

DOI: 10.3969/j.issn.1671-024x.2024.02.003

铁离子配位聚丙烯酸基芬顿催化纤维的制备及其性能

徐乃库, 王敬宏

(天津工业大学材料科学与工程学院, 天津 300387)

摘要: 为改善聚丙烯酸(PAA)纤维的性能,在湿法纺丝过程中基于铁离子配位反应成功制备了可拉伸PAA初生纤维,利用后拉伸以及热定型工艺优化纤维性能,并探究其作为Fenton催化剂在染料废水处理领域的应用。结果表明:相较硫酸铁盐,氯化铁盐配位的PAA纤维具有更为优异的力学性能和尺寸稳定性;后拉伸和热定型工艺可显著提高PAA纤维的力学性能和催化活性,并抑制铁离子的流失,拉伸20倍且在130℃定型的纤维断裂强度为1.42 cN/dtex,与未拉伸纤维相比提高了914.3%,且可在3 min内脱色90%以上的亚甲基蓝(MB),循环使用40次未出现脱色率衰减现象。

关键词: 聚丙烯酸(PAA);湿法纺丝;芬顿催化纤维;染料废水处理

中图分类号: TQ032 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-024X(2024)02-0016-06

Preparation of iron ions-coordinated polyacrylic acid-based Fenton catalytic fiber and its performance

XU Naiku, WANG Jinghong

(School of Material Science and Engineering, Tiangong University, Tianjin 300387, China)

Abstract: In order to improve the performance of polyacrylic acid (PAA) fiber, the stretchable PAA as-spun fiber was successfully prepared based on the coordination reaction of iron ions in the process of wet spinning, and the performance of fiber was finally optimized using the processes of post-stretching and heat setting. The application of fiber as a Fenton catalyst in the field of dye wastewater treatment was researched. The results showed that compared with sulphate iron salt, the chloride iron salt-coordinated PAA fiber had outstanding mechanical properties and dimensional stability. The processes of post-stretching and heat setting could significantly improve the mechanical properties and catalytic activity of PAA fiber and inhibit the loss of iron ions. The breaking strength of fibers stretched 20 times and heat set at 130 °C could reach up to 1.42 cN/dtex, which was 914.3% higher than that of unstretched fibers, and it could decolorize more than 90% of MB within 3 min without an attenuation in decolorization efficiency during 40 cycles.

Key words: polyacrylic acid(PAA); wet spinning; Fenton catalytic fiber; dye wastewater treatment

由于合成染料生产技术成熟且成本低廉,已被广泛应用于纺织、造纸和化妆品等行业。合成染料通常具有稳定的物理化学性质,难以降解,再加上常规处理技术的局限性,染料废水的处理一直广受关注^[1-3]。高级氧化过程(AOPs)是利用催化剂催化氧化剂产生羟基自由基($\cdot\text{OH}$),进而利用 $\cdot\text{OH}$ 将有机染料矿化成 CO_2 和 H_2O 的过程^[4],为染料废水处理创造了新的希望。

作为最重要的AOPs之一,芬顿法具有氧化性强、去除效率高、操作简便和成本低廉等优势,颇具应用前景^[5]。但均相芬顿法存在易产生铁泥、pH值范围窄和回收困难等缺陷,而异相芬顿法可有效摒弃均相芬顿法的缺陷,因此,异相芬顿法被广泛应用于染料废水处理领域^[6]。异相芬顿法通常将铁物种负载于载体上来制备催化剂,因此,研究新型负载型异相芬顿催化

收稿日期: 2023-02-27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51103099);天津市应用基础及前沿技术研究计划资助项目(12JCQNJC01600);教育部高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(201111201120002);中国博士后基金资助项目(2014M550143, 2015T80221)

通信作者: 徐乃库(1981—),男,博士,教授,主要研究方向为高分子功能纤维材料。E-mail: xunaiku@tiangong.edu.cn

剂具有重要实际价值^[7]。

聚丙烯酸(PAA)是一种富含羧基的线性聚合物^[8-9],可通过纺丝技术制成高比表面积纤维材料。高比表面积以及可配位铁离子的羧基使聚丙烯酸纤维成为优良的载体,为新型负载型异相芬顿催化剂的制备带来了便利。湿法纺丝利用凝固剂凝固纺丝细流,若凝固剂中含有铁离子,则可同时完成纤维成形与铁离子配位过程,因此,湿法纺丝为PAA基芬顿催化纤维成形创造了有利条件。不同铁盐与羧基的配位能力有所差异^[10],选择出合适的铁盐作为配位铁盐对于纤维成形具有重要意义;后拉伸可有效增加纤维的比表面积^[11],并促进羧基与铁离子的进一步配位^[12],同时可极大地改善纤维的聚集态结构^[13],进而提高其力学性能^[14-15]和耐水性^[16],也有利于固定铁物种,降低铁离子的浸出;热定型是纤维成形的关键步骤^[17],可松弛纤维残余内应力,赋予纤维尺寸稳定性^[18],因此,探究热定型温度与纤维性能间的关系具有重要意义。

本文采用湿法纺丝技术,结合铁离子配位过程,纺制可拉伸的PAA纤维,借助拉伸、热定型过程优化纤维性能;研究配位铁盐与PAA纤维性能间的关系,分析拉伸倍数影响PAA纤维性能的规律,最后探究了热定型温度与PAA纤维应用性能间的关系,以期推动纤维在染料废水处理领域的应用。

1 实验部分

1.1 试剂与仪器

试剂:丙烯酸(AA)、甲酰胺(FA)、七水合硫酸亚铁($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)、无水硫酸铁($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$)、过氧化氢(H_2O_2 ,质量分数为30%),均为分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司产品;马来酸酐(MA)、过氧化苯甲酰(BPO),均为分析纯,上海阿拉丁生化科技股份有限公司产品;氢氧化钠(NaOH)、浓硫酸(H_2SO_4 ,质量分数为98%),均为分析纯,天津市风船化学试剂科技有限公司产品;四水合氯化亚铁($\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$),分析纯,上海展云化工有限公司产品;无水氯化铁(FeCl_3),化学纯,国药集团化学试剂股份有限公司产品;亚甲基蓝(MB)、邻菲罗啉($\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$),均为化学纯,天津市天新精细化工开发中心产品;盐酸羟胺(HONH_2Cl),化学纯,天津市光复科技发展有限公司产品;去离子水,天津蓝洋工业用水经营部产品。

仪器:YG026型电子单纤维强力仪,温州际高测试仪器有限公司产品;TU-1810型紫外可见分光光度计,北京普析通用仪器有限公司产品。

1.2 纤维制备

1.2.1 聚合物合成

将0.0833 g BPO 加入到 14.166 7 g AA 和 2.500 0 g MA 组成的混合溶液中,在室温下搅拌至完全溶解,将其与 100 g 去离子水充分混合,所得混合物记作组分 1*。在常温下将 0.166 7 g BPO 溶解在 33.333 3 g AA 中制得组分 2*。将组分 1* 转移到配有搅拌器、氮气导管和回流冷凝器的四口烧瓶中,通入氮气,于 85 °C 下以 180~200 r/min 转速搅拌;同时,使用滴液漏斗将组分 2* 逐滴滴加到四口烧瓶中,滴加时间控制在 30 min 内;接着在氮气气氛和 85 °C 条件下继续反应 2 h,经分离、干燥、粉碎、洗涤和再干燥,得粉末状聚合物。

1.2.2 纤维成形与制备

首先,将 3 g 聚合物溶解在 27.0 g H_2O 和 FA 组成的混合溶剂(H_2O 和 FA 质量比为 9:1)中,于 85 °C 下搅拌至完全溶解,制得质量分数为 10% 的纺丝溶液,冷却至室温后,将纺丝溶液静置 12 h 以去除气泡;利用注射泵将纺丝溶液以 0.7 mL/min 的流速从直径为 0.42 mm 的单孔喷头挤出,挤出的纺丝细流在含有铁盐的凝固浴中浸泡 4 h 以配位铁离子;将凝固浴中的纤维取出并切成 3 cm 长的短纤维,拉伸短纤维,并将其固定在四氟板上,置于真空干燥箱中热定型 5 h,制得芬顿催化纤维。不同纤维其工艺参数如表 1 所示。

表 1 不同纤维的纺丝工艺参数对比

Tab.1 Comparison of spinning process parameters between different fibers

纤维编号	凝固浴中铁盐种类	$\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ 摩尔比	拉伸倍数	热定型温度/°C
F1	$\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}/\text{FeCl}_3$	8/2	未拉伸	100
F2	$\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}/\text{FeCl}_3$	8/2	8	100
F3	$\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}/\text{FeCl}_3$	8/2	10	100
F4	$\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}/\text{FeCl}_3$	8/2	16	100
F5	$\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}/\text{FeCl}_3$	8/2	20	100
F6	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}/\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	8/2	未拉伸	100
F7	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}/\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	8/2	20	100
F8	$\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}/\text{FeCl}_3$	7/3	20	110
F9	$\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}/\text{FeCl}_3$	7/3	20	120
F10	$\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}/\text{FeCl}_3$	7/3	20	130
F11	$\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}/\text{FeCl}_3$	7/3	20	140

1.3 测试与表征

(1) 力学性能:利用 YG026 型电子单纤维强力仪测试纤维样品的力学性能。拉伸速率为 10 mm/min,温度为室温,相对湿度为 30%,纤维夹距为 10 mm。

(2) 收缩率:将一定长度的纤维样品浸入 10 mL 去离子水中,浸泡 10 min 后测量纤维收缩后的长度,

按照式(1)计算纤维的收缩率:

$$S = \frac{L_0 - L}{L_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中: S 为收缩率(%); L_0 为收缩前的纤维长度(cm); L 为收缩后的纤维长度(cm)。

(3) 溶解率:将纤维样品置于滤纸袋中,于 85 °C 去离子水中浸泡 4 h, 随后将滤纸袋从去离子水中取出,并置于 60 °C 真空干燥箱中充分干燥,利用式(2)计算纤维样品的溶解率:

$$G = \frac{m_1 - m_2}{m_0} \times 100\% \quad (2)$$

式中: G 为纤维样品的溶解率(%); m_0 为溶解前干燥纤维的质量(g); m_1 为溶解前纤维和滤纸袋的总质量(g); m_2 为溶解后纤维和滤纸袋的总质量(g)。

(4) 催化性能:室温下将 10 mL 质量浓度为 20 mg/L 的 MB 水溶液加入到 50 mL 烧杯中,使用移液枪量取 2 μ L H_2O_2 ,并将其加入到烧杯中;称取 0.06 g 纤维置于上述 MB 水溶液中,不断振荡烧杯;利用 TU-1810 型紫外可见分光光度计监测目标溶液在 664 nm 波长下的吸光度值,根据式(3)求得 MB 水溶液的脱色率(R),以评价纤维的催化性能;当 R 高于 90% 时,将纤维样品从烧杯中取出,并用滤纸除去纤维表面残留的水分;按上述步骤再次使用纤维脱色新的 MB 水溶液,以评价其重复使用性。

$$R = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\% \quad (3)$$

式中: R 为脱色率(%); C_0 为初始 MB 水溶液的质量浓度(mg/L); C_1 为处理后 MB 水溶液的质量浓度(mg/L), C_1 由浓度与吸光度的标准曲线求得。

(5) 平均铁离子浸出质量浓度:使用一定量的纤维来催化 H_2O_2 脱色 MB 水溶液,当脱色率达到理想值时,将纤维从 MB 水溶液中分离出来,并根据文献[19]描述的方法测量脱色后 MB 水溶液中的铁离子质量浓度。在循环使用纤维脱色 MB 水溶液的过程中,按照式(4)计算平均铁离子浸出质量浓度:

$$C_{AE} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{A_i - 0.04329}{0.23243} \times 100 \right)}{n} \quad (4)$$

式中: C_{AE} 为平均铁离子浸出质量浓度(mg/L); A_i 为定容后混合溶液的吸光度值; n 为循环使用次数。

2 结果与讨论

2.1 配位铁盐的选择

氯化铁盐和硫酸铁盐是 2 种常用的配位铁盐,图

1 和表 2 分别为不同配位铁盐所制备纤维的应力-应变曲线和收缩率。

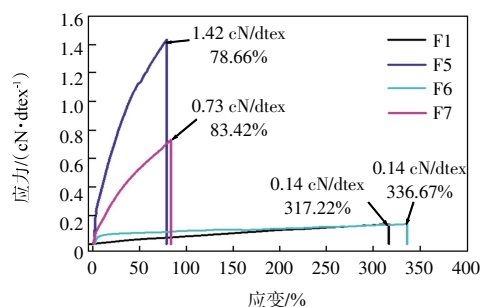


图 1 不同配位铁盐制备纤维的应力-应变曲线

Fig.1 Stress-strain curves of fibers prepared with different coordination iron salts

表 2 不同配位铁盐制备纤维的收缩率

Tab.2 Shrinkage ratios of fibers prepared with different coordination iron salts

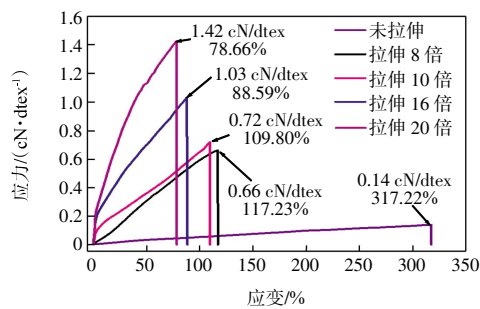
纤维编号	F1	F5	F6	F7
收缩率/%	-31.83	13.79	-52.02	20.54

由图 1 可以看出,2 种铁盐制备的未拉伸纤维(F1、F6)具有相同的断裂强度,而以氯化铁盐制备的纤维 F1 的断裂伸长率为 317.22%,相比于以硫酸铁盐制备的纤维 F6,其断裂伸长率降低了 5.8%;2 种拉伸纤维(F5、F7)虽具有相近的断裂伸长率,但纤维 F5 的断裂强度为 1.42 cN/dtex,相较于纤维 F7 提高了 94.5%。由此可知,与硫酸铁盐制备的纤维相比,氯化铁盐制备的纤维具有突出的断裂强度和较低的断裂伸长率。由表 2 可知,与硫酸铁盐制备的纤维相比,氯化铁盐制备的纤维拥有更好的尺寸稳定性,尺寸稳定为保留大比表面积带来了便利,有利于催化活性的恒定。铁离子配位过程是提高 PAA 纤维性能的重要环节,不同的阴离子对铁离子与羧基的配位过程产生不同的影响。与硫酸根离子相比,氯离子拥有更小的尺寸,对铁离子配位产生的位阻效应更小,且在水溶液中氯离子与铁阳离子的结合能力更弱^[20],更有利于铁离子与羧基的配位。由此可知,与硫酸铁盐相比,氯化铁盐更容易协助 PAA 纤维完成铁离子配位过程,并赋予纤维更优异的性能。因此,选择氯化铁盐为配位铁盐,制备铁离子配位 PAA 基芬顿催化纤维。

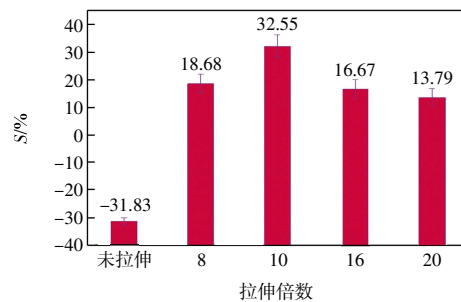
2.2 拉伸对纤维性能的影响

拉伸倍数对纤维物理性能的影响如图 2 所示。

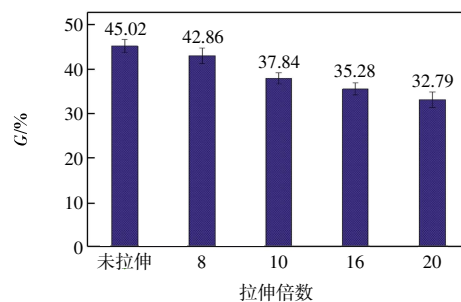
由图 2 (a) 可以看出,随拉伸倍数的增加,纤维的断裂强度逐渐增加,而断裂伸长率则呈现逐渐降低的趋势,与未拉伸纤维相比,拉伸 20 倍纤维的断裂强度提高了 914.3%,断裂伸长率降低了 75.2%。由图 2 (b)



(a) 应力-应变曲线



(b) 收缩率



(c) 溶解率

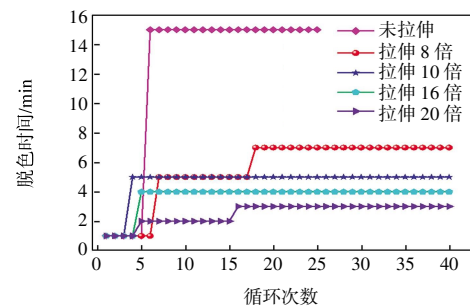
图2 不同拉伸倍数纤维的性能

Fig.2 Performance of fibers prepared with different stretching times

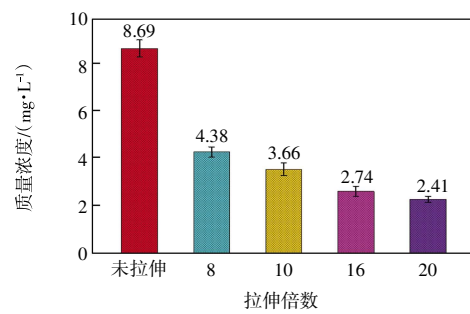
和图 2(c) 可知,随拉伸倍数的增加,纤维的收缩率呈现先增加后降低的变化趋势,溶解率则逐渐降低,与未拉伸纤维相比,拉伸 20 倍纤维的溶解率降低了 27.2%。由此可知,拉伸诱导 PAA 纤维形成了有利的取向和结晶结构^[21],显著提高了纤维的力学性能、尺寸稳定性和耐水性。因此,拉伸是改善 PAA 纤维物理性能的有效手段。

物理性能的增强为 PAA 纤维在水体净化领域的应用奠定了基础,不同拉伸倍数条件下制得的纤维脱色 MB 水溶液所需时间和平均铁离子浸出质量浓度如图 3 所示。

由图 3 可知,未拉伸纤维 F1 仅可重复使用 25 次,且完全脱色 MB 水溶液需 15 min,而拉伸倍数为 8、10、16、20 倍的纤维 F2、F3、F4 和 F5 分别可在 7、5、4 和 3 min 内脱色 MB 水溶液,且循环使用 40 次时未出



(a) 脱色时间随循环次数变化



(b) 平均铁离子浸出质量浓度

图3 不同拉伸倍数纤维脱色 MB 水溶液所需时间和平均铁离子浸出浓度

Fig.3 Time needed to decolorize MB aqueous solution and average leaching concentration of iron ions of fibers prepared with different stretching times

现脱色率衰减情况。随拉伸倍数的增加,纤维的平均铁离子浸出浓度呈现逐渐降低的变化趋势,与未拉伸纤维相比,拉伸 20 倍纤维的平均铁离子浸出质量浓度降低了 72.3%。拉伸倍数越高,纤维拥有的比表面积越大,催化位点增多,活性增强,裸露出的羧基可继续与铁离子配位,进而有效抑制铁离子流失。由此可知,拉伸可以显著提高 PAA 纤维的催化活性,并抑制铁离子的流失。

2.3 热定型对纤维应用性能的影响

热定型温度对纤维应用性能的影响如图 4 所示。

由图 4 可以看出,随热定型温度的增加,纤维脱色 MB 水溶液的时间呈现先缩短后增加的变化趋势,平均铁离子浸出质量浓度也呈现先降低后增加的变化趋势。130 °C 下热定型制备的纤维 F10 表现出最优的催化活性和最低的平均铁离子浸出质量浓度(2.77 mg/L)。低热定型温度下制备的纤维内部仍存在残余内应力,应用时易收缩,导致比表面积下降,故催化活性相对较差,收缩亦会从负面影响纤维对铁离子的固定能力,而热定型温度过高则会引发聚合物基体分解,最终会对纤维的应用性能造成负面影响。由此可知,热定型温度过低或过高都不利于 PAA 纤维催化性能的提高以及铁离子的固定。

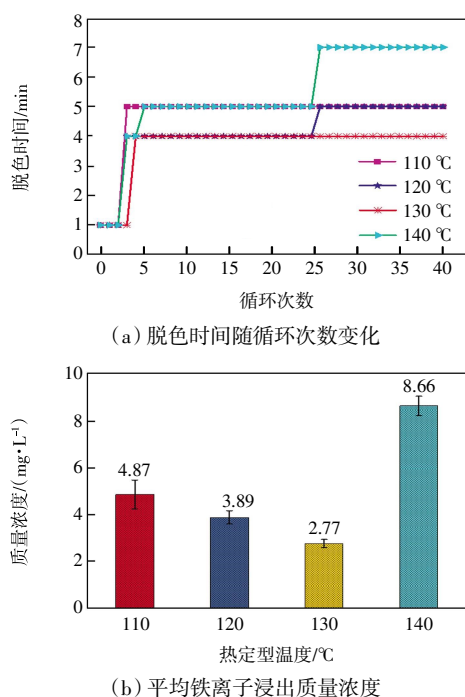


图 4 不同热定型温度下制备纤维脱色 MB 水溶液所需时间和平均铁离子浸出质量浓度

Fig. 4 Time needed to decolorize MB aqueous solution and average leaching concentration of iron ions of fibers prepared under different heat setting temperatures

3 结 论

本文以氯化铁盐为配位铁盐,采用湿法纺丝技术,结合拉伸和热定型工艺,成功制备了 PAA 基芬顿催化纤维。研究结果表明:

(1) 与硫酸铁盐相比,氯化铁盐配位的 PAA 纤维拥有更优异的力学性能和尺寸稳定性。

(2) 随拉伸倍数的增加,PAA 纤维的物理性能和催化活性提高,平均铁离子浸出质量浓度降低。拉伸 20 倍纤维的断裂强度、断裂伸长率、溶解率和平均铁离子浸出质量浓度分别为 1.42 cN/dtex、78.66%、32.79% 和 2.41 mg/L,其可在 3 min 内脱色 90% 以上的 MB,且循环使用 40 次时仍未出现脱色率衰减现象。

(3) 随热定型温度的增加,PAA 纤维脱色 MB 水溶液的时间和平均铁离子浸出质量浓度呈现先减少后增加的变化趋势,过低或过高的热定型温度均不利于制备出应用性能优异的 PAA 纤维,本文最佳热定型温度为 130 °C。

参考文献:

[1] 袁思杰,张芮铭.染料废水处理技术研究进展[J].染料与染

色,2022,59(4):55-62.

- YUAN S J, ZHANG R M. Research progress of dye wastewater treatment technology[J]. Dyestuffs and Coloration, 2022, 59 (4): 55-62 (in Chinese).
- [2] FERNÁNDEZ C, LARRECHI M S, CALLAO M P. An analytical overview of processes for removing organic dyes from wastewater effluents[J]. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 2010, 29(10): 1202-1211.
- [3] VARJANI S, RAKHOLIYA P, NG H Y, et al. Microbial degradation of dyes: An overview [J]. Bioresource Technology, 2020, 314: 123728.
- [4] HUANG Y H, HUANG Y F, CHANG P S, et al. Comparative study of oxidation of dye-Reactive Black B by different advanced oxidation processes: Fenton, electro-Fenton and photo-Fenton[J]. Journal of Hazardous Materials, 2008, 154(1/2/3): 655-662.
- [5] 古桃.铜系催化剂类芬顿氧化法处理染料废水的研究[D].郑州:郑州大学,2018.
- GU T. Study on the fenton-like oxidation of dye wastewater with copper based catalysts[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2018 (in Chinese).
- [6] JIA L P, ZHANG Q R. Heterogeneous Fenton catalytic oxidation for water treatment[J]. Progress in Chemistry, 2020, 32: 978.
- [7] ZHOU P G, DAI Z B, LU T Y, et al. Degradation of rhodamine B in wastewater by iron-loaded attapulgite particle heterogeneous Fenton catalyst[J]. Catalysts, 2022, 12(6): 669.
- [8] GUO J X, HANIF A, SHANG J, et al. PAA@ZIF-8 incorporated nanofibrous membrane for high-efficiency PM_{2.5} capture[J]. Chemical Engineering Journal, 2021, 405: 126584.
- [9] XU N K, HAN J A, FENG Y, et al. Polyacrylonitrile/poly(acrylic acid) layer-by-layer superimposed composite nanofiber membrane with low iron ion leaching-out and stable methylene blue-removing performance[J]. Journal of Membrane Science, 2022, 641: 119935.
- [10] EVSTIGNEYEV E I, GRINENKO E V, MAZUR A S, et al. Study of the formation of lignin hydrogels with metal cations[J]. Journal of Wood Chemistry and Technology, 2021, 41(2/3): 73-82.
- [11] XU T C, HAN D H, ZHU Y M, et al. High strength electrospun single copolyacrylonitrile (coPAN) nanofibers with improved molecular orientation by drawing[J]. Chinese Journal of Polymer Science, 2021, 39(2): 174-180.
- [12] CAI J Y, MA H, ZHANG J J, et al. Gold nanoclusters confined in a supercage of Y zeolite for aerobic oxidation of HMF under mild conditions[J]. Chemistry: A European Journal, 2013, 19(42): 14215-14223.

- [13] DE ROSA C, MALAFRONTA A, SCOTI M, et al. Synthesis and structure of syndiotactic poly (3-methyl-1-butene): A case of 3/1 helical conformation for syndiotactic polymers[J]. *Macromolecules*, 2018, 51(21): 8574-8584.
- [14] PAPKOV D, DZENIS Y A. Simultaneously strong and tough continuous nanofibers: Improvement of mechanical properties in the intermediate diameter range[C]//28th Annual Technical Conference of the American Society for Composites 2013. PA, United States: ASC, 2013: 1764-1773.
- [15] LIAO X J, DULLE M, DE SOUZA E SILVA J M, et al. High strength in combination with high toughness in robust and sustainable polymeric materials[J]. *Science*, 2019, 366(6471): 1376-1379.
- [16] AL-KHEETAN M J, RAHMAN M M, CHAMBERLAIN D A. A novel approach of introducing crystalline protection material and curing agent in fresh concrete for enhancing hydrophobicity[J]. *Construction and Building Materials*, 2018, 160: 644-652.
- [17] GUPTA V B. Heat setting[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2002, 83(3): 586-609.
- [18] XU R J, XIE J Y, TIAN Z Q, et al. Pore growth and stabilization in uniaxial stretching polypropylene microporous membrane processed by heat-setting[J]. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 2018, 56(24): 1604-1614.
- [19] CHEN S Q, XU N K, REN M R, et al. PEI/GO-codecorated poly(acrylic acid-co-hydroxyethyl methacrylate) fiber as a carrier to support iron ions and its catalytic performance for methylene blue decolorization[J]. *Journal of Macromolecular Science, Part A*, 2020, 57(7): 531-543.
- [20] LIU X C, LU J, FANG X F, et al. Complexation modelling and oxidation mechanism of organic pollutants in cotton pulp black liquor during iron salt precipitation and electrochemical treatment[J]. *Chemosphere*, 2022, 308: 136374.
- [21] XU N, ZHANG Y, HAN J, et al. Coordination and hydrogen bond-coadjusted highly stretchable wet-spun poly(acrylic acid) fiber and its stable activity as Fenton catalyst[J]. *Materials Today Chemistry*, 2022, 24: 100864.

本文引文格式:

徐乃库, 王敬宏. 铁离子配位聚丙烯酸基芬顿催化纤维的制备及其性能[J]. *天津工业大学学报*, 2024, 43(2): 16-21.
XU N K, WANG J H. Preparation of iron ions-coordinated polyacrylic acid-based Fenton catalytic fiber and its performance[J]. *Journal of Tiangong University*, 2024, 43(2): 16-21 (in Chinese).