·研究论文·

文章编号：1001-5493(2024)03-0237-09 DOI: 10.16026/j.cnki.iea.2024030237

8-羟基喹啉型酚醛树脂基球形活性炭的制备及其吸附性能研究*

孙懿芮，李英茹，王大铮，李鸿赫，王春红**

(南开大学高分子化学研究所，功能高分子材料教育部重点实验室，天津 300071)

摘 要：以苯酚、甲醛和8-羟基喹啉为聚合单体，通过反相悬浮聚合方法合成球形8-羟基喹啉酚醛树脂，以此为基础，经过高温碳化和活化，成功制备了多孔性的球形活性炭吸附剂。系统考察了作为碳化基球的酚醛树脂中N元素含量对最终球形活性炭孔结构的影响规律，在优化的合成控制条件下，制备了球形外观光滑完整、没有脱落现象且孔结构丰富的球形活性炭(8-HQC-C)，并以苯酚为小分子吸附模型、VB_{12}为中分子吸附模型，考察了8-HQC-C的吸附性能，其平衡吸附量均高于商品化碳化树脂Lewatit AF50，表现出作为血液灌流吸附剂的可行性。

关键词：8-羟基喹啉，酚醛树脂，球形活性炭，碳化树脂，吸附树脂

中图分类号：Q946 **文献标志码：**A

1 前 言

长时间以来，多孔性的活性炭材料被广泛应用于药物分离、食品脱色、气液净化等领域[1]，特别是近年来，其作为血液灌流吸附剂，在尿毒症患者的临床治疗中发挥了重要作用。但无定形活性炭形状不规则、机械强度较差，在血液灌流过程中会破坏血细胞，或因易碎、脱落从设备中浸出导致栓子脱落的问题[2]。因此，使活性炭拥有良好的球形外观、保持较高的稳定性是开发设计高效血液灌流吸附剂的重要前提。

制备球形活性炭的原料种类丰富、方法繁多。传统球形活性炭的制备一般以煤炭为主要原料，通过圆盘式造球机滚动成型，利用此方法得到的碳化材料往往机械强度较低、易发生脱落，所以作为血液灌流吸附剂使用前需要包膜[3]。对于直接使用球形聚合物前体经高温碳化制备的球形人工合成活性炭材料，其机械强度得到了明显提升，有效消除了微粒脱落的隐患，被认为是更有应用前景的血液灌流吸附剂。如董红静等[4]以聚苯乙烯基大孔吸附树脂球为碳化骨架，制备出高比表面积的球形活性炭；He等[5]以离子交换树脂球珠制备活性炭，其拥有丰富的微孔结构，同时保持了良好的球形外观；尹纪伟等[6]以球形酚醛树脂为碳前躯体，通过碳化及水蒸气活化制备出以微孔结构为主的碳化材料。但目前以酚醛树脂制备的碳化材料大多具有丰富的微孔结构，介孔结构分布很少，不适合作为血液灌流的吸附材料使用。

据文献报道，含有N原子的聚合物在高温碳化过程中，N原子的位置易扭转变形，不利于进一步石墨化，进而造成缺陷，形成介孔结构[7]。Lahaye等[8]利用乙烯基吡啶树脂制备出的活性炭具备丰富的微孔以及介孔结构；Shi等[9]通过模板法在酚醛树脂中掺杂氨基氰，合成了高比表面积的有序介孔炭；Kim等[10]通过气态氨和三聚氰胺处理，也得到高比表面积的多孔

* 收稿日期：2023-08-01
作者简介：孙懿芮 (1998—)，硕士研究生.
**通信作者：王春红，E-mail: wch2004@nankai.edu.cn.
引用本文：孙懿芮, 李英茹, 王大铮, 李鸿赫, 王春红 . 8-羟基喹啉型酚醛树脂基球形活性炭的制备及其吸附性能研究[J]. 离子交换与吸附, 2024, 40(3):237-245.
Citation: SUN Yi-rui, LI Ying-ru, WANG Da-zheng, LI Hong-he, WANG Chun-hong. Preparation and Adsorption Properties of Spherical Activated Carbon Based on 8-Hydroxyquinoline Phenolic Resin[J]. Ion Exchange and Adsorption, 2024, 40(3):237-245.

碳材料。但这些方法往往操作较为复杂，或者N原子的掺杂数量、分布等难以控制，可能会导致活性炭孔结构的塌缩。因此，通过简便的工艺合成具有较高机械强度、丰富孔道结构的球形活性炭仍然是一个巨大的挑战。

本实验利用反相悬浮聚合方法将含氮单体8-羟基喹啉直接与苯酚、甲醛进行缩聚反应制备球形树脂，有效避免了现有氮掺杂过程的缺陷，通过改变含氮单体8-羟基喹啉投入量，从而调控酚醛树脂前体中N含量，由于8-羟基喹啉是通过共价键连接到树脂骨架结构上，相较于物理掺杂，在后续的碳化过程中，含氮的结构片段对碳化树脂孔结构的影响更为显著，可以通过调控8-羟基喹啉型酚醛树脂前体的N含量、孔结构、交联度等间接调控后续碳化材料的结构和性能，为高性能球形活性炭材料的大规模工业化生产提供了切实可行的方案。

本文考察了以球形8-羟基喹啉型酚醛树脂为前体，经常规高温碳化、活化过程，制备的具有丰富介孔结构的球形碳化树脂的可行性；在此基础上，系统研究了前体树脂交联度、8-羟基喹啉投料量等对碳化材料孔结构、机械强度、球形外观的完整性等的影响规律，建立了优化的碳化树脂合成工艺；最后，以商品化树脂为对照，考察了所合成的碳化树脂的吸附性能。

2　实验部分

2.1　仪器与试剂

仪器：AE240分析天平，北京赛多利斯仪器系统有限公司；F15A鼓风干燥箱，上海博迅医疗生物仪器股份有限公司；RET control-visc C磁力加热搅拌器；OLYMPUS CX23光学显微镜，奥林巴斯工业有限公司；Hitachi S4800扫描电子显微镜，日立有限公司；HNY-302恒温振荡器，天津欧诺仪器仪表有限公司；BTF-1200C马弗炉，安徽贝意克设备技术有限公司；BELSORP-miniII气体吸附仪，美国麦奇克仪器有限公司；Spectrum Two红外光谱仪，英国铂金埃尔默公司；TU-1901紫外分光光度计，北京普析通用仪器有限公司；vario-EL-CUBE元素分析仪，德国Elementar公司。

试剂：苯酚、三聚甲醛、8-羟基喹啉、KOH、span-80、tween-85，均为分析纯，购于上海迈瑞尔化学科技有限公司；95%无水乙醇、乙二醇单甲醚、乙二醇、盐酸、液蜡，均为分析纯，购于天津市河东广达服务部；商品化碳化树脂Lewatit AF50，德国朗盛。

2.2　球形碳化树脂的制备

2.2.1　8-羟基喹啉（8-HQP）树脂的制备

本研究采用悬浮聚合方法制备球形树脂，具体过程如下。在三口烧瓶中加入反应单体苯酚、三聚甲醛、8-羟基喹啉，与溶剂乙二醇单甲醚充分溶解后，加入盐酸作为催化剂；用烧杯称取液蜡、span-80与tween-85搅拌均匀后加入三口烧瓶中作为分散体系，反应相在分散体系中以适宜的搅拌速度分散成均匀的小液滴后，升温至95 ℃，反应6~8 h定形后保温。将得到的球形树脂用乙醇与蒸馏水水洗至中性后干燥处理，得到最后产品，命名为8-HQP树脂。8-HQP树脂合成过程如图1所示。

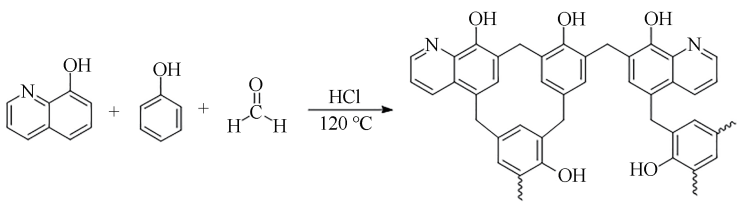


图1　8-HQP树脂的合成示意图.

Figure 1　Synthesis diagram of 8-HQP resin.

2.2.2　8-HQP树脂的碳化及活化过程

本实验中，球形活性炭的制备需经过2步。第1步为碳化过程：称取适量8-HQP树脂于坩埚中，放于马弗炉中，先于空气气氛下烧蚀，氧化除去样品内部分杂质，后在氮气气氛下继续碳化，碳化工艺过程的流程图如图2所示。第2步为活化过程：将碳化后的产物与1 mol/L KOH溶液以质量比为1∶2在坩埚中充分混匀静

置5 h后置于马弗炉中，在氮气气氛下烧蚀，活化工艺过程的流程图如图3所示。最终得到的碳化树脂用蒸馏水洗涤至中性后进行干燥处理，在室温下保存，命名为8-HQC。

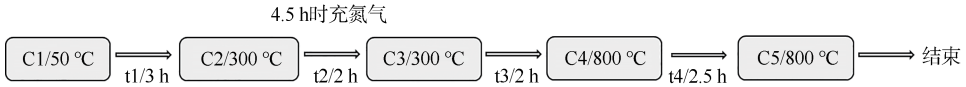


图2 碳化过程流程图.

Figure 2 Flowchart of carbonization process.

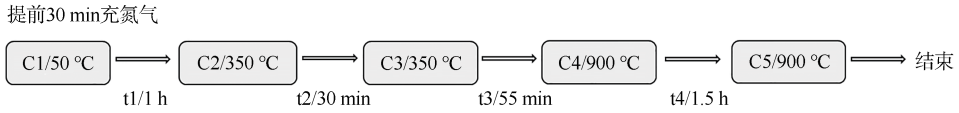


图3 活化过程流程图.

Figure 3 Flowchart of activation process.

2.3 表征与测试

采用光学显微镜观察树脂 (8-HQP) 的外观形貌；使用电子扫描显微镜观察球形活性炭 (8-HQC) 的外表面及内部孔结构；用红外光谱仪测定8-HQP骨架的特征吸收峰，判断8-羟基喹啉是否成功引入酚醛树脂中，测定条件为树脂与溴化钾以1∶200的质量比进行压片，在400~4000 cm^{-1}的波数范围内检测；使用元素分析仪测定树脂中的氮元素含量；应用Autosorb-1-MP气体吸附仪分析8-HQC的比表面积及孔径分布。

2.4 吸附性能测试

2.4.1 吸附质标准工作曲线测定

为了考察活性炭对不同尺寸吸附质分子的吸附性能，选择苯酚作为小分子吸附模型、VB_{12}作为中分子吸附模型进行测试。分别由低到高浓度配制苯酚和VB_{12}溶液，在其最大吸收波长下，通过紫外分光光度计进行吸光度的测试，并绘制相对应的标准工作曲线(图4)，具体参数如表1所示。从图4可知，在测定浓度范围内线性关系良好。

表1 标准曲线的不同测定参数.

Table 1 Different measurement parameters of standard curve.

吸附质	吸收波长 λ/nm	C_1/(mg·L^{-1})	C_2/(mg·L^{-1})	C_3/(mg·L^{-1})	C_4/(mg·L^{-1})	C_5/(mg·L^{-1})
苯酚	270	20	40	60	80	100
VB_{12}	361	20	40	60	80	100

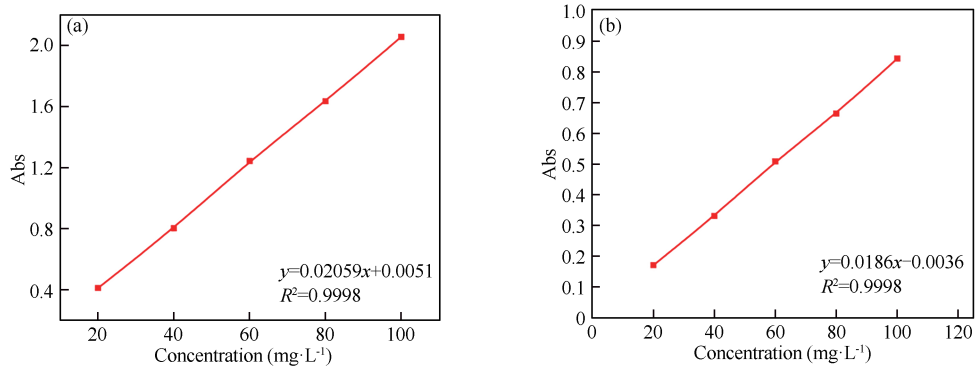


图4 标准工作曲线:(a)苯酚溶液;(b)VB_{12}溶液.

Figure 4 Standard working curve: (a) phenol solution; (b) VB_{12} solution.

2.4.2 8-HQC平衡吸附量及吸附动力学曲线的测定

称取0.5 g 8-HQC湿树脂于具塞锥形瓶中，准确移取50 mL吸附溶液 (1 g/L) 于锥形瓶中。常温下，吸附溶液与8-HQC树脂在恒温振荡器中混合均匀，进行静态吸附，定时移取吸附液，通过紫外分光光度计测定其浓度，计算吸附量，计算公式为

$$Q_t=\frac{(C_0-C_t)\times V}{m_0\times(1-a)} \quad (1)$$

式中：Q_t为t时刻样品的吸附量，mg/g；a为含水量，%；C_0为初始吸附液浓度，mg/L；C_t为t时刻吸附液浓度，mg/L；V为吸附溶液体积，L；m_0为树脂称样量，g。

以Q_t对t作图，考察8-HQC树脂对尺寸不同的吸附质分子的吸附动力学性质。当树脂吸附量不变时，认为已达到静态吸附平衡，此时的吸附量为8-HQC的静态吸附量Q_e。

3　结果与讨论

3.1　合成条件对8-HQP树脂成球性能的影响

3.1.1　分散稳定体系的影响

分散体系由分散介质与分散剂构成。从前期大量实验中发现，升温条件、分散介质的性质对树脂成球性能有显著影响。液蜡是一种含有多碳结构的烷烃混合物，由于它具有性质稳定、沸点高、无污染、价格低廉的特点，在反相悬浮聚合体系中常用作分散介质。在分散体系中加入分散稳定剂，可以更好地调节油水两相的界面能差，在分散的小液滴表面形成保护层，维持其稳定的球形外观，从而有效避免在聚合过程中球粒的碰撞粘连。

本实验考查了2种分散稳定剂的不同配比对聚合体系的保护效果及8-HQP树脂球形外观稳定性的影响。如表2所示，单独以span-80为分散剂时，由于span-80的亲水亲油平衡值 (HLB) 较低，表现为更加亲水，可能更适用W/O型体系，并不能起到很好的保护作用。因此，采用span-80与tween-85复配处方调节体系的HLB值，当span-80与tween-85以质量比为9∶1投入反应时，此时保护效果最佳，可以较好地保护小液滴至定型成球。

表2　不同分散稳定剂对8-HQP球形外观的影响.

Table 2　Effect of different dispersing stabilizers on the spherical appearance of 8-HQP.

分散稳定剂 (质量比)	HLB值	成球性
span-80	4.30	不成球
span-80 : tween-85=3 : 1	5.98	不成球
span-80 : tween-85=4.5 : 1	5.20	不成球
span-80 : tween-85=6 : 1	5.26	不成球
span-80 : tween-85=9 : 1	4.97	成球

3.1.2　溶剂种类对8-HQP树脂成球性能的影响

8-HQP树脂的制备过程中，聚合单体先溶于溶剂中形成均相溶液，在聚合反应发生后，形成的聚合物会从溶剂中析出，此过程即为相分离过程。溶剂的极性显著影响了相分离出现的时间，进而影响树脂的成球性能和内部的孔结构，因此聚合溶剂的选择至关重要。本实验选择不同的聚合溶剂，考察了溶剂极性对8-HQP树脂成球性的影响，结果如表3所示。

表3　不同溶剂对树脂外观的影响.

Table 3　The effect of different solvents on the appearance of resin.

溶剂种类	外观
乙二醇+水	椭球粘连
乙二醇单甲醚+水	圆球粘连
乙二醇	椭球
乙二醇单甲醚	圆球

从表3和图5可以发现，当反应溶剂的极性较大时，对形成聚合物的溶解性增强，相分离过程出现得较晚，聚合物球粒发黏的时间延长，这大大增加了球粒碰撞粘连的概率。当乙二醇单甲醚作为溶剂时，由于溶剂极性较小，对于极性较强的酚醛树脂骨架，其溶解性显著降低，相分离较早，树脂固化成型较快，树脂球形外观完整、表面光滑并且没有粘连，这为后续制备球形良好的碳化树脂奠定了基础。

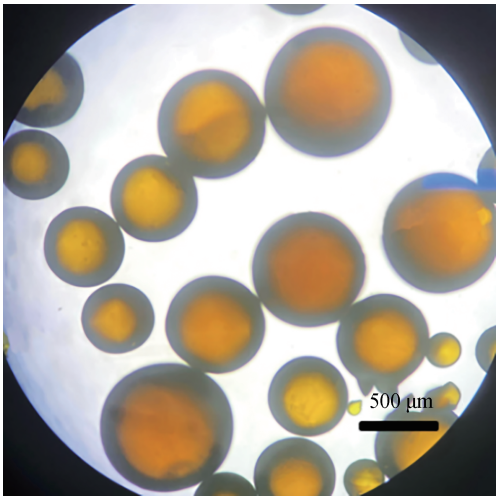


图5　8-HQP树脂外观的光学显微镜图.

Figure 5　Optical microscope image of the appearance of 8-HQP resin.

3.1.3 树脂的红外光谱分析

为了验证8-羟基喹啉被成功引入了酚醛树脂骨架，测定了8-HQP树脂的红外光谱。如图6所示，3480 cm^{-1}为喹啉上羟基O-H伸缩振动吸收峰，1648 cm^{-1}与1505 cm^{-1}为喹啉杂环上共轭C═N伸缩振动吸收峰，1267 cm^{-1}为喹啉环上的C—O伸缩振动吸收峰。此红外光谱图与表4中对8-HQP的N元素分析结果证明，8-羟基喹啉已被成功引入树脂骨架中。

3.2 碳化与活化条件的确定

在碳化过程中，酚醛树脂内部会产生H_2O、CO、CO_2等气体并排出，气体转移过程会留下孔道，对活性炭孔结构和机械强度有着很大影响。气体主要在300~800 ℃升温过程中产生，在此温度范围内，升温速率影响活性炭的结构，当升温速率过快时，树脂表面会先固化完全，热量传递到树脂内部，内部产生的H_2O等小分子气体因无法逸出形成闭孔，无定形碳及焦油类物质沉积在树脂内部无法排出，堵塞孔道；当升温速率过慢时，树脂内部反应迟缓，无定形碳被固化在树脂内部，使得骨架结构更加致密，比表面积较小。因此本实验初步在氮气流中以5 ℃/min升温速率对前体树脂进行热重测试，从图7的失重(TG)和失重速率(DTG)曲线看出，常温至400 ℃的过程中，样品失重20%，可能是树脂内部脱水、脱酸和残余苯酚蒸发；温度为400~600 ℃时失重明显，说明其自身热解，氧键开始断裂以H_2O、CO、CO_2形式逸出；温度为600~800 ℃时，芳香族核间逐渐形成共价键，逸出分子减少；升温到800 ℃后，TG曲线基本平衡，说明树脂内部结构几乎固化完全，形成三维立体骨架。

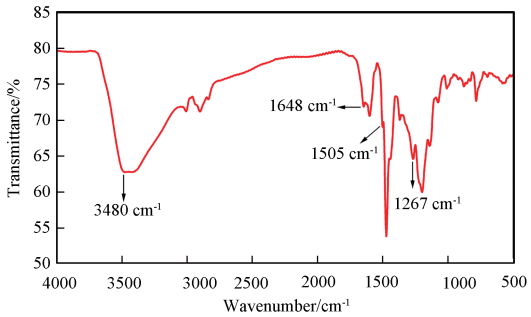


图6 8-HQP树脂的红外谱图.

Figure 6 Infrared spectrum of 8-HQP resin.

表4 不同投料物质的量比与N含量及比表面积的关系.

Table 4 Relationship between different feeding ratios, N content, and specific surface area.

编号	8-羟基喹啉：苯酚(物质的量比)	8-HQP中N含量/%	8-HQC中N含量/%	比表面积/($m^2 \cdot g^{-1}$)
(a)	1 : 9	0.41	0.39	73
(b)	1 : 5	0.96	1.11	1063
(c)	1 : 2	1.31	1.38	1115
(d)	1 : 1	1.69	—	—
(e)	2 : 1	2.15	—	—
(f)	3 : 1	2.90	—	—

本实验采用化学活化法。相较于物理活化法，化学活化的反应更加剧烈，反应所需温度更低，得到的碳化材料比表面积更高、孔径分布更加丰富[11]。其中，KOH、NaOH是常用的化学活化剂，研究发现碱与树脂质量比一定的情况下，由KOH制备的碳化材料有着更高的收率，并且与NaOH相比，KOH活化时具有更强的渗透力和插层效果，更有助于增加比表面积、增大孔容、丰富孔道结构[12]。使用KOH为化学活化剂，其熔点为360 ℃左右，温度到达沸点时会迅速融化膨胀放出大量气体，若升温速率过快，KOH会大量溢出影响活化效果。因此在达到沸点前缓慢升温，将活化温度先设置为350 ℃并保温30 min，待其充分反应后再升到活

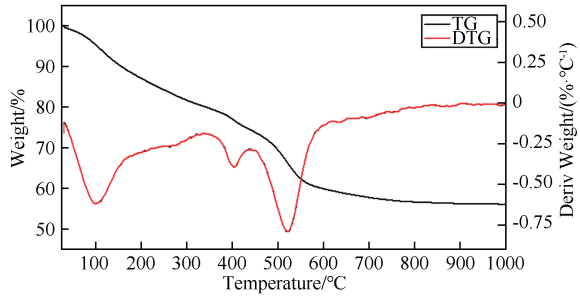


图7 8-HQP树脂失重(TG)及失重速率(DTG)曲线.

Figure 7 Weight loss (TG) and weight loss rate (DTG) curve of 8-HQP resin.

化温度，以减缓膨胀速度，将KOH的活化作用发挥到最大化。

从图8可以看出，通过以上条件得到的碳化树脂表面光滑，不仅球形完整，而且没有破裂和脱落现象。

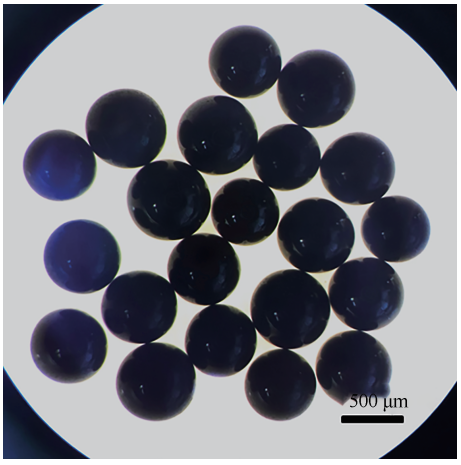


图8 8-HQC碳化树脂的光学显微镜图.

Figure 8 Optical microscope image of 8-HQC carbonized resin.

3.3　碳化树脂 (8-HQC-C) 孔结构的调控

根据文献报道，在酚醛树脂骨架中，随着杂原子的引入，碳化材料的比表面积、孔道结构也会发生改变。为此，设计合成8-羟基喹啉与苯酚投料物质的量比不同的一系列8-HQP树脂，考察了8-羟基喹啉引入量不同时，8-HQP树脂成球性及后续碳化、活化后制备的8-HQC树脂的孔结构变化规律，结果如图9和表4所示。

从图9 (a)~9 (c) 中可以看到，得到的树脂球形较好、表面光滑；图9 (d) 中树脂开始出现大量粘连。当8-羟基喹啉引入量过多时，由于其交联位点少，使体型结构交联困难，交联的长链聚合物结构增多，得到的树脂难以成球，如图9 (e)、图9 (f) 所示。考虑到血液灌流吸附材料的实际应用效果，本实验只对成球较好的图9 (a)~9 (c) 3组方案进行碳化、活化处理，表4中列出不同投料物质的量比时得到的N含量及最终产物的比表面积。随着8-羟基喹啉引入量的不断增加，树脂前体骨架中氮原子的掺杂数量逐渐增加，在高温烧蚀过程中，一部分氮脱除，原位置形成石墨化结构，而未能脱除的含氮片段发生扭转变形，不易进一步石墨化而产生缺陷，形成大量微孔或介孔结构，相应的比表面积变大。因此，本实验最终采用8-羟基喹啉与苯酚以投料物质的量比为1 : 2的方案，并将其命名为8-HQP-C，得到的碳化树脂命名为8-HQC-C。

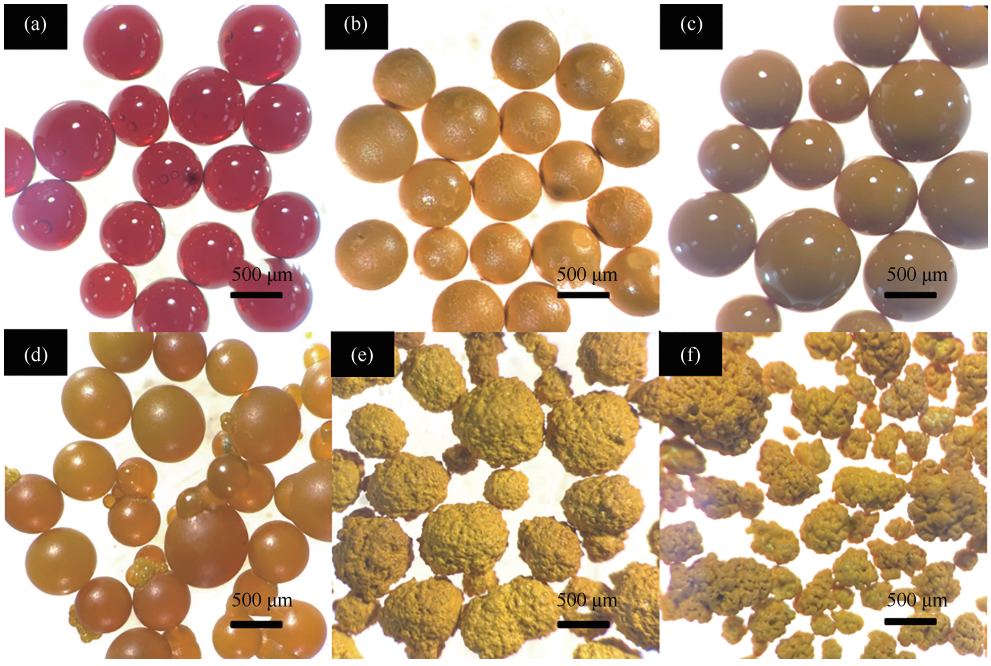


图9 不同投料物质的量比下8-HQP树脂的光学显微镜照片: (a)~(f) 的投料物质的量比分别对应1 : 9、1 : 5、1 : 2、1 : 1、2 : 1、3 : 1.

Figure 9 Optical microscope photos of 8-HQP resin with different feeding mole ratios: (a) to (f) correspond to 1 : 9、1 : 5、1 : 2、1 : 1、2 : 1、3 : 1.

3.4 8-HQC-C树脂的表征

3.4.1 扫描电子显微镜 (SEM) 测试

8-HQC-C孔结构的SEM表征结果如图10所示。从图10 (a)可以看出，该碳化材料具有良好的球形外观，图10 (b)、图10 (d)说明外表面与内部均具备丰富的多孔结构，可为吸附质分子提供良好的传质通道和丰富的吸附位点。

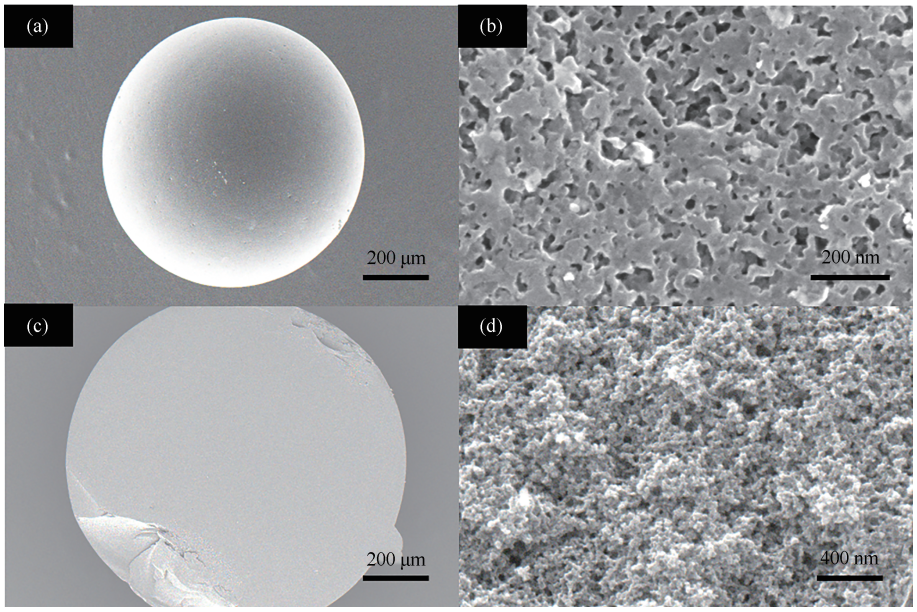


图10 8-HQC-C扫描电镜图: (a)、(b)为外表面; (c)、(d)为内截面.

Figure 10 Scanning electron microscope images of 8-HQC-C: (a) and (b) are the outer surface; (c) and (d) are the inner section.

3.4.2 N_2吸附实验

利用气体吸附仪对8-HQC-C的孔道结构进行表征，如图11所示。图11 (a)、图11 (b)分别为8-HQP-C树脂经碳化、KOH活化后的N_2吸附-脱附曲线，由图中结果可知，碳化和活化后的树脂的吸附-脱附曲线及滞后回环的形状基本相似，说明活化过程并没有显著改变树脂的孔结构，但是活化后树脂的N_2吸附量提高，对应于碳化后树脂的比表面积为754 m^2/g，而活化后树脂的比表面积显著增加至1115 m^2/g，这说明树脂经进一步活化后，KOH的作用使碳化后的某些缺陷部分被刻蚀成孔，进而增大其比表面积，因此活化过程在本实验中十分必要。图12为8-HQP-C树脂碳化、活化后孔径分布曲线，同样的，孔分布曲线的形状并未发生明显改变，但活化后介孔部分的孔分布明显增加，也再一次证明了活化过程的必要性。

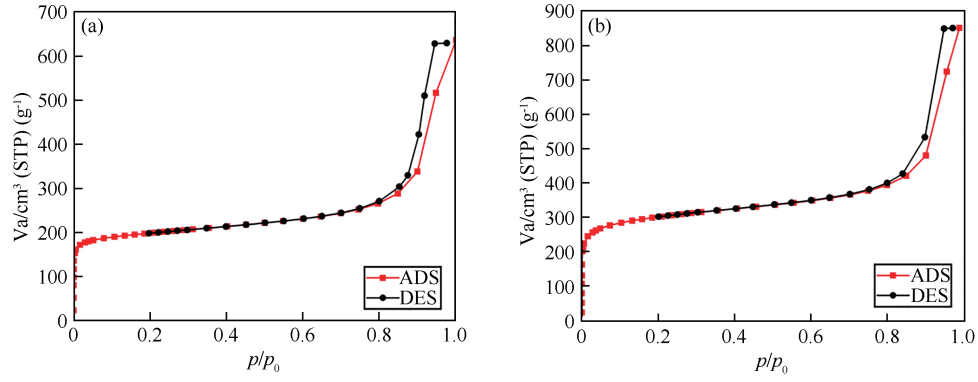


图11 氮气吸附-脱附等温线: (a) 碳化后; (b) 活化后.

Figure 11 Nitrogen adsorption-desorption isotherm: (a) after carbonization; (b) after activation.

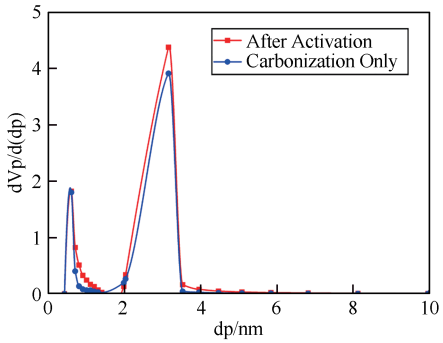


图 12　8-HQC-C 树脂孔径分布曲线.

Figure 12　Distribution curve of pore size of 8-HQC-C resin.

另外，根据图 12 孔径分布曲线图，8-HQC-C 不仅含有丰富的微孔结构(0.4~1.5 nm)，而且富含大量的介孔结构(2~5 nm)。这为后续树脂内部小分子、中分子的传质创造良好基础，满足作为血液灌流吸附剂的条件。

3.5　吸附性能研究

以苯酚为小分子吸附模型、VB_{12} 为中分子模型，以德国朗盛的商品化碳化树脂 Lewatit AF50 为对照，将 8-HQC-C 与其进行吸附性能的测试，从图 13 和图 14 可以看出，8-HQC-C 的平衡吸附量与吸附速率显著高于 Lewatit AF50，其中 8-HQC-C 的苯酚平衡吸附量为 136 mg/g，是 Lewatit AF50 的 1.4 倍；VB_{12} 平衡吸附量为 234 mg/g，是 Lewatit AF50 的 5.8 倍。

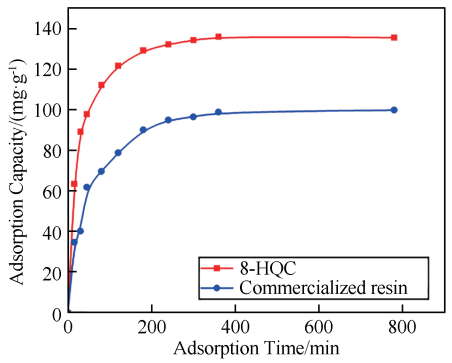


图 13　苯酚不同时刻吸附曲线.

Figure 13　Adsorption curve of phenol at different times.

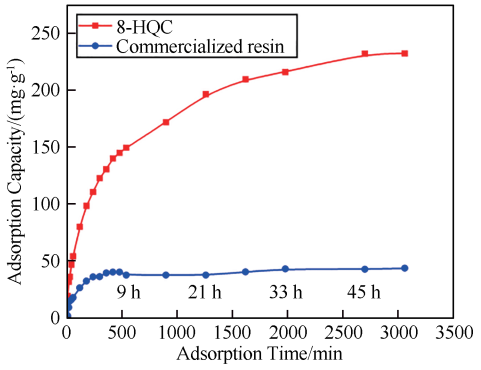


图 14　VB_{12} 不同时刻吸附曲线.

Figure 14　Adsorption curve of VB_{12} at different times.

4　结论

本实验基于反相悬浮聚合的方法，通过优化合成条件以及单体比例成功制备出含有 8-羟基喹啉的球形树脂前体，将其碳化、活化处理后得到球形完整、没有脱落现象、孔道结构丰富、平衡吸附量较大的球形活性炭(8-HQC-C)。其苯酚平衡吸附量为 136 mg/g、VB_{12} 平衡吸附量为 234 mg/g，均显著高于商品化对照树脂 Lewatit AF50，未来有望作为血液灌流吸附剂的材料。

参考文献

1　Yenisoy-Karakaş S, Aygün A., Güneş M , Tahtasakal E. Physical and chemical characteristics of polymer-based spherical activated carbon and its ability to adsorb organics [J]. *Carbon*, **2004**, 42(3): 477-484.

2　Barnes J, Cowgill L D, Auñon J D. Activated carbon hemoperfusion and plasma adsorption: rediscovery and veterinary applications of these abandoned therapies [J]. *Advances in Small Animal Care*, **2021**, 2: 131-142.

3　李存梅. 用于 CO_2 捕获的树脂基球状活性炭的制备研究 [D]. 太原: 太原理工大学, **2013**.

4　董红静, 邬剑明, 晏泓, 李开喜, 孙国华. 高比表面积聚苯乙烯基球状活性炭的制备研究 [J]. 化工新型材料, **2013**, 41(9): 40-43.

5　He P, Haw K G, Yan S C, Tang L X, Fang Q R, Qiu S L, Valtchev V. Carbon beads with a well-defined pore structure derived from ion-exchange resin beads [J]. *Journal of Materials Chemistry A*, **2019**, 7(31):18285-18294.

6　尹纪伟, 杜洁, 王旭明, 张芳华, 李雪, 李玮, 张红蕾. 酚醛树脂基球形活性炭的制备及其吸附性能 [J]. 河北大学学报 (自然科学版), **2020**, 40(3): 276-282.

7　GAO A J, JIN Y W, XU L H. Effect of nitrogen element in the graphitization of carbon fibre [J]. *Chin J Mater Res*,

2010, 24(2): 149-153.
8 Lahaye J, Nanse G, Bagreev A, Strelko V. Porous structure and surface chemistry of nitrogen containing carbons from polymers [J]. *Carbon*, **1999**, 37: 585-590.
9 Shi Q, Zhang R Y, Lv Y Y, Deng Y H, Elzatahrya A A, Zhao D Y. Nitrogen-doped ordered mesoporous carbons based on cyanamide as the dopant for supercapacitor [J]. *Carbon*, **2015**, 84: 335-346.
10 Kim W, Kang M Y, Joo JB, Kim N D, Song I K, Kim P, Yoon J R, Yi J. Preparation of ordered mesoporous carbon nanopipes with controlled nitrogen species for application in electrical double-layer capacitors [J]. *Power Sources*, **2010**, 195 (7): 2125-2129.
11 苏伟, 周理. 高比表面积活性炭制备技术的研究进展 [J]. 化学工程, **2005**(2): 44-47.
12 谢应波, 张维燕, 张睿, 成果, 张传祥, 凌立成. KOH与NaOH活化法所制活性炭孔结构及电化学性能的比较 [J]. 炭素技术, **2008**, 27(2): 9-14.

Research paper

Preparation and Adsorption Properties of Spherical Activated Carbon Based on 8-Hydroxyquinoline Phenolic Resin

SUN Yi-rui, LI Ying-ru, WANG Da-zheng, LI Hong-he, WANG Chun-hong*
(*Institute of Polymer Chemistry, Key Laboratory of Functional Polymer Material, Nankai University, Tianjin 300071, China*)

Abstract In this paper, the spherical 8-Hydroxyquinoline phenolic resin was synthesized by inverse suspension polymerization with phenol, formaldehyde and 8-Hydroxyquinoline as polymerization monomers. On this basis, the porous spherical activated carbon adsorbent was successfully prepared through high-temperature carbonization and activation. The influence of nitrogen content in phenolic resin was systematically investigated on the formation of pore structure in the final spherical activated carbon. Under optimized synthesis conditions, spherical activated carbon 8-HQC-C was prepared with smooth appearance, no detachment phenomenon and rich pore structures. The adsorption performance of 8-HQC-C was investigated using phenol as a small molecule adsorption model and VB_{12} as a medium molecule adsorption model. Its adsorption capacity is higher than that of commercial carbonized resin Lewatit AF50, which indicates the feasibility of being used as hemoperfusion adsorbent.

Keywords 8-hydroxyquinoline, Phenol formaldehyde resin, Spherical activated carbon, Carbonized resin, Adsorption resin

* **Corresponding author:** WANG Chun-hong, E-mail: wch2004@nankai.edu.cn.