

中国材料大会 2025

暨新材料科研仪器与设备展

7 月 5-8 日, 2025

福建 厦门

D32-生物质先进碳材料

D32-Biomass-Related Advanced Carbon Materials

主办单位

中国材料研究学会

会议网址: <https://cmc2025.scimeeting.cn>



D32. 生物质先进碳材料

分会主席：詹国武、孙康、胡涵、袁湘洲、付更涛

D32-01

论文题目

侯阳*

浙江大学

随着大气中 CO₂ 浓度的不断升高，电催化还原 CO₂ 反应得到广泛的关注。近年来，价格低廉且高效的金属-氮原子(M-N)配位结构以原子级形态锚定在纳米碳材料表面而形成的电催化剂，已经被广泛用于取代贵金属催化剂应用于电催化还原 CO₂ 至 CO。虽然在这类电催化剂的合成方面已有很大的进展，但金属-氮配位结构中氮原子的类型和配位数仍然难以得到精确的控制合成。基于此，我们提出一种适用于制备单原子金属与四个吡咯型氮原子配位精确结构分散于超薄碳纳米片的通用策略。这一策略为在 M-N-C 催化剂合成过程中，精准调控 M-N 配位结构提供了一条可行的新思路。

D32-02

碳基超级电容器低温/高电压电解液的优化探索

刘迎宾、于畅*

大连理工大学

碳基超级电容器因其功率密度高、循环寿命长和充放电快特性，成为短时大功率储能领域快速发展的重要支撑。水系电解液具有低成本、高安全性及高离子电导率等优势，被认为是超级电容器应用前景广阔的电解液。目前，水系超级电容器面临两个亟需解决的关键科学问题：(1) H₂O 的热力学稳定性低，理论电化学稳定窗口仅为 1.23 V，严重制约水系超级电容器的电压输出；(2) H₂O 的凝固点高 (0 °C)，易引发低温相变，阻碍电极/电解液界面的离子传输，导致水系超级电容器低温性能显著恶化甚至完全失效。本工作围绕电解液组成优化展开工作，提升水系超级电容器的电压窗口和低温性能。1. 研究了 DMSO 对电解液电化学稳定性和低温性能的影响。高供体数的 DMSO 能与 H₂O 分子形成稳定的分子间氢键 (S=O···H-O)，锚定 H 原子活性位点，有效抑制析氢副反应以及 H₂O 分子向有序冰晶转化。制备的混合电解液综合性电化学稳定窗口为 2.61 V (vs. Ag/AgCl)，冻结温度低于 -50 °C，-50 °C 时的离子电导率为 0.52 mS cm⁻¹。基于混合电解液组装的对称超级电容器的工作电压窗口可达 2.0 V (室温)，当温度从室温降至 -50 °C 时，基于该混合电解液组装的超级电容器仍能保持稳定运行，比电容可达 41 F g⁻¹ @ 0.25 A g⁻¹ 和 23 F g⁻¹ @ 10 A g⁻¹。2. 研究了阴离子种类对 H₂O 分子间氢键的影响，高电荷密度的阴离子 (如 SO₄²⁻) 会形成有序的水合层，H₂O 分子通过强静电作用定向紧密排列 SO₄²⁻ 周围，这种结构能保持原有 H₂O 分子间氢键网络。低电荷密度的阴离子 (如 ClO₄⁻) 由于弱静电作用，周围 H₂O 分子排列松散无序，从而显著破坏 H₂O 分子间氢键。ClO₄⁻ 电解液实现优异的低温性能：冻结温度低于 -60 °C，-60 °C 时的离子电导率达 5.2 mS cm⁻¹。3. 构建了盐浓度为 8 mol kg⁻¹ 的“盐包水”(WIS) 电解液，研究了阴离子种类对 WIS 电解液电化学稳定窗口的影响。进一步以 Ca(ClO₄)₂ 基 WIS 电解液为基础，构建了“盐包有机溶剂/水”(OSWIS) 电解液，研究了有机溶剂种类对电解液低温性能的影响。乙腈 (AN) 作为一种高效的溶剂化稀释剂，所制备的电解液电化学稳定窗口为 3.29 V vs. Ag/AgCl，冻结温度低于 -50 °C。拉曼光谱和分子动力学模拟揭示，AN 溶剂分子能进入 Ca²⁺ 离子溶剂化壳层并取代 ClO₄⁻ 离子。这一过程显著降低 Ca²⁺-ClO₄⁻ 团簇，有效抑制电解液的低温盐析出现象，从而增强电解液的低温性能。组装的对称超级电容器的工作电压窗口可达 2.3 V (室温)。当温度从室温降至 -50 °C，该超级电容器展现出低的电容损失：14% @ 1 A g⁻¹ 和 26% @ 20 A g⁻¹。经 10000 次恒流充放电循环后 (电流密度：10 A g⁻¹)，电容保持率高达 99%。

D32-03

追求卓越，打造国家品牌——NSR 系列期刊介绍

张冰姿*

《中国科学》杂志社

National Science Review (《国家科学评论》，简称 NSR, <https://academic.oup.com/nsr>) 创刊于 2014 年，是由中国科学院主管，科学出版社主办的一份自然科学综合性学术期刊，致力于全方位、多角度地展示中外自然科学各领域的代表性研究成果，追踪报道重大科技事件，深度解读热点研究和重要科技政策等。NSR 的报道范围涵盖数理科学、化学科学、生命科学、地球科学、材料科学、信息科学等六大领域，发表的所有论文开放获取。基于科睿唯安 2024 年发布的期刊引证报告，NSR 的 5 年影响因子达到 18.6，位列全球多学科综合类期刊前 5%。创刊十年来，NSR 连续两次入选“卓越行动计划”领军期刊项目支持，并于 2021 年荣获中国出版政府奖。2022 年 7 月，NSR 姊妹刊 National Science Open (《国家科学进展》，简称 NSO, <http://nso.scichina.com/>) 创刊。本报告将介绍 NSR 系列期刊的发展历程和现阶段的基本情况，并讲解 NSR 的稿件定位、投审稿流程以及未来发展的新举措等。

D32-04**生物预处理制备生物炭及其在环境中的应用**

杨改秀*

中国科学院广州能源研究所

碳基超级电容器因其功率密度高、循环寿命长和充放电快特性，成为短时大功率储能领域快速发展的重要支撑。水系电解液具有低成本、高安全性及高离子电导率等优势，被认为是超级电容器应用前景广阔的电解液。目前，水系超级电容器面临两个亟需解决的关键科学问题：(1) H_2O 的热力学稳定性低，理论电化学稳定窗口仅为 1.23 V，严重制约水系超级电容器的电压输出；(2) H_2O 的凝固点高 (0 °C)，易引发低温相变，阻碍电极/电解液界面的离子传输，导致水系超级电容器低温性能显著恶化甚至完全失效。本工作围绕电解液组成优化展开工作，提升水系超级电容器的电压窗口和低温性能。1. 研究了 DMSO 对电解液电化学稳定性和低温性能的影响。

D32-05**纤维素衍生多孔碳纳米纤维电容性能研究**

何水剑*、张倩、杨广杰

南京林业大学

生物质衍生多孔碳是锌离子混合电容器重要电极材料。自支撑多孔碳材料相较于粉体电极材料表现出更优的倍率性能、更低的界面电阻及稳定性。静电纺丝技术是一种制备聚合物纳米纤维及其衍生碳纳米纤维的高效方法。本文以醋酸纤维素为原料，利用静电纺丝技术，通过调节纺丝溶液组分及碳化前预处理方式，合成微孔碳纳米纤维、中空碳纳米纤维、多通道碳纳米纤维等具有不同微观结构的碳纳米纤维。本文对碳纳米纤维的微观结构及电容性能进行了系统表征。研究结果表明，合成的碳纳米纤维具有无定形结构，比表面积较大，在水系电解液中表现出较优的电容性能。本文的研究结果开辟了纤维素衍生碳纳米纤维合成新路径，对其它天然高分子衍生碳材料的合成及应用具有启发作用。

D32-06**金属有机框架衍生碳载金属基电解水催化剂**

卢雪峰*、孙欣然、肖博鑫、张嘉程

福州大学

电解水有利于消纳大规模可再生清洁能源，生产的氢气又能作为理想的零碳能源载体促进国家能源结

构调整,是实现双碳目标的有效途径之一。得益于确定的原子键合方式和空间构型以及丰富的金属节点和有机配体,金属有机框架(MOFs)材料为电催化剂的设计合成提供了新的契机^[1-2]。鉴于电解水的强酸强碱以及高电压工作环境,MOFs面临着稳定性差和导电性不佳的难题。基于此,报告人选取廉价易得的MOFs为前驱体,创新采用多种合成策略,实现了MOFs衍生物结构和组成的定向精准构筑,开发了系列高性能碳载金属基电解水催化剂,实现了超细金属基纳米颗粒在多孔碳基质中的均匀稳定分散,并阐述了碳载体对金属活性位点表面电子结构的内在调控机制,实现了其在阴离子交换膜电解水中的高效稳定制氢^[3-7]。

参考文献

- [1] X. Sun, S. Wang, Y. Hou, X. F. Lu,* J. Zhang, X. Wang.* *J. Mater. Chem. A* **2023**, 11, 13089.
- [2] J. Zhu,† X. F. Lu,† D. Luan, X. W. Lou.* *Angew. Chem. Int. Ed.* **2024**, 63, e202408846.
- [3] X. F. Lu, L. Yu, X. W. Lou.* *Sci. Adv.* **2019**, 5, eaav6009.
- [4] X. F. Lu, L. Yu, J. Zhang, X. W. Lou.* *Adv. Mater.* **2019**, 31, 1900699.
- [5] S. Zhang, B. Guan, X. F. Lu,* S. Xi, Y. Du, X. W. Lou.* *Adv. Mater.* **2020**, 32, 2002235.
- [6] Y. Huang, S. Zhang, X. F. Lu,* Z. Wu, D. Luan, X. W. Lou.* *Angew. Chem. Int. Ed.* **2021**, 60, 11841.
- [7] X. F. Lu, S. Zhang, W. Sim, S. Gao,* X. W. Lou.* *Angew. Chem. Int. Ed.* **2021**, 60, 22885.

D32 -07

高分子衍生炭基二次电池关键材料

刘绍鸿*

中山大学

多孔炭材料具有孔隙率丰富、导电率高、结构稳定以及物理化学性质可调等优点,是电化学能源器件的核心材料。原料结构是影响多孔炭材料结构和性能的关键因素。近年来,我们通过对高分子前驱体的创新性设计,建立了有机耦合碳/非碳组分的骨架杂化新策略,提出了富孔化和拓扑结构化的表/界面改性新思路,发展了三维纳米网络结构的组装新技术,创制出一系列具有高功能骨架、高活性表/界面、高通量网络的新结构高性能多孔炭材料。

D32 -08

基于电子顺磁共振波谱的碳材料储能机理研究

王斌、胡涵*

中国石油大学(华东)

高效储能系统是可持续能源发展的核心支撑体系。电极界面电荷转移作为电化学储能体系的核心科学问题,其研究瓶颈在于:传统表征手段难以实时追踪界面结构的动态演变,导致界面容量形成机制与反应中间体演化路径尚未明确。电子顺磁共振(EPR)技术凭借对单电子物种的高灵敏度检测(检测限达 10⁻⁸ mol/L)及快速动态响应特性,成为解密电化学界面过程的理想探针。我们系统研究了不同生物质衍生碳基储能材料的典型 EPR 波谱特征,基于信号反馈原理构建原位测试装置并研究其储能机理。

D32 -09

可见-近红外光响应氮化碳基 S 型异质结光催化剂构建与 CO₂ 还原性能研究

郑云、郭芳松*

华侨大学

实现 CO₂ 的高效光催化还原是双碳背景下缓解温室效应、实现碳资源循环利用的关键路径。本研究聚

焦于可见-近红外光响应氮化碳基 S 型异质结光催化剂的构建与性能调控,提出融合能带工程与仿生结构设计的多尺度构筑策略,系统研究其在 CO₂ 光还原反应中的催化行为与构效机制。通过拓展 π 共轭结构与引入手性螺旋骨架,调控氮化碳材料的能带结构与光吸收边界,显著增强其在可见至近红外波段的光响应能力。同时,构建具有内建电场与界面能级差的 S 型异质结,强化光生电子与空穴的空间分离与定向迁移,提升界面电荷转移效率。结果表明,该类材料在模拟太阳光照射下表现出优异的 CO₂ 还原活性,产物主要为 CO 与 CH₄,并具备良好的选择性与稳定性。结合原位表征与密度泛函理论计算,揭示了界面电子态密度调控、中间态吸附自由能优化以及能带耦合对 CO₂ 分子活化与还原路径调控的关键作用。本研究为开发高效、宽谱响应的氮化碳基光催化剂提供了理论依据与材料范式,展现出其在 CO₂ 资源化利用领域的重要应用潜力。

D32 -10

生物质基钠离子电池负极硬碳微结构调控与储钠性能研究

王傲、孙康*

中国林业科学研究院林产化学工业研究所

生物质基硬碳具有综合储钠性能优异(高比容量、低操作电压等)、原材料资源丰富且可再生、成本低廉等优势,是钠离子电池实用化进程中最具潜力的负极材料。生物质基硬碳结构和性能优化的策略主要包括原料预处理、制备过程调控和后处理等。研究团队面向高比能与快充兼顾型钠离子电池负极生物质基硬碳的创制,创新原料复合、串联催化炭化、气氛介导缺陷修复等硬碳微结构调控方法,揭示微结构形成机制,探明硬碳微结构与储钠性能、平台储钠动力学和平台电位的构效关系,解析出不同微结构特征硬碳的储钠机制,构筑出兼具高平台容量、快速平台动力学和高平台电位的硬碳,为高比能与快充兼顾型钠离子电池负极生物质基硬碳的开发提供理论支撑,助推钠离子电池在储能和电动交通领域的应用进程。

D32 -11

酶解木质素碱性氧化解聚制备富含活性官能团的芳香族化合物

孙大雨*、高李璟、肖国民

东南大学化学化工学院

木质素作为自然界中储量丰富的可再生芳香族生物资源,其高效转化利用对于实现可持续发展具有重要意义。本研究聚焦于酶解木质素,采用碱性氧化解聚方法,旨在制备富含活性官能团的芳香族化合物。通过优化反应条件,如氧化剂用量、反应温度和时间等,实现了酶解木质素的高效解聚。利用红外光谱、紫外光谱、凝胶渗透色谱、电位滴定、核磁共振和热重分析等分析手段,对解聚产物的结构与组成进行了深入表征,发现产物为富含酚羟基、羧基等多种活性官能团的芳香族化合物。这些活性官能团赋予了产物良好的反应活性,使其在合成高附加值精细化学品、生物基材料等领域具有广阔的应用前景。表明,解聚产物的重均分子量从 2200 Da 下降到 700 Da, PDI 从 4.1 下降到 1.8,表明解聚产物的异质性较小。本研究为木质素的深度转化与可持续利用提供了理论依据与技术支持,有望推动木质素基化学品产业的发展,助力实现生物质资源的高效循环利用与绿色化学的进程。

D32 -12

木质素衍生硬碳材料的制备及储钠性能研究

郭芳松*

华侨大学

将木质素转化为先进能源碳材料是木质素高值化利用的重要举措,而木质素直接热解衍生所得硬碳材

料的储钠性能还需进一步提升。本文提出了一种基于木质素-异丙醇体系的焦耳快速加热策略，用于高效制备木质素衍生硬碳材料，并探究其在钠离子电池负极中的应用。利用木质素具有高吸附性的特点，将异丙醇分子吸附在木质素分子表面，然后利用焦耳热效应在数秒内实现前驱体的超快碳化，成功构建了具有高度有序微晶结构的硬碳材料。异丙醇的引入有效调控了木质素的热解路径，抑制了无序碳的形成，而焦耳加热的高温瞬态过程显著提升了碳层的石墨化程度和导电性。通过 XRD、Raman 等测试表明，随着异丙醇分子的吸附，所得碳材料的微晶含量提高，碳微晶的横向和纵向尺寸也随之扩大，有利于钠离子的快速嵌入/脱出动力学。本研究为木质素废弃物在储能领域的应用提供了新思路，所开发的木质素硬碳材料制备方法具有环保特性，符合可持续发展理念。

D32 -13

生物质衍生碳材料的设计及应用研究

边娟娟*

华侨大学化工学院

随着全球能源危机和环境污染问题的加剧，开发可持续的能源技术和高效的污染物治理方法至关重要。电催化析氢作为一种绿色制氢途径，有望缓解能源压力；而染料降解对于解决水污染问题意义重大。生物质衍生碳材料因其独特的物理化学性质、丰富的原料来源及环境友好性，在这两个领域展现出巨大潜力。研究表明，通过合理的结构设计及改性，生物质衍生碳材料能够有效提升电催化析氢活性，同时在温和条件下实现对各类染料的高效降解。这种将生物质废弃物转化为高性能功能材料的策略，不仅契合绿色化学理念，还为能源与环境领域的实际应用提供了新的解决方案，对推动相关领域的技术发展具有重要意义。

D32 -14

木质素衍生碳材料的可控合成与多功能性能调控研究

陈松波*

华侨大学

生物质基碳材料因其可再生性、低成本和环境友好性，在储能与催化等领域展现出广阔的应用前景。本文围绕木质纤维素等典型生物质前驱体，系统探讨了其转化为功能碳材料的关键合成策略，包括热解碳化、化学活化、掺杂调控以及模板辅助等工艺。研究表明，原料结构差异及制备条件显著影响碳材料的孔隙结构、比表面积和表面官能团，从而调控其在电化学储能（如超级电容器、钠离子电池负极材料）与多相催化（如 CO 氧化反应）中的性能表现。通过合理设计微观结构与表面化学特性，可实现高比容量、优异循环稳定性和催化活性等多重性能优化。本研究为高效、绿色转化生物质资源并赋能先进能源与环境技术提供了重要理论依据与实践路径。

D32 -15

可持续生物质碳电极材料

彭新文*

华南理工大学

人类社会需要可持续和可再生资源。生物质是一种富含碳素的可再生资源，将其转化为碳材料，可以实现稳定的固体形式的碳储存，对于实现“碳达峰、碳中和”战略目标具有重要意义。由于生物质自身结构的多样性和组成的复杂性，生物质碳材料的合成、定向重组和功能化，以及大规模应用面临着巨大的

挑战与机遇，如何实现生物质碳材料的可控制备和规模化生产是我们需要思考的问题。基于此，利用生物质木质纤维大分子特性、聚集态结构、界面相互作用、材料本征结构等优势，通过结构调控、界面工程、微观缺陷调控、异质掺杂等方法，构建了一系列新型生物质功能碳材料，比如柔性碳、体相催化碳、单原子木质碳材料等，并对它们的性能实现了精准调控与应用。

D32 -16

林木生物质衍生功能碳材料的催化应用

窦烁*

东北林业大学

立足于全球化石能源危机与环境治理需求加剧的双重挑战，聚焦可再生资源的高值化利用与高效能量转换技术的协同创新。木材是一种蕴藏量丰富和天然可再生的高分子材料，具有精巧的三维分级多孔结构、丰富的表面活性官能团。其化学组分中纤维素、半纤维素、木质素均是制备比表面积大、导电性良好、催化活性和稳定性优异的碳基材料的理想原料。

通过各类杂原子的掺杂对于生物质衍生碳材料表面性质具有显著调控作用。所引发的表面电子密度、前线分子轨道结构等改变对于催化反应过程中反应物及关键中间体吸附、反应路径优化、降低速控步骤能量壁垒等起到促进作用。而碳材料自身优异的结构稳定性为其大规模应用提供了极大潜力。

综上所述，通过天然林木生物质资源制备高性能碳基催化剂既是对该生物质资源高值化利用的有效途径，又是对功能碳基催化剂开发路径的指导。

D32 -17

林木生物质功能炭材料可控构建

韦新奥¹，赵可可¹，王嘉琪²，刘艳艳*¹，孙康³，蒋剑春³

1. 河南农业大学

2. 郑州大学

3. 中国林业科学研究院林产化学工业研究所

林木生物质资源丰富可再生，碳、氧元素含量高，在制备功能炭材料方面具有独特优势。研究表明，通过调控碳结构的电子性质及引入其他活性组分，可赋予炭材料优越的催化功能。在林木生物质炭化过程中引入外源物质对碳骨架结构进行掺杂改性形成反应分子吸附活化位点，在炭化后进行温和氧化或电场诱导耦合纳米结构形成催化活性界面集团，构建了氮/氧掺杂炭、原子级金属位点改性炭、表面磷化尖晶石炭、氮铁共掺杂尖晶石炭、过渡金属磷化物修饰炭等一系列催化活性炭材料，这些炭材料具有活化反应分子的共同特征。将上述催化活性炭材料应用于锌空电池氧转换反应，取得了优异性能，充放电电压差低至 0.65 V 以下，功率密度达到 240 mW cm⁻¹，在准固态电池中仍然达到 120 mW cm⁻¹，循环性突破 10000 周；在催化硼氢化合物产氢反应中，最好的转换频率比肩贵金属催化剂；应用于电催化合成过氧化氢，选择性高达 99%。这些催化性能表明基于生物质炭材料，通过理性的催化位点特别是界面集团的设计，可以成功构建具有普遍适用性和优异性能的催化活性炭材料，展现了一种实现林木生物质高值化新质利用的途径。

D32 -18

生物质多孔碳的绿色制备及其电化学性能研究

戴磊*

江南大学

生物质是一种绿色可再生资源，其符合绿色可循环发展要求。利用生物质制备多孔碳材料，并应用于电化学储能领域具有重要的社会意义与经济价值。本工作利用生物质特点，提出了一系列基于生物质的多孔碳材料绿色制备技术，包括（1）利用生物质制成水凝胶，并进一步通过冷冻干燥与碳化制成多孔碳，

利用凝胶材料的多孔特性，避免了活化剂的使用，提高了碳得率并减少了后续洗涤等污染；（2）利用温和的有机钾盐体系一步实现碳化-活化，将生物质原料制成多孔碳材料，相关产品的碳得率提高并具有丰富的孔隙结构，电化学性能分析显示相关多孔碳材料具有优异的电化学储能效果。本工作为生物质先进碳材料的制备与应用提供了新思路，对于促进生物质利用与碳材料新技术发展具有借鉴意义。

D32 -19

d 轨道耦合的碳基金属双/三原子协同催化

曾志平*

中山大学

揭示碳载金属多原子催化剂的构型-活性关系和协同增强机理（如 d 轨道能级、电子自旋态）及其固有的双功能性能，具有很大的挑战性。[1] 非对称配位工程成为调节单原子活性位点与反应物中间体吸附或脱附的一种重要且高效的策略。我们在双原子对基础上提出引入异类原子，导致 p-d 轨道杂化和电荷分布的不对称极化，杂原子充当电子供体来调节活性原子位点的电子状态并增强反应动力学，打破催化剂的活性-稳定性权衡和线性关系。我们提出了一种具有三核活性结构的碳载三金属原子催化剂，呈现出出色且稳定的双功能氧催化活性（ORR 和 OER），远优于碳载单原子催化剂。[2-5] 电子态分析表明，碳载多金属原子的协同相互作用形成非对称性金属位点、优化 d 轨道能级位置、d 带中心位移和与氧中间体的结合强度减弱。配备多金属原子催化剂阴极的金属空气电池具有超高的可充电稳定性和超强的抗冷冻测试循环性能（-60 °C 下在 1 mA cm⁻² 下超 5500 小时）。配位设计和深入的机理分析促进了碳载多原子催化剂在能源催化应用中推广。

D32 -20

生物质碳基催化剂构建及应用

孙昊*

中国林业科学研究院林产化学工业研究所

CO₂ conversion to CO via the reverse water-gas shift (RWGS) reaction is limited by a low CO₂ conversion rate and CO selectivity. Herein, an efficient RWGS catalyst is constructed through Enteromorpha prolifera derived N-rich mesoporous biochar (EPBC) supported atomic-level Cu-Mo₂C clusters (Cu-Mo₂C/EPBC). Unlike traditional activated carbon (AC) supported Cu-Mo₂C particles (Cu-Mo₂C/AC), the Cu-Mo₂C/EPBC not only presents the better graphitization degree and larger specific surface area, but also can uniformly and firmly anchors atomic-level Cu-Mo₂C clusters due to the existence of pyridine nitrogen. Furthermore, the pyridine N of Cu-Mo₂C/EPBC strengthens an unblocked electron transfer between Mo₂C and Cu clusters, as verified by X-ray absorption spectroscopy. As a result, the synergistic effect between pyridinic N anchoring and the clusters interaction in Cu-Mo₂C/EPBC facilitates an improved CO selectivity of 99.95% at 500 °C compared with traditional Cu-Mo₂C/AC (99.60%), as well as about 3-fold CO₂ conversion rate. Density functional theory (DFT) calculations confirm that pyridine N-modified carbon activates the local electronic redistribution at Cu-Mo₂C clusters, which contributes to the decreased energy barrier of the transition state of CO*+O*+2H*, thereby triggering the transformation of rate-limited step during the redox pathway. This biomass-derived strategy opens perspective on producing sustainable fuels and building blocks through the RWGS reaction.

D32 -21

生物质基多孔碳形貌调控及其电容性能强化机制

薛北辰*

海南大学

生物质基多孔碳因其发达的孔结构和高比表面积被认为是理想的电容碳材料，但生物质热解过程中碳骨架发生无序堆叠而产生颗粒状的封闭形貌，容易因碳颗粒内部的孔隙或活性官能团无法被充分利用造成电容性能不佳。如何抑制这样的碳骨架堆叠现象，通过形貌的调控提升储能活性位点的利用效率从而增强材料的电容性能，是制备高性能生物质基电容碳需解决的技术难点。针对上述问题，本课题组开发了冰模板辅助活化、熔盐热解活化和草酸盐气体剥离活化等制备方法，分别制备了具有中空笼状形貌和二维片层形貌的生物质基多孔碳材料，电化学测试结果表明上述形貌有效提升了材料的电荷存储能力，并且借助理论模拟计算进一步验证了电容性能的提升得益于上述形貌缩短了离子扩散路径，提升了孔道和表面活性官能团的利用效率。

D32-22

木质素基高电压和低自放电超级电容器研究

叶华林*

南京师范大学

超级电容器因其优异的高功率密度和长循环寿命，在高功率需求应用领域具有广泛应用前景。然而，其能量密度相对较低，限制了其在高能量需求场景中的应用。提高工作电压被认为是提升超级电容器能量密度的有效策略之一。尽管如此，当工作电压超过 3 V 时，电解液易发生分解反应，导致溶剂和溶质发生不可逆的氧化或还原过程，从而加速电解液的消耗，并在电极表面形成不可逆的固态电解质界面膜，阻塞多孔碳材料的孔道结构，影响离子传输与储存性能。本研究以木质素为碳源，制备了具有高比表面(> 1800 m²/g)和丰富 2–4 nm 孔道结构的电容炭材料。得益于木质素中本征含氧官能团的自掺杂效应，所得碳材料表面极性增强，显著改善了电解液的润湿性。同时，采用局部高浓度电解液体系，有效拓宽了器件的稳定电压窗口(> 3.8 V)，并提升了整体能量密度，且表现出较低的自放电速率，为高性能木质素基超级电容器中的开发提供了借鉴。

D32-23

酶解木质素分级碳材料创制及电氧化催化 5-羟甲基糠醛 (HMF) 到 2,5-呋喃二甲酸 (FDCA)

陈昌洲*

华侨大学

本研究通过酶解木质素分级策略构建了具有原子分散 Co–N₄ 位点和钴纳米团簇 (Con) 协同的电催化体系 (Co₁+nN@EHL)，实现了生物质平台分子的高效电催化转化。以低分子量木质素组分 (<2 kDa) 衍生的氮掺杂多孔碳为载体，通过精准调控碳基底的孔径分布 (2–3 nm) 和表面含氧官能团，成功构建了具有高导电性和丰富活性位点的双功能电催化剂。在常温常压电催化条件下 (1 M KOH, 1.324 V vs. RHE)，该催化剂实现了 5-羟甲基糠醛 (HMF) 到 2,5-呋喃二甲酸 (FDCA) 的定向转化，转化率达 100%，法拉第效率达 98.5%，产率 99.1%。原位表征和理论计算表明：Co–N₄ 位点作为电子转移中心促进 HMF 的 α-C–H 键活化，而 Con 团簇优化了 *OOH 中间体的吸附能，二者协同降低了决速步能垒。该工作为木质素分级碳基电催化剂的设计提供了新思路，展现了生物质资源在绿色电合成中的巨大潜力。

D32-24

碳纤维增强竹基复合材料研究

陈超、谢雨欣、孙康*

中国林业科学研究院林产化学工业研究所

竹材具有生长快、轻质、固碳能力强的特点，在当前“以竹代塑”政策背景下，竹基材料在建筑、家具、交通运输等领域均展现出良好的应用前景。然而，目前天然竹纤维复合材料仍难以满足轻质高强新材料的性能要求。通过将高性能碳纤维与天然竹纤维复合，调控并优化复合配比、原料预处理等工艺流程，制备

得到的复合材料弯曲强度、拉伸强度和抗冲击性能较未复合的材料分别提高了 25%、18%和 15%，同时复合材料的密度略微降低。本研究旨在创新碳纤维增强竹基复合材料关键技术，并进一步促进竹基材料在汽车内饰行业的应用发展。

D32 -25

碳载亚纳米金属催化氢碳资源高效转化

刘洪阳*

中国科学院金属研究所

主要介绍近年来，我们在碳载亚纳米尺度原子级分散金属催化剂的可控构建及其高效催化转化烃类小分子研究方面取得的研究进展，主要包括三个方面：1)：针对炔烃选择性加氢反应，通过设计富缺陷石墨烯稳定系列原子级分散金属催化剂，实现高效、低成本乙炔选择性加氢制乙烯，揭示配位环境、分散状态对原子级分散单原子金属催化剂的电子结构与加氢性能的调控机制。2) 针对低碳烷烃脱氢反应，突破合金催化烷烃脱氢的传统认知，实现原子级分散、全暴露金属团簇低温高效催化烷烃脱氢制烯烃，揭示亚纳米尺度、原子级分散金属团簇催化剂高效催化烷烃脱氢制烯烃作用机制。3) 建立亚纳米尺度金属单原子、金属团簇、金属纳米颗粒催化低碳烷烃脱氢的构效关系，为开发低温高效烷烃脱氢催化剂提供理论指导，并成功拓展到其它催化反应体系。实现碳载部分亚纳米尺度金属催化剂的规模制备，其中碳载低负载量钼基金属催化剂制备技术在中化集团 12 万吨催化加氢工艺中实现工业应用，催化剂已稳定运行达 600 天以上，为企业节省贵金属使用成本 8000 余万元，助力企业降低催化剂使用成本。[1-7]

1. F. Huang, H.Y. Liu and D. Ma, et al., J. Am. Chem. Soc., 2022, 144, 18485.
2. Z. M. Jia, H.Y. Liu and D. Ma, et al., Nat. Commun., 2022, 13, 6798
3. X.W. Chen, H.Y. Liu and D. Ma, et al., Nat. Commun., 2023, 14, 2588.
4. L. L. Wang, D. Ma and H.Y. Liu, et al., J. Am. Chem. Soc., 2023, 145, 38, 20936.
5. Y. Si, D. Ma and H.Y. Liu, et al., Nat. Commun., 2024, 15, 4887.
6. Y. Wang, D. Ma and H.Y. Liu, et al., Angew. Chem. Int. Ed., 2025, 137, e202415542.
7. X. W. Chen, H.Y. Liu and D. Ma, et al., Nat. Catal., 2025, 8, 436.

D32 -26

硬碳材料的结构设计及储钠性质研究

方永进*

武汉大学

钠离子电池由于资源丰富、价格低廉等特点，有望在规模储能领域获得广泛应用，近年来受到了学术界和产业界的广泛的关注。构筑合适的正负极材料，是实现钠离子电池应用的关键。硬碳材料具有可逆比容量高、工作电压低、循环稳定性好、首周库伦效率高、电子电导率高、成本低等优点，是最有希望获得应用的钠离子电池负极材料。据报道，硬碳材料的可逆比容量在 250-480 mAh g⁻¹ 之间，其比容量大小与硬碳微纳结构密切相关，可以通过调控碳前驱体类型和热解过程获得高性能的硬碳材料。然而，由于硬碳结构复杂，其电化学反应机制的研究也具有挑战性。过去的十多年里，研究者对硬碳储钠机制的研究做出了许多的工作，但对其储钠机制仍没有达成统一认识。因此，有必要对各种研究进行总结，来揭示硬碳材料与电化学反应机制的构效关系。

D32 -27

熔盐热解高效制备生物质基多孔炭及其在超级电容器中的应用

巩峰*、肖睿

东南大学

超级电容器由于其超长的循环寿命、快速充放电能力、稳定的安全性等优势成为储能技术领域的研究热点。然而,目前常规电容炭对于化石原料的依赖以及较为复杂的制备过程限制了其可持续的大规模应用。本研究以 KCl/NaCl 共晶盐体系为基础,通过绿色高效的熔盐热解策略制备了生物质基多孔炭,碳收率高达 35%。为进一步优化碳材料的孔结构和比表面积,本研究设计了熔盐热解耦合化学活化工艺,以夏威夷果壳为原料,利用熔盐模板和活化剂造孔的协同作用制备出比表面积达到 1795 m² g⁻¹ 的多孔炭。研究表明,多孔炭中含有丰富的微孔以及部分介孔和大孔,这种分级多孔结构有利于电解质的快速传输,同时提供了丰富的活性位点去存储电解质离子。进一步研究发现,多孔炭中产生了一定程度的石墨化结构,这是由于熔盐在热解过程中促进了碳原子在晶格中的有序排列,使无序碳具有更为均匀的晶体结构,同时活化剂对于碳骨架的刻蚀引入了更多孔隙结构,最终促成了多孔炭优异的电化学性能。将该多孔炭应用到超级电容器电极材料中,在 1 A g⁻¹ 的电流密度下比电容达到 380 F g⁻¹,同时具有优异的倍率性能和循环稳定性(在 10 A g⁻¹ 的大电流密度下比电容保持在 200 F g⁻¹ 以上,充放电循环 10000 次后容量保持率达到 91%)。本研究通过熔盐热解法合成高性能生物质基多孔炭,为电容炭的规模制备提供了一条经济高效可持续的路径。

D32 -28

FeP/炭气凝胶的构建及其原位诱导分子氧去除四环素的性能研究

林冠烽*、王贵龙

福建农林大学

过渡金属磷化物/炭基复合材料具有活性位点高度分散、金属浸出率低、反应物与催化中心接触机率大等优点,在电催化、储能、光催化和水处理等领域具有广泛的应用前景。基于此,本研究设计了一种简单新颖的合成策略,分别以羧甲基纤维素钠(CMC)为碳源,植酸(PA)和氯化铁(FeCl₃·6H₂O)为磷源和铁源,一步法构建出兼具催化和吸附优势的磷化铁/磷掺杂炭气凝胶(FeP/PCA),并将其应用于原位氧活化去除四环素(TC)。利用 FeP/PCA 吸附溶解氧(DO),并在 FeP 和碳基底缺陷的诱导下,实现原位氧活化,从而在无外加氧化剂的情况下高效降解 TC。当 FeP/PCA 用量、TC 初始浓度和 pH 值分别为 0.2 g L⁻¹、20 mg L⁻¹ 和 6.4 时,TC 的去除效率和矿化率分别高达 100%和 72.9%。FeP/PCA 对 TC 的去除具有较好的重复性和稳定性能,并且在实际复杂水环境中具有良好的适应性。电子顺磁共振(EPR)、猝灭实验、X 射线能谱(XPS)和密度泛函理论(DFT)分析表明,·OH、·O₂-和 1O₂ 等活性氧物种(ROS)均参与了 TC 的降解,其中·O₂-起主要作用。TC 的高效降解主要归因于吸附(53.2%)、FeP (Fe^{δ+}和 P^{β-})的原位氧活化(28%)和电子转移(18.8%);PCA 上 sp³ C-C、sp² C=C、C-P、C=O 和 C-O 基团的供电子作用,以及 PCA 和 FeP 的协同作用。本研究可为磷化铁/炭基复合材料的制备以及绿色氧化降解体系的构建提供新思路 and 科学依据。

D32 -29

林源木质素基多孔材料设计与应用

金灿*

中国林业科学研究院林产化学工业研究所

面向战略性新兴产业国际科技前沿与国家双碳战略实施需求,以农林生物质资源为原料,开展生物质分子结构可控修饰及构效关系、改性大分子组装等应用基础研究,开发生物基单体、聚合物、高性能和功能化材料的制备关键技术,开发了生物基环境功能材料、环氧树脂及其水性涂料、生物基热固性树脂材料、木质纤维复合材料等环境友好绿色新材料,满足生物基材料与木材工业等行业的绿色发展需求。本报告介绍木质素基有机多孔材料、多孔碳材料的设计与环境功能应用。

D32 -31

林木生物质能源催化碳材料

范孟孟*

南京林业大学

我国林业资源丰富,但是存在利用方式单一、增值效益不明显等问题,严重影响我国林业产业高质量发展。近年来,由林木生物质构建的碳材料成为实现新能源、碳中和等国家重大战略的关键攻关材料。根据国务院《关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》,先进碳材料作为现代新材料产业中的一个重要领域,成为世界各国日益竞争的焦点。由于优异的物理化学性能,先进林木碳材料也被广泛应用于能量存储与转化领域。然而,由于复杂林木生物质碳材料活性位点构建手段、构建机理、构效关系等研究的缺乏,导致林木生物质碳材料中活性位点结构稳定性差、位点本征活性低、位点反应动力学过程缓慢等问题,这也是林木碳材料在电催化能源转化应用中反应速率慢,催化剂失活快等的主要原因。

(1) 针对林木碳材料活性位点催化稳定性差,提出林木分子官能团限制等策略,构建硼微晶、石墨微晶等高稳定非金属异质结活性位点。揭示微晶结构增强催化稳定性机理,实现催化碳材料在工业级条件下的长期稳定性,推动林木生物质能源碳材料的工业化应用。

(2) 针对林木碳材料中杂原子位点本征活性低,提出“前驱预锚定”新策略,构建林木碳材料“杂原子对”位点,实现活性位点电子结构的多级调控。揭示“杂原子对”增强催化性能机理,拓展林木生物质碳材料杂原子构型精准构建方法,为林木碳材料活性位点本征性能升级提供研究基础和方法。

(3) 针对林木碳材料活性位点催化动力学过程缓慢,提出多维度、多结晶度碳材料复合策略,增强活性位点密度、传质及电子传输,加速反应动力学过程。解析碳材料微纳结构协同增强催化性能构效关系,增强活性位点密度及传输性能,为多样林木生物质碳材料的复合利用提供理论基础。

D32 -32

聚烯烃衍生碳基复合电催化剂及其析氢性能研究

曹祺*

东南大学

本研究以聚烯烃类废塑料为碳源,采用氧化物负载过渡金属催化剂,通过热化学工艺将废弃聚丙烯转化为碳纳米管,得到了一种富含空位的氧化物负载过渡金属杂化碳纳米管三元复合电催化剂。电化学测试结果表明,最佳样品表现出优异的析氢活性,其作为阴极材料时仅需 56 mV vs. RHE 的过电势即可达到 10 mA cm⁻² 的电流密度,这主要归功于富含氧空位的氧化物载体所提供的活性位点以及碳纳米管三维互穿网络结构的引入,与体系中高分散、金属态的过渡金属/合金活性组分间形成了良性协同。本项工作提供了一种高性能、低成本的电解水催化剂的负载制备方法,同时实现了塑料废弃物的高效、高值转化与利用。

D32 -33

活性炭在水资源污染治理与资源化利用的多维创新研究

岳一莹*

南京林业大学

随着工业化和城市化的快速发展,水体有机污染问题日益严峻,威胁生态系统和人类健康。针对这一挑战,本研究围绕农林废弃物高值化利用和新型材料开发,以活性炭(AC)为基础,提出了一系列创新解决方案,涵盖吸附、膜分离、电磁屏蔽及光催化降解等领域,形成多层次的污染治理技术体系。

1. 生物基 AC 的制备与改性及其吸附性能:以杉木屑为原料,通过化学活化与杂原子掺杂协同改性,成功制备高性能 AC。得到的 AC 比表面积达 2207.59 m²/g,对亚甲基蓝和四环素的最大吸附量分别为 349.33 mg/g 和 373.48 mg/g。进一步引入氮硫共掺杂技术,通过尿素和硫脲改性,显著提升吸附性能(亚甲基蓝 582.32 mg/g,四环素 619.30 mg/g),其机理符合准二级动力学和 Langmuir 模型,以化学吸附为主,涉及 π - π 作用、氢键及静电效应。

2. 自清洁复合纳滤膜的绿色构建与协同处理：针对传统醋酸纤维素膜疏水性和低截留率缺陷，提出绿色改性方案：通过水浸法形成单宁酸涂层增强亲水性，并创新性地将 AC 分散液作为静电层层自组装的阴离子聚电解质溶液，结合聚乙烯亚胺和 BiOBr/AC 光催化剂，通过静电层层自组装技术构建复合膜。该膜在 0.09 MPa 低压下实现高水通量 ($27.28 \text{ L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$) 及优异污染物去除率（四环素 97.24%、罗丹明 B 99.8%），且五次循环后性能保持稳定，光催化-过滤协同机制为长效水净化提供新思路。

3. 生物质基电磁屏蔽气凝胶的设计与性能：以木质素磺酸钠和纤维素为基体，负载 Fe_3O_4 @AC 磁性填料，通过冷冻干燥制备轻质气凝胶。当 Fe_3O_4 @AC 填充量为 10% 时，材料在 X 波段屏蔽效能达 30 dB，吸收率 0.5，兼具介电/磁损耗协同机制，拉伸强度达到 3MPa，使用寿命 8 个月，为可持续电磁屏蔽材料开发提供新策略。

4. Z 型异质结光催化剂的构建与降解应用：通过双氰胺聚合体系制备 AC 掺杂多孔氮化碳，并与 MoS_2 复合构建 Z 型异质结。AC 的高导电性显著促进电荷分离，使复合材料 40 分钟内对 RhB 降解率达 99.7%，4 次循环后仍保持 94.2% 效率，光电测试证实其高效稳定的光催化机制。

综上，通过 AC 的性能优化、材料改性和结构设计，实现了从吸附、膜分离到电磁屏蔽及光催化的多技术融合，为环境污染治理提供了高效、低成本且环境友好的系统性解决方案。

D32 -34

生物质热解催化碳浆料电极在水系硫基液流电池中的高效应用

刘圣林、巩峰*、肖睿

教育部能源热转换与控制重点实验室，能源与环境学院，东南大学

水系硫基液流电池（ASRFBs）因其高理论容量和低成本，成为长时储能中有前景解决方案之一。然而，缓慢的电化学氧还原动力学和显著的多硫化物穿梭效应限制了其性能。在本研究中，我们通过低成本生物质热解制备了具有多孔结构的生物炭，并成功构建了不同金属类型的生物炭基单原子催化剂（M-N-C，M=Fe、Co、Ni、Cu）。为了提高传质效率和催化活性位点，本研究设计了一种生物炭浆料流体电极，该电极利用生物炭对多硫化物的吸附和催化能力，有效抑制穿梭效应，提升氧化还原反应的动力学。研究表明，所制备的生物炭主要由微孔组成，能够高效吸附多硫化物，显著减少穿梭效应。进一步研究发现，M-N-C 催化剂增强了多硫化物的电化学吸附行为，显著提高了电池的氧化还原活性。电化学测试结果表明，与原始多孔生物炭 ($\Delta V = 555 \text{ mV}$) 相比，M-N-C 的氧化还原可逆性显著提高，其中 Fe-N-C 表现最佳 ($\Delta V = 317 \text{ mV}$)。密度泛函理论（DFT）计算结果表明，单原子催化位点显著降低了电化学反应的能量障碍，从而提高了能量效率和循环性能。在 80% 充电状态（SoC）下，Fe-N-C 催化的 ASRFBs 在 20 mA cm^{-2} 电流密度下运行超过 600 个循环（约 3.3 个月），且无明显容量衰退。本研究所制备的多孔催化生物炭有效解决了水系硫基液流电池在长时储能应用中的瓶颈问题。

D32 -35

废弃塑料热化学提质制备碳纳米管-金属-氧化物三元复合吸波材料

柏吉兴、曹祺*

东南大学

生活中大量废弃塑料存在资源回收利用率低和白色污染严重等问题，而传统的机械和能量回收路线难以充分发挥塑料废弃物复杂组分之间的潜在价值，因而亟需开发一条绿色可持续升级再造路线以实现废弃塑料的高值化与材料化利用。碳纳米管因其轻质、高电导率、高长径比等特性在微波吸收领域具有巨大的潜在优势，然而单纯的碳纳米管损耗机制单一，往往难以满足实际电磁防护应用场景对吸收强度和带宽的要求。本工作以废弃塑料为碳源，氧化钛负载铁体系为催化剂，通过热化学工艺将废弃聚丙烯塑料升级为高品碳纳米管；过程中联产的氢气与短链烃类气体既是一种高热值的燃料气，同时作为一种还原性气氛也为负载型催化剂中的氧化钛载体注入了丰富的晶格氧空位，从而获得了一种富含氧空位的氧化钛-磁性金属-碳纳米管三元复合轻质高效吸波材料，并通过系统的电磁参数测试、雷达散射截面仿真等手段揭示了该废

塑料衍生三元复合磁性碳基吸波剂中的电磁协同损耗机制。结果表明，氧化钛-铁-碳纳米管体系在厚度仅为 1.82 mm 时，其高频区反射损耗极值可达 -63.06 dB，有效吸收带宽可达 6.21 GHz (15.79–18 GHz)；这主要得益于氧空位及碳纳米管共同诱导了界面极化与偶极极化的增强，从而与体系内还原所得的铁磁性颗粒所贡献的磁损耗之间达到了优异的电-磁协同与阻抗匹配，进而实现了高效的微波吸收。本项工作展示了一条低成本、可持续、可扩展的“负碳”转化路径，将废弃塑料升级转化为国家重大战略需求的轻质、高效、宽频微波吸收产品，为实现国家“双碳”战略目标、提升未来武器装备隐身性能夯实了基础。

D32 -36

面向沼气纯化的活性炭材料制备及应用

陈义峰、孙康*

中国林业科学研究院林产化学工业研究所

CO₂/CH₄ 分离作为沼气纯化的核心步骤，传统的高压水洗技术尽管已实现工业化，但 CO₂/CH₄ 分离的高成本问题导致可再生能源很难具有市场竞争力，因此，需要进一步强化现有的 CO₂/CH₄ 分离技术。竹基活性炭作为一种价格低廉、比表面积大、孔径分布和表面性质易调控的多孔材料，已被广泛应用于分离过程。本研究将竹基活性炭材料与传统的高压水洗技术相结合，充分发挥竹基活性炭材料纳微界面的强化作用，用于 CO₂/CH₄ 分离过程性能强化。结果表明：竹基活性炭材料纳微界面的引入可以有效增强浆料体系的 CO₂ 吸收容量与速率，同时，CO₂/CH₄ 分离选择性适中。当竹基活性炭纳微界面在浆料体系种的质量分数为 7.0 wt% 时，竹基活性炭材料浆料体系的 CO₂/CH₄ 分离综合性能相对现有高压水洗技术可以提升 420%，CO₂/CH₄ 分离的平均分离成本下降 65.0%，上述结果显著表明竹基活性炭材料纳微界面强化的优异性能，具有潜在的工业化应用前景。

D32 -37

生物质硬碳微结构调控及其钠离子电池储能特性研究

张高月^{*1,2}，王傲¹，孙康^{1,2}，蒋剑春^{1,2}

华侨大学先进碳转化技术研究院

中国林业科学研究院林产化学工业研究所

硬碳作为最有应用前景的负极材料，是当前研究的重点。林业生物质具有可再生、灰分低、来源广泛等众多优点，是制备高性能钠离子电池硬碳负极材料的理想原料。然而，由于生物质热解成炭过程复杂、微纳结构定向调控困难，导致硬碳的储钠性能与产品一致性较差，限制了生物质硬碳在钠电商业化中的规模运用。本文解析了生物质原料性质和制备工艺对硬碳微结构形成的影响规律，揭示了生物质热解成炭机理和碳微晶演化机制，并通过生物质催化炭化、软-硬碳复合与焦耳热快速闪烧等技术定向调控硬碳微结构，综合提升硬碳电化学储钠性能，为高性能生物质硬碳可控制备提供了新思路。

墙报

D32 -P01

3D 打印技术制备整体式碳材料用于活化过硫酸盐高效生成单线态氧

周子宁、边娟娟、詹国武*

华侨大学先进碳转化技术研究院

单线态氧 ($^1\text{O}_2$) 是一种优异的活性氧物种 (ROS)，尤其在高级氧化工艺 (AOPs) 中对有机物的转化具有高效性。研究表明，催化剂的结构缺陷对单线态氧 ($^1\text{O}_2$) 的生成具有高效率 and 选择性。在本工作中，我们开发了一种集成氧空位和碳缺陷的生物炭负载铜掺杂二氧化锰 ($\text{Cu-MnO}_2@\text{RHC}$) 催化剂，该催化剂对过一硫酸盐活化表现出高催化活性。在 $\text{Cu-MnO}_2@\text{RHC}$ 体系中，单线态氧 ($^1\text{O}_2$) 被证实为主要的活性氧物种。

通过 3D 打印技术,该催化剂被设计成整体浆状结构(3D-Cu-MnO₂@RHC),在连续 10 次循环中仍保持超过 99% 的降解效率。同时,该复合材料显著降低了金属浸出量,使其远低于国际安全标准,确保了环境安全性。此外,数值模拟证实,整体浆状结构促进了氧气的传质过程。本研究凸显了 3D 打印技术在设计高效、可回收催化剂方面的潜力,为通过氧化工艺实现规模化、可持续的高级废水处理提供了新途径。

D32 -P02

木质素-异丙醇焦耳快速加热增强碳微晶用于钠离子电池

林继豪*

华侨大学化工学院

本文提出了一种基于木质素-异丙醇体系的焦耳快速加热策略,用于高效制备高结晶度碳微晶材料,并探究其在钠离子电池负极中的应用。通过将木质素与异丙醇溶剂结合,利用焦耳热效应在数秒内实现前驱体的超快碳化,成功构建了具有高度有序微晶结构的硬碳材料。异丙醇的引入有效调控了木质素的热解路径,抑制了无序碳的形成,而焦耳加热的高温瞬态过程显著提升了碳层的石墨化程度和导电性。表征结果表明,所得碳微晶具有扩大的横向和纵向微晶尺寸,并且提高了微晶含量,有利于钠离子的快速嵌入/脱出动力学。作为钠离子电池负极时,用该方法在 800°C、1200°C、1600°C 制作的材料在 0.2C 电流下提高了 20-30mAh g⁻¹ 的可逆比容量。本研究为生物质衍生碳材料的高效制备及储能性能优化提供了新思路。

D32 -P03

从生物质到高效电催化剂: 分级酶解木质素的焦耳热快速炭化及载铂催化剂的酸性 HER

李新月、边娟娟、詹国武*

华侨大学

酶解木质素作为生物质的一种,也是制备生物乙醇过程中的重要副产物。而复杂的化学结构和较宽的分子量分布,都导致木质素的性能不均一,限制了木质素的高附加值应用。本文提出一种基于木质素-分子量调控的焦耳快速加热策略,用于制备高效高石墨化碳材料,并探究其作为载体负载金属铂纳米颗粒后的电催化析氢性能。通过碱溶酸析法分离,得到不同分子量的木质素;利用焦耳热炉高温碳化工艺制备木质素衍生碳材料。分子量的调控有效地降低木质素的异质性,得到更加均一、稳定的生物质材料;而焦耳热瞬时高温过程显著提升了碳材料的石墨化程度。结果表明,在所得碳材料中,由大分子量木质素前驱体衍生的碳材料由更高的石墨化程度和更薄的碳层结构。并且有利于金属铂的负载,有利于电解水析氢反应的进行。结果表明,由大分子量木质素前驱体衍生的碳材料负载金属铂(Pt/F1C)催化剂在酸性介质中表现出优异的 HER 活性(过电位 $\eta_{10}=18.77$ mV),接近于商业 20 wt%Pt/C ($\eta_{10}=16.08$ mV),且具有良好的稳定性。Pt/F1C 的优异性能归因于大分子量木质素前驱体衍生的独特炭载体结构及 Pt 纳米颗粒与炭载体之间的强相互作用。本研究为木质素高值化利用及高效电解水析氢催化材料设计提供了新思路。

D32 -P04

木质素基碳纤维负载 Co₃O₄ 催化剂的低温 CO 氧化性能研究

黄子龙*

华侨大学

生物质能源的高效利用是实现能源可持续发展的核心路径,其可再生特性对替代化石燃料具有重要意义。木质素作为植物界储量第二的天然高分子仅次于纤维素,以苯丙烷单元为骨架,通过 C-C/C-O 键交联形成三维网状结构,碳含量达 60%-65% (质量分数),显著高于纤维素(44%)和半纤维素(48%)。这种高含碳量的特点使其成为理想碳材料前驱体,广泛应用于多孔碳材料及复合碳基材料的制备,在催化载体等领域展现出独特优势。本研究重点探讨基于木质素衍生碳纤维的负载型催化剂在低温下催化一氧化碳氧

化方面的应用,使过渡金属氧化物(Co_3O_4)纳米团簇均匀负载于木质素基多孔碳纤维载体上,成功构建了 $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{C}$ 活性位点协同催化体系,在 110°C 下便可实现一氧化碳的完全氧化,相比于同种方法制备的 Co_3O_4 催化一氧化碳氧化温度降低了约 50°C 。

D32 -P05

Cu-Ce MOF 基异质结催化剂用于 5-羟甲基糠醛电氧化

刘亚俊*

华侨大学

本文提出了一种新的水热合成策略,用于制备用于5-羟甲基糠醛(HMF)电氧化反应的新型Cu-Ce MOF异质结纳米催化剂(CuCeO_x/C)。该催化剂表现出优异的催化性能, CuCeO_x/C 在 $1.408\text{ V}/\text{RHE}$ 低电位下电流密度达到 100 mA cm^{-2} ,在 $1.5\text{ V}/\text{RHE}$ 低电位下电流密度翻倍至 280 mA cm^{-2} 。在此条件下,HMF的转化率超过100%,对2,5-呋喃二羧酸(FDCA)的选择性超过99.11%,法拉第效率为97.76%。理论计算和原位电化学阻抗谱(EIS)表明,Ce基Cu-MOF异质结纳米催化剂提高了 CuCeO_x/C 催化剂在HMF衬底上的吸附能,同时降低了HMFOR过程的反应能垒。基于我们的工作,采用 CeCu/MOF 异质结电催化剂高效电氧化HMF制备FDCA,为推进可持续化学过程和生物质增值开辟了一条绿色可持续的道路。

D32 -P06

Co/Ce-MOF 催化剂中金属 Co 和氧空位的协同作用可有效促进木质素衍生酚和大分子木质素的加氢脱氧反应

蒋洁*

华侨大学

通过先进的催化策略,提高生物质衍生化学品的利用率以产生高价值的芳烃,在环保制造领域引起了相当大的关注。本工作提出了四种创新的三维棒状介孔Ce基MOF材料,它们与供氢溶剂偶联以促进香草醛和大分子木质素加氢脱氧。在优化条件下(30 mg CoCe@C 催化剂、 2 MPa N_2 、 15 mL 异丙醇、 190°C 和 5 h 反应时间), CoCe@C 催化剂几乎实现了香草醛的完全转化,并在供氢溶剂中表现出87.8%的选择性生成产物MMP。表征结果表明,金属Co与氧空位之间的协同作用可有效活化香兰素中的 $-\text{CHO}$ 基团,从而形成反应产物MMP。此外,最佳的 CoCe@C 催化剂还能实现大分子木质素加氢脱氧,从而获得高产率、分子量分布更窄的木质素油产品。这项研究为同时利用木质素衍生物生产高价值燃料和化学品提供了一种可行的方法。

D32 -P07

串联催化碳化定制调控石墨结构以提高钠电硬碳的平台容量

周立敏、王傲、孙康*

中国林业科学研究院林产化学工业研究所

平台区的储钠行为是决定钠离子电池硬碳(HC)负极容量和倍率性能的关键。实现优异平台性能的主要结构特征包括扩展石墨畴和增加层间距。然而,由于结构间的固有的权衡,同步优化是具有挑战性的。本文采用串联催化碳化策略,同时构建了具有长石墨畴($L_a = 5.31\text{ nm}$)和大层间距($d_{002} = 0.389\text{ nm}$)的HC。综合原位和非原位实验揭示了 ZnCl_2 的催化选择性断键和芳构化效应,以及形成的ZnO和Zn在不同温度阶段的催化石墨层扩大和占据效应,从而导致独特结构的形成。最优的HCZ-0.1具有 346.9 mAh g^{-1} 的高可逆容量和 249.4 mAh g^{-1} 的平台容量,以及在 5 A g^{-1} 时的高倍率性能(114.0 mAh g^{-1})。此外,还揭示了HCZ-0.1的钠离子储存机制和 Na^+ 动力学增强的原因。本研究提供了一种精确的方法来设计HC中的石墨微晶结构,以提高平台区储钠能力。

D32 -P08

C₆H₇KO₇作为绿色活化剂促进超级电容器用高性能木质素衍生多孔碳的一锅合成

杨成、戴磊*

江南大学纺织科学与工程学院

木质素已被广泛研究用于合成多孔碳作为超级电容器的电极。然而，迫切需要绿色且成本效益高的活化剂来促进其工业应用。因此，我们提出使用柠檬酸二氢钾（C₆H₇KO₇）与碳酸钾（K₂CO₃）在简便的一锅法中从木质素制备多孔碳，无需使用任何苛刻和有毒的化学物质（如 NaOH）。所得碳具有相互连接的蜂窝状分级多孔结构（BET 比表面积为 945 m²/g），产率约为 40%。所制备的多孔碳在 1 A/g 的电流密度下（6 M KOH 电解质）具有 310 F/g 的比电容。此外，用该多孔碳组装的对称超级电容器在 250 W/kg 的功率密度下具有 6.39 Wh/kg 的能量密度，即使在 2500 W/kg 的功率密度下仍能保持 5.69 Wh/kg。这项工作为从木质素合成多孔碳提供了一种绿色且简便的活化剂体系，并推动了木质素在储能领域的实际应用。

D32 -P09

有机-无机生物杂化物衍生磁性多孔碳的制备及其抗生素去除应用

郑薪吟、张亚斌*

广西有色金属及特色材料加工重点实验室和广西大学资源环境与材料学院

抗生素的滥用和不当排放导致其在环境中持续积累，并通过食物链威胁生态系统和人类健康。研究表明，长期接触低浓度抗生素可能诱发细菌耐药性，并对人体代谢和免疫系统造成潜在危害。因此，开发高效、可持续的抗生素去除技术迫在眉睫。目前，传统的去除抗生素的方法包括生物降解、膜分离、高级氧化和吸附技术等。其中吸附技术因操作简单、成本低、无二次污染被广泛应用。决定吸附性能的关键是材料比表面积和孔隙结构、表面官能团和化学稳定性等。因此开发高性能吸附材料对处理抗生素极为重要。目前广泛研究的材料有活性炭、金属有机框架（MOFs）、生物质材料和共价有机框架（COFs）等，材料存在选择性差、难回收和成本高等问题，因此，开发一种高选择性、高磁回收效率和低成本的多功能复合材料，是解决抗生素污染治理难题的关键。

基于此，本研究提出了一种有机-无机杂化物衍生磁性多孔碳的制备策略。通过将天然微生物实体（如花粉等）与磁性 Fe₃O₄ 颗粒及 MOF 复合，从而构建出具有分级多孔结构的磁性碳基微纳米材料。这种多孔碳基材料展现出优异的磁响应性，强度可达 52 emu/g。由于分级多孔结构所产生的大比表面积、生物实体所遗传的功能团，其对四环素类抗生素和喹诺酮类抗生素展现良好的吸附能力，可达 1350 mg/g。得益于磁响应的赋予，这种材料还可以通过磁铁收集，不仅简化了回收过程，而且还有利于重复利用。循环使用七次后移除能力仍可达到 90%。本研究为低成本、规模化制备高性能环境修复材料提供了新思路，并推动了生物质资源在污染治理中的高效应用。

Reference

- [1] Huo, S., Gao, W, et al. Advanced Powder Materials 1.3 (2022): 100028.
- [2] Zhang, Fangfang, et al. Environmental Pollution 330 (2023): 121681.
- [3] Bushra, R., Ahmad, M. Sustainable Materials and Technologies (2024): e00985.
- [4] Li, Y., Nat. Nanotechnol., 17(6), 642-650.

D32 -P10

酶解木质素基电容炭高值转化与性能评价

陈亮、袁湘洲*

东南大学

多孔炭材料，因其高比表面积、可调控孔结构及优异导电性，在超级电容器等储能领域显示出了巨大潜力。多孔炭的分级孔网络（微/介孔协同）对电解液离子扩散效率与电荷存储能力息息相关。然而，传统

制备工艺存在流程长、成本高、能耗大等瓶颈。本研究开发冷冻干燥耦合 KOH 一步活化法，以酶解木质素为前驱体，通过低温均匀分散 KOH（避免团聚）、冷冻干燥过程中的真空升华作用预成型微孔模板、一体化干燥-活化协同工艺，简化制备流程、降低能耗的同时提升孔结构均匀性。实验结果表明，在酶解木质素基多孔炭（EKL-PC）体系中，同一 KOH 掺杂比例下，600°C活化样品 EKL-600 的比容量（ $0.5 \text{ A} \cdot \text{g}^{-1}$ 时 $396 \text{ F} \cdot \text{g}^{-1}$ ）显著高于 800°C活化样品 EKL-800（ $157 \text{ F} \cdot \text{g}^{-1}$ ），比表面积与比容量呈现非单调正相关性，该现象揭示了孔结构传导效率与表面化学环境的协同调控机制：低温活化过程中酶解木质素的定向刻蚀效应，在构建分级孔道提升离子传输效率的同时，使 EKL-600 保留了更高的表面氧元素含量（XPS 表面元素分析显示 O 含量 14.21%，较 EKL-800 的 9.3%提升 53%），为赝电容反应提供了更多活性位点，从而实现双电层电容与赝电容的协同增强。另外，本研究构建“工艺参数-炭材料理化特性-电化学性能”数据库，通过主动学习指导下“实验反馈-模型优化”实现电化学性能的高效预测与炭材料的精准构筑，推动木质素基多孔炭从实验室参数优化向智能化、助力循环经济与低碳储能技术的深度融合。

D32 -P12

一种柔性木质素基碳纤维的制备

王朝杨*

华侨大学

本研究开发了一种基于生物质资源的柔性碳纤维绿色制备新方法。以木质素磺酸钠为前驱体，通过优化静电纺丝工艺参数并结合预氧化-碳化处理，成功制备出具有优异性能的木质素基柔性碳纤维。采用多种表征技术对碳纤维进行分析：扫描电子显微镜观察显示所得纤维具有均匀连续的形貌结构；X 射线衍射和拉曼光谱分析表明碳化处理后纤维的石墨化程度得到显著提升；氮气吸脱附测试结果证实纤维具有较高的比表面积。工艺优化后的碳纤维表现出良好的柔韧性和机械性能。该研究为生物质资源的高值化利用提供了新途径。

D32 -P13

改进的铜 - 碳 - 钼界面电子桥触发 C=O 键断裂，实现高效二氧化碳加氢制一氧化碳

廖海全*

中国林业科学研究院

尽管碳化钼催化剂在将二氧化碳可持续转化为一氧化碳方面表现出色，但其结构和电子特性的调控仍难以提高催化转化率和稳定性。在此，我们通过一种简便的方法制备了具有锚定铜团簇和吡啶氮掺杂碳层封装的亚 2 纳米立方碳化钼（ $\alpha\text{-MoC}$ ）纳米岛。在极低的氢气分压和 500 L/g/h 的气时空速下，实现了前所未有的 $2583.3 \text{ 毫摩尔二氧化碳/克催化剂/小时}$ 的二氧化碳转化率，并保持了 500 小时 的优异稳定性。通过吡啶氮掺杂碳壳增强了铜团簇与碳化钼纳米岛之间的界面电子转移，构建了稳定的铜 - 碳 - 碳化钼界面电子桥。电子缺乏的铜 - 碳 - 碳化钼桥改善了二氧化碳的化学吸附、二氧化碳解离为 CO^* 和 O^* 以及通过氧化还原机制进行的 H^* 迁移。铜 - 碳 - 碳化钼界面电子桥使铜团簇处于电子缺乏状态（ Cu^+ ），并具有较高的结合能，从而有利于 H^* 的化学吸附。因此，人造的铜 - 碳 - 钼有助于限速步骤的转变，并显著降低了关键中间体的能量势垒。铜 - 碳 - 钼桥的设计为全面理解并提高可持续性 RWGS 反应的催化活性和稳定性以生产燃料和化学品提供了新的策略。

D32 -P14

pH 值对不同木质素组分的提取 木质素微球制备紫外阻隔 PVA 薄膜的分级

张佳威*

中国林业科学研究院林产化学工业研究所

硫酸盐木质素是制浆造纸工业的主要副产品，已经获得了显著的经济效益由于其丰富的可用性和独特的化学结构，使其成为生物燃料、碳材料和聚合物复合材料等应用的有前景的候选者。尽管有这些优点，它在精细化工中的应用包括纳米材料在内的工业受到其固有的深色和宽分子量分布的限制。解决这些局限性已成为正在进行的旨在提高 KL 功能和商业可行性的研究工作的核心焦点。在这项研究中，我们使用 pH 分级从一家造纸企业中分离出 KL，并获得了四种不同分子量的木质素。随后，木质素微球（LMP）由四种材料自组装而成 KL 的大小。分析 KL 和 LMP 的性质，低分子量木质素，如 KL-2 表现出良好的抗氧化特性。

D32 -P15

木质纤维碳基功能复合材料

谢雨欣*

中国林业科学研究院林化所

木质纤维碳基功能复合材料是以木质纤维为前驱体，通过热解、碳化等方法制备的多功能材料。木质纤维其独特的结构特点和成碳特性为材料的功能化设计提供了重要基础。木质纤维碳基功能复合材料具有轻质、高强度、多功能性等优点，在电磁屏蔽、储能、导电、导热以及力学性能（如抗拉、抗压）等领域展现出广泛的应用潜力。本文系统综述了近年来木质纤维碳基功能复合材料在上述领域的研究进展，为其未来的开发和应用提供了理论参考和技术支持。

D32 -P16

重质生物油二元绿色活化制备功能多孔活性炭及其储能性能研究

武刚，苏银海*，张会岩*

东南大学，能源与环境学院

作为生物质热解过程中产生的液相副产物，重质生物油（HBO）具有粘度高、碳含量高、热塑性优异且易发生缩聚反应等特点。鉴于其转化利用面临的挑战，将 HBO 升级转化为高品质功能性多孔活性炭（PAC）材料的研究已引起广泛关注。本研究提出了一种创新且温和的一步法二元绿色热解活化策略，将 HBO 碳前驱体制备高品质 PAC，并应用于电化学储能领域。通过合理调控活化剂用量，可定向合成具有微孔和介孔共存的 PAC。值得注意的是，在 HBO:活化剂:模板质量比为 2:2:1 条件下制备的 BOAC-4 表现出优异的比表面积（2136 m²/g）和理想的孔结构（中孔率 31%），在三电极体系中展现出最佳电化学性能（1 A/g 时比电容达 305 F/g）。同时，以 BOAC-4 组装的非对称混合锌离子超级电容器也表现出优异性能。本研究结合拉曼光谱、透射电镜和凝胶渗透色谱表征，揭示了二元绿色热解活化过程中模板剂的空间限域“桥接”效应与活化剂的层级“刻蚀”成孔作用的协同机制，构建了具有合理微介孔比例和超微孔特性的 PAC 材料，进而增强其电化学性能。本研究提出了一种从 HBO 废弃物高效转化制备功能 PAC 的一步热解绿色活化策略，为资源回收利用和环境挑战提供了可持续解决方案。

D32 -P17

PVP-Mediated Oxidative Doping of Pitch-Derived Hard Carbon for Sodium-Ion Batteries

Qi Wei, Han Hu*

State Key Laboratory of Heavy Oil Processing, Institute of New Energy, College of Chemistry and Chemical Engineering, China University of Petroleum (East China)

As a soft carbon precursor, pitch needs to be pre-oxidized to transform into hard carbon for use in sodium-ion battery anodes. Although pre-oxidation is a crucial process for producing carbon negative electrodes from pitch, conventional pre-oxidation only offers limited capacity enhancement, thus presenting a distinct performance ceiling. It is widely acknowledged that the Na^+ storage capability of hard carbon is primarily determined by its pore structure, which makes pore engineering a key objective in material modification. In this work, polyvinylpyrrolidone (PVP) was used as an additive, and an innovative PVP-mediated oxidative doping strategy was implemented. This approach achieves trifunctional modulation—pore creation, heteroatom doping, and interlayer spacing expansion—surpassing the limitations of traditional pre-oxidation. As a result, a porous pitch-derived hard carbon with tailored structural functionality was successfully fabricated. The optimized 5% PVP-OP-HC delivers a high reversible charge capacity of 310.3 mAh g^{-1} at 0.3 A g^{-1} and an initial Coulombic efficiency (ICE) of 75.43%. Moreover, 5% PVP-OP-HC exhibits exceptional rate capability, with a capacity of 148 mAh g^{-1} at 6 A g^{-1} .

D32 -P18

Preparation of Hard Carbon from Lignin and Starch Co-pyrolysis for Sodium-Ion Batteries

Xingyu Liu, Han Hu*

State Key Laboratory of Heavy Oil Processing, Institute of New Energy, College of Chemistry and Chemical Engineering, China University of Petroleum (East China)

Abstract: Biomass-derived hard carbon is a highly promising anode material for sodium-ion batteries. In this study, we prepared hard carbon anodes for sodium-ion batteries using starch and lignin as raw materials through a co-pyrolysis process. Initially, starch and lignin were mixed, and their mass ratio was adjusted to optimize the raw material composition. Subsequently, the mixture was subjected to pyrolysis under specific temperature and atmosphere conditions. By controlling parameters such as pyrolysis temperature and duration, the microstructure and pore characteristics of the hard carbon were precisely regulated. The optimized material exhibited a reversible capacity of 381.8 mAh g^{-1} and an initial Coulombic efficiency (ICE) of 82.9%. Additionally, the rate performance of the material was significantly improved, with a capacity of 98.7 mAh g^{-1} at a current density of 0.6 A g^{-1} .

D32 -P19

磺化木质素原位掺杂 S 改性酚醛树脂优化其硬碳储钠倍率性的研究

徐晨晨*

中国林业科学研究院林化所

硫(S)掺杂被认为是提高钠离子电池倍率性能的可靠策略。然而,设计结合安全性、经济性和高活性的新型有效的 S 掺杂方法仍然紧迫且具有挑战性。本研究创新性地采用磺化木质素(SL)作为生物质碳源和硫掺杂剂,本文通过原位掺杂将 S 固定 SL 结构中,继而加强 SL-PR 的强相互作用,促进了 S 原子的热稳定性和 Na_2SO_4 衍生的 SO_2 的二次 S 掺杂。而且木质素的三维交联芳香结构不仅有效抑制了硬碳的石墨化有序度,其丰富的含氧官能团更为硫原子提供了稳定的锚定位点,实现了高达 9.5 wt% 的硫掺杂量。这种 S 掺杂碳负极在 0.05 A g^{-1} 时提供 405 mAh g^{-1} 的高可逆 Na 存储容量,并且在 1 A g^{-1} 下进行 1000 次循环测试后,比容量保持 309 mAh g^{-1} ,容量保持率为 90%。