

胺基改性壳聚糖吸附材料的制备及其对铀的吸附性能研究

王凤菊, 宋 艳, 李子明, 吴浩天, 李 昊, 陈树森

(核工业北京化工冶金研究院, 北京 101149)

摘要:研究了采用水热法制备壳聚糖微球(HTCC),再通过环氧化-胺化改性法制备胺基改性壳聚糖吸附材料(AHTCC)并用于吸附废水中的低浓度铀。利用红外光谱仪、元素分析仪、热重分析仪等对 AHTCC 的结构、组分和热稳定性进行表征,并考察了 AHTCC 对铀的吸附、解吸性能。结果表明:在 pH=5~8 条件下, AHTCC 对溶液中铀的吸附效果较好;铀吸附平衡质量浓度为 120 mg/L 左右时,吸附量达最大,为 151.6 mg/g;铀吸附速率在反应最初 60 min 较快,180 min 时达到吸附平衡;以 80 g/L Na₂CO₃+20 g/L NaHCO₃ 作解吸剂,铀解吸率为 97.5%;对于含杂离子浓度较高的实际含铀废水,经 AHTCC 单次吸附,铀的去除率可达 95.6%。

关键词:壳聚糖;胺基;铀;低浓度;水热法;改性;吸附;制备

中图分类号:TL212;TQ424;O647.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-2617(2024)01-0099-06

DOI:10.13355/j.cnki.sfyj.2024.01.016

在处理含铀废水的诸多方法中,吸附法相对操作简单,材料丰富,工艺成熟,应用较为广泛,而该法的关键是吸附剂的选择。壳聚糖是一种广泛存在于虾蟹壳中的生物高分子多糖,分子中含有氨基、羟基等,能与铀等重金属离子形成稳定配合物,具有来源广泛、价格低廉、可生物降解、无毒、易于化学改性等优点^[1-6],但其呈粉末状,须通过化学改性制备具有一定强度的微球材料后再进行功能化改性,才能制得重金属吸附材料^[6-7]。

目前,制备壳聚糖微球的方法主要有滴加成球法或反相悬浮法,但这 2 种方法在成球过程中的影响因素较多,形成的微球机械性能较差,且滴加成球法要求特殊设备,耗时耗力,反相悬浮法溶剂消耗量较大。而水热法是近年来发展起来的一种可制备高强度、高比表面积材料的新技术手段^[8-14]。该法无须引入引发剂和有机溶剂,所得产物含大量活性官能团,反应活性优良,在一定条件下采用水热法可将壳聚糖转化成具有良好机械性能、绿色环保的碳材料^[8-9]。

试验以壳聚糖为原料,研究了采用水热法制

备壳聚糖微球,再通过环氧化-胺化改性引入对铀具有良好吸附性能的氨基官能团,制备胺基改性壳聚糖吸附材料(AHTCC),考察了该材料对铀的吸附、解吸性能,并探讨了其对铀矿水冶工艺产生的实际含铀废水中铀的吸附效果。

1 试验部分

1.1 试验原料、试剂与仪器

壳聚糖:生化试剂,脱乙酰度>80%,国药集团化学试剂有限公司。

U₃O₈(≥99.8%,中核二七二铀业有限责任公司),冰乙酸、环氧氯丙烷、三乙烯四胺乙醇、异丙醇、丙酮、浓硫酸、氢氧化钠等,均为分析纯。

水热釜,PPL 内衬型,北京岩征生物科技有限公司;电热恒温鼓风干燥箱,DHG-9145A 型,上海林频仪器股份有限公司;红外光谱仪,TENSORII 型,德国 Bruker 公司;元素分析仪,vario MICRO cube 型,德国 Elementar 公司;热重分析仪,TGA-7 型,Perkin-Elmer 公司;酸度计,PHS-25 型,北京精微博科技有限公司;恒温摇床,KS 4000ic 型,德

收稿日期:2023-09-14

第一作者简介:王凤菊(1984—),女,硕士,高级工程师,主要研究方向为功能高分子材料研发。

通信作者简介:陈树森(1978—),男,博士,研究员级高级工程师,主要研究方向为有机/高分子分离材料研发。

国 IKA 公司;悬臂式搅拌器, RW20 型, 德国 IKA 公司;智能数显多功能油水浴锅, HH-WO 型, 北京美科美华仪器设备有限公司;三口瓶、蛇形冷凝管, 北京欣维尔玻璃仪器有限公司。

1.2 胺基改性壳聚糖铀吸附材料的制备

水热法制备壳聚糖微球前驱体:将壳聚糖(CTS)加入到 50 mL、质量浓度 2% 的乙酸溶液中,均匀搅拌至凝胶状,之后倒入内衬为 PPL 型的水热反应釜中。水热反应釜安装好后放入设定温度为 180 °C 的鼓风干燥箱中,反应结束后产物自然冷却至室温,用去离子水、乙醇洗涤至滤液无色。水热反应产物记为 HTCC。

壳聚糖水热产物的环氧化-胺化改性^[6,15]:取 1.0 g HTCC 于三口瓶中,加入溶剂异丙醇,再缓慢加入 2 mL 环氧氯丙烷,于 50 °C 下反应 4 h,得环氧化的壳聚糖水热产物。将环氧化的壳聚糖水热产物加入到三口瓶中,加入适量去离子水、2 mL 三乙烯四胺,于 50 °C 下反应 4 h,得胺基改性壳聚糖铀吸附材料,记为 AHTCC。

1.3 胺基改性壳聚糖铀吸附材料的表征

通过红外光谱仪对壳聚糖及其水热产物、胺化改性产物的结构进行红外光谱表征;利用元素分析仪分析 CTS、HTCC、AHTCC 中 C、H、N、O 元素含量;利用热重分析仪分析 CTS、HTCC、AHTCC 的热力学稳定性。分别称取 3~10 mg CTS、HTCC、AHTCC 加入到热重分析仪的试样皿中,在 N₂ 气氛下,以 10 °C/min 的升温速度分别加热至 600 °C,根据测试结果绘制热重曲线。

1.4 铀的静态吸附

1.4.1 溶液 pH 对 AHTCC 吸附性能的影响

配制质量浓度 500 mg/L 的铀溶液,分别取 110 mL,用 H₂SO₄、NaOH 溶液调节溶液 pH 分别为 2、3、4、5、6、7、8、9,再分别取 100 mL 置于 8 个锥形瓶中;每个锥形瓶中加入 AHTCC 吸附材料 200 mg,在 25 °C 下摇床振荡吸附 24 h。吸附结束后测定吸附原液、尾液中铀质量浓度,计算不同 pH 条件下 AHTCC 的铀吸附量。

1.4.2 AHTCC 的吸附等温线

分别配制 50 mL 初始质量浓度 100、200、300、400、500、600 mg/L 的铀溶液,调节 pH 为 7,分别加入 AHTCC 吸附材料 100 mg,在 25 °C 下摇床振荡吸附 24 h。吸附结束后测定吸附原液、尾液中的铀质量浓度,计算 AHTCC 在不同

初始铀质量浓度下的铀吸附量,绘制相应的吸附等温线。

1.4.3 AHTCC 的吸附动力学

配制质量浓度 500 mg/L 的铀溶液,调节 pH 为 7。取 9 个具塞锥形瓶,分别加入 100 mL 铀溶液、AHTCC 吸附材料 200 mg,在 25 °C 下摇床振荡吸附,定时取样^[6]。测定吸附原液、尾液中铀质量浓度,计算不同吸附时间下 AHTCC 的铀吸附量,绘制吸附动力学曲线。

1.4.4 吸附温度对 AHTCC 吸附性能的影响

配制质量浓度 500 mg/L 的铀溶液,调节 pH 为 7。取 5 个锥形瓶,分别加入 100 mL 铀溶液、AHTCC 吸附材料 200 mg。分别在 10、20、30、40、50 °C 下摇床振荡吸附 24 h。吸附结束后测定吸附原液、尾液中铀质量浓度,计算不同吸附温度下 AHTCC 的铀吸附量。

1.5 AHTCC 的解吸性能

配制质量浓度 500 mg/L 的铀溶液,调节 pH 为 7。向 4 个锥形瓶中,分别加入铀溶液 300 mL、AHTCC 吸附材料 1.0 g,在 25 °C 下摇床振荡吸附 24 h。取其中 1 份铀负载 AHTCC,洗涤、干燥,分析铀含量。取另外 3 份铀负载 AHTCC,洗涤后用滤纸吸干表面水分,再次转移至锥形瓶中,分别加入 200 mL 不同种类的解吸剂(98 g/L H₂SO₄、80 g/L Na₂CO₃+20 g/L NaHCO₃、60 g/L NaCl+6 g/L NaHCO₃),在 25 °C 下摇床振荡解吸 6 h。洗涤、干燥,分析解吸后 AHTCC 中铀质量浓度,计算铀解吸率。

1.6 AHTCC 对低浓度含铀废水的吸附性能

1.6.1 AHTCC 在模拟含铀废水中的吸附性能

根据实际含铀废水中的铀质量浓度,配制质量浓度 5 mg/L 的模拟含铀废水([CO₃²⁻]=0.537 mg/L;[HCO₃⁻]=31 mg/L),调节 pH 为 7。量取 100 mL 模拟含铀废水加入到盛有 200 mg AHTCC 的锥形瓶中,在 25 °C 下摇床振荡吸附 24 h,之后测定吸附原液、尾液中铀质量浓度,计算 AHTCC 的铀吸附量。

1.6.2 AHTCC 在实际含铀废水中的吸附性能

对于初始铀质量浓度为 5.38 mg/L 的某铀矿水冶工艺中产生的实际含铀废水([CO₃²⁻]=19.2 g/L;[HCO₃⁻]=6.98 g/L;[SO₄²⁻]=9.92 g/L),调 pH 为 7,量取 100 mL 加入到盛有 200 mg AHTCC 的锥形瓶中,在 25 °C 下摇床振荡吸附

24 h,之后测定吸附尾液中铀质量浓度,计算 AHTCC 的铀吸附量。

2 试验结果与讨论

2.1 AHTCC 的表征

2.1.1 红外表征

图 1 为 CTS、HTCC、AHTCC 的红外光谱。对比曲线 a、b 看出:CTS、HTCC 的红外曲线基本一致。其中,3 400 cm^{-1} 是 O—H、 NH_2 中 N—H 伸缩振动峰的叠加峰;2 876 cm^{-1} 处是亚甲基中的 C—H 伸缩振动峰;1 634、1 595 cm^{-1} 处是 N—H 的弯曲振动峰;1 408 cm^{-1} 处为壳聚糖未完全脱乙酰化而遗留的乙酰胺基中 C—N 振动峰;1 141~1 095 cm^{-1} 处是吡喃糖环中 C—H 的弯曲振动峰及醇羟基中 C—O 伸缩振动峰的叠加峰。说明壳聚糖经水热反应,其基本官能团未消失,产物 HTCC 富含氨基、羟基等活性基团。对比曲线 b、c 看出:AHTCC 的红外曲线中存在与 HTCC 红外曲线中相似的主要特征峰;此外,1 408 cm^{-1} 处乙酰胺基中 C—N 的振动峰被 1 269 cm^{-1} 处仲胺中 C—N 伸缩振动峰所取代,同时 1 460 cm^{-1} 处出现亚甲基中的 C—H 面内弯曲或剪式振动峰,说明产物 AHTCC 已成功交联三乙烯四胺。

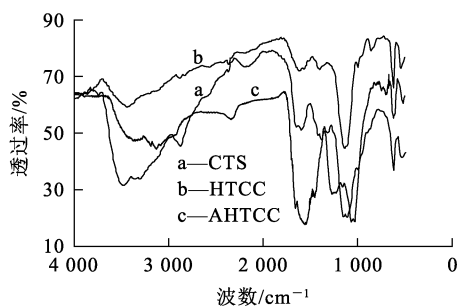


图 1 CTS、HTCC、AHTCC 的红外光谱

2.1.2 元素分析

CTS、HTCC、AHTCC 的主要化学元素分析结果见表 1。可以看出:CTS 经水热反应后,其中的 C 质量分数明显升高,由 43.31% 升至 56.62%。这可能是因为 CTS 在水热反应过程中发生脱水, O、H 有部分损失。HTCC 胺化后,其产物 AHTCC 中的 N 质量分数明显升高,由 7.83% 升至 9.96%,说明 HTCC 中引入了新的氨基,结合

红外光谱,进一步说明壳聚糖水热产物与三乙烯四胺发生交联反应。

表 1 CTS、HTCC、AHTCC 的主要化学元素分析结果 %

材料	C	N	H	O
CTS	43.31	8.97	7.26	40.46
HTCC	56.62	7.83	5.49	30.06
AHTCC	53.36	9.96	5.84	30.84

2.1.3 热重分析

CTS、HTCC、AHTCC 的热失重曲线如图 2 所示。可以看出,在温度低于 100 $^{\circ}\text{C}$ 时,3 种材料由于水分蒸发,导致质量下降。对比曲线 a、b 看出:CTS、HTCC 的热分解温度分别 271、265 $^{\circ}\text{C}$,但 HTCC 相对于 CTS,其热失重曲线斜率更小,且同一温度下,HTCC 剩余质量百分数高于 CTS,即 HTCC 相对于 CTS,其质量损失速度更慢且损失量更少;温度升至 504 $^{\circ}\text{C}$ 后,HTCC、CTS 质量均约剩余 24%,之后随温度进一步升高,HTCC 比 CTS 更快达到稳定状态,说明温度低于 504 $^{\circ}\text{C}$ 时,CTS 经水热碳化后,热稳定性更好。对比曲线 b、c 看出:HTCC、AHTCC 的热失重曲线走势大致相同,热分解温度分别为 265、267 $^{\circ}\text{C}$,但同一温度下,AHTCC 的剩余质量百分数比 HTCC 的高,说明壳聚糖水热产物 HTCC 经胺化改性后,其产物 AHTCC 具有更好的热稳定性。

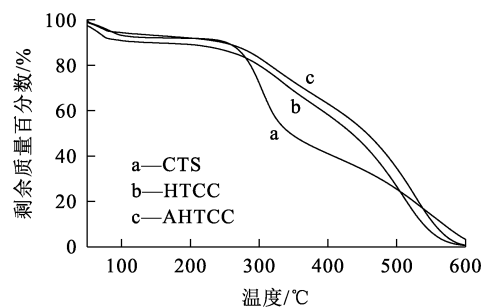


图 2 CTS、HTCC、AHTCC 的热失重曲线

2.2 AHTCC 对铀的静态吸附性能

2.2.1 溶液 pH 对 AHTCC 吸附性能的影响

溶液 pH 对 AHTCC 吸附性能的影响试验结果如图 3 所示。可以看出:pH 在 6~8 范围内,AHTCC 对铀的吸附效果较好,pH=7 时,AHTCC

的铀吸附效果最好,吸附量为 151 mg/g;在酸性和碱性条件下,AHTCC对铀的吸附量较低。这主要是因为酸性条件下,AHTCC中的胺基易被质子化,导致AHTCC与铀之间的作用力下降;碱性条件下,铀主要以稳定性较高的碳酸铀酰(稳定常数为 2×10^{18})形式存在^[7],AHTCC上功能基团与铀的作用不足以破坏碳酸铀酰的稳定性,导致铀吸附量较低。考虑到含铀废水外排 pH 一般为中性,确定选择溶液 pH=7 为宜。

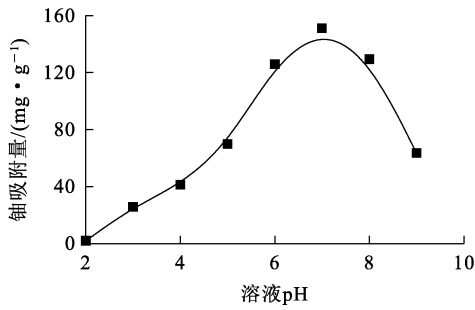


图3 溶液 pH 对 AHTCC 吸附性能的影响

2.2.2 AHTCC 的吸附等温线

以铀平衡吸附量为纵坐标,铀吸附平衡质量浓度为横坐标,绘制 AHTCC 的吸附等温线,如图 4 所示。

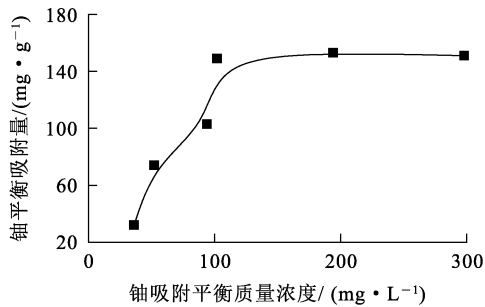


图4 AHTCC 的吸附等温线

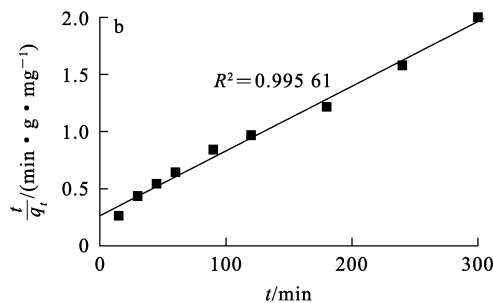
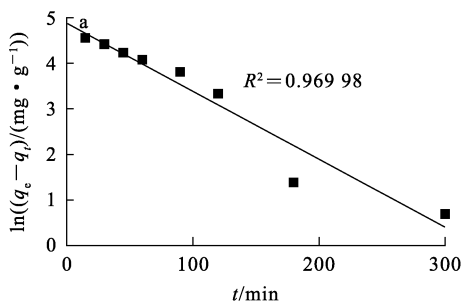


图6 AHTCC 吸附铀的准一级(a)、准二级(b)的动力学拟合曲线

由图 4 看出:随溶液中铀平衡质量浓度升高,AHTCC对铀的平衡吸附量逐渐升高,铀吸附平衡质量浓度升至 120 mg/L 时,铀平衡吸附量达最大,为 151.6 mg/g;之后随铀平衡质量浓度升高,铀平衡吸附量基本没有变化,趋于稳定。

2.2.3 AHTCC 的吸附动力学

以铀吸附量为纵坐标,吸附时间为横坐标,绘制 AHTCC 的吸附动力学曲线,如图 5 所示。可以看出:AHTCC 在 60 min 内吸附速率较快,之后略微变慢;吸附 180 min 时达到吸附平衡,此时的铀吸附量为 151.1 mg/g。

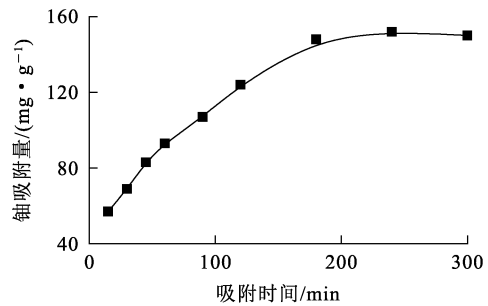


图5 AHTCC 的吸附动力学曲线

分别采用准一级、准二级动力学模型^[16-17]对图 5 数据进行拟合,结果如图 6 所示。

准一级动力学模型:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t;$$

准二级动力学模型:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e}。$$

式中: q_e —吸附平衡时 AHTCC 对铀的吸附量, mg/g; q_t —吸附 t 时间时 AHTCC 对铀的吸附量, mg/g; k_1 —准一级动力学模型的吸附速率平衡常数, min^{-1} ; k_2 —准二级动力学模型的吸附速率平衡常数, $\text{g}/(\text{mg} \cdot \text{min})$; t —吸附时间, min。

由图 6 看出:准一级、准二级动力学模型拟合的线性相关度分别为 0.969 98、0.995 61,即 AHTCC 的吸附动力学以准二级动力学模型拟合的线性相关度更高,说明 AHTCC 对铀的吸附过程更符合准二级动力学模型,吸附速率受化学吸附机制控制。

2.2.4 温度对 AHTCC 吸附性能的影响

温度对 AHTCC 吸附性能的影响试验结果如图 7 所示。可以看出:温度在 10~50 °C 范围内,随温度升高,AHTCC 对铀的吸附量呈逐渐升高趋势,说明 AHTCC 吸附铀的过程吸热。

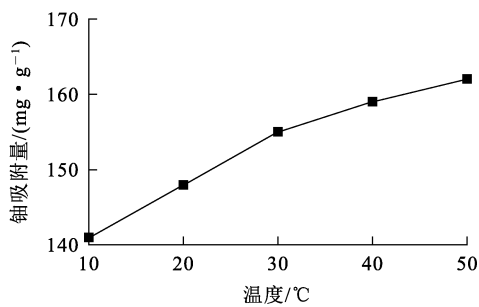


图 7 温度对 AHTCC 吸附性能的影响

2.3 AHTCC 的解吸性能

取 300 mL 质量浓度为 500 mg/L 模拟铀溶液,用 AHTCC 吸附 24 h,之后分别以 98 g/L H₂SO₄、80 g/L Na₂CO₃+20 g/L NaHCO₃、60 g/L NaCl+6 g/L NaHCO₃ 作解吸剂,对负载铀的 AHTCC 进行解吸,试验结果见表 2。

表 2 AHTCC 的解吸性能

解吸剂种类	浓度配比/(g · L ⁻¹)	铀解吸率/%
H ₂ SO ₄	98	94.7
Na ₂ CO ₃ /NaHCO ₃	80/20	97.5
NaCl/NaHCO ₃	60/6	68.4

由表 2 看出:98 g/L H₂SO₄、80 g/L Na₂CO₃+20 g/L NaHCO₃ 的铀解吸率相对较好,分别为 94.7%、97.5%;而 60 g/L NaCl+6 g/L NaHCO₃ 的铀解吸率较低,仅为 68.4%。综合考虑,确定以 80 g/L Na₂CO₃+20 g/L NaHCO₃ 作为解吸剂。

2.4 AHTCC 对低浓度含铀废水的吸附

AHTCC 分别在低浓度模拟含铀废水和低浓度实际含铀废水中的吸附性能对比结果见表 3。

可以看出:初始铀质量浓度为 5.33 mg/L 的模拟含铀废水经 AHTCC 单次摇床振荡吸附,吸附尾液中铀质量浓度为 0.048 mg/L(≤0.05 mg/L),符合铀废水外排标准^[18];实际含铀废水中铀初始质量浓度为 5.38 mg/L,经 AHTCC 单次摇床振荡吸附,吸附尾液铀质量浓度降至 0.236 mg/L,这主要是因为实际含铀废水中 CO₃²⁻、HCO₃⁻、SO₄²⁻ 等杂离子浓度较高([CO₃²⁻]=19.2 g/L,[HCO₃⁻]=6.98 g/L,[SO₄²⁻]=9.92 g/L),影响了吸附材料对铀的吸附。但经单次摇床振荡吸附,铀去除率仍可达 95.6%。

表 3 AHTCC 对低浓度模拟铀废水和实际铀废水的吸附性能对比结果

含铀废水	初始 ρ(铀)/(mg · L ⁻¹)	吸附尾液中 ρ(铀)/(mg · L ⁻¹)	铀去除率/%
模拟	5.33	0.048	99.1
实际	5.38	0.236	95.6

3 结论

采用水热法制备壳聚糖微球后,再通过环氧化-胺化法对其进行功能化改性,可制得胺基改性壳聚糖铀吸附材料 AHTCC。该材料在 pH=5~8 条件下,对铀溶液中的铀吸附果较好,最大铀吸附量可达 151.6 mg/g;以 80 g/L Na₂CO₃+20 g/L NaHCO₃ 作解吸剂,铀解吸率可达 97.5%。对于低浓度模拟含铀废水,经 AHTCC 单次摇床振荡吸附,吸附尾液铀质量浓度可达铀废水外排标准。对于含杂离子浓度较高的低浓度实际含铀废水,经单次摇床振荡吸附,铀去除率可达 95.6%。AHTCC 有望应用于分离去除低浓度放射性废水中的铀。

参考文献:

- [1] MUZZARELLI R A. Potential of chitin/chitosan-bearing materials for uranium recovery: an interdisciplinary review [J]. Carbohydrate Polymers, 2011, 84(1): 54-63.
- [2] 易琼,叶菊招.壳聚糖吸附剂的制备及其性能[J].离子交换与吸附,1996,12(1):19-26.
- [3] ATIA A A. Studies on the interaction of mercury(II) and uranyl(II) with modified chitosan resins[J]. Hydrometallurgy, 2005, 80(1/2):13-22.
- [4] 周利民,王一平,黄群武.乙二胺改性壳聚糖磁性微球吸附 Hg²⁺ 和 UO₂²⁺ [J].核化学与放射化学,2007,29(3):

- 184-188.
- [5] 李欣. 功能性壳聚糖基微球可控制备及其对放射性废水中碘离子的吸附研究[D]. 武汉: 武汉科技大学, 2022.
- [6] 王凤菊, 勾阳飞, 宿延涛, 等. 壳聚糖季铵盐的制备及其对铀的吸附性能研究[J]. 湿法冶金, 2018, 37(3): 216-220.
- [7] 王凤菊, 勾阳飞, 朱善宾, 等. 8-羟基喹啉改性壳聚糖吸附剂的制备及其吸附铀的性能[J]. 湿法冶金, 2017, 36(6): 502-506.
- [8] 黄维, 范同祥. 水热碳化法的研究进展[J]. 材料导报. 2014, 28(增刊1): 131-135.
- [9] 张文龙. 水热交联壳聚糖基材料的制备及吸附铀的性能研究[D]. 南昌: 东华理工大学, 2014.
- [10] 任宇, 陈树森, 勾阳飞, 等. 氨基酸功能基高分子吸附剂的制备及从盐湖卤水中吸附铀[J]. 湿法冶金, 2022, 41(4): 317-323.
- [11] 张文龙, 马儒超, 周志伟, 等. 壳聚糖水热交联炭材料研究[J]. 江西化工, 2014(1): 232-236.
- [12] YANG Y H, CUI J H, ZHENG M T, et al. One step synthesis of amino-functionalized fluorescent carbon nanoparticles by hydrothermal carbonization of chitosan [J]. Chemical Communications, 2012, 48: 380-382.
- [13] 邓文雅. 基于葡萄糖的微/纳球形材料的合成与表征[D]. 大连: 大连理工大学, 2007.
- [14] ZHANG W L, ZHANG Z B, CAO X H, et al. Uranium adsorption studies on hydrothermal carbon produced by chitosan using statistical design method [J]. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2014, 301(1): 197-205.
- [15] 王凤菊, 封宇, 宿延涛, 等. 壳聚糖骨架新型铀吸附材料的研制[J]. 核标准计量与质量, 2018(4): 43-47.
- [16] 宿延涛, 宋艳, 勾阳飞, 等. 双功能基团抗生物附着提铀材料的制备及其吸附性能研究[J]. 湿法冶金, 2023, 42(3): 276-281.
- [17] 勾阳飞, 封宇, 陈树森, 等. 低密度树脂的制备及其对矿浆中铀的吸附性能研究[J]. 湿法冶金, 2023, 42(3): 269-275.
- [18] 曹鑫. UiO-66 基光催化剂对含氟含铀废水中铀的富集分离研究[D]. 绵阳: 西南科技大学, 2023.

Preparation of Amino-modified Chitosan Adsorbent and Its Adsorption Properties for Uranium

WANG Fengju, SONG Yan, LI Ziming, WU Haotian, LI Hao, CHEN Shusen

(Beijing Research Institute of Chemical Engineering and Metallurgy, CNNC, Beijing 101149, China)

Abstract: Chitosan microspheres (HTCC) were prepared by hydrothermal method, and Amino-modified chitosan adsorbent (AHTCC) was prepared by epoxidization and amination method to adsorb low concentration uranium in wastewater. The structure, composition and thermal stability of AHTCC were characterized by infrared spectrometer, elemental analyzer and thermogravimetric analyzer, and the adsorption and desorption properties of AHTCC for uranium were investigated. The results show that AHTCC has a good adsorption effect on uranium in solution at pH=5~8. Under the condition of equilibrium mass concentration of uranium adsorption of 120 mg/L, the adsorption capacity reaches the 151.6 mg/g. Its adsorption rate is faster in the initial 60 min and reaches equilibrium at 180 min. Using 80 g/L Na₂CO₃+20 g/L NaHCO₃ as the desorption agent, the desorption rate of uranium is 97.5%. For real uranium containing wastewater with high concentration of impurities, the removal rate of uranium can reach 95.6% after single adsorption by AHTCC.

Key words: chitosan; amino group; uranium; low concentration; hydrothermal method; modification; adsorption; preparation