DOI:10.19789/j.1004-9398.2017.06.010



# 有序介孔碳材料的研究进展简述

李 爽 黄 欣 李 伟*
(首都师范大学化学系, 北京 100048)

## 摘 要

有序介孔碳材料(OMCs)是指孔径在 2 ~ 50 nm 之间的多孔碳材料,其特点是具有较大的比表面积、丰富的介观结构、均一的孔径、整齐的介孔排列、良好的导电和导热性能. 因此,在催化、吸附、分离、气体储存、物质传递等方面有着广泛的应用. 目前为止,有序介孔碳材料的研究已在多方面有所突破: 利用多种方法,能够合成稳定的高度有序介孔碳材料; 通过改变反应条件,如反应物量比、pH 值等,能够调控介孔的形状、大小等; 将某些原子或官能团引入材料中,能够改变其物理和化学性质,使之在应用上更具有指向性. 本文对有序介孔碳材料的研究进展进行了简述,包括其合成、表征、改性和应用等几个方面,同时,对其发展前景也进行了展望.

**关键词:** 有序介孔碳材料,合成,表征,改性,应用.
**中图分类号:** TB383

根据国际纯碎和应用化学联合会(IUPAC)的规定,多孔材料按照孔道尺寸的大小可以分为微孔、介孔和大孔材料三类. 孔径大于 50 nm 的为大孔材料,孔径在 2 ~ 50 nm 之间的为介孔材料,孔径小于 2 nm 的为微孔材料. 微孔和大孔材料的孔径、比表面积因为过小或过大,使其应用在许多情况下受限[1-4]. 介孔材料由于其具有较大的比表面积、丰富的介观结构、均一的孔径、高孔隙率和高渗透性等独特的结构特点,在诸多领域有着广泛的应用,包括分离、吸附、气体储存、催化[1] 等等. 因此介孔材料在近年来已成为研究的热门[3].

对于介孔材料,人们率先研究的是硅基介孔材料. 自 1992 年 C. T. Kresge 等首次合成出了介孔分子筛(M41S)[3,5],硅基介孔材料的研究便得到了迅速的发展,日趋成熟. 近年来,介孔碳材料成为了热点. 与介孔硅材料相比,碳材料具有更加优异的导电性能,在电化学如电极、电容器方面有着良好的应用前景; 同时,碳材料的合成简便易行,微观结构和孔径大小也易于调控; 在环境友好方面,碳材料也能够满足绿色化学的要求,前驱体多种多样、易于获得. 因此,介孔碳材料的研究有着重大的作用和价值.

本文对介孔碳材料的研究进行了综述,包括其合成、孔径调控、表征和应用四个方面,随后对其发展前景进行了展望.

## 1 合 成

在介孔碳材料的合成中,前驱体和模板剂是必需的. 前驱体用来提供碳源,常用易聚合形成树脂的酚和醛; 模板剂用来形成介孔,前驱体围绕其聚合,形成高聚物后将模板剂去除,模板剂原来存在的位置,即形成碳材料的孔.

其中模板剂分为硬模板和软模板. 根据模板剂的种类,可分为两大种合成方法.

### 1.1 硬模板法

硬模板法是指在合成碳材料时,模板剂为本身具有一定立体结构的材料. 其过程为: 将前驱体和模板剂溶解在溶剂中,在一定条件下,前驱体通过氢键、范德华力或静电力[6] 围绕模板剂,发生聚合反应. 反应结束后,将样品过滤干燥,利用高温煅烧、碳化、酸腐蚀等方法,将模板剂去除,同时将高聚物的其它元素去除,形成介孔碳材料(图 1). 其中,常用的硬模板为 MCM、SBA、FDU 等介孔硅基分子筛(图 2).

1999 年,Ryoo 等[7] 首次利用硅分子筛 MCM-48 为模板、蔗糖为前驱体合成了介孔碳材料 CMK-1.

收稿日期: 2017-04-10
* 通讯作者



(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

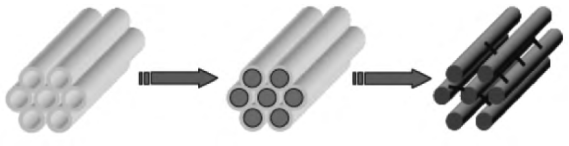


图 1　硬模板法示意图

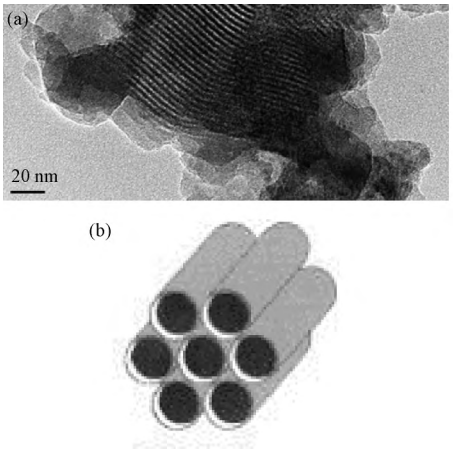



图 2　硅基分子筛 MCM-48( a) 和 SBA-3( b)

他们将 MCM-48 用蔗糖的硫酸溶液浸渍，随后在 1 073 ~ 1 373 K 的真空或惰性气体中加热灼烧，经过 NaOH 的乙醇溶液去除模板剂后，便得到了有序介孔碳材料 CMK-1. 然而在去除硅模板剂的过程中，碳材料的介观结构发生了转变，并非保持了 MCM-48 互补结构.

次年，Jun 等[8] 以 SBA-15 为模板剂，利用同样的方法成功合成了与模板剂结构完全互补的介孔碳材料 CMK-3( 图 3) . 随着不断的探索，人们已经通过硬模板法实现了介观结构的高度有序、孔径调控、氟和氮等杂原子的引入等[9]，并开始向绿色化学的方向发展.

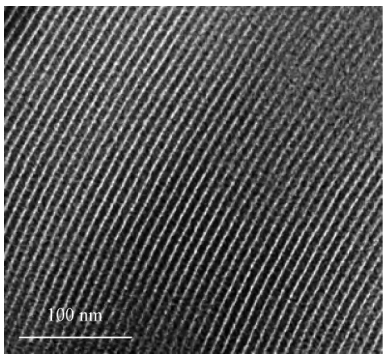



图 3　具有孔道结构的 CMK-3

硬模板法的优势在于，它能够合成不同的结构有序的碳材料，然而随着发展，硬模板法也暴露出了严重的缺点. 在整个过程中，首先要合成模板剂; 其次，在碳化之前需要去除模板剂; 而且，在去除模板剂的过程中，碳材料的结构或强度可能会由于模板剂骨架的消失而发生改变. 因此硬模板法成本高、效率低，很难满足工业大量生产.

### 1.2　软模板法

在软模板法中，模板剂被表面活性剂( 具有两亲性质的有机物) 所替代. 其中 P123 和 F127 是两种普遍利用的 PEO-PPO-PEO 型三嵌段共聚物表面活性剂( 图 4) [10]. 在溶液中，表面活性剂先自聚为 PPO 段为中心的胶束，随后前驱体围绕 PEO 段聚合，形成 Loop 构型( 图 5) . 还有一种 PPO-PEO-PPO 型嵌段共聚物也可以作模板剂，理论上能与前驱体形成三种构型( 图 5)，其中 Bridge 构型是最稳定的[11].

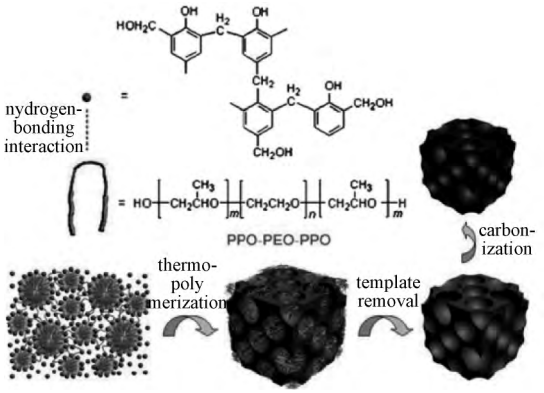



图 4　介孔碳合成机理示意图

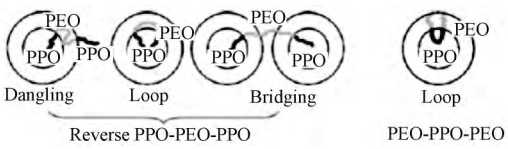



图 5　利用两种表面活性剂合成的机理

目前为止，使用 PEO-PPO-PEO 型嵌段共聚物，也早已能够合成具有 $Im\bar{3}m$、$p6m$、$Ia\bar{3}d$ 结构的介孔碳[10].

常见的软模板法有以下两种.

#### 1.2.1　EISA 法

EISA 法，即溶剂挥发诱导自组装法，这种方法能够有效地避免表面活性剂与前驱体之间的协同自组装. 方法分为两步——有机 - 有机自组装和热聚合. 其过程是，将反应物溶解在乙醇、丙酮等易挥发的溶剂中，随着溶剂的挥发，前驱体的浓度增大，前驱体和表面活性剂 PEO 段通过氢键等发生有机 - 有机自组装; 随后进行热聚合，前驱体在 PEO 段处，



(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

包裹 PPO 段聚合形成高聚物. 反应结束后,碳化处理,得到介孔碳材料.

近年来,Zhao 等[12] 在此方面进行了广泛的研究,制备出了形貌规整、稳定性高的碳材料 FDU-15、FDU-16 等[11]. Sun 等[13] 以酚醛树脂为前驱体,制备出了大小在 0.8 ~ 1.0 μm 之间的介孔碳微球(MC-MS),该碳微球具有 7 ~ 10.3 nm 的孔径和易于调控的比表面积 - 孔容比率; 其 Co 的改性物(Co-MC-MS)还表现出了良好的催化性能. Wang 等[14] 利用酚醛树脂、纳米 $Fe_2O_3$ 等制备出了 $Fe_2O_3$ 掺杂的磁芯 - 碳壳微球,该微球具有较大的比表面积(~403 $m^2/g$)和较大的介孔(~13.8 nm),在苯乙烯的环氧化催化测试中,表现出了较高的转化率(72%)和选择性(85%),并且微球的尺寸可以通过改变磁芯大小和碳壳厚度而调控. 这些碳材料的改性,为介孔碳材料提供了更加广泛的应用前景[15].

### 1.2.2 水热合成法

水热合成法是指在水溶液中,通过控制温度、压强等反应条件,来合成有序介孔碳材料的方法. 这种方法简便易行,通过这种方法合成的碳材料,能够保证其结构规整、形貌良好. Zhang 等[16] 进行了大量研究,在水溶液中合成了具有 $Im\bar{3}m$、$p6m$、$Ia\bar{3}d$ 结构的介孔碳材料 FDU-16、FDU-15、FDU-14,并通过加入癸烷和十六烷作为膨胀剂来扩大孔径,并且通过调整 P123 与酚的摩尔比实现了 $Ia\bar{3}d$ 到 $p6m$ 结构的转变,证实了有序介孔碳材料可以在水相中大量合成.

## 2 孔径调控

介观结构很大程度上取决于前驱体的种类和合成方法或环境. 邓中林等[17] 利用蔗糖、糠醇和酚醛树脂作为碳源,SBA-15 为模板剂制备介孔碳材料. 其中,利用蔗糖得到的材料有序度最高、孔径最大. 这是由于蔗糖溶液较好的水溶性,且溶液粘稠度低,蔗糖分子容易进入分子筛的孔中,从而碳化之后能得到高度有序的介观结构. 同时蔗糖在碳化过程中的收缩最大,因此介孔的孔径最大、孔壁最薄. Anhui Lu 等[18] 利用丙烯氰、SBA-15 和 AIBN 制备类 CMK-3 的聚丙烯氰基 OMCs 时,研究了稳定温度(stabilization temperature)和碳化温度对介孔的影响. 稳定温度分别为 200 ℃、230 ℃和 250 ℃时,随着温度的升高,孔径、孔体积和比表面积随之下降; 碳化温度为 850 ℃和 1 100 ℃时,孔径、孔体积和比表面积随温度升高而上升. 由此看来,介孔结构可通过调整稳定温度和碳化温度来缩小变化范围.

在前驱体的聚合过程中,酸的浓度和酚的活性可以影响介孔的大小. 当反应在较强的酸性环境中进行,或用活性较高的间三苯酚时,前驱体能够迅速聚合形成分子量较大的颗粒,影响碳化过程中骨架的收缩,从而得到较大的孔径; 但是介孔的有序度较差[11].

在合成中,加入烃也可以增加孔径. Zhang 等[16] 利用十六烷和癸烷对 FDU-15 进行了扩孔,在 350 ℃的煅烧后,十六烷将孔径扩大到 5.0 nm 而癸烷将孔径扩大到了 6.8 nm; 在 800 ℃的煅烧后,十六烷将孔径扩大到 3.8 nm 而癸烷将孔径扩大到了 4.1 nm. 这表明了相比之下,短链烷烃的扩孔效果更佳. 然而当引入比癸烷更小的烷烃时,只能得到无序的介孔碳.[11]

此外,对于软模板法,涉及 PEO-PPO-PEO 型表面活性剂如 P123 和 F127 时,根据前文提到的机理,可通过增大 PPO 段的分子量实现孔径的增大.

## 3 表 征

透射电镜(TEM)可以观察到介孔碳材料的表面结构,如材料形状、排列方式等(图 6[19]).

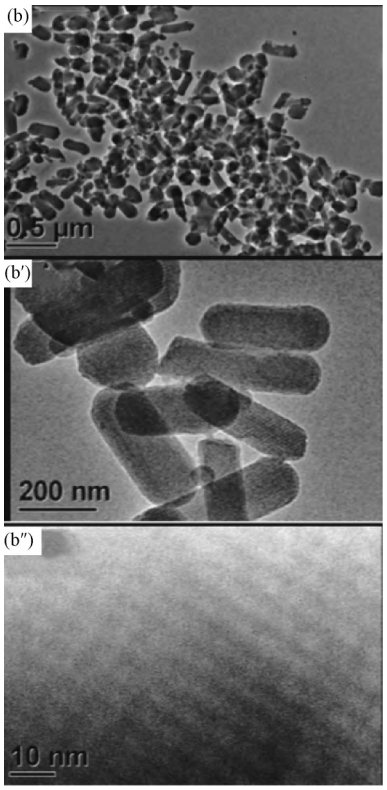



图 6 介孔碳材料的表面结构
(b)和(b′)为材料形状,呈棒状结构; (b″)为介孔结构,孔径均一,高度有序.



(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

氮气吸附法可以测定介孔碳材料的比表面积和孔径分布. 图 7 [20] 为两种介孔碳的氮气吸附脱附曲线( a) 和孔径分布曲线( b) .

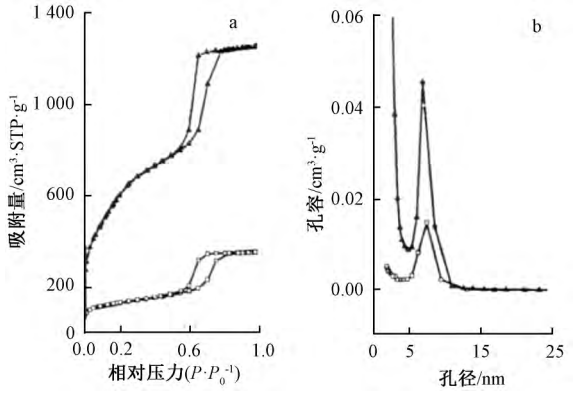



图 7　某种 OMCS( ▲) 和 OMS( ○) 的氮气吸附脱附曲线( a) 和孔径分布曲线( b)

两种曲线均为典型的 IV 型曲线,并存在明显的毛细管冷凝现象和 $H_2$ 型滞后环,说明两种材料均有柱状的孔道和较窄的孔径分布. 并且通过 BET 方法计算可以得出 OMCS 和 OMC 比表面积分别为 455 $m^2/g$ 和 2 281 $m^2/g$,孔容分别为 0. 55 $cm^3/g$ 和 1. 92 $cm^3/g$.

红外光谱( IR) 、傅里叶变换红外光谱( FTIR) 、小角 XRD 和拉曼光谱( Raman) 用来测定官能团、材料结构、共价键等信息. 不同官能团的伸缩振动和弯曲振动会产生不同的峰值,通过峰值可推测介孔碳材料中含有的官能团.

游波等 [20] 在合成有序介孔碳材料后利用 FTIR 进行了表征( 图 8) . 通过光谱图,可以看出从 as-made OMCS 到 OMC 过程中,材料成分的变化. as-made OMCS 的吸收峰中,3 400 $cm^{-1}$ 和 1 610 $cm^{-1}$ 对应酚醛树脂的 C-H 键,2 900 $cm^{-1}$ 对应 F127 的 C-H 键,1 100 $cm^{-1}$ 对应 C-O( F127) 和 Si-O-Si 键,963 $cm^{-1}$ 对应 Si-OH 键. 当煅烧得到 OMCS 后,只剩下 1 100 $cm^{-1}$ 吸收峰,说明酚醛树脂完全炭化,模板剂 F127 被完全除去,材料中仅剩 Si-O-Si 键. 用 HF 刻蚀后,1 100 $cm^{-1}$ 吸收峰消失,说明氧化硅也被完全除去,得到目标产物 OMC.

艾力江·吐尔地等 [19] 在合成有序介孔碳材料后利用小角 XRD 和拉曼光谱进行了表征( 图 9、10 [19] ) . 通过小角 XRD 图谱可看出介孔碳具有良好的二维六方结构; 通过拉曼光谱可看出介孔碳较高的石墨化程度.

固体核磁共振( $^{13}C$-NMR) 可用来表征材料结构——不等价碳原子的种类( 图 11 [21] ) . 在核磁碳谱中,峰的个数即代表不等价碳原子的种类数.

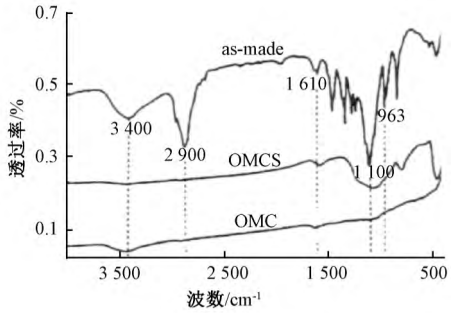



图 8　三种材料的 FTIR 图

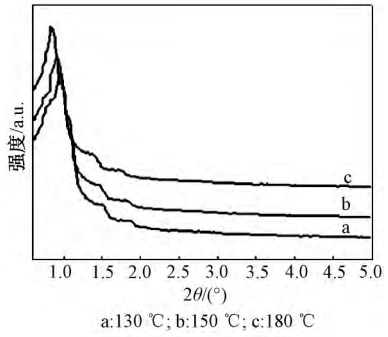



图 9　不同温度下合成的棒状有序介孔碳小角 XRD 图　三个衍射峰 0. 94°、1. 52°和 1. 81°分别对应二维六方结构的( 100) 晶面、( 110) 晶面和( 200) 晶面,表明介孔碳具有良好的二维六方结构.

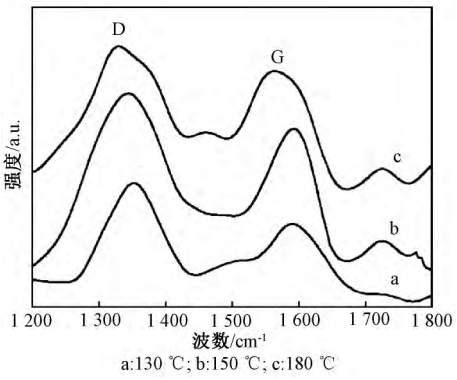



图 10　原位法合成棒状有序介孔碳的拉曼光谱图　G 峰有芳香环结构产生,D 峰有 $sp^2$ 原子产生,由两峰的强度比( $I_G/I_D$) 可知介孔碳具有较高的石墨化程度.

热重分析法( TGA) 主要可以表征介孔碳材料在空气中或惰性气体中的热稳定性和热分解作用. 孙永安等 [22] 在合成有序介孔材料后利用 TGA 进行了表征( 图 12) ,两种材料的热失重主要集中在 600 ~ 725 ℃,并且 C-MTS-9 的热稳定性高于 CMK-3 的热稳定性. 当其稳定后,剩余质量为 2. 23%,模板剂



(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

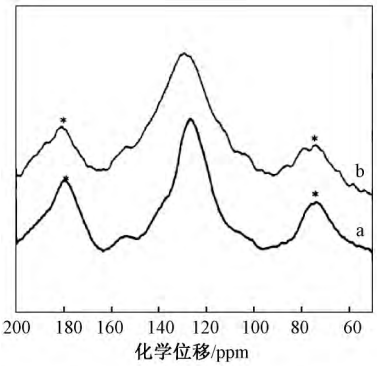



图 11 两种改性介孔碳的 $^{13}$C-NMR 谱图
两种谱图无明显差别,在 130 ppm 和 155 ppm 处均出现吸收峰,其分别代表芳香碳原子和酚羟基碳原子.

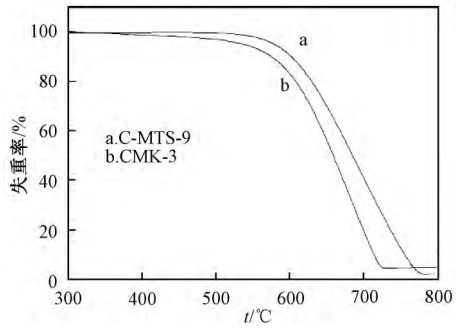



图 12 热重曲线[22]

等均被去除.

## 4 主要应用

介孔碳材料的应用主要集中在以下三个方面.

### 4.1 催 化

催化可分为两种情况,一种是碳材料本身作为催化剂,另一种是通过储存催化物质实现催化效果. 作为催化剂本身,它可用作固体酸催化剂,在烷基化、异构化等许多反应中替代传统的硫酸催化剂. 它也可以用作碱,替代传统的氢氧化钠等液碱催化剂.[23] 此外,可以通过对介孔碳进行改性,将具有催化性能的原子(如 Ni 等)、原子团(如-$SO_3H$ 等)引入到碳材料的骨架中,实现特定的催化效果.

Piotr Krawiec 等[24] 首次用新型方法,制备了一种介孔碳衍生的硅碳材料(OM-CDC),这种材料有极大的比表面积和蛋白质吸附性. 经过磺酸化,该材料成为了良好的合成大体积有机分子的固体酸催化剂. 介孔碳材料本身作为催化剂时,还可实现多次重复利用,无论对于工业生产还是环境友好方面都有很大的贡献.

### 4.2 吸 附

如今人们能够实现介孔大小的调控,因此在吸附方面,介孔碳材料有着很广泛的应用,可以实现吸附的选择性. 同时,类似催化功能,通过引入杂原子和官能团,可以使其具有特定物质的吸附功能. 可用于物质或药物的传递、物质或能源的储存、物质的分离或环境净化.

Xia 等[25] 通过 CVD 法(化学气相沉积法)首次合成了整块介孔碳材料. 其介孔高度有序,有良好的氢气吸附能力.

含酚废水能引起人体内蛋白质的变质和凝固. 郭卓[26] 等研究了介孔碳 CMK-3 对苯酚的吸附性能,当吸附剂介孔碳 CMK-3 结构中存在大量介孔时,达到吸附平衡的时间较短. 吸附量也随温度的升高而增加,在 40 ℃时,CMK-3 表现出最大的吸附能力,吸附率达到 70.18%. 同时,研究也表明介孔碳的吸附效果好于活性炭.

刘晓蒙等[27] 还研究了 CMK-1 和 CMK-3 的合成及对布洛芬的缓释性能研究. 药物负载与材料的比表面积和孔容呈正比,CMK-3 的比表面积(1 508 $m^2/g$)和孔容(0.86 $cm^3/g$)均大于 CMK-1 的比表面积(1 018 $m^2/g$)和孔容(0.51 $cm^3/g$),所以 CMK-3 的药物负载能力强于 CMK-1(图 13). 同时,由于 CMK-3 具有明显的孔道,因此负载药物后依然保持很好的有序结构. 而 CMK-1 的孔道不明显,因此负载能力有所下降. 不过两种材料在负载布洛芬后,其介孔形貌均未受到影响. 然而 CMK-1 具有立方相的孔道结构,不利于药物的释放,因此同比之下,CMK-1 释放药物更为缓慢(图 14).

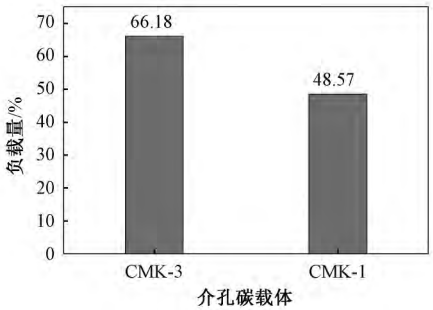



图 13 CMK-3 和 CMK-1 的药物负载量
相同时间内,CMK-3 的释放量多于 CMK-1,效果更好

### 4.3 电化学

对于电池电极、(超级)电容器等电储存装置,电极材料是决定其性能的关键因素之一. 碳材料具有良好的导电性、较高的机械强度、良好的抗腐蚀性



(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

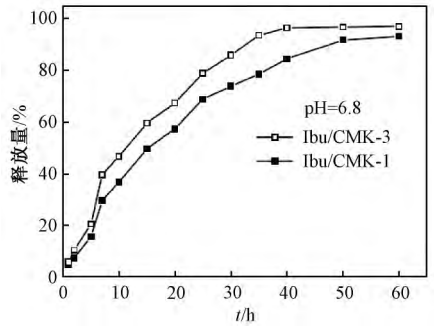



图 14　CMK-1 和 CMK-3 负载药物后的释放情况
相同时间内,CMK-3 的释放量多于 CMK-1,效果更好

等一系列的优点,并且在电极材料中制备简易、成本较低,因此是良好的电极材料. 在此基础上,介孔碳材料由于具有均一有序的介孔和极大的比表面积,其介孔结构还能促进物质传输,从而有效提高比电容,因此介孔碳材料在电储存设备中具有极大的应用前景.[28-29]

Jin-Bum Park 等[30] 以甲阶酚醛树脂为前驱体,F127 和 TEOS 为模板剂,利用乙醇和 THF 两种溶剂,分别合成了孔径为 6 nm 和 17 nm 的介孔碳材料. 将其用于 Li-$O_2$ 电池的氧电极材料,结果表明,该碳材料的介孔限制了放电期间 $Li_2O_2$ 结晶生成的大小,从而具有更高的电容性能.

Dipendu Saha 等[31] 以阔叶木硫酸盐木质素为前驱体用碱溶解,随后在酸中沉淀,并回流. 干燥后再以无水酸处理,与 F127 一同溶解在 THF 中,加入盐酸催化. 利用 EISA 方法,反应结束后在 $N_2$ 中进行高温碳化,冷却至室温后得到介孔碳材料. 后用 $CO_2$ 和 KOH 进行活化. 根据伏安循环曲线,可以看出这种材料表现出了理想的双层电容行为. 经过活化,材料的质量比电容得到了增加,同时由奈奎斯特(Nyquist)图可知,经活化的介孔碳材料还具有良好的超级电容器性能.

## 5　展　望

介孔碳材料从开始发展至今,已经取得了不小的进展,不过还有很大的发展空间以及应用空间值得去探索. 人们对材料的反应机理已经有了一定的掌握,然而仍存在缺陷,有待深入研究. 对于材料性能,尤其是热稳定性方面,需要进一步的优化; 同样还有结构和形貌的进一步完善[23]. 更重要的是,在绿色化学的要求下,我们还要不断地努力,发现更多无毒无害、简便易得的原料,寻找无排放、耗能低、原子利用率高的合成方法.

## 参　考　文　献

[1] Corma A. From microporous to mesoporous molecular sieve materials and their use in catalysis [J]. Chem Rev, 1997, 97(6): 2373 - 2419.

[2] Davis M E. Ordered porous materials for emerging applications [J]. Nature, 2002, 33(40): 813.

[3] Li W, Zhao D. An overview of the synthesis of ordered mesoporous materials [J]. Chem Commun, 2013, 49(10): 943 - 946.

[4] Wan Y, Zhao D. On the controllable soft-templating approach to mesoporous silicates. Chem Rev, 2006, 107(7): 2821 - 2860.

[5] Kresge C T, Leonowicz M E, Roth W J, et al. Ordered mesoporous molecular sivevs synthesized by a liquid-crystal template mechanism [J]. Nature, 1992, 359: 710 - 712.

[6] Liang Y, Fu R, Wu D. Reactive template-induced self-assembly to ordered mesoporous polymeric and carbonaceous materials [J]. Nano Letters, 2013, 7(2): 1748 - 1754.

[7] Ryoo R, Joo S H, Jun S. Synthesis of highly ordered carbon molecular sieves via template-mediated structural transformation [J]. The Journal of Physical Chemistry B, 1999, 103(37): 7743 - 7746.

[8] Jun S, Joo S H, Ryoo R, et al. Synthesis of new, nanoporous carbon with hexagonally ordered mesostructure [J]. J Am Chem Soc, 2000, 122(43): 10712 - 10713.

[9] 张海玲, 宋慧宇, 廖世军. 非硅基介孔材料的合成和研究进展 [J]. 现代化工, 2009, 29(12): 31 - 34.

[10] Huang Y, Cai H, Yu T, et al. Formation of mesoporous carbon with a face-centered-cubic Fd3m structure and bimodal architectural pores from the reverse amphiphilic triblock copolymer PPO-PEO-PPO [J]. Angew Chem Int Ed Engl, 2007,



(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

46(7): 1089 – 1093.

[11] 刘蕾，袁忠勇. 软模板合成有序介孔碳材料 [J]. 化学进展，2014，26(5): 756 – 771.

[12] Meng Y，Gu D，Zhang F，et al. Ordered mesoporous polymers and homologous carbon frameworks: amphiphilic surfactant templating and direct transformation [J]. Angewandte Chemie，2005，44(43): 7053 – 7059.

[13] Sun Z，Liu Y，Li B，et al. General synthesis of discrete mesoporous carbon microspheres through a confined self-assembly process in inverse opals [J]. Nano Letters，2014，7(10): 8706 – 8714.

[14] Wang M，Wang X，Yue Q，et al. Templated fabrication of core-shell magnetic mesoporous carbon microspheres in 3-dimensional ordered macroporous silicas [J]. Chemistry of Materials，2014，26(10): 3316 – 3321.

[15] 邵佳，李洋，周瑞莎，等. 有序介孔碳材料的制备研究及应用 [J]. 化学新型材料，2016，44(2): 18 – 20.

[16] Zhang F，Meng Y，Gu D，et al. An aqueous cooperative assembly route to synthesize ordered mesoporous carbons with controlled structures and morphology [J]. Chem Mater，2006，18(22): 5279 – 5288.

[17] 邓中林，李工，佟惠娟，等. 不同碳源制备的介孔碳分子筛的性能研究 [J]. 化学研究，2009，20(1): 24 – 28.

[18] Lu A，Kiefer A，Schmidt A W，et al. Synthesis of polyacrylonitrile-based ordered mesoporous carbon with tunable pore structures [J]. Chemistry of Materials，2004，16(1): 100 – 103.

[19] 艾力江·吐尔地，木合塔尔·吐尔洪，阿不都卡德尔·阿不都克尤木，等. 原位法棒状有序介孔碳的制备及表征 [J]. 分子科学学报，2016，32(6): 505 – 509.

[20] 游波，杨俊，谢卫，等. 高比表面积有序介孔碳的制备及光谱表征 [J]. 光谱实验室，2011，28(6): 3113 – 3116.

[21] 陈露. 有序介孔固体磺酸的制备及其酸催化性能研究 [D]. 上海: 华东师范大学，2011.

[22] 孙永安，贾美林. 一种新型介孔碳材料的合成与表征 [J]. 吉林大学学报，2008，46(6): 1197 – 1201.

[23] 宋晓岚，曲鹏，王海波，等. 介孔材料的制备、表征、组装及其应用 [J]. 材料导报，2004，18(10): 28 – 30 + 53.

[24] Krawiec P，Kockrick E，Borchardt L，et al. Ordered mesoporous carbide derived carbons: novel materials for catalysis and adsorption [J]. J Phys Chem C，2009，113(18): 7755 – 7761.

[25] Xia Y，Mokaya R. Ordered mesoporous carbon monoliths: cvd nanocasting and hydrogen storage properties [J]. J Phys Chem C，2007，111(27): 10035 – 10039.

[26] 郭卓，袁悦. 介孔碳 CMK-3 对苯酚的吸附动力学和热力学研究 [J]. 高等学校化学学报，2007，28(2): 289 – 292.

[27] 刘晓蒙，高云鹏，张佳，等. 不同孔径介孔碳的合成及对药物的缓释性能研究 [J]. 沈阳化工大学学报，2014，28(2): 137 – 141.

[28] 李娜，韩一明，许建雄，等. 有序介孔碳材料的表面改性及电化学性能研究 [J]. 功能材料，2015，46(增刊 1): 25 – 29.

[29] 陈爱兵，夏可婵，于奕峰，等. 纤维状介孔碳材料的制备及超级电容性能的研究 [J]. 应用化工，2016，45(12): 2217 – 2220.

[30] Park J B，Lee J，Yoon C S，et al. Ordered mesoporous carbon electrodes for Li-$O_2$ batteries [J]. ACS Appl Mater Interfaces，2013，5(24): 13426 – 13431.

[31] Saha D，Li Y，Bi Z，et al. Studies on supercapacitor electrode material from activated lignin-derived mesoporous carbon [J]. Langmuir，2014，30(3): 900 – 910.

# Research Progress of Ordered Mesoporous Carbons

Li Shuang　Huang Xin　Li Wei

(Department of Chemistry，Capital Normal University，Beijing　100048)

**Abstract**

Ordered mesoporous carbons (OMCs) are porous materials with pore diameter between 2 to 50 nm，which are attractive due to the large surface area，rich mesoscopic structure，uniform pore size and order mesoporous



(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

arrangement. Therefore, OMCs are widely used in areas including catalysis, adsorption, separation, gas storage and delivering, etc. So far, there has been lots of progress on ordered mesoporous carbon, such as synthesizing stable highly ordered mesoporous carbon by various methods, controlling pore structure and size by adjusting the molar ratio and pH, modifying the surface properties to make them more useful in special area by adding certain atoms or functional groups. Here we give a sketch of the research progress of OMCs, including synthesis, characterization, modification and application, and prospect the development of it.

**Key words:** ordered mesoporous carbons, synthesis, characterization, modification, application.



(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net