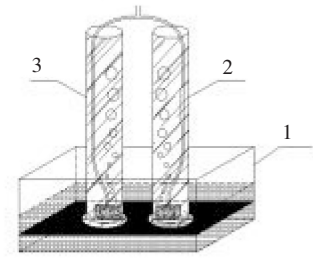
COD 测定采用微波消解法,氨氮测定采用纳氏试剂比色法。

2.4 结果与讨论

系统前期经过 40 天的连续运行,2 个反应器的运行状态基本稳定,后期以容积负荷为变量,对污水处理

材料 PVFM 的性能进行探究。

不同容积负荷系统 COD 去除效果如图 7 所示。不同容积负荷下 PVFM 材料对 COD 都有较高的降解能力,稳定后 COD 去除效果都可达到 90% 以上;未添加材料的对照组实验 COD 去除效果都较低,仅 20% 左右,容积负荷为 $0.6 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 时 PVFM 材料对 COD 去除效果相对较好。不同容积负荷系统的氨氮去除效果如图 8 所示。不同容积负荷下 PVFM 材料对氨氮也都有较高的去除能力,稳定后氨氮去除效果都可达 96% 以上;而未添加材料的对照组实验氨氮去除效果都较低,稳定后氨氮去除效果仅 10% 左右,容积负荷为 $0.6 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 和 $0.8 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 时 PVFM 材料对氨氮的去除效果都较好。



1—恒温水浴锅; 2—A 反应器; 3—B 反应器。

图 6 实验装置图

Fig.6 Experimental apparatus

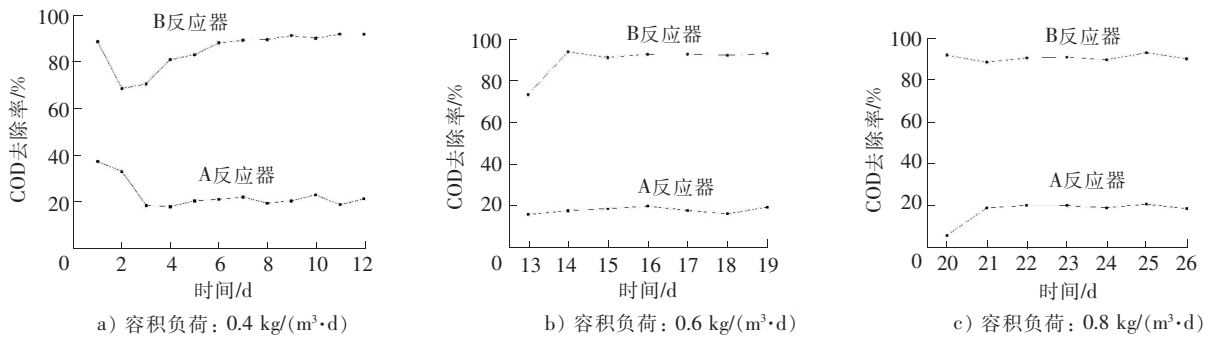


图 7 不同容积负荷系统的 COD 去除效果对比

Fig.7 Comparison of the COD removal effects under different volume loads

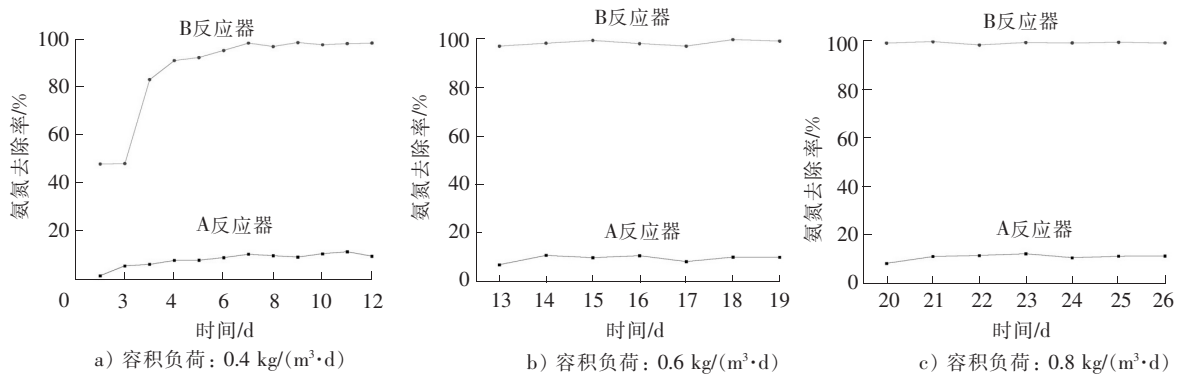


图 8 不同容积负荷系统的氨氮去除效果对比

Fig.8 Comparison of the NH_4^+-N removal effects under different volume loads

由此可见, PVFM 材料对 COD 和氨氮都有较高的去除能力, 而且容积负荷为 $0.6 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 时 COD 和氨氮的去除效果相对较好。这可能是由于 PVFM 材料有着良好的吸附能力以及系统中少量微生物的作用。同时, 由于污水处理对比实验所用的水为模拟废水, 具有片面性和偶然性, 因此需要利用实际废水对材料性能进行进一步探究。

3 结论

1) 采用机械打泡法和化学发泡法制备污水处理材料 PVFM, 通过单因素实验和正交试验得到制备 PVFM 材料的最佳操作条件: PVA 质量分数为 9% (50 mL)、纤维素用量为 0.4 g、硫酸用量为 6 mL、甲醛用量为 6 mL、十二烷基磺酸钠用量为 0.4 g、碳酸钙用量为 0.8 g、反应温度为 $30 \text{ }^\circ\text{C}$ 、硫酸滴加时间为 9 min、甲醛滴加时间为 4 min、固化时间为 8 h。在最佳操作条件下制得的 PVFM 材料理化性能良好, PVFM 孔径普

遍为6~9 mm,孔分布良好,孔径重复率高。

2) 通过污水处理对比实验发现,PVFM材料对模拟废水的COD和氨氮都有较高的去除能力,稳定后COD去除效果可达90%以上,氨氮去除效果可达96%以上。

3) PVFM材料所用的原料普遍比较便宜,成本低廉,制备方法简单,适合商品化生产。但是甲醛和硫酸容易造成污染,材料制备过程中应保证PVA过量,并严格控制硫酸用量,以减少对环境的污染。同时,由于污水处理对比实验所用的水为模拟废水,具有片面性和偶然性,因此今后需要利用实际废水对材料的性能进行进一步探究。

参考文献/References:

- [1] 田青,鲍晓博,吴端.悬浮填料与生物膜工艺研究现状与进展[J].江苏科技信息,2014,31(8):52-54.
- [2] 高凤霞,李昕,齐红卫,等.悬浮填料在废水生物处理中的应用进展[J].化工环保,2005,25(4):271-275.
GAO Fengxia, LI Xin, QI Hongwei, et al. Application of suspended carriers in waste water biological treatment[J]. Environmental Protection of Chemical Industry, 2005, 25(4): 271-275.
- [3] HUANG Tianyin, WANG Rong, WEI Wu, et al. Suspended carrier used in municipal wastewater treatment[J]. Advanced Materials Research, 2013, 2577(777): 143-150.
- [4] 陈洪斌,屈计宁,何群彪.悬浮填料生物膜工艺的研究进展[J].应用与环境生物学报,2005,11(4):514-520.
CHEN Hongbin, QU Jining, HE Qunbiao. Progress of study on suspended carrier biofilm process[J]. Journal of Applied and Environmental Biology, 2005, 11(4): 514-520.
- [5] 王圣武,马兆昆.生物膜污水处理技术和生物膜载体[J].江苏化工,2004,32(4):36-38.
WANG Shengwu, MA Zhaokun. Biofilm sewage treatment technology and biofilm carrier[J]. Jiangsu Chemical Industry, 2004, 32(4): 36-38.
- [6] 董滨,金波,何群彪,等.关于污水处理领域悬浮填料产品的探讨[J].净水技术,2008,27(3):57-60.
DONG Bin, JIN Bo, HE Qunbiao, et al. Discussion of suspended carriers used in wastewater treatment field[J]. Water Purification Technology, 2008, 27(3): 57-60.
- [7] 王安锋.聚乙烯醇缩甲醛吸水泡沫塑料的制备及性能研究[D].合肥:合肥工业大学,2013.
WANG Anfeng. Studies on the Preparation and Properties of Polyvinyl Formal Water-Absorbent Foam Plastic[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2013.
- [8] 陈永,廖兵,姜玉,等.三聚氰胺改性聚乙烯醇缩甲醛泡沫材料的制备与热性能[J].高分子材料科学与工程,2009,25(12):77-80.
CHEN Yong, LIAO Bing, JIANG Yu, et al. Preparation of poly(vinyl formal)cellular plastics modified with melamine and its thermal property[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2009, 25(12): 77-80.
- [9] 李杰.新型生物载体的制备、表征及其在废水生物处理中的应用基础研究[D].西安:西安建筑科技大学,2008.
LI Jie. Basic Research on Preparation and Characterization of New Biological Carriers and Application in Biological Wastewater Treatment [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2008.
- [10] 张俊英.玉米秸秆中半纤维素的提取[D].大连:大连工业大学,2014.
ZHANG Junying. The Study of Extraction of Hemicellulose from Corn Ctover[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2014.
- [11] 王立华,王永利,赵晓胜,等.秸秆纤维素提取方法比较研究[J].中国农学通报,2013,29(20):130-134.
WANG Lihua, WANG Yongli, ZHAO Xiaosheng, et al. Comparative study on the method of extracting straw cellulose[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29(20): 130-134.
- [12] 李春光,王彦秋,李宁,等.玉米秸秆纤维素提取及半纤维素与木质素去除工艺探讨[J].中国农学通报,2011,27(1):199-202.
LI Chunguang, WANG Yanqiu, LI Ning, et al. Study on extraction of cellulose and removal of hemicelluloses and lignin from corn stalk [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(1): 199-202.
- [13] 肖克强,黄侦杰,寇玉辉,等.PVFM的合成工艺及相关化学反应探讨[J].化学试剂,2012,34(6):559-562.
XIAO Keqiang, HUANG Zhenjie, KOU Yuhui, et al. Synthesis process and related chemical reaction of PVFM [J]. Chemical Reagent, 2012, 34(6): 559-562.
- [14] 赵浩森,陈财来.聚乙烯醇的缩甲醛改性研究[J].石河子科技,2012(1):23-25.
- [15] 刘培生.多孔材料孔率的测定方法[J].钛工业进展,2005,22(6):34-37.
LIU Peisheng. Determining methods for porosity of porous materials [J]. Titanium Industry Progress, 2005, 22(6): 34-37.
- [16] 柯丽军,黄仕锋.聚乙烯醇缩甲醛的研制[J].贵州化工,2005,30(5):17-19.
KE Lijun, HUANG Shifeng. Preparation of PVFM [J]. Guizhou Chemical Industry, 2005, 30(5): 17-19.
- [17] 冯世敬.天然纤维复合PVFM悬浮填料的制备及其在污水处理中的应用[D].郑州:郑州大学,2013.
FENG Shijing. Study on the Preparation and Application on Sewage Treatment of the Suspended Carrier PVFM Compositied with Natural Fiber[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2013.

- [18] 王光钊, 吴建军, 李静. PVA 缩甲醛泡沫塑料载体的开发[J]. 塑料科技, 2007, 35(6): 60-62.
WANG Guangzhao, WU Jianjun, LI Jing. Research and development of the PVFM foamed plastic carrier[J]. Plastic Technology, 2007, 35(6): 60-62.
- [19] 闫冰, 曹德榕, 欧义芳. 天然纤维复合聚乙烯醇缩甲醛可降解泡沫材料制备[J]. 高分子材料科学与工程, 2005, 21(4): 295-299.
YAN Bing, CAO Derong, OU Yifang. Preparation and properties of the degradable cellular foam with natural fiber and polyvinyl formal[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2005, 21(4): 295-299.
- [20] 牛首飞. 污水处理载体材料的制备及应用[D]. 石家庄: 河北科技大学, 2015.
NIU Shoufei. Preparation and Application of the Carrier Material Used in Sewage Treatment[D]. Shijiazhuang: Hebei University of Science and Technology, 2015.
- [21] 刘宇航, 陆晓中, 赵明, 等. 新型填料 PVF 的制备及其同时硝化反硝化反应的研究[J]. 水处理技术, 2006, 32(8): 26-29.
LIU Yuhang, LU Xiaozhong, ZHAO Ming, et al. Preparation of new filler PVF and its performance of simultaneous nitrification and denitrification [J]. Technology of Water Treatment, 2006, 32(8): 26-29.
- [22] 傅凌艳. PVF 悬浮填料的制备及其用于废水处理研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2007.
FU Lingyan. Study on the Exploitation and Application on the Treatment in the Wastewater of Suspended Carriers PVF[D]. Nanchang: Nanchang University, 2007.
- [23] JAHAN K, HOQUE S, AHMED T, et al. Activated sludge and other suspended culture processes [J]. Water Environment Reasearch, 2011, 83(10): 1092-1149.

向本期载文的审稿专家致谢

本期《河北科技大学学报》共发表论文 13 篇。这些论文的发表是与有关专家的认真审读、细查资料、推敲分析、中肯评价分不开的。对此, 本编辑部特向这些专家表示敬意, 对他们的辛勤劳动表示感谢。本期载文的审稿专家名单如下(按姓名的汉语拼音顺序排列):

曹 青 邓 勇 董世魁 耿凤杰 郝爱友 黄 海 敬 霖
李 明 李小六 李胜海 李 文 李 争 林 进 刘旺玉
孙晓云 王家喜 汪 凯 王 匀 魏世泽 肖运海 熊会元
杨海清 袁功林 赵建亮 赵鲁涛 赵延治 张丽萍 张志毅
钟绍华 周华成

(本刊编辑部)